

「水素利用技術研究開発事業」

事後評価報告書

平成30年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究評価委員会

平成30年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 古川 一夫 殿

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会 委員長 小林 直人

NEDO技術委員・技術委員会等規程第34条の規定に基づき、別添のとおり評価結果について報告します。

「水素利用技術研究開発事業」

事後評価報告書

平成30年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

研究評価委員会

目 次

はじめに	1
審議経過	2
分科会委員名簿	3
評価概要	4
研究評価委員会委員名簿	6
研究評価委員会コメント	7
第1章 評価	
1. 総合評価	1-1
2. 各論	
2. 1 事業の位置付け・必要性について	
2. 2 研究開発マネジメントについて	
2. 3 研究開発成果について	
2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	
3. 評点結果	1-15
第2章 評価対象事業に係る資料	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会公開資料	2-2
参考資料 1 分科会議事録	参考資料 1-1
参考資料 2 評価の実施方法	参考資料 2-1
参考資料 3 評価結果の反映について（前倒し事後評価のみ）	参考資料 3-1

はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される研究評価分科会を研究評価委員会によって設置し、同分科会にて被評価対象プロジェクトの研究評価を行い、評価報告書案を策定の上、研究評価委員会において確定している。

本書は、「水素利用技術研究開発事業」の事後評価報告書であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条に基づき、研究評価委員会において設置された「水素利用技術研究開発事業」（事後評価）研究評価分科会において評価報告書案を策定し、第55回研究評価委員会（平成30年3月16日）に諮り、確定されたものである。

平成30年3月
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

審議経過

● 分科会（平成29年11月24日）

公開セッション

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
6. プロジェクトの詳細説明

非公開セッション

7. 全体を通しての質疑

公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定、その他、閉会

● 第55回研究評価委員会（平成30年3月16日）

「水素利用技術研究開発事業」

事後評価分科会委員名簿

(平成29年11月現在)

	氏名	所属、役職
分科 会長	おおたに ひでお 大谷 英雄	横浜国立大学 大学院環境情報研究院 人工環境と情報部門 教授
分科 会長 代理	あいはら しゅうじ 栗飯原 周二	東京大学 大学院 工学系研究科 システム創成学専攻 教授
委員	いいやま あきひろ 飯山 明裕	山梨大学 燃料電池ナノ材料研究センター 特任教授／センター長
	くりやま のぶひろ 栗山 信宏	産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 電池技術研究部門 副部門長
	しばた よしあき 柴田 善朗	日本エネルギー経済研究所 研究主幹
	しょうだ かずき 正田 一貴	日本ガス協会 技術開発部 部長
	ふじもと よしお 藤本 佳夫	トヨタ自動車株式会社 FC技術・開発部 企画総括室 渉外グループ グループ長

敬称略、五十音順

評価概要

1. 総合評価

水素ステーション低コスト化技術を構築し、規制の適正化や国際規格・標準の整備も同時に行うことにより、世界最速の水素ステーション設置と自立拡大の早期実現に大きく貢献する事業として高く評価できる。開発促進財源の投入等、情勢変化へ対応しつつ、プロジェクトリーダー及びNEDOの強力なマネジメントのもと、適切に研究開発が進められている。スピード感、高性能、コストダウンなど、相反関係にあるテーマが多数あるなか、ほとんどの項目で目標を達成している。また、ステーションの構成機器について、実用化の目途も立っている。

一方、充填ホースの耐久性が水素ステーション全体における運用コストの不安要素となっているため、実地での耐久性の確認が必要である。また、各規制の適正化によって、どの程度のコスト削減につながるかを定量的に示すべきである。

今後は、従来エネルギー及び他の新エネルギーとの比較という視点も持っていただきたい。また、無人スタンドなど、海外の事例をよく精査して、低コスト化を実現するための技術開発を継続して欲しい。水素ステーション、FCVとも国際規格・標準に資する研究は今後も継続していく必要がある。さらに、水素インフラを社会が受け入れるメリットがあることを認知する活動もポータルサイトやセミナーなどを活用し、積極的に行って欲しい。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

エネルギー基本計画や水素・燃料電池戦略ロードマップ等々に示されている目標達成のために、規制の見直し、高度な技術の開発、国際標準化及び国際協力に対応し、政策の推進に貢献している。また、整備コスト削減が政策上の重要課題として挙げられるなか、本事業は安全を確保しつつコスト削減に対応した研究開発となっている。これらの活動は公共性が高く、また民間単独ではリスクが高いことから、NEDO事業として妥当である。特に安全性の確保は社会に受容されるために重要である。世界最速のステーション設置により国際競争力の強化が期待され、十二分に投資効果が得られると判断される。費用対効果の「効果」については、直接的な水素ステーションとFCV用水素燃料の市場規模だけを提示するのではなく、例えばFCVの普及見込み台数の市場規模や、建設費用のコストダウン見込みなども含めてよいのではないかと。

2. 2 研究開発マネジメントについて

水素ステーション建設に必要な技術要素が網羅されており、実ステーションでの実証試験も計画されている。規制の見直しや開発の進捗に応じて柔軟に開発体制を再考しており、プロジェクトリーダーの主導のもとスケジュール管理が良好になされている。必要に応じて開発促進財源の投入、新規・追加公募の実施、委託先の増加を行うなど、情勢変化に適切に対

応している。

一方、耐久性に関しては、目標が実現可能なレベルに留まっていると感じられる。充填ホースが耐久性のネックと思われるが、より挑戦的な目標を設定しないと実用的な機器の開発は難しいと思われる。

今後も、水素ステーションの安全基盤整備や国際標準化の拡大等については、我が国がリーダーシップを発揮できるよう、事業を推進して欲しい。また、各要素技術によるコスト削減効果を把握し、注力すべき分野を明確化することが望ましい。

2. 3 研究開発成果について

規制見直し及び水素ステーションの運用に資するデータの取得を計画通り完了するとともに、高圧水素ホース技術の向上を実現するなど、世界的にも先んじた成果が得られている。また、本事業で得られた技術情報のデータベース化が進んでおり、全ての項目で国際標準化の見通しが立っていることは高く評価できる。

一方、論文の発表件数が少ないように思われる。成果の普及という意味では特許よりも論文の方が有利であり、世界に技術を発信することによって規格等をリードすることにもつながるはずである。また、国際競争力の観点から 87.5MPa 対応の機器の実用化や鋼種の範囲拡大が望まれる。さらに、各規制の適正化により、どの程度のコスト削減につながるかを定量的に示すべきである。

今後、ショーウィンドウ的なステーションの建設や、ポータルサイトの活用、さらには、地域一般住民を対象とした水素体験セミナーや研修を通じて、成果普及・理解促進を図ることを期待する。また、技術優位性確保と技術孤立リスクのバランスを考慮したオープン・クローズ戦略を取り、適切なタイミングでデータを公開することが望まれる。

2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

本事業で蓄積されたデータは、目標数を上回る例示基準の改正に反映され、さらに、低合金鋼ガイドライン作成、溶接実用化、HRX19 及び SUS305 の耐水素性実証等に貢献している。これらの技術開発の成果は、即、水素ステーションの低コスト化に適用できる。また、低コスト水素ステーションを構成する機器の実用化の目途が立ったことは大いに評価できる。

一方、政府、NEDO、学術機関、民間等多くのステークホルダーがいることから、今後の実用化に向けて、誰が何に取り組むのか役割を明確化するべきである。また、事業全体を見渡し、どの課題がボトルネックとなっているか、常に明確にして事業を進めるべきである。加えて、さらなる低コスト化に向けた材料開発も必要と考えられる。

今後は、ガソリン車や電気自動車とのライフサイクルコストやカーボンフットプリントなどの比較も意識して開発を進めていただきたい。水素ホースの高圧化・高耐久性にはさらに一段の性能向上が必要であり、大学と企業の連携を密にするなど、研究を加速させる必要がある。本事業成果の国際展開により、国内事業者が海外展開する場合の基盤を築いていただきたい。

研究評価委員会委員名簿

(平成30年3月現在)

	氏 名	所属、役職
委員長	こばやし なおと 小林 直人	早稲田大学 研究戦略センター 副所長・教授、 研究院 副研究院長
委員	あさの ひろし 浅野 浩志	一般財団法人電力中央研究所 エネルギーイノベーション 創発センター 研究参事
	あたか たつあき 安宅 龍明	先端素材高速開発技術研究組合 (ADMAT) 専務理事
	いなば ようじ 稲葉 陽二	日本大学 法学部／大学院 法学研究科 教授
	かめやま ひでお 亀山 秀雄	東京農工大学 名誉教授／シニア教授
	ご ないかわひろし 五内川 拡史	株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	さく まいちろう 佐久間 一郎	東京大学大学院 工学系研究科 附属医療福祉工学開発評 価研究センター センター長／教授
	さとう りょうへい 佐藤 了平	大阪大学 産学共創本部 名誉教授／特任教授
	たからだ たかゆき 宝田 恭之	群馬大学 特任教授
	ひらお まさひこ 平尾 雅彦	東京大学大学院 工学系研究科 化学システム工学専攻 教授
	まるやま まさあき 丸山 正明	技術ジャーナリスト／横浜市立大学大学院非常勤講師
	よしかわ のりひこ 吉川 典彦	名古屋大学 名誉教授

敬称略、五十音順

研究評価委員会コメント

第55回研究評価委員会（平成30年3月16日開催）に諮り、以下のコメントを評価報告書へ附記することで確定した。

- 本来の目標を達成したのは大きな成果である。この事業の中で認識された今後の課題を次のステップに活かして、戦略的に今後の展開を図ることを期待したい。

第1章 評価

この章では、分科会の総意である評価結果を枠内に掲載している。なお、枠の下の箇条書きは、評価委員の主な指摘事項を、参考として掲載したものである。

1. 総合評価

水素ステーション低コスト化技術を構築し、規制の適正化や国際規格・標準の整備も同時に行うことにより、世界最速の水素ステーション設置と自立拡大の早期実現に大きく貢献する事業として高く評価できる。開発促進財源の投入等、情勢変化へ対応しつつ、プロジェクトリーダー及びNEDOの強力なマネジメントのもと、適切に研究開発が進められている。スピード感、高性能、コストダウンなど、相反関係にあるテーマが多数あるなか、ほとんどの項目で目標を達成している。また、ステーションの構成機器について、実用化の目途も立っている。

一方、充填ホースの耐久性が水素ステーション全体における運用コストの不安要素となっているため、実地での耐久性の確認が必要である。また、各規制の適正化によって、どの程度のコスト削減につながるかを定量的に示すべきである。

今後は、従来エネルギー及び他の新エネルギーとの比較という視点も持っていただきたい。また、無人スタンドなど、海外の事例をよく精査して、低コスト化を実現するための技術開発を継続して欲しい。水素ステーション、FCVとも国際規格・標準に資する研究は今後も継続していく必要がある。さらに、水素インフラを社会が受け入れるメリットがあることを認知する活動もポータルサイトやセミナーなどを活用し、積極的に行って欲しい。

<肯定的意見>

- ・ 市場動向を調査した上で個別目標を設定し、適切に研究開発が進められている。大学と企業との連携も概ね良好である。研究成果を国際基準化することが必要であるが、この点も積極的な活動が展開されている。
- ・ 5年間の事業の中で、スピード感、高性能化、コストダウンなど、相反関係にある多数のテーマに対し、ほとんどの項目で目標を達成したことについては、高く評価すべきである。
- ・ 国際標準化に関しては、ステーション、FCVとも具体的な成果が出ている。事業マネジメントについては、状況に合わせた見直しが的確にできている。世界最高水準の成果も出てきている。
- ・ 水素インフラの社会導入に不可欠な規制の見直し、国際的な標準化への対応、ボトルネック技術の研究開発、およびそれらを支える基礎研究が本事業によって支えられており、日本における水素インフラ整備の促進に直接役立っていると考えられる。これは、燃料電池実用化推進協議会を通じた産業界との連携及びプロジェクトリーダーとNEDOの強力なマネジメントによって支えられている。
- ・ 日本が政策として取り組んでいる燃料電池自動車の開発・普及に向けて重要な柱の一つである水素ステーションの実用化に向けた取り組みとして他では実施困難なものであり、NEDOの開発事業として適切なものであると評価できる。開発成果についても、目標達成に向けた適切なプロジェクト管理が行われており、当初の目標を十分に達成したものと評価できる。

- 水素ステーションを中心として、研究開発は上位の政策や目標に整合しており、各研究開発項目の目標達成状況や今後の課題も明確にされている。水素ステーションなどの水素インフラは初期費用が巨大であり、水素需要も非常に限定的である状況では、民間企業のみでは研究開発の実施は困難であり、NEDO の関与は当然必要であり、きわめて妥当と考える。
- 国内においてほぼ FCV への水素充填が常温で SOC(充填率)100%が実現できる最高充填圧力 82MPa 対応ができる水素ステーション低コスト化技術を構築し、規制の適正化や国際規格・標準の整備も同時に行うことにより、世界最速の水素ステーション設置と自立拡大の早期実現に大きく貢献する事業として高く評価できる。

<改善すべき点>

- 水素ステーションは国内での設置に資することが本事業の目的となっているものの、産業としては、規格や標準の国際調和や製品の国際競争力の観点を、目標や取り組み項目の設定の際に、より強く考慮する必要があるのではないか。
- 幅広い多数のプロジェクト要素への適切なマネジメントを継続できるよう、管理体制を強化していただきたい。
- 今後、予算は縮小していく方向であるが、これまで以上に、無理・無駄がないか管理し、効率的に進めていただきたい。
- 目標達成度が低かった一部のテーマにおいて、中間評価などの途中段階で軌道修正が出来なかったものについては、改善点がなかったのかチェックをして欲しい。
- 水素ステーション全体として見た場合に充填ホースの耐久性が運用コストの不安要素となっている。まだ研究室レベルでの耐久性の確認しかできておらず、実用上の耐久性が十分に確認できていないようなので、実地での耐久性の確認および耐久性改善の研究開発のさらなる充実が期待される。
- 研究開発事業の費用対効果の分析は非常に難しいことは理解できるが、プロジェクトにかかった費用と、プロジェクトの実施によって期待される（実現された）コスト削減の比較などがあれば、より費用対効果が分かりやすい。同様に、各規制の適正化によって、どの程度のコスト削減につながるかが定量的に示されていると、規制の適正化の必要性やインパクトがよりわかりやすくなり、今後の研究開発の方向性に決定に活かされる。

<今後に対する提言>

- 機器開発については、まず国内という考え方は否定しないが、海外への展開も十分視野に入れて進めると良い。水素社会に向けた啓発活動には、今以上に取り組むべき。国際標準化については、ステーションも FCV も継続的検討が必要。

- 現状では、水素技術としての世界との比較が中心となっているが、従来エネルギーおよび他の新エネルギーとの比較という視点も持っていただきたい。これまでは燃料電池自動車のシステムを構築すること自体が目的であったと思われるが、一応の完成をみたので、これからは燃料電池自動車システムの他のシステムとの比較、優位性の確保を考える段階に来ていると思われる。
- 人間が製造する設備は 100%安全でなく必ずリスクが伴うが、その上で水素インフラを社会が受け入れるメリットがあることを公衆にも認知する活動を行って欲しい。
- 水素インフラの整備と燃料電池自動車の普及に不可欠な事業であり、導入初期段階にある現場では今後も周辺状況の変化を勘案しつつ効率的に継続し、水素インフラと燃料電池自動車が自律的に普及するレベルへの橋渡しの役割を果たすことを期待する。
- 規格の国際調和、および日本の水素ステーションおよび燃料電池自動車関連産業の国際競争力の維持・向上の観点から、87.5MPa 対応水素ステーションに必要な要素技術および規格・標準の構築と改訂に対し、継続的な国家的支援が必要である。また、水素ステーションコストは依然として高価であることから、さらなるステーション設置を実現するために、無人スタンドなど、海外の事例をよく精査して、安全な水素ステーションとしつつ低コスト化を実現するための技術開発事業を継続すべきである。
- 課題（＝テーマ数）が多く、全体像がつかみにくいため、継続する予定の事業においては、横串機能の充実を検討して欲しい。また、成果としての技術を国際競争力の観点からどう生かしていくかも課題であると考ええる。
- 情報発信に関して、水素エネルギーナビは一般向け情報提供サービスとして優れている。併せて、実際に水素ステーションの建設にあたっては近隣住民への理解促進や交渉も必要となってくることから、消防や地方自治体等と連携したセミナーの開催等も視野に入れた取組を強化してはどうか。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

エネルギー基本計画や水素・燃料電池戦略ロードマップ等に示されている目標達成のために、規制の見直し、高度な技術の開発、国際標準化及び国際協力に対応し、政策の推進に貢献している。また、整備コスト削減が政策上の重要課題として挙げられるなか、本事業は安全を確保しつつコスト削減に対応した研究開発となっている。これらの活動は公共性が高く、また民間単独ではリスクが高いことから、NEDO 事業として妥当である。特に安全性の確保は社会に受容されるために重要である。世界最速のステーション設置により国際競争力の強化が期待され、十二分に投資効果が得られると判断される。費用対効果の「効果」については、直接的な水素ステーションと FCV 用水素燃料の市場規模だけを提示するのではなく、例えば FCV の普及見込み台数の市場規模や、建設費用のコストダウン見込みなども含めてよいのではないかと。

<肯定的意見>

- ・ 日本における水素エネルギー導入の政策に基づいて、課題となる規制の見直し、高度な技術の開発、国際標準化及び国際協力に対応し、政策の推進に貢献している。これらの活動は公共性が高く NEDO として実施することが必要である。当事業の研究開発費は、水素インフラと水素供給市場だけでなく、水素インフラの普及は燃料電池自動車の普及に大きく寄与するため、費用対効果はさらに高いと考えられる。
- ・ 水素社会実現に向け、ロードマップに沿った事業となっている。国際競争力の点からも世界最高水準の取り組みが含まれている。国際標準・基準に関わる研究、渉外活動等、民間のみでは対応困難な課題に取り組んでいる。
- ・ 現在検討されている水素基本戦略（案）の中でも言及されている通り、低炭素社会の実現に資する CO2 フリー水素の供給量増大のためにはモビリティでの利用が必要となる。そのために本事業の果たす役割は大変重要である。
- ・ 日本の燃料電池自動車システム全体の技術的優位性を確保するために重要な事業であると考えられる。特に安全性の確保は社会に受容されるために重要である。事業立ち上げ時にエネルギー基本計画等でも整備コスト削減が重要課題として挙げられており、安全を確保しつつコスト削減に対応した研究開発となっている。燃料電池自動車の使用を支えるインフラの開発を促進するものであり、公共性が高く、NEDO の事業として適切なものである。日本が国際的な規格・基準等をリードしていく為にも NEDO が公共性を担保しながら技術データ等を積み上げていく意義はあると考えられる。
- ・ 将来の自動車として EV に注目が集まっている面があるが、自動車が使用するエネルギーとシステムは 1 種類に限定せず多様性を持つべきであり、その意味からも水素燃料自動車とインフラの開発を進めることの必要性は高い。水素インフラについて我が国が主導して技術開発を行い、それを各種の国内・国際基準に反映させることは水素社会を実現するために必要である。適用可能材料の拡大などは個別企業で取り組むよりも NEDO 事業として取り組むべき課題である。また、ISO を始めとする基準化も個別企業で対応

することはできず、NEDO 事業の一環として取り組むことが適切である。

- エネルギー基本計画や水素・燃料電池戦略ロードマップ等に示されている目標達成のために必要な技術開発テーマが網羅的に盛り込まれており、評価できる。水素ステーションなどの水素インフラは初期費用が巨大であることから、民間企業のみでは導入できない。したがって、NEDO の関与は当然必要であり、きわめて妥当と考える。
- エネルギー政策の実現のため、民間単独ではリスクの高い、技術的な難易度の高い高圧水素を扱う水素ステーション技術を構築し、必要な国内規制を適正化して、FCV と水素ステーションを普及させるために必要な事業である。世界最速のステーション設置による効果は、FCV の本格的な普及及び水素ステーション要素技術の国際競争力強化の実現が期待され、十二分に投資効果が得られると判断される。

<改善すべき点>

- 費用対効果の「効果」については、直接的な水素ステーションと FCV 用水素燃料の市場規模だけを提示するのではなく、例えば FCV の普及見込み台数の市場規模や、建設費用のコストダウン見込みなども提示すべきではないか。
- 水素社会に向けた啓発活動は継続的に行う必要がある。水素ポータルやその他の広報活動についての取り組みは、以前に比べて低調。社会からの、水素、FCV に対する理解・関心は進展がなく、むしろ後退している。
- 実用に近づいていると評価はできるが、充填用ホースが 650 回の充填回数しか保証できないなど実用のステーションとしてはまだまだ耐久性の向上が必要ではないかと思われる。建設コストの削減とともに運用コストの削減も重要である。機器の耐久性の向上はこの点で重要であり、将来的に自立的な水素ステーションとしての要求基準も考えながら技術開発を進めることが重要である。自動車については、使用時だけではない製造時なども含めたカーボンフットプリントが問題となっており、エネルギーを供給するステーションについてもカーボンフットプリントを含めてコスト比較等を行う必要が出てくるものと思われる。
- 費用対効果において、効果の規模を表現するために、既存調査を引用している点が気になる。研究開発事業の費用対効果の分析は非常に難しいことは理解できるが、もう少し独自分析（プロジェクトにかかった費用と、プロジェクトの実施によって期待されるコスト削減に市場規模を踏まえる等）に基づいた効果の定量化があっても良いのではないか。
- 水素ステーションとしての最高充填圧力は国内において十分な充填が行われると期待される 82MPa の技術が構築され、さらにホースなど一部の構成要素は、国際標準に対応する 87.5MPa までの対応が研究されていることは評価できるが、国際競争力の維持および更なる国際貢献で日本がリードし続けるためには、国際標準レベルの最高充填圧力 87.5MPa に対応した水素ステーション技術の構築が望まれるため、継続的な国の支援による NEDO 事業における取り組みが期待される。

2. 2 研究開発マネジメントについて

水素ステーション建設に必要な技術要素が網羅されており、実ステーションでの実証試験も計画されている。規制の見直しや開発の進捗に応じて柔軟に開発体制を再考しており、プロジェクトリーダーの主導のもとスケジュール管理が良好になされている。必要に応じて開発促進財源の投入、新規・追加公募の実施、委託先の増加を行うなど、情勢変化に適切に対応している。

一方、耐久性に関しては、目標が実現可能なレベルに留まっていると感じられる。充填ホースが耐久性のネックと思われるが、より挑戦的な目標を設定しないと実用的な機器の開発は難しいと思われる。

今後も、水素ステーションの安全基盤整備や国際標準化の拡大等については、我が国がリーダーシップを発揮できるよう、事業を推進して欲しい。また、各要素技術によるコスト削減効果を把握し、注力すべき分野を明確化することが望ましい。

(1) 研究開発目標の妥当性

<肯定的意見>

- ・ 国際基準との調和をにらみながら基準を検討するという考え方は妥当だと思う。
- ・ 適用可能鋼種拡大においては、企業などからヒアリングを行い、研究を実施すべき鋼種を明確にした上で研究を進めており、目標が適切に設定されている。

<改善すべき点>

- ・ 実用化を目指して現状の最善の技術を終結した開発が行われており、目標達成には効果的だったと思われるが、目標が実現可能なレベルのものとなっているように感じられる。耐久性という点では充填ホースがネックかと思われるが、より挑戦的な目標を設定しないと実用的な機器の開発は難しいのではないかと思われる。

(2) 研究開発計画の妥当性

<肯定的意見>

- ・ 水素ステーション建設に必要な技術要素は網羅されており、今後、実ステーションを建設して実地での開発された技術の実用性を確認することが計画されている。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

<肯定的意見>

- ・ 実施体制としては、プロジェクトリーダーを配置し、各研究開発項目において明確な業務分担がなされている点が評価できる。
- ・ 規制の見直しや開発の進捗に応じて柔軟に開発体制を再考しており、進捗管理は適切であったと評価できる。
- ・ 民間と大学・研究機関の能力を適切に組み合わせて、効果的に事業を進めることができている。

- ・ 基礎的研究や基礎データ収集は大学で実施し、それを企業が利用して研究を進めるなど、大学と企業との連携は良好である。

<改善すべき点>

- ・ テーマ数が非常に多く、進捗チェックを含むマネジメントについては NEDO、PL の負担も大きかったのではないかと推察し、体制については途中で見直すべき点があったのではないかと。
- ・ 事業規模に比べて NEDO 側の体制が小規模とのことであり、PL 及び担当者への負荷が懸念される。
- ・ 各研究テーマと国際標準化検討との情報交換（ISO などの基準化における各研究テーマ成果の反映）が充分になされているか十分な説明が欲しかった。

（４）研究開発の進捗管理の妥当性

<肯定的意見>

- ・ 情勢及び技術開発状況に基づいて適宜事業体制の見直しを行っており、新たな課題や情勢の変化に適切に対応することができている。
- ・ 規制の見直しや開発の進捗に応じて柔軟に開発体制を再考しており、進捗管理は適切であったと評価できる。
- ・ プロジェクトリーダーの主導により研究の方向性とその修正、スケジュール管理が良好になされている。
- ・ プロジェクトリーダーの設置、委員会・検討会の開催に基づく、進捗管理やチェック機構も働いていると思われる。
- ・ プロジェクト期間中に柔軟にスクラップ&ビルトし、課題に取り組んできており、予算の使い方、日程は妥当。
- ・ テーマ数が非常に多い中、ほとんどのテーマにおいて目標に達していること、および開発促進財源投入が適切に効果的に行われたことは高く評価すべきであると考えます。中間評価において見通しが悪かったテーマについて、適切に対応できている。
- ・ 必要に応じて“開発促進財源”の投入、新規・追加公募の実施、委託先の増加を行うなど、規制改革動向、国際基準動向、ホースなどの技術課題の顕在化などの情勢変化に対して、適切な対応をしている。水素ステーションとしての最高充填圧力は 82MPa として技術開発を進めているものの、国際商品として競争力が必要なホースなどの構成要素部品については、国際標準の 87.5MPa での検討を進めるなど、目的に応じたマネジメントがなされている。

<改善すべき点>

- ・ 水素ステーション全体としての研究開発状況の調整などについて、もう少し説明してほしい。

- 水素貯蔵材料は、実用化時期等が他の事業内の研究項目とは異なり、より長期的であることから、目標の設定やマネジメントについては、特に配慮すべきといえる。その点で、最終的には、車載システムとしての、それぞれの候補材料の可能性や技術的な課題を検討するマネジメントへ変更したが、より早い時期からの変更の検討着手があってもよかったと思われる。今後も同様な事例がある場合には、参考事例として活用したらどうか。
- 具体的な事例があるかは不明だが、形骸化している会議、調査等がないか常に気を配ると良いと思う。
- 本事業のように将来の産業上の国際競争力が見込める技術開発テーマが多い場合には、その国際戦略を横串で検討する場が設けられてもよかったのではないか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

<肯定的意見>

- 特許も多数出願されている。

<今後に対する提言>

- 開発目標は、常に国際商品となりうるかを念頭に設定すると良い。
- 水素インフラ設備を製造する企業は国内だけでなく海外も視野にいたした活動をするはずであり、そのためには、海外にデータを提供するだけでなく、水素インフラ関係の国際基準策定を我が国が主導して進めるべきであるが、この点も良好である。今後もその姿勢をさらに強めて欲しい。
- 規制見直しの推進には行政、産業界、NEDOの密接な連携が不可欠であるため、水素エネルギー技術の導入の政策が取られる限り、現在の体制をさらに活性化するよう今後も取り組む必要がある。
- FCVや水素ステーションの普及は本事業により世界最速で開始されたが、今後、世界的に普及が進展する中で、特に、水素ステーションの安全基盤整備、国際基準との調和、国際標準化の拡大については、継続的な国の支援により、我が国のリーダーシップの発揮を継続できるようにすることが必要である。
- ボトルネックとなりそうなところに開発資源を集中するという考え方もあるが、ブレークスルーできる技術を開発するという意味では、より広く基礎研究を募集して新規技術を募集してみることも有効ではないかと思う。
- 目標設定に問題はないが、定量化が可能なものに関しては、各要素技術について、設定した目標を達成した際にどの程度のコスト削減効果が得られた（得られる）のかの情報が一覧表になっていると、どの技術・分野に注力すべきかが明確になるとと思われる。

2. 3 研究開発成果について

規制見直し及び水素ステーションの運用に資するデータの取得を計画通り完了するとともに、高圧水素ホース技術の向上を実現するなど、世界的にも先んじた成果が得られている。また、本事業で得られた技術情報のデータベース化が進んでおり、全ての項目で国際標準化の見通しが立っていることは高く評価できる。

一方、論文の発表件数が少ないように思われる。成果の普及という意味では特許よりも論文の方が有利であり、世界に技術を発信することによって規格等をリードすることにもつながるはずである。また、国際競争力の観点から 87.5MPa 対応の機器の実用化や鋼種の範囲拡大が望まれる。さらに、各規制の適正化により、どの程度のコスト削減につながるかを定量的に示すべきである。

今後、ショーウィンドウ的なステーションの建設や、ポータルサイトの活用、さらには、地域一般住民を対象とした水素体験セミナーや研修を通じて、成果普及・理解促進を図ることを期待する。また、技術優位性確保と技術孤立リスクのバランスを考慮したオープン・クローズ戦略を取り、適切なタイミングでデータを公開することが望まれる。

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

<肯定的意見>

- ・ 規制適正化、管理ガイドライン作成、重要なステーション構成要素部品の低コスト化は、目標を達成したと評価できる。また、国際標準化もすべての項目で IS 化の見通しがあり評価できる。さらに、水素貯蔵についても、車載システムを想定した検討という、産業化にとって有用なアプローチをとっているといえ、その結果が期待できる。
- ・ 規制見直し及び水素ステーションの運用に資するデータの取得を計画通り完了するとともに高圧水素ホース技術の向上を実現するなど目標を達成している。これらの成果は技術的な裏付けのあるものであり、世界的に先んじたものである。水素技術に関する国際標準化への対応も、情勢の変化に応じて日本の利益を確保するよう適切に行われている。
- ・ この事業で設定された目標は達成できているし、世界的にみても他をリードする技術開発成果が得られていると評価できる。
- ・ 論文、特許など、必要な対応はできているものと思われる。ISO などの国際標準化に対しても積極的に取り組んでおり、良好である。
- ・ 各研究開発項目に対して、目標の達成度は高いと考えられる。また今後の課題と解決方針も明確化されていることが評価できる。
- ・ 性能とコストの両立を目指した材料開発や技術開発のテーマについては、いずれも国際的に高い水準で達成していると考えられる。
- ・ 国際標準化において、事業で取り組んできた結果が十分に反映され、日本がリーダーシップを発揮できている。世界最高水準の機器開発もできている。

<改善すべき点>

- ・ 規制の適正化は水素ステーションのコスト削減・普及拡大にとって非常に重要であるが、各規制を適正化することで、どの程度のコスト削減につながるかが定量的に示されていると規制の適正化の必要性やインパクトがよりわかりやすくなる。
- ・ 日本国内の規制見直しを主眼としている部分が多いため国内志向の成果活用が中心であることは致し方ないが、国際標準化や国際規制だけでなく、適切な成果公開によって日本の開発技術が世界の主流となるよう世界の研究開発を引っ張ることも検討いただきたい。
- ・ 圧縮機など重要な水素ステーション要素および使用する鋼種拡大については、82MPa 対応ができたことは評価できるが、国際競争力の観点からは、海外の競合技術と比較すると 87.5MPa 対応の機器の実用化や鋼種の範囲拡大が望まれる。
- ・ 一部テーマについてはコンセプト提案の基礎研究で終わってしまうということであり、目標設定含めた当初の合意形成について課題があったように見受けられる。

(2) 成果の普及

<肯定的意見>

- ・ この事業で得られた技術情報のデータベース化が進んでおり、国際的な規格の制定に貢献するとともに日本の技術的優位性を確保する活動が行われている。

<改善すべき点>

- ・ 規制の適正化は水素ステーションのコスト削減・普及拡大にとって非常に重要であるが、各規制を適正化することで、どの程度のコスト削減につながるかが定量的に示されていると規制の適正化の必要性やインパクトがよりわかりやすくなる。
- ・ 世界的に通用するものは国外にも普及させる戦略を構築すべきである。

(3) 知的財産権等の確保に向けた取組

<肯定的意見>

- ・ 論文、特許など、必要な対応はできているものと思われる。ISO などの国際標準化に対しても積極的に取り組んでおり、良好である。

<改善すべき点>

- ・ 特許等の申請件数に比べて論文の発表件数が少ないように思われる。実用的な技術開発であるので、特許等が優先されるのは理解できるが、成果の普及という意味では公開に時間のかかる特許よりも論文の方が有利であると思われる。特許によって技術を守ると同時に論文等で世界に技術を発信することによって規格等をリードすることにもつながるはずである。

<今後に対する提言>

- 成果の普及のためには実用的な使用例を示していくことが効果的と考えられる。今後徐々にこの事業で開発された技術が一般に展開されていくことと思うが、ショーウィンドウ的なステーションの建設も進めていく必要があるのではないかと思う。
- 水素エネルギーナビは非常にわかりやすく、一般への情報発信ツールとして優れている。ただ、実際に水素ステーションの建設にあたっては近隣住民への理解促進や交渉も必要となってくることから、今後機会があれば、地域一般住民を対象とした水素体験セミナーや研修の開催等も必要になるとと思われる（NEDO 単独ではなく地方自治体との協力も必要になるかも知れないが）。
- 水素インフラ設備のインシデント・事故の国内外情報を積極的に収集し、それを分析することによって、研究開発の方向性を確認、場合により修正する柔軟性を持って欲しい。人間が製造する設備には絶対安全ということはありません、常にリスクが存在することを公衆に認知してもらうための活動も必要である。
- 取得したデータを公開しない場合、本成果と整合性のないデータの他国による公開と他国の連携による日本を外した標準化・規制が進行するリスクを背負うことになる。技術的優位性の確保と技術孤立のリスクのバランスを考慮したオープンクローズ戦略を取り、適切なタイミングでのデータ公開を考えるべきである。規制見直し、標準化、技術開発と幅広い内容を含む大きな事業であるため、継続的に本事業における各要素の必要性と成果の意義をクリアに国民に説明する努力が必要である。
- 今後さらに、水素ステーション関連コストの低減が望まれるため、継続してステーションコストの低減と合わせて運営コストの低減も必要である。また、国際標準や基準の策定や改訂においては、87.5MPa までのデータが必要となることが想定されるため、継続的な取り組みを国の支援で行う必要がある。
- 技術開発においては、期待通りの成果が出ない場合があることは不可避であるため、目標達成に至らなかった場合に、技術面で高度なことにトライをした結果なのか、体制やコンセプトに課題があったのか、などが明確になるとより適切な評価の参考になるのではないか。
- 標準化については、ステーション、自動車とも継続的に研究し発信し続ける必要がある。

2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

本事業で蓄積されたデータは、目標数を上回る例示基準の改正に反映され、さらに、低合金鋼ガイドライン作成、溶接実用化、HRX19 及び SUS305 の耐水素性実証等に貢献している。これらの技術開発の成果は、即、水素ステーションの低コスト化に適用できる。また、低コスト水素ステーションを構成する機器の実用化の目途が立ったことは大いに評価できる。

一方、政府、NEDO、学術機関、民間等多くのステークホルダーがいることから、今後の実用化に向けて、誰が何に取り組むのか役割を明確化するべきである。また、事業全体を見渡し、どの課題がボトルネックとなっているか、常に明確にして事業を進めるべきである。加えて、さらなる低コスト化に向けた材料開発も必要と考えられる。

今後は、ガソリン車や電気自動車とのライフサイクルコストやカーボンフットプリントなどの比較も意識して開発を進めていただきたい。水素ホースの高圧化・高耐久化にはさらに一段の性能向上が必要であり、大学と企業の連携を密にするなど、研究を加速させる必要がある。本事業成果の国際展開により、国内事業者が海外展開する場合の基盤を築いていただきたい。

<肯定的意見>

- ・ 適用鋼種拡大については必要性の調査をした上で研究を進めており、適切である。順次、適用可能鋼種が拡大しており、設備コスト低減に寄与できるものと思われる。
- ・ 低コスト化の見通しや国際基準・規格の実用化スケジュールが具体的に示されている点が評価できる。
- ・ 達成度の自己評価が○以上のテーマについては、成果の実用化に向けた検討が十分になされている。
- ・ 規制適正化など「実用化＝商品化」でないテーマについては、出口までの過程がより明確になっている。
- ・ 規制改革の実施に具体的に結びつく結果となっている。国内の商用ステーションに使われている技術を開発してきた。
- ・ 本事業で蓄積されたデータは、目標数を上回る例示基準の改正に反映され、さらに、低合金鋼ガイドライン作成、溶接実用化、HRX19 及び SUS305 の耐水素性実証等に貢献している。これらの技術開発の成果は、即、水素ステーションの低コスト化に適用できる成果であり、水素ステーションの性能検証のための技術及び手順は、水素ステーションの商用運用に不可欠なものである。また、前事業から作成されている水素構造材料データベースは、企業や研究機関に本事業期間中だけでも約 2400 件提供され、水素関連機器の設計・申請や研究開発の推進に貢献している。このように、本事業は、水素ステーションの商用運用に欠くことのできない技術・データ・経験を社会に提供しており高く評価できる。

- ・ 開発された技術を使用したステーションにおいて実用性の評価を行うことが計画されており、実用化戦略は明確かつ妥当である。さらに今後の普及に向けてどのように開発を進めていくかというロードマップも明らかにされている。
- ・ 目標とする低コスト水素ステーションの具体的な設計が可能となる規制適正化や技術基準が作成され、構成する機器の実用化の目途が立ったことは大いに評価できる。

<改善すべき点>

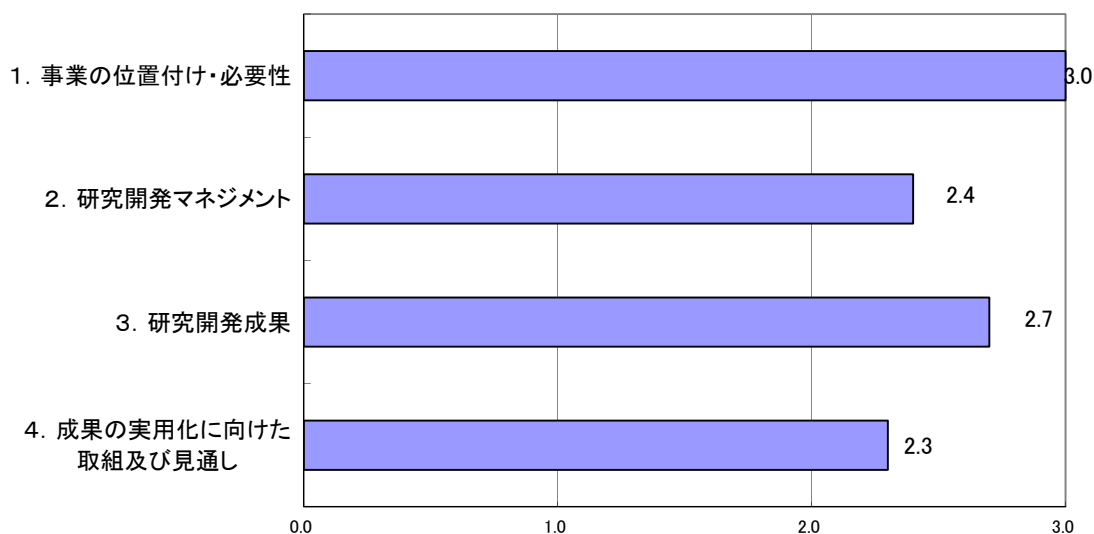
- ・ データ取得と規制見直しが喫緊の課題となっている材料については取り組みをほぼ終えているが、さらなる低コスト化に向けた材料系の可能性について示すような基礎的な取り組みも必要と考えられる。
- ・ 説明時間が十分に無く、説明しきれなかったかも知れないが、水素ステーション実現のために、事業全体を見渡し、どの課題がボトルネックとなっているか、常に明確にして事業全体を進めるべきである。
- ・ 実用化に向けて“誰が”何に取り組むのかが明確に記述されていないように見受けられる。政府、NEDO、学術機関、民間等多くのステークホルダーがいることから、今後の自立化を見据えて、もう少し、役割を明確化した表現でもいいかと思う。
- ・ 国際的な市場における水素ステーションの実用化を事業機会とするためには、更なる87.5MPa 対応水素ステーションとしての技術構築が必要である。
- ・ 一部のテーマについては、「実用化＝商品化」のための市場動向や商品ニーズが十分に明確になっていないものも見受けられる。
- ・ 数値目標は示されているが、それを達成できるという根拠に若干疑問が残る。社会ニーズは概ね妥当だと思われるが、それを達成するための技術開発が計画どおり進むかどうか心配な開発項目も存在する。金属材料は大丈夫だと思われるが、高分子材料の開発が遅れているように思われる。

<今後に対する提言>

- ・ 水素ホースの高圧化・高耐久化にはさらに一段の性能向上が必要であり、大学と企業の連携を密にするなど、研究を加速させる必要がある。
- ・ どの項目がどの程度まで達成できて、どの項目が未達で今後の達成見込みがいつか、という一覧表があれば、目標に向けた進捗度合いが一目瞭然となり、力点の最適な配置ができると思われる。
- ・ 国内だけではなく、海外市場での実用化も視野に調査、取り組みをすると良い。
- ・ 本事業成果の国際展開により、水素技術全体の信頼性と安全性の向上に資するとともに、日本の事業者が海外展開する場合の基盤を築いていただきたい。
- ・ 実用化に向けては他の技術との比較が重要になると思われる。石油燃料自動車や電気自動車とのライフサイクルコストやライフサイクルを考えた環境負荷であるカーボンフットプリントなどの比較も意識して開発を進めていただきたい。

- 事業化までのシナリオの具体性の記載については事業者ごとのばらつきが見受けられることは、テーマの特性や位置づけによって異なるためやむを得ないと考えるが、検討内容のレベル合わせ(検討や記載が十分なテーマのレベルに近づける)が必要ではないか。
- 更なる水素ステーションの設置件数拡大のため、機器設備の長寿命化、メンテナンス費用逡減、装置・構成部品の規格化・標準化の取り組みの実施、さらには、金属材料(汎用材の適用可能性検討等)や高分子材料(評価方法確立等)、次世代水素ステーションの検討、そしてさらなる規制の適正化や国際連携への取り組みを、国の支援により実施することが強く望まれる。
- 広報活動系のテーマについては、NEDO 事業終了後の扱いを明確にすべきではないか。

3. 評点結果



評価項目	平均値	素点 (注)							
		A	A	A	A	A	A	A	A
1. 事業の位置付け・必要性について	3.0	A	A	A	A	A	A	A	A
2. 研究開発マネジメントについて	2.4	A	A	B	B	B	A	B	
3. 研究開発成果について	2.7	A	A	A	A	B	A	B	
4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	2.3	A	B	A	B	B	B	B	

(注) 素点：各委員の評価。平均値は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算し算出。

〈判定基準〉

1. 事業の位置付け・必要性について	3. 研究開発成果について
・非常に重要 →A	・非常によい →A
・重要 →B	・よい →B
・概ね妥当 →C	・概ね妥当 →C
・妥当性がない、又は失われた →D	・妥当とはいえない →D
2. 研究開発マネジメントについて	4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当 →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

第2章 評価対象事業に係る資料

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「水素利用技術研究開発事業」

事業原簿【公開】

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部
-----	--

目次

概 要	2
・ 事業の位置付け・必要性について	11
1 . NEDO の関与の必要性・制度への適合性	11
1 . 1 NEDO が関与することの意義	11
1 . 2 実施の効果（費用対効果）	11
2 . 事業の背景・目的・位置づけ	12
・ 研究開発マネジメントについて	15
1 . 事業の目標	15
1 . 1 研究開発の目標	15
1 . 2 各研究開発項目の目標	15
2 . 事業の計画内容	30
2 . 1 研究開発の内容	30
2 . 2 研究開発の実施体制	50
2 . 3 研究の運営管理	52
2 . 4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性	53
3 . 情勢変化への対応	54
4 . 中間評価結果への対応	54
5 . 評価に関する事項	55
・ 研究開発成果について	56
1 . 事業全体の成果	56
2 . 研究開発項目別の成果	59
3 . 研究開発成果の意義	78
4 . 特許、論文、外部発表等の件数	79
・ 実用化の見通しについて	80

（添付資料）

（添付-1）各研究開発項目の詳細

（添付-2）プロジェクト用語集

（添付-3）プロジェクト基本計画

（添付-4）事前評価関連資料（事前評価書、パブリックコメント募集の結果）

概 要

		最終更新日	平成 29 年 11 月 24 日
プロジェクト名	水素利用技術研究開発事業	プロジェクト番号	P13002
担当推進部/PM または担当者	新エネルギー部 横本克巳（平成 29 年 4 月 平成 29 年 10 月現在） 新エネルギー部 大平英二（平成 25 年 4 月～平成 26 年 5 月、平成 29 年 4 月 平成 29 年 10 月現在） 新エネルギー部 吉積潔（平成 26 年 6 月～平成 29 年 3 月）		
0. 事業の概要	<p>2014 年度に市場投入された燃料電池自動車(FCV)の世界最速普及を実現するため、規制改革実施計画に基づく規制見直し等に資する研究開発等を行う。また、FCV の国際競争力確保に向け、国際基準調和・国際標準化等について研究開発を行う。</p> <p>FCV 及び水素ステーションの自立拡大の早期実現と、燃料電池自動車関連産業の競争力向上に向けて、水素ステーションの整備コスト、水素輸送コスト、燃料電池自動車価格の低減に資する研究開発等を行う。</p> <p>欧米等の海外の動向も参考に、地方自治体や地域住民の方々がより一層安心して受け入れられる水素ステーションを構築するべく、必要な技術開発要素の抽出及び検討を行う。</p>		
1. 事業の位置付け・必要性について	<p>(1) 政策上の位置付け</p> <p>「エネルギー基本計画（平成 22 年(2010 年)閣議決定）では、エネルギー源のベストミックスの確保のため、平成 27 年(2015 年)からの燃料電池自動車(FCV)の普及開始に向け、日米欧、関連地域、民間企業等と協力・連携し、供給インフラを含めた実証的取組を強化するとしている。また、「Cool Earth - エネルギー革新技术計画」（平成 20 年(2008 年)経済産業省策定）では、FCV 及び水素製造・輸送・貯蔵技術を 2050 年に世界の CO₂ 排出量を半減する上での重要技術と位置づけている。</p> <p>(2) NEDO が関与する意義</p> <p>これまで「燃料電池システム等実証研究」（平成 18 年(2006 年)度～平成 22 年(2010 年)度）、及び「地域水素供給インフラ技術・社会実証」（平成 23 年(2011 年)度～平成 25 年(2013 年)度）において、実証水素ステーション 19 箇所、FCV 約 140 台を導入し、FCV・水素ステーションの実用性、省エネルギー性、環境負荷低減性能等を実証すると共に、実用化課題の抽出を進めた。</p> <p>また、水素ステーションの運用から得られた知見等を水素ステーションセーフティーデータベースとして構築し、各水素ステーション運営会社との周知・展開も進めている。</p> <p>また、平成 22 年(2010 年)7 月には燃料電池実用化推進協議会によって、産業界の総意として 2015 年の FCV 一般ユーザーへの普及開始に向けたシナリオが提案された。さらに、平成 23 年(2011 年)1 月には自動車メーカー及び水素供給事業者 13 社が共同声明を発表し、自動車メーカーが FCV 量産車を平成 27 年(2015 年)年に四大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始を目指し開発を進めていることや、水素供給事業者が同年までに FCV 量産車の販売台数の見通しに応じて 100 箇所程度の水素供給インフラの先行整備を目指すこと等が示された。また、水素ステーションの先行整</p>		

備促進のため、設備導入に係る費用の補助を行う制度が経済産業省によって平成 25 年(2013 年)より開始されている。

今後、水素ステーションの設置や運用に係る規制見直し、初期・運用コストの削減を更に進めるとともに、商用水素ステーションの設置の一層の拡大に向け、社会受容性を高める観点からも、より一層の安全・安心を確保するための技術開発等の取り組みが不可欠である。

「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

規制の適正化などの共通課題である項目に関しては産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業であり、NEDO が関与する意義がある。

「燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」

規制の適正化・試験・評価方法、基準・プラットフォームの状況を見ながら効果的に開発を進める必要があり、NEDO が関与する意義がある。

「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」

社会インフラである水素ステーションの安全性を確保する長期的かつ総合的な取り組みは企業単独では実施困難なため、NEDO が関与する意義がある。

「CO₂フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」

上記 ～ を進めるためには国内だけでなく国際間との連携に係る事業とする必要があり、NEDO が関与する意義がある。

(3) 実施の効果

水素インフラ普及期に、水素ステーション設備コストを 2 億円以下(300 Nm³/h 規模システムの場合、土地取得価格を除く)で設置することが可能となり、ガソリンと同等かそれ以上のコストで水素ガスを販売できることから、FCV・商用水素ステーションの市場拡大に寄与する。また、FCV と水素ステーションの国際標準化により世界市場の拡大が期待される。

本事業は世界最先端の取り組みであり、現在日本が持つ燃料電池・水素技術開発における優位性を維持・拡大することが期待される。また、水素は様々な一次エネルギーから製造可能であることからエネルギーセキュリティー向上等の点で優位であり、日本の技術という資力を活用できることから国力の向上に寄与可能である。

2030 年の国内市場規模は、水素ステーションで 228 億円、燃料電池自動車用水素燃料で 500 億円、燃料電池自動車は累計で 80 万台規模となると予測される(*1)。これらの市場規模は、想定投入予算と比較して十分大きい。加えて、関連する業種は多岐にわたり、新たな産業・雇用を創出できるとともに、技術の世界展開によるアウトカムは更に大きい。

*1：富士経済「2017 年版水素燃料関連市場の将来展望」

2. 研究開発マネジメントについて

事業の目標	<p>アウトプット目標</p> <p>燃料電池自動車及び水素供給インフラ機器等の国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に係る研究開発等を行うとともに、近年追加された安全確保に対する要求（通信充填、温度制御）や、事業性確保のための要求（直接充填、急速充填）によるコストアップ分を仕様に反映した上で、さらなる低コスト機器・システム等の実用化技術開発を行い、水素ステーションコスト・性能目標達成（下記参照）に向けた見通しを得る。</p> <p>また 2015 年の水素ステーション運用開始期を見据え、これまで得られた知見を活用した、より安全に運用する運転管理方法やより安全且つ利便性の高い水素ステーションの部品・構成機器等の技術開発をするとともに、2025 年の普及拡大期を見据えた低コストかつ安全・安心に配慮した新しいコンセプトに基づく次世代水素ステーションの技術開発を行い、FCV の普及拡大に向け、地方自治体や地域住民が受け入れ可能な水素ステーションの構築を図る。</p> <p>更に、将来、水素を CO₂フリー化していくことを目指すシナリオを作成し、シナリオに沿った研究開発に繋げる。</p> <p>『水素ステーション及び水素貯蔵システムのコスト・性能目標』</p> <p>< 水素ステーション ></p> <p>コスト 2 億円以下（普及期）/システム [300 Nm³/h 規模の場合、水素製造装置及び土地取得価格を除く]。</p> <p>水素充填 30 万回以上の耐久性を有すること。</p> <p>水素充填精度 ±1% 以内、水素充填時間 3 分間以内。</p> <p>< FCV 用水素貯蔵システム ></p> <p>水素 5 kg を搭載した場合、質量貯蔵密度 6 mass% 以上、容器体積 100 L 以下、コスト 30 ~ 50 万円以下、かつ FCV 低温起動や全開加速に適合する水素放出性能を有すること。ただし、現状の高圧タンクシステムに対して車載時の占有容積が大幅に縮小する等画期的な技術的優位性が見込まれる技術が提案された場合には、実用性を鑑み目標を別途設定する。</p> <p>以下に、各研究開発項目の最終目標、中間目標を記載する。</p> <p>研究開発項目：</p> <p>「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」（委託事業）</p> <p>『最終目標』（平成 29 年度）</p> <ul style="list-style-type: none">平成 22 年(2010 年)12 月 28 日に原子力安全・保安院から公表された「燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制の再点検に係る工程表」に含まれる検討項目及び平成 24 年(2012 年)中に開催された規制・制度改革委員会グリーン WG において検討対象として取りまとめられている新たな規制見直し検討項目（検討項目（案）一覧表 No.71 ~ 75。以下、「公知の規制見直し項目」という。）について、規制見直しを進
-------	--

- めるために必要な研究開発を行い、水素ステーションに係るコスト低減等に資する。
- その他、水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化、FCVにおける国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資する各種案を作成する
- 『中間目標』（平成 27 年度）
- 新たな規制見直し検討項目について、技術基準案、例示基準案を作成する。また、水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化、燃料電池自動車における国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資するデータ取得を行う。

研究開発項目：

- 「燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」（委託事業、共同研究事業 [負担率：1/2]、助成事業 [負担率：1/2]）
- 『最終目標』（平成 29 年度）
- 上記水素ステーション及び水素貯蔵システムのコスト・性能目標を満足する機器・システム等の実用化技術開発を実施し、水素ステーションに係るコスト低減等に資する。
- 『中間目標』（平成 27 年度）
- 水素ステーションを構成する機器、部品等の実用化見直し及びコスト低減効果を検証し、水素ステーション設備コスト低減の目処付けを行う。
 - 水素貯蔵システムの最終目標を達成可能な水素貯蔵材料技術の目処付けを行う。
 - （容器質量を勘案してもシステムで 6 mass% を実現できる水素貯蔵能力、- 30 の FCV 起動に対応可能なこと、1000 NL/min が必要となる最大加速時の水素供給能力が確保できること等）

研究開発項目：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」（委託事業）

- 『最終目標』（平成 29 年度）
- より高次元の安全・安心を実現する機器及び運転・管理手法等の要素技術を確立して、水素ステーションの社会受容性の向上に資する。
- 『中間目標』（平成 27 年度）
- 2015 年の普及開始初期に向け、水素ステーションの社会受容性のより一層の向上の観点から、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確立する。また、運用データベースの整備や研修ツールの開発等により水素ステーションの運転・管理手法の高度化をはかる。
 - 2025 年の本格普及に向けた次世代の水素ステーションについて、これまでの運用事例、海外動向や規制の見直しの必要性を踏まえつつ、低コスト且つ高度な安全安心を両立させるコンセプトを策定する。それと共に、それを実現するための技術課題について、それぞれ要求される性能等仕様も含めて特定する。

研究開発項目：「CO₂フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する研究」（委託事業）

- 『最終目標』（平成 29 年度）
- 「国際エネルギー機関(IEA)」や、「国際水素エネルギー・燃料電池パートナーシップ (IPHE)」における情報収集等により海外の政策・市場・研究開発動向を把握するとともに

	<p>に、適切な情報発信を行う。</p> <p>『中間目標』（平成27年度）</p> <ul style="list-style-type: none"> IEA や IPHE において海外の政策・市場・研究開発動向に係る情報を収集し、国内に発信する。また、水素エネルギーのCO₂フリー化に向けて開発が必要な要素技術に係る技術動向調査や、CO₂フリー水素の導入・普及に係る可能性調査を行い、CO₂フリー水素の導入シナリオを作成するとともに、作成したシナリオに沿った研究開発等に着手する。 <p>アウトカム目標</p> <p>水素ステーションについては、2020年以降（普及期）の整備コスト2億円以下の実現とそれによる水素ステーションの普及拡大を実現するとともに、FCVについては、2020～2030年頃の上記の性能を持つFCV用水素貯蔵システムを実現させ、このシステムを搭載することによるFCVの更なるコンパクト化、軽量化等を実現する。</p> <p>また、水素ステーションの安全性・信頼性を更に高めることにより社会受容性の確保に繋げ、水素ステーションの設置を促進する。</p> <p>アウトカム目標達成に向けての取り組み</p> <p>研究開発項目（ ）で得られた規制見直し等の成果を研究開発項目（ ）の機器の技術開発に反映する等積極的に項目間連携を実施することにより、水素ステーションに係るコスト低減等を着実に図る。</p> <p>また、研究開発項目（ ）で得られた運用管理手法について、水素ステーション事業者で共有し、水素ステーションに関する社会受容性を高める。</p>					
事業の計画内容	主な実施事項	H25年度	H26年度	H27年度	H28年度	H29年度
	研究開発項目 規制適正化、国際標準	規制の見直し、国際標準化等に資する技術開発ならびにガイドライン化等 ----->				
	研究開発項目 低コスト、機器開発	水素ステーションの低コスト化(2億円)に資する技術開発 ----->				
	研究開発項目 安全基盤整備	/	より一層の安全・安心に資する技術開発 ----->			
	研究開発項目 調査研究		FCV/インフラの技術、標準、基準に関する欧米圏の調査等 ----->			
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	H25年度	H26年度	H27年度	H28年度	H29年度
	一般会計					
	特別会計(需給)	1,734	3,594	4,650	4,309	4,100
	開発成果促進財源					
	総予算額	1,734	3,594	4,650	4,309	4,100
	(委託)	1,640	3,476	4,256	4,011	3,729
	(共同研究): 負担率 1/2	94	108	189	206	292
(助成): 助成率 1/2		10	205	92	79	

	経産省担当原課	資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 燃料電池推進室
	プロジェクトリーダー	九州大学 尾上 清明 / 九州大学 杉村 丈一
開発体制	委託先 (委託先が管理法人の場合は参加企業数及び参加企業名も記載)	JFE コンテナ(株) / JFE スチール(株) / JXTG エネルギー(株) / KOA(株) / NOK(株) / (株)UACJ / 愛知製鋼(株) / (株)アツミテック / 国立大学法人茨城大学 / 岩谷産業(株) / (株)エア・リキード・ラボラトリーズ/(一財)エンジニアリング協会 / 日本エア・リキード(株) / (財)化学物質評価研究機構 / 国立大学法人九州大学 / (一財)九州環境管理協会 / (一財)金属系材料研究開発センター / 高圧ガス保安協会 / (株)神戸製鋼所 / 佐賀県 / 国立大学法人佐賀大学 / (株)坂本電機製作所 / (株)サクシオン瓦斯機関製作所 / サムテック(株) / 国立研究開発法人産業技術総合研究所 / (株)四国総合研究所 / 新日鐵住金(株) / (一財)水素供給利用技術協会 / (株)住化分析センター / (一財)石油エネルギー技術センター / 大日機械工業(株) / (株)タツノ / 国立大学法人千葉大学 / 中国工業(株) / 千代田化工建設(株) / (株)テクノバ / 国立大学法人東京大学 / 東邦テナックス(株) / 国立大学法人東北大学 / (有)鳥栖環境開発総合センター / (株)巴商会 / 豊田通商(株) / (一財)日本雷保護システム工業会 / 日本軽金属(株) / 日本合成化学工業(株) / (一財)日本産業・医療ガス協会 / (一財)日本自動車研究所 / 日本重化学工業(株) / (株)日本製鋼所 / 国立研究開発法人物質・材料研究機構 / (株)ブリヂストン / 丸八(株) / 三菱ケミカル(株) / みずほ情報総研(株) / 村田機械(株) / 八千代工業(株) / 横浜ゴム(株) / 学校法人早稲田大学
情勢変化への対応		<p>H25.6 規制改革実施計画閣議決定 体制変更(追加 再委託先: 青山学院大学)</p> <p>H25.9 HFCV GTR13 が成立 Phase 2 に向け体制変更(再委託先: AIST (産業技術総合研究所), 東京大学)</p> <p>H25.12 研究開発項目 (低コスト機器開発) 追加公募 大日機械工業、サクシオン瓦斯機関製作所、巴商会を実施先として追加。</p> <p>H26.5 研究開発項目 (次世代ステーション安全基盤整備) 追加公募 HySUT(水素供給利用技術協会)、エア・リキード・ラボラトリーズ、佐賀県、鳥栖環境開発総合センター、日本雷保護システム工業会、早稲田大学、坂本電機製作所、KOA、四国総合研究所、千葉大学を委託先として追加。</p> <p>H26.7 ホース不具合対応 体制変更 (再委託先: 大阪大学、山形大学)</p> <p>H27.6 規制改革実施計画閣議決定 体制変更(追加公募 H27.7)</p> <p>H27.7 研究開発項目 (規制見直し)、(低コスト機器開発) 追加公募 岩谷産業、住化分析センター、千代田化工建設、JFE スチール・JFE コンテナ・三菱ケミカル、日本製鋼所、帝人・村田機械・東京大学、ブリヂストンを委託先として追加。</p> <p>H27.9 安全基盤整備の追加: 追加公募 (次世代、安全安心)</p>

	<p>東レ、みずほ情報総研、HySUT（水素供給利用技術協会）を委託先として追加。</p> <p>H28.3 国際標準審議対応追加：（ISO 調査研究） HySUT（水素供給利用技術協会）を委託先として採択。</p> <p>H29.2 国際標準審議対応追加：（ISO 調査研究） HySUT（水素供給利用技術協会）を委託先として採択。</p> <p>H29.5 普及シナリオに基づく技術課題抽出：（調査研究） 九州環境管理協会を委託先として追加。</p>
<p>中間評価結果への対応</p>	<p>研究開発マネジメント</p> <p>[指摘]：本事業には、安全規格標準など早期に成果が求められる項目と、水素貯蔵材料開発など開発リスクが高く長期的に取り組む必要がある項目が共存しているが、それぞれの技術に応じた目標設定・マネジメント・評価がなされるように配慮すべきである。</p> <p>[対応]：本事業終了時に達成すべき成果はそれぞれの事業の特徴に合わせたレベルに設定している。今回の評価結果を受け、FCV 用水素貯蔵材、蓄圧器等については各項目の整理、体制の見直し等を行い、実施方針、実施計画書に反映した上で、事業のきめ細かいマネジメントを実行した。</p> <p>研究開発成果</p> <p>[指摘]：FCV 用水素貯蔵材料に関する研究開発等、最終目標の達成できる見通しがあるとは判断できないテーマもあった。最終目標に向けて、課題と解決の道筋を明確にするよう NEDO が強力にマネジメントする必要がある。</p> <p>[対応]：FCV 用水素貯蔵材料に関する研究開発に関しては、最終目標の達成が見通せる材料（カーボン系）への絞込みを行い、金属系水素貯蔵材料、固溶体系水素貯蔵材料および窒素系水素貯蔵材料の検討を平成 27 年度迄として実施計画書に反映した。</p> <p>成果の実用化に向けての取り組み</p> <p>[指摘]：水素貯蔵材料は車両要求条件を満足するシステム検討を含めた総合的な検討が必要。</p> <p>[対応]：水素貯蔵材に関しては、材料を絞り込んだうえで、主軸をこれまでの材料開発からシステム開発に移行するべく、実施体制を変更した。（実施方針、実施計画書に反映）</p> <p>[指摘]：水素センサ事業では、計測の専門メーカーとの共同開発とすることが望ましい。</p> <p>[対応]：研究開発フェーズから製品開発フェーズへの移行時期を見極め、計測専門メーカーの参加を含めた実施体制を強化した。</p> <p>[指摘]：水素ステーション安全基盤整備に関する研究については、プロジェクト完了後も継続してデータを収集する体制を構築しておくことが望まれる。</p> <p>[対応]：平成 28 年度より一般社団法人化した HySUT にて、事業終了後も安全基盤整備に必要なデータ取得及び展開を継続可能とする体制構築を進めた。</p>

	<p>ステージゲートへの対応</p> <p>1. 樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発（丸八・巴商会）： 現時点では基本的な耐圧設計は為されているが、同テーマを実施している他社と比較すると、ライナ材の高圧水素暴露時の影響及びガス透過性に関する検討が不十分であり、実用化に至る定量的評価が不十分である。 最終目標に向けた技術課題内容の整理を実施し、「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」を平成 27 年度で終了とした。</p> <p>2. 燃料電池車用水素貯蔵材料に関する研究開発（九州大学・日本重化学工業・東北大学・アツミテック）： 燃料電池車用水素貯蔵材としての材料開発の部分に関しては一定の成果がでたと考えられる。一方車載用の観点からは、実用化を前提としたシステムの検討が不十分であり、また各材料系の評価基準軸が整理されていない。 高圧容器と競争力のある具体的な貯蔵システムを想定して開発を進めるべきである。 材料の絞り込みを検討し、体制変更を実施した。（日本重化学工業の開発を平成 27 年度で終了とした。） 車載状態を模擬したシステムを構築し、システム評価を行う様、実施計画書の見直しを行った。</p>	
<p>評価に関する事項</p>	<p>事前評価</p>	<p>平成 25 年度実施 担当部 新エネルギー部</p>
	<p>中間評価</p>	<p>平成 27 年度 中間評価実施</p>
	<p>事後評価</p>	<p>平成 29 年度 事後評価実施</p>
<p>3. 研究開発成果について</p>	<ul style="list-style-type: none"> 国内について、研究開発の成果を順調に出すことによって、規制見直しは新たな項目を含め、計画的に進められ、科学的根拠を基にした規制の見直しの成果を挙げている。また水素充填ガイドライン、水素品質ガイドライン、水素計量ガイドラインなど普及拡大に必要なガイドラインも策定されるとともに新たな知見を追加して適宜改訂が進んできた。国際関連では FCV の国際流通に必要な ISO、SAE、HFCV GTR は日本が議論をリードして、日本の提案が採用されている。 MCH 由来の不純物である MCH・トルエンが与える影響を明確にし、品質規格改定議論等を日本がリードした。 水素ステーション用機器の低コスト化技術を構築し、水素製造装置、水素圧縮機、プレクーラなどで実用化の目途を得た。水素ステーションコストは普及期目標 2 億円に対して、事業終了時点で 3.5 億円を見込む（この成果に併せて規制の適正化事業との相乗効果、量産効果により 2 億円を見込む）。 高圧水素用（87.5MPa 用）ホース・シールシステムの要求圧力サイクル回数を達成した。また、樹脂製高圧水素用ホースの信頼性評価基準（案）を策定した。 水素計量技術及び計量器校正等の管理技術を確立し、水素ステーションでの公正な水素販売を実現した。より高精度なマスターメータ法による計量の評価手法を完了した。 車載システムのコンセプトを構築し、自動車走行モデルから車載容器の要求仕様を求め実験およびシミュレーションを用いて車載に適した水素貯蔵材料を用いたシステムの設計および 	

	<p>び性能の評価を進めた。水素貯蔵材料容器システムの優位性を実証する。</p> <ul style="list-style-type: none"> 一層の安全、安心の観点からセーフティデータベースを作成し、事業者間からの情報収集と展開の仕組みを完成した。また水素ステーションのオペレータ向けの教育設備訓練内容指針(案)を作成した。 ポータルサイトを開設し、一般の方への情報提供を開始した。 水素センサ、火炎可視化、電気化学式水素ポンプ等、次世代の水素ステーションに必要な技術課題を具体化した。 雷被害リスク軽減に有効な、雷被害対策ガイドライン(案)を取りまとめた。 開発品を実環境下で評価できる充填施設を完成し、評価を行った。 IEA、IPHE での海外の政策・市場・研究開発動向に係る情報収集、及び CO2 フリー水素の導入・普及に係る可能性調査を実施し、国内の水素・燃料電池利用技術関係者へ情報展開した。その結果、海外の研究開発動向、段階をふまえた新たな研究開発が水素社会構築技術開発事業等で開始され、水素利用技術の展開範囲が拡大した。 	
	投稿論文	96 件(平成 29 年 10 月末現在)
	特 許	「出願済」67 件 (うち国際出願 15 件) (同上) 特記事項：なし
	その他の外部発表 (プレス発表等)	研究発表・講演(752 件) / 受賞実績(10 件) / 新聞・雑誌等への掲載(81 件) / 展示会へ出展(69 件) (同上)
4 . 実用化の見通しについて	<ul style="list-style-type: none"> 規制見直しに関する成果は閣議決定の実施時期にあわせて適用される予定である。自主基準等ガイドラインについては平成 29 年度までに順次適用される予定である。 ISO や HFCV GTR など国際的な標準、基準については各国との摺り合わせが必要なものの、概ね今後 5 年以内には成果が反映された内容が新規および改定として成文化される予定である。 普及期の整備コスト 2 億円以下の水素ステーションの実現について、構成機器に関する低コスト化の事業(水素製造装置 50 百万円、水素圧縮機 65 百万円、プレクーラ 24 百万円、蓄圧器 1.2 万円/L)及び、並行して行っている規制の適正化事業との相乗効果により、普及期の量産効果を含めることで可達と考える。水素貯蔵については、車載を目的とした貯蔵目標 (質量貯蔵密度 6mass%以上、容器体積 100 L 以下、コスト 50 万円以下、水素供給速度 1,000L / min、- 30 の FCV 起動に対応可能な水素供給) 達成可能性が高いものを選別し、車載用の水素貯蔵システム化及び生産性向上を達成することで実用化の見通しがある。 	
5 . 基本計画に関する事項	作成時期	平成 25 年 2 月制定
	変更履歴	平成 26 年 3 月改訂 (研究開発項目 に助成事業を追加、研究開発項目 を追加)

．事業の位置付け・必要性について

1．NEDOの関与の必要性・制度への適合性

1.1 NEDOが関与することの意義

我が国が、将来にわたり持続的発展を達成するためには、革新的なエネルギー技術の開発、導入・普及によって、各国に先んじて次世代型のエネルギー利用社会の構築に取り組んでいくことが不可欠である。このため、政府が長期を見据えた将来の技術進展の方向性を示し、官民双方がこの方向性を共有することで、将来の不確実性に対する懸念が緩和され、官民において長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となることを目指し「エネルギーイノベーションプログラム」が制定された。本事業に先立つ「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」事業は、その「エネルギーイノベーションプログラム」の一環として実施された。

燃料電池及び水素技術は、上記の目的達成に向けたキーテクノロジーとして、その実用化への期待が高い。第3期科学技術基本計画（平成18年3月）においては「先進燃料電池システムと安全な革新的水素貯蔵・輸送技術」が戦略重点科学技術として選定され、新・国家エネルギー戦略（平成18年5月）では燃料電池自動車に関する技術開発の推進が記され、経済成長戦略大綱（同7月）において運輸エネルギーの次世代技術開発が重点分野として位置付けられた。エネルギー基本計画（平成19年3月）、次世代自動車・燃料イニシアティブ（同5月）においても燃料電池及び燃料電池普及のために必要となる水素技術開発の重要性が述べられ、さらには、「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」（平成20年3月）に定置用燃料電池、燃料電池自動車及び水素製造・輸送・貯蔵が位置付けられ、またエネルギー基本計画（平成22年改訂）では技術革新の進捗により水素をエネルギーとして利用する“水素社会”についての包括的な検討を進めるべき時期にさしかかっているとされている。更には本事業の開始後、平成26年に改訂されたエネルギー基本計画に「“水素社会”の実現に向けた取り組みの加速」として将来の二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待される。と明示された。従って、本事業は上記エネルギー施策制度の目標達成に適合するものであり、社会的必要性を含めたその期待値はますます大きくなっている。

本分野における産業界の健全な育成については、産業界各社が30年間にわたる技術開発を地道に続けてきている中、その成果を元に各社が自ら活動・対応するだけでなく、共有・共通の知的財産と成り得るものに対し国費を元に研究開発・産業界支援を行い、効率的な開発を進めることが出来、各社の活動の重複を避け短期集中的に仕上げることが、産業界全体としての効率的な技術開発に対して重要である。これまで世界に先駆けた水素関連技術の実用化のためにシステム技術の開発や検証、要素技術開発を行ってきたが、その結果、国際市場においても我が国産業界が先導的役割を果たすことができた。また、規制見直しの推進には、産官学の緊密な連携が必要であった。

1.2 実施の効果（費用対効果）

当該事業を実施することにより、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（経済産業省2014年6月、図表参照）等で試算される2030年の市場規模：日本1兆円程度、世界38兆円程度2050年の市場規模：日本8兆円程度、世界160兆円程度の成長に寄与することができる。また、燃料電池分野の特許出願数は現在でも世界1位で2位以下の欧米等の各国と比べ5倍以上となっており、本事業の推進が水素利活用分野での高い産業競争力を支えている。更には、前述の「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」において、世界全体の温室効果ガスの排出量を現状に比して2050年までに半減するという長期目標を達成するためのエネルギー分野における21の革新的技術開発の中に選定され、温室効果ガスの削減にも大きな貢献をもたらすことが期待されている。

本プロジェクト費用の総額は180億円（2013～2017年、実績）であり成果としてFCVの普及に伴う日本国内における温室効果ガス削減効果予想は目標最終年度37年度（2025年）における削減目標値（40万トン/年）を達成する。

一方、民間団体である燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）（図表参照）が平成22年3月に発表した「FCVと水素ステーションの普及に向けたシナリオ」において、2015年がFCVの一般ユーザー普

及開始を目指す年、2025 年が FCV・ステーションの自立拡大開始の年として、位置づけられている。同シナリオでは、2015 年の普及開始に向けて 2006～2014 年までの間の技術課題の解決と規制見直しの推進が提示されており、本事業の着手は正に当該シナリオの実現に資するものであり、既にその成果の一部として水素ステーションの普及が開始された。(2017 年 10 月現在、計画を含めて 99 ヶ所)

このような研究開発投資がもたらす効果として、水素エネルギーの社会への導入・普及は、省エネルギー効果、環境負荷低減効果、エネルギーの供給多様化、石油代替効果、分散型電源としての利用、産業競争力強化と新規産業・雇用の創出が期待される。

2. 事業の背景・目的・位置づけ

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、「NEDO」という。)では、「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発事業」(平成 20 年度～平成 24 年度)において来たるべき水素エネルギー普及のための水素供給インフラ市場の立ち上げ(平成 27 年に想定)に向け、水素製造・輸送・貯蔵・充填に関する低コストかつ耐久性に優れた機器及びシステムの技術開発、要素技術開発、次世代技術開発及びシナリオ策定、フィージビリティスタディ等を行い、その結果、水素エネルギーの導入・普及に必要な一連の機器及びシステムに関する技術開発を推進した。

また、「水素先端科学基礎研究事業」(平成 18 年度～平成 24 年度)において、水素物性等に係る基礎的かつ高度な科学的知見の集積を行い、FCV 及び水素供給インフラの長期間の安全利用に向けた、材料の水素からの影響に関する基本原理の解明を進めた。加えて「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」(平成 19 年度～平成 23 年度)及びそれに続く「燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する調査研究」(平成 24 年度)で、高性能かつ先端的水素貯蔵材料開発に必要な水素貯蔵に関する基本原理の解明及び材料の応用技術に必要な基盤研究を実施し、両事業から基礎固めを行うことにより、水素供給インフラを支える材料、機器及びシステム開発に関する水素利用技術の確立に資するデータの取得を行う事ができた。

また、これらの事業と並行して「地域水素供給インフラ技術・社会実証事業」(平成 23 年度～平成 25 年度)を行い上記 NEDO 事業から得られた成果を元に、実社会でのインフラ運営をからの様々な知見を得ることができた。

以上の事業の成果をふまえて本研究開発では、2020 年以降の FCV 及び水素供給インフラの本格普及に向け、国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に関する研究開発、FCV 及び水素ステーション用低コスト機器・部品等の研究開発を行い、一連の機器及びシステムのコスト低減、FCV の普及展開及び国際競争力確保に資する事を狙いとする。

また、世界に目を向けた場合の FCV・ステーション技術開発動向について日本の位置づけ、技術的な開発動向等については以下のような状況である。

FCV 車載用水素貯蔵技術

- 70 MPa での高圧水素ガス貯蔵(車両用 GTR 容器に 70 MPa@15 相当の水素を充填する)が主流である。
- 水素貯蔵の目標値は、日本、米国でほぼ同じ状況である。具体的には以下のとおりである。
- 水素 5 kg を搭載した場合、質量貯蔵密度 6 mass%以上、容器体積 100 L 以下、FCV 低温起動、全開加速に適合すること。

水素供給インフラ技術

- 現時点では FCV の水素貯蔵の方向性に合わせ、水素ステーションも高圧ガス充填(車両用 GTR 容器に 70 MPa@15 相当の水素を充填する)が主流である。

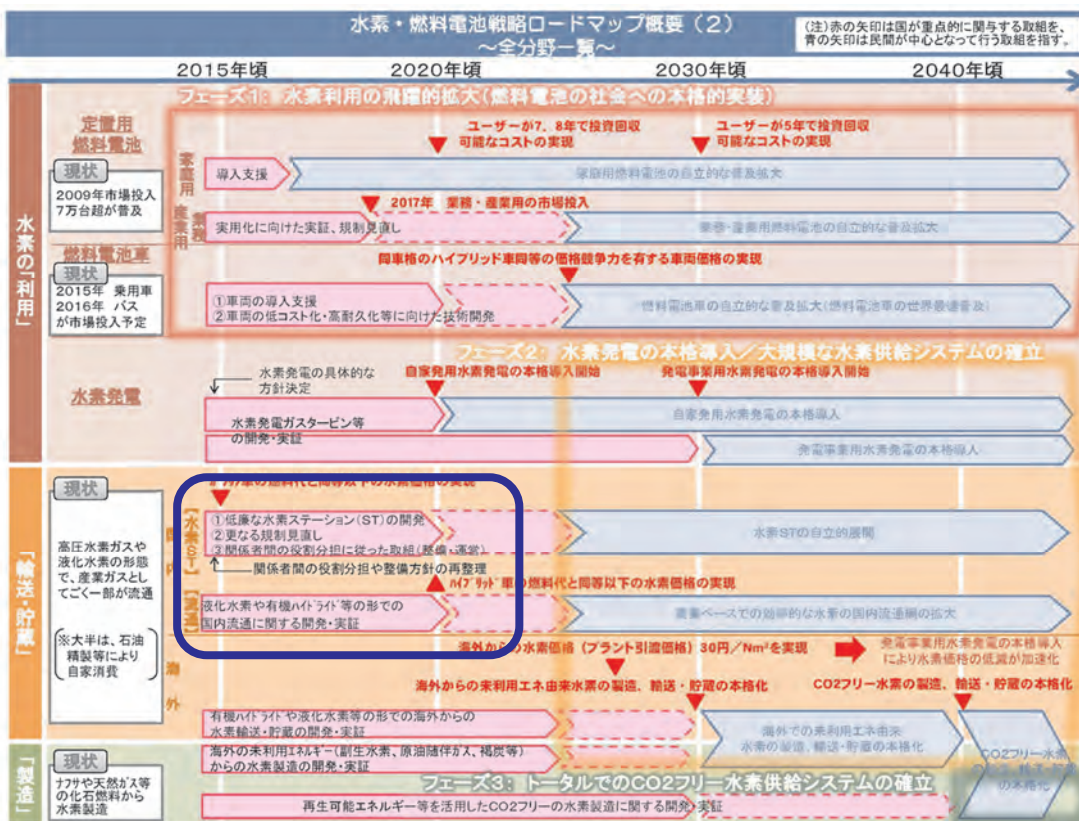
- 充填方式は、圧縮機から蓄圧器を介し充填する差圧充填方式と圧縮機から直接充填する直接充填方式がある。現時点での主流は差圧充填方式であるが今後のステーション機器の低コスト化、あるいは液体水素ポンプの開発に伴い直接充填方式が拡大する可能性もある。
- 水素のキャリアとしては高圧、液化水素があり、将来的には有機ハイドライドも検討されている。
- 水素ステーションの方式としては水素を何らかのキャリアでステーションまで輸送し、現地で水素化するオンサイト方式と、水素をプラントで製造し高圧でステーションまで輸送するオフサイト方式の2種類がある。オンサイト方式では都市ガス、LPG,有機ハイドライド等の開発が進められている。
- FCV への充填時間は、ガソリンスタンド並みの3分程度での満充填が要求されている。

各国の技術レベル

- 技術開発において日本と並んで米国、欧州（特にドイツ）が進んでいるが、その中で日本は平成26年のFCVの市販開始、商用水素ステーションの開所等、一歩先んじている。今後は韓国もFCV、インフラともに追いついてくる状況である。

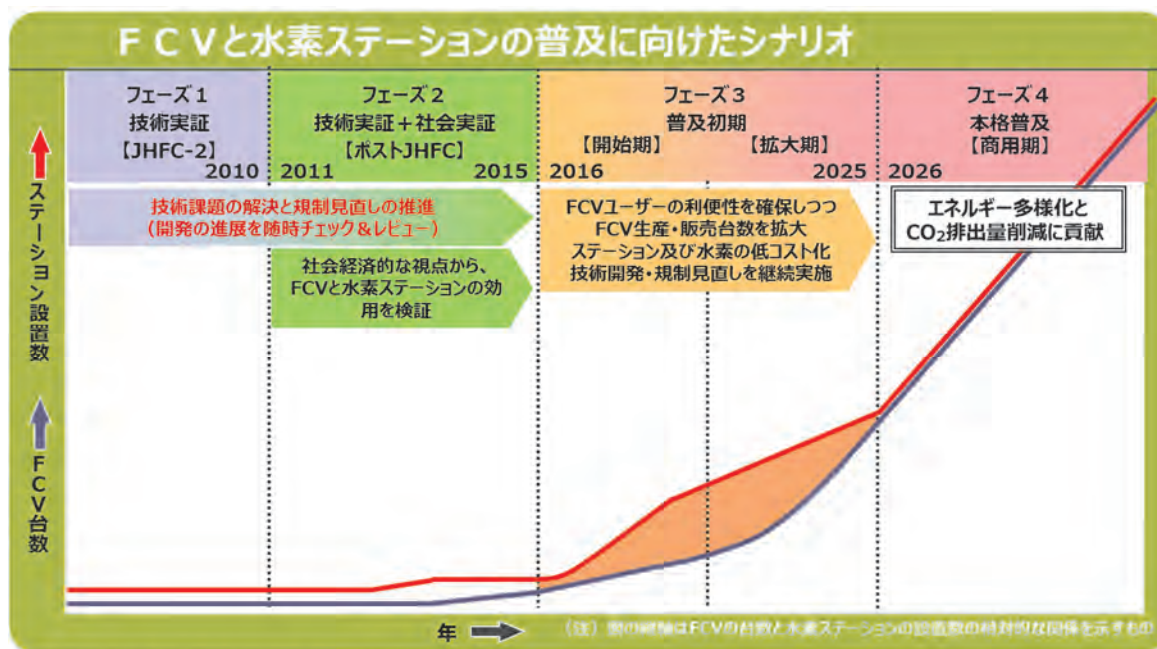
「燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）によるシナリオ」、「水素燃料電池戦略ロードマップ2014年度版」（資源エネルギー庁）を添付する。

「水素燃料電池戦略ロードマップ」(資源エネルギー庁 H26.6月)



「燃料電池実用化推進協議会 (FCCJ)」によるシナリオ

FCVの2015年普及開始、2025年の自立的拡大開始を目指す。



※前提条件: FCVユーザーのメリット(価格・利便性等)が確保されて、順調に普及が進んだ場合

・研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

これまでの「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」(平成 20 年度～平成 24 年度)、「地域水素供給インフラ技術・社会実証」(平成 23 年度～平成 25 年度)等の関連事業成果を踏まえながら、平成 29 年度末を目途に、(1)業界要望を元に決定された規制改革実施計画での規制見直し項目に資するデータの取得及び必要な自主基準(案)、技術基準(案)、ガイドラインなどの策定。普及に必要な ISO/TC197、UN/ECE/WP29 等で策定される国際基準、標準に資するデータ等の取得、(2)低コスト化に向けた機器開発、(3)一層の安全と安心に向けた安全データベースの構築や、次世代の水素インフラに必要な技術開発、(4)欧米の水素インフラ普及に関する最新情報の取得と事業への反映を行う予定である。

以下の最終目標は、燃料電池実用化推進協議会(FCCJ)の普及シナリオ(平成 22 年 3 月)、自動車メーカー及び水素供給事業者 13 社の共同声明(平成 23 年 1 月)と発表国内外の技術動向、市場動向を踏まえて策定し、その後の「規制改革実施計画」(平成 25 年 6 月 14 日/閣議決定)、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」(平成 26 年 6 月 23 日/経済産業省)のシナリオに沿い、関係産業界の要望を反映し、FCV・水素インフラ普及に必要な技術開発目標値を設定した。

1.1 研究開発の目標

水素ステーション及び水素貯蔵システムのコスト・性能目標は下記の通り。

<水素ステーション>

- ・ コスト 2 億円以下(普及期)/システム [300 Nm³/h 規模の場合、水素製造装置及び土地取得価格を除く]。
- ・ 水素充填 30 万回以上の耐久性を有すること。
- ・ 水素充填精度 ±1%以内、水素充填時間 3 分間以内。

<FCV 用水素貯蔵システム>

- ・ 水素 5kg を搭載した場合、質量貯蔵密度 6 mass%以上、容器体積 100 L 以下、コスト 30～50 万円以下、かつ FCV 低温起動や全開加速に適合する水素放出性能を有すること。ただし、現状の高圧タンクシステムに対して車載時の占有容積が大幅に縮小する等画期的な技術的優位性が見込まれる技術が提案された場合には、実用性を鑑み目標を別途設定する。

1.2 各研究開発項目の目標

達成目標は下記の通り。

(1) 研究開発項目 : 「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」(委託事業)

『中間目標』(平成 27 年度)

新たな規制見直し検討項目について、技術基準案、例示基準案を作成する。また、水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化、FCV における国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資するデータ取得を行う。

『最終目標』(平成 29 年度)

平成 22 年(2010 年)12 月 28 日に原子力安全・保安院から公表された「燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制の再点検に係る工程表」に含まれる検討項目及び平成 25 年 6 月に閣議決定された「規制改革実施計画」の次世代自動車の世界最速普及において対象として

挙げられた項目について、規制見直しを進めるために必要な研究開発を行い、水素ステーションに係るコスト低減等に資する。

その他、水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化、FCVにおける国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資する各種案を作成する。

以上に加えて、平成 27 年 6 月及び平成 28 年 6 月に閣議決定された「規制改革実施計画」についても規制見直しを進めるために必要な研究開発と、規制見直しの時期にあわせて実用化が進められるよう、最終目標への項目追加を行う。

中間目標	最終目標
-1：「水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発」	
70MPa スタンドの保安検査基準の整備に関する検討 70MPa 水素ステーションの保安検査基準検討案及び定期自主検査指針検討案の作成、及び蓄圧器の検査方法の調査。	70MPa スタンドの保安検査基準の整備に関する検討 70MPa 水素ステーションの保安検査基準検討（案）及び定期自主検査指針検討案作成、水素スタンド安全技術基準・指針の自主基準案作成
圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討 圧縮水素運送自動車用容器に、ガラス球式安全弁の装置を可能とする技術基準案の作成。	圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討を行い、高圧ガス保安法に係る技術基準（案）の策定。 平成 26 年度で完了。
水素スタンドの距離規制見直しに関する検討 離隔距離短縮に必要な実験・シミュレーション検討、及び高圧ガス保安法に係る技術基準案の作成開始。	水素スタンドの距離規制見直しに関する検討 離隔距離短縮に必要な実験・シミュレーション検討、高圧ガス保安法に係る技術基準（案）作成
公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討 公道水素充填を可能とするための課題抽出、安全な設備仕様とその運用方法の確立。特定多数場所におけるガス欠対応充填用超小型水素充填装置に関する規制・対応調査。	公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討 公道水素充填を可能とするための課題抽出、安全な設備仕様とその運用方法の確立。特定多数場所におけるガス欠対応充填用超小型水素充填装置に関する規制・対応調査。
圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討 圧縮水素輸送自動車用容器の使用上限温度（85）以下で使用可能とするための高圧ガス保安法に係る技術基準案の作成、水素トレーラ火災の原因究明及び当面の再発防止対策検討。	圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討及び高圧ガス保安法に係る技術基準（案）策定。 平成 27 年度で完了。
液化水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討 液化水素貯蔵型圧縮水素スタンドの技術基準案作成、及び消防法、建築基準法の措置に資する資料作成。	-1 液化水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討 -2 液化水素貯蔵型圧縮水素スタンドの液化水素ポンプの技術基準（案）作成。 -3 液化水素ポンプ設置の技術基準化に資するデータの取得等
2 種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討 第 2 種製造者の圧縮水素スタンドの技術基準案作成、及び追加安全策の検討。	2 種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討 平成 27 年度で完了。
水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備 別項目「水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討」欄を参照	水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備 平成 26 年度で完了。
温度上昇を防止する装置（散水基準）の見直しに関する検討 圧縮水素スタンド散水量低減方法の検討、合理的な散水設備の技術基準案作成。	圧縮水素スタンド散水量低減方法の検討、合理的な散水設備の例示基準の改正に資する資料作成
水素スタンドにおけるセルフ充填の許容に関する検討 平成 27 年度より開始。	海外の事例を調査し、安全性と利便性の確保の観点から、必要な技術的課題を抽出し、対応策を検討する。得られた結果を反映したセルフ充填のガイドライン（案）を策定。
-	圧縮水素運送自動車用容器の固定方法の追加に関する検討
-	有機ハイドライドを用いた水素スタンドの基準整備に関する検討

中間目標	最終目標
-11：「水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討」	
<p>水素ステーションの事故に関する現状把握 ステーションの事故事例調査、高圧ガス設備 の災害事例調査。</p> <p>水素ステーションにおけるシビアアクシデ ントの想定 事故シーケンスの検討、重大性の高い災害事 例の抽出。</p>	平成 26 年度で完了。
<p>シビアアクシデント対応策の策定 リスクアセスメントの実施、緊急時対応ガイ ドライン作成。</p> <p>審査過程における対応 例示基準案の審査過程における対応実施。</p>	
-6：「水素ステーション用複合容器の供用中検査手法の研究開発」	
<p>複合容器のアルミライナー素材のアルミ合金 の疲労進展に伴う AE を検出・評価する。 複合容器の疲労試験時の液体圧力媒体の AE 信 号に及ぼす影響を調査。 複合容器の炭素繊維層の AE 波の特徴を把握。 複合容器の疲労試験中の AE 発生挙動を分析 し、疲労劣化の進展度を AE 法によって評価す る手法を開発。</p>	<p>アルミ合金の疲労試験時における AE 発生挙動調査 アルミライナー試験片のラボ疲労試験時の AE 計測/分析から、疲 労損傷の進展を評価できる AE パラメータを特定する。 アルミ合金の水中疲労試験時における AE 発生挙動調査 複合容器の疲労試験時の液体圧力媒体の AE 信号に及ぼす影響を 把握する CFRP の破壊時の AE 発生挙動調査。 複合容器の疲労試験時の CFRP 破壊の AE 挙動を評価する。 Type -CFRP 高圧タンクの疲労破壊試験時の AE 発生挙動調査。 TypeIII 複合容器のラボ疲労試験時の AE 計測/分析から、特定 の AE パラメータに注目することによって疲労損傷の進展を評価 する。 実水素ステーションでの実証試験 実水素ステーションの複合容器の運用を踏まえ、AE 分析に影響 する環境を把握する。</p>
-2：「水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発」	
<p>汎用材の利用拡大 1,2,3,4 種、ないし 5 種の研究、評価、及び 使用条件の明確化。</p>	汎用材の利用拡大 追加 3～4 種(累計 5～8 種)の研究、評価、及び使用条件の明確 化。
<p>超高圧、広温度範囲での利用拡大 ステンレス材 1,2 種、ないし 3 種、もしくは その他材料の研究、評価、使用条件の明確 化。</p>	超高圧、広温度範囲での利用拡大 ステンレス材追加 1～3 種(累計 3～5 種)、もしくはその他材料 の研究、評価、使用条件の明確化。
-4：「複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発」	
<p>Type3 複合圧力容器蓄圧器の基準整備 実際の水素ステーションで使用する圧力条件 (部分充填)に応じた圧力サイクル試験方法 で疲労寿命延長が可能であることを確認す る。 Type4 複合圧力容器蓄圧器の基準整備 圧力サイクル試験時の疲労損傷モードを確認 する。</p>	<p>-1) 複合圧力容器蓄圧器の疲労寿命評価手法の検討 Type3,4,2 容器の疲労寿命評価方法の確立を目指した各種設計 及び各種応力範囲における疲労寿命T_fの取得</p> <p>-2) 技術基準案の検討 Type3,4,2 容器の疲労寿命評価方法等の技術基準案の策定に資 する資料の検討、基準策定に向けた課題の提示</p> <p>CFRP の評価方法の高度化 複合圧力容器設計方法や寿命評価方法等への CFRP 評価T_f活用 方法の提示</p> <p>複合圧力容器蓄圧器の疲労設計方法の高度化 Type3,4,2 容器の部分充填を考慮した疲労設計方法にもとづく 最適設計手法の確立</p>

中間目標	最終目標
	保安検査方法に関する検討 適用可能性がある検査方法の課題と実用化に向けた開発検討案の提示
-3：「燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発」	
<p>主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発</p> <p>(a) 水素脆化の影響を受ける材料の水素ガス中での挙動解明。</p> <p>(b) Cr-Mo 鋼等を用いた蓄圧器製造ガイドラインのアウトライン作成。</p> <p>(c) 非磁性鋼の安全利用に向けた評価基準の明確化。</p> <p>(d) 海外の水素ステーションにおける使用材料に関する安全性評価試験の実施。</p> <p>(e) 設計係数低減化に伴う問題点と課題の抽出。</p>	<p>主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発</p> <p>(a) 水素脆化の影響を受ける材料の評価方法の提案、使用条件、使用基準の明確化。</p> <p>(b) ~ (d) 低合金鋼を用いた蓄圧器製造ガイドラインの完成。</p> <p>(e) 設計係数低減化による高圧水素機器（主に蓄圧器）の合理的設計方法の提案。</p>
<p>主として蓄圧器周辺機器（配管、バルブ等）に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発</p> <p>-1 高圧水素に用いるステンレス鋼の鋼種拡大及び関連評価技術の開発</p> <p>(a) HRX19 の利用技術データ拡充（溶接性等）/ 溶接や曲げの適用など、実構造物を想定した材料データの取得。</p> <p>(b) Ni 当量式拡張のための成分評価。</p> <p>(c) 耐水素ガス脆化特性におよぼす Cu, N などの影響を評価。</p>	<p>主として蓄圧器周辺機器（配管、バルブ等）に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発</p> <p>-1 高圧水素に用いるステンレス鋼の鋼種拡大及び関連評価技術の開発</p> <p>(a) 高圧水素ガス用材料の高機能化と利用技術拡充。</p> <p>(b) 国際標準化、規制見直しに資する評価試験法の開発</p> <p>(c) SUS316L (Ni 当量 28.5) の拡散接合部の耐水素ガス脆化特性を確認。</p> <p>(d) 長期使用水素関連機器の解体調査</p>
<p>-2 高圧水素用継手・バルブ向けオーステナイト系ステンレス鋼の鋼種拡大</p> <p>(a) Mo レス高圧水素用オーステナイト系ステンレス鋼の開発 / 高圧水素中で引張・疲労特性が SUS316L と同等の Mo レスステンレス鋼開発。</p> <p>(b) 高硬度オーステナイト系ステンレス鋼の開発 / 炭素濃度とマルテンサイト変態を考慮したオーステナイト相安定性確認。</p> <p>(c) 長期使用水素関連機器の解体調査 / 解体調査を行い関係各機関へデータ提供。</p>	<p>-2 高圧水素用継手・バルブ向けオーステナイト系ステンレス鋼の鋼種拡大</p> <p>(a) Mo レス高圧水素用オーステナイト系ステンレス鋼の開発 / 鍛造品を素材として、高圧水素中において、引張・疲労特性が SUS316L と同等の Mo レス高圧水素用オーステナイト系ステンレス鋼の開発。</p> <p>(b) 高硬度オーステナイト系ステンレス鋼の開発 / 高圧水素用高硬度オーステナイト系ステンレス鋼の開発。</p> <p>(c) 長期使用水素関連機器の解体調査 / 平成 27 年度で終了。</p>
<p>低温および高温ガス環境下での材料特性に関する研究</p> <p>ガス、圧力を変動条件下での水素脆化挙動の把握。</p>	<p>低温および高温ガス環境下での材料特性に関する研究</p> <p>水素環境脆化機構解明の元となるデータを提供。</p>
-5：「自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発」	
<p>自動車用圧縮水素容器の安全性評価</p> <p>破裂圧適正化のためのシナリオ作成に資する基礎データを取得する。</p>	<p>自動車用圧縮水素容器の安全性評価</p> <p>HFCV GTR Phase2 の既存課題（容器破裂圧適正化・水素適合性試験法）に対して、審議に必要な適正なデータを取得し、試験法案を提案する。</p>
<p>国内基準の適正化および国際基準調和</p> <p>国際基準(HFCV GTR Phase2)に日本案（破裂圧適正化・水素適合性試験法・アルミ腐食試験法）を提案するための国内審議を推進し、シナリオ案（試験法案）および実証試験計画の国内承認を得る。</p>	<p>国内基準の適正化および国際基準調和</p> <p>試験法策定のための国内審議を推進し、日本案を取りまとめる。その後、国際審議（HFCV GTR Phase2）に日本案を提案する。</p>

中間目標	最終目標
<p>アルミニウム系材料の材料評価および試験法開発 アルミの腐食に関する従来評価法によるデータを取得し、自動車用圧縮水素容器に必要な評価項目を見極めたうえで、適切な試験法案を開発する。</p>	<p>アルミニウム系材料の材料評価および試験法開発 日本から HFCV GTR Phase2 への新規提案案件（アルミニウム合金の腐食試験法）に対して、審議に必要な適正なデータを取得し、試験法案を提案する。</p>
<p>-7：「水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発」</p>	
<p>適正かつ安価・簡便な供給水素の品質管理方法の研究開発 (a) 水素品質管理運用ガイドラインを策定する。 (b) 高圧水素ガス試料採取容器の検証に於いて、容器製作・検証する。 (c) 低圧水素ガス試料採取容器の検証及び簡易分析装置の開発主要について、8成分分析可能な装置の開発と、水素 ST での検証を行う。 (d) 微粒子捕捉用フィルタの検討について、現状仕様及びフィルタ試験方法の GL への反映。</p> <p>次期 ISO 改訂に向けた基準値の検討 ISO 水素燃料仕様の改訂提案・国際標準化について、改定のための提案内容の合意を行う</p>	<p>適正かつ安価・簡便な供給水素の品質管理方法の研究開発 (a) 水素品質管理運用ガイドラインの改定版を策定する。 (b) 高圧水素ガス試料採取容器の検証に於いて、適正で簡便・安価な試料容器・方法を確立する。 (c) 低圧水素ガス試料採取容器の検証及び簡易分析装置の開発主要について、ISO 8成分を対象に、分析コスト（現行 200 万円の 1/2）、分析時間（現行 120 時間の 1/10）を達成する。 (d) 微粒子捕捉用フィルタの検討について、フィルタの仕様を確定し、改定ガイドラインを作成する。 (e) 水素ステーションでの検証 ～ の結果確認として、水素ステーションにおける検証を実施する。 (f) 新規・画期的な分析装置の検索 国内外の新規分析装置について調査し、簡易分析装置の開発にフィードバックする。 次期 ISO 改訂に向けた基準値の検討 水素ステーションでの検証結果を蓄積し、水素燃料仕様 ISO14687-2 の改訂に資する。</p>
<p>-</p>	<p>更なる低コストを狙った安価・簡便な分析方法の研究開発 (a) 固体捕集サンプリング方式による分析法の開発 水素品質は担保しつつ、簡便で安価な水素品質管理分析を可能とするため、液体捕集していた成分を固体捕集サンプラーを適用し、より小型で取扱い易いサンプリングキットを開発する。これにより、これまでの分析費用を 1/4 以下、分析時間 1/5 以下を達成する。 (b) 現地評価機能を付加したサンプリング方式とその分析法の開発 サンプリングキットにセンサー等を利用して現地分析を可能にし、更なる分析費用と分析時間の短縮を目指し、分析費用 1/10 を達成する。</p>
<p>-</p>	<p>水素燃料仕様の ISO14687-2 の改訂提案・国際標準化 (a) 水素燃料仕様の国際標準化 ISO 水素燃料仕様の改訂提案・国際標準化について、品質規格 ISO14687-2 の改定に資するデータを取得するとともに、水素ステーション燃料品質管理規格 ISO19880-1 及び水素品質管理 ISO19880-8 の国際規格間の整合を期す。 (b) 水素中不純物の燃料電池への影響評価 HCHO、HCOOH が燃料電池の発電性能に及ぼす影響を調査し、ISO14687-2 改訂（ISO14687）の議論に資する。</p>
<p>-8：「燃料電池自動車への水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発」</p>	
<p>国内基準類の改正案作成及び制定 (a) FCV 及び FC バス水素充填技術基準策定。 (b) FCV 及びバス用充填性能確認ガイドライン作成と評価装置製作。</p>	<p>国内基準類の改正案作成及び制定 (a) 海外での規格見直し動向、並びに新充填プロトコルに対応した自主基準の改定。 (b) 充填性能確認ガイドラインの完備及び商用ステーションへの適用と評価体制、ガイドラインの運用方法の提案。</p>

中間目標	最終目標
国際標準と国内基準類の調和、国際連携 充填プロトコル、ノズル/レセプタクル規格 について、SAE の審議を日本の充填技術に適 合するよう誘導。	国際標準と国内基準類の調和、国際連携 (a) 充填プロトコルに関連して欧米(SAE、ISO)に提案し、充填の 国際標準化に貢献。 (b) ノズル/レセプタクルの氷結対応に関連して欧米(SAE、ISO) に提案し、国際標準への反映に貢献。 (c) 充填技術の国際連携を図り、グローバルな FCV 及び水素イン フラの普及促進に貢献する。
充填技術開発 / 充填技術検証 商用水素ステーションの充填プロトコル策定 に必要なデータ、及びノズル/レセプタクル の氷結等のデータの取得。	充填技術開発 / 充填技術検証 (a) バス、二輪用の充填プロトコルに資するデータ取得の実施。 (b) 水素ステーション最適化シミュレーションの自紙及びコスト 低減に有効な充填プロトコルの国際基準検討機関への提案 (c) 実条件での水素充填技術の検証及びデータ 蓄積、プロトコルの実用性確認。
充填シミュレーションの高精度化に向けた水 素輸送性質のデータ取得 -30 ~ 常温、100MPa までの低温、高圧域で の熱伝導率のデータの取得。	充填シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ 取得 輸送性質の測定データ取得及び相関式の作成、水素充填シミュ レーションの高精度化。
-9：「燃料電池自動車の水素安全基準等の国際調和に関する研究開発」	
FCV の国内規制および国際基準調和に資する データ取得 国際基準 HFCV GTR Phase2 で審議される課題 について、データ取得を進める。	FCV の国内規制および国際基準調和に資するデータ取得 FCV の車両安全に関わる HFCV-GTR Phase2 の策定に資するデー タ取得および国連の 98 年合意に基づいた HFCV-GTR Phase2 の円 滑な国内導入を図るためのデータ取得。
FCV の国際標準化 本事業のデータを活用し、国内規制を考慮し ながら日本が主導的になるよう、HFCV-GTR Phase2 の方向付けを行う。	FCV の国際標準化 日本が主導的になるように ISO/TC22/C21/WG1 (FCV の安全規 格)、SAE FCV Safety WG (FCV 水素・電気安全)などの審議を進 める。また、国内での車両安全に関わる標準化活動を進める。
安全な事故後処理および廃車処理に資する データ取得 安全な FCV の事故後処理方法を明確にするた めのデータ取得と FCV 用容器クズ化マニユ アルに資するデータ取得を行う。	安全な事故後処理および廃車処理に資するデータ取得 事故後処理、廃車処理のデータ取得を完了させ、関連する安全 マニュアルへの提供を完了させる。
FC 二輪車の安全に関するデータ取得 FC 二輪車の安全担保のために必要な安全基準 の策定に資するデータを取得完了する。	FC 二輪車の安全に関するデータ取得 FC 二輪車の安全担保のために必要な安全基準の策定に資する全 データを取得し、道路運送車両の保安基準の策定に資する。
-10：「水素ステーション等機器の国際標準化動向に関する検討」	
-	ISO 等国際標準の制定動向調査 水素ステーション機器に関連する国際標準化活動である ISO/TC197 等について動向を調査し、制定状況を把握する
-	海外水素ステーション調査 海外の水素ステーション機器及び水素ステーションの設置状況 を把握し、普及開始に向けた状況を調査する
-	ISO 等国際標準と国内技術等との比較調査 ISO 規格および ISO 規格ドラフトと国内技術を比較し、技術課 題の抽出と国内意見の聴取によって、適切かつ国内での活用円 滑化が可能な ISO 規格化に貢献する。

(2) 研究開発項目：「燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」(委託事業、共同研究事業[負担率: 1/2]、助成事業[負担率: 1/2])

『中間目標』(平成 27 年度)

- 水素ステーションを構成する機器、部品等の実用化見通し及びコスト低減効果を検証し、水素ステーション設備コスト低減の目処付けを行う。
- 水素貯蔵システムの最終目標を達成可能な水素貯蔵材料技術の目処付けを行う。(容器質量を勘案してもシステムで 6 mass%を実現できる水素貯蔵能力、-30℃のFCV起動に対応可能なこと、1,000 NL/minが必要となる車両最大加速時の水素供給能力が確保できること等)

『最終目標』(平成 29 年度)

- 上記水素ステーション及び水素貯蔵システムのコスト・性能目標を満足する機器・システム等の実用化技術開発を実施し、水素ステーションに係るコスト低減等に資する。(1.1 研究開発の目標を参照)

中間目標	最終目標
[委託] -5: 「水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発」	
FCV 普及初期の 1 年間ノーメンテナン(温度・圧力サイクル 6,600 回の耐久性 ¹ を保持)を達成する 82 MPa(-40℃)に対応した高圧水素用樹脂製ホースの開発。 *1:FCV 普及初期 1 年間の充填回数 945 回を参考として算出された圧力サイクル 2,200 回の 3 倍に相当する値で、ラボ試験目標値。	FCV 普及初期の 1 年間ノーメンテナン(温度・圧力サイクル 6,600 回の耐久性 ¹ を保持)を達成する 82 MPa(-40℃)に対応した高圧水素用樹脂製ホースの開発。
FCV 普及初期の 1 年間ノーメンテナン(温度・圧力サイクル 6,600 回の耐久性 ¹ を保持)を達成する 82 MPa(-40℃)に対応した高圧水素シールシステムの開発。	FCV 普及初期の 1 年間ノーメンテナン(温度・圧力サイクル 6,600 回の耐久性 ¹ を保持)を達成する 82 MPa(-40℃)に対応した高圧水素ガスシールシステムの開発
JPEC-S 化に向けた 82 MPa(-40℃)高圧水素用ホースの信頼性評価基準(案)の作成。	JPEC-S 化に向けた 87.5MPa(-40℃)高圧水素用ホースの信頼性評価基準案の作成
JISB2401 化に向けた 82 MPa(-40℃)水素シールシステムの信頼性評価基準案の基礎となる材料評価データまとめ。	87.5MPa(-40℃)高圧水素ガスシールシステムの信頼性評価基準の検討
[委託] -6: 「高圧水素機器用ホース等システム部材の研究開発」	
平成 27 年度開始	樹脂への水素影響確認を把握する。
	-1 故障メカニズム明確化と評価法構築
	-2 メカニズムに基づいた材料提案
	87.5MPa 条件での評価(耐久回数 6600 回)
[委託] -11: 「水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発」	
水素計量ガイドラインを策定する。	重量法及びマスターメータ法による水素計量ガイドライン案の策定
70MPa 対応の重量法試験装置を製作し、その評価方法を確立した上で水素計量ガイドラインに反映できるデータの取得を行う。	-1 更なる高圧充填に対応した重量法評価方法の確立 -2 実証試験及び水素ステーションでの検証実験とガイドラインへの反映

中間目標	最終目標
<p>マスターメーター法試験装置を製作し、水素ディスプレイでの評価を行い、評価方法を確立する。</p>	<p>マスターメーター法による評価方法の確立</p> <p>-1 CFD解析による臨界ノズル内流動特性の解明を行い、流量係数や背圧比の関係を解明。</p> <p>-2 高圧域における水素の物性データの取得。</p> <p>代替流体による校正方法の検証、基準化</p>
<p>[委託] -10:「燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する研究開発」</p>	
<p>水素貯蔵システムの最終目標を達成可能な水素貯蔵材料技術の目処付けを行う。</p> <p>金属系水素貯蔵材料の研究開発 吸着系水素貯蔵材料の研究開発</p> <p>-1 軽量水素貯蔵材料の研究開発：Mg系材料 -2 軽量水素貯蔵材料の研究開発：Ti系固溶体材料および窒素系材料</p>	<p>5kgの水素貯蔵システムに対して下記の性能を満足する水素貯蔵材料の開発（～-2共通）</p> <ul style="list-style-type: none"> 重量密度：6 mass%以上 容器体積：100 L以下(50g/L以上) コスト：30～50万円 FCV低温(-30)起動や全開加速(1,000 NL/min)に適合する水素放出性能を有すること。
<p>[委託] -7:「多給系フィラメントワインディングによる複合容器の設計高度化に関する研究開発」</p>	
<p>平成27年度開始</p>	<p>メゾスケールシミュレーションに基づく最適設計手法の開発、最適化アルゴリズムの構築</p> <p>多給系FW技術の開発、最適設計を実現する制御技術の確立。</p> <p>多給系FWにより製造された容器の製造誤差評価技術の開発。（製造誤差評価手法と誤差抑制手法の確立）</p> <p>多給系FW製法による最適設計容器の実証（常用圧力45MPa、内容積30Lクラスのタイプ4容器でタイプ3に比した優位性の実証）</p>
<p>[1/2 共同研究] -3:「タイプ2複合容器圧力蓄圧器の研究開発」（JFEスチール、JFEコンテナ、三菱ケミカル）</p>	
<p>平成27年度開始</p>	<p>第1目標：常用圧力70MPa以上、耐久サイクル5万回以上、容器1L当たりのコスト12千円。</p> <p>第2目標：常用圧力82MPa、耐久サイクル5万回以上以上を目標として下記を実施する。</p> <p>Type2容器用スチールライナおよびプラグの開発および材料データ取得</p> <p>高圧水素環境下材料特性の推定手法の確立</p> <p>スチールライナ複合容器蓄圧器の開発（自緊処理、出荷・検査前技術、蓄圧器開発）</p> <p>スチールライナ複合容器蓄圧器の設計の妥当性の検証としてLBB試験、圧力サイクル試験を行う。</p> <p>低コストType2容器開発に資する炭素繊維の提供</p> <p>Type2容器用炭素繊維の認定に資するデータ取得及び疲労寿命予測</p> <p>小型Type2容器による要素技術開発</p> <p>早期の市場導入を前提とした中型Type2容器開発（フィラメントワインディング加工）</p> <p>ガイドラインおよび技術基準確立への貢献</p>

	中間目標	最終目標
[1/2 共同研究] -4:「タイプ2 複合容器圧力蓄圧器の研究開発」(日本製鋼所)		
	平成27年度開始	<ul style="list-style-type: none"> ・耐久サイクル回数 10 万回の許認可取得可能な試験データ採取を完了させる ・コスト目標 1.2 万円/L 以下 以上を目標として下記を実施する。 低コスト化のための材料選定と安全性評価 鏡部等の最適化構造の検討 複合容器蓄圧器試作および性能評価 複合容器基準化事業との連携
[1/2 共同研究] -15:「スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」		
	スチールライナー - の寿命検討 疲労限への諸因子の影響明確化。 高圧水素中データ採取。 簡易シミュレーションによる蓄圧器の特性予測 ライナーおよび CFRP の適正厚み目処付け。 スチールライナー-CFRP 複合蓄圧器の開発 小型容器による蓄圧器製造の要素技術開発。 複合蓄圧器の設計の妥当性検証 大型製造技術の開発および容器の性能評価。 特認取得への取組 特認申請に資するデータ取得 規制見直しへの取組 各種委員会での複合容器への要求事項の議論	平成 27 年度で完了 ~ スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発として以下の仕様を達成 - 容器容積: 200L 以上。 - コスト 3 万円/L、重量 3000kg(コスト、重量とも設計係数 4.0)。 - 容器寿命 10 万回。 - 開発容器の特認取得を目指す。
[1/2 共同研究] -14:「アルミ製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」		
	CFRP 蓄圧器成型技術の開発 製造コストを 2 万円/L 以下、サイクル使用回数 5 万回以上。 CFRP 蓄圧器材料の開発 汎用 CF の蓄圧器への適用。 基準、検査に関する他事業との連携 ・複合容器基準化事業、検査開発事業との情報交換 ・使用蓄圧器評価の実施。	平成 27 年度で完了 CFRP 蓄圧器成型技術の開発 CFRP 蓄圧器材料の開発 製造コストを 1.5 万円/L 以下、サイクル使用回数 10 万回以上。 基準、検査に関する他事業との連携 使用蓄圧器評価の実施。
[1/2 共同研究] -1:「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」(八千代工業・東邦テナックス)		
	設計圧力 106MPa、サイクル使用回数 10 万回以上等の水素ステーション用複合容器蓄圧器ガイドライン(平成 25 年 6 月時点)の規定を満たす大型高圧水素用タイプ 4 複合容器蓄圧器の製造指針を構築する。	(1)タイプ 4 製造指針の構築 水素ステーションにおける実証に向けて、大型タイプ 4 複合容器蓄圧器の大臣特認に必要なデータ取得を行い、大臣特認を取得する。 300L クラスサイズ大型複合容器試作及び製作課題抽出終了 (2)樹脂ライナー材料の評価 耐久保証方法(クライテリア)の設定終了 (3)大型容器での性能評価 特認取得に必要な性能(KHKTD5202)を満たしていることの証明終了 (4)蓄圧器最適 CF の開発 CF 使用量低減 10%以上(現行 CF 対比)を容器評価で実証/確認する

中間目標	最終目標
[1/2 共同研究] -2: 「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」(中国工業)	
<p>小型、中型複合容器において、設計圧力 106MPa(破裂圧力 239MPa)、サイクル使用回数 10 万回以上等の水素ステーション用複合容器蓄圧器ガイドライン(平成 25 年 6 月時点)の規定を満たす高圧水素用 Type 複合容器蓄圧器の製造指針を構築する。</p>	<p>水素ステーションにおける実証に向けて、大型 Type 複合容器蓄圧器の大臣特認に必要なデータ取得を行い、大臣特認を取得する。コスト目標は、バルブを除いて、現行(当たり 5 万円程度)の 2 分の 1 から量産化後は 4 分の 1 を目指す。</p> <p>複合容器蓄圧器の規制動向の把握と法規制への対応方法決定</p> <p>大型容器を作製するためのフィージビリティスタディの実施</p> <p>小型複合容器の試作と評価</p> <p>中型 type4 複合容器の試作と 評価</p> <p>大型高圧水素用 Type4 複合容器蓄圧器の製造指針の構築</p> <p>大型 Type 4 複合容器の試作と評価</p> <p>水素ステーションへの設置可能要件となる大臣特認取得に必要な性能を満たす大型 Type4 複合容器蓄圧器であることを、技術データをもって証明する。</p> <p>水素透過や接合部分の基礎的な評価に関しては、「水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発」と連携して進める。</p>
[1/2 共同研究] -16: 「樹脂製ライナーの低コスト複合容器蓄圧器の開発」(丸八・巴商会)	
<p>設計圧力 106MPa、サイクル使用回数 10 万回以上の水素ステーション用複合容器蓄圧器ガイドライン(平成 25 年 6 月時点)の規定を満たす高圧水素用タイプ 4 (樹脂製ライナー) 複合容器蓄圧器(100L ~ 150L 級)の製造指針を構築する。</p>	<p>30L ~ 150L 級水素ステーション用タイプ 4 ・複合容器蓄圧器の設計及び解析。 樹脂ライナー製タイプ 4 複合容器蓄圧器の信頼性安全性を担保した設計解析の実証</p> <p>30L ~ 150L 級樹脂ライナーの試作開発。 長尺大型樹脂ライナーの成型、溶着技術確立</p> <p>30L ~ 150L 級タイプ 4 複合容器蓄圧器試作開発。 設計耐圧 106MPa 以上、圧力サイクル回数 10 万回の複合容器蓄圧器の開発</p> <p>タイプ 4 複合容器蓄圧器の KHK 認可取得業取得要件及び市場動向調査。</p>
[1/2 助成] -12: 「有機ケミカルハイドライド法脱水素設備の水素ステーション用小型化・低コスト化」	
<p>平成 28 年度開始</p>	<p>水素ステーション用脱水素設備システムの最適化、およびコンパクト化 大型プラント向けに開発されてきた脱水素システムを水素ステーション向けに最適化およびコンパクト化された検証設備にてプロセス性能を達成する。また検証設備でのコンパクト化要素を反映し、スキッド化商用設備を試設計する。</p> <p>FCV 用水素燃料仕様をクリアする精製技術の開発 有機ケミカルハイドライド法では、水素中にトルエン等の炭化水素が含まれるが、FCV 用水素燃料仕様 ISO14687-2 (2012) をクリアするために、PSA 精製設備の検証運転試験にて C1 換算にて、2 ppm 以下の炭化水素を達成する。</p> <p>脱水素設備の低コスト化 既存のオンサイト商用ステーション水素製造設備と同等の設備コストとするために、検証設備のプロセスをもとに、商用設備の試設計と積算を実施</p>

中間目標	最終目標
[1/2 助成] -8:「オンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の開発」	
(a)水素ステーション用複合型改質器の開発 (b)複合型改質器を搭載した水素製造装置の開発 (c)水素製造装置の運転評価 (d)事業化時のコスト目標検討	水素ステーション用複合型改質器の詳細設計および製作 ステージ で実施した複合型改質器の基本設計をもとに改質反応管の構造解析、流体解析、反応解析を実施して複合型改質器の詳細設計および製作を行う
	複合型改質器を搭載した水素製造装置の詳細設計および製作 実証試験用として実用機(300Nm ³ /h)の1/3である100Nm ³ /h級水素製造装置の製作 水素製造装置の構成機器点数:現状装置の1/2(10点以下)
	水素製造装置の運転評価 水素製造能力:100Nm ³ /h 製品水素純度:ISO14687-2 FCV用水素燃料規格(2012、Grade D)準拠 起動時間:従来品と同等
	事業終了後のコスト目標 100Nm ³ /h級水素製造装置:5,000万円 300Nm ³ /h級水素製造装置:9,000万円

[1/2 助成] -9:「複合型高圧水素圧縮機の研究開発」	
最終目標コスト6,500万円(量産時)の「複合型高圧水素圧縮機」を開発し、試作する。	複合型高圧水素圧縮機の試作 吐出圧力:82MPa 吐出容量:340Nm ³ /h 消費電力:85kW
	コストダウンの実現 6500万円の見通しを得る

[1/2 助成] -13:「低コスト・ブレイカーの研究開発」	
熱交換ユニット研究開発 ステージ 設計検証を基に熱交換ユニットを4基制作する	平成27年度で完了
ブラインの選定 伝熱性能に優れた低コスト不揮発性間接冷媒の採用の検討をする	
冷凍機システム研究開発 低温チラーユニットの低コスト化と省エネルギー性の追求	
ブレイカー性能確認試験 高圧水素急速充填設備を用いて、確立した試験条件に基づきシステムの冷却性能を確認する	
ブレイカー適用性拡大 熱交換ユニットを4基の組み合わせとしバス・トラックを想定した大容量充填が可能か確認する	
コスト分析・資産 目標価格(量産時2,400万円)の達成可否を判断する	

(3) 研究開発項目 : 「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」(委託事業)

『中間目標』(平成 27 年度)

2015 年の普及開始初期に向け、水素ステーションの社会受容性のより一層の向上の観点から、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確立する。また、運用データベースの整備や研修ツールの開発等により水素ステーションの運転・管理手法の高度化をはかる。

2025 年の本格普及に向けた次世代の水素ステーションについて、これまでの運用事例、海外動向や規制の見直しの必要性を踏まえつつ、低コスト且つ高度な安全安心を両立させるコンセプトを策定する。それと共に、それを実現するための技術課題について、それぞれ要求される性能等仕様も含めて特定する。

『最終目標』(平成 29 年度)

より高次元の安全・安心を実現する機器及び運転・管理手法等の要素技術を確立して、水素ステーションの社会受容性の向上に資する。

中間目標	最終目標
-1: 「水素ステーション高度安全・安心技術開発」	
セーフティーデータベース 国内外事例も参考に完成。	セーフティーデータベース データベース構築・完成、運用での更なる展開。
人材教育・育成手法の開発 教育マニュアル、指針(案)の作成。	人材教育・育成手法の開発 教育マニュアル、指針(案)、訓練カリキュラム完成
次世代水素ステーション技術開発 必要な技術開発項目の抽出。	次世代水素ステーション技術開発 平成 27 年度で終了。
社会受容性の向上 ポータルサイト開設や展示会等出展。	社会受容性の向上 ポータルサイトの継続・改善、アウトリーチ活動の 継続、商用水素ステーションの新規需要創出。
-2: 「高圧水素ガス用高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接継手に関する研究開発」	
-1 溶接材料の開発 アンダーカット回避、余盛り確保に有効な溶接 材料の開発。	平成 28 年度で終了 高窒素濃度および高強度維持を達成する(ガスタンク ステンアーク)技術開発
-2 溶接ガスおよび溶接パラメータの最適化 高窒素濃度維持に有効な溶接ガス混合比と溶接 パラメータの最適化。	具体的には、 ・余盛り無し配管引張強さ $\geq 800\text{MPa}$ 。 ・余盛り付き配管強度 \sim 母材配管強度。
溶接金属の金属組織評価 溶接が微視組織のおよぼす影響の理解と強化機構の 解明。	溶接金属の金属組織評価 (a) 溶接継手強度と金属組織の関連付け。 (b) 開発溶接継手の金属組織健全性評価。
溶接部の水素脆化評価 溶接継手の疲労特性および水素脆化特性評価。	溶接部の水素脆化評価 開発溶接継手の水素脆化特性評価。
-3: 「水素ステーションにおける雷被害対応技術の研究開発」	
水素ステーションへの落雷の影響を指標化し、必要 であれば水素ステーションの雷保護対策ガイドライ ンを策定する。	平成 28 年度で終了 水素ステーションの雷被害リスク軽減に有効な「雷 被害対策ガイドライン(案)」策定。
-4: 「水晶振動子を利用した信頼性向上が期待できる水素センサの研究開発」	
水素センサの要求仕様と評価法の調査 目標仕様の明確化、定量的評価法の調査。	水素センサの要求仕様と評価法の調査 センサセラミックパッケージの開発目処付け完了。
	センサの高感度化と製作プロセスの確立 白金触媒・水晶形状の最適化、製作プロセスの確立
	シミュレーション技術の開発 センサ素子設計のための熱・振動解析結果の提供
	水素センサ評価装置の改良 感度及び応答速度が測定できる装置の開発

中間目標	最終目標
<p>センサパッケージの開発 セラミックパッケージの検討。</p>	<p>計装における水素センサの位置付け調査 水素ステーションにおけるセンサ設置場所や個数等の調査</p> <p>センサ駆動回路の開発 発振回路、ヒータ制御回路、信号処理回路の開発</p> <p>模擬フィールド試験 環境試験の実施、コンタミネーションの影響評価</p> <p>水素センサ実用化における法規に関する調査 JIS、ISO等の調査、防爆構造の調査</p> <p>センサパッケージの開発 ハンディタイプ / 定置式タイプの試作。</p> <p>検出部ケースの開発 ハンディー、定置型検知器の筐体、機構部の設計開発</p> <p>センサシステムの開発と評価 濃度演算、故障診断機能、制御プログラムの開発と動作試験</p> <p>防爆構造の検討 防爆認定に向けた構造検討</p>
-5：「光学式水素ガスセンサおよび水素ガスリークディテクタの研究開発」	
<p>光学式水素ガスセンサの研究開発 (a)濃度 500ppm の水素ガスが検出可能なセラミックセンサチップを試作し、機能検証を行う。 (b)また、複数のセンサチップにより水素ガスを多点監視するためのシステム、信号処理系、ソフトウェアを試作し、機能検証を行う。LD 光源、Si 受光素子の適用を検討する。</p>	<p>光学式水素ガスセンサの研究開発 センサを構成する各要素につき、製品モデルを完成させ、評価試験による機能検証を完了する。 (目標：水素ガス検出限界 500ppm、応答速度 2sec、使用温度上限 200) (a)光学式水素ガスセンサの製品モデルを完成させ、機能検証を完了する。 (b)実フィールドを想定した実証試験 製品モデルによる機能検証試験を実施する。</p>
<p>水素ガスリークディテクタの研究開発 (a)濃度 500ppm の水素ガスを検出するため、光源の最適化を行い、光源・伝送路・プローブ・受光器により構成されるシステムを試作し、機能評価を行う。 (b)光源の測定部への照射と、水素ガスからの反ストークス光の受光を高効率で行う伝送路とプローブを試作し、機能評価を行う。遠隔計測への適用可能性の検討を行う。</p>	<p>水素ガスリークディテクタの研究開発 (a)製品モデルを完成させ、機能検証を完了する。(目標：水素ガス検出限界 500ppm、測定精度 30%) (b)本技術の遠隔計測への適用可能性を見極める。</p>
-6：「水素火災可視化機能を有する監視システムの研究開発」	
<p>機能モデルの製作、検証・評価 火災可視化装置の小型化、水素火災検知機能を有する間システムの開発、防爆構造の開発を行い、機能モデルを製作して検証、評価を行う。</p>	<p>製品モデルの製作・試作 5m の離隔距離を以て火炎長が 2cm 程度の微小水素火災を確実に可視化する機能を具備する画像伝送方式の監視システムの製品モデルを設計・試作する。上記監視システムの製品モデルによる機能を検証する。</p>
-7：「電気化学式水素ポンプに係る研究開発」	
<p>平成 27 年度開始</p>	<p>電気化学式水素ポンプ用電解質膜・触媒設計 電気化学式水素ポンプの運転条件設計 電気化学式水素ポンプ用膜電極接合体・セル設計 炭化水素系膜を用いた小型電気化学式水素ポンプ（以下、PEM ポンプ）セル（電極面積 5～25cm²）の初期消費電力（理論電力 / 電力効率@圧縮圧 35MPa）が、機械式圧縮機（0.5 kWh/Nm³）と同等以上の見通しを得る。</p>

中間目標	最終目標
	<p>現行水素ステーションに適用するための課題抽出と解決策の検討 圧縮圧 70MPa 以上の中大型化に向けた技術課題と解決策を検討する。</p> <p>電気化学式水素ポンプの調査研究(H27 年度完了) フィージビリティスタディーを通じて、技術開発課題の抽出と目標設定を行う。実施にあたっては、エネルギー機関、システム機関などと連携し、検討委員会を設置し、取り組む。</p>
-8：「水素社会構築に向けた社会受容性調査」	
平成 27 年度開始	<p>平成 28 年度終了 社会受容性に関する仮説の抽出 探索的調査の実施</p> <p>社会受容性に関する仮説の検証 代表性が担保された偏りの少ないサンプルを基にした検証、および経年的変化の分析</p> <p>技術開発課題の明確化とコミュニケーションへの示唆の抽出 社会的理解と技術課題の両面の十分な理解による課題・示唆の抽出</p>
-9：「実環境下における安全運用技術の研究開発」	
平成 27 年度開始	<p>水素技術センター整備 水素技術センターの完成</p> <p>実使用環境下における評価技術の実証 開発品の実証、充填プロトコルの実証、人材育成・技術伝承及びトレーニング、計量技術の実証評価の試験方法、試験計画を決定し、検証試験を実施する。</p> <p>セルフ対応関連技術の実証 連続充填時の氷結対応技術の実用性の検証の試験方法、試験計画を決定し、検証試験を実施する。</p> <p>低コストステーション技術の安全性検討 ST 設備仕様の抜本的な見直し検証の試験計画、低コスト設備仕様の充填制御の安全性/運用性検証の試験計画、次世代プロトコルや直充填制御を活用した ST コスト低減の検証計画を決定し、検証試験を実施する。</p>
-10：「四大都市圏から全国普及に向けた水素ネットワークの技術課題に関する検討」	
平成 29 年度開始	<p>対象地域特性の把握 水素供給源の分布、再生可能エネルギー利活用状況、既存 SS の活用ポテンシャル把握</p> <p>水素ステーションの適正配置と FCV 普及シナリオ検討 FCV・水素ステーションの“見える化最大”のための適正配置と成立条件の提示</p> <p>水素ステーション普及にあたっての給油所活用等における課題抽出 技術的課題の抽出</p> <p>課題に係る因子間の関連性検討 課題因子間の連関と対応優先度の提示</p> <p>課題解決の方向性の検討 仕様目標の提示、給油所活用の方向性検討</p>

(4) 研究開発項目 : 「CO2 フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」(委託事業)

『中間目標』(平成 27 年度)

国際エネルギー機関(IEA)や国際水素エネルギー・燃料電池パートナーシップ(IPHE)において海外の政策・市場・研究開発動向に係る情報を収集し、国内に発信する。また、水素エネルギーのCO2フリー化に向けて開発が必要な要素技術に係る技術動向調査や、CO2フリー水素の導入・普及に係る可能性調査を行い、CO2フリー水素の導入シナリオを作成するとともに、作成したシナリオに沿った研究開発等に着手する。

『最終目標』(平成 29 年度)

IEA や IPHE における情報収集等により海外の政策・市場・研究開発動向を把握するとともに、適切な情報発信を行う。

	中間目標	最終目標
-1: 「海外の政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」		
	IEA/HIA の各作業部会、執行委員会の情報を入手・分析し、関係者に提供する。	IEA/HIA の各作業部会、執行委員会の情報を入手・分析し、関係者に提供する。
	IEA/AFCIA の各作業部会、執行委員会の情報を入手・分析し、関係者に提供する。	IEA/AFCIA の各作業部会、執行委員会の情報を入手・分析し、関係者に提供する。
	IPHE の本会議(運営委員会)やワーキンググループ、各種ワークショップ、関連イベント等の情報を入手・分析し、関係者に提供する。	IPHE の本会議(運営委員会)やワーキンググループ、各種ワークショップ、関連イベント等の情報を入手・分析し、関係者に提供する。
	各国情報を収集・分析し、国際情報共有ネットワークにて展開する。	各国情報を収集・分析し、国際情報共有ネットワークにて展開する。
	各会議での情報発信や会議運営を通じて、日本の情報を発信する	各会議での情報発信や会議運営を通じて、日本の情報を発信する
		国際最新情報を収集し、速報性を重視して、レポートを発行。
-2: 「有機ハイドライドを用いたロシアからの CO2 フリー水素導入に関する調査研究」		
	有機ハイドライドによる水素の大量輸送・貯蔵技術を活用し、ロシアからの CO2 フリー水素エネルギーの導入に向けた課題を明らかにする。	平成 27 年度で完了。

2. 事業の計画内容

2.1 研究開発の内容

事業の目標を達成するために、以下の研究開発項目について、研究開発を実施する。

研究開発項目：「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

FCV 及び水素供給インフラのコスト削減や性能の目標達成に向け、規制の適正化、国際基準調和、国際標準化に資する研究開発等を行う。水素ステーションに関しては、設置・運用等における規制の適正化、使用可能鋼材の拡大、水素ガス品質管理方法の確立等を実現させるための研究開発等を行う。FCV に関しては、国内規制の適正化や、国際基準調和を実現させるための研究開発等を行う。

研究開発項目：「燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」

水素エネルギーの導入・普及のためには、機器単体及び要素技術レベルにおいて高性能化、軽量化、効率向上及びコスト低減が不可欠である。水素製造・輸送・貯蔵・充填の各機器並びにシステムとしての効率向上に繋がる技術について、ユーザの立場を考慮した高性能化、コスト低減、長寿命化及びメンテナンス性向上のため、以下の研究開発を行う。また、FCV に関しては、水素貯蔵容器のコスト低減に向けて水素貯蔵材料の開発を行う。

研究開発項目：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」

2015 年の普及初期開始期に向けて、一般ユーザに安定したサービスを提供できるための運用技術の開発を実施する。また、2025 年の本格普及期に向けて、欧米等の海外の動向も参考に、地方自治体や地域住民の方々がより一層安心して受け入れられる安全・安心な次世代水素ステーションに必要な技術開発を行う。具体的な目標設定については、実施項目毎に個別に行う。更にこれら技術開発と並行して、ステークホルダへの情報提供・コミュニケーションも含めたリスクマネジメントについての検討を行う。

研究開発項目：「CO2 フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する研究」

水素インフラの市場導入及び普及のためには、国内外における政策・市場・研究開発動向の調査が必要である。また、CO2 フリー水素への関心が高まってきており、その実現のため、CO2 フリー水素の製造、輸送に係る技術動向等について調査を進め、水素の CO2 フリー化実現に向けたシナリオを構築するとともに、構築したシナリオに沿って研究開発等を進める。

(1) 研究開発項目：「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

-1: 水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発

(一般財団法人石油エネルギー技術センター / 一般社団法人日本産業・医療ガス協会 / 岩谷産業株式会社 / 日本エア・リキード株式会社 / 豊田通商株式会社 / 国立大学法人佐賀大学)

水素供給インフラの設置等手続きの簡素化及び設置要件の緩和等を目的に、高圧ガス保安法一般則等の関連法規の整備及び適正化に資する研究開発等を実施する。具体的には以下の内容を実施する。

70MPa スタンドの保安検査基準の整備に関する検討 / 70MPa スタンドの保安検査及び定期自主検査において、その検査方法を明確化する。また、蓄圧器に関する超音波探傷方法の標

準化に資する資料の作成も実施する。そして関連する各検討テーマから得られた知見と共に、水素スタンド安全基準・指針の自主基準案として取りまとめる。

圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討 / 圧縮水素運送自動車用容器について、現在の技術基準では使用が規定されていないガラス球式安全弁が装置可能となる技術基準案を作成する。

水素スタンドの距離規制見直しに関する検討 / 圧縮水素スタンドの離隔距離について、より実態に近い評価方法を検討することで離隔距離を見直した技術基準案を作成する。

公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討 / 公道でのガス欠対応のために、レスキュー車両に搭載可能な簡易水素充填設備の試作品を製作し、現行法規下での充填実証を行う。またディーラー若しくはそれに準ずる場所を特定多数の場所として選定し、そこに超小型水素充填装置を設置する場合の規制及び充填作業関係者の対応を調査する。

圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討 / 圧縮水素運送自動車用容器について、充填・貯蔵・移動時の上限温度を圧縮水素自動車燃料装置用容器と同等の 85 まで認められるように、充填条件や設備、要件などの技術的な安全性の評価・検討を実施する。また、水素トレーラー移動中の車両火災の原因とその対策について検討し、原因究明及び当面の再発防止対策を検討し、関係者・業界等に発信する。

液体水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討 / 海外で主要な方式として普及している液体水素による貯蔵・水素スタンドを市街地に建設出来るようにすると共に、ガソリンスタンドとの併設を可能とするための高圧ガス保安法、消防法、建築基準法に係る技術基準案を作成する。また液化水素ポンプを圧縮水素スタンドに設置可能とするための技術基準案を作成する。

2 種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討 / 1 日の処理能力が 30m³ 未満の小規模製造水素供給設備のガソリンスタンドへの併設、及び市街地への設置を可能とするための高圧ガス保安法に係る技術基準案を作成する。

水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備 別項目「(-2)水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討」欄を参照

温度上昇を防止する装置（散水基準）の見直しに関する検討 / 圧縮水素スタンドの散水設備基準に関して、散水量低減方法の検討結果を反映したより合理的な散水設備の技術基準案を作成する。

水素スタンドにおけるセルフ充填の許容に関する検討 / セルフ充填が可能となる高圧ガス保安法の見直し、及び技術要件案を検討する。

圧縮水素運送自動車用容器の固定方法の追加 / 現行のサドルマウント方式に対して、海外で採用されているネックマウント方式を圧縮水素運送自動車用容器の固定方法に追加するのに必要な措置を講ずる。

有機ハイドライドを用いた水素スタンドの基準整備 / 有機ハイドライド型水素製造装置を既存の水素スタンドと同様の用途地域に設置出来るように、必要な措置を講ずる。

-11：水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討

（一般財団法人石油エネルギー技術センター）

水素ステーション等の高圧ガス設備に関する事故事例を調査し、水素スタンドのリスクに関する現状把握を行い、シビアアクシデントの想定を行う。そしてその対策として、蓄圧器が危険な状態となったときの非常措置マニュアルや危害予防規程に記載すべき項目案を作成する。また、

これらの内容を基準化するための審査過程における対応を行う。具体的には以下の内容を実施する。

水素ステーションの事故に関する調査

- 既存ステーションの事故事例調査
- 高圧ガス設備の災害事例調査

水素ステーションにおけるシビアアクシデントの想定

- 過去の事故事例の整理
- 劣化、ヒューマンエラー等の災害のきっかけとなる事象の想定
- 事故シーケンス（事故の開始と結果）の検討
- 災害拡大イベントツリー等による重大性の高い災害事象の抽出

シビアアクシデント対応策の策定

- ハード面での対策：蓄圧器の破裂を防止すべく、蓄圧機内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案の作成
- ソフト面での対策：保安設備作動時の対応手順、教育訓練や防災訓練など危害予防規程や非常措置マニュアル等に記載すべき項目について検討し、緊急時対応ガイドラインの作成

審査過程における対応

- 例示基準案の審査過程における対応実施

-6：水素ステーション用複合容器の供用中検査手法の研究開発

（千代田化工建設株式会社）

耐圧 82MPa で容量 300 の Type -CFRP 複合容器を対象として、水素ステーションで供用中の保安検査として、非破壊検査技術の一つである AE 法の適用について検証・実用化し、定期的な AE 検査を実施することによって、開放点検をせずに複合容器の健全性の確認を可能とする技術の開発を行う。そして、本研究開発成果を高圧ガス保安法 保安検査基準および定期自主検査指針の制定に繋げると共に水素ステーションの普及、安全安心な運用に寄与する。具体的には以下の内容を実施する。

アルミ合金の疲労試験時における AE 発生挙動調査

アルミ合金の水中疲労試験時における AE 発生挙動調査

CFRP の破壊時の AE 発生挙動調査

Type -CFRP 高圧タンクの疲労破壊試験時の AE 発生挙動調査

実水素ステーションでの実証試験

-2：水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発

（一般財団法人石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、国立大学法人九州大学）

水素ステーションのコスト低減に繋がる可能性があって、かつ機能維持に必要な汎用金属材料（例えば、SUS304、SUS310S、SUS316、SUH660、Cr-Mo 鋼、Ni-Cr-Mo 鋼、銅系材料、アルミニウム系材料など）について、水素ガス中での挙動の解明及び評価試験方法の検討を行い、水素の影響を受ける材料の場合は、その評価方法を確立する。

高圧水素が流通する構成機器の使用条件に応じて、検討対象とする鋼材の選定と、水素ガス中での挙動の解明、評価試験方法を確立する。

-4：複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発（一般財団法人石油エネルギー技術センター、

高圧ガス保安協会、国立大学法人東京大学)

複合圧力容器蓄圧器においては、その評価方法と実使用条件が大きく異なるものがあり、その評価方法のさらなる高度化・複合圧力容器蓄圧器の疲労設計方法のさらなる高度化などが望まれている。そこで、水素ステーション用複合圧力容器蓄圧器に係る基準整備等のため、複合圧力容器蓄圧器の評価方法の高度化、CFRP の評価方法の高度化、複合圧力容器蓄圧器の疲労設計方法の高度化、複合圧力容器蓄圧器の保安検査方法に関する検討の研究開発を行う。これにより、複合圧力容器蓄圧器の安全性を確保したうえで長寿命化、低コスト化を図る。

-3：燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発

(一般財団法人金属系材料研究開発センター、株式会社日本製鋼所、新日鐵住金株式会社(共同実施：新日鐵住金ステンレス株式会社、愛知製鋼株式会社、国立研究開発法人物質・材料研究機構)

燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大を目的に、鋼材の材料評価データの取得と使用法の確立の検討を行うと共に、より広い温度範囲の材料評価技術等を確立し、必要なデータを取得して使用するために必要な技術基準の整備につなげるための検討を行う。特に、主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材拡大のための Cr-Mo 鋼を中心とした金属材料の開発を行うとともに、主として蓄圧器周辺機器(配管・バルブ等)に適用される使用可能鋼材拡大のためのステンレス鋼を中心とした金属材料の開発の検討を行い、それらの高圧水素下における強度、靱性、疲労特性等の材料評価データを水素脆化機構の解明と評価法の開発を平行して進めながら取得し、その耐水素性に応じた使用方法を確立するための検討を実施する。

-5：自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発

(一般財団法人日本自動車研究所、国立大学法人茨城大学、株式会社 UACJ、日本軽金属株式会社、株式会社神戸製鋼所、サムテック株式会社)

FCV に搭載される高圧水素容器について、(1)FCV 用圧縮水素容器に関する現行規制(KHK S 0128：70MPa 圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準/2013年5月15日施行)についての残存課題(プラスチックライナーの劣化調査)の解決、(2)国連基準 HFCV GTR13 Phase1 の審議において、データが無いことで適正な国内基準として受入れられないことを理由に、容器の破裂圧力などについての審議を日本が Phase2 に先送りさせた問題の解決、(3)自動車用圧縮水素容器のコスト削減のためのアルミニウムなどの非鉄金属材料の性能要件化、に向けた技術開発を実施する。具体的には以下の内容を実施する。

自動車用圧縮水素容器の安全性評価

HFCV GTR Phase2 の審議を日本主導で進めるべく国内基準整備および国際基準調和に資するデータを取得する。

国内基準の適正化および国際基準調和

国連基準と国内規制の調和を進める国際基準調和活動では、国内審議を推進し、国際会議の対応を行い、国連の 98 年合意に基づき HFCV GTR Phase2 の国内導入を行う。また、関連する国際標準化活動を実施し、国内規制、HFCV GTR Phase2 等の基準との整合を図る。必要に応じ、関連する国際会議へ専門家を派遣する。

アルミニウム系材料の材料評価および試験法開発

本項目では、自動車用圧縮水素容器及びこれに関連するアルミニウム材料の基準整備・国際基準調和のための審議に必要な材料データを取得する。これまでの例示基準で指定されてきた 6061 は、データよりも他の容器での使用実績で指定されてきたように考えられる。

ここでは、容器全体および関連材料の低コスト化を達成するために、従来の個別材料での技術基準化とは別に性能要件化を目指し、必要な技術開発を行う。

-7：水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発

(一般社団法人水素供給利用技術協会(研究分室：岩谷産業株式会社、研究分担任：JXTG エネルギー株式会社、出光興産株式会社、大阪ガス株式会社、大陽日酸株式会社、東京ガス株式会社、東邦ガス株式会社、一般財団法人エンジニアリング協会)、株式会社住化分析センター、一般財団法人日本自動車研究所)

水素ステーションにおいてFCVの要求する適正な品質の水素充填を実施するためには、ISO国際規格で定められた水素純度や不純物純度を満たす水素品質であることが必要である。しかしながらISO国際規格ISO14687-2には、水素品質測定の詳細規定や、測定頻度規定が無いため、適切な水素品質管理を実施するためにはこれらを規定した水素品質管理ガイドラインの作成が必要である。ガイドライン案は、基本的に、水素の原料や製造法毎に混入可能性のある不純物を検討し、ISO基準の項目間の相関を踏まえて、管理すべき不純物の項目と品質管理頻度等を定める。またFCVは国際商品でもあるため、FCVがどの国でも同じ品質でサービスを受けることができるように、国際規格、国際標準化に関する技術検討を実施する。具体的には以下の内容を実施する。

(1) 適正かつ安価・簡便な供給水素の品質管理方法の研究開発

水素ステーションにおけるFCVへの水素供給を適正かつ安価・簡便に実施するため、水素品質管理の運用ガイドライン案を策定し、業界団体(FCCJ等)へ提言を行なっていく。簡易分析装置は1台で8成分(一酸化炭素、二酸化炭素、全炭化水素、硫黄化合物、アンモニア、水分、酸素、窒素)のガス分析をISO規定値で分析実施できるシステムを開発する。

上記は当初契約期間(平成25~27年度)の目標であるが、これまでの研究開発の成果を踏まえて、簡易分析装置1台でISOで規定された12成分全ての分析を実施できるシステム開発を目指して、平成28~29年度の事業延長をおこない、以下の課題とした。

水素品質管理運用ガイドラインの改定版を策定する。

高圧水素ガス試料採取容器の検証に於いて、適正で簡便・安価な試料容器・方法を確立。

低圧水素ガス試料採取容器の検証及び簡易分析装置の開発主要について、

ISO8成分を対象に、分析コスト(現行200万円の1/2)、

分析時間(現行120時間の1/10)を達成する。

微粒子捕捉用フィルタの検討について、フィルタの仕様を確定し、改定ガイドラインを作成する。

水素ステーションでの検証

~の結果確認として、水素ステーションにおける検証を実施する。

新規・画期的な分析装置の検索

国内外の新規分析装置について調査し、簡易分析装置の開発にフィードバックする。

次期ISO改訂に向けた基準値の検討

水素ステーションでの検証結果を蓄積し、水素燃料仕様ISO14687-2の改訂に資する。

(2) 更なる低コストを狙った安価・簡便な分析方法の研究開発

固体捕集サンプリング方式による分析法の開発

水素品質は担保しつつ、簡便で安価な水素品質管理分析を可能とするため、液体捕集していた成分を固体捕集サンプラーを適用し、より小型で取扱い易いサンプリングキットを開発する事で分析費用を1/4以下、分析時間1/5以下を達成する。

現地評価機能を付加したサンプリング方式とその分析法の開発

サンプリングキットにセンサー等を利用して現地分析を可能にし、更なる分析費用と分析時間の短縮を目指し、分析費用1/10を達成する。

-8：燃料電池自動車への水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発

(一般社団法人水素供給利用技術協会、一般財団法人石油エネルギー技術センター、一般財団法人日本自動車研究所、国立大学法人九州大学)

高圧水素容器等の燃料電池自動車の水素貯蔵システムへの水素充填時間の短縮を図りつつ、過充填を防止して、安全かつ適正な水素充填を実現するための技術開発を行う。そして水素充填に係る国内基準類を整備すると共に、それらと整合した形で国際標準化を図る。具体的には以下の内容を実施する。

国内基準類の改正案作成及び制定

HFCV-GTR(水素燃料電池自動車の安全性に関する世界統一基準)に基づき高圧水素容器の基準が改定されることを踏まえ、それに対応するように水素ステーションの技術基準の適正化を図る必要がある。よって容器の能力の範囲内でより多くの水素を迅速かつ安全に充填出来るように、一般高圧ガス保安規則・例示基準並びに自主基準の改正案を作成する。また水素ステーションの充填性能が技術基準に合致する性能を有しているかを確認するガイドラインを策定する。

国際基準と国内基準類の調和、国際連携

充填プロトコルに関して、国際標準化や国際基準調和の観点から非常に影響の大きいSAEでの審議に参画し、日本の充填技術に適合した規格策定を誘導し、併せてISO国際規格への展開を図る。またノズルの氷結に係る課題解決のため、国内の実質的審議を行うISO/TC197(水素技術)WG5(水素充填コネクタ)の国際標準化活動を展開すると共に、SAEの審議にも参加する。

充填技術開発/充填技術検証

水素ステーションで急速かつ安全に水素充填を行うため、水素ガスの供給温度の変化など、商用水素ステーションで発生する事象に対して柔軟に対応出来る自由度の高いプロトコル(FCV用、大容量(FCバス用など)、小容量(二輪車用など))を開発する。また充填シミュレーションの技術的な問題により、現行のプロトコルによる充填には設備や運転に無駄があることから、新たなプロトコル提案に向けてシミュレーションを改良し、実用性確認などの検証及び課題の抽出をHySUTの運営する水素ステーション等を活用して実施する。

充填シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ取得

水素充填に必要な温度・圧力領域で、より精度の高い粘性係数、熱伝導率データを取得することで、現状 $\pm 10 \sim 15\%$ のシミュレーション精度を $\pm 5\%$ に低減する。

-9：燃料電池自動車の水素安全基準等の国際調和に関する研究開発

(一般財団法人日本自動車研究所)

FCVやFC二輪車を取り巻く主な規制は、車輛については道路運送車両法、圧縮水素容器・附属品については高圧ガス保安法で規制されている。今後、普及に伴い車両(圧縮水素容器および附属品を除く)に関わる安全技術の確立や基準・標準の整備、ならびにFCVやFC二輪車の事故後処理や廃車処理などを考慮した安全性確保に関わる知見の拡充が必要となる。具体的には以下の内容を実施する。

FCV の国内規制および国際基準調和に資するデータ取得

GTR No.13(HFCV)では、国内の技術基準には採用されていない試験法が新たに追加された。FCV の車両安全に関連した試験項目としては、自動車用圧縮水素容器の局所火炎暴露試験と衝突試験後の車室内水素濃度計測試験がある。自動車用圧縮水素容器の局所火炎暴露試験では、容器に耐性を持たせる方法と車体側で容器を保護する方法の二種類が選択できる。GTR No.13(HFCV)では、前者の方法が議論の中心となっていたが、HFCV-GTR Phase2 では、後者の方法による車載状態にある容器（以下、車載容器と称する）の局所火炎暴露試験法の議論が進むことから、本事業では、局所火炎暴露試験法の車両への適合性評価を進める必要がある。

また、米国から新たな試験法として提案された衝突試験後の車室内水素濃度計測試験については、これまでの日本の研究により試験の再現性に問題があることが明らかになり、本試験法開発の審議については HFCV-GTR Phase2 で行われることになった。そこで、日本がリーダーシップを発揮して議論を推進させるために、FCV の車両安全に関わる HFCV-GTR Phase2 の策定に資するデータ取得を進めるとともに、国連の 98 年合意に基づいた HFCV-GTR Phase2 の円滑な国内導入を図るためのデータ取得を実施する。

FCV の国際標準化

本事業で得られた試験結果を活用し、HFCV-GTR Phase2 に対して、日本がリーダーシップを発揮して審議を進めるため、一般社団法人日本自動車工業会(JAMA)と協力しながら、HFCV-GTR に影響する ISO/TC22/SC21/WG1(FCV 等の車両安全規格)等を国連基準に調和させるための国際標準化活動を行う。併せて、上記 HFCV-GTR の事前協議の場として有効な SAE(Society of Automotive Engineers：米国自動車技術会)会議にも積極的に参画し、上記 HFCV-GTR との整合を図るための活動を行う。

安全な事故後処理および廃車処理に資するデータ取得

FCV の事故後の安全確保に関しては、JAMA と連携し、衝突・火災事故時に発生する事象を網羅し、適切な対応を実施する上で、新たに評価すべき課題と試験内容の明確化を進めてきた。これらの成果に基づき、本事業では、(1)火災後における容器の健全性確認手法の検討、(2)衝突後における容器の健全性確認手法の検討、(3)容器の脱ガス手法の検討、(4)レスキュー時の安全性に関する検討、(5)事故車両へ安全に接近する手法の検討などを行う。また、FCV の安全な廃車処理の手順を検討するため、廃棄処理作業に関わる水素容器の脱圧方法や穴あけ方法、シュレッダーなどによる容器切断などにおける安全確保のためのデータを、実作業の効率も考慮しながら取得し、FCV の容器クズ化マニュアルの改訂に資するデータを構築する。

FC 二輪車の安全に関するデータ取得

2015 年からの FC 二輪車の市場投入を促進するため、FC 二輪車に係る保安基準の策定、型式認定制度の整備方策について検討することが閣議決定されている。FC 二輪車は UN/ECE/WP29 において、安全の担保を目的とした世界統一技術基準 HFCV GTR No.13 の範囲外になっており、将来の国際基準調和を見据えながら、日本での基準を定める必要がある。具体的には、GTR13 ならびに道路運送車両の保安基準 細目告示別添 100（水素安全）および別添 101（電気安全）を参照し、さらに FC 二輪車の特性を考慮した安全要件を整備する必要がある。

FC 二輪車の安全要件を整備するためには、転倒の可能性が高い FC 二輪車の特性を考慮し、適正な安全要件を検討する必要がある。さらに、二輪車固有の問題である停止時の転倒や走行中の転倒に対する安全性を、FC 二輪車への要件の追加適用の必要性についても検討する必要がある。そこで、本事業では、（一社）日本自動車工業会と連携しながら、FC 二輪車の安全の担保のために必要な安全基準を策定に資するデータを取得することを目的とする。

-10：水素ステーション等機器の国際標準化動向に関する検討

(一般社団法人水素供給利用技術協会、一般財団法人エンジニアリング協会)

2020年以降のFCV及び水素供給インフラの本格普及に向け、国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に関する研究開発、FCV及び水素ステーション用低コスト機器・部品等の研究開発などの事業が進められている。このため水素ステーション等機器の国際標準を審議するISO/TC197(国際標準化機構水素技術専門委員会)において発行されたISO規格およびWG(作業グループ)によるISO規格ドラフトと、国内関連規格・国内技術とを比較することで技術課題の抽出を行い、適切なISO規格の作成することにより、FCV及び水素供給インフラの本格普及及び国際競争力確保に資する。具体的には以下の内容を実施する。

項目A：ISO等国際標準の制定動向調査

水素ステーション機器に関連する国際標準化活動であるISO/TC197等について動向を調査し、制定状況を把握する。

項目B：海外水素ステーション機器及び水素ステーションの設置状況調査

海外の水素ステーション機器及び水素ステーションの設置状況を把握し、普及開始に向けた状況を調査する。

項目C：ISO等国際標準と国内技術等との比較調査

ISO規格およびISO規格ドラフトと国内技術を比較し、技術課題の抽出と国内意見の聴取によって、適切かつ国内での活用円滑化が可能なISO規格化に貢献する。

(2) 研究開発項目 : 「燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」

-5 : 水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発 (委託)

(一般社団法人水素供給利用技術協会、国立大学法人九州大学(再委託:国立大学法人山形大学、国立大学法人大阪大学)、一般財団法人化学物質評価研究機構、横浜ゴム株式会社、NOK株式会社、日本合成化学工業株式会社)

水素ステーションの常用圧力である 82MPa に対応した樹脂製充填ホースとシールシステムの実用化技術開発を行うとともに、これらの実績データや材料の基礎評価結果を踏まえ、87.5MPa 対応の試作品の開発を行う。また、樹脂材料の基礎評価結果を活用し、樹脂製の高圧水素用ホースとシールシステムの健全性を評価するための試験の種類、試験条件、評価基準等、水素ステーションでの使用に関する評価基準策定に資する資料作りを行う。具体的には以下の内容を実施する。

FCV 普及初期の 1 年間ノーメンテナンスを達成する 87.5MPa(-40)に対応した高圧水素用樹脂製ホースの開発

FCV 普及初期の 1 年間ノーメンテナンスを達成する 87.5MPa(-40)に対応した高圧水素ガスシールシステムの開発

JPEC-S 化に向けた 87.5MPa(-40)高圧水素用ホースの信頼性評価基準案の作成

87.5MPa(-40)高圧水素ガスシールシステムの信頼性評価基準の検討

-6 : 高圧水素機器用ホース等システム部材の研究開発 (委託)

(株式会社ブリヂストン、国立大学法人九州大学)

樹脂材料の水素システム部材への適用拡大を意識し、高圧水素曝露による樹脂の物性変化を系統的に整理しつつ、国際基準の FCV に対応した水素ステーションの常用圧力である 87.5MPa, 実使用回数 6,600 回を見込める仕様に対応した水素ディスペンサーホースの実用化に必要な材料の開発を行う。具体的には以下の内容を実施する。

樹脂への水素影響の確認

- (1) 故障メカニズム明確化と評価法構築

- (2) メカニズムに基づいた材料提案

87.5MPa 条件での評価

-11 : 水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発 (委託)

(一般財団法人水素供給利用技術協会、株式会社タツノ、岩谷産業株式会社、国立研究開発法人産業技術総合研究所)

FCV および水素供給インフラの普及開始及び拡大に備え、水素計量方法や水素ディスペンサーの評価方法の基準化・規格化を段階的に進め、取引計量器化(計量法第 2 条に定める特定計量器化)に備える必要がある。そのため、トレーサビリティを確保した水素計量をシステムの確立を目的として、高圧水素計量技術の開発と技術検証として以下を行った。

重量法およびマスターメーター法による水素計量に係る水素計量ガイドライン案の策定

重量法による評価方法の確立(検証実験及びガイドラインへの反映)

マスターメーター法による評価方法の確立

-1 CFD 解析による臨界ノズル内流動特性の解明

-2 高圧水素物性の解明

代替流体による校正方法(出荷前検査)の検証、基準化

-10：燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する研究開発（委託）

（国立大学法人九州大学、日本重化学工業株式会社、国立大学法人東北大学多元物質科学研究所、株式会社アツミテック）

2014年(平成26年)に販売開始された燃料電池自動車の車載水素貯蔵技術としては、「高圧容器システム」（70MPaの高圧水素を容器に充填するシステム）が採用された。しかしながら、燃料電池自動車の本格普及に向けては、「高圧容器システム」に比べて軽量、コンパクトで、低コストなどの現状技術に対して優位性のある「水素貯蔵材料容器システム」（水素吸蔵合金等の水素貯蔵材料を容器に組み込んだシステム）の実用化が必要とされている。

そのため、2014年度（平成24年度）において、NEDOでは「燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する調査研究事業」を推進して、燃料電池自動車への実用化を目指した水素貯蔵材料の課題抽出、研究の方向性の策定などを行った。本研究開発は、その成果に基づき、燃料電池自動車へ搭載するための実用化候補材料に関して

金属系水素貯蔵材料の研究開発

吸着系水素貯蔵材料の研究開発

軽量水素貯蔵材料の研究開発（Mg系 / Ti系固溶体）

にブレークダウンして、水素5kgを搭載した場合、質量貯蔵密度6質量%以上、容器体積100L以下、コスト30~50万円以下、かつ燃料電池自動車の低温起動や全開加速に適合する水素放出性能を有する水素貯蔵材料容器システムを開発する。

-7：多給系フィラメントワインディングによる複合容器の設計高度化に関する研究開発（委託）

（国立大学法人東京大学 生産技術研究所、帝人株式会社、村田機械株式会社）

素材のコストを勘案すれば、蓄圧器のコストダウンには余剰CFRPを減らすことが最も効果的である。CFRPの強度をフルに活用することでその使用量を低減でき、低コスト化が可能であると考えられる。その効果が顕著に現れるのが、炭素繊維強度により支配される容器の破裂強度の確保が設計要件となるタイプ4容器である。炭素繊維の強度をフルに活用するためには、炭素繊維への負荷の偏りをできるだけ小さくすることが有効であるため、炭素繊維への負荷の偏りを小さくすることが可能な多給系フィラメントワインディング製造技術を活用し、炭素繊維使用量を大幅に低減した革新的なタイプ4容器の開発を実施する。

その最適設計の実現可能性を検証し、超軽量タイプ4蓄圧器を具現化するために、以下の研究開発を実施する。

メソスケールシミュレーションに基づく最適設計手法の開発

メソスケールモデル作成技術を開発し、強度予測技術を確立したうえでメソスケールパラメータを設計変数とする最適化アルゴリズムを構築する。

多給系フィラメントワインディング技術の開発

最適設計を実現するワインディング技術の開発と機械への実装を行い、容器破裂強度を低下させないための製造誤差に関する制約を満足させる多給系フィラメントワインディング制御技術まで開発する。

多給系フィラメントワインディングにより製造された容器の製造誤差評価技術の開発

単給糸フィラメントワインディングにより製造された容器と多給糸フィラメントワインディングにより製造された容器の破裂試験を通じて、製造誤差評価手法と誤差抑制手法を開発する。

多給糸フィラメントワインディング製法による最適設計容器の実証
常用圧力 45MPa、内容積 30L クラスのタイプ 4 容器の最適設計と製作を実施し、既往の単給糸フィラメントワインディング製法によるタイプ 3 容器に比して十分な軽量化（35%の炭素繊維の削減）が可能であることを実証する。

-3：タイプ 2 複合容器蓄圧器の研究開発（1/2 共同研究）

（J F E スチール株式会社、J F E コンテイナー株式会社、三菱ケミカル株式会社）

70MPa 水素ステーション用蓄圧器のコスト低減のために、大量生産型のシームレス鋼管を Type2 複合容器蓄圧器ライナとして用いた低コスト型スチールライナ複合容器蓄圧器を開発、実用化する。

第 1 目標：汎用 CFRP を適用した低コスト型 Type2 蓄圧器の開発。

早期市場導入を目指し、容器性能は公募目標とする。使用温度：常温～40℃、常用圧力：70MPa 以上、耐久サイクル：5 万回以上。

第 2 目標：高性能 CFRP を適用した低コスト高性能型 Type2 蓄圧器の開発

2018 年度以降の市場導入を目指し、容器性能は、提案者の自主目標とする。

常用圧力：82MPa、耐久サイクル：10 万回以上

具体的には以下の内容を実施する。

Type2 容器用スチールライナおよびプラグの開発および材料データ取得

高圧水素環境下材料特性の推定手法の確立

スチールライナ複合容器蓄圧器の開発

スチールライナ複合容器蓄圧器の設計の妥当性の検証

低コスト Type2 容器開発に資する炭素繊維の提供

Type2 容器用炭素繊維の認定に資するデータ取得及び疲労寿命予測

小型 Type2 容器による要素技術開発（フィラメントワインディング加工）

早期の市場導入を前提とした中型 Type2 容器開発（フィラメントワインディング加工）

ガイドラインおよび技術基準確立への貢献

-4：タイプ 2 複合容器蓄圧器の研究開発（1/2 共同研究）

（株式会社日本製鋼所）

タイプ 2 複合容器蓄圧器は高強度の鋼製ライナーを使用することにより高価な炭素繊維強化プラスチック（CFRP）層を薄くできるため低コスト化が可能であるが、鋼製ライナーの水素脆化や FRP 施工に課題があるため技術上の規準が未整備である。このため低コストかつ長寿命で信頼性の高いタイプ 2 複合容器蓄圧器の開発をおこなう。

具体的には以下の内容を実施する。

低コスト化のための金属ライナー等の材料選定と安全性評価

「水素利用技術研究開発事業/燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調

和・国際標準化に関する研究開発/燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の

拡大に関する研究開発」（鋼種拡大事業）と連携してライナー素材の材料選定評価を実施し、耐水素脆

性に優れる Cr-Mo 鋼ライナーを探索、適用する。

鏡部構造等の最適化構造の検討

最適な鏡部形状などを検証しライナー試作成型を実施して設計通りのライナー形状が製造可能か確認する。CFRP 施工については、最適な硬化条件を縮小試験体による試験等で明らかにし、実機製品サイズのライナーを用いた試作により最適化を図る。

複合容器蓄圧器試作および性能評価

実機サイズの複合容器蓄圧器を試作して耐圧試験により鏡部および胴部のひずみ測定を実施して、ライナーとCFRP層で設計通り荷重が分担されているか確認する。鋼製ライナーの検査技術については、鋼製ライナー内面の欠陥検出限界サイズを小さくできれば経済的な検査周期で制限なく使用できるタイプ2蓄圧器となることから、低コストで内面検査が可能なライナーの製造方法を検討するとともに、非破壊検査による欠陥検出限界サイズを実証する。

複合容器基準化事業との連携

国内にタイプ2複合容器蓄圧器の設計、製作を行うための技術基準は無いことから、高圧ガス保安協会(KHK)の特認を取得する必要がある。そのため実体サイズの複合容器蓄圧器を用い設計確認試験を実施して特認取得のためのデータ採取を完了させる。

-15：スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発（1/2 共同研究）

（JFE スチール株式会社、JFE コンテナ株式会社）

ライナーを大量生産されている安価なシームレス鋼管を用いて製造し、そのライナーに圧力保持させ、耐圧性能および疲労特性の不足分を少量のCFRPで補う構造とするスチール製ライナーCFRP複合容器蓄圧器を開発する。具体的には下記を行う。

スチールライナーの寿命検討

簡易シミュレーションによる蓄圧器の特性予測

スチールライナーCFRP複合蓄圧器の開発

複合蓄圧器の設計の妥当性検証

特認取得への取組

規制見直しへの取組

-14：アルミ製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発（1/2 共同研究）

（サムテック株式会社、JXTG エネルギー株式会社）

アルミニウム合金製(AL)ライナーを用いた炭素繊維強化プラスチック(CFRP)容器において、アルミライナーの内面処理や新規アルミライナー材の適用により、使用回数の長寿命化を図る。また、あらかじめ樹脂を炭素繊維(CF)に含浸させたトウプリプレグ(TPP)を用いた加熱フィラメントワインディング(FW)法の技術を量産化に適用し、コスト削減を図るとともに、革新的な新設計により更なるコスト削減を目指す（製造コストを1.5万円/L、サイクル使用回数10万回以上を達成する）。

-1：樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発（1/2 共同研究）

（八千代工業株式会社、東邦テナックス株式会社）

水素ステーションの建設コストの設備費に占める比率の高い蓄圧器の低コスト化を目指し、樹脂製ライナーに炭素繊維強化プラスチック（CFRP）をフィラメントワインディング（FW）法で巻回ることにより製造する樹脂製ライナー複合容器（タイプ4）から成る蓄圧器の大型化に向けた実用化技術開発を行う。具体的には以下の内容を実施する。

（1）タイプ4容器の大型化 F/S / 小型複合容器の試作製造指針の決定をする。

タイプ4容器の大型化フィージビリティスタディ

FW強度 CAE 相関取り / 大型複合容器の FW 層構成の決定をする。

ライナー構造 / 製法検討 / 大型化を踏まえた小型複合容器のライナー試作方案を決定し、最終的な大型ライナー製法及び口金構造を決定する。

検討用試作品の製作 / 30L クラス小型複合容器を試作し製作課題の抽出を終了後、120L クラスの試作で更なる製作課題を抽出する。

（2）樹脂ライナー材料の評価

樹脂ライナー材料の評価 / 小型複合容器の試作向け材料の仮決定および蓄圧器用途に適したライナー材料の絞り込み及び耐久保証方法（クライテリア）の仮設定をし、大型容器の試作向け材料の決定をする。

（3）大型容器（サブスケール含む）における性能評価

実水素使用の性能試験 / 水素影響に関する課題抽出終了と対策方案の決定をする。

大型容器（サブスケール含む）における性能評価

（4）蓄圧器最適 CF の開発

最適物性 CF の開発 / CAE 解析による必要 CF 特性の把握をし、改良 CF による、CF 使用量低減 10%以上（現行 CF 対比）を達成する。

サイズ剤の開発 / 擦過性、ストランド形態の安定化に関する評価方法の確立をし、CF 強度発現率の向上を実現するサイズ剤の選定をする。

-2：樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発（1/2 共同研究）

（中国工業株式会社）

小型、中型複合容器において、設計圧力 106MPa（破裂圧力 239MPa）、サイクル使用回数 10 万回以上等の水素ステーション用複合容器蓄圧器ガイドラインの規定を満たす高圧水素用 Type 4 複合容器蓄圧器の製造指針を構築するとともに、水素ステーションにおける実証に向けて、大型 Type 4 複合容器蓄圧器の大臣特認に必要なデータ取得を行い、大臣特認を取得する。

具体的には以下の内容を実施する。

複合容器蓄圧器の規制動向の把握と規定への対応方法の決定

大型容器を製作するためのフィージビリティスタディの実施（課題の抽出と対策案）

小型複合容器の試作と評価

中型 Type 4 複合容器（最終目標の複合容器蓄圧器と同内径）の試作と評価

大型高圧水素用 Type 4 複合容器蓄圧器の製造指針の構築

大型 Type 4 複合容器の試作と評価

水素ステーションへの設置可能要件となる大臣特認取得に必要な性能を満たす大型 Type4 複合容器蓄圧器であることを、技術データをもって証明する。

水素透過や接合部分の基礎的な評価に関しては、「水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発」と連携して進める。

-16：樹脂製ライナーの低コスト複合容器蓄圧器の開発（1/2 共同研究）

（丸八株式会社、株式会社巴商会）

設計耐圧 106MPa、サイクル使用回数：10 万回以上の水素ステーション用複合容器蓄圧器ガイドライン（平成 25 年 6 月時点）の規定を満たす 30L～150L 級大型高圧水素用タイプ 4 複合容器蓄圧器の製造指針を平成 27 年度末までに構築し、平成 29 年度末までに 500L 級大型複合容器蓄圧器の製造指針を確立する。そのため下記の開発項目を定める。

- （1）30L～150L 級水素ステーション用タイプ 4・複合容器蓄圧器の設計及び解析
樹脂ライナー製タイプ 4 複合容器蓄圧器の信頼性安全性を担保した設計解析の実証
- （2）30L～150L 級タイプ 4 複合容器蓄圧器用樹脂ライナーの試作開発
30L～150L 級（将来 500L 級を視野に）樹脂ライナー製造技術の確立。
- （3）30L～150L 級タイプ 4 複合容器蓄圧器の試作開発
設計耐圧 106MPa、圧力サイクル回数 10 万回の 30L～150L 級複合容器蓄圧器の製造技術確立
- （4）タイプ 4 複合容器蓄圧器等の KHK 認証取得要件の調査及び複合容器蓄圧器の市場調査
タイプ 4 複合容器蓄圧器の法的整備がまだである為、容器認可取得の為の KHK の特認要件の調査と複合容器蓄圧器及び輸送システム、水素ステーション等の市場調査

-12：有機ケミカルハイドライド法脱水素設備の水素ステーション用小型化・低コスト化（1/2 助成）

（千代田化工建設株式会社）

有機ケミカルハイドライド法（メチルシクロヘキサンを適用）水素ステーションによる FCV への水素供給に向けた、主たる要素技術である水素ステーション用有機ケミカルハイドライド法脱水素設備の技術開発を行う。具体的には以下の内容を実施する。

水素ステーション用脱水素設備のシステムの最適化、およびコンパクト化

ガソリンスタンドに併設する必要から、ガソリンスタンド内に設置できるようコンパクトな設備が求められる。また、脱水素設備は、高圧ガス保安法の高圧ガス設備適用を避けたシステムとする必要がある。

FCV 用水素燃料仕様（IS014687-2）をクリアする精製技術の開発

有機ケミカルハイドライド法では、水素中にトルエン等の炭化水素が含まれるが、C1 換算で 2ppm 以下（トルエンでは 2/7ppm 以下）に精製する必要がある。

脱水素設備の低コスト化

他の水素ステーション（オフサイト、およびオンサイトを含む）での水素供給コストと同等またはそれ以下とするための、低コスト化が必要である。

-8：オンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の開発（1/2 助成）

（大日機械工業株式会社）

複合型改質器（水蒸気改質器、CO 転化器及び蒸気発生器を高度に集積一体化した改質器）を搭載することで水素製造装置を構成する機器類を大幅に削減したオンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の研究開発を行う。開発するオンサイト型水素ステーション用水素製造装置の価格は 5,000 万円（100 Nm³/h）以下に抑える。

基本設計及び改質器反応管の詳細設計の結果に基き、複合型改質器及び水素製造装置の詳細設計、複合型改質器を搭載した水素製造装置の製作、水素製造装置の実証試験、複合型改質器及び水素製造装置の運転評価を実施する。

-9：複合型高圧水素圧縮機の研究開発（1/2 助成）

（株式会社サクシヨン瓦斯機関製作所）

高圧小容量に適したダイヤフラム式と低圧大容量に適した無給油ピストン式を組み合わせること
で、1台で燃料電池自動車の水素充填に必要な圧力まで無理なく昇圧することができ、低コス
ト、省スペースそして省電力を実現する「複合型高圧水素圧縮機」を開発する。吸入圧力
0.4MPa 吐出圧力 82MPa、容量 340 Nm³/h、消費電力 85 kW、当初 5 年間目標コスト 7,500 万円、
その後目標コスト 6,500 万円とするとして開始した。

-13：低コスト・プレクーラーの研究開発（1/2 助成）

（株式会社巴商会）

シェルアンドコイル型熱交換器を用いたプレクーラシステムを製作する。また、プレクーラーの
最適化設計（イニシャルコスト・ランニングコスト）、非揮発性プラインの採用検討を実施する
ことで、低コスト・プレクーラシステムを開発する。(量産時:2,400 万円)

(3) 研究開発項目：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」

- 1：水素ステーション高度安全・安心技術開発

(一般財団法人水素供給利用技術協会)

水素ステーションにおける安全・安心を目指し、水素ステーションのトラブル事例データベースの構築および水素ステーショントレーニングセンター構想案(教育マニュアルの作成を含む)の検討を進めるとともに、一層安心して受け入れられる安全・安心な次世代水素ステーションに必要な技術開発を検討するものである。具体的には以下の内容を実施する。

水素ステーション高度安全運用技術の開発

2015年の普及開始期に向けた水素ステーションの運用にあつては、社会受容性確保の観点からも、事業者は一層の安全への配慮が必要である。このため、トラブルの未然防止や発生時の迅速な対応を効率的に実施するための方法の確立を図る。具体的には、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確立する。また、これまでの水素ステーションの運用上得られた知見や、今後建設される商用ステーションにおける情報をデータベース化するとともに、これを日々の運用やメンテナンスに活用するツールや、この情報も活用した運用のための人材教育・育成手法のツール等を開発する。更に業界自主基準の制定に向けたガイドライン案を策定する。

- ・ トラブル事例データベース化の検討
- ・ 人材教育・育成手法の開発
- ・ トータル運用技術の開発

次世代水素ステーション高度安全・安心技術開発

2025年の本格的な普及拡大に向け、現在取り組んでいる規制の見直しや、海外の状況も踏まえて、低コスト且つ高度に安全を確保した次世代水素ステーションのコンセプト策定と、これを実現するために必要な技術開発について、安全性に係る知識体系の確立も行いながら、現行規制の見直しに必要な研究開発も含めて総合的に実施する。

なお実施にあたっては、フィージビリティスタディを通じて技術開発課題の抽出と目標設定を行ったうえで、技術開発を実施する。

- 2：高圧水素ガス用高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接継手に関する研究開発

(エア・リキード・ラボラトリーズ株式会社(再委託：国立大学法人九州大学))

高圧水素ガス配管用に高窒素ステンレス鋼の使用と溶接継手の導入が期待されている。窒素は材料強度と耐水素脆化特性を向上させる重要な元素であるが、溶接熱によって窒素放出または窒素の存在状態変化が生じることが懸念される。本研究開発は、大きく分けて以下の3つの研究開発項目からなり、これらの研究開発成果を活用することで高圧水素ガス配管への高窒素高強度ステンレス鋼溶接継手導入を目指す。

- ・ 高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接技術開発
- ・ 溶接金属の金属組織評価
- ・ 溶接部の水素脆化評価

- 3：水素ステーションにおける雷被害対応技術の研究開発

(佐賀県、有限会社鳥栖環境開発総合センター、一般社団法人日本雷保護システム工業会)

直撃雷や雷サージに対する人的被害や水素ステーションに使用されている計器類への被害について発生リスクを検証し、水素ステーション固有の雷被害リスクに対し、被害防止又は軽減に向けた方策について研究を行い、「水素ステーションにおける雷害対策ガイドライン(案)」を策定する。

-4：水晶振動子を利用した信頼性向上が期待できる水素センサの研究開発

(学校法人早稲田大学、株式会社坂本電機製作所、KOA 株式会社)

2025 年の水素ステーションの本格普及期に不可欠な技術要素である高度な次世代水素ガスセンサの開発を目的として、白金触媒と水晶振動子を組み合わせることにより従来の水素センサの性能目標を達成し、その上で MEMS (Micro electro mechanical systems) 技術を応用することで白金の使用量を低減することにより価格低下を実現する。更にセンサの故障や性能劣化が随時監視できる自己故障診断機能を新たに開発し、その機能を付加することで水素センサの信頼性向上及び、維持コスト削減を実現する。

具体的には以下について研究開発を行う。

- 水素センサの要求仕様と評価法の調査
- センサの高感度化と製作プロセスの確立
- シミュレーション技術の開発
- 水素センサ評価装置の改良
- 水素ステーションの計装における水素センサの位置付け調査
- センサ駆動回路の開発
- 模擬フィールド試験
- 水素センサ実用化における法規に関する調査
- センサパッケージの開発
- 検出部ケースの開発
- センサシステムの開発と評価
- 防爆構造の検討

-5：光学式水素ガスセンサおよび水素ガスリークディテクタの研究開発

(株式会社四国総合研究所、国立大学法人千葉大学)

水素漏洩時に瞬時に応答し、アクティブな水素漏洩位置探査を実現する新たな水素ガス検知器の次世代水素ステーションへの適用を目指し、レーザー光の照射により水素分子から生じる固有波長の散乱光(ラマン散乱光)を捉える光学的計測手法を用いた水素ガス検知装置を開発する。具体的には以下の内容を実施する。

光学式水素ガスセンサの研究開発

水素ガスリークディテクタの研究開発(近接型 / 遠隔型)

-6：水素火災可視化機能を有する監視システムの研究開発

(株式会社四国総合研究所)

水素ステーションの運用におけるトラブルの未然防止や、トラブル発生時の迅速な対応を効率的に実施するために、視認できない水素火災を可視化することのできる防爆仕様の装置を開発することにより、水素火災検知機能を有する監視システム、および高性能携帯型水素火災可視化装置を提供する。具体的には以下の内容を実施する。

可搬型水素火災可視化装置へのニーズ調査、目標仕様の決定、装置の小型・高性能化、監視システムの開発、防爆対策、フィールド試験、製品コスト試算。

-7：電気化学式水素ポンプに係る研究開発

（東レ株式会社）

水素ステーションに導入されている機械式圧縮機は効率・コストに加え、騒音やサイズの大きさといった水素ステーション拡充の障壁となる本質的に解決できない課題を抱える。

上記の課題を解決し得る、低騒音、省スペースな電気化学式水素圧縮機（以下、電気化学式水素ポンプまたは PEM ポンプと略する）に係る技術開発を通じて課題を抽出し、水素ステーションの社会的な受容性向上に資することを目的とする。具体的には以下の内容を実施する。

電気化学式水素ポンプ用電解質膜・触媒設計

電気化学式水素ポンプの運転条件設計

電気化学式水素ポンプ用膜電極接合体・セル設計

現行水素ステーションに適用するための課題抽出と解決策の検討

電気化学式水素ポンプの調査研究

-8：水素社会構築に向けた社会受容性調査

（みずほ情報総研株式会社）

2025 年の FCV・水素ステーションの普及拡大に向けて、一般ユーザーの意識調査を行い、特に水素供給インフラ（水素ステーション）に対する一般市民の認識・受容性に着目して一般市民の現状の意識を把握するとともに、社会受容性向上のための提案を行う。

具体的には以下の内容を実施する。

社会受容性に関する仮説の抽出

社会受容性に関する仮説の検証

技術開発課題の明確化とコミュニケーションへの示唆の抽出

-9：実環境下における安全運用技術の研究開発

（一般社団法人 水素供給利用技術協会）

今後の水素ステーションの本格普及に向け実環境下での実証試験の重要性が高まることが予想されるため、商用ステーションの標準的な仕様を備えた「水素技術センター」を整備し、水素ステーション全体または部品・構成機器の一層の安全・安心に資する技術開発、並びに水素ステーションの運転・管理手法の更なる高度化をはかる技術開発を行う。

具体的には以下の内容を実施する。

水素技術センター整備

実使用環境下における評価技術の実証

セルフ対応関連技術の実証

低コストステーション技術の安全性検討

-10：四大都市圏から全国普及に向けた水素ネットワークの技術課題に関する検討

（一般財団法人九州環境管理協会）

水素ステーション普及を早期に実現させるために、FCV の将来における政府の導入目標台数に基づき、新規水素ステーション建設に係る課題の改善策として既存給油所（既存 SS）を活用し、水素の需要、供給の両面から因子間の関連性を考慮して具体的な水素ステーションの適正

配置をモデル化・設定し、その実現にあたって解決すべき技術的課題と、それに関連する因子および関連性を抽出する。

具体的には我が国の自動車の生産拠点の一つである「九州地域」を調査フィールドとして、以下の内容を実施する。

対象地域特性の把握（水素ネットワークに関する現状調査）

水素ステーションの適正配置とFCV普及シナリオの検討

水素ステーション普及にあたっての給油所活用における課題抽出（地域普及、全国普及に向けた技術的課題の抽出）

課題に係る因子間の関連性の検討

課題解決の方向性の検討

(4) 研究開発項目 : 「CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する研究」

-1: 海外の政策・市場・研究開発動向に関する調査研究

(株式会社テクバ)

水素インフラの市場導入及び普及のためには、国内外における政策・市場・研究開発動向の調査が必要である。また、CO2フリー水素への関心が高まってきており、その実現のため、CO2フリー水素の製造、輸送に係る技術動向等について調査を進め、水素のCO2フリー化実現に向けたシナリオを構築するとともに、構築したシナリオに沿って研究開発等を進めることが重要である。そのため、海外の状況のタイムリーな把握と、その譲歩展開、さらに我が国からの情報発信がますます重要になってきている。この目的のために特に、以下のことを実施する。

- ・ IEA/HIA(水素実施協定)と IEA/AFCIA(燃料電池実施協定)、IPHE の活動等を通じ、海外の政策・市場・研究開発動向を把握し、収集した情報を発信する。
- ・ 重要な国際会議体等について、参加するだけに留まらずその活動を日本が主体的にリードする。

-2: 有機ハイドライドを用いたロシアからのCO2フリー水素導入に関する調査研究

(千代田化工建設株式会社)

ロシアのうち、地理的に日本に近いシベリアにて再生可能エネルギーを1次エネルギーとして水電解で水素を製造し、千代田化工建設が開発した有機ハイドライド技術を用いて日本へ輸送するケースについて、以下の項目について調査研究を行う。

エネルギー・環境政策の調査 電力事業の調査 再エネ賦存量の調査 港湾の調査
水電解装置の調査 案件の絞り込み フィージビリティの調査 水素利用方法の調査
実証プロジェクトの検討 シナリオ構築と課題抽出

2.2 研究開発の実施体制

本事業は、四つの研究開発項目で構成し、水素社会構築に向け、規制改革会議で閣議決定された規制見直し項目の解決や国際基準、標準に資する「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」、水素ステーションで利用されるシステムの低コスト化に資する「燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」、大量普及時代に向け、次世代技術の開発や一層の安全・安心に資する「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」、CO₂フリー水素による社会構築を達成するための国内外における政策・市場・研究開発動向の調査等に資する「CO₂フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する研究」とした。これらは最終目標に向け、要素技術開発の各テーマで個々の開発目標を設定し実施している。各テーマの成果を確実にするために、それぞれ外部識者が参加するWG制度を整え、定期的に開催する仕組みとしており、同時に研究開発体制が変化するニーズに対応できるよう微調整等も行えるようにした。例えば「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」では、平成25年6月、平成27年6月の閣議決定によりFCV、水素インフラに関する規制見直し項目が追加されたが、事業に関連するテーマについては閣議決定されたスケジュールに合わせて事業内容も変更するなど柔軟に対応している。

本事業で採択した下記に記載の実施者は各テーマの先駆的な実施者で技術力もあり、また将来の実用化に向けた企業規模を有する実施者である。これらの事業者は平成25年度開始時だけでなく、事業の進捗に合わせて必要なニーズを満たすために、数回の追加公募等を経て採択した。

また本事業は、範囲が非常に広く、基礎研究から、成果の産業化に至るまで、指導・助言を行う必要がある。そのため、アドバイザを2名設置し、それぞれ以下の分担にて事業関係者に対し、指導・助言を行うこととした。

成果の産業化、コスト評価等全般の統括指導

水素物性・材料評価等の基礎・基盤領域研究全般の統括指導

については「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」のPL経験者である九州大学尾上教授が行い、については、水素物性・材料評価等基礎研究に知見がある九州大学水素材料先端科学研究センター(HYDROGENIUS)の杉村センター長が行った。

実施体制の全体図

「水素利用技術研究開発事業」に係る実施体制



2.3 研究の運営管理

研究開発の進捗管理の妥当性

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO は、経済産業省及び PL や研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、事業の目的及び目標に照らし適切な運営管理を実施する。

具体的には、必要に応じて研究開発実施者が設置する WG 等における外部有識者の意見を実施計画に反映させると同時に、NEDO、PL はオブザーバ出席を行い適切な助言を行う他、適時委託先から実施計画の進捗について報告を受ける等を行う。また、事業を効率的に推進するために、本事業の実施者間での報告会を開催し、実施者間及び関係産業界等との情報の共有と共通認識を図ることとする。

NEDO と実施者との面談及び意見交換について

各実施者が設置する WG 等へのオブザーバ出席を通して、実施計画に基づく「進捗状況の報告、課題の抽出、今後の実用化に向けた見通し等」について聴取し状況把握と助言等を行った。また毎年の成果については、毎年度毎のマイルストーンを設け、毎 3 月提出される中間年報により確認をしている。また予算執行状況については毎 9 月と毎 3 月に中間検査を行い、実施計画と乖離が認められる場合については事業者個別に適切な予算運営を指導した。以上により今後の各テーマの課題等を把握し適切な方向付けを実施した。

他事業及び事業内の連携体制について

他事業との連携体制について、関係する事業として「水素利用等先導研究開発事業(P14021)」「水素社会構築技術開発事業(P14026)」「固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発(P13001)」「固体高分子形燃料電池利用高度化技術開発事業(P15001)」があり、事業担当者が兼務または連携して進める。

事業番号	事業名	内容
P13002	水素利用技術研究開発事業	2020 年以降の燃料電池自動車及び水素供給インフラの本格普及に向けて、燃料電池自動車及び水素ステーション関連に資する事業を行う。
P14026	水素社会構築技術開発事業	大規模な水素利用、輸送、貯蔵手段を検討し、2030 年頃には世界に先駆け本格的な水素サプライチェーンを構築に資する事業を行う。
P14021	水素利用等先導研究開発事業	2030 年頃の長期的視点を睨み、水素等のエネルギーキャリアについて各種化石燃料等と競合できる価格を狙う。
P15001	固体高分子形燃料電池利用高度化技術開発事業	固体高分子形燃料電池(PEFC)の社会への本格実装に向けて、PEFC の大量普及に必要な要素技術を確立する。
P13001	固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発	固体酸化物形燃料電池(SOFC)エネファームの本格普及及び中・大容量システムへの展開のための技術開発及び実証研究を、以下の項目について行う。

本事業は水素ステーションならびに FCV の普及に直結する事業を担い、2014 年に開始された FCV の一般販売や水素ステーションの拡大普及に係る技術に資する。その他の事業については 2030 年頃の実用化を目指す長期的な事業である。

また事業内については NEDO または PL が WG 等へのオブザーバ参加や、実施者との打合せを通じ、必要な場合は他事業の成果の紹介や他 WG への参加等を助言することで、連携を行っている。

2.4 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

経済産業省の「水素・燃料電池戦略ロードマップ」では2015年(平成27年)をFCV、水素インフラの普及開始期として位置付けている。

水素インフラについては「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(P08003)」(事業期間:平成20年度~平成24年度)で上記の普及開始目標に向け、水素製造・輸送・貯蔵・充填に関する低コストかつ信頼性・耐久性に優れた機器およびシステムの要素技術開発、実用化技術開発を行った。その後、研究開発成果はFCV、水素インフラの実証試験を行う「水素供給インフラ技術・社会実証(P11003)」(事業期間:平成23年度~平成25年度)で3つの商用モデル水素ステーションを建設することで実証し、現在の水素ステーション建設等で実用化されており、平成26年9月から始まった商用ステーションの開所・営業開始へと実用化された。

本事業で行う、研究開発項目「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」の成果により策定される技術基準等については直ちに研究開発成果が利用できるよう、策定後の利用を想定したマネジメントを行っている。研究開発項目「燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」については技術確立後、水素インフラ関係者への紹介なども行い、数年以内に市場への投入ができるように仕組み作りを行っている。また研究開発項目「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」については、数多くの水素ステーションが普及することを想定して、水素インフラの事業者の協力を通して、安全データベースの構築やトレーニングマニュアルの作成等を行い、研究開発成果が普及に速やかに反映できるための仕組みも作成している。また得られる成果が国際的な基準や規格に一致しない場合は、国際商品としての流通に不利益となる可能性がある。そのため、研究開発項目「CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する研究」を実施している。

現行の法規制等が見直されても、実用化の技術開発が進められておらず、普及への支障となる場合がある。そのため、実施にあたっては研究開発項目で規制の見直し等の事業を進めるだけでなく、研究開発項目で低コスト技術を行い、規制見直しが完了すると同時に、実用化した技術が速やかに投入されるようにしている。

成果を上げた後の実用化を優位にするためにも特許出願等を積極的に出願し権利化するよう指導している。また、外部への成果のアピールのため、論文、プレス発表等を積極的に実施することも指導している。

3. 情勢変化への対応

本事業開始後、次世代自動車の世界最速普及に向け、平成 26 年 9 月の商用水素ステーションの開所、FCCJ、JAMA など民間要望を受けた平成 25 年 6 月、平成 27 年 6 月及び平成 29 年 6 月の規制改革実施計画の閣議決定、平成 28 年 3 月の水素・燃料電池戦略ロードマップの改訂、ISO や HFCV GTR の国際基準や規制などへのスケジュール対応など FCV と水素ステーションを取り巻く環境は普及拡大に向けて、大きく変化してきた。このような情勢変化に対応するため、

- (1) 平成 25 年 6 月閣議決定の規制改革実施計画での規制見直し項目に対応するため、「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 / 水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発」及び「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 / 燃料電池自動車の水素安全基準等の国際調和に関する研究開発」の項目を追加。
- (2) 現在展開される水素ステーションの一層の安全や次世代の水素ステーションに必要な技術開発のために、「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」を新たにテーマとして立ち上げ、追加公募を実施。
- (3) HFCV-GTR で新しく提案された材料の性能要件化に対応し、日本が議論をリードするために「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 / 自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発」の体制変更を実施。
- (4) 平成 26 年 6 月のエネルギー白書発表に伴う、新しい水素キャリア(有機ハイドライド)に対応した水素品質が現行の ISO14687-2 と不整合を起こさないように「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 / 水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発」の実施計画を見直し。
- (5) 平成 27 年 6 月閣議決定の規制改革実施計画での規制見直し項目に対応し、それに伴う新しい技術開発を支援するため、追加公募を実施。
- (6) 平成 28 年 3 月及び平成 29 年 2 月に更なる国際標準化審議に対するべく、調査研究の追加公募を実施。
- (7) 以上を事業に取り込むとともに、普及期に実用化が必要、且つ実用化が可能な技術開発等に重点を当てた予算配分を行った。

4. 中間評価結果への対応

研究開発マネジメント

[指摘]：本事業には、安全規格標準など早期に成果が求められる項目と、水素貯蔵材料開発など開発リスクが高く長期的に取り組む必要がある項目が共存しているが、それぞれの技術に応じた目標設定・マネジメント・評価がなされるように配慮すべきである。

[対応]：最終目標に向けた技術課題内容の整理、体制の見直し等を実施し、研究開発目標達成の見込み及び今後の実用化への定量的な評価が困難との判断から、「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」を 27 年度で終了とした。

研究開発成果

[指摘]：FCV 用水素貯蔵材料に関する研究開発等、最終目標を達成できる見通しがあるとは判断できないテーマもあった。最終目標に向けて、課題と解決の道筋を明確にするよう NEDO が強力にマネジメントする必要がある。

[対応]：FCV 用水素貯蔵材料に関する研究開発に関しては、最終目標の達成が見通せる材料(カーボン系)への絞込みを行い、金属系水素貯蔵材料、固溶体系水素貯蔵材料および窒素系水素貯蔵材料の検討を平成 27 年度迄として実施計画書に反映した。

成果の実用化に向けての取り組み

[指摘]：水素貯蔵材料は車両要求条件を満足するシステム検討を含めた総合的な検討が必要。

[対応]：車両要求値より炭素系水素貯蔵材料と軽量系水素貯蔵材料の内 Mg-Ni ナノ粒子材料の研究開発とそれら二つの水素貯蔵材料の車載への取組に集中した。

[指摘]：水素センサ事業では、計測の専門メーカーとの共同開発とすることが望ましい。

[対応]：研究開発フェーズから製品開発フェーズへの移行時期から早期の計測専門メーカーの参加を含めた実施体制を強化した。

[指摘]：水素ステーション安全基盤整備に関する研究については、プロジェクト完了後にも継続してデータを収集する体制を構築しておくことが望まれる。

[対応]：平成 28 年度より一般社団法人化した HySUT にて、事業終了後も安全基盤整備に必要なデータ取得及び展開を継続可能とする体制構築を進めた。

ステージゲートへの対応

(1) 樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発（丸八・巴商会）：

現時点では基本的な耐圧設計は為されているが、同テーマを実施している他社と比較すると、ライナ材の高圧水素暴露時の影響及びガス透過性に関する検討が不十分であり、実用化に至る定量的評価が不十分である。

最終目標に向けた技術課題内容の整理を実施し、「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」を平成 27 年度で終了とした。

(2) 燃料電池車用水素貯蔵材料に関する研究開発（九州大学・日本重化学工業・東北大学・アツミテック）：

燃料電池車用水素貯蔵材としての材料開発の部分に関しては一定の成果がでたと考えられる。一方車載用の観点からは、実用化を前提としたシステムの検討が不十分であり、また各材料系の評価基準軸が整理されていない。高圧容器と競争力のある具体的な貯蔵システムを想定して開発を進めるべきである。

材料の絞り込みを検討し、体制変更を実施した。（日本重化学工業の開発を 27 年度で終了とした。）車載状態を模擬したシステムを構築し、システム評価を行う様、実施計画書の見直しを行った。

5．評価に関する事項

事前評価については、平成 25 年 2 月（研究開発項目 ， ， ）及び平成 26 年 2 月（研究開発項目 ）に NEDO 新エネルギー部が事前評価書としてまとめ、公開されている。また NEDO は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による中間評価を平成 27 年度に実施した。事後評価を前倒して平成 29 年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行ってきた。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて前倒しする等、適宜見直した結果である。

・研究開発成果について

1. 事業全体の成果

最終目標に対して下記の表のとおり概ね達成する見込みである。本事業の最終目標はFCV、水素ステーションの普及拡大への貢献であるが、2017年8月現在、日、米、独にてFCVの一般販売(国内登録2043台)、ならびに商用ステーション設置(国内開所済み99カ所)が進んでいる。世界的に見ても日本は先駆者であり、最終目標を達成すれば地球温暖化防止等の対応のため、この成果は日本国内のみならず世界市場の拡大が期待できる。FCV、水素ステーションが普及すれば民間レベルで各機器の効率化、低コスト化等の技術開発の競争が促進されることが期待できる、

1.1 研究開発項目 : 「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

規制見直し項目等については、(1)燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制の再点検に係る工程表(H22.12.28)、(2)規制改革実施計画(H25.6.14閣議決定)、(3)規制改革実施計画(H27.6.30閣議決定)、(4)規制改革実施計画(H28.6.20閣議決定)で指定された項目は計画的に進められた。事業での成果により一般高圧ガス保安規則等の関連法規の整備及び適正化がなされ、FCV普及拡大に伴う水素スタンド等の水素インフラ市場の立ち上げ及び普及拡大に向け、水素供給インフラの設置等手続きの簡素化及び設置要件の緩和等が促進された。一方で、FCVの国際標準化等についても国内法と矛盾の無いように進められ、水素品質、水素充填技術、水素安全など国際商品として普及に要となる技術については日本がリードする形で進められている。各プロジェクトの詳細については、2項の研究開発項目毎の成果を参照のこと。

1.2 研究開発項目 : 「燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」

燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関しては、経済産業省から公表された「水素・燃料電池戦略ロードマップ」(H26.6.23/H28.3.22改訂)にて、整備費及び保守費を現在の約半額程度になれば、水素ステーション及び燃料電池自動車の今後の自立的に商用展開していくことが可能と考えられている。本事業では、低コスト機器・システム等の実用化技術開発を実施している。最終目標は水素ステーションコスト・性能目標達成(1.1参照)に向けた見通しを得ることであるが、目標に対して十分な成果を達成している。各プロジェクトの詳細については、2項の研究開発項目毎の成果を参照のこと。

1.3 研究開発項目 : 「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」

2015年の普及開始初期に向け、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確立する。また、運用データベースの整備や研修ツールの開発等により水素ステーションの運転・管理手法の高度化をはかり、2025年の本格普及に向けた次世代の水素ステーションについて、低コスト且つ高度な安全安心を両立させるコンセプトを策定する。それと共に、それを実現するための技術課題について、それぞれ要求される性能等仕様も含めて特定するという最終目標であるが目標に対して十分な成果を達成している。各プロジェクトの詳細については、2項の研究開発項目毎の成果を参照のこと。

1.4 研究開発項目 : 「CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する研究」

現在、燃料現地自動車用燃料となる水素はナフサや都市ガス改質など化石燃料を由来とするものである。しかし、地球温暖化対策推進本部が公表した「日本の約束草案」(H27.7.17)にて掲げら

れている通り、運輸部門での温室効果ガスの排出量削減目標達成のためには、水素燃料のCO2フリー化は重要である。加えて、発電部門での石油、天然ガス、石炭比率の低減及び再生可能エネルギー比率の増加のために、水素利用技術は重要であり、水素社会構築技術開発事業及び水素利用等先導研究開発事業において技術開発が行われている。このようなエネルギー利用の方向性は世界各国でも同様な状況であり、海外においても水素利用技術の実用化に向けた研究開発が進められている。CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する研究においては、現在の海外の動向をタイムリーに把握し国内の水素利用技術関連事業者へ展開することが最終目標であるが、目標に対して十分な成果を達成している。

各プロジェクトの詳細については、2項の研究開発項目毎の成果に掲載。

達成度「**■**」：大幅達成、**□**：達成、**△**：一部達成、**×**：未達

項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題
	<p>公知の規制見直し項目について、規制見直しを進めるために必要な研究開発を行い、水素ステーションに係るコスト低減等に資する。その他、水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化、FCVにおける国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資する各種案を作成する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 水素供給インフラに関連した規制見直しは追加検討項目を含め検討を完了した。 また水素充填ガイドライン、水素品質ガイドライン、水素計量ガイドラインなどの制定及び改定と併せ、70MPa水素ステーション及びFCVの普及拡大に必要な合理的な管理ガイドラインも策定された。 MCH由来の不純物であるMCH・トルエンが与える影響を明確にし、品質規格改定議論等を日本がリードした。 そのほか、FCVの国際流通に必要なISO、SAE、HFCV GTRは日本が議論をリードする形で成立している。 水素貯蔵システムとしての要求仕様を達成しうる水素貯蔵材料として、汎用材の利用拡大を行い、例示基準化、技術文書化を達成した。 		<ul style="list-style-type: none"> 新たな規制見直し検討項目について検討を進めていく。 HFCV GTR phase2インフォーマルワーキングの論議が2017年10月から開始されたため、容器破裂圧適正化・水素適合性試験法・AL合金の腐食試験法等の課題について、日本案の反映が必要。

項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題
	<p><水素ステーション> 「水素ステーション及び水素貯蔵システムのコスト・性能目標」を満足する機器・システム等の実用化技術開発を実施し、水素ステーションに係るコスト低減などに資する。</p> <p><FCV用水素貯蔵システム> 水素5kgを搭載した場合、質量貯蔵密度6mass%以上、容器体積100L以下、コスト30～50万円以下、かつFCV低温起動や全開加速に適合する水素放出性能を有すること。 ただし、現状の高圧タンクシステムに対して車載時の占有容積が大幅に縮小する等画期的な技術的優位性が見込まれる技術が提案された場合には、実用性を鑑み目標を別途設定する。</p> <p>「水素ステーション及び水素貯蔵システムのコスト・性能目標」 <水素ステーション> コスト2億円以下(普及期)/システム[300Nm³/h規模の場合、水素製造装置及び土地取得価格を除く]。 水素充填30万回以上の耐久性を有すること。 水素充填精度±1%以内、水素充填時間3分間以内。</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 高圧水素用(87.5MPa用)ホース・シールシステムの要求圧力サイクル回数を達成した。また、樹脂製高圧水素用ホースの信頼性評価基準(案)を策定した。 • コスト目標を達成するプレクラシステム、水素圧縮機、水素製造装置を開発し、実用化完了する目処を得た。 • 複合容器蓄圧器の実用化技術が開発され、大型化達成の目処を得た。 • Type4複合容器の使用条件を明らかにすることが出来た。 • 水素計量技術及び計量器校正等の管理技術を確立し、水素ステーションでの公正な水素販売を実現した。より高精度なマスターメータ法による計量の評価手法を完了した。 		<ul style="list-style-type: none"> • 実環境下でのホース・シールの劣化状況が不明であり、ホースの交換期間の設定や使用時の閾値の設定が困難であるため、実環境下で使用されたホース・シールについて劣化状況を把握し、高圧水素ホース構成部材の各種劣化指標との関連を検討する必要がある。 • ホースのISO議論が続いていることから、今後も国内基準との調和のために日本の積極的な意見発信が必要である
	<p>より高次元の安全・安心を実現する機器及び運転・管理手法等の要素技術を確立して、水素ステーションの社会受容性の向上に資する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> • セーフティデータベースを作成し、事業者間からの情報収集と展開の仕組みを完成した。 • 水素ステーションのオペレータ向けの教育設備訓練内容指針(案)を作成した。 • ポータルサイトを開設し、一般の方への情報提供を開始した。 • 水素センサ、火炎可視化、電気化学式水素ポンプ等、次世代の水素ステーションに必要な技術課題を具体化した。 • 雷被害リスク軽減に有効な「雷被害対策ガイドライン(案)」を取りまとめた。 • 開発品を実環境下で評価できる水素技術センターを完成し、評価を行った。 		

項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題
	「国際エネルギー機関（IEA）」や、「国際水素エネルギー・燃料電池パートナーシップ」（IPHE）における情報収集等により海外の政策・市場・研究開発動向を把握するとともに、適切な情報発信を行う。	<ul style="list-style-type: none"> IEA、IPHEでの海外の政策・市場・研究開発動向に係る情報収集、及びCO2フリー水素の導入・普及に係る可能性調査を実施し、国内の水素・燃料電池利用技術関係者へ情報展開した。その結果、海外の研究開発動向、段階をふまえた新たな研究開発が水素社会構築技術開発事業等で開始され、水素利用技術の展開範囲が拡大した。 		

研究開発項目：

- ：「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」
- ：「燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」
- ：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」（委託事業）
- ：「CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する研究」

2. 研究開発項目別の成果

各テーマについての成果概要は以下のとおりである。

研究開発項目：「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

最終目標	研究開発成果	達成度
- 1：「水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発」		
70MPa スタンドの保安検査基準の整備に関する検討 70MPa 水素ステーションの保安検査基準検討（案）及び定期自主検査指針検討案作成、水素スタンド安全技術基準・指針の自主基準案作成	「水素スタンド保安検査基準（35MPa）JPEC-S 0001（2015）」の制定後、70MPa 水素スタンドの保安検査基準（案）を策定した。同様に 70MPa 水素スタンドの定期自主検査指針（案）を策定した。また超音波探傷試験を取り入れた検査方法をまとめ、保安検査基準（案）を策定した。	
圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討を行い、高圧ガス保安法に係る技術基準（案）の策定。 平成 26 年度で完了	ガラス球式安全弁に対応した高圧ガス保安法に係る技術基準（案）を策定し、例示基準が見直された。	
水素スタンドの距離規制見直しに関する検討 離隔距離短縮に必要な実験・シミュレーション検討、高圧ガス保安法に係る技術基準（案）作成	水素スタンド離隔距離短縮の方策をまとめ技術基準（案）を策定した。	
公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討 公道水素充填を可能とするための課題抽出、安全な設備仕様とその運用方法の確立。特定多数場所におけるガス欠対応充填用超小型水素充填装置に関する規制・対応調査。	簡易充填設備製作と模擬実証実験、公道充填課題抽出、設備仕様と運用方法を検討した。 超小型水素充填装置の試作と充填実証試験の実施、設備・運用・規制面の課題を整理した。	
圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討及び高圧ガス保安法に係る技術基準（案）策定。 平成 27 年度で完了。	圧縮水素運送自動車用容器の使用上限温度（85℃）以下で使用する為の高圧ガス保安法に係る技術基準（案）を策定し、省令が改定された。 水素トレーラー火災の原因究明及び再発防止対策をまとめたガイドラインを策定した。	

最終目標	研究開発成果	達成度
-1 液化水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討 -2 液化水素貯蔵型圧縮水素スタンドの液化水素ポンプの技術基準(案)作成。 -3 液化水素ポンプ設置の技術基準化に資するデータの取得等	液化水素を水素減とする圧縮水素スタンドの技術基準(案)を策定。(2月時)	
2種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討 平成27年度で完了	第二種製造者圧縮水素スタンド技術基準(案)を策定し、省令が改正された。	
水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備 別項目「水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討」欄を参照		
圧縮水素スタンド散水量低減方法の検討、合理的な散水設備の例示基準の改正に資する資料作成	散水量低減を可能とするより合理的な例示基準の改正に資する資料を策定した。	
海外の事例を調査し、安全性と利便性の確保の観点から、必要な技術的課題を抽出し、対応策を検討する。得られた結果を反映したセルフ充填のガイドライン(案)を策定。	海外事例からの技術的課題への対応策を検討した結果を反映したセルフ充填のガイドライン(案)を策定。(2月時)	
圧縮水素運送自動車用容器の固定方法の追加に関する検討	ネックマウント方式を追加するための技術基準(案)を策定。(2月時)	
有機ハイドライドを用いた水素スタンドの基準整備に関する検討	有機ハイドライド水素供給装置を用途地域に設置可能とするための技術基準(案)を策定。(2月時)	
-11:「水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討」		
水素ステーションの事故に関する現状把握 ステーションの事故事例調査、高圧ガス設備の災害事例調査。	既存ステーションの事故事例調査、高圧ガス設備の災害事例調査を実施し、水素ステーションにおける潜在的リスクを整理した。	
水素ステーションにおけるシビアアクシデントの想定 事故シーケンスの検討、重大性の高い災害事例の抽出。	高リスクのトリガー現象を想定、事故シーケンスを検討し、災害拡大イベントツリー等により重大性の高い災害事象を抽出	
シビアアクシデント対応策の策定 リスクアセスメントの実施、緊急時対応ガイドライン作成。	シビアアクシデントに対するリスクアセスメントを実施し、「蓄圧器の破裂防止措置」として、蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案等を作成した。また、危害予防規程や非常措置マニュアル等に記載すべき項目を纏めた「水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン」を作成した。	
審査過程における対応 例示基準案の審査過程における対応実施。	蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出する方法について一般高圧ガス保安規則の例示基準化に向け、高圧ガス保安協会による審査会に出席し、検討結果の説明等を行い、例示基準化された。	

最終目標	研究開発成果	達成度
-6：「水素ステーション用複合容器の供用中検査手法の研究開発」		
アルミライナー試験片のラボ疲労試験時の AE 計測/分析から、疲労損傷の進展を評価できる AE パラメータを特定する。	特定の周波数帯域の AE パラメータを用いて、疲労き裂進展が評価できる事を示した。	
複合容器の疲労試験時の液体圧力媒体の AE 信号に及ぼす影響を把握する	水中疲労試験の結果、液体媒体が疲労評価における AE 分析に影響しない事を確認した。	
複合容器の疲労試験時の CFRP 破壊の AE 挙動を評価する。	CFRP 破壊の AE 信号は疲労評価における AE 周波数帯域と異なる事を確認した。	
TypeIII 複合容器のラボ疲労試験時の AE 計測/分析から、特定の AE パラメータに注目することによって疲労損傷の進展を評価する。	波形分類と振幅比の併用による新しい AE パラメータによって複合容器の疲労評価の可能性を見出した。	
実水素ステーションの複合容器の運用を踏まえ、AE 分析に影響する環境を把握する。	現場計測はできなかったが、実水素ステーションを模擬した複数のラボ試験によって本手法の適用性を評価した。	
-2：「水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発」		
-1 汎用材の利用拡大 追加 3~4 種(累計 5~8 種)の研究、評価、及び使用条件の明確化。	・SUH660 (1 種) , 銅合金 (2 種) の例示基準化 ・20MPa 以下の Ni 当量規制除外 (加もり鋼を含む多鋼種の使用が可)	
-2 新たなニーズに基づいた汎用鋼種の拡大	・汎用 SUS 材の使用可能域拡大研究 現行規制の妥当性を検証済 ・低合金鋼の超高圧利用方策提言 ・低合金鋼が 1 ライン作成研究 技術文書発行	
-1 超高圧、広温度範囲での利用拡大 ステンレス材追加 1~3 種 (累計 3~5 種) 、もしくはその他材料の研究、評価、使用条件の明確化。	・SUS316(高 Ni)材の使用可能域拡大 (3 種) ・HRX19 の耐水素特性立証 (1 種) ・データベース構築、産業界への提供	
-2 新たなニーズに基づいた超高圧、広温度範囲の鋼種の拡大	・HRX19 の溶接研究 ・海外規格材の例示基準への取込み (SUH660 温度拡張基準化 (1 種) , HRX19 の基準化に向けた道筋の明確化)	
-4：「複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発」		
-1)複合圧力容器蓄圧器の疲労寿命評価手法の検討 Type3, 4, 2 容器の疲労寿命評価方法の確立を目指した各種設計及び各種応力範囲における疲労寿命データの取得	・Type3 各種容器を用いて部分充填圧力サイク試験を行い、平均応力が高くなっても応力範囲が小さくなれば疲労寿命が延びるデータを取得し、部分充填条件での疲労試験方法の有効性を確認した。 ・Type4, 2 各種設計容器の部分充填圧力サイク試験を行い、部分充填効果と損傷モードを確認した。 ・Type3, 2 容器ライナ材試験片による疲労試験を行い、応力範囲と疲労寿命との相関を確認した。	
-2)技術基準案の検討 Type3, 4, 2 容器の疲労寿命評価方法等の技術基準案の策定に資する資料の検討、基準策定に向けた課題の提示	・Type3 容器の疲労試験に関する技術文書 KHKT05202 の改定素案及び解説書素案を作成し、改定申請を実施した。 ・Type4 容器の適切な疲労寿命評価方法を提示し、Type2 容器の自主基準案を作成した。	
CFRP の評価方法の高度化 複合圧力容器設計方法や寿命評価方法等への CFRP 評価データ活用方法の提示	・各種 CFRP のストラスチーフ試験及び疲労試験を実施し設計、寿命評価等に資するデータを蓄積した。 ・複合圧力容器の設計における設計係数の検討を行い合理的な設計手法への活用方法を提示した。	

最終目標	研究開発成果	達成度
複合圧力容器蓄圧器の疲労設計方法の高度化 Type3, 4, 2 容器の部分充填を考慮した疲労設計 方法にもとづく最適設計手法の確立	<ul style="list-style-type: none"> 各容器の胴部・鏡部・境界領域の有限要素解析方法を確立し、Type3 容器では鏡部での漏洩を防止する設計と寿命延長を可能とした。Type4 容器では口金/ライナー/CFRP 及び各界面の、Type2 容器では胴部/継手部の評価法を構築し、応力規準による各容器の疲労設計方法を提示した。 製造誤差及び使用温度変化による疲労寿命への影響評価法を確立した。 	
保安検査方法に関する検討 適用可能性がある検査方法の課題と実用化に 向けた開発検討案の提示	<ul style="list-style-type: none"> 保安検査の実績調査を行い、海外メーカーと容器メーカーでは実績が無いことを確認した。 関連する NEDO 事業で開発している AE 法の検討を行い、実用化に向けた課題と開発検討案を提示した。 	
-3：「燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発」		
主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発 (a)水素脆化の影響を受ける材料の評価方法の提案、使用条件、使用基準の明確化。 (b)～(d)低合金鋼を用いた蓄圧器製造ガイドラインの完成。 (e)設計係数低減化による高圧水素機器（主に蓄圧器）の合理的設計方法の提案。	材料データ提供、設計・製造の知見等を通じて低合金鋼技術文書の策定に貢献した。(2月予定)	
-1 高圧水素に用いるステンレス鋼の鋼種拡大及び関連評価技術の開発 (1)高圧水素ガス用材料の高機能化と利用技術拡充。 (2)国際標準化、規制見直しに資する評価試験法の開発。 (3)SUS316L (Ni 当量 28.5) の拡散接合部の耐水素ガス脆化特性を確認。 (4)長期使用水素関連機器の解体調査	HRX19 の溶接継手は母材と同等の優れた耐水素脆化特性を有し、STH-2 の耐水素ガス脆化特性向上に Cu, N が有効なことを確認した(2月予定)	
-2 高圧水素用継手・バルブ向けオーステナイト系ステンレス鋼の鋼種拡大 (1)Mo レス高圧水素用オーステナイト系ステンレス鋼の開発/鍛造品を素材として、高圧水素中において、引張・疲労特性が SUS316L と同等の Mo レス高圧水素用オーステナイト系ステンレス鋼の開発。 (2)高硬度オーステナイト系ステンレス鋼の開発/高圧水素用高硬度オーステナイト系ステンレス鋼の開発。 (3)長期使用水素関連機器の解体調査/平成 27 年度で終了。	Mo フリー省資源鋼 SUS305 相当高圧水素用ステンレス鋼の棒材および鍛造品を開発し、良好な水素環境特性を得た。(2月予定)	
-3 低温および高温ガス環境下での材料特性に関する研究 水素環境脆化機構解明の元となるデータを提供	STH2, HRX19 や SUS630 等について高圧水素環境中の機械的性質を評価し、水素環境脆化挙動に関する知見を得た。(2月予定)	
水素用金属材料の評価と解析	従来データとの比較により開発した簡便な評価試験法の有効性を確認した。(2月予定)	

最終目標	研究開発成果	達成度
-5：「自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発」		
<p>自動車用圧縮水素容器の安全性評価 HFCV GTR Phase2 の既存課題（容器破裂圧適正化・水素適合性試験法）に対して、審議に必要な適正なデータを取得し、試験法案を提案する。</p>	<p>[容器破裂圧適正化] 初期(劣化前)と End of Life(劣化後) の破裂圧データの取得・解析により、初期破裂圧規定 2.25NWP 2.0NWP 化のロジック構築。 [水素適合性試験法] 高圧水素中の SUS304, 316, 316L の SSRT 試験データと SUS304 の疲労試験データを取得し、策定した試験法案の妥当性を評価した。</p>	
<p>国内基準の適正化および国際基準調和試験法策定のための国内審議を推進し、日本案を取りまとめる。その後、国際審議（HFCV GTR Phase2）に日本案を提案する。</p>	<p>実証試験データと試験法案の国内審議から、国際議論の場への開示承認を得た。平成 30 年 2 月の HFCV GTR Phase2 IWG に提案予定。</p>	
<p>アルミニウム系材料の材料評価および試験法開発 日本から HFCV GTR Phase2 への新規提案案件（アルミニウム合金の腐食試験法）に対して、審議に必要な適正なデータを取得し、試験法案を提案する。</p>	<p>腐食試験法作成のための実証試験データとして、6000 系アルミニウム合金の応力腐食割れ特性データを取得した。策定した湿潤ガス応力腐食割れ（HG-SCC）試験法案の妥当性も見えつつあり、国内外での先行規格化を推進中。</p>	
-7：「水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発」		
<p>適正かつ安価・簡便な供給水素の品質管理方法の研究開発 (a)水素品質管理運用ガイドラインの改定版を策定する。</p>	<p>全ての水素ステーションの品質管理方法を規定する運用 GL を予定通り平成 26 年 9 月に作成し、以降 2 回の改定を実施。既に広く利用されている。</p>	
<p>(b)高圧水素ガス試料採取容器の検証に於いて、適正で簡便・安価な試料容器・方法を確立する。</p>	<p>採取装置を製作し、品質検査用として利用。低圧容器は Si 内面処理をほぼ採用。(2 月予定)</p>	
<p>(c)低圧水素ガス試料採取容器の検証及び簡易分析装置の開発について、ISO 13 成分を対象に、分析コスト（現行 200 万円の 1/2）、分析時間（現行 120 時間の 1/10）を達成する。</p>	<p>分析は TOF-MS, ナノクローム、HEMS の 3 方式から TOFMS を選択。濃縮型 TOFMS を開発し、13 成分の分析確立。(2 月予定)</p>	
<p>(d)微粒子捕捉用フィルタの検討について、フィルタの仕様を確定し、改定ガイドラインを作成する。</p>	<p>当初予定されていなかったフィルタ試験を実施し、現状仕様での成果をガイドライン改定に反映した。</p>	
<p>(e)水素ステーションでの検証 ～ の結果確認として、水素ステーション 10 か所における検証を実施する。</p>	<p>改訂版水素品質ガイドライン及び簡易分析装置のフィールド評価を実施。</p>	
<p>(f)新規・画期的な分析装置の検索 国内外の新規分析装置について調査し、簡易分析装置の開発にフィードバックする。</p>	<p>HEMS（水素分離型分析装置）を新規分析装置と位置付けて評価を行い、検出器の変更など装置の改良を行った。</p>	
<p>更なる低コストを狙った安価・簡便な分析方法の研究開発 (a)固体捕集サンプリング方式による分析法の開発 水素品質は担保しつつ、簡便で安価な水素品質管理分析を可能とするため、液体捕集していた成分を固体捕集サンプラーを適用し、より小型で取扱いやすいサンプリングキットを開発する。これにより、これまでの分析費用を 1/4 以下、分析時間 1/5 以下を達成する。</p>	<p>固体捕集サンプラーを用いたサンプリングキットにより輸送費等と分析作業時間を削減し、目標である分析費用 1/4 以下、分析時間 1/5 以下を達成した。</p>	

最終目標	研究開発成果	達成度
(b)現地評価機能を付加したサンプリング方式とその分析法の開発 サンプリングキットにセンサー等を利用して現地分析を可能にし、更なる分析費用と分析時間の短縮を目指し、分析費用 1/10 を達成する。	現地分析可能な項目別の分析装置を組み込んだキットを作成し、実用化後での分析費用の削減達成見込みを得た。	
水素燃料仕様の ISO14687-2 の改訂提案・国際標準化 (a)水素燃料仕様の国際標準化 ISO 水素燃料仕様の改訂提案・国際標準化について、品質規格 ISO14687-2 の改定に資するデータを取得するとともに、水素ステーション燃料品質管理規格 ISO19880-1 及び水素品質管理 ISO19880-8 の国際規格間の整合を期す。	日本を議長国として ISO14687-2 の改訂提案に加え、ISO 19880-8 (水素品質管理) の新規提案を実施。各々H29 年度中に DIS および発行段階に到達する見込み。	
(b)水素中不純物の燃料電池への影響評価 HCHO、HCOOH が燃料電池の発電性能に及ぼす影響を調査し、ISO14687-2 改訂 (ISO14687) の議論に資する。	有機ハイドライド由来不純物、ホルムアルデヒドが燃料電池電圧へ及ぼす影響を明らかにし、ISO14687-2 改訂の議論に活用した。	
-8 : 「燃料電池自動車への水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発」		
国内基準類の改正案作成及び制定 (a)海外での規格見直し動向、並びに新充填プロトコルに対応した自主基準の改定。	FCV 用基準制定 FC バス用基準制定 MC フォーミュラ方式充填基準案策定	
(b)充填性能確認ガイドラインの完備及び商用ステーションへの適用と評価体制、ガイドラインの運用方法の提案。	FCV、FC バス用基準対応ガイドラインを作成	
国際標準と国内基準類の調和、国際連携 (a)充填プロトコルに関連して欧米 (SAE、ISO) に提案し充填の国際標準化に貢献。	FCV、FC バス用基準対応ガイドラインを作成	
(b)ノズル/レセプタクルの氷結対応に関連して欧米 (SAE、ISO) に提案し、国際標準への反映に貢献。	ISO 17268 改定を提案	
(c)充填技術の国際連携を図り、グローバルな FCV 及び水素インフラの普及促進に貢献する。	HySUT ガイドラインを ISO、SAE、Int'l WS に紹介	
充填技術開発 / 充填技術検証 (a)バス、二輪用の充填プロトコルに資するデータ取得の実施。	バスと二輪の充填、氷結試験のデータ取得	
(b)水素ステーション最適化シミュレーションの自紙及びコスト低減に有効な充填プロトコルの国際基準検討機関への提案	FCV 車載容器内の水素温度を推定するプログラムを開発した	
(c)実条件での水素充填技術の検証及びデータ蓄積、プロトコルの実用性確認。	フル充填プロトコルの実 ST での実証	
充填シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ取得 輸送性質の測定データ取得及び相関式の作成、水素充填シミュレーションの高精度化。	振動細線法を用いた粘性係数の測定方法を確立。 -30 ~ 常温、100MPa までの低温、高圧域で使用可能な装置を開発。 熱伝導率データを取得	

最終目標	研究開発成果	達成度
-9：「燃料電池自動車の水素安全基準等の国際調和に関する研究開発」		
FCVの国内規制および国際基準調和に資するデータ取得 FCVの車両安全に関わるHFCV-GTR Phase2の策定に資するデータ取得および国連の98年合意に基づいたHFCV-GTR Phase2の円滑な国内導入を図るためのデータ取得。	「車載容器の局所火炎暴露試験法」、 「衝突試験後の車室内水素濃度測定法」、 「水素パージガス試験法」に関わるデータ取得。	
FCVの国際標準化 日本が主導的になるようにISO/TC22/C21/WG1 (FCVの安全規格)、SAE FCV Safety WG (FCV水素・電気安全)などの審議を進める。また、国内での車両安全に関わる標準化活動を進める。	イグニッションオフ後の水素遮断特性や車載用水素センサー仕様を提案し、合意を得た。また、事故車両の識別やFCV廃車処理に関わる標準化について、JEVS(日本電動車両規格)(案)を作成し、発行の予定。	
安全な事故後処理および廃車処理に資するデータ取得 事故後処理、廃車処理のデータ取得を完了させ、関連する安全マニュアルへの提供を完了させる。	消防関係、容器クズ化業界へデータ提供し、今年度内に各団体からマニュアル発行される予定。	
FC二輪車の安全に関するデータ取得 FC二輪車の安全担保のために必要な安全基準の策定に資する全データを取得し、道路運送車両の保安基準の策定に資する。	二輪車特有の課題をデータ提供し、2016年、道路運送車両保安基準の細目告示(別添118)により、世界初のFC二輪車の安全基準が策定された。	
-10：「水素ステーション等機器の国際標準化動向に関する検討」		
(a) ISO等国際標準の制定動向調査 水素ステーション機器に関連する国際標準化活動であるISO/TC197等について動向を調査し、制定状況を把握する	充填・品質・ホース等のNEDOの他の研究開発事業と連携し、14全てのWG運営を遅滞なく行い、制定状況の把握と日本意見の適切な反映と国際競争力の強化を図った。	
(b) 海外水素ステーション調査 海外の水素ステーション機器及び水素ステーションの設置状況を把握し、普及開始に向けた状況を調査する	米国(特にカリフォルニア州)とカナダ、また欧州(ドイツ、北欧、英国)、韓国の水素ステーションの開発動向の調査を行った。	
(c) ISO等国際標準と国内技術等との比較調査 ISO規格およびISO規格ドラフトと国内技術を比較し、技術課題の抽出と国内意見の聴取によって、適切かつ国内での活用円滑化が可能なISO規格化に貢献する。	既に国際規格(IS)等を発行済の10のWGを対象に、ISやTSの国内利用状況を調査し、成果と課題を明らかにした。	

研究開発項目：「燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」

最終目標	研究開発成果	達成度
[委託] -5:「水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発」		
FCV 普及初期の1年間ノーメンテナンスを達成する 87.5MPa(-40)に対応した高圧水素用樹脂製ホースの開発。	<ul style="list-style-type: none"> ・耐圧性と軽量、柔軟を両立し、従来技術と差別化した仕様を確立。中間開発目標であった 82MPa 級対応ホースを製作し商品化 ・目標耐圧耐久性を満足するホース補強層構造を確立 ・87.5MPa ホースの要求仕様である圧力サイクル 2,200 回を水素インパルス試験にて達成した ・ホース内面層歪みを抑制する補強層構造設計により、内面層疲労破壊による耐久性課題を解決 ・耐圧耐久性と軽量・柔軟化を両立し、従来技術と差別化 ・ディスプレイ用ホースとして初の耐久性評価データ取得 ・従来樹脂の単層構造では内面樹脂に透過した水素ガスを起点に樹脂クラックが発生する現象を初めて検出 ・2種2層チューブ（内面樹脂 = 水素溶解量低減樹脂層 / バリア層）試作。内面樹脂への水素影響低減。チューブとしても 水素耐性向上確認。本チューブを用いた 87.5MPa ホースを試作し、各種耐久性評価を実施。要求仕様を満足する圧力サイクル 2,200 回を水素インパルス試験にて達成できる見込み 	
FCV 普及初期の1年間ノーメンテナンスを達成する 87.5MPa(-40)に対応した高圧水素ガスシールシステムの開発	<ul style="list-style-type: none"> ・水素機器用ゴムについて、配合設計を行い作製したモデル配合ゴム材料について、高圧水素曝露後の水素量、寸法変化をデータベースとしてまとめ、「日本ゴム協会水素機器用エラストマー材料研究分科会」にて議論した。 ・水素ステーション機器用高圧水素シール材として使用されるゴム材料について、低温用、常温用、高温用に分類し設定した標準配合の水素特性評価を実施した。 ・-40 でシール可能なゴム材として EPDM、VMQ を選定。 ・90MPa の高圧水素の繰返し負荷による損傷発生条件を明らかにし、バックアップリングによるはみ出し損傷の低減をすることで、シール性を確保できることを確認。 	
JPEC-S 化に向けた 87.5MPa(-40)高圧水素用ホースの信頼性評価基準案の作成	<ul style="list-style-type: none"> ・樹脂製高圧水素用ホースの信頼性評価基準（案）を策定した。 ・一部の試験方法等について日本側から積極的に ISO へ提案することで ISO と調和を図った。 	
87.5MPa(-40)高圧水素ガスシールシステムの信頼性評価基準の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・高圧水素シール用ゴム材料の高圧水素曝露特性と関係が深い評価試験方法を探索し、引張応力が重要な試験項目の一つであることを見出した。 ・高圧水素シールシステム設計指針を確立した。 ・Oリングの透過特性から見積もった溶解水素量と昇温脱離法による侵入水素量には 相関関係があることが明らかになった。これにより、Oリングの透過特性から見積もった溶解水素量を用いることで、簡便に浸入水素量の評価が可能となることを確認した。 	

最終目標	研究開発成果	達成度
[委託] -6:「高圧水素機器用ホース等システム部材の研究開発」		
樹脂への水素影響確認を把握する。	他の気体と同様に、水素ガスの透過性もパーマコール値と直線関係があることが確認された。この結果から、今後パーマコール値を算出することで樹脂材料の水素透過性を推測できる基盤が構築できた。(2月予定)	
故障メカニズム明確化と評価法構築	故障発生メカニズムは、金具先端部特有の入力で初期亀裂が発生、亀裂が進展し、亀裂が貫通すると推定した。(2月予定)	
メカニズムに基づいた材料提案	新規材料を提案するにあたり考慮すべき点は、耐水素性、歪の入力、材料の均一性であることが分かり、これらを基に材料を提案する基盤ができた。	
87.5MPa 条件での評価(耐久回数 6600 回)	6,600 回以上確認	
[委託] -11:「水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発」		
重量法及びマスターメータ法による水素計量ガイドライン案の策定	2014 年秋に初版のガイドライン案を作成した。業界団体に採用され、全ての商用水素ステーションの計量検査で活用されるなど波及効果は大きい。その後、実施者のデータ・知見を踏まえて、ガイドラインの適正化を行い、ガイドライン改定案を3回作成した。	
-1 更なる高圧充填に対応した重量法評価方法の確立(試験装置の開発・製作)	高圧ガス保安法上の法令照会での行政指導に沿った装置を開発・完成させた。重量法による評価方法を確立した	
-2 実証試験及び水素ステーションでの検証実験とガイドラインへの反映	試験装置を用いた ST における計量精度試験の実施し、試験結果をガイドライン案に反映。全ての商用ステーションで計量精度を確認し、影響因子を解明。計量システムの精度改善に繋げた。	
マスターメータ法による評価方法の確立	研究委託をしている大学の協力を得ながら、マスターメータ法による評価技術を確立し、水素ステーションにてその実用性を確認中(2月予定)	
-1 CFD 解析による臨界ノズル内流動特性の解明を行い、流量係数や背圧比の関係を解明。	ノズル形状の違いが流出係数および臨界背圧比に大きく影響することがわかり、今後、ノズル形状を検討する際の知見を得た。	
-2 高圧域における水素の物性データの取得	高圧域における水素の音速データを取得し、評価結果を考察する際の基礎データを蓄積した。	
代替流体による校正方法の検証、基準化	水素・代替流体で流量計の校正実証で相関性を確認。(2月予定)	
[委託] -10:「燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する研究開発」		
水素貯蔵システムの最終目標を達成可能な水素貯蔵材料技術の目処付けを行う。 金属系水素貯蔵材料の研究開発	計算と実験を融合し新材料創成の手掛かりを見出した	
吸着系水素貯蔵材料の研究開発	高い吸蔵量を実現可能なスピルオーバー現象を確立するとともに安価な触媒を開発して車載に適した材料を提案	
-1軽量水素貯蔵材料の研究開発：Mg系材料 -2 軽量水素貯蔵材料の研究開発：Ti 系固溶体材料および窒素系材料	水素吸蔵量 7.5 質量%の Mg 系材料を開発	

最終目標	研究開発成果	達成度
<p>車載用水素貯蔵システムの構築と評価</p> <p>上記 ~ 項目では 5kg の水素貯蔵システムに対して下記の性能を満足する水素貯蔵材料の開発 (~ -2 共通)</p> <ul style="list-style-type: none"> 重量密度: 6 mass%以上 容器体積: 100 L 以下(50g/L 以上) コスト: 30 ~ 50 万円 <p>FCV 低温 (- 30) 起動や全開加速 (1,000 NL/min) に適合する水素放出性能を有すること。</p>	<p>車載システムのコンセプトを構築し、自動車走行モデルから車載容器への要求仕様を求めると共に実験およびシミュレーションを用いて車載に適した水素貯蔵材料を用いた容器システムの設計および性能の評価を進め、目標達成可能な複数のシステムを提案し、水素貯蔵材料容器システムの優位性を実証する(2月予定)</p>	
[委託] -7: 「多給系フィラメントワインディングによる複合容器の設計高度化に関する研究開発」		
<p>メゾスケールシミュレーションに基づく最適設計手法の開発、最適化アルゴリズムの構築</p>	<p>有限要素シミュレーション手法および鏡部形状最適化手法の確立</p>	
<p>多給系 FW 技術の開発、最適設計を実現する制御技術の確立。</p>	<p>多給系 FW 制御技術の確立と制御技術の CAM ソフトウェア化</p>	
<p>多給系 FW により製造された容器の製造誤差評価技術の開発。(製造誤差評価手法と誤差抑制手法の確立)</p>	<p>繊維配向方向計測技術の開発と炭素繊維束寸法誤差の影響評価法開発</p>	
<p>多給系 FW 製法による最適設計容器の実証(常用圧力 45MPa、内容積 30L クラスのタイプ 4 容器でタイプ 3 に比した優位性の実証)</p>	<p>炭素繊維量を十分に低減した設計で常用圧力の 2.25 倍の破裂圧力達成(2月予定)</p>	
[1/2 共同研究] -3: 「タイプ2 複合容器圧力蓄圧器の研究開発」(JFE スチール、JFE コンテナ、三菱ケミカル)		
<p>Type2 容器用スチールライナおよびプラグの開発および材料データ取得</p>	<p>大気中および 105MPa 高圧水素ガス中における R=-1 の疲労試験結果(大気: f=20Hz、水素: f=1Hz)、大気中疲労限=400MPa に対し、水素ガス中では 375MPa であり、水素ガス中疲労限は大気中と同等と言える。</p>	
<p>高圧水素環境下材料特性の推定手法の確立</p>	<p>高圧水素環境下での疲労試験結果を陰極チャージ疲労試験により推測するためには、単に侵入水素量を高圧水素環境下での値にあわせるだけでなく、試験中に腐食が発生しないように十分に陰極になるような溶液や電流密度条件設定が重要である</p>	
<p>スチールライナ複合容器蓄圧器の開発(自緊処理、出荷・検査前技術、蓄圧器開発)</p>	<p>市場投入を前提とした容器と同一断面構造、製造プロセスの鋼製ライナーに、高性能炭素繊維をフープラップした小型容器(45リットル)を製作し、圧力サイクル試験を実施した。35~93MPa の圧力範囲にて 10 万回の圧力サイクル試験を実施し、漏れ無を確認した。</p>	
<p>スチールライナ複合容器蓄圧器の設計の妥当性の検証として LBB 試験、圧力サイクル試験を行う。</p>	<p>設計思想は、量産型継ぎ目なし管の製造可能範囲の最大肉厚を素材として、熱処理・内外面の切削加工後の鋼製ライナー肉厚を最大限利用する。所定の設計圧力において、強度解析、疲労解析、き裂進展解析等の観点から不足する剛性を CFRP 層に担わせた。試作容器に各種の人工欠陥を付与して、圧力サイクルを実施して、LBB(破裂前漏洩)の成立を確認した。更に、10 万回のサイクル試験後も、容器プラグを固定するネジの底部からの亀裂発生は確認されなかった。</p>	

最終目標		研究開発成果	達成度
低コスト Type2 容器開発に資する炭素繊維の提供	引張強度および引張弾性率が異なる 2 つの炭素繊維（汎用グレード（ $T_s : 5600\text{MPa}$ 、 $T_m : 255\text{GPa}$ ）および高性能グレード（ $T_s : 3000\text{MPa}$ 、 $T_m : 760\text{GPa}$ ））を選定し、低コスト Type2 容器開発および Type2 容器用炭素繊維の認定に資するデータ取得および疲労寿命予測に必要な引張 - 引張疲労試験およびストレスラプチャー試験用の炭素繊維として提供を行った。CF の最適化による FW 工程の作業時間の短縮による容器製造コスト低減に資する知見を獲得した。		
Type2 容器用炭素繊維の認定に資するデータ取得及び疲労寿命予測	各試験片の各応力レベルで得られた寿命をワイブルプロットし、実験結果より生存確率を求めた。汎用 CFRP に対して高性能 CFRP の方が各生存確率間の寿命が大きく、ばらつきが大きいことがわかる。本線図の精度向上には測定数を増やすことが必要である。		
小型 Type2 容器による要素技術開発（フィラメントワンディング加工）	一般的に、ライナーに炭素繊維を巻きつける際、1 周目に巻付けた炭素繊維に対し、2 周目に巻きつけた炭素繊維との間に隙間（ギャップ）が発生するが、このギャップが残ったまま製品化されると、応力集中し破壊の起点となる可能性があるため、隙間なく炭素繊維を巻きつけることが必要である。本課題に対し、ギャップが発生しないように、樹脂粘度管理、糸道、糸整列（櫛形）等調整することで解決の目途を得た。		
早期の市場導入を前提とした中型 Type2 容器開発（フィラメントワンディング加工）	大型容器（200 リットル、鋼材ライナー約 1.5 トン）でフィラメントワンディング作業を実施し課題の抽出を行った。結果、鋼材防錆塗装が施されたライナーに取扱い傷がつかないようにハンドリングする課題が抽出されたが、一貫してライナー（円筒）両端にマテハン用治具を装着しフィラメントワンディング及び出荷管理を行うことで解決した。		
ガイドラインおよび技術基準確立への貢献	低合金鋼技術文書検討 TF の委員となり、技術文書発行へ向けて様々な提言を行うなど、ガイドラインおよび技術基準確立への貢献を実施した。		
[1/2 共同研究] -4:「タイプ2 複合容器圧力蓄圧器の研究開発」(日本製鋼所)			
低コスト化のための材料選定と安全性評価	低コスト量産シームレス鋼管を適用 水素中の材料試験により安全性を確認		
鏡部等の最適化構造の検討	最適な CFRP 施工方法を確立		
複合容器蓄圧器試作および性能評価	水圧試験により設計通りの CFRP/ライナー荷重分担を確認		
複合容器基準化事業との連携 以上の目標値として ・耐久サイクル回数 10 万回の許認可取得可能な試験データ採取を完了させる ・コスト目標 1.2 万円/L 以下	設計確認試験用のタイプ 2 蓄圧器を製作 (2 月予定)		
[1/2 共同研究] -15:「スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」			
スチールライナーの寿命検討 疲労限への諸因子の影響明確化。 高圧水素中データ採取。	材質データ採取完了。 ・疲労限(100 万回)および SSRT 最高荷重は大気中と水素中で同等。大気中材料特性により容器設計可能。 ・高圧水素中と同等の結果を得られる陰極チャージ疲労試験方法開発。 ・疲労限は水素環境でも周波数依存性なし。		

最終目標		研究開発成果	達成度
簡易シミュレーションによる蓄圧器の特性予測 ライナーおよびCFRPの適正厚み目処付け。	・ 7-ルライナ-CFRP 厚設計指針提示。 ・ 設計係数4では、ライナー厚50mm、CFRP厚30mm、CFRP量200kg。 ・ 重量、コストとも目標達成可能。		
スチールライナー-CFRP 複合蓄圧器の開発 小型容器による蓄圧器製造の要素技術開発。	・ 高弾性CFRPのFW方法を確立 ・ 小型容器の疲労試験、破裂試験を実施し10万回以上の寿命を確認。CFRP層破壊の基礎データ取得。 ・ 設計圧力106MPaの容器を試作し、性能確認を実施。 ・ ライナーの非破壊検査手法を過流探傷法により目処付け済み。		
複合蓄圧器の設計の妥当性検証 大型製造技術の開発および容器の性能評価。	・ 設計係数2.4および4.0の条件で10万回以上の長寿命を確認。 ・ 容器疲労寿命がライナー発生応力で支配されていることを確認。		
特認取得への取組 特認申請に資するデータ採取	データ部採取。		
規制見直しへの取組 各種委員会での複合容器への要求事項の議論	・ 低合金鋼ガイドラインWG、スチールライナー-CFRP 複合容器ガイドラインおよび技術基準策定検討開始に多大な寄与。		
[1/2 共同研究] -14: 「アルミ製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」			
CFRP蓄圧器成型技術の開発 CFRP蓄圧器材料の開発 製造コストを1.5万円/L以下、サイクル使用回数10万回以上。	汎用CFの適用により材料費のコストダウンが可能。サイクル試験圧力媒体の変更により、サイクル使用回数が従来の2万回10万回達成		
基準、検査に関する他事業との連携 使用蓄圧器評価の実施。	AE法を実寸大容器のサイクル寿命評価に適用し、有意な信号を計測できた 使用後蓄圧器の破裂試験において使用済み蓄圧器の健全性を確認した。		
[1/2 共同研究] -1: 「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」(八千代工業・東邦テナックス)			
(1)タイプ4製造指針の構築 300Lクラスサイズ大型複合容器試作及び製作課題抽出終了	・ 小型容器で得られた指針を大型容器試作に反映終了。 ・ シール性能は高温/低温共に、確保できる見通し。		
(2)樹脂ライナー材料の評価 耐久保証方法(クライテリア)の設定終了	耐ブリスタ性能を確保するクワリリアを抽出することができた。		
(3)大型容器での性能評価 特認取得に必要な性能(KHKTD5202)を満たしていることの証明終了	疲労試験未達(原因は特定済) 環境試験OK、その他試験中		
(4)蓄圧器最適CFの開発 CF使用量低減10%以上(現行CF対比)を容器評価で実証/確認する	標準品対比10%以上の強度向上を確認できた。		
[1/2 共同研究] -2: 「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」(中国工業)			
複合容器蓄圧器の規制動向の把握と法規制への対応方法決定	複合圧力容器蓄圧器分科会にオブザーバーとして参加し、技術基準制定に向けての内容を理解		
大型容器を作製するためのフィージビリティスタディの実施	各セクションの要素研究を行いType4複合圧力容器蓄圧器に必要な内容を理解		
小型複合容器の試作と評価	30L複合容器の試作を行い、口金シール構造・融着技術及びライナー・CFRP接着の確立		

最終目標	研究開発成果	達成度
中型 type4 複合容器の試作と 評価	30L の容器開発から CFRP 補強のポイントを理解し 240MPa 圧力破壊試験クリア、更なる軽量化を推進中	
大型高圧水素用 Type4 複合容器蓄圧器の製造指針の構築	100L 複合容器試作評価にて 300L 複合容器への製造指針を助案中	
[1/2 共同研究] -16:「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」(丸八・巴商会)		
30L~150L 級水素ステーション用タイプ 4・複合容器蓄圧器の設計及び解析。 樹脂ライナー製タイプ 4 複合容器蓄圧器の信頼性安全性を担保した設計解析の実証	充填圧力 86MPa x 安全係数 2.25 倍でサイクル回数 100 万回に耐え得る蓄圧器が設計解析で確認できた。	
30L~150L 級樹脂ライナーの試作開発。 長尺大型樹脂ライナーの成型、溶着技術確立	50L 級樹脂ライナーの試作開発を実施及び大型長尺樹脂ライナー成型・溶着の基盤技術が確立できた	
30L~150L 級タイプ 4 複合容器蓄圧器試作開発。 設計耐圧 106MPa 以上、圧力サイクル回数 10 万回の複合容器蓄圧器の開発	50L 級複合容器蓄圧器の試作開発 FW 加工が完了。設計耐圧 86MPa を上回る、159MPa の破裂圧力を達成	
タイプ 4 複合容器蓄圧器の KHK 認可取得業 取得要件及び市場動向調査。	30L 級~300L 級複合容器蓄圧器の KHK 認可要件及び、市場調査を実施	
[1/2 助成] -12:「有機ケミカルハイドライド法脱水素設備の水素ステーション用小型化・低コスト化」		
水素ステーション用脱水素設備システムの最適化、およびコンパクト化 大型プラント向けに開発されてきた脱水素システムを水素ステーション向けに最適化およびコンパクト化された検証設備にてプロセス性能を達成する。また検証設備でのコンパクト化要素を反映し、スキッド化商用設備を試設計する。	検証設備の設計・製作・建設を終了し、現在は運転試験中であり、一定の運転条件にて、性能が達成された。(2月予定)商用設備の試設計は、継続中。	
FCV 用水素燃料仕様をクリアする精製技術の開発 有機ケミカルハイドライド法では、水素中にトルエン等の炭化水素が含まれるが、FCV 用水素燃料仕様 ISO14687-2 (2012) をクリアするために、PSA 精製設備の検証運転試験にて C1 換算にて、2 ppm 以下の炭化水素を達成する。	検証設備の設計・製作・建設を終了し、現在は運転試験中であり、一定の運転条件にて、性能が達成された。(2月予定)	
脱水素設備の低コスト化 既存のオンサイト商用ステーション水素製造設備と同等の設備コストとするために、検証設備のプロセスをもとに、商用設備の試設計と積算を実施	商用設備の試設計、およびコスト低減検討は、継続作業中。(2月予定)	
[1/2 助成] -8:「オンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の開発」		
水素ステーション用複合型改質器の詳細設計および製作 ステージ 1 で実施した複合型改質器の基本設計をもとに改質反応管の構造解析、流体解析、反応解析を実施して複合型改質器の詳細設計および製作を行う	改質反応管の構造解析、流体解析、反応解析を実施して複合型改質器の詳細設計を行い複合型改質器を完成させた。	
複合型改質器を搭載した水素製造装置の詳細設計および製作 実証試験用として実用機 (300Nm ³ /h) の 1/3 である 100Nm ³ /h 級水素製造装置の製作 水素製造装置の構成機器点数: 現状装置の 1/2 (10 点以下)	実証試験用 100Nm ³ /h 級水素製造装置の詳細設計を行い、水素製造装置を完成させた 水素製造装置の構成機器点数は 10 点以下を達成した。	

最終目標	研究開発成果	達成度
水素製造装置の運転評価 水素製造能力：100Nm ³ /h 製品水素純度：ISO14687-2 FCV 用水素燃料規格（2012、Grade D）準拠 起動時間：従来品と同等	水素製造能力：100Nm ³ /h 製品水素純度：ISO14687-2 FCV 用水素燃料規格（2012、Grade D）準拠 起動時間：従来品と同等であることを達成した。	
事業終了後のコスト目標 100Nm ³ /h 級水素製造装置：5,000 万円 300Nm ³ /h 級水素製造装置：9,000 万円	コスト試算を行い 100Nm ³ /h 級水素製造装置：5,000 万円 300Nm ³ /h 級水素製造装置：9,000 万円 の目処を付けた。	
[1/2 助成] -9：「複合型高圧水素圧縮機の研究開発」		
複合型高圧水素圧縮機の試作 吐出圧力：82MPa 吐出容量：340Nm ³ /h 消費電力：85kW	試作および試運転を完了し所定の性能を確認した。	
コストダウンの実現 6,500 万円の見通しを得る。	目標コスト 6500 万円を達成する見通しを得た。	
[1/2 助成] -13：「低コスト・プレクーラーの研究開発」		
熱交換ユニット研究開発 ステージ 設計検証を基に熱交換ユニットを 4 基製作する。	熱交換ユニット 4 基 (KHK 特認取得) を製作した。	
ブラインの選定 伝熱性能に優れた低コスト不揮発性間接冷媒の採用の検討をする。	伝熱性能に優れ HFE 系ブラインと比較し 1/10 コストの不揮発性ブライン FP40 を採用した。	
冷凍機システム研究開発 低温チラーユニットの低コスト化と省エネルギー性の追求。	リザーバータンク設置による冷凍機能力の低減の確認、省エネモードの有効性確認を実施した。	
プレクーラー性能確認試験 高圧水素急速充填設備を用いて、確立した試験条件に基づきシステムの冷却性能を確認する。	各試験条件下でガス供給温度は充填技術基準を満たす冷却性能を達成することを確認した。	
プレクーラー適用性拡大 熱交換ユニットを 4 基の組み合わせとしバス・トラックを想定した大容量充填が可能か確認する。	Heavy duty protocol 条件でガス供給温度は管理基準内に留まり十分な冷却性能を確認できた。	
コスト分析・資産 目標価格（量産時 2,400 万円）の達成可否を判断する。	熱交換ユニット基数半減・冷凍機能力削減・低コストブライン採用により、目標価格達成を確認した。	

研究開発項目：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」

最終目標	研究開発成果	達成度
-1：「水素ステーション高度安全・安心技術開発」		
セーフティーデータベース データベース構築・完成、運用での更なる展開。	セーフティーデータベースの完成（H27.3）と運用の実施。過去の実証水素ステーション事例及び商用ステーション事例を追加。	
人材教育・育成手法の開発 教育マニュアル、指針(案)、訓練カリキュラム完成	教育設備・訓練指針(案)と訓練カリキュラム完成。 従業員の教育マニュアル(案)作成)、FCV 講習テキスト(案)の作成、試験運用。	
次世代水素ステーション技術開発 平成 27 年度で終了。	必要な技術開発項目の抽出・報告完了。	
社会受容性の向上 ポータルサイトの継続・改善、アウトリーチ活動の継続、商用水素ステーションの新規需要創出。	ポータルサイト(水素エネルギーナビ)開設、啓蒙動画「Suiso なセカイへ」作成。 展示会出展、国内外プレゼン実施	
-2：「高圧水素ガス用高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接継手に関する研究開発」		
高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接技術開発 -1 溶接材料の開発 アンダーカット回避、余盛り確保に有効な溶接材料の開発。 -2 溶接ガスおよび溶接パラメータの最適化 高窒素濃度維持に有効な溶接ガス混合比と溶接パラメータの最適化。	溶接部で強度低減の生じないガスタングステンアーク溶接の溶接ガス、溶接材料を開発し、それらを含めて溶接条件の最適化を行った。母材の引張強さの規格値以上の配管溶接継手の引張強さを達成した	
溶接金属の金属組織評価 (a) 溶接継手強度と金属組織の関連付け。 (b) 開発溶接継手の金属組織健全性評価。	溶接部の窒素濃度分布、結晶粒径、フェライトの定量評価から強度特性との関連付けを行い、溶接パラメータ最適化の指針となるデータを取得した。	
溶接部の水素脆化評価 開発溶接継手の水素脆化特性評価。	配管溶接継手の高圧水素ガス中の SSRT 試験、圧力サイクル試験と水素チャージ材の疲労試験により、SSRT 特性、疲労強度と疲労寿命に水素の影響が無いことを明らかにした	
-3：「水素ステーションにおける雷被害対応技術の研究開発」		
現状把握 既設水素ステーション及び類似施設の雷被害対策実施状況の把握	水素ステーションを視察調査するとともに、CNGステーションについて聞き取り調査を実施し、雷被害対策の現状を把握	
雷害リスクの想定 水素ステーションの構成機器等を分析し、構成機器毎の雷被害リスク（影響度）を想定	構成機器等の直撃雷リスク及び雷サージリスクを分析し、個別ステーション毎にリスクを評価するための基準を定めるとともに、リスクに応じた対策の考え方を検討	
リスク評価試験の実施 鳥栖実証水素ステーションにおいてリスク評価（印加）試験を実施し、雷被害リスクを分析	鳥栖実証水素ステーションにおいて雷を模した電流を実際に印加する試験を実施し、雷被害リスクを分析	
雷害対策の検討 雷被害リスク軽減のための対策案の検討	水素ステーション固有の雷被害リスクを軽減するための具体的な対策案をとりまとめ	
雷害対策評価試験の実施 雷被害対策の実施及び雷保護対策評価試験の実施	鳥栖実証水素ステーションに対し雷被害対策を実施したうえで、実際の落雷に対する効果について検証し、対策の有効性を確認	
雷害対策ガイドライン(案)策定 水素ステーションの雷被害軽減のためのガイドライン（案）策定	水素ステーション固有の雷害リスク軽減に有効な「雷被害対策ガイドライン（案）」をとりまとめた	
-4：「水晶振動子を利用した信頼性向上が期待できる水素センサの研究開発」		
水素センサの要求仕様と評価法の調査 センサセラミックパッケージの開発目処付け完了。	目標仕様を決定した。センサの定量的な評価法の文献調査及び検討を行なった。	

最終目標	研究開発成果	達成度
センサの高感度化と製作プロセスの確立 白金触媒・水晶形状の最適化、製作プロセスの確立	電気メッキによるナノ白金触媒の形成条件最適化、製作プロセスでのセンサの試作。	
シミュレーション技術の開発 センサ素子設計のための熱・振動解析結果の提供	センサ素子の熱・振動解析結果に基づく素子設計の方向性決定	
水素センサ評価装置の改良 感度及び応答速度が測定できる装置の開発	幅広い水素濃度に対する感度試験が可能な自動校正システムの開発	
計装における水素センサの位置付け調査 水素ステーションにおけるセンサ設置場所や個数等の調査	ステーションでの定置型検知器の現状把握、市販のハンディ型検知器の性能調査	
センサ駆動回路の開発 発振回路、ヒータ制御回路、信号処理回路の開発	高精度のヒータ温度制御回路、マイコンを用いた水素濃度演算機能の開発	
模擬フィールド試験 環境試験の実施、コンタミネーションの影響評価	環境試験装置の仕様策定、装置発注（2月予定）	
水素センサ実用化における法規に関する調査 JIS、ISO等の調査、防爆構造の調査	該当するJIS、ISOの調査、適応する防爆構造（定置：耐圧、ハンディー：本安）の決定	
センサパッケージの開発 ハンディータイプ/定置式タイプの試作。	センサ素子と駆動ICを実装した小型セラミックパッケージの開発	
検出部ケースの開発 ハンディー、定置型検知器の筐体、機構部の設計開発	ハンディー型検知器の機構部試作、定置型検知器の耐圧容器設計（2月予定）	
センサシステムの開発と評価 濃度演算、故障診断機能、制御プログラムの開発と動作試験	ハンディー型の試作器完成、定置型（2月予定）	
防爆構造の検討 防爆認定に向けた構造検討	ハンディー型の本安回路および、定置型の耐圧容器のための設計仕様調査と検討	
-5：'光学式水素ガスセンサおよび水素ガスリークディテクタの研究開発、		
光学式水素ガスセンサの研究開発 センサを構成する各要素につき、製品モデルを完成させ、評価試験による機能検証を完了する。（目標：水素ガス検出限界500ppm、応答速度2sec、使用温度上限200） (a) 光学式水素ガスセンサの製品モデルを完成させ、機能検証を完了する。 (b) 実フィールドを想定した実証試験 製品モデルによる機能検証試験を実施する	検出限界 500ppm として、水素ガス検知性能を実験機で機能評価を完了した。 (水素ガス検出限界 500ppm, 応答速度 2sec, 使用温度上限 200 を達成) 実フィールドを想定した実証試験を完了。(12月予定)	
水素ガスリークディテクタの研究開発(近接型/遠隔型) (a) 製品モデルを完成させ、機能検証を完了する。（目標：水素ガス検出限界500ppm、測定精度30%） (b) 本技術の遠隔計測への適用可能性を見極める。	検出限界を 500ppm に設定。 [近接型]実証機での機能評価を完了した。 (水素ガス検出限界 250ppm, 測定精度 30%を達成) 実フィールドを想定した実証試験を完了。(12月予定) [遠隔型]試作機が完成、機能評価が完了した。 (水素ガス検出限界 0.5%, 離隔距離 8m、位置精度 0.2m を達成)	

最終目標	研究開発成果	達成度
-6：「水素火災可視化機能を有する監視システムの研究開発」		
<p>製品モデルの製作・試作 / 5m の離隔距離を以て火災長が 2cm 程度の微小水素火災を確実に可視化する機能を具備する画像伝送方式の監視システムの製品モデルを設計・試作する。上記監視システムの製品モデルによる機能を検証する。</p>	<ul style="list-style-type: none"> 近赤外カメラと光学フィルターの適用により、5m 遠方の微小水素火災を可視化することが出来ることを検証した。 水素火災検知の信頼性を高めるために撮像する遠赤外線画像を流用する監視システムの実用性を確認した。 光ファイバを用いて防爆区域の画像を非防爆区域に伝送する画像伝送方式を考案した。 前照灯による影響排除の対策の必要性が判ったため、判定条件の重畳化をフィールド試験で検証した。 コスト見積もりを完了した。(12月) 	
-7：「電気化学式水素ポンプに係る研究開発」		
<p>電気化学式水素ポンプ用電解質膜・触媒設計 電気化学式水素ポンプの運転条件設計 電気化学式水素ポンプ用膜電極接合体・セル設計 炭化水素系膜を用いた小型電気化学式水素ポンプ(以下、PEMポンプ)セル(電極面積 5~25cm²)の初期消費電力(理論電力/電力効率@圧縮圧 35MPa)が、機械式圧縮機(0.5 kWh/Nm³*)と同等以上の見通しを得る。</p>	<p>炭化水素系膜を用いた PEM ポンプセルの設計・開発により、高圧 35MPa 水素圧縮に成功(低圧側 0.6MPa)。35MPa 機械式圧縮機と同等レベル以上の効率を確認した。更なる 45MPa 圧縮を達成した。</p>	
<p>現行水素ステーションに適用するための課題抽出と解決策の検討 圧縮圧 70MPa 以上の中大型化に向けた技術課題と解決策を検討する。</p>	<p>中大型化に向け機械式圧縮機メーカー等との連携を検討し、課題を抽出。</p>	
<p>電気化学式水素ポンプの調査研究(H27 年度完了) フィージビリティスタディーを通じて、技術開発課題の抽出と目標設定を行う。実施にあたっては、エネルギー機関、システム機関などと連携し、検討委員会を設置し、取り組む。</p>	<p>FS 結果から、大型水素 ST に関しては PEM ポンプの適用が見込まれ、中小型水素 ST に関しては小規模に適した周辺機器の大幅なコストダウンが実現すれば、事業性が見込まれることがわかった。</p>	
-8：「水素社会構築に向けた社会受容性調査」		
<p>社会受容性に関する仮説の抽出 探索的調査の実施</p>	<p>国内外の文献調査、一般市民を対象にしたグループインタビュー、ウェブ上の発言の分析(テキストマイニング)より、水素の社会受容性に関する仮説を抽出した。</p>	
<p>社会受容性に関する仮説の検証 代表性が担保された偏りの少ないサンプルを基にした検証、および経年的変化の分析</p>	<p>エリアサンプリングによる大規模アンケート調査を実施し、平成 21 年度調査との比較分析や属性による影響等に関する分析を実施するとともに、専門家へのヒアリングを行い、仮説の検証を行った。</p>	
<p>技術開発課題の明確化とコミュニケーションへの示唆の抽出 社会的理解と技術課題の両面の十分な理解による課題・示唆の抽出</p>	<p>、の結果より、一般市民の認識ごとに技術開発やコミュニケーションのあり方について整理した。</p>	

最終目標	研究開発成果	達成度
-9：「実環境下における安全運用技術の研究開発」		
水素技術センター整備 水素技術センターの完成	水素技術センターの予定通りの建設完了(稼働12月予定)	
実使用環境下における評価技術の実証 開発品の実証、充填プロトコルの実証、人材育成・技術伝承及びトレーニング、計量技術の実証評価の試験方法、試験計画を決定し、検証試験を実施する。	試験計画の検討が完了(実証12月予定)	
セルフ対応関連技術の実証 連続充填時の水結対応技術の実用性の検証の試験方法、試験計画を決定し、検証試験を実施する。	試験計画の検討が完了(実証12月予定)	
低コストステーション技術の安全性検討 ST設備仕様の抜本的な見直し検証の試験計画、低コスト設備仕様の充填制御の安全性/運用性検証の試験計画、次世代プロトコルや直充填制御を活用したSTコスト低減の検証計画を決定し、検証試験を実施する。	試験計画の検討が完了(実証12月予定)	
-10：「四大都市圏から全国普及に向けた水素ネットワークの技術課題に関する検討」		
対象地域特性の把握 水素供給源の分布、再生可能エネルギー利活用状況、既存SSの活用ポテンシャル把握	自動車の分布特性、給油所の配置特性、利用目的と移動距離の関係把握	
水素ステーションの適正配置とFCV普及シナリオ検討 FCV・水素ステーションの“見える化最大”のための適正配置と成立条件の提示	適正配置条件設定・普及シナリオモデル作成(11月予定)	
水素ステーション普及にあたっての給油所活用等における課題抽出 技術的課題の抽出	ヒアリング実施(11月予定)	
課題に係る因子間の関連性検討 課題因子間の連関と対応優先度の提示	(12月予定)	-
課題解決の方向性の検討 仕様目標の提示、給油所活用の方向性検討	(12月予定)	-

研究開発項目：「CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する研究」

	最終目標	研究開発成果	達成度
- 「海外の政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」			
	IEA/HIA の各作業部会、執行委員会の情報を入手・分析し、関係者に提供する。	• IEA/HIA の各作業部会の情報入手と展開	
	IEA/AFCIA の各作業部会、執行委員会の情報を入手・分析し、関係者に提供する。	• IEA/AFCIA の各作業部会の情報入手と展開	
	IPHE の本会議（運営委員会）やワーキンググループ、各種ワークショップ、関連イベント等の情報を入手・分析し、関係者に提供する。	• IPHE 運営委員会の対応（平成 25 年度 2 回、平成 26 年度 2 回、平成 27 年度 2 回、平成 28 年度 2 回、平成 29 年度 1 回）	
	各国情報を収集・分析し、国際情報共有ネットワークにて展開する。	• 国際情報共有ネットワークの構築、水素エネルギー白書の作成を支援。	
	各会議での情報発信や会議運営を通じて、日本の情報を発信する	• 第 20 回 IPHE 運営会議や IEA 水素ロードマップワークショップの開催を支援。	
	国際最新情報を収集し、速報性を重視して、レポートを発行。	• NEDO に WEEKLY で国際情報を提出。	
- 「有機ハイドライドを用いたロシアからの CO2 フリー水素導入に関する調査研究」			
	有機ハイドライドによる水素の大量輸送・貯蔵技術を活用し、ロシアからの CO2 フリー水素エネルギーの導入に向けた課題を明らかにする。	<ul style="list-style-type: none"> • ロシアのエネルギー政策、電力事業、再生可能エネルギー賦存量、港湾設備等について調査を実施した。 • 調査結果を踏まえ、極東地区の複数を有望サイトとして抽出した上で、現地調査にて現況を確認した。 • 極東地区での水素製造～日本での輸入について経済性分析を行い、経済産業省の「水素・燃料電池戦略ロードマップ」にある 30 円/Nm³ 程度の価格を実現出来る可能性があることを確認した。 	

3 . 研究開発成果の意義

(1) 成果の市場性

2015 年以降の水素ステーション・FCV の普及・拡大に資する。2030 年の国内市場規模は、水素ステーションで 228 億円、燃料電池自動車用水素燃料で 500 億円、燃料電池自動車は累計で 80 万台規模となると予測される(*1)。加えて、関連する業種は多岐にわたり、新たな産業・雇用を創出できるとともに、技術の世界展開によるアウトカムは更に大きい。

(*1: 富士経済「2017 年版水素燃料関連市場の将来展望」)

(2) 成果の水準

成果は、水素製造装置等をはじめ技術的には世界トップ水準にあり、ISO や HFCV GTR などの国際標準、国際技術規則などで議論をリードしている。ただし、国際技術規則は国内法(高圧ガス保安法)との整合性が重要であり、引き続き日本が議論をリードするためには、単に技術的な成果を求めだけでなく、情報収集を始め国内関係者との連携などの仕組みの維持・継続が必要である。また欧米にコスト的に競合するためには、低コスト化の阻害要因になっている安全性を担保した規制見直しが必要である。引き続き、技術開発と規制見直しを両輪として推進することが重要である。

(3) 成果の汎用性

水素製造装置の成果は、水素ステーションに限らず他の用途の水素製造にも適用可能である。また、70MPa という超高压の水素貯蔵・輸送・充填等に係る成果は、他のガス(天然ガス、工業ガス等)にも適用可能である。水素計量技術については、今後水素を利用するあらゆる分野での適用が期待される。また水素や高圧ガスを安全に取り扱うための技術やノウハウなどは、水素社会を構築する上で必要であり、水素ステーション関係者、FCV 所有者だけでなく、一般消費者も享受することが可能となる。

(4) 他の競合技術と比較しての優位性

ガソリン・ハイブリット車と比較して、水素・FCV は Well-to-Wheel 効率において優位なだけでなく、運輸部門での CO2 削減 80%(1990 年比)に必要な技術である。水素は再生可能エネルギー等あらゆる一次エネルギーから製造でき、エネルギーの多様化の面からも優位である。ただし現時点では普及規模が小さいため経済性が課題である。

4. 特許、論文、外部発表等の件数

本事業での特許、論文、外部発表等の件数はH29年10月末で以下の表のとおりである。論文発表、研究発表等は順調に成果をあげ、特許出願については事業を通じて67件に達した。今後審査請求を通して、積極的な権利化を進める予定である。

研究開発項目 「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

	H25	H26	H27	H28	H29	計
論文	8	14	20	21	10	73
研究発表・講演	38	96	105	103	56	398
受賞実績	0	2	2	0	0	4
新聞・雑誌等への掲載	3	3	25	4	1	36
展示会へ出展	1	2	5	3	6	17
特許出願	1	2	2	4	5	14
うち外国出願	0	0	1	0	4	5

研究開発項目 「燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」

	H25	H26	H27	H28	H29	計
論文	5	6	4	6	1	22
研究発表・講演	64	66	66	58	47	301
受賞実績	1	2	2	0	0	5
新聞・雑誌等への掲載	7	7	13	6	4	37
展示会へ出展	3	9	9	11	2	34
特許出願	4	11	16	9	7	47
うち外国出願	0	6	1	1	1	9

研究開発項目 「水素ステーション安全基盤整備に関する調査研究」

	H25	H26	H27	H28	H29	計
論文	0	0	0	1	0	1
研究発表・講演	0	10	10	13	18	51
受賞実績	0	0	0	1	0	1
新聞・雑誌等への掲載	0	6	2	0	0	8
展示会へ出展	0	4	5	6	3	18
特許出願	0	1	1	2	2	6
うち外国出願	0	0	0	1	0	1

研究開発項目 「CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」

	H25	H26	H27	H28	H29	計
論文	0	0	0	0	0	0
研究発表・講演	1	1	1	0	0	3
受賞実績	0	0	0	0	0	0
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0	0	0
展示会へ出展	0	0	0	0	0	0
特許出願	0	0	0	0	0	0
うち外国出願	0	0	0	0	0	0

詳細は各項目の成果詳細に記載

・ 実用化の見通しについて

平成 22 年(2010 年)に策定した NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ 2010 では、2015 年頃、2020 年頃、2030 年頃それぞれについて水素ステーションコストの目標をはじめ各要素機器の事業化に向けた課題を明確化した。また産業界の総意として、平成 22 年 7 月には FCCJ によって 2015 年(平成 27 年)に FCV の一般ユーザへの普及開始に向けたシナリオが提案された。本事業ではそれを元に、水素ステーションコスト目標(普及期)を 2 億円と設定し、それに必要な規制の見直し、低コスト機器開発をテーマに本事業を平成 25 年 2 月に開始した。その後、必要に応じて、低コスト機器開発の追加公募(平成 25 年 12 月)、一層の安全・安心に向けた水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発の追加公募(平成 26 年 4 月)、新たな規制見直しや一層の低コスト化に資する追加公募(平成 27 年 6 月)、2025 年の普及拡大に向けた高度安全・安心技術開発に関する追加公募(平成 27 年 9 月)や国際標準の新規対応の為に追加公募(平成 28 年 3 月、平成 29 年 2 月)、水素インフラ普及のための調査研究の公募(平成 29 年 5 月)等を行い、実用化が確実となるよう事業内でのテーマの統廃合を進めてきた。

各研究開発項目での実用化の見通しについて以下に詳述する。

1.1 研究開発項目 : 「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」の実用化の見通しについて

事業開始当初は、平成 22 年 12 月 28 日に、原子力安全・保安院から公表された「燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制の再点検に係る工程表」に挙げられた項目の一部を本事業で行うこととなった。一方で、FCCJ や JAMA など民間から要望のあった規制見直し項目が閣議決定され、規制改革実施計画(平成 25 年 6 月 14 日)の「次世代自動車の世界最速普及」、規制改革実施計画(平成 27 年 6 月 30 日)の「次世代自動車の普及拡大促進」へ新たに項目が反映され、これらで挙げられた項目の一部の課題解決についても追加公募等により対応し、順次成果を挙げている。実用化への見通しについて、本事業での成果を元に、一年以内程度で、(1)経産省の保安分科会高圧ガス小委員会での議論を通して、高圧ガス保安法へ反映、(2)民間ガイドラインとして策定される予定である。また国際的な規格・基準としては、(3)ISO、(4)UN/ECE/WP29 での HFCV GTR phase2 があるが、これらは開始後 2 年～3 年以内には新規/改訂発行されるため、事業終了後遅くとも 2 年以内には実用化(発行)される。

以上のことから、事業成果は 2015 年(平成 27 年)の普及開始以降、順次実用化され FCV・ステーションのコスト低減に役立っている。また、2025 年(平成 37 年)頃の FCV・ステーションの自立拡大時期には十分に活用されていると考えられる。

1.2 研究開発項目 : 「燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」の実用化・事業化の見通しについて

水素ステーションを構成する機器のシステム技術開発があり、水素製造装置、圧縮機、蓄圧器、プレクーラ、ディスベンサ、車載高圧水素ガス容器、水素貯蔵材料等がある。これらの要素機器についても低コスト化に向けた検討が進んだ。またこれまで宇宙産業など限られた分野でしか利用されてこなかった液化水素や、工業製品としての有機ハイドライドが水素キャリアとして注目されつつあり、これらをオンサイトで利用する技術開発も規制の見直しに併せて進んだ。

当初掲げたアウトプット目標の数値目標について、水素ステーションについては、高圧水素雰囲気下で使用できる材料の適用範囲を拡げ、低コスト材料を利用できる規制見直しに資する研究開発を行うとともに、水素ステーションを構成する個別の装置のコスト分析を行い、コスト目標を明確にした公募を行った(水素製造装置: 50 百万円/圧縮機: 65 百万円/蓄圧器: 12 千円/L/プレクーラ装置: 24 百万円)。

水素貯蔵システムも高密度化炭素材料(ZTC)等を用いた複数の水素貯蔵材料容器技術により、達成の目途を得たことで、現状技術である 70MPa 高压容器の半分程度容器体積を持ちながら、安価かつ燃料電池自動車への水素供給が可能な水素貯蔵材料容器システム技術を複数提案する事ができた。

1.3 研究開発項目：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」の実用化の見通し等について

研究開発項目は、2つのテーマがあり一つは既に始まった商用ステーションに対するもので、2015年の普及開始時での利用を目指したものである。主な成果は、(1)セーフティデータベースの作成・提供、(2)ユーザが安心してサービスを受けることができる運営・管理マニュアルの指針の作成、(3)情報ウェブサイト及び啓蒙動画作成による一般の方への情報提供である。

(1)については基本フォーマットを作成し、JHFC1～JHFC3までの実証水素ステーション及び商用ステーションで得られた情報を反映、HySUTを通じ関係事業者への展開を行っている。また(2)についても、マニュアル化を完了し、関係者へ配布が進められている。(3)は平成27年5月よりウェブサイト一般公開を開始し適宜情報をアップデートしている。また、更に水素への理解度を深める方法として一般向け動画を作成し、ウェブサイトで公開した。

もう一つは、2025年の普及拡大期を狙ったもので、これには次世代の水素ステーションのあるべき姿をコンセプト化し、必要な技術開発を行うものである。一部に、水素ガスセンシング技術の向上、水素火災センシングなど水素の見えにくい性質を疑似的に可視化し、安全性を高めようと言うものや、雷被害対策、電気化学式水素ポンプ等、実ステーションの普及に寄与できるものであり、これらは事業終了後に実用化できる見込みである。

1.4 研究開発項目：「CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」の実用化の見通しについて

研究開発項目は調査研究であることから、本研究にて得られた情報、知見を他の事業に活用促進することが、実用化となる。

国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向の調査において、国内外の関連有識者とのネットワークが構築された。本ネットワークは研究開発項目において社会受容性向上の研究において活用されている。また、水素社会構築技術開発事業において再生可能エネルギー由来の水素製造実証試験を実施する中において国内の異業種連携の基として本ネットワークが活用されている。また、海外からのCO2フリー水素の調査にて得られた海外からの一連の物流に関する知見は、水素社会構築技術開発事業における海外からの水素サプライチェーン構築の実証事業において活用されている。

以上のように、タイムリーな情報発信を継続することが実用化を促進するものと考えられる。

以下に各項目の詳細について示す。

研究開発項目：「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

項目	実用化の見通し
-1： 「水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発」	作成した技術基準案が審査され、関連法規の改正等の措置が成されることで、高圧ガス保安法一般則等の関連法規の整備及び適正化が図られ、FCV 及び水素供給インフラの一般普及を促進する見通しである。
-11： 「水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討」	作成した「水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン」は業界関係者に周知され、水素スタンドにおける緊急時の水素スタンド作成者の対応手順・教育訓練や防災訓練などを記載する危害予防規程や非常措置マニュアル等の作成に反映される見通しである。 本検討の成果である例示基準案については、一般高圧ガス保安規則の新たな例示基準 59 の 11 として制定された。
-6： 「水素ステーション用複合容器の供用中検査手法の研究開発」	複合容器の供用中検査として AE 法の適用方法に関する基本技術を確立した段階である。今後、計測精度などの検証のため、種類が増えてくると予想される複合容器の運用下での AE データベース構築など行い実用化を目指し、2030 年の実用化を目指す。 複合容器の試験圧力サイクル数まで、安全を担保しつつ、経済的な長寿命化を実現して実用化となる。途中のマイルストーンとして 2020 年に設計圧力サイクル数までの AE 法の特性を把握できるデータベースを構築する。データベースには振幅比の定量的データが含まれなくてはならない。 今後のデータベース構築などの実用化については、Type 複合容器の長寿命化を望む水素ステーション事業者や容器メーカーと連携して実施することが好ましい。
-2： 「水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発」	水素ステーションでニーズの高い鋼材について、事業者の申請負担を軽減し、新たな鋼材（＝例示基準化されていない鋼材）を使いやすくすることで、水素ステーションでの利用を促進する。 鋼種拡大の寄与はほとんどの機器に及ぶものの、コスト的にはいずれも製作・加工費の割合が高く、材料費のみが全体コストへ及ぼす影響は少ない。 汎用品化、例示基準化により、材料入手、各種手続きの簡素化及び利用方法の改善（溶接など）効果が非常に大きい。 新たな鋼材の例示基準化により、申請負担を軽減することがニーズとなっている。 本事業において、例示基準化に資する資料の作成を行ってきており、このニーズに合致している。
-4： 「複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発」	技術文書 KHKT05202 の疲労試験に関する改正素案及び解説書案から Type3 複合圧力容器蓄圧器の疲労寿命の延長が期待できる。加えて部分充填圧力条件での評価の併用で耐久性検査試験工数の削減が可能となり、複合圧力容器蓄圧器の製造コストの大幅低減が期待できる。
-3： 「燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発」	低合金鋼においては、蓄圧器製造メーカーとしての知見を反映させた低合金鋼技術文書が発行され、水素の影響を受ける高強度低合金鋼においても安全に使用することが可能となり、水素ステーションおよび燃料電池自動車、等に採用されることを実用化と考える。また、水素環境用に開発された各種ステンレス鋼においては、それらの特徴や利点を活かして水素ステーションおよび燃料電池自動車、等に採用されることを実用化と考える。 <HRX19 ステンレス鋼> 水素ステーション用機器に HRX19 および XM19 が使用されている SUS316L に比べて優れた耐水素ガス脆化特性・疲労特性を有していることを確認済み。今後は構造物を考慮した利用技術データ（溶接や曲げ等）を継続採取し、本鋼に関して溶接を利用した実用化・規格化を目指す。 <STH2 ステンレス鋼> 水素ステーション想定環境下で SUS316L と同等の耐水素ガス脆化特性を有することを確認済み。また、Cu,N は耐水素ガス脆化特性の向上に有効であることを確認し、これら元素の影響を加味した Ni 当量式提案に資するデータ採取を実施した。今後は実用化・例示基準化を目指す。 <SUS305 相当ステンレス鋼> 高圧水素用機器の低コスト化に有効であることをユーザーと共に確認済み。工場の量産設備を用いた製造工程を確立し、「AUS305-H2」としてサンプルをユーザーに販売中。今後は水素ステーション用機器および燃料電池自動車用機器への適用に向けて実用化・例示基準化を目指す。

項目	実用化の見通し
<p>-5 : 「自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発」</p>	<p>本事業で作成した容器破裂圧適正化案・水素適合性試験法案・アルミニウム合金の腐食試験法案を HFCV GTR Phase2 へ提案することで、日本主導で HFCV GTR Phase2 審議を進めることが可能となる。 HFCV GTR Phase2 に日本の提案が反映されることで、容器破裂圧の適正化および使用可能材料の拡大により、容器の軽量化・コスト削減が可能となる。 HFCV GTR Phase2 発行後、UNR134 Phase2 が審議され、発行される予定。UNR134 Phase2 により、燃料電池自動車の国際取引において、使用材料も含めた相互認証が可能となり、燃料電池自動車の認証効率化、低コスト化に繋がる</p>
<p>-7 : 「水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発」</p>	<p>[サブテーマ1：適正かつ安価・簡便な供給水素の品質管理方法の研究開発] 優位性： TOFMS のような多成分分析計は現状市場にはなく、分析効率の面は優位性有。 分析コスト： 約 500 千円。従来分析法では約 2,000 千円のためコスト低減は提案できるが、ステーション運営費としては高コスト。更なるコスト低減がユーザーニーズ。 ステーション停止時間： 6 時間。更なる時間削減がユーザーニーズ。 売上見込み： 500 千円 / 1ST、シェア 50%として、2018 年度 20,000 千円。 [サブテーマ2：更なる低コストを狙った安価・簡便な分析方法の研究開発] 優位性： 開発した分析キットは ISO 規定全項目の分析に対応可能である。また、水素品質ガイドラインに記載の、後続ルーチン分析にも分析装置等を選択することで、ユーザー側の分析対象成分の要望にも柔軟に対応可能である。 分析費用：約 200 千円を目指し改善を進める。輸送およびサンプリング業務を改善・効率化を今後も継続して検討することにより、更なる費用の削減を進める。 ステーション作業時間：固体捕集サンプリングと低圧試料ガス採取の組合せであれば 4 時間以内で試料採取が可能であるため、ステーション営業時間後の時間帯などでも対応可能である。 売上見込：200 千円 / ST、シェア 50%として、2018 年度 8,000 千円 [サブテーマ3：水素燃料仕様の ISO14687-2 の改訂提案・国際標準化] ISO14687 (水素品質規格) の改訂版を発行する。 ISO19880-8 (品質管理) および関連規格を整合する。 更なるコスト削減のための品質関連の規格の整合、改訂を行っていく。</p>
<p>-8 : 「燃料電池自動車への水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発」</p>	<p>(1) 先行事業成果である水素充填基準 JPEC-S0003 (2012) 及び本事業成果であるステーション性能確認ガイドライン(2013)を整備が進む 70MPa 商用ステーションに適用し実用化した。 (2) フル充填、通信充填を実現する充填基準 JPEC-S0003(2014)、ステーション性能確認ガイドライン(2014) を作成した。 2016 年 2 月関連例示基準が改定されたため、商用ステーションに適用し実用化した。 (3) バス用充填基準を追加した充填基準 JPEC-S0003(2016)、ステーション性能確認ガイドライン(2016) を作成した。関連例示基準が改定され次第、商用ステーションで実用化する。 (4) ステーション性能が性能確認ガイドラインに合致することが、NeV 補助金等の評価基準として公的に利用されている。</p>
<p>-9 : 「燃料電池自動車の水素安全基準等の国際調和に関する研究開発」</p>	<p>FCV を含む電動車両の安全規格の基準調和などにより、FCV の国際的な普及が進む。 事故後処理に関わるデータを得ることで、警防活動時等における安全管理マニュアル等へ反映され、事故後の二次災害の発生を抑制・防止できる。 安全かつ合理的な容器くず化工程に関わるデータを得ることにより、水素容器くず化マニュアル等の手順書に反映され、そのマニュアルを元にこれらの作業に携わる人材が育成し、FCV の安全かつ合理的な廃車処理が実用化される。 FC2 輪車の安全データを取得することで、FC2 輪車に関わる道路保安法および高圧ガス保安法が発効される。</p>
<p>-10 : 「水素ステーション等機器の国際標準化動向に関する検討」</p>	<p>日本主導で、適正な ISO 国際規格を策定することにより、機器及びシステムのコスト低減が図れ、もって水素供給システムの確立と FCV の普及拡大に貢献できる。 上記に当たり、NEDO 他事業の研究開発内容を元にした ISO 国際規格への提案と、ISO 国際規格案会議での議論の NEDO 他事業 (研究開発事業) へのフィードバックが重要である。日本主導で、適正な ISO 国際規格を進め、その結果を業界団体や関係企業にフィードバックを行うことにより、日本企業活動の活発化が図れ、ひいては、国際競争力の向上に繋がり、国益に資することが可能となる。</p>

研究開発項目：「燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」

項目	実用化の見通し						
<p>[委託] -5: 「水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発」</p>	<p><ホース分野> ・水素ステーション普及に向け、国際標準に対応するホースの供給を行う。 ・国内外のステーション周辺機器や各種水素ガス輸送分野への用途拡大を図る。 ・樹脂材料は、樹脂メーカーに開発レシビを提供し、既存樹脂同士のコンパウンド化により得られる。材料調達には問題ない。 ・ガスバリア材料については、日本合成化学工業（株）独自技術で製造を行っているため、本プロジェクトで開発した樹脂についても実用化の時、供給に問題ない。</p> <p><シール分野> ・信頼性が高く、実使用上問題なく使用可能なシール製品を提供するため、各種ゴム材料の水素特性を十分に把握し、水素ガスシール用ゴム材料の開発ならびに評価規格立案などに役立つ実用上の知見を系統的に得ることが実用化には必要であると考え。このような基礎技術を背景に、高圧水素用ゴムシール部材およびシールシステム設計指針を各メーカーや機関が、各種水素関連機器の設計・試作検討の段階から活用することで、実用化を推進する。 ・シール材メーカーが、CERIの成果を活用することで高性能な高圧水素用シール材の開発が低コストで進み、実用化が進むと考えられる。</p>						
<p>[委託] -6: 「高圧水素機器用ホース等システム部材の研究開発」</p>	<p>実用化には以下が必要。 現在の仕様のステーション使用におけるホースの適応性確認 実地とラボ試験の結果乖離理由の明示 実使用環境を想定したラボでの評価を継続 ラボ評価を基に実地での実力把握（予測）</p> <p>実地模擬試験（ラボ試験）環境と実地環境の乖離が存在 実証するためのラボ試験条件の構築が必要</p>						
<p>[委託] -11: 「水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発」</p>	<p>重量法試験装置 計量精度について、ガソリンの0.5%に対して水素は10%である。各国ではOIMLベースの2%を目標としており、本格的な水素STの普及にはディスペンサーの更なる精度向上の研究が必要である。さらに2020年台後半に水素計量器の特定計量器化が予定されており、水素ステーションの計量精度を定期的に確認していくことが必要となる。このため、本プロジェクトの成果である水素計量管理ガイドラインと計量検査装置・運用手法を活用し、更に改良開発を行なう。</p> <p>マスターメーター法試験装置 トレーサビリティを確保した基準流量計および校正設備の構築および評価を実施し、評価方法の確立をおこなった。各基準流量計における経年変化等の確認を行いながら、計測の不確かさを低減させる事で正確な計量へと繋げていく必要がある。また、設備能力の維持を含めた低コストにおける計量ビジネスモデルの検討を行う必要がある。</p>						
<p>[委託] -10: 「燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する研究開発」</p>	<p>現在は中型セダンタイプに最適化したFC-水素搭載システムであるため、車種拡大と大量生産に向けた課題がある。</p> <table border="0" data-bbox="598 1489 1189 1579"> <tr> <td>大型乗用車・SUV</td> <td>高い体積水素密度(コンパクト化)</td> </tr> <tr> <td>大型トラック・バス</td> <td>大量水素搭載技術</td> </tr> <tr> <td>小型乗用車</td> <td>安価な水素搭載技術</td> </tr> </table>	大型乗用車・SUV	高い体積水素密度(コンパクト化)	大型トラック・バス	大量水素搭載技術	小型乗用車	安価な水素搭載技術
大型乗用車・SUV	高い体積水素密度(コンパクト化)						
大型トラック・バス	大量水素搭載技術						
小型乗用車	安価な水素搭載技術						
<p>[委託] -7: 「多給系フィラメントワインディングによる複合容器の設計高度化に関する研究開発」</p>	<p>技術的、経済的に実用容器（設計圧力100MPa, 300L級）が実現可能であることを検証し、既存容器に比較し優位であることを確認しながら、新容器へ順次切り替える。</p>						

項目	実用化の見通し
<p>[1/2 共同研究] -3: 「タイプ2 複合容器圧力蓄圧器の研究開発」 (JFE スチール、JFE コンテナ、三菱ケミカル)</p>	<p>製品A (初期型) 市場投入を前提とした実機のタイプ2 容器の設計を完了した。 2017 年度末までに、KHK 特認を取得すべく、各種のデータの蓄積中。 ・実機と同一断面・同一製造プロセスのタイプ2 中型容器(45L)を試作。各種の圧力サイクル試験を実施。LBB 成立を立証、10 万回のサイクルにて「漏れ無し」を確認。 ・低合金クロムモリブデン鋼の金属円筒の高圧水素環境下での安全性を立証する各種データの採取 ・プロトタイプ容器(100L)を製作し、圧力サイクル試験を実施中 継ぎ目なし鋼管製造、熱処理、金属内筒の加工、非破壊検査、フィラメントワインディング加工、容器の組立、耐圧・気密試験 等、製造工程・製造地区は多岐にわたる。 製品B (次世代型) 高剛性炭素繊維を適用した試作容器の優れた疲労寿命改善効果を確認。 高剛性炭素繊維の信頼性データを本事業中にほぼ採取を完了する。 学会発表などを経て、当該の高剛性炭素繊維の認知度を確保し、KHK 特認取得を目指す。</p>
<p>[1/2 共同研究] -4: 「タイプ2 複合容器圧力蓄圧器の研究開発」 (日本製鋼所)</p>	<p>本研究により得られた成果をもとに、H30 年度に高圧ガス保安協会の特認を取得し、タイプ2 蓄圧器の受注、製造を開始する予定。 本研究により使用可能回数 10 万回の高圧ガス保安協会 (KHK) 特認取得のためのデータ採取を完了。実機の生産体制を整備し、H30 年度に KHK 特認を取得したのちタイプ2 蓄圧器の製造、販売を検討している。</p>
<p>[1/2 共同研究] -15: 「スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」</p>	<p>容器の基本設計完了。ユーザーニーズを今後明確化。 また、ステーション製造会社、運営会社および JFE スチール、JFE コンテナでステーションの仕様に関する検討会を実施し、容器仕様を確定する。</p>
<p>[1/2 共同研究] -14: 「アルミ製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」</p>	<p>D R Y 法蓄圧器の実用化は、一定量以上の受注が増え、量産となった場合、コストメリットが出て実用化が可能となる。 D R Y 法のメリットである製造スピード向上を実現するため、F W 時間短縮、ライナー製造時間短縮による課題を抽出し、安定的な量産化技術確立の検討を、今後も継続的に取り組む。 更なるコストダウン、性能向上に向けて、N E D O 事業で得られた成果、技術を基盤に継続的に検討を実施する。 これらの検討を実施し、実蓄圧器へ適用することで、コスト競争力のある蓄圧器の実用化の継続が期待できる。</p>
<p>[1/2 共同研究] -1: 「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」(八千代工業・東邦テナックス)</p>	<p>タイプ4 による実用化に向けた、基準合致の性能確保は一定の運転条件が必要となるが可能と判断する。一定の運転条件を蓄圧器ユーザーに受け入れられるために、コストインパクトを与えられるかが、今後の課題である。 コストインパクトを与えるための仕様以外の課題は、特認取得に必要な設計確認試験費用の削減または代案の検討であり、他のタイプも含め、蓄圧器のコストダウンに向けては、オールジャパンで協力していかなければならない課題と本事業を通して認識した。代案としては、理論による性能立証等によって、試験費用削減および期間短縮を構築することなど(試験体数の削減、サブスケールでの評価等)が考えられる。</p>
<p>[1/2 共同研究] -2: 「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」(中国工業)</p>	<p>本研究開発の実用化・事業化の見通しは、今後開発する大型 Type4 複合容器蓄圧器が各種設計確認試験に合格し、特認を取得する事で事業化に向けて動き出す、すなわち、水素ガスを活用した次世代の低炭素なサステナブル社会の実現を目指す産業界に使用されること及び水素ステーションの建設促進に貢献することである。 ガス業界、プラント業界の一部と意見交換し、ユーザーニーズを組み込んできた。Type4 の高速 F W 成形技術により軽量・安価なメリットを活す、また、口金からの漏洩、高いガス透過率などデメリットを克服する技術開発を行ってきた。ほぼ、前記技術は、確立している。</p>

項目	実用化の見通し
<p>[1/2 共同研究] -16: 「樹脂製ライナーの低コスト複合容器蓄圧器の開発」(丸八・巴商会)</p>	<p>H31年度中に、充填圧力86MPa、破裂圧力195MPa、100L級～300L級複合容器蓄圧器のKHK特認取得予定。 特徴：サイクル回数10万回(サイクル条件協議中)の長寿命、軽量、低価格複合容器蓄圧器を開発する。 以後、45MPa、20MPa級複合容器蓄圧器を開発、KHKの特認取得予定。 H31年(2020年オリンピック)目標に、小型低価格水素ST、フォーク用ST、輸送用カードル等を開発予定。</p>
<p>[1/2 助成] -12: 「有機ケミカルハイドライド法脱水素設備の水素ステーション用小型化・低コスト化」</p>	<p>今後の事業化に向けたステップは、以下のとおり 検証機によるFCV需要への水素供給実証および耐久性試験 商用機試設計の課題研究(触媒のさらなる改良による不純物低減やPSA圧力変動低減により、システム安定化・機器削減・コンパクト化・低コスト化の推進) 商用機本設計および製作 商用機での性能確認および耐久性試験</p>
<p>[1/2 助成] -8: 「オンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の開発」</p>	<p>複合型改質器及び複合型改質器を搭載した水素製造装置(水素ステーション用) ・本研究開発で開発した複合型改質器が、実証試験にて、従来装置以上の性能をもつことを確認済み。 ・水素ステーション用水素製造装置製作メーカーと最終製品の耐久性確認を行う。 複合型改質器及び複合型改質器を搭載した水素製造装置(産業用) ・本研究開発で開発した複合型改質器が、実証試験にて、従来装置以上の性能をもつことを確認済み。 ・産業用ガス事業者には実証機を納入した後、耐久性を含めた実証試験を実施後、最終製品を納入する。</p>
<p>[1/2 助成] -9: 「複合型高圧水素圧縮機の研究開発」</p>	<p>事業化への課題は以下のとおり 実証サイトにおける運転が進行し、本機の運用上の特性を確認すること 商用生産において高圧ガス保安法に関する申請・審査が遅滞なく行われるよう関係機関と調整すること 所定の性能を確認し、事業化の見通しがついた。</p>
<p>[1/2 助成] -13: 「低コスト・プレクーラーの研究開発」</p>	<p>低コストで高効率の熱交換システムを構築することに成功し、Powertech Labs Inc.社によるSAEJ2601充填性能を満足することを確認済み。また、熱交換器として高圧ガス特定設備認可品であり、国内法規に準拠させていることから、弊社が建設した商用の新砂水素ステーションに設置することが可能であった。本施設において平成29年7月3日より商用稼働を開始し、商用使用として十分に機能することが証明され事業化に至っている。 今後は、熱交換ユニット単体として、ディスペンサーメーカーへの販売も協議しており、その一環として商用ステーションでの実用運転と機能PRを行っている。</p>

研究開発項目：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」

項目	実用化の見通し
<p>-1： 「水素ステーション高度安全・安心技術開発」</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・水素ステーション運営者がセーフティデータベースを検索・活用することや、データ集計による分析・解析、重要事例の深掘りにより、水素ステーションでのトラブル削減が期待でき、安全・安心な水素ステーションの運用に貢献できる。 ・「水素ステーション教育設備・訓練内容指針(案)」と「水素ステーション運営訓練カリキュラム」の水素技術センターでの試験運用が、安全・安心な水素ステーションの拡大や新規参入促進の一助となる。 ・次世代水素ステーション技術開発については、この技術開発候補の中から、次世代水素ステーションに必要な技術開発が完成し、更なる安全・安心な水素ステーションの運営に寄与することが期待できる。 ・社会受容性の向上は、水素ステーションの本格普及期に向けて、継続的に必要なテーマである。
<p>-2： 「高圧水素ガス用高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接継手に関する研究開発」</p>	<p>3/8 インチ配管同士を利用して、3つの基本的な基準、容易に実現が可能（空冷式溶接機、フィラー材としてシンプルなインサートリング、温和な溶接パラメータ）、高強度（母材規格 800MPa 以上）、高い水素脆化特性、を満たす溶接継手を開発した。プロジェクト内で行った予備経済評価では、メンテナンスや漏洩リスクに関するコストを減らす溶接継手や関連するガスケット利用継手の長期的利点を示した。</p> <p>今後、溶接継手の導入へ向けて以下の3段階が考えられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・第1段階：水素ステーションの高圧配管の一部に溶接継手を使用した実証本新規配管継手を使用した試験を行い、実環境下において実現可能性を示すことを目的とする。 ・第2段階：サイズの異なる配管への展開と完成したステーションへの溶接継手導入一般的なコーン&スレッド継手と本新規継手とを技術的経済的に比較することを目的とする。 ・第3段階：すべての水素ステーションへの系統的展開 <p>この3段階の進行速度は、溶接継手のコスト、すなわち XM-19 材料や関連するガスケット利用継手のコストに大きく依存するものと思われる。</p>
<p>-3： 「水素ステーションにおける雷被害対応技術の研究開発」</p>	<p>本事業は、体系的に整理されている雷被害対策を、水素ステーションに合わせて整理するものであり、雷被害対策に係る規格改正に対しては、我が国における雷被害対策の規格化に中心的な役割を担ってきた実績を有している「一般社団法人日本雷保護システム工業会」が対応していくこととしており、既に実用化段階にある。</p> <p>また、研究成果については、水素ステーションに係る安全基準等を策定・運用する団体に共有するとともに、展示会等で普及に努めている。</p>
<p>-4： 「水晶振動子を利用した信頼性向上が期待できる水素センサの研究開発」</p>	<p>[水素センサ単体、モジュール] 水素センサ素子の基本設計がほぼ決定し、駆動回路の設計試作を行なった。また、マイコンによる信号処理回路及びパッケージを設計試作した。今後は、上市が比較的容易と想像される水素製造装置やエネファームなど装置組込み用途での VOC 収集、市場調査を再度実施し、事業終了後直ぐに具体的な量産化に向けた検討を開始する。</p> <p>[ハンディ型水素ガス検知器] 有識者との意見交換会（2015/2/13NEDO 分室にて開催）により、チーム内で合意した新たに応用機器として先行して当該製品の開発を行なった。上記のセンサ素子を使用し、検知器の基本機能を搭載した実証機を開発した。事業化については、製品の市場投入により、センサの特長である高信頼の面で優位性が市場認知された段階で、当該製品の量産化を開始する。</p> <p>[設置型水素ガス検知器] 当初より、水素センサシステムの応用機器のターゲット製品として位置付けていたが、すでに、水素ステーションでは実績が非常に重要視されることから、製品の市場投入により、業界での認知度が得られた段階で、製品化する。</p>

項目	実用化の見通し
<p>-5 : 「光学式水素ガスセンサおよび水素ガスリークディテクタの研究開発」</p>	<p>[光学式水素ガスセンサ] 水素ステーション及び水素製造プラント等の水素関連施設への適用を想定している。当初は各種フィールドでの実証試験や展示会への出店・広報活動を重ね、本製品の優位性をアピールする。本製品は光学的手法(レーザラマン分光法)を用いた全く新しい独自の技術であり、現在広く流通しているガスセンサでは困難である、非接触・高速応答が可能であることを広く周知する。 一般的に光学式ガスセンサは極めて大型であり、～数千万円程度のコストであるが、技術開発と量産効果により現在流通している市販の水素ガス検知システム(例えば6点監視で200万円程度)と同等のコストを実現する。</p> <p>[水素ガスリークディテクタ] 水素ステーション等の水素関連施設への適用を想定している。当初は各種フィールドでの実証試験や展示会への出店・広報活動を重ね、本製品の優位性をアピールする。本製品は、極めて微量の水素ガスを素早く検知することが可能であることを広く周知する。 主に特殊用途への適用が想定されるため、コストよりも機能優先し事業化を進める。</p>
<p>-6 : 「水素火災可視化機能を有する監視システムの研究開発」</p>	<p>[火災・侵入監視装置] 水素ステーションなどの水素を取り扱う施設への適用を想定している。市場投入初期は、デモ機による試験運用や展示会への出展などを通じて対象製品の特徴・優位性などを訴えることにより、市場の認知度を高める。 本格的な普及が始まるまでは、従来技術と比較すればコスト的に不利ではあるものの、水素社会に向けた社会ニーズとして絶対的な安全性が求められているため、市場獲得は可能であり、各業界の事業者との協業化など、合理的で効果的な方策を講じることにより、低コスト化を実現させる。</p> <p>[携帯型水素火災可視化装置] 消防機関や工場・プラントなどの第一線の現場で採用されることを想定している。特に、消火活動現場での利活用が効果的と考えており、汎用性を基本としつつも構造や機能性、操作性などのカスタマイズが可能な設計仕様を考えている。 製造委託を予定している事業者が、従来仕様の装置製造に対して、電子部品の最適仕様の決定や入手ルートの確立、安価な筐体設計など、低コスト化実現のための技術や知見を習得しており、これらを活用すれば、早期に市場に受け入れて貰える価格での製品提供が可能である。</p>
<p>-7 : 「電気化学式水素ポンプに係る研究開発」</p>	<p>実用化に向けた計画等 本事業の成果を使用する電解質膜、膜電極接合体(MEA)について、国内外のエネルギー事業者、水素圧縮装置メーカー、MEA・CCMメーカーとの連携を想定している。</p>
<p>-8 : 「水素社会構築にむけた社会受容性調査」</p>	<p>調査から得られた示唆としては 水素ステーションのみならず水素エネルギーや水素利用技術に関する情報提供(さらには双方向のコミュニケーション)や、水素利用の意義に対する中立的かつ一貫した説明の重要性、住民との情報共有の仕組みの構築やそれによる信頼醸成、等があった。 本事業の成果を水素ステーション事業者や政策立案者、水素ステーション近隣住民等の一般市民等が参照することで、今後の水素ステーション設置・拡大の一助となると考えられる</p>
<p>-9 : 「実環境下における安全運用技術の研究開発」</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・当センターをNEDO事業等で継続的に利用することで、他の商用STでは実現困難な実環境下における耐久性・実用性等の実証試験が可能となり、更なるSTの低コスト化、安全性向上に貢献できる。 ・国際標準である最高充填圧力87.5MPaの充填を国内で唯一可能な実環境下での実証試験場として、87.5MPa対応の開発品の評価を実施することで日本の国際競争力向上に寄与することができる。
<p>-10 : 「四大都市圏から全国普及に向けた水素ネットワークの技術課題に関する検討」</p>	<p>定量的な課題提示による水素ステーション・FCV普及支援を行うことが出来る。</p>

研究開発項目：「CO₂ フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」

項目	実用化の見通し
<p>-1： 「海外の政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」</p>	<p>以下の過程を通じて、間接的に「実用化」に寄与する。 (1) IEA HIA・AFCIAの各分科会に参加した専門委員（特に企業専門家委員）が、技術情報を得、また構築した海外ネットワークを活用し、産業化・コラボレーションを行う。 (2) 得られた海外情報を NEDO に提供することで、NEDO を通じて、各プロジェクトにこれを反映させ、その R&D の促進に寄与する。</p>
<p>-2： 「有機ハイドライドを用いたロシアからのCO₂ フリー水素導入に関する調査研究」</p>	<p>技術的には確立した。 経済性の向上に向け、経済特区等の制度に基づくインセンティブの活用、周辺の産業との熱・酸素の融通などシナジー等の詳細な調査を継続し、判断する。</p>

(添付-1)

各研究開発項目の詳細

研究成果詳細目次

研究開発項目 : 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発

-1	水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発	1
-2	水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発	27
-3	燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発	49
-4	複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発	85
-5	自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発	112
-6	水素ステーション用複合容器の供用中検査手法の研究開発	139
-7	水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発	161
-8	燃料電池自動車への水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発	184
-9	燃料電池自動車の水素安全基準等の国際調和に関する研究開発	218
-10	水素ステーション等機器の国際標準化動向に関する検討	240
-11	水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討	256

研究開発項目 : 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発

-1	樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発	272
-2	樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発	289
-3	タイプ2 複合容器蓄圧器の研究開発	311
-4	タイプ2 複合容器蓄圧器の研究開発	333
-5	水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発	342
-6	高圧水素機器用ホース等システム部材の研究開発	382
-7	多給糸フィラメントワインディングによる複合容器の設計高度化に関する研究開発	390
-8	オンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の開発	403
-9	複合型高圧水素圧縮機の研究開発	424
-10	燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する研究開発	434
-11	水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発	469
-12	有機ケミカルハイドライド法脱水素設備の水素ステーション用小型化・低コスト化	489
-13	低コスト・プレクーラーの研究開発	500
-14	アルミ製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発	525
-15	スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発	539
-16	樹脂製ライナーの低コスト複合容器蓄圧器の開発	556

研究開発項目 : 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発

-1	水素ステーション高度安全・安心技術開発	573
-2	高圧水素ガス用高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接継手に関する研究開発	597
-3	水素ステーションにおける雷被害対応技術の研究開発	625
-4	水晶振動子を利用した信頼性向上が期待できる水素センサの研究開発	635
-5	光学式水素ガスセンサおよび水素ガスリークディテクタの研究開発	657
-6	水素火炎可視化機能を有する監視システムの研究開発	683

-7	電気化学式水素ポンプに係る研究開発	708
-8	水素社会構築に向けた社会受容性調査	728
-9	実環境下における安全運用技術の研究開発	743
-10	四大都市圏から全国普及に向けた水素ネットワークの技術課題に関する検討	752

研究開発項目 : CO2 フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究

-1	海外の政策・市場・研究開発動向に関する調査研究	766
-2	有機ハイドライドを用いたロシアからの CO2 フリー水素導入に関する調査研究	781

(1-1) 「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 / 水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発」

委託先：（一財）石油エネルギー技術センター、（一社）日本産業・医療ガス協会、岩谷産業（株）、豊田通商（株）、日本エア・リキード（株）、（国）佐賀大学

成果カテゴリ（実施期間）：平成25年度～平成29年度

- ・FCV及び水素供給インフラ市場の立ち上げ及び普及拡大に向け、水素スタンドを含む水素供給インフラに関連した11項目の検討を実施し、水素供給インフラの設置等手続きの簡素化及び設置要件の緩和等を目的に一般高圧ガス保安規則等の関連法規の整備及び適正化に資する研究開発等を実施した。（2月時見込）
- ・研究項目ごとに外部有識者で構成される検討会と事業全体を統括・管理する規制適正化検討委員会を設置することにより、効率的な運営を実施した。（2月時見込）

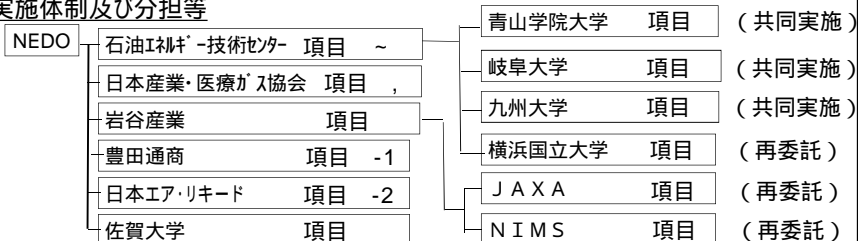
背景/研究内容・目的

FCVの4大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始を踏まえ、水素供給事業者がFCV量産車の販売台数の見通しに応じて素供給インフラの先行整備を目指すこととなり、水素インフラ市場の立ち上げ及び普及拡大に向け、水素供給インフラの設置等手続きの簡素化及び設置要件の緩和等を目的に一般高圧ガス保安規則等の関連法規の整備及び適正化を目的とする。

研究目標

実施項目	目標
70MPaスタンドの保安検査基準の整備に関する検討	蓄圧器の供用中検査を可能とするため、超音波探傷試験を取り入れた検査方法をまとめ、保安検査基準(案)等を策定する。
圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討	高圧ガス保安法に係る技術基準(案)を策定する。
水素スタンドの距離規制見直しに関する検討	水素スタンド離隔距離短縮に必要な検討項目を整理し、実験を通じて距離短縮の方策をまとめ、技術基準(案)の策定する。
-1公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討(公道充填)	公道水素充填を可能にするための課題抽出、安全な設備仕様とその運用方法を確立する。
-2 同上 (ディーラー充填)	特定多数場所へのガス欠対応用超小型水素充填装置設置および運用・規制の課題を整理する。
圧縮水素運送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討	圧縮水素運送自動車用容器の使用上限温度(85)以下で使用可能とする為の高圧ガス保安法に係る技術基準策定、水素トレーラー火災の原因究明及び当面の再発防止対策を検討する。
液体水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討	液化水素を水素源とする圧縮水素スタンドの技術基準(案)を策定する。
2種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討	第二種製造者の圧縮水素スタンドの技術基準(案)を策定する。
温度上昇を防止する装置(散水基準)の見直しに関する検討	圧縮水素スタンド蓄圧器の散水設備に関し、散水量低減を可能とするより合理的な例示基準の改正に資する資料を策定する。
水素スタンドにおけるセルフ充填の許容に関する検討	海外の事例を調査し、安全性と利便性の確保の観点から、必要な技術的課題を抽出し、対応策を検討する。得られた結果を反映したセルフ充填のガイドライン(案)を策定する。
圧縮水素運送自動車用容器の固定方法の追加に関する検討	圧縮水素運送自動車用容器固定方法にネックマウント方式を追加するために必要なデータを採取し、技術基準(案)を策定する。
有機ハイドライドを用いた水素スタンドの基準整備に関する検討	有機ハイドライド水素供給装置を既存の水素スタンドと同様の用途地域に設置可能とするために必要なリスク評価と安全対策の検討を行い、技術基準(案)等を策定する。

実施体制及び分担等



これまでの実施内容 / 研究成果

実施項目	成果内容	自己評価
	蓄圧器の供用中検査を可能とするため、超音波探傷試験を取り入れた検査方法をまとめ、保安検査基準(案)等を策定した。	
	高圧ガス保安法に係る技術基準(案)を策定し、例示基準が見直された。	
	水素スタンド離隔距離短縮に必要な検討項目を整理し、実験を通じて距離短縮の方策をまとめ、技術基準(案)を策定した。(2月時見込)	
-1	公道水素充填を可能にするための課題抽出、安全な設備仕様とその運用方法を確立した。	
-2	超小型水素充填装置の試作と充填実証試験の実施、設備・運用・規制面の課題を整理した。	
	圧縮水素運送自動車用容器の使用上限温度(85)以下で使用可能とするための高圧ガス保安法に係る技術基準(案)を策定し省令が改正された。水素トレーラー火災の原因究明及び当面の再発防止対策を検討した。	
	液化水素を水素源とする圧縮水素スタンドの技術基準(案)を策定した。(2月時見込)	
	第二種製造者の圧縮水素スタンド技術基準(案)を策定し省令が改正された。	
	圧縮水素スタンド蓄圧器の散水設備に関し、散水量低減を可能とするより合理的な例示基準の改正に資する資料を策定した。	
	海外の事例を調査し、安全性と利便性の確保の観点から、必要な技術的課題を抽出し、対応策を検討する。得られた結果を反映したセルフ充填のガイドライン(案)を策定した。(2月時見込)	
	圧縮水素運送自動車用容器の固定方法にネックマウント方式を追加するために必要なデータを採取し、技術基準(案)を策定した。(2月時見込)	
	有機ハイドライド水素供給装置を既存の水素スタンドと同様の用途地域に設置可能とするために必要なリスク評価と安全対策の検討を行い、技術基準(案)等を策定した。(2月時見込)	

今後の課題

作成した技術基準(案)の審査過程における説明対応を実施し関連法規の改正に繋げるとともに、自主基準の制定を行い事業者の水素スタンド設置、運用の効率化を目指す。

実用化の見通し

策定した技術基準(案)等が審査され関連法規の改正等の措置が成される。(一部改正済)

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	35	0

課題番号：I - 1

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究 /

水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発

一般財団法人石油エネルギー技術センター (JPEC)

一般社団法人 日本産業・医療ガス協会 (JIMGA)

日本エア・リキ - ド株式会社 (平成 26 年度終了)

豊田通商株式会社 (平成 26 年度終了)

国立大学法人佐賀大学 (平成 25 年度終了)

岩谷産業株式会社

1. 研究開発概要

FCV 量産車を 2015 年に 4 大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始を目指し開発を進めていることや、水素供給事業者が 2015 年までに FCV 量産車の販売台数の見通しに応じて 100 箇所程度の水素供給インフラの先行整備を目指すこと等が示された。

このような背景の下、水素インフラ市場の立ち上げ及び普及拡大に向け、水素スタンドを含む水素供給インフラに関連した以下 8 項目の検討を実施し、水素供給インフラの設置等手続きの簡素化及び設置要件の緩和等を目的に一般高圧ガス保安規則等の関連法規の整備及び適正化に資する研究開発等を実施した。

本研究は、研究項目ごとに外部有識者で構成される検討会と事業全体を統括・管理する規制適正化検討委員会を設置することにより、効率的な運営を実施した。

各開発項目の概要は以下の通り。

(1) 70MPa スタンドの保安検査基準の整備に関する検討 < JPEC >

一般高圧ガス保安規則別表第 3 に基づき実施される 70MPa スタンドの保安検査及び定期自主検査において、その検査方法を詳細に明確化することにより適切な設備の維持管理を行うために資するものである。また、蓄圧器の保安検査は従来よりその内面の健全性を確認するため、開放して内面を観察する方法が採用されることが多いが、より効率的で的確な手法である超音波探傷検査方法に関し標準化することで広く活用されることが望まれている。よって、蓄圧器に関する超音波探傷方法の標準化に資する資料の作成も実施する。また、これらの検討、後述する各検討テーマ及び連携する検討テーマ等により得られた知見等を水素スタンド安全技術基準・指針の自主基準(案)として取りまとめる。

(2) 圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討 < JPEC >

容器保安規則と技術基準により圧縮水素運送自動車用容器に装置することが規定された溶栓式安全弁に加え、ガラス球式安全弁の装置も可能となる規定の作成に資するものである。容器保安規則第 17 条第 1 項第 7 号による、容器の通常の使用範囲を超えた圧力又は温度に対応して適切に作動する附属品として、圧縮水素運送自動車用附属品の技術基準 JIGA-TS/13/04 の第 3 条第 7 項に溶栓式安全弁を装置することを規定している。本事業の研究開発により、現状の技術基準では使用が規定されていないガラス球式安全弁が、装置可能となり安全弁の選択肢を広げられる技術基準案を作成する。また、溶栓式安全弁の現状の規定内容についても検討し、必要な改正内容を技術基準(案)に反映する。

(3) 水素スタンドの距離規制見直しに関する検討 < JPEC、青山学院大学(共同実施)、岐阜大学(共同実施) >

現行の高圧ガス保安法等では、一定条件に基づく火災長、爆風圧、拡散等により圧縮水素スタンドの隣隔距離を設定している。本検討では、従来の距離設定で使用された閾値の妥当性評価、漏洩水素着火時の影響に関してより実態に近づけた評価方法等の検討を行い、規制見直しを実現するための方法論の検討を行う。その結果、規制見直し実現の道筋を明らかにすることができた場合、引き続き必要な実験等を行い、隣隔距離を見直した技術基準（案）を作成し、審査過程における説明を行う。

（４）公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討

-1 公道充填＜JPEC、日本エア・リキ・ド＞

公道でのガス欠対応のために、レスキュー車両に車載可能な簡易水素充填設備の試作品を製作し、現行法規下での充填実証を行う。試作品を用いて実証試験を行うことにより、問題点を明確にする。その後、必要に応じ、試作品を改造し、改造品を用いて実証試験を行う。ガス欠対応の際に、水素充填を可能にするための課題を抽出し、安全な設備仕様とその運用方法を確立する。将来の不特定場所における公道充填における課題を把握する。

-2 ディーラー充填＜豊田通商＞

FCV 普及初期においては水素ステーションが適正な間隔で設置されない可能性があり、燃料切れが発生する可能性がある。これを防止する為、数台の FCV 車に最低限の距離移動が可能な量を充填できる燃料量を保管できる超小型充填装置を、可能であれば不特定多数の場所に設置することを想定する。また、FCV 普及後も新 FCV 車販売時に水素燃料を小量提供することが可能なディーラー若しくはそれに準ずる場所を特定多数の場所として選定し、安全に配慮した設備の検討、コスト把握を通して、そこに超小型水素充填装置を設置する場合の規制及び充填作業関係者の対応を調査する。

（５）圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討＜JPEC、佐賀大学＞

水素トレーラー等の車両に固定した高圧ガス容器は、その温度を常に 40 以下に保つことが定められている。一方、圧縮水素自動車燃料装置用容器については、充填・移動・貯蔵時に 85 までの温度上昇が認められている。圧縮水素運送自動車用容器は、圧縮水素自動車燃料装置用容器と同様基準に基づき製作されており、環境試験温度は 40 から 85 である。本検討では圧縮水素運送自動車による水素ステーションへの効率的な水素供給を可能とするため、圧縮水素運送自動車用容器について充填・貯蔵・移動時の上限温度を緩和するため、充填条件や設備、要件などの技術的な安全性の評価・検討を実施する。

また、水素トレーラー移動中の車両火災の原因とその対策について検討し、原因究明及び当面の再発防止対策を検討し、関係者・業界等に発信する。

（６）液体水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討

＜JIMGA、岩谷産業、JAXA（再委託）、NIMS（再委託）＞

-1 液体水素による貯蔵・水素スタンド（液体水素を受け入れて貯蔵し、気化させて燃料電池自動車に充填するタイプの水素スタンド、以下「液化水素貯蔵型圧縮水素スタンド」と呼ぶ）の技術基準整備

液化水素貯蔵型圧縮水素スタンドは、水素の輸送効率が高く、燃料電池自動車の本格的な普及に必要であるにもかかわらず、現時点では、保安距離の確保や資格者の選任等、設置に係る制約が大きく、また、市街地への建築の可否が不明瞭である。

また、液化水素貯蔵型圧縮水素スタンドは圧縮水素スタンド同様、適切な管理により安全確保が可能であり、海外においても主要メーカー製の液体水素型水素スタンドが数多く設置されていることから、燃料電池自動車の本格普及に向けて水素スタンドの整備を図る上では、液化水素貯蔵型圧縮水素スタンドも市街地に建設できるようにすると共に、ガソリンスタンドとの併設を可能とすることが必要である。

このため、本事業においては、液化水素貯蔵型圧縮水素スタンドに関する国内外の調査・研究を通じて、また過去の NEDO 事業 の成果を活用しながら規制合理化に向けた各種データや知見を取りまとめ、一般高圧ガス

保安規則の技術基準・例示基準等の見直しに資する検討案を作成するとともに、関係省庁が行う技術基準等の整備に資する資料の取りまとめを実施する。

平成 15～16 年度 水素安全利用等基盤技術開発 水素インフラに関する研究「水素インフラに関する安全技術研究」

平成 17～21 年度 水素社会構築共通基盤整備事業 水素インフラ等に係る規制再点検及び標準化のための研究開発「水素インフラに関する安全技術研究」

-2 液化水素ポンプ昇圧型圧縮水素スタンドの技術基準整備

平成 26 年度までの検討により、液化水素貯蔵型圧縮水素スタンドの建設が可能となった。加えて液化水素ポンプ昇圧型圧縮水素スタンド（液化水素を受け入れて貯蔵し、液化水素ポンプで昇圧後に気化させて燃料電池自動車に充填するタイプの水素スタンド）の技術基準化の可能性について予備検討を実施した結果、これについても従来の圧縮水素スタンド同様、適切な管理により安全確保が可能である見通しが得られた。

このため平成 27 年度より、液化水素ポンプ昇圧型圧縮水素スタンドについても国内外の調査・研究を通じて、また過去の NEDO 事業の成果を活用しながら規制合理化に向けた各種データや知見を取りまとめ、一般高圧ガス保安規則の技術基準・例示基準等の見直しに資する検討案を作成するとともに、関係省庁が行う技術基準等の整備に資する資料の取りまとめを実施する。

-3 液化水素ポンプ設置の技術基準化に資するデータの取得等<岩谷産業株式会社、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構（岩谷産業株式会社より再委託） 国立研究開発法人物質・材料研究機構（岩谷産業株式会社より再委託）>

液化水素ポンプ昇圧型圧縮水素スタンドの設置を可能とする高圧ガス保安法一般則等の関連法規の整備及び規制の適正化を実現させるため、液化水素ポンプ設置の技術基準化に資するデータ等の取得に関し、以下 2 つのテーマについて研究開発を行う。

-3-1 液化水素ポンプ昇圧型圧縮水素スタンドの火気離隔距離・敷地境界距離の技術基準化提案の根拠となるデータを屋外実験あるいは数値シミュレーションにより取得する。

-3-2 液化水素ポンプ昇圧型圧縮水素スタンドに使用可能な実用的高強度材料（SUH660、XM-19 など）の技術基準化提案の根拠となるデータを、試験により取得・評価する。

（7）2 種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討<JIMGA>

FCV の導入初期において、自動車ディーラー等に設置が想定される、小規模な水素供給設備の基準としては、高圧ガス保安法一般高圧ガス保安規則第 12 条があるが、都市部に多い既存の自動車ディーラー等では、火気距離など制約要因も多い。また、近年開発された水電解機能を有する昇圧装置によるオンサイト型水素スタンドの市街地への設置が強く望まれている。そこで、小規模製造水素供給設備の規制合理化に向けた各種データや知見を取りまとめるとともに、水電解機能を有する昇圧装置について安全性を確認することにより、小規模製造水素供給設備に関する一般高圧ガス保安規則の技術基準・例示基準等の見直しに資する検討案を作成する。

（9）温度上昇を防止する装置（散水基準）の見直しに関する検討<JPEC、九州大学（共同実施）>

圧縮水素スタンドの蓄圧器には、一般高圧ガス保安規則第 7 条の 3 第 2 項 15 号及び第 20 号により、温度の上昇を防止するための装置を設置することが規定されている。当該装置については、一般高圧ガス保安規則関係例示基準「59 の 3. 温度上昇を防止するための装置（圧縮水素スタンド）」第 4 項により、外部からの輻射による蓄圧器の受熱量に基づき、その表面積（複合容器蓄圧器の場合にあっては、覆い等の外面又は内面及び表面積）1 平方メートルにつき 5L/min 以上の水量を全表面に放射できる能力を持つ水噴霧装置又は散水装置の設置が必要となる。

本検討では、圧縮水素スタンド蓄圧器の散水設備に関し、散水量低減を可能とするより合理的な例示基準の

改正に資する資料を策定する。

(10) 水素スタンドにおけるセルフ充填の許容に関する検討 < JPEC >

高圧ガス保安法上、高圧ガスの充填は許可を受けた事業所の管理下で行う必要があり、現行の水素スタンドでは一般ドライバーによる水素の充填は行われていない。今後、FCV の普及拡大に伴い、現行のガソリンスタンドと同様にセルフ充填の許容が必要と考えられる。

海外においては水素スタンドにおけるセルフ充填も実施されている。海外の事例を調査し、その調査結果も参考としつつ、安全性と利便性の確保の観点から、必要な技術的課題を抽出し、ハード面及びソフト面の対応策を検討する。得られた結果を反映したセルフ充填のガイドライン（案）を策定する。

(11) 圧縮水素運送自動車用容器の固定方法の追加 < JPEC >

現行の圧縮水素運送自動車用複合容器の固定方法は、容器の胴部の2ヶ所以上をフレームに固定するサドルマウント方式のみが例示基準化されている。一方、海外では、容器口金を直接フレームに固定するネックマウント方式が採用されている。ネックマウント方式を採用することにより、低重心化およびコスト削減が可能となる。圧縮水素運送自動車用複合容器の固定方法について、ネックマウント方式を追加する方向で、必要な措置を講ずる。

(12) 有機ハイドライドを用いた水素スタンドの基準整備 < JPEC、横浜国立大学（再委託） >

有機ハイドライドを水素キャリアーとして利用する水素製造装置（以下、有機ハイドライド型水素製造装置）の実用化開発が進められている。有機ハイドライドは石油燃料と同様に常温での液体輸送、貯蔵が可能であり、水素スタンドにおける水素製造装置としての利用が検討されている。有機ハイドライド型水素製造装置を既存の水素スタンドと同様の用途地域に設置出来るように、必要な措置を講ずる。

2. 研究開発目標（設定の理由も含め）

研究開発の目標を以下のとおりとする。

水素供給インフラに関連した開発項目の検討を実施し、水素スタンド等水素供給インフラの設置等手続きの簡素化及び設置要件の緩和等を目的に一般高圧ガス保安規則等の関連法規の整備及び適正化に資する資料の作成と、それに基づく技術基準の制定等の規制改正を目標とする。開発項目ごとの研究開発目標を表1に示す。

表1 開発目標

開発項目	目標
(1)70MPa スタンドの保安検査基準の整備に関する検討 JPEC	蓄圧器の供用中検査を可能とするため、超音波探傷試験を取り入れた検査方法をまとめ、保安検査基準（案）等を策定する。
(2)圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討 JPEC	高圧ガス保安法に係る技術基準（案）を策定する。
(3)水素スタンドの距離規制見直しに関する検討 JPEC	水素スタンド離隔距離短縮に必要な検討項目を整理し、実験を通じて距離短縮の方策をまとめ、技術基準（案）を策定する。
(4)-1 公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討（公道充填） JPEC/日本アライド	公道水素充填を可能にするための課題抽出、安全な設備仕様とその運用方法を確立する。
(4)-2 同上（ディーラー充填）	超小型水素充填装置の試作と充填実証試験の実施、設備・運用・

豊田通商	規制面の課題を整理する。
(5)圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討 JPEC/佐賀大	圧縮水素輸送自動車用容器の使用上限温度(85)以下で使用可能とするための高圧ガス保安法に係る技術基準(案)策定、水素トレーラー火災の原因究明及び当面の再発防止対策を提案する。
(6) 液体水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討 JIMGA・岩谷産業	液化水素を水素源とする圧縮水素スタンドの技術基準(案)を策定する。
(7) 2種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討 JIMGA	第二種製造者の圧縮水素スタンドの技術基準(案)を策定する。
(9)温度上昇を防止する装置(散水基準)の見直しに関する検討 JPEC	圧縮水素スタンド蓄圧器の散水設備に関し、散水量低減を可能とするより合理的な例示基準の改正に資する資料を策定する。
(10)水素スタンドにおけるセルフ充填の許容に関する検討 JPEC	海外の事例を調査し、安全性と利便性の確保の観点から、必要な技術的課題を抽出し、対応策を検討する。得られた結果を反映したセルフ充填のガイドライン(案)を策定する。
(11)圧縮水素輸送自動車用容器の固定方法の追加に関する検討 JPEC	圧縮水素輸送自動車用容器固定方法にネックマウント方式を追加するために必要なデータを採取し技術基準(案)を策定する。
(12)有機ハイドライドを用いた水素スタンドの基準整備に関する検討 JPEC	有機ハイドライド水素供給装置を既存の水素スタンドと同様の用途地域に設置可能とするために必要なリスク評価と安全対策の検討を行い、技術基準(案)等を策定する。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) 70MPa スタンドの保安検査基準の整備に関する検討<JPEC>

本検討の目標は、圧縮水素スタンド(70MPa 水素ステーション)の保安検査に関して、より合理的な保安検査基準検討案及び定期自主検査指針検討(案)を策定することである。

保安検査基準(案)の検討

35MPa 水素スタンド保安検査基準に関する検討結果を取りまとめ、有識者による審議、パブリックコメントを経て「水素スタンド保安検査基準(35MPa)JPEC-S 0001(2015)」を制定した。さらに改正された一般高圧ガス保安規則に準じた 70MPa 水素スタンドの保安検査項目の整理を継続し、70MPa 水素スタンドの保安検査基準(案)を策定した()

定期自主検査指針(案)の検討

35MPa 水素スタンド定期自主検査指針に関する検討結果を取りまとめ、さらに改正された一般高圧ガス保安規則に準じた 70MPa 水素スタンドの定期自主検査項目を整理した。これを基に 70MPa 水素スタンドの定期自主検査指針(案)を策定した()

蓄圧器の超音波検査方法の標準化に関する検討

実水素ステーションの蓄圧器(70MPaスタンド)のフェーズドアレイ法等の手法による超音波探傷検査を行い、その妥当性を検証し検査方法をまとめた。図1に超音波探傷検査の状況を示す。

超音波探傷の状況



図1 超音波探傷検査

また、保安検査基準、定期自主検査指針の検討と超音波検査方法の標準化検討のフローを図2に示す。

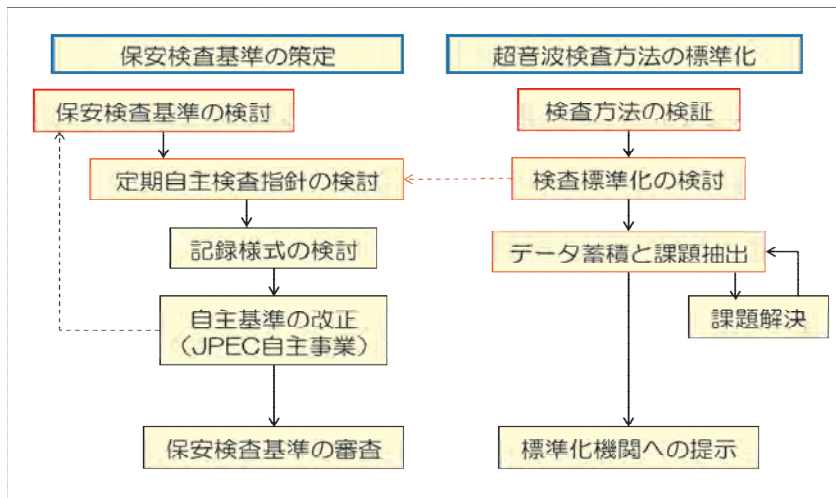


図2 保安検査基準等の検討フロー概要

(2) 圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討<JPEC>

本検討の目標は、安全かつ安価な圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁として適当な可能性があるガラス球式安全弁に関し、性能基準化に必要な実験を行い、高圧ガス保安法に係る技術基準(案)を策定することである。

図3にガラス球式安全弁の外観を示す。

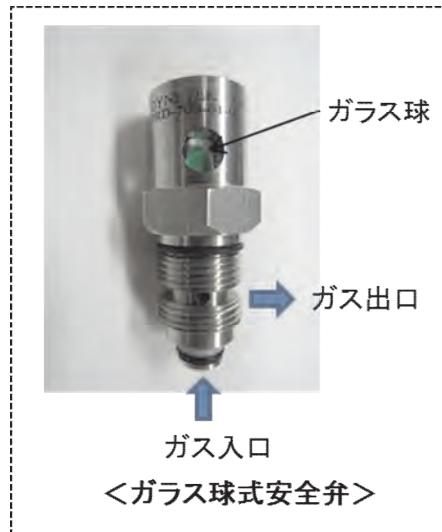


図3 ガラス球式安全弁外観

HFCV-gtr と海外標準の調査・検討

FCV 用容器に装置される熱作動式安全弁(ガラス球式安全弁及び溶栓式安全弁を含む)の各試験内容が、圧縮水素運送自動車用容器に装置される熱作動式安全弁にも適用できることを確認した。

技術基準(案)の策定

上記検討結果に基づき、ガラス球式安全弁に対応した技術基準(案)を策定し、例示基準が見直された()。国内技術基準(JIGA-T-S/13/04)の構成に準拠し、燃料電池自動車の国際基準 HFCV-gtr の試験内容を適時設計確認試験に導入することを検討した。概要は以下の通りである。

a. 試験項目

- ・安全弁の試験項目を、現状の技術基準(対象：溶栓式安全弁)に比べ充実させた。
(圧力サイクル試験、加速寿命試験、温度サイクル試験、塩水腐食試験、安全弁環境試験、応力腐食割れ試験、落下・振動試験、気密試験、作動試験、流量試験)
- ・バルブと緊急遮断装置についても、HFCV-gtr を参考に試験項目を充実させた。
(耐圧試験、気密試験、塩水腐食試験、環境試験、振動試験、応力腐食割れ試験)

b. 試験条件

- ・各試験で規定する圧力や温度、及びサイクル数等の具体的な数値は、当該附属品が装置される容器の試験内容や水素トレーラーの条件等を検討して決定した。
- ・実験による試験方法の確認
新規に規定する試験項目の中から、主要なものに試験方法の確認を実施した。
(温度サイクル試験の温度管理、作動試験の環境設定、流量試験の測定方法、等)

(3) 水素スタンドの距離規制見直しに関する検討<JPEC、青山学院大学(共同実施)、岐阜大学(共同実施)>
本検討の目標は、水素スタンド設備が確保すべき各種隣隔距離(敷地境界距離、火気隣隔距離、公道ディスプレイ距離)に関して、隣隔距離短縮に必要な実験・シミュレーションによる検討を行い、高圧ガス保安法に係る技術基準(案)を策定することである。

距離規制見直しのロジックの明確化検討

各種隣隔距離に関わる現行法規制を設定根拠等も含め調査した。また、水素の拡散・着火挙動に関する

過去の研究を調査した。これらの調査結果を基に、省令に定める距離 8m 確保と同等とみなすことができる代替措置のロジックを検討した。

事業者からのヒアリングならびに、規制当局との意見交換を行い、新たな代替措置に関わるリスク評価についても検討した。

実験・シミュレーションによる高圧水素噴流の拡散・着火・燃焼挙動の解明

82MPa、0.2mm ピンホールからの実験データ (82MPa) の着火現象を解明した。高圧水素噴流の拡散燃焼の数値解析モデルの作成、および実験データ (82MPa) によるモデルのバリデーションを行った。

距離規制代替措置のまとめと技術基準 (案) の策定

適切な構造の筐体や必要な箇所を鋼板等のパネルで遮蔽する新たな代替措置を構築し、これらの代替措置をまとめ、技術基準 (案) を策定した () (2 月時見込)

図 4 に技術基準 (案) の概要を示す。

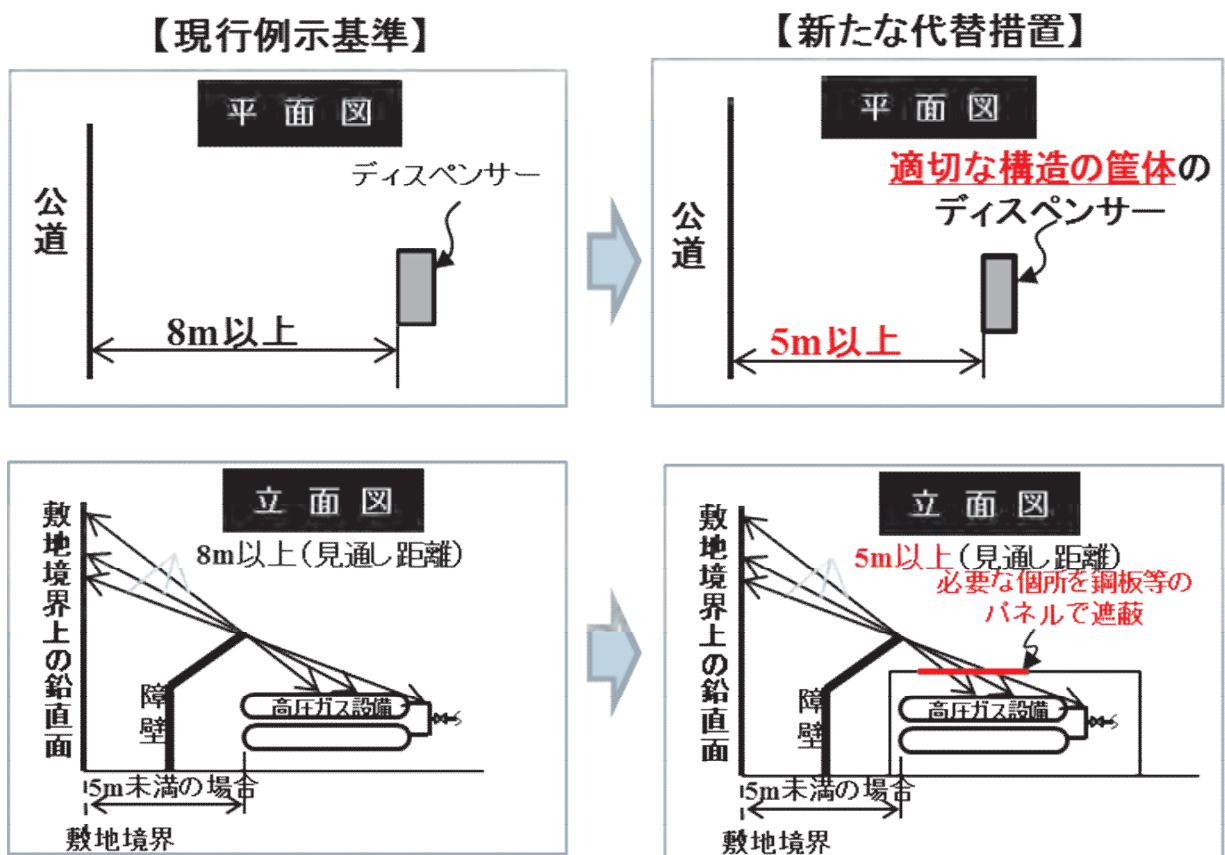


図 4 技術基準 (案) の概要

(4) 公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討 (平成 26 年度終了)

(4)-1 公道充填 < JPEC、日本エア・リキード >

本検討の目標は、ガス欠対応の際に、公道での FCV への水素充填を可能にするための課題を抽出し、安全な設備仕様とその運用方法を確立することである。

以下の検討を実施し、製作した設備を用いた製造者敷地内での実証試験を実施し、実証試験の結果を元に設備の操作性改善を図った ()

- ・車載簡易充填設備の設計方針の決定
- ・車載簡易充填設備の詳細設計

- ・簡易充填設備の製作
- ・実証試験（製造者敷地内）の実施

図5 に制作した車載簡易充填設備とそれを用いた実証試験の様子を示す。

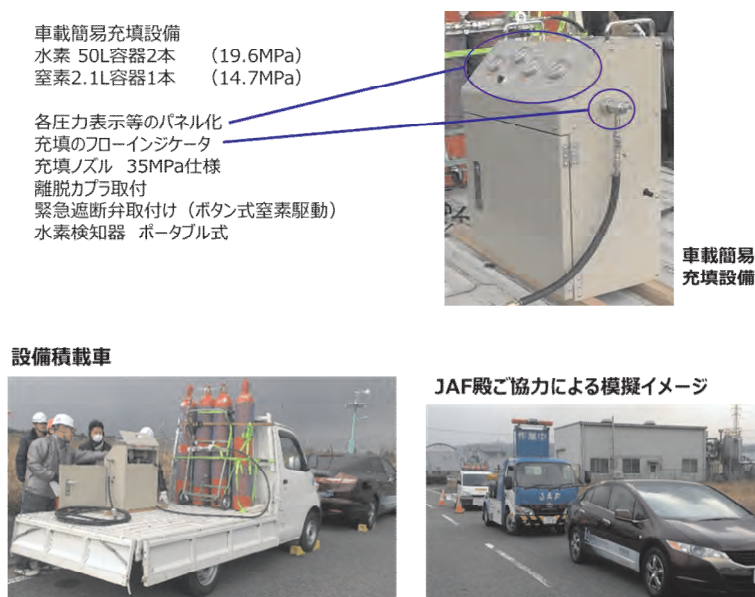


図5 簡易充填設備と公道充填（模擬）試験

実証試験等の結果に基づき公道での水素充填に関し、以下の項目につき課題を整理した（ ）

- ・設備仕様 : 水素搭載量、水素品質、設備に必要な安全対策
- ・運用方法 : 現行法令下で可能な運用方法
- ・課題 : 法令面の課題、運用面の課題
- ・将来の実用設備と運用方法（案）
: 法令改正を前提として実用的な設備と運用方法を考察

（4）-2 ディーラー充填＜豊田通商＞

本検討の目標は、FCV 普及初期のインフラ対策として、特定多数の場所においてガス欠対応の充填を行う為の超小型水素充填装置の設置に関する規制及び関係者の対応を調査することである。

以下の検討を実施し、現行法の規制下で超小型充填装置が設置可能なディーラー等を選定し、試作した超小型水素充填装置を使用し、燃料電池車への充填作業等の実証試験を実施した。併せて実際の作業体験によるソフト面に対する要望調査、問題点の把握を実施した（ ）

検討のフローを図6 に示す。

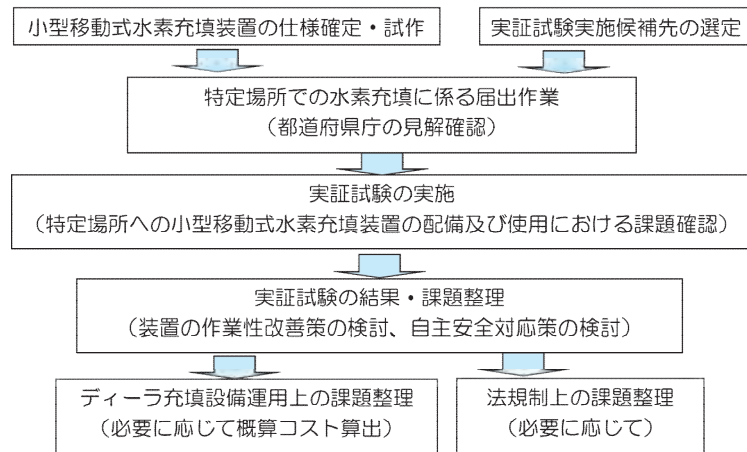


図6 ディーラー充填検討フロー

a. 超小型水素充填装置の試作

ディーラー等への設置を前提とした超小型水素充填装置の仕様を検討し、以下の仕様で図7に示す充填装置を試作した()

設備の仕様 : 充填圧力最大 15MPa (FCV 100km 走行可能)

1 カードル充填台数 約 10 台



図7 超小型水素充填装置

b. 実証試験

試作した超小型水素充填装置を用いて日本各地 10 か所ディーラー充填試験を実施した。実証試験の結果からディーラー充填の課題を整理した()

ディーラー充填の主な課題として以下のものが挙げられた。

- ・ 高圧ガス保安法の規制
- ・ 装置の設置面積や火気離隔距離のためのスペース
都心ディーラーで確保困難、充填可能ディーラーは郊外店に集中
- ・ 水素充填設備の作業性、設置
手動バルブは操作の煩雑さからディーラーでの受け入れ困難
障壁相当の安全設備設置、バルブの自動化等は設備・運用コスト増
- ・ 作業有資格者、作業員の教育の問題

・安全等に配慮した操作面・保安面の対策が必要

(5) 圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討<JPEC、佐賀大学>

本検討の目標は、圧縮水素輸送自動車用容器の使用上限温度(最高85)以下で安全に使用できる技術基準(案)を策定することである。以下の検討を実施し、容器の使用上限温度を65 に引き上げることを可能とする技術基準(案)を策定した。

また、平成26年度下期より水素トレーラー移動中の車両火災の原因とその対策について検討した。原因究明及び再発防止対策を検討し、安全対策を提案することを目標とする。

安全な使用上限温度の検討

圧縮水素輸送自動車用容器の使用上限温度はFCV容器同様85 であるが、使用状況から判断してFCV容器より高温持続時間が長期化傾向であることから、容器の上限温度を圧縮水素輸送自動車用容器の『設計確認試験における加速応力破壊試験』の試験内容に基づき、容器の使用上限温度を65 に決定した。

容器温度の測定方法の検討

充填時に最も高温となる部位は容器内表面である。本来ならこの部位に熱電対を設定し温度を測定し、その温度が使用上限温度(65)を超えないように監視する必要がある。しかし容器内表面に熱電対を設置する構造とした容器の製作は現実的には困難なため、本検討では鋼製容器と同様に、容器外表面に貼りつけた熱電対により容器温度を測定する方法を採用することとした。

シミュレーションによる容器温度の推定方法の検討

容器外表面の温度測定値から容器内表面温度を推定する有効な手段は、シミュレーションを活用することである。本検討では佐賀大学が開発したシミュレーションを用いた容器内表面温度の推定方法を検討し、計算例として纏めた。図8に水素充填時の容器(タイプ)内水素温度、容器外表面の実測値とシミュレーション結果を示す。外表面の熱伝達率 α を適当な値に設定すればシミュレーションにより容器温度を推定できることを明らかにした。

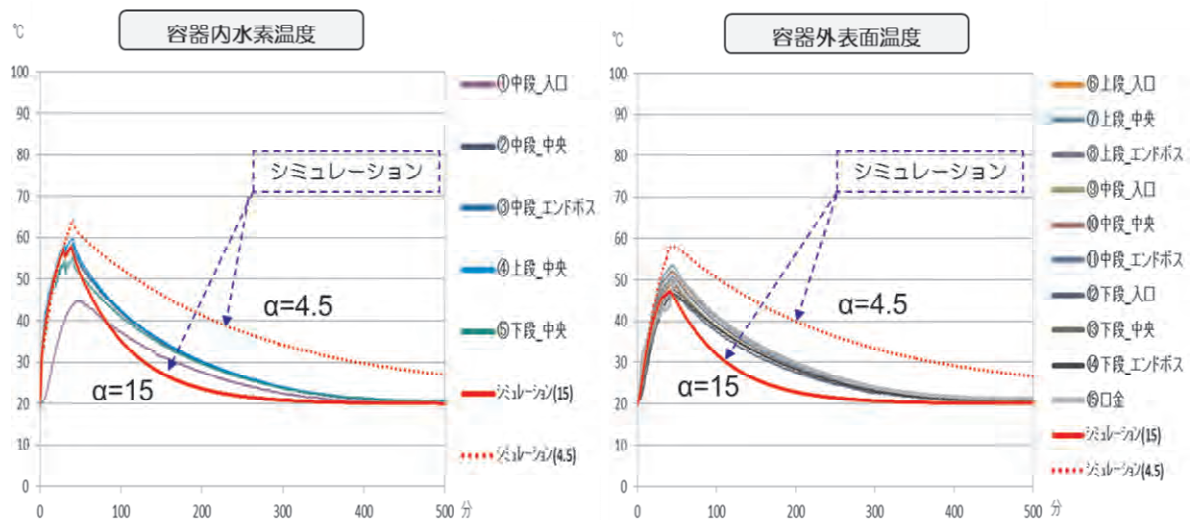


図8 シミュレーションによる容器温度の推定

技術基準（案）の検討

上記検討結果に基づき、容器外表面の温度測定を実施することで使用上限温度を 65℃ まで引上げることを可能とした技術基準（案）を策定し、省令改正済み（ ）。

審査過程における説明

燃料電池自動車等に関する水素関連技術の安全性の評価基準の検討委員会（KHK 主催）にて「圧縮水素自動車用複合容器の取扱時における上限温度緩和に関する技術基準（案）について」審議され、一般高圧ガス保安規則に係る省令が改正された。表 2 に改正内容（要点のみ）を示す。

表 2 一般高圧ガス保安規則に係る改正内容

一般高圧ガス保安規則 改正部分（要点）

第六条第2項

（新設）第2号ル 圧縮水素運送自動車用容器に圧縮水素を充填するときは、当該圧縮水素運送自動車用容器の温度を常に六十五度以下に保つとともに、温度が四十度を超える場合は、容器の破裂を防止する措置を講ずること。

（新設）第8号ハ 圧縮水素運送自動車用容器は、常に温度六十五度以下に保つこと。
第四十九条第1項第22号

（新設）圧縮水素運送自動車用容器は、常に温度六十五度以下に保つとともに、その外部からの雨水等による劣化を防止するための措置を講ずること。

一般高圧ガス保安規則例示基準関係 改正部分（要点）

（新設）21の3 圧縮水素運送自動車用容器に圧縮水素を充填する際に、当該容器の温度が40℃を超える場合に講じる「容器の破裂を防止する措置」とは、次の各号に掲げる措置をいう。

1. 容器の温度の監視は、本基準12.で規定する温度計で行い、かつ電氣的に温度を出力及び表示できるものを用いること。
2. 温度計は、容器の外表面の温度を測定するものとし、バンクごとに一つ以上設置すること。
3. 容器の外表面の温度計の測定値に基づき、容器の内表面の温度が65℃を超えるおそれがある場合に、速やかに充填を停止するものであること。

（新設）75の2 圧縮水素運送自動車用容器の雨水等による劣化を防止するため、当該圧縮水素運送自動車用容器の外表面には防水塗料を塗布し、口金部へシール材を塗布すること。

水素トレーラー安全技術の検討

平成 26 年 10 月に発生した複合容器水素トレーラーの移動中の車両火災について、火災事故の経過把握、安全対策の評価と追加安全対策を検討した。

水素トレーラー安全技術の検討は、火災事故時の状況ならびに火災発生時の安全対策の適応状況を確認するとともに、各種分析、解析結果により事故シナリオを想定した。また、この事故シナリオを基に安全面での対応策について検討した。図 9 に検討フローを示す。

車両火災の経過把握及び事故シナリオの設定、配管・容器等への影響把握のための試験・測定、溶栓弁等安全対策の作動状況等確認を実施し、検討結果を基に水素トレーラー車両火災の原因究明及び再発防止対策を検討し、安全対策を提案した（ ）。

また、「水素トレーラー安全技術ガイドライン JPEC-TD 0002(2017)」を策定した。想定されたシナリオに「安全対策」を記入したものを図 10 に示す。

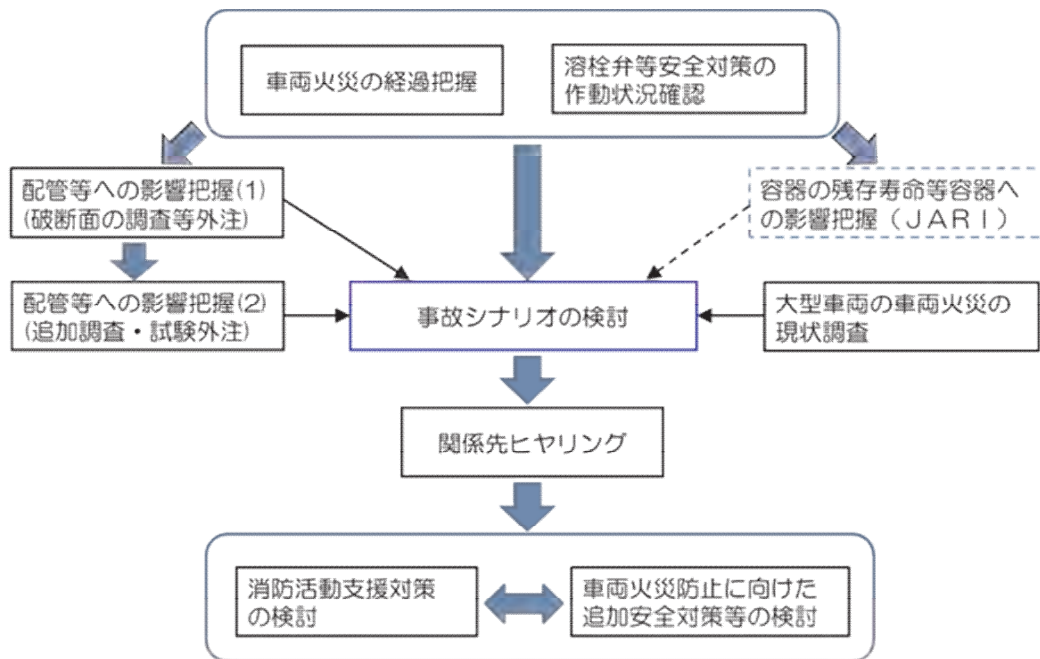


図9 検討フロー

トレーラー火災及び配管破裂の想定シナリオ(安全対策記入)

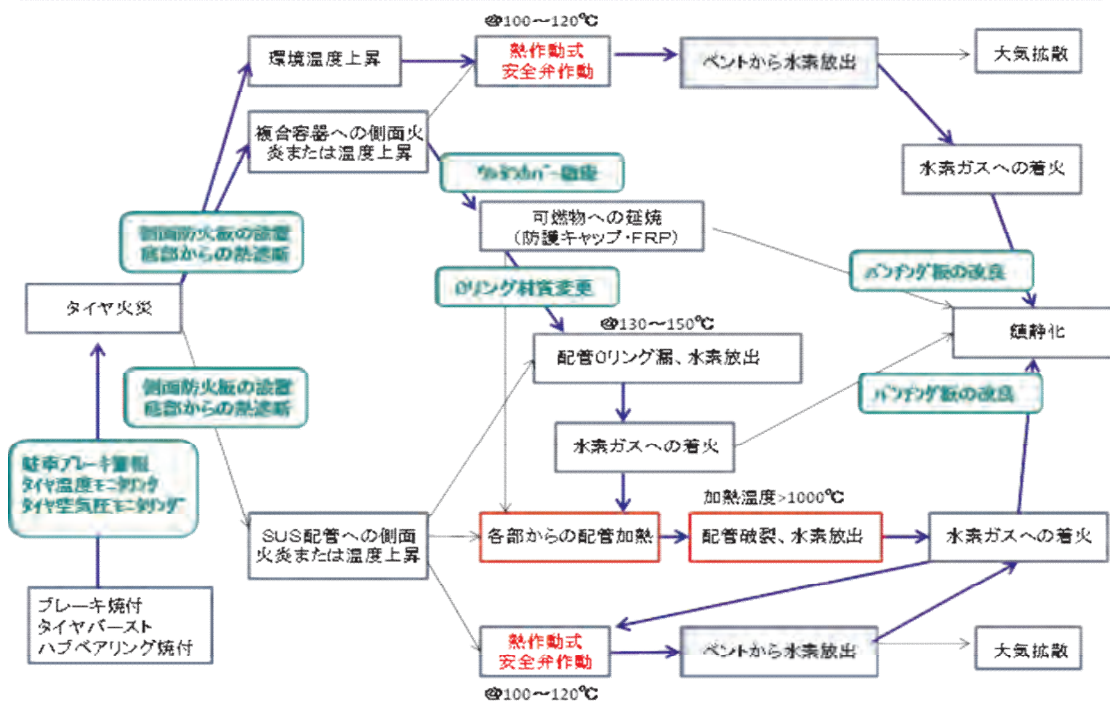


図10 想定シナリオ

(6) 液体水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討

<JIMGA、岩谷産業、JAXA（再委託）、NIMS（再委託）>

本検討の目標は、海外で主要な方式としても普及している液体水素による貯蔵・水素スタンドも市街地に建設できるようにすると共に、ガソリンスタンドとの併設を可能とするための高圧ガス保安法、消防法、建築基準法に係る技術基準（案）を策定することである。

液化水素実験系を構築し、1%濃度距離、火炎長、爆風圧、輻射熱のデータを取得し、妥当性の解析を行った。過去のNEDO事業と同様の補正を行い、各距離を算出した。

図11に液化水素ポンプ実験設備と漏洩拡散試験の様子を示す。また、表3に液化水素試験結果より算出した各距離を示す。

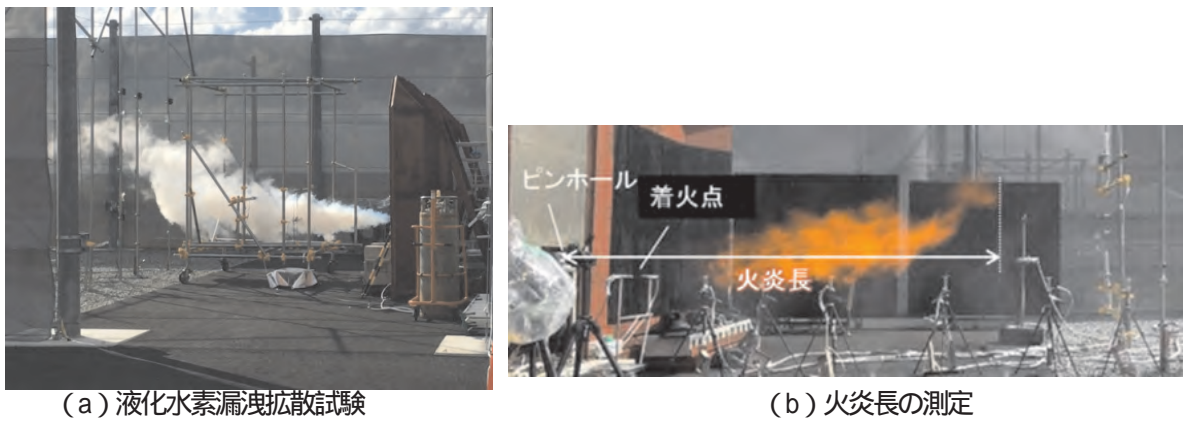


図11 液化水素ポンプ実験設備と漏洩拡散試験の様子

表3 液化水素試験結果より算出した各距離

	1%濃度距離	爆風圧 1kPa 距離	火炎長	輻射熱 1.26[kW/m ²]距離
ピンホール口径	0.2mm	1mm	1mm	1mm
40MPa 条件	8.81m	5.97m	4.79m	7.09m
82MPa 条件	9.93m	8.94m	5.86m	8.67m

平成15～16年度 NEDO 事業「水素安全利用等基盤技術開発 - 水素インフラに関する研究開発 - 水素インフラに関する安全技術開発」と同じ補正を行い、距離を算出

また、実用的高強度材料 (XM-19, SUH660) について、低温低歪速度引張試験 (SSRT) および破壊靱性試験を実施し、耐水素脆化特性および低温靱性評価を行った。これより、液化水素ポンプ昇圧型圧縮水素スタンドの実用的高強度材料 (XM-19, SUH660) について技術基準化提案の根拠となるデータを取得した。

図 12 に XM19 と SUH660 の SSRT 試験結果を、図 13 に破面の電子顕微鏡写真を示す。

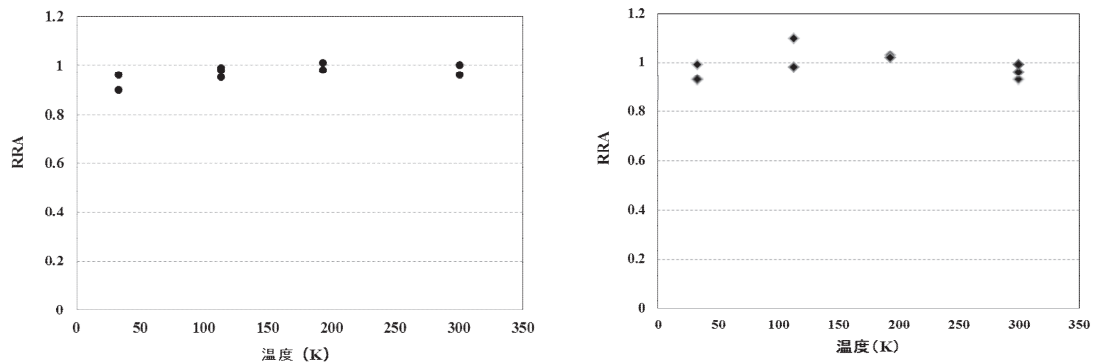


図 12 XM19 と SUH660 の SSRT 試験結果
(RRA が 1 近傍であることを確認)

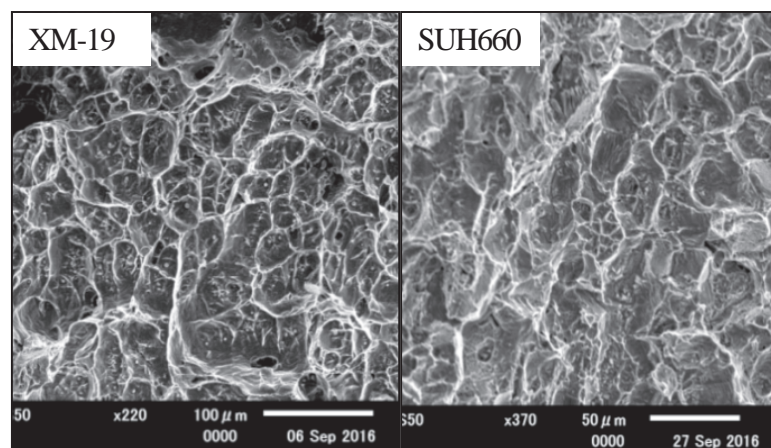


図 13 破面の電子顕微鏡写真
(ディンプル状の破面であることを確認)

これらの結果を受けて、リスクアセスメント、安全対策を検討、液化水素を水素源とする圧縮水素スタンドの技術基準 (案) を策定した () (2 月時見込)

(7) 2 種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討 <JIMGA>

本検討の目標は、小規模な圧縮水素スタンドとして必要な技術基準を整備し、市街地への設置を可能とするための高圧ガス保安法に係る第二種製造者の圧縮水素スタンドの技術基準 (案) を策定することである。

第二種製造者の技術基準 (案) の検討

以下に示す内容を考慮して、1 日の処理能力が 30m³ 未満の第二種製造者の圧縮水素スタンドの技術基準 (案) を策定した。また、高圧ガス保安法の省令等の改正がなされた ()

図 14 に第二種製造者の技術基準案の考え方を示す。

- ・水素スタンド特有の設備の技術基準を適用 (ディスペンサー等)
- ・離隔距離の規定を適用 (敷地境界距離等)
- ・水素による影響を考慮 (材料の制限等)

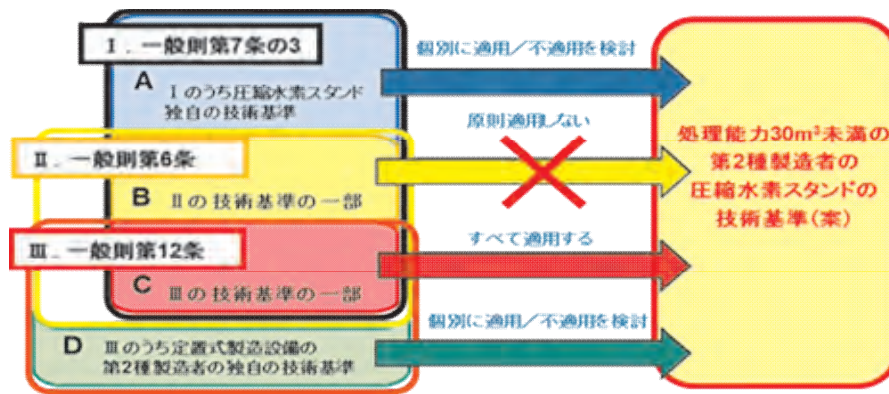


図14 第二種製造者の技術基準案の考え方

水電解機能を有する昇圧装置の安全性の検討

第二種製造者の圧縮水素スタンドに設置することが想定される水電解水素昇圧装置（水の電気分解により水素及び酸素を発生し、かつ、発生した水素のみの圧力を上昇する装置）について安全性の検討を行った。図15に水電解水素昇圧装置の概略フローを示す。表4に水電解水素昇圧装置のリスクアセスメントによる安全対策の例を示す。

- ・特定設備検査事前評価申請を通じて水電解スタックの安全性を確認
- ・リスクアセスメントにより水電解水素昇圧装置の必要な安全対策を検討

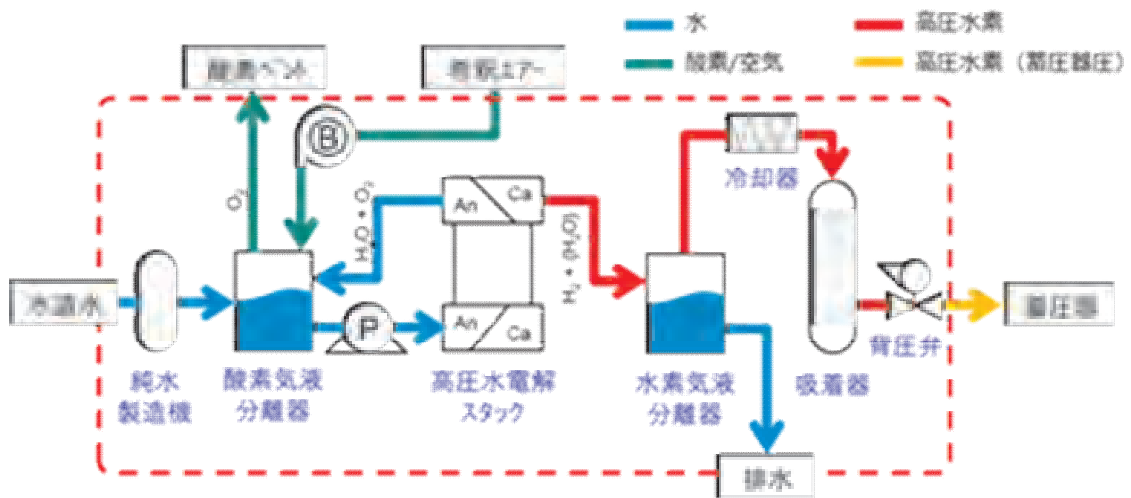


図15 水電解水素昇圧装置の概略フロー

表4 水電解水素昇圧装置のリスクアセスメントによる安全対策の例

安全対策名	有効性	目的
安全弁設置	非常に有効	内圧上昇防止
手動弁誤操作、いたずら操作対策	有効	誤操作・いたずら防止
適切な材料選定	極めて有効	水素脆化等による配管・機器類損傷防止
敷地境界に防火壁設置	非常に有効	敷地外火災対策
設置エリア周辺の障壁設置	極めて有効	車両飛び込み対策
配管・機器の隔離	非常に有効	塩化物SCC対策
水電解水素昇圧装置出口側圧力上昇監視及び運転停止インターロック	非常に有効	配管・機器類損傷防止
水電解水素昇圧装置内の漏洩検知器設置	非常に有効	水素漏洩による災害防止
水電解水素昇圧装置のケーシング内設置	極めて有効	飛散物、近隣火災による損傷対策

(9) 温度上昇を防止する装置（散水基準）の見直しに関する検討<JPEC、九州大学（共同実施）>

本検討の目標は、水素スタンドの散水設備基準に関して見直しを行い、散水量低減を可能とするより合理的な例示基準の改正に資する資料を策定することである。

水素スタンドの蓄圧器の散水設備に関し、散水量を低減可能とするための方法を検討にあたって以下の項目を実施した。

- ・関連法規の整理：圧縮水素スタンドを含む高圧ガス設備に関する散水基準の整理
- ・散水量低減方法の検討：外部火災による蓄圧器の受熱量及び輻射熱遮熱方法の検討
- ・シミュレーション等の実施と検証：蓄圧器の受熱量及び散水量をパラメータとしたシミュレーションを実施し、蓄圧器の温度状態を把握する。シミュレーション等の結果から、散水量低減方法の有効性を検証する。
- ・検討結果を反映した例示基準の改正に資する資料の策定

図16に解析モデルの概略図を示す。従来の考え方は、蓄圧器の全面で熱を受けるものだったが、これは過剰な条件だったので、正確な受熱面を基に解析を行った。

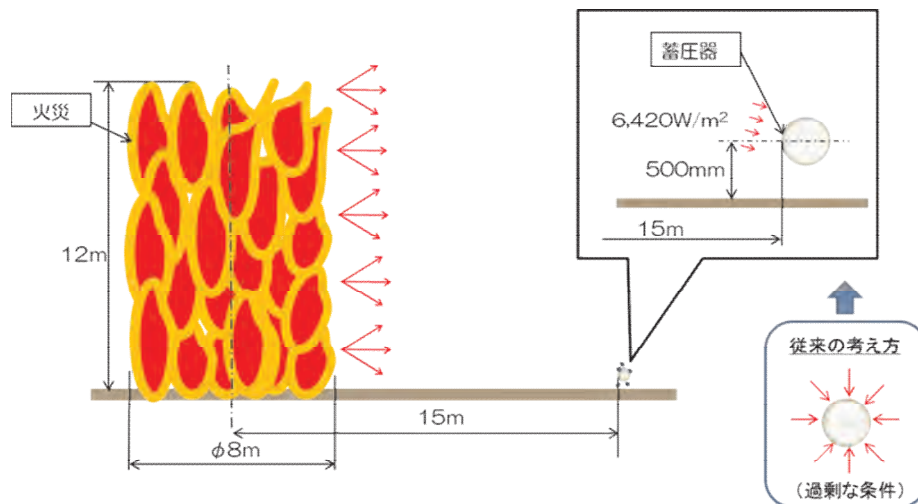


図16 解析モデルの概略図

実際の水素スタンド蓄圧器の設置状況をもとに、蓄圧器の受熱面積、散水量による蓄圧器温度変化や、輻射熱を有効に遮る方策を講じた場合の温度上昇防止効果等をシミュレーションにより明確化し、散水量低減を可能とするより合理的な例示基準の改正に資する資料を策定した()

図17に散水時のイメージを示す。

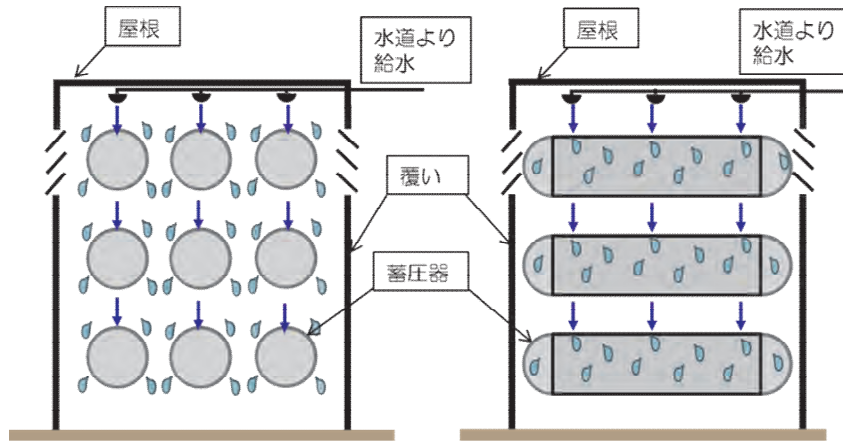


図17 散水時のイメージ

(10) 水素スタンドにおけるセルフ充填の許容に関する検討<JPEC>

本検討の目標は、海外の事例を調査し、安全性と利便性の確保の観点から、必要な技術的課題を抽出し、対応策を検討する。得られた結果を反映したセルフ充填のガイドライン(案)を策定することである。平成27年度下期より検討を開始した。検討フローを図18に示す。

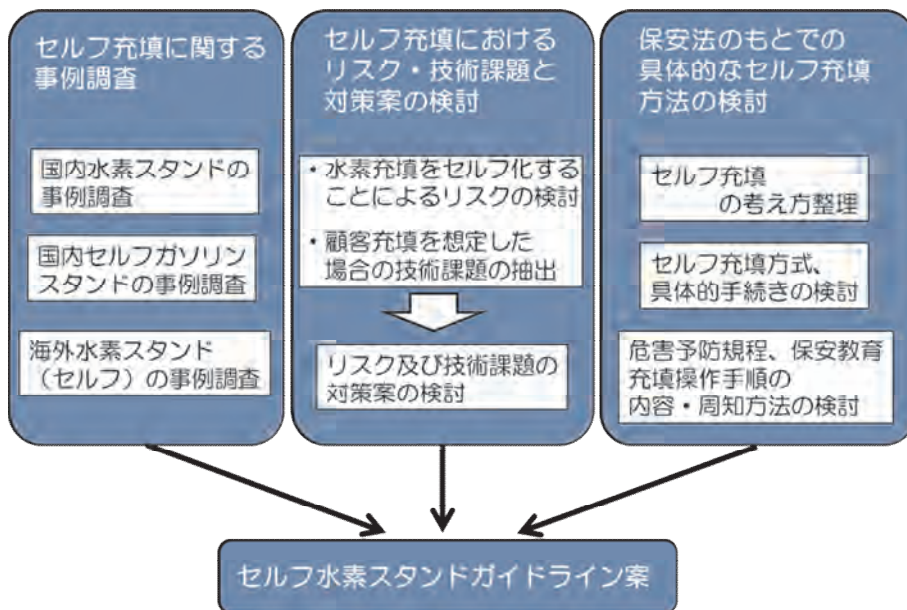


図18 検討フロー

セルフ充填に関する調査として、国内商用水素スタンドとセルフガソリンスタンドの現状、米国セルフ水素スタンドの事例を調査した。セルフ充填の技術課題と対応策に関して、安全性と利便性の確保の観点から、必要な技術的課題を抽出し、ハード面及びソフト面の対応策を検討した。表5に技術課題と対応策を示す。

表5 技術課題と対応策

項目	対応策
静電気除去装置	対策可否要検討
車載容器の記載事項確認	契約顧客自身による目視確認 (機械的確認方法も妨げない)
充填ホースの損傷防止	圧縮水素スタンド安全技術基準 JPEC-S 0007(2017)に規定済
ノズル落下による損傷防止	ハンサーの設置
ノズル装着の確認	・正しく装着されなければ、充填 できない構造のノズルを使用する ・嵌合確認のための表示
充填状況表示	対策可否要検討
脱圧の自動化	自動脱圧
顧客とのコミュニケーションツール 設置	インターホン、監視カメラ等の設置 顧客への周知方法、マニュアル整備

セルフ充填作業に関して、高圧ガス保安法に則り懸案事項を検討し、充填作業に関する考え方を具体化し、これらの検討結果を基に水素スタンドにおけるセルフ充填のガイドライン(案)を策定した() (2月時見込)

(11) 圧縮水素運送自動車用容器の固定方法の追加に関する検討<JPEC>

本検討の目標は、圧縮水素運送自動車用容器の固定方法にネックマウント方式を追加するために必要なデータを採取し、技術基準(案)を策定することである。平成28年度より検討を開始した。図19にトレーラーの低重心化、省スペース化(イメージ)を示す。

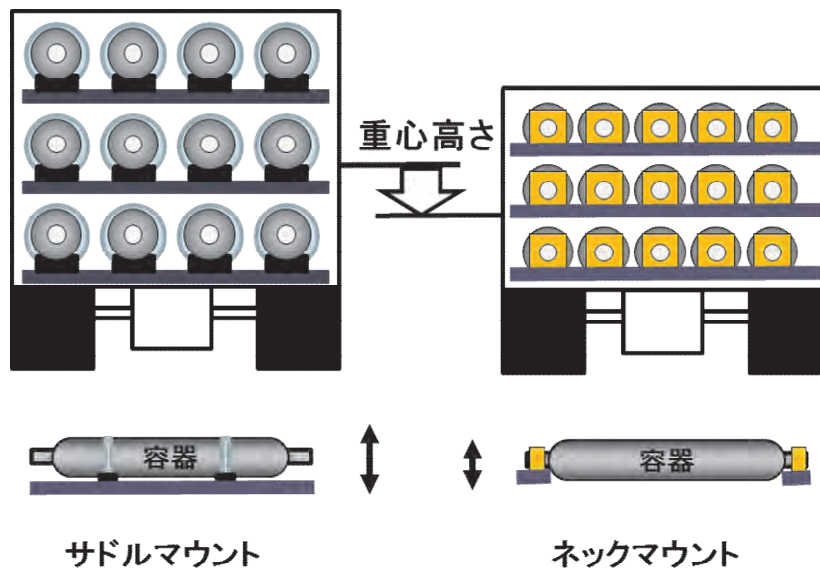


図19 トレーラーの低重心化、省スペース化(イメージ)

ネックマウントトレーラーに関する情報収集として、海外事故事例を調査し、ネックマウント由来の事故がないことを確認した。

容器の健全性検証試験を実施し、下記データを取得し、容器の健全性が担保できることを確認した。

- ・定常使用15年分の振動を付与(加振)する振動耐久試験を実施した容器に対し、耐圧・破裂試験データ

- ・ 非定常（事故時）想定衝撃を付与する衝撃試験を実施した容器に対し、耐圧・破裂試験データ
- ・ 容器固有振動数試験等から容器の疲労破壊の可能性に関するデータ

図 20 に容器の健全性担保検証試験の流れ（例）を示す。ネックマウントトレーラーに関する情報収集、単体フレーム作成・振動耐久試験等の各種データ採取を完了し、技術基準（案）を策定した（ ）、（2月時見込）

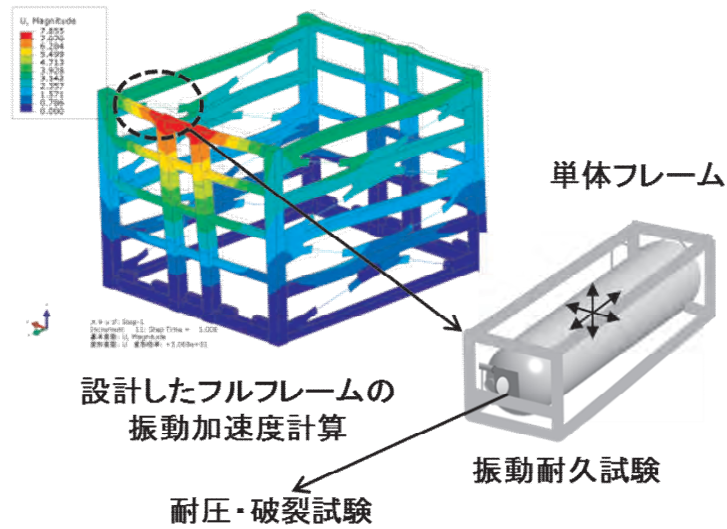


図 20 容器の健全性担保検証試験の流れ（例）

（12）有機ハイドライドを用いた水素スタンドの基準整備<JPEC、横浜国立大学（再委託）>

本検討の目標は、有機ハイドライド水素供給装置を既存の水素スタンドと同様の用途地域に設置可能とするために必要なリスク評価と安全対策の検討を行い、技術基準（案）等を策定することである。平成 28 年度より検討を開始した。図 21 に有機ハイドライド水素供給のイメージを示す。

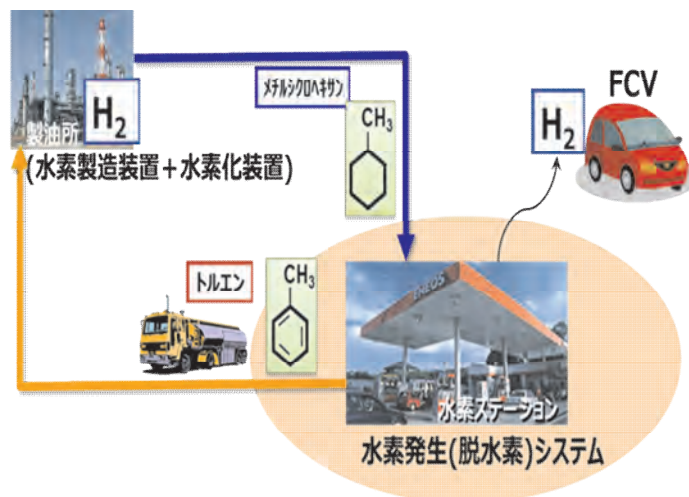


図 21 有機ハイドライド水素供給のイメージ

有機ハイドライドを用いた水素スタンドの関連技術として、有機ハイドライドの技術調査（性状など）ならびに有機ハイドライドを用いた水素スタンド建設に係る関係法規等を調査した。

本調査結果を基にして、有機ハイドライドを用いた水素スタンド設備仕様を調査しモデルフローを作成した。リスク評価・安全対策の検討として、モデルフローを用いたリスク評価を行い、リスク低減に必要な安全対策を抽出した。更にリスク低減のための安全対策の仕様を検討した。これらの結果を基に技術基準（案）を策定した（ ）（2月時見込）

図22に有機ハイドライド型水素スタンドのフローを示す。

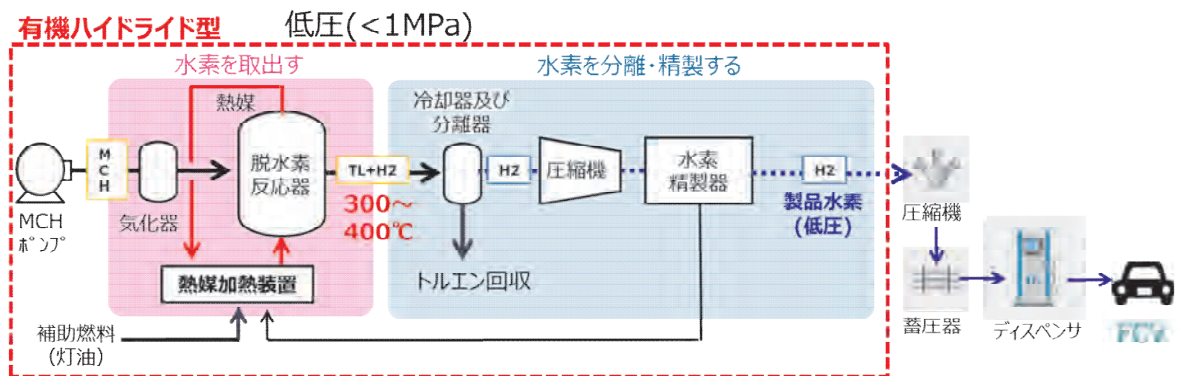


図22 有機ハイドライド型水素スタンドのフロー

図23にリスク評価の流れとその結果に基づく安全対策をまとめた技術基準策定の検討フローを示す。

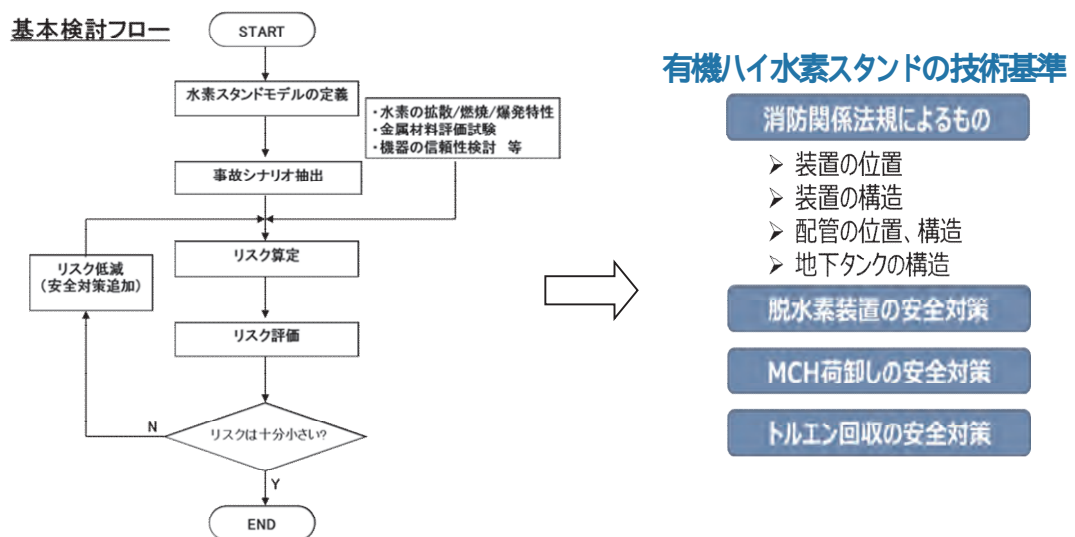


図23 検討フロー（リスク評価と安全対策、技術基準）

3.2 成果の意義

本研究開発の実施により、一般高圧ガス保安規則等の関連法規の整備及び適正化がなされ、FCV普及拡大に伴う水素スタンド等の水素インフラ市場の立ち上げ及び普及拡大に向け、水素供給インフラの設置等手続きの簡素化及び設置要件の緩和等が促進される。

これにより水素インフラの普及拡大に寄与することができた。

3.3 開発項目別残課題

本テーマの各開発項目は計画通りに検討を行い、開発目標はすべて達成された。各開発項目の残課題について表6に示す。

表6 成果内容と達成度

開発項目	成果内容（平成30年2月）	残課題
(1)70MPa スタンドの保安検査基準の整備に関する検討 JPEC	蓄圧器の供用中検査を可能とするため、超音波探傷試験を取り入れた検査方法等をまとめ、保安検査基準（案）等を策定した。	なし (法制化審査対応)
(2)圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討 JPEC	高压ガス保安法に係る技術基準（案）を策定し、例示基準化が見直された。	なし
(3)水素スタンドの距離規制見直しに関する検討 JPEC	水素スタンド離隔距離短縮に必要な検討項目を整理し、実験を通じて距離短縮の方策をまとめ、技術基準（案）を策定した。 (2月時見込)	なし (法制化審査対応)
(4)-1 公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討（公道充填）<JPEC/日本アソシエイト	公道水素充填を可能にするための課題抽出、安全な設備仕様とその運用方法を確立した。	なし
(4)-2 同上 (ディーラー充填) 豊田通商	超小型水素充填装置の試作と充填実証試験の実施、設備・運用・規制面の課題を整理した。	作業有資格者の確保 充填作業員の教育
(5)圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討 JPEC/佐賀大	圧縮水素運送自動車用容器の使用上限温度(85)以下で使用可能とするための高压ガス保安法に係る技術基準（案）を策定し、省令が改正された。水素トレーラー車両火災の原因究明及び再発防止対策を検討し、安全対策を提案した。	なし
(6)液体水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討 JIMGA・岩谷産業	液化水素を水素源とする圧縮水素スタンドの技術基準（案）を策定した。(2月時見込)	なし (法制化審査対応)
(7) 2種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討 JIMGA	第二種製造者の圧縮水素スタンドの技術基準（案）を策定し、省令が改正された。	なし
(9)温度上昇を防止する装置（散水基準）の見直しに関する検討 JPEC	圧縮水素スタンド蓄圧器の散水設備に関し、散水量低減を可能とするより合理的な例示基準の改正に資する資料を策定した。	なし

(10)水素スタンドにおけるセルフ充填の許容に関する検討 JPEC	海外の事例を調査し、安全性と利便性の確保の観点から、必要な技術的課題を抽出し、対応策を検討する。得られた結果を反映したセルフ充填のガイドライン（案）を策定した。（2月時見込）	なし (法制化審査対応)
(11)圧縮水素運送自動車用容器の固定方法の追加に関する検討 JPEC	圧縮水素運送自動車用容器固定方法にネックマウント方式を追加するために必要なデータを採取し技術基準（案）を策定した。（2月時見込）	なし (法制化審査対応)
(12)有機ハイドライドを用いた水素スタンドの基準整備に関する検討 JPEC	有機ハイドライド水素供給装置を既存の水素スタンドと同様の用途地域に設置可能とするために必要なリスク評価と安全対策の検討を行い、技術基準（案）等を策定した。（2月時見込）	なし (法制化審査対応)

4.まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する開発項目は、その目標達成により、水素ステーションの設置要件の緩和を目的とする一般高圧ガス保安規則等の関連法規の整備及び適正化が図られ、FCV及び水素供給インフラの一般普及を促進する。

5.研究発表・特許等

表7 研究発表実績

No.	年月日	発表先	題目	発表者
1	2014年 5月9日	技術情報協会 セミナー	『水素ステーション普及へのロードマップ・ 規制動向と燃料電池市場の展望』	遠藤 明 (JPEC)
2	2014年 7月4日	燃料電池実用化 推進協議会	『水素ステーション・規制見直しの取組み状況』	遠藤 明 (JPEC)
3	2014年 12月17日	第5回冷凍部会 (公開)例会	環境・安全委員会ワーキング 『2015年に向けた水素インフラと安全規制』	小川 敬 (JIMGA)
4	2015年 5月13日	H27JPEC 技術開発・ 調査事業成果発表会	『製油所水素のトレーラー輸送等に関する技術課題と 検討状況』	森本正史 (JPEC)
5	2015年 8月	「ペトロテック」 (石油学会)	『水素ステーション整備に向けた規制見直し状況と今 後の課題』	川付正明 (JPEC)
6	2015年 10月19日	ICHS2015	NUMERICAL SIMULATION ON LOW-SPEED HYDROGEN JET DIFFUSION	朝原 誠 (岐阜大)
7	2015年 12月3日	第48回安全工学研究 発表会	高圧水素のピンホール漏えいにおける拡散領域の予測	朝原 誠 (岐阜大)
8	2016年 3月14日	第1回環太平洋熱工学 会議 (PRTEC2016)	Numerical Simulation on Dispersion Process of Unsteady High Pressure Hydrogen Jet Flow	坪井 伸幸 (岐阜大)

9	2016年 6月16日	第21回動力・エネルギー技術シンポジウム	水素-ガソリン併設型スタンドにおける火災発生時の輻射熱計算	黒木太一 (九州大)
10	2016年 6月30日	International Journal of Hydrogen Energy 41 (2016)	The qualitative risk assessment of an electrolytic hydrogen generation system	笠井 尚哉 (横国大)
11	2016年 6月30日	第48回流体力学講演会	高圧水素噴流の漏えい挙動に関する3次元数値解析	坪井 伸幸 (岐阜大)
12	2016年 8月22日	水素の燃焼と爆発ワークショップ	高圧水素噴流の非定常性に関する3次元数値解析	坪井 伸幸 (岐阜大)
13	2016年 8月22日	水素の燃焼と爆発ワークショップ	水素噴流低濃度領域での強制着火による火災の安全性評価	富樫 憲一 (岐阜大)
14	2016年 8月22日	水素の燃焼と爆発ワークショップ	Numerical Simulation of Hydrogen Jet Flow with Adaptive Mesh Refinement Method	Tang Xinmeng (岐阜大)
15	2016年 9月20日	International Symposium on Transport Phenomena	Risk Assessment Study about Fire Outbreaks of Hydrogen Refueling Station with Gas Station	黒木太一 (九州大)
16	2016年 10月22日	日本機械学会熱工学コンファレンス2016	水素噴流拡散中での強制着火による火災の成長・消滅の過程	朝原 誠 (岐阜大)
17	2016年 11月10日	火薬学会2016年度秋季研究発表会	ピンホールからの82MPa高圧水素噴流の拡散及び着火特性	岡林 一木 (JPEC)
18	2016年 11月12日	日本機械学会流体工学部門講演会	高圧水素噴流の拡散過程の3次元数値解析	坪井 伸幸 (岐阜大)
19	2016年 11月23日	日本燃焼学会第54回燃焼シンポジウム	高圧水素噴流の拡散および着火の非定常特性	岡林 一木 (JPEC)
20	2016年 11月23日	日本燃焼学会第54回燃焼シンポジウム	高圧水素噴流の非定常特性が着火に及ぼす影響に関する数値解析	朝原 誠 (岐阜大)
21	2016年 12月1日	第49回安全工学研究発表会	水素噴流への強制着火により発生する火災の人体近傍における安全性評価	富樫 憲一 (岐阜大)
22	2017年 1月11日	米国航空宇宙学会年会(2017)	Three-dimensional Numerical Simulation on Dispersion Process of Unsteady High Pressure Hydrogen Jet Flow	坪井 伸幸 (岐阜大)
23	2017年 5月10日	JPEC フォーラム	水素スタンドにおけるセルフ充填に関する検討状況について	河島 義実 (JPEC)
24	2017年 5月10日	JPEC フォーラム	高圧水素噴流の着火・燃焼挙動の検討(距離規制見直し関係)	小森 雅浩 (JPEC)
25	2017年 5月10日	JPEC フォーラム	蓄圧器の温度上昇防止対策の検討(散水基準見直し関係)	森本 正史 (JPEC)
26	2017年 6月14日	日本高圧力技術協会技術セミナー	極低温高圧水素環境における材料強度評価	辻上 博司 (岩谷産業)

27	2017年 6月14日	JIMGA 総会 産業・ 医療ガス合同セミナー	水素スタンドプロジェクト進捗状況	相馬 一夫 (JIMGA)
28	2017年 6月29日	第49回流体力学講演 会	高圧水素噴流中の強制着火の数値解析:流動特性が火炎 成長に及ぼす影響	坪井 伸幸 (岐阜大)
29	2017年 7月1日	JRCM REPORT	中空試験法による高圧水素の簡便な影響評価法の取り 組み状況と今後の課題	緒形 俊夫 (NIMS)
30	2017年 7月5日	安全工学シンポジウム 2017	ピンホールから漏洩する高圧水素噴流中での強制着火 による火炎挙動	朝原 誠 (岐阜大)
31	2017年 7月5日	安全工学シンポジウム 2017	水素噴流への強制着火により発生する火炎による繊維 の燃焼可能性の検討	富樫 憲一 (岐阜大)
32	2017年 7月16日	ASME 2017 PVP	日本における水素ステーション設備に使用する材料の 評価と選定の現状	辻上 博司 (岩谷産業)
33	2017年 7月31日	日本高圧力技術協会 「圧力技術」	液化水素ポンプ昇圧型水素ステーション用高強度材料 の水素適合性・低温靱性評価	辻上 博司 (岩谷産業)
34	2017年 9月3日	日本機械学会	超高压液化水素のピンホール噴流の拡散挙動	丸 祐介 (JAXA)
35	2017年 9月3日	日本機械学会	超高压(84MPa)液化水素の流量計測	小林 弘明 (JAXA)

以上

(1-2)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 / 水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発」

委託先：（一財）石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、（国）九州大学

成果期：（平成25年度～平成29年度）

汎用材の利用拡大に関し、SUH660、銅合金の例示基準化に繋げた。さらに20MPa以下のNi当量規制除外により、7075鋼を含む多鋼種を使用可能とした。また、低合金鋼の利用拡大に向け、事前評価申請で認可を受けるのに必要な指針を低合金鋼技術文書としてまとめた。
 ・超高压、広温度範囲での利用拡大について、SUS316(高Ni)材を3領域で例示基準化に繋げると共に、海外規格材の例示基準への取り込み検討を行い、SUH660の温度拡張について基準化に繋げた。また、HRX19など多鋼種をデニタ化して水素ステーション建設に大きく寄与した。また、溶接の安全利用に必要な要件を提示した。

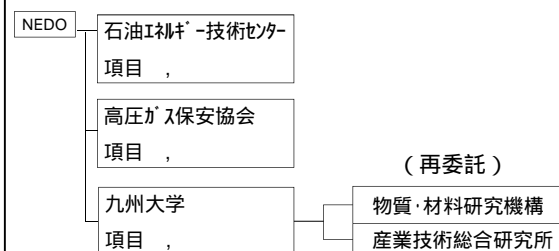
背景/研究内容・目的

水素ステーションに使用する金属材料は、耐水素特性に優れ、かつ安価な鋼種が産業界から求められている。
 そこで水素に対して安全・安心を担保し、併せてコスト低減を可能とする鋼種拡大のための研究開発を行う。

研究目標

実施項目	最終目標 (H29年度)
-1 汎用材の利用拡大	汎用材の累計5～8種の研究、評価、使用条件の明確化
-2 新たなニーズに基づいた汎用鋼種拡大	
-1 超高压、広温度範囲での利用拡大	ステンレス材の累計3～5種、もしくはその他材料の研究、評価、使用条件の明確化
-2 新たなニーズに基づいた超高压、広温度範囲の鋼種拡大	

実施体制及び分担等



これまでの実施内容 / 研究成果

- 汎用材の利用拡大について、以下の例示基準化、技術文書化を達成した。
- ・SUH660 (1種) , 銅合金 (2種) の例示基準化を達成した。
- ・20MPa以下域でのNi当量規制を除外する例示基準化を達成した。(7075鋼を含む多鋼種の使用可)
- ・汎用SUS材の使用可能域拡大を研究した。規制見直しまで踏み込める結果とはならなかったが、現行規制の妥当性を実データで検証した。
- ・低合金鋼の超高压での特性を研究し、SCM435, SNCM439について利用方策を提言した。
- ・低合金鋼の利用を更に拡大するため、低合金鋼技術文書を発行した。
- ・超高压・広温度範囲での鋼材利用拡大について、以下の例示基準化、デニタ化を達成した。
- ・SUS316(高Ni)材の使用可能域拡大の例示基準化を達成した。(高温、低温、超高压の3種)
- ・高強度ステンレス鋼HRX19材の耐水素特性を立証した。
- ・多鋼種の各種特性をデニタ化して、広く産業界への提供を実施した。
- ・HRX19材の溶接技術を研究し、溶接の安全利用に必要な要件を提示した。
- ・海外規格材の例示基準への取込みを実施した。(SUH660温度拡張(1種))

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
-1	・SUH660, 銅合金の例示基準化 ・20MPa以下のNi当量規制除外 (7075鋼を含む多鋼種の使用可)	
-2	・汎用SUS材の使用可能域拡大研究 現行規制の妥当性を検証済 ・低合金鋼の超高压利用方策提言 ・低合金鋼がドライン作成研究 技術文書発行	
-1	・SUS316(高Ni)材の使用可能域拡大 ・HRX19の耐水素特性立証 ・デニタ構築、産業界への提供	
-2	・HRX19の溶接研究 ・海外規格材の例示基準への取込み (SUH660温度拡張, HRX19の基準化に向けた道筋の明確化)	

今後の課題

- ・汎用材のニーズへの対応検討。
(新たな水素特性判断基準の検討等)

実用化の見通し

本事業における実用化とは、水素ステーションでニーズの高い鋼材について、事業者の申請負担を軽減し、新たな鋼材 (= 例示基準化されていない鋼材) を使いやすくすることで、水素ステーションでの利用を促進することである。
 例示基準化された鋼材は水素ステーション建設に広く活用され、水素事業推進へ大きく寄与している。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	40	218	1

課題番号： -2

水素利用技術研究開発事業/燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発/

水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発

実施者：一般財団法人石油エネルギー技術センター（JPEC）

高圧ガス保安協会（KHK）

国立大学法人九州大学（九大）

（再委託先）国立研究開発法人産業技術総合研究所

（再委託先）国立研究開発法人物質・材料研究機構

1. 研究開発概要

本研究では、大別して次の2つのサブテーマを実施する。

汎用材の水素環境下での利用に関する研究開発

前事業（水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発、H20～H24年度実施）にて取り組んだ鋼種拡大対象材料は、高度な耐水素性能を有する鋼材であるが、汎用の鋼材ではないため入手性に課題がある。一方、汎用材すなわち当該水素ガス中以外で圧力機器の材料として汎用的に用いられている材料を、水素ガスに対する耐性に応じて最大限使用する手法があれば、水素ステーションの安全と低コスト化を同時に満足する非常に有効な技術となるが、現状のところ確立した技術はない。

そこで、水素系構成機器の使用に応じて検討対象とする鋼材の選定と、水素ガス中での挙動の解明、評価試験方法の確立を行う必要があり、具体的には、水素ステーションのコスト低減に繋がる可能性があつて、かつ機能維持に必要な汎用金属材料（例えば、SUS304、SUS310S、SUS316、SUH660、Cr-Mo鋼、Ni-Cr-Mo鋼、銅系材料、アルミニウム系材料など）について、水素ガス中での挙動の解明及び評価試験方法の検討を行い、水素の影響を受ける材料の場合は、その評価方法を確立する。

これら検討を通じて、汎用材の使用条件を明確にするとともに、将来の技術基準化に繋がる検討を推進し、汎用材の水素ガス中での利用に関する技術基準の整備に資する資料の検討・作成を行う。

超高圧、広温度範囲の材料設計のためのデータベース構築

70MPa級水素充填設備においては、-40以下の低温となるプレクール設備や200程度の高温となる圧縮機で使用できる材料が求められており、使用温度領域での材料評価は必須である。しかし、現状は試験設備の制約等で、十分な材料評価データが得られておらず、設計上適切な温度領域での材料使用ができていない。また、水素曝露を行った金属材料における水素の影響評価についても、十分な検討は行われておらず、圧縮機の信頼性向上のための検討が望まれる。

そこで、プレクール設備や圧縮機の設計等に基づき、材料使用温度及び使用条件を明確にし、使用候補材の選定を行う。次に試験条件や試験方法を検討して、試験設備を整備するとともに試験方法を確立し、水素曝露を含めた水素構造材料データベースの構築と材料使用基準の整理・拡充を行う。

2. 研究開発目標

2.1 目標

最終目標(平成 29 年度)について、業界の鋼種拡大ニーズと研究工程、基準化の工程などを勘案し、表 1 の通りとした。

表 1 研究目標

実施項目		最終目標 (H29 年度)
-1	汎用材の利用拡大	汎用材の累計 5 ~ 8 種の研究、評価、 使用条件の明確化
-2	新たなニーズに基づいた汎用鋼種拡大	
-1	超高圧、広温度範囲での利用拡大	ステンレス材の累計 3 ~ 5 種、もしくは はその他材料の研究、評価、使用条件 の明確化
-2	新たなニーズに基づいた超高圧、広温度 範囲の鋼種拡大	

2.2 実施体制、及び分担

研究の分担を図 1 に、実施体制を図 2 に示す。

体制構築に際しては、他の NEDO 事業や、鉄鋼業界など関連業界との情報共有化・連携を密にすることを重視し、オールジャパンの取組み体制を構築した。

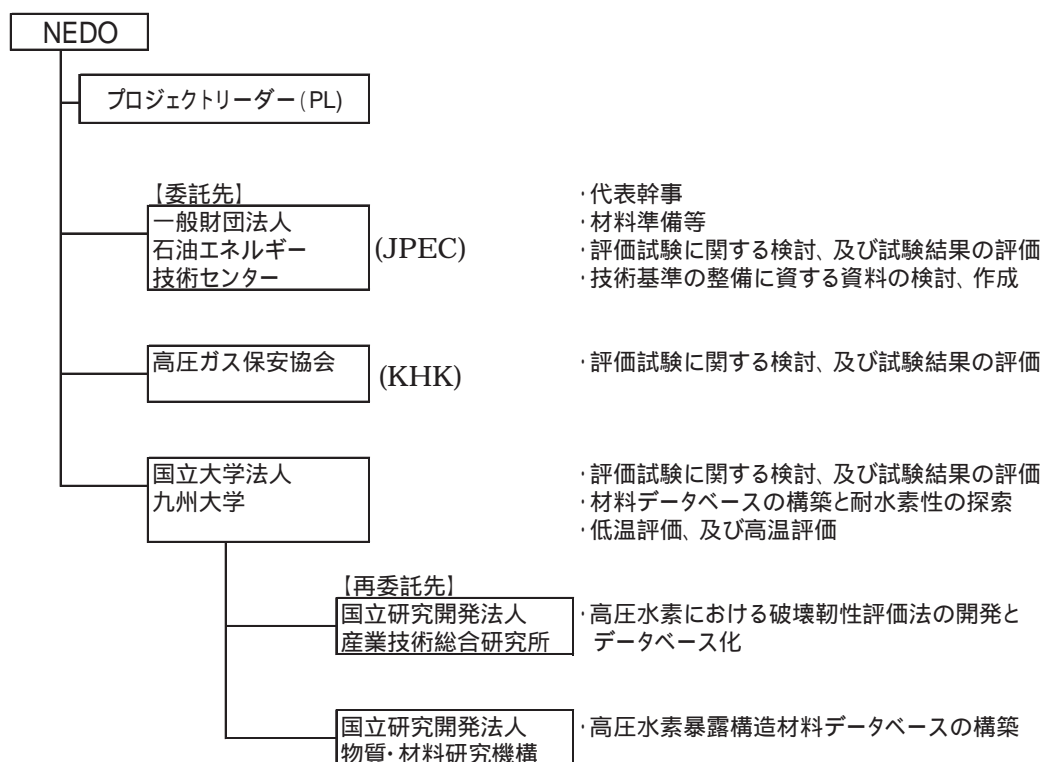


図 1 研究分担

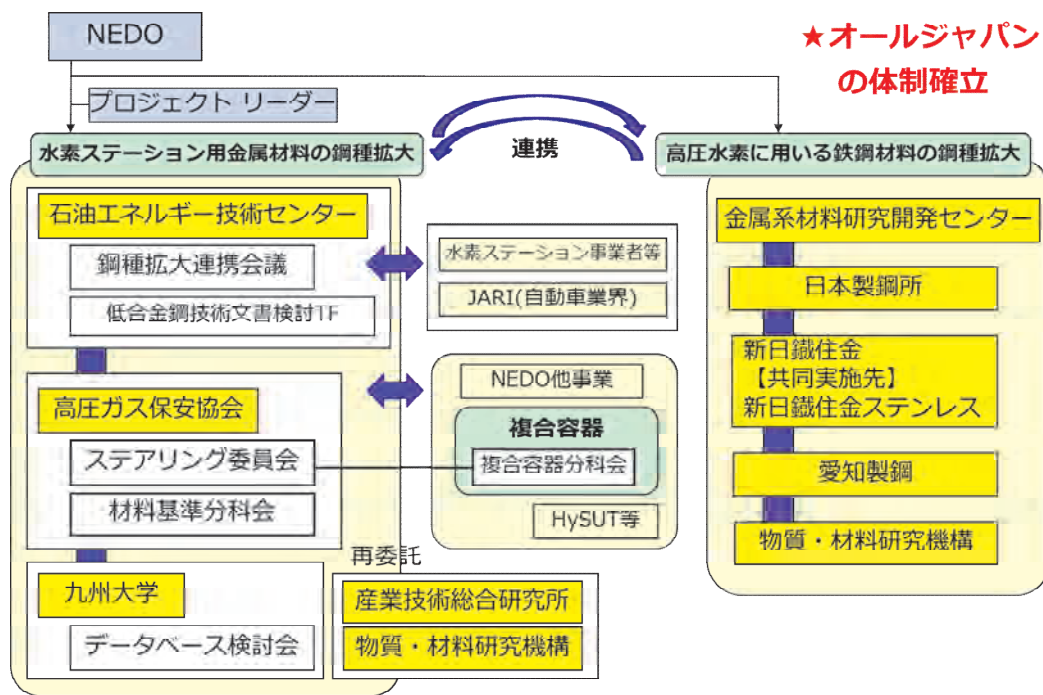


図2 研究実施体制

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

最終目標に対する成果の全体像を表2に示す。成果、及び達成度の詳細については以下の項で述べる。

表2 最終目標に対する成果

実施項目	最終目標 (H29年度)	成果	自己 評価
-1 汎用材の利用拡大	汎用材の累計5 ~ 8種の研究、 評価、使用条件 の明確化	・SUH660(1種), 銅合金(2種)の 例示基準化 ・20MPa以下のNi当量規制除外 (加圧鋼を含む多鋼種の使用が可)	
-2 新たなニーズに基づ いた汎用鋼種拡大		・汎用SUS材の使用可能域拡大研究 現行規制の妥当性を検証済 ・低合金鋼の超高圧利用方策提言 ・低合金鋼が1ライン作成研究 技術文書発行	
-1 超高圧、広温度範囲 での利用拡大	ステンレス材の 累計3~5種、 もしくはその他 材料の研究、評 価、使用条件の 明確化	・SUS316(高Ni)材の使用可能域拡大(3種) ・HRX19の耐水素特性立証(1種) ・データベース構築、産業界への提供	
-2 新たなニーズに基づ いた超高圧、広温度 範囲の鋼種拡大		・HRX19の溶接研究 ・海外規格材の例示基準への取込み (SUH660温度拡張基準化(1種), HRX19 の基準化に向けた道筋の明確化)	

(1) 汎用材の水素環境下での利用に関する研究開発

材料試験準備等（JPEC）

研究開発の推進に当たっては、研究開発成果の確実な実用化を図るために、水素ステーションに関わる事業者へのニーズ調査（アンケート，ヒアリング）を行った。調査結果を踏まえ、鋼種拡大の方向性を図3の通り定めた。水素ステーションの建設事例が増えていく中で、コスト減・軽量化・コンパクト化への要望を確認しており、これに伴う溶接技術や高強度材に対する高い関心が見られた。また、事前評価申請要件の明確化や、既に使用可能な材料の使用範囲拡大等、実際の業務から生じるニーズを確認した。

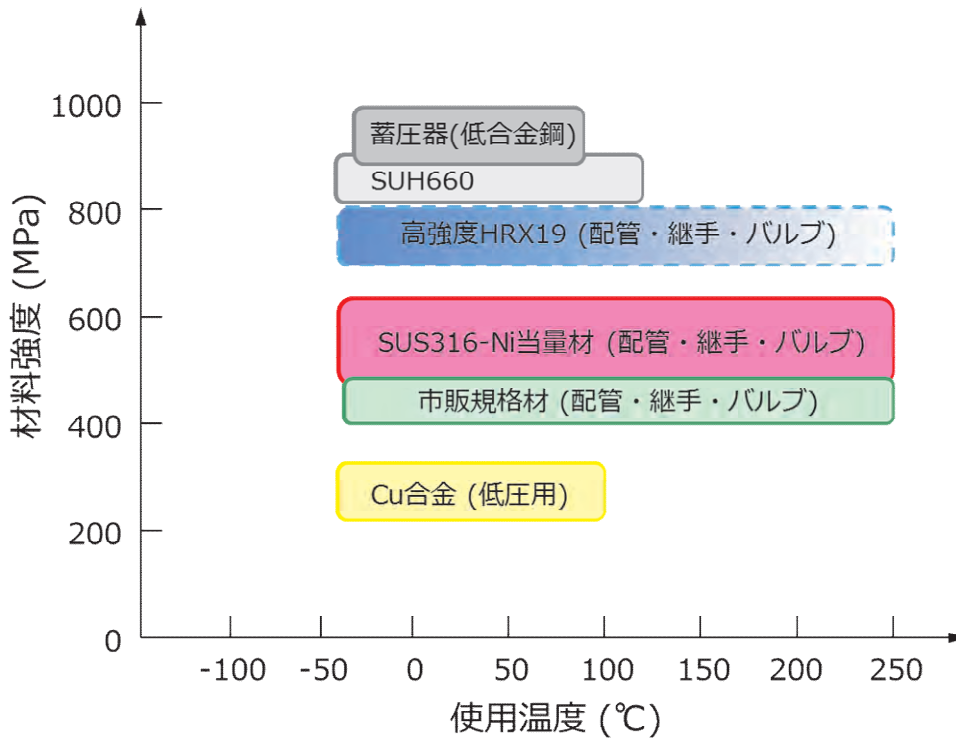


図3 鋼種拡大の方向性

高圧水素構造材料データベースの構築と耐水素脆性の探索（九大）

a. 高圧水素構造材料データベースの構築

SCM435、SNCM439、SUS304、SUS305、SUS316、SUS316L、SUS316(hi-Ni)、SUH660、XM-19 (HRX19)および6061-T6について、115～135MPaの水素ガス中で各種強度試験を実施した。XM-19(HRX19)、SCM435およびSNCM439については、データベース検討会（-d.参照）で検討後、鉄鋼メーカーの協力により素材を調達した。必要に応じて、それらの標準材に加えてロットや化学成分、熱処理条件等の異なる素材についても試験を実施した。図4に、例としてSCM435の諸特性を示す。

上記の各材について、SSRT特性、疲労寿命特性、疲労き裂進展特性ならびに水素拡散特性を取得した。その結果をもとに「水素構造材料データベース」を構築し、適時更新しながら国内の機関および企業に提供した。図5に示すように、平成24年度にデータ提供を開始して以降、平成29年8月末時点で、国内の各種機関と国内企業への提供総数は2,775件に達した。特に、平成26年度以降は、水素ステーション建設の本格化に伴ってインフラ企業への提供が急増した。同データベースは、国内の規制見直し・使用材料拡大作業や水素ステーション設置のための特認取得の基盤として欠かせないものとなっている。

また、高圧水素ガス中の 10^7 回疲労限度の取得に要する時間を 1/20 に短縮できる共振疲労試験機を開発し、115 MPa 水素ガス中で 4 種類の鋼材について図 6 に示すような $S-N$ 線データを取得した。これらに統計的評価法を適用し、疲労限度が 115MPa 水素ガス中で低下しないことを示した。

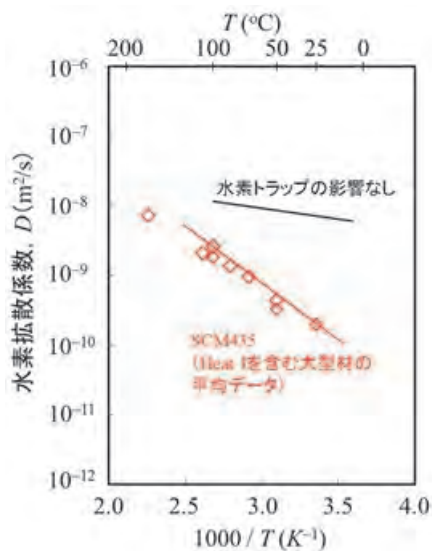
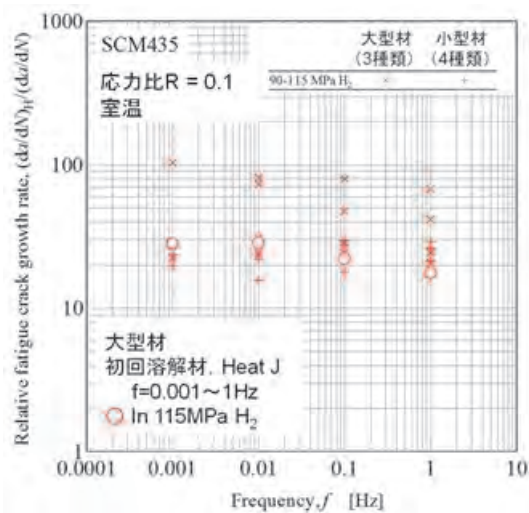
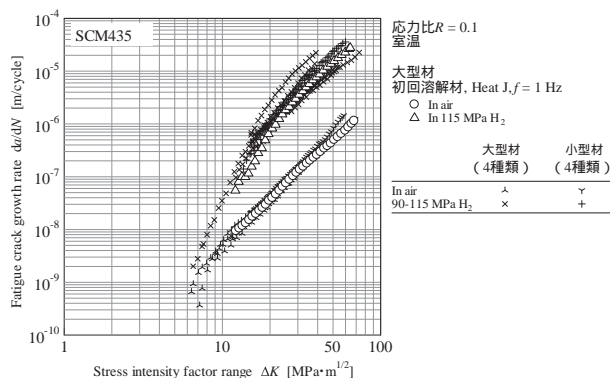
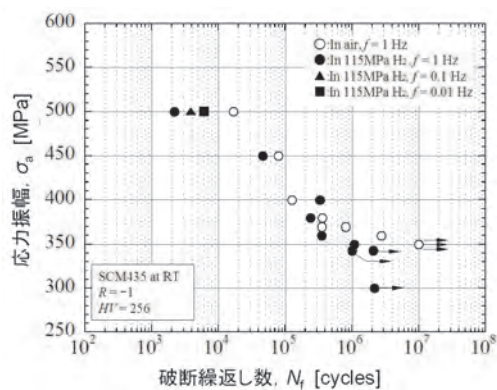
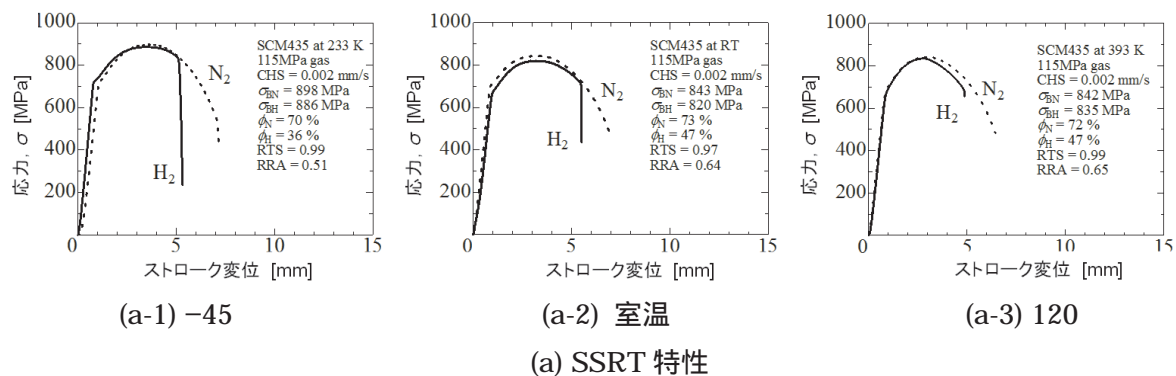


図 4 SCM435 の諸特性

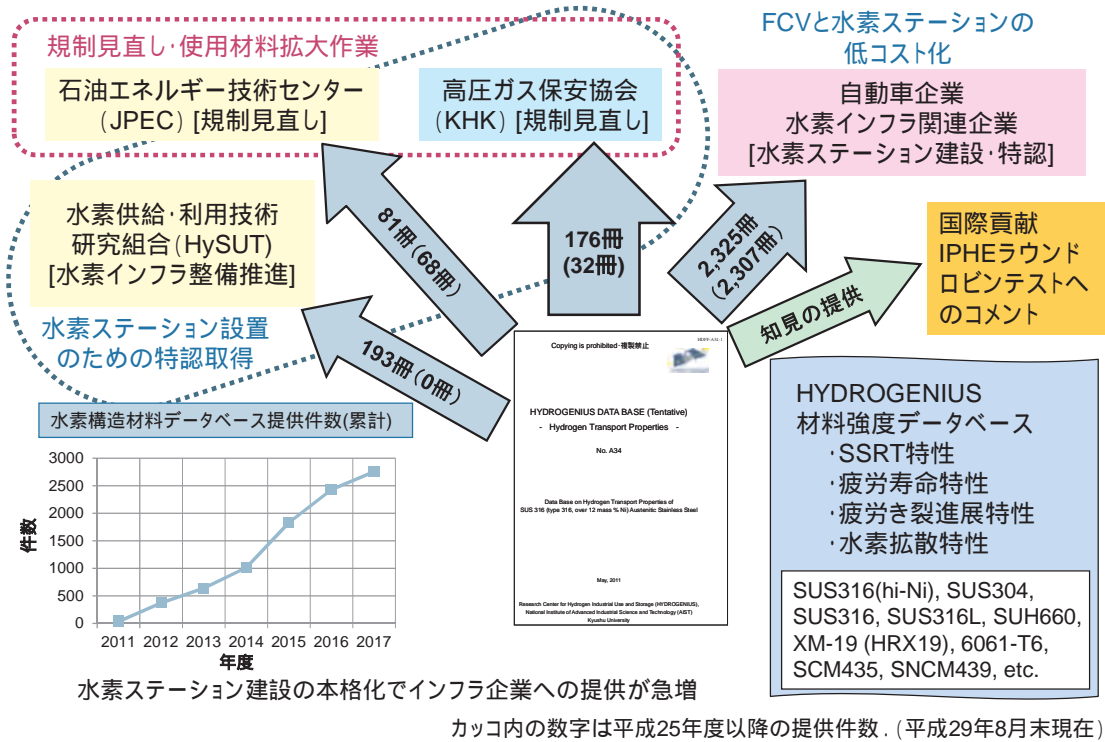


図5 水素構造材料データベースの構築と提供 (平成29年8月末時点での提供総数:2,775件、うち平成25年度以降(本NEDOプロジェクト期間中)の提供件数:2,407件)

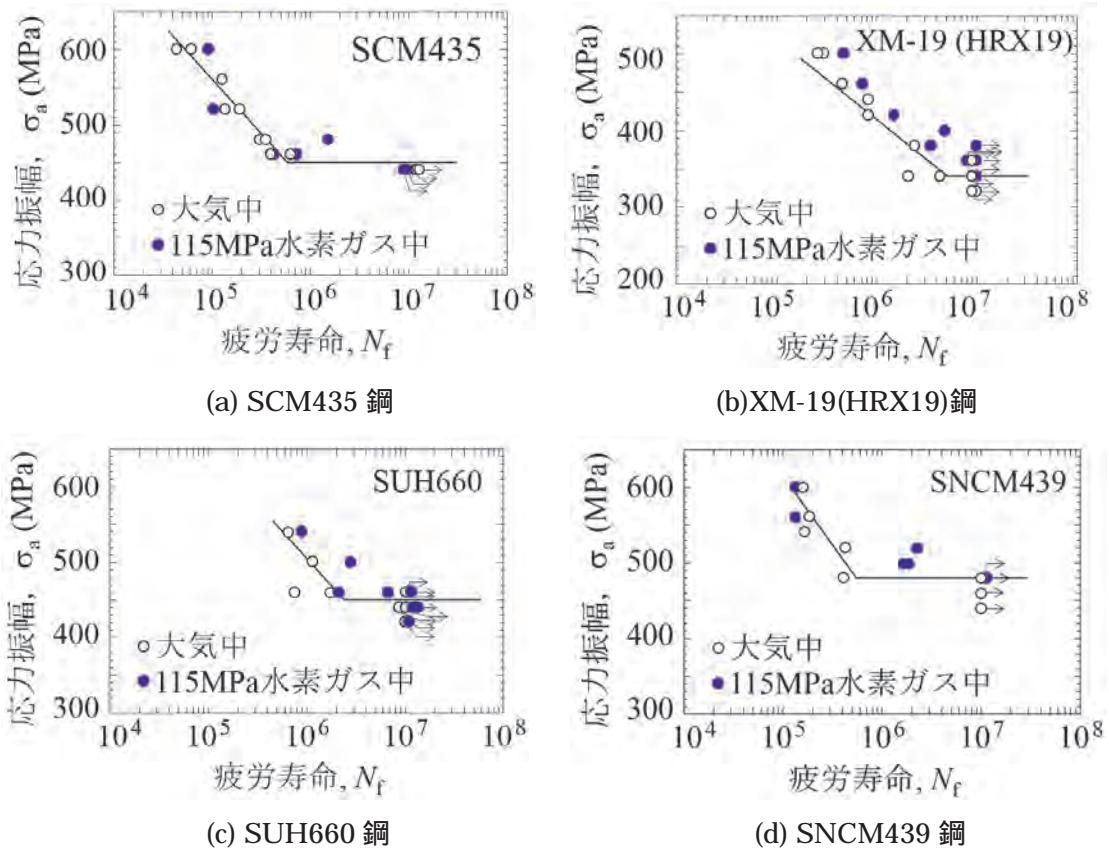


図6 共振疲労試験機により取得した115 MPa水素ガス中のS-Nデータ

b. 水素脆化メカニズムの解明と有限寿命設計法の検討

低合金鋼などの比較的水素感受性の高い材料を高圧水素ガス中で使用可能するために、「水素ガス環境中において、安全係数の基準となる引張強さが確保され、かつ無限寿命設計の根拠となる疲労限度が低下しない材料は公式による設計で使用可能である」ことを提案した。その妥当性を明らかにするために、115MPa 水素ガス環境中において焼入れ・焼戻し時の試料寸法や熱処理条件が異なる種々の SCM435 と SNCM439 の SSRT 試験を実施し、高圧ガス環境中における微小き裂の発生・進展メカニズムを調査した。その結果、両鋼において、強度レベルや微視組織を適切に調整すれば、 $-45 \sim 120$ の温度域において、破壊メカニズム (= 微小き裂の発生・進展) の観点からも引張強さが確保されることが示された。これに、高圧水素ガス中で実施した一連の疲労寿命試験、疲労き裂進展試験および破壊靱性試験から得られた知見を組み合わせることにより、SCM435 と SNCM439 の使用指針として、「厚さ $t = 30\text{mm}$ 、引張強さ $\sigma_B = 900 \text{ MPa}$ を満たす SCM435 ならびに厚さ $t = 60\text{mm}$ 、引張強さ $\sigma_B = 900 \text{ MPa}$ を満たす SNCM439 は、温度が -45 から 120 、圧力が 115MPa 以下の水素ガス中で使用できる」ことを提案した。ただし、上記の肉厚制限 ($t = 60\text{mm}$) と強度レベルの上限 ($\sigma_B = 900 \text{ MPa}$) は、本事業で取得したデータから仮決定したものであり、今後、追加試験や材料開発を行うことで変更していく必要がある。

また、水素ステーションの蓄圧器のように高応力比で繰返し応力の負荷を受ける機器に解析による設計を適用するにあたり、使用履歴の管理に基づく実際の応力負荷条件 (部分充填) を反映させることの重要性を指摘した。これに関連して、有限寿命設計 (解析による設計) による疲労強度設計事例を示し、その有効性を明らかにした。

さらに、各種オーステナイト系ステンレス鋼、低合金鋼および炭素鋼について、水素ガス中で進展するき裂およびその破面を精緻に観察した。そして、高圧水素ガス中において、SSRT 試験や破壊靱性試験で加速される静的き裂および繰返し荷重下で加速される疲労き裂が、実施者が提案した Hydrogen-induced Successive Crack Growth (HISCG) モデルにしたがい全て同じメカニズムで進展することを明らかにした。すなわち、上記 3 種類のき裂は、水素の影響下ですべりの局在化によってき裂開口を起こさず鋭いままで進展することに伴い加速するものの、マイクロなすべり変形を伴う延性き裂であり、高圧水素ガス中でも安定に成長することが示された。得られた知見を総合して、引張試験において引張強さを確保できない SUS304 や SUS316 などのオーステナイト系ステンレス鋼を高圧水素ガス中で使用可能にするために、「水素ガス中全伸び $\delta_H = 10 \%$ または水素ガス中絞り $\varphi_H = 10 \%$ を満たすステンレス鋼 SUS304、SUS316、SUS316L は、温度が -40 から室温、圧力が 115MPa 以下の水素ガス中で使用できる」ことを提案した。ただし、全伸びの制限「 $\delta_H = 10 \%$ 」については、SUS304、SUS316、SUS316L の中で δ_H が最も小さい SUS304 において、 0.2% 耐力が確実に確認できるという条件で、SCM435 の実験結果も参考にして決定した暫定的な値である。したがって、規格や基準で全伸びを採用する場合には、学術的合理性に加えて、現存の基準・規格との整合性なども考慮してその基準値を決定する必要がある。

c. 耐水素性の探索

SUS304 相当の価格で製造可能であり、Ni 当量が 20% 以下の新規開発材料である 15Mn 基オーステナイト合金について、疲労き裂進展特性に及ぼす水素の影響を検討した。 0.7MPa 水素ガス中で予備試験を行い、本合金が新たな耐水素鋼として有望であることを明らかにした。また、引張強さが $1300 \sim 1400 \text{ MPa}$ と高強度なベリリウム銅合金の各種強度試験を 115MPa 水素ガス中で実施し、同合金が、これまで報

告されている金属の中で、水素の影響を受けない最も引張強さの高い金属材料であり、かつ高い熱伝導率を有する優れた材料であることを示した。

d. データベース検討会の開催

九州大学で実施する各種試験に用いる素材のサンプリング方法、得られた実験データや研究成果の妥当性について、様々な分野の専門家から意見を集約して事業に生かすことを目的として、インフラメーカーから9名、鉄鋼メーカーから8名、自動車メーカーから8名、および大学から3名を委員として迎え、「九州大学データベース検討会」を設立した。オブザーバ約30名を含めた参加総数約50名の同検討会を年に1回開催した。また、検討会の運営・準備のため、幹事(約10名)から構成される幹事会を年に3回開催した。

高圧水素中における破壊靱性試験法の確立とデータベース化(産総研)

熱処理条件を変えて強度レベルを調整したSCM435を用いて、大気中の破壊靱性値 K_{IC} と水素ガス中の水素誘起裂進展下限値 $K_{I,H}$ を求める最適な試験法を検討した。水素ガス中においては、 J_{IC} 試験(除荷あり変位増加試験、ASTM E1820)、除荷なし J_{IC} 試験(除荷なし変位増加試験、ASTM E399)、定荷重試験(KD-10)および定変位試験(KD-10)の4種類の試験を行った。図7に、得られた結果を示す。大気中の K_{IC} は J_{IC} 試験のみで求めた。一方、115MPa水素ガス中の $K_{I,H}$ は上記の4種類の試験全てで求めることができるが、試験時間と試験片本数の節約の観点から、除荷なし J_{IC} 試験が最適であることを明らかにした。測定手法が異なっても得られた $K_{I,H}$ は良く一致し、また引張強さの増加とともに $K_{I,H}$ は減少する傾向を示した。このようにして広範囲の強度レベルと試験条件のもとで得られた弾塑性破壊靱性試験の結果を、九州大学で実施した115MPa水素ガス中のSSRT試験ならびに疲労き裂進展試験結果と組み合わせることで、-bで述べたHISCGモデルの構築に貢献した。これにより、水素機器のLBB評価、使用回数制限の理論的根拠が明確となった。

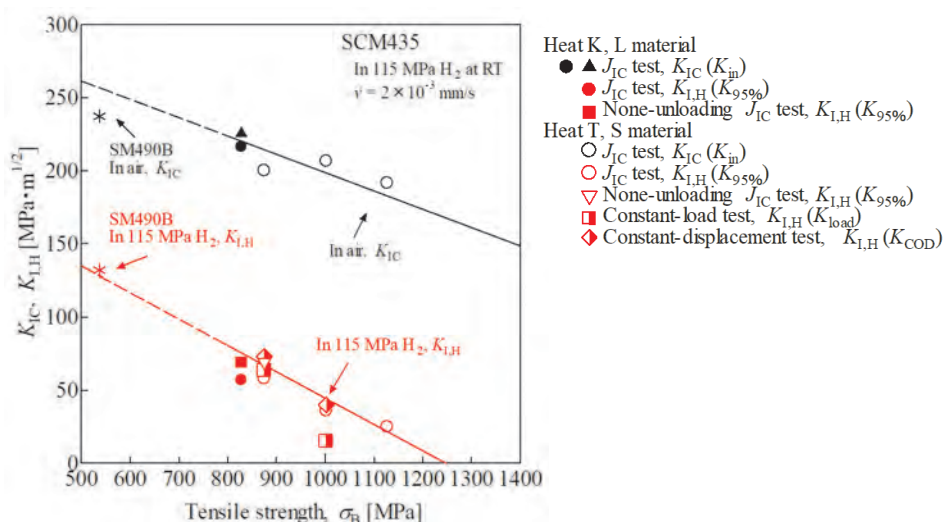


図7 SCM435の大気中における K_{IC} および 115MPa水素ガス中 $K_{I,H}$

高圧水素曝露構造材料データベースの構築(物材機構)

九州大学と連携して、高圧水素曝露によって材料中に侵入した内部水素がSSRT特性、疲労特性および疲労き裂進展特性に及ぼす影響をSCM435、SUS304、SUS316LおよびSUH660について調査した。

得られた結果を総合して、表3に示すような内部水素試験の適用範囲を提案した。得られた試験結果については、2018年2月までにデータベース化を完了する。

表3 各材料の外部・内部水素による破壊形態の分類と内部水素試験の適用可能性の提案

鋼種名	SSRT試験	疲労寿命試験	疲労き裂進展試験
Low-Ni _{eq} (SUS304)	○ 外部水素: HIS ² 内部水素: HIS ²	○ (内部水素により疲労限上昇) 外部水素: HIS ² 内部水素: HIS ²	○ (内部水素でき裂進展加速) 外部水素: HIS ² 内部水素: HIS ²
High-Ni _{eq} (SUS316L)	○ 外部水素: D 内部水素: D(ボイドシート)	○ 外部水素: S 内部水素: S	○ 外部水素: S 内部水素: S
High-Ni _{eq} (SUH660)	○ 外部水素: D 内部水素: F	○ 外部水素: S 内部水素: S	○ 外部水素: S 内部水素: S
SCM435	× (内部水素で特性に変化なし) 外部水素: HIS ² 内部水素: D	× (内部水素で特性に変化なし) 外部水素: HIS ² 内部水素: S	○ (内部水素でき裂進展加速) 外部水素: HIS ² 内部水素: HIS ²

HIS²: 水素継続すべり破面

D: ディンプル破面

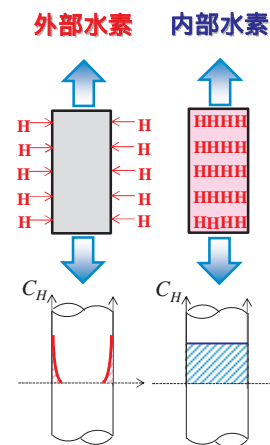
S: ストライエーション(疲労破面の代表)

F: ファセット破面

○: 適用可能→データベース化

: ある限られた条件のみ適用可

×: 適用不可



評価試験に関する検討、及び試験結果の評価 (KHK、九大、JPEC)

高圧ガス保安協会 (KHK)、九大、JPEC は、協力して水素環境に対する耐性に応じた汎用材使用の可能性を明らかにするために、材料試験方法や評価指標などを検討した。併せてプレクール装置や圧縮機等の設計を考慮した、超高圧、広温度範囲の評価試験方法を検討した。また、海外での金属材料の使用状況や材料評価方法等に関する調査ならびに、他の NEDO 事業 (高圧水素に用いる鉄鋼材料の鋼種拡大に関する研究開発、自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発) 等との連携も行い事業を推進した。

KHK は、「ステアリング委員会」及び「材料基準分科会」を設置し、これら評価試験結果に基づく検討内容に関する審議を行った。開催は各々3回/年度の頻度で実施した。また JPEC は、「連携会議」を開催し3者での課題検討を行うと共に、他の NEDO 事業、インフラ関係者との連携も図った。連携会議の開催は3~4回/年度の頻度で実施した。

技術基準の整備に資する資料の検討 (JPEC)

a. SUS316 (Ni 当量品)

前事業 (水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発、H20~H24 年度実施) で実施した水素適合性試験結果を踏まえ、不足していた低温域ならびに高温域のデータを新たに取得し、-45 ~ 250 の温度域において、82MPa まで使用可能とする許容範囲の拡大について、一般則例示基準への反映に向け、技術基準の整備に資する資料を作成した。

b. 20MPa 以下の圧力域における Ni 当量規制の除外

一般産業用に流通する高圧水素ガス設備において、長期間にわたり十分な安全が確保されている

事実を示すことにより、一般則例示基準への反映に向け、技術基準の整備に資する資料を作成した。

c. SUH660

-45 ~ 120 の温度域において良好な水素適合性を示すことを検証し、ステアリング委員会において承認を得た。ただし、高温域での許容引張応力が規定されていないことから、上限温度は 50 とされた。

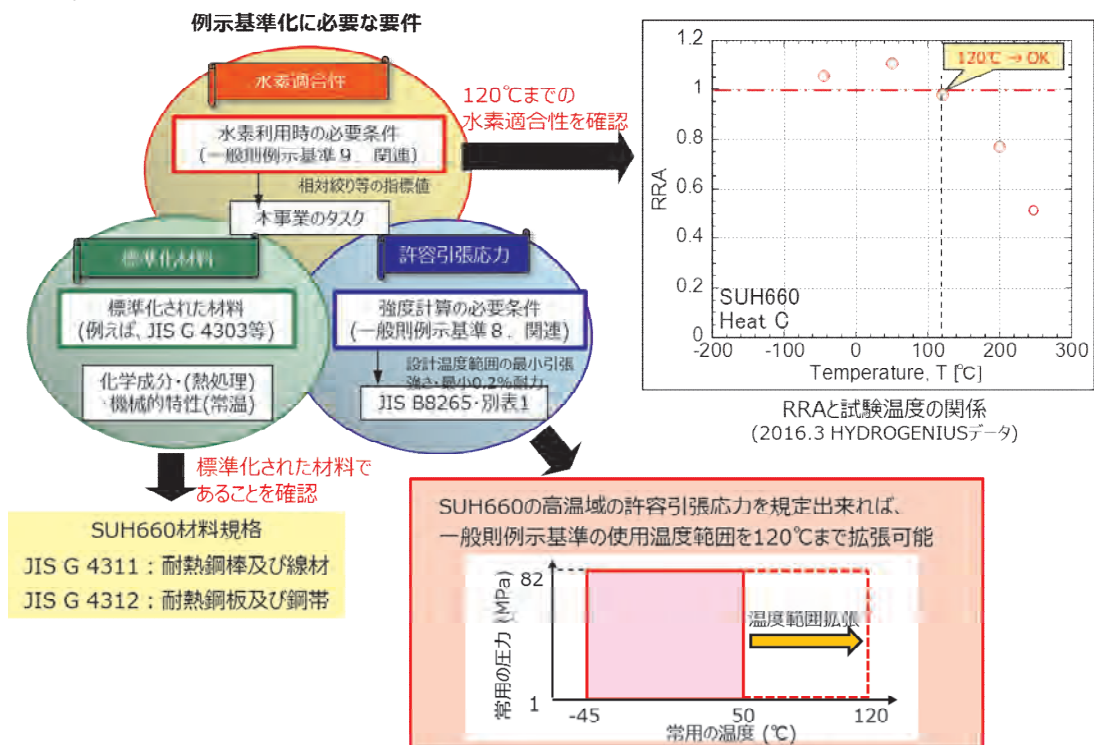


図 8 SUH660 の例示基準化に必要な要件と高温拡張に向けての流れ

その後、許容引張応力設定の根拠になり得る材料を揃えるため、以下の取り組みを行った。

- ・ ASME 規格調査：ASME 1998 Sec. Part D Table 1A に許容引張応力表(安全係数=4)が規定されていることを確認した。
- ・ HPIS での許容引張応力設定：HPI 压力容器材料規格分科会に、ASME 規格に準拠した許容引張応力表を申請し、承認された。(HPIS C104：安全係数 4)
- ・ JIS B8265 での許容引張応力設定：JIS 压力容器技術委員会において、HPIS C104 の許容引張応力表が審議され、承認された。その後、平成 28 年 6 月 27 日付けで追補が官報公示された。

このような取り組みの結果、高温域の許容引張応力を規定することができ、120 までの水素適合性試験結果と合わせて、-45 ~120 の温度範囲での標準化に資する資料を作成した。

d. 銅/黄銅系材料(C3604・C3771)

産総研の研究報告によれば、銅/黄銅系材料は高压水素中の良好な適合性が報告されていること、また、バルブ工業会の協力を得て 25MPa 以下の圧力域で使用される一般産業用バルブで長期間にわたり十分な使用実績を有していることを示し、一般則例示基準への反映に向け、技術基準の整備に資する資料を作成した。

a～dの取り組みにより一般則例示基準 9.2 が改正され、次の項目が追加された。

- ・ SUS316 (Ni 当量品) の使用可能域拡大
(温度上限：85 250、温度下限：-40 -45、圧力上限：70MPa 82MPa)
- ・ 20MPa 以下の Ni 当量規制除外
(クロモリ鋼を含む多鋼種の使用が可)
- ・ 使用可能な材料に SUH660 を追加 (上限温度 50) その後、温度範囲拡大
(温度範囲：-45 ～120、圧力範囲：82 MPa 以下)
- ・ 使用可能な材料に銅/黄銅系材料(C3604・C3771)を追加
(温度範囲：-40 ～100、圧力範囲：25 MPa 以下)

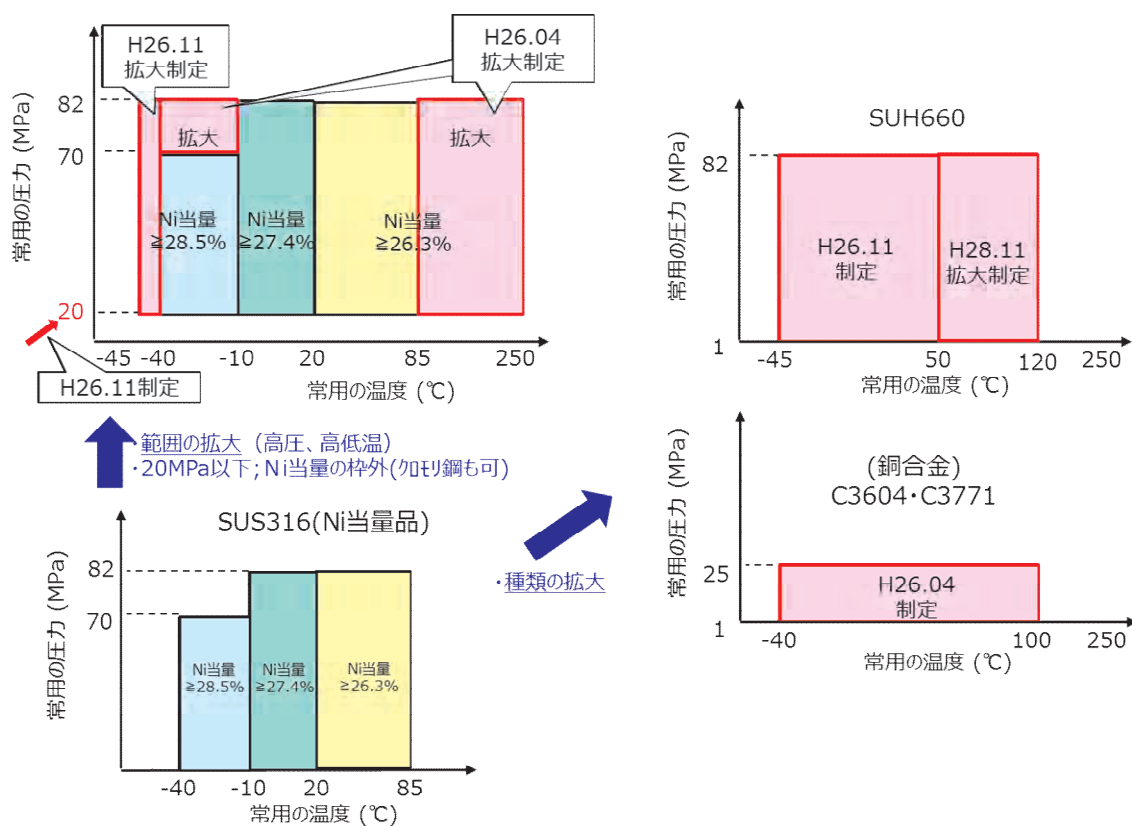


図9 一般則例示基準化実績

e. 汎用 SUS 材の使用可能域拡大研究

SUS316 系の Ni 当量規制合理化の可能性を調べるため、市中流通材について、Ni 当量・加工度・試験片採取位置を変えた場合の耐水素性を調べた (水素圧力 45MPa@-10)。その結果、市中流通材の RRA は既存の近似線を上回った。試験結果の下限値も考慮すると、規制合理化の提案までは出来ないが、-10 における近似線の妥当性を実データで検証することが出来た。既存の近似線は安全側に設定されており妥当であると言える。

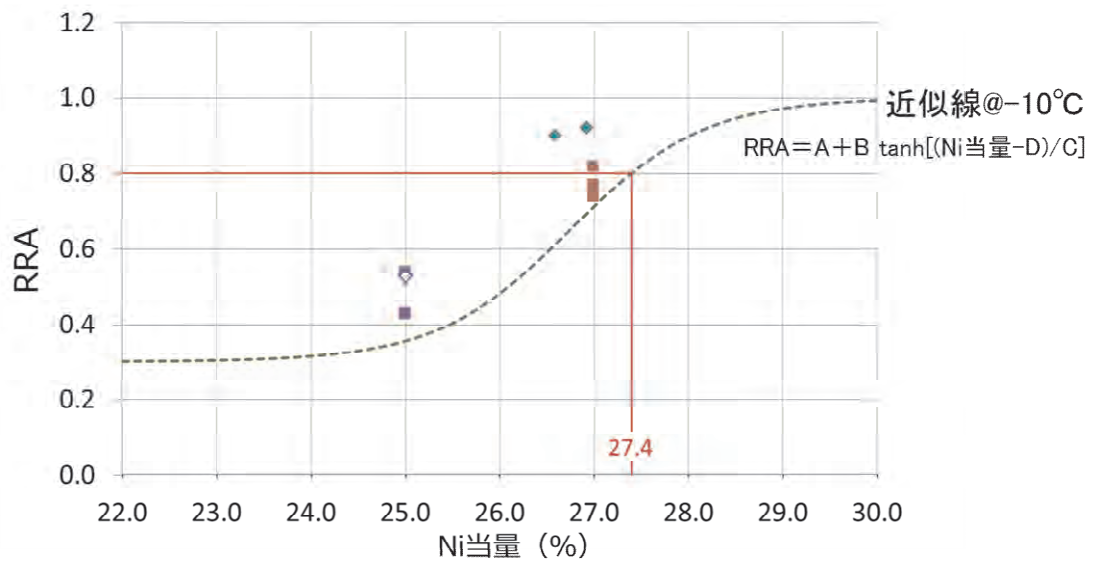


図 10 市中流通材の SSRT 測定結果 (-10 , 45MPa)

f. 低合金鋼ガイドライン作成研究

低合金鋼は高強度で比較的安価だが水素の影響がある材料である。水素適合性について、Ni 当量のような一義的な指標で規定するのが難しい。そこで、事前評価申請で認可を受けるのに必要な指針を低合金鋼技術文書として示すことで、蓄圧器への利用を促進することとした。低合金鋼技術文書の作成に向けて、タスクフォースと分科会を組織し、その運営を通じて技術的内容の精査と充実化を行った。平成 29 年度に低合金鋼技術文書を発行する。

低合金鋼技術文書の構成

- 1 適用範囲
- 2 引用規格
- 3 用語の定義
- 4 材料
 - 4.1 水素適合性の判定
 - 4.2 製品と同等の材料
 - 4.2.1 鍛鋼品における「製品と同等の材料」の定義
 - 4.2.2 継目無鋼管における「製品と同等の材料」の定義
- 5 設計
 - 5.1 許容引張応力の設定
 - 5.2 硬さ試験
 - 5.3 材料の靱性検証(衝撃試験)
 - 5.4 破裂前漏洩条件の検証
 - 5.5 蓄圧器応力解析
 - 5.6 蓄圧器の累積許容繰返し数の設定(疲労寿命試験による検証)
 - 5.7 設計段階における検査周期の設定
 - 5.7.1 有害な欠陥の検査方法
 - 5.7.2 検査周期の設定
 - 5.7.2.1 疲労き裂進展の打切点
 - 5.7.2.2 疲労き裂進展解析

図 11 低合金鋼技術文書の構成

低合金鋼技術文書の構成を図 11 に示す。このうち、水素適合性の判定については、水素ガス中 SSRT の荷重 - 変位線図において、最大荷重点を超過することを確認することを骨子としている。水素ガス中 SSRT の事例を図 12 に示す。材料の強度が高すぎる場合、最大荷重点に到達する前に破断する事例がみられる。このように、材料の強度が高くなるほど水素の影響が顕著となる傾向があり、水素影響を小さくするためには適切な強度に調整した材料を用いる必要がある。水素適合性の判定については、このような観点で低合金鋼技術文書に記載した。

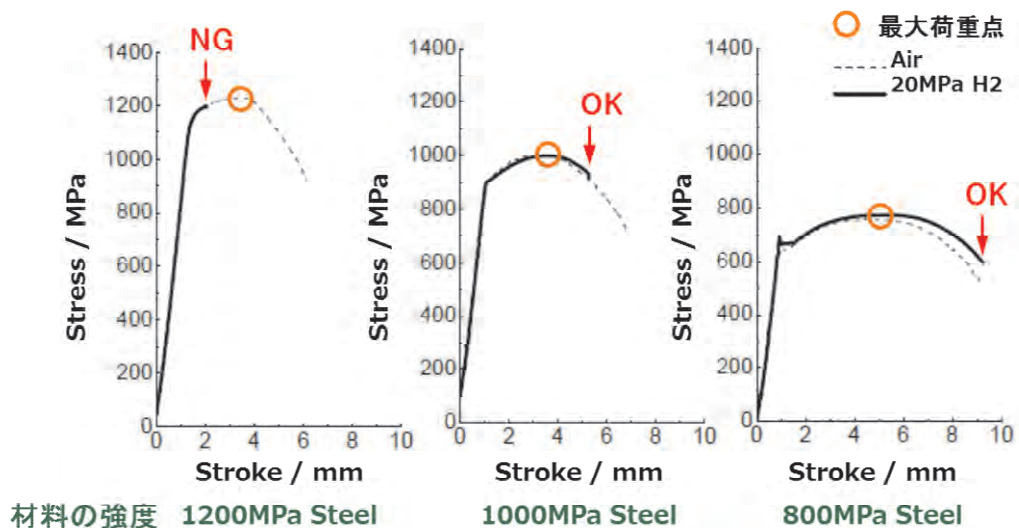


図 12 水素ガス中 SSRT の事例

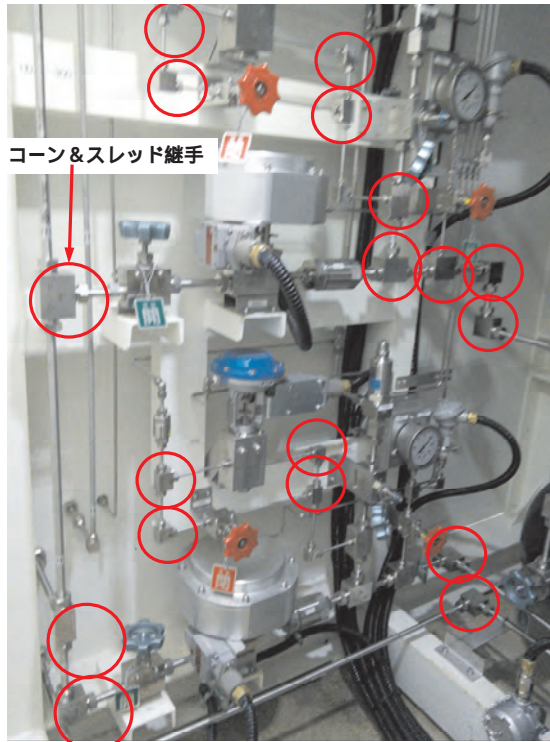
出典： Wada, Y. et al., Proc. 2007 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference (ASME2007) PVP2007-26533

g. HRX19 の溶接研究

商用水素ステーションにおいて、コーン&スレッド継手からの微小な水素漏洩が頻発しており、事業者にとって多大な負担となっていることを確認した(図 13)。このような課題を解決するため、コーン&スレッド継手を HRX19 等の溶接継手に代替することを目標とし、高圧水素中で使用する溶接継手の安全要件として次の項目を抽出した。

【安全要件】溶接部の水素適合性・標準化材料・溶接継手強度・溶接健全性 (図 14 参照)

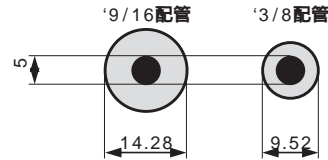
ASME PVP 2017 において国内議論の現状を報告し、高圧水素中で使用する溶接継手の安全使用に関して海外有識者の意見を聴取した。海外有識者の意見や HRX19 溶接の検討結果等を踏まえ、溶接の安全利用に必要な要件を提示した。



蓄圧器出側配管系の継手部位

<機械継手の課題>と<溶接継手への期待>

- 個数が多い
- 1ステーションあたり、数百カ所の機械継手
- コスト高の一要因
- 溶接により機械継手低減、配管肉厚低減（下図）
- 低コスト化の期待



- 緩み、漏れの対策
- 工場組立て後の輸送（振動）時に緩みを生ずる事例あり
- 定期的な保守点検が必要（点検費用が必要）
- 高信頼性、メンテナンス費用の低減

- 施工が難しい
- 締結作業にスキルが必要（1ヵ所締めると他所が漏れ易く、全体の再作業になりがち）
- 施工期間短縮

図 13 機械継手の課題と溶接継手への期待

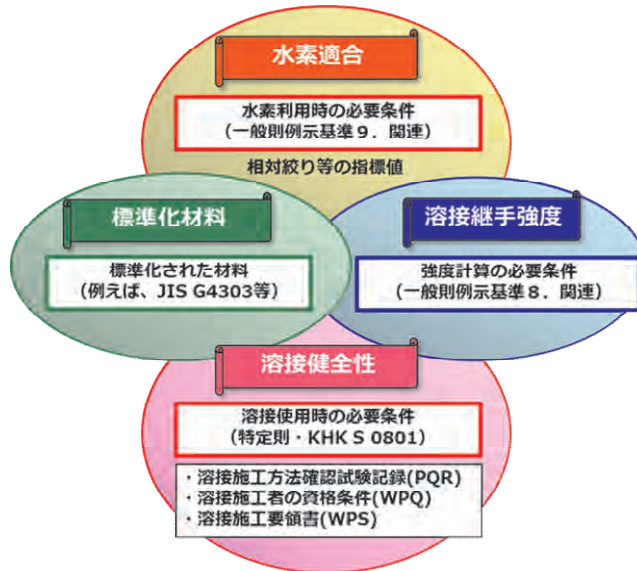


図 14 高圧水素中で使用する溶接継手の安全要件

(2) 超高圧、広温度範囲の材料設計のためのデータベース構築

材料試験準備等 (JPEC)

(1) にて前述。

プレクール設備を想定した低温評価 (九大)

高い耐水素性を有する高強度材料として今後の使用拡大が予想される SUS316(Ni>12%)冷間圧延材および SUH660 について、 -45°C (106 MPa)の水素ガス中で SSRT 試験を実施した(図 15)。いずれにおいても強度・延性の低下が軽微であることを確認した。

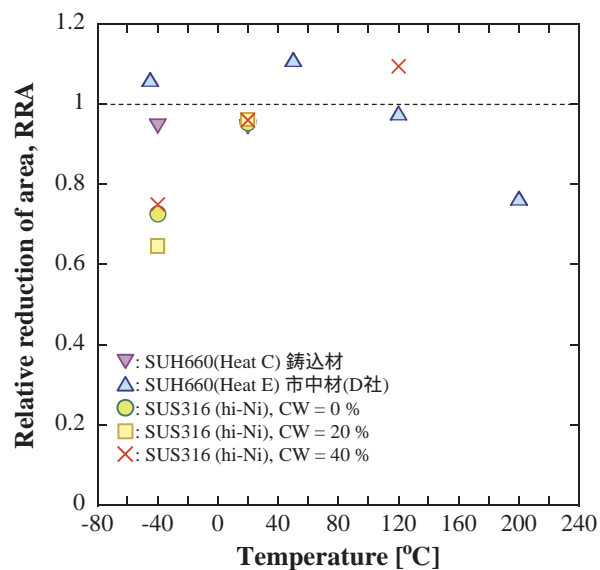


図 15 SUH660 と SUS316(hi-Ni)の試験温度と相対絞り(RRA)の関係

水素曝露試験を含む圧縮機の吐出を想定した高温評価 (九大)

SUS316(Ni>12%)冷間圧延材について、 120°C , 106 MPa の水素ガス中で SSRT 試験を実施した。また、SUH660 について、 $120\sim 200^{\circ}\text{C}$, 106 MPa の水素ガス中で SSRT 試験を実施した。(図 15) 上記の試験により、両鋼において、 120°C で強度・延性の低下が軽微であることを確認した。

評価試験に関する検討、及び試験結果の評価 (KHK、九大、JPEC)

(1) にて前述。

技術基準の整備に資する資料の検討 (JPEC)

(1) にて前述。

3.2 成果の意義

(1) 汎用材の利用拡大

汎用材の例示基準化を達成したことで、鋼材入手が容易になったこと、及び事前評価申請等の諸手続きが簡素化されたことにより、水素ステーション建設の効率化、コスト低減につながっている。

- ・SUH660 は、水素充填ノズル、カプラー用として使用され、ステーション毎に事前評価申請の必要がなくなった。
- ・銅合金(C6061,C7071)は、水素ステーションに水素を受け入れる低圧系バルブ類で、高価なSUS316(Ni 当量品)の代替材料として使用が可能となった。
- ・20MPa 以下の Ni 当量規制除外で、クロモリ鋼を含む多数鋼種の使用が可能となった。
- ・低合金鋼技術文書により、事前評価申請で認可を得るために必要な指針を示すことで、蓄圧器への利用促進に繋がった。

(2) 超高圧、広温度範囲での利用拡大

SUS316(Ni 当量品)の超高圧、広温度範囲での例示基準化による利用拡大（ステンレス鋼の利用拡大）により、70MPa 級水素ステーションの超高圧域での水素ステーション建設の効率化、コスト低減につながっている。

- ・SUS316(Ni 当量品)の例示基準範囲拡大で事前評価申請の負荷が軽減され、一般申請で済む範囲が拡大された。近い将来、87.5MPa 充填が実現した際に対応可能なデータも取得済みである。
- ・HRX19 の耐水素特性を立証し、実用化を達成した。海外規格材である XM-19 について、HPIS 及び JIS B8265 で許容応力を設定し、国内規格を整備した。
- ・データベース構築により、広く産業界にデータ提供を行った。詳細基準事前評価や特定案件事前評価（大臣特認）申請に活用されており、水素ステーション普及に貢献している。
- ・溶接の安全利用に必要な要件を提示し、水素漏洩リスクのない溶接継手の普及促進に向け、事業者には指針を示した。
- ・SUH660 の許容応力について、ASME 規格を参照して国内規格を整備し、海外規格材の導入に向けての道筋をつけた。

3.3 開発項目別残課題

最終目標を達成した上で、更なる鋼種拡大に取り組み、最終目標を上回る成果を上げてきた。本事業における残課題はない。今後の課題として、SUS316 や SUS304 のような汎用材を使用したいというニーズに対応するため、新たな水素特性判断基準の検討等が求められている。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

4.1 まとめ

表 4 に成果のまとめを示す。

表 4 成果のまとめ

	鋼材等	使用・検討条件等	成果
範囲 拡大	SUS316 (Ni当量品)	- 45 ~ 250	例示基準改正
		Ni 当量規制合理化	規制合理化には至らなかったが、 現行規制の妥当性を検証
	SUH660	- 45 ~ 50	例示基準改正
		温度範囲拡張 (~ 120)	例示基準改正
HRX19	- 45 ~ 250	基準化に向けた道筋の明確化	
種類 拡大	銅合金系	- 40 ~ 100 、 25MPa以下	例示基準改正
	低合金鋼	SCM435	70MPa 級蓄圧器
		SNM439	
汎用鋼 (SUS , 低合金鋼含む)	20MPa 以下	例示基準改正	
使い 方 拡大	許容応力値の海外規格引用	SUH660の350 までの ASME 規格値の JIS への引用	JIS B8265改正
	溶接	HRX19 を事例として溶接材の水素適合性 を検証	溶接の安全利用に必要な 要件の提示
	低合金鋼の利用拡大	70MPa 級蓄圧器	低合金鋼技術文書発行

目標に対する達成状況は以下の通り。

汎用材の利用拡大の目標に対する達成状況

- ・ SUH660 (1 種) , 銅合金 (2 種) の例示基準化
- ・ 20MPa 以下の Ni 当量規制除外 (加圧鋼を含む多鋼種の使用が可)
- ・ 汎用 SUS 材の使用可能域拡大研究 現行規制の妥当性を検証済
- ・ 低合金鋼の超高压利用方策提言
- ・ 低合金鋼がドライン作成研究 技術文書発行

例示基準化達成数で、8 種を達成した。さらに低合金鋼技術文書発行等、目標数を上回る実用化を達成した。

超高圧、広温度範囲の利用拡大の目標に対する達成状況

- ・ SUS316(高Ni)材の使用可能域拡大(3種)
- ・ HRX19の耐水素特性立証(1種)
- ・ テーパード構造、産業界への提供
- ・ HRX19の溶接研究
- ・ 海外規格材の例示基準への取込み検討
(SUH660温度拡張基準化(1種), HRX19の基準化に向けた道筋の明確化)

例示基準化達成数で、4種を達成した。さらにHRX19の耐水素特性立証・溶接実用化等、目標数を上回る実用化を達成した。

4.2 事業化までのシナリオ

本事業における実用化とは、水素ステーションでニーズの高い鋼材について、事業者の申請負担を軽減し、新たな鋼材（＝例示基準化されていない鋼材）を使いやすくすることで、水素ステーションでの利用を促進することである。

申請方法	内容	イメージ図	本事業での取り組み	事業者の申請負担 ↑小 ↓大
一般申請	○例示基準の範囲内		<ul style="list-style-type: none"> ・新たな鋼材の例示基準化 ・規制合理化の可能性検討 	
詳細基準事前評価	○例示基準の範囲外に及ぶ場合 申請者が作成した詳細基準が関係規則に定める機能性基準に適合するか否かが判断される。		<ul style="list-style-type: none"> ・技術文書化 ・事前評価要求事項の明確化 	

図 16 水素ステーションに関わる申請方法と事業者の申請負担

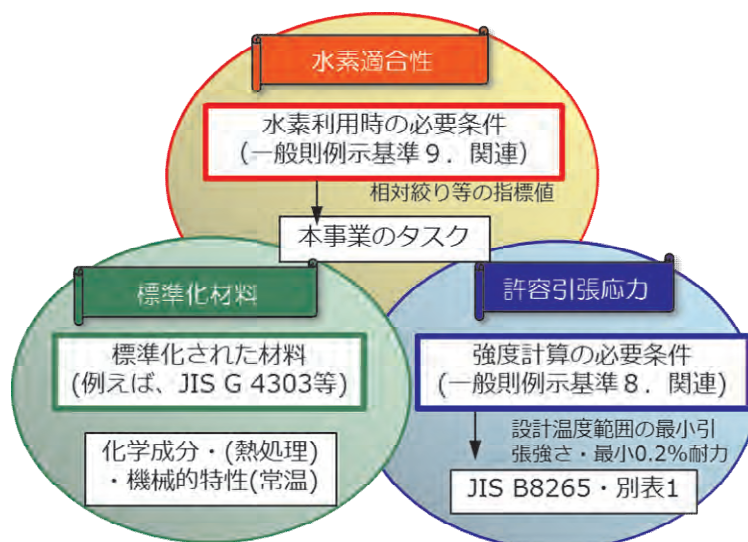


図 17 鋼材の例示基準化に必要な要件

高圧ガス保安法は、平成 8 年の改正により原則性能規定化が行われているが、実際には参考基準であるはずの例示基準が仕様規定における技術基準と同様に扱われているのが現状である。このため例示基準化されていない事項（鋼種を含む）については、都度、事前評価による承認事項となっており、手続きに時間と労力を要している。（産業構造審議会保安分科会 第 8 回高圧ガス小委員会資料より）

業界へのニーズ調査でも、この実情は顕著に表れていて、耐水素特性が明確になった鋼種については、例示基準化を要望する声が非常に大きい。そこで、本事業において例示基準化に向けた取り組みを行った。

図 18 に水素ステーションのコスト構成を示す。鋼種拡大の寄与はほとんどの機器に及ぶものの、コスト的にはいずれも製作・加工費の割合が高く、材料費のみが全体コストへ及ぼす影響は少ない。汎用品化、例示基準化により、材料入手、各種手続きの簡素化、及び利用方法の改善（溶接など）効果が非常に大きい。つまり、新たな鋼材の例示基準化により、申請負荷を軽減することがニーズとなっている。本事業において、例示基準化に資する資料の作成を行っており、このニーズに合致している。

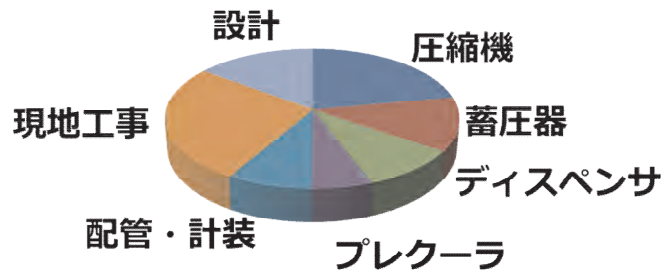
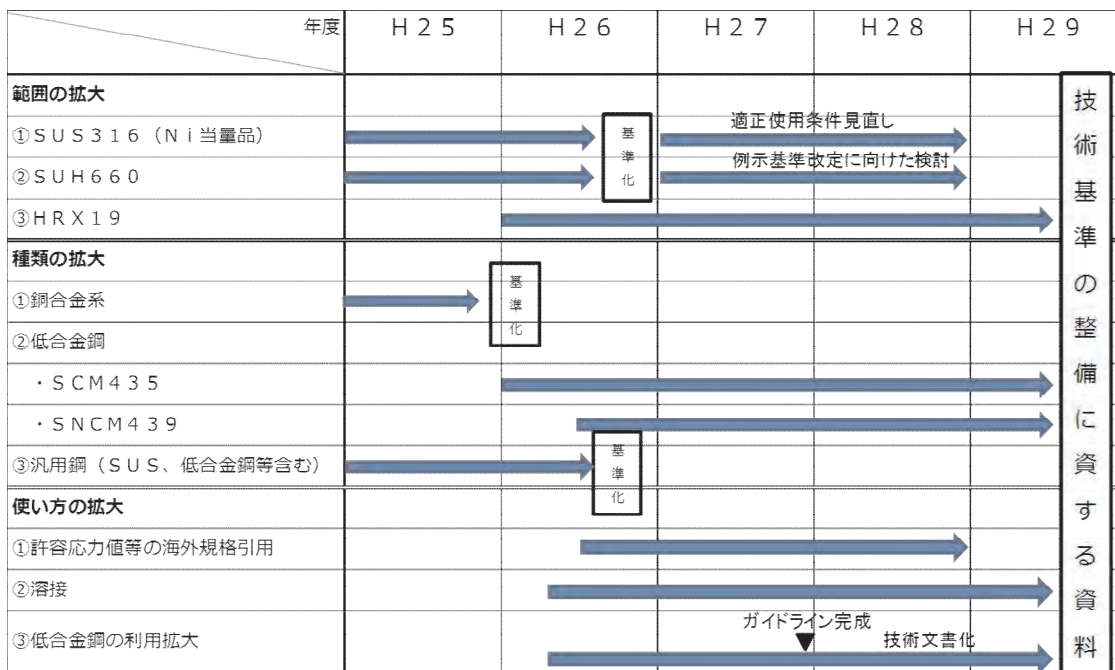


図 18 水素ステーションのコスト構成

出典：NEDO 報告書「製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」



水素ステーションでの利用拡大

図 19 実用化へのスケジュール

以上述べた通り、ユーザーニーズに基づき、各種鋼材の実用化（例示基準化等）を達成し、水素ステーションでの利用拡大に繋がった。

(1-3)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 / 燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発」

委託先：(一財)金属系材料研究開発センター、(株)日本製鋼所、新日鐵住金(株)、愛知製鋼(株)、(国研)物質・材料研究機構

成果マリ (実施期間：平成25年度～平成29年度)

- ・低合金鋼SNCM439を用いて高圧水素中での各種評価試験を実施し、評価方法の検討と影響因子について検討して「低合金鋼技術文書」作成のためのデータ提供を行った。
- ・HRX19溶接継手はHRX19母材と同等の優れた耐水素脆化特性を有することを確認。また、室温、-40℃において耐水素ガス脆化特性向上にCu, Nは寄与することを確認した。
- ・高圧水素用SUS305に関して良好な耐水素脆化特性を確認すると共に、C添加がオーステナイト相の安定化に効果があることが判明した。
- ・簡便な評価法を活用し、低温域の高圧水素環境中の機械的特性を評価し、水素脆化に関する知見を得た。

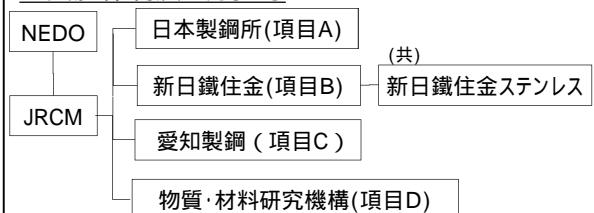
背景/研究内容・目的

燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大を目的に材料評価データの取得と使用方法を確立し、鋼材使用の技術基準整備を行う。蓄圧器に適用されるCr-Mo鋼と蓄圧器周辺機器(配管・バルブ等)に適用されるステンレス鋼の高圧水素環境下における強度、靱性、疲労特性等の材料評価データを取得すると共に、水素脆化機構の解明と評価手法の開発により耐水素脆化特性に応じた使用方法の確立を目指す。

研究目標

実施項目	目標
A.蓄圧器に適用される使用可能鋼材の拡大のための技術開発	低合金鋼の安全利用に資する知見の獲得と蓄圧器製造の基準(技術文書)作成への協力(鋼種拡大事業と連携)
B.高圧水素に用いるステンレス鋼の鋼種拡大と関連評価技術の開発	新規水素用高機能ステンレス鋼の基準・標準化に必要な材料データ採取と溶接等に係わる利用技術データの拡充
C.高圧水素用継手・バルブ向けステンレス鋼の鋼種拡大の研究開発	水素環境下で使用可能なMoフリー-SUS305相当ステンレス鋼の棒鋼・鍛造品の開発による使用可能鋼材の拡大。
D.低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究	中空試験片を用いた簡便な評価法の確立と各種鉄鋼材料の極低温域までの高圧水素環境中引張特性の取得。

実施体制及び分担等



これまでの実施内容 / 研究成果

(項目A)SNCM439鋼を対象に、水素助長割れ下限界応力拡大係数の評価法、SSRT及び疲労特性に及ぼす非金属介在物の影響に関する検討を行い、得られた知見を「低合金鋼技術文書」に反映した。
 (項目B) HRX19鋼を対象に各種溶接材料、溶接条件(ガス種類、入熱など)を考慮した溶接継手を作製し、-50℃～300℃の材料特性を取得し、水素脆化感受性が低いことを確認した。STH-2鋼において、室温、-40℃高圧水素ガス中の材料特性データを取得し、Cu・N添加は耐水素ガス脆化特性の向上に有効であることを確認した。
 (項目C)Moフリーで省資源なSUS305相当ステンレス鋼の棒材および鍛造品を開発し、高圧水素ガス環境下でのSSRT試験、疲労き裂進展試験、低サイクル疲労試験を実施し、良好な水素環境特性を得た。
 (項目D)簡便な高圧水素中の材料試験法を活用して、STH2等の共通試験材材料やSUS630等の各種構造用材料の高温及び低温水素環境中の引張特性を評価するとともに高圧水素環境中の脆化に係る知見と基準化・標準化に資するデータを取得した。

研究成果まとめ

今後の課題

低合金鋼については、取得データや技術文書を活用し、圧縮機等、蓄圧器以外の水素環境使用部品への用途展開を図る。

水素環境使用可能鋼材として開発したステンレス鋼(HRX19,STH-2,SUS305相当鋼)については、特性データの拡充と許容応力の取得により基準化を推進する。

中空試験片による水素環境中特性の評価方法については、条件範囲の拡大と外圧試験法との差異の定量的評価を進めて標準化を進め、鋼材普及に貢献する。

実用化の見通し

低合金鋼の水素環境への適用可能条件を基に水素関連設備への適用を進める。

開発した水素環境用ステンレス鋼は、量産設備で製造した材料をユーザーにて特性評価を推進中であり、今後適用拡大を進める。

実施項目	成果内容	自己評価
A.蓄圧器に適用される使用可能鋼材の拡大のための技術開発	低合金鋼の水素ガス中の材料特性に及ぼす影響因子を把握。技術文書策定に貢献。	
B.高圧水素に用いるステンレス鋼の鋼種拡大と関連評価技術の開発	HRX19の溶接継手は母材と同等の優れた耐水素脆化特性を有し、STH-2の耐水素ガス脆化特性向上にCu, Nが有効であることを確認。	
C.高圧水素用継手・バルブ向けステンレス鋼の鋼種拡大の研究開発	水素環境で使用可能SUS305相当ステンレス鋼を開発し、良好な特性を獲得。	
D.低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究	簡便な評価法を活用して低温域の高圧水素環境中の機械的特性を評価。	

特許願	論文発表	外部発表	受賞等
3	10	76	3

課題番号：I-3

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 /

燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発

一般財団法人金属系材料研究開発センター

株式会社日本製鋼所

新日鐵住金株式会社

共同実施：新日鐵住金ステンレス株式会社

愛知製鋼株式会社

国立研究開発法人物質・材料研究機構

1. 研究開発概要

本研究開発においては、燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究において必要となる燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大を目的に、鋼材の材料評価データの取得と使用法の確立の検討を行うと共に、より広い温度範囲の材料評価技術等を確立し、必要なデータを取得して使用するために必要な技術基準の整備につなげるための検討を行った。

特に、主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材拡大のための Cr-Mo 鋼を中心とした金属材料の開発を行うとともに、主として蓄圧器周辺機器(配管・バルブ等)に適用される使用可能鋼材拡大のためのステンレス鋼等を中心とした金属材料の開発を行い、それらの高圧水素下における強度、靱性、疲労特性等の材料評価データを水素脆化機構の解明と評価法の開発を平行して進めながら取得し、その耐水素性に応じた使用方法を確立するための検討を実施した。

2. 研究開発目標

2.1 主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発

簡便かつ短時間の試験で高圧水素機器の安全性評価が可能となるような評価試験方法を検討し、得られた評価試験結果に対してクライテリアを設けることで粗悪材が使用されることを防ぎ、水素ステーション用材料として安全性を確保する手法について提案を行う。また、機器の安全設計の面からもステーションユーザー、機器のメーカーや大学等の有識者とともに議論し、合理的設計に関する提言を本研究開発に反映させる。

2.2 主として蓄圧器周辺機器(配管、バルブ等)に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発

(1) 高圧水素に用いるステンレス鋼の鋼種拡大及び関連評価技術の開発

高圧水素ガス用材料の高機能化と利用技術拡充

ステンレス鋼に関しては、引張強さは 520MPa 以上(望ましくは 800MPa 以上)、高圧水素ガス環境で水素脆化は軽微で、かつ経済性や製造性に優れる材料を目標とする。水素脆化特性に関して、水素中の引張・疲労特性が SUS316L と同等以上、さらに望ましくは -40℃、圧力 70MPa 以上の水素ガス環境で水素の影響がほとんど無いことを目標とする。冷間加工材に関してはさらに

高強度で、なおかつ同等の水素脆化特性を有することを目標とする。溶接継手に関しても上記と母材と同等の強度で、かつ同等の水素脆化特性を有することを目標とする。

国際標準化、規制見直しに資する評価試験法の開発

本プロジェクトにて材料特性評価に使用する 45MPa 級および 99MPa 級高圧水素ガス雰囲気下材料試験装置、高圧水素中低ひずみ引張試験装置、内外圧疲労試験装置、高圧水素中小型疲労試験装置による材料評価試験法を確立し、JIS や ASTM 等の材料試験法に関する主要規格との差異、利点、欠点を整理すると共に、これらを勘案した上で、国際標準化、規制見直しに資する評価試験法として提案する。

高圧水素ガス用材料の金属学的評価

N 添加低 Ni 省 Mo ステンレス鋼(STH2)をはじめとするステンレス鋼において、高圧水素中材料試験材の破面および金属組織の観察・解析を行い、耐水素脆化特性を発現あるいは低下させる金属学的要因を明らかにすることを目標とする。本評価を通じて、高圧水素中材料特性データの信頼性および妥当性を検証し、使用可能鋼材拡大の合金設計に反映するとともに、関係各機関にデータを提供する。

長期使用水素関連機器の解体調査

プロジェクト期間中に長期使用水素関連機器の調査機会や要望があれば、容器および配管類(液体および高圧水素)を中心に解体調査を実施し、水素中で長期使用したことによる劣化の有無、程度を調査し、関係各機関にデータを提供する。

(2)高圧水素用継手・バルブ向けオーステナイト系ステンレス鋼の鋼種拡大のための研究開発

Mo レス高圧水素用オーステナイト系ステンレス鋼の開発

燃料電池自動車における高圧水素システム及び、水素ステーションにおける高圧水素用機器の高性能化、軽量化、省資源化によるコスト削減を目的として、高圧水素用継手・バルブ類を対象として、Mo(モリブデン)を含有しないため省資源性に優れる SUS305 相当のオーステナイト系ステンレス鋼を開発し、関係各機関にデータを提供することで高圧水素環境下にて使用できる鋼材種類の拡大に努める。

最終目標として、高圧水素中にて、引張・疲労特性が SUS316L と同等の Mo を含有しない SUS305 相当の高圧水素用オーステナイト系ステンレス鋼の棒鋼・鍛造品を開発する。これにより、高圧水素用機器の素材において、一般例である SUS316L から、より安価な Mo を含有しないステンレス鋼への置き換えを図る。

高硬度オーステナイト系ステンレス鋼の開発

高圧水素用機器の長寿命化を目的として炭素を添加し硬度を高めたオーステナイト系ステンレス鋼を開発し、関係各機関にデータを提供することで高圧水素環境下にて使用できる鋼材種類の拡大に努める。

最終目標として、炭素を添加し硬度を高めたオーステナイト系ステンレス鋼が、高圧水素中における引張特性が大気中と比較して顕著な低下を示さないことを確認する。これにより、炭素添

加による高硬度化が高圧水素中での延性に及ぼす影響を明らかとし、高圧水素環境下にて使用できる鋼材種類の拡大に向けた、安全・安心に資するデータとする。

長期間使用水素関連機器の解体調査

長期使用水素関連機器の調査機会に応じて、継手及びバルブ類を中心に解体調査を実施し、水素中で長期使用したことによる劣化の有無、程度を調査し、データを提供する。

(3)低温および高温ガス環境下での材料特性に関する研究

本研究課題では、低温における試験も容易な中空試験片を用いた簡便な高圧水素中の材料試験法を活用して、共通試験材材料の高 Ni 316L と低 Ni 316L、Mn 添加低 Ni 省 Mo ステンレス鋼 (STH2) や SCM435 や SUS630 等の各種構造用材料の高温及び低温水素環境中の引張特性を取得し、各温度や圧力で比較検討すると共に、試験中に温度やガスの種類や圧力を変えることで、高圧水素環境中の脆化に係る知見と基準化・標準化に資するデータを取得する。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) 主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発

水素ガス中の破壊挙動に関する検討の実施

水素蓄圧器においては、図 1 に示すように非破壊検査で検出可能な初期欠陥を想定したき裂進展評価を行い、供用中検査間隔の目安とされる余寿命評価を行って安全性を確保している。その際には、水素助長割れが顕著になる前に運転を停止するとの考えから水素助長割れ下限界応力拡大係数 K_{IH} を基に限界き裂深さを設定し、更に安全マージンを考慮して許容繰返し回数を決めている。 K_{IH} の評価方法としては、き裂進展開始時若しくはき裂進展停止時の特性から評価する方法が提案されている。

蓄圧器用材料の一つである SNCM439 鋼を用いて、水素ガス中での破壊靱性試験 (ライジングロード試験) 及び ASME KD-10 に準拠した定変位遅れ割れ試験を実施し、 K_{IH} を把握した。ライジングロード試験は、1T-C(T)試験片を用いて、大気中及び 90MPa 水素ガス中で、開口変位速度が 0.0002mm/s となるように制御して実施した。大気中及び水素中の荷重-変位曲線を比較し、両曲線の分岐点から K_{IH} を求めた。定変位試験は、1T-WOL 試験片を用いて、酸素量を 1ppm 以下となるように制御したグローブボックス内でボルトロードにより荷重を負荷した。初期に負荷する K_I 値は 70 ~ 140MPa \cdot m^{1/2} とし、90MPa 高純度水素ガス中に 1000h 保持した。

各試験法により測定した K_{IH} と引張強さの関係を図 2 に示す。T.S.1000MPa 近傍では両測定法による K_{IH} はほぼ同等であるが、T.S.890MPa では測定法による影響が見られ、ライジングロード試験法は定変位試験法に比べて K_{IH} が小さい傾向である。試験方法によって K_{IH} が異なる要因として、定変位試験では進展き裂に生じる残留リガメントや塑性ウェイクの影響が指摘されており、これらの影響はき裂進展量が大きいほど大きくなると推察される。本測定結果を進展き裂長さ Δa と K_{IH} の関係で整理して図 3 に示す。定変位試験結果を $\Delta a=0$ に外挿した値はライジングロードの結果と一致する傾向であり、これらをき裂進展に伴う影響を含まない K_{IH} と見なせば、ライジングロード試験と定変位試験は同等の K_{IH} となる可能性が考えられる。

また、試験後の破面観察結果を図 4 に示す。ライジングロード試験では粒界破壊と疑へき開破壊が生じており、水素脆性を示す破面形態であった。定変位試験では、 K 値の大きいき裂進展開

始域で擬へき開破壊の割合が多くなる傾向が見られたものの、き裂進展停止域の破壊形態はライジングロード試験とほぼ同じであった。

以上の結果から、水素蓄圧器の K_{IH} の把握においては、1000h 以上かかる定変位遅れ割れ試験ではなく、ライジングロード試験を用いることで評価を簡略化できる可能性が示された。

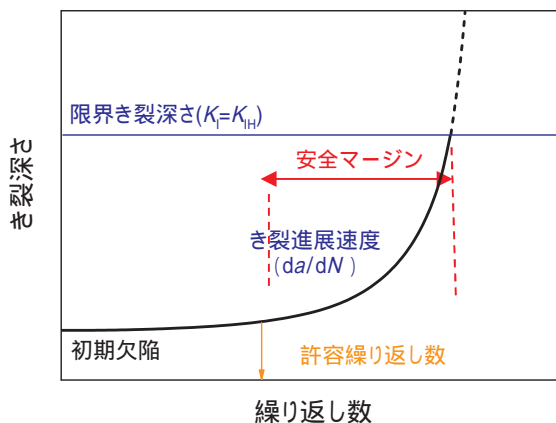


図 1 疲労き裂進展解析の模式図

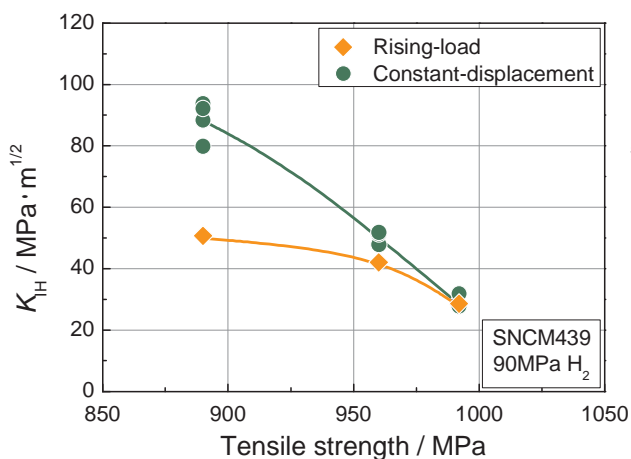


図 2 引張強さと K_{IH} の関係

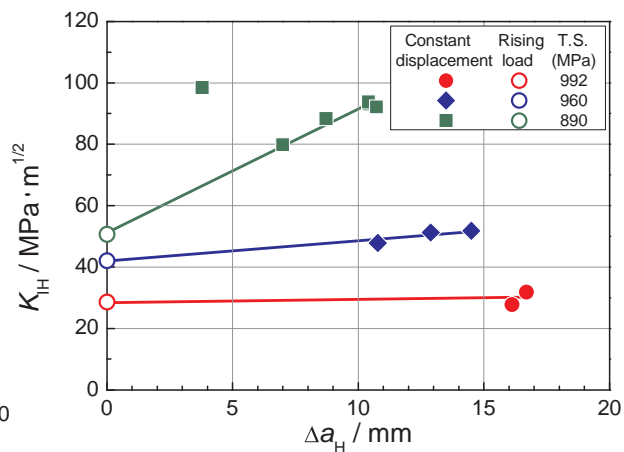


図 3 水素中き裂進展量と K_{IH} の関係

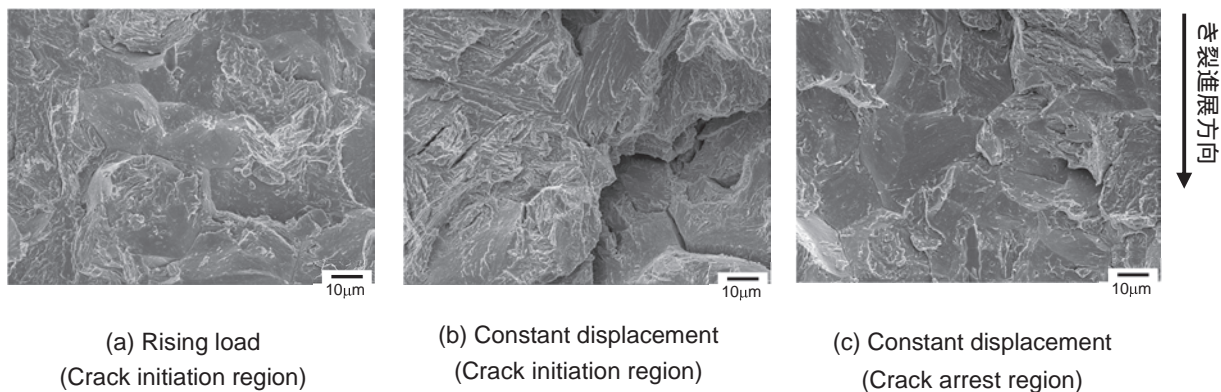


図 4 破面観察結果

水素中疲労特性に及ぼす非金属介在物の影響に関する検討の実施

蓄圧器用材料である SNCM439 鋼を用いて、水素ガス中での SSRT 及び疲労強度に及ぼす非金属介在物の影響を検討した。供試材には一般流通材を含めた 4 鋼種を用意し、各素材の化学成分を表 1 に示す。熱処理条件は、850 油焼入れと焼戻しを施し、強度レベルを引張強さで 850 ~ 900MPa に調整した。非金属介在物の測定には 2 通りの手法を用いた。極値統計を用いて推定した試験片中の最大介在物寸法及び、JIS G 0555 点算法により測定した各介在物の面積率を表 2 に示す。脱酸手法や鋼中不純物レベルの違いなど製造方法に起因する違いにより、介在物の大きさや量に違いのあることが確認された。

90MPa 水素ガス中 SSRT 試験結果を図 5 に示す。いずれの材料も最高荷重点を超えてから破断しており、素材 A が最も延性に優れる結果であった。同図には相対絞り（水素中の絞り/大気中の絞り）も併記したが、本試験の範囲内では非金属介在物との相関は明瞭でない。

疲労試験結果を図 6 に示す。なお、縦軸は応力振幅を引張強さで規格化して示している。大気中の結果と NIMS データシート (No.56, SNCM439 鋼) とを比較すると、素材 A, C, D では NIMS データとほぼ同等の疲労限度であるが、素材 B では疲労限度が低下する傾向である。従来からの報告通りに、粗大な非金属介在物が疲労破壊の起点となり、疲労限度が低下したと判断される。

素材 A, C, D については、有限寿命領域で大気中に比べて水素中の疲労寿命が低下する傾向であるが、大気中の疲労限度と水素中の 30 万回疲労強さは同等の傾向である。一方、素材 B に関しては、応力振幅の小さな領域においても水素中で疲労寿命が低下する傾向にあり、非金属介在物起点で発生したき裂が水素により大きく影響を受け疲労寿命の低下をもたらしているものと考えられた。本試験では水素中の試験を 30 万回までとしており、さらに長寿命域における挙動の把握が今後の課題である。

以上の結果から、本試験の範囲においては、水素中の SSRT 特性に極端な低下は認められないことが判った。また、疲労特性に関しては粗大な非金属介在物により疲労限度の低下が認められるものの、大気中の特性を把握することで水素中の特性をある程度推定できる可能性が示唆された。

表 1 化学成分 (mass%)

素材	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
規格	0.36/0.43	0.15/0.35	0.60/0.90	0.030	0.030	1.60/2.00	0.60/1.00	0.15/0.30
A	0.42	0.22	0.81	0.017	0.002	1.81	0.85	0.26
B	0.40	0.26	0.80	0.005	0.004	1.90	0.84	0.25
C	0.40	0.27	0.80	0.012	0.014	1.74	0.74	0.23
D	0.41	0.26	0.82	0.022	0.010	1.60	0.79	0.15

表 2 非金属介在物の面積率 (JIS 0550 点算法)

素材	最大介在物寸法 area _{max} (μm)	非金属介在物の面積率 (%)		
		A系 (硫化物・シリケート系)	B系 (アルミナ系)	C系 (粒状酸化物系)
A	24	0.017	0.000	0.004
B	46	0.013	0.021	0.021
C	19	0.075	0.000	0.075
D	21	0.046	0.000	0.058

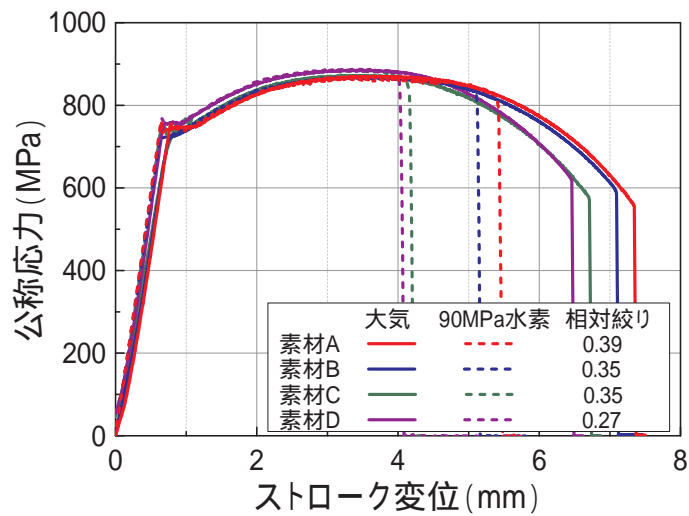


図5 SSRT 試験結果

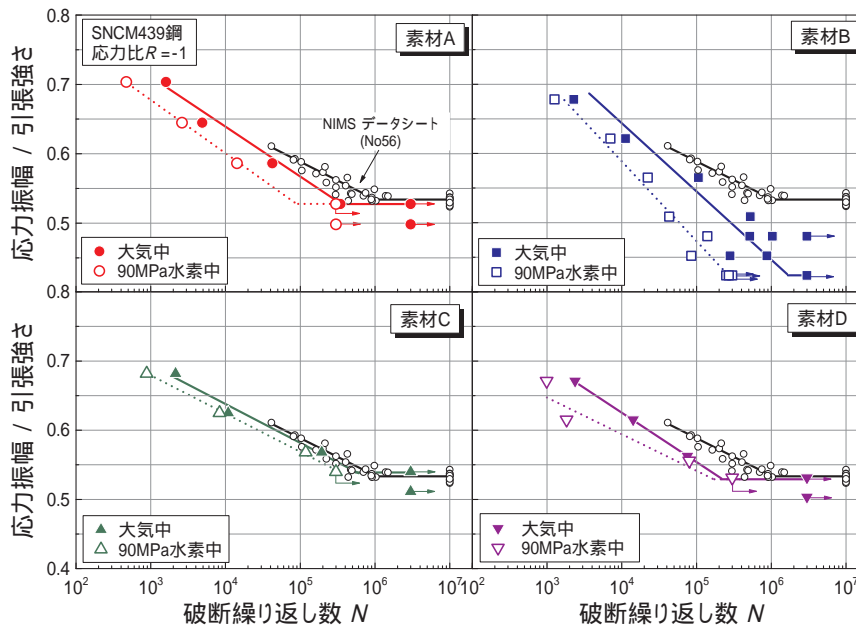


図6 疲労試験結果

低合金鋼技術文書作成に向けた取り組み

「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際標準調和・国際標準化に関する研究開発 / 水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発」に参画する石油エネルギー技術センター殿及び九州大学殿らと連携し、Cr-Mo 鋼等を用いた蓄圧器製造の技術文書を作成中である。本技術文書は国内の圧力容器に関する法規、技術基準及び海外の設計規格をベースとして蓄圧器の製造における技術課題を抽出し、これらの課題を整理した構成となっており、低合金技術文書として発行される予定である。

設計係数低減に関する検討

低合金鋼を用いて超高压ガス設備に関する基準 (KHKS 0220) を適用した設計係数低減水素蓄

圧器を開発した。設計係数を低減することで、耐久性や安全性に影響を及ぼすことが懸念されるが、低合金鋼における水素中データを充実させ、薄肉・軽量化による耐久性への影響を避けるため厳しい検査基準を設け、詳細な解析を実施することで、従来型の特徴である高耐久性や安全性を維持しつつ、重量は 2.9ton と従来型に比べ約 40%の軽量化を達成した(図7)。



(a) 従来型蓄圧器



(b) 軽量化した蓄圧器

図7 鋼製水素蓄圧器外観

低合金鋼の高圧水素ガス中における評価試験で得られた知見をベースに、従来の規格だけではコントロールしきれない水素に対する影響因子を把握した。その知見を活かし、安全な機器の製造に必要な素材条件及び設計条件を明確にし、低合金鋼技術文書の作成に貢献した(○)。

(2) 高圧水素に用いるステンレス鋼の鋼種拡大および関連評価技術の開発

高窒素ステンレス鋼 HRX19 の溶接性に関する検討

素材には、開発鋼である HRX19 鋼 (22Cr-12Ni-4.5Mn-2Mo-0.3N) の固溶化熱処理板を用いた。表3に示す溶接材料を用いて自動 TIG 溶接実験を行い、溶接継手の特性を評価した。図8に示す低ひずみ速度引張試験 (Slow Strain Rate Test, SSRT) 用試験片を採取し、常温の 90MPa 水素中ならびに大気中でひずみ速度 $3 \times 10^{-6}(\text{s}^{-1})$ で SSRT を行い、水素中の破断伸び・絞りを大気中の破断伸び・絞りと比較した。図9に示す外圧疲労試験片を採取し、常温で外圧疲労試験を行った。内部充填ガスは水素または Ar とし、内圧は 85MPa、外部の水圧をサイクルタイム 20s/cycle で変動させ試験を行った

表3 溶接材料の化学成分 (mass%)

代符	化学成分 (mass%)
309MoL	0.01C-23Cr-14Ni-2Mn-2Mo
309Mo	0.1C-23Cr-14Ni-2Mn-2Mo
308N2	0.07C-21Cr-10Ni-2Mn
317LN	0.001C-20Cr-13Ni-2Mn-3.6Mo

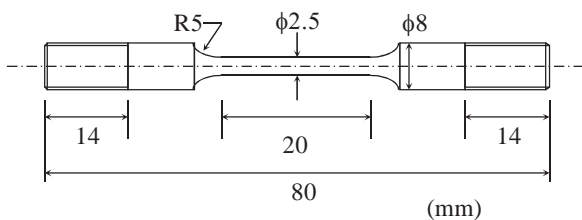


図8 SSRT 試験片

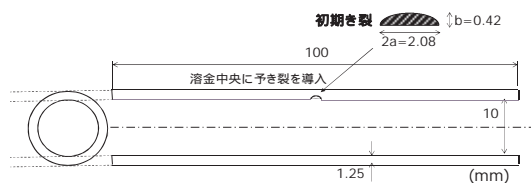


図9 外圧疲労試験片

図10にSSRTの結果を示す。今回検討した溶接継手の相対破断伸び(水素中と大気中の破断伸びの比)、相対絞り(水素中と大気中の絞りの比)は90%以上であり、良好な特性を示した。図10の横軸は溶接材料の化学組成で整理しており、実際の溶接金属の化学組成は母材のHRX19の化学成分(Ni当量34)に近づくことと推定される。図11に外圧疲労試験結果を示す。溶接継手は母材と同程度の疲労特性を示すことが確認された。

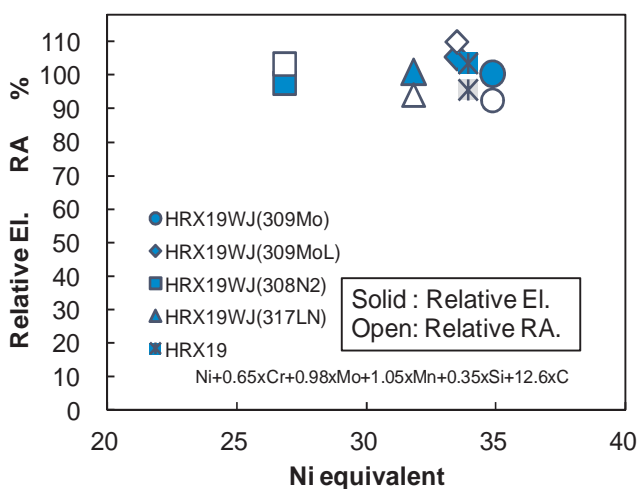


図10 SSRTの結果

Open: 相対破断伸び、Solid: 相対絞り

$$\text{Ni 当量} = \text{Ni} + 0.35\text{Cr} + 0.98\text{Mo} + 1.05\text{Mn} + 0.35\text{Si} + 12.6\text{C}$$

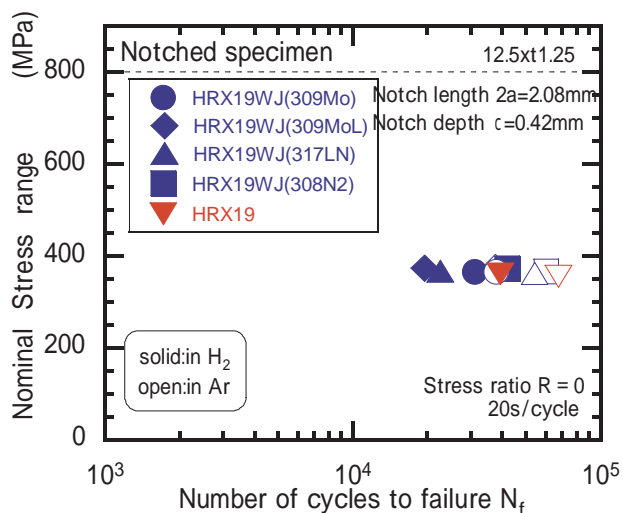


図11 外圧疲労試験結果

素材には、開発鋼であるHRX19鋼(22Cr-12Ni-4.5Mn-2Mo-0.3N)の固溶化熱処理板を用いた。表3に示す溶接材料を用いて自動TIG溶接実験を行い、溶接継手の強度特性を評価した。各種溶接継手の引張強度と溶接金属中の窒素量の関係を図12に示す。窒素量と引張強度の相関を議論するため、余盛を削除した試験片を用いて評価している。溶接金属中の窒素量増加に伴い、溶接金属の引張強度は向上した。これより、溶接金属の高強度化には溶接金属中の窒素量を増加させることが有効であることが明らかとなった。オーステナイト系ステンレス鋼の引張強度にはフェライトの影響も考えられるため、溶接金属中のフェライト量を比較した結果を図13に示す。溶接金属中の窒素量が約0.15mass%では、いずれの溶接材料を用いた場合でも、5~8%程度のフェライトを含有しており、同程度の窒素量およびフェライト量を含有することから、溶接金属の引張強さには窒素以外の固溶元素の影響があると考えられた。

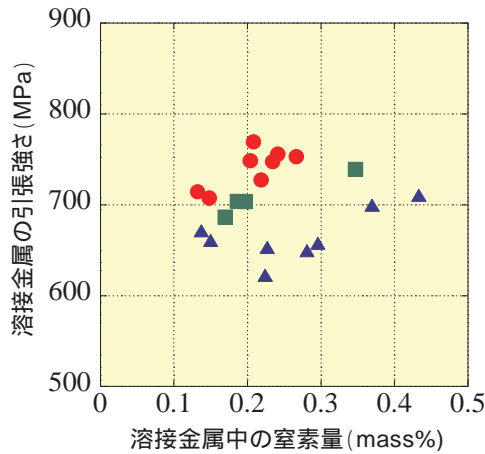


図 12 溶接継手の強度特性

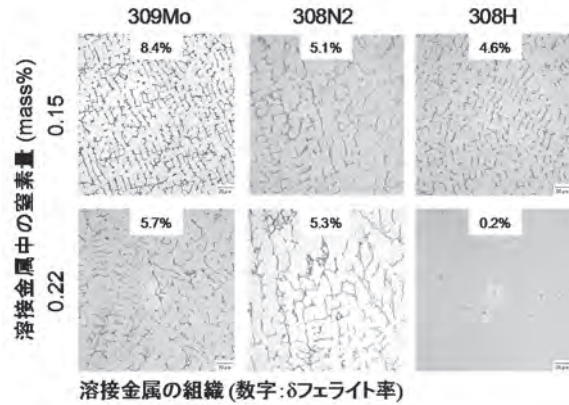


図 13 溶接金属の組織観

素材には、開発鋼である HRX19 鋼(22Cr-12Ni-4.5Mn-2Mo-0.3N)の固溶化熱処理板を用いた。表 4 に示す溶接材料を用いて、自動 TIG 溶接実験を行い、溶接継手の各種温度域における水素脆化特性を評価した。なお、溶接は多パスにて施工し、シールドガスには Ar に 2%、5%および 8% N₂ ガスを混ぜた混合ガスを用いた。バックシールドガスには Ar を使用し、予熱および後熱処理は実施しなかった。作製した溶接継手鋼板の肉厚中央部より平行部 2.5 丸棒試験片を採取し、HRX19 溶接継手の水素脆化特性評価に用いた。低ひずみ速度引張試験は、常温 90MPa 水素中、-50 70MPa 水素中および 300 85MPa 水素中ならびに同温度の大気中でひずみ速度 $3 \times 10^{-6}(s^{-1})$ で行い、水素中の破断絞りを大気中の値と比較し、水素脆化特性を評価した。

表 4 溶接材料の化学成分(mass%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	N	Ni 当量**
YS309MoL*	0.010	0.35	1.67			13.9	23.7	2.2			33.5
YS309Mo*	0.11	0.41	2.30	0.008	0.001	13.56	23.40	2.17	0.02	-	34.8

* JIS Z3321 ** Ni 当量 = Ni + 0.65Cr + 0.98Mo + 1.05Mn + 0.35Si + 12.6C

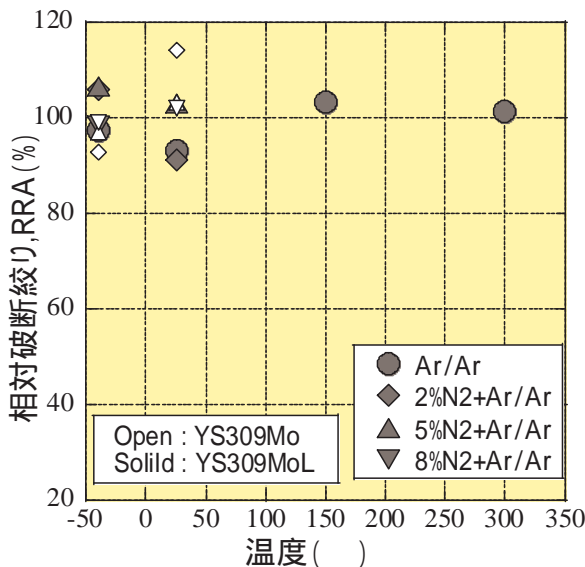


図 14 HRX19 溶接継手の SSRT 結果

図 14 に今回検討した HRX19 溶接継手の各種温度域における SSRT 結果を示す。YS309Mo および YS309MoL を用いた HRX19 溶接継手の相対破断絞り(水素中と大気中の破断絞りの比)はともに 90%以上であり、-50 から 300 までの温度領域で良好な特性を示した。

溶接材料を用いない場合の HRX19 溶接継手の安全性を評価するために、ノンフィラー溶接継手の水素特性を評価した。素材には、開発鋼である HRX19 鋼(22Cr-12Ni-4.5Mn-2Mo-0.3N)の固溶化熱処理板を用いた。自動 TIG 溶接実験を行い、ノンフィラー溶接継手の特性を評価した。常温 90MPa 水素中、-40 70MPa 水素中、ならびに同温度の大気または Ar 中でひずみ速度 $3 \times 10^{-6}(s^{-1})$ で低ひずみ速度引張試験(SSRT)を行い、水素中の破断伸び・絞りを大気・Ar 中の値と比較した。

溶接材料を用いず、シールドガス中の窒素混合率および溶接入熱を変化させ、溶接継手の引張試験を実施した結果を図 15 に示す。試験片は余盛のままの状態で採取した。シールドガス中の窒素混合率が同じ場合、いずれの混合率でも入熱が低い方が引張強さは高強度であった。また、入熱が大きい場合、引張強さは窒素混合率の増加に伴い高くなった。一方で、入熱が低い場合では

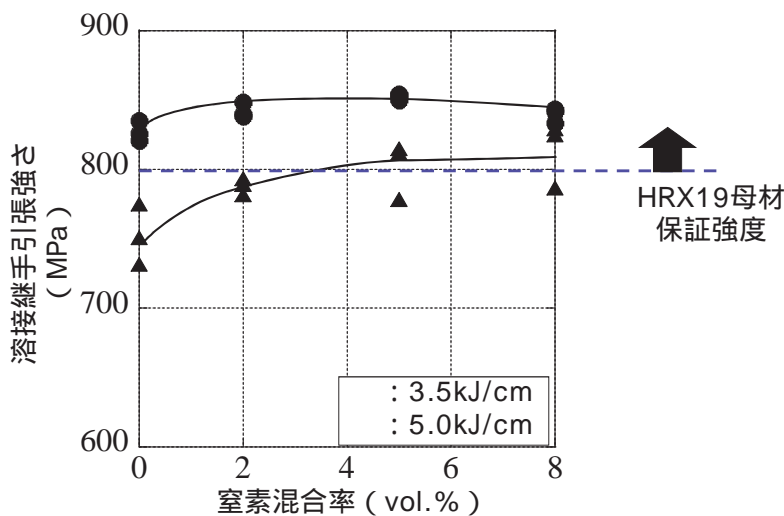


図 15 引張強度に及ぼす窒素混合率の影響

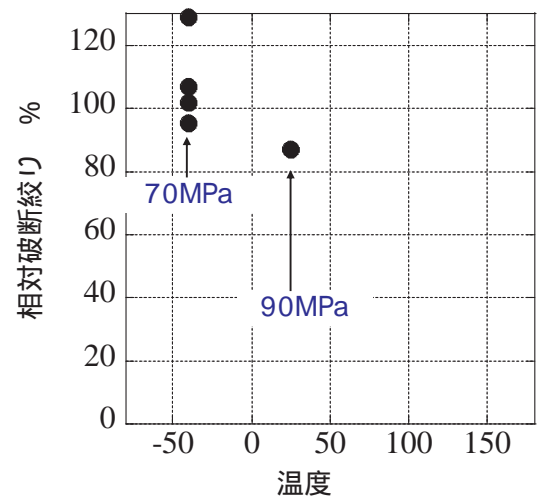
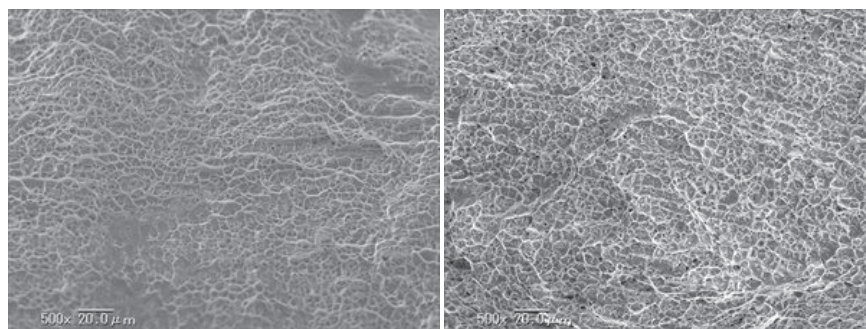


図 16 ノンフィラー溶接継手の SSRT 結果

引張強さは混合率 2vol.%までは大きくなり、その後飽和した。

図 16 にノンフィラー溶接継手の耐水素脆化特性を評価した結果を示す。余盛を切削し溶接部が試験片中央になるように板状試験片を採取した。いずれの溶接継手も相対破断絞り値が高く、優れた耐水素脆化特性を有する。図 17 に SSRT 後の破面観察結果の一例を示す。水素中、大気中の破面にはディンプルが観察されており、水素中においても延性的な破壊形態を示す。本結果から、溶接ワイヤーを用いない場合においても、HRX19 溶接継手の水素脆化特性は母材同様に優れていることが明らかになった。



70MPaH₂@-40

大気中@-40

図 17 SSRT 後破面観察結果

低Ni・省Mo ステンレス鋼 STH2 の溶接性に関する検討

母材には、STH2 の厚さ 15mm の溶体化処理材を用いた。YS309MoL を溶接材料として自動 TIG 溶接実験を行った。溶接継手に対して組織観察を実施した。溶接継手から図 8 に示す試験片を採取し、-50・70MPa 水素中、室温・90MPa 水素中で歪速度 $5.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ にて SSRT 試験を行った。

図 18 に STH2 溶接継手の光顕組織例を示す。凝固割れなどの溶接欠陥は確認されなかった。図 19 に SSRT 試験結果を示す。-50、室温ともに母材と同様に水素による絞りの低下は確認されなかった。

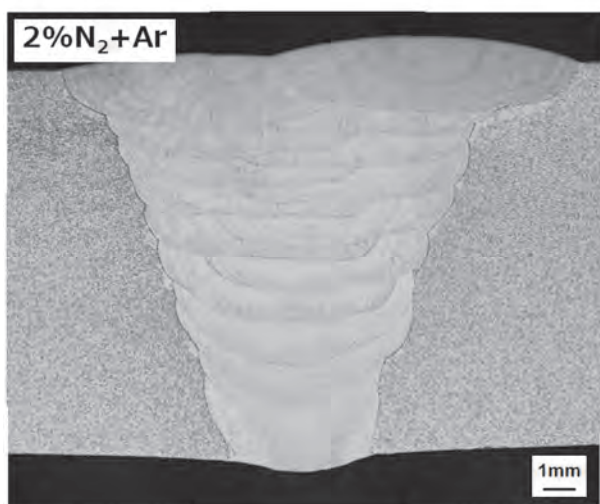


図 18 STH2 溶接継手の光顕組織例

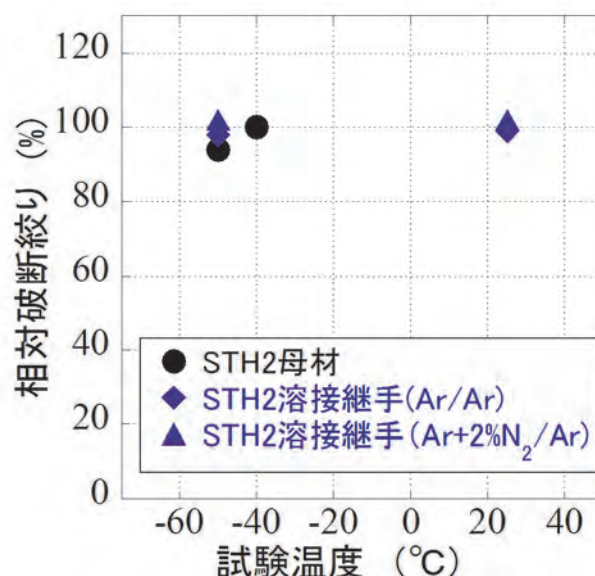


図 19 STH2 溶接継手の SSRT 試験結果

低Ni・省Mo ステンレス鋼 STH2 の耐水素ガス脆化特性

前事業において、開発鋼である STH2 の 90MPa までの高圧水素ガス中における引張特性・疲労き裂伝ば特性・のデータ取得を完了し、STH2 は優れた耐水素脆化特性を有していることを確認した。一方、fcc 金属の水素脆化感受性は、オーステナイト相安定度の高い領域で高まる場合がある。したがって、オーステナイト相安定度が高くなった場合の STH2 の耐水素ガス脆化特性を評価するため、ベース成分 (Fe-15Cr-9Mn-6Ni-2.5Cu-0.18N) と成分変化鋼を真空溶解により準備した。今回評価した真空溶解材の符号 1A, 2A, 3A は、Mn,Ni,Cu,N をそれぞれ 10%,7%,3%,0.2%まで高め、Cr 量を 15~17%の範囲で変化させた。これら真空溶解材は、熱間鍛造・熱間圧延により 15mm 厚熱延板とし、1100 で 4min の溶体化熱処理を施して SSRT に供した。

SSRT は、溶体化熱処理材の板厚中心付近から丸棒引張試験片 (平行部 7mmφ, 35mm 長) を採取し、-40 の大気中および 90MPa 水素ガス中で実施した。歪速度は大気中 $8 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 、水素ガス中 $8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ とした。

図 20 に SSRT の結果を示す。1A, 2A, 3A は、大気中と比較して 90MPa 水素ガス中でベース成分と同様に高い伸びを示した。同材の相対伸びと相対絞りはともに 100% 以上となり、水素ガス脆化は皆無であった。これより、STH2 において、Cr,Mn,Ni,Cu,N 量をもつことによる耐水素ガス脆化特性の低下は生じないことを確認した。

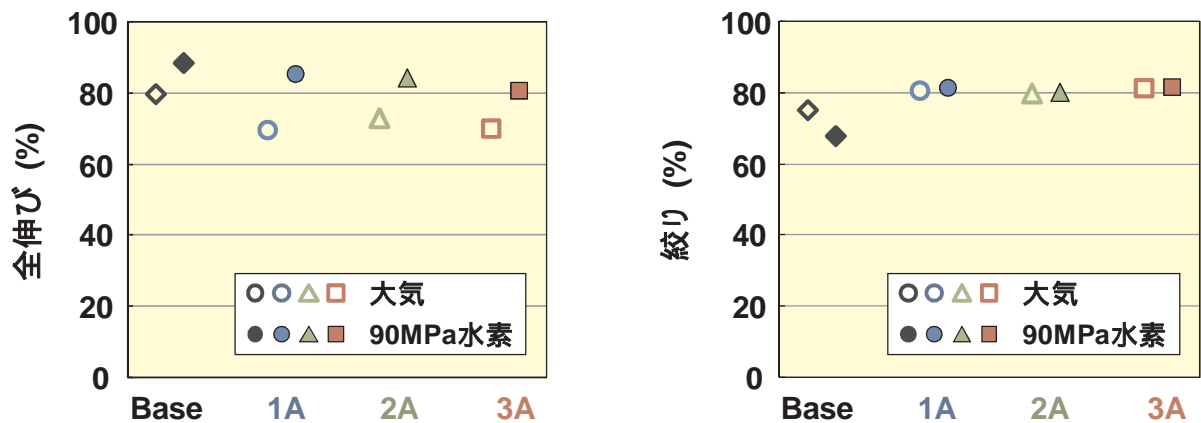
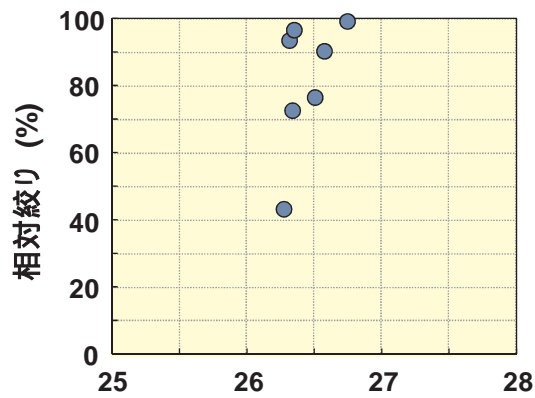


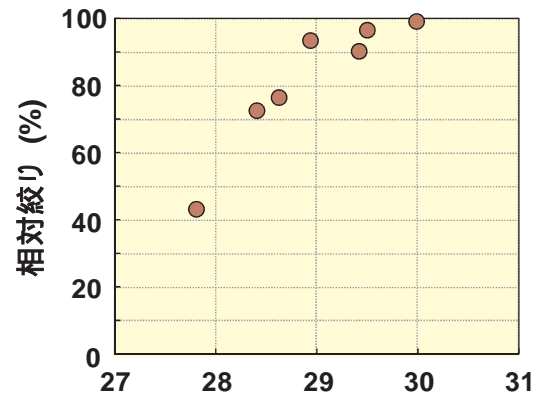
図 20 オーステナイト相安定度を高めた STH2 の-40 ・ 90MPa 水素中における全伸びおよび絞り。Base 成分(Fe-15Cr-9Mn-6Ni-2.5Cu-0.16N)に対し、符号 1A , 2A , 3A は、 Mn,Ni,Cu,N をそれぞれ 10%,7%,3%,0.2%まで高め、Cr 量を 15 ~ 17%の範囲で変化させている。平行部 7mmφ , 35mm 長の丸棒を使用。歪速度は水素中 $8 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 、大気中 $8 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 。

また、現在、国内水素ステーション用の例示基準材として SUS316L が認可されており、その使用可能圧力・温度範囲は Ni 当量によって区分されている。本 Ni 当量評価式は $\text{Ni} + 0.65\text{Cr} + 0.98\text{Mo} + 1.05\text{Mn} + 0.35\text{Si} + 12.6\text{C}$ で示されるが、Cu、N といった元素の影響は未考慮である。そこで、将来の水素用鋼材の鋼種拡大のため、耐水素ガス脆化特性におよぼす Cu、N 添加の影響を評価した。Fe-15Cr-9Mn-6Ni 鋼をベースに Cu および N 添加量変化鋼を真空ラボ溶解で準備した。真空溶解材より厚さ 1mm の冷間圧延板を作製し、1100 で 30s の熱処理後、空冷した。本冷延熱処理材を供試材とした。SSRT 試験には板圧延方向より採取した平行部長さ 20mm、幅 4mm の板状引張試験片を使用した。SSRT 試験の温度は室温で、雰囲気は大気および 90MPa 水素ガスとした。歪速度は大気、水素ガスとも $5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ で一定とした。耐水素脆化特性は相対絞り（水素中と大気中の比）で評価し、絞りは SEM 破面写真から求めた。

図 21 に Ni 当量と相対絞りの関係を示す。相対絞りは平山の式よりも三加の式で良く整理することができ、Ni 当量=27.8 の場合、相対絞りは 43%程度であるが、Cu および N 添加により Ni 当量をもろめることで相対絞りは増加した。また、図 22 に水素中破面の一例を示す。Ni 当量=27.8 の場合、全面が擬へき開破面であるが、Ni 当量が 30.0 の場合、破面は全面がディンプルを有する延性破面であった。図 23 に Base 鋼 (Ni 当量 27.8/三加の式) と 1Cu 添加鋼 (Ni 当量 30.0/三加の式) の EBSD 解析により求めたオーステナイト () 相の KAM (方位差) マップの例を示す。相対絞りが 40%程度まで低下した Base 鋼は加工誘起マルテンサイト相が 10%程度生成し、更に 相の粒界及び粒内で方位差が高くなり (緑~黄)、不均一な歪の集中が示唆された。これに対し、1Cu 添加鋼は加工誘起マルテンサイト相の生成が抑制され、 相の粒界及び粒内の方位差が小さくなった。以上より、耐水素ガス脆化特性は、Cu および N 添加により加工誘起マルテンサイト相の生成および 相における不均一な歪集中が抑制され、水素の影響を受けにくい変形組織へ遷移したことで向上したものと考えられる。



Ni当量 (平山の式) (%)
 $Ni+0.65Cr+0.98Mo+1.05Mn+0.35Si+12.6C^{(1)}$



Ni当量 (三加の式) (%)
 $Ni+0.72Cr+0.88Mo+1.11Mn-0.27Si+12.93C+0.53Cu+7.55N^{(2)}$

図 21 室温における相対絞り と Ni 当量の関係。Fe-15Cr-9Mn-6Ni 鋼をベースに Cu および N を変化させている。平行部長さ 20mm、幅 4mm の板状引張試験片を使用。歪速度は大気、水素ガスとも $5 \times 10^{-5} s^{-1}$ 。

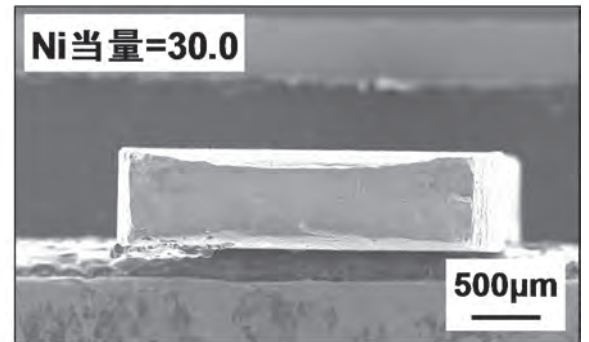
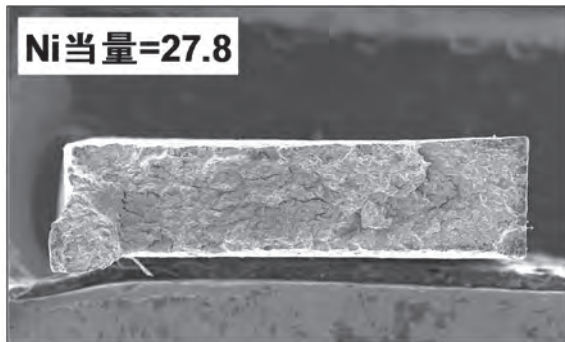


図 22 Ni 当量 (三加の式) が 27.8 と 30.0 の場合の室温・90MPa 水素中破面

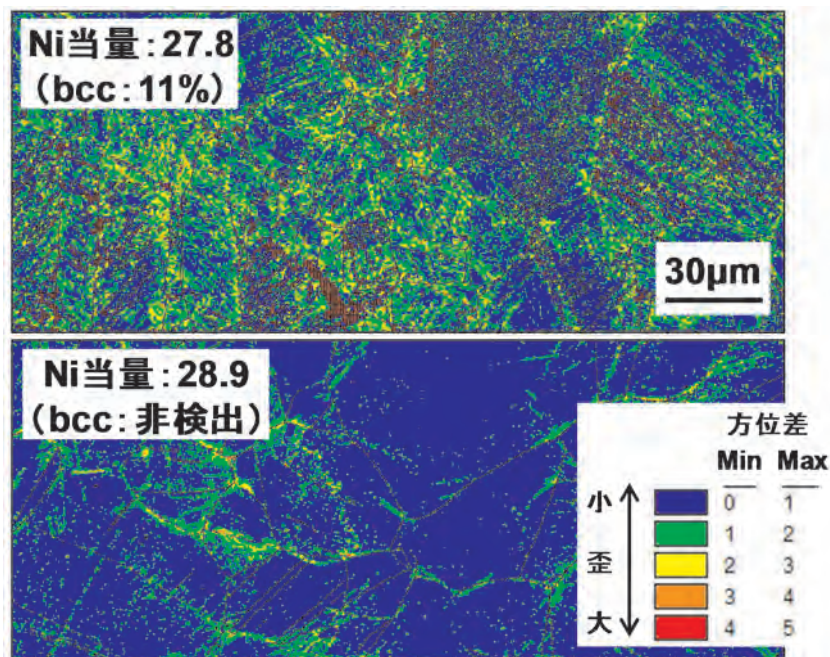


図 23 Base 鋼 (Ni 当量 27.8/三加の式) と 1Cu 添加鋼 (Ni 当量 30.0/三加の式) の EBSD 解析より求めたオーステナイト () 相の KAM (方位差) マップ例

-40 における耐水素ガス脆化特性におよぼす Ni, Cu, N 添加の影響を評価した。15Cr-9Mn-Ni-Cu-N 鋼をベースとし、Ni 添加量を 5.5 ~ 7.0%、Cu 添加量を 0 ~ 3.0%、N 添加量を 0.04 ~ 0.2% の範囲で変化させた厚さ 15mm のラボ熱間圧延板を作製し、1100 で 4min の溶体化処理後、水冷した。本溶体化処理材を供試材とした。SSRT 試験には板圧延方向より採取し平行部径 7mm、平行部長さ 35mm および平行部径 3mm、平行部長さ 20mm の丸棒引張試験片を使用した。SSRT 試験の温度は-40 で、雰囲気は大気および 70, 90MPa 水素ガスとした。歪速度は、平行部径 7mm 試験片においては大気中を $8.3 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ 、水素ガス中をさらに低速の $8.3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ とし、平行部径 3mm 試験片においては大気中、水素ガス中ともに $5.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ とした。

図 24 に-40 における相対絞りの Ni, Cu, N 量による重回帰結果を示す。室温の場合と同様にこれら元素の添加量増加により相対絞りは増加した。また、相対絞りとの関係は $RRA = 28.7Ni + 22.5Cu + 179N - 173.8 = 28.7(Ni + 0.78Cu + 6.24N - 6.1)$ で表された。重回帰より求めた Ni に対する Cu, N の係数はそれぞれ 0.78, 6.24 であり、相安定度の指標である三加の式の 0.53, 7.55 と概ね一致する。これは、系ステンレス鋼の耐水素脆化特性は相安定度と良い相関にあることを改めて示した結果といえる。

図 25 に-40 ・70MPa 水素中の破面の例を示す。Ni 当量の 29.6 から 30.2 への増加に伴い破面形態は擬へき開からほぼディンプルへと遷移した。

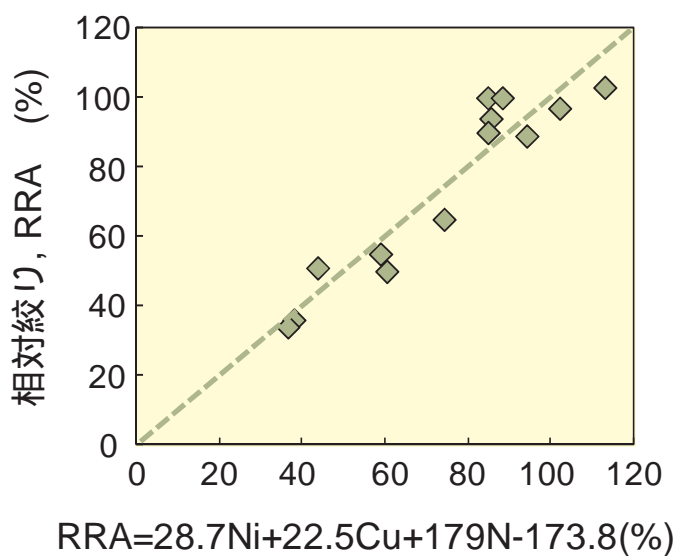


図 24 -40 における相対絞りの Ni, Cu, N 量による重回帰結果

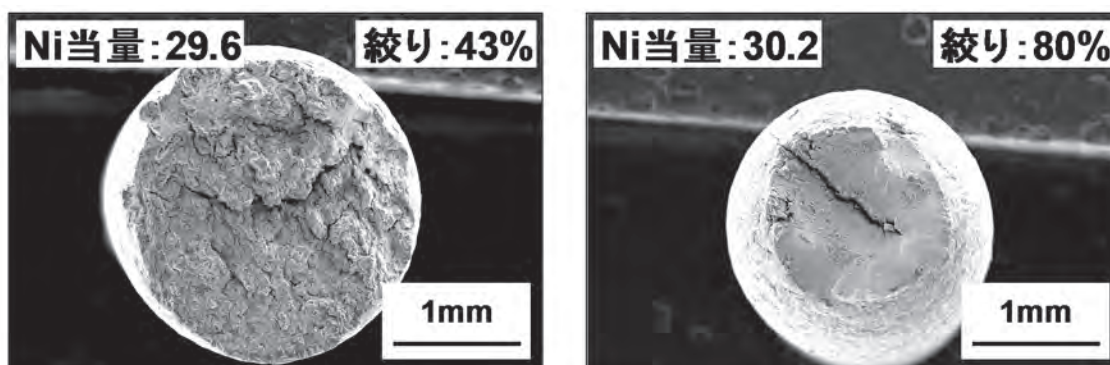


図 25 -40 ・70MPa 水素中の破面例

SUS316L (Ni 当量 28.5%) 拡散接合材の-40 における耐水素ガス脆化特性

水素インフラ用途の例示基準材である SUS316L に対し、利用技術データ拡充のため、拡散接合後の耐水素ガス脆化特性を評価した。SUS316L (Ni 当量 28.5%) の拡散接合材から平行部径 3mm、平行部長さ 20mm の丸棒引張試験片を採取した。SSRT 試験の温度は-40 で、雰囲気は大気および 70MPa 水素ガスとした。歪速度は $5.0 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ で一定とした。

表 5 に SUS316L (Ni 当量 28.5%) 拡散接合材の-40 における SSRT 試験結果を示す。相対伸び、絞りとも 100%を上回っており、水素の影響は皆無であった。これより、Ni 当量 28.5%を満たす SUS316L であれば拡散接合後も母材³⁾と変わらず優れた耐水素ガス脆化特性を有することが確認できた。

表 5 SUS316L (Ni 当量 28.5%) 拡散接合材の-40 における SSRT 試験結果

環境	引張強さ MPa	破断伸び %	破断絞り %	相対伸び %	相対絞り %
70MPa 水素	620	103	75	110	109
大気	617	94	69		

3) 平成 26 年度 NEDO 成果報告会

以上のように、成果の総括として HRX19 (22Cr-12Ni-4.5Mn-2Mo-0.3N) を対象に各種溶接材料 (309Mo, 309MoL, 317LN および 308N2)、溶接条件 (ガス種類、入熱など) を考慮した溶接継手を作製し、-50 から 300 まで材料特性を取得し、水素脆化感受性が低いことを確認すると共に溶接継手の強度特性は固溶室素量以外の固溶元素の影響も効果的であることを明らかにした。() また、15Cr-9Mn-5.5~7Ni-0~3Cu-0.04~0.2N 鋼において、室温、-40 ・高圧水素ガス中の材料特性データを取得し、Cu・N 添加は耐水素ガス脆化特性の向上に有効であることを確認した。()

(3) 高圧水素用継手・バルブ向けオーステナイト系ステンレス鋼の鋼種拡大のための研究開発

Mo レス高圧水素用オーステナイト系ステンレス鋼の開発

燃料電池自動車における高圧水素システム及び、水素ステーションにおける高圧水素用機器の高性能化、軽量化、省資源化及び、長寿命化によるコスト削減を目的として、高圧水素用継手・バルブ類に使用する SUS305 相当の高圧水素用オーステナイト系ステンレス鋼の開発を進めた。

高圧水素ガス環境での延性を確認するため、高圧水素環境にて低歪速度引張試験 (Slow Strain Rate Tensile test, SSRT) を実施した。試験に用いた供試材の化学成分を表 6 に示す。何れの供試材も JISG4303 の SUS305 に相当する化学成分としている。尚、表 6 においては、ミルシートに記載の無い成分である窒素の含有量も化学分析を行い掲載している。溶解番号 131 は SUS305 としてみなし得る窒素量の上限材、溶解番号 141 は精錬を伴う工場設備での生産を想定しての窒素量の下限材の位置づけとした。表 6 における Ni 当量は、加工誘起マルテンサイトの生成のし難さを現した平山の式 (Ni 当量(%))= $\text{Ni}+0.65\text{Cr}+0.98\text{Mo}+1.05\text{Mn}+0.35\text{Si}+12.6\text{C}$) を用いている。Ni 当量は高い程、高圧水素環境での延性を低下させる加工誘起マルテンサイトが生成し難くなる。一般例である SUS316L の場合-40 での使用においては 28.5 以上が求められる。尚、SUS305 は Mo を含有していないため、平山の式における Mo の項の値はゼロとして計算している。

溶解番号 131 と 141 の供試材は、VIM 溶解炉を用いて作製した 30~50kg の鋼塊を母材として熱間鍛伸し、実験室レベルで作製した丸棒を評価に用いている。溶解番号 00972 の供試材は

、2tVIM 炉を用いて作製した鋼塊を元に、工場の量産設備で熱間圧延し作製した丸棒を評価に用いている。溶解番号 22526 の供試材は、量産汎用材の製造と同様に、50t 電気炉と AOD 精錬設備からなる工程にて溶解・精錬し、連続鋳造により製造した鋳片を元に、工場の量産設備で熱間圧延し作製した丸棒を評価に用いている。また、熱間鍛造品に関しては、溶解番号 22526 の圧延材丸棒の固溶化熱処理材を鍛造母材として粗形品を作製し、熱間鍛造後に水冷することで、熱間鍛造後の固溶化熱処理工程を省略する工程を採用している。尚、冷間引抜材に関しては、各供試材の固溶化熱処理状態の丸棒を、ドロベンチを用いて冷間引抜加工した鋼材を評価に用いている。冷間引抜材における減面率は、冷間加工度を意味し、 $(1 - (\text{引抜後の断面積} \div \text{引抜前の断面積})) \times 100 (\%)$ にて求められる。

表 7 に高圧水素中 SSRT を実施した温度と圧力を示す。SSRT の相対絞りは、同じ温度条件の大気圧大気中もしくは、窒素中における SSRT の絞りとの比（水素中絞り / (大気中もしくは窒素中の絞り)）として求めた。試験の結果、何れの試験においても相対絞り 0.80 以上の、一般例である SUS316L と同等の優れた延性が確認できた。

試験結果の代表例として、溶解番号 22526 の供試材の SSRT における応力変位曲線を図 27 に、その相対絞りを表 8 に示す。尚、試験においては図 26 の形状の引張試験片を用い、ストローク速度は 0.0001mm/秒にて試験を実施している。何れの試験条件においても、引張強さを示した後に破断に至っており、相対絞り 0.8 以上の優れた延性が認められる。

さらに、表 7 において記号 を付与して示している条件においては、九州大学の協力により SSRT データが採取されている。その試験条件と試験結果は、九州大学のデータベースに収録されており、これらのデータを合わせることで、高圧水素用の SUS305 は、広範な温度範囲、圧力範囲において良好な延性が確認されている。

また、オーステナイト安定化元素である窒素の添加量が下限である溶解番号 141 の供試材においても、相対絞り 0.80 以上の良好な延性がみとめられたことから、高圧水素用 SUS305 においても、一般例である SUS316L と同様に Ni 当量を用いたオーステナイトの安定度の制限を設けることができると考えられる。

表 6 供試材の化学成分 (%)

記号	溶解番号	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N	Ni当量
	131	0.08	0.46	1.20	0.030	0.005	12.86	18.85	0.09	27.5
	141	0.12	0.96	1.91	0.031	0.006	12.85	18.98	0.01	29.1
	00972	0.11	0.97	1.95	0.004	0.006	12.91	18.91	0.06	29.0
	22526	0.11	0.95	1.92	0.032	0.006	12.88	18.87	0.06	28.9
SUS305 (JIS G4303)		0.12	1.00	2.00	0.045	0.030	10.50 -13.00	17.00 -19.00	-	

表7 SSRT 試験の実施条件 (表中の記号は、表1に示す溶解番号に対応)

試験温度()	-45	-40	室温	室温	90	120	210
試験圧力(MPa)	106	70	115	85	85	115	85
固溶化熱処理材							
冷間引抜材(減面率12%)							
冷間引抜材(減面率20%)							
冷間引抜材(減面率25%)							
50tAOD溶解 実機圧延固溶化熱処理材							
熱間鍛造品							

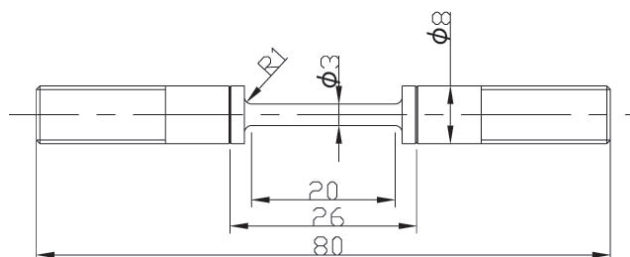


図26 引張試験片形状(寸法の単位:mm)

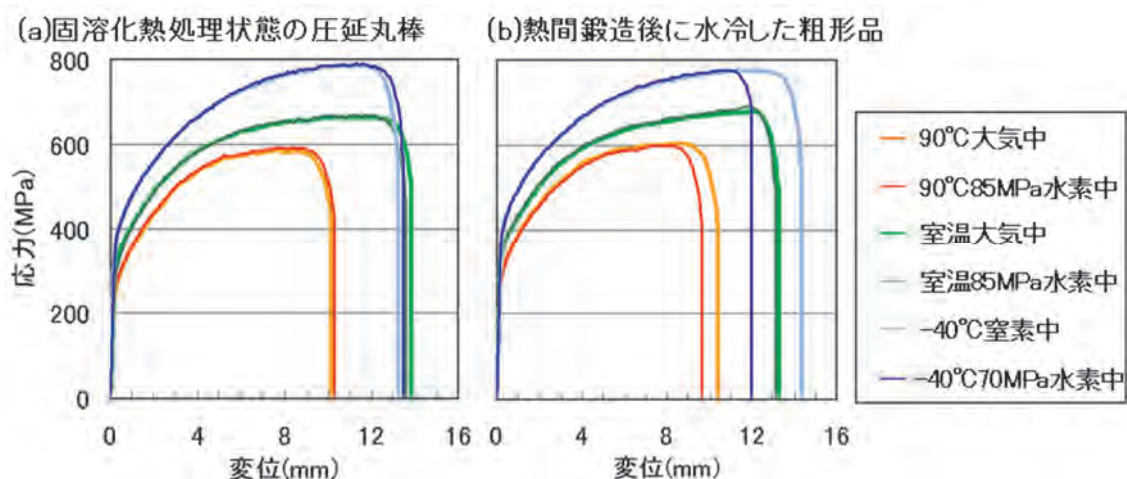


図27 SSRTにおける応力変位曲線

表8 相対絞り(水素中/大気中もしくは窒素中)

	(a) 棒鋼	(b) 鍛造品
-40	0.95	0.87
R.T.	1.12	0.95
90	1.04	0.92

疲労き裂進展試験においては、溶解番号 00972 の供試材の圧延材を母材として、試験片を採取出来る形状とするためにさらに熱間鍛伸した後に、固溶化熱処理を施した鋼材から厚さ 12.7mm 幅 50mm の CT 試験片を採取し、試験に用いた。試験は、室温 70MPa の高圧水素中および、室温大気圧大気中において、周波数 1Hz の荷重一定制御にて実施した。疲労き裂進展試験の結果を図 28 に示す。大気中の試験結果を比較して、高圧水素中においても疲労き裂の進展速度に加速は認められず、大気中と同等の特性であることが確認でき

た。高圧水素中においても疲労き裂の進展速度に加速は認められないことは一般例である SUS316L と同様の良好な特性であることを意味している。

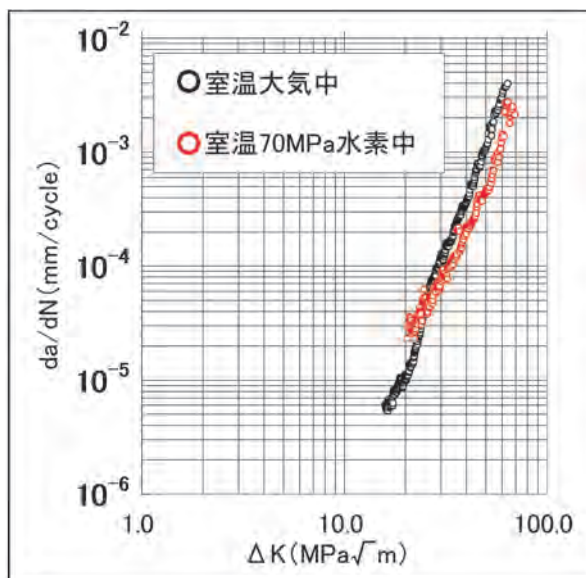


図 28 疲労き裂進展試験の結果

溶解番号 00972 の冷間引抜材から採取した V ノッチを有する板状の試験片を用いて、高圧水素環境にて 4 点曲げ疲労試験を実施した。試験片形状を図 29 に示す。試験における 4 点曲げの下支点間距離は 60mm、上支点間距離は 20mm とした。冷間引抜材における試験結果を図 30 に示す。比較材である SUS316L 冷間引抜材と SUS305 の供試材は、若干引張強さが異なるため、試験荷重を引張強さで除した値を図 30 における縦軸の値としている。試験の結果、高圧水素環境においても、SUS305 は SUS316L と同等の疲労寿命が認められた。

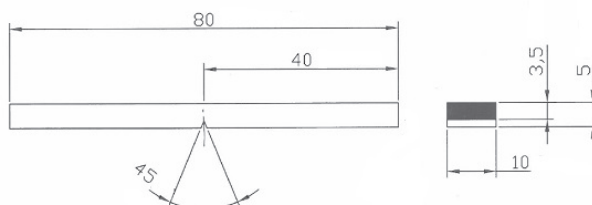


図 29 4 点曲げ試験片の形状 (寸法の単位: mm)

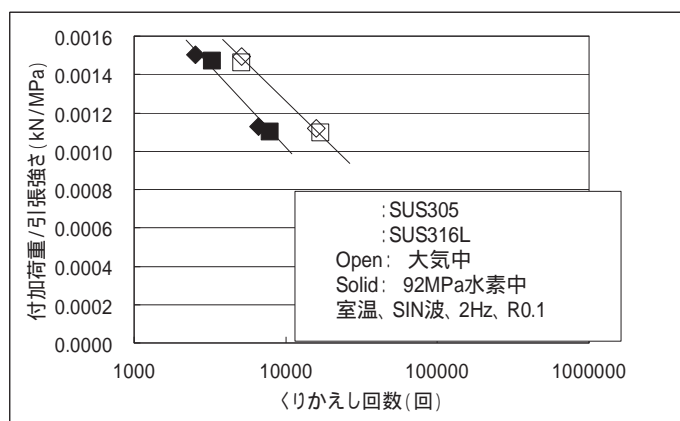


図 30 高圧水素中 4 点曲げ疲労試験の結果

高圧水素用機器は、切削加工工程を経て製造されるため、切削コスト感を把握するためのデータとして、高圧水素用 SUS305 の切削性を旋盤加工における工具の磨耗量を評価することで確認した。評価結果を図 31 に示す。評価には JIS 規格の成分範囲内で、硫黄添加量が少なく成分調整した鋼材（Low S：SUS316L は 0.004%S、SUS305 は 0.006%S）と硫黄添加量が多く成分調整した鋼材（High S：0.026%S）を評価した。

評価の結果、SUS305 の JIS 規格成分内で硫黄添加量を高めることで、工具磨耗を抑制し、良好な切削性が得られることが確認できた。

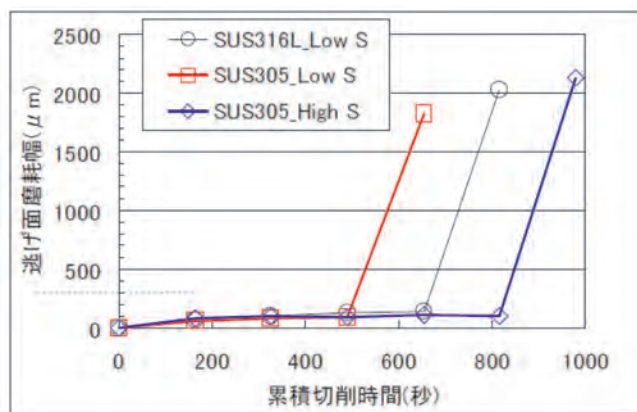


図 31 旋削性の評価

切削性を改善するために硫黄の添加濃度を高めると、金属組織中に分散する快削粒子であるマンガン硫化物の量が増加する。金属組織中のマンガン硫化物の粒子の連なりを介してガスの漏れが生じないかを確認するため、SUS305(0.006%S)、SUS304(0.024%S)、SUS303(0.303%S)の固溶化熱処理材丸棒より、硫化物が伸長する圧延方向が試験片の厚さ方向となるように厚さ 0.5mm の試験片を採取し、ヘリウムリークディテクタを用いた吹き付け法にてリークの有無を確認した。ヘリウムリークテストの結果、最も硫黄の添加量が多い SUS303 を含めて、総ての試験片でリークは認められなかった(図 32)。

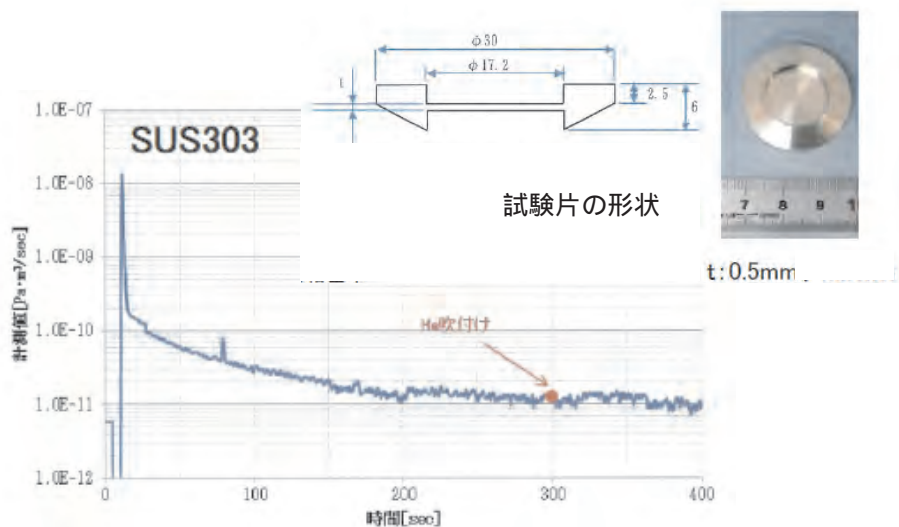


図 32 ヘリウムリークテストの結果

化学成分、機械的性質および、ミクロ組織に関し、高圧水素用 SUS305(愛知製鋼株)における商品名 AUS305-H2)と SUS316L との比較を表 9、表 10 および図 33 に示す。SUS316L は、水素ステーション用機器向けに量産している鋼材の例として挙げている。AUS305-H2(高圧水素用 SUS305)は、Mo を含有せず省資源でありながら、現行材である高圧水素用 SUS316L と同等の強度および、ミクロ組織を有する。

以上のように、Mo を含有せず低コストな、SUS305 相当の高圧水素用オーステナイト系ステンレス鋼を開発した。調査の結果、その特性は高圧水素中においても、引張・疲労特性が一般例である SUS316L と同等であることが認められた。()

表 9 化学成分の例

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Ni当量
SUS305 成分規格	0.12 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	10.50 -13.00	17.00 -19.00	-	-
AUS305-H2	0.11	0.95	1.92	0.032	0.006	12.88	18.87	-	28.9
SUS316L	0.021	0.53	1.19	0.032	0.004	13.44	17.02	2.76	28.9

$$\text{Ni当量(平山の式)} = 12.6\text{C} + 0.35\text{Si} + 1.05\text{Mn} + \text{Ni} + 0.65\text{Cr} + 0.98\text{Mo}$$

表 10 機械的性質の例

鋼種	状態	0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	絞り (%)
AUS305-H2	固溶化熱処理材	272	604	60	76
	冷間引抜材(減面率20%)	708	800	33	71
SUS316L	固溶化熱処理材	265	578	56	81
	冷間引抜材(減面率20%)	690	772	28	75

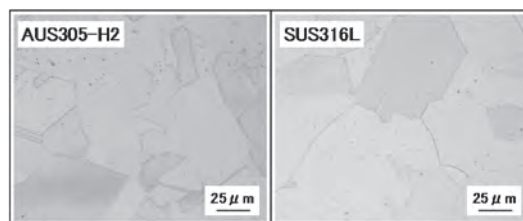


図 33 ミクロ組織の例(固溶化熱処理材)

高硬度オーステナイト系ステンレス鋼の開発

SUS305 をベースとして最大 0.8%まで C(炭素)を高めた評価材を作製し、固溶化熱処理材の硬さを測定すると共に、室温から-60 の温度範囲にて引張試験を行った。オーステナイトの安定性の評価として、引張試験後の試験片破断部近傍において比透磁率を測定し、高圧水素ガス環境での延性低下を招く加工誘起マルテンサイトの生成の有無を確認した。評価の結果、C の添加量に比例して、硬度が増加することが確認された(図 34)。また、0.2%を越えて C 量を高めることにより、低温引張試験後の試験片破断部近傍における加工誘起マルテンサイトの生成量は減少した。硬さと延性の良好なバランスが認められた 0.4%C の供試材(Fe-0.40C-0.95Si-1.87Mn-12.55Ni-19.64Cr)において、高圧水素環境での延性を確認す

るために室温高圧水素中にて SSRT を実施した。SSRT においては、図 1 に示す形状の引張試験片を用い、ストローク速度は 0.0001mm/秒とした。図 35 に高圧水素中 SSRT における応力-変位曲線を示す。試験の結果、高圧水素環境においても大気中と同等の引張強さを示し、良好な延性が確認された。尚、0.4%の C 添加により SUS305(0.11%C)と比較して、固溶化熱処理材において 1.3 倍程度の引張強さが認められた。

高圧水素用 SUS305(0.11%C) は、一般例である SUS316L(0.03%C)と比較して Mo を含有しないことに伴い低下するオーステナイト安定度を C の添加量を 0.11%程度まで高めることで補っている。高硬度化を目指した 0.4%C 添加鋼においても良好な延性が認められたことから、C 添加によるオーステナイト安定化に関し、十分な余裕があることを併せて確認することができた。()

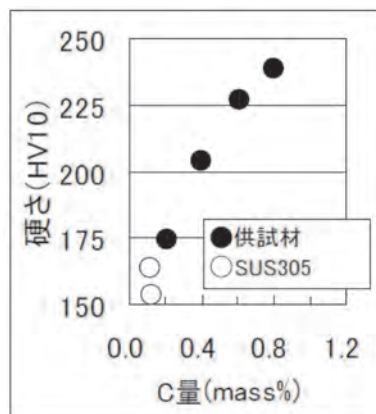


図 34 C 添加量と硬さの関係

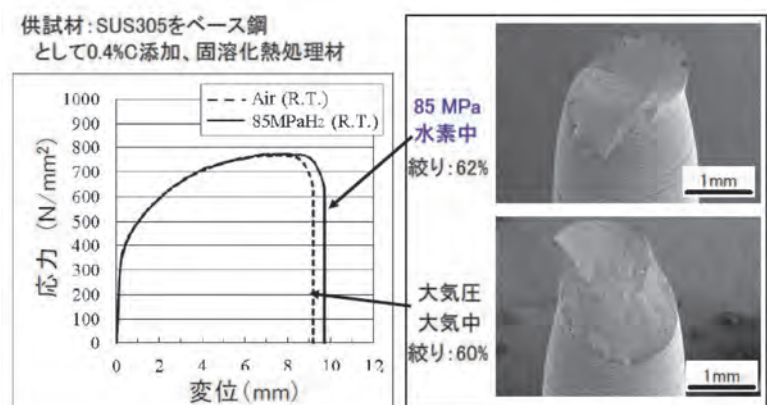


図 35 0.4%C 添加鋼の高圧水素中 SSRT の結果

長期使用水素関連機器の解体調査

大黒水素ステーションにおける継手・バルブ類の解体調査を実施し、水素中で長期使用したことによる劣化の有無を調査した。調査の結果、ワレ等の異常は認められなかった。()

(4)低温域における共通試験材料の特性評価

試験法の概要と試験片の改良

開発した高圧容器を使わず中空試験片内を高圧ガス環境にする簡便な高圧水素環境材料特性評価法の概略図を図 36 に示す。本評価法は、高圧容器を用いずに同等の試験結果が簡便に得られるだけでなく、試験片温度を変え易く極低温から高温までの試験ができる、高圧水素の使用量が僅かで試験中でも短時間でガスを置換し切り替え易い等々の利点があり、本課題における試験を可能にした。

さらに本評価法による試験を重ねる中で、当初の試験片はネジ部の端に市販の配管継手を埋め込むかパイプを溶接し継手で繋いでいたため、加工費が高い(3~5万円)、溶接部から漏れ易い、配管継手の使用圧力の制限(82MPa)等の短所があったが、図 37 に示す改良した新試験片の加工費は 22,000 円で溶接を使わず溶接部からの漏れが無く、圧力も 100MPa が可能になった。()

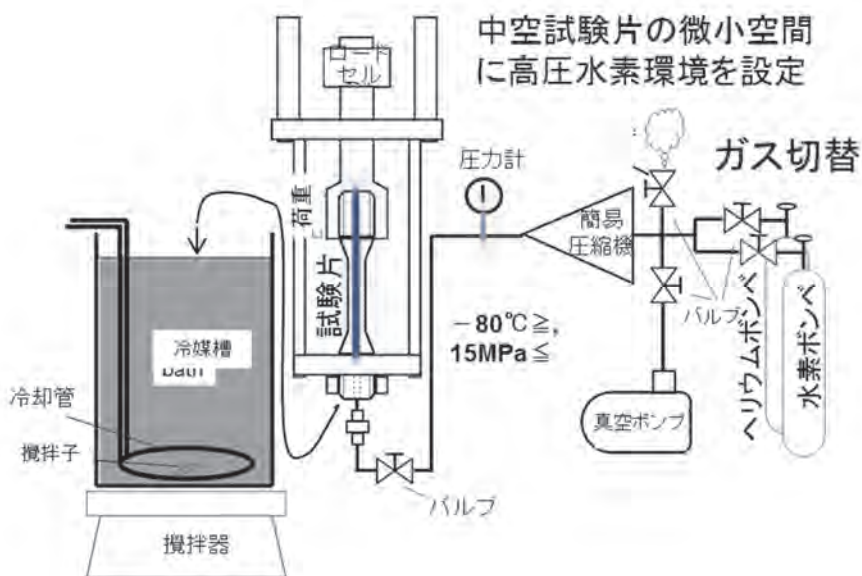


図 36 簡便な高圧水素環境試験の概要

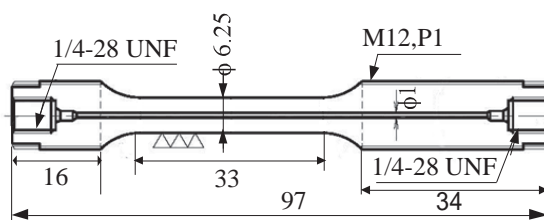


図 37 改良された新中空試験片 (単位:mm)

高 NiSUS316L と低 NiSUS 316L の評価

図 38 に低 NiSUS316L 材の各温度における 70MPa 水素中とヘリウム中の引張曲線と破断面を、図 39 に各温度における高 Ni SUS316L 材と低 Ni SUS316L 材の絞りの結果として a) 絞り比及び b) 絞りとフェライト量の変化を示す。高 NiSUS316L 材は、190K の低温においても水素の影響は小さく、絞りは 70% 近くで絞り比は 0.95 以上である。低 Ni SUS316L 材は、室温にでは絞りが 70% で絞り比も 0.9 であるが、低温では水素の影響は大きく、絞り比も 0.6 以下となる。また、この低 NiSUS316L では、材料の組織の異方性があり、水素の影響によるき裂の進展が進み易い方向があり、破断前に内部からの亀裂が表面に達し、内部の高圧水素が漏れて抜けてしまい水素の影響がほとんどなくなり、その後は延性的に絞れるためもあって破断面が楕円形となり、長軸と短軸の平均ではなく長軸側の寸法を破断直径とすると、絞りと相対絞りの値は図 40a) に示すように、さらに小さくなる。

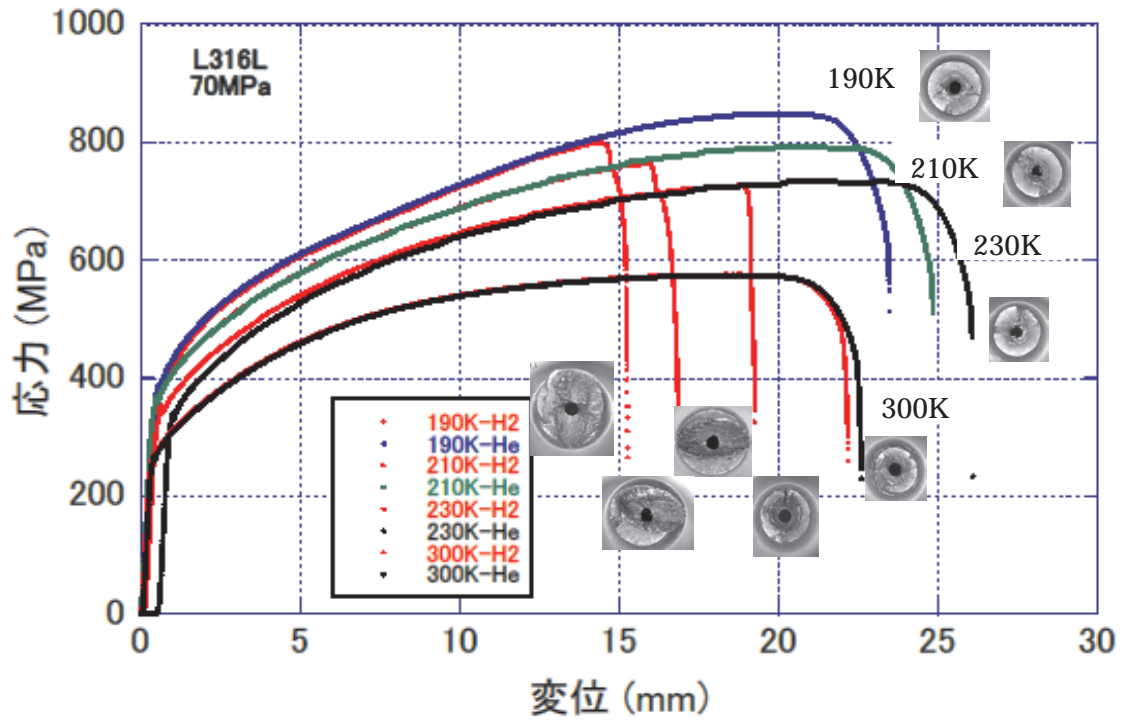


図 38 低 Ni SUS316L 材の各温度における 70MPa 水素中とヘリウム中の引張曲線と破断面

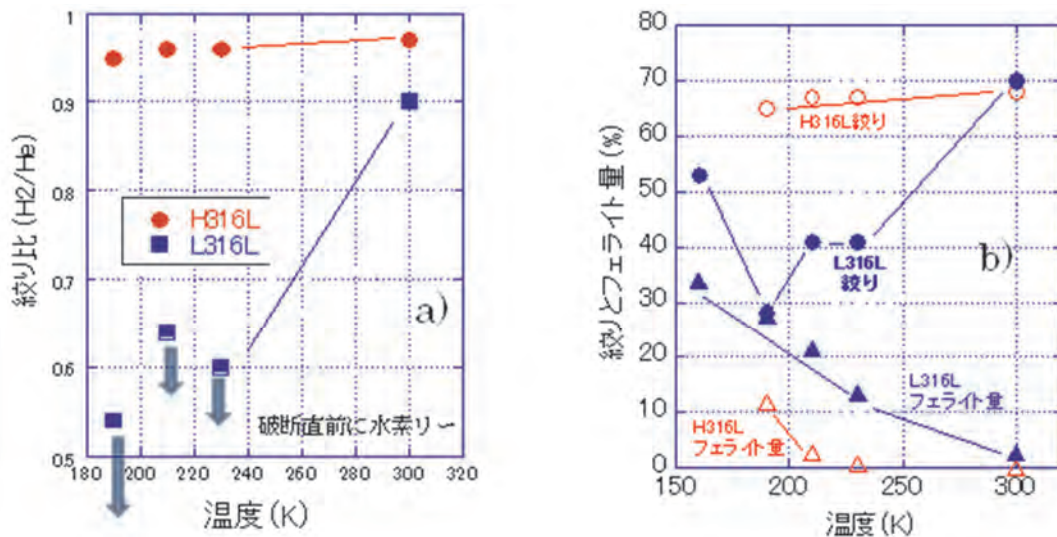


図 39 各温度における高 Ni SUS316L 材と低 Ni SUS316L 材の絞りの結果、a) 絞り比、b) 絞りとフェライト量

STH2 と HRX19 の評価

表 11 に共通試験材料 STH2 の化学組成を示す。図 40 に各温度における 70 MPa 水素中とヘリウム中の 0.2%耐力と引張強さと相対絞りを示す。室温から液体窒素温度 77 K の低温まで、70 MPa 水素中においてもヘリウム中と殆ど変わらない 0.2%耐力と引張強さが得られた。オーステナイト系ステンレス鋼は、通常は Ni を 9 ~ 12%ほど含有し、含有量が少ないとオーステナイト相が不安定で低温で加工誘起マルテンサイト変態をすることから、高圧水素の影響が 190 K 付近で最大となるが、STH2 材は、Ni の含有量が少ないにもかかわらず、破断後のマルテンサイト量は少なく、190 K の低温においても水素の影響は小さく、絞りは 50%で、水素環境中の絞りをヘリウム環境中の絞りで除した相対絞りは 0.8 以上で、高圧水素ガス環境の影響が小さい。()

図 41 に HRX19 の各温度における 70MPa 水素中とヘリウム中の応力 - 伸び曲線と相対絞りを示す。HRX19 は 190 K の低温においても水素の影響は小さく、絞りは 50%以上で、水素環境中

の絞りを含りウム環境中の絞りで除した絞り比は 0.9 以下で、高圧水素ガス環境の影響が小さい。190 K での絞り比が約 1 であることから、これ以下の低温でも水素の影響が無いと言える。

表 11 共通試験材料 STH2 の化学成分 (mass %)

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	Mo	N
0.06	0.5	9.5	15	6	2.6	0.2	0.2

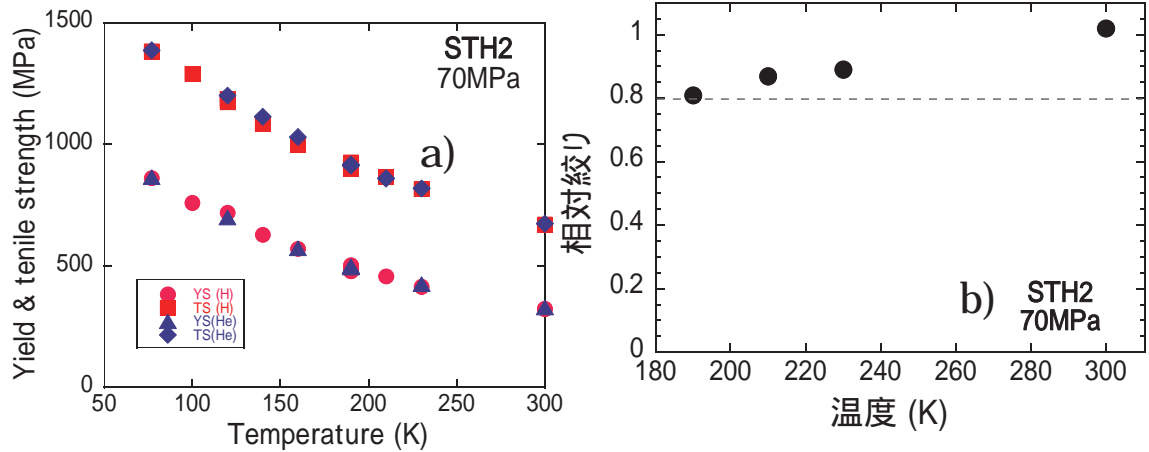


図 40 STH2 の各温度における 70 MPa 水素中とヘリウム中の 0.2 %耐力と引張強さ a) と相対絞り b)

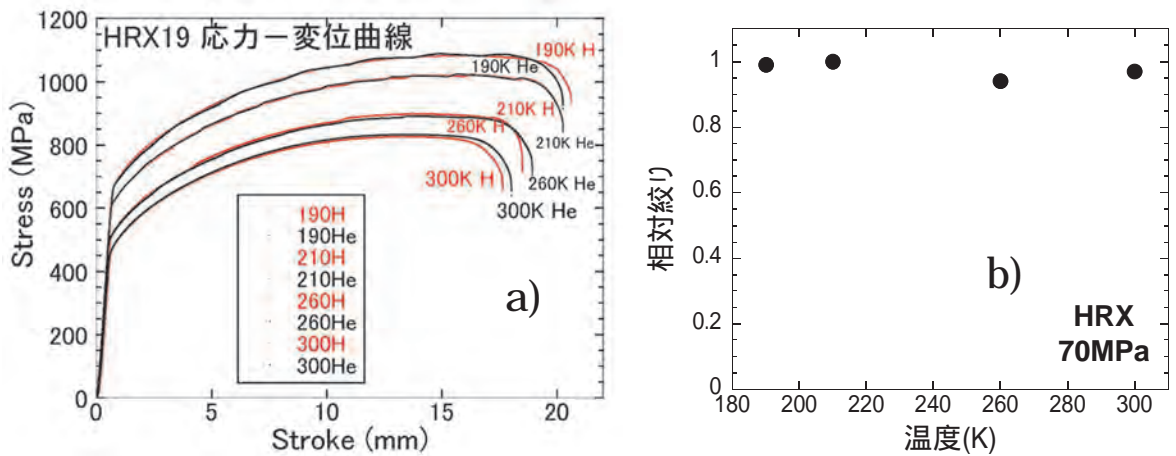


図 41 HRX19 の各温度における 70 MPa 水素中とヘリウム中の 0.2 %耐力と引張強さ a) と相対絞り b)

水素の影響に関する知見の獲得

a. ガス置換による高圧水素環境の影響

水素が材料に影響をもたらす臨界の応力または変形量を推察する知見を得るための、高圧水素環境中での引張試験の途中でヘリウムに置換する試験では、水素環境中でも伸びのある材料として低 Ni 316L 材を、水素環境では 0.2 %耐力前で破断し応力の影響を評価する材料としてマルテンサイト系のステンレス鋼で 0.2%耐力は高いが水素の影響を受け易い SUS630 を用いた。

低 Ni 316L 材では、11 MPa 水素環境中での最高荷重点でガス置換をした。ガス置換後、荷重が水素環境中での最高荷重より増加し、ヘリウム中とほぼ同じ応力-変位曲線を示し、得られた伸びも絞りもヘリウム環境中試験と殆ど変わらないことから、低 Ni 316L 材では高圧水素環境中

の最高荷重点まで影響がなく、絞りが始まってから影響が出ると考えられる。()

図 42 に示すように、SUS630 では、室温では 11 MPa 水素中で 1236 MPa で破断したことから、1000 MPa、1100 MPa、1200 MPa でガス置換をしたが、1000 MPa と 1100 MPa では、ガス置換後に水素の影響は見られなくなった。1200 MPa では、変位を止めガス置換をするため水素を抜くまでの数秒の間に、き裂が表面に達し、水素が漏れて抜けた。SUS630 は-10 から-40 辺りで水素中での強度が最も小さくなる。-13 (260 K) の 10 MPa 水素中では 1000 MPa または 832 MPa 付近で破断したので、耐力の約 54 % の 752 MPa でガス置換をしたところ、水素の影響がみられなかった。-43 (230 K) においては 70MPa 水素中で耐力の約 47 % の 640MPa で破断するが、破断応力の 92% の 590MPa で水素を放出し、大気に置換したところ、図 43 に示すように水素の影響がみられない応力 - 変位曲線が得られ、高圧水素中の破断応力直下まで水素の影響が無いことを確認した。()

b. 高圧水素ガス温度の影響

図 44 に SUS630 の 10 MPa と 70 MPa の水素圧力一定の環境中での相対絞りに及ぼす温度の影響を示す。-10 から-40 で水素の影響の増加を確認するとともに相対絞りも水素の圧力が高くなると小さくなり水素の影響が大きくなる。これは、新生面やき裂面での衝突頻度の増加による吸着された水素分子の増加及び水素分子の分解に際して表面反応律速から、高圧水素環境から吸収される水素原子即ち格子内に侵入し動き回る水素原子の頻度の増加によると考えられる。()

c. 高圧水素ガス圧力の影響

図 45 に示すように、室温で水素ガス 13 MPa で負荷応力 900 MPa まで 0.01 kN/s で負荷し、応力を一定のまま、水素ガスの圧力を 2, 3 MPa ずつ段階的に昇圧し 15 秒間保持を繰り返すと、水素ガス圧が 48 MPa で約 10 秒後に破断に至った。260 K で水素ガス 13 MPa で負荷応力 700 MPa まで負荷し、応力を一定で水素ガス圧力を段階的な昇圧と保持を繰り返すと、水素ガス圧が 50 MPa で約 10 秒後に破断に至った。水素の影響が小さくなる 190 K で水素ガス 13 MPa で負荷応力 900 MPa まで負荷し水素ガスの圧力を段階的な昇圧と保持を繰り返すと、水素ガス圧 65 MPa で破断に至った。

試験片の引張負荷応力を一定に保ち、水素ガス圧を上げていくと 10 MPa と 70 MPa の結果から内挿される圧力で破断し、この結果から高圧水素の影響は、引張応力と水素ガス圧によることが明らかになり、引張応力による材料の歪み量と高圧水素による水素の材料中に飛び込むエネルギーの兼ね合いにより、材料中に水素が侵入する条件が成立すると、材料中に水素が侵入し、数秒間で破断に至る知見が得られた。

以上のように圧力一定で応力を漸増させた時の「破断応力」と「臨界圧力」のプロットが同じ線上に乗ることから、水素ガス脆化は臨界の水素圧力・応力で一義的に決まっていることを解明した。()

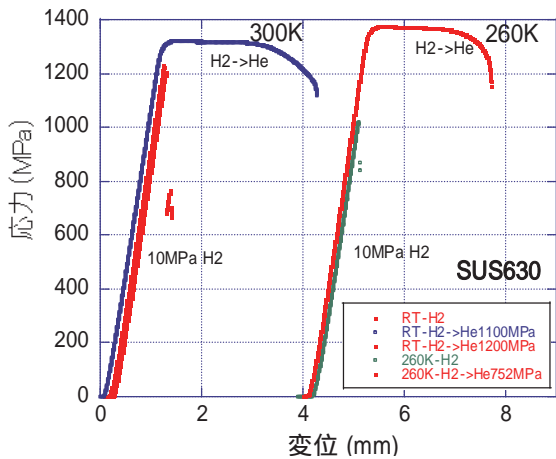


図 42 SUS630 の室温と 260 K において 0.2 %耐力の 80%で H2 から He に置換した引張曲線

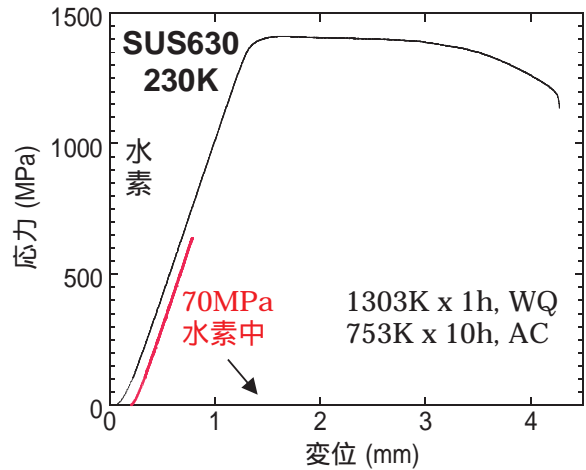


図 43 SUS630 の 230 K において 70 MPa 水素で試験を始め、590 MPa で水素を放出し、真空引き後に空気置換した応力 - 変位曲線

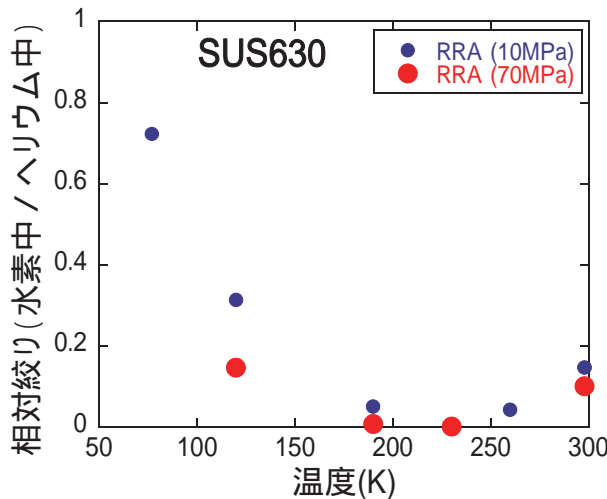


図 44 水素圧力一定の環境中での SUS630 の相対絞り(水素中/ヘリウム中)に及ぼす温度の影響

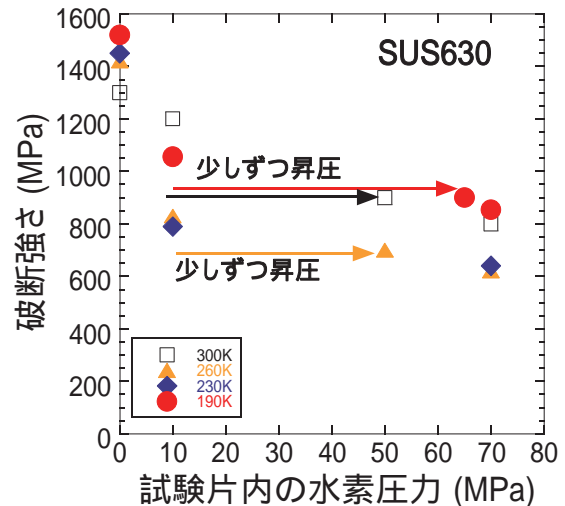


図 45 水素ガス環境での破断応力の水素圧の影響及び引張負荷応力を一定に保ち、水素圧を上げる試験で得られた破断時の水素ガス圧

3.2 成果の意義

(1)主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発

水素ステーションにおいて Cr-Mo 鋼を安全に使用できるようにするため、低合金鋼技術文書の作成に携わり、必要な材料データの採取と材料製造企業としての知見を反映させた。低合金鋼の技術文書の発行により水素中において低合金鋼を安全に使用するための設計指針が示され、様々な事業者が製造可能となるため、素材の低コスト化を経て将来的に市場の拡大につながるものと考えられる。また、設計係数を低減した軽量化蓄圧器においては、水素ステーション建設費等の低コスト化に寄与し、普及拡大に貢献出来るものと考えられる。

(2)主として蓄圧器周辺機器(配管、バルブ等)に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発

水素社会インフラ基盤構築に向けて、HRX19 を使用する上で必要になる利用技術データの拡充を中心に高圧水素中の各種データを蓄積した。特にフィラーを用いた溶接継手およびフィラーを用いない溶接継手の水素中のデータの拡充を実施し、実用化に必要なデータを取得した。

一方、水素ガス脆性の指標として N,Cu の影響を反映した Ni 当量式の提案に資する材料特性データを取得し、その知見より開発した低コストステンレス鋼開発は水素環境用鋼種拡大に寄与するものである。

Mo を含有しないため低コストな高圧水素用 SUS305 に関して良好な耐水素ガス脆化特性を確認すると共に、C 添加がオーステナイト相の安定化に効果があることが判明した。一般例である高圧水素用 SUS316L の市場の一部を、低コスト鋼で置き換えることが可能と考えられる。

中空試験片を用いた簡便な高圧水素環境下の試験においては試験法を改善し、試験手順を確立させると共に、STH2 と HRX19 について、-80 の低温でも 70 MPa 水素環境で水素の影響が小さいことを明らかにした。

また、水素の影響に関する新たな知見として次の 3 点が明らかになり今後の鉄鋼材料の水素環境中での挙動を理解する上で大いに有用な知見である。 SUS630 について、230 K、70 MPa 水素ガス環境中で 0.2 %耐力の約 47 %の 640 MPa、全く弾性変形中でクリープしないし転位が動かない応力状態でありヤング率の約 0.3 %、で破断することを見出した。 水素ガス脆化は臨界の水素圧力・応力で一義的に決まっていることを解明した。 水素が材料に影響をもたらす臨界の応力または変形量を推察する知見として、高圧水素環境から吸収される水素原子が増加し、負荷応力で bcc の結晶格子が 0.2 ~ 0.3 %歪んだ際に、引張応力による材料の歪み量と高圧水素による水素の材料中に飛び込むエネルギーの兼ね合いにより、材料中に水素が侵入する条件が成立すると、水素が侵入しき裂が発生し進展を早め数秒間で破断に至る、。

3.3 開発項目別残課題

高圧水素用継手・バルブ向けオーステナイト系ステンレス鋼の鋼種拡大のための研究開発においては、今後は許容応力等に関するさらなるデータ蓄積により一般則例示基準化を進めることで、高圧水素用機器へのより簡便な適用が可能となり、低コスト鋼材の普及を加速する効果があるものと考えられる。

また、中空試験片を用いた水素環境中の機械的性質を把握する簡便な評価試験方法に関しては、低温域の高圧水素環境特性取得、実機の製造に不可欠な溶接部材の評価、加工誘起変態とフェライト量の最適値と残留応力の把握、実機の許容応力の判定に必要な疲労特性評価への展開、低温域における引張-圧縮疲労特性の取得と従来データとの比較、実用環境の低温域高圧水素環境条件による材料評価、等が今後の課題として挙げられる。

4 .まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本研究開発は燃料電池自動車や水素ステーションにおいて使用される耐水素環境性に優れた鉄鋼材料を広く提供可能となることを目標として、蓄圧器に使用される材料として低合金鋼を、主として蓄圧器周辺機器(配管、バルブ等)に使用される材料としてステンレス鋼を各々開発対象鋼種として、使用可能な鉄鋼材料の種類を拡大することを目標として実施された。

4.1 主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発

低合金鋼の水素中での破壊安全性を評価するため KIH の測定方法による影響を明確化した。また、SSRT 及び疲労特性に及ぼす非金属介在物の影響についても検討した。得られた知見を提供することで、低合金鋼技術文書作成に貢献した。低合金鋼技術文書は水素中で安全性を確保出来る

ための性能要件を与えるものであり、JPEC の技術文書として発行される予定である。

設計係数を低減し軽量化した蓄圧器は開発が終了し事業化が達成できた。今後は普及拡大を目指し、耐久性を犠牲にすることなく蓄圧器の更なるコスト低減について検討を進める。

4.2 主として蓄圧器周辺機器(配管、バルブ等)に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発

(1) 高圧水素に用いるステンレス鋼の鋼種拡大および関連評価技術の開発

種々の溶接条件により HRX19 溶接継手を作製し、高圧水素ガス中において水素脆化特性を評価した結果、高圧水素中において水素脆化感受性は極めて低いことが明らかにした。さらに、溶接継手の強度特性は固溶室素量以外の固溶元素の影響も効果的であることを明らかにした。

(2) 高圧水素用継手・バルブ向けオーステナイト系ステンレス鋼の鋼種拡大のための研究開発

HRX19(22Cr-12Ni-4.5Mn-2Mo-0.3N)については、各種溶接材料(309Mo, 309MoL, 317LN および 308N2)、溶接条件(ガス種類、入熱など)を考慮した溶接継手を作製し、-40 から 300 まで材料特性を取得し、水素脆化感受性が極めて低いことが判明した。更に溶接継手の強度特性は固溶室素量以外の固溶元素の影響も効果的であることが判明した。STH2 については、Cu と N 添加量増加により室温における耐水素ガス脆化特性が向上することを確認した。また、SUS316L(Ni 当量 28.5)は拡散接合後も良好な耐水素ガス脆化特性を有することを確認した。

SUS305 鋼については、高圧水素用継手やバルブ等の素材として使用される棒鋼形状での高圧水素用 SUS305 鋼材の商品化に取り組む。工場の量産設備を用いた製造工程を確立しており、ブランド鋼種名「AUS305-H2」として、鋼材サンプルをユーザーに販売している。提供した鋼材サンプルにより高圧水素用 SUS305 が高圧水素用機器の低コスト化に有効であることをユーザーと確認している。水素ステーション用機器への簡便な適用に向けて、より多くのデータ蓄積による一般則例示基準化が望まれる。

(3) 低温域における共通試験材料の特性評価

低温における試験も容易な中空試験片を用いた簡便な高圧水素中の材料試験法を活用して、STH2 等の共通試験材料や SUS630 等の各種構造用材料の高温及び低温水素環境中の引張特性を評価するとともに高圧水素環境中の脆化に係る知見と基準化・標準化に資するデータを取得した。今後は、実機の製造に関わる溶接部材を中心に、許容応力の判定に必須の疲労特性を取得し、実用環境の-30 付近の高圧水素環境中の特性を評価し、簡便法を標準試験法として公知し JIS と ISO への提案を図ることで、実用材料の普及を促進する。

今後の事業化については、開発鋼種の実用化推進と用途拡大による使用量増加が目標となるが、そのためには開発鋼種の水素環境用材料としての基準化・標準化の実現が大きな原動力となると考えられ、その実現に向けて関係機関と連携して取り組んで行く予定である。特に、現事業においては、「水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発」(石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、九州大学)と連携し、各種委員会への出席・討議や試験材の提供、等において相互協力、密接な連携を保ちながら、更にインフラ業界や自動車業界の動きも注視しながら効率良く水素環境用鋼種の拡大事業に取り組んできた。

以上のような水素環境で使用される材料評価データの蓄積とこれに基づく使用法の確立は、今後の燃料電池自動車及び水素供給インフラの本格的な普及に向けて、より安価で信頼性の高い鉄鋼材料を提供する上で意義深く、将来の水素社会の構築に大いに貢献するものである。

5 . 研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

【日本製鋼所】

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	H26年3月 (2014年)	日本鉄鋼協会第167回春季講演大会	高強度低合金鋼の水素助長割れ下限界応力拡大係数の評価	柳沢祐介
2	H26年11月	水素ワークショップ(韓国)	Hydrogen Assisted Cracking Threshold of High-Strength Low-Alloy steel	柳沢祐介
3	H26年11月	水素ワークショップ(韓国)	MATERIAL SELECTION AND SAFETY VALIDATION OF STEEL TANKS FOR HYDROGEN STATIONS	和田洋流
4	H26年12月	平成26年度日本鉄鋼協会北海道支部冬季講演大会	耐水素脆性に優れる高強度オーステナイト鋼の開発	佐藤慎也
5	H27年3月 (2015年)	日本鉄鋼協会第169回春季講演大会	高圧水素機器用高Mn非磁性鋼の開発	佐藤慎也
6	H27年5月	HPI 春季講演大会	高強度低合金鋼の水素助長割れ下限界応力拡大係数の評価	柳沢祐介
7	H27年5月	JRCM NEWS	蓄圧器用部材の水素助長割れ下限界応力拡大係数の評価	柳沢祐介
8	H27年6月	学振129委員会第112本委員会	水素ステーション蓄圧器の開発と安全性評価	柳沢祐介
9	H27年7月	ASME PVP 2015	Hydrogen Assisted Cracking Threshold of High-Strength Low-Alloy steel	柳沢祐介
10	H27年12月	学振129委員会	水素ステーションにおける最近の動向	和田洋流
11	H28年9月 (2016年)	日本鉄鋼協会秋季講演大会	高圧水素機器用高Mn非磁性鋼の開発	佐藤慎也
12	H29年10月 (2017年)	JRCM NEWS	高圧水素蓄圧器用部材の安全性評価	荒島裕信

【新日鐵住金、(共同実施先)新日鐵住金ステンレス】

No.	年月	発表先	題目	発表者
13	H25年12月 (2013年)	溶接学会論文集第31巻第4号 (2013) 264-251.	オーステナイト系ステンレス鋼溶接金属の水素脆化に及ぼす化学成分および組織の影響	平田弘征 大村朋彦 浄徳佳奈 中村潤 小薄孝裕
14	H25年4月	燃料電池 Vol.12, No.4 (2013) 70-74.	水素エネルギー用低Ni省Mo型ステンレス鋼の開発	秦野正治 高橋明彦 松本和久 藤井秀樹 大宮慎一
15	H25年7月	Proceedings of ASME PVP2013	Mechanical Properties of High Nitrogen –High Strength Stainless Steels in High Pressure Gaseous Hydrogen environment	J. Nakamura T. Omura Y. Tomio H. Hirata M. Terunuma E. Dan T. Osuki
16	H25年7月	Proceedings of ASME PVP2013	Mechanical Properties of a New Nitrogen-strengthened Stainless Steel with Reduced Amount of Ni and Mo in High Pressure Gaseous Hydrogen	K.Matsumoto S. Ohmiya H. Fujii M. Hatano
17	H25年10月	「水素脆化研究の基盤構築」研究会報告書 (2013) 31-34.	ステンレス鋼の水素脆化と相の変形組織について	秦野正治 藤井秀樹 大宮慎一 藤浪真紀 南雲道彦
18	H25年12月	日本金属学会誌 第77巻 第12号 (2013) 593-598.	水素エネルギー用低Ni省Mo型オーステナイト系ステンレス鋼の変形組織	秦野正治 高橋明彦 藤井秀樹 大宮慎一
19	H26年1月 (2014年)	MATERIAL STAGE Vol.13, No.10(2014) 18-20.	N添加した低Cr, Ni省Mo型水素環境用ステンレス鋼の耐水素脆化特性	松本和久 秦野正治 大宮慎一 藤井秀樹

No.	年月	発表先	題目	発表者
20	H26年9月	溶接学会全国大会	高窒素含有22Cr-13Ni-5Mn-2Mo-Nb、Vステンレス鋼溶接継手性能	浄徳佳奈 中村潤 平田弘征 大村朋彦 小薄孝裕 照沼正明
21	H26年9月	鉄鋼協会第168回秋季講演大会	ステンレス鋼の水素脆化特性に及ぼす表面水素濃度の影響	大村朋彦、他
22	H26年10月	材料と環境	高圧水素ガス環境における低合金鋼の水素吸蔵挙動	大村朋彦、他
23	H26年11月	JRCM NEWS No.337 (2014) pp.2-4.	高圧水素用高強度高窒素ステンレス鋼の開発	大村朋彦、他
24	H26年12月	溶接構造シンポジウム2014	水素インフラ用高強度高窒素ステンレス鋼の溶接性	浄徳佳奈 中村潤 平田弘征 大村朋彦 小薄孝裕 照沼正明
25	H27年3月 (2015年)	JRCM NEWS No.341(2015) pp.2-4.	水素エネルギー用低Ni省Mo型ステンレス鋼の開発	秦野正治
26	H27年3月	鉄鋼協会 第169回春季講演大会	SUS316Lの引張特性におよぼす温度と水素チャージの影響	松本和久 秦野正治
27	H27年9月	鉄鋼協会第170回秋季講演大会(シンポジウム)	SUS304の塑性変形に伴う微細構造組織と水素脆化	秦野正治
28	H28年3月 (2016年)	CAMP-ISIJ vol.29 (2016) p.295	SUS316L水素チャージ材の水素脆性におよぼす変形組織の影響	松本和久 秦野正治
29	H28年5月	溶接学会、第234回溶接法研究委員会	水素インフラ用高強度高窒素ステンレス鋼の性能	栗原伸之佑 上山正樹 小薄孝裕 中村潤 浄徳佳奈
30	H28年6月	HPI技術セミナー	高圧水素用材料HRX19	中村潤

No.	年月	発表先	題目	発表者
31	H28年8月	溶接技術、8月号	高圧水素用高強度ステンレス鋼の開発と溶接性	浄徳佳奈 中村潤 小薄孝裕 平田弘征
32	H28年9月	鉄鋼協会第172回秋季講演大会（シンポジウム）	放射光X線を活用したSUS304の加工誘起 マルテンサイト変態におよぼす水素添加の影響	秦野正治
33	H28年10月	10th International Conference on Trends in Welding Research & 9th International Welding Symposium of Japan Welding Society (9WS)	Weldability of 22Cr-13Ni-5Mn-2Mo-Nb, V stainless steel containing high nitrogen under high pressure hydrogen gas	小薄孝裕 栗原伸之佑 浄徳佳奈 大村朋彦 平田弘征
34	H29年1月 (2017年)	鉄と鋼 Vol.103 (2017), No.1 pp.54-63.	N添加した低Ni省Mo型オーステナイト系ステンレス鋼の機械的特性におよぼす内部水素の影響	松本和久 秦野正治
35	H29年6月	HPI技術セミナー	高圧水素用材料HRX19	中村潤
36	H29年9月	第14回SPring-8 産業利用報告会	放射光X線を活用したSUS304鋼の水素脆化に係る微細構造解析	秦野正治
37	H29年9月	溶接学会全国大会	高窒素含有22Cr-13Ni-5Mn-2Mo-Nb、Vステンレス鋼溶接継手性能(2)	浄徳佳奈 中村潤 平田弘征 大村朋彦 小薄孝裕 照沼正明
38	H29年9月	鉄鋼協会鉄鋼協会 第174回秋季講演大会 (シンポジウム)	SUS304の水素脆化に及ぼす加工誘起eマルテンサイト変態の影響	秦野正治

【愛知製鋼】

No.	年月	発表先	題目	発表者
39	H25年11月 (2013年)	(社)水素エネルギー協会 (HESS)第142回定例研究会	水素社会に向けた金属材料 の開発	窪田和正 中村潤 松本和久 服部憲治 荒島裕信
40	H26年9月 (2014年)	日本鉄鋼協会第168回秋季 講演大会	オーステナイト系ステンレ ス鋼の機械的性質に及ぼす 高圧水素ガス環境の影響	渡邊義典 窪田和正 中川英樹
41	H27年3月 (2015年)	日本金属学会誌 第79巻 第3号(2015)	水素チャージを施した高圧 水素用省Moオーステナイ ト系ステンレス鋼の機械的 性質と室温クリープ変形	窪田和正 渡邊義典
42	H27年3月	日本鉄鋼協会第169回春季 講演大会シンポジウム「新 エネルギーとステンレス鋼 」	水素ステーションにて用い られるステンレス鋼	窪田和正
43	H28年9月 (2016年)	日本鉄鋼協会第172回秋季 講演大会	高Cオーステナイト系ステ ンレス鋼の機械的性質に及 ぼす高圧水素ガス環境の影 響	窪田和正 渡邊義典
44	H29年3月 (2017年)	特殊鋼	水素社会を支える特殊鋼	渡邊義典
45	H29年4月	JRCM NEWS /第366号	高圧水素用ステンレス 鋼 AUS305-H2 の開発	窪田和正

【物材機構】

No.	年月	発表先	題目	発表者
46	H26年4月 (2014年)	Advances in Cryogenic En gineering, vol.60, 320- 326, 2014	Evaluation of Mechanical Properties of Structural Materials at Cryogenic T emperatures and Internat ional Standardization fo r those methods	T. Ogata
47	H26年10月	NIMS イブニングセミナ ー	極限環境における材料信頼 性評価/ -200度以下の破壊	緒形俊夫

No.	年月	発表先	題目	発表者
48	H27年8月 (2015年)	JRCM NEWS、No.346、p.2	高圧容器を使わない簡便な 高圧水素環境中材料特性評 価法の開発および低温にお ける材料特性の評価	緒形俊夫
49	H27年6月	国際低温材料会議	Hydrogen Environment Emb rittlement_on Austenitic Stainless Steels from Ro om Temperature to Low Te mperatures	緒形俊夫
50	H27年9月	日本鉄鋼協会 水素フォー ラム	SUS316L および高Ni 当量材 の室温から低温での 70MPa 水素環境における引張特性	緒形俊夫 松本 和久 秦野 正治
51	H27年11月	機械学会材料力学部門講演	高圧水素下での疲労強度評 価法	緒形俊夫
52	H28年6月 (2016年)	日本高圧力技術協会セミナ ー	高圧水素環境の簡便な材料 評価技術	緒形俊夫
53	H28年11月	1st Asian ICMC and CSSJ 50th Anniversary Confere nce	極低温における引張特性に 及ぼす高圧水素ガスと高圧 液化水素の影響	緒形俊夫
54	H29年3月 (2017年)	日本溶接協会 ろう部会先 端材料接合委員会	高圧水素環境の簡便な材料 評価技術	緒形俊夫
55	H29年7月 (2017年)	JRCM NEWS、No.369、p.2	中空式試験法による高圧水 素の簡便な影響評価法の取 り組み状況と今後の課題	緒形俊夫

- 特許等 -

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	H26年11月28日	特願 2014-241571	耐水素脆化特性に優れた高強 度オーステナイト鋼およびそ の製造方法	(株)日本製鋼所
2	H29年5月11日	特願 2017-094893	水素蓄圧器用の低合金鋼およ び水素蓄圧器	(株)日本製鋼所
3	H29年2月23日	特願 2017-032735	高圧水素用オーステナイトス テンレス鋼	愛知製鋼(株)

- 受賞等 -

【新日鐵住金】

1. H26 年度溶接学会優秀研究発表賞、平成 26 年度秋季全国大会 プログラム番号 324
「高窒素含有 22Cr-13Ni-5Mn-2Mo-Nb、V ステンレス鋼溶接継手性能」 浄徳佳奈
2. 2015 年日経優秀製品・サービス賞日経産業新聞優秀賞
「高圧水素用材料 HRX19[®]」新日鐵住金

【物質・材料研究機構】

3. 平成 26 年度工業標準化事業表彰(経済産業大臣表彰) 緒形俊夫

以上

(1-4)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 / 複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発」 委託先：（一財）石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、（国）東京大学

成果サリ（実施期間：平成25年度～平成29年度）

- ・Type3複合圧力容器（以下、Type3）を用いて、実際の水素ステーションでの部分充填を想定した圧力サイク試験を実施し、応力範囲が小さくなることで疲労寿命が延びることを確認した。これにより疲労試験に関する技術文書改正素案及び解説書案を作成した。Type4複合圧力容器（以下、Type4）とType2複合圧力容器（以下、Type2）についても部分充填を想定した試験を実施し、Type4では損傷モードを確認した。また、Type2では部分充填効果と損傷モードを確認し、自主基準案を作成した。
- ・各種CFRPのストレス・チャ試験、疲労試験を実施し、設計、寿命評価等に資するデータを取得した。これらにより複合圧力容器の設計における合理的な設計係数を設定する方法を提示した。
- ・Type2, 3, 4各容器の正確な応力解析を可能にするソフトウェアを開発し、応力規準により疲労強度評価を行う手法を確立し、最適設計方法を提示した。

背景/研究内容・目的

水素ステーションで使用される複合容器蓄圧器の実使用条件は技術基準で要求されている疲労試験圧力条件と異なり、部分充填圧力となる。そこで実使用圧力での疲労寿命評価や疲労設計方法の高度化を行うための研究開発を実施し、技術基準の整備を行う。これにより、複合容器の安全性を確保したうえで長寿命化、低コスト化を図る。

研究目標

実施項目	最終目標（H29年度）
-1)複合圧力容器蓄圧器の疲労寿命評価手法の検討	Type3,4,2容器の疲労寿命評価方法の確立を目指した各種設計及び各種応力範囲における疲労寿命データの取得
-2)技術基準案の検討	Type3,4,2容器の疲労寿命評価方法等の技術基準案の策定に資する資料の検討、基準策定に向けた課題の提示
CFRPの評価方法の高度化	複合圧力容器設計方法や寿命評価方法等へのCFRP評価データ活用方法の提示
複合圧力容器蓄圧器の疲労設計方法の高度化	Type3,4,2容器の部分充填を考慮した疲労設計方法にもとづく最適設計手法の確立
保安検査方法に関する検討	適用可能性がある検査方法の課題と実用化に向けた開発検討案の提示

NEDO

- 石油エネルギー技術センター 項目、
- 高圧ガス保安協会 項目、
- 東京大学 項目、

これまでの実施内容 / 研究成果

- 1) ・Type3各種設計容器を用いて部分充填圧力サイク試験を行い、平均応力が高くなっても応力範囲が小さくなれば疲労寿命が延びるデータ取得し、部分充填条件での疲労試験方法の有効性を確認した。
 ・Type4、2各種設計容器の部分充填圧力サイク試験を行い、部分充填効果と損傷モードを確認した。
 ・Type3、2容器ライナー材試験片による疲労試験を行い、応力範囲と疲労寿命との相関を確認した。
 - 2) ・Type3容器の試験結果を用いて疲労試験に関する技術文書KHKTD5202の改定素案及び解説書素案を作成した。今後KHKTD5202は本素案を基に改正作業が進められる見込み。
 ・Type4容器の試験結果を用いて適切な疲労寿命評価方法を提示した。また、Type2容器の試験結果を用いて実容器を用いた試験（破裂試験、圧力サイク試験等）を課さない自主基準案を作成した。
- 各種CFRPのストレス・チャ試験及び疲労試験を実施し、設計、寿命評価等に資するデータを取得した。
 ・各容器の胴部・鏡部等境界領域も含めた有限要素解析方法を確立し、Type3容器では鏡部での漏洩を防止する設計と寿命延長を可能とした。Type4容器では口金金属、CFRP及び口金/ライナー/CFRP界面の詳細応力評価方法を、Type2容器では胴部及び鏡部の詳細応力評価方法を構築し、応力規準による各容器の疲労設計方法を提示した。
 ・各容器の製造誤差及び使用温度変化による疲労寿命への影響評価法を確立した。
 保安検査の実績調査を行い、海外ステーションと容器メーカーでは実績がないことを確認した。また、関連するNEDO事業で開発しているAE法の検討を行い、実用化に向けた課題と開発検討案を提示した。

研究成果まとめ

実用化の見通し

Type3、4、2容器共に、本評価方法に応じた設計を行うことで長寿命化あるいは低コスト化が図られる。
 試験結果を用いてより合理的な複合圧力容器蓄圧器の設計係数が決定できる。
 ソフトウェアを公開することで、事業者が容易に疲労設計方法を適用でき、長寿命化や低コスト化を図ることが可能となる。
 事業者が有効な保安検査を検討することで将来実用化が期待できる。

実施項目	成果内容	自己評価	
-1)	Type3,4,2容器の疲労寿命評価方法の確立に資する各種設計及び各種圧力範囲における疲労寿命データを取得		
-2)	Type3容器の疲労試験に関する基準の改定素案を提示し、本素案を基に改正される見込み Type4容器は疲労寿命評価方法を、Type2容器の自主基準案を提示		
	Type3,4,2容器設計や寿命評価のためのCFRP評価データ活用方法を提示		
	ソフトウェアを開発し正確な応力解析によるType3,4,2容器の疲労設計方法を確立		
	AE法の課題と開発検討案提示		
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	1	18	0

課題番号： - 4

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給システムの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究 /
複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発

一般財団法人石油エネルギー技術センター (JPEC)

高圧ガス保安協会 (KHK)

国立大学法人東京大学 (東大)

1. 研究開発概要

複合圧力容器蓄圧器においては、その評価方法のひとつである疲労試験（常温圧力サイクル試験）と実使用条件が大きく異なるものがあり、その評価方法のさらなる高度化、CFRP 層の評価方法の高度化、疲労設計方法の高度化などが望まれている。そこで、水素ステーション用複合圧力容器蓄圧器に係る基準整備等のための研究開発を行う。

事業推進に当たっては、次の4テーマに取り組む。

- (1) 複合圧力容器蓄圧器の評価方法の高度化 (JPEC)
- (2) CFRP の評価方法の高度化 (KHK)
- (3) 複合圧力容器蓄圧器の疲労設計方法の高度化 (東大)
- (4) 複合圧力容器蓄圧器の保安検査方法に関する検討 (JPEC、KHK、東大)

2. 研究開発目標

2.1 複合圧力容器蓄圧器の評価方法の高度化 (JPEC)

(1) Type3* 複合圧力容器蓄圧器 (以下、Type3 容器)

常温圧力サイクル試験に用いる圧力媒体の影響を調査し、溶媒の選定を行う。

その溶媒を用いて各種応力範囲での圧力サイクル試験を検証し、部分充填（例えば使用圧力が0MPa~100MPaではなく、60MPa~100MPaのような応力範囲）を想定した疲労寿命評価方法の確認を行う。

疲労寿命評価方法の高度化が図られた場合には、運転管理手法も含めた技術基準案の策定に資する資料の検討を行う。

(2) Type4* 容器

各種応力範囲での圧力サイクル試験を検証し、損傷モードの確認を行うと共に、部分充填を想定した疲労寿命評価方法の確認を行い、疲労寿命評価方法の高度化に資する資料を提示する。

(3) Type2* 容器

各種応力範囲での圧力サイクル試験を検証し、損傷モードの確認を行うと共に、部分充填を想定した疲労寿命評価方法の確認を行い、疲労寿命評価方法の高度化に資する資料を提示すると共に基準策定に向けた課題を提示する。

- *Type3：金属製ライナーの全面を繊維強化プラスチックで巻付けた（フルラップ）構造の複合容器
- *Type4：プラスチック製ライナーの全面を繊維強化プラスチックで巻付けた（フルラップ）構造の複合容器
- *Type2：金属製ライナーの胴部を繊維強化プラスチックで周方向に巻付けた（フープラップ）構造の複合容器

2.2 CFRP の評価方法の高度化（KHK）

CFRP の疲労試験において、残存強度（疲労試験を中断時の引張強さ）が未疲労試験の引張強さより低下するが報告されている。また、FRP 複合容器はFRP 層が厚くなることで、残存破裂圧力（疲労試験を中断時の破裂圧力）が初期破裂圧力よりも低下することが報告されている。

このため、複合圧力容器蓄圧器のFRP 層の評価方法の高度化を図ることを目的として、CFRP のストレスラプチャー試験及び疲労試験を実施し、設計、寿命評価などに資するデータを取得する。さらに、複合圧力容器蓄圧器設計方法や寿命評価方法等へのデータ活用方法を提示する。

2.3 複合圧力容器蓄圧器の疲労設計方法の高度化（東大）

2.1項で取得する圧力サイクル試験データ及び2.2項で取得するCFRP の試験データなどを取り入れ、設定された疲労寿命を満足するType3 容器、Type4 容器、Type2 容器の疲労設計方法を確立する。また、製造時の誤差及び使用温度変化が疲労強度に与える影響の評価方法を確立する。

なお、これらの検討を行うに不可欠であるType3 容器及びType4 容器のCFRP 鏡部について、正確な有限要素モデルを作成するためのソフトウェアを開発する。

2.4 複合圧力容器蓄圧器の保安検査方法に関する検討（JPEC、KHK、東大）

複合圧力容器蓄圧器の保安検査方法に関する文献調査、海外水素ステーションでの実態調査を実施する。また、アコースティックエミッション（AE）法などの最新の検査方法に関しても、関連するNEDOプロジェクトと連携し検討、調査を行う。調査した結果から、適用可能性のあるものについては課題を提示し、実用化に向けた保安検査方法の開発検討案を提示する。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) 複合圧力容器蓄圧器の評価方法の高度化

Type3 容器

技術文書KHKTD 5202に記載されている疲労試験の圧力サイクル試験条件である設計圧力の10%以下から設計圧力以上の圧力範囲で行うこととなっている。

本事業では、以下に記載する複合容器の圧力サイクル試験等により、この疲労試験を実際の水素ステーションでの運用条件に沿った圧力条件で実施することで使用圧力サイクル数の延長が可能であることを確認し、表1の技術文書改定希望案(抜粋)を提出し、KHKにおいて技術文書を改正する見込みとなった。(平成29年8月末現在)

なお、本試験方法を適用するに当たっては、水素ステーションでの使用圧力管理が重要である。

表1 技術文書改定希望案(抜粋)

該当項目	変更希望案	現行
5.2.3.1 疲労試験 a)試験の方法	2) 試験は非水槽式とし、試験体に試験液体(試験中は、試験液体を適切に管理すること。)を充填させた後、加圧装置を用いて 設定する最低圧力以下の圧力から常用圧力以上の圧力範囲で 、毎分10回以下で圧力サイクルを負荷する。	2) 試験は非水槽式とし、試験体に試験液体(試験中は、試験液体を適切に管理すること。)を充填させた後、加圧装置を用いて設計圧力の10%以下から設計圧力以上の圧力範囲で、毎分10回以下で圧力サイクルを負荷する。

a. 各種圧力範囲での容器圧力サイクル試験

表2に示す小型容器(多種圧力範囲におけるサイクル寿命の傾向確認)、中型容器(実際に使用される圧力範囲(設計圧力90~106MPa)での部分充填効果を確認)、大型容器(実ステーションで使用されているものと同等の300L級の容器での確認)で圧力サイクル試験を行い、部分充填条件で平均応力が高くなっても圧力範囲(ライナー金属部に掛かる応力範囲)が小さくなればサイクル寿命が延長することを確認した。

表2 Type3 各試験容器の概略仕様

	小型容器	中型容器A	中型容器B	大型容器
設計圧力(MPa)	45	106	95	99
内容積,L	30	90	110	300
全長,mm	770	1590	1290	4960
外径,mm	340	480	490	440
破裂圧力(MPa)	174	315	205	271

ライナー材:アルミニウム合金 A6061-T6

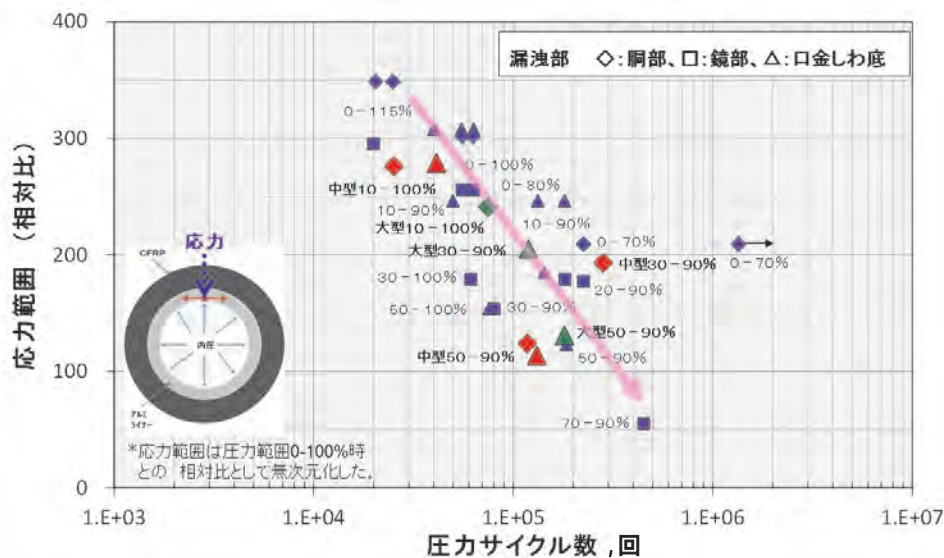


図1 Type3容器圧力サイクル試験結果

各種圧力範囲における圧力サイクル試験結果を図1に示す。縦軸は、圧力サイクル試験において、アルミニウム合金ライナーの漏洩部にかかる応力範囲を相対比で表している。なお、試験圧力においてそれぞれの容器の漏洩部に掛かる応力は、2.3項で開発した正確な有限要素モデルを作成するためのソフトウェアを使用し東京大学にて算出した。

この圧力サイクル試験結果より、実際の水素ステーションでの使用条件に近い部分充填条件で疲労試験(圧力サイクル試験)を行うことで、使用寿命(設計圧力サイクル数)の延長を図れることを確認した。

b. 容器圧力サイクル試験用圧力媒体の選定

Type3容器で長期間にわたる圧力サイクル試験を実施するにあたり、試験時に腐食の影響を及ぼす恐れのない圧力媒体の選定を行った。

図2に各種圧力媒体を使用した小型容器における圧力サイクル試験結果を示す。圧力媒体としては、イオン交換水、腐食防止剤を含有したイオン交換水、50%エチレングリコール水溶液、フッ素系熱媒体を使用した。いずれの媒体においても腐食の影響は確認できず、圧力サイクル数にも有意な差は見られなかった。この結果から、以後の試験媒体を50%エチレングリコール水溶液とした。

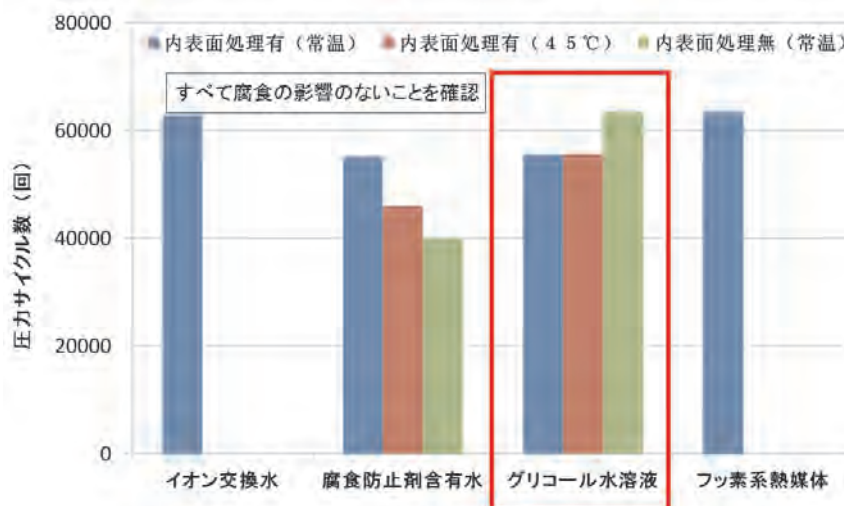


図2 圧力媒体を変更した圧力サイクル試験結果(内圧力条件: 0~65MPa)

c. アルミニウム合金試験片による疲労試験

Type3 容器で応力範囲と疲労寿命のデータを取得する前段階として、伸び歪みを与えたアルミニウム合金試験片を用いて、応力範囲の変化と疲労寿命の相関を確認した。

自緊処理時には0.8%程度の伸び歪みがアルミニウム合金ライナーにかかる。これが応力範囲と疲労寿命の関係にどのように影響するかを確認するため、伸び歪み(予歪)を与えたアルミニウム合金試験片(丸棒型)による疲労寿命評価を行った。結果を図3に示す。この結果、伸び歪みはアルミニウム合金の疲労特性に大きな影響を与えないことを確認した。また、これにより将来、アルミニウム合金試験片の疲労試験データを用いた設計疲労曲線を使ったType3 容器の疲労解析による設計の可能性を確認した。

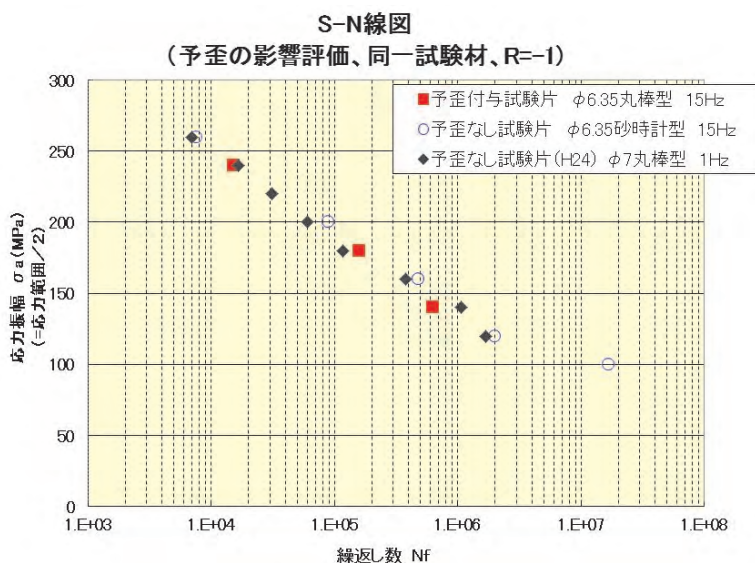


図3 アルミニウム合金試験片による予歪の影響評価

出典: 予歪なし試験片データ: 平成20年度~平成24年度成果報告書

(水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発事業) (Hydrogenius)

d. 圧力サイクル試験後の漏洩部調査及び応力解析

圧力サイクル試験後のアルミニウム合金ライナーの漏洩部調査を行った。図4、図5に中型容器Aでの圧力サイクル試験後のライナー漏洩部の破面観察写真を示す。圧力条件30~90% (31~95MPa)で圧力サイクル試験を行い、282,051回で胴部から漏洩した。その胴部き裂貫通箇所の破面が図4である。圧力条件50~90% (53~95MPa)で圧力サイクル試験を行い、131,495回で鏡部口金端部(鏡部のねじ部下側(容器内部側))から漏洩した。その鏡部口金端部き裂貫通箇所の破面が図5である。

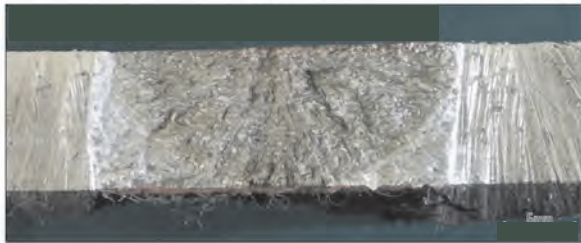
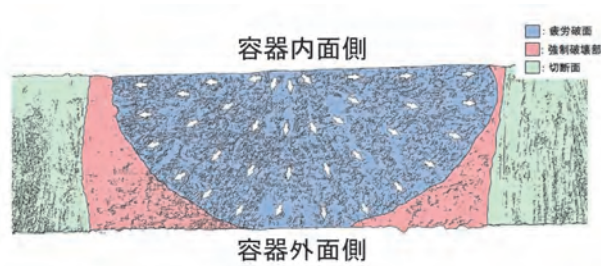


図4 中型容器 A (30~90%試験後) 漏洩部破面

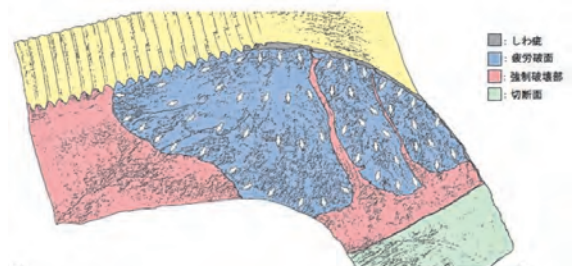


図5 中型容器 A (50~90%試験後) 漏洩部破面

このように試験圧力条件によって疲労損傷箇所が変化することが判明した。この疲労のメカニズムを解明すべく、東大において試験容器ごと及び容器の部位ごとに詳細な応力解析を行った。図6に中型容器Aのライナー胴部内面の応力解析結果を示す。横軸の内圧1が容器に設計圧力106MPaをかけたときの応力値(相対値)を示している。

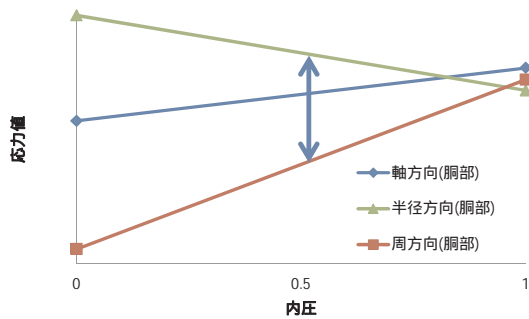


図6(a) ライナー胴部にかかる応力

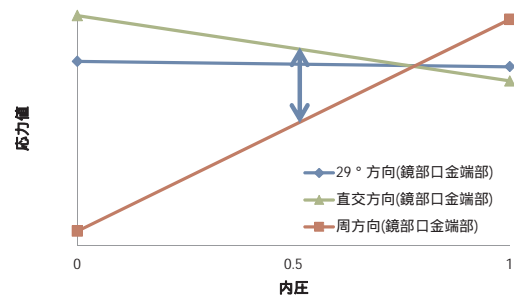


図6(b) ライナー鏡部口金端部にかかる応力

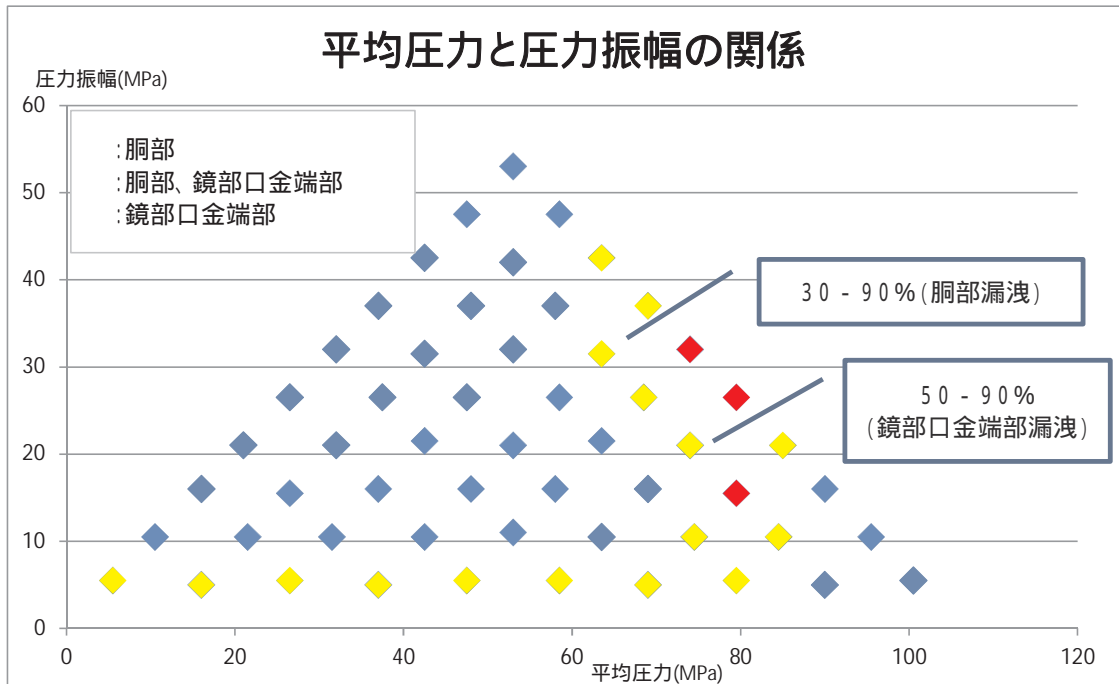


図 6 (c) 中型容器 A の使用圧力条件による疲労箇所の推定結果

* 各試験条件において繰返し応力強さの振幅の高い部位を示している

JIS B 8266 の附属書 8 の疲労解析の方法によれば、各主応力差（ここでは、半径方向、軸方向、周方向の 3 主応力の差）の変動範囲を定め、その絶対値の 2 分の 1 の最大値を繰返し応力強さの振幅としている。この手法を適用し、各部位（胴部、鏡部口金端部）の振幅を求めることで、部分充填条件（例えば図 6(a)(b) で内圧が 0.5~0.9 に変動する条件）によって、繰返し応力強さの振幅の大きさの順序（例；胴部 鏡部口金端部）が変化することを確認した。これにより使用圧力条件による疲労箇所の推定が可能となり、部分充填条件に適した設計が可能となった。

Type4 容器

a. 小型容器圧力サイクル試験

表 3 の仕様の圧縮水素自動車燃料装置用容器（以下、車載容器）を用いて、容器が損傷に至るまで圧力サイクル試験を行い、損傷のモード、損傷の状態を調査した。

表 3 Type4 試験容器の概略仕様

	小型容器
公称使用圧力 (MPa)	70
内容積 L	36
全長, mm	830
外径, mm	320
破裂圧力 (MPa)	185

図 7 に圧力サイクル試験結果を示す。試験圧力条件は、次の 6 点とした。1)0~100%、2)0~125%、3)20~125%、4)40~125%、5)60~125%、6)80~125%。容器メーカー殿から試験容器の応力解析実施の了承が得られなかったため、縦軸は試験圧力範囲としている。なお、公称使用圧力を蓄圧器における設計圧力とおきかえ、

70MPa を 100%として表示している。

損傷モードは、2)の 0~125%の圧力条件においてのみ破裂となり、他の条件では口金金属部からの漏洩となった。なお、車載容器の技術基準では、0~125%の圧力条件で 45,000 回まで破裂、漏洩が起こらなければ良いとされており、本試験容器はその条件で 100,000 回以上の十分な寿命を有している。

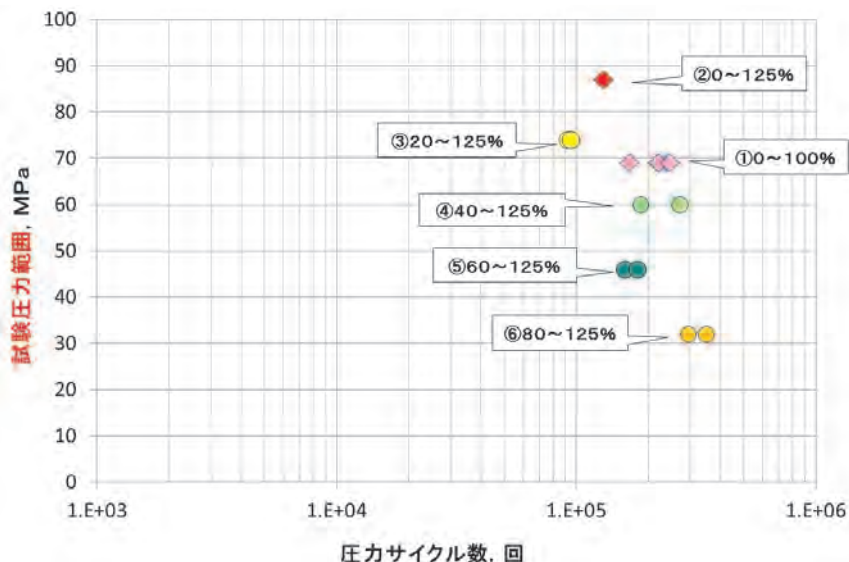


図7 Type4 小型容器圧力サイクル試験結果

b. 小型容器圧力サイクル試験後損傷部調査

容器の断面図（一部研状を隠している）と漏洩あるいは破損箇所を図8に示す。

試験圧力が 1)3)4)5)の条件では、口金の金属（アルミニウム合金 A6061-T6）の根元部分からき裂が発生し、ベントホールと呼ばれる加工に必要な連絡孔を伝い、試験液体（イオン交換水）が漏洩した。

試験圧力が 3)6)（3）は試験を行った 2 体のうち 1 体）の条件では、口金ねじ部の内側にき裂が発生していた。oリングによるシールが出来なくなり漏洩に至ったと推定する。

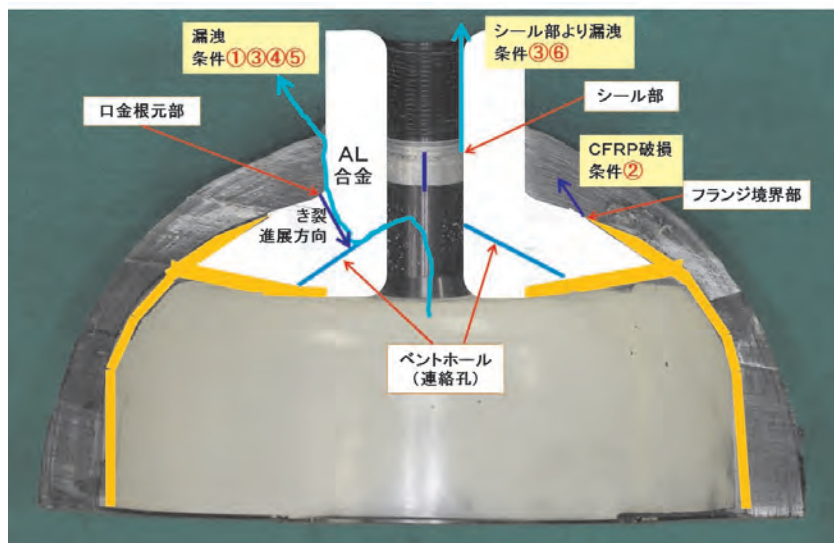


図8 Type4 小型容器の断面図と漏洩あるいは破損箇所

試験圧力が2)の条件では、損傷モードは破裂となった。図9に示すように、破裂していない反対側の鏡部分の調査から、フランジ境界部付近のCFRPが破損し、破裂に至ったと考えられる。

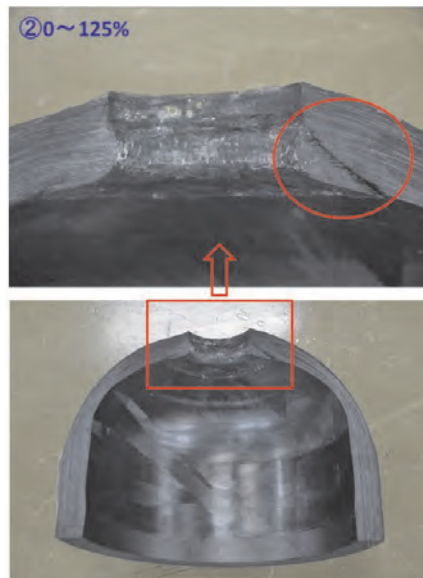


図9 CFRP部の観察（破裂箇所と反対側）

これらの結果から、Type4 容器は口金部（ボス部）の適切な疲労設計を行うことで、十分な疲労寿命を得られ、金属部の疲労に対して部分充填条件による寿命延長が期待できると推測される。（0~100%の条件で16万回~25万回の寿命が得られている）ただし、使用条件によっては、条件2)のように、CFRP部が先に疲労し、破裂に至る危険がある。

このため、CFRPの健全性（実際の使用条件でCFRPは破損しないこと）を確認するための、CFRP試験片による評価手法の検討を行っている。

c. 高压容器圧力サイクル試験

NEDOの別事業で実施しているType4 複合容器蓄圧器の開発と連携し、100MPa、100L級の容器の評価を準備している。（H29.9.25現在）この結果から水素ステーションで使用する蓄圧器としての課題を抽出する。

Type4 容器に関しては、破損するまでの疲労試験を実施し、これまでにない有用な知見が得られ、今後の蓄圧器用Type4 容器の疲労設計に役立てることができた。

Type2 容器

a. 各種圧力範囲での容器圧力サイクル試験

表4の容器を用いて圧力サイクル試験を実施した。小型容器での圧力サイクル試験状況を図10に示す。

表4 Type2 試験容器の概略仕様

	小型容器	中型容器 A	中型容器 B	大型容器
設計圧力 (MPa)	35	100	100	100
内容積 L	18	150	100	200
全長, mm	940	2,100	2,600	2,700
外径, mm	240	450	360	390



図10 小型容器圧力サイクル試験状況

図11に小型容器の圧力サイクル試験結果(途中)を示す。試験が終了した圧力条件は、設計圧力35MPaを100%として1)0~125%、2)0~100%、3)20~100%の3条件である。現時点では漏洩部の応力解析中であることから、縦軸は胴部中央内面の応力振幅の概算値を表示としている。応力振幅の概算値は、KHKS 0220 (2016) 附属書Vによる平均応力補正を実施し、等価両振り応力振幅に換算した。

図11には小型容器ライナー材の疲労曲線も記載した。ライナー材の疲労曲線は、SCM435のシームレスパイプ(素管肉厚約30mm)の周方向より採取した丸棒型試験片を用いて、常温大気中、応力比 $R = -1$ 、周波数20Hzで、14S-N法により疲労試験を実施して取得した。また、得られた疲労曲線についてKHKS0220解説4.4.5 b) 2)の設計疲労曲線作成方法に基づき、応力振幅を1/2倍して作成した設計疲労曲線も併記した。

圧力サイクル数は、1)0~125%条件で43,000~47,000回、2)0~100%条件で76,000~105,000回、3)20~100%条件で概ね160,000回となり、応力振幅が小さくなれば疲労寿命が延びる部分充填効果を確認した。また、ライナー材の設計疲労曲線に対して、サイクル試験結果は高応力長寿命側となった。損傷モードは、1)0~125%条件で胴部漏洩であったが、2)0~100%条件で胴部漏洩と口金部漏洩、3)20~100%条件で胴部漏洩と口金部漏洩を確認した。

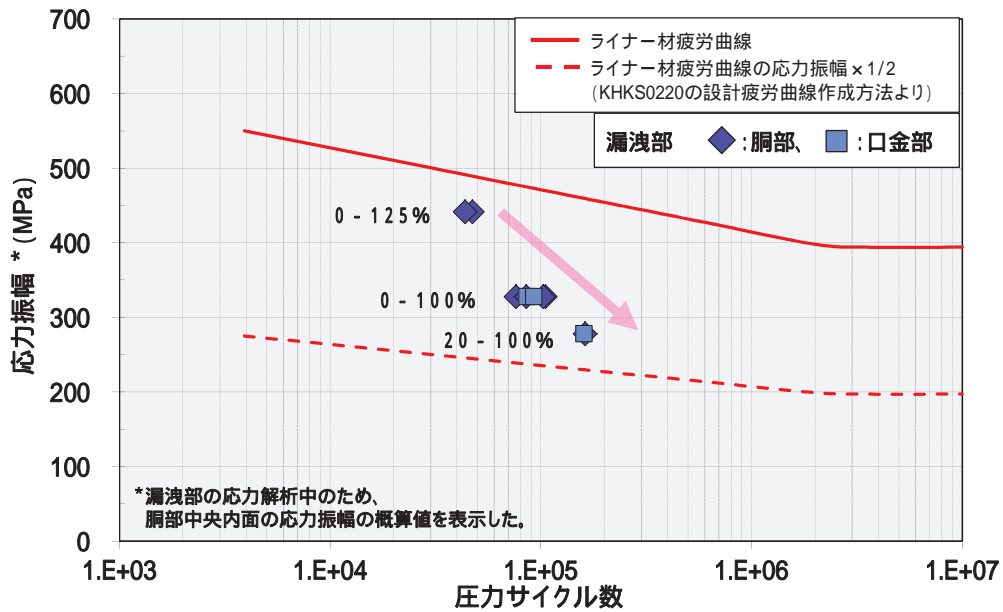


図 11 Type2 小型容器圧力サイクル試験結果 (途中)

b. 小型容器圧力サイクル試験後損傷部調査

圧力サイクル試験後の低合金鋼ライナーの漏洩部調査を行った。1)0~125%条件の全数と2)0~100%条件の一部及び3)20~100%条件の一部においてライナー内面を起点とする疲労破面を確認した。図12(a-1)にライナー内面を起点とする疲労き裂を、(a-2)にライナー内面を起点とする疲労き裂進展破面を示すが、これらは胴部内面の最大応力位置近傍において疲労き裂が発生し、き裂が外面まで進展して貫通し、漏洩に至る典型的な疲労き裂進展破面であった。

また、2)0~100%条件の一部においてライナー外面を起点とする疲労破面を確認した。図12(b-1)にライナー外面の局所腐食を起点とする疲労き裂を、(b-2)にライナー外面を起点とする疲労き裂進展破面を示すが、これらは胴部外面の局所腐食を起点として疲労き裂が発生し、き裂が内面まで進展して貫通し、漏洩に至った。局所腐食の原因として、ライナー(金属)とCFRP層間の電位差腐食や水分混入の影響が考えられることから、ライナー/CFRP層間の電位差腐食や水分混入の防止措置を講じる必要であることを確認した。

さらに、2)0~100%条件の一部及び3)20~100%条件の一部において口金部からの漏洩を確認した。図12(c)に口金部ねじ谷底からのき裂進展による漏洩部を示す。ねじ谷底の合成ピーク応力振幅値を低減するためには、応力振幅を狭めるだけでなく、最大応力も低減して平均応力を低減する必要がある。これにより、中型・大型容器の圧力サイクル試験においては、口金部径の縮小、応力集中を低減するねじ山形状の適用、圧力サイクル試験の実施における適切な圧力(応力)範囲の設定などの対策を実施した。

c. 自主基準案作成

表5に提案するType2自主基準案の構成を示す。現行の特定則・例示基準の規定以外に考慮すべき注意事項及び判定基準を例示する。

ライナー材に低合金鋼を使用するため、別事業で検討しているType1蓄圧器に係る低合金鋼技術文書(案)の内容を反映させる。また、Type2は周方向にCFRPを巻く比較的単純な構造であることから、Type1と同様に、容器の破壊試験(破裂試験、圧力サイクル試験など)を行わない自主基準案とする。

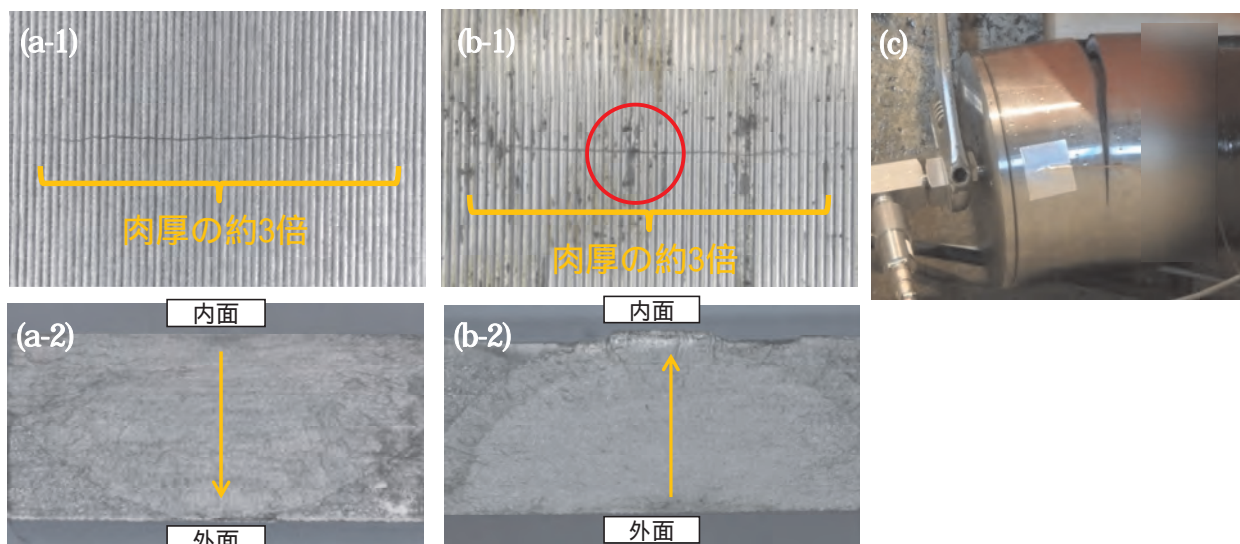


図 12 Type2 小型容器の漏洩部観察

- (a-1) ライナー内面を起点とする疲労き裂、(a-2)ライナー内面を起点とする疲労き裂進展破面
 (b-1) ライナー外面の局所腐食を起点とする疲労き裂、(b-2)ライナー外面を起点とする疲労き裂進展破面
 (c) 口金部ねじ谷底からのき裂進展による漏洩部

表 5 Type2 自主基準案の構成

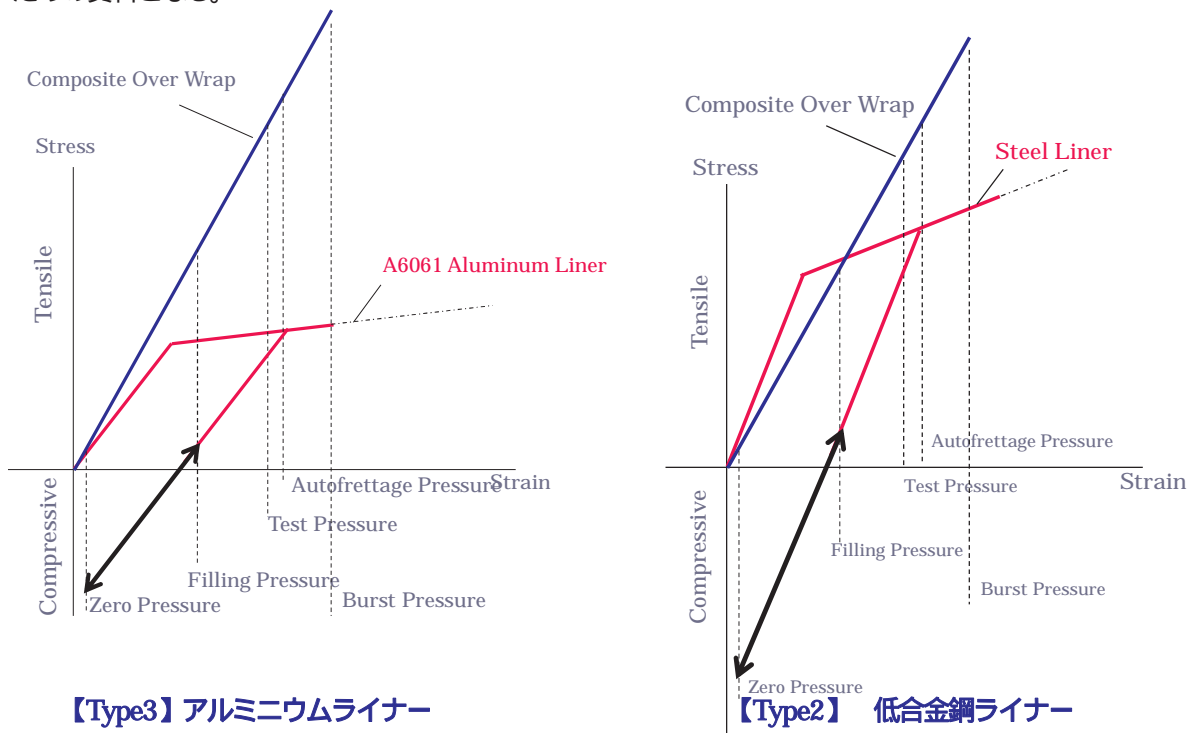
大項目	中項目	小項目
1. 適用範囲	内容積、設計圧力、設計温度、最大使用期間	
2. 材料	2.1 耐圧部分の金属材料 2.2 耐圧部分の非金属材料	2.1.1 金属材料、2.1.2 強度の設定、2.1.3 硬さ分布の確認、2.1.4 靱性の確認 2.2.1 炭素繊維、2.2.2 樹脂 CFRP 層の引張強さ、2.2.3 CFRP 層の層間せん断試験、 2.2.4 炭素繊維及び樹脂の重量、2.2.5 材料仕様書の作成
3. 設計	3.1 設計の確認 3.2 材料の縦弾性係数等	3.1.1 金属層胴部の肉厚、3.1.2 CFRP 層の最大応力、3.1.3 複合圧力容器の肉厚、3.1.4 複合圧力容器の応力解析、3.1.5 破裂前漏洩の確認、3.1.6 ねじ部の静強度確認、3.1.7 疲労解析、3.1.8 疲労き裂進展解析 3.2.1 金属層材料の縦弾性係数及び線膨張係数、3.2.2 CFRP 層材料の縦弾性係数
4. 加工	4.1 材料の切断 4.2 成形 4.3 成形後の熱処理 4.4 内面検査 4.5 金属層に使用する材料の機械試験 4.6 口金部のねじ加工 4.7 電位差腐食防止の施工 4.8 ワインディング 4.9 熱硬化処理 4.10 CFRP 層に使用する材料の機械試験 4.11 自緊処理	4.5.1 引張試験、4.5.2 水素中 SSRT、4.5.3 衝撃試験 4.10.1 引張試験、4.10.2 層間せん断試験、4.10.3 炭素繊維及び樹脂の重量
5. 構造	5.1 複合圧力容器に設けなければならない穴、5.2 耐圧試験、5.3 気密試験	
6. 検査	6.1 設計の検査 6.2 材料の検査 6.3 加工の検査 6.4 構造の検査	6.1.1 設計の検査、6.1.2 設計の検査の方法 6.2.1 材料の検査、6.2.2 材料の検査の方法 6.3.1 加工の検査、6.3.2 加工の検査の方法 6.4.1 胴の真円度、6.4.2 鏡部の形状、6.4.3 耐圧試験、6.4.4 気密試験、 6.4.5 構造の検査の方法

(2) CFRP の評価方法の高度化

低合金製ライナーを用いた Type2 容器の応力とひずみの関係は、アルミニウム合金製ライナーの Type3 容器の応力と歪みの関係ときわめて似ていることが分かった(図 13)。設計係数をカーボン繊維の特性に合わせて、弾性率 340MPa 以上、破断伸び 1.4%程度のカーボン繊維を用いることが適切であると考えた。

このため、以前から実施している弾性率 230GPa、破断伸び 2.1%の繊維、弾性率 294GPa、破断伸び 2.0%の繊維の疲労試験に加え、新たに弾性率 340GPa 以上、破断伸び 1.4%の CFRP を選定し、ストレスラプチャー試験及び疲労試験を実施した。図 14 に CFRP の一方向疲労試験結果を示す。これまでの試験で、弾性率 340GPa の CFRP も既存の CFRP と同様の疲労特性を示していることが分かった。

また、CFRP のストレスラプチャー試験結果の結果を図 15 に示す。Type3、Type2 容器に適した高弾性率炭素繊維は、破断伸びは低いが、ストレスラプチャー特性は他の炭素繊維と同等であることを明らかにした。これらのデータは、複合容器の設計係数の検討を行うための資料及び合理的な設計を行うための資料となる。



- 一般的な炭素繊維の破断伸び = 1.5%程度
- 0.2%耐力の歪 = $276/69600 = 0.4\%$
- 自緊処理後の歪 = $0.4 \times 2 = 0.8\%$ と想定

例として、自緊処理圧力と耐圧試験圧力の比を 1.1
耐圧試験圧力と設計圧力の比を 1.5 とすると

- 設計圧力での歪 = $0.8/1.1/1.5 = 0.485\%$
- 設計係数は、 $1.5\%/0.485\% = 3.1$

- 一般的な炭素繊維の破断伸び = 1.5%程度
- 0.2%耐力の歪 = $824/206000 = 0.4\%$
- 自緊処理後の歪 = $0.4 \times 2 = 0.8\%$

例として、自緊処理圧力と耐圧試験圧力の比を 1.1
耐圧試験圧力と設計圧力の比を 1.5 とすると

- 設計圧力での歪 = $0.8/1.1/1.5 = 0.485\%$
- 設計係数は、 $1.5\%/0.485\% = 3.1$

図 13 アルミライナーType3 容器と低合金ライナーType2 の設計係数

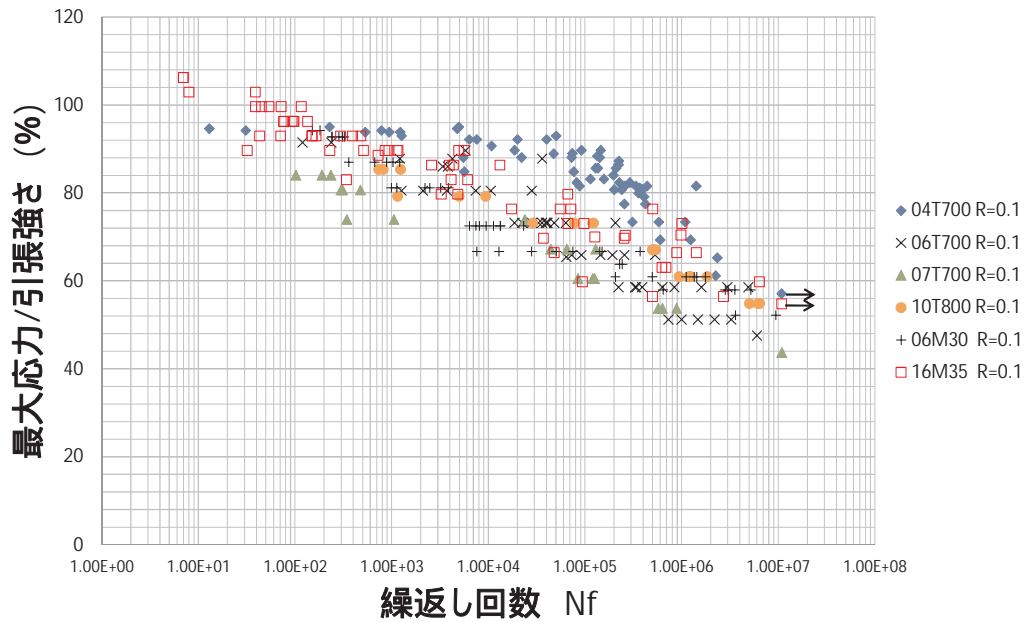


図 14 各種CFRP の一方向疲労試験結果

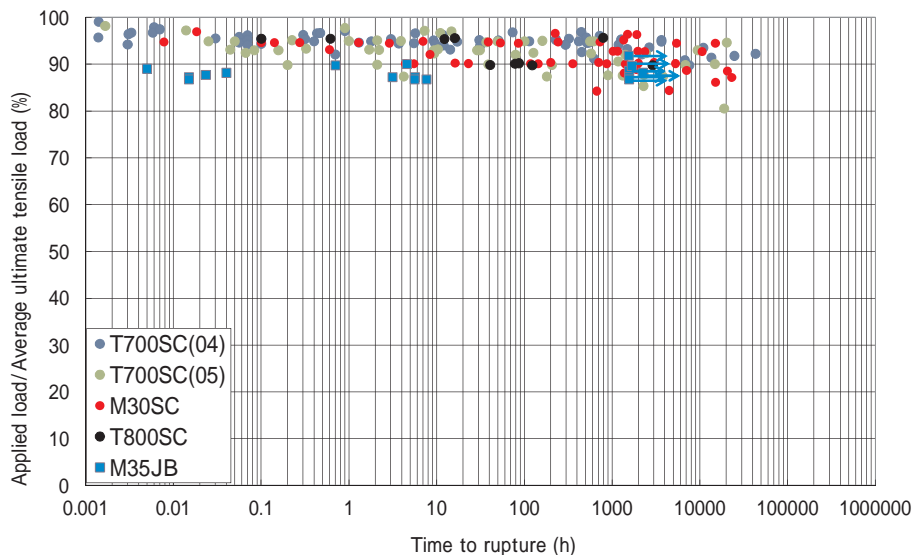


図 15 各種CFRP のストレスラプチャー試験結果

(3) 複合圧力容器蓄圧器の疲労設計方法の高度化

最適設計に必要な有限要素モデル作成ソフトウェアの開発

複合容器蓄圧器の疲労設計方法開発のためには、まず容器の応力解析を正確に行う必要がある。複合容器のCFRP層は薄く、またType3およびType4蓄圧器の鏡部においては積層構造が非常に複雑になる。その状況を正確に有限要素モデル化するために、鏡部の形状とCFRPの積層形状をパラメトリックに自動生成するアルゴリズムが必要となる。赤道部付近のフープ巻き端部の位置のずれ、赤道からボスにかけてのフルラップヘリカル巻きの層厚変化、ハイアングルヘリカル巻きの端部と赤道からそこまでの層厚変化を考慮して、なおかつ容器外面形状が滑らかな軸対称有限要素モデルを半自動的に作成するソフトウェアを開発した。開発したソフトウェアでは、まずライナーの内面と外面の形状を実測あるいは設計図面の読み取りにより離散値として与え、離散点を滑らかにつなぐ関数表記を

行う。そのようにして定めたライナー表面に順次積層構成にしたがって CFRP 層を形成していく。CFRP フープ巻、ヘリカル巻き、ハイアングルヘリカル巻き層それぞれを1層ごとに形状表現する必要がある。そのアルゴリズムの一例を図16に示す。また作成したソフトウェアの利便性を高めるため、ユーザーインターフェイスまで開発を行った。

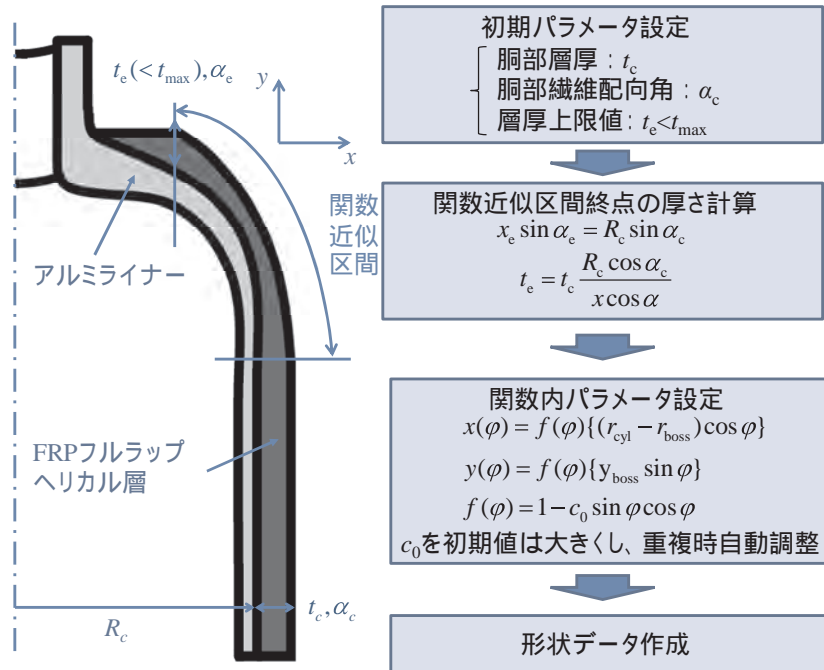


図16 ヘリカル巻き層形状データ作成アルゴリズム

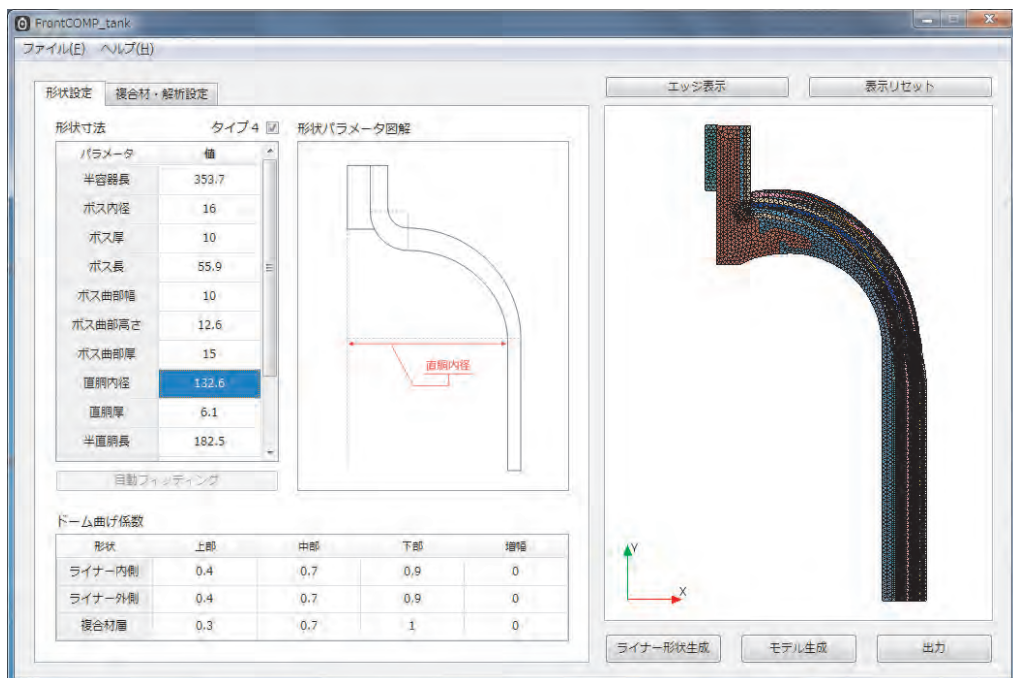


図17 FrontCOMP tank 起動画面 (Type4 容器例題)

Type3 蓄圧器の疲労設計方法開発

本研究の成果として開発されたType3 複合圧力容器のCFRP 積層構成を忠実にモデル化できるソフトウ

エア「FrontCOMP_tank」で各種 Type3 容器のモデルを作成し、アルミライナーの応力変動と圧力サイクル試験結果から疲労強度の評価を行った。圧力サイクルに対するピーク応力振幅は「2015 ASME Boiler & Pressure Vessel Code Div.3 KD-3」に従い計算した。対象となる容器としてはすでに圧力サイクル試験が行われている 30L の小型容器、約 100L の中型容器 A、300L の大型容器とした。それぞれの設計圧に対して軸対称有限要素解析を行い、ライナー応力振幅を計算し、サイクル試験結果と合わせることで A6061-T6 の疲労曲線上にプロットした結果を図 18 に示す。圧力サイクル試験と解析結果との相関は高く、ピーク応力を正確に評価する本手法により、容器疲労強度評価が可能であると考えられる。応力規準で疲労強度評価を実行可能とすると、応力規準による最適設計により CFRP 量を変えないで応力値を規準値にまで低減する最適設計や応力規準値を保持したまま CFRP 量を最小化する疲労強度に関わる最適設計が可能になる。鏡面研削を設計変数として行った応力値低減の最適設計結果を図 19 に示す。

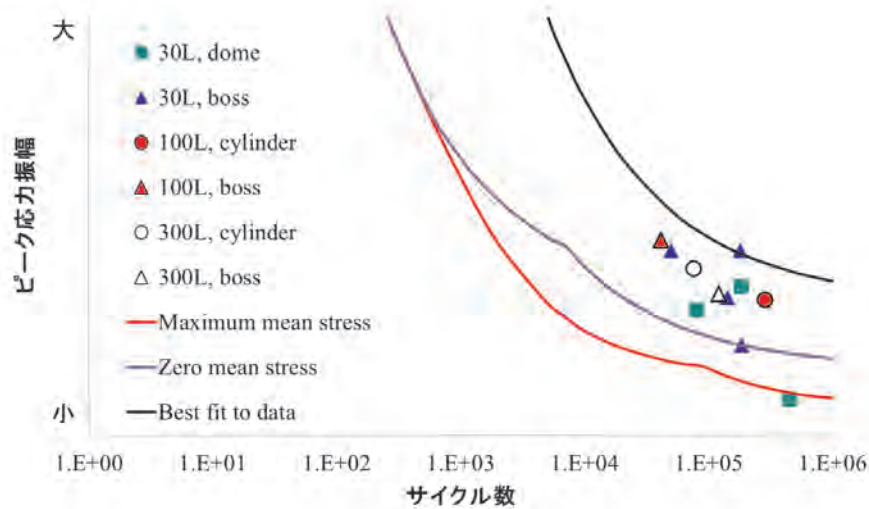


図 18 ライナー材 (A6061-T6) の疲労曲線

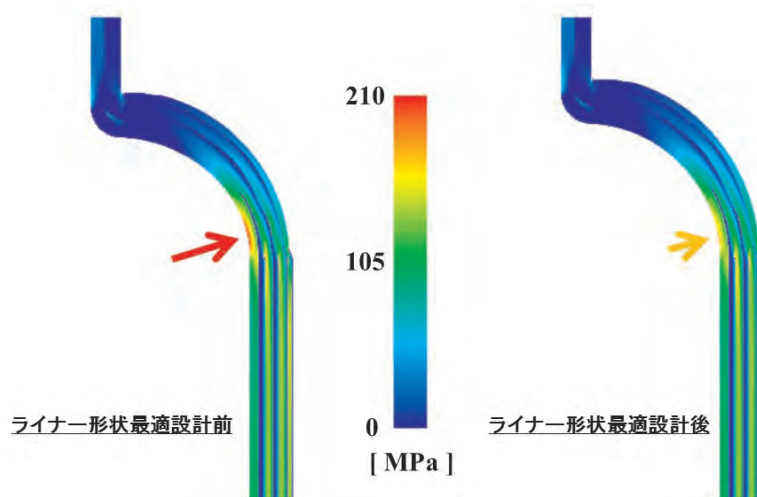
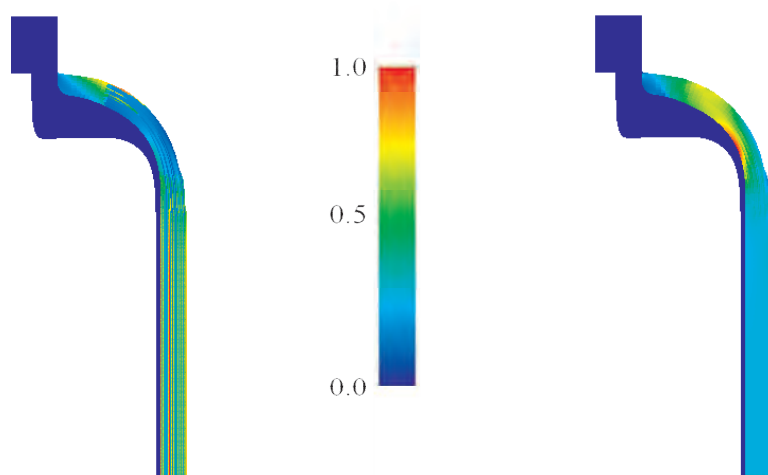


図 19 最適設計前後の応力範囲

Type4 蓄圧器の疲労設計方法開発

Type4 複合圧力容器の試験容器に対応した軸対称 FEM モデルを作成し、内圧負荷に対する有限要素解析を行った。求めた FRP 層の主応力および主ひずみを規準とし破裂試験および圧力サイクル試験との定性

的な比較を通じて解析モデルの信頼性について評価した。図 20 に示すように、CFRP 層で主応力が最も高くなったのは最内フープ層の胴部周方向応力でこれが破裂試験の胴部での破裂の原因となったと考えられる。また、樹脂ライナーでの最大主ひずみはドーム部で発生しており、これが FRP 層中の樹脂劣化を引き起こし、圧力サイクル試験での疲労破壊につながったものと考えられる。Type3 同様、応力規準により疲労強度評価が可能であると考えられるが、実容器を用いた圧力サイクル試験結果との照合を通じた妥当性の検証が必要である。



(a)第1主応力分布

(b)第1主ひずみ分布

図 20 試験容器 FRP 層の応力・ひずみ分布 (最大値で無次元化)

Type2 蓄圧器の疲労設計方法開発

Type2 複合圧力容器の試験容器に対応した軸対称 FEM モデルを作成し、内圧負荷に対する有限要素解析を行った。今後試験結果と照合し、Type3 同様の手法により鋼製ライナーに発生するピーク応力振幅を規準として疲労設計が可能であることを検証する。

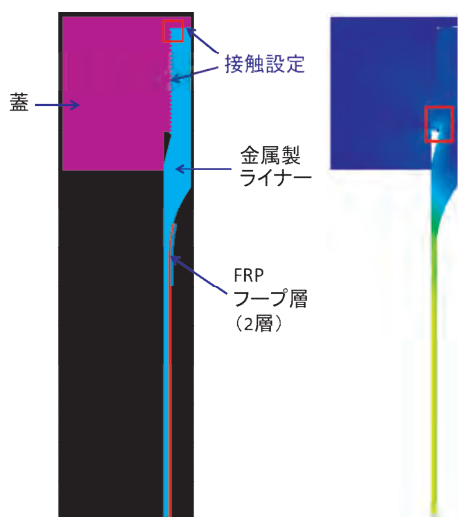


図 21 小型容器の有限要素解析

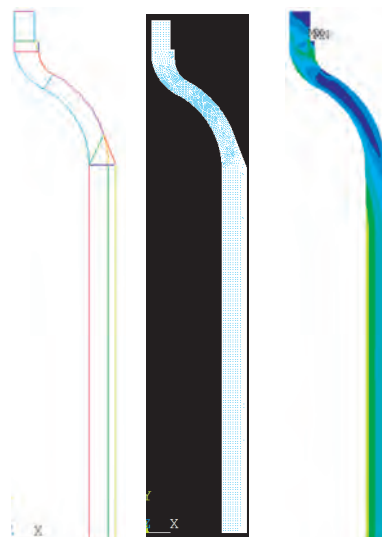


図 22 中型容器の有限要素解析

製造プロセス誤差及び使用温度環境の影響検討

a. オートフレタージの誤差の影響評価

Type3 複合圧力容器において硬化プロセスによって発生すると予想されるアルミライナーとCFRP層との隙間が容器の疲労強度を支配すると考えられているライナー応力に与える影響について有限要素解析により評価を行った。評価方法としてType3 CFRP 試験容器モデルに対し、隙間量を予めCFRP層全体を半径方向に一定値シフトすることによって与えた有限要素モデルを作成した。解析では自緊処理後に内圧65MPaを負荷した弾塑性解析によるライナー応力を評価した。アルミライナーは弾塑性等方性体として、CFRP層は複合則を用いて直交異方性弾性体として材料定数を設定した。1mm、2mmの隙間量を予め設定したアルミライナーとCFRP層の間は接触面と設定した。解析の結果、ライナーの胴部に発生する周方向応力とドーム部に発生する軸方向応力に対する応力範囲と平均応力の違いは、隙間2mmの時でも隙間の無いモデルの結果に比べ、1%以下となり、隙間2mmまではほとんどライナーの応力に影響を及ぼさないことを確認した。

b. 使用温度環境が容器疲労強度へ与える影響の評価

使用环境温度-30、20、60を想定して、圧力サイクルにより発生するライナーのピーク応力振幅を評価した。自緊処理圧の負荷と除荷のプロセスまでは、いずれの場合も基準温度を保つと設定した。FRP層の直交異方性の線膨張係数を均質化法により求めた。ライナーの応力振幅分布を図23に示す。温度変化が応力振幅値にあたえる影響は小さいことを確認した。

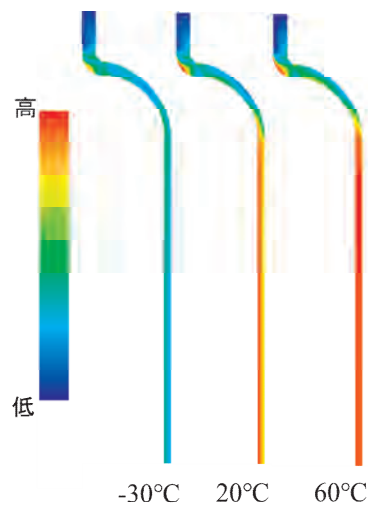


図23 环境温度の変化によるピーク応力振幅の変化

(4) 複合圧力容器蓄圧器の保安検査方法に関する検討

現状では、設計時の設計確認試験における疲労試験及び製造後の製造確認試験における疲労試験によって蓄圧器の使用寿命が設定されている。これに対して、より安全に、より長期間にわたって蓄圧器を使用すべく、適切な保安検査方法の実施が求められている。本事業では、水素ステーション用蓄圧器に対して適切な保安検査方法としてどのような手法があるのか、どのような手法に可能性があるのかを調査することで、将来の保安検査手法の確立に貢献する。

複合容器の保安検査に関する海外調査

海外水素ステーションユーザーの一つである米国Shell社に確認したところ、カリフォルニア州4ステ-

ションでは蓄圧器（鋼製含む）は保安検査の実績・計画なし（ノーマンテナンス）、他ユーザー1社も同様に保安検査は行っていない。

米国複合容器メーカー2社に製作時の容器検査について調査した。米国 ASME 規格では複合容器の製作時の検査として AE 検査を推奨しているが、複合容器メーカーでは、容器の製作時に AE 検査及びその他非破壊検査は実施していないとのこと。

その他文献調査を行っているが、現段階で複合容器に対して確立された保安検査方法は見つかっていないし、別事業との連携

「複合容器の供用中検査方法の研究開発」で他者が実施している圧力の増減による疲労き裂の進展状況を AE 法により監視する AE 検査手法の開発事業と連携し Type3 容器の疲労寿命評価の可能性を検討した。JPEC で実施した圧力サイクル試験中に AE 計測を実施（図 24）し、疲労き裂進展の発生と思われるシグナルが計測された。その後の事業者の検討で、疲労の蓄積と AE パラメータが相関することが確認できている。

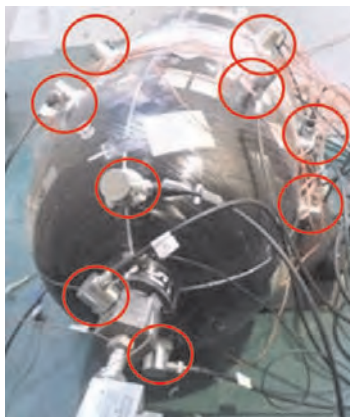


図 24 小型容器圧力サイクル試験時の AE 計測

前述の項目（1）の Type3 容器の圧力サイクル試験結果からもわかるように、現状では設計圧力の高い Type3 容器においては圧力条件によって漏洩箇所が変化する場合がある。そのため、将来的に保安検査手法として期待はできるものの、一定の閾値を定めて安全性を確保するといったレベルには達していない。今後、更なる実容器におけるデータの蓄積、実際の水素ステーションでのノイズ確認などが必要である。

また、AE 検査手法については、疲労箇所が一定（胴部）と推測される Type2 容器への適用が期待できる。

3.2 成果の意義

(1) 複合圧力容器蓄圧器の評価方法の高度化 (JPEC)

実際の小型 Type3 容器を使用し、圧力サイクル試験を実施し、実際の水素ステーションでの部分充填を想定した圧力サイクル条件で、圧力範囲の変化と疲労寿命に相関があることを確認した。

これにより設計圧力サイクル数の設定のための疲労試験 (圧力サイクル試験) の圧力条件として、圧力下限値を通常使用される状態での最低の圧力以下に設定することで、設計圧力サイクル数 (使用可能充填放出回数) を延長することが可能となる。本成果を技術基準案策定に資する資料とすべく検討しまとめることで、技術基準案が公開されれば、事業者が容易により長寿命あるいはコストの低い複合容器を設計、製作することができ、それに基づき水素ステーションでの使用認可を取得できるようになる。

【低コスト化の例としての仮想計算】

(仮定)

- ・使用寿命 10 万回の蓄圧器を開発する
- ・これまでの設計で製造した場合、蓄圧器 1 基の製造費用は 10 百万円 / 300 L
- ・圧力サイクル試験費用は 20 百万円 / 月
- ・試験は $n=4$ (図 25 参照) で実施する

技術文書 KHKTD5202 において認められている設計圧力サイクル数は、疲労試験数 n のとき、漏れ発生回数を L とすると

$n=2$ の場合 $L/4.0$ 回、 $n=3$ の場合 $L/3.5$ 回

$n=4$ の場合 $L/3.0$ 回、 $n=5$ の場合 $L/2.6$ 回

図 25 疲労試験における設計圧力サイクルの考え方

(計算)

従来の技術文書に従って疲労試験設計圧力の 10% ~ 100% で疲労試験 (圧力サイクル試験) を実施すると、サイクル時間は 3 回 / 分、蓄圧器の圧力サイクル性能は 30 万回必要となる。試験蓄圧器の製造費用も含め試験費用は 224 百万円。

新規の技術基準に従って部分充填条件である設計圧力の 50% ~ 90% で疲労試験を実施すると、サイクル時間 6 回 / 分に短縮でき、試験費用が半減できる。また、部分充填条件で 30 万回の性能で良いため、従来の設計よりも使用する CF 量を低減できる。さらに 2.3 項の最適設計方法を活用することで CF 量を減らせるため、70% (想定) の 7 百万円で蓄圧器 1 基を製造することができる。よって試験費用は 121 百万円となる。表 6 参照。

表 6 従来疲労試験方法と新提案試験方法での概算費用比較

	従来設計、従来疲労試験	新設計、新提案疲労試験
300L 容器製造費用	10 百万円	7 百万円
試験用容器費用 (4 基)	40 百万円	28 百万円
疲労試験時間 (30 万回)	69 日	35 日
疲労試験費用 (4 回)	184 百万円	93 百万円
合計	224 百万円	121 百万円

このように部分充填条件による疲労試験を採用することで、開発時の疲労試験で 1 億円以上のコスト削減と蓄圧器そのものの低コスト化 (70%) が図れる。

(2) CFRP の評価方法の高度化 (KHK)

本事業で得られた疲労試験の結果から、CFRP の疲労特性は CFRP と母材の接着力に影響されることが分かりつつある。蓄圧器用 FRP 圧力容器は、実使用で要求される圧力の繰返し回数が 10 万回、設計確認試験で要求される繰返し回数が 30 万回から 90 万回になる。この繰返し回数は CFRP の接着力の低下に

基づく強度低下の領域にあたるため、正しいCFRPの強度評価を行うための基礎データを積み上げ、合理的な設計及び検査の方法を示すものである。

また、ストレスラプチャー試験は、蓄積した各種CFRPの経時特性データと疲労試験データを比較することにより、容器タイプ毎に適切な設計係数（安全率）を示し、設計方法の高度化に資するデータとする。

（３）複合圧力容器蓄圧器の疲労設計方法の高度化（東大）

Type3、Type4、Type2 複合容器の胴部・鏡部の境界領域も含めた詳細な応力解析が可能なソフトウェアを開発した。これを用いて詳細な有限要素解析が可能となり、応力規準にて蓄圧器の疲労設計、さらには最適設計が可能となる。Type3 蓄圧器については、実容器を用いた圧力サイクル試験の結果に基づく検討を行い、応力規準の疲労設計および最適設計が可能であることを実証できた。公開することで、複合容器メーカーにおいてアルミニウム合金の設計疲労曲線を使った疲労設計が可能となる。

疲労設計高度化の成果を活用することで、圧力サイクル試験に代表される設計確認試験の省力化が進み、また部分充填による容器寿命の延長を適確に評価可能となり、設定寿命に応じた低コスト化が期待できる。

3.2(1)を参照。

（４）複合圧力容器蓄圧器の保安検査方法に関する検討（JPEC、KHK、東大）

これまでの調査結果では、現段階で複合容器に対して確立された保安検査方法は見つかっていない。非開放検査方法の一つとして、別事業で実施しているAE検査手法の可能性を確認できた。

3.3 開発項目別残課題

(1) 複合圧力容器蓄圧器の評価方法の高度化 (JPEC)

Type3 容器については、疲労試験における圧力サイクル試験を部分充填条件により行うことで、試験回数が増えることになる。費用削減のためには、できる限り実容器での圧力サイクル試験点数を削減する必要がある。また、実使用において圧力条件を変更した場合（初期の設定圧力より狭い圧力範囲で使用した場合）に、累積損傷則を適用し、適切な使用回数をカウントできるようにすることで、使用回数の延長が期待できる。これらを目指した材料試験片による適切な評価試験方法を検討する必要がある。

Type4 容器については、圧力サイクル試験回数（漏洩しない場合 Type3 の2倍の試験回数が必要）を削減し、より安全に使用するために CFRP 部の評価方法を確立する必要がある。

Type2 容器については、提案した自主基準案に関して、破壊試験をしないことの妥当性を確認するためのデータの蓄積が必要である。

(2) CFRP の評価方法の高度化 (KHK)

CFRP の疲労試験及びストレスラプチャー試験のデータの蓄積を行い、容器のタイプ別の設計係数（安全率）の検討を行うことで複合圧力容器の合理的な設計手法委等への活用方法を提示できる見込みである。また、疲労において CFRP と母材の接着力の低下に基づく疲労強度低下の原因についても検討を開始しており、これらが設計及び設計確認試験に与える影響が明らかとなる見込みである。

(3) 複合圧力容器蓄圧器の疲労設計方法の高度化 (東大)

Type4 および Type2 容器に関しても、Type 3 同様に応力規準により疲労強度評価が可能であると考えられるが、実容器を用いた圧力サイクル試験結果との照合を通じた妥当性の検証が必要である。

(4) 複合圧力容器蓄圧器の保安検査方法に関する検討 (JPEC、KHK、東大)

Type3、Type4、Type2 それぞれの特徴を踏まえ、それぞれに対する保安検査方法の検討が必要である。現在、複合容器蓄圧器は実使用開始されているものもあるが、設計等確立されているとは言えず、確定した保安検査方法を早期に適用することは困難である。しかし、将来的に可能性のある AE 検査方法などでデータを継続蓄積していく必要がある。

4. まとめ及び課題、実用化までのシナリオ

(1) 複合圧力容器蓄圧器の評価方法の高度化 (JPEC)

Type3 容器については、小型・中型・大型容器で圧力サイクル試験を実施し、部分充填条件での疲労寿命評価方法の妥当性を確認し、現在の技術文書 KHKTD 5202 に記載されている疲労試験方法が、実使用条件に基づいた疲労試験の実施を認める内容に改定される見通しとなった。これにより、事業者が設計圧力サイクル数の設定方法として、部分充填条件での疲労試験方法を容易に利用できるようになり、Type3 容器の疲労寿命の延長あるいは低コスト化が期待できる。加えて疲労試験の時間を短縮することで、設計確認試験における費用の低減と納期の短縮を期待することができる。

Type4 容器に関しては、車載用小型容器を用いた圧力サイクル試験を実施し、損傷モードの確認、応力範囲の変化と疲労寿命の相関を確認した。更に、別事業で開発した蓄圧器仕様の Type4 容器の圧力サイクル試験を実施し、限られた回数しか評価しない車載用容器と異なる蓄圧器用途としての Type4 容器の課題を確認した。本結果を蓄圧器メーカーと共有し、安全で使用寿命が長く、低コストな Type4 容器蓄圧器の実用化を目指していく。

Type2 容器に関しては、小型・中型・大型容器での圧力サイクル試験、ライナー材（低合金鋼）による疲労試験、小型容器での破裂試験を実施した。これにより、各種タイプ（ボンベ型、ストレート型）の特徴を確認し、事業者が認可取得時の参考となり得る自主基準案の提案を行った。自主基準案では破裂試験や圧力サイクル試験のような破壊試験を実施不要としており、補足データの蓄積が必要である。

(2) CFRP の評価方法の高度化 (KHK)

アルミニウム A6061 合金ライナーに適した高弾性率 CFRP の疲労試験を実施し、すでに複合容器用として実績のある CFRP よりも破断伸びが小さいにもかかわらず、同じ応力と疲労の傾向を示していることが分かった。今後、各種 CFRP での疲労試験、ストレスラプチャー試験のデータを蓄積し、安全係数の検討を行う。また、蓄積したデータの範囲で、複合容器の合理的な設計手法等へのデータの活用方法を提示する。

(3) 複合圧力容器蓄圧器の疲労設計方法の高度化 (東大)

胴部・鏡部の境界領域も含めた設計・解析方法が可能なソフトウェアを開発し、詳細な応力解析に基づき Type3 容器のライナーで発生する応力状態を正確に評価し、ピーク応力振幅を規準とする疲労強度評価方法が有効であることを示し、応力規準による最適設計手法まで提案した。同様の応力規準による疲労強度評価および最適設計手法を Type4 および Type2 容器にも適用可能であると思われるが、実容器を用いた圧力サイクル試験を通じた検証が必要である。また、疲労強度に与える製造プロセスの誤差および使用温度環境の影響についても、応力規準に基づく疲労強度評価の枠組みで、開発したソフトウェアを活用して、有限要素解析により的確に評価できることを実証した。

(4) 複合圧力容器蓄圧器の保安検査方法に関する検討 (JPEC、KHK、東大)

海外水素ステーションでの複合容器の保安検査については、調査の範囲では実績・実施計画はなかった。また、米国容器メーカーでは、容器製作後に非破壊検査は実施していないとの調査結果であった。

保安検査として期待できる非開放検査手法として、AE 法について調査及び別事業で実施している「複合容器の供用中検査方法の研究開発」と連携を行った。その結果、Type3 容器におけるアルミライナーの疲労の蓄積と AE パラメータが相関することが確認できた。今後もデータを蓄積し、水素ステーションでの保安検査手法として、適用できるように検討を行う。更に Type2 容器にも適用し得るか検討を開始する。

5. 研究発表・特許等

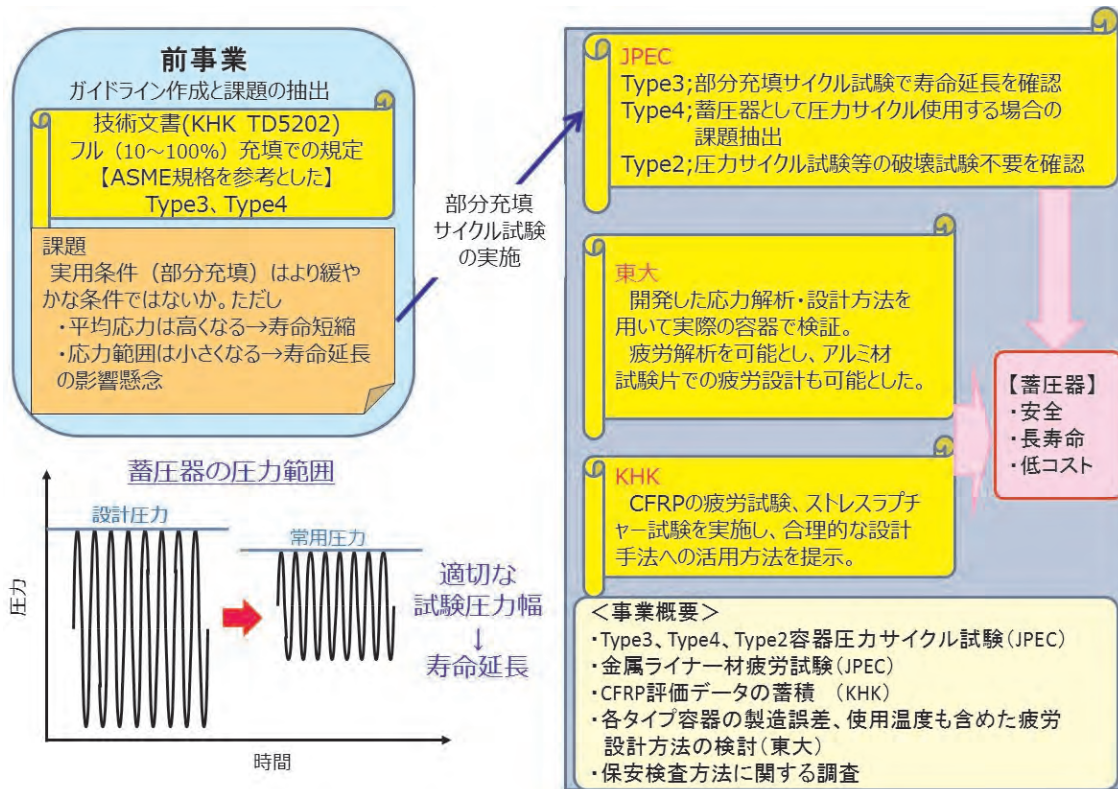
- 研究発表・講演・文献等、その他 -

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成25年12月	圧力技術, 51(6)2(2013)	Type 複合容器の圧力寿命予測	吉川 暢宏(東京大学) 針谷 耕太(東京大学) 吉田 剛(JPEC) 石本 裕保(JPEC) 佐藤 克哉(JPEC) 秋山 浩司(JFEコテ付-) 竹花 立美(KHK)
2	平成26年7月	平成26年度JPEC技術開発・調査事業成果発表会(口頭発表)	複合圧力容器蓄圧器の寿命延長に係わる研究開発	中妻 孝之(JPEC)
3	平成26年11月	平成26年度高圧ガス保安協会総合研究発表会(口頭発表)	FRP複合容器を取り巻く技術情報について	竹花 立美(KHK)
4	平成27年4月	高圧ガス, 52(4), p251-252(2015)	複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発について	竹花 立美(KHK) 木村 勝之(KHK)
5	平成27年5月	平成27年度JPEC技術開発・調査事業成果発表会(口頭発表)	高圧水素を充填する複合容器蓄圧器の技術基準の検討状況	岡崎 順二(JPEC)
6	平成27年5月	一般社団法人日本高圧力技術協会 平成27年度春季講演会	CFRP製超高压容器の詳細積層構成 FEM モデル作成ソフトウェアの開発	キムサンウォン(東京大学) 吉川暢宏(東京大学) 吉田 剛(JPEC) 中妻 孝之(JPEC) 岡崎 順二(JPEC) 石本 裕保(JPEC) 川又 和憲(JPEC)
7	平成27年9月	日本機械学会 2015 年度年次大会	炭素繊維強化プラスチック製圧力容器の詳細積層構成有限要素モデル作成ソフトウェアの開発	キムサンウォン(東京大学)
8	平成27年10月	第8回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム	製造誤差補正モデルによるCFRP製超高压水素容器の詳細応力評価	キムサンウォン(東京大学)
9	平成27年10月	福岡水素エネルギー戦略会議平成27年度技術者	高圧水素タンクの技術動向と今後の展開	川又 和憲(JPEC)

		育成コース		
10	平成27年11月	日本機械学会 M&M2015 材料力学カンファレンス	TYPE3 CFRP 製蓄圧器のライナー形状最適化に関する研究	キムサンウォン(東京大学)
11	平成27年12月	日本機械学会材料力学部門「第10回高圧水素機器の設計合理化に関する研究分科会」	AE 検査の適用可能性に関する調査	中妻 孝之(JPEC)
12	平成27年12月	高圧ガス保安協会 総合研究所 第1回水素安全技術セミナー(口頭発表)	高圧水素用材料及び容器の基準について	竹花 立美(KHK)
13	平成28年5月	平成28年度 JPEC フォーラム(口頭発表)	高圧水素を充填する複合容器蓄圧器の技術基準に関する検討状況	主藤 祐功(JPEC)
14	平成28年12月	高圧ガス, 53(12),pp50-52(2016)	複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発について	宮下 哲司、佐野 尊(KHK)
15	平成28年12月	高圧ガス保安協会 総合研究所 第2回水素安全技術セミナー(口頭発表)	高圧水素設備に使用される材料について	竹花 立美、佐野 尊(KHK)
16	平成29年1月	東北大学 第6回CFRP研究会 講演会	水素ステーション用金属材料の選定基準とCFRP を用いた複合圧力容器蓄圧器の技術基準化への取り組み	小林 拓(JPEC)
17	平成29年5月	平成29年 JPEC フォーラム(口頭発表)	複合容器技術基準の進捗状況について	藤澤 俊郎(JPEC)
18	平成29年9月	化学工学会 第49回秋季大会 講演	水素ステーション用複合容器蓄圧器の技術基準の検討	岡崎順二(JPEC)
19	平成29年10月	日本機械学会 M&M2017 材料力学カンファレンス	CFRP 製 TYPE 蓄圧器の疲労強度評価法	キムサンウォン(東京大学)

-特許等-
なし

(参考) 研究開発全体イメージ図



(1-5)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 / 自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発」

委託先：(一財)日本自動車研究所，(国)茨城大学，(株)UACJ，日本軽金属(株)，(株)神戸製鋼所，サムテック(株)

成果サリ(実施期間：平成25年度～平成29年度)

- ・ GTR13 Phase2の高圧ガス保安法関連領域(容器および附属品)に関するの主な3課題(容器破裂圧適正化・水素適合性試験法・アルミニウム合金の腐食試験法)について、審議に必要な適切なデータを取得し、データを基にした試験法案を作成した。試験法策定のための国内審議を推進し、日本案をとりまとめ、国内合意を得た。
- ・平成29年10月に開始されたGTR13 Phase2インフォーマルワーキング(IWG)にて、日本案を提案することで、国際基準への反映を実現する。

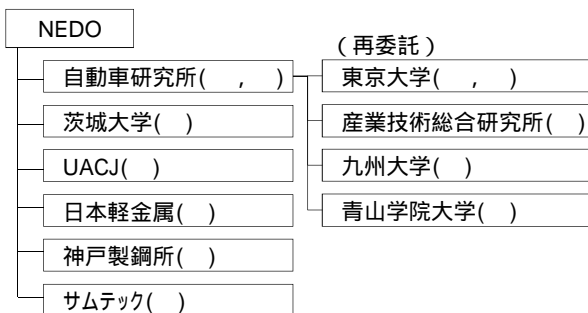
背景/研究内容・目的

GTR13 Phase2の高圧ガス保安法関連領域(容器および附属品)についての課題の審議に必要な適正なデータを取得し、試験法案を提案する。試験法策定のための国内審議を推進し、日本案を取りまとめる。その後、GTR13 Phase2に日本案を提案し反映させることで、国内規制へ適用可能なレベルに推進する。

研究目標

実施項目	目標
自動車用圧縮水素容器の安全性評価	GTR13 Phase2の既存課題(容器破裂圧適正化・水素適合性試験法)に対して、審議に必要な適正なデータを取得し、試験法案を提案する。
国内基準の適正化および国際基準調和	試験法策定のための国内審議を推進し、日本案を取りまとめる。その後、国際審議(GTR13 Phase2)に日本案を提案する。
アルミニウム系材料の材料評価および試験法開発	日本からGTR13 Phase2への新規提案案件(アルミニウム合金の腐食試験法)に対して、審議に必要な適正なデータを取得し、試験法案を提案する。

実施体制及び分担等



これまでの実施内容 / 研究成果

- ・ 70MPa-VH4容器を用いて、初期とEnd of Life(EOL)の破裂圧データを取得した。取得したデータから、初期破裂圧は、現在の規定値225%NWPに対し、End of Lifeの残留破裂圧規定と相関のある200%NWPへの低減が可能であると考えられる。
- ・ 室温・低温水素中のSSRT試験データおよび疲労試験データを取得し、取得したデータを基に、疲労限より低い応力で使用するオーステナイト系ステンレス鋼に限定した水素適合性試験法を作成した。
- ・ 国際基準(GTR13 Phase2)の主な3課題(破裂圧適正化・水素適合性試験法・アルミニウム合金の腐食試験法)の各試験法案と実証試験データについて、国際基準への提案に向けた国内審議で承認された。
- ・平成29年10月に開始されたGTR13 Phase2インフォーマルワーキング(IWG)にて、日本案を提案することで、国際基準への反映を実現する。
- ・自動車用圧縮水素容器に用いるアルミニウム合金の腐食を評価する試験法として、湿潤ガス応力腐食割れ(HG-SCC)試験法案を開発した。
- ・ 6000系アルミニウム合金の「HG-SCC試験」を実施し、各種合金の特性が評価できることを確認した。

研究成果まとめ



実施項目	成果内容	自己評価
	[容器破裂圧適正化]初期(劣化前)と End of Life(劣化後)の破裂圧データの取得・解析により、初期破裂圧規定 2.25NWP 2.0NWP化のロジック構築。 [水素適合性試験法]高圧水素中のSUS304, 316, 316LのSSRT試験データとSUS304の疲労試験データを取得し、策定した試験法案の妥当性を評価した。	
	実証試験データと試験法案の国内審議から、国際議論の場への開示承認を得た。平成30年2月のGTR13 Phase2 IWGに提案予定。	
	腐食試験法作成のための実証試験データとして、6000系アルミニウム合金の応力腐食割れ特性データを取得した。策定した湿潤ガス応力腐食割れ(HG-SCC)試験法案の妥当性も見えつつあり、国内外での先行規格化を推進中。	

今後の課題

- ・合格材料のリスト化における材料の国際的な同等性証明
- ・GTR13 Phase2審議対応

実用化の見通し

・燃料電池自動車の国際取引(相互承認)が可能となり、燃料電池自動車の低コスト化に繋がる。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
2	1	16	0

課題番号：I - 5

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 /

自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発

一般財団法人日本自動車研究所
株式会社 UACJ
日本軽金属株式会社
株式会社神戸製鋼所
国立大学法人茨城大学
サムテック株式会社

1. 研究開発概要

水素・燃料電池自動車に関する規制は、車両の規制（道路運送車両法）と圧縮水素容器・附属品の規制（高圧ガス保安法）のふたつに大別される（図 1-1）。本事業では、圧縮水素容器・附属品（高圧ガス保安法）を取り扱う。

水素・燃料電池自動車に関する規制

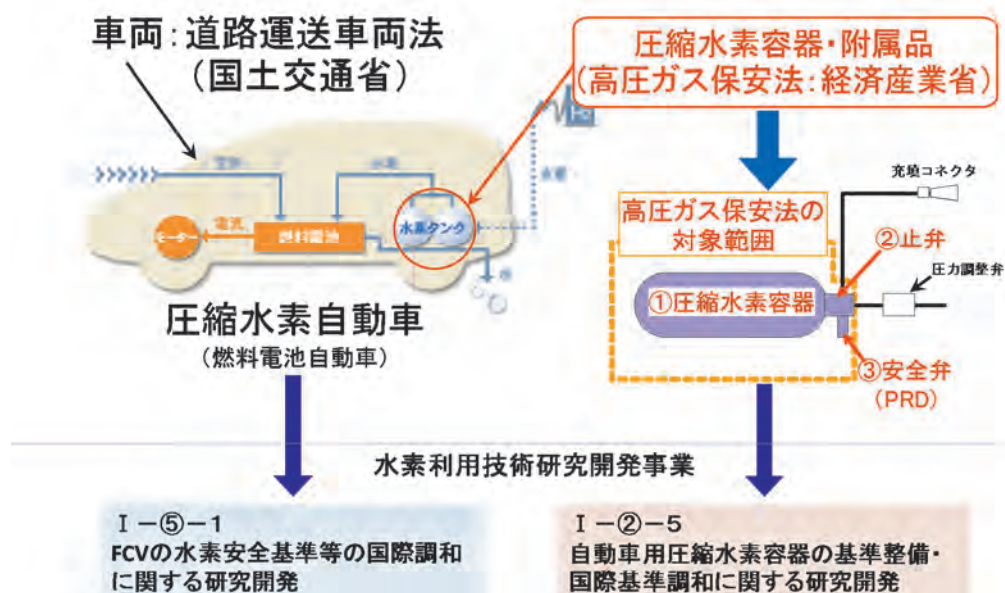


図 1-1 水素・燃料電池自動車に関する規制

水素・燃料電池自動車の世界統一技術基準 GTR13-HFCV が 2013 年 6 月の UN/ECE/WP29（自動車基準調和世界フォーラム）で採択されたが、各国合意が得られなかった項目については審議が先送りされ、Phase2 で審議することとされた。世界統一技術基準 GTR は、国内規制への適用が必須となるため、国内規制を考慮した国際基準調和を進める必要がある。GTR13-HFCV Phase2 の高圧ガス保安法関連領域（容器および附属品）に関する日本が考える主な課題は、以下の 3 項目である。

- A 容器破裂圧力の適正化の検討
- B 金属材料の水素適合性を評価する試験法の作成（性能要件化）
- C アルミニウム合金の腐食を評価する試験法の作成（性能要件化）

本事業では、上記課題の審議に必要となる適正なデータを揃え、試験法策定のための国内審議を推進し、日本案を取りまとめる。その後、国際審議（GTR13-HFCV Phase2）に日本案を提案し反映させることで、国内規制へ適用可能なレベルに推進することを目的とする。

また、本事業では、一般財団法人 日本自動車研究所が幹事会社として本実施内容を取り纏めながら、

国立大学法人 茨城大学、株式会社 UACJ、日本軽金属株式会社、株式会社神戸製鋼所、およびサムテック株式会社が共同実施し、一般財団法人 日本自動車研究所からの再委託先である国立大学法人 東京大学、国立研究開発法人 産業技術総合研究所、国立大学法人 九州大学、および学校法人青山学院 青山学院大学と協力して実施した。なお、実施に当たっては、他の NEDO 事業（水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発等）や規制当局、燃料電池実用化推進協議会、一般社団法人 日本自動車工業会などとの連携を構築し、研究開発に反映させる体制を整えた。図 1-2 に本事業の研究体制を、図 1-3 に GTR13-HFCV Phase2 の国内審議体制を、図 1-4 に委員会審議体制を示す。

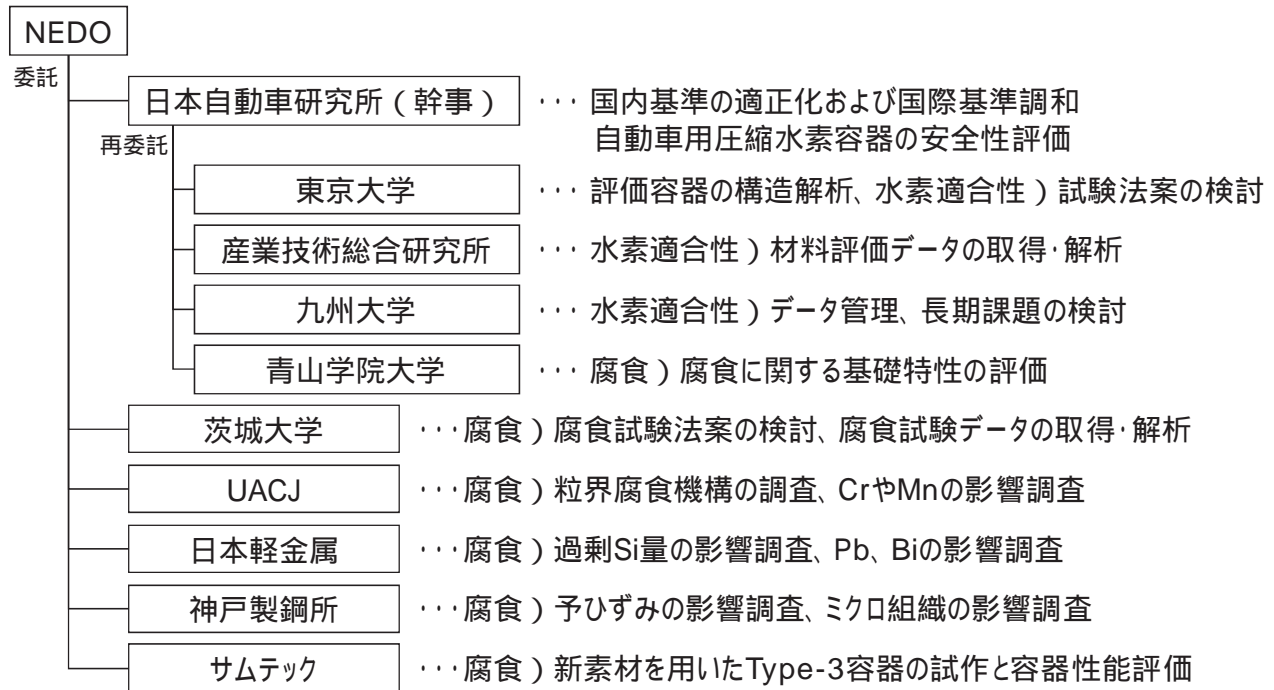


図 1-2 研究体制

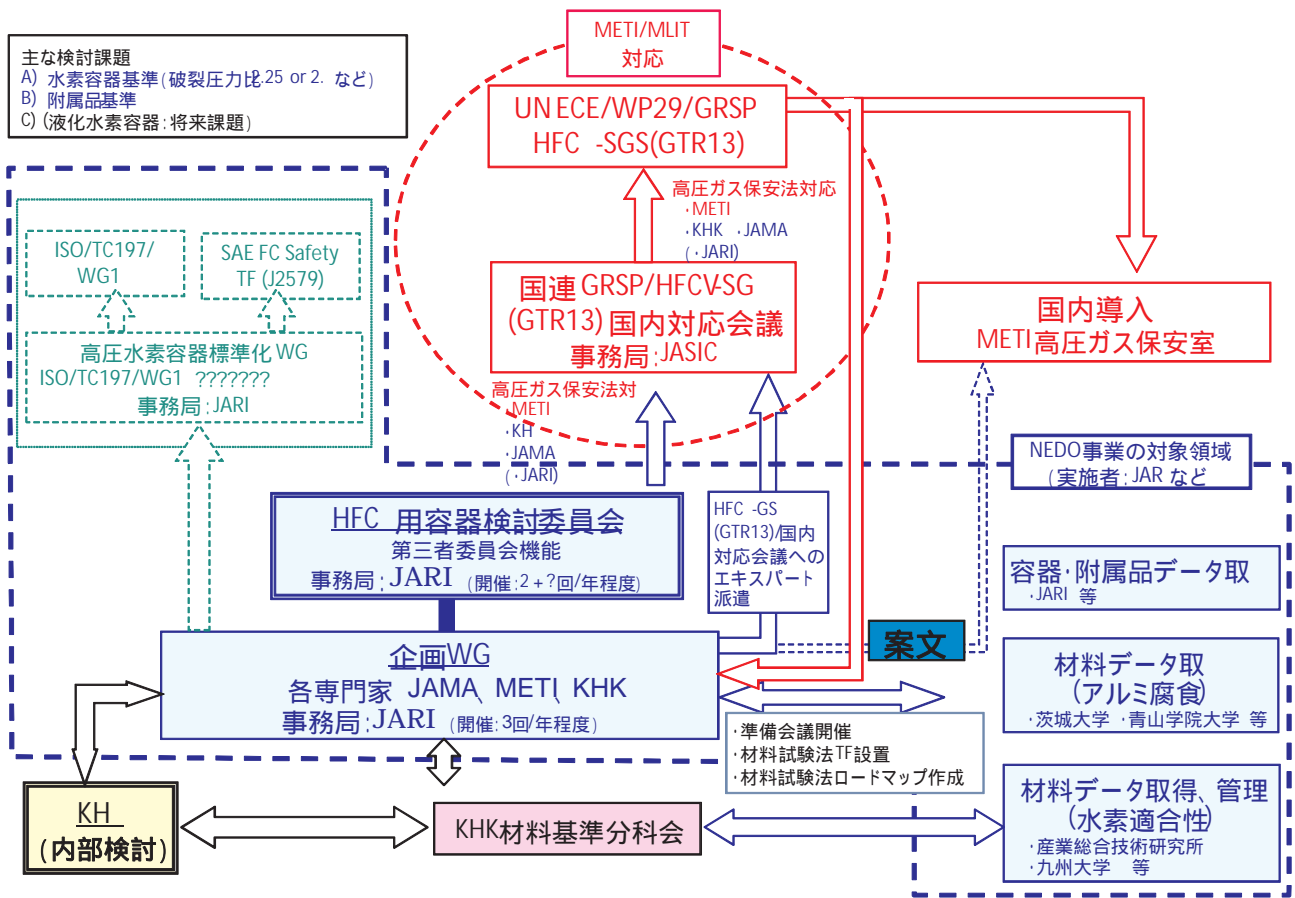


図 1-3 GTR13-HFCV Phase2 の国内審議体制

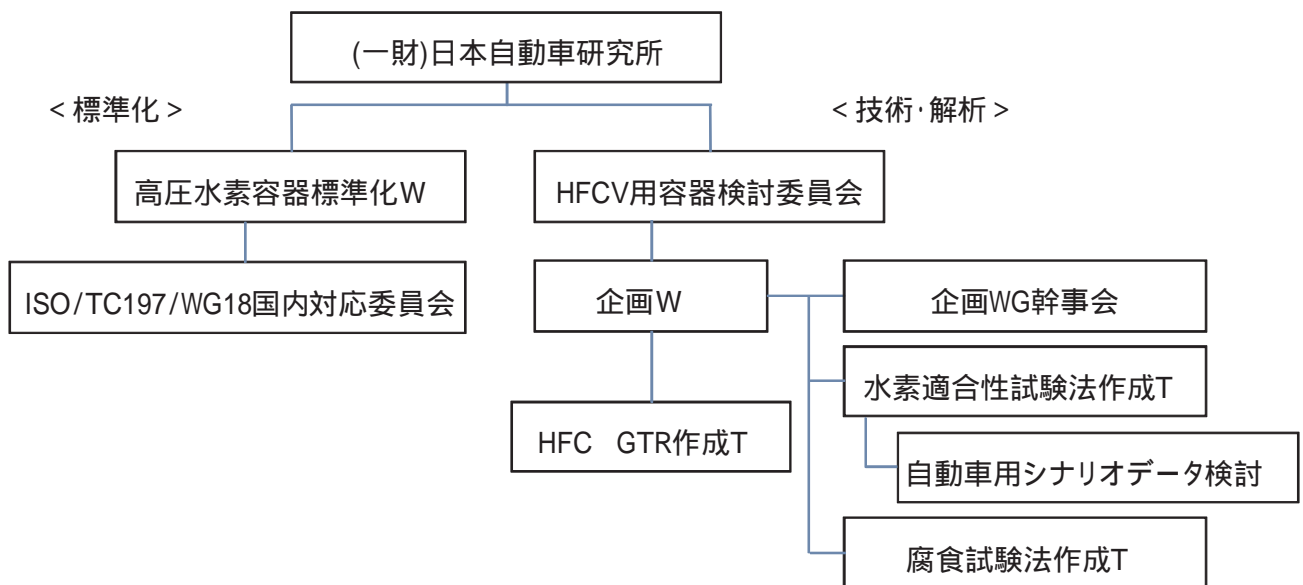


図 1-4 委員会審議体制

2. 研究開発目標

水素・燃料電池自動車の世界統一技術基準 GTR13-HFCV Phase2 の高圧ガス保安法関連領域（容器および附属品）についての 3 つの課題（容器破裂圧力の適正化、金属材料の水素適合性試験法作成、アルミニウム合金の腐食試験法作成）に対して、適正なデータを取得し、国内・国際審議を推進することで、日本から試験法案を提案し国際基準に反映させることを目的とする。

実施項目：自動車用圧縮水素容器の安全性評価（一般財団法人日本自動車研究所）

国連基準 GTR13-HFCV Phase1 審議において、自動車用圧縮水素容器の基準策定が進められた。その中で、例えば、容器の破裂圧力を最高充填圧力の 2.25 倍から 2.0 倍に低下させるといった提案に対して、日本は根拠データが整備できていない状況であったことから反対し、結果として当該事項の審議は Phase2 に先送りされた。国連基準 GTR は国内規制への適用が必須となるため、前述の GTR13-HFCV Phase1 での既存課題に対して、根拠データを取得しながら、国内法への円滑な反映を考慮した国際基準調和（GTR13-HFCV Phase2 審議）を進める必要がある。これにより、自動車用圧縮水素容器の安全性を保持し、コスト削減ならびに量産性向上などを実現することができる。

そこで、本事業で組織する委員会の審議を通して、国内基準整備および国際基準調和のため、HFCV GTR Phase2 の審議を日本主導で進めるべく、破裂圧力の適正化（例えば 2.25 倍を 2.0 倍に低下させられるか）について、審議に必要なデータ整備のための試験計画の作成およびデータ取得（圧力サイクル試験後の破裂圧力調査など）を実施する（-1）。また、金属材料の水素適合性を評価する材料試験法の開発のための根拠データの取得を実施し、水素適合性試験法案を作成する。（-2）。

実施項目：国内基準の適正化および国際基準調和（一般財団法人日本自動車研究所）

自動車用圧縮水素容器の基準としては、国内には高圧ガス保安法の例示基準があり、国際基準には 2013 年 6 月の UN/ECE/WP29（自動車基準調和世界フォーラム）で採択された国連基準（GTR13-HFCV）がある。その後、GTR13-HFCV Phase1 では審議が先送りされた項目などについての審議を進めるため、GTR13-HFCV Phase2 の活動が開始される。GTR13-HFCV Phase2 の審議（GTR の審議期間は、当初 2 年間として活動が開始され、審議の進捗に合わせて審議期間は延長される）では、国内導入を前提として、国内審議と国際会議の対応を本事業により進捗させる。そこで、GTR13-HFCV Phase2 の高圧ガス保安法関連領域について、産学官で連携しながら、日本が主導的に国連基準策定を牽引するための推進体制（HFCV 用容器検討委員会等）を構築し、世界統一技術基準の確立におけるリーダーシップを発揮していく。具体的には、本事業で得られた容器ならびに材料関係のデータを用いて、試験法策定のための国内審議を推進するとともに、国連会議の対応を行う。

一方、国際標準についても国連基準との整合が必要であり、米国 SAE J2579（HFCV 用燃料システム規格）、ISO/TC197（水素技術）WG18（車載用水素容器および安全弁）及び関連する標準化の活動により、国内基準、国際基準と国際標準との整合を図る。

実施項目：アルミニウム系材料の材料評価および試験法開発（国立大学法人茨城大学、株式会社 UACJ、日本軽金属株式会社、株式会社神戸製鋼所、サムテック株式会社、一般財団法人日本自動車研究所）

本項目では、自動車用圧縮水素容器及びこれに関連するアルミニウム材料の基準整備・国際基準調和のための審議に必要な材料データを取得する。これまでの例示基準で指定されてきた 6061 は、データよりも他の容器での使用実績で指定されてきたように考えられる。ここでは、容器全体および関連材料の低コスト化で、投入が期待されている 6066、6069 について、まず高圧ガス保安法の他の容器の規則で必要とされる材料評価方法（従来法）を適用し、従来評価法に対する実力および組成の影響を把握する。一方、これら材料を用いた Type-3（VH3）容器を試作し、容器としてのデータ取得を行う。次に、高圧ガス保安法の他の容器の規則で必要とされる材料評価方法に代わる高圧水素容器および関連材料独自に必要な材料評価法（新評価法）の検討（評価基準の見直しも含む）を行い、両方法を前記 3 材種およびそれ以外の数材種について適用し、水素独自の評価法の妥当性を示すデータを取得する。従来評価法として、(a)粒界腐食（Intergranular Corrosion, IGC）試験、(b)応力腐食割れ（Stress Corrosion Cracking, SCC）試験、(c)長期負荷割れ（Sustained Load Cracking, SLC）試験があり、この他に当然、(d)水素脆化（Hydrogen Embrittlement, HE）試験が必要となる。(d)において最終的に高圧水素試験データが必要となるが、高圧水素ガス中で、実用アルミニウム合金が脆化したという報告はないので、簡便的に湿潤大気中での低ひずみ速度法（SSRT）試験および疲労試験である程度の評価が可能である。前事業にお

いて、評価基準に対する適合条件が組成や組織に敏感に影響されることが、明らかになっている。また各データに対する基礎的・理論的裏付けを行うことにより、効率的に基準化が可能となる。耐 SLC 性については、高压容器破損の主因とする報告がある中で、その機構がほとんど知られていないので、どのような条件で起こりやすくなるのかなど基礎的データを収集する。そのため、代表的 6000 系合金が規格組成の範囲で主要元素(Mg, Si, Cu)が SLC に及ぼす影響を明らかにする。これにより、6351、6082、6066、6069 といった代表的合金が自動車用圧縮水素容器及びこれに関連するアルミニウム材料として適するか、おおむね判定され、これまでの基準に付きまってきた「過剰 Si で耐力 250MPa 以上の合金は使用不可」の条項の妥当性が判定されると考えられる。また、これまでの基準に付きまってきた「Pb、Bi は 0.01%以下であること」の条項の是非およびマイナー元素の影響を論じるため、Pb、Bi の上限規定が真に必要なかどうかの調査、マイナー元素である Cr や Mn が耐 SLC 性に及ぼす影響の調査、SLC 機構の調査を行う。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) 課題 A : 容器破裂圧の適正化に資する実証試験データ取得 (実施項目 -1)

a. 目的

GTR13-HFCV Phase2 の既存課題のひとつである容器破裂圧力の適正化において、End-of-Life (EOL) で 180%NWP (Nominal Working Pressure : 公称使用圧力) の残留破裂圧力保証を実現するための適切な初期破裂圧力の規定のしかた (例えば初期破裂圧力規定の廃止、または 225%NWP から 200%NWP への低減等) を検討する必要がある。そのための実証試験として、複数種類の容器を用いて初期と End of life (GTR13-HFCV の液圧シリーズ試験による) の破裂圧力データを取得し、劣化とばらつきの評価を行い、End-of-Life の残留破裂圧力規定と関連のある適切な初期破裂圧力を検討することを目的とする。

b. 実証試験方法

試験には、同一ロット (連続生産) の自動車用圧縮水素容器を使用した。本容器は、EC79 基準で設計されたプラスチックライナー全体を CFRP でフルラップした Type4 容器である。

初期破裂圧力データは、GTR13-HFCV の Burst test による方法 (初期-A) で取得した。

図 3-1 に GTR13-HFCV の液圧シリーズ試験概要を示す。液圧シリーズ試験は、従来の各国規格 (CSA-HGV2、KHKS 0128、EC79 など) で行われている各種試験を連続して 1 個の容器に与える「連続負荷」試験である。サイクル数は各国の意見が分かれたため、5,500 回、7,500 回、11,000 回の中から各国が設定することとされているが、本事業では従来規格の容器を使用するため、従来規格と同等の 11,000 回に設定した。

液圧シリーズ試験を 1 回行うには、約 3 ヶ月の期間を要するため、初めに、液圧シリーズ試験と同等の結果が得られ、かつ時間短縮が図れる試験条件を検討した。その結果、液圧シリーズ試験 (EOL-B) と液圧シリーズ試験から高温保持を除いた試験 (EOL-C) は、同等の結果が得られることがわかった。よって、条件 B と条件 C の結果を End of life の破裂圧データとした。

初期-A : 初期破裂試験

EOL-B : 液圧シリーズ試験 (破裂試験含む)

EOL-C : 液圧シリーズ試験から高温保持を除いた試験 (破裂試験含む)

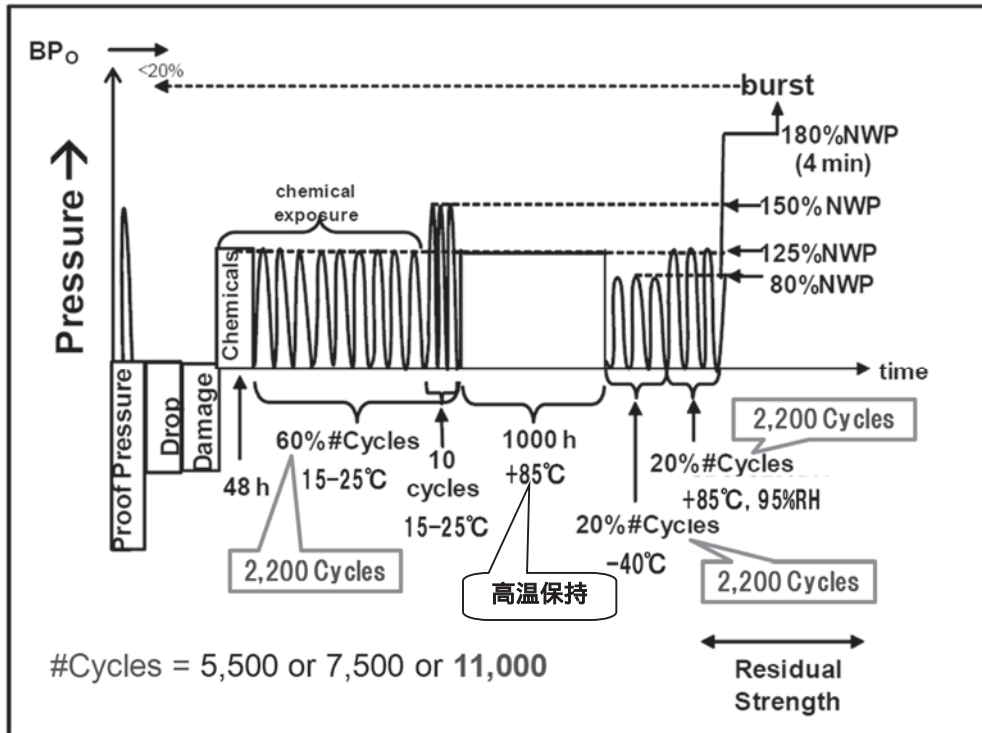


図 3-1 GTR13-HFCV の液圧シリーズ試験概要

c . 実証試験結果

初期の破裂圧力（初期-A，N 数=10）と End of life の破裂圧力（EOL-B，N 数=4 および EOL-C，N 数=10 の合計 N 数=14）を比較した（図 3-2）。

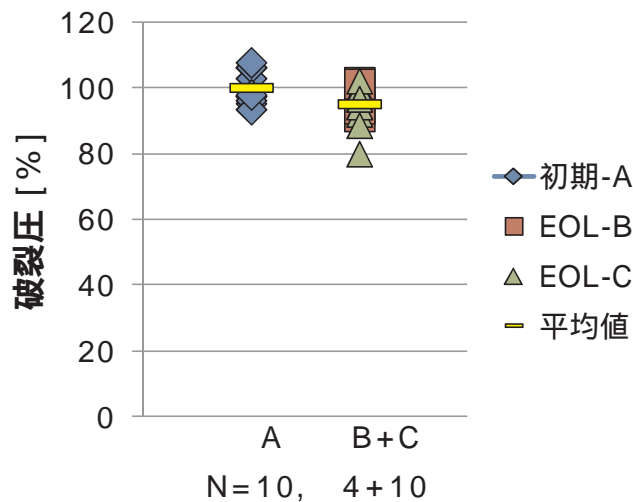


図 3-2 初期と EOL の破裂試験結果

その結果、End of life の破裂圧力は、初期の破裂圧力から平均値で 5%程度低下した。また、初期の破裂圧力のばらつきは±10%弱だったが、End of life の破裂圧力のばらつきは平均値に対して+10%/-15%程度であり、圧力の低い側にばらつきが増加した。

d . 容器の構造解析

液圧シリーズ試験による破裂圧の劣化要因を明らかにするため、容器の構造解析を用いて、EOL 試験の一部である容器表面傷付け（図 3-3）に着目し、表面傷が CFRP のひずみに及ぼす影響を調査した。解析の手順を次に示す。

ライナー形状や FRP の積層情報に従い、傷のない Type-4 容器の FEM モデルを作成する。
 2 種の傷と同寸法に相当する要素の剛性をほぼ 0 に変更することで、傷ありモデルをそれぞれ作成する。
 3 種の容器に対して 70 MPa の内圧に対する解析を実施し、傷の胴部 CFRP 周方向ひずみへの影響を調べる。

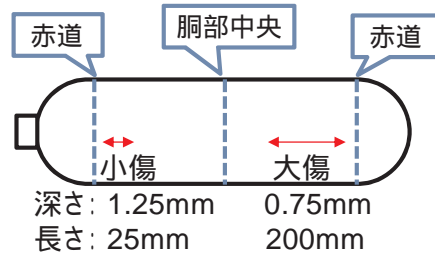


図 3-3 EOL 試験における容器表面傷着けの方法

解析結果の一例を図 3-4 に示す。周方向ひずみの評価場所は最内のフープ層内面である。横軸は長手軸方向座標で、縦軸は周方向ひずみ値である。横軸は胴部中央を 0、赤道を 1 として無次元化し、縦軸は傷なしモデルの直胴部最大周方向ひずみを 1 として無次元化し、表示している。下の図で示してあるように、直胴部での周方向ひずみは外面の傷の存在により上昇する。小傷の場合、より深い傷の影響で赤道近傍の狭い範囲でのひずみ上昇は大傷より大きい、その部分のひずみが上昇しても最大ひずみ値より低いため、容器強度への影響はないと思われる。一方、大傷の場合、最大ひずみ値場所の外面に傷が存在するため、ひずみ最大値が 5%程度上昇している。以上の結果から、容器表面傷付けにより破裂圧力が 5%程度低下することが分かった。

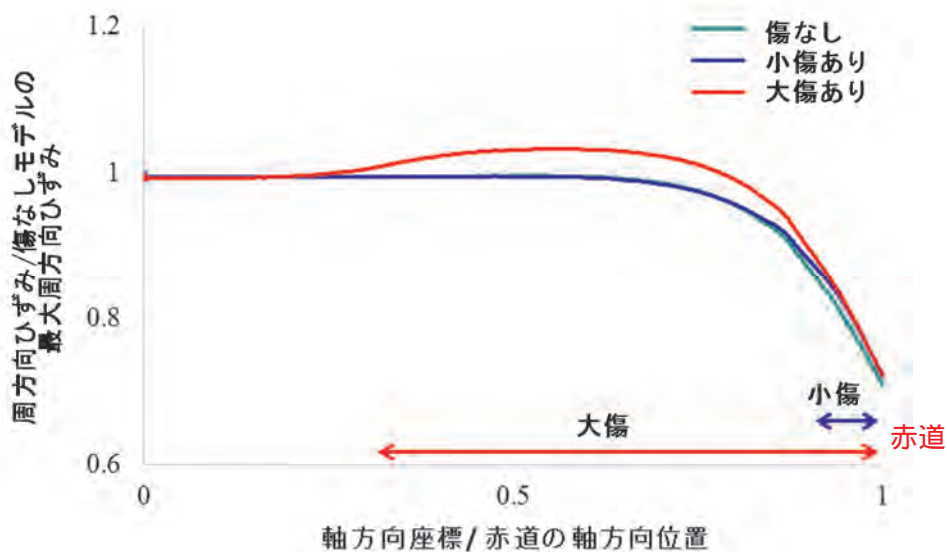


図 3-4 傷の容器直胴部周方向ひずみへの影響

e . 初期破裂圧の検討

初期破裂圧力の平均値を $BP_{初期}$ 、End of life の残留破裂圧力の平均値を BP_{EOL} とすると、取得した実証試験データから、初期のばらつきは $BP_{初期} \pm 10\%$ 、EOL のばらつきは $PB_{EOL} + 10\% / -15\%$ 、 $BP_{初期}$ と PB_{EOL} を比較した劣化率は約 5%であった。このばらつきと劣化率を用いて、End of life の最小残留破裂圧力が 180%NWP 以上となるように $BP_{初期}$ を設定した模式図が図 3-5 である。この図から、初期の最小破裂圧力が 200%NWP 以上であれば、End of life で 180%NWP の残留破裂圧力が確保されることが分かる。このことから、初期の最小破裂圧力は、現状の規定値 225%NWP に対し、End of life の残留破裂圧力規定と相関のある 200%NWP への低減が可能であると考えられる。

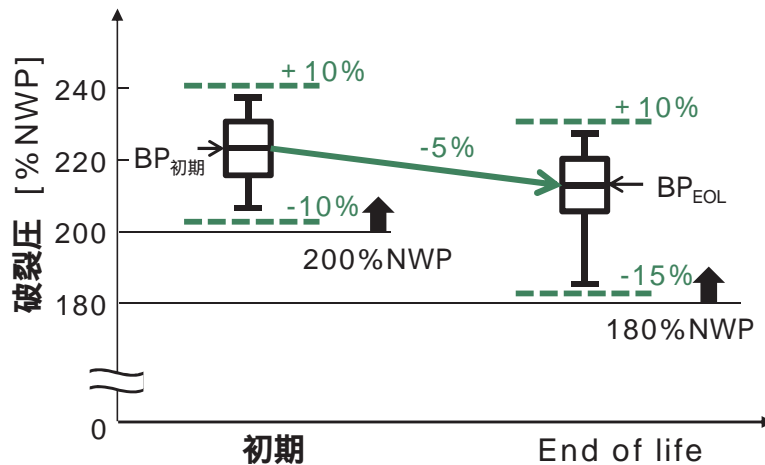


図 3-5 初期と EOL の破裂圧力とばらつきの関係

(2) 課題 B : 金属材料の水素適合性試験法作成に資する材料データ取得 (実施項目 -2)

a. 目的

GTR13-HFCV Phase1 において、水素ガスサイクル試験が規定されているが、実際の長期使用を想定した金属材料への水素の影響は評価できない。このため、材料の水素適合性に関する規定が必要であるが、GTR13-HFCV Phase1 では、金属材料に関する規定は見送られ、各国の基準を適用することとされた。なお、国内基準では、容器および附属品で使用可能材料はアルミニウム合金 A6061 とステンレス鋼 SUS316L (ニッケル当量規制あり) のみである。GTR13-HFCV Phase2 では、材料指定や成分規定の代替りとなる水素適合性試験法を日本から提案することで、国内法へ導入可能な基準となるよう審議を推進する必要がある。図 3-6 に材料の水素適合性に関する規定方法の概念図を示す。本実施項目では、金属材料の水素適合性を評価する試験法作成に資する実証試験データを取得し、取得したデータを基に、水素適合性試験法案を作成することを目的とする。

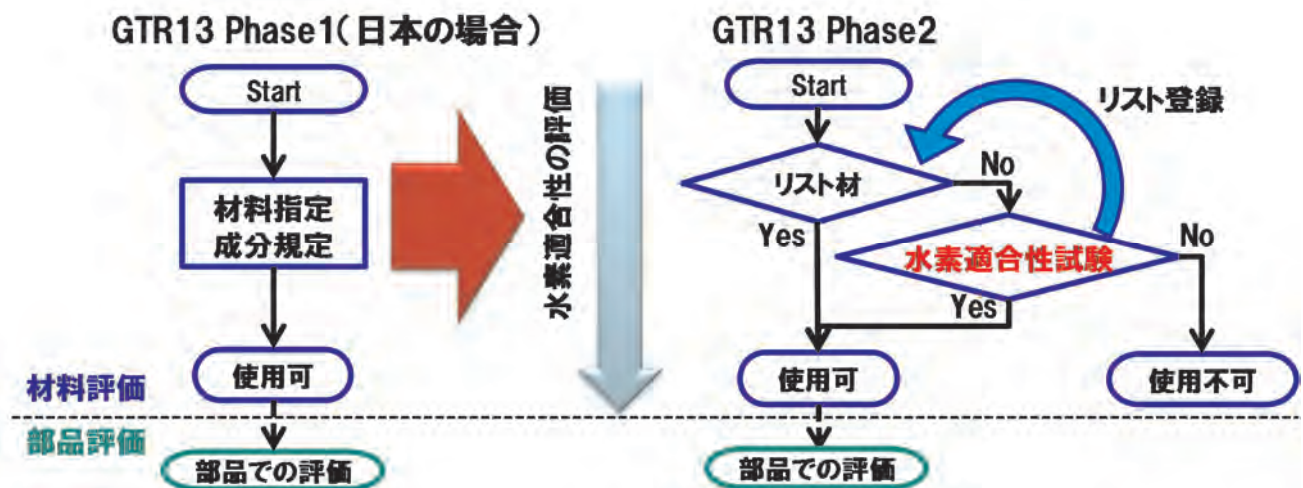


図 3-6 材料の水素適合性に関する規定方法

b. 水素適合性試験法のコンセプトの検討

実証試験の試験条件を検討するため、はじめに水素適合性試験法のコンセプトを検討した。図 3-7 に水素適合性試験法のコンセプトの概念図を示す。

< 水素適合性試験法のコンセプト >

- ・対象とする部品：ボス、主止弁、逆止弁、TPRD。
(ライナーは対象外)
- ・対象とする材料：オーステナイト系ステンレス鋼。
- ・部品性能保障の基本的な考え方：
 - ・水素中でも基本的な材料特性（引張強度、降伏応力、伸びなど）の要求値を満足する材料を使用する。
 - ・使用される温度範囲の高圧水素中において、大気中と比較して疲労限が低下しないことを確認し、大気中の疲労限より低い応力レベルで使用する。
 - ・上記要件を満足した材料を使用して部品を製造し、最終的に部品耐久試験を実施する。

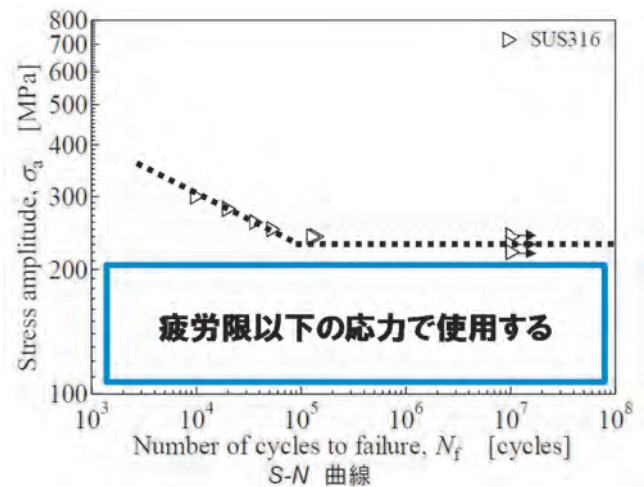


図 3-7 水素適合性試験法のコンセプト

c. 水素適合性試験法作成のための実証試験

以下に実証試験条件の概略を示す。

評価材料 : SUS304, SUS316, SUS316L

SSRT 試験 : 大気中および水素中で、室温、低温 (-45、-80) の引張特性を評価

疲労試験 : 大気中および水素中で、室温の疲労特性を評価。

温度 (-45、-80) の影響、周波数の影響を調査。

結果の一例として、図 3-8 に SUS304 の大気中と水素中の SSRT 試験データを示す。-45、105MPa 水素ガス中の伸びは 15~16%、相対絞りは 0.19 だった。-80、105MPa 水素ガス中の伸びは 16%、相対絞りは 0.20 だった。低温、水素中でも、12%以上の伸びがあることが確認できた。

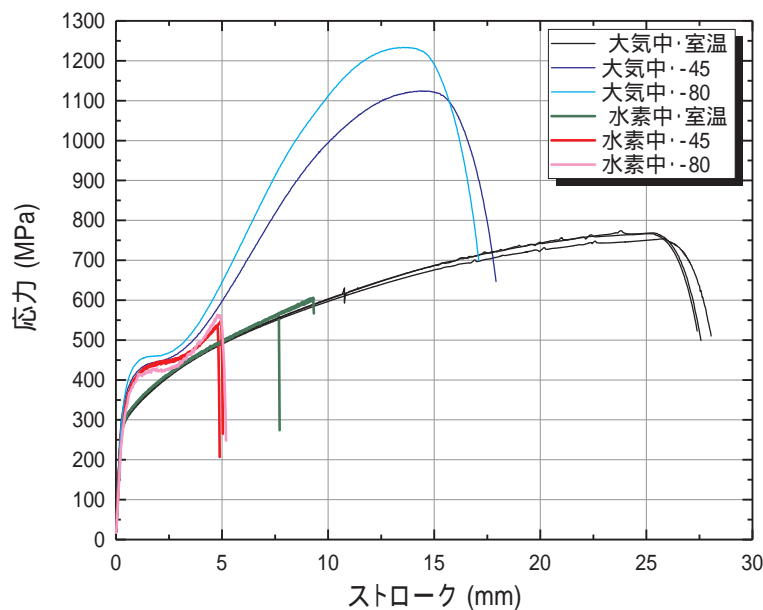


図 3-8 SUS304 の大気中と高圧水素ガス中の SSRT 試験データ

図 3-9 に SUS304 の室温・低温（-45℃、-80℃）大気中および室温・低温（-45℃）水素中の疲労試験データを示す。室温水素中の疲労限応力は室温大気中と同等で、低下しないとの結果が得られた。また、室温大気中の S-N 曲線と比較して、低温大気中では、疲労限応力が上昇した。同様に、低温水素中でも疲労限応力が上昇した。

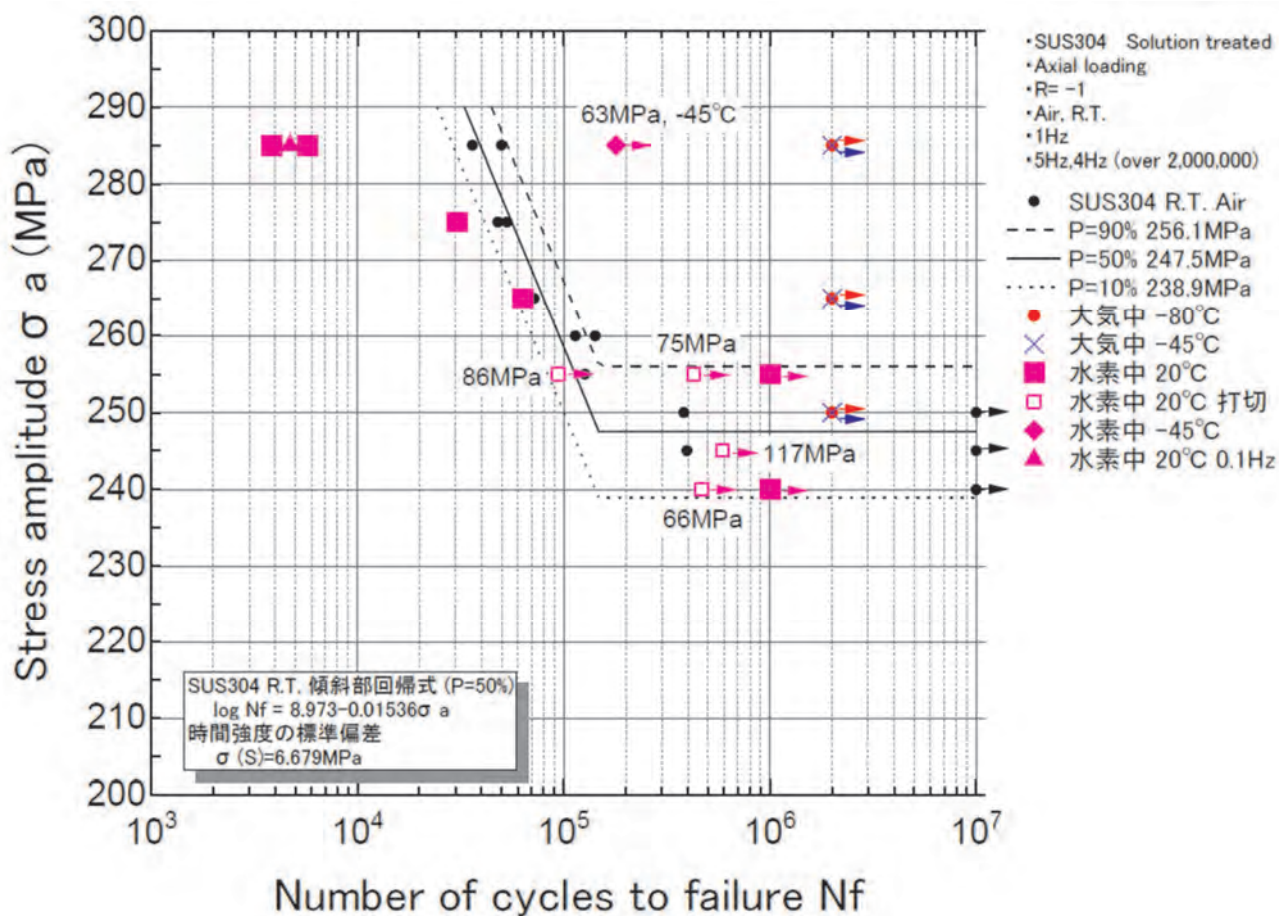


図 3-9 SUS304 の大気中と高圧水素ガス中の疲労試験データ

d. 金属材料の水素適合性に関するメカニズムの検討

SUS304 と SUS316L の水素ガス中 SSRT 試験を実施し、水素ガス中において水素助長継続き裂進展 (HISCG: Hydrogen-Induced Successive Crack Growth) が生じる伸びについて検討した。低合金鋼の実験結果に基づく検討結果から、水素ガス中 SSRT 試験において伸びが 10%以上であることは、水素ガス中において、降伏点が確実に確保され、延性低下が HISCG で生じるということがわかっている。結果として、HISCG が生じる伸びはオーステナイト安定度によって異なり、SUS304 の方が SUS316L よりも低い値を示した。しかし、SUS304 においても HISCG は伸び 17%以上で生じた (図 3-10)。

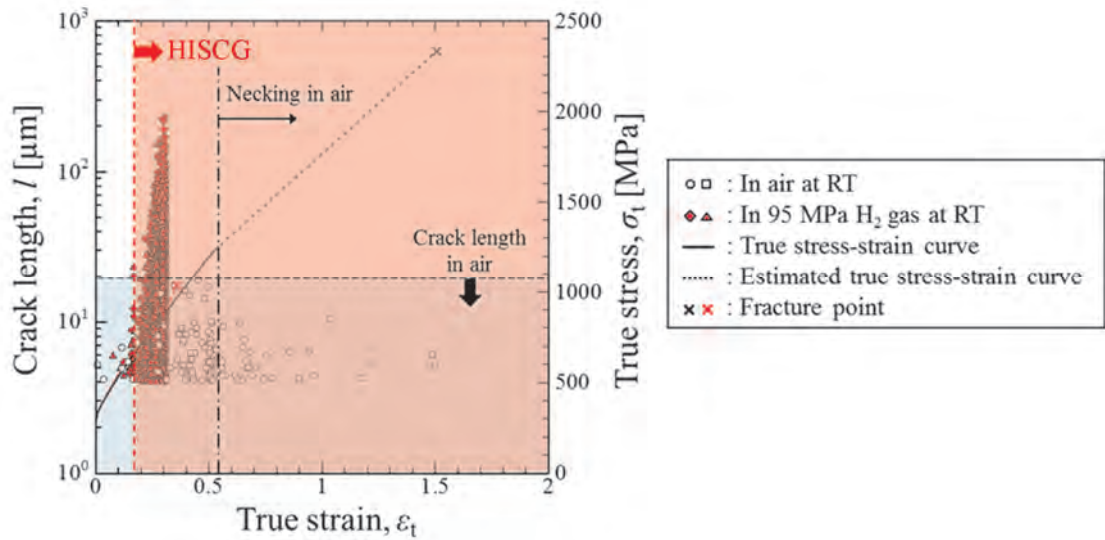


図 3-10 SUS304 の SSRT 試験における表面き裂進展

e . 水素適合性試験法（案）の検討

実証試験結果を基に、水素適合性試験法案を検討した。図 3-11 に試験フローおよび判定基準案を示す。

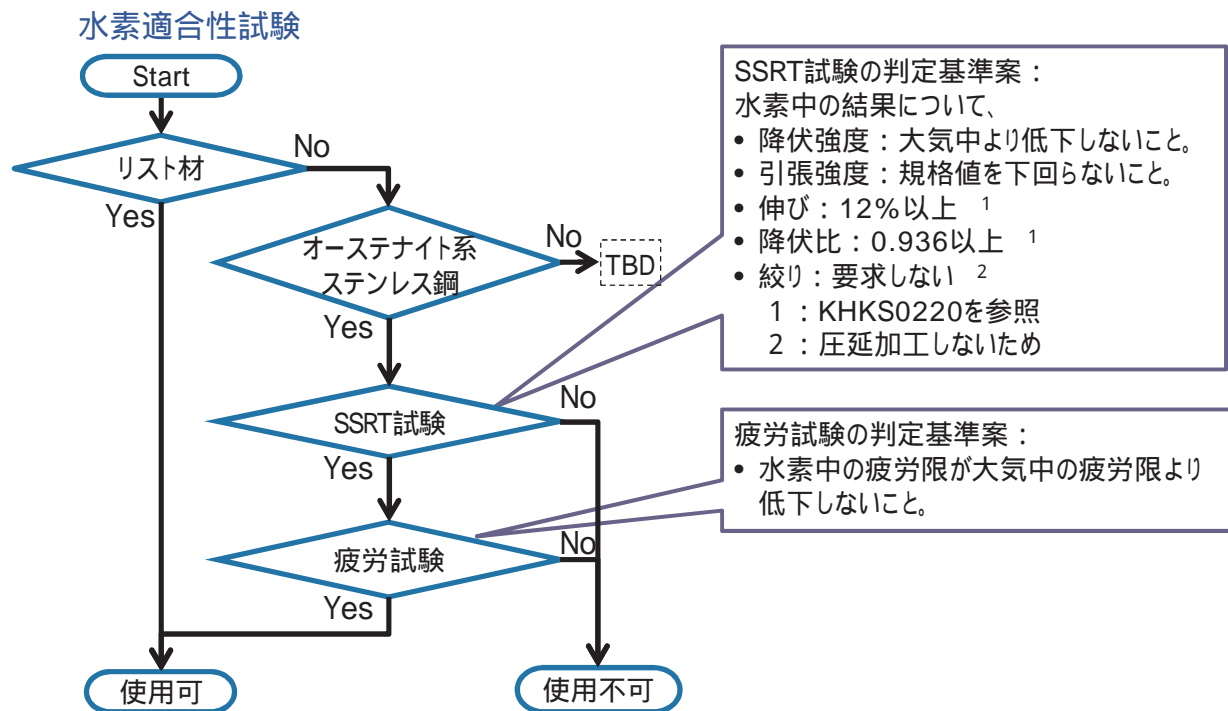


図 3-11 水素適合性試験の評価フローおよび判定基準案

(3) 課題C：アルミニウム合金の腐食を評価する試験法の作成（実施項目）

a. 目的

GTR13 Phase1 では、金属材料に関する規定は見送られ、各国の基準を適用することとされた。現在、国内基準において水素用途で使用可能なアルミニウム合金は、A6061 のみである¹⁾。さらに、過剰 Si 規制や Pb・Bi 規制がある¹⁾。GTR13 Phase2 では、アルミニウム合金の腐食問題に着眼し、材料規定や過剰 Si 規制等の代替となるアルミニウム合金の腐食性に対する合否判定のための試験法を日本から提案することで、国内法へ導入可能な基準となるよう審議を推進する必要がある。図 3-12 にアルミニウム合金の腐食性に関する規定方法の概念図を示す。本実施項目では、アルミニウム合金の腐食試験法の作成および試験法の妥当性を示す実証試験データの取得を目的とする。

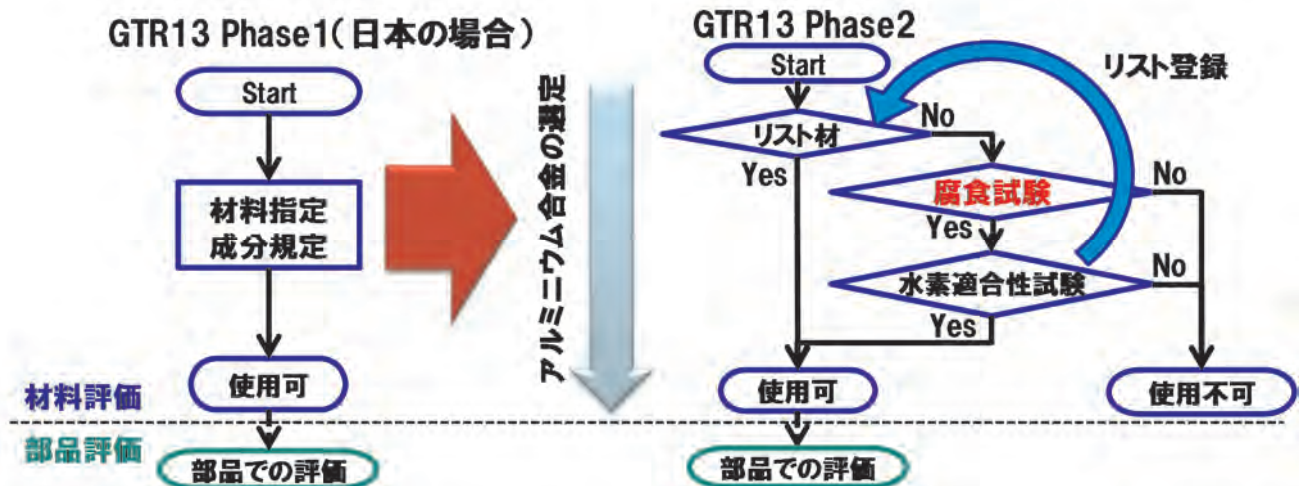


図 3-12 アルミニウム合金の腐食性に関する規定方法

b. 事前調査

アルミニウム合金の腐食に関する従来評価法(圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準²⁾)を実施し、候補材料の実力および組成の影響を把握した。

耐 IGC 性評価方法としては、圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準に示される方法にて評価を行った。3種の合金の中では、6066 低 Si 合金が最も腐食深さが小さかった。また、低 Si 低 Mg 合金が最も腐食深さが大きくなった(図 3-13)。今回作製した 6061 合金および 6066 系合金 3 種は現行規定を満足していなかった。6066 合金と Cu 量の関係を調査した結果を図 3-14 に示す。6066 合金の耐 IGC 特性は Cu 量の低減に伴い向上するが、基準を満足するには 6066 規格外の 0.5mass% 以下にする必要があることが明らかとなった。

従来評価法のうち、耐 SLC 性については、高压容器破損の主因とする報告がある中で、その機構がほとんど知られていないので、どのような条件で起こりやすくなるのかなど基礎的データを収集する必要

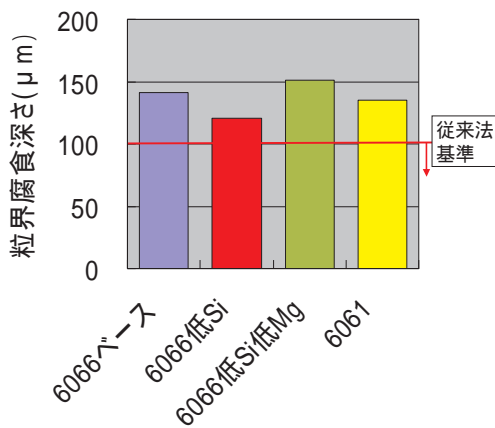


図 3-13 耐 IGC 特性評価結果

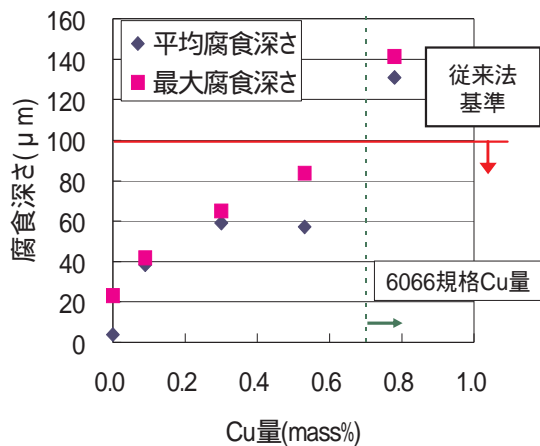


図 3-14 6066 合金における耐 IGC 特性と Cu 量の関係

がある。

試料は株式会社 UACJ により作製された 6061, 7075, 6066 および 6069 合金 T6 材である。天然ガス容器基準²⁾別添 9 に従い、疲労予亀裂を導入し、0.2%耐力 (MPa 単位) の 0.056 倍の値 (MPa√m) となる応力拡大係数 (K) 値 ($=K_{IApp}$) が亀裂先端に負荷されるようにテーパピンを挿入した。そして各試験片を、腐食環境 (常温の 3.5%±0.1% (mass%) 塩化ナトリウム溶液中) 乾燥 (相対湿度 10% 以下) および湿潤 (相対湿度 90% 以上) の 2 種類の大気環境の計 3 種類の試験環境で 90d 保持した。90d 経過後、テーパピンを取り除き再度上記 K 値の 0.6 倍以下の範囲で疲労負荷を加え、再疲労による亀裂長さが 1mm 以上になった後、CT 試験片を急速破断させた。破断後の CT 試験片の破面を SEM で観察し、疲労予亀裂と疲労再亀裂の間の SLC 長さを測定した。測定は、試験片厚さの 25%, 50% および 75% の位置で測定し、これら 3 つの値の平均値で耐 SLC 特性を評価した。試みに $K = 1.5K_{IApp}$ を負荷した場合の評価結果を図 3-15 に示した。湿潤大気で乾燥大気よりも SLC が長くなる傾向があることが分かる。

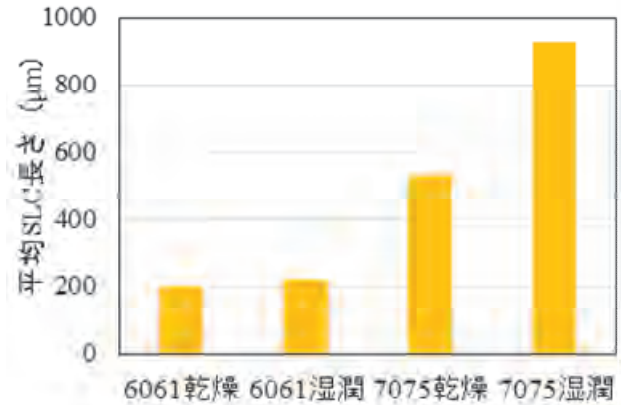


図 3-15 6061, 7075 合金の平均 SLC 長さの測定結果 (ただし $1.5 K_{IApp}$ を負荷)

c. アルミニウム合金の腐食を評価する試験法案の開発

自動車用圧縮水素容器に用いるアルミニウム合金の腐食を評価する試験法を策定するに当たり、上述の圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準に規定されている 3 つの試験 (IGC, SCC, SLC; ISO 7866 Annex A, B) にも同様な試験法の記載がある) について、これらが圧縮水素容器の場合に必要などうかを精査した³⁾。その結果、図 3-16 に模式的に示したように、ライナー材が曝される環境としては、水素に曝されるが大気には曝されない内部環境と、大気に曝されるが水素に曝されない外部環境とに分ける必要があると考えられた。外部環境は、特に水素容器に限られた環境ではない。使用環境としては、通常の自動車に使用される足回り部品のように、融雪剤等の過酷な環境になるが、これに耐えるアルミニウム材料の選定については、自動車製造企業が独自の基準を設け、重大な事故例は報告されていない。したがって今回新たに策定しなければならないのは、内部環境に曝される材料の基準 (評価法) であるとの結論に達した。

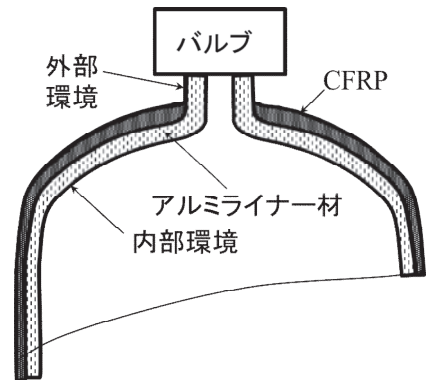
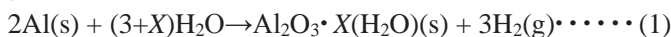


図 3-16 ライナー材が曝される環境

内部環境を考えた場合、水素適合性がまず必須であることは言うまでもないが、アルミニウム材料の場合、大気中に比べて高圧水素中で力学特性が劣るという結果は見られていない⁴⁻¹²⁾。しかしここで注意しなければならないのは水素中の不純物水分である。試験環境中の水蒸気は金属アルミニウムと式 (1) の反応を起こし、熱力学的計算ではその時に生じる水素ガスのフガシティが 10^{53} Pa 以上と桁外れに高くなり (相対湿度 87%、温度 25 °C において $X=3$ の水和酸化物バイエライトが生じる場合)¹³⁾、生じた水素ガスの一部が原子状水素として材料内に侵入し、水素脆化を引き起こす可能性があると考えられている。



一般にアルミニウムの酸化皮膜は保護性が高く、式 (1) の反応が生じて、その部分が直ちに保護性皮膜に覆われ反応は持続しない。しかし引張負荷がかかり続けるような場合の亀裂先端では、微視的塑性

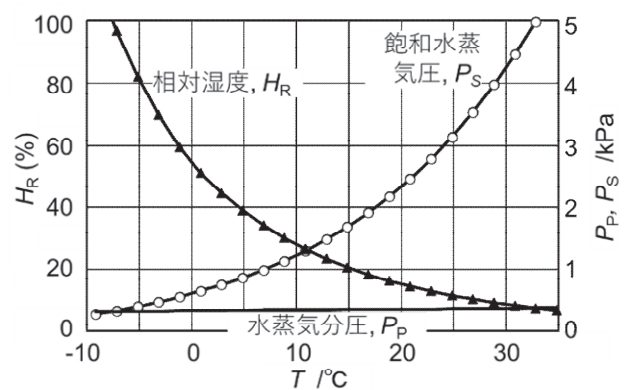


図 3-17 5ppm の不純物水分を含む水素 (15°C, 70MPa) 中の水蒸気分圧、飽和水蒸気圧、相対湿度の温度依存性

変形により保護性皮膜が破れて、反応が持続する可能性がある。

現在 FCV に使用が認められている水素ガス中の不純物水分の許容量は 5ppm であるが、図 3-17³⁾に示すように、5ppm の水分を含む水素ガスを国際基準で定められている 15 で 70MPa に充填すると、-7 で相対湿度が 90%に達する³⁾。ベース環境が大気でなく水素であっても、合金によっては、乾燥環境で進展しないき裂が湿潤環境にすると進展するとの報告がある¹⁴⁾。したがってアルミニウム合金の場合、水素に曝され大気と遮断される内面において、水素中の水分による脆化を懸念する必要がある。高压水素ガス中で湿度を調整する試験は、実施困難であり、7075 合金では大気中でも高湿度とすることにより脆化が見られる^{6,7,15)}ことから、湿潤大気環境での試験が評価環境として妥当と考えられる。

そこで、アルミニウム合金の腐食を評価する試験法として、「湿潤ガス応力腐食割れ試験(Humid gas stress corrosion cracking(HG-SCC) test)」法案を開発した。本試験法は、海外でも受け入れられやすいように、ISO 7866¹⁶⁾ Annex B(圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準²⁾)に記載されている SLC 試験に近い形を取っている。ただし上述の湿潤環境に関する議論を踏まえ、SLC 試験で規定されていない湿度条件を規定している。そして今後、日本高圧力技術協会にて HPIS 規格化予定である。図 3-18 に HG-SCC 試験方法(案)を示す。

<p>HG-SCC試験方法 (案) 試験片：CT試験片 試験内容： 1 . 疲労による予亀裂を導入する。 2 . 応力拡大係数が、材料の耐力によって定められる値K_{IAPP} (長さ1mmの亀裂に耐力値相当の応力を付加した時のK_I値) になるように負荷する。 3 . 湿潤大気中 (25 ±5 , 85%RH以上) で90日間、負荷した状態で保持する。 4 . 疲労による後亀裂を導入した後、試験片を破断する。 5 . HG-SCCによる亀裂長さを測定する。 判定基準：HG-SCCによる亀裂長さが0.16 mm以下を合格とする。 (参考規格：ISO 7866:2012 Annex B 長期負荷割れ(SLC)試験)</p>	
---	--

図 3-18 アルミニウム合金の HG-SCC 試験方法(案)

d . HG-SCC 試験の妥当性を示す実証試験

成分を変化させた様々な 6000 系アルミニウム合金について、開発した湿潤ガス応力腐食割れ(HG-SCC)試験で適正な材料選択が可能か、また、過剰 Si 規制や Pb・Bi 規制を試験法に置き換えられるか検討するためのデータを取得することを、実証試験の目的とした。

6000 系アルミニウム合金の主要元素である Mg、Si、Cu の割合を変えた供試材を作製した。図 3-19 に 6000 系合金の組成範囲 (Mg、Si) と作製した試験材の組成を示す。HG-SCC 試験を実施した結果の一例として、図 3-20 に主要試験材の荷重割合変化を示す。過剰 Si-無 Cu の および において荷重低下が著しく、負荷中に亀裂が進展していると推察される。また、6000 系アルミニウム合金に Pb や Bi を添加した供試材の HG-SCC 試験も実施し、影響を評価した。その表面での亀裂進展量を測定した結果を上述の主要試験材の結果とともに表 3-1 に示す。主要組成の影響については、-1 のみ例外的に亀裂が進展しているが、それ以外は、荷重割合変化に対応し過剰 Si-無 Cu の試験材のみで亀裂進展が著しい。Pb、Bi の悪影響はここでは見られない。

図 3-21、図 3-22 には、図 3-19 に示す組成のうち、それぞれ ~ および ~ について、それぞれ荷重低下率変化と亀裂進展量を掲げた。ここでも過剰 Si-無 Cu の試験材で亀裂進展が著しいことが確認できる。

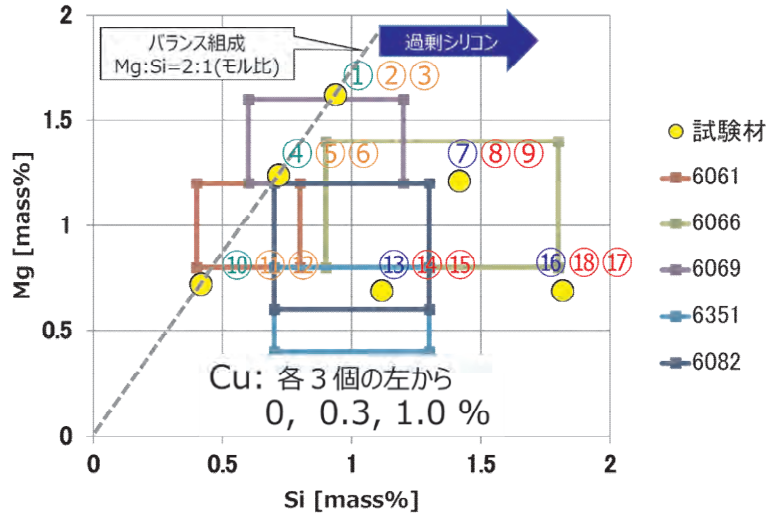


図 3-19 6000 系合金の組成範囲(Mg,Si)と試験材組成

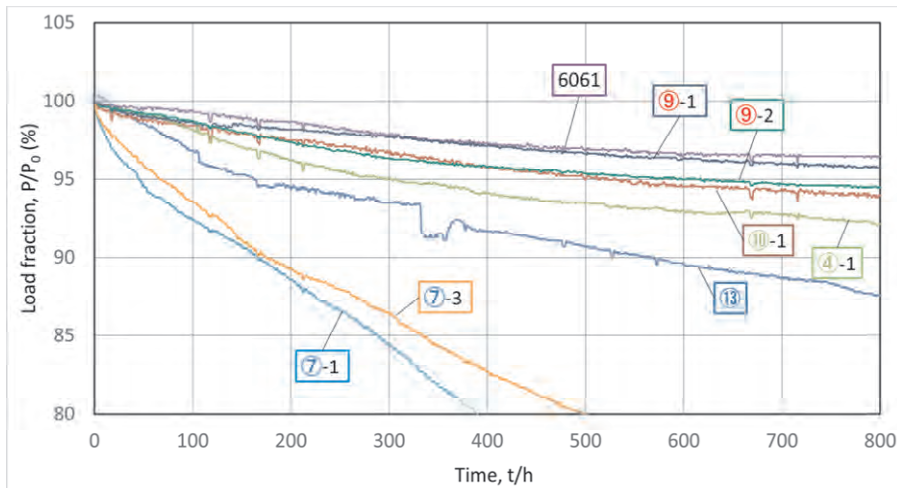


図 3-20 主要試験材の HG-SCC 試験時の荷重割合変化(ハイフン以下は試験片番号)

表 3-1 各試験材に負荷した K_{IApp} 値と表面での亀裂進展量 Δa_s (“PB”は 0.05%Pb+0.05%Bi 添加)

試験材	K_{IApp} [MPa√m]	Δa_s (表面)[mm]
④-1	16.5	0.028
⑦-1	19.6	>5
⑦-2	19.6	>5
⑨-1	19.6	0.005
⑨-2	19.6	0.008
⑬-1	18.9	0.194
⑤-1	19.0	0.226
⑤-2	19.0	0.020
⑤PB-1	18.2	0.026
⑤PB-2	18.2	0.019
⑮-1	18.8	0.040
⑮-2	18.8	0.036
⑮PB-1	17.8	0.052
⑮PB-2	17.8	0.046
6061-1	15.4	0.015

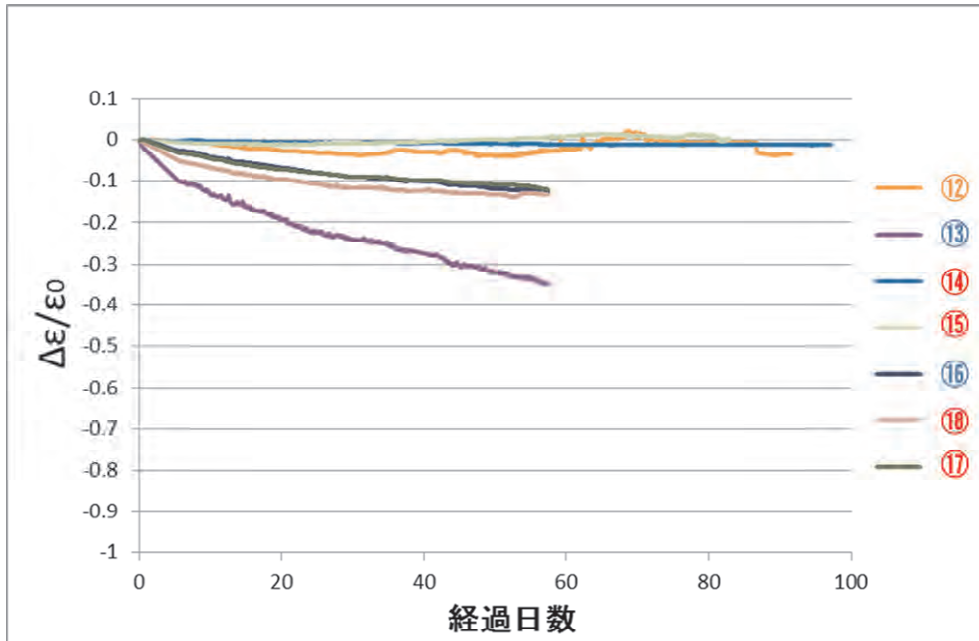


図 3-21 試験材 ⑩ ~ ⑱ の HG-SCC 試験中の荷重低下率($\Delta\varepsilon/\varepsilon_0$, 試験片に貼り付けたひずみゲージにより評価)

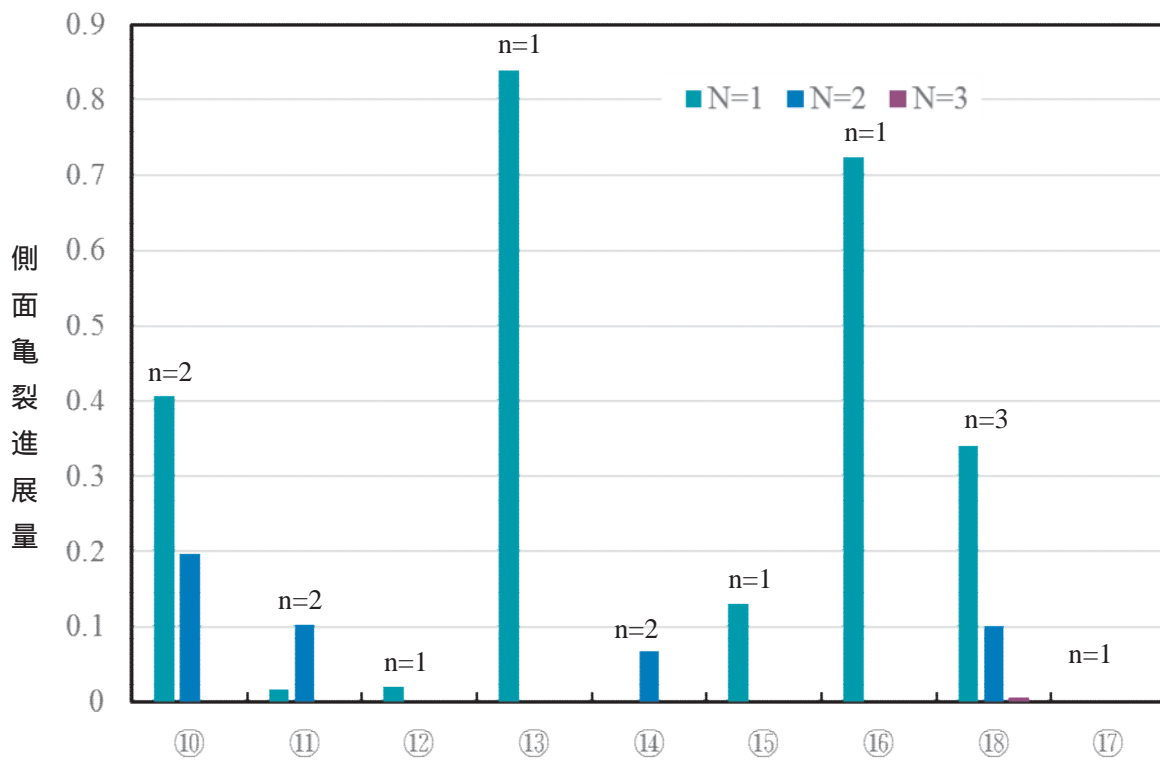


図 3-22 試験材 ⑩ ~ ⑱ の HG-SCC 試験時の亀裂進展量(試験片側面で測定)

e . HG-SCC 試験の検証試験

荷重漸増試験および定変位試験により湿潤環境の K_{ISCC} を測定し、6000 系アルミニウム合金の HG-SCC 特性を評価することで、HG-SCC 試験の負荷条件が適正であることを検証することを目的とした。

実証試験の供試材について、荷重漸増試験および定変位試験により湿潤環境で応力腐食割れの発生する下限値 K_{ISCC} の測定を実施した。図 3-23 に測定結果を示す。HG-SCC 試験の負荷荷重 K_{IAPP} と測定した下限値 K_{ISCC} を比較した結果、HG-SCC 試験の負荷条件が適正である(過剰 Si-無 Cu 材では $K_{IAPP} > K_{ISCC}$)ことを検証できた。また、 K_{ISCC} の低い試験材では、粒界割れの傾向が強く現れていた。

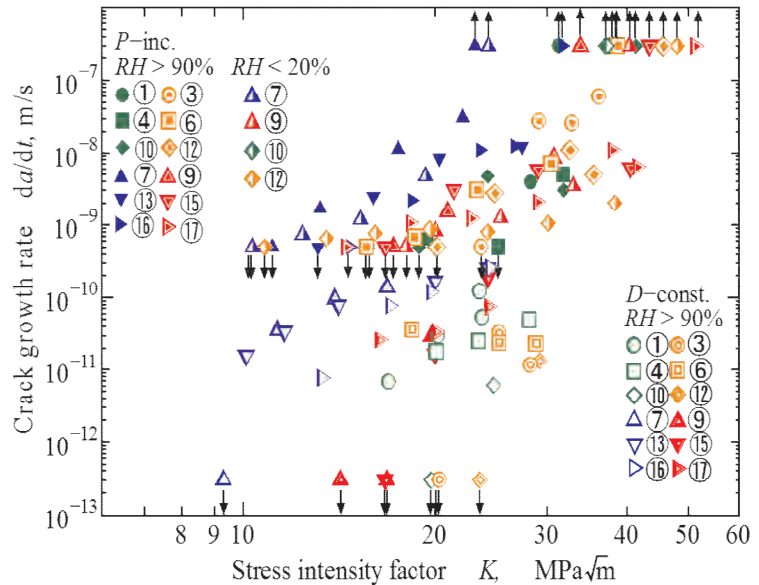


図 3-23 荷重漸増試験および定変位試験により得られた亀裂進展特性

f . HG-SCC 特性に及ぼす結晶粒サイズの影響

HG-SCC 特性は、合金成分や調質条件だけでなく、結晶粒サイズにも影響される可能性がある。その影響の度合いを把握する目的で、図 3-19 の組成の中で および に 0.6% の Mn を添加した試験材(それぞれ 13M および 15M)を溶製し、製造条件(熱間圧延時の加熱温度)を調整することにより、同一成分で結晶粒サイズの異なる材料を試作した。その結晶粒組織を図 3-24 に示す。ねらい通り微細粒材(13MF,15MF)と粗大粒材(13MC,15MC)とを作り分けることができた。各試験材の HG-SCC 試験中の荷重低下率を図 3-25 に掲げた。これを見る限り、荷重低下率に大差はなく、結晶粒サイズの影響は見られない。しかし図 3-20 ~ 3-23、表 3-1 では、Mn 以外の元素について 13-MF や 13MC とほぼ同組成の試験材 で、HG-SCC 亀裂の顕著な進展が見られた。また一般には粗大粒のほうが、低延性・低靱性になるといわれている¹⁷⁾。したがって粗大粒の 13MC において、

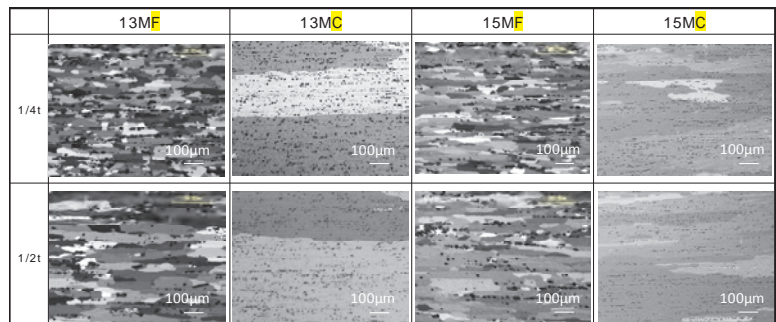


図 3-24 試験材 13M および 15M の光学顕微鏡組織 (13MF,15MF: 通常プロセス(微細粒)材、13MC,15MC: 粗粒化プロセス材)

何故亀裂がほとんど進展しなかったのかについては、今後解検討が必要であるが、現段階では、今回の HG-SCC 試験をはじめ、亀裂進展試験では、想定される亀裂進展面からのずれが大きいほど、力学的に亀裂進展しにくくなるので、進展面に近くかつ進展面と平行な粒界が少ない 13MC のような場合には、粗粒で亀裂が粒界に沿って進展しやすくて、試験においては亀裂進展量が少なくなったと推察された。

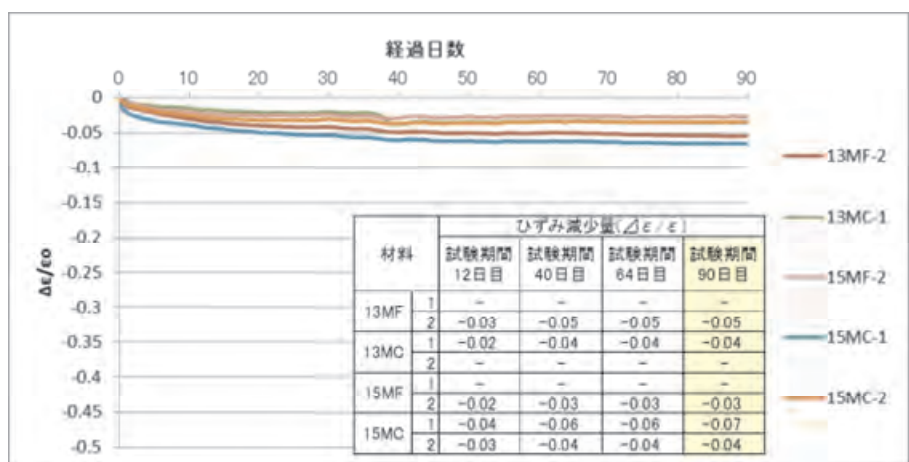


図 3-25 結晶粒組織調整材の HG-SCC 試験中の荷重低下割合(Δε/ε₀, 試験片に貼り付けたひずみゲージにより評価)

g. Pb, Bi の存在状態調査

Pb, Bi の上限規定が真に必要なかどうかの調査を行うために、6061 合金に近い、6066 合金に近い に対して、AA 規格における 6000 系アルミニウム合金のその他成分の上限(各々0.05%)以内の範囲で、Pb, Bi を添加した試験材計 8 種類を調製した。その組成を表 3-2 に示す。その製造工程は、ブックモールド鋳塊(幅 200mm、厚さ 70mm)を長さ 180mm に切断、面削(幅 180mm、厚さ 50mm)したのち、均質化処理(530 -10h)・熱延(厚さ 7mm)を行い、その後 T6 処理とした。各試験材について、基本的な引張り特性の評価をはじめ、提案中の HG-SCC 特性の評価、その結果の裏づけとしての Pb, Bi の存在状態の調査を行った。HG-SCC 特性については、主要組成の影響とともに既に d 節で述べたので、ここでは Pb, Bi の存在状態の調査結果を報告する。

表 3-2 Pb, Bi の影響調査用供試材の化学組成(質量%)

No.	Si	Fe	Mg	Cu	Pb	Bi
5P1	0.7	0.1	1.2	0.3	0.01	-
5B1	0.7	0.1	1.2	0.3	-	0.01
5P5	0.7	0.1	1.2	0.3	0.05	-
5B5	0.7	0.1	1.2	0.3	-	0.05
5PB	0.7	0.1	1.2	0.3	0.05	0.05
15P5	1.1	0.1	0.7	1.0	0.05	-
15B5	1.1	0.1	0.7	1.0	-	0.05
15PB	1.1	0.1	0.7	1.0	0.05	0.05

15PB-T6 調質材について、EPMA(Electron Probe Micro Analyzer)を用いて Pb, Bi の存在状態を調査した。図 3-26 は元素のマッピングの結果を示す。Bi と Mg はほぼ同じ場所に存在することが分かる。図 3-26 の反射電子組成像から第二相粒子を選んで、EPMA 点分析により第二相粒子の半定量分析を行った。その分析箇所を図 3-27、点分析結果を表 3-3 に示す。Pb が検出された箇所では Mg と Bi が極わずかししか検出されなかったが(箇所 4)、Bi と Mg は同時に検出された(箇所 5)。Mg-Bi の 2 元状態図¹⁸⁾から Mg₃Bi₂化合物が存在することにより、本合金系では Bi は Mg と化合物を形成したと推測される。

5PB および 15PB に存在する相を同定する目的で、X 線回折(θ-2θ法)を行った。回折チャートは省略するが、同定結果を表 3-4 に示す。5PB、15PB とともに、Pb は単体として存在し、Bi は上述の推測通り Mg と Mg₃Bi₂ 化合物を形成することが確認される。

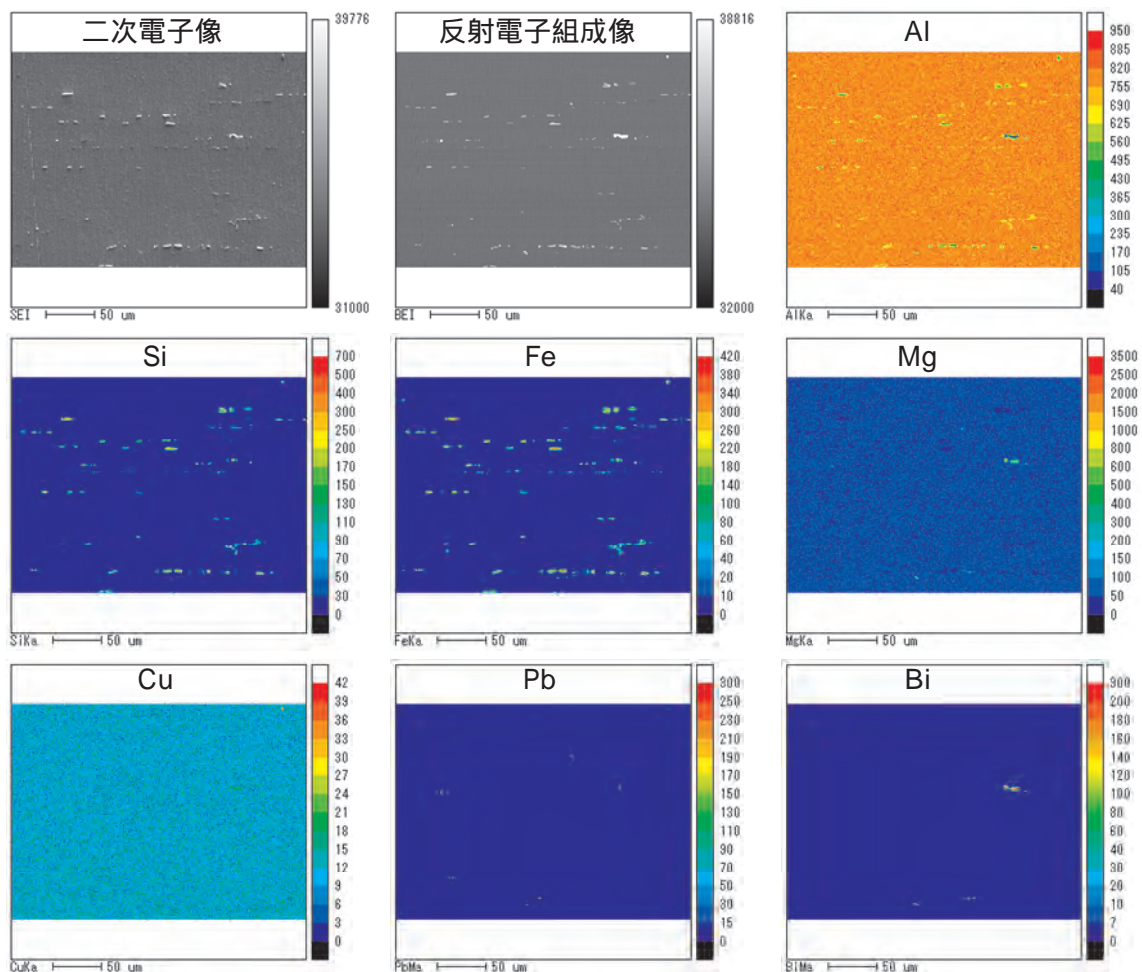


図 3-26 5PB 材の EPMA マッピング結果

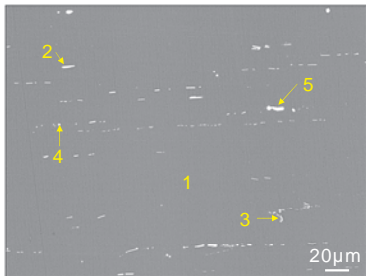


図 3-27 EPMA 点分析箇所

表 3-3 定性・半定量分析結果(質量%)

分析箇所	Al	Si	Fe	Mg	Cu	Pb	Bi	O	推定化合物
1	95	2	-	0.6	2	-	-	0.8	マトリクス
2	59	16	24	0.2	0.6	-	-	0.5	Al-Fe-Si
3	76	10	12	0.5	0.9	-	-	0.5	Al-Fe-Si
4	51	0.3	-	0.5	0.7	45	0.8	1	Pb
5	7	0.2	-	9	0.6	0.8	79	4	Mg ₃ Bi ₂

表 3-4 XRD により検出された化合物

供試材	XRD で検出された化合物
5PB	β-AlFeSi、Mg ₃ Bi ₂ 、Pb、Mg ₂ Si
15PB	β-AlFeSi、Mg ₃ Bi ₂ 、Pb、Mg ₂ Si

h. 予ひずみの影響調査

耐 HG-SCC 性に及ぼす予ひずみの影響を明らかにするため、引張変形した 6061-T6 板材を湿潤大気中で HG-SCC 試験に供した。

供試材として t7×L75×W200 mm の 6061-T6 材(これまでの 6061 合金と別ロットなので、以後、6061(2)-T6 と表記する)を用意し、LT 方向に最大で 10% の引張塑性ひずみを与えた。その後、ひずみ量がほぼ均一な領域(図 3-28)より CT 試験片を作製し、HG-SCC 試験用の。図 3-29 に約 50 日間までの HG-SCC 試験中のひずみ減少量を示す。ひずみの減少量は小さく、予ひずみの影響は無いかもしくは極めて小さいことが分かった。

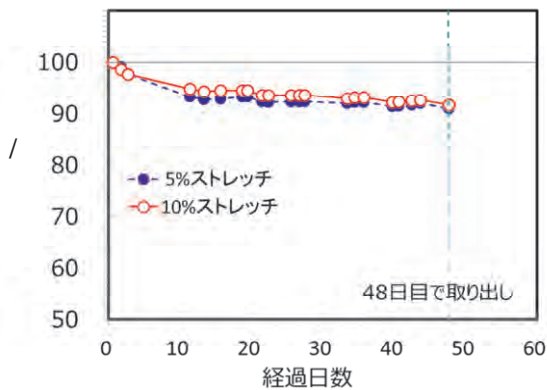


図 3-29 6061(2)-T6 板材の HG-SCC 試験中の荷重割合変化(P/P₀、試験片に貼り付けたひずみゲージにより評価)

i. 車載用容器としての適合性評価

6061 材を用いた 70MPaTYPE3 容器を製作し、車載用容器としての適合性評価を行った。基本性能評価として KHKS0128 による破裂試験、落下サイクル試験を実施し、耐久性評価として GTR 耐久性能試験を実施した。GTR 耐久性能試験結果を表 3-5 に示す。6061 材の車載用容器としての適合性が確認された。また今回の試験により、GTR 耐久性能試験における連続試験のダメージ(低下率 7%)を把握することができ、今後の車載用容器の設計指針を得ることができた。

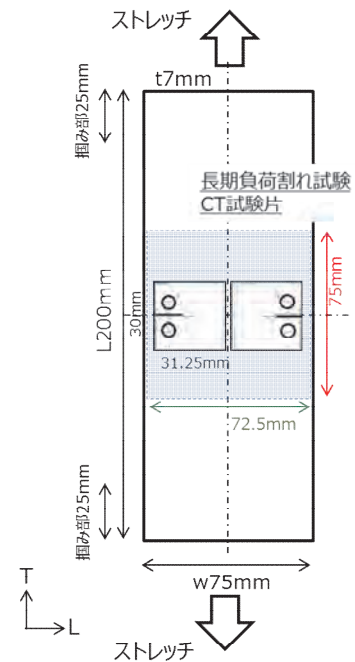


図 3-28 引張ストレッチ板からの CT 試験片の採取位置

表 3-5 GTR 耐久性能試験

試験項目	結果
1 耐圧試験	105MPa において異常膨張なし
2 落下試験	実施
3 表面損傷試験	実施
4 化学物質曝露及び常温気圧サイクル試験	化学物質曝露後の常温サイクル試験でサイクル回数 6600 回において漏れなし
5 高温静圧試験	リークなし
8 限界温度気圧サイクル	リークなし
6 残留水圧試験	126MPa において破裂なし。
7 残留破裂強度試験	188.1MPa > BP ₀ 161.6MPa で破裂
合否	合格

参考文献

- 1) 70MPa 圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 KHKS0128, (2010).
- 2) 圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準(JGA 指-NGV07-05), 社団法人日本ガス協会.
- 3) 伊藤吾朗: 材料と環境, 65(2016), 432-437.
- 4) 大宮慎一, 藤井秀樹, 材料とプロセス, 18[3], 596(2005).
- 5) 大宮慎一, 藤井秀樹, 材料とプロセス, 18[3], 597(2005).
- 6) 伊藤吾朗, 水素製造・吸蔵・貯蔵材料と安全化, サイエンス & テクノロジー(株), p.234 (2010).
- 7) 「水素社会構築共通基盤整備事業 水素インフラ等に係わる規制再点検及び標準化のための研究開発 水素用アルミ材料の基礎研究」平成 17 年度～平成 21 年度研究成果報告書, (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構, (2014)
- 8) 藪木政男, 横川清志, 緒形俊夫, 中川英樹, 江口晴樹, 藤井秀樹, 岡口秀治, 石尾光太郎, 林稔, 斎藤正洋, 圧力技術, 38, 319(2000).
- 9) WE-NET サブタスク 6 「低温材料技術の開発:平成 8 年度成果報告書, 新エネルギー・産業技術総合開発機構, (1997).
- 10) 水素の有効利用ガイドブック, (独)新エネルギー・産業技術総合開発機構, p.81 (2008).
- 11) R.P.Jewett, R.J.Walter, W.T.Chandler and R.P.Frobmberg, NASA CONTRACTOR REPORT (NASA CR-2163), “Hydrogen Environment Embrittlement of Metals”, National Aeronautics and Space Administration, (1973).
- 12) Safety Standard for Hydrogen and Hydrogen Systems, National Aeronautics and Space Administration, (2005).
- 13) R. E. Ricker and D. J. Duquette, Metall. Trans. A, 19A, 1775(1988).
- 14) M. O. Speidel, “The theory of stress corrosion cracking in alloys”, ed. by J. C. Scully, North Atlantic Treaty Organization. Scientific Affairs Division, p.289 (1971).
- 15) 大崎修平, 池田淳, 木下勝之, 佐々木侑髄, 軽金属, 56, 721(2006).
- 16) ISO 7866, Gas cylinders, Refillable seamless aluminum alloy gas cylinders, in Design, Construction and Testing, 2nd Ed., 2012.
- 17) 伊藤吾朗, 江藤武比古, 宮木美光, 菅野幹宏: 軽金属, 38(1988), 818-838.
- 18) M. Hansen and K. Anderko: Constitution of Binary Alloys, McGraw-Hill, (1958)

(4) 国内基準の適正化および国際基準調和(実施項目)

a. 国連基準と国内規制の調和

ア) 国内会議

試験法作成のための各TF(タスクフォース)および上位審議体の企画WGで各課題検討状況を審議した。また水素適合性試験法作成に資するデータの信憑性を審議する“自動車用シナリオ・データ検討会”を立上げ、専門家によるデータ確認を行った。更にこれらの結果について、第三者審査機能を持つHFCV用容器検討委員会に報告し、国際審議の場へ提案するための承認を得た。主な成果は以下のとおり。

- 容器破裂圧適正化：実証試験結果に基づく検討シナリオの検証および追加調査計画等の承認。
初期破裂圧に対する劣化後(EOL)の破裂圧低下率とばらつきを実証し、劣化後破裂圧 180%NWP が確保できるか検証した結果、立案した検討シナリオに基づき初期破裂圧 200%NWP(現 225%NWP)への変更可能性を裏付けるデータであることが承認された(図 3-30)。また負荷条件の中から落下試験が劣化要因として大きいことが認識され、X線CT撮影によるCFRPの損傷評価結果からもその影響が大きいことが認められた。
- 水素適合性試験法：試験法コンセプトの合意に基づき取得した実証試験データの信憑性評価、およびメカニズム解析を基にした試験法と評価判定基準案の提案。高圧水素環境下のSSRT試験で材料特性(引張り強度、降伏点、伸び)が大気中と変わらないまたはある判定値を下回らない、かつ水素中の疲労寿命試験で疲労限が低下しないことを判定基準とした試験法として国際基準審議の場に提案することが承認された(図 3-31)。これらはオーステナイト系ステンレス鋼を、疲労限以下の応力レベルで部品に使用することを前提にしたものである。
- 腐食試験法：アルミニウム合金の湿潤環境中の応力腐食割れ(HG-SCC)特性を評価する試験規格案を立案し、実証試験を基に試験法を提案。実証試験結果から、湿潤環境において最大1mmのき裂が存在した状態で降伏応力がかかってもき裂が進展しないことを判定基準とした試験法(図 3-32)が認められ、国際基準審議の場に提案することが承認された。また国際提案に先立ち、国内における規格化として、日本高圧力技術協会(HPI)にてHPISとして規格化することが合意され、国際提案時の引用規格として発行された。

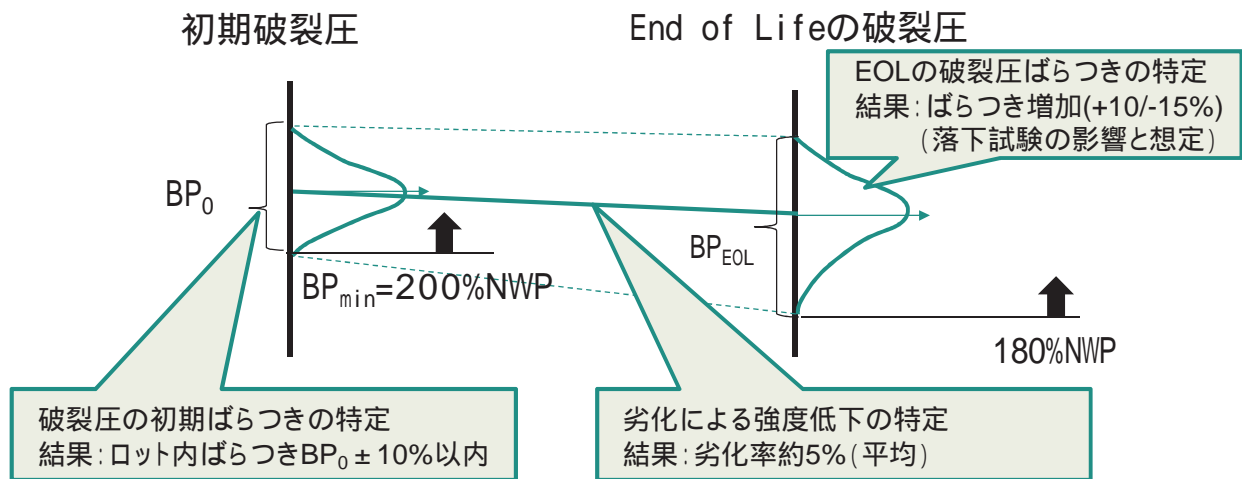


図 3-30 実証試験結果に基づく破裂圧の考え方

オーステナイト系ステンレス鋼の水素適合性試験法
対象部品: 車載用高圧水素容器のボス、および附属品

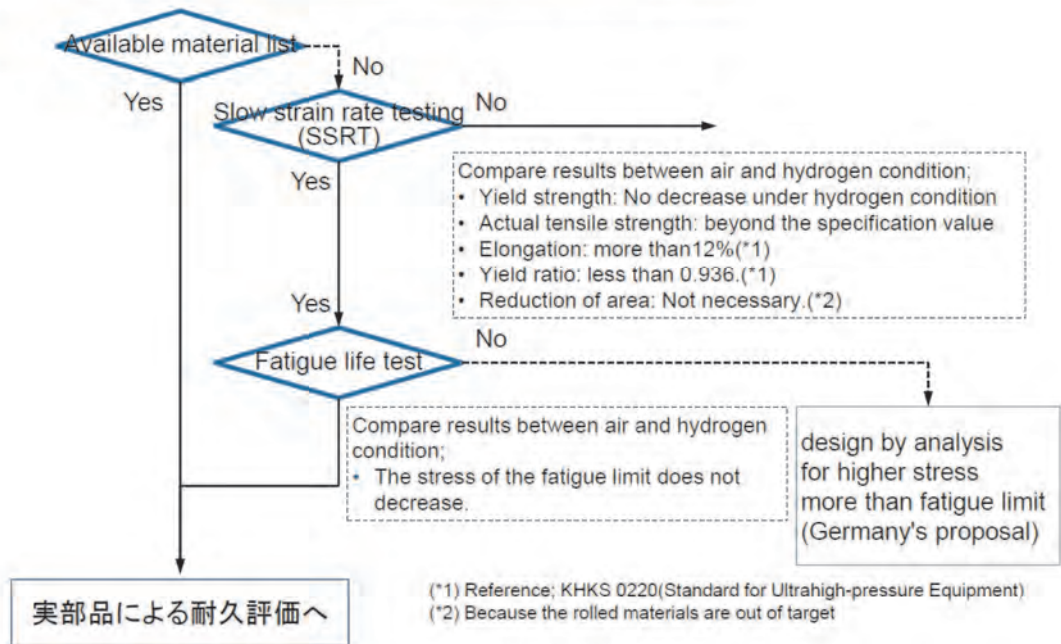
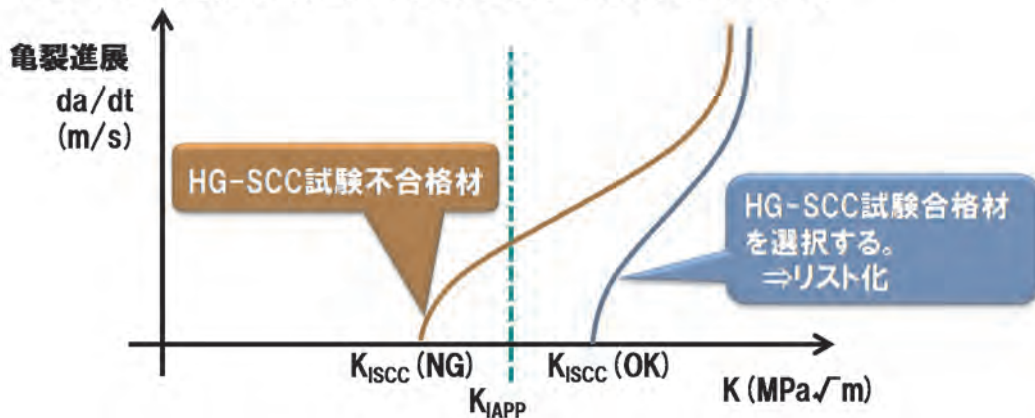


図 3-31 オーステナイト系ステンレス鋼の水素適合性試験法

■ 腐食試験法作成TFで検討している試験法名を、「Humid gas stress corrosion cracking (HG-SCC) test (湿潤ガス応力腐食割れ試験)」とする。

■ HG-SCC試験合格材は、降伏応力負荷状態かつ1mmの亀裂が存在しても亀裂進展しない ($K_{IAPP} < K_{ISCC}$)。降伏応力以下かつ亀裂1mm以下の使用で腐食問題は考慮不要という材料を選択する。



※ K_{IAPP} :き裂1mm, 降伏応力負荷時の応力拡大係数

図 3-32 湿潤ガス応力腐食割れ試験の考え方

イ) GTR13 Phase2

国連での審議開始が当初想定に対し約2年程度遅れたが、2017年10月に第1回GTR13-HFCV Phase2 インフォーマルWG (IWG) が開催され、今後2年間の技術審議を目途に、国際基準議論が開始された(必要に応じ延長の可能性あり)。第1回IWGでは各国からの提案に基づく議題の共有がなされ、日本からは本事業で検討を行った3課題を議題として提示した。2018年から各議題の技術的な内容について、本格的な国際審議が行われる。

b. 国際標準化

ア) SAE J2579 (FCV 燃料システムの米国安全規格)

GTR13-HFCV Phase2への米国提案の基になる可能性が高い規格と位置づけ、積極的に審議に参加した。

- 容器の耐久強度を評価する試験の一部として、SAEから提案を受けたStress Rupture試験について、炭素繊維製容器については不要な負荷であることを示し、提案はガラス繊維または将来の新繊維(炭素とガラスの混合繊維含む)のみへの適用とし、炭素繊維製容器は従来の試験法での評価を可能とすることで合意を得た。
- 金属材料の水素適合性試験法は、日米独の3カ国でSAE傘下に材料専門家会議を構成し、日本で検討した試験法を積極的に提案した。一部継続審議を必要とする部分はあるものの、前述の日本提案の多くが認められ、GTR13-HFCV Phase2への提案のベース試験法として共有された。
- アルミニウム合金の腐食試験法規格案(前述のHG-SCC試験法)のSAE J2579への織込みを提案し、その必要性が認められ、J2579ドラフトに織り込まれた。織込みについては、前述の日本高圧力技術協会規格(HPIS(英文))を完全引用することになった。

イ) ISO 19881 (水素容器の国際標準) および ISO 19882 (水素容器用安全弁)

CDベースで平成27年度までにGTR13-HFCV Phase1との整合取りを提案し合意を得た。その後DIS投票にかけられ、日本からは賛成で投票した。2018年中にはIS化が完了すると思われる。

3.2 成果の意義

国際基準(GTR13-HFCV Phase2)に日本案を提案し反映させることで、国際基準を国内規制へ適用可能となる。国際基準(GTR13-HFCV Phase2)に日本の提案が反映されることで、容器破裂圧の適正化および使用可能材料の拡大により、容器の軽量化・コスト削減が可能となる。国際基準(GTR13-HFCV Phase2)を国内導入することにより、燃料電池自動車の国際取引(相互認証)が可能となり、燃料電池自動車の低コスト化に繋がる。

3.3 開発項目別残課題

・材料の同等性証明およびリスト化の検討

水素適合性試験法に合格した材料に対して、UNRでの同等性証明、または、リスト化する際の成分範囲を検討する必要がある。特に、ステンレス鋼は国際的に規格材の成分範囲が統一されていないため、材料の同等性の証明方法を検討する必要がある。

・GTR13 Phase2 審議対応

当初、GTR13 Phase2の審議は本事業期間内に開催される予定であったが、実際は、GTR13 Phase2 インフォーマルワーキング(IWG)が平成29年10月に開始され、平成30年度以降も継続して審議が行われることとなった。このため、審議の進捗に合わせて、海外からの対案に対して検討するための研究開発(データ取得・解析)が必要となる可能性がある。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

実施項目 : 自動車用圧縮水素容器の安全性評価

・課題A: 容器破裂圧力の適正化の検討

GTR13-HFCV Phase2での破裂圧の適正化の審議に資する実証試験データとして、70MPa-VH4容器

を用いて、ばらつきも含めて初期と End of Life の破裂圧データを取得した。初期破裂圧を検討した結果、現在の規定値 225%NWP に対し、End of Life の残留破裂圧規定と相関のある 200%NWP への低減が可能であると考えられる。

・課題 B：金属材料の水素適合性を評価する試験法の作成

室温・低温水素中の SSRT 試験データおよび室温水素中の疲労試験データを取得した。実証試験データを基に、オーステナイト系ステンレス鋼製のボス・付属品に限定して、使用される温度範囲の高圧水素中でも室温大気中に比較して疲労限が低下しないことを確認し、室温大気中の疲労限より低い応力レベルで使用するコンセプトで、水素適合性試験法案を作成した。

実施項目：国内基準の適正化および国際基準調和

実施項目と で検討した国際基準（GTR13-HFCV Phase2）の主な課題（破裂圧適正化・水素適合性試験法・アルミニウム合金の腐食試験法）の各試験法案と実証試験データについて、国際基準への提案に向けた国内審議で承認された。平成 29 年 10 月に開始された GTR13 Phase2 インフォーマルワーキング（IWG）にて、日本案を提案することで、国際基準への反映を実現する。

実施項目：アルミニウム系材料の材料評価および試験法開発

・課題 C：アルミニウム合金の腐食を評価する試験法

自動車用圧縮水素容器に用いるアルミニウム合金の腐食を評価する試験法として、湿潤ガス応力腐食割れ（HG-SCC）試験法案を開発した。実証試験では、6000 系アルミニウム合金の主要元素である Mg、Si、Cu の割合を変えた供試材を作製し、「HG-SCC 試験」を実施した。主要元素の影響、Pb・Bi の影響、予ひずみの影響等を調査し、各種合金の特性を評価できることが確認された。検証試験では、荷重漸増試験および定変位試験により 6000 系アルミニウム合金の HG-SCC 特性を評価し、「HG-SCC 試験」の負荷条件が適正であることを確認した。作成した試験法案は、今後、日本高圧力技術協会にて HPIS 規格化予定である。その後、SAE J2579(米国水素システム安全規格)に引用規格として織り込まれる予定。同様に GTR13-HFCV Phase2 でも引用規格として織り込まれるよう提案する。

5 . 研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2013年5月19日	一般社団法人軽金属学会第124回春期大会	水素ボンベバルブハウジング用6000系アルミニウム合金の開発	日本軽金属) 邢 劫 ほか
2	2014年9月5日	日本機械学会関東支部第22回茨城講演会	6066 および 6069 アルミニウム合金の耐水素脆化特性評価	茨城大学) 田中瑞輝, 寺田将也, 伊藤吾朗
3	2014年11月15日	一般社団法人軽金属学会第127回秋期大会	Al-Mg-Si系合金における長期負荷割れ試験時のき裂進展挙動	茨城大学) 寺田将也, 田中瑞輝, 車田 亮, 伊藤吾朗
4	2015年5月16日	一般社団法人軽金属学会第128回春期大会	Al-Mg-Si系合金の耐長期負荷割れ特性	茨城大学 車田亮, 伊藤吾朗, 他
5	2015年8月28日	第23回茨城講演会	6000系アルミニウム合金の長期負荷割れ	茨城大学 伊藤吾朗, 車田亮, 小林純也, 他
6	2015年9月28日	公益社団法人腐食防食学会第183回腐食防食シンポジウム	燃料電池自動車用水素関連アルミニウム材料の腐食・水素脆化試験	茨城大学 伊藤吾朗
7	2015年11月21日	一般社団法人軽金属学会第129回秋期大会	Si過剰の6000系アルミニウム合金の耐SLC性に及ぼすCu添加の影響	茨城大学 車田亮, 伊藤吾朗, 他
8	2015年11月22日	一般社団法人軽金属学会第129回秋期大会	水素ボンベバルブハウジング用Al-Mg-Si系合金の各種特性に及ぼすケイ素の影響	日本軽金属 邢 劫
9	2016年6月13日	ICAA15(The 15th International Conference on Aluminum Alloys)	Effects of Si Content on the Tensile Strength and Machinability of Al-Mg-Si-Cu-Mn-Cr Alloys	日本軽金属 Jie XING (邢 劫), 他
10	2016年9月12日	日本機械学会2016年度年次大会 CD-ROM 論文集および口頭発表	Al-Mg-Si系合金の湿潤大気中応力腐食割れの評価方法	青山学院大学 小川武史, 他
11	2016年11月5日	軽金属学会第131回秋期大会	燃料電池自動車用圧縮水素容器用アルミニウム合金の国際標準化の現状	茨城大学 伊藤吾朗
12	2016年11月5日	軽金属学会第131回秋期大会	水素容器用バルブハウジング向けAl-Mg-Si系合金の機械的性質および切粉分断性に及ぼすケイ素の影響	日本軽金属 邢 劫, 他
13	2016年11月30日	学術雑誌「材料と環境」掲載	水素用アルミニウム合金の使用環境と国際標準化へ向けた試験方法	茨城大学 伊藤吾朗
14	2017年3月16日	日本機械学会関東支部第23期総会・講演	Al-Mg-Si系合金の湿潤ガス応力腐食割れ特性に及	青山学院大学 小川武史, 他

		会講演論文集および 口頭発表	ぼす化学成分の影響	
15	2017年10月7日	日本機械学会 M&M2017 材料力学 カンファレンス	メゾスケールシミュレーションによる Type IV 高圧水素容器の破裂圧の予測	東京大学 李 然, 吉川暢宏
16	2017年10月7日	日本機械学会 M&M2017 材料力学 カンファレンス	車載用高圧水素容器材料の鋼種拡大に向けての評価方法と考え方	東京大学 木村光男, 吉川暢宏
17	2017年10月11日	自動車技術会 2017 年秋季大会	圧縮水素容器の破裂圧力に及ぼす液圧シリーズ試験の影響	JARI 富岡純一, 増田峻亮, 田村浩明, 田村陽介

- 特許等 -

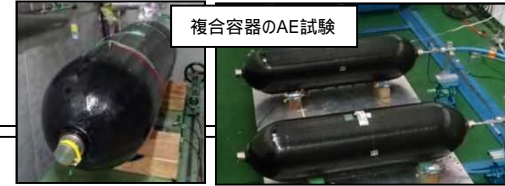
No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	平成 25 年度	特願 2013-081282	水素経路用アルミニウム合金とその製造方法	日本軽金属株式会社
2	平成 27 年度	特願 2015-242853	疲労強度特性に優れた切削加工用アルミニウム合金押出材およびその製造方法	日本軽金属株式会社 株式会社神戸製鋼 株式会社 UACJ サムテック株式会社

(1-6)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 / 水素ステーション用複合容器の供用中検査手法の研究開発」

委託先：千代田化工建設(株)

成果サリ (実施期間：平成25年度～平成29年度)

- ・アルミライナーの砂時計型/平板型試験片の疲労試験中のAEデータから疲労進展に伴うAEパラメータを明らかにした。
- ・炭素繊維破壊のAE、AE波の水中伝播、ガス流入ノイズなどの外乱はAEの解析に影響を与えないことがわかった。
- ・複合容器の疲労劣化をAE法で評価する新しい解析手法を提案し、複合容器の供用中検査への適用可能性を示した。



背景/研究内容・目的

安全で安心な水素ステーションの普及と経済的な運用においては、複合容器からの水素漏洩を未然に防ぐために定期的な保安検査が必要である。水素漏洩に至る複合容器の主な劣化現象は、水素充填による昇圧とFCVへの水素放出による減圧の繰返しによる疲労現象であり、アルミライナー内面から疲労き裂が発生、進展、貫通して水素漏洩が発生する。現行の関係法規では、複合容器は定期的な耐圧性能と強度確認の保安検査が求められている。しかしながら、疲労き裂はアルミライナー内面の非常に微細なき裂からアルミライナー肉厚方向へと進展する為、外部からは目視や超音波法、放射線法などでは検知できず、複合容器を開放した内面からでも目視や一般的な超音波を用いる非破壊検査法では検知が困難であると予想される。そこで、複合容器の疲労き裂による劣化程度を正しく評価し、耐圧性能と強度を確認できる新しい保安検査の基準整備が求められている。

研究目標

実施項目	最終目標
アルミ合金の疲労試験時におけるAE発生挙動調査	アルミライナー試験片のラボ疲労試験時のAE計測/分析から、疲労損傷の進展を評価できるAEパラメータを特定する。
アルミ合金の水中疲労試験時におけるAE発生挙動調査	複合容器の疲労試験時の液体圧力媒体のAE信号に及ぼす影響を把握する。
CFRPの破壊時のAE発生挙動調査	複合容器の疲労試験時のCFRP破壊のAE挙動を評価する。
Type -CFRP高圧タンクの疲労破壊試験時のAE発生挙動調査	TypeIII複合容器のラボ疲労試験時のAE計測/分析から、特定のAEパラメータに注目することによって疲労損傷の進展を評価する。
実水素ステーションでの実証試験	実水素ステーションの複合容器の運用を踏まえ、AE分析に影響する環境を把握する。

実施体制及び分担等

NEDO — 千代田化工建設株式会社

一部の試験は(一財)石油エネルギー技術センターのNEDO事業「複合圧力容器蓄圧器の基準整備に関する研究開発」に併せて実施し、各種データの提供を受けた。

これまでの実施内容 / 研究成果

アルミライナー試験片の疲労試験中のAE挙動の分析により、アルミ合金のような延性材料でもAEが検出され、アルミライナーでは複数の疲労起点が予想されるが、疲労き裂進展に伴うAE周波数帯域に着目すれば定期AE検査によって疲労進展が把握できる事を明らかにした。試験片の予ひずみの有無とAE挙動の関係を調べた結果、複合容器の自緊処理がAE分析に影響を与える事が示唆された。また、応力振幅の相違がAE挙動に影響することから、複合容器への部分充填時のAE挙動が予測された。一方、水素SSで想定される非常に遅い昇圧速度でもAE計測できる事、水素ガス流入ノイズがAE分析に影響しない事など実験的に確認した。試験片実験での成果に基づき、複合容器の水圧疲労試験中のAEデータの分析の結果、疲労進展に伴って発生するAE波をMT法で分類し、分類されたAE波の特定の周波数帯域に着目した振幅比の経時変化によって複合容器の疲労進展が評価できる事を示した。

今後の課題

提案した新しいAE分析手法を本事業終了時まで他に複合容器の疲労試験データを対象として有効性を再確認する。実水素ステーションにAE計測機器を持ち込んだ各種作業ができなかったため、具体的な計測手順、計測時間、運用方法について検討する必要がある。

実用化の見通し

本研究開発は基礎技術を確認したステップにある。今後、計測精度などの検証のため、種類が増えてくると予想される複合容器の運営下でのAEデータベース構築を行い2030年の実用化を目指す。

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
アルミ合金の疲労試験時におけるAE発生挙動調査	特定の周波数帯域のAEパラメータを用いて、疲労き裂進展が評価できる事を示した。	
アルミ合金の水中疲労試験時におけるAE発生挙動調査	水中疲労試験により、液体媒体が疲労評価のためのAE分析に影響しない事を確認した。	
CFRPの破壊時のAE発生挙動調査	CFRP破壊のAE信号は疲労評価のためのAE周波数帯域と異なる事を確認した。	
Type -CFRP高圧タンクの疲労破壊試験時のAE発生挙動調査	波形分類と振幅比の併用による新しいAE分析法によって複合容器の疲労評価の可能性を見出した。	
実水素ステーションでの実証試験	現場計測はできなかったが、実水素ステーションを模擬した複数のラボ試験によって本手法の適用性を評価した。	

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	0	0	0

課題番号：I-6

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 /

水素ステーション用複合容器の供用中検査手法の研究開発

千代田化工建設株式会社

1. 研究開発概要

エネルギー源のベストミックスの確保のため、「エネルギー基本計画」に基づき、燃料電池自動車（以下、FCV と示す）の普及に向け実証的な取り組みを強化しており、水素供給事業者が水素ステーションの整備を進めている。水素ステーションの整備に当たり、問題となっているのはその建設コストである。通常のカソリンスタンドの建設費が 7~8 千万円に対し、水素ステーションの建設費は現在 5~6 億円と言われており、その中でも水素蓄圧用の炭素繊維を用いた複合容器は高価であり建設費に占める割合は大きく課題となっている。普及初期においては、水素ステーションの運営は容易ではなく、水素ステーションの整備が進まなかった場合には、FCV の普及が困難になるという悪循環は避けなければならない。

安全・安心に加えて経済的な水素ステーションの普及と運用においては、複合容器からの水素漏洩を未然に防ぐために定期的な保安検査が必要である。水素漏洩に至る複合容器の主な劣化現象は、水素トレーラー等からの水素充填による昇圧と FCV への水素放出による減圧の繰返しによる疲労現象であり、アルミライナー内面から疲労き裂が発生、進展、貫通して水素漏洩が発生する。現行の関係法規では、複合容器は定期的な耐圧性能と強度確認の保安検査が求められている。しかしながら、疲労き裂は炭素繊維に厚く包まれたアルミライナーの内面の非常に微細なき裂からアルミライナー肉厚方向へと進展する為、外部からは目視や超音波法、放射線法などでは検知できず、複合容器を開放した内面からでも目視や一般的な超音波を用いる非破壊検査法では検知が困難であると予想される。そこで、複合容器の疲労き裂による劣化程度を正しく評価し、耐圧性能と強度を確認できる新しい保安検査の基準整備が求められている。

本研究開発では、耐圧 82MPa で容量 300 の Type -CFRP 複合容器（以下、複合容器）を対象として、水素ステーションで供用中の保安検査として、非破壊検査技術の一つである AE 法の適用について検証・実用化し、定期的な AE 試験を実施することによって、開放点検をせずに複合容器の健全性の確認を可能とする。そして、本研究開発成果を高圧ガス保安法 保安検査基準および定期自主検査指針の制定に繋げると共に水素ステーションの普及、安全安心な運用に寄与する。

2. 研究開発目標

本研究開発の実施項目と最終目標を表 1 に示す。本研究開発の目標は、複合容器の水素ステーション供用中の保安検査として、非破壊検査技術の一つである AE 法の適用を検討する。すなわち、水素ステーション運用中に定期的な AE 試験を実施することによって、開放点検をせずに複合容器の健全性の確認し、疲労劣化による水素漏洩を未然に防ぐことを目的とした。

現在、水素ステーションの複合容器は耐圧性能と強度を確認する保安検査の基準が整備されておらず、供用中の定期的な目視点検や非破壊検査、あるいは水素ステーションの運用を一時停止した複合容器の開放点検が求められている。しかしながら、供用中の目視点検ではアルミライナーの疲労評価は不可能であり、超音波探傷や放射線検査などでも炭素繊維が積層された外部からアルミライナーの微小な疲労き裂の検知は極めて困難である。また、Type -複合容器は残留圧縮応力がアルミライナーに付加されている為、開放して内面からの目視点検、超音波探傷でも疲労き裂の非常に微細な起点を検知することは難しい。複合容器内面から疲労き裂検知が可能な非破壊検査として PT（浸透探傷試験）があるが、PT は疲労き裂部に浸透液を使用する為、試験後に完全に除去することが不可能な為、容器内が汚染され、99.99%以上の水素純度を要求される FCV 用水素燃料には使用できなくなる。以上のように供用中あるい

は開放点検時の保安検査技術が現有しない為、本研究開発の目標を上述のように設定した。

表 1 本研究開発の実施項目と最終目標

実施項目	最終目標
アルミ合金の疲労試験時における AE 発生挙動調査	アルミライナー試験片のラボ疲労試験時の AE 計測/分析から、疲労損傷の進展を評価できる AE パラメータを特定する。
アルミ合金の水中疲労試験時における AE 発生挙動調査	複合容器の疲労試験時の液体圧力媒体の AE 信号に及ぼす影響を把握する。
CFRP の破壊時の AE 発生挙動調査	複合容器の疲労試験時の CFRP 破壊の AE 挙動を評価する。
Type -CFRP 高圧タンクの疲労破壊試験時の AE 発生挙動調査	TypeIII 複合容器のラボ疲労試験時の AE 計測/分析から、特定の AE パラメータに注目することによって疲労損傷の進展を評価する。
実水素ステーションでの実証試験	実水素ステーションの複合容器の運用を踏まえ、AE 分析に影響する環境を把握する。

3 . 研究開発成果

本研究開発は以下に示す(1)～(5)の研究開発項目を実施することによって目標達成を試みた。次節に各々の目標、成果、自己評価の達成度(、 、 、 x)について示す。

- (1) : アルミ合金の疲労試験時における AE 発生挙動調査 (達成度:)
- (2) : アルミ合金の水中疲労試験時における AE 発生挙動調査 (達成度:)
- (3) : CFRP の破壊時の AE 発生挙動調査 (達成度:)
- (4) : Type -CFRP 高圧タンクの疲労破壊試験時の AE 発生挙動調査 (達成度:)
- (5) : 実水素ステーションでの実証試験 (達成度:)

3 . 1 研究開発成果、達成度

(1) アルミ合金の疲労試験時における AE 発生挙動調査 (達成度:)

砂時計型試験片による弾性領域での引張圧縮疲労試験時の AE 発生挙動

砂時計型試験片の引張圧縮疲労試験中の AE 計測を実施した。試験片形状は図 1 に示すような ASTM E466 準拠の砂時計型で、中央直径は 6.35mm、応力集中係数は 1.085。AE センサは AE-144A(富士セラミック製)であり、AE 計測装置は AMSY-5(Vallen 製)を使用した。



図 1 引張疲労試験機

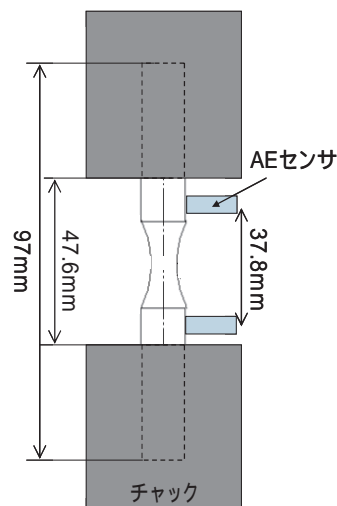


図 2 AE センサ配置



図 3 AE センサ取付状況

表 2 砂時計試験片の試験条件と S-N データ (JPEC 殿提供)

試験片	直径 mm	試験周波数 Hz	最大応力 MPa	最小応力 MPa	応力振幅 MPa	平均応力 MPa	破断繰り返し数
A28	6.37	15	205	-275	240	-35	1.66×10^4
A29	6.36	15	165	-235	200	-35	9.03×10^4
A30	6.36	15	125	-195	160	-35	4.91×10^5
A31	6.38	15	105	-175	140	-35	2.19×10^6

4本の試験片の AE 計測を実施した。試験装置、AE センサ設置状況を図 1~3 (JPEC 殿提供) に示す。疲労試験の負荷条件と破断回数を表 2 に示す。事前に実施した予備試験と文献値から A6061-T6 の耐力は約 245~280MPa 程度なので疲労試験中の応力場は弾性領域である。

約 20 万回で破断した A31 試験片の AE 振幅と AE 発生数と試験機変位の経時変化を図 4 に示す。AE 振幅と AE 発生数は最終破断の 30%程度から値が上昇し始めて右肩上がりになって大きくなり疲労破断に至っていることがわかる。他の試験片でも概ね同様の AE 挙動が観察されたことから、AE 法によって延性材であるアルミ合金でも疲労状態を管理できる可能性が示された。

砂時計型試験片は応力を試験片中央部に集中させ、疲労き裂の起点のエリアを限定した。一方、複合容器のアルミライナーの内面は砂時計型試験片に比較して大面積であり、応力集中部が無いように設計されているので、複数の位置で疲労亀裂が発生することが予想される。つまり、AE の振幅や発生数を定期検査の指標にすることは難しい場合が考えられるため、周波数分析を行った。図 5 にサイクル数と AE 波形と周波数スペクトラムの変化を示す。図中上の AE 振幅の経時変化に示した ~ に対応した周波数スペクトラムから疲労進展に伴って AE 波の高周波成分が増加する現象が観察された。これにより、周波数成分に着目すれば疲労き裂の発生源が複数あったとしても疲労状態を評価できる可能性が示唆された。

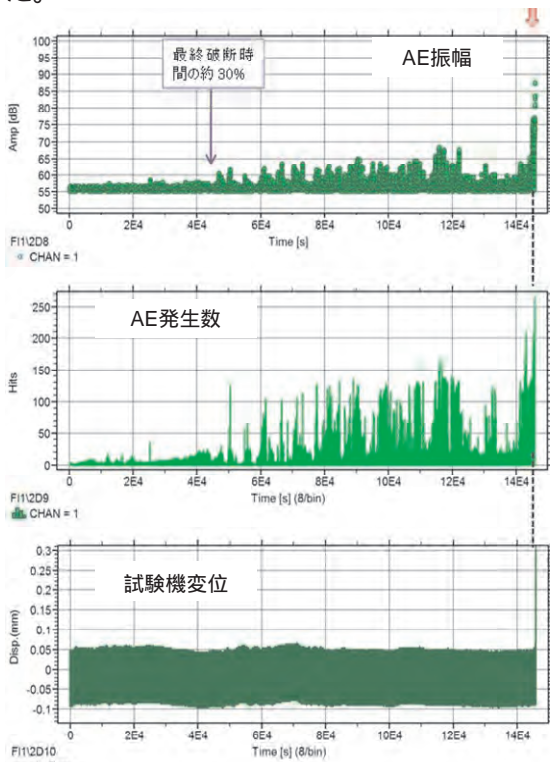


図 4 AE 振幅・AE 発生数・変位の経時変化

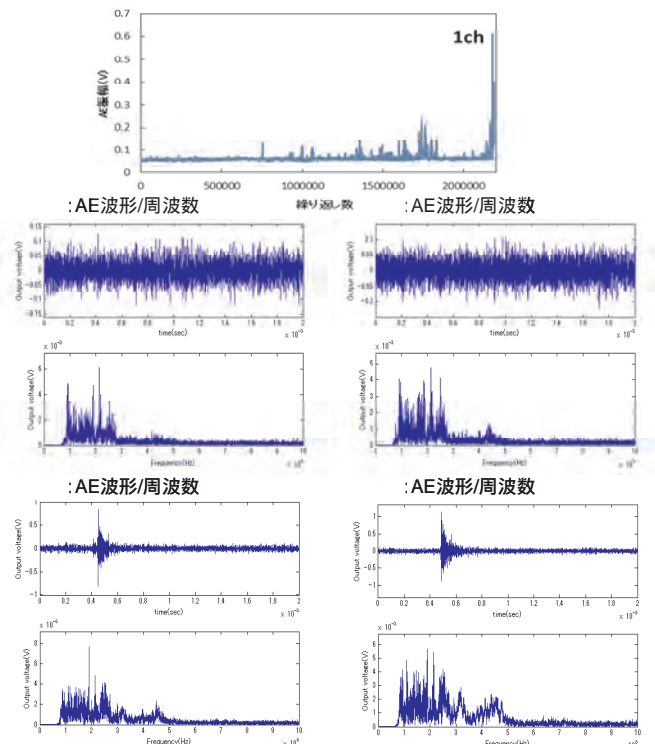


図 5 サイクル数と AE 波形・周波数の変化

平板試験片による弾性応力下での片振り四点曲げ疲労試験時の AE 発生挙動について複合容器で疲労亀裂が発生、進展するのはアルミライナーの内側からであり、応力集中箇所が限定さ

れずに大面積のエリアから複数の疲労亀裂が発生すると考えられる。そこで、幅 30mm, 厚さ 12mm, 長さ 250mm の平板試験片を用いて複数の疲労亀裂発生の場合の AE 挙動を調べた。

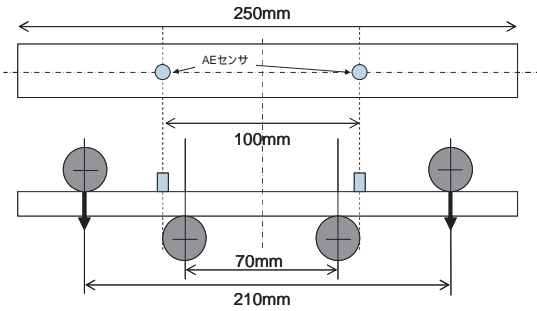


図 6 平板試験片の AE センサ配置

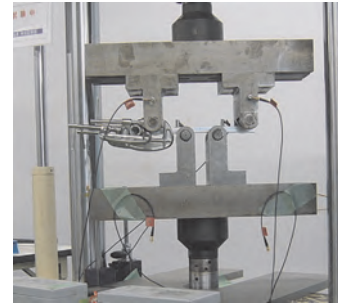


図 7 片振り四点曲げ疲労試験装置 写真

平板試験片のセンサ設置位置と上下圧子の位置関係を図 6 に示す。AE センサは平板試験片に設置し疲労亀裂検知を目的とした 2 個と、圧子と平板試験片の接触摩擦に伴うノイズなど外乱要因を検知するための参照用センサ 2 個を設置した (図 7 参照)。センサ毎の AE 波の到達時間差を用いて、疲労亀裂発生エリアのみの AE 波を選択的に抽出し、四点曲げの四つの圧子の接触面でのノイズ信号と区別した。AE センサおよび AE 計測装置は砂時計型試験片の試験と同様のものを使用した。

表 3 弾性領域での平板試験片の試験条件と S-N データ

	試験片形状	最大負荷 (MPa)	負荷変動 (MPa)	応力比	繰り返し周波数 (Hz)	破断までの繰り返し数	破断の有無
標準1	平板	240	240 ~ 0.8	0.00	10	323,779	破断
標準2	平板	192	192 ~ 0.8	0.00	12	10,000,000	未破断
標準3	平板	216	216 ~ 0.8	0.00	10	1,784,807	破断
鏡面4	平板	240	240 ~ 0.8	0.00	10	9,453,099	破断

疲労試験の負荷条件と破断回数を表 3 に示す。約 30 万サイクルで破断した試験片のサイクル数と AE 振幅の変化を図 8 に示す。砂時計型試験片の場合と異なり、疲労寿命の早期から AE が観察され、中期と後半では大きな振幅の AE が発生して最終破断直前が最も大きい値にはならなかった。この結果は、試験片の応力集中度に起因するものと推察された。すなわち、複数の疲労亀裂が発生し、各々の AE が重なるように観察されており、その内の 1~2 つの疲労き裂が応力集中のために成長して貫通に至る。図 9(a) に試験時の試験片表面写真を示すが、複数の表面き裂が観察され、図 9(b) に示すように最終破断は試験片中央に発生した。図 10 上図は試験片全域に位置標定された AE イベントの経時変化であり、AE 振幅と同様に疲労寿命の早期から AE が発生していたことがわかる。一方、図 10 下図は最終破断の位置のみを抽出した結果であり、最終破断部に限定すれば AE イベントでも砂時計型試験片と同様の右肩上がりの上昇が観察された。

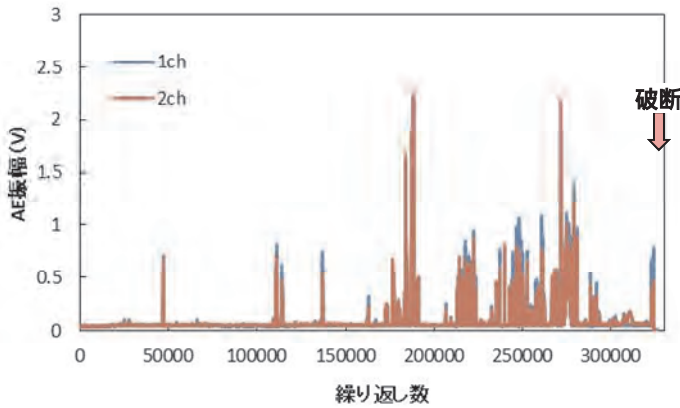


図 8 サイクル数と AE 振幅の関係

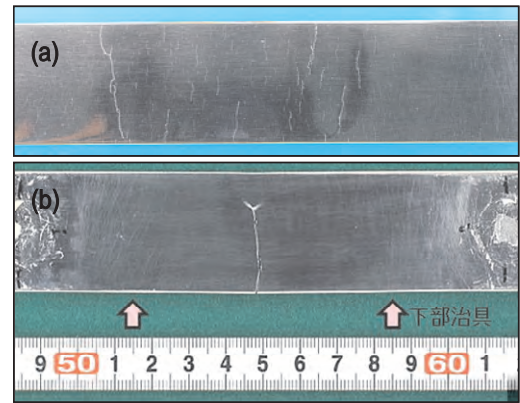


図 9 (a)疲労試験中の試験片と(b)破断後の試験片

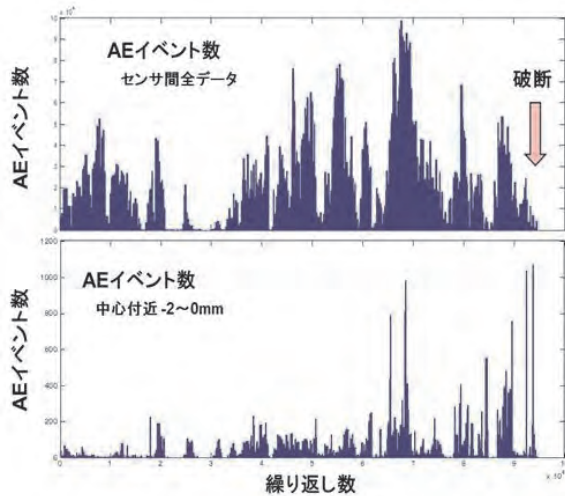


図 10 試験片全域 (上) と破断部のみ (下) の AE イベント

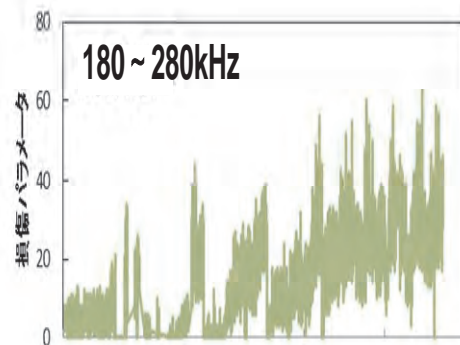


図 11 200kHz ~ 300kHz 成分の変化

上述の分析から複数の疲労起点が考えられる場合は AE 振幅や AE イベントだけでは疲労状況の評価は難しいのがわかった。そこで、周波数分析を試みたところ、疲労進展に伴って 200kHz ~ 300kHz の周波数成分が増加していることが観察され、図 11 に 180kHz ~ 280kHz の AE が観察された割合とサイクル数の関係を示す。図 11 から 180kHz ~ 280kHz の周波数成分を多く含む AE を選択的に分析すれば疲労状況が把握できる可能性があることがわかる。200kHz ~ 300kHz の AE は金属のき裂進展に伴う AE に多く含まれる成分であることが報告(文献 1)されており、以降の分析ではこの周波数帯域に注目することとした。

平板試験片による塑性応力下での片振り四点曲げ疲労試験時の AE 発生挙動

前述の、の実験は弾性応力下での疲労現象について AE 法の適用を検討したが、水素ステーションの複合容器には予め自緊処理が施されているのでアルミライナーは塑性域の変形も伴うと考える。本実験は塑性領域での自緊処理の影響を考慮した実験を行った。

疲労試験の負荷条件と破断回数を表 4 に示す。いずれの試験条件も最大負荷はアルミ合金の耐力以上の塑性応力下での疲労試験とした。本実験の分析結果については、「(4) Type -CFRP 高圧タンクの疲労破壊試験時の AE 発生挙動調査」の節で後述する。

表 4 塑性領域での平板試験片の試験条件と S-N データ

	試験片形状	最大負荷 (MPa)	負荷変動 (MPa)	応力比	繰り返し周波数 (Hz)	破断までの繰り返し数	破断の有無
標準4	平板	384	384 ~ 0.8	0.00	5	33,321	破断
標準5	平板	336	336 ~ 0.8	0.00	7	59,372	破断
標準6	平板	288	288 ~ 0.8	0.00	7	169,582	破断
鏡面2	平板	336	336 ~ 0.8	0.00	7	140,859	破断
鏡面3	平板	288	288 ~ 0.8	0.00	7	2,134,329	破断
鏡面4	平板	288	288 ~ 259(90%)	0.90	20	22,091,783	未破断
鏡面5	平板	336	336 ~ 302(90%)	0.90	20	鏡面4の継続 9,860,145 累積 31,951,928	未破断
鏡面6	平板	336	336 ~ 168(35%)	0.50	13	22,048,771	未破断

(2) アルミ合金の水中疲労試験時における AE 発生挙動調査 (達成度 :)

複合容器の疲労試験は安全確保のため、一般的に圧力媒体には液体を用いる。そのため、疲労き裂による AE はアルミライナーや炭素繊維層の伝搬だけではなく、液体で満たされたアルミライナーの中で反射を繰り返して伝搬して AE センサに到達する。液体中を伝播した AE は振幅の減衰と周波数成分が変化する可能性がある。そこで、図 12 に示したような平板試験片を用いた水中での片振り四点曲げ疲労試験を実施した。

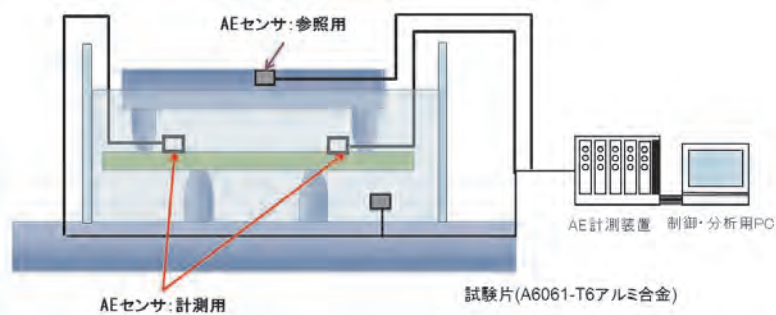


図 12 水中片振り四点曲げ疲労試験装置・AE 計測装置の概要

表 5 水中平板試験片の試験条件と S-N データ

	最大負荷 (MPa)	負荷変動 (MPa)	応力比	繰り返し周波数 (Hz)	破断までの繰り返し数	破断の有無
水道水1	336	336 ~ 0.8	0.00	6	54,187	破断
イオン交換水1	336	336 ~ 0.8	0.00	6	133,768	破断
イオン交換水2	288	288 ~ 0.8	0.00	8	152,780	破断

疲労試験の負荷条件と破断回数を表 5 に示す。液体には水道水とイオン交換水を用いたが、水道水の場合はイオン交換水と比較して早期に疲労破断した。大気中より水中の方が試験片表面のき裂が多く観察されたことから、圧力媒体に液体を用いる場合は、実際の水素での加圧よりも多くの初期き裂の発生が予想される。試験片に設置した片方の AE センサからパルス (10Vpp, 150kHz) を入力し、もう片方の AE センサの検出波から伝播挙動を調べた結果、信号の持続時間は短くなるが周波数成分には大きな差異が無く AE 分析に影響しないことが確認された。

(3) CFRP の破壊時の AE 発生挙動調査 (達成度 :)

複合容器は自緊処理を行っている為、カイザー効果が特に顕著な CFRP の破壊は発生しないはずである。しかしながら、複合容器輸送中の表面傷などが起点になって炭素繊維層の破壊が起こり、それに伴う AE 発生も考えられる。そのため、炭素繊維層破壊の AE 波形の特徴を把握し、アルミライナーの疲労き裂の AE 波と区別できるか否かを検討した。

CFRP 試験片は複合容器の炭素繊維積層部を剥離切断して短冊試験片に加工し、試験片中央部に幅 1mm、深さ 5mm のノッチを予め導入した試験片を用いた。図 13 に試験片と引張破壊試験機を示し、試験開始から約 450 秒でスリットからのき裂が進展して破壊した。



図 13 CFRP 引張破壊試験

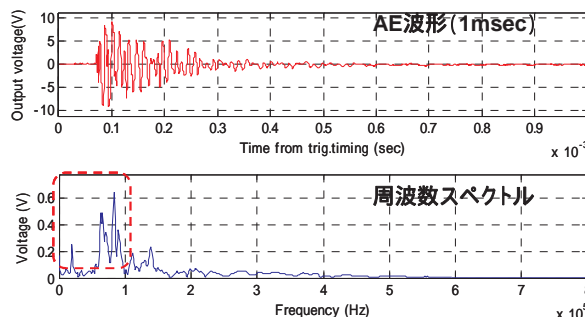


図 14 AE 波形と周波数スペクトラム

試験開始直後から AE は検出された。代表的な AE 波形と周波数スペクトラムを図 14 に示す。AE 波形は突発型で高振幅であったが周波数成分は 200kHz 以下であり、特に 70kHz の成分が多く含まれていた。この結果より、周波数フィルタで 100kHz 以下の成分を除去することで、アルミ合金の疲労き裂進展に伴う 200 ~ 300kHz の AE と炭素繊維層破壊の AE とは分別可能であることがわかった。後述する複合容器の疲労試験中の AE データの分析には全て 100kHz のハイパスフィルタを施した。

(4) Type -CFRP 高圧タンクの疲労破壊試験時の AE 発生挙動調査 (達成度 :)

設計圧力 45MPa、容量 30 の複合容器に対して JPEC 殿が実施した圧力サイクル試験時に AE 計測を実施した。複合容器の外観と AE センサ設置の様子を図 15 に示す。



図 15 複合容器(45MPa,30)と AE センサの外観 (JPEC 殿提供写真)

圧力媒体はイオン交換水で、3 基の複合容器の疲労試験時の AE 発生挙動を調査した。表 6 に試験条件と漏洩までのサイクル数、JPEC 殿で行った弾塑性解析による周方向応力範囲、漏洩後の破面観察の結果を示す。弾塑性解析により、複合容器は製造時の自緊処理により 253MPa の残留圧縮応力が負荷されており、アルミライナーの耐力が 245 ~ 280MPa であることから内圧が無い状態では塑性域に近い応力状態の可能性はある。き裂部位はいずれも胴部であるが、応力範囲が圧縮側主体であることから、き裂方向が開口型ではなくせん断方向のものが多く観察された。これは JPEC 殿で実施した他の試験からも同じ傾向の観察がなされている。せん断型のき裂では疲労破面で見られるストライエーションが確認できず、摩擦などにより損傷・消滅したか、ストライエーションは生成されなかったものと思われる。容器 1 と 2 では同じ試験条件だが、き裂方向に相違が見られた。これは局部的な圧縮残留応力の差異の影響と考え

られる。

表 6 複合容器疲労試験の試験条件と S-N データ、試験後破面観察結果 (JPEC 殿提供)

	圧力範囲 (MPa)	繰り返し周波数 (Hz)	周方向応力範囲 (MPa)	漏洩までの繰り返し数	き裂部位	き裂方向	ストライエーション
容器1	1~75	0.05	-253~5	24,925	胴部	せん断	観測不能
容器2	1~75	0.05	-253~5	20,460	胴部	板厚	一部観察
容器3	1~65	0.05	-253~45	62,894	胴部	せん断	観察不能

図 16 に AE センサの設置レイアウトを示す。12 個のプリアンプを内蔵した VS150-RIC センサ (Valien 製) を複合容器両端の口金部と炭素繊維層の上に設置した。また、試験片試験と同じ AE-144A センサ (富士セラミック製) を 2 個口金部近傍へ設置した。実際の水素ステーションでは複合容器は多段式ユニットに収められるため、現場計測は口金へ AE センサを設置することが求められると考える。AE 計測装置は AMSY-5 (Valien 製) を使用した。

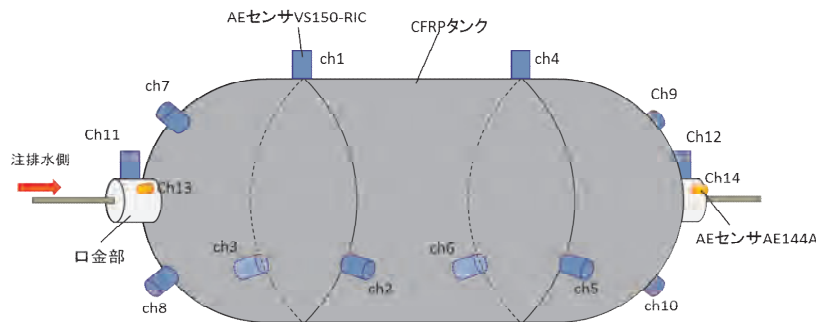


図 16 複合容器と AE センサレイアウトのイメージ

AE 計測の前に複合容器への各センサ位置の圧力媒体が液体の場合の減衰率を計測した。口金のネジ部は大きな減衰が危惧されたが、口金両端の間の減衰率は約 30dB であり十分にアルミライナー全体の AE を検知できる感度であった。但し、複合容器内部が水素ガスの場合の減衰率は液体の場合と比較して小さい事が予想されるため、計測試験を別途実施し後述する。一方、炭素繊維層は減衰が大きく、音響異方性も有する為、炭素繊維層の外表面に設置した複数の AE センサでは疲労き裂の位置標定が困難であることがわかった。

図 17 に容器 1 の全ての周波数の AE 振幅と漏洩までのサイクル数の関係を示す。容器 1 は 45MPa の設計圧力に対し 75MPa の内圧を負荷し、約 2 万 5 千回のサイクルで漏洩が確認された。き裂は胴部からせん断型で貫通しており、ストライエーションは確認できなかった。貫通き裂部の位置は両端の口金センサまでの到達時間と炭素繊維層の減衰率を勘案すると検出した AE はアルミライナー胴部で発生したものであると確認された。図 17 より、早期から高振幅の AE が検出され、漏洩直前には高振幅の AE は検出できなかった。試験片の疲労試験とは大きく異なる AE 挙動が観測された。

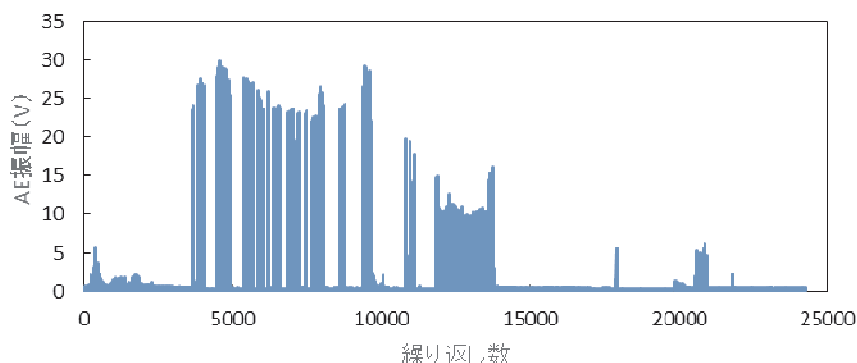


図 17 容器 1 の複合容器と AE 振幅とサイクル数

試験片での疲労試験によって 200kHz ~ 300kHz の周波数帯の AE が疲労き裂生成に伴う AE であると推察されている。そこで、図 17 の AE 信号から炭素繊維層からの AE を除去するために 100kHz 以下の AE を除去して 200kHz ~ 300kHz の周波数帯域の AE を抽出して図 18 に示した。

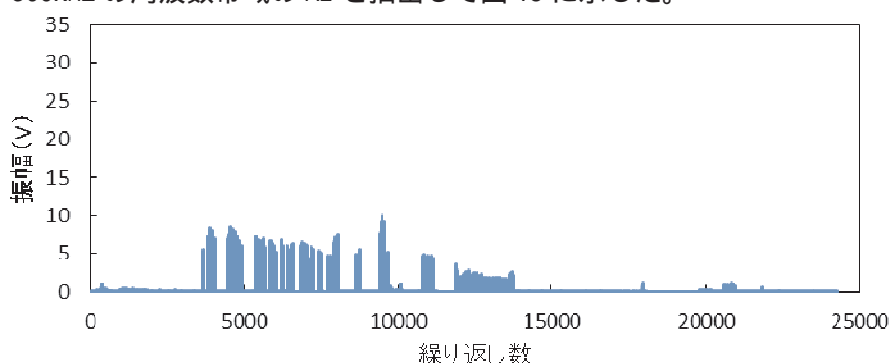


図 18 容器 1 の 200kHz ~ 300kHz の AE 振幅とサイクル数

図 18 から 200kHz ~ 300kHz の AE の経時変化を観察しても、試験片で確認されたようなサイクル数と共に右肩上がりに疲労破壊直前で最大となるようなパターンにはならなかった。この現象を解釈するために、複合容器の製造工程と試験後の疲労き裂破面観察などに基づいて、試験片の場合には想定しなかったアルミライナーで発生する AE 挙動について以下の(a) ~ (d)の仮説を立てた。

- (a) 自緊処理により、アルミライナーは塑性変形した可能性がある。そのため、試験開始前からすべり線が生成しており、疲労き裂がすべり線に沿って発生する場合は AE 振幅は小さく、発生数も少なくなる場合がある。
- (b) 圧縮残留応力に局部的集中があることやアルミライナー加工時の微小傷が試験開始前に存在するため、それらの箇所から選択的に初期き裂が発生するので比較的早期から AE が発生する場合がある。
- (c) 圧縮残留応力は耐力近傍の大きさであり、せん断方向にき裂が進展してせん断破壊による AE が発生する場合、開口型破壊と比較して AE の放射方向が 90 度異なるために AE 振幅が小さくなる場合がある。
- (d) せん断方向にき裂が進展しても、き裂先端では開口型破壊が発生するという報告(文献 2)もある。しかしながら、板厚方向へき裂が進展する場合と比較して約半分の応力しかき裂先端には働かないので、AE 振幅が小さくなる場合がある。

以上の仮説に基づいて図 18 を考察すると、比較的高振幅な早期に発生する AE は局部応力集中や初期欠陥が起点となって発生したと考えられる。また、疲労き裂に伴う AE は低振幅であるために振幅値の経

時変化では観察が難しくなると考えられる。そこで、200kHz～300kHz の周波数成分の全周波数帯域との比率、すなわち振幅比の分析を行った。

図 19 に 200kHz～300kHz の振幅比とサイクル数の関係を示す。複合容器の疲労試験では、試験中に口金の 0 リング破損を数回交換や口金ネジ部が変形するなどの試験中断が複数回あり、そのタイミングを図中に矢印で示した。試験中断の前からは疲労とは無関係な不具合によって振幅比が若干上昇し、その影響もあってパラツキがあるものの振幅比が約 0.2 程度から疲労進展に伴って右肩上がりに上昇していることがわかる。容器 1 と同様の振幅比の分析結果を容器 2 と容器 3 にも実施し、その結果を図 20、21 に示した。容器 1 の場合と同様に数回の試験中断の影響が見られるものの、いずれも振幅比 0.2 程度から 0.4 程度にサイクル数に伴って上昇している。容器 3 の 55000 サイクル以上では、複数回の試験停止があったので、計測条件が大幅に変わってしまった可能性がある。

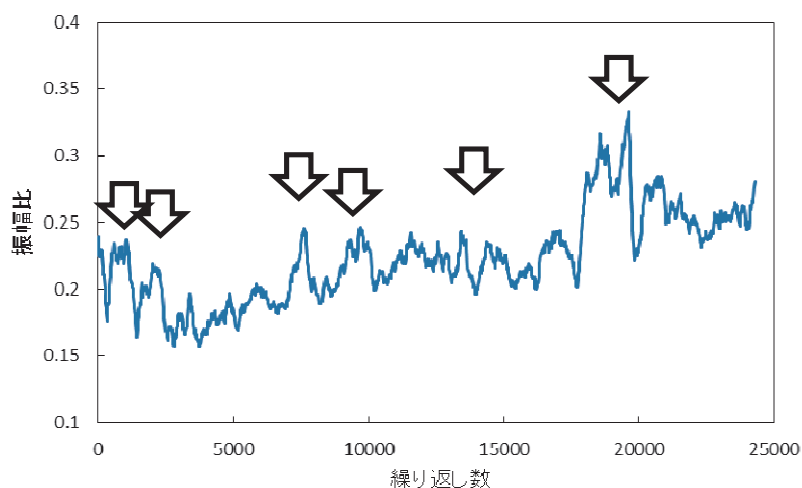


図 19 容器 1 の 200kHz～300kHz の振幅比とサイクル数

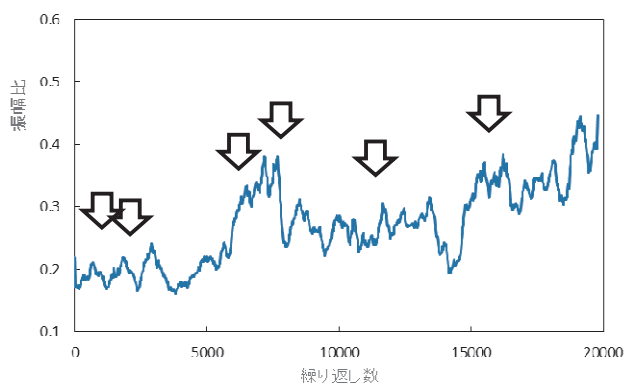


図 20 容器 2 の振幅比とサイクル数

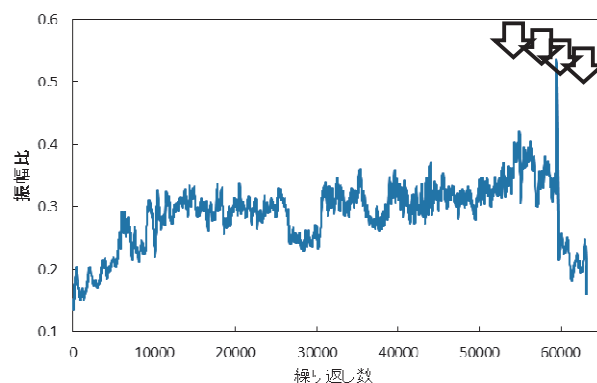


図 21 容器 3 の振幅比とサイクル数

アルミライナー疲労進展に伴う AE は主に 200kHz～300kHz の周波数成分を持ち、前述した 4 つの仮説に従えば振幅が小さいために振幅値では明瞭な検知はできないものの、他の全ての周波数成分との比率である振幅比を観察し、振幅比を疲労損傷の指標とすることで複合容器の健全性を評価できる可能性が図 19～図 21 によって示唆された。そこで、異なる仕様の大型複合容器についても同様の AE 分析方法が適用できるか否かを試みた。

設計圧力 82MPa、容量 200、外径 488mm、全長 2805mm の大型複合容器に対して水圧サイクル疲労試験時に AE 計測を実施した。複合容器の外観と AE センサ設置の様子を図 22 に示す。大型複合容器においては、主な AE センサは口金部のみとし、胴部にはノイズ等の参照用のセンサを設置した。疲労試験条件は、応力範囲 2～102.5MPa、繰り返し速度 3 サイクル/min で、12,799 サイクルで漏洩した。

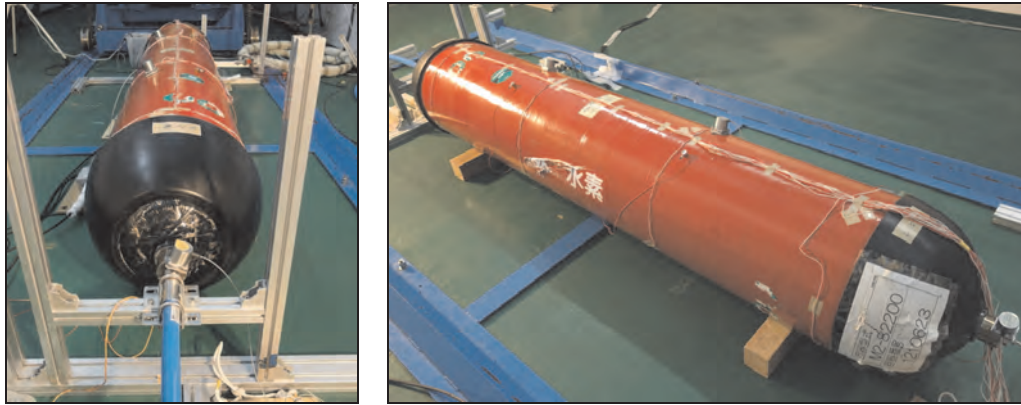


図 22 大型複合容器(82MPa,200)と AE センサの外観

図 23 に 200kHz ~ 300kHz の振幅比とサイクル数の関係を示す。大型複合容器の口金ネジ部が変形するなどの試験中断が複数回あり、そのタイミングを図中に矢印で示した。試験中断の前からは疲労とは無関係な不具合によって振幅比が若干上昇し、その影響もあってバラツキがあるものの振幅比が約 0.26 程度から疲労進展に伴って右肩上がりに上昇していることがわかる。この結果から、提案した AE 振幅比を用いる分析方法を用いれば、複合容器の疲労損傷が評価できることが示唆された。

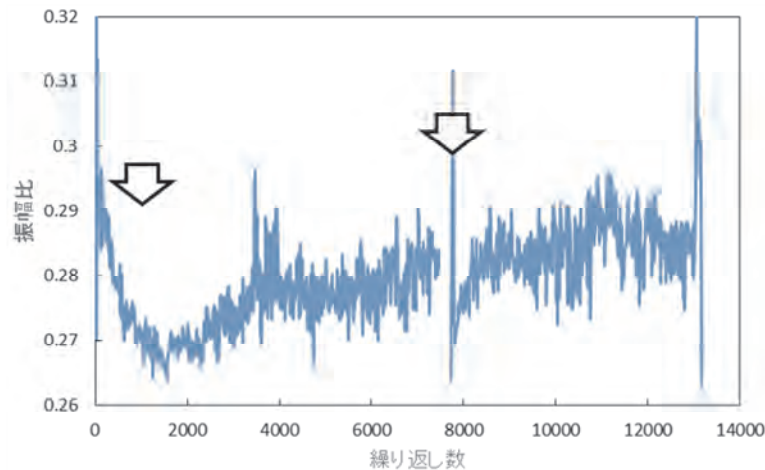


図 23 大型複合容器 (82MPa,200) の 200kHz ~ 300kHz の振幅比とサイクル数

一方、上記の AE 振幅比の経時変化の 4 つの図中に矢印で示した試験停止のタイミングで振幅比が上下しており、この振幅比が上下する現象が疲労とは完全に無関係な事象であることは確認できていない。実際の水素ステーションにおいては、運用中に口金部が変形したり、O リングが損傷したりする事象は少ないと想定されるので、本試験のようなバラツキは観察されないと予想される。また、容器メーカーのヒアリングから、Type 複合容器の製造工程を考慮すると、容器内部が大気圧の場合はアルミライナーと CFRP 層が完全に密着して一体化している事を確認しておらず、製造時の熱膨張率の相違を鑑みると非常にわずかではあるがアルミライナーと CFRP 層には隙間がある事が考えられる。従って、試験中に一時停止して、大気圧まで減圧されると、隙間が再生し、再び昇圧する際にはアルミライナーと CFRP 層が擦れるノイズ、またはアルミライナー座屈の AE 発生が観察される可能性がある。水素 SS においては、複合容器が運用開始されれば、大気圧まで減圧されることはほとんどないので、このようなノイズの混入は無いと考える。

一方、これらの複合容器の疲労試験は設計圧力を 100% とすると 125% から 168% の応力振幅であり、最大負荷は塑性応力近傍である。つまり、非常に厳しい疲労環境での試験であり、通常運転中の水素ステーションの応力振幅は 60% ~ 100% 程度のマイルドな疲労環境で計測される振幅比はもっと小さい可能性が高い。

複合容器の疲労試験で観察された AE 振幅比と疲労劣化の関係性を検証するために、前述した試験片を用いた「(1) アルミ合金の疲労試験時における AE 発生挙動調査」の項目のうち、塑性領域での疲労試験を実施した「平板試験片による塑性応力下での片振り四点曲げ疲労試験時の AE 発生挙動」で得られた分析結果について以下に示す。疲労試験の負荷条件と破断回数を表 3 (前出) に示す。いずれの試験条件も最大負荷はアルミ合金の耐力以上の塑性応力下での疲労試験とした。負荷変動 0.8MPa ~ 336MP、約 5 万サイクルで破断した試験片のサイクル数と AE 振幅の変化を図 24 に示す。

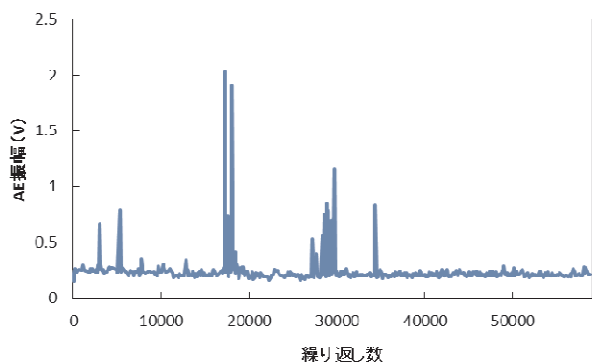


図 24 サイクル数と AE 振幅の関係

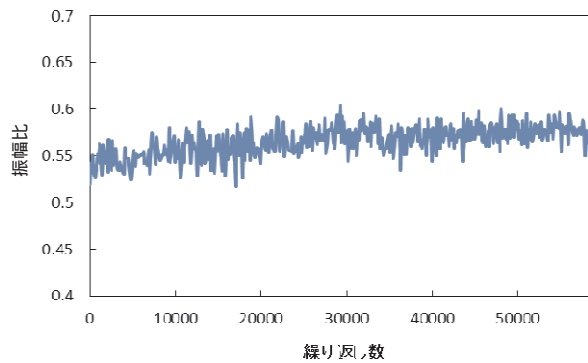


図 25 サイクル数と振幅比の関係

図 24 より、高振幅の AE が早期に検出され、疲労破断直前でも大きな AE は検出されておらず、複合容器の試験結果と同じ傾向を示した。疲労き裂進展に伴う AE は 200kHz ~ 300kHz の周波数帯域で低振幅であるという前述した仮説に基づいて、当該周波数の振幅比を図 25 に示し、わずかではあるが振幅比がサイクル数の増加と共に上昇しているのが確認された。この結果は、疲労環境が厳しければ試験直後から振幅比が 0.5 以上という高い値を示すという推定を導く。そこで、疲労寿命は応力振幅に強く影響されるので、応力振幅と振幅比を図 26 に整理した。図には後述する予ひずみを与えた実験結果も併記した。

各応力振幅の疲労寿命 (未破断の場合は試験期間) の初期 0 ~ 10% の平均の振幅比を青丸で、後期 80% ~ 100% の振幅比を赤丸で示した。図中に点線で囲った 3 条件の応力振幅の試験は 2000 万サイクルでも未破断であったので試験中止した。図 26 より、応力振幅が非常に小さければ振幅比は 0.3 以下で破断に至らないが、応力振幅が大きいと振幅比は 0.3 以上から始まり 0.5 ~ 0.6 で破断することがわかる。

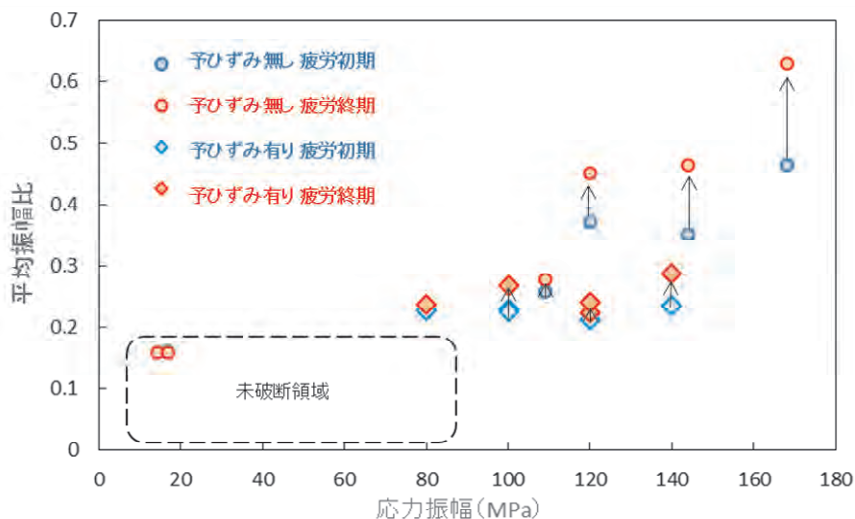


図 26 応力振幅と振幅比の関係 (予ひずみの有無)

試験片に予ひずみ約 1% (残留ひずみ 0.56%) を付与した試験片を作成し、表 7 の疲労試験条件で予ひずみの有無による応力振幅と AE 振幅比の関係を調べた。図 26 に応力振幅と振幅比の關係の予ひずみの有無の影響をまとめた。菱形印が予ひずみ有り、丸印が予ひずみ無しのデータを示した。同じ応力振幅

で予ひずみの有無を比較すると、AE 振幅比もその変化量も小さくなる傾向があった。これは初期の塑性変形(自緊処理)の影響が AE 振幅比に影響する事が示された。また、応力振幅(部分充填)が小さい程、AE 振幅比は小さくなる傾向があり、80MPa より下回ると破断しない結果となった。

表 7 予ひずみを負荷した試験片の試験条件と S-N データ

引張-圧縮疲労試験	最大応力	最小応力	応力振幅	R	試験周波数	予歪	実績	
	MPa	MPa	MPa				Hz	破断の有無
試験1-1	140	-140	140	-1.0	10		破断	344,000
試験1-3	120	-120	120	-1.0	10		破断	750,000
試験1-4	100	-100	100	-1.0	10		破断	4,150,000
試験1-5	80	-80	80	-1.0	15		未破断	10,000,000
試験1-6	100	-140	120	-1.4	10		破断	1,532,760

提案した AE 振幅比を用いる分析方法を仕様の異なる複合容器でさらに検証するために、設計圧力 20MPa、容量 20 の小型複合容器(図 27)の 0-100%疲労試験時の AE 計測/分析を実施した。AE センサは口金部と胴部設置し、疲労評価は口金の AE センサの出力を用いた。183,473 サイクルで漏洩した。漏洩までの AE 振幅値の経時変化を図 28 に示す。図より、疲労き裂進展に伴って AE 振幅が増加しているように観察された。



図 27 小型複合容器と AE センサの外観

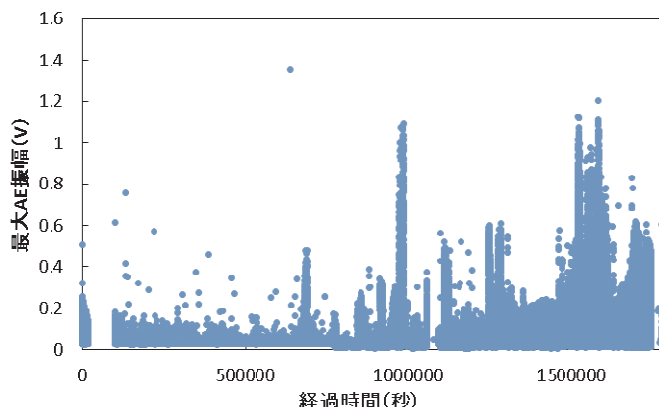


図 28 AE 振幅の経時変化

一方、AE 振幅比の経時変化を図 29 に示すが、試験後半に上昇するものの、試験前半にも高い値を示し、右肩上がりの振幅比の増加パターンにはならなかった。同様の傾向が同じロッドの別の複合容器でも観察されたため、詳細な分析を行った。

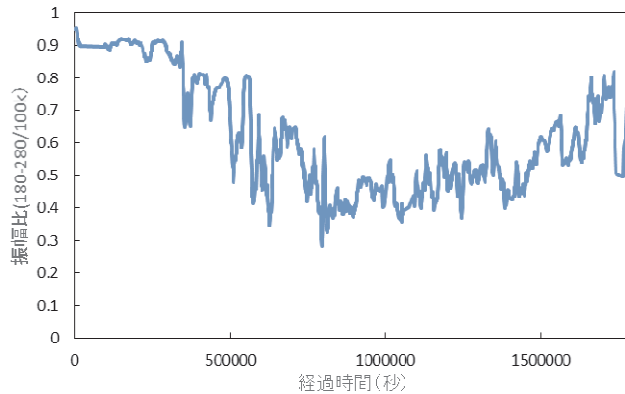


図 29 AE 振幅比の経時変化

AE 振幅比法では、200-300kHz の周波数帯域の AE 振幅を 100kHz 以上の周波数帯域 AE 振幅で除するので、各々の分布を図 30 左に示した。実験初期の 30 万秒までを青、実験中期の 150 万秒までをオレンジ、実験後期の漏洩までを黄色でプロットした。図 30 左より、時間経過（劣化進展）に伴って AE 波形が異なる事が示唆された。また、各々の時間帯の揭示変化を図 30 右に示し、各々の時間領域の AE 波形を抽出して特徴を調べた。

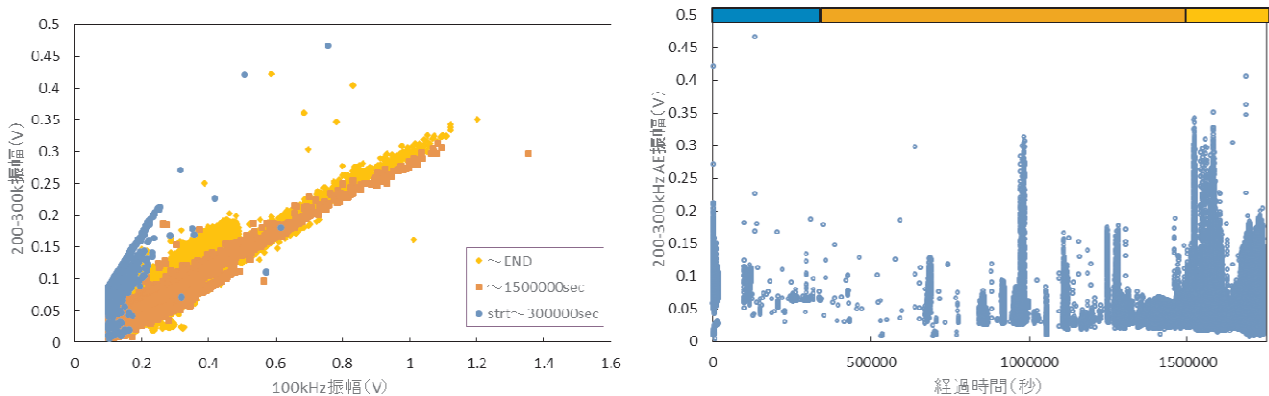


図 30 200-300kHz と 100kHz 以上の周波数帯域の分布（左）と経時変化（右）

試験終了近くで漏洩直前の前述の黄色プロットで観察された代表的な波形を図 31 に示し、試験開始すぐの青色プロットで観察された代表的な波形を図 32 に示した。疲労亀裂進展に伴う AE 波には 200-300kHz の周波数が含まれ、図 31 から当該周波数帯域が観察されるので漏洩に至る疲労亀裂進展の AE であると考えられる。また、300kHz 以上の成分も広く含まれ、疲労亀裂界面の擦れ等に起因していることが予想される。この波形群を波形パターン A と呼ぶ。一方、図 32 においても、200-300kHz が含まれる AE 波形が含まれているが、周波数ピークが 150-200kHz に集中しており、特に 300kHz 以上の周波数成分がほとんど無いという特徴を持つ。この波形群を波形パターン B と呼ぶ。

波形パターン B の AE がどのような損傷に伴って発生したか明らかにはできていないが、対象とした複合容器が未使用であり、製造時にアルミライナーと CFRP 層に僅かな隙間が生じる可能性があることなどから、アルミライナー塑性加工時の初期欠陥の進展やアルミライナーと CFRP 層の擦れなどが考えられる。図 29 において、試験前半でも振幅比が大きくなってしまった原因は、最終的な疲労亀裂進展に関与が少ないと考えられる波形パターン B が原因になっていると仮定し、この波形パターンを除去する方法を検討した。

本研究では、計測した全 AE 波形を対象とした波形の類似性に基づいて波形分離する手段として統計手法の一種である MT 法（マハラノビス・タグチメソッド）を用いた。波形パターン A および B の波形を、4 つの周波数帯域に分割し（100kHz 以上、180-280kHz、280-380kHz、130-180kHz）して基本空間とし、基本空間からのマハラノビス距離（MD 値）を全ての AE 波形について計算して、MD 値が 10 以下の波形を類似性のある AE 波形として整理した。但し、MD 値での分類では波形パターン A と B が類似している部分もあるので、完全には分離できない波形もあることに注意する。本報では MT 法の詳細説明は割愛する。

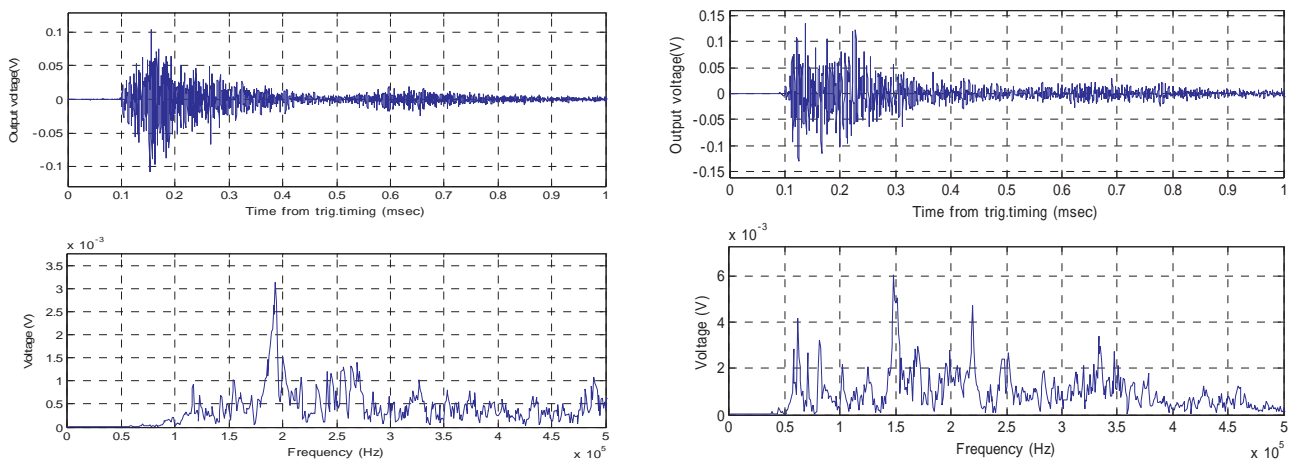


図 31 疲労試験終了近くの AE 波形 (下段は FFT) 【波形パターン A】

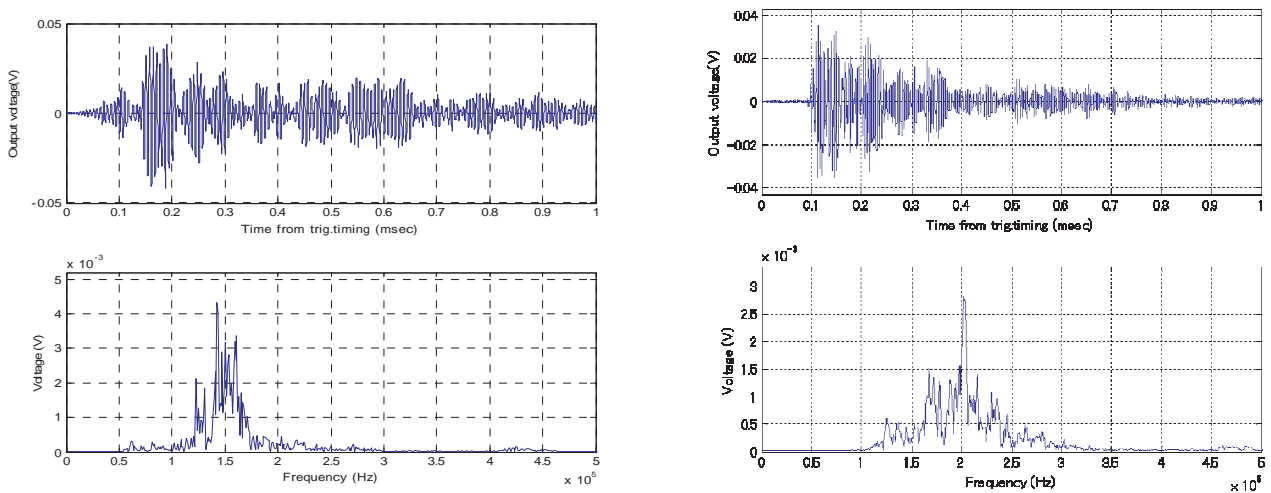


図 32 疲労試験開始近くの AE 波形 (下段は FFT) 【波形パターン B】

計測された全ての AE 波形 (約 150 万) から、波形パターン B を削除し、波形パターン A の振幅比の経時変化を図 33 に示し、振幅比は右肩上がりに疲労進展に伴って上昇する。以上のような波形分類と振幅比を併用する分析方法を用いれば、試験前半のノイズに影響されずに疲労損傷を評価できることがわかった。事業終了までに、本提案手法を実施してきた他の複合容器疲労試験結果にも適用して、妥当性を検証する予定。

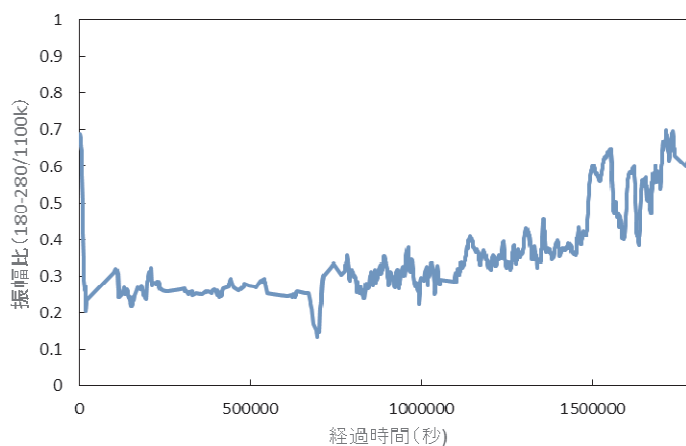


図 33 疲労損傷に伴う AE の振幅比の経時変化

(5) 実水素ステーションでの実証試験 (達成度:)

前述した各種成果に基づいて、実水素ステーションでの AE 実証試験を実施する予定であったが、水素ステーション事業者との調整が付かず、実水素ステーションへ AE 計測装置を持ち込んで計測試験はできなかった。しかしながら、3か所の実水素ステーションの見学と事業者へのヒアリング等によって実水素ステーションの構造や AE 計測環境を把握できたため、実水素ステーションを模擬したラボ試験によって各種検証を実施した。検証項目は、昇圧速度の AE 計測への影響、300 大型容器での減衰の影響、ガス流入ノイズの AE 計測への影響、防爆 AE 計測装置の検討の 4 項目である。これらの検証結果によって実水素ステーションで本 AE 手法を適用できることがわかり、基礎的なデータベースを整備できた。以下に各検証内容について示す。

昇圧速度の AE 計測への影響

水素ステーションの複合容器は 3 バンク方式 (低圧、中圧、高圧) で FCV へ水素を供給する。AE 計測は複合容器の昇圧時に行うことから、ラボ試験と比較して非常に遅い昇圧速度である。代表的な各バンクの昇圧速度は、低圧バンクは約 0.05MPa/s、中圧バンクは約 0.07MPa/s、高圧バンクは 0.1MPa/s である。一方、(4) 節で実施した複合容器のラボ試験での昇圧速度は約 7MPa~10MPa/s であり、水素ステーションと比較して 2 桁早い。そこで、試験片による低速昇圧速度での検証実験を行った。

予ひずみ約 1% (残留ひずみ 0.56%) を与えた平板試験片 (図 34) を用いて、最大応力 130MPa (R=-1) で試験周波数を 6Hz と非常に低速な 0.0008Hz を交互に切り替える疲労試験中の AE を計測した。0.0008Hz は約 0.1MPa/s に相当する。疲労試験は 100 万回で破断した。代表的な計測期間の昇圧速度と最大 AE 振幅 (HPF:100kHz) の関係を図 35 に示す。図より昇圧速度の低下直後は AE 振幅も小さくなるが、疲労進展に伴う高振幅 AE は遅い昇圧速度でも発生/検出されていることがわかる。このことから、水素ステーションの低速な昇圧速度でも疲労進展に伴う AE が検出/分析できることがわかった。

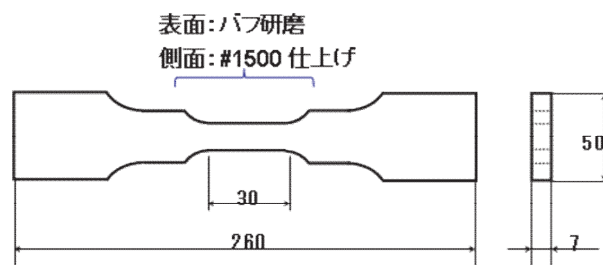


図 34 平板試験片の形状

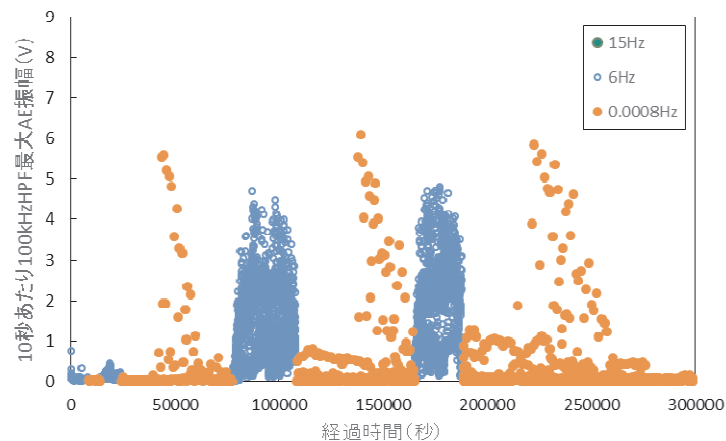


図 35 昇圧速度の相違による AE 振幅

300 大型容器での減衰の影響

水素ステーションにおける複合容器の圧力媒体は水素ガスであるので、ラボ試験時の複合容器内部が

液体で満たされていた時の減衰とは異なる。容量 80 の空の容器を用いて、アルミライナー内部から AE センサ設置位置（口金部）までの AE 減衰特性を計測した。図 36 に示すように、口金部と胴部外側に AE センサを設置し、容器内部から鉄球を落下させた音を検出/分析した。その結果、複合容器の胴部内面の減衰率は-2.0dB/mであり、口金部の減衰率は-8.9dB であった。水素ステーションで用いられる 300L の大型複合容器全長は約 5m であることから、水素ステーションでの計測に考慮すべき減衰は-13.9dB となり、疲労進展に伴う 60dB 以上の高振幅 AE を十分に検知できることを確認した。

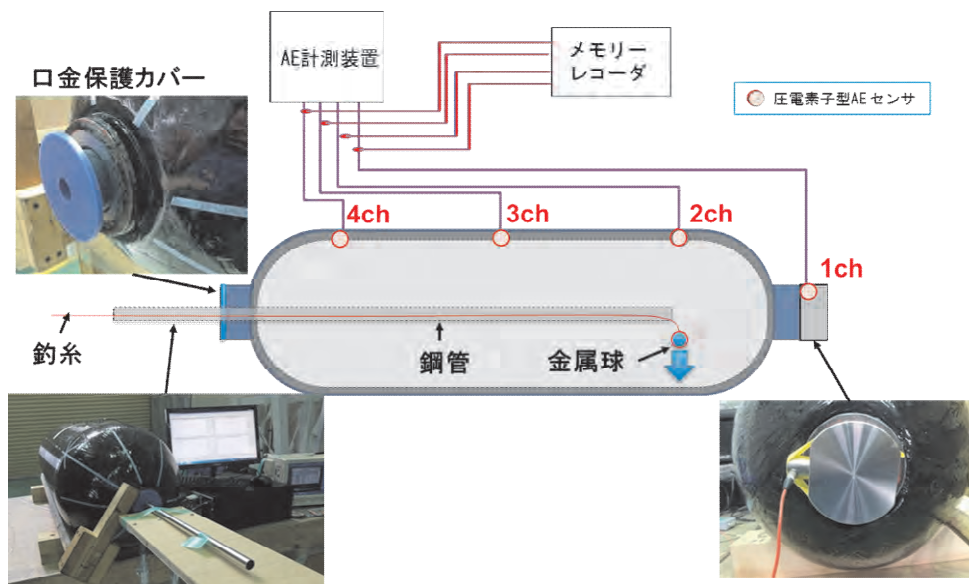


図 36 複合容器内面の減衰測定

ガス流入ノイズの AE 計測への影響

水素ステーションの AE 計測時に考慮しなくてはならないガス流入ノイズの影響を調査した。ラボ試験時の液流入ノイズとは異なる。図 37 に 80 複合容器の気密試験室での実験の様子を示す。昇圧速度は約 230MPa/h から 110MPa/h の間で計測した。図 38 に昇圧速度とガス流入ノイズの関係を示し、平均値約 30dB、最大値 60dB 以下であり、疲労進展の AE 計測には影響がすくない事を確認した。また、いずれの昇圧速度でも 0-100%（フル充填）に比較して 60-100%、80-100%（部分充填）の場合は高振幅ノイズは認められなかった。



図 37 気密試験室でのガス流入実験

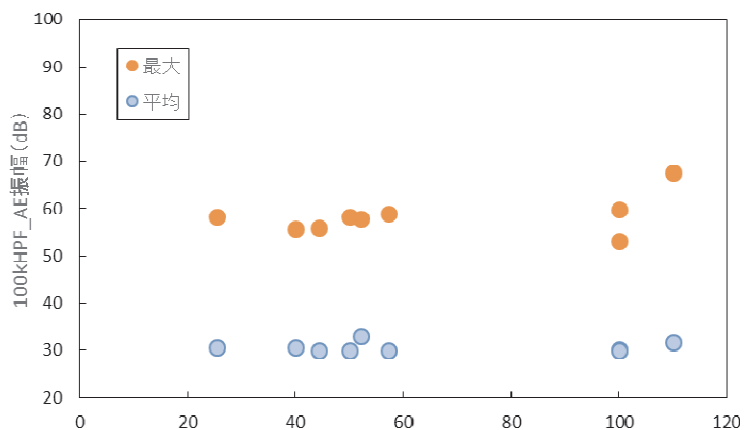


図 38 昇圧速度とノイズ (AE 振幅) の関係

防爆 AE 計測装置の検討

水素ステーションの水素蓄圧器の設置場所周辺は防爆エリアであり、国内で防爆認証された AE 計測装置を使用する必要がある。従来型の AE センサは圧電素子を内蔵したセンサであり、防爆認証タイプのセ

ンサも存在するが構造が大型で水素ステーションでは使用できない。そこで、光ファイバのドブラー効果を利用する光ファイバ型 AE センサの性能を検証した。図 39 に複合容器の口金部への設置状況を示す。写真の光ファイバ型センサより更に小型化も可能であり、本質安全防爆性を有するため防爆エリアでの AE 試験が可能となる。図 40 にセンサ出力例を示すが、従来型 AE センサより感度も S/N も良好である事がわかった。



図 39 光ファイバ AE センサ設置状況

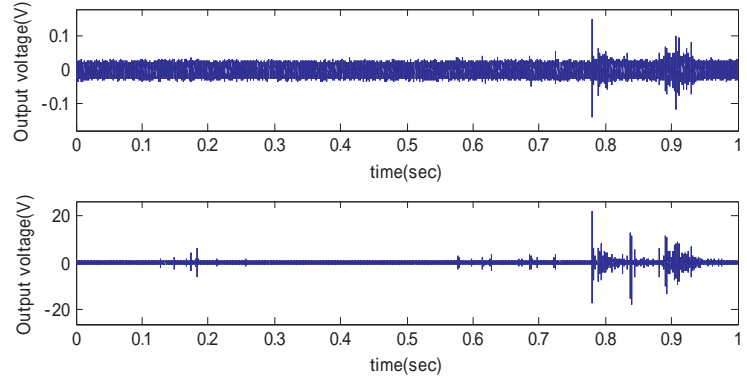


図 40 圧電型 AE センサ(上段)と光ファイバ AE 出力(下段)

実際の水素ステーション見学により、複合容器設置部は防爆エリアであるが、光ファイバケーブルによって接続できる範囲に事務所等の非防爆エリアがあることを確認しており、非防爆エリアに AE 計測装置および PC を設置することで、AE 計測/分析を実施することができる。

3.2 成果の意義

水素ステーションの安心安全で経済的な運用には複合容器の耐圧性能と強度確認の保安検査は不可欠であるが、実用的な保安検査は存在しない。複合容器の経年劣化の主な要因はアルミライナーの疲労き裂進展であり、炭素繊維層で包まれたアルミライナーの極めて微細なき裂の生成であることが検査を困難にさせている。圧縮残留応力を負荷されたアルミライナーの疲労き裂は貫通するまで炭素繊維層にほとんど影響を与えないので、外側からの目視点検やひずみ測定では検知できない。炭素繊維層が厚く、疲労き裂は圧縮残留応力で閉じられて微細なために外側からの放射線透過試験や超音波探傷試験、磁粉探傷試験、渦電流探傷試験でも検知は困難である。水素ステーションの運用を休止し、複合容器の内面からファイバースコープカメラによる目視点検でも微細なき裂の検知は難しい。内面から浸透探傷試験であれば微細なき裂の検知が可能かもしれないが、浸透液によって容器内部を汚染する。このような保安検査不在の中、アルミライナーの疲労き裂進展に伴う AE 波の特徴を振幅比によって強調すれば疲労進展を AE 法で評価できることを世界ではじめて本研究開発で示した。本成果を水素ステーション運用中の保安検査に用いれば、わが国の安全安心な水素ステーションの普及に貢献できる。また、海外の水素ステーション普及にも貢献できることから、水素社会における日本のイニシアチブ強化に寄与する。

水素ステーション用複合容器に係わる世界唯一の規格として「繊維強化プラスチック製圧力容器規格 付属書 8: 定置式水素ガス用非荷重分担ライナーを有する圧力容器 ASME Section(2011a)Appendix 8」がある。この中に製品製造時、耐圧試験時、膨張試験および自緊処理の課厚地に潜在欠陥を見つけることを目的として、試験手順と解析方法、合格基準が示されているが、ASME 規格で実施することが規定されている米国でも AE 試験を実施した容器は無いとされている。本研究開発の成果は水素ステーション運用中の保安検査技術としての新しい AE 検査手法であるが、製品検査としての適用も可能だと考えられ、検討する意義は大きい。

複合容器の設計圧力サイクル数(使用可能回数)は、試験圧力サイクル数を疲労設計安全率 K_n で除した回数と規定されている。疲労設計安全率 K_n は高压ガス保安協会の KHK TD5202 の疲労強度の確認試験に供した容器の数 n によって異なり、 $n=2$ のとき $K_n=4.0$ 、 $n=3$ のとき $K_n=3.5$ 、 $n=4$ のとき $K_n=3.0$ 、 $n=5$ のとき $K_n=2.6$ である。例えば、10 万回の設計圧力サイクル数の複合容器の場合、 $K_n=4.0$ の時は約 2 万 5 千回、 $K_n=2.6$ の時は 3 万 8 千回が使用可能回数である。現在は、使用可能回数までの安全確認のため

の保安検査技術はないが、本研究開発で開発した AE 法を適用すれば使用可能回数まで安全を確認しながら運用することが可能となり、水素社会の普及に寄与することができる。

一方、現行の使用可能回数は試験圧力サイクル数の 50%も使用しないことになる。本研究開発の AE 検査は保安検査のうち複合容器の耐圧性能と強度確認に係る部分に限定されるが、他の保安検査基準が複合容器の使用可能回数を許容する場合、AE 検査を適用して使用可能回数を超えても疲労き裂進展の兆候が観察されていなければ複合容器の使用を延長することも検討に値すると考える。水素ステーションの複合容器の運用コスト低減について次のような投資対効果の仮説が導ける。例えば、5 年間使用できる CFRP タンクを 1 水素ステーションに 10 本備えるとして、複合容器コストを仮に 1 千万円/本とし、10 年間使用すると 2 億円必要となる。しかし、AE 法による保安検査を実施することで使用期間が 2 倍になれば、複合容器の運用コストは 1 億円となる。水素ステーションでの実証試験が未着手であるが、半年に 1 回の AE 検査を実施すると仮定して検査費用が仮に年 100 万円程度とすると、10 年間の AE 検査コストは約 1000 万円となる。すなわち、10 年間で約 9000 万円のコストダウンが期待でき、水素ステーション事業者の負担低減となる。また、現在は使用可能回数を超えた容器は廃棄処分となるが、炭素繊維を大量に使用した複合容器の廃棄処分は容易ではなく、水素ステーションが普及するに伴って今後の社会問題となる可能性もある。AE 法を用いた保安検査によって複合容器の使用回数が増えれば、廃棄処分の問題低減にも貢献できる。

3.3 開発項目別残課題

(1) : アルミ合金の疲労試験時における AE 発生挙動調査 (達成度:)

残課題なし。

Type -複合容器のアルミライナー材料である A6061 アルミ合金の試験片を用いたラボ疲労試験時の AE 計測/分析から疲労損傷を評価できる AE パラメータを特定した。特定の周波数帯域の AE に着目することで、アルミライナー材の疲労き裂進展が評価できる事を示した。

(2) : アルミ合金の水中疲労試験時における AE 発生挙動調査 (達成度:)

残課題なし。

ラボでの複合容器疲労試験の圧力媒体は液体であり、水素ガスの充填とは AE 伝播挙動が異なる。水中疲労試験を実施し、液体媒体が疲労評価のための AE 分析に影響しない事を確認した。

(3) : CFRP の破壊時の AE 発生挙動調査 (達成度:)

残課題なし。

CFRP 層破壊の AE 性状を実験的に評価したが、疲労評価のための AE 周波数帯域とは異なる事を確認した。

(4) : Type -CFRP 高圧タンクの疲労破壊試験時の AE 発生挙動調査 (達成度:)

残課題あり。

本研究開発で提案した、疲労損傷に伴う AE 波形分類と 200-300kHz の周波数成分の振幅比分析を併用する AE 分析方法について、本事業終了時までには他の複合容器の疲労試験データを対象として有効性を確認する。

(5) : 実水素ステーションでの実証試験 (達成度:)

残課題あり。

実水素ステーションでの AE 計測に大きな弊害となると危惧された 4 つの項目 (昇圧速度の AE 計測への影響、 300 大型容器での減衰の影響、 ガス流入ノイズの AE 計測への影響、 防爆 AE 計測装置) について、疑似的なラボ試験を実施し、本 AE 計測手法が適用できることを確認の上、基礎的なデータベースを整備した。しかしながら、実水素ステーションに AE 計測機器を持ち込んだ各種作業ができなかったため、具体的な計測手順、計測時間、運用方法について検討する必要がある。

4 .まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本研究開発では、安全・安心な水素ステーションの早期普及に寄与するため、複合容器の損傷評価手法として AE 法の適用を検討し、AE 法を用いた新しい保安検査の基礎技術を確立した。複合容器の主な劣化損傷形態はアルミライナーの疲労き裂進展であり、疲労き裂進展に伴う小さな AE 波の特徴的な周波数分布に着目し、複合容器の製造時に発生する局部応力集中などに起因する大振幅 AE と分別するために振幅比での評価方法を提唱した。複合容器の疲労試験時の振幅比は疲労劣化に伴って上昇する傾向を示し、振幅比を定期的に計測することによって保安検査に活用できる。また、応力振幅の小さい疲労試験の結果から、振幅比が小さく安定して推移すれば、疲労き裂が貫通して漏洩にいたるような事態は避けられ、この考え方は応力振幅の小さい部分充填を主な運用とする水素ステーションに適用できると考える。

本研究は、複合容器の供用中検査として AE 法の適用方法に関する基本技術を確立した段階である。今後、計測精度などの検証のため、種類が増えてくると予想される複合容器の運用下での AE データベース構築などを行い実用化を目指す。ここでは実用化の見通しについて示す。表 8 に示すように、水素ステーション数の設置ロードマップを鑑み（2015 年（普及開始期）：100 箇所、2020 年（普及拡大期）：140 箇所以上、2030 年（普及将来期）：600 箇所以上）、2030 年の実用化を目指す。

複合容器は有限寿命容器と考えられ、設計圧力サイクル数（使用可能回数）は試験圧力サイクル数を試験回数に対応する Kn 係数で除するサイクル数となる。従って、設計圧力サイクル数までは保安検査は不要であるという考え方もある。一方、本提案技術の実用化は複合容器の試験圧力サイクル数まで、安全を担保しつつ、経済的な長寿命化を実現することである。途中のマイルストーンとして 2020 年に設計圧力サイクル数までの AE 法の特徴を把握できるデータベースを構築する。データベースには振幅比の定量的データが含まなくてはならない。本研究開発で疲労試験に供した複合容器は 10 本程度であり、疲労試験開始時の振幅比は 0.2 前後、漏洩直前には 0.5 前後であったが、その値にはバラツキがあった。振幅比の値は複合容器の仕様にも依存すると考えられ、データベース構築が必要である。

今後のデータベース構築などの実用化については、Type 複合容器の長寿命化を望む水素ステーション事業者や容器メーカーと連携して実施することが好ましい。

表 8 実用化までのスケジュール

水素ステーション 設置ロードマップ			2015年	→(普及開始期)→ 100箇所			2020年	→(普及拡大期)→ 140箇所以上	2030年
	(H25)	(H26)	(H27)	(H28)	(H29)	⇒(普及将来期) 600箇所以上	
基本原理確認	→			↑ 研究開発終了					
基本技術確立			●	→					
データベース化						● データベース構築 現場検証作業 特性把握(中間)	○ データベース増強 信頼性確認・向上		■ 実用化

5 . 研究発表・特許等

- 特許等 -

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	2016年6月16日	特願 2016-119547	圧力タンクの検査方法、検査システム及び検査プログラム	千代田化工建設株式会社

参考文献

(文献1) : 岩岡ほか、「高圧水素貯蔵用 A6061-T6 合金の引張・疲労試験での AE 特性に関する研究」、日本機械学会論文集、Vol180, No.818, 2014

(文献2) : 坂本ほか、「圧縮残留応力下での疲労き裂進展挙動」、日本機械学会論文集、Vol175, No.759, 2009

(1-7)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 / 水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発」

委託先：(一社) 水素供給利用技術協会、(株)住化分析センター、(一財)日本自動車研究所

成果サリ(実施期間：平成25年度～平成29年度(住化分析センター：平成27年度～29年度))

- ・サブテーマ1(水素供給利用技術協会)：全水素ステーションの品質管理方法を規定する運用ガイドラインを平成26年9月に作成、その後2回の改定を行い、幅広く利用されている。高圧と低圧双方の試料採取可能な装置を開発し、170回以上のステーション試料採取に活用した。ISOの全13成分を分析可能な簡易分析装置の開発を進め、10成分の分析条件を確立し、残る3成分の分析条件確立に取り組み中。取り組みが完了すれば、分析コスト(従来の1/4)と分析時間(従来の1/20)達成見込み。
- ・サブテーマ2(住化分析センター)：固体捕集サンプラーを用いた、より小型で簡便なサンプリングキットを開発し、分析コストは従来の1/4、分析時間は従来の1/5を達成した。更に現地分析を可能にし、分析コストを削減した。現地分析装置の小型化や運用方法の改善などによる、更なる費用削減により分析コスト(従来の1/10)を達成見込み。
- ・サブテーマ3(日本自動車研究所)：本事業で得られたデータを基に水素品質規格の改定に係る国際審議をリードし、DIS投票に平成29年度内に移行予定。水素品質の確保に必要な品質管理規定も、新たに日本提案で策定し、発行段階に到達する見込み。

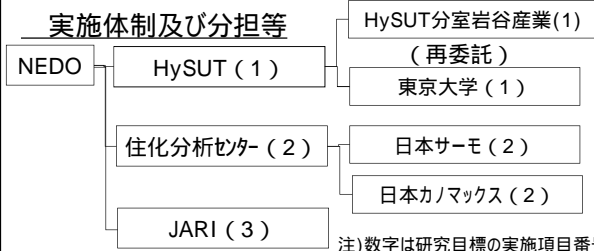
背景/研究内容・目的

水素品質ISO国際規格を遵守しつつ、安価・簡便な品質管理を目指す。そのために、水素品質管理ガイドライン、簡便な試料採取方法、水素ステーション現場で試料採取から分析までを行なう簡易分析装置や簡便なサンプリング方法が必要である。また、水素燃料仕様ISO14687-2の改訂提案と、品質管理新提案(ISO19880-8)の国際標準化を目指す。

研究目標

実施項目	目標
1	水素品質管理の運用ガイドラインの策定
	高圧及び低圧の水素ガス試料採取容器の検証
	簡易分析装置の検証(分析コスト：現行200万円の1/4、分析時間：現行120hrの1/20)
2	供給水素中の微粒子捕捉用フィルタの検証ほか
2	固体捕集サンプラーと現地分析の組合せで分析費用を現行の1/10、分析時間を1/5に低減する。
3	水素燃料仕様ISO14687-2の改訂提案・国際標準化

実施体制及び分担等



これまでの実施内容 / 研究成果

- 1 全ての水素STの品質管理方法を規定する水素品質管理ガイドラインを予定通りに策定し、改定した。高圧と低圧の双方の資料採取可能な装置を開発し、商用ステーションを含む170回以上のステーション試料採取に活用した。ISO全13成分を対象とする簡易分析装置として、TOFMSを選定し、10成分の分析条件を確立し、全硫黄化合物は確立の目的を立て、残る2成分の分析条件確立に取り組み中である。水素中の微粒子量を把握し、フィルタ目開きに関するガイドライン改定を実施した。
- 2 従来液体捕集を行っていた成分について固体捕集サンプラーが適用可能であることを確認し、より小型で簡便なサンプリングキットを開発した。また、現地分析を可能にし、分析費用と分析時間を従来より低減した。
- 3 ISO14687-2(水素燃料仕様)に改訂提案に加え、ISO19880-8(水素品質管理)の新規提案を日本が実施し標準化を推進した。ISO14687改訂に必要な有機ハイドライド、ホルムアルデヒド等の不純物の影響を調査した。

今後の課題

- 1 TOFMSによるISOの残3成分分析法の確立と、更なるコストダウン
- 2 適切なタイミングでのガイドラインの改定
- 3 分析装置や運用方法の改善などによる更なる低価格化を進める
- 4 水素品質の過剰規定の排除及び新たなプロセス・市場課題への対応のための不純物調査とその国際標準化活動

実用化の見通し

- 1 ISO全13成分分析可能なTOFMSを用いた従来費用よりも安価な受託分析事業を目指す。
- 2 ST運営事業者にとって従来より負担の少ない安価・簡便な受託分析事業を行う。
- 3 適正な規格を策定することにより、安価な水素供給システムが確立され、FCVの普及拡大に貢献する。

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価	
1	水素品質管理の運用ガイドラインの策定		
	高圧及び低圧の水素ガス試料採取容器の検証		
	簡易分析装置の検証		
	供給水素中の微粒子捕捉用フィルタの検証ほか		
2	分析コストと分析時間の低減	○	
3	水素燃料仕様の国際標準化および水素中不純物の燃料電池への影響評価		
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
8	3	7	0

課題番号： I - 7

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 /

水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発

一般社団法人 水素供給利用技術協会 (HySUT)
株式会社住化分析センター
一般財団法人 日本自動車研究所 (JARI)

1. 研究開発概要

水素供給インフラの整備に当たって、高純度水素燃料の適正かつ安価・簡便な品質管理を実施し、トラブルなく安定した品質の水素燃料を FCV に供給することが必要である。水素燃料の品質標準として ISO 国際規格(ISO14687-2: Hydrogen fuel - Product specification - Part2: Proton exchange membrane (PEM) fuel cell applications for road vehicles)が 2012 年 12 月に発行しており、日本の水素ステーションはこの ISO 国際規格を遵守して水素供給を行なっていくこととなる。

しかしながら、ISO 国際規格においては水素純度の規定や不純物濃度規定が定められているのみであり、水素品質測定の詳細、頻度等の品質管理に関する規定が無い。

また、水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC1)、燃料電池システム等実証研究(JHFC2)および地域水素供給インフラ技術・実証(JHFC3)の実証研究において水素燃料の品質分析は実施されてきたが、実験的であり、分析の専門知識が必要で、かつ分析コストが高い。2015 年の FCV および水素供給インフラの普及期においては、JHFC1~3 での水素分析に比較して、より安価・簡便な品質管理方法の研究開発が必要である。

更に、現在の ISO 国際規格は、黎明期の FCV および水素供給インフラを前提に作成されている。ISO 国際規格は定期的改訂が行われており、2015 年からの FCV および水素供給インフラの普及初期に合致した新たな国際規格の策定が必要である。

本研究開発は、水素供給利用技術協会(以下、HySUT と記す)及びその研究分室(岩谷産業)と再委託先(東京大学)、住化分析センター(以下、SCAS と記す)及びその再委託先(日本サーモ、日本カノマックス)、日本自動車研究所(以下、JARI と記す)の 3 機関が共同し、水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の確立と国際標準化について進めるものである。

HySUT 及びその研究分室、再委託先は、サブテーマ 1: 適正かつ安価・簡便な供給水素の品質管理方法の研究開発を進める。SCAS 及びその再委託先は、サブテーマ 2: 更なる低コストを狙った安価・簡便な分析方法の研究開発を進める。JARI は、サブテーマ 3: 水素燃料仕様の ISO14687-2 の改訂提案・国際標準化を進める。

以下に、サブテーマ毎の各テーマを記す(カッコ内は担当社)。

サブテーマ 1: 適正かつ安価・簡便な供給水素の品質管理方法の研究開発

(1)水素品質管理の運用ガイドラインの検討 (HySUT)

(2)供給水素ガス試料採取容器・方法の開発 (HySUT、岩谷産業)

(3)水素ステーション現場での分析手法の開発(簡易分析装置の開発) (HySUT、岩谷産業)

- (4) 供給水素中の微粒子捕捉用フィルタの検討 (HySUT、東京大)
- (5) 水素ステーションでの検証 (HySUT、岩谷産業)
- (6) 新規・画期的な分析装置の探索 (HySUT、岩谷産業)
- (7) 次期 ISO 改訂に向けた基準値の検討 (HySUT、岩谷産業)

サブテーマ 2：更なる低コストを狙った安価・簡便な分析方法の研究開発

- (1) 固体捕集サンプリング方式による分析法の開発 (SCAS)
- (2) 現地評価機能を付加したサンプリング方式とその分析法の開発 (SCAS、日本サーモ、日本カノマックス)

サブテーマ 3：水素燃料仕様の ISO14687-2 の改訂提案・国際標準化

- (1) 水素燃料仕様の国際標準化 (JARI)
- (2) 水素中不純物の燃料電池への影響評価 (JARI)

図 1 に本事業の研究体制を示す。

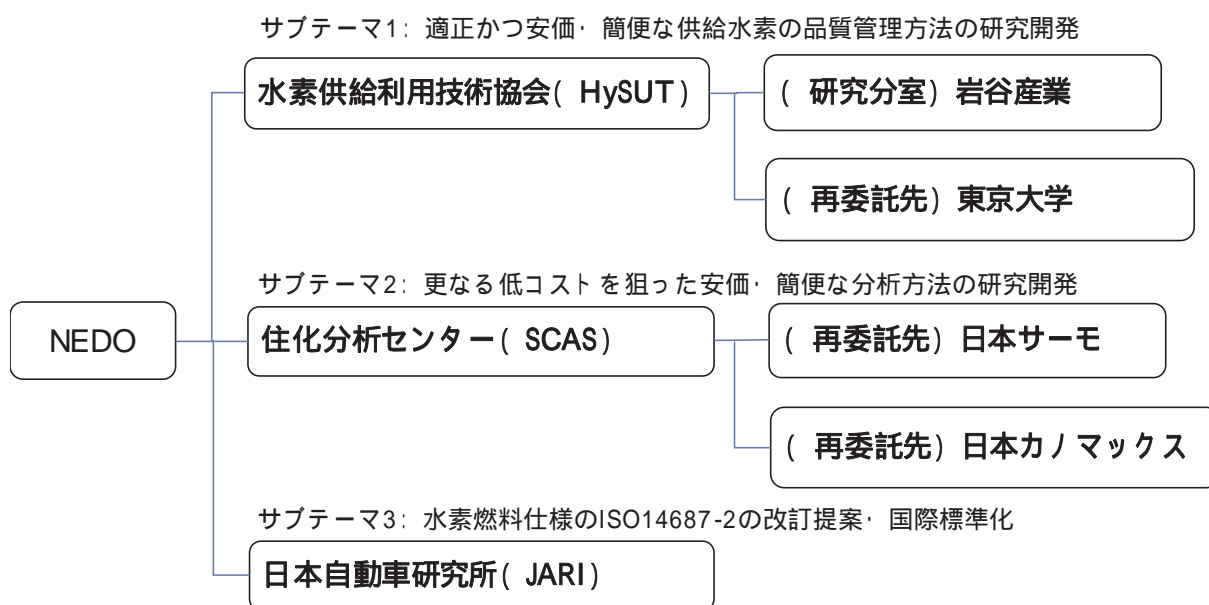


図 1 研究体制 (平成 28～29 年度)

委託期間： サブテーマ 1 及び 3：平成 25 年 5 月 1 日から平成 30 年 2 月 28 日まで
 サブテーマ 2：平成 27 年 9 月 3 日から平成 30 年 2 月 28 日まで

2. 研究開発目標

サブテーマ 1：適正かつ安価・簡便な供給水素の品質管理方法の研究開発

水素分析コストは現行 200 万円/ST を 1/4 以下とし、水素分析時間は現行 120 時間/ST を 1/20 とすることを目標とする。

- (1) 水素品質管理の運用ガイドラインの検討

平成 25 年度で準備し、平成 26 年度に策定した水素品質管理ガイドライン案 (GL 案) を見直し、業

界団体等への提言を行なう。

(2) 供給水素ガス試料採取容器・方法の開発

高圧部分からの試料採取については、METI からの法令照会結果を得て平成 26 年度に試料採取装置を製作して試験充填が可能となった。適正で簡便・安価な方法の確立のために、可能な限りの多くの水素ステーションにおいてその有効性を確認する。

低圧部分からの試料採取については、少量の試料を正確に分析するための容器改善を平成 26 年度に実施したので、(3)の簡易分析装置と併せて水素ステーションでの検証を平成 26～29 年度に実施し、その有効性を確認する。

(3) 水素ステーション現場での分析手法の開発(簡易分析装置の開発)

平成 26 年度に 3 方式から選定した飛行時間型質量分析装置(TOFMS)を平成 27 年度に改良開発し、低圧試料採取装置と組み合わせた水素ステーションでの検証を実施する。

(4) 供給水素中の微粒子捕捉用フィルタの検討

水素品質規格 ISO14687-2 に規定されている微粒子については、水素ステーション設置のフィルタでその管理を実施する。平成 25 年度にフィルタの実態調査を行い、供給水素中の微粒子重量が十分に ISO 水素品質規格(1mg/kg)を満足していることを確認した。その後、ISO 国際規格にフィルタ捕捉効率規定またはフィルタ目開き規定が盛り込まれる動きとなったため、当初予定されていなかったフィルタ捕捉効率試験を実施し、品質ガイドライン案に反映する。

(5) 水素ステーションでの検証

上記(2),(3),(4)の開発結果の確認のために、水素ステーションにおける検証を実施する。

(6) 新規・画期的な分析装置の探索

国内外の新規分析装置について調査し、(3)簡易分析装置の開発にフィードバックする。

(7) 次期 ISO 改訂に向けた基準値の検討

水素ステーションでの検証結果を蓄積し、水素燃料仕様 ISO14687-2 の改訂に資する。

サブテーマ 2 : 更なる低コストを狙った安価・簡便な分析方法の研究開発

(1) 固体捕集サンプリング方式による分析法の開発

水素品質は担保しつつ、簡便で安価な水素品質管理分析を可能とするため、従来は液体捕集を行っていた成分について、固体捕集サンプラーを適用し、より小型で取扱いやすいサンプリングキットを開発する。これにより、これまでの分析費用を 1/4 以下、分析時間 1/5 以下を達成する。

(2) 現地評価機能を付加したサンプリング方式とその分析法の開発

(1)で製作したサンプリングキットにセンサー等を利用して現地分析を可能にし、更なる分析費用と分析時間の短縮を目指し、分析費用 1/10 を達成する。

サブテーマ 3 : 水素燃料仕様の ISO14687-2 の改訂提案・国際標準化

(1) 水素燃料仕様の国際標準化

当該国際規格である ISO14687-2(FCV 燃料仕様)について、日本が議長国として国際審議を進捗し、平成 24 年に第 1 版の発行に至った。本事業でもこれまでの進め方を継承し、NEDO の事業間連携や産業界との連携さらには国際連携を視野に入れ、効率的かつ国内の産業育成にも有効な標準化活動を進める。

具体的には、ISO14687-2 改訂に向けて、日本がコンピナ(議長)を務める ISO/TC197(水素技術)

WG12(水素燃料仕様) および後継のWG27の国際標準化活動を展開するとともに、国際標準化や国際基準調和の観点から非常に影響の大きいSAE(米国自動車技術会)での審議にも参画し、日本の産業育成に有効な国際標準化活動を行う。また、円滑な国際標準化の進捗のため、米国、仏国などと、当該標準化に係るワークショップ等を開催し、問題点、課題など改訂提案前に情報共有し、改訂に向けたコンセンサスを形成する。なお、国際標準化活動は、FCCJと密接に連携し、共同提案者であるHySUTとともに、産学官連携による国内対応委員会を運営しながら、事業を着実に進める。特に、当該国際規格中の分析法等の記述、品質管理手法の例示など、サブテーマ1で並行して検討・策定される水素品質管理手法との整合を取る必要がある。また、当該国際規格に関連して水素燃料品質管理を規定するISO19880-1(水素ステーション規格)さらにはそれより独立した水素品質管理規格ISO19880-8(水素品質管理:WG28)等について、その国際審議をリードし、国際規格間の整合を期す。

一方、平成26年度までは、標準化活動に資するデータ取得を進めるため、その技術審議は別途受託している「NEDO固体高分子形燃料電池実用化推進技術開発事業/基盤技術開発/セル評価解析の共通基盤技術」で実施し、当該テーマと密接な連携を取りつつ進捗を図る。また、ISO/TC197(水素技術)の国際標準化活動については、ISO/TC197の国内審議団体である一般財団法人エンジニアリング協会(ENAA)と連携し推進する(平成27年まで)。これらの連携に係る体系は図2のようである。

(2) 水素中不純物の燃料電池への影響評価(平成27年度より)

水素ステーションの普及拡大を促進するためには、水素供給コスト低減が重要課題であり、水素の大量輸送/長距離輸送を可能とする効率的な水素貯蔵・輸送技術が必要となる。その中で、有機ハイドライドを利用した水素供給技術は、有機溶媒であるトルエンと水素を反応させ、メチルシクロヘキサンとして貯蔵・輸送し、ステーションにおいて脱水素反応、水素精製処理により製品水素を製造するプロセスであり、次のような理由で有望視されている。すなわち、従来の圧縮水素ガスと比べて約2.5倍の量の輸送が可能となり、また、常温・常圧で安定な液体であるという特性から既存の自動車燃料供給設備(タンクローリー等)の有効利用も可能となる。そのため、経済産業省/文部科学省連携プロジェクトにおいて、有機ハイドライドを水素キャリアとして利用する新規水素供給技術の開発が、2020年東京オリンピック・パラリンピックにおける実証を目標に進められている。

有機ハイドライドを利用して水素が供給される場合、トルエン等の不純物が混入することが予見される。トルエン等の不純物は、現行の燃料品質規格においては全炭化水素として規定はされるものの、規格策定時には想定しなかった成分であるため、現行の燃料品質規格を満たす水素燃料であっても、FCVに性能低下の問題が生じる懸念がある。

そのため、水素キャリア(有機ハイドライド)を利用する新規水素供給技術に由来する不純物によってFCVの性能に問題を生じないか、すなわち、現行の燃料品質の規格値が燃料品質目標として十分な規定であるか、2020年の実証に向けて平成27年度より調査を開始する。発電試験の実施にあたっては「基本性能測定用電気化学測定装置」を導入し、有機ハイドライド由来の不純物が燃料電池の触媒表面積に及ぼす影響の調査も行う。

なお、これらの技術・解析に係るデータ取得を進めるにあたり、試験計画の妥当性の検討や、取得される試験データの解析・審議のために、平成27年度より外部有識者、関連団体等により構成される燃料性状WGを技術解析活動として新規に組織する。また、ISO/TC197(水素技術)の国際標準化活動については、引き続きISO/TC197の国内審議団体である一般財団法人エンジニアリング

(ENAA)協会と連携し推進する。これらの連携に係る平成27年度の体制は図3のようである。

また、燃料電池自動車用水素品質規格 (ISO14687-2) の改訂作業 (ISO14687) が平成27年度から開始され、品質規格で定められた不純物の許容濃度に関する見直しが進められている。そのうち、ホルムアルデヒド (HCHO)、ギ酸 (HCOOH) に関する一部緩和が欧州側から提案されている。しかし、その根拠となるデータは、現状のFCVのFCV技術 (出力、作動温度、触媒量等) を反映していない。FCVの常用温度である60°C付近でのデータはなく、これらのデータがない状況で欧州との議論に臨むことは現状のFCVにとって、不利益となる可能性が高い。そのため、HCHO、HCOOHが燃料電池の発電性能に及ぼす影響を調査し、ISO14687-2改訂 (ISO14687) の議論に資する。

なお、平成28年度より、ISO/TC197の国内審議団体は(一社)水素供給利用技術協会 (HySUT) に変更され、それに伴い、以後標準化活動についてはHySUTと連携し推進する。これらの連携に係る平成28年度以降の体制は図4のようである。

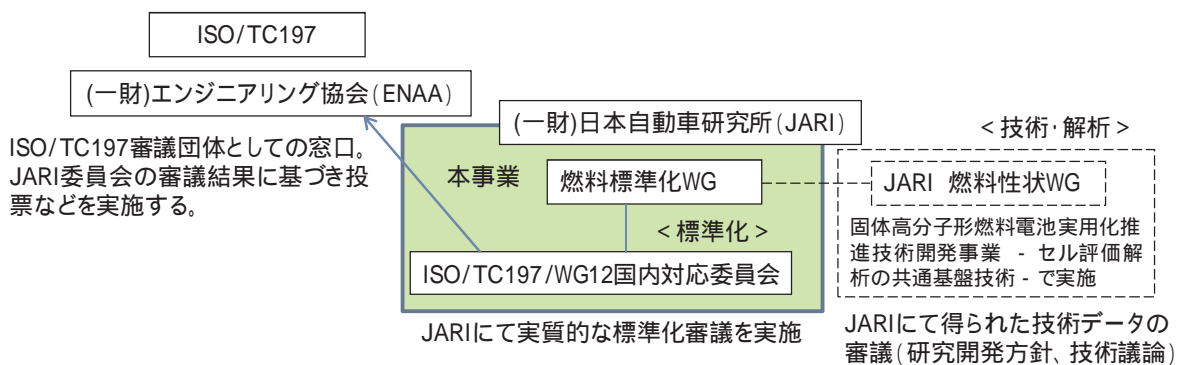


図 2 平成 26 年度までの水素品質規格に係る国際標準化の実施体制

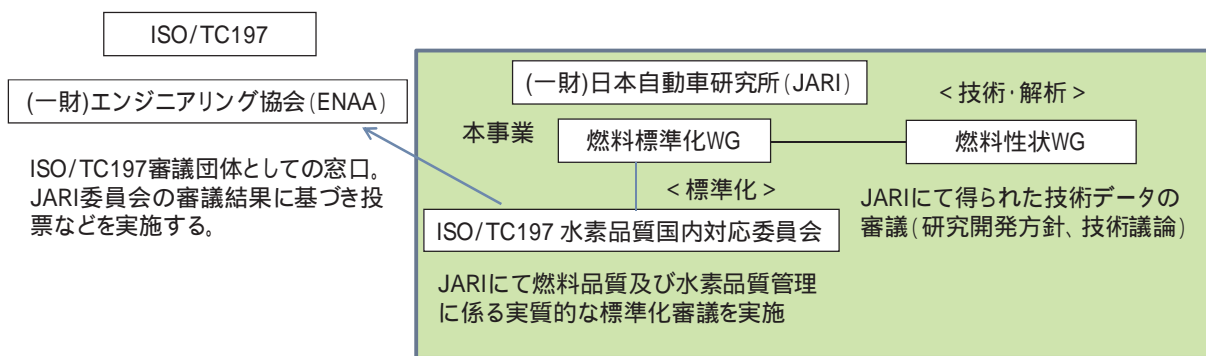


図 3 平成 27 年度の水素品質規格に係る国際標準化の実施体制

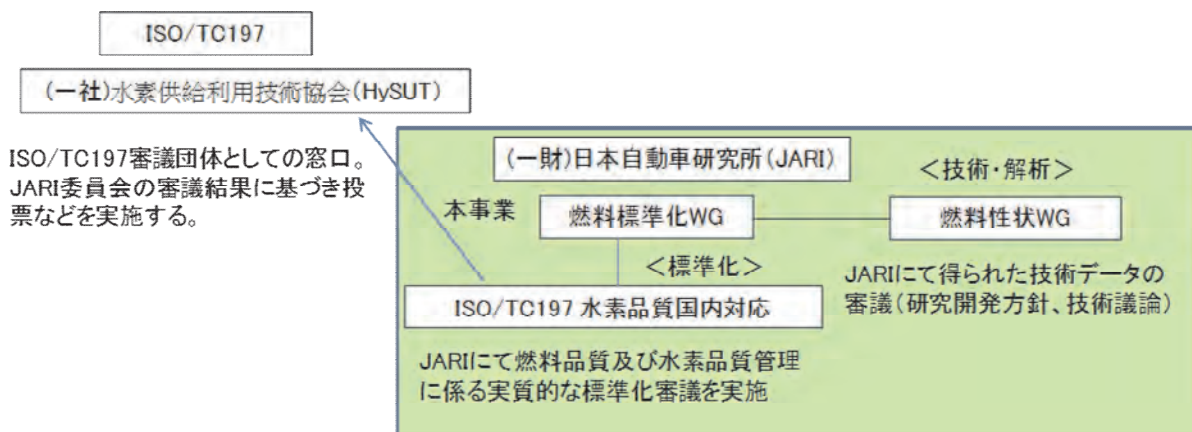


図 4 平成 28 年度以降の水素品質規格に係る国際標準化の実施体制

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

3.1.1 サブテーマ1の研究開発成果、達成度

(1) 水素品質管理の運用ガイドラインの検討

水素燃料仕様 ISO 国際規格 (ISO14687-2) は水素品質測定の詳細規定や測定頻度規定が無いため、適切な水素品質管理の実施のためには、これらを規定した水素品質管理ガイドラインが必要である。ガイドライン案の策定に当たり、水素の原料や製造法毎に混入可能性のある不純物を検討し、管理すべき不純物の項目と品質管理頻度を定めた。

平成 25 年度にガソリンや天然ガス等に関する類似ガイドラインの調査を行い、素案を作成し、その素案をブラッシュアップして平成 26 年度にガイドライン案を作成した。作成にあたって、燃料標準化 WG、FCCJ 水素品質 TF にも諮り、関係者の合意形成を図った。このガイドラインは予定通り、平成 26 年 9 月に完成し、FCCJ に提出した。FCCJ での審議を経て、平成 26 年 12 月に業界自主ガイドラインとして正式制定した。

その後、平成 27 年度及び 28 年度に、品質管理対象不純物の明確化や品質管理方法の簡素化を盛り込み、品質ガイドライン案を改定した。

水素ステーションの品質管理方策として初めて作成されたガイドライン案であり、正式制定されたガイドラインは、既に国内の全ての水素ステーションにて広く用いられている。

(2) 供給水素ガス試料採取容器・方法の開発

簡便かつ安価な試料採取容器・方法の確立を目的として、高圧および低圧での試料採取の問題点を抽出してその解決方法を検討し、水素性状を把握できる低圧試料採取箇所の見極めを行った。高圧試料採取については、7 条 3 ステーションで試料採取することを高圧ガス保安法上で可能とするため、経済産業省から検査充填の法令照会の結果を得た。この結果に基づいた高圧試料採取装置を製作し、移動式製造設備として監督官庁へ申請し、許可を得た。高圧試料採取装置のイメージ図および実際に水素ステーションにて運用する際の配置図をそれぞれ図 5,6 に示す。この高圧試料採取装置は高圧ガス保安法に則った日本初の検査充填装置であり、開発の意義は大きい。

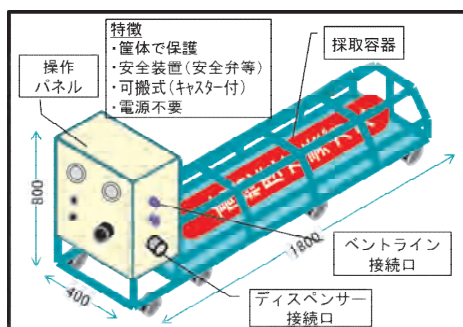


図5 高圧試料採取装置概要



図6 高圧試料採取装置 配置図

低圧試料採取装置については、フィールド試験を実施した有明および大阪水素ステーションでの結果をもとに装置を製作した。装置には背圧弁を設置しており、試料の圧力を一定にして操作できるシステムとなっているが、急激な圧力上昇の際は安全弁で圧力を開放できるようにしている。また試料を容器へ導入するラインと水分計へ導入するラインが備わっている。

試料採取容器については、容器壁面への吸着がなく、安定して試料が貯蔵できる容器表面を開発することを目的に、ヒューズドシリカコーティング処理 (Si 処理) および高濃度オゾン酸化処理の評価を実施した。その結果 Si 処理の結果が最も優れており、Si 処理を採用した。

本テーマは計画通り進捗しており、事業終了時には目標達成の見込みである。

(3)水素ステーション現場での分析手法の開発 (簡易分析装置の開発)

簡易分析装置として飛行時間型質量分析計 (TOFMS : Time-of-Flight Mass Spectrometer) 、水素分離型四重極質量分析計 (HEMS : Hydrogen Elimination Mass Spectrometer) および小型ガスクロマトグラフの3方式の評価を行い、性能を比較した。評価項目としては、ISO 成分の分析可否を判断すべく、濃度既知の各成分を含む標準ガスを希釈装置にて2および3水準の濃度に調整して装置に導き、分析値の直線性を評価した。また可搬性や操作性、装置の完成度についても評価項目とした。結果を表1に示す。

表1 各種分析装置の評価結果(平成26年度)

主装置名		TOFMS	HEMS	小型 GC
ISO 成分の 分析可 否	水分	-	-	×
	全炭化水素			
	酸素			×
	窒素			
	二酸化炭素			
	一酸化炭素			
	硫化水素			×
評価 項目	アンモニア			×
	精度		×	
	再現性		×	×
	直線性			
	立上時間			×
	可搬性			
	操作性			
完成度				

表1より、TOFMSは水分を除くすべての成分の測定が可能であり、立上時間や可搬性の面からも

優れており、他の分析装置に比べ優位性が認められた。そのため、簡易分析装置は TOFMS に限定して、ISO 項目の分析法の確立を進めた。その結果を表 2 に示す。ISO 項目（全 13 成分）については、ほぼ分析条件を確立しており、全炭化水素、全硫黄化合物、全ハロゲン化合物については、主要成分の分析条件は確立している。今後は、全炭化水素、全硫黄化合物、全ハロゲン化合物の分析手法の確立を進めるとともに、コスト、時間も含めて、水素ステーション現場での実証を進め、本年度中に装置完成度を向上させる。

表 2 TOFMS の分析可否状況

	ISO 規格値	分析可否	備考
水分	5	-	水分計により分析
全炭化水素	2		メタンは
酸素	5		
ヘリウム	300		
窒素	100		
アルゴン			
二酸化炭素	2		
一酸化炭素	0.2		
全硫黄化合物	0.004		硫化水素は
ホルムアルデヒド	0.01		
ギ酸	0.2		
アンモニア	0.1		
全ハロゲン化合物	0.05		塩化水素は

(4) 供給水素中の微粒子捕捉用フィルタの検討

ISO 国際規格は水素中の微粒子の重量濃度 1 mg/kg 以下が規定されているが、過去の技術・社会実証で複数ステーションでの測定結果は 1~2 桁下回った結果を得ている。微粒子については発生要因、発生場所を踏まえた管理が必要であり、現状では発生は定常的でなく突発的と考えられるため定期的・ルーチンの測定での把握は困難であり、ステーション設備に設置のフィルタによる捕捉が現実的と考える。このため、水素ステーションの設置フィルタ仕様やフィルタ捕捉微粒子について検討し、適切なフィルタ管理方策を検討した。

平成 25~26 年度は、水素ステーションの各機器設置フィルタの点検結果を調査した。平成 27 年度は、実証水素ステーション 10 箇所で、充填水素中の微粒子重量の測定を行い、ISO 規格値を満たしていることを確認した。

更に、水素品質管理に関する ISO 国際規格 (ISO19880-1) に微粒子粒径と捕捉率が規定される方向となったため、平成 27 年度以降、当初予定していなかったフィルタ捕捉効率測定試験を実施し、フィルタ目開きと捕捉効率の関係を把握した。この結果を踏まえ品質ガイドライン案にフィルタ目開き規定 (5 μ m) を追記・改定した。

(5) 水素ステーションでの検証

水素ステーションの設備仕様や高圧ガス保安法上での容器充填等の実施の可否について検討し、適切な水素ステーションにおいて各々の有用性を検証している。実証水素ステーション 10 箇所にて試料採取を行い、品質確認試験を実施した。結果を表 3 に示す。

表3 実証ステーションでの高圧試料採取装置で採取した水素分析結果(平成26年度)

ステーション名	海老名	千住	北九州	神の倉	エコフルタウン	大阪	成田	羽田	有明	霞が関	ISO規格値	分析機器
水分	1.4	1.2	1.2	<0.5	<5	0.7	1.4	0.5	<0.5	3.8	5	水分計
メタン	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2	GC-FID
非メタン	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2		
酸素	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	5	酸素計
ヘリウム	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	<20	300	GC-TCD
窒素	2.0	0.5	<0.5	<0.5	1.0	<0.5	<0.5	2.2	<0.5	38	100	GC-HPID
アルゴン	<0.2	2.4	0.5	<0.2	0.3	0.4	<0.2	1.3	<0.2	2.9		GC-MS
二酸化炭素	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2	GC-FID
一酸化炭素	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	GC-FID
SO ₂ ²⁻	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.004	IC
ホルムアルデヒド	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	HPLC
ギ酸	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.2	IC
アンモニア	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.1	IC
F ⁻ +Cl ⁻ +Br ⁻	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.05	IC

ステーションによっては、不純物が検出されたが、それらを含めてすべてのステーションにおける分析値はISO規格値を満足し、高圧試料採取装置の有効性を確認した。現在、高圧試料採取装置は、延べ170ヶ所以上の使用実績があり、耐久性においても確認している(図7参照)。

次に、TOFMSのフィールド評価試験として、平成27年度から実証、商用水素ステーションでの試験を開始した。表4から、ほとんどの成分が定量下限値未満であったが、ISO規格値以下ではあるが窒素成分のみが検出されていた。引き続き評価を実施し、TOFMSの有効性を確認する。

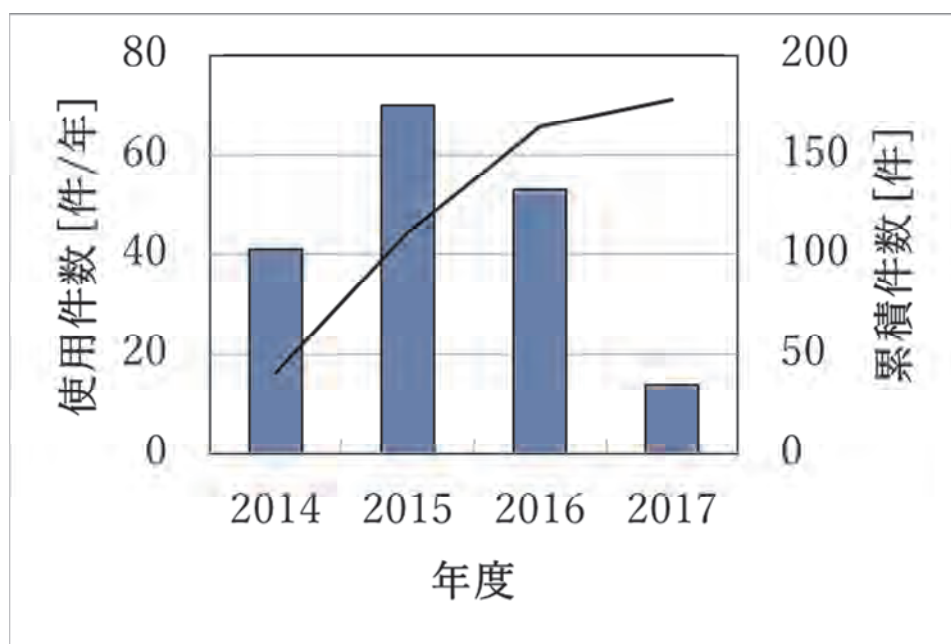


図7 試料採取装置の使用状況

表 4 商用水素ステーションでの簡易分析装置のフィールド評価(平成 28 年度)

ステーション名	商用 A		商用 B		ISO 規格値	従来法の分析機器
	従来	TOFMS	従来	TOFMS		
水分	<0.5	<2	<0.5	<2	5	水分計
メタン	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	2	GC-FID
非メタン	<0.2	-	<0.2	-		
酸素	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	5	酸素計
ヘリウム	<20	<300	<20	-	300	GC-TCD
窒素	<3	0.7	<3	1.6	100	GC-TCD
アルゴン	<3	<3	<3	<3		
二酸化炭素	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	2	GC-FID
一酸化炭素	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	GC-FID
H ₂ S	<0.004	<0.004	<0.004	<0.004	0.004	IC
ホルムアルデヒド	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	HPLC
ギ酸	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1	0.2	IC
アンモニア	<0.01	<0.1	<0.01	<0.1	0.1	IC
F ⁻ +Cl ⁻ +Br ⁻	<0.05	-	<0.05	-	0.05	IC

本テーマは計画通り進捗しており、平成 30 年 2 月には目標達成の見込みである。

(6)新規・画期的な分析装置の探索

上述の(3)項、水素ステーション現場での分析手法の開発(簡易分析装置の開発)テーマで評価した HEMS を新規・画期的な分析装置と位置付けて評価を行った。これまでのところ、検出器の変更など、装置の改良を重ね、アンモニアと硫黄成分以外は測定できる条件を確立した。今後はそれら成分の測定とデータの再現性や分析操作性を考慮した装置完成度の向上が課題である。

(7) 次期 ISO 改訂に向けた基準値の検討

170 回以上、水素ステーションで水素品質検証を実施した。その結果を水素燃料仕様 ISO14687-2 の改訂に活用した。

3.1.2 サブテーマ 2 の研究開発成果、達成度

(1) 固体捕集サンプリング方式による分析法の開発(Step-1)

従来は液体捕集を行っていた成分について、固体捕集サンプラーを適用することにより、サンプリングキットを小型化した。このキットにより、ISO 規定成分の内、全ハロゲン、ギ酸、アンモニア、ホルムアルデヒドの 4 成分を固体捕集サンプラーで、その他の 6 成分は低圧シリンダー捕集、水分、酸素は現地測定を可能とした。サンプリングキットの機能検証のため、商用水素ステーション 3 箇所 4 回の実証試験を実施し、従来法及び、サブテーマ 1 法との比較の結果、同等の結果が得られ、水素品質評価に適用できることを確認した。また、サブテーマ 1 で開発した低圧試料採取装置を利用することで、水素ステーションでの試料ガスの採取と試料ガスの濃縮の作業を 4 時間以内に行うことが可能となった。更に、採取ガス及び固体捕集サンプラーを分析ラボに輸送後、分析時間を加えても 24 時間以内で分析結果が得られることを確認し、分析費用 1/4 以下、分析時間 1/5 以下の目標を達成した。

固体捕集サンプラーの適用により、従来の方と比較し機材の輸送が簡便になり、小型化も図れることから、更なる安価・簡便な品質管理分析が見込めることを確認した。

表5 固体捕集サンプリング方式キットの商用STにおける実証実験結果

実施場所	商用ST①	商用ST②	商用ST①②回目	商用ST③
目的	・Step-1法キットの動作確認 ・Step-2用ポータブルGCの動作確認	・Step-1法キットとSCAS従来法の比較	・サブテーマ1開発法とStep-1法キットの比較	・Step-1法キットとSCAS従来法の比較
結果	○	○	○	○
サブテーマ1比較結果	—	—	○	—
SCAS従来法比較結果	—	○	—	○

(2) 現地評価機能を付加したサンプリング方式とその分析法の開発

(1)で低圧シリンダー捕集し、ラボで分析する6成分について、成分別に適切なセンサーまたはポータブル型分析装置を組み込んだ分析キットを作成し、水素ステーションでの現場分析を可能とした。装置の立上げ時間等を考慮しても分析時間1/5以下の目標を達成することを確認した。現場分析装置は現時点では複数かつ大型であるため輸送などの課題があるが、改善を重ねることで更なるコストを削減する。

表6 分析時間の検証

単位:時間

方法	ST内での作業時間 (準備、サンプリング、片付け)	輸送時間	ラボ作業時間 (分析・報告)	合計
従来法	高圧ボンベ採取	高圧ガス輸送	ラボ分析	120
低圧サンプリング(2-1)	≤4	≤12	≤8	≤24
低圧サンプリング+現場分析(2-2)	6	≤12	≤6	≤24

表7 分析費用の検証

方法	コスト削減		
従来法	2,000千円	輸送・サンプリング	ラボ分析
低圧サンプリング(2-1)	75%削減	輸送・サンプリング	ラボ分析
低圧サンプリング+現場分析(2-2)	約80%削減	輸送・分析・サンプリング	ラボ分析
事業化後	約90%削減	輸送・分析・サンプリング	ラボ分析

3.1.3 サブテーマ3の研究開発成果、達成度

(1)水素燃料仕様の国際標準化の成果

a. 概要

標準化事業の推進のため、燃料標準化WGを設け、平成26年度までは本事業以外のNEDO事業「NEDO 固体高分子形燃料電池実用化推進技術開発事業 / 基盤技術開発 / セル評価解析の共通基盤技術」等で得られた成果、さらに平成27年度以降は本事業で得られた技術検討の成果を活用し、国際規格、国際標準化に関する技術検討を行った。

ISO/TC197(水素技術)の中で自動車に関わるWG12(水素燃料仕様)について、FCV導入期の水素燃料仕様であるISO14687-2(2012年)発行後、FCV普及期を想定した水素燃料品質規格の改訂に向けて、標準化活動を積極的に実施した。

さらに、FCCJ及びインフラ業界とも十分な連携を取りながら実証試験の結果を反映しISO14687-2

(FCV用水素燃料仕様)改訂版の規格案を検討し、特にCO、炭化水素系及びホルムアルデヒド等の成分について、国内のインフラと自動車業界との合意の上、規格値を設定するため、審議を実施した。

その際、特に標準化に必要なデータ等の情報をフィードバックし、当該事業での効率的データ取得に資することが出来た。また、米国DOE、独国NOW、日本NEDOで開催された水素インフラ・輸送のワークショップの燃料品質に係るTFに参加し、欧米の主要な関係者と、品質規格と品質管理の考え方について共通認識を得て、改訂に向けた検討課題をすり合わせるとともに、共通認識の醸成を実施することができた。

さらには、日米欧自動車業界間で、ISOの議論に多大な影響を及ぼすSAE(米国自動車技術会)の当該会議に参画し、SAE J2719(水素燃料仕様)に関連し、欧米の自動車メーカーならびに燃料供給者による水素燃料仕様議論を把握し、ISO141687-2改訂議論と乖離しないよう整合した改訂版の作業を提案する点について合意を得た。

一方、当該国際規格ISO14687-2に関連して水素燃料品質管理を規定するISO19880-1(水素ステーション規格)等についてその国際審議に参加し、国際規格間の整合を期した。特に欧州の認証関係との連携を強め、燃料仕様の規格値(ISO14687-2)の重要性の理解を高め、それに適合する燃料の供給のため品質管理手法について取りまとめた。その結果、水素品質管理について別途国際規格を策定することになり、ISO19880-8として新規提案を日本から行い、承認を受け、策定に向けて審議を進めた。

b. 成果の具体的内容

平成25年度はNEDO他事業で実施したJARI燃料性状WGの成果及びFCCJ、HySUTからのインフラ側からの情報を元に、改訂版に向けた検討課題を整理し、具体的検討に着手した。その結果を踏まえ、ISO/TC197総会に参加し、ISO改訂に向けた各国の意識合わせを実施した。その際、特に欧州での燃料仕様に対する考え方について、これまでのISOにおける審議の理解がないまま進められる懸念があったため、欧州産業ガス協会(EIGA)を中心に意見交換を実施した。

また、欧米のFCV用水素品質の実情を把握し、改訂版の策定に資するため、燃料使用者である自動車会社の委員とともに現地(北米)調査を実施した。

平成26年度は前年度の成果をもとに、抽出した課題について、技術検討をFCCJ等と連携して、粒子の制御のためのステーション規格でのフィルター規定の設定、オイル・その他ISO14687-2における未検討成分などの検討を進めた。特に、フィルター規定については、別途実施されるフィルターの性能評価等を通じて適切な規定を定めることとした。また、有機ハイドライド等、水素供給システムに関連して検討すべき成分も提案され、その他の成分と併せて改訂に向けた検討の重要性が認識された。さらに、現状のISO14687-2の内容を、COを中心に引き続き精査し、改訂が必要な箇所についての確認を実施した。

また、米国DOE、独国NOW、日本NEDOで開催された水素インフラ・輸送のワークショップの燃料品質に係るTFに参加し、欧米の主要な関係者と、品質規格と品質管理の考え方について共通認識を得て、改訂に向けた検討課題のすり合わせるとともに、共通認識の醸成を実施することができた。

さらに、水素燃料品質管理を規定するISO19880-1(水素ステーション規格)等についてその国際審議(ISO/TC197/WG24:水素ステーション)に参加し、その中の水素品質管理の規定において、水素品質規格との整合を明確にすることができた。特に、平成27年2月に開催のWG24国際会議に出席し、水素品質管理に係る内容について原案を取り纏め、WG24における概合意を得た。

平成27年度は前年度の結果に基づきISO14687-2改訂版策定に必要な改訂内容を、技術検討を継続しながら取りまとめた。ISO/TC197からの指示もあり、水素燃料規格ISO14687-1, -2, -3の3部作を1つの文書

に統合することも含めて、平成27年7月に日本より新規提案し、承認され、同年10月にISO14687改訂のためWG27（共同議長：高木東京都市大学名誉教授、田島山梨大学客員教授）が発足した。さらに、統合版のISO/WD14687原案を策定し、平成28年2月開催のWG27福岡会議に提示した。

また、ISO19880-1における水素燃料品質管理規定について、その原案を参加各国と協調し作成した。本文書は、ISO/TS19880-1として発行された。さらに、ISO19880-1から水素燃料品質管理規定を分離し、平成27年7月、新たに日本よりISO19880-8として国際規格の新規提案を行い、承認され、同年10月にWG28（議長：JARI富岡）が発足した。WG28会議は平成27年度中に2回開催し、本規格の策定手順について合意した。

平成28年度は、まず水素燃料規格については、2回（平成28年6月・独国ミュンヘン、同年12月・オランダ・アムステルダム）のWG27国際会議を経て、平成29年3月にCD投票を開始した。特に、平成28年12月のWG27会議において、主にEIGAより提案のあった修正項目の中で、希ガス、メタン等の改訂提案については合意し、主にホルムアルデヒド系の成分について、追加検討とした上で、CD投票に付した。水素品質管理については、平成28年5月にCD投票が承認されたが、100件余のコメントが提出された。WG28国際会議とWebEx会議、メール審議などを駆使し、最終的に平成29年2月までにDIS案の最終合意に至った。

平成29年度は、まず水素燃料規格については、平成29年6月開催のWG27韓国ソウル会議において、CD投票時の120件余りのコメントについて審議が終了した。ホルムアルデヒド系の成分について、日本からのデータの検討をもって最終決定をする条件で、暫定合意し、改訂案を策定、CD2投票が、平成29年9月から開始されている。これらの最終的な合意は、平成29年11月開催のWG27米国加州会議でなされる予定で、平成29年度内のDIS移行が確実とされている。

水素品質管理については、平成29年6月よりDIS投票が開始され、同年9月に終了した。その結果、反対無しにて承認された。技術的コメントが有るため、平成29年11月開催のWG27米国加州会議でコメント審議を実施し、年度中にFDIS投票が実施される見込みである。

以上から、当初目標どおりの成果が得られ、目標を十分に達成する見込みである。

(2)水素中不純物の燃料電池への影響評価

水素の大量・長距離輸送を可能とする有望なプロセスとして、トルエン/メチルシクロヘキサンの水素化/脱水素化反応を利用した有機ハイドライドによる水素供給技術が開発されている。このプロセスでは製品水素中にトルエン等の炭化水素が不純物として混入することが予見される。現行の燃料電池自動車（FCV）用水素品質規格（ISO14687-2:2012）において全炭化水素は2 ppm以下（C1換算）と規定されているが、これらの不純物が燃料電池の発電性能に及ぼす影響は調査されていない。そこで有機ハイドライド由来の不純物による影響を調査し、現状のISO14687-2:2012で定められた濃度が問題ないかを明らかにした。FCVのシステムを考慮した水素循環系を有する単セル発電装置において、ISO14687-2:2012の許容濃度（トルエンとして0.3 ppm：C7）に安全率（10倍）を想定した3 ppmのトルエンを水素中に添加して電圧への影響を調査したときのセル電圧を図8に示す。セル温度は60°C、アノード/カソード露点は電圧低下が見られた60/25°Cとし、パーセント率は1%とした。電流密度を1~2 A cm²とした条件でも、トルエンを添加したときの電圧は低下せず、高純度水素の場合と同等であった。このように水素循環系での試験結果から、トルエンなどの有機ハイドライド由来不純物の影響は、現行の水素品質規格で定められた許容濃度では問題とならない可能性が高いことを示すことができた（ ）

ISO14687-2:2012の改訂の議論にあたり、欧州からホルムアルデヒド(HCHO)の許容濃度を現行の0.01 ppmから0.2 ppmに緩和することが提案されている。しかし、その根拠となるデータは、現状のFCVの燃料電池技術を反映しておらず、FCVで使用頻度が高いと考えられる60°C付近でのデータは示されていない。そこで、FCVを想定した膜-電極接合体(MEA)の仕様および運転条件で、HCHOが燃料電池の発電性能に及ぼす影響を明らかにした。電圧への影響有無を判断するため、HCHO濃度は緩和の要望に対して4倍高い0.8 ppmとして、JARI標準セルを使用して発電試験を実施した。HCHOを添加した水素を使用したときのセル電圧の電流密度依存性を図9に示す。実際のFCVを想定したMEA仕様および運転条件では、HCHO濃度が0.8 ppmで電圧が低下することが明らかになった。なおセル温度や湿度を変えた場合であっても、顕著な運転条件依存性が見られないこともわかった。

このように、ISO14687-2:2012の改訂スケジュールに合わせて緊急に試験を進めた結果、HCHOは燃料電池の電圧を低下させることが明らかとなった。この結果を、ISO14687を審議する平成29年6月開催のWG27韓国ソウル会議で報告するとともに、HCHO許容濃度の改訂のためには、更にデータを取得した上で許容濃度を議論する必要があるとの認識を得た()。

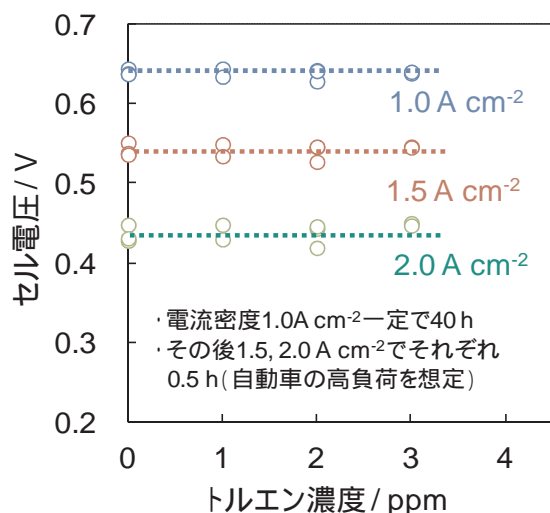


図8 水素循環系におけるトルエン濃度と電圧との関係(0~3 ppm、セル温度60°C、触媒Pt/C、アノード/カソード担持量0.05/0.4 mg cm²、膜厚15 μm)

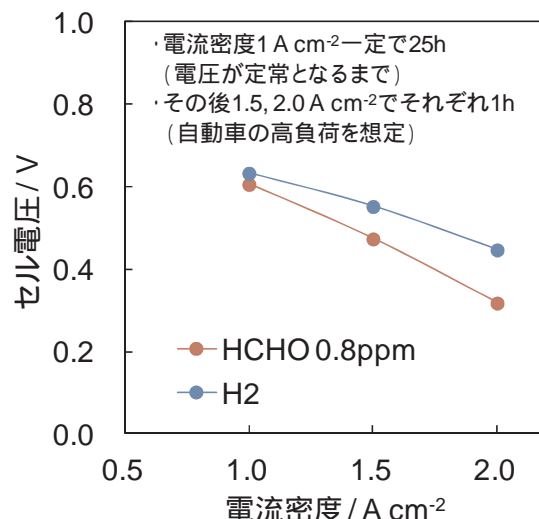


図9 出口開放系でH₂またはHCHO(0.8 ppm)を添加した水素を燃料としたときのセル電圧の電流密度依存性(セル温度60°C、触媒Pt/C、アノード/カソード担持量0.05/0.4 mg cm²、膜厚15 μm)

3.2 成果の意義

3.2.1 サブテーマ1の成果の意義

本事業において、これまでに水素試料採取から分析までを簡便・安価に、かつ安定して行う技術の確立に目途をつけた。

水素品質管理運用ガイドラインについては、水素燃料仕様 ISO14687-2 を遵守しながら、簡便で実際的な水素品質管理に関する日本で初めての基準であり、既に全ての水素ステーションで広く用いられており、その意義は大きい。

試料採取については高圧試料採取方法を確立したことで、現在の品質ガイドラインで定められているディスペンサー出口での試料採取による品質管理を安全、簡便に行うことが可能となった。高圧試料採取装置は、高圧ガス保安法に則った検査充填用の国内初の装置であり、既に全ての水素ステーションで広く用いられている。その特徴や有意性について特許出願を行った。また低圧試料採取方法を確立したことにより、今後、高圧採取の代替として、水素性状を的確に把握することができる試料採取箇所の見極めも可能になる。

分析では、ISO に規定されている 13 成分の不純物を測定するのに従来法ではガスクロマトグラフなど 5 種類の分析装置が必要であったのに対して、簡易分析装置 (TOFMS) の製品化の達成により、1 台で分析可能となった。現在の市場には ISO 成分を 1 台の分析装置で対応できるものはなく、他の分析装置とは差別化を図れる装置である。これにより分析業務を簡素化することができ、分析コストおよび時間の低減が図れるとともに、今後、更に装置の完成度を向上させることで、高度な分析技術を駆使することなく、簡単に誰もが分析業務を遂行することができるようになる。

また水素ステーションでの実証テーマにおいて、ステーション毎のタイプ (オンサイト or オフサイト、水素製造方法の違いなど) が品質に与える影響や各ステーションのレイアウト等特性を把握することができたことは、今後、分析事業を展開する上での情報収集となり、事業化へのスムーズな移行を可能にすると考えられる。

供給水素中の微粒子管理のためのフィルタについては、水素ステーションの現状と過去の実績を踏まえてのフィルタ仕様をガイドラインに盛り込み済みであり、更に、粒径と捕捉効果の管理のための標準的はフィルタ試験方法の確立とガイドラインへの反映を予定している。

3.2.2 サブテーマ2の成果の意義

サブテーマ 1 の開発品である低圧試料採取方法を利用して、低圧水素ガスを固体捕集サンプリングし、ガス捕集または現場分析の組合せによる分析キットを用いることで、ISO 規定項目 13 成分の分析結果を 24 時間以内に得ることが可能になった。また従来法と比較し、機材の輸送が簡便となり、輸送コストの低減が可能になった。分析装置をキット化することで、サンプリング時の水素ステーションの占有面積の低減及び電源等のユーティリティが不要となることから、現場での負担の低減にもつながる。

分析キットは対象成分毎に最適な機器を選択しているため、分析対象成分を限定した分析が必要な場合は、成分毎に適した機器を選択でき、ユーザー側に多くの選択肢を提供する事も可能である。

3.2.3 サブテーマ3の成果の意義

FCV に充填する水素ガス品質については、日本が議長・国際幹事を務めて諸外国を主導して ISO 国際規格 (ISO14687-2) が既に成立している。また、ISO 国際規格は初版発行後、定期的 (通常 5 年毎) に見直しが行われるが、初回のみ 3 年目で見直しが実施される。そこで平成 24 年 12 月に成立した ISO14687-2

(FCV 用水素燃料規格) は平成 27 年頃に改訂を開始された。2012 年 12 月に発行された初版は、黎明期の FCV、すなわち実証試験あるいは導入期の限定された台数の FCV を暫定的に守ることを主目的に規格値が策定された。そのため、自動車・インフラ双方とも直ちに改訂作業に取り掛かることを前提として、国内外の合意を形成した経緯があった。次期改訂 ISO 国際規格は、今後の普及初期(2015 年~2025 年)特にその後半の拡大期(2020 年~)の大量普及を想定した FCV 技術、燃料供給インフラビジネスに適した燃料規格を目指している。FCV 側からみれば、大量普及のために高性能化、小型化、低コスト化に取り組む中で、高電流密度化、白金触媒担持量の低減など、不純物への耐性が減少する方向に研究開発が進められていることもあり、FCV の耐久性向上の制御技術ともバランスした規格であることが求められる。

一方、インフラ側からは、コスト低減のため、全般的に可能な限り規格値の緩和が求められている。特に CO は出荷基準に直接結びつくだけに、特に重要な成分と認識されている。また、当該国際規格中の分析法等の記述、品質管理手法の例示など、本事業で並行して策定・検討される水素品質管理手法との整合を取る必要がある。さらに、水素供給コスト低減のための手法として、水素の大量輸送/長距離輸送を可能とする効率的な水素貯蔵・輸送技術の開発が求められており、有望なプロセスとして、有機ハイドライドを利用した水素供給技術が検討されている。また、ISO14687 改訂にあたり、分析コストの低減のため欧州側から HCHO 等の許容濃度に関する見直しが提案され、議論が進められている。これらの不純物について、燃料電池に及ぼす影響という視点から必要な検討を実施し、必要に応じて品質規格に反映することも必要である。

本研究開発の成果により、これらの状況に対応し、必要な技術的検討を実施することにより、次期のより成熟した燃料仕様規格策定が、日本主導で実施可能となる。

3.3 開発目標別残課題

3.3.1 サブテーマ1 開発目標別残課題

水素ステーションの品質確認を行うにあたり、本事業開始前の従来の分析手法では分析時間が 120 時間、分析コストが約 200 万円かかっていた。これに対して本事業の最終目標(平成 29 年度末)は、分析時間を 1/20、分析コストを 1/4 にすることである。これは ISO 主要 13 成分の分析を目指した簡易分析装置による水素ステーション現地での分析を可能にすれば達成できる。簡易分析装置はほぼ完成しており、改善すべき点は現地までの輸送および短時間での装置立上、試運転、分析となるが、平成 27 年度に実施した現地分析試験において課題であった輸送時の装置の大気解放対策等は既に施しており、今後は更に実績を積むことで課題解決ができる見込みである。また試料採取方法は試料を現地にて分析装置に導く方法、もしくは低圧容器に採取して分析装置に導く方法を確立する必要があるが、これは昨年度までの試料採取試験から得た知見により試料採取装置を設計し、製作を開始している。立上、試運転の後、本装置を活用することで達成できる。

事業終了までの間、コスト、時間も含めて、水素ステーション現場での実証を進め、装置完成度を向上させる。

3.3.2 サブテーマ2 開発目標別残課題

固体捕集サンプラーと現場分析を組合せた分析キットにより、サンプリング翌日の分析結果報告が可能になった。分析費用は、高圧ガス輸送を不要にしたことで輸送にかかる費用を大幅に削減したが、開発当初には想定し得なかった可燃物である水素ガスを、ユーティリティとして組み込む必要があるため、一般的な輸送が利用し難く、輸送コストの削減に課題が残った。今後、輸送コストについては、輸送会社との

契約等による低減を検討して行く。

3.3.3 サブテーマ3 開発目標別残課題

(1)水素燃料仕様の国際標準化（最終目標：平成 29 年度）

最終目標については、上記の標準化活動を継続し、ISO 議長国として関連 WG の国際標準化審議を責任を持って運営をし、平成 29 年度まで ISO14687 は照会原案の策定、ISO19880-8 は国際規格として発行段階の到達を目指す。また、SAE J2719 等関連する規格について、その整合を確認するとしているが、これまでの成果は計画通り進捗しており、最終目標は十分に達成可能である。

(2)水素中不純物の燃料電池への影響評価（最終目標：平成 29 年度）

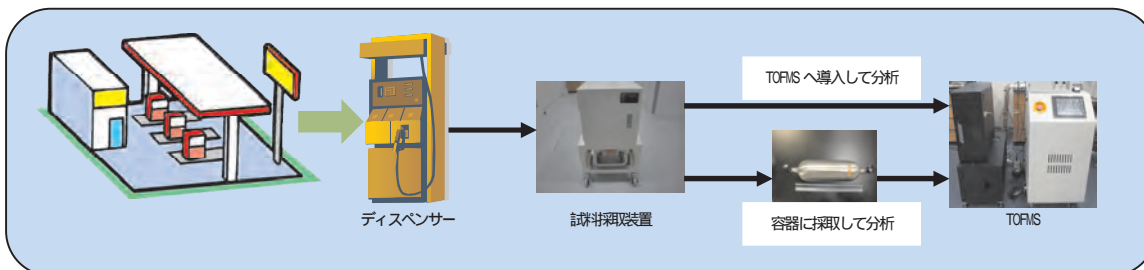
HCHO については現在、FCV のシステムを考慮した水素循環系における影響度を見極め、その結果を 11 月に予定されている ISO/TC197/WG27 の会議において HCHO 許容濃度の議論に活用する必要がある。これまでの実験は順調に進捗しており、最終目標は十分に達成可能である。

以上の技術解析データを提供して水素品質の国際標準化議論を推進することによって、適正な規格を策定する。これにより安価な水素供給システムが確立されることになり、水素ステーションの普及拡大、さらにそれに伴う FCV の普及拡大に貢献する。

4.まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

4.1 サブテーマ1のまとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本事業終了時の達成状況について図 10 にまとめる。



分析対象成分：	13 成分
分析装置：	TOFMS
分析方式：	可搬式 TOFMS 装置を水素ステーションに持ち込み、試料採取装置を介して、その場で分析結果を得る。もしくは試料採取装置を用いて容器に試料を採取し、分析を行う。
分析コスト：	約 500 千円
分析時間：	6 時間以下

図 10 本事業期間での達成状況まとめ

今年度末の達成状況としては、高圧・低圧試料採取装置を用いて、簡易分析装置を可搬式として現地に持ち込み、その場で分析が行えるようになる。これにより分析コストは約 500 千円、分析時間は 6 時間以下になる見込みである。

事業化の内容としては、水素ステーション品質管理における受託分析事業を考えており、その形態としては、簡易分析装置を車載して現地分析する手法および分析拠点を設けて試料採取のみをステーションで効率よく行い、まとめて分析する手法を検討する。イメージ図を図 11 に示す。

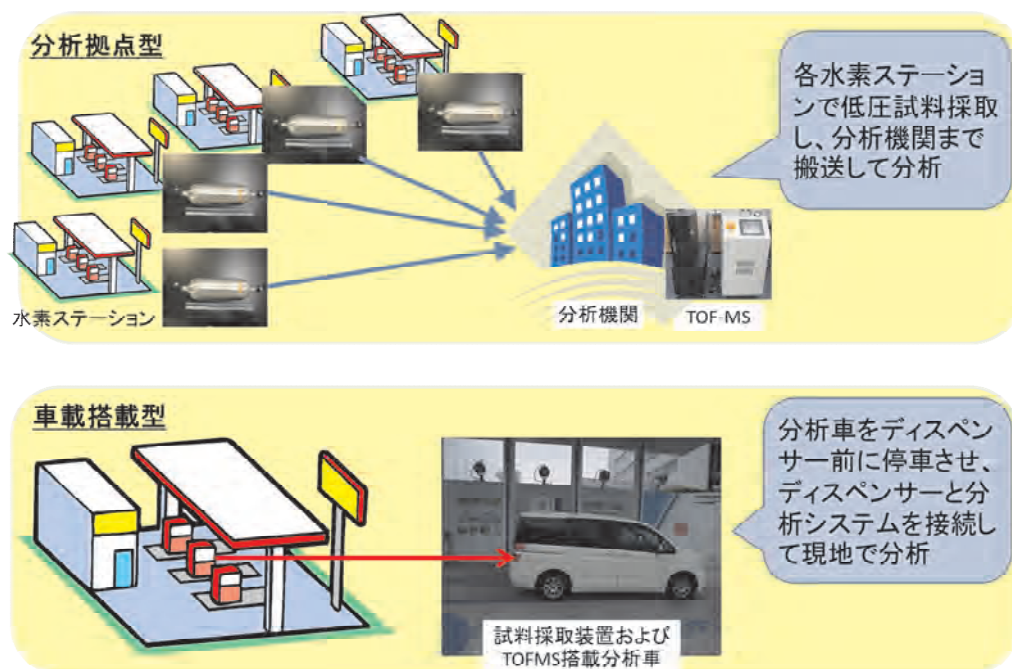
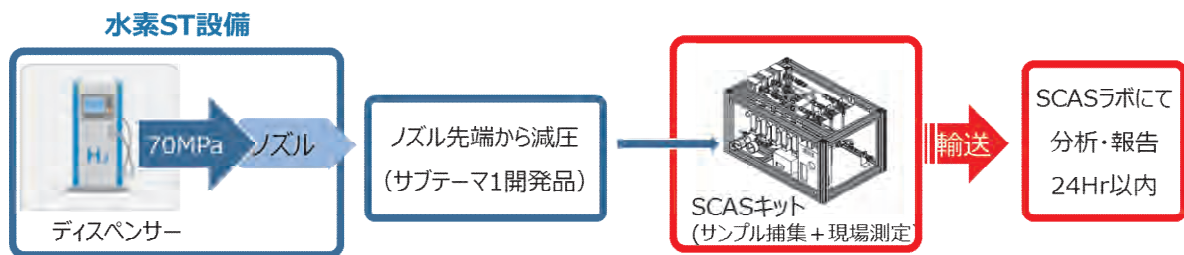


図 11 事業化した際の水素品質管理手法

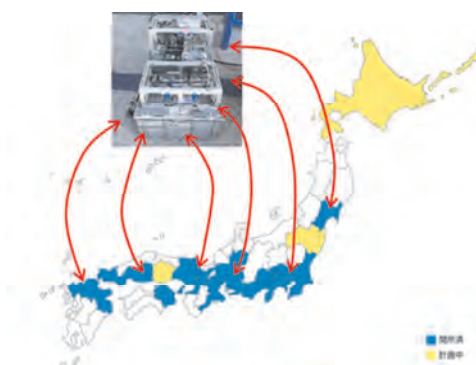
分析拠点型と車載搭載型分析法では、それぞれ一長一短があるが、分析装置の輸送に対する耐久性、精密機器運搬車両等の課題があり、現状では、総合的には、分析拠点型の方が信頼性が高い。しかしながら、水素ステーション運営会社からは車載搭載型の要望が多いため、制定が進められている ISO21087 の内容も考慮して、検討した上で事業化を推進する。

4.2 サブテーマ2のまとめ及び課題、事業化までのシナリオ

開発したサンプリングキットおよび分析キットは、ISO 規定全項目の分析に対応可能であり、これらを全国各地の水素ステーションに輸送することにより、従来法より安価・簡便な分析方法により水素品質管理分析サービスの提供が可能になった。また、分析キットは対象成分毎に最適な機器を選択しているため、例えば、水素品質ガイドラインに記載の後続ルーチン分析にも、分析装置等の組合せで水素ステーション事業者の要望にあわせた柔軟な対応が可能である。また、これらキットを用いることでステーション作業時間を数時間で行えることから、ステーション営業時間後の時間帯でのサンプリングも可能になる。



併せて、機材およびユーティリティの輸送およびサンプリング業務の改善・効率化を今後も継続して検討することにより、水素ステーションの品質管理業務に貢献する。



4.3 サブテーマ3のまとめ及び課題、事業化までのシナリオ

水素燃料仕様の国際標準化は、ISO14687(FCV用燃料仕様:ISO14687-2改訂)およびISO19880-8(水素品質管理)について、日本が国際標準化審議を主導して進めた。ISO14687は平成29年度内の照会原案(DIS)移行が確実であり、またISO19880-8は年度中にFDIS投票が実施される見通しを得ることができた。水素中不純物の燃料電池への影響評価については、トルエンをはじめとする有機ハイドライド由来の不純物が燃料電池に混入したときに、現状のISO14687-2:2012で定められた濃度が問題ないことを確認した。また、欧州から緩和提案が挙がっているホルムアルデヒドについては燃料電池への影響について技術的なデータを取得し、その結果をISO/TC197/WG27(燃料仕様)ソウル会議(平成29年6月開催)における議論に活用した。さらに、平成29年11月開催予定のWG27会議において、日本のポジションを確定させる研究結果を報告する予定である。

今後の課題を以下に示す。まず標準化活動について、ISO14687は平成29年度中にDISの策定、ISO19880-8は平成29年度中に国際規格(IS)として発行段階の到達を目指す必要がある。技術・解析については、水素中不純物の燃料電池への影響評価、特にホルムアルデヒドが燃料電池へ及ぼす影響について、FCVのMEA仕様や運転条件を想定した条件で更なるデータを取得し、ISO14687の議論に資するデータを提供する必要がある。

現在検討が加えられているホルムアルデヒド等の規格値の緩和など品質および品質管理にかかる標準化活動の推進により適正な規格を策定することで、製造、供給、品質保証の各プロセスにおいてコストを低減させることが可能となる。これにより安価な水素供給システムが確立されることになり、水素ステーションの普及拡大、さらにそれに伴うFCVの普及拡大に貢献する。

さらに、次年度以降の取り組むべき課題として、過剰規定の排除および新たな市場課題への対応のための不純物影響評価(例:ハロゲン系成分の特定、規格値検証)とともに、新規の水素製造/輸送/貯蔵技術由来の不純物成分による影響を評価し、水素供給の更なるコスト低減を目指す必要がある。あわせて、標準化からのアプローチとして、得られたデータに基づいた国際規格の改訂を提案かつ反映させることで、国際的に安価な水素燃料を供給する基盤を整え、FCV大量普及に貢献する。

5 . 研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2013.5.24-26	1 st International Workshop on H2-Infrastructure and Transportation	Activities of H2 Quality in JAPAN	Mr. Hiroyuki Endo
2	2014.5.8-9	2 nd International Workshop on H2-Infrastructure and Transportation	Activities of H2 Quality in JAPAN	Mr. Hiroyuki Endo
3	2015.6.24-25	3 rd International Workshop on H2-Infrastructure and Transportation	Activities of H2 Quality in JAPAN	Mr. Hiroyuki Endo
4	2015.2.27	産業技術総合研究所計量標準総合センター主催 平成 26 年度標準ガスクラブ講演会	水素ステーションにおける水素品質管理方法の国際標準化 に関する研究開発	表田 新一
5	2016.5.26	4 th International Workshop on H2-Infrastructure and Transportation	The Prospect of Hydrogen Quality	Dr. Hidenori Tomioka
6	2017.5.16.	粉体工学会 2017 年度春期研究発表会	付着粒子の剥離および再付着挙動に関する数値シミュレーション	東京大学
7	2017.5.18.	5 th International Workshop on H2-Infrastructure and Transportation	Activities of H2 Quality in JAPAN	Mr. Shoichi Kaneko Dr. Hidenori Tomioka
8	2017.6.16.	高分子学会 水素・燃料電池材料研究会	水素ステーション関連技術およびインフラ普及に向けた取り組み	小林芳郎
9	2017.7.1.	JARI Research Journal	有機ハイドライド由来不純物が燃料電池性能に及ぼす影響	松田佳之、清水貴弘、橋正好行、富岡秀徳
10	2017.8.19-21.	混相流シンポジウム 2017	DFM-DNS 法による付着性粒子の剥離・再付着挙動の研究	東京大学

- 特許等 -

No	出願日(移行日)	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	平成 26 年 12 月 15 日	特願 2014-253025	試料採取装置及び試料採取方法	岩谷産業
2	平成 27 年 12 月 15 日	PCT/JP2015/085002	試料採取装置及び試料採取方法	岩谷産業
3	平成 29 年 3 月 23 日	特願 2017-058167	水素ガス分析用キット、水素ガス分析方法、及び水素ガスの品質管理方法	住化分析センター
4	平成 29 年 3 月 23 日	特願 2017-058168	水素ガス中の不純物の濃縮キット、水素ガス中の不純物の濃縮方法、及び水素ガスの品質管理方法	住化分析センター
5	平成 29 年 5 月 30 日	KR10-2017-7014697	시료 채취 장치 및 시료 채취 방법	岩谷産業
6	平成 29 年 6 月 5 日	EP15869959.5	SAMPLING APPARATUS AND SAMPLING METHOD	岩谷産業
7	平成 29 年 6 月 8 日	US15/617497	SAMPLING APPARATUS AND SAMPLING METHOD	岩谷産業
8	平成 29 年 6 月 9 日	CN201580067075.4	试样采集装置及试样采集方法	岩谷産業

(1-8)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 / 燃料電池自動車への水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発」

委託先：(一社)水素供給利用技術協会、(一財)石油エネルギー技術センター、(一財)日本自動車研究所、(国)九州大学
(HysUT) (JPEC) (JARI)

成果サマリ (実施期間：平成25年度～平成29年度)

- ・商用ステーション普及に合わせ、87.5MPaを上限とする技術基準(FCVおよびFCバス用)を制定した。国内充填基準及びステーション性能を確認するガイドラインを整備し、商業・住居地域での70MPaステーション建設を可能とした。
- ・充填基準の国際標準であるSAE(米国自動車技術会)で主導的な役割を果たし、国内に受け入れ可能な充填基準SAE J2601発行することができた。
- ・国内及び国際充填基準を発行するために必要な、シミュレーション開発及びこれを裏付ける充填試験及びフィールド実証を行った。
- ・低温域で高圧水素の粘性係数および熱伝導率を測定できる装置を開発し、新たな測定方法を確立するとともに、実測データを取得して既存の相関式の評価を行った。

背景/研究内容・目的

70MPa水素ステーションを商業地域などの市街地に建設するための法改正には、過充填を防止する充填方法を定める技術基準が必要である。水素・FCV関係業界が普及を約束する2015年間に間に合うタイミングでこれを実現するために、充填技術基準を制定するとともに、ステーション性能を確認するためのガイドラインを策定する。SAEが主導する国際充填基準を国内に受け入れ可能な内容に誘導し発行する。国内外充填基準を作成するための、シミュレーション技術開発及び検証試験を行う。さらに、シミュレーション精度を向上するために、充填に必要な温度域で国際的に未整備な高圧水素の粘性係数及び熱伝導率を測定する。

研究目標

サブテーマ	目標
1	国内充填基準類(充填基準、ガイドライン)の整備
2	充填基準(プロトコル、ノズル)の国際調和
3	充填技術(シミュレーション・充填試験)開発
4	シミュレーション精度向上のための水素物性値取得

実施体制及び分担等



これまでの実施内容 / 研究成果

サブテーマ1:70MPaに加え87.5MPaを上限とする技術基準(FCVおよびFCバス用)を制定した。FCVでは70MPa基準は関連する高圧ガス例示基準が改正され、市街地での70MPa充填が可能になった。また、2つの充填基準に対応するステーション性能を確認するガイドラインを策定し、業界団体(FCCJ)へ提出し、商用ステーション建設で運用された。SAE J2601改定に伴い、MCフォーミュラ方式の充填基準案を策定した。
サブテーマ2:国内のFCV・インフラ業界の意見を調整し充填における日本の方針を作成した。これに基づき、充填プロトコル規格が議論されるSAE Interface TF及びWeb会議で積極的に提案を行い、国内で受け入れる事が出来る内容でSAE規格を発行することができた。SAEに続きISO充填規格対応を行うと共に、バス充填及び小型容器充填プロトコル策定のための技術議論を行い国内方針を作成した。
サブテーマ3:国際標準に対する提案及び国内基準を制定するためのシミュレーション及び検証試験を行い、国内外充填基準策定に協力した。また、水素ステーション全体を対象とした充填シミュレーション(ダイナミックシミュレーション)を開発した。充填試験においては、ノズル・レセプタクルの水結対応試験及びFCバスやFC二輪車に対応する充填規格を作成するための基礎試験を行い、ISO17268の改定に反映した。
サブテーマ4:充填シミュレーション精度を向上するため、これまで実測値が十分でない低温域において、粘性係数および熱伝導率を測定し、既存の相関式を評価した。

研究成果まとめ

今後の課題

- ・87.5MPa上限の充填の実現
- ・普及が予想される車両に対するタイムリーな基準整備が必要

実用化の見通し

- ・事業成果である充填基準及充填性能確認ガイドラインは、該当する全ての商用ステーションに適用され、実用化が行われている。
- ・今後、普及が予想される車両に対しては、普及時期に先行し充填基準を整備し、実用に供していく予定である。

サブテーマ	成果内容	自己評価
1	70MPa及び87.5MPaを上限とする、技術基準及びガイドラインを制定した	
2	国際充填規格を国内で受け入れる事が出来る内容に誘導・発行できた	
3	基準作成のためのシミュレーションを開発し、充填試験により基準を検証した	
4	基準制定のためのシミュレーション精度向上に向け、低温域での粘性係数および熱伝導率を測定した	

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	8	34	0

課題番号： 1 - 8

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 /

燃料電池自動車への水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発

一般社団法人水素供給利用技術協会 (HySUT)
一般財団法人石油エネルギー技術センター (JPEC)
一般財団法人日本自動車研究所 (JARI)
国立大学法人九州大学

1. 研究開発概要

FCV及び水素インフラの普及を実現するために、高圧水素を安全かつ合理的に充填する技術開発及び法的環境を整備する事を事業の目的とする。

水素ガスはガソリン・ディーゼルに代わる自動車用エネルギーとして期待を集めており、一般によく知られた気体であるが生活になじみが薄く、水素充填も日常生活の中には存在しない行為である。また気体である水素はエネルギー密度がガソリンに比べて小さく高圧で車載する必要があるが、水素ガスを高圧に充填すると温度が上昇してしまうという特徴がある。このような水素を我々に生活に取り入れ、普及させるためには、安全かつガソリン並みの時間で簡便に水素を充填する今までにない技術開発が必要である。

さらに日本では1MPa以上の気体の取り扱いが高圧ガス保安法で決められている。日常生活の中で水素充填を実現するためには水素を安全に充填する手順を示す技術基準を整備する必要がある。

また、水素充填に関しては米国自動車技術会 (SAE) において実質的な国際標準が議論されている。この内容を国内で受け入れ可能な内容に誘導し、国際調和する事がFCV及び水素インフラのグローバルな普及のために極めて重要である。

これらの課題を解決するために、課題を以下の4つのサブテーマに分割し国内水素関連機関が役割を分担して取り組む、研究体制を図1に示す。

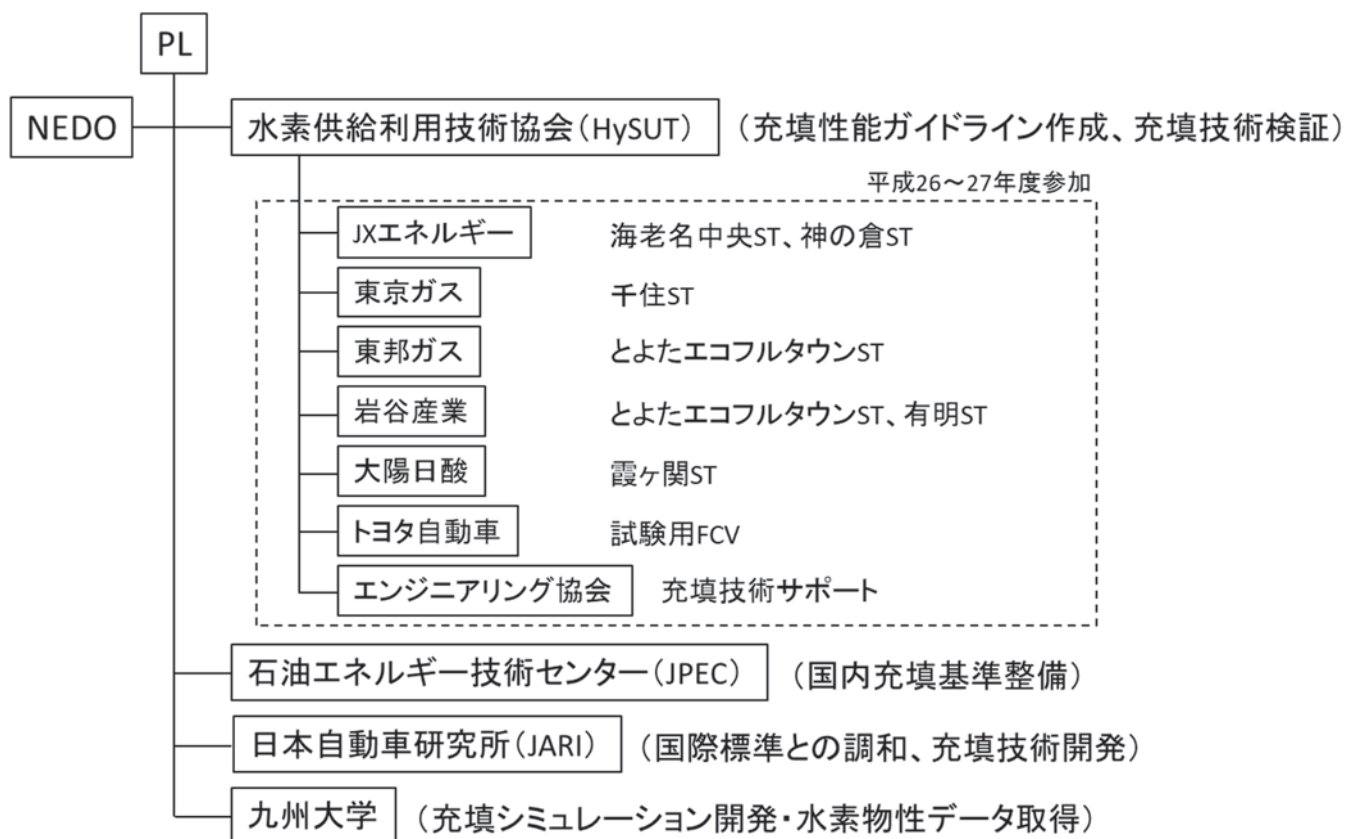


図1 研究体制

- サブテーマ1：国内基準類の改正案作成及び制定 < JPEC、HySUT >
- サブテーマ2：国際標準と国内基準類の調和、国際連携 < HySUT、JARI >
- サブテーマ3：充填技術開発 / 充填技術検証 < HySUT、HySUT研究分担先、JARI、九州大 >
(平成25年度は九州大学の代わりに佐賀大学が担当)
- サブテーマ4：充填シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ取得 < 九州大 >

2. 研究開発目標

以下にサブテーマ毎の研究開発目標を示す。

サブテーマ1：国内基準類の改正案作成及び制定

(1) 水素充填に係る技術基準(省令・例示基準)と自主基準の整備 < JPEC >

実質的な国際充填標準であるSAE充填基準の改定動向及び国内燃料電池自動車の普及状況に先行し、充填技術基準の改正案を作成する。さらに燃料電池車両の普及を妨げないタイミングでの一般高圧ガス保安規則及び例示基準改正のフォローアップを行う。

(2) 水素ステーションの充填性能確認のガイドラインの策定 < HySUT >

水素ステーションがJPECの制定する技術基準に合致する性能を有する事を確認するための検査方法を定めるガイドラインを作成する。ガイドラインはFCV・水素インフラ関連業界に業界自主

基準として提出するとともに、ガイドラインの運用方法について提案する。

サブテーマ2：国際標準と国内基準類の調和、国際連携

(1) 充填プロトコル規格の国際標準への反映 < JARI >

産学官の連携のもと、データ取得と連動した国内の規制見直しと国際標準化に貢献する。特にFCCJを中心に、産業界とも連携し、効率的な標準化活動を進める。具体的には、充填プロトコルに関して、国際標準化や国際基準調和の観点から非常に影響力のあるSAEでの審議に参画し、日本の充填技術に適合した規格策定を誘導する。併せてISO国際規格への展開を図る。

(2) ノズル/レセプタクル(氷結対応)規格の国際標準への反映 < JARI >

ノズルの氷結に係る課題解決のため、サブテーマ3でJARIが実施するデータ取得の成果を活用し、国内の実質的審議を行う。ISO/TC197(水素技術) WG5(水素充填コネクタ)の国際標準化活動を展開するとともに、国際標準化や国際基準調和の観点から非常に影響力のあるSAEでの審議にも参画し、日本の産業育成に有効な国際標準化活動を行う。

(3) 充填技術の国際連携 < HySUT >

水素充填に関する国際基準が制定されても、各国の状況、国内法との関連により国内水素ステーションが全ての項目で国際基準に準拠する事は困難である。そこで、主要各国の国際基準への準拠状況を把握し、課題を共有し、グローバルなFCV及び水素インフラの普及促進に貢献する。

サブテーマ3：充填技術開発/充填技術検証

(1) 新通信充填プロトコル開発 < JARI >

水素ステーションで急速かつ安全に水素充填を行うため、水素ステーションで発生する水素ガスの供給温度の変化などの事象に対して柔軟に対応できる自由度の高いプロトコル(FCV、FCバスおよびFC二輪など)の開発が必要となっている。これらの充填プロトコルの開発に資する基礎データの取得を実施する。また、充填試験の結果からノズル/レセプタクルの氷結現象の解明および氷結の評価方法を検討する

(2) 水素ST最適化シミュレーションの実施 - 新たなプロトコルの提案 - < 九州大学 >

国内外の充填基準制定のためのシミュレーション支援を行うと同時により利便性が高く、ステーションコスト低減につながる新しい充填プロトコルを開発し、国際基準検討機関であるSAE、ISOに提案する。

(3) 充填技術の検証(フィールドデータ蓄積) < HySUT、HySUT研究分担先 >

国内充填基準の健全性を確認し、将来の例示基準の改正につなげるためには実条件での水素充填技術の検証が重要である。特に、大容量(バス等)充填を行うためのプロトコルの実用性確認などの検証および課題の抽出をHySUTの運営する水素ステーション等を活用して実施する。

サブテーマ4：充填シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ取得 <九州大学>

水素ステーションからFCVへ水素の充填プロセスの最適設計のため、充填シミュレーションの高精度化が求められているが、水素ステーションには急速充填に伴うFCV車載容器の温度上昇を抑えるためプレクーラーが備え付けられており、低温、高圧域における精度の良い充填シミュレーションが必要とされている。本サブテーマでは、水素の輸送性質である粘性係数と熱伝導率の高精度データ及び整理式を得て、-40 ~ 常温、最大圧100 MPaの領域でのシミュレーションモデルの検証及び高精度化に貢献することを目的とする。

3．研究開発成果

3．1 研究開発成果、達成度

サブテーマ1：国内基準類の改正案作成及び制定 <担当：HySUT、JPEC>

(1) 水素充填に係る技術基準（省令・例示基準）と自主基準の整備： <担当：JPEC>

<研究開発成果>

FCV への水素充填に係る技術基準（省令・例示基準）と自主基準の整備

FCV のメリットを生かし、利便性を向上させるためには、FCV に搭載可能な水素量を増大し、さらに水素の充填においては、安全にかつ迅速に充填する必要がある。

このうち、水素搭載量の向上については、車載燃料容器の高圧化が指向されており、国際的に最高充填圧力を 87.5MPa(@85)とする容器の基準として、国連の WP29 の場で、FCV に関する世界技術基準 HFCV-GTR の策定が進められてきた。その結果、平成 26 年 5 月に採択され、その後、同基準に基づいた高圧ガス保安法の改定が進められ、現在国内でも最高充填圧力を 87.5MPa(@85)とする高圧容器（以下 GTR 容器という）の導入が可能になっている。すでに国内では、平成 26 年 12 月にトヨタ自動車の世界初の市販の FCV 自動車『ミライ』の発売を開始し、次いで平成 28 年 5 月に本田技研工業が FCV 自動車『クラリティ』のリース販売を開始した。これらには上記の新たな基準に準拠した容器が搭載されている。

一方、FCV への水素充填については、迅速な充填を安全に行うため、充填流量、充填水素温度等の運転パラメータを管理し、適切な条件の下で充填を行うことが必要である。そのための安全な充填条件を示す技術基準は充填プロトコルと呼ばれており、現在米国自動車技術会（SAE）において、我が国の自動車メーカー・インフラ事業者も参画して、実質的な国際規格である SAE J2601 の規格化が行われた。

上記の動向を踏まえて、本課題においては、GTR 容器を搭載した FCV の性能を十分に生かし、安全かつ迅速な充填を可能にする充填プロトコルに関する自主基準の制定に取り組んだ。具体的には、SAE J2601 に基づき、国内での実情も踏まえて、自主基準案を作成することとした。さらに、学界及び業界関係者を中心とした専門家による水素充填基準検討会を設置し、自主基準(案)および関連する例示基準改訂(案)についての技術的検討を行うこととした。

まず、SAE 規格 SAE J2601 で包括的に提示された規定を、個々の要件に分解し、それぞれの要件の要求

レベルや国内の状況等を踏まえた自主基準への導入要否などを精査した。さらに、それらの結果を踏まえて、自主基準に盛り込む要件をまとめて、自主基準(案)を作成した。その作成過程において、水素充填基準検討会を4回開催し、検討を行った。その結果、水素充填に係る自主基準(案)として、『圧縮水素充填技術基準(圧縮水素スタンド関係) JPEC-S 0003(2014)』を策定した。

本自主基準(案)においては、SAE J2601で規定された要件を導入したことによる特徴として、以下の諸点が挙げられる。

- 車両から水素ステーションへ、赤外線通信により車両側の容器温度や容器圧力等の信号を通信する機能を車両ならびに水素スタンドが有することを前提とした基準となっている通信充填において、車両から送信される容器温度信号に基づいて、容器への充填状態を推測し、満充填状態に達した場合には充填を終了することとしている
- 上記に加えて、通信充填において車両からの充填終了指令信号等が受信された場合には、充填を終了することとしている。
- さらに、通信充填においては、供給燃料温度の制御性に関する対応性の向上を図るためのフォールバック充填や低初期圧力状態からの充填における充填量の向上を図るためのトップオフ充填に関する要件が追加されている。

一方、本事業に先立ってJPECにおける充填プロトコルの検討過程で指摘されていた、外気温度計測及び供給燃料圧力計測の冗長性の向上に関する要件を自主基準に盛り込むことで、安全性の向上を図っている。さらに、SAE J2601の要件の検討段階では考慮されていなかった、国内特有の以下の課題に対して対応するため、通信充填の場合における供給燃料圧力の下限側の許容圧力の緩和措置に関する要件が盛り込まれている。

- a. ステーションの常用圧力(82MPa)
- b. ステーションにおけるあらかじめ設定された水素量の充填
- c. 容器仕様を絞り込んだステーションの仕様設定

本自主基準(案)により、図2に示した様に、従来の自主基準であるJPC-S 0003(2012)において充填可能な領域が、70MPaを上限とする赤線で示された領域であったものに対して、新たに策定された自主基準(案)では、GTR容器において充填可能な領域である、87.5MPa(@85)を上限とする、青線で示された領域への充填が可能となった。これにより、FCVに搭載可能な水素量を増大し、さらに安全にかつ迅速な水素充填を可能とするとの、所期の目標が達成された。

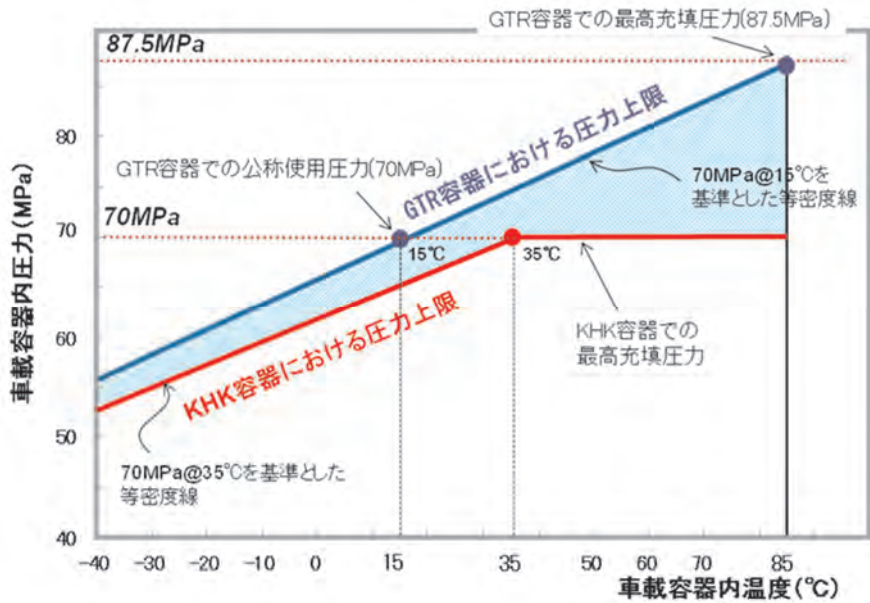


図2 本自主基準での充填可能領域

本自主基準（案）に関しては、HySUT からの助成事業として JPEC が実施している JPEC 自主基準制定維持管理事業において、充填関係基準分科会における審議を経て、水素インフラ規格基準委員会にて承認された。これにより、本自主基準は JPEC-S 0003 (2014) として、平成 26 年 10 月 10 日に発効され、同日 JPEC のホームページに掲載し、公開された。

一方、JPEC-S 0003 (2014) は、高压ガス保安法例示基準に引用される基準であることから、高压ガス保安協会に設置された『燃料電池自動車等に関する水素関連技術の安全性の評価・基準の検討委員会』において審議され、平成 27 年 3 月に本基準は高压ガス保安を図る上で適切なものと判断された後、高压ガス保安法の関連例示基準の改正により本基準が引用され、GTR 容器の機能を生かした、安全かつ迅速な水素充填が可能となった。

また、平成 28 年 12 月に SAE 規格 SAE J2601 の改定が行われ、FCV の水素充填プロトコルに、MC フォーミュラ方式と呼ばれる新しい充填方式が、従来のプロトコルと同等な基準として追加された。これは、長年にわたり、SAE の場で開発を進めていた充填方式で、充填中の燃料供給温度を基に動的に充填制御を行うことにより、安全に充填を行いつつ、充填時間の短縮や、コスト削減が期待されるものである。

JPEC は、今後の FCV の普及に向けて必要な充填基準であると判断し、これまでの充填基準に加え選択肢の一つとして自主基準案の策定を、平成 28 年度後半から水素充填技術検討会を開催し（今年度末までに 4 回開催予定）自主基準案を策定した。

FC バスへの水素充填に係る自主基準の整備

国内において FCV の市販化に並行して、トヨタ自動車と日野自動車が、環境省の支援を受けて、路線バス用の燃料電池バス（FC バス）を開発し、経済産業省の支援を受けて、平成 26 年度から、愛知県豊田市において実証走行試験を開始した。さらに、2020 年の東京オリンピック・パラリンピックの開催が決定したことを受けて、東京都から 100 台規模の FC バスの導入の意向が示された。このような動向を踏まえ

て、FCバスへの水素充填に係る基準整備の必要性が高まってきた。

FCバスに関しては、欧州及び米国において、すでに導入が進んでいることから、海外の動向を調査したところ、海外のFCバスは全て35MPa仕様に統一されており、さらにノズル・レセプタクル仕様は流量を増大させるため、35MPa仕様のFCV用とは、互換性がないノズル・レセプタクルが設定され、かつFCバス用ステーションはバス事業者専用ステーションとなっていることが明らかとなった。さらに、SAEにおいてSAE J2601の追加規格として、FCバス用プロトコルが検討されており、その動向も把握したところ、前記のようにFCバス用ステーションがFCバス専用ステーションであり、一般の車両に充填する機会がないことから、具体的なプロトコルは、ステーションとFCバスメーカーの合意に基づいて決定され、SAE J2601においては、概括的な要件規定に留まる方向であることが確認された。

一方で、国内で導入されているFCバスは70MPa仕様であり、ノズル・レセプタクルもFCVとの互換性を持っており、公共の水素ステーションでの充填も想定していることから、海外の動向に依らず、国内のFCバスの動向を踏まえた水素充填に係る基準策定が必要となる。

そこで、本事業におけるFCバスへの水素充填に係る自主基準は、海外からの規格の導入ではなく、国内のFCバス及び水素ステーションの仕様を踏まえた、自主基準を作成することにした。具体的にはグローバルな自動車メーカー及びインフラメーカー関係者が、広範なシミュレーションや検証試験結果などを踏まえて、FCVへの水素充填用に策定したSAE J2601及びJPEC-S 0003(2014)の成果を生かしつつ、サブテーマ3においてJARIが取得した基礎データおよび九州大学が行ったシミュレーション結果を活用し、策定を進めた。併せて、FCV用に設置された水素ステーションにおいても、FCバスへの水素充填を可能とすることを要件とした基準の具体化を進めた。

基本的には、JPEC-S 0003 (2014)の策定プロセスと同様に、JPECにおいて基準案を作成し、水素充填基準検討会において技術的な妥当性を検討することとし、平成26年度後半から、基準案の検討に着手し、平成27年12月までに、計5回(第5回は書面開催)に亘る同検討会の審議および承認を経て、自主基準(案)を作成した。この結果は、HySUTからの助成事業としてJPECが実施しているJPEC自主基準制定維持管理事業の水素関係基準分科会で審議、承認後、水素インフラ規格基準委員会により承認され、JPECホームページ上で意見公募を行った後、平成28年3月4日に自主基準JPEC-S 0003(2016)として発行し、JPECホームページにて公開された。

なお、本基準はFCバスへの水素充填を当面の対象として検討しているが、基準自体はFCバスに限定せず、10kg超の容量を有するGTR容器を搭載した水素自動車を対象とした基準としている。

また、この基準を付属書Iとして、FCV用の充填基準であるJPEC-S 0003(2014)に追加する形で、自主基準JPEC-S 0003(2016)を構成している。構成および概要を表1に示した。

この基準は、SAEで現在検討が進められている中負荷車両(MDV)の充填基準の参考資料として、日本

から情報提供がされており、成果が国際的にも有効活用されている。

表1 JPEC-S 0003 (2016) の構成および概要

適用要件	JPEC-S 0003 (2016)				
燃料装置用容器	国際圧縮水素 自動車燃料装置用容器 (GTR)			圧縮水素 自動車燃料装置用容器 (JARIS001) (KHK0128)	
基準	本文 (2014)		付属書 I	別添資料 (2012)	
充填圧力区分	『35MPa』級	『70MPa』級	『70MPa』級	35MPa	70MPa
容器容量区分		2 ~ 4kg	10kg 超	なし	
	2.4 ~ 4.2kg	4 ~ 7kg			
	4.2 ~ 6.0kg	7 ~ 10kg			
初期圧力範囲	0.5 ~ 35MPa	0.5 ~ 70MPa	0.5 ~ 70MPa	2 ~ 30MPa	2 ~ 60MPa
通信充填	有り・なし			なし	
供給燃料 温度区分	-40 ~ -33		-40 ~ -33	-40 ~ -33	
	-33 ~ -26		-40 ~ -26	-22.5 ~ -17.5	
	-26 ~ -17.5		-40 ~ -17.5		
外気温度	-40 ~ 50				

別添資料 (2012) の適用も可 (ただし上限圧力が異なる)

< 達成度 >

本テーマにおける成果としては、下記 2 点が挙げられる。

FCV への水素充填に係る自主基準の策定及び例示基準改訂に向けたフォロー

SAE J2601 の発行及び HFCV-GTR の制定とそれを受けた容器保安規則の改定が当初の見込みより遅れたことなどに起因して、自主基準 (案) 作成ならびに水素充填基準検討会での承認が、平成 26 年 7 月になった。しかしながら、平成 26 年 10 月に、自主基準として JPEC-S 0003 (2014) が制定され、JPEC ホームページに掲載された。また平成 28 年 12 月の SAEJ2601 の改定により追加された新たな充填規格である MC フォーミュラ方式による充填基準案を作成した ()。

FC バスへの水素充填に係る自主基準の整備

FC バスに係る水素充填自主基準については、平成 27 年末に基準 (案) の策定を終了し、平成 28 年 3 月 4 日に JPEC-S 0003 (2016) として制定され、JPEC ホームページに掲載された。これにより、FC バスへの水素充填も考慮に入れた新たな水素ステーションの構築がスムーズに進むことになると考える ()。

(2) 水素ステーションの充填性能確認のガイドラインの策定：< 担当：HySUT >

JPEC の整備する充填基準に対応するステーション性能を確認するためのガイドラインを制定する。ガイドラインは 70MPa 充填基準 JPEC-S0003(2012)、87.5MPa を上限とする充填基準 JPEC-S0003(2014) 及

び 10kg 超容器を対象に加えた充填基準 JPEC-S0003(2016)に対応する 3 件のガイドラインを作成した。

充填性能確認ガイドライン(2013)の制定

70MPa 充填基準 JPEC-S0003(2012)に対応するガイドラインとして、平成 24 年 3 月に HySUT ガイドラインとして発行した。本ガイドラインは 70MPa 商用ステーションの補助金交付条件として採用されており、水素ステーション性能の標準として運用されている。

充填性能確認ガイドライン(2014)の制定

平成 26 年 10 月に制定された JPEC-S0003(2014)に対応する充填性能確認ガイドライン(2014)を平成 26 年 11 月に発行した。本ガイドラインは、フル充填及び通信充填に対応するステーション性能を確認するガイドラインであり、82MPa 商用ステーションの補助金交付条件として採用されており、水素ステーション性能の標準として運用されている。検査項目としては表 2 に示す、9 つの検査が要求されており、ステーションのフル充填及び通信充填に対応する性能を確認する。

充填性能確認ガイドライン(2016)の制定

平成 28 年 3 月に制定された JPEC-S0003(2016)に対応する充填性能確認ガイドライン(2016)を平成 28 年 3 月に発行した。本ガイドラインは、10kg 超の容量を有する gtr 容器に対する充填性能を確認するガイドラインであり、JPEC-S0003(2016)が高圧ガス保安法例示基準に引用される改訂を待って、商用ステーションで運用される予定である。検査項目としては表 2 に示す、8 つの検査が要求されている。

表 2 充填性能確認ガイドライン 検査項目

(2014)検査項目	(2016)検査項目	確認する内容
①通信確認検査		容器容量決定、車両からの信号で停止確認
②通信 圧力上昇率選択型		82MPaまでの通信標準充填確認
③容積推定精度		容積推定精度確認
④非通信 圧力上昇率選択型		82MPaまでの非通信標準充填確認
⑤通信・非通信移行		通信喪失時の非通信移行確認
⑥高圧力上昇率充填性能		82MPaまでの高圧力上昇率充填確認
⑦低圧力上昇率充填性能		82MPaまでの低圧力上昇率充填確認
⑧フォールバック		フォールバック移行※1 確認
⑨トップオフ		トップオフ移行※2 確認
	⑧継続充填	継続充填移行※3 確認

- 1 フォールバック：プレクール温度が許容範囲から高温に逸脱した場合に、新たな圧力上昇率を設定し充填を継続すること。
- 2 トップオフ：満充填近くまで充填量を増大させてために、充填終了近くで圧力上昇率を低減する充填。
- 3 継続充填：10kg 超容量の gtr 容器において、プレクール温度が許容範囲の上限を超えた場合に、規定の目標圧力、目標圧力上昇率を設定し充填を継続すること。

ガイドライン活用の検討

充填性能確認ガイドラインは国内ステーション標準として運用するために、公開することとし、開示ルールを設定した。また、海外基準との国際調和などのために英訳を行った。

サブテーマ2：国際標準と国内基準類の調和、国際連携<担当：HySUT、JARI>

(1) 充填プロトコル規格の国際標準への反映：<担当：JARI>

概要

産学官の連携のもと、データ取得と連動した国内の規制見直しと国際標準化に貢献する。特に FCCJ を中心に、産業界とも連携し、効率的な標準化活動を進めた。具体的には、充填プロトコルに関して、国際標準化や国際基準調和の観点から非常に影響力のある SAE での審議に参画し、日本の充填技術に適合した規格策定を誘導した。併せて ISO 国際規格への展開を図った。また、充填およびステーション関連の国際的な技術情報・標準化情報について収集を行い、国内へのフィードバックを進めた。

一方、国内では、燃料電池 (FC) 二輪車の充填プロトコルの検討のため、小容量タンク充填プロトコル検討 TF を設定し、国内審議を進めた。

成果

日本の業界の意向を反映するため、充填プロトコルが審議される SAE の Interface TF 等の会議に出席した。

国際的に適用が想定されている SAE の規格である J2601 (Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles)、J2799(70 MPa Compressed Hydrogen Surface Vehicle Fuelling Connection Device and Optional Vehicle to Station Communications) は、平成 26 年に日本の意向も反映した発行に至った。この J2601 (平成 26 年版) は日本の国内基準 (JPEC-S 0003) に採用された。引き続き、J2601 の改定版策定の審議に積極的に参加し、MC-Formula (逐次制御法) を含めた審議の効率的な進捗に貢献した。J2601 の再改訂版は平成 28 年に発行された。さらに、ノンプレクールの簡易充填を目指した新基準の策定を開始し、情報交換を開始した。特に、商用ステーションの充填に問題が生じないよう、十分に注意が必要であることが認識された。

水素ステーションの国際基準である ISO19880-1 (Gaseous hydrogen - Fueling stations) については、SAE J2601 に準拠する方向で審議を進めた。平成 28 年の TS (Technical Specification: 技術仕様書) 発行後の IS (国際標準) 化に向けて、特に充填プロトコルに係る SAE 他の規格、基準との整合等に

務めた。ISO19880-1 は 2018 年度中に発行段階に移行する予定である。さらに充填プロトコルに関する内容を独立し、新たに ISO19880-7 として提案される計画が今後あるものと想定されている。

FC 二輪車の充填プロトコルについては、国内審議を進め、国内での充填の可能性を検討した。充填時の温度上昇の安全性の観点から、FC 二輪車はタイプ 3 容器限定とし、MC-Formula ベースの充填プロトコルの開発を進めた。これらの審議のため、サブテーマ 3 で実施した試験研究のデータ等を活用した。

以上のように、国際的な SAE、ISO 等の基準作成に日本の意向を反映する成果を挙げた（ ）。

(2) ノズル/レセプタクル(氷結対応)規格の国際標準への反映：<担当：JARI>

概要

ノズルの氷結に係る課題解決のため、サブテーマ 3 で JARI が実施したデータ取得の成果を活用し、国内で審議を行った。ISO/TC197 (水素技術) WG5 (水素充填コネクタ) での国際標準化活動を展開するとともに、国際標準化や国際基準調和の観点から非常に影響力のある SAE での審議にも参画し、日本の産業育成に有効な国際標準化活動を行った。

成果

水素コネクタ (ノズル・レセプタクル) の国際規格である ISO17268 (Gaseous hydrogen land vehicle refuelling connection devices) の改定審議に積極的に参加し、日本から提案した氷結試験および嵌合試験が反映された。この氷結試験の審議では、サブテーマ 3 で実施した JARI の氷結試験の研究成果を活用した。この改定した規格は 2018 年中に発行予定である。

SAE においても、ISO17268 の改定内容との整合のため、J2600 (Compressed Hydrogen Surface Vehicle Fueling Connection Devices) の改定作業に参加した。ISO と同様、氷結試験、嵌合試験等について検討を行った。

以上のように、国際的な SAE、ISO 等の基準作成に日本の意向を反映する成果を挙げた（ ）。

(3) 充填技術の国際連携：<担当：HySUT>

ステーション技術(品質、充填、計量、機器)の国際交流・調和を目的に年 1 度開催する International Workshop 日本代表 NEDO をサポートし、発表項目、資料の取りまとめを行った。また、日本から充填技術に関して、本事業の成果である国内充填基準の整備状況、充填試験及びノズル・レセプタクル氷結試験に加えステーション性能評価のガイドラインの概要を報告し、SAE (CSA)、ISO での検討の基礎となることで貢献を行ってきた。引き続き、国際調和及び国際貢献を目的に今後作成ガイドラインの紹介及び運用状況の報告を積極的に行っていく。

サブテーマ 3：充填技術開発/充填技術検証<担当：HySUT、HySUT 研究分担先、JARI、九州大>

(1) 新通信充填プロトコル開発：<担当：JARI>

概要

水素ステーションで急速かつ安全に水素充填を行うためには、商用水素ステーションで発生する水素ガスの供給温度の変化などの事象に対して柔軟に対応できる自由度の高いプロトコル(FCV、FC バスおよび

FC 二輪など)を開発する必要がある。そこで、充填中の供給ガス温度の変化などの条件を取り込んだ急速充填試験を実施し、充填プロトコルの開発に資するデータ取得を進めた。

ノズル/レセプタクルの氷結対応に関する試験を実施し、氷結現象の解明を行った。この試験法は、サブテーマ2の国際標準化活動における国際規格への反映に利用された。

FC バス

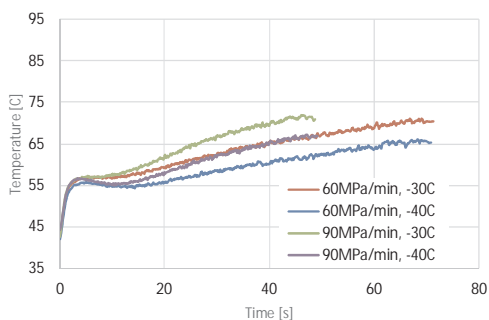
国内の水素ステーションにおいて、FCVに次いで、FCバスを対象に、SAE J2601に準拠した充填プロトコルの策定が検討された。その中で、コールドソーク状態から水素を放出(使用)した後、水素を遅速充填することを想定した場合、容器に充填した水素がSOC(State of Charge)100%を超える(=過充填)ことが、危惧される。そこで、FCバスを想定した放出と充填の試験を実施して検証を行った。

放出試験では、所定の環境温度のもとでSOC100%の状態から容器内圧力が0.5MPaに低下するまで流量21g/minで放出を行った。充填試験では、所定の初期圧力と環境温度のもとで、プレクール温度-40、昇圧率1.0MPa/minでSOC100%まで充填を行った。これらの試験結果は、サブテーマ1で実施のFCバスへの水素充填に係る自主基準の整備に活用され、FCバスを対象とした充填プロトコルの作成に資するデータとなった()。

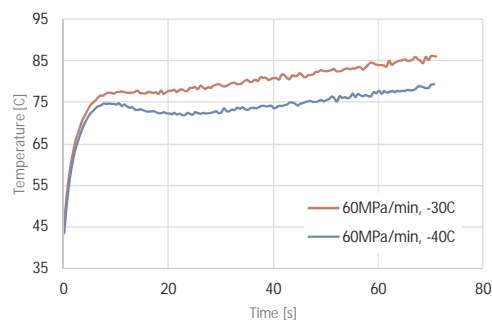
FC 二輪

世界に先駆けてFC二輪車が日本で開発されており、FC二輪車用の充填プロトコルを新規に開発する必要がある。四輪車に比べ、二輪車は容器が小さい(23L以下)ため、現行の水素ステーションでFC二輪車に水素を充填した場合、温度上昇や流量制御等の問題が発生することが想定される。

温度上昇の過程を把握するため、約10LのFC二輪車用のType3容器とType4容器への充填試験を実施した。環境温度と容器内初期温度が40の条件で、1MPaから一定昇圧率で70MPaまで充填試験を実施した時の容器内の温度上昇履歴を図3に示す。Type4容器への急速充填では、プレクールの条件によっては容器内温度が規定の85を超える可能性があった。流量が少ないため、プレクールの効果が小さくなったことが主要因と考えられる。これらの結果から、FC二輪車用の小容量タンクはType3に限定することが提案され、2017年に国内の基準に導入された。



(1) Type 3



(1) Type 4

図3 一定昇圧率による充填時の容器内温度

水素ステーションでは、初期圧推定や容積推定などを行う短時間の充填(プレショット)が実際の充填

前に実施される。容器容量の大きい四輪車では問題にならないが、二輪車ではプレショットでも容器には相対的に大量の水素が充填されるため、温度上昇が大きくなる懸念がある。そこで、Type3 容器を対象に初期圧測定などを想定した短時間の充填試験を実施した。図 4 と図 5 に初期圧測定と容積推定を想定した充填の結果を示す。今回の条件では、85 を超えることなく充填できることが確認できた。

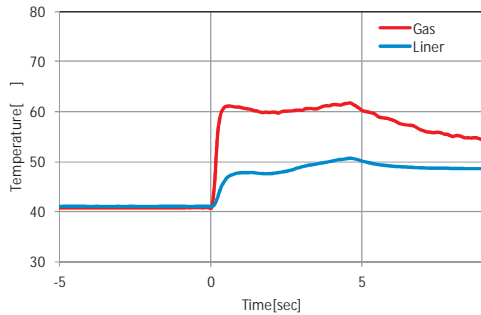


図 4 初期圧測定を想定した充填（40g/4s）の容器内温度

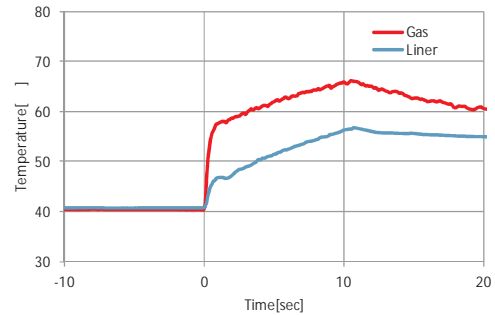


図 5 容積推定を想定した充填（130g/10s）の容器内温度

燃料電池二輪車用の小容量タンクの充填プロトコルは、SAE J2601 に新しく採用された MC-Formula をベースとして新たに開発することになった。MC-Formula は逐次制御する可変昇圧率の充填方式で、従来の一定昇圧率の充填方式とは異なる。昇圧率が可変する時の基礎的なデータ取得を目的として MC-Formula ベースの昇圧率の変化に対応できる充填制御システムの開発を行った。二輪車用の 10L タンクに対して、プレショットも含めて充填プロトコルの開発に資するデータの取得を進めた。図 6 にプレショットも含めた充填時の圧力履歴を示す。プレショットの充填量は設備の配管径や長さ等に依存するが、使用した配管システムでは初期圧 0.5MPa からのプレショットで約 7MPa まで上昇した。プレショット後の充填制御も昇圧率の可変（0.4~0.6MPa/s）に追従しており基礎データの取得が可能となった。

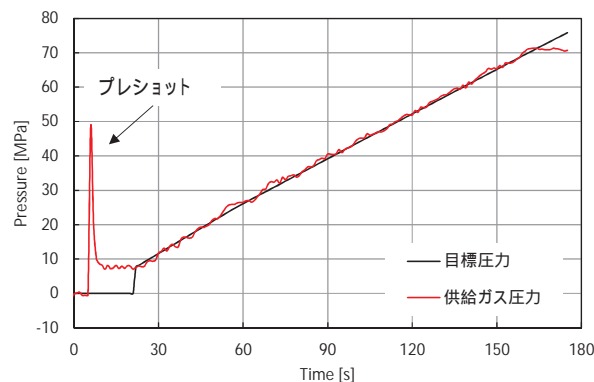


図 6 プレショットと MC-Formula ベースの充填時の圧力履歴

これらの FC 二輪車に関する試験結果は、容器に関する国内基準の策定や新規充填プロトコルの作成に資するデータとなった（ ）。

ノズル/レセプタクル氷結固着

プレクールされた水素を繰り返し充填すると、ノズル・レセプタクルに結露した水が氷結してノズルが外れなくなる事例が報告されている。ノズル氷結防止のため、ISO17268(水素コネクタ)への提案を想定したノズル・レセプタクル氷結評価試験法を確立する必要がある。そこで、模擬充填を繰り返して氷結を発生させる試験を行い、氷結現象のメカニズムを解明し、評価試験方法を開発した。図7に示すように温度と湿度を一定に保持した装置内で3分間の水素充填(35MPa, 2kg)を一定の時間間隔で実施し、充填ごとにレセプタクルを切り替えて新しいFCVへの充填を模擬する評価試験方法である。

試験結果から、ノズル離脱後の待機時の冷えたノズルに水蒸気が凝縮し、次の充填時に溜まった水分が氷結したことが氷結現象の主要因と考えられる。氷結の防止には、水蒸気の凝縮を抑制することが重要であり、待機時にノズル充填口にキャップをすることが極めて有効であることが確認された。また、サブテーマ2の国際標準化活動においてこの評価試験方法を提案して採用された()。

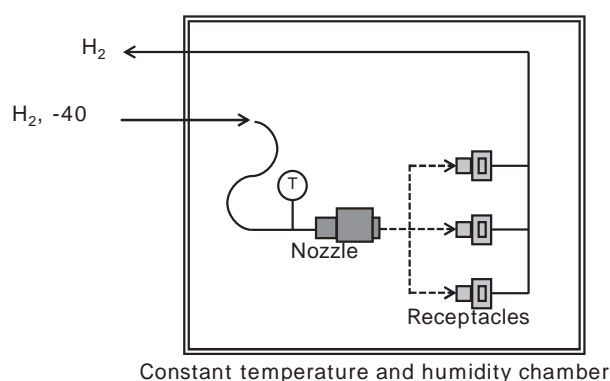


図7 氷結氷解試験の概要

(2) 水素 ST 最適化シミュレーションの実施 - 新たなプロトコルの提案 - : <担当:九州大学>

1. 水素の新充填法の開発

1.1 水素充填の支配方程式

水素ステーションでの水素供給は、概ね図8の機器から構成されている。これらの構成機器を考慮したときの容器内水素に対するエネルギー式は積分形で次式となる。

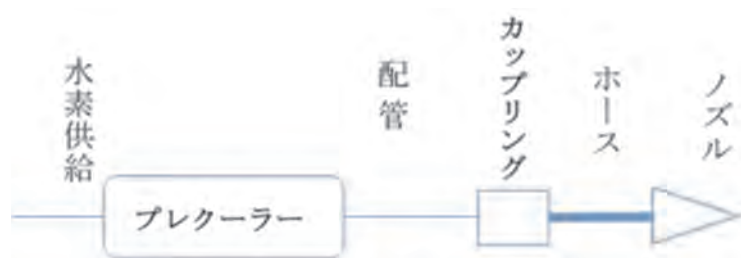


図8 プレクーラー - からノズルまでの流れ

$$U(p(t), T(t)) - U(p_o, T_o) = Q(t) - W(t) + \int_0^t m_{in} h_{in} dt + \int_0^t (q_{pre}(t) + q_{pipe}(t) + q_{coup}(t) + q_{hose}(t) + q_{noz}(t)) dt \quad (1)$$

ここで、タンク以外の熱マス(非定常伝熱項)は、図8中の各機器となる。プレクーラーや配管の熱マス

の非定常伝熱量は解析的に推定することが可能であるが、それ以外の機器は複雑な形状のため、解析的に検討することは不可能である。SAE J2601 プロトコル作成においても、これらの項については、各機器は初期（周囲）温度から供給水素温度まで冷却されると仮定して、非定常伝熱量が評価されている。

式（1）中の非定常伝熱量、供給水素のエンタルピー、容器膨張に伴う仕事及び充填中の容器壁への伝熱量が時々刻々と求められると容器内の全内部エネルギーが求められる。

一方、充填水素量と初期水素量から容器内の水素量が求められていると、容器内の比内部エネルギーが時々刻々計算される。容器内の水素圧力もステーションで計測されていることから、容器内の水素温度を圧力と比内部エネルギーから推定することができる。この結果、水素充填中の容器内温度を常にステーションでモニターしながら水素充填をすることが可能になる。

1.2 非定常伝熱量の推定と充填水素への影響について

非定常伝熱量は、充填開始後時々刻々と変化するので、配管のように非常に簡単な形状については、時間の関数として推定することも可能であるが、複雑な形状、例えばカップリングなどについては、時間の関数として与えることは不可能に近い状況にある。しかし、式(1)から、状態量である内部エネルギーは最初と最後の状態量だけで決定されることから、もし非定常伝熱が充填終了時まで定常状態になっておれば、非定常時間中の伝熱量を時間の関数として与える必要がなく、非定常に伴う全伝熱量のみ取り扱えばよいことになる。

（1）プレクーラー内の非定常伝熱量の影響

プレクーラー内の配管は、充填開始直後は冷媒温度に保たれているので、充填開始後配管温度は定常状態になるまで温度上昇する。この温度上昇がプレクーラー内の非定常伝熱量となる。この伝熱量は、プレクーラー出口温度を設計温度よりもより低い温度の水素の流出となる。

配管に対する非定常解析から、非定常時間はいずれの場合においても 60 秒以内で終了することが明らかになった。従って、3分程度の水素充填を取り扱う場合、充填終了時における全非定常伝熱量に伴う水素温度を考慮するだけで十分である。図 9 は、1 例として水素 5kg を 3 分で水素を充填した場合におけるプレクーラー - での非定常伝熱量に伴う充填終了時における水素温度の上昇を示す。

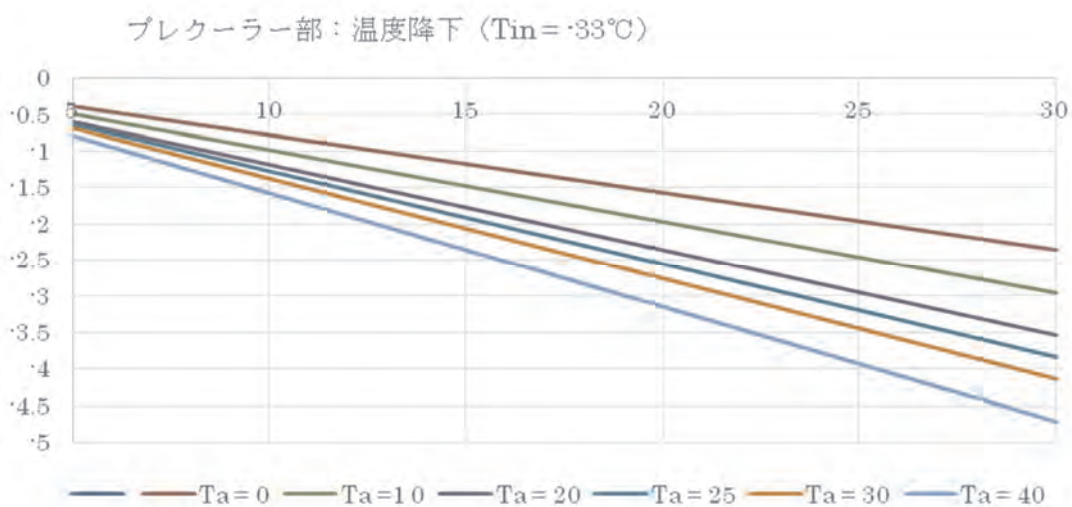


図 9 プレクーラーでの非定常伝熱量に伴う容器内水素温度の降下(横軸：プレクーラー内の配管長さ， T_a :周囲温度)

図 9 から、周囲温度が 40 の場合配管長さに伴って、水素温度が数 度 低下することが分かる。

(2) 断熱円管での非定常伝熱量の影響

プレクールされた水素が断熱配管内を通過するとき、周囲温度に保たれていた配管からの伝熱によって定常状態に到達するまで水素温度は温度上昇する。図 10 は、プレクーラーの場合と全く同じ条件で計算した結果を示す。

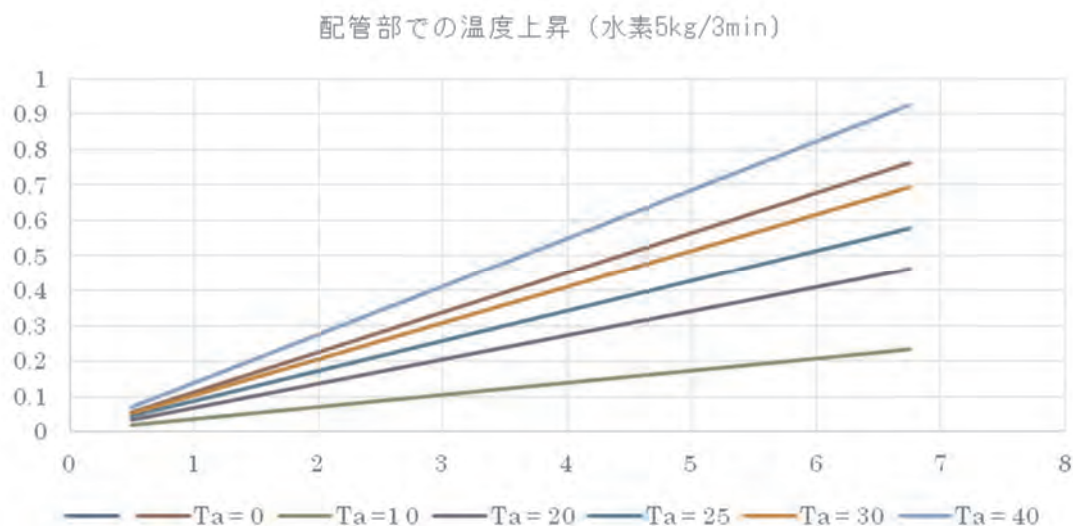


図 10 配管部での非定常伝熱量に伴う容器内水素温度上昇(横軸：配管長さ)

図 10 から、配管での非定常伝熱量に伴う温度上昇は、水素 5kg を 3 分で水素を充填した場合、管長 7 m でも 1 程度である。

(3) カップリング、ホース、ノズル部での非定常伝熱量の影響

これらの要素は、複雑な形状のため、解析的な検討は不可能である。従って、SAE の基準として参照された熱マスを基に、水素 5kg を 3 分で水素を充填終了した場合の水素温度上昇を計算した結果を図 11 に示す。

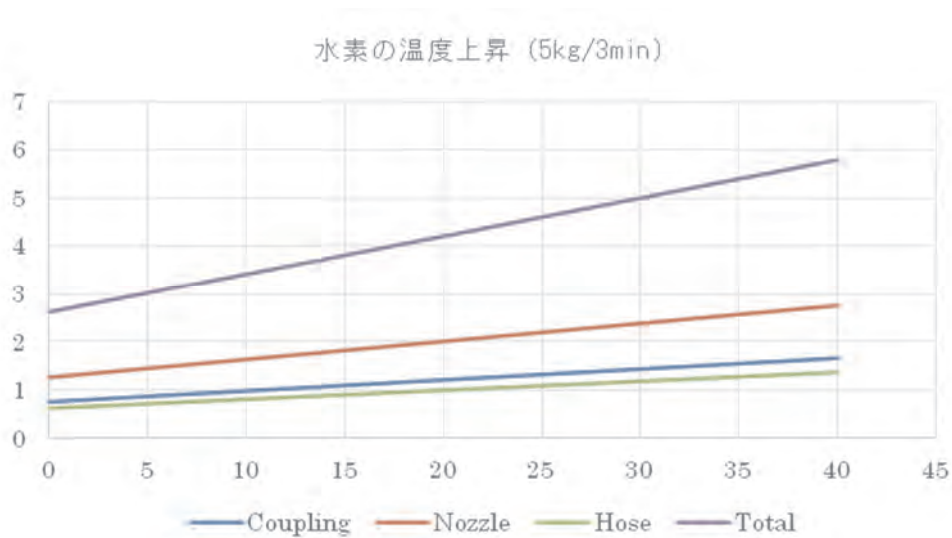


図 11 各要素機器での熱マスに伴う水素温度の上昇(横軸：周囲温度，Ta)

図 11 から、各機器による非定常温度上昇は 2~3 程度であるが、全体では、最大 6 程度の温度上昇となる。

1.3 水素充填中の水素から容器壁への伝熱量について

充填中の容器内の水素温度は、常に 85 以下に保つことが定められているので、水素温度が充填開始後数秒後に 85 になるという最悪のシナリオでの伝熱量を解析的に推定し、その伝熱量の近似式を導出し、式(2)の関数形で与えた。

$$Q^*(t) = \frac{Q(t)}{h_i(T_f - T_o)} = \sum_{n=0}^3 a_n t^n \quad (\text{係数の値、省略}) \quad (2)$$

この結果、式(1)の計算に必要な全ての量が整ったので、水素充填中の容器内水素温度を充填することが可能となる。

図 12 は、充填中の水素温度を推定するための計算の流れ図を示す。容器の容積が与えられている必要があるが、初期圧力と周囲温度が与えられると SAE2601LookUp テーブルの圧力上昇率 (APRR) を基に水素の充填をしながら、ステーションが容器内水素温度を監視しながら充填を実行することが可能となる。

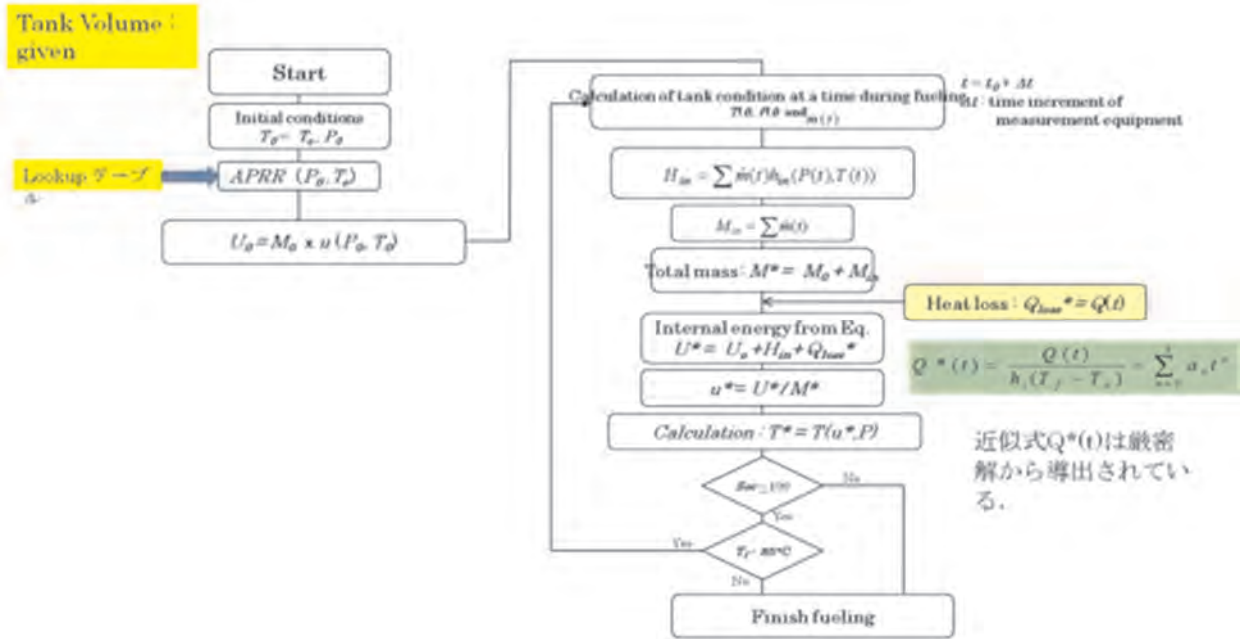


図 12 新水素充填の充填の流れ

図 13 は、1 例として充填条件 T_{amb} 、 $p_o = 2$ MPa の場合について、図 12 に示される充填手順に従って充填したときの充填中の温度変化の比較を示す。推定された水素温度は、充填開始直後の数秒を除いて、LookUp テーブルでの推定温度と新しい充填方法から推定された温度が非常に一致していることが確認できる。なお、 $p_o = 2$ MPa で $T_{amb} = 0 \sim 45$ の範囲で新充填法に基づて水素温度を計算した結果、全ての場合で LookUp テーブルでの温度推定値とほぼ一致することが確認された。

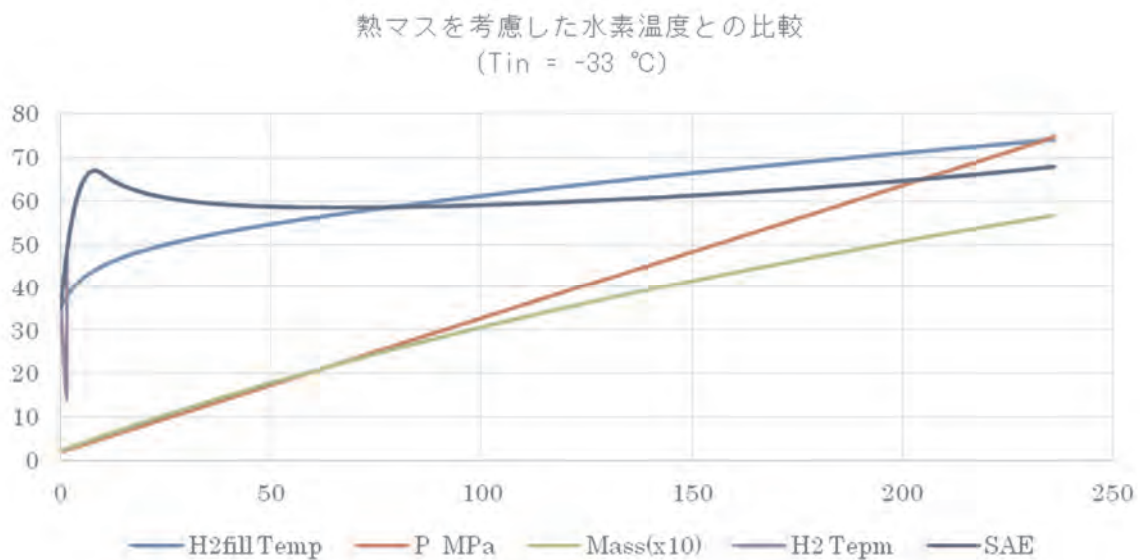


図 13 充填シミュレーションでの推定温度の比較(横軸：時間，秒)

2. ダイナミックシミュレーションの開発

充填される水素に対するエネルギー式や水素ステーションの各機器からの伝熱量の考察に基づき、水素ステーション全体を対象とした水素充填シミュレーション（ダイナミックシミュレーション）を開発した。図14にダイナミックシミュレーションの図を示す。本ソフトは蓄圧器やプレクーラー、各種配管、FCVタンクといった要素機器を通過する水素の温度、圧力および流量を逐次計算することができる。またシミュレーションに用いられる物性値は、水素物性データベースから計算されており、正確な物性値と理論に基づいた水素への伝熱量を求めることで、自由度の高いシミュレーションを行うことができる。さらに本シミュレーションは、水素を一定昇圧率、可変昇圧率および一定流量で供給するなど、様々な条件で水素を供給することが可能である。

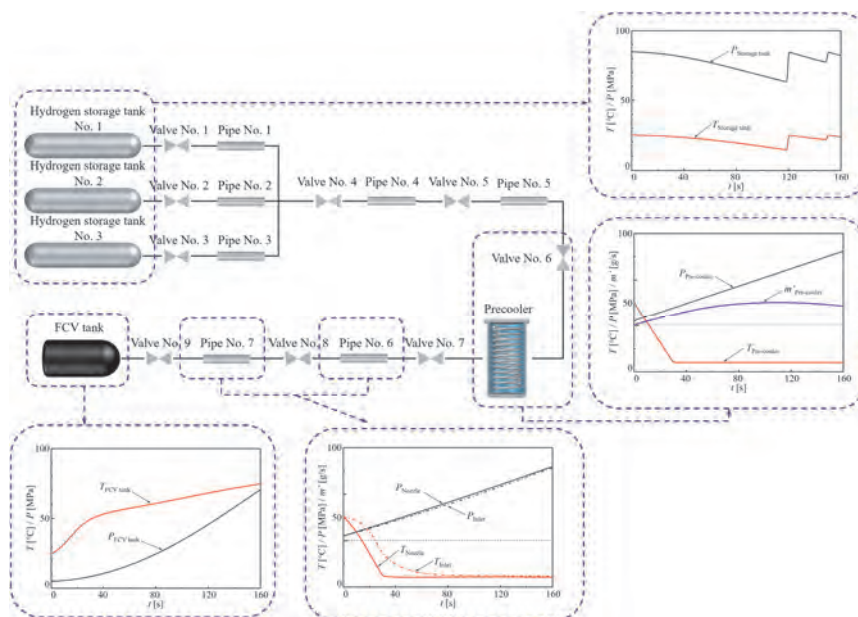


図14 ダイナミックシミュレーション

(3) 充填技術の検証(フィールドデータ蓄積) : <担当 : HySUT >

平成25年度の充填技術の検証はNEDO別事業「地域水素供給インフラ技術・社会実証/技術・社会実証研究」で実施しており、本事業では平成26年度からの実施となる。本事業で実施した充填試験の一覧を表3に示す。検証試験においてはトヨタ試験車両及びHySUT充填評価装置を活用し、ガイドラインに定められた昇圧率選択型充填性能確認検査、高昇圧率充填性能確認検査、及び低昇圧率充填性能確認検査を中心に圧力上昇率の制御性、プレクール温度の制御性を確認した。

表 3 充填試験一覧

ST	実施日	試験目的	成果
千住	2014年7月15日	直充填・差圧充填及びトップオフの組合せ制御性の確認	直充填・差圧充填併用時の昇圧率制御の健全性とトップオフによるSOCメリットを確認した
	2014年7月16日		
	2014年8月20日	トップオフ時のシステム制御性改善	制御追従性の改善を行い、良好な昇圧率追従性を確認
海老名中央	2014年8月6日	昇圧率制御性の確認試験	圧力制御パラメータの最適化を行うためのデータ取得
	2014年8月7日		
	2014年8月27日	HySUT号及びリース車両による、JPEC-S及びリース車モードの充填制御性確認	JPEC-S及びリース車モードに適合した充填の健全性を確認した
	2014年8月28日		
	2014年8月29日		
神の倉	2014年9月4日	充填性能確認ガイドラインに沿った3つの昇圧率試験(昇圧率選択、高昇圧率、低昇圧率)	水素保有量の関係から充填を2分割し、ガイドラインに沿った性能を有する事を確認した
	2014年9月5日		
	2014年9月29日		
	2014年9月30日		
とよたエコフル	2014年6月11日	充填性能確認ガイドラインに沿った充填試験の実施	ガイドラインに沿った充填性能を有する事を確認
	2014年11月4日	バス充填プロトコル性能の事前確認	バス目標昇圧率相当での制御の健全性を確認
	2014年11月5日		
	2014年11月20日	氷結固着防止対策の効果確認	氷結固着防止対策の評価法を検討し、STで検証を実施
	2014年11月21日		
	2015年2月3日	バス充填試験	バス目標昇圧率充填の健全性確認。最低昇圧率制御の課題確認
2015年2月4日			
霞ヶ関	2015年1月15日	移動式STの新型FCV充填健全性の確認	専用プロトコルでの充填健全性確認
有明	2014年11月14日	ブレークル無し新型FCV充填健全性確認	専用プロトコルでの充填健全性確認

千住水素ステーションにおいては、圧縮機からの直接充填及び差圧充填を組み合わせる制御技術、充填終了付近で昇圧率を減少し充填量を増加するトップオフ及び容積推定などの充填要素の検証試験を実施した。 検証試験により直充填・差圧充填を組み合わせてもガイドラインに規定した範囲内で圧力上昇率を制御できる事を確認した。 また、トップオフを行う事により通常停止時に4MPa有ったディスペンサと車両容器の差圧をほぼゼロとする事が出来る事が確認できた。

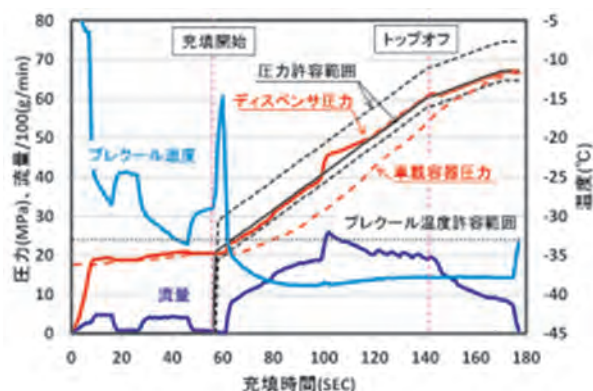


図 15 ガイドライン検証試験（千住試験結果、試験風景）

また、海老名中央水素ステーションでは、リース車充填モード及びガイドラインの両方に適合する条件で、流調弁の制御パラメータの調整をおこない、圧力上昇率制御の健全性を確認した。さらに、神の倉水素ステーションでは、水素保有量の関係で全圧力領域連続での充填が実施できなかったため、圧力領域を2分割し充填試験を実施した。神の倉水素ステーションでの充填試験例を図22に示す。

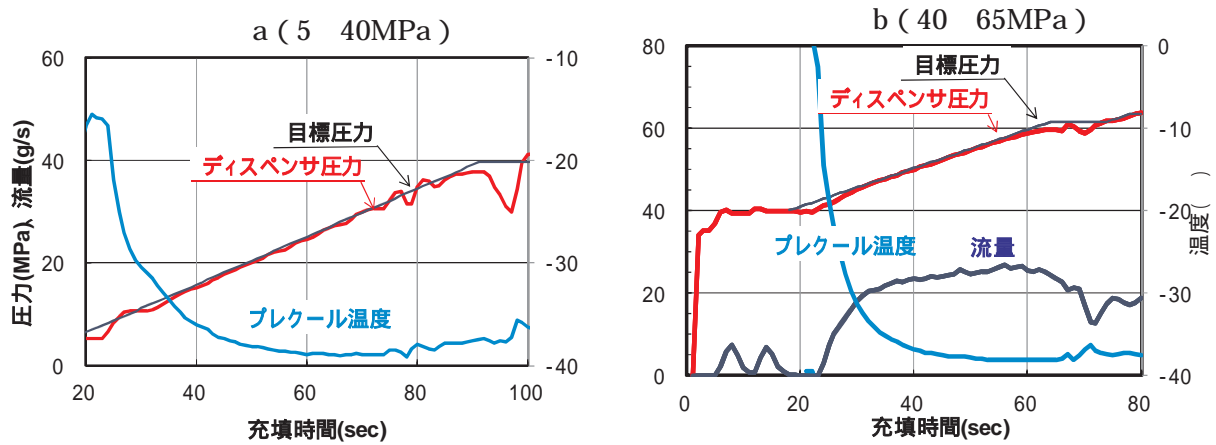
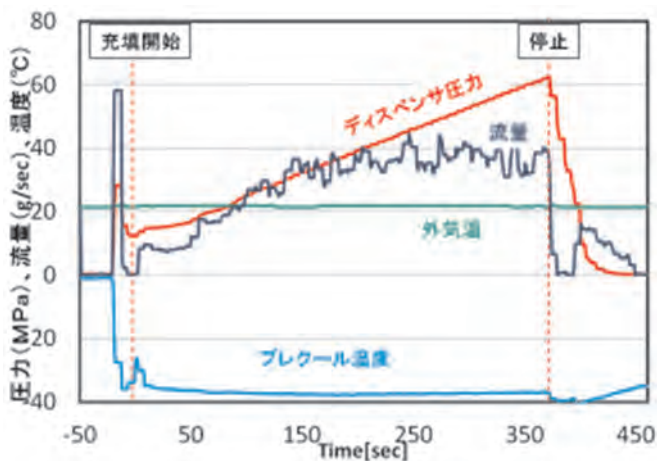


図 16 ガイドライン検証試験（神の倉試験結果）

さらに、とよたエコフルタウンステーションでは、バス用充填基準の制定に先立ち事前確認試験を行った。充填試験の結果、当初計画通りにバスへ充填出来る事を確認できた。バス充填試験結果を図17に示す。



項目	結果	判定基準
昇圧率 (圧力)	Max. +1.3MPa Min. -2.4MPa	+7MPa, -2.5MPa以内
最大流量	44g/sec	60g/sec以下
プレクール	→	-40°C~-33°C
SOC	84%	100%以下
総充填時間	7分50秒	-
充填量	11.3kg	-

図 17 バス充填試験（試験風景、試験結果）

H28年2月の例示基準改正により、gtr容器への、充填時82MPaが許容された。それまで、70MPaを上限としての検証により、ガイドライン(2014)の実用的な運用が可能であることを確認してきたが、70MPa超え領域確認用充填性能評価装置を作成し、データの蓄積を行っている。 充填試験結果の一例を図18に示す。

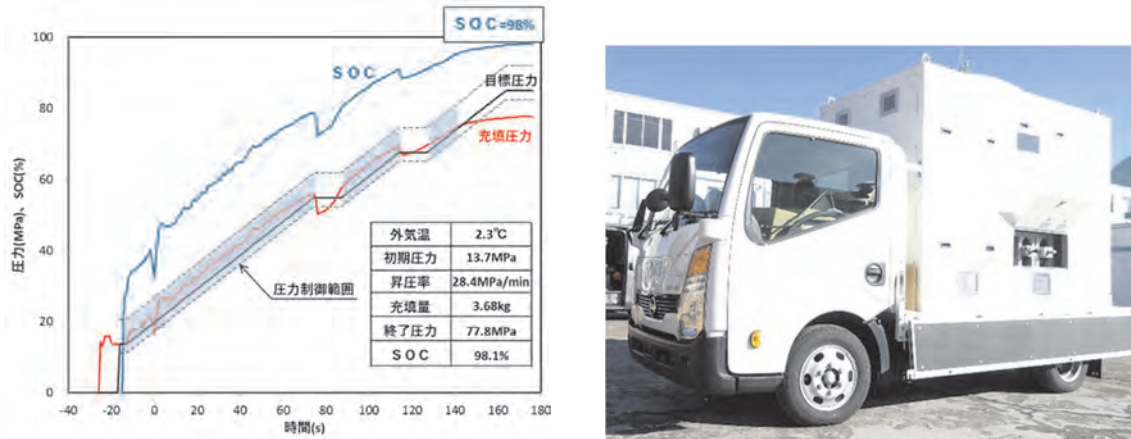


図18 ガイドライン検証試験（82MPa）、70MPa超領域確認用充填性能評価装置

サブテーマ4：充填シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ取得<担当：九州大>

水素ステーションからFCVへの水素充填シミュレーションの高精度化を目指し、充填プロセスで必要とされる233K(-40℃)～常温、最大100MPaまでの低温、高圧域において、水素の輸送性質である粘性係数と熱伝導率を測定し、相関式の高精度化を図る。本研究では、粘性係数測定に振動細線法、熱伝導率測定に非定常短細線法を採用した。これらの方法は試料を密閉するバッチ式であり、少量の試料で測定が可能である。また、どちらも高圧容器内に細線を設置してセンサとして使用するなど共通点が多いことから、圧力容器およびプローブを変更するだけの共通の装置を開発することができる。振動細線法では、細線を永久磁石とともに圧力容器内に設置し、磁場中で交流電圧を印加させることでローレンツ力を発生させて細線を振動させる。そして振動の様相から試料の粘性係数を算出する。一般的な振動細線法では、直線状の細線が用いられるが、本研究では圧力容器の小型化と振動モードの固定化を図り、半円弧状の細線を採用した。この方法は、過去に液体ヘリウム測定において見られ、本研究では、幅広い温度範囲での適用性や測定精度に関して検討を行った。図19に振動細線法における細線モジュールの概念図(左図)と実際に用いたプローブ(右図)を示す。試料が充填されている中で振動するセンサの運動方程式は式(3)で記述される。式(4)、(5)は境界条件である。

$$\pi^2 \rho_w \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -\frac{\pi^4}{4} E \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} - \left(D \frac{\partial y}{\partial t} + c' \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \right) + BI_0 \sin\left(\frac{\pi}{L} x\right) \sin(\omega t) - Q_{vac}^{-1} \omega \rho_w \pi^2 \frac{\partial y}{\partial t} \quad (3)$$

$$y(0, t) = y(L, t) = 0 \quad (4)$$

$$\left. \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right|_{x=0} = \left. \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right|_{x=L} = 0 \quad (5)$$

記号表

B	磁束密度
E	センサのヤング率
$H_n^{(1)}$	ハンケル関数
I_0	初期電圧
L	センサ長さ
Q_{vac}^{-1}	内部摩擦係数
r	センサ半径
η	粘性係数
ρ_s	試料密度
ρ_w	センサ密度
ω	角周波数
ω_0	共鳴角周波数

式(3)中のパラメータは式(6)-(10)で表される。

$$D = \pi \rho_s r^2 \omega k'(m) \quad (6)$$

$$c' = \pi \rho_s r^2 k(m) \quad (7)$$

$$m = \frac{r}{2} \sqrt{\omega \rho_s / \eta} \quad (8)$$

$$k + ik' = 1 - \frac{\sqrt{2}(1-i)}{m} \frac{H_1^{(1)}(z)}{H_0^{(1)}(z)} \quad (9)$$

$$z = \sqrt{2}(1+i)m \quad (10)$$

このとき発生する誘導起電力は付加電流の周波数と同位相および90度ずれた位相の成分に分けることができ、式(11)のように記述できる。

$$V(t) = V_i \cos(\omega t) + V_q \sin(\omega t) \quad (11)$$

式(11)中の V_i および V_q はそれぞれ式(12)、(13)となる。

$$V_i = V_{\text{offset}} + \frac{4\lambda^2 \omega^2}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\lambda^2 \omega^2} V_0 \quad (12)$$

$$V_q = \frac{2\lambda \omega (\omega_0^2 - \omega^2)}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\lambda^2 \omega^2} V_0 \quad (13)$$

ここで、 $V_0 = V_{\text{max}} - V_{\text{offset}}$ である (V_{max} は共鳴曲線の最大値、 V_{offset} はオフセット値)。本装置の概略図を図20に示す。圧力容器内に設置されたタングステン製の細線(直径50 μm 、長さ24 mm)に、周波数の異なる交流電圧をロックインアンプで印加し、各周波数における細線からの誘導起電力を測定して、図21に示すような共鳴曲線を得る。カーブフィッティングを行って、共鳴周波数 ω_0 と半値幅 2ω を求め、基礎式に従って粘性係数を導出する。本装置は低温域での温度制御を行うために、新たに低温用恒温槽を開発した。0.7 MPaまでの圧力において低温域で測定した水素の粘性係数の結果を図22に示す。得られた粘性係数の測定不確かさは1.4%であり、233 Kまでの低温域において、既存の相関式は実測値と良好に一致していた。

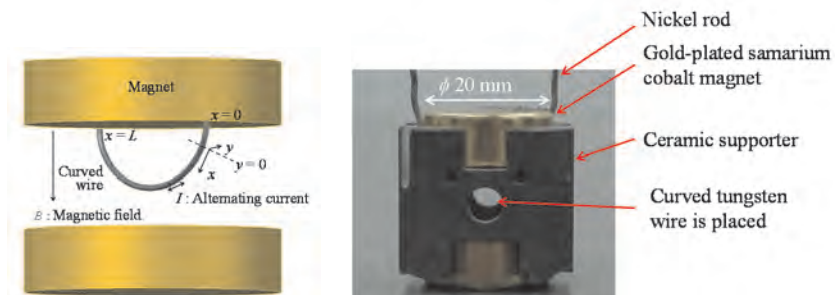


図19 振動細線法に用いられた細線モジュール

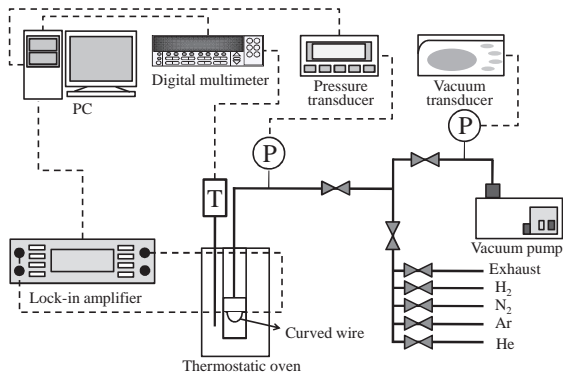


図 20 振動細線法粘性係数装置概略図

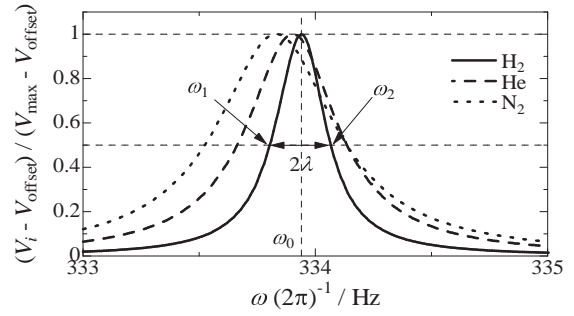


図 21 正規化した水素,ヘリウム,窒素の共鳴曲線(298 K, 0.1 MPa)

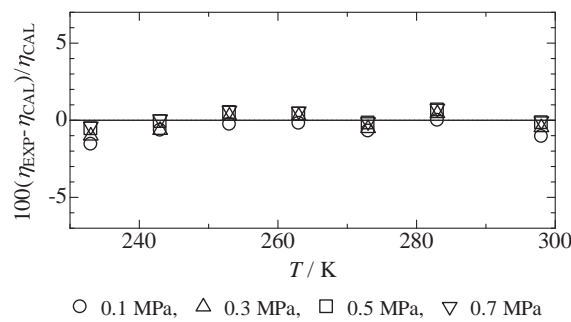


図 22 水素の粘性係数測定値と既存の相関式との比較(0.7 MPa まで)

続いて、低温恒温槽を高圧装置へ設置し、低温域での熱伝導率を測定した。開発した装置を図 23 に示す。非定常短細線法では、圧力容器内に設置した白金細線（直径 10 μm , 長さ 10 mm）に定電流を流すことでこれを加熱し、また白金の抵抗値から温度を測定して、得られる温度上昇と 2 次元熱伝導方程式に基づく数値計算との相関から熱伝導率を求める方法である（図 24 参照）。図 25 は測定された温度上昇と数値解析との相関を示した結果の一例である。

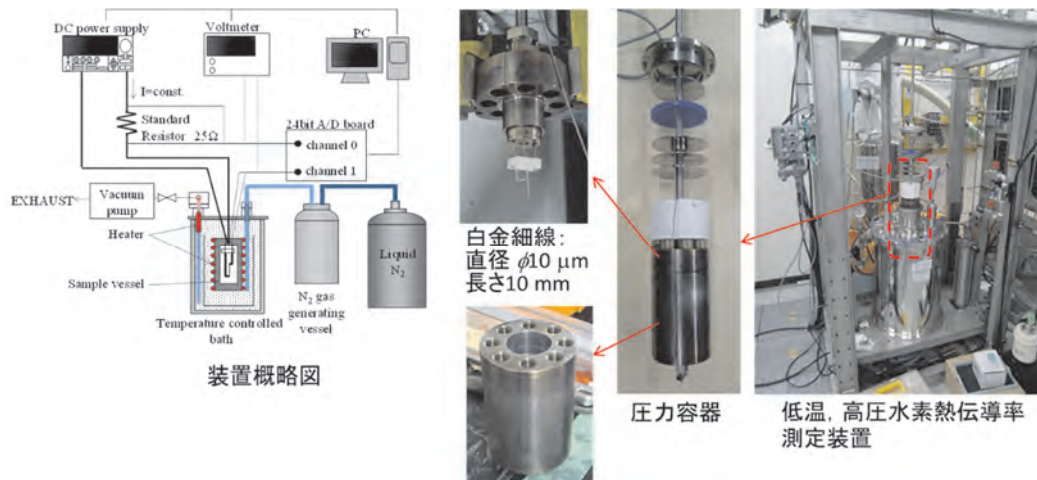
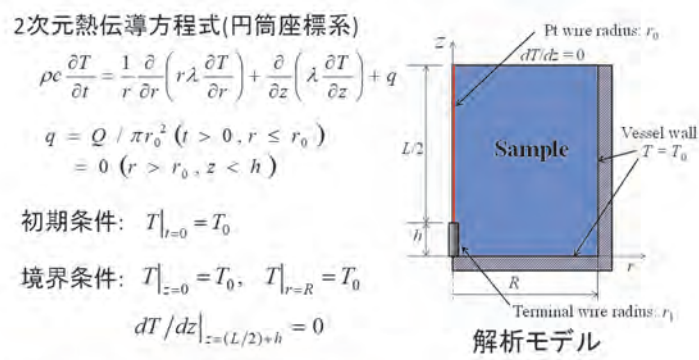


図 23 非定常短細線法熱伝導率装置

最終的に得られた熱伝導率と既存の相関式との比較を図 26 に示す。既存の相関式は、常温では高圧域ま

で実測値と良好に一致しているものの、243 K(-30 ℃)の低温域では、高圧になるにつれ実測値との差が拡大する傾向となった。



非線形最小二乗法を用いて熱伝導率を導出

$$S_{nonlinear} = \sum_{i=1}^{N_{exp}} (T_{exp} - T_i(\lambda, \alpha))^2 \rightarrow \min$$

測定から得られた温度上昇 数値解析から得られた温度上昇

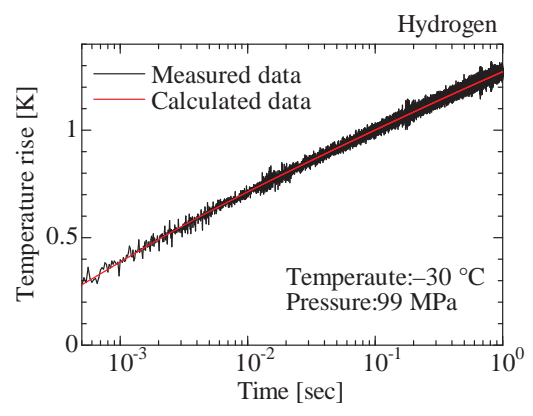


図 25 測定された試料の温度上昇と数値解析との相関(243 K, 99 MPa)

図 24 熱伝導率の測定原理

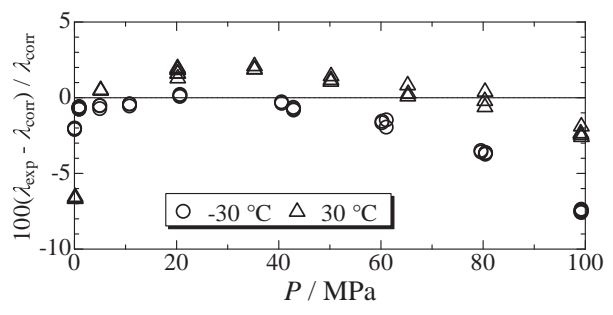


図 26 水素の熱伝導率測定値と既存の相関式との比較

3. 2 成果の意義

サブテーマ 1 : 国内基準類の改正案作成及び制定 < 担当 : HySUT、JPEC >

(1) 水素充填に係る技術基準 (省令・例示基準) と自主基準の整備 : < 担当 : JPEC >

本課題における成果としては、下記 2 点が挙げられる。

FCV への水素充填に係る自主基準の策定及び例示基準改訂に向けたフォロー

FCV への水素充填に係る自主基準の策定より、水素ステーション設置企業、水素ステーション機器メーカー等の取り組みに対する基盤的知見を提供できることとなり、すでに、70 以上の企業・団体に開示されている。また、本課題の成果は、それに基づく HySUT での取り組みの成果として策定された『水素ステーションの充填性能確認のガイドライン』と相まって、より広範に水素供給インフラの構築に寄与していくことが期待される。

FC バスへの水素充填に係る自主基準の整備

海外では国内に導入される FC バスと異なる仕様の FC バスが導入されており、国内の FC バスに対応した基準やプロトコルは制定されていない。ただし、本事業で制定された FC バス用の自主基準は、海外で普及している SAE J2601 に準拠した FCV 用ステーションに適用可能な基準であることから、SAE において中負荷車両(MDV)用の充填基準として本基準の導入検討が進められている。将来国内の FC バスを海外に普及させる可能性も考慮して策定された本事業の成果は国際的にも有効に活用されつつある。

(2) 水素ステーションの充填性能確認のガイドラインの策定：＜担当：HySUT＞

充填性能確認ガイドラインを策定した意義の1つとして、国内水素ステーション建設に対する共通目標を設定し、性能レベルを高いレベルで均一化した事が挙げられる。本事業成果である充填性能確認ガイドラインは次世代自動車振興センターの交付する水素ステーション建設補助金の条件として採用されている。さらに、最終性能確認方法が統一された事から、ステーション建設者にとって、ステーションの性能調整・確認が効率的となったこと等、インフラ整備の面から各種の貢献をすることができた。

さらに、ステーションの性能確認においては、ガイドラインの整備、評価装置の製作の点で日本が最も進んでおり、日本の開発内容を紹介する事でステーション性能評価の国際調和で主導的な役割を果たし、水素インフラ領域における日本のプレゼンス向上に貢献した。

サブテーマ2：国際標準と国内基準類の調和、国際連携＜担当：HySUT、JARI＞

(1) 充填プロトコル規格の国際標準への反映：＜担当：JARI＞

J2601 の発行後、国内の充填基準の見直し方向についての提案を行った。また、ISO19880-1 ステーション規格中の充填プロトコルの規定等、ISO に関連する充填プロトコルに係る事案について、国内基準との整合を目指し、審議に積極的に参加することにより、充填プロトコルに関連してプロトコル及び評価ガイドラインを欧米(SAE、ISO)に提案し、充填基準の国際標準化に貢献した。

(2) ノズル/レセプタクル(氷結対応)規格の国際標準への反映：＜担当：JARI＞

ノズル/レセプタクルの氷結に係る試験法を策定し、業界の要望に応じて、新規提案に結びつけた。併せて SAE J2600 への提案も実施することにより、ノズル/レセプタクルの改定案が ISO、SAE とともに審議され、双方整合した国際標準化に貢献した。

(3) 充填技術の国際連携：＜担当：HySUT＞

水素充填基準整備を北米、欧州と協調を図りながら推進し、FCV・水素インフラ整備で世界をリードする日本としての役割を果たした。また、欧米との情報共有で得た情報を国内関係者に発信することで、海外の状況及び日本の位置づけを共通認識として持つ事に貢献した。

サブテーマ3：充填技術開発/充填技術検証＜担当：HySUT、HySUT 研究分担先、JARI、九州大＞

(1) 新通信充填プロトコル開発：＜担当：JARI＞

水素ステーションで急速かつ安全に水素充填を行うため、水素ガスの供給温度の変化などの事象に対して柔軟に対応できる自由度の高いプロトコル(FCV、FCバスおよびFC二輪など)の開発に資する試験データの取得を進めた。これらの成果は、FCバスおよびFC二輪用の充填プロトコルの作成に寄与してお

り、今後のFCバスおよびFC二輪車の普及に繋がるものである。

また、水素ステーションでの充填時のノズル/レセプタクル氷結現象のメカニズム解明を行った。この成果は、国際規格改定に必要なデータとなった。氷結を防止する充填方法の確立に貢献するものである。

(2)水素 ST 最適化シミュレーションの実施 - 新たなプロトコルの提案 - : <担当:九州大>

新しいプロトコルの開発によって、LookUp テーブルに基づく充填が必要でなくなる。また、充填が水素ステーションでの計測だけで安全に実行される。充填中に水素温度が決められたカテゴリーから逸脱する場合の救済措置として、フォールバック充填が行われることになっているが、この充填が不要になる。新しい充填法によって、充填システムの自動化がより簡単化される可能性がある。

(3) 充填技術の検証(フィールドデータ蓄積) : <担当:HySUT>

充填基準及び充填性能確認ガイドラインを事前に検証し、その安全性及び有効性を確認した。また実際の商用ステーション建設において、スムーズな運転調整・確認を行えるようになり、商用ステーション建設の時間短縮に貢献した。

サブテーマ4: 充填シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ取得<担当:九州大>

水素の粘性係数測定について、半円弧状の細線を用いた振動細線法における測定および新しい解析手法を確立した。振動細線法は試料を密閉するバッチ式であり、少量の試料で測定が可能である。また熱伝導率と共通の実験装置で測定ができるようになった。233 K までの低温を実現する恒温槽を開発し、低温、高圧域での測定が可能となった。

3.3 開発項目別残課題

サブテーマ1: 国内基準類の改正案作成及び制定<担当:HySUT、JPEC>

(1) 水素充填に係る技術基準(省令・例示基準)と自主基準の整備: <担当:JPEC>
特になし

(2) 水素ステーションの充填性能確認のガイドラインの策定: <担当:HySUT>
特になし。

サブテーマ2: 国際標準と国内基準類の調和、国際連携<担当:HySUT、JARI>

(1) 充填プロトコル規格の国際標準への反映: <担当:JARI>

充填に伴うコスト削減および充填基準の適用範囲の拡大(タンク容量の範囲拡大、ノンプレクール充填の導入など)のための充填技術について、国際標準化および技術基準・指針の策定が必要である。

(2) ノズル/レセプタクル(氷結対応)規格の国際標準への反映: <担当:JARI>

充填プロトコルの適用範囲の拡大、および大流量充填対応のため、それぞれのためのノズル/レセプタクル規格の開発および国際標準化が必要である。

(3) 充填技術の国際連携：<担当：HySUT>

特になし

サブテーマ3：充填技術開発 / 充填技術検証<担当：HySUT、HySUT 研究分担先、JARI、九州大>

(1) 新通信充填プロトコル開発：<担当：JARI>

充填に伴うコスト削減および充填基準の適用範囲の拡大（タンク容量の範囲拡大、ノンプレクール充填の導入など）のための充填技術について、その策定に必要な技術開発が必要である。

(2) 水素 ST 最適化シミュレーションの実施 - 新たなプロトコルの提案 - <担当：九州大>

水素ステーション全体を対象として、各機器を通過する水素の温度、圧力および流量を逐次計算することが可能なダイナミックシミュレーションを開発した。本シミュレーションは正確な物性値を用いている他、各機器からの水素への伝熱量を理論に基づいて計算していることから、自由度の高い正確なシミュレーションであると言える。充填方法も様々な条件で実行できることから、水素ステーションの設計および様々な容器に対する充填方法の検証をも可能にするものである。

(3) 充填技術の検証(フィールドデータ蓄積)：<担当：HySUT、HySUT 研究分担先>

商用ステーションでの 82MPa 充填試験では、ガイドラインの実用性確認を行い、問題点は提起されていない。データの蓄積を行っていく。

サブテーマ4：充填シミュレーションの高精度化に向けた水素輸送性質のデータ取得<担当：九州大>

水素の粘性係数測定について、半円弧状の細線を用いた振動細線法における測定および新しい解析手法を確立した。振動細線法は試料を密閉するバッチ式であり、少量の試料で測定が可能である。また熱伝導率と共通の実験装置で測定ができるようになった。低温の温度制御を可能にする恒温槽を開発し、最終的に粘性係数のデータを取得して既存の相関式に対する評価を行った。また、熱伝導率についても非定常短細線法を用いて低温域のデータを取得し、既存の状態方程式は高圧域で偏差が拡大する傾向があることを示した。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本テーマの目標は、4事業者が各自の分担した役割を達成することにより、FCV・水素インフラ普及に必要な法的環境及び技術を整備することである。事業成果は既に段階的に実用化が開始されており、現在進行中の水素ステーション普及拡大に貢献している。各事業者の分担及び成果の概要を以下に示す。

石油エネルギー技術センター (JPEC)

70MPa 水素ステーションを商業地域などの市街地に建設するために必要な技術基準の整備を行う。具体的には NEDO 別事業「地域水素供給インフラ技術・社会実証 / 技術・社会実証研究」で制定した 70MPa までの技術基準を改定し、87.5MPa を上限とする充填基準を制定した。これにより、水素充填量が増加

する事で、FCV の航続距離が延長でき利便性がさらに向上する。さらに FC バスにも適用できる基準を追加策定した。今後関連する高圧ガス保安規則関連の例示基準が改定されれば、FC バス用のステーションや、FC バスに充填可能なステーションの拡充が図れることになる。

水素供給利用技術協会 (HySUT)

水素ステーションが JPEC の制定する充填技術基準に合致する性能を有する事を確認するためのガイドラインを作成した。70MPa ステーションの充填性能確認ガイドライン(2013)、87.5MPa を上限とする充填性能確認ガイドライン(2014)及び10kg 超の容器に適用可能な充填性能確認ガイドライン(2016)を制定した。本ガイドラインはそれぞれ該当する商用ステーション建設補助金交付の要件となっており、ステーションの性能標準として実用化されている。

日本自動車研究所 (JARI)

充填基準の世界標準を議論する SAE の会議等に参加し、国内の自動車・水素インフラ関係者の意見を集約して対応した。この結果、SAE 充填基準を国内で受け入れ可能な内容で発行することができた。また、国内外の基準を作るために必要な充填検証試験を実施し、新規充填プロトコルの開発に資する基礎データの取得ができた。ノズル・レセプタクルの氷結問題の評価試験方法を開発し、ISO に取り入れられた。

九州大学

国内及び海外充填基準を作成するために必要な充填シミュレーションを行い国内充填基準作成及び海外への技術提案のサポートを行った。また、充填プログラムは充填中にディスペンサで計算可能な計算容量で十分な精度を確保するための改良を行い、新しいプロトコル開発の準備を行った。また、シミュレーション精度向上のために必要な高圧水素の粘性係数及び熱伝導率データ取得のために、計測装置を開発し、計測手法を確立した。一部の温度、圧力領域についてはデータの収集を行っている。

5 . 研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2014 年 3 月	European Hydrogen Energy Conference	Vibrating Wire Method with Semi-circle Wire for Measuring Hydrogen Viscosity	T. Hisatsugu, T. Uehara, K. Furusato, K. Shinzato, N. Sakoda, M. Kohno, Y. Takata
2	2014 年 9 月	KU-KAIST セミナー	VISCOSITY MEASUREMENT OF HYDROGEN IN THE TEMPERATURE REGION FROM -40 ℃ TO 25 ℃ WITH SEMI-CIRCLE WIRE	T. Hisatsugu, K. Shinzato, N. Sakoda, M. Kohno, Y. Takata

3	2014年10月	World of Energy solution at Stuttgart, Germany	New Method for Hydrogen Refueling at Hydrogen Station	M. Monde
4	2014年10月	自動車技術会秋季大会学術講演会	水素充填時のノズル・レセプタクル氷結試験	開渉, 三石洋之
5	2014年11月	第35回日本熱物性シンポジウム	半円弧状振動細線法による-40 から 25 の温度域における水素の粘性係数測定	久次達也, 新里寛英, 迫田直也, 河野正直, 高田保之
6	2014年11月	Fuel Cell Seminar at Los Angeles, USA	New Method for Fueling Hydrogen into High Pressure Tank	M. Monde
7	2014年11月	日本機械学会 熱工学コンファレンス 2014	高圧水素の熱物性計測 水素インフラの普及に向けた研究の取組み	迫田直也, 粥川洋平, 新里寛英, 河野正道, 門出政則, 高田保之
8	2015年4月	SAE 2015 World Congress	New Method for Refueling Hydrogen into High Pressure Tanks	門出政則
9	2015年5月	The Journal of Chemical Thermodynamics	Measurements of Hydrogen at High Temperatures up to 573 K by a Curved Vibrating Wire Method	N. Sakoda, T. Hisatsugu, K. Furusato, K. Shinzato, M. Kohno, Y. Takata
10	2015年7月	JARI Research Journal	水素充填時のノズル・レセプタクル氷結試験に関する研究	開渉, 山田英助
11	2015年8月	石油学会誌「ペトロテック」	水素ステーション整備に向けた規制見直し状況と今後の課題	川付正明
12	2015年9月	14th UK Heat Transfer Conference 2015	Heat Transfer Rate from Hydrogen to Tank Wall during Fast Refuelling Process	M. Monde, T. Kuroki, N. Sakoda, Y. Takata
13	2015年10月	World Hydrogen Technologies Convention	Thermal comparison during hydrogen fast filling to type iii and type iv tank	開渉, 山田英助, 村松仁

			developed for motorcycles	
14	2015年10月	International Conference on Hydrogen Safety	Freeze of nozzle/receptacle during hydrogen fueling	開渉, 三石洋之
15	2015年10月	同上	Hydrogen fast filling to a type IV tank developed for motorcycles	山田英助, 開渉, 村松仁
16	2015年10月	自動車技術会秋季大会学術講演会	燃料電池二輪車用の高圧水素容器への急速充填	山田英助, 開渉, 村松仁
17	2015年10月	日本機械学会 熱工学コンファレンス 2015	水素急速充填中の車載水素容器形状が水素温度上昇に及ぼす影響	黒木太一、門出政則、迫田直也、新里寛英、高田保之、河野正道
18	2015年11月	Fuel Cell Seminar & Energy Exposition	Thermal Characteristics of Hydrogen Tank Developed for Fuel Cell Motorcycles during Fast Filling	山田英助, 開渉, 村松仁
19	2016年3月	SAE FC Interface Task Force Meeting	Hydrogen Fueling Protocol for 70MPa Class FC Bus	三枝省五
20	2016年3月	日本機械学会 九州学生会 第47回卒業研究発表講演会	低温高圧域における水素の熱伝導率測定	田中丈晴、迫田直也、新里寛英、河野正道、高田保之
21	2016年4月	日本機械学会誌 特集号 2016年4月号	水素ステーションでの高圧水素充填方法	門出政則
22	2016年4月	日本機械学会誌 特集号 2016年4月号	国内外の水素供給インフラ普及に向けた取り組み	山梨文徳
23	2016年6月	機械の研究(養賢堂出版)	燃料電池自動車への高圧水素充填方法について	門出政則

24	2016年9月	第48回化学工学会秋季大会)	高圧水素インフラ構築に向けた水素の熱物性計測と水素物性データベースの応用	迫田直也,黒木太一,新里寛英,河野正道,門出政則,高田保之
25	2016年9月	第13回 佐賀大学海洋エネルギーシンポジウム 2016	水素インフラ構築に関わる高圧水素の熱物性研究	迫田直也,黒木太一,新里寛英,河野正道,門出政則,高田保之
26	2016年9月	日本機械学会年次大会	国内外の水素供給インフラ普及に向けた取り組み	池田哲史
27	2016年9月	東京工業大学 エネルギービジネスにおける参加のデザイン	水素供給インフラ普及に向けた取り組み	山梨文徳
28	2016年10月	11th Asian Thermophysical Properties Conference, ATPC2016	Measurement of the Thermal Conductivity of Hydrogen at Low Temperature and High Pressure	田中丈晴、迫田直也、新里寛英、河野正道、高田保之
29	2016年10月	自動車技術会 2016年 秋季大会学術講演会	水素ステーションでのノズル氷結現象の発生メカニズム解明に関する研究	山田英助,開渉
30	2016年11月	The Fourth International Forum on Heat Transfer	Dynamic Behavior of Hydrogen Temperature and Pressure during Filling	黒木太一,迫田直也,新里寛英,河野正道,門出政則,高田保之
31	2016年12月	水素エネルギー協会 会誌	高圧水素熱物性の精密測定と水素物性データベースの応用	迫田直也
32	2017年1月	日本機械学会関東支部講習会	国内外の水素供給インフラ普及に向けた取り組み	山梨文徳
33	2017年1月	山梨大学 燃料電池関連製品開発人材養成講座	国内の水素供給インフラにおける主要技術と普及に向けた取り組み	小林芳郎、山梨文徳
34	2017年2月	HYDROGENIUS AND I2CNER JOINT RESEARCH SYMPOSIUM	Prediction of temperature and pressure of hydrogen	黒木太一、迫田直也、新里寛英、河野正道、門出政則、高田保之

			passing through filling equipment	
35	2017年3月	自動車技術会論文集, 48, 3, 667-671	水素ステーションでのノズル氷結現象の発生メカニズム解明に関する研究	山田英助, 開渉
36	2017年3月	日本機械学会九州支部第70期総会・講演会	配管壁面からの対流伝熱を伴う水素温度の予測	黒木太一、迫田直也、新里寛英、河野正道、門出政則、高田保之
37	2017年6月	高分子学会主催 水素・燃料電池材料研究会	水素ステーション関連技術およびインフラ普及に向けた取り組み	小林芳郎
38	2017年7月	FCCJ FCV・水素インフラWG	HySUTの活動状況	小林芳郎
39	2017年7月	The 7th World Hydrogen Technology Convention	Dynamic Simulation Software for Prediction of Hydrogen Temperature and Pressure during Refueling Process	黒木太一、迫田直也、新里寛英、河野正道、門出政則、高田保之
40	2017年7月	THE 7th WORLD HYDROGEN TECHNOLOGY CONVENTION	Freeze lock mechanism of nozzle after pre-cooled hydrogen filling	山田英助, 開渉
41	2017年7月	長崎大学 文教キャンパス	高圧水素および低GWP冷媒の熱物性測定	迫田 直也
42	2017年9月	The 28th International Symposium on Transport Phenomena- 2017	Thermal Problems of Hydrogen at High Pressures	Y.Takata,N.Sakoda, T.Kuroki,K.Shinzato, M.Monde

(1-9)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 / 燃料電池自動車の水素安全基準等の国際調和に関する研究開発」

委託先：(一財)日本自動車研究所

成果サマリ (実施期間：平成25年度～平成29年度)

- ・燃料電池自動車の世界統一基準（以下、FCV-GTR Phase2）で審議される予定である安全性評価試験法（車載容器の局所火炎暴露試験法，衝突試験後の車室内水素濃度測定法、水素パージガス試験法）に関わるデータを取得した。
- ・事故後処理に必要な安全弁作動確認手法や水素漏洩音によって安全に車両へ接近する手法を確立し、FCVの消火救助マニュアルや教育教材へ反映させた。
- ・車両から水素容器が取り外された状態での容器単体での安全かつ合理的なくず化処理工程を開発し、容器くず化工程マニュアルに反映させた。
- ・二輪車特有の課題をデータ提供し、2016年、道路運送車両保安基準の細目告示（別添118）により、世界初のFC二輪車の安全基準が策定された。

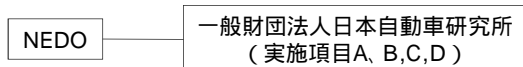
背景/研究内容・目的

燃料電池自動車（以下、FCV）の普及拡大には、国連基準等の国際基準調和の推進による安全基準の共通化や相互認証の実現に向けた取り組みが不可欠であり、さらには、安全な事故後処理・廃車処理の安全性確保に関する十分な知見と、必要に応じた標準化や基準化・法規化や安全作業マニュアル等の作成を進める必要がある。本研究では、国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資する研究開発、および燃料電池自動車のFCVの普及及び国際競争力確保に資することを目的とする。

研究目標

実施項目	目標
A FCVの国内規制・国際基準調和に資するデータ取得	国際基準（HFCV-GTR Phase2）に必要なデータ取得を進める。
B FCVの国際標準化	本事業のデータを活用し、国内規制を考慮しながら日本が主導的になるよう国連基準・国際会議を進める。
C 安全な事故後処理・廃車処理に資するデータ取得	安全なFCVの事故後処理方法を明確にするためのデータ取得とFCV用容器くず化マニュアルに資するデータ取得を行う。
D FC二輪車の安全に関するデータ取得	FC二輪車の安全担保のために必要な安全基準の策定に資するデータを取得

実施体制及び分担等



これまでの実施内容 / 研究成果

- ✓ 車載用容器の局所火炎暴露試験の誤差範囲の影響、衝突試験後の車室内の水素濃度や水素パージガス濃度の閾値に関わるデータを取得した。
- ✓ 火災後のCFRP複合充填容器の取り扱い方や緊急的な脱ガス方法、水素漏洩音により車両へ安全に接近する手法などの事故後処理に関わるデータを取得し、消防関係団体から発行されるFCVの消火・救助マニュアルや教材に反映させた。
- ✓ 容器単体での水素容器のくず化処理工程を開発し、作業マニュアルへ反映させた。
- ✓ 車両搭載状態での水素脱ガスツールを開発し、標準書のツール仕様を定めた。
- ✓ 実火災に生じる問題点の抽出、本事業で開発した事故後処理手法を検証した。
- ✓ FC二輪車の安全性を評価し、道路運送車両保安基準へ反映させた。
- ✓ イグニッションオフ後の水素遮断特性や車載水素センサー仕様を提案し、合意を得た。また、事故車両の識別やFCV廃車処理に関わる標準化について、JEVS(日本電動車両規格)（案）を作成し、年度内に発行される予定。

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A	HFCV-GTR Phase 2の審議で日本提案が国際基準へ反映させるためのデータ取得	
B	FCV安全に関わる国内基準、国連基準、国際基準との整合を図った。	
C	事故後処理手法およびFCV用容器のくず化工程マニュアルに資するデータを取得	
D	道路運送車両の保安基準に関わるデータを取得し、規制見直しに反映。	

実用化の見通し

- ✓ FCV試験法を検証および国内での実施体制整備 日本国主張の裏付けデータとして国際基準策定および国内メカ開発に貢献
- ✓ 事故処理安全手法を開発 FCV事故後処理に関わる標準化活動へ提案可能となり、かつ消火・救助マニュアル等へ反映し、事故後処理の人材育成へ貢献
- ✓ 安全かつ合理的なFCV廃車、容器くず化工程の開発 くず化マニュアルへ反映し、FCVの普及化へ貢献

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	6	32	0

課題番号：1 9

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 /

燃料電池自動車の水素安全基準等の国際調和に関する研究開発

一般財団法人日本自動車研究所(JARI)

1. 研究開発概要

FCVの普及開始と国際競争力強化の観点から、FCV及び水素供給インフラのコスト削減や性能の目標達成に向け、FCVに関しては、国内規制の適正化や、国際基準調和を実現させるための研究開発等を、産学官の互いのノウハウ等を持ちより、協調して実施する必要がある。

また、国際商品であるFCVの普及拡大には、国連基準であるUN/ECE/WP29/HFCV-GTR(水素・燃料電池自動車の世界統一技術基準)等の国際基準調和の推進による安全基準の共通化や相互認証の実現に向けた取り組みが不可欠である。また、こうしたイニシアチブを通して先行技術の優位性を確保することにより、国際競争力の確保や産業育成にも貢献できる。

そこで、本研究開発テーマでは、燃料電池実用化推進協議会、一般社団法人日本自動車工業会などと連携し、FCVの水素安全基準等の国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資する研究開発を実施し、FCVの普及及び国際競争力確保に資する。

また、2015年以降のFCVやFC二輪車の本格的な普及により、既存の交通体系の中でFCVが現行車と共存することになる。そこで、FCVやFC二輪車の安全な事故後処理および廃車処理の安全性確保に関する十分な知見と、必要に応じた標準化や基準化・法規化および安全作業マニュアル等の作成を進める必要がある。本研究開発テーマでは、FCVやFC二輪車の安全な事故後処理および廃車処理に関わる標準化や基準化・法規化および安全作業マニュアルの策定に資する。

2. 研究開発目標(設定の理由、妥当性も含め)

図2.1に水素・燃料電池自動車に関する規制を示す。FCVやFC二輪車を取り巻く主な規制は、車両については道路運送車両法、圧縮水素容器・附属品については高圧ガス保安法で規制されている。本研究開発事業では、車両(圧縮水素容器および附属品を除く)に関わる安全技術の確立や基準・標準の整備、ならびにFCVやFC二輪車の事故後処理や廃車処理などを考慮した安全性確保に関わる知見の拡充に注力し、FCVやFC二輪車の実用化・普及展開および国際競争力の確保に資するデータを取得することを目的とする。

水素・燃料電池自動車に関する規制

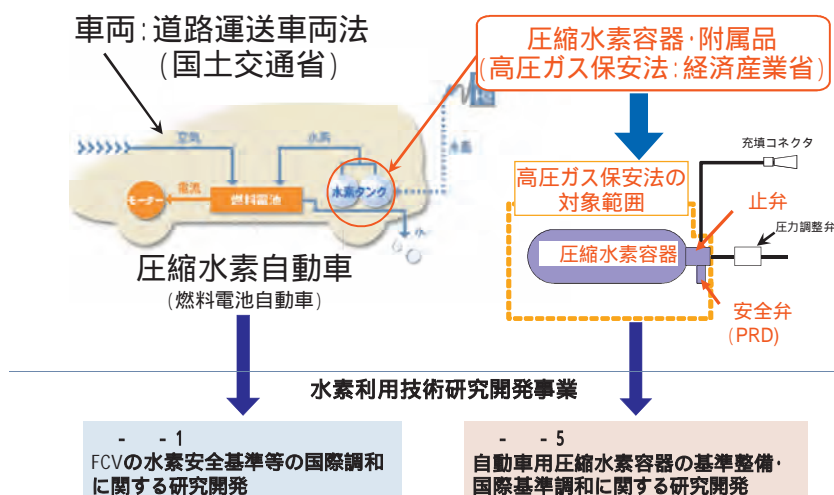


図 2.1 水素燃料電池自動車に関する規制

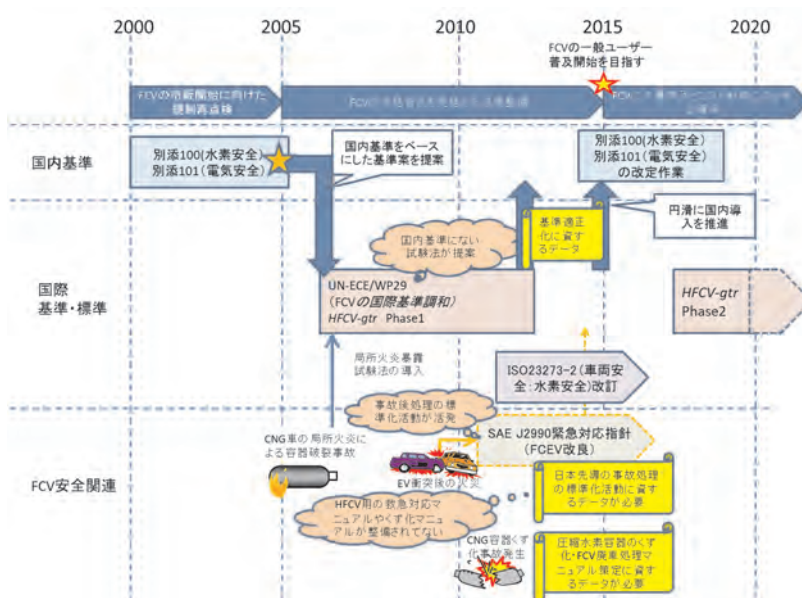


図 2.2 FCV の車両に関わる規制および FCV の安全に関わる現状と今後

FCV の基準整備の取り組みとしては、2005 年において政府による燃料電池の実用化に向けた規制再点検が完了し、FCV の市販開始に必要な導入初期段階の基準整備は完了した。その後、国連欧州経済委員会に設けられた自動車基準調和世界フォーラム (UN/ECE/WP29) の場において、HFCV-GTR(水素・燃料電池自動車の世界統一技術基準)Phase1 の策定が 2005 年に作成した日本の技術基準を基に進められた。その際、例えば圧縮天然ガス (CNG) 自動車の火災時の容器破裂事故などにより、国内基準にはなかった試験法が GTR No.13(HFCV) で新たに導入された。今後、2017 年の 10 月からの HFCV-GTR Phase2 の審議開始、および国連の 98 年合意に基づいた国内取り込みに向けた検討が必要であることから、基準適正化に向けたデータを取得する必要がある。

一方、2015 年からの FCV の一般ユーザーへの普及開始に伴い、交通事故や火災事故の

発生が予想され、事故後処理（救助、消火、解体・撤去）の安全確保を目的とした対応方法に関する研究が必要である。普及期において、これらの事故処理対応を確立していなかった場合、重大な二次災害が生じる場合が想定され、FCV の普及促進に対しての影響が生じる可能性がある。そのため、事故後の乗員救助や車両の安全な除去方法の指針となる消防庁の「警防活動時等における安全管理マニュアル」改訂などに資するデータを、普及開始に向けてできるだけ早急に取得する必要がある。

また、2010～2013年の間、リチウムイオン電池を搭載した電動車両の衝突後の出火事故の発生により、北米ではハイブリット自動車・電気自動車の救急対応の指針となる SAE J2990 (Hybrid and EV First and Second Responder Recommended Practice) 規格が誕生した。この規格は、今後、FCV へ対応させるための改定作業が 2013 年から開始されたため、FCV の安全な事故後処理に関する国際標準化や基準化の動きに対しても、他国に先行している日本がリーダーシップを発揮しながら活動を進める必要がある。一方、2011 年の東日本大震災により被災した圧縮天然ガス自動車の容器のクズ化作業に伴う死亡事故を受け、水素車両の安全な廃車処理手順についても普及開始に向けて早急に解決策を見出す必要がある。そこで、本研究では、FCV の水素安全基準等の国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資する研究開発を実施し、FCV の普及及び国際競争力確保に資することを目的とし、以下の 4 項目を実施する。

- (1) F C V の国内規制および国際基準調和に資するデータ取得
- (2) F C V の国際標準化
- (3) 安全な事故後処理・廃車処理に資するデータ取得
- (4) FC2 輪車の安全に関するデータ取得

- (1) F C V の国内規制および国際基準調和に資するデータ取得

GTR No.13(HFCV)では、国内の技術基準には採用されていない試験法が新たに追加された。FCV の車両安全に関連した試験項目としては、自動車用圧縮水素容器の局所火炎暴露試験と衝突試験後の車室内水素濃度計測試験がある。

自動車用圧縮水素容器の局所火炎暴露試験では、容器に耐性を持たせる方法と車体側で容器を保護する方法の二種類が選択できる。GTR No.13(HFCV)では、前者の方法が議論の中心となっていたが、HFCV-GTR Phase2 では、後者の方法による車載状態にある容器(以下、車載容器と称する)の局所火炎暴露試験法の議論が進むことから、本事業では、局所火炎暴露試験法の車両への適合性評価を進める必要がある。

また、米国から新たな試験法として提案された衝突試験後の車室内水素濃度計測試験については、これまでの日本の研究により試験の再現性に問題があることが明らかになり、本試験法開発の審議については HFCV-GTR Phase2 で行われることになった。今後、再現性のある試験法策定のために、日本がリーダーシップを発揮して試験法の改良を進める必要がある。

そこで、本事業では、日本がリーダーシップを発揮して議論を推進させるために、FCV の車両安全に関わる HFCV-GTR Phase2 の策定に資するデータ取得を進めるとともに、国連の 98 年合意に基づいた HFCV-GTR Phase2 の円滑な国内導入を図るためのデータ取得を実施する。

(2) FCVの国際標準化

本事業での基準・標準化活動の推進体制を図2.3に示す。

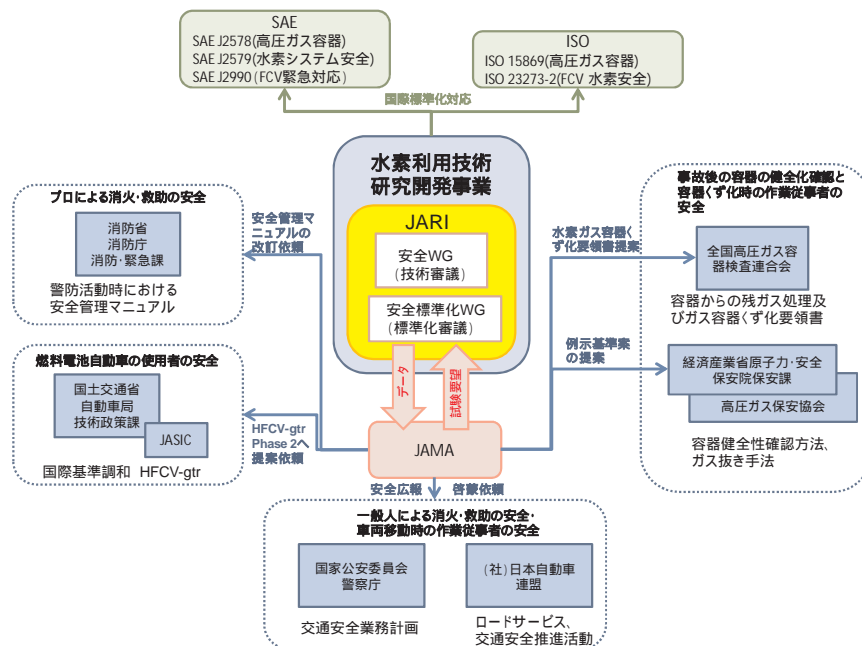


図2.3 本事業での基準・標準化活動の推進体制

本事業の試験計画の妥当性検討や、取得される試験データの解析・審議のために、外部有識者、関連団体委員等により構成される安全WGを組織し、試験計画およびその解析結果について、その妥当性、方向性等を含めて審議する。また、車両安全の標準化に関し、一般社団法人日本自動車工業会などと連携し、HFCV-GTR Phase2を視野に入れた議論を推進し、国際標準化活動に資する。また、当該活動を円滑に推進させるために安全標準化WGを組織し、FCVの安全に係る国際標準化活動方針の審議、提案ドラフト作成およびコメント作成を行い、FCV安全標準化に係る国際会議等に対応する。

この推進体制により、本事業で得られた試験結果を活用し、HFCV-GTR Phase2に対して、日本がリーダーシップを発揮して審議を進めるため、一般社団法人日本自動車工業会と協力しながら、HFCV-GTRに影響するISO/TC22/SC21/WG1(FCV等の車両安全規格)等を国連基準に調和させるための国際標準化活動を行う。併せて、上記HFCV-GTRの事前協議の場として有効なSAE(Society of Automotive Engineers: 米国自動車技術会)会議にも積極的に参画し、上記HFCV-GTRとの整合を図るための活動を行う。

(3) 安全な事故後処理・廃車処理に資するデータ取得

FCVの事故後の安全確保に関しては、一般社団法人日本自動車工業会と連携し、図2.4および図2.5に示される衝突・火災事故時に発生する事象を網羅し、適切な対応を実施する上で、新たに評価すべき課題と試験内容の明確化を進めてきた。

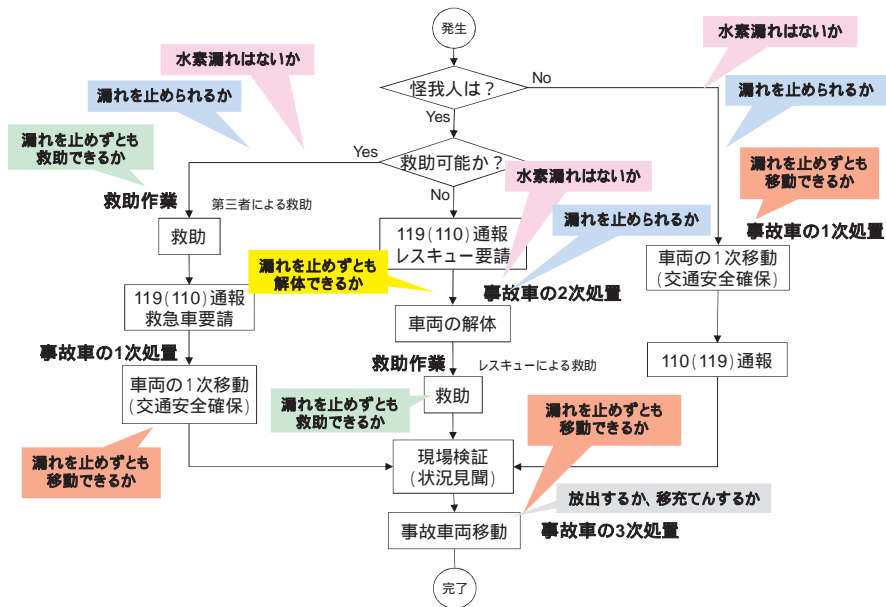


図 2.4 車両衝突時の事故後処理作業と水素安全への配慮

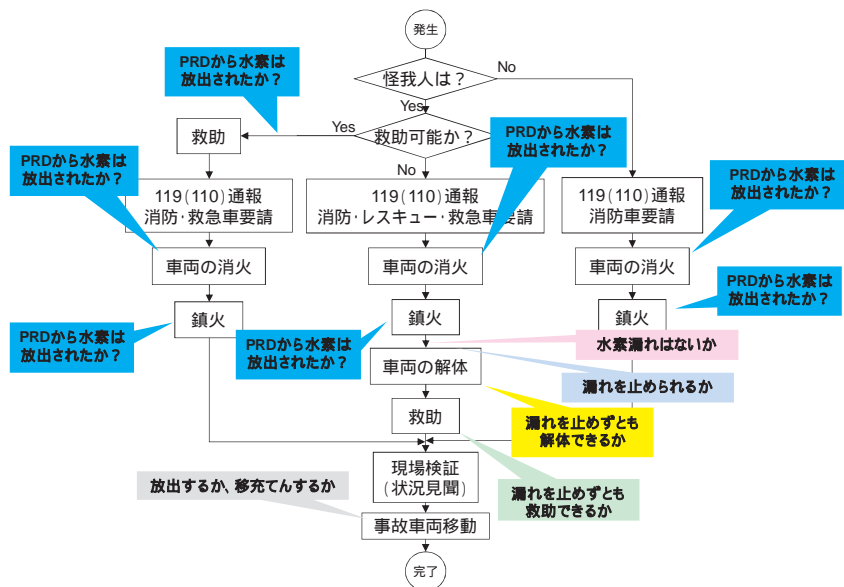


図 2.5 車両火災時の処理作業と水素安全への配慮

これらの必要とされる項目に基づき、本事業では、以下の項目を取り組む。

- 鎮火後の CFRP 容器の残存強度
- 傷を負った CFRP 容器の残存強度
- 安全弁の作動時の周囲影響
- 教育訓練用ツールの開発（燃料電池自動車火災シミュレータの開発）
- 高圧水素配管切断時の安全性評価
- 事故車両へ安全に接近する手法（水素漏洩音による安全な接近手法）
- 事故後容器の脱ガス手法
- 安全弁の作動確認手法
- 緊急時における水素脱ガス方法

また、FCVの安全な廃車処理の手順を検討するため、一般社団法人日本自動車工業会、一般社団法人日本ガス協会やリサイクル・廃棄処理の関連団体などと協力しながら、既存の圧縮天然ガス自動車の廃棄処理方法を水素燃料電池自動車に応用した場合の懸念事項を見出す必要があり、以下の項目を実施し、FCVの容器クズ化マニュアルの改訂に資するデータを構築する。

中圧ガス脱ガスツール開発

水素容器クズ化処理工程の開発（水置換工程、真空引き工程）

水素トレーラの事故後処理

（４）FC2輪車の安全に関するデータ取得

2015年からのFC2輪車の市場投入を促進するため、FC2輪車に係る保安基準の策定、型式認定制度の整備方策について検討することが閣議決定されている。FC2輪車はUN/ECE/WP29において、安全の担保を目的とした世界統一技術基準GTR No.13（HFCV）の範囲外になっており、将来の国際基準調和を見据えながら、日本での基準を定める必要がある。具体的には、GTR13ならびに道路運送車両の保安基準 細目告示別添100（水素安全）および別添101（電気安全）を参照し、さらにFC2輪車の特性を考慮した安全要件を整備する必要がある。

FC2輪車の安全要件を整備するためには、転倒の可能性が高いFC2輪車の特性を考慮し、適正な安全要件を検討する必要がある。さらに、2輪車固有の問題である停止時の転倒や走行中の転倒に対する安全性を、FC2輪車への要件の追加適用の必要性についても検討する必要がある。

そこで、本事業では、（一社）日本自動車工業会と連携しながら、FC2輪車の安全の担保のために必要な安全基準を策定に資するデータを取得することを目的とする。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

（１）FCVの国内規制および国際基準調和に資するデータ取得

燃料電池自動車の世界統一基準（HFCV-GTR phase2）にて審議される可能性がある、以下の事項について、各試験法の問題点抽出およびそれらの課題を検討した。

- 水素パーセントガス濃度の合理化検討
- 車載容器局所火炎暴露試験法
- 衝突試験後の車室内の水素濃度測定法

水素パーセントガス濃度の合理化検討

<目的>

2013年6月のUN/ECE/WP29（自動車基準調和世界フォーラム）で採択された国連基準GTR No.13（HFCV）では、米国の自動車メーカーで実施されたFCVの排気管を模擬した空気/水素予混合気の連続流動下での着火試験の結果に基づき、閾値が規定された。しかし、実際のFCVにおける水素の排気条件（水素パーセントガス中の酸素濃度や湿度の影響、単発的な水素の放

出など)によっては、最小可燃限界(LFL)、保炎限界などの燃焼特性や、着火した際の排気管出口周囲部のリスクが異なることが想定される。本研究では、現行のGTR No.13(HFCV)で規定されている水素パーシガス濃度の許容値に関する着火の条件や着火時のリスクを再評価し、安全性を担保しつつ、より合理的な閾値の設定や試験方法の見直しに資するデータを取得することを目的とする。試験では、空気流量を変化させた場合のLFL、保炎限界、逆火限界および燃焼特性に及ぼす酸素濃度、湿度の違いによる影響を調べた。

< 結果 >

その結果、GTR No.13(HFCV)で根拠とされた保炎限界は8[Vol.%)以上であり、空気流量が2000[NL/min]の条件でなければ、適合しない。水素パーシガス中の酸素濃度や湿度の違いは、許容値の見直しを図る上では重要な要素ではないことが分かった。現在、さらに実車の排気に近い条件を把握するため、空気流中で単発的に水素を流した状態でのLFL、保炎限界などの燃焼特性および着火した際の排気管出口周囲部のリスクを調査し、水素濃度の閾値の設定や試験方法の見直しに資するデータを取得しており、HFCV-GTR Phase2の審議において活用される予定。

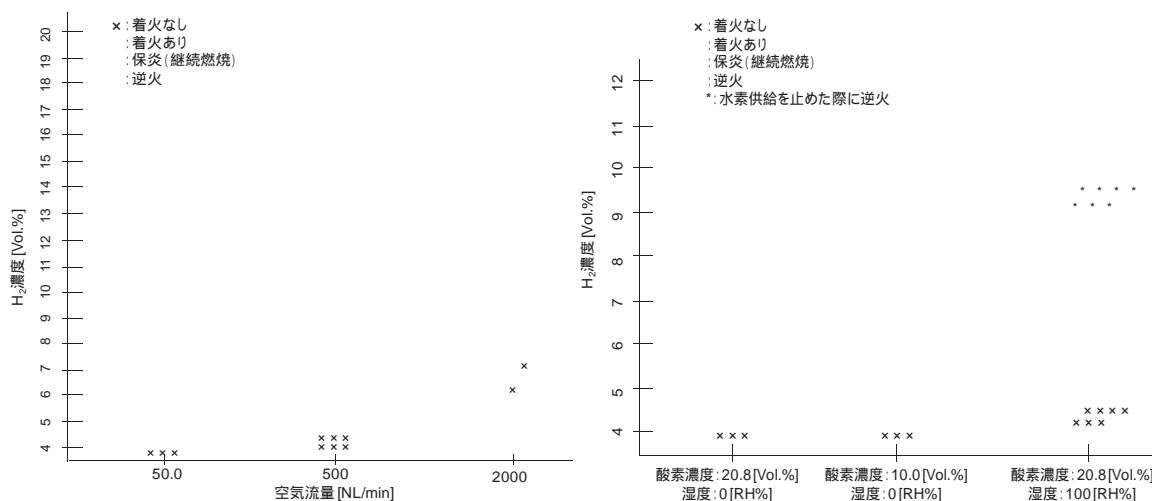


図 3.1 空気流量の違いによる LFL、保炎限界、逆火限界 (酸素濃度 20.8 Vol.%)、湿度 0 RH%) 保炎限界、逆火限界 (空気流量 50NL/min)

車載容器局所火炎暴露試験

< 目的 >

現在、燃料電池自動車の世界統一基準 GTR No.13(HFCV)の Phase1 では、車載容器の局所火炎暴露試験が制定されている。本研究では、規定されている試験条件や試験手順に関する影響を把握するため、バーナと燃料システム間の距離、局所火炎域(許容差: 250 ± 50mm)の影響、局所火炎温度(600 ~ 900)の影響を調査した。

< 結果 >

その結果、局所火炎域(250 ± 50mm)や局所火炎温度(600 900)の許容差は、試験結果へ影響を及ぼすことが分かった。これらの成果は、HFCV-GTR Phase2の審議の場で、日本の主張の裏付けデータとして活用される予定。

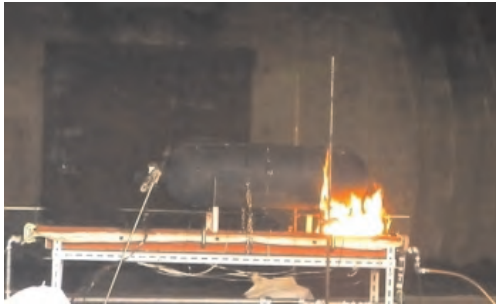


図 3.3 容器単体局所火炎暴露試験



図 3.4 車載容器の局所火炎暴露試験

衝突試験後の水素漏洩試験

< 目的 >

現在、燃料電池自動車の世界統一基準 GTR No.13 (HFCV)において、衝突試験後の車室内空間での水素濃度計測が試験法として取り上げられ、前事業において、衝突移動バリアの存在や微風(0.1m/s)によって車室内の水素濃度が変化するため、試験車自体の性能を評価していないことを指摘し、正確で再現性の高い結果が得られる試験ではないことが理解された。そこで、衝突試験後の車室内水素濃度試験方法については、規定の在り方も含め、HFCV-GTR Phase 2での再検討課題として了承された。そこで、本研究では、車室内水素濃度が4Vol.%になる水素漏洩量を調査し、風などの外乱影響を受けずに、衝突試験後の車室内の水素濃度を規定する方法を検討した。

< 結果 >

その結果、衝突後、車両の窓ガラスの一部が割れて開口すれば、車両の容積に問わず、車室内の水素許容濃度が4vol.%を超えない水素漏洩量は、約26~35NL/minでほぼ一定量になる(図3.5)。よって、衝突後、窓が開口すれば、水素漏れ許容量を26NL/min以下にすることで、車室内の水素濃度計測を不要にすることができる。しかしながら、窓ガラスが割れなかった場合、微量な漏れ量でも車室内の水素濃度は上昇し続けるため、衝突後の車両の開口条件によっては、許容漏れ量による方法は困難であることが分かった。

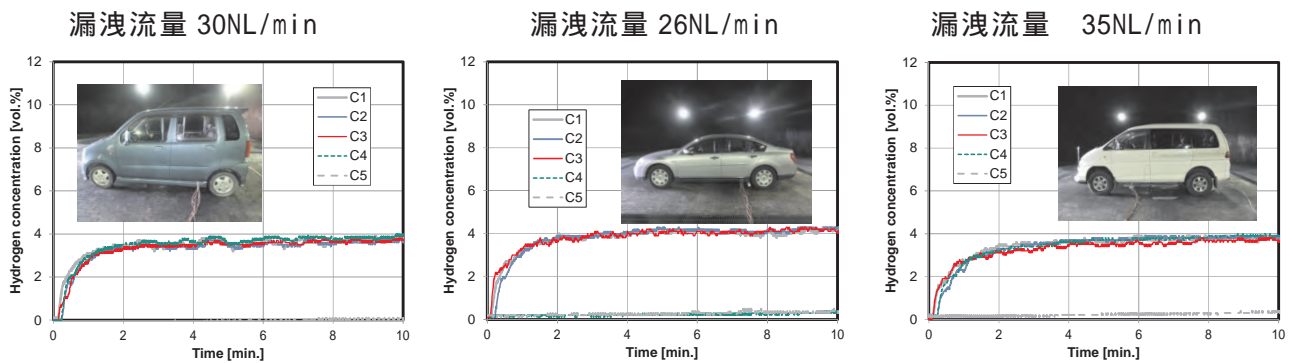


図 3.5 車室内の最大水素濃度が4Vol.%となる水素ガス流量での濃度変化

(2) FCVの国際標準化

国際標準化活動

ISO/TC22/SC37/WG1(FCVの安全規格)のISO6469-2(FCVを含む電動車両の運転操作上

の安全)及びISO6469-3(FCVを含む電動車両の電気安全)において、FCV特有であるイグニッションオフ後の水素遮断特性について提案を行い、基本的な合意を得た。また、米国SAE J3089(車載用水素センサー仕様)の審議に対応するために、水素センサーSWGを組織し、国連基準GTR No.13(HFCV)の要求を達成するためのセンサー性能や車載部品として要求される信頼性確認試験項目や試験条件、試験手順などを提案した。

国内標準化

ファーストレスポonder及びセカンドレスポonderの安全のためのFCVへの推奨実施事項に関わる標準化について、JEVS(Japan Electric Vehicle Standard、日本電動車両規格)(案)を策定した。また、FCVの事故後処理および廃車処理の標準化については、平成27年度に実施した「車載状態で圧縮水素容器から水素を脱ガスに用いるガス抜きツールの開発と安全性評価」の研究成果を活用し、脱ガスツールの標準化および作業手順に関わるJEVS「燃料電池自動車の高圧水素ガスを安全に抜くためのガス抜きツール及びガス抜き方法」(案)の策定を行った。これらの規格は、今年度に発行する。

(3) 安全な事故後処理・廃車処理に資するデータ取得

火災後容器の残留強度

<目的>

自動車用CFRP複合容器には、火災による容器の破裂を防ぐために、熱作動式安全弁(TPRD)が装着される。しかし、TPRDが作動する前に消火活動などで鎮火した場合、火災に晒された容器には、高圧ガスが取り残された状態になる。本事業では、このような状況に至った容器の適切な取扱い方法を検討するため、最悪、安全弁が作動しない状況下を想定し、事前に安全弁を取り外した自動車用CFRP複合容器を用い、ガスが充填された状態で最大限、火災に晒した容器の残存破裂強度を調べた。

<結果>

その結果、表3.1に示すように、容器の残存強度(火災暴露後の容器破裂圧 B_{Paf} /充填圧 P_{fill})は、最低でも約2倍以上あった。故に、仮に安全弁が作動しなかった場合でも、焼損後に常温まで戻った容器は充填されているガスの圧力に耐える強度を保持しており、緊急的に脱ガスをする必要性はないこと、また、火災時の消火活動では放水によって火源を絶ち、容器を冷却することが重要であることが分かった。

表 3.1 各種条件での残存強度



図 3.6 破裂直前に水冷させた容器

試験#	供試容器	充填圧 P_{fill} [MPa]	火災暴露 条件	冷却 方法	火災暴露後の 容器破裂圧 B_{Paf}	B_{Paf}/P_{fill}	B_{Paf}/P_{new}		
2	20MPa Type3	20	全面火災	水	84.2MPa以上	4.21以上	0.92		
3				自然	84.7MPa以上	4.24以上	0.92		
5				局所火災	水	82.7MPa	4.14	0.89	
7	25MPa Type4	25		全面火災	水	77.5MPa	3.1	0.63	
8					自然	79.8MPa	3.19	0.65	
10	35MPa Type3	35			全面火災	水	111.1MPa	3.17	0.90
11			自然			73.3MPa	2.09	0.60	
13	70MPa Type4	70	全面火災			水	188.4MPa	2.69	1.00
14						自然	187.9MPa	2.68	1.00
16	35	35		全面火災		水	173.4MPa	4.95	0.94
18						70MPa Type3	70	水	197.5MPa
20	70MPa Type3	35			水	193.0MPa	5.51	0.85	

傷を負った容器の残存強度

< 目的 >

衝突事故などによって傷を負った容器を安全に取り扱うためには、与えられた傷の程度から容器の損傷程度を評価する必要がある。本研究は、傷の与え方および傷の深さや大きさを変化させた場合の自動車用 CFRP 複合容器の強度特性を調べる。試験では、容器へ傷を与える試験の一つである SAE J2579 の High Strain Rate Impact Test をベースとした損傷試験（供試容器は 70MPa Type4 容器である。弾丸は直径 7.62mm の通常弾）を実施し、損傷した容器の残存強度を使用した。

< 結果 >

その結果、70MPa で充填された容器は、損傷がライナー層まで達する損傷を受けているにも関わらず、容器に充填したガスが漏れることなく、その容器の残存強度（損傷試験後の容器破裂圧 BP_{af} /充填圧 P_{fill} ）は、1.8 倍だった（表 3.2）。このことから、直径約 7mm 程度の深い傷がある場合でも、充填されているガスの圧力に耐える強度を保持しており、緊急的に脱ガスをする必要性はないことが分かった。

表 3.2 損傷試験および残存強度確認試験結果

充填圧 MPa	損傷結果	残存強度 (BP_{af}/P_{fill})
10	0.064[MPa/min] の 漏れ	-
70	漏れなし	1.8

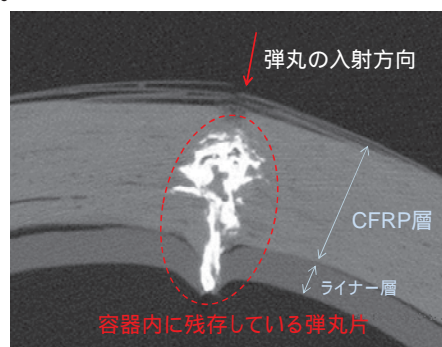


図 3.7 損傷試験後容器の X 線 CT 撮影画像

安全弁作動時の周囲影響

< 目的 >

FCV 火災時の安全な消火活動を行うための消防庁「警防活動時等における安全管理マニュアル」改訂に資するデータを取得するため、FCV 火災時における安全弁作動時の周囲影響を調べた。70MPa 級の圧縮水素容器（容器本数：2 本、容積：36L、充填圧：70MPa）を搭載した FCV 模擬車両に対して車両火災試験を実施し、安全弁作動時の火炎長や熱流束、温度、騒音などの安全性を評価した。

< 結果 >

安全弁作動時の状況を図 3.8 に示す。容器 1 本から安全弁が作動した時の車両後方での火炎規模は最大約 4m であった。その作動後 3.5 秒後、もう一方の容器の安全弁が作動し、車両後方での火炎規模は最大 6m を超え、その際、輻射熱は車両後方 6m 位置においても火傷を負うレベルであった。この結果から、消火・救助作業において車両へ接近する場合、安全弁が作動する前には、水素ガスの放出方向となる車両の後方から接近するべきではないこと、また、安全な消火活動を行うためには、複数の安全弁が同時に作動することを考慮した行動が必要であることが分かった。

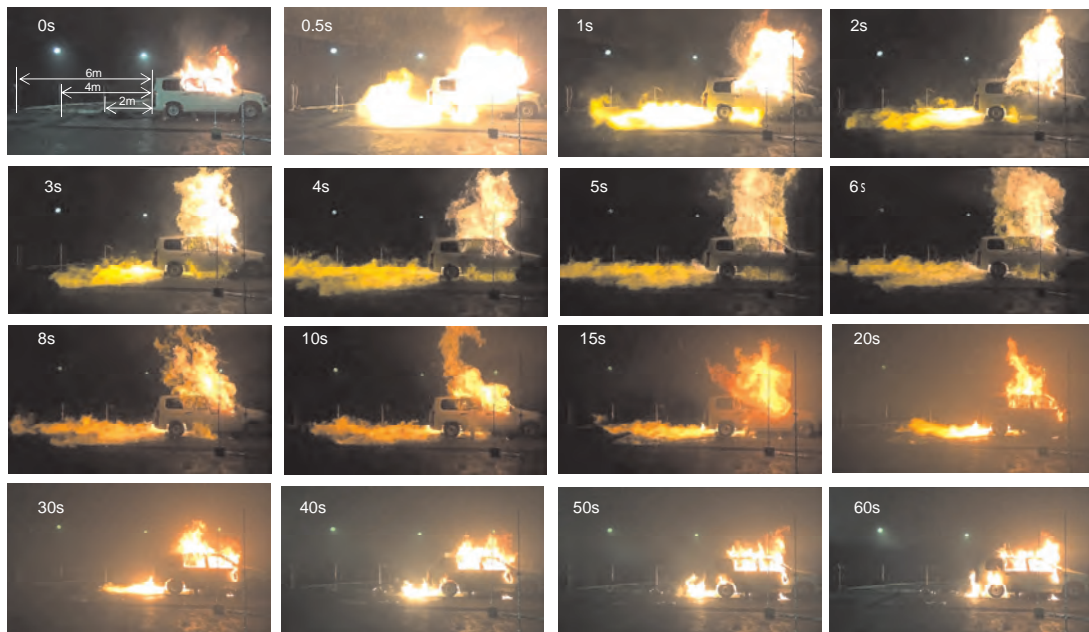


図 3.8 安全弁作動時（3.5 秒後、もう一方の容器の安全弁が作動）の水素噴出火災の状況

教育訓練用ツールの開発（燃料電池自動車火災シミュレータの開発）

< 目的・結果 >

事故や火災時の消火活動を安全に行うための教育・訓練用ツールとして、FCV の火災シミュレータを開発・作成し、消防関係者を招いた消火試験を実施した。

高圧水素配管切断時の安全性評価

< 目的・結果 >

レスキューや車両整備や廃車処理における車両解体時の安全作業に関わるマニュアルを策定するため、高圧水素配管(最大圧力 10MPa) の切断時における周囲影響を調査した。その結果、ハサミやバンドソーの配管切断によって着火することはなかったが、切断時に強制着火させた場合には、聴覚に支障を及ぼす可能性のある 110dB を超える騒音が発生した。

事故車両へ安全に接近する手法（水素漏洩音による安全な接近手法）

< 目的 >

本研究では、人が水素の漏洩を検知するひとつの手段である水素の漏洩音によって、事故車両へ安全に接近する手法を開発する。都市部での交差点のような騒音が大きい場合、事故車両からの水素漏洩音を人が認知できない場合が想定されるため、交通騒音環境下でのセダンタイプと SUV タイプの車両からの水素漏洩音を 20～60 代の被験者が認知可能な流量を調査した。

< 結果 >

74dB 程度の騒音環境下で水素が漏れた場合、切断配管では被験者の年齢が高くなるにつれて、漏洩音を認知出来ない人数が増加した。一方、非切断配管では、漏洩音を認知できない被験者はほとんどおらず、認知可能な流量は平均で車両中心から 5m の距離では最大で 500NL/mini の流量、10m の距離では最大で 547NL/min の流量であった。水素漏洩量が

2000NL/min 未満であれば、風速 10m/s 以上の送風を送ることで着火リスクが低減できるため、車両の中心から 5～10m の距離ではじめて水素漏洩音が聞こえた場合、風速 10m/s 以上の送風を送ることによって、安全に車両へ近づきながら救助作業を実施することができる。

事故容器の脱ガス手法

< 目的・結果 >

最悪、脱ガスできない場合における容器からの脱ガスを抜く手法を開発することを目的とし、ドリルによって CFRP 複合容器に穴を開ける方法を検討した。ドリル 2～6mm を用い、容器の胴部中央部を開けた場合、容器は破裂することなく、ガスを抜くことができた。



図 3.9 CFRP 容器の穴あけ時状況

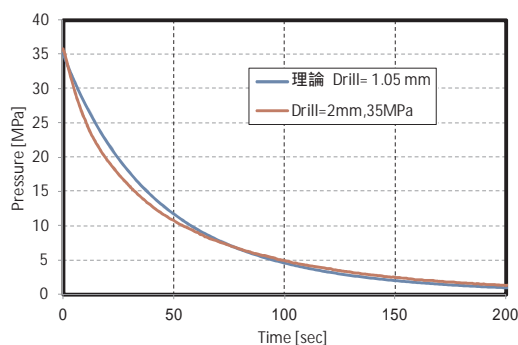


図 3.10 ドリル 2mm 容器内圧と理論値

安全弁の作動確認手法

< 目的 >

圧縮水素容器が搭載された火災車両を安全に移動や保管する場合や、焼損した容器を廃棄処理するためには、熱作動式安全弁 (TPRD) の作動の有無を確認し、容器内に高圧の水素が残されているかどうかを把握する必要がある。本研究では、火災現場において容易に TPRD の作動の有無を判断する手法を開発するために、火災後の容器内に残存する水素などのガスを、TPRD のガス放出口部で水素濃度計を用いて検知する手法により、TPRD の作動の有無を判断できるかを調べた。

< 結果 >

鎮火 24 時間以内であれば、容器の種類に問わず TPRD のガス放出口を接触燃焼式の水素濃度計で検知することにより、容易に TPRD 作動を判断できることが明らかになった。本手法は、2014 年 10 月に発生した水素輸送トレーラ火災の火災後処理において実証され、さらには安全かつ効率的な事故後処理に貢献した。

緊急時における水素脱ガス手法

< 目的・結果 >

万が一、水素容器の水素ガスを放出できなくなった場合の容器内の水素ガスを放出させるための手段として、安全弁を強制的に加熱し、ガスを放出させる方法がある。本研究では、ハロゲンヒータ、ヒートガン、リボンヒーター、窒化アルミヒーターの 4 種類を用い、安全弁を強制的に加熱させた場合の安全弁作動試験を実施した。この結果、ハロゲンヒータの場合には、安全弁を作動させるためには困りが必要であったが、それ以外のヒータで

は直接、安全弁を作動させることが確認でき、ヒータ加熱は緊急時の容器脱ガス手法として使用することができることが分かった。

中圧ガス脱ガスツール開発

<目的>

車両に搭載された状態で圧縮水素容器から水素ガスを放出するためのツールを開発するために、放出管径、放出流量、放出管の先端形状を変えた条件でガス放出試験及び着火試験を実施し、放出管に必要な仕様を調査した。試験は、1)ガス放出時の放出管周囲の水素濃度と騒音計測、2)ガス放出中及びガス放出停止時に水素ガスに着火した場合の着火時の騒音と放出管外温度計測、3)放出管内への逆火の有無を調査した。放出管には、逆火防止弁が装着されていない。放出口の先端形状はストレート型およびL型の2種類を、放出管径は 3/4inch(内径:16.57mm)と 1/2inch(内径:10.70mm)の2種類、および水素の放出流量は 500, 1000, 1500NL/min の3通りをパラメータとした。

<結果>

その結果、本試験条件では放出口から 4m 離れていれば、水素は検知できなかった。また、万が一、放出口で着火した場合でも、放出管は人が触れても火傷を負うような温度には到達せずに、かつ水素ガスの供給を停止した場合でも、放出管内へ逆火することはなかった。以上のことから、逆火防止弁が装着されていない本仕様の放出管は、車載状態で圧縮水素容器から水素ガスを放出するための標準ツールとして使用することができることが分かった。

水素容器くず化処理工程の開発

a. 廃棄水素容器の水置換工程の開発

FCV 用水素容器に対するくず化要領書の作成・整備及び車の解体手順書の作成に向け、安全かつ合理的な容器内の水素脱ガス手法を確立する必要がある。本試験では、容器のくず化処理中にて、容器くず化作業中に容器の口金を外す際、容器内に残存していた大気圧の水素ガスに何らかの原因で着火した場合の周囲に与える影響を評価した。その結果、直接、人体へ影響を与える範囲は開口部の限定的な範囲であったが、作業する際には注意を払う必要があることがわかった。

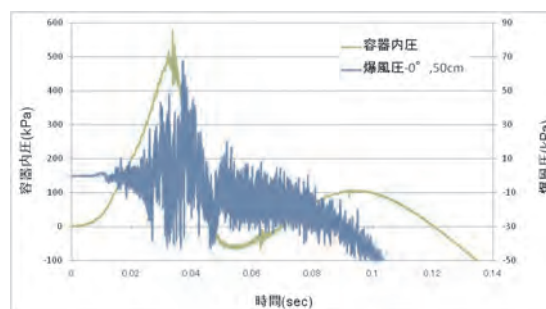


図 3.11 容器内の残留水素に引火試験 図 3.12 容器内の水素に引火した際の圧力変化

b. 廃棄水素容器の真空引き手法の検討

CNG 容器のくず化要領書には、容器内を真空引きし、容器内のガスを除去することが記載されている。水素容器のくず化要領書にも CNG 容器のくず化容器と同じ作業工程を検討されている。本研究では、どの程度真空引きすれば容器内の水素ガスが内の水素ガスを安全域にまで除去できるかを把握するため、容器内の水素濃度と真空度の関係を調査した。その結果、容器の真空度が 4kPa(abs)まで真空引きを実施すれば、容器内の水素濃度は 4%以下となり、水素の可燃範囲以下になることを実証した。



図 3.13 くず化業者での真空引き試験

水素トレーラの事故後処理

平成 26 年 10 月、CFRP 複合容器を搭載した水素輸送トレーラの火災が発生し、火災後に生じる問題点の抽出、および本事業で開発した事故後処理手法を検証した。その結果、事故後処理においては、容器内に水素ガスが残されているかを確認する必要があるが、安全弁の作動の判定は、外観観察では判断できないこと、また、配管内の脱圧は接合部の緩みによる方法しかないことなどの問題点があることが分かった。また、安全弁のベント管内を水素濃度計により残留水素ガス濃度で調べると、鎮火約 1 ヶ月を経過しても 3.5%以上の水素ガスが残されており、安全に廃棄処分を行なうには、容器内のガスを窒素ガスなどで置換する必要があることが分かった。その他、焼損した容 CFRP 複合容器の残存強度を調べ、これらのデータは「トレーラ安全技術検討会」へ提供した。

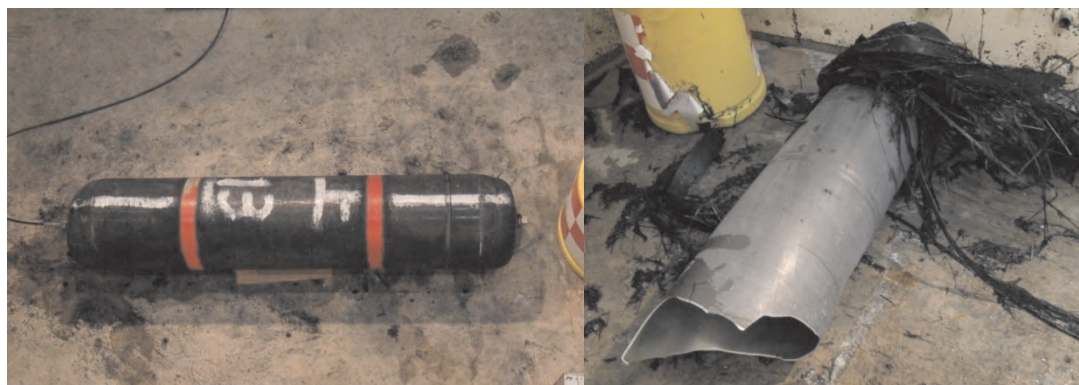


図 3.14 焼損容器の残存強度確認試験

(3) FC2 輪車の安全に関するデータ取得

FC 二輪車の安全弁放出方向要件に関わる安全性評価試験

< 目的 >

FC2 輪車用の道路運送車両の保安基準において、4 輪車と比較して重量の軽い FC2 輪車が安全弁作動時の推力によって車両が移動する危険性が懸念された。本研究では、FC2 輪模擬車両から安全弁が作動した場合(放出径 1,2mm)の車両の移動の有無や推力を測定した。

< 結果 >

その結果、転倒時、直立時における二輪車の挙動を確認したが、二輪車が動くことはなく、二輪車が動かないように、PRD から安全に水素を放出することが十分に可能であることが分かった。



図 3.15 安全弁作動時の状況

FC 二輪車の水素センサー取付け要件に関わる水素漏洩試験

< 目的 >

FC2 輪車の安全弁作動時の安全基準に資するデータを取得するために、二輪車は半閉鎖空間がほとんどなく、かつ転倒の可能性があるため、FC 二輪車から水素が漏洩した場合、四輪車と同様に、車両に設置した水素検知器が水素漏れを検知可能であるのか。また、漏洩水素に着火した場合の人への影響を評価した。

< 結果 >

その結果、適切な箇所に漏れ検知器を設置すれば水素漏洩を検知でき、かつ着火しても人に危害を及ぼすレベルではなかった。故に、FC 二輪車も四輪車と同様に、漏れ検知器を設置し、単発的な漏洩になるように、水素漏洩の検知により主止弁を直ちに閉じる機構を備えた方が良いことが明らかになった。

3.2 成果の意義

(1) FCVの国内規制および国際基準調和に資するデータ取得

国際商品であるFCVの普及拡大には、水素・燃料電池自動車の世界統一技術基準 HFCV-GTR などの国際基準調和の推進による安全基準の共通化や相互認証の実現に向けた取り組みが不可欠である。また、こうしたイニシアチブを通して先行技術の優位性を確保することにより、国際競争力の確保や産業育成にも貢献し、HFCV-GTR Phase2 の円滑な国内導入を図ることができる。そのためには、HFCV-GTR Phase2 の審議を日本がリーダーシップを発揮しながら活動する必要がある。本課題の成果は、この活動のために寄与され、国際標準化に貢献する。

(2) FCVの国際標準化

FCVの安全に関わる標準化および世界統一技術基準 HFCV-GTR Phase2 の審議を、日本がリーダーシップを発揮しながら活動するためには、審議に合わせた関連データを迅速に入手する必要がある。また、事故後処理についても、米国にて、FCVの事故処理に係わる基準・標準化 (SAE J2990-1) が活動しており、これらの活動が国際標準化活動へ波及する可能性がある。本事業では、FCVの国際標準化活動を円滑に推進させるために、安全標準化WGを組織し、一般社団法人日本自動車工業会などの関連業界と連携しながら、国際標準化活動を行っている。この活動を継続することにより、審議に合わせたデータの要求・入手が可能となり、日本がリーダーシップを発揮してFCV安全標準化に係る国際会議を進行すること

ができ、FCVの安全基準の国際標準化・国内基準に貢献する。

(3) 安全な事故後処理・廃車処理に資するデータ取得

事故後処理に関わるデータを得ることで、FCVの事故後処理の標準化活動に対応可能であり、かつ警防活動時等における安全管理マニュアルなどにも反映し、事故後の二次災害の発生を抑制・防止できる。また、安全かつ合理的な容器くず化工程に関わるデータを得ることにより、水素容器くず化マニュアル等の手順書に反映され、そのマニュアルを元にこれらの作業に携わる人材が育成し、FCVの安全かつ合理的な廃車処理が実用化される。

(4) FC2輪車の安全に関するデータ取得

FC2輪車の安全の担保のために必要な安全基準を策定に資するデータを取得することで、FC2輪車に関わる道路保安法および高圧ガス保安法の策定に活用され、これによりが発効され、国内でのFC2輪車の普及拡大が可能となるとともに、将来の国際基準調和を見据えながら、日本での基準を定めることができる。

3.3 開発項目別残課題

(1) FCVの国内規制および国際基準調和に資するデータ取得

特になし。ただし、当初、HFCV-GTR Phase2の審議が本事業に合わせて開催される予定であったが、その審議が平成29年10月からの開催になったため、新たな課題が現れた場合、それに迅速に対応できる体制を継続する必要がある。

(2) FCVの国際標準化

同上。

(3) 安全な事故後処理・廃車処理に資するデータ取得

特になし。

(4) FC2輪車の安全に関するデータ取得

特になし。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

4.1 FCVの国内規制・国際基準調和に資するデータ取得

HFCV-GTR Phase2の審議に必要な水素パーセントガス濃度に関わる閾値の設定、車載用容器の局所火炎暴露試験の誤差範囲の影響、衝突試験後の車室内の水素濃度や水素パーセントガス濃度の閾値や測定方法に関わる方法を開発し、当初計画どおりの成果を挙げた。

4.2 FCVの国際標準化

ISO/TC22/SC37/WG1(FCVの安全規格)やSAE FCV Safety TF(FCVの水素・電気安全・事故後処理)の活動方針の審議、ドラフトやコメント作成を実施した。今後、平成29年10月に開始されたHFCV-GTR Phase2インフォーマルワーキング(IWG)にて、日本案を提案し、国際基準への反映を実現する。また、国内のFCVの事故後処理および廃車処理の標準化規格を策定し、年内に発行する。

4.3 安全な事故後処理・廃車処理に資するデータ取得

鎮火後および傷を負った容器の残存強度調査、安全弁作動確認手法、水素漏洩音による車両へ接近できる手法などの研究を実施し、安全に事故後処理するための手法を開発し、これらは消防機関の対応要領例に係る教材・安全マニュアル等へ反映させた。また、水素容器単体における安全かつ合理的な水素容器のくず化処理工程を開発し、容器くず化業界で発行される「FCV用容器残ガス処理および容器くず化要領書」へ反映させた。

4.4 FC2輪車の安全に関するデータ取得

FC2輪車の安全担保のために必要な安全基準の策定に資する全データを取得し、道路運送車両の保安基準の策定に貢献した。

5 . 研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

No	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 25 年 4 月	2013 SAE World Congress	Validity of Low Ventilation for Accident Processing with Hydrogen Leakage from Hydrogen-fuelled Vehicle	田村陽介
2	平成 25 年 5 月	JARI Research Journal 2013 年 7 月	水素の漏洩音による水素漏洩車 両への安全な接近方法の検討	前田清隆
3	平成 25 年 5 月	JARI Research Journal 2013 年 7 月	衝突試験後の車室内水素濃度測 定法に関する妥当性	田村陽介
4	平成 25 年 6 月	International Conference on Hydrogen Safety (ICHS 2013)	The spread of fire from adjoining vehicles to a hydrogen fuel cell vehicle	田村陽介
5	平成 25 年 6 月	The Fifth World Hydrogen Technologie Convention(WHTC 2013)	Evaluation of Test Procedures for the Post-crash Concentration Measurement of Vehicles with a Hydrogen Storage System	田村陽介
6	平成 25 年 6 月	International Journal of Hydrogen Energy	The spread of fire from adjoining vehicles to a hydrogen fuel cell vehicle	田村陽介
7	平成 26 年 4 月	SAE 2014 World Congress	Validity Evaluation of Localized Fire Test for a Specific Vehicle Installation	田村陽介
8	平成 26 年 5 月	International Jornal of Hydrogen Energy	Effectiveness of a Blower in reducing the hazard of hydrogen leaking from a hydrogen-fuelledvehicle	田村陽介
9	平成 26 年 5 月	日本火災学会研究発 表会	水素漏洩を伴う水素燃料自動車 への送風による有効性	田村陽介
10	平成 26 年 6 月	JARI Research Journal 2014 年 6 月	火災を想定した CFRP 容器の機能 限界温度に関する研究	田村陽介
11	平成 26 年 6 月	JARI Research Journal 2014 年 6 月	水素漏洩音による水素漏洩車両 への安全な接近方法の検討 (第 2 報) - 74dB 程度の交通騒音環境	前田清隆

			下での認知可能な水素流量とその安全性 -	
12	平成 26 年 6 月	JARI Research Journal 2014 年 6 月	圧縮水素容器のくず化処理工程の合理化に関する研究 - 真空引き工程の省略化の検討 -	山崎浩嗣
13	平成 26 年 6 月	World Hydrogen Energy Conference 2014 (WHEC2014)	Evaluation of Test Procedures for the Post-crash Concentration Measurement of Vehicles with a hydrogen Storage System	田村陽介
14	平成 26 年 6 月	World Hydrogen Energy Conference 2014 (WHEC2014)	A Study of Rational Scrapping Methods for Automotive Compressed Hydrogen Cylinders	山崎浩嗣
15	平成 26 年 9 月	SAE International Jornal of Passenger Car	Validity Evaluation of Localized Fire Test for a Specific Vehicle Installation	田村陽介
16	平成 26 年 10 月	3rd International Conference on Fires in Vehicles - FIVE 2014	Thermotolerance of Automotive CFRP Cylinders in Case of Fire and Their Handling Method After Fire	田村陽介
17	平成 26 年 10 月	3rd International Conference on Fires in Vehicles - FIVE 2014	A Rational Scrapping Method for Automotive Compressed Hydrogen Cylinder	山崎浩嗣
18	平成 27 年 5 月	自動車技術会 2015 年 春季大会	聴覚による燃料電池自動車からの水素漏洩音の特性 (第 1 報)	前田清隆
19	平成 27 年 6 月	24th ESV 2015	Evaluation of the Test Procedure for Post-Crash Hydrogen Concentration Measurement	田村陽介
20	平成 27 年 8 月	JARI Research Journal 2015 年 8 月	聴覚による燃料電池自動車からの水素漏洩音の特性 (第 2 報)	前田清隆
21	平成 27 年 8 月	JARI Research Journal 2015 年 8 月	床からの輻射熱による安全弁の作動に関わる一考察	田村陽介
22	平成 27 年 10 月	自動車技術会 2015 年 秋季大会	聴覚による燃料電池自動車からの水素漏洩音の特性 (第 2 報)	前田清隆
23	平成 27 年 10 月	自動車技術会 2015 年 秋季大会	床からの輻射熱による安全弁の作動に関わる一考察	田村陽介

24	平成 27 年 10 月 19 日	International Conference on Hydrogen Safety (ICHS 2015)	Characteristics of hydrogen leakage sound from a fuel-cell vehicle by hearing	前田清隆
25	平成 27 年 10 月 19 日	International Conference on Hydrogen Safety (ICHS 2015)	The possibility of an accidental scenario for marine transportation of fuel cell vehicle-hydrogen releases from TPRD by radiant heat from lower deck	田村陽介
26	平成 28 年 10 月 19 日	International Conference on Hydrogen Safety (ICHS 2015)	Study of scrapping procedure for compressed hydrogen cylinders -Evaluation of safety on opening the valve	山崎浩嗣
27	平成 28 年 6 月 10 日	JARI Research Journal	聴覚による燃料電池自動車から の水素漏洩音の特性	前田清隆
28	平成 28 年 8 月 19 日	JARI Research Journal	年報：研究活動紹介	田村陽介
29	平成 28 年 9 月 23 日	International Journal of Hydrogen Energy	Characteristics of hydrogen leakage sound from a fuel-cell vehicle by hearing	前田清隆
30	平成 28 年 10 月 1 日	International Journal of Hydrogen Energy	The possibility of an accidental scenario for marine transportation of fuel cell vehicle-hydrogen releases from TPRD by radiant heat from lower deck	田村陽介
31	平成 28 年 10 月 22 日	International Journal of Hydrogen Energy	Study of scrapping procedure for compressed hydrogen cylinders -Evaluation of safety on opening the valve	山崎浩嗣
32	平成 28 年 10 月 20 日	自動車技術会 2016 年 秋季大会	燃料電池二輪車における水素漏 洩検知の有効性	前田清隆
33	平成 28 年 10 月 20 日	自動車技術会 2016 年 秋季大会	自動車用 CFRP 複合容器の焼損後 の残存強度	田村陽介
34	平成 28 年	第一回グローバル燃	Summary of GTR 13 (FCV-GTR)	山下郁也

	11月8日	料電池車大会		(JAMA)
35	平成29年 2月10日	JARI Research Journal	自動車用CFRP複合容器の焼損後の残存強度	田村陽介
36	平成29年 5月25日	自動車技術会2017年 春季大会	圧縮水素容器の安全弁作動確認 手法に関する検討	山崎浩嗣
37	平成29年 9月11日	International Conference on Hydrogen Safety (ICHS 2017)	The residual strength of automotive hydrogen cylinders after exposure to flames	田村陽介
38	平成29年 9月11日	International Conference on Hydrogen Safety (ICHS 2017)	A study on the effectivity of hydrogen leakage detection for hydrogen fuel cell	前田清隆

- 特許等 -

なし

(I-10)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 / 水素ステーション等機器の国際標準化動向に関する検討」

委託先：(一社)水素供給利用技術協会 / (一財)エンジニアリング協会

成果サリ(実施期間：平成26～27年度、平成28年度、平成29年度)

- ・ISO等国際標準の制定動向調査：NEDO関連研究開発成果反映等の連携や、国際コンピナ(議長)による日本主導の規格化の推進などを進め、14全てのWG運営を遅滞なく行い、制定状況の把握、日本意見の適切な反映と国際競争力の強化を図った。
- ・海外の水素ステーション機器メーカーの開発動向調査：米国(特にカリフォルニア州)とカナダ、また欧州(ドイツ、北欧、英国)、韓国の水素ステーションの導入政策、設置状況、機器調査などの開発動向の調査を行った。
- ・ISO等国際標準と国内技術等との比較調査：既に国際規格(IS)等を発行済の10のWGを対象に、ISやTSの国内利用状況を調査し、成果と課題を明らかにした。

背景/研究内容・目的

2020年以降のFCV及び水素供給インフラの本格普及に向け、NEDOの関連研究開発などの事業と連携して、ISO等国際標準制定動向調査と国内技術等との比較調査を行い、一連の機器及びシステムのコスト低減、FCVの普及展開及び国際競争力確保に資することを目的とする。

研究目標

実施項目	目標
A：ISO等国際標準の制定動向調査	水素ステーション機器に関連する国際標準化活動であるISO/TC197等について動向を調査し、制定状況を把握する
B：海外水素ステーション調査	海外の水素ステーション機器及び水素ステーションの設置状況を把握し、普及開始に向けた状況を調査する
C：ISO等国際標準と国内技術等との比較調査	ISO規格およびISO規格ドラフトと国内技術を比較し、技術課題の抽出と国内意見の聴取によって、適切かつ国内での活用円滑化が可能なISO規格化に貢献する。

実施体制及び分担等

NEDO	水素供給利用技術協会(平成28、29年度)
	エンジニアリング協会(平成26～27年度)

これまでの実施内容 / 研究成果

- ISO等国際標準の制定動向調査
 - ・充填・品質・ホース・コネクタ等のNEDO研究開発事業の成果反映等の連携
 - ・ISO/TC197(水素技術)国内対応委員会活動の充実化
 - ・日本主導の国際標準化項目の積極的国際標準化活動の推進
 - ・ISO/TC197国際WG会議及び総会への積極的な我が国の有識者の派遣を進め、全14のWG運営を遅滞なく行い、制定状況の把握と日本意見の適切な反映を行った。
- 海外の水素ステーション機器メーカーの開発動向調査

米国(特にカリフォルニア州)とカナダ、また欧州(ドイツ、北欧、英国)、韓国の水素ステーションの導入政策、設置状況、機器調査などの開発動向の調査を行った。
- ISO等国際標準と国内技術等との比較調査

既に国際規格(IS)等を発行済の10のWGを対象に、13のISやTSの国内利用状況を調査し、成果と課題を明らかにした。

研究成果まとめ

今後の課題

NEDO他関連研究開発事業と連携した日本主導での適正な国際規格策定の推進及び国際競争力の強化。

実用化の見通し

日本主導で適正な国際規格を策定することにより、水素供給システムの確立と、FCVの普及拡大に貢献する。

実施項目	成果内容	自己評価
A	充填・品質・ホース等のNEDOの他の研究開発事業と連携し、14全てのWG運営を遅滞なく行い、制定状況の把握と日本意見の適切な反映と国際競争力の強化を図った。	
B	米国(特にカリフォルニア州)とカナダ、また欧州(ドイツ、北欧、英国)、韓国の水素ステーションの開発動向の調査を行った。	○
C	既に国際規格(IS)等を発行済の10のWGを対象に、ISやTSの国内利用状況を調査し、成果と課題を明らかにした。	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	3	3	0

課題番号：I - 10

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 / 水素ステーション等機器の国際標準化動向に関する検討

一般社団法人水素供給利用技術協会 (HySUT) (平成 28, 29 年度)
一般財団法人エンジニアリング協会 (ENAA) (平成 26 ~ 27 年度)

1 . 研究開発概要

2020年以降のFCV及び水素供給インフラの本格普及に向け、国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に関する研究開発、FCV及び水素ステーション用低コスト機器・部品等の研究開発などの事業が進められている。

本研究開発は、水素ステーション等機器の国際標準を審議するISO/TC197（国際標準化機構水素技術専門委員会）において発行されたISO規格およびWG（作業グループ）によるISO規格ドラフトと、国内関連規格・国内技術とを比較することで技術課題の抽出を行い、もって適切なISO規格の作成することにより、FCV及び水素供給インフラの本格普及及び国際競争力確保に資する。

2 . 研究開発目標

本研究では、水素ステーション等機器の国際標準を審議するISO/TC197（国際標準化機構水素技術専門委員会）に関する以下3項目の研究を行った。研究項目と最終目標を表1に示す。

項目A：ISO等国際標準の制定動向調査（平成26～29年度）

項目B：海外水素ステーション機器及び水素ステーションの設置状況調査（平成26年度）

項目C：ISO等国際標準と国内技術等との比較調査（平成28年度、平成29年度）

表1 研究項目と最終目標

実施項目	最終目標
A：ISO等国際標準の制定動向調査（平成26～29年度）	水素ステーション機器に関連する国際標準化活動であるISO/TC197等について動向を調査し、制定状況を把握する。
B：海外水素ステーション調査（平成26年度）	海外の水素ステーション機器及び水素ステーションの設置状況を把握し、普及開始に向けた状況を調査する。
C：ISO等国際標準と国内技術等との比較調査（平成28、29年度）	ISO規格およびISO規格ドラフトと国内技術を比較し、技術課題の抽出と国内意見の聴取によって、適切かつ国内での活用円滑化が可能なISO規格化に貢献する。

3. 研究開発成果

3.1. 研究開発成果、達成度

(1) ISO 等国際標準の制定動向調査

平成 26～29 年度の研究成果を以下に示す。

ISO/TC197(国際標準化機構水素技術専門委員会)国内対応委員会活動の充実化

ISO/TC197 の目的である、「エネルギー利用を目的とした水素の製造、貯蔵、輸送、測定および利用に関するシステム・装置に関わる標準化」に対応するため、水素の安全利用と水素インフラに関する安全指針、技術指針などをベースに新規国際標準規格に向けての課題抽出を行い、日本からの国際標準提案を積極的に行った。日本からの新規国際標準提案の例として、既に正式制定されている水素燃料仕様に関する 3 つの ISO 規格を統合し、必要な内容改定を行う ISO14687 (水素燃料仕様 : WG27) (平成 27 年 8 月提案) や、FCV 用の水素品質管理についての ISO19880-8 (水素品質管理 : WG28) (平成 27 年 8 月提案) がある。

またそのため、水素エネルギー技術標準化委員会やテーマ毎の WG の組織化・会議の設定を行い、ISO/TC197 国内対応委員会活動の充実を図った。平成 29 年度の検討体制を図 1 に示す。

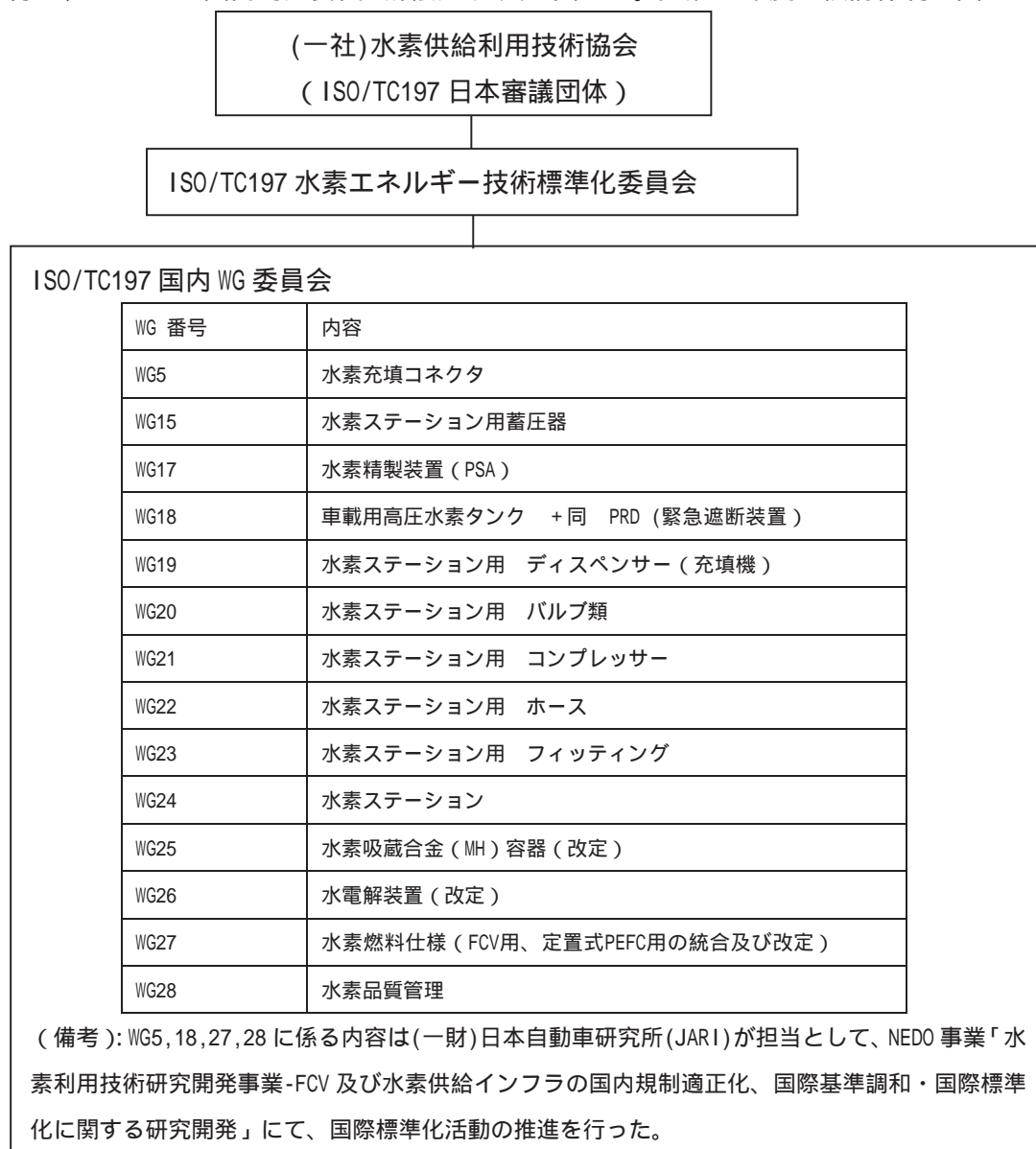


図 1 ISO/TC197 国内体制図

各 WG の平成 28 年度末の制定状況を表 2 に示す。

表 2 活動中の 14WG の国際規格制定状況

WG	内容	H28 年度末の制定状況
WG5	水素充填コネクタ	H28 年 4 月に DIS を発行した。日本から 2 種類の試験法を提案し、採用された。
WG15	水素 ステーション 用蓄圧器	CD2 段階。日本から数項目の問題点を指摘し、国際 WG で議論した。
WG17	水素精製装置 (PSA)	H28 年 12 月に TS (技術仕様) が発行した。
WG18	車載用高圧水素タンク + 同 PRD (圧力遮断装置)	H28 年度中に DIS 段階とする目標は、ほぼ達成された。今後、GTR 規格との整合を取る必要がある。
WG19	水素 ステーション用ディスプレイ	H28 年度末に DIS 段階に到達した。但し、関連する WG24 (ISO19880-1) の DIS 化を待っている。日本コンビナが議論を主導して進めている。
WG20	水素 ステーション用バルブ類	H28 年度末に DIS2 段階に到達した。但し、関連する WG24 (ISO19880-1) の DIS 化を待っている。日本コンビナが議論を主導して進めている。
WG21	水素 ステーション用コンプレッサー	WD2 段階。日本の圧縮機メーカーは積極的に参加して、意見反映している。
WG22	水素 ステーション用ホース	CD2 段階。NEDO ホース事業の研究成果の試験法の提案や、日本メンバーによる ISO 文書作成を行い、策定加速に貢献している。
WG23	水素 ステーション用フィッティング	WD 段階。
WG24	水素 ステーション	CD2 段階。WG19~23 と関連が深い規格であり、内容整合を各コンビナと取りつつ進めている。
WG25	水素吸蔵合金 (MH) 容器	H28 年度に CD 段階、H29 年度は DIS 段階である。対象容器容積を 150L 以上とする新規提案が行われており、並行して審議を進めている。
WG26	水電解水素製造装置	WD 段階。既に IS となっている 2 つの規格の統合版とし、最近の技術進展も加えた規格として策定中。
WG27	水素燃料仕様	CD 段階。既に IS となっている 3 つの規格を統合し、TG1 (FCV 用水素燃料仕様) と TG2 (定置式 PEFC 用水素燃料仕様) が各々の規格値を議論中。NEDO 水素品質事業の研究成果を提案している。日本コンビナが議論を主導して進めている。
WG28	水素品質管理	DIS 段階。日本の品質ガイドラインの管理方法を提案し、品質管理方法の 1 つとして採用されている。日本コンビナが議論を主導して進めている。

各 WG のより詳しい進捗状況を表 3-1 ~ 3-4 に示す。

表 3-1 ISO/TC197 の各 WG 内容と進捗状況 (その 1)

WG NO.	議長国	標準化対象項目	内容	進捗状況
19	日本	ディスペンサ	<p>・ディスペンサの安全性要求及び安全性試験に係る規格。</p> <p>安全性要求：ディスペンサユニット出荷時の検査規定</p> <p>安全性試験：構造要件、気密、衝撃、緊急停止、ホース破断、ホース離脱等</p>	<p>関連する WG24 の進捗に合わせて現在 DIS 審議中。</p>
20	日本	バルブ類	<p>・ディスペンサに使用されるバルブ類の性能・安全性に係る規格。</p> <p>性能・安全性：耐圧、気密、水素ガスサイクル、作動耐久等。日本メーカーの技術意見を取り入れた。</p>	<p>2017年 7月の DIS2 国際審議結果に基づいて、FDIS の発行準備中。</p>
27	日本	水素燃料仕様	<p>用途別の 3 つの国際規格を一つに統合する日本提案が 2015 年に承認され、WG27 として活動を開始。議長は WG12 と WG14 の各日本議長が二人で共同議長として就任。3 規格の統合に合わせて FCV 用の燃料仕様については、大量普及時代を勘案した規格として、改訂作業中</p> <p>欧州は、欧州指令に基づく品質規格を ISO と別途制定するが、ISO14687 との整合が必要であることを認識している。</p>	<p>2017 年 5 月の CD 国際審議結果に基づいて、DIS の草案を検討中。</p>
28	日本	水素燃料品質管理	<p>FCV 用水素燃料仕様を遵守するための品質管理法に関する規格。日本の品質管理法 (品質ガイドライン) の方法と、欧州中心の品質管理法であるリスクアセス方法の双方の方法が規定されている。</p>	<p>2016 年 6 月の国際会議結果に基づく DIS の国際審議中。</p>

(備考) : WD=Working Draft(作業ドラフト)、CD=Committee Draft(委員会ドラフト)、DIS=Draft of International Standard (国際標準ドラフト)、FDIS=Final Draft of International Standard (最終国際標準ドラフト)

表 3-2 ISO/TC197 の各 WG 内容と進捗状況（その 2）

WG NO.	議長国	標準化対象項目	内容	進捗状況
5	カナダ	水素充填コネクタ	・ 充填機ノズルと燃料電池自動車側のレセプタクル（燃料充填口）についての設計・安全に係る規格。日本コネクタメーカーの技術意見と大きく取り入れた。	2016 年 12 月の CD 国際審議結果に基づく DIS の国際審議中。
6 18	カナダ	車載用水素容器 +PRD（安全弁）	・FCV 用タンク及びタンクに装着する安全弁に関する性能要件（材料、設計、製造等）に係る規格。タンクに充てんする燃料は高圧水素。UN-GTR13 との整合については以下。材料：各国独自の要求に従うことが付記され、UN-GTR13 との整合性を確保。 設計：タンクは Category B 分類を設定し、本 Category を UN GTR13 同等の設計要求とした。製造：組試験の設定にて生産品質を確保。（ISO19881，19882）	2016 年 9 月の Pre-DIS 国際審議結果に基づき、2017 年 9 月 DIS 投票で国際審議中。
8 26	カナダ	水電解装置（改定）	・ 水素ステーションなどに設置する工業用水電解水素製造装置及び各家庭において FCV に水素を供給する水電解水素製造装置について、その安全性及び性能に係る規格。安全性：水電解水素製造装置の設計指針と出荷時の検査規定 性能：構造要件、耐圧気密要件、耐火性能、水素漏洩検知、緊急停止等	2017 年 5 月の WD 国際審議結果に基づいて、CD の草案を検討中。
10 25	フランス	水素吸蔵合金容器（改定）	輸送可能な水素吸蔵合金容器システム（バルブ・付属品含む）の規格 内容積 150L，最高使用圧力 25MPa の輸送可能な水素吸蔵合金容器（車載用水素水素吸蔵合金容器は対象外）の材料、設計、製造、型式試験 内容積 150L を越える容器、自動車用容器他、ISO 16111 の対象とならない技術内容について、新たに技術報告書にまとめるための新規提案を予定している。	既存国際規格 ISO16111 の定期見直しとして DIS の国際審議中。

表 3-3 ISO/TC197 の各 WG 内容と進捗状況 (その 3)

WG NO.	議長国	標準化対象項目	内容	進捗状況
15	フランス	蓄圧器	水素ステーション用蓄圧器の設計・製造・試験要求に係る規格。 Type 1, 2, 3, 4 容器を対象として最大圧力 110MPa、最大容量 10,000L と規定。 材料の水素脆化を考慮。	2017 年 6 月に ISO PRE DIS 19884 に対するコメントが収集され検討中。日本コメント、提案資料を提出。
17	中国	水素精製装置 (PSA)	・水素製造装置における安全要件に係る規格。 安全要件：：水素精製装置の構成要素の安全面を中心にした規格。	2017 年 3 月 TS 発行を以って当面の活動休止。
21	アメリカ	コンプレッサ	・コンプレッサの材料、設計、試験等に対する規格。 材料：特に規定しない 設計：常用圧力、設計圧力、使用温度範囲等の規定 試験： 耐圧、気密、機能安全、メカランなど、製造者がおこなうべき試験法の規定	現在、WD の国際審議中。
22	アメリカ	ホース	・ホースの製品、及び、試験等に対する規格。 材料：内面に金属を用いたホースは除外。内面材料の電気的特性を規定。 設計：常用圧力、設計圧力、使用温度範囲等の規定 試験：耐圧、気密、引張、液圧および水素ガスによる繰り返し加圧等の試験法の規定。 国内基準化との整合性を重視して、日本メンバーが国際規格原案を起草し、議長を強力に支援している。	2017 年 2 月の国際会議結果に基づく CD2 の国際審議中。 また、DIS 草案準備中

表 3-4 ISO/TC197 の各 WG 内容と進捗状況（その 4）

WG NO.	議長国	標準化対象項目	内容	進捗状況
15	フランス	蓄圧器	水素ステーション用蓄圧器の設計・製造・試験要求に係る規格。 Type 1, 2, 3, 4 容器を対象として最大圧力 110MPa、最大容量 10,000L と規定。 材料の水素脆化を考慮。	2017 年 6 月に ISO PRE DIS 19884 に対するコメントが収集され検討中。日本コメント、提案資料を提出。
17	中国	水素精製装置 (PSA)	・水素製造装置における安全要件に係る規格。 安全要件：：水素精製装置の構成要素の安全面を中心にした規格。	2017 年 3 月 TS 発行を以って当面の活動休止。
21	アメリカ	コンプレッサ	・コンプレッサの材料、設計、試験等に対する規格。 材料：特に規定しない 設計：常用圧力、設計圧力、使用温度範囲等の規定 試験：耐圧、気密、機能安全、メカランなど、製造者がおこなうべき試験法の規定	現在、WD の国際審議中。
22	アメリカ	ホース	・ホースの製品、及び、試験等に対する規格。 材料：内面に金属を用いたホースは除外。 内面材料の電気的特性を規定。 設計：常用圧力、設計圧力、使用温度範囲等の規定 試験：耐圧、気密、引張、液圧および水素ガスによる繰り返し加圧等の試験法の規定。 国内基準化との整合性を重視して、日本メンバーが国際規格原案を起草し、議長を強力に支援している。	2017 年 2 月の国際会議結果に基づく CD2 の国際審議中。 また、DIS 草案準備中

日本主導の国際標準化項目の積極的国際標準化活動の推進

我が国がコンビナ（国際議長）として提案した WG については、日本主導による国際標準化の推進が重要なため、特に注力して推進した。WG19（水素ステーション用ディスペンサー=充填機）、WG20（水素ステーション用バルブ類）、WG27（FCV 用 PEFC、定置用 PEFC 等のための水素燃料仕様）、WG28（FCV 用水素の品質管理）については日本の技術が国際的にも優れており、これらの国際規格化は我が国の国際競争力の充実化を図る上で、重要項目であった。

上記 4WG において 5 人のコンビナが我が国メンバーである（WG27 はコンビナ 2 名体制）。現在、国際規格を策定中の WG 数は 14 で、16 人のコンビナの内、日本は 5 人と米国と並んで最多である。これらの結果を表 4 に示す。

表 4 WG のコンビナの国別人数

【現行の14WGのコンビナ数】

コンビナ総数	16
日本	5
米国	5
フランス	3
カナダ	2
中国	1

注：WG24、27はコンビナ各2名

NEDO 他事業との連携

NEDO 他事業の研究開発内容を元にした ISO 国際規格への提案を数多く行ってきた。また、ISO 国際規格案会議での議論の NEDO 他事業（研究開発事業）へのフィードバックも行っており、国際協調、連携の成果を挙げている。

NEDO 研究開発事業の成果が ISO 国際規格に貢献してきた例を表 5 に示す。

表 5 NEDO 研究開発事業の成果の ISO 国際規格への貢献

ISO番号	内容	NEDO研究開発事業	貢献内容
ISO19880-1	水素ステーション	(充填)	水素ステーションの代表仕様を基に柔軟性を加味した充填圧力上昇率の緩和(日本独自規格) をSAE及びISO充填プロトコル規格へ紹介。
ISO19880-1	水素ステーション	(充填)	バス充填の昇圧率(日本独自規格) のSAE及びISO充填プロトコル規格への提案・受け入れ。
ISO14687	水素燃料仕様	(品質)	水素中不純物の影響評価結果(CO、HCHO、有機ハイドライド関連炭化水素など) の試験データをISO14687改定の審議に提示。ISOで規格値の論議中。
ISO19880-8	水素品質管理	(品質)	日本の品質ガイドラインの品質管理方法をISO国際規格への提案・受け入れ。なお、提案内容が品質管理方法の1 つとして採用。
ISO19880-5	水素ステーション用ホース	(ホース)	水素インパルス試験(高圧・低温条件と常圧・常温条件の繰り返し試験) が有効なホース寿命評価法であることをISOに提案・受け入れ。
ISO17268	水素充填コネクタ	(コネクタ)	FCV連続充填の氷結防止策に基づく改良仕様(形状)、氷結試験法の提案・受け入れ。

(2) 海外水素ステーション機器及び水素ステーションの設置状況調査

平成 26 年度(2014 年度)に普及期を迎える水素ステーションの機器、及び設置状況の調査を海外対象に行った。

米国(特にカリフォルニア州)とカナダ、また欧州(ドイツ、北欧、英国)、韓国の水素ステーションの開発動向の調査を行った。

調査した全ての国が、2015 年の水素ステーションの導入計画を策定していた。

2015 年時点での導入計画数、及び運用中の水素ステーション数は、以下表 6 の通りである。

表 6 日本及び海外の水素ステーション導入計画数及び運用数

国	2015 年計画数	2015 年度末の運用数
日本	100 ヶ所	74 ヶ所
米カリフォルニア州	68 ヶ所	37 ヶ所
ドイツ	50 ヶ所	18 ヶ所(2016)
韓国	43 ヶ所	—

導入計画数そのものは、日本が一番多いことが判る。

更に、実際に建設・運用された数においても、日本が一番多いことが判る。

加えて、各水素ステーションの設備仕様の調査結果から、最新仕様のステーション(SAE J2601 充填プロトコルによる 70MPa、-40 プレクール充填)の数も日本が最多である結果を得た。

このことから、日本の水素ステーションは、数においても、質においても世界的に最も進んでいると評価できる。

表 7 に各国の商用化へ向けた各国の水素ステーション整備状況を示す。

表 7 各国の商用化へ向けた各国の水素ステーション整備状況

日本	米国	ドイツ	韓国
<ul style="list-style-type: none"> 2015年度までに4大都市圏を中心に100カ所整備する計画 水素供給設備補助事業補助金交付決定内容(NeV)平成25~27年度:81カ所(うち開所:28カ所) FCV新規需要創出活動補助金(METI NeV)(平成27年2月~) FCV新規需要創出活動助成金(自動車会社 HySUT)(平成27年7月~) 	<ul style="list-style-type: none"> <カリフォルニア州> 2015年までに68カ所整備する計画 CECを中心とした州政府が予算(建設・運営補助)および技術開発サポート <連邦政府> 商用ステーションの整備に向けてH₂USA発足(産学官連携) DOEは主に技術開発をサポート 	<ul style="list-style-type: none"> 2015年度までに50カ所整備する計画 CEPプログラム下での整備 2023年度までに累積400カ所整備する計画 H2Mobilityを中心とした商用ステーション整備 	<ul style="list-style-type: none"> 2015年までに43カ所整備する計画 2020年までに168カ所整備する計画

(3) ISO 等国際標準と国内技術等との比較調査

ISO 規格と国内関連規格・国内技術との比較を実施した。

- ・ ISO 規格・規格ドラフトと国内関連規格・国内技術との比較
- ・ 国内規格・国内技術に関する情報収集・調査
- ・ その他海外技術動向の調査

以下に平成 28 年度の調査結果を示す。

既に国際規格 (IS) 等を発行済の 10 の WG が作成した 13 の国際規格 (IS) や技術仕様 (TS) の国内利用状況等を調査した。対象の ISO 規格を以下に示す。

ISO16110-1	水素発生器 安全性	2007 年 3 月発行
ISO16110-2	水素発生器 性能試験方法	2010 年 2 月発行
ISO22734-1	水電解プロセスを用いる水素発生器 工業及び商業用途	2008 年 7 月発行
ISO22734-2	水電解プロセスを用いる水素発生器 住宅用途	2011 年 11 月発行
ISO16111	水素吸蔵合金容器	2008 年 11 月発行
ISO26142	固定型水素検出装置	2010 年 6 月発行
ISO/TS19880-1	水素ステーション	2016 年 7 月発行
ISO/TS15869	気体水素等陸上車両燃料タンク	2009 年 2 月発行
ISO19881	気体水素陸上車両燃料タンク	
ISO19882	気体水素陸上車両燃料タンク用熱作動式安全弁	
ISO17268	気体水素陸上車両燃料補給接続装置	2012 年 12 月発行
ISO14687-2	FCV 用水素燃料仕様	2012 年 12 月発行
ISO14687-3	定置式 PEFC 用水素燃料仕様	2014 年 2 月発行

調査結果を以下の 4 ケースに整理した。

- ケース 1 制定した ISO 国際規格が活用されているケース：6
- ケース 2 ISO 規格制定過程で日本の技術貢献が大きなケース：3
- ケース 3 技術的に進んでいる日本メーカーにとって ISO 規格が有利なケース：1
- ケース 4 ISO 国際規格よりも国内規格等が優先されるケース

ケース 1 の、制定した ISO 国際規格が活用されているとは、世界統一基準として用いられていたり、他 ISO に引用されていたり、EU 規格が整合を取る予定があるケースを指す。該当の 6 規格は以下の通りである。

ISO16111 水素吸蔵合金容器、ISO26142 固定型水素検出装置、ISO17268 気体水素陸上車両燃料補給接続装置、ISO14687-2FCV 用水素燃料仕様、ISO14687-3 定置式 PEFC 水素燃料仕様、ISO19880-1 水素ステーション

ケース 2 の ISO 規格制定過程で日本の技術貢献が大きなケースとは、NEDO 研究開発成果が ISO 規格に貢献したケースを指す。3 ケースの貢献内容を以下に示す。

ISO17268 (水素充填コネクタ) 日米が共同で H70 コネクタの評価を行い、仕様 (形状) を決定した。

ISO14687-2(FCV 用水素燃料仕様)13種の不純物規格値の根拠データの大半はNEDO事業で取得した成果である。

ISO14687-3(定置式PEFC水素燃料仕様)13種の不純物規格値の根拠データの大半はNEDO事業で取得した成果である。

ケース の技術的に進んでいる日本メーカーにとってISO規格が有利なケースとは、ISO26142(定置式水素検出装置)である。ISOが規定する検知濃度範囲は0~40000ppmと広い。日本製検知器は、ISO規格濃度範囲を全てカバーできるが、欧米製は低濃度の検知が出来ないので、ISO規格は技術的に進んでいる日本製に有利な規格となっている。

ケース のISO国際規格よりも国内規格等が優先されるケースとして、以下の2例を示す。

ISO16110-1&2(燃料処理技術を使用する水素発生器)の場合、水素発生器メーカーはISO国際規格を用いずに、メーカー独自の規格を適用している。ISO22734-1&2(水電解装置)の場合、装置メーカーは、ISO規格でなく、高圧ガス保安法を適用している。

調査した全ての国際規格に関するまとめを表8に示す。

表 8 国内規格 / 国内技術との関係の調査結果

ISO 番号	内容	特記事項	国内規格 / 国内技術との関係
ISO16111	水素吸蔵合金容器	国連危険物輸送に関する勧告に引用 航空輸送時の国連包装基準制定。 IEC 規格にも引用。	この ISO 規格を基にした国連包装基準制定を受けて、国土交通省告示で航空法施行規則が一部改正され、水素吸蔵合金容器の貨物輸送機での輸送が可能に。
ISO26142	固定型水素検出装置	水素ステーションの全体規格である ISO/TS19880-1 は、水素検知システムの水素検知器が適合すべき規格として推奨。	海外の水素検知器が爆発下限界 (LEL) の 25% (10000ppm) 程度までしか精度良く測定できないのに対し、日本の検知器は数百 ppm の低濃度でも精度よく測定可能な高感度である。 検知器の要求仕様において広い水素濃度レンジ (100 ~ 40000ppm) が対象で、特に日本が得意な水素 数百 ppm レベルの低濃度側にも本規格で要求スペックが設けられていることによって、国内検知器メーカーにとり有利な内容になっている。
ISO/TS19880-1	水素ステーション	水素ステーション全体の要求事項をまとめた国際規格の発行に先立つ技術仕様書 (ISO 規格の前段階規格)	高圧ガス保安法、消防法、建築基準法 他に準拠して水素ステーションの建設・運営する日本の要求事項が他国と共に例示されており、日本の基準がこの ISO 規格でも認められている。
ISO17268	気体水素陸上車両燃料補給接続装置	燃料電池車 (FCV) は国際商品であり、すべての FCV と水素ステーションでこのコネクタ規格に準拠。 実環境 (市場) で生じた不具合を防止する試験法の追加を WG5 で検討中。	国内規格は高圧ガス保安法に基づく耐圧試験のみ必須。ただし、品質保証の観点からすべてのコネクタはこの ISO 規格に準拠。 日米が共同で H70 コネクタの評価を行い、仕様 (形状) を決定した。
ISO14687-2 ISO14687-3	FCV 用水素燃料仕様 定置式 PEFC 用水素燃料仕様	日本が提案・主導して制定された、FCV 用水素燃料の国際統一規格。 ISO14687-1 3 の統一化を日本主導の WG27 で検討中。	提案の基となった規格値の大半は NEDO 事業で取得した成果による。 見直し対象の微量不純物 (CO, HCHO, HCOOH 等) の許容濃度について評価試験を実施中。
ISO16110-1 ISO16110-2	水素発生器 安全性 水素発生器 性能試験方法	対応する国内基準は特になし	日本メーカーは、本規格でなく、メーカー自己規格に基づいて製品製造していると考えられる。
ISO22734-1 ISO22734-2	水電解プロセスを用いる水素発生器 工業及び商業用途 水電解プロセス	高圧、大容量、新技術を加えた標準の見直しを WG26 で検討中。 住宅用水電解装置の安全性も扱う。	国内では 1MPa 以上の水素製造は高圧ガス保安法で水素製造所に該当し、高圧ガス保安法が優先的に適用。

	を用いる水素発生器 住宅用途		
ISO/TS15869	気体水素等陸上車両燃料タンク	関連する UN GTR13 との整合が取れていない。	新たな ISO 規格として WG18 で制定中。
ISO19881 ISO19882	気体水素陸上車両燃料タンク 気体水素陸上車両燃料タンク用熱作動式安全弁	関連する UN GTR13 と比較して、内容が旧く陳腐化している。	UN GTR13 phase2 を審議・制定を優先して進めている。

3.2. 成果の意義

NEDO 関連研究開発成果の連携を強力に行い、国際コンピナ（議長）による規格化の推進を日本主導で進めた意義は大きい。また、14 全ての WG 運営を遅滞なく行った。

日本の水素ステーションが国際的に最も先進的に進められていることを明らかにした。

これらの事業全体の成果は、FCV の普及展開及び国際競争力確保に有効である。

3.3. 開発項目残課題

本研究開発と同様に、NEDO 関連研究開発成果と連携し、日本主導での適正な国際規格策定の推進を図っていくことが必要である。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

日本主導で適正な国際規格を策定することにより、水素供給システムの確立と、FCV の普及拡大に貢献することを目指す。

このように、日本主導で適正な ISO 国際規格を進め、その結果を業界団体や関係企業にフィードバックを行うことにより、日本企業活動の活発化が図れ、ひいては、国際競争力の向上に繋がれ、国益に資することが可能となる。

5 . 研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 26 年 12 月	燃料電池開発情報センター (FCDIC) 年報	水素インフラ等に係る ISO/TC197 (水素技術) の国際標準化活動状況について	ENAA
2	平成 27 年 11 月	燃料電池実用化推進協議会/FCCJ)平成 27 年度 FCV・水素インフラ WG/ 標準動向説明会	ISO TC197 の国内外の動向や国内委員会の取り組み	ENAA
3	平成 28 年 1 月	燃料電池開発情報センター (FCDIC) 年報	水素インフラ等に係る ISO/TC197 (水素技術) の国際標準化活動状況について	ENAA
4	平成 28 年 12 月	ISO TC197 オランダ総会	日本の商業水素ステーションと燃料電池自動車の普及のための取り組み	ENAA
5	平成 28 年 12 月	燃料電池開発情報センター (FCDIC) 年報	水素インフラ等に係る ISO/TC197 (水素技術) の国際標準化活動状況について	HySUT
6	平成 29 年 3 月	燃料電池実用化推進協議会/FCCJ)平成 27 年度 FCV・水素インフラ WG/ 標準動向説明会	ISO TC197 の国内外の動向や国内委員会の取り組み	HySUT

- 特許等 -

なし

(I-11) 「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 / 水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討」

委託先：（一財）石油エネルギー技術センター

成果サリ（実施期間：平成25年度～平成26年度）

既存水素ステーションの災害のきっかけとなる事象として、過去の事故事例、劣化、ヒューマンエラー等についてのリスクアセスメントの結果から高リスクのトリガー現象を想定し、事故シーケンス（事故の開始と結果）を検討し、災害拡大イベントツリー等による重大性の高い災害事象の抽出を実施した。シビアアクシデントに対するリスクアセスメントを実施し、設備面での対策として、蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案を作成し、高圧ガス保安協会主催の委員会へ報告した。
また、保安設備作動時の水素スタンド作業者の対応手順・教育訓練や防災訓練など危害予防規程や非常措置マニュアル等に記載すべき項目を纏めた緊急時対応ガイドライン（名称：水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン）を作成した。

背景/研究内容・目的

自動車メーカーがFCVを4大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始を目指し開発を進めていることや、水素供給事業者がFCVの販売台数の見通しに応じて水素供給インフラの先行整備を目指すこと等が示された。

水素インフラの普及拡大に向け、大規模災害発生時に水素スタンドの安全の確保するため水素供給インフラに関連した緊急時対応に関する検討を実施し、高圧ガス保安法一般則等の関連法規の整備及び適正化に資する研究開発等を実施することを目的とする。

研究目標

実施項目	目標
水素ステーションの事故に関する現状把握	・ステーションの事故事例調査 ・高圧ガス設備の災害事例調査
水素ステーションにおけるシビアアクシデントの想定	・事故シーケンスの検討 ・重大性の高い災害事象の抽出
シビアアクシデント対応策の策定	・リスクアセスメントの実施 ・緊急時対応ガイドライン作成
審査過程における対応	・例示基準案の審査過程における対応実施

実施体制及び分担等

NEDO — 石油エネルギー技術センター 項目 ~

これまでの実施内容 / 研究成果

シビアアクシデントに対する設備面での対応を例示基準案として策定し、非常措置マニュアル等に記載すべき従業員の対応等を明確にするため以下の検討を実施した。

水素ステーションの事故に関する調査

既存ステーションの事故事例調査、高圧ガス設備の災害事例調査を実施し、水素ステーションにおける潜在的なリスクを整理した。

水素ステーションにおけるシビアアクシデントの想定

災害のきっかけとなる事象として、事故事例、劣化、ヒューマンエラー等についてのリスクアセスメントの結果から高リスクのトリガー現象を想定し、事故シーケンス（事故の開始と結果）を検討し、災害拡大イベントツリー等による重大性の高い災害事象の抽出を実施した。

シビアアクシデント対応策の策定

シビアアクシデントに対するリスクアセスメントを実施し、設備面での対策「蓄圧器の破裂防止措置」として、蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案等を作成した。また、保安設備作動時の水素スタンド作業者の対応手順・教育訓練や防災訓練など危害予防規程や非常措置マニュアル等に記載すべき項目を纏めた「水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン」を作成した。

審査過程における対応

蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出する方法については、一般高圧ガス保安規則の例示基準化に向け、高圧ガス保安協会による審査会に出席し、検討結果の説明等を行った。

今後の課題

特になし

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
	事故事例の調査と潜在的リスクの整理	
	重大性の高い災害事象の抽出	
	「水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン」作成	
	例示基準案作成と審査会対応実施	

実用化の見通し

水素スタンド事業者により、水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドラインが活用される。

また、作成した「蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案」は、一般高圧ガス保安規則の新たな例示基準59の11として制定された。

特許 出願	論文 発表	外部 発表	受賞 等
0	0	0	0

課題番号：I - 11

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究 / 水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討

一般財団法人石油エネルギー技術センター（JPEC）

1. 研究開発概要

FCV 量産車を 2015 年に 4 大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始を目指し開発を進めていることや、水素供給事業者が 2015 年までに FCV 量産車の販売台数の見通しに応じて 100 箇所程度の水素供給インフラの先行整備を目指すこと等が示された。

このような背景の下、本検討では水素インフラの普及拡大に向け、大規模災害発生時の水素スタンドの安全確保を目的に、水素供給インフラに関連した緊急時対応に関する検討を実施した。

主な検討項目は以下の通りである。

- ・蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案等の作成
- ・危害予防規程や非常措置マニュアル等に記載すべき項目を纏めた緊急時対応ガイドラインの作成

2. 研究開発目標（設定の理由も含め）

研究開発の目標を以下のとおりとする。

水素ステーション等の高圧ガス設備に関する事故事例を調査し、水素スタンドのリスクに関する現状把握を行う。それらの事故事例を参考に水素スタンドでのシビアアクシデントの想定を行う。シビアアクシデント対策として、蓄圧器が危険な状態となったときに当該蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出する例示基準案の作成と、緊急時における従業員のための非常措置マニュアルや危害予防規程に記載すべき項目案を作成する。また、これらの内容を基準化するための審査過程における対応を行う。

(1) 水素ステーションの事故に関する現状把握

- ・既存ステーションの事故事例調査
- ・高圧ガス設備の災害事例調査

(2) 水素ステーションにおけるシビアアクシデントの想定

- ・過去の事故事例の整理
- ・劣化、ヒューマンエラー等の災害のきっかけとなる事象の想定
- ・事故シーケンス（事故の開始と結果）の検討
- ・災害拡大イベントツリー等による重大性の高い災害事象の抽出

(3) シビアアクシデント対応策の策定

- ・ハード面での対策：蓄圧器の破裂を防止すべく、蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案等の作成
- ・ソフト面での対策：保安設備作動時の対応手順、教育訓練や防災訓練など危害予防規程や非常措置マニュアル等に記載すべき項目について検討し、緊急時対応ガイドラインの作成

(4) 審査過程における対応

- ・例示基準案の審査過程における対応実施

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) 水素スタンドの事故に関する現状把握

国内の水素スタンドでは、人身事故や火災のような大きなトラブルは発生していないが、水素スタンドの事故想定を行うため、国内の高圧ガス設備の重大事故の発生状況とその原因について調査を実施した。事故事例の調査は、高圧ガス保安協会のデータベースにより、1965年から2012年の間に発生した高圧ガス設備の死亡事故について、発生件数と原因について整理を行った（ ）。

1965年から2012年の間に発生した高圧ガス設備の死亡事故は247件あり、326人の方がいる。これらの事故の一次事象と発生件数及び事故の原因となったガスの種類を表1に示した。

表1 高圧ガス設備の事故

一次事象	発生件数	原因
爆発	93件	LPG 39、アセチレン 29、水素 3
漏洩	45件	アンモニア 9、硫化水素 8
破裂	44件	アンモニア 8、空気 7、炭酸ガス 6、水素 1
火災	42件	LPG 17、酸素 14、アセチレン 7、水素 1
中毒	7件	一酸化炭素
その他	16件	酸欠等

出典：KHK 事故事例データベース

表1で示した高圧ガス設備の事故のうち、水素が関係している事故は5件であった。

a. 火災

- ・トラック追突による水素カードル容器の破損・火災（1972/5/25）
水素ガスが噴出、着火、運転手死亡、通行人2人負傷、商店、民家類焼

b. 破裂

- ・水添脱硫装置の水素循環用リサイクルコンプレッサーの破裂（1965/6/16）
圧縮機ハウジング内の圧力上昇しカバーボルトが破断、カバーが飛散

c. 爆発

- ・焼鈍炉の水素ガス爆発（1970/3/24）
爆発、作業員死、濃度計の故障、焼鈍炉内混合ガス残留
- ・ガス発生炉での水素ガス爆発（1973/11/9）
分析計爆発、分析計サンプル水素ガス漏えい、赤外光源が火源
- ・重油間接脱硫装置の熱交換器ふた板の飛翔（1992/10/16）
触媒交換作業を完了後のスタートアップ準備作業中、ボルト締付け作業、水素ガス漏えい、爆発火災、熱交換器構成部品飛散、タンク、配管類に被害

国内の水素スタンドでは火災等の事故は発生していないが、海外の水素スタンドでは火災・爆発の事例があり、それらについて以下に示す。

a. ロチェスター国際空港水素ステーション

発生日時：2010年8月26日 12:45頃

発生場所：米国ニューヨーク州 ロチェスター国際空港敷地内水素ステーション

事故概要：水素供給のためのトレーラトラック交換中に爆発事故が発生。

2台のトレーラーが破損した。負傷者は2名で、燃料供給会社の作業員が火傷を負い、道路向かいの店員が軽症（耳痛）。

空港が50分間に渡り閉鎖。周辺道路や建物、店舗も閉鎖。

ホースあるいはコネクタ部の欠陥と考えられている。

b. エメリービル市ACトランジット水素ステーション

発生日時：2012年5月4日 7:45頃

発生場所：米国カリフォルニア州 アラメダ郡エメリービル市

ACトランジット水素ステーション

事故概要：蓄圧器ユニットについていた安全弁が破損し、この結果300kgのほぼ全量の水素を放出。

ベントで水素が着火し、キャノピーに当たって可視炎となった。放出水素の静電気による着火と考えられる。

2つの学校を含む近隣住民に避難指示が出された。

(2) 水素ステーションにおけるシビアアクシデントの想定

シビアアクシデントとは、設計基準を大幅に超える事象であって、安全設計の評価上想定された手段では適切な対応が難しい事象をいう。水素スタンドでのシビアアクシデントは、水素スタンドに著しい損傷を与える事故や災害、水素スタンドの従業員や顧客並びに周辺住民の生命に危害の及びおそれのあるものと考えられる。

リスク評価方法

水素スタンドにおける事故を検討するため実施されたリスク評価の手順は、図1の通りである。

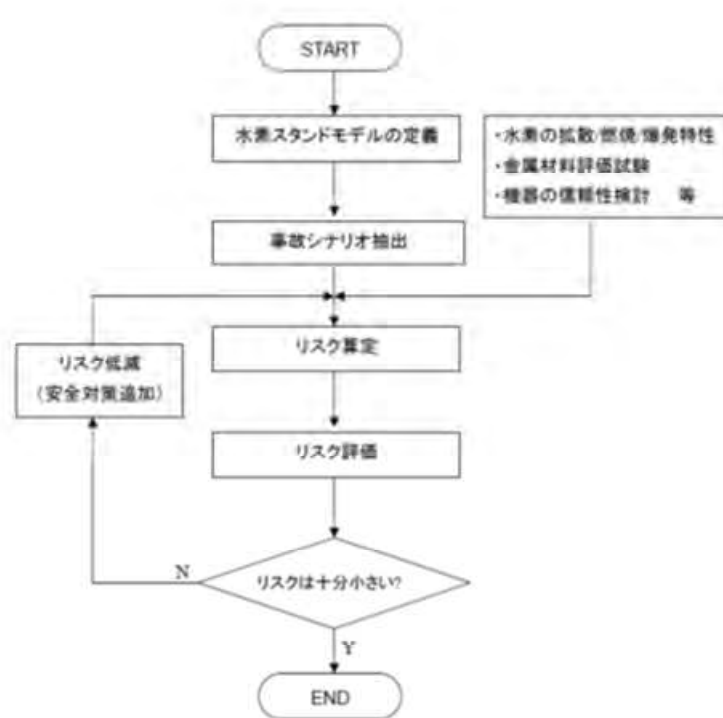


図1 リスクアセスメントに基づく基本検討フロー

トリガー現象の抽出

事故シナリオを抽出するため、危険源抽出方法として広く有効性が認められているHAZOPとFMEAを用いてリスク源の検討が行われた。水素が漏えいし、着火、爆発する事故に至る場合、何段階かのステップが存在している。こうした事故を引き起こす直接的な原因を「トリガー現象」と呼ぶこととし、水素スタンドでの事故を引き起こす可能性のあるトリガー現象をリストアップした。

- ・ 劣化故障
- ・ ヒューマンファクター
- ・ 天災
- ・ その他

リスク評価

水素スタンドの想定事故シナリオについて、そのリスクが許容される範囲であるか否かについて評価が行われた。事故の発生する「可能性」とその「影響度」によりリスクマトリクスを作成し、リスクランクに分類した。事故の発生する可能性、影響度、リスクマトリクスを以下に示す。

a. 可能性評価

水素スタンド設備の寿命を約20～30年と仮定し、その期間中に発生する可能性を検討した。事故発生の可能性レベルについて表2に示した。

表2 事故発生の可能性レベルの定義

可能性ランク		説明
A	ほとんど起こりえない	可能性はある。しかし、その可能性はきわめて小さい。
B	起こりにくい	スタンドの設備の一生において起こりにくいと考えられる。
C	可能性がある	スタンドの設備の一生において1回程度は考えられる。
D	十分起こりえる	スタンドの設備の一生において複数回考えられる。

b. 影響度ランク

影響度の評価については、人的影響、設備的影響について検討が行われた。人的影響は、最も重視すべき影響であり、水素スタンド内外について評価が行われた。設備的影響については、水素スタンド外の隣接家屋等への影響を評価し、スタンド内については事業者自らの責任で対応すべきものとし評価対象とされていない。影響度レベルについて表3に示した。

c. リスクアセスメント結果

水素スタンドのリスクの大きさは、事故シナリオの発生の可能性と発生したときの影響度の組み合わせにより算定される。リスクに大きさに関しては、以下の基準でH（高い）、M（中程度）、L（低い）の3段階にランク分けし、可能性と影響度およびリスクの関係を表4のリスクマトリクスに示した。

・スクランクH

許容できないリスクであり、更なる安全対策を講じなければならない。

・リスクランクM

原則として許容できない。更なる安全対策が可能かどうかを検討し、現実的な対策が見つからない場合に限ってこれを許容する。

・スクランクL

許容できる。更なる安全対策は必ずしも必要でない。

表3 影響度レベルの定義

影響度ランク	設備的影響	人的影響
極めて重大な災害	敷地外の隣接建屋が全壊する程度の極めて重大な災害	周辺住民、歩行者の死亡災害 (「敷地外で死亡者」と同意)
重大な災害	敷地外の隣接建屋が半壊する程度の重大な災害	顧客、従業員の死亡災害 (「敷地内で死亡者」と同意)
中規模災害	敷地外の隣接建屋の窓ガラスは大小に関わらず壊れ、窓枠にも被害が及ぶ程度の中規模災害	(周辺住民、歩行者、顧客、従業員を問わず、)入院が必要な重傷災害
小規模災害	敷地外の隣接建屋一部の窓ガラスが破損する程度の小規模災害	(周辺住民、歩行者、顧客、従業員を問わず、)通院を伴う休業災害
軽微な災害	敷地外の隣接建屋に影響なし	(周辺住民、歩行者、顧客、従業員を問わず、)通院を伴わない軽微な災害

表4 リスクマトリクス

		可能性			
		A	B	C	D
影響度		ほとんど 起こりえない	起こりにくい	可能性がある	十分 起こりえる
極めて重大な災害		H	H	H	H
重大な災害		M	H	H	H
中規模災害		M	M	H	H
小規模災害		L	L	M	H
軽微な災害		L	L	L	M

リスクアセスメントの結果、リスクランクが高いとされたものについては、その後の法令の見直しにおいて、過流防止弁の設置、感震装置と緊急遮断インターロック、車両衝突防止ガード設置、35MPa 車両に 70MPa 充填ノズルを接続できない構造にするなどの様々な安全対策がとられることとなり、リスクを低減させることが可能となった。しかしながら、これらハード面の対策を実施しても高いリスクがあるもの(リスクランク H)として、地震、近隣敷地の火災、構内火災、暴走車両の飛び込み、航空機などの墜落、隣接敷地のクレーン倒壊、竜巻等の項目が残された()

(3) 緊急時対応方法の検討

水素スタンドのシビアアクシデント対応を検討するため、災害発生時の従業員の対応策について、以下の手順で実施した()

- 1) シビアアクシデントを引き起こすトリガー現象の想定を行う。
- 2) トリガー現象の発生状況確認及び被害予測を行う。
- 3) トリガー現象により水素スタンドに起こる初期事象を想定する。
- 4) 水素スタンドの安全対策の抽出を行う。
- 5) 初期事象の発生と災害拡大のシナリオをイベントツリー解析により行う。
- 6) イベントツリーによる事故シナリオにより、その時の従業員による対応方法について検討を行う。

トリガー現象の想定

シビアアクシデント発生のきっかけとなるトリガー現象としては、過去の水素スタンドのリスクアセスメントの結果、ハード面の対策を行っても高いリスクがある(リスクランクH)とされたものを選定した。さらに、国内の災害発生状況を参考に、過去の検討で想定していなかった自然災害について含めることとした。また、近年のコンピューターへの不正侵入等による、制御系へのサイバー攻撃についても検討を行うこととした。

災害等の発生状況と被害予測

トリガー現象となる災害について、気象庁や自治体のホームページ等に掲載されている過去の事例について調査し、その発生状況、被害予測、それによってスタンドに引き起こされる初期事象について検討を行った。

初期事象の想定

前項の災害による被害予測の結果、トリガー現象として地震が発生した場合には、水素スタンドには外力による配管の損傷、近隣火災、構内火災、地盤沈下などが引き起こされる可能性があることが分かった。トリガー現象により水素スタンドの設備に起こる異常を「初期事象」と定義した。トリガー現象が異なっても、水素スタンドに起こる初期事象はいくつかのパターンになることが分かった。そこで、スタンドに起こる初期事象について整理し検討を行い、A~Hの8パターンに分類した。想定されるトリガー現象と初期事象を表5に示す。

表5 トリガー現象と初期事象

トリガー現象		初期事象	
1	地震	外力による配管の損傷	A
		近隣火災	2.近隣火災
		構内火災	3.構内火災
		地盤沈下	13.地盤沈下
2	近隣火災	輻射熱による配管の損傷	C
		輻射熱による蓄圧器の損傷	E
3	構内火災	輻射熱による配管の損傷	C
		輻射熱による蓄圧器の損傷	E
		火災による配管の損傷	D
		火災による蓄圧器の損傷	F
4	暴走車飛び込み	外力による配管の損傷	A
5	航空機等の墜落	外力による配管の損傷	A
		外力による蓄圧器の損傷	B
		近隣火災	2.近隣火災
		構内火災	3.構内火災
6	クレーン倒壊	外力による配管の損傷	A
		外力による蓄圧器の損傷	B
7	竜巻	外力による配管の損傷	A
8	津波・高潮	外力による配管の損傷	A
		冠水による蓄圧器の流出	G
9	豪雨・洪水	外力による配管の損傷	A
		冠水による蓄圧器の流出	G
10	火山の噴火	外力による配管の損傷	A
		輻射熱による配管の損傷	C
		輻射熱による蓄圧器の損傷	E
11	豪雪	外力による配管の損傷	A
12	土砂災害	外力による配管の損傷	A
13	地盤沈下	外力による配管の損傷	A
14	サイバー攻撃	圧縮機の異常運転による圧力上昇	H

水素スタンドの安全対策

水素スタンドには、様々な安全対策が施されているが、各水素スタンドに共通の技術基準は、一般高圧保安規則（以下「一般則」）第7条の3に規定されており、水素スタンドにはこの安全設備が設置されている。

水素スタンド事故のシナリオと対策

水素スタンドでは、配管が破断し水素の漏洩が起きた場合には、ガス検知器が作動し緊急遮断装置が働いたり、過流防止弁が機能したりすることにより災害を防ぐようになっている。

大規模災害発生時には、こうした安全装置が働かないケースを想定する必要がある。そこで、リスク評価手法

- ・必要に応じ、蓄圧器の元弁を閉止する。
- ・事業所付近の構造物（壁・家屋等）や道路の異常を確認する。
- ・関係各署（消防、警察、都道府県、関係事業所等）へ連絡を行う。
- ・地震の場合は、テレビ・ラジオ等から地震情報を得る。
- ・顧客及び車両を安全な場所に誘導する。

水素漏洩検知をした場合

安全設備

- ・可燃性ガスが滞留するおそれのある場所に、漏洩を検知し製造設備の運転を自動的に停止する装置が設置されている。[一般則7条の3第2項第16号]
- ・水素漏洩を検知することにより警報が鳴動し、インターロック処理により設備の運転が自動停止される。警報設定値は、爆発下限界の1/4以下の値となる。

従業員の対応

- ・インターロックによる設備の運転の停止を確認し、停止していない場合は手動で設備の運転を停止、遮断弁の閉止を行う。
- ・水素濃度を確認しながら、設備の損傷状況や水素漏洩箇所の確認を行う。
- ・関係各署（消防、警察、都道府県、関係事業所等）へ水素漏洩の連絡を行う。
- ・あらかじめ定められた避難場所に顧客を誘導する。

過流防止弁の作動

安全設備

- ・蓄圧器の出口には、圧縮水素の流量が著しく増加することを防止するための措置が取られている。[一般高圧ガス保安規則7条の3第2項第12号]
- ・大量流出防止措置の設備として、過流防止弁が設置されている。過流防止弁は車両に充填する流量の3倍以上で確実に作動することとされており、流量が少ない場合には作動しない。

従業員の対応

- ・過流防止弁の作動を、蓄圧器の圧力や漏洩水素濃度の変化により確認する。

手動弁の閉止

従業員の対応

- ・水素の漏洩が微小の場合、周囲の水素濃度を測定し、爆発の危険がないことが認められる場合には、蓄圧器元弁等の手動弁を閉止し漏洩を停止する。

水素漏洩が継続する場合

従業員の対応

- ・漏洩ガス量が多い場合には周辺住民に周知し、火気の使用停止を依頼する。
- ・水素スタンドが危険であると判断される場合には、消防・警察と協力し周辺住民に対し危険状態であることを周知し、周辺住民の避難誘導に努める。

これ以外に下記の初期事象に対し同様の検討及び解析を行い、対応案を作成した。

- ・外力による蓄圧器の損傷
- ・輻射熱および火炎による配管の損傷
- ・輻射熱および火炎による蓄圧器の損傷
- ・冠水による蓄圧器の流出

- ・ 圧縮機の異常運転による圧力上昇

緊急時対応基準作成のガイドラインについて

大規模災害等により水素スタンドに起こりうる初期事象について整理し、イベントツリー解析を行い、安全装置が作動しない場合にどのようなことが起こるか、その際に従業員の取るべき行動について検討を行った。これについては、別冊の『水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン』に取りまとめた。

このガイドラインは、各事業者が緊急時対応基準等の作成の際に参考となる事項を示したものであり、水素スタンドの安全性を高めることを目的としている。緊急時対応基準の運用については、より実効性を高めるために、平時より関係各署との連携を取ることや周辺住民との十分なリスクコミュニケーションを図ることも求められる。作成したガイドラインの表紙と目次を図3に示す。

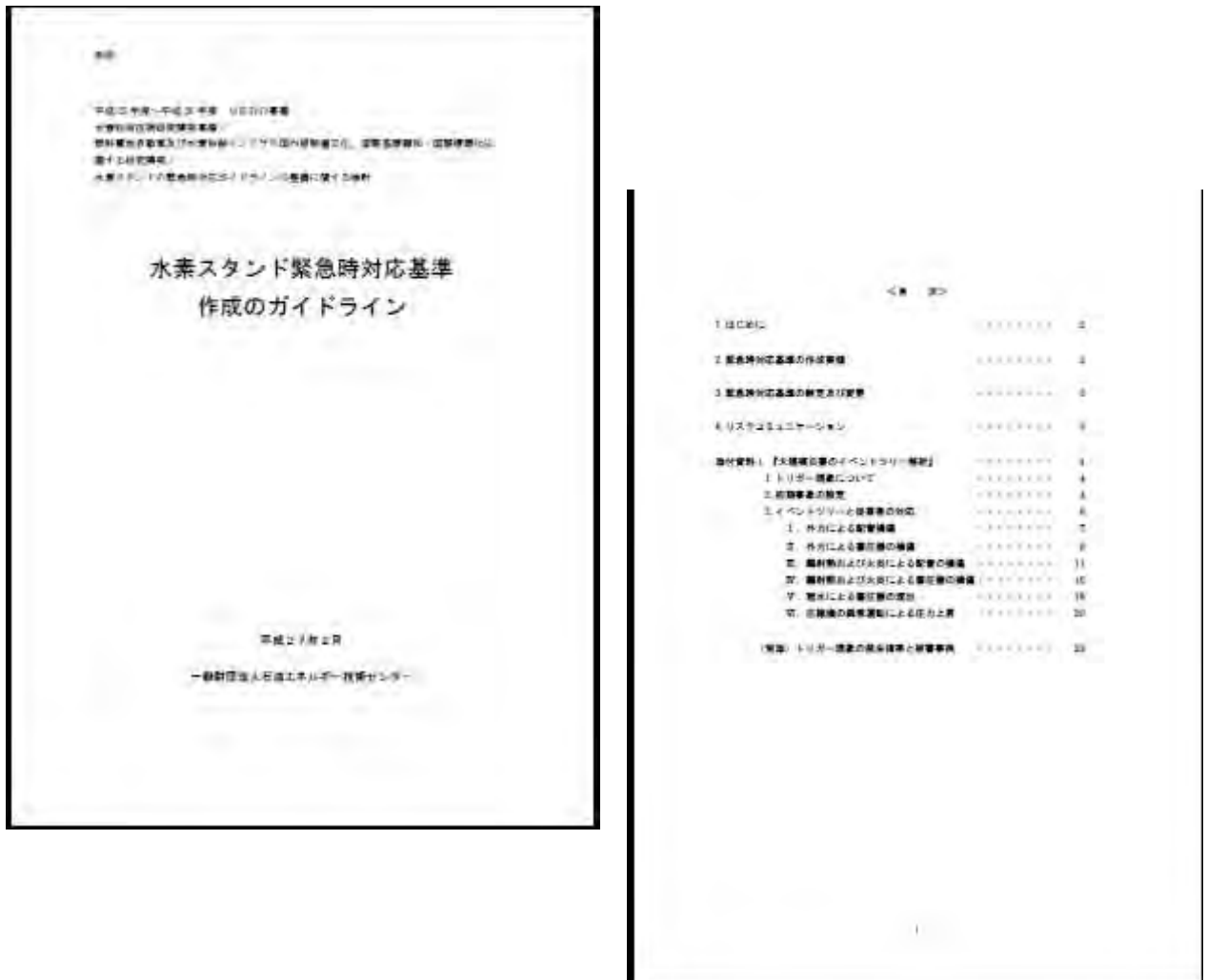


図3 水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン

(4) 審査過程における対応 (蓄圧器の緊急時脱圧について)

一般高圧ガス保安規則第7条の3は、圧縮水素スタンドの技術基準を定めたものであるが、この基準の常用圧力を40MPaから82MPaへの変更を行う際に、「緊急時に蓄圧器内の水素を安全に放出すること」が定められた。これについては、例示基準がないため、水素を安全に放出する方法について、基準化を見据えて検討を行うこととなった。

一般高圧ガス保安規則の改正

平成24年11月に一般規則が改正され、第7条の3第2項35号として蓄圧器が危険な状態となったときに、蓄圧器内の水素を安全に放出するための適切な措置を講ずることが追加された。

蓄圧器が危険な状態となる場合

水素スタンドは、第7条の3の技術基準に従って設置されており、通常想定される事故について保安は確保されている。ここでの蓄圧器が危険な状態になる場合とは、大規模地震等の発生により安全設備が作動しない場合が対象であり、前章ではイベントツリー解析を行い、どのような場合に蓄圧器内の水素放出が必要になるか検討を行ってきた。

蓄圧器内の水素放出が必要となる初期事象としては、外力による蓄圧器の損傷、輻射熱や火災による蓄圧器の損傷、冠水による蓄圧器の流出が想定された。図4に輻射熱を初期事象とした場合のイベントツリー解析結果を示した。

この例では、防火壁が機能せず、散水設備が作動しないか、あるいは散水が終了した場合に、蓄圧器水素の放出を行うか否かの判断を行うことになる。

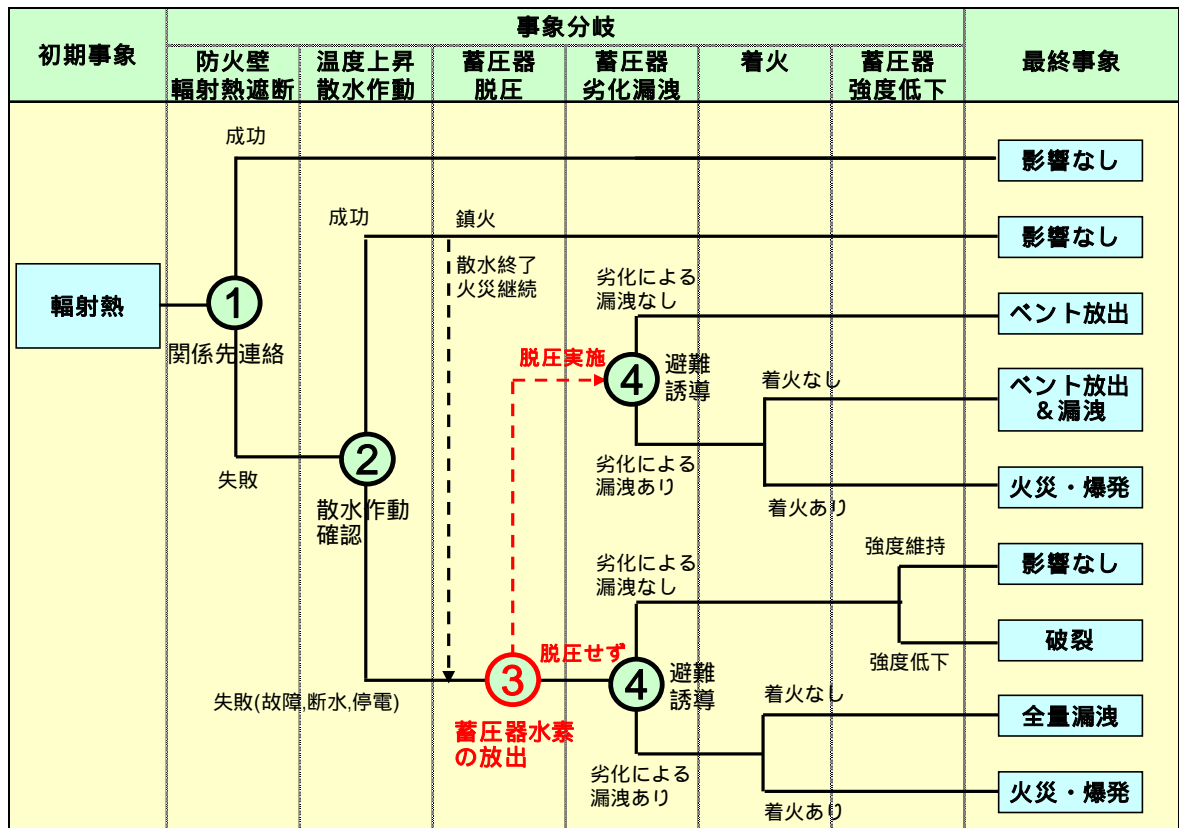


図4 蓄圧器水素の放出ET

平常時の蓄圧器水素の放出方法

水素の放出方法の検討のため、水素スタンドの蓄圧器からベントラインまでのフローについて調査を行った。水素スタンドの仕様により異なるが、蓄圧器の近傍には、溶栓式安全弁、バネ式安全弁、手動弁が設けられベントラインにつながっている。また、ディスペンサーの近傍にも手動弁、遮断弁が設けられておりベントラインにつながっている。

次に、平常時の水素放出方法の検討のため、定期整備時の蓄圧器水素放出方法について水素スタンド運用者にヒアリングを行った。水素スタンドによって方法は異なり、蓄圧器近傍の手動弁により放出する方法や、ディスペンサー近傍の手動弁または遮断弁を通じて放出する方法があり、いずれの場合もベントラインより放出されていることが分かった。

緊急時の蓄圧器水素の放出方法

a. 水素の放出に使用するライン

定期整備等の平常時には、ディスペンサー近傍の配管を通じて水素を放出する方法もあるが、緊急時に水素を放出する場合には水素流量が増えると過流防止弁が作動し、水素の流れが止められる可能性がある。過流防止弁は、例示基準 59 の 5 に示されており、蓄圧器の出口又は充填容器等から圧縮水素を受け入れる配管内の圧縮水素の流量が、著しく増加する事を防止するために設けられたものである。従って、緊急時に水素を放出するためのラインは、過流防止弁によって流れが遮断されないように、過流防止弁の上流側とする。

b. 水素放出に使用する弁

高圧ガス設備内部の圧力を低下させる安全装置としては、バネ式安全弁、溶栓式安全弁、手動弁、遮断弁、溶栓弁等がある。これらの特性について以下に示した。

- 1) バネ式安全弁：許容圧力以下に戻すための装置(1 項 1 号,2 項 1 号)として規定されており、多くのスタンドで採用されている。
設定圧力以下になると吹き止まるため、全量放出が出来ない。
- 2) 溶栓式安全弁：設定温度で溶栓が溶け、全量放出が可能である。温度依存であり、能動的に操作できない。
- 3) 手動弁：定期整備で使用している。計装が障害を起こした場合も操作可能である。作業員が近づけない場合には操作できない。
- 4) 遮断弁：充填ノズルの残圧放出等で使用している。緊急時に放出する弁としては、遮断弁ではなく遠隔操作弁という言い方とする。
- 5) 圧力リリーフ弁：安全弁が作動する前に圧力を放出するもの(2 項 10 号)に規定され、安全弁が作動する前に動作する。
設定圧力以上で自動的に開になり、圧力を下げるもの。

上記のうちバネ式安全弁については、設定圧力までしか水素を放出できないため、緊急時に水素を放出する弁から除外する。圧力リリーフ弁についても設定圧力までしか下がらないが、計器室からの操作により設定圧力の変更可能なものもあり、設定圧力を 0 とすることで全量放出が可能となり、この場合には緊急時に水素を放出する弁として有効と考えられる。

緊急時に水素を放出する際に使用する弁については、圧力リリーフ弁、溶栓式安全弁、手動弁、遠隔操作弁のいずれか一以上によることとし、圧力リリーフ弁を使用する場合には、計器室又は圧力リリーフ弁近傍にて容易に設定圧力を下げることができることを技術基準案とした。

図 5 に緊急時の蓄圧器水素放出ラインの例を示す。

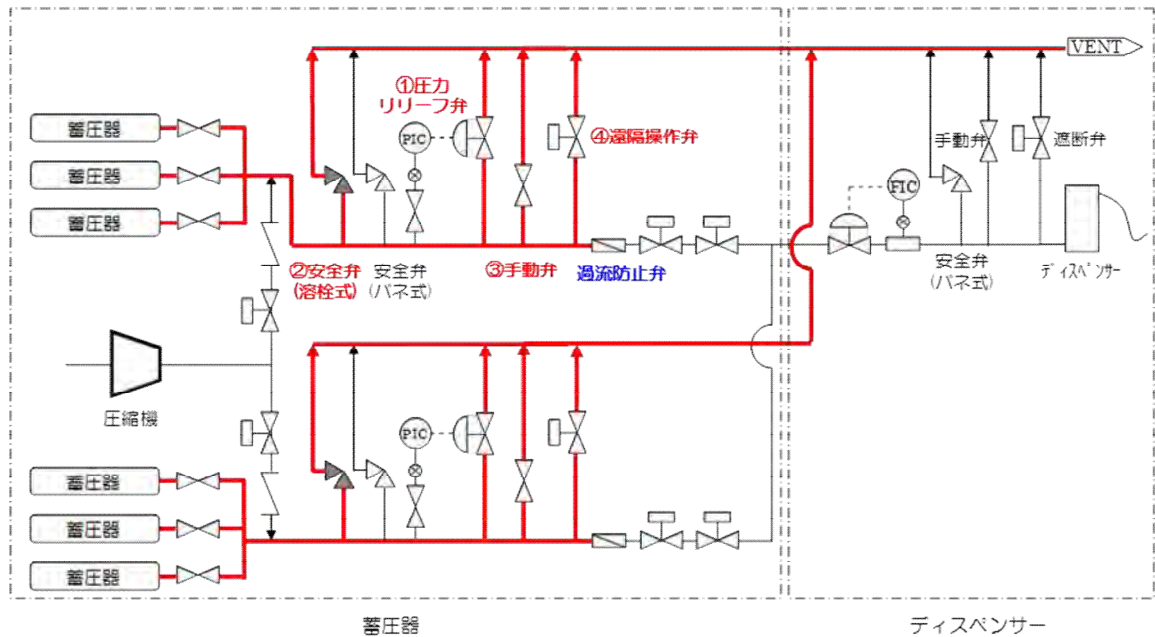


図 5 緊急時の蓄圧器水素放出ライン

c. 水素の放出時間や放出時期について

水素放出の時間や時期については、火災の規模、近隣施設との距離、水素の保有量、蓄圧器の種類、防消火設備の内容、消火活動の状況等様々な違いがあり、それによって脱圧の必要性や脱圧時間が変わってくることが考えられる。従って、本検討では水素の放出時間や放出時期について定めることはせず、安全装置の作動状況や周囲の火災の状況、消火活動の状況を踏まえて、各事業者が、圧縮水素を放出するか否かを判断すべきであるとし、水素の放出時間や放出時期については基準に含めないものとした。従業者の水素放出の判断基準としては、緊急時対応指針のガイドラインを参考としていただくこととする。

d. 技術基準案

以上の検討結果より、検討会での例示基準案は次の通りとした。

蓄圧器内の水素を安全に放出する方法

規則関係条項 第 7 条の 3 第 2 項第 35 号

蓄圧器が危険な状態となったときに当該蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための措置は、次の基準によるものとする。

1. 蓄圧器が危険な状態となったときに圧縮水素を放出するための弁は、過流防止弁より上流側にあたる箇所とし、その出口側は本基準 14. の放出管に接続すること又は安全装置の放出管に接続すること。
2. 蓄圧器が危険な状態となったときに圧縮水素を放出するための弁は、圧力リリーフ弁、溶栓式安全弁、遠隔操作弁、手動弁のいずれか一以上によること。

圧力リリーフ弁を使用する場合には、計器室又は圧力リリーフ弁近傍にて容易に設定圧力を下げることができること。

検討会の後、高圧ガス保安協会主催による、緊急時に蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための技術基準案の検討が行われ、弁の位置を蓄圧器と過流防止弁の間にするものとした。

緊急時に水素を放出する際に使用する弁については、電力の喪失等が生じても操作可能である手動弁を設置することを第1とし、緊急時に手動弁を操作出来ない恐れがある場合には、遠隔操作弁等を併設することとし、以下のように基準案の修正が行われた。

1. 蓄圧器が危険な状態となったときに圧縮水素を放出するための弁は、蓄圧器に設けた過流防止弁と蓄圧器の間に設置することとし、その出口側は本基準 14.の放出管に接続すること又は安全装置の放出管に接続すること。
2. 蓄圧器が危険な状態となったときに圧縮水素を放出するための弁は手動弁とする。
ただし、緊急時に手動弁の操作をすみやかに行うことが困難と予想される場合には、上記手動弁に加え、当該蓄圧器に有効な遠隔操作弁、溶栓式安全弁、計器室から操作可能な圧力リリーフ弁のいずれかを併設し、これによっても水素が放出できるようにすること。

これを基に、一般高圧ガス保安規則第7条の3第2項第35号に関する例示基準59の11「蓄圧器内の水素を安全に放出する方法」が制定された()

3.2 成果の意義

本検討では水素インフラの普及拡大に向け、大規模災害発生時の水素スタンドの安全確保を目的に、水素供給インフラに関連した緊急時対応に関する検討を実施した。

本件等により、

- ・蓄圧器内の圧縮水素を安全に放出するための例示基準案等の作成
- ・危害予防規程や非常措置マニュアル等に記載すべき項目を纏めた緊急時対応ガイドラインの作成

を行い、水素スタンドの緊急時の安全確保のための基準等を整備することができ、水素インフラの普及拡大に寄与することができた。

3.3 成果の最終目標の達成可能性

本テーマは平成26年度で終了しており、開発目標はすべて達成されている。

4.まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

作成した「水素スタンド緊急時対応基準作成のガイドライン」は業界関係者に周知され、水素スタンドにおける緊急時の水素スタンド作業者の対応手順・教育訓練や防災訓練などを記載する危害予防規程や非常措置マニュアル等の作成に反映される。

本検討の成果である例示基準案については、平成26年度に高圧ガス保安協会にて技術的妥当性が評価され、その後高圧ガス保安室により安全性が確認された後に、新たな例示基準59の11として制定された。

5.研究発表・特許等

特になし。

(11-1)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 / 樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」

共同研究先：八千代工業(株)、東邦テナックス(株)

成果サリ(実施期間：平成25年度～平成29年度)

- ・机上およびタイプ4小型試作容器でのフィジビリティスタディを経て、大型化の基本仕様をFIXし、現在大型試作容器の評価中。(～2018年2月)
- ・実水素ガスでのライナ影響を評価し、耐プリスタ性能を確保するための蓄圧器運転条件(クライテリア)を絞り込むことができた。また、選定ライナ材で透過試験(小型)をクリアした。
- ・既存標準CFをベースに改良した試作品を開発し、10%以上の強度向上を確認できた。今後実容器に反映し、破裂試験にて効果を確認する。(～2018年2月)

背景/研究内容・目的

水素インフラの整備を推進するためには、早期に事業採算性を確保し、低価格で水素を供給することが強く求められている。
 本事業では水素ステーションの建設コストの設備費に占める比率の高い蓄圧器の低コスト化を目指し、樹脂製ライナーに炭素繊維強化プラスチックをフィラメントワインディング法で巻回することにより製造する樹脂製ライナー複合容器(タイプ4)から成る蓄圧器の大型化に向けた実用化技術開発を目的とする。

研究目標

実施項目	目標
タイプ4製造指針の構築	300Lクラスサイズ大型複合容器試作及び製作課題抽出終了
樹脂ライナ材料の評価	水素影響に対する耐久保証方法(クライテリア)の設定終了
大型容器での性能評価	特認取得に必要な性能(KHKTD5202)を満たしていることの証明終了
蓄圧器最適CFの開発	CF使用量低減10%以上(現行CF対比)を容器評価で実証/確認する

実施体制及び分担等

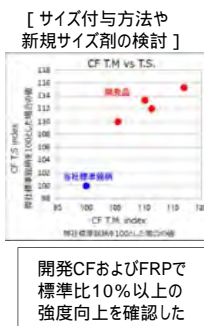
NEDO	八千代工業(株) (タイプ4蓄圧器容器本体の研究開発)
	東邦テナックス(株) (蓄圧器に用いる炭素繊維関連技術の研究開発)

これまでの実施内容 / 研究成果



[大型試作容器によるKHKTD5202準拠試験]

項目	目標	結果
破裂	237MPa以上	軽量積層で現状未達
疲労	10万回漏れなし	試作欠陥にて現状未達
高温クープ	105MPa漏れなし 237MPa以上	試験中～11月
ガス透過	5cc/h・L以下	試験中～11月
環境	132MPa以上漏れなし	OK(～40で実施)
ガスサイクル	漏れ、劣化なきこと	設備待ち～1月



9月時点未達項目あり、原因は特定できているので事業期間内にOKを見通す

今後の課題

- ・残試験の性能実証と実用化に向けた大型化製造課題の抽出
- ・疲労試験不具合の恒久対策検討
- ・タイプ4化コスト・フォーマスの提示

実用化の見通し

- ・タイプ4による基準合致の性能確保は一定の運転条件が必要となるが可能と判断する。
- ・理論による性能立証等で試験費用削減および期間短縮を可能にすることが実用化に向けた課題である。(試験体数の削減等)

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
タイプ4製造指針の構築	・小型試作容器で得られた指針を大型試作容器に反映終了。 ・シール性能は模擬Pot試験にて、高温/低温共に、確保できる見通し。 ・リアルサイズ試作で製造課題抽出中。	○
樹脂ライナ材料の評価	耐プリスタ性能を確保するクライテリアを抽出することができた。	○
大型容器での性能評価	疲労試験未達(原因は特定済) 環境試験OK、その他試験中	
蓄圧器最適CFの開発	標準品対比10%以上の強度向上を確認できた。	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
13	0	9	0

課題番号： - 1

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 /

樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発

八千代工業株式会社
東邦テナックス株式会社

1. 研究開発概要

水素インフラの整備を推進するためには、早期に事業採算性を確保し、低価格で水素を供給することが強く求められている。本事業では水素ステーションの建設コストの設備費に占める比率の高い蓄圧器の低コスト化を目指し、樹脂製ライナーに炭素繊維強化プラスチック (CFRP) をフィラメントワインディング (FW) 法で巻回ることにより製造する樹脂製ライナー複合容器 (タイプ 4) から成る蓄圧器の大型化に向けた実用化技術開発を目的とする。

水素ステーション用蓄圧器は特殊鋼材を使用したタイプ 1 が現在主流であり、特殊鋼による材料および加工にかかる費用が蓄圧器のコストを底上げしている。

解決する手法として、一部車載用で採用されているタイプ 4 をステーション用途にも展開することでコストダウンを目標とする。タイプ 4 の優位点として、ライナーの材料に汎用性の高い廉価な樹脂を研究選択し、成形も一般的な樹脂成型法を採用することでライナー材料費および加工費を大幅に削減することが可能になると考えた。これはアルミなどを使用した金属ライナー製複合容器 (タイプ 3) で使用されているフローフォーミング加工やスピニング加工に比較しても削減可能と推測する。またタイプ 3 のライナー内面の仕上げバラツキは疲労強度のバラツキに直結するため、安全率を高く取った CFRP の積層設計厚みが必要である。製造バラツキの少ない樹脂ライナーを使用することによる安全率の見直しを検証し高価な炭素繊維 (CF) の削減にも繋げる。

蓄圧器のタイプ 4 化および大型化に関するフィジビリティスタディ (以下 F/S) として、平成 25 年度から平成 27 年度までに基礎的実験および小型試作容器による評価を行った。平成 28 年度からは、F/S の結果を反映した大型試作容器による性能実証および製作課題の抽出を行い、平成 27 年度までに終了できなかった課題と並行して推進した。具体的な内容を以下に示す。

(1) タイプ 4 容器の大型化 F/S

小型複合容器の試作製造指針の決定をするために実施し、平成 26 年度に終了。結果を小型試作容器の仕様に反映し、大型化に向けた課題抽出のための実証に繋げた。

(2) 樹脂ライナー材料の評価

小型ライナーの試作向け材料の仮決定、蓄圧器用途に適したライナー材料の絞り込みおよび大型容器の試作向け材料の決定までは、平成 27 年度中に終了し、平成 28 年度以降は、終了できなかった耐久保証方法 (クライテリア) の仮設定を目標に継続推進した。

(3) FW 強度 CAE 相関取り

大型試作容器の FW 層構成の決定をするための FEA 手法を検討した。

(4) ライナー構造 / 製法検討

大型化を踏まえた小型複合容器のライナー試作案を決定し、小型試作容器の評価を経て大型ライナー製

法及び口金構造を決定した。

(5) 検討用試作品の製作

30L クラス小型複合容器を試作し製作課題の抽出を終了後、120L クラスの試作で更なる製作課題を抽出する計画であったが、平成 26 年度に急遽ライナの製法を変更した影響で、小型試作容器での大型化に向けた課題抽出に終始した。平成 28 年度以降は 67L のサブスケール大型試作容器および 280L のリアルスケール大型試作容器を製作した。

(6) 実水素使用の性能試験

(2) の材料評価と並行して、実容器における水素影響に関する課題抽出終了と対策案の決定を目的に推進した。

(7) 最適物性 CF の開発

CAE 解析による必要 CF 特性の把握をし、改良 CF による、CF 使用量低減 10%以上（現行 CF 対比）を達成した。

(8) サイズ剤の開発

擦過性、ストランド形態の安定化に関する評価方法の確立をし、CF 強度発現率の向上を実現するサイズ剤を選定した。

(9) 大型複合容器（サブスケール含む）における性能評価

サブスケールサイズおよびリアルスケールサイズの大型試作容器にて、圧縮水素蓄圧器用複合圧力容器に関する技術文書（KHK TD5202）に基づいた性能評価を実施した。

2. 研究開発目標

2. 1 平成 29 年度最終目標

水素ステーションへの設置可能要件となる大臣特認取得に必要な性能（KHK TD5202）を満たす大型タイプ 4 複合容器蓄圧器である事を、技術データをもって証明する。

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

(1) タイプ 4 容器の大型化 F/S

タイプ 4 成立性評価用の小型試作容器の作成における仕様 / 製造方針を決定するために、国内外の高圧容器の法規、例示基準、複合容器蓄圧器ガイドラインの把握と整理を行い、また文献、Web、展示会セミナー/分科会などによる情報収集を行った。これらの情報や要件を基にタイプ 4 特有課題とタイプ 4 に由来する大型化課題の抽出を行った。併せて FTA による予防処置方法の解析を行った。

更に他社容器を購入、または文献などの諸元よりタイプ 4 を想定した目論み質量を把握した。（図 3-1）

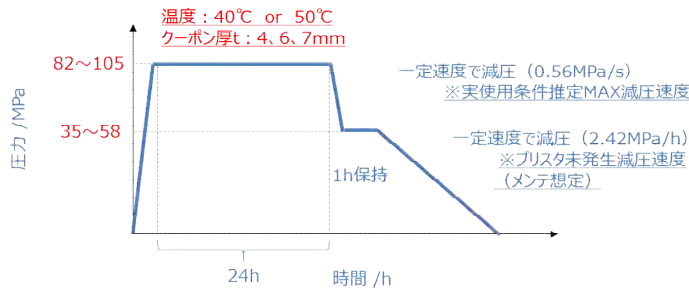


図 3-3 クライテリア仮設定用の曝露モード

試験結果

蓄圧器使用条件を再現した試験条件 1 のモードではいずれの板厚のクーポンも異常は認められなかった。当該モードは一般的な 3バンクシステムにおける、1バンク目の最大減圧幅と 2バンク目の最速減圧速度を組み合わせる厳しく設定したモードであるが、40 以下で管理された通常の蓄圧器環境下では異常が起こらないと考える (○)。

次に圧力や温度の限界値を考察するために実施した試験条件 2 の結果を表 3-1、3-2 に示す。

なお、試験後に異常が認められなかった場合を○、板厚によっては異常が認められたものを、全ての板厚で異常が認められたものを×とした。

外観観察で白化したクーポンでも内部を拡大観察した結果において、プリスタやプリスタを起因とする微細なクラックなどは認められなかったが、今回は安全を期して白化のみでも異常として評価した。

温度水準別では、押出成形品に問題はなかったが、インジェクション成形品の板厚 6mm、7mm にて白化が認められた。但し、現蓄圧器管理温度である 40 で問題ないことは確認できた。なお、熱解析計算で放出降温と充填昇温の繰り返しにより、ライナ温度が環境温度を超えないことは確認済みである。

表 3-1 温度別の水素影響

温度水準振り		ソーク温度[°C]		
		50	45	40
圧力範囲 [MPa]	82→46.5	△ (4tまで○)	断面確認中	○

圧力水準別では、ソーク圧力および減圧幅よりも、部分充填残圧（下限圧力）の影響が大であることがわかった。図 3-4 は表 3-2 をグラフ化したものであるが、同じ減圧幅でも部分充填残圧が低圧領域にあると白化していることが分かる。これは、材料内の溶解水素量が飽和に達する圧力上限が存在し、その圧力からの減圧幅に由来すると推測する。

今後は更なる限界値の見極めが必要であるが、今回の結果より、部分充填の圧力クライテリアを仮設定できたことで、一定の蓄圧器運転管理条件が必要であるが、当社選定ライナ材料での耐プリスタ性を確保できる見通しと考える (○)。

表 3-2 圧力別の水素影響

圧力範囲水準振り (ソーク40°C)		ソーク圧力[MPa]		
		105	99	82
放出後残圧 [MPa]	81	○	-	-
	58	○	-	○
	46.5	-	-	○
	41	△ (4tまで○)	断面確認中	△ (6tまで○)
	35	△ (4tまで○)	-	△ (4tまで○)

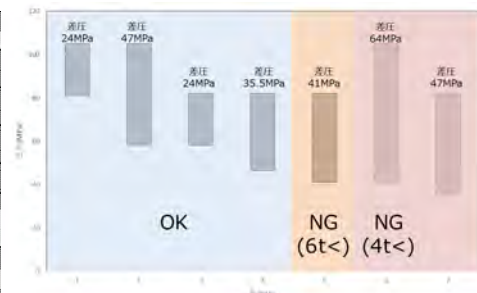


図 3-4 圧力別の水素影響

(3) FW 強度 CAE 相関取り

タイプ4大型複合容器の最適層構成を机上検討（精度向上）することで安全率の見直しを行いCF 削減コストダウンに繋げ、更には、試験回数削減による開発費を抑え製品売価を下げることを可能にするためにFEA手法を検討した。汎用プログラムの選定から行き、それらプログラムを組合せ（図3-5）入力パラメータや境界条件を見出すことが本項目の施策に当たる。

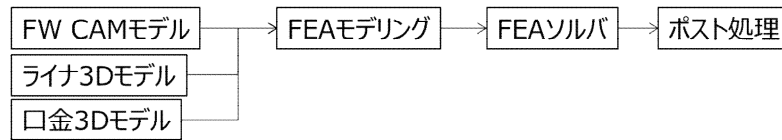


図3-5 FEA フロー

当初はFW CAMでモデル化したFRPの積層情報をメンブレンモデルとしてソルバ側に受け渡して計算を行っていたが、蓄圧器相当のFRP厚巻きには適さないことが判明し、急遽プログラムの組み合わせを変更した。モデルをフルソリッド化することで積層情報は現実に近い形でモデリングできるようになった。（図3-6）

大型サブスケール試作容器における実物と計算の発生外層歪（繊維方向）相関率は胴部で95%以上確保する実力を得たが、鏡部においては、70%弱に留まる結果となった。（図3-7）

原因は高角度ヘリカル端部近傍のコンポジット物性が計算モデルと実物で相違することが判明したが、計算モデルの物性は理論上成立しているものであり、プログラムチューニングなどが必要であった。

FWプログラムの汎用機能に着目し、TRYした結果ではこの機能によって、鏡部の相関率が向上することを確認できた。TRYはミニ容器でのFRP薄巻きによる結果であり、蓄圧器相当のFRP厚巻きにおける鏡部相関性の確認を実施中である（○）（図3-8）

また、長尺化による強度変化を本手法で解析した結果によると、鏡部FRP最外層の繊維方向歪に微増減があるものの誤差範囲であり影響なしとの判断に至った（○）（図3-9）

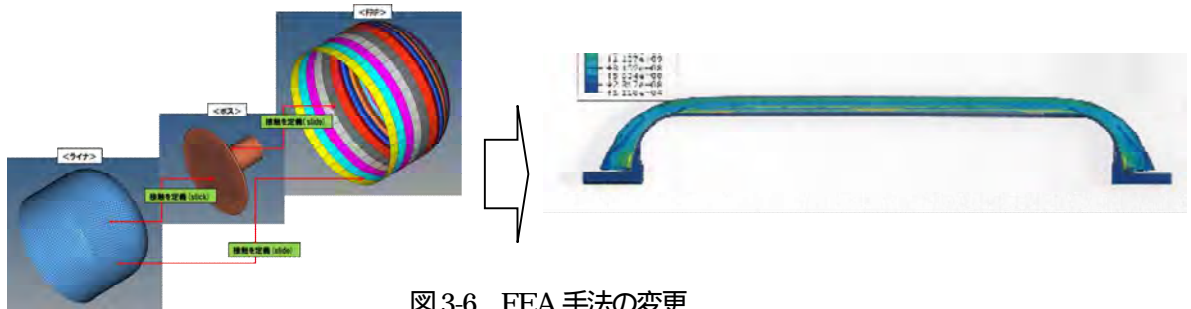


図3-6 FEA手法の変更

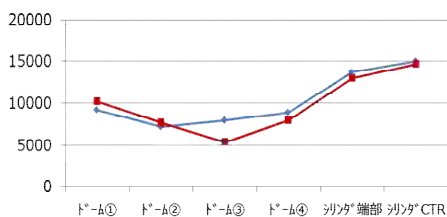


図3-7 サブスケール歪比較

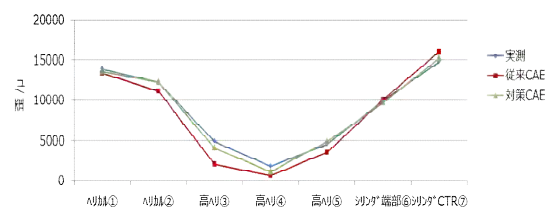


図3-8 ミニタンク歪比較



図 3-9 長尺化の強度影響確認

(4) ライナ構造 / 製法検討

多種少量生産を考慮した製法としてインジェクション分割成形+溶着あるいは回転成形による一体構造の両案で小型（18～24L）の試作品を作成し評価した。

回転成形品結果

用意した汎用 / エンプラ数種の材料で成形を行った。一体構造の製品を得ることは出来たが、ライナ内部に本成形法由来のマイクロポイドが多数確認された。ポイド対策或いはポイド管理規定値の作成を今回の事業期間内で完了させることは困難と判断し、主たる方案をインジェクション成形の鏡部陪材と押し出し成形の胴部陪材を溶着で一体化する製法に変更した。（図 3-10）



図 3-10 ライナ製法変更イメージ

インジェクション / 押し出し + 溶着品結果

口金構造は回転成形方案の構造を踏襲し製作した。溶着は材料によって熱板、赤外線、レーザーを検討し、試作品は材料に関わらず熱板溶着で作成した。（図 3-11）

この小型ライナを使用した実証を通して、問題点を抽出し、平成 28 年度以降の大型試作容器用ライナの仕様に対策反映することができた（○）。



図 3-11 小型試作ライナ（溶着完）

溶着部見極め

溶着は当社樹脂製ガソリンタンクのノウハウにて溶融状態および溶融状態を維持するための溶融温度、溶着圧力、溶融時間の条件管理で強度保証が可能である。

溶着部の疲労強度保証は今回の試作品材料で取得した S-N 曲線より考察した。S-N 取得のための引張疲労試験は伸びの影響を受けない - 20 環境下で実施した(図 3-12、3-13)。製品を再現させた試験品(溶着の溶融はみ出し部を片側のみ切削)は溶着影響部より離れた位置の一般部から破断する。

溶融はみ出し分の断面積が増加したためであり溶着部の疲労強度は一般部よりタフネスがあると言え、溶着の影響により一般部も含めて疲労強度タフネスの絶対値は下がる傾向にあると、溶着なし品と

の比較より推測でき、それを考慮した設計が必要である。

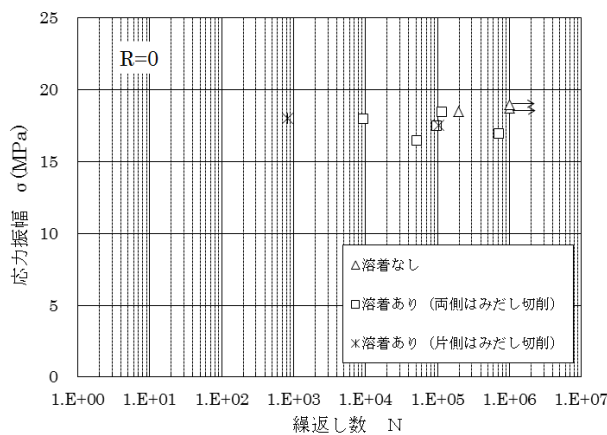


図3-12 試作材料でのS-N 曲線

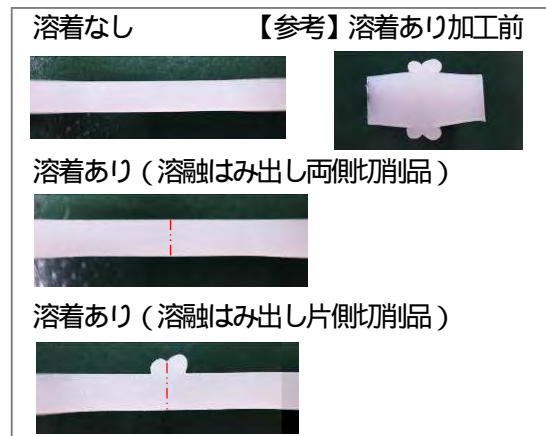


図3-13 試験品種類

溶着部の水素影響は、「(2) 樹脂ライナ材の評価」で述べた水素曝露試験を溶着部でも実施した。一般部で微細クラックが発生する条件で曝露した結果、一般部に変色が認められたが溶着部へのダメージは認められなかった。これは溶着部の高結晶化により水素溶解量が減少したためと推測する。(図3-14)

以上の結果より、溶着部に関する保証は可能と判断した(○)



図3-14 溶着部水素曝露試験結果

口金構造

(1)のF/Sにおけるタイプ4他社製品調査内容を検討し、シール部材をセルフシールと併用した信頼性のより高い構造で、且つ、シール部材のメンテ交換ができる構造を考案したが、小型試作容器での性能評価を経て主には下記の問題点が抽出された。

- ライナ成形時の残留応力によるライナ強度低下
- 肉厚変化部および屈曲部の応力集中によるライナ強度低下
- 製品形状に起因する成形時の製造欠陥によるライナ強度低下
- 口金フランジ形状に起因するFRP 座屈

大型試作容器の口金構造に関しては、小型試作容器で抽出した上記問題点の対策として、口金構造の抜本的な見直しが必要になった。シール部材をセルフシールと併用した信頼性のより高い構造方針は小型試作容器から踏襲したが、シール部材をメンテ可能とした特徴的な構造は断念した。よって、当初の口金とライナ間のシール部材材質はEPDMを使用していたが、新構造によるシール部材は生涯締結構造となるため、FRP硬化時の加熱影響や長期的な弾性率を考慮しVMQに変更した。

口金部品を金型に装填しライナをインジェクション成形する、いわゆるインサート成形(図3-15)から、ライナのみをインジェクション成形し、口金部品は後工程で組み立て固定する(図3-16)方案変更

が最も大きな変更である。口金部品の固定および加工工数の削減を目論んだが、上記問題を早期に解決するための手段として選択した。



図 3-15 小型試作品（口金インサート）



図 3-16 大型試作品（口金別体）

口金構造の変更に伴い、ライナと口金間のシール性能を確認した。常温以外の口金部シール性能は実物容器による評価が容易ではないため、シール構造部を模擬した環状の樹脂製テストピースを Pot 状の耐圧治具で固定し低温環境下の漏洩試験と高温環境下のライナシール面のクリープによる凹み量測定を実施した。

低温シール性確認試験

O-RING の圧縮率が、設計の低圧縮率側近傍の、12%、10%、8%の3水準（テストピースおよびスペーサで調整）および温度 -20、-40、-50 の3水準の組み合わせで実施した。

予め低温ソークした試験体を予め冷却したクーラントにて 105MPa に加圧し、漏れ有無の確認を行った。

結果は表 3-3 に示すように、最小の 8% 圧縮率においても -50 のシール性能確保を見通せた。

これは熱解析シミュレーションで算出した寒冷地（-20）におけるガスの放出断熱膨脹長時のライナ壁温 -35 に対し、十分なタフネスを有する結果であり、ライナシール面の低温収縮方向およびセルフシール方向に O-RING を配置しているため、低温シールタフネスが高かったと推測する (○)。

高温静圧クリープ試験

O-RING 圧縮率は高圧縮側の 30% にて、50、80 の2水準を実施した。

105MPa の水圧にて各温度 24h 放置した後に分解し、樹脂製テストピースの O-RING およびバックアップリング当たり面の凹み量を測定した。

結果は表 3-4 に示す凹み量となった。蓄圧器の設計温度プラスアルファの 50 においてはもちろんのこと、極端温度条件の 80 においても、O-RING の設計圧縮率に想定した凹み量 0.25mm を大幅に上回る良好な結果を得られた (○)。

表 3-3 低温シール性試験結果

温度 ()	O-RING 圧縮率 (%)		
	8	10	12
-20	OK	OK	OK
-40	OK	-	-
-50	OK	-	-

表 3-4 高温静圧クリープ試験結果

温度 ()	クリープ凹量 (mm)
50	0.05
80	0.1

なお、FRP 硬化熱による影響については、別途試作容器にて疲労試験後(実質水温 70)の結果より、シール面の凹み量が0.13mmであることを確認している。

(5) 検討用試作品の製作

試作品の製作

性能実証のための試作品を作成した。当初は小型容器製作を経て中型容器製作を計画していたが、平成 26 年度にライナの製造方案を変更したため、中型サイズへのスケールアップ製作を断念し、小型容器での課題を吟味しつくすことで大型化課題を見通す方針に変更した。

「(4)ライナ構造/製法検討 口金構造」で先述した小型試作容器で抽出された問題点や、設計上の問題点を大型試作容器に対策反映した。参考に設計上の問題点の1つを図 3-17 に示す。これは、シリンダ径に対して、胴部長さが短いために加圧時の胴部歪がピークに達していなかったという計算結果である。正確な FRP 強度判断が出来るように大型試作容器のサブスケール版でも十分な胴部長さを確保した。

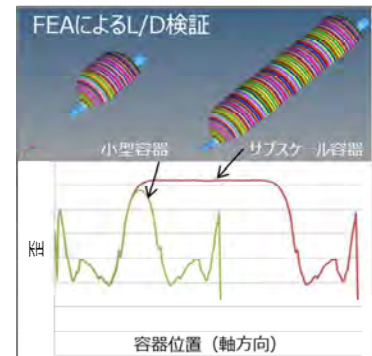


図 3-17 胴部長と歪

以下、小型試作容器 (図 3-18、表 3-5)、大型サブスケール試作容器 (図 3-19、表 3-6)、大型リアルスケール試作容器 (図 3-20、表 3-7) を示す。



図 3-18 小型試作容器

表 3-5 小型試作容器諸元

設計圧力.	105MPa
設計破裂圧力	270MPa
水容量	18L
容器質量	29.0kg



図 3-19 大型サブスケール試作容器

表 3-6 大型サブスケール容器諸元

設計圧力.	105MPa
設計破裂圧力	270MPa
水容量	67L



図 3-20 大型リアルスケール試作容器

表 3-7 大型リアルスケール容器諸元

設計圧力.	105MPa
設計破裂圧力	270MPa
水容量	280L

大型化懸案の検証結果

小型試作容器を製作して抽出されたタイプ 4 大型化への懸案を現物および CAE を使用して検証を行

った。また、平成 29 年 7 月より長尺試作が可能な設備を稼働したので、長尺（リアルスケール）の試作を通して、検証を実施中である。現時点の結果を表 3-8 に示す。

表 3-8 大型懸案検証結果

項目	内容	結果
FRP厚巻	硬化反応熱のライナへの影響	反応熱MAX110°CでPE-HDの物性上問題なし
	ライナの断熱効果による焼きムラ	硬度測定の結果ムラなく現硬化条件で問題なし
	FW時、硬化時の容器たわみ	ライナ単体での影響はなし、FW後の検証中
線膨張差	寒冷地設置時のライナへの影響	低温による収縮影響は、設置時の初回加圧時のみ影響を受ける。平均応力が増加するものの部分充填環境下では問題ないと環境試験の結果より判断する。 また、設置時の初回加圧方法（特許出願中）を考案した。

FW 時および硬化時の容器たわみに関しては、H27 年度に机上検討で FW 張力 / ライナ内圧のチューニングで問題ないことの見通しを立てたが、事業終了に向けて実証する。

たわみ検証の一貫でライナ単体による FEA および実物での検証を行った。ライナのみ自重クリープによるたわみ（回転なし）は、机上計算とほぼ同一の結果となった。（図 3-21、図 3-22）

内圧印加することで許容範囲に抑制可能である。また、内圧印加しないセット作業時も影響のない時間でセット時間を管理することで、問題ないと考える（○）。

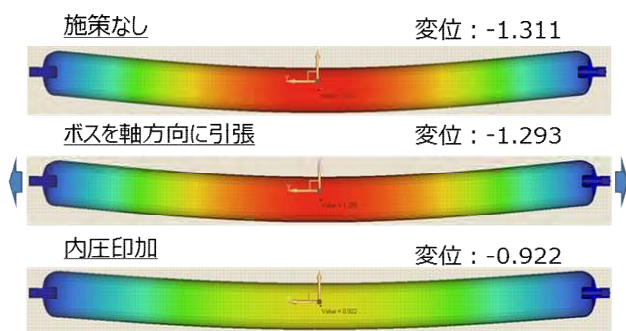


図 3-21 ライナ単体たわみ FEA 結果

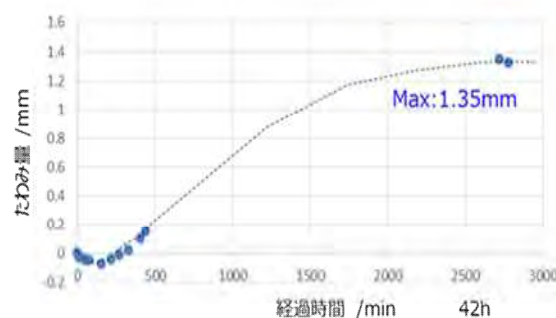


図 3-22 ライナ単体たわみ実物結果
(施策なし)

次に FW 完了後に CFRP の自重によって、たわみが発生しないかを大型リアルスケールサイズ容器の試作にて確認した。特にエポキシ樹脂硬化時のライナ軟化による影響有無を確認した。なお、両工程共に内圧は印加した状態である。

容器中央断面（図 3-23）における、FW 前ライナ中心を基準とした、硬化後の容器中心のズレ = たわみを図 3-24 に示す。中心位置のズレは 0.07mm であり、FW およびエポキシ樹脂硬化工程でのたわみは発生しないことが実証され、長尺化による影響はないと考える（○）。

ヘリカル層の網目が開くことによる多少のたわみを想定していたが、回転させながら CF を張った状態で巻回し、かつ、フープ巻きでヘリカル層を緊縛するため、ヘリカル層の張りが保たれて容器自体のたわみが発生しなかったと推測する。

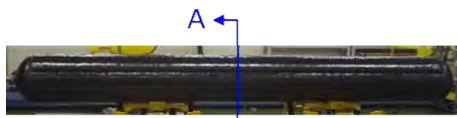


図 3-23 たわみ検証断面位置

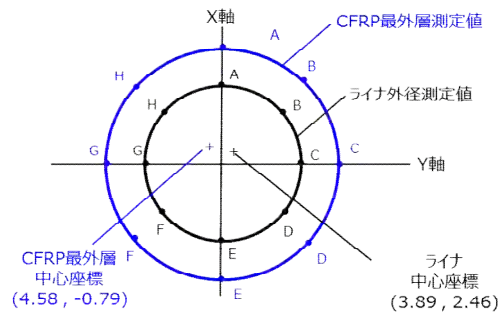


図 3-24 硬化前後の円筒中心位置 (座標はデフォルメ表示)

(6) 実水素使用の性能試験

試作容器による実水素使用性能評価を KHK TD5202 に沿って実施し、主に口金構造部の信頼性検証と耐久後のライナ水素影響（物性変化、透過量変化）を解析する計画を立案したライナ成形方案変更による容器仕様 FIX の遅れおよび設備の都合上、「(2) 樹脂ライナ材料の評価」における水素曝露試験を代替評価とすることで、H27 年度での実施は見送った。現在、大型サブスケール試作容器による水素ガスサイクル試験を 2 月終了予定で外部試験機関(海外)に依頼済であるが、設備の空き待ち状態であり全世界的に水素試験設備の負荷が高い状況である。

但し、水素ガスサイクル試験は、実際の蓄圧器の使用条件と乖離している試験であり、当社他製品の開発結果より問題は発生しないと推測している (○)。

また、水素ガス透過試験については、小型試作容器にて KHK TD5202 に則した試験を実施し、基準である 5cc/L/h に対し、2.3cc/L/h の結果を得た。当該基準は、単位容量当たりの基準のため、容量当たりのライナの内表面積が小さい大型容器が有利になると判断し、大型においても小型試作容器の結果で OK を見通せると考える (図 3-25) (○)。

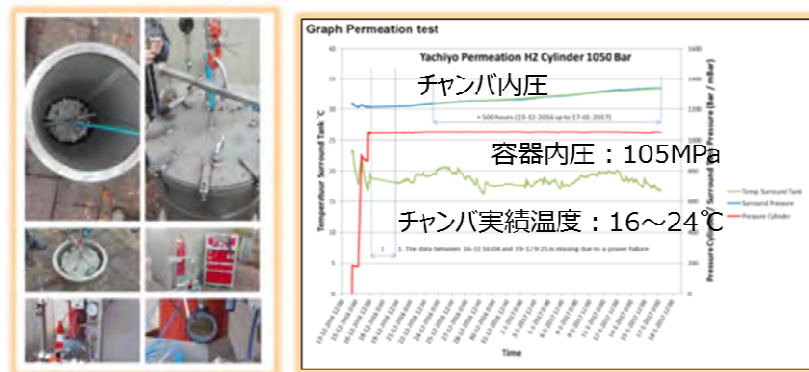


図 3-25 水素透過試験風景および試験結果チャート

(7) 最適物性 CF の開発

CF 物性改良による、CF 使用量低減の目標を 10%以上低減(現行 CF 対比)として、CF の高強度化を検討した。CF 強度が 10~15%程度向上し、CFRP としても同程度の性能が向上できる方法を見出した(図 3-26、表 3-9)。一方で高強度化すると弾性率も増加することが確認された(図 3-26)。この高弾性率化で CFRP の疲労特性に悪影響を及ぼす懸念が考えられたため、標準品である弾性率 245GPa 品と弾性率のみを約 10%増加させた弾性率 265GPa 品(両者とも強度は同等)の疲労試験を、KHK にて実施した。結果として、弾性率の違いで疲労特性に差異は見られず、開発品の物性向上の方向性で問題がないことが確認できた (○)。(図 3-27)

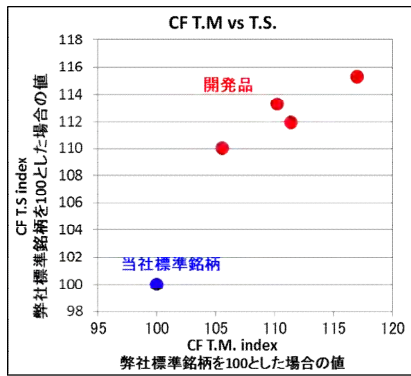


図 3-26 開発品 CF の強度、弾性率指数

表 3-9 開発品 CF のCFRP 性能

	標準銘柄を100とした場合の値	
	CFストランド強度	CFRP 0°引張強度
標準品	100	100
開発品	113.8	112.1



図 3-27 CFRP 疲労特性評価の結果

(8) サイズ剤の開発

CF の強度発現率向上を実現するサイズ剤の選定として、新規サイズ剤の検討を実施した（検討水準は表 3-10）

新規サイズ剤(高開繊性樹脂)により、FW 工程通過性(耐擦過性)を既存品対比 30~50%改善し、生産効率向上、品質向上に貢献する可能性を確認できた（図 3-28）

また、糸幅安定化(CF ストランド幅変動低減)を既存品対比 1/2 に低減したことで、FW 工程での樹脂含浸量の安定化に寄与し、品質の安定化およびCF 強度発現率向上の可能性を確認できた（図 3-29）

更に、タイプ 3 容器評価の結果、強度発現率指数として 2%程度向上することが確認できた（図 3-30）

(○)

開発品である高強度 CF と組み合わせて容器での評価を行い、CF 使用量削減量を定量的に検証する予定。

表 3-10 サイズ剤検討水準

(1)	既存品
(2)	サイズ剤変更品（高形態保持性樹脂）
(3)	サイズ剤変更品（高開繊性樹脂）

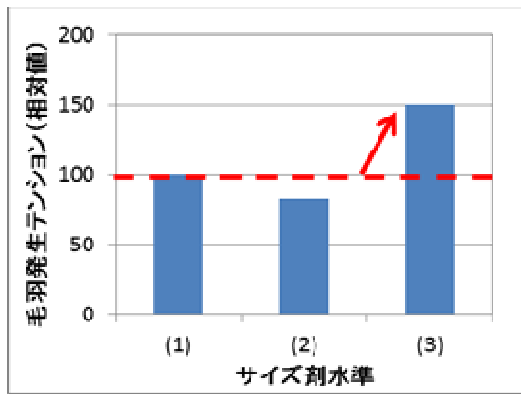


図3-28 毛羽発生テンションの比較

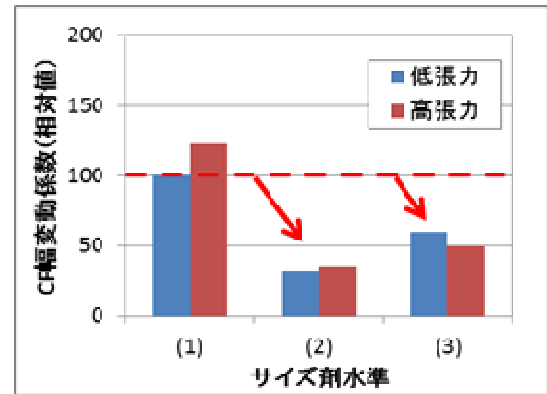


図3-29 CF幅変動係数の比較

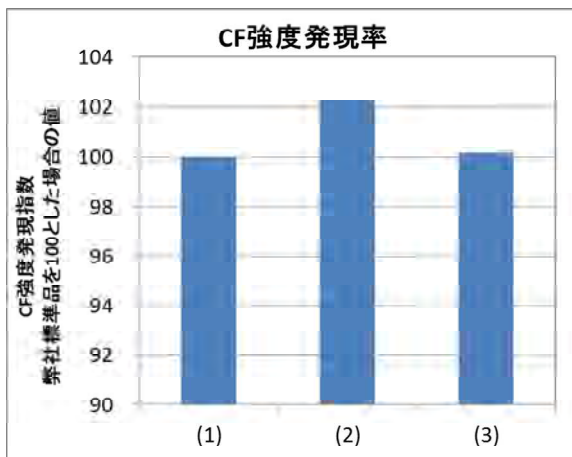


図3-30 タイプ3容器評価によるCF強度発現率指数

(9) 大型複合容器(サブスケール含む)における性能評価

本個別実施項目は、特認取得可能な性能であることの証明を実製品で行うことを意義とし、大型サブスケール試作容器による実証をKHK TD5202の設計確認試験に則して実施中である。

6項目中2項目の合格を除き、現時点で試験中または設備空き待ちのため、事業終了までに結果を出せるよう推進している。事業終了時点で、未達項目がある場合は、実用化に向けた恒久仕様に速やかな対策反映ができることを目的に、原因の特定および対策案検討まで確実に終了させる()

また、破裂圧力は設計圧力105MPa 想定破裂基準圧に対してマージンが少ないが、当社目標質量の最下限仕様による見極め結果であり、CFRP積層を追加することで十分なロバスト設計とCF削減の両立は可能と考える。

表 3-10 KHK TD5202 の主な設計確認項目と事前試験結果

試験項目	目標	結果
破裂	237MPa 以上	OK : 1.6kg/L の最軽量仕様で 239MPa
疲労	10 万回漏れなし	11/中旬終了予定 : 11/2 時点 6 万回継続中
高温クリープ	105MPa 漏れなし 237MPa 以上	11/中旬終了予定 : 2000h の劣化前処理終了 し、漏れなし(破裂試験待ち)
ガス透過	5cc/h・L 以下	11/未終了予定
環境	132MPa 以上漏れなし	OK (不利想定 の - 40 で実施)
水素ガスサイクル	漏れ、劣化なきこと	2 月終了予定 : 設備待ち 12 月開始予定

3. 2 成果の意義

本事業では水素ステーションの建設コストの設備費に占める比率の高い蓄圧器の低コスト化を目指し、樹脂製ライナに炭素繊維を FW することにより製造するタイプ 4 複合容器蓄圧器が実用化されれば、材料費用や製造費用の削減メリットを活かせるため、早期に事業採算性を確保し、水素インフラの整備を加速できると考える。

また、強度発現を向上、最適化する CF を開発し、FW の巻回最適化を図ることで CF の使用量削減を実現し蓄圧器トータルでのコストダウンに貢献できる目論見を持つ。

よって、低価格で水素を供給することが可能になり水素社会の早期実現に貢献し、我々はもちろん水素社会ビジネスに関わる国内企業の企業活動に貢献する。最終的には地球温暖化対策、エネルギーセキュリティへの貢献に繋がると考える。

競合技術に対する優位性として、鋼製タイプ 1 比の軽量化を 84%達成する目論みであり、設置費用削減（基礎費用、設置場所への蓄圧器運搬費用、蓄圧器設置作業費用）が見込まれる。

また、比較的軽量のアルミライナ製タイプ 3 と比較しても 37%の更なる軽量化が見込まれ、更なる設置費用削減（容器ラックの軽量化など）およびコスト構成で大半を占める炭素繊維の削減が下記の理由で見込まれる。

- ・ライナ肉厚差の容量効率向上による削減
- ・ライナ疲労強度向上による削減

更に、タイプ 4 蓄圧器に最適な CF の使用により、FW 工程での安定化を実現すると共に CF 強度発現率向上による CF 使用量 10%以上の削減を可能にすることで、コスト削減、及び軽量化に繋がるのではないかと考える。

3. 3 成果の最終目標の達成可能性

本事業の最終目標「水素ステーションへの設置可能要件となる大臣特認取得に必要な性能（KHK TD5202）を満たす大型タイプ 4 複合容器蓄圧器である事を、技術データをもって証明する。」に対して、サブスケールを含む大型試作容器による KHK TD5202 に則した試験実証は終了していないが、タイプ 4 特有のライナへの水素影響確認やその結果および現時点の大型リアルスケール試作容器の製作状況より、タイプ 4 容器が蓄圧器として成立する可能性は見いだせると考える。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

タイプ4による実用化に向けた、基準合致の性能確保は一定の運転条件が必要となるが可能と判断する。一定の運転条件を蓄圧器ユーザーに受け入れられるために、コストインパクトを与えられるかが、今後の課題である。本事業終了までにタイプ3のCFRP使用量を調査/把握または推定し、CFRP削減コストによるインパクトを提示できるよう進める。

参考として、容器総質量ではあるが、大型サブスケールにおける破裂圧下限仕様と同一のCFRP積層構成で作成した大型リアルスケール試作容器(280L)の質量実績より300L換算した場合、480kg程度となる。破裂圧下限仕様のためマージンを考慮すると、目論みのタイプ3比37%削減に至らないが、35%から36%の削減が可能と考える。

コストインパクトを与えるための仕様以外の課題は、特認取得に必要な設計確認試験費用の削減または代案の検討であり、他のタイプも含め、蓄圧器のコストダウンに向けては、オールジャパンで協力していかなければならない課題と本事業を通して認識した。

代案としては、理論による性能立証等によって、試験費用削減および期間短縮を構築することなど(試験体数の削減、サブスケールでの評価等)が考えられるが、代案検討そのものも、事業化に向けた課題であり、現実的な今後の方針でもある。

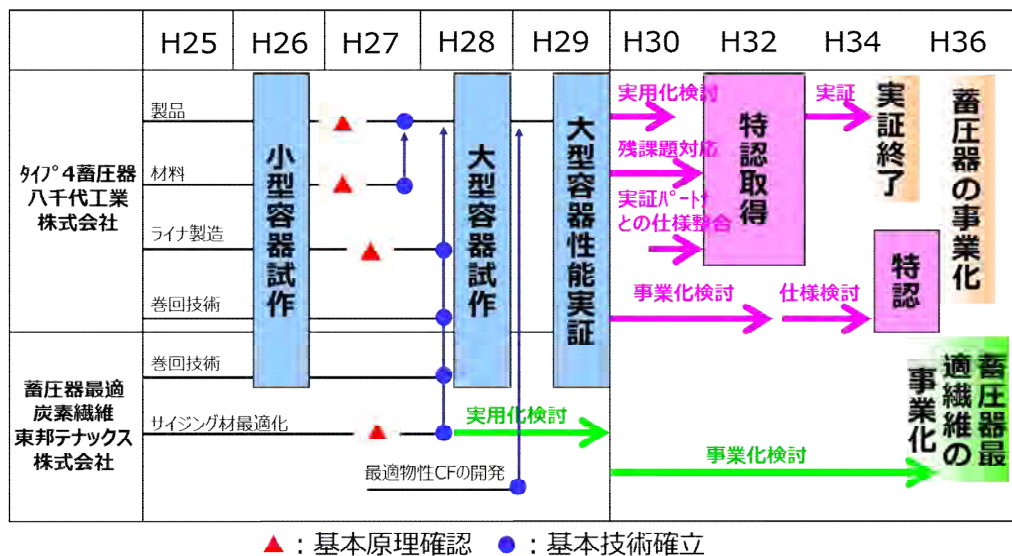


図 4-1 事業化までのシナリオ

5. 研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2017-3-1~3	FC-EXPO	水素 ST 用蓄圧器展示	中村 和広 (説明員)
2	2017-7-6	IDAJ 社主催ユーザー会	水素 ST 用蓄圧器開発における CAE の取り組み	金子 高士

- 特許等 -

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	2014-1-28	特願 2014-13056	圧力容器	八千代工業 (株)
	2014-12-9	PCT/JP2014/8250	圧力容器	八千代工業 (株)
	2014-12-9	US14/893560	圧力容器	八千代工業 (株)
	2014-12-9	EP14880399.2	圧力容器	八千代工業 (株)
	2014-12-9	CN201480028246.8	圧力容器	八千代工業 (株)
2	2014-4-25	特願 2014-90975	圧力容器及びフィラメントワインディング法	八千代工業 (株)
	2015-2-26	PCT/JP2015/55606	圧力容器及びフィラメントワインディング法	八千代工業 (株)
	2015-2-26	US15/306167	圧力容器及びフィラメントワインディング法	八千代工業 (株)
	2015-2-26	EP15783471.4	圧力容器及びフィラメントワインディング法	八千代工業 (株)
	2015-2-26	CN201580019874.4	圧力容器及びフィラメントワインディング法	八千代工業 (株)
3	2015-4-15	特願 2015-82999	圧力容器	八千代工業 (株)
	2016-2-29	PCT/JP2016/55981	圧力容器	八千代工業 (株)
4	2016-10-4	特願 2016-196115	圧力容器	八千代工業 (株)
	2017-9-6	PCT/JP2017/32137	圧力容器	八千代工業 (株)
5	2016-11-7	特願 2016-216965	圧力容器のガス充填方法	八千代工業 (株)

(II-2)「水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発／樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」

共同研究先：中国工業(株)

● **成果サリ** (実施期間：平成25年度～平成29年度)

- ・ポリエチレンを使用した、大型一体成形を可能とした、低コストライナーの確立。
- ・複合容器蓄圧器の軽量化及び高速成形が可能な、補強構造を持つワインディング技術の確立。
- ・KHK TD5202に準拠した、300L 設計圧力105MPa（破裂圧力 240MPa）、Heガスによるガス透過率1.05cc/L・hを達成した。

● **背景/研究内容・目的**

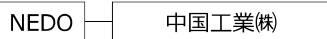
2011年1月には自動車メーカー及び水素供給事業者13社が共同声明を発表し、自動車メーカーがFCV 量産車を2015年に4大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始を目指し、開発を進めていることや、水素供給事業者が2015年までにFCV 量産車の販売台数の見通しに応じて100箇所程度の水素供給インフラの先行整備を目指すこと等が示された。

水素インフラの整備を推進するためには、早期に事業採算性を確保し、低価格で水素を供給することが強く求められている。本研究開発では、水素ステーションの建設コストの設備費に占める比率の高い蓄圧器の低コスト化を目指し、樹脂製ライナーに炭素繊維をフィラメントワインディングすることにより製造するタイプ4複合容器蓄圧器の大型化に向けた実用化技術開発を目的とする。

● **研究目標**

実施項目	最終目標(H25年度)
①複合容器蓄圧器の規制動向の把握と法規制への対応方法決定	国内Type4容器的規制 KHK TD5202の技術文書に基づく対応策を決定する。(破裂圧力240MPa以上、サイクル数 65,000回以上、ガス透過率 5cc/(L・h)以下)
②容器を製作するためのフィージングドリルスタディの実施	プラスチックライナー製作にあたっての融着構造、口金シール構造など仕様の決定。
③小型複合容器蓄圧器30Lの試作と評価	回転成形でのプラスチックライナー、射出成形での口金ブロックを使用して、大型化の可能性を評価する。
④中型複合容器蓄圧器100Lの試作と評価	最終目標の大型容器と同直径の中型容器により、CFRP補強構造を主とした破裂圧力及び軽量化の評価を行う。
⑤大型複合容器蓄圧器300Lの試作と評価	小型・中型容器の評価に基づいて試作を行い、破裂圧力及びサイクル試験、ガス透過試験を行い、KHK TD5202に準拠した製品の構造指針を構築する。

● **実施体制及び分担等**



● **これまでの実施内容／研究成果**

- (1)回転成形を適用して安価な大型プラスチックライナー本体を一体成形する技術の確立。
30Lライナー、100Lライナー、300Lライナーの一体成形を確立した。
- (2)水素ガスバリア材としてG-Polymer を使い、回転成形によって多層成形する技術の確立。
ポリエチレン単体の回転成形ライナーで、Heガス透過試験を実施し、1.05cc/L・hの性能を確認した。
よって、本研究は、ポリエチレン単体で行うこととした。
- (3)バルブ等、外部機器との接続のための口金をLLDPEにインサートして水素ガスを接触させない構造の口金ブロックを研究開発する。
水素ガスが口金金属に接触しない構造を確立した。
- (4)口金ブロックを融着したプラスチックライナーをCFRPで補強し、低コスト・大型Type4複合容器を研究開発する。
上記で確立した、大型一体成形樹脂ライナーに口金ブロック融着したライナーを使用し、CFRP FW補強構造の軽量・低コストの複合容器蓄圧器の成形技術を確立した。
- (5)CFRP層は、層全体が有効に強度に寄与するためのフィラメントワインディング (FW) 成形技術を確立する。
補強構造のシミュレーションと破裂試験から、最適なFW成形プログラムを導き、最軽量・高速成形が可能な複合容器を製作した。

● **研究成果まとめ**

- **今後の課題**
- ・複合容器蓄圧器に水素ガスで105MPaに加圧してガス透過率を測定する。
- ・100L・300L複合容器によるサイクル試験の実施。
- ・未実施の設計確認試験を行う。
- ・更なる軽量化、コスト低減。

● **実用化の見通し**

各種設計確認試験を実施し、特認を取得して、軽量で低価格な水素ステーションの建設促進に寄与する。

実施項目	成果内容	自己評価
①	複合圧力容器蓄圧器分科会にオブザーバーとして参加し、技術基準制定に向けての内容を理解	◎
②	各セクションの要素研究を行いType 4 複合圧力容器蓄圧器に必要な内容を理解	○
③	30L複合容器の試作を行い、口金シール構造・融着技術及びライナー・CFRP接着の確立	○
④	30Lの容器開発からCFRP補強のポイントを理解し240MPa圧力破壊試験クリア、更なる軽量化を推進中	△
⑤	100L複合容器試作評価にて300L複合容器への製造指針を勘案中	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
3	0	12	0

課題番号：Ⅱ-2

水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発／

樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発

中国工業株式会社

1. 研究開発概要

はじめに

現在、鋼製継目無し容器（Type 1）やアルミ合金製ライナーを使用した複合容器（Type 3）が水素ステーション向けに使用されているが、重く、コスト高となっている。そのため、軽量、低コストの蓄圧器を開発する必要がある。また、水素ステーション建設に当たっては、何よりも耐震設計基準を重視する必要がある、設備は、極力軽量なものが好ましい。そのような趣旨から低価格な大型Type 4 複合容器の開発を行うこととした。本研究開発では、大型（300L）リニアローデンポリエチレン（LLDPE）製ライナー本体を一体で回転成形する。そのことにより耐久性に優れたType 4複合容器を安価に製作することを目指す。

また、従来から課題となってきた、金属製口金とライナー本体との接合部からの水素ガス漏洩に関しては、新たな工夫として、口金金属に水素ガスを接触させない構造で前述したLLDPEライナー本体と、この口金をインサートしたブロックを熱融着の手法を用いて一体化し、ライナーを作製する。さらに、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）との接着性を改善するための表面処理を行う。その後、フィラメントワインディング成形法（FWM）によりCFRP補強して、複合容器とする。

本研究開発では、設計圧力106Mpa（破裂圧力約240MPa）対応の、Type 4複合容器を試作・検証した、後述する低コスト化についても、その実現性を実証した。コスト目標は、バルブを除いて、試作レベルでは、300L 1基当たり1,000万円程度となるが、量産化後は、その2分の1以下を目指したい。

上記を可能とするため、(1)回転成形を適用して安価な大型プラスチックライナー本体を一体成形する技術の確立。(2)水素ガスバリア材としてG-Polymer を用い、回転成形によって多層成形する技術の確立。(3)バルブ等、外部機器との接続のための口金をLLDPEにインサートして水素ガスを接触させない構造の口金ブロックを研究開発する。(4)口金ブロックを融着したプラスチックライナーをCFRPで補強し、低コスト・大型Type 4 複合容器を研究開発する。(5)CFRP 層は、層全体が有効に強度に寄与するためのフィラメントワインディング（FW）成形技術を確立する。(2)については、LLDPE 単体でも透過率は、満足することから多層成形は、本開発では、採用しないこととした。

2. 研究開発目標

蓄圧器の価格については 300L Type4 複合容器蓄圧器(バルブを除く)試作レベルでは、1基当たり約 1,000 万円と想定し、量産時は 2 分の 1 以下を目指す。

蓄圧器の設計圧力を 105Mpa とし、破裂圧力を約 240MPa 以上とする。

常温圧力サイクル試験において、6.5 万回サイクルまで漏れ、または、破裂がないものとする。

水素ガス透過率は 5cc/L・h 以下とする。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) 回転成形を適用した安価な大型プラスチックライナー本体を一体成形する技術の確立

① 小型 (30L) 用 LLDPE ライナー本体の成形方法の開発

30L type4 複合容器用プラスチックライナーの試作

鋼製板金簡易型により 30L 複合容器用ライナーを図 1 に示す。その試作と評価を行った、図 2 にその状況を示す。試作内容は、層構成の詳細を検証するため、直火式の成形方法にて成形を行い、ガスバリア層及び接着層を含む 5 層構造の試作を行った。また、成形温度、温度分布、加熱時間など成形条件を検証しながら、多層構造の成形が行えることを確認した。



図 1 30L 複合容器用ライナー概図

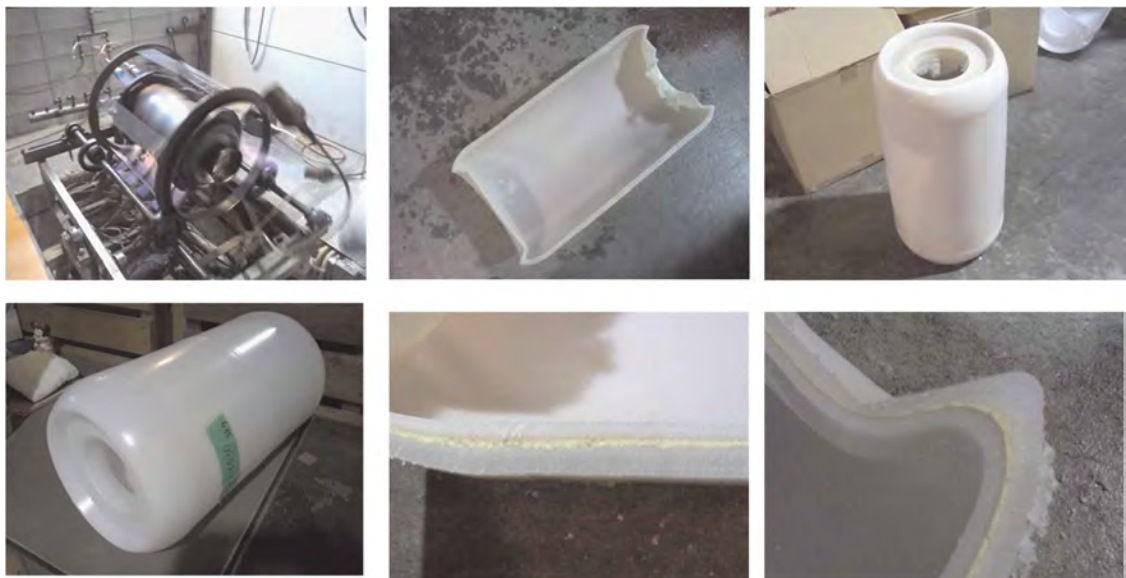


図 2 30L 複合容器用ライナー成形状況

(2) 中型（100L）用 LLDPE ライナー本体の成形方法の開発

① AL 製型 炉式成形について

中型プラスチックライナーの形状を図 3 に示す。

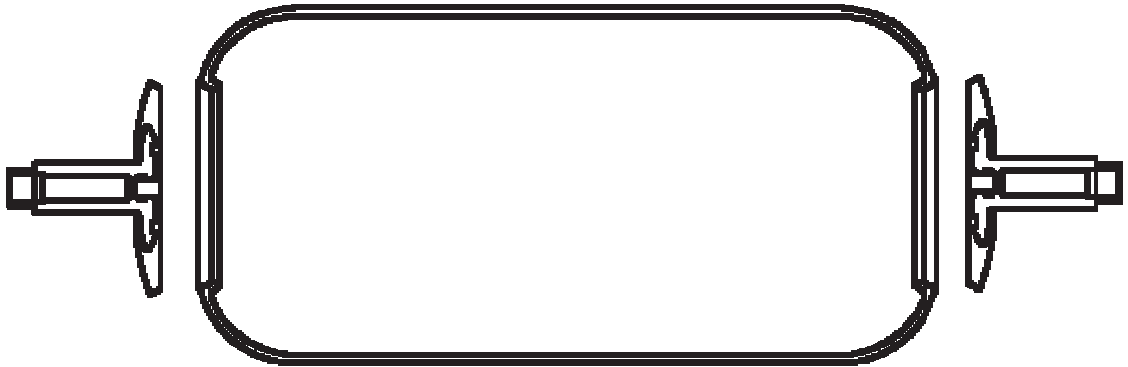


図 3 100L 複合容器用ライナー概図

② 100L type4 複合容器用プラスチックライナー型の製作

鋼製板金簡易型による 30L 複合容器用ライナーの試作と評価結果からライナー本体の形状寸法精度向上のため、図 4 に示す、アルミ鋳造切削加工による高精度型の製作を行った。特に特殊容器成形においては、型の加熱分布が形状精度向上にとって、重要な要素となる事から従来の鋼製板金簡易型より、より熱伝導率の高いアルミ材を使用した型を製作した。また、そのセッティング状況を図 5 に示す。



図 4 アルミ鋳造切削金型



図 5 アルミ型セッティング状況

③ 中型（100L）ライナー本体の試作

30L ライナー本体の容器特殊成形は、層構成の詳細を検証するため、直火式の成形方法にて製作を行って来たが、更なる再現性の確保を目指し、また、成形工程内での管理項目設定のため、炉式の成形方法に変更し、成形条件の洗い出しを行った。結果、鋼製板金簡易型による直火成形と同等の成形条件を確立した。30L ライナー本体試作の成形温度、温度分布、加熱時間など成形条件を参考として、100L 用 LLDPE 単層ライナーの試作を行い、単層成形の基準を確立した。100L・LLDPE ライナーの成形状況を図 6 に示す。



図 6 炉式成形機によるライナー成形状況

(3) LLDPE ライナー本体と口金ブロックの融着技術の確立

① LLDPE ライナー本体と口金ブロックの融着状況

後述する、要素試験の知見を基に、ライナー本体と口金ブロックを融着するための図 7 に示す横型融着機を製作したが、融着面の軟化、ローダウンによる融着面の不安定化があるため、図 8 に示す、新型縦型融着機を製作した。その融着状況を図 9 に示す。



図 7 旧型 横型融着機



図 8 新型 縦型融着機



図 9 新型 縦型融着機 融着状況

② LLDPE ライナー本体材料と口金ブロック材料の要素試験

回転成形材、口金ブロック材それぞれを引張試験片（JIS K7162）に成形し、その後中央で切断して、一定条件で熱融着した図 10 に示す試験片を製作した。その融着状況を図 11 に示す。その試験片を用い図 12 に示す静的引張試験その試験後の試験片外観を図 13 に示す。及び疲労耐久試験機を図 14 に示す。また、その試験片外観を図 15 に示す。

これにより、融着が十分であれば、引張強度は母材と遜色ないこと、また、融着部は変異制御において 15 万回のサイクル試験に十分耐えることを確認した。

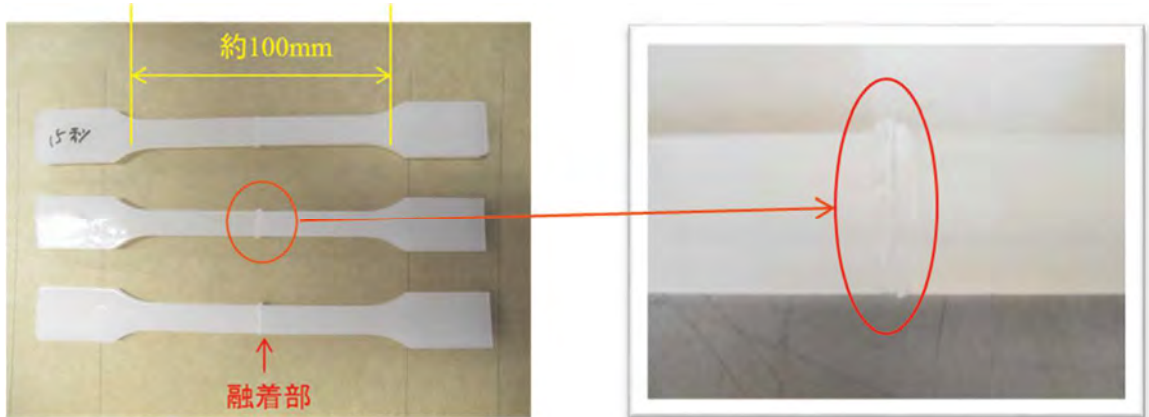


図 10 試験片

【試験片作製】
 プラスチック材料の引張試験片(JIS K7162)を切断
 ↓
 融着面を200℃×15s加熱し密着させる(圧着はしない)
 ↓
 約40秒キープし、冷却させる



図 11 試験片融着状況

融着部試験片による引張試験

制御方法: ストローク制御
 試験速度: 50mm/min
 試験温度: 室温25℃

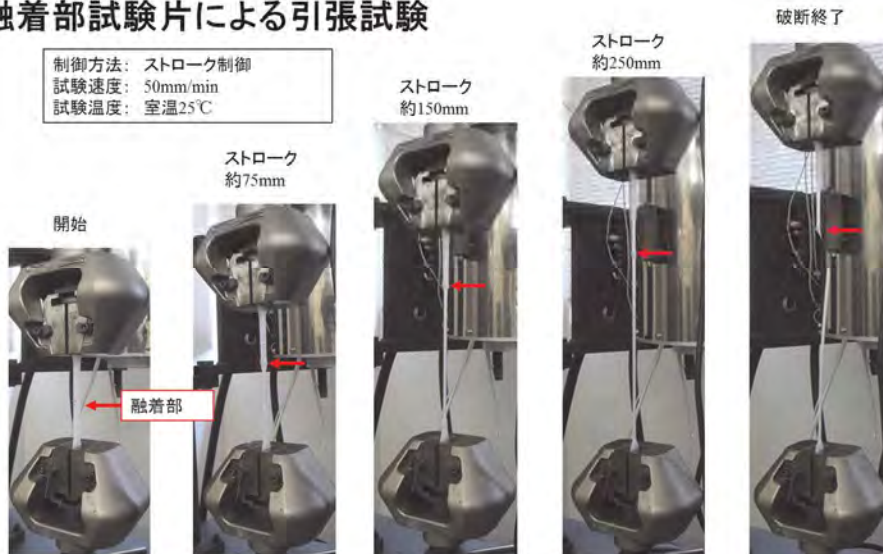


図 12 引張試験状況

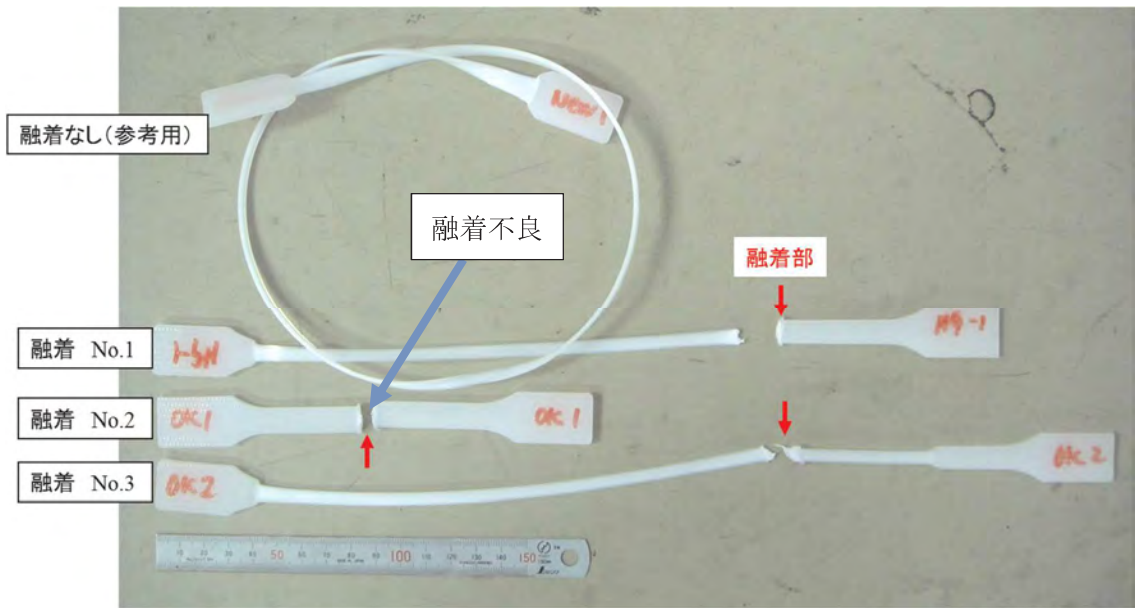


図 13 試験後の試験片外観

9.融着部試験片によるサイクル試験

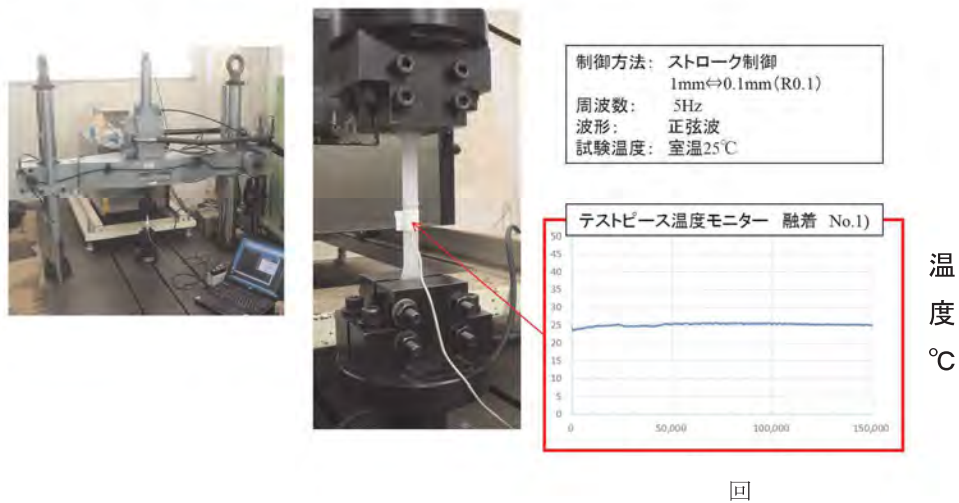


図 14 サイクル試験

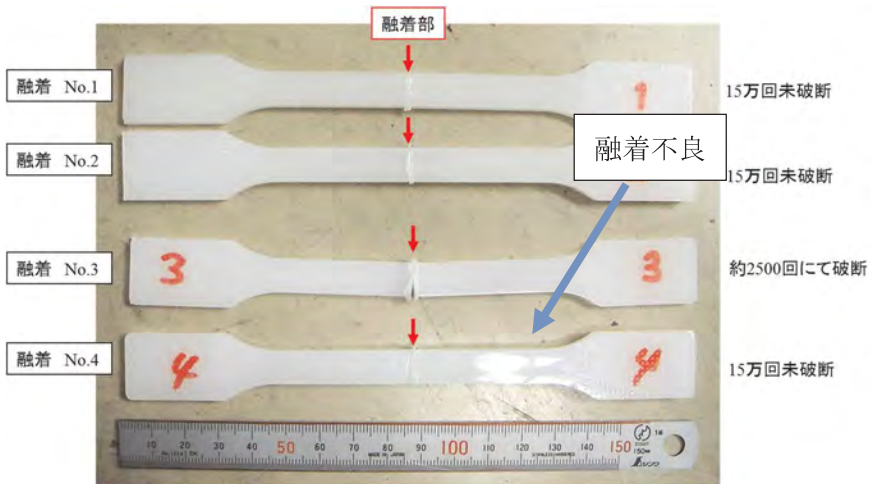


図 15 サイクル試験後の試験外観

③ ライナー本体、口金ブロックの融着部評価技術の研究

ライナー融着部の非破壊検査について

国立研究開発法人産業技術総合研究所つくばセンターにて検証を実施し、また、国立学校法人九州大学の指導の下にタンク融着部のボイドやはく離といった融着不良を検出するため、超音波検査技術にて検証した。検証方法は、超音波パルスエコー法を用いた評価を行い、当該材料にて 400 μm 以上の欠陥が存在する場合は、欠陥エコーを検出できることを確認した。その状況を図 16、18、19 に示し、また、レーザー超音波可視化法による超音波伝搬の様子を図 17 に示す。これにより、ライナーの非破壊検査技術確立の目処がたった。

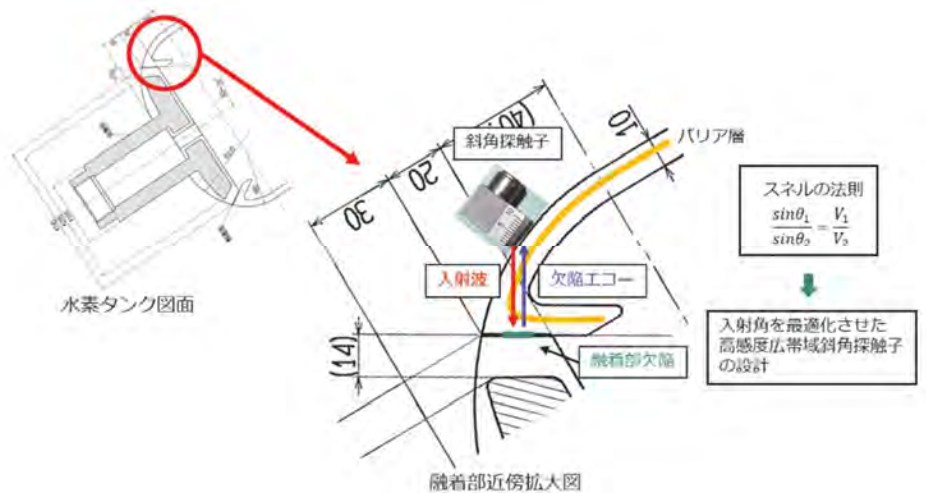


図 16 超音波を融着面に入射して欠陥エコーを検出

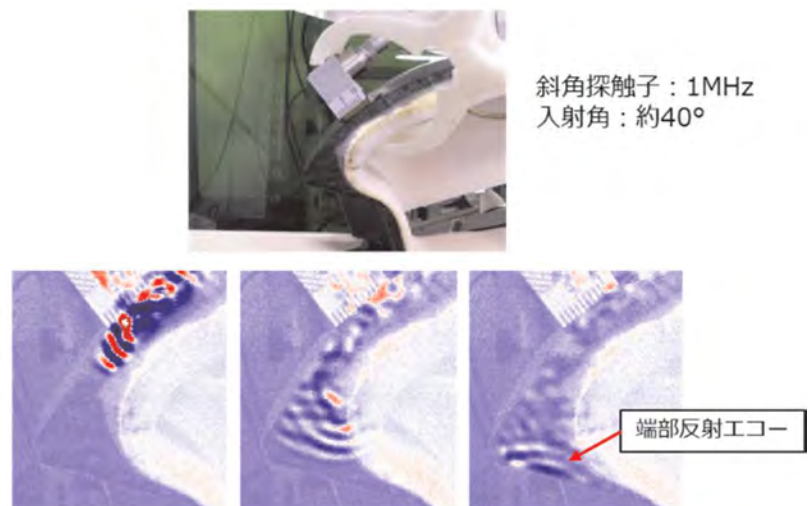


図 17 レーザー超音波可視化法による超音波伝搬の様子

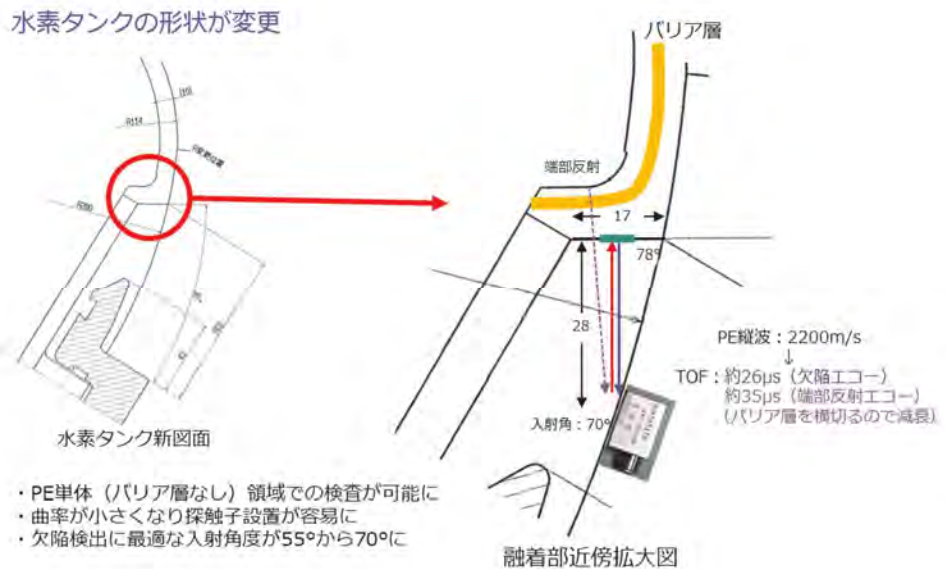


図 18 超音波による融着部欠陥検出

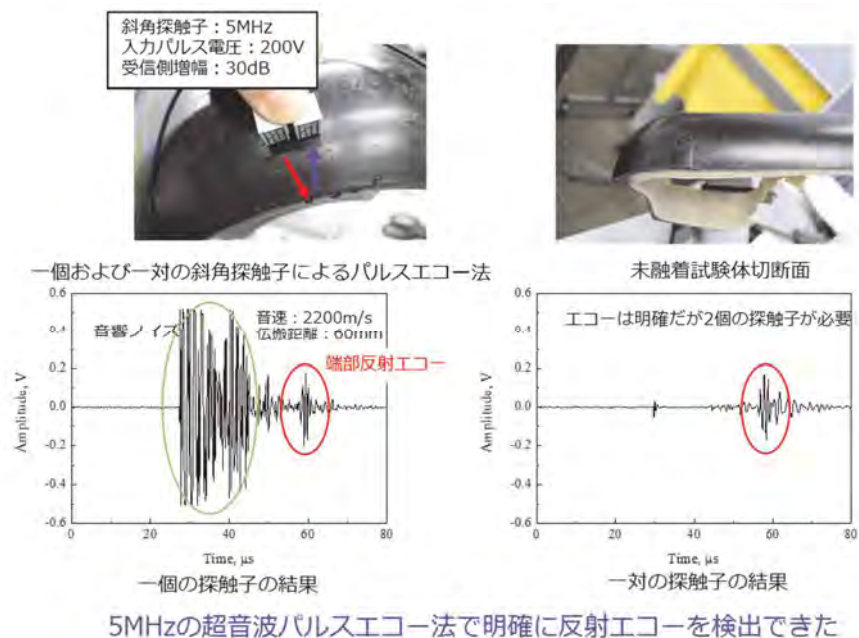


図 19 未融着試験体を用いた予備実験

(4) LLDPE ライナー、エポキシ樹脂の接着性向上技術の確立

接着難素材である LLDPE ライナーと CFRP 強化層との接着力向上のため、ライナーにフレイム処理を施して活性化させた上でプライマー処理を行う。その際のフレイム処理の条件を決定するため、簡易試験を実施した、その状況を図 20 に示す。ライナーのぬれ性評価のため、フレイム処理機のヘッド移動速度・軸回転速度・バーナーからライナーまでの距離・火力設定を検証した。

結果、dyne レベルを 40～50 dyne/cm 程度にする条件を決定した、その状況を図 21 に示す。これに GFRP を積層し、層間剥離テストを実施した。約 70～90Kg の荷重でライナー層と GFRP 層の剥離は確認されず、図 22 に示す通り GFRP 層積層部分での層間剥離を確認した。

これにより、ライナーと GFRP 層との接着力が GFRP 層間接着と同等以上であることを確認し、最適なフレイム処理条件を確立した。

フレイム処理後のぬれ性試験実施状況

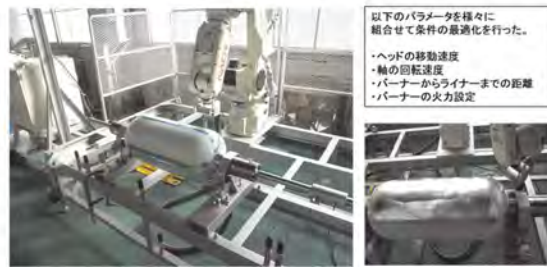


図 20 フレイム処理による条件出し

フレイム処理後のぬれ性試験実施状況

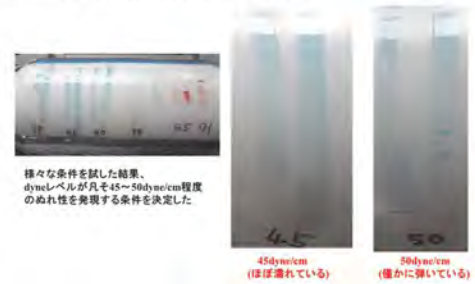


図 21 ぬれ性試験

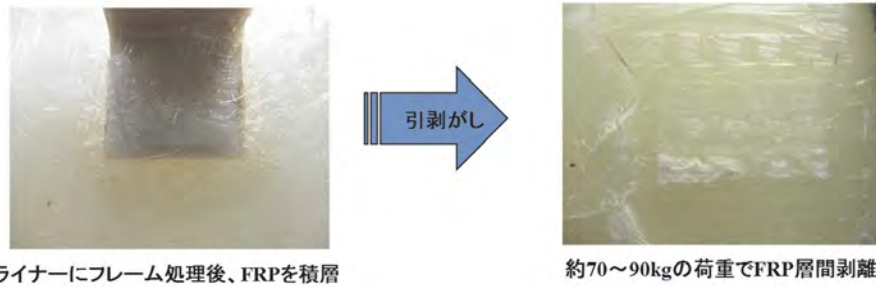


図 22 フレイム処理後の LLDPE・GFRP 間の剥離試験状況

(5) 水素ガスバリア材として G-Polymer を用い、回転成形によって一体で積層成形を行う。

① ホットプレートによるラボ試験

回転成形に使用する各種材料を用いて、ホットプレートにより図 23 の通り、ラボ試験を実施した。

G-Polymer など各候補材料について、加熱温度・溶融時間・流動性を検証し、結果、LLDPE との結合に適した温度帯と時間を決定した。



図 23 ホットプレートによるラボ試験状況

また、30L、100L ライナーを試作成形し、積層状態を図 24 に示す通り確認した。いずれの場合も層間剥離は、検出されず、ジグソーによる切断振動においても剥離を起こさない事を確認した。

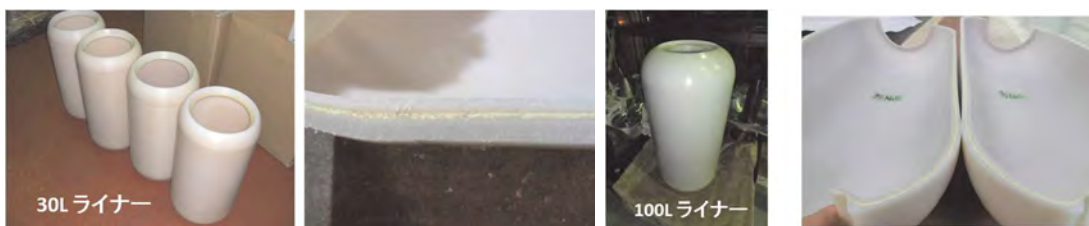


図 24 30L・100L のバリア材を使用したライナー成形状況

さらに、回転成形にて製作したライナー本体から、試験片を切り出し、X線CT試験により内部観察を行った。その結果、図25に示す通り、ボイドが層間の接着層部分に多数存在している事が判明した。また、水素暴露試験を実施し、暴露後の状況においては、加圧によりボイド部分に亀裂が進展している事を確認した。今後、使用材の改良は、タンク強度（バースト・サイクル試験等）とは、切り離し検証を継続する。当面LLDPE単層ライナーにより開発を実施する。

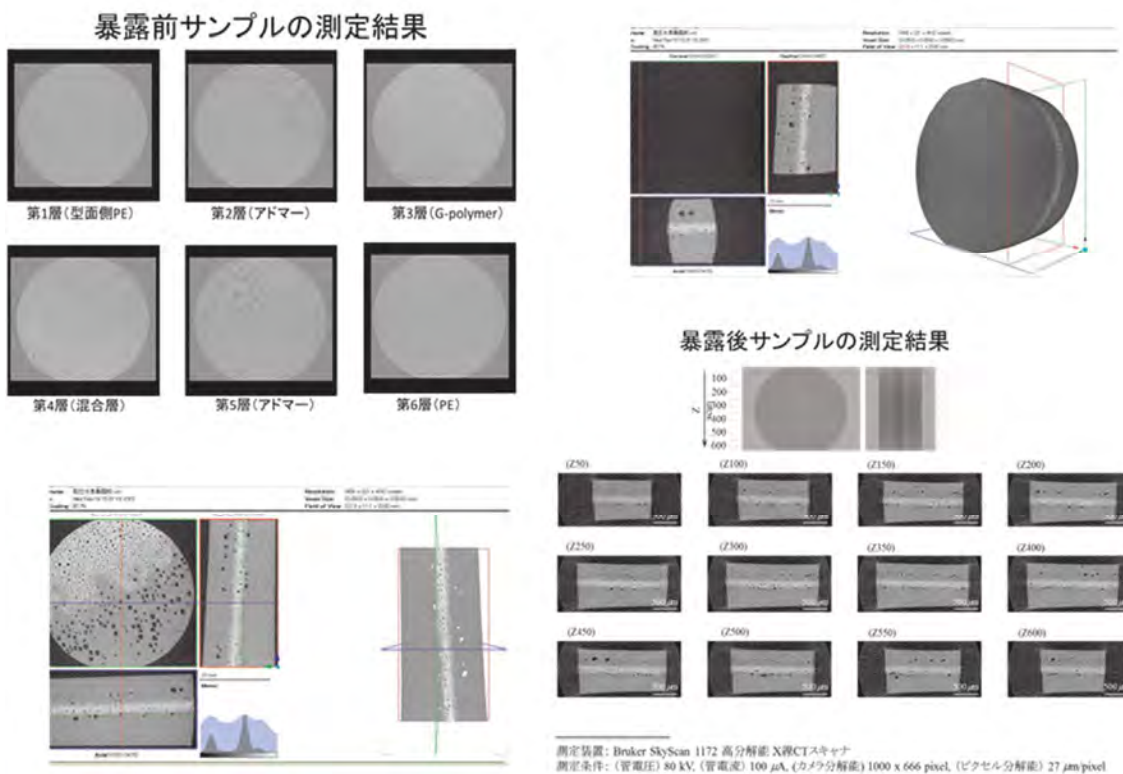


図 25 多層ライナーの X 線 CT 観察状況

- (3) バルブ等外部機器との接続のための口金について、LLDPE に口金金属をインサートした水素ガスを接触させない構造の口金ブロックを検討した。当初は、図 26 の通り O リング 2 種類を使用する構造としていたが、検証の結果、図 27 に示す通り 1 種類の O リングで対応する構造とした。

提案当時

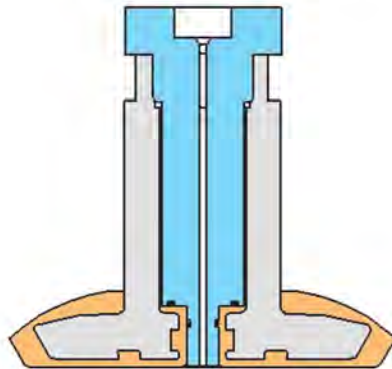


図 26 提案当初の口金ブロック

最終仕様

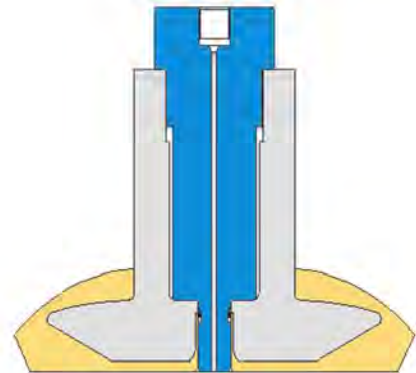


図 27 開発した口金ブロック

① SUS316L ハイニッケル製口金を LLDPE 成形品にインサートした口金ブロックの開発

口金ブロック成形は、図 28 に示す通り、射出成形にて LLDPE に口金をインサートして、製作する。製作の際は、型の予備加熱を行い、十分な加圧力及び保持時間と冷却時間をとることで成形条件の最適化が図れた。これにより、口金と樹脂が密着した状態で成形することが可能となり、更に、精度が要求される内面からの漏洩を防止することが可能となった。

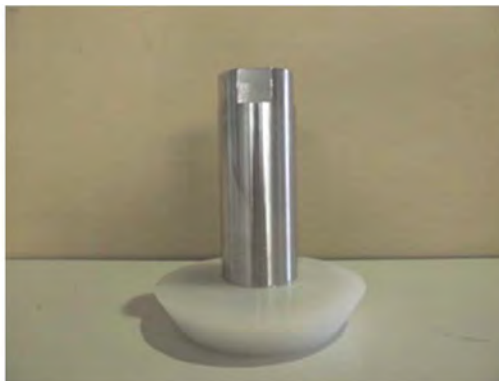


図 28 口金をインサートした口金ブロックの製作状況

② 口金と配管接続具（プラグ）のシール方法の開発

口金構造部のみを評価するため、口金構造確認用の加圧器具を製作し、内部に高硬度プラスチックのカップを装着して、配管接続具（プラグ）とのシール性テストを行った、その状況を図 29 に示す。実際に 10MPa－105MPa の水加圧サイクル試験を実施した。その結果、サイクル回数 27 万回で水漏れを確認した。その新型シール構造を図 30 に示す。



加圧促進器具



サイクルコントロールBOX

図 29 口金部シールテスト状況

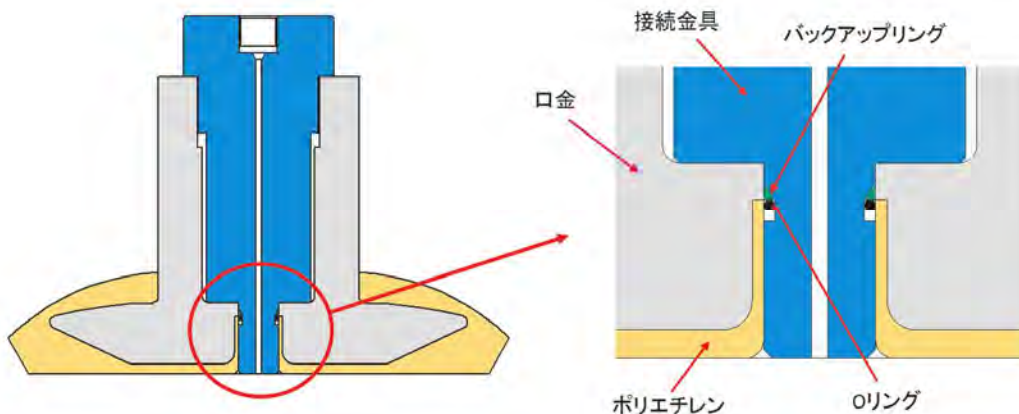


図 30 新型シール構造

(4) 口金ブロックとプラスチックライナーを融着し、CFRP で補強した、低コスト Type4 複合容器の試作

① 30L ライナーへの CFRP-FW 補強方法の研究開発

CFRP の強度を最大限に生かす事を目的に FW パターンを検証した。図 30 に示す通り、積層形状の確認を行いながら、最適な FW パターンを決定し、破裂圧力の調整を行った。これを繰り返しながら、組み上がった FW パターンにより FW 成形を実施した。バースト試験にて評価を行った結果、開発当初の CFRP 板厚を大幅に低減し、更なる検討を実施中である。

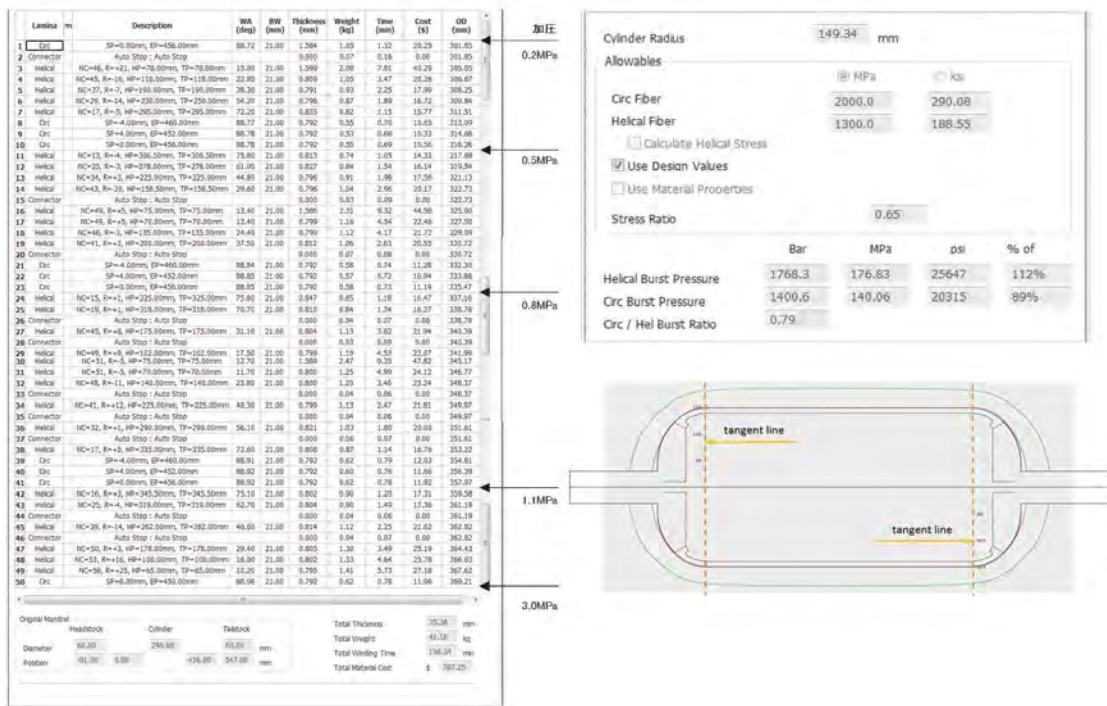


図 31 FW パターンの算出

② CFRP-FW 技術の確立

提案当初の 30L 複合容器は、積層理論により板厚を算出していた。その概要を図 31 に示す。

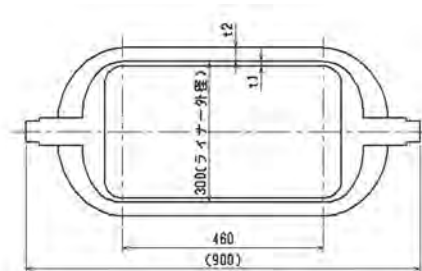


図 32 提案時 30L 複合容器概仕様

破裂試験を繰り返した結果、補強板厚 62.7mm における破裂圧力は、173MPa であった。

直胴部 FW 切断面を観察した結果、図 32、図 33 の通り各層が同心円状でなく、繊維によれが生じており、CFRP 層全体が内圧に対し、補強として寄与していないことがわかった。

FW プログラムの改良により、CFRP 層全体が内圧に対して、有効に寄与することが可能になり、図 32、図 34 で示す通り、ほぼ同程度の破裂圧力 (169MPa) を補強板厚 30mm で達成することが可能となった、その 30L 複合容器の外観を図 35 に示す。



図 33 30L CFRP 補強層切断面

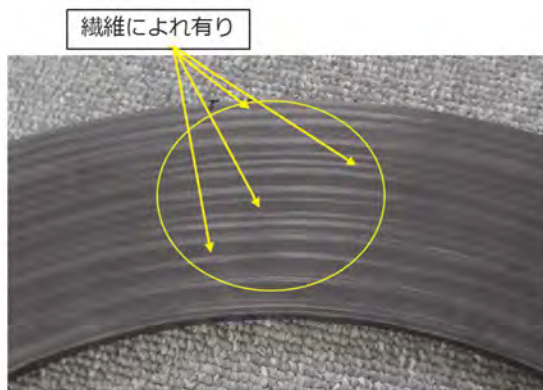


図 34 30L 提案当初の CFRP 補強



図 35 30L 改良した CFRP 補強

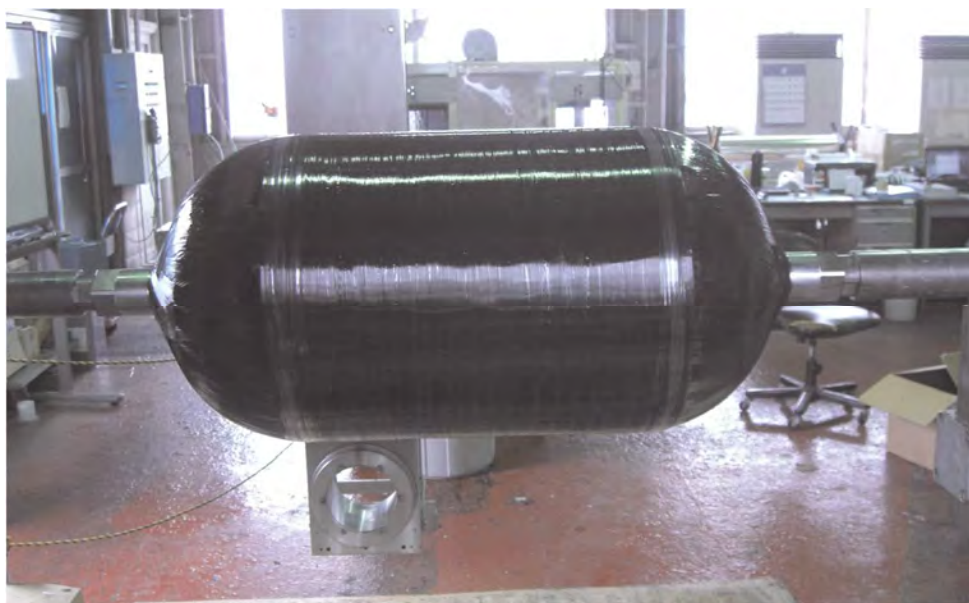


図 36 改良した FW プログラムによる 30L 試作品

③ 300L 複合容器の軽量化

設計圧力 105MPa (破裂圧力 約 240MPa) の 100L 複合容器を上記②で確立した FW 成形技術を用い試作した、その外観図を 37 に示す。その結果、補強板厚 67 mm、複合容器重量 180Kg で成形することができた。図 38 にその形状寸法を示す。

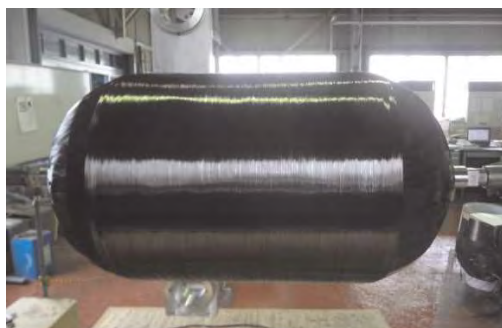


図 37 100L 複合容器成形外観

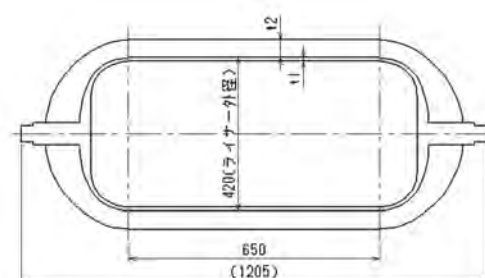


図 38 再計算した 100L 概仕様

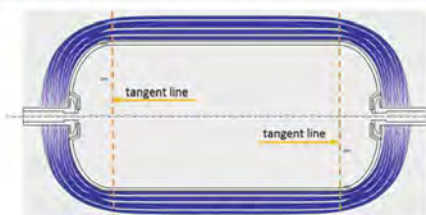
100L 及び 300L の破裂試験を実施し、同 FW プログラムによる試作では、300L の破裂圧力が 100L より 10%低くなった。このことから 300L において、尚、いっそう軽量化を行うため、100L の成形シミュレーションでは、破裂圧力を 260MPa として、FW 仕様を下記図 39 及び図 40 にて設定した。

(検討内容)

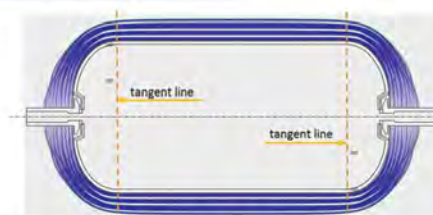
100L 複合容器の設定

設定	旧 シミュレーション	実測値	新 シミュレーション
①バースト圧	240MPa	244MPa	260MPa
②重量	約170Kg	約170Kg	10%軽量化
③成形時間	約10hr	約10hr	約3hr

300LFW仕様検討の
為の破裂圧力



旧100L FW シミュレーション



新100L FW シミュレーション

図 39 300L 成形のための 100L シミュレーション

(検討内容)
300L複合容器への応用



図 40 300L 成形シミュレーション

(5) LLDPE 単層ライナーを用いた 30L 複合容器の 105MPa 時 ガス透過率

He ガス透過試験装置を用いて、図 41 で示す 30L の試作した容器で、70MPa 時における、He ガスの透過量を測定した。

その結果を用い、105MPa 時の透過率を試算し、KHK 技術文書 KHK TD5202 を満たす $1.05 \text{ cm}^3/(\text{L} \cdot \text{h})$ を確認した。

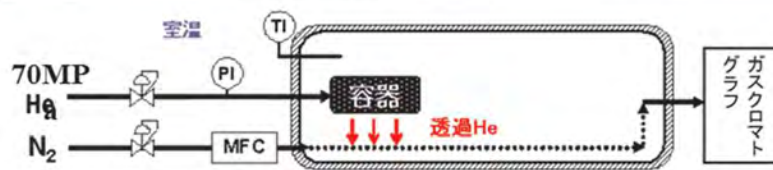


図 41 ヘリウムガス透過試験装置

3.2 成果の意義

(1) 他システムに対する優位性

設計圧力 105MPa をクリアした水素ステーション用 300L Type4 複合器蓄圧器は現在類を見ない、この蓄圧器は水素燃料電池自動車の世界統一基準 (gtr) 適合の自動車への充填においても対応できる可能性が有り、各種基準に対応が可能となる。

(2) 軽量化の実現

本研究開発の Type4 複合容器蓄圧器はライナーがプラスチックであることから Type 1 から Type3 の蓄圧器に比較し、構造的に軽量である。

また、本研究で得た成形技術により軽量化の実現が可能となる。蓄圧器の輸送、水素ステーションの建設における、基礎、ラックなどが小型・簡易化され、ステーション建設全体としてコストダウンに繋がる。

(3) 低コスト化の実現

上記(2)の軽量化の実現と共に、本研究による材料費の削減、および、高速成形による成形時間の短縮を行い、低コスト化の実現を行った。

(4) 水素ガス透過量の低減

本研究では LLDPE 単層によるライナーを使用し、KHK 技術文書 KHK TD5202 の水素ガス透過率である $5\text{cc}/\text{L}\cdot\text{h}$ を満足する複合容器蓄圧器の研究開発を主に行っている、ヘリウム 105MPa における、透過率は LLDPE で製作した板厚 10mm のライナーを使用すれば、充分可能である。

(5) 本研究の汎用性

本研究による、中型までの Type4 複合容器の研究開発成果により、フォークリフト用ステーションへの展開や、より軽量、ガスバリア性に優れた、宇宙探査用水素及び酸素ガスタンクに応用できる。また、より軽量で水素ガスの貯蔵効率に優れ、安価な容器が求められている配送用ドローン向け水素ガス容器への応用が可能である。

3.2 成果の最終目標の達成可能性

平成 27 年度における中間目標では「設計圧力 105MPa、10 万回以上等の水素ステーション用複合容器蓄圧器ガイドライン (平成 25 年 6 月時点) の規定を満たす大型高压水素用 Type4 複合容器蓄圧器の製造指針を構築する」、また、その後、提示された、KHK 技術文書 KHK TD5202 に合わせ、平成 29 年度における最終目標では「水素ステーションにおける実証に向けて、大型 Type4 複合容器蓄圧器の大臣特認に必要なデータ取得を行い、大臣特認を取得する。」としている。

- (1) 大型 300L ライナーの一体成形は、小型 30L 直火式成形の課題を克服した、中型 100L の炉式成形を採用したことで、大型成形に対する温度管理など成形条件を確立した。このことにより大型ライナーの一体成形が可能となった。

- (2) 平成 27 年度中間目標については、30L、100L と試作、評価を重ねて行い 105MPa 時の破裂圧力約 240MPa は現時点 30L、100L 共にクリアしている。

また、5cc/L・h 以下の水素透過率の容器を製作することについても、ヘリウムガスを用いた透過量測定により、105MPa 時の透過率試算で上記規定値を満足した。

ガスバリア性能は、LLDPE を材料とした厚さ 10mm の複合容器蓄圧器で平均 1.05cc/L・h をクリアした。

水素ガスガス、105MPa でも達成できるものと考えているが、水素ガス、105MPa での確認試験を行なう必要が有る。その他 KHK 技術文書 KHK TD5202 の水素ガスサイクル試験などについては、今後検討し検討課題を抽出して対策を実施することで対応する。

- (3) 平成 29 年度における最終目標については、最終製品の 300L と、口金を含む口金ブロックとライナー本体の融着部構造は、30L、100L 複合容器蓄圧器と同構造である。また、補強構造においては、100L のライナー外径 420mm と同外径で試作評価を行ってきたため、破裂圧力については基準を満足するものとする。

現有している FW マシンスピンドルの最大搭載荷重は 750Kg であり設計時の製品重量約 450Kg の複合容器蓄圧器の成形は充分可能である。また、300L、105MPa における水素ガス透過量においては、試作しヘリウムガスで評価した 30L 複合容器蓄圧器より、表面積/内容積比で有利であることから 300L でも基準を満足できると考える。最終目標の達成は可能であると考える

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

4.1 まとめ及び課題

(1) 30L 複合容器による研究開発

30L の試作・評価により主に口金と外部配管系接続具とのシール構造の確立、口金ブロックの LLDPE とライナー本体 LLDPE との融着技術の確立、および、難接着材料である LLDPE と CFRP のマトリックスであるエポキシ樹脂との接着強度を高めるための、フレーム処理条件の確立を行った。

また、複合容器のガス透過率の検討については、単層 LLDPE ライナーを使用し、測定した透過量を基に 105MPa 時の透過率を試算し良好な結果を得た。

(2) 100L 複合容器による研究開発

100L の試作・評価では主に、中型 100L・LLDPE ライナーの一体成形の可能性、CFRP による厚肉容器の容器構造と FW 成形技術の確立の検証を行った。

その結果、100L ライナーの単層一体成形が可能である。300L ライナー成形においても可能であった。また、FW 成形技術では、破裂圧力 240MPa を本事業提案時の予定容器重量で達成できた。

(3) 今後の課題

- ① ライナー融着部の健全性の評価については、現在、九州大学の指導の下行っている実験検証と産総研筑波センターで行っている超音波探傷技術を応用した融着部の評価方法をまとめ、装置を購入し評価方法を確立する。
- ② 複合容器蓄圧器に水素ガスで 105MPa に加圧してガス透過率を測定する。
- ③ 100L・300L 複合容器によるサイクル試験の実施。
- ④ 他未実施の設計確認試験を行う。
- ⑤ 更なる軽量化、コスト低減。

4.2 実用化・事業化の見通し

本研究開発の実用化・事業化の見通しは、今後開発する大型 Type4 複合容器蓄圧器が各種設計確認試験に合格し、特認を取得する事で事業化に向けて動き出す、すなわち、水素ガスを活用した次世代の低炭素なサステナブル社会の実現を目指す産業界に使用されること及び水素ステーションの建設促進に貢献することである。

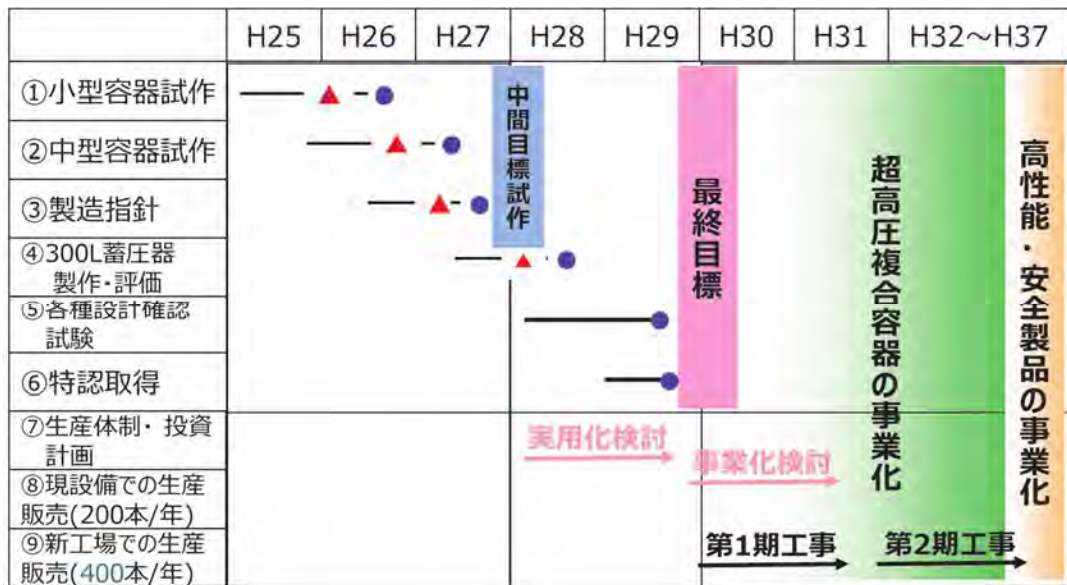
4.3 今後の展開

- (1) 各種設計確認試験を終了し、特認取得によって本研究開発は終了し、その成果に基づいて広く普及を図る。
- (2) 成果の活用が最も期待される市場は、給油所を運営する揮発油販売業者並びに水素ステーション設備を設置する業者である。特認取得後、速やかに普及が図れるように導入が考えられる揮発油販売業者等を対象にして、営業活動を行う。また、協力団体等への PR を行う。

4.4 実用化・事業化に対する課題と今後の方針

- (1) 製品仕様や組試験等にジャストフィットする生産体制(工場立地、工場・建物、試験・研究設備を含む)を選択することにより、最適コストでの生産を目指すための検討を行う。
- (2) 市場ニーズに合った生産体制と在庫計画を構築し、需要に応える供給力を備えるため、マーケティングを実施して、販売促進に努める。
- (3) 実生産設備での製造コスト削減を継続することに加え、水素ステーション設備業者と材料・部品、パッケージングなどの共同研究を進め、水素ステーション建設のトータルコスト削減に努める。

4.5 マイルストーン



5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平 28.11	福岡水素エネルギー人材育成センター	タイプIV型 CFRP 高水素ガス複合容器の開発	山本睦也
2	平 28.11	61nd FRP CON-EX2016	高圧複合容器の開発	花岡寛司
3	平 28.11	次世代エネルギー産業創出セミナー	タイプIV型 CFRP 高水素ガス複合容器の開発	山本睦也
4	平 29.9	第 21 回炭素繊維複合材料利用研究会	中国工業(株)のガス用超高圧複合容器への挑戦	山本睦也
5	平 29.11	福岡水素エネルギー人材育成センター	タイプIV型 CFRP 高圧水素複合容器の設計・製造	山本睦也

－特許等－

No.	出願日	出願番号	発明の名称	共同研究会社名
(ア)	平 25.5.13	特願 2013-101292	高圧ガス容器	中国工業株式会社

(11-3)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 / タイプ2複合容器蓄圧器の研究開発」

共同研究先：JFEスチール(株)、JFEコンテナ(株)、三菱ケミカル(株)

成果サリ (実施期間：平成27年度～平成29年度)

- ・ラ付用鋼材の提供および大気中および水素ガス中材料データ取得、更にCFRPの提供および基礎データ取得
- ・大型200LまでのType2複合容器蓄圧器の設計を実施し、実製造を実施
- ・実容器のサイクル試験により、LBBの成立を確認。更に、目標を超える認定取得に向けた実容器の圧力サイクル試験を実施中

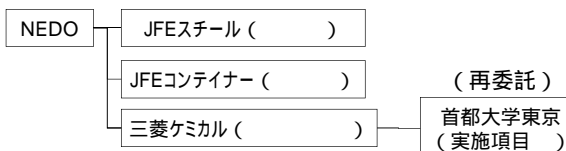
背景/研究内容・目的

70MPa水素ステーション用蓄圧器のコスト低減のために、大量生産型のシームレス鋼管をType2複合容器蓄圧器ライナとして用いた低コスト型スチールライナ複合容器蓄圧器を開発、実用化することを目的とする。

研究目標

実施項目	目標
Type2容器用スチールライナおよびプラグの開発および材料データ取得	
高圧水素環境下材料特性の推定手法の確立	
スチールライナ複合容器蓄圧器の開発	
スチールライナ複合容器蓄圧器の設計の妥当性の検証	
低コストType2容器開発に資する炭素繊維の提供	
Type2容器用炭素繊維の認定に資するデータ取得及び疲労寿命予測	
小型Type2容器による要素技術開発 (フィラメントワンディング加工)	
早期の市場導入を前提とした中型Type2容器開発 (フィラメントワンディング加工)	
ガイドラインおよび技術基準確立への貢献	

実施体制及び分担等



これまでの実施内容 / 研究成果

- ・Type2容器用スチールライナおよびプラグの開発および材料データ取得として、素材の基本特性、LBB評価、高圧水素ガス中特性、容器性能を評価
- ・高圧水素環境下材料特性の推定手法の確立として、陰極水素チャージ法などを検討
- ・スチールライナ複合容器蓄圧器の開発として、自緊処理、出荷・再検査技術の確立、大型200L実容器の設計、製作を実施
- ・スチールライナ複合容器蓄圧器の設計の妥当性の検証として、LBB試験を実施して、LBB成立を確認、更に目標を超える圧力サイクル試験を実施中
- ・低コストType2容器開発に資する炭素繊維として、2種類の汎用炭素繊維および高性能炭素繊維（高弾性率）を提供
- ・Type2容器用炭素繊維の認定に資するデータ取得及び疲労寿命予測を実施中：静的強度特性、引張・引張疲労試験、ストレス・チャージ試験（一部実施中）
- ・小型Type2容器による要素技術開発（フィラメントワンディング加工）を実施
- ・早期の市場導入を前提とした中型Type2容器開発（フィラメントワンディング加工）を大型サイズまで実施
- ・ガイドラインおよび技術基準確立への貢献

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
	素材提供およびデータ取得	
	手法確立	
	蓄圧器製造	
	LBB試験、圧力サイクル試験	
	炭素繊維提供	
	データ取得および解析	
	小型容器FW	
	中型容器FW	
	低合金鋼技術文書等	

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
5	1	8	0

今後の課題

- ・蓄圧器圧力サイクル試験の完了
- ・タイプ2複合蓄圧器・低コスト化に貢献する炭素繊維の認定に資するデータを継続取得及びその解析
- ・欠陥検査技術の確立

実用化の見通し

- ・H29年度内経済産業省大臣特認取得
- ・H30年度内実用化予定

課題番号：11-3

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 /

タイプ2複合容器蓄圧器の研究開発

JFEスチール株式会社
JFEコンテナ株式会社
三菱ケミカル株式会社

1. 研究開発概要

本研究開発は、70MPa 水素ステーション用蓄圧器のコスト低減のために、大量生産型のシームレス鋼管を Type2 複合容器蓄圧器ライナとして用いた低コスト型スチールライナ複合容器蓄圧器を開発、実用化することを目的とする。

目標は以下を設定する。

第1目標：汎用CFRPを適用した低コスト型 Type2 蓄圧器の開発

早期市場導入を目指し、容器性能は公募目標とする。使用温度：常温～40℃、常用圧力：70MPa以上、耐久サイクル：5万回以上。

第2目標：高性能CFRPを適用した低コスト高性能型 Type2 蓄圧器の開発

2018年度以降の市場導入を目指し、容器性能は、提案者の自主目標とする。
常用圧力：82MPa、耐久サイクル：10万回以上。

2. 研究開発目標

以下の9つの項目を研究開発目標とする。

- ・Type2 容器用スチールライナおよびプラグの開発および材料データ取得（担当：JFEスチール株式会社）
- ・高圧水素環境下材料特性の推定手法の確立（担当：JFEスチール株式会社）
- ・スチールライナ複合容器蓄圧器の開発（担当：JFEコンテナ株式会社）
- ・スチールライナ複合容器蓄圧器の設計の妥当性の検証（担当：JFEコンテナ株式会社）
- ・低コストType2容器開発に資する炭素繊維の提供（担当：三菱ケミカル株式会社）
- ・Type2容器用炭素繊維の認定に資するデータ取得及び疲労寿命予測（担当：三菱ケミカル株式会社、再委託先：公立大学法人首都大学東京）
- ・小型Type2容器による要素技術開発（フィラメントワンディング加工）（担当：三菱ケミカル株式会社）
- ・早期の市場導入を前提とした中型Type2容器開発（フィラメントワンディング加工）（担当：三菱ケミカル株式会社）
- ・ガイドラインおよび技術基準確立への貢献（担当：JFEスチール株式会社、JFEコンテナ株式会社、三菱ケミカル株式会社）

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) Type2容器用スチールライナおよびプラグ用の開発および材料データ取得(担当: JFEスチール株式会社)

Type2容器用スチールライナ用素材の焼入れ焼戻し材のビッカース硬さ分布をFig. 1に示す。化学成分および焼入れ焼戻し熱処理の最適化により、板厚方向まで均一に焼入れされていることが示された。組織観察の結果、板厚方向で均一な焼戻しマルテンサイト組織の形成が観察された。

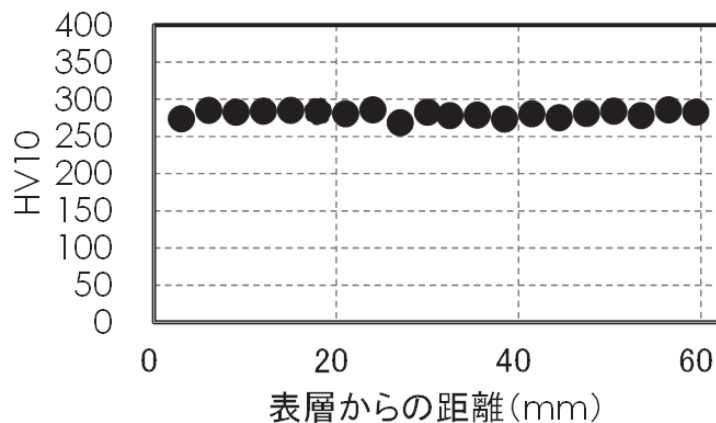


Fig. 1 Type2 容器用スチールライナ用素材の板厚方向硬さ分布

ライナー用素材の引張特性は、2本実施し、0.2%YP=787, TS=928MPa、0.2%YP=787MPa, TS=928MPaであった。シャルピー衝撃試験特性は、延性脆性遷移温度 $vTrs=-82$ と目標とする-30 以下を充分下回る特性を示した (Fig. 2)。

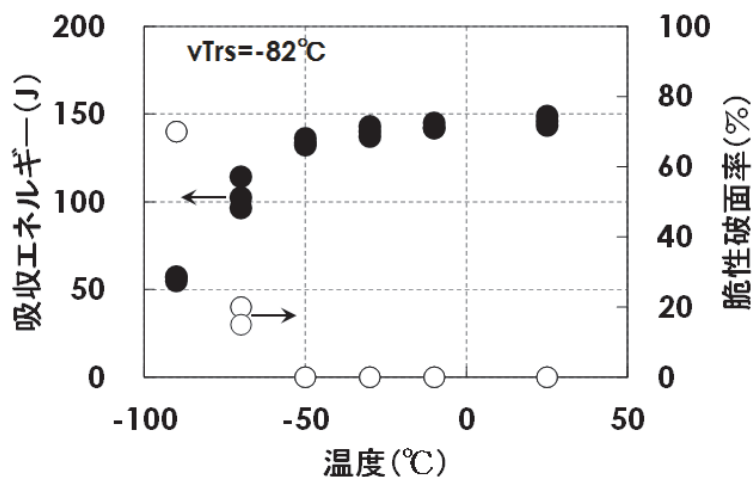


Fig. 2 Type2 容器用スチールライナ用素材のシャルピー衝撃試験特性

ライナ用素材の大気中 J_{IC} 試験から K_{IC} を求めた結果、 $K_{IC}=242, 251 \text{ MPa m}^{1/2}$ の値が得られた。 $K_{I-MAX}=85 \text{ MPa m}^{1/2}$ であり、KHK S0220に記載がある $K_{I-MAX} < K_{IC}$ 、 $0.2t < (K_{IC}/S_{yt})^2$ をいずれも満足するため、ライナ単体でLBBが成立する見込みが得られた。 K_{I-MAX} は、蓄圧器の外径を350mm、圧力を103MPaと仮定し、0.8t到達時の値を求めた。

更に、Fig. 3に示すように、45Lの小型実容器に早期に漏洩するように意図的にEDMで欠陥を導入し、35 ⇔ 82MPa (HyTReC)、35 ⇔ 93MPa (CSA) の水圧サイクル試験を実施した。その結果、前者は41973回で、後者は41386回でき裂が貫通し、いずれもLBBが成立することを確認した。

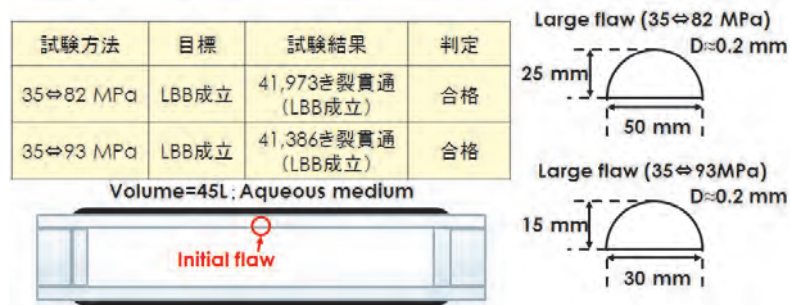


Fig. 3 45L 小型実容器の水圧試験による LBB 成立確認実験条件

大気中および105MPa高圧水素ガス中の低歪み速度引張試験の結果をFig. 4に示す。室温および85℃ いずれの条件でも最大荷重を超えて破断している。

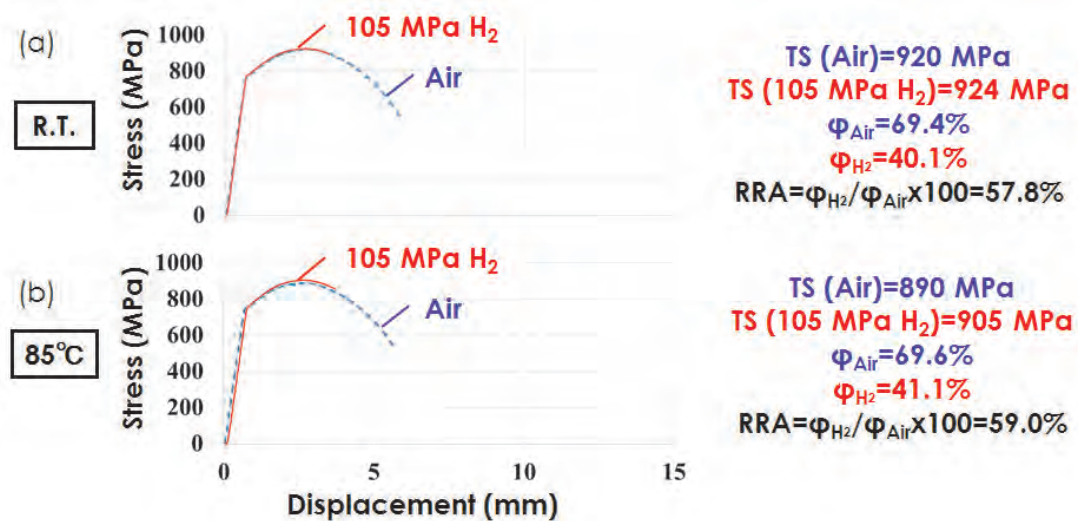


Fig. 4 Type2 容器用スチール用素材の大気中および 105MPa 水素ガス中の室温 (R.T.) および 85℃ における低歪み速度引張試験結果

大気中および93MPa水素ガス中におけるR=0.1の疲労き裂進展試験結果(大気:f=20Hz、水素:f=1Hz)をFig. 5aに示す。Fig. 5bには、初期き裂深さ a_i を0.4, 0.3mmとした場合の、35 93MPa圧力サイクル時のき裂進展挙動を解析した結果を示す。許容繰返し数は、限界き裂深さに達する繰返し数 $\times 1/2$ および限界き裂深さの1/4に達する繰返し数の小さい方で、それぞれ $N_a=100,395$ 、 $173,955$ 回であった。

試験方法	目標	試験/解析結果	判定
Air 93 MPa H ₂	許容繰返し数 N_a =10万回以上	$a_i=0.4$ mm $\Rightarrow N_a=100,295$ 回 $a_i=0.3$ mm $\Rightarrow N_a=173,955$ 回	合格

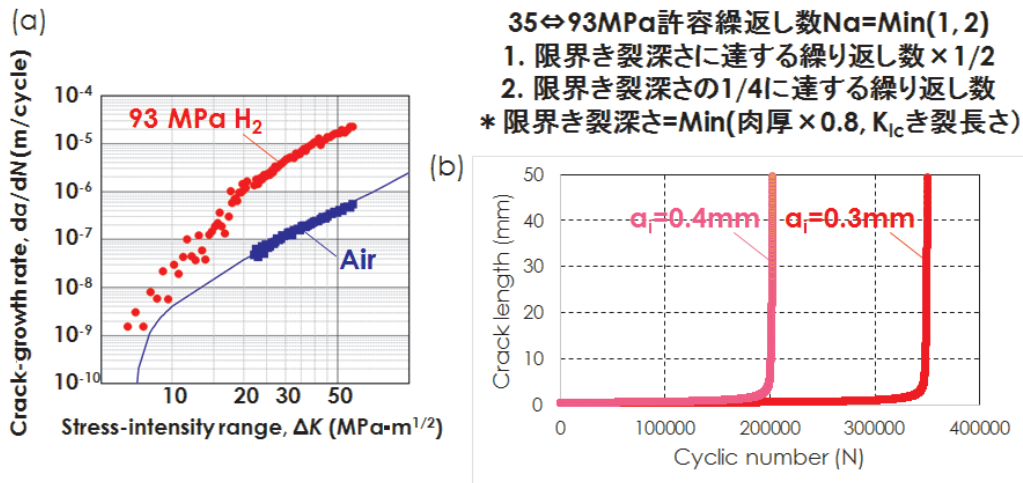


Fig. 5 (a) Type2 容器用 γ -TiAl合金素材の大気中および93MPa水素ガス中の室温における疲労き裂進展試験結果、(b) $a_i=0.3, 0.4$ mm 時の35 93MPa 繰返し圧力時のき裂進展挙動(R=0.1、大気:f=20Hz、水素:f=1Hz)

大気中および105MPa高圧水素ガス中におけるR=-1の疲労試験結果(大気:f=20Hz、水素:f=1Hz)をFig. 6に示す。大気中疲労限=400MPaに対し、水素ガス中では375MPaであり、水素ガス中疲労限は大気中と同等と言える。

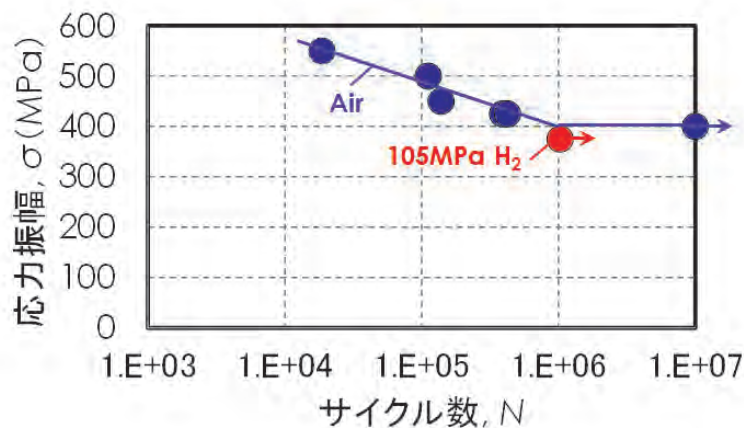


Fig. 6 Type2 容器用 γ -TiAl合金素材の大気中および105MPa水素ガス中の室温における疲労試験(R=-1、大気:f=20Hz、水素:f=1Hz)

(2) 高圧水素環境下材料特性の推定手法の確立 (担当: JFEスチール株式会社)

高圧水素環境下での材料試験は、設備が高額であり、また設備の維持管理も手間がかかるため、極少数の機関でしか試験ができない。また、設備数も少ないため、長期間の試験や多量の試験が必要な場合にデータ蓄積に長時間を要する。もし、高圧水素環境下材料特性を高圧水素を用いない簡便な手法で推測できれば、本研究を加速可能である。さらにはこの手法を種々の機関で実行すれば様々な研究が実施でき、高圧水素環境下での材料の水素脆化に関する知見をより多く蓄積できると期待される。また、知見の蓄積は水素社会インフラの構築の加速および低コスト化につながると考えられる。そこで本研究では、多くの機関で実施可能な陰極チャージ法を利用した試験による高圧水素環境下での材料特性の推定可能性について検討することを目的として研究を行った。本開発では特に試験に長時間を要する疲労試験法の開発を行った。

Fig. 7に高圧水素ガス中試験法と陰極チャージ試験法を模式的に示す。高圧水素ガス中では水素分子 H_2 が水素原子 H に解離し、その一部が鋼材中に侵入し、水素脆化を引き起こす。それに対し、陰極チャージ法では、溶液中の水素イオン H^+ が陰極にした試験片中の電子と結びついて水素原子 H となり、その一部が鋼材中に侵入し、水素脆化を引き起こす。鋼材中に侵入した水素原子 H は高圧水素ガス中から侵入しても陰極チャージ法で侵入しても同じである。鋼材中に侵入する水素の量は鋼材に吸着する水素の逃散能で決まるため、陰極チャージ中の水素の逃散能を高圧水素ガス中と同程度にできれば、両環境中で同様の材料特性評価結果が得られる可能性がある。水素ガスの逃散能を直接算出することは困難であるが、鋼材中に侵入する水素量は水素の逃散能によって決まると考えられる。すなわち、115MPa 水素ガス中で鋼材中に侵入する拡散性水素量と同程度の量の水素が侵入する陰極チャージ条件で、115MPa 水素ガス中の水素の逃散能と陰極チャージでの水素の逃散能が同程度となると考えられる。まずその条件を検討した。

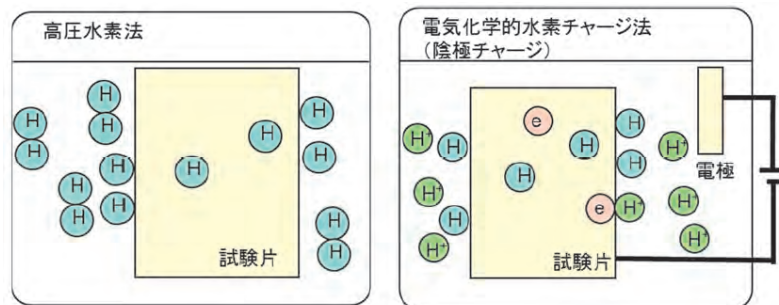


Fig. 7 高圧水素ガス中試験法と陰極チャージ試験法の模式図

a. 陰極チャージ条件の検討

陰極チャージは水溶液中に試験片を浸漬し、試験片を陰極にして通電することで水素を試験片中にチャージする。鋼材を水溶液中に浸漬するため、鋼材を極力腐食させない工夫が必要である。そのため、水溶液中でFeが安定である0.1M NaOH水溶液を選定し、さらに試験片を十分に陰極にできる高電流密度条件で検討した¹⁾。Yamabeら¹⁾はTS800~900MPaで焼戻しマルテンサイト組織を有するCr-Mo鋼に100MPa環境下で侵入する拡散性水素量は0.4~0.6ppm程度であることを明らかにしている。本研究で用いた鋼はTS1000MPaであるため、侵入水素量がもう少し高い可能性がある。そのため、侵入水素量が0.4~1.0ppm程度の拡散性水素を導入する条件を探索した。試験片は熱処理した素材を直径6mmに加工した丸棒を用いた。

まず、電流密度を変化させて24hの陰極チャージを行い、拡散性水素量におよぼす電流密度の影響を調査した。その結果をFig. 8²⁾に示す。電流密度の増加とともに水素量が増加した。この結果から、電流密度100A/m²の条件を選択し、水素チャージ時間を変化させた。その結果をFig. 9²⁾に示す。拡散性水素量は144時間チャージで約1.0ppmとなった。TS1000MPa級焼戻しマルテンサイト鋼の水素拡散係数の過去データから水素量は96時間以上ではほぼ一定となると推測されるため、最長144時間とした。Fig. 10²⁾に144時間水素チャージした試験片の水素放出曲線を示す。昇温速度は200 /hとした。水素放出ピークは200程度で水素放出が終了しており、拡散性水素のみがチャージされていると判断される。これらの結果から、疲労試験に用いる電流密度は100A/m²とした。Lauraら³⁾は0.1M NaOH水溶液での50~500A/m²の電流密度条件の逃散能が10~100MPaの水素ガス中の逃散能に相当すると推定しており、この点でも本条件が数10~100MPa程度の高圧水素環境と同等であると考えられる。疲労試験は24h水素チャージを行った後に開始した。

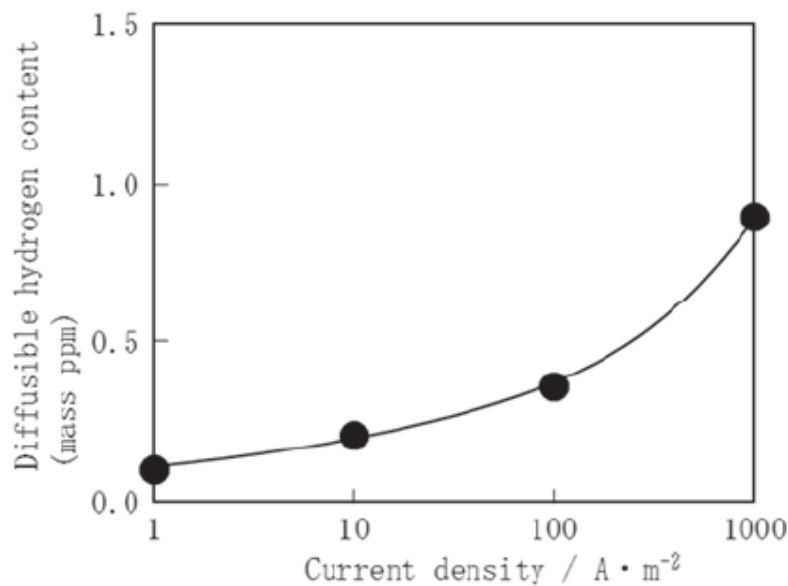


Fig. 8²⁾ 陰極チャージにより鋼中に侵入する拡散性水素量におよぼす電流密度の影響 (溶液: 0.1M NaOH、チャージ時間: 24h)

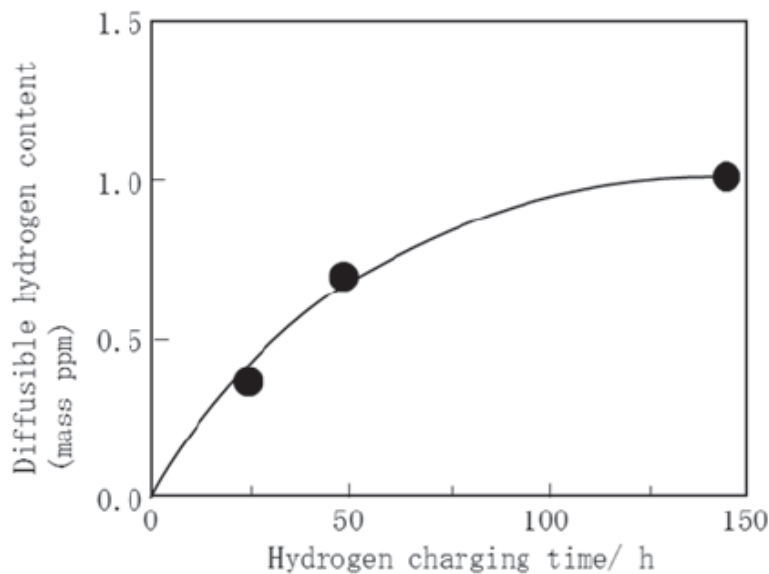


Fig. 9²⁾ 陰極チャージにより鋼中に侵入する拡散性水素量におよぼすチャージ時間の影響 (溶液: 0.1M NaOH、電流密度: 100A/m²)

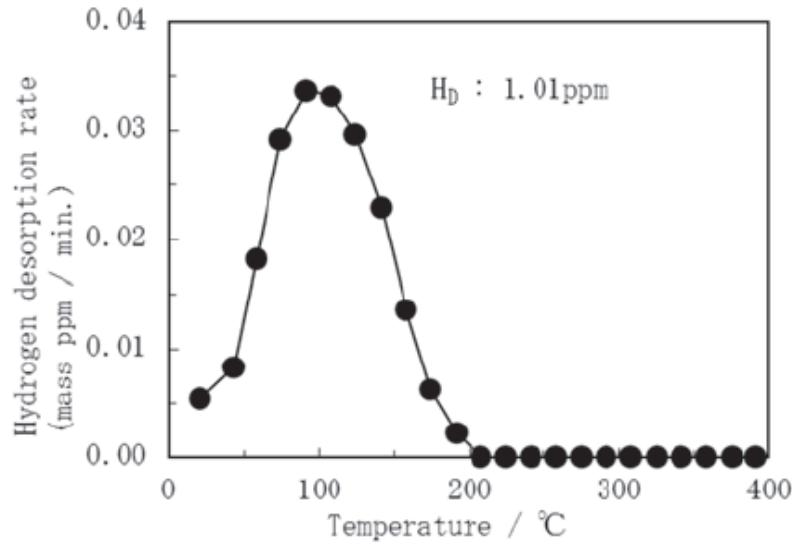


Fig. 10²⁾ 144h チャージ材の水素放出曲線 (溶液 : 0.1M NaOH、電流密度 : 100A/m²)

b. 陰極チャージ疲労試験

陰極チャージ疲労試験は平行部直径6mmの試験片を用い、平行部長さ14mm のうち中央12mm 部分を溶液に暴露し試験を行った。溶液に浸漬されている試験片の他の部分は溶液に触れないようにすべてシールを施した。

Fig. 11に陰極チャージ疲労試験で得られた結果を大気中および高圧水素中の試験結果と合わせて示す。陰極チャージ疲労試験では破断が発生する応力振幅条件では、破断サイクル数が大気中と比較して1/3~1/5 程度に低下し、高圧水素ガス中と同等の結果が得られた。この結果から、0.1M NaOH 水溶液中で100A/m²の電流密度で陰極チャージすることにより、115MPa 中高圧水素環境下での疲労特性を推測することができる。また本陰極チャージ疲労試験での200 万回未破断の疲労限は大気中と比較して5%ほど低い結果となった。厳密にはステアケース法等で求める必要があり、学術的な結論は今後の検討が必要である。

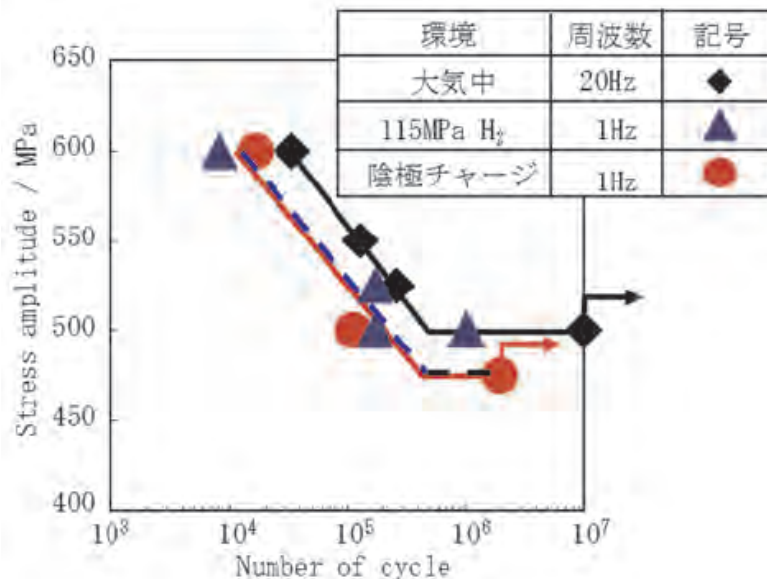


Fig. 11 陰極チャージ疲労試験結果と大気中および高圧水素中疲労試験結果の比較

c. 陰極チャージ疲労試験結果におよぼす水素チャージ条件の影響

陰極チャージにより鋼材中に侵入する水素量は溶液が同一である場合は電流密度で決まるが、触媒を溶液中に添加することにより、同じ電流密度でも触媒を添加しない場合よりも多くの水素を導入することができる。すなわち、同一の水素量を得るための条件は一つではなく、溶液の組成と電流密度の種々の組み合わせが存在する。本節では、水素チャージ条件が陰極チャージ疲労試験結果におよぼす影響について検討を行った。

陰極チャージ条件は、0.1M NaOH 水溶液で電流密度100A/m²とした条件1および(3%NaCl+3g/l NH₄SCN)水溶液で電流密度0.5A/m²とした条件2の2種とした。各々の条件での24時間水素チャージ後の鋼材中の拡散性水素量はそれぞれ0.36ppmおよび0.43ppmであり、ほぼ同一量の水素がチャージできる条件であった。

Fig. 12に陰極チャージ疲労試験結果を大気中疲労試験結果と合わせて示す。周波数は20Hzとした。条件2では条件1と比較して破断までにサイクル数が低下し、実施した応力振幅では疲労限が確認できなかった。両者の差の原因を考察するため、疲労試験後の試験片観察を行った。

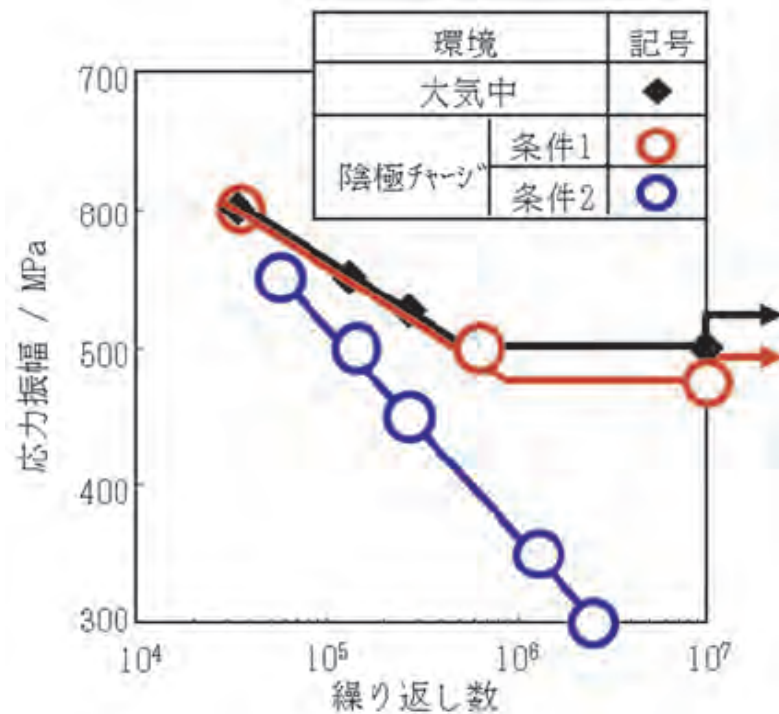


Fig. 12 疲労特性におよぼす陰極チャージ条件の影響 (陰極チャージ条件1: 溶液=0.1M NaOH、電流密度=100A/m²、陰極チャージ条件2: 溶液=3%NaCl+0.3% NH₄SCN、電流密度=0.5A/m²)

試験片破面および側面の表面観察結果から、疲労破壊の起点はいずれも試験片表面であり、介在物等は観察されず、破面に大きな違いは認められなかった。一方、試験片側面は、条件1では試験後に異常は見られず、高圧水素中での試験後サンプルと同様であったが、条件2では表面にあばた模様が見られた。本結果から、条件2では電流密度が小さいため、局所的に腐食が進行し腐食疲労のような条件で試験が行われた可能性が考えられる。

以上より、高圧水素環境下での疲労試験結果を陰極チャージ疲労試験により推測するためには、単に

侵入水素量を高圧水素環境下での値にあわせるだけでなく、試験中に腐食が発生しないように十分に陰極になるような溶液や電流密度条件設定が重要であると考えられる。

(3) スチールライナ複合容器蓄圧器の開発 (担当: JFEコンテナ)

汎用CFRPを適用した低コスト型S-CFRP蓄圧器の開発

a. 小型Type 2 容器による要素技術の開発

開発を加速する目的で、小型容器にての要素技術の開発を省略して、市場投入予定の中型容器と同一の断面構造・製造プロセスの金属内筒 (45%) を用いて自緊処理技術の開発を行った。

b. 市場導入用中型Type 2容器の開発

b.1 自緊処理技術の開発

金属内筒の外面にひずみゲージを貼り付け、内部圧力とひずみ量の関係を明確化した。Fig. 13に金属円筒の内部圧力と歪量の関係を示す。Fig. 14に、自緊処理前後の金属内筒の周方向応力分布を示す。280 MPaの内圧負荷後除荷により、金属円筒の内面に200MPa程度の圧縮残留応力が発生している事がFEM解析により求められ、自緊処理が可能であることが明らかとなった。さらに、実際の蓄圧器で280MPaまでの加圧が可能であるかどうかを確認した。その結果、異常なく、加圧が可能であることが確認され、自緊処理技術が開発された。

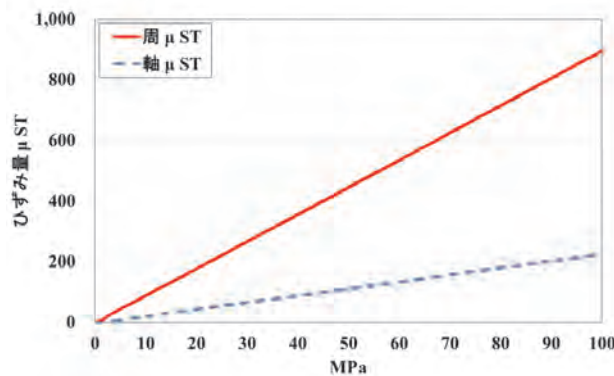


Fig. 13 金属円筒単体の内部圧力とひずみ量の関係

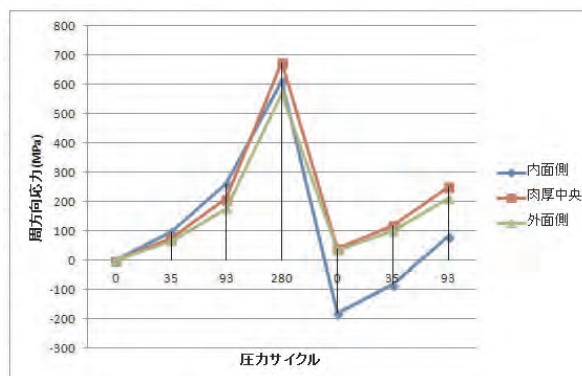


Fig. 14 自緊処理前後の金属円筒の応力状態

b.2 自緊処理による圧縮残留応力安定化技術の開発

Fig. 15に金属円筒に種々の内圧を賦課したときのプラグ近傍部の周方向応力分布を示す。実際に自緊

処理が成立する圧力は図Cにおいては300MPa加圧であるが、いずれの条件でもプラグ近傍部では応力が小さく、プラグ先端から数十mm程度離れた場所遠で応力が安定する、すなわち自緊効果が安定することが明らかとなった。実蓄圧器で自緊効果を安定させるために種々検討した結果、自緊処理時には製品プラグよりも外側でプラグをセットして自緊処理を実施し、その後、一旦プラグを除去したのち、製品用プラグを所定位置にセットする手法が効率的であることを見出した。

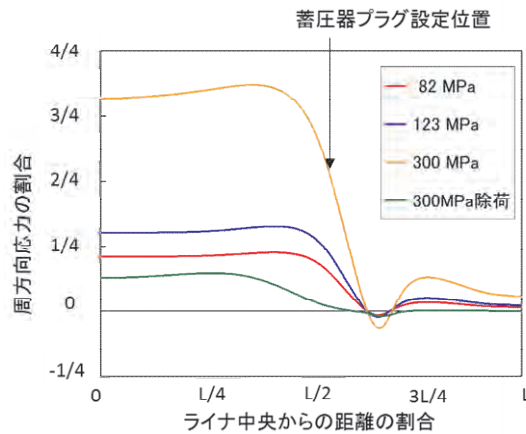


Fig. 15 金属円筒単体の内部圧力とひずみ量の関係

b.3 出荷・再検査技術の開発

製品出荷及び使用中の保安検査に際して、金属内筒内面の非破壊検査による疵検査は重要な工程となる。非破壊検査感度が低い場合、容器設計後の評価時に実際よりも大きな疵が存在すると仮定して容器性能が評価されるため、実性能よりも評価性能が低くなり不要な高性能容器を設計する必要があり、高コスト化の一因となる。

既存のタイプ1容器は、単層構造である事から、内表面の非破壊検査を容器の外側から実施する事が可能である。一方、タイプ2容器は、金属内筒と外側にCFRP層から構成される複層圧力容器となる。CFRP層の外側から金属内筒の内表面の非破壊検査が試みられているが、難易度は高い。本開発に用いた金属内筒の形状はストレート型である。金属内筒のプラグを外す事により、各種の非破壊検査機器の投入が可能となる。

出荷検査では、試験後の内面の洗浄が容易である事から、既存の磁粉探傷試験方法を運用する。金属内筒の磁気特性を測定して、最適な磁気発生コイルの仕様を決めた。金属内容の内部の走査が可能となるコンパクトの磁気発生装置を開発した。市場投入と同一の断面寸法・製造プロセスで製作された円筒のサンプルに各種の人工欠陥を付与し、0.1 mm までの検出が可能である事を確認した。

使用中の保安検査では、磁粉の清掃が困難である事から、渦電流探傷法の妥当性を検証した (Fig. 16)。尚、本検証には 東北大学流体科学研究所システムエネルギー保全研究分野の協力を得て実施した。測定周波数は、100kHzである。0.225 mmの傷検出が可能である事が確認された。より浅い欠陥は、0.05mmの検出には、測定周波数の検討が必要である。

渦電流アレイ探傷による容器内面の非破壊検査技術の検出の妥当性が確認された。今後も継続して、市場投入予定の中型容器を対象として、検査技術の確立を計る。

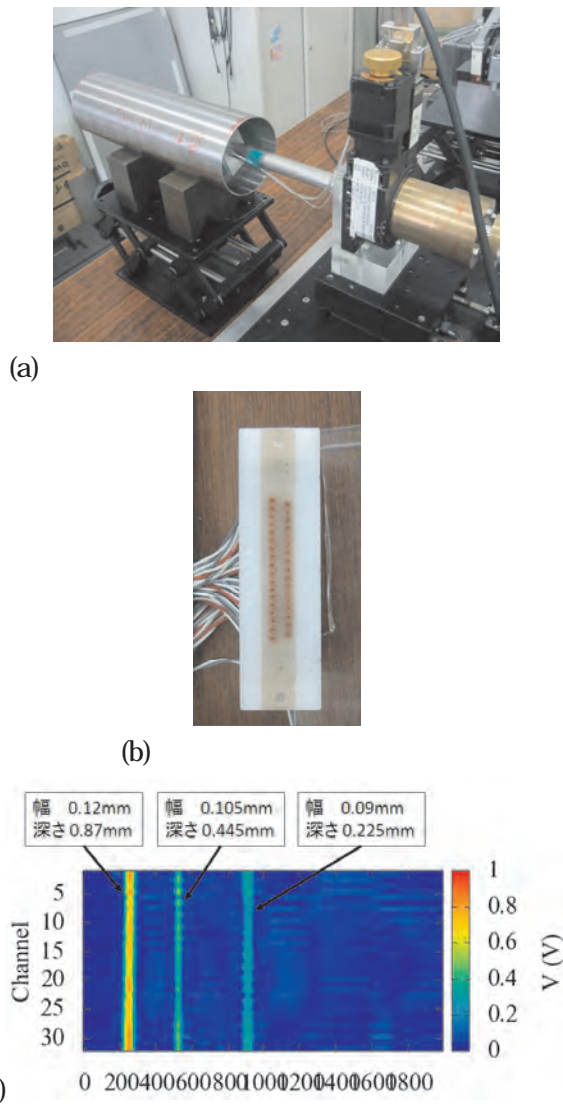


Fig. 16 相互誘導差動型プローブを用いた渦電流探傷試験の測定結果：(a)金属円筒内面の走査状況；(b)48チャンネルプローブ；(c)測定結果

使用中のき裂進展挙動を非破壊検査で監視する技術について追加で検証した。千代田化工建設にて実施中の「水素ステーション用複合容器の供用中検査手法の研究開発」では、「KHKT D 5202 (2014) 圧縮水素蓄圧器複合圧力容器に関する技術文書」に準拠したタイプ3容器が用いられている。最小破裂圧力は設計圧力の2.25倍。設計圧力にての疲労寿命は数万回程度。当該容器の疲労試験の条件は、「高応力低サイクル」に該当する。漏洩までの圧力サイクル試験において、得られるアコースティック・エミッション (AE) 信号は複雑であると報告されている。

JFEコンテナからタイプ3容器（以降、「一般複合容器」）を提供した。当該の一般複合容器の最小破裂圧力は使用圧力の3.4倍であり、過酷な落下試験に対応すべく、CFRP層が厚い、使用圧力のサイクル寿命は25万回程度。疲労試験の条件は、「低応力高サイクル」に該当する。供した一般複合容器を用いて、各種圧力水準にて漏洩までの圧力サイクル試験を実施した。「低応力高サイクル」の条件にて得られたAE信号は、疲労試験片の「低応力高サイクル試験」にて得られる信号と類似しているとの知見が得られた。タイプ3容器のライナーは、アルミ合金である。

本開発のタイプ2容器は、クロムモリブデン低合金鋼が金属内筒に用いられている。鉄鋼材料の高圧

水素中の疲労亀裂進展の加速を回避する目的で、金属内筒の疲労限以下の応力水準での運用を前提として設計されている。目標とする疲労寿命は10万回以上である。結果、タイプ2容器の使用条件は、「低応力高サイクル」の条件となる。現在、金属内筒を用いて、「低応力高サイクル」の条件にて漏洩までのAE信号の監視を行っている。今年度は、小型容器にて検証を実施する。今後も継続して、市場投入予定の中型容器を対象として、検査技術の確立を計る。

b.4 市場導入を前提とした、中型容器の設計・試作

市場投入を前提とした製品の設計仕様(200ℓ)のType 2 容器を試作した。極厚のシームレス素管の圧延、素管の熱処理、素管の内外面の切削加工、プラグ製造、更にはライナへの炭素繊維強化型樹脂(CFRP)のフィラメントワイディング等の想定される全ての製造工程を実施した。それら各々の製造工程の課題の抽出を実施した。当該製品と同一の断面構造、製造プロセスの小型容器(45ℓ)を製作し、圧力サイクル試験を実施した。更に、Fig. 17に示す、内容量150 リットルのType 2 容器を設計し、2017 年3 月に開催されたFC-Expo に展示し、成果アピールを実施した。



Fig. 17 FC-EXPO 2017 に展示したType 2 容器150L モデル

高性能CFRPを適用した低コスト高性能型S-CFRP蓄圧器の開発

市場投入を前提とした容器と同一断面構造、製造プロセスの鋼製ライナーに、高性能炭素繊維をフープラップした小型容器(45ℓ)を製作し、圧力サイクル試験を実施した。35~93MPa の圧力範囲にて10万回の圧力サイクル試験を実施し、漏れ無を確認した。

(4) スチールライナ複合容器蓄圧器の設計の妥当性の検証(担当: JFEコンテナ株式会社)

本研究開発の成果品にて、KHK事前評価申請による特認を取得すべく、KHKS0220 (2016) 及び ASME Sec. 8 Dev. 3 等の基準に準拠して容器を設計した。本容器の設計思想は、量産型継ぎ目なし管の製造可能範囲の最大肉厚を素材として、熱処理・内外面の切削加工後の鋼製ライナー肉厚を最大限利用する。所定の設計圧力において、強度解析、疲労解析、き裂進展解析等の観点から不足する剛性をCFRP層に担わせた。f) にて試作された容器は各種の人工欠陥を付与して、圧力サイクルを実施して、LBB(破裂前漏洩)の成立を確認した。更に、10万回のサイクル試験後も、容器プラグを固定するネジの底部からの亀裂発生は確認されなかった。

(5) 低コストType2容器開発に資する炭素繊維の提供 (担当：三菱ケミカル株式会社)

三菱ケミカル社の炭素繊維製品から、低コスト Type2 容器開発に資する炭素繊維として、特性(引張強度、弾性率、歪、織度)の観点 (Fig. 18 参照) から、これまでの実績および机上検討から、引張強度および引張弾性率が異なる2つの炭素繊維(汎用グレード(Ts: 5600MPa、Tm: 255GPa)および高性能グレード(Ts: 3000MPa、Tm: 760GPa))を選定し、低コストType2容器開発およびType2容器用炭素繊維の認定に資するデータ取得および疲労寿命予測に必要な引張-引張疲労試験およびストレスラプチャー試験用の炭素繊維として提供を行った。

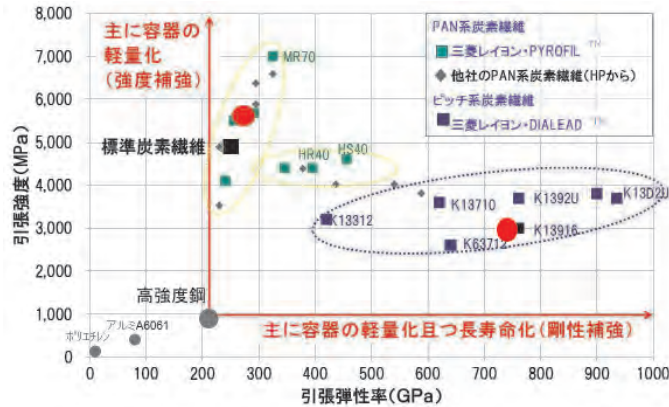


Fig. 18 炭素繊維特性図

本検討で選定した汎用炭素繊維(高強度グレード) 高性能炭素繊維は、それぞれのグレードにおいて代表的な特性を有し、かつ圧力容器用途で要求される特性に合致した炭素繊維グレードである。

本事業でこれら2つの異なる特性の炭素繊維を検討することにより、炭素繊維複合材料の静的な強度や疲労特性とType2容器の特性との関係を明確にできる。さらには、Type2容器の製造コスト構成のうち、大きい要素であるフィラメントワインディング工程(以下FW工程)に適した炭素繊維を選定するために、2種類の炭素繊維の特性を明確にすることにより、CFの最適化によるFW工程の作業時間の短縮による容器製造コスト低減に資する知見を獲得した。

(6) Type2 容器用炭素繊維の認定に資するデータ取得及び疲労寿命予測 (担当：三菱ケミカル株式会社)

試験方法の確立

容器認定に資するデータ取得を目的とし、CFRPの引張疲労特性およびストレスラプチャー特性を検討するための試験片形状および試験片作製法の検討を行った。試験仕様は、本試験データを他の公表されている試験データと比較する際の対象性を担保するため、疲労試験はJIS K 7083「炭素繊維強化プラスチックの定荷重引張-引張疲れ試験方法」、ストレスラプチャー試験はJIS K 7087「炭素繊維強化プラスチックの引張クリープ試験方法」に準拠する形とした。但し、上記規格に規定の無い含浸樹脂および積層板作製方法については別途指定を行い、試験片形状は上記規格から変更するものとした。

データ取得に供するCFRPの積層板は、先に選定した炭素繊維に、Type2容器製造で適用することが可能なエポキシ樹脂を選定した。CFRPの機械的特性はCFの特性だけでなく、樹脂およびCFと樹脂の界面の影響も受ける。CFRP積層板の特性とType2容器の特性との関係をより明確にするため、CFRP積層板とType2容器と同様のエポキシ樹脂を適用した。

さらには、積層板の作成もType2容器の作成手順と同様のフィラメントワインディング装置を用い、一方向積層板を得た。なお、この一方向積層板は強度発現率(一方向積層板の0°引張強度を“CFのストランド強度×Vf(%)”で割った値)が85%以上である様に、炭素繊維が0°軸に配向するように作成したものである。

長期耐久性を把握するための疲労試験やストレスラプチャー試験を行う際には、大量の試験を同時に行う必要がある。このため、試験機容量は極力小さい方が試験コストを抑えられる。このため、容量1t程度で行える試験片形状を検討した。タブ部の接着剤のせん断強度を考慮すると、接着面は極力大きくとる必要があり、短冊形試験片とすることとした。繊維強度から逆算し、試験片幅と厚さを8mm×0.3mmとした。

試験時のつかみ部におけるタブ先端のテーパ角およびタブ材質は準静的試験においては実験結果に影響を及ぼさないが、疲労試験などの長期試験においては影響を及ぼす可能性がある。このため、こ

これらの影響を検討した。作製された CFRP 板を長さ 250mm×12mm に機械加工し、タブ (50mm×12mm×1mm) を試験片両端に接着した。材質はアルミ合金製とガラス繊維強化プラスチック (GFRP) 製の 2 種類を候補とした。タブの形状は 2 種類あり、それぞれ Type A、C とし Type C にはテーパ加工を施した。以上の試験片に対して油圧サーボ式疲労試験機を用いて引張疲労試験を実施した。試験条件は繰り返し周波数 5Hz で波形は正弦波、サイクルリミット値を 1×10^6 回、応力比は 0.1 とした。試験条件は引張試験から得た引張強度の 80%~95% の応力範囲で行った。Fig. 19 に S-N 線図を示す。テーパ無し試験片の結果がタブ有試験片の結果よりも低くなっており、これはタブ部での破壊が試験片の最終破壊に影響しているためと考えられる。また、特性の差異による影響は観察されなかった。以上よりタブの材質は JIS や ASTM に規定されている GFRP とし、タブ先端にはテーパを施すこととした。

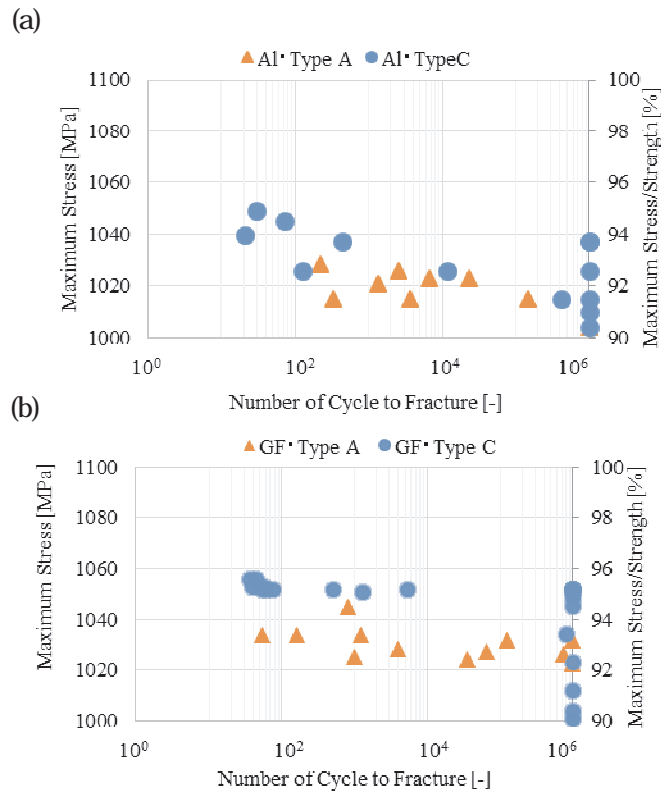


Fig. 19 S-N 線図 (a) Aluminum Tab、(b) GFRP Tab

データ取得及び疲労寿命予測

決定した試験片を用いて、基準強度決定のため引張試験を行った。Table 2 および Fig. 20 に静的引張試験の試験結果から得られたワイブルプロット図を示す。なお、引張速度は 1mm/min である。各試験料ともワイブル係数が 10 以上とばらつきが少ないことが明らかとなった。

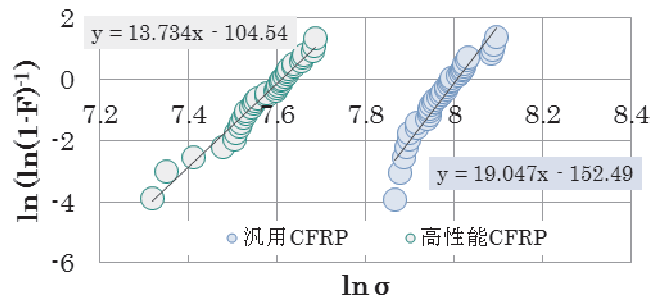


Fig. 20 静的強度のワイブルプロット

Table 2 ワイブルパラメータ

	汎用CFRP	高性能CFRP
n	36	35
m	19.047	13.734
TS [MPa]	2917	1948
TM [GPa]	153	474
σ ₀ [MPa]	2999	2022
Ave. [MPa]	2916	1947

Figs. 21, 22 にアコースティックエミッション (AE) の挙動を示す。汎用 CFRP は低い振幅の AE が最終破断前に多数観察される。一方で高性能 CFRP は高い振幅の AE が少数観察された。これは強化材の弾性率の違いに由来すると考えられる。周波数解析の結果には明確な差異が見受けられないが、汎用 CFRP では 500kHz 付近の AE が多数発生したのちに最終破断に至っているのに対し、高性能 CFRP では汎用 CFRP と比較してその付近の AE がの発生数が少ない。試験中の観察より、この周波数の AE はスプリットング破壊とそれに伴う繊維の微視破壊に対応するものと考えられる。結果として、AE の振幅に注目したヘルスマonitoring をしておけば最終破壊をモニタリングできると考えられる。

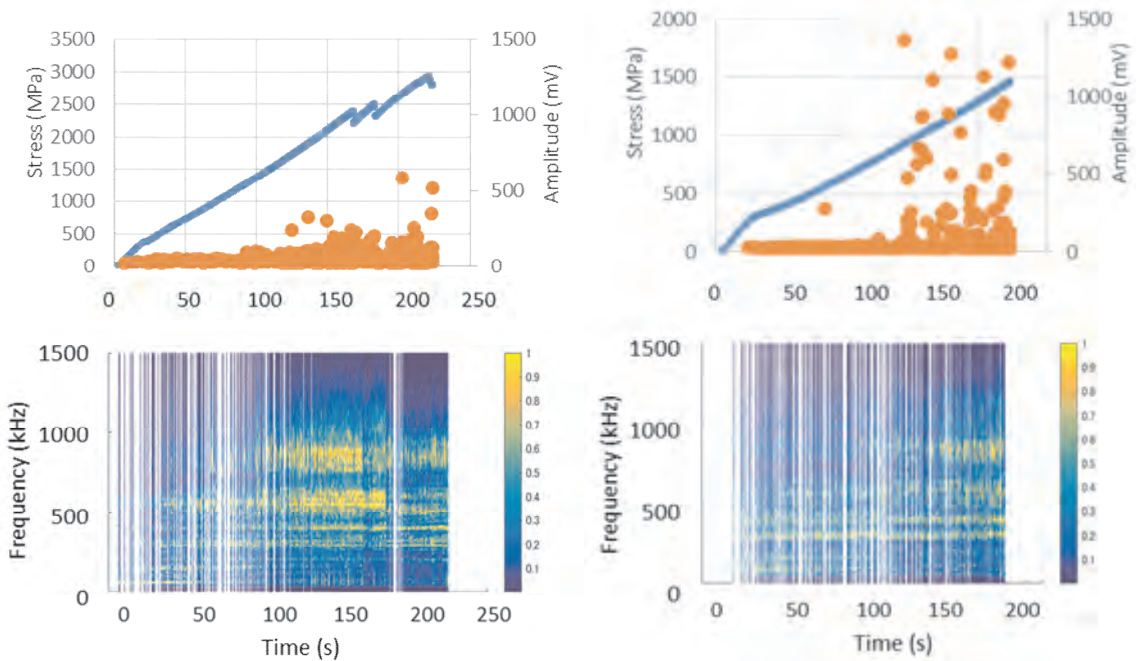


Fig. 21 汎用 CFRP の AE 挙動 (準静的引張) Fig. 22 高性能 CFRP の AE 挙動 (準静的引張)

引き続き油圧サーボ式疲労試験機を用いて引張疲労試験を実施した。試験条件は繰り返し周波数 5Hz で波形は正弦波、サイクルリミット値を 1×10^6 回、応力比は 0.1 とした。試験条件は引張試験から得た引張強度の約 70%~92%の応力範囲で行った。応力条件についてはステアケース法で行う予定であったが、1 応力条件に対し複数の試験片を用意できることと、本試験データを他の公表されている試験データと比較する際の対象性を担保するため、JIS 規格に準拠する形とした。また高性能 CFRP は繰り返し周波数を高めて行う予定であったが、試験機の応答性の問題と、試験片間での試験条件の差異の影響を鑑み、1 条件とした。

Fig. 23 に汎用 CFRP の S-N 線図を示す。汎用 CFRP は静的強度の約 86%、81%、76%、71%の応力レベルで各 5 本ずつ試験を行った。Fig. 23 より応力レベル 86%では、 $10^3 \sim 10^4$ 回、81%では $10^3 \sim 10^5$ 回、76%では $10^3 \sim 10^6$ 回、71%では $10^5 \sim 10^6$ 回の繰返し数で疲労破壊した。また、さらに 66%に 応力レベルを下げて、1 本試験を行ったが、サイクル数がサイクルリミット値に達しても未破断であった。またさらに応力レベルを下げて試験を行ったところ、56%の応力レベルで 10^7 回まで破壊しないことが確認された。

高性能 CFRP の疲労試験結果はばらつきが多く、特につかみ部からの破断などが観察された。これは高性能繊維の破断伸びが小さいことに起因し、試験片取付時のねじれなどが原因として考えられる。

このため、つかみ部の締め付けボルトの締め付けトルクを調整して改めて試験を行ったところばらつきが抑制された。Fig. 24 に高性能 CFRP の疲労試験結果を示す。高性能 CFRP は静的強度の 92%、71% の応力レベルで各 5 本ずつ、86%、81%、76% の応力レベルで各 10 本ずつ試験を行った。86% 以下の応力レベルで少なくとも 1 本の試験片はサイクルリミット値に達しても未破断であった。未破断試験片を観察すると、疲労負荷による外傷は見られなかった。それに対し、汎用 CFRP の未破断試験片では、界面はく離や端面部からの繊維破断が見られた。こちらについても、前述のように、高性能繊維の破断伸びが小さいことに起因していると考えられる。

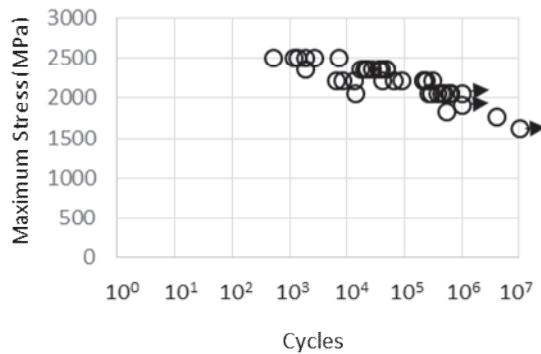


Fig. 23 S-N 線図 (汎用 CFRP)

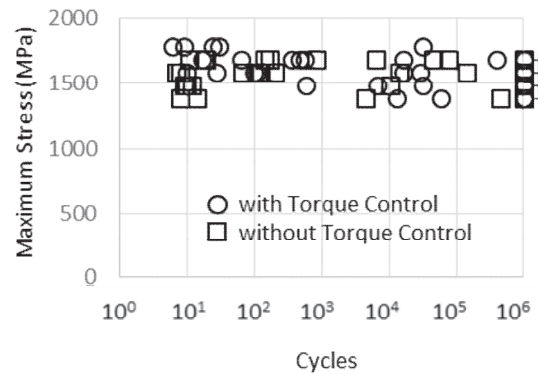


Fig. 24 S-N 線図 (高性能 CFRP)

疲労破断した各試験片を Fig. 25 に示す。疲労損傷としては、汎用 CFRP では、共にサイクル数が上昇するにつれ、断続的にスプリットング破断が端部から進展して生じた。これは、繊維破断が生じ、その付近において繊維と樹脂の界面はく離が起こったためである。最終的には試験片全体でこのスプリットングが生じ、最終破断に至ったと考えられる。それに対し、高性能 CFRP では汎用 CFRP に見られたスプリットング破断ではなく、局所的な繊維破断が見られ、脆性的に破壊が生じていた。この、破断様相の相違は強化材の伸びが影響していると考えられる。汎用 CFRP は強化材の伸びが大きいいため、それに伴い、母材も繊維方向に伸長され、繊維母材間の界面はく離が生じる。それに対し、高性能 CFRP 試験片は伸びが小さいため、汎用 CFRP で生じる界面はく離が生じない。



Fig. 25 破壊様相

各試験片の各応力レベルで得られた寿命をワイブルプロットし、実験結果より生存確率を求めた。生存確率-応力-寿命 ($P-S-N$) 線図を Figs. 26, 27 に示す。図中の数値は生存確率を示す。図より汎用 CFRP に対して高性能 CFRP の方が各生存確率間の寿命が大きく、こちらからもばらつきが大きいことがわかる。本線図の精度向上には測定数を増やすことが必要である。

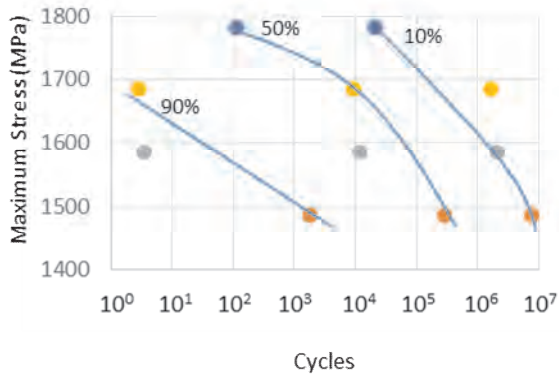
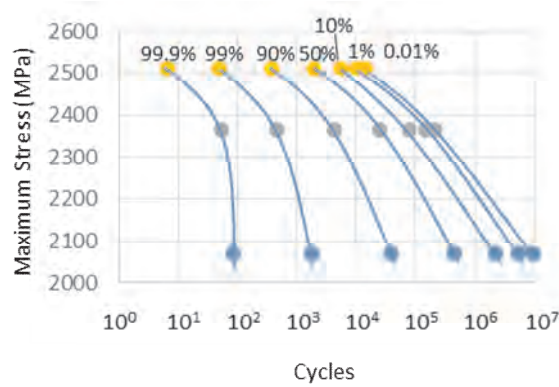


Fig. 26 P-S-N 線図 (汎用 CFRP)

Fig. 27 P-S-N 線図 (高性能 CFRP)

Figs. 28, 29 に静的強度の 81% の応力レベルにおける汎用 CFRP と高性能 CFRP の疲労試験中のアコースティックエミッション (AE) 測定結果を示す。特に汎用 CFRP のサイクル初期において AE の発生数が顕著である。これは負荷初期におけるつかみ部の食い込みに対応すると考えられる。その後汎用 CFRP においては 2000 サイクル程度、高性能 CFRP においては 4500 サイクル程度で振幅がやや大きめの AE が観察された。外面観察からこれは試験片端部における繊維のはく離に対応していた。引き続き汎用 CFRP においては 4500 サイクル程度で振幅の大きな AE 波が観察され、これは試験片中央部におけるスプリットング破壊に対応していた。同様の高振幅 AE 波はこれ以降に連続的に観察されており、これはスプリットングの進展に対応していると考えられる。一方で、高性能 CFRP においては破断直前に繊維破断由来の大きな振幅の AE が発生し、急速に最終破断に至った。

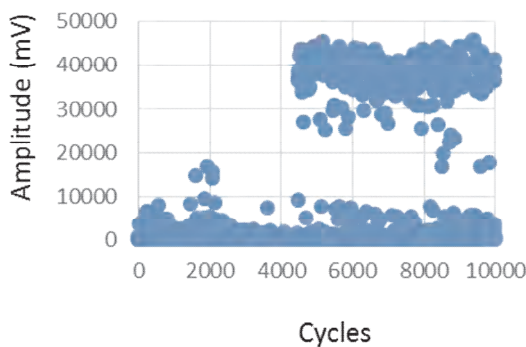


Fig. 28 汎用 CFRP の AE 挙動 (疲労試験)

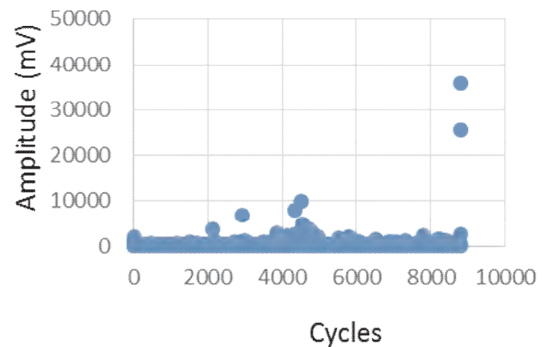


Fig. 29 高性能 CFRP の AE 挙動 (疲労試験)

ストレスラプチャー試験の結果を Fig. 30 に示す。特に高応力条件での破壊までの時間数にばらつきが見られた。図においては矢印を付記したデータは 2017/9/13 現在において継続試験中の未破断のものである。既に 6000 時間経過したサンプルは 2018/2/28 までに打ち切り時間の 1 万時間を超えるため、NEDO 開発期間にデータ取得の見通し。残りのサンプルについても信頼性を増すため、NEDO 開発期間後も引き続きデータ取得予定である。Figs. 31, 31 にストレスラプチャー試験中に取得した AE 振幅を示す。Fig. 31 は汎用 CFRP に対して静的強度の 105% の応力で試験を行ったものであり、現在も継続試験中である。Fig. 32 は高性能 CFRP に対して 91% の応力で試験を行ったものであり、最大荷重に達したのち、3.3 分で破断に至っている。Fig. 31 で観察されなかったが、Fig. 32 では最大荷重に達する

直前と破断直前に大きな振幅の AE が発生していることがわかる。準静的試験の場合と同様に AE の振幅に着目したモニタリングを行うことが効果的であることが示唆された。

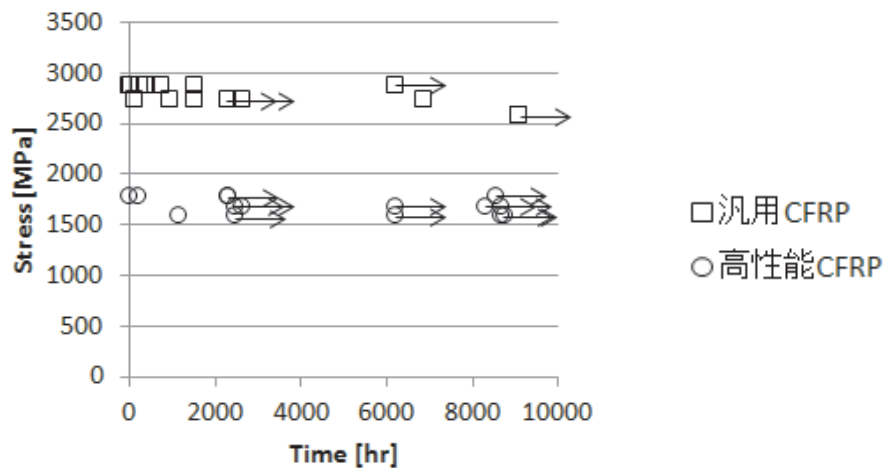


Fig. 30 ストラスラプチャー試験結果

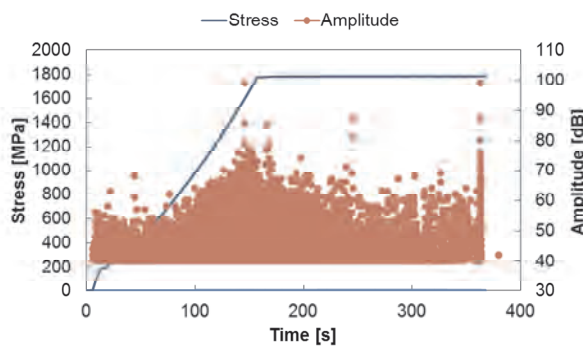


Fig. 31 汎用CFRPのAE挙動
(ストレスラプチャー試験)

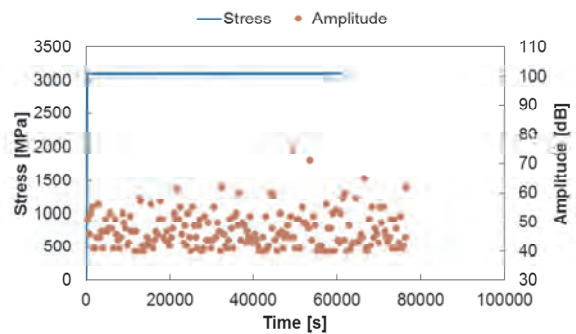


Fig. 32 高性能CFRPのAE挙動
(ストレスラプチャー試験)

(7) 小型Type2容器による要素技術開発 (フィラメントワインディング加工) (担当: 三菱ケミカル株式会社)

本共同開発先から提供された、鋼管ライナ、FRP用樹脂を用いて、当社所有 フィラメントワインディング装置を用いて課題の抽出を行った。低コスト化に資する項目として、作業時間短縮があるが、単位長さ当たりの炭素繊維量 (TEX) が大きいほど、巻き付け作業は速く終了することができる。そこで、TYPE 2 容器にの低コスト化に資するため、トウサイズの大きい30K系 (炭素繊維フィラメント30,000本) のトウを更に、6トウ (180K) を同時に巻きつけることを試みた。結果、巻きつける炭素繊維の量が増加した分、巻き付け幅精度の課題が抽出された。一般的に、ライナーに炭素繊維を巻きつける際、1周目に巻付けた炭素繊維に対し、2周目に巻きつけた炭素繊維との間に隙間 (ギャップ) が発生する。このギャップが残ったまま製品化されると、応力集中し破壊の起点となる可能性があるため、隙間なく炭素繊維を巻きつけることが必要である。本課題に対し、ギャップが発生しないように、樹脂粘度管理、糸道、糸整列 (楕形) 等調整することで課題を解決の目的を得、計画通り、中型容器開発に移行した。

ギャップ改善についてその状況を Fig. 33 (ギャップ有り) Fig. 34 (ギャップ無し) にそれぞれ示す。

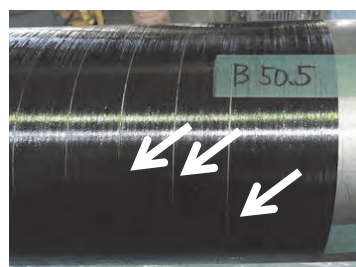


Fig. 33 ギャップあり



Fig. 34 ギャップなし

(8) 早期の市場導入を前提とした中型Type2容器開発(フィラメントワインディング加工) (担当 : 三菱ケミカル株式会社)

早期市場導入のため、小型 (45 ℓ) 及び、中型 (100 ℓ) 大型容器 (200 ℓ、鋼材ライナー約 1.5 トン) のフィラメントワインディング作業を実施することとした。大型容器に於いて、フィラメントワインディング作業を実施し課題の抽出を行った。結果、鋼材防錆塗装が施されたライナーに取扱い傷がつかないようにハンドリングする課題が抽出された。本共同開発 3 社にて議論の結果、ライナーの製造から当社フィラメントワインディング加工及び容器組み立てまで一貫して、ライナー (円筒) 両端にマテハン用治具を装着しフィラメントワインディング及び出荷管理を行うことを提案し、抽出された課題が解決し本開発を達成した。Fig. 35 に当該治具を装着したライナーの保管状態を示す。



Fig. 35 防錆塗装 (白) が施された鋼材ライナー (両端にハンドリング治具)

(9) ガイドラインおよび技術基準確立への貢献 (担当 : JFEスチール株式会社、JFEコンテナ株式会社、三菱ケミカル株式会社)

低合金鋼技術文書検討TFの委員となり、技術文書発行へ向けて様々な提言を行うなど、ガイドラインおよび技術基準確立への貢献を実施した。

3.2 成果の意義

- ・量産型厚肉継ぎ目なし鋼管を素材の運用により製造コストを削減 設置費用の低減に貢献
- ・10万回以上の疲労寿命を發揮し、長期の運用が可能 追加設置費用の低減に貢献
- ・ストレート型金属円筒の採用により、使用中の非破壊検査負荷の低減 運営費の低減に貢献

3.3 開発項目別残課題

- ・蓄圧器圧力サケ試験の完了
- ・タイプ 2 複合蓄圧器・低コスト化に貢献する炭素繊維の認定に資するデータを継続取得及びその解析
- ・欠陥検査技術の確立

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

以下の9つの研究開発目標をいずれも達成もしくは本NEDO事業内に達成見込み。

- ・Type2容器用スチールライナーおよびプラグの開発および材料データ取得
- ・高圧水素環境下材料特性の推定手法の確立
- ・スチールライナー複合容器蓄圧器の開発

- ・ スチールライナ複合容器蓄圧器の設計の妥当性の検証
- ・ 低コストType2容器開発に資する炭素繊維の提供
- ・ Type2容器用炭素繊維の認定に資するデータ取得及び疲労寿命予測
- ・ 小型Type2容器による要素技術開発（フィラメントワンディング加工）
- ・ 早期の市場導入を前提とした中型Type2容器開発（フィラメントワンディング加工）
- ・ ガイドラインおよび技術基準確立への貢献

以下の3つが残課題として残っており、2018年2月までに完了予定。

- ・ 蓄圧器圧力サイクル試験の完了
- ・ タイプ2複合蓄圧器・低コスト化に貢献する炭素繊維の認定に資するデータを継続取得及びその解析
- ・ 欠陥検査技術の確立

事業化として、初期型Type2の製品A、次世代型Type2容器の製品Bとして、以下のシナリオを検討している。

- ・ 製品A（初期型）

市場投入を前提とした実機のタイプ2容器の設計を完了した。

2017年度末までに、KHK特認を取得すべく、各種のデータの蓄積中。

- ・ 実機と同一断面・同一製造プロセスのタイプ2中型容器(45L)を試作。各種の圧力サイクル試験を実施。LBB成立を立証, 10万回のサイクルにて「漏れ無し」を確認。

- ・ 低合金クロムモリブデン鋼の金属円筒の高圧水素環境下での安全性を立証する各種データの採取

- ・ プロトタイプ容器（100L）を製作し、圧力サイクル試験を実施中

継ぎ目なし鋼管製造、熱処理、金属内筒の加工、非破壊検査、フィラメントワンディング加工、容器の組立、耐圧・気密試験 等、製造工程・製造地区は多岐にわたる。

事業化に向けて、製造管理、搬送管理、工程管理等の体制構築が今後の課題

- ・ 製品B（次世代型）

高剛性炭素繊維を適用した試作容器の優れた疲労寿命改善効果を確認。

高剛性炭素繊維の信頼性データを本事業中にほぼ採取を完了する。

学会発表などを経て、当該の高剛性炭素繊維の認知度を確保し、KHK特認取得を目指す。

5. 研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2015年9月	日本鉄鋼協会	低合金高強度鋼の疲労S-N曲線におよぼす水素チャージ法の影響	高木 周作ら
2	2015年11月	日本機械学会	陰極水素チャージ法を用いた高強度鋼の疲労特性評価	高木 周作ら
3	2016年6月	日本高圧力技術協会	高圧水素環境下材料特性評価法の代替手検討	高木 周作
4	2016年7月	ASME PVP	Comparison of fatigue property obtained under high pressure hydrogen gas service and Cathodic hydrogen charging service	Shusaku Takagi et al.
5	2017年4月	首都大学東京 広報誌	産業用途に応じた複合材料の開発で製造業から医療分野までを幅広く支援	小林 訓史ら
6	2017年6月	日本高圧力技術協会	高圧水素環境下での材料特性を把握するための種々の取り組み	石川 信行

- 特許等 -

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	2016/3/16	特願2016-052892	複合容器蓄圧器用ライナー、複合蓄圧器および複合容器蓄圧器用ライナーの製造方法	JFEテクノサーチ
2	2017		高圧水素ガス用蓄圧器およびその製造方法	JFEスチール
3	2017		高圧水素ガス用蓄圧器	JFEスチール
4	2017		高圧水素ガス用蓄圧器	JFEスチール
5	2017		高圧水素ガス用蓄圧器の蓋構造および高圧水素ガス用蓄圧器	JFEスチール

参考文献

- 1) J. Yamabe et al.: International Journal of hydrogen energy, vol.40(2015), 11075.
- 2) S. Takagi et al.: Proceedings of PVP2016, 2016 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference, Vancouver, Canada, 2016.
- 3) M.-S. Laura et al.: Proc. of Steely Hydrogen 2014, (2014), 448.

(11-4)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 / タイプ2 複合容器蓄圧器の研究開発」

共同研究先：(株)日本製鋼所

成果サリ(実施期間：平成27年度～平成29年度)

- ・ 最適なライナー製造技術およびCFRP施工技術を開発し、タイプ2蓄圧器製造技術を確立させることができた。
- ・ タイプ2試作蓄圧器で耐久サイクル回数10万回の許認可取得可能な試験データを採取した(2018年2月終了予定)。
- ・ 耐久サイクル数およびコストについて、NEDO事業最終目標を達成できる見通しを得た。

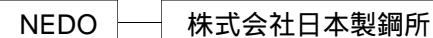
背景/研究内容・目的

- ・ タイプ2複合容器蓄圧器は高強度の鋼製ライナーを使用することにより高価なFRP層を薄くできるため低コスト化が可能である。
- ・ 本研究では低コスト化のための材料選定と安全性評価、蓄圧器構造およびCFRP施工条件の最適化を行い、複合容器蓄圧器の試作を実施する。最終的には実体サイズの複合容器蓄圧器を用い、高圧ガス保安協会(KHK)の特認取得のために必要なデータ採取を完了させる。

研究目標

実施項目	最終目標(H29年度)
低コスト化のための材料選定と安全性評価	・耐久サイクル回数10万回の許認可取得可能な試験データ採取を完了させる ・コスト目標 1.2万円/L以下
鏡部等の最適化構造の検討	
複合容器蓄圧器試作および性能評価	
複合容器基準化事業との連携	

実施体制及び分担等



これまでの実施内容 / 研究成果

- ・ 最適な方法で試作したタイプ2蓄圧器を用い、水圧試験で設計通りの外面ひずみが得られていることを確認した(図1)。製造コストのNEDO事業目標1.2万円/Lを達成できる見通しを得られた。

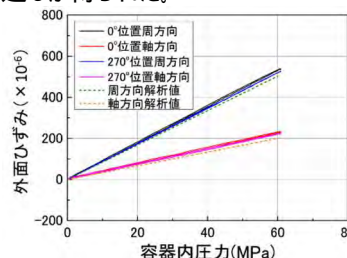


図1 水圧試験結果

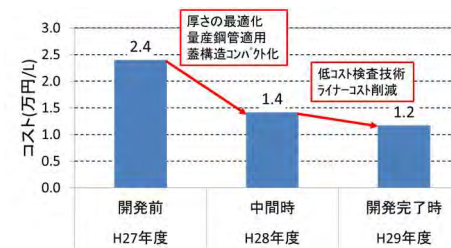


図2 コスト試算結果

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
	低コスト量産シームレス鋼管を適用 水素中の材料試験により安全性を確認	
	最適なCFRP施工方法を確立	
	水圧試験により設計通りのCFRP/ライナー荷重分担を確認	
	設計確認試験用のタイプ2複合容器蓄圧器を製作 10月より試験開始予定	

今後の課題

- ・ 耐久サイクル回数10万回の許認可取得可能な試験データ採取(2018年2月終了予定)

実用化の見通し

- ・ 2018年度にKHK特認を取得し、上市を開始する予定

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	0	1	0

課題番号： -4

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発

タイプ2 複合容器蓄圧器の研究開発

株式会社日本製鋼所

1. 研究開発概要

水素ステーション用蓄圧器の種類としては金属容器蓄圧器(タイプ1)、金属ライナーフルラップ式複合容器蓄圧器(タイプ2)、金属ライナーフルラップ式複合容器蓄圧器(タイプ3)および非金属ライナーフルラップ式複合容器蓄圧器(タイプ4)がある。近年、市場要求として蓄圧器の低コスト化が求められており、水素インフラ普及のためにも低コスト蓄圧器の開発が必要不可欠である。タイプ2 複合容器蓄圧器は高強度の鋼製ライナーを使用することにより高価な炭素繊維強化プラスチック(CFRP)層を薄くできるため低コスト化が可能であるが、鋼製ライナーの水素脆化やFRP 施工に課題があるため技術上の規準が未整備である。これらの課題を解決するため本研究では低コストかつ長寿命で信頼性の高いタイプ2 複合容器蓄圧器の開発を目的とする。

本研究の実施項目は以下の通りである。

(1)低コスト化のための金属ライナー等の材料選定と安全性評価

「水素利用技術研究開発事業/燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発/燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発」(鋼種拡大事業)と連携してライナー素材の材料選定評価を実施し、耐水素脆性に優れるCr-Mo 鋼ライナーを探索、適用する。

(2)鏡部構造等の最適化構造の検討

最適な鏡部形状などを検証しライナー試作成型を実施して設計通りのライナー形状が製造可能か確認する。CFRP 施工については、最適な硬化条件を縮小試験体による試験等で明らかにし、実機製品サイズのライナーを用いた試作により最適化を図る。

(3)複合容器蓄圧器試作および性能評価

実機サイズの複合容器蓄圧器を試作して耐圧試験により鏡部および胴部のひずみ測定を実施して、ライナーとCFRP 層で設計通り荷重が分担されているか確認する。鋼製ライナーの検査技術については、鋼製ライナー内面の欠陥検出限界サイズを小さくできれば経済的な検査周期で制限なく使用できるタイプ2 蓄圧器となることから、低コストで内面検査が可能なライナーの製造方法を検討するとともに、非破壊検査による欠陥検出限界サイズを実証する。

(4)複合容器基準化事業との連携

国内にタイプ2 複合容器蓄圧器の設計、製作を行うための技術基準は無いことから、高圧ガス保安協会(KHK)の特認を取得する必要がある。そのため実機サイズの複合容器蓄圧器を用い設計確認試験を実施して特認取得のためのデータ採取を完了させる。

2. 研究開発目標

中間目標、最終目標は以下のように設定した。なお、最終目標は蓄圧器に対する低コスト化の市場要求および燃料電池自動車普及期の蓄圧器使用回数の増加に対応することを考慮して設定した。

【中間目標(平成28年度)】

・タイプ2 複合容器蓄圧器の鋼製ライナー製造技術およびFRP 施工技術を確立する。

【最終目標(平成 29 年度)】

・耐久サイクル回数 10 万回の許認可取得可能な試験データ採取を完了させる。コスト目標は 1.2 万円/L である。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) 低コスト化のための金属ライナー等の材料選定と安全性評価

蓄圧器低コスト化のため、安価で圧力容器として必要な材料特性を有し耐水素脆性に優れる鋼製ライナー素材の探索を実施した。数種の鋼材を選定し水素中の材料試験により耐水素脆性を評価した。図 1 には耐水素脆性を評価するために実施した 99MPa 水素ガス雰囲気下低ひずみ速度引張試験 (SSRT) の一例を示す。鋼種 A は従来蓄圧器材料として用いてきた材料であり、それに対し鋼種 B は今回新たに検討した材料である。鋼種 B は鋼種 A と同等の強度、耐水素脆性を有し鋼種 A よりも安価であることから、今回新たにライナー材料として適用することとした。鋼種 B を適用することにより安全性は従来材料と同等でありながらライナー材料費の削減が達成された。()

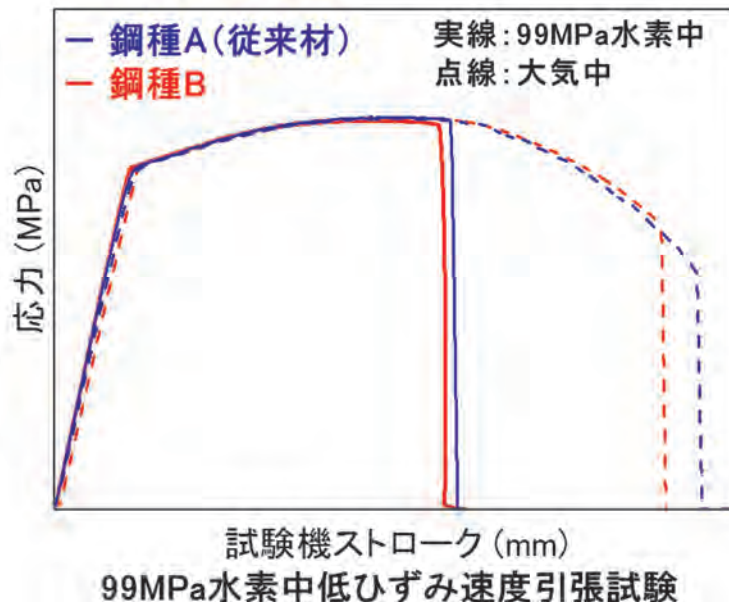


図 1 99MPa 水素ガス雰囲気下低ひずみ速度引張試験結果

(2) 鏡部構造等の最適化構造の検討

ライナーの鏡部については、応力解析などを実施して最適な鏡部形状などを検証した後、ライナー試作成型を実施して設計通りのライナー形状が製造可能か評価した。図 2 に示すような実体サイズのライナーを試作し、解体調査によるライナー断面形状の評価により設計どおりの形状、肉厚を有するライナーが成形加工であることを確認した。また、試作したライナーを用いて実機製造時の熱処理工程を模擬した熱処理試験を実施した。ライナーの引張強度、靱性、材料組織などを評価した結果、ライナーとして十分な特性を有していることを確認した。以上のことから最適なライナー熱処理方法を確立できた。

ライナー単体での安全性を評価するため、実機サイズのライナーを試作して水圧試験を実施した。図 3 に試作したライナーの水圧試験状況を示す。設計圧力 99MPa の 1.5 倍となる 148.5MPa で水圧試験を実施し、胴部お

よび鏡部で解析どおりのひずみを得られた。タイプ2 複合容器蓄圧器の場合、鏡部はCFRP で補強されないが水圧試験結果から判断すると十分な強度を有するライナー構造であることが確認できた。

CFRP 施工については、CFRP による十分な補強効果を得るため樹脂の硬化条件を最適化が必要であったことから、短尺試験体を用いて硬化条件の探索を実施した。図4 は同じ樹脂と炭素繊維の組み合わせでフィラメントワインディング成形し、硬化条件を改善した際の層間せん断試験 (ASTMD2344) 結果を示す。硬化条件を改善することにより、十分なCFRP 強度を得られる最適な硬化条件を確立した。()



図2 断面形状確認および熱処理試験用ライナーの外観



図3 試作ライナーの水圧試験状況

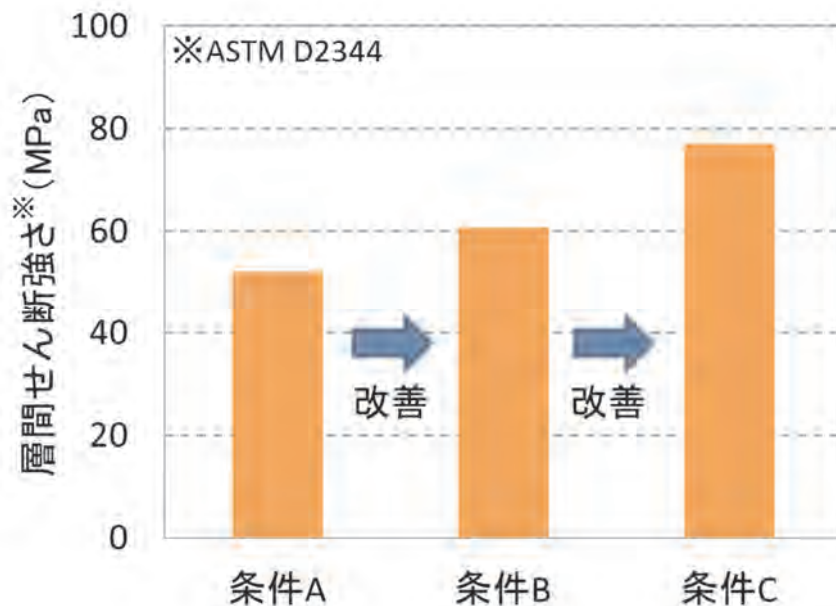


図4 硬化条件を改善した際の層間せん断試験

(3) 複合容器蓄圧器試作および性能評価

蓄圧器の安全性を確保するためには非破壊検査によるライナーの欠陥検出技術は重要である。低コストで内面検査が可能な非破壊検査方法を検証した結果、磁粉探傷試験 (MT) が最適であると判断し実体サイズのライナーを用いて検証試験を実施した。図5にMT検証試験の模式図を示す。放電加工により内面に深さ0.4mm 長さ1.2mmの人工欠陥を導入し、その人工欠陥をMTで検出できる確認した。図6にMT試験結果を示す。MTで深さ0.4mm 長さ1.2mmの欠陥を検出可能であり、出荷時および供用中の検査方法としてMTは有効であることが確認された。また、この検査方法は従来の検査方法よりも安価で実施できるため蓄圧器製造コスト削減にもつながる。

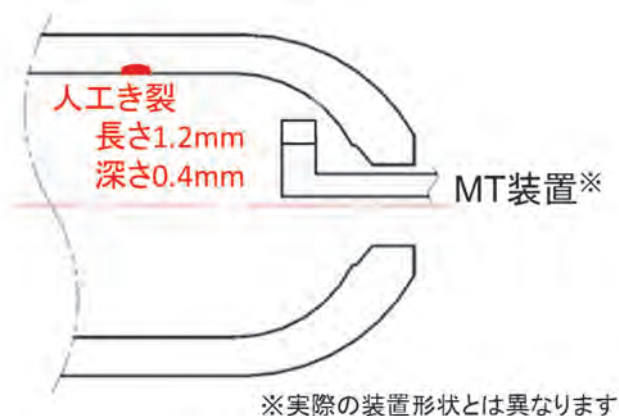


図5 MT 検証試験方法模式図

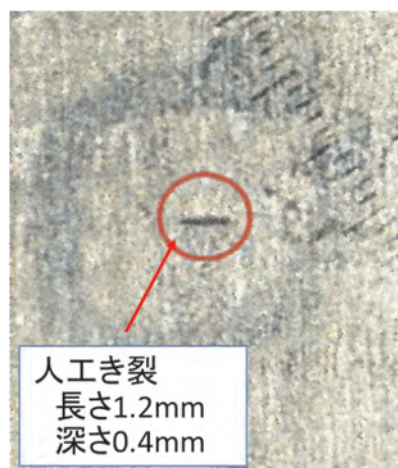


図6 MT 試験結果

ライナーおよびCFRPの製造技術、検査技術が確立したことから、実機サイズのタイプ2複合容器蓄圧器を試作し、水圧試験により性能評価を実施した。図7に水圧試験条件を示す。水圧試験は0MPa 60MPaを2サイクル、0MPa 70MPaを1サイクルの合計3サイクルで実施した。図8に水圧試験時のCFRP胴部中央の外表面ひずみ測定結果を示す。周方向ひずみ、軸方向ひずみとも直線性と再現性のあるひずみが得られ、解析ともほぼ一致することが確認されたことから、ライナーとCFRPで設計通り荷重分担されていることが確認できた。以上のことから、タイプ2複合容器蓄圧器の製造技術が確立した。()



タイプ2試作蓄圧器

- ✓ サイクル数: 3サイクル
- ✓ 圧力: 0⇔60MPaを2サイクル、0⇔70MPaを1サイクル
- ✓ 昇圧後保持時間: 10分

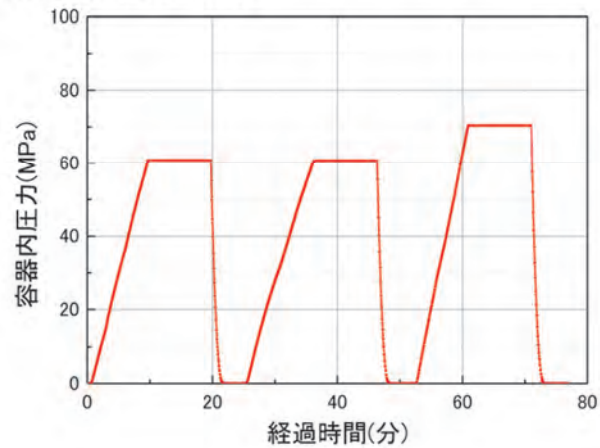


図7 水圧試験条件

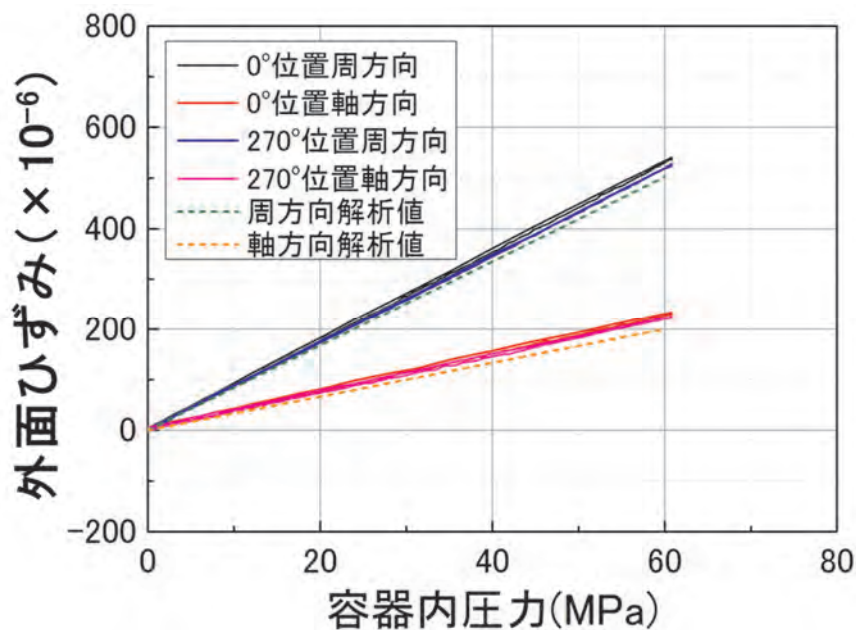


図8 水圧試験結果

(4) 複合容器基準化事業との連携

KHKの特認取得のためのデータ採取を完了させるため、図9に示す設計確認試験用のタイプ2複合容器蓄圧器を2基製作した。設計確認試験内容を表1に示すが試験内容はASME規格をベースとした内容である。設計確認試験は2017年10月から開始し、2018年2月中に試験を完了する。()

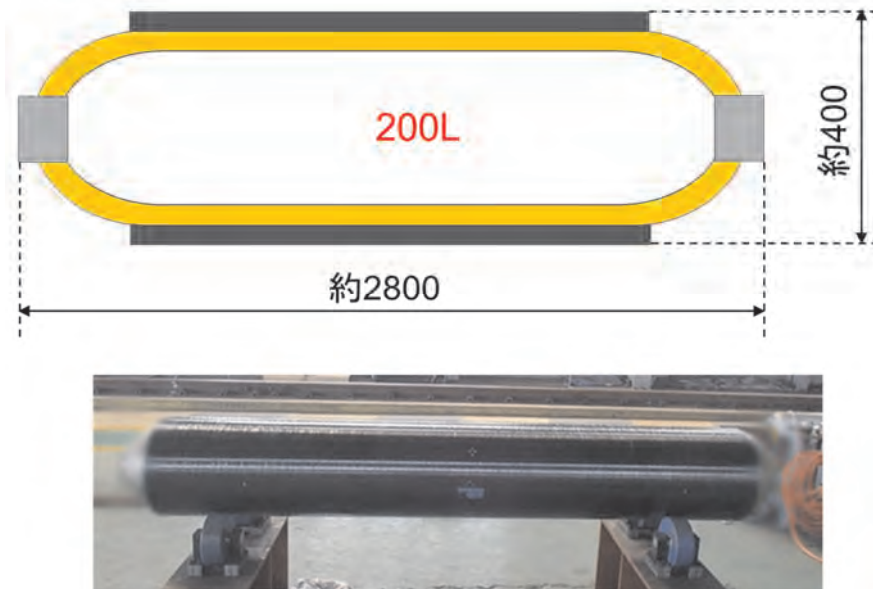


図9 設計確認試験用蓄圧器

表1 設計確認試験項目

試験名称	試験内容	試験本数
①積層部厚さ測定	CFRPの厚さを測定	2本
②目視検査	規格に従いCFRPの目視検査	
③水圧試験	設計圧の1.5倍で水圧試験	
④疲労試験	規格に基づき試験回数を決め、繰り返し圧力を与える。400,000回の試験を計画。	
⑤水圧試験	設計圧の2倍で1分間保持した後、昇圧してライナーを破裂させる	
⑥繊維含有率測定	損傷のない箇所よりCFRPを採取し実施	

3.2 成果の意義

以下に本研究の目標と達成状況を示す。

目標1 耐久サイクル回数 10万回の許認可取得可能な試験データ採取を完了

設計確認試験用蓄圧器を製作し各種評価試験を実施中である。試験を完了することにより耐久サイクル回数 10万回の許認可取得可能な試験データ採取が達成される（2018年2月終了予定）

目標2 コスト目標 1.2万円/L以下

図10にコスト試算結果を示す。各種コスト低減に関わる開発を実施することで、目標達成可能であると試算された。

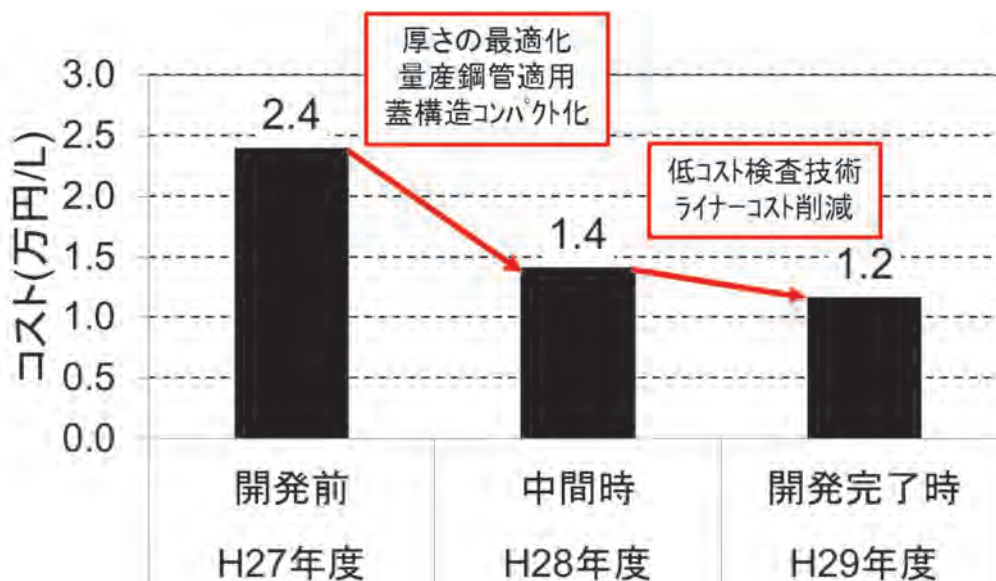


図10 コスト試算結果

3.3 開発項目別残課題

残課題として耐久サイクル回数 10万回の許認可取得可能な試験データ採取が挙げられる。この課題は実施中の設計確認試験が完了（2018年2月）することで達成される。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本研究により得られた成果をもとに、H30年度に高圧ガス保安協会の特認を取得し、実機の生産体制を整備した後、タイプ2蓄圧器の受注、製造を開始する予定である。本研究により開発されたタイプ2蓄圧器は、現在販売されているタイプ2、タイプ3蓄圧器よりも低コストで長寿命であると推測されるため十分な競争力を有すると予想される。

5. 研究発表・特許等

研究発表等の実績は表2の通りである。

表2 研究発表等の実績

	H27	H28	H29	計
研究発表・講演	0	0	1	1件
展示会への出展	1	1	0	2件

特許出願の実績は表3の通りである。

表3 特許出願の実績

	平成27 年度	平成28 年度	平成29 年度	計
特許出願(うち外国出願)	1	0	予定1	1件

(11-5)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 / 水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発」

委託先：(一社)水素供給利用技術協会 (HySUT) / (国)九州大学 / (一財)化学物質評価研究機構 (CERI) / 横浜ゴム(株) / NOK(株) / 日本合成化学工業(株)

成果サマリ (実施期間：平成25年度～平成29年度)

<p><ホース></p> <ul style="list-style-type: none"> ・87.5MPaの目標耐圧耐久性を満足するホース補強層構造を確立した。 ・87.5MPaホースの要求仕様である圧力サイクル2,200回を水素インパルス試験にて達成。 ・ホース内面樹脂層への水素影響を低減する構成と材料を提案し開発品ホースに採用された。 ・樹脂製高圧水素用ホースの信頼性評価基準(案)を策定した。 	<p><シール></p> <ul style="list-style-type: none"> ・モデルゴム材料の高圧水素シール限界および6,600回のシール耐久性、推奨するシール溝設計指針を明らかにし、高圧水素シールシステム設計指針を確立した。 ・フィルターの補強効果を示す引張応力は、高圧水素曝露による体積増加と内部破壊の重要な評価指標の一つである。 ・-40℃でシール可能なゴム材としてEPDM、VMQを選定した。
---	---

背景/研究内容・目的

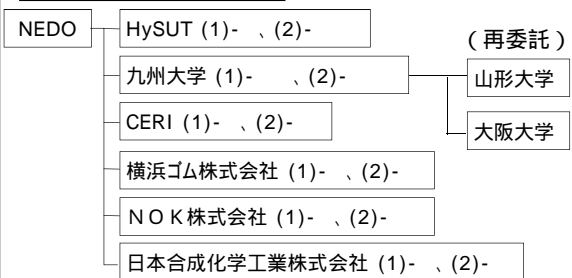
水素STの技術開発では、70MPaまでの圧力については主要機器の1年間の耐久性が確認され、これらによりステーション先行整備のための基礎条件が70MPaまでは整った状況が、FCV普及に向けては、更なる充填圧力の高圧化が必須である。

現在の水素STの常用圧力である82MPaに対応した樹脂製充填ホースとシールシステムの実用化技術開発を行うとともに、これらの実績データや材料の基礎評価結果を踏まえ、87.5MPa対応の試作品の開発を行う。また、樹脂材料の基礎評価結果を活用し、樹脂製の高圧水素用ホースとシールシステムの健全性を評価するための試験の種類、試験条件、評価基準等、水素STでの使用に関する評価基準策定に資する資料作りを行い、先行整備の円滑な進捗に貢献することを目指す。

研究目標

実施項目	目標
(1)-	FCV普及初期の1年間メンテナンスを達成する87.5MPa(-40℃)に対応した高圧水素用樹脂製ホースの開発
(1)-	FCV普及初期の1年間メンテナンスを達成する87.5MPa(-40℃)に対応した高圧水素ガスシールシステムの開発
(2)-	JPEC-S化に向けた87.5MPa(-40℃)高圧水素用ホースの信頼性評価基準案の作成
(2)-	87.5MPa(-40℃)高圧水素ガスシールシステムの信頼性評価基準の検討

実施体制及び分担等



これまでの実施内容 / 研究成果

<ホース分野>

- ・耐圧性と軽量、柔軟を両立し、従来技術と差別化した仕様を確立し、中間開発目標であった82MPa級対応ホースを製作し商品化
- ・目標耐圧耐久性を満足するホース補強層構造を確立した。
- ・87.5MPaホースの要求仕様である圧力サイクル2,200回を水素インパルス試験にて達成した。
- ・ホース内面層歪みを抑制する補強層構造設計により、内面層疲労破壊による耐久性課題を解決した。
- ・耐圧耐久性能と軽量・柔軟化を両立し、従来技術と差別化した。
- ・ディスプレイ用ホースとして初の耐久性評価データを取得した。
- ・従来樹脂の単層構造では内面樹脂に透過した水素ガスを起点に樹脂クラックが発生する現象を初めて検出した。
- ・2種2層チューブ(内面樹脂 = 水素溶解量低減樹脂層 / バリア層) 試作した。これにより内面樹脂への水素影響低減およびチューブとしても水素耐性向上を確認した。本チューブを用いた87.5MPaホースを試作し、各種耐久性評価を実施。要求仕様を満足する圧力サイクル2,200回を水素インパルス試験にて達成できる見込み
- ・ISOへの積極的な提案、意見発信を行い、ISOとの調和のとれた樹脂製高圧水素用ホースの信頼性評価基準(案)を策定した。

<シール分野>

- ・水素機器用ゴムについて、配合設計を行い作製したモデル配合ゴム材料について、高圧水素曝露後の水素量、寸法変化をデータベースとしてまとめ、「日本ゴム協会水素機器用エラストマー材料研究分科会」にて議論した。
- ・水素ステーション機器用高圧水素シール材として使用されるゴム材料について、低温用、常温用、高温用に分類し、設定した標準配合の水素特性評価を実施した。
- ・-40℃でシール可能なゴム材としてEPDM、VMQを選定した。
- ・90MPaの高圧水素の繰返し負荷による損傷発生条件を明らかにし、損傷したシールであってもシール性を確認した。
- ・バックアップリングによるはみ出し損傷の低減を確認した。
- ・モデルゴム材料の高圧水素シール限界および6,600回のシール耐久性、推奨するシール溝設計指針を明らかにし、高圧水素シールシステム設計指針を確立した。

透過法による溶解水素量と昇温脱離法による侵入水素量には相関関係があることが明らかになった。これにより、簡便な測定法である透過法が、水素量の測定法として適用できることを確認した。

・シリカの補強効果がより発現しやすいシランカップリング剤を選択すると、高圧水素曝露による体積増加と内部破壊は軽微であった。したがって、高圧水素曝露特性と関係が深い評価指標の一つとして、フィルターの補強効果を示す引張応力が重要である。

今後の課題

- ・実環境下でのホース・シールの劣化状況が不明であり、ホースの交換期間の設定や使用時の閾値の設定が困難であるため、実環境下で使用されたホース・シールについて劣化状況を把握し、高圧水素ホース構成部材の各種劣化指標との相関を検討する必要がある。
- ・ホースのISO議論が続いていることから、今後も国内基準との調和のために日本の積極的な意見発信が必要である。

実用化の見通し

- ・水素ステーション普及に向け、国際標準にも対応したホースの供給を行う。
- ・国内外のステーション周辺機器や各種水素ガス輸送分野への用途拡大を図る。
- ・各種水素関連機器のメーカーや機関が、本事業により確立した高圧水素シールシステム設計指針を設計・試作検討の段階から活用でき、実用化の加速に貢献する。

研究成果まとめ

	成果内容	自己評価
(1)-	87.5MPa(-40℃)に対応した高圧水素用樹脂製ホースの開発	
(1)-	87.5MPa(-40℃)に対応した高圧水素ガスシールシステムの開発	
(2)-	樹脂製高圧水素用ホースの信頼性評価基準(案)の策定	
(2)-	高圧水素シールシステム設計指針を確立	

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
10	11	147	1

課題番号：11-5

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 /

水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発

一般社団法人水素供給利用技術協会(HySUT)

国立大学法人九州大学

財団法人化学物質評価研究機構(CERI)

横浜ゴム株式会社

NOK 株式会社

日本合成化学工業株式会社

1. 研究開発概要

燃料電池自動車(以下、FCV)と水素供給インフラは、エネルギー源のベストミックスやCO₂排出量削減の有効策として、「エネルギー基本計画(2010年閣議決定)」及び「Cool Earth - エネルギー革新技術計画(2008年経済産業省策定)」における重要技術と位置付けられている。

これまで我が国では「燃料電池システム等実証研究(「JHFC1及び2」)(2002~2010年度)及び「地域水素供給インフラ技術・社会実証」(2011~2013年度)においてFCV・水素ステーションの実用性、省エネルギー性等を実証すると共に、実用化課題の抽出を進めている。加えて、2011年1月の自動車メーカー及び水素供給事業者13社による共同声明に基づき、2015年からのFCVの量産開始と水素供給インフラの先行整備及び商用開始が実施された。

このような背景のもと、水素ステーションの技術開発では、これまで35MPaから70MPaへと充填圧力の高圧化が進められてきた。水素ステーションの構成要素である配管、蓄圧器、圧縮機、ディスベンサ、ノズル、ホースなどの主要機器についても、高圧化とこれに伴う水素冷却に対応した技術開発が行われ、NEDO事業「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」において70MPaまでの圧力については主要機器の1年間の耐久性(ノーマンテナンス性)が確認された。この際、横浜ゴム株式会社はホースの技術開発を担当している。

また、NEDO事業「水素先端科学基礎研究事業」において、九州大学、NOK株式会社、日本合成化学工業株式会社は、水素機器の水素シールとして使用されるゴム、樹脂材料について、モデルとして選定されたゴム、樹脂材料について90MPaまでの高圧水素環境下での水素溶解性や強度特性、摩擦・摩耗特性への水素の影響が確認され、水素機器に使用される材料選定のための基礎的なデータである「モデル配合ゴム材料データ」や高圧水素シールシステムの設計指針が提示された。これらによりステーション先行整備のための基礎条件が70MPaまでは整った状況である。

しかし、2015年度以降のFCV普及に向けては、さらなるユーザー利便性の追求が重要であり、低コスト化、充填時間の短縮化、高耐久化等に加え、規制見直しの工程表が示すように更なる充填圧力の高圧化が必須である。だが、現時点では、使い勝手の良い樹脂製の高圧水素用ホースは70MPaまでしか開発できておらず、70MPaを超えた高圧下で使用可能な樹脂製ホースが求められている。また、高圧水素シール材として使用されるゴム、樹脂材料についても、シールシステムとしての開発と長期信頼性の確認が求められている。

そこで、現在の水素ステーションの常用圧力である82MPaに対応した樹脂製充填ホースとシールシステムの実用化技術開発を行うとともに、これらの実績データや材料の基礎評価結果を踏まえ、87.5MPa対応の試作品の開発を行う。また、樹脂材料の基礎評価結果を活用し、樹脂製の高圧水素用ホースとシールシ

システムの健全性を評価するための試験の種類、試験条件、評価基準等、水素ステーションでの使用に関する評価基準策定に資する資料作りを行い、先行整備の円滑な進捗に貢献することを目指す。

本研究開発は、一般社団法人水素供給利用技術協会、国立大学法人九州大学、一般財団法人 化学物質評価研究機構、横浜ゴム株式会社、NOK株式会社、日本合成化学工業株式会社の6機関が共同し、高压水素用ホースとシールシステムのそれぞれの開発と評価基準検討の以下について、実施項目ごとに適切な検討体制を構築して進めるものとする。

- (1)樹脂製高压水素用ホース・樹脂製高压水素シールシステムの開発
- (2)高压水素用ホース・高压水素シールシステムの評価基準に関する研究

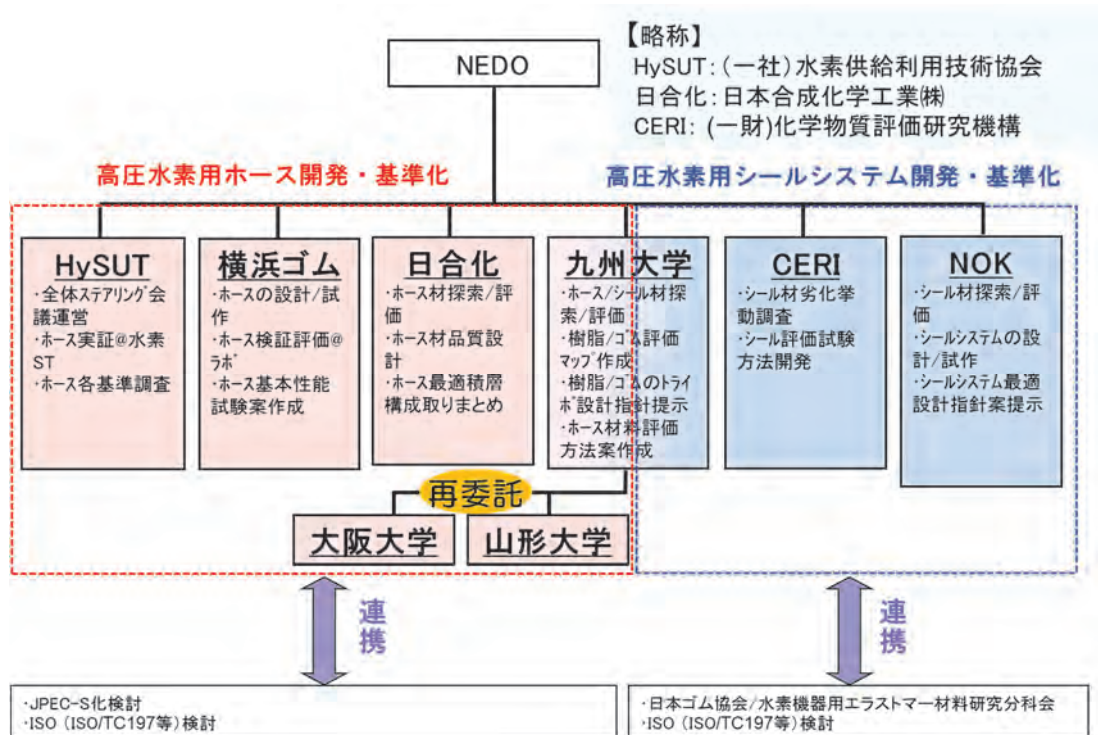


図1 研究体制

2. 研究開発目標

FCVのユーザー利便性の向上に資する更なる充填圧力の高压化のため、本研究開発においては、高压水素用ホースと高压水素シールシステムを対象とし、開発当初は水素ステーション普及初期を見据えた82MPa対応の樹脂製高压水素用ホース・シールシステムの開発を行うとともに、この開発で得られた知見や技術を活用してさらなる高性能化(87.5MPa対応)を図るよう、研究開発目標を以下のとおり設定する。

研究開発目標：

FCV普及初期の1年間ノーメンテナンスを達成する87.5MPa(-40℃)に対応した高压水素用樹脂製ホースの開発

FCV普及初期の1年間ノーメンテナンスを達成する87.5MPa(-40℃)に対応した高压水素ガスシールシステムの開発

JPEC-S化に向けた87.5MPa(-40℃)高压水素用ホースの信頼性評価基準案の作成

87.5MPa(-40℃)高压水素ガスシールシステムの信頼性評価基準の検討

3 . 研究開発成果

3 . 1 研究開発成果、達成度

(1) 樹脂製高圧水素用ホース・樹脂製高圧水素シールシステムの開発

87.5MPa 対応樹脂製高圧水素用ホースの開発

a. 87.5MPa 対応樹脂製高圧水素用ホース内層樹脂材料の水素特性評価 (九州大学)

本研究開発における 87.5MPa(-40)に対応した高圧水素用樹脂製ホースの達成目標である温度・圧力サイクル 6,600 回の耐久性保持を実現するため、主に内層樹脂材の選定時の判断基準となる信頼性に影響を及ぼす因子である樹脂中に侵入する水素量、その際の体積増加率、およびこれらの樹脂材料の結晶化度の影響、低温における強度特性について、70MPa、82MPa 級高圧水素用樹脂ホースに使用されている内層樹脂材料を中心に各種候補材料について計測した。

ホース素材候補の選定については、「日本ゴム協会水素機器用エラストマー材料研究分科会」会員である材料メーカー、ゴムメーカー、部材メーカー、水素機器メーカーなど 50 社の意見を聴取し、評価対象樹脂材料を選定し、高圧水素曝露後の水素量を NEDO 事業「水素先端科学基礎研究事業」(2006 ~ 2012 年度)にて開発した昇温脱離ガス解析装置より計測した。現在、151 検体についての評価結果に基づいて当該研究分科会で議論を進めている。計測結果から、水素量は分子構造に依存し、芳香族系樹脂に比べ脂肪族系樹脂材料の方が小さい水素量を示すこと、ポリアミドなど極性基を持つ樹脂材料の水素量が小さくなる傾向であることが判明した。現在高圧水素ホース内層材として使用されている PA は PA6、PA66、PA11 など、アミド結合間のメチレン鎖長が大きいものは水素量が大きくなる傾向が見られた。また、これらの樹脂材料の体積は、水素曝露前の体積に比べ 1 ~ 5% 程度増加することが判明した。

本研究の一部を大阪大学に再委託し、樹脂材料の高圧水素曝露時の水素量と体積膨張について、樹脂材料の高次構造との相関検討を進めた。一般的にホース素材候補の多くは結晶性高分子材料であり、結晶化度と水素曝露時の水素量の影響確認のため、PA11 について、熔融成型時の冷却条件を制御することにより異なる結晶化度を持つ試験片を作製し、樹脂材料の結晶化度と水素量の相関を検討した。その結果、結晶化度の高いものほど水素曝露時の水素量が小さくなることが判明した。

また、本研究の一部を山形大学に再委託し、ポリアミド材の材料強度特性に関する研究を進めた。高圧水素用ホースは充填時のプレクールにより-40 に冷却された水素ガスが流通する。このため、低温における力学特性の評価が重要となる。これまで、PA11 について U ノッチ付き試験片による平面ひずみ三点曲げ試験を実施し、-60 までの低温強度特性を評価した結果、可塑性配合量が大きくなるに従って脆化温度が低下すること、脆性破壊時の曲げひずみは概ね 10%以下にあり、温度依存性は小さいこと、水素曝露による脆性破壊曲げひずみの変化は小さいことが判明した。

これらの結果をホースの寿命評価、ホース設計へのフィードバックを進めている。

b . 87.5MPa の耐圧耐久性能を有するホース補強層構造の確立 (横浜ゴム)

87.5MPa の耐圧耐久性を成立させるためホース補強層構造の設計を行い、ホースの試作評価を実施した。評価の結果、開発目標である FCV 普及初期の 1 年間ノーメンテナンス相当(油圧サイクル試験において圧力サイクル 6,600 回、水素サイクル試験において圧力サイクル 2,200 回の耐久性を保持)を達成する 87.5MPa ホースを開発した(特許出願)。

また、ホース補強層は繊維ブレードと鋼線ブレードの組み合わせにより、耐圧耐久性と軽量・柔軟を両立し、従来技術との比較においても差別化され充填作業性向上に繋がる技術である。さらに、ホース内面層歪みを抑制する補強層構造設計により、内面層疲労破壊による耐久性課題を解決している。

ホース寸法と補強層構造を図2に、ホースの耐圧性能を表1に示す。

表1 開発ホースの耐圧性能

試験項目	条件	結果
耐圧性能 (4倍加圧)	385MPa × 5min (設計圧力の4倍)	(n=3/3)
液圧 インパルス性能	圧力：96.3MPa 温度：-40 or +65 耐久：6,600 サイクル	(n=3/3)
水素ガス インパルス性能	圧力：87.5MPa 温度：-40 耐久：2,200 サイクル	(n=2/2)

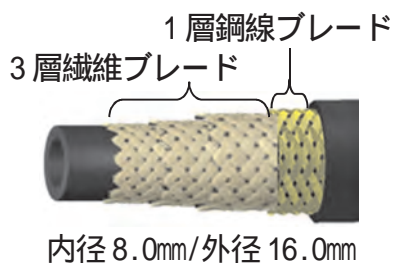
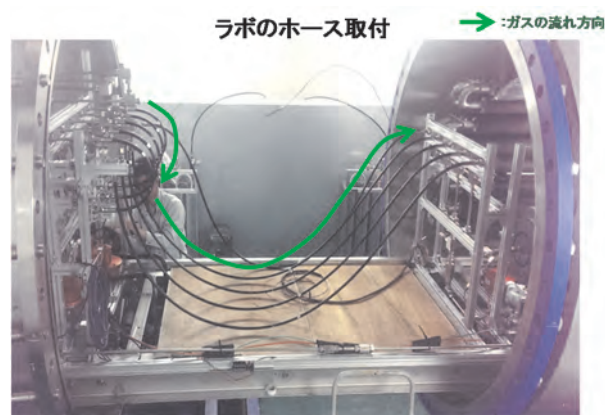


図2 ホースの寸法と補強層構造

c . 87.5MPa ホースの実用模擬試験 (横浜ゴム)

ホースの健全性確認の為、実際のディスペンサーでの取り付け状態や温度、圧力を模擬した試験を実施した。これにより、ディスペンサー用ホースとして初めて耐久性評価データを取得することが出来た。また、内面樹脂に透過した水素ガスを起点に樹脂クラックが発生する事象を初めて検出出来た。これにより、内面クラックの耐性検討から、内面層2層(バリア)構造の有効性を確認しホース耐久性に関する技術的知見を得ることが出来た。



d. ホース用樹脂材料の開発 (ポリマーアロイ及びベース樹脂の最適化) (日本合成化学工業)

d-1. 従来品より水素耐性に優れたナイロンの開発

より高圧水素下での使用となることから、ベース材料には、70MPa、82MPa 級高圧水素用樹脂ホースに使用されている内層樹脂材料として検討されてきた従来品に比べ、アミド結合濃度が高く、水素溶解量が少ない樹脂を選んだ。このベース材料に低温で要求される機械特性を付与するため、引き続き、低温特性に優れた高分子材料を反応型相溶化の技術を用いて複合化する検討を行い、水素耐性と機械特性の両立を図った。また、チューブとして押出成形可能な溶融粘度範囲とすることにも意を用い、ナイロン開発品 3 を得た (表 2)。

このナイロン開発品 3 は押出成形することにより、チューブを得ることができた。

表 2 ナイロン開発品の機械特性 (引張試験)

サンプル	引張強さ (MPa)		破断伸度 (%)		降伏点強さ (MPa)		降伏点伸度 (%)		引張弾性率 (GPa)	
	-40	23	-40	23	-40	23	-40	23	-40	23
従来品	89	54	62	103	66	54	7		1.82	0.39
ナイロン開発品1	80	59	75	185	80	44	9	4	1.75	1.35
ナイロン開発品2	83	49	207	286	56	26	12	7	1.11	0.80
ナイロン開発品3	84	52	23	120	84	40	9	4	1.83	1.14

(表 2 の値は n=3 の平均値。従来品、ナイロン開発品 1, 2 は、中間評価時報告済)

d-2. ガスバリア材の開発検討

チューブにおける上記ナイロン層への水素の影響を低減させるために、ナイロン層のさらに内層にガスバリア層を設けることを提案してきた。

そのベース材料としてエチレン-ビニルアルコール共重合体を用いることとし、水素拡散係数を評価し直した。九州大学にて 90MPa 264 時間の水素曝露試験結果から見積もった水素拡散係数のエチレン含有量依存性が、陽電子消滅法で見積もった自由体積空隙サイズの同依存性と良い相関があることが分かり、この結果を基にベース材料を選択した。このベース材料を数種類の低温特性に優れた高分子材料と反応型相溶化の技術を用いて複合化することにより、低温での機械特性を満足するガスバリア材開発を行った。また、ナイロンと共にチューブとして押出成形できる溶融粘度範囲であることも重視した。

以上のように中間評価後も検討を進め、新規ガスバリア材 3 を得た。

2 種 2 層チューブの層間密着強度が十分かどうか、同じ層構成を有する多層シートを押出成形で作成し、ナイロン層とガスバリア層との層間密着性の評価を試みた。評価のための試験片を得るには層間を一部引き剥がして、評価機で試験片を掴む“きっかけ”を作る必要があるが、それが不可能なくらい強く密着していることが分かった。

d-3. チューブの評価

ナイロン開発品 3 / 新規ガスバリア材 3 からなる 2 種 2 層チューブを作成することができた。

先に得た ナイロン開発品 3 のみからなる単層チューブと、上記の 2 種 2 層チューブの耐水素性を水素曝露試験により評価した。水素曝露試験条件は、98.4MPa 18 時間以上保圧 1 分で大気圧まで脱圧、の手順を 9 サイクル。目視では、チューブ外観には、ナイロン層、バリア層ともに変化は見られず、その層間の剥離も認められなかった (表 3)。

表3 チューブ水素曝露試験後の外観変化

サンプル	ナイロン層の膨れなどの外観異常	水素曝露試験後の変化	
		バリア層 膨れなどの外観異常	ナイロン層 / バリア層間剥離
ナイロン開発品 3 のみ単層	なし		
ナイロン開発品 3 / 新規ガスバリア材 3 の 2種2層	なし	なし	なし

本チューブを、横浜ゴムに提供し、本チューブを用いた87.5MPaホースを試作した。この試作ホースについて水素ガス透過試験および水素インパルス試験(圧力サイクル2,200回)を実施・評価することで、要求仕様を満足する耐久性を達成できる見込みである。

e. 87.5MPa 対応樹脂製高圧水素用ホースの実環境下での実証試験の検討 (HySUT)

82MPa 対応樹脂製高圧水素ホースの開発後に開発された 87.5MPa 対応樹脂製高圧水素用ホースは、高圧ガス保安法一般高圧ガス保安規則 7 条の 3 で建設した水素ステーションが常用圧力 82MPa 以下と規定されているため、通常のスーションでの実証は不可能である。加えて HySUT が運用していた実証 ST も商用転用されたため、平成 27 年度から 28 年度にかけて適切な評価サイトなどでホースの実用性を評価するスキームを検討した。

その結果、NEDO の別事業である「実環境下における安全運用技術の研究開発」テーマにて建設する「水素技術センター」で平成 29 年度下期から開発品である本ホースを設置し、繰り返し充填することで、実環境下中での健全性評価を行うことを計画した。

水素技術センター(山梨県甲府市米倉山)は、一般高圧ガス保安規則 6 条で建設(常用圧力 87.5MPa)するため、商用 ST の上限圧力に縛られることなく、充填試験を実施することが可能。

87.5MPa 対応樹脂製高圧水素シールシステムの開発

a. 高圧水素シールシステム用ゴム材料データベースの構築(九州大学)

NEDO 事業「水素先端科学基礎研究事業」(2006~2012 年度)において、高圧水素シールシステムに使用される代表的なゴム部材であるゴム製 O リングの破壊メカニズム解明を実施した。ゴム製 O リングの高圧水素による破壊はゴム材料中に侵入した水素のため減圧時に気泡を生成し、生成した気泡からのき裂進展による「プリスタ破壊」、侵入した水素により減圧時に誘起される O リング溝中での体積変化に起因する「はみ出し破壊」および「座屈破壊」が重要な因子であることを見出した。この結果に基づいて、高圧水素曝露時の水素量および体積変化量がゴム製 O リングを用いた高圧水素シールシステムの信頼性向上のための重要なパラメータとして設定し、ゴム配合中の配合資材の影響を明確にすることを目的として、82 種のモデル配合を設定した。これらの試験片について、高圧水素曝露時の水素量、体積変化量を計測し、260 件の計測結果をデータベースとしてまとめた。モデル配合評価により明らかになった主な知見として、水素量、体積変化とも充てん材の影響が大きく、充てん材としてカーボンブラックを用いた場合は水素量が大きくなるものの体積変化の抑制が可能であるのに対してシリカを用いた場合は水素量が小さくなるものの体積変化抑制の効果がないことが明らかになった。まとめたデータベースは、材料メーカー、ゴムメーカー、部材メーカー、水素機器メーカーなど 50 社が参加する「日本ゴム協会水素機器用エラストマー材料研究分科会」会員に配布し、H25~27 年度に 9 回の分科会会議を開催することにより意見聴取した。その結果、データベースとしてより実用的な配合に近いモデル配合を設定することが求められ、水素ステーションにおけるシール材料使用環境、特に使用温度を考慮し、水素ステーション機器用シール材モデル配合ゴム材料

を選定した。低温用モデル配合は低温特性に優れたエチレンプロピレンゴム (EPDM)、高温用モデル配合はフッ素ゴム (FKM) を選定し、検討事項を考慮したモデル配合を設定し評価を進めた。蓄圧機周辺など、-20 ~ 50 程度の環境で使用されることが想定されるゴム材料を想定した常温用モデル配合として、JIS B24011:2012 記載のアクリロニトリルブタジエンゴム (NBR)、水素化アクリロニトリルブタジエンゴム (HNBR) 配合である NBR-90、HNBR-90 材を評価することとし、分科会参加メンバーであるゴムメーカー 8 社の協力を得て、JIS B24011:2012 規格材を提供いただき評価を進めた。

b. シール用樹脂・ゴム材料の摩擦摩耗特性 (九州大学)

バルブ等のシール部に用いられ水素雰囲気において摺動するシール用樹脂材料について、低温水素環境における炭素繊維充てん PTFE の摩擦・摩耗特性データを取得した。その結果、-30 の水素環境では、室温水素環境と比較し、炭素繊維充てん PTFE とステンレス鋼間の摩擦係数および比摩耗量が減少する傾向が確認できた。試験終了後の試験片の分析結果から、低温水素環境ではステンレス鋼表面への炭素移着量が増加する傾向があることが判明した。

c. シリカ配合 EPDM におけるシランカップリング剤と高圧水素曝露に伴う劣化の関係 (CERI)

シリカを 30 部配合し、シランカップリング剤の異なるエチレンプロピレンゴム (EPDM) について、24 時間の 90MPa 水素加圧後に大気圧まで減圧する高圧水素曝露を最大 20 回まで繰り返して行い、物理的及び化学的劣化現象の有無を評価した。

シランカップリング剤の異なるシリカ配合 EPDM の常態物性を把握するために、引張試験を行った結果を図 4 に示す。シランカップリング剤を添加することにより、いずれもひずみ 200% 引張応力が高くなったことから、シリカによるゴムの補強効果が向上したと考えられる。しかし、シランカップリング剤の種類によって、ひずみ 100~200% における引張応力の立ち上がり方はそれぞれ異なるため、シリカのゴムの補強性が異なることを見出した。また、特に補強効果が大きく発現した試料 (EPDM-SC30-T、-M、-S) については、より高い網目鎖濃度を有していることを確認した。

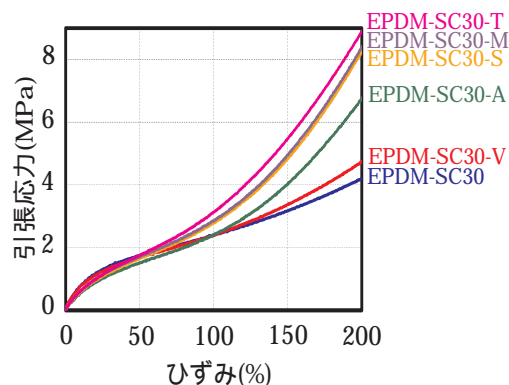


図 4 引張応力-ひずみ曲線

-V: ビニルトリメトキシシラン、-A: N-2-(アミノエチル)-3-アミノプロピルトリメトキシシラン、-S: 3-メルカプトプロピルトリメトキシシラン、-M: 3-メタクリロキシプロピルトリメトキシシラン、
 -T: ビス(トリエトキシシリルプロピル)テトラスルフィド、
 記号なし: シランカップリング剤なし

シリカ配合 EPDM の高圧水素曝露を行い、内部破壊の状況や特性の変化などを調査した。高圧水素曝露により、いずれも内部破壊が認められ、曝露回数が多いほど破壊がより顕著であった。しかし、図 5 に示すように補強効果が大きく発現した試料 (EPDM-SC30- T、-M、-S) は比較的破壊が軽微であった。また、いずれのシリカ配合 EPDM もポリマーの化学構造、ゴム組成、架橋密度などの化学的变化は観測されなかったが、硬さ、引張応力は曝露回数を重ねると低下する傾向が認められた。

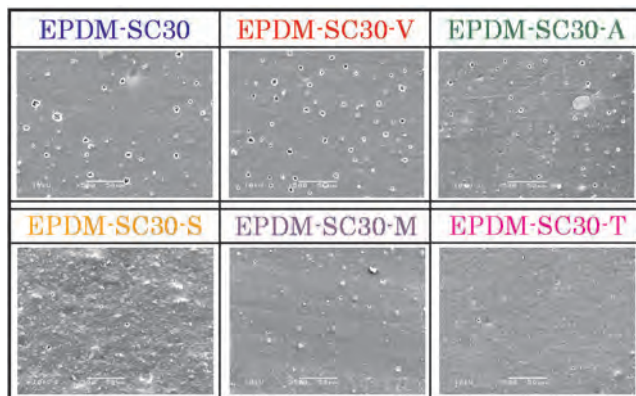


図 5 5 回曝露後シリカ配合 EPDM の断面 SEM 像

シリカ配合 EPDM はシランカップリング剤によって機械的特性と内部破壊の度合いが異なるため、的確なシランカップリング剤の選択によって補強効果を発現させる必要があることを見出した。()

d . 低温シール性を保持する O リング材の選定 (NOK)

開発目標を達成するためには、-40 の低温下でシール性を保持する O リング材を選定する必要がある。

そこで、モデル水素添加ニトリルゴム (HNBR #A) 、モデルエチレンプロピレンジエンゴム (EPDM #A) およびモデルシリコンゴム (VMQ #A) 製 O リングを用い、図 6 に示すように平面シール仕様で-60 ~ -10 で所定温度に保持し、90MPa の水素を負荷したときのシール性を評価した。それぞれのシールおよび漏れが発生する温度を図 7 に示す。

以上より-40 で 90MPa の水素に対してシール性を保持するゴムとして、EPDM および VMQ を選定した()

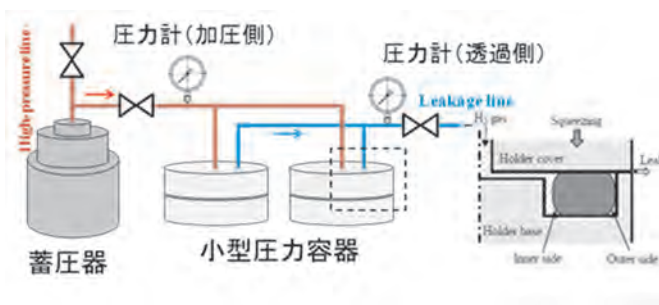


図 6 高圧シール性評価

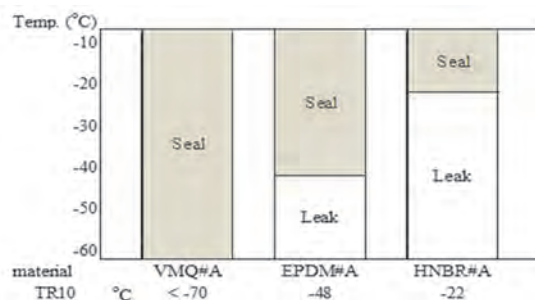


図 7 各種ゴムの低温シール性

e . 高圧水素の繰返し負荷によるシール損傷とシール性評価 (NOK)

開発目標を達成するためには、高圧水素の繰返し負荷後も損傷が少なく、シール性を維持できる装着条件と溝条件を明らかにする必要がある。

そこで、図 3 に示すように線径φ3.3 のモデルシリコンゴム (VMQ #A) 製 O リングを用い、平面シール仕様で-40、85 に保持し、90MPa の水素で 6,600 回の繰返し負荷をかけた後のシール損傷およびシール性を評価した。なお、O リングのつぶし率は 10、30% に設定し、溝の表面粗さは Ra1.6μm を基準とし必要に応じて 0.8、3.2μm とした。繰返し負荷後の損傷例を図 4 に示す。O リング表面には摩耗、はみ出し、プリスタ (膨れ) の損傷が見られた。装着条件であるつぶし率、溝条件である表面粗

さに対し、低温および高温で摩耗、はみ出し、膨れが発生する条件を図8に示す。10%の低つぶし率で摩耗、はみ出しが顕著であり、30%の高つぶし率でそれらが軽微であった。また、-40の低温で膨れが顕著であり、85の高温では膨れが見られなかった。

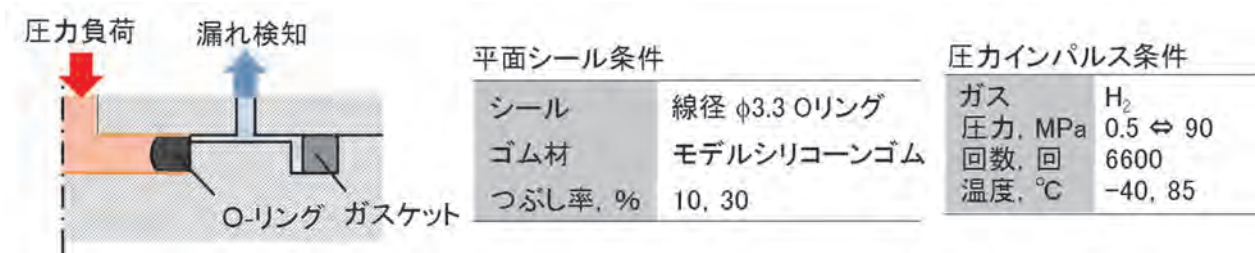


図8 繰返し圧力負荷試験、平面シール条件および圧力負荷条件

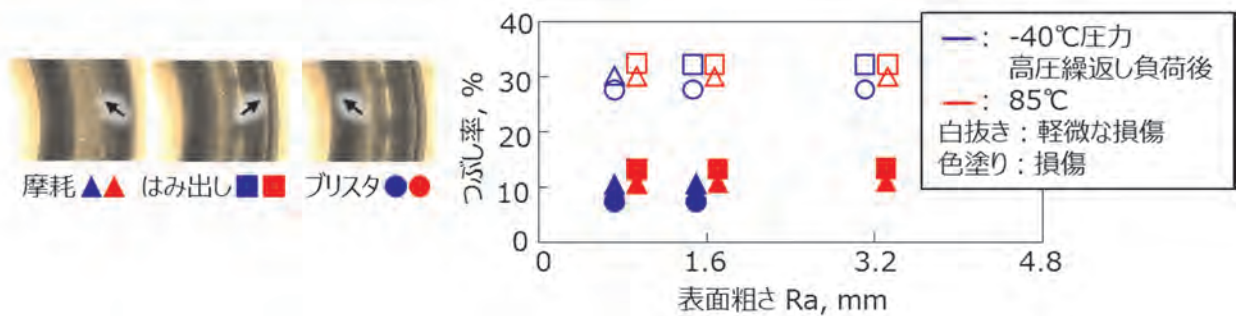


図9 高圧負荷後の損傷

図10 損傷の発生条件

-40、85 で高圧繰返し負荷後の O リングを用い、平面シール仕様でつぶし率を 30%とし、-40、25 に保持し、10MPa の水素でガス透過試験を実施した。ガス透過の遅れ時間からみかけの拡散係数、遅れ時間以降のガス透過速度からみかけの透過係数を算出し、透過係数および拡散係数からみかけの溶解度係数を算出した。25 で無垢の O リングのみかけの透過係数、拡散係数および溶解度係数に対する相対比を図 6 に示す。-40、80 で高圧繰返し負荷後の O リングのみかけの透過係数、拡散係数および溶解度係数に対する相対比は、無垢のそれらと同程度であった。-40、80 で高圧繰返し負荷後の O リングは損傷が見られるもののシール性が維持されていることを確認した。

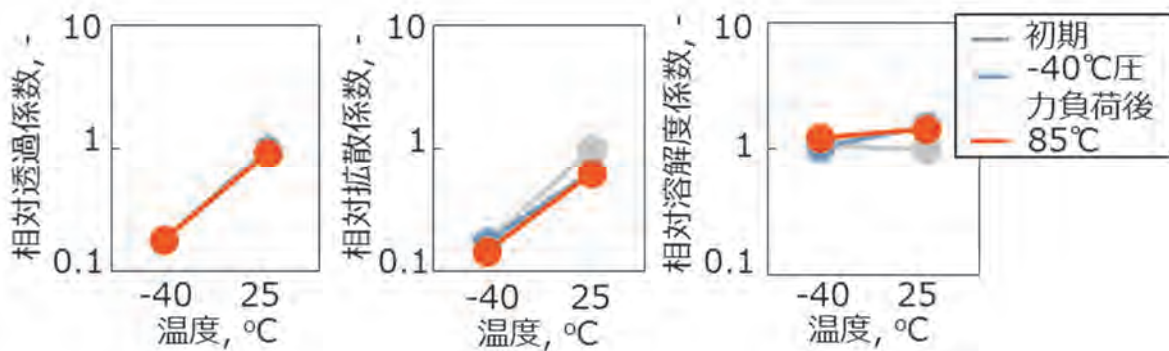


図11 高圧負荷後のガス透過性

また、モデルシリコンゴム (VMQ #A) 製 O リングおよびバックアップリング(BR)を用い、円筒面シール仕様で、温度、つぶし率、充填率を変えて 90MPa の高圧水素の繰返し負荷試験 (6600 回) を実施した。図 12 に示すように BR の併用により、はみ出しによる損傷が低減することを確認した。試験後の O リングは損傷が見られるものの、シール性が確保されていることを確認した。

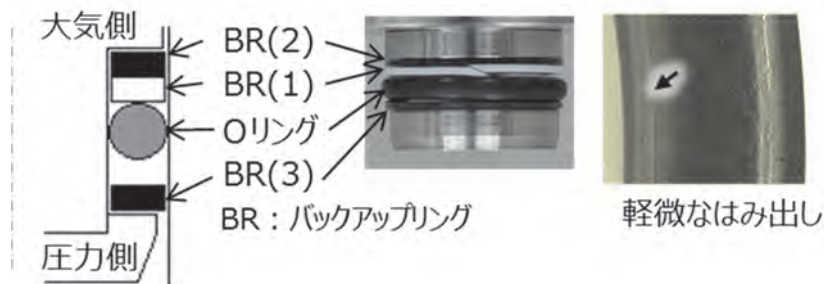


図 12 バックアップリングによるはみ出しの低減

以上より O リングを高いつぶし率で装着することにより、90MPa の高圧繰返し負荷による損傷を抑制できることを明らかにした ()。通常使用される Ra0.8 ~ 3.2 μ m の範囲で溝の表面粗さが損傷に及ぼす影響は小さいことを明らかにした ()。-40、80 の高圧繰返し負荷で損傷が生じた O リングであってもシール性が維持されていることを確認した ()。

(2) 高圧水素用ホース・高圧水素シールシステムの評価基準に関する研究

樹脂製高圧水素用ホースの信頼性評価基準化

a. 82MPa 対応樹脂製高圧水素用ホースの信頼性評価基準化 (九州大学)

高圧水素ホース使用に関する評価基準策定に資する樹脂材料の評価法を調査した。試験片レベルの評価法として、高圧水素曝露時の水素溶解量、体積膨張率の測定および水素溶解、脱離に伴う試験片中のプリスタ (気泡) 発生の評価が重要であると判断し、検討を進めた。

さらに、ホース材料はプレクールによる低温高圧水素環境下で応力が負荷される。環境応力割れが懸念されることから、樹脂試験を曲げた状態で固定し、低温高圧水素環境に曝露した後に発生するクラック、クレイズを観察する手法を開発した。70MPa 級高圧水素ホースの内装材に使用されている可塑剤を配合していない PA11 および可塑剤を配合した PA11 について、1mm 厚の試験片を作製し、曲率半径 R=8、10、12mm に固定して -40、90MPa 水素曝露を実施した。その結果、可塑剤を配合した PA11 試験片において、繰返し 100 回曝露試験後にクレイズ形成が確認された。これらの結果から低温における高圧水素ガス環境下での環境応力割れについて評価が可能となった。

ホース評価法については、評価の標準化を想定したホースの水素加減圧試験法を (一財) 水素エネルギー製品研究試験センターの設備を用いて検討を進めた。標準的な評価法としては、短時間での性能確認が可能であることが必要となる。短時間での目標回数の加減圧試験が可能な条件として、雰囲気温度 -40、水素ガス温度 -40、昇圧 15 秒、高圧保持 5 秒、脱圧 1 秒、低圧保持 5 秒の加減圧サイクルを設定した。これにより 26 秒/サイクルとなり、サイクル加減圧運転時間約 48 時間、5 日程度で目標回数

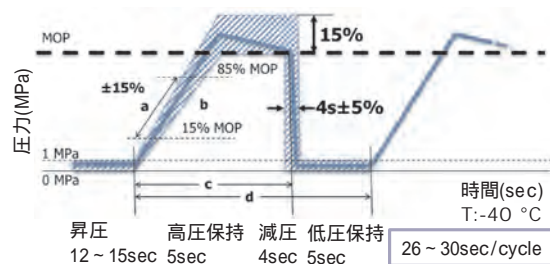


図 13 水素インパルス試験の圧力条件

を設定した。これにより 26 秒/サイクルとなり、サイクル加減圧運転時間約 48 時間、5 日程度で目標回数

である 6,600 回に到達する。この条件により、3社5仕様の高圧水素ホースについて、最大 70,000 サイクルの評価を実施し、高圧水素ホースのサイクル耐久回数の評価が可能であることが確認できた。この結果に基づいて、試験中の数千サイクルの圧力変化、温度変化について解析し、水素インパルス試験として圧力条件及び温度条件を設定した。

水素ステーションでのシール部材は、高圧水素環境に曝露されるだけでなく、繰り返し水素により加減圧される環境で使用される。このような条件で樹脂材料中に微小なクラックなど、信頼性に影響を与える破壊が進展する。これまで、破壊状況を定量的に評価する指標がなかった。試験片中の微小クラックにより試験片を透過する光が散乱されることを応用し、透過光により撮影した試験片画像から試験片全体の透過光の明度を算出し、これを指標として破壊を定量的に評価する手法を確立した。評価の一例として、図 14 にポリエチレンを試験片として用い、20 サイクルまでの繰り返し 90MPa 水素曝露を実施した際の明度の変化を示す。繰り返し曝露により微小クラックが進展することが判明した。これに対して、ポリアミド材は明度の変化が小さく、繰り返し高圧水素曝露による微小クラックの進展が小さいことが判明した。

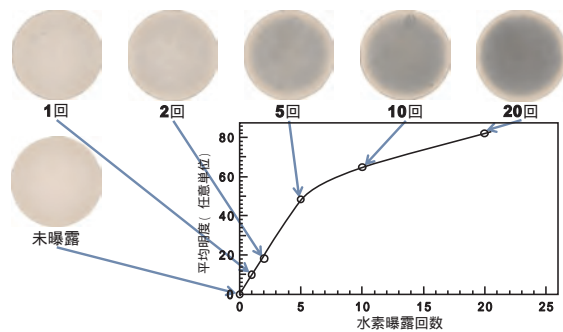


図 14 繰り返し 90MPa 水素曝露によるポリエチレン試験片の平均明度の変化と透過光画像。

として、図 14 にポリエチレンを試験片として用い、20 サイクルまでの繰り返し 90MPa 水素曝露を実施した際の明度の変化を示す。繰り返し曝露により微小クラックが進展することが判明した。これに対して、ポリアミド材は明度の変化が小さく、繰り返し高圧水素曝露による微小クラックの進展が小さいことが判明した。

b. 高圧水素用ホースの試験項目案作成 (HySUT)

樹脂材料の耐水素特性(プリスタ特性など)を調査し、これを考慮した試験法を検討した。また、高圧ガス保安法や、上述の通り海外の高圧水素用ホース規格で定められた試験方法を調査した。上記に加え、基準化に向けたニーズアンケートを実施し業界ニーズを反映するとともに、ホース開発状況を考慮し、それらを取りまとめて、高圧水素用ホースの試験項目案を作成した。各試験項目の検討内容の詳細を下記に示す。

ア. 水素透過試験

水素透過量の閾値は海外の高圧水素用ホース規格は NGV 用の規格からの引用であり、水素用ホースの実態に合っていない。そこで下記の考え方のもと、高圧水素充填用ホースの水素透過量の閾値を $500\text{cm}^3/(\text{m}\cdot\text{hr})$ とした。

<考え方>

- ・日本の例示基準では、ノズル近傍の水素漏洩検知のクライテリアを $1,000\text{ppm}$ ($1/40\text{LEL}$) と定めている。
- ・ホースにおいても、水素漏洩検知で誤検知しないレベルで、ホースからの透過によって 1000ppm となる空間半径を求めた。その結果、水素透過量 $500\text{cm}^3/(\text{m}\cdot\text{hr})$ の場合空間半径が 4cm となり、水素ステーションの運用上支障を及ぼさないと条件と判断し、水素透過量の閾値を $500\text{cm}^3/(\text{m}\cdot\text{hr})$ とした。

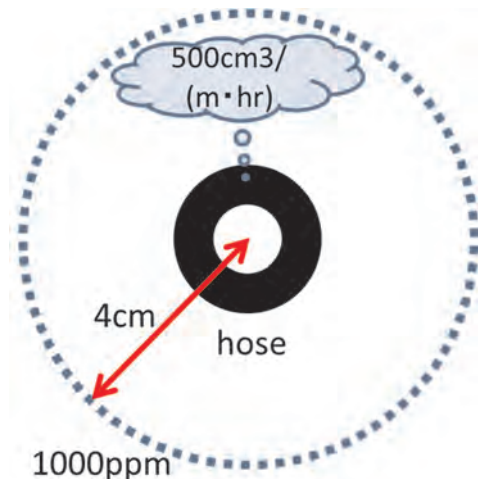


図 15 水素透過量のイメージモデル

表4 水素透過量の計算表

透過量計算			換気計算		円筒体積		水素ガス濃度		噴出速度
透過率	ホース長	透過量	換気率	換気効率	半径	体積			1cm 間隔
cm ³ /(m・hr)	m	cm ³ /s	回/s	f	cm	cm ³	%	ppm	cm/s
500	1	0.14	0.03	1	4	5,027	0.09	921	0.71

イ．水素インパルス試験

九州大学での低温における高圧水素ガス環境下での環境応力割れに関する検討結果より、ホース耐久性評価の検討において、実際の使用環境を模擬した応力負荷かつ高圧水素環境下でのホースの耐久性を評価することが重要であると結論付けた。そこで、水素ガスを用い、充填を模擬した圧力サイクル試験(以下、水素インパルス試験)の試験条件を検討し、試験設備での試験を実施し、水素インパルス試験の条件を検討した(図16)。

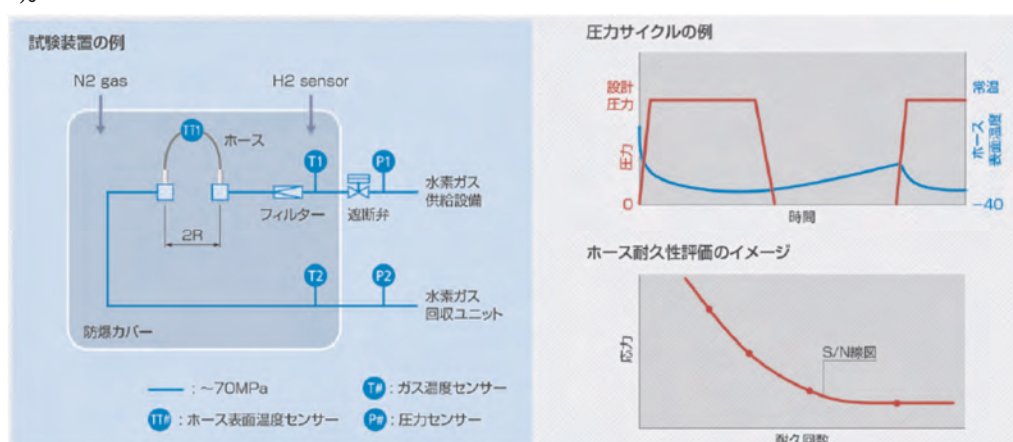


図16 水素インパルス試験の概念図

なお、試験サイクルは

九州大学が解析した水素インパルス試験の結果、1万回試験を実施すれば設計不良のホースを排除できている。

1万回の試験に必要な期間は約2週間であり、現実的に実施できる回数である。

の2つの理由から、最低サイクル数を1万回と規定した。しかし、水素インパルス試験のサイクル数は製品保証回数ではなく、製品保証回数はメーカーとユーザーの協議事項であることとした。将来的には、実環境下での試験との相関を確認することで、水素インパルス試験の実施回数によって、ホースの耐久性のグレード分けを基準に取り入れることを検討する。

ウ．適用範囲

基準の適用範囲を明確化することは、基準作成にあたって必要かつ重要であり、下記の適用範囲とした。

- ・ ディスペンサに接続し、FCV等燃料電池を搭載した車両への充填用のホースとする。
- ・ 材料は高圧ガス保安法一般則例示基準第9節2.3に準拠する樹脂・ゴム製とする。
- ・ 使用場所は開放系とする。
- ・ プレクールの有無は問わない。

一方で金属製ホース、出荷設備用ホースの使用用途のホースについては、ニーズが高まった時点で基準化

することとし、本評価基準の対象外とすることにした。

また、ホースネジ部については、国内でホースを販売している 3 社とも使用しているネジが異なっており、基準で 1 種類に統一することは、独占禁止法の観点からも困難かつ設計変更によるコストアップにもなりうるため、本基準の適用範囲とはせず、作成する評価基準案内の解説に、ネジ及びシールに関する規格（JIS 等）を掲載し、ネジ部分の取り扱いが課題である旨を記載した。

保護コイルについては JPEC-S0007（圧縮水素スタンド安全技術基準）で規定されているので、本基準の適用範囲とはしないこととし、水素露点管理に関しては、保管状況の影響が大きい（内層材料の吸水）ため基準には含めず、仕様書等で規定し使用者に注意喚起することとした。

エ．試験の仕分け

ISO 国際規格での設計確認試験 / 組試験の仕分け、必須 / オプション、ホース試験 / ホースアセンブリ試験の仕分けを参考にし、国内での使用状況・試験実績も考慮し、各試験の仕分けを実施した。

表 5 設計確認試験 / 組試験の仕分け結果

試験区分	試験名
設計確認試験	4 倍加圧試験 / 衝撃圧力試験 / オゾン劣化試験 / 引張試験 / 水素ガス透過試験 / 口金曲げ拘束具及びホース曲り試験 / 腐食試験 / 伝導性試験 / 表示材料判読性試験 / 低温曲げ試験 / 水素インパルス試験 / 圧潰試験 / 摩耗試験 / 紫外線暴露試験 /
組試験	耐圧試験 / 気密試験 /

表 6 必須 / オプション試験の仕分け結果

試験区分	試験名
必須試験	4 倍加圧試験 / 耐圧試験 / 気密試験 / 衝撃圧力試験 / オゾン劣化試験 / 引張試験 / 水素ガス透過試験 / 口金曲げ拘束具及びホース曲り試験 / 腐食試験 / 伝導性試験 / 表示材料判読性試験
オプション試験	低温曲げ試験 / 水素インパルス試験 / 圧潰試験 / 摩耗試験 / 紫外線暴露試験 /

使用条件によっては除外規定あり。

表 7 ホース本体試験 / ホースアセンブリ試験の区分け結果

試験区分	試験名
ホースアセンブリ試験 ¹	4 倍加圧試験 / 耐圧試験 / 気密試験 / 低温曲げ試験 / 衝撃圧力試験 / 引張試験 / 水素インパルス試験 / 口金曲げ拘束具及びホース曲り試験 / 腐食試験 / 伝導性試験
ホース本体試験 ²	オゾン劣化試験 / 水素ガス透過試験 / 圧潰試験 / 紫外線暴露試験 / 摩耗試験 / 表示材料判読性試験

1：ホース本体試験：試験を実施することで、ホース本体の性能を確認する試験

2：ホースアセンブリ試験：試験を実施することで、ホースアセンブリの性能を確認する試験

c. ISO 基準化動向との調和活動 (HySUT)

平成 25 年度から規格化の検討が始まった ISO 国際規格の国内の技術検討体制に基づき、NEDO 事業「水素利用技術研究開発事業/FCV および水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発/水素ステーション機器における実用化技術の海外動向および国際標準化動向に関する調査検討」と連携し、ISO 規格化の国内 WG 委員会に高圧水素用ホースの試験項目案を提案した。また、ISO WG22 に参加し、ISO 策定に関わる日本からの提案に本試験項目案を活用した。特に水素インパルス試験について日本から ISO に提案することで、応力負荷かつ水素環境下でのホースの耐久性評価について国際調和が取れるよう働きかけを行った。その結果、水素インパルス試験の採用が決まり、水素透過量の閾値を $500\text{cm}^3 / (\text{m} \cdot \text{hr})$ とすることが採用され、本研究開発成果が ISO 国際規格に活用された。

87.5MPa 対応水素シールシステムの信頼性評価基準化

a. 87.5MPa 対応水素シールシステムの信頼性評価基準化 (九州大学)

これまで評価が困難であった -40 までの低温における水素の透過特性について、高圧水素による差圧法による水素透過計測手法を開発した。板状試験片の片面に高圧水素を曝露し、反対側の水素量を計測することにより透過曲線の測定が可能となり、これより拡散係数、透過係数を評価することができる。この方法は、従来の水素曝露後の試験片の昇温脱離ガス解析装置による分析手法と比べ、試験片の大気中への取り出しがないことから温度変化測定が可能となること、拡散係数が大きく水素脱離が早いいため測定が困難であったシリコンゴムの測定が可能となることなどの利点がある。シリコンゴム、アクリロニトリルブタジエンゴム (NBR) の計測を行い、低圧の差圧式測定装置による結果との比較により測定法の妥当性を確認した。透過開始までの時間遅れ (タイムラグ) から透過距離、透過面積などを用いて拡散係数の算出が可能である。これらの結果から算出した拡散係数は $5.9 \times 10^{-11} \sim 7.4 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{sec}$ であった。同試料の 0.7MPa 水素による差圧式試験 (JISK7126A 準拠) の結果、拡散係数は $6.0 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{sec}$ であり、ほぼ同等の値が得られた。また、拡散係数は圧力依存性がほとんどないことが判明した。

本手法により -40 環境下での透過特性測定を試みた結果、現状の圧力変化を計測する透過量検出法ではガス温度、計測のための配管温度の制御が重要であることが判明し、計測システム全体の温度制御の実施、透過水素量測定 of ガスクロ法への変更、試験片の側面からの透過水素ガスを計測する試験容器を開発し、これらを適用した結果、-40 における透過特性の計測が可能になった。透過特性が低く、現在評価を進めている各種試験片で最も計測が困難と考えられる PA11 試験片について試測した結果、図 X に示す通り、室温以下、-40 までの透過極性が得られ、透過係数、拡散係数及びこれらから算出可能な溶解度係数について、温度依存性の計測が可能であることが判明した。

また、シール用ゴム材料の特性評価の一環として、加圧時のシールの変形に対するゴム / 金属間の摩擦の影響に関する調査を実施した。O リング摩擦・変形・漏れ同時モニタリング試験装置を製作し、O リングの挙動

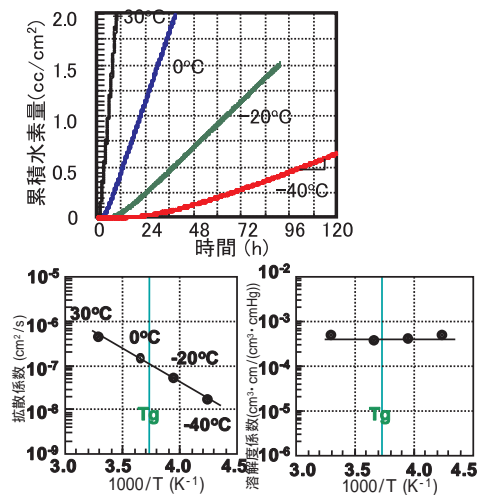


図 17 低温における試験片の 90MPa 水素透過特性計測結果と拡散係数、溶解度係数の温度依存性

に基づいて摩擦と変形過程の定量的把握、モデル化、損傷・漏れとの対応を検討した。Oリング外部に漏洩したガス量と、摩擦・変形過程との対応が検討可能となった。

米国では DOE の研究開発課題として、2015 年より水素適合ポリマー材料評価法の開発が進められており、30 MPa 水素環境下での pin-on-disc 試験装置 (pin:金属、disc:ゴム) が開発されている。開発された手法は水素適合材料に関する評価法の CSA 規格として検討されている。本事業では、実際の O リングの加減圧時における O リング溝中での挙動を模擬し、pin を半球状ゴム試験片、disc を金属とした pin-on-disc 試験法を開発した。半球状ゴム試験片の往復動摩擦試験を行った結果、水素中での表面疲労はく離損傷と摩耗を評価できることがわかった。表面はく離と摩耗は、ゴム種、充填材、相手面材料、雰囲気、力学的条件、表面粗さなどに影響されることが判明した。

b . 常温常圧下の試験法で得られる結果と高圧水素特性の相関 (CERI)

高圧水素下で測定する試験機を必要としない一般の試験法で評価基準が定められることが望ましいため、常温常圧下の試験法のデータと高圧水素特性の相関性について検討した。シランカップリング剤の種類を変えたシリカ配合 EPDM の高圧水素曝露後の体積増加率と水素量の関係を図 18 に示す。いずれのシリカ配合 EPDM もシランカップリングを添加することによって水素量が多くなるが、EPDM-SC30-T、-M、-S は体積増加を抑制することを見出した。これは、シリカによるゴムの補強効果を発現しやすいシランカップリング剤であるためと考えられる。

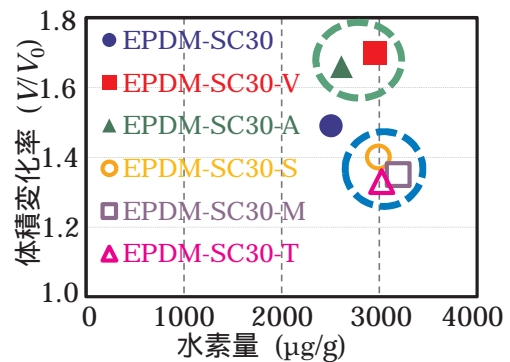


図 18 90MPa 高圧水素曝露に伴う水素量と体積増加率

シランカップリング剤の異なるシリカ配合 EPDM について、13 種の常温常圧下の試験 (例えば、硬さ試験、引張試験、ガス透過試験、膨潤法による網目鎖濃度測定など) を実施した結果、引張応力が高いシリカ配合 EPDM は高圧水素曝露による体積増加と内部破壊の度合いが比較的小さい認められたことから、高圧水素曝露特性と関係が深い評価指標の一つとして、フィラーの補強効果を示す引張応力が重要であることを見出した。()

また、評価基準策定に資するデータは採取できたものの、高圧水素特性を常温常圧下の各種ゴム物性を 1 対 1 で推測することはできないことが明らかになり、評価基準の策定には複数の評価法を組み合わせることと、評価対象ゴム材の拡充とともに市場実績のあるゴム材料の特性把握も必要であることがわかった。()

c. 溶解水素量の侵入水素量による検証 (NOK)

高圧水素ガスシールの耐損傷性評価手法の一環としてブリスタ発生の一因となる侵入水素量を簡便に評価するため、図 19 に示すように O リングの透過特性から見積もった溶解水素量を、直接侵入水素量を定量する昇温脱離法によって検証した。図 9 に示すようにゴム硬度 Hs65 ~ 85 度のシール材の溶解水素量は侵入水素量に対し相関が高く、透過特性を用いた水素量の定量が妥当であることを確認した。

以上より簡便な透過法が評価法として代替できることを確認した ()。

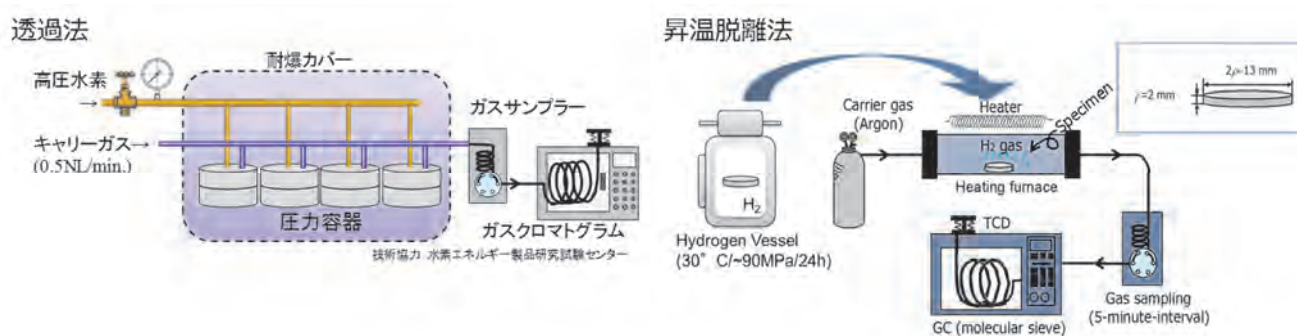


図 19 透過法と昇温脱離法

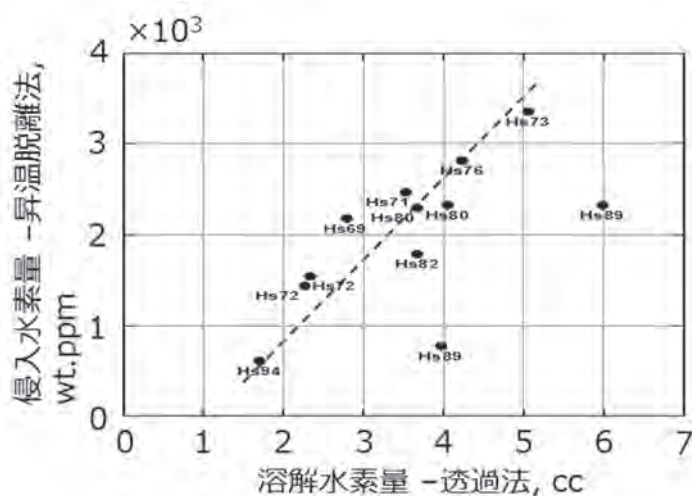


図 20 溶解水素量と侵入水素量

3.2 成果の意義

【九州大学】

燃料電池自動車、水素ステーションに使用される充填用の高圧水素ホース、タイプ4タンクの内層ライナーとして使用される樹脂材料や高圧水素機器の高圧水素ガスシール用ゴム材料は高圧水素に直接曝露される。このため、高圧水素ホースや高圧水素機器の開発に際して、ゴム、樹脂材料に対する高圧水素曝露時の侵入水素量、それによる体積変化など、高圧水素によるゴム、樹脂材料の信頼性への影響を把握することが必要である。しかしながら、ゴムメーカーより供給される実用的なゴム材料は、通常配合が非公表であり、これらの実用的な材料を用いてゴムの配合と水素量、体積変化量の相関を検討することは困難である。高圧水素曝露時の水素量、体積変化評価のためには配合の明確な試験片が必要である。また、同様に樹脂材料についても、本研究で明らかにした通り、結晶化度などの高次構造により水素量、体積変化が影響を受けることから、樹脂の仕様や成形方法などを明確にした試験片による評価が必要となる。本研究はゴム材料、樹脂材料について、配合や仕様を明確にした試験片の評価結果をデータベースとしてまとめ、「日本ゴム協会水素機器用エラストマー材料研究分科会」を通じて、水素機器開発に関係する材料メーカー、ゴムメーカー、部材メーカー、水素機器メーカーなど50社に配布し、高圧水素ホース、タイプ4タンクの内層ライナーとして使用される樹脂材料や高圧水素機器の高圧水素ガスシール用ゴム材料に対する高圧水素の影響について共通の理解を得るべく議論を進めている点に意義がある。また、配布したデータベースの知見を活用し、「日本ゴム協会水素機器用エラストマー材料研究分科会」会員企業において、各種水素機器に用いられるゴム、樹脂材料開発が進められている。高圧水素機器用開発に活用できる基礎的な知見が系統的なデータベースとして得られた意義は大きいと考える。

米国ではDOEの研究開発課題として、2015年より水素適合ポリマー材料評価法の開発が進められており、開発された各種の手法は水素適合材料に関する評価法のCSA規格として検討されている。本事業による成果は、CSAにて検討が進められている規格化に際し、現在の北米からの提案手法に対する日本からの対案として提案することが可能であり、今後想定されるISOなどの国際規格への活用、提案が期待できる。また、これらの規格化に際して、日本としての意見を集約する国内委員会のベースとして「日本ゴム協会水素機器用エラストマー材料研究分科会」の活用が可能である。国際規格化への積極的な提案を進める観点でもデータベースや各種計測手法として基礎的な知見が集約されたことの意義は大きい。

(1) 樹脂製高圧水素用ホース・樹脂製高圧水素シールシステムの開発

樹脂製高圧水素用ホースの開発

- ・開発した補強層構造は、充填作業性の向上に繋がる技術である。ホース実用模擬試験評価データは、ディスプレイ用ホースとして初の耐久性評価データである。得られたデータを基に、82MPa用充填ホースとして上市し、更に87.5MPa用ホースの評価を実施し健全性を確認した。更に、これまで検出出来なかった新たなホース破損モードを検出することが出来、ホース耐久性に関する技術的知見を得た。
- ・内面樹脂層に用いた“従来品より水素溶解量の少ない樹脂”のベース材料は汎用樹脂であり、国内でも複数の製造会社があり、入手の容易さ、安定供給からも好ましい。(従来品製造会社はひまし油原料、海外製のみ)

樹脂製高圧水素シールシステム

- ・水素機器のシールシステムについて、実製品を模擬したシールシステムで検証を進めており、高圧水素用Oリングについて損傷を抑制できる装着条件、溝粗さを明確にすることは、シール設計指針を明示することであり、開発および実用の加速化に貢献するとともにシール設計不良に起因する漏洩事故の未然防

止に寄与する。

(2) 高圧水素用ホース・高圧水素シールシステムの評価基準に関する研究

高圧水素用ホースの信頼性評価基準案の作成

- ・目標達成後は、国内自主基準である JPEC-S が制定されることで、ホースの性能品質が保証され、ホース使用者（ST 運営事業者など）に対するホースの信頼性が向上することが見込まれる。また、国際基準と調和することで、国内メーカーの開発ホースが JPEC-S を満足すれば、円滑に海外への製品展開が可能となり国際競争力が強化される効果が見込まれる。

高圧水素シールシステムの評価基準の作成

- ・高圧水素曝露によるゴム材料の特性を評価し、評価試験方法の開発を行うことにより、シール材のガイドラインの設定に向けた知見を得ることができ、シール材メーカーの開発の有益になると考えられる。
- ・O リングの透過特性から見積もった溶解水素量を、直接侵入水素量を定量する昇温脱離法によって検証することは、簡便な評価法で代替できることを提示することであり、開発および実用の加速化に貢献する。

4. まとめおよび課題、事業化までのシナリオ

4.1 樹脂製高圧水素用ホースの開発

<まとめ>

- ・目標耐圧耐久性を満足する 87.5MPa 対応のホース補強層構造を確立し、ホース内面層歪みを抑制する補強層構造設計により、内面層疲労破壊による耐久性課題を解決した。この構造は耐圧耐久性能と軽量・柔軟性を両立し、従来技術と差別化されている。また従来樹脂単層構造では内面樹脂に透過した水素ガスを起点に樹脂クラックが発生する事象を初めて検出した。
- ・より高圧水素下での使用条件での、内面樹脂層への水素影響を抑制し、上記の事象を避けるに、最内層にバリア層を付与した 2 層構造のチューブを提案した。内面樹脂層、バリア層ともに低水素溶解量樹脂をベース材料とし、反応化相溶化技術を用いてコンパウンドすることにより低温での機械特性を担保した開発品を採用した。これら開発品樹脂は、チューブ成形可能な熔融粘度であり、成形品の層間の密着性、耐水素性の確保を実現した。
- ・高圧水素ホース内層樹脂など、高圧水素機器に使用される樹脂材料について、高圧水素曝露後の水素量、寸法変化についてデータベースとしてまとめ、「日本ゴム協会水素機器用エラストマー材料研究分科会」を通じて 50 社に配布、情報共有、議論を実施した。
- ・高圧水素用ホースの信頼性評価法検討の一環として、内層樹脂材料の低温高圧水素環境下での環境応力割れ評価法、透過光による微小クラック評価法を確立した。また、高圧水素ホースの水素インパルス試験法について条件を設定し、評価を進めた。

<事業化までのシナリオ>

- ・各圧力に対応したホース開発の設計技術を基盤にステーション周辺機器や燃料電池自動車車載用配管、家庭用燃料電池、工業ガス充填設備配管などの各種水素ガス輸送分野への用途拡大を図り、水素用ホースの事業化を目指す。開発ホースは、従来技術との比較においても、耐圧・耐久性と軽量・柔軟性を両立しており、ディスペンサーホースなどの充填用途においては充填作業性の向上、車載用配管などにおいては量産時の組立性向上による需要が見込まれる。
- ・樹脂材料とそのコンパウンド技術は問題ない。
- ・本事業の成果である高圧水素ホース用樹脂材料データベースは、本事業参画企業である横浜ゴム、日本合成化学工業により高圧水素ホース及びその材料として事業化が進められている。また、他事業におけるタイプ 4 タンク開発への活用や、データベースに関する議論を進めている「日本ゴム協会水素機器用エラストマー材料研究分科会」参画企業においてもデータベース活用し、各種水素関連機器、関連部材の事業化を目指した開発が進められている。

<課題>

- ・商用化された水素ステーションでの使用による高圧水素ホースの劣化状況が不明であるため、ホースの交換期間の設定や使用時の閾値の設定が困難である。水素ステーションなどで使用された高圧水素ホースについて、劣化状況を把握し、高圧水素ホース構成部材の各種劣化指標との相関を検討する必要がある。

4.2 樹脂製高圧水素シールシステムの開発

<まとめ>

- ・水素機器用ゴムについて、配合設計を行い作製したモデル配合ゴム材料について、高圧水素曝露後の水素量、寸法変化についてデータベースとしてまとめ、「日本ゴム協会水素機器用エラストマー材料研究分科

会」を通じて 50 社に配布、情報共有、議論を実施した。

- ・水素雰囲気において摺動するシール用樹脂材料の摩擦・摩耗特性データを取得した。その結果、-30 の水素環境では、室温水素環境と比較し、炭素繊維充てん PTFE とステンレス鋼間の摩擦係数および比摩耗量が減少する傾向が確認できた。
- ・水素ステーション機器用高圧水素シール材として使用されるゴム材料について、その使用部位による温度・圧力条件を調査した結果、低温用、常温用、高温用に分類した。低温用として EPDM、常温用として JIS B24011:2012 NBR-70 材、高温用として FKM を選定した。これらについて標準配合を設定し、水素特性データ取得を実施した。
- ・-40 に保持し、90MPa の水素で 6,600 回の繰返し負荷をかけた後のシール損傷およびシール性を評価し、高圧水素の繰返し負荷後も損傷が少なく、シール性を維持できる装着条件と溝条件を明らかにした。

<事業化シナリオ>

- ・本事業の成果である高圧水素シールシステム用ゴム材料データベースは、本事業参画企業である NOK により高圧水素機器用ゴム製 O リングなどとして事業化が進められている。また、「日本ゴム協会水素機器用エラストマー材料研究分科会」参画企業においても高圧水素シールシステム用ゴム材料データベースを活用し、各種水素関連機器、関連部材の事業化を目指した開発が進められている。

<課題>

- ・商用化された水素ステーションでの使用による高圧水素シール用ゴム材料の劣化状況が不明であるため、シール部材の交換期間の設定や使用時の閾値の設定が困難である。水素ステーションなどで使用されたシール部材について、ゴム材料の特性を調べ、劣化状況を把握し、ゴム材料の各種劣化指標との相関を検討する必要がある。

4.3 高圧水素用ホースの信頼性評価基準化

<まとめ>

- ・高圧水素用ホースの信頼性評価試験案を検討し国内基準案として策定した。国内基準案と ISO 規格案との調和を図った。

<事業化までのシナリオ>

- ・世界基準に適合する国内基準 JPEC-S 化を図ることで、開発ホースの海外展開が可能となり、国内ホースメーカーの国際競争力向上に貢献できる。

<課題>

- ・引き続き、ISO の議論が続いていることから、今後も ISO 動向に注視し、国内基準との調和を図るために適宜日本から情報提供、積極的な意見を発信していく。

4.4 高圧水素シールシステムの信頼性評価基準化

<まとめ>

- ・水素シールシステムの信頼性評価法検討の一環として、差圧式透過法によるゴム、樹脂材料の透過特性評価法、O リング可視化による O リング挙動評価法を設定し、評価を進めている。水素シールシステムの高圧水素環境下での信頼性評価法として、高圧水素シール用ゴム材料の高圧水素曝露特性と関係が深い評価試験方法を探索した結果、フィラーの補強効果を示す引張応力が重要な試験項目の一つであることを見出した。

- ・モデルゴム材料の高圧水素シール限界および 6,600 回のシール耐久性、推奨するシール溝設計指針を明らかにし、高圧水素シールシステム設計指針を確立した。
- ・透過特性から見積もった溶解水素量を、直接侵入水素量を定量する昇温脱離法によって検証し、簡便な透過法が評価法として代替できることを提示した。

<事業化までのシナリオ>

- ・本事業により確立した高圧水素シールシステム設計指針を高圧水素ガスシールが必要となる各種水素関連機器の設計・試作検討の段階から活用することで、実用化・事業化を推進する。

<課題>

- ・高圧水素シール用ゴム材料の高圧水素環境下での信頼性評価指標として引張応力を選定したが、引張応力だけでは高圧水素環境下での信頼性を十分に表すことができず、高圧水素シール用ゴム材料の規格化を検討する上では複数の評価法の組み合わせによる基準を検討する必要がある。
- ・シール開発のスピードアップを図るためには、シール損傷を模擬する代替評価方法の確立が必要であると考えられる。

5．研究発表・特許など

- 研究発表・講演、文献など、その他 -

(誌上発表)

No.	年月	発表先	題目	発表者
NOK				
1	平成 26 年 2 月	Hydrogen-Materials Interactions、Proceedings of the 2012 International Hydrogen Conference	A STUDY ON LONG-TERM SEAL DURABILITY AND FRACTURE MODE OF RUBBER O-RING BY HIGH-PRESSURE HYDROGEN GAS CYCLE	Koga A Yamabe T Uchida K, Nakayama J, Yamabe J Nishimura S
2	平成 26 年 9 月	Proceedings of the International Rubber Conference IRC2014 Beijing, China	HIGH-PRESSURE HYDROGEN SEALABILITY AND DURABILITY OF RUBBER O-RING	Koga A Fujiwara H Nishimura S
3	平成 27 年 6 月	Proceedings of the International Rubber Conference IRC2015 Nurnberg, Germany	A Fundamental Research on rubber O-ring for High-Pressure Hydrogen Seal	Koga A, Fujiwara H Nishimura S
4	平成 27 年 10 月	トライボロジスト, 60 (10), 664 (2015)	高圧水素ガスによるゴム O リングの破壊現象の原因と対策	古賀敦 西村伸

5	平成 28 年 10 月	日本ゴム協会誌 第 89 巻 第 10 号 (2016) pp.307~312	高圧水素ガスシール部材 の技術課題	古賀敦
九州大学				
6	平成 25 年 12 月	日本ゴム協会誌	高圧水素ガス環境下にお けるエチレンプロピレン ゴム製シール材の破壊現 象	西村伸
7	平成 25 年 12 月	Polymer Journal	Nanoscale heterogeneous structure of polyacrylonitrile- co- butadiene with different molecular mobilities nalyzed by spin-spin relaxation time	Hiroaki Ono, Hirotada Fujiwara and Shin Nishimura
8	平成 26 年 4 月	高分子論文集	アクリロニトリルブタジ エンゴム分子運動に及ぼ す平均連鎖長の影響	小野 皓章、藤原 広匡、西村 伸
9	平成 26 年 12 月	International Journal of Hydrogen Energy40 2025-2034	Degradation behavior of acrylonitrile butadiene rubber after cyclic high- pressure hydrogen exposure	Hirotada Fujiwara, Hiroaki Ono、 and Shin Nishimura
10	平成 28 年 10 月	日本ゴム協会誌	高圧ガス曝露による水素 含浸によって体積膨張現 象を起こしたアクリロニト リルブタジエンゴムの評価	藤原広匡
日本合成化学工業				
11	平成 27 年度 8 月	ゴム技術シンポジウム シリーズ	高圧水素バリア材の開発	渋谷光夫

(口頭発表)

No .	年月	発表先	題目	発表者
HySUT				
1	平成 26 年 10 月	水素高分子材料研究分 科会	水素ステーション用高 圧水素充填ホースの開 発 ~水素ステーション普 及に向けた取り組み~	山梨 文徳

2	平成29年7月	FCCJ FCV・水素インフラWG	HySUTの活動状況	小林 芳郎
3	平成29年7月	第236回ゴム技術シンポジウム	高圧水素用ホース評価基準案の作成および国際標準化の動向	江口 裕之 山梨 文徳
横浜ゴム				
4	平成29年6月	燃料電池・FCH 部会第244回定例研究会	高圧水素用ホース開発	山口尚志
5	平成29年7月	第236回ゴム技術シンポジウム	高圧水素充填用ホースの開発	山口尚志
日本合成化学工業				
6	平成29年7月	第236回ゴム技術シンポジウム	高圧水素ガスバリア材の開発	青山 真人
NOK				
7	平成25年5月	日本ゴム協会 2013 年年次大会	高圧水素ガスサイクルによる O リングのシール耐久性評価	古賀敦 山部匡央 藤原広匡 西村伸
8	平成25年11月	水素エネルギー協会第142回定例研究会	高圧水素ガスシール用 O リング開発	古賀敦
9	平成25年12月	日本ゴム協会 第25回エラストマー討論会	低温環境下における高圧水素ガスシール特性	古賀敦 藤原広匡 西村伸
10	平成26年1月	第8回水素機器用エラストマー材料研究分科会	NEDO 事業における高圧水素シール用シリコンゴムの評価状況	古賀敦
11	平成26年5月	日本ゴム協会 2014 年年次大会	高圧水素ガス透過量測定による O リングのシール性評価	古賀敦 藤原広匡 西村伸
12	平成26年7月	日本ゴム協会 第202回ゴム技術シンポジウム	高圧水素シール用 O リングの開発状況	古賀敦
13	平成26年9月	International Rubber Conference IRC2014 Beijing, China	HIGH-PRESSURE HYDROGEN SEALABILITY AND DURABILITY OF RUBBER O-RING	Koga A Fujiwara H Nishimura S
14	平成26年12月	日本ゴム協会 第26回エラストマー討論会	高圧水素用 O リングのシール耐久性	古賀敦 山部匡央

				内田賢一 藤原広匡 西村伸
15	平成27年2月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team 、 HYDROGENIUS (ポスター)	Study on High-pressure Hydrogen Seal Durability of Rubber O-ring	Koga A
16	平成27年5月	日本ゴム協会 2015 年 年次大会	高圧水素用 O リングの シール耐久性に及ぼす フィラー配合量の影響	古賀敦 藤原広匡 西村伸
17	平成27年6月	International Rubber Conference IRC2015 Nurnberg, Germany	A Fundamental Research on rubber O-ring for High-Pressure Hydrogen Seal	Atsushi Koga A Fujiwara H Nishimura S
18	平成27年10月	International Tribology Conference 2015, Tokyo	Fracture Classification of Rubber O-ring Exposed in High-Pressure Hydrogen Gas	Koga A Nishimura S
19	平成27年10月	高分子材料のトライボロジー研究会 平成27年度第一回	水素シールにおけるトライボロジー ~ 高圧水素によるゴム破壊現象の原因と対策~	古賀敦
20	平成27年12月	日本ゴム協会 第27回エラストマー討論会	水素機器用エラストマー材料研究分科会活動報告(4) ~ 高圧水素ガス用シール開発状況~	古賀敦
21	平成28年5月	日本ゴム協会 2016 年 年次大会	高圧水素用 O リングの シール耐久性に及ぼす フィラー配合量の影響 (2)	古賀敦 西村伸
22	平成28年7月	日本ゴム協会 第140回環境劣化研究分科会	水素シールにおける環境劣化 ~ 高圧水素によるゴム破壊現象の原因と対策~	古賀敦
23	平成28年10月	International Rubber Conference IRC2016 Kitakyushu	Seal Material for High-pressure Hydrogen Devices	Koga A Nishimura S

24	平成 29 年 2 月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team, HYDROGENIUS (ポスター)	Fracture Model Analysis of Rubber O-ring for High-Pressure Gas Seal	Koga A
25	平成 29 年 2 月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team, HYDROGENIUS (ポスター)	Effects of cyclic hydrogen pressure on failure and sealing	Takekoshi M, Hayashi E Ichikawa H Suzuki K
九州大学				
26	平成 25 年 5 月	第 62 回高分子年次大会	アクリロニトリル量の異なる NBR の水素膨潤挙動の解明	藤原広匡、西村伸
27	平成 25 年 5 月	第 62 回高分子年次大会	繰り返し高圧水素曝露されたシール用ゴム材料の評価	藤原広匡、泉義徳、小野 皓章、西村伸
28	平成 25 年 5 月	日本ゴム協会 2013 年年次大会	高圧水素曝露後のシール用ゴム材料評価	藤原 広匡、泉義徳、小野 皓章、西村伸
29	平成 25 年 5 月	日本ゴム協会 2013 年年次大会	高圧水素ガスサイクルによるシリコンゴムの化学分析	藤原広匡、西村伸、古賀敦、山部匡央、内田賢一
30	平成 25 年 5 月	日本ゴム協会 2013 年年次大会	高圧水素シールゴム材料に溶解した水素の評価	藤原広匡、西村伸
31	平成 25 年 5 月	日本ゴム協会 2013 年年次大会	硫黄架橋ゴム材料における高圧水素曝露によるステアリン酸亜鉛の挙動の FT-IR による検討	伊藤雄三、山岸雅弥、川井忠智、藤原広匡、山辺純一郎、西村伸
32	平成 25 年 5 月	日本ゴム協会 2013 年年次大会	アクリロニトリルブタジエンゴムの高圧水素による膨潤挙動に対する充てん材の影響	藤原 広匡、小野皓章、西村伸
33	平成 25 年 5 月	日本ゴム協会 2013 年年次大会	高圧水素ガスサイクルによる O リングのシール耐久性評価	古賀敦、山部匡央、藤原広匡、西村伸

34	平成 25 年 5 月	日本ゴム協会 2013 年年次大会	高圧水素曝露によるアクリロニトリルブタジエンゴム不均一構造の曝露圧力依存性	大山恵子、藤原広匡、西村伸
35	平成 25 年 5 月	日本ゴム協会 2013 年年次大会	高圧水素曝露した NBR の水素膨潤状態におけるゴム分子と水素分子の相互作用	小野皓章、藤原広匡、西村伸
36	平成 25 年 5 月	第 62 回高分子年年次大会	水素膨潤状態におけるアクリロニトリルブタジエンゴムの小角 X 線散乱法による不均一構造解析	大山恵子、藤原広匡、西村伸
37	平成 25 年 5 月	第 62 回高分子年年次大会	高圧水素曝露によるアクリロニトリルブタジエンゴム分子の運動性変化	小野皓章、藤原広匡、西村伸
38	平成 25 年 7 月	第 193 回ゴム技術シンポジウム	高圧水素ガス曝露におけるゴム材料の分析	藤原広匡
39	平成 25 年 9 月	World Tribology Congress 2013	Experimental Study of Hydrogen Sealing Ability and Wear Characteristics of Polymer Composites	Hayato Ideguchi、Yoshinori Sawae、Takehiro Morita、Kazuhiro Nakashima、Joichi Sugimura
40	平成 25 年 9 月	第 62 回高分子討論会	高圧水素ガスサイクル後のシール用ゴム材料の評価 -高圧水素容器用 O リングゴム材料(30)-	藤原広匡、小野皓章、西村伸
41	平成 25 年 9 月	第 62 回高分子討論会	耐水素性に優れたエチレンプロピレンゴム製 O リングの低温特性	西村伸、藤原広匡
42	平成 25 年 9 月	第 62 回高分子討論会	アクリロニトリルブタジエンゴムの高圧水素中における体積変化のその場観察 -高圧水素容器用 O リングゴム材料 (29)-	西村伸、小野皓章、藤原広匡、

43	平成 25 年 9 月	第 62 回高分子討論会	耐寒性エチレンプロピレンゴム製 O リング高圧水素シールに対する充てん剤の効果-高圧水素容器用 O リングゴム材料 (28)-	西村伸、藤原広匡、小野皓章
44	平成 25 年 9 月	第 62 回高分子討論会	高熱伝導性ツインメソゲン型エポキシポリマーの振動分光学的研究	川本秀士、名取光、川井忠智、伊藤雄三、藤原広匡、西村伸
45	平成 25 年 9 月	第 62 回高分子討論会	高圧水素曝露による過酸化物架橋アクリロニトリルブタジエンゴムの不均一構造への影響評価	大山恵子、藤原広匡、西村伸
46	平成 25 年 9 月	第 62 回高分子討論会	硫黄加硫アクリロニトリルブタジエンゴムの水素膨潤による構造変化解析	大山恵子、藤原広匡、西村伸
47	平成 25 年 9 月	第 62 回高分子討論会	高圧ガスシール用ゴム材料の水素膨潤挙動における水素の評価	藤原広匡、西村伸
48	平成 25 年 9 月	第 25 回ゴム技術研究・事例発表会	繰り返し高圧水素曝露されたシール用ゴム材料の評価	藤原広匡
49	平成 25 年 9 月	第 129 回環境劣化研究分科会	繰り返し高圧水素曝露されたシール用ゴム材料の評価	藤原広匡
50	平成 25 年 10 月	第 54 回固体 NMR・材料フォーラム	高圧水素シール用ゴム材料の固体 NMR を用いた評価	藤原広匡
51	平成 25 年 10 月	トライボロジー会議 2013 秋	樹脂複合材の水素ガスシール性と摩耗に対する充填材の影響	井手口隼人、澤江義則、森田健敬、中嶋和弘、杉村丈一
52	平成 25 年 10 月	トライボロジー会議 2013 秋	水素雰囲気中高温・高速しゅう動条件下での PTFE 複合材の摩擦摩耗	森田健敬、永沼良隆、澤江義則、岡田和三、黒野好恵、上島弘義、金内成、杉村丈一

53	平成 25 年 10 月	トライボロジー会議 2013 秋	水素雰囲気における 炭素繊維充てん PTFE の摩擦摩耗特性	岡田和三、澤江義則、 森田健敬、杉村丈一
54	平成 25 年 11 月	The 13th Pacific Polymer Conference	Synthesis of Biphenyl Benzoate Twin- Mesogen Epoxy Polymers and Its Thermal Conductivity	川本秀土、名取光、 川井忠智、伊藤雄三、 藤原広匡、西村伸
55	平成 25 年 11 月	2013 Pacific Polymer Conference	Influence of high- pressure hydrogen exposure on the inhomogeneous structure of peroxide crosslinked acrylonitrile butadiene rubber	大山恵子、藤原広匡、 西村伸
56	平成 25 年 11 月	福岡水素エネルギー戦 略会議 機械要素研究 分科会	樹脂シール材の水素雰 囲気における摩擦摩耗 とガスシール性	澤江義則
57	平成 25 年 12 月	第 25 回 エラストマー 討論会	繰り返し高圧水素曝露 を受けた NBR の弾性率 変化	藤原 広匡、泉義徳、 小野皓章、西村伸
58	平成 25 年 12 月	第 25 回 エラストマー 討論会	NMR を用いた NBR の 水素膨潤状態における 分子運動性評価	藤原広匡、小野皓章、 西村伸
59	平成 25 年 12 月	第 25 回エラストマー 討論会	水素ガスシール用ゴム 材料の伝熱特性解析	上山晃平・藤原広匡・ 西村伸
60	平成 25 年 12 月	第 25 回エラストマー 討論会	水素膨潤状態における アクリロニトリルブタ ジエンゴムの高次構造 観察	大山恵子、藤原広匡、 西村伸
61	平成 25 年 12 月	第 25 回エラストマー 討論会	共重合組成比の異なる NBR の横緩和時間に及 ぼす加硫の影響	小野皓章、藤原広匡、 西村伸
62	平成 26 年 1 月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team、 HYDROGENIUS	Evaluation of Rubber Material for High- pressure Hydrogen Seal after Cyclic Exposure	藤原広匡

63	平成26年5月	公益社団法人 高分子学会 第64回高分子学会年次大会(ポスター)	応力発光体を用いたアクリロニトリルブタジエンゴムの局所応力測定	山根晋、小野皓章、榎本一之、藤原広匡、西村伸
64	平成26年5月	日本トライボロジー学会トライボロジー会議2014春東京	Oリング用EPDMゴムのすべり出しの摩擦と損傷	杉村丈一、田中宏昌、岡田和三、森田健敬、澤江義則
65	平成26年5月	第55回固体NMR・材料フォーラム(ポスター)	繰り返し水素曝露を受けたゴム材料中に溶解水素の評価	藤原広匡、小野皓章、西村伸
66	平成26年5月	日本ゴム協会2014年 年次大会(ポスター)	高圧水素曝露によりNBR中に溶解した水素の状態解析	藤原広匡、小野皓章、西村伸
67	平成26年5月	日本ゴム協会2014年 年次大会	高圧水素用シール・ホース用エラストマー材料の開発 水素機器用エラストマー材料研究分科会活動報告(1)	西村伸、藤原広匡、古賀敦、高橋良、仲山和海、近藤寛朗、土井迪子
68	平成26年5月	日本ゴム協会2014年 年次大会	繰り返し水素曝露を受けたゴム材料中に溶解した水素の評価	藤原広匡、小野皓章、西村伸
69	平成26年5月	日本ゴム協会2014年 年次大会	アクリロニトリルブタジエンゴムの高圧水素による体積膨潤挙動と不均一構造変化の相関	大山恵子、藤原広匡、神谷和孝、吉岡聡、杉山武晴、西村伸
70	平成26年5月	日本ゴム協会2014年 年次大会	高圧水素曝露したNBRの体積と溶解水素量の相関	小野皓章、藤原広匡、西村伸
71	平成26年5月	高分子学会 第63回 年次大会(ポスター)	高圧水素曝露したアクリロニトリルブタジエンゴムの体積と収着水素量の相関	小野皓章、藤原広匡、西村伸
72	平成26年5月	高分子学会 第63回 年次大会	繰り返し水素曝露を受けた高圧水素ガスシール用ゴム材料の評価	藤原広匡、泉義徳、田中史浩、小野皓章、西村伸
73	平成26年5月	高分子学会 第63回	高圧水素曝露により収	藤原広匡、小野皓

		年次大会(ポスター)	着した水素の状態解析	章、西村伸
74	平成26年5月	高分子学会 第63回 年次大会(ポスター)	水素膨潤状態における 過酸化物架橋アクリロ ニトリルブタジエンゴ ムの放射光小角 X 線散 乱法による構造解析	大山恵子、藤原広匡、 神谷和孝、吉岡聰、 杉山武晴、西村伸
75	平成26年5月	高分子学会 第63回 年次大会(ポスター)	ビフェニルベンゾエー トエポキシポリマーの 熱伝導率と秩序構造	川本秀士、名取光、 川井忠智、伊藤雄三、 藤原広匡、西村伸
76	平成26年6月	第16回トライボロジ ー北欧シンポジウム	Low Wear of Carbon Fiber Filled PTFE in Gaseous Hydrogen	Yoshinori Sawae、 Kazumi Okada、 Takehiro Morita、 Yoshie Kurono、 Joichi Sugimura
77	平成26年8月	九州シンクロトロン光 研究センター合同シン ポジウム(ポスター)	水素膨潤状態における 過酸化物架橋アクリロ ニトリルブタジエンゴ ムの 放射光小角 X 線散乱法 による構造解析	大山恵子、藤原広匡、 神谷和孝、吉岡 聰、 杉山武晴、西村伸
78	平成26年9月	日本ゴム協会九州支部 第26回ゴム技術・研究 事例発表会	Oリング変形挙動の可視 化	杉田晃輝、山口哲生、 藤原広匡、西村伸
79	平成26年9月	高分子学会 第63回 高分子討論会(ポスタ ー)	小角 X 線散乱によるア クリロニトリルブタジ エンゴムにおける 不均 一構造に対する架橋の 影響評価	大山恵子、小野皓章、 藤原広匡、西村伸
80	平成26年9月	高分子学会 第64回 討論会(ポスター)	モノメソゲン型液晶性 エポキシポリマーの構 造制御と熱伝導率	川本秀士、藤原広匡、 西村伸
81	平成26年9月	高分子学会 第63回 高分子討論会	応力発光体を用いたゴ ムの局所応力測定 - 高 圧水素容器用 O リング ゴム材料(41) -	山根晋、小野皓章、 藤原広匡、西村伸
82	平成26年9月	第63回高分子学会年 次大会(ポスター)	高圧水素曝露によりゴ ム中に溶解した水素の 状態とその粘弾性に及 ぼす影響	藤原広匡、小野 皓 章、西村伸

83	平成 26 年 9 月	日本機械学会 2014 年 度年次大会	樹脂複合材の水素シー ル性に関する研究	森田健敬、小島大、 井手口隼人、 澤江義則、杉村丈一
84	平成 26 年 9 月	日本機械学会 九州支 部大分講演会	PEEK 樹脂の水素雰囲気 中における摩擦・摩耗 とシーリング性	森田健敬、小島大、 井手口隼人、 澤江義則、杉村丈一
85	平成 26 年 10 月	第 4 回 CSJ 化学フェス タ 2014	高圧水素雰囲気下のト ライボロジー	澤江義則
86	平成 26 年 10 月	高分子学会 NMR 研 究会	高圧水素に曝された水 素機器用エラストマー 材料の NMR による評価	藤原広匡
87	平成 26 年 11 月	トライボロジー会議 2014 秋盛岡	水素雰囲気中高温・高速 しゅう動条件下での PTFE 複合材の摩擦摩耗	森田健敬、永沼良隆、 澤江義則、岡田和三、 黒野好恵、上島弘義、 金内成、杉村丈一
88	平成 26 年 12 月	International Polymer Conference (IPC2014)(ポスター)	Evaluation of viscoelastic properties of rubber materials for hydrogen gas seal after high-pressure hydrogen cycle exposure	藤原広匡、小野 皓 章、西村伸
89	平成 26 年 12 月	International Polymer Conference (IPC2014)(ポスター)	Influence of high- pressure hydrogen exposure on the inhomogeneous structure of peroxide crosslinked acrylonitrile butadiene rubber	大山恵子、小野皓章、 藤原広匡、西村伸
90	平成 26 年 12 月	International Polymer Conference (IPC2014)	The effect of local structure on volume increment of acrylonitrile butadiene rubber after high- pressure hydrogen exposure	小野皓章、藤原広匡、 西村伸
91	平成 26 年 12 月	日本ゴム協会 第 26 回エラストマー討論会	水素機器用エラストマ ー材料研究分科会活動	西村伸

			報告	
92	平成 26 年 12 月	日本ゴム協会 第 26 回エラストマー討論会	高圧水素曝露による NBR の体積膨張時にける不均一構造の観察	近藤亮太
93	平成 26 年 12 月	日本ゴム協会 第 26 回エラストマー討論会	高圧水素曝露により体積膨張した NBR の粘弾性に及ぼす水素の影響	藤原広匡、小野 皓章、榎本一之、西村伸
94	平成 26 年 12 月	日本ゴム協会 第 26 回エラストマー討論会	高圧水素曝露による NBR の体積増加に及ぼす架橋およびニトリル量の影響	小野皓章、藤原広匡、西村伸
95	平成 26 年 12 月	日本ゴム協会 第 26 回エラストマー討論会	高圧水素曝露による NBR の体積膨張時にける不均一構造の観察	大山恵子、小野皓章、藤原広匡、西村伸
96	平成 27 年 2 月	2015 HYDROGENIUS & I2CNER Tribology Symposium	Dynamic friction of O-rings	Tetsuo Yamaguchi、Koki Sugita、Ryota Haba、Takehiro Morita、Shin Nishimura、Yoshinori Sawae
97	平成 27 年 2 月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team、HYDROGENIUS(ポスター)	A blistering defect formation of polyamide resins under exposure to high-pressure hydrogen	榎本一之、泉義徳、田中史浩、大山恵子、藤原広匡、西村伸
98	平成 27 年 2 月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team、HYDROGENIUS(ポスター)	Evaluation of Viscoelasticity of Rubber Materials after High-pressure Hydrogen Cyclic Exposure	藤原広匡
99	平成 27 年 2 月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team、HYDROGENIUS(ポスター)	Effect of the Penetrated Hydrogen on Viscoelasticity of Acrylonitrile Butadiene Rubber after High-pressure Hydrogen Exposure	藤原広匡

100	平成27年2月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team 、 HYDROGENIUS(ポスター)	Relationship between Hydrogen Content and Volume expansion of Filled Rubber after High-pressure Hydrogen Exposure	藤原広匡
101	平成27年2月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team 、 HYDROGENIUS(ポスター)	In situ Observation of O-ring Deformation during Pressurization Process	杉田晃輝、山口哲生、藤原広匡、西村伸
102	平成27年2月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team 、 HYDROGENIUS	Influence of high-pressure hydrogen exposure on the inhomogeneous structure of peroxide crosslinked acrylonitrile butadiene rubber	大山恵子、小野皓章、藤原広匡、西村伸
103	平成27年2月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team 、 HYDROGENIUS	Hydrogen Characteristics of the Liquid Crystal Epoxy Polymer	川本秀士、藤原広匡、西村伸
104	平成27年5月	公益社団法人 高分子学会 第64回高分子学会年次大会(ポスター)	応力発光体を用いたアクリロニトリルブタジエンゴムの局所応力測定	山根晋、小野皓章、榎本一之、藤原広匡、西村伸
105	平成27年5月	公益社団法人 高分子学会 第64回高分子学会年次大会(ポスター)	高圧水素曝露によるNylon11の高次構造変化観察	大山恵子、藤原広匡、藤原広匡、榎本一之、金子文俊、西村伸
106	平成27年5月	公益社団法人 高分子学会 第64回高分子学会年次大会(ポスター)	A blistering defect formation of polyamide resins under exposure to high-pressure hydrogen	榎本一之、泉義徳、田中史浩、大山恵子、藤原広匡、西村伸

107	平成27年5月	公益社団法人 高分子学会 第64回高分子学会年次大会	液晶性エポキシポリマーの秩序構造と水素特性	川本 秀士、藤原広匡、西村伸
108	平成27年5月	公益社団法人 高分子学会 第64回高分子学会年次大会 (ポスター)	カーボンブラック配合NBRのパウンドラバーに着目した水素溶解量と体積変化の評価	藤原広匡、榎本一之、西村伸
109	平成27年5月	(一社)日本ゴム協会 2015年 年次大会	水素機器用エラストマー材料研究分科会活動報告(3)	西村伸
110	平成27年5月	(一社)日本ゴム協会 2015年 年次大会	アクリロニトリルブタジエンゴムの水素溶解特性と不均一構造変化機構へ及ぼす影響	大山恵子、小野皓章・藤原広匡、西村伸
111	平成27年5月	(一社)日本ゴム協会 2015年 年次大会 (ポスター)	カーボンブラック配合NBRの水素特性評価	藤原広匡、榎本一之、西村伸
112	平成27年6月	International Rubber Conference IRC 2015		西村伸、藤原広匡
113	平成28年4月	第17回水素機器用エラストマー材料研究分科会	水素機器用ゴム材料データベース	西村伸
114	平成28年5月	第65回高分子学会	高圧水素曝露した高密度ポリエチレンの水素脱離過程における結晶-非晶相の構造変化	榎本一之、藤原広匡、西村伸
115	平成28年6月	第27回プラスチック成形加工学会	高圧水素ガス曝露によるポリアミド樹脂のプリスタ欠陥形成	榎本一之、藤原広匡、西村伸
116	平成28年7月	第226回ゴム技術シンポジウム	高圧水素機器用エラストマー材料の水素特性評価の進捗	西村伸
117	平成28年9月	第18回水素機器用エラ	水素機器用ゴム材料デー	西村伸

		ストマー材料研究分科会	タベース	
118	平成28年9月	日本機械学会平成28年度年次大会	水素中での繰返し接線力負荷によるゴムの表面損傷	杉村丈一、田中宏昌、岡田和三、山口哲生
119	平成28年11月	第19回水素機器用エラストマー材料研究分科会	水素機器用ゴム材料データベース	西村伸
120	平成28年11月	2016 STLE Tribology Frontiers Conference	Friction and surface damages of rubbers under reciprocal tangential loading in hydrogen	杉村丈一、田中宏昌、岡田和三、山口哲生
121	平成29年2月	第20回水素機器用エラストマー材料研究分科会	水素機器用ゴム材料データベース	西村伸
122	平成29年2月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team, HYDROGENIUS	Polymeric Materials for Hydrogen Devices	西村伸
123	平成29年2月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team, HYDROGENIUS	Activities of Research Group on Elastomers for Hydrogen Equipment	西村伸
124	平成29年2月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team, HYDROGENIUS	High-Pressure Hydrogen Hose Test Method	西村伸
125	平成29年2月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team, HYDROGENIUS	Influence of dissolved hydrogen on the bending modulus of polyamide 11 exposed to high-pressure hydrogen	小野、藤原、西村
126	平成29年2月	International Symposium of	Morphological Change in High-Density	榎本一之、藤原広匡、西村伸

		Hydrogen Polymers Team, HYDROGENIUS	Polyethylene caused by Rapid Decompression of High-Pressure Hydrogen: A Pulse NMR Study	
127	平成 29 年 2 月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team, HYDROGENIUS	High-pressure Hydrogen Gas Permeation Test of Polymeric Materials	藤原、西村
128	平成 29 年 2 月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team, HYDROGENIUS	Effect of crosslink density on hydrogen permeability of Acrylonitrile butadiene rubber	山崎慎也、西村
129	平成 29 年 2 月	International Symposium of Hydrogen Polymers Team, HYDROGENIUS	Internal damage quantification of HDPE induced by repeated high-pressure hydrogen exposure using light extinction	藤井陽平、藤原、榎本、小野、西村
130	平成 29 年 2 月	2017 HYDROGENIUS & I2CNER Tribology Symposium	Friction and Surface Damages of Rubbers under Reciprocal Tangential Loading in Hydrogen	Joichi Sugimura*, Hiroyoshi Tanaka, Kazumi Okada, Tetsuo Yamaguchi
131	平成 29 年 2 月	2017 HYDROGENIUS & I2CNER Tribology Symposium	Polymer Tribology in Hydrogen	Yoshinori Sawae, Joichi Sugimura
132	平成 29 年 3 月	ポリウレタンフォーラム	水素機器用エラストマー材料の研究	藤原 広匡
133	平成 29 年 5 月	日本ゴム協会 2017 年 年次大会	未充填 NBR の高圧水素特性と分子構造・架橋構造との相関	小野 皓章
134	平成 29 年 5 月	第 66 回高分子学会年次大会	高圧水素曝露により生じた HDPE の内部ダメージの光減衰を用いた定量評価	小野 皓章

CERI				
135	平成 25 年 12 月 10 日	日本ゴム協会第 25 回 エラストマー討論会	高圧水素曝露後 EPDM の評価(1) ~カーボンブラックの影響	仲山和海 西村伸 大武義人
136	平成 26 年 5 月 21 日	日本ゴム協会 2014 年 年次大会	高圧水素曝露後 EPDM の劣化状態の評価(2) ~ 内部破壊と化学的劣化の有無~	仲山和海、西村伸、 大武義人
137	平成 26 年 12 月 5 日	日本ゴム協会第 26 回 エラストマー討論会	シリカ配合 EPDM の高圧水素曝露による劣化現象(3) ~ シランカップリング剤と水素特性の関係~	近藤寛朗、仲山和海、 西村伸、大武義人
138	平成 26 年 12 月 5 日	日本ゴム協会第 26 回 エラストマー討論会	シリカ配合 EPDM の高圧水素曝露による劣化現象(4) ~ シランカップリング剤と水素特性の関係~	仲山和海、近藤寛朗、 西村伸、大武義人
139	平成 27 年 2 月 4 日	水素先端世界フォーラム 2015	Evaluation of EPDM Exposed to High-Pressure Hydrogen Gas ~ Influence of Carbon black ~	Kazumi NAKAYAMA 、 Hiroaki KONDO、 Yoshito OHTAKE
140	平成 27 年 5 月 22 日	日本ゴム協会 2015 年 年次大会	シリカ配合 EPDM の高圧水素曝露による劣化現象(5) ~ シリカ量、シランカップリング剤と水素特性の関係~	仲山和海、近藤寛朗、 西村伸、大武義人
141	平成 27 年 6 月 3 日	プラスチック成形加工学会第 26 回年次大会	高圧水素曝露後 EPDM の劣化評価(1)	仲山和海、近藤寛朗、 西村伸、大武義人
142	平成 27 年 6 月 3 日	プラスチック成形加工学会第 26 回年次大会	高圧水素曝露後 EPDM の劣化評価(2)	近藤寛朗、仲山和海、 西村伸、大武義人
143	平成 28 年 2 月 4 日	水素先端世界フォーラム 2016	The Influence of Exposure to High-Pressure Hydrogen Gas in Silica-Filled EPDM	仲山和海、近藤寛朗、 西村伸、大武義人
144	平成 28 年 5 月 20 日	日本ゴム協会 2016 年 年次大会	高圧水素用ゴム材料の試験法に関する検討	仲山和海、近藤寛朗、 西村伸、大武義人
145	平成 29 年 2 月	水素先端世界フォーラム	The Investigation on	仲山和海、近藤寛朗、

	3日	△ 2017	Testing Methods for Rubber Materials Used in High-Pressure Hydrogen Gas	西村伸、大武義人
146	平成29年6月15日	プラスチック成形加工学会 第28回年次大会	高圧水素曝露後EPDMの劣化評価(3)～シランカップリング剤が及ぼす水素特性への影響～	樋下万純、近藤寛朗、仲山和海、大武義人、西村伸
147	平成29年7月15日	第236回ゴム技術シンポジウム	ゴム材料の水素特性と配合の相関検討～EPDMカーボンブラック配合及びシリカ配合と水素特性の関係～	近藤寛朗

(受賞実績)

NOK

International Rubber Conference IRC2014 北京 発表部門および論文部門アワード受賞(平成26年9月)

-特許など-

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
日本合成化学工業				
1	2014年12月22日	特願2014-259531	高圧水素用樹脂組成物、および高圧水素ホース	日本合成化学工業株式会社
2	2014年12月27日	特願2014-266899	エチレン-ビニルエステル系共重合体ケン化物樹脂組成物、高圧ガス用樹脂チューブ又は複合容器用樹脂ライナー、および高圧ガスホース又は複合容器	日本合成化学工業株式会社
横浜ゴム				
3	2015年6月9日	特願2015-116763	水素充填用ホース	横浜ゴム株式会社

4	2015年12月10日	特願 2015-240743	高圧ホース	横浜ゴム株式会社
5	2016年2月5日	特願 2016-20574	水素充填用ホース	横浜ゴム株式会社
6	2016年2月5日	特願 2015-116763	高圧ホース	横浜ゴム株式会社
7	2016年6月1日	PCT/JP2016/066230	水素充填用ホース	横浜ゴム株式会社
8	2016年8月23日	特願 2016-162460	ホース	横浜ゴム株式会社
9	2016年10月20日	特願 2016-206253	水素充填用ホース	横浜ゴム株式会社
10	2017年5月16日	特願 2017-97088	高圧ホース	横浜ゴム株式会社

(11-6)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 / 高圧水素機器用ホース等システム部材の研究開発」

委託先：(株)ブリヂストン、(国)九州大学

成果サマリ (実施期間：平成27年度～平成29年度)

- ・ラボ試験における故障メカニズムを解明し、必要となる材料特性から新樹脂材料の提案を行った。
- ・樹脂への水素影響の確認として、歪入力および樹脂の種類との関係を明らかにして、水素ホースに求められる樹脂材料の選定に活用した。
- ・新樹脂材料による耐久性評価試験を実施し、充填圧87.5MPa条件(97MPa)において求められる耐久性を確認した。

背景/研究内容・目的

FCV普及に向けて、低コスト化、充填時間の短縮化、高耐久化等に加え、将来国内で導入が予定される国際基準の車載タンクに対応する常用圧力87.5MPa対応の水素ディスベンサー用ホースが必要となる。

そこで、高圧水素曝露による樹脂の物性変化を系統的に整理しつつ、国際基準のFCVに対応した水素ステーションの常用圧力である87.5MPaに対応した水素ディスベンサーホースの実用化に必要な樹脂材料の開発を行うため、以下の研究開発を実施する。

- 水素ホース用材料の探索研究
- 実使用入力の理解と材料評価
- 水素ディスベンサー用ホース健全性評価

研究目標

実施項目	目標
- (1)	樹脂への水素影響の確認
- (1)	故障メカニズム明確化と評価法の構築
- (2)	確認故障メカニズムに基づいた新規材料の提案
- (1)	87.5MPa条件を想定したホース耐久性の確認

実施体制及び分担等

NEDO	株式会社ブリヂストン	- (1) (2),
	国立大学法人九州大学	- (1)

これまでの実施内容 / 研究成果

- ・樹脂を高圧水素曝露し、樹脂の外観変化を観察し、樹脂によって耐水素性に差があることを確認した。
- ・高圧水素中で樹脂材料の曲げ試験を実施し、水素存在の有無で機械特性に差が生じる可能性を確認した。
- ・鋼線ワイヤーの強力を水素インパルス試験品と未使用品で比較し、強力の低下がなきことを確認した。
- ・樹脂材料の異なるホースの水素インパルス試験および非水素インパルス試験を実施し、ホース耐久性に水素が影響していることを確認した。
- ・水素インパルス試験において故障したホースの破面の詳細観察、故障解析を行い、故障に至るまでのメカニズムを明確化した。
- ・明確化したメカニズムから故障しにくい、新樹脂材料の提案を行った。
- ・新樹脂材料を使用した水素ディスベンサーホースの性能を充填圧87.5MPa条件(試験圧：97MPa)の水素インパルスにより評価し、年間想定充填回数2,200回の3倍である6,600回を大幅に超える耐久性を有することを確認した。(新材料適用ホースの水素インパルス試験による故障は未だに発生せず)

今後の課題

- ・実使用環境における耐久性能確認
- ・耐久性評価手法のブラッシュアップと寿命予測手法の確立
- ・樹脂材料の更なる高性能、長寿命化

実用化の見通し

- ・開発した常用圧力87.5MPa対応の水素ディスベンサー用ホースの実地健全性評価を進め、使用回数の限界を見極めながら、実用化に結びつける。

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価	
- (1)	大気中対比、水素中では曲げ物性に変化が生じること確認		
- (1)	故障メカニズムの明確化		
- (2)	メカニズムからの材料提案		
- (1)	6,600回を超える耐久性をインパルス試験で確認		
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	0	1	0

課題番号： - 6

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 /

高圧水素機器用ホース等システム部材の研究開発

株式会社ブリヂストン
国立大学法人九州大学

1. 研究開発概要

今後FCV普及に向けては、さらなるユーザー利便性の追求が重要であり、低コスト化、充填時間の短縮化、高耐久化等に加え、将来国内で導入が予定される国際基準の車載タンクに対応する常用圧力87.5MPa対応の水素ディスペンサー用ホースが必要となる。そこで、本事業では樹脂材料の水素システム部材への適用拡大を意識し、高圧水素曝露による樹脂の物性変化を系統的に整理しつつ、国際基準のFCVに対応した水素ステーションの常用圧力である87.5MPaに対応した水素ディスペンサーホースの実用化に必要な材料の開発を目的とする。

2. 研究開発目標

樹脂材料の水素システム部材への適用拡大を意識し、高圧水素曝露による樹脂の物性変化を系統的に整理しつつ、国際基準のFCVに対応した水素ステーションの常用圧力とされる87.5MPa、実使用回数6,600回を見込める仕様に対応した水素ディスペンサー用ホースの実用化に向けた材料の開発を行う。尚、本事業は、株式会社ブリヂストンと国立大学法人九州大学が共同して進めている。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

研究開発項目 水素ホース用材料の探索研究

(1) 樹脂への水素影響の確認

本テーマでは高圧水素機器用システム部材への樹脂活用を目標としているので、様々な樹脂材料について、耐水素特性として水素曝露後の水素侵入量評価、体積変化を測定するとともに、高圧水素曝露による樹脂の物性変化の関係を把握する必要がある。まずは、高圧水素機器において重要な特性である水素透過性について調査検討した。

図1は水素システム機器で使用が期待されるポリエチレンホモポリマー材料、ポリアミドホモポリマー材料について、樹脂材料の分子構造からガス透過性を推算する原子団寄与法であるパーマコール値で整理した結果である。本結果から他の気体と同様に、水素ガスの透過性もパーマコール値と直線関係があることが確認された。パーマコール値は凝集エネルギー密度と自由体積分率からポリマーの構成単位(ポリマー主鎖や側鎖)毎に算出した固有値である。この結果から、今後パーマコール値を算出することで樹脂材料の水素透過性を推測できる基盤が構築できた。

さらに、樹脂の耐水素性を理解するために、これらポリエチレンホモポリマー材料、ポリアミドホモポリマー材料に関して高圧水素曝露による変化について検討を行った。高圧水素曝露処理条件は30、90MPa、24時間である。ポリアミドホモポリマー材料においては外観上の大きな変化は観察されなかったが、ガラス転移温度を曝露条件の30以下に有するポリエチレンホモポリマー材料において、溶解水素の急脱ガスにより生じるプリスター(白化)現象が確認された。

さらに、水素の影響を深く知るために低温高圧水素中（-20、30MPa）での3点曲げ試験を実施した（図2）。

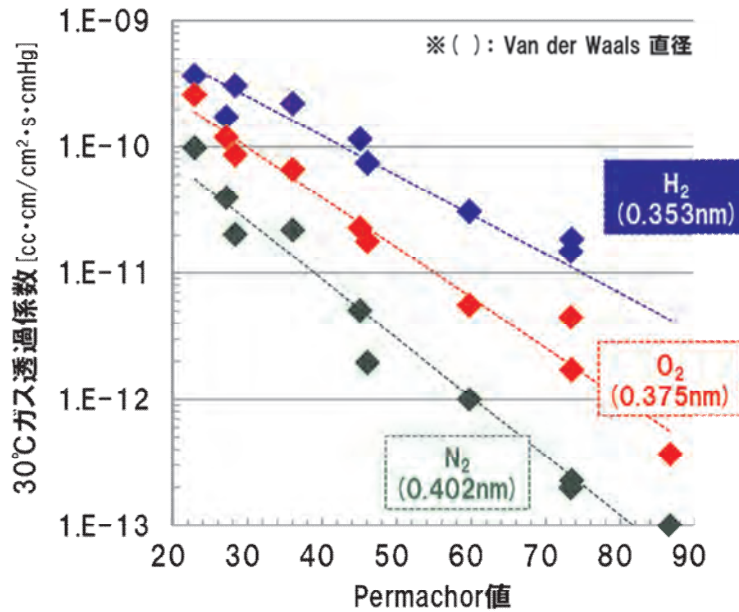


図1 ガス透過性とパーマコール値との関係（九州大学データ）

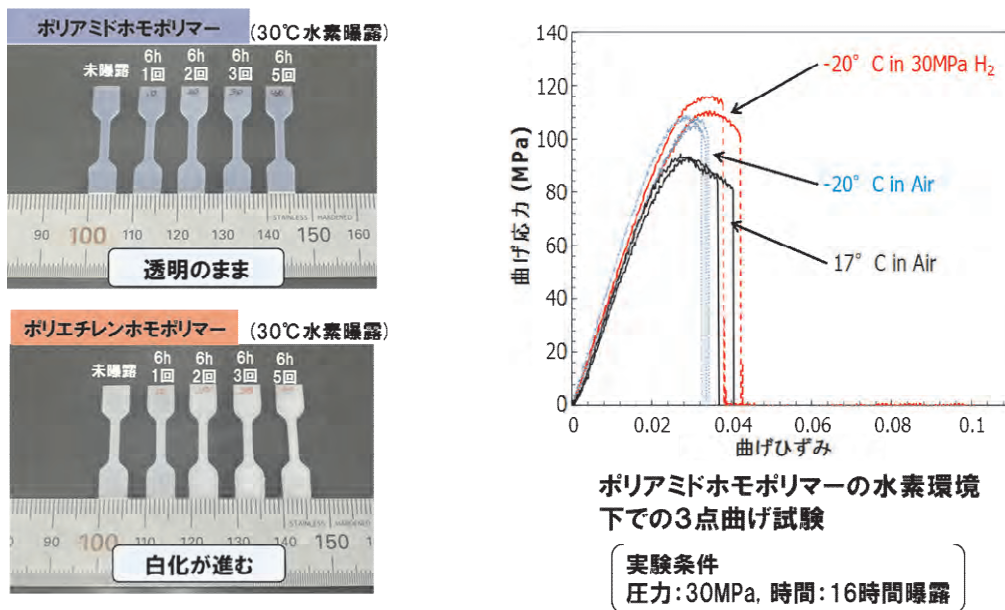


図2 水素曝露による樹脂外観変化と物性変化（九州大学データ）

結果、ポリアミドホモポリマー材料はいずれの条件においても脆性破壊を示した。また、30MPa水素環境下での曲げ試験の結果は同じ温度における空気中の結果と比べ破壊強度が大きくなる傾向が確認された。現在のところ、水素環境下での破壊強度が大きくなる現象は試験片中に侵入した水素による影響と推定しているが詳細は不明である。

研究開発項目 実使用入力理解と材料評価

(1) 故障メカニズム明確化と評価法の構築

2タイプのホースについて水素及び非水素液体を圧力流体とした低温インパルス試験を実施し、耐久回数に水素が影響するか否かを検証した。低温インパルス試験結果を図3に示す。

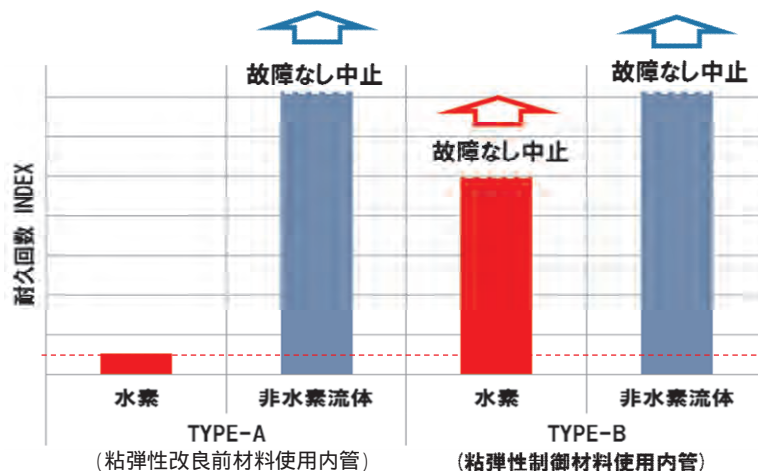


図3 低温インパルス試験による水素影響評価

TYPE-Aの試験結果から、流体が水素の場合、耐久回数が少ないことが確認でき、ホースの耐久性に水素が影響していることが分かった。また一方でTYPE-AとTYPE-Bで比較するとTYPE-Aのみが故障することが分かった(故障はホース加締め金具近傍のみで発生)。そこで、TYPE-Aにおける故障位置の理解、故障サンプルの破面解析、故障箇所付近の内管の状態の詳細観察することで、破壊のメカニズムを解明した。

まず水素インパルス試験による故障に位置について述べる。図4にホースの写真とイメージを示す。

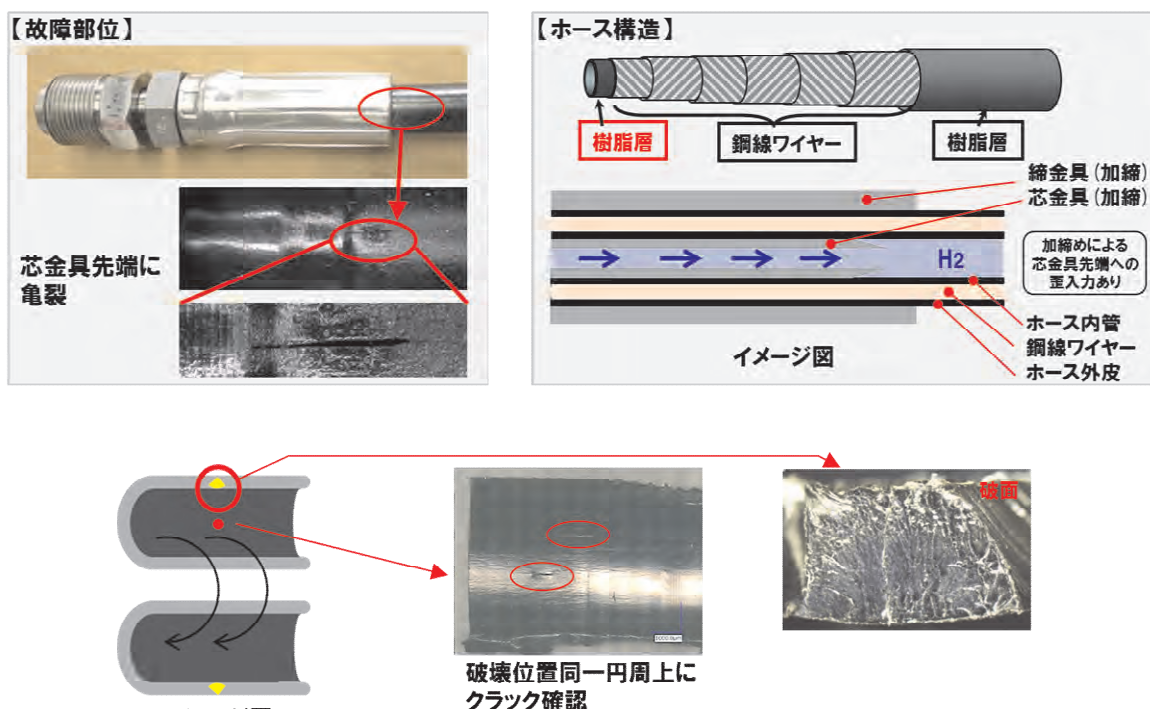


図4 ホースの構造と故障位置

ホースの故障はホース部ではなく、加締め金具の近傍で生じることが確認できた。その中の芯金具の先端付近は、加締めにより歪入力がかかることが FEM 計算等を含め確認できている。このことから、特徴的な歪がかかる加締め近傍において選択的に故障が生じると予想される。また、故障の破面は、図 4 に示すように発生しており、その同一円周上には、未貫通の微小クラックが確認された。

次に、TYPE-A の破面の解析について述べる。図 5 に破面全体と亀裂起点領域を示す。

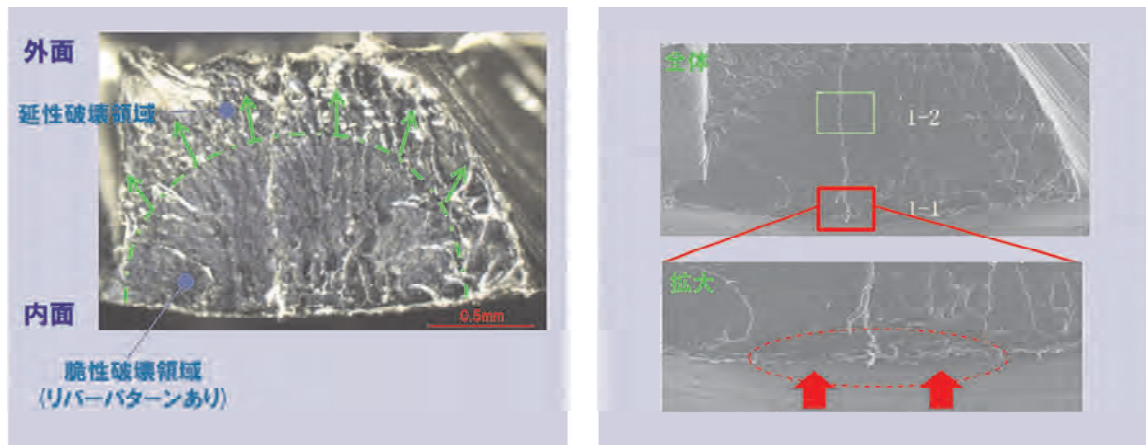


図 5 TYPE-A 故障サンプルの破面（左：破面全体、右：亀裂起点領域）

破面全体を見ると、ホース内面側(水素が流れる側)から破壊が生じていることが分かった。起点領域から放射状に脆性的に破壊が生じており、破壊の終盤は延性的に破壊している。脆性破壊領域には線状のリバーパターンが現れており、これは非常に高速で脆性破壊が進行していることを意味している。次に亀裂の起点領域の詳細を観察した。しかし、起点の原因となるような欠陥や外傷は確認できなかった。次に亀裂進展領域の詳細について述べる(図 6)。亀裂の進展領域については特徴的なパラボラ状模様が出現していることを確認した。パラボラ状模様は系内に不均一な部分が存在すると出現することが知られており、加締めに伴う歪と不均一な樹脂組成を要因として亀裂の発生・進展が生じたと考えられる。

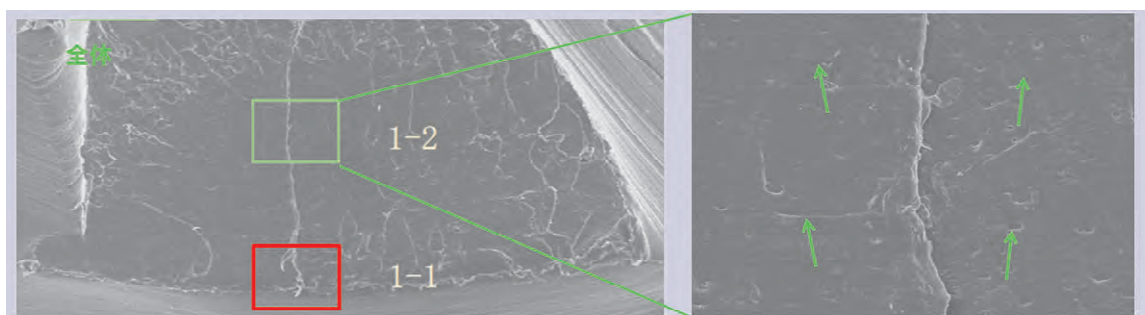


図 6 TYPE-A 故障サンプルの破面（右側：亀裂進展領域）

以上をまとめて故障のメカニズムを提案した(図7)。故障発生メカニズムは、金具先端部特有の入力で初期亀裂が発生、亀裂が進展し、亀裂が貫通すると推定した。

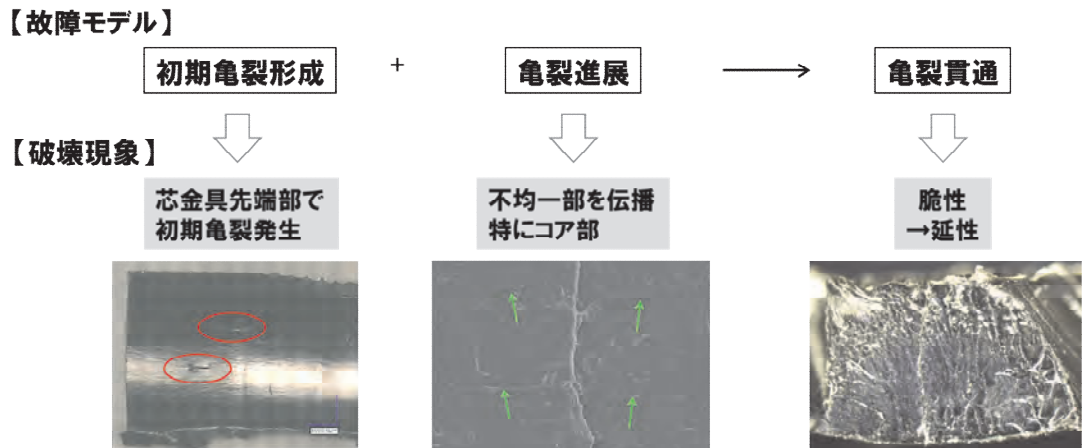


図7 水素ホース内管故障メカニズム

(2) 確認故障メカニズムに基づいた新規材料の提案

上記メカニズムに、低温インパルス試験の結果を含めて考察すると、新規材料を提案するにあたり考慮すべき点は、耐水素性、歪の入力、材料の均一性であることが分かり、これらを基に材料を提案する基盤ができた。TYPE-Bの耐久性向上は、上の3つの観点から考察すると、粘弾性改良による歪入力の低減、配合改良による均一性改善されたためと考えている。一方、の要素も含めた新材料候補の目途がついた。

研究開発項目 水素ディスペンサーホース健全性評価

(1) ホース耐久性評価

ホース材料の耐久性能評価は、ホースの低温水素インパルス試験で実施した。低温水素インパルス試験の条件は、流通水素の温度を-33 ~ -40 に制御、昇圧から脱圧までの1サイクルの時間をおよそ20秒から30秒、最高圧力90MPa~97MPaとし、最高圧力の保持時間を10~20秒に制御した。

本試験条件は、

1) 加圧速度の調整により加圧時の温度上昇を抑制。上昇時の温度を-33 ~ -40 の範囲に設定可能で実ステーションでの水素管理温度と同一である。

2) 短時間サイクルのため、1日1,000サイクル以上の評価が可能であり、およそ1週間で6,600回に到達することができることから、現時点におけるステーションでのホース使用を把握する手法として妥当と判断し採用した。

以上の条件の下、TYPE-A及びTYPE-Bにおいて97MPaの低温水素インパルス試験を実施したところ、Type-Aは故障したがType-Bの耐久回数は6,600回を大きく超えても壊れない結果となり、提案した材料により耐久性が大幅に向上していること、低温の水素環境下で87.5MPaの使用に耐えうる事が判明した。

その他ホース部材の性能確認

97MPaの低温水素インパルス試験品(6,600回以上)の鋼線ワイヤーについて強度低下有無

を確認した。未使用品と比較して鋼線強度低下は確認されなかった。本結果より高圧水素の影響は内管で遮断され、鋼線ワイヤーには水素の影響が及ばず、十分な補強性能を維持していることを確認した（図8）。

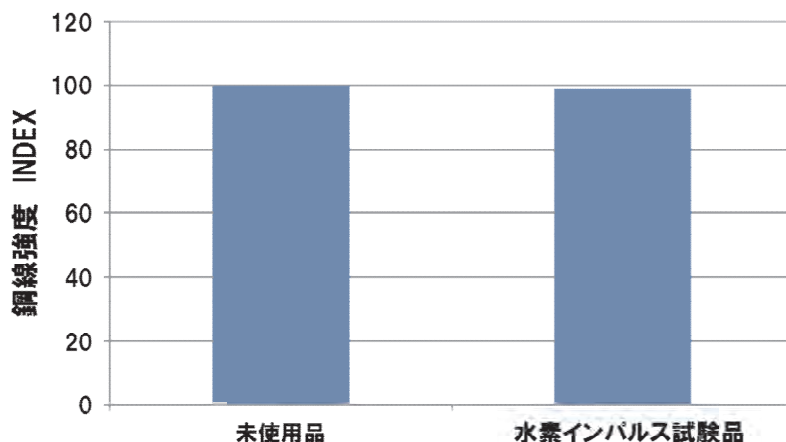


図8 水素インパルス試験前後の鋼線ワイヤー強力比較結果

3.2 成果の意義

87.5MPa、実地 6,600 回相当に対応可能なホース材料の開発を目標に研究を進めてきた。その中で低温水素インパルス試験により故障したホースの故障解析を基に故障のメカニズムを解明するとともに、樹脂材料の水素に対する特性を明らかにすることで材料提案の基盤を構築できた。材料改良および新材料提案に貢献した。その結果、97MPa の低温水素インパルス試験では 6,600 回を超える結果が得られた。今後、水素スレーションにおける耐久性も含め確認作業を継続していくが、これにより FCV の航続距離の延長のための充填圧 87.5MPa 対応水素ステーションに向けた、水素ディスペンサーホース交換頻度の低減による運営コスト低減の目途が立った。

3.3 開発項目別残課題

水素ホース用材料の探索研究

プロジェクト期間中に樹脂の高圧水素中への曝露実験を実施し、原因の抽出を図っていく。

実使用入力の理解と材料評価

水素インパルス試験における水素ディスペンサーホース故障メカニズムに関して理解し、最適樹脂の提案基盤が構築できた。それにより TYPE-B を含め数種の樹脂提案の目途がついたため残課題はなし。

水素ディスペンサーホース健全性評価

プロジェクト終了後、87.5MPa 仕様ステーションで実環境での性能把握を実施し市場適応性を確認していく。

4．まとめ及び課題、実用化までのシナリオ

水素、非水素インパルス試験を実施、樹脂耐久性への水素の影響が存在することを確認した。また、水素インパルス試験にて故障したホースの詳細解析を行うことで、故障メカニズムを明確化した。そこから、水素ディスペンサーホースに適した樹脂を提案するための基盤を構築した。

選定樹脂を使用した水素ホースの性能を水素インパルス試験において確認し、目標圧力にて6,600回以上の耐久性を有することを確認した。

今後、水素ディスペンサーホース実用化に向けて現行圧力の使用環境にて情報を収集していき、環境適応性などを理解していく。

5．研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 29 年 9 月	H29 年度成果報告会	高圧水素機器用ホース等システム部材の研究開発	株式会社ブリヂストン 国立大学法人九州大学

- 特許等 -

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	平成 29 年 2 月 24 日	2017-033914	水素輸送部品	株式会社ブリヂストン

(11-7) 「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 / 多給系フィラメントワインディングによる複合容器の設計高度化に関する研究開発」

委託先：(国) 東京大学、村田機械(株)、帝人(株)

成果サマリ (実施期間：平成27年度～平成29年度)
 ・低コストType4複合圧力容器蓄圧器の開発を目的とし、多給系フィラメントワインディング(FW)技術を開発し、既往の単給系FW製法に対する力学的優位性をメゾスケール有限要素シミュレーションにより明らかにした。
 ・最適設計方法および製造誤差の評価と低減方法を開発し、その成果を具体化した常用圧力45MPa、内容積30Lクラスのタイプ4容器を製造し、強度信頼性を確保しつつ炭素繊維量を大きく低減できることを実証した。

背景/研究内容・目的	
水素ステーションで使用される複合容器蓄圧器のコストダウンには余剰CFRPを減らすことが最も効果的である。CFRPの強度をフルに活用できる新規の製法である多給系FW技術を活用し、炭素繊維使用量を大幅に低減した革新的なタイプ4容器を開発する。	
研究目標	
実施項目	最終目標 (H29年度)
メゾスケールシミュレーションに基づく最適設計手法の開発	最適化アルゴリズムの構築
多給系FW技術の開発	最適設計を実現する多給系FW制御技術の確立
多給系FWにより製造された容器の製造誤差評価技術の開発	製造誤差評価手法と誤差抑制手法の確立
多給系FW製法による最適設計容器の実証	常用圧力45MPa、内容積30Lクラスのタイプ4容器でタイプ3に比した優位性の実証

実施体制及び分担等

NEDO	
東京大学	項目、
村田機械	項目、
帝人	項目、

これまでの実施内容 / 研究成果																
<ul style="list-style-type: none"> ・メゾスケール有限要素シミュレーションにより多給系FWにより製造された容器の力学的優位性を明らかにした。 ・有限要素解析に基づき容器鏡部形状を設計変数とする炭素繊維量低減の最適化アルゴリズムを開発した。 ・内容積30Lクラスのタイプ3容器および30Lクラスのタイプ4容器の試作を通じて製造技術の確立を行った。 ・開発した多給系FW技術をCAMソフト化し製造技術としての完成度を上昇させた。タンクの繊維位置設計からCAMデータを自動生成するツールを開発し、測地線を外す経路設定の多様性を向上させた。 ・光学的手法による表面形状の計測結果から、容器表面の繊維束配向方向とCFRP層厚さを算出可能にした。測地線経路を基準とした繊維配向角の数式表現を行い製造誤差の定量的表現を可能にした。 ・常用圧力45MPa、内容積30Lクラスのタイプ4容器について、最適設計によりタイプ3容器に比して十分な軽量化(35%の炭素繊維の削減)を実現した多給系フィラメントワインディング製容器を製造した。破裂試験の結果、常用圧力の2.25倍以上の破裂圧力であることを確認した。 																
<p>今後の課題</p> <ul style="list-style-type: none"> ・10万回以上の0-45MPa圧力サイクルテストに耐えることの実証。 	<p style="text-align: center;">研究成果まとめ</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">実施項目</th> <th style="width: 50%;">成果内容</th> <th style="width: 25%;">自己評価</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>有限要素シミュレーション手法および鏡部形状最適化手法の確立</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>多給系FW制御技術の確立と制御技術のCAMソフトウェア化</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>繊維配向方向計測技術の開発と炭素繊維束寸法誤差の影響評価法開発</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>炭素繊維量を十分に低減した設計で常用圧力の2.25倍の破裂圧力達成</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	実施項目	成果内容	自己評価		有限要素シミュレーション手法および鏡部形状最適化手法の確立			多給系FW制御技術の確立と制御技術のCAMソフトウェア化			繊維配向方向計測技術の開発と炭素繊維束寸法誤差の影響評価法開発			炭素繊維量を十分に低減した設計で常用圧力の2.25倍の破裂圧力達成	
実施項目	成果内容	自己評価														
	有限要素シミュレーション手法および鏡部形状最適化手法の確立															
	多給系FW制御技術の確立と制御技術のCAMソフトウェア化															
	繊維配向方向計測技術の開発と炭素繊維束寸法誤差の影響評価法開発															
	炭素繊維量を十分に低減した設計で常用圧力の2.25倍の破裂圧力達成															
<p>実用化の見通し</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本事業で開発した技術を高効率化することに加えて、最適な炭素繊維、樹脂、ライナーの選択を行うことで、多層・厚肉となる実蓄圧器(設計圧力100MPa、300L規模)へ展開可能と思われる。 	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">特許出願</th> <th style="width: 25%;">論文発表</th> <th style="width: 25%;">外部発表</th> <th style="width: 25%;">受賞等</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	特許出願	論文発表	外部発表	受賞等	0	0	0	0							
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等													
0	0	0	0													

課題番号：11-7

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 /

多給系フィラメントワインディングによる複合容器の設計高度化に関する研究開発

国立大学法人東京大学

村田機械株式会社

帝人株式会社

1. 研究開発概要

「エネルギー基本計画」(2010年閣議決定)では、エネルギー源のベストミックスの確保のため、2015年からの燃料電池自動車(FCV)の普及開始に向け、日米欧、関連地域、民間企業等と協力・連携し、供給インフラを含めた実証的取組を強化するとしている。また、「Cool Earth - エネルギー革新技术計画」(2008年経済産業省策定)では、FCV及び水素製造・輸送・貯蔵技術を2050年に世界のCO₂排出量を半減する上での重要技術と位置づけている。

また、2010年7月には燃料電池実用化推進協議会によって、産業界の総意として、2015年にFCVの一般ユーザーへの普及開始に向けたシナリオが提案された。さらに、2011年1月には自動車メーカー及び水素供給事業者13社が共同声明を発表し、自動車メーカーがFCV量産車を2015年に4大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始を目指し、開発を進めていることや、水素供給事業者が2015年までにFCV量産車の販売台数の見通しに応じて100箇所程度の水素供給インフラの先行整備を目指すこと等が示された。

欧米においても、国家レベルで基礎研究から技術開発、実証研究の取り組みが行われ、さらに、我が国同様に2015年以降からのFCV及び水素供給インフラの一般普及を目指している等我が国の国際競争力強化の観点から引き続き戦略的・重点的な取り組みが不可欠である。

このような環境の下、2020年以降の燃料電池自動車(FCV)及び水素供給インフラの本格普及に向け、FCV及び水素ステーション用低コスト機器・部品等の研究開発を行い、一連の機器及びシステムのコスト低減、FCVの普及展開及び国際競争力確保に資するため、研究開発を実施する。

現状では蓄圧器市場の大部分を占めている、アルミ合金ライナーに炭素繊維強化プラスチック(CFRP)をフルラップしたタイプ3容器においては、アルミ合金ライナーの疲労強度を確保するため、CFRPをライナーの分担する荷重を低減させる補助的役割でしか使用しておらず、結果としてCFRPを余剰に巻いて、CFRP自体としては破断強度の数分の1の低負荷で使用せざるを得ない状況となっている。素材のコストを勘案すれば、蓄圧器のコストダウンには余剰CFRPを減らすことが最も効果的である。CFRPの強度をフルに活用することでその使用量を低減でき、低コスト化が可能であると考えられる。その効果が顕著に現れるのが、炭素繊維強度により支配される容器の破裂強度の確保が設計要件となるタイプ4容器である。炭素繊維の強度をフルに活用するためには、炭素繊維への負荷の偏りをできるだけ小さくすることが有効である。本研究開発では、炭素繊維への負荷の偏りを小さくすることが可能な多給系フィラメントワインディング製造技術を活用し、炭素繊維使用量を大幅に低減した革新的なタ

タイプ4容器の開発を実施する。その最適設計の探索にあたっては、「京」に代表される超並列計算技術が必須である。最適設計を実施するための容器モデル化においては、炭素繊維束と樹脂を明確に区分するメソスケールモデルを基軸とし、実験的手法の限界を大規模シミュレーションにより打開する。この方法論に基づけば、炭素繊維束の交差による応力集中を的確に評価できるので、ワインディング経路や繊維束寸法および繊維束剛性などのメソスケールパラメータが容器破裂強度を律則する程度を定量的に評価でき、多給系フィラメントワインディングの効果を定量的に示すことが可能になり、ひいてはそれらを設計変数とした高度な最適設計が可能となる。本研究開発では、その最適設計の実現可能性を検証し、超軽量タイプ4蓄圧器を具現化するために、東京大学、村田機械株式会社、帝人株式会社の3者により以下の研究開発を実施する。

(1) メソスケールシミュレーションに基づく最適設計手法の開発(東京大学)

メソスケールモデル作成技術の開発し、強度予測技術を確立したうえでメソスケールパラメータを設計変数とする最適化アルゴリズムを構築する。

(2) 多給系フィラメントワインディング技術の開発(村田機械株式会社、帝人株式会社)

最適設計を実現するワインディング技術の開発と機械への実装を行い、容器破裂強度を低下させないための製造誤差に関する制約を満足させる多給系フィラメントワインディング制御技術まで開発する。

(3) 多給系フィラメントワインディングにより製造された容器の製造誤差評価技術の開発(帝人株式会社)

単給系フィラメントワインディングにより製造された容器と多給系フィラメントワインディングにより製造された容器の破裂試験を通じて、製造誤差評価手法と誤差抑制手法を開発する。

(4) 多給系フィラメントワインディング製法による最適設計容器の実証(東京大学、村田機械株式会社、帝人株式会社)

常用圧力45MPa、内容積30Lクラスのタイプ4容器の最適設計と製作を実施し、既往の単給系フィラメントワインディング製法によるタイプ3容器に比して十分な軽量化(35%の炭素繊維の削減)が可能であることを実証する。

2. 研究開発目標

水素脆化の懸念がなく100MPa級の超高压に耐え得る蓄圧器として、現状ではアルミ合金ライナーに炭素繊維強化プラスチック(CFRP)をフルラップしたタイプ3容器が市場の大部分を占めている。タイプ3容器の信頼性を律則しているのがアルミ合金ライナーの疲労強度である。CFRPはライナーの外側で剛性を補強しライナーの分担する荷重を低減する補助的役割を担っているだけである。極厚肉となる超高压蓄圧器においては、CFRPの補強効果が薄まり、結果としてCFRPを余剰に巻いて、CFRP自体としては破断強度の数分の1の低負荷で使用せざるを得ない状況となっている。素材のコストを勘案すれば、蓄圧器のコストダウンには余剰CFRPを減らすことが最も効果的であろうと考えられる。

CFRPの強度をフルに活用し使用量を低減し、ひいては低コスト化につなげるためには、その強度が容器全体の強度を律則するタイプ4容器が有望である。容器の破裂強度は炭素繊維の強度が支配し、圧力サイクルに対する長期信頼性は樹脂の耐久性が支配する。これまでは、

これら素材の強度と、容器の破裂強度や圧力サイクル強度との相関を定量的に示すことができなかった。容器を構成する炭素繊維と樹脂に生じる局所的応力を測定することができなかったためである。実験的手法のみでは限界があるが、「京」に代表される超並列計算機を活用することで、炭素繊維束と樹脂を明確に区分するメソスケールモデルを基軸とする解析が可能になった。メソスケール解析では、炭素繊維と樹脂を明確に区分するため、それぞれに働く局所的応力、すなわち負荷の偏りを精度よく評価することが可能である（図1）。すなわち、メソスケールモデルに基づく方法論に基づけば、炭素繊維束の交差による応力集中を的確に評価できるので、ワインディング経路や繊維束寸法および繊維束剛性などのメソスケールパラメータが容器の破裂強度や圧力サイクル強度を律則する程度を定量的に評価でき、それらを設計変数とした最適設計が可能となった。

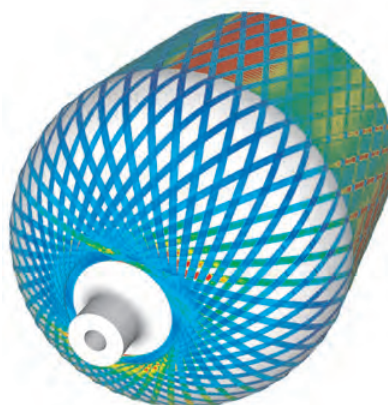


図1 圧力容器のメソスケールシミュレーションにより明らかとなった
ドーム部繊維束交差部に発生する局所的応力集中

シミュレーション技術の進展に加えて、多給系により多様なワインディング経路を設定できるワインディングマシンの開発も進められている。従来の単給系フィラメントワインディング技術では強化繊維の巻き付け方法の工夫の余地がほとんどなく、また炭素繊維の交差を避けることができない。多給系フィラメントワインディング技術では同時に多数の強化繊維束を巻き付け加工することで強化繊維の交差や屈曲を低減すること、ライナーの鏡部や屈曲部の測地線を外すことが可能である。この方法を執ることで局所応力の上昇を抑え、効果的な繊維補強効果を発現し、複合容器への繊維使用量の低減が出来る可能性がある。

以上の、メゾメカニクスを基軸とする最適設計の実現可能性が高まっている状況を鑑み、本研究開発では、その最適設計の実現可能性を検証し、超軽量タイプ4蓄圧器を具現化するために、以下の研究開発目標を実施する。

(1) 「メソスケールシミュレーションに基づく最適設計手法の開発」(担当：東京大学)

1) メソスケールモデル作成技術の開発

過去のプロジェクトにて開発済みの、単給系によるヘリカル巻きおよびフープ巻きの経路を忠実にたどり、炭素繊維束と樹脂を明確に区分した三次元有限要素モデルを作成するソフトウェアであるFrontCOMP_FWを、多給系フィラメントワインディング技術に対応可能なように改良し、有限要素シミュレーションによる効果検証を可能にする。

2) 強度予測技術の開発

多給系フィラメントワインディング技術により試作された小型容器の破裂試験およびサイクル試験結果と、有限要素シミュレーション結果と照合することにより、破裂強度クライテリアは繊維ひずみにより、サイクル強度クライテリアは繊維間樹脂の応力により与えられることを検証する。この検証を通じて、改良されたFrontCOMP_FWと、こちらも過去のプロジェクトにて開発済みの強度評価シミュレーションソフトウェアFrontCOMP_damageを連動させたシステムを構築し、多給系フィラメントワインディング手法による容器設計向けの強度評価デファクトツールとする。

3) メゾスケールパラメータを設計変数とする最適化アルゴリズムの開発

多給系フィラメントワインディング技術を利用した最適設計を探索するアルゴリズムを開発する。設計パラメータは、繊維束の寸法、多給系での繊維束種の組み合わせ方法、フィラメントワインディングの経路、鏡部の形等とする。

(2) 「多給系フィラメントワインディング技術の開発」(担当: 村田機械, 帝人)

1) 多給系フィラメントワインディング装置の技術課題の抽出

実蓄圧器を想定して、外径200 mmクラスの容器について、1ストロークで全体をカバーする多給系ヘリカル巻き技術の要件を明らかにする。有限要素シミュレーションにより探索された最適設計は離散的な点の集まり(デジタルデータ)として与えられるので、最適設計を実現するための最適な機械の制御パラメータの設定方法およびデジタルデータから制御パラメータへの変換方法を開発する。

2) 最適設計を実現するワインディング技術の開発

メゾスケールシミュレーションにより探索された最適設計で設計変数としている繊維束の寸法、多給系での繊維束種の組み合わせ方法、フィラメントワインディングの経路、鏡部の形等に対応できるワインディング技術の要件を明らかにする。ワインディングの進行により発生する滑りや繊維束の断面形状の変化および逐次変化する表面形状に対応する制御技術の要件を示す。

3) 製造誤差低減技術の開発

製造誤差に関する制約を満足させる多給系フィラメントワインディング制御技術を開発する。

(3) 「多給系フィラメントワインディングにより製造された容器の製造誤差評価技術の開発」(担当: 帝人)

1) タイプ3 小型試験体容器の破裂試験を通じた製造誤差要因の調査

単給系フィラメントワインディングおよび多給系フィラメントワインディングにより製造された内容積10Lクラスのタイプ3 小型試験体容器の破裂試験により、メゾスケールモデルの観点からの誤差要因を明らかにする。

2) タイプ3 試作容器を用いた製造誤差評価手法の開発

多給系フィラメントワインディング技術により試作された、常用圧力45MPa、内容積30Lクラスのタイプ3 容器の破裂試験・サイクル試験を実施し、製造誤差の要因を明らかにし、製造誤差と容器強度の相関を記述するための誤差モデル化技術を開発する。

3) タイプ4 最適設計容器を用いた製造誤差評価手法の検証

有限要素シミュレーションにより探索された最適設計に基づき作製された常用圧力45MPa、内内容積30Lクラスのタイプ4容器の破裂試験・サイクル試験を実施し、開発した製造誤差手法を検証する。製造誤差と破裂強度およびサイクル寿命の相関から、強度を保証するための製造管理方法を開発する。

(4) 「多給糸フィラメントワインディング製法による最適設計容器の実証」(担当：東京大学，村田機械，帝人)

1) 多給糸フィラメントワインディング製造装置の製作

製造装置の基本設計を検討し多給糸フィラメントワインディング装置を作製する。

2) タイプ3容器の試作

最適設計手法と製造誤差評価手法の検証のため、常用圧力45MPa、内容積30Lクラスのタイプ3容器を試作し、多給糸フィラメントワインディング装置の性能を確認する。

3) タイプ4最適設計容器の製作

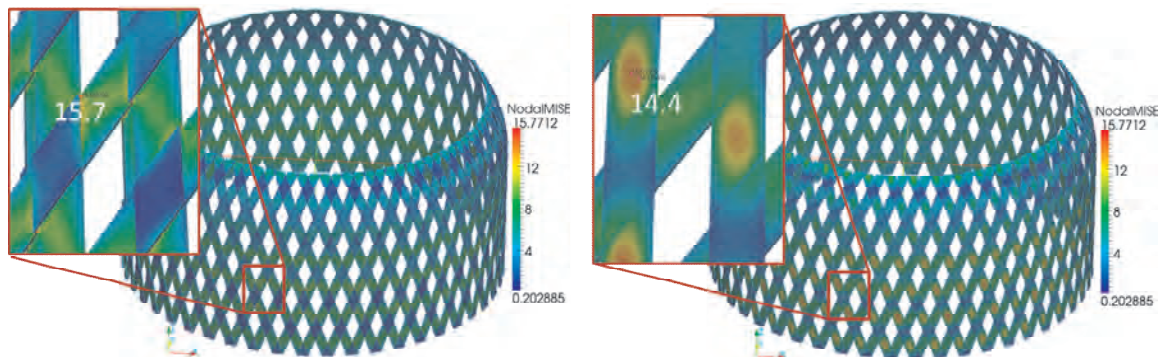
開発した最適設計手法および誤差管理手法により設計された常用圧力45MPa、内容積30Lクラスのタイプ4容器を試作し多給糸フィラメントワインディング製造技術を確立するとともに、10万回以上の0-45MPa圧力サイクルテストに耐える長期信頼性を確保し、かつ既往の単給糸フィラメントワインディング製法による容器に比して十分な軽量化(炭素繊維の削減)が可能であることを実証する。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果および達成度

(1) 「メソスケールシミュレーションに基づく最適設計手法の開発」(担当：東京大学)

FrontCOMP_FWを多給糸フィラメントワインディング技術に対応可能なように改良し、FrontCOMP_FW_multiを作成した。メソスケール有限要素シミュレーションの結果、多給糸フィラメントワインディングでは交差部での屈曲が抑制され応力集中が解消することを明らかにした(図2)。



(a) 単給糸フィラメントワインディング (b) 多給糸フィラメントワインディング

図2 繊維束に発生する局所的応力上昇の評価結果

実容器のシミュレーションを行い最適設計を可能とするためには、計算負荷の低い軸対称直交異方性連続体モデル化による解析が現実的である。本年は多給系フィラメントワインディングに対応可能な FrontCOMP_tank_MFW を開発し有限要素シミュレーションを実行可能にした。



図3 軸対称有限要素モデルの作成

FrontCOMP_tank_MFW と FrontCOMP_tank_MFW を連携させて、ズーム解析により高精度で破裂圧力を予測する手法を開発した。すなわち、容器全体については軸対称モデルで CFRP を直交異方性線形弾性体として解析を行い、高ひずみ部分のみに対してメゾスケールモデルを用いて高精度で繊維方向ひずみを解析することを可能にした。

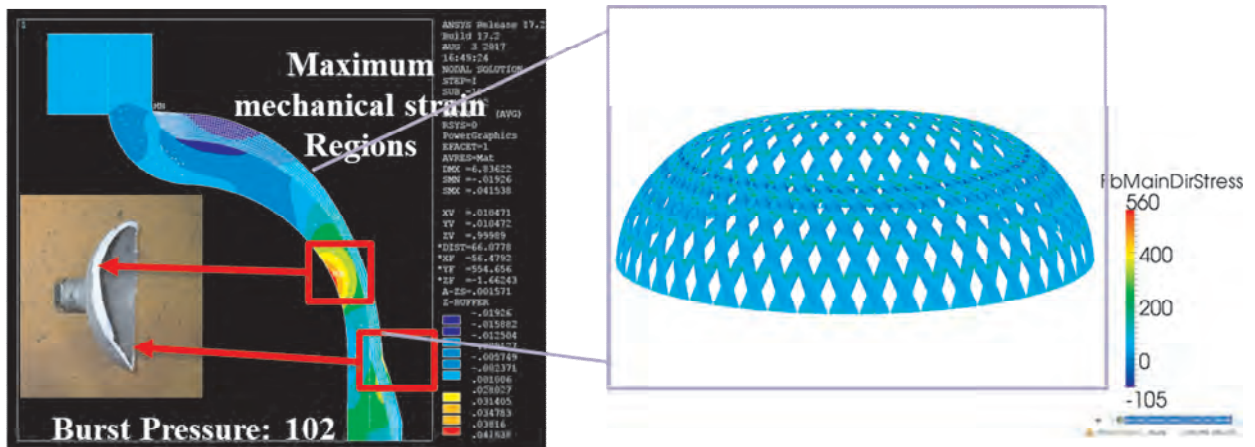


図4 有限要素法によるズーム解析

有限要素シミュレーションによる鏡部形状最適化アルゴリズムを開発するため、鏡部形状の表現方法を検討し、下記の関数系でパラメータ表記することとした。この表記に基づき行う鏡部形状最適化のアルゴリズムを開発した。

$$\begin{aligned}
 x(\varphi) &= f(\varphi)\{(x_c - x_e)\cos\varphi\} + x_e \\
 y(\varphi) &= f(\varphi)\{y_e\sin\varphi\} \\
 f(\varphi) &= 1 - c_0 \sin^{c_1}\varphi \cos^{c_2}\varphi
 \end{aligned}$$

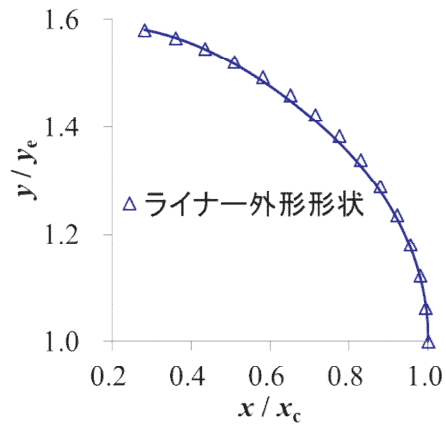


図5 形状最適化のための鏡部ライナー外面の関数表記

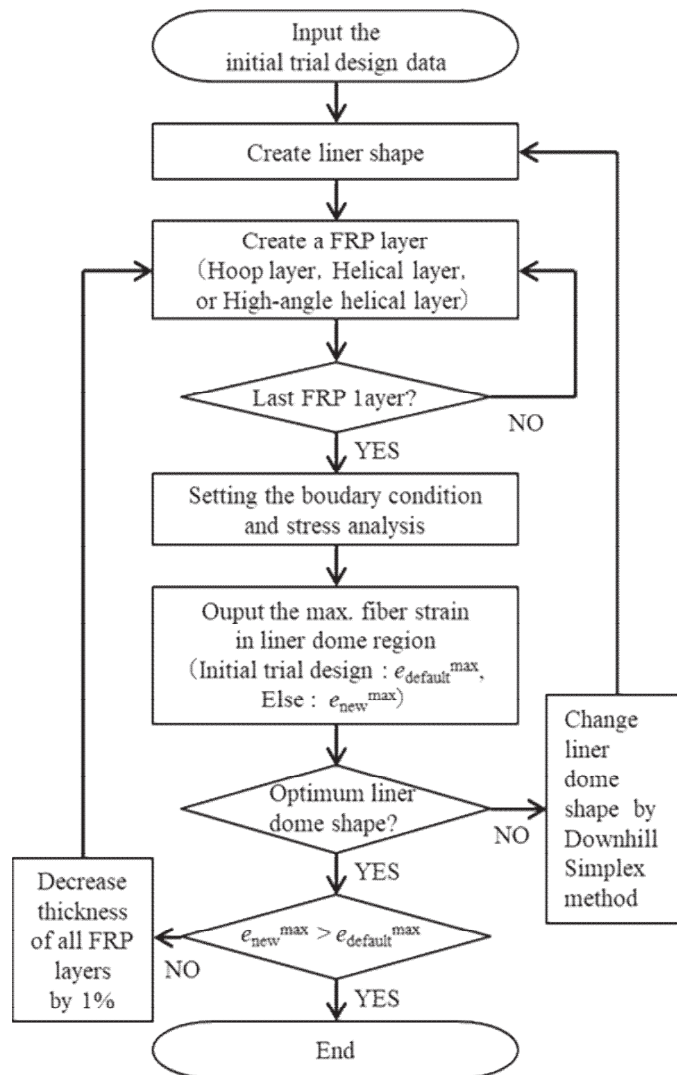


図6 形状最適化アルゴリズム

(2)「多給糸フィラメントワインディング技術の開発」(担当：村田機械，帝人)

最適設計を実現するワインディング技術を開発するため、フープ層とヘリカル層で構成した内容積 5L クラスの容器のタイプ 3 小型タンク試験体を多給糸フィラメントワインディングにより作製した。比較のため、単給糸フィラメントワインディングにより同様の巻き構成のタンクも作製し、破裂試験を行い、巻き方法の違いによる破裂圧力および破壊形態への影響を検討した。巻き方法の違いはヘリカル巻きにおいて存在するため、ヘリカル巻層のみで構成される鏡部で破壊するようなタンクを設計した。タンクへの巻き条件として、胴部の巻き角度を 21 度とした。巻き構成は内層側からフープ巻き 3 層、ヘリカル巻き 2 層とフープ巻き 3 層、ヘリカル巻き 3 層の 2 種類のタンクを作製した。表 1 に各試験体のタンク外観写真、破裂圧力および破壊形態を示す。その結果、多給糸フィラメントワインディングは単給糸フィラメントワインディングよりも高い破裂圧力を示した。その要因を以下に説明する。単給糸フィラメントワインディングでは胴部巻角度に対応して折り返し位置(及び折り返し径)が一義的に決まる。そのため、巻角度を優先した場合は、ヘリカル巻きの鏡部での折り返し位置を変更できない。その結果として、鏡部頂点付近においてヘリカル糸が多く集まり、巻き形状は尖がった形状となり、炭素繊維の補強硬化を低減してしまった。それに対して、多給糸ワインディングは胴部巻角度が一定であっても、ヘリカル巻きの鏡部での折り返し位置を変更できる。それにより、ライナーに沿った巻き形状となり、ヘリカル巻きの補強硬化が有効に発現したと考えられる。破壊様相からもヘリカル巻きの補強硬化の違いが分かる。多給糸ワインディングのタンクがヘリカル糸の破断により生じている。これに対し、単給糸ワインディングのタンクはヘリカル糸の破断は見られず、ライナーのき裂による圧力低下を示した。これはヘリカル巻きのライナーの変形を効率的に抑制できていないことを意味している。このことは、単給糸ワインディングでヘリカル層を増しても破裂圧の向上が見られなかったことから明確である。


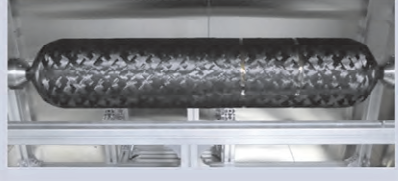
表 1 単給糸および多給糸ワインディングタンクの破裂試験結果

巻種	単給糸		多給糸	
胴部巻角度[deg.]	±21	±21	±21	±21
巻き構成 (内フープ/外ヘリカル層)	3層 / 2層	3層 / 3層	3層 / 2層	3層 / 3層
破裂圧力[MPa]	62.3	63.6	78.3	94.2
破壊前 鏡部形状 <small>↑は破壊箇所を示す</small>	折り返し位置一定で、尖がった形状となった。 	折り返し位置一定で、尖がった形状となった。 	折り返し位置の変更により、ライナーに沿った形状にした。 	折り返し位置の変更により、ライナーに沿った形状にした。 
破壊形態	エンド側鏡部中央でのライナー亀裂。繊維破断なし。	エンド側鏡部中央でのライナー亀裂。繊維破断なし。	バルブ側鏡部でのヘリカル糸破断による破裂。	胴部(肩部近く)でのヘリカル糸破断による破裂。

開発した多給糸フィラメントワインディング技術の内容積 30L クラスのタイプ 3 およびタイプ 4 タンクの製作に適用した。ヘリカル層ワインディング制御方法を開発し、胴部配向角と折返径を独立に設定して胴部の配向角により一意に定まってしまう測地線経路から外

れたワインディング経路を設定可能にした。作製装置の制御パラメータにより、ワインディングの進行により発生する巻き糸の滑り、および逐次変化する表面形状を考慮して、ヘリカル巻き折返し径が制御されている。

表2 多給糸フィラメントワインディングによる容器の試作

	タイプ3	タイプ4
ライナー内容積	30.8L	34L
ヘリカル層層数	2層／4層／8層	4層／8層
胴部配向角	21°	21°
折返径制御	内層より小→大への制御方法確立	小→大への適用性確認
試作容器		

開発した多給糸フィラメントワインディング技術を CAM ソフト化し製造技術としての完成度を上昇させた。タンクの繊維位置設計から CAM データを自動生成するツールを開発し、測地線を外す経路設定の多様性を向上させた。

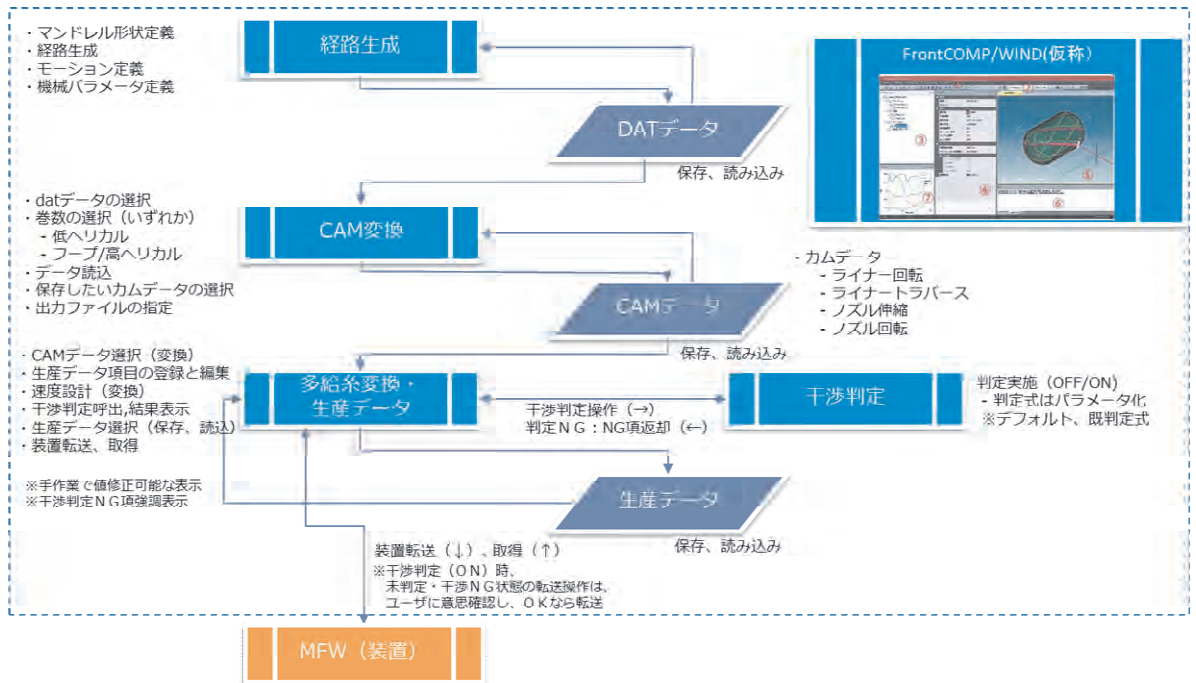


図7 CAMソフトによるデータ生成の流れ

(3) 「多給糸フィラメントワインディングにより製造された容器の製造誤差評価技術の開発」(担当：帝人株式会社)

光学的手法による表面形状の計測結果から、容器表面の繊維束配向方向と CFRP 層厚さを算出可能にした。測地線経路を基準とした繊維配向角の数式表現を試み、折り返し径 r_b と胴部での繊維配向角 θ_c の設定に対し測地線をたどるとした時の胴部繊維配向角 θ_{gc} との差により繊維配向角 θ を中心軸からの距離 r により表現できることを見出した。

$$\theta = \arcsin(r_b/r) + \frac{r - r_b}{r_c - r_b}(\theta_c - \theta_{gc})$$



図8 可視光による表面形状の計測

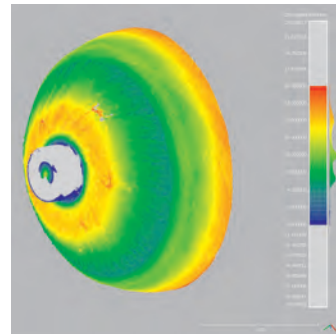
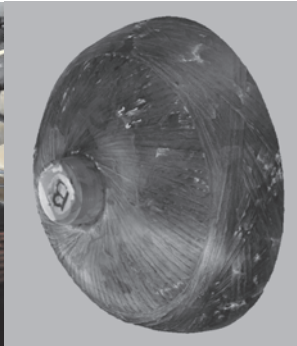
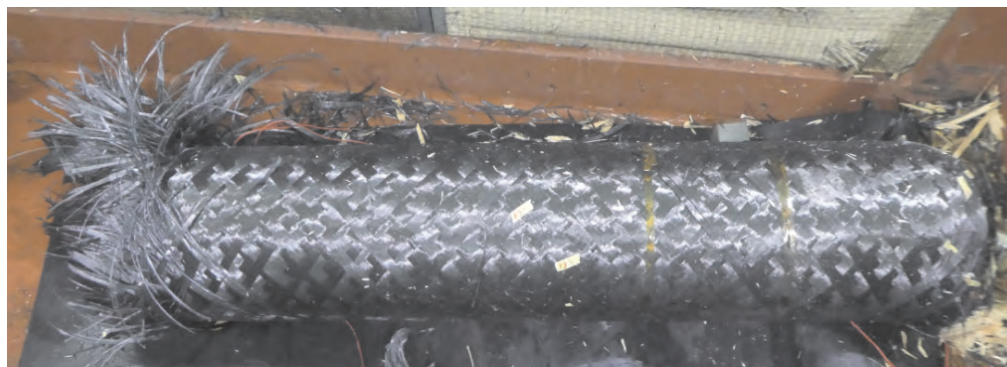


図9 画像処理による繊維方向の特定

(4) 「多給糸フィラメントワインディング製法による最適設計容器の実証」(担当：東京大学、村田機械株式会社、帝人株式会社)



(a) 破裂前



(b) 破裂後

図10 タイプ4 試作容器の破裂試験

開発した最適設計手法および誤差管理手法により設計された常用圧力 45MPa、内容積 34L のタイプ 4 容器を試作し多給糸フィラメントワインディング製造技術を確立するとともに、常用の圧力 (45MPa) の 2.25 倍の破裂圧力を確保し、かつ既往の単給糸フィラメントワインディング製法によるタイプ 3 容器に比して十分な軽量化 (35%の炭素繊維の削減) が可能であることを実証できた。

3.2 成果の意義

多給糸フィラメントワインディング法が容器の製造技術として成立することを実証できたので、開発した手法をさらに高度化し、蓄圧器容器製造時間の短縮および炭素繊維量低減による容器製造の低コスト化に貢献する。また、超大規模並列計算を活用して、有限要素シミュレーションにより設計を検討できる目途が立ったことにより、これまで設計確認試験に頼ってきた容器安全線確保の方法論を大きく転換できる可能性がある。さらに、製造誤差を勘案した有限要素シミュレーションを実施することも可能となり、誤差管理まで含めた合理的な設計と製造の方法論を構築できるものと期待される。

3.3 開発項目別残課題

開発項目 (4) 多給糸フィラメントワインディング製法による最適設計容器の実証に関して、開発した容器のサイクル試験 (圧力範囲 0 - 45 MPa) による長期信頼性の (10 万サイクルで洩れなし) の検証を実施中であり、事業期間終了までには達成する見込みである。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本プロジェクトにより、45MPa、30L 規模の容器における多給系 F W法の技術的な優位性を確認できたが、多層・厚肉となる実蓄圧器（設計圧力 100MPa、300L 規模）への適用に向けて、本プロジェクトで完了した開発項目に関連して下記の課題解決と検証が必要となる。

(1) メゾスケールシミュレーションに基づく最適設計手法の開発

- ・軸対称有限要素シミュレーションと三次元メゾメゾスケール有限要素シミュレーションの組合せによるズームシミュレーション手法をさらに高度化し、多層・厚肉となる実蓄圧器の強度予測の高精度化
- ・多給系 F W経路データ生成 CAMM ソフトウェアとの連携による効率化

(2) 多給系フィラメントワインディング技術の開発

- ・多層・厚肉構造となる実蓄圧器に対する多給系 F W の製造効率に関する優位性の検証
- ・ドーム形状調整によるヘリカル層数減少（CF 低減）効果検証

(3) 多給系フィラメントワインディングにより製造された容器の製造誤差評価技術の開発

- ・フィラメントワインディング経路誤差、炭素繊維束寸法誤差の統計量の取得と容器性能に与える影響評価

(4) 多給系フィラメントワインディング製法による最適設計容器の実証

- ・ハイアングルヘリカル層の増加に伴う測地線はずし効果の検証
- ・容器設計最適化（層構成）

以上に加えて、最適な炭素繊維、樹脂、ライナーの選択も課題である。

上記の実用容器製造可能性、実用性を確認後、多給系 F W法タイプ 4 容器の既存容器（単給系フィラメントワインディングによるタイプ 3 容器）に対する経済的優位性および KHK TD5202 基準への適合性を検証しながら、実蓄圧器開発へ展開していく。

5. 研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

なし。

- 特許等 -

なし。

(11-8)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 / オンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の開発」

助成先：大日機械工業(株)

成果サリ(実施期間：平成26年度～平成28年度)
 ・複合型改質器を搭載したオンサイト水素ステーション用水素製造装置を製作し、運転評価を行い目標性能を達成する事ができた。
 ・水素製造装置のコストについて、5,000万円(100Nm³/h)、9,000万円(300Nm³/h)を達成できる目途を付けた。

背景/研究内容・目的
 【背景】オンサイト型水素ステーションでは、FCVを普及させるために水素製造装置のコストを5,000万円以下にする為の開発が進められているが、従来のシステムでは装置を構成する機器類の点数の多さからコスト目標を達成するためには更なる技術開発が必要である。
 【研究内容・目的】本開発では(水蒸気改質部)(CO転化部)(蒸気発生部)を高度に集積一体化した複合型改質器を水素製造装置に搭載することで、装置を構成する機器点数を大幅に削減(現状システムの二分の一)した低コストでコンパクトな水素製造装置を開発して、FCVの早期普及に貢献する事を目的とした。水素製造装置の目標コスト：5,000万円以下を達成する。(100Nm³/h)

研究目標

実施項目	目標
A：複合型改質器の詳細設計・製作	複合型改質器の基本設計をもとに改質反応管の構造解析、流体解析、反応解析を実施して複合型改質器の詳細設計および製作
B：複合型改質器を搭載した水素製造装置の詳細設計・製作	水素製造装置の構成機器点数：現状装置の1/2(10点以下)の100Nm ³ /h級水素製造装置の製作
C：水素製造装置の運転評価	水素製造能力：100Nm ³ /h 製品水素純度：ISO14687-2 FCV用水素燃料規格(2012, Grade D)準拠 起動時間：従来品と同等
D：事業終了後のコスト目標	水素製造装置のコスト 100Nm ³ /h級：5,000万円 300Nm ³ /h級：9,000万円

実施体制及び分担等

NEDO	大日機械工業株式会社 (実施項目：A～D)
------	--------------------------

これまでの実施内容 / 研究成果

A 複合型改質器の詳細設計・製作
 ・解析および耐久性を考慮した触媒量の検討を行い複合型改質器の詳細設計・製作を実施した。

B 複合型改質器を搭載した水素製造装置の詳細設計・製作
 ・複合型改質器を搭載した装置のシステムフロー作成、システム全体のヒートバランス・マスバランスの検討を行い、詳細設計を実施して装置を構成する機器点数を従来装置の1/2とした水素製造装置を製作した。

C 水素製造装置の運転評価
 ・改質ガス中の水素濃度：77%以上(GC分析値)、燃料転化率：90%以上、製品水素量：100Nm³/h以上、製品水素純度：99.99%以上、改質効率：82%以上、改質器水素製造効率：80%以上を達成し、起動時間も従来品と同等以上の性能を満足した。

D 事業終了後のコスト目標
 ・実証試験の結果から改質器の寸法、PSA、その他構成機器の見直しを行い、目標コスト5,000万円(100Nm³/h)を達成できる見通しを付けた。300Nm³/h級水素製造装置は1台目から目標値の9,000万円を達成できる見通しを付けることができた。

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A	複合型改質器の詳細設計を行い複合型改質器を完成させた	
B	装置の構成機器点数を10点以下の100Nm ³ /h級水素製造装置を完成させた	
C	水素製造能力：100Nm ³ /h、製品水素純度：ISO14687-2 FCV用水素燃料規格(2012, Grade D)準拠 起動時間：従来品と同等で有ることを達成した	
D	100Nm ³ /h級水素製造装置：5,000万円 300Nm ³ /h級水素製造装置：9,000万円 の目処を付けた	

今後の課題
 ・製品として販売する場合には約1年間のフィールドテストを実施して、装置の信頼性を確認した上で市場に提供する必要がある。

事業化の見通し
 ・FCV及び水素ステーションの普及時期が来るまでは、製品化のためのフィールドテストを実施するとともに本研究開発で開発した成果を産業用水素製造装置に展開して、事業化を進める予定である。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	0	6	0

課題番号： -8

水素利用技術研究開発事業/燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発/

オンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の開発

大日機械工業株式会社

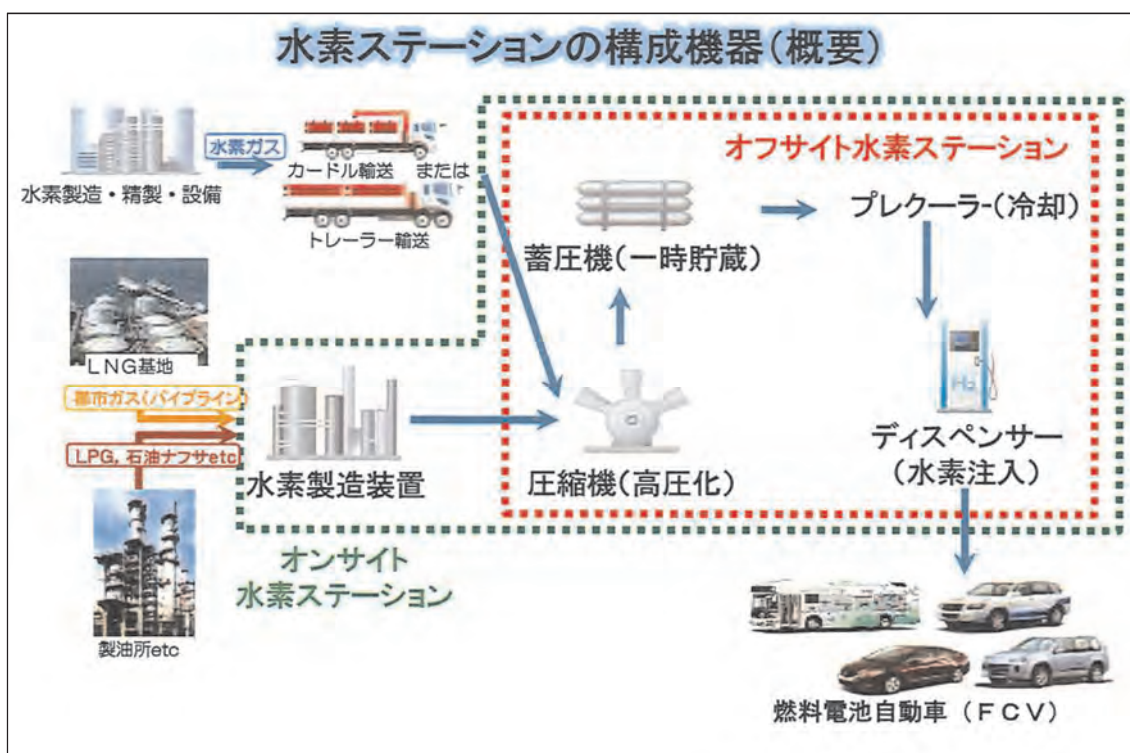
1. 研究開発概要

1.1 事業の背景

水素ステーションにはオフサイト型水素ステーションとオンサイト型水素ステーションがあり、オフサイト型水素ステーションの水素は工場等で作られた水素をカードルやトレーラーでステーションまで輸送しFCVに供給する。一方オンサイト型水素ステーションの水素はステーションに設置した水素製造装置で直接水素を製造してFCVに供給する。オフサイト型水素ステーションでは、ステーションに水素製造装置を必要としないためにステーションの建設コストをオンサイト型に比較して抑えることができるが、水素の輸送コストが水素の単価に上乘せされる。(図1 水素ステーションの構成機器(概要)参照)

水素を輸送することなくステーション内で水素を製造できるオンサイト型水素ステーションでは水素製造装置のコストを50百万円以下にする事を目標に開発が進められている。しかし従来からのシステムでコストダウンすることは水素製造装置を構成する機器類の点数が多いことが課題であり、コスト目標を達成することが困難となっている。

図1 水素ステーションの構成機器(概要)



【出典】平成26年3月4日「燃料電池自動車について」資源エネルギー庁 燃料電池推進室

1.2 研究開発の目的

本研究開発では(水蒸気改質部)(CO 転化部)(蒸気発生部)を高度に集積一体化した複合型改質器を水素製造装置に搭載することで、機器類を大幅に削減(現状システムの二分の一)した低価格でコンパクトなオンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置を開発することを目的にした。

2. 研究開発目標

2.1 本研究開発の目標

本研究開発の目標を表 1 に示す。

表 1 開発目標

項目	最終目標
水素ステーション用複合型改質器の詳細設計および製作	基本設計及び改質反応管の詳細設計をもとに構造解析、流体解析、反応解析を実施して複合型改質器の詳細設計および製作を行う。
複合型改質器を搭載した水素製造装置の詳細設計および製作	実証試験用として実用機(300Nm ³ /h)の1/3である100Nm ³ /h級水素製造装置の製作。 水素製造装置の構成機器点数：現状装置の1/2(10点以下)
水素製造装置の運転評価	水素製造能力：100Nm ³ /h 製品水素純度：ISO14687-2FCV用水素燃料規格(2012 Grade D)準拠。 起動時間：従来品と同等。
事業終了後のコスト目標	100Nm ³ /h級水素製造装置：5,000万円 300Nm ³ /h級水素製造装置：9,000万円

2.2 研究開発の開発項目

本研究開発に於ける開発項目を以下に記す。

(1)複合型改質器の設計

- ・水蒸気改質部、CO 転化部、蒸気発生部を一体化した複合型改質器の設計を行う。
- ・解析シミュレーションを用いて流れや触媒の耐久性に問題のないことを確認する。

(2)水素製造装置の設計

- ・水素製造装置構成機器点数：現状装置の1/2(10点以下)

(3)複合型改質器および水素製造装置の製作(実証試験用)

- ・上記設計により複合型改質器の製作及び水素製造装置の製作
- ・実証試験装置は実用機(300Nm³/h)の1/3である100Nm³/h級水素製造装置の製作

(4)水素製造装置の実証試験・評価

- ・水素製造能力：100Nm³/h
- ・製品水素純度：ISO14687-2 FCV用水素燃料規格(2012、Grade D)準拠
- ・起動時間：従来機と同等

(5)複合型改質器の運転評価

- ・起動・停止、ターンダウン、水素製造能力、燃料転化率、改質効率の評価

(6)コスト評価

・100Nm³ /h (5000 万円) 300Nm³ /h (9000 万円 (設計コスト)) を達成する。

3. 研究開発成果

3.1 本研究開発に於ける成果 (抜粋)

本研究開発に於ける成果を表 2 に纏める。

表 2 本研究開発に於ける成果

番号	開発項目	成果	達成度
1	複合型改質器の設計	水蒸気改質部、CO 転化部、蒸気発生部を一体化した複合型改質器の設計を完了した。	○
2	水素製造装置の設計	複合型改質器を用いた水素製造装置の設計を完了した。水素製造装置を構成する機器の点数は現状装置の 1/2 である 10 基で構成した。	○
3	複合型改質器および水素製造装置の製作	複合型改質を用いた実証試験用水素製造装置 (100Nm ³ /h) の製作を完了した。	○
4	水素製造装置の実証試験・評価	水素製造装置の実証試験を完了した。 ・ 起動停止 : DSS100 回を行った。 ・ 水素製造能力 : 100Nm ³ /h ・ 製品水素純度 : 99.99%以上 ISO14687-2 FCV 用水素燃料規格 (2012、Grade D) 準拠 ・ 起動時間 : 従来機と同等	○
5	複合型改質器の運転評価	複合型改質器の運転評価を完了した。 ・ 起動停止 : DSS100 回を行った。 ・ ターンダウン : 30%~100% ・ 水素製造能力 : 設計値を満足 ・ 燃料転化率 : 90%以上 ・ 改質効率 : 82%以上	○
6	コスト評価	コスト評価を完了した。(製造コスト) ・ 100Nm ³ /h : 4,961 万円 ・ 300Nm ³ /h : 9,000 万円	○

-記号説明-

○ : 達成

△ : 一部未達成

× : 未達

3.2 本研究開発に於ける成果（詳細）

3.2.1 複合型改質器の設計

複合型改質器の設計の為に、基本構造の策定及び解析シミュレーションを用いながら複合型改質器の設計を行った。

3.2.1 (1) 複合型改質器の設計条件

複合型改質器基本構造策定の為に、表 3 に記す設計条件から各種触媒の充填量や伝熱粒子の種類を選定した。改質反応管の構造及び概略寸法は触媒の必要充填量を最適な SV 値（空間速度 l/h）から計算して計画した。

表 3 複合型改質器の設計条件

項目	単位	設計値
原料ガス投入量	Nm ³ /h	34.8（都市ガス 13A）
純水投入量	L/h	91.3
改質部運転圧力	MPaG	0.88
改質部運転温度		850
改質炉燃焼温度		1306（理論燃焼温度）
S/C(スチーム・カーボン比)	-	2.8
改質ガス量	Nm ³ /h	184.7
改質ガス組成		
H ₂	mol%	77.3
CO	mol%	0.8
CH ₄	mol%	1.6
CO ₂	mol%	19.2
H ₂ O	mol%	1.1

3.2.1 (2) 複合型改質器の基本構成及び内部構造

本研究開発の目的であるコスト削減のための手段として、水素製造装置に搭載する改質器、CO 転化器および蒸気発生器を一体化した複合型改質器を開発することで、水素製造装置を構成する機器類を大幅に削減することが可能になる。図 2 に（水蒸気改質部）（CO 転化部）（蒸気発生部）を高度に集積一体化した複合型改質器の基本構成および内部構造を示す。

【内部構造と構成】

複合型改質器の改質反応管は円筒状の内管と外管との間にシフト触媒用円筒を備え、改質反応管の内管および外管とシフト触媒用円筒の空間に下部から改質触媒、予備改質触媒および伝熱粒子を充填する構造とした。シフト触媒用円筒には下部から高温シフト触媒および低温シフト触媒を充填した。

複合型改質器用燃焼器は改質反応の熱供給と蒸気器の加熱源のために、改質反応管内管の内側に設置した。蒸気発生器はコイル形状にして改質炉の燃焼ガス出口に設置した。改質炉内の断熱材は高性能断熱材を採用し、断熱材の厚さを薄くすることで複合型改質器の小型化をはかる構造とした。

【流れと反応】

水蒸気改質反応とCOシフト反応に必要な水蒸気は、複合型改質器の炉内に設置した蒸気発生器に外部から純水を供給して水蒸気にし、更にスーパーヒートさせて生成する。スーパーヒートした水蒸気と都市ガスなどの原料ガスは複合型改質器の外部に設置した混合器で混合させ複合型改質器の内部に導入する。

混合ガスは複合型改質器の改質反応管の内部に設置した低温シフト反应用触媒層（発熱反応）の内側と外側に設けた伝熱粒子層を通過する際、低温シフトの反応熱を吸収しながら徐々に加熱させる。加熱された混合ガス（原料ガス + 水蒸気）は高温シフト反应用触媒層（発熱反応）の内側と外側に設けた予備改質反应用触媒層（吸熱反応）を通過する際、高温シフトの反応熱を吸収して一部改質する。一部改質された原料ガスは下部の改質反应用触媒層（吸熱反応）で水蒸気改質反応によりH₂とCOに改質される。

COを含む改質ガスは高温・低温シフト反应用触媒層を通過する際、COシフト反応によりH₂とCO₂が生成される。水蒸気改質反応とCOシフト反応で生成されたCOとH₂の一部がメタネーション反応で消費される。これらの反応が複合型改質器の改質反応管内で同時に行われている。

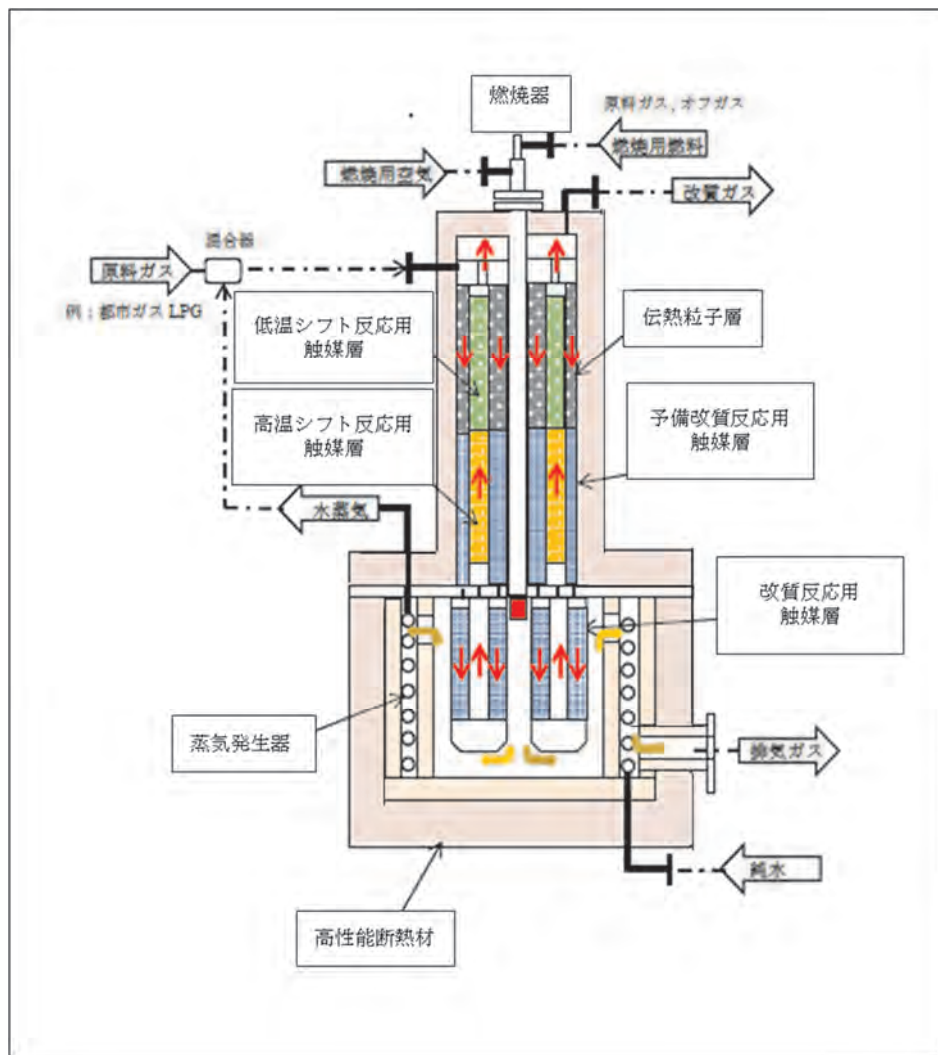


図2 複合型改質器の構成及び構造

3.2.1 (3) 解析シミュレーション (流れ解析)

【解析条件】

触媒反応層を有する改質器などの反応器では、改質反応管内で偏流が起こらないことが極めて重要である。

水素ステーション用水素製造装置の運転で想定する運転条件の 100%定格運転モード、30%運転モードおよび複合型改質器や水素製造装置の運転時に異常が起きた場合のシャットダウン(緊急停止)時に N₂ パージを行う緊急モードのそれぞれの条件においても改質反応管内で偏流等が起こらないことを確認するために、改質反応管内の流れ解析を実施した。

表 4 に解析条件、表 5 に 100%定格運転モードでの解析条件、表 6 に 30%運転モードでの解析条件および表 7 に緊急モードでの解析条件を示す。解析ソフトは STAR-CCM+ (Ver.10.02 CD-adapco) を用いた。

表 4 解析条件

定常または非定常	定常
伝熱	考慮せず
密度	非圧縮性として一定とする
乱流モデル	k-e 型

表 5 100%定格運転モードでの解析条件

運転モード	100%
ガス種類	混合ガス
密度 (kg/m ³)	4.47
温度 ()	170
総流量 (Nm ³ /h)	142.9
(m ³ /sec)	0.006133
(kg/sec)	0.02741
流入圧力 (MPaG)	0.95
入口ノズル数 (個)	1

表 6 30%運転モードでの解析条件

運転モード	30%
ガス種類	混合ガス
密度 (kg/m ³)	4.47
温度 ()	170
総流量 (Nm ³ /h)	42.9
(m ³ /sec)	0.00184
(kg/sec)	0.008233
流入圧力 (MPaG)	0.95
入口ノズル数 (個)	1

表 7 緊急モードでも解析条件

運転モード	緊急モード
ガス種類	N2
密度 (kg/m ³)	10.58
温度 ()	30
総流量 (Nm ³ /h)	19.66
(m ³ /sec)	0.0055
(kg/sec)	0.05819
流入圧力 (MPaG)	0.95
入口ノズル数 (個)	1

【解析モデル】

流れ解析のための解析モデルは、混合ガス入口を質量流入境界とし、混合ガスを CH₄+H₂O、質量流量を 0.02924kg/s とした。改質ガス出口を質量流出境界とし圧力を 861262.5Pa とした。複合型改質器の改質反応管の解析モデルを図 3 に示す。

改質反応管解析モデルのメッシュ数は 10,509,408、メッシュ形状はポリヘドラルとして解析を行った。

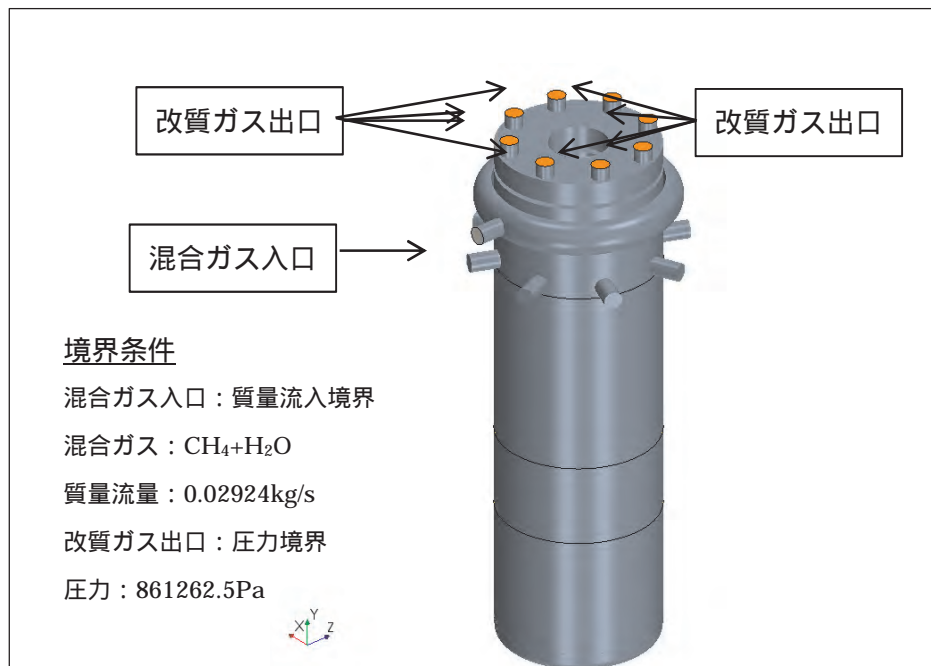


図 3 改質反応管解析モデル

【流れ解析結果】

解析シミュレーションの結果、100%定格運転モード、30%運転モードおよび緊急モードでの流れ解析の結果から、混合ガスの入口ノズル位置の断面、混合ガスが改質反応管内に吹き込む位置の断面、LTSの上面より5mm下の断面、SIC-1(充填粒子1)とPre-SR(予備改質触媒)の境界面の断面およびSIC-2(充填粒子2)の底面より10mm上の断面のいずれの断面においても流れが均一であり、偏流は見られないことから改質反応管内の構造に問題が無いことを確認した。

図4に100%定格運転モードの流れ解析結果、図5に30%運転モードの流れ解析結果および図6に緊急モードでの流れ解析結果を示す。

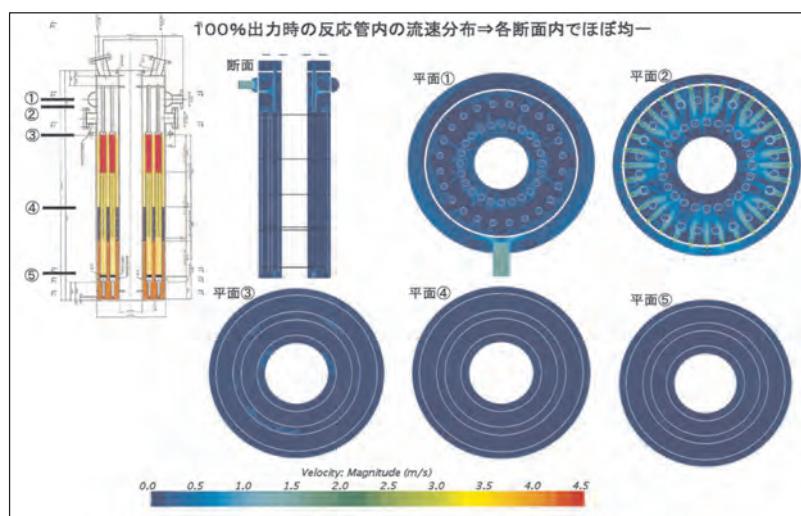


図4 100%定格運転モードでの流れ解析結果

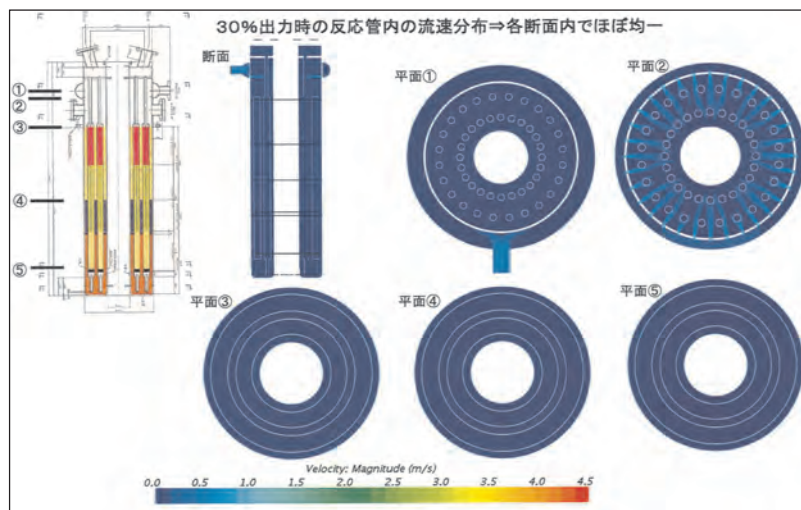


図5 30%運転モードでの流れ解析結果

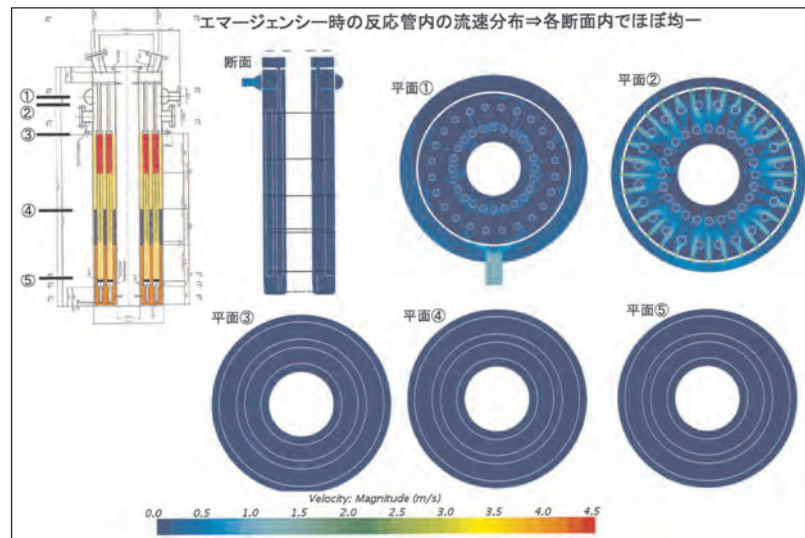


図6 緊急モードでの流れ解析結果

3.2.1 (4) 解析シミュレーション (触媒の耐久性検討)

【解析条件】

触媒の選定

複合型改質器の改質反応管に充填する触媒は市販されている触媒の中から、予備改質触媒 (Ni) 改質触媒 (Ru) 高温シフト触媒 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Cr}_2\text{O}_3$) および低温シフト触媒 ($\text{CuO} + \text{ZnO}$) をそれぞれ選定した。改質触媒の解析条件を表8に示す。

表8 改質触媒の解析条件

触媒	密度 (kg/m^3)	直径 (mm)	破壊強度 (N)
RUA (改質触媒)	2000.0	5.0	180

改質反応管に充填する触媒量

充填する触媒量は触媒メーカーが推奨する触媒の最適SV値 (空間速度 1/h) から必要量を算出し、さらに触媒の耐久性を考慮して決定した。改質反応管に充填する触媒のメーカー推奨SV値は、改質触媒が 1000 ~ 12000 1/h、高温シフト触媒では 300 ~ 4000 1/h および温シフト触媒 300 ~ 4000 1/h である。

触媒の耐久条件

複合型改質器に充填する改質触媒、高温シフト触媒および低温シフト触媒の触媒性能について触媒メーカーとヒヤリングを行ったが、具体的なデータは開示されないために、本事業の外部協力会社でもありエネファーム用改質器の触媒の劣化に対する知見および水素ステーションの運用に対する知見を有する東京ガス株式会社からの情報に基づいて、水素ステーション用水素製造用改質器の運用条件から触媒の交換周期を5年ごとに交換するものとした。また5年間の起動停止回数は100回として検討を行った。

触媒の沈降量

反応を伴う反応管全体のヒートバランス検討や触媒に加わる最大応力の検討および反応を伴うシュミレーション手法の確立のために、SOR (Start Of Run 以下 SOR と略記)、MOR (Middle Of Run 以下 MOR と略記)、EOR(End Of Run 以下 EOR と略記)時点での触媒の沈降量を推定し、温度プロファイルの変化および沈降後の触媒量の検討を行うものとした。

触媒層の粉化・沈降については経験・知見を有する東京ガス株式会社からの情報に基づいた。

【解析モデル】

複合型改質器の最下部に充填し、過酷条件で使用される改質触媒部の解析対象部とした。また解析領域は解析対象部の中から 15°領域を切り出したモデルとした。

図 7 に解析モデルを示す。メッシュ数は 17,962、メッシュ形状はポリヘドラルとして解析を行った。解析ソフトは STAR-CCM+ (Ver.10.02 CD-adapco) を用いた。

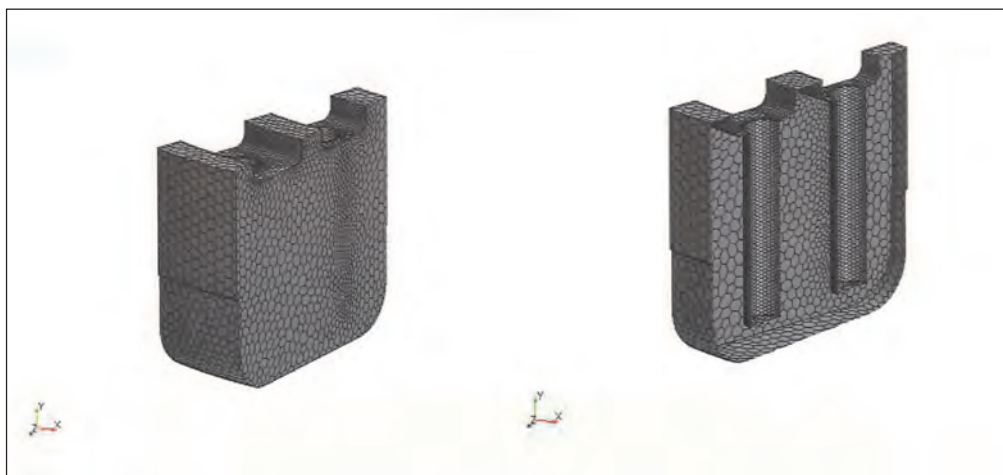


図 7 解析モデル

【解析結果】

触媒の沈降量

触媒層の粉化・沈降については経験・知見を有する東京ガス株式会社からの情報により SOR、MOR、EOR 時点での沈降量を推定し、温度プロファイルの変化及び沈降後の触媒量の検討を行った。

図 8 に SOR、MOR、EOR 時点での触媒層の沈降状態の変化を示す。EOR 時点では SOR 時点に比べ充填した触媒は 114 mm沈降するが、初期の触媒量が有れば EOR 時点の沈降後の触媒量になっても触媒量および触媒部の受熱面積には余裕があり水素製造性能に問題が無い事を確認した。

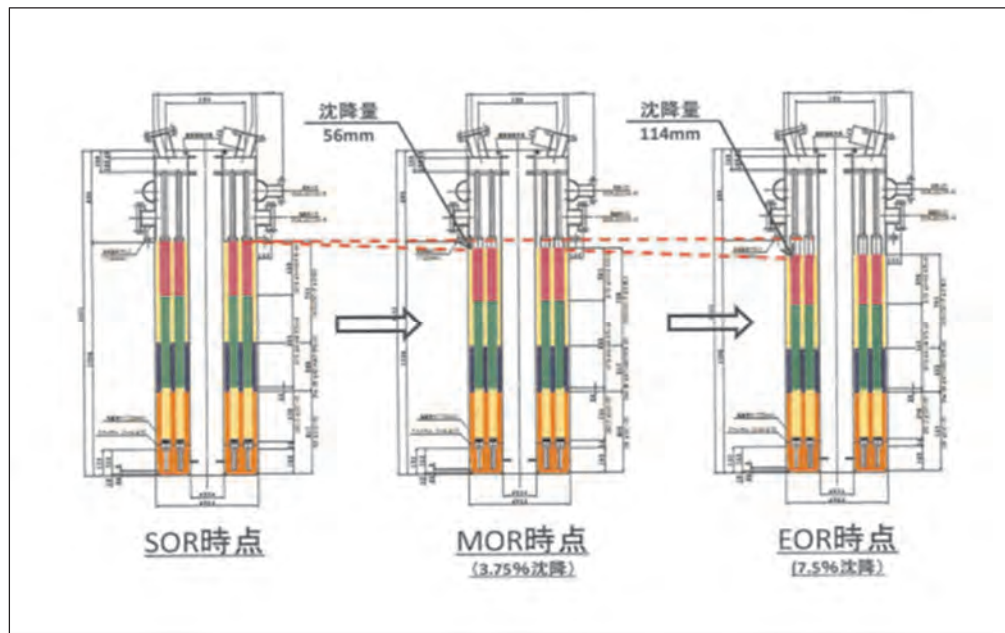


図8 SOR,MOR,EOR 時点での触媒層の沈降状態の変化

触媒に加わる最大応力

改質反応管の最下部に充填する改質触媒に発生する最大応力は解析の結果では変位量が軸方向、系方向とも 1 mm となり、その時の触媒粒子に加わる圧縮力が約 12N であった。

それに対し触媒の破壊強度は触媒メーカーのデータから 180N で有り十分な余裕があるために問題が無いことを確認した。図 9 に改質触媒の強度検討結果をに示す。

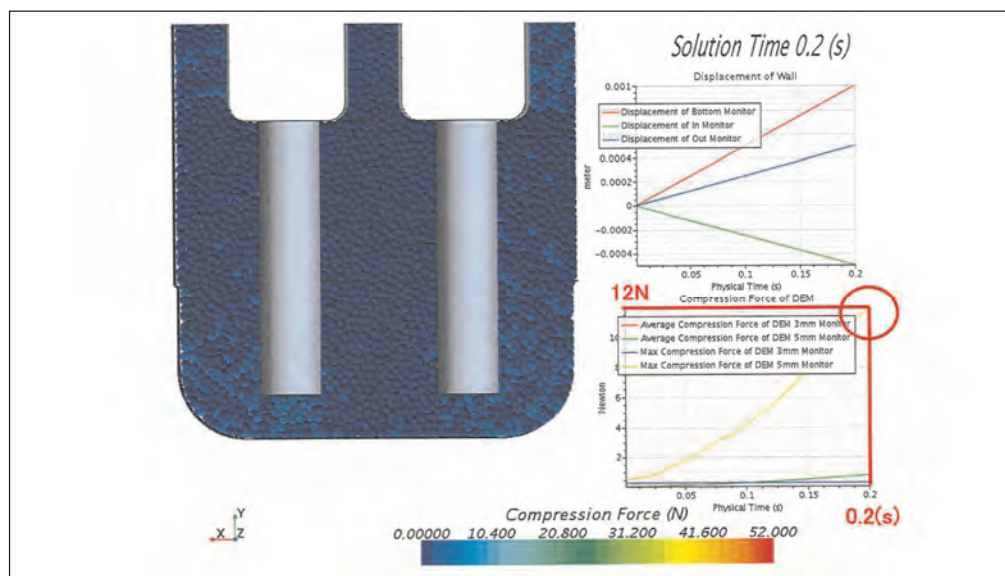


図9 改質触媒の強度検討結果

3.2.2 複合型改質器の詳細設計

解析シミュレーションの結果を基に複合型改質器の詳細設計を行い、製作を行った。複合型改質器の詳細設計図及び複合型改質器の完成写真を図 10、図 11 に示す。

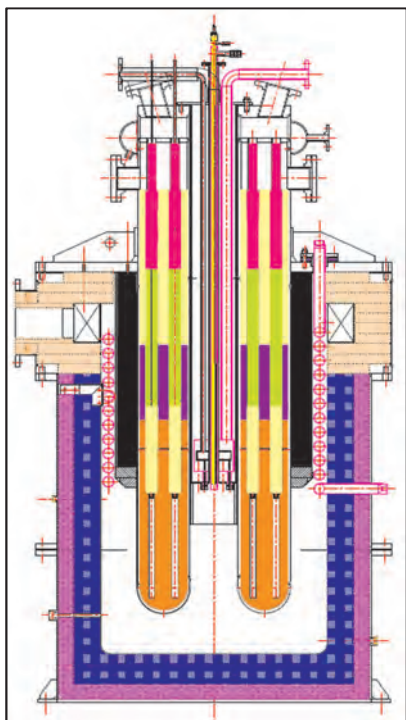


図 10 複合型改質器



図 11 複合型改質器の完成写真

3.2.2 水素製造装置の設計

複合型改質器を搭載した実証試験用水素製造装置のシステムフローを作成し、システム全体のヒートバランス・マスバランスの検討を行い、詳細設計を実施した。水素製造装置を構成する機器点数を従来装置では 20 数基で構成されていたが複合型改質器を搭載することでの 1/2 にすることが可能になった。図 12 にシステムフローを、図 13 に複合型改質器を搭載した水素製造装置の平面配置を示す。

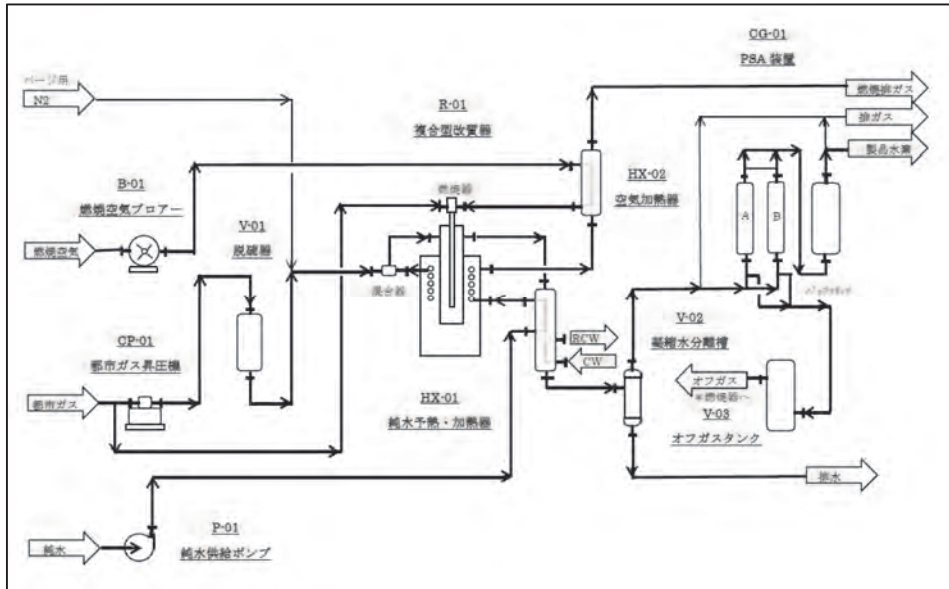


図 12 システムフロー

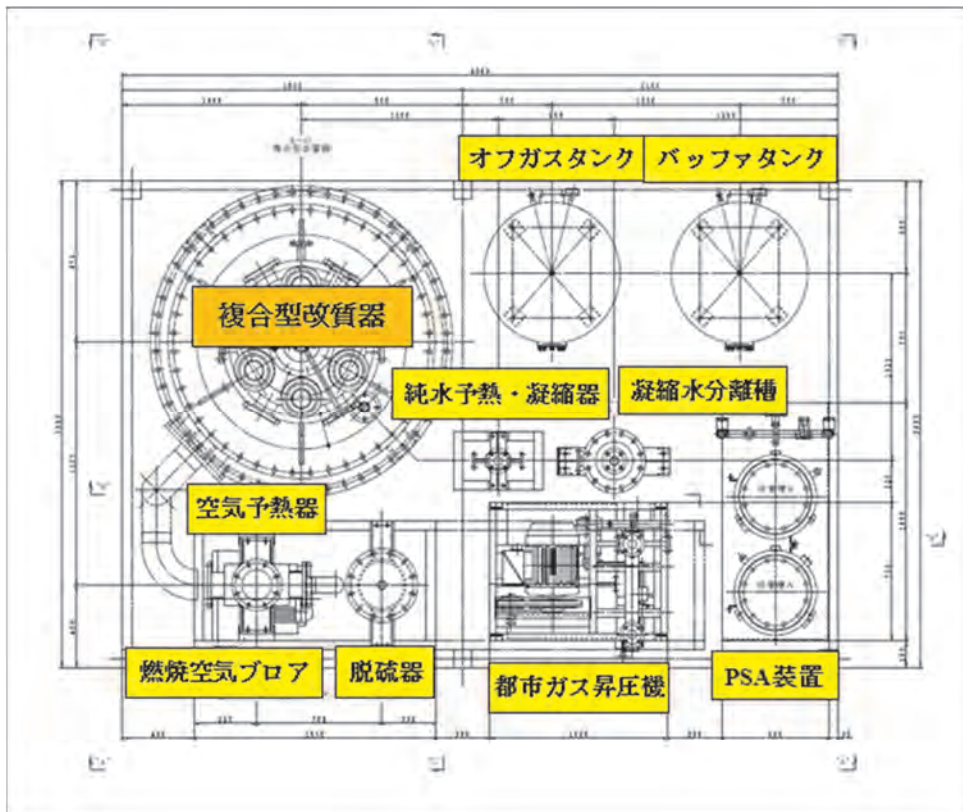


図 13 複合型改質器を搭載した水素製造装置の平面配置

3.2.3 複合型改質器および水素製造装置の製作

システムフローに基づき P&ID (Piping and Instrumentation Diagram 以下 P&ID と略す)、配置図、配管計画図、電気計装図、機器リスト、計装品リスト、インターロック計画、運転要領書等を作成し、実証試験用水素製造装置を製作した。

図 14 に水素製造装置 (実証試験装置) の全景、図 15 に水素製造装置 (実証試験装置) の現地据付状態を示す。



図 14 水素製造装置 (実証試験装置)



図 15 現地据付状態

3.2.4 水素製造装置の実証試験

複合型改質器を用いた水素製造装置の実証試験を行った。実証試験項目及び試験結果を表 9 に纏める。表 10 に水素製造装置 100%運転時のデータを示す、併せて製品ガスの分析結果を表 11 に示す。

表 9 実証試験項目及び試験結果

試験項目	試験結果	備考
起動停止	DSS100 回達成	
ターンダウン	30%~100%を実施し問題なし	
水素製造能力	100Nm/h 以上	
製品水素純度	99.99%以上	ISO14687-2FCV 用水素燃料規格 (2012 Grade D) 準拠
振動測定	X 方向 : 41.3dB Y 方向 : 42.8dB Z 方向 : 51.4dB	
騒音測定	74dB	隣接する他プラント稼働状態での測定値である為、参考値
起動時間	従来機と同等	

表 10 水素製造装置 100%運転時のデータ

原料 13A (Nm ³ /h)	燃焼用 13A (Nm ³ /h)	改質ガス量 (Nm ³ /h)	改質ガス 水素濃度 (%)	製品ガス量 (Nm ³ /h)	補器動力 (kcal/h)	改質効率 (%)
35.3	11.8	193.1	77.4	103.5	9,701	82

表 11 製品ガスの組成

分析値	ISO14687-2 規定濃度
炭化水素 : 0.01ppm 以下	2ppm
N ₂ : 1ppm 以下	100ppm
Ar : 1ppm 以下	100ppm
CO ₂ : 2ppm 以下	2ppm
CO : 0.03ppm	0.2ppm
H ₂ : 99.99%以上	99.97%以上

3.2.5 複合型改質器の運転評価

100%運転モードで改質ガスをガスクロマトグラフィー（GC）で分析した値を表 12 に示す。水素濃度 80%以上、燃料転化率 90%以上と良好な値となっている。

表 12 改質ガスの組成（GC による分析）

測定日時	H ₂ (%)	CO (%)	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	水分濃度	露点	燃料転 化率
03/15 03:20	80.037	0.154	1.785	17.425	0.599	-0.3	90.8%
03/15 03:35	80.192	0.128	1.644	17.438	0.598	-0.3	91.4%

燃料転化率は次式により算出した

$$\text{燃料転化率} = \text{CH}_4 (\%) / (\text{CO} (\%) + \text{CH}_4 (\%) + \text{CO}_2 (\%)) \times 100$$

3.2.6 コスト評価

100Nm³/h 級水素製造装置のコスト試算

事業終了後のコスト目標の為に 100Nm³/h 級水素製造装置のコスト試算を行った。複合型改質器を搭載することで装置を構成する機器点数を 10 基（従来装置の 1/2）とした水素製造装置の設計（製品用）を行い、コスト試算を実施した。装置寸法を 3000W×2500D にすることができ、装置のコンパクト化の開発目標を達成した。図 17 に水素製造装置の設計図（製品用）を示す。

実証試験の結果から触媒の充填量、改質器の寸法、PSA、その他構成機器の見直しを行って目標コストを達成した。表 13 に 100 Nm³/h 水素製造装置コスト比較を示す。

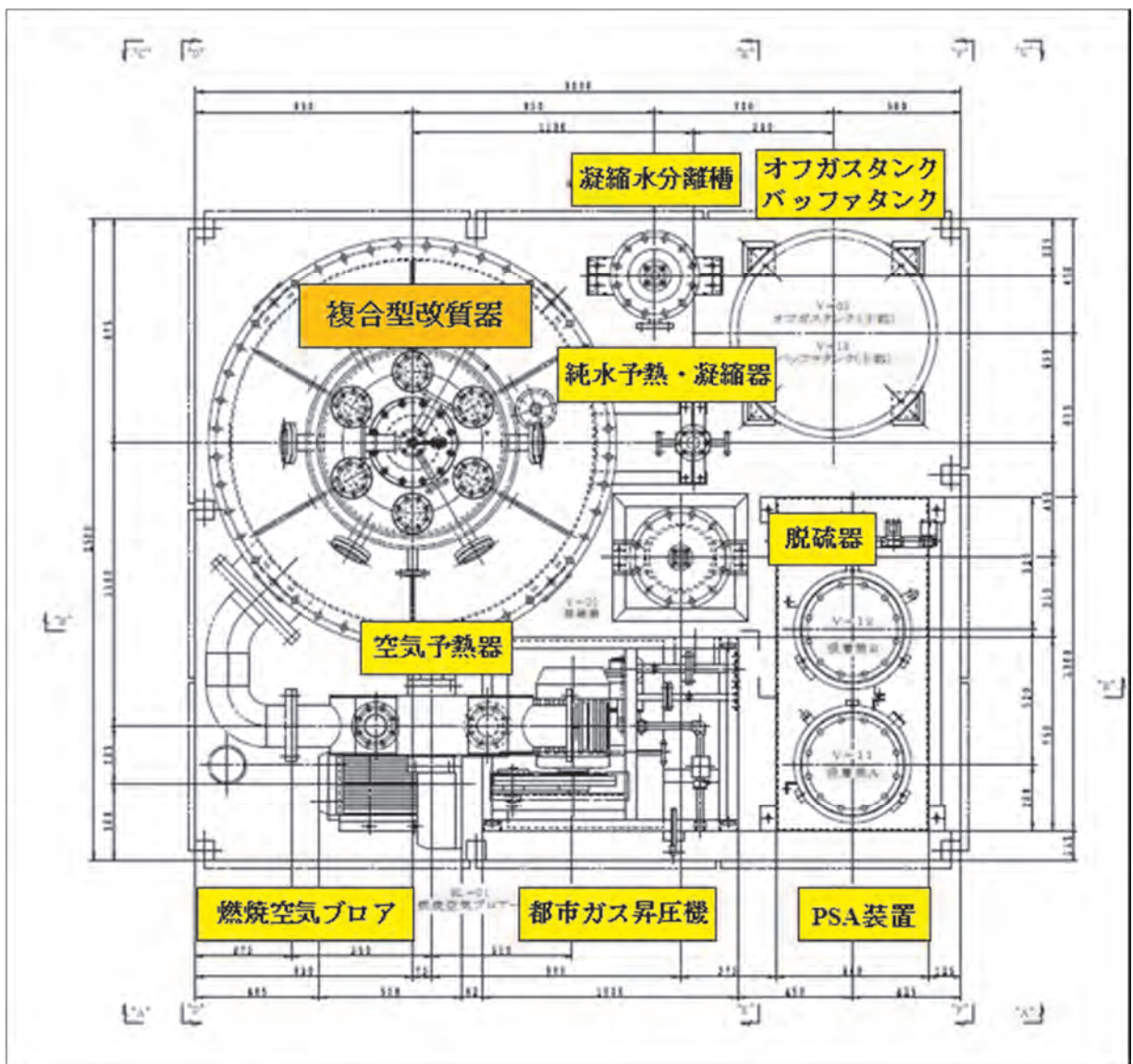


図 17 水素製造装置の平面図（製品用）

表 13 100 Nm³/h 級水素製造装置コスト評価（単位：k 円）

番号	項目	事業開始前 (F.S)	製品	備考
1	複合型改質器	10,000	13,000	
2	PSA 装置	11,700	9,000	
3	機器・補器類	5,900	5,900	
4	計装品・制御盤	4,700	4,700	
5	配管・電気計装工事	5,000	5,000	
6	ラック・架台	3,500	3,500	
7	計装・インジニアリング費(検査費含む)	4,000	4,000	
8	管理費	4,480	4,510	
9		49,280	49,610	

300Nm³/h 級水素製造装置のコスト試算

300 Nm³/h 級水素製造装置を 1 台、10 台、100 台、500 台製造した場合についてコスト試算を行った。試算の結果、500 台を同時に製造した場合には量産効果により、300 Nm³/h 級水素製造装置の価格が 5,000 万になる見通しをつけることができた。表 14 に 300 Nm³/h 級水素製造装置コスト比較を示す。

表 14 300 Nm³/h 級水素製造装置コスト比較

番号	項目	コスト比較（水素製造量：300Nm ³ /h）[k ¥]			
		1 台	10 台	100 台	500 台
1	複合型改質器	27,000	24,000	22,000	18,000
2	PSA 装置	21,000	20,000	15,000	10,000
3	機器・補器類	10,000	9,000	7,000	5,500
4	計装品・制御盤	8,000	7,000	6,000	4,500
5	配管・電気計装工事	7,000	6,000	5,000	4,000
6	ラック・架台	5,000	4,000	3,800	3,500
7	計装・インジニアリング費 (検査費含む)	4,000	1,400	1,000	500
8	管理費	8,000	7,100	5,900	4,000
—	合計	90,000	78,500	65,700	50,000

3.3 成果の意義

実証試験の結果では、改質ガス中の水素濃度：77%以上（GC分析値）、燃料転化率；90%以上、製品水素量：100Nm³/h以上、製品水素純度：99.99%以上、改質効率：82%以上、改質器水素製造効率：80%以上を達成した。実証試験の結果から触媒の充填量、改質器の寸法、PSA、その他構成機器の見直しを行い、目標コスト5,000万円（100Nm³/h）を達成できる見通しを付けた。300Nm³/h級水素製造装置のコスト試算では1台目から目標値の9,000万円を達成できる見通しを付けることができたが、5,000万円の目標に付いては500台を同時に受注した場合には量産効果により、達成できる見通しを得ることができた。

本研究開発にて開発した、複合型改質器を搭載した水素製造装置を用いることによりオンサイト型水素ステーションを構成する機器の価格を格段に下げることが出来るといえる。

3.4 開発項目別残課題

本研究開発では、目標としていた項目を全て完了したため残課題はない。

4.まとめ及び事業化までのシナリオ

本研究開発において、実証試験装置を製作して実証試験を実施した結果から、本提案の複合型改質器および複合型改質器を搭載した水素製造装置が性能面において要求仕様を十分満足することを実証し、低コスト化の目途を付けた。

FCV用水素ステーションの需要はFCVの普及に左右され、現時点では普及期までには至っていない。一方、産業用水素製造装置は確実な需要が見込まれており、2018年5月に300Nm³/h級水素製造装置を2式納入予定である。水素ステーションの普及期までは産業用水素製造装置を展開する。

今後、製品として販売するに当たり約1年間のフィールドテストを実施して、装置の信頼性を確認した上で市場に提供する予定である。

5. 研究発表・特許等

-研究発表・講演・文献等、その他-

年月日	媒体	タイトル	名称	発表者
2014/12/08	パワーポイント	地元中小企業の水素ステーション低コスト化の取り組み	神奈川県主催「水素・燃料電池関連製品等開発促進セミナー」	直井登貴夫
2016/06/10	パワーポイント	オンサイト型水素製造装置反応管内の解析結果と実証試験結果の比較	STAR Japanese Conference 2016	川又祐一
2017/02/01	パワーポイント	オンサイト型水素ステーション用水素製造装置低コスト化への取り組み	福岡県主催「スウェーデン水素関連企業との意見交換会」	直井登貴夫

-特許等-

出願日	出願人	出願番号	発明の名称	発明者
2014/09/16	大日機械工業(株)	2014-187394	水素ステーション用水素製造システム	直井登貴夫

-以上-

(11-9)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 / 複合型高圧水素圧縮機の研究開発」

助成先：(株)サクシオン瓦斯機関製作所

成果概要 (実施期間：平成27年度～平成29年9月)

- 27年度から助成事業で試作を開始し、29年度に試作機が完成。
- 工場運転試験を経て実証サイトへの納入設置が完了。
- 実ガス運転を実施，所定の性能を確認した。
- 目標コストについて設計見直し10台ロット機で7500万円，生産習熟機で6500万円を達成する見通しを得た

背景/研究内容・目的

現在，水素供給インフラ（水素ステーション）の先行整備が進められているが，普及のためにはコストダウンが必要とされている．そこで，高圧小容量に適したダイヤフラム式と低圧大容量に適した無給油ピストン式を組み合わせることで，1台で燃料電池自動車の水素充填に必要な圧力まで無理なく昇圧することができ，低コスト，省スペースそして省電力を実現する「複合型高圧水素圧縮機」を開発する。

研究目標

実施項目	目標
複合型高圧水素圧縮機の試作	吐出圧力82MPa 吐出容量340Nm ³ /h 電動機出力85kW
コストダウンの実現	6500万円の見通しを得る

実施体制及び分担等

NEDO — 株式会社サクシオン瓦斯機関製作所

これまでの実施内容 / 研究成果

26年度まで委託事業で試設計およびその評価を実施したところ、目標を達成し、水素ステーションの低コスト化に貢献する可能性が確認された。
27年度から助成事業で吐出圧力82MPa，吐出容量340Nm³/h，消費電力85kWを目標として試作を開始し、その結果，試作機の完成，工場運転試験，実証サイトへの納入設置を経て実ガス運転を実施，目標性能が達成されていることを確認した．また，目標コストについて設計見直し10台ロット機で7500万円，生産習熟機で6500万円を達成する見通しを得た．

今後の課題

商用生産において高圧ガス保安法に関する申請・審査が遅滞なく行われるよう関係機関と調整すること

事業化の見通し

所定の性能およびコストの見通しを確認したので，実用化および事業化の見通しがついた．

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
複合型高圧水素圧縮機の試作	試作および試運転を完了し所定の性能を確認した．	○
コストダウンの実現	目標コスト6500万円を達成する見通しを得た．	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	3	0	0

課題番号：11-9

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 /

複合型高圧水素圧縮機の研究開発

株式会社サクシオン瓦斯機関製作所

1. 研究開発概要

2010年7月に燃料電池実用化推進協議会によって、産業界の総意として、2015年にFCVの一般ユーザーへの普及開始に向けたシナリオが提案され、2025年には水素供給インフラ（水素ステーション）を1000箇所程度普及させるシナリオとなっている。さらに、2011年1月には自動車メーカー及び水素供給事業者13社が共同声明を発表し、自動車メーカーがFCV量産車を2015年に4大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始を目指し、開発を進めていることや、水素供給事業者が2015年までにFCV量産車の販売台数の見通しに応じて100箇所程度の水素供給インフラ（水素ステーション）の先行整備を目指すこと等が示され、現在水素供給インフラ（水素ステーション）の先行整備を進めている。しかしながら、オンサイトの水素ステーションのコストは現状6~7億円であり、普及のためには更なる低コスト化を進め、オンサイトの水素ステーションを2.5億円程度、オフサイト水素ステーションを2億円程度にする必要がある。その中で、水素ステーションを構成する水素圧縮機は現状1.4億円程度であり、それを6.5千万円以下にする、水素ステーション用ダイヤフラム・ピストン複合型高圧水素圧縮機の開発を目的とする。

2. 研究開発目標（設定の理由も含め）

本事業では、高圧小容量に適したダイヤフラム式と低圧大容量に適した無給油ピストン式を組み合わせることで、1台で燃料電池自動車の水素充填に必要な圧力まで無理なく昇圧することができ、低コスト、省スペースそして省電力を実現する「複合型高圧水素圧縮機」を開発する。NEDO設定仕様は吸入圧力0.4MPa吐出圧力87.5MPa、容量300Nm³/h、量産目標コスト6,500万円とする。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1)提案した事業概要

本事業では、高圧小容量に適したダイヤフラム式と低圧大容量に適した無給油ピストン式を組み合わせることで、1台で燃料電池自動車の水素充填に必要な圧力まで無理なく昇圧することができ、低コスト、省スペースそして省電力を実現する「複合型高圧水素圧縮機」を開発する。

従来、80MPa級の水素ステーションにおいては40MPa級のダイヤフラム2段圧縮式の後段に油圧駆動の増圧機を組み合わせる方式またはピストン式で4段から5段で圧縮し、高圧最終段は独立した圧縮機とする形式が多く試みられてきた。提案者はWE-NET計画及びJHFC計画その他において吐出圧力40MPa、吐出流量30及び50Nm³/hの高圧水素圧縮機を開発し5台の設置運用実績を持っている。図1に実績機の写真を、図2に断面図を示す。



図 1

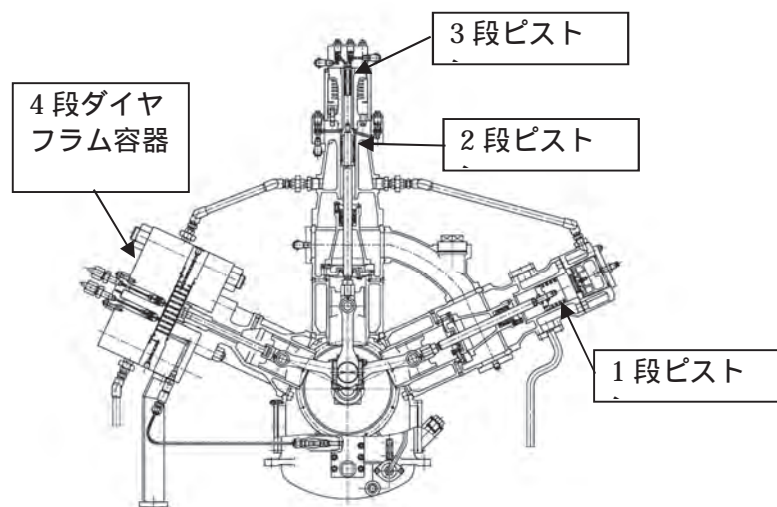


図 2

本圧縮機は低中圧大容量に適した無給油ピストン式を1段目、2段目及び3段目に使用し、高圧小容量に適したダイヤフラム式を高圧最終4段目に使用するピストン・ダイヤフラム複合式である。こうした構成により、特徴のある2つの方式を適材適所で組み合わせることで無理なく大容量高圧の圧縮機を構成できる。

したがって、低圧から高圧まで1台の圧縮機で構成することが可能であり、低コストで製造可能となり、省スペースであるほか、多段圧縮により等温圧縮に近くなるため、圧縮効率が高く省電力である。本方式による90MPa級高圧水素圧縮機を提案した。

達成すべき課題	複合式（本提案）	全段ダイヤフラム式	全段ピストン式
吐出圧力82MPa(将来充填圧力87.5MPa)	可	可	可
吐出容量300Nm ³ /h	可	ダイヤフラム式は金属ダイヤフラムのたわみに限度があるため吸入圧が低いと大容量化が困難。	可
ガスの清浄度	最終段に金属ダイヤフラムを使用するため、摺動部がなく、非常に清浄。低圧段の摩耗粉は低圧のフィルターで対応可	清浄	最終段のピストンリングから摩耗粉が発生するため高圧のフィルターが必要
目標コスト65百万円	1台で周辺機器も含めてシンプルな構成であることから可能性あり	不明	不明
省スペース	高圧段の漏れがないため全体に小型化し省スペース	低圧段のダイヤフラムが巨大化するためスペース大	高圧段の漏れが大きいためその分低圧段から大型化し、スペース大
省電力	多段圧縮のため圧縮効率高く、漏れがないため全体に小型化し消費電力が小さい。	少数段圧縮のため圧縮動力が大きい	多段圧縮のため圧縮効率は高いが、漏れの分大型化するため電力消費は大きい。
耐久信頼性	低中圧段のピストンリングは通常実績の範囲内で問題なく、最終高圧段のダイヤフラムは一般の2段ダイヤフラムに比べ小さな圧縮比であるため寿命が長い（セントレア等で実証済み）	段ごとの圧縮率が大きいため、ダイヤフラム板の負担が大きく、損傷の確率が大きい。	最終高圧段のピストンリングの耐久性に課題

前記特徴に加え、実運用における基本的な性能、耐久性そして保守性は40MPa機による高松、東海、秦野、旭、セントレアの各水素ステーションにおいて確認されており、本提案では、圧力を40から82MPa級に、容量を50Nm³/hから300Nm³/hにスケールアップする試設計、コスト分析および試作、試験の計画の策定について研究開発を実施した。

基本設計は、別紙1に示す。1から3段を無給油ピストン式、4段、5段をダイヤフラム式としている。コンパクトにまとめ、設置面積は2m×3.8m程度である。

本事業では設計において最も重要なダイヤフラム容器の加工特性についての試験を行い設計仕様の確認を行ったうえ、詳細設計を行った。

(2)ステージ の内容

ステージ において基本設計、詳細設計、要素試験等を実施し、設計及び製作コストに対して十分なフィジビリティスタディー（FS）を実施し、複合型高圧水素圧縮機の最適設計を行った。

基本設計

要求仕様について検討し、当社の圧縮機の設計計算手法を用いて基本的な構成を決定するとともに性能、消費電力等の主要な数値を予測する。

適用規格および要求事項調査

水素に関する最新の法令、規格そして文献を調査し、使用材料や使用条件についての指針とする。また、ユーザーにおいて圧縮機の使用上の問題点、要望等について要求事項として聞き取りを行い、詳細設計に反映する。

構成部品要素試験

ダイヤフラム容器の高強度材料の加工性の検証と加工条件探索を行う。

部品単体検査、圧縮機の性能試験法案の作成

当社規格および高圧ガス保安法に基づく試験方法を検討し、試験法案を作成する。

詳細設計およびコスト分析

詳細設計：上記調査を最大限活用し、要求仕様に対し最適な圧縮機として設計を行う。コスト分析：詳細設計に基づき、材料費、加工費、組立費、運転試験および検査その他の付帯作業費の見積もりを行う。

実サイトでの運用協力企業の探索

基本設計終了段階から協力企業の探索を行い、本プロジェクトの趣旨を説明し、またユーザー様としての要望事項等を確認しつつ、実サイトでの運用について実施先を決定する。

ステージ 、平成26年度最終目標は、要求吐出圧力82MPa、将来充填圧力87.5MPa、容量300Nm³/h、所要電力についてのシミュレーションを元に、これを実現する圧縮機の試設計完了。

上記試設計をもとに製作を前提とした詳細設計を行い、材料、加工、組立コストを算出、集計し、目標コスト6500万円を実現可能なことを確認する。

(3)ステージ の成果、達成具合、課題

基本設計

()における調査の結果、300Nm³/hクラスにおける市場の要求はNEDOの要求仕様と若干異なることがわかり、圧縮機の基本仕様を容量340Nm³/h、吸入圧力0.4MPa、吐出圧力99.5MPaとした。それに伴い、圧縮段数を5段とし、最終ダイヤフラムユニットを並列2筒とした。

適用規格および要求事項調査

水素ステーションに関する最新の法令、規格そしてエンジニアリングに関する文献を調査した。重要な点は、常温における70MPa充填に対する必要圧縮機吐出圧力について様々な見解があり、最も圧縮機にとって厳しい解釈を採ると99.5MPaとなることがわかった。容量については1時間に6台充填をベースに340Nm³/hが求められていることがわかった。

構成部品要素試験

主要な耐圧部品としてダイヤフラムキャピティを考え、試設計を行った。有限要素法によるシミュレーションが有効なことがわかり、要素試験の前に実施するべく検討を進めている。

部品単体検査、圧縮機の性能試験法案の作成

高圧ガス保安協会に問い合わせおよび協議を行っている。上記項目の検討が終了した段階で最終案を作成する予定である。

詳細設計およびコスト分析

見積集計の結果、1号機の試作に136,026,000円、10台ベースの見積価格で98,332,000円となった。課題として購入品の見積価格が実商談交渉価格ではないため集計価格が高めになった。FSにおける見積もり取得の限界があり、その点を考慮してコスト検討する必要がある。

実サイトにおける運用協力企業の探索

A社からは平成28年度のステーション建設補助金を利用し、実ステーションで採用する旨回答を得ている。28年度の補助金が27年12月頃には国の政策の見通しが得られる前提で正式に発注し、28年10月末納期で実サイトに設置する計画とのこと。当社ではこれに合わせて商用1号機を製作する事とした。

(4)ステージ の内容

国の政策において、2014年4月にはエネルギー基本計画で有望な2次エネルギーとして水素社会実現を目指すことが明記され、また、同6月には水素燃料電池戦略ロードマップが示され、2020年までに累計台数140万台、自立商用展開可能な水素ステーションのコストを実現することが目標とされている。重要機器である圧縮機の低コスト化のニーズが高い。

ステージ はステージ の仕様で実機を試作し、集計コストの30%ダウンを目標に実オーダーベースでのコストダウンを図る。量産時のコストを算出し、現状14000万円と言われる圧縮機のコストが目標コスト6500万円を実現可能なことを確認する。

ステージ のコスト集計では98,332,000円と目標にはあと30%程のコストダウンが必要であるが、バルブ等の購入機器類の価格が現状市場立ち上がり期における不安定な状態であり、相当の安全サイドの見積価格になっているとうかがわれ、実オーダーベースの交渉で仕様や数量が明確になった段階ではコストダウンが可能と考えられる。

(5) ステージ の成果、達成具合、課題研究開発の内容

ユーザー仕様の確認

最終製作仕様を確認した。吐出圧力については99.5MPaまで対応可能な構造とするが、部品耐圧気密試験および運転試験の実施先の選択肢を広げることと客先ニーズそして消費電力などを総合的に判断して82MPaに設定した。容量については340Nm³/h、吸入圧力については0.4MPaまで構造的に対応可能であるが、水素供給源装置の吐出圧力に余裕があるため、0.6MPaに設定した。

法規対応の確認

最新の高圧ガス保安法の解釈を確認したところ従来は使用可能であったFCDが事実上使用できないことがわかり、鋳鋼の使用を前提に設計変更することとした。

上記材料変更に伴い、緻密な冷却ジャケットの構成が困難となり、ロッドシール方式からピストンシール方式に設計変更した。

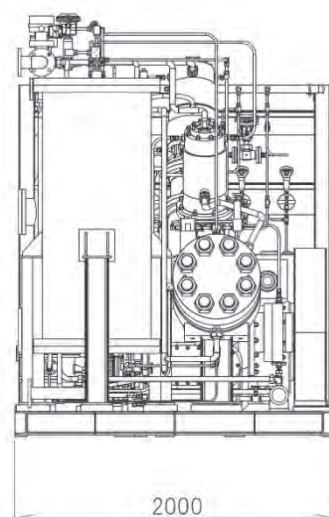
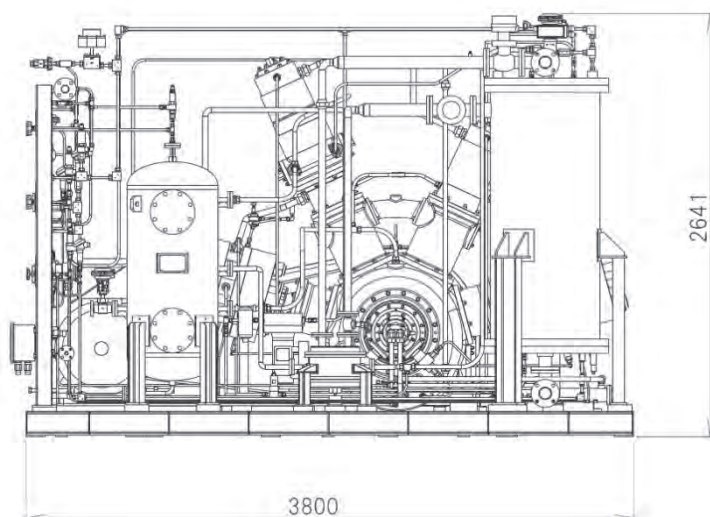
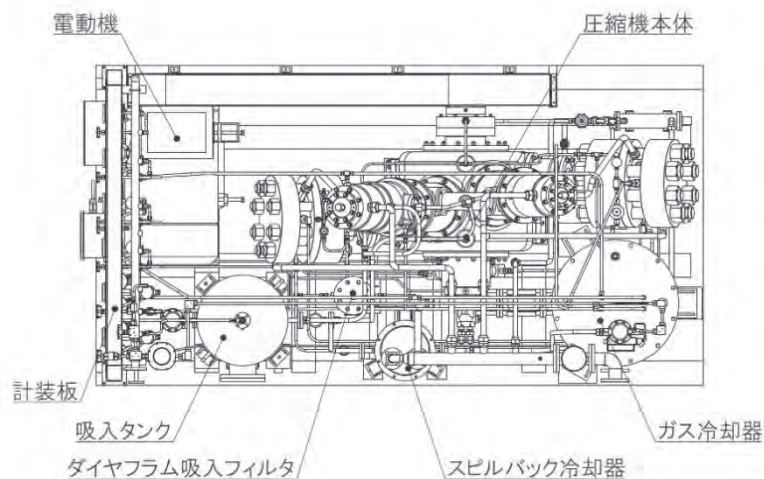
製作工程の検討

上記設計変更を含む詳細設計に基づき、材料手配および検査、機械加工その他の加工方法の検討、組立方法につき検討を行い、工程を作成。

ダイヤフラム・ピストン複合型高圧水素圧縮機の試作

ステージ において設計され、さらに上記設計変更された圧縮機を材料手配から部品加工、組立を行った。各工程で必要な時期に必要な検査を受検した。完成した試作機は当社工場において窒素ガスによる運転評価試験を実施し、計算によって実ガスにおける性能を評価し、問題ないことを確認し実証ステーションに据付を実施した。

要 目	仕 様
型番	TCH511DP
型式	ピストン・ダイヤフラム複合型無給油5段圧縮水冷式高圧水素圧縮機
取扱いガス	水素ガス
吸入圧力	0.6 MPa (0.4 ~ 0.7 MPa)
吐出圧力	82 MPa
容量	340 Nm ³ /h
電動機	90 kW (初号機のみ 110kW)



実ガスでの性能試験

実証ステーションに設置した試作機を実ガスで、NEDO事業殿お立会のもと性能の確認を実施したところ、前記目標の仕様を満足することが確認された。



コスト見通し

本事業における実績を集約して26年度FSにおける現状コストをベースとしてコストを検討したところ、下記に示すように、2台目以降個別生産機で約1億600万円，設計見直し10台ロット機で約7500万円そして量産段階における生産習熟機で目標の約6500万円を達成できる見通しを得た。

現状コスト	2台目以降 個別生産機	設計見直し 10台ロット機	生産習熟機
136,027	106,233	75,091	65,836

3.2 成果の意義

本プロジェクトは JHFC における十分な実績を持つ複合型水素圧縮機のスケールアップであり、他の競合技術に対して、信頼性の面で優位性がある。また、漏れの影響が大きい高圧段に無漏洩のダイヤフラム式を配する事で消費電力が小さく省エネである。海外の同様の製品に対しても競争力は高く、また、保守管理においても国内メーカーとして顧客満足度の高いサービスを実現可能であり、国内での生産の意義は大きい。また、国内で水素ステーションの基幹要素である圧縮機が生産されることにより水素発生装置、ディスペンサーそして蓄圧器などと連携して日本の輸出案件として強力な体制を構築できることになる。世界中で燃料電池自動車が普及する段階では我が国の経済への貢献は非常に大きなものになると考えられる。

4.まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

ステージ において試作機が完成し、実証ステーションにおける実ガス評価の結果、目標性能を達成し、目標コストについて達成の見通しを得た。信頼性の高い国産機のニーズは非常に高く、当社としては本プロジェクトと一部並行して2号機（商用1号機）の製作を開始しており、その後繰り返し生産体制に入る予定である。本プロジェクトで開発した水素技術は水素ステーション以外の水素圧縮機にも生かされ、再生可能エネルギーの安定化のためのエネルギー貯蔵ニーズなど、エネルギー産業全体に貢献できるものと考えている。

(II-10)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 / 燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する研究開発」

委託先：(国)九州大学、(株)アツミテック、(国)東北大学、日本重化学工業(株)

成果サリ(実施期間：平成25年度～平成29年度)

- ・吸着系水素貯蔵材料のスビルオーバー現象の確認、軽量水素貯蔵材料での7質量%以上の吸蔵量確認、計算科学による新規材料予測などの成果をあげており、水素貯蔵材料容器システムに適用する「材料の目処付け」を達成した。
- ・平成27年度までの材料開発成果の中から、本事業の終了予定までに車載容器に実装可能な材料として高性能吸着材料を選択し車載容器システムの試作・運転およびシミュレーション評価を行い、水素貯蔵材料容器システムの優位性を実証する予定。

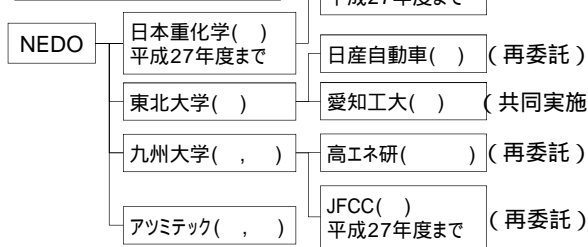
背景/研究内容・目的

燃料電池自動車の本格普及に向けて、「高压容器システム」に比べて軽量、コンパクトで、低コストなどの現状技術に対して優位性のある「水素貯蔵材料容器システム」の実用化を目指し、平成24年度NEDO事業「燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する調査研究事業」の成果に基づき、燃料電池自動車に搭載するための水素貯蔵材料容器システムに必要な材料開発およびシステム開発を行う。

研究目標

実施項目	目標
金属系水素貯蔵材料の研究開発(平成27年度まで)	水素5 kgを搭載した場合、質量貯蔵密度6質量%以上、
吸着系水素貯蔵材料の研究開発	容器体積100L以下、コスト30～50万円以下、かつ燃料電池自動車の低温起動や全開加速に適合する水素放出性能を有する車載用容器システムの開発
軽量水素貯蔵材料の研究開発	
車載用水素貯蔵システムの構築と評価	

実施体制及び分担等



これまでの実施内容 / 研究成果

平成25年度～27年度では、「水素貯蔵材料容器システム」に必要とされる水素貯蔵材料の開発を金属系材料、炭素系材料およびMg等の軽量系材料について行った。金属系材料では計算と実験を融合して新規材料創製の重要な手が見出すことに成功した。炭素系材料ではゼオライトを鑄型とする新規炭素材料に対してスビルオーバー現象を活用することで、大量の水素を穏和な条件で貯蔵できることを明らかにした。軽量系材料では、Mg系ナノ材料および窒素系材料で目標値を達成可能な材料を開発した。平成28年度および29年度は、事業前半で開発した炭素系材料およびMg系ナノ材料を用いた車載用タンクの試作およびシミュレーションによる解析および評価を行った。リバース解析として、走行に必要な水素量と水素放出速度の仕様を決めた。それに基づきフォワード解析により小型高压のプリチャージタンクと低压で形状に自由度のあるメインタンクの二つのタンクによる容器システムを構築した。また、他の選択肢として、炭素系材料を用いた高压容器などの検討も併せて行った。それぞれの容器について、材料を充填した状態での水素吸蔵量、水素放出速度、水素と材料の反応熱などについて、シミュレーションによる定式化を行った。その結果に基づき、システムとしての最適化を行い、目標値を達成する水素貯蔵材料容器システムを示す事で、水素貯蔵材料容器システムの優位性を実証する予定。

今後の課題

水素貯蔵材料容器システムの試作および性能評価とシミュレーションによる定式化に基づいて、プリチャージタンクとメインタンクのサイズおよび水素圧力等の詳細な最適化を進める。水素貯蔵材料の高性能化、高密度化を進めて、タンク性能の向上を図る。今後の材料開発の進展を考慮に入れたタンクシステムのシミュレーションを行う

実用化の見通し

本事業で開発を行った形状自由度の高い、低压の水素を用いて、高密度かつ安価に水素の車載を実現する事ができる「水素貯蔵材料容器システム」技術は、燃料電池自動車の車種が拡大し、大量生産される時期には実用化されると考えられる

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価	
	計算と実験を融合し新材料創成の手掛かりを見出した(平成27年度まで)		
	高い吸蔵量を実現可能なスビルオーバー現象を確立するとともに安価な触媒を開発して車載に適した材料を提案		
	水素吸蔵量7.5質量%のMg系材料を開発		
	車載システムのコンセプトを構築し、自動車走行モデルから車載容器への要求仕様を求めると共に実験およびシミュレーションを用いて車載に適した水素貯蔵材料を用いた容器システムの設計および性能の評価を進め、水素貯蔵材料容器システムの優位性を実証する予定		
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	9	105	0

課題番号：11-10

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 /

燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する研究開発

国立大学法人九州大学
国立大学法人東北大学
株式会社アツミテック
日本重化学工業株式会社

1. 研究開発概要（事業の背景・目的・位置付け）

事業の背景

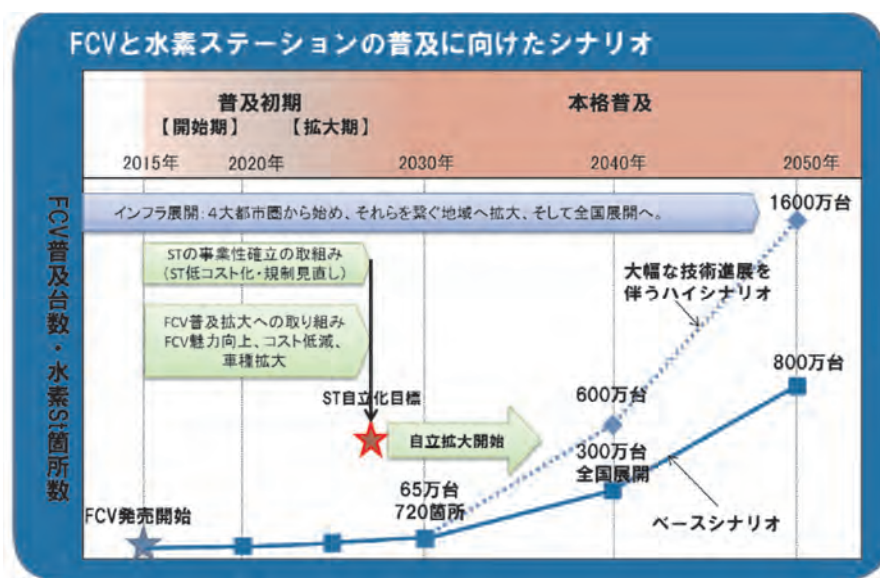
平成 26 年に販売開始された燃料電池自動車の車載水素貯蔵技術としては、「高圧容器システム」が採用された。しかしながら、燃料電池自動車の本格普及に向けては、「高圧容器システム」に比べて軽量、コンパクトで、低コストあるいは現状の高圧容器システムに対して車載時の占有容積が大幅に縮小する等画期的な技術的優位性が見込まれる有望な技術を有する「水素貯蔵材料容器システム」(水素吸蔵合金等の水素貯蔵材料を容器に組み込んだシステム)の実用化が必要とされている。

事業の目的

燃料電池自動車の本格普及に向けて、「高圧容器システム」に比べて軽量、コンパクトで、低コストなどの現状技術に対して優位性のある「水素貯蔵材料容器システム」の実用化を目指し、自動車メーカーが委託先として積極的に参加した平成 24 年度 NEDO 事業「燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する調査研究事業」で制定した事業の目標に基づき、燃料電池自動車に搭載するための水素貯蔵材料容器システムに必要な材料開発およびシステム開発を行う。

事業の位置付け

現在の燃料電池自動車の水素車載用容器には「高圧容器システム」が採用されたが、高圧容器システムは中型セダンタイプ（いわゆる C セグメント）の自動車では有効であるが、外体積、重量、価格、形状自由度などの点で多くの課題を抱えている。そのため、多くの車種の燃料電池自動車を製造する時期（下記 FCCJ 作成のシナリオ参照）には、「高圧容器システム」にない優位性を持つ「水素貯蔵材料容器システム」が必要不可欠になる。



2. 研究開発目標（設定の理由、妥当性も含め）

最終目標

水素 5 kg を搭載した場合、質量貯蔵密度 6 質量% 以上、容器体積 100L 以下、コスト 30～50 万円以下、かつ燃料電池自動車の低温起動や全開加速に適合する水素放出性能を有すること

設定の理由および妥当性

平成 24 年度 NEDO 事業「燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する調査研究事業」において、トヨタ自動車、日産自動車、本田技術研究所などを含むステークホルダーを委託先とし、関係業界からの生の意見や要望を聞きながら、燃料電池自動車の現状と今後の展開を想定しつつ目標値を設定した。本事業では、上記調査研究によって定められた目標値を取り入れて、事業を進めてきた。設定された目標は市販の燃料電池自動車の車載容器と比較して、小型軽量かつ安価で形状に自由度があると同時に、走行中に十分な水素供給量を持ち低温においても水素供給が可能な水素車載容器を実現することを目指している。本事業では、燃料電池自動車の車種拡大かつ大量生産時に水素車搭載の重要な選択肢を提供することを目的としている。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) 金属系水素貯蔵材料の研究開発（平成 27 年度まで）

高密度水素貯蔵材料の探索・開発

a. V_3X 合金の水素吸蔵放出特性

目標値を達成可能な高性能水素貯蔵材料の創製を目指して、既存のバナジウム基 A15 型金属間化合物 V_3X ($X = Al, Si, Co, Ni, Ga$) の水素吸蔵能を第一原理計算により予測し、それを実験的に確かめた。図 1 に、候補材料およびその水素化物の結晶構造を示す。第一原理計算により、確かに水素を吸放出することが確かめられた。しかしながら、この合金系に関しては、計算・実験両方から、最高でも 2wt% 程度の水素貯蔵量が見込めないことが分かった。だが、一方で計算と実験を有機的に進めることの有効性・重要性を示すことができ、高性能水素貯蔵材料の研究開発指針として提案することができた。

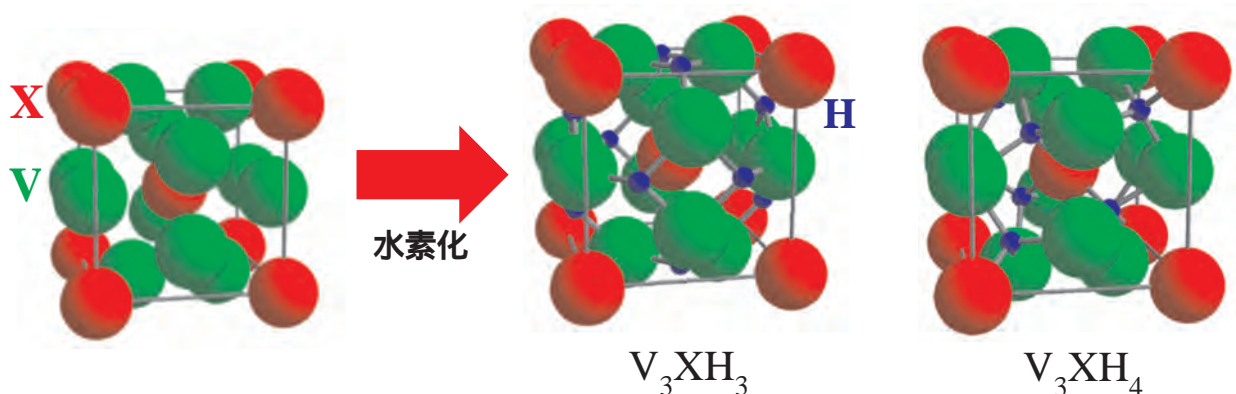


図 1 A15 型 V_3X ($X = Al, Si, Co, Ni, Ga$) 高性能水素貯蔵材料の候補

b. 水素誘起空孔の積極的利用

一般に良く知られている水素吸蔵合金における水素の入り方(原子間の隙間に水素が一つずつ入る)では水素貯蔵量に限界があり、更なる水素の高密度化が課題である。そこで、合金中に多量に水素が入ることが期待される「超多量空孔生成(SAV)」（水素が金属中に入る際に金属原子が押し出され(空孔(隙間)になる)、そこに水素が複数個入るといふもの)という現象を積極的に利用することを試みた。

「ハーフホイスラー合金」と呼ばれる材料は、その結晶構造中に初めから空孔を多くもち(図2)、SAVにより水素を大量に貯蔵出来る可能性があると考えた。空孔の無いホイスラー合金を高温(400℃)、高水素圧(6MPa)下でハーフホイスラー合金に変わすることを期待して行った水素吸蔵を行った結果、水素吸蔵量は1 wt%以下であるが、水素と金属原子比で考えると、多くの水素が吸蔵されていることが分かった。なお測定値は外気温度に影響を受ける場合があるが、今回は影響が無いことを確認している。この実験から、従来の合金に対する考え方を越えるSAV関連の水素吸蔵の可能性があると推定できる。その際には、軽元素を主成分とすることで高い水素吸蔵量実現が期待できる。計算科学と実験を組み合わせ、従来は知られていない高性能水素貯蔵材料の探索を行い新しい材料設計指針を提案したが、水素吸蔵量は達成できなかった()。

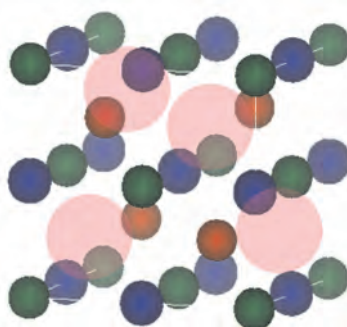


図2 ハーフホイスラー合金の結晶構造図

低コスト高耐久性を有する BCC 系水素吸蔵合金の開発

1996年トヨタ自動車のFCV第一号車に搭載された水素貯蔵材料容器システムに充填されたバナジウム系材料は事業発足当時では、実際に利用可能な唯一の水素貯蔵材料であった。バナジウム(V)は、その製法に由来して高価な原料として知られているが、日本重化学工業ではV酸化物(V_2O_5)を原料とし「テルミット反応法」と「希土類金属を用いた脱酸素法」を用いて合金を作製することにより、低コスト化が見込めることを見出した。更なる低コスト化を狙い、上記のプロセスを1ステップ(1回のテルミット反応法)で合金作製まで行うことを試みた。1ステップで合金を作製する際に難しいポイントは、「Tiが仕込み組成通りに合金に入らない」ことと、「合金の酸素量が下がらない(脱酸素処理がうまくいかない)」ことである。これらを解決するために、ルツボの材質および形状の、原料の反応順序、及び原料の融点調整の三つの工夫を施すことで低コストBCC合金の製造法開発に成功した(○)。

(2) 吸着系水素貯蔵材料の研究開発

燃料電池自動車の実用化に向け、高容量であり、なおかつ水素放出が可逆的で加熱が不要である水素貯蔵材料の開発が求められている。高表面積炭素や多孔性有機金属錯体などの物理吸着系の材料開発が進められているが、室温での貯蔵量は35 MPa以上の超高压でも2~3 wt%が限界で

あり、本事業の目標値である6 wt%を達成するには物理吸着とは異なる原理の導入が必須である。多孔性炭素などの担体にPt等の金属ナノ粒子を担持すると、気相の水素分子(H₂)が金属表面に解離吸着し、Hラジカルが担体へ移動し貯蔵されるスピルオーバー現象を用いれば、室温での水素貯蔵量が約2倍に増加するとされている。このような「物理吸着+スピルオーバー」の貯蔵方式には大きな可能性があるが、スピルオーバーによる貯蔵メカニズムに不明な点が多いため、研究グループ間での実験の再現性に乏しく、材料設計の指針が立てられないのが現状である。図3にスピルオーバーの概念図を示した。

本研究開発では、スピルオーバー水素貯蔵メカニズムの解明のため、ゼオライト鋳型炭素(Zeolite Templated Carbon; ZTC)を利用する。ZTCは化学的に安定で分子構造の明らかな規則正しい炭素骨格から成る物質であり(図4) 原理解明および最適構造の予測するベース材料として理想的である。しかも、吸着系材料として世界最大の水素吸蔵量(30、34 MPaで2.2 wt%)を示す。ZTCをベースに、水素吸蔵量5~6 wt%の達成に必要な材料開発指針を得るための種々の実験的検討を行った。更に、水素貯蔵材料容器システム的设计に必要な材料のデータを取得し、試作・設計した装置の性能評価のために供した。

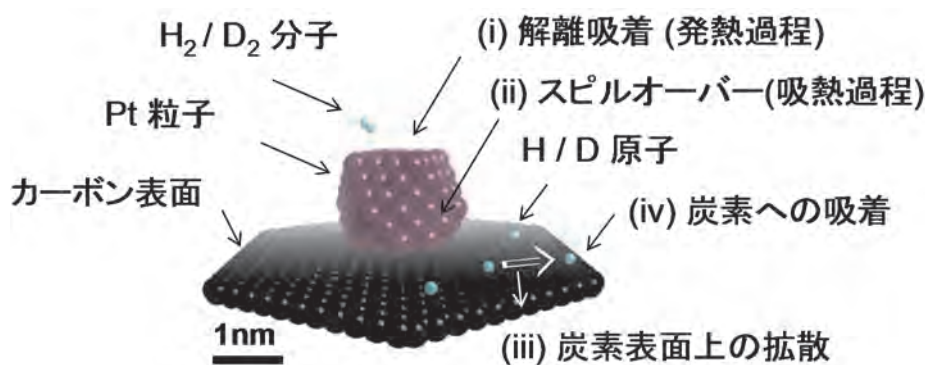


図3 スピルオーバーによる水素貯蔵過程の概念図

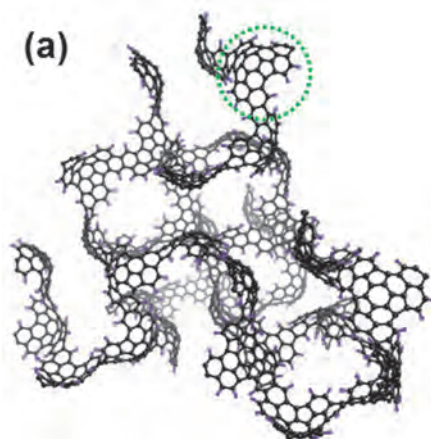


図4 ゼオライト鋳型炭素(ZTC)の標準モデル。

点線で囲まれた部分は鋳型となったY型ゼオライトのスーパーケージに対応する

Pt ドープ ZTC における物理吸着およびスピルオーバー貯蔵の最大化

Pt ナノコロイドを ZTC 上に直接担持するプロセスを用いることにより、再現性のある Pt 担持 ZTC(PtNC/ZTC)を調製した。また、調製した PtNC/ZTC を用いて水素吸着等温線の測定方法を検討し、低圧領域で信頼性の高いデータを得る手法を確立した。その上で、水素貯蔵への Pt 担持の影響、温度の影響に関する検討を行った。スピルオーバー機構による水素貯蔵の量は、化学吸着量と物理吸着量を差し引くことにより総括貯蔵量から抽出することができた。スピルオーバーに基づく貯蔵量は、273 ~ 353 K の温度範囲において温度上昇と共に増加した。また、得られた温度依存性はシミュレーションの計算結果と傾向が一致した。実験結果は、100 kPa では 273 K においても、金属から炭素表面へ水素ラジカルが移動することを示唆した。103 kPa より低圧の結果に基づいて概算した 34 MPa での水素貯蔵量はおよそ 4 wt% となった。しかしながら、この値はまだ実用上必要とされるマイルストーン(約 6 wt%)に到達していないことから、スピルオーバーによる吸着量をより一層上昇させるため吸着材料の高密度化を図るなどの新たなアプローチを取ることとした()。

炭素への水素ラジカル直接ドープによる貯蔵メカニズムの解明

スピルオーバーで表面に吸着したラジカル水素による水素貯蔵メカニズム解明のため、分子構造が既知である炭素材料 C₆₀ への水素ラジカル付加量を測定した。比較として用いたケッチェンブラック (KB) に比べ、C₆₀ は単位表面積あたりの水素ラジカル貯蔵量が大幅に大きいことが明らかとなり、C₆₀ や ZTC のように湾曲した炭素表面を持ち、炭素が sp³ 性を帯びている材料ではスピルオーバーした水素ラジカルと材料が強く相互作用することが示唆された。この結果から、湾曲した炭素材料合成への指針を得ることができた(○)。

安価な金属のナノクラスターによるスピルオーバー貯蔵の検討

白金 (Pt) は高価な金属であるので、安価な金属によるスピルオーバー現象の実現のために Ni および Fe を選択した。これらの金属の前駆体であるメタロセンは炭素材料に強い相互作用で吸着し、粒径 1 nm 以下の金属ナノクラスターを ZTC に高分散に担持することができた。こ

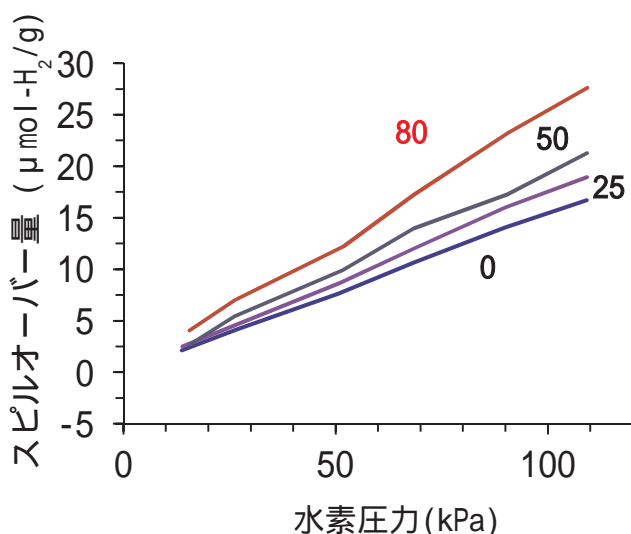


図5 Ni 担持 ZTC。Pt に匹敵するスピルオーバー活性を確認

の方法で調製した Ni 担持 ZTC は Pt 担持 ZTC と同様の水素吸脱着挙動、温度依存性を示し、そのスピルオーバー活性は常温付近で粒径約 4 nm の Pt ナノ粒子に匹敵することを明らかにした。そのうち、2 ~ 5 nm の Ni 粒子はほとんどスピルオーバー活性を示さず、1 nm 以下の微小な Ni ナノクラスターが主に活性を示していることが示唆された。一方、Fe 種はナノクラスターであってもスピルオーバー活性を示さなかった。ここでは、安価な Ni を用いることで Pt と同等の性能を得ることができた (○)。

水素貯蔵量の評価

Pt の分散度が高い Pt/C を用いて 25 °C および 50 °C での 10 MPa までの高圧水素貯蔵量の評価を行った。化学吸着量と物理吸着量の寄与を差し引くことでスピルオーバー水素貯蔵量を求めた。いずれの温度でもスピルオーバー貯蔵が生じているが、10 MPa におけるその寄与は全体の吸蔵量の 20 ~ 25% 程度である。また、50 °C の場合の方が 25 °C の場合よりスピルオーバー貯蔵量が小さくなっているが、この傾向は 0.1 MPa までの低圧領域とは反対となっている。高圧領域におけるスピルオーバー貯蔵の挙動は低圧領域とは大きく異なっていることを明らかにした。

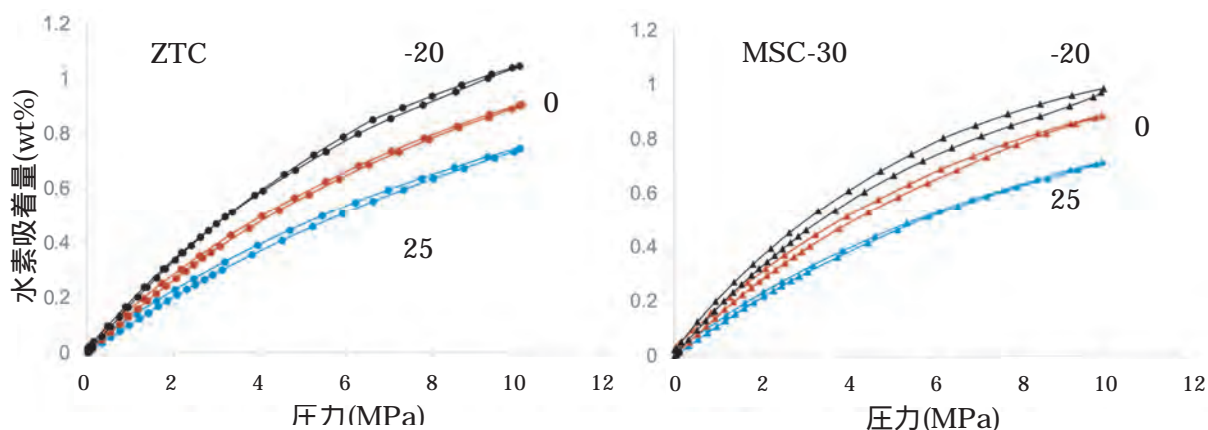


図6 高圧領域まで測定した、ZTC と MSC-30 の水素吸蔵量

また、図6にあるように ZTC と MSC-30 の様々な温度における水素吸着等温線を測定した。ZTC と MSC-30 の表面積には違いがあるが、測定した温度および圧力範囲では水素貯蔵量には大きな違いは無かった。また、等温線から吸着熱を計算したところ、両者とも 8 kJ/mol 程度であることが判った ()。

多孔質炭素材料と Mg-Ni 系合金ナノ粒子等の複合化とその水素貯蔵特性の評価

多孔質炭素材料 (ZTC を含む) を株式会社アツミテックが開発している Mg-Ni 系合金ナノ粒子等の水素吸蔵合金と組み合わせる検討を行う。二種類の貯蔵材料を複合化することで両者の長所を活かすことができ、貯蔵能のみならず放出速度等も含む実用性能の向上が期待できる。さらに、炭素と合金ナノ粒子を共存させることで水素スピルオーバーが発現する可能性もある。そこで、この二種類の貯蔵材料を混合した系の水素貯蔵特性を調べ、本混合系を容器に充填した車載水素貯蔵システムの性能解析のための基礎データとする。

多孔質材料として MSC-30、金属系材料として LaNi₅ 合金を用いて混合粉砕物の水素吸蔵能を測

定した。室温での測定を行ったところであるが、水素吸蔵特性について合金単体と混合粉碎物の違いは見いだせていない。低温化することで、顕著な変化を観測できると予想している。今までに報告されていない材料開発の指針であり、更なる材料の高性能化が期待できる（ ）。

ZTC の大量合成とその細孔構造の最適化

上記の複合系の混合割合やその状態を多様に変化させた試料の水素貯蔵特性を調べるため、比較的大量の ZTC を合成する。さらに ZTC の合成方法を改良することでその細孔構造をさらに水素貯蔵に適したものにす。

平成 29 年度には、一定量の合成が可能になり、後に述べる高密度化（ペレット化）の実験に供することが可能となった。その結果、市販の高性能炭素材料である MSC-30 を用いてデータを取得してきたが、ZTC のデータを直接、取得できるようになった。早速、ZTC の基本データを容器シミュレーションに提供し、ZTC を充填した水素貯蔵材料容器システムの性能を推算することができた（○）。

車載用水素貯蔵システムの解析結果の評価

上記 および の項目について水素貯蔵特性の結果を元にアツミテックと九州大学で解析およびシミュレートした車載用水素貯蔵システムの性能を実際に必要とされる目標値および要求仕様と比較し、自動車メーカーとしての視点からシステムや貯蔵材料の改善点等を提示した（○）。

車載用水素貯蔵システムのための多孔質炭素材料の高密度化

車載用水素貯蔵システムでは、より小さな体積でより多くの水素を吸蔵させることが求められる。そのためには吸着材料の水素吸蔵量を高めることのみならず、吸着材料の高密度化が求められる。そのため、多孔質炭素材料（ZTC を含む）の高密度化を行った。具体的には、圧力を掛けて成形するペレット化を進めた。

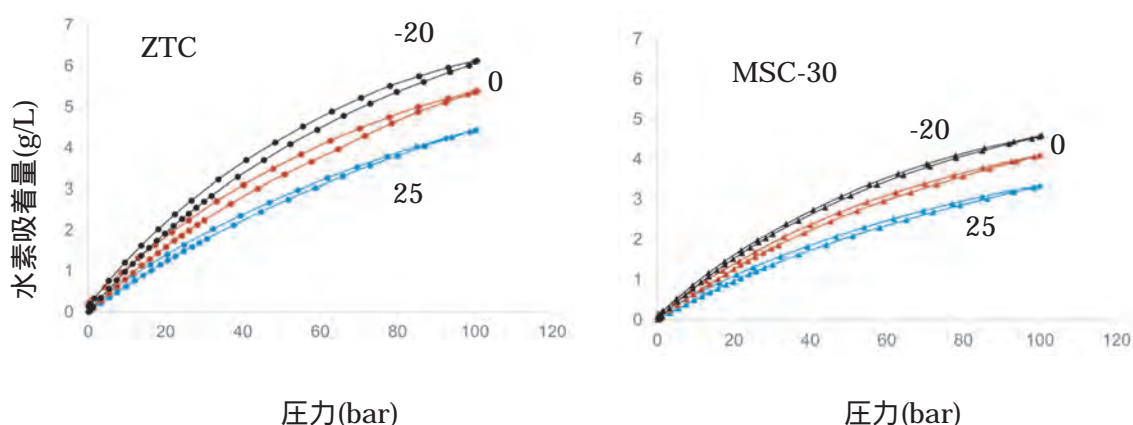


図7 ZTC と MSC-30 のペレットの単位体積当たりの水素吸蔵量

図7には、ペレット化した ZTC と MSC-30 の水素吸着等温線を示した。ペレット化することで ZTC の単位体積当たりの水素吸着量は、MSC-30 と比較して、はるかに大きくなることが判った。このデータを水素貯蔵材料容器システムのシミュレーションに提供し、高密度化した ZTC を用いた場合の容器システムの性能評価を行った。

図8には、ペレット化することで高密度化した ZTC の写真を示した。ペレット化することで、大幅な容器性能向上ができることが判った ()

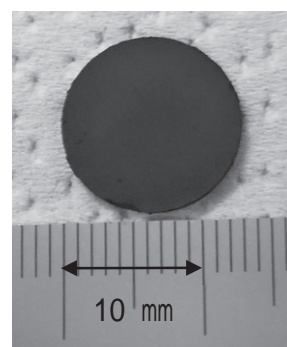


図8 高密度化した ZTC

(3) 軽量水素貯蔵材料の研究開発

Mg-Ni 系水素貯蔵材料の開発

軽量な水素吸蔵材料である Mg(重量水素密度 7.6wt%)を主材料とする Mg 系材料の吸蔵温度、吸蔵圧力を燃料電池自動車への搭載が可能な温度域、圧力域とする目的で Mg-Ni 系合金材料を薄膜化、ナノ粒子化した材料の水素吸蔵特性を調査した。更には、製造レベルでの実用化、低コスト化を目的にナノ粒子を大量に製造するための装置開発を行った。材料レベルの実用化開発と並行して製造方法、製造装置の開発を行った。材料に関わるデータを水素貯蔵材料容器モデルでの実証およびシミュレーションによる確認のため、提供している。

Pd 触媒層でキャップされた Mg-Ni 薄膜にて中間年度目標 6wt%を超える水素吸蔵 7.5wt%を確認し、最終目標レベルの水素吸蔵量を達成した。また、Mg-Ni ナノ粒子においても薄膜と同様に 7.5wt%以上の水素吸蔵量を確認した。ナノ粒子は Mg-Ni₂ 元系材料とし、Pd 触媒を用いずに室温、定圧環境下での水素吸蔵を確認した。図9に、Mg-Ni ナノ粒子の常温における水素吸蔵を示した。水素吸蔵特性の測定にあたって従来は別々であったナノ粒子の製造と水晶振動子マイクロバランス (QCMPCT) 法による水素吸蔵量測定を一体化、in-situ 化した装置を用いて、より測定精度を向上させて水素吸蔵特性の評価を実施した。図10に In-situ QCMPCT 装置の概念図と外観写真を示す。

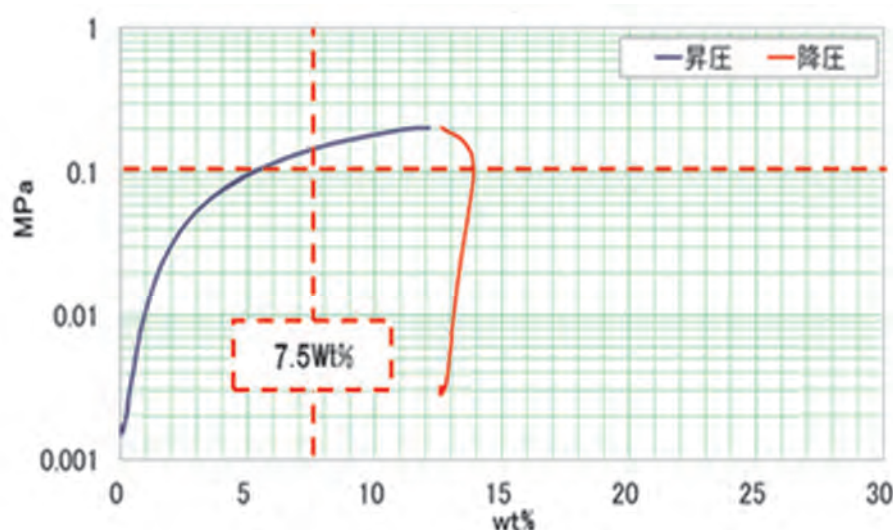


図9 Mg-Ni ナノ粒子の常温における水素吸蔵および放出

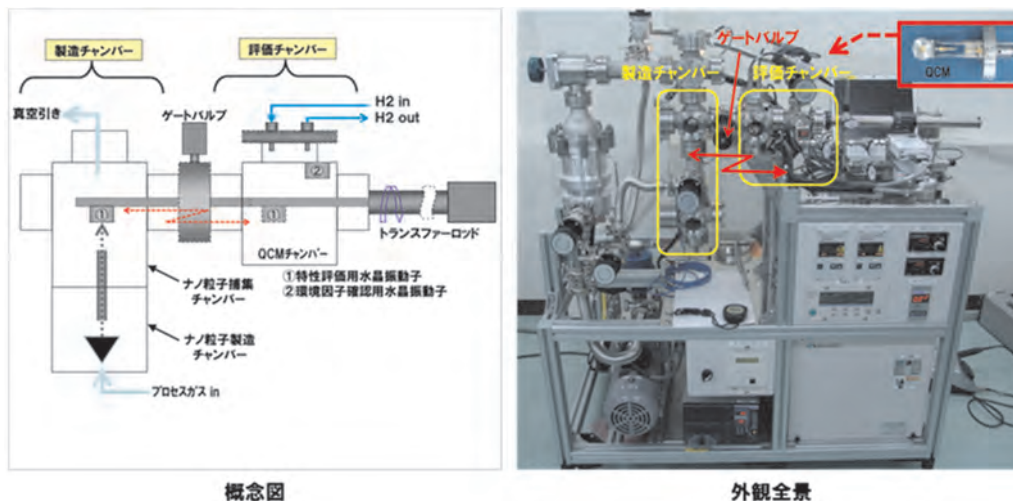


図 1 0 In-situ QCM-PCT 装置の概念図と外観写真

Mg-Ni ナノ粒子のラボレベルでの大量生産を目的に、大量に材料金属を蒸発させ、効率高くナノ粒子を捕集する装置開発を行った。大量に材料を蒸発させるため、材料に直接電流を流しジュール加熱により材料を蒸発させナノ粒子を得る方法を変更し、坩堝に材料を投入しヒーター加熱により材料を蒸発させナノ粒子を得る方法を採用した。生成したナノ材料の効率的な捕集のため、蒸発室及び周辺の冷却、ガス導入経路の改善（エアカーテン方式）、高電圧の印加の3項目を検証し、それぞれにおいて効果を確認する事ができた。これらの改善点を導入した装置を作成した。図 1 1 に捕集効率向上の方策と大量蒸発装置を示した。

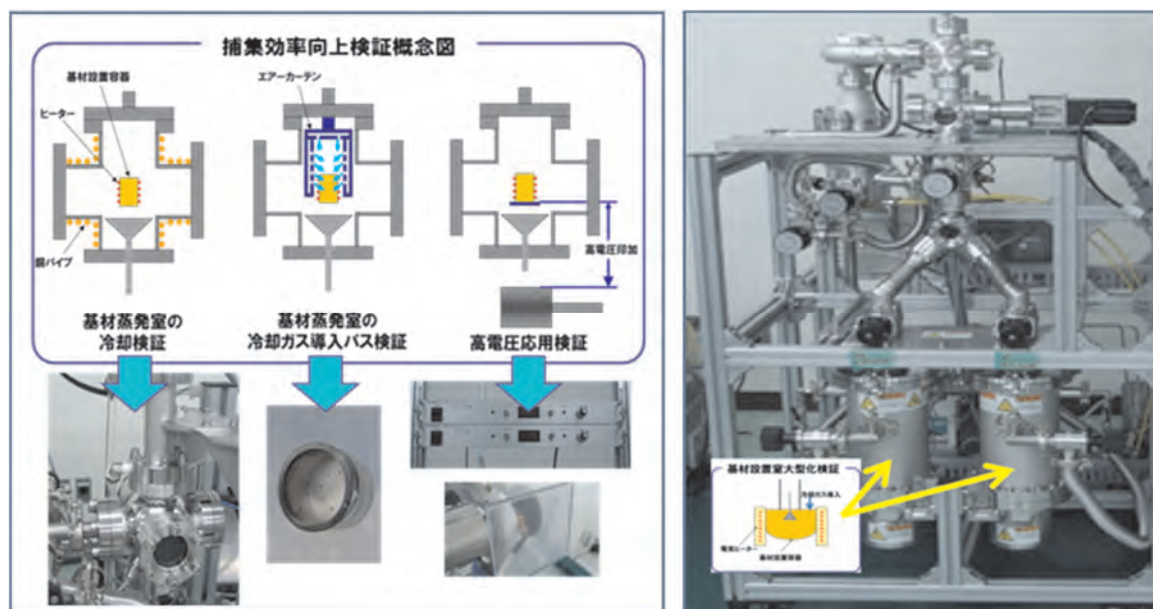


図 1 1 捕集効率向上の方策（左図）と大量蒸発装置（右図）

さらに、容器システムとするためにはナノ材料を容器に効率的かつ空気や水分による汚染なしに充填する必要がある。そのため、ナノ材料の担体への担持および容器への充填の可能性について検証した。具体的には、ロール状のシートを巻き取りながらナノ材料を担持し、空気に触れることなく材料が担持されたロールを容器に充填することを実証した。

また、ナノ材料の容器システムへの実装のためには、ラボレベルを超えた大量生産が必要であ

る。そのため、プラズマを利用した連続加熱真空チャンバーを試作した。具体的には材料の溶解に溶接トーチを利用し、さらに原料金属をワイヤー状として材料の連続供給を可能とした。この原理に基づいて図 1 1 (右図)に示した材料蒸発部を改造した。改造後の写真を図 1 2 に示した。この装置を用いて、ナノ粒子 100 g の製造を行う事に成功し、ナノ粒子を kg オーダーで製造する事に目処が付いた (○)。

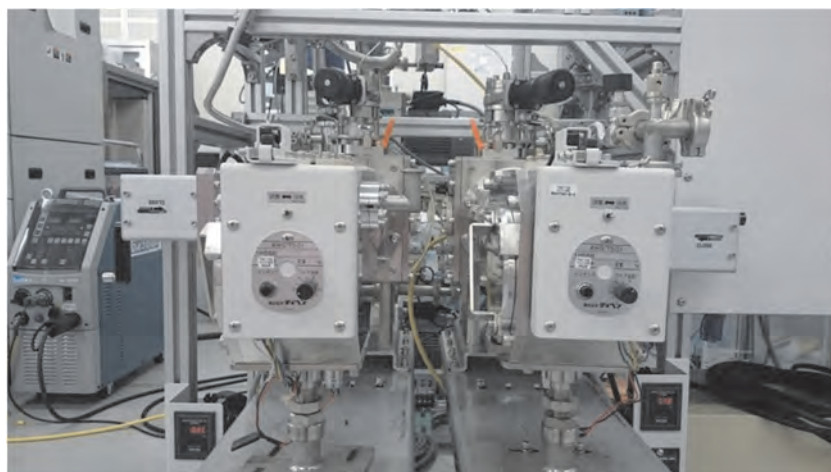


図 1 2 大量生産 (kg オーダー) を目指した材料蒸発部の試作

固溶体系水素貯蔵材料の開発 (平成 27 年度まで)

1996 年にトヨタ自動車の燃料電池自動車第一号に搭載された Ti 系 BCC 構造水素貯蔵材料は現状では、水素貯蔵材料として最高性能を有するが、吸蔵された水素の約 3 割程度が放出されず常に材料中に留まることが課題であった。その残留している水素まで利用できれば、目標値全ての達成は難しいが、コンパクトで形状自由度の高い容器システムが実現可能と想定し、残留水素の状態解析を行った。Ti 系 BCC 材料は構成する材料の中性子散乱能の総和がゼロとなり実験が極めて難しいが、本研究開発では Nb を添加することで材料性能を維持しながら中性子回折による結晶構造解析に成功した。その結果、残留水素は合金材料の格子内で複数のサイト間を運動しており、そのために安定化して放出されないと結論された。今後は、運動を制限することなどにより Ti 系 BCC 構造水素貯蔵材料の性能がフルに活用されることが期待される。図 1 3 には J-PARC で測定された中性子回折データとその構造をリートベルト解析した結果を示した ()。

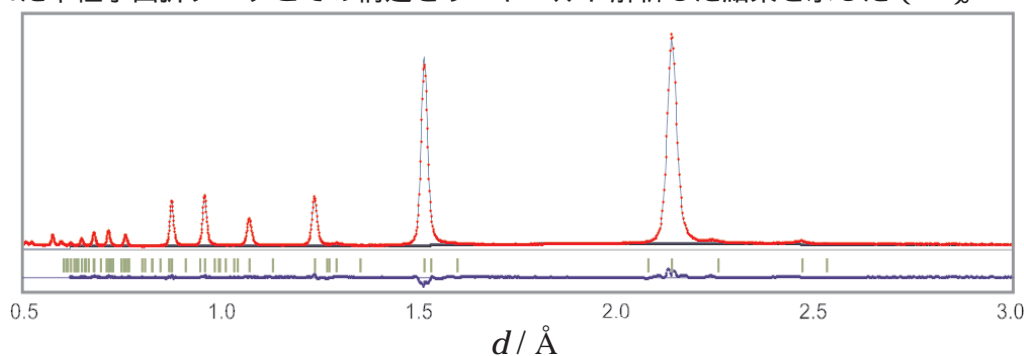


図 1 3 $\text{Ti}_{0.1}\text{V}_{0.6}\text{Cr}_{0.2}\text{Nb}_{0.1}$ 水素化物の中性子回折データのリートベルト解析

窒素系水素貯蔵材料の開発（平成 27 年度まで）

窒素系水素貯蔵材料は窒素原子が構成する構造へ陽イオンと水素が侵入と放出を行う事で水素吸蔵および放出が進行する。この材料は無機物の水素貯蔵材料の中では水素との反応温度が最も低く、最終目標を達成可能な材料系であるため、最適な窒素系水素貯蔵材料を見出すための探索実験を行った。

図 1 4 には窒素系水素貯蔵材料の基本構造を示した。窒素原子が面心立方(FCC)格子を形成し、その格子を維持したまま陽イオンおよび水素原子が侵入あるいは放出される。すなわち窒素系水素貯蔵材料では、金属系水素貯蔵材料において獲得された様々な経験則を活用して材料の開発を進めることができるとも考えられる。

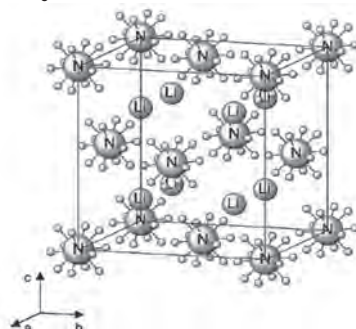


図 1 4 窒素系水素貯蔵材料における窒素骨格

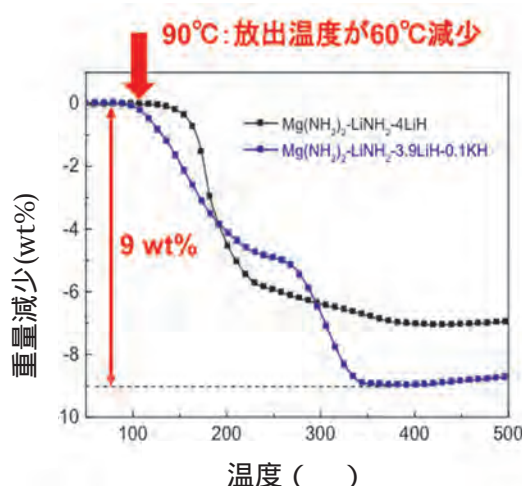


図 1 5 KH を触媒として添加した三成分系複合材料の水素放出

従来は窒素系の材料を一種ないしは窒素系同志あるいは窒素系材料と水素化物の二種を複合した系について、検討が進められて来たが、本事業の目標値を達成することが可能な材料は見出されていないため、本研究開発では、三成分系の探索を行った。その結果、二種類のアミド（窒素系水素貯蔵材料）と一種類の水素化物からなる複合材料 $\text{Mg}(\text{NH}_2)_2\text{-4LiH-LiNH}_2$ が 150 から水素を放出し、中間目標値を越える 7.7wt%の放出量を示すことを見出した。しかしながら、反応速度、水素放出量などを更に向上させるため、各種の触媒を探索した。具体的には、NaH、KH、TiH₂、Ni、Ce 化合物である。その中でも KH は、図 1 5 に示すように触媒を添加する前の三元系複合材料よりも 60 低い定温から水素を放出し、放出量も 7.7wt%から 9.0wt%へと増加させることができた。この材料については、耐久性などの今後の課題もあるが、水素貯蔵量に関しては目標値を大きく達成することができた (○)。

透過電子顕微鏡法を用いた水素貯蔵材料の構造解析（平成 27 年度まで）

軽量水素貯蔵材料の水素吸蔵・放出反応について、透過電子顕微鏡（TEM）を用いた原子レベルでの構造解析を実施し、反応メカニズム解明に向けた知見を得る。具体的には、固溶体系水素貯蔵材料について、水素吸蔵・放出後の材料組織を TEM 観察し、残留水素がトラップされやすい構造・組成について、また、特性劣化挙動などの情報を得て吸蔵量増大に貢献することを目的とする。

水素を含む微細構造解析を行うため、電子顕微鏡の加速電圧に関して観察条件の検討を行った。使用した透過電子顕微鏡 JEM-2400FCS は加速電圧 60kV、120kV、200kV の三段階で加速電圧が可変である。電子線による試料損傷を考慮した場合、低加速電圧が有利と考えられる。一方、低加速電圧の場合には、試料透過能が低化し、試料厚に敏感となる。また、空間分解能の点では、加速電圧は高い方が有利となる。これらを検討するためにサイクル試験後の水素を含んだ $Ti_{1.4}V_{1.1}Mn_{0.5}H_x$ 水素化物を用いて加速電圧 60kV および 200kV での観察を行った結果を図 1 6 に示す。観察は同一箇所を対象として行っている。加速電圧 60kV の場合は、試料の厚さ変化および厚さ方向に存在するダメージ層の影響によるコントラスト変化が大きいことがわかる。また、これらの影響により、原子像のコントラストはややぼやけてしまい、詳細な原子位置の判定はやや困難となっている。対して、加速電圧 200kV の場合は全体的にコントラスト変化が少なく、HAADF-STEM 像と ABF-STEM 像の両方で安定した原子象が観察されている。電子線損傷を考慮した場合、低加速電圧が望ましいが、加速電圧 200kV の観察時においても明確な構造変化は認められないことから、空間分解能および試料厚さに対する優位性から、水素を含んでいて電子線によって水素が放出されやすいとされている水素貯蔵材料において、加速電圧 200kV での観察を行うことが最適であることが判った。

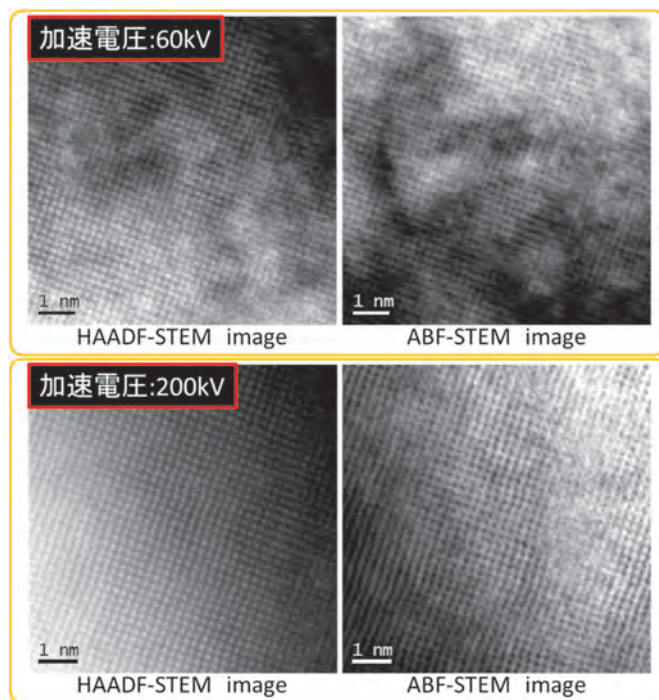


図 1 6 加速電圧による STEM 観察像の変化(上)加速電圧 60kV、(下)加速電圧 200kV

アツミテックで開発している、Mg-Ni ナノ粒子の透過電子顕微鏡観察を上記の条件で行った。図 1 7 に低倍で観察した粉末形状を示す。粉末は粒径 300nm 以下の直線的な形状を持った粒子で

ある。また、粒子外周のコントラスト変化から、板状の外壁で構成された中空粒子を形成しているものと判断出来る。この形状は、表面積を大きくできることから吸着材料としては有利な形状であることが判った。このナノ粒子中に含まれる微量 Ni の分布状態を確認するため高分解能観察を行った結果を図 1 8 に示す。Mg-Ni の 1 次粒子は粒径 ~ 30nm 程度で、配向性を持って板状に形成されていた。また、HAADF-STEM 像の Z-コントラストにより、図中矢印で示した部分が Ni 原子である可能性が高いと推察される。この像から Ni 原子はランダムに配置しているものと考えられる。

Ni 原子の存在を確認するため、EDS による元素マッピングを行ったが、電子線損傷により、粒径 ~ 30nm の微結晶が再結晶化し一様な結晶構造を示すようになった。また、Ni に相当すると考えられるコントラストも認められない状態となっていた。Ni 元素の存在状態を確認するための EDS 測定には、損傷を押さえたうえで微量元素を検出可能とする分析条件の検討を行う必要があることが判った。

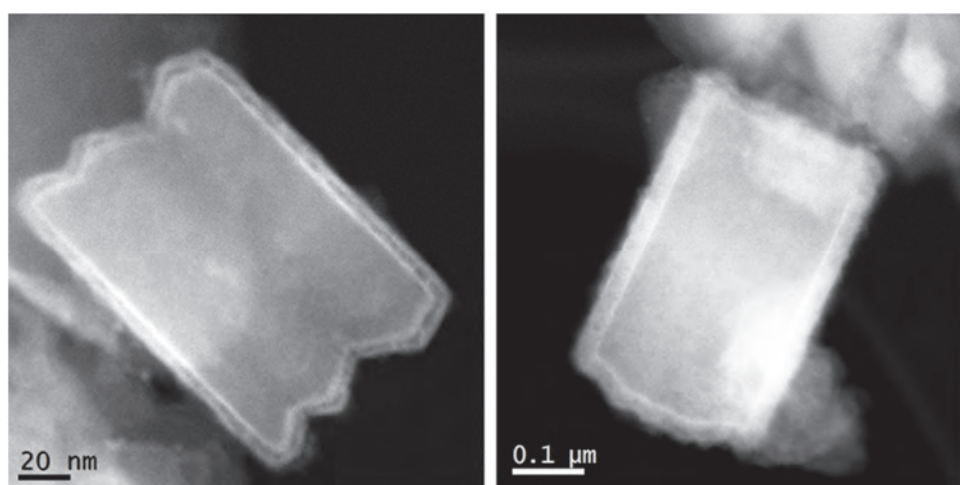


図 1 7 Mg-Ni ナノ粒子の低倍 HAADF-STEM 像

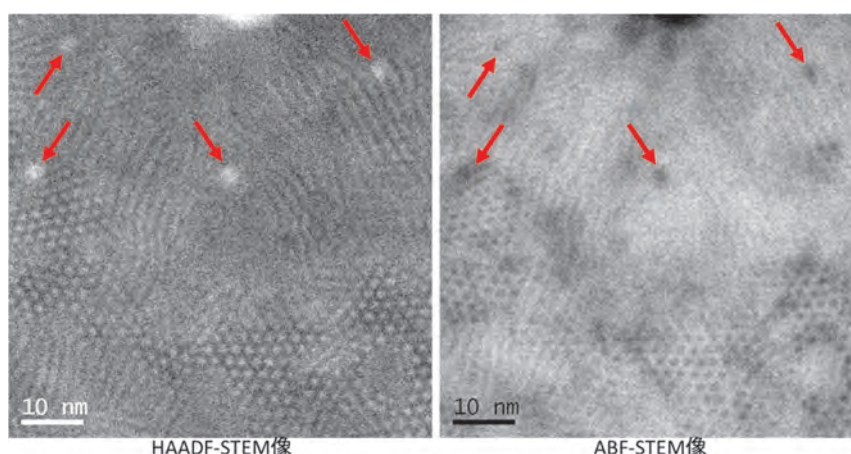


図 1 8 Mg-Ni ナノ粒子の高分解能 HAADF-STEM 像と ABF-STEM 像

Mg 系水素貯蔵材料の他にも、固溶体系水素貯蔵材料の透過顕微鏡観察を行い、劣化に伴う特定の元素の偏析を確認できた。この現象が、固溶体系水素貯蔵材料の劣化の機構の一因であることを明らかにすることができた。

透過電子顕微鏡での材料観察では、具体的なメカニズム解明には不十分な点もあるため、第一

原理計算を用い、理論解析から固溶体系水素貯蔵材料である Ti-V 系合金の水素化特性の解析を行った。なお、計算は一般に幅広く利用されている周期系の第一原理計算ソフトウェア VASP を用いて行った。

合金中の金属原子の配位状態が水素拡散ひいては水素吸蔵特性に影響することが実験的に知られている。Ti-V 二元合金は高温で全率固溶体であるが、500 以下の相図については詳しく知られておらず、実際に材料を使用する環境での規則構造の有無について正確には分かっていない。そのため、第一原理計算を用いて Ti-V 二元系の規則構造の有無を検討した。特に水素化した後の金属原子の配位状態を調査するため、構造の良く知られた二水素化物 $Ti_{1-x}V_xH_2$ ($0 \leq x \leq 1$) を対象とした。

Ti-V 二元合金のうち、 $Ti_{0.5}V_{0.5}$ の平衡水素圧を例として取り上げ、一水素化物の構造解析の結果を示す。実験的に、二元合金の一水素化物は bcc 構造を持ち、水素サイトは T と O が混在すると言われているが、 $x = 0.5$ では T が優勢と考えられている。 $Ti_{0.5}V_{0.5}H$ の構造を確認するため、bcc 格子の O、T サイトに水素を配置し、安定性を比較した。構造緩和の結果と、構造毎の第一原理エネルギーをまとめ、図 19 に示す。検討の結果、平衡水素圧の絶対値の再現やや困難な事が分かった。しかしながら、その一方でプラトー圧は $Ti_{0.5}V_{0.5}$ よりも $Ti_{1.0}V_{1.1}Mn_{0.9}$ の方が高い傾向や、三元合金については第一・第二プラトー圧比が一桁程度である点が再現されたことから、第一原理計算を用いて Ti-V 系合金の平衡水素圧を定性的に検討することが可能であることが判った。このように、電子顕微鏡観察によって Mg-Ni ナノ材料が中空であるとの活性の根本を突き止める事に成功すると共に第一原理計算による計算が困難とされてきた固溶体系の水素放出温度などの傾向を求めることができた (○)

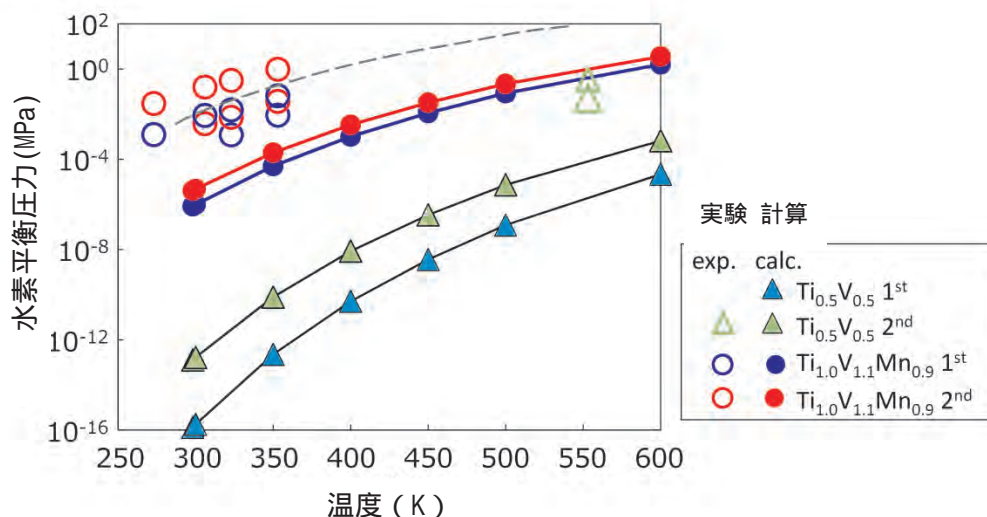


図 19 $Ti_{0.5}V_{0.5}$ と $Ti_{1.0}V_{1.1}Mn_{0.9}$ の平衡水素圧の計算値と実験値の比較

(4) 中性子を用いた高性能候補材料の評価

NEDO 事業であった水素貯蔵材料先端基盤研究事業 (愛称: HYDRO-STAR) において世界有数の中性子施設である J-PARC に中性子全散乱装置 NOVA 建設した。以下の実験は NEDO 事業で建設した NOVA を用いて測定したものである。

高エネルギー加速器研究機構では、J-PARC において九州大学が作製した重水素化 Nb 添加 Ti-V-Cr 合金 ($Ti_{0.1}V_{0.3}Cr_{0.3}Nb_{0.3}$, $Ti_{0.3}V_{0.3}Cr_{0.3}Nb_{0.1}$) について、中性子全散乱測定を実施した。

一水素化物 ($\text{Ti}_{0.1}\text{V}_{0.6}\text{Cr}_{0.2}\text{Nb}_{0.1}\text{D}_1$ 、 $\text{Ti}_{0.3}\text{V}_{0.3}\text{Cr}_{0.3}\text{Nb}_{0.1}\text{D}_1$) と二水素化物 ($\text{Ti}_{0.1}\text{V}_{0.6}\text{Cr}_{0.2}\text{Nb}_{0.1}\text{D}_2$ 、 $\text{Ti}_{0.3}\text{V}_{0.3}\text{Cr}_{0.3}\text{Nb}_{0.1}\text{D}_2$) の構造を比較するために中性子全散乱測定を NOVA を用いて実施したところ、一水素化物の中性子散乱強度が著しく低いためリートベルト解析は困難であり、試料容器などからのバックグラウンドを低減するなどの改善が必要であることがわかった。一方、二水素化物の実空間 2 体相関プロファイルでは 2 Å 以下の Nb-水素相関情報に注目することにより、リートベルト解析から示唆される水素位置を決定するための詳細な局所構造解析を実行できることが判り、在留水素の存在およびそのメカニズムについて解明するための重要な情報を提供することができた(○)。(図 2 0)

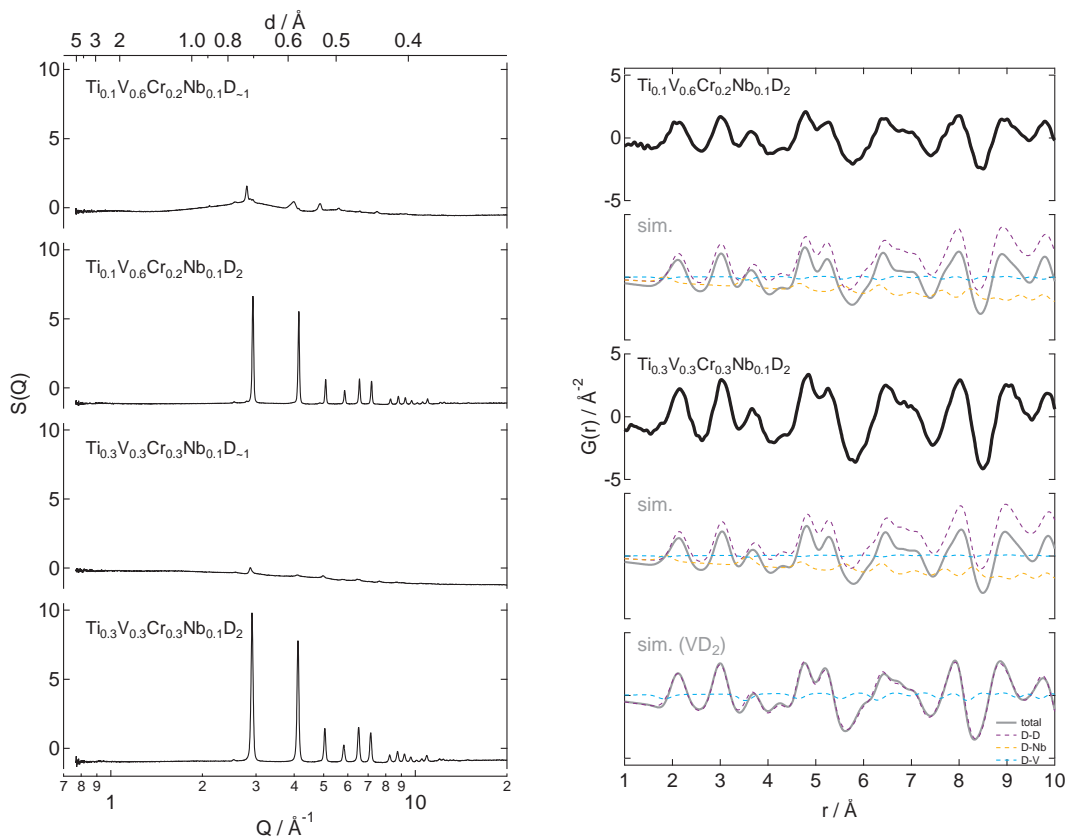


図 2 0 左： $\text{Ti}_{0.1}\text{V}_{0.6}\text{Cr}_{0.2}\text{Nb}_{0.1}$ と $\text{Ti}_{0.3}\text{V}_{0.3}\text{Cr}_{0.3}\text{Nb}_{0.1}$ の一水素化物および二水素化物の中性子全散乱プロファイル。右：二水素化物の実測された実空間 2 体相関プロファイルと結晶構造パラメータから導出された 2 体相関プロファイル。

(5) 車載用 水素貯蔵システムの構築と評価

水素貯蔵材料容器システムに関する解析として、最初に燃料電池自動車のリバース解析を行った。具体的には、燃料電池自動車の走行に必要な水素供給条件を求めるリバース解析とそれに基づいて水素貯蔵材料容器システムの仕様を決めるフォワード解析である。

リバース解析の結果、図 2 1 にあるように自動車の標準走行モード（わが国のみではなく国際的な標準を参考）での走行に必要な水素量を求めることができた。ここで求めた水素供給量を確保できるような水素貯蔵材料容器システムの設計（フォワードエンジニアリング）を行った。

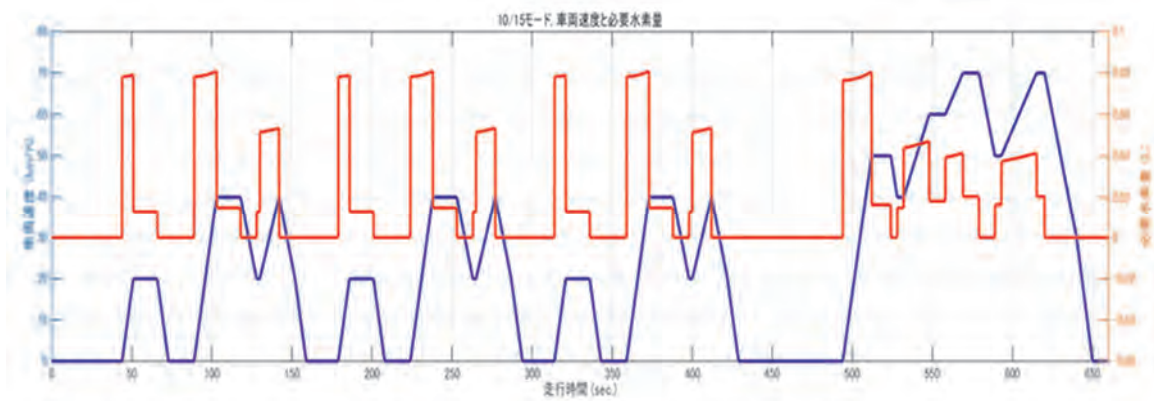


図 2 1 モード走行時に必要な水素量

図 2 2 には、本研究開発で対象とする燃料電池自動車の水素貯蔵材料容器システムを示した。

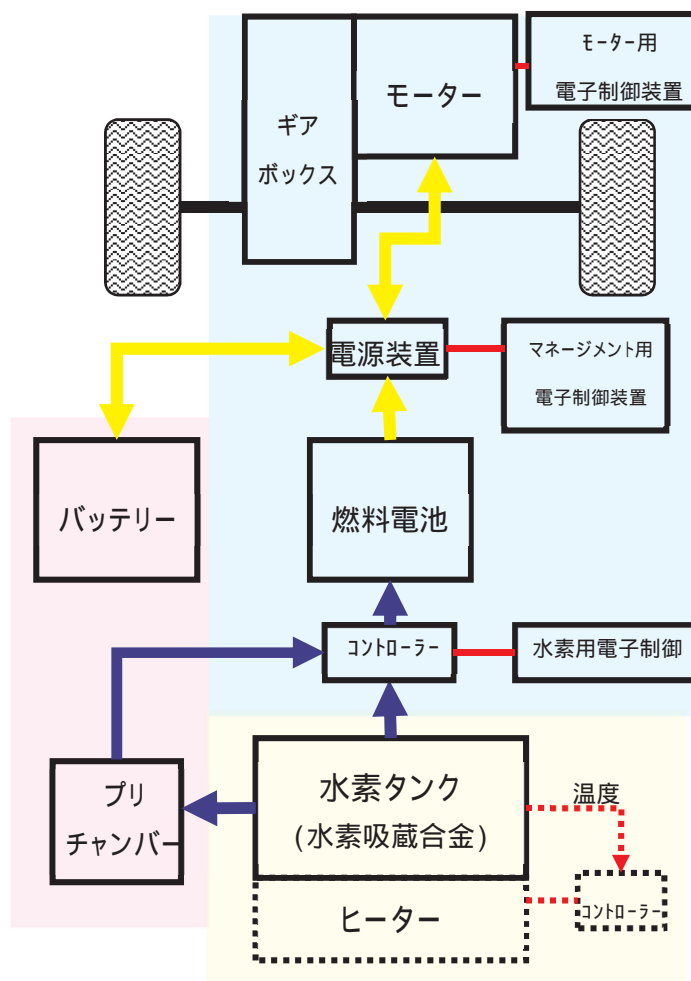


図 2 2 本研究開発にて提案の燃料電池自動車の水素貯蔵材料容器システム

図 2 2 に示したシステムは、本研究開発の最終目標である水素 5 kg を搭載した場合、質量貯蔵密度 6 質量% 以上、容器体積 100L 以下、コスト 30~50 万円以下、かつ燃料電池自動車の低温起動や全開加速に適する水素放出性能を有することに加えて、水素容器形状の自由度を有する車載用システムの実現を達成可能なものである。

自動車業界からの強い要望に形状の自由度がある。現状技術である 70MPa の高压容器システム

は高い圧力を安全に貯蔵するために形状が円筒系に限られる。また、5kg の水素搭載で容器体積は 200L を越えると想定される。これらはガソリンあるいはディーゼル自動車と比較して、燃料自動車を設計する場合に極めて困難な状況をもたらしている。

そのため、上記のシステムでは、扁平な形状を有する軽量水素貯蔵材料を充填したメイン容器とリバー解析で求められた加速時などに必要な水素量を担保するための小型のプリチャージ容器を組み合わせたシステムとした。メイン容器の強度計算を行い SUS304 相当材では板厚 20mm では 10MPa 以下にする必要があることを明らかにした。また、最適化を進めて扁平容器重量 100kg 以下で充填圧力 0.3MPa 以下が望ましいことを併せて明らかにした

急発進・急加速時に用いられるプリチャージ容器は炭素系材料を充填材料の候補とし水素圧 10MPa にて検討した。その結果、SUS304 相当材では 5mm 肉厚で 10kg 程度の容器重量になることを確認するとともに、容器体積は数 L 以下となる見込みであることを示すことができた。

プリチャージ容器の検討の中で、東北大学で成功した ZTC の高密度化のデータを用いて容器体積のシミュレーションを行った。5kg の水素を充填した場合の結果を図 2 3 に示した。

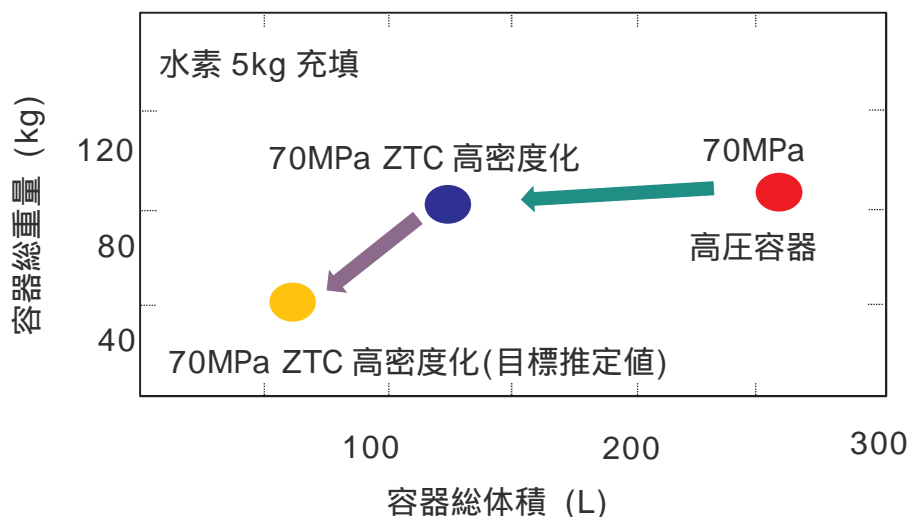
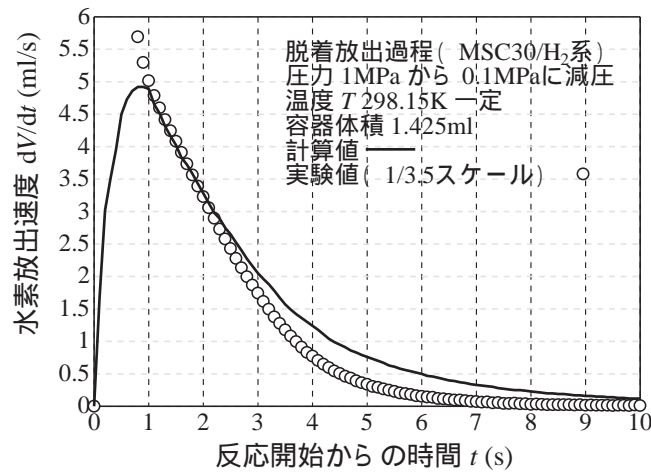
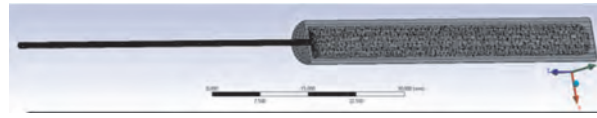


図 2 3 高密度化炭素材料 (ZTC) を充填した 70MPa の高圧容器の高性能化(5kg 水素充填)

70MPa の圧力容器に充填したと仮定した高密度化した ZTC の現状データ用いると、上記のように重量密度および容器体積において目標値を達成可能な容器システムが実現することが判った。特に、容器の体積が半分になることで必要なカーボンファイバーの分量が激減して、コストが半分以下になることが予想される。また、炭素系水素貯蔵材料を用いる事から、急発進・急加速に対しても容器からの水素供給が対応が可能と容易に推定される。

メイン容器については、小型の容器を設計試作して、低温始動時の特性を中心に水素放出の検討を進めている。そのために、最低温度 40 まで到達可能な低温ベンチを設計製作して水素容器の評価に供した。



1.

図 2 4 実験用水素貯蔵材料容器システムと水素放出のシミュレーション結果と実験値

材料の特性と容器形状から、容器およびシステムの性能評価を行うために必要なシミュレーション技術の開発を行った。図 2 4 には、アツミテックで製作した小型容器とそれからの水素放出をシミュレーションおよび実験結果から得られた水素放出データ（図中 印）を示した。実験値と計算値が極めて良く一致しており、水素貯蔵材料容器システム性能のシミュレーションが可能であることが示された。

以上のように、実験とシミュレーションから、図 2 5 に示す形状自由度の高いシステムの提案をすることができた。

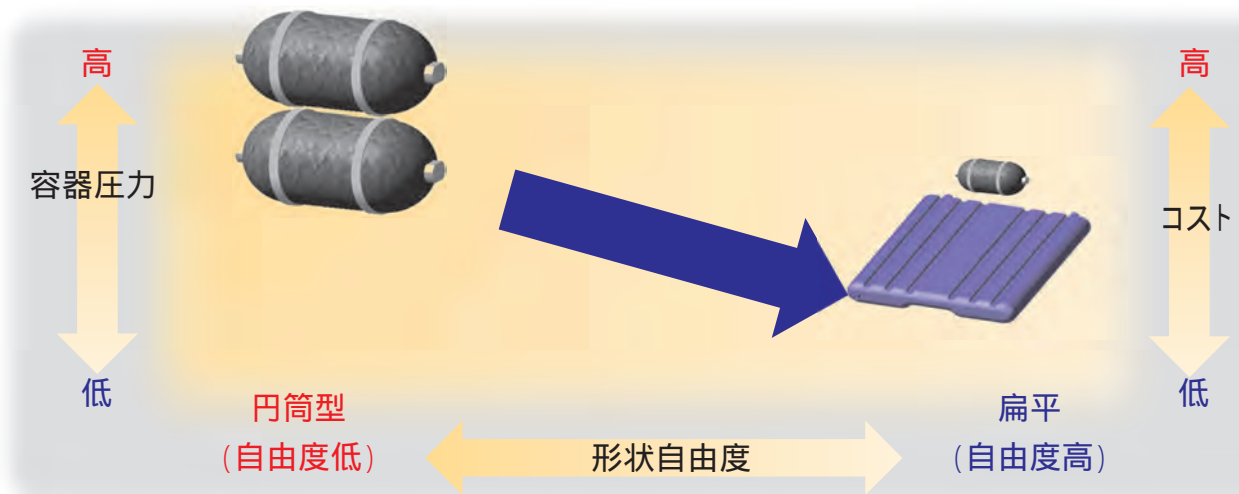


図 2 5 プリチャージ容器と扁平メイン容器からなるシステム

メイン容器に充填する材料について、参加機関全体で検討しており、炭素材料と金属系材料の複合化により、水素貯蔵量などで両者の単純な足し合わせではない効果が見出されている。新しい水素貯蔵材料の設計指針として、本研究開発の成果として発信する事としている。以上のように

に二つの水素貯蔵材料容器システムの提案を実験とシミュレーションに基づいて行うと共に、炭素系水素貯蔵材料と軽量あるいは金属系水素貯蔵材料との複合材料について新たな材料開発の指針を得ることができた（ ）。

3.2 成果の意義

高圧容器システムは高圧水素の物性に基づくと、ハイブリッド自動車用燃料タンクの数倍の体積があり、それと共に高価な炭素繊維を使用するため高いコストが大きな課題である。何れも、現状技術では解決が困難とされていて、燃料電池自動車の車種拡大および大量生産時までには革新的な技術の展開が求められている。

本研究開発で開発した水素貯蔵材料容器システムは、これらの課題を唯一解決可能なものであり、燃料電池自動車の車種拡大および大量生産が実現する時期には、水素の車上搭載に必要な不可欠な技術となると想定される。

すなわち、現状の高圧容器システムのみでは達成が困難と考えられる燃料電池自動車の普及と市場拡大に大きく貢献するための技術を、本研究開発によって提示することができた。

3.3 開発項目別残課題

当初課題として取り上げていたが、プロジェクト進捗に従い、より重要度の高い課題に集中するため、優先度を下げべきと判断した。

金属系水素貯蔵材料、固溶体系水素貯蔵材料および窒素系水素貯蔵材料は平成 27 年度の間評価の際に、開発された材料は目標値の一部を大きく達成したのもあったが、その一方で全ての目標を同時に達成が困難であることおよび残された事業の期間ではその解決が困難であると判断されたため、炭素系水素貯蔵材料と軽量系水素貯蔵材料の内 Mg-Ni ナノ粒子材料の研究開発とそれら二つの水素貯蔵材料の車載への取組に集中するために優先度を下げべきと判断して平成 27 年度限りとした。

プロジェクト進捗に従い、新たに見いだされた。

炭素系水素貯蔵材料の高密度化を図ることで、既存のインフラストラクチャーを利用する水素充填圧力 70MPa と炭素系水素貯蔵材料を組み合わせた場合に、容器体積の大幅な軽減を達成する可能性があることを示した（図 2-1 参照）。より一層材料の高密度化を進めることで、更なる高性能化が期待できる。

炭素系水素貯蔵材料と軽量あるいは金属系水素貯蔵材料との複合材料は、単独の材料性能の足し合わせ以上の性能が最終年度に見出されている。本研究開発からの材料開発の新しい指針としての提案である。今後の水素貯蔵材料開発の指針として広く活用されることが期待される。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

4.1 まとめ

水素 5 kg を搭載した場合、質量貯蔵密度 6 質量% 以上、容器体積 100L 以下、コスト 30～50 万円以下、かつ燃料電池自動車の低温起動や全開加速に適合する水素放出性能を有する車載用システムの開発を最終目標として研究開発を進めてきた。金属系、炭素系、Mg-Ni ナノ材料、固溶体系および窒素系水素貯蔵材料の材料開発の成果から、水素貯蔵材料容器システムへ充填する候補材料として炭素系と Mg-Ni ナノ材料を選択し、容器システム開発を実験とシミュレーションの両面から進めてきた。その結果、目標値を達成可能な二つの容器システムを提案することができた。また、材料開発においても、新規な複合水素貯蔵材料の創製指針を提案した。

4.2 課題および今後の方針

(1) 課題

本事業で開発した「水素貯蔵材料容器システム」はラボレベルの実験とシミュレーションによる性能確認の段階である。実サイズでの性能データを取得可能なサイズでの実証が必要である。

また、本事業において、容器に充填する水素貯蔵材料の更なる高性能化の可能性が示されたように、継続して材料の高性能化のための技術開発を推し進めることが肝要である。

更に、「水素貯蔵材料容器システム」を実際に燃料電池への車載に必要な各種試験の実施について、自動車メーカーを中心に今後行う必要がある。

(2) 今度の方針

自動車メーカーとの密接な連携の基に進めて来たプロジェクトであるため、技術情報を自動車メーカーと共有する事によって、燃料電池自動車の品種拡大および大量生産を実現するために、技術開発を継続することが期待される。

材料開発については、大学および研究機関での継続した研究開発が強く望まれる。

4.3 事業化までのシナリオ

現時点で燃料電池自動車の車種拡大および大量生産の実現を含むシナリオは FCCJ(燃料電池実用化推進協議会)が 2016 年 3 月に発表した同協議会のシナリオ改定版のみである(前掲)。そのシナリオに従うと、2020 年代後半から 2030 年代前半にかけて自立拡大が開始するとされ、2030 年には延べ生産台数が 65 万台に達するとされている。

「水素貯蔵材料容器システム」は、自立拡大が開始され、燃料電池自動車の車種拡大および大量生産が行われる時期に、実際に車載が開始されると想定される。すなわち、燃料電池自動車は長距離ドライブが可能な点が電気自動車に比べると利点であるので大量の水素をコンパクトに搭載する技術が、特に大型の乗用車やバス・トラックなどへの水素搭載の実現には必要とされる。その一方で、小型の乗用車へは軽量かつ安価な水素搭載システムが要求されることになると想定される。その時期までに「水素貯蔵材料容器システム」の実証に必要なシミュレーションを主とする設計指針の確立、充填する水素貯蔵材料の高性能化などの基礎的研究開発を行い、自動車メーカーによる実装のための各種試験へとつなげる。水素貯蔵材料を用いた容器システムに関して、現状では特段の規制緩和などの必要性は低いと考えられるので、一旦、技術開発が進展すれば、実用化への障壁は低いと予想される。

5 . 研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2014年1月31日	I2CENR International workshop 2014 (招待講演)	Preparation of cost- effective hydrogen storage materials for on bord application	Jin Nakamura
2014年7月22日	14th International Symposium on Metal-Hydrogen Systems (ポスター 発表)	Development of hybrid hydrogen tank	Tatsuya Fuura
2014年7月24日	14th International Symposium on Metal-Hydrogen Systems (ポスター 発表)	Preparation of cost- effective hydrogen storage materials for on bord application	Jin Nakamura
2015年9月16日	日本金属学会 2015年秋季講演大会	V系 BCC 合金における 濃度ゆらぎと耐久性の関 係	高松 佑
2015年11月10日	表面科学 会誌 (第 36巻11号 P568)	水素吸蔵合金を用いた水 素貯蔵	布浦 達也

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2014年7月22日	14th International Symposium on Metal-Hydrogen Systems (ポスター発表)	Ab-initio Molecular Dynamics Simulations with Fractional Atomic Occupation numbers	Kazutoshi Miwa
2014年9月25日	日本金属学会 2014年秋期講演大会 (口頭発表)	第一原理計算によるA15型V3Xの水素吸蔵能予測	三輪 和利
2015年2月4日	I2CENR International workshop 2015 (招待講演)	Theoretical study on hydrogen storage alloys	Kazutoshi Miwa
2015年7月16日	2015 Hydrogen-Metal Systems Gordon Research Conference (招待講演)	Theoretical Study on Hydrogen Storage Alloys: Near-sightedness and Color-blindness of Hydrogen in Metals	Kazutoshi Miwa
2015年9月18日	日本金属学会 2015年秋期講演大会 (口頭発表)	第一原理分子動力学計算によるバナジウムの水素吸蔵能予測	三輪 和利

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2013年8月26日	第51回炭素材料夏季セミナー,(ポスター発表)	リチウムをドーブしたゼオライト鑄型炭素への水素吸着	大嶽文秀, 西原洋知, 糸井弘行, 京谷隆
2013年9月19日 (公開日)	Chemistry-A European Journal (学術雑誌)	Reversible Pore Size Control of Elastic Microporous Material by Mechanical Force	Masashi Ito, Hiroto Nishihara, Kentaro Yamamoto, Hiroyuki Itoi, Hideki Tanaka, Akira Maki, Minoru T. Miyahara, Seung Jae Yang, Chong Rae Park, Takashi Kyotani
2013年5月21日	8th International Mesosstructured Materials Symposium (招待講演)	Synthesis of Ordered Porous Carbon and Its Application to Energy Fields	Hiroto Nishihara, Takashi Kyotani
2013年9月28日	International Symposium for the 70th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan (招待講演)	Energy storage in nanocarbons and nanocomposites	Hiroto Nishihara
2013年9月29日	International Symposium for the 70th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan(ポスター発表)	Hydrogen Adsorption on Zeolite-Templated Carbon Doped with Alkali Metal	Fumihide Ohtake, Hiroto Nishihara, Hiroyuki Itoi, Takashi Kyotani
2013年11月5日	4th Asian Conference on Coordination Chemistry (招待講演)	Template carbonization for advanced nanomaterials	Hiroto Nishihara
2014年3月14日	研究会: グラフェンを「作る・測る・使う」技術開発の将来 (招待講演)	鑄型ナノカーボンの合成とエネルギー貯蔵への応用	西原洋知

2014年3月20日	先端炭素材料セミナー-2014 (招待講演)	多孔質炭素材料への金属クラスターの高分散化	糸井弘行
2014年3月27日	日本化学会第94春季大会 (口頭発表)	メタロセンを前駆体とした金属ナノクラスター担持ゼオライト鋳型炭素の水素吸着挙動	大嶽文秀、西原洋知、糸井弘行、伊藤仁、京谷隆
2014年4月16日 (公開日)	J. Phys. Chem. C (学術雑誌)	Experimental and Theoretical Study of Hydrogen/Deuterium Spillover on Pt-Loaded Zeolite-Templated Carbon	Hiroto Nishihara, Somlak Ittisanronnchai, Hiroyuki Itoi, Li-Xiang Li, Kimichi Suzuki, Umpei Nagashima, Hiroshi Ogawa, Takashi Kyotani, Masashi Ito
2014年4月25日 (公開日)	水素の辞典 (書籍, 朝倉書店)	炭素材料による室温での可逆的水素貯蔵	西原洋知、京谷隆、伊藤仁、内山真
2014年7月3日	Carbon2014 (ポスター発表)	Hydrogen Adsorption in Zeolite-Templated Carbon Decorated with Metal Nanoparticles Prepared by Using Metallocene as a Metal Source	Fumihide Ohtake, Hiroto Nishihara, Hiroyuki Itoi, Masashi Ito, Takashi Kyotani
2014年8月19日	XXIII International Materials Research Congress 2014 (招待講演)	Templated Nanocarbons for Energy Storage	H. Nishihara, T. Kyotani
2014年8月25日	第52回炭素材料夏季セミナー (ポスター発表)	フラーレンによる水素スピルオーバー効果の促進	志村智哉、西原洋知、大嶽文秀、京谷隆
2014年11月1日	10th International Conference on Separation Science and Technology (ポスター発表)	Hydrogen Adsorption in Zeolite-Templated Carbon Decorated with Transition-Metal Nanoparticles	Hiroto Nishihara, Fumihide Ohtake, Hiroyuki Itoi, Masashi Ito, Takashi Kyotani
2014年12月8日	第41回炭素材料学会年会, (Keynote)	Templated nanocarbons and carbon-coated	Hiroto Nishihara, Takashi Kyotani

	lecture)	materials for energy storage	
2014年12月8日	第41回炭素材料学会年会 (ポスター発表)	フラーレンをモデル担体としたスピルオーバー水素の直接分析	志村智哉、方立駿、西原洋知、大嶽文秀、京谷隆
2014年12月8日	第41回炭素材料学会年会 (口頭発表)	メタロセンを原料とする遷移金属担持炭素の調製と水素貯蔵への応用	大嶽文秀、西原洋知、糸井弘行、伊藤仁、京谷隆
2015年1月21日	Pure and Applied Chemistry International Conference 2015 (招待講演)	Nanocarbons and composite materials for energy storage	H. Nishihara, T. Kyotani
2015年2月4日	兵庫県立大学大学院工学研究科物質系工学専攻物質制御計測科学研究グループ主催招待講演会 (招待講演)	物理吸着とスピルオーバーによる水素吸蔵	西原洋知
2015年6月26日	第4回酸化グラフェン研究会 (招待講演)	グラフェンから成る多孔体とその酸化特性	西原洋知
2015年7月2日	International Symposium on Zeolites and MicroPorous Crystals 2015 (招待講演)	Zeolite-Templated Carbons and Their Applications	H. Nishihara, T. Kyotani
2015年8月10日	第53回炭素材料夏季セミナー (ポスター発表)	有機金属錯体を利用した多孔質炭素への金属ナノ粒子の高分散化の検討	三岡雅尚、糸井弘行、大澤善美
2015年8月25日	Special Seminar at University of Concepcion (招待講演)	Nanocarbons and composite materials for energy storage	H. Nishihara
2015年8月28日	Special Seminar at University of Chile	Nanocarbons and composite materials	H. Nishihara

	(招待講演)	for energy storage	
2015年11月18日	10th International Conference on the Physical Properties and Application of Advanced Materials (基調講演)	Synthesis of Novel Carbon Materials by Using Porous Inorganic Templates	H. Nishihara, T. Kyotani
2015年11月19日	第29回日本吸着学会研究発表会 (口頭発表)	微小なNiクラスターを担持した多孔質炭素の水素吸脱着挙動	西原洋知、大嶽文秀、Castro-Muniz Alberto、糸井弘行、丸山純、京谷隆
2015年12月2日	第42回炭素材料学会年会 (口頭発表)	多孔質炭素に高分散させた均一な粒径を有する微小金属ナノ粒子のスピルオーバーを利用した水素貯蔵特性の考察	三岡 雅尚、糸井 弘行、大澤 善美
2015年12月19日	Pacificchem2015 (招待講演)	Preparation of carbon-based fusion materials and their applications	H. Nishihara, T. Kyotani
2016年5月26日	第78回材料理化学セミナー (招待講演)	3次元グラフェン構造体の合成	京谷隆
2016年6月17日	第6回酸化グラフェンシンポジウム (口頭発表)	高比表面積フラーレンポリエステル合成	針谷明夫、西原洋知、大和田真生、京谷隆、仁科勇太
2016年6月26日	The International Conference on Small Science (ICSS 2016) (招待講演)	Graphene-based 3D frameworks for energy storage	H. Nishihara, T. Kyotani
2016年7月12日	Carbon2016 (ポスター発表)	Nitrogen and boron co-doping in ordered microporous carbon by using hard template method	Alberto Castro-Muniz, Hiroto Nishihara, Tetsuya Hirota, Mao Ohwada, Li Li-Xiang, Tetsuya Thuda, Susumu Kuwabata, Takashi Kyotani
2016年8月3日	SAGA-LS 研究成果報	Nanocarbons and	西原洋知、大嶽文秀、

	告会 (口頭発表)	composite materials for energy storage	Castro-Muniz Alberto、糸井弘行、丸 山純、京谷隆
2016年8月29日	第54回炭素材料夏季 セミナー (ポスター発表)	フラーレンを主成分と した多孔質材料の合成	針谷明夫、西原洋知、 大和田真生、Alberto Castro Muniz、京谷 隆、仁科勇太
2016年8月29日	第54回炭素材料夏季 セミナー (ポスター発表)	ゼオライト鑄型炭素を ベースとした水素貯蔵 材料の開発	佐藤耀介、西原洋知、 Alberto Castro Muniz1、糸井弘行、京 谷隆
2016年11月4日	EMN Phuket Meeting 2015	Graphene-based porous carbons for energy applications	Takashi Kyotani, Hiroto Nishihara
2016年11月10日	第30回日本吸着学会 研究発表会 (招待講演)	カーボン系材料のナノ 空間制御とエネルギー 貯蔵への応用	西原洋知
2016年12月7日	第16回多元物質科学 研究所研究発表会 (ポスター発表)	多孔質フラーレンポリ エステル合成	針谷明夫、西原洋知、 大和田真生、Alberto Castro-Muniz、京谷隆
2017年2月3日	International Symposium on Materials for Chemistry and Engineering (IMCE 2017) (招待講演)	Template Synthesis of Graphene-Based Carbons for energy applications	T. Kyotani, H. Nishihara
2017年3月23日	J. Phys. Chem. C (学術雑誌)	Fine Dispersion of Pt ₄ ₅ Subnanoclusters and Pt Single Atoms over Porous Carbon Supports and Their Structural Analyses with X ray Absorption Spectroscopy	H. Itoi, H. Nishihara, S. Kobayashi, S. Ittisanronnachai, T. Ishii, R. Berenguer, M. Ito, D. Matsumura, T. Kyotani
2017年4月10日	2017 International Forum on Graphene (招待講演)	Template Synthesis of Graphene-based Nanocarbons as Energy Storage Media	T. Kyotani

2017年5月24日	「ナノ多孔性材料とその産業応用」に関する先導的研究開発委員会第4回研究会 (招待講演)	炭素材料の空間空隙制御	京谷隆
2017年6月9日	電磁波励起反応場第188委員会平成29年度第1回ワークショップ (招待講演)	炭素材料のナノ構造制御と機能化	京谷隆
2017年7月20日	6th Symposium on Challenges for Carbon-based Nanoporous Materials (招待講演)	Graphene-based nanoporous carbons for energy applications	T. Kyotani, H. Nishihara

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2015年5月18日	Chemical Communications, 51, 10018 (2015)	“ A Li-Mg-N-H composite as H ₂ storage material: A case study with Mg(NH ₂) ₂ -4LiH-LiNH ₂ ”	B. Paik, H.-W. Li, J. Wang, E. Akiba
(投稿中)	Dalton Transaction	“ KH-modified three-component Mg(NH ₂) ₂ -LiNH ₂ -LiH composites as promising hydrogen storage materials ”	Huai-Jun Lin, B. Paik, H.-W. Li, J. Wang, E. Akiba
2015年9月26日	エネルギーデバイス増刊	“ 水素吸蔵合金の最新開発、応用動向と実用化への課題 ”	秋葉悦男
2015年9月30日	シーエムシーリサーチ	“ 第3章 無機系水素貯蔵材料の現状と課題 ”, 水素社会実現に向けた水素エネルギー技術とビジネス展望	秋葉悦男 (分担執筆)
2016年1月1日	化学と工業 2016年1月号	“ 水素貯蔵技術 ”	秋葉悦男
2016年2月10日	CMC 出版	“ 第10章 水素貯蔵材料開発動向 ”, 燃料電池自動車の開発と材料	秋葉悦男 (分担執筆)
2015年8月13日	IUPAC-2015	“ Ti based Hydrogen Storage Materials for Mobile and Stationary Applications ”	秋葉悦男 (招待講演)
2015年10月13日	World Hydrogen Technology Convention (WHTC2015)	“ Hydrogen and Fuel Cell Developments in Japan ”	秋葉悦男 (基調講演)
2015年10月15日	World Hydrogen Technology Convention (WHTC2015)	“ Ti Based Hydrogen Storage Materials for Stationary and Mobile Applications ”	秋葉悦男 (招待講演)
2015年12月18日	Pacificchem	“ Crystal structure analysis of Nb doped Ti-V-Cr hydrogen ”	秋葉悦男 (招待講演)

		absorbing alloys using neutron diffraction”	
2016年2月26日	International Symposium Hydrogen and Energy 2016	“ NITROGEN BASED COMPOSITE MATERIALS FOR HYDROGEN STORAGE ”	秋葉悦男（招待講演）
2015年9月18日	日本金属学会秋期年会	“ A comparative study on three-component Li-/Mg-based amide/hydride composites for hydrogen storage ”	Huai-Jun Lin,
2015年9月18日	日本金属学会秋期年会	“ 燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する研究 ”	秋葉悦男
2015年11月11日	飛行機シンポジウム	” 水素エネルギーの社会への導入の道筋とその課題 ”	秋葉悦男
2016年3月22日	日本金属学会春期年会	“ The Effect of Ce-based Additives for Hydrogenation/Dehydrogenation of Amide/Hydride Composites ”	Huai-Jun Lin,
2016年6月8日	<i>International Journal of Hydrogen Energy</i> , 41 , 8917-8924 (2016).	Activation of titanium-vanadium alloy for hydrogen storage by introduction of nanograins and edge dislocations using high pressure torsion	Kaveh Edalati, Huaiyu Shao, Hoda Emami, Hideaki Iwaoka, Etsuo Akiba, Zenji Horita
2016年8月22日	<i>Dalton Transactions</i> , 45 , 15374-15381 (2016).	Improvement of hydrogen storage property of three-component Mg(NH ₂) ₂ – LiNH ₂ ± iH composites by additives	Huai-Jun Lin, Hai-Wen Li, Biswajit Paik, Jianhui Wang, Etsuo Akiba
2016年4月21日	The Road to a Hydrogen Society:	Kyushu University Hydrogen Project:	Etsuo Akiba

	Prospects for Developing Zero-Emission Fuel and Outlook for U.S.-Japan Cooperation	Challenges to realize a hydrogen society	
2016年5月28日	分子状水素医学生物学会設立記念大会	水素社会に向けて	秋葉悦男
2016年6月2日	HydEM 2016 Hydrides as energy materials	Metal Hydrides: Fundamentals and application of interstitial hydrides	Etsuo Akiba
2016年6月15日	21 st World Hydrogen Energy Conference 2016	Hydrogen storage property of three-component LiNH ₂ -Mg(NH ₂) ₂ -LiH composites	E. Akiba, H. -J. Lin, H. -J. Lin, B. Paik, J. Wang
2016年7月18日	UNSW – I2CNER 1st Energy Workshop	Hydrogen storage for stationary and mobile applications	Etsuo Akiba
2016年8月11日	15 th International Symposium on Metal Hydrogen Systems (MH2016)	Crystal structure and hydrogen occupation sites of Ti-V-Cr hydrogen absorbing alloys	E. Akiba, S. Itano, H. Hirano, K. Ikeda, T. Otomo
2016年8月11日	15 th International Symposium on Metal Hydrogen Systems (MH2016)	Study on the Effect of Ce based Additives on Hydrogen Storage Properties of Amide/Hydride Composites	Huai-Jun Lin, Hai-Wen Li, Etsuo Akiba
2016年9月21日	日本金属学会秋期大会	Ti-V-Cr-Nb 系 BCC 合金の合成と評価及び中性子回折測定	板野祥大、池田一貴、大下英敏、大友季哉、秋葉悦男
2016年9月21日	日本金属学会秋期大会	Mg(NH ₂) ₂ -LiNH ₂ -LiH 複合材料の水素吸蔵・放出特性と添加物の効果	村上弘樹、Lin Huaijun、秋葉悦男
2016年9月22日	日本金属学会秋期大会	V の水素化特性における格子振動効果の第一原理	大谷紀子、桑原彰秀、小川貴史、世古

		計算	敦人、田中功、松田潤子、秋葉悦男
2016年9月26日	COMPO研究会	水素エネルギー研究開発の展望と課題	秋葉悦男
2016年10月25日	NEDO 成果報告会	水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 / 燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する研究開発	秋葉悦男
2016年10月27日	第3回日本金属学会水素化物に関わる次世代学術・応用展開研究会	Ti-V合金の水素化特性における格子振動効果の第一原理計算	大谷紀子, 桑原彰秀, 小川貴史, 世古敦人, 田中功, 松田潤子, 秋葉悦男
2016年11月10日	公益社団法人福岡県危険物安全協会平成28年度実務研修会	水素エネルギー社会実現に向けて	秋葉悦男
2016年12月13日	IEA/HIA Task 32 Meeting, Berlin, Germany	Metal based hydrides for stationary applications	Etsuo Akiba
2017年1月24日	とやま次世代自動車・エネルギーインフラ研究会	燃料電池自動車普及と水素社会実現を目指した安全かつ効率的な水素輸送と貯蔵	秋葉悦男
2017年2月3日	I2CNER International Workshop: Hydrogen Storage	Thermal driven cooling and heating supply technology	Yoshinori Hamamoto
2017年2月3日	I2CNER International Workshop: Hydrogen Storage	Studies of Hydrogen Storage Materials for 38 Years	Etsuo Akiba
2017年7月11日	World Hydrogen Technology Convention	Nitrogen based composite materials for hydrogen storage and effects of additives	E. Akiba, H.-J. Lin, H. Murakami, R. Taninokuchi, H.-W. Li

発表年月日	発表媒体	発表タイトル	発表者
2014年7月4日	2014年度 JFCC 研究成果発表会、(ポスター発表)	第一原理計算による水素吸蔵 Ti-V 合金の固溶状態解析	大谷紀子、桑原彰秀、小川貴史、齋藤智浩、佐々木優吉
2014年9月25日	日本金属学会 2014年秋期(第155回)講演大会、(口頭発表)	第一原理計算による Ti _{1-x} V _x H ₂ の固溶状態解析	大谷紀子、桑原彰秀、小川貴史、齋藤智浩、佐々木優吉、世古敦人、田中功、松田潤子、秋葉悦男
2015年3月18日	日本金属学会 2015年春期(第156回)講演大会、(口頭発表)	第一原理計算による Ti-V 系合金の水素化特性解析	大谷紀子、桑原彰秀、小川貴史、齋藤智浩、佐々木優吉、世古敦人、田中功、秋葉悦男
2015年7月3日	2015年度 JFCC 研究成果発表会、(ポスター発表)	第一原理計算による水素吸蔵合金の特性解析	大谷紀子、桑原彰秀、小川貴史、齋藤智浩、佐々木優吉
2015年7月27日	新学術領域「ナノ構造情報のフロンティア開拓」第三回若手の会、(ポスター発表)	クラスター展開法による Ti _{1-x} V _x H ₂ の固溶状態解析	大谷紀子、桑原彰秀、小川貴史、齋藤智浩、佐々木優吉、世古敦人、田中功、秋葉悦男
2015年9月18日	日本金属学会 2015年秋期(第157回)講演大会、(口頭発表)	第一原理計算による Ti-V-Mn 系合金の水素化特性解析	大谷紀子、桑原彰秀、小川貴史、齋藤智浩、佐々木優吉、世古敦人、田中功、秋葉悦男
2015年10月22日	第二回水素化物に関わる次世代学術・応用展開研究会、(ポスター発表)	第一原理計算による Ti-V 系合金の平衡水素圧解析	大谷紀子、桑原彰秀、小川貴史、世古敦人、田中功、秋葉悦男
2015年11月20日	2nd INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FRONTIERS IN MATERIALS SCIENCE (FMS2015), (Poster)	Cluster expansion studies of Ti-V dihydride solid solutions	N. Otani, A. Kuwabara, T. Ogawa, A. Seko, I. Tanaka, and E. Akiba

- 特許等 -

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	2014年3月 25日	特願 2014-062815	金属担持炭素材料およびその製造方法	日産自動車、東北 大学

(11-11)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車用及び水素ステーション用低コスト機器・システムに関する研究開発 / 水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発」

委託先：(一社)水素供給利用技術協会、タツノ(株)、岩谷産業(株)、(国)産業技術総合研究所

成果概要(実施期間：平成25年度～平成29年度)
 ・全ての水素ステーションの計量管理方法を規定するガイドラインを平成26年9月に作成し、業界団体に提案のうえ採用され、ステーションの計量管理に活用されている。
 ・その後、水素ステーションの検証試験結果・知見を踏まえて、ガイドラインの適正化のため、ガイドライン改定案を3回作成・提案し、水素ステーションの計量管理に貢献している。
 ・重量法水素校正試験装置を法令照会に基づき開発・製作し、水素ステーションでの検証試験結果よりガイドライン策定・改定のための基盤情報とした。
 ・「自動車用水素燃料メーター」のJIS化および国際勧告であるOIML R139「自動車用圧縮ガス燃料」の改正において、本ガイドラインを開示するとともに、本事業の技術成果及び調査結果の情報を提供し、JISおよびOIML案の中に反映された。
 ・マスターメーター法は、トレーサビリティ体系の検討、校正設備および基準流量計の製作を行い、マスターメーターの評価検討を終え、ディスペンサーの評価方法を確立した。

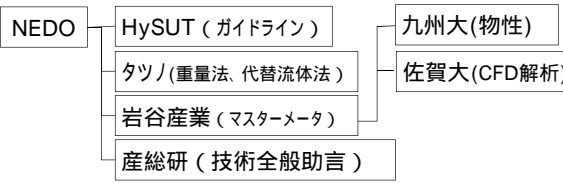
背景/研究内容・目的

(背景)
 2015年の燃料電池自動車の普及開始にあたり、一般消費者への水素販売を視野に入れた公正な水素計量校正試験装置の開発と試験方法の確立が必要である。
 (目的)
 1. 水素ステーションにて一般消費者に公正に水素を販売するために必要な水素計量ガイドラインを策定する。
 2. 水素ステーションにおけるディスペンサー部の水素計量部に関して、トレーサビリティを確保した水素計量試験装置の開発と評価方法の確立をおこなう。

研究目標

実施項目	目標
計量ガイドライン策定	計量校正試験装置の開発と技術検証のタイミングに合わせてガイドラインの策定を行い、業界団体に提案する。またガイドラインの適正化を進める。
重量法による評価方法の確立	校正試験装置を充填技術の進歩に即して、70MPa、82MPa用の開発と製作を行い、試験装置を使用した実水素ステーションでの技術検証試験を実施した結果をガイドラインに反映する。
マスターメーター法による評価方法の確立	マスターメーター法校正装置の開発と製作を行い、実証設備及び実水素ステーションにて試験を実施し、その検証方法をガイドラインに反映する。

実施体制及び分担等



実施内容 / 研究成果

1. 全ての水素STの計量方法を規定する水素計量ガイドラインを予定通りに策定し、業界団体に採用された。
2. 重量法計量試験装置を法令照会での行政指導に沿った形で開発・製作し、実際の水素ステーションでの技術検証結果に基づいた水素計量ガイドライン策定に役立たせた。
3. 充填後ノズルを外す際の脱圧量と器差の関係を実際の水素ステーションでの技術検証試験結果で明らかにしたことにより、商用水素ステーションでの器差を大幅に精度改善上させることができた。
4. フィールド評価試験を24ヶ所、商用ST160カ所余りで実施し、安全性の確認に向けたデータの蓄積、情報収集を行い、ガイドライン適正化の基盤情報とすることができた。
5. 「自動車用水素燃料メーター」のJIS化において、また国際勧告であるOIMLのR139「自動車用圧縮ガス燃料」の改正において、当該事業での成果である水素計量ガイドラインを開示するとともに、委員として事業の技術成果及び調査結果を情報提供し、JISおよびOIML案の中に反映された。
6. マスターメーター法については、トレーサビリティ体系の検討を行い、校正設備および基準流量計の製作を行ったうえでマスターメーターの評価検討を終え、ディスペンサー試験にて評価方法を確立した。
7. 水素によるコリオリメータの基礎データを構築し、代替流体での圧力、密度、流量比などの影響因子を把握。

今後の課題

(全般)
 OIML R139の高精度等級に対応できる計量標準器としての装置開発と、これによる水素ディスペンサーの計量性能の向上
 (マスターメーター法)
 ・通信充填等の82MPa充填時における計量評価および基準流量計の不確かさ低減
 ・設備能力の維持管理を含めた低コストにおける計量ビジネスモデルの検討

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
計量ガイドライン策定	業界団体に採用され、全ての商用水素ステーションの計量検査で活用されるなど波及効果大	
重量法による評価方法の確立	・法令照会での行政指導に沿い70・82MPa装置を開発・完成 ・水素計量試験法の確立	○
マスターメーター法による評価方法の確立	・研究委託をしている大学の協力を得ながら、マスターメーター法による評価技術を確立し、水素ステーションにてその実用性を確認	○

実用化の見通し

- 1 水素ステーション現場での計量検査試験を最小限にする安価な計量検定方法の技術確立とその方法論の基準化を目指す。
- 2 技術確立された成果に基づき、水素ステーションの普及拡大に合わせた水素計量事業の検討を行う。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
9	0	21	0

課題番号： - 11

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車用及び水素ステーション用低コスト機器・システムに関する
研究開発 /

水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発

一般社団法人水素供給利用技術協 (HySUT)

株式会社タツノ

岩谷産業株式会社

国立研究開発法人産業技術総合研究所 (AIST)

1. 研究開発概要

水素供給インフラの先行整備に当たり FCV ユーザーに対する水素販売が視野に入り、公平・公正な水素販売取引を担保するため、水素流量計量の適切な管理が必要である。現在水素ステーションで用いられている流量計はコリオリ式が主流であり、過去の NEDO 事業において流量計器差精度として $\pm 1\%$ 程度の結果が得られているが、水素ステーションの充填圧力の上昇や、近年 SAE 国際規格で定められた充填プロトコル (充填手順) に準拠した結果ではない上、水素ディスペンサーシステム固有の水素脱圧時のロス分などが考慮された器差精度は計測された実例はない。また近年、計量分野においては器差精度評価ではなく不確かさ評価に移行している。不確かさ評価によってトレーサビリティが担保されるので、国際的な商取引の整合性が確保できる。

将来の FCV および水素供給インフラの普及開始及び拡大に備え、水素計量方法や水素ディスペンサーの評価方法の基準化・規格化を段階的に進め取引計量器化 (計量法第 2 条に定める特定計量器化) に備える必要がある。

従って、本研究では、トレーサビリティを確保した水素計量をシステムとして確立するため、高圧水素計量技術の開発と技術検証を行う。

具体的には、2015 年からの FCV 及び水素ステーション普及開始への対応及び普及開始後の消費者への水素販売を実現するために、トレーサビリティが確立されている重量法試験装置開発と検証方法の基準化に取り組む。並行して国立研究開発法人産業技術総合研究所の有する気体流量国家標準にトレーサブルなマスターメーター法による校正設備の構築及び臨界ノズルの最適化を行い、開発した重量法・マスターメーター法による評価・検証方法について、各水素ステーションにて確実に遂行されるよう、水素計量ガイドラインを策定し、業界団体等へ提言を行う。

本研究開発は、一般社団法人水素供給利用技術協会 (HySUT)、株式会社タツノ (以下 タツノ)、岩谷産業株式会社 (以下 岩谷産業)、国立研究開発法人産業技術総合研究所 (以下 産総研) が協力し、更に国立大学法人佐賀大学 (以下 佐賀大) および国立大学法人九州大学 (以下 九大) を再委託先として、以下に示す研究テーマの取り組みを実施するものである。

以下に、研究開発内容テーマを記す（カッコ内は担当社）。

- (1)重量法およびマスターメーター法による水素計量に係る水素計量ガイドライン案の策定（HySUT）
 - (2)重量法による評価方法の確立（タツノ、HySUT）（JXTG エネルギー、ENAA、岩谷産業、東京ガス、東邦ガスは平成 27 年度まで）
 - (3)マスターメーター法による評価方法の確立（岩谷産業、産総研）
 - (4)代替流体による校正方法（出荷前検査）の検証、基準化（タツノ）
 - (5)高圧水素特性解明による臨界ノズルの最適化と不確かさ低減のための CFD 解析（岩谷産業、産総研）
- （再委託先：佐賀大、九大）
- (5)-1 CFD 解析による臨界ノズル内流動特性の解明（担当：国立大学法人佐賀大学）
 - (5)-2 高圧水素物性の解明（担当：国立大学法人九州大学）

図 1 に本事業の研究体制を示す。

なお、図中の番号（1）～（5）は上記の役割分担に相当する。

<平成 27 年度までの体制図>

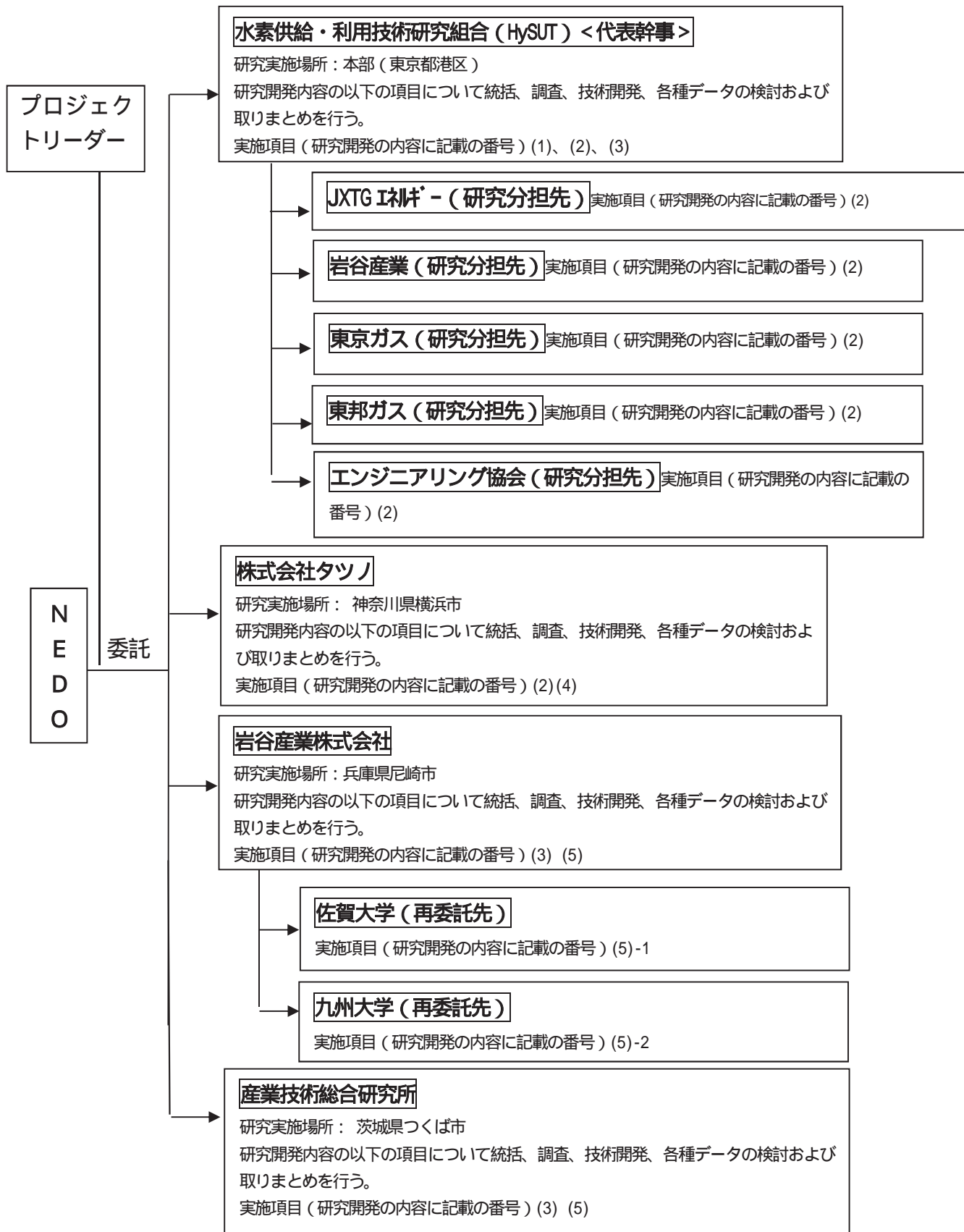


図 1-1 研究体制スキーム (委託期間：平成 25 年 5 月 1 日から平成 28 年 3 月 31 日まで)

<平成 28 年度以降の体制図>

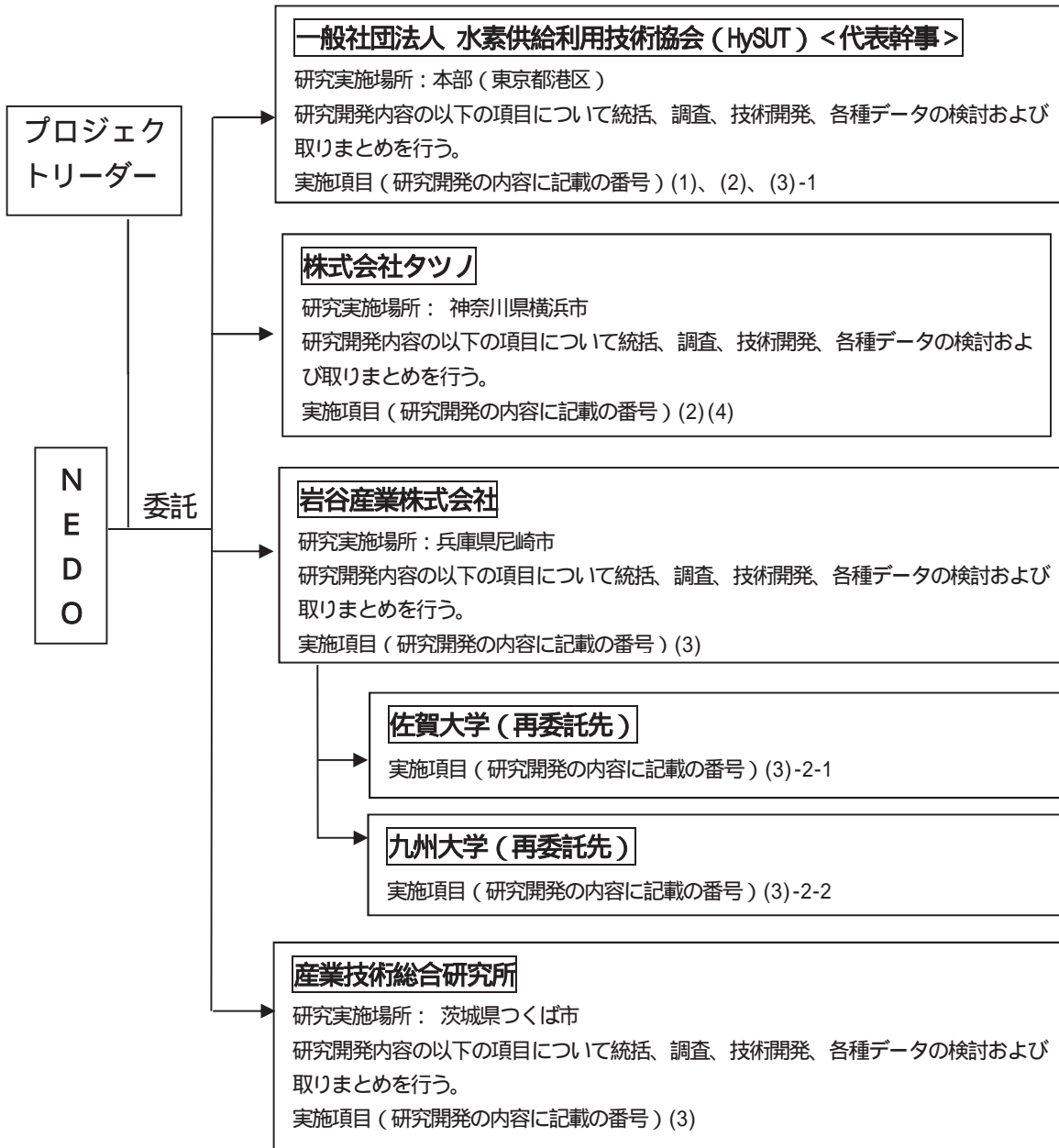


図 1-2 研究体制スキーム（委託期間：平成 28 年 4 月 1 日から平成 30 年 2 月 28 日まで）

2. 研究開発目標

(1) 重量法およびマスターメーター法による水素計量に係る水素計量ガイドライン案の策定 (HySUT)

HySUT 内に「水素計量基準検討会」を設置し、重量法、マスターメーター法それぞれの実施者よりの成果報告を基に、運営中の水素ステーションの水素計量器の検定周期等を踏まえ、水素計量ガイドラインを策定する。また、水素計量上の誤差となる水素ステーションの脱圧ロス量を把握し、試算値との比較・検証を行い、水素計量ガイドラインの計量試験方法等に反映させる。

(2)-1 重量法による評価方法の確立 (タツノ、HySUT) (JXTG エネルギー、ENAA、岩谷産業、東京ガス、東邦ガスは平成 27 年度まで)

重量(質量)測定トレーサビリティは既に確立しており、トレーサビリティの観点からは速やかに実施することが可能である。しかしながら、70MPa 級と高圧化して重量増加した試験容器への水素充填においては、充填する水素の重量比率が小さいこと、更に屋外測定のため風等の影響、また高圧ガス保安法など法的規制への適合等の問題があり、いかに高い検証精度を得られるかが課題である。

2015 年の燃料電池自動車普及開始に間に合わせるために、水素ステーションでの充填比較に適した試験容器及び秤量器を設計・製作し、水素ステーションでの検証試験を実施し、水素計量ガイドラインに必要なデータを収集して、利用可能な形で提示する。

JPEC S0003 (2014) では 70MPa 超の 82MPa 充填が可能となる。計量試験装置もこれに対応する必要がある、先の 70MPa 装置の成果を踏まえて gtr 容器を搭載した計量試験装置を新規開発する。

この新装置を用いて 82MPa 化 ST の検査もガイドラインに従い実施、そのデータをフィードバックして、ガイドラインを更新し向上させて行く。

(2)-2 重量法による 82MPa 計量充填の評価方法の確立

新しい水素充填プロトコルである JPEC S0003 (2014) では 70MPa 超の 82MPa 充填が可能となる。計量試験装置もこれに準拠した水素充填に対応する必要がある、先の 70MPa 装置の成果を踏まえて gtr 容器を搭載した計量試験装置を新規開発する。

この新装置を用いて 82MPa 化された ST の検査もガイドラインに従い実施、そのデータをフィードバックし、ガイドラインを更新し向上させて行く。

(3) マスターメーター法による評価方法の確立 (岩谷産業、産総研)

マスターメーターは水素の流量を計測することにより水素の充填量を算出する為、水素流量のトレーサビリティを確保する必要がある。しかしながら現状設備では低圧・小流量域のみであり、水素ステーションにて利用される様な高圧・大流量域まで範囲を新たに構築する必要がある。

産総研が所有する国家標準にて臨界ノズル式標準流量計から系統付けされた標準流量計でマスターメーターを校正することで、トレーサブルなマスターメーターを得る。このマスターメーターを水素ステーションに持込み、各ステーションのディスペンサーの検査を実施し、水素計量ガイドラインに必要なデータを収集して、利用可能な形で提示する。

(4)-1 代替流体による校正方法 (出荷前検査) の検証 (タツノ)

メーカーによる水素流量計及び水素ディスペンサーの製造において、流量計への特性値 (K 値) の値付け

と、出荷時に計量精度検査が必要である。このとき、全ての流量計、ディスペンサーについて水素ガスでの試験を義務付けることは、安全上から大掛かりな設備と工数時間が掛かり、多大なコストが必要となる。このコストは水素ステーションの建設費、運営費に反映され、燃料電池自動車の普及を妨げることが懸念されるため、代替流体による校正・検査を行なえる事が必要である。

(4)-2 流量計の水素による校正方法と代替流体における代替手法の確立代替流体を用いた校正方法は、精度に影響ので、影響度の確認とその補正について検証する必要がある、予め指針を示し、これに従い行うのが重要である。このために、流量計や計量器への各影響因子についてデータを取り評価する。評価は、流量計又はディスペンサーを水素及び代替流体を用いて検査装置、検査方法手順について条件を変えて校正を実施し、本研究の中で製作した重量法計量精度評価装置と、マスターメータ法の校正装置、および校正装置で校正した流量計とを比較検証し、利用可能な形でデータを提示する。

(5)高圧水素特性解明による臨界ノズルの最適化と不確かさ低減のための CFD 解析 (岩谷産業、産総研)
(再委託先：佐賀大、九大)

(5)-1 CFD 解析による臨界ノズル内流動特性の解明 (担当：国立大学法人佐賀大学)

水素の高圧(高レイノルズ数)領域における流出係数がノズル上流のよどみ点状態の圧力の増加とともに減少することが実験的に示されている。しかしながら、この原因については明らかにされていない。本プロジェクトは、実在気体効果を考慮した CFD 解析を行い、流出係数に及ぼす状態方程式や乱流モデルの影響を音速も含めて精査するとともに、ノズル形状の影響や質量流量と背圧の関係等の関係を明らかにする。また、他のガス種(窒素、ヘリウム)の広範囲圧力領域での流出係数と、水素の場合の流出係数との比較を行い、予測精度に及ぼすガス種等の影響を推定し、不確かさの低減を行う。さらに、臨界背圧比以下の領域において、流動場(水素、窒素、ヘリウム)に及ぼすノズル上流側よどみ点での圧力および質量流量等の効果を調査し、流出係数の予測精度の向上を目指す。これらの結果を踏まえて、臨界ノズル内の高圧水素特性の解明による最適化と不確かさ低減化を目指す。

(5)-2 高圧水素物性の解明 (担当：国立大学法人九州大学)

高圧領域の物性及び動的挙動を解明し、その音速挙動等を正確に反映させることにより、高圧領域での直接校正が可能となり、不確かさが1%台に改善される可能性が期待される。九州大学において100MPa高圧水素供給設備を用いて、高圧水素の物性データベースを提供してきた実績があり、本プロジェクトでは音速推定の観点から、さらに詳細な物性データ取得を行い、佐賀大学においてその動的挙動をCFD(Computational Fluid Dynamics：数値流体力学)にて解析することにより、高圧領域の音速を正確に推定することが可能であると期待される。さらに、CFDにより推定された物理量をマスターメータ校正装置において比較・検証することにより、不確かさ1%台の実現を目指す。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1)重量法およびマスターメータ法による水素計量に係る水素計量ガイドライン案の策定 (HySUT)

水素計量誤差に繋がる脱圧ロス量を水素ステーションで把握し、水素計量器だけでなく、ディスペンサー一部も考慮した水素計量システムを対象とした水素計量ガイドラインを水素計量基準検討会での議論や広くインフラ業界メンバーの意見を踏まえて、平成26年9月に完成させた。その上で、業界団体に提言し、

平成 26 年 12 月にガイドライン化され、全ての商用水素ステーションで利用されている。さらに、各水素ステーションでのデータを収集・分析し、より適正なガイドラインとすべく、下記の表のように、3 回にわたって改定案を作成した。

ガイドライン案（承認日）	主な改定ポイント
初版（平成 26 年 9 月 30 日）	-
改定版（平成 27 年 12 月 28 日）	ST の 82MPa 試験対応を追加（付属書 B：外挿法）
改定版（平成 28 年 3 月 16 日）	検査充填装置ガイドラインの追加
改定版（平成 29 年 2 月 22 日）	JIS との用語統一、付属書 B の修正

また、経済産業省で主導している「自動車用水素燃料メーター」の日本工業規格（JIS）化において、2015 年度に設置された JIS 原案作成委員会に、当該事業での成果である水素計量ガイドラインを開示するとともに、委員として事業の技術成果及び調査結果を情報提供するなどして協力した結果、平成 28 年 5 月 20 日に JIS B 8576 として制定された。さらに、国際規格である OIML-R139（車両用圧縮ガス燃料計量システム）を改定し、水素計量システムに対応させるための新規プロジェクトに協力し、当該事業での情報・成果を提供するとともに、OIML 国内ワーキンググループおよび OIML 国内委員会に委員として参加して、OIML-R139 改定に向けてのワーキングドラフト（WD）およびコミティドラフト（CD）を完成させ、世界の関係各国に提案した。このように標準化の分野では、当初計画を大きく上回る達成度と波及効果を得られたと考えている。

(2)重量法による評価方法の確立（タツノ、HySUT、JXTG エネルギー、ENAA、岩谷産業、東京ガス、東邦ガス）

(2)-1 水素計量における重量法（衡量法）における質量計測

水素は最も密度の低いガスであるため、エネルギー密度を高めて車両充填するためには超高压にする必要がある。水素を扱う超高压の容器は水素脆性などの材料的な問題もあり、強度上から重量が非常に重くなる。充填では軽い水素を重たい容器に詰めて計量する必要があるため、重量物を計れて超高精度な水素防爆であるハカリが必要であり、メーカーの協力により特殊ハカリを開発し、供給いただいた。このハカリの能力は 400kg の総重量に対して、±1g の精度を水素防爆下で得られるものである。計量証明には特定計量器が必要であるが、特定計量器は重力加速度の影響から固定使用が基本であり、現地検査で水素に使用できる特定計量器は存在しないので、ハカリ装置は重力加速度、空気密度、環境影響などに対応し、現地で、トレーサビリティのとれた標準おもりと JIS による校正方法で校正してから計量検査を行うようにしている。

(2)-2 計量装置における測定環境対応と安全対応

屋外にて計量を実施するため、温度、湿度、気圧、振動、風、雨、など多くの外乱を排除するために、特殊な 2 重のケースに収めるなどの工夫をした。振動の緩衝し、雨風を防ぎ温度湿度の影響を最小限にした。使用するタンクは、ハカリの能力の制約があり、鋼製のタンクではなく、実績のある軽量の車両用容器を用いる必要があった。高圧ガス保安法上の 7 条 3 ステーションにおいて充填の対象は車輛であることから、検査充填を行うため、車両に固定した容器以外の高圧ガス容器に、「充填」、「品質」、そして「計量」の 3 検査において検査充填をすることができることを、高圧ガス保安室に照会いただいた上で、製作、申請

を行った。装置には、ガス検知器などの安全管理機器や覆いを設けて、安全な状態を保ちながら充填するため常時監視を行う。ここで、充填状態での移動はせずに計量検査終了後、速やかにかつ安全に、大気圧近くの低圧への脱圧を行う。このような諸条件を勘案した装置とその運用が決められ、計量充填が可能となった。これらの条件はマスターメーター法にも通じる部分が多々あり、開発した装置技術、運用技術は今回だけでなく、今後も役立つものとする。



図2 重量法におけるトレーサビリティ

(2)-3 基礎試験

装置の健全性、安全性を確認することは、非常に厄介な問題で困難であったが、HyTREC が運用開始されて可能になった。HyTREC で、水素による実使用状態での充填試験を実施して装置自体の健全性を確認した。試験内容としては 気密、耐圧試験 安全装置の作動、監視状況の確認 装置の機能確認 ハカリの能力（使用モード、10g、1g、0.1gの確認、校正確認） 外乱（温度、湿度、気圧、風、振動など）の影響の確認 があげられる。これらにより、装置の改良点を明確にし、主に運用面での改造を数回にわたり実施し、安全に効率よく、確実な計量試験が可能になった。

水素充填プロトコルの JPEC S0003（2014）が発効し、82MPa 充填が可能となり、計量でもその対応が必要になったため、gtr 容器を車メーカーより特別に提供いただき、新たな計量試験装置を開発した。この装置は車輻になっており、自走できて設置が容易になっている。（2014）プロトコルに対応した通信充填も搭載しており、装置の制御や監視の自動化し記録も出来るようになってきているなど、先の装置開発の成果を生かして多くの改良が加えられている。HyTREC と JERI での安全検証、複数ステーションの協力による、70MPa 装置と、82MPa 装置車輻の比較実証試験で検証をして、2014 プロトコル対応化が済んだステーションにつき、フィールドでの運用を始め、データの収集分析を深めている。

(2)-4 82MPa 充填プロトコル対応（H28～29）

水素充填プロトコルの JPEC S0003（2014）が発効し、82MPa 充填が可能となるので、計量でもその対応が必要のため、gtr 容器を車メーカーより特別に提供いただき、新たな計量試験装置を開発した。この装置は車輻になっており、自走できて設置が容易になっている。（2014）プロトコルに対応した通信充填も搭載しており、装置の制御や監視の自動化し記録も出来るようになってきているなど、先の装置開発の成果を生かして多くの改良が加えられている。車輻 gtr 容器を充填試験に用いるため、充填性能、水素品質並びに水素計量に於ける検査充填が可能とするため、法的な通達を頂き、更に「検査充填ガイドライン」を制定して、運用できるようになった。本計量試験装置もこの検査充填ガイドラインによる初めての検査充填装置であるが、車輻仕様になっているところが更に新しい試みになっている。装置完成に於いては、HyTREC

と JERI での実水素を用いて、充填試験を実施して十分安全に使用できることを確認検証し、実用に供するものとなった。



82MPa 計量充填試験車両装置

(2)-5 重量法の実証試験

HySUT 実証水素ステーションの千住 ST、海老名 ST、とよたエコフル ST において、計量充填の試験を実施し、季節も含めて各種充填条件による試験により、計量への影響因子の分析をした。

影響因子としては 脱圧ロス量 計量システムの構成 充填ディスペンサー能力制御仕様（プレクール温度、昇圧率制御等） 外乱（温度変化、湿度変化、気圧変化、風、振動、他） 繰り返し性 人的要因 など多岐にわたる。実証実験の結果に基づき、水素計量ガイドライン策定に向けた必要なデータ提供を行った。

当初より脱圧ロス量の影響が大きいと考えられ、それがこの実証試験で確認されたのは大きな成果である。また脱圧ロス量は早期に大きく改善できる部分だということも分かった。本プロジェクトの実証試験結果と策定した計量ガイドラインの情報は NEDO の成果報告などを通じて、運用社やメーカーの知るところとなり、立ち上げ最中であった商用ステーションにおいても、脱圧ロス量の改善がなされ、すべての商用ステーションで 25g 以下に抑えられるに至った事による水素計量性能向上への寄与は多大である。

(2)-6 データの収集確認

水素 ST のシステム構成は、設置場所、設置時期、エンジニアリングメーカ、計量機メーカ、使用機器などにより大きく異なっているのが実情であり、その影響を反映した性能となる。また、水素 ST での水素計量充填試験は、(2)-2 の状況から日に数回が限度であるため、実証試験でのデータだけでは内容が非常に限られており、実態の把握に至らない。そこで、全商用水素ステーションの計量精度について、開発した同計量試験装置を使用して試験を行っていただき、提供されたデータを分析した。その結果、H27 年度オープンした水素 ST の脱圧ロス量は 25g 以下に抑えられ、脱圧ロス量の補正を行った場合、数 g 程度にバラツキは抑制されている。残るバラツキは充填制御などの影響とみられる。これらにより、重量法の試験方法と運用に関して、目的を達成できたことが実証されたと考える。また、この中で装置自体の改良点もいくつか見つかっており、順次改良している。まだまだ、データ数量は少なく解明できてないバラツキが残っている。JIS 規格化、OIML 勧告の計画の中で精度の向上が望まれており、更なる研究が必要となる。環境の変化に即して技術も進化させて行くことが肝要である。

(2)-7 82MPa 装置の検証と従来装置の整合性確認、82MPa 移行ステーションデータ収集分析

順次切り替わる複数の(82MPa ステーションの協力による、70MPa 装置と 82MPa 装置車輛の比較実証試験で精度性能の検証をし、性能に遜色ない同レベルの検査試験が可能で、検査データの一貫性が取れることを確認した。2014 プロトコル対応化が済んだステーションにつき、フィールドでの検査試験運用を開始し、データの収集とその分析を深めている。1年目、2年目になるステーションデータの分析では、多くに変化が無い物の、一部に変化の明確なステーションが見られた。ステーションシステム側の装置や部品に生じたトラブルの影響しているものがあり、修理により性能は戻る。このことから、定期的な計量性能の確認はやはり必要であることが、裏付けられた。また、一部で許容誤差内であるものの、原因不明の性能変化が見られる。これが経年変化であるかどうかについては、追跡調査が必要で、その結果次第で検査周期について、想定することが出来るようになる。

(3) マスターメーター法による評価方法の確立 (岩谷産業、産総研)

(3)-1 トレーサビリティ体系の構築と基準流量計の選定

マスターメーター法はトレーサビリティが確保された流量計(マスターメーター)を用いて、ディスペンサーの充填量を評価する方法である。流量計のトレーサビリティの区分は「流量」として区分されており、水素ステーションにおける水素の充填量の評価を実施する事から、水素ガスを用いて、マスターメーターは値付けをされている必要がある。

マスターメーターの使用範囲は水素ステーションで使用されている条件と同等の条件(最大流量 3.6kg/min、最大圧力 82MPa、最低温度 -40)にて、値付けを行う必要がある。日本における流量の国家標準は産総研が所有する気体流量標準であり、そこで値付けされた臨界ノズルが供給されている。産総研が供給する最大流量は 0.1kg/min (@700kPa_abs) である事から、計測流量を 0.1kg/min から 3.6kg/min までおよび最大圧力を 700kPa_abs から 87.5MPa まで拡張する必要がある。しかしながら、拡張の方法、基準流量計、流量校正設備などがこれまで検討されていない事や設備がない事から、これまでは水素流量計においてトレーサビリティの確保されたものは低圧小流量に限られていた。

産総研が所有する気体流量標準を 1 次基準、ディスペンサーを評価する流量計を 3 次基準とし、その間を結ぶ流量計を 2 次基準とした(図 3-1)。2 次基準流量計は海外の標準機関でも標準流量計として利用されている臨界ノズル式の流量計とした。3 次基準流量計はステーション等で利用されているコリオリ式の流量計を選定した(2 次基準流量計にて値付けされる事によりトレーサビリティが確保され、マスターメーターとなる)。

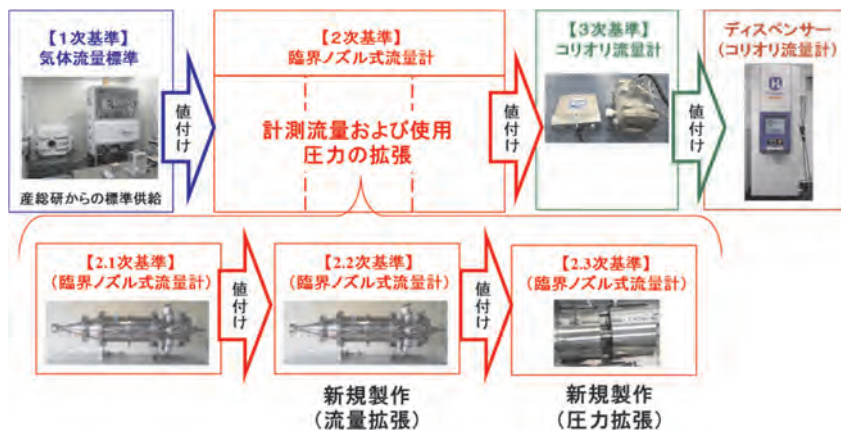


図 3-1 トレーサビリティ体系と基準流量計

2次標準流量計は仕様の異なる3台の流量計を用いる事で、流量の拡張および圧力の拡張を行った。産総研にて供給されたノズル（最大計測流量 0.1kg/min）を10本まとめて使用することが可能な流量計を2.1次基準流量計（マルチノズル式臨界ノズル流量計）とする（これまで岩谷産業では本流量計を用いて、流量計に関する研究開発を実施してきた。）これにより最大計測流量を0.1kg/minから1.0kg/minまで拡張される。さらなる流量の拡張として、最大計測流量 0.36kg/min となる臨界ノズルを10本まとめて使用することが可能な流量計を2.2次基準流量計（マルチノズル式臨界ノズル流量計）とする。それぞれのノズルは2.1次基準流量計を用いて値付けを行う事で、トレーサビリティの確保を行う。これにより、最大計測流量を1.0kg/minから3.6kg/minまで拡張される。2.2次基準流量計は流量拡張を主目的とした事から最大使用圧力を0.9MPaとした。使用圧力の拡張として、最大使用圧力 82MPa となる臨界ノズル式流量計を2.3次基準流量計とする。2.3次基準流量計は2.2次基準流量計にて値付けを行う事でトレーサビリティの確保を行う。2.3次基準流量計に供給される水素ガスは最大82MPaであるが、2.3次基準流量計を通過後に2.2次基準流量計の使用圧力まで減圧させ供給する事により、評価試験は可能となる。2.3次基準流量計を用いて、3次基準流量計にあたるコリオリ式流量計の値付けを行う事で、コリオリ式流量計はマスターメーターとして使用する事が可能となる。

表3-1 2次基準流量計の仕様

	2.1次基準	2.2次基準	2.3次基準
種類	マルチノズル型 臨界ノズル式流量計 最大ノズル本数 10本	マルチノズル型 臨界ノズル式流量計 最大ノズル本数 10本	シングルノズル型 臨界ノズル式流量計
計測流量範囲	0.05-1.0kg/min	0.15-3.6kg/min	0.5-3.6kg/min
最大使用圧力	700kPa_abs	0.9MPa	82MPa
上位基準流量計	1次基準	2.1次基準	2.2次基準
その他	既存流量計 (国内唯一)	新規製作 (世界初)	新規製作 (世界初)

(3)-2 基準流量計の評価試験（値付け）

各基準流量計の評価試験は試験設備より供給された水素ガスを減圧弁にて試験圧力にて調整を行い、評価対象となる基準流量計に供給される。評価対象となる基準流量計通過後は上位基準流量計へ供給され、使用した水素は必要に応じて大気放出する。

ISO9300型臨界ノズルにおいてはこれまで様々な研究がされており、ガス種、ノズル径、試験条件によらず理論レイノルズ数を基にノズル特性である流出係数を求められている。これらの知見を基に低圧領域において大流量を発生させるノズルおよび計測機器等をシステム化した2.2次基準流量計の製作を行い、各ノズルの値付けを岩谷産業株式が所有する35MPa流量計評価試験設備および日本自動車研究所（JARI）にて試験を実施した。これにより、世界初となる水素にて値付けされた最大流量 3.6kg/min を計測する事が可能な流量計である。

また産業技術総合研究所に最大供給圧力35MPaまで高圧水素の供給が可能であり、2.1次基準流量計を常設する事で最大の標準発生流量を1.0kg/minまで発生させる事が可能な、高圧水素流量計校正設備を設置し、国内で唯一の高圧水素を計測する事が可能な設備とした。

同様に 2.3 次用の臨界ノズルについても設計および製作を実施した。ISO9300 型臨界ノズルにおける水素での高圧特性を用いた試験に関する研究は少なく、過去に産業技術総合研究所にて行われた結果を基にノズル径の選定を行い、2.3 次基準流量計の製作を行った。2.3 次基準流量計は高圧領域にて使用する事から、シングルノズルタイプとし、各ノズルの値付けを公益財団法人水素エネルギー製品研究試験センター (HyTReC) および JARI にて試験を実施した。ISO9300 型ノズルにおいて高圧水素を用いての評価により、ノズル特性を表す流出係数においては高圧領域かつ水素を用いた際には特異的な結果を示す事が新たに示された。また、高圧水素を長時間安定して供給を行うための蓄圧器、高精度制御用減圧弁等の導入や大気圧程度で放出される 2.2 次基準流量計の水素ガスを安全に放出させる水素用 100m³ 級ガスバックを新たに設ける事により、水素での高圧領域での評価試験が可能となった。これにより、世界初となる水素にて値付けされた最大流量 3.6kg/min を計測する事および最大圧力 82MPa で使用する事が可能な流量計である。

3 次基準流量計は水素ステーションにて使用する事が可能であるコリオリ式流量計とし、値付けには 2.3 次基準流量計を用いて行い、HyTReC および JARI にて評価試験を実施した。2.3 次基準流量計にて発生させた標準流量を、高圧用熱交換器を用いる事により -40℃ まで冷却し高圧・大流量・低温にした水素を試験体となるコリオリ流量計に供給する事により評価試験が可能となった。これにより、世界で初めて高圧大流量領域におけるトレーサビリティが確保され、計測の確からしさを示す不確かさにおいて 3% 程度の能力を持つ事が示された流量計 (マスターメーター) となった。

これらの試験が可能であり、各基準流量計の値付けが可能である事が試験により証明された事により国内における水素を用いた高圧大流量域までの「流量」におけるトレーサビリティ体系が構築される。

(3)-3 水素ステーションにおけるディスペンサー評価

上記、事前に評価試験設備にて評価されたコリオリ流量計であるマスターメーターを用いてディスペンサーの評価試験を水素ステーションにて実施した。試験方法は、ディスペンサー出口からマスターメーター評価装置を介して高圧水素容器へ行うという FCV と同様の充填方法にて充填を行い、その際のディスペンサーおよびマスターメーター評価装置にて計量された充填量の比較を行った。また、高圧容器およびハカリが搭載されている重量法試験装置を用いて、重量法による充填量の計量も行う事でマスターメーター法と重量法によるクロスチェックを行った。これらの結果、マスターメーターによる基礎評価技術は確立できた。

(4) 代替流体による校正方法 (出荷前検査) の検証、基準化 (タツノ)

水素は高圧ガスで危険物である、安全に取り扱う作業と、設備や人的な要素運用などで非常な制約が受け、機器の製造上、管理上、運用上の重い負担となっている。これを打開する手法に代替流体試験がある。水素を使わずとも安全性、健全性、そして機能、能力、性能を確認できるのが望ましい。装置機器は窒素やヘリウムにより高圧ガスによる試験が可能である。流量計であるコリオリメータは質量流量計であるので水による代替が可能であると考えられる。しかしながら、水で校正したコリオリ流量計が、実際の使用状態の水素で計量精度を確認した事例はないため確証の実例が無い状況で、代替流体試験での性能確認の可否が問われている。本事業では、代替流体相互で試験を行い、水素においては実使用状態・条件でコリオリ流量計の計量充填を行って、流体代替確証を得るのが目的である。

(4)-1 水素を用いた校正方法の研究

NREL の協力が得られたので、トレーサビリティの採れた衡量法試験装置を用いて、流量計の校正データの取得を試みた。装置自身の精度はあるものの、実流試験では、振動などの環境外乱の影響を受けやす

いことが分かった。温度因子や、圧力因子も校正精度に影響が大きいことが分かり、防振や、温度安定化などと繰り返し性に関するデータ数の効果などを把握し、改善を施し、再度、校正方法と、検査方法について検討し、各種条件におけるデータを取得し、分析を行った。

(4)-2 水素による検査への試験条件の影響、代表的な代替流体との相関性の確認

ステーションを模して、ディスペンサーと重量法試験装置との間に被試験コリオリ流量計をシリアルに接続して、各種条件で充填で校正を実施、各因子の影響と相関について検討する、これらを基に

(5) 高圧水素特性解明による臨界ノズルの最適化と不確かさ低減のための CFD 解析 (岩谷産業、産総研) (再委託先：佐賀大、九大)

(5)-1 CFD 解析による臨界ノズル内流動特性の解明 (担当：国立大学法人佐賀大学)

2 次基準流量計として選定した臨界ノズル式流量計はこれまで低圧力では多くガス種にてその特性を評価されてきたが、高圧水素における特性についてはほとんどされていない。高圧領域に対応したノズルの製作および評価を行う場合には多く時間と費用がかかることから、CFD によりノズルの形状が流量計測に与える影響について評価を行った。

CFD による評価を行うにあたり、高圧域における状態方程式および乱流モデルの選定を行う必要がある為、高圧領域における過去の実験結果と各モデルの計算結果を比較した。その結果、状態方程式では、R-K 式および九州大学が提案している状態方程式が実験結果と良く一致した。乱流モデルについては k - モデルが実験結果と良く一致する結果となった。これらのモデルを用いて、ノズル形状の特性について評価を行った。

ノズル形状のパラメーターとして、ノズル径(D)、ノズルの局率半径(r)、ディフューザーの角度()、ディフューザーの長さ(L)を選定した。また、ノズルの特性を示す指標として流出係数(Cd)および臨界背圧比(Pd/Pu_cri)にて評価を行った。

ノズル部でのガスの流れは無次元数であるレイノルズ数にて表される事から、低圧力領域では、ノズル径の影響は無いことが知られていたが、高圧力の領域ではノズル径異なると同じレイノルズ数であっても流出係数に差が出る結果となった。

ノズルの局率半径の影響について評価した結果、局率半径が大きくなるにつれ流出係数は大きくなり、ある値($r=2D$ 程度)で一定になる結果となった。

ディフューザーの角度について評価した結果、角度が大きくなるにつれ流出係数は大きくなり、ある値($=3^\circ$ 程度)で一定になる。結果となった。

ディフューザー長さについて評価した結果、流出係数には大きな影響は無い結果となった。臨界背圧比は長い方が臨界背圧比は高い値(Pd/Pu_cri=0.95程度)を示す結果となった。これらの結果により、ノズルの形状特性を考慮した臨界ノズルの提案を行う事が可能となった。

表 3-2 ノズル形状がノズル特性に与える影響

	ノズル径 (D)	局率半径 (r)	ディフューザー角 ()	ディフューザー長 (L)
流出係数 (Cd)	影響有り	影響有り	影響有り	影響なし
臨界背圧比 (Pd/Pu_cri)	-	-	-	影響有り

- : 評価未実施

高圧水素の条件下において臨界ノズルにおけるよどみ点温度における流出係数の影響について評価した結果、レイノルズ数が同値となる様によどみ点温度を上昇させると流出係数は低下する結果となった。試験結果と定性的に一致する結果であり、高圧領域においては特有の結果である事が示された。

(5)-2 高圧水素物性の解明 (担当：国立大学法人九州大学)

CFD による解析を行う上で水素ガス物性値は極めて重要であるが、高圧力の領域においては全ての物性が計測されておらず、状態方程式を元に算出されている事が多い。ノズルにおける CFD 計算において水素の音速は低圧力の領域のみ計測されている為、高圧域 (最大 20MPa) での計測を実施した。試験装置は内部に所定圧力の水素を充填した後、外部に設置してあるスピーカーより信号を入力し、マイクにて信号の計測を行う。得られた信号周波数より、高圧領域での水素の音速について算出を行う。測定した音速と状態方程式より求められる音速を比較し、0.2%以内にて一致する結果であった。これにより、音速の実測データに基づいた物性データベースの提案を行う事が可能となった。

3.2 成果の意義

当事業の成果である、計量システムが備えるべき性能要件や公正な計量方法の規定を、さらには性能要件を検定できる重量法試験装置についても 2014 年 12 月の F C V 商用化時期に遅れることなく提供できたことにより、全ての商用水素ステーションの開所に貢献することができる等、成果を目に見える形で社会へ反映した。

「自動車用水素燃料メーター」の日本工業規格 (JIS) 化において、水素計量ガイドラインや検証結果等の情報提供を行うなど、当該事業成果は業界を超えた形で利活用され、平成 28 年 5 月 20 日に JIS B 8576 として制定された。このように本事業成果が国内の規格化に貢献することができた。

国際規格である OIML-R139 (車両用圧縮ガス燃料計量システム) の改定に向けて同様に当該事業成果を利活用することにより、国際規格案を策定することができた。国際規格を日本主導で規格化することにより、日本のディスペンサーメーカーが海外展開する際や輸出する際の障害が少なくなり、国際競争力を高められる効果が期待できる。

マスターメーター法については高精度で簡便な水素計量法として期待されており、将来的には短時間での計量校正とコストダウンに繋がる技術開発として意義がある。

諸外国でも同様の重量法試験装置を開発し、試験を行っているが、各影響因子への対応について、最も進歩的な技術を確立し、世界最高レベル装置の計測精度 ($\pm 1.5g : 1/400000$) を得ることができた。

2014 年末の F C V (Fuel Cell Vehicle) 販売開始に先立ち、水素計量試験への環境影響を低減できる測定システムを構築し、これまでは入手できなかった試験容器及び特殊で高精度な水素防爆のはかりを製作・搭載した日本初の「基準器」装置を研究開発し、完成させ、特許出願を行った。

従来試験が出来なかった一般高圧ガス保安規則 7 条の 3 の水素ステーションでの試験について、法令照会などで一年余りを要したが、各方面の協力を得て法的対応がなされた (充填、計量、品質共通)。

これまでの成果をもとに日本が取り組んでいる計量基準化 (ガイドライン) や試験装置の技術レベルのベンチマークとして、米国政府 (エネルギー省及びその管轄の再生可能エネルギー研究所) やカリフォルニア州政府、米国国立標準技術研究所 (NIST) などと技術情報交換会議を実施し、その位置づけを確認するとともに将来の国際規格化を考えた際の協調の方策についても検討できたことは大きな意義があったと考えている。今後も欧米の関係機関と密に情報交換を行うことにより、技術開発の方向性や基準化の方針などにつ

いて参考にしていくこと、さらに発展させて日本が取り組んでいる計量基準(ガイドライン)を国際規格に主導にしていく端緒を作り、水素計量機器メーカーのグローバル進出の足掛かりを作れるものと考えている。

3.3 成果の最終目標の達成可能性

代替流体法においても重量法同様、試験装置製作と技術検証実施者と密接な連携を図ることによりベータデータを得て、当初の目標は達成した。代替流体法については、ヨーロッパに於いてもEUプロジェクトを立ち上げ、MIDにおける型式承認試験と検定方法、これに於いての代替流体の影響と、温度・圧力について、PTBなどが中心となり研究を開始して技術開発競争となりつつあり、研究の手を緩められない状況であり、早期の代替流体による校正の確立が望まれるところである。

マスターメーター法による評価方法の確立については、検討したトレーサビリティ体系をもとに基準流量計の評価を実施した。合わせてマスターメーターを用いたステーションでのディスペンサー評価試験を実施し、マスターメーター法技術は確立した。

4.まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

4.1 重量法における課題、事業化までのシナリオ

計量精度について、ガソリンの0.5%に対して水素では10%である。各国ではOIMLベースの2%が目標としており、本格的な商用水素の普及にはディスペンサーの更なる精度向上の研究が必要である。さらに2020年台後半の水素計量器の特定計量器化が予定されており、水素ステーションの計量精度を定期的に確認していくことが必須であるとされている。このため、本プロジェクトの成果物である水素計量ガイドラインと計量検査装置・運用手法を活用し、更に改良開発を行ったうえで、計量検査を事業化する検討を進める。

今後、本プロジェクトの4年間にわたる検査データ・知見をベースに、さらに積み重ねていくことで、計量管理運用ガイドラインを適切に改定(適正化)していく必要がある。これにより計量検査事業者の継続的な事業を下支えしていくことができると考えられる

4.2 マスターメーター法における課題、事業化までのシナリオ

70MPaでの商用ステーションにおけるマスターメーター法による評価試験を基に、82MPaに対応した評価装置の製作/評価およびマスターメーターにおける更なる精度向上が必要となる。

基準流量計および試験設備の不確かさ低減に向けた改良等を行い、これらの能力の維持管理を行う為のビジネスモデルについて検討やマスターメーターを用いた商用ステーションにおけるディスペンサーの計量評価におけるビジネスモデルについても検討を行う必要がある。

4.3 代替流体法における課題、事業化までのシナリオ

代替流体法はメーカーやエンジニアリングにとって、設備や維持、管理、計量システム製造コスト削減に有効で大きな利用価値があるものとなるので、諸外国に先んじて確立する計画である。プロジェクトでは先ず水素における精度試験の技術指針を得た。今後、代替流体を用いた研究を進めて、基準となる水素との確からしさを比較確認し、有効性を検証して代替流体法をガイドライン化することにより、事業化の礎とする。

5.研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2013.5.24-26	1 st International Workshop on H2-Infrastructure and Transportation	Activities of H2 Metering in JAPAN	Mr. Tetsuji Nakamura
2	2014.3.13	European Hydrogen Energy Conference	Hydrogen Thermophysical Properties Database Compiling a New Equation of State and Correlations Based on the Latest Experimental Data at High Temperatures and High Pressures	迫田直也 (九州大)
3	2014.5.8-9	2 nd International Workshop on H2-Infrastructure and Transportation	Activities of H2 Metering in JAPAN	Mr. Tetsuji Nakamura
4	2014.10.25	日本機械学会 流体工学部門講演会	水素用臨界ノズル式流量計特性に関する EFD/CFD 研究	森岡敏博 (産総研)
5	2014.11.8	日本機械学会 熱工学コンファレンス 2014	高圧水素の熱物性計測・・・水素インフラの普及に向けた研究の取組み	迫田直也 (九州大)
6	2015.6.24-25	3 rd International Workshop on H2-Infrastructure and Transportation	Activities of H2 Metering in JAPAN	Mr. Tetsuji Nakamura
7	2015.7.13-16	The International Symposium on Experimental and Computational Aerothermodynamics of Internal Flows	Numerical Study on Low Reynolds Number Flows in Critical Nozzles	松尾繁 (佐賀大)
8	2015.19.19-21	第6回 ICHS2015 (水素安全国際会議 2015)	Measurement device of hydrogen	Mr.Osawa

9	2016.2.3.-4	水素先端世界フォーラム2016	Metering test apparatus & method	Mr.Osawa
10	2016.3.2-4	FC EXPO	Metering test apparatus & method	Mr.Osawa
11	2016.3.7-9	平成27年度衝撃波シンポジウム	70MPa 高圧水素における臨界ノズル特性に関する研究	森岡 敏博（発表者）、伊藤 優、井上 吾一、繁森 敦、寺尾 吉哉
12	2016.5.24-26	4 rd International Workshop on H2-Infrastructure and Transportation	Activities of H2 Metering in JAPAN	森岡敏博（産総研）
13	2016年6月16日～17日	口頭発表 第21回動力・エネルギー技術シンポジウム	球形共鳴器による高圧水素中の音速測定	田崎允浩、新里寛英、迫田直也、山口朝彦、河野正道、高田保之
14	2016年9月6日	口頭発表・論文発表 第48回化学工学会秋季大会	高圧水素インフラ構築に向けた水素の熱物性計測と水素物性データベースの応用	迫田直也、黒木太一、新里寛英、河野正道、門出政則、高田保之
15	2016年12月号	誌上発表 水素エネルギー協会誌 (Vol.41、4)	高圧水素熱物性の精密測定と水素物性データベースの応用	迫田直也
16	2017.3.1-3	FC EXPO	Metering test apparatus	Mr.Osawa
17	2017年5月号	計測技術	高圧水素ガスディスペンサー	大滝 勉
18	2017.5.18	5 th International Workshop on H2-Infrastructure and Transportation	Activities of H2 Metering in JAPAN	Dr.Tsutomu Otaki
19	2017.6.16	高分子学会 水素・燃料電池材料研究会（水素分離や精製、貯蔵材料・技術に関する研究）	水素ステーション関連技術およびインフラ普及に向けた取り組み	小林 芳郎（HySUT）
20	2017.7.6	FCCJ：FCV・水素インフラWG	HySUTの活動状況（水素関連技術開発、安全安心技術開発等）	小林 芳郎（HySUT）
21	2017.9.15	自動車計測セミナー（測定計測展）	水素燃料計量システムの評価試験技術	中西功（HySUT）

- 特許等 -

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	2015年9月28日	特願 2015-18938	計測ハウジング内の結露を防止するために乾燥ガスで満たす校正装置	株式会社タツノ
2	2015年9月28日	特願 2015-189387	周囲環境の影響を受けることなく水素の重量を高精度に測定する校正装置	株式会社タツノ
3	2015年9月28日	特願 2015-189393	水素の重量を効率よく安全に測定する校正装置	株式会社タツノ
4	2015年9月28日	特願 2015-189397	温度、圧力の変化による浮力補正を行う校正装置	株式会社タツノ
5	2016年3月29日	特願 2016-066864	臨界ノズル式ガス流量計及びガス流量計の調整方法	岩谷産業株式会社、 国立研究開発法人 産業技術総合研究所
6	2016年3月29日	特願 2016-066865	調整済みガス流量計	岩谷産業株式会社、 国立研究開発法人 産業技術総合研究所
7	2016年3月29日	特願 2016-066866	水素ガスディスペンサーの評価方法	岩谷産業株式会社、 国立研究開発法人 産業技術総合研究所
8	2016年3月29日	特願 2016-066867	調整済み水素ガスディスペンサー	岩谷産業株式会社
9	2016年3月29日	特願 2016-066868	水素ガスディスペンサーの評価装置、及び車	岩谷産業株式会社

その他特記事項 成果普及の努力（プレス発表等）

- ・プロジェクトとして FCCJ、HysUT「水素計量ガイドライン」を制定し、業界団体を通じて、ステーション運用社、自動車会社、水素計量の規格と計量検査の推奨、活動し、全ステーションで計量検査を実施するに至った。
- ・日本工業規格 JIS「自動車用水素燃料メーター」の制定に本プロジェクトの成果を活用し技術協力した結果、平成 28 年 5 月 20 日に JIS B 8576 として制定された（官報告示）。
- ・国際規格である OIML-R139（車両用圧縮ガス燃料計量システム）を改定し、水素計量システムに対応させるための新規プロジェクトに協力し、当該事業での情報・成果を提供するとともに、OIML 国内ワーキンググループおよび OIML 国内委員会に委員として参加して、OIML-R139 改定に向けてのワーキングドラフト（WD）およびコミッティドラフト（CD）を完成させ、世界の関係各国に提案した。

以上

(11-12)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 / 有機ケミカルハイドライド法脱水素設備の水素ステーション用小型化・低コスト化」

助成先：千代田化工建設(株)

成果サマリ (実施期間：平成28年度～平成29年度)

・ステーション向け脱水素設備のシステム最適化と小型化について、課題を設計検討し、検証機（水素流量：30 Nm³/h）を製作・建設した。
 ・脱水素システム検証機の運転試験にて、小型化システムにて脱水素性能と精製性能を達成。各種運転条件にてデータを取得し、運転条件変更による性能への感度分析を行う。
 ・検証機の設計・運転試験などのデータをもとに、商用機試設計を行い、コンパクト化と低コスト化の目途を立てる見通し。

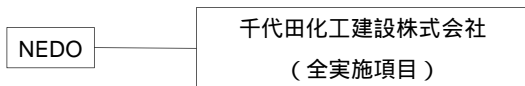
背景/研究内容・目的

有機ハイドライド法大規模水素供給チェーンによる安価な水素をメチルシクロヘキサン（MCH）の形で効率よく輸送し、ステーションにて水素を取出すため、脱水素設備をステーション向けにシステムの最適化・コンパクト化・低コスト化を研究する。
 脱水素検証機を設計・製作・運転し、性能確認を行い、商用機試設計にて、コンパクト化・低コスト化を検討する。

研究目標

実施項目	目標
水素ステーション用脱水素設備システムの最適化、およびコンパクト化	大型プラント向けに開発されてきた脱水素システムを水素ステーション向けに最適化およびコンパクト化された検証設備にてプロセス性能を達成する。また検証設備でのコンパクト化要素を反映し、スキッド化商用設備を試設計する。
FCV用水素燃料仕様をクリアする精製技術の開発	有機ケミカルハイドライド法では、水素中にトルエン等の炭化水素が含まれるが、FCV用水素燃料仕様 ISO14687-2 (2012) をクリアするために、PSA精製設備の検証運転試験にてC1換算にて、2 ppm以下の炭化水素を達成する。
脱水素設備の低コスト化	既存のオンサイト商用ステーション水素製造設備と同等の設備コストとするために、検証設備のプロセスをもとに、商用設備の試設計と積算を実施。

実施体制及び分担等



これまでの実施内容 / 研究成果

- 次項に示す技術課題などを検証機設計に反映し、製作・建設の後、運転試験にて性能を検証した。
 - 従来の脱水素反応器の長さを半減するため、触媒サイズ・反応管サイズの最適化
 - 水素純度のために、精製設備（PSA）を設置
 - PSAオフガスを脱水素反応熱源として、熱媒加熱炉に導入
 - 通常運転に加え、プロセスの起動・停止・負荷変動などを自動化
- 商用機試設計について、検証機設計と運転試験にて得たデータをもとに、システムの簡素化とコンパクト化を反映した基本設計と詳細設計方針を作成した。

研究成果まとめ

今後の課題

- 事業終了に向けて、次項を継続する。
- 運転試験を継続し、各種運転条件の変更に対する設備性能の感度分析を実施する。
 - 商用機試設計を進め、設備のコンパクト化・低コスト化に目途を立てる。

事業化の見通し

- 本研究終了後の事業化に向けたステップは、次項のとおり。
- 検証機によるFCV需要への水素供給実証および耐久性試験
 - 商用機試設計の課題研究（触媒のさらなる改良による不純物低減やPSA圧力変動低減により、システム安定化・機器削減・コンパクト化・低コスト化の推進）
 - 商用機本設計および製作
 - 商用機での性能確認および耐久性試験

実施項目	成果内容	自己評価	
水素ステーション用脱水素設備システムの最適化、およびコンパクト化	検証設備の設計・製作・建設を終了し、現在は運転試験中であり、一定の運転条件にて、性能が達成された。商用設備の試設計は、継続中。	(11月末データ取得、12月末データ分析、1月末試設計終了)	
FCV用水素燃料仕様をクリアする精製技術の開発	検証設備の設計・製作・建設を終了し、現在は運転試験中であり、一定の運転条件にて、性能が達成された。	(11月末データ取得、12月末データ分析)	
脱水素設備の低コスト化	商用設備の試設計、およびコスト低減検討は、継続作業中。	(1月末試設計終了)	
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	5	0

課題番号：11-12

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 /

有機ケミカルハイドライド法脱水素設備の水素ステーション用小型化・低コスト化

千代田化工建設株式会社

1. 研究開発概要

千代田化工建設は、有機ケミカルハイドライド法による水素供給チェーン事業を目指しています。資源国で調達した水素とトルエンを化学反応により MCH(メチルシクロヘキサン)という常温常圧で液体の物質に変換(水素化反応)して貯蔵輸送し、水素需要国にてトルエンと水素に分離(脱水素反応)して需要家に水素を気体として供給するものです。(下図1「有機ケミカルハイドライド法水素供給チェーン模式図」参照。)

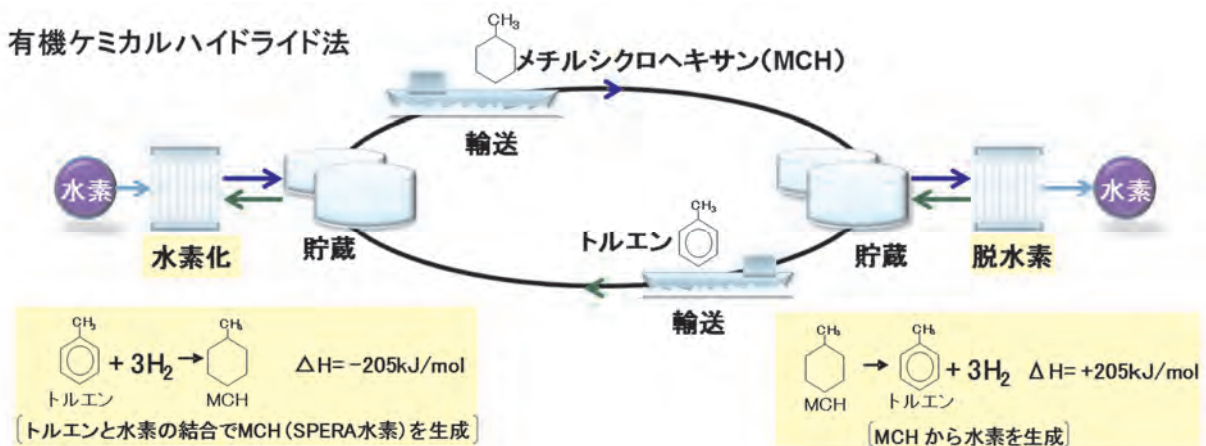


図1 「有機ケミカルハイドライド法水素供給チェーン模式図」

前述の有機ケミカルハイドライド法による水素供給チェーン事業では、大規模に水素を供給するために、大型プラントを前提としたシステムおよび設備を開発しました。一方、水素ステーションに代表される水素の分散利用が拡大する中、MCH(メチルシクロヘキサン)を水素ステーションに供給し、オンサイトにてTOL(トルエン)と水素に分離(脱水素反応)して供給するため、厳しい品質要求のある水素ステーション向けとして、脱水素システムの最適化・小型化・低コスト化を研究開発します。(下図2「水素ステーション向け脱水素設備構成」参照。)大規模水素供給チェーンにおいては、水素価格の低減が期待され、そのチェーンの需要の一部として水素ステーション向け等の分散型利用を計画しています。

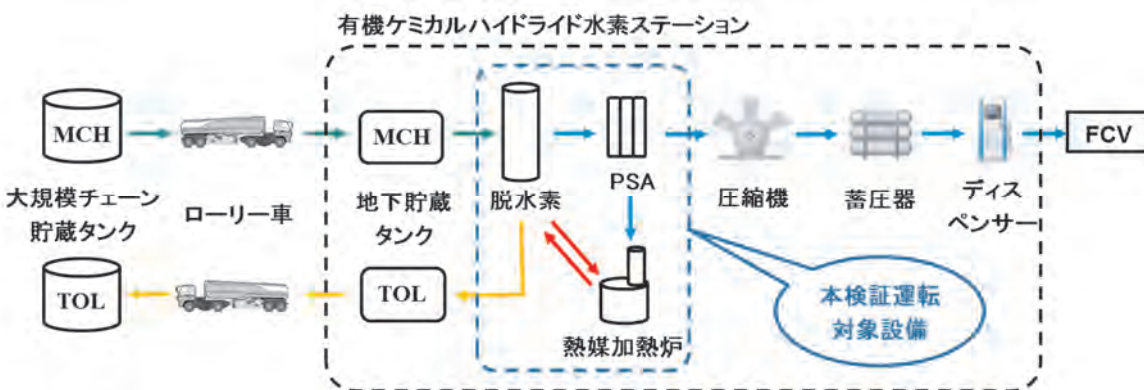


図2 「水素ステーション向け脱水素設備構成」

2. 研究開発目標

2.1 開発課題と目標

有機ケミカルハイドライド法（メチルシクロヘキサンを適用）による海外水素の大量輸送が実行され、常温常圧の液体として既存の石油・石油工業インフラを利用して低廉な水素を水素ステーションまで供給できるようになった際、水素ステーションにてメチルシクロヘキサンのオンサイト脱水素を行うことにより、FCV 向け水素のコスト低減が期待できる。有機ケミカルハイドライド法水素ステーションによる FCV への水素供給は、世界で初めての試みであり、これに向けた、主たる要素技術である水素ステーション用有機ケミカルハイドライド法脱水素設備の開発が必要となる。

開発の課題とその目標は以下の通り。

【開発課題1】 水素ステーション用脱水素設備のシステムの最適化、およびコンパクト化
ガソリンスタンドに併設する必要から、ガソリンスタンド内に設置できるようコンパクトな設備が求められる。また、脱水素設備は、高圧ガス保安法の高圧ガス設備適用を避けたシステムとする必要がある。

- ・脱水素反応器の小型化
- ・水素精製装置の小型化
- ・全体設備の小型化

<開発目標1>

設備サイズ：約 3m × 6m × 3mH

（300Nm³/h 規模のオンサイト水蒸気改質装置と同レベル）

【開発課題2】 脱水素設備の低コスト化

他の水素ステーション（オフサイト、およびオンサイトを含む）での水素供給コストと同等またはそれ以下とするための、低コスト化が必要である。

<開発目標2>

設備コスト：脱水素設備（300Nm³/h 規模）約 9 千万円

（300Nm³/h 規模のオンサイト水蒸気改質装置と同レベル）

（有機ケミカルハイドライド法水素ステーション普及期に於いて）

【開発課題3】 FCV 用水素燃料仕様（ISO14687-2）をクリアする精製技術の開発

有機ケミカルハイドライド法では、水素中にトルエン等の炭化水素が含まれるが、C₁換算で 2ppm 以下（トルエンでは 2/7ppm 以下）に精製する必要がある。

このような系での水素精製方法は世の中にない。

<開発目標3>

水素中のトルエン濃度 2/7ppm 以下を達成する PSA システムの構築

2.2 目標設定の理由

<開発目標1>

水素ステーションは、単独での設置もあるが、ガソリンスタンドでの併設が今後大きな割合を占めるものと考えられる。有機ケミカルハイドライド法についても、既存ガソリンインフラ（油槽所、タンクローリ、貯蔵タンク等）を活用していくことのメリットを考えると、ガソリンスタンドでの併設は必要不可欠である。このためには限られた敷地内に収まるよう、設備のコンパクト化が必要となる。

尚、有機ハイドライド法脱水素設備は、メチルシクロヘキサンを液相で昇温するため、0.2MPa 以上となると高圧ガス設備に該当していたが、H28 年 11 月 1 日の改正に於いて「液化ガスの対象の再整理を踏まえた見直し」がなされ 1MPa を超える場合を「高圧ガス」の対象とすることとなった。したがって当初 0.2 MPa 未満で計画していたものを、1MPa 未満まで圧力範囲をあげることにした。圧力を上げることは、後段の圧縮機および PSA には望ましいものの、平衡上反応が悪くなるため、

その最適化を図る必要がある。

(現在、消防庁の消防防災科学技術研究推進制度「水素スタンド併設給油取扱所の安全評価技術に関する研究」事業の中で、有機ケミカルハイドライド法水素スタンドをガソリンスタンドに併設した場合の安全性についてアセスメントを実施しており、安全性を確保しつつ、ガソリンスタンドに併設していくことを検討している。)

<開発目標 2>

有機ケミカルハイドライド法水素ステーションは、オンサイトで水素を発生させるものであり、同様なオンサイト水素ステーションとして、都市ガス改質、およびLPG改質によるオンサイト水素ステーションがある。競争力を持つためには、当該水素発生設備である都市ガス改質装置、およびLPG改質装置と同等、またはそれ以下の脱水素設備とする必要がある。

<開発目標 3>

FCV用水素燃料仕様は、ISO14687-2 (2012)で規定されており、有機ケミカルハイドライド法による水素を、FCVに供給するためには、必須の要件である。安定的に供給できる生成システムを構築する必要がある。

参考) FCV用水素燃料規格(抜粋)

水素純度:	99.97%以上
H ₂ O:	5ppm
全炭素:	2 ppm
O ₂ :	2 ppm
CO ₂ :	2 ppm
CO:	0.2 ppm
S:	0.004 ppm

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) 成果と達成度の概要

表1「成果と達成度一覧」

開発項目	最終目標	成果	達成度
水素ステーション用脱水素設備システムの最適化、およびコンパクト化	大型プラント向けに開発されてきた脱水素システムを水素ステーション向けに最適化およびコンパクト化された検証設備にてプロセス性能を達成する。また検証設備でのコンパクト化要素を反映し、スキッド化商用設備を試設計する。	検証設備の設計・製作・建設を終了し、現在は運転試験中であり、一定の運転条件にて、性能が達成された。商用設備の試設計は、継続中。	(11月末データ取得、12月末データ分析、1月末試設計終了)
FCV用水素燃料仕様をクリアする精製技術の開発	有機ケミカルハイドライド法では、水素中にトルエン等の炭化水素が含まれるが、FCV用水素燃料仕様 ISO14687-2 (2012) をクリアするために、PSA 精製設備の検証運転試験にてC1換算にて、2 ppm以下の炭化水素を達成する。	検証設備の設計・製作・建設を終了し、現在は運転試験中であり、一定の運転条件にて、性能が達成された。	(11月末データ取得、12月末データ分析)
脱水素設備の低コスト化	既存のオンサイト商用ステーション水素製造設備と同等の設備コストとするために、検証設備のプロセスをもとに、商用設備の試設計と積算を実施。	商用設備の試設計、およびコスト低減検討は、継続作業中。	(1月末試設計終了)

(2) 水素ステーション用脱水素設備システムの最適化

設計：

水素ステーション向けに機器サイズ・構造やシステムを最適化できるよう検証設備を設計した。最適化のために、過去に開発した大規模向け脱水素デモプラント設備から課題を検討し、改訂した。(表2「検証設備の設計課題一覧」参照。)

表2「検証設備の設計課題一覧」

設計時の検討項目	本研究のステーション向け検証設備	大規模向け脱水素デモプラント設備
設備容量・設計圧力	製品水素流量：30 Nm ³ /h 1 MPaG 未満（低圧でも運転試験を計画）	脱水素流量：50 Nm ³ /h 1MPaG 以上
MCH 蒸発器・過熱器	熱媒による蒸発・過熱器 1 器	水蒸気・電気ヒーターなど 3 器にて構成
脱水素反応器	反応管や触媒のサイズ変更などにより、機器長さ 3 m 以下にほぼ半減	
熱媒加熱炉	都市ガスバーナー加熱炉 PSA オフガス混焼	電気ヒーター
水素精製	冷却後の気液分離に加えて、PSA 製品水素品質：ISO14687-2 (全炭化水素 メタン換算 2 ppm 以下 = トルエン残留濃度 0.28 ppm 以下)	冷却後の気液分離
運転制御の自動化	定常運転時の自動制御に加えて、起動・停止などのシーケンスを概ね自動化	定常運転時の自動制御

製作・建設：

脱水素反応器の長さが大幅に低減されたことにより、脱水素システムを工場にてスキッド組立てし、車両輸送が可能となった。(写真1「建設完了時の設備」を参照。)

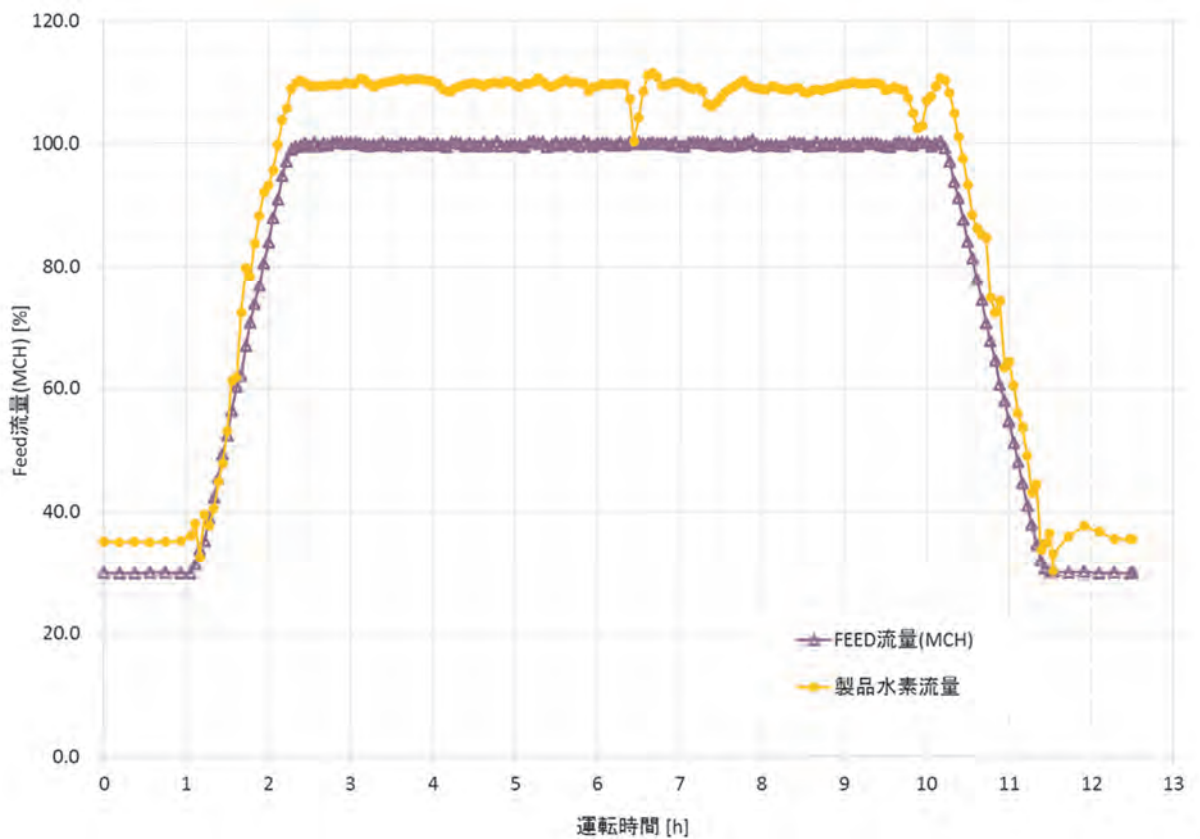
過去に運転試験を行った大規模プラント向けデモプラントの脱水素設備(容量 50 Nm³/h)は、全高約 10 m となる現地組立てのプラントであった。



写真 1 「建設完了時の設備」

運転試験：

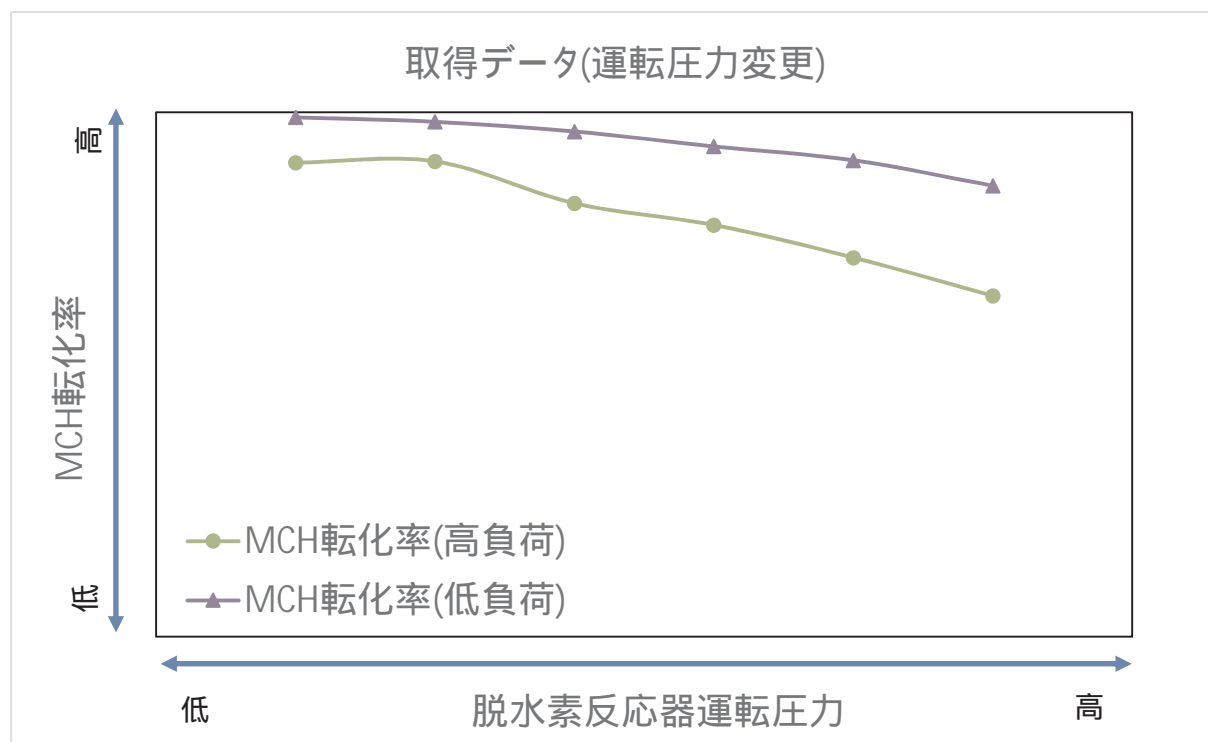
フィード流量を 30～100%に変更し、製品水素流量が追従することを確認。(グラフ 1 「負荷変動時の運転データ」を参照)



グラフ 1 「負荷変動時の運転データ」

成果詳細-(495)

脱水素反応器圧力を変更した際のフィード転化率データを取得。(グラフ2「100%フィード運転データ・運転圧力変更」を参照。)
 脱水素反応器負荷および温度の変更に対しても、同様にデータを取得し、性能感度を分析する。



グラフ2「100%フィード運転データ・運転圧力変更」

(3) FCV 用水素燃料仕様をクリアする精製技術の開発

フィード流量 100%運転にて、製品水素品質が ISO14687-2 の FCV 基準を満たすことを確認。
 (表3「フィード流量 100%運転の製品水素品質」を参照)
 精製設備廻りの運転条件を変更して運転データを取得し、精製設備の性能感度を確認する。

表3「フィード流量 100%運転の製品水素品質」

組成	分析結果(ppm)	ISO14687-2 規格値(ppm)
H ₂ O	< 0.1	5
全炭化水素(C ₁ basis)	< 1	2
O ₂	< 1	5
He	< 100	300
Ar、N ₂	< 100	100
CO ₂	< 0.2	2
CO	< 0.2	0.2
全硫黄化合物(H ₂ S basis)	< 0.0001	0.004
HCHO	< 0.01	0.01
HCOOH	< 0.001	0.2
NH ₃	< 0.001	0.1
全塩素化合物	< 0.001	0.05

(4) 水素ステーション用脱水素設備のコンパクト化と低コスト化

検証機(水素容量:30 Nm/h)の設計・製作・運転試験による知見を反映し、商用設備(水素容量:300 Nm/h)の試設計を行い、システムの簡素化・設備のコンパクト化を検討する。研究は継続中であり、事業期間中に終了見込み。

コンパクト化

検証機によるデータなどを反映したプロセス設計と商用機の基本設計方針は完了し、今後は、設備のハードウェア基本設計を実施している。

サイズ目標は、水蒸気改質型オンサイト設備と同等レベルの脱水素設備と設定し、試設計にてコンパクト化を検討する。

検証機として、試験目的で設置されていた機器・計器を簡素化し、その配置と配管取廻しを最小化する。

現行のシステムではプロセス的に必要な機器とそのサイズについて、削除もしくは縮小できるシステム改善可能性を検討し、課題として抽出する。

低コスト化

商用機試設計に従いコスト積算を実施し、コスト低減を検討する。

上記のコンパクト化にて検討した通り、検証機よりシステムを簡素化し、かつ、対象機器の構造が単純化できるプロセス条件にてシステムをまとめるなどの対応を行っている。

また、上記コンパクト化に記載のとおり、将来のシステム改善可能性のコスト影響に関しても検討する。

3.2 成果の意義

目標へのステップ		達成状況
1	検証設備の基本設計にて、脱水素反応器を工場製作スキッド内に収まるよう設計	達成
2	検証設備の基本設計にて、PSA オフガスを熱媒加熱炉燃料として利用するシステムの設計	達成
3	検証設備の詳細設計にて、脱水素設備の小型化・省スペースの検討	達成
4	検証設備の運転試験にて、新たなサイズの脱水素反応器、PSA 精製システム、PSA オフガスの熱媒加熱炉導入などの性能確認	部分的達成、事業期間中に完了予定
5	商用機試設計にて、検証設備の基本設計(プロセスデザイン)検討成果を反映、およびシステム最適化	達成
6	商用機試設計にて、検証設備の詳細設計(ハードウェアデザイン)コンパクト化検討成果を反映	事業期間中に完了予定
7	商用機コスト積算にて、システム最適化とハードウェアのコンパクト化によるコスト低減検討、および課題の抽出	事業期間中に完了予定



成果の意義：

有機ケミカルハイドライド法による小型脱水素設備の運転性能検証、および、商用脱水素システム試設計とそのコスト低減検討を実施することにより、具体的な商用ステーション設備を構築する。

3.3 開発項目別残課題

(1) 水素ステーション向け脱水素設備の検証機による運転試験

「実施項目 水素ステーション用脱水素設備システムの最適化、およびコンパクト化」と「実施項目 FCV 用水素燃料仕様をクリアする精製技術の開発」の両項目に対応する脱水素設備の検証機運転試験は、計画工程に従い継続している。

今後の作業計画として、下記の項目について、種々の運転条件にて運転・性能データ計測および分析し、事業期間内に終了見込み。

- 脱水素反応圧力・温度・熱媒流量などの変更ケース
- PSA 回収率などの変更ケース
- 熱媒加熱炉燃料の混焼率変更ケース
- 自動化シーケンスの過程におけるプロセス設定値や時間設定の最適化

(2) 水素ステーション向け脱水素設備の商用機試設計

「実施項目 水素ステーション用脱水素設備システムの最適化、およびコンパクト化」と「実施項目 脱水素設備の低コスト化」の両項目に対応する脱水素設備の商用機試設計は、計画工程に従い継続している。

検証機によるデータなどを反映したプロセス設計と商用機の基本設計方針は概ね完了し、今後は、設備のハードウェア基本設計およびコスト積算・コスト低減検討を実施し、事業期間内に終了見込み。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

将来に向けた主な成果

検証機による次項目などの達成により、水素ステーション向け脱水素設備の基本システムを構築できた。

- 反応器の長さ半減
- 脱水素システムおよび製品水素精製システム（PSA）の性能確認
- 熱媒加熱炉への PSA オフガス導入

商用機試設計にて、設備の工場製作・スキッド化・スキッドでの車両輸送に目途を立てた。



今後の実用化に向けたステップは、次のとおり

検証機による FCV 需要への水素供給実証および耐久性試験

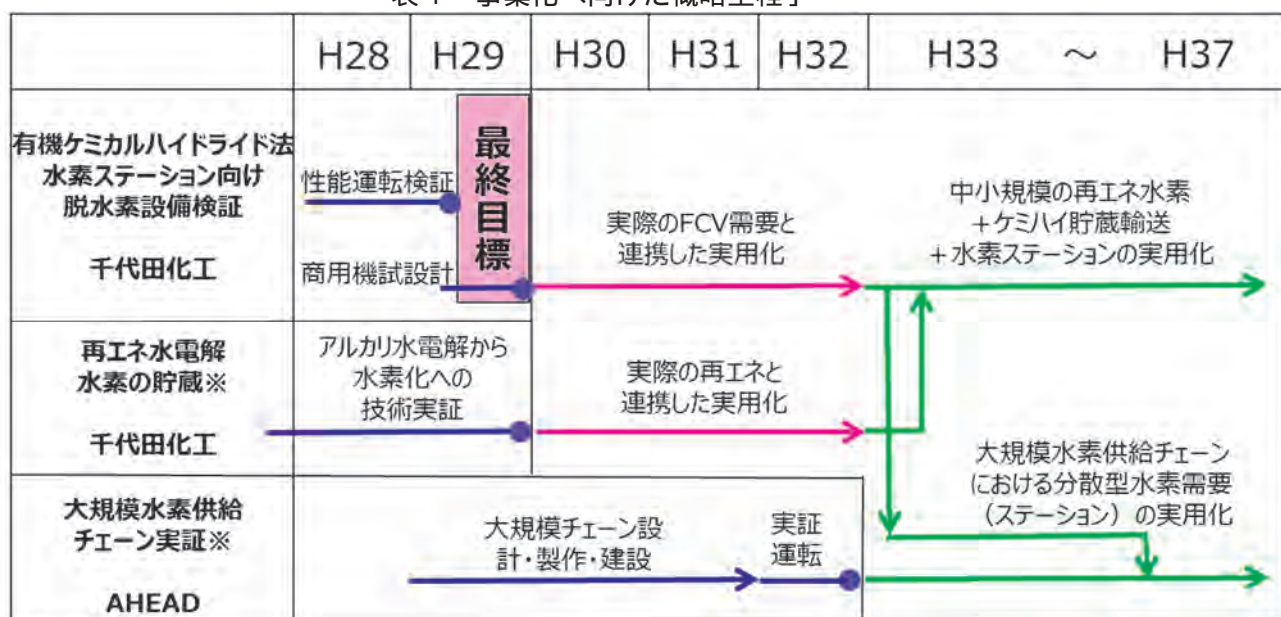
商用機試設計の課題研究（触媒のさらなる改良による不純物低減や PSA 圧力変動低減により、システム安定化・機器削減・コンパクト化・低コスト化の推進）

商用機本設計および製作

商用機での性能確認および耐久性試験

上記、実用化に向けたステップを下記の表4「事業化へ向けた概略工程」に示す。

表4「事業化へ向けた概略工程」



5. 研究発表・特許等

表5「研究発表・講演、文献等、その他」

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 29 年 3 月	AIChE (American Institute of Chemical Engineers) Spring Meeting における講演	Hydrogen Storage and Transportation using SPERA Hydrogen Process for realizing Low-Carbon Society	千代田化工建設株式会社 中島 悠介
2	平成 29 年 4 月	5 th International Workshop on Hydrogen Infrastructure & Transportation における講演	Introduction of Liquid Organic Hydrogen Carrier (LOHC) Technology	千代田化工建設株式会社 伊藤 正
3	平成 29 年 7 月	第7回世界水素技術会議における講演	Large-Scale Hydrogen Storage and Transportation Technology	千代田化工建設株式会社 高野 宗一郎
4	平成 29 年 8 月	化学工業日報の新聞記事	MCH 脱水素装置 FCV 燃料向け実証 千代田化工 水素ステーション設備用	-
5	平成 29 年 9 月	JPI (日本計画研究所) セミナーにおける講演	世界に先駆けた国際間水素サプライチェーン 商用化事業の全容	千代田化工建設株式会社 遠藤 英樹

以上

(11-13)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 / 低コスト・プレクーラーの研究開発」

助成先：(株)巴商会

成果あり（実施期間：平成26年度～平成27年度）

- ・ステージにて設計及び検証したシェルアンドコイル型熱交換器ユニット4基製作しKHK特認取得
- ・実証試験によるSAEJ2601充填プロトコル対応の性能確認及び適用性拡大の確認
- ・コスト分析・試算 熱交換器ユニット基数半減、冷凍能力削減、低コストブライン採用により目標価格（量産時2,400万円）達成を確認

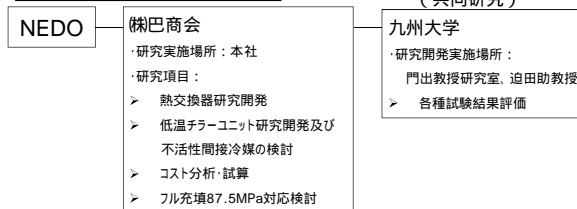
背景/研究内容・目的

- ・FCV普及促進
- ・水素ステーションの低コスト化による水素ガス販売価格の低コスト化
- ・水素ステーション主要構成機器（水素製造設備・水素圧縮機・プレクーラー）の低コスト化
- ・ステージにて設計した熱交換器ユニットによるチラーユニットを含む高効率化を検証
- ・目標価格（量産時：2,400万円）達成の可能性の有無を検証

研究目標

研究開発項目	目標
(1)熱交換ユニット研究開発	ステージ 設計検証を基に熱交換ユニットを4基制作する
(2)ブラインの選定	伝熱性能に優れた低コスト不揮発性間接冷媒の採用の検討をする
(3)冷凍機システム研究開発	低温チラーユニットの低コスト化と省エネルギー性の追求
(4)プレクーラー性能確認試験	高圧水素急速充填設備を用いて、確立した試験条件に基づきシステムの冷却性能を確認する
(5)プレクーラー適用性拡大	熱交換ユニットを4基の組み合わせとしバス・トラックを想定した大容量充填が可能を確認する
(6)コスト分析・試算	開発項目(1)(2)(3)より目標価格（量産時2,400万円）の達成可否を判断する

実施体制及び分担等



これまでの実施内容 / 研究成果

- ・熱交換器研究開発
ステージの結果よりHRX-19鋼材を用い、事前評価及び特定設備検査を受検し、熱交換ユニットを4基製作した。
- ・ブラインの選定
伝熱性能に優れたHFE系ブラインと比較し、コストが1/10となる不揮発性低コストブラインを採用した。
- ・冷凍機システム研究開発
リザーバータンクを設置する事により、従来機より冷凍機の冷凍能力の削減ができ、また省エネモードを付加する事により、チラーユニットのインシャルコスト削減達成と省エネルギー性能の確認が出来た。
- ・性能確認試験
SAEJ2601に準じた各試験条件下において、プレクーラー出口の水素ガス供給温度は充填技術基準を満たす冷却性能を達成することを確認した。また、大容量タンク（バス・トラック）の試験も実施し、充填時間短縮に資するデータ取得を行った。
- ・コスト分析・試算
熱交換器ユニット使用基数半減、リザーバータンクによる冷凍機冷凍能力削減、低コストブラインの採用等による目標価格（量産時2400万円）を達成した。

今後の課題

- ・低コストで高効率の熱交換システムを構築することに成功し、SAEJ2601充填性能を満足し、国内法規に準拠させていることから、弊社が建設した商用の新砂水素ステーションへの設置が可能であった。本施設において平成29年7月より商用稼働し、実用化に至っている。

事業化の見通し

- ・プレクーラー熱交換器で現在主流であるマイクロチャンネル型熱交換器を代替し高効率、低コストなシステム構成であることと、大容量タンク充填などの適用性拡大を視野に入れ、本年度より販売を開始している。

研究成果まとめ

研究開発項目	成果	達成度
(1)熱交換ユニット研究開発	ステージで設計性能確認した熱交換ユニットを完成させた。	
(2)ブラインの選定	伝熱性能に優れたHFE系ブラインと比較し1/10コストの不揮発性ブラインFP40を採用した。	
(3)冷凍機システム研究開発	リザーバータンク設置による冷凍機能力の低減、省エネモードによるランニングコストの低減、不揮発性ブライン採用による低コスト化、熱交換ユニット基数半減により、システムコスト目標価格を達成した。	
(4)プレクーラー性能確認試験	各試験条件下でタンク内ガス温度は充填技術基準を満たす冷却性能を達成することを確認した。	
(5)プレクーラー適用性拡大	Heavy duty protocol条件でガス供給温度は管理基準内に留まり十分な冷却性能を確認できた。	○
(6)コスト分析・試算	熱交換ユニット基数半減・冷凍機能力削減・低コストブライン採用により、目標価格を達成した。	

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	2	0

課題番号： - 13

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 /

低コスト・プレクーラーの研究開発

株式会社巴商会

1. 研究開発概要

ステージ Ⅰ で設計及び設計性能試験を実施したシェルアンドコイル型熱交換器を4本製作し、チラーユニットと共にカナダ Powertech 社に移送し、ディスプレイに設置後、模擬タンク及びFCVに充填試験を実施しSAEJ2601 充填プロトコルを満足する事を確認し、併せて商用に適する事も確認する。試験内容・結果検証においては、九州大学 先端科学研究センター門出政則特任教授、迫田助教授に指導を仰ぐ。結果検証に基づき、プレクーラーの最適化設計（イニシャルコスト・ランニングコスト）、非揮発性プラインの採用検討を実施する。また、87.5MPa フル充填とFCバス等の大型車両を想定した、大容量タンク向け充填も実施する。

2. 研究開発目標

本研究開発は、プレクーラーの価格を半減（現行価格：4,000万円～5,000万円目標価格：量産時2,400万円）する為に、ステージ Ⅰ で設計及び単体性能を確認したシェル&コイル型プレクーラー熱交換器ユニットとチラーユニットから成る新開発のプレクーラーシステムを Powertech 社の急速充填試験設備にて模擬タンクに充填試験を実施し、SAEJ2601 充填プロトコルに基づく圧縮水素充填技術基準を満たすことを確認し、商用化を図り、設備価格及びシステム効率（イニシャル及びランニングコスト）について検証を実施する。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) プレクーラー熱交換ユニットの設計・製作

プレクーラー熱交換ユニットの仕様

熱交換コイルに使用する新規材料のオーステナイト系ステンレス HRX-19[®]（新日鐵住金(株)製造）は、平成26年5月27日に特定設備検査事前評価適用の認可（26高機第148号）を受け、高圧ガス保安法第56条の3の規定に則り特定設備検査受検を経て、平成27年1月20日に特定設備検査合格証が交付された。

プレクーラー熱交換ユニットは、外径 9.53mm、肉厚 2.5mm、長さ 30m の HRX-19[®]長尺管をコイル加工し、市販 SUS 管による環状シェル管内に収納したもので、その構造を図1、外観写真を図2に示す。

プレクーラー熱交換ユニット開発機の設計では、小型化、低コスト化、高信頼性、保守点検の容易さを考慮して以下の開発方針を設定した。

- ・構造が単純で信頼性が高いシェル&コイル型熱交換器タイプを採用
- ・小口径コイル成形が容易な HRX-19[®]による高強度・薄肉管を採用
- ・高価な伝熱管以外の部材には市販の規格材を採用

- ・ ディスペンサー側面への設置可能なユニット構造を採用
- ・ 保守点検が容易となる伝熱コイル取り出し可能な組立構造を採用

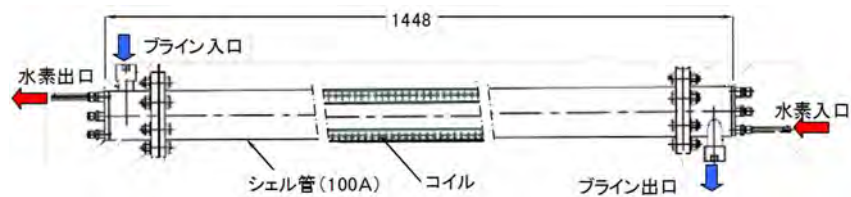


図1 プレクーラー熱交換ユニット



図2 外観写真

1ユニットは熱交換器2基で構成される。

プレクーラー熱交換ユニットの研究開発は、計画通りの成果を達成した。

プレクーラー熱交換ユニットの冷却性能評価

プレクーラー開発機の水素冷却性能は、水素流の伝熱性能がブライン流に比べて遥かに高いので殆どブラインが流れるコイル管外流によって決まる。コイル管内流は従来の研究結果において信頼できる性能式が得られており、コイル管外流については本研究開発ステージの基礎試験によって図3のごとく性能を得た。実測値()は、碁盤目配列した管群を横切る流れによる伝熱性能(細黒鎖線)に近似できることが分かった。

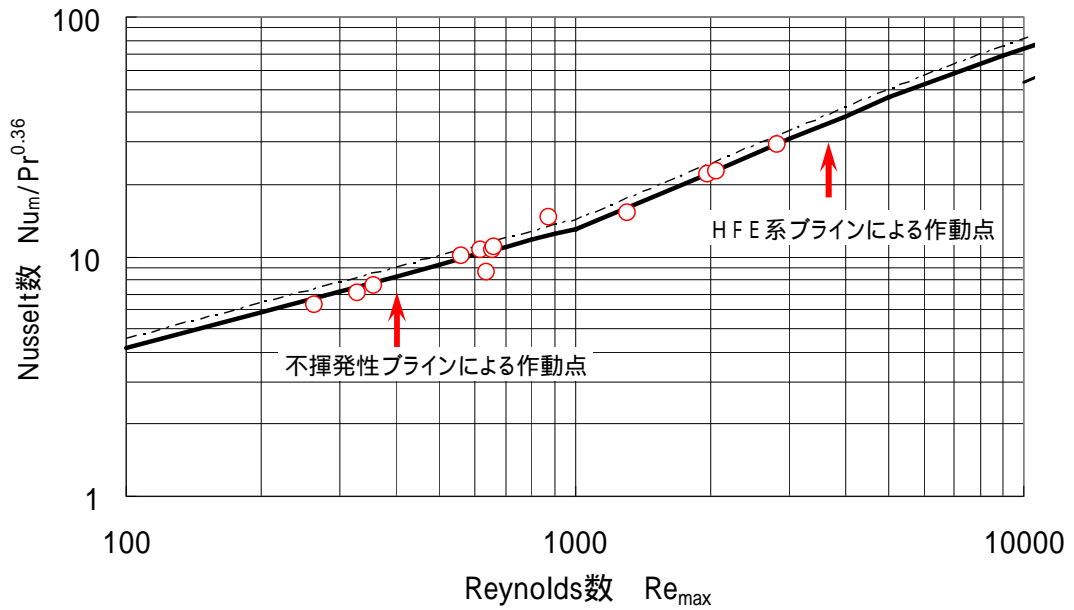


図3 熱交換ユニットのコイル管外流の熱伝達性能

(2) ブラインの選定

代表的な低温用冷却媒体にはエーテル系のブラインと水溶液系のFP40があり、両者の性能を表1にて比較する。FP40は、エーテル系ブラインに比べて以下の特長があり、殊に熱伝導率と比熱が高いことはブライン貯留による冷凍機システムの低コスト化を志向した本システムに適したブラインであり、これを選定した。

- ・ 熱伝導率が高い 熱交換ユニットの小型化、基数削減に有効
- ・ 比熱が大きい ブライン貯留槽の小型化に有効
- ・ 不揮発性 取り扱いが容易、貯留槽など構成機器の構造簡素化に有効
- ・ 低価格 ブライン貯留タイプの本冷凍機システムとの整合性が高い

表1 ブライン性能の比較

種類	主成分	性質	使用温度	沸点	凝固点	蒸気圧 kPa	密度 kg/m ³	粘度 Pa·s	比熱 kJ/kgK	熱伝導率 W/mK	価格	製造者
HFE系 ブライン Novec7200	ハイドロ フロロ エーテル	不燃性 無毒	-90 ~ 75	78.5	-	0.4	1573	0.0001	1.093	0.081	X	住友3M
不揮発性 ブライン FP40	水、防錆 剤、蟻酸 など	不燃性 LD50- 1000mg/kg (マウス)	-40 ~ 40	110	-55	-	1381	0.0276	2.287	0.43		ショーワ

(3) 冷却性能推定

水素充填流量 5kg/3min (=100kg/h、27.7g/sec)、水素入口温度 40、ブライン(FP40)入口温度 -40 の条件下で水素出口温度 -37 ± 2 を目標冷却性能に設定すると、熱交換ユニット 2 並列 x2 直列=計 4 基では冗長となる。2 並列 x1 直列=計 2 基の組み合わせによる冷却性能は図 4 に示す通りで、目標性能(図中黄色枠)を達成するためブライン流量 250 $\frac{\text{kg}}{\text{min}}$ を選択することで水素流量が基準値 5kg/3min の 1.4 倍 (140kg/h) まで冷却できる見通しである。

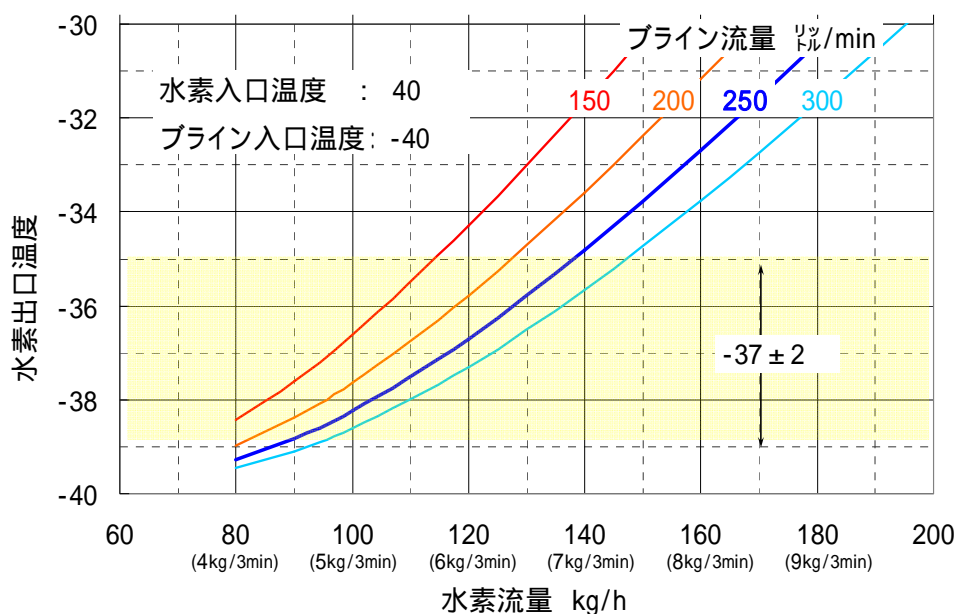


図 4 熱交換ユニット 2 並列 x1 直列による水素出口温度の変化

(4) 冷凍機システムの設計・製作

冷凍機システムの仕様

水素ステーション用冷凍機の特徴は短時間の間欠運転であり、予冷したブラインを貯留しておくことで冷凍機の定格冷凍能力を削減するコスト低減策が有効であることをステージで提案した。ブライン貯留量による冷凍能力低減への効果の試算値を図5に示す。貯留槽内ブライン流動をバルクフローと仮定すると理想的には1回の水素充填に要するブライン量の約1/2を貯留しておくことにより冷凍機の定格冷凍能力を約1/2に低減することができる。

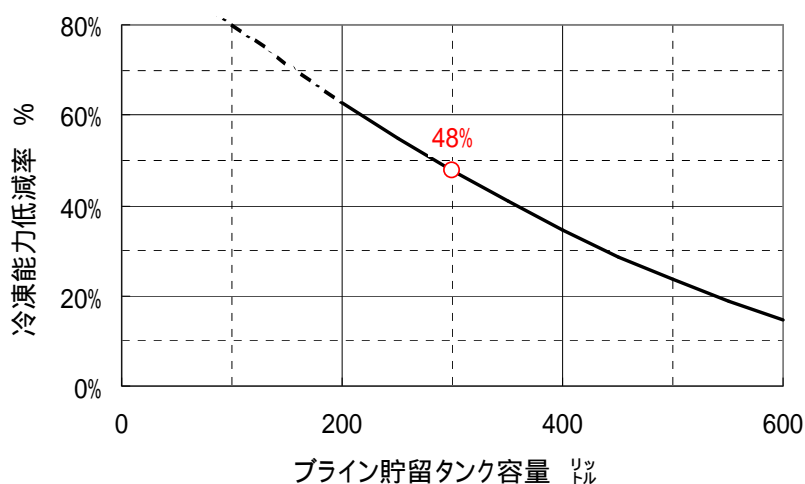
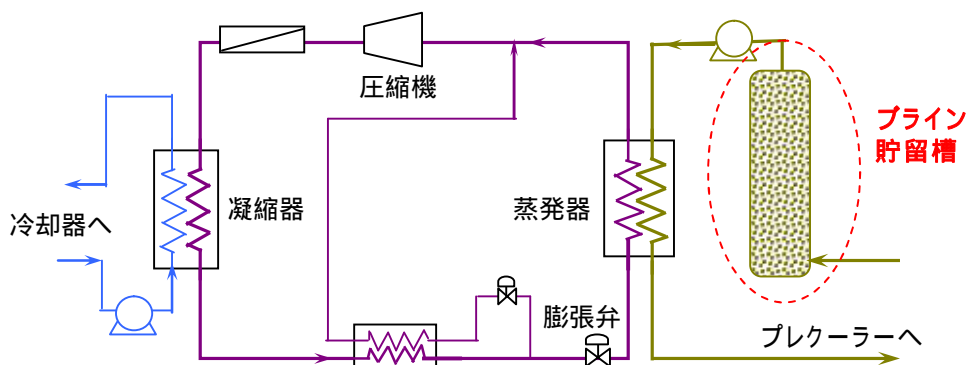


図5 貯留槽を備えたチラーユニット構成と冷凍能力削減効果

プレクーラー熱交換ユニットの交換熱量から設計した本冷凍機システムは、250 Lの貯留槽を備えた冷凍能力21.9kW (5.67冷凍トン)の水冷式低温チラーユニットであり、その構造を図6概仕様を表2に示す。実機でのブライン貯留量は、槽内250 Lのほかに配管、熱交換器などにある分を合算すると約380 Lを蓄えており1回の充填に要するブライン量(250 L/min×3min)の約1/2を確保することになる。本チラーユニットは、従来機の冷凍能力約40kWに比べて大幅な冷凍能力低減を図ることになり、コスト低減に寄与するものである。

水素急速充填試験では、ブライン流量250 L/min一定運転のほかに、充填前の待機時ブライン循環流量を定格時の60% (150 L/min)に低減する省エネルギー運転モードを付加して、ブライン流量切替時の冷却応答性と省エネルギー効果を調べる。

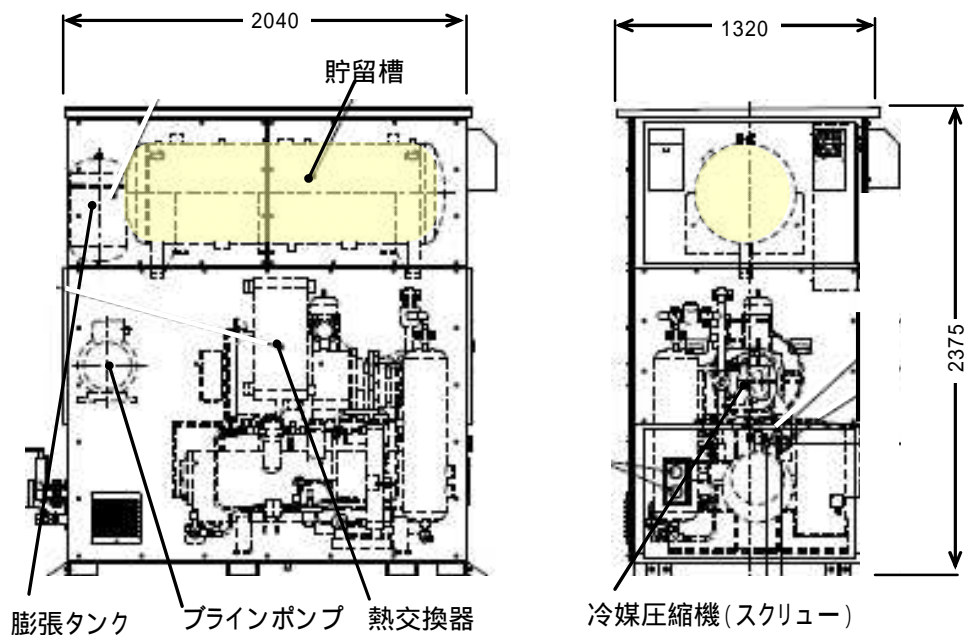


図6 チラーユニットの構成

表2 チラーユニットの概仕様

冷凍能力	21.9kW (5.67冷凍トン)	
消費電力	最大時	29.4kW
	定格時	29.4kW
冷媒	R404A	
ブライン	種類	FP40
	循環量	250ℓ/min
	貯留槽容量	250ℓ
	貯留量	386ℓ*
設定温度	温度範囲	-40℃～20℃
	精度	±2℃
冷却系	冷却方式	水冷
	冷却水温度	15～32℃
	冷却水量	175ℓ/min
バージ系	10Nℓ/min	
その他	騒音値	65dB以下
	外形寸法	2.04 ^W x1.32 ^D x2.38 ^H
	重量(Dry)	(2200)

*:配管、熱交換器など含む

定格運転性能

冷凍機定格運転性能について電気加熱ヒータによる模擬熱負荷を与えて、ブライン供給温度の時間変化を調べた結果を図7に示す。ブライン流量 250 ℓ/min：一定として模擬熱負荷を無負荷運転状態から 24kW 一定 x3min を 2min 間隔で繰り返した。熱負荷を与えてから約 0.9min までは冷凍機が待機運転のまま貯留槽内ブラインだけで熱負荷を処理し、その後定格運転に入るが熱負荷が無くなってからも約 1min 定格運転を継続する。その間のブライン供給温度は最大 1.0 温度上昇するが、-39 を上限とした低温のブラインを供給でき、運転時の最大消費電力 29.4kW、無負荷時では約 25kW であった。

2 回目以降でのブライン温度と消費電力はほぼ同一の変化をしており、インターバル 2min により初期状態に戻ることが確認された。

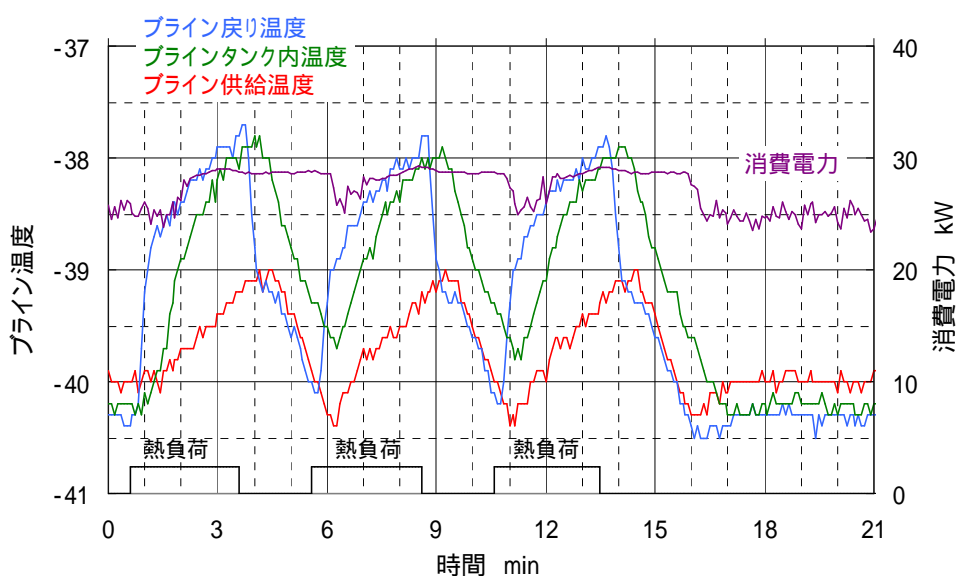


図7 チラーユニットの定格運転性能

省エネルギー運転性能

待機時のブライン循環量を 150 ℓ/min に低減して消費電力を抑制する省エネルギー運転モードにおける冷却性能応答性の試験結果を図8に示す。模擬熱負荷は、ブライン流量を減じた省エネ運転状態から 24kWx3min を 7min 間隔で繰り返し与えた。熱負荷を与えた直後から約 25sec までのブライン行き温度は、ブライン貯留槽内のブラインによりマイナス 40 を維持しその後通常運転モードに入りブライン温度は最大約 1.2 上昇するが、マイナス 38.8 を上限として低温ブラインを連続して供給できた。待機時の消費電力は約 18.5kW となり定格運転時に比べて 26%低減できた。

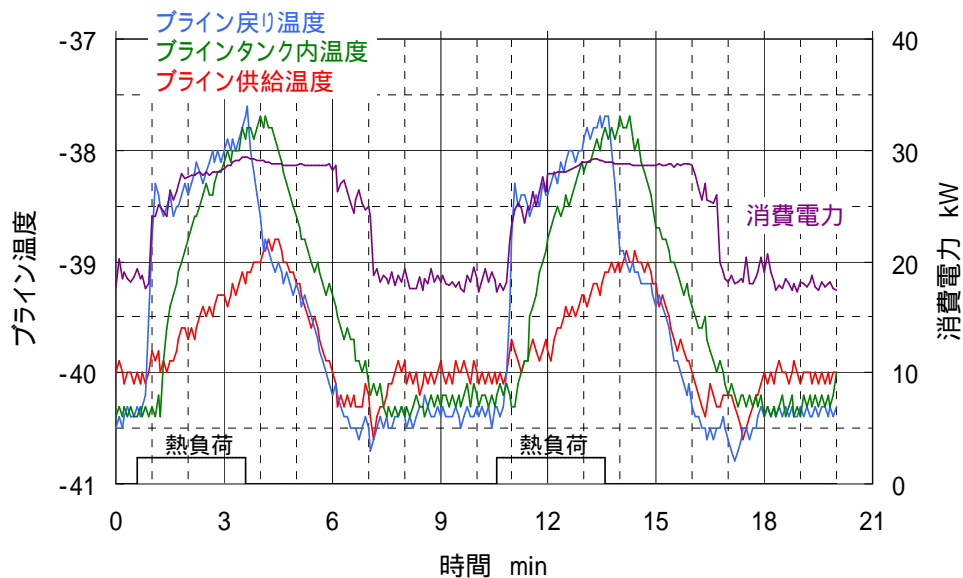


図 8 チラーユニットの省エネルギー運転性能

(5) 高圧水素急速充填試験設備

開発中のプレクーラー / チラーシステムの冷却性能を、圧縮水素充填技術基準 JPEC-S 0003(2014)に定める充填圧力区分「70MPa」級且つ供給燃料温度区分 -40 の充填条件において、プレクーラー出口水素温度が充填開始後 30 秒以内に -40 T_{fuel} -33 の供給燃料温度許容範囲に維持でき、プレクーラーと冷凍機の設計計画時の初期性能を有することを実証試験により確認するため、実証試験は、燃料供給ステーションおよび車両の周辺状況をシミュレーションできる Powertech Labs Inc.社（以下 PLI と称す）の急速充填試験設備を使用した。

設備は 2 つの熱環境室を持ち、一つは高圧水素蓄圧器（貯蔵バンク）用、もう一つはプレクーラーと燃料装置用容器（テストタンク）用に供している。貯蔵バンクは合計容量 3,000 ㍓の 12 本のシリンダーから成りカスケード式に供給される。

それぞれの貯蔵バンクは水素を 87.5MPa まで充填されている。貯蔵バンクの環境システムは -40 ~ $+50$ までの環境が作られる。それぞれの充填においてテストタンクは SAE J2601^{*1)} ルックアップテーブルに規定される APRR に基づく一定の率で加圧される。充填プロファイルは、プログラムされた通りに貯蔵バンク、カスケードバルブ及び流量コントロールバルブを開閉する流量制御ソフトウェアを通して自動的にコントロールされる。流量コントロールバルブは、プレクーラーの上流に設置され、ノズルの圧力変換器は流量コントロールソフトウェアへのフィードバックとして使用される。供給燃料温度は熱電対で計測され、貯蔵バンクと流量計の前後、プレクーラーにも設置されている。急速充填設備の概要図を図 9 に示す。

*1) プロトコルの国際的な規格である、米国自動車技術会（SAE=Society of Automotive Engineers）SAE J2601 Fueling Protocols に基づく条件下で充填を実施した。日本国内で適用される JPEC-S 003(2014)に規定される充填プロトコルと同一の内容である。

水素ガス急速充填試験設備P&ID

Fast Fill Test Facility P&ID

SAE J2601-2014, Compressed Hydrogen Storage System
Heavy Duty Vehicle (Bus / Trach Fueling)

- - Surface Temperature
- - Fluid Temperature
- - Pressure

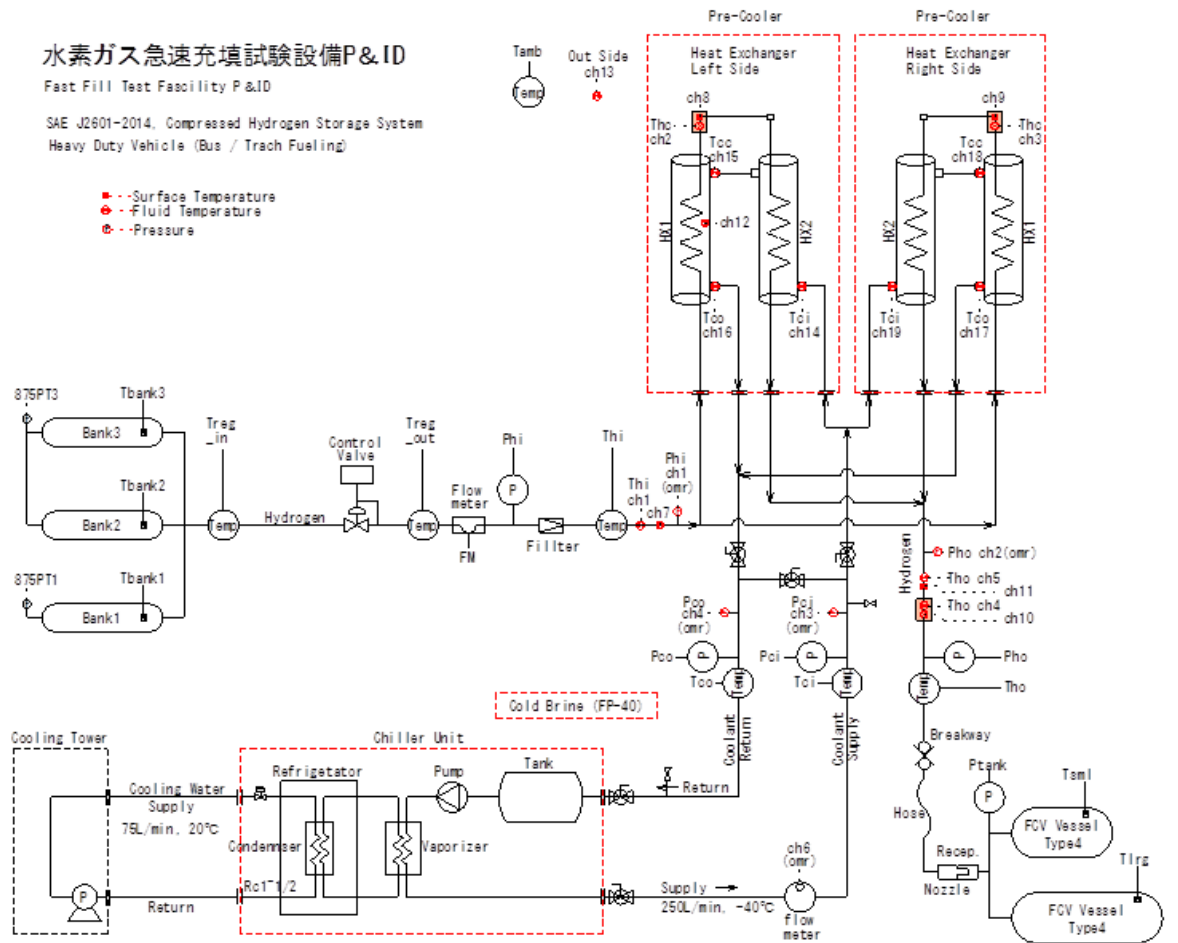


図 9 Powertech Labs Inc.急速充填試験設備

(6) プレクローラー性能試験条件

基本性能検証試験

水素急速充填試験は、圧縮水素充填技術基準 JPEC-S 0003(2014)に制定されたルックアップテーブル H70-T40 4-7kg_NON-COMMUNICATIONS にみる充填条件の中で充填速度と外気温度が最も高いワーストケース 2 種と、利用頻度が高いケース 1 種の以下に示す計 3 種を選択した。

1) 高速充填性能試験 (Test ID:1A)

目標圧力上昇率が最大の APRR = 28.5MPa/min で外気条件の 0 の高速充填

2) 高利用頻度充填性能試験 (Test ID:1B)

利用頻度が高いと想定される外気 20、初期圧 2.0MPa、APRR=21.8MPa/min 充填

3) 高温・長時間充填性能試験 (Test ID:1C)

外気条件が最も高温の 50 で到達圧力が最大の 77.8MPa となる高温・長時間充填

テストマトリックスを表 3 に示す。冷凍機ブライン流量は設計定格の 250 ㍈/min で測定を実施した。

表 3 基本性能検証試験マトリックス

用途	プレクローラー	充填技術基準 / 充填プロトコル					タンク	冷凍機能力 ブライン吐出量
		APRR	外気温度	初期圧	目標圧力	Test ID		
Light Duty Vehicle Fueling 自動車向け充填	1直列x2並列 (2基)	SAE J2601(2014) / H70-T40 4-7kg NON-COMMUNICATIONS					種類: Type4 容量: 147㍈ (5.9kg)	21.9kW 250㍈/min
		28.5MPa/min	0	0.5MPa	74.0MPa	1A		
		21.8MPa/min	20	2.0MPa	72.1MPa	1B		
		5.1MPa/min	50	0.5MPa	77.8MPa	1C		

省エネルギー性能検証試験

冷凍機消費電力低減に向けて、

1) 省エネルギー性能試験

待機時にはブライン流量を定格の 60% (150 ㍈/min) とし、充填開始とともに定格流量まで増量する省エネルギー運転モードにおける消費電力と水素冷却への追従性を調べる。水素充填条件は基本性能試験のワーストケース 2 種とする。

表 4 省エネルギー性能検証試験マトリックス

用途	プレクローラー	充填技術基準 / 充填プロトコル					タンク	冷凍機 ブライン吐出量
		APRR	外気温度	初期圧	目標圧力	Test ID		
Light Duty Vehicle Fueling 自動車向け充填	1直列x2並列 (2基)	SAE J2601(2014) / H70-T40 4-7kg NON-COMMUNICATIONS					種類: Type4 容量: 147㍈ (5.9kg)	21.9kW 待機時 / 充填時 150/250㍈/min
		28.5MPa/min	0	0.5MPa	74.0MPa	3A		
		5.1MPa/min	50	0.5MPa	77.8MPa	3B		

適用性検証試験

開発中のプレクーラー/チラーシステムのより広範囲の適用性を検証するため、

1) 通信充填試験

通信充填を用いた SOC100% Top-Off フル充填モード (87.5MPa) をロックアップテ
ーブル H70-T40 4-7kg COMMUNICATIONS に基づく充填条件のうち、高速充填につ
いて充填性能を調べる。

2) 大容量タンク向け充填試験

バスなどの大型車への充填を想定して H70-T40 7-10kg NON-COMMUNICATIONS
に
基づく充填条件のうち高速充填について充填性能を調べる。

テストマトリックスを表 5 に示す。

表 5 適用性検証試験マトリックス

用途	プレクーラー	充填技術基準 / 充填プロトコル					タンク	冷凍機 ブライン吐出力
		APRR	外気温度	初期圧	目標圧力	Test ID		
Light Duty Vehicle Fueling 自動車向け充填	1直列x2並列 (2基)	SAE J2601(2014) / H70-T40 4-7kg COMMUNICATIONS					種類 : Type4 容量 : 147ℓ (5.9kg)	21.9 kW
		28.0/9.0MPa/min	10	2.0MPa	66.3/87.4MPa	4A		
Heavy Duty Vehicle Fueling 自動車向け充填	2直列x2並列 (4基)	SAE J2601(2014) / H70-T40 7-10kg NON-COMMUNICATIONS					種類 : Type4 容量 : 250ℓ (9.8kg)	250ℓ/min
		19.9MPa/min	0	0.5MPa	73.0MPa	5A		

(7) プレクーラー性能試験結果

高速充填性能 (Test ID:1A)

高流量充填モード (APRR=28.5MPa/min、 $T_{out}=0$ 、 $P_v=0.5\text{MPa}$ 、 $P=74.0\text{MPa}$) による水素供給圧力 (以下、DSP 出口圧力) の時刻変化と技術基準に基づく APRR とその上限界 APRR_U、下限界 APRR_L を図 10 に示す。DSP 出口圧力の実測値 (図中の赤線) は基準値内に収まり、所定の到達圧力 74.0MPa まで約 160sec で充填できることを確認した。

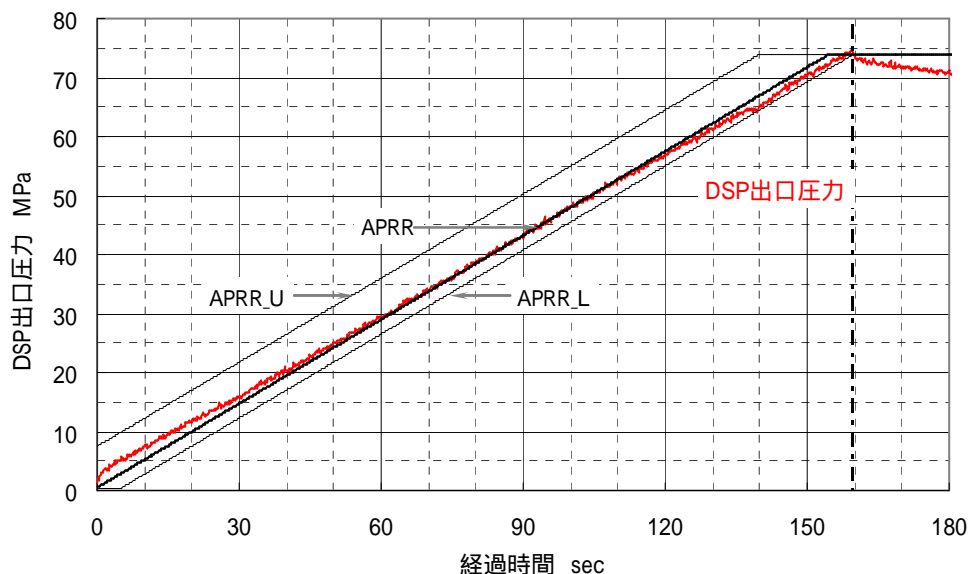


図 10 Test ID:1A 試験の DSP 圧力変化

充填中の DSP 出入口の水素温度と、ブライン温度の時刻変化を図 11 に示す。DSP 入口水素温度 (赤線) は充填開始に伴う減圧により最大約 17 まで上昇するが、プレクーラーによって DSP 出口水素温度 (青線) まで冷却される。DSP 出口温度は充填開始時に外気温度と同じ 0 だが約 23 秒後には -35 まで低下し、その後、水素充填流量の増加とともに上昇するが JPEC-S 0003(2014)の基準温度限界-33 (赤鎖線) 以下に収まり、熱交換ユニット 2 並列 x 1 直列 = 計 2 基からなるプレクーラーが水素急速充填の冷却性能を満たすことを確認した。

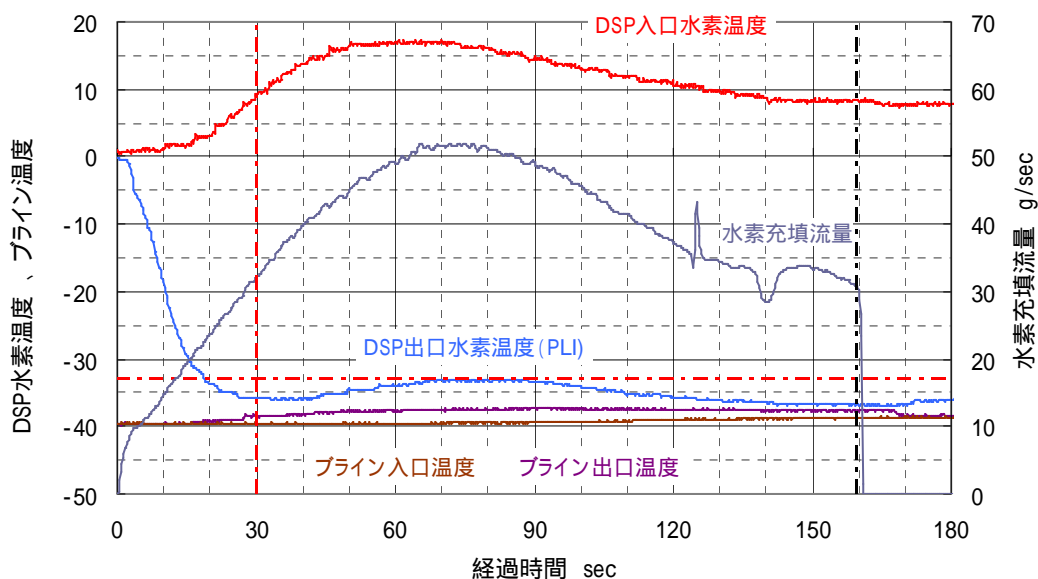


図 11 Test ID:1A 試験の水素 / ブライン温度の時刻変化

充填中のバンク内圧力、制御弁出口圧力、プレクーラー入口/出口圧力、Vessel 内圧力変化と水素充填流量を図 12 に示す。充填終了時に Vessel 内圧力が 72.9MPa に到達して満充填され、充填総量は 5.99kg であった。水素充填流量は、充填開始約 75sec 後に最大値 52g/sec(187kg/h)、平均 37.4g/sec (135kg/h) であった。以上の結果から本プレクーラー/チラーシステムは、圧力上昇率が最大 (28.5MPa/min) でかつ環境温度が最高 (0) のワーストケース充填モードにおいて所期目標性能を満たすことが確認された。

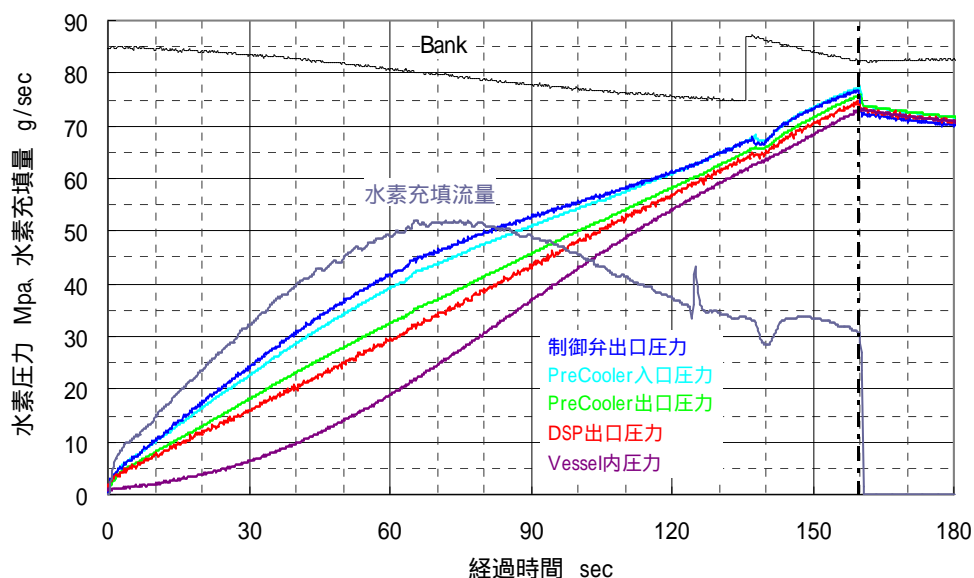


図 12 Test ID:1A 試験の圧力変化と水素充填量の変化

利用頻度の高い充填性能 (Test ID:1B)

利用頻度が高い充填モード (APRR=21.8MPa/min、 $T_{out}=20$ 、 $P_v=2.0$ MPa、 $P=72.1$ MPa) による DSP 出口圧力の変化、技術基準に基づく APRR とその上限界、下限界を図 13 に示す。DSP 出口圧力 (赤線) は基準値内に収まり、所定の到達圧力 69.2MPa (SOC=96.0%) まで約 197sec で充填できることを確認した。

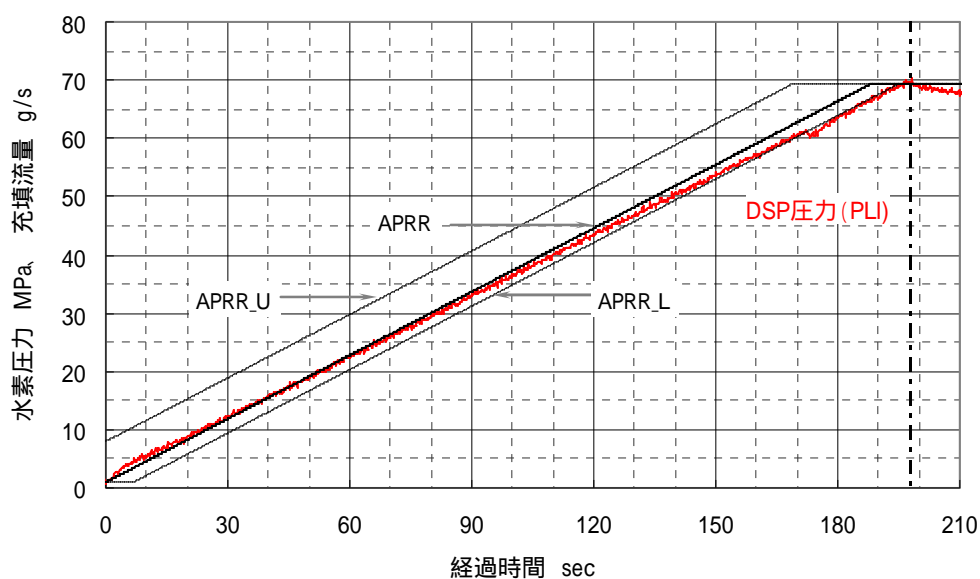


図 13 Test ID:1B 試験の DSP 圧力変化

充填中の DSP 出入口の水素温度と、ブライン温度の時刻変化を図 14 に示す。DSP 入口水素温度（赤線）は充填開始に伴う減圧により約 32 まで上昇する。DSP 出口温度は、充填開始時に外気温度と同じ 20 で約 25 秒後に-33 まで低下した。-35 まで低下するには約 32 秒を要し、その後、-35 以下を維持しており JPEC-S 0003(2014)基準温度限界-33（赤鎖線）以下に収まり、熱交換ユニット 2 並列 x 1 直列 = 計 2 基からなるプレクーラーが水素急速充填の冷却性能を満たすことが確認された。

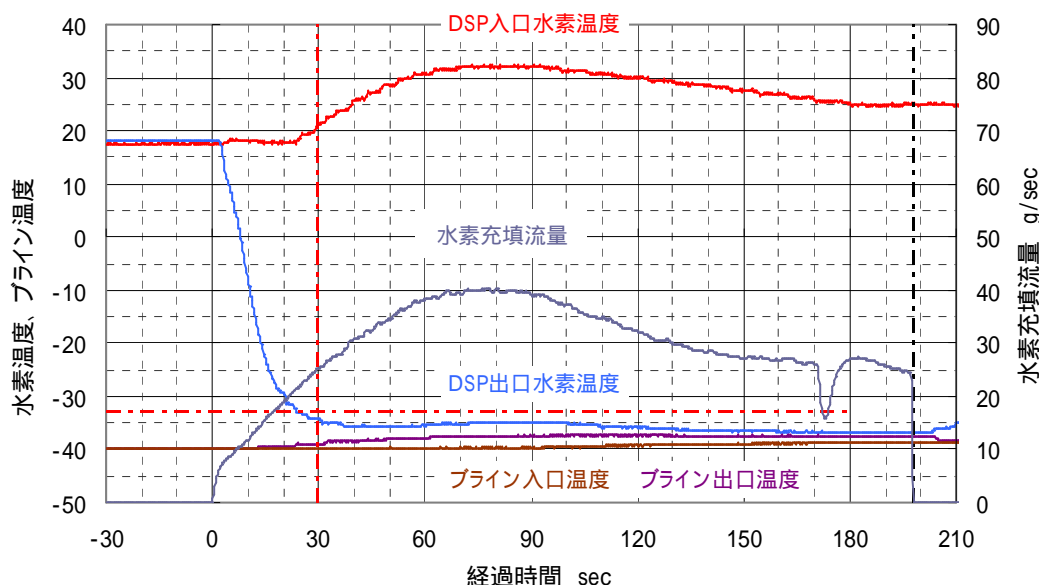


図 14 Test ID:1B 試験の水素 / ブライン温度の時刻変化

充填中のバンク内圧力、制御弁出口圧力、プレクーラー入口 / 出口圧力、Vessel 内圧力変化と水素充填流量を図 15 に示す。充填終了時の Vessel 内圧力が 69.2MPa に到達して満充填され、充填総量は 5.73kg であった。水素充填流量は、充填開始約 75sec 後に最大値 40g/sec（144kg/h）、平均 29.1g/sec（105kg/h）であった。以上の結果から、本プレクーラー / チラーシステムが利用頻度の多いと想定される充填モードにおいて所期目標性能を満たすことが確認された。

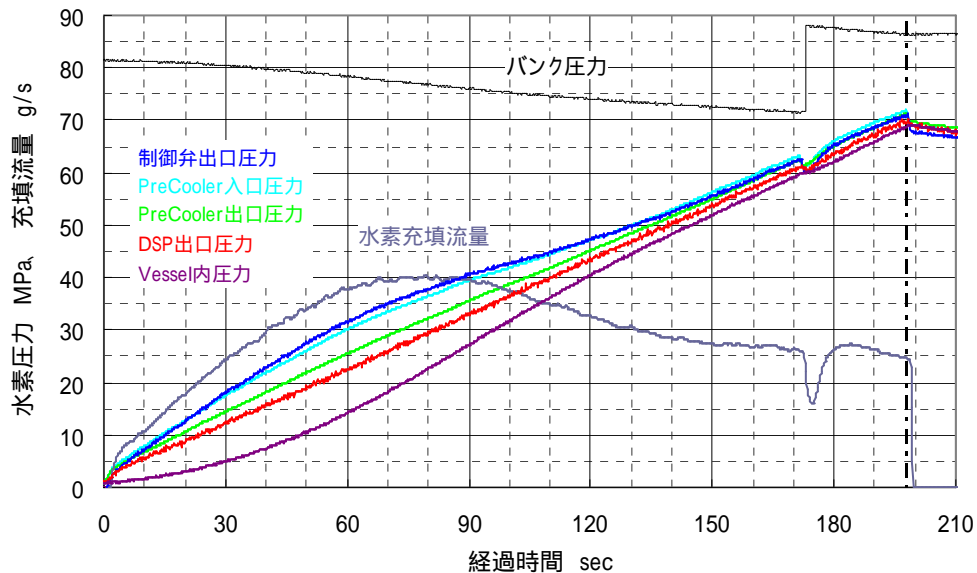


図 15 Test ID:1B 試験の圧力変化と水素充填量の変化

高温・長時間充填モード (Test ID:1C)

外気温度が高い長時間充填モード (APRR=5.1MPa/min、 $T_{out}=50$ 、 $P_v=0.5$ MPa、 $P=77.8$ MPa) による DSP 出口圧力の時刻変化と技術基準に基づく APRR とその上限界、下限界を図 16 に示す。DSP 出口圧力 (赤線) は技術基準に基づく APRR に沿って上昇し、所定の到達圧力 77.8MPa まで約 910sec を要した。

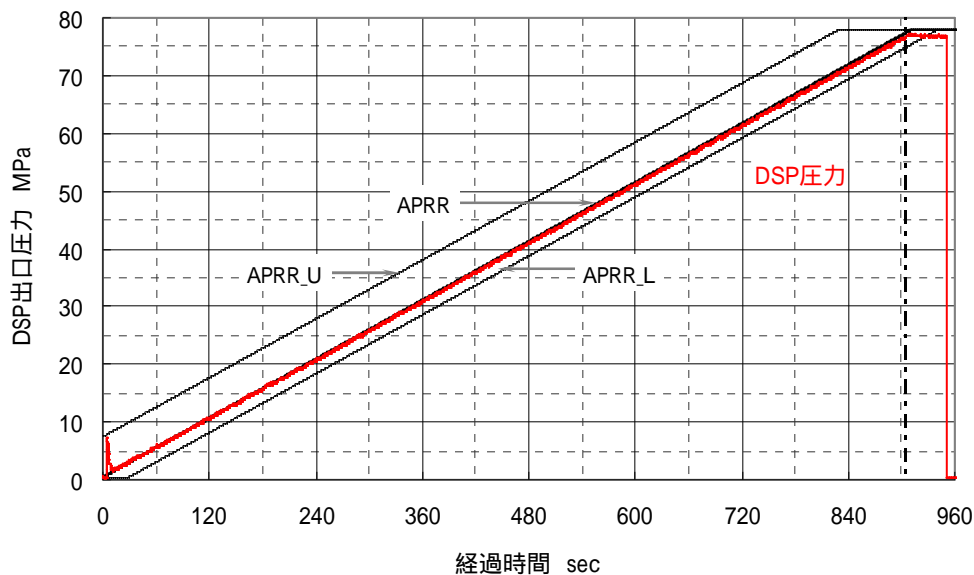


図 16 Test ID:1C 試験の DSP 圧力変化

充填中の DSP 出入口の水素温度とライン温度の時刻変化を図 17 に示す。充填開始時の DSP 出口温度は外気温度と同じ 50 で、-33 まで低下するには約 64 秒を要した。JPEC-S 0003(2014)の基準では充填開始 30 秒以降に -33 の温度限界 (赤鎖線) 以下まで冷却することが求められているが、本充填条件ではこれが達成できないことが判明した。本条件の水素流量は最大で 13g/sec (47kg/h) であり前 2 者と比べて 1/2 以下と低いのでプレクーラー熱交換ユ

ニット自体の冷却能力は充分足りているので、この現象は熱交換ユニットを出た後の水素導管からの熱侵入などの影響により生じているものと予想される。

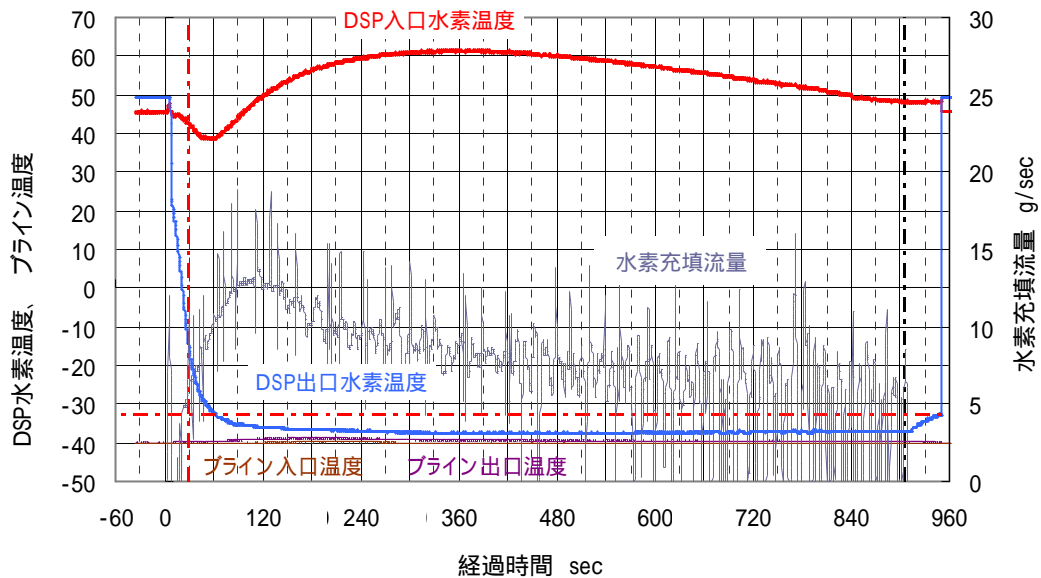


図 17 Test ID:1C 試験の水素/ブライン温度の時刻変化

充填中のバンク内圧力、制御弁出口圧力、プレクーラー入口/出口圧力、Vessel 内圧力変化と水素充填流量を図 18 に示す。充填終了時に Vessel 内圧力が 77.8MPa に到達して満充填されたことを確認した。水素充填流量は前 2 者に比べて低く最大 12.8g/sec (46kg/h)、平均 7.4g/sec (26.7kg/h) で、充填総量 6.75kg であった。

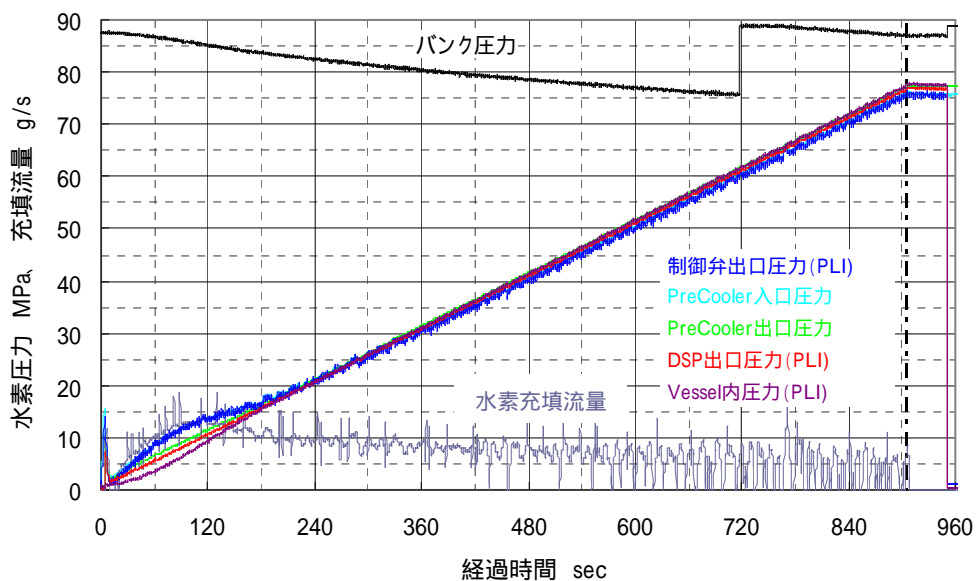


図 18 Test ID:1C 試験の圧力変化と水素充填量の変化

消費電力の削減効果 (Test ID:3A)

水素充填待機時のライン流量を定格流量の60%に削減することで水素充填の省エネルギー化を図る目的で Test ID:3A を実施した。図19～図20に定格運転(赤線)と省エネ運転(青線)の測定結果を示す。

図19ではライン流量とライン温度の出入温度の時刻変化を示す。省エネ運転ではライン流量を待機時160ℓ/minとし充填開始から35sec後に定格値に戻しており、その時のライン行き温度には殆ど差が見られない。戻り温度は、充填開始直後のライン流量が少ない間の省エネ運転時の温度立ち上がりが速くなるが、50sec後には定格運転時と同様な温度変化となる。

1回目の充填終了後に2minインターバルを置いて2回目の充填が開始される時刻(経過時間300sec)のライン行き温度(薄青線)は、定格流量一定運転(桃線)とほぼ同一で-39.5となり、初期温度-39.8に対して約0.3の差が見られる。初期温度と同一になるには更に約20secを要しており、充填開始時に待機時流量から定格流量までの時間間隔(現在35sec)を減らすなどの対策が必要である。現状、待機時 充填時へのライン流量切替信号をライン戻り温度を検知して実施しているところを、充填開始の別な信号により実施することで対応可能と考えられる。

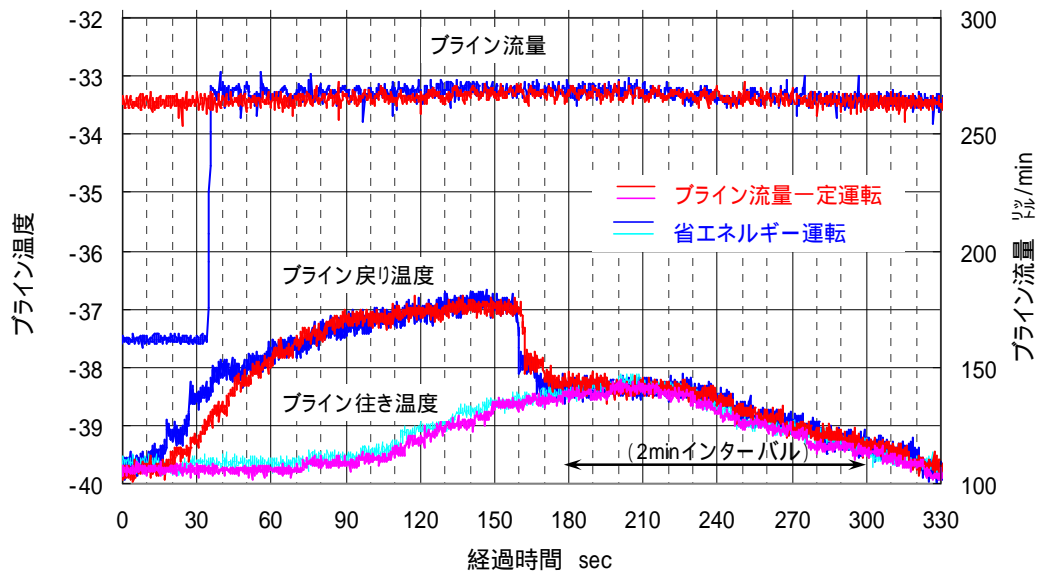


図19 省エネ運転性能(その1)

消費電力の変化を図20に示す。省エネ運転により待機時の消費電力は約23.1kW 17.4kWへ25%低減できた。充填終了から約120sec後まではライン貯留槽を予冷するため定格負荷運転が継続し、その後約50sec後に待機運転モードに戻る。

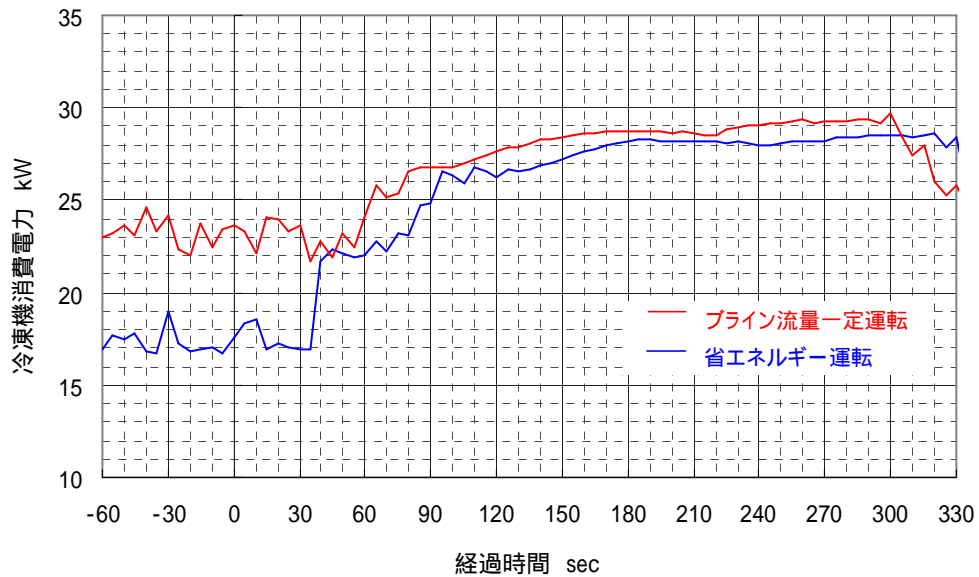


図 20 消費電力の時刻変化

通信充填による高速充填試験結果 (Test ID:4A)

圧縮水素充填技術基準 JPEC-S 0003(2014)に制定されたルックアップテーブル H70-T40 4-7kg COMMUNICATIONS にみる充填条件の中で、プレクーラー冷却性能にとって過酷条件となる高速充填試験の測定を実施した。

水素供給圧力 (DSP 出口圧力) の時刻変化と技術基準に基づく APRR とその上限界 APRR_U、下限界 APRR_L を図 21、充填システムの各部圧力変化と温度変化を図 22、図 23 にプレクーラー冷却性能を示す。結果は以下の通り。

- DSP 出口の到達圧力は 83.4MPa で PLI 試験設備制御によれば SOC=100%に到達して充填を終了した。
- 充填水素流量が最大値を示す時刻付近で供給水素温度最大値を示すことは非通信充填と同一だが、その最大値は図 23 に見るように基準値 (-33 以下) を越して数十秒間冷却不足となった。

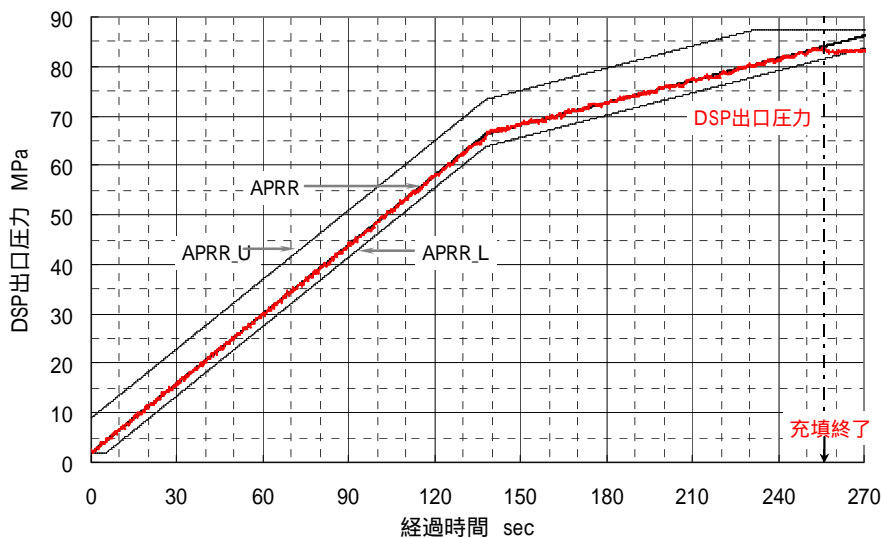


図 21 Test ID:4A_充填圧力の変化

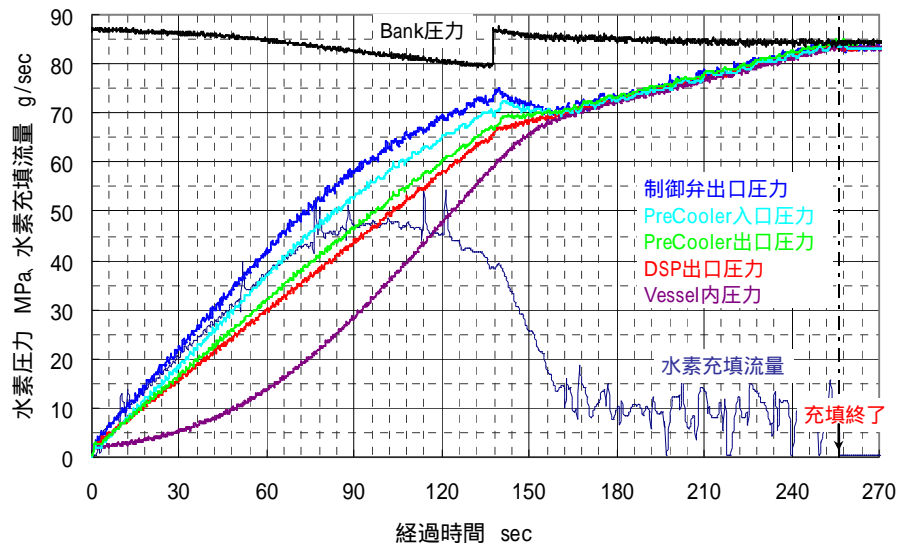


図 22 Test ID:4A_圧力変化

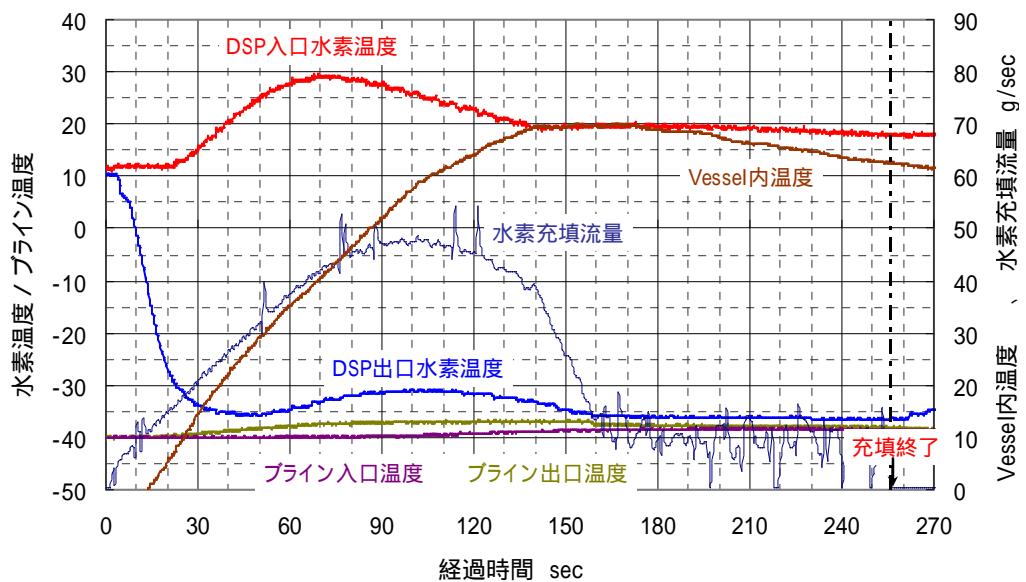


図 23 Test ID:4A_温度変化

大容量タンク向け充填 (Test ID:5A)

バスなどの大型車両へ搭載される大容量タンク向けの充填を想定して H70-T40 7-10kg NON-COMMUNICATIONS にみる充填条件のうち、プレクーラー冷却性能にとって過酷条件となる高速充填試験の測定を実施した。本試験では Vessel には 9.8kg 用の大容量タンクを使用し、熱交換ユニットを 2 並列×2 直列 = 計 4 基を使用した。

図の表示方法は前述の通信充填と同一である。結果は以下の通り。

- ・ 充填流量が 60g/sec を超えて SAE J2601 の規制条件によって一旦充填が自動停止され、約 67sec 後に再開された満充填終了した。
- ・ 充填流量が 60g/sec を超えてもプレクーラー出口温度は規制値の温度限界以内に留まり、水素 11kg を超える順調な充填ができた。

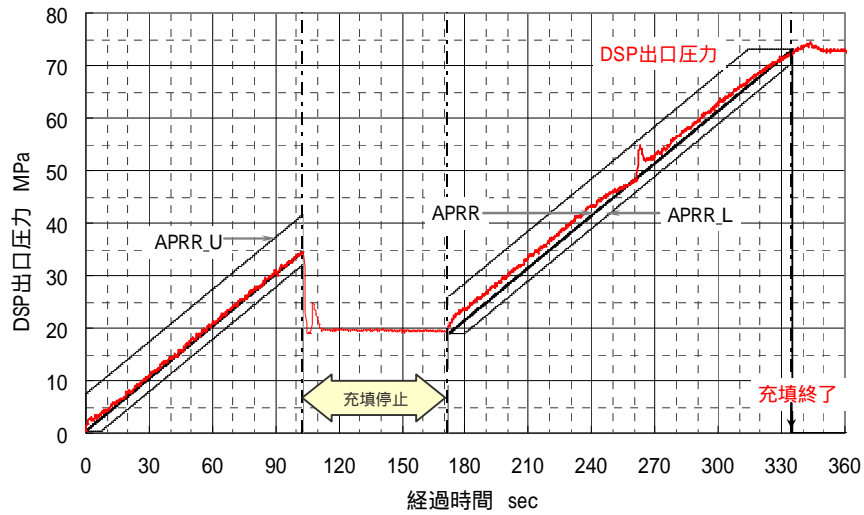


図 24 Test ID:5A_充填圧力の変化

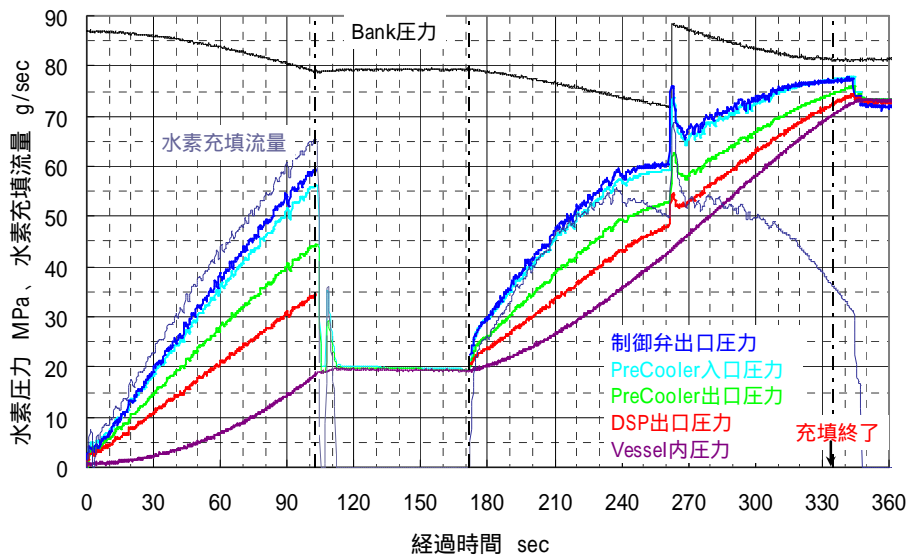


図 25 Test ID:5A_圧力変化

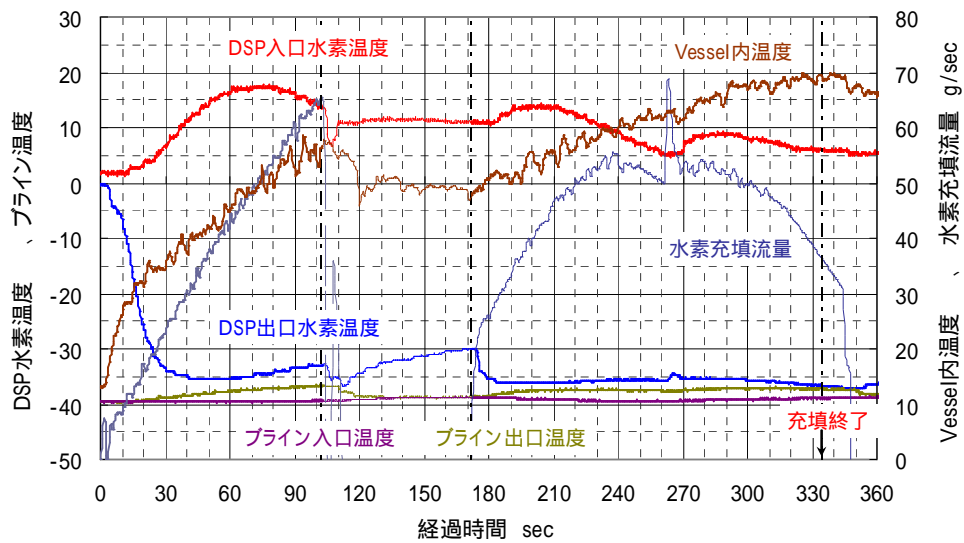


図 26 Test ID:5A_温度変化

(8) コスト分析・試算

本プレクーラー・システムを構成する主要機器は、熱交換器ユニット及び低温チラーユニットである。熱交換ユニットの価格構成は、HRX-19 のコイル管及びユニット加工費である。開発当初は、2 並列×2 直列 = 計 4 基で設計していたが、2 並列×1 直列 = 計 2 基の構成で要求性能を満たすことが出来たため、設計時の半額で熱交換ユニットの製作が可能となった。また、低温チラーユニットは、冷凍能力を従来の 10.36 冷凍トンから 5.67 冷凍トンに低減する事により、冷凍機の価格を低減できる目途が立った。ラインに関しても、HFE 系ラインから、コールドラインに変更する検討を行った結果、ライン単価を 1/10 近く減額する事が出来た。以上の結果から、イニシャルコストとしての目標価格（量産時：2,400 万円）を達成できることを確認した。

ランニングコストは、低温チラーユニットの冷凍機の冷凍能力の低減、省エネ運転モードの検証試験の結果をもとに、商用ステーションで確認を継続する。

3 . 2 成果の意義

現在、FCV 普及の為の水素ステーションの低コスト化を目指して、規制の見直し等の事業が推進されており、本普及を加速推進する為には規制見直しの前倒し、低コスト機器開発の促進が必要とされている。従って、「低コスト・プレクーラーの研究開発」は、水素ステーション機器の低コスト化による水素ステーションの全体の低コスト化を促進し、その結果、低コストの水素ガスの供給に繋がり、FCV の普及促進につながるものである。また、HRX-19 のコイル管の使用は、新鋼材の実証による実用化の促進及び低コスト化、大容量タンク（バス、トラック等）への実証試験は、バス及びトラック等で課題と考えられる水素充填時間の短縮化の実証となり、今後普及が期待される、Heavy Duty Vehicle への水素充填に関して指針となると思われる。

3 . 3 成果の最終目標の達成可能性

前述の内容から、最終目標である量産時価格 2,400 万円のプレクーラーの提供は十分に可能であり、来年度内には販売できる見通しである。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

4.1 まとめ及び課題

本研究開発の「低コスト・プレクーラーの研究開発」の目標は、達成できる見込みが十分に確認された。しかし、より低コスト化を実現するには以下の課題があると思われる。

プレクーラー熱交換ユニット性能のまとめ

1) 熱交換ユニットを2並列 x 1直列 計2基からなるプレクーラーシステムを開発 JPEC-S 0003(2014)に制定されたルックアップテーブル H70-T40 4-7kgNON-COMMUNICATIONS の充填条件の中で充填速度と外気温度が最も高いワーストケース2種と、利用頻度が高いケース1種の計3種による水素充填試験を実施して水素充填量、水素冷却温度、到達圧力、FCV-Vessel内最終到達温度が技術基準を満たす所期冷却性能を達成できることを確認した。結果は以下の通り。

Test ID		高速充填 1A	高利用頻度 充填 1B	高温充填 1C	
条件 試験	充填昇圧平均速度 (APRR) MPa/min	28.5	21.8	5.1	
	外気温度	0.0	20.0	50.0	
	Vessel 初期圧力 MPa	0.5	2.0	0.5	
	目標到達圧力 MPa	74.0	72.1	77.8	
条件 試験結果	DSP出口到達圧力 MPa	74.0	69.2	77.8	
	充填昇圧平均速度 (APRR) MPa/min	27.6	20.8	5.1	
	充填時間 sec	160	197	910	
	充填水素量 kg	5.99	5.73	6.75	
	充填水素流量	最大 g/sec	52.0	40.0	12.8
		平均 g/sec	37.4	29.1	7.4
	FCV-Vessel内最終到達温度	67.7	60.3	48.9	
	充填開始30sec以降に発生した最高水素温度	水素__ FCV-Vessel内部	67.7	60.3	62.9
		水素__ 熱交換ユニット出口	-34.3	-35.9	-38.5
		水素__ プレクーラー出口	-33.6	-35.4	-23.0
		水素__ ディスペンサー出口	-33.2	-34.8	-15.5
		ブライン__ プレクーラー出口	-37.3	-37.3	-38.7
プレクーラーユニット圧力損失* 水素 MPa	6.86	4.88	2.72		

*: 流量計、フィルター、遮断弁、ホースなどの圧力損失は除外

2) プレクーラー設計に際して本研究開発ステージ の基礎試験にて得た伝熱性能評価式は、水素充填流量 1 ~ 52g/sec の広い範囲で水素冷却性能を 1 以下の精度で予測可能であることを確認した。

また圧力損失性能評価式も同様に高い精度で充填中の水素圧力変化を予測できることを確認した。

冷凍機システムの性能

- (1) 冷凍機に 250 ℓのブライン貯留槽を付設することにより、冷凍能力を従来機の約 1/2 (約 40kW → 21.9kW) に削減して最大水素冷却負荷 41kW 超となる高圧水素急速充填が可能であることを確認した。
- (2) 250 ℓ貯留槽内のブラインは、1 回目充填終了後からインターバル 2min 後までに初期温度に 0.3 ℃まで回復し、2 回充填 / 8min の連続充填が可能であることを確認した。

省エネルギー性能

待機時の冷凍機ブライン流量を定格の約 60%に低減することで待機時消費電力を 23.1kW → 17.4kW へ 25%削減でき、充填開始直後の水素冷却への応答性にも支障がないことを確認した。

プレクーラー / 冷凍機システム開発機の適用性拡大

- (1) バスなどの大型車両への充填を想定した大容量充填試験では、熱交換ユニットを 2 並列 x2 直列 = 計 4 基の組み合わせることで、充填速度と温度の最も厳しい条件でも規制値を満たす充填が可能であることを実証した。
- (2) 本プレクーラー / 冷凍機システムは、高圧水素急速充填の所期性能を満たす性能を有するがその裕度が少ないため水素供給温度の最大値が充填時間の中央付近 (充填流量最大値付近) で発生し、充填流量の時刻変化に影響される欠点を有することが分かった。
- (3) 本システムの改善策は、今回の一連の試験により設計性能評価式が検証できたため容易に対応可能である。

使用鋼材の拡大

現状においては、HRX-19 のみ使用できるが、規制緩和による低コストの鋼材の実証を実施し、使用できる鋼材の拡大を図る。

溶接基準の策定及び食い込み継手の採用

本研究開発品のプレクーラー仕様の HRX-19 は本来 100MPa 以上の耐圧を持っているが、コーンアンドスレッド継手の使用により肉厚の減少が起こっている。その結果、87.5MPa のフル充填には使用できないが、溶接基準の策定、海外では使用できる食い込み継手の使用が可能となれば、現行仕様で 87.5MPa フル充填に対応できる。

抽出された課題の改善策

- (1) 熱交換ユニットの冷却性能は、規制値 (30sec 以降に-33 ℃以下) を満たしているが、その裕度を 1 ℃以上確保するため最も厳しい充填条件 (最大流量 60g/sec、熱交換ユニット入口温度 20 ℃) で熱交換ユニット出口-35 ℃以下を確保することが望ましい。
ブライン側伝熱性能向上に向けて環状流路高さを 23.9mm → 19mm へ削減
ブライン流量を 250 ℓ/min → 280 ℓ/min 以上へ増加
- (2) 省エネルギー運転時の切り替え時間を充填開始後 35sec → 0sec へ短縮する
切り替え信号をブライン戻り温度ではなく充填開始信号へ変更
- (3) 熱交換ユニットを 2 並列する際の偏流対策を講ずる。

水素流路とブライン流路ともに分岐長さ、曲げ回数など均等構造となるよう改善

4.2 事業化までのシナリオ

現行の国内流通のプレクーラーは、本研究開発品と比較して大型でブライン量も多くチャージユニットも大きいケースが見受けられる。その為、价格的にシステム全体で4,000～5,000万円である。しかし、本研究開発品は、弊社のみが持つ高圧ガス特定設備認可品であるHRX-19を用いたコイル管を使用する事により、低コストで高効率の熱交換システムを構築することに成功している。Powertech Labs Inc社によるSAEJ2601充填性能確認が取れたことから、本開発品は、弊社が建設した商用の新砂水素ステーションに2基設置し、平成29年7月3日より商用稼働を始めている。

充填実績としては、8月末現在で約30台のFCVに充填し、商用使用として十分に機能することが証明された。以下に充填結果の一部を示す。

1	充填開始日時	開始時環境温度(°C)	本充填時間(秒)	充填量(kg)	タンク容量(L)	目標圧力(MPa)	昇圧率(MPa/min)	初期圧(MPa)	終了圧(MPa)	タンク初期圧力(MPa)
	17/ 8/23 11: 9:31	29.2	193	3.28	122.4	70.00	15.81	13.97	70.13	1.34
		タンク初期温度(°C)	終了時SOC(%)	タンク終了圧力(MPa)	タンク終了温度(°C)	Top-off圧力(MPa)				
	28.0	87.9	7.12	69.6	0.00					

また、プレクーラー単品として、ディスペンサーメーカーへの販売も協議しており、その一環として商用ステーションでの実用運転と機能PRを行っている。

平成28年度から5年間の販売見通しを表5に示す。

表5. 販売見通し

年度	販売単価(万円)	販売数(式)	売上(百万円)	原価(百万円)	収益(百万円)
1年目(H28年度)	2,700	1	27	19	8
2年目(H29年度)	2,500	2	50	35	15
3年目(H30年度)	2,400	2	48	34	14
4年目(H31年度)	2,200	3	66	46	20
5年目(H32年度)	2,100	5	105	73	32

5. 研究発表・特許等

特になし

(11-14)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 / アルミ製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」

共同研究先：サムテック(株) JXTGエネルギー(株)

成果サリ(実施期間：平成25年度～平成27年度)

常用最高圧力90MPa、重量3kg/L以下の300LDRY法蓄圧器の仕様を検討した。本事業において最適な設計を検討し、また新樹脂を開発し、汎用CFを適用したTPPを開発した。その結果、量産化、サイクル試験法の適正化により、最終目標である、製造コストを1.5万円/L、サイクル使用回数10万回以上を達成した。

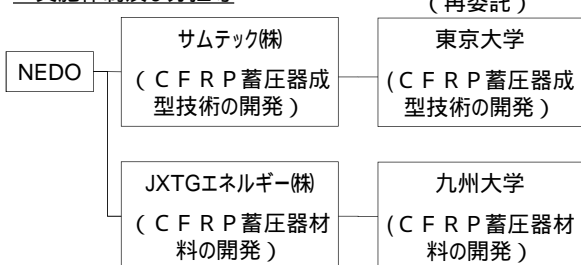
背景/研究内容・目的

METIの協議会ロードマップで、2020年までに水素ステーション建設コストを現状の半減とすることが目標とされている。現状、水素ステーションの建設コスト高であるため、各設備の低コスト化が課題となる。本事業では、水素ステーションの建設コストに占める比率の高い蓄圧器の低コスト化を目指す。

研究目標

実施項目	目標
CFRP蓄圧器成型技術の開発	中間目標：常用最高圧力90MPa、重量3kg/L以下で、平成27年度までの製造コストを2万円/L(内容量比)以下、サイクル使用回数5万回以上
CFRP蓄圧器材料の開発	最終目標：製造コスト1.5万円/L以下、サイクル使用回数10万回以上
基準、検査に関する他事業との連携	情報交換(複合容器基準化事業、検査開発事業) 使用済み蓄圧器評価の実施

実施体制及び分担等



これまでの実施内容 / 研究成果

「CFRP蓄圧器成型技術の開発」

- (1)前事業にて開発を行ったDRY法200L蓄圧器の設計に対して、L/Dを大きくすることにより内容量をアップさせた。また、ライナー壁厚/ライナー内径を大きい設計とした。ライナー内径を小さくすることで、周方向の応力を小さくすることができ、破裂圧をアップした。
 - (2)300L容器設計シミュレーション解析の結果から、ライナーの厚さを厚くするほど、CF重量を低減できることが分かった。CFRP低減のため、ライナーを厚くする容器設計方針を得た。
 - (3)任意傷を付けたアルミ試験片の疲労試験の結果から、「傷深さ100μm以上の傷を研磨すること」を押し出し管品質管理基準の指標とした。また、許容深さ以上の傷に対して適正な面粗度を保つための研磨技術と方法について確立した。
 - (4)外部加熱FW検討で、制御温度を最適化することで強度向上する可能性が示された。DRY法蓄圧器に加熱FW法を適用することで、巻きながら硬化できることにより、製造時間短縮の見通しが立った。
 - (5)汎用CF-TPPのDRY法により、221MPa以上の破裂圧の容器が得られ、採用可能性を確認した。また、サイクル媒体、圧力振幅を適正化し、サイクル回数10万回以上を達成した。
 - (6)DRY-高速FW化により、年産600本のめどが立った。また、従来FWと強度を比較し、1.14倍と同等以上であることを確認した。
- 「CFRP蓄圧器材料の開発」
- (7)新TPP-Cを開発し、破裂試験を実施した結果、7.5L容器で従来比約1.1倍、80L容器で約1.25倍破裂圧力が向上した。この成果により、強度発現率向上によるDRY法蓄圧器コストダウンが可能となる。「基準、検査に関する他事業との連携」
 - (8)千代田化工建設とAE法を実寸大容器に適用しAE信号が計測できた。また、実寸大容器のサイクル寿命評価に適用して有意なAE信号を計測できた。
 - (9)使用済みDRY法200L法蓄圧器の破裂試験結果から、使用後蓄圧器の健全性を確認できた。

今後の課題

FW時間短縮、ライナ製造時間短縮による課題を抽出し、安定的な量産化技術確立の検討を、今後も継続的に取り組む。更なるコストダウン、性能向上に向けて、継続的に検討を実施する。

実用化の見通し

量産化技術を実蓄圧器へ適用することで、コスト競争力のある蓄圧器の実用化の継続が期待できる。

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価	
CFRP蓄圧器成型技術の開発	最終目標である、製造コストを1.5万円/L、サイクル使用回数10万回以上を達成した。		
CFRP蓄圧器材料の開発			
基準、検査に関する他事業との連携	AE法を実寸大容器のサイクル寿命評価に適用して有意なAE信号を計測できた。使用後蓄圧器の破裂試験において使用済み蓄圧器の健全性を確認した。		
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
3	2	24	0

課題番号： - 14

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 /

アルミ製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発

サムテック株式会社
J X T G エネルギー株式会社

1. 研究開発概要

アルミニウム合金製 (AL) ライナーを用いた炭素繊維強化プラスチック (CFRP) 容器において、アルミライナーの内面処理や新規アルミライナー材の適用により、使用回数の長寿命化を図る。また、あらかじめ樹脂を炭素繊維 (CF) に含浸させたトウプリプレグ (TPP) を用いた加熱フィラメントワインディング (FW) 法の技術を量産化に適用し、コスト削減を図るとともに、革新的な新設計により更なるコスト削減を目指す。

2. 研究開発目標

中間目標としては、常用最高圧力90MPa、重量3kg/L以下で、平成27年度までの製造コストを2万円/L (内容量比) 以下、サイクル使用回数5万回以上を達成する。最終目標は、平成29年度まで製造コストを1.5万円/L、サイクル使用回数10万回以上を達成する。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

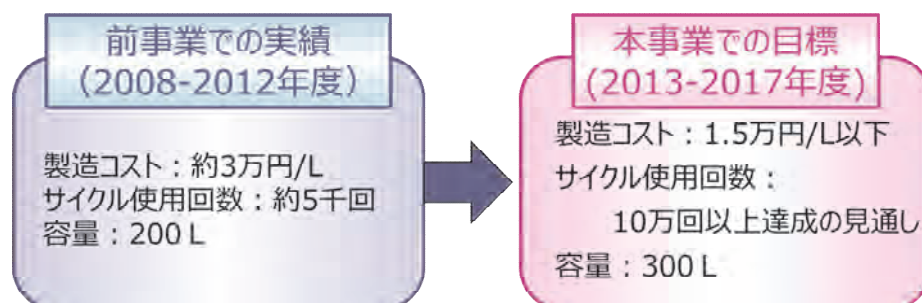


図1 前事業での実績と本事業の目標

前事業での実績と本事業の目標を図1に示す。3万円/L 1.5万円/L以下への製造コスト削減は、スケールアップによるリッター単価の低減と汎用CF・樹脂適用による材料費コスト削減、量産効果によるコストダウンにより達成の目途が立った。

5千 10万回以上のサイクル使用回数向上は、設計最適化、圧力媒体変更によるサイクル性能向上とKHK TD5202 技術文書改定により、目標を達成した。

大型容器基本設計完了までのステップを表1に示す。前事業ではTPP-A樹脂により、蓄圧器を製造したが、本事業ではTPP-C樹脂を開発し、蓄圧器へ適用した。次に、7.5L容器によりTPP-C樹脂を使用して汎用CFの検討を実施した結果、性能確認、大型容器への適用の目途が立った。その次ステップとして、80L、300Lへスケールアップして、設計最適化、サイクル媒体検討を進め、中間目標の製造コスト2.0万円/L、サイクル使用回数5万回以上を達成

した。

更に、FW速度向上、トウ数増加による製造コスト削減と、KHK TD5202技術文書改定に伴うサイクル使用回数増加により、最終目標の製造コスト1.5万円/L、サイクル使用回数10万回以上を達成した。

表1 大型容器基本設計完了までのステップ

容器	CFRP	樹脂	サイクル使用回数	製造コスト	検討項目
200L (前事業)	T800	TPP-A	5千回以上	3.0万円/L	-
7.5L		TPP-C	-	-	樹脂検討
80L			2万回以上	-	-
7.5L	汎用CF	TPP-C	-	-	CF検討
80L			5万回以上	-	設計最適化 サイクル媒体検討
300L				2.0万円/L	
80L	汎用CF	TPP-C	10万回以上	1.5万円/L	量産化 ・FW速度 ・トウ数 実運用条件 ・応力振幅 ・サイクル媒体
300L					

下記に、成果の詳細を報告する。

(1) 水素ステーション向け300L蓄圧器設計確認

前事業（低コスト型70MPa級水素ガス充填対応大型複合蓄圧器の開発）において、「水素供給インフラの技術実証」事業に提供する70MPa充填対応複合蓄圧器（仕様：内容量200L、常用最高圧力：90MPa、長さ：2805mm、外径：488mm 重量：484kg）の開発と詳細基準事前評価（特認）を取得した。

本事業では更にコストダウンを行うべく内容量をアップした300L容器開発を行った。シミュレーションによりアルミライナーとCFRP厚さの最適化を行い（東京大学）、前事業にて開発を行った200L蓄圧器の設計に対して、L/Dを大きくすることにより内容量をアップさせた。また、ライナー壁厚/ライナー内径を大きい設計とした。ライナー内径を小さくすることで、周方向の応力を小さくすることができ、破裂圧をアップした。

200L：ライナー壁厚/ライナー内径 = 1 (BASE)、 L/D = 5.7

300L：ライナー壁厚/ライナー内径 = 1.13 (比率)、 L/D = 11.4

【設計条件】

アルミ材 : 6061-T6、

CF : PAN (ポリアクリロニトリル)系炭素繊維、 樹脂 : エポキシ樹脂

(2) 新容器設計開発

アルミライナーとCFRP厚さの最適化をし、コスト削減をはかるため、シミュレーションによりCFRP容器設計を検討した。解析内容は、アルミ合金ライナー、フープ巻きCFRP層、ヘリカル巻きCFRP層の3層構成円筒について、無限FRP円筒モデルを作成し、ライナー厚さを変化させたときに、コスト配分の大きいCFRP重量が最小となる条件を検討した(図2、3)。解析の結果から、ライナーの厚さを厚くするほど、CF重量を低減できることが分かった。これにより、CFRP低減のため、ライナーを厚くする容器設計方針を得た。

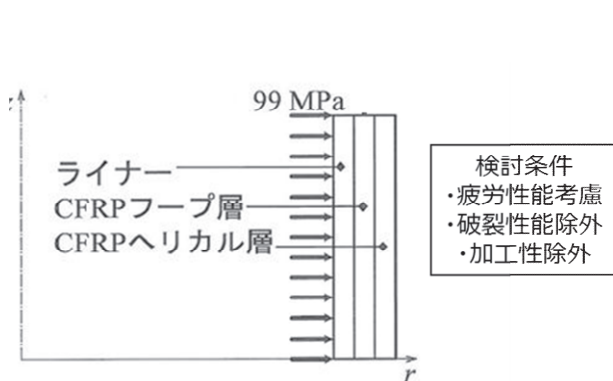


図2 無限FRP円筒モデル

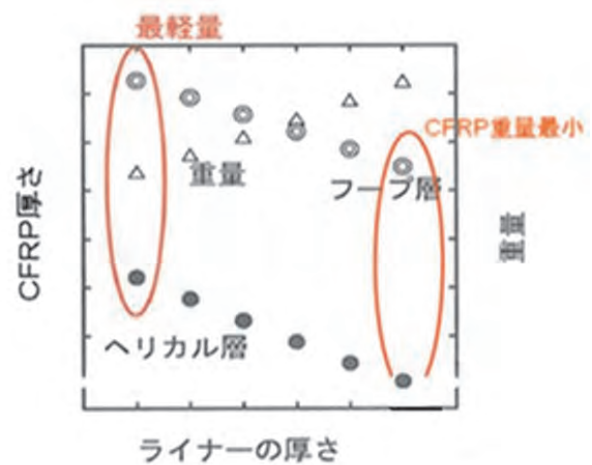


図3 シミュレーション解析結果

(3) アルミライナーの内面処理技術開発

傷の影響確認

任意傷を加えた試験片での疲労試験を行い、傷の疲労強度へ与える影響を検討した。表2に示すように、深さ120 μm以下の試験片は傷以外から破壊した。現状レベルのサイクル性能の容器において、傷深さ120 μm以下の傷は疲労特性を低下させないことを確認した。この結果から、「傷深さ100 μm以上の傷を研磨すること」を押し出し管品質管理基準の指標とした。

表2 疲労試験における傷深さと破壊場所

	長さ(mm)	深さ(μm)	破断箇所
傷有り	約2mmに統一	120	傷以外
傷有り		170	傷
傷有り		260	傷

研磨法検討

許容深さ以上の傷に対して適正な面粗度を保つための研磨技術と方法について確立した。

チューブ内面の手の届かない部分の表面手直し研磨技術として、傷の発生場所確認のためのWebカメラと、傷部分の手直し用ローラー研磨材との組合せにより、遠隔にて修正可能な研磨技術を確立した。(図4)



図4 チューブ内面手直し装置

(4) 雰囲気溶液による疲労試験回数への影響確認

疲労試験の際、各雰囲気溶液によりアルミライナーの疲労寿命や傷の進展状態が異なる結果が得られており、雰囲気溶液によるアルミライナー材腐食が生じ、腐食のない水素ガス環境下での実性能を正しく評価できていない可能性があるかと推測できる。

そこで、適切な圧力媒体選定に向け、圧力サイクル試験時の圧力媒体による疲労試験回数への影響を確認した。試験条件は、最大応力：255MPa、最小応力：25MPa、周波数：0.1Hz、応力比：0.1である。アルミ試験片の応力集中部は、幅4mm、厚さ1mmとした(図5)。疲労試験の結果、表3に示すように、従来の と比較して、 は疲労試験回数が向上することを確認した。 の圧力媒体への変更で、サイクル使用回数5万回達成の見通しを得た。

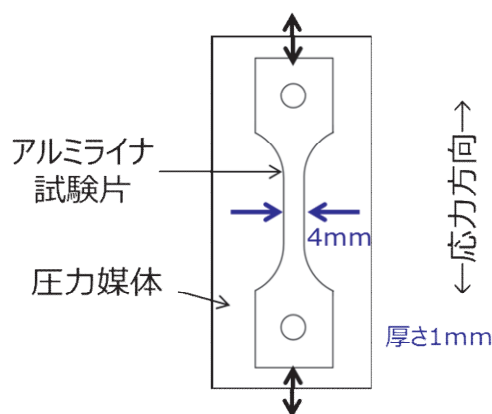


図5 アルミライナ試験片

表3 圧力媒体と疲労試験回数比

番号	圧力媒体	疲労試験回数比
	溶液 A	1 . 0
	溶液 B	2 . 2
	溶液 C	6 . 0
	溶液 D	3 . 8

(5) 加熱 F W 法の開発

外部加熱法の開発

前事業（低コスト型 70 MPa 級水素ガス充填対応大型複合蓄圧器の開発）において、F W 時に容器内部を加熱することで、室温での F W に比べて破裂強度が向上することを小型容器での試作評価で確認している。本事業では、大型、量産化に適した F W 手法として、外部から加熱する F W 手法、あるいは繊維を加熱する F W 手法を検討する。

今年度は、ヒータ（図 6）照射前、照射後、ヒータ反対側の表面温度を放射温度計で測定できるよう取り付けジグの製作を行った。ヒータ及び放射温度計の配置図を図 7 に示す。小型容器を試作し（図 8）、破裂強度を比較した。



図 6 外部加熱曲線ヒータ

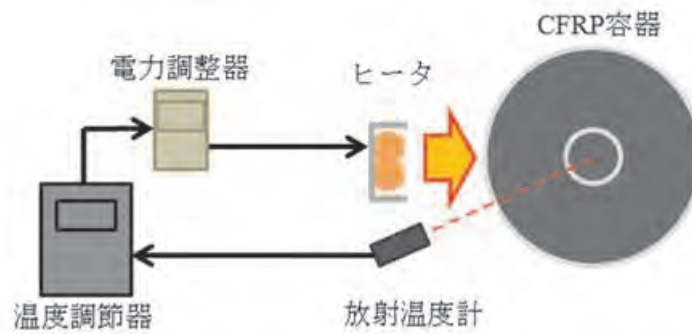


図 7 外部加熱 F W での温度制御模式図

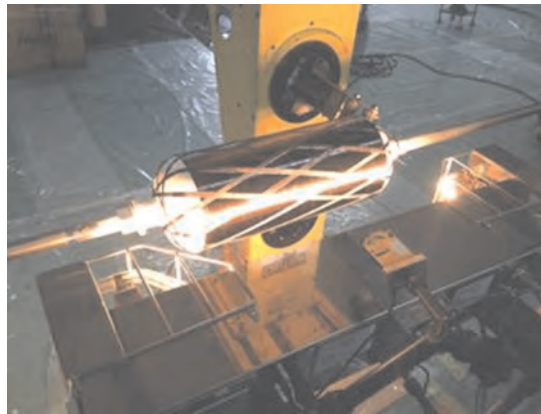


図8 加熱FWによる容器作製

CFRP厚さを厚くし、外部加熱温度を75 115 とし、7.5L厚巻容器の破裂強度を比較した。試験に使用した容器は、7.5L容器、CF：高グレード品、樹脂：TPP-A（従来品）の条件で作製した。その結果、低温側で強度上昇が見られ外部加熱で室温WETとほぼ同等の破裂強度となった（図9）。制御温度を最適化することで強度向上する可能性が示された。加熱FW法を適用することで、巻きながら硬化できることにより、製造時間短縮の見通しが立った。

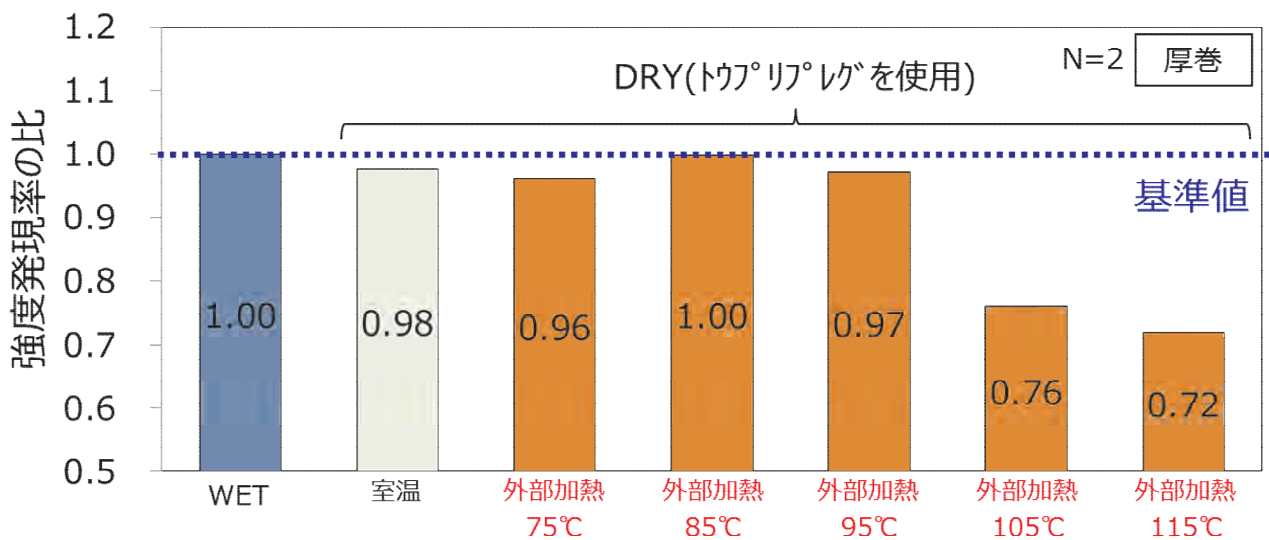


図9 加熱温度による破裂強度比較（7.5L）

（6）TPPの開発

従来TPPを使用しTPPに適切な設計を検討した。その結果、約4%の強度向上が得られた。また、TPP用樹脂を開発し、新TPP-Cで7.5L容器を試作し（図10）、破裂強度を比較し

た（図11）。新TPP-Cで従来品のTPP-Aの約1.1倍の破裂強度が得られた。



図10 新TPP-C 7.5L容器 破裂試験後



図11 新TPP-C 7.5L容器 破裂試験後

TPP-Cの大型容器適用検討のため、サブスケール容器（80L）にて容器試作、強度評価を行った（図12）。新TPP-CでTPPに適した設計変更したものにおいて従来TPPに比べ約1.25倍の破裂強度が得られた。

これらの研究開発成果により、強度発現率向上による蓄圧器コストダウンが可能となる。

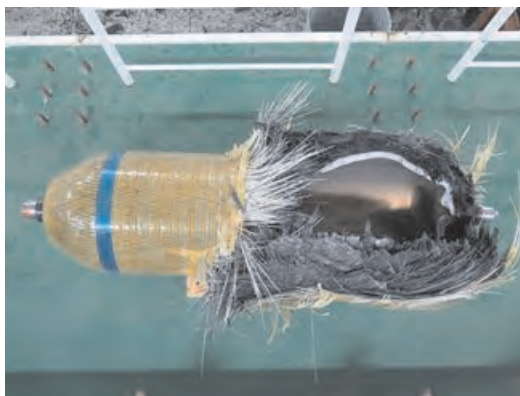


図12 新TPP-C 80L容器 破裂試験後

(7) 汎用CF-TPPの検討

これまで高コストな高グレード品を使用していたが、製造コストの材料費削減のため、低コストの汎用CF-TPPの検討を実施した。汎用CF-TPPにて、7.5L厚巻容器の破裂強度を比較した。試験に使用した容器は、7.5L容器、樹脂：TPP-Cである。汎用CF-A、汎用CF-B、汎用CF-Cを比較した結果、汎用CF-Cにて強度発現率の比が約0.87となり、採用可能性を確認できた(図13)。汎用CFの採用によるコストダウンの可能性が示された。

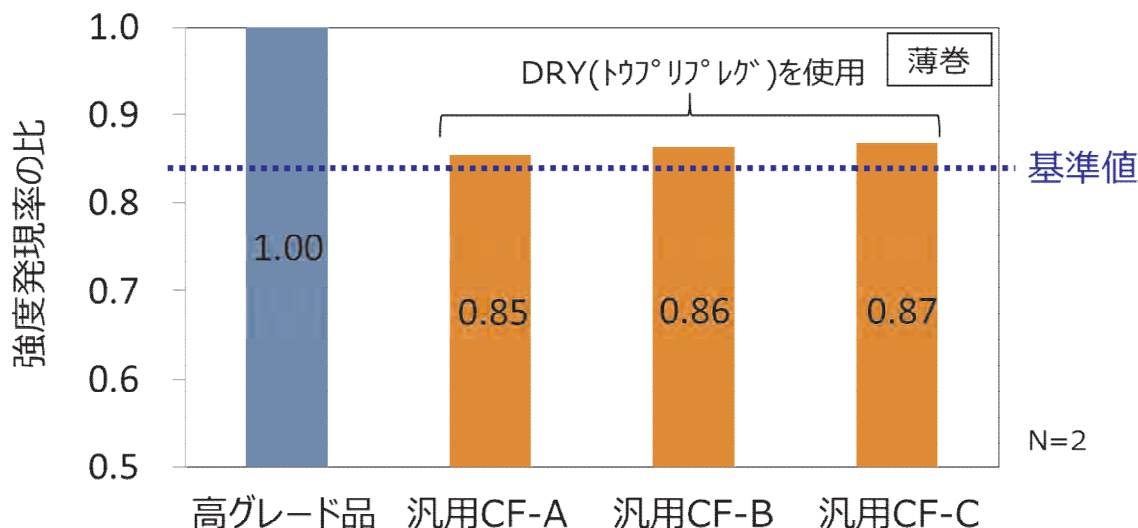


図13 汎用CF-TPPの破裂試験結果(7.5L容器)

蓄圧器製造コスト目標の達成状況を図14に示す。3.0万円/L 2.0万円/Lのコスト削減目標では、スケールアップによるリッター単価低減と、汎用CF適用による材料費コスト削減により、目標達成できる。2.0万円/L 1.5万円/Lのコスト削減目標では、量産効果により、目標を達成した。

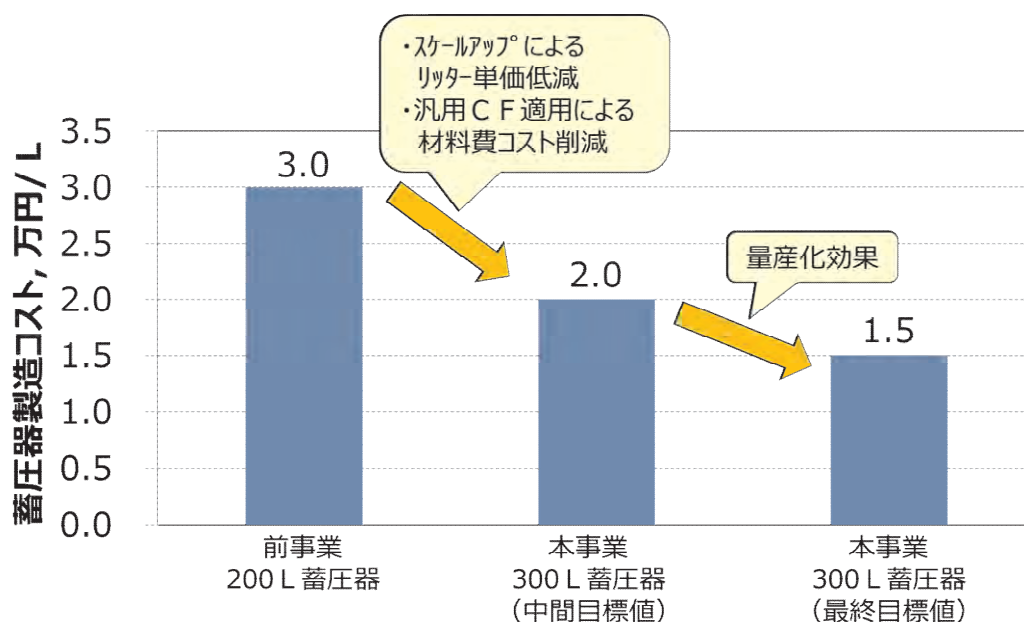


図14 蓄圧器製造コスト目標の達成状況

(8) 300L蓄圧器の製作

本事業にて行った、アルミライナーとCFRP厚さの最適化した300L蓄圧器を汎用CF - TPPを使用しDRY法で製作した。

腐食影響の小さいサイクル試験圧力媒体の採用（イオン交換水、エチレングリコール水）、実使用条件を前提とした振幅に適正化した圧力振幅にて、サイクル試験を行い、サイクル回数100,000回の寿命を達成した。

(9) 使用済み蓄圧器の評価

前事業で開発し、DRY法、CF：高グレード品、樹脂：TPP-A（従来品）にて製作し、2012年度に水素ステーションへ納めた、使用済みの200L蓄圧器の破裂試験を実施した。その結果（表3-14）、使用済み蓄圧器は使用前より大幅な破裂圧力の低下は見られず、設計破裂圧力以上の破裂圧力であった。また、サイクル試験を実施し、使用後も設計以下となるような、顕著なサイクル性能の低下は見られなかった（表3-15）。この結果から、使用後蓄圧器の健全性を確認した。

表3-14 破裂試験結果

	破裂強度比
未使用品	1.0
使用済容器	1.1
使用済容器	1.0

表3-15 サイクル試験結果

	サイクル回数比	圧力媒体
未使用品	1	水道水
使用済容器	0.8	水道水
使用済容器	1.1	エチレングリコール水

(10) 水素ステーション用複合容器の基準化事業との連携（サムテック）

他事業「複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発」から情報を収集し、25年度水素ステーションでの特定設備、事前評価（特認）の取得を推進した。

(11) 複合容器の検査手法に関する事業との連携

他事業「水素ステーション用複合容器の供用中検査手法の研究開発」で千代田化工建設と情報交換、AE計測の協力を行っている。

3.2 成果の意義

プロジェクト（事業）全体として、最適な設計を検討し、また新樹脂を開発し、汎用CFを適用したTPPを開発した。その結果、目標常用最高圧力90MPa、重量3kg/L以下の300L容器の製作し、サイクル使用回数10万回以上の目標を達成した。

この成果により、水素ステーションコスト低減が見込まれ、水素インフラ普及への貢献が期待できる。また、使用サイクル回数向上により、蓄圧器交換工事の頻度を低減でき、水素ステーション運営コストを低減できる。

3.3 開発項目別残課題

最終目標の製造コスト1.5万円/Lの目標達成においては、一定量以上の受注が増え、量産となった場合にコストメリットが出て実用化が可能となる。DRY法のメリットである製造スピード向上を実現するため、FW時間短縮、ライナ製造時間短縮による課題を抽出しさらなる、安定的な量産化技術確立に取り組む必要がある。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

最終目標である、製造コストを1.5万円/L、サイクル使用回数10万回以上を達成するにあたり、量産化、KHK TD5202技術文書改定に伴い、目標達成の見通しを得た。

本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方を図15に示す。

プロジェクト後、安定的な量産化技術確立の検討を、今後も継続的に取り組む。

また、更なるコストダウン、性能向上に向けて、NEDO事業で得られた成果、技術を基盤に継続的に検討を実施する。

これらの検討を実施し、実蓄圧器へ適用することで、コスト競争力のある蓄圧器の実用化・事業化の継続が期待できる。

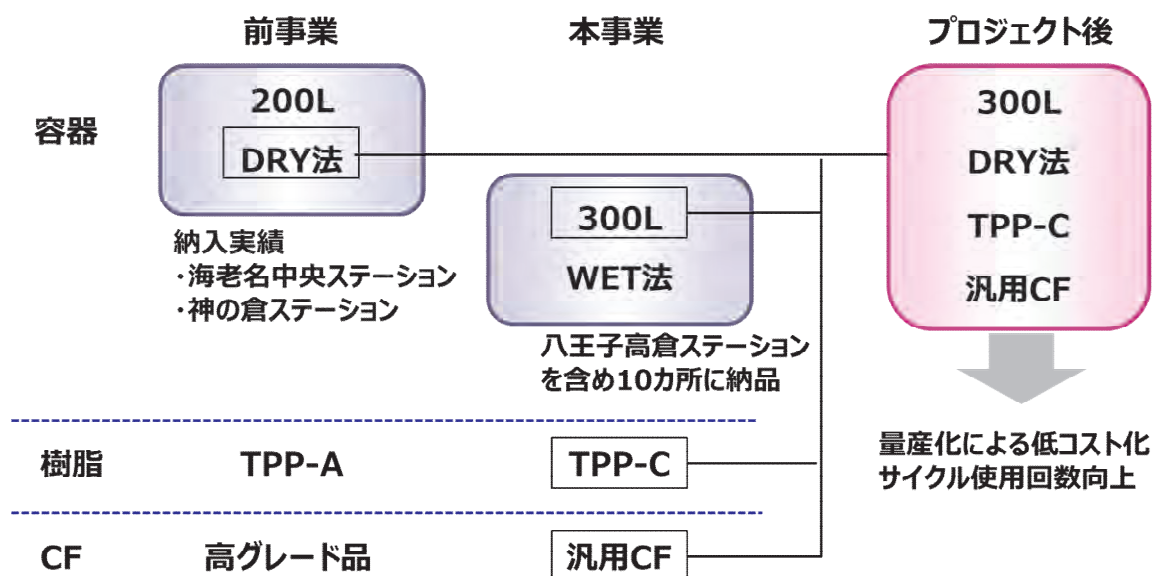


図15 本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

5. 研究発表・特許等

* SAM : サムテック、JXTG : J X T G エネルギー、九大 : 九州大学

(1) 研究発表・講演(口頭発表も含む)、論文

(発表・講演・投稿リスト)

NO.	年月	発表先	題目	発表・投稿者
1	2013/5/28	燃料電池開発情報センター主催「第20回燃料電池シンポジウム」	低コスト型70MPa級水素ガス充填対応大型複合蓄圧器の開発	JXTG; 蓑田 愛
2	2013/6/8	第2回JACI/GSCシンポジウム	水素ステーション用CFRP蓄圧器の開発	JXTG; 蓑田 愛
3	2013/6/20	ENEOS Technical Review 第55巻2号; p.25	高圧水素用CFRP容器の開発	JXTG; 蓑田 愛
4	2013/8/29	福岡水素エネルギー人材育成センター「第6回 高度人材育成コース」	複合容器の現状と今後の展開	SAM; 東條 千太
5	2013/9/20	2013年度日本塑性加工学会 東関東支部 第39回技術懇談会	金属ライナー高圧ガス容器の製造と課題	SAM; 東條 千太
6	2013/12/15	2013年度 公益社団法人精密工学会九州支部宮崎地方講演会	多給系FW法によるCFRP容器開発に関する研究	九大; 過能 健太
7	2013/12/15	2013年度 公益社団法人精密工学会九州支部 宮崎地方講演会	CFRP容器製造のための繊維加熱装置開発に関する研究	九大; 與島 健司
8	2014/2/14	第27回複合材料セミナー	高圧水素用大型複合蓄圧器の開発	JXTG; 岡崎 順二
9	2014/2/26	FC EXPO 2014 専門技術セミナー	水素ステーション用複合蓄圧器の開発状況	SAM; 東條 千太
10	2014/2/28	State-of-the-art Fuel Cell and Hydrogen Technology in Japan	Developing Low-Cost, Large-Scale Accumulators for 70 MPa Hydrogen Gas Supply	JX; 蓑田 愛
11	2014/3/4	2013年度日本機械学会九州支部学生会	曲線ヒータを用いた同時加熱FW法によるCFRP容器の開発	九大; 坂口 翔一
12	2014/3/13	日本機械学会 九州支部 第67期総会・講演	多給系FW法における層構成がCFRP容器強度に及ぼす影響	九大; 過能 健太

		演会		
13	2014/3/13	日本機械学会 九州支部 第67期総会・講演会	繊維加熱FW法がCFRP容器強度に及ぼす影響	九大；與島 健司
14	2014/3/20	株式会社情報機構 書籍「次世代自動車技術とシェール革命」	水素貯蔵技術の最新開発事例	SAM；東條 千太
15	2014/12/16	福岡水素エネルギー戦略会議 / 高圧水素貯蔵・輸送研究分科会	定置及び配送用圧縮水素タンクの現状と展開	JXTG；蓑田 愛
16	2015/2/17	神戸商工会議所 「水素エネルギーとFCV（燃料電池）の可能性」	水素ビジネス、わが社の取り組み事例	サムテック；東條 千太
17	2015/3/5	大阪工研協会 「第95回ニューフロンティア材料部会例会」	水素ステーション用複合蓄圧器	サムテック；東條 千太
18	2015/3/11	大阪府産業支援型NPO協議会「第11回水素・燃料電池開発支援セミナー」	水素ステーション用複合蓄圧器の開発	サムテック；東條 千太
19	2015/3/17	精密工学会 2015年度春季大会	TPPを用いた多給糸FW法によるCFRP容器の開発	九大；田淵
20	2015/5/29	株式会社情報協会「CFRPの繊維 / 樹脂界面制御と成型加工技術」	CFRPの高圧水素容器への応用	JXTG；蓑田 愛
21	2015/8/21	NEDOフォーラム 2015 in四国	水素ビジネス、わが社の取り組み事例～水素ステーション用複合蓄圧器の開発～	サムテック；東條 千太
22	2015/11/13	日本機械学会関西支部 第340回講演	水素ビジネス、わが社の取り組み事例～水素ステーション用複合蓄圧器の開発～	サムテック；東條 千太
23	2016/2/10	『燃料電池自動車の	CFRP複合容器	サムテック；東

		開発と材料・部品』 株式会社シーエムシ ー出版		條 千太
24	2016/2/22	神戸市産業振興財団 第6回水素クラスタ ー勉強会	水素ビジネス、わが社の取組 み事例～水素ステーション用 複合蓄圧器の開発～	サムテック；東 條 千太

(2) 特許等

(出願済特許等リスト)

NO.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	2013/12/12	特願2013-257133	複合容器の製造システム、及 び複合容器の製造方法	九州大学 JXTGエネルギー サムテック
2	2015/3/19	特願2015-55607	複合容器の圧力サイクル試験 方法	JXTGエネルギー

(11-15)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 / スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」

共同研究先：JFEスチール(株)、JFEコンテナ(株)

成果サマリ(実施期間：平成25年度～平成27年度)

- 蓄圧器用スチールライナーの熱処理条件確定およびライナー素材の高圧水素環境下材料特性採取。高圧水素環境下材料特性の推定可能な陰極チャージ法を開発。
- 小型複合容器蓄圧器の圧力-サイクル数線図データを採取し、寿命30万回以上を確認。
- 過流探傷試験による内面傷検査方法を確立。

背景/研究内容・目的

背景：水素ステーションの建設コスト低減必須
目的：水素ステーション建設コスト低減に寄与する低コスト蓄圧器開発

蓄圧器低コスト化のポイント

1. 低合金高強度鋼(スチール)から製造したライナーを用いた複合容器を製造

2. ライナーに応力分担させる設計とし、高価な炭素繊維量削減
最終目標(～H29年度)

開発容器容積：200L以上

コスト 3万円/L、重量 3000kg(設計係数4.0)

容器寿命 10万回

開発容器の特認申請を行い、経済産業省大臣特認取得を目指す

研究目標(～H27年度)

設計圧力106MPa、サイクル使用回数10万回以上を満たす高圧水素用タイプ3複合容器蓄圧器の製造指針構築

研究目標

実施項目	目標
	・疲労限への諸因子の影響明確化。高圧水素中データ採取。
	・ライナーおよびCFRPの適正厚み目処付け。
	・小型容器による蓄圧器製造の要素技術開発。
	・大型製造技術の開発および容器の性能評価。
	・特認申請に資するデータ採取
	・各種委員会での複合容器への要求事項の議論

実施体制及び分担等

NEDO	JFEスチール株式会社(実施項目)
	JFEコンテナ株式会社(実施項目)

これまでの実施内容 / 研究成果

- スチールライナーの寿命検討(JFEスチール)
 - 材質データ採取完了。疲労限(100万回)およびSSRTの最高荷重は大気中と水素中で同等。高圧水素中と同等の結果を得られる陰極チャージ疲労試験方法を開発。陰極チャージ疲労試験により、疲労限は1Hzと20Hzで同等の結果を得た。
- 簡易シミュレーションによる蓄圧器の特性予測(JFEスチール)
 - 蓄圧器におけるライナー・CFRP厚との発生応力の関係を計算により算出。ライナー・CFRP厚の設計指針を得た。
- スチールライナー-CFRP複合蓄圧器の開発(JFEコンテナ)
 - 試作容器(破裂圧力：59MPa)を作製し、疲労試験、破裂試験の実施、CFRP層破壊の基礎データを取得(Fig. 1)。設計圧力106MPaの小型容器を試作し、性能を確認。
- 複合蓄圧器の設計の妥当性検証(JFEコンテナ)
 - 試作容器を用い、設計係数2.4および4.0の条件で10万回以上の長寿命を確認。
- 特認取得への取り組み(JFEスチール、JFEコンテナ)
 - 長期疲労寿命など、特認申請に資するデータを一部採取。今後、技術基準制定を見ながら追加取得。
- 規制見直しへの取組(JFEスチール、JFEコンテナ)
 - 九大水素構造材料研究会、複合圧力容器蓄圧器分科会、等へ委員として参加し、積極的に関与。低合金鋼がライナーWG、複合圧力容器蓄圧器分科会でのガイドライン-CFRP複合容器がガイドラインおよび技術基準策定検討開始に貢献。

*最終目標達成のための基本設計完了(H28年3月末)



Fig. 1 厚肉ライナー(30L)容器の破裂試験結果
(CFRPが破断しても、ライナーは破れない)

今後の課題

スチール製ライナー複合容器の技術基準の制定

実用化の見通し

スチール製ライナー複合実用化容器の技術基準が制定され次第、ステーション運営会社ニーズに併せて、事業化

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価	
	材質データ取得。陰極チャージ疲労試験法確立。疲労限周波数依存性確認		
	スチールライナー-CFRP厚設計指針確立		
	設計圧力106MPaの容器を試作し、性能確認を実施		
	設計係数2.4および4.0の条件で10万回以上の長寿命を確認		
	データ一部採取		
	各種委員会でスチールライナーを使用可とするため積極的に活動		
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	1	3	0

課題番号：11-15

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 / スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発

JFEスチール株式会社
JFEコンテナ株式会社

1. 研究開発概要

『水素利用技術研究開発事業』基本計画のアウトプット目標として、「コスト2億円以下/システム」、「水素充填30万回以上の耐久性を有すること」が設定されている。蓄圧器開発の観点でこの目標に貢献するためには、前者に対しては、「蓄圧器製造コストの低減」、後者に対しては、「蓄圧器の長寿命化」を達成することが必要である。

実施者は、高強度低合金鋼をライナーとして用いるスチール製ライナー-炭素繊維強化プラスチック（以降、CFRPと記述）複合容器蓄圧器を開発・適用することで上記課題解決に寄与できると考えた。

現時点での水素ステーションに実装されている、もしくは現在開発中の蓄圧器は、鋼製蓄圧器（Type1容器）およびアルミ合金ライナー-CFRP複合容器（Type3容器）である。Type1容器は鍛造により製造されている。また、アルミ合金ライナー-CFRP複合容器は、ライナーの強度が低いため、CFRPで耐圧性能を担保する。これらの容器に対し、開発ターゲットとしたスチール製ライナー-CFRP複合容器蓄圧器は、ライナーを鍛造品やアルミより安価な大量生産品であるシームレス鋼管を用いて製造し、そのライナーに圧力保持させることで、耐圧性能および疲労特性の不足分をCFRPで補い高価なCFRP使用量を最小限とする。そのため、いずれの容器と比較しても低コスト化が可能となると考えている。さらに、高強度鋼は一定応力以下では疲労破壊しないため、ライナーでの発生応力がその応力（以降疲労限と記述）以下となるように容器設計することで容器の長寿命化が可能となると考えられる。

以上の思想に基づいて、実施者らはスチール製ライナー複合容器の開発を行った。

2. 研究開発目標

以下の6つの項目を研究開発目標とする。

- ・低合金鋼の疲労限におよぼす水素濃度および周波数の影響の明確化および容器設計に必要な材料データの取得（担当：JFEスチール株式会社）
- ・設計係数2.4～4.0の条件で設計可能な容器重量およびコストをシミュレーション等によりスチールライナーおよびCFRPの適正厚みの推測（担当：JFEスチール株式会社）
- ・小型容器を用いて、Pitch系炭素繊維を用いた複合容器の長所、短所を明確化。200L以上の大型容器の設計の実施。容器使用開始後の開放検査時のオンサイトでの非破壊検査方法の基礎検討を行い、候補となる検査方法の絞り込み（担当：JFEコンテナ株式会社）
- ・小型のスチールライナー蓄圧器を製作し、水素エネルギー製品研究試験センターの外水圧サイクル試験装置を用いて水素脆化試験を行い、スチールライナーの破壊限界を確認し、設計の妥当性を検証（担当：JFEコンテナ株式会社）
- ・開発容器の特認申請に資するデータを取得（担当：JFEスチール株式会社、JFEコンテナ株式会社）
- ・容器に使用する鋼材および複合容器に関する規制見直しについて、種々の機関と議論（担当：JFEスチール株式会社、JFEコンテナ株式会社）

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) スチールライナ-CFRP タイプ3 複合容器の開発 (担当: JFEコンテナ株式会社)

容器寿命の評価

容器は破裂圧力および疲労特性の評価が必要である。それらの評価が圧力サイクル試験装置の最大負荷圧力未満で実施出来る様、スチールライナの板厚及びCFRP 層の厚さを調整した、容量9.4L のタイプ3 小型容器を試作した。破裂圧力を評価した結果、破裂圧力は59MPa であった。このタイプ3 容器を用いて水圧サイクル試験を実施した。試験圧力とサイクル数の関係をFig. 1に示す。破裂圧力の1/4 の圧力15MPa で10 万回以上の38 万回の寿命を確認した。

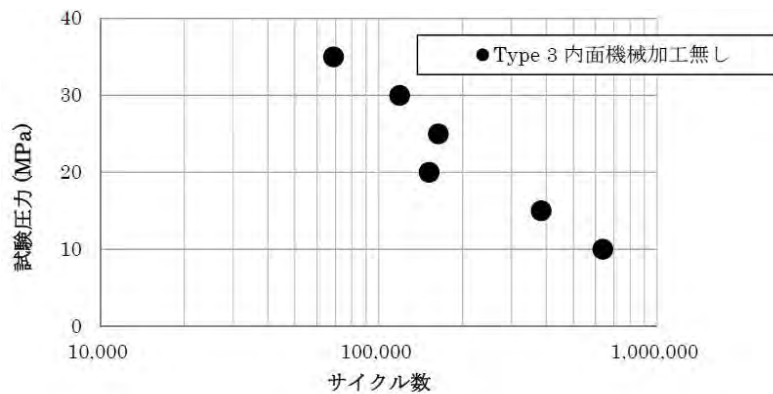


Fig. 1 同一設計仕様のタイプ3 容器の試験圧力とサイクル数の関係

容器破裂形態

容器の破裂圧力評価を行うためには、複合容器の破裂形態を理解する必要がある。従来のタイプ3 容器ではライナはガスバリア層として位置付けられ圧力保持能力はほとんどなかった。それに対し、本開発で開発する容器は強度の高い低合金高強度鋼を用い、ライナ厚を厚くすることでCFRP 使用量を低減し低コスト化を行う。そのため、ライナ強度とCFRP 層強度のバランスが従来のタイプ3 容器と異なっている。そこで、開発容器の破裂形態に関する知見を得るため、ライナ厚の異なる容器の破裂性能を評価した。

a. 薄肉ライナ容器の破裂形態

薄肉ライナ容器の破裂試験後の外観をFig. 2に示す。当該容器は、CFRP 層の断裂と同時にスチールライナが破裂した。この挙動は、アルミ合金ライナType 3 容器の破裂挙動と同じである。



Fig. 2 薄肉ライナ (9.4 L 容器) (破裂圧力 59MPa) CFRP 層の破断とライナ破裂が同時

b. 厚肉ライナ容器の破裂形態

厚肉ライナ容器の破裂試験後の外観をFig. 3に示す。当該容器は、CFRP 層が破断しても、スチールライナは破裂しなかった。このような破裂形態は従来のタイプ3容器では認められなかった。



Fig. 3 厚肉ライナ (9.4 L 容器): 破裂圧力 (86 MPa)

CFRP 層が破断してもライナは破裂せず

ライナ肉厚がFig. 3の容器よりも更に増大させて、設計圧力106MPa の容器を試作し、破裂試験を実施した結果をFig. 4に示す。Fig. 3の容器と同様に、CFRP 層が破壊しても、ライナは破裂しない現象が明らかとなった。

これらの現象の理由は、ライナの膨張によるひずみがCFRP 層の破断ひずみを上回ってCFRP 層が破壊して全圧力をライナのみで負担した場合でも、ライナでの発生応力が破断限界以下であるためと考えられる。この破裂挙動が、ライナでも応力分担した場合のスチールライナ容器の特徴と考えている。



Fig. 4 厚肉ライナ (30 L 容器): 破裂圧力 (157 MPa)

CFRP 層が破断しても、ライナは破裂せず

ライナの検査方法の検討

製品出荷及び使用中の保安検査に際して、ライナ内面の非破壊検査による疵検査は重要な工程となる。非破壊検査感度が低い場合、容器設計後の評価時に実際よりも大きな疵が存在すると仮定して容器性能が評価されるため、実性能よりも評価性能が低くなり不要な高性能容器を設計する必要があり、高コスト化の一因となる。ライナの非破壊検査手法として、渦流探傷法の妥当性を検証し、検査感度の向上を検討した。Fig. 5に検査時の外観を示す。検討の結果、人工欠陥では、0.225 mm まで検出可能となり、さらには疲労亀裂も検出可能である事が確認できた。

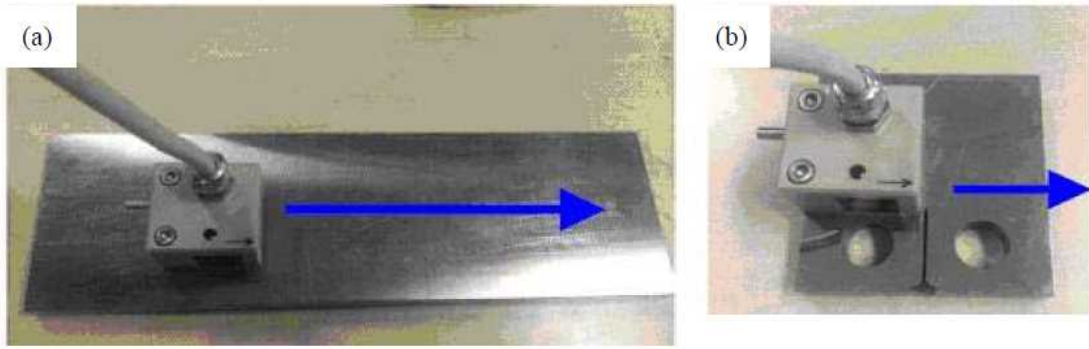


Fig. 5 非破壊検査方法の基礎検討（渦流探傷法）: (a)人工欠陥試験片探傷、(b) 疲労亀裂探傷

複合容器蓄圧器用ライナ疲労性能支配因子の明確化

複合容器蓄圧器の評価試験は通常、負荷される圧力が評価指標とされる。しかし、圧力サイクル試験を常に実圧力、たとえば82MPaで行うことは、設備制約上困難なことが多い。そのため、低圧力での評価結果を用いて基本設計を行い、試作した実容器を用いた性能最終確認を実圧力で試験ができる設備を有する機関で行うことが開発の加速および開発コスト削減のために必要である。そのため、低圧力での評価結果を用いて複合容器の基本設計を行うため、複合容器の疲労性能の支配因子の明確化を検討した。

Fig. 6に、ライナ肉厚等の仕様の異なる種々の容器の圧力サイクル試験結果を整理して示す。整理に用いた指標は試験圧力である。「Type3 内面機械加工無し」と「Type3 内面機械加工」はCFRP厚は同じ条件であるが、「Type3 内面機械加工」はライナ厚が「Type3 内面機械加工無し」よりも機械加工した分、薄くなっている。また、「ライナー単体内面機械加工」「ライナー単体内面機械加工無し」はそれぞれ、「Type3 内面機械加工」、「Type3 内面機械加工無し」のライナーのみのものである。一般的には内面機械加工を施した場合に疲労寿命が長寿命化するが、試験圧力を指標にした場合、「Type3 内面機械加工無し」は「Type3 内面機械加工」よりも寿命が長かった。これは加工によりライナ肉厚が変化してしまったためと考えられる。したがって、試験圧力を評価指標にした場合、種々状態の異なる容器の比較は困難であることが明確となった。

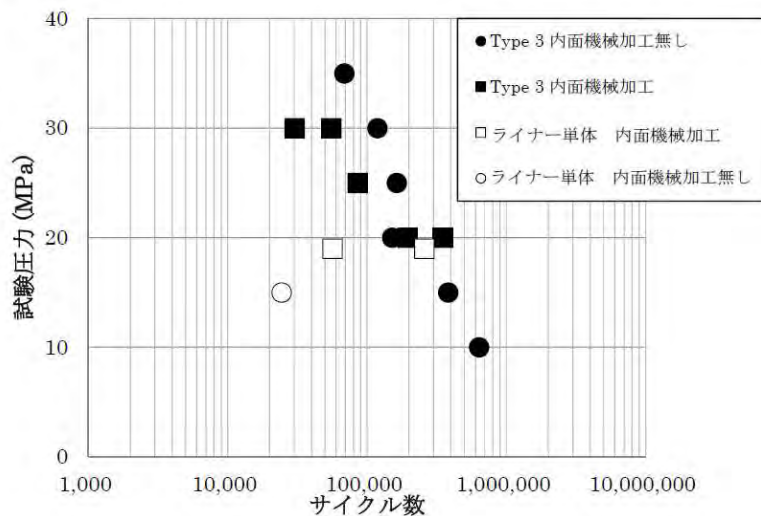


Fig. 6 試験圧力と圧力サイクル試験結果の関係

容器開発加速のためには、小型容器の評価結果を用いて実サイズの大型容器の特性予測を的確に行う必要がある。そこで、異なる容器仕様のサイクル試験結果を一元的に評価する方法を検討した。鋼をライナに用いた容器はライナが応力の多くを分担するため、複合容器の疲労寿命はライナ単体の疲労寿命と同程度と考えられる。この場合、「ライナ内面の最大フープ応力により試験結果が良く整理される」はずである。そこで、仕様の異なる試験容器の最大フープ応力をそれぞれFEM 計算により求めた。

Fig. 6に示した異なる容器仕様の水圧疲労サイクル試験結果をライナの最大フープ応力で整理した結果をFig. 7に示す。この整理では、「Type3 内面機械加工無し」とその容器のライナのみである「ライナ単体 内面機械加工無し」の容器寿命は同程度となった。また、「Type3 内面機械加工」は「Type3 内面機械加工無し」も高負荷応力条件でも長寿命となった。これらの結果から、設計仕様の異なる容器でも圧力サイクル寿命は、ライナの最大フープ応力で整理されると言う仮説が成り立つ事を確認した。これらの結果から、ライナの最大フープ応力で圧力サイクル特性を評価することにより、低圧力での評価結果を用いて基本設計を行うことが可能であると考ええる。

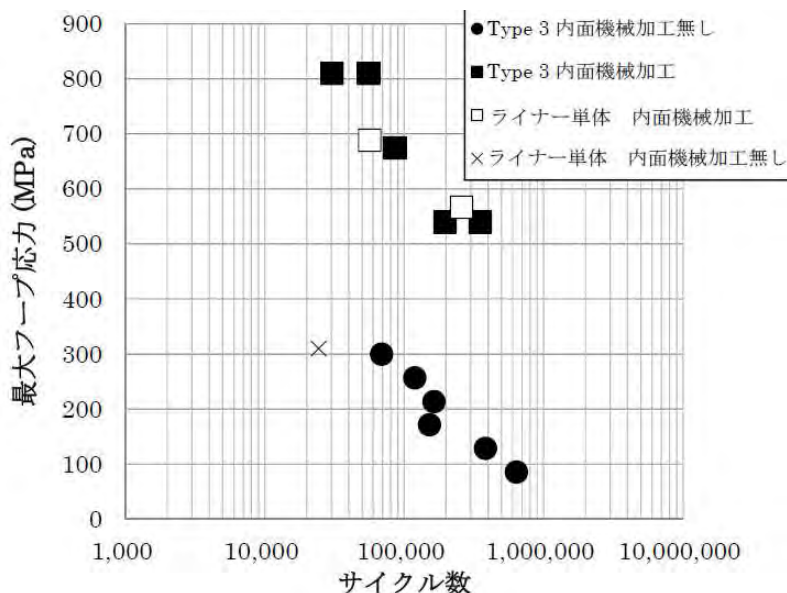


Fig. 7 ライナの最大フープ応力と圧力サイクル試験結果の関係

(2) スチールライナ材料特性評価 (担当: JFEスチール株式会社)

高圧水素中材料評価試験結果

低合金高張力鋼は蓄圧器で想定されている82MPa 程度の高圧水素環境下では大気中と比較して材料特性が低下する、水素脆化と呼ばれる現象が発現する。そのため、水素ステーション用蓄圧器に低合金高強度鋼を適用するためには、高圧水素中での材料特性の評価が必要である。本検討では、将来の蓄圧器の国際標準化をも想定し、水素ガス圧115MPa での材料特性を評価し、スチールライナへの低合金高強度鋼の適用可否を検討した。

供試材として約20mm 角断面のJISSCM435鋼を用い、900 で30min.加熱後、油冷し、600 60 min. 焼き戻し後水冷してTS1000MPa 級の焼き戻しマルテンサイト組織を得た。組織写真をFig. 8に、直径7mm のJIS14 号A 試験片を用いて得られた素材の引張特性をTable 1に示す。その素材を各試験で

必要な試験片形状に加工し、試験を行った。SSRT 試験は、平行部直径5mm の試験片を用いてひずみ速度 3.3×10^{-5} /s (クロスヘッド速度0.001 mm/s) で行った。疲労試験は平行部直径7mm の試験片を用いて、応力比-1、周波数1Hz で行った。疲労限は100 万回で12 日程度の時間がかかるため、高圧水素中での試験は100 万回未破断、大気中試験は200 万回未破断で疲労限と判断した。疲労き裂進展試験は、応力比を $R = 0.1$ 、 ΔK は25 から増加させて最高荷重一定条件で行った。

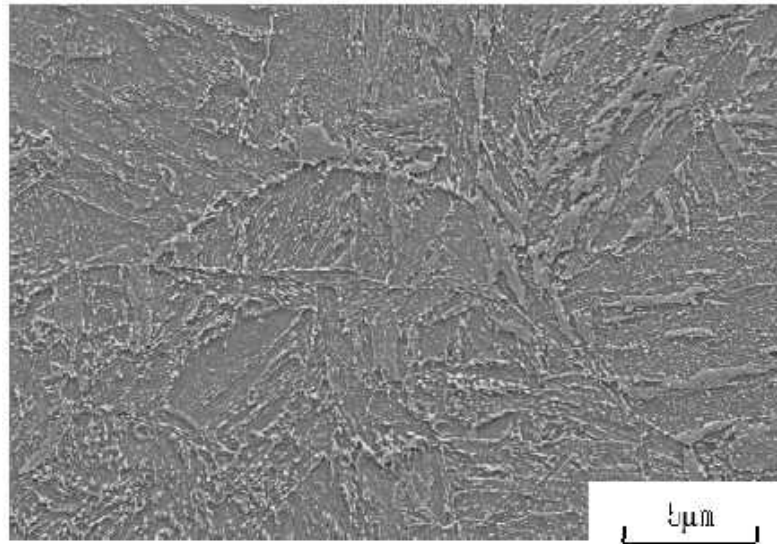


Fig. 8 供試材のSEM 組織写真

表1 供試材の引張特性 (JIS14号A試験片)

YS (MPa)	TS (MPa)	tEl (%)	RA (%)
917	1023	20.1	68.8

Fig. 9にSSRT 試験結果を示す。大気中と比較して、高圧ガス水素中では伸びは低下したが、最高強度は維持していた。この結果から、本材料は115MPa 以下の水素ガス環境中では、大気中での最高強度もしくは降伏強度を用いた容器設計が可能であると考えられる。

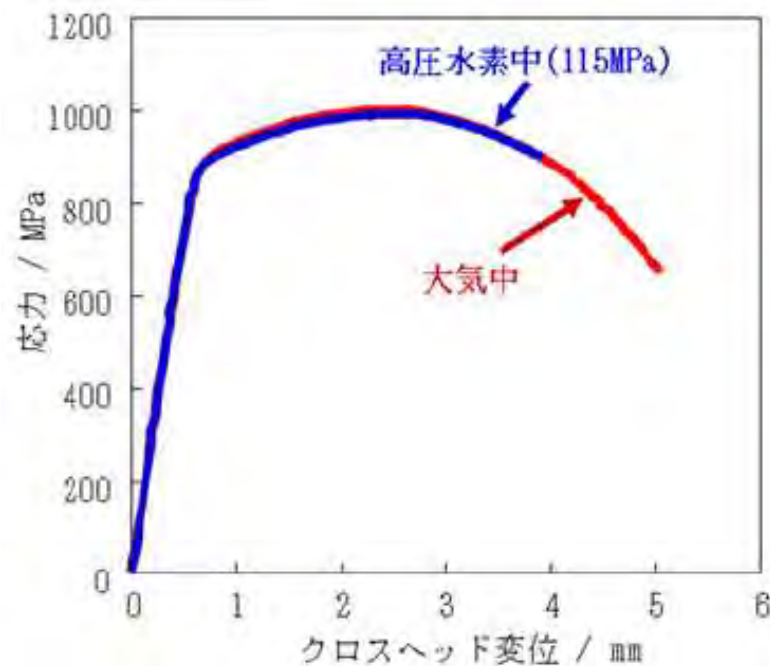


Fig. 9 SSRT 試験結果

Fig. 10に疲労特性を示す。高圧水素中では大気中と比較して破壊までの回数が1/3～1/5程度に低下した。この原因はき裂発生後のき裂進展速度が鋼材中に水素侵入することで加速されるためと考えられる。また、高圧水素環境中での疲労限は大気中よりもわずかに低いと予想できる。具体的には本材料の場合、大気中では疲労限は500MPaであったが、115MPa水素中では、500MPaでは100万回で破断した試験片があり、475MPaと推測した。475MPaでは、3.2.2に記載の115MPa水素ガス中の疲労特性を推定できる陰極チャージ疲労試験において200万回未破断であることが確認されている。

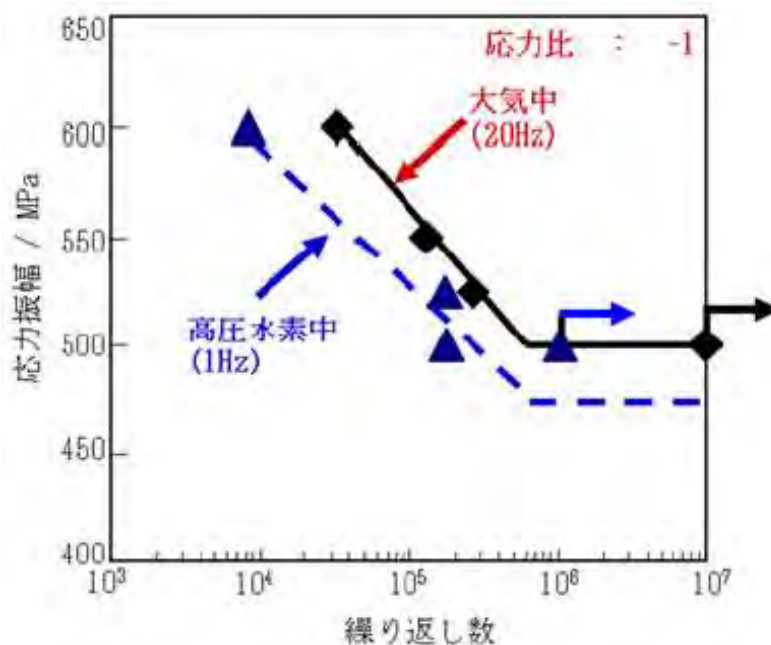


Fig. 10 疲労き裂進展試験結果

Fig. 11aに疲労き裂進展試験結果を、Fig. 11bにFig. 11aの結果を用いて蓄圧器用ライナの疲労き裂進展解析を行った結果を示す。疲労き裂進展解析において、初期亀裂検出限界を渦流探傷法で検出できた最小深さ0.225mmとした場合に0MPa-82MPaの圧力サイクルの10万回繰り返して亀裂進展深さは2.06mmであり、容器として継続使用可能な状態である結果となった。

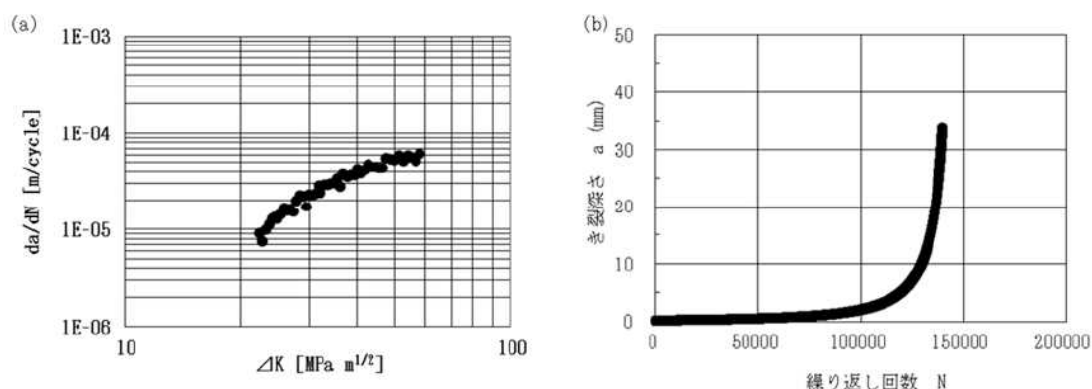


Fig. 11 (a)疲労き裂進展試験結果、(b)ライナのき裂進展シミュレーション結果

これらの結果を総合し、本検討において10万回の寿命を達成するライナ設計の条件を見出した。

陰極チャージ疲労試験法の検討

高圧水素環境下での材料試験は、設備が高額であり、また設備の維持管理も手間がかかるため、極少数の機関でしか試験ができない。また、設備数も少ないため、長期間の試験や多量の試験が必要な場合にデータ蓄積に長時間を要する。もし、高圧水素環境下材料特性を高圧水素を用いない簡便な手法で推測できれば、本研究を加速可能である。さらにはこの手法を種々の機関で実行すれば様々な研究が実施でき、高圧水素環境下での材料の水素脆化に関する知見をより多く蓄積できると期待される。また、知見の蓄積は水素社会インフラの構築の加速および低コスト化につながると考えられる。そこで本研究では、多くの機関で実施可能な陰極チャージ法を利用した試験による高圧水素環境下での材料特性の推定可能性について検討することを目的として研究を行った。本開発では特に試験に長時間を要する疲労試験法の開発を行った。

Fig. 12に高圧水素ガス中試験法と陰極チャージ試験法を模式的に示す。高圧水素ガス中では水素分子 H_2 が水素原子 H に解離し、その一部が鋼材中に侵入し、水素脆化を引き起こす。それに対し、陰極チャージ法では、溶液中の水素イオン H^+ が陰極にした試験片中の電子と結びついて水素原子 H となり、その一部が鋼材中に侵入し、水素脆化を引き起こす。鋼材中に侵入した水素原子 H は高圧水素ガス中から侵入しても陰極チャージ法で侵入しても同じである。鋼材中に侵入する水素の量は鋼材に吸着する水素の逃散能で決まるため、陰極チャージ中の水素の逃散能を高圧水素ガス中と同程度にできれば、両環境中で同様の材料特性評価結果が得られる可能性がある。水素ガスの逃散能を直接算出することは困難であるが、鋼材中に侵入する水素量は水素の逃散能によって決まると考えられる。すなわち、115MPa水素ガス中で鋼材中に侵入する拡散性水素量と同程度の量の水素が侵入する陰極チャージ条件で、115MPa水素ガス中の水素の逃散能と陰極チャージでの水素の逃散能が同程度となると考えられる。まずその条件を検討した。

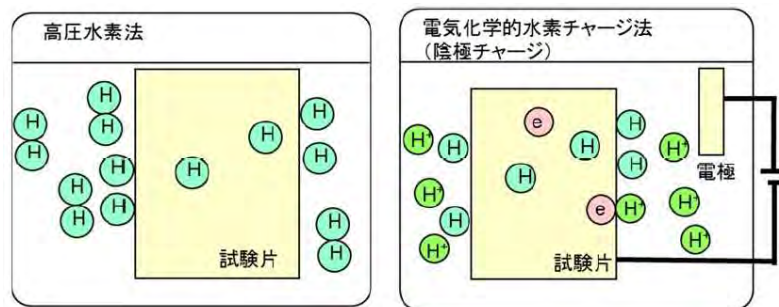


Fig. 12 高圧水素ガス中試験法と陰極チャージ試験法の模式図

a. 陰極チャージ条件の検討

陰極チャージは水溶液中に試験片を浸漬し、試験片を陰極にして通電することで水素を試験片中にチャージする。鋼材を水溶液中に浸漬するため、鋼材を極力腐食させない工夫が必要である。そのため、水溶液中でFeが安定である0.1M NaOH水溶液を選定し、さらに試験片を十分に陰極にできる高電流密度条件で検討した¹⁾。Yamabeら²⁾はTS800~900MPaで焼戻しマルテンサイト組織を有するCr-Mo鋼に100MPa環境下で侵入する拡散性水素量は0.4~0.6ppm程度であることを明らかにしている。本研究で用いた鋼はTS1000MPaであるため、侵入水素量がもう少し高い可能性がある。そのため、侵入水素量が0.4~1.0ppm程度の拡散性水素を導入する条件を探索した。試験片は熱処理した素材を直径6mmに加工した丸棒を用いた。

まず、電流密度を変化させて24hの陰極チャージを行い、拡散性水素量におよぼす電流密度の影響を調査した。その結果をFig. 13²⁾に示す。電流密度の増加とともに水素量が増加した。この結果から、電流密度100A/m²の条件を選択し、水素チャージ時間を変化させた。その結果をFig. 14²⁾に示す。拡散性水素量は144時間チャージで約1.0ppmとなった。TS1000MPa級焼戻しマルテンサイト鋼の水素拡散係数の過去データから水素量は96時間以上ではほぼ一定となると推測されるため、最長144時間とした。Fig. 15²⁾に144時間水素チャージした試験片の水素放出曲線を示す。昇温速度は200℃/hとした。水素放出ピークは200℃程度で水素放出が終了しており、拡散性水素のみがチャージされていると判断される。これらの結果から、疲労試験に用いる電流密度は100A/m²とした。Lauraら³⁾は0.1M NaOH水溶液での50~500A/m²の電流密度条件の逃散能が10~100MPaの水素ガス中の逃散能に相当すると推定しており、この点でも本条件が数10~100MPa程度の高圧水素環境と同等であると考えられる。疲労試験は24h水素チャージを行った後に開始した。

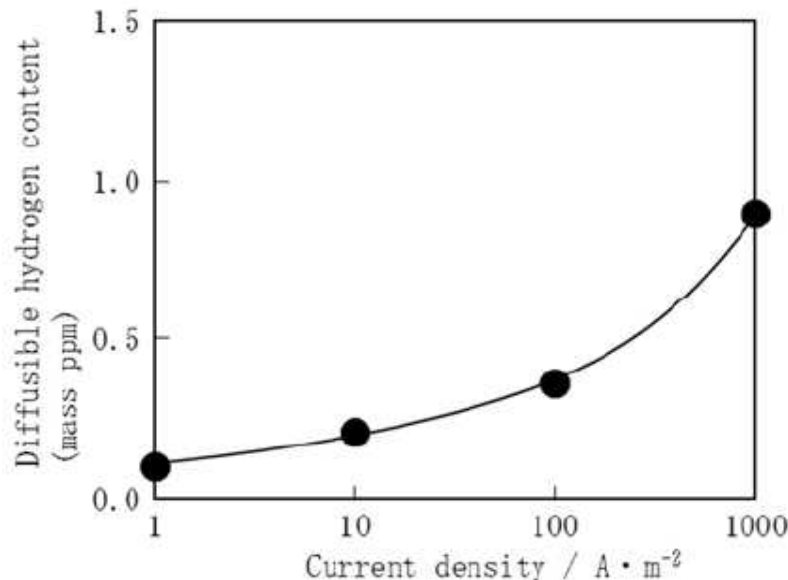


Fig. 13²⁾ 陰極チャージにより鋼中に侵入する拡散性水素量におよぼす電流密度の影響 (溶液: 0.1M NaOH、チャージ時間: 24h)

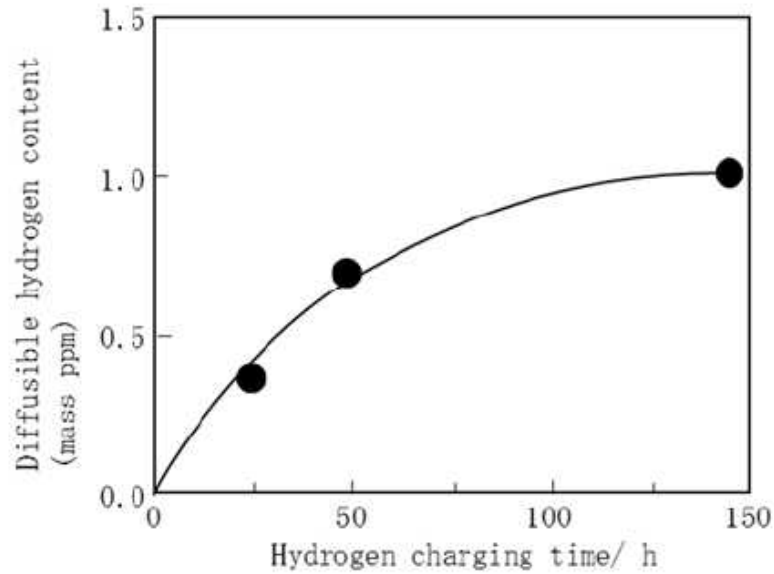


Fig. 14²⁾ 陰極チャージにより鋼中に侵入する拡散性水素量におよぼすチャージ時間の影響 (溶液: 0.11M NaOH、電流密度: 100A/m²)

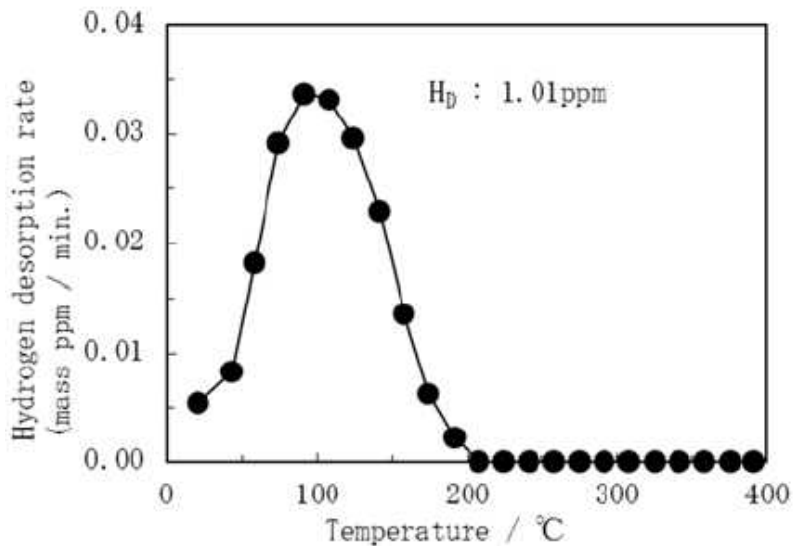


Fig. 15²⁾ 144h チャージ材の水素放出曲線 (溶液: 0.1M NaOH、電流密度: 100A/m²)

b. 陰極チャージ疲労試験

陰極チャージ疲労試験は平行部直径6mmの試験片を用い、平行部長さ14mm のうち中央12mm 部分を溶液に暴露し試験を行った。溶液に浸漬されている試験片の他の部分は溶液に触れないようにすべてシールを施した。

Fig. 16に陰極チャージ疲労試験で得られた結果を大気中および高圧水素中の試験結果と合わせて示す。陰極チャージ疲労試験では破断が発生する応力振幅条件では、破断サイクル数が大気中と比較して1/3~1/5 程度に低下し、高圧水素ガス中と同等の結果が得られた。この結果から、0.1M NaOH 水溶液中で100A/m²の電流密度で陰極チャージすることにより、115MPa 中高圧水素環境下での疲労特性を推測することができる。また本陰極チャージ疲労試験での200 万回未破断の疲労限は大気中と比較して5%ほど低い結果となった。厳密にはステアケース法等で求める必要があり、学術的な結論は今後の検討

が必要である。

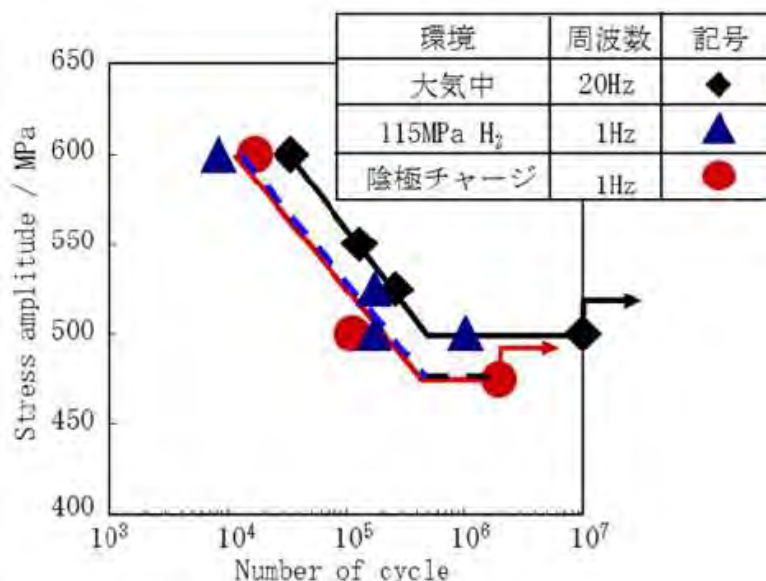


Fig. 16 陰極チャージ疲労試験結果と大気中および高圧水素中疲労試験結果の比較

c. 陰極チャージ疲労試験結果におよぼす水素チャージ条件の影響

陰極チャージにより鋼材中に侵入する水素量は溶液が同一である場合は電流密度で決まるが、触媒を溶液中に添加することにより、同じ電流密度でも触媒を添加しない場合よりも多くの水素を導入することができる。すなわち、同一の水素量を得るための条件は一つではなく、溶液の組成と電流密度の種々の組み合わせが存在する。本節では、水素チャージ条件が陰極チャージ疲労試験結果におよぼす影響について検討を行った。

陰極チャージ条件は、0.1M NaOH 水溶液で電流密度100A/m² とした条件1 および(3%NaCl+3g/l NH₄SCN) 水溶液で電流密度0.5A/m²とした条件2 の2 種とした。各々の条件での24 時間水素チャージ後の鋼材中の拡散性水素量はそれぞれ0.36ppmおよび0.43ppm であり、ほぼ同一量の水素がチャージできる条件であった。

Fig. 17に陰極チャージ疲労試験結果を大気中疲労試験結果と合わせて示す。周波数は20Hz とした。条件2 では条件1 と比較して破断までにサイクル数が低下し、実施した応力振幅では疲労限が確認できなかった。両者の差の原因を考察するため、疲労試験後の試験片観察を行った。

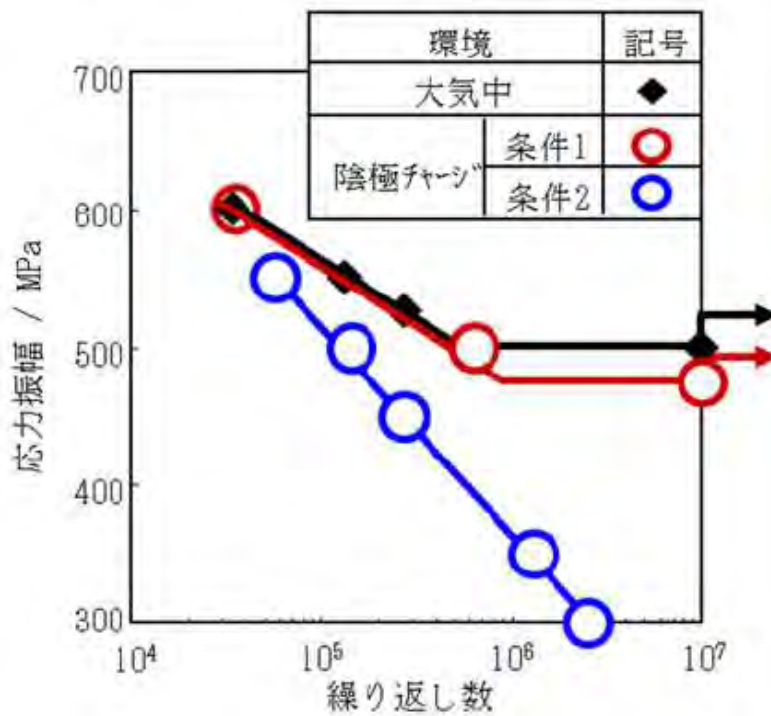


Fig. 17 疲労特性におよぼす陰極チャージ条件の影響（陰極チャージ条件1：溶液 0.1M NaOH、電流密度100A/m²、陰極チャージ条件2：溶液 3%NaCl+0.3% NH₄SCN、電流密度 0.5A/m²）

Fig. 18に試験片破面および側面の表面観察結果を示す。疲労破壊の起点はいずれも試験片表面であり、介在物等は観察されず、破面に大きな違いは認められなかった。一方、試験片側面は、条件1では試験後に異常は見られず、高圧水素中での試験後サンプルと同様であったが、条件2では表面にあばた模様が見られた。本観察結果から、条件2では電流密度が小さいため、局所的に腐食が進行し腐食疲労のような条件で試験が行われた可能性が考えられる。

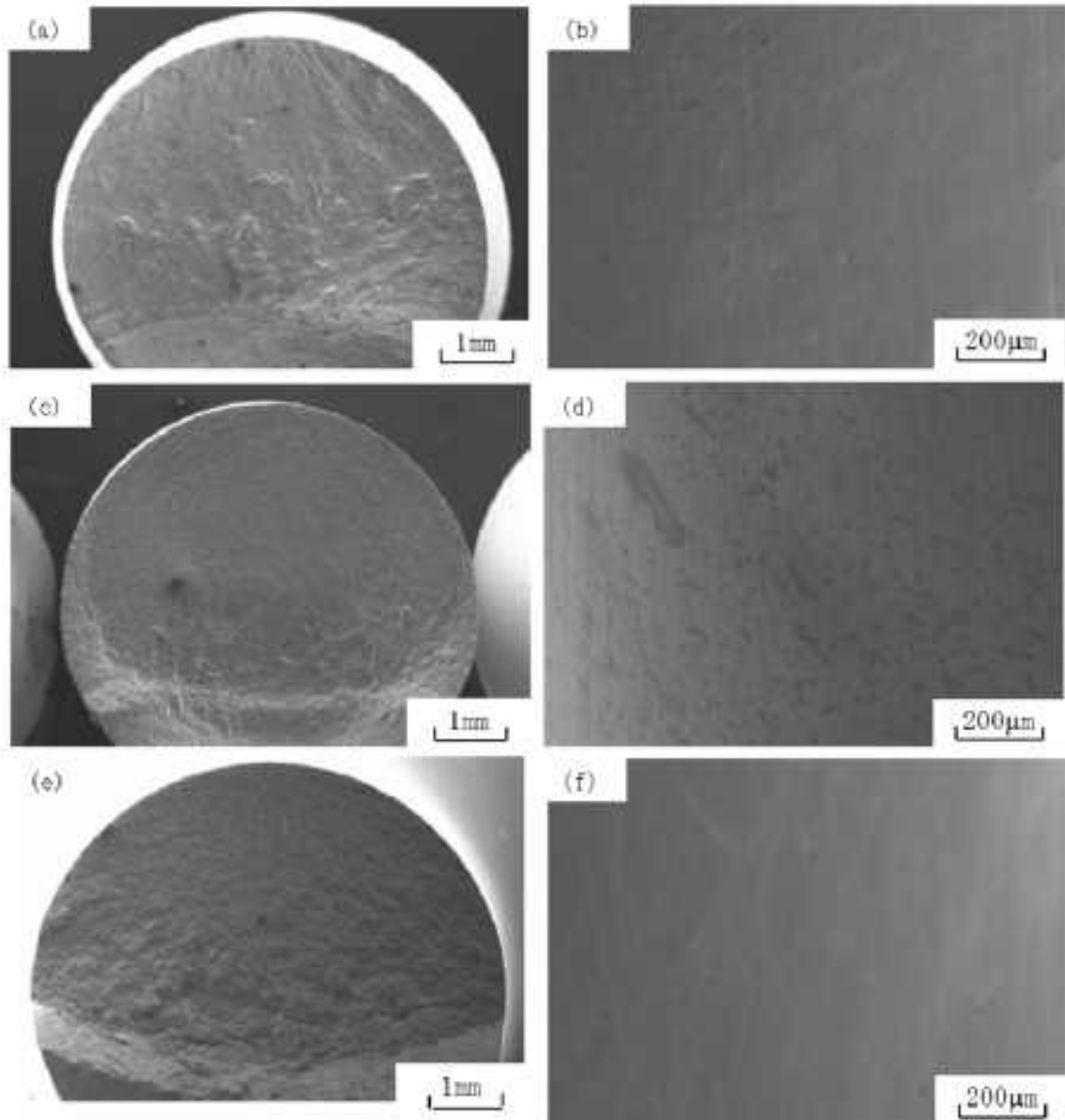


Fig. 18 疲労試験後の試験片観察：(a,b) 陰極チャージ疲労試験条件 1、負荷応力=450MPa、(c,d) 陰極チャージ疲労試験条件 2、負荷応力=350MPa、(e,f) 115MPa 高圧水素疲労試験、負荷応力=550MPa

以上の結果から、高圧水素環境下での疲労試験結果を陰極チャージ疲労試験により推測するためには、単に侵入水素量を高圧水素環境下での値にあわせるだけでなく、試験中に腐食が発生しないように十分に陰極になるような溶液や電流密度条件設定が重要であると考えられる。

(3) 規制見直しへの取組(担当: JFEスチール株式会社、JFEコンテナ株式会社)

現時点では、低合金鋼は大臣特認を取得しなければ水素ステーション用蓄圧器に適用できない。将来的に低合金鋼を水素ステーション用蓄圧器に簡便に適用するための規制見直しについて関係機関、具体的には、HYDROGENIUS水素構造材料[®]-タ[®]-S検討会、複合圧力容器蓄圧器分科会、燃料電池実用化推進協議会 FCV・水素[®]WG、日本機械学会高圧水素機器の設計合理化に関する研究分科会と議論を実施した。その結果、低合金鋼ガイドラインWG が立ち上がり、スチールライナ-CFRP 複合容器ガイドラインおよび技術基準策定のための各種検討が開始された。

3.2 成果の意義

タイプ3 スチールライナ-CFRP 複合容器の基本設計を完了したと判断する。今後、タイプ3 スチールライナ複合容器のガイドライン・技術基準策定が完了し、商品ニーズが出てくれば、市場投入が可能である。

3.3 開発項目別残課題

無し。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

低合金高強度鋼を用いたタイプ3 スチールライナ-CFRP 複合容器の開発を行い、以下の知見を得た。

- ・ 115MPa 高圧水素環境下での材料試験を種々行い、スチールライナの基本設計を完了した。
- ・ スチールライナ-CFRP タイプ3 複合容器蓄圧器で設計係数4 で寿命10 万回を超える容器が設計可能であることを確認した。
- ・ スチールライナ-CFRP タイプ3 複合容器蓄圧器は破裂試験において、厚肉ライナになると従来のタイプ3 容器と異なり、CFRP 層が破断してもライナが破壊しなかった。
- ・ スチールライナ-CFRP タイプ3 複合容器蓄圧器の圧力サイクル特性はライナの最大フープ応力で支配されることを確認した。
- ・ ライナの非破壊検査において、過流探傷を用いて0.225mm までの疵を検出できた。
- ・ 高圧水素ガスを用いずに高圧水素ガス中の材料特性を推測する手法を検討し、0.1MNaOH 水溶液で100A/m² の電流密度で水素チャージを行う陰極チャージ疲労試験方法を開発した。その手法により高圧水環境下での疲労特性を推測することが可能となった。
- ・ 陰極チャージ疲労試験により高圧水環境下での疲労特性を推測するためには、鋼中に侵入する拡散性水素量を適切に設定することに加えて、1. 試験片が腐食しない条件、たとえば高電流密度（電位を十分卑）に設定する。2. 溶液として Fe が安定な溶液（たとえば0.1M NaOH）を使用することが必要である。
- ・ 低合金鋼を水素ステーション用蓄圧器に簡便に適用するための規制見直しについて関係機関と議論を実施した。その結果、低合金鋼ガイドラインWG、スチールライナ-CFRP 複合容器ガイドラインおよび技術基準策定検討が開始された。

これらの検討を総合した結果、タイプ3 スチールライナ-CFRP 複合容器の基本設計を完了したと判断する。今後、タイプ3 スチールライナ複合容器のガイドライン・技術基準策定が完了し、商品ニーズが出てくれば、市場投入が可能である。

5 . 研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2015年9月	日本鉄鋼協会	低合金高強度鋼の疲労S-N曲線におよぼす水素チャージ法の影響	高木 周作 ら
2	2015年11月	日本機械学会	陰極水素チャージ法を用いた高強度鋼の疲労特性評価	高木 周作 ら
3	2016年7月	ASME PVP	Comparison of fatigue property obtained under high pressure hydrogen gas service and Cathodic hydrogen charging service	Shusaku Takagi et al.

- 特許等 -

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名

参考文献

- 1) J. Yamabe et al.: International Journal of hydrogen energy, vol.40(2015), 11075.
- 2) S. Takagi et al.: Proceedings of PVP2016, 2016 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference, Vancouver, Canada, 2016.
- 3) M.-S. Laura et al.: Proc. of Steely Hydrogen 2014, (2014), 448.

(11-16)「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器システム等に関する研究開発 / 樹脂ライナーの低コスト複合容器蓄圧器の開発」

共同研究先：丸八(株) (株)巴商会

成果サマリ (実施期間：平成25年度～平成27年度)

- ・タイプ4複合容器蓄圧器の設計解析技術、サイクル回数100万回、破裂圧力193.5MPa複合容器蓄圧器の信頼性安全性とその実用化の可能性が確認された。
- ・鏡部と樹脂パイプを溶着する大型長尺樹脂ライナー成形技術の確立ができた。
- ・超高压タイプ4複合容器蓄圧器の製造技術の確立ができた。
- ・タイプ4複合容器蓄圧器のKHK特認取得要件の協議、及び複合容器蓄圧器の市場調査を実施した。

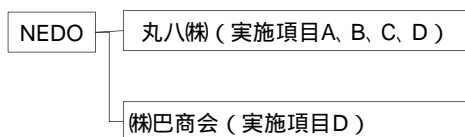
背景/研究内容・目的

燃料電池自動車普及及び促進に必要な水素ステーションの低コスト化及び供給高压水素ガスの低コスト化の為、タイプ4複合容器による蓄圧器、貯蔵輸送システムの構築を目的とする。超高压・大容量のTYPE4容器構築の為の設計・解析等を実施し、それに基づき、現行設備で製作可能な範囲で簡易水素供給設備に提供できるタイプ4容器を試作開発する。あわせKHKの容器認可取得要件及び市場調査を実施する。

研究目標

実施項目	目標
A	タイプ4複合容器蓄圧器の設計解析
B	30L～150L級樹脂ライナーの試作開発。長尺大型樹脂ライナーの成型、溶着技術確立
C	30L～150L級タイプ4複合容器蓄圧器試作開発。設計耐圧106MPa以上の複合容器蓄圧器の開発。
D	タイプ4複合容器蓄圧器のKHK認可取得業取得要件及び市場動向調査

実施体制及び分担等



これまでの実施内容 / 研究成果

- A: 充填圧力86MPa × 安全係数2.25倍で、サイクル回数100万回に耐え得るタイプ4複合容器蓄圧器が設計解析シミュレーションで実実現可能であることが確認できた。またタイプ4複合容器蓄圧器の設計技術が確立できた。
- B: 50L級樹脂ライナーの試作開発を実施及び大型樹脂長尺ライナー成型技術、溶着技術の基盤技術の確立ができ、大型容器300L級容器開発のめどが確立できた。
- C: 50L級複合容器蓄圧器の試作開発。FW加工技術確立。目標の193.5MPaには達しなかったが、159MPa破裂圧力を実証。設計耐圧106MPaは十分にクリアーができた。
- D: 30L級～300L級複合容器蓄圧器のKHK認可要件及び、市場の調査を実施し、実用化への道筋をつけることができた。

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A	破裂圧力160MPa達成、サイクル回数100万回のシミュレーション安全性確認	
B	樹脂ライナー成形・溶着技術確立	
C	タイプ4複合容器蓄圧器の製造技術確立	○
D	複合容器蓄圧器のKHK特認取得要件調査、及び市場調査	○

今後の課題

サイクル回数10万回～30万回の長寿命複合容器蓄圧器開発の為の資金の確保。研究開発のスピードアップのための人材確保、及び作業員の拡充。

実用化の見通し

平成31年度中に、150L～300L級タイプ4複合容器蓄圧器のKHK特認取得を目標とし、平成32年度東京オリンピックを目標に、丸八複合容器蓄圧器の実用化を目指している

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	3	6	3

課題番号： - 1 6

水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発 /

樹脂ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発

丸八株式会社
株式会社巴商会

1. 研究開発概要

燃料電池自動車普及促進に必要な水素ステーションの低コスト化及び供給高圧水素ガスの低コスト化の為、タイプ4複合容器による蓄圧器、貯蔵輸送システムの構築を目的とする。

超高圧・大容量のタイプ4複合容器開発の為の設計・解析等を実施し、それに基づき、現行設備で製作可能な範囲で水素ステーション用に供するタイプ4複合容器蓄圧器（設計圧力 106MPa、容積 30L 級～150L 級）を試作開発する。現行法規及び基準整備に対する対処方法の検討後、実証試験を実施し樹脂ライナーの成形溶着技術、ワインディング技術及び貯蔵輸送システム等の要素技術を見極め、大容量化の課題を抽出し解決に取り組むと共に実証試験を実施し実用化を図る。

2. 研究開発目標

設計耐圧 106MPa、サイクル使用回数：10 万回以上の水素ステーション用複合容器蓄圧器ガイドライン（平成 25 年 6 月時点）の規定を満たす 30L～150L 級大型高圧水素用タイプ4複合容器蓄圧器の製造指針を平成 27 年度末までに構築し、平成 29 年度末までに 500L 級大型複合容器蓄圧器の製造指針を確立する。そのため下記の開発項目を定める。

(1) 30L～150L 級水素ステーション用タイプ4・複合容器蓄圧器の設計及び解析

樹脂ライナー製タイプ4複合容器蓄圧器の信頼性安全性を担保した設計解析の実証

(2) 30L～150L 級タイプ4複合容器蓄圧器用樹脂ライナーの試作開発

30L～150L 級（将来 500L 級を視野に）樹脂ライナー製造技術の確立。

(3) 30L～150L 級タイプ4複合容器蓄圧器の試作開発

設計耐圧 106MPa、圧力サイクル回数 10 万回の 30L～150L 級複合容器蓄圧器の製造技術確立

(4) タイプ4複合容器蓄圧器等の KHK 認証取得要件の調査及び複合容器蓄圧器の市場調査

タイプ4複合容器蓄圧器の法的整備がまだである為、容器認可取得の為の KHK の特認要件の調査と複合容器蓄圧器及び輸送システム、水素ステーション等の市場調査

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) 容器の設計及び解析

超高圧（設計耐圧 106MPa）、大容量化（500L）を視野に入れ、タイプ4複合容器の設計解析を実施した。現行設備で製作可能な容器（30L～150L 級）の設計及び解析を実施し、現行法規及び基準整備に対する対処方法の検討を実施した。設計圧力 106MPa、サイクル回数 10 万回を達成し、信頼性安全性に対処した複合容器蓄圧器の設計解析に当たり容器形状、口金、FW パターン、CFRP 層の構造等について検討した。蓄圧器設計に当たっては、タイプ4複合容器蓄圧器が、まだ日本では認知されておらず信頼性安全性に対しより厳しい視線が注がれているため、充填圧力 86MPa、安全係数 2.25 倍とした場合のシミュレーション計算を行い、平均応力と応力振幅の

プロットは繰り返し回数 100 万回に対する安全域内にあり、設計要求を満たすことが確認できたことを本研究の最大の成果として報告する。また本設計解析により試作開発した複合容器蓄圧器で、最低破裂圧力 159MPa を達成し、設計耐圧 106MPa、水素自社用燃料タンクの最低破裂圧力 157.5MPa(70MPaX2.25 倍)を優にクリアーしていることを併せ報告する。

(1) - 1 複合容器の有限要素解析モデル

昨年度に引き続き、複合容器の有限要素モデルを作成し、内圧が作用した際のフィラメントワインディング層の強度解析を実施した。図 1 に解析モデルの概要を示す。ポリエチレン製ライナー部に CFRP フィラメントワインディング層をフープ巻ならびにヘリカル巻により巻きつけた構造となっている。フィラメントワインディング層は積層構成を[・/-・/・/・]とする一方向繊維強化材としてモデル化している(・は繊維配向角)。

図 1 解析モデルの概要

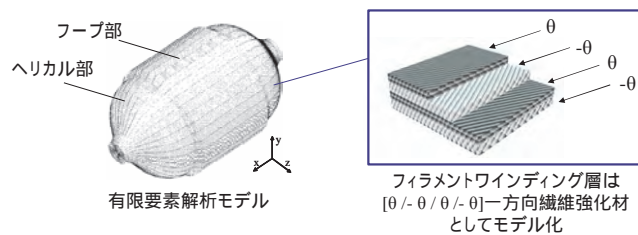


図 2 に解析モデルの一例を示す。対称性を考慮し、容器全体の 1/8 モデルとし対称面を面拘束している。ここで、CFRP 層の繊維配向角は式(1)により設定した。

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{R_0}{R}\right) \quad (1)$$

ここで、 θ は繊維配向角、 R_0 は口金部半径、 R は任意点での半径である。

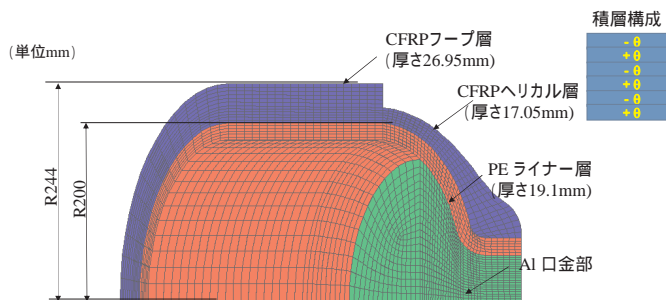


図 2 解析モデル

使用した材料物性値を、下記表 1 に示す。CFRP 層は一方向性材としてモデル化を行い、口金部には Al 6061T6 の物性値を、ライナーはポリエチレン容器の材料物性値を用いた。

CFRP				Al6061T6		Polyethylene	
(MPa)	L	T	Z	(MPa)		(MPa)	
E	134044.0	8039.143	8039.143	E	72000	E	4360
	TZ	ZL	LT	G	27000	G	1620
G	2834.677	4177.779	4177.779	ν	0.33	ν	0.34
ν	0.418	0.014416	0.240375	Ft	290	ft	64.5
	L	T	Z	Fc	580	fc	144.5
Ft	1734.51	95.142	95.142	Fs	290	fs	64.5
Fc	3188.976	106.574	106.574	α	23.9 × 10	α	11 × 10
	TZ	ZL	LT				
Fs	98.835	98.835	98.835				
α	2.0 × 10	2.0 × 10	2.0 × 10				

繊維: Carbon fiber T300
樹脂: Epoxy-F533
繊維含有率: 60%

表 1 材料物性値

(1) - 2 口金の傘部径の影響の評価

(1) - 2 - 1 解析モデル

図 2 に示した解析モデルにおいて、口金の傘部の寸法および形状を変更した解析モデルを作成し、その影響を評価した。口金形状の外形を図 3 に、各パラメータを表 2 に示す。また、口金半径を 35mm とした場合の解析モデルを図 4 に、口金半径を 70mm とした場合の解析モデルを図 5 に示す。下記に、図 3 口金形状の外形を示す。

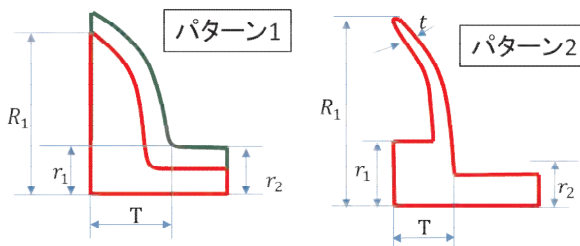


表 2 口金の傘部の寸法および形状

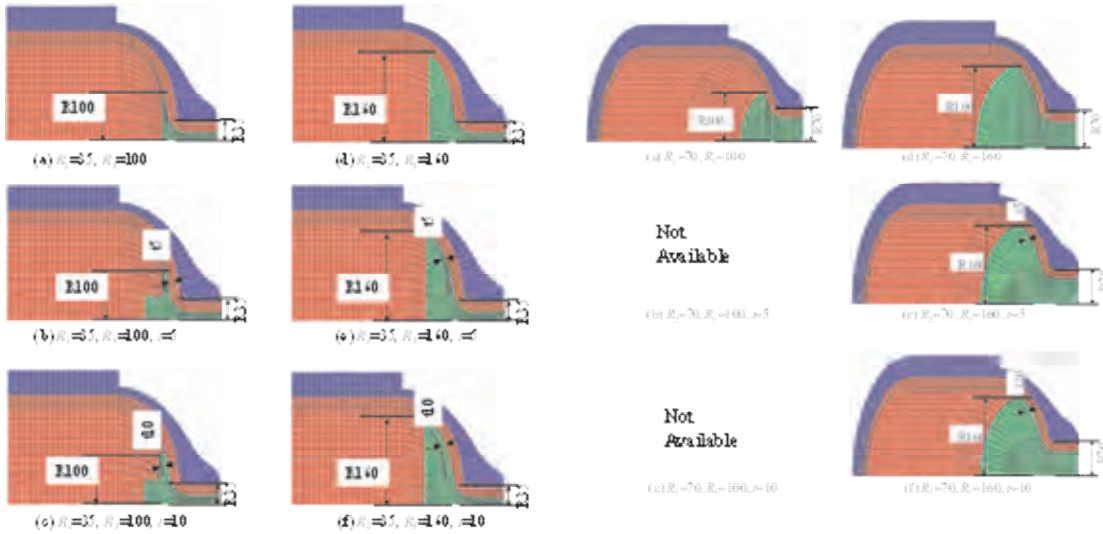
R_1 [mm]	r_2 [mm]	t [mm]	T [mm]	r_1 [mm]
100	35	パターン 1	12	35
		5	51	35
		10	51	35
	70	パターン 1	12	70
		5		
		10		
160	35	パターン 1	12	35
		5	51	35
		10	51	35
	70	パターン 1	51	70
		5	51	70
		10	51	70

図3 口金半径を 35mm とした場合の解析モデルを、下記 左に示す。

図4 口金半径を 70mm とした場合の解析モデルを、下記 右に示す。

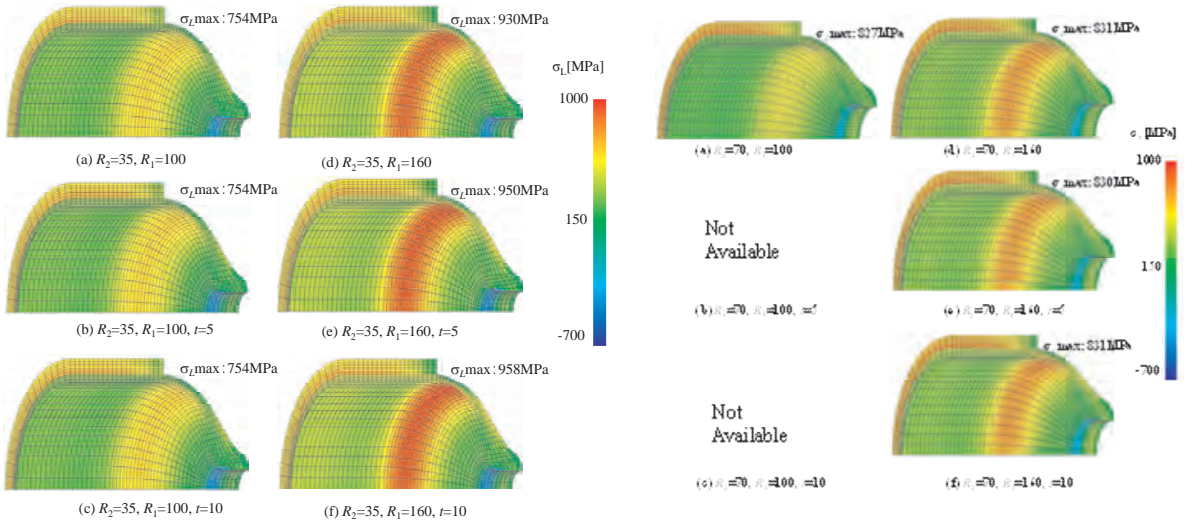
図 3

図 4



(1) 2 - 2 解析結果

図5に口金半径を 35mm とした場合の各モデルにおける繊維方向の応力分布を示す .内圧 106MPa を作用させており ,CFRP 層のみを表示している .図より ,いずれのモデルにおいても傘部周りで応力集中が発生していることが分かる .また ,傘部半径が小さいほど繊維の応力集中は低い .



左図 図 5 各モデルにおける繊維方向の応力分布 (口金半径を 35mm とした場合)

右図 図 6 各モデルにおける繊維方向の応力分布 (口金半径を 70mm とした場合)

同様に ,図 6 口金半径を 70mm とした場合の各モデルにおける繊維方向の応力分布を示す .口金半径を 35mm の場合と同様に傘部周りで応力集中が発生していることが分かる .また ,傘部半径が小さいほど繊維の応力集中は低い .

図5および図6において、いずれも $R_1=100\text{mm}$ 、 $t=0$ とした場合に応力集中が低い結果となった。ここで、図5(a)と図6(a)の比較を図7に示す。最大応力は $R_2=35\text{mm}$ の方が低い、ドーム部における応力は $R_2=70\text{mm}$ の方が低い。複合容器の製造過程において、胴体部の強度を上げるには胴体部のみフィラメントの巻き数を増加させればよいが、ドーム部の強度を上げるにタンク全体を巻かざるを得ないことから、本研究では $R_2=70\text{mm}$ を最適な形状とした。

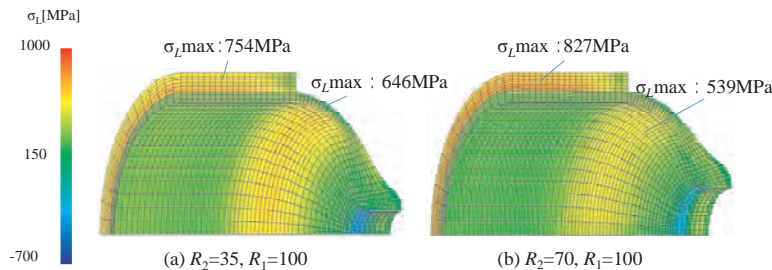


図7 繊維方向の応力分布の比較 ($R_1=100\text{mm}$ 、 $t=0$)

(1) - 3 複合容器の疲労信頼性評価

前節で得られた応力分布と一方向 CFRP の疲労試験結果を用いて、設計目標である 10^6 回の繰り返し負荷に対する信頼性を評価した。疲労試験結果には、「平成 22 年度～平成 24 年度 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発 水素インフラ等に係る基準整備に関する研究開発」において取得された同材料の $S-N$ 線図を用いた。なお、試験は軸荷重、片振り（応力比 $R=0.1$ ）で実施されている。一方向 CFRP の $S-N$ 線図を図8に示す。

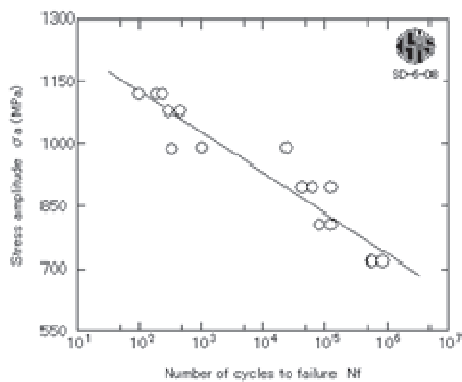


図8 一方向 CFRP の $S-N$ 線図

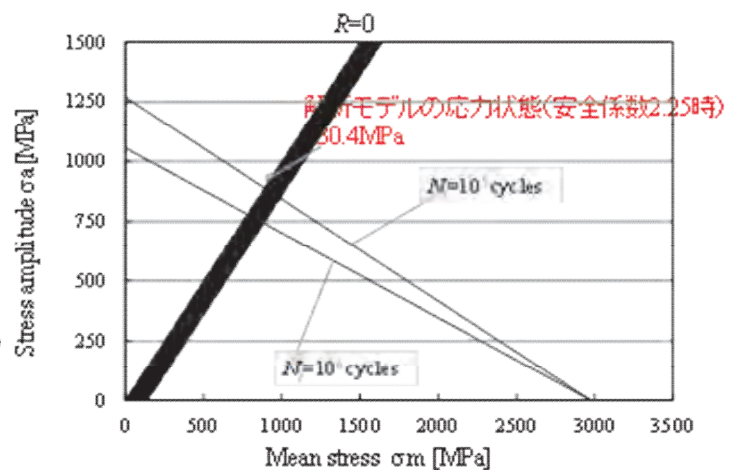


図9 Goodman 線図による疲労信頼性評価

複合容器に作用する応力履歴と、疲労試験における応力履歴は応力比が異なることから、Goodman 線図によりその影響を考慮する。図9に Goodman 線図および本解析で得られた平均応力と応力振幅のプロットを示す。プロット点は繰り返し数 10^5 回に対する安全域の外側になり、このままでは設計寿命を満たすことはできない。

これらの結果に基づき、次節では CFRP 層の構造を再検討する。

(1) 4 CFRP層の構造の再検討

前節の Goodman 線図による評価では、平均応力と応力振幅のプロットが繰り返し数 10^5 回に対する安全域の外側になり、そのままでは設計寿命を満たすことはできない。そこで、図 10 に示すように CFRP 層の構造の設計を変更した。図 10 において赤字部分が設計変更点である。また、複合容器の製造過程ではフープ層の厚みが大きくなるほど繊維のシートが前にずれることから、後方にシートをずらすように巻く必要がある。新規モデルではこれを考慮し、フープの形状も一部変更した。

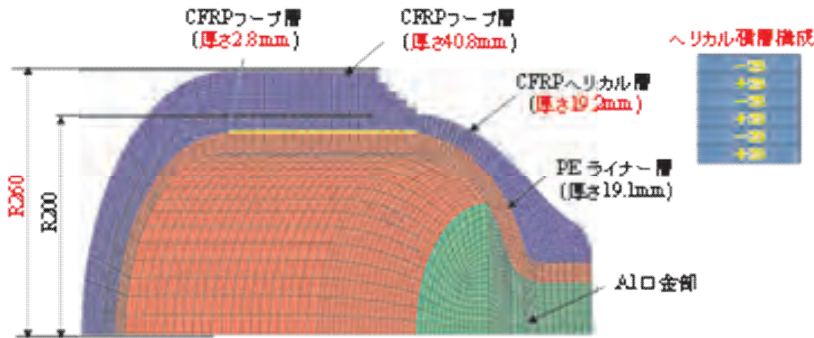


図 10 CFRP 層の構造を変更した新規解析モデル

図 11 および図 12 に CFRP 構造変更後の繊維方向の応力分布および Goodman 線図による疲労信頼性評価結果を示す。図 12 において、安全係数を 2.25 とした場合においても平均応力と応力振幅のプロットは繰り返し数 10^6 回（100 万回）に対する安全域内にあり、設計要求を満たすことが確認できた。

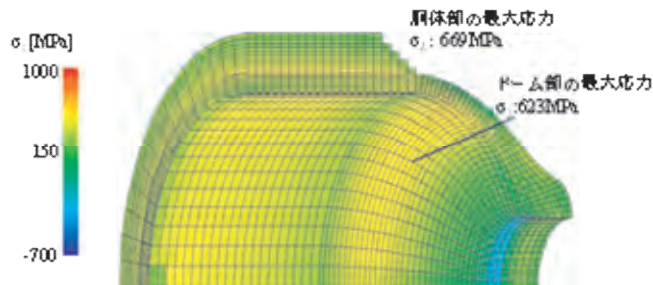


図 11 繊維方向の応力分布（CFRP 構造変更後）

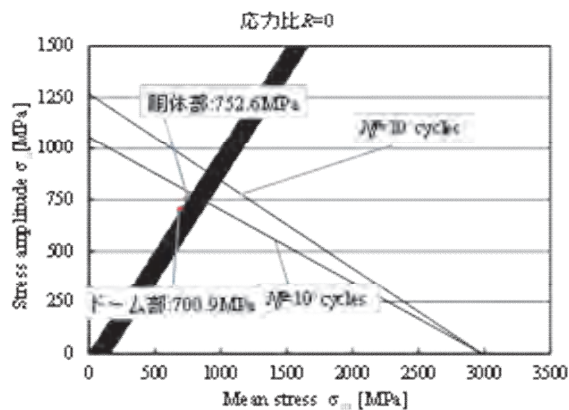


図 12 Goodman 線図による疲労信頼性評価（CFRP 構造変更後）

(1) - 5 タンク直径の変更に対する検討

製造上の観点から、図 13 に示すようにタンクの直径を 310mm へ変更した。図 13 において赤字部分が設計変更点である。前節の図 10 に示したタンクをそのまま相似的に縮小している。図 14 および図 15 に CFRP 構造変更後の繊維方向の応力分布および Goodman 線図による疲労信頼性評価結果を示す。図 15 において、安全係数を 2.25 とした場合においても平均応力と応力振幅のプロットは繰り返し数 10^6 回 (100 万回) に対する安全域内にあり、設計要求を満たすことが確認できた。

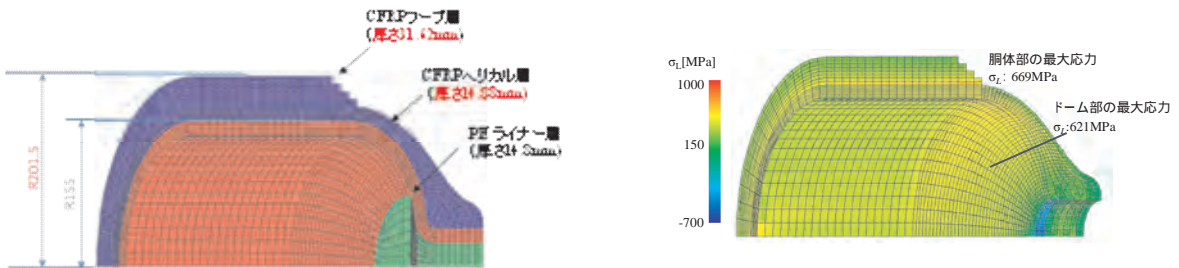


図 13 タンク直径を変更した新規解析モデル 図 14 繊維方向の応力分布(タンク直径変更後)

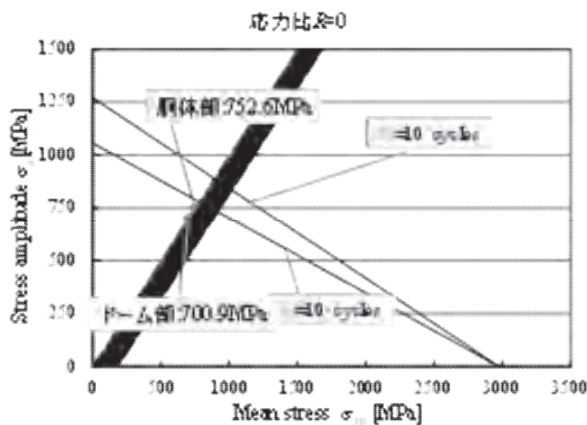


図 15 Goodman 線図による疲労信頼性評価 (タンク直径変更後)

(1) - 6 気密性を考慮した口金の設計

複合容器の設計においては、前章で示した強度評価に加え、内容物である水素の気密性を確保することが重要となる。そこで、口金部における水素の漏えいを防ぐ目的から、樹脂ライナーに口金を埋没した埋没型口金の設計を実施した。使用した材料物性値を表 3 に示す。表 1 との相違点として、Carbon fiber に T700S を用いている。また、口金部には Al 6061T6 の物性値を、ライナーはポリエチレン容器の材料物性値を用いた。解析モデルを図 16 に示す。図 16 において傘部長さ(図では 136mm)を設計変数とした。傘部長さを変更して作成した解析モデルを図 17 に示す。

表 3 材料物性値

CFRP				Al6061T6			Polyethylene		
(MPa)	E	T	Z	(MPa)		(MPa)			
F	136100	7270	7270	F	27000	F		4300	
	TZ	ZL	LZ	G	27000	G		1630	
G	3000	3250	3250	ν	0.33	ν		0.34	
ν	0.214	0.014	0.200	E ₁	290	E ₂		64.5	
	L	T	Z	F _{1c}	590	F _{2c}		144.5	
F ₁	2940	85.6	85.6	F _{2c}	290	F _{3c}		64.5	
F ₂	2621	205	205	α	23.9 × 10 ⁻⁶	α		14 × 10 ⁻⁶	
F ₃	103	103	103						

繊維 Carbon fiber T700
 樹脂 Epoxy-Resin
 繊維含有率 60%

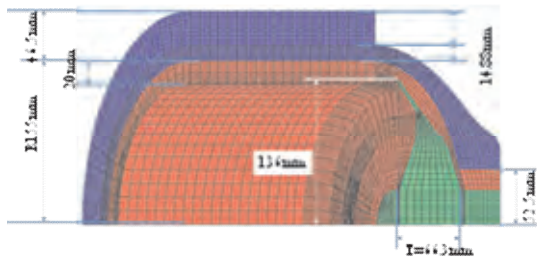


図 16 埋没型モデル (傘部 136mm)

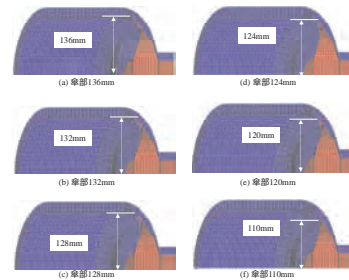


図 17 傘部長さを変更した埋没型モデル

図 18 に口金部のミーゼス応力分布を示す．なお，内圧は 106MPa を作用させている．図より，いずれのモデルにおいても傘部周りで応力集中が発生しており，傘部長さが大きいほど最大応力も大きい．図 19 に CFRP 層の繊維方向応力分布を示す．CFRP 層の応力分布においては傘部長さの影響はわずかではあるが，傘部長さが大きいほど最大応力も大きいことが確認できる．

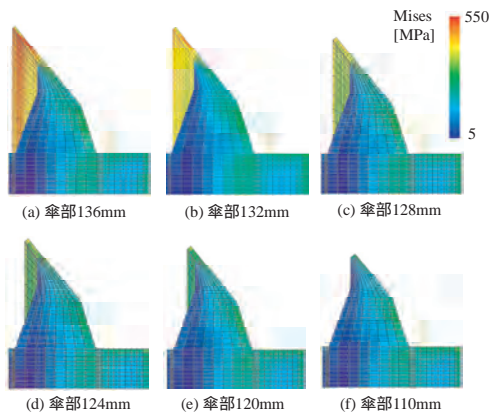


図 18 口金部のミーゼス応力分布

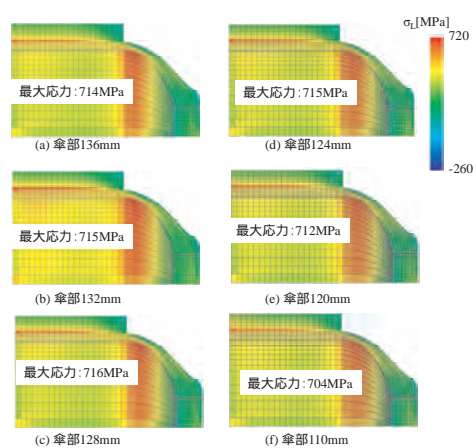


図 19 各モデルにおける繊維方向の応力分布 (傘部長さを変更した場合)

以上の解析モデルにおいて，傘部の裏側のライナー厚さが不均一である部分に応力が集中する傾向がみられた．そこで，裏側のライナーの形状を均一にし，口金の形状と一致する形状にすれば，繊維部応力及び口金の応力は低減すると考え，図 20 に示すモデルを提案する．また，図 21 および図 22 に埋没型口金モデルの繊維方向の応力分布および Goodman 線図による疲労信頼性評価結果を示す．図 22

において、安全係数を2.25とした場合においても平均応力と応力振幅のプロットは繰り返し数 10^6 回(100万回)に対する安全域内にあり、設計要求を満たすことが確認できた。

図 20 埋没型口金モデル

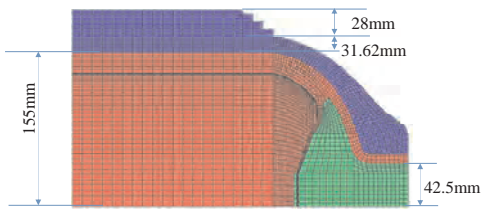


図 21 埋没型口金モデルの繊維方向の応力分布

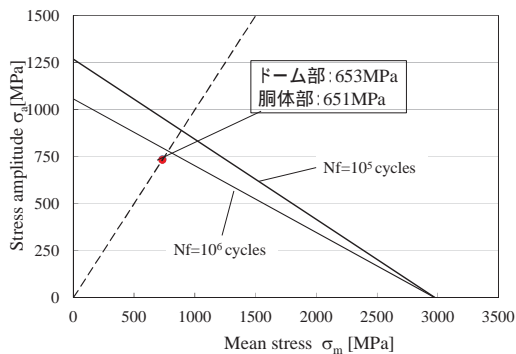
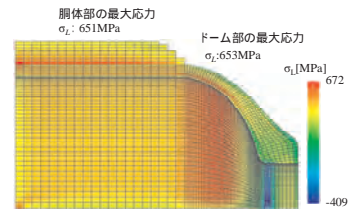


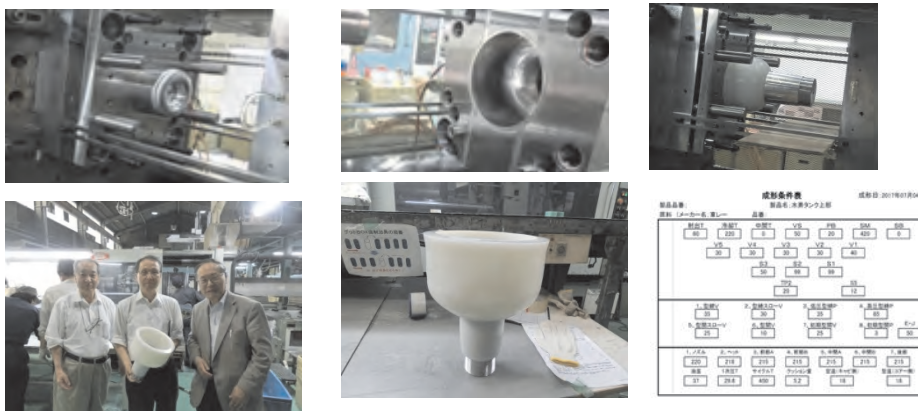
図 22 Goodman 線図による疲労信頼性評価 (埋没型口金モデル)

(2) 長尺大型樹脂ライナーの試作及び製造技術の開発

(2) - 1 樹脂ライナー成形技術の開発

設計解析に基づき、外径 250mm x 内径 205mm x 長さ 1700mm x 厚み 22.5mm (内容積 50L 級) の樹脂ライナーを試作開発した。厚肉であるため、成型条件、金型、樹脂注入路の検討、成型温度、成型圧等種々試作条件を替え試作開発を行い、均一な厚みの厚肉試作品の開発に成功した。下記に、成形金型、射出成形の鏡部成型、成型条件表票を提示する。下記に、成形金型、射出成形の鏡部成型、成型条件表票を提示する。

写真 1 表 4 に、成形金型、射出成形の鏡部成型、成型条件表票を提示する。



また長尺大型樹脂ライナーを開発する為、鏡部(お椀部)と厚肉ポリエチレン管(以下、PE管)を溶着することで大容量の容器を開発することができる。下記にその原理を図示する。また長尺大型樹脂ライナーを開発する為、鏡部(お椀部)と厚肉ポリエチレン管(以下、PE管)を溶着することで大容量の容器を開発することができる。下記にその原理を図示する。



図 23 長尺樹脂ライナー製方法の原理図

(2) - 2 溶着技術の研究開発及び樹脂ライナーの試作開発

その為下記図 24 のような鏡部と PE 管の溶着試験を実施し、溶着部の引張強度試験、X 線 CT スキャンにて物性調査等を大阪大学にて実施し、設計解析の所で詳細を説明している。



溶着容器のレベル合せ等樹脂ライナー溶着技術、組立て技術の確立を図った。下記図 25



試作開発した樹脂ライナー (図 26)



溶着に係る溶着温度、加圧等の成形条件表を提示。(図 27 加工条件票 抜粋)

溶着温度、圧着に係る圧力条件、加工時の気温条件、風速等の影響を検証

加圧溶着	気温(℃)	-5	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25
	秒数	63	62	61	59	58	57	55	54	53	52	50	49	47
	気温(℃)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
加熱保持	気温(℃)	200	270	258	245	233	221	209	197	185	173	160	148	130
	秒数	5.00	4.30	4.18	4.05	3.53	3.41	3.29	3.17	3.05	2.53	2.40	2.28	2.10

(2) - 3 ライナー層溶着部の信頼性評価

複合容器の製造工程において、射出成型したポリエチレンライナー部を融着する。ここで、融着部の信頼性は、複合容器の気密性を確保する上で重要な設計因子である。本章では、試験的に溶着したポリエチレンライナーパイプから試験片を切り出し、(1) 硬さ試験による熱影響部の評価、(2) 引張り試験による融着強度評価、(3) X線断面観察による融着欠陥の検査を実施した。以下に詳細を記述する。

(2) - 4 硬さ試験による熱影響部の評価

図 28 に硬さ試験に用いた試験片の切り出し方法の模式図を示す。測定部は融着部および母材部とし、図 29 に示すようにパイプの厚み方向を 4 分割した線上の硬さ分布を測定した。試験機には島津製作所製ダイナミック超微小硬度計を用い、負荷試験力は 1000mN、保持時間は 10 秒とした。また、測定間隔は 2mm とし、隣接する圧痕の影響を受けない測定間隔であることを確認した。

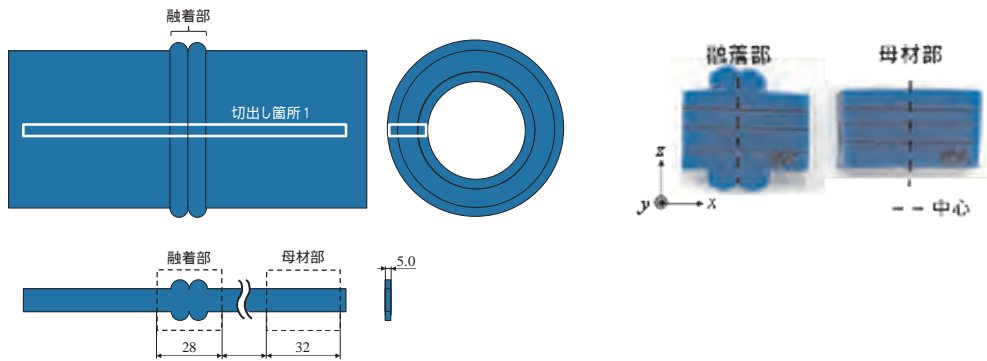


図 28 硬さ試験における試験片の切り出し方法 図 29 硬さ分布の測定位置

図 30 に 融着部および母材部の硬さ分布を示す。母材部結果は 3 線上の全測定点から求めた平均値、最大値、最小値である。融着部およびその周辺において硬さの低下を確認した。ここで、融着部における硬さは融着時に発生したばり部分とほぼ同等であり、融着時の熱影響により硬さはわずかに低下するものと考えられる。一方で、その低下量は母材部における硬さのバラツキ内に入っている。

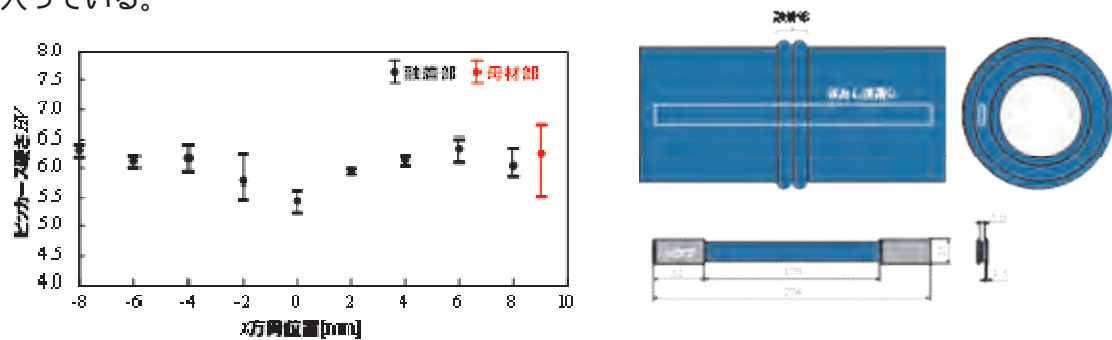


図 30 融着部および母材部の硬さ分布 図 31 引張り試験における試験片の切り出し方法

図 32 に得られた公称応力-ひずみ曲線を示す。なお、本試験では試験片の伸びが試験機の許容値を超えたため、破断に至る前に試験を中止した。図 33 に除荷後の試験片の観察結果を示す。図 28 に示すように融着部以外から大きくネッキングが発生しており、破断には至らなかったものの、融着強度は母材と同程度であることが確認できた。

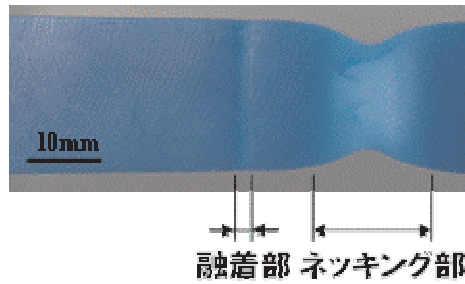
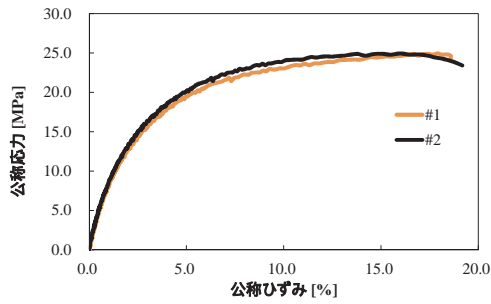


図 32 融着試験片の公称応力-ひずみ曲線 図 33 除荷後の試験片の観察結果

(2)-5 X線断面観察による融着欠陥の検査

前節において溶着部の強度は母材と同等以上であり，複合容器の強度信頼性には影響を及ぼさないことが確認できた．しかしながら，溶着部に欠陥や未溶融部が存在すると複合容器の気密性に影響を及ぼすと考えられる．そこで，X線CTを用いて溶着部近傍の断面観察を実施し，欠陥の存在の有無を調査した．試験機は島津製作所製マイクロフォーカス X線CTシステム (SMX-100CT-SV3)を用い，X線の管電圧は25kV，管電流は52 μ Aとした．図34に試験機および試験片の外観を示す．

図35に融着部近傍の観察結果の一例を示す．また，図36に図33におけるネッキング発生部近傍の観察結果の一例を示す．いずれの試験片においても，明確な欠陥は観察されなかった．

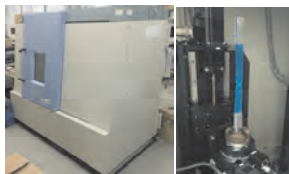


図 34 X線CT試験機および試験片の外観

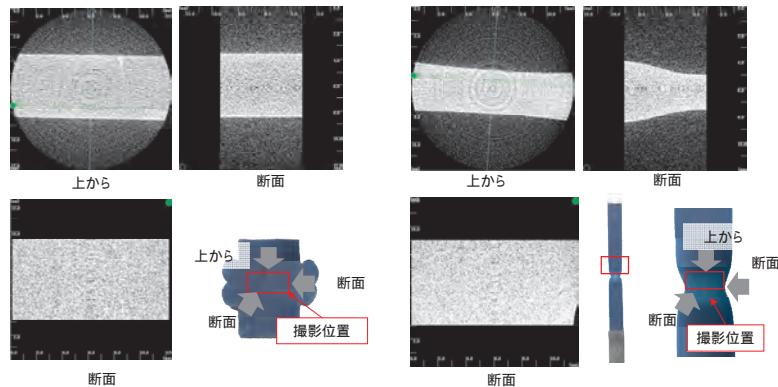


図 35 融着部近傍の観察結果の一例

図 36 ネッキング発生部近傍の観察結果の一例

(3) タイプ4 複合容器蓄圧器の開発

(3) - 1 試作品 250 mm複合容器蓄圧器の設計、試作開発

設計した複合容器の安全性を評価するために，試作品 250 mmタンクの試作品を製作し，破裂試験を実施した．複合容器の設計においては，前章で示した強度評価に加え，内容物である水素の気密性を確保することが重要となる．そこで口金部における水素の漏えいを防ぐ目的から，新たな埋没型口金モデル2を設計し，FWパターンの最適化を図り試作開発し，破裂試験を実施した．樹脂ライナーの水漏れ等もあったが何回かの試作開発を繰り返し，最低破裂圧力159MPaを具現した．この数字は，蓄圧器の設計耐圧106MPa，燃料電池自動車用充填圧力70MPaタンクの最低破裂圧力157.5MPaと比べ，遜色のない数字である．ただし，時間的、予算的にサイクル試験は，研究開発期間中に間に合わず実施ができなかったが，FCV用タンクでは，11,500回の圧力細工試験は

実証済み。

(3) - 2 口金部の改良

口金部については、設計解析のところで詳細に述べているので簡略に記す。当初大口径傘部口金を使用していたが、新たな設計解析を実施し、これを基に研究開発を実施して傘部、口金形状の最適化を図った。以下、下記に口金部の概図を示す。

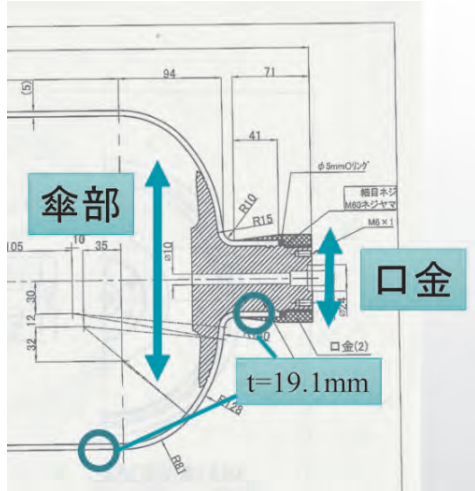


図 37 初期口金モデル1の図

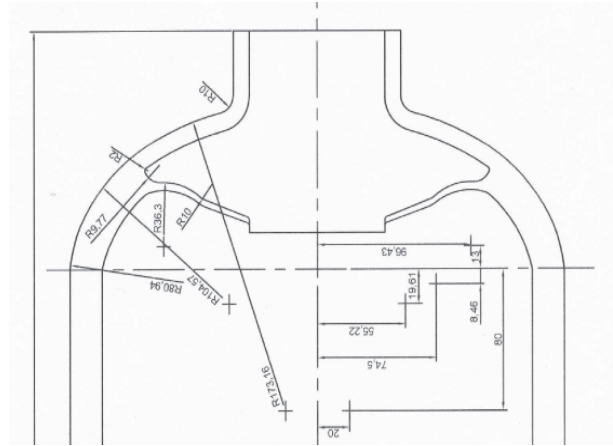


図 38 現在の口金モデル2の図

モデル1では、口金とライナーのすき間からガス漏れが発生する恐れがある。そこで機密性を計るために口金をライナーで覆う形式（モデル2）とした。

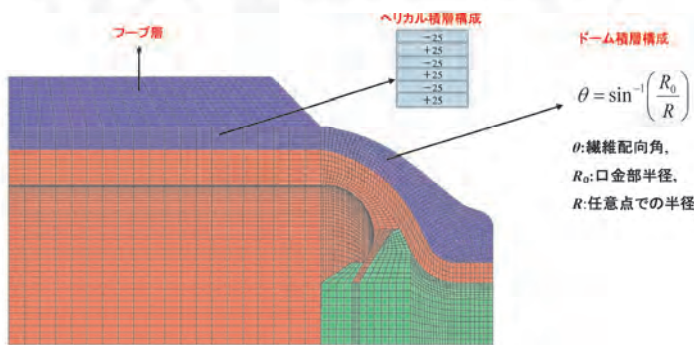
(3) - 3 新パターンの開発とFW加工条件の開発

FWパターンの開発を実施、炭素繊維、エポキシ樹脂等との組み合わせを考慮し、最適パターンを新たに開発した。

図 39 パターン図の一部

図 40 破裂試験データ

以前の研究から胴体部の巻き角度をヘリカル±25°とフープ巻きの混合とする



FW加工技術の研究開発

最低破裂圧力 159MPa を具現。

この吸う言いは、蓄圧器の設計耐圧 106MPa、FCV 用 70MPa 燃料タンクの最低破裂圧力 157.5MPa を上回っている
サイクル試験は、時間的に間に合わずこの研究期間内では実施できなかった。

パイプφ0.6m	
FWNo.	1
FW作成日	2015.12.1~2
使用繊維	三菱MR60H24P 24K
使用樹脂	DIC EXA8441A
硬化剤	DIC E-570-H
ライナーNo.	2
ライナー直径mm	20.99
ライナー全長mm	1150
ライナー直径mm	250
胴体長さmm	700
パイプ長さmm	510
厚みmm	15
繊維使用量kg	46.10
樹脂使用量kg	22.25
FRP貯蔵量kg	89.35
VPE	57.1
FCV	32.6
繊維強さGN	1500
硬化条件	80°C6時間 80°C12時間
破裂試験日	2015.12.5
試験圧力MPa	159MPa(水漏れ)
積層順	パターン 角度° 厚みmm
1	フープ 89 0.5
2	ヘリカル 25 14.4
3	フープ 89 8.0
4	縦ヘリカル 75 2.0
5	ヘリカル 25 3.0
6	フープ 89 8.0
7	縦ヘリカル 75 2.0
8	ヘリカル 25 3.0
9	フープ 89 8.0
10	縦ヘリカル 75 2.0
11	ヘリカル 25 3.2
12	フープ 89 1.0
	計 55.1

タンクの

3.2 成果の意義

(1) 設計解析

設計解析は、大阪大学の支援を受け、安全率 2.25 倍で仮定したタイプ 4 複合容器蓄圧器の圧力サイクル試験 100 万回に耐えうる複合容器蓄圧器の信頼性安全性がシミュレーションではあるが可能と立証されたことは大きな成果であった。また、試作開発品も 159MPa の破裂圧力を具現し、設計解析及び製造技術が実証された。

(2) 長尺大型樹脂ライナー成形技術

鏡部と樹脂パイプによる溶着型樹脂ライナー成形技術が確立され、今後水素ステーション用、輸送用とに供する長尺大型樹脂ライナーの製造、供給にめどが立った。

(3) タイプ 4 複合容器蓄圧器の製造技術確立 ○

設計解析に基づく複合容器蓄圧器の製造技術は、圧力サイクル試験が積み残されたが、最低破裂圧力 159MPa が具現するなど道半ばであるがほぼ確立された。今後破裂圧力 200MPa 以上、圧力サイクル試験 10 万回を目標に更なる研究開発を続行予定。

(4) KHK の容器認可取得の要件協議及び市場調査

KHK との協議は、法的整備がまだ得有るために、最終の破裂圧力、サイクル回数がまだ定まっていない事と、規制等が改訂目まぐるしく研究期間内では定まらなかった。

市場調査については、丸八(株)、(株)巴商会在共同して実施し、海外市場踏まえ今後市場への参入についての道筋ができた。

3.3 開発項目別残課題

(1) 設計解析

圧力サイクル試験が未実施であったので、これをクリアする事。ただしその圧力サイクル回数の定義が定まらず、圧力条件等と兼ね合わせた協議が必要。長寿命蓄圧器の要望が高く、当面サイクル回数 10 万回を目標に研究開発中。

(2) 樹脂ライナー成形技術

樹脂ライナー成形技術は、ほぼ確立できたが、要求の強い軽量化、低コスト化、長寿命のための開発が重要となってきた。よって長寿命を最優先に研究開発中。また、高圧下での水素リーク試験がまだ未完であるので、H31 年度までに実施予定。

(3) タイプ 4 複合容器蓄圧器の開発

圧力サイクル試験の回数、そのサイクル条件等が未整備であるので、まずは 10 万回を目標に取り組む。そのため KHK 及び最終ユーザー候補等と協議して、H31 年度 KHK の認可取得を目指す。更なる軽量化、低コスト化に加え、長寿命が強要望され散るので、その対応を検討する。

(4) KHK の特認取得及び市場調査

引き続き実施予定。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

丸八(株)は、タイプ 4 複合容器蓄圧器の KHK 特認を、H31 年度中に取得予定。そのための研究開発実証票を実施する。

(1) H31 年度中に、充填圧力 86MPa、破裂圧力 195MPa、100L ~ 300L 級複合容器蓄圧器の KHK 特

認を取得予定。特徴：サイクル回数 10 万回（サイクル条件協議中）の長寿命、軽量、低価格複合容器蓄圧器を開発する。

（ 2 ） 45MPa、20MPa 級 複合容器蓄圧器を開発、KHK の認可取得予定。

（ 3 ） H32 年（2020 年オリンピック）目標に、小型低価格水素ステーション、水素フォーク用水素ステーション、45MPa 高圧水素輸送用カードル等を開発予定。

（ 4 ） 販売パートナー

（株）巴商会、住友商事（株）、（株）加地テック、富山県水素エネルギー推進協議会、福井県等

5 . 研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 25 年 7 月	関西 FRP フォーラム	高圧容器 急がれる水素インフラ整備	菅原将高
2	平成 26 年 5 月	ほくりく先端複合材料研究会	JEC 受賞とタイプ 4 複合容器蓄圧器の開発について	菅原将高
3	平成 26 年 9 月	富山工業高等専門学校	CFRP 複合容器とそして急がれる水素インフラ整備	菅原正隆
4	平成 26 年 9 月	ほくりく先端複合材料研究会	丸八の挑戦はどこまでか、これからどこまで	菅原将高
5	平成 26 年 10 月	素形材センタ	クイック成形可能な熱可塑複合材とタイプ 4 複合容器蓄圧器の研究開発	菅原将高
6	平成 26 年 12 月	JEC magazine #93	Innovative large composite tank for hydrogen gas fuelling stations	菅原将高
7	平成 27 年 7 月	強化プラスチック	ファイラメントワインディング成型法について・・・超高圧水素貯蔵複合容器	菅原将高
8	平成 27 年 8 月	NEDO フォーラム中部	タイプ 4 106MPa 複合容器蓄圧器の研究開発と nedo 採択までの道筋	菅原将高

- 特許等 -

なし

知的財産権の確保に向けた取り組み

戦略に沿った具体的取り組み

特許戦略としては、特許 = 技術・ノウハウの公開という事になるため、非公開で通してきたが、海外市場開拓等での関係から、H29年度から戦略を変更、口金構造、樹脂ライナー成形技術等での特許申請を準備中。

特許戦略としては、タイプ4 複合容器蓄圧器用長尺大型樹脂ライナー製造技術が可能性が有るとのお話を戴き、これまで講演・学会誌で発表をしてきた経緯があり、標準化で囲い込みをとのお話を戴き、経済産業省、日本規格協会 (JSA) と協議を開始するところである。

経済産業省の指導で、知財(特許、ノウハウ)は秘し、製品の性能基準、評価・試験方法等を標準化し他と差別化する方法を取り組む予定。

丸八鋼は、出願番号2002-018730、出願日2002年01月28日に高圧容器(多層構造樹脂ライナー複合容器)が公開されている。

平成29年度9月25日現在

15 / 19

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

成果の普及 (表彰 受賞 講演発表等) (H28年月まで)



2014年3月 パリ 世界最大の先端複合材展:JECで、AWAROD賞を受賞



丸八鋼 大阪大学 表彰状



2015年3月 パリJEC展 (経産省・NEDO・JETRO JAPAN ブースに 出展)
2015年7月 SAMPE 表彰式 表彰権 会長 東大 影山教授



発表先	年月日	掲載月・号	タイトル
JEC magazine #93	2014/12	# 93	Innovative large composite tank for hydrogen gas fuelling stations
強化プラスチック	2015/07	7月号	ファイラメントワインディング成型法について・・・超高圧水素貯蔵複合容器
授賞	年月日	授賞 内容	
JEC(パリ)	2014/03		世界最大の先端複合材料展にて、AWAROD賞を受賞(High pressure tank 部門)
福井県	2014/04		福井県繊維功労賞
SAMPE	2015/07		製品技術賞(タイプ4水素タンク) 先端材料技術協会(SAMPE JAPAN)
近畿経済産業局	2015/12		関西ものづくり新撰2015
講演	年月日		
関西FRPフォーラム	2013/07/13		高圧容器 そして急がれる水素インフラ整備
ほくりく先端複合材研究会	2014/05/30		JEC受賞とタイプ4水素高圧容器蓄圧器の開発について
富山工業高等専門学校	2014/09/02		CFRP複合材開発とそして急がれる水素社会インフラ整備について
ほくりく先端複合材研究会	2014/09/25		丸八の挑戦はどこまでか、これからどこまで
素形材センター (TEC BIZ EXPO 名古屋国際本委員会)	2014/10/23		クイック成型可能な熱可塑複合材とタイプ4複合容器蓄圧器の研究開発
NEDOフォーラム中部	2015.08/05		タイプ4 106MPa複合容器蓄圧器の研究開発とnedo採択までの道筋
展示会			
JEC展	2013・2014・2015年3月		2014年丸八鋼、2015/3丸八、経産省/NEDO/JETRO・ジャパンブース、2015丸八

(III-1)「水素利用技術研究開発事業 / 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発 / 水素ステーション高度安全・安心技術開発」

委託先：(一社)水素供給利用技術協会

成果サマリ (実施期間：平成26年度～平成29年度)

- ・商用水素ステーションの事故・トラブル事例、対策を収集したセーフティーデータベースを構築し、検索・活用できる仕組みを完成。重要事例の深掘りと周知・展開も実施。
- ・平成27年度に完成した「水素ステーション教育設備・訓練内容指針(案)」を基に「水素ステーション運営訓練カリキュラム」を完成し、水素技術センターにて試験運用予定。
- ・次世代水素ステーションに必要な技術開発項目を検討・抽出し、開発テーマ候補として報告済み。(平成27年度に完了)
- ・一般向けのポータルサイトである「水素エネルギーナビ」を開設し、動画を盛り込み、またFC EXPO等でのHySUTブース出展や国内外でプレゼンを行い、社会受容性の向上を促進。

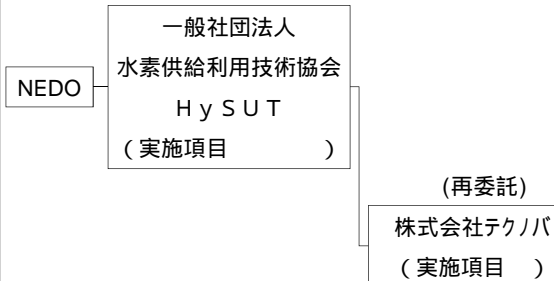
背景/研究内容・目的

- ・2015年の普及開始初期に向けて、一般ユーザーに安定したサービスの提供を可能とするための運用技術の開発を実施する。
- ・2025年の本格普及期に向けて、欧米等の海外の動向も参考に、地方自治体や地域住民がより一層安心して受け入れられる安全・安心な次世代水素ステーションに必要な技術開発を行う。

研究目標

実施項目	目標
セーフティーデータベース	データベースの完成と運用
人材教育・育成手法の開発	教育マニュアル、指針(案)、訓練カリキュラムの完成
次世代水素S T技術開発	必要な技術開発項目の抽出
社会受容性の向上	ポータルサイト開設や展示会出展

実施体制及び分担等



これまでの実施内容 / 研究成果

- ・商用水素ステーションの事故・トラブル事例、対策を収集した水素ステーションセーフティーデータベースを構築し、運営者が検索・活用できる仕組みを完成した。データ集計による分析・解析を行い、また重要事例の深掘りを実施し、水素ステーション運営会社への周知・展開を行った。
- ・平成27年度に完成した「水素ステーション教育設備・訓練内容指針(案)」を基に「水素ステーション運営訓練カリキュラム」を完成し、山梨県に完成予定の水素技術センターにて試験運用を行う予定である。
- ・次世代水素ステーションに必要な技術開発項目を検討し、フォアキャスト方式で28件、バックキャスト方式で19件を抽出して、開発テーマ候補として報告を完了した。(平成27年度に完了)
- ・日本で初となる、水素エネルギーに関する一般向けポータルサイトである「水素エネルギーナビ」を開設し、理解促進のために動画も制作した(テクノバへの再委託事業)。またFC EXPO等でのHySUTブース出展や国内外でプレゼンを行い、社会受容性の向上を図った。

今後の課題

水素ステーションの本格普及期に向けて、トラブルの削減、水素ステーション運営者の教育・育成および一般市民に対する社会受容性の向上は、引き続き重要な課題であると思われる。

実用化の見通し

商用水素ステーションの設置が進み、本格普及期に向けて更に拡大していく中で、水素ステーションのトラブル削減や増加する水素ステーション運営者の教育・育成に有効な事業となると期待される。また次世代水素ステーションに必要な技術開発については、抽出項目の開発の実現により、更なる安全・安心な次世代水素ステーションが期待できる。一方、社会受容性の向上活動は、本格普及期に向けて継続して行う必要がある。

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価	
セーフティーデータベース	セーフティーデータベースの完成と運用		
人材教育・育成手法の開発	教育設備・訓練指針(案)と訓練カリキュラム完成、試験運用		
次世代水素S T技術開発	必要な技術開発項目の抽出・報告		
社会受容性の向上	ポータルサイト開設、展示会出展、国内外プレゼン実施		
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	11	0

課題番号： - 1

水素利用技術研究開発事業 / 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発 /

水素ステーション高度安全・安心技術開発

一般社団法人水素供給利用技術協会(HySUT)

1. 研究開発概要

本研究開発は、水素ステーションにおける安全・安心を目指し、水素ステーションのトラブル事例データベースの構築および水素ステーショントレーニングセンター構想案(教育マニュアルの作成を含む)の検討を進めるとともに、一層安心して受け入れられる安全・安心な次世代水素ステーションに必要な技術開発を検討するものである。水素供給利用技術協会(HySUT)は、以下に示すテーマの取り組みを実施する。

(1) 水素ステーション高度安全運用技術の開発

2015年の普及開始期に向けた水素ステーションの運用にあっては、社会受容性確保の観点からも、事業者は一層の安全への配慮が必要である。このため、トラブルの未然防止や発生時の迅速な対応を効率的に実施するための方法の確立を図る。具体的には、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確立する。また、これまでの水素ステーションの運用上得られた知見や、今後建設される商用ステーションにおける情報をデータベース化するとともに、これを日々の運用やメンテナンスに活用するツールや、この情報も活用した運用のための人材教育・育成手法のツール等を開発する。更に業界自主基準の制定に向けたガイドライン案を策定する。

- a. トラブル事例データベース化の検討(HySUT、出光興産、大阪ガス、(一財)エンジニアリング協会、岩谷産業、JX 日鉱日石エネルギー、太陽日酸、東京ガス、東邦ガス)
- b. 人材教育・育成手法の開発(HySUT、出光興産、大阪ガス、(一財)エンジニアリング協会、日産自動車、本田技術研究所)
- c. トータル運用技術の開発(HySUT)

(2) 次世代水素ステーション高度安全・安心技術開発

2025年の本格的な普及拡大に向け、現在取り組んでいる規制の見直しや、海外の状況も踏まえて、低コスト且つ高度に安全を確保した次世代水素ステーションのコンセプト策定と、これを実現するために必要な技術開発について、安全性に係る知識体系の確立も行いながら、現行規制の見直しに必要な研究開発も含めて総合的に実施する。

なお実施にあたっては、フェージビリティスタディを通じて技術開発課題の抽出と目標設定を行ったうえで、技術開発を実施する。

- d. 次世代水素ステーション高度安全安心技術開発(HySUT)

これらの研究実施体制は図1のとおりである。

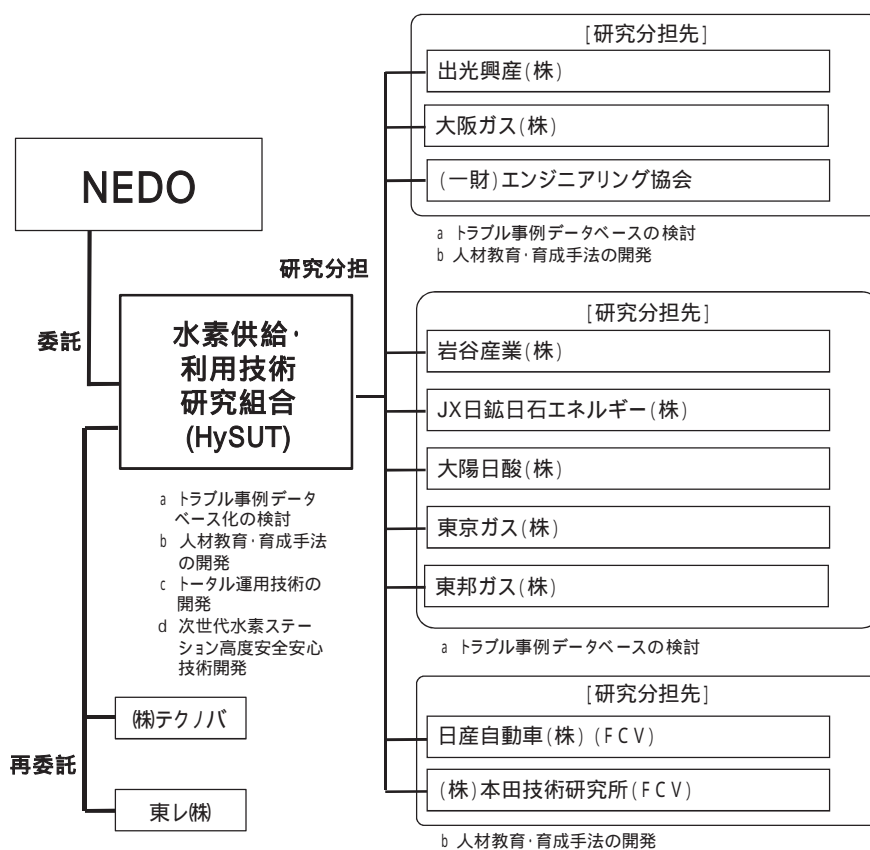


図1 研究実施体制

委託期間:平成26年6月11日から平成28年3月31日まで

本研究開発の委託先は HySUT であり、再委託先としてテクノバが水素ステーション高度安全運用技術の開発、次世代水素ステーション高度安全・安心技術開発(平成26～27年度)を、さらに東レ(平成27年度)が、電気化学式水素ポンプの調査研究を、それぞれ実施する。

平成 28 年度以降の研究実施体制を図 2 に示す。本研究開発の委託先である HySUT は、事故・トラブル事例データの収集とデータベース化の検討、人材教育・育成方法の開発検討、社会受容性向上活動を実施する。再委託先であるテクノバは、水素ステーションや水素安全全般に係るワンストップポータルの開発(平成 28～29 年度)を実施する。

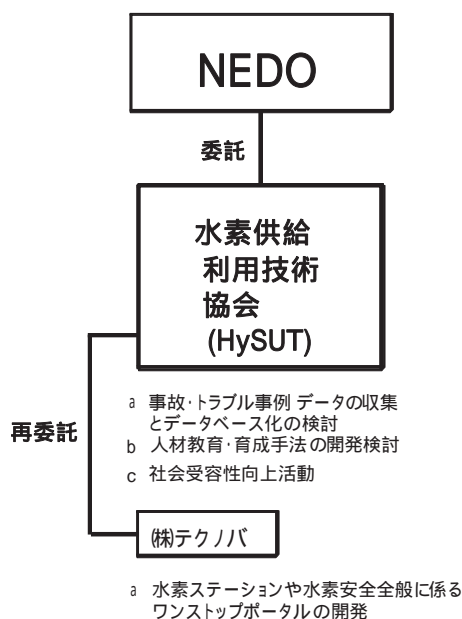


図 2 研究実施体制

委託期間:平成 28 年 4 月 1 日から平成 30 年 2 月 28 日まで

2. 研究開発目標

燃料電池自動車(以下、FCV)と水素供給インフラは、エネルギー源のベストミックスや CO₂ 排出量削減の有効策として、「エネルギー基本計画(2014 年閣議決定)」および「Cool Earth - エネルギー革新技術計画(2008 年経済産業省策定)」における重要技術と位置付けられている。

これまで我が国では「水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC1)」(平成 14～17 年度)、「燃料電池システム等実証研究(JHFC2)」(平成 18～22 年度)、及び「地域水素供給インフラ技術・社会実証」(平成 23～25 年度)において FCV・水素ステーションの実用性、省エネルギー性等を実証すると共に、実用化課題の抽出を進めてきた。

加えて 2015 年からの FCV の量産開始と水素供給インフラの先行整備を目指すこととした 2011 年 1 月の自動車メーカー及び水素供給事業者 13 社の共同声明を受け、2013 年度から「水素供給設備整備事業費補助金」に係る補助事業がスタートし 2015 年度までの 3 年間で 100 ヶ所の水素ステーションの整備を開始している。

このような背景の下、2015 年の普及開始初期に向けて、一般ユーザーに安定したサービスの提供を可能とするための運用技術の開発を実施する。また 2025 年の本格普及期に向けて、欧米等の海外の動向も参考に、地方自治体や地域住民がより一層安心して受け入れられる安全・安心な次世代水素ステーションに必要な技術開発を行う。

(1) 水素ステーション高度安全運用技術の開発

事故・トラブル事例データの収集とデータベース化の検討(担当:HySUT、出光興産、大阪ガス、エンジニアリング協会、岩谷産業、JXTG エネルギー、太陽日酸、東京ガス、東邦ガス)

FCVと水素ステーションの実証事業として、これまで「水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC1)」(平成14～17年度)、「燃料電池システム等実証研究(JHFC2)」(平成18～22年度)及びHySUTの実施した「地域水素供給インフラ技術・社会実証(JHFC3)」(平成23～25年度)が進められ、実証の水素ステーションで発生した事故・トラブル事例の収集・分析・水平展開を行ってきた。具体的にはJHFC1で16件、JHFC2で141件、JHFC3で68件、合計225件の事故・トラブル事例をHySUTで蓄積しており、その実績をもとに、今後HySUTで運用する水素ステーションに関し、平成26～27年度も事故・トラブル事例の収集を行い、原因解析・究明と再発防止策の検討および水平展開を実施すると共に必要な技術開発の抽出を行う。必要な項目は次世代水素ステーションの技術開発に反映させる。

また国内・海外の事故・トラブル事例に関するデータベースの現状調査を行い、その調査結果も参考として、データベースの基本設計の検討を行う。その際は、HySUTが行ったJHFC3で確立した水素ステーション集中管理システムの活用も考慮し、基本仕様を検討する。データベースに取り込む項目として想定されるものは、発生日時、設備区分、水素漏洩有無、発生状況、被害・損傷状況、発生要因、措置、対策等である。また運用方法や維持・管理体制についても検討を行い、対象ステーションをHySUT運用ステーションから先行整備ステーション等にも拡大して検討する。これにより水素ステーション運用会社間での情報の共有化を図る。

(平成27年度中間目標)

検討結果を反映したデータベースの製作試行を行い、対象ステーションをHySUT運用ステーションから運営を開始した先行整備ステーション等にも拡大して検討する。

(平成29年度最終目標)

セーフティーデータベースの改良を完了し、商用水素ステーションからのデータも取り込んで展開を実施する。

人材教育・育成手法の開発検討(担当:HySUT、出光興産、大阪ガス、エンジニアリング協会、日産自動車、本田技術研究所)

水素ステーションの安全・安心の実現には、ステーションの効率的な運用・管理・非常時対応等に必要となる専門的かつ高度な知識・技術を備えた人材を育成することが求められる。そこで、人材育成に必要なコンテンツを抽出し、着実にレベルアップさせるための手法について検討を行う。人材育成の一手法として、実際の水素ステーションをトレーニングセンター化し、OJTにより人材育成することも検討する。トレーニングセンターでは、一連の水素ステーション業務である車両の誘導、水素充填、水素ステーション設備の運転、点検、メンテナンスなどを安全に遂行できるように必要な知識、経験の習得の場として有効に機能するために必要な、トレーニングメニュー及び具体的な内容についての検討を行う。また、トレーニングを行うために、トレーニングセンターにどのような設備が必要かについて検討を行う。検討に際しては、ガソリンスタンド、CNGスタンドなど水素ステーションに類似の設備だけでなく、その他の設備などの教育訓練に関する情報を収集し、トレーニングセンターの運用構想案の検討に資する調査を行う。

また上記の講義、実地訓練の内容についての検討を行うために、HySUTが運用している成田水素ステーション(オフサイト)、大阪水素ステーション(オンサイト)やFCVなどを活用し、模擬的な講義、訓練等を実施する。更に業界自主基準の制定に向けたガイドライン案を策定する。

- 1 トレーニングセンター開設運用構想案の検討

(平成27年度中間目標)

水素ステーションにおける保安管理項目の抽出と防災訓練の検討を実施する。具体的には、以下の項目について検討する。

a. 水素ステーションにおける保安管理項目の抽出

水素ステーションの業務の流れに則して保安上、留意すべき点、管理すべき点を抽出し、従業員の教育マニュアルの作成に反映させる。

- ・水素カードルの受入[オフサイトステーションの場合]
- ・水素製造装置の運転[オンサイトステーションの場合]
- ・水素の昇圧・蓄圧作業(水素圧縮機の稼働、蓄圧器への水素受入)
- ・水素のFCVへの充填作業(FCVの誘導、FCVの停止、充填口へのノズル接続、充填開始動作、充填中の動作、充填終了の動作、ノズル取り外し、FCVの誘導)
- ・日常点検、設備維持の業務

b. 防災訓練の検討

水素漏洩、水素火災、設備不調等の高圧ガス事故時の対応について行動のシナリオを作成し、効果のある防災訓練のしくみを構築する。

- ・不具合・事故のパターン別行動シナリオの策定
- ・通報先、通報ルート of 検討、通報訓練の実施
- ・訓練実施時の課題抽出

上記検討結果を反映し、従業員教育マニュアルを作成する。具体的には、以下の項目について検討する。

c. 従業員教育マニュアルの作成

上記の保安管理項目の抽出、防災訓練の検討の結果や高圧ガスや一般基礎知識等を織り込んだ従業員用の教育マニュアルを作成し、商用化時の標準マニュアル作成に寄与する検討を行う。

- ・高圧ガスの基礎知識、高圧ガス保安法、危害予防規程
- ・水素ステーションの通常運用方法
- ・機器不具合時の対応
- ・事故事例
- ・日常点検、月例点検
- ・防災訓練、通報訓練
- ・保安検査

(平成 29 年度最終目標)

水素ステーション教育設備・訓練内容指針(案)を基にした設備の完成と訓練を実施する。

- 2 水素ステーション運用の検討

(平成 27 年度中間目標)

HySUT が運用している成田水素ステーション(オフサイト)、大阪水素ステーション(オンサイト)を活用し、実際に模擬教育を行う。また、水素ステーション及びFCVを活用し、保安に関する課題の抽出を行う。また、この両ステーションは、設備の運用開始から比較的長期間運用しており、メンテナンスに関する課題抽出も合わせて実施する。

a. 模擬教育

策定した教育マニュアルを使用し、模擬受講者に対して実際に教育を行うことで、課題を抽出し、マニュアルのブラッシュアップを図る。また、水素ステーションの設備を使用し、模擬受講者に対して実際に訓練を行うことで、課題を抽出し、実地訓練の内容のブラッシュアップ、必要な教育用設備の検討に反映する。模擬実地訓練内容としては、次の項目を想定している。

- ・水素カードルの受入、搬出作業(成田水素ステーションのみ)
- ・水素製造装置の運転(大阪水素ステーションのみ)
- ・水素圧縮機の操作(=蓄圧器への水素充填)
- ・ディスペンサーの操作(=FCVへのホース着脱、水素充填)

成田水素ステーション、大阪水素ステーションとも35MPa充填のステーションであるため、70MPa充填対応を想定し、模擬の充填ホース及びカプラーの脱着を行う。

プレクーラー装置はないため、代表的なプレクーリングプロセスについての運用方法については講義にて説明する。

- ・ガス漏れ警報器など保安設備の取扱い

b. 水素ステーション及びFCVの活用

実際にFCVを使用し、水素ステーションでの充填回数を増やし、教育、訓練や保安に関する課題の抽出に反映させる。充填することが教育や課題の抽出に寄与するため、できるだけこまめに充填し、充填回数を増やす。

- ・成田水素ステーション:FCVの使用と水素充填
- ・大阪水素ステーション:FCVの使用と水素充填

- 3 トレーニングセンターでの訓練実施の検討

(a)訓練科目の検討

平成27年度までの検討に基づき、商用水素ステーション従業員育成に必要な「水素ステーション教育設備・訓練内容指針案」を作成した。この指針案のコンテンツを効率よく習熟するために必要な訓練科目の検討を行う。訓練科目の検討では、科目ごとの目的、概要、訓練期間等について検討を行う。

また、関係者との協議の上、水素ステーションの保安監督者育成を目的とした訓練コースについても検討を行う。具体的には、トレーニングセンターでの訓練コースを修了すれば、保安監督者選任に必要な「圧縮水素の製造経験6月以上」の実務経験と同等とみなせるカリキュラムの構築を検討する。

(b)訓練教材の検討

訓練科目ごとに必要な教材を検討する。検討にあたっては、平成27年度末に完成予定のHySUT「水素ステーション教育設備・訓練内容指針案」を参考にする。

(c)評価手法の検討

訓練はこなすだけに終始せず受講生のレベルアップが求められる。そのためには受講者を適切に評価し習熟度を把握することが有効である。また、評価結果を分析し受講者へのフィードバックやカリキュラム/教材を改善していくことが求められる。そこで、評価項目や評価基準等の検討を行い、評価手法を開発する。

(d)水素ステーション運営訓練コースの開発

訓練科目の整備、訓練教材の整備、評価手法の開発等を通じて水素ステーション運営訓練コースを開発する。水素技術センターを活用し水素ステーション運営訓練コースの試験運用を行う。

(平成 28 年度取組み内容)

- ・訓練科目の検討を行い、科目ごとの目的、概要、訓練期間等を決定した。
- ・保安監督者育成を目的とする教育プログラムの有用性について検討を行った。有用性が確認できたので保安監督者育成を目的とした訓練コース開発に向けて検討を行う事とした。
- ・各教育科目に必要な訓練教材について検討を行った。訓練教材の検討には訓練用のハードウェアを含む。

(平成 29 年度の目標)

- ・必要な訓練教材を制作する。
- ・訓練受講生の評価手法について検討を行う。評価項目や評価基準等の検討を行い、評価手法を開発する。
- ・水素ステーション運営訓練カリキュラムを完成する。
- ・水素技術センターにて水素ステーション運営訓練コースの試験的運用を実施する。

トータル運用技術の開発(担当:HySUT)

HySUT の実施した「地域水素供給インフラ技術・社会実証(JHFC3)」(平成 23～25 年度)においては、社会実証の一環として一般を対象にした水素およびFCV、水素ステーションに関する社会受容性調査を3年間実施した。上記、に加え社会受容性の調査結果を合わせ、安全・安心という観点から広くステーションの運用技術に展開する。

(平成 27 年度中間目標)

上記、およびJHFC3の活動を活用し、ファーストレスポnderへの対応等(消防等への初期対応のリスト化ほか)を含めた、水素ステーションの効率的なトータル運用手法を開発する。また社会受容性向上に向けた諸活動や調査を必要に応じて実施するとともに、上記データベースや管理手法等の蓄積を活かし、海外のデータベースとの共有化や海外機関との連携を図る。

(平成 29 年度最終目標)

上記を活用した水素ステーションの効率的なトータル運用手法を確立し、また海外関連機関とデータベースや人材育成等に関する国際連携を強化する。

(2)次世代水素ステーション高度安全・安心技術開発(担当:HySUT)

2025 年の本格的な普及拡大に向け、現在取り組んでいる規制の見直しや、海外の状況も踏まえて、低コスト且つ高度に安全を確保した次世代水素ステーションのコンセプト策定と、これを実現するために必要な技術開発について、安全性に係る知識体系の確立も行いながら、現行規制の見直しに必要な研究開発も含めて総合的に実施する。

なお実施にあたっては、フィージビリティスタディを通じて技術開発課題の抽出と目標設定を行ったうえで、技術開発を実施する。また、安心を確保するためには社会受容性の向上が必要と考えられることから、社会受容性向上に資する活動も行う。

コンセプトの検討

次世代水素ステーション検討分科会でテーマ、スコープ等検討内容の全般検討を行う。高度に安全・安心な次世代水素ステーションのコンセプト策定を目的に、民間の安全経験者(水素に限定しない)、シンクタンクメンバー、及び FCCJ-TF メンバー等から成る次世代水素ステーション検討分科会を組織し検討する。ソフト面、ハード面の双方の検討を行い、アウトプットの明確化と技術開発目標とスケジュールを決定する。

(平成 27 年度最終目標)

次世代水素ステーション検討分科会で、コンセプト検討と具体的な実施案の検討を行う。

関連開発スコープの検討

次世代水素ステーション検討分科会で検討する。

(平成 27 年度最終目標)

次世代水素ステーション検討分科会でテーマ、スコープ等検討内容の全般検討を行う。有望テーマについては、実施体制・スケジュールを作成し、検討結果から課題抽出を行う。

社会受容性の向上活動

次世代水素ステーション検討分科会で検討する。

(平成 27 年度中間目標)

・社会受容性を向上させた類似例についての調査と教訓の洗い出し

水素エネルギーの必要性はかなり理解されてきたが、安全性に関する更なる受容性向上、特に身近に水素ステーションが建設されることへの受容性向上が必要である。市民にとって身近である類似例、例えばごみ焼却炉等について社会受容性向上の取り組みを調査し、教訓を洗い出す。

類似例について受容性向上のための取組みに関する調査・教訓の洗い出しを行い、それを参考にして、水素ステーション運営上の、安全・安心に関する社会受容性向上に向けた活動や他の調査を必要に応じて実施する。

(平成 29 年度最終目標)

水素ステーションの安全・安心に関する社会受容性向上活動を継続し、商用水素ステーションの新規需要創出を図る。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) 水素ステーション高度安全運用技術の開発

事故・トラブル事例データの収集とデータベース化の検討(担当:HySUT、出光興産、大阪ガス、エンジニアリング協会、岩谷産業、JXTG エネルギー、大陽日酸、東京ガス、東邦ガス)

a. 事故・トラブル事例データの収集とデータベース化の検討

平成26年度は、HySUTが運用する水素ステーション(実証ステーション)の中から、16件の事故・トラブル事例データを収集した。セーフティーデータベース検討会を4回開催し、重要と思われる14件を水素ステーション運営会社に水平展開した。事例データのうち、ランク区分D1及びD2の事例でより有効な再発防止対策が必要と考えられる10件について、事象展開図を作成し原因解析を行った。

b. セーフティーデータベースの設計と製作

高圧ガス保安協会(KHK)が製作、公開している「事故事例データベース」を参考に、セーフティーデータベース検討会でデータベース設計の検討を行い、データベースの開示項目を決定した。Microsoft Excelを用いたデータベース基本仕様を決定後、平成26年12月にデータベース製作を外部委託し、平成27年3月に「水素ステーションセーフティーデータベース検索システム」(以下、セーフティーデータベース)が完成した。その後、本検討会メンバーを中心に試運用を実施した。開示項目を図3に示す。

No.	設備		水素漏洩	ランク区分	発生状況	人的被害	設備損傷	高圧ガス設備
	区分	発生箇所						
1	水素製造・貯蔵設備	カードル置場	無し	E	カードル置場の温度センサーが温度異常検知して、散水ポンプが作動した。	無し	無し	-
2	補助機器	制御盤タッチパネルモニター	無し	D3	制御盤タッチパネルモニター表示不能となった。	無し	無し	-
発生要因分類								
	分類	内容	要因	措置	対策	水平展開	発生日	
4	技術的要因	設計不良	季節による太陽高度の変化を全てカバー出来ていなかった為、温度センサーが夏場の朝日の影響を受けた。	温度センサー上にカバーを設置し、朝日の影響を受けないようにした。	センサー設置環境の改善	実施済み	2011/6/23	
	運転・維持管理要因	経年劣化	経年劣化により基盤故障が発生した。設置後5年経過。	基盤を交換した。	交換時期の設定	実施済み	2011/6/30	
	技術的要因	条件設定の不備	軸受温度が設定値を超えた。	夏場の気温上昇を考慮して警報設定値を80℃から90℃に変更した。(軸受け設計温度=120℃)	適切な設定値の設定、類似事例の十分な評価の実施	実施済み	2011/7/3	

図3 セーフティーデータベースの開示項目

平成27年度は、セーフティーデータベース検討会を3回開催し、セーフティーデータベースを用いて、水素ステーション事故・トラブル事例データ収集を継続実施した。過去の実証水素ステーション事例(JHFC1～JHFC2)157件を本システムに取り込む等により、実証水素ステーションのデータ数は252件に増加した。平成27年度より商用水素ステーションの事故・トラブル事例データの入手が可能となり、商用水素ステーション事例161件が追加

された。

平成 27 年度は実証水素ステーション事例の収集から、商用水素ステーション事例の収集へと移行し、商用水素ステーショントラブル事例の分類(ランク区分別、設備区分別、要因別)を開始した。

c. セーフティーデータシステムの運用と改良

平成 28 年度は、セーフティーデータシステム検討会を 3 回開催した。セーフティーデータベース検索システムの見直し改良を実施し、検索画面改良による操作性の向上、表現や用語の見直し統一による検索性能の向上を図った。平成 28 年度は、商用水素ステーションの事故・トラブル事例を 327 件収集し、セーフティーデータベースを用いて、ランク区分別、設備区分別、要因別毎に、分析・解析を実施した。事故・トラブル事例の詳細分析を行うため、事故・トラブル報告の内容や方法の見直しも行った。発生要因分類を大分類、中分類、小分類に細分化する等、セーフティーデータベースの見直し改良を実施し、検索画面改良による操作性の向上、検索性能の向上を図った。

また平成 28 年度は、新たにセーフティーデータシステム分科会を設置し、セーフティーデータベースを用いて、商用水素ステーション事故・トラブル事例の深掘り検討を実施した(計 5 回開催)。その結果、重要事例に関する周知文書を作成し、水素ステーション運営会社に発信し、事故・トラブルの再発防止に役立てた。

さらに平成 28 年度は、事故・トラブル事例の分析・評価方法を検討し、結果をユーザーにアウトプットするスキームを構築した。データ収集 / 分析・評価 / アウトプットの各プロセスが一体化し循環するセーフティーデータシステム(図 4 参照)の運用・改良を行い、本検討を完了した。

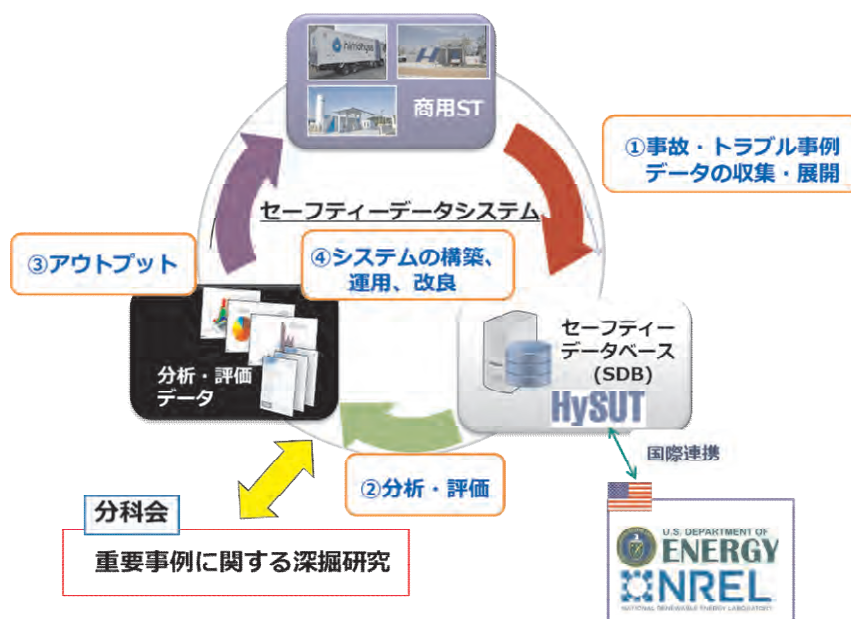


図 4 セーフティーデータシステム

平成 29 年度は、引き続き商用水素ステーションの事故・トラブル事例を収集し、重要事例の深掘り検討を実施する一方、安全の専門家による商用水素ステーションの事故・トラブル事例分析評価を実施する予定である。

人材教育・育成手法の開発検討(担当:HySUT、出光興産、大阪ガス、エンジニアリング協会、日産自動車、本田技術研究所)

平成 26 年度はトレーニングセンター検討会を 3 回開催した。成田水素ステーション、大阪水素ステーションや FCV を活用し、人材教育・育成手法の開発検討を行った。

a. 保安管理マニュアルの作成

水素ステーションの業務に則して保安上、留意すべき点、管理すべき点を抽出し、従業員の教育マニュアル(案)を作成した。

b. FCV に関する講習テキストの作成

水素ステーション運営者が、水素ステーションにおける FCV 関連作業を正しく理解した上で実行できるように FCV 及び水素ステーションでの充填に関する基本的な事項を整理した「燃料電池自動車 (FCV) 講習テキスト(案)」を作成した。

c. 模擬訓練検討

成田水素ステーション、大阪水素ステーションや FCV を活用し、模擬訓練の検討を実施した。実地検討は全 5 回行い、成田水素ステーションにて 3 回、大阪水素ステーションにて 2 回実施した。実際の模擬訓練検討時の写真を図 5 から図 8 に示す。課題を抽出し、実地訓練内容のブラッシュアップと必要な内容をマニュアルに反映させた。



図 5 基礎座学



図 6 FCV の構造説明



図 7 水素充填訓練



図 8 防災訓練

水素ステーション教育設備・訓練内容指針案(仮称)の目次例を図9に示した。

1. 目的・定義	
2. 水素の物性、特性	
3. 高圧ガスの基礎知識	圧縮水素スタンド関連基準
4. 危害予防規程	危害予防規程の解説
5. 保安管理マニュアル	機器、作業項目毎のマニュアル
6. 燃料電池自動車	水素ステーション運営者に必要なFCV基礎情報
7. 水素ステーション模擬訓練	水素の昇圧、蓄圧、FCVの誘導・充填、日常点検等
8. 防災訓練	燃焼、消火、ガス漏洩対処作業等
9. 事故・トラブル事例	国内外の水素ステーション事故トラブル (セーフティーデータベースほか)

図9 水素ステーション教育設備・訓練内容指針案(仮称)

平成27年度はトレーニングセンター検討会を2回開催した。成田水素ステーション、大阪水素ステーションやFCV(ホンダ車)を活用し、「水素ステーション運営訓練(仮称)」の検討を実施した。実地検討は全2回行い、第1回は成田水素ステーションにて平成27年5月27日に、第2回は大阪水素ステーションにて平成27年7月8日に実施した。成田水素ステーションでは商用水素ステーションの実運営者も合わせて総数22名が参加して、基礎座学、水素ステーションの運営業務および防災訓練等を行った。大阪水素ステーションでは、商用水素ステーションの実運営者も合わせて総数17名が参加して、基礎座学、水素ステーションの運営業務および防災訓練等を行った。

実際の模擬訓練検討時の写真を図10と図11に示す。課題を抽出し、実地訓練内容のブラッシュアップと必要な内容をマニュアルに反映させた。



図10 成田水素ステーション



図11 大阪水素ステーション

d. 「水素ステーション教育設備・訓練内容指針案」の作成・完成

cの検討内容を反映させて、「水素ステーション教育設備・訓練内容指針案」(図12)を作成・完成し、検討会メンバーに配布を行い、周知を図った。

関係者限定	目次
NEDO水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発/ 水素ステーション高度安全・安心技術開発	
水素ステーション教育設備・訓練内容指針案	
2016年2月	
水素供給・利用技術研究組合	
	第1章 目的・意義
	第2章 水素について
	第3章 水素インフラ関連法規等
	第4章 燃料電池自動車 (FCV)
	第5章 保安管理マニュアル
	第6章 緊急時対応の指標
	第7章 緊急時対応訓練
	第8章 水素ステーションの事故・トラブル事例

図12 水素ステーション教育設備・訓練内容指針案

e.水素ステーション従業員(保安監督者を含む)育成に関する事業者の取組み等調査

- ・国内商用水素ステーション事業者8社(既存事業者4社、新規事業者4社)に対してヒアリング調査を行い、ステーション従業員の人材育成に関する訓練内容や課題、トレーニングセンターへのニーズ等を抽出した。
- ・本調査によりトレーニングセンターでの保安監督者育成に対するニーズを確認し、保安監督者育成コースの有用性を把握した。
- ・新規事業者は現状他社ステーションでのOJT等により人材育成を行っており、自社のみでの人材育成は困難であるという意見が複数あった。また、保安監督者育成だけでなく新人や水素製造経験の浅い人を対象とする教育訓練実施に対してもニーズがあることを把握した。

f.訓練カリキュラムの検討

- ・高圧ガス保安法や上記ヒアリングの結果等を基に人材育成に必要となる訓練コース及びその受講推奨者、育成目標、職務・仕事の具体例を検討した。(図13)

訓練の種別 (コース名称)	受講推奨者	育成目標	職務・仕事の具体例
初級者コース	<ul style="list-style-type: none"> (1) 新人として初めて水素ステーションで働く人 (2) 水素ステーションでの実務経験の浅い人 (3) 上位者の指示指導をもとに基本業務を行う人 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 担当業務の一通りの知識・技能を有す。 (2) 上位者の指示指導をもとに、定型業務を安全に正しく処理できる。 (3) 現場の危険性の認識と回避行動ができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日常 / 月例点検作業 ・ 水素ガスの受入作業 ・ 充填設備に関する運用とその管理 ・ FCV充填作業(車両の誘導、充填操作、POS処理・監視盤監視等) ・ 緊急時対応の補佐
保安監督者育成コース	<ul style="list-style-type: none"> (1) 保安監督者を目指す人 (2) おおよそ実務経験6ヶ月未満で業務の知識・技能を高めたい人 	<ul style="list-style-type: none"> (1) 水素ステーション全般の知識・技能を有し 定常・非定常業務を的確に遂行できる。 (2) 水素ステーションの業務全般を監督でき、下位者の指導ができる。 (3) 故障・災害想定ができ、関係先を含めた対応措置を指揮、実行できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水素ステーション業務全般(定常業務、非定常業務) ・ 緊急時対応 ・ 下位者の指導育成 ・ 重要な事故事例、機器トラブル事例の情報収集 / 分析および社内展開

図 13 訓練コースの種別と内容

・水素ステーション従業員(保安監督者を含む)育成訓練に必要な科目、内容、訓練時間等を検討し、「水素ステーション運営訓練カリキュラム(案)」(図 14)を作成した。

科目	内容		訓練時間 (h)		
	座学	現場実習	初級者 コース	保安監督者 育成コース	
基礎知識	一般高圧ガス	高圧ガスの基礎知識、高圧ガスの分類、高圧ガスの定義、高圧ガスについての規則	0.5	0.0	
	水素	水素とは、水素エネルギー技術の全体像、水素製造技術、水素輸送・貯蔵技術、水素利用技術	0.5	2.0	
	水素インフラ関連法規	高圧ガス保安法（法体系、目的、高圧ガスの定義、用語の定義、事業所の分類、製造、貯蔵、消費、移動、販売、例示基準 等）、その他（消防法、条例 等）	0.5	3.0	
	水素ステーション概要	構成と特徴、安全対策、課題		0.5	0.5
		普及状況と今後の整備計画、水素ステーション設備使用材料		0.0	0.5
	水素ステーション関連設備	水素トレーラー、水素カードル、液化水素関連設備、水素製造装置、圧縮機、蓄圧器、プレクーラー、ディスプレイセンサー ノズル、水素充填ホース、弁類、圧力計、温度計、流量計、制御、電気、通信機器	圧縮機、蓄圧器、ディスプレイセンサー、保安設備等水素ステーション構成機器の機能と役割を理解する。	2.0	3.0
	水素ステーション自主管理ガイドライン	充填ガイドライン、品質ガイドライン、計量ガイドライン、JPEC技術基準	充填性能試験車両を使用し充填性能確認検査の実習を行う。	1.5	5.0
FCVの知識	燃料電池とは、燃料電池の仕組み、燃料電池の用途、FCVとは、FCVの安全対策、水素充填方式	座学の内容をFCVを使って実地で学ぶ。（試乗を含む）	1.0	2.0	
運営・保安管理	安全設計・管理	安全設計、安全・信頼性管理、安全管理組織、保安規程、教育	0.0	2.0	
	保安・防災設備	ガス漏洩検知センサ、火災検知センサ、消火・散水機能、緊急停止スイッチ、車両衝突防止・緊急離脱カブラ、安全装置（安全弁 等） 地震計、インターロック、アース、緊急遮断装置・逆流防止装置、電気設備の防爆構造、保安電力、流動拡散防止装置および障壁	保安・防災設備の実操作を体験するために、緊急停止スイッチを実際に押す、散水機能等の保安・防災設備を稼働させてみる等により非常時の操作訓練を行う。	2.0	5.0
	水素ステーション運転管理実習	組織・基準類、保安管理項目と点検要領、FCVの誘導要領、充填操作、POS処理・監視盤監視要領、日常点検、月例点検	車両の誘導、車両容器情報の確認、充填ノズルの着脱、充填開始操作、POS処理・監視盤監視、充填ライン脱圧、日常/月例点検作業、カードル受入・切離作業、蓄圧操作 他	3.0	10.0
	水素ステーション設備管理実習	基準類、設備の検査、設備の診断	設備交換・メンテ対応、（検査前を想定した）設備停止操作、（検査終了後を想定した）運転開始操作、検査時の対応、自主管理ガイドライン検査対応 他	1.5	5.0
	基本作業実習		トルクレンチの使い方、圧力計着脱、継手の着脱、携帯ガス検知器の使い方、定置式ガス検知器の動作試験、ガasketの取替え 他	1.0	0.0
	水素ステーション事故/トラブル事例	事例紹介、事例の解析と対策、セーフティデータベース 他		2.0	4.0
非常時対応訓練	トラブル時対応訓練	トラブル時対応訓練（座学編）、机上型シミュレーション訓練（グループ討議を通じたシナリオ作成/確認ワークの実施）	トラブル時対応要素が多いFCV充填中の軽微な水素漏えい事故を想定し、水素ステーション従業員による初期動作、情報伝達、漏えい箇所の特定及び現場での応急措置など実践的な訓練を実施する。	2.0	5.0
	防災訓練	組織・基準類、災害の備え、災害の対策、緊急時対応の知識、消防計画の理解、FCVの安全性、海外の訓練事例紹介、防災訓練（座学編）、机上型シミュレーション訓練（グループ討議を通じたシナリオ作成/確認ワークの実施）	水素の大量漏えいや火災発生等重大事故を想定し、水素ステーション従業員による人の安全確保、初期対応、関係機関等への通報・出動要請、消防等公設機関への協力など実践的な訓練を実施する。	3.0	7.0
評価方法の検討					

図 14 水素ステーション運営訓練カリキュラム(案)

g. 訓練教材の検討

- ・水素ステーション運営訓練カリキュラム(案)の科目ごとに必要な教材について検討を行った。教材制作にあたっては、水素ステーション運営事業者の意見を反映させながら、基礎知識から運営・保安管理、防災訓練まで、水素ステーション従事者にとって必要な全般的な知識の習得ができる内容とした。さらに水素技術センターの運転マニュアルに基づいて「運転管理実習」、「設備管理実習」の教材制作を行う予定であり、現場実習と併せて効果的に知識・経験の修得が図られる内容とする。訓練教材の一部を図 15 に示す。



図 15 訓練教材(一部)

・「トラブル時対応訓練」の現場実習用に、ディスペンサー内部より水素が微量漏えいした場合を想定したシナリオを新たに制作した。

h. 評価方法の検討

- ・受講者の修得度合を評価する目的で評価テストを実施する。具体的にはカリキュラムの学習項目のなかで、確実に習得が必要なポイントを中心にテストを行い、その結果に基づいて本人が受講期間中に確実な習得を行う時間を設ける。(初級者コース1回、保安監督者育成コース2回実施)

i. 水素技術センターでの訓練実習

- ・水素技術センターにおいて、平成29年12月～平成30年2月の間に計3回、水素ステーション運営訓練カリキュラムに基づいた座学及び実習を実施する予定である。この訓練実習の結果に基づいて、教材や実習内容の見直しを行っていくことで、完成度の高い教育訓練を目指す。

(2) 次世代水素ステーションに必要な技術開発の検討

2025年の本格的な普及拡大に向け、現在取り組んでいる規制の見直しや、海外の状況も踏まえて、低コスト且つ高度に安全を確保した次世代水素ステーションのコンセプト策定と、これを実現するために必要な技術開発について、安全性に係る知識体系の確立も行いながら、現行規制の見直しに必要な研究開発も含めて総合的に実施した。なお実施にあたっては、フィージビリティスタディを通じて技術開発課題の抽出と目標設定を行ったうえで、技術開発を実施した。また、安心を確保するためには社会受容性の向上が必要と考えられることから、社会受容性向上に資する活動も行った。

「次世代水素ステーションに必要な技術開発テーマ」の評価

平成26年度は、次世代水素ステーション技術開発検討会を2回、平成27年度は、次世代水素ステーション技術開発検討会を5回開催した。平成26年度に抽出した次世代水素ステーションに必要な技術開発テーマのうち26件について評価を行った。評価結果をまとめた資料、「次世代水素ステーションに必要な技術開発テーマの評価結果」を作成した。

a. 分科会での検討による技術開発テーマの提案

次世代水素ステーション検討分科会において、次世代ステーションに必要な技術開発の検討を実施した。検討にあたっては、まずブレインストーミングにより、次世代水素ステーションの姿を想定し、将来どういった技術開発が必要となるか自由に意見を出し合い、その後、開発内容を時系列と技術開発の目的を軸にして分類した(バックカスティング)。検討結果を図16に示す。

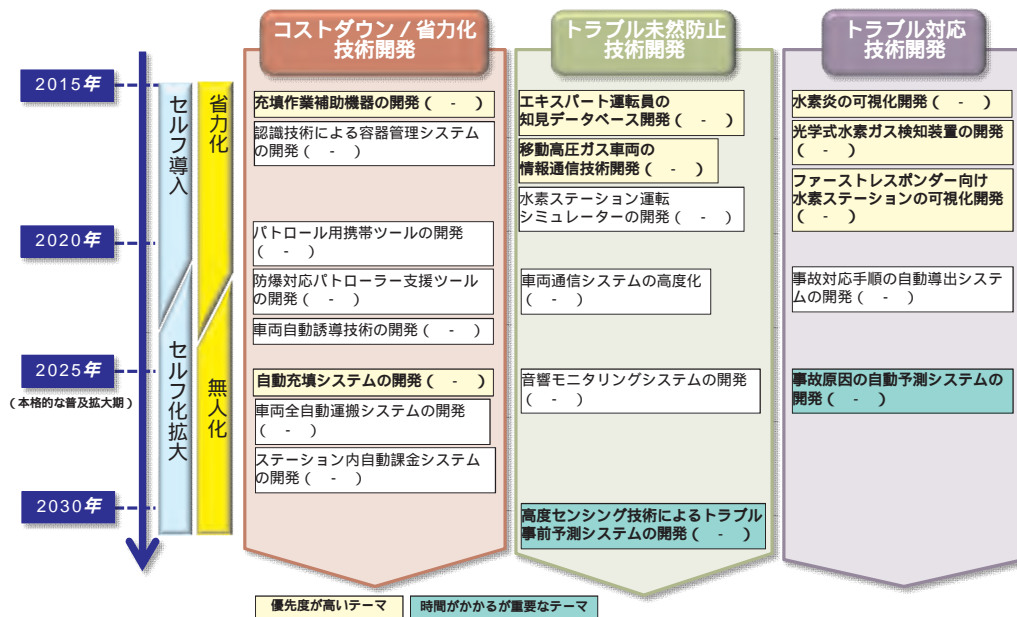


図 16 次世代水素ステーション技術開発検討の整理

b. 過去の事故・不具合等事例データ分析による技術開発テーマの提案

JHFC1, 2, 3(2002 年度～2013 年度)に発生した事故・不具合等事例データ 237 事例及び 2014 年 4 月～7 月に発生した 5 事例を合わせた計 242 事例のデータ分析を行い、次世代水素ステーションに必要な技術開発テーマ(28 テーマ)を提案した(フォアキャスティング)。結果を表 1 に示す。

表 1 過去の事故等事例データ分析による技術開発テーマ提案

NO.	タイトル	技術開発テーマ
1	異常・損傷・事故の発生防止技術	(1-) 共通設計・要求性能仕様書整備
		(1-) 振動場所での「ねじ」部緩み防止技術
		(1-) サイクリックな曲げ/ねじれ負荷や圧力負荷に強い充填ホースの開発
		(1-) 異物混入防止・除去技術、錆・粉塵等固着防止技術の開発
		(1-) F C V 車両整備工場向け清浄装置の開発
		(1-) ノズル着脱操作に対する高信頼度充填ノズルの開発
		(1-) 継ぎ手のない溶接構造方式の開発
2	異常・損傷・事故発生時の早期検知技術	(2-) 水素微量漏洩検知自動化技術の開発
		(2-) 異常の遠隔監視装置の開発
3	異常・損傷・事故発生時の被害拡大防止技術	(2-) 地震、台風等による自然災害に配管、機器の健全性を確認できる技術開発
4	保安設備の信頼性向上	(3-) 蓄圧器接続配管破損時の過流防止弁作動確認技術の開発
		(4-) 高信頼度の火災検知センサーの開発
		(4-) 冗長化による信頼性向上対策
5	運転技術向上	(4-) 人工知能を活用した信頼性向上策
		(5-) マニュアルの標準化
		(5-) ステーション共有教育訓練専門家・教育プログラム
		(5-) 業界共有教育施設の整備
		(5-) タブレットを活用した教育訓練、運転支援システム開発
6	保全技術向上	(5-) 不具合事例のDB化及びメーカーとの情報共有化
		(6-) 機器の点検・交換基準の整備
		(6-) 機器点検手順の標準化とチェックリストの整備
		(6-) 水素ステーション保全専門家育成
		(6-) 保全専門家による教育、訓練、日常的保全指導(巡回、メール等による遠隔指導)システム開発
		(6-) タブレットを活用した教育、日常点検等システム開発
		(6-) 保全に関する不具合情報のDB化とメーカーとの情報共有システム開発
7	セルフステーションにおけるナビゲーションシステムの開発	(6-) 点検用空中監視ロボットによる点検システム開発
		(7-) 音声形式での充填ナビゲーションシステムの開発
		(7-) ガス充填後の異常や不具合の有無を確認するシステムの開発

水素ステーション以外の類似施設を対象とした事例調査

水素ステーションの設置数は今後増加すると見込まれるため、水素ステーションの建設にかかり地元住民

の社会受容性を向上させていくことが急務となっており、地元住民との合意形成の問題に直面してきた水素ステーション類似施設の経験や教訓をステーションの建設に取り入れていく必要があると考えられる。

そこで、今後の水素ステーションの社会受容性向上活動に活かすことを目的として、住民にとって身近な類似施設について社会受容性向上の取り組み調査を行った。調査施設は、ごみ焼却炉、救急病院、幼稚園・保育園・小学校等施設、コンビニエンスストア、ガソリンスタンド、リサイクル施設、火葬場を対象とした。

本事例調査により、今後の水素ステーションの社会受容性向上活動へのいくつかの示唆を導出した。

トータル運用技術の開発(担当:HySUT)

水素および FCV、水素ステーションに関する社会受容性調査を実施し、上記に加え社会受容性の調査結果を合わせ、安全・安心という観点から広くステーションの運用技術に展開した。

(3) 社会受容性向上活動

展示会への出展

a. FC EXPO2015

FC EXPO2015(平成27年2月25日~2月27日、東京ビッグサイト)に出展し、FCV及び水素ステーションの理解促進と社会受容性の向上を図った。HySUTブース内来場者数の総合計は48,414人(ブース内来場者数合計:45,579人、プレゼン参加者数合計:2,835人)であった。出展の様子を図17から図20に示す。なおHySUTブース内にて社会受容性調査も行った。



図17 FC EXPO2015 HySUTブースの様子



図18 FC EXPO2015 FCV試乗会の様子



図19 FC EXPO2015 HySUTブースの様子

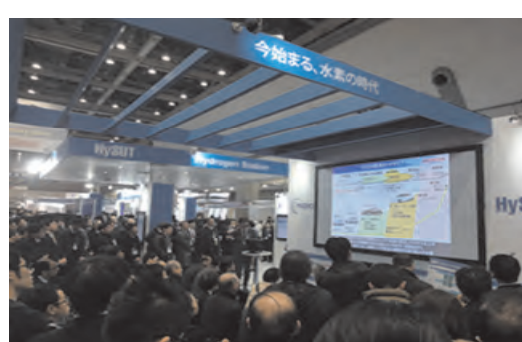


図20 FC EXPO2015 HySUTブースの様子

b. 東京モーターショー2015

東京モーターショー2015(平成27年10月29日~11月8日、東京ビッグサイト)に出展し、FCV及び水素ステーションの理解促進と社会受容性の向上を図った。出展内容は以下の通りであった。

・模擬水素ステーション、ディスペンサー、安全設備
・水素ステーションの整備状況、水素と

は、FCV とは、安全の考え方 ・FCV 実車展示(MIRAI) ・プレゼンテーション(水素ステーション整備、ブース説明) ・子供向け実験イベント

HySUT ブース内来場者数の総合計は 34,482 人(プレゼンテーション参加者数 4,304 名、実験イベント参加者数 200 名を含む)であった。出展の様子を図 21 と図 22 に示す。なお HySUT ブース内にて社会受容性調査も行った。



図 21 東京モーターショーHySUT ブースの様子

図 22 東京モーターショー子供向け実験イベントの様子

c. FC EXPO2016

FC EXPO2016(平成 28 年 3 月 2 日～3 月 4 日、東京ビッグサイト)に出展し、FCV 及び水素ステーションの理解促進と社会受容性の向上を図った。出展内容は以下の通りであった。

・模擬水素ステーション、ディスペンサー、安全設備 ・水素ステーションの整備状況、水素とは、FCV とは、安全の考え方 ・FCV 展示(CLARITY FUEL CELL、MIRAI カットモデル) ・プレゼンテーション(FCV の普及、水素ステーション整備等) ・FCV 試乗会(MIRAI 5 台)

HySUT ブース内来場者数の総合計は 30,338 人(プレゼンテーション(計 36 回)への参加者数 2,677 人を含む)であった。FCV 試乗会参加者数は 419 人であった。出展の様子を図 23 と図 24 に示す。なお HySUT ブース内にて社会受容性調査も行った。



図 23 FC EXPO2016 HySUT ブースの様子

図 24 FC EXPO2016 FCV 試乗会の様子

d. FC EXPO2017

FC EXPO2017(平成 29 年 3 月 1 日～3 月 3 日、東京ビッグサイト)に出展し、FCV 及び水素ステーションの理解促進と社会受容性の向上を図った。出展内容は以下の通りであった。

・水素ディスペンサー ・水素ステーションジオラマ ・FCV 外部給電器 ・FC スタック、高圧水素タンクの模型 ・商用水素ステーション分布図、水素ステーションバックヤード壁面展示など ・FCV 展示(CLARITY FUEL CELL、MIRAI カットモデル) ・FCV 試乗会(TOYOTA MIRAI、HONDA CLARITY)

HySUT ブース内来場者数の総合計は28,002人であった。FCV 試乗会参加者数は430人であった。出展の様子を図25と図26に示す。なおHySUT ブース内にて社会受容性調査も行った。



図 25 FC EXPO2017 HySUT ブースの様子



図 26 FC EXPO2017 FCV 試乗会の様子

(4)再委託事業(株式会社テクノバ)

水素ステーションや水素安全全般に係るワンストップポータルの開発と講演会の実施を行った。平成 29 年 9 月までに水素情報ポータル検討会(座長:横国大 太田健一郎 特務教授)を計 14 回開催し、検討を行った。

ワンストップポータルによる水素の認知性向上活動を実施し、平成 26 年度に「水素エネルギーナビ」(<http://hydrogen-navi.jp/>)を一般公開した(図 27、図 28 参照)。さらに平成 28 年度は動画作成を外注し、「Suiso なセカイへ」を完成させた。動画はFC EXPO2017 会場にて紹介すると共に水素エネルギーナビに実装した。



図 27 水素エネルギーナビの画面



図 28 水素エネルギーナビの画面

3.2 成果の意義

商用水素ステーションの事故・トラブル事例、対策を収集した水素ステーションセーフティーデータベースを構築し、運営者が検索・活用できる仕組みを完成した。データ集計による分析・解析を行い、また重要事例の深掘りを実施し、トラブル削減に向けて水素ステーション運営会社への周知・展開を行った。

平成 27 年度に完成した「水素ステーション教育設備・訓練内容指針(案)」を基に「水素ステーション運営訓練力

リキュラム」を完成し、山梨県に完成予定の水素技術センターにて試験運用を行う予定である。

このカリキュラムの活用は、今後の水素ステーションの拡大や新規参入促進の一助となる。

次世代水素ステーションに必要な技術開発項目を検討し、フォアキャスト方式で28件、バックキャスト方式で19件を抽出して、開発テーマ候補として報告を完了した。(平成27年度に完了)この開発テーマ候補の中から次期開発事業が選定される予定。

日本で初となる、水素エネルギーに関する一般向けポータルサイトである「水素エネルギーナビ」を開設し、理解促進のために動画も製作した(テクノバ殿への再委託事業)。またFC EXPO等でのHYSUTブース出展や国内外でプレゼンを行い、社会受容性の向上を図った。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

水素ステーション運営者がセーフティーデータベースを検索・活用することや、データ集計による分析・解析、重要事例の深掘りにより、水素ステーションでのトラブル削減が期待でき、安全・安心な水素ステーションの運用に貢献できる。

「水素ステーション教育設備・訓練内容指針(案)」と「水素ステーション運営訓練カリキュラム」の水素技術センターでの試験運用が、安全・安心な水素ステーションの拡大や新規参入促進の一助となる。

次世代水素ステーション技術開発については、この技術開発候補の中から、次世代水素ステーションに必要な技術開発が完成し、更なる安全・安心な水素ステーションの運営に寄与することが期待できる。

社会受容性の向上は、水素ステーションの本格普及期に向けて、継続的に必要なテーマである。

5 . 研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 26 年 11 月 10 日 ~ 13 日	2014 Fuel Cell Seminar	Activities of FCV/Infrastructure Demonstration Program in Japan: Poster Presentations-Fuel Cell Seminar & Energy Exposition (2014,November 9-16,Los Angels)	曾根洋一
2	平成 27 年 2 月 26 日	FC EXPO 2015 専門技術セミナー	HySUTにおける FCV・インフラ実証事業の取り組み	池田哲史
3	平成 27 年 3 月 25 日	NEDO 海外水素ステーション調査報告会	海外水素ステーション動向	山梨文徳
4	平成 27 年 5 月 29 日	第 22 回 FCDIC 燃料電池シンポジウム	海外水素ステーション動向	山梨文徳
5	平成 27 年 5 月 25 日	九州大学主催 水素ステーション動向講演会	『そこまで来ている水素の未来』 ~ 国内の水素供給インフラ普及に向けた取り組み ~	山梨文徳
6	平成 27 年 10 月 20 日	6th International Conference on Hydrogen Safety, ICHS 2015	Research and development about safety improvement of hydrogen refueling stations	廣瀬正典
7	平成 28 年 6 月 13 日 ~ 6 月 16 日	WHEC 2016	FCV and Hydrogen Infrastructure Development Activities in Japan	阿部正
8	平成 28 年 11 月 10 日	日本エネルギー学会、天然ガス部会合同シンポジウム	燃料電池自動車普及に向けた水素インフラに関する取り組みと今後の展望	曾根洋一
9	平成 29 年 3 月 8 日	FCCJ 燃料電池・水素に係る規制見直し・標準化等 動向説明会	水素ステーション高度安全・安心技術開発	曾根洋一
10	平成 29 年 3 月 8 日	FCCJ 燃料電池・水素に係る規制見直し・標準化等 動向説明会	水素エネルギー情報ポータルサイト	丸田昭輝
11	平成 29 年 7 月 6 日	FCCJ FCV 水素インフラ WG	水素ステーション高度安全・安心技術開発	阿部正
12	平成 29 年 9 月 11 日	6th International Conference on Hydrogen Safety, ICHS 2017	Research and Development for Safety Improvement of Hydrogen Refueling Stations in Japan	阿部正

(111-2)「水素利用技術研究開発事業 / 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発 / 高圧水素ガス用高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接継手に関する研究開発」

委託先：(株)エア・リキード・ラボラトリーズ

成果あり（実施期間：平成26年度～平成28年度）

- ・溶接ガス、溶接材料を開発し、それらを含めて溶接条件の最適化を行った。母材の引張強さの規格値以上の配管溶接継手の引張強さを達成した。
- ・溶接部の窒素濃度分布、結晶粒径、フェライトの定量評価から強度特性との関連付けを行い、溶接パラメータ最適化の指針となるデータを取得した。
- ・配管溶接継手の高圧水素ガス中のSSRT試験、圧力サイクル試験と水素チャージ材の疲労試験によりSSRT特性、疲労強度と疲労寿命に水素の影響が無いことを明らかにした。

背景/研究内容・目的

水素ステーション用高圧水素ガス配管に高窒素高強度ステンレス鋼の使用と溶接継手の導入が期待されている。窒素は材料中に固溶することで材料強度を向上させるが、溶接熱によって窒素放出が生じる懸念がある。溶接継手の導入には、高窒素濃度および高強度維持を達成する溶接技術の開発が必要である。

本研究開発は以下の三項目からなる。

A：高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接技術開発

B：溶接金属の金属組織評価

C：溶接部の水素脆化評価

項目Aでは、高窒素高強度ステンレス鋼XM19を用いて、実用化を念頭に置いた高窒素濃度および高強度維持を達成する溶接技術開発を行う。溶接継手の材料特性には、溶接ガス、溶接材料、溶接パラメータ等、様々な因子が関係している。項目B、Cにて溶接継手の特性評価を行い、溶接条件の最適化および溶接継手の健全性評価を行う。

研究目標

実施項目	目標
A	高窒素濃度・高強度維持を達成する溶接技術開発
B	溶接金属の組織評価および強化機構の解明
C	溶接継手の疲労特性および水素脆化特性評価

実施体制及び分担等

NEDO	(株)エア・リキード・ラボラトリーズ (実施項目A)	(再委託)
		九州大学 (実施項目B、C)

これまでの実施内容 / 研究成果

実施項目A

高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接技術開発については、シールドガス成分、フィラー（インサートリング）と関連させる形で溶接電流、溶接時間を変化させて、溶接継手の引張強度が母材の規格強度を越える溶接条件を確定した。とくに溶接金属部での脱窒を抑制するため、ヘリウムに窒素を添加したシールドガスを開発した点が本事業の重要なポイントである。インサートリングには配管素材と同一の材料を用い溶接施工性を改善する形状をデザインした。なお、引張強さが母材の規格強度を上回った溶接継手については、引張試験の破断は母材部から生じた。

実施項目B

溶接金属の金属組織評価については、溶接部に生成する相の種類や体積率に及ぼす窒素濃度等の影響を明確化するために、XM-19の平衡状態図を作製した。その状態図により、窒素量の減少とフェライトの生成の定量的な関係を予測した。さらに、溶接部のEPMA成分分析を行い、溶接継手における溶接部の強度低下と脱窒量との関係を明らかにした。また、溶接時間が長い方が溶接継手の引張強度が高くなった結果に対して、フェライト相の発達に有益であることを推定した。

実施項目C

配管溶接継手の水素脆化特性の評価として、配管溶接継手から切り出した試験片に対する高圧水素ガス中のSSRT試験、配管溶接継手の疲労試験、高圧水素ガス圧力サイクル試験を実施した。溶接継手の引張強さが母材の規格強度を越える溶接継手について、温度-10℃、室温、50℃で高圧水素ガス中（-10℃は70 MPa、他の温度は85 MPa）でSSRT試験を実施した結果、相対絞りはいずれの条件下でも0.8を大きく越えていた。その配管溶接継手の疲労特性に対しても、水素の影響が認められないことをS-N線図、破壊力学的評価、破面観察により確認した。

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価	
A	溶接材料とガスおよび溶接パラメータの最適化		
B	試作溶接継手の金属組織評価		
C	疲労特性および水素脆化特性評価		
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
3	0	6	0

実用化の見通し

本プロジェクトで開発した溶接継手の水素ステーションでの実使用に向け、承認手続きを開始した。さらに、本溶接継手を適用した予備経済分析を行った。

課題番号： III-2

水素利用技術研究開発事業 / 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発 /

高圧水素ガス用高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接継手に関する研究開発

株式会社エア・リキード・ラボラトリーズ

1. 研究開発概要

高圧水素ガス配管用に高窒素ステンレス鋼の使用と溶接継手の導入が期待されている。窒素は材料強度と耐水素脆化特性を向上させる重要な元素であるが、溶接熱によって窒素放出または窒素の存在状態変化が生じることが懸念される。本研究開発は、大きく分けて以下の3つの研究開発項目からなり、これらの研究開発成果を活用することで高圧水素ガス配管への高窒素高強度ステンレス鋼溶接継手導入を目指す。

- ・高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接技術開発
- ・溶接金属の金属組織評価
- ・溶接部の水素脆化評価

以下にそれぞれの研究開発項目の概要を述べる。

1.1 高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接技術開発

本研究開発では、高窒素高強度ステンレス鋼 XM19 を用いて、溶接継手の窒素量低減抑制および高強度維持を達成するガスタングステンアーク溶接手法を開発する。開発した溶接継手の普及のため、溶接には自動溶接機を使用する。課題解決のため以下の3つの手法を用い、開発溶接継手に対して大気中材料強度評価を行う。

(1) 高窒素ステンレス鋼用溶接ガスの開発

一般に、アルゴンやヘリウムといった不活性ガスが溶接ガスとして使用されるが、窒素量低減抑制には窒素ガスの添加が有効であると考えられる。しかし、多量の窒素ガスが溶接ガスに含まれるとタングステン電極の寿命を著しく低下させることが知られているため適切な窒素ガス濃度を決定する必要がある。また、溶接継手の高窒素濃度維持と溶接作業性の両立のため、その他ガスの混合についても検討を行い最適な溶接ガスの開発を行う。

(2) 溶接材料を用いた溶接技術の確立

小径配管の自動溶接では、溶接材料を使用しないノンフィラー突合せ溶接が広く用いられているが、ノンフィラー溶接ではアンダーカットと呼ばれる溶接欠陥が生じる懸念がある。溶接継手の高強度維持にはアンダーカットの防止と余盛りの確保が効果的と考えられ、それらは溶接材料の使用によって得られる。しかし、溶接材料の使用方法によっては溶接作業の負担増加を招く可能性がある。本研究開発では、高強度維持と作業性を両立する溶接材料の開発を行うとともに、溶接材料に使用する鋼種についても検討を行う。

(3) 溶接パラメータの最適化

使用する溶接ガス、溶接材料によって溶け込み量は変化する。上記(1)、(2)で開発した溶接ガス、溶接材料使用時に完全溶け込みおよび均一なビードが得られる溶接パラメータを決定するとともに開発した溶接継手が所定の材料特性を得られる溶接パラメータ範囲の検討を行う。

1.2 溶接金属の金属組織評価

溶接によって溶接金属および熱影響部(Heat Affected Zone: HAZ 部)の金属組織は変化する。材料の機械的

性質、耐食性、水素脆化特性といった様々な材料特性は金属組織と密接に関係しており、高圧水素配管に溶接を適用するにあたって第一の基準になると思われる溶接継手の強度を評価するには、母材および溶接金属の組織ならびに強化機構の理解が重要となる。具体的な金属組織評価項目を以下に示す。

(1) 窒素濃度分布

溶接熱によって材料中の窒素は材料外に放出される。溶接ガスと溶接材料の開発による溶接部窒素濃度の変化量を測定し、窒素濃度が材料特性におよぼす影響について調査する。また、窒素濃度プロファイルを取得することで母材部～溶接金属の窒素濃度遷移を明らかにする。

(2) フェライト分布と組成分配

オーステナイト系ステンレス鋼の溶接金属にはフェライトと呼ばれる金属組織が形成される。多量のフェライトが形成されると耐食性や切欠き靱性の低下だけでなく耐水素脆化特性の低下が生じる。溶接金属部のフェライト量を測定し、材料特性および水素脆化特性に及ぼす影響の評価を行う。

(3) 析出物の種類と分布

本材料は、材料中に多量のクロムと窒素を含有するため、溶接後の冷却速度が遅いと粗大なクロム窒化物が析出する可能性がある。粗大なクロム窒化物が多量に形成されると基体組織の固溶窒素濃度を低下させるだけでなく、低温靱性や耐食性を低下させる可能性がある。溶接金属の組織観察を行い、析出物の種類および分布の調査を行う。

(4) 母材と溶接金属の金属組織観察

上記の項目に加えて、結晶粒径やオーステナイト安定度(マルテンサイト変態量)など、材料特性および水素脆化特性に関わる総合的な金属組織観察を行う。

1.3 溶接部の水素脆化評価

配管溶接部の水素脆化評価を実施するにあたって、材料の疲労特性評価が必須項目となる。配管内圧力変動に起因する疲労破壊は円周方向に負荷される応力によって配管が軸方向に割れるように生じるため、小径配管の内圧疲労評価に際しては特別な疲労試験が必要である。本研究開発では、高圧水素ガス中低速引張試験および配管圧力サイクル試験に加えて、配管圧力サイクルを模擬した疲労試験を実施し水素環境中材料強度評価を実施する。具体的な評価試験項目は以下である。

(1) 内圧模擬疲労試験(水素チャージ材)

従来の配管圧力サイクル試験では、実ガスを用いて配管に応力サイクルを負荷するため平滑材や疲労限度付近の疲労特性を取得することが困難であった。本研究開発では、機械的手法を用いた内圧模擬疲労試験法を開発し、疲労限度を含む広い応力範囲で溶接継手の疲労特性評価を行う。水素環境下での疲労特性評価には水素チャージ材を使用する。

(2) 高圧水素ガス中低速引張試験(Slow Strain Rate Test: SSRT)

材料の水素脆化特性を評価する最も基本的な試験法の一つに SSRT 試験がある。本研究開発においても高圧水素ガス中で SSRT 試験を実施し、大気中 SSRT 試験との絞り比を評価することで溶接継手の水素脆化特性を取得する。

(3) 高圧水素ガス配管圧力サイクル試験

内圧模擬疲労試験は、比較的、簡便に溶接継手の疲労特性を取得可能であるが、実際の使用条件で負荷される圧力サイクルを完全に再現することは困難であるので一部の溶接配管に対して配管圧力サイクル試験を実施し、内圧模擬疲労試験結果との整合性評価を行う。

2. 研究開発目標

2.1 高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接技術開発

(1) 平成 26 年度目標

高窒素ステンレス鋼用溶接ガスの開発

溶接部の高窒素濃度維持および作業性の両立が可能な溶接ガスの開発を行う。窒素ガスを含む複数のシールドガスを製造し溶接試験を行うことで、溶け込み量、溶接作業性、溶接継手強度、溶接部窒素濃度等によぼすシールドガスの影響を検証し、最適なシールドガス混合比の検討を行う。

溶接材料を用いた溶接技術の確立

アンダーカットを防止し、余盛りを確保することで溶接継手の高強度維持を達成するため溶接材料の開発を行う。種々の溶接材料を試作し、余盛り量と溶接継手強度の関係性を調査することで、高強度維持と作業性の両立が可能な溶接材料を開発する。原則、溶接材料の材料には XM19 を用いるが、必要に応じて他鋼種の使用も検討する。

大気中材料強度評価

母材および試作した溶接継手の材料試験を行い、溶接ガスおよび溶接材料が溶接継手強度におよぼす影響を調査する。

(2) 平成 27 年度目標

溶接継手の開発

平成 26 年度の成果をもとに、高窒素濃度維持および高強度維持が可能な溶接手法を開発し、その手法を用いた溶接継手を作製する。具体的な数値目標は、余盛り削除溶接継手強度が母材規格値以上、余盛り付き溶接継手強度が母材実力値以上である。さらに、開発した溶接継手に対して「溶接金属の金属組織評価」および「溶接部の水素脆化評価」を行い、良好な特性が得られない場合には溶接手法の更なる検討を行う。

(3) 平成 28 年度目標

開発溶接継手の事業化推進

開発した溶接技術の事業化に資するデータ取得や関係者との協議、コスト試算等を行う。

2.2 溶接金属の金属組織評価

(1) 平成 26 年度目標

母材と基礎溶接継手の金属組織観察

母材および開発前段階で試作した溶接継手(基礎溶接継手)の金属組織観察を行い、溶接が母材組織に与える影響を明らかにする。金属組織観察結果をもとに溶接手法の改善を随時行う。

(2)平成 27 年度目標

試作溶接継手および開発溶接継手の金属組織観察

平成 26 年度の金属組織観察から得られた知見をもとに、「高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接技術開発」で試作および開発した溶接継手の金属組織観察を行い、溶接金属の健全性評価を行う。

(3)平成 28 年度目標

開発溶接継手の金属組織と破壊の関連付け

開発溶接継手の金属組織を継続して行うとともに、材料試験後の溶接継手の金属組織観察から破壊形態と金属組織の関連性を明らかにし、破壊にともなう金属組織変化(マルテンサイト変態等)を調査する。

2.3 溶接部の水素脆化評価

(1)平成 26 年度目標

水素チャージ材試験計画検討

水素チャージ材の内圧模擬疲労試験に必要な試験条件の決定、試験設備の整備、基礎データの取得を行う。

高圧水素ガス中材料試験計画検討

高圧水素ガス中材料試験に必要な試験条件の決定、基礎データの取得を行う。

(2)平成 27 年度目標

内圧模擬疲労試験

基礎溶接配管の内圧模擬疲労試験を実施し、溶接部の疲労特性におよぼす水素チャージの影響を明らかにする。材および高圧水素ガス中の SSRT から得られた試験結果のデータ解析を行い、試験環境の違いが静的水素脆化特性に及ぼす影響を解明する。

高圧水素ガス中 SSRT 試験

高圧水素ガス中 SSRT 試験を実施し、高圧水素ガス中と大気中の絞り比(Relative Reduction of Area: RRA)を取得する。水素ステーション用高圧水素ガス配管に溶接継手を導入するためには、現在、使用が認可されている SUS316(Ni 当量材)と同等以上の耐水素脆化特性($RRA \geq 0.8$)を有する必要がある。開発溶接継手が、 $RRA \geq 0.8$ であることを確認する。

(3)平成 28 年度目標

高圧水素ガス圧力サイクル試験

高圧水素ガス圧力サイクル試験結果の解析を行い、内圧模擬疲労試験との整合性評価を行う。

開発溶接継手の水素脆化評価

全ての水素環境中材料試験から得られた強度データを統合し、開発溶接継手が母材と同等の耐水素脆化特性を有することを確認する。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) 高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接技術開発

溶接継手の強度特性および金属組織は、溶接ガス、溶接材料、溶接パラメータ、使用する溶接機器等、様々な因子が相互に影響した結果得られる。本研究開発では、溶接技術の事業化・普及を念頭に置いて、それぞれの因子の最適化を行い、水素ステーション用高圧水素ガス配管に適用可能な溶接技術、溶接継手の開発を行う。

供試体

供試体は、外径9.53 mm、内径5.13 mmのXM19配管である。XM19はASTM A312で規定されるオーステナイト系ステンレス鋼であり、その最小引張強さは690 MPaである。本供試体に対して、図3.1に示すように配管引張試験を行った結果、0.2%耐力 $\sigma_{0.2} = 583$ MPa、引張強さ $\sigma_B = 899$ MPaであった。このことから本供試体は規格強度を十分に満足していることがわかる。表3.1にXM19化学成分の規格値と実測値を示す。いずれの化学成分も規格値の範囲内であった。

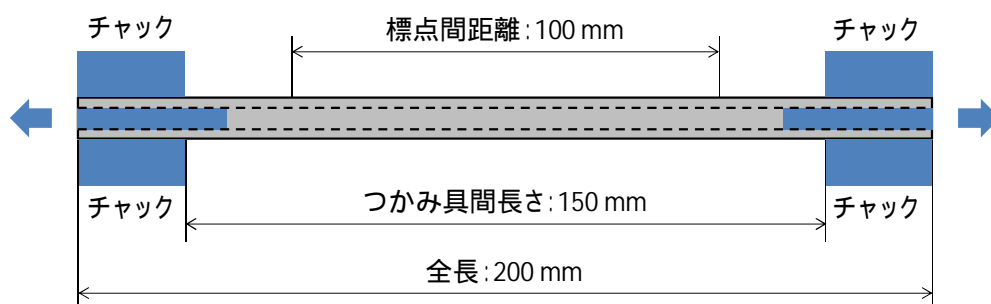


図3.1 配管引張試験

表3.1 XM19 化学成分

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Nb	N
規格値	≤ 0.06	≤ 1.00	4.0 - 6.0	≤ 0.040	≤ 0.030	11.5 - 13.5	20.5 - 23.5	1.5 - 3.0	0.10 - 0.30	0.10 - 0.30	0.20 - 0.40
実測値	0.033	0.42	4.20	0.013	0.001	12.06	22.18	2.03	0.16	0.19	0.311

溶接技術開発

a. 配管引張強度におよぼす余盛り(アンダーカット回避)の影響

本事業のインサートリングは、一般的な溶接では溶加材ないしフィラーと呼ばれるものである。形状がリング状で、付き合わせた2本の配管の間に挿入するために、インサートリングと称する。図3.2にインサートリングの形状を示す。インサートリングはパイプ外径よりも外径が大きいリング状で、パイプが隙間なくはめられるように両面からザグリを施してある。このような形状とすることにより、溶接施工時の付き合わせた2本のパイプの軸心調整が不要となり、施工の容易化がはかれる。インサートリングのパイプの覆い被さる部分をリップと称する。リップの大きさによって余盛りの大きさも制御することができる。

図3.3にインサートリングの有無により、余盛りの形状がどのように変化するかを比較して示す。インサートリング

未使用の図(b)の溶接では、素材の配管の肉厚よりも薄い部分ができている。このような形状は、溶接時の強度にとっては致命的に悪影響を及ぼす。一方、インサートリングを使用した図(c)の溶接では、インサートリングにより溶接金属が補給され、肉厚が薄くなる現象を防止することができた。

図3.4に、インサートリングのリップ寸法と余盛り付きの溶接継手の引張強さの関係を検討した結果を示す。図にはさらにインサートリングの寸法に応じた作業性についても示している。リップの寸法が大きくなると溶接継手の引張強さも増加した。これはリップ寸法が大きくなるにつれて余盛りも大きくなり、溶接部の断面積が増加するためである。ただし、リップが大きくなるにつれて溶融させる材料のボリュームも大きくなるために、それだけ溶接施工性が悪化する。

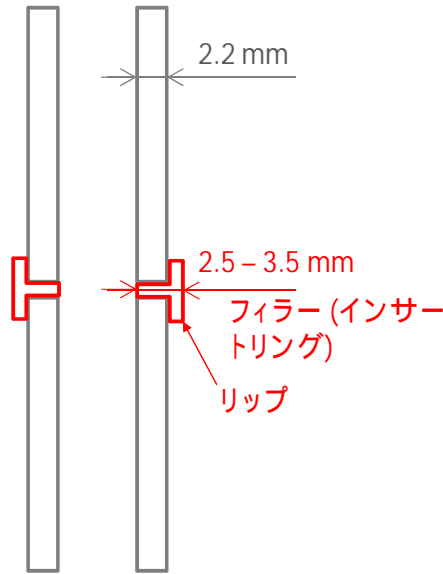
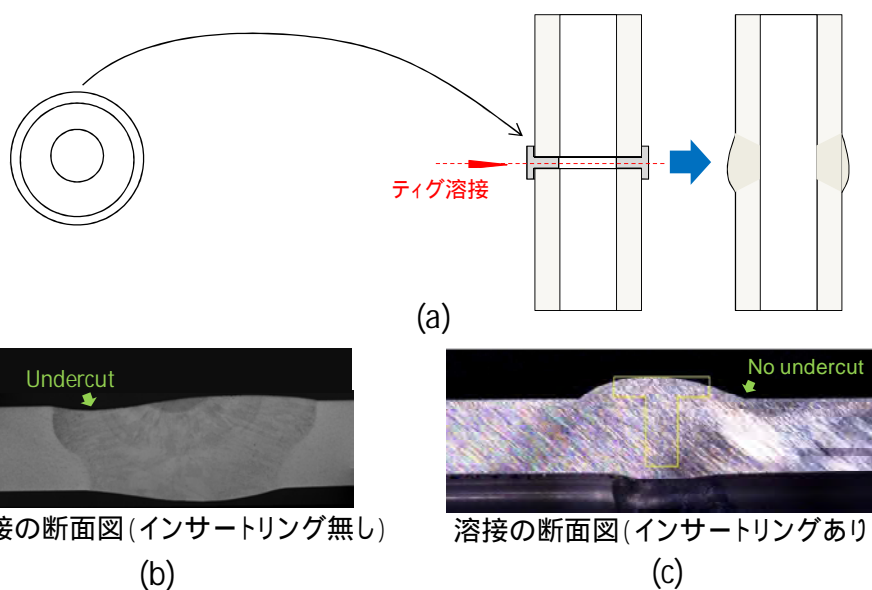


図3.2 インサートリングの形状



溶接の断面図(インサートリング無し)

溶接の断面図(インサートリングあり)

図3.3 インサートリングの使用による余盛り不足の防止

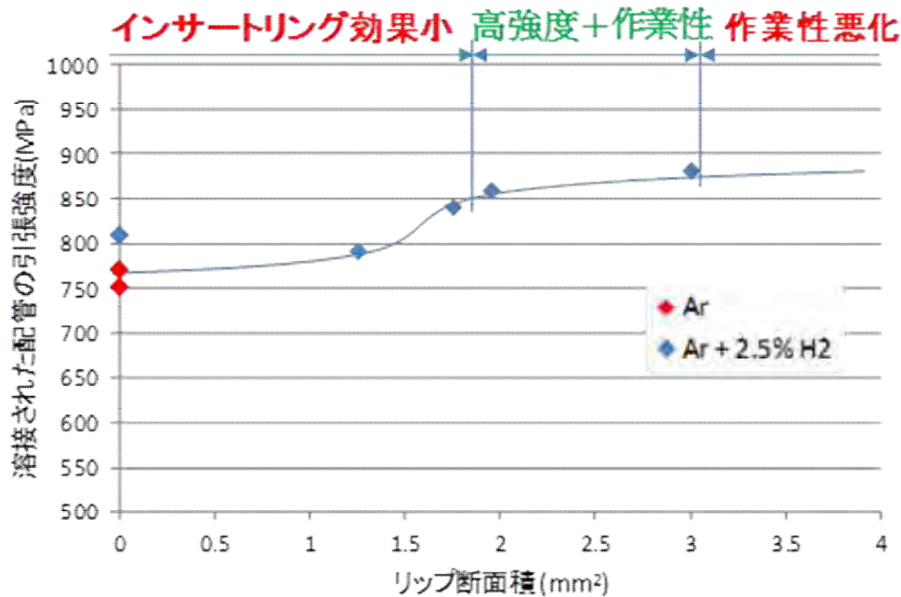


図 3.4 インサートリングの形状と溶接継手の引張強さ、作業性の関係の検討

b. 配管引張強度におよぼすインサートリングの材料

本事業では溶接後も材料中の窒素濃度を維持することができる成分があれば溶接継手の開発に有益であるとの考えのもと、インサートリングの成分についても検討を行った。溶接後も材料中の窒素濃度を維持するためには、溶融金属中の窒素の平衡濃度がクロム濃度に応じて増加する理由により、高クロムのインサートリングの使用が有効と考えられた。そのため、インサートリング材料として、配管素材である XM-19 の成分を基本として、3 mass% および 6 mass% クロム濃度が高い材料を製鋼メーカーに依頼して作製した。図 3.5 は、XM-19 (22 mass% Cr)、XM-19 よりクロム濃度が 3 mass% 高い材料 (25 mass% Cr) および 6 mass% 高い材料 (28 mass% Cr) に対して [シールドガス Ar + 50% He + 2% N₂, バックシールドガス N₂, バックシールドガス圧力 0.9 kPa, 溶接時間 53 s, 溶接電流 41.4 A, 溶接速度 3.7 rpm, 回転数 3.2 回, 溶接電圧 11.2 V] の条件で溶接を行った溶接継手の溶接金属部を抽出し、窒素濃度分析を行った結果を示す。インサートリングの組成が配管と同じ XM-19 の場合は明らかに脱窒が生じており、もともとの窒素濃度 0.3 mass% に対して溶接後は約 0.2 mass% にまで低下している。これはバルク材の固溶強化量に換算すると約 20 MPa の強度低下に対応する。それに対して、Cr を増量したインサートリングを使用すると脱窒量が低減し、6 mass% Cr 増量の場合においては、脱窒量はわずかである。溶融した溶接金属部での Cr 濃度の増大が、溶接ガスと平衡する窒素濃度を高めた結果が凝固時の組成にも明らかに反映されている。

これらのインサートリングを使用して作製した溶接継手の引張試験結果を図 3.6 に示す。高クロムのインサートリングを使用した溶接継手の強度を、同様の条件で溶接した配管素材のインサートリングを使用した溶接継手の強度と比較すると、高クロムのインサートリングの使用により有意に高い強度が得られている。すなわち、開発の方針通り、高クロムのインサートリングを使用することにより溶接時の脱窒が抑制され、溶接継手の強度が改善さ

れることが確認された。しかしながら、高Crインサートリングを使用すると素材が高価であることから施工のコストを押し上げることとなり、本事業の目的に反する面もある。インサートリングの種類については、溶接継手の強度とコストの両面から判断する必要がある。

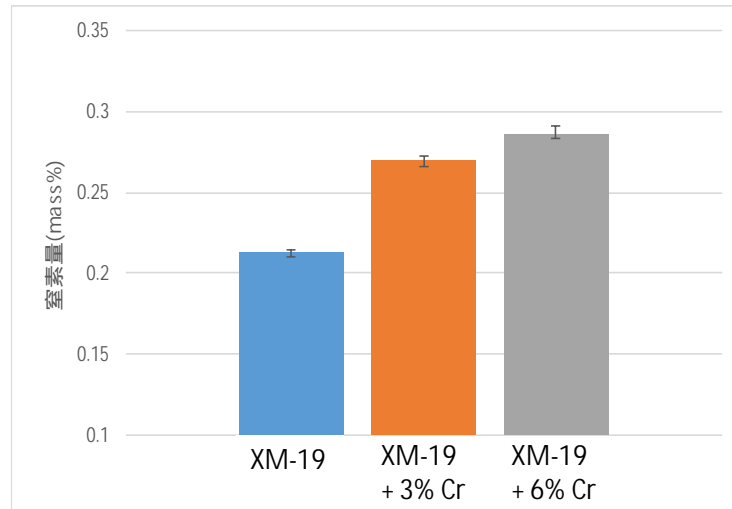


図 3.5 高クロムインサートリングを用いた溶接金属部の窒素濃度分布
溶接条件[(シールドガス Ar + 50% He + 2% N₂, バックシールドガス N₂)]

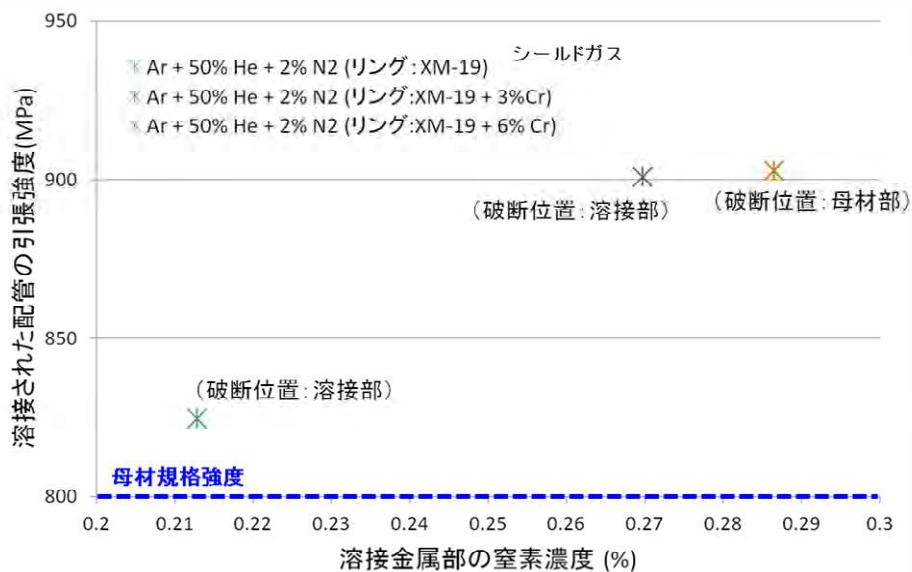


図 3.6 高クロムインサートリングを用いた溶接継手の引張強度

c. 引張強度におよぼすシールドガスの成分

シールドガスの成分については、さらに検討を進めた。高窒素ステンレス鋼である配管材料は、溶融時に窒素量が減少し、強度や耐水素脆化特性の悪化が懸念される。溶接による入熱は溶融部以外の熱影響部(HAZ)の組織にも影響し、結晶粒を著しく粗大化させる。それにより結晶粒微細化強化によって高められていた本材料の

本来の硬さが失われる(HAZの組織の詳細については3章で記載する)。HAZ部は溶融しておらず、窒素が散逸する懸念はないことにより、HAZ部の硬さの顕著な低下は結晶粒の粗大化が原因であると判断される。すなわち、高強度の溶接継手を実現するためには、HAZ部の結晶粒粗大化の抑制も効果的であることが予想される。結晶粒粗大化は溶接入熱により支配されており、HAZの組織の粗大化の抑制に関しては、入熱の小さい溶接が好ましい。以上のことを考慮して、シールドガスの成分については、水素を添加し溶け込み深さを増加させ入熱の影響を最小限とする方法、水素と同様に溶け込み深さを増加させる作用があるHeの添加する方法、窒素の添加による溶融時の窒素吸収の効果について検討した。

溶接時に金属に窒素吸収が起こることを期待して、シールドガスに窒素を混合した。シールドガスに含まれる窒素の量、溶接時間、水素あるいはヘリウム添加をパラメータとして溶接継手を製作し、溶接後の溶接部の窒素濃度を測定した。その結果を図3.7に示す。溶接後の窒素量はシールドガスの成分に影響を受けて変化していることが分かる。いずれのシールドガスを用いても、溶接時間が長くなるにつれて溶接金属部の窒素濃度は低下した。基本となるArをシールドガスに用いたものよりも高い窒素濃度が得られたシールドガスは窒素とヘリウムを混合したものであり、窒素と水素を混合したシールドガスでは窒素濃度は変わらないか、または減少が見られた。この理由は、溶接時に水素と窒素の反応が生じて窒素が消費されているためと考えられる。

次に引張試験を実施して、これらの継手の強度を調べた。図3.8にシールドガスの違いによる溶接継手の引張強さの比較を示す。ただし、本結果は溶加材を加えない場合である。標準的なシールドガスであるArに比べて、窒素とヘリウムを添加した場合は引張強さが顕著に向上した。一方、窒素と水素を添加したのもArだけの場合に比べて溶接継手の強度が向上しているが、向上の度合いはヘリウムに比べて顕著に少ない。水素を添加した場合は溶け込みの深さについてはHeを添加した場合よりも有利であることが明らかにされており、このことは窒素量の減少やHAZ部の結晶粒成長の観点からは有利であると考えられたが、結果はHe添加の場合に比べて低い強度を示した。これは、溶接部で水素と窒素が反応し材料中の窒素が消費されるためと推測される。

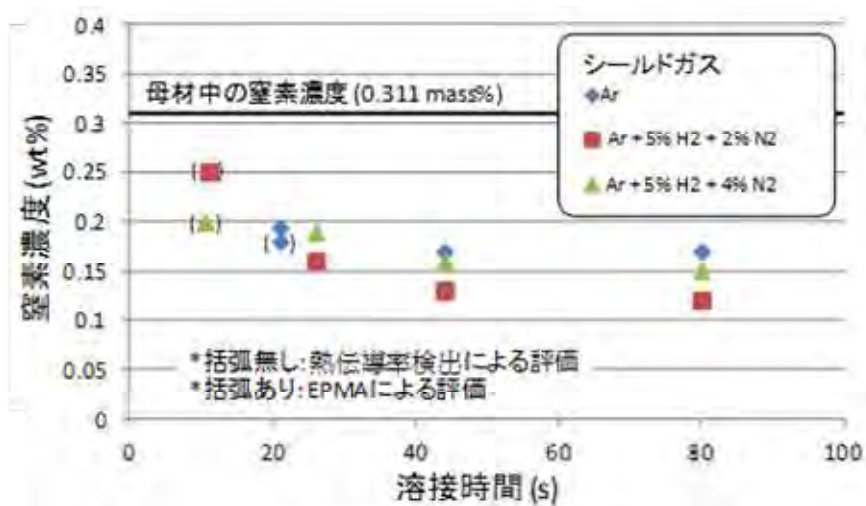


図 3.7 シールドガスに窒素を添加した場合の溶接部の窒素量

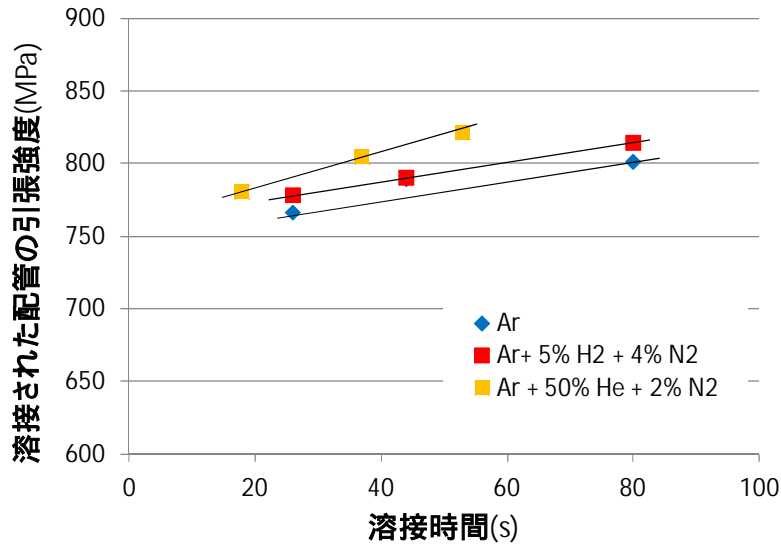


図 3.8 シールドガスの違いによる溶接継手の引張強度の違い

d. 最終的な溶接継手の引張強度

最終的な溶接継手の引張試験結果を表3.2に示す。開発の途中段階の溶接継手でも母材の規格値(800 MPa)を超える強度は得られていたが、溶接ガスの種類、溶接パラメータの管理、溶加材のすべてを制御し、母材の強度と同等の溶接継ぎ手強度を達成した。図 3.9 に示すように、母材 + 5%Cr の成分であるインサートリングを用いた場合には、ビードがそのままであるが、破断は溶接金属部や熱影響部位 (HAZ) ではなく母材で起きており、これは溶接部の強度が母材よりも高いことを示している。

表 3.2 開発した溶接継手の引張強度

インサートリングの種類	引張強さ (MPa)	伸び (%)	破断位置
母材と同一	895	27.9	溶接部
母材 + 3%Cr	901	26.1	溶接部
母材+5%Cr	903	31.1	母材部
母材	899	34.2	---

溶接条件[「Ar + 50% He + 2% N2」: (シールドガス Ar + 50% He + 2% N2, バックシールドガス N2)]



図 3.9 母材 + 5%Cr のインサートリングを使用した配管溶接継手の引張試験片の破断の様相
溶接条件[「Ar + 50% He + 2% N2」: (シールドガス Ar + 50% He + 2% N2, バックシールドガス N2)]

e. コスト試算

水素ステーションの高圧配管組み立てに XM-19 溶接部を使用する場合、気密性を保つために使用されているコーン&スレッド(C/T)技術を用いた継手(エルボー、ティー、クロスコネクタ)や部品(バルブ、逆止弁、圧力計など)を溶接スリーブ、ナット、ガスケットを用いるよりコンパクトな継手や部品で代替することが出来る。(例 フジキン製 UPG®継手)

その場合に予想される削減可能な初期費用は、以下である。

- 配管の肉厚減少による材料費(スレッド加工用の肉厚不要)
- 配管上のスレッド加工費
- 配管や継手を接続する際の作業費(1C/T 継手あたり数分だが、1スリーブ/ナット+ガスケットあたりでは数秒)
- ガスパネルの小型化による費用

しかしながら、C/T 継手と比較して以下の追加費用が必要となる。

- 配管に接続するためのスリーブ、ナットの溶接作業 費(インサートリングの利用を含む)
- 100%溶接されているかを確認するための X 線検査
- XM-19 材料費(高クロム含有のためステンレス 316/316L よりも高コスト)

次の図に示すように XM-19 溶接部とスリーブ/ナット継手を用いた場合、ガスパネル設置時のコスト削減が期待されるが、C/T 継手の場合よりも接続が容易のために総合的に見るとステーションの寿命までに必要なメンテナンスコストの大幅な削減が期待出来るということが最も需要である。

表 3.3 では、試算した高圧配管(>35MPa)用継手、バルブの数と C/T 継手及び溶接 + 継手の関連コストを示す。XM-19 溶接部と関連するガスケット使用継手を用いる場合の試算では、継手コストは量産された場合を想定した。また、実際に XM-19 溶接部を導入する場合、いくつかの追加費用(接施工要領書、溶接施工試験成績書、特定案件事前評価)についても必要だが、今回の試算には加えていない。溶接部 + 継手を用いることで、C/T 継手の場合よりも 110 万円コスト削減可能と試算したが、2way バルブ以外を使用した場合、ガスパネルのコンパクト化に係る削減額については考慮していない。XM-19 の材料費はステンレス 316/316L より高いが、配管の肉厚減により必要材料量が減るため、全体のコストは XM-19 と 316/316L 配管でほとんど違いがないと考えられる。

表 5 は、それぞれ取り外しに 5,6 分かかる C/T 継手に比べ XM-19 溶接部 + 継手の場合は数分ですむため、1年あたりの保守点検費が 110 万円削減が期待可能ということも示している。さらに、C/T 継手とは異なり、XM-19 溶接部 + 継手は隣接機器を取り外すことなく取り外しが可能である。

最後に、溶接部 + ガスケット継手を利用することで水素ステーション運用における漏洩リスクや関連被害を大幅に減らすことが出来るということが主な経済的利点であることを注記する。

C/T 継手は漏洩が起りやすく、理想的には1か月に1度程度各継手のトルクを検査する必要があるということが知られている。一方で稼働中の漏洩量や漏洩頻度がガスケット使用継手よりとても低い。C/T 継手からの漏洩対策としては水素検知器で十分であるが、発見後すぐ県に報告しなければならず、確認が終わるまで場合によっては1～数週間ステーションは稼働を止めなければならない。将来の水素価格が 100 円/Nm³、1日 50 台の車が利用すると仮定し、漏洩が起り1週間ステーションが止まった場合には 100 万円以上の損出となるため、長期的に漏洩リスクを減らすことはとても有益である

表 3.3 開発した溶接継手の引張強度

部品	個数	C/T 継手コスト	溶接部+ 継手コスト	C/T 継手を用いた場合の保守点検コスト(/年)	溶接部+ 継手を用いた場合の保守点検コスト(/年)
エルボー	25	975,000	996,000	350,000	82500
ティ	30	1,575,000	1,617,300	540,000	136500
クロス	5	325,000	359,400	110,000	27000
2 way バルブ	40	3,240,000	1,997,600	640,000	228000
合計		6,115,000	4,970,300	1,640,000	474,000
コスト削減 (vs. C/T 継手)		導入	- 1,144,700	メンテナンス	- 1,166,000

(2) 溶接金属の金属組織評価

溶接された XM19 基礎溶接管において、母材から溶接金属にわたりピッカース硬さ分布を測定すると、溶接金属部で著しい軟化が生じていることが示される(図 3.10)。その一つの要因として、溶接時に生じる脱窒によって固溶強化されていた合金の強度が低下したことが挙げられるが、実際にはそれほど単純な現象ではなく、結晶粒径、析出物の種類と量、相の生成、相間での窒素分配など様々な因子が硬さ変化に影響すると考えられる。また、マクロなピッカース硬さの分布だけでは、HAZ 部での特性変化も捉えられておらず、溶接管の力学特性を予測するには情報が不十分である。XM19 溶接管の特性を理解し、より高性能な溶接技術を確立するには、ミクロ領域の特性やそれを理解するための組織情報、および組織制御技術が必要となる。本研究では、以下の観点から溶接された XM19 基礎溶接管の組織解析を行うことを目的とする。

溶接部～母材間における、

- ・強度(硬さ)分布
- ・窒素濃度分布
- ・フェライト分布と組成分配
- ・窒化物の種類と分布

本項では、上記4項目に関して現時点で得られている実験結果について報告する。

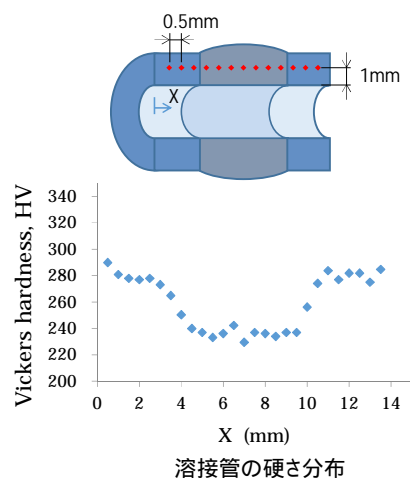


図 3.10 溶接管のピッカース硬さ分布

状態図から予想される窒素濃度と組織の関係

鉄鋼材料の耐水素脆化特性はその金属組織に強く依存することが知られており、安全な部材の製造のために鋼材の組織評価と制御は最も重要な課題のひとつである。とくに溶接部においては、熱履歴の違いにより母材とは組織が顕著に異なり、また場合によってはその化学組成も変化して特性劣化を引き起こすことが懸念される。とくに本研究で対象材料としている XM-19 には約 0.3mass% の窒素が添加されており、溶接時にその量が減少することが報告されている。本鋼において窒素量が減少すると、もともと安定な組織であったオーステナイトが不安定化し、フェライトの生成量が増加する可能性がある。一方、溶接後の熱履歴によっては析出物の種類や量が変化して固溶窒素量も変化し、やはりフェライト量が影響を受けることも考えられる。このような溶接部における組織を理解し特性の最適化を図るには、溶接部に生成する相の種類や体積率に及ぼす窒素濃度および温度の影響を明確化しておくことが必要である。そこではじめに、熱力学的観点から任意の組成および温度での平衡状態における組織を予測する計算ソフト、ThermoCalc.を用いて本鋼における平衡組織に及ぼす窒素濃度と温度の影響について計算を行った。

図 3.11 は ThermoCalc.による計算で得られた供試材の状態図を示す。

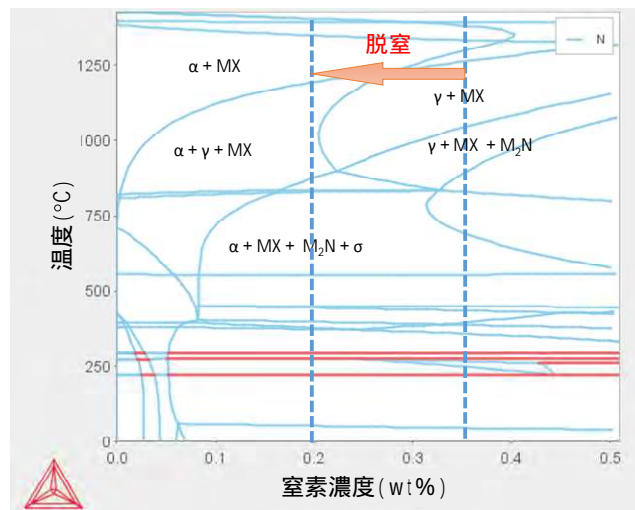


図 3.11 ThermoCalc.による計算で得られた供試材の状態

横軸に窒素濃度、縦軸に温度を取って表している。本計算結果によると、窒素濃度が 0.3% であれば 800 以上の高温ではオーステナイト()中に窒化物が存在した組織が安定であるが、溶接時に脱窒を起こして窒素濃度が仮に 0.2% まで低下したとすると、フェライト()が形成されることが予想される。一方 ThermoCalc.では、温度を指定すると平衡相の種類だけでなく、各相の体積率や組成を求めることもできる。溶接金属部は液相から連続冷却されるため温度を指定することはできないが、例えば拡散性が十分なおおよその下限温度と考えられる 1000 付近での平衡組織を計算すると、表 3.3 に示すようにオーステナイト中にフェライトと MX 型窒化物が共存することになる。注目すべき点はフェライトの組成である。計算では窒素濃度が平均組成よりかなり低く、逆に Cr は著しく濃化していることがわかる。その組成変化によって、溶接部の耐食性や力学特性に影響をうけることになる。

表 3.3 0.2%N まで脱窒した供試材の 1000 における平衡組織(組成の単位は mass%)

	Cr	Ni	Mn	Mo	V	Nb	N	モル分率
オーステナイト	22.0	12.1	5.0	2.0	0.12	0.05	0.16	0.992
フェライト	32.9	5.4	3.8	3.2	0.17	0.03	0.02	0.004
MX	2.0	-	-	0.05	28.0	54.5	15.3	0.004

成果詳細-(610)

なお、800 以下の低温側には フェライトよりさらに Cr が濃化した (シグマ)相が形成されることがわかるが、溶接後の冷却速度が十分速いため、少なくとも溶接ままの組織に 相が現れることはないと考えられる。

(母材/溶接金属) 界面近傍の金属組織、マイクロ硬さ分布と窒素濃度分布

図3.12に溶接部(シールドガス・バックシールドガス Ar100%, インサートリングなし)の光顕組織および母材から溶接金属部にかけて測定した硬さプロファイルの一例を示す。図中の縦点線より左側が母材, 右側が溶接金属部に相当する。まず金属組織に着目すると、溶接金属から1mm以上離れた母材では結晶粒径が6 μm 程度の微細なオーステナイト組織を有しているが、界面に近づくにつれて熱影響を受けて粒成長を生じており、界面近くのHAZ部では粒径が40 μm 程度にまで粗大化している。一方、溶接金属部においては フェライトが分散しているためこの写真の倍率では判別できないほど非常に細かい組織が形成されている。その詳細については次節にて述べる。次に硬さに着目すると、母材部で最大の硬さを示しているが、溶接金属部に近づくにつれて硬さは低下し、界面近傍のHAZ部では約HV50程度の硬さ低下が生じている。この硬さ低下は、各強化機構の定量評価を行った結果、結晶粒微細化強化の低下で生じていることが明らかとなった。一方、溶接金属内部は微細な組織を有しているにもかかわらず母材よりも低い硬さを有している。これは溶接部での脱窒による固溶強化の低下が生じたことを示唆している。

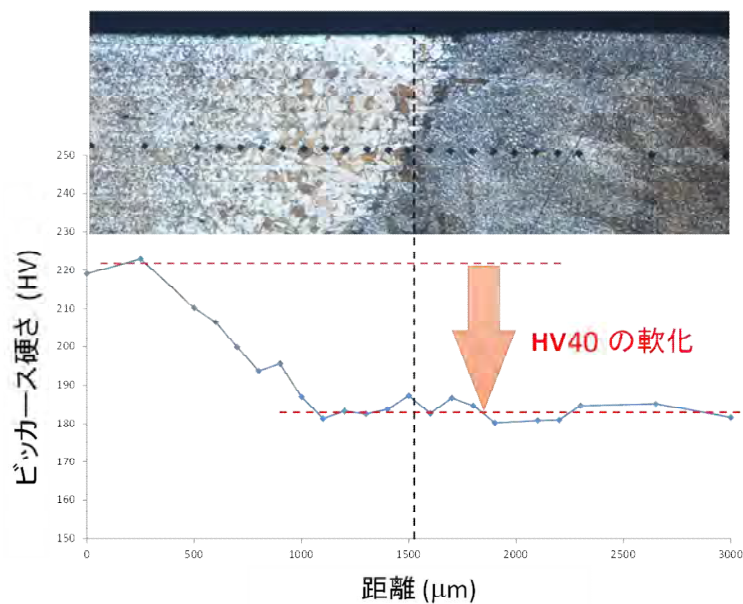


図 3.12 母材/溶接金属界面近傍の光顕組織と硬さ分布
溶接条件[シールドガス Ar, バックシールドガス Ar,]

図3.13にシールドガスに Ar を用いた基準となる溶接継手について、溶接金属部の窒素濃度を EPMA によってライン分析した結果を示す。分析は溶接部の軸方向断面で、表面からの深さ 100 μm , 500 μm , 1000 μm の位置で、軸方向に行った。グラフの中央部に、窒素濃度が低い部分が存在し、この部分が溶接金属部である。

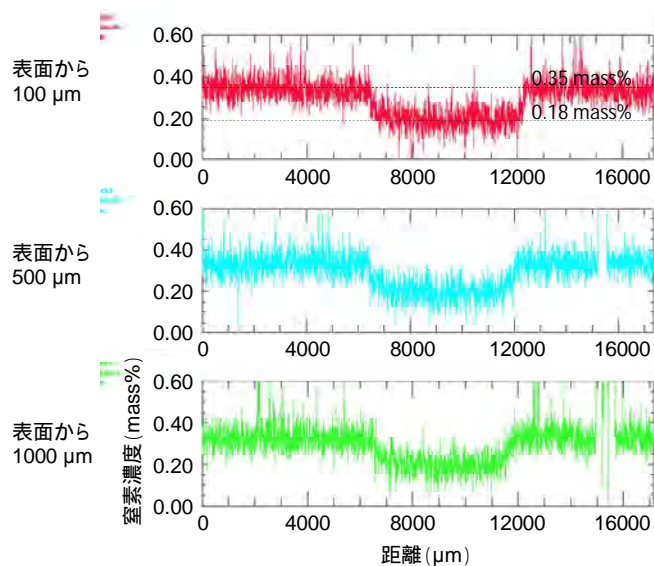


図 3.13 EPMA により測定した溶接金属部の窒素濃度分布
 溶接条件[シールドガス Ar, バックシールドガス Ar]

そこでの窒素の濃度の平均値は約0.18%であり、母材の窒素量(0.31%)と比べて大幅に低下している。この結果は前掲図3.12に示される溶接金属部の低い硬さと対応している。さらに、この溶接継手の強度は母材の規格値は越えるが母材の強度以下であり、窒素濃度の維持が高強度実現のために必要であることが示唆される。

溶接金属部の組織評価

以上のように、溶接金属部において窒素濃度が低下しており、それに伴う硬さの低下やフェライトの形成が溶接継ぎ手の特性に多大な影響を及ぼすと考えられる。ここではとくに溶接金属の内部の組織に着目し、より微小なスケールでの組織観察、ならびにX線やEBSDによる定量的な解析を実施した。

図 3.14 は母材と溶接金属の界面近傍の微視組織を光学顕微鏡により高倍率で観察した結果を示す。写真中央の点線より上側がHAZ部、下側が溶接金属部に相当する。HAZ部には図 3.12 でも観察されたように粒径が数十 μm 程度にまで粗大化したオーステナイトが観察され、溶接金属部には、オーステナイト中に分散したフェライトが観察される。フェライトは樹枝状に連なって存在するが、幅は数 μm 程度と微細である。オーステナイトや

フェライトの結晶学的特徴を明確にするため、EBSD(Electron Back Scatter Diffraction)法を用いて図 3.14 と同様に母材/溶接金属界面近傍の組織を観察した結果を図 3.15 に示す。

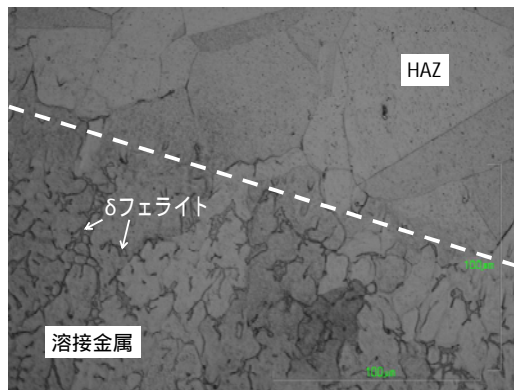


図 3.14 母材/溶接金属界面近傍から得られた光学顕微鏡組織
溶接条件[シールドガス Ar, バックシールドガス Ar]

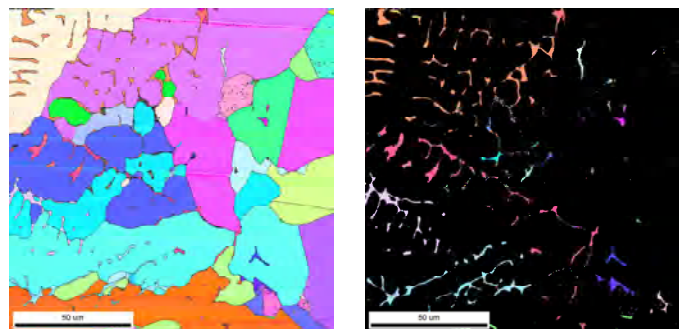


図 3.15 母材/溶接金属界面近傍から得られた EBSD 結晶方位マップ:
(a) fcc 相+bcc 相, (b) bcc 相のみ

溶接条件[シールドガス Ar, バックシールドガス Ar]

図 3.15(a)は fcc(オーステナイト)と bcc(フェライト)の両相における結晶方位を示したカラーマッピングであり、図 3.15(b)は bcc(フェライト)の結晶方位のみを示したものである。溶接金属部のオーステナイトは粒径が 50 μm 前後であり、その形状が等軸ではなく入り組んだ粒界を有するいびつな形であるのが特徴である。また図 3.15(b)から、同一方位のフェライトが、数十 μm 程度のかなり広い領域(コロニー)にわたって存在することもわかる。これらの観察結果は、この微視組織が、図 3.11 の状態図にも示されるように、液相フェライトオーステナイトという相変態過程を経て生成したものであることを示す。

図 3.16 に溶接時間の変化による微視組織性状の変化を示す。測定試料は前掲図 1.4.4 のシールドガスが Ar のものである。

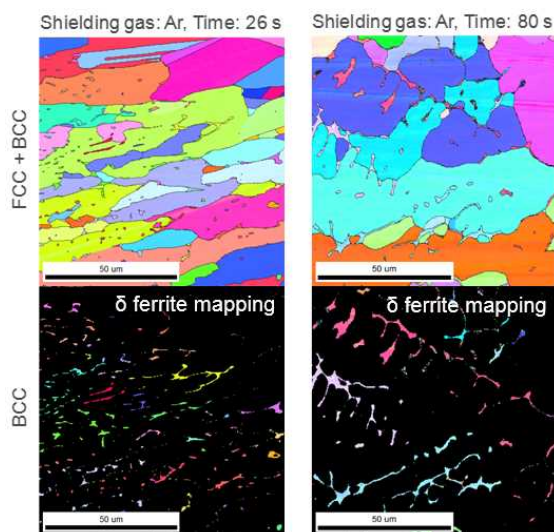


図 3.16 溶接部微視組織の性状と溶接時間の関係

溶接条件[「26s」:シールドガス Ar,バックシールドガス Ar, 溶接時間 26 s インサートリング無し,「80s」:シールドガス Ar,バックシールドガス Ar, 溶接時間 80 s, インサートリング無し]

(3)溶接部の水素脆化評価

本事業で用いている配管の材料は高窒素高強度ステンレス鋼 XM-19 であり、素材の耐水素性は充分であることが他の研究でも認められている。したがって、本事業での課題は、溶接部の水素脆化評価である。その評価は水素脆化特性を調べる代表的な方法である SSRT 試験と、構造物の設計で最も注意が必要である疲労について調べる疲労試験により行った。疲労試験については、配管溶接継手の実際の使用環境にもっとも近い方法として配管溶接継手に高圧水素ガスにより内圧を繰返し負荷する方式(高圧水素ガス圧力サイクル試験)、水素チャージを施した配管溶接継手に水圧で内圧サイクルを加える方式(水圧サイクル試験)、簡便に多数の試験を実施することが可能で疲労破壊機構の解明に有利な内圧模擬疲労試験で行った。高圧水素ガス圧力サイクル試験と水圧サイクル試験については、高圧ガス配管をそのままの肉厚で評価できるだけの高圧を負荷できる試験装置は内外に見当たらないため、本事業では初期欠陥を導入して評価を実施した。

内圧模擬疲労試験法の開発

図 3.17 に、本研究開発の一環で実施した配管未溶接材の内圧による破裂試験で見られた破壊の様相を示す。図のように、配管の内圧による破壊は、配管が軸方向に割れるように起きている。これは内圧により配管に発生する応力は、円周方向の成分が最大であることによる。このような応力状態は疲労試験にも同様であり、配管溶接材の内圧変動による疲労の評価が目的である本研究開発にとって、配管の軸方向に疲労き裂を生じる疲労試験法の開発が必須である。一般に広く行われている軸荷重や曲げ荷重形式の疲労試験では、疲労き裂が試験片の軸に対して直角方向に生じるため、内圧による疲労破壊を模擬することは困難である。一方、内圧を繰り返す疲労試験は、想定している配管の疲労破壊そのものを評価できるが、ガスの圧縮による発熱、内圧の繰返し速度が数 Hz と低いこと、実物の配管を疲労破壊させるには相当に高い内圧を負荷できる試験機を用意するか配管の肉厚を薄く加工するかしなければならないことなど、限られた研究期間内で目的を達成するためには多数のバリアがある。



図 3.17 内圧による管の破壊様式

図 3.18 に、本研究で開発した内圧模擬疲労試験方法の原理を示す。図のように、上下の極を圧縮するように配管に線状の荷重を負荷すると、荷重線直下の配管内面には引張の円周方向応力が発生する。き裂はこの円周方向応力によって発生・進展するため、配管軸方向にき裂が発生する内圧による疲労破壊の様式が再現される。線荷重は通常の疲労試験と同様の機械的な方法をもって与えることができるため、数十 Hz の負荷周波数により効率的な評価が可能である。さらに、ある安全率をもって厚肉につくられている実物の配管を疲労破壊させるだけの荷重を負荷することも可能である。その上、水素チャージを施した配管を試験片に用いたり、水素ガス容器付きの疲労試験機を用いたりすることにより、配管の疲労強度に及ぼす水素の影響を解明することも可能である。ただし、線荷重による円周方向応力の肉厚方向の分布は、内圧により生じる応力分布とは完全には一致しないため、この方法の適用範囲を明確にする必要がある。

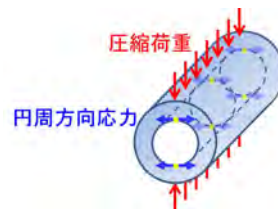


図 3.18 内圧により配管に疲労破壊を生じる応力を模擬する方法

配管を上下から圧縮する方法による疲労試験が、内圧の繰返しによる疲労を模擬するために妥当であるかどうか検証するために、有限要素法(FEM)による解析を行った。解析に使用したモデルを図 3.19 に示す。き裂の計算を行うため、内圧負荷の解析にも軸対称ではなく、1/4 対称モデルを使用した。有限要素分割はき裂の部分で最小にし、その寸法は $1\ \mu\text{m}$ とした。要素には平面ひずみ要素を定義し、二次元弾性解析を行った。モデルに付与した材料定数は、弾性係数 198GPa 、ポアソン比 0.3 である。モデルは実物の配管と同じ大きさ(外径 4.88mm 、内径 2.34mm 、肉厚 2.34mm)となるように作製した。

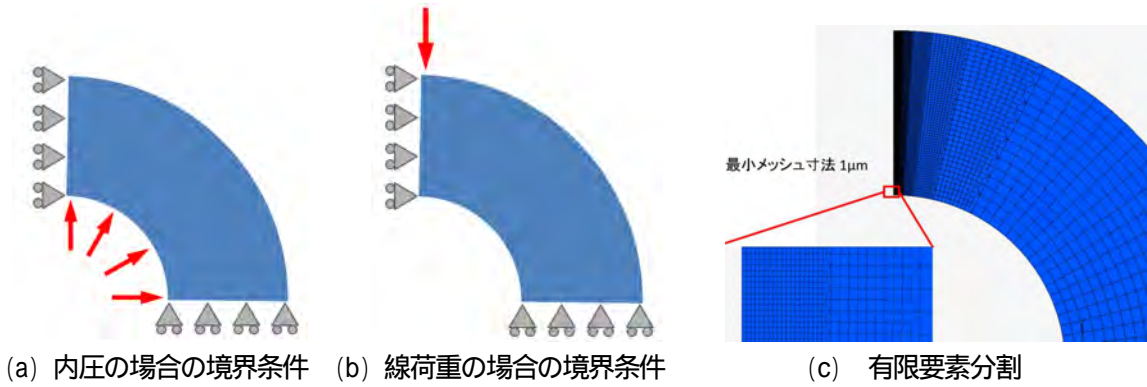


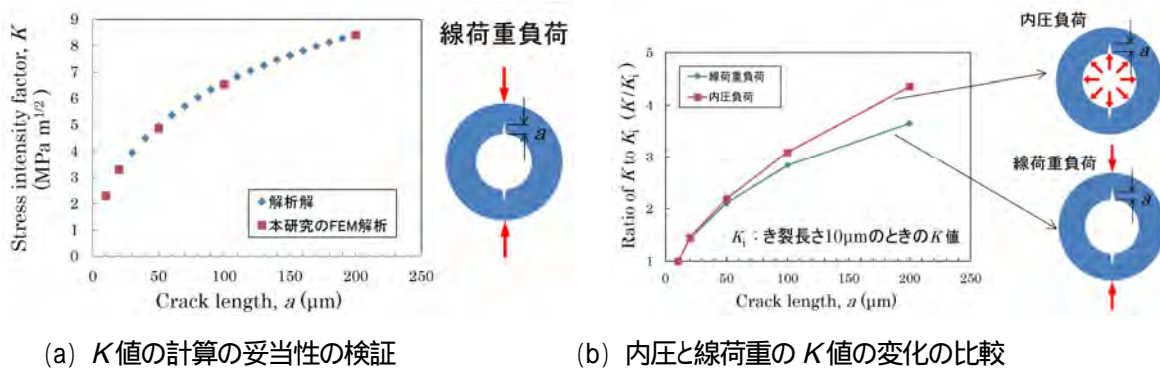
図 3.19 内圧模擬疲労試験の妥当性検証のための有限要素法解析モデル

図 3.20 に配管断面における円周方向応力分布を示す。内圧を負荷した場合、引張の円周方向応力が発生している。円周方向応力は内面で最大である。一方、線荷重の場合は荷重点直下に限定されるものの内面に最大の引張円周方向応力が発生している。



(a) 内圧 200MPa の場合 (b) 線荷重 4kN の場合
図 3.20 配管断面における円周方向応力分布の比較

図 3.21 に、有限要素モデルにき裂を導入して、き裂の応力拡大係数(K 値)を求めた結果を示す。 K 値は変位外挿法によって求めた。図(a)は解析解(村上、岸根、鶴、機論 A52-480 (1986) 1855-1863)と本研究の FEM 解析結果の比較を示す。両者の結果は良く一致しており、本解析が妥当であることが確認された。



(a) K 値の計算の妥当性の検証 (b) 内圧と線荷重の K 値の変化の比較

図 3.21 配管のき裂の解析

図(b)はき裂が成長するにつれて生じる K 値の変化を内圧の場合と線荷重の場合で比較したものである。き裂が短い間は、内圧と線荷重による K 値はよく一致した。き裂長さが大きくなるにつれて線荷重の K 値が低めになる傾向を示し、き裂長さが 100 μm に達すると両者の差は約 10%となった。

図 3.22 に、配管側面のひずみをき裂長さとの関係により示す。図のように、配管側面のひずみはき裂の成長とともに単調に増加しており、また、この関係はひずみの初期値で基準化したひずみを用いれば荷重の大きさに関係なく一本の曲線で表される。そのため、配管にひずみゲージを貼り付けて疲労試験中にひずみを連続的に測定すれば、この関係に基づいてき裂長さの推定ができる。この方法により、上図(b)のようなき裂が長くなった時に内圧と線荷重の状態が乖離する問題を解決した。

以上の解析により、内圧の繰返しにより配管に生じる疲労破壊を、線荷重で模擬する試験方法の原理が確立された。

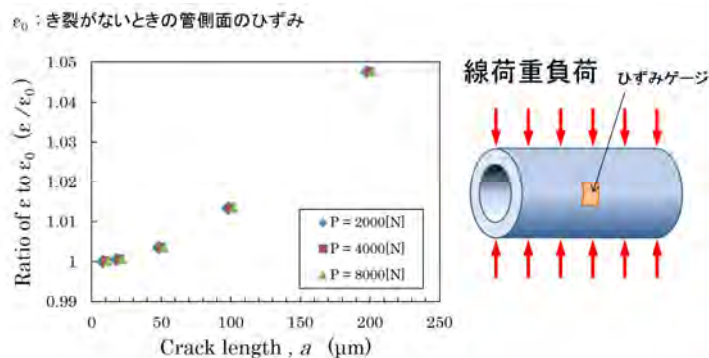


図 3.22 き裂成長にともなう配管側面のひずみの変化

図 3.23 に、この方式で疲労試験を実施し、疲労破壊した配管の写真を示す。疲労き裂は配管の軸方向に発生しており、内圧の繰返しによる疲労の場合と同様の破壊モードが再現できた。

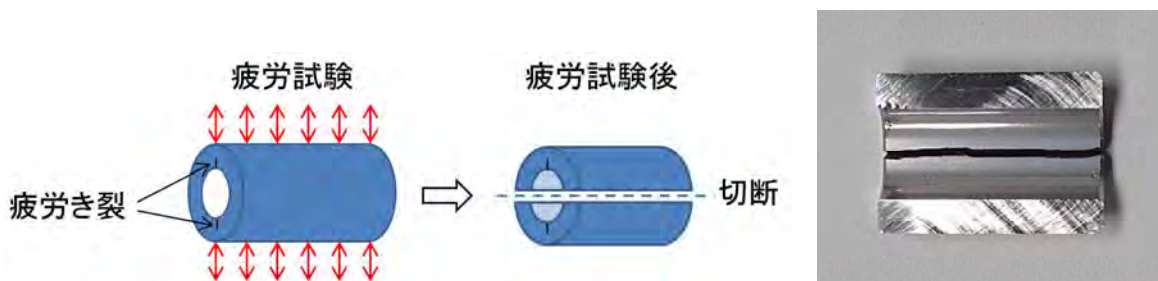


図 3.23 内圧模擬疲労試験の疲労き裂

内圧模擬疲労試験

図 3.24 に、上述のような負荷形式による疲労試験を実施した疲労試験機を示す。配管を 15mm の長さに切り出したものを疲労試験片とした。ピンで支持したレバーに偏心カムで振動を与え、その振動により繰返しの圧縮荷重を試験片に与えた。荷重の大きさは偏心カムの偏心量とレバーとカムの接触位置により調節できる。圧縮荷重は試験片ホルダの下側に取り付けたロードセルによって測定した。試験片の側面にひずみゲージを貼り付け、配管側面のひずみを試験中連続的に測定した。試験機の負荷容量は 2kN、負荷周波数は可変であり最大は 30Hz である。

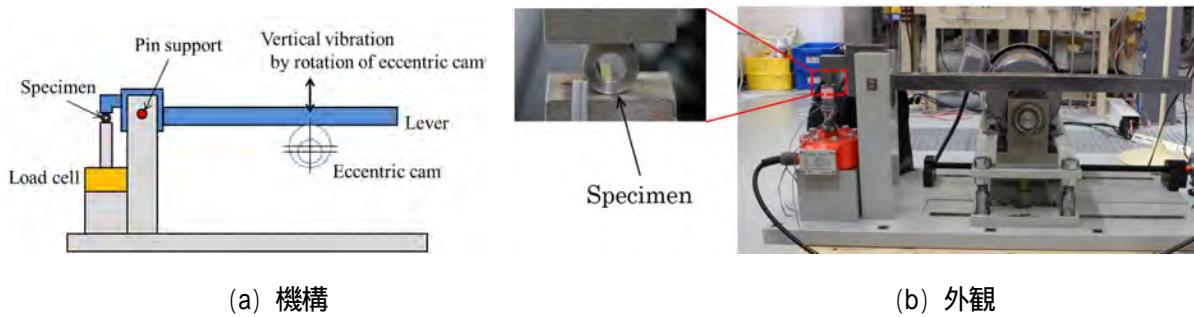


図 3.24 内圧模擬疲労試験機

図 3.25 に本研究開発で評価に用いた基礎溶接配管の外観を示す。溶接条件は今後の開発により複数あるが、現在までに基準となるもっとも基本的な溶接条件で溶接した配管の疲労強度評価を行った。図 3.26 に溶接配管と未溶接配管の断面の硬さの分布を示す。溶接配管の硬さは溶接熱影響部(HAZ)から溶接部に向かって低下している。疲労強度は硬さと良い相関があることが知られており、その知見からは基本溶接条件で施工した溶接部の疲労強度は未溶接部の疲労強度よりも低いことが予想される。



図 3.25 内圧模擬疲労試験に供した溶接配管

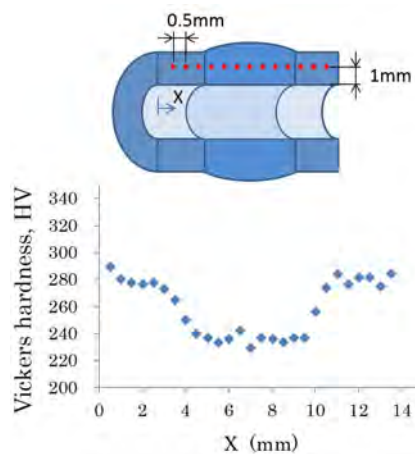


図 3.26 溶接配管(基本溶接条件)の断面の硬さ分布

図 3.27 に、溶接配管から切り出した疲労試験片を示す。外面に溶接ビードの盛り上がりがあるままでは均一な線荷重の負荷が非常に困難であるので、ビードの盛り上がりなくなるまで最小限外径を切削してから疲労試験に供した。疲労試験に使用した配管の外径は、未溶接管 9.55mm、溶接管 8.91mm であった。

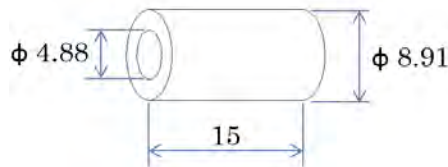


図 3.27 内圧模擬疲労試験の試験片形状・寸法(寸法の単位は mm)

内圧模擬疲労試験は、応力比 $R = 0.1$ 、負荷周波数 20Hz、室温、大気中で実施した。

図 3.28 に基本の溶接条件で作成した配管溶接継手の疲労強度と最終的な溶接条件で作成した配管溶接継手の疲労強度を比べて示す。

第 1 章の引張試験結果を参照すると、引張強さは基本の溶接条件では約 800 MPa、最終的な溶接条件では約 900 MPa である。平滑材の疲労限度は引張強さと良い相関があることを考えると、10%程度は疲労強度に差があることが予期されたが、結果はそうになっていなかった。まず、基本の溶接条件の配管溶接継手の疲労強度は、溶接の再凝固組織の影響を受けており、完全な平滑材に対して求められた疲労限度と引張強さの関係を適用できない。次に、基本の溶接条件の配管溶接継手の疲労強度は、完全に平滑な試験片の疲労強度よりは低いことが見込まれる。そのため、最終的な溶接条件の配管溶接継手の疲労強度がそれよりも高くないということは、最終的な溶接条件の配管溶接継手の疲労強度も欠陥の影響を受けたものであることが予想される。いずれにしても、本事業で重要であるのは、疲労強度が水素の影響を受けるかどうかであり、いずれの溶接条件の継手にも疲労強度に対する水素の影響は見られなかった実験結果は非常に良い結果である。

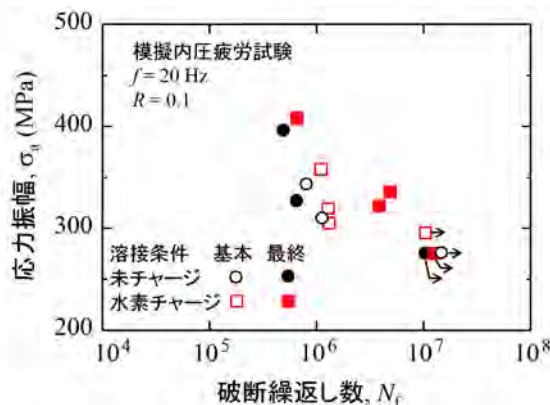


図 3.28 溶接配管(基本溶接条件)の内圧模擬疲労試験結果

水圧サイクルと高圧水素ガス圧力サイクル試験

内圧模擬疲労試験で得られた結果、すなわち、本事業で開発した配管溶接継手の疲労強度に水素の影響が認められないという結果は、配管溶接継手の開発にとっては非常にいい結果である。しかしながら、結果の信頼性向上の観点からは、より実際の条件に近い状態で水素の影響を評価したいという要望がある。そのため、本事業でも配管溶接継手の高圧水素ガス圧力サイクル試験を実施した。

高圧水素ガス圧力サイクル試験は、非常に時間と費用のコストがかかる試験である。そのため、その試験条件の設定に際しては十分な検討が必要である。本事業で開発の対象としている 110 MPa 級の高圧ガス配管を疲労破壊を発生させ、かつ限られたプロジェクトの期間内に十分なデータが取得できるだけの高応力を発生させることは実験装置の制約により難しい。したがって、その試験条件の設定に際しては十分な検討が必要である。本事業では 2 回の水圧サイクル試験を実施し、高圧水素ガス圧力サイクル試験の試験条件の検討、水素チャージ材を用いた水素脆化評価、溶接部の強度のばらつきを検討を行った。

図3.29に、水圧サイクル試験と高圧水素ガス圧力サイクル試験で用いた試験片を示す。高圧水素ガス圧力サイクル試験で疲労破壊を起こすことができるように、配管肉厚を薄く加工して内圧による応力を高くした。疲労破壊は内面から生じるので、外径の切削は疲労破壊機構には影響を及ぼさない。さらに、内面には人工微小欠陥を導入した。その形状は図3.29に示したとおりアスペクト比が1:3となるものであり、KHKS 0220(2010)の手順に準じて設定した。同基準にはき裂の大きさについても規定があり、肉厚16 mm以下の時に指定されている0.5 mmを採用した。人工微小欠陥は放電加工によって導入した。試験片に人工初期欠陥を導入した意図は、疲労破壊はき裂の進展した結果生じるため本質的にき裂進展に対する水素の影響を調べるのが重要であるためである。また、高圧水素ガス圧力サイクル試験の試験時間、費用、試験機の利用可能枠の制約から疲労限度を調べる実験は実施し難いことも理由の一つである。人工初期欠陥寸法は同一であるが、肉厚が異なるため、同じ内圧に対しても管壁の応力は異なる。従って、一つの内圧に対して異なる応力拡大係数範囲、あるいは疲労寿命の実験が可能である。疲労寿命に及ぼす水素の影響は、水素チャージによって評価した。図3.30に水圧サイクル試験の試験片のセットアップを示す。

図3.31に水圧サイクルと高圧水素ガス圧力サイクル試験結果の破壊力学的評価を示す。結果はいずれも前の水圧サイクル試験と基本の溶接条件で施工した配管溶接継手の高圧水素ガス圧力サイクル試験結果と一致する場所にプロットされた。1点だけ破断しても良い繰返し数でも未破断であったが、結論として言えることは本事業で開発した配管溶接継手の疲労寿命は水素の影響を受けないということである。

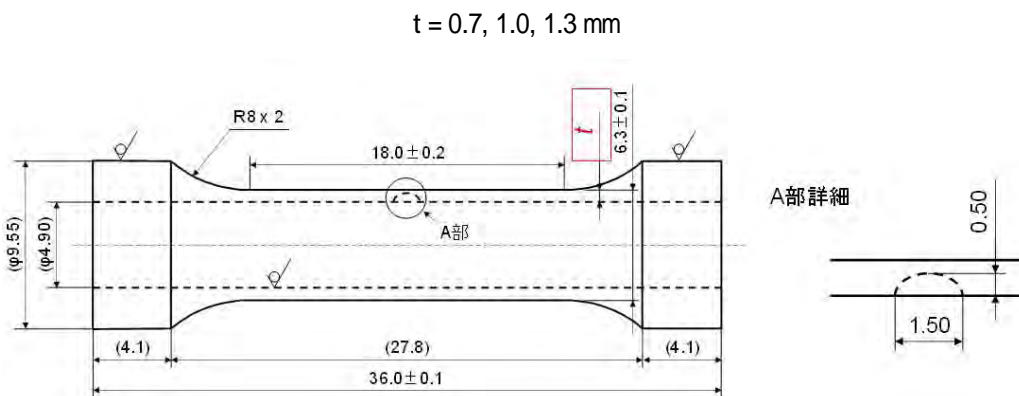
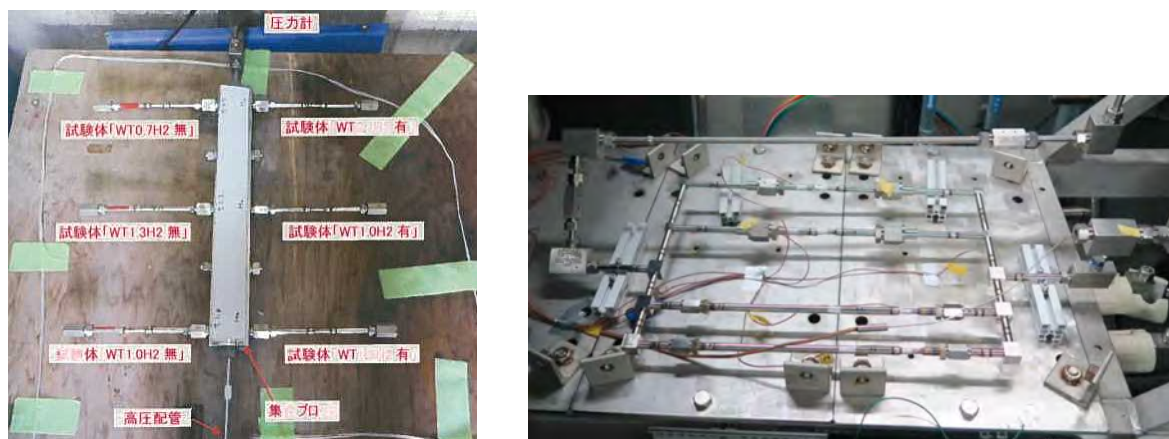


図3.29 水圧サイクルと高圧水素ガス圧力サイクル試験の試験片と人工初期欠陥研形状(第1回目)



(a) 水圧サイクル試験

(b) 高圧水素ガス圧力サイクル試験

図3.30 水圧サイクルと高圧水素ガス圧力サイクル試験セットアップ

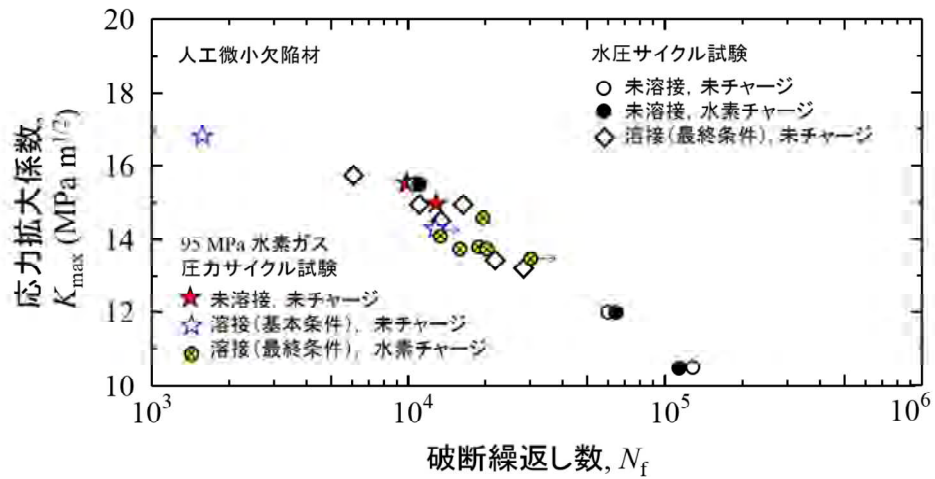


図 3.31 高圧水素ガス圧力サイクル試験結果の破壊力学的評価

溶接部の水素脆性評価のまとめ

内圧の繰り返しによる溶接配管の疲労損傷に対する水素の影響を解明するために、配管の内圧疲労に特有な破壊モードをシミュレートし、効率的に研究開発を可能とする疲労試験方法を開発した。基本溶接条件で溶接した溶接配管の疲労強度を取得した。水素の影響を評価するために、溶接配管に水素チャージを施した。水素チャージによる溶接配管の疲労寿命の低下は認められなかった。

3.2 成果の意義

(1) 高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接技術開発

高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接技術開発については、シールドガス成分、フィラー（インサートリング）と関連させる形で溶接電流、溶接時間を変化させて、溶接継手の引張強度が母材の規格強度を越える溶接条件を確定した。とくに溶接金属部での脱窒を抑制するため、ヘリウムに窒素を添加したシールドガスを開発した点が本事業の重要なポイントである。インサートリングには配管素材と同一の材料を用い溶接施工性を改善する形状をデザインした。なお、引張強さが母材の規格強度を上回った溶接継手については、引張試験の破断は母材部から生じた。

(2) 溶接金属の金属組織評価

溶接金属の金属組織評価については、溶接部に生成する相の種類や体積率に及ぼす窒素濃度等の影響を明確化するために、XM-19の平衡状態図を作製した。その状態図により、窒素量の減少とフェライトの生成の定量的な関係を予測した。さらに、溶接部のEPMA成分分析を行い、溶接継手における溶接部の強度低下と脱窒量との関係を明らかにした。また、溶接時間が長い方が溶接継手の引張強度が高くなった結果に対して、フェライト相の発達が有益であることを推定した。

(3) 溶接部の水素脆化評価

配管溶接継手の水素脆化特性の評価として、配管溶接継手から切り出した試験片に対する高圧水素ガス中のSSRT試験、配管溶接継手の疲労試験、高圧水素ガス圧力サイクル試験を実施した。溶接継手の引張強さが母材の規格強度を越える溶接継手について、温度-10℃、室温、50℃で高圧水素ガス中(-10℃は70 MPa、他の温度は85 MPa)でSSRT試験を実施した結果、相対絞りはいずれの条件下でも0.8を大きく越えていた。その配管溶接継手の疲労特性に対しても、水素の影響が認められないことをS-N線図、破壊力学的評価、破面観察により確認した。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本プロジェクトは、水素ステーションへの導入に向けて、3つの基本的な基準、容易に実現が可能(空冷式溶接機、フィルター材としてシンプルなインサートリング、温和な溶接パラメータ)、高強度(母材規格 800MPa 以上)、高い水素脆化特性、を満たす溶接継手の開発に繋がった。プロジェクト内で行った予備経済評価では、メンテナンスや漏洩リスクに関するコストを減らす溶接継手や関連するガスケット利用継手の長期的利点を示した。今後、溶接継手の導入へ向けて以下の3段階が考えられる。

・第1段階:水素ステーションの高圧配管の一部に溶接継手を使用した実証

本新規配管継手を使用した試験を行い、実環境下において実現可能性を示すことを目的とする。

・第2段階:完成したステーションへの溶接継手導入

一般的なコーン&スレッド継手と本新規継手とを技術的経済的に比較することを目的とする。

・第3段階:すべての水素ステーションへの系統的展開

この3段階の進行速度は、溶接継手のコスト、すなわち XM-19 材料や関連するガスケット利用継手のコストに大きく依存するものと思われる。

5. 研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	9/1/2014	平成26年度NEDO新エネルギー成果報告会 燃料電池・水素分野	高圧水素ガス用高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接継手に関する研究開発	松本 拓哉, 久保田 祐信, 土山 聡宏
2	3/1/2015	日本機械学会九州支部 第68期総会・講演会	高圧水素配管の疲労試験方法の開発	山本 侑生, 久保田 祐信, 松本 拓哉
3	8/1/2015	平成27年度NEDO新エネルギー成果報告会 燃料電池・水素分野	高圧水素ガス用高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接継手に関する研究開発	松本 拓哉, 久保田 祐信, 土山 聡宏
4	12/1/2015	日本材料学会 九州支部 第2回学術講演会	高窒素ステンレス鋼の溶接配管の疲労強度評価	山本 侑生, 久保田 祐信, 松本 拓哉
5	2/1/2016	I2CNER Annual Symposium 2016 (Poster session)	Development of weld joint for XM-19 high-pressure hydrogen tubing	山本 侑生, 久保田 祐信, 松本 拓哉
6	2/1/2016	Joint HYDROGENIUS and I2CNER International Workshop on Hydrogen-Materials Interactions 2016 (Poster	Fatigue strength of XM-19 weld joint for high-pressure hydrogen tubing	山本 侑生, 久保田 祐信, 松本 拓哉

		session)		
7	9/14/2016	日本機械学会 2016 年度年次大会	高窒素ステンレス鋼の高圧水素溶接配管の疲労強度評価	山本 侑生, 久保田 祐信, 土山 聡宏, 松本 拓哉
8	10/25/2016	平成28年度NEDO新エネルギー成果報告会 燃料電池・水素分野	高圧水素ガス用高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接継手に関する研究開発	松本 拓哉, 久保田 祐信, 土山 聡宏
9	12/10/2016	日本材料学会九州支部 第3回学術講演会	高窒素ステンレス鋼製の高圧水素配管の水素脆化評価	山本 侑生, 久保田 祐信, 土山 聡宏, 松本 拓哉

- 特許等 -

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	2015年8月12日	特願 2015-159523	溶接継手およびその溶接材料、溶接方法	レール・リキード・ソシエテ・アニム・プール・レテュード・エ・レクスプロワタシオン・デ・プロセデ・ジョルジュ・クロード 国立大学法人九州大学
2	2015年8月12日	特願 2015-159524	溶接継手およびその溶接材料、溶接方法	レール・リキード・ソシエテ・アニム・プール・レテュード・エ・レクスプロワタシオン・デ・プロセデ・ジョルジュ・クロード 国立大学法人九州大学
3	8/9/2016	PCT/JP2016/003688	WELD JOINT, WELDING MATERIAL USED THEREFOR, AND WELDING METHOD	L'Air Liquide, Societe anonyme pour l'etude et l'exploitation des procedes Georges Claude Kyushu University, National University Corporation

(III-3)「水素利用技術研究開発事業 / 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発 / 水素ステーションにおける雷被害対応技術の研究開発」

委託先：佐賀県、(有)鳥栖環境開発総合センター、(一社)日本雷保護システム工業会

成果サマリ (実施期間：平成26年度～平成28年12月)

- 水素ステーションの雷リスクを分析し、雷リスク軽減のための対策の必要性とともに、雷リスクを軽減する対策について検討し、「水素ステーションの雷被害対策ガイドライン(案)」を取りまとめた。

背景/研究内容・目的

水素ステーションへの落雷を想定して、人的被害や水素ステーションに使用されている計器等の被害(雷害)の発生リスクを検証し、被害防止に向けた研究開発を行うことで、「水素ステーションの雷被害対策ガイドライン(仮称)」を策定する。

研究目標

実施項目	目標
	既設水素ステーション及び類似施設の雷被害対策実施状況の把握
	水素ステーションの構成機器等を分析し、構成機器毎の雷被害リスク(影響度)を想定
	鳥栖実証水素ステーションにおいてリスク評価(印加)試験を実施し、雷被害リスクを分析
	雷被害リスク軽減のための対策案の検討
	雷被害対策の実施及び雷保護対策評価試験の実施
	水素ステーションの雷害対策ガイドライン(案)策定

実施体制及び分担等

NEDO	佐賀県(実施項目A,D,G)
	(有)鳥栖環境開発総合センター(実施項目A,D,G)
	(一社)日本雷保護システム工業会(実施項目A,B,C,E,F,H,I)

これまでの実施内容 / 研究成果

開発項目	目標	成果
現状把握	既設水素ステーション及び類似施設の雷被害対策実施状況の把握	水素ステーションを視察調査するとともに、CNGステーションについて聞き取り調査を実施し、雷被害対策の現状を把握
雷害リスクの想定	水素ステーションの構成機器等を分析し、構成機器毎の雷被害リスク(雷被害の影響度)を想定	構成機器等の直撃雷リスク及び雷サージリスクを分析し、個別ステーション毎にリスクを評価するための基準を定めるとともに、リスクに応じた対策の考え方を検討
リスク評価試験の実施	鳥栖実証水素ステーションにおいてリスク評価(印加)試験を実施し、雷被害リスクを分析	鳥栖実証水素ステーションにおいて雷を模した電流を実際に印加する試験を実施し、雷被害リスクを分析
雷害対策の検討	雷被害リスク軽減のための対策案の検討	水素ステーション固有の雷被害リスクを軽減するための具体的な対策案をとりまとめ
雷害対策評価試験の実施	鳥栖実証水素ステーションにおいて雷被害対策を実施し、その有効性を検証	鳥栖実証水素ステーションに対し雷被害対策を実施したうえで、実際の落雷に対する効果について検証し、対策の有効性を確認
雷害対策ガイドライン(案)策定	水素ステーションの雷被害軽減のためのガイドライン(案)策定	水素ステーション固有の雷害リスク軽減に有効な「雷被害対策ガイドライン(案)」をとりまとめた

今後の課題

取りまとめたガイドラインの周知。

実用化の見通し
水素ステーションの整備を進める事業者が参考にできる状態を既に実現。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	6	0

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
現状把握	聞き取り調査を実施し、雷被害対策の現状を把握	
雷害リスク想定	個々の水素ステーションの雷害リスクを評価するための基準(案)を定めた	
リスク評価試験	実証ステーションに雷を模した電流を印加し、雷害リスクを明らかにした	
雷害対策検討	雷害リスクを軽減するための具体的な対策案をとりまとめた	
対策評価試験	雷害対策が実際の落雷に対し効果があることを確認	
ガイドライン(案)策定	水素ステーションの雷害対策ガイドラインをとりまとめた	

課題番号： - 3

水素利用技術研究開発事業 / 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発 / 水素ステーションにおける雷被害対応技術の研究開発

佐賀県
有限会社鳥栖環境開発総合センター
一般社団法人日本雷保護システム工業会

1. 研究開発概要(事業の背景・目的・位置づけ)

燃料電池自動車(FCV)の市場投入に向けては、これまで水素ステーションとして求められる性能の確保、水素ステーションの低コスト化、市街地への水素ステーションの設置を可能にする規制見直しのためなどの研究開発とともに、水素ステーションを各地に設置して実証研究が行われてきた。しかしながら、これまで実施されてきた実証研究は、水素ステーションから水素の供給を受ける FCV の台数が限られていたことなどもあり、充填実施日については予約制を基本とし、例えば、近隣地域で落雷が懸念される悪天候の中であえて充填を行うような実証研究は行われていなかった。そのため、落雷対策としては「避雷針の設置」といった一応の基準が定められているが、施設のレイアウトによっては結果的にベントスタックが避雷針と同様の機能を有することが懸念され、例えば、充填作業中にベントスタックに落雷があった場合など、商用運用において発生し得る状況を想定した人的被害等の発生リスクについては、具体的な検討が行われていなかったのが実情である。

本研究は、水素ステーションにおける人体や設備に対する雷リスクを評価し、効果的な対策を検討することにより、水素ステーションの安全性・信頼性の確保に資することを目的とする。

2. 研究開発目標(設定の理由、妥当性も含め)

本研究事業は、平成 23 年 3 月に鳥栖市内に整備した実証水素ステーションにおいて、平成 26 年 3 月までに雷が原因と思われる計器類の誤反応が 21 回発生したことを受け、水素ステーション固有の雷被害リスク軽減を目的として実施したものである。

鳥栖実証水素ステーションは実証研究施設としては国内で最もコンパクトであるとともに、実際に雷被害を受けた事例がある。そこで、当該ステーションをモデルに以下の研究を行い、直撃雷や雷サージに対する人的被害や水素ステーションに使用されている計器類への被害について発生リスクを検証し、水素ステーション固有の雷被害リスクに対し、被害防止又は軽減に向けた方策について研究を行い、「水素ステーションにおける雷害対策ガイドライン(案)」を策定する。

(1) 現状把握

既設水素ステーション及び類似施設の雷被害対策実施状況の把握

(2) 雷害リスクの想定

水素ステーションの構成機器等を分析し、構成機器毎の雷被害リスク(影響度)を想定

(3) リスク評価試験の実施

実際に稼働している鳥栖実証水素ステーションにおいて落雷を模擬した雷インパルス電流印加試験による、雷サージの発生状況の確認および過去の雷被害の再現し、雷被害リスクを分析

(4) 雷害対策の検討

雷被害リスク軽減のための対策案の検討

(5) 雷害対策評価試験の実施

雷被害対策の実施及び雷保護対策評価試験の実施

(6) 雷害対策ガイドライン(案)策定

上記の調査結果および IEC(国際電気標準会議)/JIS(日本工業規格)に基づいた規格水素ステーションの雷被害軽減のためのガイドライン(案)策定

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) 現状把握

国内におけるそれぞれに特徴を有する既設水素ステーション及び類似施設の現地視察調査を行い、雷被害対策実施状況の把握を行った。さらに、水素ステーションにおける雷被害・雷保護実施状況調査をアンケート形式にて行った。

現地調査を行った水素ステーションは4施設。都市ガス水蒸気改質によるオンサイトステーションの「とよたエコフルタウン水素ステーション」、液化水素が外部供給されるオフサイトステーションである「岩谷産業(株)尼崎水素ステーション」、カードルにより水素を供給し、天然ガススタンド「練馬エコステーション」と併設されている「東京ガス(株)練馬水素ステーション」、国内で最もコンパクトであるとともに、実際に雷被害を受けた事例がある「鳥栖実証水素ステーション」となっている。

各水素ステーションにおいて、設備概要、周囲環境、設備の設置状況、配線の敷設状況、接地システム、雷被害および雷保護の実施状況について、現地担当者の話も踏まえ、調査内容を取り纏めた。

さらに、水素ステーションにおける雷被害および雷保護の考え方や取組状況を把握するため、既存の70MPa水素ステーション8サイトについてアンケート調査を実施した。

調査の結果、水素ステーションにおいて雷被害は発生していない(鳥栖水素ステーションを除く)ことが明らかとなった。これは、調査時点における水素ステーションの設置数が少なかったこと、調査対象サイトが、雷日数が少ない地域、平地、市街地または住宅地といった雷リスクが低い地域であったことが考えられる。

また、ほとんどのステーションにおいて雷保護を実施されていなかった。これは、水素ステーションの雷害対策について、法令・基準など指針となるものがないこと、また、雷被害＝「直撃雷による被害」という認識があり、「直撃雷のリスクは小さい」「雷リスクは小さい」と考えられているためだと推測された。

これらの調査結果により、水素ステーションにて発生しうる雷リスク想定的基础となると共に、雷リスクに対する認識のズレが浮き彫りとなり、本研究の最終目標である水素ステーションにおける雷リスク対策ガイドラインの重要性が示唆された。

(2) 雷害リスクの想定

(1)の調査結果を基に、構成機器等の直撃雷リスク及び雷サージリスクを分析し、個別ステーション毎にリスクを評価するための基準を定めるとともに、リスクに応じた対策の考え方を検討した。

水素ステーションの雷被害と影響度について、表1に示す。被害の内容と被害の条件によって影響度を3段階で評価する。まず、水素の漏えいについて、「一般高圧ガス保安規則関係例示基準」の「23.ガス漏洩検知警報設備およびその設置場所」(1)において、可燃性ガスは爆発下限界の1/4以下の値となっており、水素の爆発下限界値が4%であることから、1%(10,000ppm)以上を影響度:大とした。これを基準とし、0.1%(=1,000ppm)以上1%(10,000ppm)未満を影響度:中、それ未満を影響度:小とした。影響度:大に該当する設備としては、蓄圧器、水素配管などが考えられるが、影響度:中、影響度:小については、今のところ、該当する設備はない。次に、施設の損傷について、高圧ガス保安上、重要な設備とされているセンサー類、圧力計、安全弁、防爆機器、散水設備、プレクーラーなどの他、高圧ガスの製造において重要なその他設備として、圧縮機、制御盤、受電盤が損傷した場合の影響度を大とした。営業上、重要な設備である計量器や精算機などが損傷した場合の影響度を中、上記以外の設備が損傷した場合の影響度を小とした。また、人的な被害については、特に条件は設けず、影響度:大とする。

表 3.1.1

影響度	被害内容	条件	該当する設備(例)
大	水素漏えい	1% (10,000ppm) 以上	蓄圧器、水素配管
	施設の損傷	高圧ガス保安法上、重要な設備	センサー類、圧力計、安全弁、 防爆機器、散水、ブローラー
		高圧ガスの製造において、 重要なその他の設備	圧縮機、制御盤、受電盤
	人的被害		
中	水素漏えい	0.1% (1,000ppm) 以上、1% 未満	該当なし
	施設の損傷	営業上、重要な設備	計量器、精算機
小	水素漏えい	0.1% 未満	該当なし
	施設の損傷	上記に含まれない設備	一般警備機器、照明、 サービス施設

(3) リスク評価試験の実施

(有)鳥栖環境開発総合センター内の水素ステーションにおいて、近傍への落雷(近傍落雷)が原因と思われる設備障害が発生した。これは、近傍落雷による大地電位上昇の影響により雷サージが侵入して設備障害が起きたと考えられる。雷対策構築のためには、現状設備形態における落雷時の雷電流侵入様相を把握する必要がある。

そこで、雷サージの侵入が想定される箇所にインパルス電圧/電流を印加/通電し、雷電流様相を把握する試験を実施した。

インパルス試験システムを図 3.11.1 に示す。

試験に用いるパルス発生器(以後 PG)の仕様を表 3.1.2 に、インパルス発生器(以降 IG)を表 3.1.3 に示す。IG の駆動電源は発動発電機を用いた。

PG は短時間の現象で、電流が流れている時間が短くエネルギー量が少ない。IG は PG と比較し、長時間の現象で、電流が流れている時間が長くエネルギー量が多いことから、試験項目毎に分けて使用した。

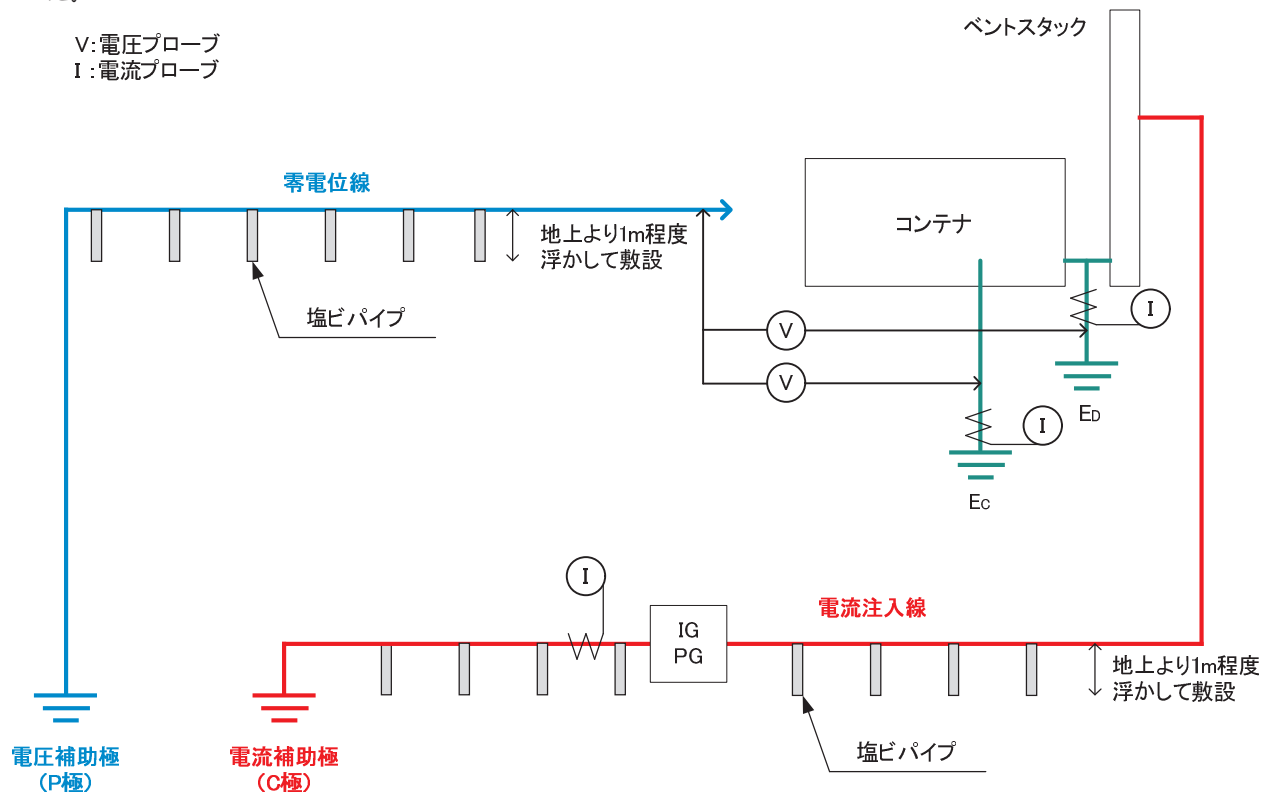


図 3.1.1 インパルス試験システム(試験イメージ)

表 3.1.2 PG の電氣的仕様

項目	仕様
印加電圧	500V ~ 1kV
連続パルス印加	10 回/s
電源電圧	AC100V

表 3.1.3 IG の電氣的特性

項目	仕様
印加電圧	1kV ~ 2kV
主コンデンサ容量	0.5 μ F
出力波形(開放時)	1.2/50 μ s
電源電圧	AC100V

その結果、現状の設備状態では、C 種接地極と D 種接地極との間に電位差が発生した場合、模擬防爆バリア(ツェナーダイオード)が動作、接続されている PLC や PIT 等の機器に雷サージが侵入し、警報が発報された。

雷サージが防爆バリアを通過する過程で、定格電流の低いヒューズが溶断した。

ベントスタックに印加した際、電源線に分流する事が確認出来た。ステーションと離れた位置にある設備との間に生じた電位差によって、電源線が雷サージの経路となると考えられる。

ディスペンサーと大地間に電位差が生じていた。

本試験より判明した雷リスクを以下に示す。

落雷による電位上昇により、配線用遮断器(MCCB)の不要動作(トリップ)が想定される。

ベントスタックへの直撃雷、あるいは近傍落雷により、D 種接地極と C 種接地極との間に電位差が発生した場合、防爆バリアを破壊し、各機器に雷サージが印加され誤動作、損傷が発生する。

落雷による電位上昇によって、水素ステーションと接続されている遠方の機器において、誤動作・損傷が発生する。

ベントスタックへの直撃雷によって、ディスペンサーと大地間に電位差が発生し、人体に高電圧が印加される。

PLC のスキャンタイムと雷サージが重なった場合、センサが誤動作する可能性がある。

(4) 雷害対策の検討

上記(3)の結果を踏まえ IEC や JIS の基準等に照らし合わせ、対策案を検討した、対策の一覧を表 3.1.4 に、対策の概要を図 3.1.2 に示す。

表 3.1.4 対策一覧

No	項目	内容	期待する効果
	接地端子間	接地端子間を短絡又は接地間 SPD を接続	電位差を抑制
	電源線	電源用 SPD の設置又は耐雷トランスの新設	電源線に流れる雷電流の低減及び過電圧抑制
	通信線	通信用 SPD の設置又は耐雷トランスの新設	通信線に流れる雷電流の低減及び過電圧抑制
	ディスペンサー	水素充填地点の足元に金属板を新設し、ステーションの筐体と接続して等電位化を図る	落雷がステーションに直撃した際に人体と大地との間に発生する電圧の抑制

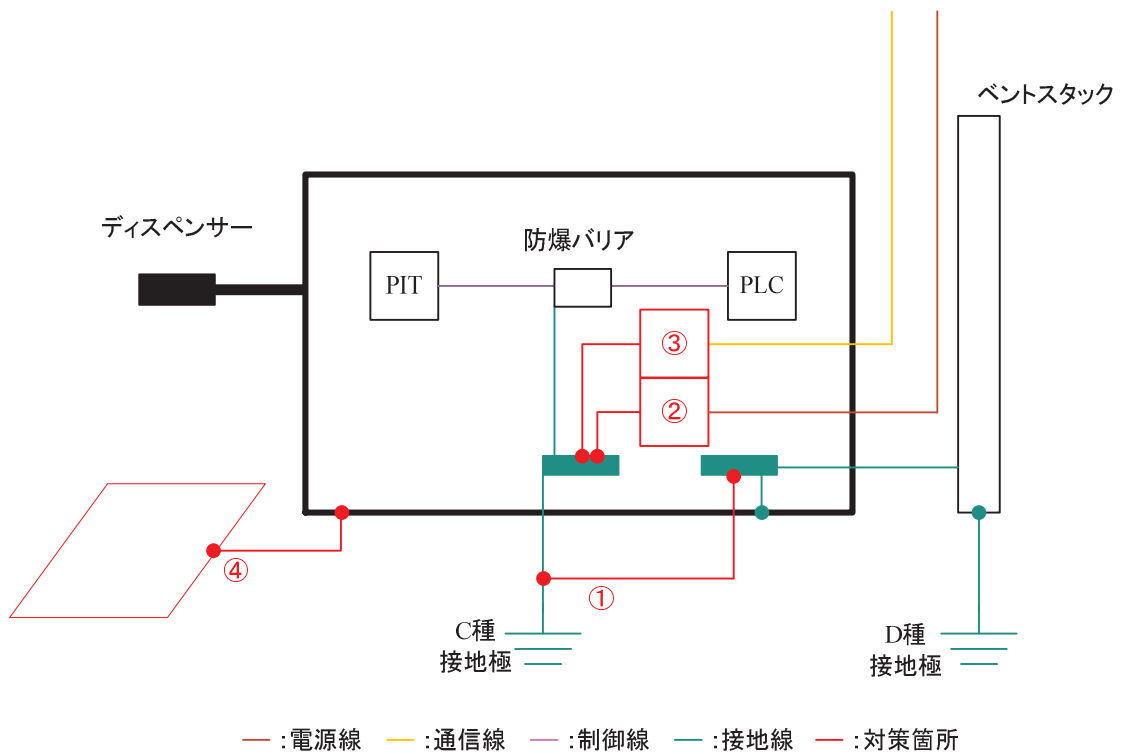


図 3.1.2 対策概要

(5) 雷害対策評価試験の実施

鳥栖水素ステーションにおいて、検討した対策(表 3.1.3)のうち、対策①、対策②、対策③を実施した。電源用 SPD の取付け状況を図 3.1.3 に、仕様を表 3.1.5 に示す。また、通信用 SPD の取付け状況を図 3.1.4 に、仕様を表 3.1.6 に示す。なお、A/C 種接地極と D 種接地極間は IV 線で接続した。



図 3.1.3 電源用 SPD

表 3.1.5 電源用 SPD 仕様

試験クラス	クラス
最大連続使用電圧 U_c	AC280V
公称放電電流 I_n	20kA
電圧防護レベル U_p	1.4kV 以下



図 3.1.4 通信用 SPD

表 3.1.6 通信用 SPD 仕様

試験カテゴリ	JIS C 5381-21
最大連続使用電圧 U_c	DC60V
電圧防護レベル U_p	600V 以下
インパルス耐久性 カテゴリ C2 8/20us	5kA

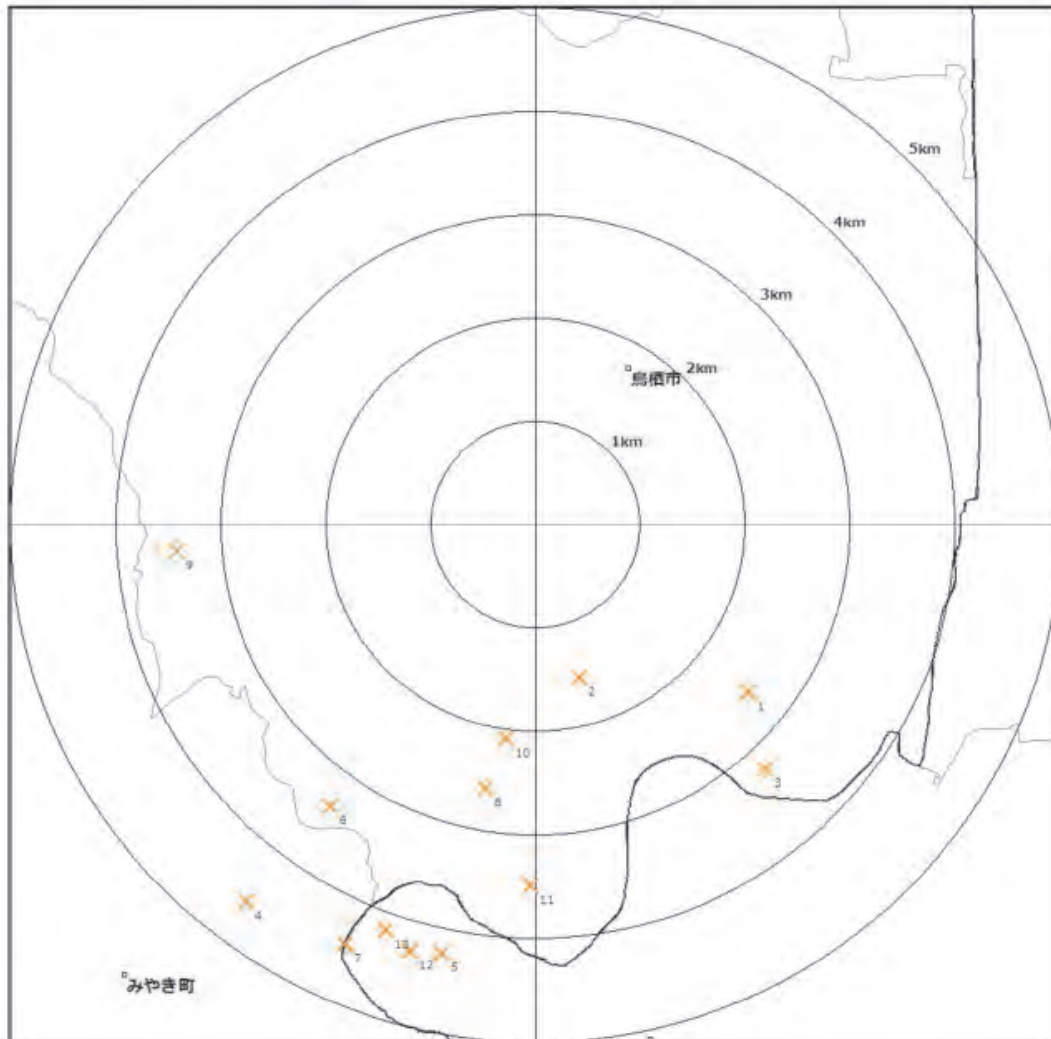
試験の結果、鳥栖水素ステーション近傍に複数回の落雷が発生した。
 2016年8月4日 15:00～16:00の落雷データを図 3.1.5、表 3.1.7 に示す。
 水素ステーションから最も近い位置としては、1.5km で 10kA の負極性落雷が観測されている。

中心位置：佐賀県鳥栖市森本町929-2付近

(北緯 33° 21' 50" / 東経 130° 29' 48")

表示範囲：上記地点を中心とした 10km × 10km

表示期間：2016年08月04日 15:00 ~ 2016年08月04日 16:00



凡例: × 15:00 ~ 15:15 × ~ 15:30 × ~ 15:45 × ~ 16:00

図 3.1.5 2016年8月4日 15:00~16:00 の落雷位置

中心位置：佐賀県鳥栖市轟木町929-2付近
 (北緯 33° 21' 50" / 東経 130° 29' 48")

表示範囲：上記地点を中心とした 10km × 10km

表示期間：2016年08月04日 15:00 ～ 2016年08月04日 16:00

落雷データ

番号	年	月	日	時	分	秒	緯度(°)	経度(°)	電流値(KA)	中心からの距離(km)
1	2016	8	4	15	32	56	33.350	130.518	-7	2.6
2	2016	8	4	15	36	38	33.351	130.501	-10	1.5
3	2016	8	4	15	37	41	33.343	130.520	-16	3.2
4	2016	8	4	15	37	41	33.331	130.467	-10	4.6
5	2016	8	4	15	40	27	33.327	130.487	-42	4.2
6	2016	8	4	15	40	27	33.340	130.476	-6	3.4
7	2016	8	4	15	40	27	33.328	130.477	-26	4.4
8	2016	8	4	15	42	21	33.341	130.492	-34	2.6
9	2016	8	4	15	42	21	33.362	130.460	-7	3.4
10	2016	8	4	15	42	21	33.346	130.494	-8	2.1
11	2016	8	4	15	43	6	33.333	130.496	-82	3.5
12	2016	8	4	15	44	48	33.327	130.484	-20	4.3
13	2016	8	4	15	44	48	33.329	130.481	-21	4.2

表 3.1.7 2016年8月4日 15:00～16:00の落雷データ一覧

A/C種接地線とD種接地線には、防爆バリアのヒューズの定格電流(数十mA)以上の雷サージ電流が流れていたが、A/C種接地線とD種接地線を接続したことで、雷サージ電流が防爆バリアを通過せずに接続接地線を通じて大地に流れ、防爆バリアの被害を防止したと考えられる。このように、水素ステーション内に存在する接地は全て接続することで等電位化を図り、電位差による機器の障害、損傷を防ぐことができる。また、設備上、常に接地を共通にする事が難しい場合は、接地間用SPDを設ける事で、接地間に高電圧が加わった時に瞬時に導通状態となり、接地を一時的に共通化し、機器の障害、損傷を防ぐことができる。

電源線、通信線への雷サージの侵入は確認できなかった。しかし、現状の設備形態では、電源線及び通信線に雷サージが侵入することは十分考えられる。そのため、外部に接続されている電源線及び通信線と接地端子間にSPDを設置することで、雷サージ侵入時の異常電圧から機器を保護することができる。SPDのサージ電流耐量について、直撃雷のリスクが小さい本ステーションでは、非直撃雷用のSPD(電源用:クラス、通信用:カテゴリC)でよい(SPDのクラス・カテゴリについての詳細は別添「水素ステーションにおける雷害対策ガイドライン」参照)と考えられるが、直撃雷を考慮する場合は、電源用はクラス、通信用はカテゴリDのSPDを選定する。なお6.3項で観測された雷サージ電流であれば、電源用はクラス、通信用はカテゴリCのSPDで充足する。

また、電源線及び通信線を耐雷トランスで絶縁することによっても、外部から侵入する雷サージによる影響を抑制することが出来る。耐雷トランスについては、Surge Isolation Transformer (SIT)としてIEC規格で新規制定中である。

(6) 雷害対策ガイドライン(案)策定

上記評価試験の結果により、対策の有効性が確認されたことから、調査結果および IEC(国際電気標準会議)/JIS(日本工業規格)に基づいた規格水素ステーションの雷被害軽減のためのガイドライン(案)策定を策定した。

ガイドライン(案)の概要を別添「水素ステーションの雷害対策ガイドライン(概要版)」に示す。

3.2 成果の意義

事業の実施により、今後、雷害リスクの高い地域に対しても整備が進むことが予想される水素ステーションの、雷害リスクに対する安全性・信頼性の向上に貢献した。

3.3 開発項目別残課題

特になし。

4.まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

直撃雷や雷サージに対する人的被害や水素ステーションに使用されている計器類への被害について水素ステーション固有の雷被害リスクを整理するとともに、被害防止又は軽減のための方策を検討し、具体的な実証研究を通じてその有効性を確認し、「水素ステーションにおける雷害対策ガイドライン(案)」を取りまとめた。

本事業は、体系的に整理されている雷被害対策を、水素ステーションに合わせて整理したものであり、雷被害対策に係る各種規格の改正に対しては、我が国における雷被害対策の規格化に中心的な役割を担ってきた実績を有する「一般社団法人日本雷保護システム工業会」が対応していくこととしており、既に実用化段階にある。

また、研究成果については、水素ステーションに係る安全基準等を策定・運用する団体に共有するとともに、展示会等で普及に努めている。

5. 研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

年月日	発表媒体	タイトル	発表者
2016.7.1	The International Conference on Electrical Engineering 2016(ICEE2016)	Study of Lightning Protection for Hydrogen Station	(株)昭電 大林 和輝
2016.9.30	The International Conference on Lightning Protection 2016(ICLP2016)	Study of Lightning Protection for Hydrogen Station	(株)昭電 大林 和輝
2015.10.7 ~ 2015.10.9	エコテクノ2015	水素ステーションにおける雷被害対応技術の研究開発(ポスター展示)	佐賀県
2016.10.12 ~ 2016.10.14	エコテクノ2016	水素ステーションにおける雷被害対応技術の研究開発(ポスター展示)	佐賀県

- 特許等 -

該当なし。

(III-4)「水素利用技術研究開発事業 / 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発 / 水晶振動子を利用した信頼性向上が期待できる水素センサの研究開発」

委託先：学校法人早稲田大学、(株)坂本電機製作所、KOA(株)

成果サマリ (実施期間：平成26年度～平成29年度)

- ・センサ素子の高感度化のために、ナノ構造白金触媒をセンサ上に選択的電気メッキするプロセス技術を開発し、検出下限濃度：約0.01%を達成した。
- ・自己故障診断機能のキー要素であるセンサの機械的振動特性の変化を非常にシンプルな構成で検出できる劣化検出回路を開発した。
- ・吸引式のハンディー型水素ガス検知器、拡散式の定置型水素ガス検知器の実証器を開発した。模擬フィールドを用いた環境試験は事業期間内に終了見込み。

背景/研究内容・目的

既存の水素センサでは、個々のセンサが実際の使用現場において劣化等を監視する機能については研究がなされておらず、劣化状況監視機能を組込むことは容易ではない。

これに対して、要求されている性能を満足するだけでなく、センサの劣化・故障を随時監視する自己故障診断機能を組込むことで信頼性を高めた水晶振動子式水素センサを開発する。

- ・検出下限：0.01%
- ・応答時間：30秒以内
- ・劣化・故障の定量的評価法を確立
- ・応用機器開発：ハンディー型、定置型センサ

研究目標

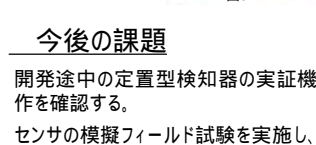
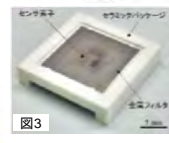
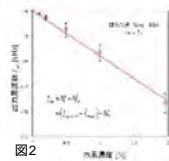
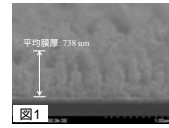
項目	目標
目標仕様の明確化、定量的評価法の調査	
白金触媒・水晶形状の最適化、製作プロセスの確立	
センサ素子設計のための熱・振動解析結果の提供	
感度及び応答速度が測定できる装置の開発	
水素ステーションにおけるセンサ設置場所や個数等の調査	
発振回路、ヒータ制御回路、信号処理回路の開発	
環境試験の実施、コンタミネーションの影響評価	
JIS、ISO等の調査、防爆構造の調査	
セラミックパッケージの開発	
ハンディー型、定置型検知器の筐体、機構部の設計開発	
濃度演算、故障診断機能、制御プログラムの開発と動作試験	
防爆認定に向けた構造検討	

実施体制及び分担等

NEDO	早稲田大学 (、 、 、)
	坂本電機(平成26～27年度) (、 、 、)
	KOA (、 、 、 、 、)

これまでの実施内容 / 研究成果

- ・電気メッキ技術を利用したナノ構造を有する白金触媒をセンサ上に選択形成する技術を確立した。それにより、従来のセンサに対して4～5倍の感度向上を実現し、検出下限濃度：0.01%を達成(図1, 2)。
- ・センサ素子と駆動回路を実装したTCC製の小型パッケージを開発した(図3)。
- ・吸引ポンプを内蔵したハンディー型検知器および、耐圧防爆構造を適用した定置型検知器の実証機を開発した(図4, 5)。



今後の課題

開発途中の定置型検知器の実証機を完成させ、その動作を確認する。
センサの模擬フィールド試験を実施し、温湿度環境における安定性、メタン、CO等に対するガス選択性を検証する。並行して、自己故障診断機能の有効性を評価検証する。

実用化の見通し

事業終了後にサンプル出荷を経てセンサ単体 / モジュールでの販売開始。
優位性が市場認知された段階でハンディー式、定置式センサを市場投入する。

研究成果まとめ

項目	成果内容	自己評価
	目標仕様を決定、センサの定量的な評価法の文献調査、及び検討	
	電気メッキによるナノ白金触媒の形成条件最適化、製作プロセスでのセンサの試作	
	センサ素子の熱・振動解析結果に基づく素子設計の方向性決定	
	幅広い水素濃度に対する感度試験が可能な自動校正システムの開発	
	ステーションでの定置型検知器の現状把握、市販のハンディー型検知器の性能調査	
	高精度のヒータ温度制御回路、マイコンを用いた水素濃度演算機能の開発	
	環境試験装置の仕様策定、装置発注(10月立上げ、2月評価終了予定)	(2月達成見込)
	該当するJIS、ISOの調査、適応する防爆構造(定置：耐圧、ハンディー：本安)の決定	
	センサ素子と駆動ICを実装した小型セラミックパッケージの開発	
	ハンディー型検知器の機構部試作、定置型検知器の耐圧容器設計(2月組上げ予定)	(10月達成見込)
	ハンディー型の試作器完成、定置型は開発中(2月完了予定)	(2月達成見込)
	ハンディー型の本安回路および、定置型の耐圧容器のための設計仕様調査と検討	

大幅達成、達成、達成見込み、X未達

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	8	2	1

課題番号： -4

水素利用技術研究開発事業 / 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発 /

水晶振動子を利用した信頼性向上が期待できる水素センサの研究開発

学校法人早稲田大学

株式会社坂本電機製作所(平成 28 年度終了)

KOA 株式会社

1. 研究開発概要

本プロジェクトは、2025 年の水素ステーションの本格普及期に不可欠な技術要素である高度な次世代水素ガスセンサの開発を目的として実施した。水素ステーションの普及に求められる要件には、トラブルの未然防止及び迅速な解決に必要な安全技術の向上、周辺地域に理解されうる安心技術を両立することが重要な課題となっている。現状の水素センサではガスの選択性・検出感度・応答性・環境補償性・低消費電力等の要求を満たした上で、更にセンサ素子自身の劣化状況監視機能を組み込むことはセンサの動作原理上不可能である。これに対し、本グループが実現する水素センサでは、白金触媒と水晶振動子を組み合わせることにより水素ステーションで使用されている従来の水素センサの性能目標を達成し、その上で MEMS (Micro electro mechanical systems) 技術を応用することで白金の使用量を低減することにより価格低下を実現する。更に、例えば水晶振動子の機械的な振動特性の変化を検出することによってセンサの故障や性能劣化が随時監視できる自己故障診断機能を新たに開発し、その機能を付加することで水素センサの信頼性向上及び、維持コスト削減を実現する。

2. 研究開発目標

本プロジェクト中に、自己故障診断機能を搭載した水素センサを開発し、そのアプリケーションとして、水素ステーションの設備等に設置される定置型水素ガス検知器と、水素ガス漏れ検査など保守点検で用いられるハンディー型水素ガス検知器の2種類の検知器について研究開発を行うことを事業の目的と位置付けている。表 1 に実施計画書に記載の実施項目と、それぞれの最終目標を示す。表に記載の通り、防爆構造については認定取得のための検討を行い、取得見込みを得るところまでを本プロジェクトにおける達成目標とする。

また、それぞれの検知器の開発目標仕様を表 2、表 3 に示す。目標仕様は、市場にある水素センサの調査結果及び、2015 年 2 月 13 日に開催した有識者および NEDO 関係者との意見交換会の内容をベースとして検討、策定したものである。また、各目標値の試験条件については JIS および ISO に基づいて設定し、2017 年 7 月 7 日付けで NEDO 担当者へ提出した改訂版センサ目標スペックに記載したものである。

表 1 実施項目名とそれぞれの最終目標

実施項目名	最終目標(H29 年度)
水素センサの要求仕様と評価法の調査	目標仕様の明確化、定量的評価法の調査
センサの高感度化と製作プロセスの確立	白金触媒・水晶形状の最適化、製作プロセスの確立
シミュレーション技術の開発	センサ素子設計のための熱・振動解析結果の提供
水素センサ評価装置の改良	感度及び応答速度が測定できる装置の開発

水素ステーションの計装における水素センサの位置付け調査	水素ステーションにおけるセンサ設置場所や個数等の調査
センサ駆動回路の開発	発振回路、ヒータ制御回路、信号処理回路の開発
模擬フィールド試験	環境試験の実施、コンタミネーションの影響評価
水素センサ実用化における法規に関する調査	JIS、ISO 等の調査、防爆構造の調査
センサパッケージの開発	セラミックパッケージの開発
検出部ケースの開発	ハンディー、定置型水素ガス検知器の筐体、機構部の設計開発
センサシステムの開発と評価	濃度演算、故障診断機能、制御プログラムの開発と動作試験
防爆構造の検討	防爆認定に向けた構造検討

表2 ハンディー型水素ガス検知器の製品仕様(目標)

項目	目標	条件
1 検知範囲	0 ~ 100%LEL (空気中水素濃度 0 ~ 4%) LEL: Lower Explosion Limit 爆発下限界	温度: 20 ± 5 湿度: 65 ± 10%RH 気圧: 1,013 ± 50hPa
2 検出下限	空気中水素濃度 0.01%	
3 指示精度	試験用ガスの濃度 (水素濃度 F.S.20%、F.S.50%、F.S.80%) と指示値の差が ± 25%以内	
4 応答速度	水素濃度 F.S.50%において、吸引装置を用いた場合の 90%応答が 30 秒以内	
5 水素防爆	本質安全・耐圧防爆構造 (JIS C 0901, JIS C 0903, JIS F 8004 又は JIS F 8005 に適合)	-
6 自己故障診断機能	定量的評価法の確立	-
7 環境影響	環境温度: 温度 0、20、40 において試験用ガス (水素濃度 F.S.50%) の濃度と指示値の差が ± 15% 以内	湿度: 65 ± 10%RH 気圧: 1,013 ± 50hPa 使用温度範囲を網羅。
8 ガス選択性	メタン、イソオクタン、一酸化炭素に対する感度が同濃度の水素の 10%以下 (ISO 26142:2010)	温度: 20 ± 5 湿度: 65 ± 10%RH
9 耐被毒性	HMDS ガス被毒性評価 : 欧州規格 EN50291 に従う	気圧: 1,013 ± 50hPa

他の項目については、JIS M 7653_1996 (携帯形可燃性ガス検知器) を準拠。

表3 定置型水素ガス検知器の製品仕様(目標)

項目	目標	条件
1 検知範囲	0 ~ 100%LEL (空気中水素濃度 0 ~ 4%) LEL: Lower Explosion Limit 爆発下限界	温度: 20 ± 5 湿度: 65 ± 10%RH 気圧: 1,013 ± 50hPa
2 検出下限	空気中水素濃度 0.01%	
3 指示精度	試験用ガスの濃度 (水素濃度 F.S.20%、F.S.50%、F.S.80%)と指示値の差が ± 25%以内	
4 応答速度	水素濃度 F.S.50%において、60%応答が 30 秒以内	
5 水素防爆	本質安全・耐圧防爆構造 (JIS C 0901, JIS C 0903, JIS F 8004 又は JIS F 8005 に適合)	-
6 自己故障診断機能	定量的評価法の確立	-
7 環境影響	環境温度: 温度 -10、20、40 において試験用ガス (水素濃度 F.S.50%) の濃度と指示値の差が ± 25%以内	湿度: 65 ± 10%RH 気圧: 1,013 ± 50hPa 使用温度範囲を網羅。
8 ガス選択性	メタン、イソオクタン、一酸化炭素に対する感度が同濃度の水素の 10%以下 (ISO 26142:2010)	温度: 20 ± 5 湿度: 65 ± 10%RH
9 耐被毒性	HMDS ガス被毒性評価 : 欧州規格 EN50291 に従う	気圧: 1,013 ± 50hPa

他の項目については、JIS M 7626_1994 (定置形可燃性ガス検知警報器) または、ISO 26142:2010 (Hydrogen detection apparatus — Stationary applications) を準拠。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) 水素センサの要求仕様と評価法の調査

本項目については、目標仕様の明確化、定量的評価法の調査を目的として実施した。目標仕様については表 2、3 に示したとおり、有識者および NEDO 関係者との意見交換会の内容をベースに、関係者で検討の上、前記の通り策定した。それらの数値目標と試験条件は関連する JIS および ISO に基づいて設定した ()。

評価法に関しては、文献調査と検討を行い、センサの定量的評価法について方針性を決定した。詳細については実施項目 (4) 「水素センサ評価装置の改良」に記述する ()。

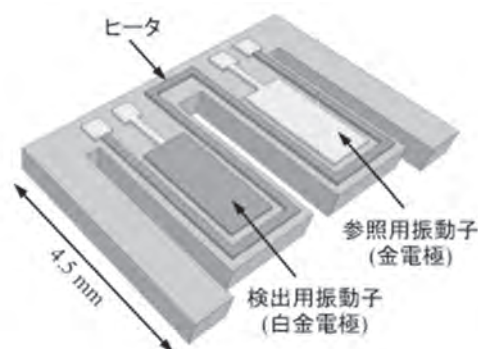


図1 水素センサ素子の概形

(2) センサの高感度化と製作プロセスの確立

本センサは、白金触媒上での水素と酸素の反応熱を検出する接触燃焼式水素センサに属し、温度検出のために水晶振動子を用いた周波数出力型の水素センサである。図 1 にセンサ素子の概形を示す。水素を検出するための白金触媒電極を有した水晶振動子の近くに、センサ加熱用ヒータと検出用振動子と同じ周波数温度特性を有し、尚且つ水素に反応しない参照用振動子を隣接して作り込み、二つの水晶振動子の周波数変化率の差分を取ることで環境変化を補償できる構造となっている。更に、センサ加熱用ヒータにより 100 付近に加熱して使用することで、十分に高い触媒活性を得ると共に、外気の湿度や水素の燃焼反応によって発生した水分の影響を抑制することができる。100 という低温で動作可能なことは、消費電力、ガス選択性、水素防爆における安全性において優位性が期待できる。

接触燃焼式水素センサの高性能化のためには、触媒構造を最適化することによる反応熱量の増大及び、センサ形状の最適化による熱容量・熱損失の低減が有効的な手段である。そのため、白金触媒とセンサ形状の二つの切り口でセンサの高性能化について研究開発を行なった。

はじめに、白金触媒について説明する。本センサは、ウェハプロセスによりサブミクロンオーダーの微細パターンを有することから、触媒形成においてもパターンニング性が重要な要件となる。また、プロセス温度やコストなども総合的に考慮し、電気メッキ法を用いたナノ構造白金触媒の形成技術について研究開発を行なった。予備実験の結果、成膜した白金皮膜の構造は電流密度によって制御することが可能であり、比較的低い電流では光沢を持った白金皮膜、その後は白金グレー、白金黒へと段階的に変化することが確認された。図 2 と図 3 に電気メッキにより形成した白金皮膜の表面と断面の SEM 写真を示す。白金黒となる範囲では、ナノオーダーの白金粒子が樹枝状に成長した立体構造が確認でき、効果的に触媒の表面積を増加できたと考えられる。

次に、水晶のエッチング加工及び、電極のフォトリソ加工を施した実際的水晶ウェハに対して電気メッキを行なった。図 4 に電気メッキ前後の水晶ウェハの写真を示す。その結果、ウェハ内の全てのセンサ素子の所定電極上に選択的に白金皮膜を形成できることが確認された。また、パターンニング精度については、約 10 μm と十分なレベルが実現できた。同様に、膜厚の制御技術についても実験を通じたデータ取得を行い、センサ感度と安定性に対して最適な形成条件を決定した。

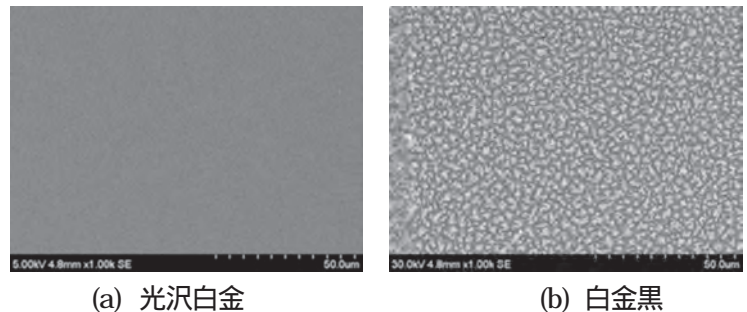


図 2 白金皮膜表面の SEM 写真

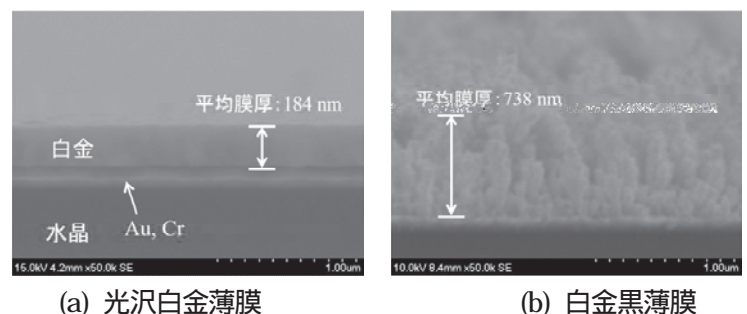


図 3 白金皮膜断面の SEM 写真

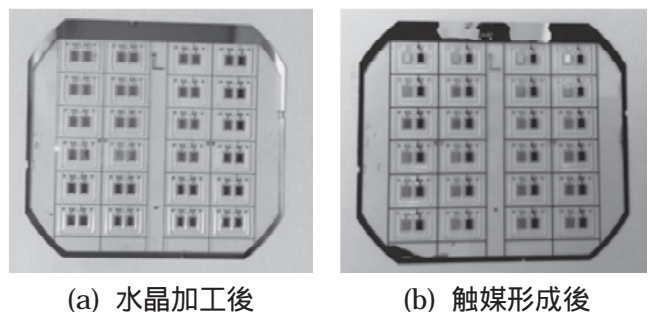


図 4 加工中の水晶ウェハの写真

図 5 にセンサ素子の感度の測定結果の一例を示す。グラフの縦軸はセンサ出力(周波数変化)を表しており、水素濃度 0%と 0.3%のガスを繰り返し導入して得られた結果である。従来の白金スパッタ薄膜を触媒としたセンサと比較すると、4 倍以上の感度向上が確認できた。これらの結果より、センサの高感度化が実現できる量産に向けた白金触媒形成技術を確認することができた。開発した MEMS 水素センサのための白金触媒の電気メッキ技術について、2016 年に米国で開催された IEEE 国際学会で発表した結果、論文賞を受賞する高い評価を受けた()。

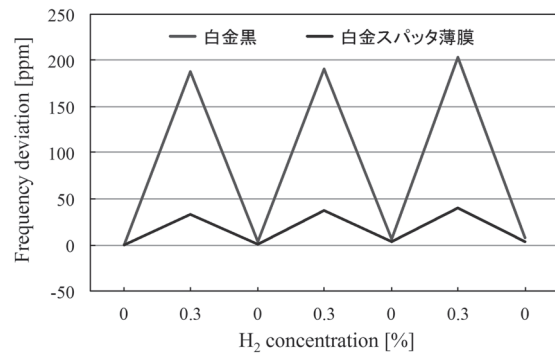


図 5 水素感度の比較結果の一例

次に、センサ形状の最適化について説明する。水晶振動子式水素ガスセンサにおいて、センサを構成する水晶振動子の Q 値は動作の安定性を決定する重要なパラメータの一つであり、水晶の形状や寸法によって大きく左右される性質を持っている。そこで、Q 値に着眼し、具体的な素子の寸法について検討した。寸法の異なる 4 種類の振動子を試作し、それらの Q 値を比較した結果を図 6 に示す。便宜上、それぞれの形状を SS、S、M、L と呼称する。グラフより、L (2800 μm) のサンプルが最も Q 値が高く、実用上必要十分なレベルを実現した()。

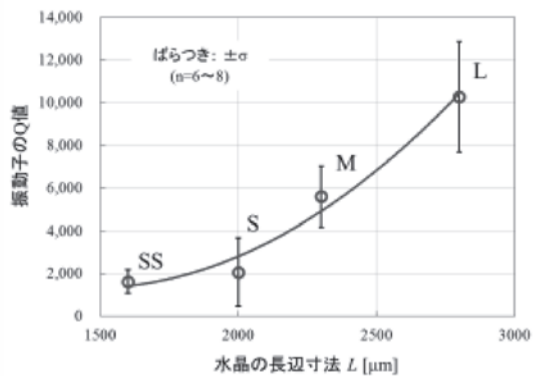


図 6 素子サイズと Q 値の関係

図 7 に水素濃度 0.1 ~ 4% に対するセンサの周波数変化を測定した結果を示す。結果は 3 個のセンサの平均値であり、縦軸は、検出用振動子と参照用振動子の周波数差の初期値をゼロとおいている。結果より、水素濃度に対して直線性に優れた出力が得られた。水素濃度 1%あたりの周波数変化は 9kHz、一方、センサのゼロ点安定性 3 (標準偏差) は実測で約 25Hz であった。S/N 比の考え方により水素濃度検出下限は 0.003% となり、目標である 0.01% を達成した。また、移動平均などの統計的手法を組み合わせることで、更なる微小濃度検出も十分に可能と考えられる。()

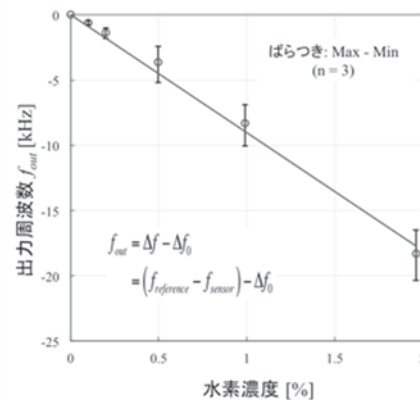


図 7 水素濃度に対するセンサの検量線

(3) シミュレーション技術の開発

本項目は、センサ素子設計のための熱的および振動についての定量的な解析結果を提供することを目標として実施した。

熱解析に関しては、水晶振動子を用いた水素センサでは、白金触媒上での反応熱を素早く検知し、周囲への熱流の流出を押さえることでセンサとしての性能を高めることができる。熱解析については各種シミュレータが市販されているが、水素センサでは白金触媒上での反応熱を定量的に導くことがネックとなっている。具体的には、実際の触媒は成膜条件により表面構造が大きく変化するため、それらを逐一モデル化することは困難であり、実際との一致は得られ難い。そこで、実際に試作した水素センサの感度測定結果から白金触媒単位面積あたりの反応熱を見積もることでこれを解決した。算出した反応熱量や水晶の比熱など

のパラメータから、水素センサの応答時間と感度、検出下限濃度、消費電力などの特性を試算した。図 8 は、センサ素子の面積と厚さ変数として、特性を算出した結果を示す。グラフの縦軸はプロジェクト開始以前に試作したセンサの代表長さを 100%としている。計算結果より、従来設計のセンサでは応答時間が 0.55 秒に対して、サイズの最適化により 0.2 秒以下に改善できることが明らかになった。一例として、素子サイズを半分に、厚さを 30 μm 薄くすることで、応答速度 3 倍、消費電力 1/4 に改善することができる。ただし、検出下限濃度に関しては触媒面積も比例して狭くなることから小型化により感度低下の傾向にある。

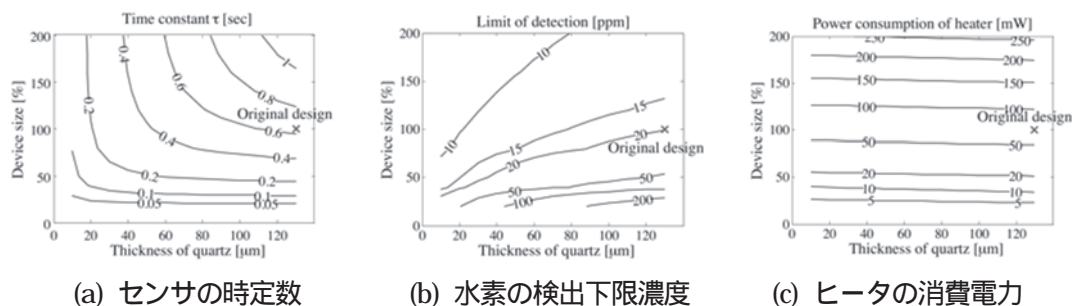


図 8 センサの形状と特性の関係性に関する熱解析結果

一方、振動解析については、数式による解析と有限要素法を用いたシミュレーションにより最適化検討を行った。はじめに、水晶振動子の寸法と振動特性の良否関係を推定するために、モードチャートと呼ばれるグラフを作成して検討した。図 9 に作成したモードチャートの一例を示す。モードチャートでは、縦軸が周波数、横軸が水晶の寸法を表しており、主振動を太線、他の不要な振動を細線で示している。設計上、太線と細線が交差する寸法は避けることが通常であり、最終的に丸印が付いているところが試作条件として採用された寸法である。

代表寸法の最適値をベースに詳細な設計を行い、有限要素シミュレーションにより振動の良否を再確認した。その結果を図 10 に示す。シミュレーション結果は、振動時の水晶の変位の大きさを色で示している。従来の設計では、色が濃い中央エリアに規則的な斑模様が見られ、不要振動の影響を受けていることがわかる。改善後の設計は、より安定した動作を実現するために細部の形状が調整されており、シミュレーションによりその改善効果が確認できた。

熱解析と振動解析の結果を基に総合的に検討を行い、センサ素子の最適形状を決定した()。

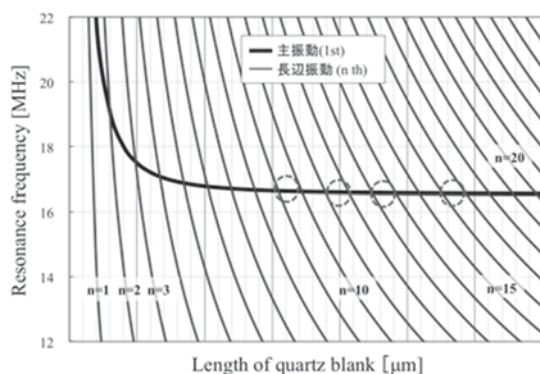
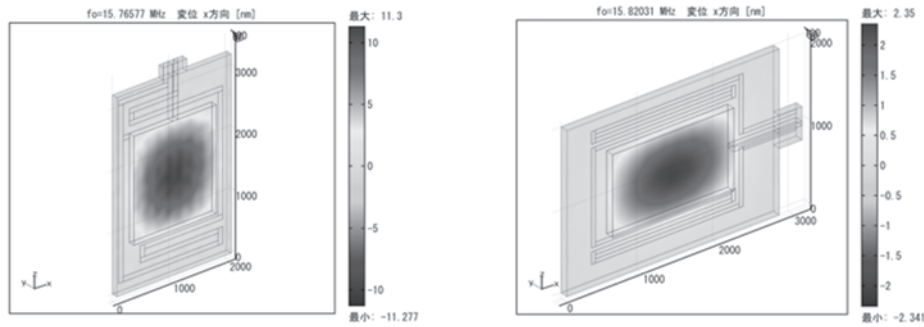


図 9 主振動と不要振動のモードチャート



(a) 従来設計

(b) 改善後の設計

図 10 有限要素法による主振動の変位分布の比較

(4) 水素センサ評価装置の改良

水素ステーション用途の水素検知器に関する国際規格として、ISO 26142:2010 (Hydrogen detection apparatus — Stationary applications) が施行されており、その中に、水素感度の試験方法に関する記載がある。試験法は代表例として示されている試験法のイラストを図 11 に示す。拡散チャンバ内にセンサを入れ、フィルムで封をする。拡散チャンバの周囲に水素ガスを一定量導入し、フィルムに穴を開けることでセンサと水素ガスを反応させるという至ってシンプルな手法である。しかしながら、センサを量産する上では、繰返し使用でき、尚且つ再現よく定量的に感度を校正する必要がある。また、ISO の方式では、フィルムの穴の開け方によってチャンバ内での水素ガスの拡散時間が大きく変化し、センサ自身が持つ応答速度特性を正確に計測することが困難になるという問題もある。

そのような背景から、特に研究開発段階においては、様々な水素濃度環境下で応答・回復時間、感度のリニアリティなどの評価ができる装置が必須と考えられ、水素と空気の質量流量比により幅広い濃度範囲の希釈ガスが生成できる機能を有した水素センサ評価装置の開発を行なった。

図 12 に開発した評価装置の写真を示す。また、表 4 に装置の目標仕様と開発装置の性能の比較表を示す。質量流量制御にはデジタルマスフローコントローラ、圧力制御にはデジタルオートプレッシャレギュレータを使用することで、試験環境を高精度でコントロールすることを実現した。拡散チャンバの形状は、容積とガス交換時間の関係を理論的に解析し、それに基づいて設計を行なった。ガス希釈系及び計測器は一括してパソコンで制御できるようになっており、GUI 上で任意の濃度シーケンスを組むことが可能である。また、センサの出力信号のサンプリング間隔は通常モードで最速 2 秒であり、試験内容に合わせて設定できる。一方、応答時間測定に特化した高速モードでは 0.3 秒に短縮される。装置開発の結果、センサ感度に関してセンサ開発を進める上で必要な性能を満足する装置が実現でき、量産時におけるセンサの感度校正装置としての知見が得られた ()。

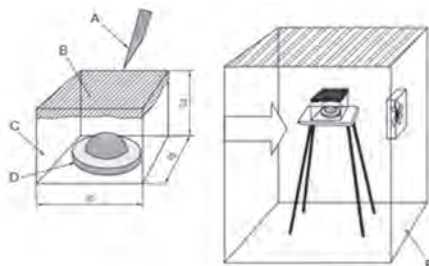


図 11 ISO に代表例として提示されている感度試験法

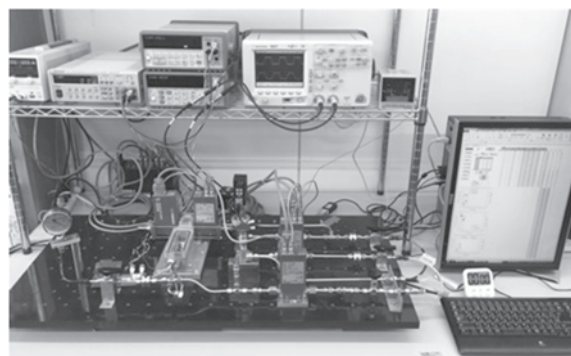


図 12 センサ感度評価装置

表 4 評価装置の開発目標と実際の性能の比較

項目	評価装置の開発目標	開発した評価装置の性能	センサの開発目標
濃度範囲	センサ仕様よりも広範囲	0.004% ~ 10%	検出範囲 0.01% ~ 4%
ガス交換時間()	10 秒位内	6 秒(設計値)	応答時間 30 秒
圧力範囲	80kPa ~ 120kPa(A)	80kPa ~ 120kPa(A)	1,013 ± 50hPa
周波数測定精度	0.01%	10 ⁻⁸	ノイズレベル 0.01%
サンプリング間隔	5 秒以内	最速 2 秒	

(5) 水素ステーションの計装における水素センサの位置付け調査

水素ステーションに組み込まれている計装の構成、具体的な水素センサの設置場所と個数、組込み可能な検出部のサイズ、水素センサの価格と維持コストに関する情報を得るため試験運用中の水素ステーションを訪問し見学を行った。2015 年 4 月 23 日に JHFC 千住水素ステーション水素ステーションを訪問・見学した際の情報を元に下に記述する。

JHFC 千住水素ステーションは東京ガス株式会社と大陽日酸株式会社で運営され、都市ガス改質型ステーションである。表 5 に水素ステーションにおける水素センサ設置状況を、図 13 にステーションの写真を示す。センサは建屋の天井と、ディスペンサ本体に設置されているのが確認できた。

表 5 JHFC 千住水素ステーションにおける水素センサ設置状況

センサの形態	センサ設置場所	個数	サイズ	備考
定置型	建屋の天井	複数	20cm 角程度	高濃度用
	建屋の天井	複数	20cm 角程度	低濃度用
ディスペンサ組込型	ノズル先端付近	1 個	20cm 角程度	
	ディスペンサ本体ケース裏	1 個	20cm 角程度	



(a) 供給設備建屋



(b) 水素製造設備



(c) 水素ディスペンサ



(d) 耐圧防爆型炎検知装置



(e) 耐圧防爆型漏洩検知器

図 13 訪問した JHFC 千住水素ステーション

水素ステーション定置型水素ガス検知器

水素センサに要求される最も重要な役割は水素ガス漏れを検出し、システムを停止することである。例えば、常時水素濃度を監視し、爆発下限濃度の 1/4 (=水素濃度 1%) を検出するとシステム停止信号を出力してシステムを停止させる、という検知システムである。瞬間的な異常の検出を目的とするため、長期にわたり精度を確保する必要はなく、センサ感度 20%/年程度のドリフトは問題無い。また、オンサイト型のステーションでは、水素中の不純物濃度をモニターするために常時水素を大気放出しているため、低濃度の水素検出能力は重要でない。最も重要な要件は誤動作しないことであり、水素センサが、特にガソリンや LPG などのハイドロカーボンの干渉を受けない必要がある。また、屋外設置のため雨やホコリへの耐久性も必要である。

動作確認試験としては、例えば年 1 回センサメーカーによる有償での試験、標準ガスをビニールパックに入れてセンサに吹き付け後、ストップウォッチでシステム停止までの時間を計測、10 秒程度の応答ならば異常無しとするようなものである。一般的には 1 ステーション当たり、5 ~ 15 個程度設置される。また、高圧ガス保安法上、設置が義務となるセンサ (防爆構造が必須) である。

ディスベンサ組込型水素ガス検知器

ディスベンサの本体天井裏に拡散式センサ 1 個と、ノズル先端からチューブで導入する吸引式センサ 1 個の計 2 個の水素センサが必要である。どちらも防爆構造が必須である (耐圧・本安防爆どちらでも可、第一種接地工事の理由から耐圧が主流)。メンテナンス性を確保するために、吸引式センサのフィルタ交換が簡単な方が良い。定置型、ディスベンサ組込型共に、水素濃度 1% を閾値とした On/Off 信号のみの出力でも良い。法令点検が 1 年に 1 回で共に耐圧防爆構造を採用し、本質安全防爆構造は第一種接地が取れないので現状では難しいと考えられる。

ハンディー型水素ガス検知器

このタイプの位置づけは、定置型センサで水素漏れが検出された場合に、漏れている箇所を特定するためのセンサである。法律によって義務化されたセンサでは無いが、水素漏洩エリアで使用することが前提となるため防爆構造が必要である。水素ステーションのメンテナンスのため自主的に数台保有することが望まれる。配管の継手などを検査するために小型で吸引機能を有することが必要である。校正はステーション事業者がメーカーへ依頼し、年 1 回程度である。現在は海外製が多く、進出が比較的容易。センサ出力は低濃度までリニアリティがあり、応答も高速である必要がある。

これらの調査の結果、検知器の種類毎の個別要求事項、設置数量、保守体制などの有益な情報を収集することができた ()。ディスベンサ組込型はディスベンサメーカーとの連携した開発が必須であるため、本プロジェクトでは、定置型検知器とハンディー型検知器の二種類に開発対象を絞ることとした。

(6) センサ駆動回路の開発

センサ素子を駆動するための発振回路、ヒータ制御回路、及びセンサの劣化検出回路について設計、試作評価を行なった。以下に、各回路の結果についてそれぞれ説明する。

発振回路

センサ素子は検出用と参照用の二つの水晶振動子で構成されており、センサ素子を駆動するためにはそれぞれの振動子に発振回路が必要である。2ch 分の発振回路をセンサパッケージ上に実装するためには、1cm²

の面積に収まるように非常にコンパクトに設計する必要がある。従来のコルピッツ型発振回路では回路を構成する部品点数が多く、面積的に実現困難という結論に達した。そこで、センサ素子の電極構成の変更や、市販の安価なワンチップ IC への対応により、発振回路の小型単純化を実現した()。開発した発振回路の駆動能力を評価した結果、振動子の Q 値が 3000 以上ならば安定して発振ができることが確認された。

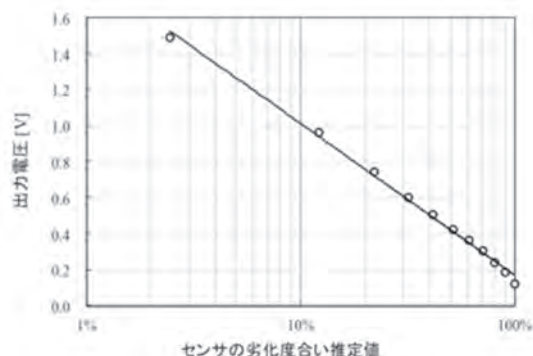


図 14 劣化検出回路の動作の一例

ヒータ制御回路

センサ素子表面に形成されたヒータを温度制御する

上で、外気温や風が変化しても温度を一定に保つ必要があり、それにはヒータの抵抗値を一定制御する方式が最適と考えられる。そこで、ホイートストンブリッジ回路を基本とした定抵抗制御回路を設計した。また、電源投入直後に短時間の内に急加熱するとセンサへの熱ストレスが過剰となるため、温度の立ち上がり制御機能を含めて独自の回路を設計した。ハンディー型検知器向けに設計したヒータ制御回路では、多回転型ボリューム抵抗器によりヒータの設定温度を微調整できる構成とした。また、単 3 電池 2 本の DC3V 電源でも 100 まで安定して昇温制御できるように回路構成を工夫した。

一方、定置型検知器では、ハンディー型検知器よりも広い使用温度範囲が想定され、ヒータ制御回路においても温度精度への要求が厳しくなる。そこで、ハンディー型検知器用に設計した回路を改良し、ヒータの温度をマイコンから直接制御できる様に変更した。また、回路に使用する能動部品の精度に影響され難い構成を独自のヒータ回路を新たに開発し、高精度化を達成した()。これにより、設計上、 20 ± 40 の環境下でもヒータの温度を ± 2 以内に安定制御することが可能となった。

自己診断機能

振動子表面にコンタミネーションが生じると水晶振動子の機械的振動の安定性が低下することが知られており、これを応用することでセンサの劣化診断が実現できる可能性がある。その定量的な指標が Q 値やクリスタルインピーダンスなどのパラメータであるが、それらの評価には高価な計測器を使用することが一般的である。そこで、発振の立ち上り時間や位相、振幅変化など複数の手段について理論解析に基づき検討した結果、振動子の振幅から効果的に特性変化が検出できる可能性が見つかり、更に、非常にシンプルな回路構成により変化が検出できることをプリント基板上で実証した。その結果を図 14 に示す。グラフ横軸の劣化度合い推定値とは、センサの劣化の進行度合いを等価回路パラメータにより疑似的に再現したものである。グラフで示したように、劣化の進行度合いに対して指数関数的に出力が変化している。

最終的には、模擬フィールド試験を通して、回路動作を確認する計画である()。

(7) 模擬フィールド試験

開発段階の水素センサは防爆認可が取得できておらず、また、電気的な不具合が発生する可能性を完全に否定することができないため、実際に稼働している商用水素ステーションで試験を行うことは危険を伴う。安全を確認した上で水素ステーションにてフィールド試験を実施するという段階を踏むために、準備として基礎的なデータ取得のための予備実験を行うことを目的として実施する。

試験設備については、外部委託できる施設も検討したが、こちらの要求に合致する適切な施設が見つからなかったことから、最終的に実施計画書に記載の通り試験設備を開発保有することに決定した。環境試験装置としては、温湿度調整機能、水素ガス濃度調整機能、圧力調整機能、一酸化炭素およびメタン、その他ガスの導

入機能を搭載した装置を開発しており、2017年10月完成予定である。装置立上げ後、直ぐに環境試験を実施し、事業期間内に目的の試験が終了する計画である。スケジュールについては、実施計画書に記載された計画に対してほぼオンスケジュールで進行しており、2月に完了見込みである(見込み)。

表6 模擬フィールド試験における評価項目と内用

	項目	目標	条件
定置型	環境影響	環境温度:温度 0、20、40 において試験用ガス(水素濃度 F.S.50%)の濃度と指示値の差が ±15% 以内	湿度:65 ± 10%RH 気圧:1,013 ± 50hPa 使用温度範囲を網羅。
	ガス選択性	メタン、イソオクタン、一酸化炭素に対する感度が同濃度の水素の 10%以下 (ISO 26142:2010)	温度:20 ± 5 湿度:65 ± 10%RH
	耐被毒性	HMDS ガス被毒性評価 :欧州規格 EN50291 に従う	気圧:1,013 ± 50hPa
ハンディー型	環境影響	環境温度:温度 -10、20、40 において試験用ガス(水素濃度 F.S.50%)の濃度と指示値の差が ±25%以内	湿度:65 ± 10%RH 気圧:1,013 ± 50hPa 使用温度範囲を網羅。
	ガス選択性	メタン、イソオクタン、一酸化炭素に対する感度が同濃度の水素の 10%以下 (ISO 26142:2010)	温度:20 ± 5 湿度:65 ± 10%RH
	耐被毒性	HMDS ガス被毒性評価 :欧州規格 EN50291 に従う	気圧:1,013 ± 50hPa

(8) 水素センサ実用化における法規に関する調査

水素ステーションの運営団体へのヒヤリングの結果、ステーションにおいては、高圧ガス取扱箇所に指定されていることから主に高圧ガス保安法が適応されているとのこと。2010年頃から順次、高圧ガス保安法や消防法などへの適応、およびその改正について関係省庁および外郭団体に議論がなされている。例えばその一つが、高圧ガス保安法における水素ディスペンサ周辺の防爆ゾーン基準の明確化である。水素センサについても例外ではなく、定置型検知器は設置場所により対応する防爆規格が定められており、年一回の法定点検が義務付けられている。また同時に、水素インフラ普及に向けて、経済産業省をはじめ、NEDOにより規制緩和の動きもあるが、安全安心の要である水素漏洩検知については、その動きは消極的である。いずれにせよ、定置型検知器およびハンディー型検知器、どちらにおいても防爆構造が必須条件であり、実用化においてはその認定を得ることが第一関門であることが判明した()。

一方、家庭用燃料電池エネファームにおける水素センサの位置付けについては、ヒヤリングより明確な回答を得ることはできなかった。エネファーム内での水素貯蔵量は微量なため、センサは不要と話す関係者もいれば、反対にメーカーが定期点検と交換をしているという声もあった。従って、各社足並みが揃っていない可能性があり、エネファーム向けの水素センサとして実用化する場合は、継続調査が必要である。

(9) センサパッケージの開発

センサ素子と駆動回路を実装したセンサパッケージの開発を行なった。材質には、高周波特性に優れ、過酷環境においても劣化し難く車載用パッケージとても実績のある LTCC(低温同時焼成セラミックス)を採用した。図15に検知器の構成ブロック図を示す。図中の破線の範囲がパッケージに実装された機能である。図16にパ

パッケージ構成を表した断面図を、図 17 に試作したパッケージの写真をそれぞれ示す。LTCC パッケージは 1 次設計と、改良版の 2 次設計を試作評価した。掲載した写真は 2 次設計のものである。パッケージの上面側に水晶のセンサ素子、下面側に IC と受動部品を実装し、LTCC の両面にキャビティーを作ることで、小型化を図った。実施計画書で掲げた検出部 4cm³ 以下の小型化目標に対し、外形寸法 L16mm×W16mm×H3.5mm と 1cm³ 未満に抑えることができた()。センサ実装面の蓋については、当初は複数の穴を設けた LTCC 製のものを使用していたが、孔径を小さくすることに対する限界と、製造コストの観点から SUS 製に変更した。

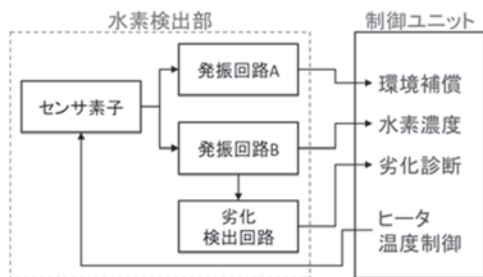


図 15 検知器の基本構成ブロック図

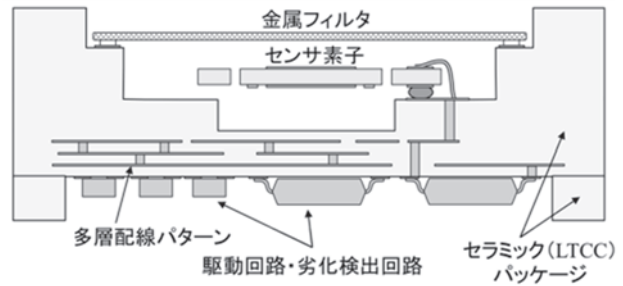
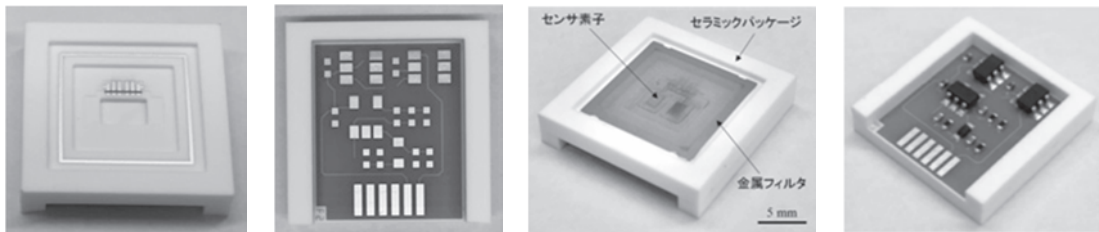


図 16 パッケージの構成



(a) LTCC オモテ

(b) LTCC ウラ

(c) 実装後オモテ

(d) 実装後ウラ

図 17 試作したセンサパッケージの写真

(10) 検出部ケースの開発

国内における防爆認定は型式認定の形を取っているため、型式が振られた製品が認可対象となってくる。検出部ケースにおいては、研究開発段階における試作器という位置付けとすることが妥当と考えられ、基本的な防爆構造に関する設計要件を満足した機器開発をターゲットとして実施した。よって、防爆検定时に求められる火花試験や耐圧力などの種々の試験は専用設備が必要となるため、事業内には実施しない方針とする。

ハンディー型検知器

実施計画書においては、検出部ケースの構造は据え置き用途として記述されており、LTCC パッケージと駆動回路を一体のケースに収めて検出部とする計画であった。しかし、ハンディー型検知器においては、前述の調査の結果、吸引機構を設けることが必須と判断されたことから、センサへ効率的に外気を導入するための機構を設けた。吸引用の小型ポンプを用いて、プローブ先端から取り込んだ外気をセンサ部までパイプで導入し、更に穴加工を施した流路ブロック内に固定されたセンサへと効率的に導くことができる構造とした。また、実施項目(11)「防爆構造の検討」にて詳細について記載しているが、ハンディー型検知器では適応する防爆構造を本質安全防爆とし、本安回路を重点的に開発すべきと判断されたことから、ケース本体は軽量安価なプラスチックケースを加工して作成した()。

図 18 に開発した流路ブロックの写真を、図 19 にハンディー型検知器のケースの写真を示す。図 18(a)の底側部品中央の白いパーツがセンサパッケージとなっており、蓋側部品内に形成された流路によりセンサ直上へと外気が導入される。一方、プローブは SUS とアクリルで作製した。アクリル製の容器内部は二重のフィルタ

となっており、一方が水分と粉塵対策としての中空糸膜フィルタ、もう一方は湿度とシリコン系揮発性ガス対策としてシリカゲルを入れて使用するようになっている。

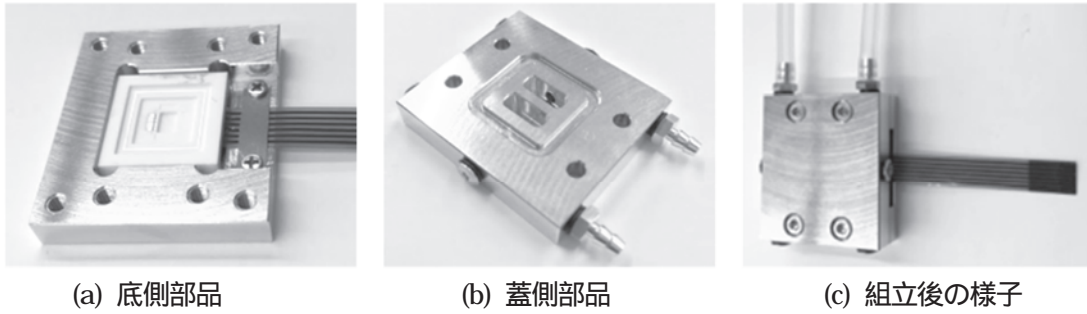


図 18 流路ブロックの写真

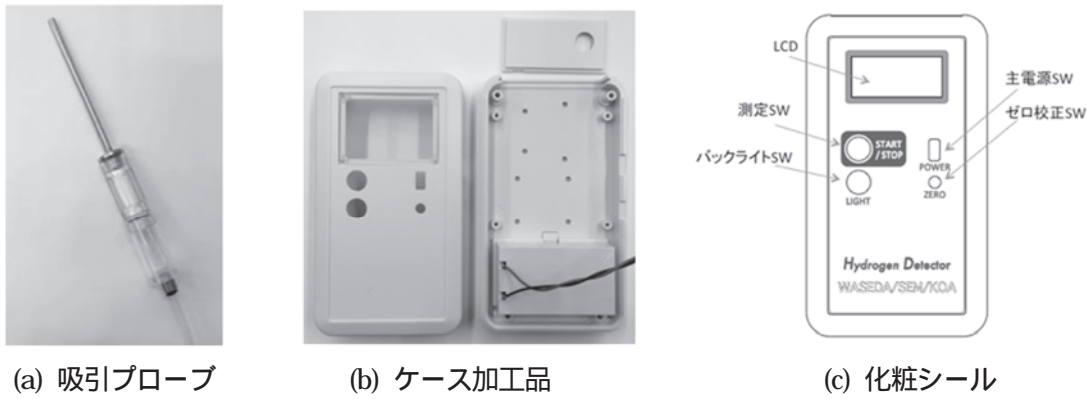


図 19 ハンディー型検知器のケースの写真

定置型検知器

定置型検知器では、適応する防爆構造を耐圧防爆としたため、機構的要件を盛り込んだケース設計を行なった。完成予想図を図 20 に示す。耐圧容器は、主に本体と蓋、外気導入用フィルタの 3 つで構成されており、本体内部にマイコン等を実装したプリント基板が収められる。また、センサの応答時間を短縮するために、センサはフィルタの近傍に配置するように工夫されている。耐圧容器の材質は、容器本体と蓋はアルミニウム合金製、外気導入用フィルタ部は SUS 製とした。蓋の中央部にはガラス窓を設け、プリント基板上のインジケータが見えるように設計されている。ケーブルグラウンドについては市販のものを使用する。

現在、耐圧容器の筐体および部品加工を進めており、9 月末の完成予定である(見込み)。

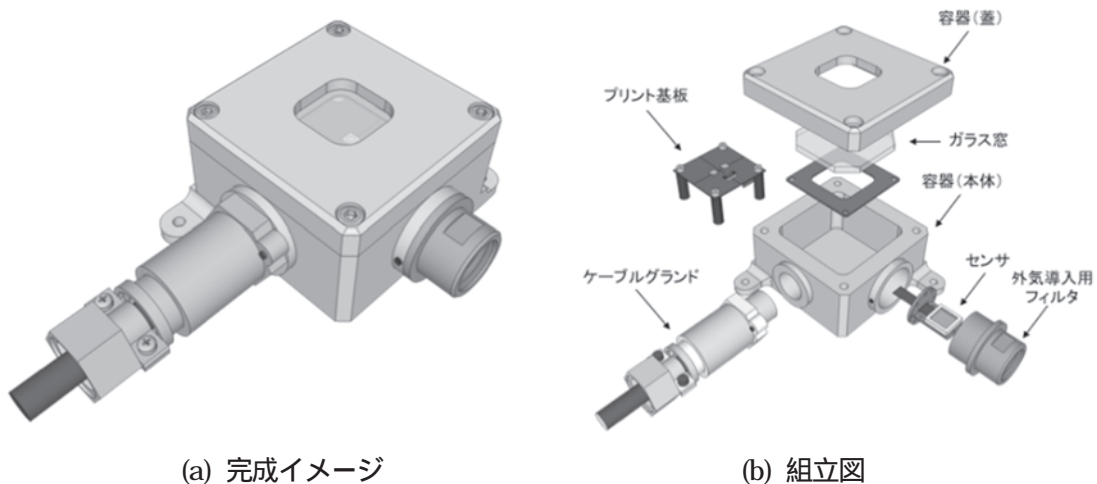


図 20 定置型検知器のケースの完成予想図

(11) センサシステムの開発と評価

ハンディー型と定置型検知器については、マイコンを中心としたシステムのコア部分は基本的に共通の機能を実装した。センサパッケージには2ch分の発振回路が搭載されており、センサの検出用振動子と参照用振動子の夫々の発振周波数のクロックが出力される。検知器側の電子回路では、2chの周波数信号を周波数差検出回路に通すことで、差の周波数のクロックを得る。一例として、元の周波数が16.0MHzと15.95MHz出会った場合、周波数差検出回路の出力は50kHzとなり、扱いやすい周波数帯へと変換される。その差の周波数はマイコンのI/Oポートに入力され、内部の32bitカウンタ機能によって、周波数を測定する。その後、周波数に感度係数を四則演算することで、環境影響を補正した水素濃度値が算出できる。

自己故障診断については、パッケージに実装された劣化検出回路の電圧出力をマイコン内蔵のA/Dコンバータで読み取り、診断結果を表7に示す三段階で状態分けし、その信号をリアルタイム出力できるようになっている。中間の劣化状態とは、センサが近々寿命を迎えるので交換を推奨するという位置付けである。例えば、この期間内にユーザはメーカーへ部品交換を注文するなどの対処をとり、検知器が故障停止する前に安全に交換することができる。

表7 自己故障診断機能によるセンサの状態分け

状態	説明
正常	センサは健全であり、問題なく動作できる
劣化	寿命が近いいため新しいセンサへの交換を推奨する
故障	劣化が完全に進行し、水素濃度測定ができない状態 水素濃度の出力を遮断し、検知器を安全停止する

ハンディー型検知器

ハンディー型検知器の機能に関する設計仕様を表8に示す。表内に記載した使用温湿度範囲については、冒頭に示した製品仕様(目標)とその試験条件を確実に満足するために、設計仕様は多少厳しい条件を目標として掲げている。

ハンディー型検知器のシステムブロック図を図21に、試作した検知器の写真を図22に示す。ハンディー型検知器は、システム制御用にマイコンを搭載しており、入力としては、センサからの周波数信号と操作用スイッチ二個、出力としては、RS-232Cシリアル信号出力、4-20mAアナログ電流出力、液晶ディスプレイ表示、吸引ポンプのOn/Off制御などの機能を実現した。検知器に搭載されるセンサは、全て事前に感度校正されたものを使用し、固有の校正データを検知器内部の不揮発性メモリEEPROMに保存する構成とした。これにより、センサが劣化した際に、EEPROMに記録されている校正データを上書きすることでセンサ交換にも対応できるようにした。

開発したマイコンプログラムとプリント基板をケースへの組込み、実際のセンサを接続した上で動作試験し、全ての機能が正常動作することを確認した()。

表8 ハンディー型検知器の機能に関する設計仕様

検知原理	接触燃焼式
検知方式	ポンプ吸引式
検知範囲	0.01 ~ 4 vol%
表示機能	LCD表示(バックライト付き) 水素濃度や故障診断結果などをテキスト表示

外部出力	濃度:4-20mA アナログ電流出力 ¹ および、RS-232C シリアル信号出力
電源	単3電池2本または、ACアダプタ(3V) ²
防爆構造	本質安全防爆構造 Exia C T4 相当
保護等級	
使用温湿度範囲	0～50、10～90%RH(結露なきこと)
外形寸法	L135mm×W80mm×H35mm(吸引プローブ除く)

- 1 受信器に使用するシャント抵抗は100Ω以下
- 2 外部電源は動作試験用、防爆規格適応外

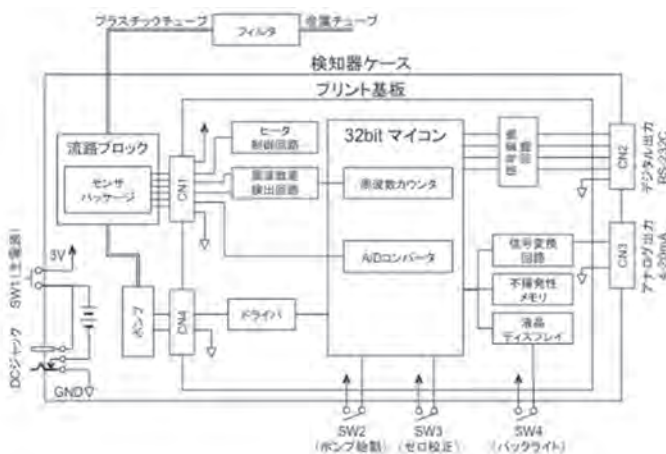


図 21 ハンディー型検知器のシステムブロック図

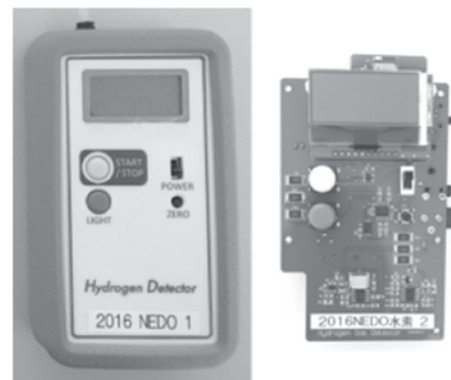


図 22 ハンディー型検知器の二次試作 (左: 外観、右: プリント回路基板)

定置型検知器

定置型検知器の機能に関する設計仕様を表 9 に示す。表内に記載した使用温湿度範囲については、冒頭に示した製品仕様(目標)とその試験条件を確実に満足するために、設計仕様は多少厳しい条件を目標として掲げている。

定置型検知器は有線ケーブルによる電源供給、および信号出力とした。出力信号は水素濃度と故障診断結果の二種類で、どちらも長距離伝送に向く 4-20mA 出力とした。一方、外部から供給される電源電圧は DC9V と設定している。検知器の内部に電源回路を搭載しており、供給電圧が $9V \pm 2V$ の範囲で振れても問題なく動作できることを確認している。

また、検知器には無線信号出力機能を搭載した。これにより、アナログ出力では実現できない高分解能の濃度データや、詳細な劣化診断結果、種々のエラーコードを送受信可能である。例えば、検知器に異常が生じた際に、無線受信端末によっていち早く状態を診断し、結果として迅速な修理、交換等の対応措置を採ることに繋がることを期待している。また、水素ステーションに検知器を設置する際の試験運転時に無線通信機能によって検知器の状態が詳細に把握できることは大きなアドバンテージになり得る。通信規格としては Bluetooth を採用した。将来的に、水素ガス検知器にも独立電源のニーズが高まると予想され、特に Bluetooth4.0 以降は工業用無線規格の中でも取り分け消費電力が小さいことが特徴である。また、特別な受信装置が無くともノート PC やスマートフォンなどの端末でも簡単に受信ができる。ただし、防爆指針により危険場所における通常の通信端末の使用は制限されている。無線機器のため、防爆エリア外でも使用は十分に可能と予想しているが、保守作業上、防爆適応の受信機器の需要があれば、製品設計時に別途検討する。

現状では、プリント基板の開発と動作確認まで完了した。製作したプリント基板の写真を図 24 に示す。前途の

通り、防爆容器は9月末の完成予定であり、プログラム開発も同時期に完了する計画である。10月初旬に全てのコンポーネントが揃い、組立評価に移る。よって、実施計画書のスケジュール通り最終年度の第3四半期中旬に完了することが見込まれる(見込み)。

表9 定置型検知器の機能に関する設計仕様

検知原理	接触燃焼式
検知方式	拡散式
検知範囲	0.01 ~ 4 vol%
表示機能	水素漏洩インジケータ:青色LED(点滅) 故障診断インジケータ:緑 黄 赤(常灯)
外部出力	濃度:4-20mA アナログ電流出力 ¹ 故障診断:アナログ電流出力 ¹ 無線信号出力:検知器の運転状態モニタリング ²
電源	DC9V、有線にて供給
適合ケーブル	CCV-Sケーブル(4芯)
防爆構造	耐圧防爆構造 Exd C T4相当
保護等級	IP65(対塵、耐噴流水)相当
使用温湿度範囲	-20 ~ 60、10 ~ 90%RH(結露なきこと)
外形寸法	L110mm x W90mm x H50mm(突起部除く)

- 1 受信器に使用するシャント抵抗は200Ω以下
- 2 検知濃度や劣化診断結果に加えて、センサの生データやエラーコードなどの詳細データを無線データ送信

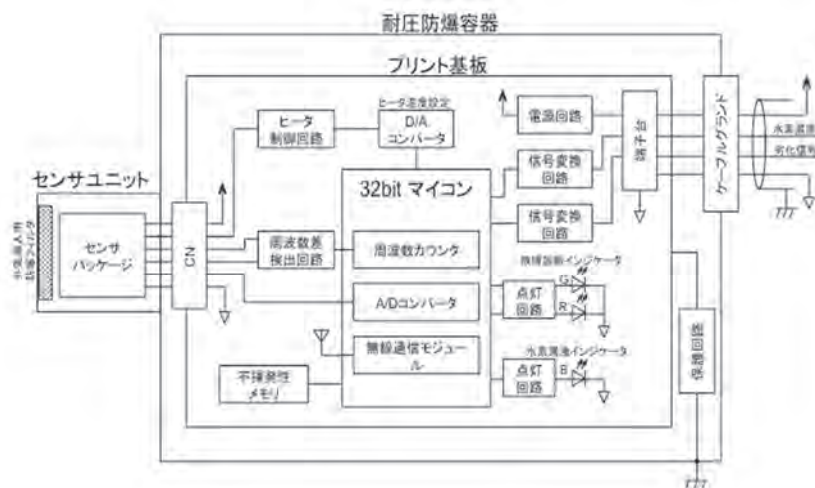


図23 定置型検知器のシステムブロック図

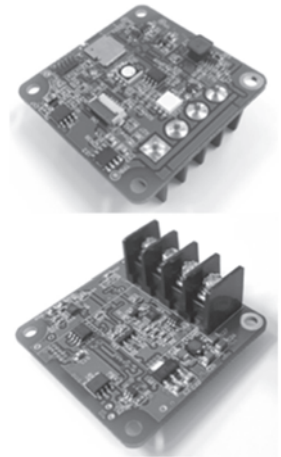


図24 プリント基板の写真(上:表側、下:裏側)

(12) 防爆構造の検討

防爆構造については、防爆指針(国際整合技術指針 2015)の文献調査と有識者からの助言を基に検討した。ハンディー型と定置型検知器では仕様が大きく異なるため、防爆構造について完全に分けて調査検討した。

ハンディー型検知器においては、本質安全防爆構造 Exia C T4 への適応に向けて検討した。センサ素子のヒータが最も消費電力が大きく外気温-20 の風が吹く過酷環境を想定すると解析上最大 100mW と予想されている。一方、吸引ポンプについては、消費電力 150mW とヒータよりも大きい。試作検知器で採用した小型ポンプは比較的入手性の良い市販品であり、製品設計時には専用開発する必要があると考えられることから、最終的に消費電力も半分程度にまで低減できる見込みである。また、電源電圧も 3V と小さい。これらの電気エネルギーの値を、防爆指針に記載されている水素ガスの火花曲線と照合した結果、火花が生じる可能性は十分に小さいと判明した。従って、プリント基板レイアウト設計において、規定の離隔距離など幾つかの項目を満足し、更に故障に備えて過電圧・電流防止するために電源回路に電流制限抵抗と保護ヒューズを設けることで設計上求められる電気的な基本要件を満足できると判断した。故障時の異常電圧の論理検証や火花点火試験については、高額な専用設備を要することから製品設計時に実施する。また、筐体に要求される項目についても同様である。

定置型検知器においては、独立電源を搭載し、無線通信により配線フリーとした本質安全防爆構造の検知器という新しいコンセプト提案も検討したが、現時点でのユーザへの受容性を優先し、現存の水素ステーションで採用されている定置型検知器のように建屋に取り付ける検知器と、事務所内に設ける指示計などの受信側をケーブルにて有線接続する方式とした。危険区域と安全区域をケーブルで接続しようとした場合、本質安全防爆構造ではセーフティーバリアを間に挟む方法が一般的であるが、それには A 種接地工事が必要となるため、ユーザから採用し辛いとの声があった。そのため、A 種接地工事を必要としない耐圧防爆構造を最終的に選定した。耐圧防爆構造の場合、その容器の構造が防爆指針に準ずる必要があるが、電気的な要件は一部を除いて基本的に無い。そこで、耐圧防爆構造 Exd C T4 の適応に向けて、防爆指針を調査の上、耐圧容器の設計のための仕様を作成し、それを基に筐体設計を行なった。

以上、防爆指針の文献調査と有識者からのヒヤリングにより、ハンディー型および定置型の水素ガス検知器の研究開発において必要な防爆構造に関する知見と具体的な設計根拠が得られた()。

3.2 成果の意義

従来の水素ガス検知器においては、高圧ガス保安法で設置が義務付けられるセンサについては定期点検の実施が定められているが、そうでないものは、任意での有償点検という維持管理方法を採用してきた。しかしながら、1 年毎の定期点検で不良と判断されたセンサは、過去一年以内のある期間の間、性能を十分に満足せずに放置されていたことになり、将来的に水素エネルギーを世界的に普及させていこうとする中で、安心安全を確実に担保できるとは言いきれない。当然、市場にあるセンサは、そういった不良が発生しないように品質が保証され、必要十分な安全率を鑑みて製品寿命が与えられるが、結果として、水素センサの価格が高額となってしまう。しかしながら、センサが使用される実環境は千差万別であり、工業地帯や沿岸部など、過酷な環境下で使用されるセンサの中には想定以上に劣化が進むものや、品質保証範囲から漏れて出荷された不良製品が統計確率的に必ず存在する。このような現状に対し、自己故障診断機能を有した水晶振動子式水素センサという、個々のセンサがリアルタイムで自身劣化度を診断できる高信頼化技術を開発した点に最も意義があると言える。

また、本プロジェクトの成果を広く公開することにより、水素センサは劣化や故障するものという新たな観点か

ら現状の安全設備を見直すきっかけ作りになったことにも意義があり、センサ自身の信頼性の重要度について認識向上に繋がると予想される。

更に、本プロジェクト実施後の事業化により、自己故障診断機能を有した信頼性の高い新たな方式の水素センサを市場に投入することにより、水素センサ市場における競争が活発化し、水素センサ全体の高性能化、低コスト化を促すことが期待できる。水素センサ市場の活性化により、水素の取り扱いに関わる分野について安全、安心が低コストで担保できるようになれば、水素インフラ及び燃料電池産業への信頼性も向上し、当該分野のより一層の普及拡大が期待できる。結果として、エネルギーセキュリティ等の国家的課題、クリーンエネルギー活用による地球環境的課題、当産業全体の国際競争力の向上など多くの面に寄与し、水素関連技術の国内生産拡大とそれに伴う雇用創出に貢献できると考える。

3.3 開発項目別残課題

当初、定置式のセンサシステムとして提案したが、有識者から将来的な水素ステーション業界への参入を考えるとハンディー型検知器を先行して開発すべきとの助言を受け、ハンディー型検知器と定置型検知器の二種類について研究開発を実施することに計画変更した。それに伴い、二種類の検知器についての開発計画を作成し、修正計画書をNEDOへ提出、受理された。

修正計画書に記載の開発スケジュールに対して、現状、ほぼオンスケジュールで進行できていることから、本プロジェクト期間中に全ての項目について完了できる見込みである。したがって、残課題はない。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

製品の優位性

既存の水素センサでは、個々のセンサが実際に使用されている現場において劣化等を随時監視する機能については研究がなされておらず、劣化状況監視機能を組み込むことは容易ではない。これに対して、本グループで開発を進めている水晶振動子を利用した水素センサは、要求されている性能を満足するだけでなく、センサの劣化・故障を随時監視する自己故障診断機能を組み込むことが可能であり、本センサを水素ステーションへ搭載することでシステムの信頼性向上が期待できる。また、MEMS技術を応用した生産技術を確立することによって小型、低消費電力、尚且つ量産化による低価格を実現することによって、水素ステーションだけでなく並行して普及が求められる燃料電池自動車や、家庭用燃料電池にも応用可能な水素センサとして、水素エネルギー社会実現へ貢献することができる。

本製品の技術は他社技術と比較し、自己故障診断機能を有し信頼性が高い、長寿命で安定性が高い、高分解能で低消費電力、低コストなど優位性を持ち、十分な競争力があるといえる。また、本製品の投入で市場の競争力の活性化が期待できる。

シナリオ

事業化はKOA株式会社が実施し、早稲田大学からは助言を得る形で進める計画である。この技術的優位性を前提に、事業化計画としてはセンサ単体/モジュール、ハンディー型検知器、定置型検知器の三段階に分けて市場投入を計画している。はじめに、センサ素子と駆動回路を実装したパッケージまで、或いは水素濃度演算機能まで組み込んだモジュールの形態での市場投入を図る。装置組込の用途を想定しており、主な市場ターゲットとしては水素製造装置などの関連機器や、エネファームとなる。まずはセンサ単体で実績を積み、その後、ハンディー型検知器、定置型検知器の順で市場投入を図る。事業化までのスケジュールを図25に示す。プロジェクト期間終了後1年目(平成30年度)にVOC収集を再度実施し、センサ単体/モジュールの製品企画および製品設計を行う。その後、工程設計と量産設備導入を経て、平成32年度中に市場投入を目指す。製

品構想・開発の段階においては、試作と実証評価を繰り返し改良を進め、プロジェクト期間内で得られなかった長期評価の結果等を設計に反映させる。信頼性などで仕様を満たせない場合には、製品試作完成予定を延長することも有り得る。また、展示会出品やサンプル出荷などの拡販活動を並行して行い、客先での実証試験等により、装置とのインターフェイスやオプションなどの客先仕様へ対応するための設計製作を行う。

現在の試作ラインでは、月産 50 個程度の能力しか持ち合わせていないため、ある程度の設備投資は避けられない。初期の量産設備としては、これまでの試作用ラインも流用しながら 1 億円程度に抑える。市場投入時はモジュール状態で売価 1 万円、年間 2 千個程度を目標に生産を開始する。単一商品では市場獲得が難しいため、客先仕様と量産を考慮しながらラインアップを強化し、各分野への売込みを開始し、4 年後には量産設備の増強に着手、5 年後にはコストを下げた上で販売数の増加により年間 4 万個、2 億円の売上を見込む。ハンディー型検知器については、市場動向を注視して販売戦略を検討の上、適切な時期に市場投入する。定置型検知器については、現時点での市場規模は小さく、収益が見込まれないため、水素ステーションの設置数が増え、水素エネルギーの本格普及が始まる 2025 年以降が主体となると予測する。

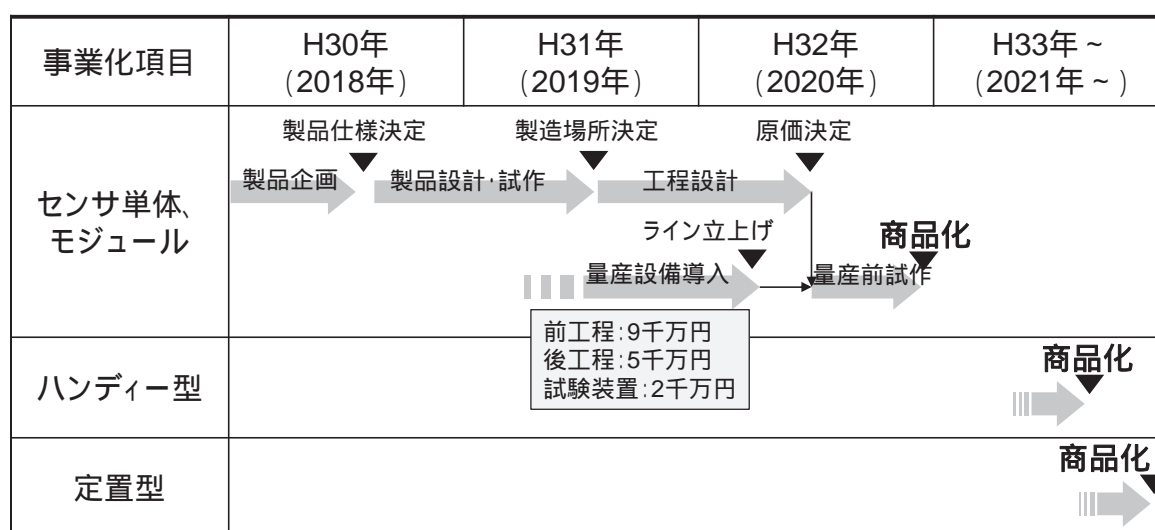


図 25 事業化スケジュール

5. 研究発表・特許等

- 研究発表・講演・文献等、その他 -

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2014年 11月3日	The 21 st Tri-University International Joint Seminar and Symposium (口頭発表)	Development of the quartz-hydrogen gas sensor using porous platinum catalyst	Maki Nakamura, Hiroshi Oigawa, Satoshi Ikezawa, Toshitsugu Ueda
2	2015年 10月30日	第32回「センサ・マイクロ マシンと応用システム」シ ンポジウム (ポスター発表)	MEMS 水素ガスセンサのた めの白金触媒めっき技術の 開発	大井川寛、池沢聡、 植田敏嗣
3	2016年 3月16日	平成28年電気学会全国 大会(口頭発表)	水素センサの応答時間測定 システムの開発	安部光政、大井川寛、 池沢聡、植田敏嗣
4	2016年 3月16日	平成28年電気学会全国 大会(口頭発表)	水晶振動子式水素センサを 使用した白金黒触媒の最適 化	楊凱麟、大井川寛、 池沢聡、植田敏嗣
5	2016年 10月30日 ～11月2日	IEEE SENSORS 2016 (ポスター発表)	Development of Optimal Electroplated Platinum-black Catalyst for Quartz Hydrogen Sensors	H. Oigawa, K. Harima, F. Kohsaka, T. Tsuno, T. Ueda
6	2016年 10月20日 ～10月21日	北九州学術研究都市産学 連携フェア (ポスター展示)	展示会会場にてポスター展 示	KOA株式会社
7	2016年 12月1日	電気学会論文誌E (論文発表)	MEMS 水素ガスセンサのた めの白金触媒のめっき技術	大井川寛、池沢聡、 植田敏嗣
8	2016年 12月12日	九州センサーフォーラム (ポスター展示)	展示会会場にてポスター展 示	KOA株式会社
9	2017年 10月31日 ～11月2日 (Accepted)	第34回「センサ・マイクロ マシンと応用システム」シ ンポジウム (ポスター発表)	水晶振動子式水素センサに おける鍍金白金触媒の最適 化	大井川寛、播磨幸一、 幸坂扶佐夫、津野徹、 植田敏嗣
10	2017年 12月4日 ～12月6日 (Accepted)	The 11th International Conference on Sensing Technology (発表形式:未定)	Sensitivity of Improvement of Quartz Hydrogen Sensor with Novel Designed Heater	Hiroshi Oigawa, Mizuho Shimojima, Tooru Tsuno, Fusao Kohsaka, Toshitsugu Ueda

- 特許等 -

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	2016年9月16日	PCT/JP2016/773 67	水素センサ	KOA株式会社

(111-5)「水素利用技術研究開発事業 / 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発 / 光学式水素ガスセンサおよび水素ガスリークディテクタの研究開発」

委託先：(株)四国総合研究所、(国)千葉大学

成果サリ(実施期間：平成26年度～平成29年度)

- ・ エネルギー供給事業者、水素インフラ事業者等に対するニーズ調査を実施し、本研究開発における目標仕様を明確化した。
- ・ 応答が速く、センシング部に電気系を用いない光学式水素ガスセンサを開発し、目標仕様の達成及び模擬フィールドにおける機能検証を完了した(平成29年度未予定)。
- ・ 水素ガス漏洩箇所を特定する近接型及び遠隔型水素ガスリークディテクタを開発し、目標仕様の達成及び模擬フィールドにおける機能検証を完了した(平成29年度未予定)。

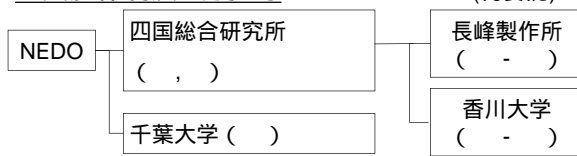
背景/研究内容・目的

[背景] 現行の水素ステーションでは、水素が漏洩した際の安全対策のため、水素が滞留しない開放構造となっている。これらの構造は、万一の水素漏洩時に生じる着火の危険性を大きく低減するために有効である一方で、固定点において受動的に水素ガスを検知する従来のガス検知器では、センサまで水素が到達せず漏洩状態の検知に遅れが生じるケースが生じるという課題がある。
 [目的] 水素漏洩時に瞬時に応答し、アクティブな水素漏洩位置探査を実現する新たな水素ガス検知器の次世代水素ステーションへの適用を目指し、レーザー光の照射により水素分子から生じる固有波長の散乱光(ラマン散乱光)を捉える光学的計測手法を用いた水素ガス検知装置を開発する。

研究目標

実施項目	目標	実施項目	目標
	ニーズ調査、目標仕様の設定		ニーズ調査、目標仕様の設定
	センサチップの開発	()	システムの開発
	システムの開発	()	プローブの開発
	MEMSEノクロメータの開発	()	実証試験
	実証機の開発	()	ヘッドの開発
	実証試験	()	信号処理システム開発
		()	機能試験

実施体制及び分担等



これまでの実施内容 / 研究成果(平成29年度未予定)

- ・ 光学式水素ガスセンサの研究開発
- ・ ニーズ調査により、本研究開発の目的が市場ニーズの方向性に相応するものであることを確認し、装置の性能として、水素ガスの検出限界を500ppmに設定した。
- ・ 要素技術開発を実施すると共に、その成果を基に光学式水素ガスセンサ実証機を開発した。
- ・ 実証試験により、目標性能の達成と、単一のシステムにより複数個所のモニタリングができる光学式水素検知システムが実現可能であること検証した。
- ・ 水素ガスリークディテクタの研究開発
- ・ ニーズ調査により、本研究開発の目的が市場ニーズの方向性に相応するものであることを確認し、装置の性能として、近接型について水素ガスの検出限界を500ppm、遠隔型について1%に設定した。
- ・ 近接型水素ガスリークディテクタを試作し、実証試験により、目標性能の達成を検証すると共に配管等からの水素漏洩箇所を探査・特定できる新たな技術を確認した。
- ・ 遠隔型水素ガスリークディテクタを試作し、実証試験により、目標性能の達成を検証すると共に、遠隔から水素ガスの空間分布を計測することで、水素漏洩箇所を探査・特定することができる新たな技術を確認した。

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
-	検出限界を500ppmに設定	
-	実用機が完成、機能評価が完了。(水素検出限界500ppm、応答速度2sec、使用温度上限200を達成)。	
-	現在実施中。	(12月時見込)
-	検出限界を500ppmに設定	
- ()	実証機が完成、機能評価が完了。(水素検出限界250ppm、測定精度30%を達成)。	
- ()	現在実施中。	(12月時見込)
- ()	試験機が完成、機能評価が完了。(水素検出限界0.5%、離隔距離8m、位置精度0.2mを達成)。	
- ()	現在実施中。	(12月時見込)

今後の課題

- ・ 光学式水素ガスセンサについては、本事業において開発した装置を基に、実フィールド試験を実施し、長期稼働における課題の抽出や、ユーザビリティの向上に向けた研究開発を進めると共に、量産化に向けた研究開発を実施し、低コスト化を図る必要がある。
- ・ 水素ガスリークディテクタについては、現在まで実現されていないオンリーワン技術として、市場に向けた積極的な情報発信を進める必要がある。

実用化の見通し

本事業終了後の実用化研究において進める製品コストの削減や水素ステーション関連市場の獲得を積極的に推進することで、次世代水素ステーションや、水素関連施設をターゲットとした実用化が実現できる見通しである。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
3	0	17	0

課題番号： -5

水素利用技術研究開発事業 / 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発 /

光学式水素ガスセンサおよび水素ガスリークディテクタの研究開発

株式会社四国総合研究所

国立大学法人千葉大学

1. 研究開発概要(事業の背景・目的・位置づけ)

(1) 事業の背景

現行の水素ステーションでは、水素が漏洩した際の安全対策として、各所にガス検知器を配置すると共に、換気設備、開口窓、水素が外部へ抜ける構造の屋根等により、水素が滞留しない開放構造となっている。

これらの構造は、万一の水素漏洩時に生じる着火の危険性を大きく低減するために有効である一方で、漏洩した水素ガスの濃度が短時間で低下するため、固定点において受動的に水素ガスを検知する従来のガス検知器では、センサまで水素が到達せず漏洩状態の検知に遅れが生じるケースが想定される。したがって、より安全性の高い水素ステーションの運用を実現するためには、この課題を解決するための技術開発が必要である。

(2) 目的

本研究では、水素漏洩時に瞬時に応答し、アクティブな水素漏洩位置探査を実現する新たな水素ガス検知器の次世代水素ステーションへの適用を目指し、レーザ光の照射により水素分子から生じる固有波長の散乱光(ラマン散乱光)を捉える光学的計測手法を用いた水素ガス検知装置を開発する。

(3) 研究開発内容

本研究開発において実現を目指す装置(3機種)の構想について以下に示す。

[] 光学式水素ガスセンサの開発

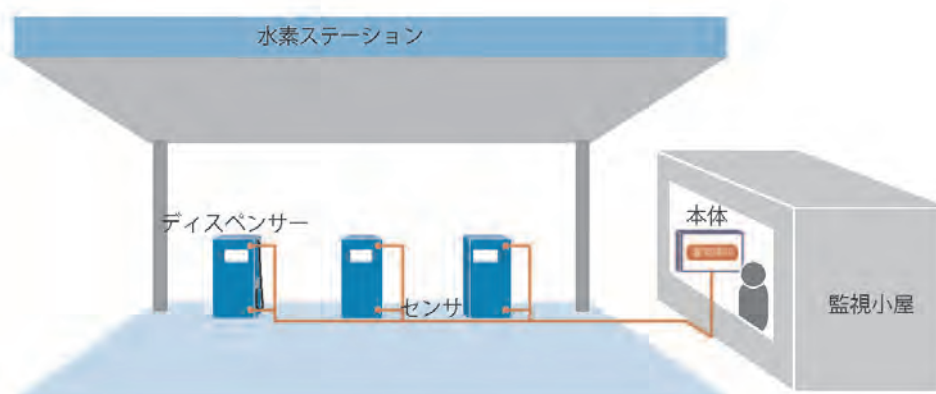


図 1-1 光学式水素ガスセンサの概念

防爆エリアや機器内部の水素ガス濃度モニタリングや水素ガス漏洩監視への適用を目的とした小型光学式水素ガスセンサを開発する(図1-1)。

計測原理として、ガス分子にレーザ光を照射した際に生じる分子種固有のラマン散乱光を捉えることにより、ガス種と濃度を特定するレーザラマン分光法を用いる。

本センサシステムは、レーザ装置及び受光装置から成る本体と、観測箇所を設置するセンサチップにより構成される。一つの本体に対し、センサチップを直列または並列に複数配置し、光ファイバにより、本体から各センサチップへのレーザ光の伝送と、センサチップから本体に向けたラマン散乱光の伝送を行う。得られたラマン散乱光信号強度と同信号のディレイタイムから、漏洩箇所と水素ガス濃度が特定される。

センサチップは、微細加工技術を用いて製作した小型の精密光学ベンチに、レーザ光の照射とラマン散乱光の集光を行う小型光学部品を集積配置した構造であり、これを光ファイバ結合により複数箇所配置することで、多点の濃度情報を一括監視できるシステムが実現される。本センサは光と水素分子

の相互作用のみによって水素ガスを検知するため、センシング部に電気系は一切含まれない。また、センサチップに耐熱性を付加することにより、事故発生時に環境が高温に変化しても水素ガス検知機能を維持することができる。

本事業では、水素ステーション等への適用を目的とした、小型光学式水素ガスセンサの実証機の完成と、フィールド試験による機能検証を最終目標とした。

[] 水素ガスリークディテクタの開発

水素ステーションにおける水素ガス漏洩時に、漏洩箇所を特定できる水素ガスリークディテクタを開発する。

近接型水素リークディテクタの開発

水素導管等における微量の水素ガス漏洩をプローブにより探査し、漏洩箇所を特定する近接型水素ガスリークディテクタを開発する(図 1-2)。

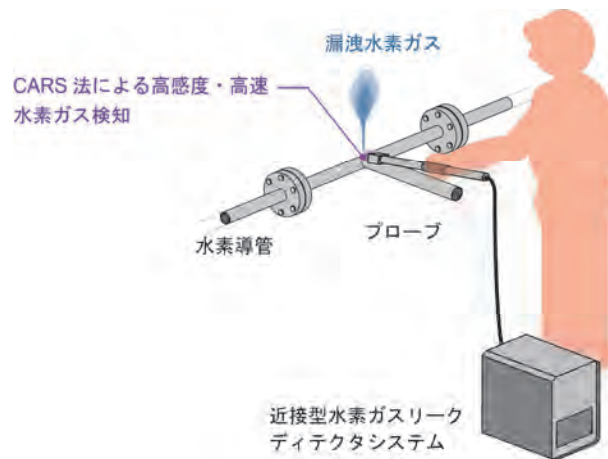


図 1-2 近接型水素ガスリークディテクタの概念

本装置は、計測原理として、ガス分子にレーザー光とストークスラマン散乱光を同時に照射した際に生じる反ストークスラマン散乱光(レーザー光よりも短波長に発生する散乱光)を捉える CARS 法(コヒーレント反ストークスラマン散乱法)を用いる。微量水素ガス漏洩の探査では、配管の直近にプローブをかざし、レーザー光を照射し計測する状況が想定されるが、本原理によれば、測定の際に、配管等にレーザー光が照射されることにより発生するレーザー誘起蛍光の影響を回避し、高感度で応答の速い漏洩検知が可能となる。

近接型水素リークディテクタは、レーザー光源と、ストークス光を発生させるための光学系、水素ガスによる反ストークス光を検出する受光器、信号処理系等から成るシステム本体と、光送受信及びセンシング光学系から成るプローブにより構成される。プローブは、本体から観測箇所までレーザー光とストークス光を伝送すると共に、水素ガスにより生じる反ストークス光を本体まで伝送する光学系と、観測箇所にレーザー光とストークス光を照射し、水素ガスにより生じる反ストークス光を集光する光学系により構成される。本装置は、水素分子と光の相互作用のみにより水素ガスを検知するため、プローブ部に電気系は一切含まれない。本事業では、近接型水素ガスリークディテクタの実証機の完成と機能検証を最終目標とした。

遠隔型水素リークディテクタの開発

観測空間にレーザー光を照射し、危険区域外の遠隔から水素漏洩箇所を探査、特定する遠隔型水素ガスリークディテクタを開発する(図 1-3)。

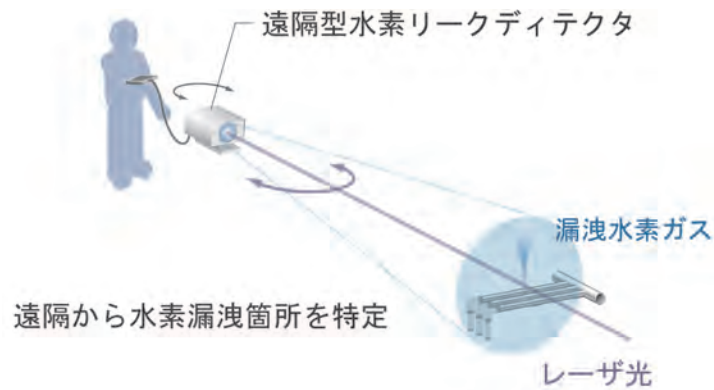


図 1-3 遠隔型水素ガスリークディテクタの概念

本装置は、光学式水素ガスセンサの開発に用いるレーザラマン分光法と、レーザを用いたリモートセンシング技術(以下ライダ計測技術)を融合することで実現される。観測空間中にレーザ光を照射すると、レーザ光軸上に存在するガス分子によるラマン散乱が生じる。ラマン散乱光の波長は分子固有の値であり、レーザ光軸上に水素分子が存在すると、水素分子固有の波長をもった散乱光が生じる。水素のラマン散乱光のみを選択的に集光、分離し、検出することにより、観測空間中における他のガス分子から水素のみを特定し、検知することができる。また、レーザ光をパルス発振させ、レーザ光の発振から水素ラマン散乱光検出までの時間を計測することにより、水素ガスが存在する位置を特定することができる。

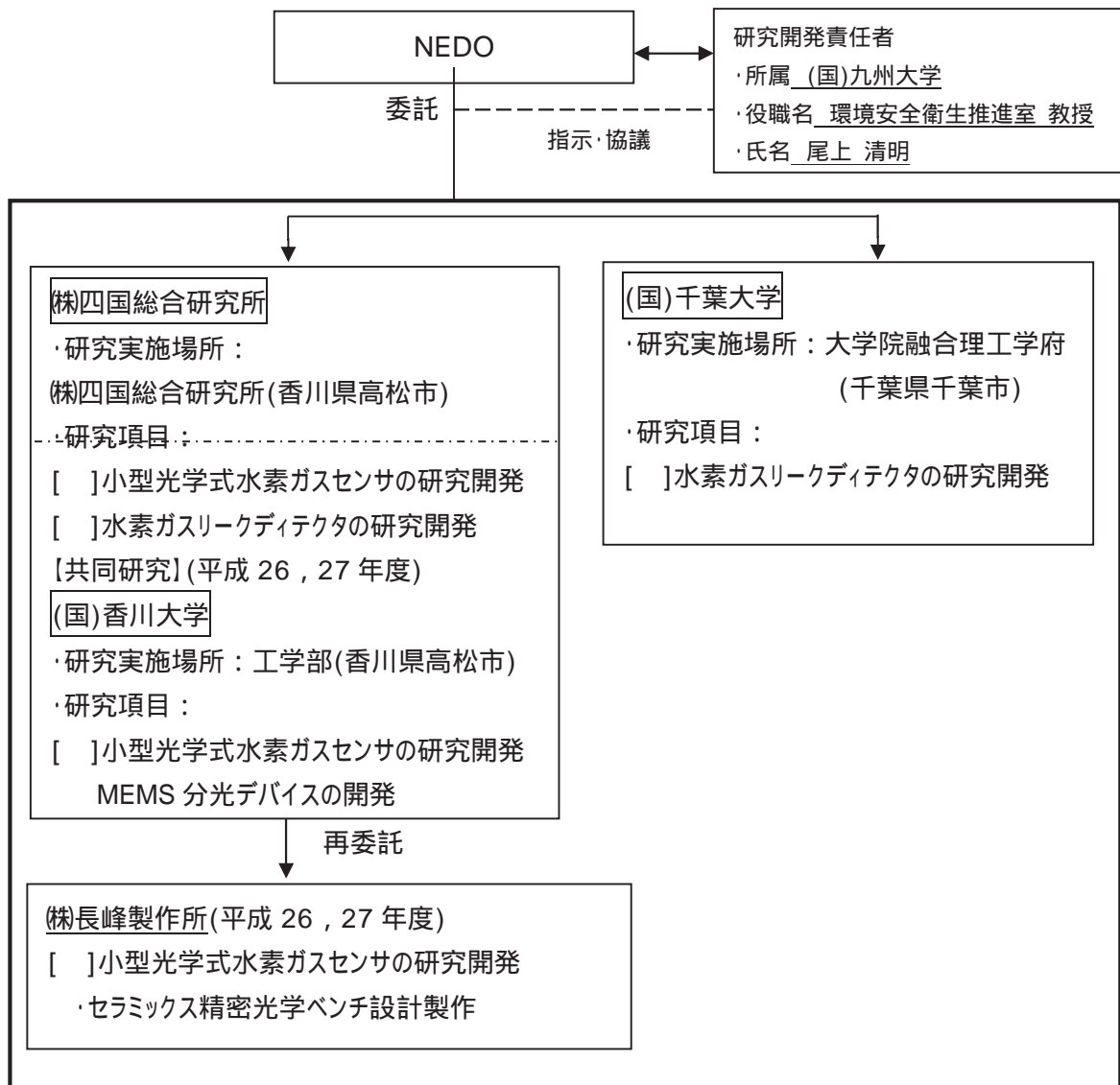
これらの機能を用いて、観測空間中にレーザ光を走査することで、遠隔から水素ガスの空間的な分布を明らかにすることができ、高濃度位置を追跡することにより、漏洩箇所を特定することができる。

本事業では、遠隔型水素リークディテクタの試験機の完成と機能検証を最終目標とした。

(4)実施体制

本事業は株式会社四国総合研究所及び国立大学法人千葉大学の共同実施事業とし、開発項目の一部を国立大学法人香川大学、及び株式会社長峰製作所へそれぞれ共同研究、再委託として実施した。

また、成果の意義を向上するために、適宜研究開発責任者との協議を行い、実施内容の確認・軌道修正を行った。



2. 研究開発目標(設定の理由, 妥当性も含め)

(1) 目標

本研究開発では, 用途別に以下 3 種の装置を開発した。

- [] 光学式水素ガスセンサ
固定点水素漏洩監視システム(パッシブ型)
[目標]水素ガス検出限界 500ppm, 応答速度 2sec, 使用温度上限 200
- []- 近接型水素ガスリークディテクタ
プローブを用いた配管等からの微量水素漏洩位置探査システム(アクティブ型)
[目標] 水素ガス検出限界 500ppm, 測定精度 30%
- []- 遠隔型水素ガスリークディテクタ
監視空間へのレーザビーム走査による遠隔からの水素漏洩位置探査システム(アクティブ型)
[目標] 水素ガス検出限界 1%以下, 離隔距離 8m 以上, 位置精度 1m 以下

(2) 目標設定の根拠

- ・ [], []- 水素ガス検出限界については, ニーズ調査の結果を踏まえ, 現行の水素検知警報器における低濃度アラームレベルを基準として 500ppm に設定した。その他の値は現行の水素検知警報器を上回る値を設定した。
- ・ []- 水素ガス検出限界については, 一般高圧ガス保安規則関係例示基準に準じ, 水素ガス爆発下

限界濃度 4%の 1/4 以下として 1%を設定した。離隔距離は防爆指針等において示されている危険場所外からの遠隔計測を目指すため、8m 以上に設定した。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果, 達成度

(1) 研究開発成果

[] 光学式水素ガスセンサの研究開発

光学式水素ガスセンサは、レーザラマン分光法を原理とするガスセンサである。本装置は、小型レーザ光源と波長選択機能を備えた検出器により構成される本体と、測定箇所に配置し、レーザ光の照射とラマン散乱光の受光を行うセンサチップから構成され、両者を光ファイバで接続しレーザ光及びラマン散乱光の伝送を行う。光学部品のみで構成され電気系を一切含まないセンサチップは、配置箇所を制限されず、センサチップが配置された任意箇所における水素ガスを瞬時に検知できる。また、単一のシステムに複数のセンサチップを備え、多点監視を実現することにより、効率的な運用が可能となる。

本研究開発では、事業実施期間を通して、実フィールドを模擬した環境における機能評価試験を行うことができる光学式水素ガスセンサ実証機の完成を目指し、次の成果を得た。

ニーズ調査、目標仕様の明確化 (担当: 株式会社四国総合研究所)

水素ステーションを設置・運営するエネルギー供給事業者や水素インフラ事業者などを調査訪問して、事前に通知したアンケート項目に対する意見交換を実施した。

当該調査により明らかとなった事項は以下の 4 点に集約される。

- ・ 着火に至る前段階(水素ガス検知の段階)で安全な措置を講じることが基本である。
- ・ ガス検知が優先されるべきである(濃度測定機能は十分条件であり必要条件でない)。
- ・ 容易にガス漏洩箇所を特定できる技術に対するニーズが非常に高い(可能であれば遠隔から漏洩箇所を特定したい)。
- ・ 可能な限り微量のガス漏洩を検知したい。

これを受け、本事業では、レーザ計測技術の適用により、応答が速く、センシング部に電気系を一切含まない、常時数百 ppm の水素漏洩監視を行う装置について研究開発を行うこととし、市場ニーズとの方向性の一致を確認した。水素ガス検出限界濃度は、ニーズと汎用水素警報器における低濃度アラームレベルを基準として 500ppm に設定した。

センサチップの開発 (担当: 株式会社四国総合研究所, 株式会社長峰製作所)

水素ガス検出限界 500ppm を実現するためのセンサチップ実証器として、双眼の小型広角レンズを用いた並列型センサチップ(寸法 21×28×12mm)を開発した(図 3-1-1 左)。また、モニタリングの時間分解能やエネルギー効率の更なる向上を実現するために、新たに光の照射及びラマン散乱光の集光にボールレンズと小型直角プリズムの集積光学系を用いた直列型センサチップ(寸法 29×20×8mm)を考案し(特許出願中)、設計・試作を完了した。これらのセンサチップの材料は、迷光によるレーザ誘起蛍光の発生が最も少ない黒アルミナを用いた(図 3-1-1 右)。

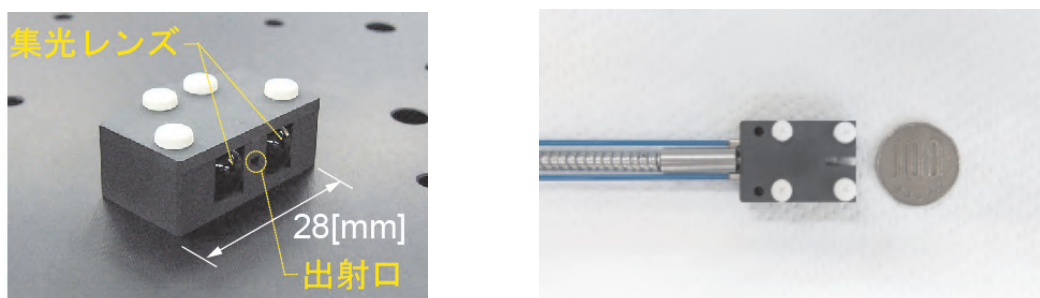


図 3-1-1 センサチップ外観(左:並列型, 右:直列型)

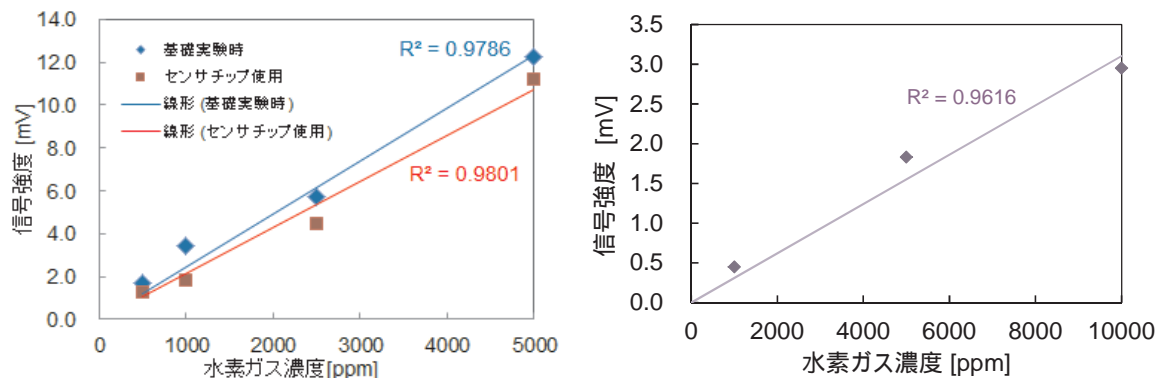


図 3-1-2 機能試験結果事例(左:並列型,右:直列型)

両センサチップを用いて水素ガス検知機能試験を行い,並列型センサチップにより水素検出限界 500ppm 以下を検証した。直列型センサチップの検出限界は 1000ppm 以下であった(図 3-1-2)。

システムの開発 (担当:株式会社四国総合研究所)

以下のデバイスの開発を完了し,これらを統合したシステム実証機を開発した。

(a) 多点監視に向けた UV パルス用小型光スイッチの開発

光ファイバ結合光学系の最適化と集積設計及び反射光学系の軽量化設計によるアクチュエータの小型化に成功し,前年度までの試作機に対し,同等の光伝送効率を維持し,体積比を約4分の1とする UV パルス用小型光スイッチを実現した(図 3-1-3)。

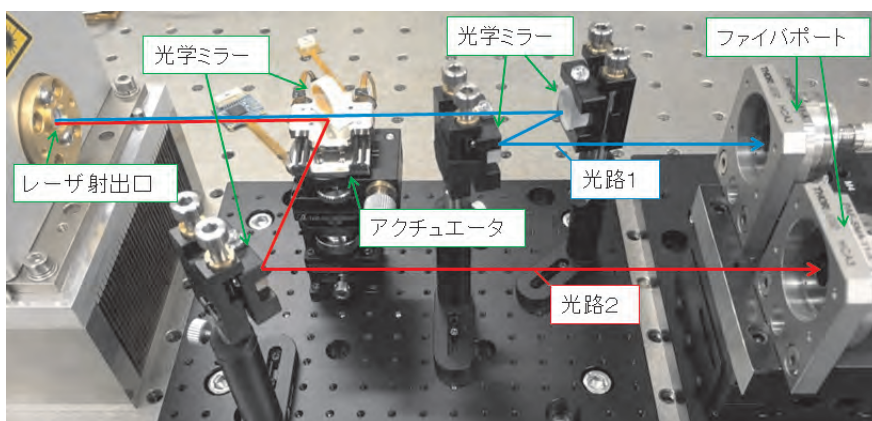


図 3-1-3 UV パルス用小型光スイッチの構造

(b) LD 適用性の検討

システムの小型・低コスト化に向けた,半導体レーザ(Laser Diode :以下 LD)および Si 受光素子の適用について,実験的検討を行った。これまでに,光源に波長 405nm の半導体レーザ(出力 200mW),受光器に光電子増倍管を用いて,レーザ光軸に対し垂直方向からラマン散乱光を捉える配置により水素ガス濃度計測試験を行い,濃度 2%までの水素ガス検知が可能であることを検証した(図 3-1-4)。

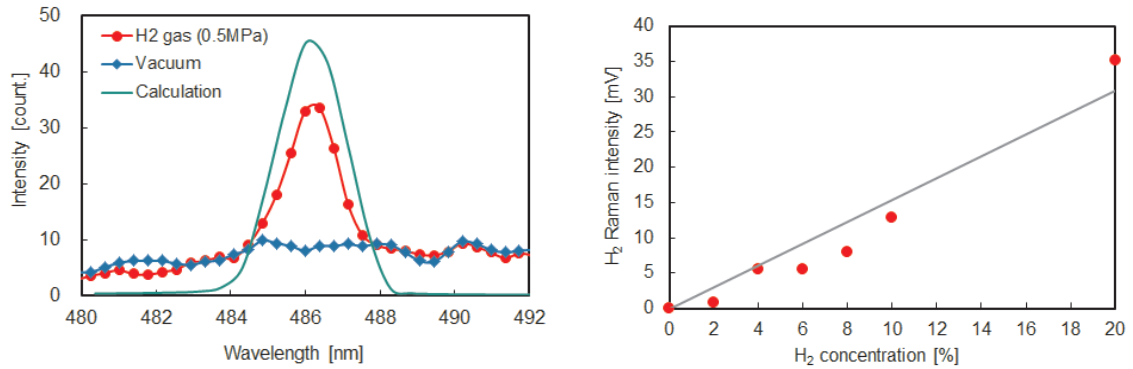


図 3-1-4 405nmLD による水素ラマンスペクトル(左)と水素濃度依存性(右)

また、後方ラマン散乱光を捉えることで感度が3倍以上向上すること、Si 受光素子によっても検知可能であることを検証した。これらにより、本システムの光源としてLDを、受光素子としてSi 受光素子を適用するできる可能性を見出すことができた。

(c) 高速デジタイザの開発

パルスレーザ励起によって得られる短パルスラマン光信号を正確にデジタル変換する 1.5GS/s 高速デジタイザを開発した(図 3-1-5)。AD コンバータのトリガ信号としてパルス波形を取込みO/E変換を行うトリガユニット、アナログ信号をAD コンバータへの入力に合わせて増幅するアンプユニット、並列動作型AD コンバータとCPUから構成した。出力はノートPC、タブレットPC等任意の電算機を選択でき、データ通信は有線・無線の切替え可能な方式とした。



図 3-1-5 高速デジタイザ外観

MEMS モノクロメータの開発(担当:株式会社四国総合研究所, 国立大学法人香川大学)

MEMS モノクロメータの開発は、MEMS 回転アクチュエータと、Si マイクログレーティングにより構成されるMEMS 回転グレーティングと、マイクロレンズ等の他のモノクロメータ光学系をシリコンオプティカルベンチ(以下 SiOB)上に集積実装することにより、本センサに必要な分光機能を有する小型モノクロメータを実現するものである。これまでに、MEMS モノクロメータの主要部品であるMEMS 回転グレーティングについて、回転アクチュエータ(図 3-1-6 右)とSi グレーティング(図 3-1-6 左)をそれぞれ試作し、その動作特性と光学特性を評価した。

MEMS 回転アクチュエータは、SiOB への集積実装が可能な形態として、面内回転型を採用し、SOI ウェハを用いて製作した。アクチュエータ構造としては、駆動構造が単純であることや、駆動時にスティッキングが生じにくく、発生力をトルクに変換することが可能な湾曲型静電櫛歯アクチュエータを採用した。SiOB 中央に設置した可動ステージは、4本のサスペンションによって支持され、静電アクチュエータのトルク発生に伴い、サスペンションに変位が生じ可動ステージが面内回転駆動を行う。また、回

転中心はこれらのサスペンションによって維持される。試作したデバイスは、寸法 10×10mm である。本デバイスについて、印加電圧に対する回転角度を測定し±1.6deg.の回転駆動が可能であることを検証した。

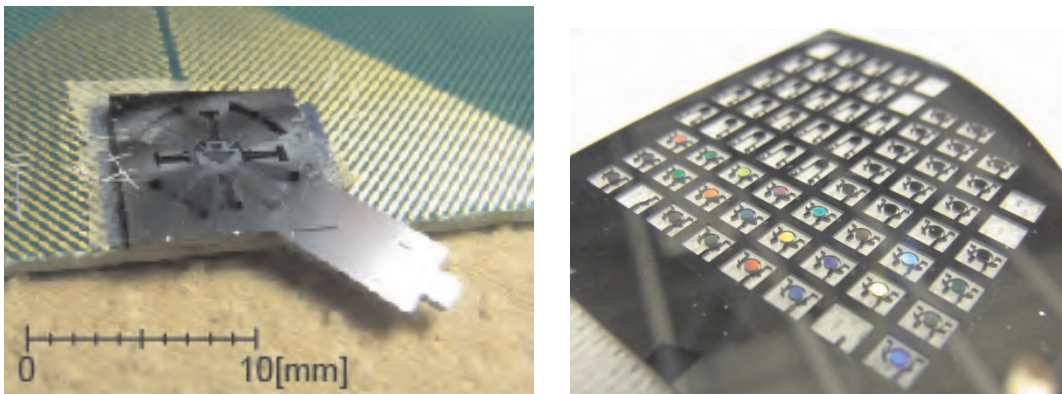


図 3-1-6 MEMS 回転アクチュエータ外観(左)と Si グレーティング一括製作事例(右)

Si グレーティングは ICP-RIE を用いて製作した。有効面を 2.0mm とし、刻線数は ICP-RIE 工程の最適化により 500～3000Lines/mm まで刻むことができる。また、グレーティング構造にスプリング構造を一括形成し、回転アクチュエータの可動ステージに自動的に垂直実装される機能を付加した(図 3-1-7 右)。試作した Si グレーティングについて、グレーティング方程式から求まる分散と、実測値の比較を行い、両者が極めて良好に一致することを検証した。また、入射光強度と回折光強度の比較を行い、回折効率 15%以上が確保されていることを検証した。

これらの Si デバイスを用いて、モノクロメータ光学系を構成し分光検出機能試験を実施し、MEMS モノクロメータを用いることで、大気成分や他の可燃性ガスと水素を分離識別して検出することが可能であることを実証した(図 3-1-7 左)。

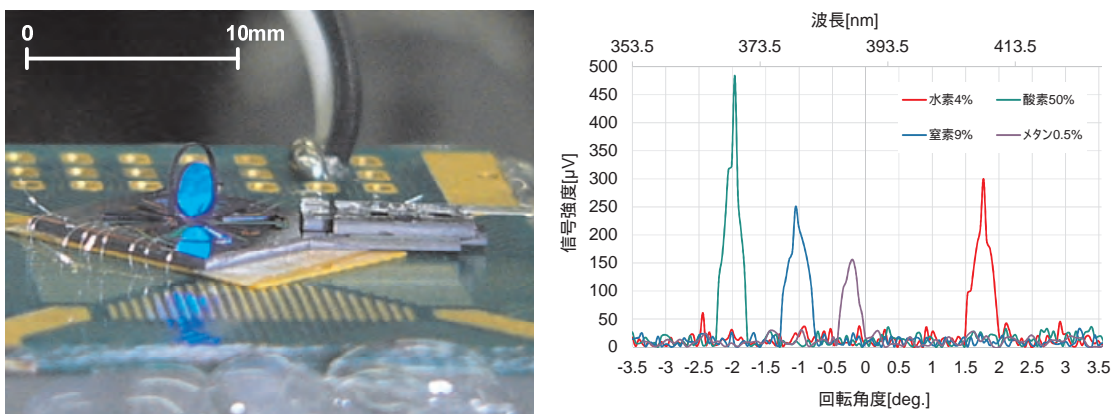


図 3-1-7 MEMS モノクロメータの外観(左)と分光検出機能試験結果(右)

小型光学式水素ガスセンサ実証機の開発 (担当:株式会社四国総合研究所)
 前述の要素技術開発によって得られた成果を基に、小型光学式水素ガスセンサ実証機を開発した(図 3-1-8)。

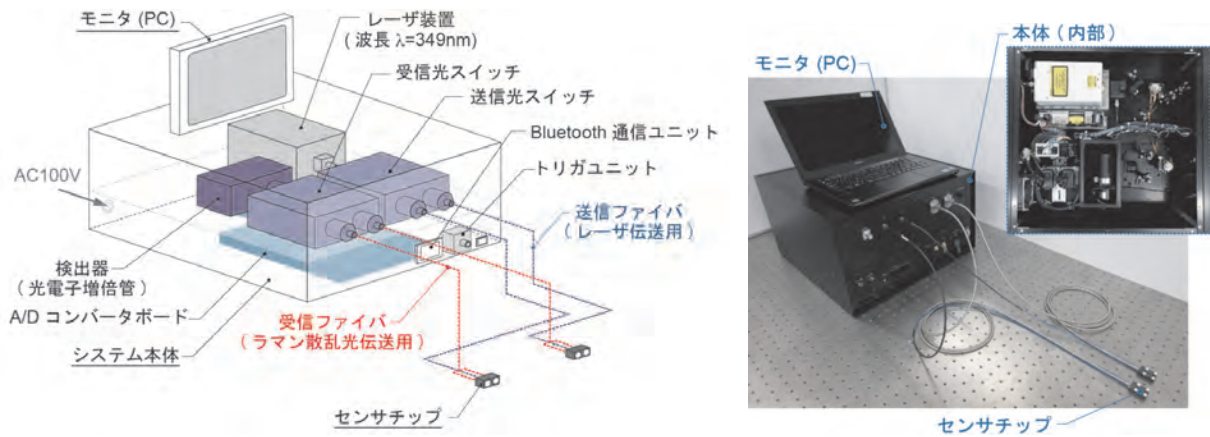


図 3-1-8 小型光学式水素ガスセンサ実証機図(左), 外観(右)

本体には、レーザ装置、光スイッチシステム、検出器、高速デジタイザ等の主要機器が格納されており、寸法約 430×430×250mm、重量約 20kg である。本システムでは、センサチップのチャンネルを 2 セットとし、光スイッチシステムを拡張することで、任意の複数チャンネルを制御することが可能である。また、モニタは任意の PC に専用のソフトウェアをインストールすることにより、濃度表示機能を有するモニタとして使用することができる。

実証試験 (担当: 株式会社四国総合研究所)

完成した実証機を用いて、配管からの水素漏洩を模擬した実証試験を行った(現在実施中平成 29 年末完了予定)。

[] 水素ガスリークディテクタの研究開発

近接型水素ガスリークディテクタの研究開発

近接型水素ガスリークディテクタは、誘導ラマン散乱分光法を原理とするガス検出器であり、レーザ光と水素ガスのストークスラマン散乱光を同時に照射した時に発生する水素ガスの反ストークスラマン散乱光を測定することで、微量水素ガス検知を実現するものである。本装置は、レーザ光源と水素ガスのストークスラマン散乱光を発生させ、両者を合波して出力する機能を有する光源と、測定箇所までレーザ光とストークス光を導く伝送路及び、反ストークスラマン散乱光の受光を行うプローブにより構成される。

本研究開発では、事業期間を通じ、配管等からの水素漏洩を模擬した環境において、本装置による水素漏洩検知が可能であることを検証する実証機の完成を目指し、次の成果を得た。

() システムの開発(担当: 株式会社四国総合研究所)

ストークス光(波長 416nm)の発生には、水素ガスを高圧充填したガスセル(以下ラマンセルと呼称)にレーザ光(波長 355nm)を照射する方法を用いた。図 3-2-1 に示した実験系において、水素ガスの測定に必要なストークス光を安定的に得るためのラマンセル長と水素ガス充填圧力およびレーザ集光条件を実験的に求めた。7 気圧の水素ガスを充填した光路長 470mm のラマンセルにレーザ光を集光照射することにより水素ガスのストークス光を発生させ、空間強度分布を最適化し、さらに折り返しミラーを配置することで図 3-2-2 に示したとおりストークス光のばらつきが抑制できることを明らかにした。

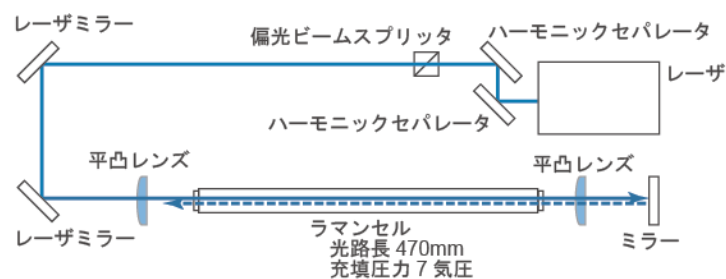


図 3-2-1 光源の実験配置図

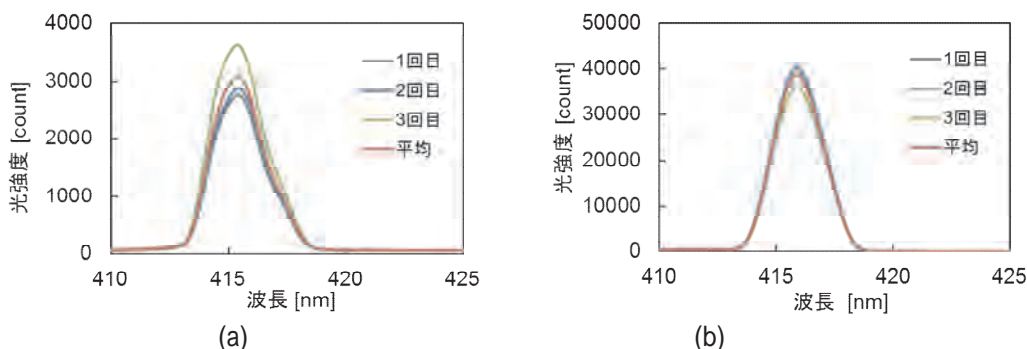


図 3-2-2 折返しミラーを配置しない場合(a)と配置した場合(b)のストークス光スペクトル

前述のとおり最適化を行った光源の仕様を基に、目標測定下限濃度を測定するための光学系の仕様および配置を検討した。前述したラマンセルからは、ストークスラマン散乱光と同時に反ストークスラマン散乱光(波長 309nm)も発生しており、この反ストークスラマン散乱光が被検体の水素検知の妨害となる。このため、ラマンセルの後方に各種のフィルタを配置して反ストークスラマン散乱光の遮断性能を測定し、フィルタとしてラマン分光用の長波長透過フィルタを用いることで、ラマンセルから発生する反ストークス光を排除できることを確認した。

また、被検体からの水素ガスの反ストークス光を測定する場合の最も大きな外乱要因はレーザー光の反射や散乱であり、波長選択ミラーと光学バンドパスフィルタを組合せて使用することによりレーザー光の影響を受けることなく被検体からの反ストークス光を測定することが可能となった。

上述のフィルタやミラーの組み合わせることで、紫外線レーザー装置のエネルギーを mJ オーダまで低出力化した上で、濃度 200ppm の水素ガスからの反ストークスラマン散乱光を検出できることを確認した(図 3-2-3)。

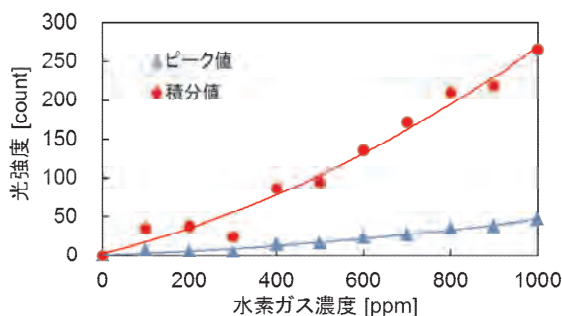


図 3-2-3 反ストークス光強度の水素ガス濃度依存性

以上の経緯により最適化を行った実験系を用い、伝送距離 1.2m、レーザー光波長 355nm、レーザーエネルギー 2mJ の条件で、500ppm の水素ガス濃度測定を 20%以下の精度で測定できることを検証した。

これらの試験結果を基に、近接型水素ガスリークディテクタシステム機能モデル光学系の設計を行った(図 3-2-4)。光源は、紫外線レーザーをラマンセルに集光して導入し、水素のストークスラマン散乱光を発生させ、ラマンセルから発生する反ストークスラマン散乱光をラマンセルの後方に設置したラマン分光用長波長透過フィルタによって排除する構造とした。伝送路は、レーザー光とストークスラマン散乱光を複数枚のミラーにより反射させて伝送する構造とし、先端のレンズにより集光して被検体に照射した。被検体周辺の水素ガスから発生する反ストークスラマン散乱光は、この伝送路あるいは光ファイバで受光部に伝送した。受光部は、フィルタと光検出器により構成し、フィルタは波長選択ミラーと光学バンドパスフィルタを組合せ、外乱光の除去と被検体周辺の水素ガスから発生する反ストークスラマン散乱光の選択を行った。光検出器は単一受光素子あるいは CCD 分光装置を用い、反ストークスラマン散乱光の強度測定と水素の反ストークスラマン散乱光の波長確認を行った。

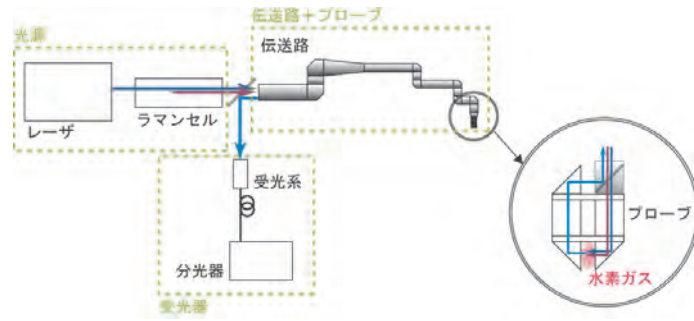


図 3-2-4 機能モデルイメージ

機能モデルを用いた評価試験により得られた知見を基に、レーザ光を2分岐し、光路の一方にラマンセル(光路長 400mm)を設置した光源光学系を考案し(図 3-2-5)、シードレーザ装置の注入エネルギーに対し、最も効率的に反ストークス光が検出できる最適なレーザ光分岐比を見出した(図 3-2-6)(特許出願済)。また、反ストークス光検出に最適なダイクロイックミラーを用い、外乱光を抑制し高効率で反ストークス光を検出する受光光学系を考案した。これを基に実証機の光学設計及び試作を完了した。

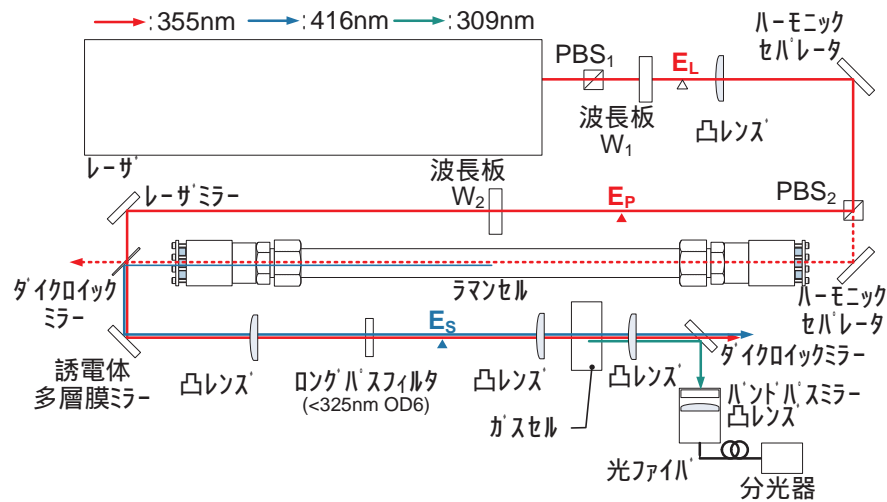


図 3-2-5 実証機光源の構成

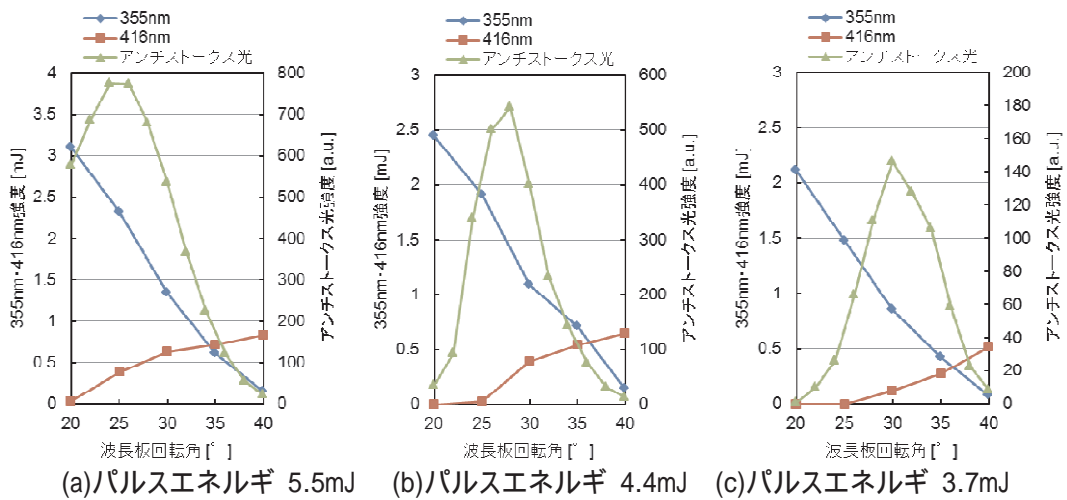


図 3-2-6 レーザ分岐比率最適化試験結果
(ラマンセル圧力を 0.7MPa とし、パルスエネルギーを変化させて計測)

() プロープの開発(担当: 国立大学法人千葉大学, 株式会社四国総合研究所)

レーザー光とストークス光を被検体に照射し, 被検体周辺の水素ガスから発生する反ストークスラマン散乱光測定するためのプロープを設計した。プロープは, 被検体からの反射光を測定する方式と被検体周辺の透過光を測定する方式の2種類である。

反射光を測定する方式は, 上述の伝送路先端に取り付けたレンズで水素ガスの反ストークスラマン散乱光を集光して, 伝送路を介して受光部に導入するものである。

透過光を測定する方式は, 伝送路を通過したレーザー光とストークスラマン散乱光の光軸をプリズムで90度回転させて照射し, 対向したプリズムで反ストークスラマン散乱光を伝送路の方向に反射して光ファイバに導入するものである。この方式は, 対向したプリズム間で発生した反ストークスラマン散乱光を測定する。

これらの方式による計測を実現するためのプロープを試作し, 水素ガスの反ストークスラマン散乱光を測定した。透過光を測定する方式について, 図3-2-7に部品構成図を図3-2-8に試作品外観を示す。

反射光を測定する方式では, ガスセルに既知濃度の水素ガスを封入して, ガスセルの後方に配置したアルミ板からの反射光を測定した結果, 1%の水素ガスからの反ストークスラマン散乱光が検知でき, その強度から濃度測定ができることを確認した。

透過光を測定する方式では, 内径・1mmのノズルから水素ガス(濃度:4%, バランスガス:窒素)を放出し水素ガスの反ストークスラマン散乱光を測定した結果, 図3-2-9に示したとおり, 放出量が1.1ml/minの場合においても水素ガスの反ストークスラマン散乱光が検知できることを確認した。

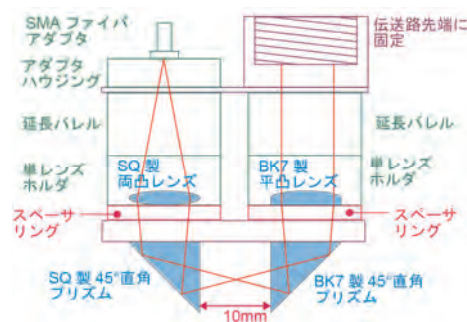


図 3-2-7 プロープ部品構成図

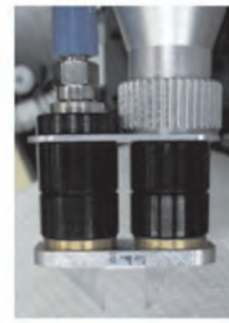


図 3-2-8 試作品外観

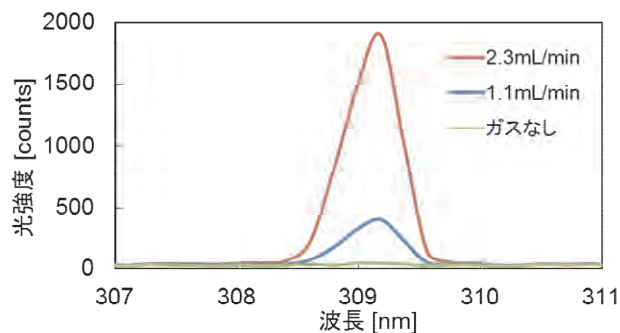


図 3-2-9 4%水素ガス測定試験結果

伝送光学系の検討として, 波長の異なるレーザー光とストークスラマン散乱光および反ストークスラマン散乱光が高効率で伝送でき, かつ被検体への照射を自由に行うことを目的として, 複数枚のミラーを使用した伝送光学系を検討した。レーザー光とストークスラマン散乱光の波長域を反射する7枚のミラーにより, レーザ光およびストークスラマン散乱光を1m以上伝送することができ, これを水素ガスに照射して反ストークスラマン散乱光が測定できることを実験的に確認した。

上記伝送光学系に類似したレーザーメスの伝送路を参考に, レーザ光とストークスラマン散乱光および反ストークスラマン散乱光の伝送性能を評価して, 伝送距離1mを7関節ミラーで実現できる伝送路と先端の照射・集光系を設計製作した(図3-2-10)。また, 伝送用ミラーの仕様検討を行い, レーザ光とストークスラマン散乱光および反ストークスラマン散乱光の伝送に最適な光学特性

のミラーを選定した。

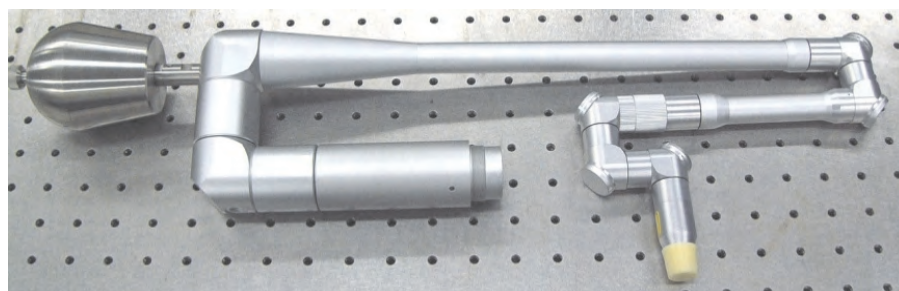
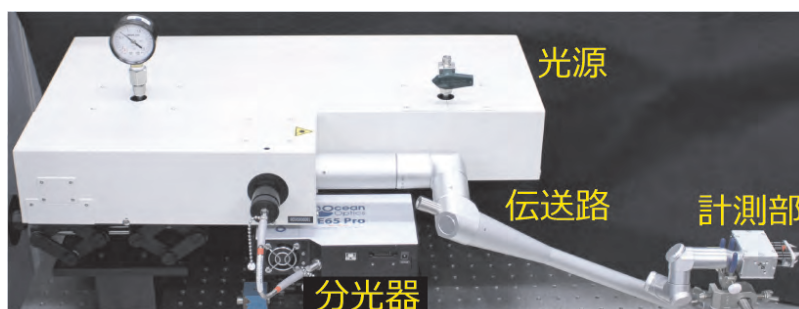


図 3-2-10 伝送路外観

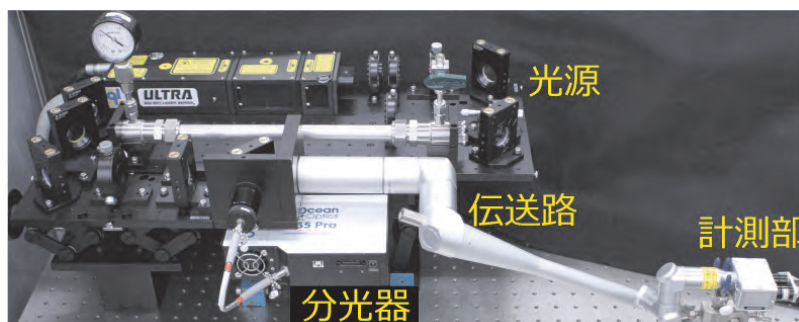
() 実証試験 (担当:株式会社四国総合研究所, 国立大学法人千葉大学)

前述のシステム及びプローブの開発により得られた知見を基に, 近接型水素ガスリークディテクタ実証機を試作した(図 3-2-11)。本装置は, レーザ光源及びピラマンセルにより構成される光源と, 励起レーザ光及びストークス光及び観測したアンチストークス光を伝送する伝送路と, 漏洩水素ガスのアンチストークス光を発生させ, 受光する計測部(プローブ), 観測したアンチストークス光を分光計測する分光器により構成される。

近接型水素ガスリークディテクタ実証機を用いて, 配管からの漏洩を模擬した環境において実証試験を行った(平成 29 年 12 月完了予定)。



(a)装置外観



(b)内部構造

図 3-2-11 近接型水素ガスリークディテクタ実証機 (a)装置外観 (b)内部構造

遠隔型水素ガスリークディテクタの開発

遠隔型水素ガスリークディテクタは、レーザラマン分光法とLIDAR(Light Detection and Ranging)技術を融合した、コンパクトな水素ガスリモートセンシングシステムである。LIDAR は、空間にパルスレーザ光を照射し、観測領域に存在する微粒子や分子等により生じる光の応答(ライダエコー)を望遠鏡で捉えることにより、物質の種類や位置・量等を非接触計測する技術である。本研究開発では、本年度から事業期間終了までの間で機能検証ができる試試験機の完成を目指し、次の成果を得た。

()ヘッドの開発

光学設計に向けた基礎試験として、水素ラマンスペクトルの計測と、水素ラマン散乱光信号の濃度依存性の計測を行い、水素ガスが大気(窒素及び酸素)と十分に分離して検出可能であること、ラマン散乱光信号がガス濃度に対し線形の相関を示すため水素濃度の定量化が可能であることを検証した。コンパクトなLIDARヘッドの実現を目指し、ラボ内においてDPSSマイクロチップレーザとリッチークレチアン(反射)式小型望遠鏡によるLIDAR光学系を構成し(図3-2-12)、水素ガスの遠隔計測試験を行い、8mの遠隔における濃度1%の水素ガス検知が、十分なS/N比と200mmの空間分解能をもって可能であることを実験的に検証した(図3-2-13, 3-2-14)。併せて、シミュレーション解析により、水素ガスを遠隔計測する場合を想定した昼間及び夜間におけるライダエコーのS/N比を評価し、目標の仕様が達成できることを確認した(図3-2-15)。

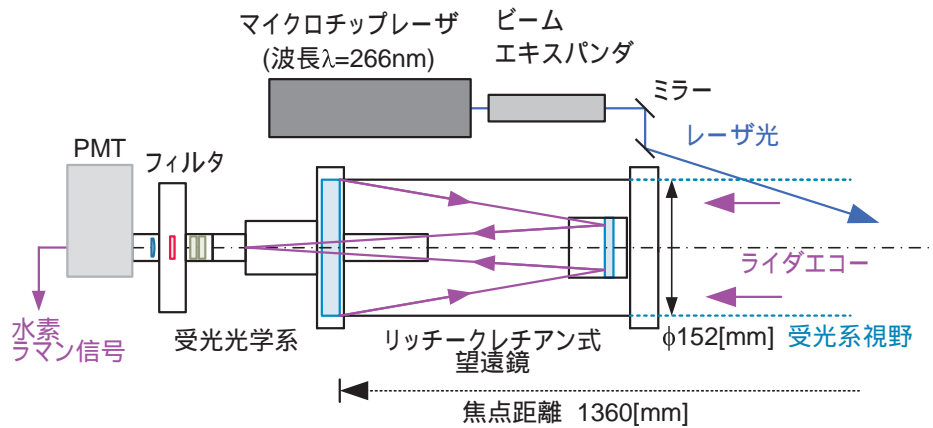


図 3-2-12 ライダヘッド光学系構成

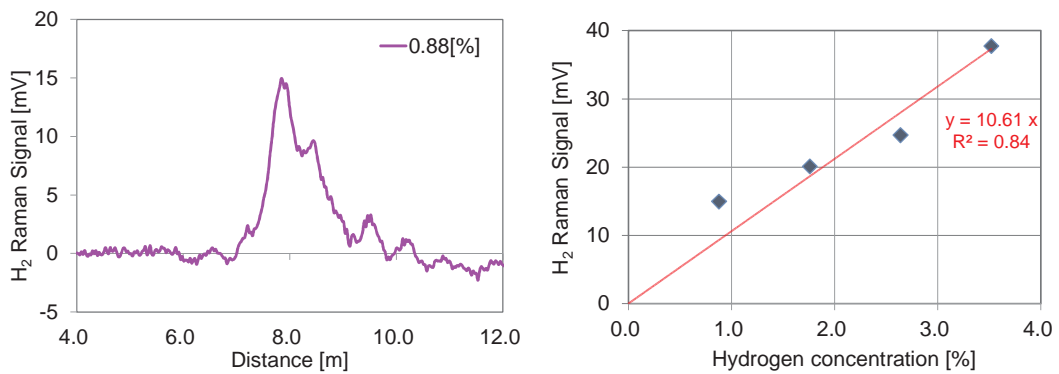


図 3-2-13 水素ガス濃度遠隔計測試験結果事例
(左:ラマン散乱光信号ピーク値の水素濃度依存性
右: 8m先濃度1%水素のラマン散乱光信号時間波形)

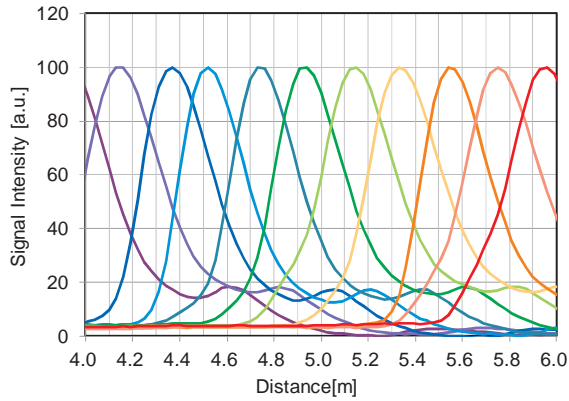


図 3-2-14 空間分解能評価結果

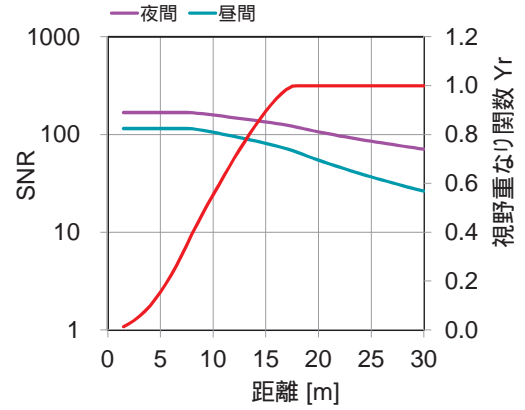


図 3-2-15 シミュレーション結果事例

() 信号処理システムの開発

本 LIDAR システムでは、約 1ns の短パルスレーザー光を用いることで、高い空間分解能の実現を目指している。したがって、ラマンエコーは同程度の短パルスラマン散乱光となる。ここでは、本システムによって得られるラマンエコーを、波形を崩すことなく高い再現性でサンプリングするために、サンプルレート 3GS/s 以上を目標とする高速デジタイザを考案し、設計試作を行なった(図 3-2-16)。機能試験により、目標の高速波形サンプリングが可能であることを検証した。



図 3-2-16 高速デジタイザ外観

() 機能試験

前述のライダヘッド及び信号処理システムを組み合わせ、遠隔型水素ガスリークディテクタを試作した(図 3-2-17)。ライダヘッド寸法は 400 × 700 × 200mm である。

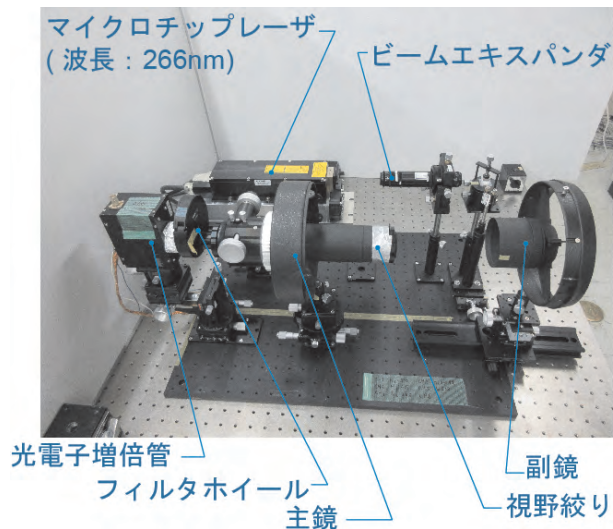


図 3-2-17 遠隔型水素ガスリークディテクタ試験機外観

遠隔型水素ガスリークディテクタ試作機を用いて、野外模擬フィールドにおいて機能試験を実施した(図 3-2-18, 3-2-19)。遠隔型水素ガスリークディテクタヘッドから 8m 遠方にノズルを設置し、純水素ガスを大気放出した際の遠隔型水素ガスリークディテクタによって検出されたラマン散乱信号を取得した。データ解析のため、ここではラマン信号の取り込みにオシロスコープを用いた。環境条件は夏季晴天の昼間屋外であり、風速約 2m である。

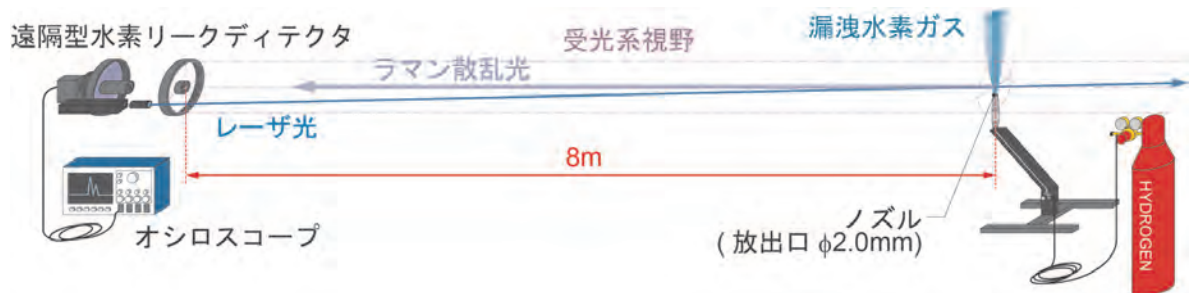


図 3-2-18 実証試験配置

その結果、距離 8m の位置にピークを有する水素ガスの空間分布波形の取得に成功した。背景に強い太陽光が存在する条件の中で、これに由来する DC 成分の信号はほぼ観測されていない。また、風により空間的に広がった水素の分布が、良好に取得されている(図 3-2-20)(平成 29 年 12 月完了予定)。

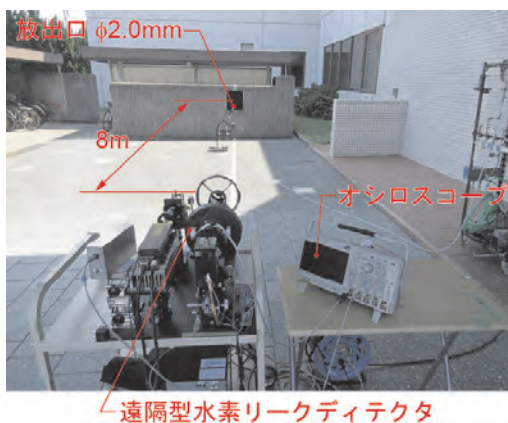


図 3-2-19 実証試験状況

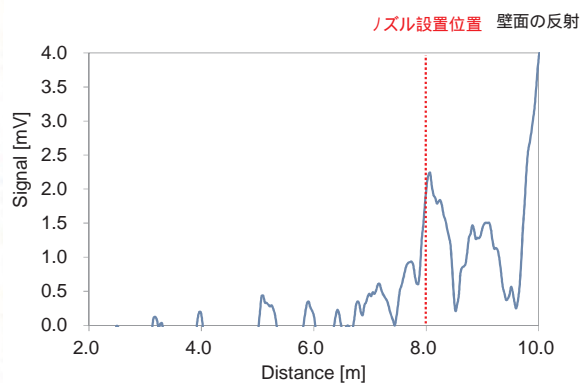


図 3-2-20 実証試験結果事例

3.2 成果の意義

本成果は、光学式水素ガスセンサ及び水素ガスリークディテクタが、それぞれ当初構想どおりの用途向けに実用化が可能であることを示すものであり、より安全性の高い水素ステーションの運用を実現できる新たな水素検知技術として極めて有意義な成果である。

3.3 開発項目別残課題

(1) 光学式水素ガスセンサの研究開発

[]- システムの開発における観測点数5点以上の装置開発 (分類)

当初目標として観測点数5点以上の装置を目指していたが、プロジェクト進捗に従い、より重要度の高い課題([]- 遠隔型水素ガスリークディテクタの開発)に集中するため、優先度を下げるべきと判断した。

なお、観測点数の拡大は、本事業において開発した2点監視システムを新たな技術開発を伴うことなく拡張するのみで実現できることが自明であるため、目標達成と判断した。

その他 量産化技術の開発 (分類)

本成果を基に、今後の事業化を推進するために装置の低コスト化が重要な課題となる。そのためには量産効果の獲得が必要不可欠であることから、特に、システム本体の量産化(低コスト化)に向けた研究開発を進める必要がある。

(2) 水素ガスリークディテクタの研究開発

[]- ()-(b) 光源の低出力化の検討 (分類)

本事業において、光源の低出力化を検討し、数mJ程度の出力で微量水素ガス計測が実現可能であることを検証した。しかしながら、本装置の普及に向けては、更なる光源の低出力化による装置の小型化及び低出力化が課題となる。

したがって、今後数十～数百 μ Jの出力で微量水素ガス計測が可能となる技術を見出し、光源としてDPSSレーザ又はマイクロチップレーザが適用できるまで技術を昇華させる必要がある。

[]- ()-(c) 伝送光学系の検討 (分類)

本事業では、伝送光学系として多関節ミラーを採用し、実証機の開発を行った。一方で、光ファイバによる伝送技術開発も並行して実施し、観測部までのレーザ光及びストークス光の伝送と、水素から生じたアンチストークス光の観測が原理的に可能であることを検証した。今後、光ファイバによる伝送技術を更に磨き、実用レベルまで昇華することで、ユーザビリティが大きく向上するものと見込まれる。

[]- () 機能試験 (分類)

本事業では、装置の試作及び機能試験までを実施したが、より早期の市場投入を目指すためには、製品化に向けた研究開発を引き続き実施する必要がある。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

4.1 まとめと今後の予定

(1) 光学式水素ガスセンサの研究開発

水素利用機器の内部や防爆エリア内に適用できる光学式水素ガスセンサの開発を実施した。当初計画どおり、実証機の開発及び実証試験を完了し、各目標の達成を検証した。開発した装置の使用は以下のとおりである。

[装置仕様]水素ガス検出限界 500ppm, 応答速度 2sec, 使用温度上限 200℃以上
マルチモニタリング機能, 自己診断機能付帯

(2) 水素ガスリークディテクタの研究開発

近接型水素ガスリークディテクタの研究開発

パッキンやバルブからの漏洩水素ガスを探査する水素ガスリークディテクタの研究開発を実施した。当初計画どおり、実証機の開発及び実証試験を完了し、各目標の達成を検証した。開発した装置の使用は以下のとおりであり、検出限界については目標を上回る成果を得た。

[装置仕様] 水素ガス検出限界 250ppm, 測定精度 30%

遠隔型水素ガスリークディテクタの研究開発

遠隔から観測空間中の水素ガス濃度分布を計測し、水素漏洩箇所を特定する水素ガスリークディ

テクタの研究開発を実施した。当初計画どおり、試験機の開発及び実証試験を完了し、各目標の達成を検証した。開発した装置の使用は以下のとおりであり、検出限界及び位置精度については目標を上回る成果を得た。

[装置仕様] 水素ガス検出限界 0.5%以下、離隔距離 8m 以上、位置精度 0.2m 以下

今後は製品化に向け、開発した試験機及び試作機を基に、量産化技術開発等による低コスト化を視野に製品モデルの開発を行い、同装置により各種環境への耐性、長期稼働試験など、実用に向けた各種フィールド試験を行う予定である。

4.2 事業化までのシナリオ

(1) 実用化・事業化を行う製品と販売先

光学式水素ガスセンサ

水素ステーション及び水素製造プラント等の水素関連施設に向け、応答が速い小型の光学式水素ガスセンサを低コストで提供する。

水素ステーションや複合燃料スタンドに向け、水素ガスセンサ取扱い業者を通じて販売を行う。また、将来的に水素エネルギー利用が拡大すれば、水素供給・保管施設が大幅に増加することが予想される。これらの施設をはじめ、ガス検知器の設置が義務付けられているプラント等は、本システムの適用により保安管理の高度化が図れるため重要な市場となりうる。また、本技術によれば、水素以外の様々なガス検知や濃度計測、マルチガス計測が可能であるため、将来的には水素ガスに限らず、各種ガス製造、利用施設を対象に製品の開発、販売を目指す。

水素ガスリークディテクタ

水素ステーション等の水素関連施設に向け、配管継手等から生じる微量の漏洩水素ガスを近接又は遠隔から瞬時に検出し、現在煩雑な作業を要する水素漏洩箇所を特定し、短時間で効率的に行うことができるリークディテクタを提供する。

水素燃料、水素ステーション及びステーション構成部品を取扱う水素エネルギー事業関連企業に対し、微量の水素ガス漏洩箇所を瞬時に特定する必要がある特殊環境を対象に事業を展開する。

(2) 実用化・事業化への取組み

本事業者は研究開発を生業としており、事業の成果を知財という形態で権利化することを基本とし、本事業に於いてもこの基本路線を踏襲する。本事業者自らが製品製造を行う機能を有していないため、サンプル出荷、受注生産では製造委託する場合がある。本格的な製造・販売はメーカ等へのライセンス供与により実現する。実用化・事業化の成功は、知財を実施する製造・販売パートナーが重要となることから、事業成果と関連のある企業に向けた情報発信や情報提供、情報共有などを積極的に推進する。技術指導や技術協力を行ってきた企業とは技術交流を深め、本事業者の保有知財の有利な条件での実施許諾により、低コスト製品の早期市場投入を共通目標として取り組む。

実用化・事業化に向けた計画等

プロジェクト終了後 2~3 年間を目途に、各種フィールドでの実証試験や展示会への出展・広報活動を重ね、本製品の優位性をアピールしていくと共に、サンプル出荷による実績を積み上げ、その後商品販売へ移る。

提案者である(株)四国総研は、これまでに自社開発技術の商品化・事業化実績を多数有し、事業化に必要な体制が確立されている。また、本件シーズ技術開発過程において、多くのエネルギー関連企業や商社とのコネクションを構築しており、市場ニーズや実証試験フィールドの提供及び、サンプル販売の端緒を得ることができる環境にある。製造は本件各再委託先が行うが、各企業とも、自社開発技術に基づく商品化・事業化実績を有し、商品が高い品質で安定供給できる製造プロセスに必要な体制が確立されているため、これらを総合的に活用することで強力な事業化の推進が見込める。

優位性と課題

a. 事業の新規性・独創性

現在水素ガス検知には主に、防爆構造を付加した半導体式、熱伝導式等の接触式ガスセンサが用いられている。これらのセンサは小型、低コストである一方で、応答に数十秒程度の時間を要するため、漏洩監視の観点ではガス漏洩から警報発報までにタイムラグが生じ、漏洩探査の観点では、漏洩箇所を効率的に特定することが困難であるという課題が残る。

これに対し、本提案の水素ガス検知技術は光学的手法(レーザラマン分光法及び CARS)に基づき、応答速度 2 秒以内を実現することが可能であるため、漏洩監視、漏洩探査のいずれの観点から

もその高度化を図ることができる。本提案に用いる光学的水素ガス検知手法は、提案者が発案した全く新しい独自の技術である。また、とりわけ水素ガスリークディテクタについては、現在同等の機能を有する装置は存在せず、オンリーワンとなる新技術である。

b. 他との競争力

これまでの研究開発過程において水素ガス検知の原理については十分に検証がなされており、これに係る産業財産権は国内外において取得済みであるため、同様の手法で他社との競争となった場合、提案者が圧倒的に有利である。

c. 課題と解決方法

事業化までに想定される課題は、製品コストと水素ステーション関連市場の獲得である。

[製品コスト]

従来の光学式ガスセンサは極めて大型であり、～数千万円程度のコストであったが、提案者はこれまでに、装置の大幅な小型化(システム一式でテーブルトップサイズ)と低コスト化(500万円以下)を実現してきた。本提案では、技術開発と量産効果により小型・低コスト化を進め、市販の水素ガス検知システム(例えば6点監視で200万円程度)と同等のコストで実現する。これによって、従来と同等のコストで、光学的手法による応答の速い水素ガスセンサを提供することができる。また、リークディテクタについては、主に特殊用途への適用が想定されるため、コストよりも機能を優先し事業化を進めるべきであると考えられる。

[水素ステーション関連市場の獲得]

水素ステーションのパッケージ化や試験運用が進められる中で、保安設備についても既に一定の仕様が決定されており、一般のセンサ市場と比較して開拓が困難であると言える。しかしながら、本技術による保安管理水準の大幅な向上と、近年の自然災害など、想定外事故発生時に備えた安全対策に対する世論の動向に照らせば、水素ステーションの本格普及が進められる中で、前述現行技術における課題等に起因するアクシデントが生じた際に、随時本事業における完成度の高い商品と実績を提示することで、市場を切り開くことが十分に可能であると考えられる。

(3) 実用化・事業化のスケジュール

製品設計

小型光学式水素ガスセンサ、水素ガスリークディテクタのいずれについても、本事業が終了する平成29年度までに実証機の設計試作を終え、製品化に向けた課題を抽出する。

設備投資

製造は外部委託とするため、各部品や製品検査用機器の購入が主な設備投資となる。

生産

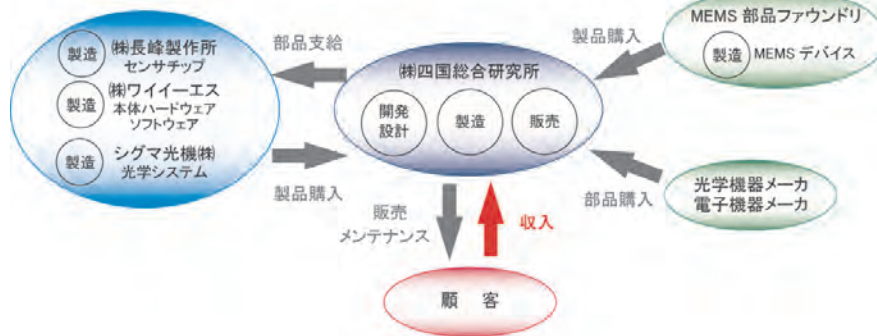
本事業終了後平成30年から生産(サンプル出荷)を開始する。

事業開始当初は、受注生産体制を想定し、本件再委託先企業や電子機器メーカー、光学機器メーカーにより行う。小型光学式水素ガスセンサについては、本体を(株)ワイイーエス、センシング部については(株)長峰製作所、MEMS部品についてはファウンドリを活用する。水素ガスリークディテクタについては、シグマ光機(株)が担当する。なお、年間生産台数が50台を超えた時点で、量産ラインの導入を検討する。

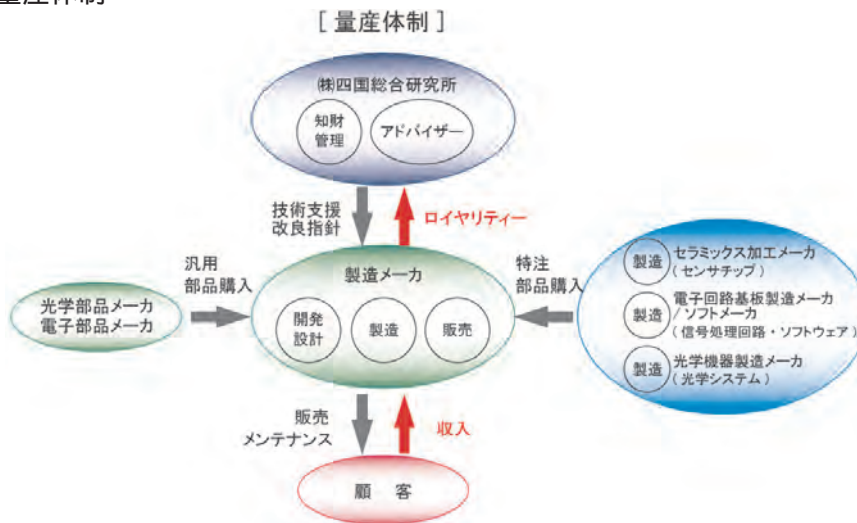
販売

当初は提案者により販路の開拓、拡大を推進する。平成32年度終了時点の成果を基に、本事業の続行/中断の判断と、製造委託企業に対する受注・製造・販売業務の移管を検討する。

[事業化のスキーム]
受注生産体制



量産体制



[事業化のスケジュール]
光学式水素ガスセンサ

	H29 年度	H30 年度	H31 年度	H32 年度	H33 年度	H34 年度
製品設計	■					
設備投資		■	サンプル出荷開始			
生産		■	■	■	■	■
販売				■	■	■
収益発生				■	■	■
備考		事業終了	続行/中断, 業務移管を判断			

水素ガスリークディテクタ

	H29 年度	H30 年度	H31 年度	H32 年度	H33 年度	H34 年度
技術開発	■					
製品開発		■	■	■	サンプル出荷開始	
生産					■	■
販売						■
収益発生						■
備考		事業終了			続行/中断, 業務移管を判断	

予想される重大な障害:
 製品設計段階: 製品コストの削減。
 設備投資段階: 特になし。
 生産段階: 特になし。
 販売段階: 水素ステーション関連市場の獲得。

5. 研究発表・特許等

- 研究発表・講演, 文献等, その他 -

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 26 年 9 月	第 32 回レーザーセンシングシンポジウム	半導体レーザーを用いた水素ガス濃度測定	二宮英樹(四国総研) 他
2	平成 26 年 11 月	第 31 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム	SiOB への適用を目指した光学自動アライメント技術の開発	高尾英邦(香川大学) 他

3	平成 27 年 1 月	レーザー学会学術講演 会第 35 回年次大会	レーザーラマン分光マルチガ スセンサ用小型分光デバイ スの開発	朝日一平(四国総研) 他
4	平成 27 年 5 月	18th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems Transducers 2015	A rotational mems diffraction grating for realization of micro sized spectroscopy system	Hidekuni Takao (Kagawa Univ.) etc.
5	平成 28 年 1 月	燃料電池 Vol.15 No.3	光計測技術を用いた水素ガス 及び水素火炎可視化技術の 開発	朝日一平(四国総研)
6	平成 28 年 7 月	The International Conference on Electrical Engineering 2016	Development of light source for hydrogen gas detection using CARS	Sachiyo Sugimoto (Shikoku Research Institute) etc.
7	平成 29 年 3 月	第 42 回リモートセンシ ングシンポジウム	ラマン効果を用いた光ファイ バ伝送式ガス濃度遠隔計測 装置の開発	市川祐嗣(四国総研) 他
8	平成 29 年 3 月	第 42 回リモートセンシ ングシンポジウム	ラマンライダによる小型水素ガ スリークディテクタの基礎検討	荻田将一(四国総研) 他
9	平成 29 年 3 月	平成 29 年電気学会全国 大会	レーザーラマン分光法によるマ ルチガス計測装置の高感度 化	市川祐嗣(四国総研) 他
10	平成 29 年 3 月	平成 29 年電気学会全国 大会	CARS を用いた水素ガスリーク ディテクタの開発	杉本幸代(四国総研) 他
11	平成 29 年 3 月	平成 29 年電気学会全国 大会	ガス漏洩位置探査に向けた 小型ラマンライダの基礎検討	荻田将一(四国総研) 他
12	平成 29 年 7 月	第 54 回研究発表会	レーザーラマン分光法による水 素ステーション多点漏洩監視 装置の開発	市川祐嗣(四国総研) 他
13	平成 29 年 7 月	第 54 回研究発表会	微量漏洩水素ガス検知技術 の開発(第 2 報)	杉本幸代(四国総研) 他
14	平成 29 年 7 月	第 54 回研究発表会	ラマン式水素漏洩位置探査 装置の開発に向けた実験的 検討	荻田将一(四国総研) 他
15	平成 29 年 9 月	第 35 回レーザーセンシ ングシンポジウム	レーザーラマン分光法による直 列型マルチガス多点監視シ ステムの開発	市川祐嗣(四国総研) 他
16	平成 29 年 9 月	第 35 回レーザーセンシ ングシンポジウム	CARS による水素ガス検知感 度向上に向けた励起条件の 最適化	杉本幸代(四国総研) 他
17	平成 29 年 9 月	第 35 回レーザーセンシ ングシンポジウム	深紫外マイクロチップレーザ を用いた高空間分解能小型 水素ライダの開発	荻田将一(四国総研) 他
18	平成 27 年 3 月	第 11 回[国際]水素・燃 料電池展 ~ FC EXPO 2015 ~	展示会出展	四国総研
19	平成 28 年 3 月	第 12 回[国際]水素・燃 料電池展 ~ FC EXPO 2016 ~	展示会出展	四国総研

20	平成 28 年 9 月	水素ステーション・インフ ラ展(Hy-STEX)2016	展示会出展	四国総研
21	平成 29 年 9 月	第 3 回[関西]水素・燃料 電池展 ~ [関西]FC EXPO ~	展示会出展	四国総研

- 特許等 -

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	平成 26 年 10 月 9 日	特願 2014-208063	水素ガス濃度計測装置およ び方法	(株)四国総合研究所
2	平成 29 年 6 月 16 日	特願 2017-118661	ガス濃度計測装置および方 法	(株)四国総合研究所
3	平成 29 年 (出願手続中)	-	(仮)直列配置が可能な光学式 センサチップ	(株)四国総合研究所

基本特許については既已取得済

- ・ガス漏洩監視方法, およびそのシステム(特許第 3783019 号/平成 16 年 3 月 5 日) 他
海外特許有(7385681:米国, 2518491:カナダ 他)

(111-6)「水素利用技術研究開発事業 / 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発 / 水素火災可視化機能を有する監視システムの研究開発」

委託先：(株)四国総合研究所

成果がり (実施期間：平成26年度～平成29年度)

・イメージファイバを用いて防爆区域の画像を非防爆区域に伝送し、二波長分光によって選別・撮像した特定波長域の近赤外画像を背景画像（可視画像）と合成することにより、5m遠方に在る微小水素火災を可視化するこの出来る監視システムの実用化の見通しを得た。

背景/研究内容・目的

水素火災は視認できないため、水素を扱う現場には保安装置として、水素火災の中心部から発せられる紫外線に反応する火災検知器が設置されている。当該検知器は、火災の有無を判定するものであり、着火位置の特定は、これまで通りパトロール員の現地巡視に委ねられている。しかも、検知波長域の全ての光に反応するため誤検知が多い。

本研究では、水素火災から発せられる各種波長域の発光を専用のカメラで画像として捉え、火災の判定や火災領域の抽出を行う手法を高度化することにより、火災長が数cmの微小水素火災を遠方から検知して可視化する機能を具備する監視システムと高性能携帯型火災可視化装置の開発をする。

研究目標

実施項目	目標
A. ニーズ調査、目標仕様の決定	水素関連事業者を対象とするニーズ調査により、開発目標仕様を明確にする。
B. 火災可視化装置の小型・高性能化	水素火災を検知するシステム構成やデータ処理手法、火災判定ロジックを明確化し、機能モデルを試作して検証・評価を行う。
C. 水素火災検知機能を有する監視システムの開発	汎用システムを応用する新しい監視システムを考案し、機能モデルを試作して検証・評価を行う。
D. 防爆対策	新しい防爆仕様を考案し、機能モデルを試作して検証・評価を行う。
E. フィールド試験	設計・試作した実用モデル機を用いてフィールド試験を実施、当該モデル機の機能や性能、信頼性、設計の妥当性などを検証・評価する。
F. 製品コスト試算	フィールド試験の結果を反映させて製品モデルの仕様を決定し、当該モデル機のコストを試算する。

実施体制及び分担等

NEDO — 株式会社四国総合研究所

これまでの実施内容 / 研究成果

- A. ニーズ調査、目標仕様の決定
水素関連事業者など5者を調査訪問し、開発目標仕様を顕在化させた。
【目標】5mの離隔距離を以て、誤動作することなく確実に数cmの微小水素火災を可視化する。
- B. 水素可視化装置の小型・高性能化
特定波長域の近赤外光を画像として捉えることにより、微小水素火災の可視化が可能であることを検証した。
- C. 水素火災検知機能を有する監視システムの開発
水素火災検知の信頼性を高めるための遠赤外光画像を流用する監視システムの実用性を確認した。
- D. 防爆対策
イメージファイバを用いる画像伝送方式を考案し、実用モデル機を試作してその実用性を検証・評価した。
- E. フィールド試験
実フィールドを模擬した事業者構内の屋外環境下で各種の評価試験を実施中である。
- F. 製品コスト試算
10月中旬より、モデル機の仕様を決定してコスト試算を実施する予定。

研究成果まとめ

今後の課題

様々なケースや場面を想定した条件下でのデータ取得とデータベース化、及び実態に即した最適な閾値を決定するアルゴリズムの開発、ならびに前照灯の影響排除のための抜本的な解決策の検討。

実用化の見通し

技術面での実現の可能性はほぼ確認していることから、光学部品やイメージファイバなど、大きな量産効果を期待することの出来るシステム構成品の新たな製造技術が開発されれば、市場に受け入れられるコストの実現は可能である。

実施項目	成果内容	自己評価
A	水素関連事業者など5カ所を調査訪問して、市場ニーズと開発目標を明確化した。	
B	近赤外カメラと光学フィルターの適用により、水素火災の可視化が可能であることを実証した。	
C	監視用途には近赤外画像よりも遠赤外画像が適していることを確認した。	
D	画像伝送方式の可能性を実証した。	
E	前照灯の影響を排除するための効果的な対策の必要性を顕在化させた。	
F	(実施中)	(12月時見込)

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
2	0	0	0

課題番号： - 6

水素利用技術研究開発事業 / 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発 /

水素火炎可視化機能を有する監視システムの研究開発

株式会社四国総合研究所

1. 研究開発概要

水素ステーションの運用におけるトラブルの未然防止や、トラブル発生時の迅速な対応を効率的に実施するために、通常では視認できない水素火炎を可視化することのできる防爆対応の装置を開発することにより、水素火炎可視化機能を有する水素ステーション監視システム、及び可燃性物資に水素が含まれる火災現場に於いて、水素火炎を特定することのできる可搬型水素火炎可視化装置を提供する。

2. 研究開発目標

通常、水素火炎は視認することが出来ないため、水素を扱う現場には、水素火炎から発せられる紫外光に反応する炎検知器が設置されている。当該検知器は、火炎の有無を判定して警報発報することを基本としており、その着火位置の特定は巡視員の現地パトロールに委ねられている。当該検知器は、検知波長帯域の全ての光にセンサが反応するため、太陽光や溶接火花などに含まれる紫外光に起因する誤検知が多いことが、水素関連事業者への聞き取り調査により明らかとなっている。

水素ステーションの普及に向けて期待される“水素火炎を迅速・確実に検知する”ことは、水素インフラの社会受容性を確保する観点からも極めて重要である。本研究では、水素火炎から発せられる紫外光や可視光・近赤外光・遠赤外光を専用のカメラで撮像し、これらの撮像画像をパソコン上で画像処理することにより、通常では視認することの出来ない水素火炎を可視化する手法を基本とする。

(1) ニーズ調査、目標仕様の決定

現行の水素ステーションに設定されている炎検知器を調査し、本研究開発に必要な仕様目標を明確にする。併せて、水素ステーション管理事業者などへのヒアリングを通して、本研究で開発する技術の目標仕様を明確化する。

(2) 火炎可視化装置の小型・高性能化

火炎から発せられる各種波長域の光の輝度情報に基づき、通常では視認することの出来ない水素火炎の可視化技術を具現化させるために、水素火炎検知のための光学系構成や画像処理手法、火炎検知判定のフローなどを明確化し、実証モデル機を試作して検証試験を行い、それらの妥当性を評価する。

(3) 水素火炎検知機能を有する監視システムの開発

汎用の防犯監視システムを応用した水素火炎検知装置の光学系構成や画像処理手法、火炎検知判定フローなどを決定して実証モデル機を試作し、フィールド試験を行って、その妥当性を評価する。

(4) 防爆対策

水素火炎の監視は“遠方から安全・確実に”を基本とする。しかし、発光量の小さい微小火炎や配管・バルブなどが複雑に入り混じった蓄圧器室内の監視のためには、防爆エリア内への装置設置を余儀なくされる場合があることに鑑み、水素火炎検知機能を阻害しない光学系で構成される画像伝送手法を具現化させた実証モデル機を試作し、フィールド試験を行って、その妥当性を評価する。

(5) フィールド試験

現行の水素ステーションに設置されている炎検知器と、可視光束と近赤外光束を集光・分光・伝送・撮像する実証モデル機を事業者の構内に設置し、同一条件下で各種評価試験を実施することにより、誤動作発生件数などの具体的な数値を以て、実用モデル機の性能や信頼性、設計の妥当性などを検証・評価する。

(6) 製品コスト試算

フィールド試験の結果を反映させて製品モデル機の仕様を決定し、その仕様の製品コストを試算する。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) ニーズ調査、目標仕様の明確化()

水素ステーションを設置・運営するエネルギー供給事業者や水素インフラ事業者、ならびに水素火災時の消防戦術を検討・策定する総務省消防庁を調査訪問して、事前に通知してあったアンケート項目に対する回答や説明・解説のほか、意見交換を実施した。

当該調査により明らかとなった事項は以下の3点に集約される(表1)。

- 火炎検知のニーズはガス検知ニーズより低い。
 - ・ 着火に至る前段階(ガス検知)で安全な措置を講じることが基本である。
 - ・ ガス検知機能は必須であり、濃度測定機能は必ずしも必要ではない。
 - ・ 検漏液塗布以外の方法でガス漏洩箇所を特定する技術へのニーズが非常に高い。
- 水素火炎と一般火炎(炭化水素火炎)の区別は不要である。
 - ・ 火の気(火炎)の確実な検知が第一義である。
- 誤検知することなく確実に水素火炎を捉える装置が望まれている。

調査結果を踏まえ、水素火炎可視化装置の検知能力の仕様を以下のように明確化した。

【開発目標】

5mの離隔距離を以て数cmの微小火炎を確実に検知する。

訪問先	東京ガス株式会社 千住水素ステーション	岩谷産業株式会社 尼崎水素ステーション	株式会社日立製作所 インフラシステム社	大陽日酸株式会社 水江事業所	総務省 消防庁
調査対象・目的	従来型水素ステーション (都市ガス改質)	商用水素ステーション (オフサイト方式)	水素コンプレッサー製造者 からの意見聴取	移動式水素ステーション (オフサイト・パッケージ型)	携帯型火災可視化装置の 消防戦路上的適用性調査
訪問調査日	平成26年 8月20日	平成26年 9月 3日	平成26年 9月24日	平成26年11月19日	平成26年11月20日
調査概要	<p>着火前に対処することを基本と 考えており、火災検知のニーズ は低く、ガス漏洩検知のニーズ は高い。</p> <p>検漏液塗布(発泡検査)を実施 する前に別の方法でガス漏洩箇 所を特定し、増し締めなどの然 るべき措置を講じたい。</p> <p>このため、ガス漏洩箇所を特定 することのできる技術に対する ニーズは極めて高い。</p>	<p>水素火災と一般火災(炭化水素 火災)の区別は不要であるが、 水素火災は見逃すことなく検知 されたい。</p> <p>鎮火確認の観点から、着火位置 の特定機能は必要。</p> <p>漏洩ガス濃度に応じて重警報と 軽警報を使い分けられていること を助案すれば、水素ガス濃度測定 機能が必要。</p> <p>火災検知と水素ガス漏洩検知/ 濃度測定の必要性の観点では、 後者のニーズが高い。</p>	<p>水素インフラ事業者の立場から 発言すれば、水素火災可視化は 不要であるが、低濃度まで対応 可能な水素ガス検知器ならば、 例えば高価であっても欲しい。</p> <p>水素ステーションの現場では、 10ppmレベルの水素ガス漏洩 でワイワイ騒いでいる。</p> <p>現地担当者は、ガス漏洩検知器 の針が若干でも振れるものなら ば、直ちにメーカーに対応を強要 する。</p>	<p>高圧ガス保安法上、移動式水素 ステーションは防爆対応は不要 であり、水素ガス漏洩/検知器 は設置するも火災検知器の設置 は義務付けられていない。</p> <p>水素ガス漏洩検知機能が最優先 される。ガス検知器がLELの1/4 で警報発報するため、水素ガス 濃度測定機能の必要性について 特段、考えたことがない。</p>	<p>消火活動現場でサーモカメラを 使用している現状から言えば、 火災可視化装置の消防戦路上的 の要否や消火活動上の適否に関 する積極的な回答は困難である。 消火活動の現場では赤熱面所の 把握が最も重要であり、強いて ニーズを挙げるならば、火災可 視化装置とサーモカメラ機能の 一体化。更に、頑強な構造体で あることやズーム機能の具備。 汎用性の高い装置であることが 重要。</p> <p>現在まで水素ステーションでの 火災事故が発生していないこと から、水素火災に対する消火活 動で何が問題なのか、そのため には何が必要なのか、正直など ころ、把握できていない。</p>

表 1 水素関連事業者などへの訪問調査結果

(2) 火炎可視化装置の小型・高性能化()

水素分子を含む可燃性ガスが燃焼することにより、OHラジカルからの紫外光と、燃焼によって生成した水蒸気(H₂O)分子からの近赤外光、及び結露した水蒸気から遠赤外光が発せられる(図 1)。このため、水素火炎から発せられる光は、280～320nm の波長域(紫外光領域)で観察されるため、当該波長域の光を光学バンドパスフィルターで選別することにより水素火炎を検知することが出来る。燃焼によって生じる高温の水蒸気は火炎周辺の空気に曝されて結露し、温度相応の輻射熱を発するため、当該熱輻射を検知することにより、火炎近辺の温度分布の熱画像化が可能となる。一方、燃焼によって火炎から発せられる水蒸気(H₂O)分子の発光スペクトルが近赤外光波長域にピーク値を有していることに鑑みれば、太陽光(外乱光)の発光スペクトル輝度が小さく、かつ水蒸気(H₂O)分子の発光スペクトル輝度の強い波長帯域の発光を画像化することによっても火炎の可視化は可能である。本研究では、専用カメラを用いて水素火炎から発せられる紫外光や近赤外光、遠赤外光を画像として捉え、これらの撮像画像を処理して背景画像(可視光画像)上に重ね合わせる手法(以下「重ね合わせ手法」)を適用する。

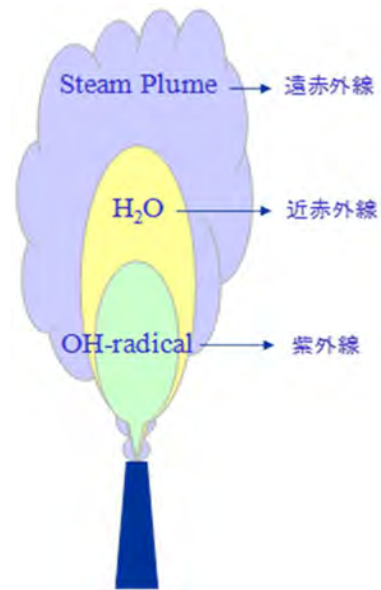


図 1 水素火炎の模式図

口径 1mm のマイクロ火口を用いて 2cm 程度(OH ラジカル部分)の微小な水素火炎を発生させ、5m の離隔距離を以て当該

火炎の撮像試験を行った。紫外光画像は専用の UV カメラで、近赤外光画像は 930nm のバンドパスフィルターを介して CCD カメラで、遠赤外光画像はサーモカメラで撮像した。OH ラジカルの発光は信号強度が微弱であるため、イメージ・インテンシファイアー(以降、I.I.と表記する)で約 10,000 万倍に増幅した。可視光及び水



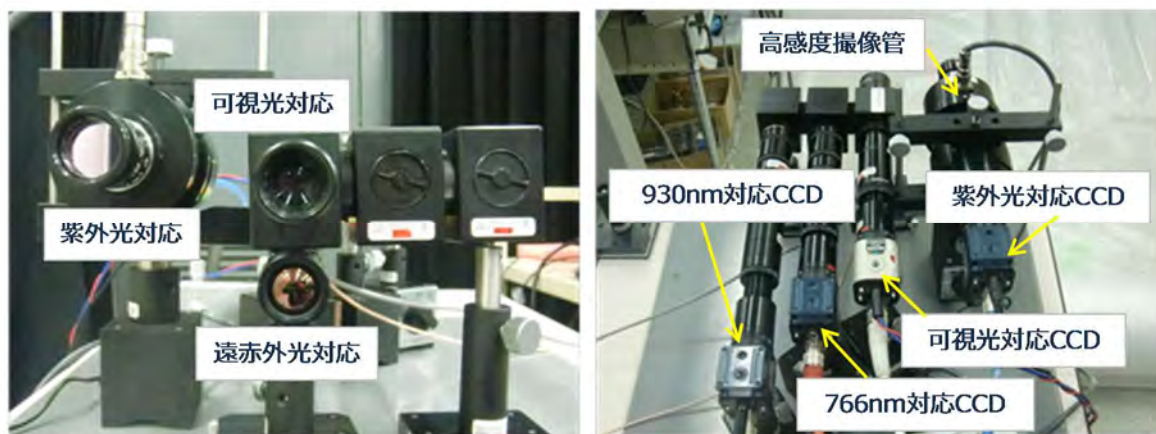
図 2 水素火炎可視画像(離隔距離 5m、火炎長 2cm)

素火炎から発せられる異なる 2 波長の近赤外光(900nm、930nm)と遠赤外光を CCD カメラで同時に撮像し、2 つの近赤外光画像の差分画像と赤外光画像の共通の領域を水素火炎と判定し、当該領域を赤く着色して可視光画像上に重ね合わせて表示した。図 2 中の米粒ほどの極めて小さい赤色領域(指さしマーク部)が水素火炎である。この結果により、重ね合わせ手法の適用による “5m の離隔

距離を以て数 cm の水素火炎を検知する、この可能性が示唆された。重ね合わせ手法では、水素火炎を複数台のカメラで同時に撮像し、所定の要件を満たす画像領域のみを水素火炎と判定しているため、紫外光を検知した場合であっても、他の要件を満たされなければ水素火炎と判定しない。また、周囲が高温であった場合でも、水素火炎の領域のみの抽出が可能である。しかし、重ね合わせ手法では、同時に捉えた複数枚の画像を処理する必要があることから、各画像の画角を一致させることが極めて重要であることに鑑み、画角の不一致(ズレ)を最小限に抑える手法として“波長分光”を検討した。

そこで、まず、可視光と近赤外光の一眼3波長分光方式を含む三眼3波長分光システムの実現の適否を検討した。石英レンズ(1)で集光した光を2個のダイクロイックミラーと1個のホットミラーを介して可視光線と異なる2波長の近赤外線に分光する一方で、OHラジカルから発する紫外線は、石英レンズ(2)を介して集光してバンドパスフィルターで選別してイメージ・インテンシファイアーで増幅する。

当該一眼3波長分光方式の適用性を評価するために、図4に示す機能検証モデルを製作し、当該モデルを用いて屋内外で実水素火炎の撮像試験を実施した。当該試験は、火炎長2cm程度の微小な水素火炎の発光を撮像対象波長毎に専用の5台のCCDカメラで画像として捉え、パソコンに取り込んで画像処理することにより所期の目的が達せられる。しかし、現有の画像処理システムは4チャンネル対応であり、チャンネル数の不足により全ての画像データを同時に処理することが出来ないため、撮像に若干の時間差が生じることによる撮像画像への影響は小さいことから、パソコンに接続するCCDカメラを適宜変更することで同様の条件下で撮像試験を2回実施し、各々の画像データを重ね合わせた可視化画像を以て妥当性を評価した。



(a) 正面からの外観写真

(b) 上部からの外観写真

図4 機能検証モデル外観

屋内試験

太陽光線の差し込まない実験室内で、5m の離隔距離を以て設置したテーブル・フード内で発生させた微小火炎を撮像した。図 5 に近赤外光画像(左端:766nm、中央:930nm、右端:両画像の差分)を、図 6 には紫外光画像、図 7 には遠赤外光画像を示す。ノイズなどの影響により確認し難いが、火炎長 2cm 程度の微小な水素火炎から発せられる紫外光と近赤外光、遠赤外光の発光が撮像画像として捉えられている。当該試験では、可視光画像を除く 4 画像(紫外光画像、近赤外光画像×2、遠赤外光画像)を以て 4 チャンネルに供した。

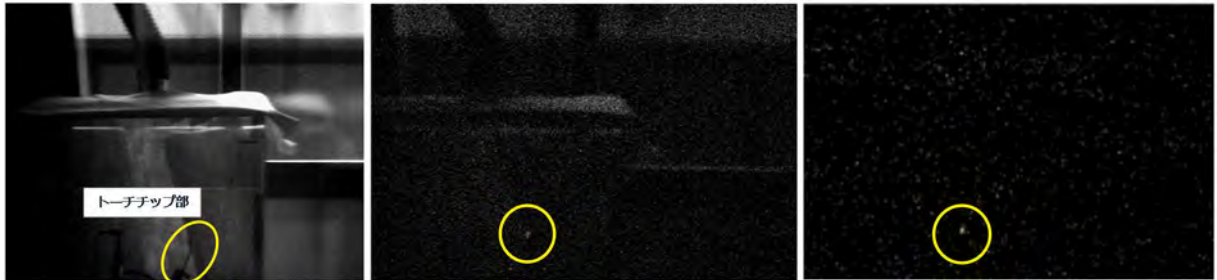


図 5 近赤外光画像(左端:766nm、中央:930nm、右端:両画像の差分)

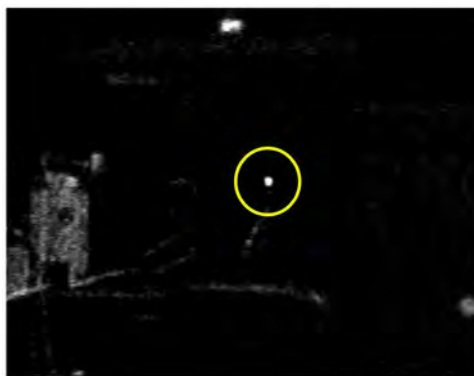


図 6 紫外光画像

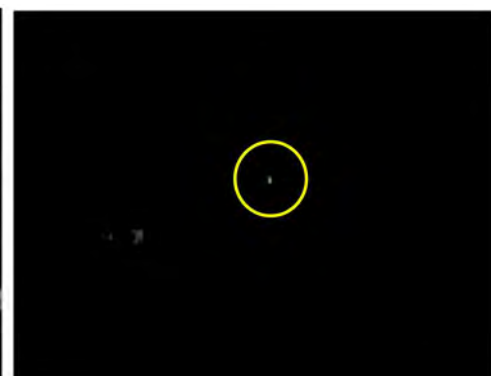


図 7 遠赤外光画像

屋外試験

西陽の遮られた建物の陰で、屋内試験と同様、5m の離隔位置で発生させた約 2cm の微小な水素火炎の発光を、光学フィルターを介して CCD カメラで撮像した。画像処理システムのチャンネル数の制約により、当該試験では、異なる 2 波長(766nm、930nm)の近赤外光画像の差分領域と紫外光画像領域を同時に満たす領域を水素火炎領域と判定して可視光画像に重ね合わせて可視化するほか、異なる 2 波長(766nm、930nm)の近赤外光画像の差分領域と遠赤外光画像領域、紫外光画像領域の 3 つの領域を同時に満たす部分を水素火炎領域と判定し、可視画像に重ね合わせて可視化した。

図 8 に近赤外光画像(左端:766nm、中央:930nm、右端:両画像の差分)、図 9 に紫外光画像を示す。図 10 は、近赤外光画像の差分画像領域と紫外光画像領域の両領域を満たす領域を水素火炎領域と判定し、当該領域を可視光画像に重ね合わせたものであり、5m 遠方の 2cm 程度の微小水素火炎を可視化することが出来ることを確認した。

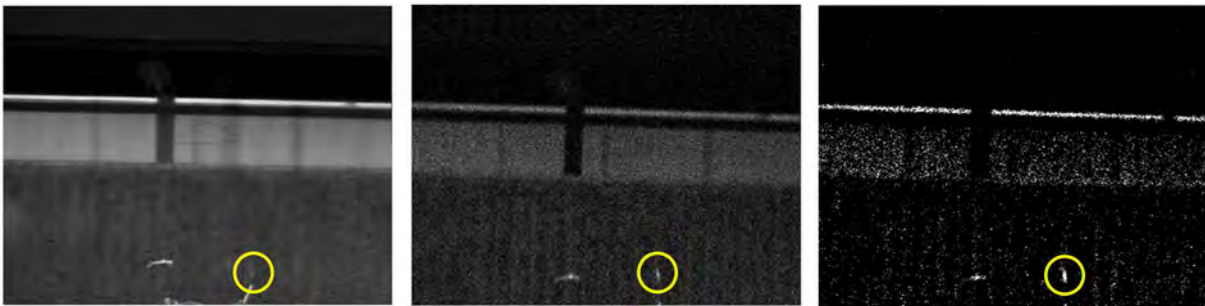


図 8 近赤外光画像(左端:766nm、中央:930nm、右端:両画像の差分)



図 9 紫外光画像



図 10 合成画像

一方、水素火炎のスペクトル測定により、1300nm を超える近赤外光波長帯域に、水蒸気(H₂O)の強い自発光が存在することを確認した(図 11)。この発光スペクトルの強度は、これまで検討していた 900nm 近傍の近赤外光のそれに比べると数倍強いことに加え、当該波長域では太陽光のスペクトル強度が弱いため、水素火炎の誤検知や撮像時の外乱要因となり得る太陽光の影響を排除することができると考えられる。そこで、950~1700nm の分光感度特性を有し、InGaAs を撮像素子とする近赤外光カメラを用いて、5m 遠方の火炎長約 2cm の水素火炎を撮像した(図 12)。この撮像結果は、適切な波長帯域の光学フィルターを使用することにより、近赤外光画像と可視光画像との差分処理が不

要であることを示唆するものである。この知見は、水素火炎可視化装置の小型化や、携帯型水素火炎可視化装置のシステム構成に大いに反映させることができる。

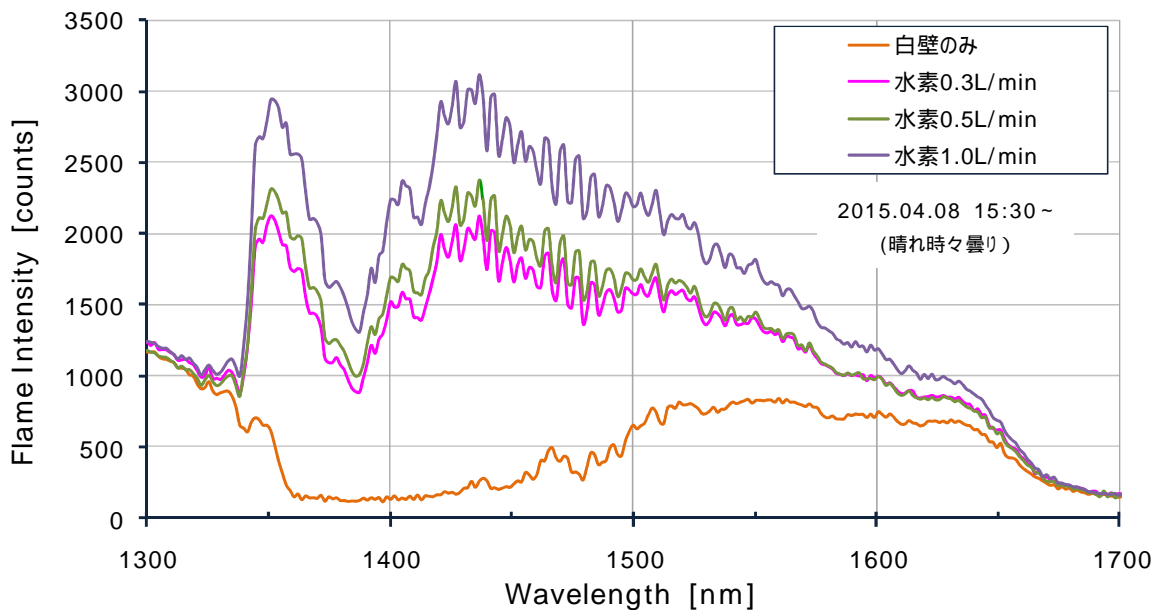
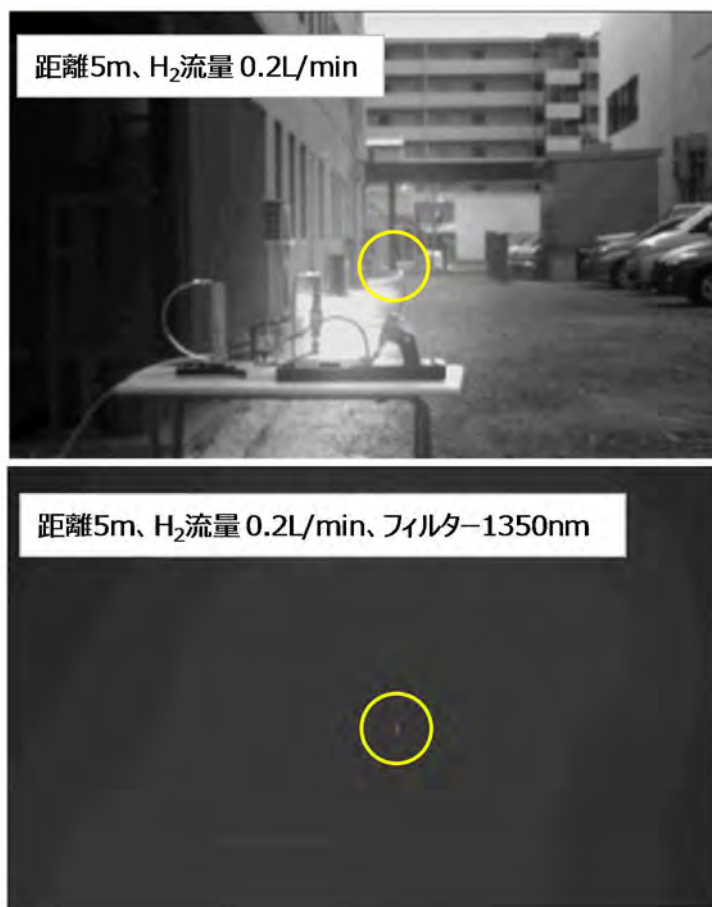


図 11 水素火炎の発光スペクトル



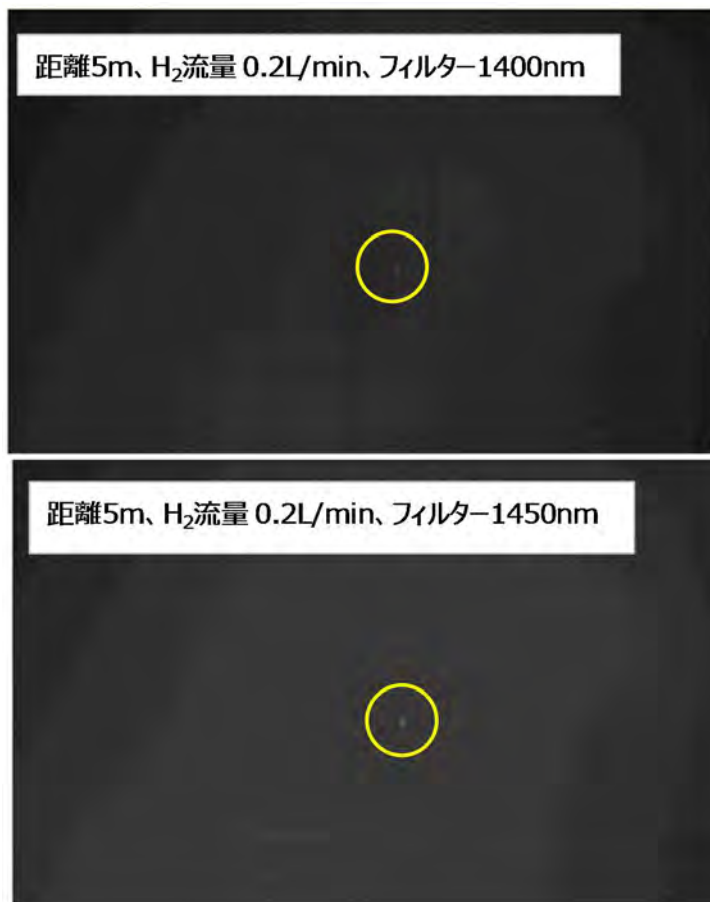


図 12 水素火炎の近赤外光画像

(3) 水素火炎検知機能を有する監視システムの開発()

ガソリンスタンドや天然ガススタンド、LPG スタンドなどに設置されている監視カメラの機能に、水素火炎可視化機能を有機的に統合させることにより、高度な水素ステーション監視システムを提供することができる。水素火炎の可視化が、水素火炎から発せられる紫外線と近赤外線、遠赤外線を画像として捉えることにより実現していることに鑑み、これらの撮像画像の何れかを監視用途に適用することが合理的であると考え、模擬実験を実施して遠赤外画像と近赤外画像の監視用途としての適否を検討・評価した。

遠赤外光画像の適否

水素ステーション内への人や各種車両の進入を想定し、ビデオ解析装置と遠赤外光カメラを用いて侵入検知の可否に係る模擬実験を行った。その結果、昼間は路面と人物・車両の輝度差(温度差)が小さく背景と侵入物の見分けが困難である一方、夜間は、路面と人物・車両の輝度差も大きく検知が可能であった。つまり、画像に温度差が出ない事象では、意図的に温度差が出る工夫が必要であることが明らかとなった(図 15)。

近赤外光画像の適否

近赤外光カメラ(撮像素子:InGaAs、分光感度範囲が $1\sim 1.7\mu\text{m}$)の撮像画像が侵入監視用途として利用可能か否かを評価するため、先の遠赤外画像の適否検討と同様の模擬試験を行った。ポー

ルを用いた試験(小動物を模擬した試験)でも、サイズ規格条件が有効で検知除外することが出来るなど、昼間の事象試験では全てのケースで安定した侵入検知を確認した。一方、夜間試験では、「歩行者(前後)ブラック雨合羽」の事象以外は安定した侵入検知が可能であった。車のヘッドライトに対しては、今回の試験では誤検知は認められなかったが、ヘッドライトの照射光がカメラ視野に入る場合の誤報の可能性は否定できない。一般的なハロゲン投光器(ハロゲン光波長 375～4000nm)は照明として用いることが出来るが、白色 LED(波長 450～700nm)などの波長帯域の狭い照明は近赤外光波長域に発光がないため、照明として不向きである。また、降雨自体は画像処理に影響するほどの輝度差や大きさはなく、誤報要因にはならないと判断されるが、水溜りへの映り込みによる誤報が懸念される。従って、近赤外画像を用いて夜間の侵入監視を実施する場合には、カメラへの入射光を制御するためのレンズの絞り調整操作が必要であること、ならびに監視エリアをハロゲン光や白熱光などを照射する必要があることが明らかとなった。

以上、遠赤外光画像と近赤外光画像の適用性について検討・評価した結果、侵入監視用途には遠赤外光画像を用いることが適切かつ妥当であるとの結論を得た。

(4) 防爆対策()

現行の高圧ガス保安法では、圧縮水素ステーションのディスペンサー周囲及び蓄圧器には、水素火災が発する紫外線を検知する方法により、常時、水素火災の発生を監視することが義務付けられている。一方、可燃性ガスまたは引火性物質の蒸気が爆発の危険のある濃度に達する恐れのある場所で使用する電気機器類は、それらのガスや蒸気の種類と危険のある濃度に達する恐れに応じた防爆性能を有する防爆構造電気器具でなければならない。一般高圧ガス保安規則の「高圧ガス保安法及び関係政省令の運用及び解釈について(内規)」では、防爆指針などに基づく防爆上の非危険場所に分類される場所に設置する電気機器類は、たとえ防爆構造を有していなくとも“火気を取り扱う施設”には該当しないが、水素ステーション設備に係る危険場所の設定基準が整備されていないことから、ディスペンサー周囲 8m(火気離隔距離)の範囲内は危険箇所と考えるべきであり、その範囲内に設置する電気機器類には防爆構造が要求される。蓄圧器周囲に設置する電気機器類に対しても同様である。ディスペンサー周囲及び蓄圧器周囲は、危険個所の分類上で“ゾーン2”に該当し、当該設備の周囲に設置する電気機器類は防爆措置の講じられた容器に格納しなければならない。防爆構造容器の設計・製作は、厚生労働省告示の「電気機器防爆構造規格」や厚生労働省労働基準局通達の「技術的基準」に準拠すればよく、設計・製作要領がある程度まで標準化されているなど、技術的難易度は低く、本事業で開発すべき要素も少ない。そこで、格納容器の防爆構造化の代替策として、“非防爆区域から監視する方式”と“画像伝送方式”を比較・検討した。その結果、水素ステーション用途以外にも幾つかの適用先が考えられることや、配管やバルブ・計器などが煩雑に入り混じった狭隘部の監視用途にも適していることなどの観点から、本事業の防爆対策として画像伝送方式を採用することとした。

図 13 に画像伝送方式のイメージを示す。

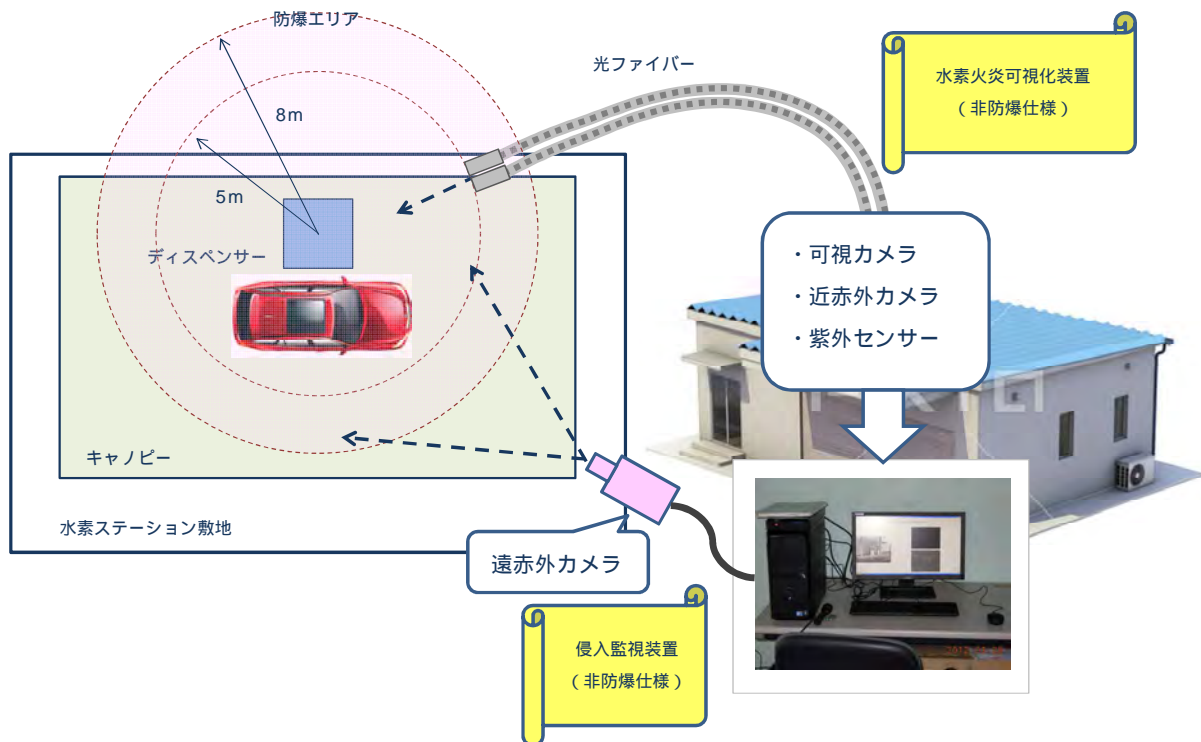


図 13 画像伝送方式を適用した水素ステーション監視システムのイメージ

本研究では、通常の状態では殆ど視認することの出来ない水素火炎、特に 2cm 程度の微小な水素火炎を、5m の離隔距離を以て確実に検知することを開発目標としている。既に、5m の遠方に位置する火炎長 2cm ほどの水素火炎から発せられる各種発光を、専用の CCD カメラを用いて可視光画像と紫外光画像、近赤外光画像、遠赤外光画像として捉え、画像処理した後、それら複数の撮像画像を重ね合わせる手法を適用することにより、米粒ほどの極微小領域ではあるが、モニター画面上で水素火炎を可視化している。ノイズなどの外乱信号に起因する領域との区別を勘案すれば、可能な限り火炎発生の想定される近傍で監視することにより、火炎領域を出来るだけ大きく捉えることが合理的である。この観点から、本研究では 5m の離隔距離を水素火炎可視化装置の設置位置、及び装置仕様の制約条件と考えて、光学部品とイメージファイバ(マルチコア光ファイバ)を組み合わせによる画像伝送方式を提案している。当該方式では、水素ステーションの防爆区域内の機器類は全て光学部品である一方で、防爆対策を講じる必要のある電子機器類は、防爆区域外の安全な場所、例えば水素ステーションの巡視・点検員の常駐建屋などに設置することを特徴としている。

(5) フィールド試験()

車両や人の出入りが多く、多様な事象の発生が想定される事業者構内の駐車場の一角に新たに設計・試作した実証モデル機を設置し、平成 29 年 6 月 13 日からフィールド試験を継続している。

近赤外光対応イメージファイバの試作

近赤外光対応の光学系(対物レンズ、結像レンズ)と可視光対応のイメージファイバ(メーカー標準品)の組み合わせでは、光量不足により近赤外光画像(水素火炎撮像画像)のコントラストの低下が大き

く、撮像画像が不鮮明となる課題が顕在化していることに鑑み、新たに近赤外光の透過率を高めるためのカスタム設計を行い、近赤外光対応のイメージファイバを試作した。当該イメージファイバを用いて水素火炎撮像試験を行い、可視光対応のイメージファイバを用いる際の課題であった“コントラストの低下”が改善されていることを確認した(図 14、図 15)。

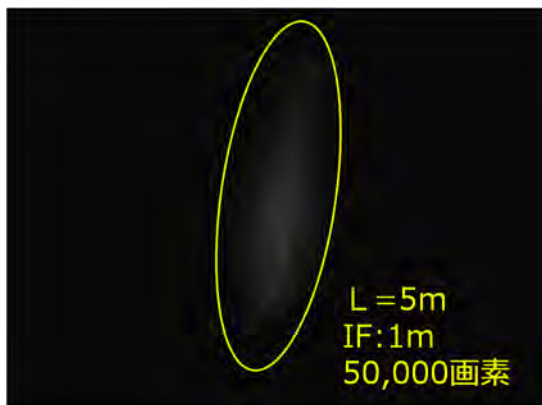


図 14 伝送画像(メーカー標準品)

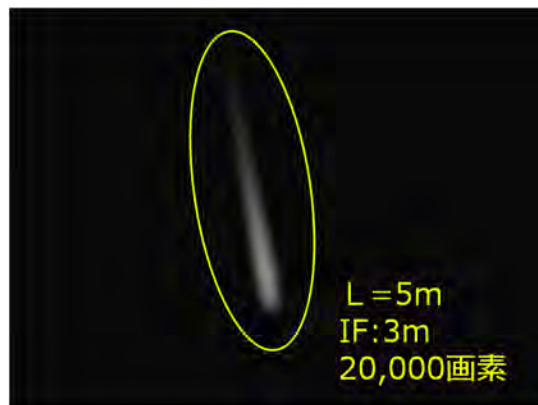


図 15 伝送画像(カスタム設計品)

フィールド試験に供したシステム

水素ステーションのバックヤード、特に狭隘部に高圧配管の混在する蓄圧器室での水素火炎検知用途を勘案すれば、現場に設置する装置としては小型化が可能なシンプルな装置構成が望ましい。この観点から、本件研究では一個の対物レンズで集光する光学構成のフィールド試験向けのモデル機を設計・試作した。

今回のフィールド試験に供したシステム構成を図 16、画像処理フローを図 17、火炎判定ロジックを図 18 に示す。

水素火炎を可視化するために捉える光は、背景画像としての可視光(400~700nm)と水素火炎から発する近赤外光(1,300~1,700nm)である。この二つの光は、波長域が大きく離れているため完全に合波させることが出来ないことに鑑み、本研究では、対物レンズの出口端で可視光束と近赤外光束の二波長に分光し、各々の光束を専用のイメージファイバで結像系まで導光する光学系の構成を採用している。

本研究で試作した対物レンズには、コスト上の制約から、可視光(代表値 546nm)と近赤外光(代表値 1,500nm)の焦点位置に於いて約 0.14mm の軸上色収差がある。これは、近赤外光と可視光の焦点距離の差が 0.14mm であることを意味しており、近赤外光が可視光よりも光軸方向に 0.14mm 先の位置で焦点を結ぶ。この焦点位置の差は対物レンズに起因するものであり、結像性の観点からこの差はゼロであることが望ましいが、設計上、この差をゼロにすることが難しいことに鑑み、対物レンズで集光した光束を可視光と近赤外光の二波長に分光し、各々の光束を専用のイメージファイバ端面に結像させる光学系構成を採用した。

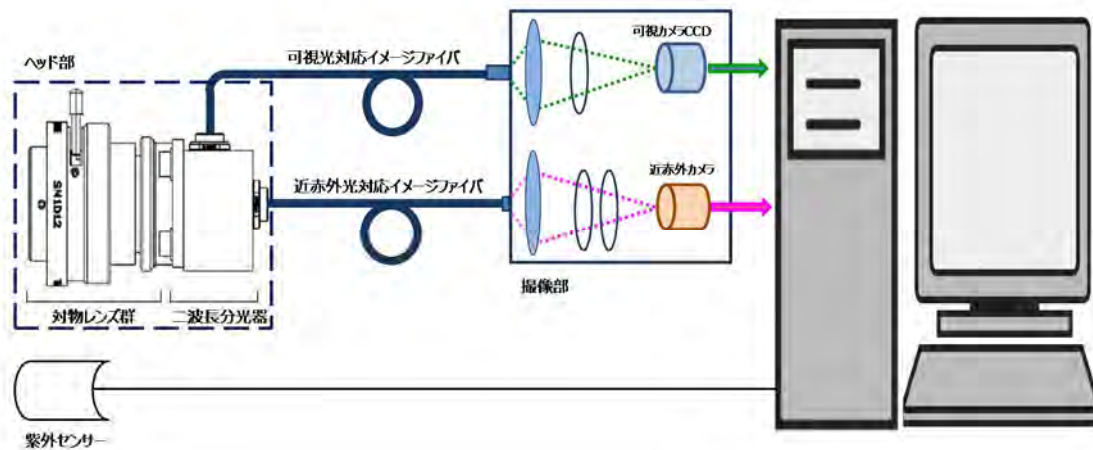


図 16 フィールド試験に供したモデル機のシステム構成

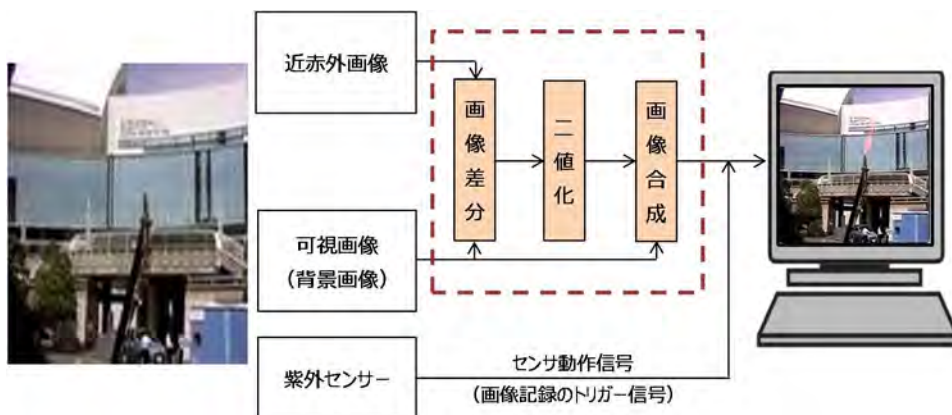


図 17 画像処理フロー

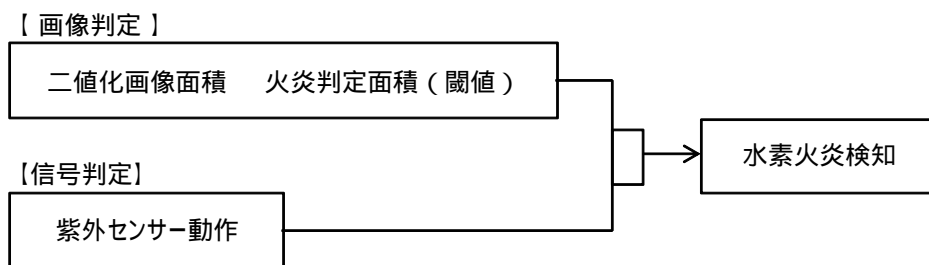


図 18 火炎判定ロジック

水素火炎の撮像

図 19 に示す火口に着火した水素火炎から発する紫外光 (OH ラジカルの発光) の長さを水素火炎長と定義し、水素火炎の撮像に先立って、イメージ・インテンシファイアを用いて水素ガス燃焼量と水素火炎長の相関を調べた (図 20)。本研究では、水素火炎長を水素ガス燃焼量を以て管理している。

図 19 に示す火口で発生した水素火炎を、試作した試験モデル機を用いて撮像し、5m の離隔距離を以て 2cm 程度の微小水素火炎の撮像と可視画像化が可能であることを検証した。

図 21 に水素火炎の撮像結果の一例を示す。撮像条件は以下の通りである。

* 撮像日:6月12日(晴天)、13:40 ~ 14:00

* 屋外(離隔距離 5m)

* 火炎表示閾値:40

・差分画像を二値化(256 階調;0:黒 255:白)した際の火炎として扱う最小階調値

* 火炎判定面積:0.1

・火炎として扱う二値化画像中の画素数がモニター画面中に占める比率(%)



図 19 水素燃焼に用いた火口

流量 (L/min)	火炎長 (mm) 事前に測定した紫外光領域
0.7	20mm程度
1.0	25mm程度
1.5	50mm程度
2.0	65mm程度

図 20 水素ガス燃焼量と火炎長の相関

水素火炎を確実に検知するためには、水素火炎から発する微弱な近赤外光を漏れなく画像として捉える必要がある。この観点から、火炎表示閾値は小さいほど望ましいが、太陽光や信号ノイズなど、水素火炎を可視画像化する上で外乱となり得る要素まで画像化される可能性が高まる。

図 22 に、火炎表示閾値 10 を以て 20mm 程度の水素火炎を撮像した結果を示す。

太陽光に含まれる近赤外光の撮像画像に水素火炎の近赤外光画像が埋もれ、図 21 の撮像画像のように、鮮明に水素火炎の着火位置を視認することができない。このことから、火炎表示閾値の最適化が重要である。

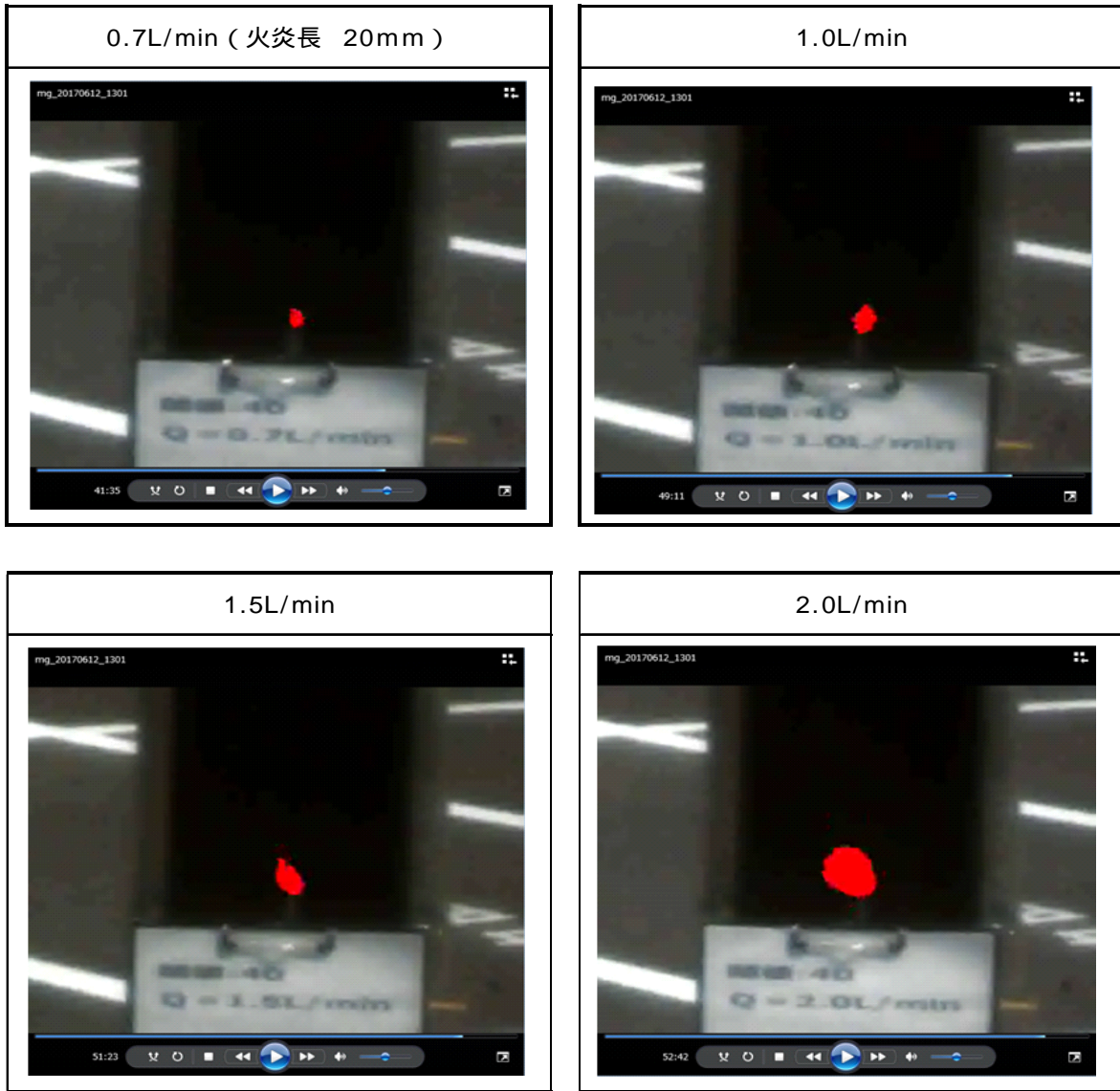


圖 21 水素火炎撮像例(火炎表示閾値:40)

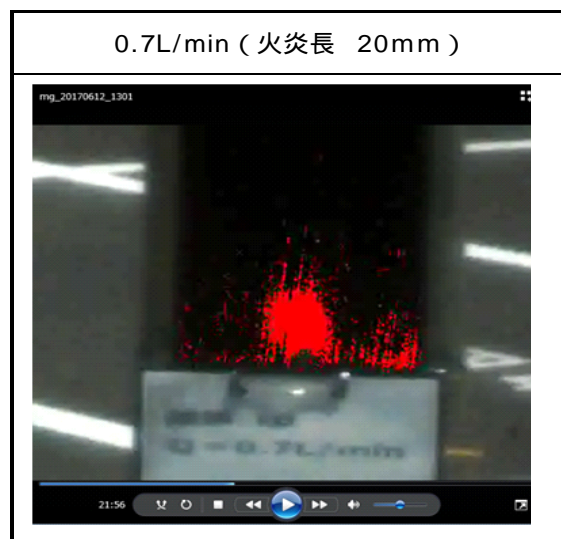


圖 22 水素火炎撮像例(火炎表示閾値:10)
成果詳細-(698)

前照灯の影響

水素火炎から発せられる近赤外光を可視画像化する観点から、水素ステーションには、水素火炎を撮像する際の外乱光となり得る可能性の高い多種多様の光源が存在する。中でも特に注意を要するのが、水素ステーションに出入りする自動車の前照灯や、緊急・救急車両などの特殊車両が点滅させる回転灯である。前照灯や回転灯の光源にはHIDランプ(ディスチャージ、キセノン)やLEDランプ、ハロゲンランプが用いられている。

これらの光源の発する紫外光は非常に微弱であることに加えて、前照灯や回転灯の樹脂製カバーには紫外光カット効果があるため、水素火炎から発せられる紫外光の検知に対して、これらの光源は外乱となり得る可能性は極めて小さい。

一方、近赤外光波長域では、HIDランプやハロゲンランプからの発光は非常に強い。このため、対物レンズから観てHIDランプやハロゲンランプが水素火炎の背後に存する位置関係では、HIDランプやハロゲンランプの発する近赤外光の撮像画像に、水素火炎から発せられる近赤外光の撮像画像が埋もれ、水素火炎を特定することが出来ない(図23)。これに対して、LEDランプから発する近赤外光は極めて微弱であるも、可視光域の発光が強いため、対物レンズから観てLEDランプが水素火炎の背後に存する位置関係では、近赤外光画像と可視光画像の差分処理により水素火炎から発せられる微弱な近赤外光の撮像画像が失われ、水素火炎を可視化することが出来ない(図24)。

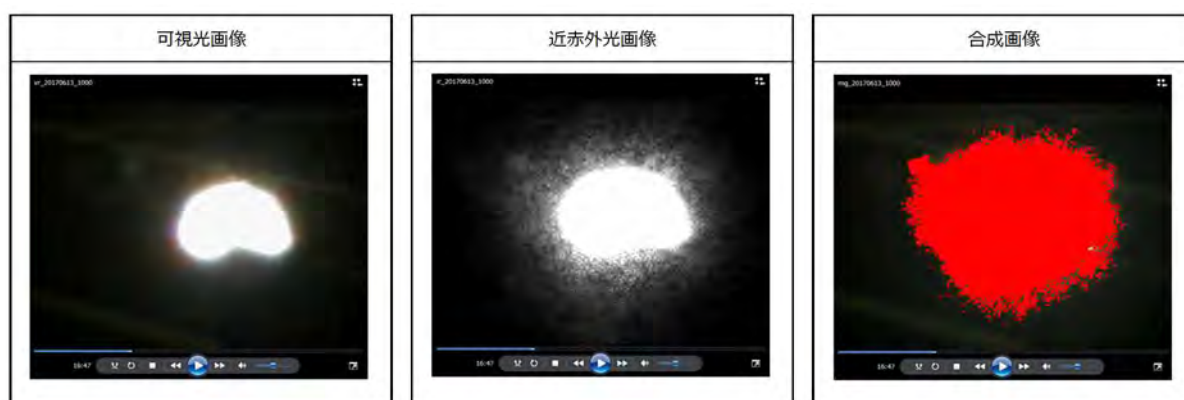


図 23 前照灯(HIDランプ)の撮像結果

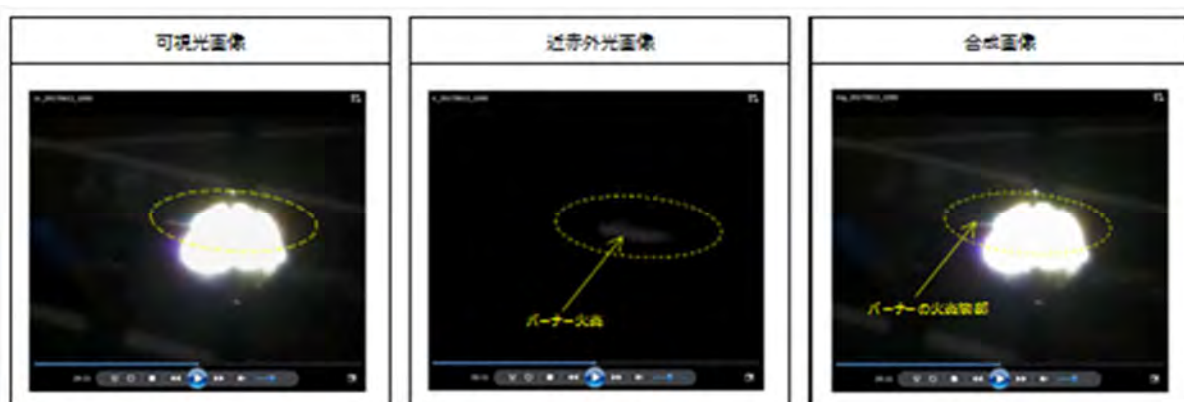


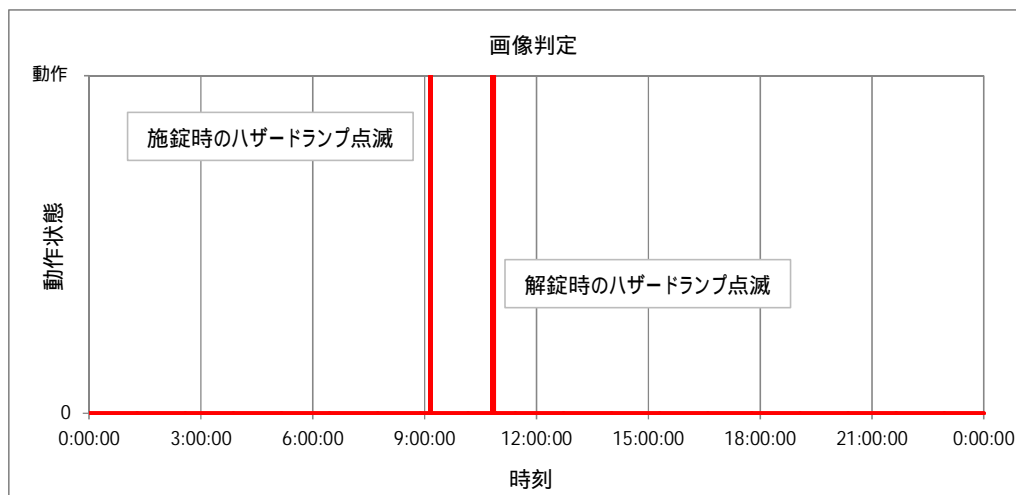
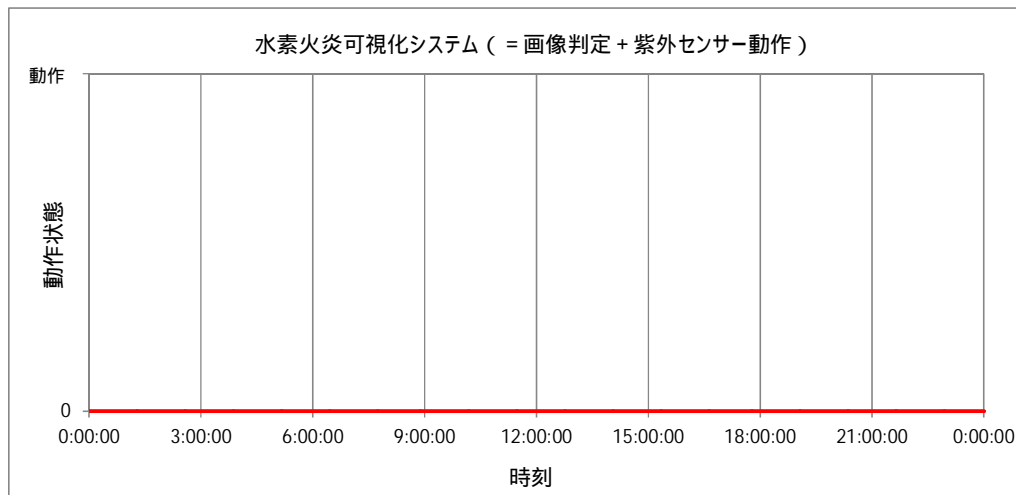
図 24 前照灯(LEDランプ)とボタン火炎の撮像結果

信頼性の検証

フィールド試験を行っている期間中、毎日、フィールド試験に供している機器の動作状況(正動作 or 誤動作)をモニタリングし、誤動作発生件数などの具体的な数値を以て、機器の信頼性を検証・評価している。

一例として、図 25 に平成 29 年 7 月 14 日のモニタリングの実績を示す。

先に述べたように、本研究で開発している水素火炎可視化システムは、画像判定と紫外センサーの動作信号の両条件が成立したことを以て火炎検知の判定を下すものである。7 月 14 日の午前中、乗用車の施錠・解錠に伴うハザードランプから発せられる近赤外光に反応して画像判定された。一方、紫外センサーと炎検知器は、型式は異なるも同じメーカーの検知管を搭載していることから、紫外センサーと炎検知器は同じ振る舞いをしている。すなわち、乗用車のハザードランプからは紫外光が発せられないため動作していないが、HID ランプが点・消灯時に瞬間に発する紫外光で動作している。炎検知器は、何に反応したのかは定かではないが、夜中に動作している。水素火炎検知の観点から、火炎以外の光に反応することは誤動作である。これらの実績から、水素火炎可視化システムには誤動作は認められないも、炎検知器には 2 回の誤動作があったことになる。7 月 14 日の実績から、水素火炎判定条件の重畳化が誤動作の回避に有効である。



成果詳細-(700)

図 25 信頼性検証事例()

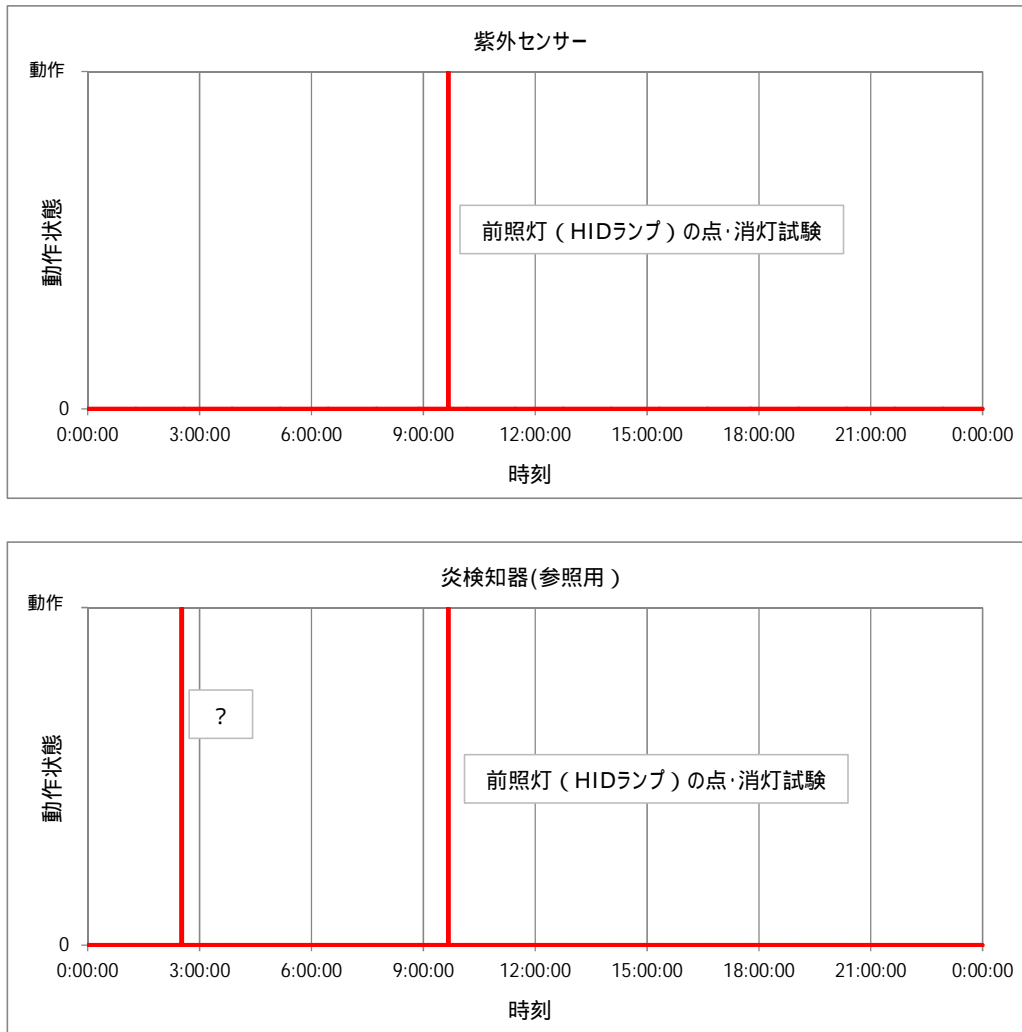


図 25 信頼性検証事例()

3.2 成果の意義

水素は、ガス漏洩した場合は勿論のこと、着火した場合でも殆ど肉眼では視認することができない特異性を有しているため、水素を扱う現場にはガス検知器や火災検知器が設置されている。しかし、当該火災検知器は、火災の有無のみを判定して警報発報する機能を有するものであり、水素火災が発生した場合でも、その着火位置の特定や火災挙動の把握、着火原因の究明などに資することはできない。このため、着火位置の特定は、座敷蓐を身体の前に翳した巡視員の現地パトロール作業などに委ねられている。しかも、太陽光の反射や溶接火花などにも反応するため、警報発報が水素火災に依るものなのか、それとも他の要因、つまり誤検知に依るものなのかを識別することができない。このような状況を鑑みれば、普及に向けての環境が整いつつある水素ステーションの社会受容性を高める観点から、安全・迅速・確実に水素火災を捉え、迅速に安全確保に資する保安技術や保安装置の意義は極めて大きい。

本事業者は、平成 13 年以降、水素関連の要素技術の開発に取り組み、平成 16～17 年には、国の

補助事業として水素火炎可視化に係る基本技術を開発し、専用のカメラを用いて火炎の発する紫外光や近赤外光、遠赤外光を画像として捉え、これらの画像を火炎の背景画像上に合成することにより、通常では視認することのできない水素火炎をモニター上で可視化する幾つかの水素火炎可視化技術を権利化している。水素火炎可視化には、紫外光と遠赤外光、或いは近赤外光と遠赤外光が同時に放射されている領域を火炎として判別する技術と、火炎の発する波長を含む近赤外光画像と火炎の波長を含まない、或いは火炎発光が極微量な波長域の近赤外光画像を取得し、輝度の差分処理によって火炎を明瞭に映像化して、差分処理した火炎領域画像と遠赤外光画像の重なる領域を火炎と判別した上で、紫外光を検知した場合に火炎発生と判断する技術がある。これらの技術は、紫外光や近赤外光、遠赤外光の放射エリアと発光強度、および持続時間をパラメータとする。

本研究成果のうち、近赤外光画像と可視光画像を重ね合わせて可視化する技術は、既に権利化している基本特許を補完する発明と位置付け、特許出願している。当該発明により、太陽光の影響排除による誤検知の低減のみならず、一般的な近赤外光照射器を具備する従来型侵入監視装置との共存を可能とする。つまり、本研究で開発する侵入監視システムは、水素火炎可視化装置と近赤外光照射器付侵入監視装置(市販品)とを併存させた実施態様であることを勧告すれば、今後の事業化の支障となることはない。また、単眼のレンズで集光した入射光を波長分光して近赤外光と可視光とを撮像するため、火炎画像と背景画像のズレを防止することができる。さらに、画像の伝送路としてイメージファイバを用いることにより、水素火炎可視化装置の電気機器部品類を集光部分と切り離して非防爆区域に設置することを可能としている点は、これまでのように装置全体を重厚構造の容器に格納する必要がなく、コスト削減に対しても大きく貢献する成果である。

3.3 開発項目別残課題

事業の進捗に従って、以下の2課題が新たに見出された。

(1) 最適な火炎表示閾値の決定

外乱光の影響を排除して、適切妥当な領域を水素火炎領域として可視化するためには、火炎領域として扱う最適な閾値(“火炎表示閾値”)を見出すことが重要である。つまり、時々刻々と変化する監視環境に迅速に追従できるよう、予め決定した火炎表示閾値が不適切となった場合でも、その状況に即した最適な火炎表示閾値に自動更新する新たなアルゴリズムの開発が求められる。そのためには、様々なケースや場面を想定した条件下でのデータ取得とデータ・ベース化が急務と考えられる。

(2) 前照灯の影響排除

先に述べたように、前照灯と水素火炎の位置関係如何では、前照灯からの発光に水素火炎から発せられる光が埋没し、水素火炎を可視化することができない場合がある。現在までのところ、この現象を回避する抜本的な解決策は見出せていない。光の直進性を考慮すれば、ディスプレイを見下ろすように対物レンズをキャノピーに取り付けることは有効である。

4.まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

4.1 まとめ

(1) ニーズ調査、目標仕様の決定

水素関連事業者など5か所を調査訪問して、市場ニーズと開発目標を明確化した。

(2) 水素可視化装置の小型・高性能化

近赤外カメラと光学フィルターの適用により、水素火炎の可視化が可能であることを実証した。

(3) 水素火炎検知機能を有する監視システムの開発

監視用途には近赤外光画像よりも遠赤外光画像が適していることを確認した。

(4) 防爆対策

画像伝送方式の可能性を実証した。

(5) フィールド試験

ヘッドライトによる影響排除のための効果的な対策が必要であることを明らかにした。

(6) 製品コスト試算

10月から実施の予定。

4.2 課題

本事業者は、事業化に向けた喫緊の課題を“市場環境の醸成”と捉えている。

水素関連事業者を対象とするニーズ調査により、水素火炎可視化に対するニーズが低いことが明らかとなっている。水素ガスの漏洩を高感度に検知することが前提となっていることを勧告しても、訪問調査の結果から、現在の水素関連事業者にとって水素火炎可視化装置は十分条件ではあるも必要条件ではないことが窺い知れる。従って、事業化を成功させるためには、水素関連事業者に水素火炎を可視化することの意義や必要性を意識させるよう、環境を整備し、必要性を掻き立てることが重要と考えられる。このため、本事業者は、“水素火炎を可視化する方法を以て火炎を検知するための措置”と定義付けられることが必要と考えており、水素関連事業者や関係業界団体に対して、根気強く説明や広報活動など継続する。

一方、水素関連事業者にとって水素火炎可視化装置は十分条件ではあるも必要条件ではない理由の一つが、コスト面での問題と認識される。すなわち、国が設置目標を設定したことに呼応して各地に整備されつつある水素ステーションの設計は、新しい技術を採用しつつも、コスト低減という命題に対処するために、一部、従来技術の適用による標準化が進められている。殆どの水素ステーションに設置されている炎検知器は、火炎の発する紫外光を検知して警報発報するものである。安価ではあるが、太陽の直射日光はもとより、その反射光や溶接火花に至るまで検知波長域の全ての光に反応するため、誤検知が多いことがニーズ調査でも明らかとなっている。通常、火炎検知器が動作すれば、警報発報とともに水素供給弁が遮断され、予め設定された機器への散水が開始する。水素ステーション設置者は、工事着工に先立って実施する地域住民への説明の席上、火災事故発生時には散水設備の起動を以て安全性が担保されることを謳っているため、散水設備の起動、即、水素ステーションの異常、と地域住民に解され得るため、火炎検知器の誤検知は是非とも避けなければならぬ

い。本事業者の提供する製品は、水素火災の判定要件を多重化することにより、誤検知を生ずることがなく極めて高い信頼性を実現しており、水素インフラの保安管理面の質的レベルを確実に向上させることが出来る。このため、水素社会に向けた社会ニーズとして絶対的な安全性が求められていることなどの観点から、市場獲得は可能である。

4.3 事業化までのシナリオ

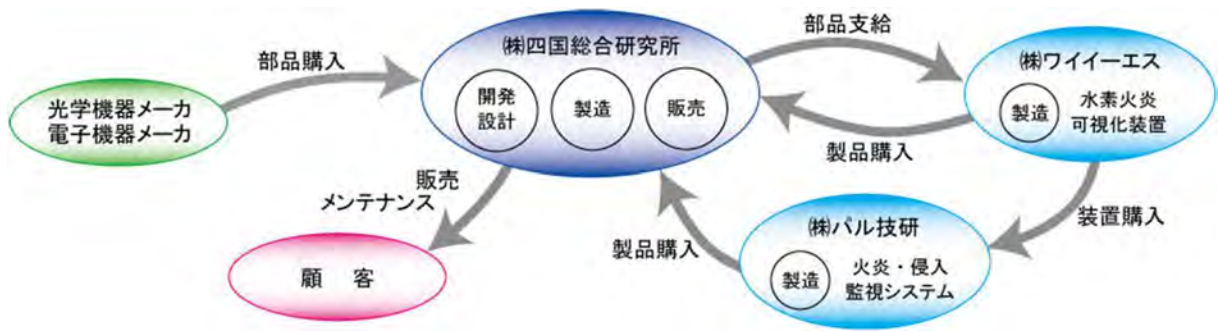
本研究では、期間中に実用化に必要と考えられる基本技術の開発を終えることが出来たと考えている。研究終了後の2~3年間を目途に、実サイトでの実証運用や展示会への出展、研究・論文発表などによる市場認知向上に努めると共に、サンプル出荷により市場の声(反響)を製品改良に反映させる。

本事業者は、これまでに自社開発技術を商品化・事業化した実績を有しており、事業化に必要な社内体制が整備されていることに加えて、エネルギー供給事業者や水素インフラ関連事業者との間にネットワークを有している。当該ネットワークを活かすことにより、比較的容易に実証サイトやサンプル出荷先などを選定し得る可能性を有している。

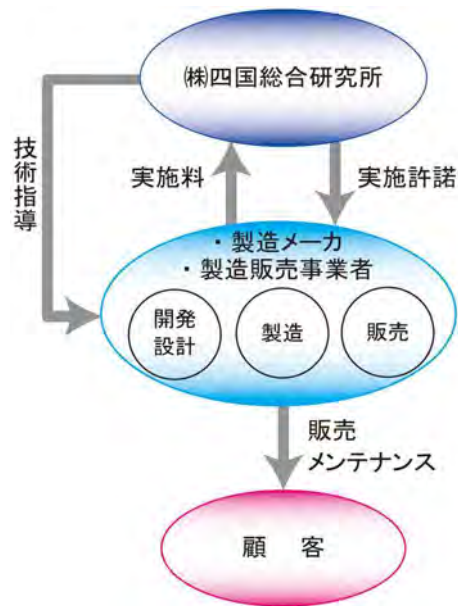
研究開発を生業とする本事業者は、事業の成果を知財という形態で権利化することを基本としており、本研究に於いてもこの基本路線を踏襲している。一方、本事業者は自らが製品製造を行う組織上の機能を有していないため、市場投入初期のサンプル出荷や受注生産では製造委託とするも、本格的な製造・販売の段階に至れば、メーカーなど他事業者を知財の実施を許諾することで事業を拡大させる予定である。このためには、知財を実施する製造・販売パートナーの存在が重要であり、本事業成果と関連のある企業に向けた情報発信や情報提供・情報共有などを積極的に推進する。また、これまで技術指導や技術協力、技術供与を行ってきた企業とは引き続いて一層の交流を深め、本事業者の保有する知財の実施にアドバンテージを与えるなど、低コスト製品の早期市場投入を共通目標として取り組む所存である。現在、製品の委託製造を予定している事業者は、従来仕様の携帯型水素火災可視化装置製造に対して、電子部品の最適仕様の決定や入手ルートの確立、安価な筐体設計など、低コスト化実現のための技術や知見を保有しており、これらの技術・知見が、早期に市場に受け入れて貰える価格での製品提供の一助となる。

(1) 事業化のスキーム

【 受注生産の場合 】



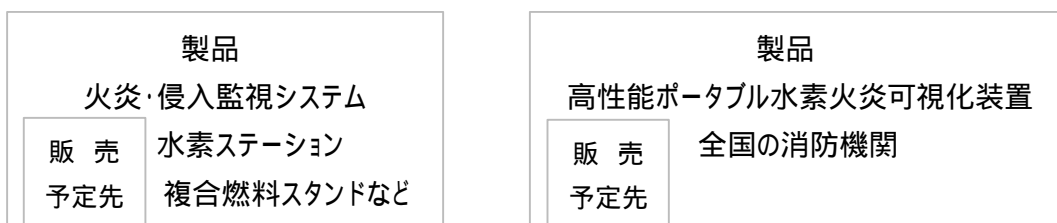
【 本格生産の場合 】



(2) 事業化のスケジュール

	~ H29年度	H30年度	H31年度	H32年度	H33年度	H34年度	H35年度以降
製品設計	→						
商品化開発		→	→				
生産		サンプル出荷			量産体制の検討・・・年間ロット数50台を超えた		
販売			→	→	→	→	→
収益発生					→	→	→
備考	研究終了			事業の継続・中断・移管などを判断			

(3) 国内マーケットと売上目標



		H30年度	H31年度	H32年度	H33年度	H34年度	H35年度
製品	新設水素ステーション(件)*1	85	92	100	110	120	150
	市場規模(百万円)*2	680	736	800	880	960	1,200
	想定シェア(%)	0	2	5	15	30	40
	売上額(百万円)*2	0	14.7	40	132	288	480
製品	消防本部・消防署(箇所)	2,500					
	市場規模(百万円)*3	7,500					
	想定シェア(%)	0	0.5	1.5	2	2.5	5
	売上額(百万円)*3	0	37.5	112.5	150	187.5	375
売上予想(百万円)		0	52.2	152.5	282	475.5	855

* 1 「2012年度版 水素燃料関連市場の将来展望」(富士経済)をベースに推定。

* 2 火炎・侵入監視システム

ディスプレイ監視用：500万円/台、蓄圧器室監視用：300万円/台として算出。

(イメージファイバ費用は含まない)

* 高性能ポータブル水素火炎可視化装置 300万円/台として算出。

5. 研究発表・特許等

研究発表・講演、文献等、その他

該当なし

特許等

NO.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	平成 27 年 8 月 17 日	特 願 2015-160733	水素火炎監視装置および水素 取扱施設	-
2	平成 29 年 2 月 16 日	特 願 2017-027390	火炎監視方法、火炎監視装置 およびガス取扱施設	-

以上

(111-7)「水素利用技術研究開発事業 / 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発 / 電気化学式水素ポンプに係る研究開発」

委託先：東レ(株)

成果サマリ (実施期間：平成27年度～平成29年度)

- ・45MPa対応の高圧電気化学式水素圧縮評価設備を導入した。
- ・炭化水素系電解質膜 (PEM) を用いた電気化学式小型水素ポンプセルの設計・開発により、45MPaの高圧水素圧縮 (低圧側0.6MPa) を達成するとともに、機械式圧縮機と同等レベルの効率を確認し、最終目標達成の見通しを得た。

背景/研究内容・目的

燃料電池自動車本格普及の鍵の一つは水素ステーションの拡充であるが、現在導入されている機械式圧縮機は効率やコスト面での課題に加え、騒音やサイズの大きさとといった水素ステーション拡充の障壁となる本質的に解決できない課題を抱える。

本プロジェクトでは、上記課題を解決し得る、低騒音、省スペースな電気化学式水素圧縮機 (以下、電気化学式水素ポンプと呼ぶ) に係る技術開発を通じて、水素ステーションの社会的な受容性向上に資することを目的とする。

研究目標

実施項目	最終目標
A. 電気化学式水素ポンプ用電解質膜・触媒設計	炭化水素系膜を用いた小型水素ポンプセル (電極面積5～25cm ²) の初期消費電力 (理論電力 / 電力効率 @ 圧縮圧35MPa) が、機械式圧縮機 (0.5kWh/Nm ³) と同等以上の見通しを得る。(JHFC2 報告書 (H23年3月))
B. 電気化学式水素ポンプの運転条件設計	
C. 電気化学式水素ポンプ用膜電極接合体・セル設計	
D. 現行水素ステーションに適用するための課題抽出と解決策の検討	圧縮圧70MPa以上の中大型化に向けた技術課題と解決策を検討する。
E. 電気化学式水素ポンプの調査研究	フィジビリティスタディーによる技術開発課題の抽出と目標設定を行う。

実施体制及び分担等

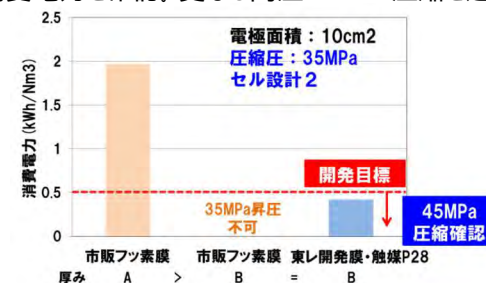
NEDO	東レ株式会社
------	--------

これまでの実施内容 / 研究成果

- ・H28年度に45MPa対応の高圧水素ポンプ評価装置を設計・導入。
- ・東レ炭化水素系膜の高プロトン伝導性、超低水素透過性により、35MPa水素圧縮において、機械式圧縮機と同等以下の消費電力を確認。更なる高圧45MPa圧縮を達成。



PEMポンプ性能評価装置(H28年度導入)



今後の課題

現行水素ステーションへの適用を見据えた、圧縮圧70MPa以上の中大型機器開発に向けた技術課題と解決策を検討する。

実用化の見通し

本事業の成果を使用する電解質膜、膜電極接合体 (MEA) について、国内外のエネルギー事業者、水素圧縮機メーカー等との事業連携を想定している。現時点では共同開発を検討しており、事業化における連携は未定である。事業化の目標時期は、2020～2025年を想定している。

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A	炭化水素系膜を用いた小型水素ポンプセルの設計・開発により、高圧35MPa水素圧縮に成功 (低圧側0.6MPa)。35MPa機械式圧縮機と同等レベル以上の効率を確認した。更なる45MPa圧縮を達成した。	
B		
C		
D	中大型化に向け機械式圧縮機メーカー等との連携を検討し、課題を抽出中。	
E	FS結果から、大型水素ST事業に関してはPEMポンプの適用が見込まれ、中小型水素STに関しては小規模に適した周辺機器開発や低コスト化により、事業性が見込まれることがわかった。	

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	3	0

課題番号： - 7

水素利用技術研究開発事業 / 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発 / 電気化学式水素ポンプに係る研究開発

東レ株式会社

1. 研究開発概要

1.1 事業目的

(1) 背景

水素は、無尽蔵に存在する水や多様なエネルギー源から製造でき、気体、液体、固体(合金に吸蔵)の形態で輸送・貯蔵が可能である。また、高エネルギー効率、低環境負荷であるため、将来の二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待される。

2014年4月11日閣議決定された「エネルギー基本計画」では、水素を日常の生活や産業活動で利活用する社会である“水素社会”の実現に向けた取り組みを加速することが定められた。

これを踏まえ経済産業省では2014年6月23日に「水素・燃料電池戦略ロードマップ～水素社会に向けた取組の加速～」が策定された。この戦略ロードマップにおいて、水素社会の実現に向けて、これまで取り組んできた定置用燃料電池の普及の拡大、燃料電池自動車市場の整備に加え、水素発電の本格導入といった水素需要の拡大や、その需要に対応するための水素サプライチェーンの構築の一体的な取り組みの必要性が示されている。

特に燃料電池は「Cool Earth - エネルギー革新技术計画」の中で2050年に世界のCO₂排出量を半減する上での重要技術と位置づけられ、また、新成長戦略(2009年閣議決定)、エネルギー基本計画(2014年閣議決定)等の種々の政策の中でその重要性・必要性について言及されており、中でも高分子電解質膜を用いた固体高分子形燃料電池(以下、PEFC)は、高出力密度、低温作動等の特徴を活かした燃料電池自動車(FCV)としての普及が期待されている。

(2) 本事業の目的

燃料電池自動車本格普及の鍵の一つは水素ステーションの拡充であるが、現在、水素ステーションに導入されている機械式圧縮機は効率・コストに加え、騒音やサイズの大きさといった水素ステーション拡充の障壁となる本質的に解決できない課題を抱える。

本プロジェクトでは、上記の課題を解決し得る、低騒音、省スペースな電気化学式水素圧縮機(以下、電気化学式水素ポンプまたはPEMポンプと略する)に係る技術開発を通じて、水素ステーションの社会的な受容性向上に資することを目的とする。

2. 研究開発目標

2.1 研究開発項目

電気化学式水素ポンプに係る技術開発を通じて、現行の水素ステーションで用いられている水素圧縮機同等以上の性能を実現するための課題を抽出し、それらの解決策を提示する。

【研究開発項目】電気化学式水素ポンプ用電解質膜・触媒設計

電気化学式水素ポンプに適用する上で、その高圧に耐えうる機械強度・強靱性を持ち、起こりうる劣化を抑制出来る電解質膜を開発する。触媒については低白金量での高効率化・低コスト化を図ると共に、炭化水素系電解質膜上に触媒層を形成する最適な方法を提案する。

【研究開発項目】電気化学式水素ポンプの運転条件設計

電気化学式水素ポンプとして高い性能の得られるバランスのとれた運転条件(温湿度、圧力、電流密度等)を設計する。

【研究開発項目】電気化学式水素ポンプ用膜電極接合体・セル設計

炭化水素系電解質膜のポテンシャルを十分に引き出すことの出来る、最適な膜電極接合体の設計・開発、及びセルの設計・開発を行う。

【研究開発項目】現行水素ステーションに適用するための課題抽出と解決策の検討

PEMポンプを開発するに当たり、現行の水素ステーションで用いられている水素圧縮機同等以上のポンプ性能を実現するための課題を抽出し、それらの解決策を検討する。

【研究開発項目】電気化学式水素ポンプの調査研究

フィージビリティスタディー(FS)を通じて、技術開発課題(装置の用途、規模、コスト等)の抽出と実使用における設備仕様検討を行う。FSの実施にあたっては、エネルギー機関として、東京瓦斯株式会社、システム機関としてパナソニック株式会社、株式会社神鋼環境ソリューションと連携し、検討委員会を設置する。

2.2 目標

前述の研究開発項目 ~ について、具体的な数値を表1にまとめた。

表1 本事業の目標

研究開発項目	H28年度中間目標	H29年度最終目標
気化学式水素ポンプ用 電解質膜・触媒設計	炭化水素系膜を用いた小型水素ポンプセル(電極面積5~25cm ²)の初期電力効率(電流効率×電圧効率@圧縮圧10MPa)が、基準フッ素系膜を用いた基準水素ポンプセルと同等以上の見通しを得る。	炭化水素系膜を用いた小型水素ポンプセル(電極面積5~25cm ²)の初期消費電力(理論電力/電力効率@圧縮圧35MPa)が、機械式圧縮機(0.5 kWh/Nm ³)と同等以上の見通しを得る。
気化学式水素ポンプの 運転条件設計		
気化学式水素ポンプ用 膜電極接合体・セル設計		
行水素ステーションに 適用するための課題抽出 と解決策の検討	フィージビリティスタディーによる技術開発課題の抽出と目標設定を行う。	圧縮圧70MPa以上の中大型化に向けた技術課題と解決策を検討する。
電気化学式水素ポンプ の調査研究	フィージビリティスタディーを通じて、技術開発課題の抽出と目標設定を行う。実施にあたっては、エネルギー機関、システム機関などと連携し、検討委員会**を設置し、取り組む(H27年9月まで)	-

JHFC2 報告書(H23年3月)、97~105ページ一覧表中の日本製鋼所製等を参照

**東京ガス株式会社、パナソニック株式会社、株式会社神鋼環境ソリューション、東レ株式会社

3. 研究開発成果

3.1 研究開発項目 電気化学式水素ポンプ用電解質膜・触媒設計

(1)東レ電解質膜の基本特性

電気化学式水素ポンプ(PEMポンプ)の原理を図1に示す。PEMポンプは、水素の酸化還元反応を基本原理としており、同じく電解質膜を利用した燃料電池(PEFC、水素の酸化、酸素の還元、水の生成・排出)より反応がシンプルで、過電圧が小さく、PEFCとほとんど同じ構成材料(電解質膜、触媒層等)を用いて製造が可能であるといった特徴を有している。

燃料電池 (PEFC)

電気化学式水素ポンプ (PEMポンプ)

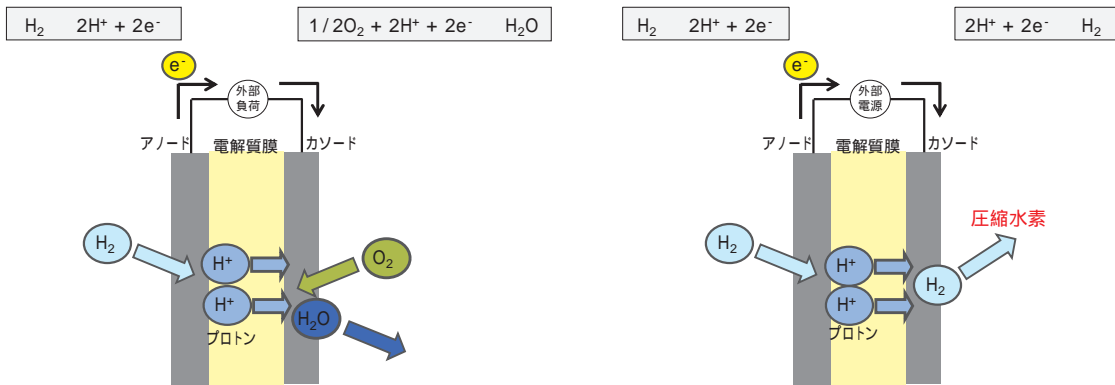


図1. 電気化学式水素ポンプの原理

表2にPEMポンプとデファクトである機械式水素圧縮機の対比を示す。PEMポンプは、従来の機械式水素圧縮機と比較して、高効率で水素を圧縮することが可能だけでなく、機械的な可動部が本質的に無いことから優れた耐久性や静音性も期待できる。また、電気化学的に水素を圧縮する原理から、現行の水素ステーション(以下、水素ST)用の機械式水素圧縮機とは異なり、効率を下げることなくコンパクトな設計が可能となり、圧縮効率が規模に依存しない等の優れたポテンシャルを有している。

表2. 電気化学式水素ポンプと機械式水素圧縮機の比較

	電気化学式水素ポンプ	機械式水素ポンプ(従来型)
エネルギー効率	○高い(等温圧縮)	△低い(断熱圧縮)
騒音	○小さい	×大きい
圧力変動	○無し	△有り(バッファータンク必要)
水素精製機能	○あり	×なし
アイドリング運転	△電流印加が必要	○遮断可能
水分管理	△必要	○不要
スケラビリティ	規模に依存しない	規模に依存する
吐出量調整	電流制御のみ	方式、吸込圧に依存
耐久性	膜・セルの耐久性に依存	可動部の耐久性に依存

電気化学式水素ポンプ(PEMポンプ)は、外部電力により正極で水素の酸化反応($H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$)が起こり、生成したプロトン H^+ が電解質膜中を、電子 e^- が外部回路を通過して、負極に移動し、負極でプロトン H^+ と電子 e^- から水素 H_2 が生成($2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$)し、圧縮される機構から成る。そのため、電解質膜には、高プロトン伝導性や高水素バリア性(低水素透過性)に加え、高い圧力に耐え得る高機械強度が要求される。東レは、これまでに独自の炭化水素系電解質膜(東レ膜)を開発し、フッ素膜同等以上のプロトン伝導性を維持しながら、約10倍の超低水素透過性、約50倍の超低酸素透過性、強靱な機械強度(フッ素膜比 約4倍)の破断強度を実現しており、これらの膜特性を有する東レ膜は、PEMポンプ用途に適していると考えられる。

(2)電力効率試算

東レ膜による PEM ポンプ性能向上ポテンシャルを検証するため、大型水素 ST を想定した、低压:0.6MPa、高压:82MPa、80℃、80%RH、2A/cm²の条件を一例として、電力効率を試算し、Nafion 膜と比較した。

具体的には、表3の膜の基本特性およびネルンスト式($E_n=RT/2F \ln(P_H/P_L)$ 、ここで、R: 気体定数、T: 絶対温度、F: ファラデー定数、P_H: 高压側圧力、P_L: 低压側圧力を表す)を用い、膜中の水素逆透過ロスを電流ロスとして電流効率を、膜のプロトン伝導抵抗を抵抗過電圧として電圧効率を算出し、それらに乗じて電力効率を試算した(図2)。但し、次の ~ を仮定した試算結果である点に注意が必要である。

水素透過係数は、本来、温湿度条件により変化するものであるが、80℃ 90%RH 時の水素透過係数を用いている。

0.6 ~ 82MPaのような高差圧領域における水素透過係数は、低差圧領域の水素透過係数と異なる可能性があるが、今回は、0.5atm の低差圧領域の水素透過係数を用いている。

圧力により電解質膜が薄膜化しない。

圧力により湿潤した電解質膜から水が排出されない。

加湿水素の供給が十分で、電気浸透水による膜の乾燥を無視できる。

給電体とセルとの接触抵抗過電圧や電極反応の活性化過電圧、水素ガスの拡散過電圧等、その他の過電圧成分がない。

表3 電力効率試算の前提条件(膜の基本特性)

膜	差圧0.5atm、80℃90%RH の水素透過係数 (cm ² /s/cmHg)	80℃80%RH のプロトン伝導度 (S/cm)
Nafion	5.5×10 ⁻⁹	0.11
東レ膜	5.7×10 ⁻¹⁰	0.22

$$\text{電力効率 (\%)} = \frac{\text{電流効率 (\%)} \times \text{電圧効率 (\%)}}{100}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{電流効率 (\%)} = \frac{2 - I_{\text{loss}}}{2} \times 100 \\ \text{電圧効率 (\%)} = \frac{E_n}{E_n + 2 \times R_m} \times 100 \end{array} \right.$$

E_n : ネルンスト電圧 = $RT/2F \times \ln(P_H/P_L)$
 R_m : 膜抵抗
 I_{loss} : 水素透過による電流ロス

図2 電力効率の試算方法

試算結果を図3に示す。東レ膜は、水素透過性が低いこととプロトン伝導性が高いことから、東レ20um膜において、Nafion 50um膜比で、約1/4という低水素透過性を維持しながら、膜抵抗を低減できた。この結果、圧縮電力効率、Nafion 50um膜対比で2倍以上に向上できる可能性があることが明らかとなった。

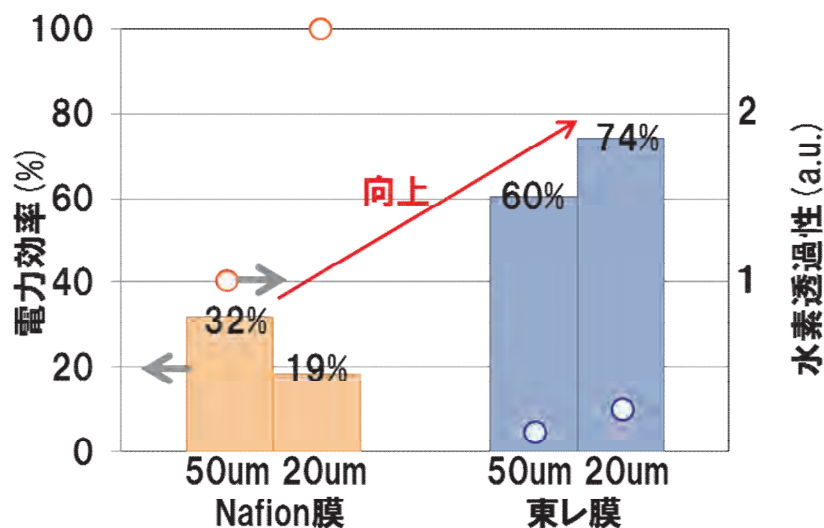


図3 電力効率の試算結果

(3) ポンプ消費電力量の試算

東レ膜を用いたPEMポンプ性能とデファクト機械式水素圧縮機性能の比較および電気化学式水素ポンプの事業性試算を目的として、

ケース : 小型水素スタンド用電気化学式水素ポンプ

ケース : 中型水素ST用電気化学式水素ポンプ

ケース : 大型水素ST用電気化学式水素ポンプ

の3つのケースにおいて、ポンプ消費電力量および必要な総電極面積を試算した。具体的な試算方法を以下(ア)~(オ)に、試算条件を表4に示す。

< 試算方法 >

(ア) 水素供給能力(Nm³/h)を総電流(A)に変換

(イ) 下記式から、水素供給能力を達成するために必要な電力(kW)を算出。

$$\text{電力(kW)} = \text{ネルンスト電圧(V)} \times \text{総電流(A)} / \text{電力効率(\%)} \times 100 / 1000$$

(ウ) (イ)の電力を水素供給能力で除して、ポンプ消費電力量(kWh/Nm³)を算出。

(エ) 総電流を電流効率で除して、水素供給能力を達成するために必要な電流(A)を算出。

(オ) (エ)の該電流を電流密度(A/cm²)で除して、10000を乗じて、総電極面積(m²)を算出。

表4 試算条件

ケース		圧縮圧力 (MPa)	水素供給能力 (Nm ³ /h)
①	大型	0.6→82 (PSA使用前提)	300
②	中型	0.6→45 (PSA使用前提)	30
③	小型	0.1→45	1

試算結果として、電流密度とポンプ消費電力量、総電極面積の関係を図4に示す。ケース①～③いずれも、高電流密度ほど、必要な総電極面積を低減でき、材料コストを削減できる。一方、膜の抵抗過電圧(電流×抵抗)増加に伴い、ポンプ消費電力量は増大し、運転コストアップに繋がる。しかしながら、東レ膜を50um→20umに薄膜化、膜の抵抗過電圧を低減することで、消費電力量の大幅な上昇なく、トータルコストを低減できる可能性が示された。この試算結果を踏まえ、ポンプ消費電力量、コストの点から、東レ膜20umの使用と、ケース①の運転電流密度2A/cm²、ケース②の運転電流密度1A/cm²を想定した。

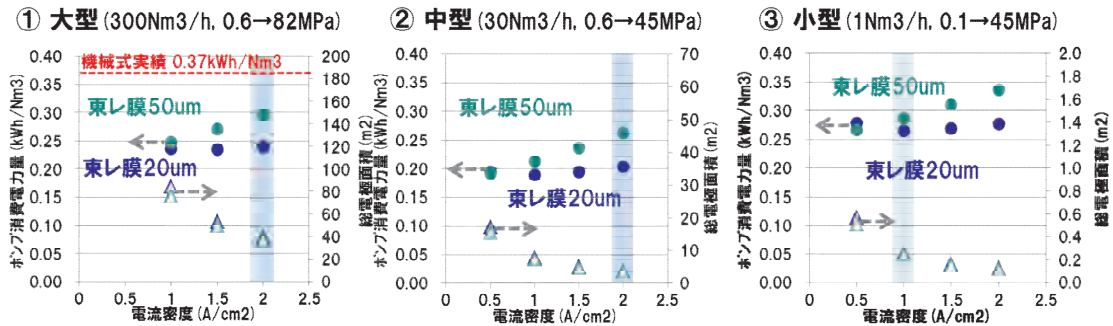


図4 ポンプ消費電力量試算結果(@80%RH)

ケース①および②について、前記想定条件におけるPEMポンプの消費電力量と機械式水素圧縮機の実績消費電力量およびJHFC2報告書記載の将来消費電力量とを比較した(図5)。ケース①、②ともに、機械式水素圧縮機の実績および将来消費電力量をさらに削減できる可能性があり、特にケース①の場合、機械式実績比約4割削減できる可能性があることが分かった。

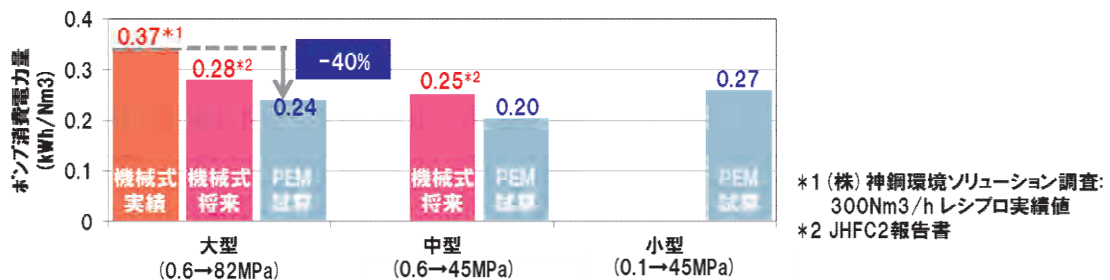


図5 ポンプ消費電力量試算結果(@80%RH)

(4) 低圧小型セル試験による消費電力検証

燃料電池評価用セルを用いた純水素系低圧小型セル試験により、 項で試算したポンプ消費電力(ケース 、)を検証した。電解質膜両面に触媒層を形成させ、膜電極接合体(MEA)を作製し、セルに組み込んで評価した。電解質膜は、Nafion膜(NRE212) 50umに対し、同じ膜厚の東レ膜と、薄膜化の効果検証を目的に、東レ膜30umを用いた。詳細条件は以下のとおり。

- ・ガス:純H₂ 加湿(100%RH)
- ・温度:80
- ・U(利用率):70%
- ・圧縮比:1、2、3、3.5
- ・触媒:アノードPt 0.3 mg/cm², カソードPt 0.7 mg/cm²
- ・電極面積:23cm²
- ・電流密度:1 A/cm², 2 A/cm²
- ・電解質膜:Nafion膜(NRE212) 50um, 東レ膜 50um, 30um

試験結果を図6および7に示す。

ネルンスト式を用いて各圧縮比におけるネルンストロス(緑色)を、膜なしMEAのIn-situインピーダンス測定により膜以外の抵抗過電圧(水色)を、膜ありMEAの同インピーダンス測定により膜の抵抗過電圧(紫色)を求めた。それら合計と実測電圧(黒丸)が概ね一致することを確認した。

電流密度1A/cm²、2A/cm²のいずれの場合も、電解質膜によらず、In-situインピーダンス測定から求められる膜抵抗過電圧と、試算で用いたプロトン伝導性基礎データから見積もられる膜抵抗過電圧とが概ね整合した。また、基礎データとして、Nafion比2倍の高プロトン伝導性を有する東レ膜の抵抗過電圧は、同膜厚のNafion比で概ね1/2にあり、妥当な結果を示した。また、東レ膜を50um 30umに薄膜化することで、膜抵抗過電圧をさらに低減できることを確認した。

@1A/cm²

(想定: ケース③ 0.1→45MPa)

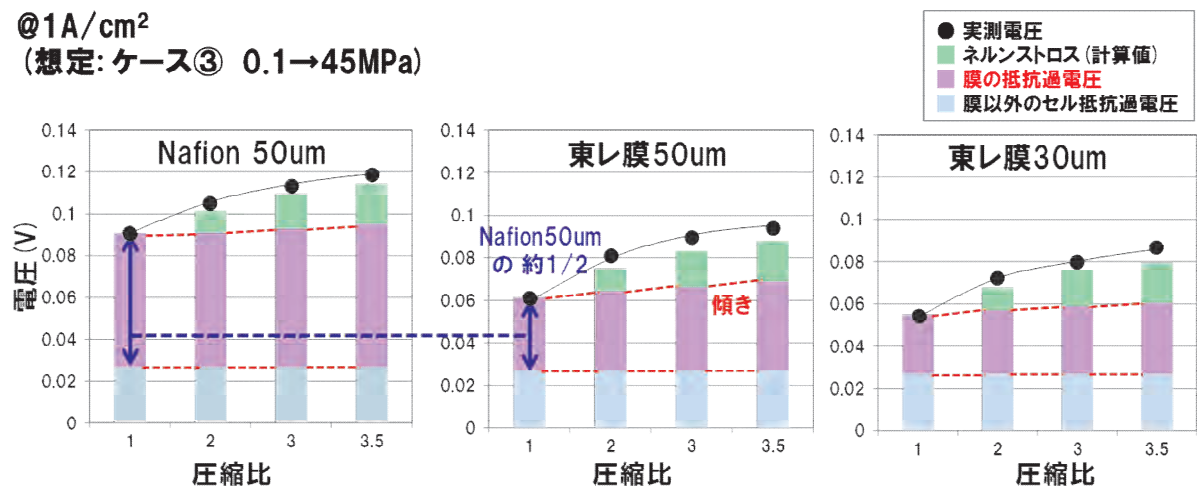


図6 低圧小型セル試験結果@1A/cm² (想定: ケース 0.1 45MPa)

@2A/cm²
(想定: ケース① 0.6→82MPa)

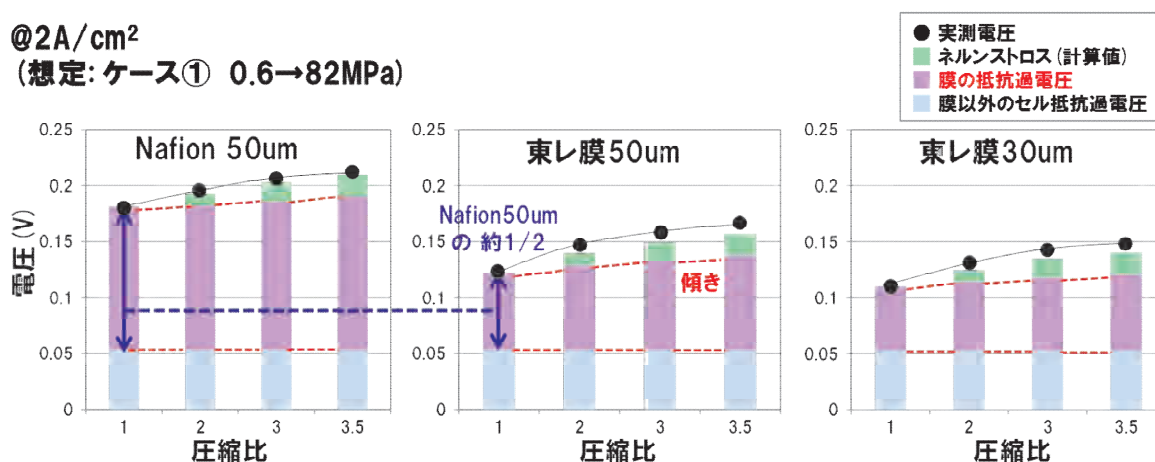


図7 低圧小型セル試験結果@2A/cm²(想定: ケース 0.6 82MPa)

低圧小型セル試験では、圧縮比3.5が限界であったため、得られた結果を近似して、ケースおよびのポンプ消費電力量を見積った。具体的には、膜の抵抗過電圧+ネルンスト電圧と圧縮比の相関を対数近似し、圧縮比137(ケース :0.6 82MPa)、450(ケース :0.1 45MPa)まで外挿して見積られる電圧を用いて、ポンプ消費電力量を算出した(表5および6)。

3.1.(3)項で算出した試算値に比べ、消費電力量が大きくなる要因としては、下記が考えられる。

- (ア) 膜以外の抵抗成分による過電圧増加
- (イ) 圧縮比増大に伴う膜抵抗過電圧の増加(傾き)
- (ウ) 近似式精度

水素圧縮に適した高圧セル設計ができれば、膜以外の抵抗と傾きを低減でき、ポンプ消費電力を試算値に近づけることができると考えている。

表5 0.1 45MPa 圧縮時のポンプ消費電力(電圧と圧縮比の対数近似式より算出)

	試算消費電力 (kWh/Nm ³)	膜の抵抗過電圧+ネルンスト電圧ベース (kWh/Nm ³)
Nafion 50um	0.49	0.52
東レ膜 50um	0.29	0.45
東レ膜 30um	0.27	0.42

表6 0.6 82MPa 圧縮時のポンプ消費電力(電圧と圧縮比の対数近似式より算出)

	試算消費電力 (kWh/Nm ³)	膜の抵抗過電圧+ネルンスト電圧ベース (kWh/Nm ³)
Nafion 50um	0.56	0.56
東レ膜 50um	0.30	0.42
東レ膜 30um	0.26	0.40

(5)電気化学式水素ポンプ用電解質膜の調査研究まとめ

異なる規模の電気化学式水素ポンプについて、東レ膜 20um を適用した場合の消費電力の試算結果を表7のケース ~ にまとめた。

表7 ケース ~ の試算結果

ケース		圧縮圧力 (MPa)	水素供給能力 (Nm ³ /h)	電流密度 (A/cm ²)	消費電力 (kWh/Nm ³)	総電極面積 (m ²)
①	大型	0.6→82 (PSA使用前提)	300	2	0.24	38.8
②	中型	0.6→45 (PSA使用前提)	30	2	0.20	3.72
③	小型	0.1→45	1	1	0.27	0.260

電気化学式水素ポンプ用電解質膜の調査研究のまとめを以下(ア)~(工)に示す。

- (ア) 東レ膜は、電気化学式水素ポンプ用途に適するプロトン伝導性・低水素透過性・高強度特性を有する。
- (イ) 東レ膜 20um により、低水素透過性を維持しながら、膜抵抗を低減でき、水素圧縮の電力効率を Nafion 50um 比 2 倍以上に向上できる可能性がある。
- (ウ) 東レ膜 20um 用いた場合の各水素ポンプの試算消費電力量は、小型水素スタンド用:0.27kWh/Nm³、中型水素 ST 用:0.20kWh/Nm³、大型水素 ST 用:0.24kWh/Nm³となり、特に大型水素 ST 用において、現行の機械式比約 4 割削減できる可能性がある。
- (工) 水素圧縮に適した高圧セル設計ができれば、膜以外の抵抗と傾きを低減でき、ポンプ消費電力を試算値に近づけることができると考えられる。

3.2 研究開発項目 電気化学式水素ポンプの運転条件設計

H28年度に運転条件設計を検討するために、電気化学式水素ポンプ評価設備を導入した(図8)。主機能として水素供給制御 温度制御 電流制御 圧力制御(35MPa 対応)、試験結果収集機能、安全装置等を備え、運転条件の検討が可能となった。



図8 PEM ポンプ性能評価装置

3.3 研究開発項目 電気化学式水素ポンプ用膜電極接合体・セル設計

(1)小型PEMポンプセル

H28年度に、35MPa以上の耐圧性を有する小型PEMポンプ単セル(MEAの入れ替え可能)を設計した(図10)。本セルの応力解析を実施した結果、100MPaの耐圧性を確認した。

設計した小型PEMポンプセルを試作し、水素エネルギー製品研究試験センター(HyTREc)で耐圧破壊試験(耐圧性評価)を実施し、70MPa以上(110MPaでガスケット部破壊)の耐圧性を確認した(図9)。

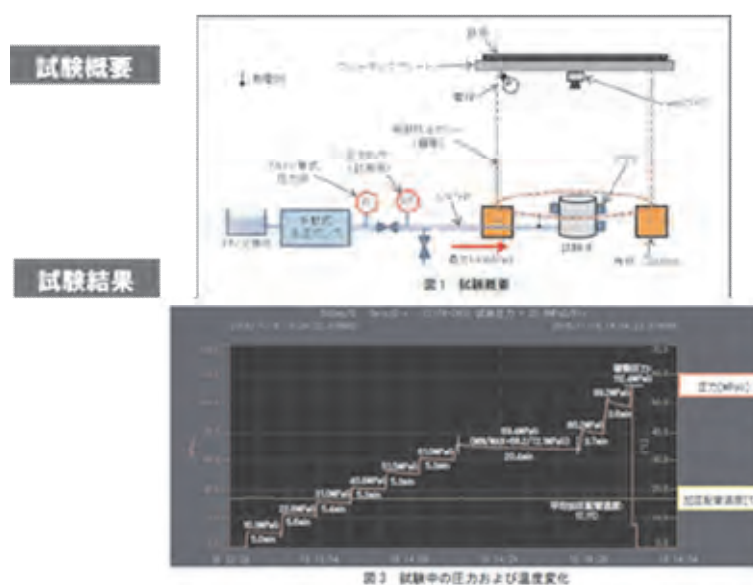
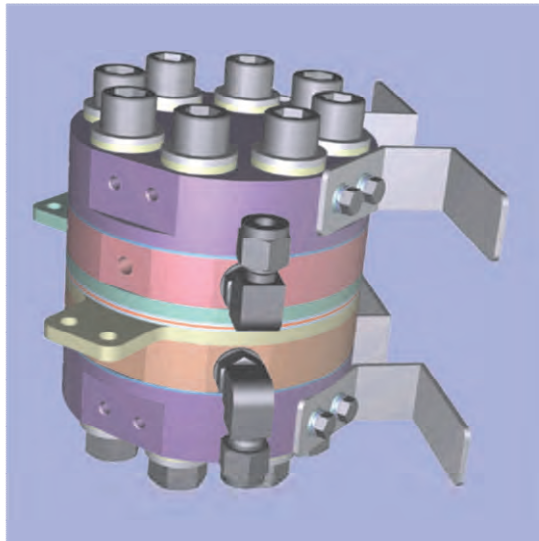


図9 耐圧破壊試験結果



外観：10cm φ × 10cm

高圧側内容積： $2.9 \times 10^{-6} \text{m}^3$

破壊テストで110MPa耐圧性確認

図10 小型PEMポンプセル

(2) 東レ開発膜を搭載した水素ポンプ性能

図8に示す評価装置を使用し、図10の小型PEMポンプセルに東レ開発膜を用いたMEAを搭載して水素圧縮評価を実施した。

その結果、図11に示すとおり、東レ炭化水素系膜の高プロトン伝導性、超低水素透過性により、高圧35MPa水素圧縮において、機械式圧縮機と同等以下の消費電力を達成し、最終目標を達成した。また、更なる高圧45MPa圧縮を確認。装置安全対策のリリース弁が作動し45MPaで装置限界となるため評価装置を80MPa対応に改造し評価を継続する。

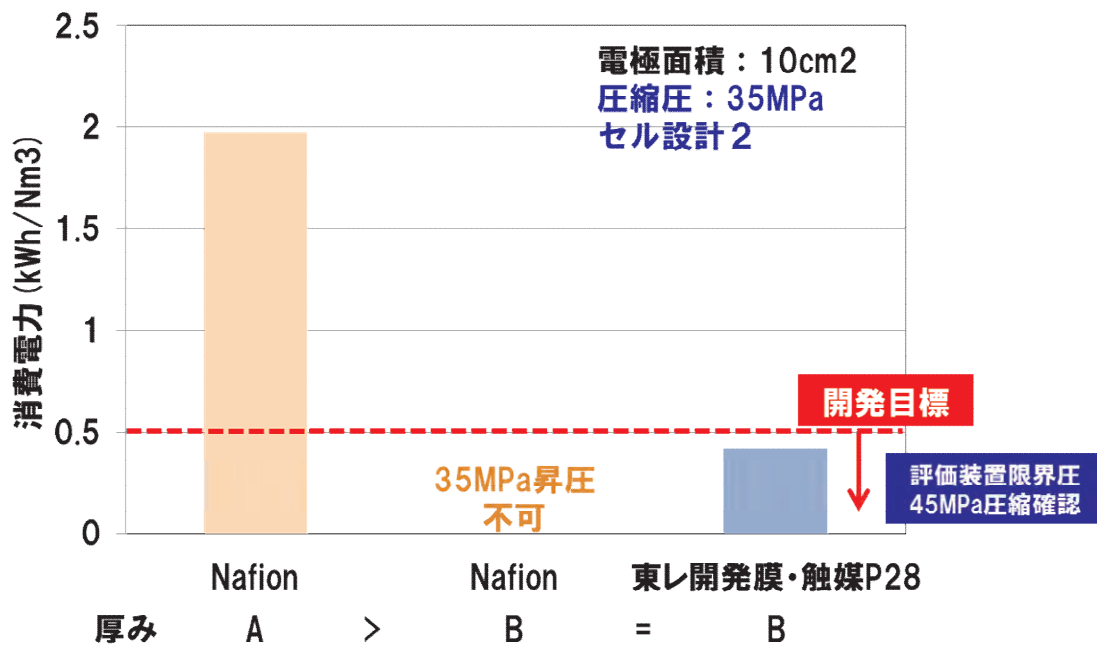


図11 東レ開発膜を搭載した水素ポンプ性能

3.4 現行水素ステーションに適用するための課題抽出と解決策の検討

現行水素ステーションへの適用を見据えた、圧縮圧70MPa以上の中大型化に向けた技術課題と解決策を検討中で有り、次項3.5のFS結果を踏まえ、圧縮機メーカーやエネルギー事業者等に協力を得ながら課題抽出と解決策の検討を実施中。年度内には目処が得られる見込み。

3.5 電気化学式水素ポンプの調査研究

(1)実施体制

実施体制を図12に記載した。HySUT 受託事業の再委託先として東レが参画し、電気化学式水素圧縮機に関する調査研究を実施した。

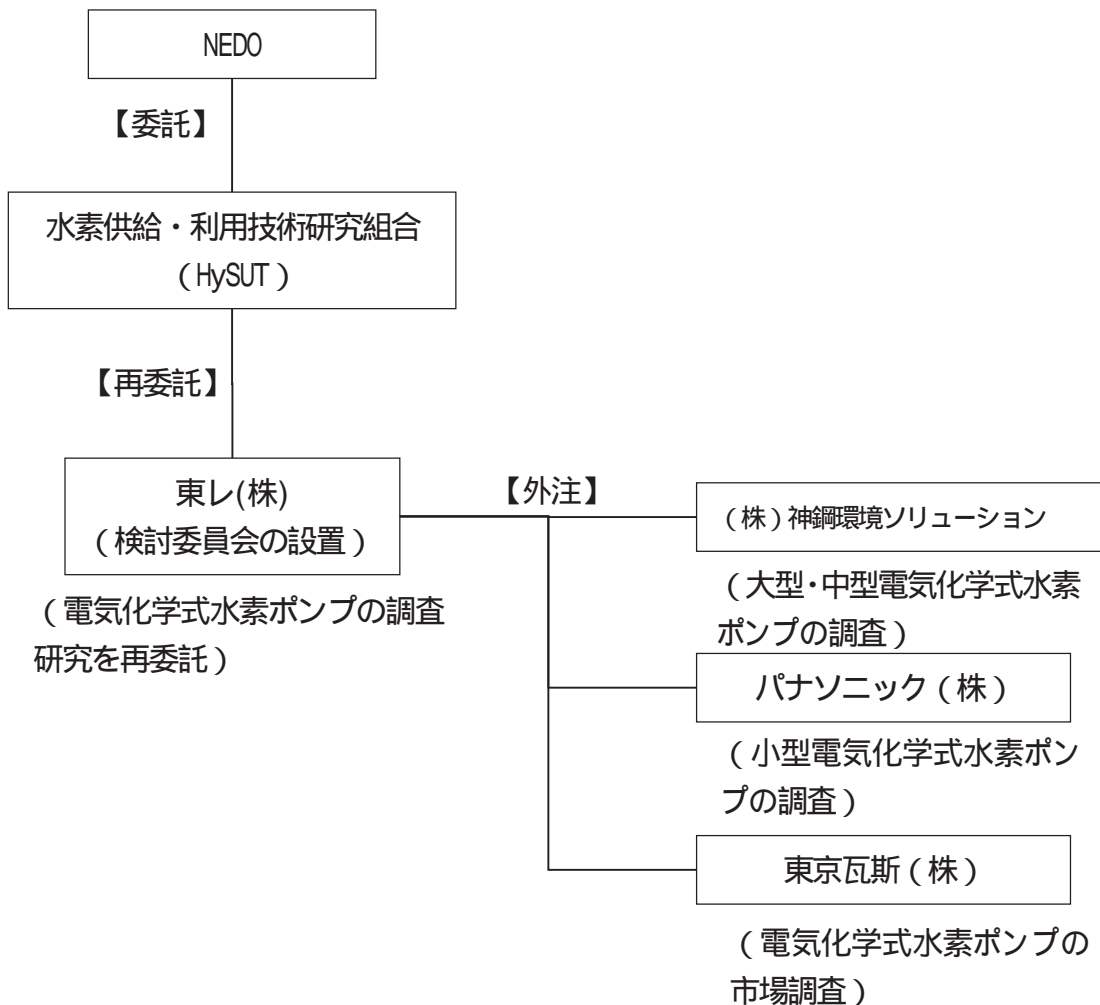


図12 調査研究の実施体制

(2)実施内容

H27年9月を目処にフィージビリティースタディー(FS)を通じて、技術開発課題の抽出と実使用における設備仕様検討を行なった。実施にあたっては、以下に示すエネルギー機関、システム機関などに協力して頂き、検討委員会を設置して取り組んだ。

電気化学式水素ポンプ用電解質膜の調査研究(担当:東レ株式会社)

FSを通じて、材料の技術開発課題(性能、耐久性、コスト等)の抽出と実使用における材料仕様検討を行った。

低圧小型セルによる基礎実験を行い、調査精度の向上に努めた。

本調査結果の詳細については、3.1項を参照。

電気化学式水素ポンプ(大型・中型)の調査研究(協力:株式会社神鋼環境ソリューション)

FSを通じて、大型・中型用途の技術開発課題(装置の用途、規模、コスト等)の抽出と実使用における設備仕様検討を行った。

電気化学式水素ポンプ(小型)の調査研究(協力:パナソニック株式会社)

FSを通じて、小型用途の技術開発課題(装置の用途、規模、コスト等)の抽出と実使用における設備仕様検討を行なった。

電気化学式水素ポンプの市場調査(協力:東京瓦斯株式会社)

電気化学式水素ポンプのメリットを活かすことができる適用先を検討するとともに、それぞれの適用先におけるモデルとなる高圧水素製造システムを想定し、イニシャルコスト、ランニングコストの検討とともに課題を抽出し、各適用先となる市場での導入台数を予測することで、電気化学式水素ポンプの事業性について検討した。

(3)まとめ

電気化学式水素ポンプの調査研究のまとめを以下に示す。検討委員会として調査研究から本格実施に移行し、高圧セル・システム設計の基礎研究を開始すべきであるとの結論に至った。

FCV ユーザーのニーズ変化・事業者の戦略多様化に対応し、水素ST数を増加させるため、実質的に日本全土をカバーできるように、300 Nm³/h 級を「大型水素 ST」、その 1/10 規模の 30 Nm³/h 級を「中型水素 ST」、更に小さい 1 Nm³/h 級を「小型水素スタンド」として検討した。

東レ膜を用いた電気化学式水素ポンプの消費電力量は、現行大型機械式比約 4 割削減できる可能性がある。水素圧縮に適した高圧セル設計ができれば、ポンプ消費電力を試算値に近づけることができると考えている。

大型水素 ST 用水素ポンプの 10 年投資回収可能な水素販売価格は、100 円/Nm³ 程度で、2015 年 9 月現在の水素販売価格と同程度であるが、サイズ、静音性等の点で、機械式にはない付加価値を提供できる可能性がある。

大型・中型水素 ST 用は、ともに、低ポンプ消費電力により、光熱費は機械式比安価となるが、相対的に固定費が高いため、水素販売価格に対する光熱費のインパクトは小さい。事業性を高めるためには、固定費の低減が必要。水素圧縮用途だけでなく、FCV や水電解など他用途との部材共通化により、更なる固定費低減が期待できる。

小型水素スタンド用では、水素販売価格の半分以上をディスペンサー固定費が占める。事業性を高めるためには、小型水素スタンドに適した低コストディスペンサーの開発が必要不可欠である。

固定費の更なる低減のためには、圧縮機の低コスト化・高性能化を目指した、高圧セルや、ディスペンサーな

ど PEM ポンプ以外の部材・機器を含むトータルシステム設計が必要。調査研究から本格実施に移行し、高圧セル・システム設計の基礎研究を開始すべきである。

3.6 達成度

研究成果と達成度を表8にまとめた。

東レ炭化水素系膜を用いた小型水素ポンプセル(電極面積 10cm²)の設計・開発により、評価装置限界圧力である高圧 45MPa 水素圧縮を実現、機械式圧縮機と同等レベル以下の消費電力を確認し、最終目標を前倒して達成した(達成度)。

表8 研究成果と達成度

研究開発項目	H29年度最終目標	開発成果	達成度
電気化学式水素ポンプ用電解質膜・触媒設計	炭化水素系膜を用いた小型水素ポンプセル(電極面積5~25cm ²)の初期消費電力(理論電力/電力効率@圧縮圧35MPa)が、機械式圧縮機(0.5 kWh/Nm ³)と同等以上の見通しを得る。	炭化水素系膜を用いた小型水素ポンプセルの設計・開発により、高圧35MPa水素圧縮に成功(低圧側0.6MPa)。35MPa機械式圧縮機と同等レベル以上の効率を確認した。更なる45MPa圧縮を達成した。	
電気化学式水素ポンプの運転条件設計			
電気化学式水素ポンプ用膜電極接合体・セル設計			
現行水素ステーションに適用するための課題抽出と解決策の検討	圧縮圧 70MPa 以上の中大型化に向けた技術課題と解決策を検討する。	中大型化に向け機械式圧縮機メーカー等との連携を検討し、課題を抽出。	
電気化学式水素ポンプの調査研究	フィージビリティスタディーを通じて、技術開発課題の抽出と目標設定を行う。実施にあたっては、エネルギー機関、システム機関などと連携し、検討委員会を設置し、取り組む(H27年9月迄)	FS結果から、大型水素STに関してはPEMポンプの適用が見込まれ、中小型水素STに関しては小規模に適した周辺機器の大幅なコストダウンが実現すれば、事業性が見込まれることがわかった。	

JHFC2 報告書(H23年3月)、97~105ページ一覧表中の日本製鋼所製等を参照

**東京ガス株式会社、パナソニック株式会社、株式会社神鋼環境ソリューション、東レ株式会社

達成度: :大幅達成(特筆すべき成果有り) :達成

3.7 成果の意義

東レ開発膜を搭載することで45MPa以上の電気化学式水素ポンプの可能性を実証できた。水素社会に向けた新たな要素技術研究の継続と、国内外のエネルギー事業者、水素圧縮機メーカー等との連携により、大型水素ポンプの開発実証に向けた取り組みを開始する価値があることを示せた意義は大きい。

図13に示すとおり水素ステーションの整備費用の1/3程度を占める圧縮機本体および周辺部材の費用を低減できれば、本技術開発の成果を通じて、水素ステーションの社会的な受容性向上に資することができる。

水素ステーションの整備費の内訳

左図の出典：資源エネルギー庁作成

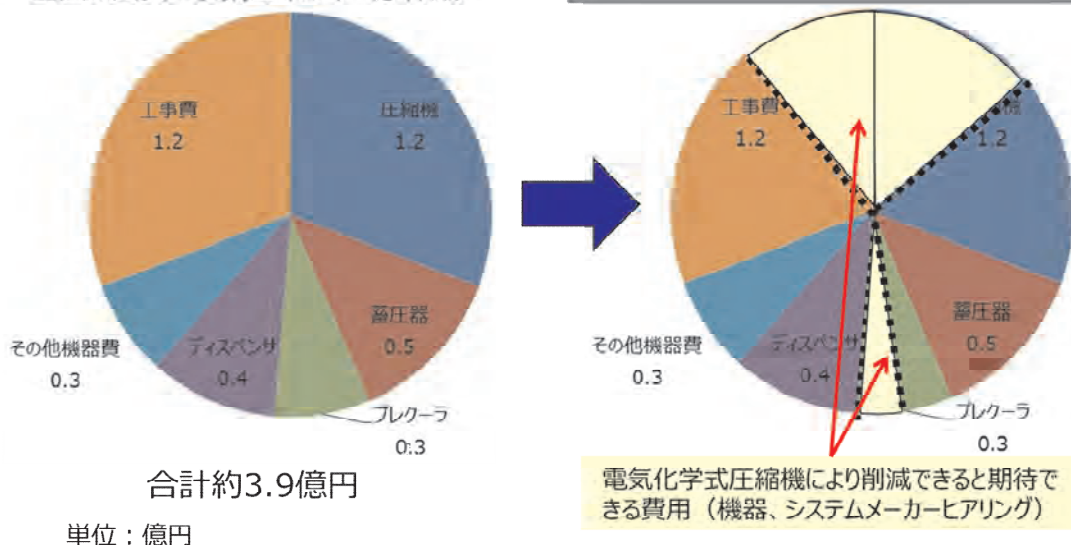


図13 水素ステーションの整備費用

3.8 開発項目別残課題

開発項目別残課題を表9に示す。

表9 開発項目別と残価大

研究開発項目	開発成果	残課題
電気化学式水素ポンプ用電解質膜・触媒設計	炭化水素系膜を用いた小型水素ポンプセルの設計・開発により、高圧35MPa水素圧縮に成功(低圧側0.6MPa)。35MPa機械式圧縮機と同等レベル以上の効率を確認した。更なる45MPa圧縮を達成した。	さらなる要素技術研究による圧縮効率の向上と、実機を想定した耐久性プロトコルによる劣化挙動の把握と対策の立案
電気化学式水素ポンプの運転条件設計		
し 電気化学式水素ポンプ用膜電極接合体・セル設計		
現行水素ステーションに適用するための課題抽出と解決策の検討	中大型化に向け機械式圧縮機メーカー等との連携を検討し、課題を抽出。	スタック設計、システム設計による実用技術開発・実証
電気化学式水素ポンプの調査研究	FS結果から、大型水素STに関してはPEMポンプの適用が見込まれ、中小型水素STに関しては小規模に適した周辺機器の大幅なコストダウンが実現すれば、事業性が見込まれることがわかった。	最近の情勢による調査結果のアップデート、精査

4.まとめ及び課題 事業化までのシナリオ

4.1 H28 年度開発成果まとめ

東レ炭化水素系膜を用いた小型水素ポンプセル(電極面積 10cm²)の設計・開発により、評価装置限界圧力である高圧 45MPa 水素圧縮を実現、機械式圧縮機と同等レベル以下の消費電力を確認し、最終目標を前倒しで達成した(達成度)。

4.2 課題 今後の取り組み

現行水素ステーションへの適用を見据えた、圧縮圧70MPa以上の中大型化に向けた技術課題と解決策を検討する必要がある。

電気化学式水素ポンプは、高効率・小型・静音・水素精製機能など、機械式圧縮機にはない優位な特徴を有するが、圧縮システムとしての使用方法に適合した、水分管理方法および耐久性の向上検討および実証試験を行うことが課題であり、今後の取り組みとして、水素圧縮メーカー、エネルギー事業者との連携による要素技術の深化および実用化技術の開発・実証が必要である。

4.3 事業化までのシナリオ

(1)実用化・事業化に向けた計画等

本事業の成果を使用する電解質膜、膜電極接合体(MEA)について、国内外のエネルギー事業者、水素圧縮装置メーカー、MEA・CCMメーカーとの事業化における連携を想定している。現時点では共同開発としての連携を考えており、事業化における連携は未定である。事業化の目標時期は、2020～2025 年を想定している。

(2)実用化・事業化を考えるに至った経緯

FCV の本格普及時にはオンサイト水素ステーションも増加すると考えており、水素圧縮システムの高効率化に東レ開発膜が貢献できることを実証すれば、本格的な水素社会向け、国内生産・雇用、輸出、内外ライセンス収入、国内生産波及・誘発効果、国民の利便性向上など、我が国の経済再生への貢献が期待できる。

(3)事業として成功すると考える理由

東レ炭化水素系電解質膜は、H25-26年度のNEDO燃料電池次世代技術開発において、発電性能と耐久性の目標を達成しており、超低ガス透過性(既存フッ素膜対比 1/10)および弾力性を活かした水素圧縮向け膜電極接合体、水素圧縮セル、および高効率水素圧縮システムの開発を推進することにより、業界標準膜として、高効率な水素社会構築に大きく貢献できると考えている。また、PEMポンプ用途に、水素製造やFCV用途と共通の電解質ポリマーを用いることができれば、生産量が増加することにより、低コストでの電解質膜供給体制が実現でき、水素社会構築に貢献できると考えられる。

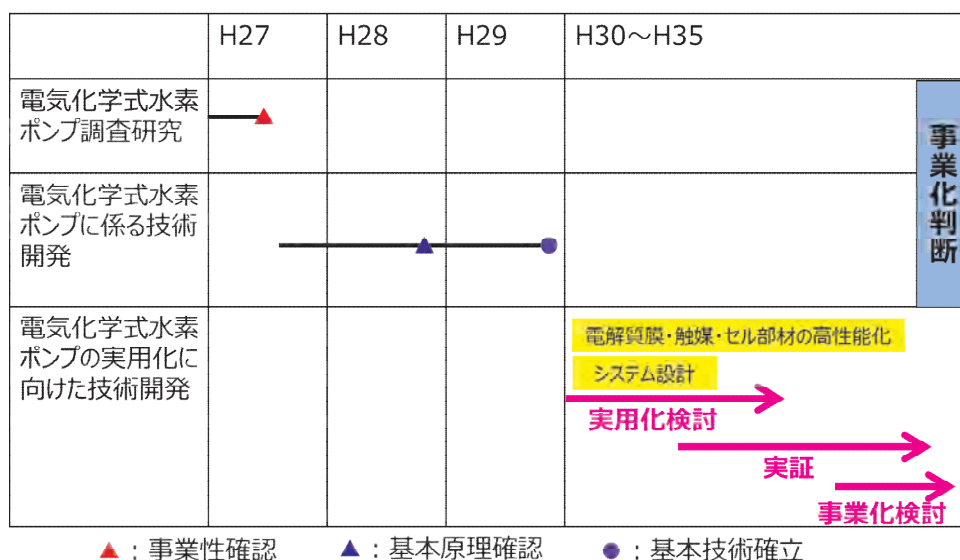


図14 事業化計画

5. 研究発表・特許等

- 研究発表・講演 文献等 その他 -

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2016.4	2016 MRS Spring Meeting 招待講演	Development of Highly-Reliable Hydrocarbon-based Membrane for Polymer Electrolyte Fuel Cells	出原大輔
2	2016.6	高分子学会 水素・燃料電池材料研究会 招待講演	高信頼性炭化水素系電解質膜の研究開発	出原大輔
3	2016.7	東レ先端材料展 インノベーションステージ	水素社会実現に向けた取り組み	出原大輔

以上

(111-8)「水素利用技術研究開発事業 / 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発 / 水素社会構築に向けた社会受容性調査」

委託先：みずほ情報総研(株)

成果サリ(実施期間：平成27年度～平成28年度)

- ・一般市民に対するアンケート調査等を実施し、一般市民の水素に対するイメージや認識、水素ステーションに対する受容性について、現状を詳しく把握するとともに、過去の調査との比較も行い、経年的変化を分析した。有識者ヒアリング結果もあわせて、一般市民の懸念と技術開発やコミュニケーションのあり方についてまとめた。
- ・水素ステーションのさらなる普及にあたっては、国民の正しい理解に基づいた賛成がその後押しとなると考えられることから、水素ステーションのみならず水素エネルギーや水素利用技術に関する情報提供(さらには双方向のコミュニケーション)を引き続き行っていくことは非常に重要であることなどが示唆された。

背景/研究内容・目的

< 背景 >

水素供給インフラの整備が進みつつある状況の中で、商用水素ステーションの設置の一層の拡大のため社会受容性の更なる向上は重要な課題の1つである。

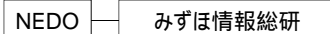
< 研究内容・目的 >

2025年のFCV・水素ステーションの普及拡大に向けて、水素や燃料電池、水素ステーションに対する一般市民の認識、受容性を調査することにより、水素供給インフラ整備における必要な技術課題を明確にし、社会受容性向上のための提案を行う。

研究目標

実施項目	目標
社会受容性に関する仮説の抽出	探索的調査の実施
社会受容性に関する仮説の検証	代表性が担保された偏りの少ないサンプルを基にした検証、および経年的変化の分析
技術開発課題の明確化とコミュニケーションへの示唆の抽出	社会的理解と技術課題の両面の十分な理解による課題・示唆の抽出

実施体制及び分担等



これまでの実施内容 / 研究成果

水素ステーションのより一層の普及拡大に向けて、水素に関連するインフラの社会受容性の向上に資する提案を行うことを目的として、国内外の取り組みやtwitterなどのインターネット上での発言に対する調査を行うとともに、一般市民の水素に対する認識や意見に対するアンケート調査を実施した。また、有識者(環境・エネルギー分野、水素分野)へのヒアリングを実施し、一般市民の認識や意見とヒアリング結果の両面から、一般市民の懸念と相当するリスクそれぞれに対応する技術開発やコミュニケーションのあり方をまとめた。

今後の課題

今後、水素利用が社会において普及していくにあたり、社会受容性を向上させていくための課題は以下のとおりである。

技術開発の進展

- 一般市民以外の意見の把握
- 水素に関するコミュニケーションの場の構築
- 国による将来のエネルギーシステム及びその中の水素の位置づけの明確化

実用化の見通し

本事業の成果を水素ステーション事業者や政策立案者、一般市民等が参照することで、今後の水素ステーション設置・拡大の一助となると考えられる。

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
社会受容性に関する仮説の抽出	国内外の文献調査、一般市民を対象にしたグループインタビュー、ウェブ上の発言の分析(テキストマイニング)より、水素の社会受容性に関する仮説を抽出した。	
社会受容性に関する仮説の検証	エリアサンプリングによる大規模アンケート調査を実施し、平成21年度調査との比較分析や属性による影響等に関する分析を実施するとともに、専門家へのヒアリングを行い、仮説の検証を行った。	
技術開発課題の明確化とコミュニケーションへの示唆の抽出	、の結果より、一般市民の認識ごとに技術開発やコミュニケーションのあり方について整理した。	

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	0	0

課題番号： -8

水素利用技術研究開発事業 / 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発 / 水素社会構築に向けた社会受容性調査

みずほ情報総研株式会社

1. 研究開発概要

1.1 調査の背景・目的

NEDO では平成 19 年度に「水素社会受容性に関する調査」、また平成 21 年度には「燃料電池、水素に関する社会受容性に関する調査」(以降、「平成 21 年度調査」とする。)を行い、後者においては、システムに対する不安(技術の信頼性、事故の種類や可能性)の認識が受容性を低下させる大きな要素であること、「社会が必要としているという認識」が受容性を向上させる大きな要素であること等の示唆を得た。その後、東日本大震災における福島第一原子力発電所の事故を経験し、燃料電池自動車(FCV)や水素ステーションの実物を目の当たりにするなかで、世の中が水素、供給インフラ、及び FCV 等の消費機器を見る目も当時から変わっているものと推察される。

「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」では、より高次元の安全・安心を実現する機器及び運転・管理手法等の要素技術を確立して、水素ステーションの社会受容性の向上に資することを目的としている。本調査では、上記の背景のもと、2025 年の FCV・水素ステーションの普及拡大に向けて、一般ユーザーの意識調査を行い、特に水素供給インフラ(水素ステーション)に対する一般市民の認識・受容性に着目して一般市民の現状の意識を把握するとともに、社会受容性向上のための提案を行うことを目的とする。

1.2 調査の概要

本調査における調査開発項目を図 1 に示す。

本調査では、1.1 に示したとおり一般市民の意識を把握することを目的の 1 つとしており、その方法としてアンケート調査を実施する。アンケート調査では、調査票にある質問以外の回答・情報は基本的には得られないので調査票の設計が非常に重要となるため、アンケート調査実施前に一般市民の意見のヒントになる情報をなるべく多く集めておくことが必要である。本調査の「社会受容性に関する仮説の抽出」においては、グループインタビューや twitter などの分析(テキストマイニング)を行い、その結果をもとに探索的な仮説の抽出を行う。

次の「社会受容性に関する仮説の検証」では、一般市民の意見を正確に把握するため、インターネットモニターまたは来場者アンケートではなく、代表性が高く偏りのないサンプルに対するアンケート調査を実施する。

最後に、「技術開発課題の明確化とコミュニケーションへの示唆の抽出」において、水素ステーションや水素インフラについての社会的認識、社会的理解の課題と技術課題のつながりを確認し、技術開発の重点を探るとともに、技術開発による安全性の担保の状況の伝え方などのコミュニケーションのあり方についても検討を行い、示唆を得る。

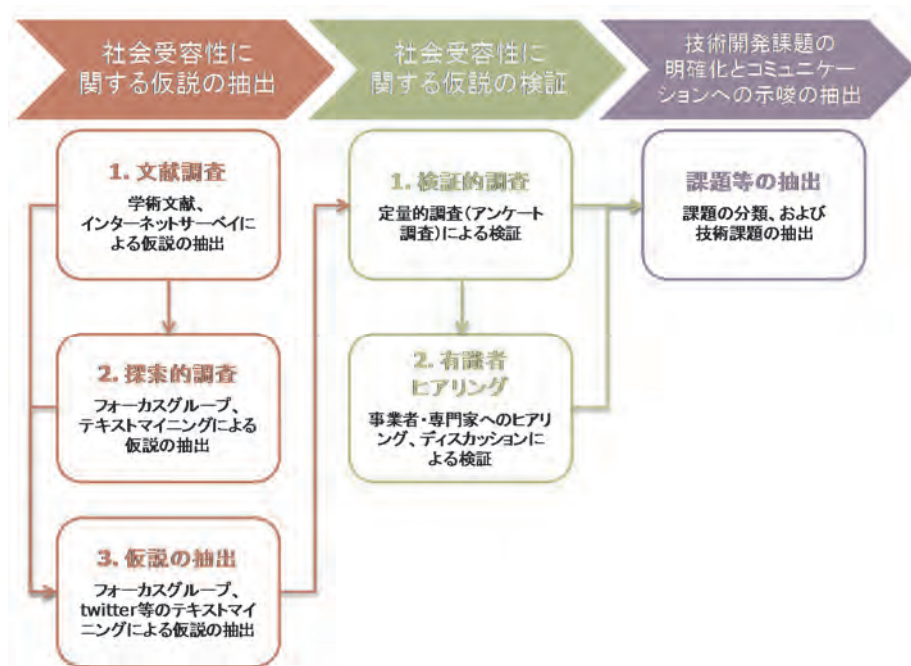


図 1 本調査の調査開発項目

2. 研究開発目標

本調査の目標を表 1 に示す。

調査開発項目 については、エリアサンプリングという手法を用い、代表性が高く偏りの少ない意見を収集することで、一般市民の意見をより正確に把握し、政策立案に反映できる調査結果とする。本分野における国内の調査事例は他にはないと考えられ、非常に有益な調査となる。また、調査開発項目 において一般市民の認識ごとに技術開発やコミュニケーションのあり方についてまとめた成果を水素ステーション事業者等が参照することで、水素ステーションの導入促進に寄与できると考えられる。

表 1 本調査の調査開発項目と目標

調査開発項目	最終目標
社会受容性に関する仮説の抽出	探索的調査の実施
社会受容性に関する仮説の検証	代表性が担保された偏りの少ないサンプルを基にした検証、および経年的変化の分析
技術開発課題の明確化とコミュニケーションへの示唆の抽出	社会的理解と技術課題の両面の十分な理解による課題・示唆の抽出

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) 社会受容性に関する仮説の抽出

本項目では、国内外の文献調査、一般市民を対象にしたグループインタビュー、ウェブ上の発言の分析(テキストマイニング)より、水素の社会受容性に関する仮説を抽出した。文献調査において、特に参照した事例は以下のとおりである。

- 国内
 - NEDO「水素社会受容性に関する調査」
 - NEDO「燃料電池、水素に関する社会受容性調査」
 - HySUT「地域水素供給インフラ技術・社会実証 / 技術・社会実証研究」
 - 東京都「水素社会の実現に向けた東京戦略会議」
- 海外:米国
 - エネルギー省「Hydrogen Knowledge and Opinions Assessment project 後の活動」
- 海外:欧州
 - HyTrust「ドイツ市民の水素に対する見方の全国的調査」(ドイツ)
 - HyNor「ノルウェーにおける水素・燃料電池車の社会受容性に影響を及ぼす因子の関係性調査」(ノルウェー)

また、最近の市民の発言を分析するため、2016年1月から2016年12月の1年間におけるtwitterの発言を分析対象とし、テキストマイニング分析を行った。調査期間内に燃料電池自動車に関する報道などがあったため、燃料電池の仕組みに関する共起語や、水素、酸素といった単語が多くみられる。また、水素爆弾と水素爆発という共起語が現れており、これがトヨタ自動車といった言葉とも共起していることから、燃料電池自動車に関して関連付けられた言葉でありイメージであることも予想される。

以上より、社会受容性に関する仮説を以下のとおり抽出し、これらをもとにアンケート調査票の設計を行った。

- 水素の製造には再生可能エネルギーを利用すべきであるとの意見が多い。
- 水素に関する知識を持っている方が、受容性が高い。
- 水素が危険であるという認識を持つ回答者は一定程度存在し、その理由は、爆発、引火、漏洩しやすい等である。一方、正しく使用すれば問題ないという認識を持つ回答者も多い。
- 安全性への関心が高い。
- 水素ステーションの安全対策の理解度は増加している。
- 知識不足が直接水素自動車の購入判断や水素自動車に対する意見に影響している。
- 水素に関する知識より環境問題に対する意識が高いことが燃料電池車及び水素ステーションの社会受容性の向上に繋がる。
- 購入判断の条件となる基準は、水素ステーションのインフラが十分であること、先進的な技術にチャレンジをするリスク受容性を高め、従来の自動車への慣れから脱却するための知識を高めること、及び経験の場を拡大すること。

(2)社会受容性に関する仮説の検証

(1)で抽出した仮説を検証するために、アンケート調査と有識者へのヒアリングを行った。アンケート調査の概要は表2のとおりである。

表2 アンケート調査概要

調査期間	2016年10～11月
調査地域	東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県、山梨県、愛知県、大阪府、京都府、兵庫県、滋賀県、福岡県、佐賀県、山口県 2016年8月時点で水素ステーションが建設されている都道府県(移動式を除く)
調査対象	国内在住の満20歳以上の男女
調査方法	エリアサンプリング (住宅地図を用いて、ランダムに抽出した1地点から等間隔に世帯を訪問し、調査対象者を探すサンプリング方法)
サンプリング法	層化二段無作為抽出 (性別、年齢、地域の属性に比例した層化抽出)
回収率	52.5%
有効回答数	1,004

主な調査結果は以下のとおりである。

● 水素に対するイメージ・認識

- 「きれい(クリーン)」と回答した回答者が多い一方、「危険」についてはばらつきが大きい(図2参照)。

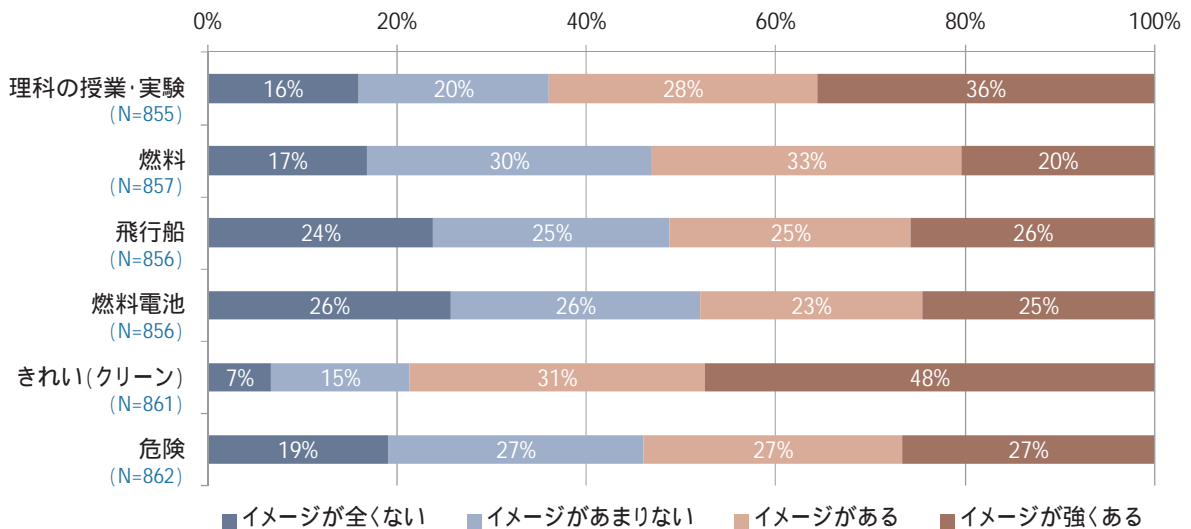


図2 アンケート調査集計結果:水素に対するイメージ

- 水素利用によって化石燃料への依存を減らすことや地球温暖化の解決への貢献などに期待が寄せられ、「正しく使用すれば他の燃料と同様に安全に使える」という認識を持つ回答者が多いが、「コストが高くて再エネを使って作るべき」という意見は多くない(図3参照)。

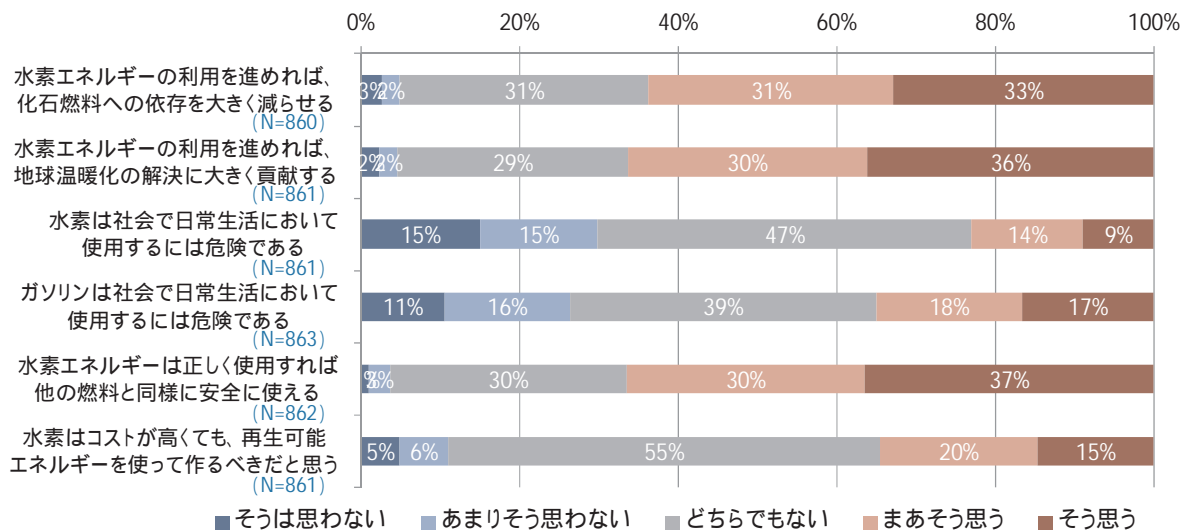


図3 アンケート調査集計結果:水素・ガソリンに対する意見

● 水素ステーションの建設に対する意見

- 半数以上の回答者が「(どちらかといえば)良いと思う」と賛成方向の意見を持つが、「どちらともいえない」と態度を保留した回答者が3割であり、反対方向の「(どちらかといえば)問題だと思う」が1~2割であった(図4、図5参照)。

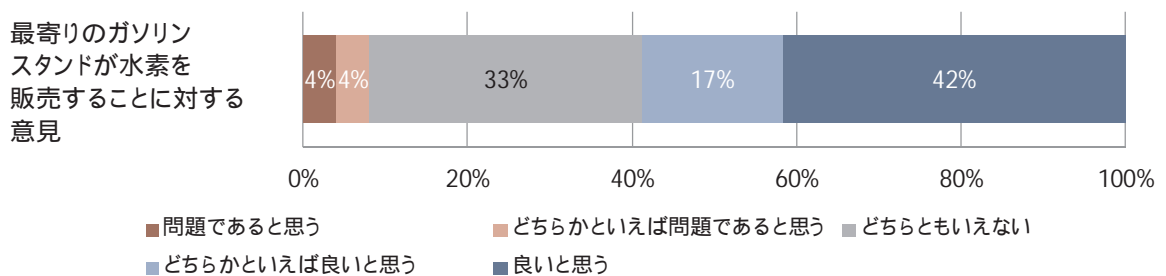


図4 アンケート調査集計結果:最寄りのガソリンスタンドが水素を販売することに対する意見 (N=862)

(質問 あなたの家の最寄りのガソリンスタンドが水素ステーションとして水素の販売を行う(水素とガソリンを併売する)ことについてどのように思いますか?)

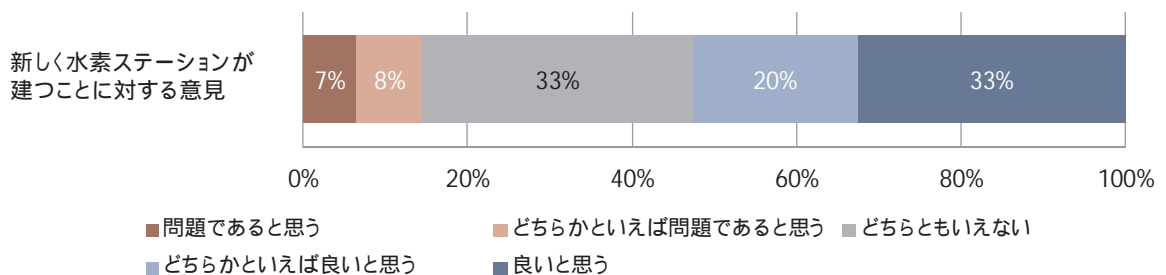


図5 アンケート調査集計結果:新しく水素ステーションが建つことに対する意見 (N=858)

(質問 あなたの家の近くに水素とガソリンを併売するスタンドが新しく建つとします。どのように思いますか?)

- 水素ステーションの建設に対して「距離によらず根本的に反対」と答えた回答者は水素利用による便益の認識が低い一方で、「社会で利用するには危険」との認識が強く、安全性への懸念をより強く感じている傾向がある(図6、図7参照)。

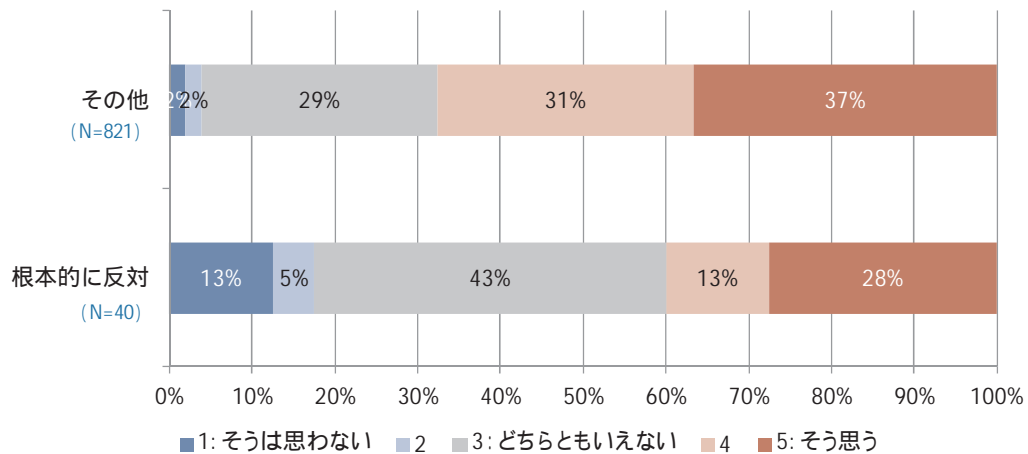


図6 クロス集計結果:水素ステーション新設に対する意見と「水素エネルギーの利用を進めれば、地球温暖化の解決に大きく貢献する。」に対する意見の関係

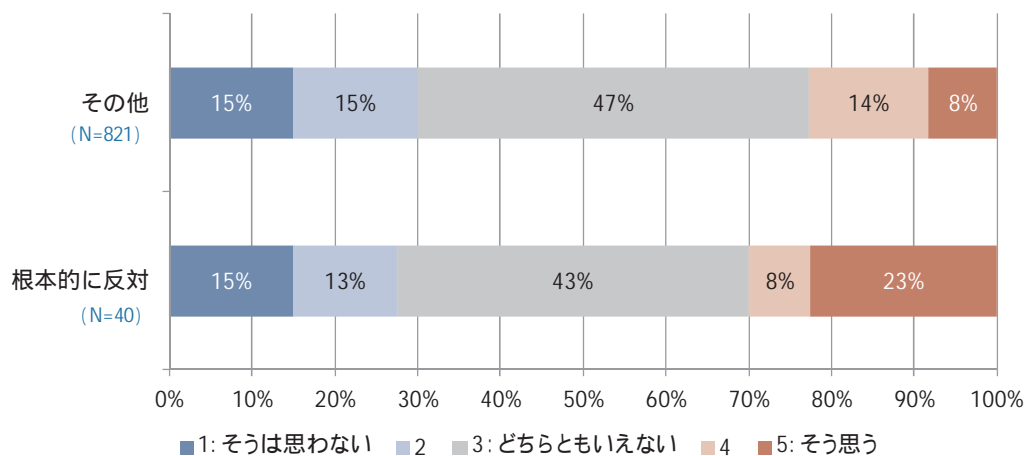


図7 クロス集計結果:水素ステーション新設に対する意見と「水素は社会で日常生活において使用するには危険である。」に対する意見の関係

● 経年的変化の分析

- NEDO では 2009 年度に「燃料電池、水素に関する社会受容性調査」を実施しているため、本調査と2009年度調査との比較を行った。
- 水素エネルギーおよび水素ステーションの認知度は向上したが、FCV に関してはほとんど変化がなかった(図8参照)。

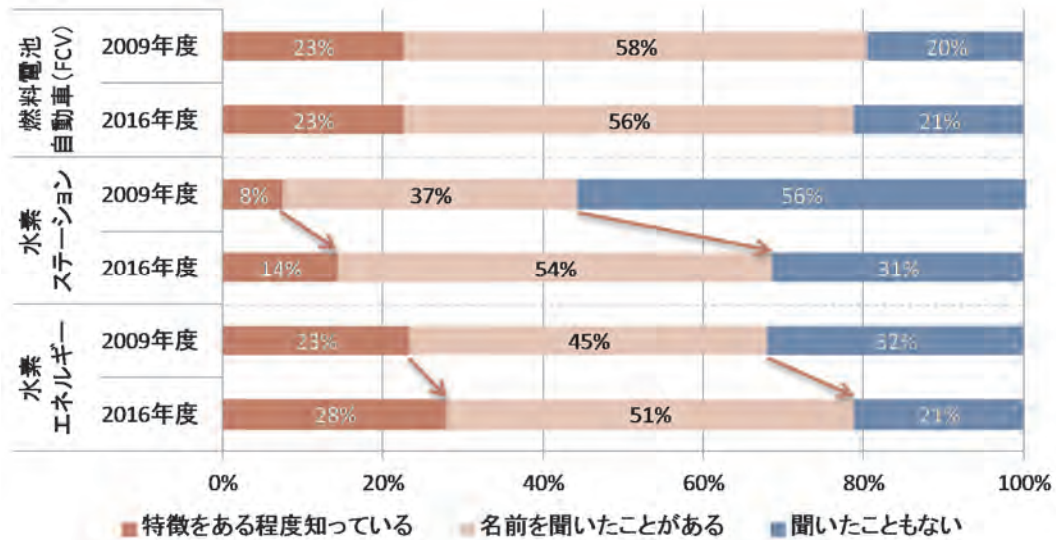


図 8 2009 年度調査結果との比較: 認知度 (水素エネルギー、水素ステーション、FCV)

- 水素に対するイメージについては、「きれい(クリーン)」、「危険」のイメージがやや増加した(図 9 参照)。また、「水素は社会で日常生活において使用するには危険である」や、社会で水素を利用することによる便益(化石燃料への依存の低減、地球温暖化の解決への貢献)の認識を持つ回答者は増加した(図 10 参照)。

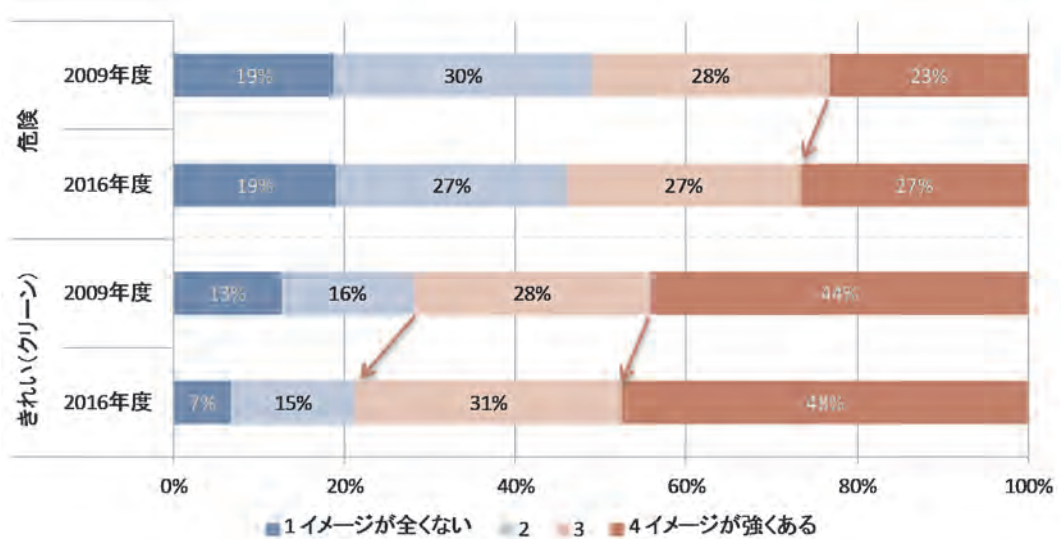


図 9 2009 年度調査結果との比較: 水素に対するイメージ(きれい、危険)

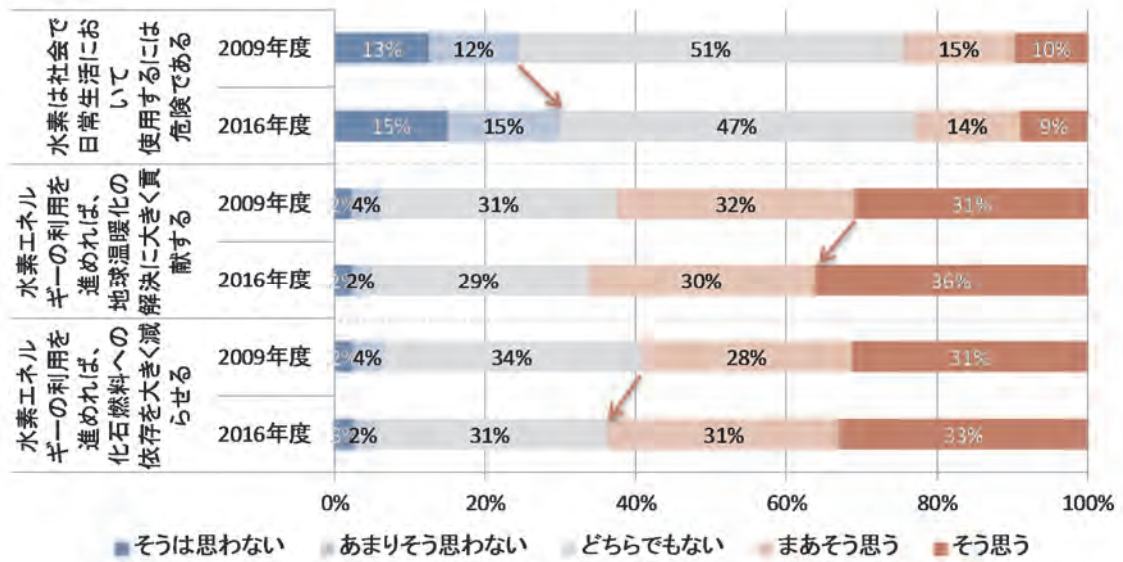


図 10 2009 年度調査結果との比較:水素に対する認識

- 水素ステーションに対する意見は、「良いと思う」、「どちらかといえば良いと思う」の回答が増加しており、「問題であると思う」の回答は減少している(図 11 参照)。現在の一般市民の方が水素利用の便益をより感じており、そのため水素ステーション建設に対しても好意的な意見が示されたものと考えられる。

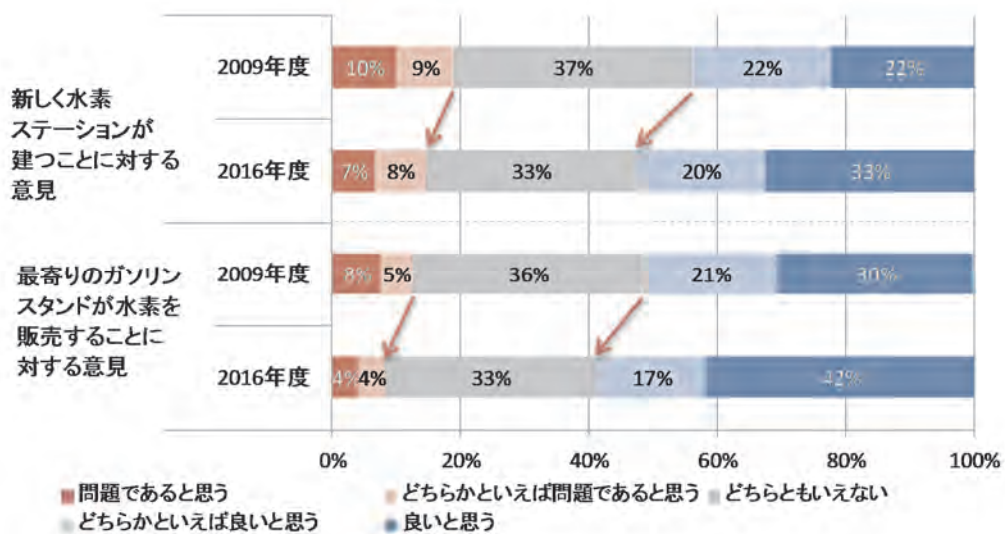


図 11 2009 年度調査結果との比較:水素ステーション建設に対する意見

● その他

- FCV の認知度と年代の関係を図 12 に、水素ステーションの認知度と年代の関係を図 13 に示す。どちらも、40 代以下は、年代が下がるほど認知度が低く、「聞いたこともない」の回答が増加する。年代が若い層への情報提供が必要であると考えられ、SNS(ソーシャルネットワーキングサービス)への投稿や YouTube などへの動画提供等、年代が若い層への訴求を考慮した方法の検討も重要である。

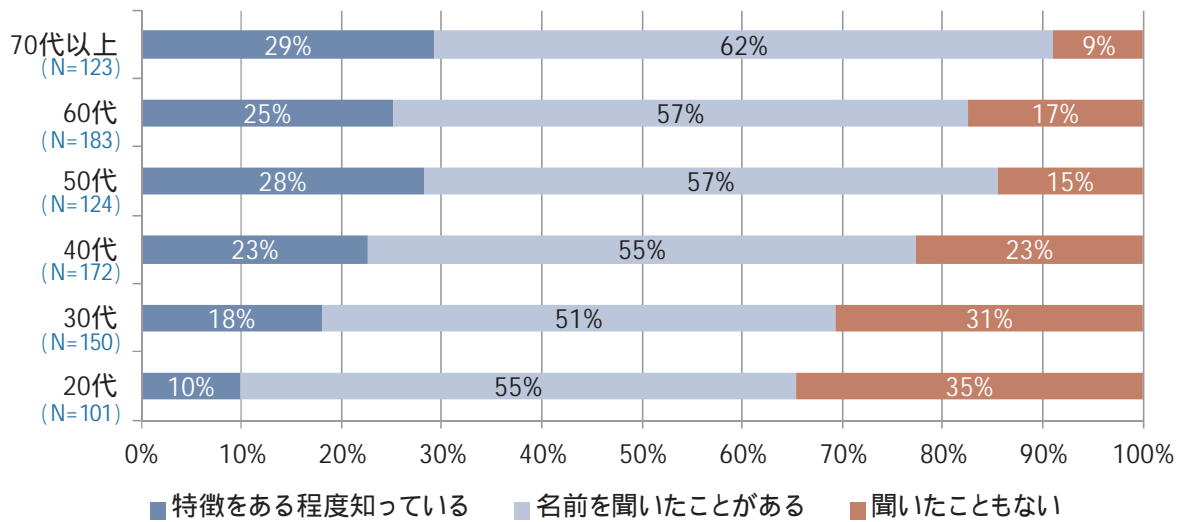


図 12 クロス集計結果:年代とFCVの認知度の関係

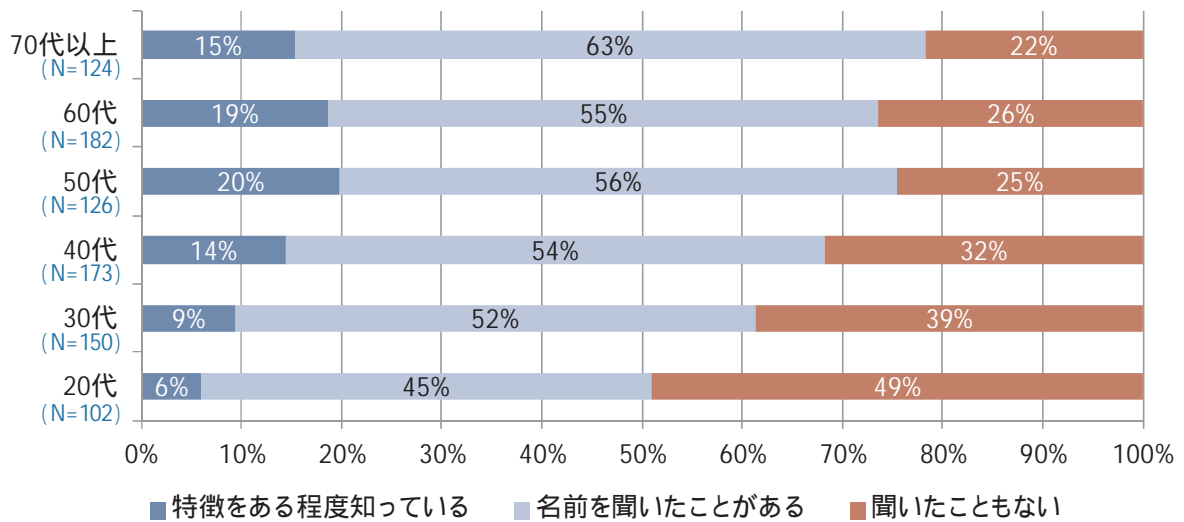


図 13 クロス集計結果:年代と水素ステーションの認知度関係

また、有識者ヒアリングとして、環境・エネルギー分野のオピニオンリーダー及び水素分野の専門家より、水素ステーションを始めとする水素社会を構成するインフラ等についての情報提供やコミュニケーションのあり方や今後の技術開発課題について意見収集を行った。アンケート調査で得られた一般市民の認識・意見と有識者ヒアリングから得られた情報を、以下の表3にまとめる。

表3 検証結果のまとめ

項目	一般市民の認識・意見	有識者の意見
水素ステーション建設への全般的な懸念	<ul style="list-style-type: none"> ● 水素ステーションの建設には「どちらともいえない」と態度を保留した回答者が3割であり、反対よりの「(どちらかといえば)問題だと思う」との回答が1~2割であった。 ● 「社会で日常生活において使用するには危険」、「扱っているもの自体が不安」、「技術の信頼性が低い」という認識も水素ステーション建設への意見に影響が見られるものの、その認識に関わらず「反対」方向の意見を持つ層が見られる。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 爆発等の事故への懸念のほかに、騒音や景観への影響、土地価格の下落等、さまざまな理由が存在する。 ● 「水素」に起因する理由ではなく、工場など建造物が新しく建つ際の懸念事項と同じである理由も多い。 ● 住民の生活に影響があるかどうか重要なポイントである。
安全性	<ul style="list-style-type: none"> ● 水素は「正しく使用すれば他の燃料と同様に安全に使える」という認識を持つ回答者が多い。 ● 上記の認識は、水素ステーション建設に「賛成」方向に影響する可能性がある。 ● 水素利用のリスクについて、「どのような事故が起こるかわからない」との認識は、水素ステーション建設に「反対」方向に影響する可能性がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 事故をどう捉えるかと、どう減らして行くかを重点的に今後も取り組む。また、トラブルの事例を科学的に分析する必要がある。 ● 予見できない案件を事業者で共有するなど横展開を行うことで、同種のトラブル予防に効果があると考えられる。 ● 一般市民と接するのは水素ステーションの従業員であるため、安全装置・技術に加え、人材の教育も重視している。人材を育成し、現場力を上げるためのサポートが、社会受容性向上のためにも、安全性向上のためにも重要である。

項目	一般市民の認識・意見	有識者の意見
水素利用の意義	<ul style="list-style-type: none"> ● 化石燃料への依存を減らすことや地球温暖化の解決への貢献などに期待が寄せられている。 ● 上記の便益を強く認識している回答者ほど賛成よりの意見を持つ傾向が見られた。 	<ul style="list-style-type: none"> ● なぜ社会において水素を利用するのか、その意義について、現段階では十分に説明できていないのではないかと率直に説明する、議論するといったことが必要。 ● 国の進めたい方向は曖昧であり、わかりづらい。 ● FCV がどのくらい便利なのかが普及に影響し、水素が受け入れられるかに影響を与える。便利か、安全か、安いかというところが決め手になるのではないかと想像する。 ● 水素ステーションだけでなく、地域に必要な施設全体の導入がしやすくなるような施策が必要。「地域へのメリットが、水素ステーションがあることにより促進する」となるとよい。
コミュニケーションの課題	<ul style="list-style-type: none"> ● FCV や水素ステーションの認知度について、40代以下は、年代が下がるほど認知度が低く、「聞いたこともない」の回答が増加する。年代が若い層への情報提供が必要である。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 何か軸を一つ決めて、日本全体で統一して、それをもとにコミュニケーションを行うことが重要。 ● 水素の情報は一般市民の多くには非常に難しい。うまくかみ砕き、いろいろな形で伝えていくことが課題である。 ● 現状は一方向の情報提供である。また、現在行っている情報提供は自分で見に行かなければいけないため、発信をどのように行っていくかは今後も課題である。

(3) 技術開発課題の明確化とコミュニケーションへの示唆の抽出

(1)、(2)の結果をもとに、表4に一般市民の懸念と相当するリスクそれぞれに対応する技術開発やコミュニケーションのあり方をまとめた。大きく3つの項目(水素ステーション建設への全般的な懸念、安全性に対する懸念、水素利用の意義の明確化)に分類した。

表 4 一般市民の懸念と技術開発やコミュニケーションのあり方のまとめ

人々の懸念	リスクの種類	技術開発における対応	コミュニケーションのあり方
水素ステーション建設への全般的な懸念			
水素の取り扱いそのものに対する漠然とした懸念	爆発、火災、漏洩、破裂・破損等のリスク	操業実績の積み上げ	これまでの産業ガスとしての取扱いの経験を基にした説明、水素ステーションの操業実績やトラブル対応事例の説明、類似の技術を基にした説明
建造物が新しく建つ際の懸念 (騒音や景観への影響、土地価格の下落等)	住民の生活への影響	事例の共有化(データベース化)、水素ステーション建設が地域にメリットをもたらす施策	影響軽減策の具体的説明、水素ステーションにおける事例の説明、住民との情報共有の仕組みの構築、信頼醸成
安全性に対する懸念			
爆発等の事故等への具体的な懸念	爆発、火災、漏洩、破裂・破損等のリスク	事故の未然防止または予測、被害の最小化、水素ステーション運営に携わる人材の育成	具体的なリスクに関する説明、事故の防止・被害最小化機能や検知の仕組みの視覚化、類似の技術を基にした説明
水素利用の意義の明確化			
水素利用を進めることの意義に対する疑問	社会受容性低下(水素ステーション建設に対する反対意見の増加、等)	水素利用技術が社会にもたらす便益の定量化(省エネ効果、CO2削減効果、経済効果、等)、効率向上やコスト低下技術開発(上記便益の増加につながる技術開発)	水素利用の意義に対する中立的かつ一貫した説明、双方向の議論ができるプラットフォームの確立
水素利用技術の利便性に対する疑問	社会受容性低下(水素利用技術の普及の減速、等)	利便性向上技術開発(水素技術ならではの利便性の探求・開発)	水素利用技術に求める利便性の具体化

3.2 成果の意義

表 5 に本調査事業の成果を示す。

表 5 本調査の調査開発項目と成果

開発項目	成果
社会受容性に関する仮説の抽出	国内外の文献調査、一般市民を対象にしたグループインタビュー、ウェブ上の発言の分析(テキストマイニング)より、水素の社会受容性に関する仮説を抽出した。

開発項目	成果
社会受容性に関する仮説の検証	エリアサンプリングによる大規模アンケート調査を実施し、平成 21 年度調査との比較分析や属性による影響等に関する分析を実施するとともに、専門家へのヒアリングを行い、仮説の検証を行った。
技術開発課題の明確化とコミュニケーションへの示唆の抽出	、の結果より、一般市民の認識ごとに技術開発やコミュニケーションのあり方について整理した。

2で示したとおり、調査開発項目 については、エリアサンプリングという手法を用い、代表性が高く偏りの少ない意見を収集することができたため、一般市民の意見をより正確に把握し、政策立案に反映できる、非常に有益な調査結果となった。また、調査開発項目 において一般市民の認識ごとに技術開発やコミュニケーションのあり方についてまとめた成果を水素ステーション事業者等が参照することで、水素ステーションの導入促進に寄与できると考えられる。

3.3 開発項目別残課題

今後、水素利用が社会において普及していくにあたり、社会受容性を向上させていくための課題は以下のとおりである。以下の課題はいずれも将来解決することが望ましい課題であり、「プロジェクト進捗に従い、新たに見いだされた。」に相当する。

- 技術開発の進展
 - 社会受容性を向上させるために最も有効な方法は、利用技術が普及し、技術が身近になるとともに、一般市民がその利便性や利用による効果を実感することである。そのためには、さらなる効率の向上やコスト低減、安全な利用実績の蓄積が必要である。
 - 国の支援は、個別の要素技術開発にとどまるのではなく、システムとしての普及を目指す段階まで必要である。水素を将来、我が国で大規模に利用していくことを目指すのであれば、水素供給だけでなく、水素需要の創出に関わる技術開発や、インセンティブ・規制等の政策が重要である。
- 一般市民以外の意見の把握
 - 本調査では一般市民の現状の意見・認識の把握を行ったが、その他のステークホルダの意見やそのロジックを把握することも、政策立案の際には重要であると考えられる。
- 水素に関するコミュニケーションの場の構築
 - 水素について疑問に思ったことに対する答えを、誰もが即座に知ることのできるポータルサイトは、受容性向上のためにも非常に有益である。また、それが双方向であると、さらに理解が深まることが期待される。
 - 水素利用に関しては、水素ステーション建設の際に近隣住民から懸念が表明される場合があることや、そもそもその推進に対して賛否がある。さまざまな意見をふまえた上での、水素利用の意義や技術開発の方向性などの説明があることが望ましいと考えられる。
- 国による将来のエネルギーシステム及びその中の水素の位置づけの明確化
 - 水素利用に対する現状の好意的な意見は水素利用の便益の認識の上に成り立っていると考えられるが、それが正しい理解の上の認識であるかは疑問の余地がある。そのため、水素利用に対する意見は、将来、他のエネルギーの受容性に影響を受ける可能性がある。

- 将来のエネルギーシステムにおける水素の位置づけや、期待している意義を示すことにより、多くの議論ができ、情報が普及することにより正しい理解につながるのではないかと考えられる。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本調査は、水素ステーションのより一層の普及拡大に向けて、水素に関連するインフラの社会受容性の向上に資する提案を行うことを目的として、国内外の取り組みや twitter などのインターネット上での発言に対する調査を行うとともに、一般市民の水素に対する認識や意見に対するアンケート調査を実施した。また、有識者(環境・エネルギー分野、水素分野)へのヒアリングを実施し、一般市民の認識や意見とヒアリング結果の両面から、一般市民の懸念と相当するリスクそれぞれに対応する技術開発やコミュニケーションのあり方をまとめた。

本事業の成果を水素ステーション事業者や政策立案者、水素ステーション近隣住民等の一般市民等が参照することで、今後の水素ステーション設置・拡大の一助となると考えられる。

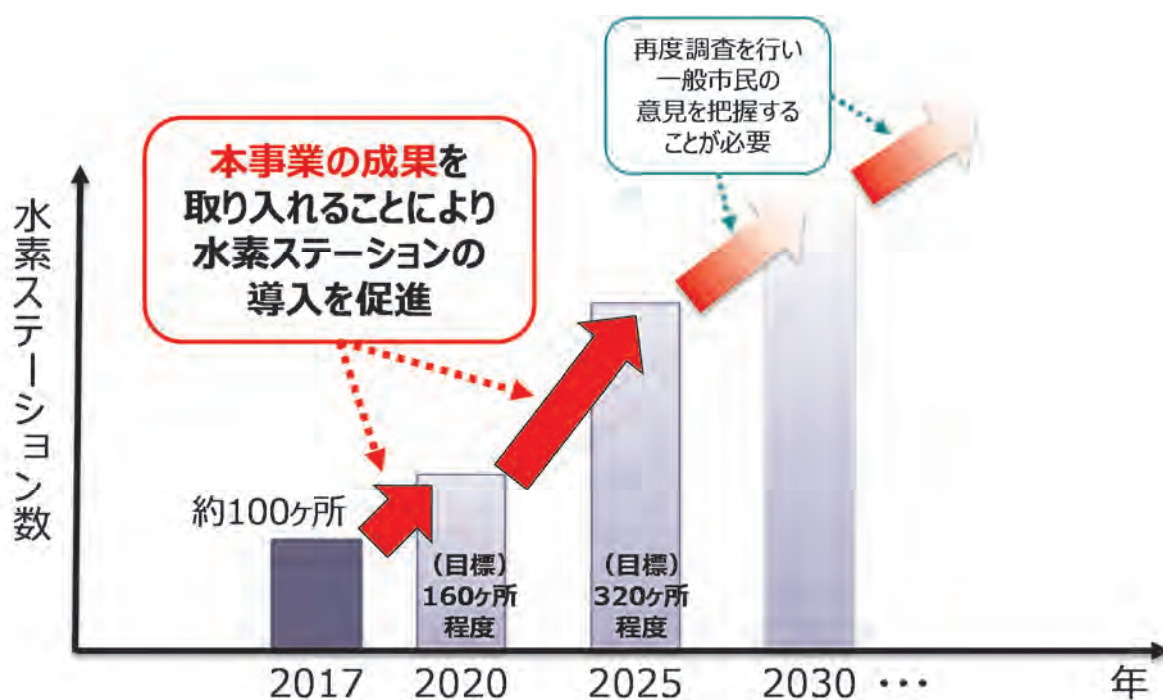


図 14 水素ステーションの普及と本調査事業の成果活用イメージ

5. 研究発表・特許等

なし。

(111-9)「水素利用技術研究開発事業 / 水素ステーション安全整備に関する研究開発 / 実環境下における安全運用技術の技術開発」

委託先：（一社）水素供給利用技術協会(HySUT)

成果サリ（実施期間：平成27年度～平成29年度）

- ・商用STの標準的な仕様を備えた充填施設とするのに加えて、国際標準となっている87.5MPa対応機器の評価も可能かつ直充填可能な施設「水素技術センター」を建設した。
- ・実使用環境下における各種評価試験について詳細試験計画を検討し、効率的な試験計画を策定した。
- ・実環境下での各種試験を実施し、実用性・実効性を確認する。

背景/研究内容・目的

これまで我が国では「水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC1)」、「燃料電池システム等実証研究(JHFC2)」及び「地域水素供給インフラ技術・社会実証」においてFCV・水素ステーションの実用性、省エネルギー性等を実証すると共に、実用化課題の抽出を進めてきた。

加えて2011年1月の自動車メーカー及び水素供給事業者13社の共同声明を受け、2013年度から「水素供給設備整備事業費補助金」に係る補助事業がスタートし2015年度までの3年間で100ヶ所程度の水素ステーションの整備を行ってきた。

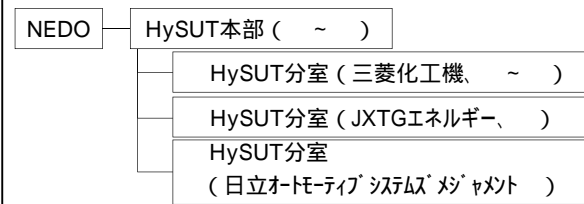
一方で、商用ステーションの導入に伴い、開発品等の実証可能なステーションがなくなる状況となっているが、今後の水素ステーションの本格普及に向け実環境下での実証試験の重要性は高まることが予想される。

そこで本研究開発テーマでは、より一層の普及拡大のために、商用ステーションの標準的な仕様を備えた「水素技術センター」を整備し、水素ステーション全体または部品・構成機器の一層の安全・安心に資する技術開発、並びに水素ステーションの運転・管理手法の更なる高度化をはかる技術開発を行う。

研究目標

実施項目	目標
水素技術センター整備	水素技術センターの完成
実使用環境下における評価技術の実証	開発品の実証、充填プロセスの実証、人材育成・技術伝承及びトレーニング、計量技術の実証評価の試験方法、試験計画を決定し、検証試験を実施する。
セルフ対応関連技術の実証	連続充填時の氷結対応技術の実用性の検証の試験方法、試験計画を決定し、検証試験を実施する。
低コストステーション技術の安全性検討	ST設備仕様の抜本的な見直し検証の試験計画、低コスト設備仕様の充填制御の安全性/運用性検証の試験計画、次世代プロセスや直充填制御を活用したSTコスト低減の検証計画を決定し、検証試験を実施する。

実施体制及び分担等



これまでの実施内容 / 研究成果

水素技術センターの整備
 水素技術センターは、商用STの標準的な仕様を備えた充填施設とするのに加えて、国際標準となっている87.5MPaの充填にも対応可能な施設とすることで、NEDO他事業で開発されている様な開発品の実環境下における安全性や実用性を確認できる仕様とした。また、低コストST設備仕様・技術の検討を行うため、充填制御を柔軟に変更できる仕様とした。

実使用環境下における評価技術の実証
 -1 開発品の実証
 「水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発」テーマと連携し、横浜ゴムが開発中の87.5MPa充填ホースの実証を計画した。また、他の試験においても本ホースを使用し、充填を行うことで充填回数の増加を図ることを計画した。

-2充填プロトコルの実証
 タンクカテゴリ：7-10 kg、水素温度：T30を中心とした充填プロトコルの実証を計画した。HySUT号を利用することで、タンク容量が7-10 kgの車両を確保。実際の車両との違いを整理し、タンク容積の通信のやりとりに関し、STの制御にて対応することで試験実施することとした。

-3計量技術の実証
 マスターメータ法と重量法の比較試験の実証（NEDO他事業との連携）を計画した。また、直充填時の計量器の精度確認試験を計画した。

-4人材育成・技術伝承及びトレーニング
 NEDO安全・安心事業で作成する「水素ST運営者訓練カリキュラム」に基づき、実際に本センターで一連の運転・設備管理実習や非常時シナリオ訓練等を計画した。

セルフ対応関連技術の実証
 ディスペンサーメーカーへ氷結対策についてヒアリングを実施した。
 JPECのセルフ関連の技術検討効果があると示唆された現行の氷結対応技術を5台連続充填を用いて実施することを計画した。

低コストステーション技術の安全性検討
 実施予定項目が可能となる水素技術センターの仕様を検討し発注仕様に反映した。また1)普及段階の実使用条件を踏まえたステーション設備仕様の抜本的な見直し検討 2)低コスト設備仕様を前提とした充填制御の安全性/運用性検討 3)次世代プロセスを活用したステーションコスト低減の検討について試験計画の検討を行った。

今後の課題

- ・11月末からの実証試験を試験計画に則り、効率的に実施を行う。
- ・センターを利用した実環境下での評価試験を継続実施し、試験回数の増加を図るとともにラボ試験との相関関係を導き出すとともに、本センターで得た知見を活かし、水素ステーション機器の国際競争力の強化、低コスト化、安全性・耐久性向上を目指していく。

実用化の見通し

当センターをNEDO事業等で継続的に利用することで、他の商用STでは実現困難な実環境下における耐久性・実用性等の実証試験が可能となり、更なるSTの低コスト化、安全性向上に貢献できる。また、海外で標準となっている87.5MPa充填を実環境下で国内で唯一可能な実証試験場として、82MPa越えの開発品の評価を実施することで日本の国際競争力向上に寄与することができる。

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
水素技術センター整備	センターの建設完了	○
実使用環境下における評価技術の実証	試験計画の検討完了	○
セルフ対応関連技術の実証	試験計画の検討完了	○
低コストステーション技術の安全性検討	試験計画の検討完了	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	2（プレスリリース）	0

課題番号： -9

水素利用技術研究開発事業 / 水素ステーション安全整備に関する研究開発 / 実環境下における安全運用技術の技術開発

一般社団法人 水素供給利用技術協会 (HySUT)

1. 研究開発概要

燃料電池自動車(以下、FCV)と水素供給インフラは、エネルギー源のベストミックスやCO2排出量削減の有効策として、「エネルギー基本計画(2010年閣議決定)」および「Cool Earth - エネルギー革新技術計画(2008年経済産業省策定)」における重要技術と位置付けられている。

これまで我が国では「水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC1)」(平成14～17年度)、「燃料電池システム等実証研究(JHFC2)」(平成18～22年度)、及び「地域水素供給インフラ技術・社会実証」(平成23～25年度)においてFCV・水素ステーションの実用性、省エネルギー性等を実証すると共に、実用化課題の抽出を進めてきた。

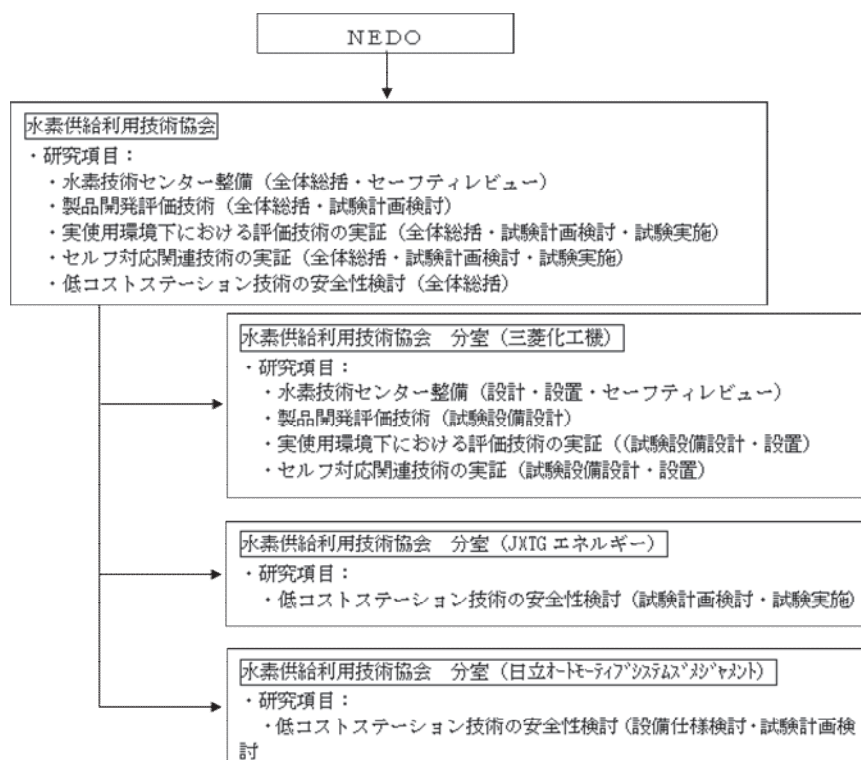
加えて2015年からのFCVの量産開始と水素供給インフラの先行整備を目指すこととした2011年1月の自動車メーカー及び水素供給事業者13社の共同声明を受け、2013年度から「水素供給設備整備事業費補助金」に係る補助事業がスタートし2015年度までの3年間で100ヶ所程度の水素ステーションの整備を行ってきた。

一方で、商用ステーションの導入に伴い、開発品等の実証可能なステーションがなくなる状況となっているが、今後の水素ステーションの本格普及に向け実環境下での実証試験の重要性は高まることが予想される。

本研究開発テーマでは、より一層の普及拡大のために、商用ステーションの標準的な仕様を備えた「水素技術センター」を整備し、水素ステーション全体または部品・構成機器の一層の安全・安心に資する技術開発、並びに水素ステーションの運転・管理手法の更なる高度化をはかる技術開発を行う。

本研究開発は、水素供給利用技術協会が、実環境下における安全運用技術の研究開発に係る以下について、実施項目ごとに適切な検討体制を構築して進めるものとする。

- (1) 水素技術センター整備
- (2) 実使用環境下における評価技術の実証
- (3) セルフ対応関連技術の実証
- (4) 低コストステーション技術の安全性検討



2. 研究開発目標

2.1 水素技術センター整備

(1) 研究開発目標

商用ステーションの標準的な仕様を備えた水素技術センターの建設を完了する。

(2) 設定の理由

国内においては実証研究の終了後、商用ステーションの導入が進み、耐久性等の評価が実施できる水素ステーションは存在しない。商用ステーションの導入拡大に伴い、ステーションでの使用を想定した実環境下での各種評価試験の重要性は今後さらに高まるものと思われる。

そこで、商用ステーションの標準的な仕様を備えた水素技術センターを建設し、実環境下での各種評価試験を実施可能とする。

さらに、水素技術センターを用いて、現在実施中の安全基盤整備事業(トレーニングセンター構想)においての活用や低コストステーションの設備仕様検討も視野に入れて設計する。

2.2 実使用環境下における評価技術の実証

(1) 研究開発目標

他の NEDO 事業と連携し、開発品、充填プロトコル、計量技術の実証評価を行い実環境下での実用性を確認するとともに人材育成・技術伝承及びトレーニングの実環境下での実行性を確認する。

(2) 設定の理由

水素関連技術の開発において、水素ステーションでの実使用を想定した評価は、より高次元の安全性を確保する上で重要な研究開発と位置づけられる。水素技術センターの充填設備の能力範囲内で実施できる条件の中で、開発品の実証、充填プロトコルの実証、人材育成・技術伝承及びトレーニング、計量技術の実証評価を行う。なお、開発品の実証については、NEDO 事業「タイプ2複合容器蓄圧器の研究開発」、「水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発」等と、充填プロトコルの実証については、NEDO 事業「燃料電池自動車への水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発」と、人材育成・技術伝承及びトレーニングについては、NEDO 事業「水素ステーション高度安全・安心技術開発」と、計量技術の実証評価については、NEDO 事業「水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発」と連携し進める。

2.3 セルフ対応関連技術の実証

(1) 研究開発目標

他の NEDO 事業と連携し、現行の氷結対応技術の実環境下での実用性を確認する。

(2) 設定の理由

セルフ充填の実現のためには、円滑なノズルの脱着や海外で認められるノズルの落下事例を防止するための対応技術が求められている。更により一層の安全を目指したセルフ充填の実現のためには、現状では検討されていないセルフ化充填向け新規技術を具現化させ、効果の見極めを行うことが必要である。本テーマでは水素技術センターにてセルフ対応関連技術の試験データを取得・分析することを主眼とする。なお、本テーマの実施にあたっては、一般財団法人 石油エネルギー技術センターが NEDO から受託している「水素利用技術研究開発事業 / 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発 / 水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発」と連携して進めることとする。

2.4 低コストステーション技術の安全性検討

(1) 研究開発目標

ステーション設備仕様の抜本的な見直し検証の試験計画、低コスト設備仕様の充填制御の安全性/運用性検証の試験計画、次世代プロトコルや直充填制御を活用したステーションコスト低減の検証計画を決定し、検証試験を水素技術センターで実施する。

(2) 設定の理由

普及期の安全・安心な低コストステーションが求められており、水素利用技術研究開発事業において実施してきた水素ステーションに係る技術開発の検証に取り組み、2 億円水素ステーションの目途付けを行う必要がある。そこで、低コストステーションの設備仕様検討及び安全性検証を実施する。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) 水素技術センター整備(達成度:○)

候補地の選定

水素技術センターの設備を建設する候補地選定にあたって、時間的な制約もあることから予め絞り込みを行った。自治体の経験や対応等を考慮すると、これまで水素インフラ関連における技術開発研究等の取組み実績のある、福岡県(九州大学、HyTReC)、山梨県(FC関連研究)、茨城県(JARI・HySEF)の3県に絞られた。一方、立地についてのメーカーヒアリングを実施した結果も併せて、事業実施上の効率等を考慮して東日本の2県(山梨県、茨城県)に絞り込み、候補地の選定作業を実施した。

その後、2県の候補地のヒアリング並びに比較を行い、他の NEDO 事業との連携等も期待できる、山梨県を設置場所として選定した。



図1 建設地周辺

センター仕様検討

水素技術センターは、商用ステーションの標準的な仕様を備えた充填施設とする前提として、国際標準となっている最高充填圧力 87.5MPa の充填にも対応可能な施設 とすることで、NEDO 他事業で開発されている様な開発品の実環境下における安全性や実用性を確認できる仕様となるよう検討を行った。

また、低コストステーション設備仕様・技術の検討を行うため、蓄圧器を介さない直充填制御を可能と出来るよう充填制御を柔軟に変更できる仕様となるよう検討を行った。

以下に主要設備の仕様及びフローを示す。

表1 水素技術センター仕様

設備	仕様
受入設備	19.6MPa カードル3 基受け入れ可能
圧縮機	流量: 340Nm ³ /h 以上 吐出圧: 87.5MPa
蓄圧器	常用圧力: 87.5MPa 容量: 300L x 4 本 材質: 炭素繊維強化プラスチック(CFRP)製(TyPE3)
ディスペンサー	常用圧力: 87.5MPa(ホースまで) JPEC-S0003 の充填に加え、直充填制御等にも対応可能

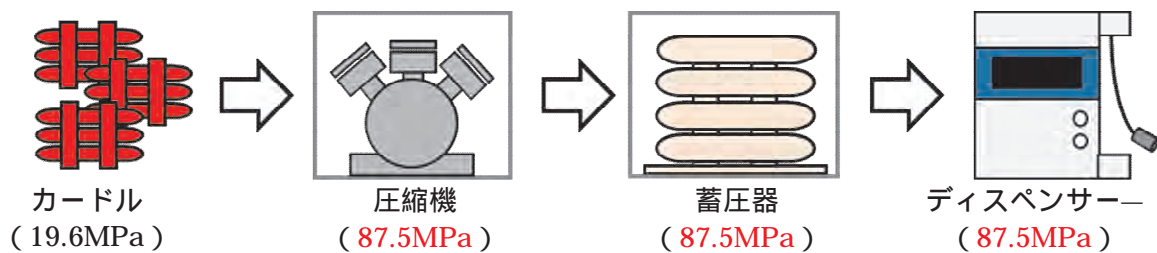


図2 フロー

高圧ガス保安法上、一般高圧ガス保安規則7条の3で建設する商用ステーションでは82MPaを超えた充填が出来ないため、一般商用ステーションでは87.5MPaの各種評価試験を実施することが困難である。一方、水素技術センターは一般高圧ガス保安規則6条で建設するため82MPaの上限に縛られることなく評価試験を実施することが可能。

センター整備

上述の仕様検討結果を踏まえ、2017年1月より建設プロジェクトを開始し、基本・詳細設計を行った。国内で事例のほとんどない87.5MPaの水素ステーション相当の試験設備の建設・運用となるため、高圧化に伴う建設時のリスク低減及び運用後のトラブルの未然防止を目的として、セーフティレビューを実施した。

具体的には、センター設備を主要機器毎(ノード)に分割し、それぞれの機器に対し、流量、圧力、温度のデビエーション等が発生した場合のリスクを抽出した。その際にリスクの抜け漏れがなるべく発生しないようにするため、表2の通り、デビエーションリストを作成し、各ノードに対し、そのデビエーションが起こる原因、現状の対策、(必要があれば)追加検討を実施した。その検討結果の一例を表3に示す。

表2 デビエーションリスト

	NO/Don't 無	Less 量的減少	More 量的増加	Reverse 逆転	Part of 質的減少	As well as 質的増加	Other Than 想定外
Flow 流量	No Flow 流れ停止	Low Flow 流量減少	High Flow 流量増加	Reverse Flow 逆流	-	-	Relief 圧力放出設備
Pressure 圧力	Vacuum 真空	Low Pressure 圧力低下	High Pressure 圧力上昇	-	-	-	Sampling サンプリング
Temperat ure 温度	-	Low Temperature 温度低下	High Temperature 温度上昇	-	-	-	Corrosion/Ero sion 腐食 Maintenance メンテナンス

表3 セーフティレビューワークシート(一例)

検討部位(配管/機器) : 水素圧縮機 (C-11)	P&ID 番号 : D-D6-12339-01-101
ガイドワード : 無/減少	Deviation/ずれ : 流量 無/減少

番号	パターン	想定される原因	予想される結果	現在の対策	追加検討・提言
3A-1	1,2	水素流量 無/減少 C-11 故障	V-11A~D への 蓄ガス不可能	C-11 異常(オイル圧力、オイルレベル等)によりC-11 ESD C-11 停止で XV213,214 閉	なし

その後、効率的な運用等を配慮した設備配置等を検討し、6月より現地工事を開始した。設計および現地工事工程および水素技術センター完成予想図は表4、図3の通り。

表4 建設工事工程表

項目	2016年												2017年										
	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月				
マイルストーン	見積プロジェクトスタート									建設プロジェクトスタート					現地工事開始				試運転開始				
1. 設計	基本設計条件書作成		基本設計仕様		再基本設計仕様		再見積積算業務		機器購入引合(長納期品)		基本設計		詳細設計		機器購入発注(長納期品)		現地工事発注引合		現地工事発注				
2. 現地工事関係															仮設工事	土木建築工事		建築確認完成検査		高圧ガス完成検査			
																機器据付		配管・電気・計装工事		試運転			

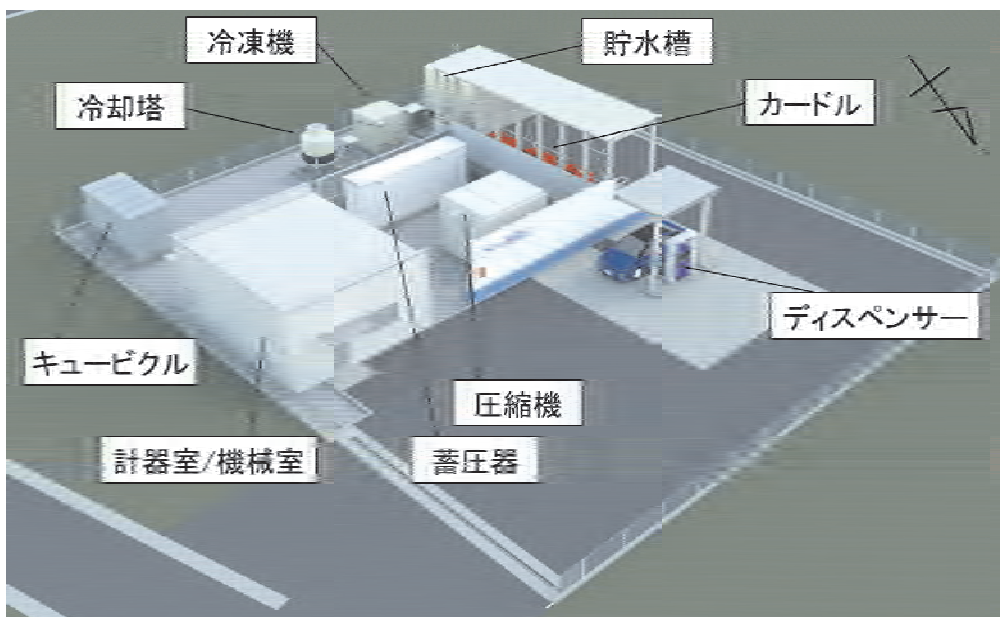


図3 水素技術センター完成予想図

(2)実使用環境下における評価技術の実証(達成度:○)

水素技術センターで行う実使用環境下における製品評価の試験方法、必要な試験設備について、他のNEDO 事業の事例や既知の事例を含め調査し、本センターにおいて実施可能である以下の項目について、詳細試験計画の検討を実施した。

開発品の実証

NEDO 事業「水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発」テーマと連携し、横浜ゴムが開発中の 87.5MPa 充填ホースの実証を計画した。加えて、充填回数の増加を目的とし、他の試験や試運転においても本ホースを使用することを計画した(100 回程度の充填が出来ると想定)。

また、NEDO 事業「タイプ2複合容器蓄圧器の研究開発」テーマとの情報交換を実施し、本事業期間中の設置は困難であったが、事業終了後の設置を検討し、JFE コンテナが作成する KHK への特定設備事前評価申請書の想定設置場所を水素技術センターとすることで合意した。

充填プロトコルの実証

NEDO 事業「燃料電池自動車への水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発」テーマと連携し、商用ステーションで通常運用されていない充填プロトコルの実用性検証を計画した。具体的にはタンクカテゴリー:7-10 kg、水素温度:T30 を中心とした充填プロトコルの実証を計画した。HySUT 号を利用することで、タンク容量が7-10 kg の車両を確保し、タンク容積の通信のやりとりに関し、ステーションの制御にて対応することで試験を実施することを予定している。

計量技術の実証

NEDO 事業「水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発」テーマと連携し、マスターメータ法と重量法の比較試験の実証を計画した。また、蓄圧器を介さない直充填制御を利用し、直充填を実施した際の計量器の精度確認試験を行うことを計画した。

人材育成・技術伝承及びトレーニング

NEDO 事業「水素ステーション高度安全・安心技術開発」テーマで作成する「水素ステーション運営者訓練カリキュラム」に基づき、実際に本センターで一連の運転・設備管理実習や非常時シナリオ訓練等を計画した。

(3)セルフ対応関連技術の実証(達成度:○)

商用水素ステーション等での氷結発生状況やノズル落下の発生状況を調査すると共に、他 NEDO 事業で取り組んでいる氷結対応やノズル落下防止技術の取り組みを調査し、現行の氷結対応技術について 5 台連続充填を用いて実施することを計画した。

(4)低コストステーション技術の安全性検討(達成度:○)

普及段階の実使用条件を踏まえたステーション設備仕様の抜本的な見直し検証、低コスト設備仕様を前提とした充填制御の安全性/運用性検証、次世代プロトコルを活用したステーションコスト低減の検証を実施するため、水素技術センターの仕様を検討し発注仕様に反映した。

加えて、以下の試験計画の検討を行った。

- 1)普及段階の実使用条件を踏まえたステーション設備仕様の抜本的な見直し検討
- 2)低コスト設備仕様を前提とした充填制御の安全性/運用性検討
- 3)次世代プロトコルを活用したステーションコスト低減の検討

(2)～(4)の試験については効率的な試験実施により試験回数を確保すべく、相互に連携をとり表 5 の試験スケジュールにて試験を実施する。

表 5 試験実施工程

実施項目	試験回数 (想定)	平成29年	平成30年	
		12月	1月	2月
1.実使用環境下における評価技術の実証				
1-1 開発品の実証	100回			
1-2 充填プロトコルの実証	20回			
1-3 計量技術の実証	16回			
2.セルフ対応関連技術の実証	5×2回			
3. 技術伝承・トレーニング	3回 (2~3日間/回) ※トレーニング回数			
4. 低コストST技術の安全性検討	55回			

3.2 成果の意義

(1)水素技術センター整備

商用ステーションの展開に伴い、開発品等の実証可能なステーションがなくなっている状況下において、ステーション機器の更なる性能向上、開発品の商用ステーションでの普及促進、商用ステーションで露見したラボレベルでは明らかにならなかった技術的課題の解決を行う場として提供できる。

ステーション従業員のスキルアップや知識の向上によるステーションの安全性向上のための育成施設として利用できる。

(2)実使用環境下における評価技術の実証

開発品の実証

87.5MPa 充填ホースの安全性及び実用性を確認できる。また、NEDO 事業「水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発」テーマ事業への実環境下での充填データの提供が可能となる。

低コストを目的とした NEDO 開発品の商用ステーションへの導入促進が可能となり、ステーション建設コストの低減に寄与できる。

充填プロトコルの実証

実環境下における商用ステーションで通常運用されていない充填プロトコルの実用性を確認できる。また、「燃料電池自動車への水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発」テーマで実施している充填性能確認ガイドラインの改定のためのデータ取得・提供を行い、商用ステーションの建設・運用コストの低減に貢献できる。

計量技術の実証

マスターメータ試験装置の実環境下での実用性を確認できる。また「水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発」テーマで実施しているマスターメータ法による検査手順を運用ガイドラインに追記するためのデータ取得・提供を行うことができる。

人材育成・技術伝承及びトレーニング

「水素ステーション運営者訓練カリキュラム」を本センターで運用することで実行性を確認できる。また、「水素ステーション高度安全・安心技術開発」テーマに本センターでのトレーニング結果をフィードバックすることで、商用ステーション従業員の技術力や知識の向上による水素ステーションの安全性向上、教育・訓練内容、技能レベルの標準化、水素ステーションを安全かつ円滑に運営できる人材を育成し、人材不足解消に貢献することができる。

(3)セルフ対応関連技術の実証

現行の氷結対応技術の実環境下での実用性を確認できる。

(4)低コストステーション技術の安全性検討

普及段階の実使用条件を踏まえたステーション設備仕様の抜本的な見直しを行い、適正な仕様を明らかにする。また、低コスト設備仕様を前提とした充填制御の安全性/運用性を明らかにし、低コスト仕様の可能性を示す。加えて、次世代プロトコルを活用したステーションコスト低減を明確にする。

4.まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

<まとめ>

商用ステーションの標準的な仕様に加え、国際標準となっている 87.5MPa 対応機器の評価も可能な施設を建設した。また、低コストステーション設備仕様・技術の実証試験を可能とすべく、蓄圧器を介さない直充填制御を可能とする充填設備とした。

各種実証試験については、他の NEDO 事業と連携をとるなどして、試験内容を検討した。また相互の実施項目について連携し効率的な試験スケジュールを計画した。

<課題、事業化までのシナリオ>

当センターを NEDO 事業等で継続的に利用することで、他の商用ステーションでは実現困難な実環境下における耐久性・実用性等の実証試験が可能となり、更なるステーションの低コスト化、安全性向上に貢献できる。また、海外で標準となっている最高充填圧力 87.5MPa の充填を実環境下で国内で唯一可能な実証試験場として、87.5MPa 対応機器の評価を実施することで日本の国際競争力向上に寄与することができる。

5. 研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	平成 28 年 11 月	(プレスリリース)	水素エネルギー関連産業の集積に向けた取り組みに関する協定の締結について	HySUT (山梨県との共同実施)
2	平成 28 年 11 月	(プレスリリース)	水素技術センター(山梨県)の設計及び試験設備の検討について	三菱化工機(株)

(III-10)「水素利用技術研究開発事業 / 水素ステーション安全基盤に関する研究開発 / 四大都市圏から全国普及に向けた水素ネットワークの技術課題に関する検討」

委託先：(一財)九州環境管理協会

成果概要(実施期間：平成29年度)

- ・九州地域(主に福岡県)の乗用者の保有・走行条件、水素供給状況を調査
- ・乗用車の保有状況、分布状況からFCV普及および水素ステーションの配置方針(普及シナリオ)を構築
- ・普及シナリオを成立させるための条件を提示し、実現に際しての技術的課題を抽出する

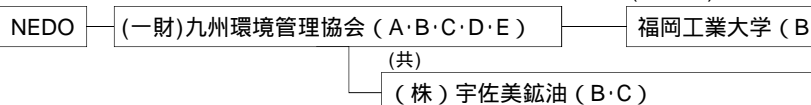
背景/研究内容・目的

2010年7月に燃料電池実用化推進協議会により、2015年のFCV一般ユーザーへの普及開始に向けたシナリオが産業界の総意として提案された。さらに、2011年1月には自動車メーカー及び水素供給事業者13社が共同声明を発表し、自動車メーカーがFCV量産車を2015年に四大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始を目指し開発を進め、水素供給事業者が2015年までにFCV量産車の販売台数の見通しに応じて100箇所程度の水素供給インフラの先行整備を目指すこと等が示され、現在までに100箇所程度の水素ステーションが整備されてきた。本調査では、FCV及び水素供給インフラの本格的普及期である2020年以降を想定した普及シナリオを設定し、これに基づき技術的課題を抽出する。

研究目標

実施項目	目標
A)地域特性調査	水素供給源の分布、再生可能エネルギー利活用状況、既存SSの活用ポテンシャル把握
B)水素ステーションの適正配置とFCV普及シナリオ検討	FCV・水素ステーションの適正配置と成立条件の提示
C)水素ステーション普及にあたっての給油所活用等における課題抽出	技術的課題の抽出
D)課題に係る因子間の関連性検討	課題因子間の連関と対応優先度の提示
E)課題解決の方向性の検討	仕様目標の提示、給油所活用の方向性検討

実施体制及び分担等



(再委託)

これまでの実施内容 / 研究成果

- ・対象地域(九州地域、主に福岡都市圏・福岡県)における乗用車保有特性を調査
- ・乗用車保有台数は人口に比例し、人口集地域に分布する特徴、FCVも同様に普及する可能性
- ・既存水素ステーション・既存SSは人口集地域に偏在、FCVへの水素供給も同様に効果が期待
- ・水素供給ポテンシャルを有する石化コンビナート、製鉄所は沿岸部に所在、同再生可能エネルギー事業は資源分布に依存し、オンサイトステーションとしてのポテンシャルを有する
- ・FCVの遠距離利用(観光資源分布との関連)を可能にするための基幹水素ステーション配置の必要
- ・基幹水素ステーション配置として高速道路のSA併設が有効、ここから既存SSへ移動水素ステーションによる水素供給が効果的
- ・普及シナリオモデルへ反映、適正配置条件をシミュレーションにより算出
- ・普及の初期段階では、相当数のFCVの集中配置が必要(市民への“普及の見える化”)

今後の課題

- ・既存SSを活用した水素供給ネットワーク構築の四大都市圏への水平展開

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A)地域特性調査	乗用車と水素供給源の分布特性	
B)水素ステーションの適正配置とFCV普及シナリオ検討	基幹水素ステーションの配置と既存SSを活用した水素供給ネットワーク案の構築と可視化	(実施中)
C)水素ステーション普及にあたっての給油所活用等における課題抽出	ヒアリング等	(実施中)
D)課題に係る因子間の関連性検討	モデルの感度解析による課題の連関表	(実施予定)
E)課題解決の方向性の検討	仕様目標提示、給油所活用の方向性検討	(実施予定)

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	0	0

課題番号：III-10

水素利用技術研究開発事業 / 水素ステーション安全基盤に関する研究開発 /

四大都市圏から全国普及に向けた水素ネットワークの技術課題に関する検討

一般財団法人九州環境管理協会

1. 研究開発概要

水素ステーション普及を早期に実現させるために、FCV の将来における政府の導入目標台数に基づき、新規水素ステーション建設に係る課題の改善策として既存給油所(既存 SS)を活用し、水素の需要、供給の両面から因子間の関連性を考慮して具体的な水素ステーションの適正配置をモデル化・設定し、その実現にあたって解決すべき技術的課題と、それに関連する因子および関連性を抽出する。

本調査では、我が国の自動車の生産拠点の一つである「九州地域」を調査フィールドとして、当該地域ですでに多くの水素ステーションが建設されている福岡県における今後整備すべき水素ステーションの、既存 SS 施設を活用した適正配置を検討する。水素の安定供給が図られ FCV が安全・安心をもって走行するために必要な課題(FCV および水素供給インフラの本格的普及に向けた技術的課題)を、平時・緊急時などのいろいろな入力条件を変えたケーススタディ、および既存給油事業者からのアンケートなどにより抽出し、水素の供給・需要ネットワーク形成における課題間の連関表として出力し、解決のための方向性を示す。

2. 研究開発目標

本調査における目標は、

対象地域特性の把握(水素ネットワークに関する現状調査)

水素ステーションの適正配置と FCV 普及シナリオの検討

水素ステーション普及にあたっての給油所活用における課題抽出(地域普及、全国普及に向けた技術的課題の抽出)

課題に係る因子間の関連性の検討

課題解決の方向性の検討

である。

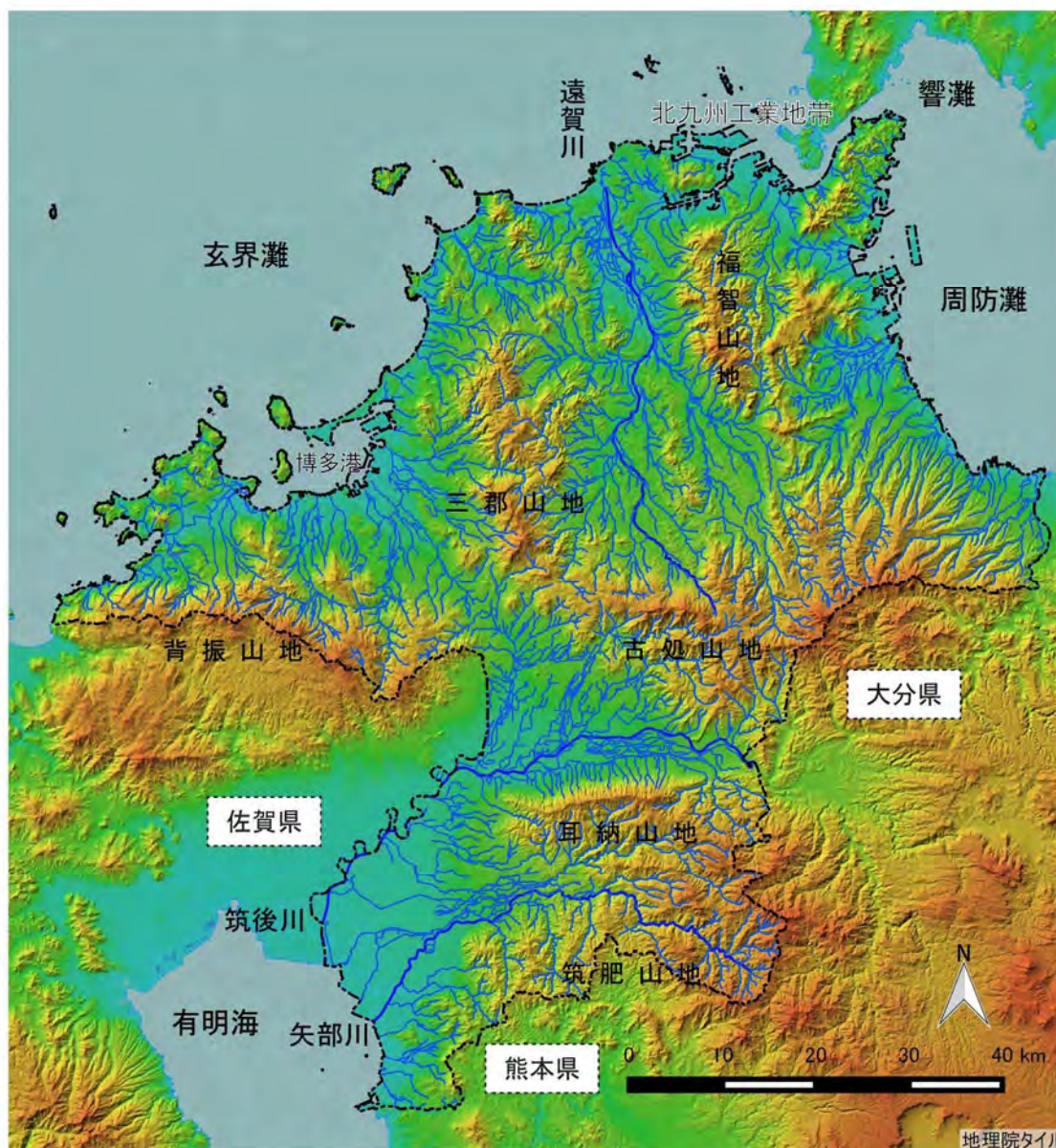
3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) 対象地域特性の把握(水素ネットワークに関する現状把握) < >

地勢

福岡県の北部には、玄界灘、響灘、周防灘が、西南部には有明海が広がり、三郡山地、脊振山地、耳納山地等の山地と、その間を流れる遠賀川、筑後川、矢部川、山国川等の河川、河川の流域に開けた肥沃な平野など自然に恵まれた地域である(図1)。九州の最北部に位置し、大陸にも近いという地理的条件から、渡り鳥の中継地としても重要な役割を果たしている。また、アジア・世界に繋がる国際拠点港湾である博多港と北九州工業地帯を有し、水素の供給における有利な条件が整っている。



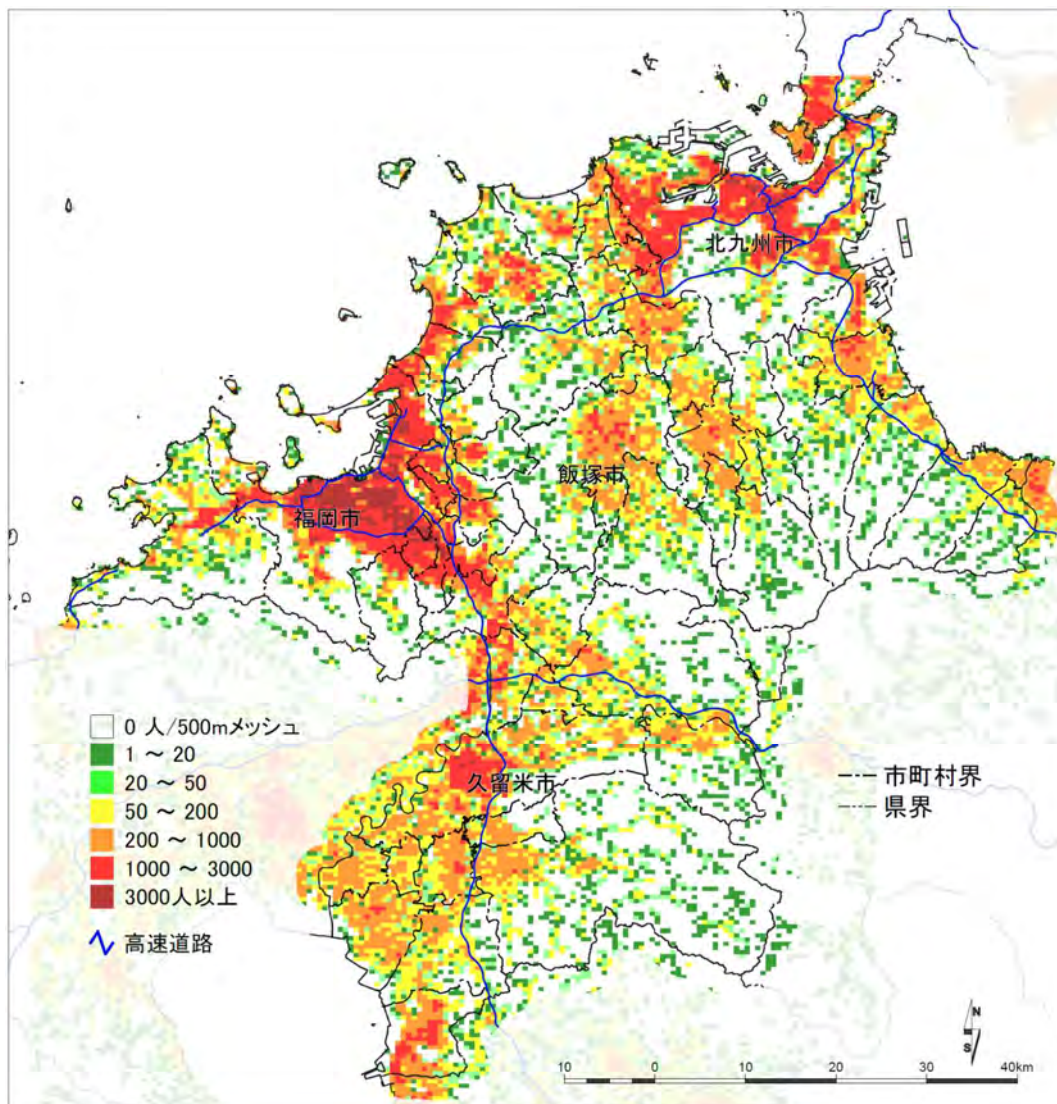
出典：国土地理院「地理院タイル(色別標高図)」

図1 地勢

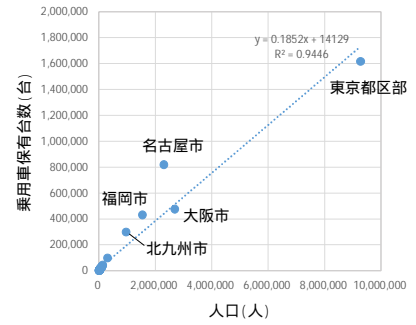
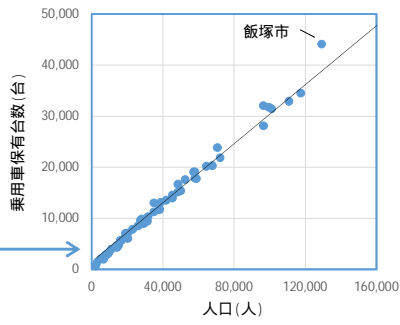
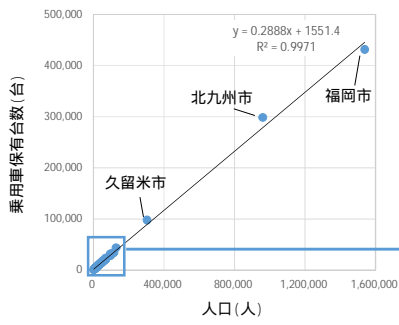
人口分布と自動車保有台数

福岡県は全国第9位の人口規模となっており、九州の総人口の約35%を占め、人口集積が高い。500mメッシュ内の人口分布(図2)をみると、政令市である福岡市・北九州市の都市圏及び久留米市と飯塚市の人口密度が高い。人口が集積している地域は、川沿いの平野であり、福岡市、北九州市、久留米市においては、高速道路が通って物流の拠点となっている。

県内市町村の乗用車保有台数は、人口が密集している福岡市、北九州市、久留米市、飯塚市の順で多く、人口との相関がみられている(図3)。福岡市は、県内では他都市より一人あたりの乗用車保有台数が少ないが、他都市圏と比較すると(図3)、東京都区部及び大阪市よりは多くなっている。図4に示す交通手段分担率をみると、一人あたりの自動車保有台数が少ない東京都区部と大阪市で自動車分担率が低くなっており、公共交通機関の発達のため乗用車の保有台数が少ないと考えられる。しかし、東京都区部と大阪市の公共交通機関においては、鉄道の分担率が多くを占め、バスの分担率は福岡市と北九州市が高くなっている。この傾向から、今後乗用車以外の車種における燃料電池の導入について、福岡県内のFCバス普及の可能性が考えられる。



出典：総務省統計局「平成27年国勢調査」、国土交通省国土政策局「国土数値情報」
図2 人口分布(500mメッシュ)



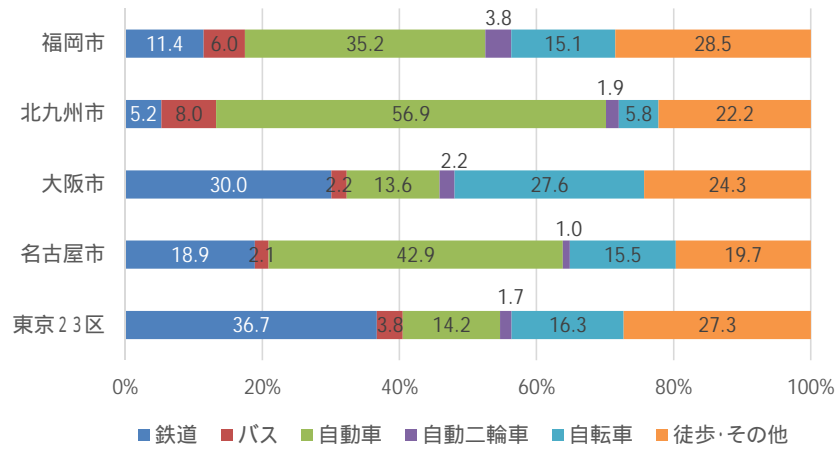
出典：「福岡県統計年鑑国」、「大都市比較統計年表」

図 3 -

図 3 -

図 3 -

図 3 人口と乗用車保有台数の関連



出典：国土交通省「平成 22 年度全国都市交通特性調査」

図 4 平日の代表交通手段分担率(平成 22 年)

FCV 保有状況

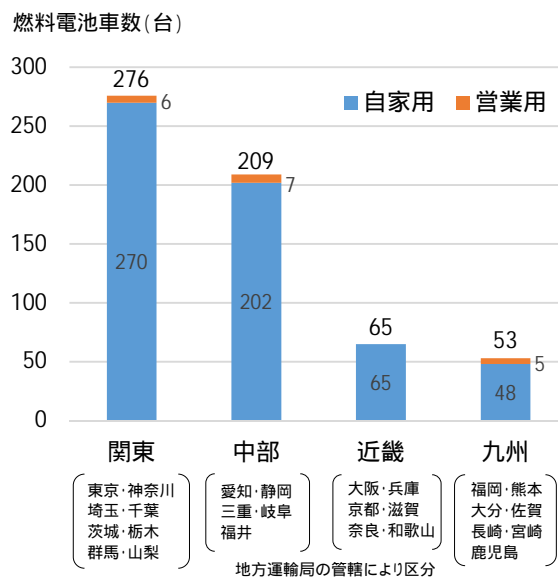
福岡県では、FCV の先進的な普及拠点の形成を図るため、地元の産学官が一体となって、「ふくおか FCV クラブ」を 2014 年に設立した。地域を挙げて、FCV の普及と水素ステーションの整備を一体的に推進している。そのため九州地域において福岡県の FCV 保有台数は 44 台と最も多い(表 1)。しかし、2020 年の国の普及目標 1,800 台に対して 2.4%しか達成できていない。水素ステーションは、福岡県に 10 か所、佐賀県・熊本県・大分県にそれぞれ 1 か所整備となっており、福岡以外の県では普及が進んでいない。FCV の保有状況を全国地域別にみると、関東・中部地域において普及が進んでいる(図 5)。

表 1 九州地域における FCV の保有状況及び普及目標

(単位:台)

県	保有状況		普及目標		
	2016 年	全国比	2020 年	2025 年	2030 年
福岡	44	7.0%	1,800	8,800	35,000
佐賀	5	0.8%	400	1,800	7,100
長崎	0	0.0%	500	2,500	9,900
熊本	1	0.2%	700	3,600	14,300
大分	3	0.5%	500	2,400	9,600
宮崎	0	0.0%	500	2,500	9,900
鹿児島	0	0.0%	700	3,500	14,100
地域合計	53	8.4%	5,000	25,000	100,000

出典：国土交通省九州運輸局「平成 27 年度版九州管内自動車数統計」
経済産業省「水素・燃料電池戦略ロードマップ」

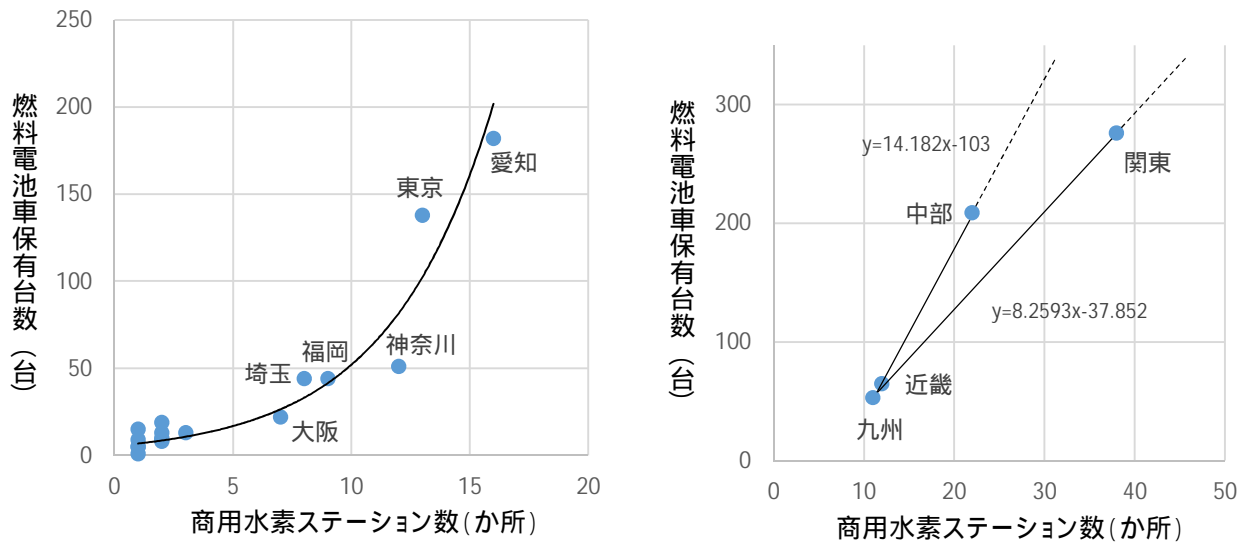


出典：国土交通省九州運輸局「平成 27 年度版九州管内自動車数統計」
一般社団法人次世代自動車振興センター「水素ステーション整備状況」

図 5 全国における FCV の保有状況

水素ステーションと燃料電池車の関係について、水素ステーションの整備が進むと、燃料電池車の普及速度が増加する傾向にある(図6左)。また、水素ステーション1か所あたりの燃料電池車数を計算することで、水素ステーションの配置について比較することができる。関東は7.7(台/か所)、中部は9.5(台/か所)となり、中部のほうが関東よりも効率的な配置ができていることがわかる。図6右のように、九州と中部・関東を結んだ直線の傾きがその効果を表している。

水素ステーションを適正に配置することで、燃料電池車保有者がより多くなり、国の燃料電池の普及目標達成に繋がると考えられる。



出典：国土交通省九州運輸局「平成27年度版九州管内自動車数統計」
 一般社団法人次世代自動車振興センター「水素ステーション整備状況」

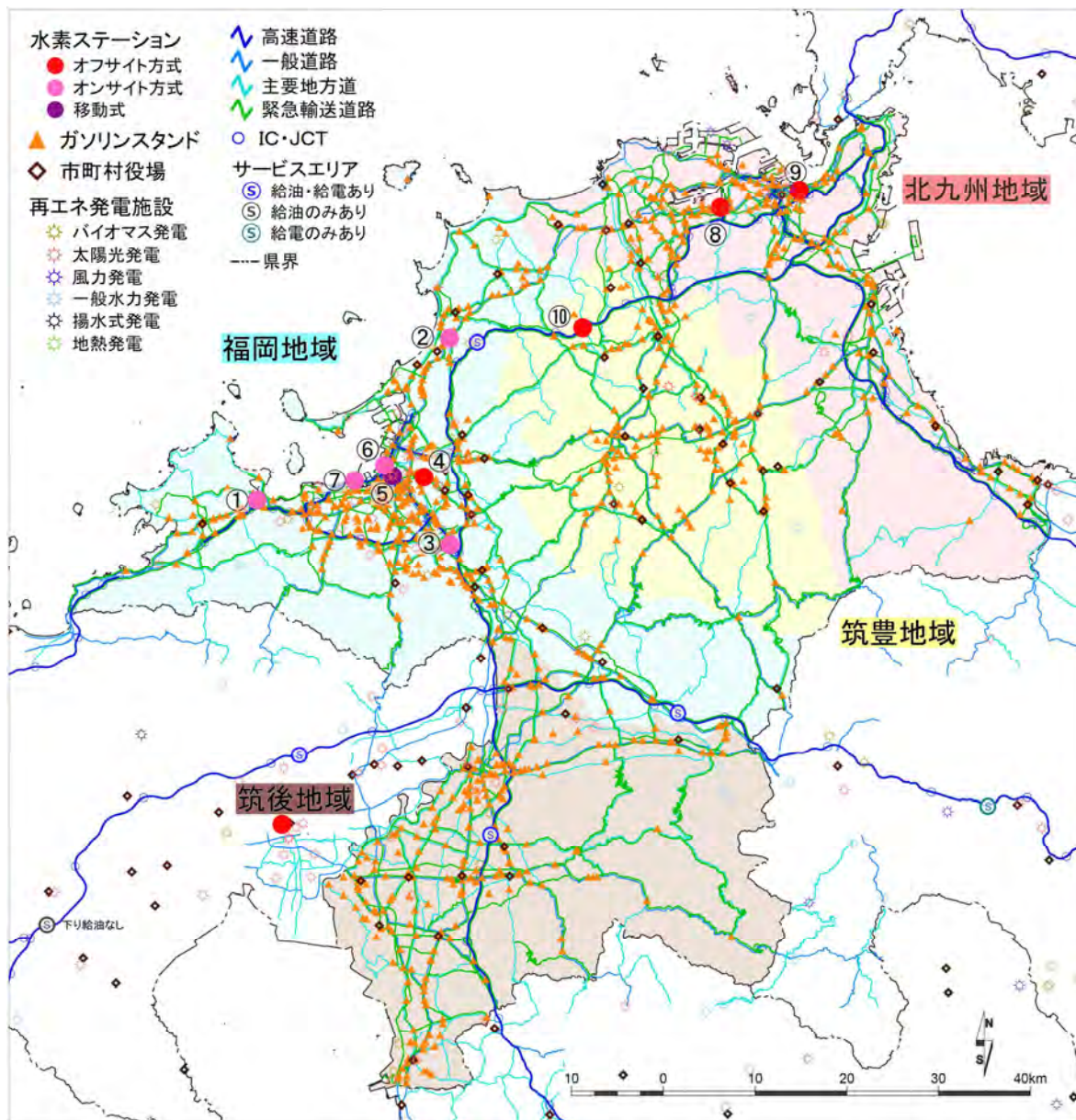
図6 水素ステーション数と燃料電池保有台数の関連

既存水素ステーションの整備状況

県内の水素ステーションは、人口が密集している福岡及び北九州地域の高速道路沿いを中心に配置されている(図7、表2)。

福岡地域には都心部に太陽光発電施設が多く分布し、北九州地域には海岸に響灘風力発電所等の風力発電施設が稼働されており、既設水素ステーションの燃料供給源としての活用が期待できる。また水素ステーションが整備されていない筑豊地域及び筑後地域においては山間部の水力発電施設や清掃工場などで運営しているバイオマス発電施設の活用が考えられる。

新たな水素ステーションの配置においては、ガソリンスタンドが密集している地域は燃料への需要が高いと判断できるため、既存ガソリンスタンドの活用や隣接配置が考えられる。福岡県内を走る高速道路の全てのサービスエリアには給油と給電設備が整備されており、長距離移動や燃料の輸送を考慮すると、サービスエリアの燃料供給所との併設も検討できる。また、FCV の非常時の外部電源としての利用が可能となるよう、役所や避難所への移動経路を考慮する必要がある。



出典：国土交通省国土政策局「国土数値情報」

各ステーションの詳細は次頁の表2に示す。

図7 水素ステーションの整備状況

表2 水素ステーションの供給方式、供給能力、事業者(福岡県)

地域 ¹⁾	ステーション名称	供給方式 水素供給能力 ²⁾	事業者	他地域との距離 ³⁾
福岡	① Dr.Driveセルフ伊都店 水素ステーション	オンサイト方式 300Nm ³ /h以上	JXTGエネルギー(株)	北九州: 63km 筑豊: 45km 筑後: 51km
	② Dr.Driveセルフ古賀店 水素ステーション	オンサイト方式 300Nm ³ /h以上	JXTGエネルギー(株)	北九州: 39km 筑豊: 27km 筑後: 59km
	③ Dr.Driveセルフ太宰府インター店 水素ステーション	オンサイト方式 300Nm ³ /h以上	JXTGエネルギー(株)	北九州: 45km 筑豊: 25km 筑後: 37km
	④ Dr.Driveセルフ福岡空港店 水素ステーション	オフサイト方式 300Nm ³ /h以上	JXTGエネルギー(株)	北九州: 45km 筑豊: 27km 筑後: 45km
	⑤ イワタニ水素ステーション 福岡県庁	移動式 100Nm ³ /h以上 300Nm ³ /h未満	岩谷産業(株)	北九州: 48km 筑豊: 30km 筑後: 46km
	⑥ 東浜水素ステーション	オンサイト方式 (原料: 都市ガス) 300Nm ³ /h以上	西部ガス(株)	北九州: 48km 筑豊: 31km 筑後: 48km
	⑦ 福岡市中部水処理センター 水素ステーション	オンサイト方式 (原料: 下水バイオガス) 300Nm ³ /h以上	三菱化工機(株)、福岡市、 九州大学、豊田通商(株)	北九州: 52km 筑豊: 34km 筑後: 47km
北九州	⑧ 八幡東田水素ステーション	オフサイト方式 300Nm ³ /h以上	JXTGエネルギー(株)	福岡: 42km 筑豊: 28km 筑後: 74km
	⑨ イワタニ水素ステーション小倉	オフサイト方式 300Nm ³ /h以上	岩谷産業(株)	福岡: 50km 筑豊: 32km 筑後: 79km
筑豊	⑩ 福岡宮田水素ステーション	オフサイト方式 300Nm ³ /h以上	日本エア・リキード(株)	福岡: 22km 北九州: 25km 筑後: 59km

出典: 一般社団法人次世代自動車振興センター「水素ステーション整備状況」、福岡県 HP

- 1: 福岡県 60 市町村を、地理的、歴史的、経済特性などから、北九州・福岡・筑後・筑豊の 4 地域に分けられる。
- 2: 燃料電池自動車 1 台に充填できる水素が約 50Nm³ であり、300Nm³/h の供給能力のステーションの場合、1 時間当たり約 6 台に充填可能な能力があることを示す。充填時間は約 3 分。
- 3: 各地域の中心点からステーションとの直線距離。

表3 (参考)水素ステーションの供給方式、供給能力、事業者(福岡県外)

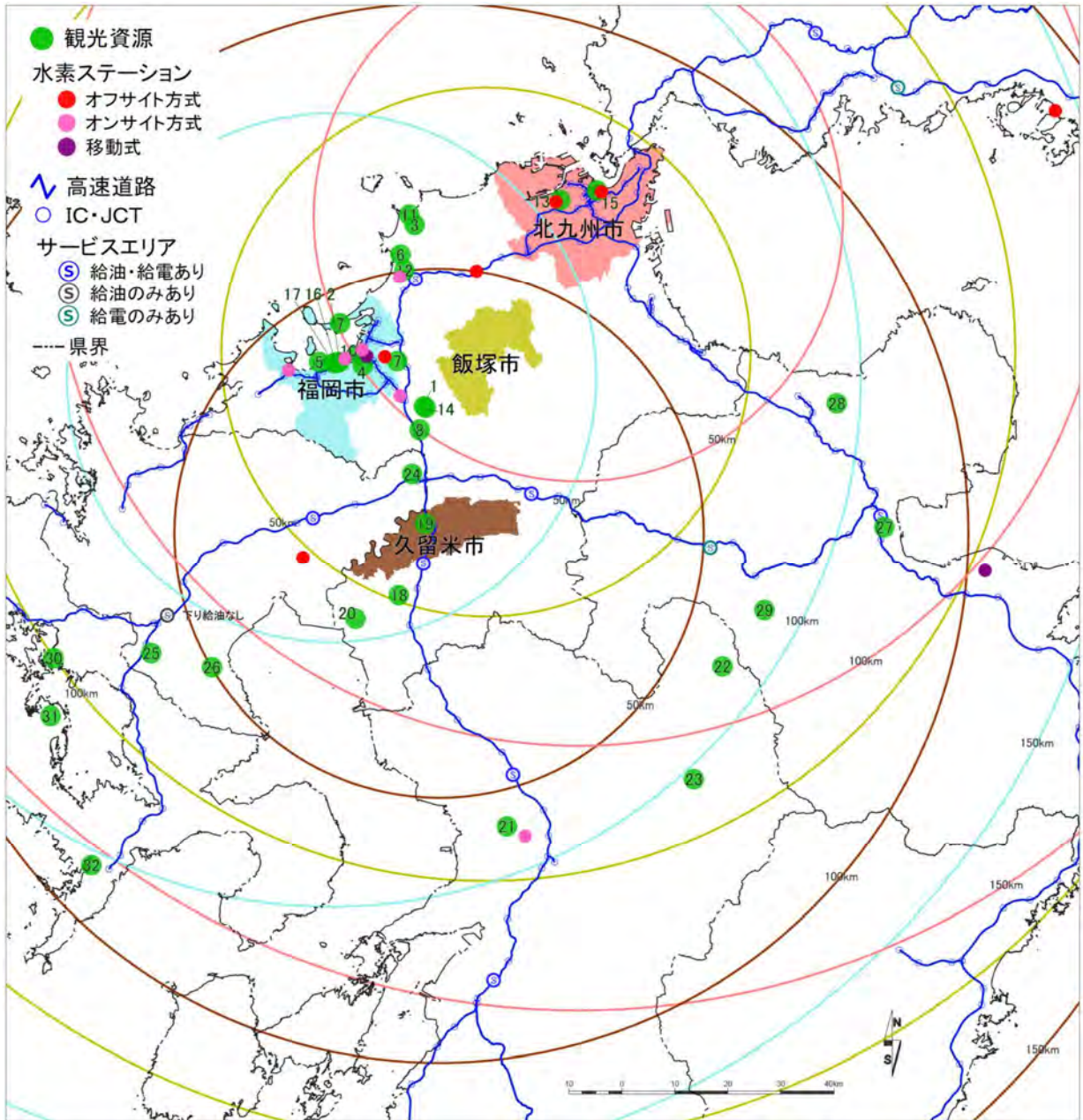
県	ステーション名称	供給方式 水素供給能力	事業者
佐賀県	佐賀水素ステーション	オフサイト方式 100Nm ³ /h以上 300Nm ³ /h未満	日本エア・リキード(株)
熊本県	熊本県庁スマート水素ステーション	オンサイト方式 100Nm ³ /h未満	岩谷産業(株)
大分県	大分EBL水素ステーション	移動式 100Nm ³ /h以上 300Nm ³ /h未満	江藤酸素(株)

出典: 一般社団法人次世代自動車振興センター「水素ステーション整備状況」

遠距離移動と既存水素ステーションの配置

遠距離移動に適切な水素ステーションの配置を考えるために、遠距離移動の目的の一つである観光地の分布と既存水素ステーションの配置状況を図 8 に示す。北部九州 5 県(福岡県・佐賀県・長崎県・熊本県・大分県)の観光地の中で、経路検索サービスにてユーザーが行った検索回数が多い観光地を、福岡県は上位 20 位、その他県は上位 3 位まで示している。福岡県内では、太宰府天満宮が休日に自動車が多く訪れられている。次いで福岡ヤフオクドーム、宗像大社である。

県内で人口及び乗用車保有台数が最も多い福岡市、北九州市、久留米市、飯塚市の中心から直線距離が最も離れているグラバー園(32 番)は、飯塚市と久留米市からは 100km 圏内に位置している。しかし、既設水素ステーションがある福岡市からは 100km、北九州市からは 150km を越えている。FCV の一充填走行距離は約 650km(トヨタ MIRAI の JC08 モード走行パターンによるトヨタ測定値(平成 29 年 9 月時点))であるが、実際の移動距離を直線距離の約 1.5 倍と想定し、現地での移動や燃料欠乏に対する安心感まで考慮すると、1 回の充填で北九州市からグラバー園間を往復することは考えにくい。福岡県外には佐賀県・熊本県・大分県にそれぞれ 1 か所(前頁の表 3 参照)水素ステーションが整備されているが、高速道路へ近接性と供給能力の面から十分とは言えない状況である。



出典：地域経済分析システム RESAS、株式会社ナビタイムジャパン「経路検索条件データ」、国土交通省国土政策局「国土数値情報」

- | | | | |
|-------------|----------------|------------------|-------------|
| 1 太宰府天満宮 | 9 海ノ中道海洋生態科学館 | 17 福岡タワー | 25 嬉野温泉 |
| 2 福岡ヤフオクドーム | 10 マリンメッセ福岡 | 18 水田天満宮 | 26 祐徳稲荷神社 |
| 3 宗像大社 | 11 道の駅むなかた | 19 ゆめタウン久留米 | 27 別府温泉 |
| 4 キャナルシティ博多 | 12 イオンモール福津 | 20 柳川藩主立花邸御花 | 28 宇佐神宮 |
| 5 マリノアシティ福岡 | 13 スペースワールド | 21 熊本城 | 29 九重夢大吊橋 |
| 6 宮地嶽神社 | 14 九州国立博物館 | 22 黒川温泉 | 30 ハウステンボス |
| 7 イオンモール福岡 | 15 西日本総合展示場 | 23 阿蘇山 | 31 長崎バイオパーク |
| 8 イオンモール筑紫野 | 16 ヒルトン福岡シーホーク | 24 鳥栖プレミアムアウトレット | 32 グラバー園 |

図8 観光資源の分布(福岡県は上位20位、その他県は上位3位まで)

(2) 水素ステーションの適正配置とFCV普及シナリオの検討

現状調査結果の分析の結果をまとめると、対象地域(九州地域、主に福岡都市圏・福岡県)における乗用車分布特性および水素供給特性として、

- ・乗用車保有台数は人口に比例し、人口集地域に分布する特徴、FCVも同様に普及する可能性
- ・既存水素ステーション・既存SSは人口集地域に偏在、FCVへの水素供給も同様に効果が期待
- ・水素供給ポテンシャルを有する石化コンビナート、製鉄所は沿岸部に所在、同再生可能エネルギー事業は資源分布に依存し、オンサイトステーションとしてのポテンシャルを有する。

が得られた。この結果から、水素ステーションの配置にあたっては、

- ・FCVの遠距離利用(観光資源分布との関連)を可能にするための基幹水素ステーション配置の必要
- ・基幹水素ステーション配置として高速道路のSA併設が有効、ここから既存SSへ移動水素ステーションによる水素供給が効果的
- ・愛知県でのFCV普及台数と配置密度は、ほかの四大都市圏に比べ高く、水素ステーションの目標配置基準の可能性

を検討する。これらを普及シナリオモデルに前提条件として反映させ、適正配置条件(普及シナリオ)をシミュレーションにより算出する。

一方、FCVの設定台数については、ロードマップによる段階的な目標台数を基本とするが、そのエリアへの配分は、“FCVおよび水素ステーション普及感の見える化”に留意し、初期段階の普及の加速をはかるため福岡市域への相当台数の集中配置などを検討する。

FCVのエリア配分の決定と道路距離の算出

シミュレーションの実施に際しては、水素ステーションの配置だけでなく、水素ステーション周辺にどの程度のFCVが導入もしくは走行しているかが重要な要素となる。

そこで、本事業では、FCV台数を乗用車1800台(2020年福岡県FCV普及目標)、水素バス10台とし、それらを人口密度や現在のガソリン車の保有台数分布等の将来のFCV普及状況に密接に関連すると思われる情報に応じて県内各エリア(現在の市町村の行政区域に相当)に配分し、各エリアに存在するFCVの想定台数を決定する。そして地理情報システムソフトウェアArcGIS(Esri社)を用いて水素ステーション間もしくは各エリア間等の道路距離を算出する。

理論上の水素ステーションの最適配置を決定

で構築したシミュレーション実施のための体系を用いて、想定するFCVエリア配分に対して、水素を安定的に供給できるための水素ステーションの理想的な配置をpメディアン問題と呼ばれる数理計画法手法を用いてモデル化して決定する。モデル化に際して、の結果に基づいて水素充填のための許容移動距離等を設定し、実際の水素関連設備の特性が十分に反映されるようにし、シミュレーションの高精度化を図る。なお、数理計画法による解析の実施については、数理計画法ソルバーパッケージGurobi Optimizer(OCTOBER SKY社)を用いて、必要な水素ステーション数およびその最適配置を決定する。

また、シミュレーション結果をArcGISで可視化して、現状の水素ステーション配置との比較を行い、現状配置の妥当性について考察を行う。

既存ステーションを考慮した適正配置および移動ステーションの活用を検討

の解析に加えて、福岡県内にすでに複数の水素ステーションが設置されているため、これを前提とした上で、既存の水素ステーションのみで、2020年時の想定台数である1800台に十分な供給が可能か、また、適正な配置となっているかを検討する。解析の結果、追加設置が必要と思われるエリアにおいては、既存SSの活用(水素併設)・水素ステーションへの転換、または移動式ステーションの活用を含めた再解析を行い、シミュレーションの結果に基づき福岡県下での今後の水素ステーション配置の方向性について提案を行う。

代替案の比較・検討

人口密度の他、自動車保有台数データに基づくFCVのエリア配分をベースにするモデルや、観光地への移動を考慮したモデル、さらに実際の人の移動を大規模に調査したパーソントリップデータ(福岡県、平成17年度調査版)を用いて交通ネットワーク上の最適配置モデル等についてもシミュレーションを行い、複数の適正配置案を提示して水素供給の安定性や災害時のロバスト性、コスト等の面から比較・検討を行う。

普及シナリオの検討

2020年以降については、NEDO策定のロードマップに従い5年ごとにFCV普及台数を設定し直し、それぞれ必要十分な水素ステーションの配置最適化を行う。シミュレーションの結果に基づき、新たにステーションを追加設置する必要性、またその場合の設置場所を決定するための指針や新規技術などを提案する。

(3)水素ステーション普及にあたっての給油所活用における課題抽出(地域普及、全国普及に向けた技術的課題の抽出)

(2)で構築した具体的な普及シナリオ(="普及の見える化")に基づき、既存の水素ステーションおよび既存SS(給油所)活用による水素供給ネットワークが実現すると仮定した際に生じる当該地域における技術的課題を、給油事業者、企業、自治体等に対するアンケート・ヒアリング結果から抽出する。

(4)課題に係る因子間の関連性の検討

FCV台数によるモデルの感度解析

前述のロードマップで示された普及台数が実現されるかどうかは、経済情勢や新規技術開発の動向など不確定な要素が影響するため、確実ではなく、場合によっては、目標台数より多いことも想定すべきである。そこで、ロードマップで提示されたFCV台数予測に対して、普及台数に確率的要素を取り入れ、台数の増減によって水素ステーションの適正配置がどのように変化するかを分析する。

水素バランス、コストバランスの変化の定量的提示

ヒアリング結果等に基づき現時点の水素ステーションの建設費用、ランニングコストを推計する。その上、製鉄所の副生水素やメガソーラー発電での水電解施設等の水素供給基地から水素供給をモデルに取り入れ、経済在庫モデルをたて、水素ステーションの収益のシミュレーションを行う。もし現状では採算がとれない場合、シミュレーションの結果に基づいて、ステーション存続・普及のために必要なFCV台数、水素仕入れ・供給価格、ランニングコスト等を算出し、今後の発展のために行政機関や関連企業に情報を

提供する。

(5) 課題解決の方向性の検討

アンケート結果や課題の連関表に基づき、課題解決の方向性を検討し、次ステップの検討課題、研究開発テーマとして提案する。また、水素ステーションとしての給油所の活用における課題解決のための検討課題および解決の方向性(技術開発、法整備の必要性、規制緩和、経済的支援制度の必要性など)を提示する。

3.2 成果の意義

本研究成果により、“FCVおよび水素ステーションの普及の見える化”が実現された場合の、基幹ステーションおよび既設ステーションの役割や既存SSの活用条件に対して、数理計画手法によるシミュレーション結果を用いて、定量的な課題提示と対策の方向性を示し、FCV および水素ステーションの普及支援ツールを提供する。

(IV-1) 「水素利用技術研究開発事業 / CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究 / 海外の政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」

委託先：(株)テクノバ

成果サリ(実施期間：平成25年度～平成29年度)

- ・ IEA 水素実施協定 (HIA)、先端燃料電池実施協定 (AFCIA) への専門委員の派遣を通じて、各国企業・研究員と情報交換を進め、日本企業・研究機関の国際コラボレーションの支援を行った
- ・ IPHEを通じて、欧米・中国・韓国の政策の最新動向 (FCV・定置FC普及状況、水素ステーション普及状況) を把握し、関係者に展開することで、政策面でのベンチマークを実施した。
- ・ 最新の海外情報を情報ネットワークと海外動向レポートを通じて関係者に展開した。特に海外動向レポートは、毎週の世界の動きをNEDOに迅速に提供した。

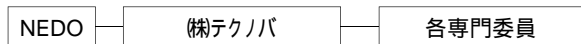
背景/研究内容・目的

水素インフラの市場導入及び普及のためには、国内外における政策・市場・研究開発動向の調査が必要である。また、CO2フリー水素への関心が高まってきており、その実現のため、CO2フリー水素の製造、輸送に係る技術動向等について調査を進め、水素のCO2フリー化実現に向けたシナリオを構築するとともに、構築したシナリオに沿って研究開発等を進めることが重要である。本事業では、海外の状況のタイムリーな把握と、その情報展開、さらに我が国からの情報発信を行う。

研究目標

実施項目	目標
IEA/HIA の動向の調査・検討・普及	IEA/HIAの部会、執行委員会の情報を入手・分析し、関係者に提供
IEA/AFCIA の動向の調査・検討・普及	IEA/AFCIAの部会、執行委員会の情報を入手・分析し、関係者に提供
IPHE の動向の調査・検討・普及	IPHEの運営委員会やWG、各ワークショップ、関連イベント等の情報を入手・分析し、関係者に提供
国際動向調査と情報ネットワークの運営	各国情報を収集・分析し、国際情報共有ネットワークにて展開
日本からの世界への発信	各会議での情報発信や会議運営を通じて、日本の情報を発信
海外動向レポート	国際最新情報を収集し、速報性を重視して、レポートを発行

実施体制及び分担等



これまでの実施内容 / 研究成果

- ・ IEA/HIA、IEA/AFCIAへの専門委員の派遣、またIPHEを通じて、各国企業・研究員と情報交換を進め、日本企業・研究機関の国際コラボレーションの支援を行った。また欧米・中国・韓国の政策の最新動向 (FCV・定置FC普及状況、水素ステーション普及状況) を把握し、関係者に展開することで、政策面でのベンチマークを実施した。

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
IEA/HIA の動向の調査・検討・普及	各分科会の情報入手と展開	
IEA/AFCIA の動向の調査・検討・普及	各分科会の情報入手と展開	
IPHE の動向の調査・検討・普及	IPHE運営委員会の対応	
国際動向調査と情報ネットワークの運営	国際情報共有ネットワークの構築	
日本からの世界への発信	IPHE 運営会議やの運営	
海外動向レポート	NEDOに毎週国際情報を提出	

今後の課題

海外技術と政策のベンチマークとして、引き続きウィッチし、技術・政策コラボレーションの機会を関係者に伝えていくことが必要。

実用化の見通し

以下の過程を通じて、間接的に「実用化」に寄与する。

- (1) IEA HIA・AFCIAの各分科会に参加した専門委員 (特に企業専門家委員) が、技術情報を得、また構築した海外ネットワークを活用し、産業化・コラボレーションを行う。
- (2) 得られた海外情報をNEDOに提供することで、NEDOを通じて、各プロジェクトにこれを反映させ、そのR&Dの促進に寄与する。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	0	0

課題番号：IV-1

水素利用技術研究開発事業 / CO2 フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究 /

海外の政策・市場・研究開発動向に関する調査研究

株式会社テクノバ

1. 研究開発概要

水素インフラの市場導入及び普及のためには、国内外における政策・市場・研究開発動向の調査が必要である。また、CO2フリー水素への関心が高まってきており、その実現のため、CO2フリー水素の製造、輸送に係る技術動向等について調査を進め、水素のCO2フリー化実現に向けたシナリオを構築するとともに、構築したシナリオに沿って研究開発等を進めることが重要である。本事業では、海外の状況のタイムリーな把握と、その情報展開、さらに我が国からの情報発信を行う。

2. 研究開発目標(設定の理由、妥当性も含め)

IEA/HIA の動向の調査・検討・普及	IEA/HIA(水素実施協定)の部会、執行委員会の情報を入手・分析し、関係者に提供する。 ・ 設定の理由:IEA/HIA が情報交換組織であることを鑑み、その情報を関係者に提供することを目的に設定する。
IEA/AFCIA の動向の調査・検討・普及	IEA/AFCIA(燃料電池実施協定)の部会、執行委員会の情報を入手・分析し、関係者に提供。 ・ 設定の理由:IEA/AFCIA が情報交換組織であることを鑑みその情報を関係者に提供することを目的に設定する。
IPHE の動向の調査・検討・普及	IPHE 本会議(運営委員会)や WG、各種ワークショップ、関連イベント等の情報を入手・分析し、関係者に提供。 ・ 設定の理由:IPHE 本会議が行政担当者の情報交換組織であることを鑑み、その情報を関係者に提供することを目的に設定する。
国際動向調査と情報ネットワークの運営	各国情報を収集・分析し、国際情報共有ネットワークにて展開。 ・ 設定の理由:調査事業であり、その展開のための情報ネットワークの円滑な運営を目的に設定する。
日本からの世界への発信	各会議での情報発信や会議運営を通じて、日本の情報を発信。 ・ 設定の理由:我が国からの情報発信が事業の目的であるので、それに則して、日本の情報を発信を目的に設定する。。
海外動向レポート	国際最新情報を収集し、速報性を重視して、レポートを発行。 ・ 設定の理由:情報展開が事業の目的であるので、それに則して、速報性を重視して、レポートを発行することを目的に設定する。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

(1) IEA/HIA の動向の調査・検討・普及

本事業の対象である IEA/HIA(水素実施協定)の概要を表 1 に示す。

またこの HIA に設置されている分科会と、その対応(派遣する専門員)を表 2 に示す。

表 1 IEA/HIA(水素実施協定)の概要

【設立】	1977年
【目的】	水素経済社会の実現に向けて国際的協同研究開発の推進と、安全・環境に配慮した世界共通の水素関連情報の共有。
【加盟国】	22カ国 + 4スポンサー (2017年8月現在) <ul style="list-style-type: none"> • オーストリア • ベルギー • 中国 • デンマーク • 欧州委員会 • フランス • ドイツ • ギリシャ • イスラエル • イタリア • 日本 • 韓国 • オランダ • ニュージーランド • スペイン • スウェーデン • スイス • 英国 • 米国 • HySafe • NOW GmbH • Shell Global Solutions International BV • Southern Company
【議長】	Mr. Stefan Oberholzer (Switzerland))
【事務局】	Ms. Mary-Rose de Valla dares

表 2 IEA/HIA(水素実施協定)の分科会とその対応(派遣する専門員)

分科会	内容	派遣専門家	
29	コミュニティ向け水素システム	分散型の小規模コミュニティ向けの水素システム(自立型コミュニティや水素タウン)の分析とモデル化	産総研
30	グローバル水素システム分析	世界の水素供給ポテンシャルの試算と、IEAの「World Energy Outlook」作成チームへの水素のPR	エネ総工研
32	水素ベースのエネルギー貯蔵	水素貯蔵技術(金属吸蔵合金、高圧水素貯蔵、化学的貯蔵、表面吸着水素貯蔵)に関する情報交換	九州大
33 (旧29)	水素のローカル供給	オンサイトでの水素供給システム(SMRや水電解)に関する情報交換	三菱化工機
34 (旧21)	バイオ水素製造	バイオマスを活用した水素製造や、バイオ技術(バクテリア等)を活用した水素製造技術に関する情報交換	大阪大 (INPEX)
35	再生可能エネルギーと水素	多様な再生可能エネルギーを活用した水素製造技術に関する情報交換	産総研
36	ライフサイクル持続可能性評価	水素のサプライチェーン全体にわたる持続可能性(LCA)分析と、その成果をIEAの分析チームに提供し、水素をPR	エネ総工研
37 (旧31)	水素安全	水素の物性、安全技術、燃焼・爆発シミュレーション、水素用材料に関する情報交換	横浜国大
38	Power-to-Hydrogen	Power-to-Gasのモデル化・経済性分析と関連技術に関する情報交換	産総研

- (2) IEA/AFCIA の動向の調査・検討・普及
 本事業の対象である IEA/AFCIA(先端燃料電池実施協定)の概要を表 3 に示す。
 またこの AFCIA に設置されている分科会と、その対応(派遣する専門員)を表 4 に示す。

表 3 IEA/ AFCIA(先端燃料電池実施協定)の概要

【設立】	1990年
【目的】	全加盟国の先進燃料電池分野に関する知見の前進。 Annex会議、ワークショップ、報告書などを通して意見の交換を図る。
【加盟国】	14カ国 (2017年8月現在) <ul style="list-style-type: none"> • オーストリア • 中国 • デンマーク • フィンランド • フランス • ドイツ • イスラエル • イタリア • 日本 • 韓国 • メキシコ • スウェーデン • スイス • 米国
【議長】	Prof Detlef Stolten (Forschungszentrum Jülich、ドイツ)
【副議長】	Dr Nancy Garland (Department of Energy、米国) Bengt Ridell (SWECO、スウェーデン)
【事務局】	ENERGY ENGINEERS GmbH

表 4 IEA/ AFCIA(先端燃料電池実施協定)の分科会とその対応(派遣する専門員)

分科会	内容	派遣専門家
30 水電解	水電解に関する幅広い情報交換と、水電解の試験方法や性能評価の標準化を検討中	NEDO
31 PEFC	PEFCの材料技術(アノード、カソード、膜、触媒等)に関する情報交換	石福金属
32 SOFC	SOFCの材料技術(アノード、カソード、膜、触媒等)に関する情報交換	東京大学
33 定置用FC	定置用FC(PEFC、SOFC、MCFC等)に関する政策・規制動向・市場動向に関する情報交換	パナソニック 東芝燃料電池 (アイシン精機)

- (3) IPHE の動向の調査・検討・普及
 事業の対象
 本事業の対象である IPHE(水素・燃料電池国際パートナーシップ)の概要を表 5 に示す。
 この会議体に参画している主なキーパーソンを図 1 に示す。

表 5 IPHE(水素・燃料電池国際パートナーシップ)の概要

【設立】	2003年
【目的】	政策面での国際協力組織。水素経済実現のための政策情報の交換や国際的なコラボレーションを推進。
【加盟国】	18カ国・1地域（2017年9月現在） <ul style="list-style-type: none"> • オーストラリア • オーストリア • ブラジル • カナダ • 中国 • EC • フランス • ドイツ • アイスランド • インド • イタリア • 日本 • 韓国 • オランダ • ノルウェー • ロシア • 南アフリカ • アメリカ • イギリス
【議長】	Dr. Bernard Frois (CEA、ドイツ)
【事務局】	Tim Karlsson (事務局長)



図 1 IPHE(水素・燃料電池国際パートナーシップ)の主な参加者

IPHEの組織を表6に示す。運営委員会は年2回歳々され、参加国が自主的にホストを担う。ことになっている。また運営委員会にあわせて教育ワーキンググループと基準標準安全ワーキンググループが設置され、それぞれの分野での国際連携を行っている(表7)。

表 6 IPHE(水素・燃料電池国際パートナーシップ)の組織とその対応(出席者)

本会議	内容	出席
運営委員会	水素・FCの政策に関する情報交換を実施。年2回、各国持ち回りで開催し、ホスト国の実証地見学や関係組織のプレゼンも実施	テクノバ (経産省、NEDO)
ワーキンググループ	内容	出席
教育ワーキンググループ	IPHE本会議にあわせて、開催地の大学の学生を対象に主要国のプレゼンを実施し、水素・FC分野の最新情報をつたえることで、学生にPR	(NEDO)
基準標準安全ワーキンググループ	水素分野の安全や安心に関する国際連携を実施 日本から、水素ステーションの事故データベースの情報交換を提案	テクノバ (+NEDO)

IPHE の議長と議長国・事務局を表 7 に示す。これまで米国 DOE を筆頭に、ドイツや日本などの水素・FC 先進国で議長を持ち回りしてきた。特に本事業期間である 2013～2014 年は日本が議長(橋本道雄 NEDO 新エネルギー部部長)となり、日本(NEDO/テクノバ)を中心に米国・ドイツと連携しつつ、事務局を運営した。

表 7 IPHE(水素・燃料電池国際パートナーシップ)の議長と議長国・事務局

年	議長	議長国・事務局
2013～2006	米国DOE	米国DOE
2007～2008	カナダ	カナダ産業省・カナダ天然資源省
2009～2012	ドイツ連邦交通住宅省	ドイツNOW
2013～2014	NEDO(橋本 新エネ部長(当時))	NEDO/テクノバ(+米DOE、独NOW)
2015～現在	フランス(Bernard Frois(CEA))	選任の事務局長を設置(Tim Karlsson氏)

事業期間における IPHE の開催とその開催場所組織を表 8 に示す。近年は IPHE にあわせて必ずワークショップ(フォーラム)が実施されるようになっている。たとえば、日本がホストした 2013 年 11 月の IPHE では、日本の提案で、水素ステーションの社会受容性に係るワークショップを開催している。また、最近では、民間組織である Hydrogen Council との連携を模索している。

表 8 IPHE(水素・燃料電池国際パートナーシップ)の議長と議長国・事務局

開催年・月	開催場所	成果・トピック	議長国
2013年5月	ロンドン	<ul style="list-style-type: none"> 議長選出 (NEDO 橋本新エネ部長) 英国のFC・水素の取り組みを紹介 	日本
2013年11月	福岡	<ul style="list-style-type: none"> 日本 (福岡) での開催 設置期限延長に関する議論 水素ステーションの社会受容性に関するワークショップを開催 	日本
2014年5月	オスロ	<ul style="list-style-type: none"> Power-to-Gasに関する議論 常設事務局に関する議論 	日本
2014年12月	ローマ	<ul style="list-style-type: none"> 欧州が再エネ水素の取り組みを紹介 デンマーク、オランダがオブザーバー参加し、取り組みを紹介 	日本
2015年5月	武漢	<ul style="list-style-type: none"> 日本の議長期間終了、フランス (Frois氏 (CEA)) に引き継ぎ カントリーアップデートフォーマット統一 定置用FCに関するワークショップを開催 	フランス
2015年12月	グルノーブル	<ul style="list-style-type: none"> IPHEコミュニケの発表 エネルギーシステムにおける水素ワークショップ開催 	フランス
2016年5月	バークレー	<ul style="list-style-type: none"> 主要市の水素・FCの取り組みの紹介 (日本は横浜市が発表) 	フランス
2016年11月	光州	<ul style="list-style-type: none"> 韓国政府やFC・水素産業の取り組みの紹介 FC市場開発に関するワークショップ開催 	フランス
2017年4月	ハンブルグ	<ul style="list-style-type: none"> ハノーバーメッセに合わせて開催 (IPHEセッションを実施) ハンブルグ市の取り組みやHydrogen Councilとの連携を模索 	フランス

(4) 国際動向調査と情報ネットワークの運営

NEDOと相談の上、必要に応じて、IEA/HIA、IEA/AFCA、IPHE以外の国際動向調査を実施した。またNEDOプロ関係者を中心に、150人のメールアドレスを登録することで、情報ネットワークを構築した。なお情報ネットワークは、現在NEDOとともに、メールアドレスを整理・整備中のため、2017年9月段階で一時中断しており、再整備後(事業年度中)に再開する予定である。

- (5) 日本からの世界への発信
 日本からの世界への発信の一環として、表 9、表 10 に示す水素・FC 分野の国際会議の運営を実施した。

表 9 日本からの世界への発信のための水素・FC 分野の国際会議の運営

<p>IPHE</p>	<p>IPHE 第 20 回運営会議(2013 年 11 月、福岡市)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 日本で 8 年ぶりの IPHE 運営会議 • 「商用水素ステーション:設計と社会受容性ワークショップ」を併催 
<p>IEA (全体)</p>	<p>IEA 水素技術ロードマップワークショップ(2014 年 6 月、山中湖)</p> <ul style="list-style-type: none"> • 欧・米・日の 3 極でのワークショップの一角を担う • IEA「Technology Roadmap Hydrogen and Fuel Cells」作成へのインプット • NEDO と IEA との意見交換を支援

表 10 日本からの世界への発信のための水素・FC 分野の国際会議の運営

IEA/HIA	<ul style="list-style-type: none"> • Task33 地域水素供給(2015年10月) オンサイト水素ステーション技術(SMR、水電解)に関する意見交換を実施 • Task 37(水素安全)(2015年10月、東京) 水素安全、訓練、社会受容性に関する意見交換を実施
IEA/AFCIA	<ul style="list-style-type: none"> • Annex22(PEFC)(2013年11月、東京) PEFCの技術に関する意見交換を実施 • Annex24(SOFC)(2015年10月、那覇) SOFCの技術に関する意見交換を実施 • Annex30(水電解)(2016年2月、東京) 水電解の技術に関する意見交換を実施 • Annex33(定置用FC)(2017年3月、東京) 定置用FCに関する意見交換を実施

(6) 海外動向レポート

NEDO と相談の上、2016 年度より「海外動向レポート」を開始した。このレポートは、水素・FC 分野の海外記事 10～20 本を、幅広いソースから厳選し、要約を毎週 NEDO に提出するものである。2017 年 9 月 25 日時点で 85 号となっている。海外動向レポートの例を表 12 に示す。

(7) 全体としての到達度

事業全体としての目標到達度(自己評価)を表 11 に示す。自己評価では「国際動向調査と情報ネットワークの運営」のみとしたが、これは、メールアドレスを整理・整備中のため、2017 年 9 月段階で一時中断して、再開準備中のためである。

表 11 事業全体としての到達度

実施項目	成果内容	自己評価
IEA/HIA の動向の調査・検討・普及	各分科会の情報入手と展開	
IEA/AFCIA の動向の調査・検討・普及	各分科会の情報入手と展開	
IPHE の動向の調査・検討・普及	IPHE 運営委員会の対応	
国際動向調査と情報ネットワークの運営	国際情報共有ネットワークの構築	
日本からの世界への発信	IIPHE 運営会議やの運営	
海外動向レポート	NEDO に毎週国際情報を提出	

表 12 海外動向レポートの例(第 85 号、2017 年 9 月 21 日発行)

No.	年月日	国名	分野1	分野2	Keyword	タイトル(英文)	タイトル(和文)	概要	ソース
0085001	2017/9/7	World	政策	ビジネス・経済	The Hydrogen Council	THE HYDROGEN COUNCIL ANNOUNCES 11 NEW MEMBERS	HYDROGEN COUNCILが11の新メンバーを発表	Hydrogen Councilが新たに11のメンバー加入を発表した。これと同組織は半体制となった。新規の運営メンバーにAudi、岩谷産業、Plastic Omnium Statolohの加入に加え、サポーターメンバーに三井物産Plus Power Faber Industrie、Faurecia、First Element Fuel (True Zero)、Gore、豊田通商が加わった。	The Hydrogen Council
0085002	2017/9/6	World	FC関連技術・アプリケーション		Intelligent Energy	Intelligent Energy makes two exciting industry announcements at InterDrone 2017 Conference	Intelligent Energy(国際)ローン展示会(InterDrone)2017年の発表	英国のFCメーカーであるIntelligent Energyは、米国の無人航空機(UAV)メーカーFlightWave Aerospaceの戦略的統合パートナーシップを締結した。FlightWaveは、Intelligent Energyの軽量化FC(650W モジュールをUAV)を搭載するFCを搭載したJupiter-H2は、最大2時間の飛行が可能。2018年1月から全世界で発売の予定。	Intelligent Energy
0085003	2017/6/17	USA	FC関連技術・アプリケーション		DOE, SRNL	SRNL Improves Hydrogen Powered Forklifts Through DOE Small Business Program	SRNLがDOEのSmall Businessプログラムを通じてFCフォークリフトの性能改善に取り組む	米国エネルギー省(Savannah River National Laboratory (SRNL)とHawain Hydrogen Carriers (HHC)は共同で、DOEのSmall Business Vouchers (SBV)制度を利用してフォークリフトを開発するFCフォークリフトは、4.1トンのロードを低圧水素貯蔵システム(4.1トンのMPa)を搭載する。水素は太陽光から水電解で製造する。	DOE
0085004	2017/9/2	USA	FC関連技術・アプリケーション		NASA	NASA Develops Cryo-Fluid Capacitor for Hydrogen on Demand	NASAが、オンデマンド水素用途低温流体キャパシタを開発	NASAは、エアロゲルを用いた液体化水素貯蔵技術(低温流体キャパシタ(Cryo-Fluid Capacitor))を開発していたが、今年この技術を水素貯蔵に応用した。低圧で貯蔵する、ボイルオフの問題のないNASAは、現在のGMPA(高圧タンクシステム)を駆逐できる可能性を信じている。	Hydrogen Car News
0085005	2017/9/6	USA	政策	FC関連技術・アプリケーション	DOE	DOE Selects Projects to Advance Solid Oxide Fuel Cell Technology	DOEが先進SOFC技術プロジェクトを選択	米国エネルギー省(DOE)の化石エネルギー局は、SOFC技術開発のための6つのプロジェクトを選択した。総額200万ドル。 ①SOFCプロトタイプシステム試験分野 (採択者: LG Fuel Cell Systems) ②コア技術開発分野 (採択者: Boston University(件)、Case Western Reserve University Georgia Tech Michigan State University Mohawk Innovative Technology Montana State University Redox Power Systems Saint-Gobain Research & Development Center Tennessee Technological University University of Connecticut, University of Pennsylvania University of Pittsburgh University of South Carolina West Virginia University)	DOE
0085006	2017/8/28	USA	FC関連技術・アプリケーション		Univ. Delaware	More durable, less expensive fuel cells	低コスト、耐久性アップを実現したFC	デラウェア大学の研究チームは、ナノ粒子状タンク・ステンパーハイドロゲルの膜に分散させることでFCの水分解能力を強化し、フルセルを迅速に生産することを発表した。同チームは、革新的な特許を申請している。	Science Daily
0085007	2017/9/5	Canada, China	ビジネス・経済		Ballard	Ceremonial Opening of Ballard's China Stack Joint Venture Production Facility	Ballardが中国でのスタック生産関係者が増加したJVCがISO9001:2015取得	Ballardは、広東共同水素電力技術社(広東省珠海市)と合弁会社Guangdong Strategy Ballard Hydrogen Power Co., Ltd. (JVC)を設立しているが、このたびJVCの開所式が行われた。開所式には珠海市(広東省)書記、珠海市長、佛山福海市長、他の中国政府関係者も参加した。JVCはISO9001:2015取得し、LATE16949-20を取得しておりFCスタックFCバスやFC用車両に提供する。2017年後半には年産600台規模となる(3ヶ月を組めば万台単位)。Ballardはこの合弁事業で、ライセンス料300万ドル、MEA供給で増500万ドル(年間)を得る見込み。	Ballard
0085008	2017/8/31	EU	FC関連技術・アプリケーション	その他FC	NELLHI, CUTEc, Sandvic	Clean energy project develops breakthrough fuel cell technology	クリーンエネルギープロジェクトが革新的なFC技術を開発	FCH JVCプロジェクト(NELLHI)が、毎年の事業を終了した。NELLHIは中核企業Eloegen(エストニア)を中心に、高効率(70%以上)で、中温(65°C)で稼働し、良導電性にもれたSOFCを開発した。プロジェクトで開発された、スクラップはFlexitallicで使用している。NELLHIには、Eloegen他にENE(A)(伊)、VTI(フィンランド)、Flexitallic(英)、Boritz(ベルギー)、Sandvik スウェーデン、CUTEc(独)が参加している。	Gas World
0085009	2017/9/1	UK	水電解	PtG	ITM Power	10MW Refinery Hydrogen Project with Shell	ITM Power Shellの製油所向け10MW規模の水素プロジェクトを実施	ITM Power Shell Deutschland Oil GmbH Shell Energy Europe SINTER Thinkstep Element Energyは、製油所での水電解水素プロジェクトを開始した。これはCH JVCプロジェクトとして採択されたもので、ケルン郊外にあるShellのラインランド製油所1111製のPEM水電解(10MW)を設置する。PEM電解としてはドイツ最大規模で、太陽光や風力などの再生可能エネルギーを活用する。この製油所では年間約90トンの水素を使用しており、その低炭素化に貢献する。	Financial Times
0085010	2017/9/4	UK	政策	移動体用FC	Metropolitan Police	Met trials hydrogen powered scooters	ロンドン警視庁が水素スクーターを試験	ロンドン警視庁は、ロンドン市の大気質改善のためFCスクーター(スモークマン Fuel Cell)の実証を開始する。期間は3ヶ月。車両はスズキが提供し、運用費は英国先端推進システム技術センター(Advanced Propulsion Center: APC)が負担する。スクーターはFCスタックを提供したIntelligent Energy(英)もパートナーとして参加している。	Metropolitan Police
0085011	2017/9/4	Netherlands	FC関連技術・アプリケーション		DSM	DSM developing novel materials solution for high pressure composite tanks for hydrogen storage	DSMが水素貯蔵高圧複合タンクの新材料を開発	オランダの化学会社DSMは、同社のCNGタンク技術に応用して、新型の車載水素タンクを開発した。同社のナイロン6プラス複合材料を用いたプロセッサライナーに、同社のEcoPXX材料が410°Cで作った繊維強化熱可塑性テープでラップする構造。40°Cでも十分な強度と靱性を維持している。	DSM
0085012	2017/9/6	Germany	HRS		TOTAL	NEW TOTAL HYDROGEN FILLING STATION IN KARLSRUHE UNITES MOBILITY AND RENEWABLE ENERGY	TOTALの再生可能エネルギー利用カーリース水素ステーション	TOTALは独カールスルーエに新しい水素ステーションを開所した。これによりドイツ内の開所している水素ステーションは60箇所となった。TOTALとしては14箇所目の水素ステーションである。太陽電池による水電解で水素を製造するオンサイト水素ステーションで、ドイツ連邦交通デジタルインフラ省が20ユーロ補助金を提供している。	Total
0085013	2017/9/2	China	FCV	ビジネス・経済	Beijing SinoHytec Co., Ltd	Hydrogen fuel cell passenger cars to be produced in Zhangjiakou to serve 2022 Winter Olympics	2022年冬季オリンピックに供するためのFCV(FC)が開発・生産	河北省張家口市の北京・張家口冬季オリンピック会場は、10億元(約520万ドル)を投資してFCシステム製造ラインを建設中である。2018年に完成される年間1万ユニットの生産規模となる。同社FCVを採択したFCVは、2022年冬季オリンピックで使われる予定である。	人民網

3.2 成果の意義

(1) IEA/HIA の動向の調査・検討・普及

IEA/HIA の動向の調査・検討・普及における成果と意義を表 13 に示す。

表 13 IEA/HIA(水素実施協定)における成果と意義

分科会		成果
29	コミュニティ向け水素システム	<ul style="list-style-type: none"> 日本が幹事を務め、水素コミュニティに関する6モデルの解析を実施（日本からはエネファームが成功事例として取り上げられる、そのほかにはコルシカ島プロジェクトなど） 6モデルのSWOT (Strength, Weakness, Opportunity & Threat)解析を実施モデル開発におけるデータ収集と共有を実施 意義：エネファームの政策的成功を世界にPR、またコルシカ島などの水素コミュニティ事例を把握
30	グローバル水素システム分析	<ul style="list-style-type: none"> 米国サンディア研究所のモデルを用いて、世界の水素供給ポテンシャルを試算（サンディア研究所のモデルは、コスト最適化モデルであり、水素を輸入することを検討している日本はモデルに合わないことも判明） IEAの「World Energy Outlook」作成チームに水素をPRしたが、その成果は限定的であった（「World Energy Outlook」における水素の取り上げがまだ少ない） 意義：モデルは日本には適しなかったが、世界が国内水素で展開する計画であり、その大部分が再エネ由来であることを確認
32	水素ベースのエネルギー貯蔵	<ul style="list-style-type: none"> 水素ベースのエネルギー貯蔵のために、専門家が各国のR&D状況の情報をクローズに収集交換している 意義：専門家が水素貯蔵技術の最先端情報を意見交換し、各人が研究に生かしている
33 (旧29)	水素のローカル供給	<ul style="list-style-type: none"> オンサイト水素ステーションにおける代表的コストと大型水素ステーションのコストダウンの可能性を検討（主にドイツの事例） 日本からはSMRを中心としたオンサイト水素製造関連の情報収集を目指したが、欧米では水電解に関する議論が中心であった 意義：世界のオンサイト水素製造に関する情報を収集（ただし、世界は急速に水電解に移行していることを把握 分科会35へ）
34 (旧21)	バイオ水素製造	<ul style="list-style-type: none"> ブラジルにおけるバイオエタノールから水素製造などの実証を見学・分析 将来技術である微生物水素製造に関する学術的意見交換を実施 意義：将来に展開の可能性のあるバイオ水素製造について、学術的側面から情報交換し、その知見を蓄える
35	再生可能エネルギーと水素	<ul style="list-style-type: none"> 立ち上がったばかりだが、多様な再生可能エネルギーを活用した水素製造技術に関する情報交換する予定 意義：今後の水電解や再エネ水素製造に関する、その知見を蓄える
36	ライフサイクル持続可能性評価	<ul style="list-style-type: none"> 水素エネシステムの環境性評価のデータベースの作成や経済性評価を実施中 IEAの直近では、「World Energy Outlook」や「Energy Technology Perspectives」のチームと意見交換 意義：水素の環境的意義の定義を明確化し、CO2削減における貢献を明確化することをめざす
37 (旧31)	水素安全	<ul style="list-style-type: none"> リスク管理手法、水素安全に関するテスト、情報管理などの学術的な意見交換を実施 本年度は水素用材料も重要テーマ 水素安全国際会議（ICHS）の成果を取り込み 意義：水素安全に関する専門的な技術情報を交換し、その知見を蓄える（今後はNEDOの鋼材プロジェクトの知見の展開も可能）
38	Power-to-Hydrogen	<ul style="list-style-type: none"> 立ち上がったばかりだが、P-t-Gに関する実証動向や規制動向について情報を収集中 経済性分析を行い、P-t-Gで利益を生む可能性のあるビジネスモデルの構築を目指す 意義：P-t-Gに関する経済性やビジネスモデルに関してその知見を蓄える予定

- (2) IEA/AFCIA の動向の調査・検討・普及
 IEA/AFCIA の動向の調査・検討・普及における成果と意義を表 14 に示す。

表 14 IEA/AFCIA(先端燃料電池実施協定)における成果と意義

分科会		内容
30	水電解	<ul style="list-style-type: none"> 世界の主要な水電解メーカーや研究機関が参加し、技術動向を意見交換 セルやショートスタックに関する試験プロトコルを検討 (試験プロトコルは、当初は国際標準を狙っていたようだが、あくまでも参考ベースになった) 意義：世界の水電解メーカーの最新動向の把握 試験プロトコルや国際標準など日本に影響が及びかねない議論がされているので、引き続き要注意
31	PEFC	<ul style="list-style-type: none"> PEFCの材料技術(アノード、カソード、膜、触媒等)に関して、詳細な技術を意見交換(中心は米国アルゴンヌ研究所) 日本からは、コアシェルなどのNEDO成果をPR 意義：米国や欧州の研究機関の最新研究動向を把握 (NEDOロードマップに資するような技術の可能性を今後もウォッチする)
32	SOFC	<ul style="list-style-type: none"> SOFCの材料技術(アノード、カソード、膜、触媒等)に関する情報交換 意義：派遣する専門委員(NEDOのSOFCプロPL)を通じて、NEDOプロにR&Dを反映
33	定置用FC	<ul style="list-style-type: none"> 定置用FC(PEFC、SOFC、MCFC等)に関する政策・規制動向・市場動向に関する情報交換 意義：エネファームメーカーが参加することで、世界との定置用FC市場動向やネットワークを国際展開(企業連携)に活用

- (3) IPHE の動向の調査・検討・普及
 IPHE の成果と意義を表 15 にまとめる。近年、常設事務局の設置により、運営もスムーズになっており、政策意見交換の実務組織になっている。IPHE は引き続き、政策担当者の Face-to-Face の政策の意見交換の場として機能しており、また日本の政策を RP することで、世界の水素・FC 政策を下支えしているという点で貢献しているといえる。

表 15 IPHE の成果と意義

成果	<ul style="list-style-type: none"> 政策連携・情報交換の組織として機能。 この数年は、常設事務局の設置により、運営もスムーズになり、意見交換が中心の実務組織になりつつある。 IPHE のホームページも充実し、参加各国の情報が掲載。 ワークショップでも、主要メンバーが発表し、有意義な情報を得られる機会。 参加国の持ち回り開催による、ホスト国の内情理解(本音理解)も可能。 南アフリカやブラジル(インドも)、IPHE の場で政策連携や国際交流をアレンジ。
意義	<ul style="list-style-type: none"> 引き続き、政策担当者の Face-to-Face の政策の意見交換の場として機能。 Hydrogen Council 等の民間との連携もあり、今後も情報中心として重要。 日本の政策を RP することで、世界の水素・FC 政策を下支えしている。

- (4) 国際動向調査と情報ネットワークの運営
 国際動向調査と情報ネットワークのうち、特に情報ネットワークの成果と意義を表 16 に示す。

表 16 情報ネットワークの成果と意義

成果	<ul style="list-style-type: none"> NEDO プロ関係者を中心に、150 人のメールアドレスを登録(現在、NEDO とともに、メールアドレスを整理・整備中のため一時中断 再整備後再開)。 分科会報告や、活動報告会のプレゼン情報を展開。
意義	<ul style="list-style-type: none"> IEA HIA、AFCIA の分科会情報や、IPHE(政策情報)の情報を、NEDO プロを中心とした水素・FC 関係者に展開することで、日本の R&D の底上げに寄与。

(5) 日本からの世界への発信

日本からの世界への発信、特に水素・FC分野の国際会議の運営における成果と意義を表 17 に示す。

表 17 水素・FC 分野の国際会議の運営における成果と意義

成果	<ul style="list-style-type: none">各専門委員が IEA 水素実施協定や IEA 先端燃料電池実施協定の各分科会に参加するときに、日本の情報を発信していただき、政策的 PR と将来のコラボレーションの可能性拡大を行った。 <p>日本からの主な発信内容</p> <ul style="list-style-type: none">日本政府の方針水素・燃料電池戦略ロードマップエネファームの普及台数(補助金政策によるコストダウンと市場拡大)水素ステーションの普及状況FCV 普及状況NEDO プロジェクトの概要
意義	<ul style="list-style-type: none">国際会議運営を通じて、世界に日本の情報を発信し、企業や研究者の国際コラボレーションに寄与。日本の取り組みを紹介することで、世界的に水素・FC の機運を下支え。

- (6) 海外動向レポート
海外動向レポートにおける成果と意義を表 17 に示す。

表 18 海外動向レポートにおける成果と意義

成果	<ul style="list-style-type: none"> 水素・FC 分野の海外記事 10～20 本を幅広いソースから厳選し、要約を毎週 NEDO に提出。 ニュースソース：各種新聞・情報記事、政策機関や主要企業のニュースリリース
意義	<ul style="list-style-type: none"> NEDO に水素・FC 分野の最新動向をタイムリーに提供。

3.3 開発項目別残課題

(1)～(3)ともまだ対応すべき分科会・会議があり、事業終了まで引き続き対応する予定である。また(4)国際動向調査と情報ネットワークについては、NEDO とともに、メールアドレスの整理・整備を速やかに行い、早急に再開する予定である。

4.まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

(1) 成果の普及

成果の普及は主に 4 つの方法で展開している。

HIA、AFCIA の専門家委員

- ・ HIA、AFCIA の各分科会の専門家委員は、分科会に参加し、同時に自分の研究や製品(企業)を他国の参加者に PR している。
- ・ 企業の場合、海外人脈を核に、海外での展開を期待している(例. エネファームメーカー)
- ・ 研究者の場合、将来の研究面でのコラボレーション展開を期待している。
- ・ 専門家委員からは、分科会報告を提出いただいている(図 2)。

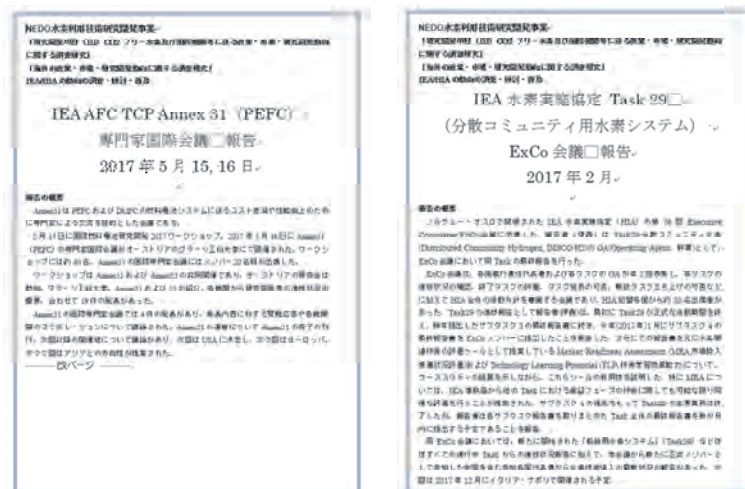


図 2 分科会報告の例

IPHE

- ・ テクノバより IPHE での各国の状況(カントリーアップデート)を取りまとめ NEDO に報告。

活動報告会

- ・ 毎年 2～3 月に「IEA/HIA・AFCIA・IPHE 活動報告会」を実施し、NEDO プロ関係者、水素・FC 分野関係者に、直接、世界の状況を説明している。
- ・ 基本的に、全専門委員が最新情報を報告し、情報を広く伝えている。

海外動向レポート

- ・ 毎週、NEDO に海外の最新動向を報告。NEDO 内で共有。

(2) 事業化までのシナリオ

以下の過程を通じて、間接的に「実用化・事業化」に寄与すると考えられる。

- ・ IEA HIA・AFCIA の各分科会に参加した専門委員(特に企業専門家委員)が、技術情報を得、また構築した海外ネットワークを活用し、産業化・コラボレーションを行う。
- ・ 得られた海外情報を NEDO に提供することで、NEDO を通じて、各プロジェクトにこれを反映させ、その R&D の促進に寄与する。

5. 研究発表・特許等

調査事業のため、研究発表・特許はない。

(-2) 「水素利用技術研究開発事業 / CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究 / 有機ハイドライドを用いたロシアからのCO2フリー水素導入に関する調査研究」
 委託先：千代田化工建設(株)

成果サマリ (実施期間：平成25年度～平成27年度)

- ・ロシアのうち、地理的に日本に近いシベリアにて再生可能エネルギーを1次エネルギーとして水電解で水素を製造し、千代田化工建設が開発した有機ハイドライド技術を用いて日本へ輸送するケースについて、調査研究を行った。
- ・容易ではないものの経済的に成り立つ可能性がある。引き続き詳細な調査を行う。
- ・日本での水素市場を同時に立ち上げていく必要がある。

背景/研究内容・目的

本調査では、千代田化工建設が開発した有機ハイドライドによる水素の大量輸送・貯蔵技術を活用し、ロシアからのCO2フリー水素エネルギーの導入に向けた課題を明らかにすることを目的とする。
 ロシアのうち、地理的に日本に近いシベリアにて再生可能エネルギーを1次エネルギーとして水電解で水素を製造し、千代田化工建設が開発した有機ハイドライド技術を用いて日本へ輸送するケースについて、調査研究を行った。
 現地の政策・電力事業・再生可能エネルギー賦存量・港湾設備・水電解設備等を調査し、案件を探索し、有望なものについてフィージビリティを試算し、導入例のシナリオを作成し、その実現に向けた課題を抽出した。

研究目標

実施項目	目標
エネルギー・環境政策の調査	所轄官庁および政策の調査
電力事業の調査	電力事業の機容の調査
再生エネルギー賦存量の調査	包蔵水力等の賦存量の調査
港湾の調査	タンカー就航の可能性の調査
水電解装置の調査	実績・大型化実績、性能等の調査
案件の絞り込み	FSを行う案件の選定
フィージビリティの調査	FSの実施
水素利用方法の調査	水素発電地域PPS導入可能性の調査
実証プロジェクトの検討	実証プロの検討。
シナリオ構築と課題抽出	シナリオを構築し、今後必要なアクション・課題を同定。

実施体制及び分担等

NEDO	千代田化工建設株式会社
------	-------------

これまでの実施内容 / 研究成果

1. ロシアの一般情勢については、エネルギー事情の概要、エネルギー政策、環境政策等について調査した。ロシアはエネルギー輸出大国である。関係省庁としては天然資源環境省、エネルギー省、極東開発省などがある。2. 電力業界は再編が行われ、発送電の分離、分社化などが行われた。水力発電についてはルスギドロ社が最大手である。3. 広大な国土を背景に再生可能エネルギー賦存量も多い。特に水力発電は膨大な包蔵量を持つ。4. 沿海地方には主要な港湾は約10箇所ある。主要な取扱貨物は港湾により異なり、有機ハイドライドを取り扱うには、石油類を扱える港湾が望ましい。5. 水電解槽は、主な形式であるアルカリ型・固体高分子型について技術分析を行い、大規模プロジェクトや風力とのコンビネーションの事例を調査した。6. これらの調査を受け、極東地区が有望なサイトとして抽出された。7. 極東地区での水素製造について経済性検討を行った。公的補助が必要ではあるが、経済産業省が作成した水素ロードマップに記載された30円/m3程度の価格を実現できる可能性がある。今後の詳細な調査が必要である。8. 水素を日本に輸入して利用するケースとして地域PPSでの水素発電利用可能性について調査を行った。インセンティブ制度の活用・大規模化等により水素発電単価を下げる事が可能であれば、地域PPSの枠組みに水素発電を相当量導入し、水素発電地域PPSを普及促進できる可能性がある。9. 小規模な実証プロジェクトについて検討した。10. 実証プロジェクト・商業プロジェクトを組成するには、さらなる詳細調査が必要である。そのため、RusHydro社とMOUを締結すべく調整中。

今後の課題

今後の課題として、経済性検討の精度を上げることなどがある。

実用化の見通し

極東地区から日本へ水素を供給する場合、公的補助等が必要ではあるが、経済産業省の水素ロードマップに記載された30円/m3を実現できる可能性がある。今後、詳細な検討を継続する。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	0	0

研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
エネルギー・環境政策の調査	調査完了	
電力事業の調査	調査完了	
再生エネルギー賦存量の調査	調査完了	
港湾の調査	調査完了	
水電解装置の調査	調査完了	
案件の絞り込み	極東地区を選定した。	
フィージビリティの調査	FSを実施。	
水素利用方法の調査	調査完了	
実証プロジェクトの検討	検討完了	
シナリオ構築と課題抽出	経済性を改善する方法とそのため課題を同定した。	

課題番号： - 2

水素利用技術研究開発事業 / CO2 フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究 / 有機ハイドライドを用いたロシアからの CO2 フリー水素導入に関する調査研究

千代田化工建設株式会社

1. 研究開発概要

ロシアのうち、地理的に日本に近いシベリアにて再生可能エネルギーを1次エネルギーとして水電解で水素を製造し、千代田化工建設が開発した有機ハイドライド技術を用いて日本へ輸送するケースについて、調査研究を行った。調査の手法は、文献、インターネット等のオープンリソース、および現地訪問を含むヒアリング等によった。

2. 研究開発目標（設定の理由も含め）

「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」（2008年経済産業省策定）では、FCV及び水素製造・輸送・貯蔵技術を2050年に世界のCO2排出量を半減する上での重要技術と位置づけている。

水素利用技術研究開発事業では、水素のCO2フリー化に係るシナリオを構築し、シナリオに沿った研究開発等を進めることで、水素社会の早期構築と、将来の水素のCO2フリー化によるエネルギーセキュリティの向上に資することを目的の一つとしている。

そこで本調査では、千代田化工建設が開発した有機ハイドライドによる水素の大量輸送・貯蔵技術を活用し、ロシアからのCO2フリー水素エネルギーの導入に向けた課題を明らかにすることを目的とする。

調査終了後に、実証プロジェクト・商業プロジェクトを展開するための課題等を抽出し、事業化へのシナリオを作成することを目標とする。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

（1）エネルギー・環境政策の調査

ロシアの一般情勢について、エネルギー事情の概要、エネルギー政策、環境政策等について調査した。2011年の1次エネルギー生産量は約13億石油換算トン、うち約6億石油換算トンが輸出されており、ロシアはエネルギー輸出大国である。代表的な政策に「2030年までのロシアのエネルギー戦略」がある。

エネルギーに係る省庁としては天然資源環境省、エネルギー省、極東開発省などがある。

目標を達成した。

（2）電力事業の調査

電力業界は再編が行われ、発送電の分離、分社化などが行われた。発電部門は卸売発電会社と地域発電会社がある。水力発電については2012年の出力合計は46GWある。卸売発電会社のルスギドロ社が最大手である。ルスギドロ社は電力改革を背景に創設され、ロシアの水力発電の大部分を統合し、所有することとなった。

目標を達成した。

(3) 再エネ賦存量の調査

広大な国土を背景に再生可能エネルギー賦存量も多い。特にシベリアの8つの河川の包蔵発電量は約 87GW と膨大である。再生可能エネルギー全体では、経済的開発可能量として 224 百万石油換算トン / 年、技術的開発可能量として 17,000 百万石油換算トン / 年程度がある。

目標を達成した。

(4) 港湾の調査

沿海地方には主要な港湾は約 10 箇所ある。主要な取扱貨物は港湾により異なり、有機ハイドライドを取り扱うには、石油類を扱える港湾が望ましい。また、水深やバースの長さ等を考慮し、複数の港湾がサイト候補となった。

目標を達成した。

(5) 水電解装置の調査

水電解槽は、主な形式であるアルカリ型・固体高分子型・高温水蒸気電解について技術分析を行い、大規模プロジェクトや再生可能エネルギーとのコンビネーションの事例を調査した。大型化・低コスト化の実現可能な技術としてはアルカリ型が現時点では最適と考えられる一方、固体高分子型も研究開発が行われている。

目標を達成した。

(6) 案件の絞り込み

これらの調査を受け、水力発電由来の余剰電力があること、将来の電力需給がタイトでないと予想されること、大型タンカーが入れる港湾があり、石油類の取り扱い実績があることなどを考慮し、極東地区の複数有望なサイトとして抽出した。また、現地調査にて現況を確認した。

目標を達成した。

(7) フィージビリティの調査

プラントの試設計を行い、極東地区での水素製造～日本での輸入までの経済性検討を行った。公的補助等が必要ではあるが、経済産業省が作成した水素ロードマップに記載された 30 円 / m³ 程度の価格を実現できる可能性がある。今後の詳細な調査が必要である。

目標を達成した。

(8) 水素利用方法の調査

インセンティブ制度の活用・大規模化等により水素発電単価を下げるのが可能であれば、地域 PPS の枠組みに水素発電を相当量導入し、水素発電地域 PPS を普及促進できる可能性がある。

目標を達成した。

(9) 実証プロジェクトの検討

有機ハイドライドによる水素の大量輸出入は世界初のプロジェクトであることを考えると、実証プロジェクトを組成することは将来の商業プロジェクトの確実性を増すために有効と考えられる。

目標を達成した。

(10) シナリオ構築と課題抽出

今後の課題として、将来の商業プロジェクトの採算性について、今よりも精度を増した検討が必要であり、具体的に精度の向上の必要な項目を洗い出した。千代田化工建設にて、引き続き検討を継続する。

目標を達成した。

3.2 成果の意義

ロシアの再生可能エネルギーである水力発電から製造した水素を日本へ輸入するプロジェクトの経済性およびその改善について、具体的な知見を得ることが出来た。引き続き検討を継続し、その確実性を増して行くためのベースを得た。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

ロシアのうち、地理的に日本に近いシベリアにて再生可能エネルギーを1次エネルギーとして水電解で水素を製造し、千代田化工建設が開発した有機ハイドライド技術を用いて日本へ輸送するケースについて、調査研究を行った。

公的補助等が必要ではあるが、経済産業省が作成した水素ロードマップに記載された30円/m³程度の価格を実現できる可能性がある。今後の詳細な調査が必要である。

今後の課題として、経済性検討の精度を向上させる必要があり、またそのための具体的な項目を特定した。

精度を上げた検討を行った上で、実証プロジェクトを組成し、その後、商業プロジェクトへ進む、というシナリオが有効と考える。

5. 研究発表・特許等

- 研究発表・講演、文献等、その他 -

No.	年月	発表先	題目	発表者

- 特許等 -

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名

(添付-2)
プロジェクト用語集

プロジェクト用語集

研究開発項目：燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発

-1：「水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発」

	用語	説明
英数	2種製造設備	本項では高圧ガス保安法における一日の処理能力が30m ³ 未満である高圧ガスの製造設備を指す。
	35MPa水素スタンド	水素スタンドの常用圧力が40MPa以下の圧縮水素スタンド。燃料電池自動車の35MPa充填に対応したもの。
	70MPaスタンド	水素スタンドの常用圧力が82MPa以下の圧縮水素スタンド。燃料電池自動車の70MPa充填に対応したもの。
	FCV	燃料電池自動車（Fuel Cell Vehicle）のこと。水素を燃料とし、搭載した燃料電池で発電し電動機の動力で走る車を指す。
	FID	水素炎イオン化型検出器（Flame Ionization Detector）。物質を水素炎中で燃焼することによって発生するプラズマ電子を検知する。有機化合物（CとHが含まれる分子）に対し高い感度を示すため、微量のサンプルガスでも分析可能。
	FMEA	システムやプロセスの構成要素に起こりうる故障を予測し、考えられる原因や影響を事前に解析・評価することで設計・計画上の問題点を抽出し、事前対策の実施を通じてトラブル未然防止を図る手法。
	HAZOP	システムやプロセスの操作因子、制御因子などのパラメータに対して、それが適切な状態からはずれた場合にどのような災害につながるのかを分析する手法。
	HFCV-gtr	水素燃料電池自動車の安全性に関する世界統一基準であり、欧州を中心に作成され、国連の認証も受けている。燃料電池自動車用の規格であるが、現在作成中のJPEC-S「圧縮水素運送自動車用附属品の技術基準」にも必要箇所は準拠させる。
	JIGA-T-S	一般社団法人日本産業・医療ガス協会の規格。JIGA-T-S/13/04「圧縮水素運送自動車用附属品の技術基準」が、現在作成中のJPEC-S「圧縮水素運送自動車用附属品の技術基準」の基になっている。
	KHK	高圧ガス保安法第1条に明記されている「高圧ガス保安協会」（協会）の略称。「高圧ガスの保安に関する自主的な活動を促進し、もつて公共の安全を確保する（同条）」という同法の目的を達成する中心的役割を担っている。「高圧ガスによる災害の防止に資するため、高圧ガスの保安に関する調査、研究及び指導、高圧ガスの保安に関する検査等の業務を行う（第59条の2）」団体である。
	RRA	Relative Reduction of Areaの略、相対絞りのこと。 相対絞り = (水素中の絞り) / (大気または不活性ガス中の絞り) 水素適合性を評価する指標となる。
	SSRT	低歪速度引張試験（Slow Strain Rate Test）のこと。ある環境下で一定の低歪み速度で引張荷重を負荷していき、破断時の伸びや破面の観察で脆化の程度を評価する試験方法。
	OH・H ₂ O濃度	水素の燃焼反応で生成されるOH、H ₂ Oの濃度
	PIV	粒子イメージ流速計測法（Particle Image Velocimetry）。非接触で2次元断面中の速度分布を計測する手法。可視化された計測空間から画像処理により数多くの計測点で速度と方向を同時に算出するので、流速計よりも空間構造が把握しやすい点の特徴。
	PLIF	平面レーザー誘起蛍光法（Planar Laser-Induced Fluorescence Technique）。レーザー光で特定の原子・分子を誘起しそれにより引き起こされる発行強度を計測・分析することにより、火炎中のガス分子種・濃度を計測する方法。
あ行	圧縮水素運送自動車（水素トレーラー）	高圧ガスに相当する圧縮状態の水素を移動するための車両であって、圧縮水素運送自動車用容器を車両に固定し、車両ごと移動できるものをいう。高圧ガスの製造/消費機能を有する移動式製造設備はこれに該当しない。

	用語	説明
	圧縮水素運送自動車用容器	水素製造装置等から圧縮水素を運送するための自動車（トレーラー；圧縮水素運送自動車）に搭載される炭素繊維複合容器。地盤面に対して移動して使用するため、容器保安規則が適用される。
	圧力サイクル試験	容器、附属品は水素の充填、放出を繰り返すことにより、繰り返し疲労を受けることから、想定繰り返し回数加圧・降圧を繰り返しても必要強度・性能が確保されていることを確認する試験
	安全弁	高压ガス機器の内圧が設計圧力以上にならないように圧力を逃がすための安全装置。
	安全弁環境試験	HFCV-gtr に準拠し、硫酸（バッテリー液を想定）、水酸化ナトリウム（洗浄剤を想定）、硝酸アンモニウム（路上の肥料を想定）、メタノール（ウォッシャー液を想定）に浸漬させ、使用上問題となる欠陥が生じないことを確認する試験。
	1%濃度距離	水素の拡散濃度が1%となる距離（1/4L.E.L.）。ピンホール（口径 0.2mm）から漏洩させて測定。
	一般高压ガス保安規則	高压ガス保安法（昭和二十六年法律第二百四号。以下「法」という。）に基づいて、高压ガスに関する保安（コンピナート等保安規則（昭和六十一年通商産業省令第八十八号）に規定する特定製造事業所に係る高压ガスの製造に関する保安を除く。）について規定する。
	液体水素	液化した水素のこと。「液化水素」も同義。沸点は-252.6 で融点は-259.2 である。圧縮水素に比べて圧倒的に密度が大きく、大量貯蔵・輸送に適している。
	液体水素ポンプ	「液化水素ポンプ」も同義。液体水素を移送したり加圧したりするために用いられる。圧縮水素スタンドに導入されれば、より高いエネルギー効率、よりコンパクトな設備レイアウト、とりわけ高価な蓄圧器の削減、を実現することが可能である。
	塩水腐食試験	HFCV-gtr に準拠し、海岸付近での使用を想定し塩水を噴霧しても使用上問題となる欠陥が生じないことを確認する試験。
	延性破壊	大きく変形した後、くびれを伴って破断する破壊。
	応力腐食割れ試験	HFCV-gtr では応力腐食割れが起こらないことの確認のため、アンモニア混合気にさらした試験の実施が規定されている。作成中の JPEC-S「圧縮水素運送自動車用附属品の技術基準」では銅系材料は対象外であり、ステンレス、アルミニウムも材料規格を指定しているので、試験対象外としている。
	オフサイト方式	水素スタンドの敷地外で製造した水素を水素スタンド内に運び込む方式の水素スタンドのこと。
	オンサイト型水素スタンド	水素スタンドの敷地内で水素を製造する方式の水素スタンドのこと。
	オンサイト方式	水素スタンドの敷地内で水素を製造する方式の水素スタンドのこと。
	温度サイクル試験	容器、附属品は水素の充填、放出の都度、温度が上昇・下降するため、温度の上昇・下降を繰り返しても必要強度・性能が確認されていることを確認する試験。FCV よりは圧縮水素運送自動車用附属品の方が使用温度範囲が狭いので試験条件を緩和できると考えられる。
か行	ガイドライン	技術基準の分類における「技術文書」にあたる。技術文書とは、技術的な成熟度その他の点で、十分なコンセンサスに達する段階には至っていない規格案であって、将来的に制定が期待されるもの、規格等の作成根拠に関する技術調査報告書等を指す。
	火炎長	水素が漏洩し着火した際の噴出口からの火炎長さ。ピンホール（口径 1.0mm）から漏洩させて測定。
	加速応力破壊試験	高压ガス保安法容器保安規則により義務化された高压ガス充てん用容器の試験の一つ。圧縮水素運送自動車用複合容器では、同一の型式内の一つの容器において、最高充てん圧力の125%以上で加圧し、65 以上で1000 時間以上保持することにより行う。
	加速寿命試験	一般には試験時間短縮を目的とし、製品を設計条件より過酷な条件にさらし、不具合が生じないことを確認する試験をいう。 安全弁の場合は、作動条件より低い温度に規定時間さらし、劣化等により作動すべきでない温度で作動しないことを確認する。

	用語	説明
	火気離隔距離	可燃性ガスを取り扱う高圧ガス製造設備と火気を取り扱う施設との間に確保せねばならぬ距離。一般則第 6 条を引用するかたちで、一般高圧ガス保安規則第 7 条の 3 において圧縮水素スタンド設備に義務付けられている。
	ガラス球式安全弁	容器等の温度が上がった場合、熱によりガラス体内に封入された液体が膨張し、ガラス体が割れ、容器内部の流体を容器外部に放出し、容器の破裂等を防ぐ装置
	簡易水素充填設備	本項では JAF のレスキュー車両に搭載し、ガス欠車両に小型水素容器より差圧で水素を最低必要量充填する設備を指す。
	嵌合	「かんごう」と読む。機械部品の軸と穴とを互いにぴったりと合うように入れ込むことをいう。ここでは、ディスペンサーノズルと車載容器レセプタクルの接合状態を示す。
	技術基準	本プロジェクトにおける「技術基準」とは、圧縮水素スタンドに係る圧縮水素等の取扱い及びこれらに係る設備、施設等の設計、施工、維持管理等並びに容器の製造、設計、試験、検査等に関する保安を推進するために、最新の技術的知見に基づき制定される基準。技術基準には、規格、質疑応答・運用解釈、技術文書に分類される。
	緊急遮断装置	緊急時に当該装置が遠隔操作により作動し、水素の流れを遮断するもの。規定した温度を超えたときに直ちに自動的に閉止作動するものも含まれる。
	公道ディスペンサー距離	水素ディスペンサーと公道との間に確保せねばならぬ距離であり、一般高圧ガス保安規則第 7 条の 3 において圧縮水素スタンド設備に義務付けられている。
さ行	サドルマウント	圧縮水素運送自動車用容器を水素トレーラーに固定するにあたり、胴部の前後 2ヶ所以上を容器固定バンドで固定する方式。現行の例示基準「一般則第 49 条第 1 項第 2 号口関連 63.2 集合容器の固定に係る措置」に記載されている。
	差圧式高圧水電解装置	水の電気分解により発生する水素を、閉空間に貯蔵し続けることで高圧の水素を製造する高圧ガス設備のこと。本項において「差圧式高圧水電解装置」と同意。
	敷地境界距離	高圧ガス設備と敷地境界との間に確保せねばならぬ距離であり、一般高圧ガス保安規則第 7 条の 3 において圧縮水素スタンド設備に義務付けられている。
	遮断弁	水素の供給、遮断を制御するバルブ。
	車載容器	燃料電池自動車の車両に固定した燃料装置用として圧縮水素を充填するための容器。
	車載容器の記載事項	燃料電池自動車の車載容器の記載事項とは、車載容器総括証券における充填すべきガスの名称、搭載容器の本数、充填可能期限、検査有効期限、最高充填圧力、車台番号、及び容器再検査合格商標における再検査有効期限、再検査日をいう。高圧ガス保安法第 48 条より、車載容器に水素を充填する場合に、本記載事項を確認する必要がある。
	シュリーレン撮影	気体や液体（もしくは透明体）の密度差を目に見える形に表す可視化手法。平行光の場に透明な被検物をセットし、被検物を透過する光を集光させ、その焦点位置にセットされたナイフエッジを通して観測すると、被検物の密度分布が明暗として観察される。
	障壁	法令（高圧ガス保安法等）で定める保安距離を緩和し、保安物件を有効に保護するために設置する強固な壁。（保安距離；高圧ガス設備から保安物件までの法令で定める距離）
	水素キャリアー	水素を貯蔵・輸送するための媒体。化学的、物理的に水素を取り出すことが可能な物質、素材全般を指す。代表的なものとして水素吸蔵合金、有機ハイドライド、アンモニアなどがある。
	水素スタンド	燃料電池自動車（FCV）に燃料水素を供給する施設で水素ステーションと同義。現行の充填圧力は 70MPa。
	水素ステーション	燃料電池自動車（FCV）に燃料水素を供給する施設で水素スタンドと同義。現行の充填圧力は 70MPa である。
	水素トレーラー	水素の陸上輸送手段の一つ。タイヤのついたフレームに水素を充てる容器を固定し、これをトラクターでけん引できるようにしたもの。輸送後にトラクターとフレームを分離することができる。
	水電解機能を有する昇圧装置	水の電気分解により発生する水素を、閉空間に貯蔵し続けることで高圧の水素を製造する高圧ガス設備のこと。本項において「差圧式高圧水電解装置」と同意。

	用語	説明
	設計確認試験	高压ガス保安法容器保安規則により義務化された高压ガス充てん用容器の試験の一つ。圧縮水素運送自動車用複合容器では、一定数量によって構成される組又は個々の容器ごとに行う容器検査の試験。
	セルフガソリンスタンド	ドライバーが自ら、内燃エンジン自動車に、ガソリンあるいは軽油を給油することができる水素スタンド。国内では、給油ポンプの起動は従業員が行う。
	セルフ水素スタンド	ドライバーが自ら、燃料電池自動車（FCV）に燃料水素を充填することができる水素スタンド。国内でのセルフ水素スタンド実施の可能性及び詳細な規格・基準について、本プロジェクトで検討。
た行	第一種製造者	高压ガス保安法第五条第一項に掲げる者で、高压ガスの製造の許可を受けた者をいう。（一日の処理能力が100m ³ 以上である高压ガスの製造設備を使用する者）
	第二種製造者	高压ガス保安法第五条第二項に掲げる者で、高压ガスの製造の届出を行った者をいう。（一日の処理能力が100m ³ 未満である高压ガスの製造設備を使用する者）
	タイプ	ライナーを繊維強化プラスチックで補強した構造（複合構造）を有する圧力容器の一種。金属ライナーを使用し、その全体（胴部と鏡部）を繊維で補強した複合容器をタイプ III と呼ぶ。
	タイプ	ライナーを繊維強化プラスチックで補強した構造（複合構造）を有する圧力容器の一種。樹脂ライナーを使用し、その全体（胴部と鏡部）を繊維で補強した複合容器をタイプ と呼ぶ。
	脱水素	水素キャリアーから水素を取り出す工程を指す。
	蓄圧器	燃料電池車に充填するための水素ガスを高压で貯蔵する容器。蓄圧器はその構造、材料により「鋼製蓄圧器」（タイプ1）と「複合容器蓄圧器」（タイプ2, 3, 4）に分類される。
	中空試験片方式	試験片内部に空間を設け、その空間に水素を充填し、低歪速度引張試験を行う方式。
	超音波探傷検査方法	超音波を試験体中に伝搬させたときに、試験体の示す音響的性質を利用して、試験体内部のきず又は材質を調べる非破壊試験方法。略語は UT
	定期自主検査	高压ガス保安法 35 条の 2。第一種製造者、指定数量以上の第二種製造者は、製造又は消費のための施設であって経済産業省令で定めるものについて、経済産業省令で定めるところにより、定期に、保安のための自主検査を行い、その検査記録を作成し、これを保存しなければならない。
	ディスペンサー	圧縮水素スタンド内の装置のうち、燃料電池自動車に燃料として水素ガスを供給する装置。筐体、流量計、バルブ、充填ホース、緊急離脱カップリング、充填カップリングで構成される。
	ディンプル	多数の小さなくぼみ状の模様。延性破壊をおこした材料の破面に見られる。
な行	熱作動式安全弁	容器等の温度が上がった場合、熱により作動し、容器内部の流体を容器外部に放出し、容器の破裂等を防ぐ装置
	熱伝達率	固体表面とそれに接する流体との間での熱エネルギーの伝えやすさを表す値。単位面積、単位時間、単位温度差あたりの伝熱量で表す。
	熱電対	異種金属の 2 つの接点間の温度差により発生する熱起電力現象を利用して、温度差を測定する温度センサー。
	熱流束測定	対流熱伝達及び輻射により伝達される熱量の計測。
	燃焼圧測定	燃焼時に発生する圧力を、圧力センサーを用いて計測すること。
	ネックマウント	圧縮水素運送自動車用容器を水素トレーラーに固定するにあたり、両端に口金部が存在する容器に対し、口金部をブラケットで支持する固定方式。口金部の支持において、一方は固定し、他方はガス充填時等の膨張を考慮した方法であることが求められる。
	濃度のゆらぎ	濃度の時間変化。外気に放出されたガスの濃度は、拡散等の要因で刻々と変化する。
は行	破壊靱性試験	き裂・き裂状の欠陥を有する材料に、力学的な負荷が加わったときの破壊に対する抵抗を破壊靱性と言い、その値を測定する試験。
	爆風圧	水素が漏洩し着火・燃焼した際に発生する圧力。1kPa 以下となる距離が基準となる。ピンホール（口径 1.0mm）から漏洩させて測定。

	用語	説明
	保安検査	高圧ガス保安法35条。 第一種製造者は、高圧ガスの爆発その他災害が発生するおそれがある製造のための施設について、経済産業省令で定めるところにより、定期に、都道府県知事が行う保安検査を受けなければならない。
	輻射	ここでは、熱輻射の意味で、(熱)放射ともいう。伝熱の一部で、熱が電磁波によって運ばれる現象。または、物体が熱を電磁波として放出する現象をいう。
	輻射熱	水素が漏洩し着火した際に発生する熱。輻射熱が1.26kW/m ² 以下となる距離が基準となる。ピンホール(口径1.0mm)から漏洩させて測定。
	パブリックコメント	意見公募手続。行政機関が命令等(政令、省令など)を制定するに当たって、事前に命令等の案を示し、その案について広く国民から(=パブリック)意見や情報(=コメント)を募集するもの。通称パブコメ。
	フェーズドアレイ法	超音波探傷検査の方法の一つ。アレイ探触子の各振動子から異なったタイミングで超音波を送信および受信し、アレイ探触子を走査することなく所定の領域全体を探傷できる。
	ブラケット	ネックマウント方式において、水素トレーラーに容器口金部を固定するための治具。
	フレーム	容器を搭載するための鋼製の棚。水素トレーラー用のフレームをフルフレームと称することがある。
や行	有機ハイドライド	有機化合物に水素を化学的に結合させた物質を指す。常温常圧で液体であり、大量かつ長期の貯蔵・輸送に適している。水素との結合、水素の取り出しが可逆であることも特徴の一つ。
	容器保安規則	高圧ガス保安法、高圧ガス保安法施行令(平成九年政令第二十九号。以下「令」という。)に基づいて、高圧ガスを充てんするための容器であって、地盤面に対して移動することができるもの(以下単に「容器」という。)に関する保安について規定している。
	溶栓式安全弁	容器等の温度が上がった場合、熱により金属製の溶栓が溶けて容器内部の流体を容器外部に放出し、容器の破裂等を防ぐ装置
ら行	離隔距離	水素スタンドで義務付けられている3つの距離(敷地境界距離、火気離隔距離、公道ディスペンサー距離)の総称。高圧ガス保安法で定義された用語ではない。
	リスクアセスメント	リスク解析によりハザードを特定し、ハザードから事故が起こるシナリオを明らかにし、次に、その起こりやすさと影響度を組み合わせてリスクの大きさ(リスクレベル)を算定し、リスク評価によりその許容基準を設定し、必要に応じてリスク低減策を講じる一連の検討プロセスのこと。
	例示基準	本項では「一般高圧ガス保安規則関係例示基準」のことを指す。一般高圧ガス保安規則関係例示基準は、一般高圧ガス保安規則に定める技術的要件を満たす技術的内容をできる限り具体的に例示したもので、一般高圧ガス保安規則の機能性基準を満たしているかどうかを判断する際の適合性評価に用いられ、このとおりであれば当該機能性基準に適合するとされる。
	レーザー計測(ラマン)	レーザーが気体に照射された場合に、気体から発生するラマン散乱光を利用し、気体の濃度計測を行う手法。

-2: 「水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発」

	用語	説明
英数	ASME 規格	主に石油精製設備・石油化学設備のプロセス配管に適用される米国機械学会の規格である。
	A6061	強度があり耐食性に優れたアルミ合金。T6は板を例にとると厚さ6.5未満で、溶体化処理後積極的に冷間加工を行わず、人工時効硬化処理したもの。 A6061-T6は耐力245N/mm ² 以上でSS400鋼に相当し、設計上たわみを問題にしなければ、同等の許容応力が得られるという利点がある。
	HPIS	(一社)日本高圧力技術協会【HPI】は、高圧力という専門分野について系統的な解明を行うために設立された民間団体。高圧力に関する各種規格【HPIS】を制定している。

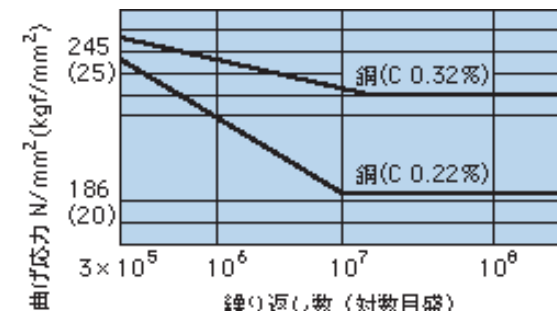
	用語	説明
	JIS B 8265	<p>圧力容器に関する法規の技術基準の整合化を図る目的で制定された規格である。</p> <p>圧力 4 法（電気事業法，ガス事業法，高圧ガス保安法，労働安全衛生法）は ASME Code をベースに制定されたが、個別の改正により細部では異なったものになっていた。</p> <p>そこで、2003 年に、JISB8265「圧力容器の構造 - 一般事項」は圧力 4 法を整合するために、また JIS B 8266「圧力容器の構造 - 特定規格」は、旧 JIS B 8270 の第 1 種圧力容器を一部修正の上、継承するために制定された。</p> <p>JISB8265 は設計圧力 30MPa 未満、JIS B 8266 は設計圧力 100MPa 未満が対象。</p>
	HYDROGENIUS	九州大学に設置された「水素材料先端科学研究センター」の略称。
	KHKS 0220 (超高压設備に関する基準)	高圧ガス保安法の適用を受ける超高压設備の耐圧部の材料、設計、製作、試験・検査に対して適用される基準である。高圧ガス保安法の省令、告示(例示基準)によらない場合に適用される基準である。この基準では詳細解析を実施することにより 設計係数の低減を可能としている。
	LBB	<p>Leak Before Burst（破裂前漏洩）の略。</p> <p>疲労き裂が圧力容器内面から進展して外面に達した際、不安定破壊が起こらず、容器内の水素が放出されて内圧が低下する現象。</p>
	Ni 当量	<p>Ni 当量は熱力学的立場から導入された Fe-Cr-Ni 系ステンレス鋼の化学組成上のオーステナイト組織の安定度を示す式で、基準の元素として Ni を用いている。Ni 当量 = Ni + 0.65Cr + 0.98Mo + 1.05Mn + 0.35Si + 12.6C で示される。Ni 当量約 30% 程度までは Ni 当量の増加につれてオーステナイトの安定化及び歪誘起マルテンサイト生成の低減により水素脆化への抵抗が増加する。</p>
	SA723 鋼	ASME 規格で規定されている 4% Ni 低合金鋼。従来より超高压特認容器用材料として使用されている。
	SCM435 鋼	<p>炭素量 0.33 ~ 0.38% 程度のクロムモリブデン鋼。（低合金鋼） (Cr; 0.90 ~ 1.20, Mo; 0.15 ~ 0.30 %)</p> <p>降伏点は概ね 785 MPa 以上、引張り強さ 930 MPa 以上の鋼。</p> <p>クロム鋼の中では比較的高めの機械的性質を持つ。</p>
	SNCM439 鋼	2%Ni 低合金鋼。高張力鋼として強靱性が要求される機械構造用部品に汎用される。高圧水素用蓄圧器に使用されている事例あり。
	SSRT Test	<p>Slow Strain Rate Tensile Test（低歪速度引張試験）</p> <p>低ひずみ速度による応力負荷により試料を強制破断させる遅れ割れ試験法。遅れ割れ特性の評価が短期間で可能であることから、本研究開発では耐水素性のスクリーニングに用いている。</p>
	SUH660 鋼	<p>常温、及び高温において高い強度を有する析出強化型オーステナイトステンレス鋼である。SUS-316 に比べ Ni を多量に含み（24 ~ 27%）、Ti、AL、V 等の析出硬化性元素が添加されている。固溶化熱処理（約 900、又は 980 の急冷）と時効処理（700 ~ 760 の徐冷）を行い製造される。</p> <p>Ni を多量に含むため常温、低温に於ける水素脆化感受性が低く、また許容応力も約 225 MPa と SUS316L の約 2 倍の強度を併せ持っている。</p>
	SUS316,SUS316L 系オーステナイトステンレス鋼	<p>SUS316 は、鉄の 6 大元素（C, Si, Mn, P, S, Fe）に 18%Cr と 12%Ni を含み、それにモリブデン(Mo)を添加して耐食性・耐孔食性を向上させたオーステナイト系ステンレス鋼の代表的な鋼種。</p> <p>ステンレス鋼は、表面に「不動態被膜」という薄い膜を形成し、それが安定して変化しない状態を保っており、海水や各種媒質への耐食性や耐孔食性を向上させている。</p> <p>SUS316L は、SUS316 の炭素含有量(<=0.08)より低くした(<=0.03%)極低碳素鋼であり、耐粒界腐食性を有している。</p>

	用語	説明
	XM-19 (HRX19) 鋼	XM-19 は窒素、モリブデンを含有する耐食性に優れた高強度オーステナイトステンレス鋼。Mo を含有する SUS 316L に比較して優れた耐食性や高い強度を有する。 HRX19 は XM-19 規格内の鋼であるが、Ni 添加量を既存材の SUS316L レベルに抑えつつ、Ni と比較して安価な元素である Mn 添加量や Cr 添加量を適正化することで耐水素脆性を向上させている。優れた溶接性を有しており、溶接施工法が適用可能。
あ行	応力 / Stress	連続体内部に定義した微小面積に作用する単位面積あたりの力。 (単位の例 : kgf/mm ² , MPa)
	オーステナイト	オーステナイト (austenite) とは、純度 100% の鉄において 911 ~ 1392 の温度領域にある鉄の相 (組織) である。この領域において、鉄は面心立方格子構造をとる。Fe、鉄 (ガンマてつ) ともいう。非磁性体である。 鉄に炭素 (C) を最大 2.1% まで固溶した固溶体組織で、727 以上の高温で安定な組織であり、通常、常温では存在しない。しかし、オーステナイト生成元素の Ni、Mn を多量に固溶すると常温においてもハチの巣のような六角形の結晶粒を示すオーステナイト組織が得られる。18Cr - 8Ni に代表されるオーステナイト系ステンレスは Ni によりオーステナイト組織を持ち、粘り強く、柔らかく、成形性と耐食性に優れた性質を示す。 またオーステナイトは常磁性体 (非磁性体) であるが、加工等によりマルテンサイト組織が誘起されて磁性を帯びることがある。逆に、マルテンサイト組織にオーステナイト組織が残ることを残留オーステナイトと言う。
	オーステナイトの安定化	オーステナイトステンレス鋼に於いて固溶原子の分配などによってオーステナイト組織が安定化されて、マルテンサイト組織への変態が起こりにくくなる現象を言う。Ni 当量を上げることによりオーステナイト組織が安定化する。
か行	許容引張応力	機械や構造物に許容される引張側の強さを言う。適用する材料の常温及び設計温度での引張り強さを設計係数で除した値、又は降伏点 (又は耐力) を 1.5 で除した値の最も小さい値を用いる。
	クロムモリブデン鋼 (クロモリ鋼)	鉄に極わずかのクロム、モリブデン等を添加した低合金鋼の一種。略してクロモリ鋼とも呼ばれる。
	降伏比	引張強さと降伏点 (通常は上降伏点)、又は耐力の比を言う。
	固溶化処理 (溶体化処理)	合金成分が固溶体に溶解する温度以上に加熱して十分な時間保持し、急冷してその析出を阻止する操作。 ステンレス鋼では炭化物などを素地に固溶させて安定した耐食性を確保するために行われ、また時効硬化形合金では時効処理の前の準備として行われる。 JIS G 0201 鉄鋼用語 (熱処理) でこの用語を規定しているが、非鉄金属材料分野をはじめとして、溶体化処理という用語が用いられることも多い。 (固溶体処理加熱温度 : ステンレス 1,000 ~ 1,100 前、アルミニウム合金 450 ~ 550 前後)
さ行	絞り、相対絞り (RRA)	引張試験や SSRT 試験での試験片破断後における最小断面積とその原断面積との差の原断面積に対する百分率を言う。相対絞り (RRA) は高圧水素ガス雰囲気における絞りを不活性ガス雰囲気における絞りで除した値。
	詳細基準事前評価	「一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について」等の通達に基づいて行う制度。 機能性基準化された省令条項について例示基準に規定されていない方法を使用する場合、申請者が作成した詳細基準が関係規則に定める機能性基準に適合するか否かを判断し、その結果を検査等の申請書に添付することにより、その検査等に適用する詳細基準として採用することができる。
	水素脆化	金属材料が高圧の水素雰囲気中で使用される場合や高温の水素環境に曝露された場合に、原子状の水素が金属に拡散されることにより延性や靱性が低下する (脆化する) 現象を言う。
	水素チャージ	材料中に水素を侵入・拡散させる方法。高温高圧水素環境下で保持する方法と、電気化学的にチャージする方法がある。

	用語	説明
	析出硬化	「固溶化熱処理」（非鉄金属、特にアルミニウム合金では「溶体化熱処理」という）した合金は、本来ならば低温で析出するはずの合金元素が急冷により析出する間もなくむりやり溶け込まされた状態となっており不安定である。これが時間の経過につれ本来の安定な状態にもどろうとして、ところどころ析出してくる。この析出により結晶はすべりにくく硬くなる。 これを「析出硬化」または時効硬化（agehardening）という。時効硬化には常温時効硬化と人工時効硬化があり、後者を「析出硬化処理」ともいう。
	設計基準	圧力設備の設計時に適用する法規（高圧ガス保安法、労安法（ボイラー、圧力容器構造規格、消防法等）の技術上の基準（省令及び告示）に規定された設計上の基準類
	設計係数	圧力設備の設計時における材料の基準強度に対する余裕度を言う。 なお、旧来の安全率とは同義語である。
た行	特定案件事前評価（大臣特認）	「高圧ガス保安法に於ける経済産業大臣特別認可申請手続きについて」に基づいて行う制度。高圧ガス保安法の省令に定められている規定によらないで高圧ガス設備の製造を行う時にこれらの規定に代わる特則を経済産業大臣の特別認可を申請して適用できる。 このような、大臣への特認を申請しようとするものは予め高圧ガス保安協会の事前評価の審査を受け、その評価結果を用いて特認申請する。
	低温脆性（ていおんぜいせい）	金属材料が温度低下によって脆くなる性質。
は行	引張試験	引張試験機を用いて試験片を引張り、降伏点、耐力、引張強さ、降伏伸び、破断伸び、破断絞りなどを測定する試験。
	疲労寿命	疲労破壊を生じるまでの応力の繰り返し回数、Nの記号を用いる。
	疲労試験	材料の繰り返し応力に対する強さ（疲労強度）を測定する試験であり、応力振幅S（N/mm ² ）を変化させて材料が破壊するまでの繰り返し回数（N）を測定する。この試験結果を縦軸に応力振幅、横軸に繰り返し数で表示したグラフを「S-N曲線」という。
	疲労き裂進展試験	人工の欠陥やスリットを有する試験片に繰り返し応力を与え疲労き裂長さの1サイクル当たりの増加量を測定する。き裂進展試験でのき裂進展速度 da/dN（m/cycle）を縦軸に応力拡大係数幅 K（MPa・m）を横軸にとったグラフを作成し、各材料のき裂進展特性を評価する。
	複合容器	ライナーと呼ばれる薄肉の容器の外側を、炭素繊維やガラス繊維等の複合強化材で多重積層した圧力容器（元は、複合強化圧力容器と呼ぶ）。 金属材料の圧力容器よりも比強度が大きく、軽量であることが特徴。
	プレクール設備	水素を高圧の蓄圧器から低圧の車載容器に充填時に断熱膨張により水素ガス温度が上昇する。車載容器で使用する複合容器材料（CFRP）の許容温度以下にするための冷却設備を言う。 通常プレクール設備の出口温度は - 4 0 としている。
ま行	マルテンサイト	マルテンサイト（martensite、'相）は、Fe-C系炭素鋼を、安定なオーステナイトから急冷する事によって得られる組織。刀の作成段階で見られる焼入れなどは、鋼をこの組織へと変態させる作業の事である。 組織構成は、オーステナイトが炭素を固溶したままの状態で体心正方格子を取る構成で、炭素を含有する鉄合金では組織は非常に硬い層組織である。しかし、工業的には高靱性である必要から、できた炭素含有鉄合金を焼き戻しすることで焼戻しマルテンサイトにして使用する。 マルテンサイトは針状のこまかな組織で、鋼の焼入組織としては最も硬く、強磁性体である。したがってオーステナイト系ステンレスが加工などによりマルテンサイトを誘起すると磁性を帯びることになる。 マルテンサイト系ステンレスは、このマルテンサイト組織をもった高Cr鋼であり、特性は同様に、強磁性体で焼入れ硬化性に優れ、刃物などによく使われる。しかし、硬くて脆いという欠点もあり、また耐食性、溶接性、加工性はオーステナイト系ステンレスに劣る。

	用語	説明
	ミルシート	鋼材メーカーが発注者に対して発行する鋼材の品質を証明する書類である。記載事項は下記の通り。 一般事項：需要家名、注文社名、証明書番号、工事番号等 化学成分：主要元素（C、Si、Mn、P、S、Cr、Ni、Mo等）の割合 引張試験結果：降伏点又は耐力、引張強さ、伸び(%)等
ら行	冷間加工	塑性変形を利用した加工方法。常温もしくは材料の再結晶温度未満で行なう加工である。主に金属材料で用いられるが、鋼の場合、通常は摂氏 350-500 度未満で行われる。 冷間加工によって金属は加工硬化し、残留応力やひずみエネルギーが蓄積されるので加工前より不安定な性質となる。安定化するためには再度再結晶温度に加熱後、徐冷し焼なましをする。冷間加工の例では冷間圧延、引抜き、冷間鍛造、プレスなどがある。
	例示基準	省令は機能性基準であるため詳細な仕様を記載していないが、省令への適合性評価に当たって、例示基準に示されているとおりである場合には、当該機能性基準に適合すると見なされるもの。

-3：「燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発」

	用語	説明
英数	鉄	鉄の同素体のうち常圧、低温度域で安定な体心立方晶の純鉄。一次固溶体も含めてフェライトと呼ばれる。鉄は常圧下では、912、A ₃ 点以下で安定。A ₃ 点で 変態を起こす。
	AOD	ステンレス鋼の精錬に用いる炉。Argon Oxygen Decarburization の略。オーステナイト系ステンレス鋼の迅速な精錬に適している。
	area _{max}	極値統計を用いて推定された、試験片中に含まれる最大介在物寸法。粗大な介在物は疲労破壊の起点となることから、area _{max} と疲労限度には相関が認められる。 参考：「極値統計法」、「疲労限度」
	bcc	体心立方格子構造(たいしんりっぽうこうしこうぞう)とは、結晶構造の一種。立方体形の単位格子の各頂点と中心に原子が位置する。略称 BCC(Body-Centered Cubic lattice)。
	フェライト	デルタフェライト(delta ferrite)とは、純度 100%の鉄において 1392 ~ 1536 (融点)の温度領域にある鉄の相(組織)である。この領域において、鉄は体心立方格子構造をとる。Fe、鉄(デルタてつ)ともいう。純度 100%の鉄において、1536 を超えると鉄は液体になる。 デルタフェライトは、Fe-C 状態図において、1494 で最大溶解量 0.1[mass %]までの炭素を固溶できる。
	fcc	面心立方格子構造(めんしんりっぽうこうしこうぞう)とは、結晶構造の一種。単位格子の各頂点および各面の中心に原子が位置する。略称 FCC(face-centered cubic lattice)。充填率は六方最密充填構造と等しい。
	Md30 ()	30%の加工により、50%のマルテンサイト相が生成する 温度。Md30() = 413-462(C+N)-9.23Si-8.1Mn-13.7Cr-9.5Ni-18.5Mo 各温度域における水素脆化を起こさない成分範囲を決める。
	S - N 曲線	疲れ強さ試験において、材料に発生する応力 S(N/mm ²)を縦軸にとり、横軸に材料が破壊するまでの繰返し数 N をとったグラフを「S - N 曲線」という。「疲れ強さ」を図示できる。 

	用語	説明
	SNCM439 鋼	2%Ni 低合金鋼。高張力鋼として強靱性が要求される機械構造用部品に汎用される。高圧水素用蓄圧器に使用されている事例あり。
	S - S 曲線	応力(stress) - ひずみ(strain)から S - S 曲線ともいう。引張試験において縦軸に引張応力(荷重)、横軸に引張ひずみ(伸び)の量または伸び率%をとり、引張応力と伸びの関係を線グラフにしたもので、引張強さ、降伏点、耐力、弾性限度などが図示できる。
	SSRT 試験	低ひずみ速度引張試験。高圧水素環境下で、表面被服を破壊しながら、引張試験を行うため、材料に定常的に水素を吸収させながら、水素脆化の評価が可能。
あ行	応力 / Stress	荷重 = N (kgf)を材料片の平行部のはじめの断面積(mm ²)で割ったものが応力である。: N / mm ² (kgf/mm ²)
	応力・ひずみ曲線 (S-S 曲線)	応力(stress) - ひずみ(strain)から S - S 曲線ともいう。引張試験において縦軸に引張応力(荷重)、横軸に引張ひずみ(伸び)の量または伸び率%をとり、引張応力と伸びの関係を線グラフにしたもので、引張強さ、降伏点、耐力、弾性限度などが図示できる。
	オーステナイト / オーステナイト系ステンレス	オーステナイト(austenite)とは、純度 100%の鉄において 911 ~ 1392 の温度領域にある鉄の相(組織)である。この領域において、鉄は面心立方格子構造をとる。Fe、鉄(ガンマ)ともいう。非磁性体である。鉄に炭素(C)を最大 2.1%まで固溶した固溶体組織で、727 以上の高温で安定な組織であり、通常、常温では存在しない。しかし、オーステナイト生成元素の Ni、Mn を多量に固溶すると常温においてもハチの巣のような六角形の結晶粒を示すオーステナイト組織が得られる。18Cr - 8 Ni に代表されるオーステナイト系ステンレスは Ni によりオーステナイト組織を持ち、粘り強く、柔らかく、成形性と耐食性に優れた性質を示す。またオーステナイトは常磁性体(非磁性体)であるが、加工等によりマルテンサイト組織が誘起されて磁性を帯びることがある。逆に、マルテンサイト組織にオーステナイト組織が残ることを残留オーステナイトと言う。
	応力拡大係数 範囲 K	き裂を有する部材に繰返し応力が作用するとき、き裂の寸法および応力の最大値と最小値から算出される応力拡大係数の最大値と最小値との差として定義される。一般に、小規模降伏状態における疲労き裂伝搬速度の評価に用いられる。
	応力振幅	応力振幅とは、疲労試験において、試験片に生じる変動応力の範囲の半分。S-N 線図の作成には、通常、応力振幅が使われる。
	応力比	応力比とは、疲労試験での繰返し荷重 1 サイクルにおける最大応力に対する最少応力の比。引張応力を正、圧縮応力を負とする。
	遅れ破壊	水素脆化のうち、静荷重下の材料が、加工時あるいは使用中に侵入した水素によって使用開始後一定期間で突然に破壊する現象を特に遅れ破壊と呼ぶ。
か行	加工硬化	「ひずみ硬化」ともいう。鉛など特異な例を除き、金属に応力を与えると結晶のすべりが生じ、そのすべり面に対する抵抗がだんだん増してくる。そしてその抵抗がある程度大きくなると他の面に順次移っていく(塑性変形)。冷間加工により変形が進めば進むほど抵抗が大きくなり金属は硬さを増していくが、これを加工硬化という。伸銅品、ステンレス板やアルミの非熱処理合金板などはこの加工硬化の程度(加工率)によって質別の区分がされている。
	加工誘起マルテンサイト変態	18Cr-8Ni の代表鋼種である SUS304 は常温ではオーステナイト組織であるが、曲げ加工や深絞り加工その他加工が加えられるとオーステナイトの一部がマルテンサイトに変わる。その変わる量は加工の程度が大きくなればなる程多く、また同じ程度の加工であっても SUS304 の範囲内の化学成分値の違いによってもマルテンサイト量は違ってきます。このように、冷間加工によって生じたマルテンサイトのことを「加工誘起マルテンサイト」と呼ぶ。
	機械的性質	材料の機械的な特性、つまり弾性、非弾性反応、応力と歪み、弾性率、引張強さ、疲れ限、硬さなどのように力が加えられた場合に発生する材料性質。
	極値統計法	金属中に含まれる非金属介在物を評価する手法の一つ。介在物寸法を複数視野で測定し、その結果を極値統計処理することで、最大寸法を推定する。
	許容応力	機械や構造物が破壊しないために材料に生じては支えない最大の応力のこと。また同じ材料でも応力の種類や荷重のかかり方で変わってくるので注意が必要である。
	繰返し荷重	動荷重の一つで一定の周期と振幅で繰返し作用する荷重のことをいう。

	用語	説明
	強化プラスチック	「FRP」の項を参照のこと。プラスチックが熱硬化性プラスチックの時は FRP、熱可塑性プラスチックの時は、FRTP(TP は Thermo Plastics の略)という。
	降伏点	引張試験の途中で応力(引張荷重)が急に低くなり、その後応力が大きくならずに伸びが進むという現象が起こる。その転機の応力 W を試験前の材料片の断面積 A_0 で割った値を降伏点 (yield point)という。また降伏点はスプリングバック発生の目安ともなる。
	固溶化熱処理	合金成分が固溶体に溶解する温度以上に加熱して十分な時間保持し、急冷してその析出を阻止する操作。ステンレス鋼では炭化物などを素地に固溶させて安定した耐食性を確保するために行われ、また時効硬化合金では 時効処理の前の準備として行われる。JIS G 0201 鉄鋼用語 (熱処理)でこの用語を規定しているが、非鉄金属材料分野をはじめとして、溶体化処理という用語が用いられることも多い。(固溶体処理加熱温度：ステンレス 1,000 ~ 1,100 前、アルミニウム合金 450 ~ 550 前後)
さ行	再結晶	冷間加工によって加工硬化した材料をある温度まで加熱すると急に軟化する。これは、加工によって変形した 結晶が、多角形の細粒に分割結晶するため、増加していた転位も消滅し、結晶粒は内部ひずみを持たない安定したものとなる。これを再結晶といい、この再結晶の 始まる温度を「再結晶温度」という。またこの再結晶 温度以上の加熱後に除冷することが「焼なまし」に当たる。
	残留リガメント	き裂進展後に試験片の破面を観察すると、進展き裂の周囲にき裂が進展していない未破断部が観察される。この未破断部を残留リガメントと呼ぶ。
	時間強さ	疲れ強さ試験において、指定された回数の繰返し数に耐える応力の上限值。
	絞り / reduction of area	引張試験で破断した材料片の最小断面積 A と最初の断面積 A_0 との差(小さくなった面積)を最初の材料片断面積 A_0 で割った百分率%。
	シャルピー衝撃試験	衝撃試験の方法で試験片の両端を支えて中央部を折って衝撃値を求める。シャルピー衝撃試験で試験片を破断するために使われた吸収エネルギーを、その破断した部分の面積で割った値を求める方法で、一般にこの値が小さいものはもろい。
	衝撃試験	材料の動的衝撃に対する抵抗の度合いを測定するもので、ねばり強さ [靱性]、もろさ [脆性] を知ることができる。特に脆性を知る有効な試験方法である。シャルピー衝撃試験、アイゾット衝撃試験が代表的である。
	衝撃強さ	材料が衝撃荷重に対して示す抵抗値。
	時効硬化	「固溶化熱処理」(非鉄金属、特にアルミニウム合金では「溶体化熱処理」という)した合金は、本来ならば低温で析出するはずの合金元素が急冷により析出する間もなくむりやり溶け込まされた状態となっており不安定である。これが時間の経過につれ本来の安定な状態にもどろうとして、ところどころ析出して来る。この析出により結晶はすべりにくく硬くなる。これを時効硬化(age hardening)または「析出硬化」という。時効硬化には 常温時効硬化と人工時効硬化があり、後者を「析出硬化処理」ともいう。
	修正 Ni 当量	ステンレス鋼からニッケル基合金までの広い範囲での水素環境脆化に及ぼす化学成分の影響の指標として単に Ni 含量では依存性が十分明らかでないことから、この修正 Ni 当量を当てはめることにより、広い範囲の金属材料の水素環境脆化がこの指標で整理できることを見出した。
	靱性 (じんせい)	物質のねばり強さを技術用語で「靱性」という。引張試験での「伸び」の大小とは直接関連しないが、衝撃にあっても割れにくい性質であるため、衝撃試験の数値が大きければ、一般にねばり強いといえる。
	水素助長割れ下限界 応力拡大係数 K_{IH}	水素の影響によってき裂が進展する際の閾値を表す破壊力学パラメータ。本研究開発においては、高圧水素ガス環境における K_{IH} を対象としている。
	水素蓄圧器	燃料電池自動車に水素を差圧充填するため、水素を貯蔵する圧力容器。その構造から Type ~ Type に分類されるが、本研究開発においては Type (鋼製容器)を対象としている。
	ストローク速度	引張試験機における、試験機のクロスヘッドの移動速度。 クロスヘッドは引張試験片の移動端側の可動梁。引張試験機はボールネジ等の機構でクロスヘッドを移動させることで、引張荷重を試験片に付与する。

	用語	説明
	ストライエーション	疲労によって破面上に形成される縞状の模様をいう。 負荷時のき裂先端の塑性鈍化と除荷時のき裂先端の再鋭化によってこのような模様が形成される。破面の上下面では山と山、谷と谷が対応しており、ストライエーション間隔はそのときの繰返し負荷 1 サイクル間に進展したき裂の長さ、すなわち疲労き裂進展速度に対応している。ただし疲労破面全体がすべてストライエーションによって覆われているわけではない。
	析出硬処理化	固溶化熱処理（溶体化処理）の後、時効硬化(析出硬化)を人工的に行うことをいい、ベリリウム銅、ステンレス鋼の 600 番台のものやアルミニウム合金の 2000 番系、6000 番系、7000 番系及びアルミニウム合金鋳物などの T6 処理が代表例である。熱処理としての析出硬化処理は、合金に応じて人工的に温度を上げ、溶け込んでいる元素の原子運動を容易にしてから冷やして行くもので、時効硬化を早める。これを人工時効硬化ともいい、アルミニウム合金では「焼戻し」に当たる。一方常温で行われる時効硬化を「常温時効硬化」あるいは「自然時効硬化」という。アルミニウム合金では T4 処理が代表的であり、人工時効硬化(T6)とは区別されている
	脆性（ぜいせい）	物質の“もろさ”(Brittle)を技術用語で「脆性」という(脆性 靱性)。衝撃試験である程度脆性の大小をいうことができる。また金属の脆化現象には次の様なものがある。
	設計係数	圧力容器の許容応力を算出する際に用いられ、引張強さに対する安全係数を示す。
	塑性ウェイク	き裂が進展する場合は、まず塑性変形を生じたのちにき裂が進展するため、き裂進展領域には塑性域が残留している。この残留塑性域を塑性ウェイクと呼ぶ。
た行	疲れ限度 / fatigue limit	金属を繰り返し折り曲げると、引張って切れるよりはるかに小さな力で破断する。これを疲れ破断と言う。鋼の場合は応力(荷重)が小さくなるに従って破壊にいたる繰返し数が増えていき、応力がある程度以下になると繰返し数をいくら多くしても材料は破壊されにくくなる。この限度を「疲れ限度」と言う。非鉄金属の場合は、この「疲れ限度」が明確に現れないため、応力(S)の繰返し数(N)が1千万回(10^7)の繰返しに耐える 応力(S_0)を「疲れ強さ」と言い、 S_0 kgf/mm ² (10^7)と表示する。実際に金属を使用する際の強度比較数値として 重要である。参考：「S - N 曲線」、「耐疲労性」
	低温脆性（ていおんぜいせい）	鋼は - 20 ~ - 30 で急激にもろくなる特性がある。これは特にりん(P)の成分の多い鋼種に多く現れる。またアルミニウムは、超低温範囲に至るまで低温脆性を示さない。
	定変位遅れ割れ試験	予めき裂を導入した試験片にボルトロードを負荷し、高圧水素ガス中に 1000h 保持する。保持後のき裂の進展・停止挙動から K_{IH} を評価する試験方法。ASME Sec. Div.3 KD10 に規格化されている。
	停留き裂	鉄鋼材料のように明確な疲労限度が現れる材料において、疲労限度の繰返し応力下で発生し、少しだけ進展した後に停止した疲労き裂をいう。停留き裂が生じる材料の疲労限度は、発生した疲労き裂が進展するか停留するかの限界の応力を意味する。
	転位	金属の格子欠陥の一つ。金属は原子が規則正しく並んでいる結晶とされているが、実在の金属中には原子の並びに乱れ(欠陥)があり、線状の欠陥を転位と呼ぶ。転位の移動に必要なエネルギーは、すべり面の金属格子全体を一度に移動させるエネルギーの数千分の 1 とわずかである。即ち、実在の金属結晶の塑性変形は転位の運動によって容易に行えるものとされている。
	ドロベンチ	冷間引抜加工を行う装置
は行	非金属介在物	製造工程中に鋼の内部で生成される複合物質のことで、 Al_2O_3 、MnS などがある。その測定法としては、JIS G 0555 ,ASTM E45 などが規格化されている。
	ひずみ速度	ひずみの時間的変化の割合で、s-1 の単位を持つ。多くの材料において、変形中の応力は、ひずみと温度およびひずみ速度によって変化するので、ひずみ速度は、材料の構成式において重要な変数の一つである。一般に、ひずみ速度が大きくなると材料の変形中の応力も大きくなるが、ある種のアルミニウム合金のようにひずみ速度の 変化に比較的鈍感な材料もある。
	評価試験方法	高圧水素ガス環境における材料の健全性を評価する試験方法であり、SSRT 試験、疲労試験、疲労き裂進展試験、ライジングロード試験、定変位遅れ割れ試験などがある。

	用語	説明										
	疲労き裂進展速度	繰返し応力 1 サイクルあたりの疲労き裂の長さの増加量をいう。き裂長さを a、応力負荷の繰返し数を N としたとき da/dN と表記される。通常、応力拡大係数範囲や J 積分範囲を用いて整理される。										
	疲労限度	鉄鋼系の材料では、S-N 曲線がある応力で水平に折れ曲がり、それ以下の応力をいくら繰返しても破断しない現象が現れる。このときの破断しなくなる最大の応力をいう。耐久限度ということもある。通常、S-N 曲線の折れ曲がりには $10^6 \sim 10^7$ 回の繰返し数の範囲に見られる。										
	疲労試験	繰返し応力を与えて材料が破断するまでの繰返し数を評価する試験。										
	偏析 * 正偏析 * 逆偏析	不純物や合金元素を含む合金を鑄造するとき、鑄型に 接した外部から内部へ凝固していく。このとき溶融点の低い成分や不純物は最後に凝固する部分、すなわち、中心部に集中して偏在することになる。これを偏析(正偏析)といい、ガスの圧力や急冷などによって、内部より 外周部にしみ出して集まる現象を「逆偏析」という。逆偏析は、青銅にみられる。										
ま行	マルテンサイト	マルテンサイト(martensite、'鋼)は、Fe-C 系炭素鋼を、安定なオーステナイト域から急冷する事によって得られる組織。刃の作成段階で見られる焼入れなどは、鋼をこの組織へと変態させる作業の事である。組織構成は、オーステナイトが炭素を固溶したままの状態で体心正方格子を取る構成で、炭素を含有する鉄合金では組織は非常に硬い層組織である。しかし、工業的には高靱性である 必要から、できた炭素含有鉄合金を焼き戻しすることで靱性を付与して焼戻しマルテンサイトにして使用する。 マルテンサイトは針状の微細組織で、鋼の焼入組織としては最も硬く、強磁性体である。したがってオーステナイト系ステンレスが加工などによりマルテンサイトを誘起すると磁性を帯びる。マルテンサイト系ステンレスは、このマルテンサイト組織をもった高 Cr 鋼であり、特性は強磁性体で焼入れ硬化性に優れ、刃物などによく使われる。しかし、硬くて脆いという欠点もあり、また耐食性、溶接性、加工性はオーステナイト系ステンレスに劣る。										
	曲げ試験/bend test	規格の試験片を規定の半径で規定の曲げ角度まで変形を与え、曲げられた部分の外側を検査し、亀裂や欠点の有無によって合格判定をする試験法である。										
	面心立方格子	X、Y、Z 方向の 3 軸の長さが等しく、すべて垂直であるような構造を有する立方晶系の 1 つで、立方体の角の他にその正方形をなす各面の中心にも結晶原子または分子を有するもの。										
や行	焼入れ/quenchig	一旦、加熱、保持したものを急冷するもので、常温の水や 60 ~ 80 の油で冷やすことが多い。刃や刃物の焼入れはよく知られている様に、硬度、耐摩耗性を得ることができるが、反面脆化や残留応力が生じ、条件によっては焼割れ、焼曲がりが発生する。アルミニウムの熱処理合金では「溶体化処理」がこの焼入れにあたる。										
	焼なまし/annealing	「焼鈍(ショウドン)」ともいう。再結晶温度に加熱、保持の後、普通炉冷によりゆっくり冷ます。残留応力の除去、材料の軟化、切削性の向上、冷間加工性の改善、結晶組織の調整などを目的とする。また鋼種、目的により加熱温度と徐冷の方法が変わってくる。										
	焼なまし温度	焼なまし温度 焼きなまし温度は鋼種や目的により幅が大きいため目安にすぎないが代表例は下記の通りになる。 <table border="1" data-bbox="502 1545 774 1814"> <thead> <tr> <th>合金名</th> <th>加熱温度 ()</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A6061</td> <td>345 ~ 415</td> </tr> <tr> <td>A6063</td> <td>345 ~ 410</td> </tr> <tr> <td>A7075</td> <td>900 ~ 1000</td> </tr> <tr> <td>SUS304</td> <td>900 ~ 1000</td> </tr> </tbody> </table>	合金名	加熱温度 ()	A6061	345 ~ 415	A6063	345 ~ 410	A7075	900 ~ 1000	SUS304	900 ~ 1000
合金名	加熱温度 ()											
A6061	345 ~ 415											
A6063	345 ~ 410											
A7075	900 ~ 1000											
SUS304	900 ~ 1000											
	溶体化処理 / solution heat treatment	「固溶化熱処理」の項を参照のこと。アルミニウム合金の場合「固溶化熱処理」のことを溶体化処理という。合金を均一固溶体範囲の温度に加熱して合金元素を固溶させ急冷することで、常温における合金元素の固溶化をはかる熱処理のことである。										
ら行	ライジングロード試験	予めき裂を導入した試験片に低変位速度で荷重を負荷し、き裂を進展させる。大気中と高圧水素ガス中で試験を行い、荷重-変位線図上で両試験結果が分岐する点を水素中でき裂が進展を開始した点と判断して、 K_{IH} を評価する試験方法。										

	用語	説明
	冷間加工	再結晶温度未満、または常温で行なわれる加工を冷間加工といい、またこれは塑性変形を利用した加工である。冷間加工によって金属は加工硬化し、残留応力やひずみエネルギーが蓄積されるので加工前より不安定な性質となる。安定化するためには再度再結晶温度に加熱後、徐冷し焼なましをする。冷間加工の例では冷間圧延、引抜き、冷間鍛造、プレスなどがある。
	冷間引抜加工	丸棒形状等の棒鋼を引抜ダイスに通し、引抜くことで鋼材の形状を変化させると共に、高強度化する加工方法。高耐力化、高引張強化、素材のニアネットシェイプ化を実現することができる。

-4：「複合圧力容器蓄圧器の基準整備等に関する研究開発」

	用語	説明
英数	AE 法	AE（アコースティックエミッション acoustic emission）は、材料のき裂の発生や進展などの破壊に伴って発生する弾性波（振動、音波）。AE 法は AE を用いて破壊の情報を知らうとする計測の技術。
	S-N 線図	縦軸を Stress-amplitude（応力振幅）、横軸を Number of cycles to failure（破断までの繰返し数=疲労寿命、対数目盛）とした疲労特性の関係図。
あ行	圧力サイクル試験	容器に液体（圧力媒体）によって繰返し圧力を加え、破断までの繰返し数（=疲労寿命）を計測する試験。KHKTD5202 における疲労試験と同意。
	応力	部材内に発生している単位面積あたりの力を言い、部材の変形や破壊などに対する負担の大きさを検討するのに用いられる。 圧力によって容器に生じる応力は、周方向、軸方向、半径方向の 3 つの応力（主応力）に整理される。引張応力はプラス、圧縮応力はマイナスで表示する。 単位は、圧力の単位と同じになり、MPa または N/mm ² を使う場合が多い。
	応力振幅	繰返し圧力によって容器に生じる応力の、最大応力と最小応力の差の半分。 材料の疲労特性の整理には応力振幅が用いられる。（S-N 線図項参照）
	応力範囲	繰返し圧力によって容器に生じる応力の、最大応力と最小応力の差。
か行	鏡部	容器の円筒状部の両端の椀状の蓋部分。
	技術文書 KHKTD 5202（2014）	水素ステーションの蓄圧器として用いる複合圧力容器は、特定設備検査規則の適用を受けるが、規則及び例示基準が整備されていないため、NEDO 事業で検討を行った。その成果を踏まえて制定された、材料、設計、加工、構造及び検査の要求事項を定めた技術文書。 （正式名称：圧縮水素蓄圧器用複合容器に関する技術文書）
	口金部	（本事業報告において）複合容器の一端あるいは両端に設けられたねじ部を含む金属部分をいう。タイプ 4 においては金属製のボス部（フランジ部分も含む）。
さ行	自緊処理	金属ライナーが塑性変形するのに十分な圧力を容器にかけて、金属ライナーに残留圧縮応力、金属ライナーの外周繊維に引張残留応力を発生させる圧力処理。残留する圧縮応力が、金属ライナーの疲労寿命を長くする。
	常圧（常用の圧力）	複合圧力容器が通常使用される状態での最高の圧力。
	常温	5 ～ 35 の温度範囲（JIS）
	上限圧力/下限圧力	容器に繰返し圧力を加える場合の、最大の圧力値と最小の圧力値。
	ストレスラプチャー試験	FRP 材料について、一定の荷重を試験片に加え続け、破断するまでの寿命を測定する。
た行	蓄圧器	燃料電池車に充填するための水素ガスを高压で貯蔵する容器。蓄圧器はその構造、材料により「鋼製蓄圧器」（タイプ 1）と「複合容器蓄圧器」（タイプ 2, 3, 4）に分類される。
	胴部	容器中央の円筒状部分。
な行	伸び歪	金属材料を引張によって塑性変形させたときの引張方向の変形量。
は行	疲労	繰返し応力により金属などがき裂を生じたり破断する現象。

	用語	説明
	ピーク応力振幅	KHKS0220 および ASME Boiler & Pressure Vessel Code, VIII, Division 3 にて定義されている、圧力容器の疲労寿命評価のための応力。圧力サイクルにより生じる最大の主応力差の振幅の意味をもつ応力。
	部分充填	蓄圧器から燃料電池車への水素ガス充填において、蓄圧器と車両の燃料容器の圧力が平衡に達したとき、この平衡圧力より高圧力の次の蓄圧器に切り替えて充填を継続する方法が効率的であるとされている。このように圧力変動の小さい充填を繰り返し行うと。
	平均応力	繰返し圧力によって容器に生じる応力の平均値。 (最大応力+最小応力)/2。 部分充填で用いる蓄圧器は、受けもつ充填圧力の領域によって平均応力が異なる。
や行	有限要素法	物体を要素と呼ばれる微小部分に分割し、要素ごとの近似的つり合い式に基づいて行うコンピュータシミュレーション手法。正確な応力とひずみを評価できる。
	予歪	予め金属材料に与えられた塑性変形。予歪を導入された材料は力学的特性が素材と異なるとされる。一方自緊処理では金属ライナーに一旦塑性変形(伸び歪)を与えるため、今事業では予め自緊と同様の伸び歪を与えた試験片の疲労特性を予歪なしの試験片と比較した。

-5: 「自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発」

	用語	説明
英数	1958 年協定	正式名称は「車両並びに、車両への取付け又は車両における使用が可能な装置及び部品に係わる統一的な技術上の要件の採用並びに、これらの要件に基づいて行われる認定の相互承認のための条件に関する協定」。自動車の構造及び装置の安全・環境に関する統一基準の制定と相互承認を図ることを目的とし、自動車の構造及び装置に関する規則(以下「UN 規則」)について規定されている。
	1998 年協定	平成 10 年(1998 年)にジュネーブで作成された「車両並びに車両への取付け又は車両における使用が可能な装置及び部品に係る世界技術規則の作成に関する協定。自動車の安全、環境、燃費及び盗難防止にかかわる世界技術規則「UN GTR」の制定と統一基準「UN 規則」との両立を目的とする。つまり、自動車の安全分野についてメーカーが製品の基準適合性を保証し、販売後に政府が市場の自動車の適合性を確認する「自己認証制度」を採用している国を考慮した協定。
	Bi	15 族(窒素族)元素の一。元素記号 Bi 原子番号 83。原子量 209.0。融点 271.4 。電気伝導性・熱伝導性は小さい。融点が低く、易融合金の材料にする。アルミニウム合金では、低融点元素 Bi(+Pb)を添加した快削合金 A6262 がある。
	Cr	6 族(クロム族)に属する遷移元素の一。元素記号 Cr 原子番号 24。原子量 52。常温ではきわめて安定で、空気中や水中では酸化されないなど耐食性が強く、めっき用・合金材料として用いられる。アルミニウム合金では、ミクロ組織の繊維状化、結晶粒微細化による高強度化・高耐食性を目的に添加されることが多い。
	CT 試験片	破壊靱性試験などに用いられる切欠き付試験片の 1 種(Compact Tension 試験片)。
	END OF LIFE	国際基準 HFCV GTR で、容器寿命末期(End of Life)に一定以上の破裂圧を確保することで安全性を確保するという基本的な考え方。
	GTR13-HFCV Phase1	水素・燃料電池自動車の世界統一技術基準の審議を行い、平成 25 年(2013 年)6 月に採択された。GTR13-HFCV の第 1 フェーズ。
	GTR13-HFCV Phase2	Phase1 で残課題とされた項目を検討するため、2017 年度 10 月に審議が始まる。GTR13-HFCV の第 2 フェーズ。
	GTR13-HFCV	水素・燃料電池自動車の世界統一技術基準。GTR No.13。
	ISO/TC197(水素技術)WG18(車載用水素容器および安全弁)	ISO/TC197 は、「エネルギー利用を目的とした水素の製造、貯蔵、輸送、測定および利用に関するシステム・装置に関わる標準化」を目的として、1989 年 11 月に設立された。WG18 では、車載用高圧水素容器および安全弁を扱い、議長国はカナダである。旧審議体である WG6 が否決後、2013 年 5 月に NWIP(New Work Item Proposal)が出されて新たに立ち上がった。

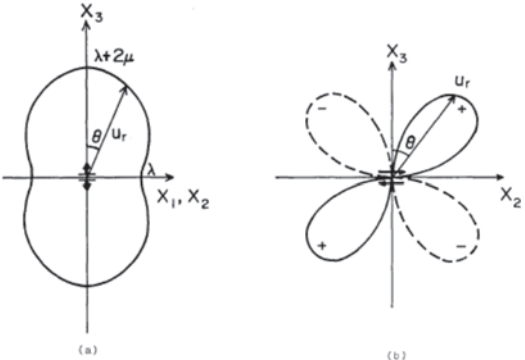
	用語	説明
	JARI S 001, JARI S 002	JARI S 001 は、35MPa 容器用の「圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準」、JARI S 002 は「圧縮水素自動車燃料装置用附属品の技術基準」であり、2004 年に日本自動車研究所が制定し、例示基準として採用されている。
	KHK S 0128	正式名称は「70MPa 圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準」であり、2010 年に KHK が制定し、例示基準として採用されている。
	Klsc	長期間経過しても応力腐食割れ(SCC)が発生しない場合の平面ひずみ条件を満足する応力拡大係数の最大値。
	Mn	7 族(マンガン族)に属する遷移元素の一。元素記号 Mn 原子番号 25。原子量 54.94。純粋なものは銀白色で、鉄より硬いが、非常に重い。空気中で速やかに酸化し、被膜をつくる。マンガ鋼などの合金の材料、乾電池・化学薬品に用いる。アルミニウム合金では、マイクロ組織の繊維状化、結晶粒微細化による高強度化・高耐食性を目的に添加されることが多い。
	Ni 当量	Ni(ニッケル)と同等の効果を表すオーステナイト生成元素の指数を表したもののこと。水素の影響を示す値のひとつである RRA と Ni 等量(平山式)の間には相関関係があり、水素用に使用できるオーステナイト系ステンレスは、Ni 等量が 28.5 以上とされている。 平山式: Ni 当量(mass%) = 12.6C+0.35Si+1.05Mn+1.0Ni+0.65Cr+0.98Mo
	Pb	14 族(炭素族)元素の一。元素記号 Pb 原子番号 82。原子量 207.2。融点 327.5。鉛板・鉛管として用い、蓄電池の電極・放射線遮蔽板などとする。防食のためのめっき、また合金としてはんだ・易融合金などの材料にも用いる。可溶性鉛化合物は有毒。アルミニウム合金では、低融点元素 Pb(+Bi)を添加した快削合金 6262 がある。
	RRA	絞りに及ぼす水素の影響を示す。水素環境における SSRT の絞りを大気環境または不活性ガス環境における SSRT の絞りで除した相対絞り値(RRA: Relative Reduction of Area)。
	SAE	Society of Automotive Engineers。現在は、SAE International (SAE インターナショナル)と呼称している。SAE International は、航空機、自動車、商用車業界の関連技術の技術者および専門家が 128,000 人以上参加している世界規模の団体。SAE International のコア・コンピテンシー(中核技術)は、生涯学習と自発的合意によって、標準を策定すること。
	SAE J2579	Standard for Fuel Systems in Fuel Cell and Other Hydrogen Vehicles(燃料電池および水素自動車の燃料装置の標準)。GTR13-HFCV Phase1 の審議に、その当時の J2579 ドラフトがベースとして使われた。現在もドラフト審議中であり、GTR13-HFCV Phase2 の審議でもベースとして使用される可能性が高いため、日本からも審議に参加している。
	SEM	走査型電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope)
	SEN 試験片	破壊靱性試験などに用いられる切欠き付試験片の 1 種(Single Edge Notched 試験片)
	SN 線図	縦軸に応力振幅、横軸に破断までの繰返し数 N をとって疲労試験結果をグラフにプロットしたものの。
	SSRT	低ひずみ速度試験(Slow Strain Rate Technique)。水素脆化感受性を評価する目的で、腐食液中等で水素を材料にチャージしながら、低ひずみ速度で引張試験を実施する方法。
	SS 線図	引張試験、圧縮試験等において、応力(Stress)と歪み(Strain)との関係を表す線図のこと。「応力-歪み線図」。
	T6	アルミニウム合金の熱処理条件を示す記号。溶体化処理後、人工時効処理する際に、その合金において最高強度となるような熱処理条件のことを指す。
	Type-3 (VH3)	金属ライナー製圧縮水素自動車燃料装置用複合容器。主に水素ガスバリアの役割の金属ライナー(主にアルミニウム合金)の全体を CFRP(炭素繊維強化樹脂)で補強した容器。
	Type-4 (VH4)	プラスチックライナー製圧縮水素自動車燃料装置用複合容器。水素ガスバリアの役割のプラスチックライナー全体を CFRP(炭素繊維強化樹脂)で補強した容器。
あ行	圧延	回転する 2 つのロール間に、摩擦力によって材料をかみ込み、塑性変形させることで、厚さあるいは断面形状の小さな素材・製品を得る方法。

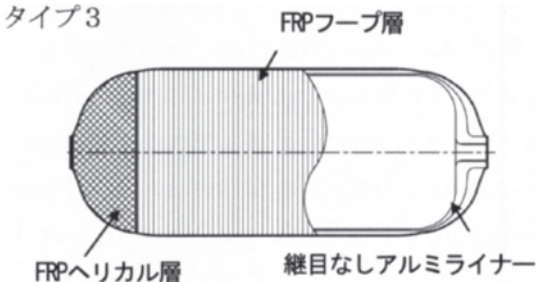
	用語	説明
	液圧シリーズ試験	GTR13-HFCV の設計確認試験のひとつ。規定された全耐用期間中にわたり、水素の充填・消費および極限の環境条件下で漏れあるいは破裂を生じることなくシステムがその健全性を満足できることを確認する試験。
	応力拡大係数	き裂先端近傍の局所的な力学状態を記述するパラメータ。
	応力振幅	疲労負荷での 1 サイクル中の最大応力と最小応力の差の半分、すなわち (最大応力 - 最小応力) / 2 をいう。
	応力腐食割れ	内部あるいは外部引張応力と局部腐食との相乗作用により、それぞれが単独に作用するよりは短時間で割れにいたる現象のこと。
	オーステナイト系ステンレス	常温でもオーステナイトの組織が安定している材料 (オーステナイト相がフェライト相に変化することなく、結晶構造も面心立方格子を維持する)。一般に、耐食性、耐熱性に優れる。
か行	開口変位	切欠き付試験片のき裂開口部の変位 (Crack Opening Displacement)
	過剰 Si	Al-Mg-Si 系アルミニウム合金中、Al-Mg ₂ Si 擬 2 元系組成より多く Si を添加した合金。一般的に過剰 Si 合金が擬 2 元合金に比べて著しい時効硬化性を示す。
	苛性エッチング	水酸化ナトリウム水溶液によるミクロ組織の現出のこと。
	均質化处理	鋳造したインゴットに、偏析などの後工程に影響を及ぼす不均一な組織を除去するために行う熱処理のこと。
	高圧ガス保安法	高圧ガスによる災害を防止するため、高圧ガスの製造、貯蔵、販売、移動その他の取扱及び消費並びに容器の製造及び取扱を規制するとともに、民間事業者及び高圧ガス保安協会による高圧ガスの保安に関する自主的な活動を促進し、もって公共の安全を確保することを目的とする法律。
	降伏点	応力・ひずみ線図において弾性域を超えると、応力は上昇せず、ひずみだけが進行するようになる。これは材料が塑性し始めたことを示している。このような変極点を降伏点と呼ぶ。
	国際標準化機構 ISO	International Organization for Standardization、略称: ISO。電気分野を除く工業分野の国際的な標準である国際規格を策定するための非政府組織。
	国連基準	国連において採択された 1998 年協定により制定される世界統一技術基準のこと。
	固溶化处理	溶体化処理とも呼ばれる。主にオーステナイト系ステンレスに対して行われる。適温に加熱・保持し、材料の合金成分を固体の中に溶かし込み (固溶させる)、析出物を出さないように急冷する処理。加工・溶接などによって生じた内部応力の除去、劣化した耐食性の向上など組織改善の為にを行う。
さ行	残存強度	初期 (新品) の強度 (破裂圧力) に対して、使用後や耐久試験後の強度 (破裂圧力) のこと。
	自緊処理	容器の内圧を高め、金属からなるライナー材を塑性変形させた後、容器の内圧を低下させることによって、繊維強化樹脂層の剛性によりライナー材に圧縮応力を与える処理。
	時効	金属材料の特性が時間の経過とともに変化すること。合金元素の拡散に基づく現象であり、これを利用した時効硬化は、金属材料の重要な強化手法の一つである。
	自動車基準調和世界フォーラム UN/ECE/WP29	安全で環境性能の高い自動車を容易に普及させる観点から、自動車の安全・環境基準を国際的に調和することや、政府による自動車の認証の国際的な相互承認を推進することを目的としている。国連で世界的な基準調和を議論する唯一の場であり、UN 規則や UN GTR を作成している。
	常温圧力サイクル試験	GTR13-HFCV Phase1 等に規定されている設計確認試験のひとつ。 2MPa 以下から最高充填圧力×125%以上の圧力の間を往復させる試験。GTR13-HFCV Phase1 での合格基準は、加圧回数が 11,000 回以下で、容器に漏れ及び破裂が無いこと。
	人工時効処理	室温以上で加熱することによって過飽和固溶体から微細な析出物を析出させる熱処理。
	水素脆化	鋼をはじめとする金属材料中に、水素が拡散侵入し、金属の破壊抵抗を弱める現象。同一の材料でも、水素濃度、試験温度、歪速度により水素脆性の感受性が異なる。
	水素脆化型	金属材料中に水素が侵入することが原因で生じる脆化現象を水素脆化と呼び、この現象を伴う諸現象を「水素脆化型～」と表現する。

	用語	説明
	水素脆化感受性	水素脆化の生じやすさ。同じ環境条件、応力負荷条件においてより早期に水素脆化による破壊を生じやすい材料は、水素脆化感受性が高い材料と言える。
	脆化	材料が延性やじん性を失い、脆く壊れやすくなること。水素脆化の他に、高温脆化、低温脆化、液体金属脆化、紫外線脆化など、材料の種類や使用環境の組み合わせにより様々な脆化現象が知られる。
	脆性	物質の脆さを表す。破壊に至るクラック進展に必要なエネルギーの小さいことをいう。
	世界統一技術基準 (GTR)	GTR : Global Technical Regulation. 自動車の装置ごとの安全・環境に関する世界の知見を集めた統一的な技術基準。各国法規への導入による基準の国際調和を目的として、国連において採択された 1998 年協定により制定される。
	設計確認試験	容器の認証等を行うための容器検査において行う試験のうち、組試験に先立ち同一の型式ごとに 1 回限り行うもの。
	遷移元素	周期表で第 3 族元素～第 11 族元素の間に存在する元素の総称。第 12 族元素 (亜鉛族元素、Zn、Cd、Hg) は化学的性質が典型元素の金属に似ており、またイオン化しても d 軌道が 10 電子で満たされ閉殻していることより典型元素に分類されることもある。
た行	耐力 (0.2%耐力)	引張試験において 0.2%の残留ひずみを生じる荷重のこと。構造設計では 0.2%耐力の 75%を許容応力として用いる場合が多い。
	鑄塊	直接製品の形状を得るのではなく、圧延、鍛造などの加工や再溶解を行うために、目的に適した大きさ、形状に鑄造した金属塊のこと。
	長期負荷割れ	一定の応力またはひずみを負荷し、長期間経過するとき裂が進展する現象。
	定変位試験	切欠き付試験片を用い、き裂を開口させて、き裂先端近傍に一定の応力拡大係数を負荷する試験。
	熱間鍛造	材料を加熱し、再結晶温度以上固相線温度未満の範囲で行う鍛造のこと。
な行	伸び	引張試験における、引張前の 2 標点間の距離 (L0) と引張後の 2 標点距離 (L1) の比 ($100 \times (L1 - L0) / L0$)。単位は%。
は行	パウシンガー効果	金属材料を一度ある方向に塑性変形を与えたのち、逆方向の荷重を加えると、再び同方向に荷重を加えたときより塑性変形が低い応力でおこる効果。
	破断伸び	引張試験において、試験片が破断に至るまでの伸び。試験開始から破断に至るまでの標点間距離の増加量を、試験開始時の標点間距離に対する割合として算出する。
	破面	破壊により形成された新しい面。
	破裂圧	GTR13-HFCV Phase1 等に規定されている設計確認試験の一つである破裂試験によって測定された圧力 (破裂圧力)。
	破裂試験	GTR13-HFCV Phase1 等に規定されている設計確認試験の一つ。 容器が破裂するまで昇圧することによって破裂圧を測定する試験。
	ピーリング	ピレット等を所定の寸法ならびに表面状態とするために行う機械切削のこと。
	引張強さ	応力ひずみ線図で最大の応力を示すポイントをこの材料の引張強さと呼ぶ。通常この領域では試験片が大きく変形しており、力学的には意味のない値だが (変形前の断面積を元に計算される公称応力であるため)、疲労限度や硬さと強い相関があるため広く用いられる。
	疲労限	材料の疲労において、物体が振幅一定の繰返し応力を受けるとき、これ以上回数を増やしても破断まで至らない下限の応力振幅値。
	疲労き裂進展試験	規定された切欠き付試験片を用い、繰返し応力を負荷し、応力拡大係数範囲に対するき裂の進展速度を調査する試験。
	疲労試験	規定された試験片を用い、繰返し応力に対する破断繰返し数を調査する試験。
	疲労予き裂	切欠き付試験片に疲労試験により予め導入されたき裂。
	フライス加工	回転する刃物を移動することにより、材料を面加工する方法。旋削加工とならび、機械加工をする上で代表的な加工手法である。
	別添 9	例示基準「圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準の解釈」。

	用語	説明
	母相	材料の相変態において、変態前に存在する相のこと。総変態により、母相中に生じた異相を第2相と言う。
や行	焼入れ感受性	溶体化処理後の冷却速度が遅い場合には、時効後の強度が低下する現象を生じることがある。このように強度が溶体化処理後の冷却速度に敏感に影響される場合に、“焼入れ感受性が高い”といわれ、熱処理型合金では実用上大きな問題となる。
	容器則例示基準	容器保安規則（昭和41年通商産業省令第50号。以下「容器則」という。）は、高圧ガス保安法（昭和26年法律第204号。）に基づき、高圧ガスを充填するための容器であつて地盤面に対して移動することができるものに関する保安について規定している。容器則に基づき、容器への表示の方式や容器等の漏れ試験の方法を、容器保安規則に基づき表示等の細目、容器再検査の方法等を定める告示（平成9年通商産業省告示第150号。以下「容器細目告示」という。）で規定しており、その方法や材料の具体的な技術基準については、容器保安規則の機能性基準の運用について（20130409 商局第4号。以下「容器則例示基準」という。）において示している。
	陽極溶解型	適切な電解質溶液中で金属に正電圧を印加すると、金属は電子を奪われ、陽イオンとなって液中へ溶解する。これを陽極溶解と呼び、この現象を伴う諸現象を「陽極溶解型～」と表現する。
	溶出	一般的に、成分が水などに溶けてにじみ出ること。材料表面の腐食により、水溶液等の環境に材料の成分が溶け出すことも溶出と表現する。
	溶体化処理	合金を十分に加熱して添加元素の成分を固体に溶け込ませ（固溶）、その後冷却する処理。時効硬化型合金の熱処理においては、時効処理に先立って、溶体化処理が行われる。
ら行	ライジングロード試験	切欠き付試験片に一定応力（応力拡大係数）を負荷し、その値を徐々に上げることにより、長期間経過中にき裂が進展する最低の応力拡大係数を調査する試験。
	粒界	多結晶体の結晶と別の結晶との間の不連続な境界面。
	粒界腐食	金属の粒界あるいはその周辺が選択的に侵食される腐食形態のこと。粒界に析出する異相金属間化合物が選択溶解する場合と、粒界近傍の固溶元素欠乏域が溶解する場合の二つに大別される。
わ行	ワイヤー放電加工	細い黄銅のワイヤーを電極として使う放電加工。ワイヤーを送り出しながらワーク（被工作物）との間で放電を行ない、プログラムに従って糸鋸で切るように、自在な形にワークをくり抜く加工。

-6：「水素ステーション用複合容器の供用中検査手法の研究開発」

	用語	説明
英数	AEの放射方向	<p>AEは材料中のクラックの生成に伴って発生するが、クラックのモードによってAEの放射方向が異なる。モードIの開口型クラックの場合、図(a)のように開口方向に放射される。モードIIのせん断型クラックの場合、せん断方向から45度ずれて放射され、位相も異なる。</p>  <p>文献：岸ら、日本機械学会誌 48-9(1984)911-917</p>

用語	説明
AE 法	アコースティック・エミッション (Acoustic Emission, AE) とは、材料が変形あるいは破壊する際に、内部に蓄えていた弾性エネルギーを音波 (弾性波、AE 波) として放出する現象である。AE 波は主に超音波領域 (数 10kHz ~ 数 MHz) の高い周波数成分を持つ。この AE 波を材料表面に設置した AE センサ (圧電素子センサ) によって電気信号に変換して検出し、破壊や変形の様子を非破壊的に評価する手法を AE 法と呼ぶ。
ASME	アメリカ機械学会 (American Society of Mechanical Engineers, ASME) は、アメリカ合衆国における機械工学についての学会であり、職能団体である。ASME は機械装置の基準と規格を策定していることで知られている。世界最大の技術書出版社 ASME Press も運営しており、機械工学分野の論文集を発行している。
MT 法	MT 法 (マハラノビス・タグチメソッド) はマハラノビス距離 (MD 値) に基づいて、データの類似性、正常/異常の判定を行う統計分析手法の一種、代表的なデータ群 (正常な集団) のことを「単位空間、基本空間」と呼び、判断基準として利用する。判断対象サンプルを単位空間、基本空間からの離れ具合によって定量的に判断する手法。MT 法を用いるメリットは (1) 正常/異常の判定において、変数間の相関関係を考慮したマハラノビスの距離を用いることで単位空間からの逸脱を敏感に捉えられる。 (2) 2 水準系の直交表を利用して、各変数を使用した場合と使用しない場合とのマハラノビスの距離の違いを推定し、逸脱、すなわち異常の主要原因を特定できる。 (3) MT 法で使うマハラノビスの距離は、見た目の違いや波形の違いなどの、1 つの数値では数値化しにくいものに対する尺度として使える。
PT (浸透探傷試験)	浸透探傷試験とは、赤色や蛍光の浸透性のよい検査液を用いて、表面の割れ、ブローホールなどを検出する非破壊検査方法である。金属、非金属を問わず、表面に開口したクラック (きず) であれば、検出できるため広く利用されている方法である。浸透液の色 (観察条件) と浸透液の除去方法により、次の 6 種類がある。赤色浸透液を水洗除去する方法で、大型検査物、表面の粗い検査物に適している。
S-N データ	S-N 曲線。材料がどれだけの繰り返し応力に耐えられるか、どれだけの回数を与えるとどれだけの応力で破断するのかを明らかにするために S-N 曲線 (S-N curve) が広く使われている。S-N 曲線は、縦軸に応力振幅 (stress amplitude) あるいは応力範囲 (stress range)、横軸にその応力を繰り返し負荷して破断するまでの繰り返し回数 (number of cycles) の対数で表されるグラフである。
TISS	公益社団法人産業安全技術協会。労働安全衛生法で定める機械等の検定業務や JIS 基準による安全性能試験業務および、機械等の認定業務を行っている。
Type -CFRP 複合容器	<p>圧力容器の構造は、圧縮天然ガス自動車燃料容器に関する各規格、ISO11439、ANSI/NGV、高圧ガス保安法 容器保安規則例示基準別添 9 などにおいて以下のように区分されている。</p> <p>Type 1 : 金属容器 Type 2 : 金属ライナー・フープ巻き容器 Type 3 : 金属ライナー・全周巻き容器 Type 4 : 非金属ライナー・全周巻き容器</p> <p>Type -CFRP 複合容器とは、金属ライナーにアルミニウム合金を用い、炭素繊維を全周巻きした水素貯蔵用高圧容器を示す。</p> <p>タイプ 3</p>  <p>FRPヘリカル層 FRPフープ層 継目なしアルミライナー</p>

	用語	説明
あ行	アルミライナー	Type -CFRP 複合容器のアルミ合金を用いた金属部分を呼ぶ。
	渦電流探傷試験	渦電流探傷試験は、材料の非破壊検査法の一つで、英語で ET (Eddy Current Testing) とも呼ばれる。鉄鋼・非鉄金属・黒鉛などの導電性のある材料でできているもので適用でき、材料に誘起される渦電流がクラックによって変化する性質を利用してクラックを探し出す検査である。表面及び表面近傍のクラックを検出することは出来るが、表面下の深い位置のあるクラックは検出することはできない。
か行	カイザー効果	材料に負荷すると AE が発生するが、一度除荷し再び負荷すると以前の最大負荷を越えるまで AE が発生しないという、AE 特有の不可逆現象を指す。
さ行	自緊処理	複合容器の製造工程において、中間体容器に内圧を付加して容器本体を塑性変形させた後、内圧を低下させ、容器本体に圧縮残留応力を与えるステップからなる工程の処理を示す。
	磁粉探傷試験	磁粉探傷試験は、材料の非破壊検査法の一つで、英語で MT (Magnetic Particle Testing) とも呼ばれる。強磁性体の材料のみ検査可能で、材料表面の開口欠陥 (クラック) と表面直下の欠陥を探し出すことができる。
	周波数スペクトラム	AE 分析の場合、AE 信号に含まれる周波数の各成分の分布を示す。
	ストライエーション	疲労により破断した面 (破面) を走査型電子顕微鏡により観察すると、規則的な縞模様が見られる。この縞模様をストライエーション striation と呼ぶ。疲労亀裂進展に伴い形成されるもので、疲労による破面に特徴的に現れる。
は行	疲労設計安全率(Kn)	複合容器の疲労試験での試験圧力サイクル数 N は、試験体の個数 n と疲労設計安全率 Kn を用いて、 $N=Kn \times n$ で求まる回数以上で、漏れが確認されるまでの回数とする。Kn は試験体の数であり次による $n=2$ の場合、 $Kn=4.0$ $n=3$ の場合、 $Kn=3.5$ $n=4$ の場合、 $Kn=3.0$ $n=5$ の場合、 $Kn=2.6$ 複合容器の使用可能サイクル数は設計圧力サイクル数を疲労設計安全率で除した数である。 文献：高圧ガス保安協会 KHKTD 5202(2014)
	放射線透過試験	放射線透過検査は、非破壊検査の一つで英語で RT (Radiographic Testing) と言い、放射線を材料に照射し材料内部を透過させ、材料背後にある写真用フィルムや蛍光板に感光して投影することにより、内部の欠陥や構造を調べる検査である。

-7：「水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発」

	用語	説明
英数	7 条 3 ステーション	高圧の水素ステーションを市街地に建設するために定めた一般高圧ガス保安法一般則第 7 条の 3 に則った水素ステーション。
	EIGA	European Industrial Gases Association：欧州ガス協会、欧州におけるガスの生産に関して安全および技術指針を示す機関。ガス関連の標準化等に深く関わる。
	FCCJ	燃料電池実用化推進協議会(Fuel Cell Commercialization Conference of Japan)の略称
	GC-FID	ガスクロマトグラフに水素炎イオン化検出器(Flame Ionization Detector)を搭載した分析計のことである。水素の燃焼熱によって有機化合物の骨格炭素をイオン化し、そのイオン電流の変化を測定するガスクロマトグラフ用検出器。
	GC-HPID	ガスクロマトグラフにヘリウムプラズマイオン化検出器(He Plasma Ionization Detector)を搭載した分析計のことである。極めて安定な直流放電ヘリウムプラズマをイオン化源に用いた高感度検出器。TCD 検出器よりも高感度検出が可能である。

	用語	説明
	GC-MS	ガスクロマトグラフと質量分析計(Mass Spectrometer)とを結合した分析計のことであり、ガスマスとも呼称される。高電圧をかけた真空中でイオン化して電氣的・磁氣的な作用等により質量電荷比に応じて分離する方式の分析計。質量電荷比を横軸、検出強度を縦軸とするマススペクトルを得ることができる。
	GC-TCD	ガスクロマトグラフに熱伝導度検出器(Thermal Conductivity Detector)を搭載した分析計のことである。物質の熱伝導度の違いを利用してサンプルの検出を行う。キャリアガス以外のほぼあらゆる物質を検知できる。
	HPLC	高速液体クロマトグラフィーで用いる高速液体クロマトグラフ分析計(High Performance Liquid Chromatograph)のことであり、2,4-ジニトロフェニルヒドラジン(DNPH)で誘導体化した試料を使用する。液体を移動相にしてカラムに試料を導入し、被検成分を固定相との相互作用の差を利用して、高速で分離、定量するための装置である。
	IC	イオンクロマトグラフ (Ion Chromatograph の略)であり、イオンクロマトグラフィーに用いる分析計のことである。電解質水溶液を移動相とし、イオン交換体などを固定相とする分離カラムを用いて、試料溶液中のイオン種成分を分離する装置のことである。
	ISO/TC197	TC は Technical Committee (専門委員会) と称し、ISO の標準化の各技術分野を統括する。各々設立順に番号で示され、TC197 は水素技術の専門委員会を示す。
	ISO/TC197/WG12	WG は Working Group (作業部会) を表し、成立順に番号で示される。WG12 は FCV 用 水素燃料仕様 ISO14687-2 を策定した。現在業務が終了し、閉鎖している。
	ISO/TC197/WG24	WG は Working Group (作業部会) を表す。WG24 は水素ステーションに関する国際標準を審議する WG。
	ISO/TC197/WG27	WG は Working Group (作業部会) を表す。WG27 は水素燃料仕様に関する国際標準を審議する WG。
	ISO/TC197/WG28	WG は Working Group (作業部会) を表す。WG28 は水素品質管理に関する国際標準を審議する WG。
	ISO 国際規格 (ISO14687)	水素燃料の品質規格。1999 年に初版が発行され、その後、FCV 用、定置用燃料電池の水素 ¹ 品質規格をそれぞれ別文書 (全 3 パート) で策定したが、2015 年より、再び統合し、現在 ISO14687 の改訂作業として総合的に実施している。
	ISO 国際規格 (ISO14687-2)	燃料電池自動車の水素燃料仕様に関する ISO 国際規格で、日本が議長・幹事を務め日本主導で 2012 年 12 月に正式制定された。水素純度は 99.97% 以上であり、12 種類のガス成分や微粒子について各々の閾値が決められている。
	ISO 国際規格 (ISO19880-1)	ISO にて制定予定の水素ステーションに関する国際規格
	ISO 国際規格 (ISO19880-8)	ISO にて制定予定の水素品質管理に関する国際規格
	MEA	膜-電極接合体 (Membrane-Electrode Assembly) の略であり、固体高分子形燃料電池の燃料極 (アノード)、固体高分子膜 (電解質)、空気極 (カソード) を貼り合わせて一体化させたもの。
	METI	経済産業省 (Ministry of Economy, Trade and Industry) の略称
	PEM	プロトン交換膜 (Proton Exchange Membrane) の略であり、プロトン伝導性を有する固体高分子膜。
	SAE	Society of Automotive Engineers: 米国自動車技術会、米国の自動車用規格を定める標準化機関
	SAE J2719	SAE の規格は J 番号で表される。J2719 は米国の自動車用水素燃料規格。ISO14687-2 とは整合している。
が行	火気距離	製造設備から漏洩した水素への火気設備による引火を防止するために定められた距離 (火気離隔距離) のことである。

	用語	説明
	ガスクロマトグラフ	ガスクロマトグラフィー(Gas Chromatography)に用いる分析装置のことであり、ガスクロとも呼称される。気体を移動相にしてカラムに試料を導入し、被検成分を固定相との相互作用(吸着、分配)の差を利用して、分離、定量するための機器である。
	検査充填	水素品質確認のための試料採取のための充填を指す。法令照会の結果、一定の安全要件を満たすことで高圧ガス保安法に抵触しないことを確認済みである。(水素計量、充填技術についても同様である。)
	高圧ガス保安法	公共の安全を確保することを目的として、高圧ガスの製造、貯蔵、販売、移動その他の取扱及び消費並びに容器の製造及び取扱について規定した法律。
	高濃度オゾン酸化処理	高濃度オゾンの高酸化力により、材質表面に緻密な不働態酸化膜を形成する表面処理のことである。
	固体捕集サンプラー	試料ガスを通気して目的成分を捕集する、固体吸着剤を充填した吸着管。
さ行	酸素計	酸素成分を選択的に分析する分析計である。
	サンプリングキット	試料ガスを分析用として簡便にサンプリングする装置。
	試験充填	検査充填と同じ
	実証水素ステーション	営利ではなく、実証を目的として燃料電池自動車等に水素を販売する事業所のこと。
	商用水素ステーション	実証ではなく、営利を目的として燃料電池自動車等に水素を販売する事業所のこと。
	水素キャリア	水素を運搬する物質のこと。有機ハイドライドやアンモニアがその例である。
	水素分離型四重極質量分析計	水素のみを透過して分離する水素中の微量不純物を同定・定量する質量分析計である。HEMS(Hydrogen Elimination Mass Spectrometer)と呼ばれている。
	水素循環系	燃料電池のシステムにおいて、燃料極出口から排出された未利用の水素を、循環ポンプ等を用いて再び燃料極入口に戻すシステム。水素の利用率を向上させることが可能であり、FCVの燃料電池システムでは広く用いられる。
	水分計	水分を選択的に分析する装置のことである。
た行	独国 NOW	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie GmbH 水素・燃料電池機構：ドイツの燃料電池・水素ナショナルプロジェクトの研究開発をマネジメントする機関。
	低圧シリンダー	試料ガスを低圧でサンプリングする容器。
	定量下限値	その分析法で正確に定量できる最低濃度のこと。
は行	パージ	FCVの水素循環系からガスを外部へ排出すること。カソードから電解質膜を透過した窒素等の濃縮を抑制する。パージ率は、燃料供給量に対するパージさせたガスの比を表す。
	パラジウム膜分離型四重極質量分析計	水素のみを透過するパラジウム膜を用いて水素中の微量不純物を同定・定量する質量分析計である。HEMS(Hydrogen Elimination Mass Spectrometer)と呼ばれている。
	飛行時間型質量分析装置	TOF-MS : Time-of-Flight Mass Spectrometer 粒子の質量分析計の一種で、加速させた荷電粒子(イオンまたは電子)の飛行時間を計測することにより対象の質量を測定する分析計である。
	ヒューズドシリカコーティング処理(Si処理)	フューズドシリカを使用して、材質表面を薄膜状に非常に滑らかにコーティングした表面処理のことである。
	分析キット	水素ステーションなどの屋外で、定量分析を行うための装置等と固体捕集サンプラーを組合せた品質管理分析用器材一式。
	米国 DOE	Department of Energy : 米国エネルギー省
	法令照会	法令適用の可能性を事前に確認する手続きである。民間企業等の行為が法令に抵触しない(違法ではない)ことを確認するための手続きであり、本事業に関しては水素品質確認のための試料採取充填行為が高圧ガス保安法に抵触しないことを確認するものである。(水素計量、充填技術についても同様である。)

	用語	説明
や行	有機ハイドライド	水素を有機化合物に化学結合させ、常温で液体の状態の水素を貯蔵可能な物質。代表的な系であるトルエン（化学式 C_7H_8 ）-メチルシクロヘキサン（化学式 C_7H_{14} ）系のもは、以下のように水素を貯蔵できる。 $C_7H_8 + 3H_2 \rightarrow C_7H_{14}$

-8：「燃料電池自動車への水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発」

	用語	説明
英数	CSA	Canadian Standard Association：カナダ規格協会、北米全体の安全規格を中心とした標準化機関。試験部門を有し、安全性を中心とした第三者試験機関でもある。
	FCCJ	燃料電池実用化推進協議会(Fuel Cell Commercialization Conference of Japan)の略称
	FCバス	燃料電池車のバス。
	FC二輪車	燃料電池を動力源とする電動二輪車。
	HFCV-GTR	Global Technical Regulation on Hydrogen and Fuel Cell Vehicles の略であり、国連 WP29 において制定された水素・燃料電池自動車の安全性に関する世界統一基準である。技術内容は圧縮水素容器、水素安全及び電気安全に大別される。
	HySUT ガイドライン	水素ステーションの充填性能が、JPEC が制定する充填技術基準に合致するかどうか確認するための検査方法を規定するガイドライン。ガイドラインは HySUT がインフラ及び FCV 関連企業、団体と協議し制定する。JPEC-S0003(2012)、JPEC-S0003(2014)、JPEC-S0003(2016) に対応するガイドラインが制定されている。
	International Workshop	NEDO、DOE(米国エネルギー省)、NOW(ドイツ水素・燃料電池機構)が主催する水素インフラに対する各地域の取り組みを情報交換するワークショップ。年1回、各拠点(日本、米国、欧州)持ち回りで開催されている。
	ISO	国際標準化機構(International Organization for Standardization)。電気分野を除く工業分野の国際的な標準である国際規格を策定するための非政府組織。
	ISO/TC197	TC は Technical Committee (専門委員会) と称し、ISO の標準化の各技術分野を統括する。各々設立順に番号で示され、TC197 は水素技術の専門委員会。
	ISO/TC197/WG5	WG は Working Group (作業部会) を表し、これも成立順に番号で示される。WG5 は ISO17268 (水素コネクタ) を審議する WG。
	LookUp テーブル	周囲温度と容器初期圧力を基準に水素を車載容器へ安全に充填する条件を表形式で規定した充填プロトコル表。
	MC フォーミュラ	2016 年 12 月の SAEJ2601 改定により取り入れられた新しい水素充填方式で、燃料供給温度をもとに動的に充填制御をおこなう。開発中は MC default fill と称され、改称された。
	SAE	Society of Automotive Engineers: 米国自動車技術会、米国の自動車用規格を定める標準化機関。
	SAE J2601	SAE Standard J2601 “Fueling Protocols for Light Duty Gaseous Hydrogen Surface Vehicles”であり、米国自動車技術会(Society of Automotive Engineers)で制定された、水素・燃料電池自動車の燃料装置用容器に高圧水素を安全かつ効率的に充填するための手順に関する規格である。
	SOC	State of Charge。高圧水素容器に搭載可能な最大水素量に対する実際の水素量の百分率。100%は、容器に最大水素量が格納されていることを示す。
	Type3 容器	金属製のライナー(ガスシール)層と炭素強化繊維プラスチック(CFRP)層からなる複合容器。
	Type4 容器	プラスチック製のライナー(ガスシール)層と炭素強化繊維プラスチック(CFRP)層からなる複合容器。
あ行	インターフェース	燃料の水素を燃料電池車に供給する際に、水素ステーションと車両の接続手段、接続装置等のこと。

	用語	説明
か行	過充填	燃料電池車の燃料である水素を格納する高压容器に規定量以上の水素を充填すること。温度条件によっては、最高充填圧力を超える可能性があるため、防止する必要がある。
	急速充填	燃料電池車に燃料の水素を供給する際、3分を目安として燃料を満タンにすることを狙いとした充填方法。ユーザーの利便性を考慮している。
	共鳴曲線	振動細線法において、細線に異なる周波数の電圧を印加し、誘導起電力を測定することで得られる曲線。共鳴周波数のところで最大値をもつ山形の形状となる。
	コールドソーク	燃料電池車の高压水素容器内の温度が周囲の環境温度より低い状態のこと。容器から水素を取り出し走行する際に、気体膨張による冷却効果で温度降下が生じる。
	国連 WP29	自動車基準調和世界フォーラム WP29(World Forum for Harmonization of Vehicle Regulation)は、国連欧州経済委員会(UN/ECE)の下に設けられた組織である。その取り組みの1つとして、自動車の装置毎の安全・環境に関する世界の知見を集めた統一的な技術基準の策定及び各国法規への導入による基準の国際調和を目的に、世界技術規則(gtr)の策定が行われている。
さ行	差圧充填	水素ステーションで水素をFCVへ充填する方法の一種。FCVの充填圧力以上の高压バンクから圧力差を利用して、FCVへ充填する方法。充填基準では水素充填する際の圧力上昇率が定められているため、調節弁等により充填流量を制御する。
	充填プロトコル	水素・燃料電池自動車の燃料装置用容器に高压水素を安全かつ効率的に充填するための手順である。充填プロトコルは、一般的に規格化あるいは基準化されたものをいう。
	振動細線法	試料流体中で磁場をかけた金属細線を振動させ、振動の様子から流体の粘性係数を測定する手法。
た行	直充填	水素ステーションで水素をFCVへ充填する方法の一種。比較的圧力の低い中間段バンク(通常40MPa以下)からコンプレッサにより直接FCVへ充填する方法。圧力上昇率を制御するため、コンプレッサの回転数制御等により充填流量を制御する。
	通信充填	圧縮水素ステーションでの充填に際して、水素・燃料電池自動車の燃料装置用容器並びに充填された燃料等に関する諸情報を、当該車両から圧縮水素スタンドへ通信する機能を、車両及び圧縮水素ステーションの双方が有している場合に、その機能を活用して行う充填をいう。
	トップオフ充填	通信充填の場合にあつて、一定の条件を満たした場合に、燃料装置用容器の許容温度の範囲内で充填量を増大させるため、充填途中で、それ以前の目標圧力上昇率に対して、より小さい目標圧力上昇率で継続して行う充填をいう。
な行	ノズル	水素・燃料電池自動車への高压水素充填を行う際のインターフェースのうち、水素ステーション側の部品。
は行	非定常短細線法	試料流体中で金属短細線を通電加熱し、細線の発熱量とその温度応答から熱伝導率を測定する手法。
	フォールバック充填	通信充填の場合にあつて、供給燃料温度が、充填当初に設定された供給燃料温度区分の高温側で、隣接する供給燃料温度区分に対応した供給燃料温度許容範囲に移行した場合に、新たに目標圧力及び新たな目標圧力上昇率を設定した上で、継続して実施される充填をいう。
	プレクール	高压水素容器に燃料の水素を充填する際、予め供給水素を冷却すること。最大で-40℃まで冷却される。充填時の圧縮の影響によって容器内の気体温度が上昇する。この温度は85℃を上限としているため、これを超えないようにする必要があるために取られる措置である。
	プレショット	メインの充填に先立ち行われる小容量の充填作業。車両容器の初期圧、容積の推定およびリークチェックなどを目的としている。
や行	容積推定	充填基準 JPEC-S0003(2014)では、安全に充填するために容器容積の範囲毎に圧力上昇率、停止圧力がLookUpテーブルで定められている。非通信充填においてLookUpテーブルを選定するために、FCVに少量水素を充填しその圧力の上昇から容器容積を推定する方法。通信充填では通信信号に容器容積情報が含まれているため、これを用い容積推定を省略することができる。

	用語	説明
ら行	リース車充填モード	FCVを製造する自動車メーカーとステーション運営者との間で、個別に定められた充填方法で一定流量充填と一定昇圧率充填がある。両者とも昇圧率の上限を定めたJPEC-S0003(2012)以下の昇圧率で充填することで充填基準に適合した充填方法である。
	レセプタクル	水素 燃料電池自動車への高圧水素充填を行う際のインターフェースのうち、車両側の部品。
	ロックインアンブ	入力信号から特定の周波数成分を取り出し増幅する機能を有する計測機器。

-9：「燃料電池自動車の水素安全基準等の国際調和に関する研究開発」

	用語	説明
英数	98年協定	1958年協定は、基準調和と共に相互承認を含んでいたが、アメリカは、安全基準に関しては政府認証制度がないため加盟できなかったため、アメリカの提案により、1958年協定と並行する補足的なメカニズムとして、認証の相互承認を含まず、基準の国際調和を目的とする構造的なフォーラムを形成する「国際技術規則 GTR (Global Technical Regulation)」が策定された。この協定は、1998年6月25日に公式に採択されたため、98年協定と呼ばれる。この協定は、国連の相互承認協定の基準であるECE規則や日米欧を含む世界の主要国・地域基準を基にして、世界統一基準を実現させるプロセスを定めた協定である。
	abs	絶対真空を0として表示する絶対圧のこと。一方で、大気圧を0 Paとして表示する圧力をゲージ圧という。
	CFRP 複合容器	ガスをバリアするライナーに、周方向のみ又は軸方向及び周方向に樹脂を含浸した炭素繊維を巻き付けた複合構造を有する容器のこと。燃料電池自動車用の圧縮水素容器は、すべてCFRP複合容器である。
	FCV	燃料電池自動車（英：Fuel Cell Vehicle、FCV）とは、水素を燃料とする燃料電池で発電し電動機の動力で走る車を指す。
	GTR No.13(HFCV)	平成25年6月、HFCV-gtr Phase1で採択された燃料電池自動車の世界統一基準のこと。
	HFCV-GTR Phase2	燃料電池自動車の世界統一基準 HFCV-GTR Phase1で取り残された課題（材料、衝突試験法、および車種拡大など）について、審議が、平成29年10月から始まった。
	SAE	米国のモビリティ専門家を会員とする米国の非営利的団体 SAE (Society of Automotive Engineers) のこと。
	SAE J2990	米国のモビリティ専門家を会員とする米国の非営利的団体 SAE (Society of Automotive Engineers) で行われているハイブリッド自動車や電気自動車の緊急時対応 (Hybrid and EV First and Second Responder Recommended Practice) に関わる標準化活動。当初は、ハイブリッド自動車や電気自動車に限っていたが、近年、その対象が燃料電池自動車へ広がっている。
	SUV	Sport Utility Vehicle の略。車高が高くてオフロード走破性がある自動車。
	TPRD	熱作動式安全弁 (Thermally-activated Pressure Relief Device) の略。火災時に容器の破裂等を防ぐため、容器内の気体を放出し、圧力を下げる装置で、圧縮水素容器の安全弁として装着される。金属性の溶栓が熱により溶けて安全弁が作動する仕組み。
	Type3 容器	金属製のライナー(ガスシール)層と炭素強化繊維プラスチック (CFRP)層からなる複合容器
	Type4 容器	プラスチック製のライナー(ガスシール)層と炭素強化繊維プラスチック (CFRP)層からなる複合容器
	UN/ECE/WP29/HFCV-GTR	国連 (UN/ECE) の自動車基準調和世界フォーラム (WP29) において、水素を燃料とする内燃機関自動車、燃料電池自動車の安全性に関する世界統一基準 (HFCV-GTR) のこと。圧縮水素容器、水素安全、電気安全に関する要件が規定されている。平成25年6月、HFCV-GTR Phase1が採択された。今後、残された課題 (他車種への拡大、水素・燃料電池自動車独自の衝突試験方法、燃料供給口に関する要求事項、圧縮水素容器に用いる材料の試験方法や最低破裂要件の再検討等) が Phase2 で議論される。

	用語	説明
あ行	圧縮性ガス放出モデル	流体力学における密度が圧力の変化に応じて変化する流れとし、衝撃波とチョーク流れの存在を可能とするモデル。圧縮水素からガスが放出される場合、音速を超えるため、本モデルを適用する必要がある。
	道路運送車両法	クルマの登録など所有権の公証を行うとともに、安全性の確保、公害の防止および整備についての技術向上をはかる目的で、1951年に制定された法律。目的を達成するために、クルマの構造装置が備えるべき要件を定めるとともに、その適正な使用を期するため、クルマの検査、登録制度および罰則規定を設けている。また構造装置および安全性などの性能を維持するため、クルマの点検整備をクルマの使用者に義務づけており、自動車整備事業の内容についても規定されている。さらに本法律の円滑な運用をはかるため、政令(自動車登録令など)、省令(道路運送車両の保安基準など)、通達(試験方法など)が別途定められている。
か行	警防活動時等における安全管理マニュアル	消防庁が作成するマニュアル。本マニュアルは、消防職団員が警防活動等を遂行するにあたって、一般的に留意しなければならない安全管理上の主な事項が列挙され、本マニュアルを参考にし、各団体のマニュアルを整備する等、組織の安全管理体制の整備を図るとともに、消防職団員の安全管理知識向上のための教育用の教材として使用すること等で、警防活動時等の事故防止を図ることを目的としている。
	逆火限界	ガスの噴出速度よりも燃焼速度が速くなるか、燃焼速度は一定でも噴出速度が遅くなり、炎がバーナ側へ戻る燃料と空気の混合ガスの限界値の最低濃度のこと。
	局所火炎暴露試験	今までの火炎暴露試験は容器全体を火炎であぶり、熱作動式安全弁(TPRD)が作動して安全に水素ガスが放出されるかを確認していた。GTR No.13(HFCV)では自動車の実用状態における火災に様々な形態があることを考慮し、TPRDの最も遠い場所から加熱する局所的火炎暴露(片あぶり)試験を加えた。メーカーは容器単体あるいは車載された状態のどちらかの方法を選択できる。
	警防活動時等における安全管理マニュアル	消防庁が作成するマニュアル。本マニュアルは、消防職団員が警防活動等を遂行するにあたって、一般的に留意しなければならない安全管理上の主な事項が列挙され、本マニュアルを参考にし、各団体のマニュアルを整備する等、組織の安全管理体制の整備を図るとともに、消防職団員の安全管理知識向上のための教育用の教材として使用すること等で、警防活動時等の事故防止を図ることを目的としている。
	高圧ガス保安法	高圧ガスによる災害を防止するため、高圧ガスの製造、貯蔵、販売、輸入、移動、消費、廃棄等を規制するとともに、民間事業者及び高圧ガス保安協会による高圧ガスに関する自主的な活動を促進し、公共の安全を確保することを目的とする。
さ行	残存強度	本研究での残存強度とは、火災を受けた容器を水圧によって破裂圧力を測定し、その圧力値が当該容器の残存強度としている。この残存強度に基づいて、火災を受けた容器が完全であるか否かを判定する。
	最小可燃限界(LFL)	燃料と空気の混合ガスが燃える混合割合の中で、その限界値の最低濃度のこと。
	衝突移動バリア	試験自動車に衝突させる移動できる車輻付フレームと衝突部分に衝突緩衝材からなる装置のこと。
	真空度	大気圧以下の空間の圧力の度合
	衝突試験後の車室内水素濃度計測試験	GTR No.13(HFCV)では、密閉空間内での水素漏れを規定するために、衝突試験後の客室内への水素流入許容限度に関する規定が付け加えられた。測定箇所は、車室内やトランクルーム内であり、主に天井部に設置された数個の水素濃度計が4Vol.%以上になってはならない。過去の事業にて評価した結果、空調の微風や衝突移動バリアの存在によって、水素濃度が変化してしまうことから、車両自体が評価されないことが明らかになり、これらの課題はHFCV-gtr Phase2で議論されることになった。
	水素の可燃範囲	水素が燃えるために必要な濃度範囲のこと。常温、空気中においてその濃度は4%~75%となる。

	用語	説明
	水素パージガス	燃料電池システムの制御により、燃料電池システム内の水素を外部へ排出（容器安全弁および圧力逃し弁による放出を除く）すること。
	セダン	4ドアで、エンジンルーム、乗車空間、荷物空間が3つに分かれた形状を持つ自動車。
	接触燃焼式水素濃度計	触媒表面でのガスの接触燃焼による白金線コイルの抵抗変化を利用し、ガス濃度を検知する。検知濃度は1000 ppm から数%の範囲。
た行	道路運送車両法	クルマの登録など所有権の公証を行うとともに、安全性の確保、公害の防止および整備についての技術向上をはかる目的で、1951年に制定された法律。目的を達成するために、クルマの構造装置が備えるべき要件を定めるとともに、その適正な使用を期するため、クルマの検査、登録制度および罰則規定を設けている。また構造装置および安全性などの性能を維持するため、クルマの点検整備をクルマの使用者に義務づけており、自動車整備事業の内容についても規定されている。さらに本法律の円滑な運用をはかるため、政令(自動車登録令など)、省令(道路運送車両の保安基準など)、通達(試験方法など)が別途定められている。
な行	無響室	壁、床、天井による音の反射の影響を受けないように、それらに吸音材・遮音材などを設けて、音源からの直接音だけが観測されるようにした部屋。
は行	保炎限界	炎が安定的に保持することができる燃料と空気の混合ガスの限界値の最低濃度のこと。
や行	容器のくず化要領書	水素・燃料電池自動車燃料装置用容器(ガス容器)の残ガス処理、及びガス容器のくず化に係わる手順を定める要領書。全国高圧ガス容器検査協会から、CNG自動車容器残ガス処理および容器くず化要領書が発行された。FCV用のくず化要領書は、本事業で得られたデータを活用し、作成中である。

-10：「水素ステーション等機器の国際標準化動向に関する検討」

	用語	説明
英数	CEC	California Energy Commission：カリフォルニア州エネルギー委員会
	CEP	Clean Energy Partnership ドイツで2004年より開始された燃料電池自動車と水素ステーションの実証プロジェクト
	DOE	Department of Energy：アメリカ合衆国エネルギー省
	H2USA	燃料電池自動車普及と水素ステーション展開を全米に拡大するために、DOE（米国エネルギー省）が2013年9月に立ち上げた官民パートナーシップ。
	H2Mobility	2009年に欧州で立ち上げられ、2015年以降の水素インフラ整備を検討する組織。国毎に、H2Mobility Germany, H2Mobility France, UK H2Mobility などがある。
	ISO	International Standard Organization：国際標準化機構
	ISO/TC197	TCはTechnical Committee（専門委員会）と称し、ISOの標準化の各技術分野を統括する。各々設立順に番号で示され、TC197は「エネルギー利用を目的とした水素の製造、貯蔵、輸送、測定および利用に関するシステム・装置に関わる標準化」を目的としている専門委員会。日本はPメンバー（オブザーバーでない正規メンバーで積極参加している）
	ISO/TC197/WG	ISO国際規格を策定する作業グループ。 コンピナ（国際議長）が主管し、セクレタリがコンピナを補佐して活動を進める。 ISO/TC197委員会には、現在、14のWGが活動中。
	ISO/TC197/WG5	ISO番号：ISO17268 題名：水素充填コネクタ 概要：11MPa, 25MPa, 35MPa, 70MPaの使用圧力を持つ水素充填コネクタに適用する

	用語	説明
	ISO/TC197/WG15	<p>ISO 番号：ISO19884</p> <p>題名：水素ステーション用蓄圧器</p> <p>概要：Type-1～4の最大水容量 10,000L 以下、常用圧力 110MPa 未満の定置用気体水素容器（蓄圧器）の設計、製造、試験に関する要求条件を定める。</p>
	ISO/TC197/WG17	<p>ISO 番号：ISO19883</p> <p>題名：水素精製装置（PSA）</p> <p>概要：PSA（圧力変動吸着）方式による水素精製装置の安全要件を定める。</p>
	ISO/TC197/WG18	<p>ISO 番号：ISO19881 及び 19882</p> <p>題名：車載用高圧水素タンク + 同 PRD (圧力遮断装置)</p> <p>概要：永久車載型、水容量 1000L 以下の容量、70MPa を越えない公称常用圧力を有する車載用高圧水素タンク及び PRD（圧力遮断装置）の材料・設計・製造・試験などに対する要求事項を定める。</p>
	ISO/TC197/WG19	<p>ISO 番号：ISO19880-2</p> <p>題名：水素ステーション用ディスペンサー</p> <p>概要：充填圧力 70 MPa（H70）までの水素ガスステーションに設置するディスペンサーの安全要件および安全試験に関する規格を定める。ただし、水素充填プロトコル、水素流量計などは対象外。（日本提案）</p>
	ISO/TC197/WG20	<p>ISO 番号：ISO19880-3</p> <p>題名：水素ステーション用バルブ類</p> <p>概要：水素ステーションやディスペンサーに使用される圧力クラス区分 H70（充填圧力 70MPa）までの高圧水素バルブ類の性能・安全性に係わる国際標準化を行う。（日本提案）</p>
	ISO/TC197/WG21	<p>ISO 番号：ISO19880-4</p> <p>題名：水素ステーション用コンプレッサー（圧縮機）</p> <p>概要：水素ガスコンプレッサー（圧縮機）の材料、設計、製造、試験に関する安全要件を定める。</p>
	ISO/TC197/WG22	<p>ISO 番号：ISO19880-5</p> <p>題名：水素ステーション用ホース</p> <p>概要：水素ステーションに使用されるホースの材料、設計、製造、試験に関する安全要件を定める。</p>
	ISO/TC197/WG23	<p>ISO 番号：ISO19880-6</p> <p>題名：水素ステーション用フィッティング</p> <p>概要：水素ステーションに使用されるフィッティングの材料、設計、製造、試験に関する安全要件を定める。</p>
	ISO/TC197/WG24	<p>ISO 番号：ISO19880-1</p> <p>題名：水素ステーション</p> <p>概要：燃料電池自動車に水素ガスを充填するための水素ステーションの安全（そして必要に応じて、）パフォーマンスに対する設計、導入、試運転、運転、検査、保守の要件を定める。</p>
	ISO/TC197/WG25	<p>ISO 番号：ISO16111</p> <p>題名：水素吸蔵合金（MH）容器</p> <p>概要：容積 150L 以下かつ圧力 25MPa 以下の容器を利用する可搬式水素吸蔵合金システムの材質設計、建設、試験の要件を定める。</p>

	用語	説明
	ISO/TC197/WG26	ISO 番号：ISO22734 題名：水電解水素製造装置 概要：既発行の工業用水電解と家庭用水電解の二つの規格を統合し、最新技術であるアルカリ高分子膜水電解をスコープに加え、さらに高圧水電解及び大容量水電解にも対応した安全要求と試験要求を定める。
	ISO/TC197/WG27	ISO 番号：ISO14687 題名：水素燃料仕様 概要：燃料電池自動車用、定置式 PEFC 用及びその他の既発行の三つの規格を統合し、前二者については内容改定し、水素燃料の仕様を定める。（日本提案）
	ISO/TC197/WG28	ISO 番号：ISO19880-8 題名：水素品質管理 概要：水素燃料の品質を保証するため、水素品質管理方式を定める。日本の品質ガイドラインの規範的な管理方法と、リスクアセスメントに基づいた品質管理方法の 2 種類の方法を規定している。（日本提案）
	ISO 文書	ISO の文書には様々な段階があり、新しい ISO 国際規格の提案から始まり、最終的に正式な ISO 国際規格として発行される。 以下は、ISO の文書レベルであり、順次段階を踏んで規格策定される。 NWIP：New Work Item Proposal（新作業項目） WD：Working Draft（作業原案） CD：Committee Draft（委員会原案） DIS：Draft for International Standard（国際規格原案） FDIS：Final Draft for International Standard（最終国際規格原案） IS：International Standard（国際規格）
	JISC	Japanese Industrial Standards Committee 日本工業標準調査会：工業標準化法に基づいて経済産業省に設置されている審議会で、工業標準化全般に関する調査・審議を行っている。
	METI	Ministry of Economy, Trade and Industry 経済産業省
	NeV	Next Generation Vehicle Promotion Center 一般社団法人次世代自動車振興センター 水素供給設備（水素ステーション）や次世代自動車の充電インフラの補助金交付を行っている。
	SAE	Society of Automotive Engineers: 米国自動車技術会、米国の自動車用規格を定める標準化機関
か行	コンピナ	WG の国際議長で、WG を主管し、活動を進める。
さ行	セクレタリ	コンピナを補佐して、WG 活動を進める。

-11：「水素スタンドの緊急時対応ガイドラインの整備に関する検討」

	用語	説明
英数	35MPa 車両	最高充填圧力が35MPa の燃料電池自動車。
	70MPa 充填ノズル	最高充填圧力が70MPa の燃料電池自動車に充填するためのノズル。安全のため、最高充填圧力が 35MPa の車両には充填できない構造となっている。

	用語	説明
	FCV	燃料電池自動車（Fuel Cell Vehicle）のこと。水素を燃料とし、搭載した燃料電池で発電し電動機の動力で走る車を指す。
	KHK	高圧ガス保安法第1条に明記されている「高圧ガス保安協会」（協会）の略称。 「高圧ガスの保安に関する自主的な活動を促進し、もって公共の安全を確保する（同条）」という同法の目的を達成する中心的役割を担っている、「高圧ガスによる災害の防止に資するため、高圧ガスの保安に関する調査、研究及び指導、高圧ガスの保安に関する検査等の業務を行う（第59条の2）」団体である。
あ行	イベントツリー	イベントツリー解析。リスク評価手法の一つで、あるシステムの故障をもたらず事象を左端に配置し、その事象の進展を阻止するための機能を右側に列挙し、「成功」「失敗」の2通りの分岐により結んでいくことでイベントツリー（Event Tree）を作成し、最終的な事象である事故が発生する確率を算出する手法。
か行	可視炎	人の目で見える波長の光を出す炎のこと。水素ガスは燃焼しても肉眼ではほぼ透明にしか見えず、肉眼でこれを監視することは不可能である。そのため、水素では火炎に含まれる紫外線を検知することとしている。
	過流防止弁	バルブの二次側のラインに異常が生じた場合に、システム流体の過剰流出を防止するもの。
	感震装置	防災装置の一種。地震の加速度を検出し、加速度が一定値を超えると、警報または制御信号を発するもの。
	危害予防規程	高圧ガスによる災害を防止するため、第一種製造者（高圧ガスの製造をするもの）が、事業所の状況に応じて、高圧ガスの製造に関して保安の細目を定めたもの。
	キャノピー	建築物に見られるひさしのこと。水素スタンドでは充填設備（ディスペンサー）上の天蓋を言う。
	緊急遮断インターロック	緊急時に水素を遮断するように、検知器と組み合わせて動作するようにしたもの。
さ行	サイバー攻撃	コンピュータシステムやインターネットなどを利用して、標的のコンピュータやネットワークに不正に侵入してデータの詐取や破壊、改ざんなどを行ったり、標的のシステムを機能不全に陥らせたりすること。
	シビアアクシデント	設計基準事象を大幅に超える事象であって、安全設計の評価上想定された手段では適切な制御ができない状態により、著しい損傷に至る事象。
	充填容器等	容器置場並びに充てん容器及び残ガス容器のこと。
	重油間接脱硫装置	水添脱硫装置の一つ。常圧残油を減圧蒸留装置で処理して減圧軽油と減圧残油とに分け、減圧軽油のみを水素化脱硫するもの。脱硫した減圧軽油と減圧残油を混合することにより、製品としての重油の硫黄含有量を間接的に下げる方式を間接脱硫と呼ぶ。
	焼鈍炉	加熱後に徐冷し、加工硬化による内部のひずみを取り除き、組織を軟化させ、展延性を向上させる熱処理を行う焼なましのための炉。
	水素カードル	小型容器を20本、30本とまとめて固定された集合容器をカードルと呼び、水素を充填したものを水素カードルと呼ぶ。充填圧力は14.7MPaと19.6MPaの両方がある。
	水添脱硫装置	硫黄などの不純物を含む石油留分を、触媒の存在下で水素と反応させる水素化脱硫方式を使って精製する装置のこと。水素化脱硫装置、水素化精製装置などとも言う。
た行	蓄圧器	水素スタンドで、圧縮水素を送り出し、又は受け入れるために用いられる貯槽のこと。
	ディスペンサー	定量吐出装置であり、流体を精度良く定量供給するコントローラ及びその周辺機器の総称。水素を車両に充填するための設備。
	トリガー現象	事故を引き起こすきっかけとなる事象。
	トレーラトラック	エンジンが搭載されていないトレーラ（被けん引車）と、トレーラを引っ張るエンジンを搭載したトラック（けん引車）の組み合わせを言う。
は行	爆発下限界	可燃性ガス等が空気または酸素と混合した場合、特定のガス濃度範囲で着火源が存在するとき爆発する。この濃度範囲を爆発範囲といい、濃度の低いほうの限界を爆発下限界、高いほうの限界を爆発上限界という。水素爆発下限界は4vol%。

	用語	説明
	バネ式安全弁	容器内の圧力が通常の時、安全弁はバネの力によりガスなどの流体を封じ込め、容器内の圧力が上昇し過度になった時、バネがたわみ安全弁が自動的に作動して弁が開き、容器内部の流体を外部へ放出するもの。容器内の流体を外部へ放出し圧力が通常まで下がると、バネの力により弁が自動的に閉じ、流体の吹出しは終わり元の状態に戻る。
	非常措置マニュアル	各事業所で、緊急事態に対応するため策定されるマニュアル。
	ヒューマンファクター	人間や組織・機械・設備等で構成されるシステムが、安全かつ経済的に動作・運用できるように考慮しなければならない人間側の要因のこと。
	輻射熱	遠赤外線熱線によって直接伝わる熱の事。高温の固体表面から低温の固体表面に、その間の空気その他の気体の存在に関係なく、直接電磁波の形で伝わる伝わり方を輻射といい、その熱を輻射熱という。
	ベント（ベントライン）	通気穴、水素を放出する通気孔のこと。
	保安設備	水素スタンドの安全を維持するための設備。地震計、ガス漏洩検知センサ、火炎検知センサ、緊急離脱カブラ等がある。
や行	溶栓式安全弁	融点の低い金属で塞がれており、高圧ガスの容器などに取り付けられ、異常な高温になった時に融点の低い部分が溶けて穴が開くことで、高圧ガスを逃がして爆発を防ぐ安全装置。
ら行	例示基準	一般則や液石則等で定める技術的要件を満たす技術的内容をできる限り具体的に例示したもの。
	リサイクルコンプレッサ	リサイクルガスコンプレッサ、循環ガスコンプレッサとも言う。 水添脱硫装置などで、反応ガスだけを再循環するために使用するコンプレッサのこと。
	リスクアセスメント	潜在的な危険性又は有害性を見つけ出し、これを除去、低減するため手法。
	リスクマトリクス	事故の可能性（頻度）と事故の影響度（大きさ）を組み合わせるリスクを評価してリスクランクのH（高い）、M（中程度）、L（低い）のなどに区分したものの

研究開発項目：「燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」

-1：「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」

	用語	説明
英数	CAE	Computer Aided Engineering の略。製品の設計支援システムや設計した製品のモデルを使って強度や耐熱性などの特性を計算する解析システム。
	CAM	Computer Aided Manufacturing（コンピュータ支援製造）の略。製品の製造を行うために、CADで作成された形状データを入力データとして、加工用のNCプログラム作成などの生産準備全般をコンピュータ上で行うためのシステム。
	CFの強度発現率	CFの繊維束強度がどれくらい実際のCFRPの強度に寄与したかという割合で、次の式で表される。 CF強度発現率 = (CFRP強度/繊維体積含有率) / CFの繊維束強度 * 100
	CF幅変動係数	繊維束の幅の変動指標のこと。 FW工程やタンクライナー上での幅の変化が少ないほど樹脂の付着量変化や巻き姿が良好となる。
	EPDM	Ethylene Propylene Diene Rubber（エチレン-プロピレン-ジエンゴム）の略。
	FEM	Finite Element Method（有限要素法）の略。複雑な形状・性質を持つ物体を小部分に分割することで近似し、全体の挙動を予測しようとするもの。構造力学や流体力学などの様々な分野で使用される。

	用語	説明
	KHK	高圧ガス保安協会のこと。
	HDPE	High Density Polyethylene (高密度ポリエチレン) の略。
	S-N 曲線	材料がどれくらいの繰り返し応力に耐えられるか、どれくらいの回数を与えるとどれくらいの応力で破断するのかをあらわすために用いられる。縦軸に応力振幅 (stress amplitude) あるいは応力範囲 (stress range)、横軸にその応力を繰り返し負荷して破断するまでの繰り返し回数 (number of cycles) の対数で表されるグラフ。
あ行	アロイ材料	樹脂に耐衝撃性や柔軟性などの付与し、高性能化させるため、2種類以上の高分子材料を混合してできたもの。
	インジェクション分割成形	樹脂のインジェクション成形法は中空での一体成型が困難なため、高圧容器の様な中空部品を製作する場合にあらかじめ分割別体で成形したピースを溶着などにより一体化し中空部品を得るもの。本研究ではインジェクション成形品および押し出し成形品を熱板溶着により一体化した。
	エラストマ	ゴム弾性を有する工業用材料の総称。
	エンプラ	エンジニアリングプラスチックの略。耐熱性、機械的強度などの性能が汎用プラスチックより優れ、工業用部品として用いることが可能な高性能プラスチック。一般に耐熱性が100以上あり、強度が50MPa以上、曲げ弾性率が2.4GPa以上あるものをいう。
	押し出し成形	可塑性・流動性ある樹脂材料を、スクリュー又はプランジャー方式を使用し脱気しながら先端金型に圧送し同一形状で押し出す成形方法。同一断面形状の連続量産に最も有利な成形方法。
か行	回転成形	粉末成形法のひとつで、熱可塑性の粉末樹脂材料を金型内に入れ、加熱炉の中で360°回転させながら、型の内面に材料を均等溶融させ、冷却固化して成型品を得る方法。小ロット、多品種を得意とし、大型製品や意匠性の高いものを中空一体で成形可能。
	口金	バルブを取りつける部分およびFW加工時にライナーを保持するための構造のこと。高圧容器の両端部または片端部に位置する。バルブはリングを介して口金シールする。タイプ4複合容器の場合はライナ本体と口金は別体構造となるため、バルブと口金のシール以外にライナ本体と口金のシール構造が必要となる。セルフシール、Oリングシールなどがある。
	クリープ量	クリープとは、物体に持続応力が作用すると、時間の経過とともに歪みが増大する現象のこと。クリープ量はクリープ変形による変位量をさす。
	結晶化度	樹脂固体の結晶領域と非晶領域との全体の中で、結晶領域が占める重量の割合を算出したもの。
	毛羽発生テンション	毛羽数を測定しながら繊維束を走行させ、同時に繊維束に加えるテンションを変化させた時、測定される毛羽数が急激に増加するテンションのこと。
	高開繊	繊維束が幅方向に広がりやすいこと。広がりやすいことにより、樹脂の含浸性向上等に効果がある。
	硬化反応熱	エポキシ樹脂が硬化する時に硬化炉による加熱以外に主剤と硬化剤反応する際の発熱温度を言う。
さ行	サイズ剤	繊維へのマトリクス含浸性や、繊維の取り扱い性(収束性)をコントロールするために、繊維に塗布される表面改質剤。
	擦過性	繊維が擦れた時、毛羽が立つことに対してどの程度強いかを表す度合。
	サブスケール	蓄圧器はほとんどが、3~4mの長尺の円筒容器であるが、同一径、同一の鏡面研削状であれば、耐圧性能は短くても理論的に不変である。 本来の蓄圧器の長さより取り回しや試験上の都合により、径を同一として短く仕立てた製品をサブスケールと呼ぶ。本テーマでは長尺のサイズをリアルスケールと呼ぶ。
	時間限度	疲労寿命を評価する上でS-N曲線上の疲労限度に達しない応力振幅領域で、繰り返し回数を基準として算出した応力振幅許容値

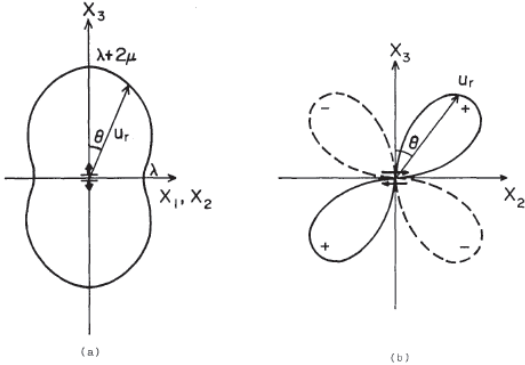
	用語	説明
	樹脂ライナ	樹脂材料にて主に構成されたライナ。 加圧時の荷重は分担せず、気体封止として機能する。 一部、バルブなどの接続部は口金と呼ばれる金属材料をインサートまたは機械結合で構成され、インジェクション成形法、回転成形法、ブロー成形法、押し出し成形法などで製作する。インジェクション成形法などは中空一体で成形困難なため分割されたものを溶着により中空にする。
	水素影響	本研究では、高圧水素がライナ樹脂材料に与える影響、主にプリスタ性（水素が材料中に溶解し、材料中での溶解水素の発泡現象を生じる度合い）のことを表す。水素影響因子として、温度、減圧速度、ライナ成形方法などが挙げられる。
	水素透過	ライナ材料に対する水素影響のひとつ。ライナ材より分子量の小さい水素は分子間を通り抜けて外に抜け出、更に FRP 層を通り抜けて大気開放される。一意の漏れとは区別すべき事象であるが、累積した場合に水素濃度が高まるため、透過量が規定されている。現在の KHK TD5202 の透過量基準は FCV 基準より転用しているため、圧力の高い蓄圧器にとっては不利である。但し、透過量は面積と厚みに依存するが、基準は単位容積当たりであるため、容量が大きくなるほどに対表面積比は小さくなるので、その点では有利である。
	ストランド	フィラメントを数千～数万本束ねた繊維束のこと。トウとも言う。
	スピニング加工	アルミなどの金属ライナを成形する際に用いられる製法。パイプ状の金属を回転させ、そこにローラーを押し付けて、成形を行う回転塑性加工の一つ。比較的板厚の薄い板を曲げる加工。
	スーパーエンブラ	エンブラよりさらに耐熱性、機械的特性に優れた高性能プラスチック。150 以上の高温でも長時間使用できるものをいう。
	積層設計	異方性材料である CFRP を積層させて強度剛性を確保する際に層毎の巻き角度を変化させて、高圧容器の耐圧設計をすること。おもに高圧容器の胴部を強化するフープ巻き、高圧容器に長手方向の変位を抑制し、かつ鏡部を強化するヘリカル巻きなどがある。それぞれの巻きパターンを組み合わせることで最適な巻き厚みを FEM 解析などを用いて最適設計する。
	セルフシール	口金とライナ間のシールを確保するために Oリングなどのシール部材を介さず、充填ガスの内圧によりライナが口金に押し込まれる作用を利用しシールする方法。Oリングなどの部材が省略できシンプルな構造にできるが、低圧側のシール性や温度変化による異材間線膨張差によるシール性確保が難しく各社ノウハウが必要となる。
	線膨張	熱による固体の長さの変化。温度をセ氏 1 度上げたときの物質の長さの増加する割合を、その物質の線膨張率という。
た行	タイプ 1 容器	金属のみで構成される圧力容器のこと。
	タイプ 3 複合容器	金属ライナを耐圧部材として機能する CFRP で補強した複合圧力容器のこと。ライナーには主にアルミが用いられる。
	タイプ 4 複合容器	非金属（樹脂）ライナを耐圧部材として機能する CFRP で補強した複合圧力容器のこと。
	多層材料	ライナに使用する樹脂材料を異種材料を層状に組み合わせることにより、主にガスバリア性機能を付与させた複合樹脂材料を表す。
	炭素繊維(CF)	CF は Carbon Fiber の略。アクリル繊維またはピッチ（石油、石炭、コールタールなどの副生成物）を原料に高温で炭化して作った繊維。現状の複合容器にはアクリル系が使用される。
	炭素繊維強化プラスチック (CFRP)	CFRP は Carbon Fiber Reinforced Plastics の略。炭素繊維と樹脂の複合材料である。樹脂母材（マトリクス材）には主にエポキシ樹脂が用いられる。
は行	配向	高分子の固体物質中で、構成単位となる微結晶あるいは高分子鎖が一定方向に配列すること。分子配向。
	汎用樹脂	一般の包装材料、雑貨、家庭用品など幅広い用途に使われる合成樹脂の総称。中でもポリエチレン、ポリプロピレン、塩化ビニル樹脂、ポリスチレンが 4 大汎用樹脂と呼ばれる。
	フィラメントワインディング (FW)	FW は Filament Winding の略。ライナーに樹脂を含浸させた炭素繊維やガラス繊維を巻付ける複合容器の製造方法。
	プリスタ	水素影響項参照

	用語	説明
	フローフォーミング加工	アルミなどの金属ライナを成形する際に用いられる製法。パイプ状の金属を回転させ、そこにローラーを押し付けて、成形を行う回転塑性加工の一つ。厚い板や塊に近い形状の金属を積極的に板厚を変化させる事によって様々な形に変化させる加工。
	分子量分布	合成高分子は、一般に分子量の異なった分子の集合体で幅広い分布を有する。物性面では通常、分子量分布が狭いことが望ましいが、加工の容易さからは分子量分布が広いことが有利になることも多い。
	バンク	ステーションの蓄圧器の使用方法で、差圧充填式のステーションにおいて1回で充填するシステムを1バンクシステムという。1回目を1バンク目の蓄圧器から圧力が均衡するまで充填し、残りを2バンク目から充填することで車両側が満充填できるようにしたシステムを2バンクシステムと言い、3段階の差圧で充填するシステムを3バンクシステムと言う。
ま行	マイクロボイド	本研究ではライナ成形時に材料内部に発生するミクロンサイズの小さな気泡を言う。
や行	溶着	樹脂部品を接着する方法。成形された樹脂の接着したい部分を再加熱し溶融させた状態にしてから圧力をかけて接着する熱板溶着などがある。また加熱方法や圧着の方法により赤外線溶着法、レーザー溶着法、振動溶着法や回転溶着法などある。
ら行	ライナ	複合容器の内殻で、この内殻にエポキシ樹脂などを含浸させた炭素繊維やガラス繊維を巻回し、エポキシ樹脂などを加熱硬化させて複合容器とする。一般的に樹脂やアルミから成り容器に充填された気体を封止する機能を有する。
	リアルスケール	対比後、サブスケール参照

-2：「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」

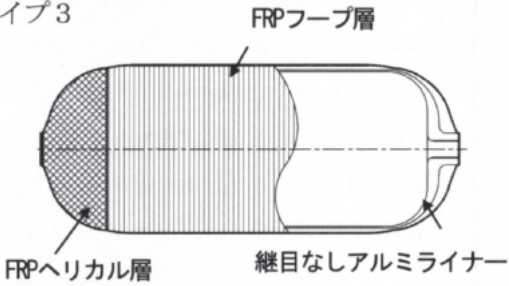
	用語	説明
英数	G-Polymer	日本合成化学(株)が開発したビニルアルコール系樹脂材料
	CFRP	Carbon Fiber Reinforced Plastics 炭素繊維にプラスチック材料を含浸した後、硬化させて成形した複合材料のこと。
あ行	アルミライナー	アルミニウム合金でできた肉厚の薄い容器。加圧時の荷重はあまり分担せず、ガスバリアとして機能する。
か行	回転成形	中空製品を生産する成形方法のひとつ。粉末状熱可塑性樹脂を金型に注入、回転させ、回転の遠心力で材料を金型の内面に付着させ成形する方法
	口金	バルブを取り付けるためのねじを有する金属
さ行	設計圧力	機器の強度計算で基準となる圧力（＝許容圧力） 常用圧力 設計圧力。
た行	多層成形	数種の特性の違ったプラスチック材料を2層、3層、5層というように重ね、壁面を形成する成形技術。
	蓄圧器	燃料電池自動車に水素を差圧充填するため、水素を貯蔵する容器。試験ステーションにおける蓄圧器の主な仕様は、常用圧力：8.2 MPa、容量：255 L（日本製鋼製）×2本、100 L（高圧昭和製）×2本、60 L（住金機工製）×1本。
	継目なし容器	高圧ガスを充てんする金属容器のうち、溶接を用いずに製作する容器
は行	破裂圧力	破裂試験において容器が破裂する圧力。破裂圧力は最小破裂圧力（最高充てん圧力×225%以上、かつ、応力比2.25以上）以上とする。
	フィラメントワインディング成形（FW成形）	ロービングに樹脂を含浸させながらテンションをかけ、型（マンドレル）に連続的に巻きつける製造方法。
	複合容器	ライナーを繊維（主に炭素繊維やガラス繊維）で巻付け、樹脂で固めることによって強化した容器。
	プラスチックライナー	複合圧力容器の最内層を構成するプラスチックの薄肉容器。加圧時の荷重は分担せず、ガスバリアとして機能する。
ら行	リニアローデンポリエチレン	Linear Low Density Polyethylene（直鎖状低密度ポリエチレン）

-3：「スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」

	用語	説明
英数	0.2%耐力	引張試験で0.2%の塑性ひずみが生じる応力。
	70MPa スタンド	水素スタンドの常用圧力が82MPa以下の圧縮水素スタンド。燃料電池自動車の70MPa充填に対応したもの。
	AEの放射方向	<p>AEは材料中のクラックの生成に伴って発生するが、クラックのモードによってAEの放射方向が異なる。モードIの開口型クラックの場合、図(a)のように開口方向に放射される。モードIIのせん断型クラックの場合、せん断方向から45度ずれて放射され、位相も異なる。</p>  <p>(a) (b)</p> <p>文献：岸ら、日本機械学会誌 48-9(1984)911-917</p>
	AE法	アコースティック・エミッション (Acoustic Emission, AE) とは、材料が変形あるいは破壊する際に、内部に蓄えていた弾性エネルギーを音波 (弾性波、AE波) として放出する現象である。AE波は主に超音波領域 (数10kHz～数MHz) の高い周波数成分を持つ。このAE波を材料表面に設置したAEセンサ (圧電素子センサ) によって電気信号に変換して検出し、破壊や変形の様子を非破壊的に評価する手法をAE法と呼ぶ。
	ASME	アメリカ機械学会 (American Society of Mechanical Engineers, ASME) は、アメリカ合衆国における機械工学についての学会であり、職能団体である。ASMEは機械装置の基準と規格を策定していることで知られている。世界最大の技術書出版社 ASME Press も運営しており、機械工学分野の論文集を発行している。
	ASME Sec.8 Dev.3	米国のタイプ2蓄圧器に関わる要求事項を網羅 例えば、 Article KG-5; Additional general requirements for composite reinforced pressure vessels (CPR) Article KD-13; Additional requirements for (CPRV)
	ASME規格	主に石油精製設備・石油化学設備のプロセス配管に適用される米国機械学会の規格である。
	CF	carbon fiber, 炭素繊維。
	CFRP	carbon fiber reinforced plastics, 炭素繊維強化複合材料。炭素繊維を樹脂の中に入れ、強度を向上させた複合材料。
	CFRP複合容器	ガスをバリアするライナーに、周方向のみ又は軸方向及び周方向に樹脂を含浸した炭素繊維を巻き付けた複合構造を有する容器のこと。燃料電池自動車用の圧縮水素容器は、すべてCFRP複合容器である。
	CSA	Canadian Standard Association : カナダ規格協会、北米全体の安全規格を中心とした標準化機関。試験部門を有し、安全性を中心とした第三者試験機関でもある。
	CSA	Canadian Standards Association の略称。アメリカ、カナダの規格検定機関。ホースの北米規格を制定しており、ホース評価の実験設備を保有。
	CT試験片	破壊靱性試験などに用いられる切欠き付試験片の1種 (Compact Tension 試験片)。
	FC-EXPO	水素・燃料電池の研究開発、製造等に必要ならゆる技術、部品・材料、装置、および燃料電池システムが一堂に出展する国際展示会。通常毎年1回、2月下旬または3月上旬に東京で開催される。

用語	説明
FCV	燃料電池自動車 (Fuel Cell Vehicle) のこと。水素を燃料とし、搭載した燃料電池で発電し電動機の動力で走る車を指す。
FCV	燃料電池自動車 (英: Fuel Cell Vehicle, FCV) とは、水素を燃料とする燃料電池で発電し電動機の動力で走る車を指す。
FEM	Finite Element Method (有限要素法) の略。複雑な形状・性質を持つ物体を小部分に分割することで近似し、全体の挙動を予測しようとするもの。構造力学や流体力学などの様々な分野で使用される。
FRP	fiber reinforced plastics。繊維強化複合材料。
FW	filament winding。フィラメント・ワインディング参照。
FW	Filament Winding の略。 ライナーに樹脂を含んだ炭素繊維やガラス繊維を巻き付ける複合容器の製造方法。
GC-TCD	ガスクロマトグラフに熱伝導度検出器 (Thermal Conductivity Detector) を搭載した分析計のことである。物質の熱伝導度の違いを利用してサンプルの検出を行う。キャリアガス以外のほぼあらゆる物質を検知できる。
HPIS	(一社) 日本高圧力技術協会 [HPI] は、高圧力という専門分野について系統的な解明を行うために設立された民間団体。高圧力に関する各種規格 [HPIS] を制定している。
JIC 試験	破壊力学試験の一つ。
KHK	高圧ガス保安法第 1 条に明記されている「高圧ガス保安協会」(協会) の略称。 「高圧ガスの保安に関する自主的な活動を促進し、もって公共の安全を確保する(同条)」という同法の目的を達成する中心的役割を担っている、「高圧ガスによる災害の防止に資するため、高圧ガスの保安に関する調査、研究及び指導、高圧ガスの保安に関する検査等の業務を行う(第 59 条の 2)」団体である。
KHK	高圧ガス保安協会のこと。
KHKS 0220 (超高压設備に関する基準)	高圧ガス保安法の適用を受ける超高压設備の耐圧部の材料、設計、製作、試験・検査に対して適用される基準である。高圧ガス保安法の省令、告示(例示基準)によらない場合に適用される基準である。この基準では詳細解析を実施することにより設計係数の低減を可能としている。
LBB	Leak Before Burst (破裂前漏洩) の略。 疲労き裂が圧力容器内面から進展して外面に達した際、不安定破壊が起こらず、容器内の水素が放出されて内圧が低下する現象。
MPa	圧力の単位。35MPa (メガパスカル) は大気圧の約 350 倍、70MPa (メガパスカル) は大気圧の約 700 倍となる。
Oリング	溝に組み付けて単独またはバックアップリングとともに静的にまたは可動部分に用いられる円形断面をもった環状のゴムパッキン。
PAN	Polyacrylonitrile。ポリアクリロニトリル。炭素繊維の原料となる。
PT (浸透探傷試験)	浸透探傷試験とは、赤色や蛍光の浸透性のよい検査液を用いて、表面の割れ、ブローホールなどを検出する非破壊検査方法である。金属、非金属を問わず、表面に開口したクラック(きず)であれば、検出できるため広く利用されている方法である。浸透液の色(観察条件)と浸透液の除去方法により、次の 6 種類がある。赤色浸透液を水洗除去する方法で、大型検査物、表面の粗い検査物に適している。
RRA	絞りに及ぼす水素の影響を示す。水素環境における SSRT の絞りを大気環境または不活性ガス環境における SSRT の絞りで除した相対絞り値 (RRA: Relative Reduction of Area)。
SEM	走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope)
SCM435 鋼	炭素量 0.33 ~ 0.38% 程度のクロムモリブデン鋼。(低合金鋼) (Cr; 0.90 ~ 1.20, Mo; 0.15 ~ 0.30 %) 降伏点は概ね 785 MPa 以上、引張り強さ 930 MPa 以上の鋼。 クロモリ鋼の中では比較的高めの機械的性質を持つ。

用語	説明
SNCM439 鋼	2%Ni 低合金鋼。高張力鋼として強靱性が要求される機械構造用部品に汎用される。高圧水素用蓄圧器に使用されている事例あり。
SN 線図	縦軸に応力振幅、横軸に破断までの繰返し数 N をとって疲労試験結果をグラフにプロットしたもの。
S-N 線図	縦軸を Stress-amplitude (応力振幅)、横軸を Number of cycles to failure (破断までの繰返し数=疲労寿命、対数目盛) とした疲労特性の関係図。
S-N データ	S-N 曲線。材料がどれくらいの繰返し応力に耐えられるか、どれくらいの回数を与えるとどれくらいの応力で破断するのかを明らかにするために S-N 曲線 (S-N curve) が広く使われている。S-N 曲線は、縦軸に応力振幅 (stress amplitude) あるいは応力範囲 (stress range)、横軸にその応力を繰返し負荷して破断するまでの繰返し回数 (number of cycles) の対数で表されるグラフである。
S-N 曲線	Stress - Number of Cycle 曲線の略。疲労試験を行った際に負荷応力振幅と破壊までの試験サイクル数をプロットした曲線。
S-N 曲線	材料がどれくらいの繰返し応力に耐えられるか、どれくらいの回数を与えるとどれくらいの応力で破断するのかを明らかにするために用いられる。縦軸に応力振幅 (stress amplitude) あるいは応力範囲 (stress range)、横軸にその応力を繰返し負荷して破断するまでの繰返し回数 (number of cycles) の対数で表されるグラフ。
SS 線図	引張試験、圧縮試験等において、応力 (Stress) と歪み (Strain) との関係を表す線図のこと。「応力-歪み線図」。
SSRT (Slow Strain Rate Technique)	低ひずみ増加率による応力負荷により試料を強制破断させる試験法。材料の評価が比較的短時間で可能であることから、本研究開発では耐水素性のスクリーニングに用いている。
SSRT	低ひずみ速度試験 (Slow Strain Rate Technique)。水素脆化感受性を評価する目的で、腐食液中等で水素を材料にチャージしながら、低ひずみ速度で引張試験を実施する方法。
SSRT Test	Slow Strain Rate Tensile Test (低歪速度引張試験) 低ひずみ速度による応力負荷により試料を強制破断させる遅れ割れ試験法。遅れ割れ特性の評価が短時間で可能であることから、本研究開発では耐水素性のスクリーニングに用いている。
SSRT	Slow Strain Rate Test (or Technique) の略。一般的には、ひずみ速度 $10^{-6}/s$ 程度での引張試験。

	用語	説明
	Type -CFRP 複合容器	<p>圧力容器の構造は、圧縮天然ガス自動車燃料容器に関する各規格、ISO11439、ANSI/NGV、高圧ガス保安法 容器保安規則例示基準別添9 などにおいて以下のように区分されている。</p> <p>Type 1 : 金属容器 Type 2 : 金属ライナー・フープ巻き容器 Type 3 : 金属ライナー・全周巻き容器 Type 4 : 非金属ライナー・全周巻き容器</p> <p>Type -CFRP 複合容器とは、金属ライナーにアルミニウム合金を用い、炭素繊維を全周巻きした水素貯蔵用高圧容器を示す。ライナーを繊維強化プラスチックで補強した構造（複合構造）を有する圧力容器の一種。金属ライナーを使用し、その全体（胴部と鏡部）を繊維で補強した複合容器をタイプ III と呼ぶ。</p> <p>タイプ3</p>  <p>FRPヘリカル層 FRPフープ層 継目なしアルミライナー</p>
	WET 法	繊維に樹脂を塗布しながらフィラメントワインディングを行う方法。一般的に樹脂が均一に塗布しやすいように粘度の低い樹脂を使用する。
あ行	圧力サイクル試験	容器、附属品は水素の充填、放出を繰り返すことにより、繰り返し疲労を受けることから、想定繰り返し回数加圧・降圧を繰り返しても必要強度・性能が確保されていることを確認する試験
	圧力サイクル試験	容器に液体（圧力媒体）によって繰り返し圧力を加え、破断までの繰り返し数（=疲労寿命）を計測する試験。 KHKTD5202 における疲労試験と同意。
	圧縮永久ひずみ	ゴムの永久変形に関する特性のひとつで、試験片を一定温度で一定時間圧縮させた後に圧縮力を除いて一定時間静置後に残るひずみ。
	圧縮応力	ある面に対し垂直に押しあうように働く単位面積当たりの力。
	一般高圧ガス保安規則	<u>高圧ガス保安法</u> （昭和二十六年法律第二百四号。以下「法」という。）に基づいて、高圧ガスに関する保安（ <u>コンビナート等保安規則</u> （昭和六十一年通商産業省令第八十八号）に規定する特定製造事業所に係る高圧ガスの製造に関する保安を除く。）について規定する。
	陰極チャージ法	試験片中に水素原子を導入する方法の一種で、溶液中に金属製の試験片を陰極として浸漬し、通電する。陽極は通常は白金。
	応力 / Stress	連続体内部に定義した微小面積に作用する単位面積当たりの力。 （単位の例：kgf/mm ² ，MPa）
	応力	部材内に発生している単位面積当たりの力を言い、部材の <u>変形</u> や <u>破壊</u> などに対する負担の大きさを検討するのに用いられる。 圧力によって容器に生じる応力は、周方向、軸方向、半径方向の3つの応力（主応力）に整理される。引張応力はプラス、圧縮応力はマイナスで表示する。 単位は、圧力の単位と同じになり、MPa または N/mm ² を使う場合が多い。
	応力	物体内部の断面で単位面積当たりに作用する力
	応力拡大係数	き裂先端近傍の応力場の大きさを示す数値。
	応力振幅	繰り返し圧力によって容器に生じる応力の、最大応力と最小応力の差の半分。 材料の疲労特性の整理には応力振幅が用いられる。（S-N 線図項参照）
	応力範囲	繰り返し圧力によって容器に生じる応力の、最大応力と最小応力の差。
か行	開口変位	切欠き付試験片のき裂開口部の変位（Crack Opening Displacement）

用語	説明
拡散係数	拡散とは、粒子、熱などが自発的に散らばり広がる物理現象である。拡散係数とは拡散の早さを規定する物理量であり、拡散する粒子や熱の流れ（流束密度）は粒子の濃度や温度の勾配に比例し、その比例係数を拡散係数と呼ぶ。[L ² T ⁻¹]の次元を持つ。水素分子が金属あるいは樹脂、ゴム材料などの固体中に溶解あるいは脱離する過程において固体中の水素の拡散現象が問題となる。固体中の水素の拡散係数は高圧水素中に曝露された際に発生する破壊現象などに影響を与える。
ガスクロマトグラフ	ガスクロマトグラフィー(Gas Chromatography)に用いる分析装置のことであり、ガスクロとも呼称される。気体を移動相にしてカラムに試料を導入し、被検成分を固定相との相互作用（吸着、分配）の差を利用して、分離、定量するための機器である。
ガス透過曲線	ガス等透過挙動を時間とガス透過量の関係で示した曲線。
渦電流探傷試験	渦電流探傷試験は、材料の非破壊検査法の一つで、英語でET（Eddy Current Testing）とも呼ばれる。鉄鋼・非鉄金属・黒鉛などの導電性のある材料でできているもので適用でき、材料に誘起される渦電流がクラックによって変化する性質を利用してクラックを探し出す検査である。表面及び表面近傍のクラックを検出することは出来るが、表面下の深い位置のあるクラックは検出することはできない。
過流アレイ探傷	従来の過流探傷で使用しているコイルを多数配列したプローブを使用し、一度に広範囲の面を探傷する事が可能な探傷手法。 エンコード入力付の探傷器とスキャナーを使用する事で探傷結果を画像化し、欠陥の位置・大きさをマッピングする事が可能。
技術文書 KHKTD 5202（2014）	水素ステーションの蓄圧器として用いる複合圧力容器は、特定設備検査規則の適用を受けるが、規則及び例示基準が整備されていないため、NEDO 事業で検討を行った。その成果を踏まえて制定された、材料、設計、加工、構造及び検査の要求事項を定めた技術文書。 （正式名称：圧縮水素蓄圧器用複合容器に関する技術文書）
擬へき開破面	破壊面の一種。破壊がへき開によって生じ、次に空孔（ボイド）合体による母材の破壊（塑性変形）が生じた破壊面。
許容引張応力	機械や構造物に許容される引張側の強さを言う。適用する材料の常温及び設計温度での引張り強さを設計係数で除した値、又は降伏点（又は耐力）を1.5で除した値の最も小さい値を用いる。
金属円筒	ライナーと同義語。蓄圧器を構成する部品
口金	バルブを取りつける部分およびFW加工時にライナーを保持するための構造のこと。高圧容器の両端部または片端部に位置する。バルブはOリングを介して口金シールする。タイプ4複合容器の場合はライナー本体と口金は別体構造となるため、バルブと口金のシール以外にライナー本体と口金のシール構造が必要となる。セルフシール、Oリングシールなどがある。
クロムモリブデン鋼（クロモリ鋼）	鉄に極わずかのクロム、モリブデン等を添加した低合金鋼の一種。略してクロモリ鋼とも呼ばれる。
高圧水素中小型疲労試験機	室温の高圧水素環境にて4点曲げ疲労試験を行う疲労試験機。内容積が小さいことを特徴とする。
高圧ガス保安法	高圧ガスによる災害を防止するため、高圧ガスの製造、貯蔵、販売、移動その他の取扱及び消費並びに容器の製造及び取扱を規制するとともに、民間事業者及び高圧ガス保安協会による高圧ガスの保安に関する自主的な活動を促進し、もって公共の安全を確保することを目的とする法律。
硬化反応熱	エポキシ樹脂が硬化する時に硬化炉による加熱以外に主剤と硬化剤反応する際の発熱温度を言う。
降伏応力	材料の引張試験において、荷重と伸びが直線的に増加していたのが、突然荷重が低下する降伏現象を示す荷重を試験片の断面積で割った応力。高圧水素ガス環境では、通常は降伏現象を示さない材料が用いられ、引張試験の応力歪み曲で0.2%の塑性歪みを示す点の応力を0.2%耐力と呼び、降伏応力として代用される。

	用語	説明
	降伏点伸度	引張り試験における、降伏時の伸びを元の長さで割った値。
	降伏点強さ	引張り試験における、降伏時の伸びを元の長さで割った値。
	降伏比	引張強さと降伏点（通常は上降伏点）、又は耐力の比を言う。
	降伏点	応力・ひずみ線図において弾性域を超えると、応力は上昇せず、ひずみだけが進行するようになる。これは材料が塑性し始めたことを示している。このような変極点を降伏点と呼ぶ。
	高弾性CFRP	引張弾性率 300～450GPa、引張強度 1800～1900MPa のCFRP。一般のCFRPは、引張弾性率 120～170GPa、引張強度 2400～3200MPa。
	国際標準化機構 ISO	International Organization for Standardization、略称：ISO。電気分野を除く工業分野の国際的な標準である国際規格を策定するための非政府組織。
さ行	サイクル性能	蓄圧器の圧力振幅（減圧 復圧）を 1 回とした時の漏れが発生するまでの圧力振幅回数。サイクル試験によりサイクル性能を評価する。
	絞り	材料の延性を示す指標の一つであり、引張試験から求められる。計算式は以下である。 $= (A_0 - A_f) / A_0$ ここで、 A_0 は試験部の初期断面積、 A_f は破断後のくびれ部の最小断面積である。
	絞り	引張試験で破断した材料片の最小断面積 A と最初の断面積 A_0 との差（小さくなった面積）を最初の材料片断面積 A_0 で割った百分率％。
	絞り、相対絞り（RRA）	引張試験や SSRT 試験での試験片破断後における最小断面積とその原断面積との差の原断面積に対する百分率を言う。相対絞り（RRA）は高圧水素ガス雰囲気における絞りを不活性ガス雰囲気における絞りで除した値。
	充填容器等	容器置場並びに充てん容器及び残ガス容器のこと。
	自緊処理	金属ライナーが塑性変形するのに十分な圧力を容器にかけて、金属ライナーに残留圧縮応力、金属ライナーの外周繊維に引張残留応力を発生させる圧力処理。残留する圧縮応力が、金属ライナーの疲労寿命を長くする。
	自緊処理	複合容器の製造工程において、中間体容器に内圧を付加して容器本体を塑性変形させた後、内圧を低下させ、容器本体に圧縮残留応力を与えるステップからなる工程の処理を示す。
	自緊処理	一般的にアルミライナーType3 容器に用いられる処理。 製造後の容器に対してライナーが塑性域に入るまで圧力を加える。 ライナーに残留圧縮応力を発生させる事により、充てん時にかかる最大応力を小さく抑えることが可能となり、容器の長寿命化が計れる。
	自緊処理	容器の内圧を高め、金属からなるライナー材を塑性変形させた後、容器の内圧を低下させることによって、繊維強化樹脂層の剛性によりライナー材に圧縮応力を与える処理。
	磁粉探傷試験	磁粉探傷試験は、材料の非破壊検査法の一種で、英語で MT（Magnetic Particle Testing）とも呼ばれる。強磁性体の材料のみ検査可能で、材料表面の開口欠陥（クラック）と表面直下の欠陥を探し出すことができる。
	樹脂	ここでは主にエポキシ樹脂を指す。加熱により硬化し繊維間に密着力を持たせる。一般には 100～150 の熱を加えて硬化させる。
	樹脂ライナ	樹脂材料にて主に構成されたライナー。 加圧時の荷重は分担せず、気体封止として機能する。 一部、バルブなどの接続部は口金と呼ばれる金属材料をインサートまたは機械結合で構成され、インジェクション成形法、回転成形法、ブロー成形法、押し出し成形法などで製作する。インジェクション成形法などは中空一体で成形困難なため分割されたものを溶着により中空にする。
	上限圧力/下限圧力	容器に繰返し圧力を加える場合の、最大の圧力値と最小の圧力値。

用語	説明
詳細基準事前評価	「一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について」等の通達に基づいて行う制度。機能性基準化された省令条項について例示基準に規定されていない方法を使用する場合、申請者が作成した詳細基準が関係規則に定める機能性基準に適合するか否かを判断し、その結果を検査等の申請書に添付することにより、その検査等に適用する詳細基準として採用することができる。
充てん材	ファイラーと同義であり、樹脂やゴム材料などに、強度や各種性質を改良するため添加されるカーボンブラックやシリカなどのことを示す。
充てん率	Oリング溝体積に対するOリングの体積比率。
常温圧力サイクル試験	HFCV GTR Phase1等に規定されている設計確認試験のひとつ。2MPa以下から最高充てん圧力×125%以上の圧力の間を往復させる試験。HFCV GTR Phase1での合格基準は、加圧回数が11,000回以下で、容器に漏れ及び破裂が無いこと。
使用サイクル回数	蓄圧器の圧力振幅（減圧 復圧）を1回とした時の認可された使用可能な回数。サイクル試験により使用サイクル回数を決定する。
シームレスパイプ	長手方向に溶接部を有しないパイプ。
水素影響	本研究では、高圧水素がライナー樹脂材料に与える影響、主にプリスタ性（水素が材料中に溶解し、材料中での溶解水素の発泡現象を生じる度合い）のことを表す。水素影響因子として、温度、減圧速度、ライナ成形方法などが挙げられる。
水素助長割れ下限界 応力拡大係数 K_{IH}	水素の影響によってき裂が進展する際の閾値を表す破壊力学パラメータ。本研究開発においては、高圧水素ガス環境における K_{IH} を対象としている。
水素スタンド	燃料電池自動車（FCV）に燃料水素を供給する施設で水素ステーションと同義。現行の充填圧力は70MPa。
水素ステーション	燃料電池自動車（FCV）に燃料水素を供給する施設で水素スタンドと同義。現行の充填圧力は70MPaである。
水素ステーション普及 初期	2015年のFCVの一般ユーザー普及開始以降、FCV・水素STの自立拡大が始まるまでの期間。燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）（2010年3月）資料によると、FCV・水素STの自立拡大開始を2025年目標としている。
水素脆化	金属材料が高圧の水素雰囲気中で使用される場合や高温の水素環境に曝露された場合に、原子状の水素が金属に拡散されることにより延性や靱性が低下する（脆化する）現象を言う。
水素脆化	鋼をはじめとする金属材料中に、水素が拡散侵入し、金属の破壊抵抗を弱める現象。同一の材料でも、水素濃度、試験温度、歪速度により水素脆性の感受性が異なる。
水素脆化	材料中または雰囲気中に存在する水素が、金属材料の強度や延性といった機械的性質を低下させる現象。
水素脆化型	金属材料中に水素が侵入することが原因で生じる脆化現象を水素脆化と呼び、この現象を伴う諸現象を「水素脆化型～」と表現する。
水素脆化感受性	水素脆化の生じやすさ。同じ環境条件、応力負荷条件においてより早期に水素脆化による破壊を生じやすい材料は、水素脆化感受性が高い材料と言える。
水素チャージ	材料中に水素を侵入・拡散させる方法。高温高圧水素環境下で保持する方法と、電気化学的にチャージする方法がある。
水素トレーラー	水素の陸上輸送手段の一つ。タイヤのついたフレームに水素を充てんする容器を固定し、これをトラクターでけん引できるようにしたもの。輸送後にトラクターとフレームを分離することができる。
水素飽和回数	ライナ材料に対する水素影響因子のひとつ。高圧水素環境下で長時間曝露することにより、水素が材料中に溶解込み、溶解量はやがて飽和状態となる。その後、減圧を行い、溶解していた水素が材料中から放出される。この一通りの過程を水素飽和回数1回分と定義した。
スチールライナ	複合容器の内部に設置される鋼製の容器。この周囲にCFRPを巻いて複合容器とする。

	用語	説明
	ストライエーション	疲労により破断した面(破面)を走査型電子顕微鏡により観察すると、規則的な縞模様が見られる。この縞模様をストライエーション striation と呼ぶ。疲労亀裂進展に伴い形成されるもので、疲労による破面に特徴的に現れる。
	ストランド	フィラメントを数千～数万本束ねた繊維束のこと。トウとも言う。
	ストレスプチャー試験	一定の荷重を試験片に加え、破断するまでの寿命を測定する。
	常用圧力	その製造設備又は消費設備においてそれらが通常使用される状態での圧力(圧力が変動する場合は、その変動範囲のうちの最高の圧力)。
	脆化	材料が延性やじん性を失い、脆く壊れやすくなること。水素脆化の他に、高温脆化、低温脆化、液体金属脆化、紫外線脆化など、材料の種類や使用環境の組み合わせにより様々な脆化現象が知られる。
	脆化温度	金属や樹脂材料などが塑性や延性を失う温度を脆化温度と呼ぶ。樹脂材料の脆化温度試験法は JIS K7216 で定められている。
	脆性	物質の脆さを表す。破壊に至るクラック進展に必要なエネルギーの小さいことをいう。
	脆性破壊	固体に力を作用させた場合、塑性変形を伴わず突然破壊する現象を脆性破壊と呼ぶ。ガラスやセラミックスなどで多く見られる破壊現象である。
	積層設計	異方性材料である CFRP を積層させて強度剛性を確保する際に層毎の巻き角度を変化させて、高压容器の耐圧設計をすること。おもに高压容器の胴部を強化するフープ巻き、高压容器に長手方向の変位を抑制し、かつ鏡部を強化するヘリカル巻きなどがある。それぞれの巻きパターンを組み合わせで最適な巻き厚みを FEM 解析などを用いて最適設計する。
	設計圧力	設備を使用することができる最高の圧力として設計された圧力をいい、設備の強度を決定するために使用される。
	設計係数	圧力容器の許容応力を算出する際に用いられ、引張強さに対する安全係数を示す。
	設計係数	安全係数と同義語。 圧力容器においては破裂応力比(安全係数)で表される。 破裂応力比 = 最小破裂圧力 / 最高充填圧力
	接触圧力	接触面の法線方向に作用する圧力。
	線膨張	熱による固体の長さの変化。温度をセ氏 1 度上げたときの物質の長さの増加する割合を、その物質の線膨張率という。
	相対絞り	高压水素中における絞り値を、大気中もしくは不活性ガス中における絞り値で除した値。高压水素環境における延性の低下を示す尺度の一つとして、用いられている。
た行	耐圧耐久性	設計圧力に対する耐久性。
	タイプ 3 複合容器	金属ライナ を耐圧部材として機能する CFRP で補強した複合圧力容器のこと。ライナーには主にアルミが用いられる。
	耐力(0.2%耐力)	引張試験において 0.2%の残留ひずみを生じる荷重のこと。構造設計では 0.2%耐力の 75%を許容応力として用いる場合が多い。
	多層材料	ライナーに使用する樹脂材料を異種材料を層状に組み合わせることにより、主にガスバリア性機能を付与させた複合樹脂材料を表す。
	炭素繊維(CF)	CF は Carbon Fiber の略。アクリル繊維またはピッチ(石油、石炭、コールタールなどの副生成物)を原料に高温で炭化して作った繊維。現状の複合容器にはアクリル系が使用される。
	炭素繊維強化プラスチック(CFRP)	CFRP は Carbon Fiber Reinforced Plastics の略。炭素繊維と樹脂の複合材料である。樹脂母材(マトリクス材)には主にエポキシ樹脂が用いられる。
	デンプル	破壊面の一種。空孔(ポイド)合体の延性破壊で生じた破壊面。デンプルと称するように穴があいた模様となることが特徴。
	蓄圧器	高压流体を蓄えておく装置のこと。水素スタンドでは、圧縮水素若しくは液化水素を送り出し、又は受け入れるために用いられる貯槽のこと。
	蓄圧器	水素スタンドで、圧縮水素を送り出し、又は受け入れるために用いられる貯槽のこと。

	用語	説明
	蓄圧器	燃料電池車に充填するための水素ガスを高圧で貯蔵する容器。蓄圧器はその構造、材料により「鋼製蓄圧器」(タイプ1)と「複合容器蓄圧器」(タイプ2, 3, 4)に分類される。
	蓄圧器	ここでは高圧水素を蓄えておくボンベ(容器)をいう。70MPaの車載タンクを備えた燃料電池車に差圧で水素を充填する場合には常用圧力80MPa以上の蓄圧器が必要となる。
	超音波探傷検査方法	超音波を試験体中に伝搬させたときに、試験体の示す音響的性質を利用して、試験体内部のきず又は材質を調べる非破壊試験方法。略語はUT
	長期負荷割れ	一定の応力またはひずみを負荷し、長期間経過するとき裂が進展する現象。
	つぶし率	Oリング太さに対する溝組み付け時につぶした長さ比率。
	低温脆性 (ていおんぜいせい)	金属材料が温度低下によって脆くなる性質。アルミニウムは、超低温範囲に至るまで低温脆性を示さない。
	低ひずみ速度引張試験	腐食環境下で材料を低ひずみ速度で引っ張るといふもので、他の試験方法に比べて、比較的短時間で材料の応力腐食割れ感受性を評価できる試験法。
	定変位試験	切欠き付試験片を用い、き裂を開口させて、き裂先端近傍に一定の応力拡大係数を負荷する試験。
	デュロA	一般ゴム(中硬さ)用硬度計であるA型デュロメータの略称である。デュロメータとは、被測定物の表面に圧子(針など)を押し込み変形させ、その変形量(押し込み深さ)を測定し、硬さを評価する装置である。押し込みの際、荷重を与える方法としてスプリングを用いる。デュロメータによるゴムの硬度測定はJIS K6253、ISO7619、ISO868、ASTM2240に準拠した方法である。
	胴部	容器中央の円筒状部分。
	特定案件事前評価 (大臣特認)	「高圧ガス保安法に於ける経済産業大臣特別認可申請手続きについて」に基づいて行う制度。高圧ガス保安法の省令に定められている規定によらないで高圧ガス設備の製造を行う時にこれらの規定に代わる特認を経済産業大臣の特別認可を申請して適用できる。 このような、大臣への特認を申請しようとするものは予め高圧ガス保安協会の事前評価の審査を受け、その評価結果を用いて特認申請する。
	特認	技術基準や省令に合致しない案件に関して、詳細基準事前評価・特定案件事前評価を受けて、認証を取得する場合の慣例的な呼び方。
な行	熱硬化処理	金属円筒に樹脂を含浸させた炭素繊維をフィラメントワインディングした後、硬化炉にて100前後に加熱して樹脂を硬化させる処理
	燃料電池自動車 (FCV)	水素と酸素を化学反応させて電気をつくる「燃料電池」を搭載し、モーターで走行する電気自動車的一种。
	伸び	引張試験で破断した材料片の永久伸び。
	伸び	引張試験における、引張前の2標点間の距離(L0)と引張後の2標点距離(L1)の比(100×(L1-L0)/L0)。単位は%。
	伸び歪	金属材料を引張によって塑性変形させたときの引張方向の変形量。
は行	配管破裂試験	配管が破裂(破壊)するまで配管内の媒体圧力を上昇させる試験。バースト試験とも呼ばれる。
	破断伸び	引張試験において、試験片が破断に至るまでの伸び。試験開始から破断に至るまでの標点間距離の増加量を、試験開始時の標点間距離に対する割合として算出する。
	破面	破壊により形成された新しい面。
	バックアップリング	Oリングのはみ出しを防止するために用いられる樹脂製の部品。
	破裂圧	HFCV GTR Phase1等に規定されている設計確認試験の一つである破裂試験によって測定された圧力(破裂圧力)。
	破裂試験	HFCV GTR Phase1等に規定されている設計確認試験の一つ。 容器が破裂するまで昇圧することによって破裂圧を測定する試験。
	汎用樹脂	一般の包装材料、雑貨、家庭用品など幅広い用途に使われる合成樹脂の総称。中でもポリエチレン、ポリプロピレン、塩化ビニル樹脂、ポリスチレンが4大汎用樹脂と呼ばれる。

用語	説明
非金属介在物	製造工程中に鋼の内部で生成される複合物質のことで、 Al_2O_3 、 MnS などがある。その測定法としては、JIS G 0555、ASTM E45 などが規格化されている。
ひずみ	物体の単位寸法あたりの変形量。
ひずみゲージ	ひずみを電気信号として出力する装置。ひずみを測定する箇所に貼り付けつことで使用する。
ひずみ速度	ひずみの時間的変化の割合で、s-1 の単位を持つ。多くの材料において、変形中の応力は、ひずみと温度およびひずみ速度によって変化するので、ひずみ速度は、材料の構成式において重要な変数の一つである。一般に、ひずみ速度が大きくなると材料の変形中の応力も大きくなるが、ある種のアルミニウム合金のようにひずみ速度の 変化に比較的鈍感な材料もある。
ピッカース硬さ	硬さを表す尺度の一つであり、四角錐形状の圧子を試験体に押し込み、そのときにできるくぼみ（圧痕）の面積から計算される。
引張試験	材料の機械的性質を知る上で最も基本的な試験であり、試験片に単引張負荷をかけて応力とひずみの関係を取得する材料試験。
引張試験	引張試験機を用いて試験片を引張り、降伏点、耐力、引張強さ、降伏伸び、破断伸び、破断絞りなどを測定する試験。
引張り強さ	材料を引張り、応力（荷重/断面積）を与えると材料が破断する。その破断するときの引張り強さ（ N/mm^2 ）。
引張強さ	引張試験力の最大値を初期断面積で除した値。
引張強さ	応力ひずみ線図で最大の応力を示すポイントをこの材料の引張強さと呼ぶ。通常この領域では試験片が大きく変形しており、力学的には意味のない値だが（変形前の断面積を元に計算される公称応力であるため）、疲労限度や硬さと強い相関があるため広く用いられる。
疲労	繰返し応力により金属などがき裂を生じたり破断する現象。
疲労き裂進展試験	人工の欠陥やスリットを有する試験片に繰返し応力を与え疲労き裂長さの 1 サイクル当たりの増加量を測定する。き裂進展試験でのき裂進展速度 da/dN ($m/cycle$) を縦軸に応力拡大係数幅 K ($MPa \cdot m$) を横軸にとったグラフを作成し、各材料のき裂進展特性を評価する。
疲労き裂進展試験	疲労き裂の進展速度を測定する試験。
疲労き裂進展試験	規定された切欠き付試験片を用い、繰返し応力を負荷し、応力拡大係数範囲に対するき裂の進展速度を調査する試験。
疲労限	材料の疲労において、物体が振幅一定の繰返し応力を受けるとき、これ以上回数を増やしても破断まで至らない下限の応力振幅値。
疲労限	材料が一定応力振幅で疲労変形した際に、疲労破壊が生じない上限の応力振幅。
疲労限度	材料に応力振幅を何回繰返ししても破断しない限界応力振幅。鉄鋼材料では、 10^7 回繰返ししても破断しない応力振幅の最大値とする場合が多い。
疲労試験	材料の繰返し応力に対する強さ（疲労強度）を測定する試験であり、応力振幅 S (N/mm^2) を変化させて材料が破壊するまでの繰返し回数（ N ）を測定する。この試験結果を縦軸に応力振幅、横軸に繰返し数で表示したグラフを「S-N 曲線」という。
疲労試験	繰返し応力を与えて材料が破断するまでの繰返し数を評価する試験。本研究開発では、応力比-1 で実施した。
疲労試験	規定された試験片を用い、繰返し応力に対する破断繰返し数を調査する試験。
疲労寿命	疲労破壊を生じるまでの応力の繰返し回数、 N の記号を用いる。

用語	説明
疲労設計安全率(Kn)	複合容器の疲労試験での試験圧力サイクル数 N は、試験体の個数 n と疲労設計安全率 Kn を用いて、 $N=Kn \times n$ で求まる回数以上で、漏れが確認されるまでの回数とする。Kn は試験体の数であり次による $n=2$ の場合、 $Kn=4.0$ $n=3$ の場合、 $Kn=3.5$ $n=4$ の場合、 $Kn=3.0$ $n=5$ の場合、 $Kn=2.6$ 複合容器の使用可能サイクル数は設計圧力サイクル数を疲労設計安全率で除した数である。 文献：高圧ガス保安協会 KHKTD 5202(2014)
疲労破壊	一回の荷重負荷では破壊しない低い応力でも、繰返し負荷することで生じる破壊現象。
疲労予き裂	切欠き付試験片に疲労試験により予め導入されたき裂。
評価試験方法	高圧水素ガス環境における材料の健全性を評価する試験方法であり、SSRT 試験、疲労試験、疲労き裂進展試験、ライジングロード試験などがある。
フィラメントワインディング(FW)	FW は Filament Winding の略。ライナーに樹脂を含浸させた炭素繊維やガラス繊維を巻付ける複合容器の製造方法。
フィラメントワインディング(FW)	ライナーに樹脂を含んだ炭素繊維やガラス繊維を巻付ける複合容器の製造方法。
フェーズアレイ法	超音波探傷検査の方法の一つ。アレイ探触子の各振動子から異なったタイミングで超音波を送信および受信し、アレイ探触子を走査することなく所定の領域全体を探傷できる。
複合容器	ライナーを繊維（主に炭素繊維やガラス繊維）で巻付け、樹脂で固めることによって強化した容器。
複合容器	ライナーと呼ばれる薄肉の容器の外側を、炭素繊維やガラス繊維等の複合強化材で多重積層した圧力容器（元は、複合強化圧力容器と呼ぶ）。 金属材料の圧力容器よりも比強度が大きく、軽量であることが特徴。
部分充填	蓄圧器から燃料電池車への水素ガス充填において、蓄圧器と車両の燃料容器の圧力が平衡に達したとき、この平衡圧力より高圧力の次の蓄圧器に切り替えて充填を継続する方法が効率的であると言われている。このように圧力変動の小さい充填を繰り返し行うこと。
フープバースト	フープ巻きした FRP が破壊し、破裂する設計で容器を作製し、破裂試験を行うこと。あるいは、そのように破裂すること。
フープ巻	CFRP 容器用ライナーの周方向（軸方向にほぼ 90 度）に巻きつける（フィラメントワインディングする）巻き方。
平滑材	試験部に切欠きやき裂の無い試験片のこと。
平均応力	繰返し圧力によって容器に生じる応力の平均値。 $(\text{最大応力} + \text{最小応力}) / 2$ 。 部分充填で用いる蓄圧器は、受けもつ充填圧力の領域によって平均応力が異なる。
ヘリカルバースト	ヘリカル巻きした FRP が破壊し、破裂する設計で容器を作製し、破裂試験を行うこと。あるいは、そのように破裂すること。
ヘリカル巻	フープ巻に比べ、軸方向に近い（例えば 5～70 度）角度で巻きつける（フィラメントワインディングする）巻き方。

	用語	説明
ま行	マルテンサイト	マルテンサイト (martensite、'相) は、Fe-C 系炭素鋼を、安定なオーステナイトから急冷する事によって得られる組織。刀の作成段階で見られる焼入れなどは、鋼をこの組織へと変態させる作業の事である。 組織構成は、オーステナイトが炭素を固溶したままの状態では体心正方格子を取る構成で、炭素を含有する鉄合金では組織は非常に硬い層組織である。しかし、工業的には高靱性である必要から、できた炭素含有鉄合金を焼き戻しすることで焼戻しマルテンサイトにして使用する。 マルテンサイトは針状のこまかな組織で、鋼の焼入組織としては最も硬く、強磁性体である。したがってオーステナイト系ステンレスが加工などによりマルテンサイトを誘起すると磁性を帯びることになる。 マルテンサイト系ステンレスは、このマルテンサイト組織をもった高 Cr 鋼であり、特性は同様に、強磁性体で焼入れ硬化性に優れ、刃物などによく使われる。しかし、硬くて脆いという欠点もあり、また耐食性、溶接性、加工性はオーステナイト系ステンレスに劣る。
	マルテンサイト	鉄鋼材料の組織の一つであり、オーステナイトから急冷することで得られる。体心立方格子構造 (BCC 構造) をしており、一般に水素脆化の影響を強く受ける。
	ミルシート	鋼材メーカーが発注者に対して発行する鋼材の品質を証明する書類である。記載事項は下記の通り。 一般事項：需要家名、注文社名、証明書番号、工事番号等 化学成分：主要元素 (C, Si, Mn, P, S, Cr, Ni, Mo 等) の割合 引張試験結果：降伏点又は耐力、引張強さ、伸び (%) 等
や行	有限要素法 (FEM)	対象となる物体を有限個の小さな要素に分割してモデル化し、要素全体では複雑な微分方程式を近似的に解く数値解析手法。
ら行	ライジングロード試験	予めき裂を導入した試験片に低変位速度で荷重を負荷し、き裂を進展させる。大気中と高圧水素ガス中で試験を行い、荷重-変位線図上で両試験結果が分岐する点を水素中でき裂が進展を開始した点と判断して、 K_{IH} を評価する試験方法。
	ライナー	複合容器の内材。これに樹脂を含んだ炭素繊維やガラス繊維を巻きつけ (FW) た後、樹脂を一般には加熱硬化させて複合容器とする。
	ライナー	複合容器の内殻で、この内殻にエポキシ樹脂などを含浸させた炭素繊維やガラス繊維を巻回し、エポキシ樹脂などを加熱硬化させて複合容器とする。一般的に樹脂やアルミから成り容器に充填された気体を封止する機能を有する。
	ライナ発生応力	複合容器のスチールライナに発生する応力
	粒界	多結晶体の結晶と別の結晶との間の不連続な境界面。
	例示基準	省令は機能性基準であるため詳細な仕様を記載していないが、省令への適合性評価に当たって、例示基準に示されているとおりである場合には、当該機能性基準に適合すると見なされるもの。

-4：「スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」

	用語	説明
英数	ASME	アメリカ機械学会 (American Society of Mechanical Engineers, ASME) は、アメリカ合衆国における機械工学についての学会であり、職能団体である。ASME は機械装置の基準と規格を策定していることで知られている。世界最大の技術書出版社 ASME Press も運営しており、機械工学分野の論文集を発行している。
	ASME 規格	主に石油精製設備・石油化学設備のプロセス配管に適用される米国機械学会の規格である。
	CFRP	CFRP は Carbon Fiber Reinforced Plastics の略であり、炭素繊維強化複合材料。炭素繊維を樹脂母材の中に入れ、強度を向上させた複合材料。樹脂母材 (マトリクス材) には主にエポキシ樹脂が用いられる。
	FRP	Fiber Reinforced Plastics の略であり、繊維強化複合材料。繊維を樹脂母材の中に入れ、強度を向上させた複合材料。

	用語	説明
	KHK	高压ガス保安法第 1 条に明記されている「高压ガス保安協会」（協会）の略称。「高压ガスの保安に関する自主的な活動を促進し、もって公共の安全を確保する（同条）」という同法の目的を達成する中心的役割を担っている、「高压ガスによる災害の防止に資するため、高压ガスの保安に関する調査、研究及び指導、高压ガスの保安に関する検査等の業務を行う（第 59 条の 2）」団体である。
	S-N 線図	縦軸を Stress-amplitude（応力振幅）、横軸を Number of cycles to failure（破断までの繰返し数=疲労寿命、対数目盛）として疲労試験結果をグラフにプロットしたもの。疲労特性の関係図。
あ行	圧力媒体	サイクル試験、破裂試験などの蓄圧器内部へ圧力をかける試験で使用する液体等の媒体。圧力媒体を蓄圧器内へポンプで押し込み、蓄圧器内の圧力を上昇させて試験を行う。
	圧力サイクル試験	容器に液体（圧力媒体）によって繰返し圧力を加え、破断までの繰返し数（=疲労寿命）を計測する試験。KHKTD5202 における疲労試験と同意。
	応力	連続体内部に定義した微小面積に作用する単位面積あたりの力（単位の例：kgf/mm ² ，MPa）。部材の変形や破壊などに対する負担の大きさを検討するのに用いられる。圧力によって容器に生じる応力は、周方向、軸方向、半径方向の 3 つの応力（主応力）に整理される。引張応力はプラス、圧縮応力はマイナスで表示する。
	応力振幅	繰返し圧力によって容器に生じる応力の、最大応力と最小応力の差の半分。材料の疲労特性の整理には応力振幅が用いられる。（S-N 線図項参照）
か行	鏡部	容器の円筒状部の両端の椀状の蓋部分。
	技術文書 KHKTD5202(2014)	水素ステーションの蓄圧器として用いる複合圧力容器は、特定設備検査規則の適用を受けるが、規則及び例示基準が整備されていないため、NEDO 事業で検討を行った。その成果を踏まえて制定された、材料設計、加工、構造及び検査の要求事項を定めた技術文書。（正式名称：圧縮水素蓄圧器用複合容器に関する技術文書）
さ行	シームレス鋼管	継目のない鋼管のこと。
	水圧試験	蓄圧器内に水を入れた後、昇圧し、漏れや破裂がないことを確認する試験。ASME 規格では定置型の蓄圧器と移動式の蓄圧器で必要な圧力が異なる。定置型においては設計圧力の 1.25 倍まで昇圧する。
	水素ステーション	燃料電池自動車（FCV）に燃料水素を供給する施設で水素スタンドと同義。現行の充填圧力は 70MPa である。
	水素脆化	金属材料が高压の水素雰囲気中で使用される場合や高温の水素環境に曝露された場合に、原子状の水素が金属に拡散されることにより延性や靱性が低下する（脆化する）現象を言う。
	積層部厚さ測定	ASME 規格で記載される積層部厚さ測定では、ライナーの胴部に施工した FRP 層の厚さが適切であることを確認する。測定誤差 ±2% を担保可能な測定器具で、厚さを 4 等配×3 箇所以上で測定する。
	設計圧力	設備を使用することができる最高の圧力として設計された圧力をいい、設備の強度を決定するために使用される。設計圧力は常用圧力以上でなければならない。
	設計確認試験	高压ガス保安法容器保安規則により義務化された高压ガス充てん用容器の試験の一つ。圧縮水素運送自動車用複合容器では、一定数量によって構成される組又は個々の容器ごとに行う容器検査の試験。
	繊維含有率測定	未損傷の FRP から試験片を 3 点以上採取し、これらの繊維含有率を測定する。化学反応による方法と燃焼による方法がある。いずれの方法においても、樹脂を除く前の試験片重量と、樹脂を除いた後の繊維重量を比較する。
	脆性	物質の脆さを表す。破壊に至るクラック進展に必要なエネルギーの小さいことをいう。
た行	耐圧試験	ここでは蓄圧器内に水を入れた後、蓄圧器を設計圧力の 1.5 倍以上まで昇圧し、漏れや破裂がないことを確認する試験。
	耐久サイクル回数	サイクル試験結果より求めることのできる、蓄圧器の使用可能回数。

	用語	説明
	耐水素脆性	金属材料が水素の拡散によって脆くならない性質。
	タイプ3 蓄圧器	ライナーを繊維強化プラスチックで補強した構造（複合構造）を有する圧力容器の一種。金属ライナー（ガスシール層）を使用し、その全体（胴部と鏡部）を繊維強化プラスチック（FRP）で補強した複合容器をタイプ3と呼ぶ。
	タイプ2 蓄圧器	金属ライナーに繊維強化プラスチック（FRP）をフープ巻きした複合容器。
	タイプ4 蓄圧器	プラスチックライナー（ガスシール層）の全体を繊維強化プラスチック（FRP）で補強した容器。
	蓄圧器	燃料電池車（FCV）に充填するための水素ガスを高圧で貯蔵する容器。蓄圧器はその構造、材料により「鋼製蓄圧器」（タイプ1）と「複合容器蓄圧器」（タイプ2, 3, 4）に分類される。70MPaの車載タンクを備えた燃料電池車に差圧で水素を充填する場合には常用圧力80MPa以上の蓄圧器が必要となる。
	低ひずみ速度引張試験（SSRT）	低ひずみ増加率による応力負荷により試料を強制破断させる試験法。材料の評価が比較的短時間で可能であることから、本研究開発では耐水素性のスクリーニングに用いている。
	特認	技術基準や省令に合致しない案件に関して、詳細基準事前評価・特定案件事前評価を受けて、認証を取得する場合の慣例的な呼び方。
	胴部	容器中央の円筒状部分。
な行	燃料電池自動車（FCV）	水素を燃料とし、搭載した燃料電池で発電し電動機の動力で走る電気自動車的一种。
は行	ひずみ速度	ひずみの時間的変化の割合で、s ⁻¹ の単位を持つ。多くの材料において、変形中の応力は、ひずみと温度およびひずみ速度によって変化するので、ひずみ速度は、材料の構成式において重要な変数の一つである。一般に、ひずみ速度が大きくなると材料の変形中の応力も大きくなるが、ある種のアルミニウム合金のようにひずみ速度の変化に比較的鈍感な材料もある。
	引張試験	引張試験機を用いて試験片を引張り、降伏点、耐力、引張強さ、降伏伸び、破断伸び、破断絞りなどを測定する試験。
	疲労	繰返し応力により金属などがき裂を生じたり破断する現象。
	疲労試験（サイクル試験）	規定された試験片を用い、材料の繰返し応力に対する強さ（疲労強度）を測定する試験であり、応力振幅S（N/mm ² ）を変化させて材料が破壊するまでの繰返し回数（N）を測定する。この試験結果を縦軸に応力振幅、横軸に繰返し数で表示したグラフを「S-N曲線」という。
	フィラメントワインディング（FW）	ライナーに樹脂を含んだ炭素繊維やガラス繊維を巻付ける複合容器の製造方法。
	フープ巻き	CFRP容器用ライナーの周方向（軸方向にはほぼ90度）に巻き付ける（フィラメントワインディングする）巻き方。
	複合容器	ライナーと呼ばれる薄肉の容器の外側を、炭素繊維やガラス繊維等で巻き付け、樹脂で固めることによって強化した圧力容器（元は、複合強化圧力容器と呼ぶ）。金属材料の圧力容器よりも比強度が大きく、軽量であることが特徴。
	ヘリカル巻き	フープ巻に比べ、軸方向に近い（例えば5～70度）角度で巻き付ける（フィラメントワインディングする）巻き方。
ら行	ライナー	複合容器の内材。これに樹脂を含んだ炭素繊維やガラス繊維を巻き回した後、樹脂を一般には加熱硬化させて複合容器とする。一般的に樹脂やアルミから成り容器に充填された気体を封止する機能を有する。

-5：「水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発」

	用語	説明
英数	CSA(Canadian Standards Association)	アメリカ、カナダの規格検定機関。ホースの北米規格を制定しており、ホース評価の実験設備を保有。
	IPN 構造	Interpenetrating polymer network の略。異種の架橋高分子網目が相互に侵入し合った網目構造を持つ混合物。
	ISO 19880-5	ISOにて制定予定の充填ホースに関する国際基準。

	用語	説明
	JISB2401	JIS が規定する、O リングに関する規格。
	JPEC-S	一般財団法人 石油エネルギー技術センター（JPEC）が制定する民間自主基準。
	NREL(National Renewable Energy Laboratory)	アメリカの国立研究所。水素関係の研究を実施しており、ホース開発の国プロも実施している。
	O リング	溝に組み付けて単独またはバックアップリングとともに静的にまたは可動部分に用いられる円形断面をもった環状のゴムパッキン。
	Powertech Lab, Inc.	カナダの民間企業。ホース評価の実験設備を保有。
	TR10	一定伸長後低温で凍結させたゴムが、その後の温度上昇によって弾性回復し収縮する能力を測定する試験で、10%収縮した温度を表わす。JIS K 6261 で規定される。
あ行	圧縮永久ひずみ	ゴムの永久変形に関する特性のひとつで、試験片を一定温度で一定時間圧縮させた後に圧縮力を除いて一定時間静置後に残るひずみ。
	圧縮応力	ある面に対し垂直に押しあうように働く単位面積当たりの力。
	圧力保持試験	一般高圧ガス保安規則関係例示基準 49 号に記載された、設備点検に関する試験法。一定時間圧力が低下せず保持するかを確認する試験。
	網目鎖濃度	ゴムなどの架橋した材料の単位体積中に存在する網目鎖の数。架橋密度の指標となる。
か行	加圧時内面層歪	無加圧状態時のホース内径に対する加圧状態時のホース内径の比率。 加圧時内面層比率（%）= 加圧状態時のホース内径（mm）/無加圧状態時のホース内径（mm）×100
	拡散係数	拡散とは、粒子、熱などが自発的に散らばり広がる物理現象である。拡散係数とは拡散の早さを規定する物理量であり、拡散する粒子や熱の流れ（流束密度）は粒子の濃度や温度の勾配に比例し、その比例係数を拡散係数と呼ぶ。[L ² T ⁻¹]の次元を持つ。水素分子が金属あるいは樹脂、ゴム材料などの固体中に溶解あるいは脱離する過程において固体中の水素の拡散現象が問題となる。固体中の水素の拡散係数は高圧水素中に曝露された際に発生する破壊現象などに影響を与える。
	ガス透過曲線	ガス等透過挙動を時間とガス透過量の関係で示した曲線。
	可塑剤	熱可塑性樹脂材料に柔軟性を与えるため添加する添加剤を可塑剤と呼ぶ。主にフタル酸ジオクチルなどエステル系化合物が用いられる。
	カーボンブラック	着色剤、充てん材などの用途のため工業的に生産される炭素微粒子の総称である。粒径数 nm から 500nm 程度のもので生産されている。加硫ゴムの補強性充てん剤で黒色のゴムに用いられる。
	加硫	ゴムの原材料である生ゴムの分子鎖間の架橋反応を加硫と呼ぶ。加硫により弾性率や強度が向上する。分子鎖間の架橋反応のため硫黄を添加したことから加硫と呼ばれるが、ゴムの場合、過酸化化物による硫黄を用いない架橋反応についても加硫と呼ぶ。
	環境応力割れ	有機溶媒などの外部環境物質が存在する環境下で樹脂材料に応力が作用し歪みが発生する際、外部環境物質がない場合よりはるかに小さい歪みで破壊が発生する現象を環境応力割れと呼ぶ。
	極性基	極性を持った官能基（あるいは原子団）を表す。主に有機化合物に対して用いられる表現である。例えば、NBR 中に含まれるアクリロニトリルのニトリル基は代表的な極性基である。
	クラック	き裂と同義語である。材料の降伏変形により発生した裂け目、ひび割れを表す。
	クレイズ	高分子材料特有の降伏変形現象であり、多数の微小な空隙が発生することによって破断面間に繊維状の構造が見られる状態を示す。繊維状の構造が切断されることによりクラックに進展することからクラックの前駆現象であると考えられる。

	用語	説明
	鋼線ブレード	ホースに耐圧性能および繰返し加圧耐久性能を付与することを目的とし、ホース内面層となる樹脂チューブに巻き付ける鋼線の編組み。
	降伏点伸度	引張り試験における、降伏時の伸びを元の長さで割った値。
	降伏点強さ	引張り試験における、降伏時の伸びを元の長さで割った値。
さ行	サーマルブラック	加熱した炉の中で炭化水素計のガスなどを燃焼・分解することにより製造したカーボンブラックをサーマルブラックと呼ぶ。
	脂肪族系樹脂	ベンゼン環に代表される不飽和環状炭化水素基を持たない化合物を脂肪族系化合物と呼ぶ。不飽和環状炭化水素基を骨格に持たず、環状あるいは非環状の飽和炭化水素基を持つ樹脂材料を脂肪族系樹脂と呼ぶ。
	充てん材	フィラーと同義であり、樹脂やゴム材料などに、強度や各種性質を改良するため添加されるカーボンブラックやシリカなどのことを示す。
	充填プロトコル	安全で効率的に車両へ充填するための手順。停止圧力や充填速度、充填温度管理等を定めたもの。
	充てん率	Oリング溝体積に対するOリングの体積比率。
	常用圧力	その製造設備又は消費設備においてそれらが通常使用される状態での圧力（圧力が変動する場合は、その変動範囲のうちの最高の圧力）。
	シリカ	主成分として二酸化ケイ素（ SiO_2 ）を含む物質の総称である。ここでは、主にケイ酸ナトリウムと硫酸の反応を用いた湿式法により製造されたシリカをゴムの充てん材として用いている。加硫ゴムの補強性充てん剤で黒色以外のゴムにも用いることができる。
	シランカップリング剤	シリカのゴムへの分散性を改善することで、シリカによる補強性の向上とゴムコンパウンドの加工性を改善する。
	水素インパルス試験	低温の水素ガスを用い、充填を模擬した圧力サイクル試験。
	水素ステーション普及初期	2015年のFCVの一般ユーザー普及開始以降、FCV・水素STの自立拡大が始まるまでの期間。燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）（2010年3月）資料によると、FCV・水素STの自立拡大開始を2025年目標としている。
	スキン層	射出成型の際に、冷却速度の違いにより金型面が先に冷えて発生する層。
	脆化温度	金属や樹脂材料などが塑性や延性を失う温度を脆化温度と呼ぶ。樹脂材料の脆化温度試験法はJIS K7216で定められている。
	脆性破壊	固体に力を作用させた場合、塑性変形を伴わず突然破壊する現象を脆性破壊と呼ぶ。ガラスやセラミックスなどで多く見られる破壊現象である。
	設計圧力	設備を使用することができる最高の圧力として設計された圧力をいい、設備の強度を決定するために使用される。
	接触圧力	接触面の法線方向に作用する圧力。
	繊維ブレード	ホースに耐圧性能および繰返し加圧耐久性能を付与することを目的とし、ホース内面層となる樹脂チューブに巻き付ける繊維の編組み。 繊維を使用することにより、ホースの軽量・柔軟化が可能となる。
た行	耐圧耐久性能	設計圧力に対する耐久性。
	つぶし率	Oリング太さに対する溝組み付け時につぶした長さ比率。
	デュロA	一般ゴム（中硬さ）用硬度計であるA型デュロメータの略称である。デュロメータとは、被測定物の表面に圧子（針など）を押し込み変形させ、その変形量（押し込み深さ）を測定し、硬さを評価する装置である。押し込みの際、荷重を与える方法としてスプリングを用いる。デュロメータによるゴムの硬度測定はJIS K6253、ISO7619、ISO868、ASTM2240に準拠した方法である。
	動的弾性率	線形粘弾性体の単位立方体に正弦波のひずみを加えたときに生じる正弦波の応力を複素平面上のベクトルとして表現した複素弾性率 $G^*(i\omega) = G_1 + iG_2$ の実数部分の弾性率 G_1 が動的弾性率である。
は行	バックアップリング	Oリングのみみ出しを防止するために用いられる樹脂製の部品。

	用語	説明
	反応型相溶化	化学反応等を利用して相溶性を発生する事。
	引張応力	試験片に特定の伸びを与えたときの応力。
	引張り強さ	材料を引張り、応力（荷重/断面積）を与えると材料が破断する。その破断するときの引張り強さ（N/mm ² ）。
	比摩耗量	二つの物体間に働く摩擦による物体の体積または重量の減少量を摩耗量と呼び、単位すべり距離・単位荷重あたりの体積摩耗量を比摩耗量と呼ぶ。
	ファースブラック	炭化水素系の油やガスを高温ガス中で不完全燃焼させることにより製造したカーボンブラックをファースブラックと呼ぶ。
	プリスタ	ゴム内部に含まれている空気・ガス・水分などにより内部より生ずる膨れなどの破壊。
	ペイン効果	ゴム材において、動的弾性率は微小ひずみ下では一定値を示すが、大きなひずみになると内部構造の破壊を伴い動的弾性率が低下する現象で、特に充填剤配合ゴムで顕著になる。
	法改正（昇圧化）	一般高圧ガス保安規則関係例示基準 55 の 2 を改正することで充填圧力の上限を 70MPa から 82MPa への昇圧化が可能となる。
	芳香族系樹脂	ベンゼン環に代表される不飽和環状炭化水素基を持つ化合物を芳香族系化合物と呼ぶ。不飽和環状炭化水素基を骨格に有する樹脂材料を芳香族系樹脂と呼ぶ。
	ポリアミド	アミド基（-NH-CO-）を分子鎖中に持つ高分子の総称。ナイロンはポリアミドの一種であり、脂肪族ポリアミドをナイロンと呼ぶ。
	ポリマーアロイ	2 成分以上の高分子の混合あるいは化学結合により得られる多成分系高分子の総称。
	ホース曲率	ホース曲げ半径の逆数。
	ホース繰返し加圧耐久性評価	ホース内に-40 水素ガスを流通し、短周期で試験圧力の加減圧を繰り返す。 特に、ホース内面層樹脂に対する水素ガス加減圧の影響（過去実証評価での内面層樹脂破損）を確認することを目的とする。
	ホース補強層構造	ホース内面層となる樹脂チューブに巻き付ける繊維または鋼線の編組み。ホースとして要求される耐圧性能および繰返し加圧耐久性性能を付与することを目的とし施工する。 本開発目標性能は、以下の通り。 耐圧性能：耐圧高圧ガス保安法要求の 4 倍加圧（設計圧力×4） 繰返し加圧耐久性性能：6,600 回
	ホース曲げ R	ホースを車両に接続した際等のホースの曲げ半径。
ま行	摩擦係数	二つの物体の接触面に働く摩擦力と、接触面に垂直に作用する圧力（垂直抗力）との比を摩擦係数と呼ぶ。
や行	溶解拡散挙動	ガス透過がゴム高分子材料表面への溶解性とゴム内部での拡散性に依存するという考えに基づいた挙動。

-6：「高圧水素機器用ホース等システム部材の研究開発」

	用語	説明
英数	FEM	数値解析法の一つである、有限要素法のことである。Finite Element Method の略称。複雑な形状・性質を持つ物体を小部分に分割することで近似し、全体の挙動を予測することに用いられる。
か行	亀裂	材料の降伏変形により発生した裂け目、ひび割れを表す。
	高圧水素機器用システム部材	水素ステーション、燃料電池自動車など水素を高圧で利用する機器に使用される部材
	鋼線ワイヤー	ホースに耐圧性能および繰返し加圧耐久性性能を付与することを目的とし、ホース内面層となる樹脂チューブに巻き付ける鋼線製のワイヤー。

	用語	説明
	国際基準	世界技術規則 (gtr : global technical regulation) の燃料電池車の中核装置である高圧水素容器などの技術基準。gtr をベースに国連規則が策定されており、水素容器の安全基準は、最高充填圧力 (MFP : Maximum Fuelling Pressure) を 87.5MPa (メガパスカル) に規定している。
さ行	実入力	実際に製品 (ここではホースの内管) にかかる歪や力を総称して入力と呼ぶ。
	常用圧力	その製造設備又は消費設備においてそれらが通常使用される状態での圧力 (圧力が変動する場合は、その変動範囲のうちの最高の圧力) 。
	水素インパルス試験	低温の水素ガスを用い、充填を模擬した圧力サイクル試験。
	水素ディスペンサー	水素ステーションにおいて、高圧水素を燃料電池自動車に供給するための機器。ガソリンスタンドにおける給油機に相当。
	脆性破壊	固体に力を作用させた場合、塑性変形を伴わず突然破壊する現象を脆性破壊と呼ぶ。ガラスやセラミックスなどで多く見られる破壊現象である。
た行	低温インパルス試験	ホース内に -40 ℃ 水素ガスを流通し、短周期で試験圧力の加減圧を繰り返す試験。ホース内管樹脂に対する水素ガス加減圧の影響を確認することを目的とする。
は行	パーマコール値	樹脂材料の分子構造からガス透過性を推算する原子団寄与法。凝集エネルギー密度と自由体積分率からポリマーの構成単位 (ポリマー主鎖や側鎖) 毎に算出した固有値である。
	プリスター	ゴム内部に含まれている空気・ガス・水分などにより内部より生ずる膨れなどの破壊。
	ポリアミドホモポリマー	アミド基 (-NH-CO-) を分子鎖中に持つ高分子の総称。ナイロンはポリアミドの一種であり、脂肪族ポリアミドをナイロンと呼ぶ。
	ポリエチレンホモポリマー	エチレン CH ₂ = CH ₂ が重合した最も単純な構造を有する高分子。脂肪族炭化水素で、高分子鎖の枝分かれの違いで性質が変わる。
ま行	曲げ試験	引っ張り試験と同様に基本的な材料評価試験である。短冊状試験片を用いて曲げ強さ、曲げ弾性率を評価する。

-7 : 「多給糸フィラメントワインディングによる複合容器の設計高度化に関する研究開発」

	用語	説明
英数	CAM	Computer Aided Manufacturing の略。コンピュータ支援による行われる製造。
あ行	圧力サイクル試験	容器に気体または液体 (圧力媒体) によって繰返し内圧力を加え、漏洩までの繰返し数 (= 疲労寿命) を計測する試験。
	応力	連続体内部の単位面積あたりの内力を言い、部材の <u>変形や破壊を評価するための基本的力学量である</u> 。破壊の規準を応力値で設定することが多く行われている。
	応力集中	部材の形状や内部構造により発生する応力の局所的な上昇。
	折り返し径	多給糸フィラメントワインディングによるヘリカル巻き時の、鏡部で折り返す位置での容器中心軸からの距離。多給糸フィラメントワインディング制御のキーとなるパラメータである。
か行	鏡部	圧力容器両端の椀状の蓋部分。
	屈曲	フィラメントワインディングにより炭素繊維束を巻きつけていく際に繊維束が先に配置された繊維束を乗り越えることにより生じるマイクロな折れ曲がり。
さ行	測地線	局面上の 2 点を結ぶ最短経路。単給糸フィラメントワインディングでは測地線から外れる経路に炭素繊維束を配すると滑りが発生してしまう。多給糸フィラメントワインディングでは繊維束同士の拘束により滑りが抑制され、測地線を外れる経路で繊維束を配することができる。
た行	炭素繊維強化プラスチック (CFRP)	炭素繊維を樹脂で成形した材料。重量当たりの強度 (比強度) 、重量当たりの剛性 (比剛性) に優れるため、軽量化を目的に航空機で多用されている。
	炭素繊維束	炭素繊維を数万本単位で樹脂で束ねてテープ状にした中間基材。
	蓄圧器	水素スタンドにおいて、燃料電池車に充填するための水素ガスを高圧で貯蔵する容器。蓄圧器はその構造、材料により「鋼製蓄圧器」 (タイプ 1) と金属ライナーまたは樹脂製ライナーを炭素繊維強化プラスチックで補強した「複合圧力容器蓄圧器」 (タイプ 2 , 3 , 4) に分類される。

	用語	説明
	胴部	容器中央の円筒状部分。
は行	フィラメントワインディング (FW)	樹脂を含浸させた炭素繊維束あるいは半固化した樹脂により成形された炭素繊維束を機械により容器やパイプに巻きつけて成形する製造方法。従来は数本の炭素繊維束を巻きつける単給糸法が主流であった。
	フープ層	胴部の中心軸に対して直角に繊維束を配して、胴部周方向を強化するフープ巻きフィラメントワインディングにより形成される層。
	ヘリカル層	胴部の中心軸に対して斜めに繊維束を配して、主に容器軸方向を強化するヘリカル巻きフィラメントワインディングにより形成される層。
ま行	メソスケールシミュレーション	炭素繊維束と樹脂を区分して、フィラメントワインディングの経路を正確にモデル化して行うシミュレーション手法。

-8 : 「オンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の開発」

	用語	説明
英数	100Nm ³ /h 級水素製造装置	オンサイト型水素ステーションで水素製造能力が 100Nm ³ /h の装置。
	300Nm ³ /h 級水素製造装置	オンサイト型水素ステーションで水素製造能力が 300Nm ³ /h の装置。
	CD-adapco	STAR-CCM+を開発した米国ソフトウェア開発会社。2017 年にシーメンス PLM に買収された。
	CO 転化器	水素製造工程を構成する反応器で、水蒸気改質反応後の一酸化炭素 (CO) と蒸気 (H ₂ O) を触媒上で反応させて水素 (H ₂) と二酸化炭素 (CO ₂) に変換する。
	DSS	水素ステーション用水素製造装置では 1 日の中で運転・停止を行うパターンがあり DSS (Daily Start & Stop) という。
	EOR	触媒の耐久性を検討するために最終時点を EOR(End Of Run)とした。
	FCV 用水素燃料規格 2012 Grade D	燃料電池自動車に供給する燃料水素中の不純物は、成分によっては燃料電池の発電性能に影響を与える可能性があり、燃料電池自動車が世界各国で普及するためには、どの国や地域で水素を充填しても、品質がある一定の水準を満たす必要がある。そのため、国際的に取り決めた燃料電池自動車用水素の品質規格が 2012 年に国際標準規格 ISO14687-2:2012[43] として発行された。
	LHV	燃料の発熱量を表す場合には低位発熱量 (LHV : Lower Heating Value) と高位発熱量 (HHV : Higher Heating Value) がある。低位発熱量 = 高位発熱量 - 水蒸気の凝縮潜熱 × 水蒸気量高発熱量で真発熱量 (NCV : Net Calorific Value) とも呼ばれている。
	k- 型	数値流体解析における乱流モデルのひとつである k- モデルの略称。
	MOR	触媒の耐久性を検討するために運転から中間での時点を MOR (Middle Of Run) とした。
	P&ID	Piping and instrumentation diagram の略称で、詳細プロセスフロー図の中には配管内容 (配管サイズ、材質、規格等) や 原料の流れ方向及び監視・制御する計器やバルブ等の詳細情報も記載する。
	Pre-SR	改質触媒の前段に設置した予備改質触媒
	PSA 装置	Pressure Swing Adsorption の略称で、圧力変動吸着装置を言う。PSA 装置は、吸着剤のガスに対する吸着特性の違いを利用して、加圧と減圧の操作を交互に繰り返しながら、目的とするガスを連続的に分離・精製する。水素製造装置では改質ガスを水素純度 : 99.97% 以上まで精製する。
	RUA	Ru 系工業用改質触媒
	S / C	水蒸気改質反応では原料と水蒸気を投入して反応させる。投入する原料と水蒸気の割合をスチーム・カーボン比と言い、S / C で表す。
	SIC	セラミック製の伝熱粒子

	用語	説明
	STAR-CCM+	独国、シーメンス PLM ソフトウェア・コンピューティショナル・ダイナミクス株式会社（略して、シーメンス PLM）の販売する数値流体解析ソフトの名称。
	SOR	触媒の耐久性を検討するために運転初めの時点を SOR（Start Of Run）とした。
あ行	運転モード	水素製造装置では常時 100%での運転ばかりではなく 30%～100%までの運転と緊急時のシャットダウンでの動作が考えられる。 本研究開発では 30%～100%までの運転と緊急時のシャットダウンでの実証試験を行った。
	オンサイト型水素ステーション	水素ステーションには、ステーションへの水素供給方法が重要となる。その方法として、水素ステーションの現場で液化石油ガス（LP ガス）や都市ガスから水素を製造する「オンサイト型」と、圧縮水素や液体水素を水素ステーションの外部からトレーラーなどで運び込む「オフサイト型」がある。
	オフガスタンク	PSA 装置で精製した製品以外のガスを系外に捨てず均圧するためのタンク
か行	改質ガス	複合型改質器内で水蒸気改質反応及び CO シフト反応により、改質されたガス。
	改質器水素製造効率（LHV%）	$(\text{改質器で製造された H}_2 \text{の発熱量}) / ((\text{改質に供給した 13A の発熱量}) + (\text{燃焼器に供給した 13A の発熱量}) + (\text{補機動力})) \times 100$ で求める。 都市ガス 13A の LHV = 9,940kcal/m ³ 、H ₂ の LHV = 2,573 kcal/m ³
	改質効率（LHV%）	$(\text{改質器で製造された H}_2 \text{の発熱量}) / ((\text{改質に供給した 13A の発熱量}) + (\text{燃焼器に供給した 13A の発熱量})) \times 100$ で求める。 都市ガス 13A の LHV = 9,940kcal/m ³ 、H ₂ の LHV = 2,573 kcal/m ³
	改質反応管	改質触媒を充填した金属製の容器。主に高温での強度が高い遠心鑄造管が使われる。
	機器リスト	装置を構成する塔槽類、熱交換器類、回転機器類等全機器の仕様を把握するためにリストとして作成する。
	計装品リスト	装置を構成する流量計、温度計、圧力計等全計装品の仕様を把握するためにリストとして作成する。
	高温シフト触媒（HTS）	水蒸気改質部からの改質ガスを、高温領域で CO シフト反応により水素（H ₂ ）と二酸化炭素（CO ₂ ）に変換する。
さ行	蒸気発生器	水蒸気改質反応に必要な水蒸気を発生させるボイラー。
	水蒸気改質器	水蒸気改質器は、炭化水素系燃料と水蒸気（H ₂ O）から水素（H ₂ ）を生成する反応器。化学反応（吸熱反応）により炭化水素系燃料の組成や性質を変化させる操作のことを「改質」と呼ぶ。 本事業では予備改質部、水蒸気改質部、CO シフト部及び蒸気発生部を高度に組み合わせた複合型改質器を採用することで、装置を構成する機器類の基数を従来装置の 1/2 以下まで削減して大幅なコストダウンとコンパクト化を可能とする。
	水素製造能力	オンサイト型水素ステーションの水素製造装置では、水素製造能力が 100Nm ³ /h 級と 300Nm ³ /h 級が開発されている。
	スーパーヒート	水蒸気改質反応に必要な蒸気（H ₂ O）は飽和では無く過飽和（ガス状態）にして改質器に供給する。
	製品水素純度	FCV に使用される水素の純度は、ISO（ISO14687-2：2012 年に国際規格発行）において 99.97% 必要と規定されている。
た行	都市ガス昇圧機	都市ガスを原料とする水素製造装置には都市ガスを中圧（0.18MPaG 程度）から 1MPaG 未満まで昇圧する都市ガス昇圧機が搭載されている。
	低温シフト触媒（LTS）	高温シフト触媒部からの改質ガスを、低温領域で CO シフト反応により水素（H ₂ ）と二酸化炭素（CO ₂ ）にさらに変換する。
	伝熱粒子層	複合型改質内に充填したセラミック製の伝熱粒子で原料ガスや改質ガスの温度を熱交換により変化させる。
な行	熱交換器	水素製造装置では排熱を有効利用するために熱交換器を搭載して排熱回収を行う。

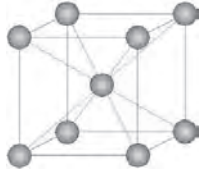
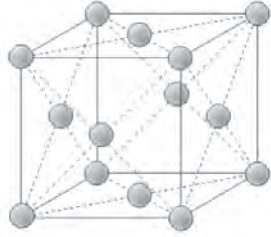
	用語	説明
	燃料転化率	改質ガス中の CH ₄ (%)、CO (%) および CO ₂ (%) から次式で求める。 燃料転化率 = CH ₄ (%) / (CO (%) + CH ₄ (%) + CO ₂ (%)) × 100
は行	配置図	装置を構成する塔槽類、熱交換器類、回転機器類等を配置した図面を作成し、架台計画、配管計画、電気計装計画等を行う。
	バッファタンク	PSA 装置で精製した製品水素の圧力を一定にするための均圧タンク
	非圧縮性	流体力学の用語で、流体の密度が時間的に変化しないとする仮説のこと。液体や、低圧の気体などの流体現象を扱う場合「流体を非圧縮性流体として扱う」と言い方をする。
	複合型改質器	水蒸気改質部、CO シフト反応部および蒸気発生器を一体化した改質器
ま行	メインスキッド	水素製造装置では装置を構成する塔槽類、熱交換器類、回転機器類等をメインスキッドと呼ばれるパッケージに収納する。純水装置等の補機類はサブスキッドに収納する。
	メタネーション反応	複合型改質器で改質された水素 (H ₂) と一酸化炭素 (CO) の一部がメタン (CH ₄) に変換される。この時の反応をメタネーション反応と言う。
	メッシュ (ポリヘドラル)	連続体の数値解析の用語。数値解析では、連続体を要素 (セル) や節点 (ノード) に分割して、要素や節点ごとに、連続式、運動量保存式、エネルギー保存式などを計算する。連続体を要素に分割する作業をメッシュ分割といい、要素や節点の集まりのことをメッシュと言う。メッシュ (ポリヘドラル) は、主に数値流体力学で用いられる新しいタイプの解析メッシュで、平均 10 ~ 15 個程度の面を持った多面体要素でメッシュ分割を行う。この要素を用いると、従来のテトラメッシュ (三角錐要素) と比べ、同等の解析結果を得るために必要なメッシュ数を大幅に削減し、ソルバーが必要とするメモリー数も大幅に減少する。

-9 : 「複合型高圧水素圧縮機の研究開発」

	用語	説明
あ行	アンロード弁	圧縮機の停止時に各段に保持された圧縮ガスを開放し、始動時のトルク負荷を低減する弁
か行	吸吐弁	容積変化する圧縮空間に装着し、ガスを吸入、吐出させる逆止弁
	吸入スナバータンク	吸入側配管の圧力変動および吐出側からの戻りガスによる圧力上昇を抑えるための容器
	クランクケース	クランク軸を支持し、回転往復動変換機構を納める容器
	クランクシャフト	回転往復動変換機構において電動機の回転運動を偏心した中心軸の運動に変換する軸
	クロスヘッド	回転往復動変換機構のうち往復動側の部材
	コネクティングロッド	回転往復動変換機構においてクランクシャフトとピストンピンを連結する部材
さ行	シリンダー	内面をピストンが摺動し、容積変化を得る円筒状の部材
た行	ダイヤフラムキャビティ	ダイヤフラム板を収納し、作動油および圧縮ガスの圧力を保持する容器
	ダイヤフラム式圧縮機	薄い金属板の撓みを利用して容積変化を得る容積型圧縮機
	ダイヤフラム破損検知器	複数のダイヤフラム板で構成し一方のダイヤフラム板が破損した場合に漏洩する流体の圧力により破損を検知する装置
	ダイヤフラム板	作動油と圧縮ガスの界面を密閉する薄い金属板
	中間冷却器、後方冷却器	各段圧縮後のガス温度を下げる熱交換器
は行	ピストン	往復動で容積変化を得る部材
	ピストンピン	コネクティングロッドの小端部とクロスヘッドの間に装着し回転軸となる部材
	ピストンリング	ピストンとシリンダの気密を高める部材
	ピストンロッド	回転往復動変換機構とピストンを連結するロッド
	複合型高圧水素圧縮機	大容量低圧に適した無給油ピストン式と小容量高圧に適したダイヤフラム式を組み合わせた高圧水素圧縮機
	フライホイール	クランクシャフトの回転運動のトルク変動を吸収し、回転速度変動を押さえる慣性質量としての部材

ま行	無給油ピストン式圧縮機	往復動ピストンを用いた容積型圧縮機であり、圧縮部に潤滑油を使用しないもの
や行	油圧主プランジャー	往復動による容積変化でダイヤフラム板に撓みを与える油圧を発生させるプランジャー
	油圧調整弁	ダイヤフラムキャピティの圧力を調整するリリーフ弁
	油圧補助プランジャー	油圧主プランジャーに同期して作動油を定量流動させるプランジャー
ら行	ライダーリング	ピストンに装着し往復動しながらピストンを支持する部材

-10：「燃料電池自動車用酸素貯蔵材料に関する研究開発」

	用語	説明
英数	A15 型金属間化合物	組成式 A3B で表される化合物で、立方晶構造をもつ。
	BCC	Body Centered Cubic の略。体心立方構造のこと。下図参照 
	Bentonite	ベントナイト (bentonite) は、モンモリロナイトを (montmorillonite) 主成分とする粘土の総称。工業、建設業で幅広く利用される。
	Clausius-Clapeyron 式	物質がある温度で気液平衡の状態にあるときの蒸気圧と、蒸発に伴う体積の変化、及び蒸発熱を関係付ける式である。吸着状態を気体の気相と吸着している液相との平衡とすると、この式より吸着熱を計算できる。
	C ₆₀	フラーレンとも言い、炭素原子が 60 個集合しサッカーボール状の構造を形成しているもの
	CMC	カルボキシメチルセルロース (carboxymethyl cellulose, CMC) はセルロースの水酸基をカルボキシメチルナトリウム基で置換し水溶性にしたものである。
	C セグメント	セダンタイプの自動車のサイズを示す。A～E まであり、C セグメントは中型セダンを意味する。
	FCC	Face Centered Cubic の略。面心立方構造。下図参照 
	FCCJ	燃料電池実用化推進協議会 (Fuel Cell Commercialization Conference of Japan の略)。我が国における燃料電池の実用化と普及に向けた課題解決のための具体的な検討を行い、政策提言としてとりまとめ、会員企業自ら課題解決に努力するとともに、国の諸施策へ反映させることにより、我が国における燃料電池の普及と実用化を目指し、もって、我が国の燃料電池産業の発展に寄与することを目的とする団体で、2001年3月19日に設立された。
	HAADF—STEM	高角散乱環状暗視野走査透過顕微鏡法。HAADF-STEM (High-angle Annular Dark Field Scanning TEM) 像は細く絞った電子線を試料に走査させながら当て、透過電子のうち高角に散乱したものを環状の検出器で検出することにより得る透過型電子顕微鏡の技法のひとつ
	In-situ	真空中や特定のガス環境中で合成される材料を合成環境から大気開放すること無く、「合成環境内」という意味で利用している。主に大気中の酸素に影響を受けやすいナノ粒子を製造環境内で粒子経、PCT 特性評価を行う事を指す

	用語	説明
	MC	メチルセルロース (methyl cellulose, MC) はセルロースのヒドロキシ基 (-OH 基) の一部を O-メチル化してメトキシ基 (-OCH ₃ 基) にかえた化合物で、水溶性である。
	MSC-30	市販の炭素材料 (活性炭) で、最も比表面積の大きい炭素材料の一つ。国内の K 社で製造している。
	Polyimide	ポリイミド (polyimide) とは、繰り返し単位にイミド結合を含む高分子の総称である。芳香族ポリイミドは剛直で強固な分子構造を持ち、高い熱的、機械的、化学的性質を持つ。
	PVA	ポリビニルアルコール (polyvinyl alcohol) は合成樹脂の一種で、親水性が非常に強く、温水中に可溶という特徴を持つ。
	PVP	ポリビニルピロリドン (Polyvinylpyrrolidone) は、N-ビニル-2-ピロリドンの重合した高分子化合物である。多くの合成高分子化合物と異なり水によく溶解するので、この性質を利用して様々な用途に用いられる。
	QCM/PCT	水晶振動子の電極表面に物質が付着するとその質量に応じて共振周波数が変動する性質を利用し極めて微量な質量変化を計測する質量センサーを用いて水素吸蔵・吸着質量変化特性 (P: 圧力、C: 吸蔵量、T: 温度) を測定する方法
	sp ³ 性	炭素は s 電子 1 個と p 電子 3 個を持つ。これら全ての電子を用いて 4 個の他原子と結合を作る性質を言う。
	SUS304	SUS304 は 18 クロムステンレスとも呼ばれ、ステンレスの中でもっとも流通しているもの
	X 線回折 (XRD)	一般に波長の決まった X 線を照射した場合、入射角と同じ角度・同じ波長で散乱することを回折現象という。この回折線から結晶構造の同定や構造の決定を行う。
	Y 型ゼオライト	Y 型ゼオライトは、直径 0.74 nm の細孔入口をもち、市販のゼオライトの中では最も大きな細孔をもつゼオライトである。ここでは、下記の ZTC を作成する際の鋳型として用いられる。
	ZTC	ゼオライト鋳型炭素 (Zeolite Templated Carbon) のことであり、ゼオライトを鋳型にして合成した多孔質炭素である。ゼオライト由来の規則構造をもち、比表面積が最大で 4000 m ² /g と非常に大きく、細孔がほぼマイクロ孔のみという特徴をもつ。
	Z コントラスト	HAADF-STEM 法において原子量 (Z) に比例したコントラストが得られることから、Z コントラスト像と呼ぶ
あ行	圧力 - 組成等温線 (PCT, PC 線図と表す場合もある)	金属 - 水素反応系は、水素平衡圧力と水素吸収量の関係を等温線として記述する。これより、最大水素吸収量や水素吸収・放出の可逆性、熱力学的安定性を知ることが出来る。
	アミド	水素貯蔵材料の場合は NH ₂ イオンを含む化合物の総称
	ウルトラソフト擬ポテンシャル法	原子の核、内核電子をまとめてイオンとして扱う計算手法のひとつ。
	エンタルピー変化 (H)	系の状態変化にともなう内部エネルギー変化から仕事量を差し引いた熱量 (エンタルピー) 変化。
	エッジサイト	炭素を構成しているグラフェンシート (炭素六角網面) の端の炭素原子を指す。炭素六角網面の内面に存在する炭素原子と比較するとエッジサイトの炭素原子は非常に反応性が高い。
	エネルギー分散型 X 線分光法 (EDX)	電子線照射により発生する特性 X 線を検出し、エネルギーで分光することによって、元素分析を行う手法である。多くの場合、SEM、TEM や STEM に付属している。とくに STEM と組み合わせた EDX では原子レベルのマッピングが可能である。
	オングストローム	10 ⁻¹⁰ m。原子間の距離を表現するために用いられる SI 補助単位
か行	化学吸着	吸着とは、物体の界面において濃度が周囲よりも増加する現象のことであり、たとえば固体表面で気体分子が引きつけられ濃縮されている現象をさす。その際に気体分子と固体表面とが化学的な強い結合をする場合を化学吸着という。
	かさ密度	一定容積の容器に粉体を目一杯充てんし、その内容積を体積としたときの密度のことである。

	用語	説明
	加速電圧	電子顕微鏡において電子銃から放出された電子を試料に照射する際に電子を加速するために加える電圧
	希土類金属	定義は必ずしも一定しないが、ここでは周期律表上で Y および La ~ Lu の金属を言う。
	吸着熱	吸着質が吸着剤に吸着した際に放出される熱のことをいう。たとえば水素が活性炭などの吸着剤に吸着すると吸着熱が発生する。
	局所密度近似に密度勾配補正を施す	密度汎関数法において交換相関エネルギーを近似する方法のひとつ。
	空間群	結晶の対称性を記述・分類するための理論。
	ケッチェンブラック	市販の炭素材料の一種。燃料電池の電極材料などとして用いられる
	高压容器システム	700 気圧 (70MPa) の充填圧力の水素高压容器。現在、燃料電池自動車への水素搭載法として利用されている。
	高角散乱環状暗視野 (HAADF)	上記の STEM で行われる手法で、細く絞った電子線を試料に走査させながら当て、透過電子のうち高角に散乱したものを環状の検出器で検出する。これにより重い元素ほど明るい STEM 像が得られる。
	交換相関エネルギー	電子間の多体量子効果に起因するエネルギー。
	格子振動	結晶中の原子が温度の効果により平衡格子点まわりに振動する現象。
	格子定数	結晶を形成する最小単位を結晶格子と呼び、その大きさを格子定数と言う
	固溶体	液体のように原子が規則性をもたず、ランダムに並んだ状態の固体
さ行	死蔵サイト	いったん水素を吸蔵してしまうと、数百 以上に加熱し真空排気を行わないと水素を放出することができなくなるような水素吸蔵サイト。残留水素サイトとも言う。
	質量貯蔵密度	水素貯蔵材料中の水素の重量と材料全体の重さの比率。
	昇温脱離 (TPD)	炭素材料の分野においては、炭素表面にある含酸素官能基等の定性定量分析で使用される手法である。炭素材料を不活性雰囲気あるいは真空下で高温まで一定速度で昇温し、その際に脱離してくる CO ₂ 、CO、H ₂ O、H ₂ 等を定量する。また、脱離温度から含酸素官能基の熱安定性が分かり、それより官能基の種類を推定できる。
	スーパーケージ	Y 型ゼオライトには、スーパーケージと呼ばれる直径約 1.3 nm の広い空洞を構造内に持つ。スーパーケージの入り口は円形の 12 員環 (直径 0.74 nm) であり、1 スーパーケージあたり 4 つの窓で隣のスーパーケージと連結し、3 次元的な細孔を形成する。
	水素振動子マイクロバランス	水晶振動子マイクロバランス(Quartz crystal microbalance: QCM)とは水晶振動子の発振を利用して分子の質量を計測する手法
	水素吸蔵サイト	結晶格子内の水素を吸蔵することが可能な場所で、水素吸蔵合金を構成している金属原子 4 個で作る 4 面体等である。
	水素貯蔵材料容器システム	水素吸蔵合金等の水素貯蔵材料を容器に組み込んだシステム。高压容器システムよりも、コンパクトで安価なシステムである。
	水素平衡圧力 (プラトー圧力と表す場合もある)	金属 - 水素反応系において、水素吸収・放出に伴って相変態が起こると、圧力 - 組成等温線上に圧力が一定となる領域が現れる。熱力学的には、この領域が現れる圧力が高いほど水素化合物の安定性が低い。水素貯蔵材料を水素供給源として考える場合、水素供給圧力はこのプラトー圧力によって支配される。
	水素誘起空孔	水素が金属に吸蔵される際に、生成する原子の隙間 (空孔)。
	水素ラジカル	水素原子のことである。水素原子は一つの不対電子をもっているため水素ラジカルとも呼ばれる。
	スピルオーバー	H ₂ などの分子が担体上の金属粒子表面で解離吸着し、解離した原子が金属から担体上に流れ込む現象をいう。
	ゼオライト	沸石とも言われ、アルミニウムとケイ素の酸化物で構造中に比較的大きな空間を持つ物質の総称
	零点エネルギー	絶対零度における量子力学に起因する粒子の運動エネルギー。古典力学では運動エネルギーは零となる。

	用語	説明
	線形応答計算	系に原子変位、一様電場などの摂動が加わった時、その摂動による系の状態変化を求める計算方法。
	走査透過電子顕微鏡 (STEM)	0.1 nm 以下程度まで細く絞った電子線を試料面上で走査させ、試料により透過散乱された電子線の強度で、試料中の原子位置を直接観察する電子顕微鏡である。
た行	第一原理計算	量子力学に基づく実験値や経験定数を参照しない計算方法。既存材料だけでなく、新規材料に対しても高精度予測が可能。
	第一原理分子動力学計算	分子動力学計算において、原子間のポテンシャルエネルギーを第一原理計算から求める方法。
	多孔度	多孔率ともいう。粉末の塊のような多孔性物質の空洞部分が、総体積に対して占める割合をいう。
	調和振動近似	系のエネルギーに対する原子振動の影響を振幅の 2 次項まで考慮する近似法。
	中性子回折法	中性子線を照射し、物質から散乱してくる中性子の強度と角度から結晶構造を調べる方法
	中性子散乱半径	中性子を照射した際に、原子から中性子が散乱してくる強度を長さの単位で示した数値
	中性子全散乱	中性子線を照射して得られる散漫散乱と回折を足し合わせたもの
	超多量空孔生成 (SAV)	水素が金属中に入る際に金属原子が押し出され原子によって埋められていない空間 (空孔) が生成する、そこに水素が複数個入る現象。中央大学の深井有教授によって提唱された現象。
	定圧定温アンサンブル	分子動力学計算において、系の圧力・温度を一定値に制御する手法。
	テルミット法	金属アルミニウム Al を用いて金属酸化物から金属を取り出す方法。Al は酸化されて高温を発生しながら酸化物となり、金属酸化物は還元され金属となる。
	透過型電子顕微鏡 (TEM)	試料を透過した電子や散乱された電子を結像して拡大観察する電子顕微鏡である。
な行	ナノ粒子	ナノ粒子 (ナノリゅうし) は、物質をナノメートルのオーダー (1-100 ナノメートル) の粒子。比表面積が極めて大きいこと、量子サイズ効果によって特有の物性を示すことなど、一般的な大きさの固体 (バルク) の材料とは異なる事が各方面の研究で確認されている
	ナノクラスター	数個から数百個の原子・分子が集合した、数ナノメートル以下の大きさの超微粒子のことである。
	ナノコロイド	ナノメートルのオーダーの粒子が他の物質に微量に分散した状態
は行	ハーフホイスラー合金	 <p>図のような構造を有する三種の金属 XYZ が作る合金。熱電材料などに用いられる。</p>
	ハイブリッドタンク	高圧水素と水素貯蔵材料を用いて、水素を吸蔵するシステム。高圧水素よりも高い密度で水素貯蔵材料単体の容器よりも軽量のシステムとなる
	バインダー	物と物を接着する物質で、接着剤、固着材、固着剤、接合材ともいう。
	比表面積	ある物体について単位質量あたりの表面積または単位体積あたりの表面積のことをいう。
	微分型電気移動度分析器 (DMA)	電荷の分布は粒径ごとに異なり、ボルツマン分布に従う特性を利用し、粒子を荷電させ、その電気移動度を測定する事によりナノ粒子の粒径を測定する分析方法
	物理吸着	上記の吸着現象において、気体分子と固体表面とがファンデルワールス力で相互作用している場合を物理吸着という。物理吸着は比較的弱く、温度や圧力の制御で可逆的に吸脱着できる。
	フォワード解析	リバースエンジニアリングによって既存システムから解析することで求められた仕様をもとにして、新しいシステムを開発することを、フォワードエンジニアリング (解析) と言う

	用語	説明
	プラズマ	気体を構成する分子が電離し、陽イオンと電子に別れて運動している状態であり、電離した気体に相当。工業的には、熱集中性が良い、アーク指向性が高い、スパッタが発生しない、電極消耗が少ない、ランニングコストが安価などの特徴を活かして、長時間高品質の溶接、自動溶接に利用される
	フーリエ変換	実変数の複素または実数値関数を別の同種の関数に写す変換。ここでは、中性子の散漫散乱を含む回折から原子間の相関（原子間距離と周囲の原子数）を求める際に用いられる
	分子動力学計算	古典力学における運動方程式を解いて、有限温度下における粒子（原子）の運動を解析する方法。
	ベーサル面	炭素を構成しているグラフェンシート（炭素六角網面）の表と裏の両面を指す。
	ヘテロ員環	ここでは六員環以外の五員環あるいは七員環を指している。
	ヘテロ原子	異原子であり、炭素と水素以外の原子を指す。
	ペレット	球形または円柱形に固めた造粒物のことをいう。原料効率を改善するほか、容積が小さくなるので輸送や貯蔵などの取扱いも便利になる利点がある。
	放射線吸収微細構造解析（XAFS）	X線吸収スペクトル上でX線の吸収端付近に見られる固有の構造。XAFSの解析によってX線吸収原子の電子状態やその周辺構造（隣接原子までの距離やその個数）などの情報を得ることができる
	ホットプレス	原料粉末や中間成形体を高温で加圧しながら高密度化する方法。粉末に大きな圧力を加えると、物質が移動しやすくなり、高温による収縮初期に粉末粒子の再配列を促進し、急速に緻密化させることができる。
ま行	密度汎関数法	実験値や経験定数を参照しない第一原理計算手法のひとつ。物性物理・化学の分野で広く用いられている。
	メタロセン	5員環であるシクロペンタジエニル環（ $C_5H_5^-$ ）2個が平行に並び、その間に遷移金属イオンが入り込んだサンドイッチ構造の有機金属化合物の総称である。
	誘導結合プラズマ発光分光分析法（ICP-AES）	分析試料にプラズマのエネルギーを外部から与えると含有されている成分元素（原子）が励起され、その原子が低いエネルギー準位に戻るときに放出される光を測定することで成分元素の種類と量を求める分析法である。特徴としては、多元素同時分析、逐次分析が可能であり、検量線の直線範囲が広いことがあげられる。
ら行	立方晶	7つある結晶系の中で最も対称性が高いもの。基本格子軸の長さは全て等しく、軸間の角度は 90° 。
	リートベルト解析	粉末の微結晶へX線、中性子線などを照射した際の回折の様子から結晶構造を求める方法。オランダの化学者リートベルトによって開発された。
	リバース解析	製品から、設計の詳細などを調べる方法。製品の仕様などが不明な場合、現に存在する製品を元に解析することで仕様や製造法などを調べる手法
	量子効果	古典力学では説明できない粒子波動性により生じる効果。原子・分子のミクロスケールで顕著になる。

- 11 : 「水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発」

	用語	説明
英数	CFD 解析	数値流体力学（Computational Fluid Dynamics）による解析のこと。
	SAE 国際規格	米国の自動車技術者団体である SAE が定める国際規格。
か行	計量法第 2 条に定める特定計量器化	計量器のうち、取引もしくは証明における計量に使用され、主として一般消費者の生活の用に供される計量器について、適正な計量の実施を確保するためにその構造または器差に係る基準を定める必要があるものとして政令で定める計量器のことを特定計量器という（法 2 条第 4 項）。
	高圧ガス保安法上の 7 条 3 ステーション	高圧の水素ステーションを市街地に建設するために定めた一般高圧ガス保安法一般則第 7 条の 3 に則った水素ステーション。

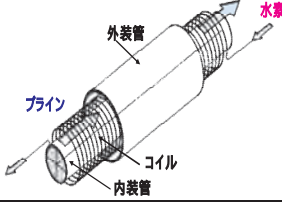
	高圧ガス保安室	経済産業省商務流通保安グループ高圧ガス保安室のこと。高圧ガスの取扱いについて、事業者の自主的な保安活動を尊重しつつ、高圧ガスの製造等の許可や、施設の完成時や定期的の検査を行うこと等により、技術基準適合状況を確認し、公共の安全を確保している。
	コネクタ規格 (ISO17268, SAE J2600)	圧縮水素充填装置と燃料電池車に使用されるコネクタ、ノズル、レセプタクルの設計、試験に適用され、H11 (ISO17268のみ)、H25、H35HF (ISO17268のみ)、H50 (SAE J2600のみ)、H70の圧力クラスがある。
さ行	重量法	水素充填質量をはかりで計量して充填装置の表示と比較評価する方法。
	充填プロトコル(充填手順)	燃料電池自動車に安全かつ迅速に水素を充填するための技術基準。
	水素計量基準検討会	水素計量管理方法に関する当該研究開発に関して、開発実施者からの進捗報告と有識者や業界関係者からの意見を踏まえて、今後の開発方針を検討する会議。
た行	脱圧ロス量	水素ステーションのディスペンサー付属ノズル取り外しのため行われる、脱圧時の水素ロス量のことである。
	ディフューザーの角度	臨界ノズルの出口部のディフューザーの拡がり角度のこと。
	ディフューザーの長さ	臨界ノズルの出口部のディフューザーの長さのこと。
	トレーサビリティ	ここでは、「計量トレーサビリティ」を指す。国家標準又は国際標準で決められた標準に関連づけられ得る測定結果又は標準の値の性質のこと。
な行	ノズル上流側よどみ点	臨界ノズルの上流側流動場において、流れの速度がゼロになる点のこと。
	ノズルの曲率半径	臨界ノズルの入口部形状を表すパラメータのこと。
は行	不確かさ	測定の結果に付随した、合理的に測定量に結び付けられ得る値のばらつきを特徴付けるパラメータ。測定された結果がどの程度確かなのかを示す指標で、計量トレーサビリティが確保できていることを証明するもの。
ま行	マスターメーター法	トレーサビリティが確保された流量計であるマスターメーターを用いて、ディスペンサーの計量評価を行う方法のこと。
ら行	流出係数	臨界ノズルを実際に通過するときの質量流量と、臨界ノズルのスロート部の条件から計算される理論質量流量との比。
	流動場	流体の流れが生じている場所のこと。
	臨界ノズル式標準流量計	ISO9300で規定された臨界ノズルを組み込んだ流量計で、国立研究開発法人産業技術総合研究所の気体流量国家標準によって校正されたもの。
	臨界背圧比	臨界ノズルを流れる質量流量が最大値に達したときの臨界ノズルスロートにおける静圧のよどみ店圧力に対する比のこと。

- 12 : 「有機ケミカルハイドライド法脱水素設備の水素ステーション用小型化・低コスト化」

	用語	説明
英数	AHEAD	次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合(英語名: Advanced Hydrogen Energy-Chain Association for Technology Development)の略称 千代田化工建設株式会社、三菱商事株式会社、三井物産株式会社、日本郵船株式会社の4社を組員とする技術研究組合の略称。
	C ₁ 換算	メタン換算のこと。 炭化水素の濃度を示す際、メタンのように炭素原子1個当たりの濃度として、炭化水素分子の濃度を示す方法。ISO規格14687-2(2012)において、燃料電池向け水素燃料の全炭化水素許容値は、最大2 μmol/mol(メタン換算)であるため、トルエンとメチルシクロヘキサンのように7個の炭素原子を持つ場合は、最大2/7=0.286 μmol/molとなる。
	FCV	Fuel Cell Vehicleの略。燃料電池自動車。水素を燃料とし、搭載した燃料電池で発電し電動機の動力で走る車。

	用語	説明
	ISO14687-2 (2012)	国際規格 ISO において、水素品質を規定している規格であり、燃料電池自動車用水素燃料の品質規格を含む。
	MCH	Methylcyclohexane=メチルシクロヘキサンの略称。分子式 C_7H_{14} にて表される炭化水素。有機ケミカルハイドライド法による水素輸送・貯蔵において、水素をトルエンに化学的に固定した際にメチルシクロヘキサンが生成する。
	PSA	Pressure Swing Adsorption=圧力スイング吸着法、もしくは、Pressure Swing Adsorber=圧力スイング吸着装置。 吸着剤を入れた筒状の容器に原料ガスを供給し、高い圧力下で吸着させる操作と低い圧力下で脱離させる操作とを繰り返し、原料ガス中の成分を濃縮・分離することによって、必要とする製品ガスを得る装置。 ガス分離後術のひとつであり、高純度の水素精製にも適用される。
	PSA オフガス	圧力スイング吸着装置において、目的成分ガスと分離され、系外に排出される不要成分ガス。
	PSA 回収率	圧力スイング吸着装置において、原料中の目的成分量に対する製品中の目的成分量の比。
	SPERA 水素	千代田化工建設が保有する登録商標。有機ケミカルハイドライド法による水素輸送・貯蔵において、水素をトルエンに化学的に固定した際に生成するメチルシクロヘキサンを SPERA 水素と呼ぶ。
	TOL	Toluene=トルエンの略。分子式 C_7H_8 にて表される芳香族炭化水素。有機ケミカルハイドライド法による水素輸送・貯蔵において、水素をトルエンに化学的に固定した際にメチルシクロヘキサンが生成する。
あ行	アルカリ水電解	水電解は、電力エネルギーにより水を分解して化学エネルギーである水素を製造するプロセス。その中でアルカリ水電解は、KOH 水溶液を適用し、比較的高効率な電気分解が可能で、電極や隔膜には安価な材料を適用できる。
さ行	再エネ	再生可能エネルギーの略。
	水蒸気改質装置	炭化水素から水蒸気を用いて水素を製造する方法である。オンサイト水素ステーションとして、都市ガス・軽油・ナフサなどを原料に水素製造する装置として適用されている。
	水素化反応	化合物に対して水素原子を付加する還元反応のことである。千代田化工建設が提唱する有機ケミカルハイドライド法においては、水素をトルエンに化学的に固定した際にメチルシクロヘキサンが生成する反応。
た行	脱水素反応	水素の脱離を伴う化学反応である。水素化の逆過程。千代田化工建設が提唱する有機ケミカルハイドライド法においては、メチルシクロヘキサンが化学的に水素とトルエンに分離する反応。
	ディスペンサー	水素を FCV に充填する装置。充填のためのノズルや操作盤がついており、安全に水素が充填できるように工夫されている。見た目は一般のガソリンやディーゼルのディスペンサーと似ているが、ノズル形状が違う。ノズルは、FCV の受け口(レセプタクル)としっかりかみ合うと、充填が終わり減圧するまで外れない仕組みになっている。
	転化率	反応により消失した反応物質の供給量に対する割合。脱水素設備において、 $X1 \text{ mol/h}$ のメチルシクロヘキサンを供給し、反応により大半が水素とトルエンとなり、反応物質に残るメチルシクロヘキサンを $X2 \text{ mol/h}$ とすると、メチルシクロヘキサン転化率は、式 $(1-X2)/X1$ にて示される。
	トルエン	分子式 C_7H_8 にて表される芳香族炭化水素。有機ケミカルハイドライド法による水素輸送・貯蔵において、水素をトルエンに化学的に固定した際にメチルシクロヘキサンが生成する。
ま行	メタン換算	炭化水素の濃度を示す際、メタンのように炭素原子 1 個当たりの濃度として、炭化水素分子の濃度を示す方法。ISO 規格 14687-2 (2012)において、燃料電池向け水素燃料の全炭化水素許容値は、最大 $2 \text{ } \mu\text{mol/mol}$ (メタン換算) であるため、トルエンとメチルシクロヘキサンのように 7 個の炭素原子を持つ場合は、最大 $2/7=0.286 \text{ } \mu\text{mol/mol}$ となる。
	メチルシクロヘキサン	分子式 C_7H_{14} にて表される炭化水素。有機ケミカルハイドライド法による水素輸送・貯蔵において、水素をトルエンに化学的に固定した際にメチルシクロヘキサンが生成する。
や行	有機ケミカルハイドライド法	トルエンなどの有機化合物を水素化反応によってメチルシクロヘキサンなどの化合物に転換し、水素を従来の液体化学品の形態で常温・常圧の条件下に大規模に貯蔵・輸送し、利用場所で脱水素反応を行って水素を取り出して利用する方法である。

-13：「低コスト・プレクーラーの研究開発」

	用語	説明
英数	APRR	Average Pressure Ramp Rate の略。充填中の単位時間当たりの供給燃料圧力の上昇率。
	DSP	Dispenser の略。圧縮水素スタンドにおいて、車両への水素充填を行うための主たる機器。
	Heavy duty protocol	バスなどの大型車両向けに充填圧力区分「70MPa」級へ高圧充填するための基準。
	HFE 系ブライン	ハイドロフルオロエーテル(Hydro Fluoro Ether)系の熱媒体。オゾン破壊係数ゼロ、地球温暖化係数 300 以下で環境への負担が少ないフッ素系液体で、熱交換媒体、溶剤、洗浄剤などに使用されている。
	HRX-19 鋼材	XM-19 規格内の鋼であるが、Ni 添加量を既存材の SUS316L レベルに抑えつつ、Ni と比較して安価な Mn や Cr の添加量を適正化することで耐水素脆性を向上させている。優れた溶接性を有しており、溶接施工法が適用可能。
	JPEC S0003(2014)	JPEC（一般財団法人石油エネルギー技術センター）で作成された FCV（Fuel Cell Vehicle）への水素充填の基準となる充填プロトコル。米国規格 SAE J-2601 に準拠して策定されている。
	SAE J-2601 充填プロトコル	米国自動車技術会（SAE=Society of Automotive Engineers）による FCV への水素充填に関する米国規格。タンク初期圧力、外気温度により APRR を規定している。
	SOC	State of Charge。高圧水素容器に充填可能な最大水素量に対する実際に充填されている水素量の分率。充填可能な最大水素ガス量は、水素ガス温度 15、公称作動圧力(NWP)時の水素ガス密度による充填水素量を指す。
か行	急速充填	水素充填を最速の空から全充填までを一般的なガソリン給油の場合と同等な 3 分間とした充填方法。70MPa 急速充填の場合では充填に伴う断熱圧縮による温度上昇が水素タンク上限温度 85 を超えないようにするために充填時の水素温度をマイナス 40 以下にする必要がある。
さ行	シェルアンドコイル型プレクーラー	二重管環状流路内にコイル状に成形された伝熱管を挿入した形のプレクーラーで、伝熱管内に水素、環状流路内にブラインが流れる。構造が単純で信頼性が高く、伝熱管以外には市販の規格材が適用できるなどの特長がある。 
	詳細基準事前評価	機能性化された条項について、行政庁への許認可申請や検査機関への検査申請などに先立ち、申請者が協会に申請することにより申請者が作成した詳細基準が関係規則に定める機能性基準に適合するかどうかを判断し、その結果を検査等の申請書に添付することによりその検査等に適用する詳細基準として採用することができる。
た行	チラー	熱媒体を冷却する冷凍装置。
	特定設備	「高圧ガスの製造（製造に係る貯蔵を含む。）のための設備のうち、高圧ガスの爆発その他の災害の発生を防止するためには設計の検査、材料の品質の検査又は製造中の検査を行うことが特に必要なもの」（法第 56 条の 3 第 1 項）として定められた設備をいう。
	特定案件事前評価	容器保安規則、特定設備検査規則、一般高圧ガス保安規則等の省令で定められている規定に拠れないで機器の製作、高圧ガスの製造等を行おうとするときは、それらの規定に代わる特則を経済産業大臣の特別認可（大臣特認）を得てこれを適用することができる評価制度。
は行	バルクフロー	流れが塊(bulk)として流れる様子を指し、低温に維持されたブライン貯留槽などにおいて後から流入するブラインによって貯留槽内の温度成層が乱されないような流動様式。
	ブライン	冷凍機の冷媒の冷凍能力を被冷却物に伝える熱媒体。

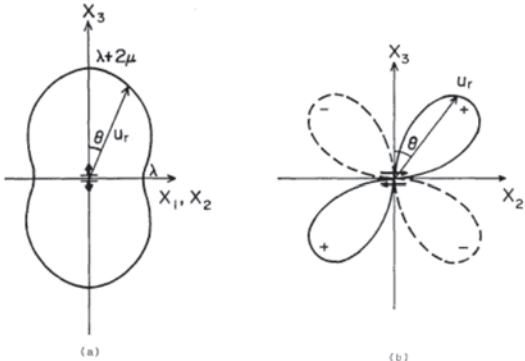
	用語	説明
ま行	マイクロチャンネル型熱交換器	微細加工技術などを使って加工した狭隘な流路から成る熱交換器。特に冷熱機器の分野では、マイクロチャンネル化によるスケール効果と伝熱性能の向上により、熱交換器の飛躍的な小型化、高性能化が期待されている。
ら行	ルックアップテーブル	周囲温度と容器初期圧力を基準に水素を車載容器へ安全に充填する条件を表形式で規定した充填プロトコル表。

-14：「アルミ製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」

	用語	説明
英数	CF	carbon fiber. 炭素繊維。
	CFRP	carbon fiber reinforced plastics. 炭素繊維強化複合材料。炭素繊維を樹脂の中に入れ、強度を向上させた複合材料。
	DRY 法	トウプリプレグを使用したフィラメントワインディング法。WET 法に比べ、フィラメントワインディング時に液状の樹脂を塗布する工程がないため DRY という。
	FRP	fiber reinforced plastics. 繊維強化複合材料。
	FW	filament winding. フィラメント・ワインディング参照。
	PAN	Polyacrylonitrile. ポリアクリロニトリル。炭素繊維の原料となる。
	Type3 容器	内側が金属ライナーであり、外側が FRP 全周巻きの容器。圧縮天然ガス自動車燃料容器に関する各規格、ISO11439、ANSI/NGV、高圧ガス保安法 容器保安規則例示基準別添 9 などにおいて、Type1～4 で容器の種類を区分している。
	WET 法	繊維に樹脂を塗布しながらフィラメントワインディングを行う方法。一般的に樹脂が均一に塗布しやすいように粘度の低い樹脂を使用する。
あ行	圧力媒体	サイクル試験、破裂試験などの蓄圧器内部へ圧力をかける試験で使用される液体等の媒体。圧力媒体を蓄圧器内へポンプで押し込み、蓄圧器内の圧力を上昇させて試験を行う。
か行	外部加熱法	ライナーを外部から加熱しながらフィラメントワインディングを行う方法。加温により樹脂の粘度が下がり、繊維内に広がりやすい、樹脂を最後まで硬化させることが出来れば硬化工程を削減できるなどのメリットが期待できる。
	キャンピー	(ガソリン、水素など) サービスステーションの充填場所の屋根部分。
	ゲル化	液状の樹脂が流動性をなくし、固化すること。
さ行	サイクル性能	蓄圧器の圧力振幅(減圧 復圧)を1回とした時の漏れが発生するまでの圧力振幅回数。サイクル試験によりサイクル性能を評価する。
	樹脂	ここでは主にエポキシ樹脂を指す。加熱により硬化し繊維間に密着力を持たせる。一般には100～150の熱を加えて硬化させる。
	使用サイクル回数	蓄圧器の圧力振幅(減圧 復圧)を1回とした時の認可された使用可能な回数。サイクル試験により使用サイクル回数を決定する。
た行	蓄圧器	ここでは高圧水素を蓄えておくボンベ(容器)をいう。70MPaの車載タンクを備えた燃料電池車に差圧で水素を充填する場合には常用圧力80MPa以上の蓄圧器が必要となる。
	ディスペンサー	液体・気体を充填する装置。充填量を計量する。
	トウプリプレグ(TPP)	繊維の束(通常数万本)にあらかじめ樹脂を染みこませておいたもの。
は行	複合容器	ライナーを繊維(主に炭素繊維やガラス繊維)で巻付け、樹脂で固めることによって強化した容器。
	フィラメントワインディング(FW)	ライナーに樹脂を含んだ炭素繊維やガラス繊維を巻付ける複合容器の製造方法。
	ブレール	水素を(燃料電池車に)高圧・高速に充填する場合、水素(および水素タンク)の温度が急激に上昇するため、あらかじめ水素を冷却しておくこと。またその装置を指すこともある。
	フープバースト	フープ巻きしたFRPが破壊し、破裂する設計で容器を作製し、破裂試験を行うこと。あるいは、そのように破裂すること。

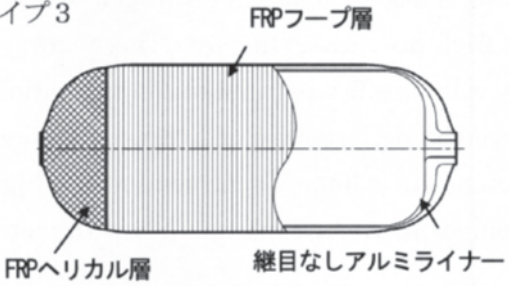
	用語	説明
	フープ巻	CFRP 容器用ライナーの周方向（軸方向にほぼ 90 度）に巻きつける（フィラメントワインディングする）巻き方。
	ヘリカルバースト	ヘリカル巻きした FRP が破壊し、破裂する設計で容器を作製し、破裂試験を行うこと。あるいは、そのように破裂すること。
	ヘリカル巻	フープ巻に比べ、軸方向に近い（例えば 5～70 度）角度で巻きつける（フィラメントワインディングする）巻き方。
	ライナー	複合容器の内材。これに樹脂を含んだ炭素繊維やガラス繊維を巻きつけ(FW)た後、樹脂を一般には加熱硬化させて複合容器とする。

-15：「スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」

	用語	説明
英数	0.2%耐力	引張試験で 0.2%の塑性ひずみが生じる応力。
	70MPa スタンド	水素スタンドの常用圧力が 82MPa 以下の圧縮水素スタンド。燃料電池自動車の 70MPa 充填に対応したもの。
	AE の放射方向	<p>AE は材料中のクラックの生成に伴って発生するが、クラックのモードによって AE の放射方向が異なる。モード I の開口型クラックの場合、図(a)のように開口方向に放射される。モード II のせん断型クラックの場合、せん断方向から 45 度ずれて放射され、位相も異なる。</p>  <p>文献：岸ら、日本機械学会誌 48-9(1984)911-917</p>
	AE 法	アコースティック・エミッション（Acoustic Emission, AE）とは、材料が変形あるいは破壊する際に、内部に蓄えていた弾性エネルギーを音波（弾性波、AE 波）として放出する現象である。AE 波は主に超音波領域(数 10kHz～数 MHz)の高い周波数成分を持つ。この AE 波を材料表面に設置した AE センサ（圧電素子センサ）によって電気信号に変換して検出し、破壊や変形の様子を非破壊的に評価する手法を AE 法と呼ぶ。
	ASME	アメリカ機械学会（American Society of Mechanical Engineers, ASME）は、アメリカ合衆国における機械工学についての学会であり、職能団体である。ASME は機械装置の基準と規格を策定していることで知られている。世界最大の技術書出版社 ASME Press も運営しており、機械工学分野の論文集を発行している。
	ASME Sec.8 Dev.3	米国のタイプ 2 蓄圧器に関わる要求事項を網羅 例えば、 Article KG-5; Additional general requirements for composite reinforced pressure vessels (CPR) Article KD-13; Additional requirements for (CPRV)
	ASME 規格	主に石油精製設備・石油化学設備のプロセス配管に適用される米国機械学会の規格である。
	CF	carbon fiber, 炭素繊維。
	CFRP	carbon fiber reinforced plastics, 炭素繊維強化複合材料。炭素繊維を樹脂の中に入れ、強度を向上させた複合材料。

用語	説明
CFRP 複合容器	ガスをバリアするライナーに、周方向のみ又は軸方向及び周方向に樹脂を含浸した炭素繊維を巻き付けた複合構造を有する容器のこと。燃料電池自動車用の圧縮水素容器は、すべて CFRP 複合容器である。
CSA	Canadian Standard Association : カナダ規格協会、北米全体の安全規格を中心とした標準化機関。試験部門を有し、安全性を中心とした第三者試験機関でもある。
CSA	Canadian Standards Association の略称。アメリカ、カナダの規格検定機関。ホースの北米規格を制定しており、ホース評価の実験設備を保有。
CT 試験片	破壊靱性試験などに用いられる切欠き付試験片の 1 種 (Compact Tension 試験片) 。
FC-EXPO	水素・燃料電池の研究開発、製造等に必要ならゆる技術、部品・材料、装置、および燃料電池システムが一堂に出展する国際展示会。通常毎年 1 回、2 月下旬または 3 月上旬に東京で開催される。
FCV	燃料電池自動車 (Fuel Cell Vehicle) のこと。水素を燃料とし、搭載した燃料電池で発電し電動機の動力で走る車を指す。
FCV	燃料電池自動車 (英: Fuel Cell Vehicle、FCV) とは、水素を燃料とする燃料電池で発電し電動機の動力で走る車を指す。
FEM	Finite Element Method (有限要素法) の略。複雑な形状・性質を持つ物体を小部分に分割することで近似し、全体の挙動を予測しようとするもの。構造力学や流体力学などの様々な分野で使用される。
FRP	fiber reinforced plastics。繊維強化複合材料。
FW	filament winding。フィラメント・ワインディング参照。
FW	Filament Winding の略。 ライナーに樹脂を含んだ炭素繊維やガラス繊維を巻き付ける複合容器の製造方法。
GC-TCD	ガスクロマトグラフに熱伝導度検出器 (Thermal Conductivity Detector) を搭載した分析計のことである。物質の熱伝導度の違いを利用してサンプルの検出を行う。キャリアガス以外のほぼあらゆる物質を検知できる。
HPIS	(一社) 日本高圧力技術協会 [HPI] は、高圧力という専門分野について系統的な解明を行うために設立された民間団体。高圧力に関する各種規格 [HPIS] を制定している。
JIC 試験	破壊力学試験の一つ。
KHK	高圧ガス保安法第 1 条に明記されている「高圧ガス保安協会」(協会) の略称。 「高圧ガスの保安に関する自主的な活動を促進し、もつて公共の安全を確保する (同条) 」という同法の目的を達成する中心的役割を担っている、「高圧ガスによる災害の防止に資するため、高圧ガスの保安に関する調査、研究及び指導、高圧ガスの保安に関する検査等の業務を行う (第 59 条の 2) 」団体である。
KHK	高圧ガス保安協会のこと。
KHKS 0220 (超高圧設備に関する基準)	高圧ガス保安法の適用を受ける超高圧設備の耐圧部の材料、設計、製作、試験・検査に対して適用される基準である。高圧ガス保安法の省令、告示 (例示基準) によらない場合に適用される基準である。この基準では詳細解析を実施することにより 設計係数の低減を可能としている。
LBB	Leak Before Burst (破裂前漏洩) の略。 疲労き裂が圧力容器内面から進展して外面に達した際、不安定破壊が起こらず、容器内の水素が放出されて内圧が低下する現象。
MPa	圧力の単位。35MPa (メガパスカル) は大気圧の約 350 倍、70MPa (メガパスカル) は大気圧の約 700 倍となる。
Oリング	溝に組み付けて単独またはバックアップリングとともに静的にまたは可動部分に用いられる円形断面をもった環状のゴムパッキン。
PAN	Polyacrylonitrile。ポリアクリロニトリル。炭素繊維の原料となる。

用語	説明
PT (浸透探傷試験)	浸透探傷試験とは、赤色や蛍光の浸透性のよい検査液を用いて、表面の割れ、ブローホールなどを検出する非破壊検査方法である。金属、非金属を問わず、表面に開口したクラック(きず)であれば、検出できるため広く利用されている方法である。浸透液の色(観察条件)と浸透液の除去方法により、次の6種類がある。赤色浸透液を水洗除去する方法で、大型検査物、表面の粗い検査物に適している。
RRA	絞りに及ぼす水素の影響を示す。水素環境におけるSSRTの絞りを大気環境または不活性ガス環境におけるSSRTの絞りで除した相対絞り値(RRA: Relative Reduction of Area)。
SEM	走査型電子顕微鏡(Scanning Electron Microscope)
SCM435 鋼	炭素量 0.33 ~ 0.38% 程度のクロムモリブデン鋼。(低合金鋼) (Cr; 0.90 ~ 1.20, Mo; 0.15 ~ 0.30 %) 降伏点は概ね 785 MPa 以上、引張り強さ 930 MPa 以上の鋼。 クロム鋼の中では比較的高めの機械的性質を持つ。
SNCM439 鋼	2%Ni 低合金鋼。高張力鋼として強靱性が要求される機械構造用部品に汎用される。高圧水素用蓄圧器に使用されている事例あり。
SN 線図	縦軸に応力振幅、横軸に破断までの繰返し数 N をとって疲労試験結果をグラフにプロットしたもの。
S-N 線図	縦軸を Stress-amplitude (応力振幅)、横軸を Number of cycles to failure (破断までの繰返し数=疲労寿命、対数目盛) とした疲労特性の関係図。
S-N データ	S-N 曲線。材料がどれだけの繰返し応力に耐えられるか、どれだけの回数を与えたとどれだけの応力で破断するのかを明らかにするために S-N 曲線 (S-N curve) が広く使われている。S-N 曲線は、縦軸に応力振幅 (stress amplitude) あるいは応力範囲 (stress range)、横軸にその応力を繰返し負荷して破断するまでの繰返し回数 (number of cycles) の対数で表されるグラフである。
S-N 曲線	Stress - Number of Cycle 曲線の略。疲労試験を行った際に負荷応力振幅と破断までの試験サイクル数をプロットした曲線。
S-N 曲線	材料がどれだけの繰返し応力に耐えられるか、どれだけの回数を与えたとどれだけの応力で破断するのかを明らかにするために用いられる。縦軸に応力振幅 (stress amplitude) あるいは応力範囲 (stress range)、横軸にその応力を繰返し負荷して破断するまでの繰返し回数 (number of cycles) の対数で表されるグラフ。
SS 線図	引張試験、圧縮試験等において、応力 (Stress) と歪み (Strain) との関係を表す線図のこと。「応力-歪み線図」。
SSRT (Slow Strain Rate Technique)	低ひずみ増加率による応力負荷により試料を強制破断させる試験法。材料の評価が比較的短時間で可能であることから、本研究開発では耐水素性のスクリーニングに用いている。
SSRT	低ひずみ速度試験 (Slow Strain Rate Technique)。水素脆化感受性を評価する目的で、腐食液中等で水素を材料にチャージしながら、低ひずみ速度で引張試験を実施する方法。
SSRT Test	Slow Strain Rate Tensile Test (低歪速度引張試験) 低ひずみ速度による応力負荷により試料を強制破断させる遅れ割れ試験法。遅れ割れ特性の評価が短期間で可能であることから、本研究開発では耐水素性のスクリーニングに用いている。
SSRT	Slow Strain Rate Test (or Technique) の略。一般的には、ひずみ速度 $10^{-6}/s$ 程度での引張試験。

	用語	説明
	Type -CFRP 複合容器	<p>圧力容器の構造は、圧縮天然ガス自動車燃料容器に関する各規格、ISO11439、ANSI/NGV、高圧ガス保安法 容器保安規則例示基準別添9などにおいて以下のように区分されている。</p> <p>Type 1：金属容器 Type 2：金属ライナー・フープ巻き容器 Type 3：金属ライナー・全周巻き容器 Type 4：非金属ライナー・全周巻き容器</p> <p>Type -CFRP 複合容器とは、金属ライナーにアルミニウム合金を用い、炭素繊維を全周巻きした水素貯蔵用高圧容器を示す。ライナーを繊維強化プラスチックで補強した構造（複合構造）を有する圧力容器の一種。金属ライナーを使用し、その全体（胴部と鏡部）を繊維で補強した複合容器をタイプ III と呼ぶ。</p> <p>タイプ3</p>  <p>FRPヘリカル層 FRPフープ層 継目なしアルミライナー</p>
	WET 法	繊維に樹脂を塗布しながらフィラメントワインディングを行う方法。一般的に樹脂が均一に塗布しやすいように粘度の低い樹脂を使用する。
あ行	圧力サイクル試験	容器、附属品は水素の充填、放出を繰り返すことにより、繰り返し疲労を受けることから、想定繰り返し回数加圧・降圧を繰り返しても必要強度・性能が確保されていることを確認する試験
	圧力サイクル試験	容器に液体（圧力媒体）によって繰返し圧力を加え、破断までの繰返し数（=疲労寿命）を計測する試験。 KHKTD5202 における疲労試験と同意。
	圧縮永久ひずみ	ゴムの永久変形に関する特性のひとつで、試験片を一定温度で一定時間圧縮させた後に圧縮力を除いて一定時間静置後に残るひずみ。
	圧縮応力	ある面に対し垂直に押しあうように働く単位面積当たりの力。
	一般高圧ガス保安規則	<u>高圧ガス保安法</u> （昭和二十六年法律第二百四号。以下「法」という。）に基づいて、高圧ガスに関する保安（ <u>コンビナート等保安規則</u> （昭和六十一年通商産業省令第八十八号）に規定する特定製造事業所に係る高圧ガスの製造に関する保安を除く。）について規定する。
	陰極チャージ法	試験片中に水素原子を導入する方法の一種で、溶液中に金属製の試験片を陰極として浸漬し、通電する。陽極は通常は白金。
	応力 / Stress	連続体内部に定義した微小面積に作用する単位面積あたりの力。 （単位の例：kgf/mm ² ，MPa）
	応力	部材内に発生している単位面積あたりの力を言い、部材の 変形 や 破壊 などに対する負担の大きさを検討するのに用いられる。 圧力によって容器に生じる応力は、周方向、軸方向、半径方向の3つの応力（主応力）に整理される。引張応力はプラス、圧縮応力はマイナスで表示する。 単位は、圧力の単位と同じになり、MPa または N/mm ² を使う場合が多い。
	応力	物体内部の断面で単位面積当たりに作用する力
	応力拡大係数	き裂先端近傍の応力場の大きさを示す数値。
	応力振幅	繰返し圧力によって容器に生じる応力の、最大応力と最小応力の差の半分。 材料の疲労特性の整理には応力振幅が用いられる。（S-N 線図項参照）
	応力範囲	繰返し圧力によって容器に生じる応力の、最大応力と最小応力の差。
か行	開口変位	切欠き付試験片のき裂開口部の変位（Crack Opening Displacement）

用語	説明
拡散係数	拡散とは、粒子、熱などが自発的に散らばり広がる物理現象である。拡散係数とは拡散の早さを規定する物理量であり、拡散する粒子や熱の流れ（流束密度）は粒子の濃度や温度の勾配に比例し、その比例係数を拡散係数と呼ぶ。[L ² T ⁻¹]の次元を持つ。水素分子が金属あるいは樹脂、ゴム材料などの固体中に溶解あるいは脱離する過程において固体中の水素の拡散現象が問題となる。固体中の水素の拡散係数は高圧水素中に曝露された際に発生する破壊現象などに影響を与える。
ガスクロマトグラフ	ガスクロマトグラフィー(Gas Chromatography)に用いる分析装置のことであり、ガスクロとも呼称される。気体を移動相にしてカラムに試料を導入し、被検成分を固定相との相互作用（吸着、分配）の差を利用して、分離、定量するための機器である。
ガス透過曲線	ガス等透過挙動を時間とガス透過量の関係で示した曲線。
渦電流探傷試験	渦電流探傷試験は、材料の非破壊検査法の一つで、英語でET（Eddy Current Testing）とも呼ばれる。鉄鋼・非鉄金属・黒鉛などの導電性のある材料でできているもので適用でき、材料に誘起される渦電流がクラックによって変化する性質を利用してクラックを探し出す検査である。表面及び表面近傍のクラックを検出することは出来るが、表面下の深い位置のあるクラックは検出することはできない。
過流アレイ探傷	従来の過流探傷で使用しているコイルを多数配列したプローブを使用し、一度に広範囲の面を探傷する事が可能な探傷手法。 エンコード入力付の探傷器とスキャナーを使用する事で探傷結果を画像化し、欠陥の位置・大きさをマッピングする事が可能。
技術文書 KHKT D5202（2014）	水素ステーションの蓄圧器として用いる複合圧力容器は、特定設備検査規則の適用を受けるが、規則及び例示基準が整備されていないため、NEDO 事業で検討を行った。その成果を踏まえて制定された、材料、設計、加工、構造及び検査の要求事項を定めた技術文書。 （正式名称：圧縮水素蓄圧器用複合容器に関する技術文書）
擬へき開破面	破壊面の一種。破壊がへき開によって生じ、次に空孔（ボイド）合体による母材の破壊（塑性変形）が生じた破壊面。
許容引張応力	機械や構造物に許容される引張側の強さを言う。適用する材料の常温及び設計温度での引張り強さを設計係数で除した値、又は降伏点（又は耐力）を1.5で除した値の最も小さい値を用いる。
金属円筒	ライナーと同義語。蓄圧器を構成する部品
口金	バルブを取りつける部分およびFW加工時にライナーを保持するための構造のこと。高圧容器の両端部または片端部に位置する。バルブはOリングを介して口金シールする。タイプ4複合容器の場合はライナー本体と口金は別体構造となるため、バルブと口金のシール以外にライナー本体と口金のシール構造が必要となる。セルフシール、Oリングシールなどがある。
クロムモリブデン鋼（クロモリ鋼）	鉄に極わずかのクロム、モリブデン等を添加した低合金鋼の一種。略してクロモリ鋼とも呼ばれる。
高圧水素中小型疲労試験機	室温の高圧水素環境にて4点曲げ疲労試験を行う疲労試験機。内容積が小さいことを特徴とする。
高圧ガス保安法	高圧ガスによる災害を防止するため、高圧ガスの製造、貯蔵、販売、移動その他の取扱及び消費並びに容器の製造及び取扱を規制するとともに、民間事業者及び高圧ガス保安協会による高圧ガスの保安に関する自主的な活動を促進し、もって公共の安全を確保することを目的とする法律。
硬化反応熱	エポキシ樹脂が硬化する時に硬化炉による加熱以外に主剤と硬化剤反応する際の発熱温度を言う。
降伏応力	材料の引張試験において、荷重と伸びが直線的に増加していたのが、突然荷重が低下する降伏現象を示す荷重を試験片の断面積で割った応力。高圧水素ガス環境では、通常は降伏現象を示さない材料が用いられ、引張試験の応力歪み曲で0.2%の塑性歪みを示す点の応力を0.2%耐力と呼び、降伏応力として代用される。

	用語	説明
	降伏点伸度	引張り試験における、降伏時の伸びを元の長さで割った値。
	降伏点強さ	引張り試験における、降伏時の伸びを元の長さで割った値。
	降伏比	引張強さと降伏点（通常は上降伏点）、又は耐力の比を言う。
	降伏点	応力・ひずみ線図において弾性域を超えると、応力は上昇せず、ひずみだけが進行するようになる。これは材料が塑性し始めたことを示している。このような変極点を降伏点と呼ぶ。
	高弾性CFRP	引張弾性率 300～450GPa、引張強度 1800～1900MPa のCFRP。一般のCFRPは、引張弾性率 120～170GPa、引張強度 2400～3200MPa。
	国際標準化機構 ISO	International Organization for Standardization、略称：ISO。電気分野を除く工業分野の国際的な標準である国際規格を策定するための非政府組織。
さ行	サイクル性能	蓄圧器の圧力振幅（減圧 復圧）を 1 回とした時の漏れが発生するまでの圧力振幅回数。サイクル試験によりサイクル性能を評価する。
	絞り	材料の延性を示す指標の一つであり、引張試験から求められる。計算式は以下である。 $= (A_0 - A_f) / A_0$ ここで、 A_0 は試験部の初期断面積、 A_f は破断後のくびれ部の最小断面積である。
	絞り	引張試験で破断した材料片の最小断面積 A と最初の断面積 A_0 との差（小さくなった面積）を最初の材料片断面積 A_0 で割った百分率％。
	絞り、相対絞り（RRA）	引張試験や SSRT 試験での試験片破断後における最小断面積とその原断面積との差の原断面積に対する百分率を言う。相対絞り（RRA）は高圧水素ガス雰囲気における絞りを不活性ガス雰囲気における絞りで除した値。
	充填容器等	容器置場並びに充てん容器及び残ガス容器のこと。
	自緊処理	金属ライナーが塑性変形するのに十分な圧力を容器にかけて、金属ライナーに残留圧縮応力、金属ライナーの外周繊維に引張残留応力を発生させる圧力処理。残留する圧縮応力が、金属ライナーの疲労寿命を長くする。
	自緊処理	複合容器の製造工程において、中間体容器に内圧を付加して容器本体を塑性変形させた後、内圧を低下させ、容器本体に圧縮残留応力を与えるステップからなる工程の処理を示す。
	自緊処理	一般的にアルミライナーType3 容器に用いられる処理。 製造後の容器に対してライナーが塑性域に入るまで圧力を加える。 ライナーに残留圧縮応力を発生させる事により、充てん時にかかる最大応力を小さく抑えることが可能となり、容器の長寿命化が計れる。
	自緊処理	容器の内圧を高め、金属からなるライナー材を塑性変形させた後、容器の内圧を低下させることによって、繊維強化樹脂層の剛性によりライナー材に圧縮応力を与える処理。
	磁粉探傷試験	磁粉探傷試験は、材料の非破壊検査法の一種で、英語で MT（Magnetic Particle Testing）とも呼ばれる。強磁性体の材料のみ検査可能で、材料表面の開口欠陥（クラック）と表面直下の欠陥を探し出すことができる。
	樹脂	ここでは主にエポキシ樹脂を指す。加熱により硬化し繊維間に密着力を持たせる。一般には 100～150 の熱を加えて硬化させる。
	樹脂ライナ	樹脂材料にて主に構成されたライナー。 加圧時の荷重は分担せず、気体封止として機能する。 一部、バルブなどの接続部は口金と呼ばれる金属材料をインサートまたは機械結合で構成され、インジェクション成形法、回転成形法、ブロー成形法、押し出し成形法などで製作する。インジェクション成形法などは中空一体で成形困難なため分割されたものを溶着により中空にする。
	上限圧力/下限圧力	容器に繰返し圧力を加える場合の、最大の圧力値と最小の圧力値。

用語	説明
詳細基準事前評価	「一般高圧ガス保安規則の機能性基準の運用について」等の通達に基づいて行う制度。機能性基準化された省令条項について例示基準に規定されていない方法を使用する場合、申請者が作成した詳細基準が関係規則に定める機能性基準に適合するか否かを判断し、その結果を検査等の申請書に添付することにより、その検査等に適用する詳細基準として採用することができる。
充てん材	ファイラーと同義であり、樹脂やゴム材料などに、強度や各種性質を改良するため添加されるカーボンブラックやシリカなどのことを示す。
充てん率	Oリング溝体積に対するOリングの体積比率。
常温圧力サイクル試験	HFCV GTR Phase1等に規定されている設計確認試験のひとつ。2MPa以下から最高充てん圧力×125%以上の圧力の間を往復させる試験。HFCV GTR Phase1での合格基準は、加圧回数が11,000回以下で、容器に漏れ及び破裂が無いこと。
使用サイクル回数	蓄圧器の圧力振幅（減圧 復圧）を1回とした時の認可された使用可能な回数。サイクル試験により使用サイクル回数を決定する。
シームレスパイプ	長手方向に溶接部を有しないパイプ。
水素影響	本研究では、高圧水素がライナー樹脂材料に与える影響、主にプリスタ性（水素が材料中に溶解し、材料中での溶解水素の発泡現象を生じる度合い）のことを表す。水素影響因子として、温度、減圧速度、ライナ成形方法などが挙げられる。
水素助長割れ下限界 応力拡大係数 K_{IH}	水素の影響によってき裂が進展する際の閾値を表す破壊力学パラメータ。本研究開発においては、高圧水素ガス環境における K_{IH} を対象としている。
水素スタンド	燃料電池自動車（FCV）に燃料水素を供給する施設で水素ステーションと同義。現行の充填圧力は70MPa。
水素ステーション	燃料電池自動車（FCV）に燃料水素を供給する施設で水素スタンドと同義。現行の充填圧力は70MPaである。
水素ステーション普及 初期	2015年のFCVの一般ユーザー普及開始以降、FCV・水素STの自立拡大が始まるまでの期間。燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）（2010年3月）資料によると、FCV・水素STの自立拡大開始を2025年目標としている。
水素脆化	金属材料が高圧の水素雰囲気中で使用される場合や高温の水素環境に曝露された場合に、原子状の水素が金属に拡散されることにより延性や靱性が低下する（脆化する）現象を言う。
水素脆化	鋼をはじめとする金属材料中に、水素が拡散侵入し、金属の破壊抵抗を弱める現象。同一の材料でも、水素濃度、試験温度、歪速度により水素脆性の感受性が異なる。
水素脆化	材料中または雰囲気中に存在する水素が、金属材料の強度や延性といった機械的性質を低下させる現象。
水素脆化型	金属材料中に水素が侵入することが原因で生じる脆化現象を水素脆化と呼び、この現象を伴う諸現象を「水素脆化型～」と表現する。
水素脆化感受性	水素脆化の生じやすさ。同じ環境条件、応力負荷条件においてより早期に水素脆化による破壊を生じやすい材料は、水素脆化感受性が高い材料と言える。
水素チャージ	材料中に水素を侵入・拡散させる方法。高温高圧水素環境下で保持する方法と、電気化学的にチャージする方法がある。
水素トレーラー	水素の陸上輸送手段の一つ。タイヤのついたフレームに水素を充てんする容器を固定し、これをトラクターでけん引できるようにしたもの。輸送後にトラクターとフレームを分離することができる。
水素飽和回数	ライナ材料に対する水素影響因子のひとつ。高圧水素環境下で長時間曝露することにより、水素が材料中に溶解込み、溶解量はやがて飽和状態となる。その後、減圧を行い、溶解していた水素が材料中から放出される。この一通りの過程を水素飽和回数1回分と定義した。
スチールライナ	複合容器の内部に設置される鋼製の容器。この周囲にCFRPを巻いて複合容器とする。

	用語	説明
	ストライエーション	疲労により破断した面(破面)を走査型電子顕微鏡により観察すると、規則的な縞模様が見られる。この縞模様をストライエーション striation と呼ぶ。疲労亀裂進展に伴い形成されるもので、疲労による破面に特徴的に現れる。
	ストランド	フィラメントを数千～数万本束ねた繊維束のこと。トウとも言う。
	ストレスプチャー試験	一定の荷重を試験片に加え、破断するまでの寿命を測定する。
	常用圧力	その製造設備又は消費設備においてそれらが通常使用される状態での圧力(圧力が変動する場合は、その変動範囲のうちの最高の圧力)。
	脆化	材料が延性やじん性を失い、脆く壊れやすくなること。水素脆化の他に、高温脆化、低温脆化、液体金属脆化、紫外線脆化など、材料の種類や使用環境の組み合わせにより様々な脆化現象が知られる。
	脆化温度	金属や樹脂材料などが塑性や延性を失う温度を脆化温度と呼ぶ。樹脂材料の脆化温度試験法は JIS K7216 で定められている。
	脆性	物質の脆さを表す。破壊に至るクラック進展に必要なエネルギーの小さいことをいう。
	脆性破壊	固体に力を作用させた場合、塑性変形を伴わず突然破壊する現象を脆性破壊と呼ぶ。ガラスやセラミックスなどで多く見られる破壊現象である。
	積層設計	異方性材料である CFRP を積層させて強度剛性を確保する際に層毎の巻き角度を変化させて、高压容器の耐圧設計をすること。おもに高压容器の胴部を強化するフープ巻き、高压容器に長手方向の変位を抑制し、かつ鏡部を強化するヘリカル巻きなどがある。それぞれの巻きパターンを組み合わせで最適な巻き厚みを FEM 解析などを用いて最適設計する。
	設計圧力	設備を使用することができる最高の圧力として設計された圧力をいい、設備の強度を決定するために使用される。
	設計係数	圧力容器の許容応力を算出する際に用いられ、引張強さに対する安全係数を示す。
	設計係数	安全係数と同義語。 圧力容器においては破裂応力比(安全係数)で表される。 破裂応力比 = 最小破裂圧力 / 最高充填圧力
	接触圧力	接触面の法線方向に作用する圧力。
	線膨張	熱による固体の長さの変化。温度をセ氏 1 度上げたときの物質の長さの増加する割合を、その物質の線膨張率という。
	相対絞り	高压水素中における絞り値を、大気中もしくは不活性ガス中における絞り値で除した値。高压水素環境における延性の低下を示す尺度の一つとして、用いられている。
た行	耐圧耐久性	設計圧力に対する耐久性。
	タイプ3 複合容器	金属ライナ を耐圧部材として機能する CFRP で補強した複合圧力容器のこと。ライナーには主にアルミが用いられる。
	耐力(0.2%耐力)	引張試験において 0.2%の残留ひずみを生じる荷重のこと。構造設計では 0.2%耐力の 75%を許容応力として用いる場合が多い。
	多層材料	ライナーに使用する樹脂材料を異種材料を層状に組み合わせることにより、主にガスバリア性機能を付与させた複合樹脂材料を表す。
	炭素繊維(CF)	CF は Carbon Fiber の略。アクリル繊維またはピッチ(石油、石炭、コールタールなどの副生成物)を原料に高温で炭化して作った繊維。現状の複合容器にはアクリル系が使用される。
	炭素繊維強化プラスチック(CFRP)	CFRP は Carbon Fiber Reinforced Plastics の略。炭素繊維と樹脂の複合材料である。樹脂母材(マトリクス材)には主にエポキシ樹脂が用いられる。
	デンプル	破壊面の一種。空孔(ポイド)合体の延性破壊で生じた破壊面。デンプルと称するように穴があいた模様となることが特徴。
	蓄圧器	高压流体を蓄えておく装置のこと。水素スタンドでは、圧縮水素若しくは液化水素を送り出し、又は受け入れるために用いられる貯槽のこと。
	蓄圧器	水素スタンドで、圧縮水素を送り出し、又は受け入れるために用いられる貯槽のこと。

	用語	説明
	蓄圧器	燃料電池車に充填するための水素ガスを高圧で貯蔵する容器。蓄圧器はその構造、材料により「鋼製蓄圧器」(タイプ1)と「複合容器蓄圧器」(タイプ2, 3, 4)に分類される。
	蓄圧器	ここでは高圧水素を蓄えておくボンベ(容器)をいう。70MPaの車載タンクを備えた燃料電池車に差圧で水素を充填する場合には常用圧力80MPa以上の蓄圧器が必要となる。
	超音波探傷検査方法	超音波を試験体中に伝搬させたときに、試験体の示す音響的性質を利用して、試験体内部のきず又は材質を調べる非破壊試験方法。略語はUT
	長期負荷割れ	一定の応力またはひずみを負荷し、長期間経過するとき裂が進展する現象。
	つぶし率	Oリング太さに対する溝組み付け時につぶした長さ比率。
	低温脆性 (ていおんぜいせい)	金属材料が温度低下によって脆くなる性質。アルミニウムは、超低温範囲に至るまで低温脆性を示さない。
	低ひずみ速度引張試験	腐食環境下で材料を低ひずみ速度で引っ張るといふもので、他の試験方法に比べて、比較的短時間で材料の応力腐食割れ感受性を評価できる試験法。
	定変位試験	切欠き付試験片を用い、き裂を開口させて、き裂先端近傍に一定の応力拡大係数を負荷する試験。
	デュロA	一般ゴム(中硬さ)用硬度計であるA型デュロメータの略称である。デュロメータとは、被測定物の表面に圧子(針など)を押し込み変形させ、その変形量(押し込み深さ)を測定し、硬さを評価する装置である。押し込みの際、荷重を与える方法としてスプリングを用いる。デュロメータによるゴムの硬度測定はJIS K6253、ISO7619、ISO868、ASTM2240に準拠した方法である。
	胴部	容器中央の円筒状部分。
	特定案件事前評価 (大臣特認)	「高圧ガス保安法に於ける経済産業大臣特別認可申請手続きについて」に基づいて行う制度。高圧ガス保安法の省令に定められている規定によらないで高圧ガス設備の製造を行う時にこれらの規定に代わる特則を経済産業大臣の特別認可を申請して適用できる。このような、大臣への特認を申請しようとするものは予め高圧ガス保安協会の事前評価の審査を受け、その評価結果を用いて特認申請する。
	特認	技術基準や省令に合致しない案件に関して、詳細基準事前評価・特定案件事前評価を受けて、認証を取得する場合の慣例的な呼び方。
な行	熱硬化処理	金属円筒に樹脂を含浸させた炭素繊維をフィラメントワインディングした後、硬化炉にて100前後に加熱して樹脂を硬化させる処理
	燃料電池自動車 (FCV)	水素と酸素を化学反応させて電気をつくる「燃料電池」を搭載し、モーターで走行する電気自動車の一種。
	伸び	引張試験で破断した材料片の永久伸び。
	伸び	引張試験における、引張前の2標点間の距離(L0)と引張後の2標点距離(L1)の比(100×(L1-L0)/L0)。単位は%。
	伸び歪	金属材料を引張によって塑性変形させたときの引張方向の変形量。
は行	配管破裂試験	配管が破裂(破壊)するまで配管内の媒体圧力を上昇させる試験。バースト試験とも呼ばれる。
	破断伸び	引張試験において、試験片が破断に至るまでの伸び。試験開始から破断に至るまでの標点間距離の増加量を、試験開始時の標点間距離に対する割合として算出する。
	破面	破壊により形成された新しい面。
	バックアップリング	Oリングのはみ出しを防止するために用いられる樹脂製の部品。
	破裂圧	HFCV GTR Phase1等に規定されている設計確認試験の一つである破裂試験によって測定された圧力(破裂圧力)。
	破裂試験	HFCV GTR Phase1等に規定されている設計確認試験の一つ。容器が破裂するまで昇圧することによって破裂圧を測定する試験。
	汎用樹脂	一般の包装材料、雑貨、家庭用品など幅広い用途に使われる合成樹脂の総称。中でもポリエチレン、ポリプロピレン、塩化ビニル樹脂、ポリスチレンが4大汎用樹脂と呼ばれる。

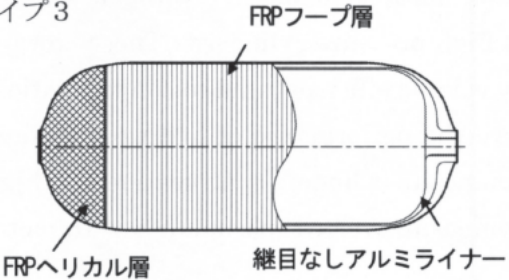
用語	説明
非金属介在物	製造工程中に鋼の内部で生成される複合物質のことで、 Al_2O_3 、 MnS などがある。その測定法としては、JIS G 0555、ASTM E45 などが規格化されている。
ひずみ	物体の単位寸法あたりの変形量。
ひずみゲージ	ひずみを電気信号として出力する装置。ひずみを測定する箇所に貼り付けつことで使用する。
ひずみ速度	ひずみの時間的変化の割合で、 s^{-1} の単位を持つ。多くの材料において、変形中の応力は、ひずみと温度およびひずみ速度によって変化するので、ひずみ速度は、材料の構成式において重要な変数の一つである。一般に、ひずみ速度が大きくなると材料の変形中の応力も大きくなるが、ある種のアルミニウム合金のようにひずみ速度の 変化に比較的鈍感な材料もある。
ピッカース硬さ	硬さを表す尺度の一つであり、四角錐形状の圧子を試験体に押し込み、そのときにできるくぼみ（圧痕）の面積から計算される。
引張試験	材料の機械的性質を知る上で最も基本的な試験であり、試験片に単引張負荷をかけて応力とひずみの関係を取得する材料試験。
引張試験	引張試験機を用いて試験片を引張り、降伏点、耐力、引張強さ、降伏伸び、破断伸び、破断絞りなどを測定する試験。
引張り強さ	材料を引張り、応力（荷重/断面積）を与えると材料が破断する。その破断するときの引張り強さ（ N/mm^2 ）。
引張強さ	引張試験力の最大値を初期断面積で除した値。
引張強さ	応力ひずみ線図で最大の応力を示すポイントをこの材料の引張強さと呼ぶ。通常この領域では試験片が大きく変形しており、力学的には意味のない値だが（変形前の断面積を元に計算される公称応力であるため）、疲労限度や硬さと強い相関があるため広く用いられる。
疲労	繰返し応力により金属などがき裂を生じたり破断する現象。
疲労き裂進展試験	人工の欠陥やスリットを有する試験片に繰返し応力を与え疲労き裂長さの 1 サイクル当たりの増加量を測定する。き裂進展試験でのき裂進展速度 da/dN ($m/cycle$) を縦軸に応力拡大係数幅 K ($MPa \cdot m$) を横軸にとったグラフを作成し、各材料のき裂進展特性を評価する。
疲労き裂進展試験	疲労き裂の進展速度を測定する試験。
疲労き裂進展試験	規定された切欠き付試験片を用い、繰返し応力を負荷し、応力拡大係数範囲に対するき裂の進展速度を調査する試験。
疲労限	材料の疲労において、物体が振幅一定の繰返し応力を受けるとき、これ以上回数を増やしても破断まで至らない下限の応力振幅値。
疲労限	材料が一定応力振幅で疲労変形した際に、疲労破壊が生じない上限の応力振幅。
疲労限度	材料に応力振幅を何回繰返ししても破断しない限界応力振幅。鉄鋼材料では、 10^7 回繰返ししても破断しない応力振幅の最大値とする場合が多い。
疲労試験	材料の繰返し応力に対する強さ（疲労強度）を測定する試験であり、応力振幅 S (N/mm^2) を変化させて材料が破壊するまでの繰返し回数（ N ）を測定する。この試験結果を縦軸に応力振幅、横軸に繰返し数で表示したグラフを「S-N 曲線」という。
疲労試験	繰返し応力を与えて材料が破断するまでの繰返し数を評価する試験。本研究開発では、応力比-1 で実施した。
疲労試験	規定された試験片を用い、繰返し応力に対する破断繰返し数を調査する試験。
疲労寿命	疲労破壊を生じるまでの応力の繰返し回数、 N の記号を用いる。

用語	説明
疲労設計安全率(Kn)	複合容器の疲労試験での試験圧力サイクル数 N は、試験体の個数 n と疲労設計安全率 Kn を用いて、 $N=Kn \times n$ で求まる回数以上で、漏れが確認されるまでの回数とする。Kn は試験体の数であり次による $n=2$ の場合、 $Kn=4.0$ $n=3$ の場合、 $Kn=3.5$ $n=4$ の場合、 $Kn=3.0$ $n=5$ の場合、 $Kn=2.6$ 複合容器の使用可能サイクル数は設計圧力サイクル数を疲労設計安全率で除した数である。 文献：高圧ガス保安協会 KHKTD 5202(2014)
疲労破壊	一回の荷重負荷では破壊しない低い応力でも、繰返し負荷することで生じる破壊現象。
疲労予き裂	切欠き付試験片に疲労試験により予め導入されたき裂。
評価試験方法	高圧水素ガス環境における材料の健全性を評価する試験方法であり、SSRT 試験、疲労試験、疲労き裂進展試験、ライジングロード試験などがある。
フィラメントワインディング(FW)	FW は Filament Winding の略。ライナーに樹脂を含浸させた炭素繊維やガラス繊維を巻付ける複合容器の製造方法。
フィラメントワインディング(FW)	ライナーに樹脂を含んだ炭素繊維やガラス繊維を巻付ける複合容器の製造方法。
フェーズアレイ法	超音波探傷検査の方法の一つ。アレイ探触子の各振動子から異なったタイミングで超音波を送信および受信し、アレイ探触子を走査することなく所定の領域全体を探傷できる。
複合容器	ライナーを繊維（主に炭素繊維やガラス繊維）で巻付け、樹脂で固めることによって強化した容器。
複合容器	ライナーと呼ばれる薄肉の容器の外側を、炭素繊維やガラス繊維等の複合強化材で多重積層した圧力容器（元は、複合強化圧力容器と呼ぶ）。 金属材料の圧力容器よりも比強度が大きく、軽量であることが特徴。
部分充填	蓄圧器から燃料電池車への水素ガス充填において、蓄圧器と車両の燃料容器の圧力が平衡に達したとき、この平衡圧力より高圧力の次の蓄圧器に切り替えて充填を継続する方法が効率的であると言われている。このように圧力変動の小さい充填を繰り返し行うこと。
フープバースト	フープ巻きした FRP が破壊し、破裂する設計で容器を作製し、破裂試験を行うこと。あるいは、そのように破裂すること。
フープ巻	CFRP 容器用ライナーの周方向（軸方向にほぼ 90 度）に巻きつける（フィラメントワインディングする）巻き方。
平滑材	試験部に切欠きやき裂の無い試験片のこと。
平均応力	繰返し圧力によって容器に生じる応力の平均値。 $(\text{最大応力} + \text{最小応力}) / 2$ 。 部分充填で用いる蓄圧器は、受けもつ充填圧力の領域によって平均応力が異なる。
ヘリカルバースト	ヘリカル巻きした FRP が破壊し、破裂する設計で容器を作製し、破裂試験を行うこと。あるいは、そのように破裂すること。
ヘリカル巻	フープ巻に比べ、軸方向に近い（例えば 5～70 度）角度で巻きつける（フィラメントワインディングする）巻き方。

	用語	説明
ま行	マルテンサイト	マルテンサイト (martensite、'相) は、Fe-C 系炭素鋼を、安定なオーステナイトから急冷する事によって得られる組織。刀の作成段階で見られる焼入れなどは、鋼をこの組織へと変態させる作業の事である。 組織構成は、オーステナイトが炭素を固溶したままの状態では体心正方格子を取る構成で、炭素を含有する鉄合金では組織は非常に硬い層組織である。しかし、工業的には高靱性である必要から、できた炭素含有鉄合金を焼き戻しすることで焼戻しマルテンサイトにして使用する。 マルテンサイトは針状のこまかな組織で、鋼の焼入組織としては最も硬く、強磁性体である。したがってオーステナイト系ステンレスが加工などによりマルテンサイトを誘起すると磁性を帯びることになる。 マルテンサイト系ステンレスは、このマルテンサイト組織をもった高 Cr 鋼であり、特性は同様に、強磁性体で焼入れ硬化性に優れ、刃物などによく使われる。しかし、硬くて脆いという欠点もあり、また耐食性、溶接性、加工性はオーステナイト系ステンレスに劣る。
	マルテンサイト	鉄鋼材料の組織の一つであり、オーステナイトから急冷することで得られる。体心立方格子構造 (BCC 構造) をしており、一般に水素脆化の影響を強く受ける。
	ミルシート	鋼材メーカーが発注者に対して発行する鋼材の品質を証明する書類である。記載事項は下記の通り。 一般事項：需要家名、注文社名、証明書番号、工事番号等 化学成分：主要元素 (C, Si, Mn, P, S, Cr, Ni, Mo 等) の割合 引張試験結果：降伏点又は耐力、引張強さ、伸び (%) 等
や行	有限要素法 (FEM)	対象となる物体を有限個の小さな要素に分割してモデル化し、要素全体では複雑な微分方程式を近似的に解く数値解析手法。
ら行	ライジングロード試験	予めき裂を導入した試験片に低変位速度で荷重を負荷し、き裂を進展させる。大気中と高圧水素ガス中で試験を行い、荷重-変位線図上で両試験結果が分岐する点を水素中でき裂が進展を開始した点と判断して、 K_{IH} を評価する試験方法。
	ライナー	複合容器の内材。これに樹脂を含んだ炭素繊維やガラス繊維を巻きつけ (FW) た後、樹脂を一般には加熱硬化させて複合容器とする。
	ライナー	複合容器の内殻で、この内殻にエポキシ樹脂などを含浸させた炭素繊維やガラス繊維を巻回し、エポキシ樹脂などを加熱硬化させて複合容器とする。一般的に樹脂やアルミから成り容器に充填された気体を封止する機能を有する。
	ライナ発生応力	複合容器のスチールライナーに発生する応力
	粒界	多結晶体の結晶と別の結晶との間の不連続な境界面。
	例示基準	省令は機能性基準であるため詳細な仕様を記載していないが、省令への適合性評価に当たって、例示基準に示されているとおりである場合には、当該機能性基準に適合すると見なされるもの。

- 16 : 「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」

	用語	説明
英数	FCV	燃料電池自動車 (Fuel Cell Vehicle) のこと。水素を燃料とし、搭載した燃料電池で発電し電動機の動力で走る車を指す。
	KHK	高圧ガス保安法第 1 条に明記されている「高圧ガス保安協会」(協会) の略称。「高圧ガスの保安に関する自主的な活動を促進し、もって公共安全を確保する (同条)」という同法の目的を達成する中心的役割を担っている。「高圧ガスによる災害の防止に資するため、高圧ガスの保安に関する調査、研究及び指導、高圧ガスの保安に関する検査等の業務を行う (第 59 条の 2)」団体である。

	用語	説明
	Nm ³	気体は純粋であっても温度と圧力によりその状態が変わる。 そこで、温度 0℃、圧力 1 気圧の状態を、「標準状態」とよぶ。 「Nm ³ 」の中で「N」とはこの標準状態であることを意味する。 「Nm ³ 」とは、この標準状態の気体が 1 立方メートル存在していることを意味する。
	Type -CFRP 複合容器	<p>圧力容器の構造は、圧縮天然ガス自動車燃料容器に関する各規格、ISO11439、ANSI/NGV、高圧ガス保安法 容器保安規則例示基準別添 9 などにおいて以下のように区分されている。</p> <p>Type 1：金属容器 Type 2：金属ライナー・フープ巻き容器 Type 3：金属ライナー・全周巻き容器 Type 4：非金属ライナー・全周巻き容器</p> <p>Type -CFRP 複合容器とは、金属ライナーにアルミニウム合金を用い、炭素繊維を全周巻きした水素貯蔵用高圧容器を示す。</p> <p>タイプ3</p>  <p>FRPヘリカル層 FRPフープ層 継目なしアルミライナー</p>
	Type 4 複合容器	プラスチックでできたライナー（殻）の外側全面にカーボン FRP（樹脂を含浸した炭素繊維）を巻付けて成形された高圧ガスの貯蔵容器。
あ行	アルミライナー	Type -CFRP 複合容器のアルミ合金を用いた金属部分を呼ぶ。
	圧縮水素運送自動車用容器	水素製造装置等から圧縮水素を運送するための自動車（トレーラー；圧縮水素運送自動車）に搭載される炭素繊維複合容器。地盤面に対して移動して使用するため、容器保安規則が適用される。
	圧力サイクル試験	容器、附属品は水素の充填、放出を繰り返すことにより、繰り返し疲労を受けることから、想定繰り返し回数加圧・降圧を繰り返しても必要強度・性能が確保されていることを確認する試験
	移動式水素ステーション	トラックの荷台に水素充填装置を積むことにより、小スペースに比較的簡単に設置できる移動可能な水素ステーションとなる。燃料電池自動車の導入初期である現状において、需要地のニーズに合わせて柔軟な対応が可能というメリットがあり、設備・設置場所の法制度の遵守により安全・保安体制も確保可能となる。
か行	ガスブースター	ガスの流速の変化、流路・流量の組み合わせによってガスの圧力が変化するメカニズムを用いて、ガスの圧力を低圧から高圧へ高める装置である。装置の多段化により、出力ガス圧の限界が高められ、今日では圧縮機としての効率も高いものが現れるようになった。
	カードル	ガスを大量に供給するため、中型容器を多数集めて枠組み固定してつくられた集合貯蔵設備の一種である。さまざまな運送状況、使用状況に合わせて、容器の容量、本数、積層法が選定され、運送および使用の安全性確保が図られる。
	高圧バルブ	バルブとは（弁とは）、主に配管などの内部を通す空気やガスなどの気体、水や油などの液体、或いは粉体などの流体が通る空間の開閉や流体の制御及び調節などができる可動機構をもつ機器の総称のことをいいます。ここでは主として高圧ガス（圧力 1 MPa 以上のガス）の容器および制御機構に用いられるバルブを、総称する。
さ行	サイクル試験	試験体となる容器に、加圧・脱圧の繰り返しをかけたときの耐久性を調べる試験である。圧力変化の条件と耐久繰り返し回数との関係を調べる。 試験の目的によっては、圧力変化に加え、温度変化、環境条件の変化を重ねた時の耐久性を調べる試験もある。

	用語	説明
	樹脂ライナー	容器の形をした樹脂で出来た「殻」である。この「殻」を「ライナー」と呼ぶ。 このライナーの外側全面にカーボン FRP（樹脂を含浸した炭素繊維）を巻付けて、軽量高強度の高圧ガス貯蔵容器が製作される。一般に CFRP 容器（繊維強化複合容器）と称する。
	水素ステーション	燃料電池自動車（FCV）に燃料水素を供給する施設で水素スタンドと同義。現行の充填圧力は 70MPa である。
た行	蓄圧器	水素ステーションに設置され、水素を高圧で貯蔵する容器である。 これまで、クロム-モリブデン鋼で作られることが多かったが、容器の重量軽減のために、複合容器の使用が検討されている。
	蓄圧器	水素スタンドで、圧縮水素を送り出し、又は受け入れるために用いられる貯槽のこと。
は行	破裂圧力	試験体となる容器に圧力をかけると膨張し、やがて圧力に耐え切れず破裂するに至る。この破裂するに至る圧力を「破裂圧力」とよぶ。 この破裂圧力がある限界値を下回らないように保証する限界値は「最小破裂圧力」といい、生産管理での基本指標の一つとされる。
	複合容器	「ライナー」と呼ばれる金属またはプラスチックでできた殻の外側に、樹脂を含浸させた炭素繊維（カーボン FRP）で強化して、耐圧性能を高めた高圧ガスの貯蔵容器である。 ライナーの種類と、カーボン FRP 巻付けの範囲により、次の様にタイプ分けされる。金属ライナーの容器円筒胴部分だけにカーボン FRP を巻付けたもの（フープラップ）を「Type 2」、金属ライナーの全面にカーボン FRP を巻付けたもの（フルラップ）を「Type 3」、プラスチック・ライナーの全面にカーボン FRP を巻付けたもの（フルラップ）を「Type 4」という。

研究開発項目：水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発

-1：「水素ステーション高度安全・安心技術開発」

	用語	説明
英数	CNG スタンド	圧縮天然ガス（CNG）自動車に燃料として圧縮天然ガスを販売する事業所。
	FCCJ-TF	FCCJは、'Fuel Cell Commercialization Conference of Japan'の略で燃料電池実用化推進協議会である。FCCJの活動推進体制の中で、緊急性の高い特定課題に取り組むためにタスクフォース（TF）と呼ばれるプロジェクトチームが設置されている。
	FC-EXPO	水素・燃料電池の研究開発、製造等に必要なあらゆる技術、部品・材料、装置、および燃料電池システムが一堂に出展する国際展示会。通常毎年1回、2月下旬または3月上旬に東京で開催される。
	JHFC	「水素・燃料電池実証プロジェクト」の英名 Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project の略称。経済産業省のプロジェクトとして、第1期（JHFC1）：2002-2005年度、第2期（JHFC2）：2006-2010年度、第3期（JHFC3）：2011年度-2013年度に実施された。 JHFC1、JHFC2では主に燃料電池自動車の本格的量産と普及の道筋を整えるため、各種原料からの水素製造方法、現実の使用条件下での燃料電池自動車の性能、環境特性、エネルギー総合効率や安全性などに関する基礎データを収集し、そのデータの共有化を進めるための研究・活動を行った。JHFC3では水素を圧縮、貯蔵し、70メガパスカルという高圧で燃料電池自動車やバスに充填する技術・社会実証を行うため、実証ステーションの運営を通じて3年間データを蓄積した。
	KHK 事故事例データベース	高圧ガス保安協会（KHK）が製作し、運営管理している高圧ガス関連事故情報データの一覧表。収集した高圧ガス関連の事故情報データを決まった形式で整理し、一般公開している。
	MPa	圧力の単位。35MPa（メガパスカル）は大気圧の約350倍、70MPa（メガパスカル）は大気圧の約700倍となる。
	OJT	'On-the-Job Training'の略。現場業務を通じた従業員教育のこと。
あ行	エネルギー源のベストミックス	エネルギー政策におけるエネルギー源の多様化の中での最適な選択の比率。
	オフサイト水素ステーション	水素を外部から持ち込んで燃料電池自動車等へ供給する方式の水素ステーション。
	オンサイト水素ステーション	構内で原料から水素を作り出し燃料電池自動車等へ供給する方式の水素ステーション。
か行	カプラー	水素配管の接続・切り離しを簡単かつスピーディに行う継手。 ここでは、水素を充填する際に車と接続する機器のこと。
	危害予防規程	災害発生防止や災害が起きた場合において、事業者が行うべき保安活動について規定したもの。
	業界自主基準	各水素供給事業者が個別に作成する従業員教育・訓練マニュアルに必要な不可欠な項目と内容を定めたもの。
さ行	社会受容性	水素及び燃料電池自動車、水素ステーション等が一般市民の理解を得て受け入れられること。
	商用水素ステーション	実証ではなく、営利を目的として燃料電池自動車等に水素を販売する事業所のこと。
	事象展開図	事故・トラブル事例の分析において、本質を容易に理解できるようにする為、事故に至るシナリオの流れを時系列で整理した図。
	水素圧縮機	車両タンクにできるだけたくさん水素を積めるよう水素を圧縮する装置。
	水素カードル	水素ガスを圧縮して充填した容器を束ね集合させたもの。オフサイト水素ステーションで、さらに圧力を上げて燃料電池自動車等に充填する。
	水素供給インフラ	燃料電池自動車等に水素を充填するために必要な製造・輸送・貯蔵・充填等一式の設備。

	用語	説明
	水素技術センター	商用ステーションの標準的な仕様を備えた設備で、現在山梨県に建設中の設備の名称（2017年11月完成予定）。より一層の商用水素ステーション普及拡大のため、水素ステーション全体または部品・構成機器の一層の安全・安心に資する技術開発、並びに水素ステーションの運転・管理手法の更なる高度化をはかる技術開発等を行う。
	水素供給インフラ	燃料電池自動車等に水素を充填するために必要な製造・輸送・貯蔵・充填等一式の設備。
	水素ステーション集中管理システム	実証水素ステーションの水素の在庫状況や充填情報、稼働情報などのデータをトータルに管理するシステム。2010年より水素供給・利用技術研究組合（HySUT）が構築／運用管理している。
	水素ステーショントレーニングセンター	人材育成を主目的として、車両の誘導／水素充填／水素ステーション設備の運転・点検・メンテナンス等、一連の水素ステーション運営業務を安全に遂行するのに必要な知識、経験を習得させる場所。
	セーフティーデータシステム	事故・トラブル事例の分析・評価方法を検討し、結果をユーザーにアウトプットするスキームを構築した。データ収集／分析・評価／アウトプットの各プロセスが一体化し、PDCAサイクルのように循環するシステムのこと
	セーフティーデータベース	水素ステーションにおける事故、不具合等事例データの一覧表。 NEDO事業の一環として、水素供給・利用技術研究組合（HySUT）が2014年度より製作／運営管理を行っている。
	先行整備水素ステーション	4大都市圏を中心に2015年度までに100箇所程度建設が予定される商用水素ステーション。
た行	蓄圧器	水素ステーション内に設置される水素を蓄えるための容器。
	ディスペンサー	水素ステーションの設備で、燃料電池自動車等に燃料として高圧水素ガスを供給する装置。 筐体、ガス用流量計、バルブ、充填ホース、緊急離脱カップリング、充填ノズル等で構成される。
	電気化学式水素ポンプ	外部から電気エネルギーを加える事により水素を圧縮するポンプ。原理は電解質膜で隔てた電極に外部から電気エネルギーを加える事により水素イオンが電解質膜を移動し、水素を圧縮する。従来のレシプロ式圧縮機と比較して、高効率で水素を圧縮でき、機械的な可動部がない事から優れた耐久性や静音性も期待できる。
	トラブル事例データベース	「セーフティーデータベース」と同義。
な行	燃料電池自動車（FCV）	水素と酸素を化学反応させて電気をつくる「燃料電池」を搭載し、モーターで走行する電気自動車的一种。
	ノズル	水素を車両に供給するための機器。水素を充填する際に車と接続する箇所、セルフ式ガソリンスタンドに例えると実際にドライバーが手にとって給油する部分。
は行	バックカスティング	2025年頃の次世代水素ステーションの姿を想定し、将来どういった技術開発が必要となるかをブレインストーミングにより検討する手法。
	ファーストレスポnder	水素ステーションでの事故、災害等発生時、現場に最初に到着し初期対応を行う緊急対応要員（主に消防警察等）。
	フォアカスティング	これまでに収集した水素ステーションの事故・不具合等事例データの分析結果を基に2025年頃の次世代水素ステーションに必要な技術開発課題を抽出する手法。
	プレクーラー	水素ステーションの設備の一つで、急速充填による車載タンク温度の上昇を防止するため、事前に水素を冷却する設備。熱交換器と冷凍機から構成される。
	保安管理項目	水素ステーション従業員が保安管理業務を行うにあたって、留意すべき項目。
	保安検査	高圧ガス保安法に基づいて、一定の期間（通常1年）ごとに水素ステーションが高圧ガス保安法で定める技術上の基準に適合しているかどうか確認を行うため実施する検査。

	用語	説明												
ら行	ランク区分	<p>水素ステーションで発生した事故、不具合等事例データについて、セーフティーデータベース上、A から E のいずれかに区分している。なお、ランク A、B、C については高圧ガス保安法上の事故に該当する。各ランク区分の定義は以下の通りである。</p> <p>表．ランク区分</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ランク区分</th> <th>定義</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A,B,C</td> <td>事故(高圧ガス保安法上の分類)</td> </tr> <tr> <td>D1</td> <td>「A,B,C」以外のステーション運営に支障を及ぼした故障等</td> </tr> <tr> <td>D2</td> <td>「D1」以外の水素設備の故障</td> </tr> <tr> <td>D3</td> <td>「D1」以外の水素設備以外の機器等の故障</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>ヒヤリ・ハット</td> </tr> </tbody> </table>	ランク区分	定義	A,B,C	事故(高圧ガス保安法上の分類)	D1	「A,B,C」以外のステーション運営に支障を及ぼした故障等	D2	「D1」以外の水素設備の故障	D3	「D1」以外の水素設備以外の機器等の故障	E	ヒヤリ・ハット
ランク区分	定義													
A,B,C	事故(高圧ガス保安法上の分類)													
D1	「A,B,C」以外のステーション運営に支障を及ぼした故障等													
D2	「D1」以外の水素設備の故障													
D3	「D1」以外の水素設備以外の機器等の故障													
E	ヒヤリ・ハット													
わ行	ワンストップポータル	水素エネルギーに関するあらゆる情報を包括したホームページのこと。												

-2：「高圧水素ガス用高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接継手に関する研究開発」

	用語	説明
英数	0.2%耐力	引張試験で0.2%の塑性ひずみが生じる応力。
	2G 溶接	管溶接の溶接姿勢の一種であり、横向き姿勢で溶接を行い、溶接中に管を回転させない。
	5G 溶接	管溶接の溶接姿勢の一種であり、管の軸がほぼ水平な管継手の姿勢で、溶接中に管を回転させない。
	フェライト	鉄鋼材料の組織の一種であり、オーステナイト系ステンレス鋼を溶接すると形成される。少量のフェライトは高温割れの防止に有効だが、多量のフェライトは耐食性や切欠き靱性を低下させるだけでなく耐水素脆化特性を低下させる。
	Hall-Petch の関係	<p>多結晶体の降伏応力と結晶粒径との間に成立する関係式。</p> $\sigma_y = \sigma_0 + k_y(1/d)$ <p>ここで、σ_y：降伏応力、σ_0、k_y：材料定数、d：結晶粒径</p>
	Ni 当量	Ni と同等の効果を表すオーステナイト生成元素（C、Mn、Ni、N）の指数を表したもの。Ni 当量が大きいかほどオーステナイトは安定となり耐水素脆化特性が向上すると考えられている。
あ行	アンダーカット	溶接の止端にそって母材が掘られて、溶接金属が満たされないで溝となって残ったもの。
	応力	物体内部の断面で単位面積当たりに作用する力
	応力拡大係数	き裂先端近傍の応力場の大きさを示す数値。
	オーステナイト	鉄鋼材料の組織の一種であり、723 以上の高温で形成される。Ni や Mn を多く含むことで常温でも安定して存在する。面心立方格子構造（FCC 構造）をしている。
か行	ガスタングステンアーク溶接	アーク溶接の一種であり、アークを発生させる電極にタングステンを使用したもの。
	結晶粒径	金属組織を構成する結晶粒の大きさ。
	結晶粒微細化強化	金属の強化機構の一種であり、結晶粒が微細であるほど強度が向上する。結晶粒径と強度の関係は Hall-Petch の関係によって説明される。
	固溶強化	金属の強化機構の一種であり、炭素や窒素といった原子が結晶中に固溶することで強度が向上する。
さ行	絞り	<p>材料の延性を示す指標の一つであり、引張試験から求められる。計算式は以下である。</p> $\epsilon = (A_0 - A_f)/A_0$ <p>ここで、A_0 は試験部の初期断面積、A_f は破断後のくびれ部の最小断面積である。</p>
	シールドガス	溶接中にアークと熔融金属を覆って、空気が溶接雰囲気内に侵入することを防ぐ目的で使用されるガス。
	水素脆化	材料中または雰囲気中に存在する水素が、金属材料の強度や延性といった機械的性質を低下させる現象。
	全姿勢溶接	下向き、横向き、立向き、上向き溶接全てを含む溶接。
た行	突合せ溶接	母材面の端部同士で接合され、両母材がほぼ同一面となるような溶接。

	用語	説明
	低速度引張試験 (SSRT)	引張試験の一種であり、極めて遅い引張速度で行う試験。試験時間が長時間となるので水素脆化評価に適している。英名である Slow Strain Rate Testing を略して SSRT 試験とも呼ばれる。
	電子線マイクロアナライザ (EPMA)	電子線を対象物に照射することにより発生する特性 X 線の波長と強度から構成元素を分析する装置。
	デンドライト組織	溶融金属が凝固時に生じる金属組織で樹枝形状をしている。
な行	内圧疲労	高圧配管や高圧容器内の圧力変動によって生じる疲労。
	熱影響部	熱によって組織に変化が生じた部分のことで、溶接においては母材と溶接金属の中間部分に当たる。英名の Heat Affected Zone を略して HAZ と呼ばれる。
	ノンフィラー突合せ溶接	フィラーを使用しない突合せ溶接
は行	配管圧力サイクル試験	配管内の媒体圧力を変動させることで行う疲労試験の一種。
	配管破裂試験	配管が破裂 (破壊) するまで配管内の媒体圧力を上昇させる試験。パースト試験とも呼ばれる。
	配管引張試験	配管形状の試験片を用いた引張試験。
	バックシールドガス	溶接中、配管内に流すガスのことでビード表面の酸化を防止するとともにビード裏面が母材と同一面となるよう圧力を調整する。
	ひずみ	物体の単位寸法あたりの変形量。
	ひずみゲージ	ひずみを電気信号として出力する装置。ひずみを測定する箇所に貼り付けつことで使用する。
	ピッカース硬さ	硬さを表す尺度の一つであり、四角錐形状の圧子を試験体に押し込み、そのときにできるくぼみ (圧痕) の面積から計算される。
	引張試験	材料の機械的性質を知る上で最も基本的な試験であり、試験片に単引張負荷をかけて応力とひずみの関係を取得する材料試験。
	引張強さ	引張試験力の最大値を初期断面積で除した値。
	疲労限度	材料に応力振幅を何回繰り返しても破断しない限界応力振幅。鉄鋼材料では、 10^7 回繰り返しても破断しない応力振幅の最大値とする場合が多い。
	疲労破壊	一回の荷重負荷では破壊しない低い応力でも、繰り返し負荷することで生じる破壊現象。
	フィラー	溶接材料のこと。
	平滑材	試験部に切欠きやき裂の無い試験片のこと。
ま行	マルテンサイト	鉄鋼材料の組織の一つであり、オーステナイトから急冷することで得られる。体心立方格子構造 (BCC 構造) をしており、一般に水素脆化の影響を強く受ける。
や行	有限要素法 (FEM)	対象となる物体を有限個の小さな要素に分割してモデル化し、要素全体では複雑な微分方程式を近似的に解く数値解析手法。
	溶接ガス	溶接に使用するガスのこと。本事業ではシールドガスとバックシールドガスのことを指す。
	溶接金属	溶接を施した際に溶接中に溶融して凝固した金属。
	溶接欠陥	変形、アンダーカット、割れ、ブローホール、溶け込み不良といった溶接部の性能、強度に悪影響を及ぼす欠陥。
	溶接材料	溶接金属を作るため、母材の溶融部に溶かして加えられる材料。
	溶接姿勢	溶接作業 (本事業では自動溶接機のタングステン電極) と溶接部の位置関係のことであり、下向き溶接、横向き溶接、立向き溶接、下向き溶接の 4 種類がある。
	溶接入熱	アークから投入される単位長さ当たりの熱量。 $H = (E \cdot I / v) \times 60$ ここで、H : 溶接入熱 (J/mm)、E : アーク電圧 (V)、I : 溶接電流 (A)、v : 溶接速度 (mm/min)
	溶接ビード	一回の溶接で形成される溶接金属。
	溶接部	溶接金属部と熱影響部を合わせた部分。

	用語	説明
	溶接ヘッド	溶接機器の一部であり、溶接箇所に取り付けアークを発生させる。
	余盛り	溶接金属の一部であり、母材表面から見て盛り上がった部分。
ら行	ロードセル	荷重を電気信号に変換する装置。

-3：「水素ステーションにおける雷被害対応技術の研究開発」

	用語	説明
英数	CNGステーション	高圧天然ガス（Compressed Natural Gas：CNG）を燃料とする自動車に燃料となるCNGを供給するための施設。
	C極	接地抵抗測定器やインパルス発生器を使用し測定をおこなう場合に設ける電流を流す為の補助接地極。
	C種接地	保安用接地のうち、300Vを超える低圧用鉄台及び金属製外箱に施される接地。
	D種接地	保安用接地のうち、300V以下の低圧用鉄台及び金属製外箱に施される接地。
	IEC規格	国際電気標準会議で制定される規格。
	P極	接地抵抗測定器やインパルス発生器を用いて測定をおこなう場合に設ける大地に誘起する電圧を感知する為の補助接地極。
あ行	インパルス発生器	雷サージを人工的に発生させるための装置。
	環境係数(C_E)	IEC規格で規定される、当該対象物に対して落雷の発生しやすさを評価する際の指数の一つで、対象物の周囲環境に依存するもの。落雷を遮蔽するものがない場合は大きく、高い建物等で囲まれた場合は小さくなる。
	キャノピー	ガソリンや水素などを自動車に充填する設備の上部にある屋根部分。
	収集面積(A_E)	IEC規格で規定される、当該対象物に対して落雷の発生しやすさを評価する際の指数の一つで、建物の高さの3倍の水平投影面積。
	接地線	機器筐体等と接地極とを接続する導体。
	零電位線	接地抵抗測定やインパルス発生器を使用する場合に設ける電圧用の補助接地極とインパルス発生器間の導体。
	想定雷サージ数(A_M)	当該対象物に1年間に生じる雷サージの数。
	想定落雷数(N_D)	当該対象物に1年間に生じる落雷の数。
	ディスペンサー	燃料電池自動車に燃料となる高圧水素ガスを供給する装置で、筐体、ガス用流量計、バルブ、充填ホース、緊急離脱カップリング、充填カップリングで構成される。
	爆発下限値	可燃性ガスの燃焼反応が連鎖的に伝播し、爆発を起こす濃度の下限値。水素の大気中における爆発下限値は4%。
	プレクーラー	燃料電池自動車に燃料となる水素ガスを短時間で高い圧力まで圧縮すると、燃料タンク内の温度が上昇し、タンク構成材料の許容温度85℃を超える危険性があることから、水素の充填時にタンク内の温度が85℃を超える事が無いよう、予め水素を冷却する設備で、熱交換器と冷凍機から構成される。
	ベントスタック	水素を大気中に安全に放出するための煙突状の設備。
	防爆バリア	電源線や信号線におけるエネルギーを安全なレベルに制限し、爆発の発生を防止する機器。
	雷害対策	落雷や雷サージから人体や機器を保護するための対策。
	雷サージ	雷電流によって抵抗結合、誘導結合及び静電結合によって生じる過渡的な電流や電圧。
	雷サージ侵入経路	電源線や信号・通信線など雷サージを建物や機器の内部へ引き込む導体の経路。
	雷保護システム	建築物等への落雷による物的損傷及び生物への傷害を低減するために使用するシステム全体。
	落雷密度(N_G)	IEC規格で規定される、当該対象物に対して落雷の発生しやすさを評価する際の指数の一つで、対象物の位置を含む1km ² 内に1年間に発生する落雷数。

-4：「水晶振動子を利用した信頼性向上が期待できる水素センサの研究開発」

	用語	説明
英数	LTCC	低温同時焼成セラミックス（Low Temperature Co-fired Ceramics）の略称。主に積層セラミック基板の基材として利用され、耐熱性、耐湿性、高周波特性に優れることが特徴である。
	MEMS	Micro Electro Mechanical Systems（微小電気機械システム）の略称。ミクロンスケールの機構を有したセンサ・デバイスの総称であり、半導体製造技術を利用して製造され可動部や立体構造を有することが特徴である。
	Q 値	品質係数（Quality factor）の略称。振動の状態を表す無次元数であり、1 周期の間に系に蓄積されたエネルギーを系から散逸するエネルギーで除したもの。値が大きいかほど振動の減衰が小さく、安定であることを意味する。電気分野においては、共振回路の共振ピークの鋭さを表す指標。
か行	ガス選択性	ガスセンサにおいて、測定対象ガス種以外のガスに対するセンサの反応性。対象ガスに対するセンサの感度と他のガスに対する感度の比で表される。
	環境補償	各種センサにおいて、温度や湿度など測定環境の変化による出力の変動を補正する機能のこと。
さ行	水晶振動子	水晶の圧電効果を利用して周波数安定性の高い発振が得られる受動部品の一つ。コンピュータやウォッチ時計のクロック源として利用される。
	接触燃焼式センサ	白金などの触媒を有し、触媒上での酸化反応における発熱を温度センサによって検出するセンサ。
た行	定置式ガス検知警報器	鉱山、工場、船舶などにおいて可燃性ガスの存在を検知し、警報を発する固定式のガス警報機。
は行	発振回路	一定周期のクロックや正弦波信号を作るための電子回路。RC 発振回路や LC 発振回路に対してセラミック発振子や水晶振動子を用いることで高い周波数安定性を得ることができる。
	ハンディー式ガス検知器	携帯形、或いはハンディー式ガス検知器とも呼ばれる。可燃性ガスの存在の有無、或いはその濃度を検知することができる可搬型のガスセンサ。設備の保守点検などに用いられる。

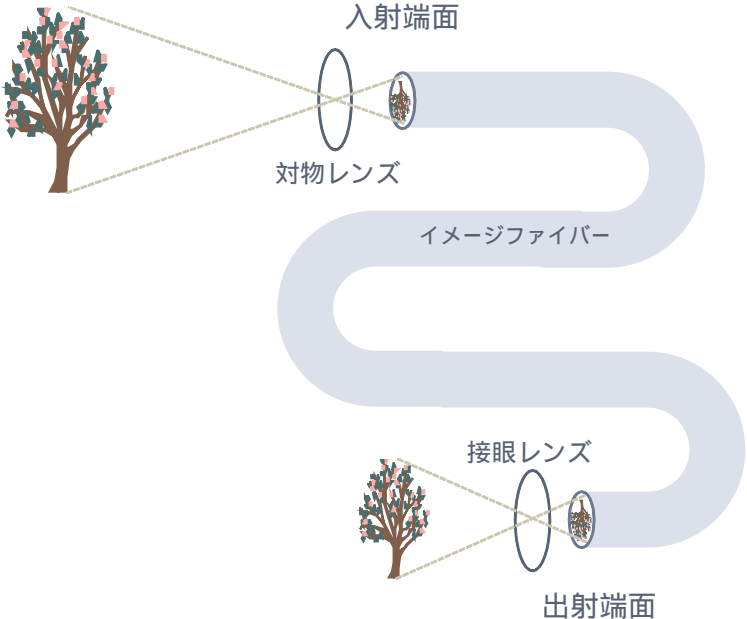
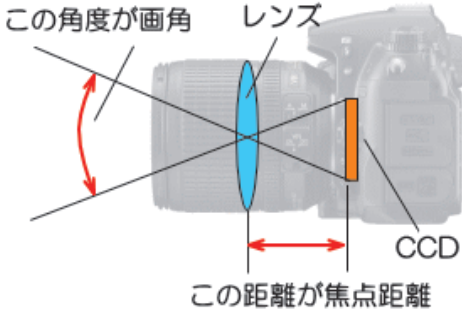
-5：「光学式水素ガスセンサおよび水素ガスリークディテクタの研究開発」

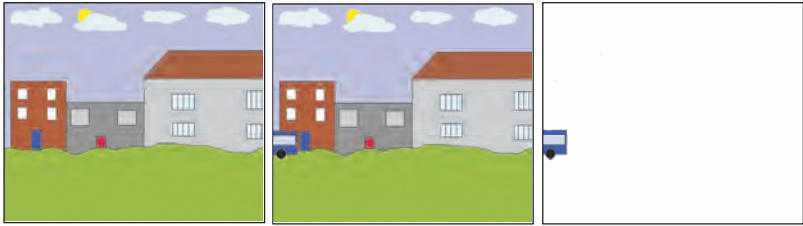
	用語	説明
英数	CARS 法： コヒーレント反ストークスラマン散乱法	物質にレーザ光とストークスラマン散乱光を同時に照射することにより発生する測定対象分子の反ストークスラマン散乱光を検出し、定量を行う手法。励起レーザ波長よりも短波長側に発生する反ストークスラマン散乱光を検出するため、レーザ誘起蛍光の影響を受けることなく測定を行うことが可能である。通常のラマン散乱が分子密度に比例するのに対し、CARS の場合は分子密度の 2 乗に比例した信号が得られる。
	ICP-RIE	電極のない誘導放電によってプラズマを作りエッチングする手法。誘導結合放電プラズマ反応性イオンエッチング（Inductively Coupled Plasma Reactive Ion Etching：ICP-RIE）と呼ばれ、ドライエッチングに分類される微細加工技術。高密度で微細なパターンのエッチングに有効である。
	MEMS（メムス）	Micro Electro Mechanical Systems の略であり、機械部品、センサ、アクチュエータ、電子回路等を一つのシリコン基板、ガラス基板、有機材料基板などの上に集積化した、ミクロンオーダーの構造をもつマイクロデバイス。
	Si（シリコン）受光素子	PD(Photodiode)や APD(Avalanche photodiode)に代表される光半導体受光素子。紫外線から近赤外線に感度を有する。光電管等の検出器に比べ、一般に感度は劣るものの、長寿命・小型・低コストである。
	SI（ステップインデックス）マルチモードファイバ	コアとクラッドの屈折率が異なるマルチモード光ファイバ。長距離伝送には不向きであるが、高エネルギー耐性が比較的高く、低コストである。
か行	グレーティング回折効率分散	格子状等のパターンにより生じる光の回折を利用して、多波長の光が混在した光を波長毎に分ける光学素子。回折格子。 グレーティングに入射する光のうち、特定次数の回折光に回折される光の割合を 回折効率 といい、グレーティングに異なる波長の光が入射した際の、回折角の変化を 分散 という。

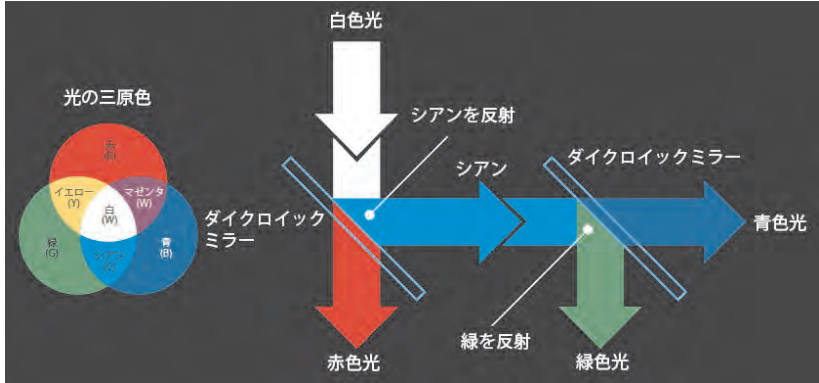
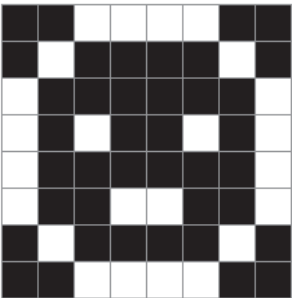
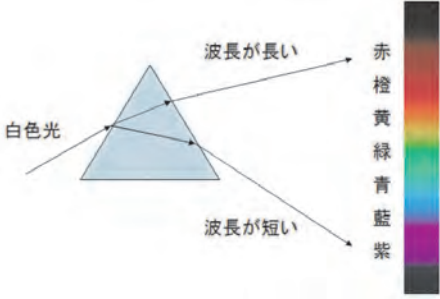
	用語	説明
	光電子増倍管	光電効果(物質の表面にある電子が光子のエネルギーを受けて物質から放出される現象)を利用して光エネルギーを電気エネルギーに変換する光電管に電流増幅機能を付加した高感度光検出器。フォトマルまたはPMTとも呼ばれる。先端頂部へ光が入射するヘッドオン型と、側方から光が入射するサイドオン型に大別される。
さ行	シリコンオプティカルベンチ： SiOB	マイクロマシニングによりSi基板上にV溝等のガイド構造が施されたデバイス。光ファイバやマイクロレンズ等の超小型光学部品の高精度集積配置に用いられる。
は行	光スイッチ	光信号の光路切替えや分岐を電気信号へ変換せず、光のまま行うデバイス。
	ファウンドリ	半導体チップやMEMSの生産受託を専門とする企業。
ま行	モノクロメータ	入射光をグレーティング等により波長分散させ、ある波長域の光のみを取り出す分光装置。
や行	誘導ラマン散乱分光法	誘導ラマン散乱により発生したラマン散乱光を検出することにより分子種の特定と定量を行う光学的計測手法。
ら行	ラマン散乱 後方ラマン散乱 ストークスラマン散乱 反ストークスラマン散乱 誘導ラマン散乱	<p>物質に光を照射すると、入射光の周波数と異なる周波数の光が散乱する現象。この周波数の差をラマンシフトと呼ぶ。ラマンシフトは分子の内部エネルギーレベルで決まるため分子毎に固有の値を示す。</p> <p>入射光に対し低周波数側にシフトした散乱をストークスラマン散乱、高周波数側にシフトした散乱を反ストークスラマン散乱といい、励起レーザー光軸上における光源側への散乱を後方ラマン散乱という。</p> <p>ラマン散乱光は物質中においてランダムに生じるが、励起レーザー光強度がある閾値を超えると、誘導放出(励起された分子がエネルギーを放出する際に、外部から入射した光に誘導され、同じ波長、同じ方向、同じ位相で光を放出する現象)によりラマン散乱が促進され、急激に成長する。これを誘導ラマン散乱という。CARS法において、ラマンセルから生じるストークス光の発生と、レーザー光とストークス光の照射による反ストークス光発生は誘導ラマン散乱によるものである。</p>
	レーザー誘起蛍光	レーザーの照射により励起された分子が、基底状態に遷移する際に放出される光。一般に、励起レーザー光に対し長波長側に生じ、ラマン散乱光と比較して高強度、長寿命である。
	レーザーラマン分光法	<p>光源にレーザーを用い、物質を構成する分子から生じるラマン散乱光を検出することにより、分子種の特定と定量を行う光学的計測手法。</p> <p>ラマン散乱光は、励起レーザー光と分子の内部エネルギーとの相互作用を経て生じる散乱光の一種であり、励起光と異なる波長に散乱する。励起光波長に対するラマン散乱光波長のシフト量は分子毎に特定の値を有し、散乱光強度は分子密度に比例するため、物質の同定と定量が可能である。</p>

-6：「水素火炎可視化機能を有する監視システムの研究開発」

	用語	説明																								
英数	CCD カメラ	光を電気信号に変換する電荷結合素子（CCD）を利用したカメラ。CCD センサの表面にはフォトダイオード（光検出器として動作する半導体）が規則正しく高密度に配列されており、フォトダイオードの各々が画像を構成する一つの部分の光を電気信号に変換し、この画素単位の情報が集まって一枚の写真としての画像情報を構成する。																								
	InGaAs	<p>インジウム・ガリウム・ヒ素。光電素子に InGaAs を用いるフォトダイオードは、900～1700nm の波長帯域で優れた感度特性を有し、光通信や近赤外波長の光検出用途に適している。</p> <table border="1"> <caption>各種受光素子の感度帯</caption> <thead> <tr> <th>波長</th> <th>200 nm</th> <th>400 nm</th> <th>600 nm</th> <th>800 nm</th> <th>1 μm</th> <th>2 μm</th> <th>4 μm</th> <th>6 μm</th> <th>8 μm</th> <th>10 μm</th> <th>20 μm</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>区分</td> <td colspan="2">紫外 (UV)</td> <td colspan="2">可視 (VIS)</td> <td colspan="7">赤外 (IR)</td> </tr> </tbody> </table>	波長	200 nm	400 nm	600 nm	800 nm	1 μm	2 μm	4 μm	6 μm	8 μm	10 μm	20 μm	区分	紫外 (UV)		可視 (VIS)		赤外 (IR)						
波長	200 nm	400 nm	600 nm	800 nm	1 μm	2 μm	4 μm	6 μm	8 μm	10 μm	20 μm															
区分	紫外 (UV)		可視 (VIS)		赤外 (IR)																					
	OH ラジカル	ヒドロキシ基（水酸基）に対応するラジカルで、いわゆる活性酸素と呼ばれる分子種の中では最も反応性に富み、最も酸化力が強い。過酸化水素（H ₂ O ₂ ）に紫外線を照射することにより生成する。																								
あ行	イメージ・インテンシファイアー	<p>微弱な光や X 線、粒子線などがつくる像の強度を増幅する装置（光電子増倍管）で、光電面上に増幅すべき像（可視光以外の像は蛍光物質によって可視光に変換）をつくり、光電面から放出される光電子を加速して電子レンズで蛍光面に結像させる。</p>																								

	用語	説明
	イメージファイバー	<p>画像伝送が可能なファイバーで、多数の光ファイバー素線を両端で正しく対応するように一本のファイバとして束ねたもの。片端から入射した画像をそのまま他端まで伝送することができる。</p> 
	色収差	<p>光は波長（つまり“色”）によって屈折率が異なり、同じレンズであっても結像位置が前後する。光学設計の目的は色収差を低減すること。</p>
	遠赤外線	<p>可視光線の赤色より波長が長く、電波より波長の短い電磁波であり、波長ではおよそ $0.7\mu\text{m} \sim 1\text{mm}$ に亘って分布し、波長によって近赤外線（$0.7 \sim 2.5\mu\text{m}$）、中赤外線（$2.5 \sim 4\mu\text{m}$）、遠赤外線（$4 \sim 1000\mu\text{m}$）に分けられる。赤外線は大気に吸収され、その一部が地上に届く。水は遠赤外線よりも近赤外線を強く吸収する。</p>
か行	画角	<p>レンズが写す画像のうち、撮像素子に写る範囲を角度で表したもので、視野角とも言われる。</p> 
	画像処理	<p>カメラやスキャナーなどから得た画像を加工して、所要の画像情報を抽出する手法。</p>
	近赤外光照射器付侵入監視装置	<p>例えば、近赤外の投光 LED と特殊 CCD から構成される。投光 LED から照射された光が対象物に反射して返ってくるまでの到達時間を画素ごとに計測する。画像情報と重ね合わせて対象画像と対象までの距離を画素ごとに出力することにより、3次元距離画像をリアルタイムに取得することができる。</p>
	検漏液	<p>ガス漏洩箇所を特定するために、試験体表面に塗布する界面活性剤などを含む溶液（発泡液）のこと。ガス漏洩を発泡現象で検出する。</p> <p>簡易的には石鹼水などの家庭用洗剤で代替することが多いが、条件によっては発泡しないことがあるほか、試験体の材質によっては応力腐食割れなどの発生原因となる。</p> <p>【参考】JIS Z 2329「ニッケル基金属、オーステナイト系ステンレス鋼、チタン合金などの試験体においては、低硫黄、低ハロゲン発泡液を使用することが望ましい。一般の家庭用洗剤は使用してはならない」</p>

	用語	説明
	光学バンドパスフィルタ	入射光のうち、所定の特定波長帯の光のみを透過し、それ以外の不要な光を透過しない光学素子。透過しない光を反射することにより光を二方向に分けることを目的とする素子を“ビームスプリター”と呼ばれる。
さ行	撮像素子	レンズを通して入射した光を電気信号に変換する電子部品。光情報を記録可能な形式に変換するという点で、フィルム式カメラ（銀塩カメラ）のフィルムに相当する機能の一部を果たしている。撮像素子の表面には無数の受光素子が隙間なく並んでおり、レンズを通じて光を感知した受光素子は光を電気に変換する。撮像素子そのものはモノクロであり、原色フィルムや補色フィルムなどのカラーフィルタを通すことによって色彩を再現することができる。撮像素子の代表が CCD イメージセンサや CMOS イメージセンサ。
	差分	対象画像と事前に取得しておいた画像を比較して、事前に取得した画像には存在しない領域を抽出する画像処理。事前に取得した画像を背景画像、背景画像に存在しない物体が占める領域を前景領域、それ以外を背景領域と呼ぶ。手法によっては、事前に複数枚の画像を取得して背景モデルを構築し、その背景モデルと新たに観測された画像の比較により前景領域と背景領域を分割する場合もある。 
	サーモカメラ	熱分布を画像として表示する装置の一般名称。物体表面から放出される赤外線を計測し、それを温度に変換する方法により熱の分布図を得る。
	紫外線	波長が 10 - 400nm の電磁波。赤外線が熱的な作用を及ぼすことが多いのに対し、紫外線は化学的な作用が著しい。火災検知器には紫外線が用いられる。物質は燃焼する際に特有のスペクトルを放出するが、ほとんどの物質は紫外線領域と赤外線領域両者に発光スペクトルを持つ。水素が燃える炎は 185 - 260 nm の範囲で強く、赤外線領域で弱く発光が存在する。一方、石炭の炎は非常に弱い紫外線と非常に強い赤外線の波長の光を放出する。このように火災検知器は、紫外線と赤外線両者の検知器を備えた方が、紫外線だけの検知器より信頼性が向上する。
	スペクトル	複雑な情報や信号をその成分に分解し、当該成分ごとの大小に従って配列したものであり、原子や分子がエネルギーの高い励起状態から低い状態へ遷移するときに放射する電磁波のスペクトルの総称が発光スペクトル。

	用語	説明																																																																
た行	ダイクロイックミラー	<p>特殊な光学素材を用いて作成された鏡の一種で、特定波長域の光を反射し、その他の波長域の光を透過するもので、近紫外線から近赤外線領域を対象とするものが存在する。多層光学機能反射鏡や二色鏡とも呼ばれる。誘電体コーティングを用いていることを強調する場合には、誘電体鏡、誘電体多層膜鏡などと呼ばれることがある。なお、プリズムを用いているものはダイクロイックプリズムと呼ばれる。</p>  <p style="text-align: center;">【ダイクロイックミラー（2枚）による光の色分解】</p>																																																																
な行	二値化	<p>濃淡のある画像を白と黒の2 階調に変換する処理。ある閾値を定めて、例えば、各要素ごとの値が閾値を上回っていれば「白」、下回っていれば「黒」に置き換える。</p> <table border="1" data-bbox="651 904 944 1200"> <tr><td>3</td><td>54</td><td>118</td><td>137</td><td>149</td><td>195</td><td>15</td><td>54</td></tr> <tr><td>75</td><td>149</td><td>15</td><td>0</td><td>75</td><td>49</td><td>124</td><td>34</td></tr> <tr><td>124</td><td>54</td><td>34</td><td>66</td><td>91</td><td>86</td><td>54</td><td>118</td></tr> <tr><td>151</td><td>66</td><td>137</td><td>86</td><td>49</td><td>100</td><td>26</td><td>214</td></tr> <tr><td>179</td><td>86</td><td>91</td><td>26</td><td>3</td><td>75</td><td>0</td><td>149</td></tr> <tr><td>100</td><td>0</td><td>34</td><td>179</td><td>151</td><td>91</td><td>54</td><td>100</td></tr> <tr><td>49</td><td>237</td><td>86</td><td>75</td><td>54</td><td>3</td><td>179</td><td>26</td></tr> <tr><td>66</td><td>15</td><td>151</td><td>118</td><td>137</td><td>124</td><td>49</td><td>86</td></tr> </table>  <p style="text-align: center;">【各画素の値】 【閾値 "100" で二値化した画像】</p>	3	54	118	137	149	195	15	54	75	149	15	0	75	49	124	34	124	54	34	66	91	86	54	118	151	66	137	86	49	100	26	214	179	86	91	26	3	75	0	149	100	0	34	179	151	91	54	100	49	237	86	75	54	3	179	26	66	15	151	118	137	124	49	86
3	54	118	137	149	195	15	54																																																											
75	149	15	0	75	49	124	34																																																											
124	54	34	66	91	86	54	118																																																											
151	66	137	86	49	100	26	214																																																											
179	86	91	26	3	75	0	149																																																											
100	0	34	179	151	91	54	100																																																											
49	237	86	75	54	3	179	26																																																											
66	15	151	118	137	124	49	86																																																											
は行	輻射熱	<p>赤外線熱線によって直接伝わる熱。高温の固体表面から低温の固体表面に、その間の空気その他の気体の存在に関係なく、直接電磁波の形で伝わる伝わり方を輻射といい、その熱を熱輻射という。太陽の自然な暖かさや、薪ストーブの熱なども輻射熱によるもの。</p>																																																																
	分光	<p>さまざまな波長が含まれている光を波長成分に分けること。プリズムは分光の一例であり、プリズム内の波長による屈折率の差を利用して光を分光する。波長が短くなるに従い屈折率が大きく、光が曲がる角度(屈折角)が大きくなる。この屈折角の差により分光する。</p> 																																																																
	分光感度特性	<p>入射光の波長と光電流（光電感度）の関係。受光感度、量子効率などで表現する。受光感度とは、入射光量をワット（W）、光電流をアンペア（A）で表した時の両者の比率を指す。量子効率は、光電流として取り出される電子、あるいは正孔の数を入射光子数で除した値。</p>																																																																

用語	説明																																	
ホットミラー	<p>赤外線のみを反射させ、可視光線を透過させる多層膜を施した鏡で、遮熱に用いられることが多い。</p> <p>コールドミラー</p>																																	
防爆	<p>国際標準用語の "Type of protection," と同意語であり、「防爆性能を構築する」との意味合いを有し、「電気機器の防爆構造」を指すものではない。つまり、可燃性ガス・蒸気の爆発性雰囲気発生頻度と電機火花が点火源となる確率を極力小さくすること。</p> <p>[危険場所の種別] 爆発性雰囲気の存在する時間と頻度に応じて危険場所が3種類 (Zone 0、Zone 1、Zone 2) に分類される。</p> <p>[防爆構造の種類] ・本質安全防爆・耐圧防爆・内圧防爆・安全増防爆・油注防爆</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">危険箇所</th> <th colspan="5">防爆構造</th> <th rowspan="2">危険度 (大) ↑ ↓ (小) 危険度</th> </tr> <tr> <th>本質安全 防 爆</th> <th>耐圧防爆</th> <th>内圧防爆</th> <th>安全増 防 爆</th> <th>油注防爆</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Zone 0</td> <td>○</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Zone 1</td> <td>○</td> <td>△</td> <td>△</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Zone 2</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	危険箇所	防爆構造					危険度 (大) ↑ ↓ (小) 危険度	本質安全 防 爆	耐圧防爆	内圧防爆	安全増 防 爆	油注防爆	Zone 0	○						Zone 1	○	△	△				Zone 2	○	○	○	○	○	
危険箇所	防爆構造					危険度 (大) ↑ ↓ (小) 危険度																												
	本質安全 防 爆	耐圧防爆	内圧防爆	安全増 防 爆	油注防爆																													
Zone 0	○																																	
Zone 1	○	△	△																															
Zone 2	○	○	○	○	○																													
ら行	ラジカル	<p>不対電子を有する原子や分子、或いはイオンを指す。通常、原子や分子の軌道電子は2個ずつ対になって存在し、安定な物質やイオンを形成するが、ここに熱や光などの形でエネルギーが加えられると、電子が励起されて移動したり、化学結合が二者に均一に解裂することにより、不対電子が生じ、ラジカルが発生する。反応性が高いため、生成すると直ぐに他の原子や分子との間で酸化・還元反応を起こして安定な分子やイオンとなる。</p>																																

-7: 「電気化学式水素ポンプに係る研究開発」

用語	説明	
英数	CCM	触媒層付き電解質膜。(Catalyst Coated Membrane)
	FCV	燃料電池自動車(英:Fuel Cell Vehicle、FCV)とは、水素を燃料とする燃料電池で発電し電動機の動力で走る車を指す。
	JHFC	<p>「水素・燃料電池実証プロジェクト」の英名 Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project の略称。経済産業省のプロジェクトとして、第1期(JHFC1):2002-2005年度、第2期(JHFC2):2006-2010年度、第3期(JHFC3):2011年度-2013年度に実施された。</p> <p>JHFC1、JHFC2では主に燃料電池自動車の本格的量産と普及の道筋を整えるため、各種原料からの水素製造方法、現実の使用条件下での燃料電池自動車の性能、環境特性、エネルギー総合効率や安全性などに関する基礎データを収集し、そのデータの共有化を進めるための研究・活動を行った。JHFC3では水素を圧縮、貯蔵し、70メガパスカルという高压で燃料電池自動車やバスに充填する技術・社会実証を行うため、実証ステーションの運営を通じて3年間データを蓄積した。</p>
	MPa	圧力の単位。35MPa(メガパスカル)は大気圧の約350倍、70MPa(メガパスカル)は大気圧の約700倍となる。
	Nafion	DuPont社のフッ素系電解質膜の商標

	用語	説明
あ行	オフサイト水素ステーション	水素を外部から持ち込んで燃料電池自動車等へ供給する方式の水素ステーション。
	オンサイト水素ステーション	構内で原料から水素を作り出し燃料電池自動車等へ供給する方式の水素ステーション。
か行	機械式圧縮機	スクリー、往復動ピストン、薄い金属板の撓みなどの摺動部を利用する容積型圧縮機の総称
た行	電気化学式水素ポンプ または電気化学式水素圧縮機	外部から電気エネルギーを加える事により水素を圧縮するポンプ。原理は電解質膜で隔てた電極に外部から電気エネルギーを加える事により水素イオンが電解質膜を移動し、水素を圧縮する。従来のレシプロ式圧縮機と比較して、高効率で水素を圧縮でき、機械的な可動部がない事から優れた耐久性や静音性も期待できる。
	電解質膜	電子を通さずイオンのみを通す性質の膜で、負極と正極が電氣的にショートしない絶縁体のような性質を持つ膜のこと。
は行	プロトン伝導性	電解質膜の水素イオン（プロトン）の透過しやすさをあらわすパラメータ。
	膜電極接合体（MEA）	電解質膜の両側に電極（触媒層、ガス拡散層）を積層した接合体。（Membrane Electrode Assembly, MEA）

-8：「水素社会構築に向けた社会受容性調査」

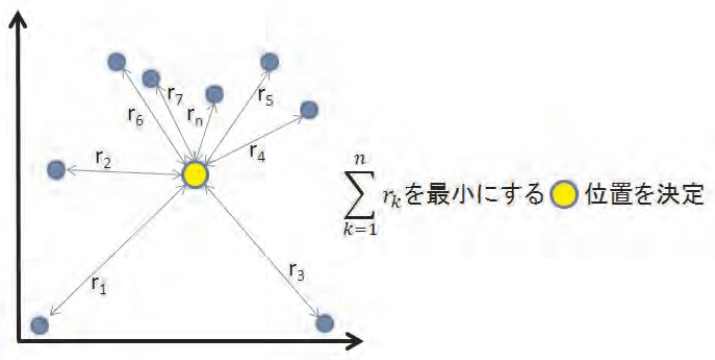
	用語	説明
あ行	エリアサンプリング	アンケート調査のサンプリング方法の1つで、住宅地図を用いて、ランダムに抽出した1地点から等間隔に世帯を訪問し、調査対象者を探す方法。無作為抽出を行っているためサンプルの偏りは低いと考えられるが、期間が長くなる、母集団がないため回収率が明確にはわからない、などの問題もある。
た行	テキストマイニング	印刷出版物や、インターネットにおいて発せられた言葉による情報などをデジタルデータとして収集し、そのデータの中で、一定の言葉の発生頻度や前後の言葉との関連などを分析する方法。

-9：「実環境下における安全運用技術の研究開発」

	用語	説明
英数	FCV	燃料電池自動車（Fuel Cell Vehicle）のこと。水素を燃料とし、搭載した燃料電池で発電し電動機の動力で走る車を指す。
	KHK	高圧ガス保安法第1条に明記されている「高圧ガス保安協会」（協会）の略称。
	MPa	圧力の単位。87.5MPaは大気圧の約875倍。
	Nm ³	温度0、圧力1気圧の状態（標準状態）を、での体積。「Nm ³ 」の中で「N」は標準状態であることを意味する。
あ行	圧縮機	車両タンクにできるだけたくさん水素を積めるよう水素を圧縮する装置。
	一般高圧ガス保安規則	高圧ガス保安法に基づいて、高圧ガスに関する保安について規定する規則。
	一般高圧ガス保安規則7条3	圧縮水素スタンドを建設するために定めた一般高圧ガス保安法一般則第7条の3に則った水素ステーション。
	オフサイト方式	水素ステーションの敷地外で製造した水素を水素ステーション内に運び込む方式の水素ステーションのこと。
か行	過充填	燃料電池車の燃料である水素を格納する高圧容器に規定量以上の水素を充填すること。温度条件によっては、最高充填圧力を超える可能性があるため、防止する必要がある。
	キャノピー	FCVに充填する設備の上部にある屋根部分。
さ行	差圧充填	水素ステーションで水素をFCVへ充填する方法の一種。FCVの充填圧力以上の高圧バンクから圧力差を利用して、FCVへ充填する方法。充填プロトコルでは水素充填する際の圧力上昇率が定められているため、調節弁等により充填流量を制御する。

	用語	説明
	充填プロトコル	安全で効率的に車両へ充填するための手順。停止圧力や充填速度、充填温度管理等を定めたもの。
	商用水素ステーション	実証ではなく、営利を目的として燃料電池自動車等に水素を販売する事業所のこと。
	水素カードル	小型容器（ボンベ）を20本、30本とまとめて固定された集合容器に水素を充填したもの。
	水素ステーション	燃料電池自動車（FCV）に燃料水素を供給する施設で圧縮水素スタンドと同義。
	セーフティーデータベース	水素ステーションにおける事故、不具合等事例データの一覧表。
た行	タイプ	金属ライナーを使用し、その全体（胴部と鏡部）を繊維で補強した複合容器。
	タンクカテゴリー	車両の燃料装置用容器容量別で分けられる分類のことJPEC-S 0003（2016）の十円圧力区分がH70の場合、2-4kg、4-7kg、7-10kgに分類される。
	蓄圧器	水素ステーションで、圧縮水素を送り出し、又は受け入れるために用いられる貯槽のこと。
	直充填	水素ステーションで水素をFCVへ充填する方法の一種。圧縮機から蓄圧器を介さず直接FCVへ充填する方法。
	通信充填	水素ステーションでの充填に際して、水素・燃料電池自動車の燃料装置用容器並びに充填された燃料等に関する諸情報を、当該車両から水素ステーションへ通信する機能を、車両及び水素ステーションの双方が有している場合に、その機能を活用して行う充填をいう
	ディスペンサー	水素を車両に充填するための設備。
	トレーニングセンター	人材育成を主目的として、車両の誘導 / 水素充填 / 水素ステーション設備の運転・点検・メンテナンス等、一連の水素ステーション運営業務を安全に遂行するのに必要な知識、経験を習得させる場所。
は行	ブレッカー	水素を高圧の蓄圧器から低圧の車載容器に充填時に断熱膨張により水素ガス温度が上昇する。車載容器で使用する複合容器材料（CFRP）の許容温度以下にするための冷却設備を言う。通常ブレッカー設備の出口温度は-40としている。
	保安設備	水素ステーションの安全を維持するための設備。地震計、ガス漏洩検知センサ、火災検知センサ、緊急離脱カブラ等がある。
ま行	マスターメーター法	トレーサビリティが確保された流量計であるマスターメーターを用いて、ディスペンサーの計量評価を行う方法のこと。

-10：「四大都市圏から全国普及に向けた水素ネットワークの技術課題に関する検討」

	用語	説明
英数	CCS	二酸化炭素回収・貯留技術（Carbon dioxide Capture and Storage）：工場や発電所等から排出される二酸化炭素を大気放散する前に回収し、地下へ貯留する技術。（経済産業省 HP から引用）
	FCV	FCV（Fuel Cell Vehicle（燃料電池自動車））：水素と酸素を化学反応させて電気をつくる「燃料電池」を搭載し、モーターで走行する車。（トヨタ自動車 HP から引用）
	JC08 モード	2011 年より導入された新たな燃費測定方法（それまでは 10・15（じゅうじゅうご）モードを使用）。JC08 モードでは、実際の走行と同様に細かい速度変化で運転するとともに、エンジンが暖まった状態だけでなく、冷えた状態からスタートする測定が加わった。（国土交通省 HP の記載を要約）
	MIRAI	トヨタ自動車 が 2014 年の 12 月に発売した世界初の量産型燃料電池自動車。（水素エネルギーナビ HP から引用）
	p メディアン問題	<p>点集合と枝集合より構成されるグラフ内の点または枝上、または空間内の任意の点に顧客集合、施設の配置可能地点が与えられており、さらに選択する施設の個数(p)が与えられたとき、顧客から最も近い施設への距離の総和を最小化するように施設を配置する問題。（OR 辞典から引用）</p>  <p>図 p メディアン問題による解のイメージ（p=1 の場合） （当グループで作成）</p>
あ行	圧縮機	水素を圧縮する設備。水素ステーションの構成によっては、ひとつの圧縮機で一気に充填のための最終圧力まで圧縮する場合や、圧縮機を複数台使って、段階的に最終圧力まで上昇させる場合がある。（水素エネルギーナビ HP から引用）
	移動式水素ステーション	大型のトレーラーに水素供給設備を設置して、移動できる水素ステーション。工場や他のオンサイト水素ステーションで製造した水素を調達し運んでくる。（水素エネルギーナビ HP から引用）
	オンサイト方式	その場で水素を製造している水素ステーション。都市ガスや LPG 等を原料に水素を製造したり、電気分解して水素を製造している。最近では、再生可能エネルギー由来電力を用いて水素を製造する水素ステーションも設置されている。（水素エネルギーナビ HP から引用）
	オフサイト方式	ガソリンスタンドのように他から水素を持ってきている水素ステーション。既存の製油所や工業プラントで大規模に製造されている水素の一部を、水素ステーションに運んでくる。（水素エネルギーナビ HP から引用）
か行	交通手段分担率	全体の移動に対するある交通手段を利用した移動の割合。（国土交通省 HP の記載を要約）
	（経済）在庫モデル	需要が確率的に変動するときに、発注費、在庫管理費、品切れ損失費用、などの種々コストを考慮した上で最適な製品発注（補充）量または発注ルールを求めるための確率的モデル。定期発注方式や定量発注方式、(s, S) 政策などが知られている。（OR 辞典から引用）
さ行	再生可能エネルギー	法律で「エネルギー源として永続的に利用することができると認められるもの」として、太陽光、風力、水力、地熱、太陽熱、大気中の熱その他の自然界に存する熱、バイオマスが規定されている。（経済産業省 HP から引用）

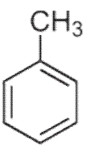
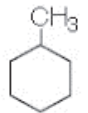
	用語	説明
	数理計画法	ある制約条件のもとで、目的とする量や関数を最大または最小にする条件を求める数学的方法。線形計画法・非線形計画法・動的計画法など。（広辞苑から引用）
た行	蓄圧器	水素を蓄える設備。水素ステーションの構成によっては、蓄圧する圧力が異なる蓄圧器を複数設置している場合がある(段階的に圧力を上げている場合)。（水素エネルギーナビ HP から引用）
	地理情報システム	GIS（Geographic Information System）：地理的位置を手がかりに、位置に関する情報を持ったデータ（空間データ）を総合的に管理・加工し、視覚的に表示し、高度な分析や迅速な判断を可能にする技術。（国土地理院 HP から引用）
	ディスペンサー	水素を FCV に充填する設備。充填のためのノズルや操作盤がついており、安全に水素が充填できるように工夫されている。見た目は一般のガソリンやディーゼルのディスペンサーと似ているが、ノズルはまったく形状が異なる。ノズルは、FCV の受け口(レセプタクル)としっかりかみ合うと、充填が終わり減圧するまで外れない仕組みになっている。（水素エネルギーナビ HP から引用）
は行	パーソントリップデータ	パーソントリップ調査によって得られたデータ。パーソントリップ調査とは、一定の調査対象地域内において「人の動き」を調べる調査であり、交通に関する実態調査としては最も基本的な調査の一つである。本調査を行うことによって、交通行動の起点、終点、目的、利用手段、行動時間帯など1日の詳細な交通データを得ることができる。また、本調査を行うことによって、地域全体の交通量を数量的に扱うだけでなく、乗り換えを含めた交通手段の分担等の検討が可能となり、都市圏における複雑で多様な交通実態を把握・予測し、円滑な都市機能を確保するための検討を行うことができる。（国土交通省 HP の記載を要約）
	プレクーラー	水素を-40℃まで冷却する設備。FCV のタンクに水素ガスを急速に充填すると断熱圧縮により温度が上昇するので、タンク温度が上がり過ぎないようにするために、あらかじめ水素を十分に冷やしてから FCV に充填する。（水素エネルギーナビ HP から引用）

研究開発項目 : CO2 フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究

-1 : 「海外の政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」

	用語	説明
英数	IEA/AFCIA	Advanced Fuel Cells Implementing Agreement (先端燃料電池実施協定)。1990年にIEA傘下に設置された燃料電池に関する研究交流組織。
	IEA/HIA	Hydrogen Implementing Agreement (水素実施協定)。1977年にIEA傘下に設置された水素エネルギーに関する研究交流組織。
	IPHE	International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy (国際水素燃料電池パートナーシップ)。2003年に設立された政策面の国際連携組織で、水素・燃料電池分野の研究・開発・実証・利用を効率的に進めるために国際協調を促進することが目的。現在18ヶ国・1地域が加盟しており、我が国は設立以来のメンバー。

-2 : 「有機ハイドライドを用いたロシアからのCO2フリー水素導入に関する調査研究」

	用語	説明
あ行	アルカリ型水電解槽	水を電気分解して水素と酸素を発生させる装置(水電解槽)のうち、水の電気伝導度を上げるためにアルカリ溶液を使うタイプのもの。通常は電解質に20-30%のKOH溶液を用いる。
か行	高温水蒸気型電解槽	水を電気分解して水素と酸素を発生させる装置(水電解槽)のうち、高温水蒸気電解は固体酸化物形燃料電池(SOFC: Solid Oxide Fuel Cell)の逆反応で電解する方法で、700-1,000 の高温で作動させ、水電解に必要な電気エネルギーの一部を熱エネルギーで補い電力コストを低減させるタイプのもの。
	固体高分子型水電解槽	水を電気分解して水素と酸素を発生させる装置(水電解槽)のうち、固体高分子形燃料電池(PEFC: Polymer Electrolyte Fuel Cell)の逆反応で水電解する方法。電解質膜-電極接合体(MEA: Membrane Electrode Assembly)を構成し、電解質と電極間のギャップが存在しないため電極間距離が非常に小さくなり、電極間のイオン抵抗が小さく高い電流密度で運転ができる。純水を用いることができるので腐食性の電解質溶液が不要となる。
た行	地域 PPS	PPSはPower Producer and Supplierの略で、電気事業法で特定規模電気事業者と規定される電気事業者のこと。新電力とも呼ばれる。自由化対象である「特定規模需要」の顧客に対し、一般電気事業者(10電力会社)の送電ネットワークを介して電気を供給する。地域PPSは、地域の事業者・行政・市民等を中心とした出資で新しくPPS事業を立ち上げ、そのPPSに地域の電力を調達させ、再び地域に電力を供給するというもの。
	トルエン	 <p>沸点 110.6、融点-95.0。 消防法上は危険物(第4類第1石油類)に分類される。</p>
は行	包蔵水力	水資源のうち、技術的・経済的に利用可能な水力エネルギー量のこと。
ま行	メチルシクロヘキサン	 <p>沸点 100.9、融点-126.6。MCHとも略記される。 消防法上は危険物(第4類第1石油類)に分類される。</p>
や行	有機ハイドライド	有機化合物に水素を化学的に結合させたもの。水素を可逆的に放出する。

(添付-3)

プロジェクト基本計画

「水素利用技術研究開発事業」基本計画

新エネルギー部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

政策的な重要性

「エネルギー基本計画」(2010年閣議決定)では、エネルギー源のベストミックスの確保のため、2015年からの燃料電池自動車(FCEV)の普及開始に向け、日米欧、関連地域、民間企業等と協力・連携し、供給インフラを含めた実証的取組を強化するとしている。また、「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」(2008年経済産業省策定)では、FCEV及び水素製造・輸送・貯蔵技術を2050年に世界のCO₂排出量を半減する上での重要技術と位置づけている。

我が国の状況

これまで「燃料電池システム等実証研究」(2006～2010年度)及び「地域水素供給インフラ技術・社会実証」(2011～2013年度)において、実証水素ステーション19箇所、FCEV約140台を活用し、FCEV・水素ステーションの実用性、省エネルギー性、環境負荷低減性能等を実証すると共に、実用化課題の抽出を進めた。また、水素ステーションの運用から得られた知見等を安全ハンドブックとしてまとめ、今後各水素ステーションに配布予定である。

一方、2010年7月には燃料電池実用化推進協議会(FCCJ)によって、産業界の総意として、2015年にFCEVの一般ユーザーへの普及開始に向けたシナリオが提案された。さらに、2011年1月には自動車メーカー及び水素供給事業者13社が共同声明を発表し、自動車メーカーがFCEV量産車を2015年に4大都市圏を中心とした国内市場への導入と一般ユーザーへの販売開始を目指し、開発を進めていることや、水素供給事業者が2015年までにFCEV量産車の販売台数の見通しに応じて100箇所程度の水素供給インフラの先行整備を目指すこと等が示された。また、先行整備促進のため、設備導入に係る費用の補助を行う制度が経済産業省により2013年より開始されている。

今後、水素ステーションの設置や運用に係る規制見直し、初期・運用コストの削減を更に進めるとともに、商用水素ステーションの設置の一層の拡大に向け、社会受容性を高める観点からも、より一層の安全・安心を確保するための技術開発等の取り組みが不可欠である。

世界の取り組み状況

欧米においても、国家レベルで基礎研究から技術開発、実証研究の取り組みが行われ、さらに、我が国同様に2015年以降からのFCEV及び水素供給インフラの一般普及を目指している等我が国の国際競争力強化の観点から引き続き戦略的・重点的な取り組みが不可欠である。

本事業のねらい

2020年以降のFCEV及び水素供給インフラの本格普及に向け、国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に関する研究開発、FCEV及び水素ステーション用

低コスト機器・部品等の研究開発を行い、一連の機器及びシステムのコスト低減、F C Vの普及展開及び国際競争力確保に資する。

(2) 研究開発の目標

アウトプット目標

F C V及び水素供給インフラ機器等の国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に係る研究開発等を行うとともに、近年追加された安全確保に対する要求（通信充填、温度制御）や、事業性確保のための要求（直接充填、急速充填）によるコストアップ分を仕様で反映した上で、さらなる低コスト機器・システム等の実用化技術開発を行い、水素ステーションコスト・性能目標達成（下記参照）に向けた見通しを得る。

また2015年の水素ステーション運用開始期を見据え、これまで得られた知見を活用した、より安全に運用する運転管理方法やより安全且つ利便性の高い水素ステーションの部品・構成機器等の技術開発をするとともに、2025年の普及拡大期を見据えた低コストかつ安全・安心に配慮した新しいコンセプトに基づく次世代水素ステーションの技術開発を行い、F C Vの普及拡大に向け、地方自治体や地域住民が受け入れ可能な水素ステーションの構築を図る。

更に、将来、水素をCO₂フリー化していくことを目指すシナリオを作成し、シナリオに沿った研究開発に繋げる。

『水素ステーション及び水素貯蔵システムのコスト・性能目標』

<水素ステーション>

コスト2億円以下/システム[300Nm³/h規模の場合、水素製造装置及び土地取得価格を除く]

水素充填30万回以上の耐久性を有すること。

水素充填精度±1%以内、水素充填時間3分間以内。

<F C V用水素貯蔵システム>

水素5kgを搭載した場合、質量貯蔵密度6mass%以上、容器体積100L以下、コスト30～50万円以下、かつF C V低温起動や全開加速に適合する水素放出性能を有すること。

ただし、現状の高圧タンクシステムに対して車載時の占有容積が大幅に縮小する等画期的な技術的優位性が見込まれる技術が提案された場合には、実用性を鑑み目標を別途設定する。

以下に、各研究開発項目の最終目標、中間目標を記載する。

研究開発項目：

「F C V及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

(委託事業)

『最終目標』(平成29年度)

2010年12月28日に原子力安全・保安院から公表された「燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制の再点検に係る工程表」に含まれる検討項目及び201

2年中に開催された規制・制度改革委員会グリーンWGにおいて検討対象として取りまとめられている新たな規制見直し検討項目（検討項目（案）一覧表No.71～75。以下、「公知の規制見直し項目」という。）について、規制見直しを進めるために必要な研究開発を行い、水素ステーションに係るコスト低減等に資する。

その他、水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化、FCVにおける国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資する各種案を作成する。

『中間目標』（平成27年度）

新たな規制見直し検討項目について、技術基準案、例示基準案を作成する。また、水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化、FCVにおける国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資するデータ取得を行う。

研究開発項目：

「FCV及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」（委託事業、共同研究事業〔負担率：1/2〕 助成事業〔負担率：1/2〕）

『最終目標』（平成29年度）

上記水素ステーション及び水素貯蔵システムのコスト・性能目標を満足する機器・システム等の実用化技術開発を実施し、水素ステーションに係るコスト低減等に資する。

『中間目標』（平成27年度）

- ・水素ステーションを構成する機器、部品等の実用化見直し及びコスト低減効果を検証し、水素ステーション設備コスト低減の目処付けを行う。
- ・水素貯蔵システムの最終目標を達成可能な水素貯蔵材料技術の目処付けを行う。
（容器質量を勘案してもシステムで6mass%を実現できる水素貯蔵能力、-30のFCV起動に対応可能なこと、1000NL/minが必要となる最大加速時の水素供給能力が確保できること等）

研究開発項目：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」（委託事業）

『最終目標』（平成29年度）

- ・より高次元の安全・安心を実現する機器及び運転・管理手法等の要素技術を確立して、水素ステーションの社会受容性の向上に資する。

『中間目標』（平成27年度）

- ・2015年の普及開始初期に向け、水素ステーションの社会受容性のより一層の向上の観点から、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確立する。また、運用データベースの整備や研修ツールの開発等により水素ステーションの運転・管理手法の高度化をはかる。
- ・2025年の本格普及に向けた次世代の水素ステーションについて、これまでの運用事例、海外動向や規制の見直しの必要性を踏まえつつ、低コスト且つ高度な安全安心を両立させるコンセプトを策定する。それと共に、それを実現するための技術課題について、それぞれ要求される性能等仕様も含めて特定する。

研究開発項目：「CO₂フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」（委託事業）

『最終目標』（平成29年度）

「国際エネルギー機関（IEA）」や、「国際水素エネルギー・燃料電池パートナーシップ」（IPHE）における情報収集等により海外の政策・市場・研究開発動向を把握するとともに、適切な情報発信を行う。

『中間目標』（平成27年度）

IEAやIPHEにおいて海外の政策・市場・研究開発動向に係る情報を収集し、国内に発信する。また、水素エネルギーのCO₂フリー化に向けて開発が必要な要素技術に係る技術動向調査や、CO₂フリー水素の導入・普及に係る可能性調査を行い、CO₂フリー水素の導入シナリオを作成するとともに、作成したシナリオに沿った研究開発等に着手する。

アウトカム目標

水素ステーションについては、2020年以降の整備コスト2億円以下の実現とそれによる水素ステーションの普及拡大を実現するとともに、FCVについては、2020～2030年頃の上述の性能を持つFCV用水素貯蔵システムを実現させ、このシステムを搭載することによるFCVの更なるコンパクト化、軽量化等を実現する。

また、水素ステーションの安全性・信頼性を更に高めることにより、社会受容性の確保に繋げ、水素ステーションの設置を促進する。

アウトカム目標達成に向けての取り組み

研究開発項目（ ）で得られた規制見直し等の成果を研究開発項目（ ）の機器の技術開発に反映する等積極的に項目間連携を実施することにより、水素ステーションに係るコスト低減等を着実に図る。

また、研究開発項目（ ）で得られた運用管理手法について、水素ステーション事業者で共有し、水素ステーションに関する社会受容性を高める。

（3）研究開発の内容

研究開発項目：

「FCV及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」

（委託事業）

FCV及び水素供給インフラのコスト削減や性能の目標達成に向け、規制の適正化、国際基準調和、国際標準化に資する研究開発等を行う。水素ステーションに関しては、設置・運用等における規制の適正化、使用可能鋼材の拡大、水素ガス品質管理方法の確立等を実現させるための研究開発等を行う。FCVに関しては、国内規制の適正化や、国際基準調和を実現させるための研究開発等を行う。

本研究開発は、実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ちより協調して実施する事業であり、委託事業として実施する。

（イ）水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発

水素供給インフラ市場の立上げ（2016～20年頃）及び普及拡大（2020年以降）を図るためには、水素ステーションを含めた水素供給インフラのコスト低減及び安全性向上に係る国内法規制の適正化が必要であり、特に市街地における水素ステーションの設置面積縮小や緊急時の安全確保等は早急な対応が必要である。

そのため、高圧ガス保安法等の関連法規の整備及び適正化に資する研究開発等を行う。

- 具体的な研究開発項目は、公知の規制見直し項目に基づき決定する。
- (ロ) F C V及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大及び複合容器の基準整備等に関する研究開発
- 現状、高圧ガス保安法一般則の例示基準として使用が認められている鋼材は、成分比に制限のあるS U S材等の高価格鋼材に限定されていることから、クロムモリブデン鋼等の低価格鋼材の材料評価データを取得するとともに、その耐水素性に応じて使用する手法を確立するための検討を行う。また、低温となるプレクール設備や高温となる圧縮機で使用する鋼材について、使用温度領域での材料評価データが十分には取得できていないことから、より広温度範囲の材料評価技術等を確立し、必要なデータを取得して使用するために必要な技術基準の整備につなげる。
- 加えて、F C V、水素ステーション及び圧縮水素輸送自動車等に用いられる複合容器に係る基準整備等のための研究開発を行う。
- (ハ) 水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化に関する研究開発
- 水素供給インフラの整備に当たって、高純度水素燃料の適正かつ安価・簡便な品質管理を実施し、トラブルなく安定した品質の水素燃料をF C Vに供給することが必要である。現状、実験的に水素の分析が実施されているが、器具、作業、分析装置等サンプリング・分析に要するコストは大きい。このため、商用化時の課題調査を行い、品質管理の方式等を検討するとともに、サンプリング方法・器具・容器、分析方法・機器等、品質管理手法を開発し、I S O 1 4 6 8 7等の国際標準への反映を行う。
- (ニ) F C Vへの水素充填時における過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等に関する研究開発
- F C Vの普及拡大には、ガソリン車と同等に短時間で水素の充填が可能なが重要である。よって、より高い安全性を確保した上で、航続距離を損なうことなく急速充填を実現するため、充填中のF C V側のタンク温度を水素ステーション側からリアルタイムでモニターする通信充填や充填インターフェイス等の基準化に係る研究開発を行う。
- (ホ) F C Vの水素安全基準等の国際調和に関する研究開発
- 国際商品であるF C Vの普及拡大には、U N / E C E / H F C V - g t r等の国際基準調和の推進による安全基準の共通化や相互認証の実現に向けた取り組みが不可欠である。また、こうしたイニシアチブを通して先行技術の優位性を確保することにより、国際競争力の確保や産業育成にも貢献でき、水素インフラに係る各種技術においても仕様標準化によるコスト低減は普及拡大のために極めて重要である。そのためF C Vの水素安全基準等を国際的に調和させるための研究開発を行う。

研究開発項目 :

「F C V及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」

(委託事業、共同研究事業[負担率: 1 / 2] 助成事業[負担率: 1 / 2])

水素エネルギーの導入・普及のためには、機器単体及び要素技術レベルにおいて高性能化、軽量化、効率向上及びコスト低減が不可欠である。水素製造・輸送・貯蔵・充填の各機器並びにシステムとしての効率向上に繋がる技術について、ユーザーの立場を考慮した高性能化、コスト低減、長寿命化及びメンテナンス性向上のため、以下の研究開発を行う。また、F C Vに関しては、水素貯蔵容器のコスト低減に向けて水素貯蔵材料の開発を行う。

本研究開発項目は、(1) 実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ち寄り協調して実施する事業、又は(2) 試験・評価方法、基準・プラットフォームの提案等、国民経済的には大きな便益がありながらも、民間企業の研究開発投資に見合うものが見込めない「公共財の研究開発」事業であり、原則、委託事業として実施する。ただし、(1)については、上記以外のもの(1)

は、共同研究事業（NEDO 負担率：1 / 2）として実施する。

また、市場化に向けた産業界の具体的な取り組みが示されるべき実用化研究開発は、助成事業（NEDO 負担率：1 / 2）として実施する。

1 民間企業単独、民間企業のみでの連携、大学等の単独等、産学官連携とならないもの。

（イ）水素ステーション用低コスト機器・システム及びその構成材料等に関する研究開発

水素インフラの整備を推進するためには、早期に事業採算性を確保し、低価格で水素を供給することが強く求められている。このため、複合容器等高圧蓄圧器の大型化、コストダウン等実用化に資する技術開発、高圧水素用ホース及び各種機器における樹脂・ゴム材料の開発等の実用化技術開発を行う。

（ロ）FCV用水素貯蔵材料に関する研究開発

FCVの国際競争力を高めるためにはFCVの低価格化が必要であり、特に水素貯蔵容器のコスト低減が強く求められている。このため、高性能かつ安価な新規水素貯蔵材料の開発を行うとともに、貯蔵材料を活用した低コスト水素貯蔵材料容器の実用化技術開発を行う。

（ハ）水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発

一般消費者に水素を販売するためには、充填量を信頼できる方法で計量する必要があるが、現状、低コストで信頼性の高い高圧水素の計量基準が存在しない。このため、水素ガス流量計の測定精度を確認するとともに、流量計の精度管理を実現するための研究開発等を行う。

研究開発項目：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」（委託事業）

2015年の普及初期開始期に向けて、一般ユーザーに安定したサービスを提供できるための運用技術の開発を実施する。

また、2025年の本格普及期に向けて、欧米等の海外の動向も参考に、地方自治体や地域住民の方々がより一層安心して受け入れられる安全・安心な次世代水素ステーションに必要な技術開発を行う。具体的な目標設定については、実施項目毎に個別に行う。

更にこれら技術開発と並行して、ステークホルダーへの情報提供・コミュニケーションも含めたリスクマネジメントについての検討を行う。

本研究開発項目は、（1）実用化まで長期間を要するハイリスクな「基盤的技術」に対して、産学官の複数事業者が互いのノウハウ等を持ち寄り協調して実施する事業、又は（2）試験・評価方法、基準・プラットフォームの提案等、国民経済的には大きな便益がありながらも、民間企業の研究開発投資に見合うものが見込めない「公共財の研究開発」事業であり、原則、委託事業として実施する。

（イ）水素ステーション高度安全運用技術の開発

2015年の普及開始初期に向けた水素ステーションの運用にあっては、社会受容性確保の観点からも、事業者は一層の安全への配慮が必要である。このため、トラブルの未然防止や発生時の迅速な対応を効率的に実施するための方法の確立を図る。具体的には、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確立する。また、これまでの水素ステーションの運用上得られた知見や、今後建設される商用ステーションにおける情報をデータベース化するとともに、これを日々の運用やメンテナンスに活用するツールや、この情報も活用した運用のための人材教育・育成手法のツール等を開発する。必要に応じて、業界自主基準となるガイドラインを策定する。

(ロ) 次世代水素ステーション高度安全・安心技術開発

2025年の本格的な普及拡大に向け、現在取り組んでいる規制の見直しや、海外の状況も踏まえて、低コスト且つ高度に安全を確保した次世代水素ステーションのコンセプト策定と、これを実現するために必要な技術開発(水素ステーションの高度モニタリング技術、セルフ充填・自動給ガス等のユーザー対応技術、雷対策等自然災害対応技術等)について、安全性に係る知識体系の確立も行いながら、現行規制の見直しに必要な研究開発(非破壊検査技術等)も含めて総合的に実施する。

なお実施にあっては、フィージビリティスタディを通じて技術開発課題の抽出と目標設定を行った上で、技術開発を実施する。

研究開発項目 : 「CO₂フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」(委託事業)

水素インフラの市場導入及び普及のためには、国内外における政策・市場・研究開発動向の調査が必要である。また、CO₂フリー水素への関心が高まってきており、その実現のため、CO₂フリー水素の製造、輸送に係る技術動向等について調査を進め、水素のCO₂フリー化実現に向けたシナリオを構築するとともに、構築したシナリオに沿って研究開発等を進める。

本研究開発項目は、国際共同研究等に係る事業であり、原則、委託事業として実施する。

(イ) 海外の政策・市場・研究開発動向に関する調査研究

IEAの水素実施協定と先端燃料電池実施協定、IPHEの活動等を通じ、海外の政策・市場・研究開発動向を把握し、収集した情報を発信する。重要な国際会議体等については、参加するだけに留まらずその活動を日本が主体的にリードする。

(ロ) 水素エネルギーの導入・普及・CO₂フリー水素等に関する調査研究

水素エネルギーのCO₂フリー化に向けて開発が必要な要素技術についてその技術動向を調査するとともに、有機ハイドライドや液体水素等水素の大量輸送キャリアに応じたケーススタディやフィージビリティスタディ等の調査研究を行い、各水素キャリアが導入できるケースを明らかにし、その実現に向けた課題を抽出してCO₂フリー水素の導入シナリオを作成するとともに、作成したシナリオに沿った研究開発等に着手する。

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、本邦の企業、研究組合、公益法人、大学等の研究開発機関(原則、国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外企業等(大学、研究機関を含む)の特別な研究開発能力、研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を国外企業等との連携により実施することができる。)から公募により実施者を選定して実施する。また、国立大学法人九州大学 水素エネルギー国際研究センター 教授 尾上 清明氏、国立大学法人九州大学 水素材料先端科学研究センター センター長 杉村 丈一氏をプロジェクトリーダー(PL)として設置し、目標達成に向けた助言及び実施者間の連携を行い、運営管理を強化する。

(2) 研究開発の運営管理

経済産業省、PL、研究開発実施者等と緊密に連携し、適切な運営管理を実施する。また、推進助言委員会等を設置し、外部有識者の意見を運営管理に反映させる。

3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は平成25年度～平成29年度の5年間とする。

4. 評価に関する事項

NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による中間評価を平成27年度に、事後評価を平成30年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて前倒しする等、適宜見直すものとする。

5. その他の重要事項

(1) 研究開発成果の取扱い

成果の普及

得られた研究開発の成果は、機構及び実施者ともに普及に努める。

知的基盤整備事業又は標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備事業または国際標準化等との連携を図るため、データベースへのデータ提供、標準技術情報（TR）制度への提案等を戦略的かつ積極的に行う。

知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

(2) 基本計画の変更

研究開発の内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本研究開発は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1号二及び第三号に基づき実施する。

6. 基本計画の改訂履歴

(1) 平成25年2月制定

(2) 平成26年2月研究開発項目 に助成事業を追加、研究開発項目 を追加

以上

(添付-4)

事前評価関連資料

(事前評価書、パブリックコメント募集の結果)

研究テーマ名 水素利用技術研究開発事業

研究目的

本事業では、2020年以降の燃料電池自動車（FCV）及び水素供給インフラの本格普及に向け、国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に関する研究開発、FCV及び水素ステーション用低コスト機器・部品等の研究開発を行い、一連の機器及びシステムのコスト低減、FCVの普及展開、及び国際競争力確保に資する。

また、サステイナブルな水素市場の構築に向け、政策・市場・研究開発動向調査を行い、水素のCO2フリー化に係るシナリオを構築して研究開発等に繋げることで、将来の水素のCO2フリー化とともに、エネルギーセキュリティの向上に資する。

研究内容概略

（Ⅰ）FCV及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和等に関する研究開発

水素ステーションの設置・運用等における国内規制の適正化、使用可能鋼材の拡大、水素ガス品質管理方法等の国際標準化の研究開発等を行う。また、FCVに関する国際基準調和、国内規制の適正化及び国際標準化の研究開発等を行う。

（Ⅱ）FCV及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発

水素製造・輸送・貯蔵・充填機器及びシステムのコスト低減、高性能化、長寿命化及びメンテナンス性向上のための研究開発を行う。また、FCV用水素燃料容器のコスト低減に向けた水素貯蔵材料の開発を行う。

（Ⅲ）CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究

国内外における政策・市場・研究開発動向の調査を行って水素のCO2フリー化に係るシナリオを構築し、シナリオに沿った研究開発等を進める。

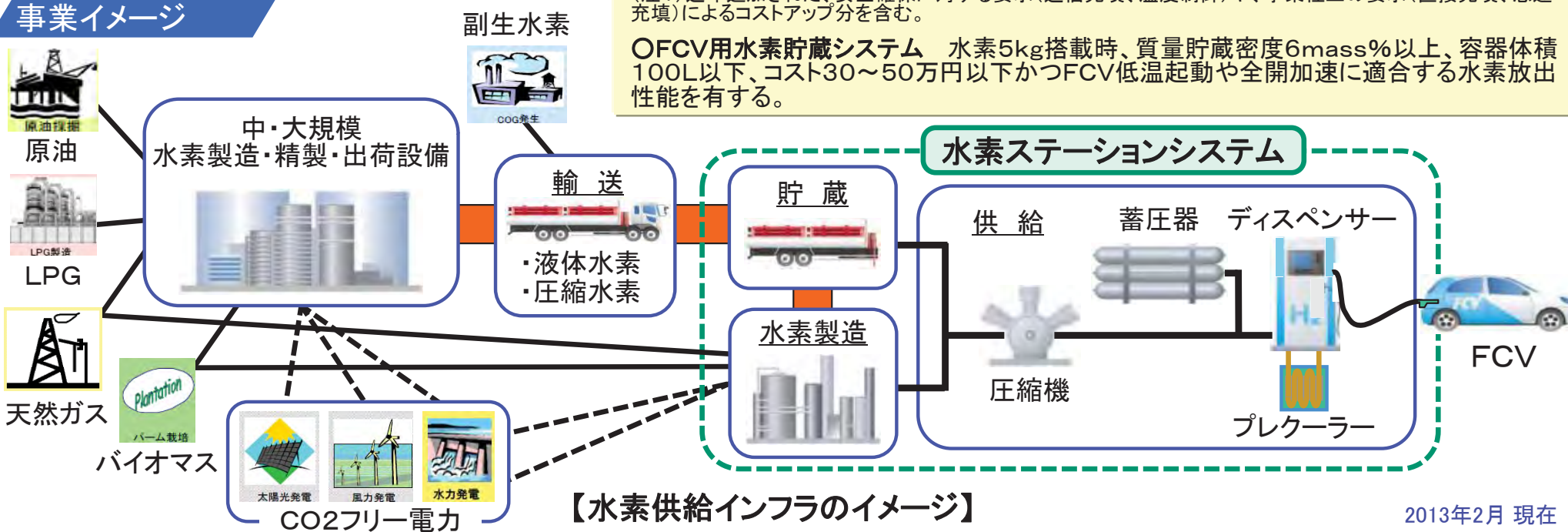
プロジェクトの規模

○事業費と研究開発期間

事業費 20億円（平成25年度：想定）

研究期間 平成25～平成29年度（5年間）

事業イメージ



研究開発の目標

○水素ステーション コスト2億円以下／システム[300Nm³/h規模の場合、水素製造装置及び土地取得価格を除く]^(注1)、水素充填30万回以上の耐久性、水素充填精度±1%以内、水素充填時間3分以内。

^(注1)近年追加された、安全確保に対する要求（通信充填、温度制御）や、事業性上の要求（直接充填、急速充填）によるコストアップ分を含む。

○FCV用水素貯蔵システム 水素5kg搭載時、質量貯蔵密度6mass%以上、容器体積100L以下、コスト30～50万円以下かつFCV低温起動や全開加速に適合する水素放出性能を有する。

事前評価関連資料(1)

事前評価書

	作成日	平成25年2月6日
1. プロジェクト名	水素利用技術研究開発事業	
2. 推進部署名	新エネルギー部	
3. プロジェクト概要（予定）		
(1) 概要		
1) 背景		
<p>燃料電池自動車（以下、FCV）及び水素供給インフラの自立拡大の早期実現と、FCV関連産業の競争力向上に向けて、水素ステーションの整備コスト、水素価格、FCV価格の低減に資する研究開発、国内規制適正化、国際標準化等への取組みを一層強化する必要がある。</p>		
2) 目的		
<p>本事業では、2020年以降のFCV及び水素ステーションの本格普及に必要な実用性の高い成果を生み出す研究開発を実施する。特に、FCV及び水素供給インフラの低コスト化に資する国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に関する研究開発、FCV及び水素ステーション用低コスト機器・部品等の研究開発を行い、一連の機器及びシステムのコスト低減、FCVの普及展開及び国際競争力確保に資する。また、サステイナブルな水素市場の構築に向け、政策・市場・研究開発動向調査を行い、水素のCO₂フリー化に係るシナリオを構築して研究開発等に繋げることで、将来の水素のCO₂フリー化とともに、エネルギーセキュリティの向上に資する。</p>		
3) 実施内容		
<p>本事業では、FCV及び水素供給インフラ機器等の国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に係る研究開発等を行うとともに、近年追加された安全確保に対する要求（通信充填、温度制御）や、事業性確保のための要求（直接充填、急速充填）によるコストアップ分を仕様に反映した上で、さらなる低コストの機器・システム等の実用化技術開発を行い、水素ステーションコスト・性能目標達成（以下参照）に向けた見通しを得る。更に、将来、水素をCO₂フリー化していくことを目指すシナリオを策定し、シナリオに沿った研究開発等に繋げる。</p>		
○水素ステーションのコスト・性能目標		
コスト2億円以下／システム [300Nm ³ ／h規模の場合、水素製造装置		

及び土地取得価格を除く]。

○FCV用水素貯蔵システムのコスト・性能目標

質量貯蔵密度6mass%。容器体積100L/水素5kg、コスト30～50万円以下かつFCV低温起動や全開加速に適合する水素放出性能を有すること。

ただし、現状の高圧タンクシステムに対して車載時の占有容積が大幅に縮小する等画期的な技術的優位性が見込まれる技術が提案された場合には、実用性を鑑み目標を別途設定する。

本事業では、以下（Ⅰ）～（Ⅲ）の3項目を実施する。

（Ⅰ）FCV及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発

FCV及び水素供給インフラのコスト低減や性能の目標達成に向け、規制の適正化、国際基準調和、国際標準化に資する研究開発等を行う。水素ステーションに関しては、設置・運用等における規制の適正化、使用可能鋼材の拡大、水素ガス品質管理方法の確立等を実現させるための研究開発等を行う。FCVに関しては、国内規制の適正化や、国際基準調和を実現させるための研究開発等を行う。

[最終目標（平成29年度（2017年度））]

2010年12月28日に原子力安全・保安院から公表された「燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制の再点検に係る工程表」に含まれる検討項目及び2012年中に開催された規制・制度改革委員会 グリーンWGにおいて検討対象として取りまとめられている新たな規制見直し検討項目（検討項目（案）一覧表No. 71～75。以下、「公知の規制見直し項目」という。）について、規制見直しを進めるために必要な研究開発を行い、水素ステーションに係るコスト低減等に資する。

その他、水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化、FCVにおける国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資する研究開発を実施する。

（Ⅱ）FCV及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発

水素エネルギーの導入・普及のためには、機器単体及び要素技術レベルにおいて高性能化、軽量化、効率向上及びコスト低減が不可欠である。水素製造、輸送、貯蔵及び充填の各機器並びにシステムとしての効率向上に繋がる技術について、ユーザーの立場を考慮した高性能化、コスト低減、長寿命化及びメン

テナンス性向上のため、以下の研究開発を行う。また、FCVに関しては、水素貯蔵容器のコスト低減に向けて水素貯蔵材料の開発を行う。

[中間目標（平成27年度（2015年度））]

水素ステーションを構成する機器、部品等の実用化見通し及びコスト低減効果を検証し、水素ステーション設備コスト低減の目処付けを行う。

水素貯蔵システムの最終目標を達成可能な水素貯蔵材料技術の目処付けを行う。（容器質量を勘案してもシステムで6mass%を実現できる水素貯蔵能力、-30℃のFCV起動に対応可能なこと、1000NL/minが必要となる最大加速時の水素供給能力が確保できること等）

[最終目標（平成29年度（2017年度））]

上述した、水素ステーション及び水素貯蔵システムのコスト・性能目標を満足する機器・システム等の実用化技術開発を実施し、水素ステーションに係るコスト低減等に資する。

(Ⅲ) CO₂フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究

水素インフラの市場導入及び普及のためには、国内外における政策・市場・研究開発動向の調査が必要である。また、CO₂フリー水素への関心が高まってきており、その実現のため、CO₂フリー水素の製造、輸送に係る技術動向等について調査を進め、水素のCO₂フリー化実現に向けたシナリオを構築し、構築したシナリオに沿って研究開発等を進める。

[最終目標（平成29年度（2017年度））]

「国際エネルギー機関（IEA）」や、「国際水素エネルギー・燃料電池パートナーシップ」（IPHE）における情報収集等により海外の政策・市場・研究開発動向を把握するとともに、適切な情報発信を行う。

また、水素エネルギーのCO₂フリー化に向けて開発が必要な要素技術に係る技術動向調査や、CO₂フリー水素の導入・普及に係る可能性調査を行い、CO₂フリー水素の導入シナリオを作成するとともに、作成したシナリオに沿った研究開発等に着手する。

(2) 事業費 約20億円（平成25年度想定）

(Ⅰ)：委託事業

(Ⅱ)：委託事業、共同研究事業 [負担率：1/2]

(Ⅲ)：委託事業

(3) 期間 平成25～29年度(5年間)

4. 評価内容

(1) プロジェクトの位置付け・必要性について

1) NEDOプロジェクトとしての妥当性

「エネルギー基本計画」(2010年閣議決定)では、エネルギー源のベストミックスの確保のため、2015年からのFCVの普及開始に向け、日米欧、関連地域、民間企業等と協力・連携し、供給インフラを含めた実証的取組を強化するとしている。また、「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」(2008年経済産業省策定)では、FCV及び水素製造・輸送・貯蔵技術を2050年に世界のCO₂排出量を半減する上での重要技術と位置づけている。

家庭用燃料電池の更なる普及拡大、産業用燃料電池の実用化、FCVの2015年の普及開始とその後の拡大に貢献するためには、技術開発、実証研究、基準・標準化の取り組みを長期展望の下、総合的に推進することが必要であるが、このような長期展望に基づいた総合的な取り組みは企業単独では実施困難なため、NEDOの関与が必要不可欠である。

2015年からのFCVの普及開始に最低限必要な100箇所の水素ステーションを先行整備する計画があるものの、FCVの本格的な普及に向けては、更なる水素ステーションの整備が必要であり、そのためには水素ステーションの更なる低コスト化、耐久性向上が必要不可欠である。FCVについても、世界的に2015年からの普及開始を目標に研究開発が進められており、市場の拡大とともに国内メーカーの競争力を確保するためには、低コスト化、耐久性向上が必要不可欠である。

これらを実現するためには水素ステーションの設置・運用等における規制適正化、FCVに係る国際標準化と規制適正化及び水素ステーションに係る国際標準化が必要不可欠であり、これら基準化・標準化のための研究開発には、極めて高い技術レベルと多大な開発ソースが必要となる。従って、本プロジェクトによるFCV及び水素供給インフラ研究開発に対する支援を継続しない場合、本格普及が大幅に遅れるリスクが大きい。さらに、FCV及び水素供給インフラについては欧米韓で精力的な研究開発と実証が行われているため、本プロジェクトを実施しない場合、現在の日本の技術的優位性の維持は困難と思われる。

2) 目的の妥当性

2011年1月に自動車メーカー及び水素供給事業者13社がFCVの国内市場導入に向けて共同で取り組むことに合意して共同声明を公表し、

2015年に自動車会社がFCV量産車を販売することと、エネルギー事業者が4大都市圏を中心としてFCV量産車の販売台数の見通しに応じて必要な規模（100箇所程度）の水素ステーションを先行的に整備することを目指すことが示されたことから、FCV及び水素供給インフラの早期実用化と低コスト化が強く望まれている。

さらに、2021年以降のFCV・商用水素ステーションの自立拡大に向けては水素供給コストの大幅な低価格化が必須である。本プロジェクトの目標は世界最先端レベルであると同時に、「NEDO燃料電池技術開発ロードマップ2010」における2020年目標とも整合しており、適正である。

(1) プロジェクトの位置付け・必要性についての総合的評価

本事業は国の政策等を踏まえた世界最先端の取り組みであり、本技術が実用化されれば、FCV産業・水素燃料利用産業の創出、我が国のエネルギーセキュリティ向上、国際競争力の強化等に大きく寄与することになり、位置付け・必要性は妥当と考えられる。

(2) プロジェクトの運営マネジメントについて

1) 成果目標の妥当性

本研究開発の最終目標は、民間の燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）による「FCVと水素ステーションの普及に向けたシナリオ」における産業戦略である2015年のFCVの一般ユーザー普及開始までの技術課題の解決と規制見直しの推進及びその後の普及開始期における技術課題・規制見直しの継続実施と合致するものである。

水素ステーション設備コストの目標値（2億円以下／システム〔300Nm³／h規模、水素製造装置及び土地取得価格を除く〕等）と水素貯蔵システムの目標値（質量貯蔵密度6mass%、容器体積100L／水素5kg、コスト30～50万円以下等）は「NEDO燃料電池技術開発ロードマップ2010」に記載された2020年頃の普及初期の開発目標であり、ロードマップの開発目標との整合を取っており、戦略的な目標設定がなされている。

海外の政策・市場・研究開発動向の把握とこれらの情報発信、水素エネルギーの導入・普及及びCO₂フリー化に向けた可能性調査と水素導入シナリオの作成等の最終目標は、固定価格買い取り制度で再生可能エネルギーが加速的に普及していること及び再生可能エネルギー由来の電力利用の要望が高まる中で、水素のサプライチェーンに対する期待と合致するものである。

2) 実施計画の想定と妥当性

本事業は、世界に先駆けて70MPa水素ステーションの自律的整備の実現を目指す研究開発のため、過去に例が無く、新規のものであり、世界に確立された技術が無い。例えば、70MPa水素ステーションを建設するために必要な最大106MPaの超高压水素ガスを用いたデータ取得とその評価技術は世界に類が無く、調達不可能な技術であり、取り上げるべき最も重要な技術的課題である。100MPa（1000気圧）を超える高压水素ガスの物性評価技術・取得データや100MPaを超える高压水素ガス中における金属材料や高分子材料の評価技術・取得データを活用するとともに-40℃以下の極低温や120℃以上の高温での評価技術開発とデータ取得を実施する。また、「水素製造・貯蔵・輸送システム等技術開発」において蓄積された水素ステーション用の機器及びシステムについては「地域水素供給インフラ技術・社会実証」（平成23～27年度）の技術・社会実証研究において耐久性を検証することとし、本事業では水素ステーションの低コスト化に大きく資する研究開発への集中を図る。さらに、「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」及び「燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する調査研究」において蓄積された水素貯蔵材料技術については策定された技術開発戦略、開発計画、開発ロードマップに基づきFCVのコスト低減に向けた水素貯蔵材料を開発し、FCV用水素貯蔵材料容器の開発を進める。

2015年の普及開始を行うための事業化を阻害している国内法規制については、関係省庁（経済産業省、国土交通省、消防庁）間で調整のうえ作成された「燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制の再点検に係る工程表」に含まれる検討項目（2010年12月28日に原子力安全・保安院から公表）及び内閣府 規制・制度改革委員会 グリーンWGにおいて2013年1月の閣議決定を目指して審議されている「制度改革の検討項目（案）」の検討項目No. 71～75（2012年開催）の基準案等の作成に必要な実証データ収集等を実施し、科学的データに基づいた安全性の検証を行い、高压ガス保安法の省令改正等に必要な基準案等を民間の業界・団体に策定する。なお、基準案等の策定にあたっては民間の業界・団体の参画だけでなく、独立した第三者民間機関の参画を設定し、安全性の検証と基準案等の策定に対してその知見を活用し、早期の課題解決を図る。

3) 評価実施の想定と妥当性

研究開発項目（Ⅰ）（Ⅲ）では、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義、実用化の可能性、産業への波及効果等について随時確認を行い、必要に応じて研究開発内容の見直し等を行う。また、外部有識者による中

間評価を平成27年度（2015年度）に、事後評価を平成30年度（2018年度）に実施する。

研究開発項目（Ⅱ）では、前半3年間（平成25～27年度（2013～2015年度））、後半2年間（平成28～29年度（2016～2017年度））に分けて段階的に実施する。平成27年度（2015年度）に採用テーマごとの中間評価をスクリーニング的に行い、後半も継続するか否かを判断する。後半に進んだテーマに関しては、外部有識者による事後評価を平成30年度（2018年度）に実施する。

4) 実施体制の想定と妥当性

高圧ガス保安法に定める使用可能鋼材の制約や複合容器の設計基準等の規制への対応については、実使用環境である100MPa（1000気圧）を超える高圧水素ガスに関する物性や材料特性の評価技術及び取得データが必要である。このため、この分野におけるトップランナーを実施体制に入れることを想定している。また、成果の受け取り手として自動車会社、石油会社、都市ガス会社、産業ガス会社等があり、これら全ての業界の企業・団体からの参画を想定している。

F C V及び水素供給インフラにおける国際標準化の取り組みにおいて、水素充填プロトコル、水素充填コネクタ、水素燃料仕様等について協調領域としてオープンにしている。一方、燃料電池セル・スタック、燃料電池～水素系のシステム化技術、システム制御技術等について競争領域としてクローズとしている。これによりF C V及び水素供給インフラの互換性確保を通じた利便性向上及び市場規模拡大が図れるだけでなく、性能及び安全性に関する評価基準による日本企業の優位性及び製品差別化が見込まれる。また、本事業では研究開発項目（Ⅰ）において、研究開発項目（Ⅱ）で実施を想定している実施者からのデータ提供等情報交換や委員会等への参画といった連携を想定している。これにより国内規制適正化における産業界の合意形成をスムーズに図ることができるとともに、研究開発成果の実用化を加速できる。

5) 実用化・事業化戦略の想定と妥当性

国際競争力確保と市場拡大に資する国際標準化活動のための要素技術の研究開発については、標準化項目に該当する部品のメーカーや関連サービスを提供する企業等が直接的受け取り手となり、水素供給事業者やF C Vメーカーが実用化・事業化を担うユーザーとなると想定する。

水素供給インフラの建設・運営コストの削減に資する要素技術や規制合理化のための研究開発については、水素ステーションの建設を受注するエンジニアリング企業が直接的受け取り手となり、水素供給事業者が実用

化・事業化を担うユーザーとなると想定する。

水素価格の低減に資する水素の輸送・貯蔵に係る要素技術や規制合理化のための研究開発については、水素輸送用トレーラーのメーカーや水素出荷設備を受注するエンジニアリング企業が直接的受け取り手となり、水素の製造・卸売りをを行う企業や水素の輸送業者が実用化・事業化を担うユーザーとなると想定する。

F C Vの価格低減に資する水素貯蔵材料の研究開発については、貯蔵材料メーカーや貯蔵材料を用いたタンクシステムのメーカーが直接的受け取り手となり、F C Vメーカーが実用化・事業化を担うユーザーとなると想定する。

(2) プロジェクトの運営マネジメントについての総合的評価

本事業の目的、実施計画、予算等はF C V及び水素供給インフラの普及拡大に向けた取り組みとして妥当と考えられる。

(3) 成果の実用化・事業化の見通しについて

1) プロジェクト終了後における成果の実用化・事業化可能性

F C V、商用水素ステーション、燃料水素、水素製造装置、水素輸送トレーラー等ように具体的な製品想定があり、成果の実用化・事業化可能性は明確である。

2) 成果の波及効果

F C V及び水素ステーションに関連する業種は多岐にわたることから、当該分野の新たな研究開発テーマの創出が期待できる。また、本事業にはこの分野におけるトップランナーであり、高圧水素に関する世界的研究拠点である九州大学水素エネルギー国際研究センターの参画を想定しており、若手研究者の積極的な登用も含め、人材育成面においても波及効果が期待できる。

関連する業種は多岐にわたり、新たな産業・雇用を創出できるとともに、技術の世界展開によるアウトカムは更に大きい。例えば、水素需給が広がるにつれて電力の効率的利用やエネルギーのクリーン化に対する要望が高まることから、水素キャリア利用や水素関連産業の広がりが期待できる。また、2011年の東日本大震災以降、昨今の防災意識の高まりは、F C V及び水素ステーションに対する非常電源としての期待度を増大させている。

(3) 成果の実用化・事業化の見通しについての総合的評価

現時点で可能な限り市場等を明確に見通している。

「水素利用技術研究開発事業 基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成25年2月14日
NEDO 新エネルギー部

NEDOPOST3において標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。
みなさまからのご協力を頂き、ありがとうございました。

1. パブリックコメント募集期間

平成25年2月6日～平成25年2月12日

2. パブリックコメント投稿数<有効のもの>

計1件

3. パブリックコメントの内容とそれに対する考え方

ご意見の概要	ご意見に対する考え方	基本計画への反映
全体について		
<p>[意見1] (1件)</p> <p>水素利用技術研究開発事業となっているが、開発の出口は水素ステーション、燃料電池自動車となっている。現段階での出口が燃料電池自動車であることは理解できるが、研究目的で記述されている持続可能な水素市場とは、自動車だけではなく、再生可能エネルギーの水素によるエネルギー貯蔵やスマートグリッドへの展開なども視野に入れる必要があると思われる。調査研究では、長期的な視野で出口を限定せずに、水素社会へのシナリオ作成をお願いしたい。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>ご意見ありがとうございます。</p> <p>ご指摘の再生可能エネルギーの水素によるエネルギー貯蔵やスマートグリッドへの展開の観点は、非常に重要だと捉えています。本事業で採択する事業者とも問題意識を共有しつつ、調査研究を実施して参ります。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>なし。</p>

事前評価関連資料-(10)

以上

プロジェクト名：水素利用技術研究開発事業

※当該プロジェクトへの追加を計画している新規テーマ：「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」について記載。

研究開発の目的

2015年の水素ステーション運用開始期を見据え、これまで得られた知見を活用し、より安全に運用する運転管理方法等を確立するとともに、2025年の普及拡大期を見据えた低コストかつ安全・安心に配慮した新しいコンセプトに基づく次世代水素ステーションの技術開発を行い、FCVの普及拡大に向け、地方自治体や地域住民が受け入れ可能な水素ステーションの構築を図る。また、水素ステーションの安全性・信頼性を更に高めることにより、社会必要性の確保に繋げ、水素ステーションの設置を促進する。

プロジェクトの規模

- ・NEDO予算総額 32.5億円(平成26年度)
→内約2億円を追加新規テーマへ
- ・実施期間 平成26～29年度(4年間)

成果適用のイメージ

水素ステーション



燃料電池自動車の本格普及に向け
地域の方々に安心して受け入れられる必要

研究開発の内容

(イ)水素ステーション高度安全運用技術の開発

水素ステーションの運用にあつては、社会受容性確保の観点からも、事業者は一層の安全への配慮が必要である。このため、トラブルの未然防止や発生時の迅速な対応を効率的に実施するための方法の確立を図る。具体的には、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確立する。また、これまでの水素ステーションの運用上得られた知見や、今後建設される商用ステーションにおける情報をデータベース化するとともに、これを日々の運用やメンテナンスに活用するツールや、この情報も活用した運用のための人材教育・育成手法のツール等を開発する。

(ロ)次世代水素ステーション高度安全・安心技術開発

本格的な普及拡大に向け、現在取り組んでいる規制の見直しや、海外の状況も踏まえて、低コストで高度に安全を確保した次世代水素ステーションのコンセプト策定と、これを実現するために必要な技術開発(水素ステーションの高度モニタリング技術、セルフ充填・自動給ガス等のユーザー対応技術、雷対策等自然災害対応技術等)について、安全性に係る知識体系の確立も行いながら、現行規制の見直しに必要な研究開発も含めて総合的に実施する。

なお実施にあつては、フィージビリティスタディを通じて技術開発課題の抽出と目標設定を行った上で、技術開発を実施する。

人材教育・育成手法
のツール

知見のデータベース化

安全・安心な水素ステーション

安全・安心に資する技術開発

事前評価書

	作成日	平成 26 年 2 月 14 日
1. プロジェクト名	水素利用技術研究開発事業 (水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発)	
2. 推進部署名	新エネルギー部	
3. プロジェクト概要 (予定)		
(1) 概要		
1) 背景		
<p>燃料電池自動車 (F C V) 及び水素供給インフラの自立拡大の早期実現と、F C V 関連産業の競争力向上に向けて、水素ステーションの整備コスト、水素価格及び F C V 価格の低減に資する研究開発、国内規制適正化、国際標準化等への取組みを一層強化する必要がある。一方で、普及拡大の段階においては、水素ステーションを安全に運用し、安心して利用できる仕組みを構築し、社会受容性を向上させる必要がある。</p>		
2) 目的		
<p>本事業では、2025年以降のF C V及び水素ステーションの本格普及に必要な実用性の高い成果を生み出す研究開発を実施する。特にF C V及び水素供給インフラの低コスト化に資する国内規制適正化・国際基準調和・国際標準化に関する研究開発、F C V及び水素ステーション用低コスト機器・部品等の研究開発を行い、一連の機器及びシステムのコスト低減、F C Vの普及展開、及び国際競争力確保に資する。また、F C Vへの充填のみならず、非常時の電源供給、地域への避難拠点として機能するなど、様々な用途に利用できる次世代水素ステーションの調査・技術開発を行うことで、社会受容性の向上に資する。</p>		
3) 実施内容		
【研究開発の目標】		
<p>2015年の水素ステーション運用開始期を見据え、これまで得られた知見を活用した、より安全に運用する運転管理方法やより安全且つ利便性の高い水素ステーションの部品・構成機器等の技術開発をするとともに、2025年の普及拡大期を見据えた低コストかつ安全・安心に配慮した新しいコンセプトに基づく次世代水素ステーションの技術開発を行い、F C Vの普及拡大に向け、地方自治体や地域住民が受け入れ可能な水素ステーションの構築を図る。</p>		
【研究開発項目】		

(Ⅲ) 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発

(イ) 水素ステーション高度安全運用技術の開発

2015年の普及開始初期に向けた水素ステーションの運用にあつては、社会受容性確保の観点からも、事業者は一層の安全への配慮が必要である。このため、トラブルの未然防止や発生時の迅速な対応を効率的に実施するための方法の確立を図る。具体的には、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確立する。また、これまでの水素ステーションの運用上得られた知見や、今後建設される商用ステーションにおける情報をデータベース化するとともに、これを日々の運用やメンテナンスに活用するツールや、この情報も活用した運用のための人材教育・育成手法のツール等を開発する。必要に応じて、業界自主基準となるガイドラインを策定する。

(ロ) 次世代水素ステーション高度安全・安心技術開発

2025年の本格的な普及拡大に向け、現在取り組んでいる規制の見直しや、海外の状況も踏まえて、低コスト且つ高度に安全を確保した次世代水素ステーションのコンセプト策定と、これを実現するために必要な技術開発（水素ステーションの高度モニタリング技術、セルフ充填・自動給ガス等のユーザー対応技術、雷対策等自然災害対応技術等）について、安全性に係る知識体系の確立も行いながら、現行規制の見直しに必要な研究開発（非破壊検査技術等）も含めて総合的に実施する。

なお実施にあつては、フィージビリティスタディを通じて技術開発課題の抽出と目標設定を行った上で、技術開発を実施する。

『中間目標』『最終目標』については、適宜追加修正を行う。

『中間目標』（平成27年度）

- ・2015年の普及開始初期に向け、水素ステーションの社会受容性のより一層の向上の観点から、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確立する。また、運用データベースの整備や研修ツールの開発等により水素ステーションの運転・管理手法の高度化をはかる。
- ・2025年の本格普及に向けた次世代の水素ステーションについて、これまでの運用事例、海外動向や規制の見直しの必要性を踏まえつつ、低コスト且つ高度な安全安心を両立させるコンセプトを策定する。それと共に、それを実現するための技術課題について、それぞれ要求される性能等仕様も含めて特定する。

『最終目標』（平成29年度）

- ・より高次元の安全・安心を実現する機器及び運転・管理手法等の要素技術
を確立して、水素ステーションの社会受容性の向上に資する。

(2) 規模 事業費（需給）32.5億円（平成26年度予算）

（項目により委託、共同研究、助成）

研究開発項目Ⅲ：内約2億円

(3) 期間 平成26年度～29年度（4年間）

4. 評価内容

(1) プロジェクトの位置付け・必要性について

1) NEDOプロジェクトとしての妥当性

「日本再興戦略」（2013年6月）において、「2015年の燃料電池自動車の市場投入に向けて、燃料電池自動車や水素インフラに係る規制を見直すとともに、水素ステーションの整備を支援することにより、世界最速の普及を目指す。」と記載されている。また、総合資源エネルギー調査会基本政策分科会の「エネルギー基本計画に対する意見」（2013年12月）には、「“水素社会”の実現に向けた取組の加速」という項目が掲げられ、「水素ステーションの整備を拡大していくことで、燃料電池自動車が日常生活でも利用できる環境を実現する」と記載されており、燃料電池・水素が注目されていることから、必要なプロジェクトとして位置付けられている。

2) 目的の妥当性

2011年1月に自動車メーカー及び水素供給事業者13社がFCVの国内市場導入に向けて共同で取り組むことに合意して共同声明を発表し、2015年に自動車会社がFCV量産車を販売することと、エネルギー事業者が4大都市圏を中心としてFCV量産車の販売台数の見通しに応じて必要な規模（100箇所程度）の水素ステーションを先行的に整備することを目指すことが示されている。

今後、水素ステーションの設置や運用に係る規制見直し、初期・運用コストの削減を更に進めるとともに、商用水素ステーションの設置の一層の拡大に向け、社会受容性を高める観点からも、より一層の安全・安心を確保するための技術開発等の取り組みが不可欠である。

(2) プロジェクトの位置付け・必要性についての総合的評価

本事業は国の政策等を踏まえたFCV産業・水素利用産業の創出、我が国のエネルギーセキュリティー向上、国際競争力の強化等に大きく寄与するものであり、位置付け・必要性は妥当と考えられる。

(3) プロジェクトの運営マネジメントについて

1) 成果目標の妥当性

時期を2つに分け、目標を設定している。

『中間目標』（平成27年度）

- ・2015年の普及開始初期に向け、水素ステーションの社会受容性のより一層の向上の観点から、水素ステーションの部品構成機器の安全に資する技術を確認する。また、運用データベースの整備や研修ツールの開発等により水素ステーションの運転・管理手法の高度化をはかる。
- ・2025年の本格普及に向けた次世代の水素ステーションについて、これまでの運用事例、海外動向や規制の見直しを踏まえつつ、低コスト且つ高度な安全安心を両立させるコンセプトを策定する。それと共に、それを実現するための技術課題について、それぞれ要求される性能等仕様も含めて特定する。

『最終目標』（平成29年度）

- ・より高次元の安全・安心を実現する機器及び運転・管理手法等の要素技術を確認して、水素ステーションの社会受容性の向上に資する。

2) 実施計画の想定と妥当性

本事業は次世代の水素ステーションのあり方を目指す研究開発のため、過去に例が無く、新規のものであり、世界に類似技術が無い。特に社会受容性の安心性については明確な尺度を有していない。そのため、水素ステーションの運用・管理の観点から必要と考えられる要素技術を明確化する。

ステーションの運営については既にガソリンスタンド、CNGスタンドなどの先行例があるため、安全教育、情報共有などについて参照する。

また、さらなる安全・安心確保のため、水素の可視化技術等、技術開発項目を検討する。個々の技術開発項目の成果目標については、必要な技術開発の調査を実施した後、適切に設定する。

3) 評価実施の想定と妥当性

外部有識者による中間評価をFCVの一般ユーザーへの普及が開始する平

成27年度（2015年度）に合わせて行い、事後評価を平成30年度（2018年度）に実施する。

4) 実用化・事業化戦略の想定と妥当性

安心・安全な次世代水素供給設備のコンセプトを民間の安全経験者等によりソフト面、ハード面から検討する。

ソフト面では国内外の水素ステーションの運用事例の収集、分析を継続して行い、データベース構築することによって原因解析・究明と再発防止を図り、事故・トラブル発生時の緊急時ガイドラインを策定する。これらの運用データベースおよび緊急時ガイドラインについては、水素供給事業者が受け取り手となり、ステーション運営者が実用化・事業化のユーザーとなる。

ハード面ではステーションにおける水素漏洩の位置や事故状況を可視化する水素検知方法等を開発する。この水素検知器についてはメーカーや研究機関が受け取り手となり、ステーション運営者が実用化・事業化を担うユーザーとなると想定する。

6) 知財戦略の想定と妥当性

水素ガスは見えない、臭わない、爆発範囲が広く（4～74%）、炎が見えない等の性質を有しており、水素の検知技術、疑似可視化技術等が知的財産として考えられる。水素検知器自体のデバイス単体の開発については研究開発成果を上げた後の実用化、事業化を優位にするためにも特許を積極的に出願し権利化を推奨する。システムとしての安全性、安心性の向上につながる部分については、水素インフラの関係者間で研究開発成果を有効に使うため、安全性に関する評価におけるガイドラインの作成（国内）などによる基準化を進める。

(2) プロジェクトの運営マネジメントについての総合的評価

本事業の目的、実施計画、予算等は燃料電池自動車及び水素供給インフラの普及拡大に向けた取り組みとして妥当と考えられる。

(3) 成果の実用化・事業化の見通しについて

1) プロジェクト終了後における成果の実用化・事業化可能性

2025年頃のFCV普及期に向けて、水素ステーション運営上の安全・安心として水素の『見える化』が基本的な必要課題となっている。また技術の信頼性、事故の種類や可能性のシステムに対する不安が社会受容性を低下させることも明らかとなっており、解決策として、センサシステムによる水

素の見える化、水素ステーション運用事例データベースや教育システムの確立などの方針を検討している。

これらにより、水素ステーションの安全性・信頼性を更に高めることにより、社会受容性の確保に繋げ、水素ステーションの設置を促進する。

2) 成果の波及効果

本事業では水素供給事業者や水素ステーション運営者だけでなく大学や研究機関等の参画を想定しており、研究開発や人材育成面においても波及効果が期待できる。

(3) 成果の実用化・事業化の見通しについての総合的評価

現時点で可能な限り市場等を明確に見通している。

「水素利用技術研究開発事業基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成26年3月28日
NEDO
新エネルギー部

NEDO POSTにおいて標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。

1. パブリックコメント募集期間
平成26年2月27日～平成26年3月12日
2. パブリックコメント投稿数＜有効のもの＞
計0件

以上

2. 分科会公開資料

次ページより、プロジェクト推進部署・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

「水素利用研究開発事業」(事後評価)

(平成25年度～平成29年度 5年間)

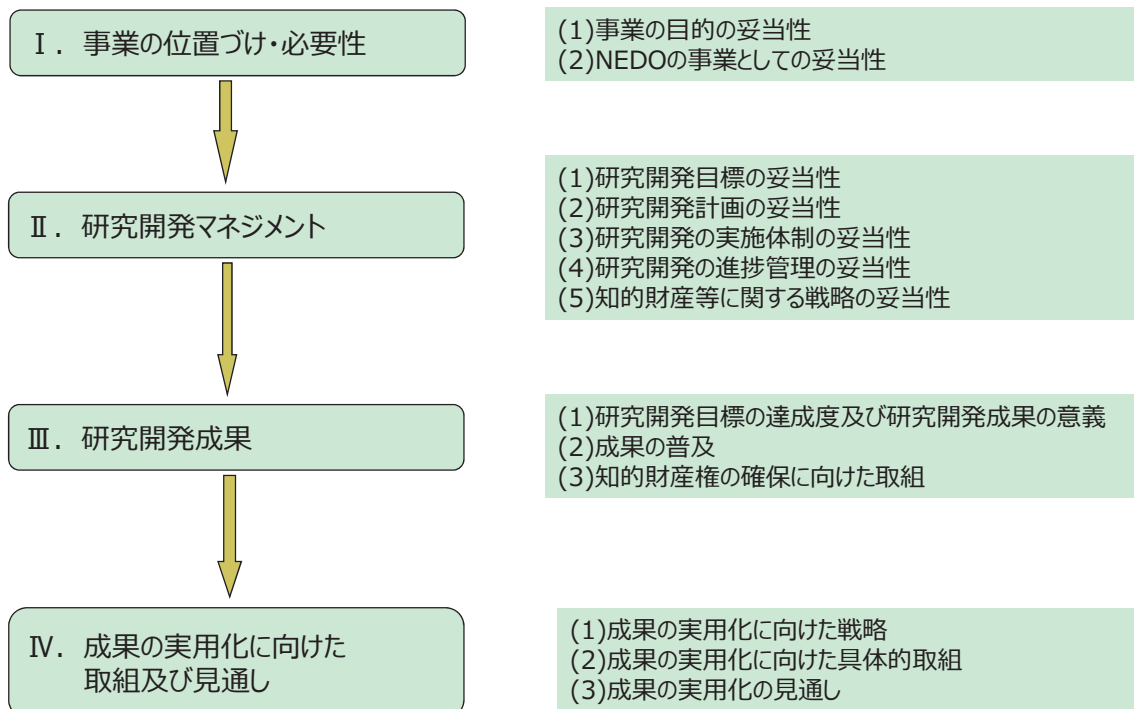
プロジェクトの概要 (公開)

NEDO

新エネルギー部

平成29年11月24日

発表内容

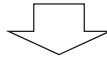


◆事業実施の背景と事業の目的

社会的背景

地球温暖化、化石燃料の枯渇等の課題に対し、省エネルギーの抜本的強化、エネルギーセキュリティの向上、環境負荷の低減等が求められている。

燃料電池自動車及び水素製造・輸送・貯蔵技術は、国の政策において重要技術と位置づけられ、早期の普及拡大が期待されている。



事業の目的

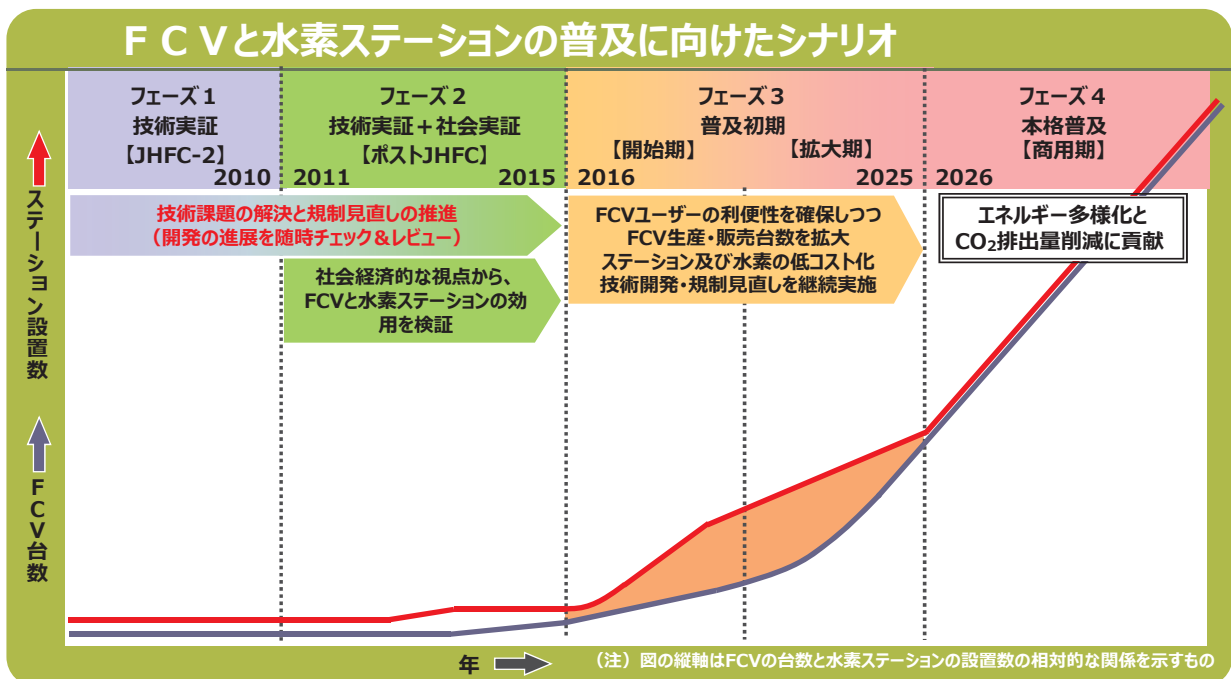
燃料電池自動車及び水素ステーションの自立拡大の早期実現と、燃料電池自動車関連産業の競争力向上を目指す。

このため、水素ステーションの規制見直しや低コスト機器開発等を行い、2020年以降の水素ステーションコスト・性能目標（後述）達成による普及拡大を実現する。また、水素ステーションの安全性・信頼性を更に高めることにより、社会受容性の確保に繋げ、水素ステーションの設置を促進する。

◆民間のシナリオ

【燃料電池実用化推進協議会(FCCJ)の新シナリオ (H22.3月)】

FCVの2015年普及開始、2025年の自立的拡大開始を目指す。



※前提条件：FCVユーザーのメリット（価格・利便性等）が確保されて、順調に普及が進んだ場合

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆政策的位置付け

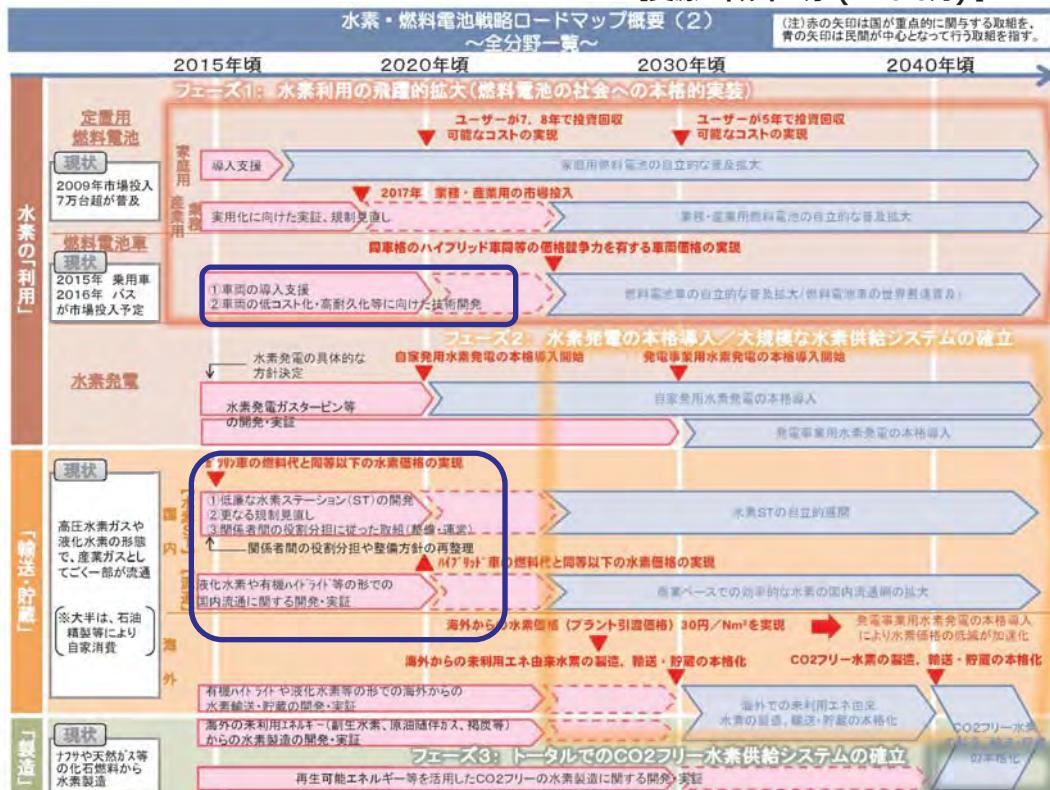
FCV・水素インフラはエネルギー政策上、重要な技術分野と位置付けられている。

エネルギー基本計画	2010年6月	水素ステーション等の水素供給インフラの整備コストを大幅に下げる必要がある。このため、高圧ガス保安法に定める圧力容器の設計基準、使用可能鋼材の制約等の規制への対応が課題となる。解決に向けて、国際動向も踏まえながらデータに基づく安全性の検証や技術開発を推進する。また、2015年の燃料電池自動車の導入開始に向け、日米欧や関連地域、民間企業とも協力・連携し、水素供給インフラを含めた実証的取組を強化する。
日本再興戦略	2013年6月	2015年の燃料電池自動車の市場投入に向けて、燃料電池自動車や水素インフラに係る規制を見直すとともに、水素ステーションの整備を支援することにより、世界最速の普及を目指す。
エネルギー基本計画	2014年4月	2015年から販売が始まる燃料電池自動車の導入を推進するため、規制見直しや導入支援等の整備支援、部素材の低コスト化に向けた技術開発を行う。官民の適切な役割分担の下、規制見直しなどの低コスト化に向けた対策等を着実に進める。
水素・燃料電池戦略ロードマップ (経済産業省)	2014年6月	水素ステーションの整備費を2020年頃に現在の半額程度の整備費となることを目指す等、水素社会の実現に向けた時間軸を明示した取り組みを示す。
日本再興戦略改訂2014	2014年6月	水素社会の実現に向けたロードマップに基づき、水素の製造から輸送・貯蔵、そして家庭用燃料電池 (エネファーム) や燃料電池自動車等の利用に至る必要な措置を着実に進める。

1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆水素・燃料電池戦略ロードマップ

【資源エネルギー庁 (H26.6月)】



1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆国内外の研究開発の動向と比較

国名	日本	米国	ドイツ
研究開発	NEDO 水素利用技術研究開発事業 固体高分子形燃料電池利用 高度化技術開発事業	エネルギー省 Hydrogen and Fuel cell Program	NOW Clean Energy Partnership (CEP)
商用 水素ステーション 設置目標数 (70MPa充填)	160箇所@2020年 320箇所@2025年 設置補助金：国供出	カリフォルニア州内で 100箇所@2023年 設置補助金：州供出 アメリカ全土：124か所 計画中	100箇所@2019年 400箇所@2023年 設置補助金：官民折半 (50%/50%)
商用 水素ステーション 稼働数 @2017.3	92	アメリカ全土： (内カリフォルニア州31) (カリフォルニア州： 建設決定総数*：51)	21
FC乗用車台数	約2,000 @登録台数 @2017.3	146 @Technology Roadmap by IEA,2015	192 (Europe) @Technology Roadmap by IEA,2015
FCバス台数 @2015.7	2 (70MPa) @豊田市、他	15	10 (35MPa)
FCその他 FC電動リフター (FCフォークリフト)	15 @北九州市、関西国際空港 など 実証試験	約10,000台	実証試験実施中

6

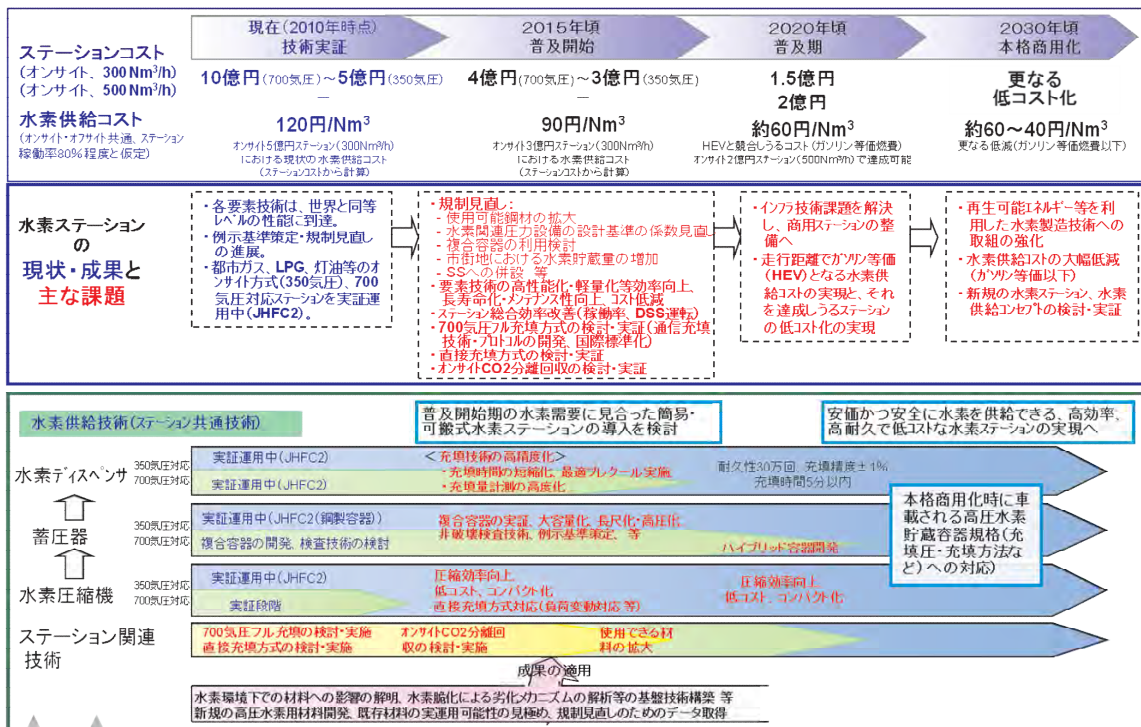
1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

◆技術戦略上の位置付け

[NEDO (H22.10月)]

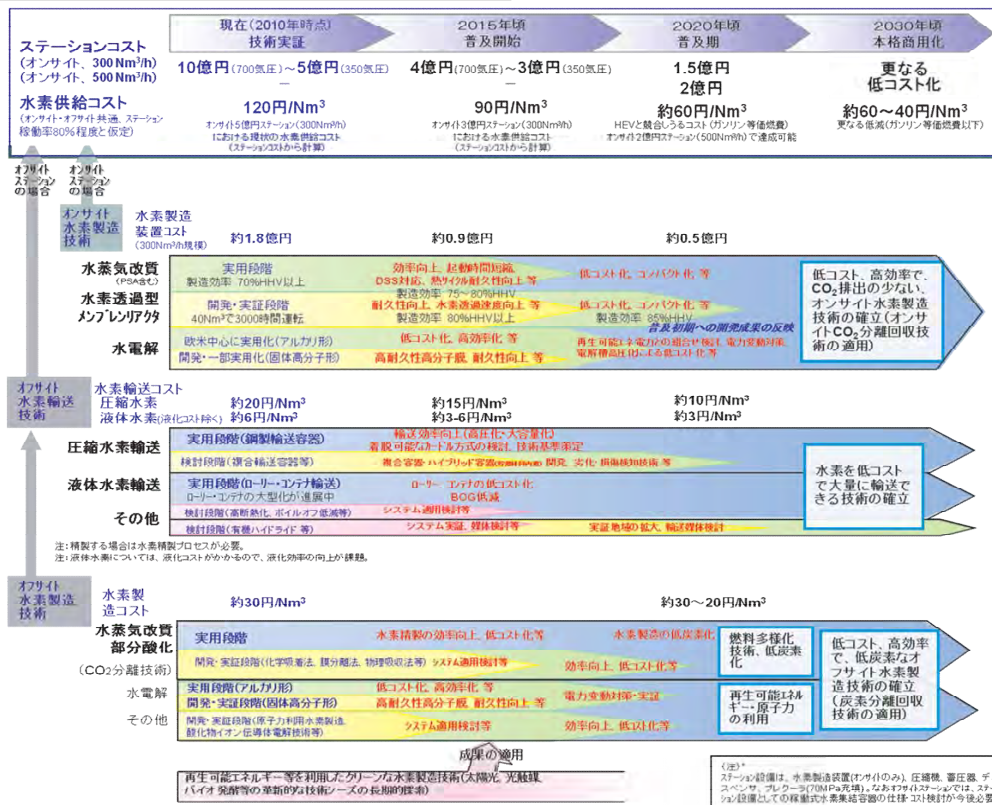
水素製造・輸送・供給技術ロードマップ

想定 原油価格 \$85/バレル(2010)→\$95/バレル(2020)
LNG価格 \$520/ト(2010)→\$805/ト(2020)



7

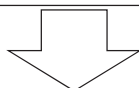
◆技術戦略上の位置付け



◆NEDOが関与する意義

FCV・水素ステーションの普及拡大に向けた規制見直し・技術開発は、

- **エネルギー政策上の重要度が高く、社会的必要性が大きい**
- **水素・燃料電池産業の競争力強化に貢献**
- **FCV・水素ステーションの社会実証 (2013年度終了) 等、他の事業と連携することで効果的に開発を進めることが可能**
- **規制見直しの推進には、産官学の緊密な連携が必要**
- **水素供給インフラについてはFCV普及初期の市場が限られるため、民間単独では開発リスクが大きい**



NEDOがもつこれまでの知識、実績を活かして推進すべき事業

◆実施の効果 (費用対効果)

プロジェクト費用の総額 **180億円**
(2013～2017年、実績)

市場規模予測 (出典：富士経済「2017年版水素燃料関連市場の将来展望」)

水素ステーション **47億円** (2020年)

228億円 (2030年)

FCV用水素燃料 **31億円** (2020年)

500億円 (2030年)

CO2削減効果予想

目標最終年度37年度 (2025年) におけるFCVの普及に伴う
CO2削減量の目標値 (40万トン/年) を達成する。

◆事業の目標

研究開発項目	最終目標
研究開発項目Ⅰ： 「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」	<ul style="list-style-type: none"> 規制見直しを進めるために必要な研究開発を行い、水素ステーションに係るコスト低減等に資する。 その他、水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化、FCVにおける国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資する各種案を作成する。
研究開発項目Ⅱ： 「燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」	<p><水素ステーション></p> <ul style="list-style-type: none"> コスト2億円以下(普及期) [300Nm³/h規模の場合、水素製造装置及び土地取得価格を除く] 水素充填30万回以上の耐久性を有すること。 水素充填精度±1%以内、水素充填時間3分間以内。
	<p><FCV用水素貯蔵システム></p> <ul style="list-style-type: none"> 水素5kgを搭載した場合、質量貯蔵密度6 mass%以上、容器体積100L以下、コスト50万円以下、かつFCV低温起動や全開加速に適合する水素放出性能を有すること。

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆事業の目標

研究開発項目	最終目標
研究開発項目Ⅲ： 「水素ステーション安全基盤 整備に関する研究開発	•より高次元の安全・安心を実現する機器及び運転・管理手法等の 要素技術を確立して、水素ステーションの社会受容性の向上に資 する。
研究開発項目Ⅳ： 「CO2フリー水素及び国際 機関等に係る政策・市場・ 研究開発動向に関する調査 研究	•海外の政策・市場・研究開発動向に係る情報を収集し、国内に発 信する。また、水素エネルギーのCO2フリー化に向けて調査を行い、 CO2フリー水素の導入シナリオを作成する。

12

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆研究開発目標と根拠

研究開発項目	研究開発目標	根拠
研究開発項目Ⅰ 「燃料電池自動 車及び水素供給 インフラの国内規 制適正化、国際 基準調和・国際 標準化に関する 研究開発」	<ul style="list-style-type: none"> •国内について、規制見直し項目を規 制改革実施計画で指定されたスケ ジュールに沿った解決を行う。 •その他、水素ステーションにおける水素 ガス品質管理方法の国際標準化、 FCVにおける国内規制の適正化・国 際基準調和・国際標準化等に資する 各種案を作成する。 	<ul style="list-style-type: none"> •国内の普及拡大には、FCCJ、 JAMAなどの民間要望を受け、 平成22年12月に原子力安全・保 安院から公表された「燃料電池自 動車・水素ステーション普及開始に 向けた規制の再点検に係る工程 表」に含まれる検討項目、平成25 年6月及び平成27年6月に閣議 決定された「規制改革実施計画」 で挙げられた項目の課題解決が必 要になる。 •国際商品として流通するFCVは、 国内だけでなく、ISOによる基準化、 UN/ECE/WP29(HFCV-GTR) の規制など国際的な合意形成が 必要になる。

13

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆研究開発目標と根拠

研究開発項目	研究開発目標	根拠
研究開発項目Ⅱ 「燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」	<p><水素ステーション></p> <ul style="list-style-type: none"> •コスト2億円以下（普及期） [300 Nm³/h規模の場合、水素製造装置及び土地取得価格を除く] •水素充填30万回以上の耐久性を有すること。 •水素充填精度±1%以内、水素充填時間3分間以内。 <p><FCV用水素貯蔵システム></p> <ul style="list-style-type: none"> •水素5kgを搭載した場合、質量貯蔵密度6 mass%以上、容器体積100L以下、コスト50万円以下、かつFCV低温起動や全開加速に適合する水素放出性能を有すること。 	<p><水素ステーション></p> <ul style="list-style-type: none"> •水素ステーションは高額な設備であり、インフラ普及のためには低コスト化が必要であり、数値は「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」事業の成果を元に設定した。 <p><FCV用水素貯蔵システム></p> <ul style="list-style-type: none"> •FCV用水素貯蔵材料は現在の高圧ガスによる貯蔵以外の貯蔵法開発が必要であり、数値はHV車と同等の性能に対する目標値を設定した。

14

2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆研究開発目標と根拠

研究開発項目	研究開発目標	根拠
研究開発項目Ⅲ： 「水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発」	<ul style="list-style-type: none"> •より高次元の安全・安心を実現する機器及び運転・管理手法等の要素技術を確立して、水素ステーションの社会受容性の向上に資する。 	<ul style="list-style-type: none"> •水素ステーションの普及拡大には、社会受容性の観点から一層の安全・安心が必要である。以前の「地域水素供給インフラ技術・社会実証」事業などの成果を元に、水素ステーションの普及の課題解決に必要な目標を設定した。

15

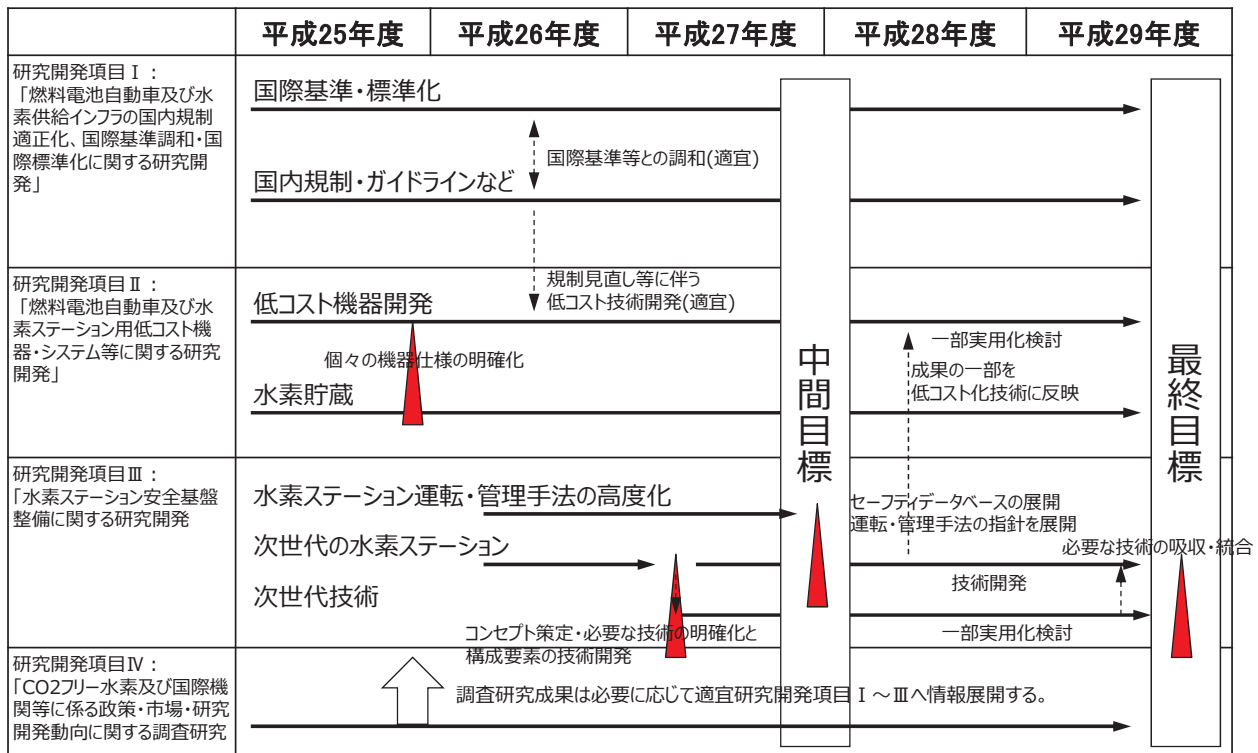
2. 研究開発マネジメント (1) 研究開発目標の妥当性

◆研究開発目標と根拠

研究開発項目	研究開発目標	根拠
研究開発項目Ⅳ： 「CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究」	<ul style="list-style-type: none"> IEAやIPHEにおいて海外の政策・市場・研究開発動向に係る情報を収集し、国内に発信する。また、水素エネルギーのCO2フリー化に向けて開発が必要な要素技術に係る技術動向調査や、CO2フリー水素の導入・普及に係る可能性調査を行い、CO2フリー水素の導入シナリオを作成するとともに、作成したシナリオに沿った研究開発等に着手する。 	<ul style="list-style-type: none"> FCV、水素ステーションなどの水素・燃料電池利用は、国際的にも実用化技術開発の段階にある。今後、速やかに市場が成立されるためには、海外動向を広く国内関係者が把握する事及び国内技術開発をガラパゴス化させず国際的な市場対応が可能となるようなシナリオ作成する事が必要である。そこで、海外動向の情報源の中心となるIEAやIPHEなどの国際機関調査及び利用拡大が想定されるCO2フリー水素調査を目標設定した。

2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆研究開発のスケジュール



2. 研究開発マネジメント (2) 研究開発計画の妥当性

◆プロジェクト費用

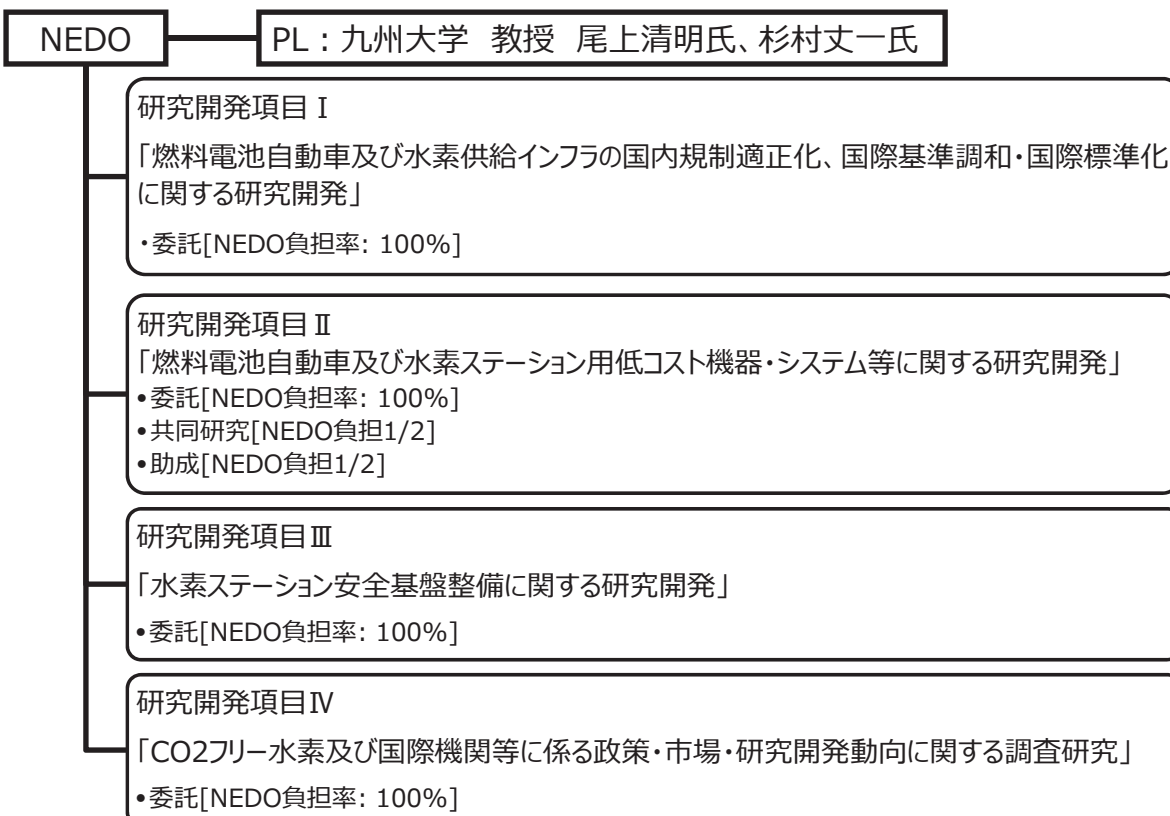
(単位：百万円、NEDO負担額)

研究開発項目	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	合計
I. 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発	1,257	2,450	2,975	2,419	2,281	11,382
II. 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発	425	897	1,378	1,411	1,060	5,171
III. 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発	—	200	245	447	727	1,619
IV. CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究	52	47	52	32	32	215
合計	1,734	3,594	4,650	4,309	4,100	18,050

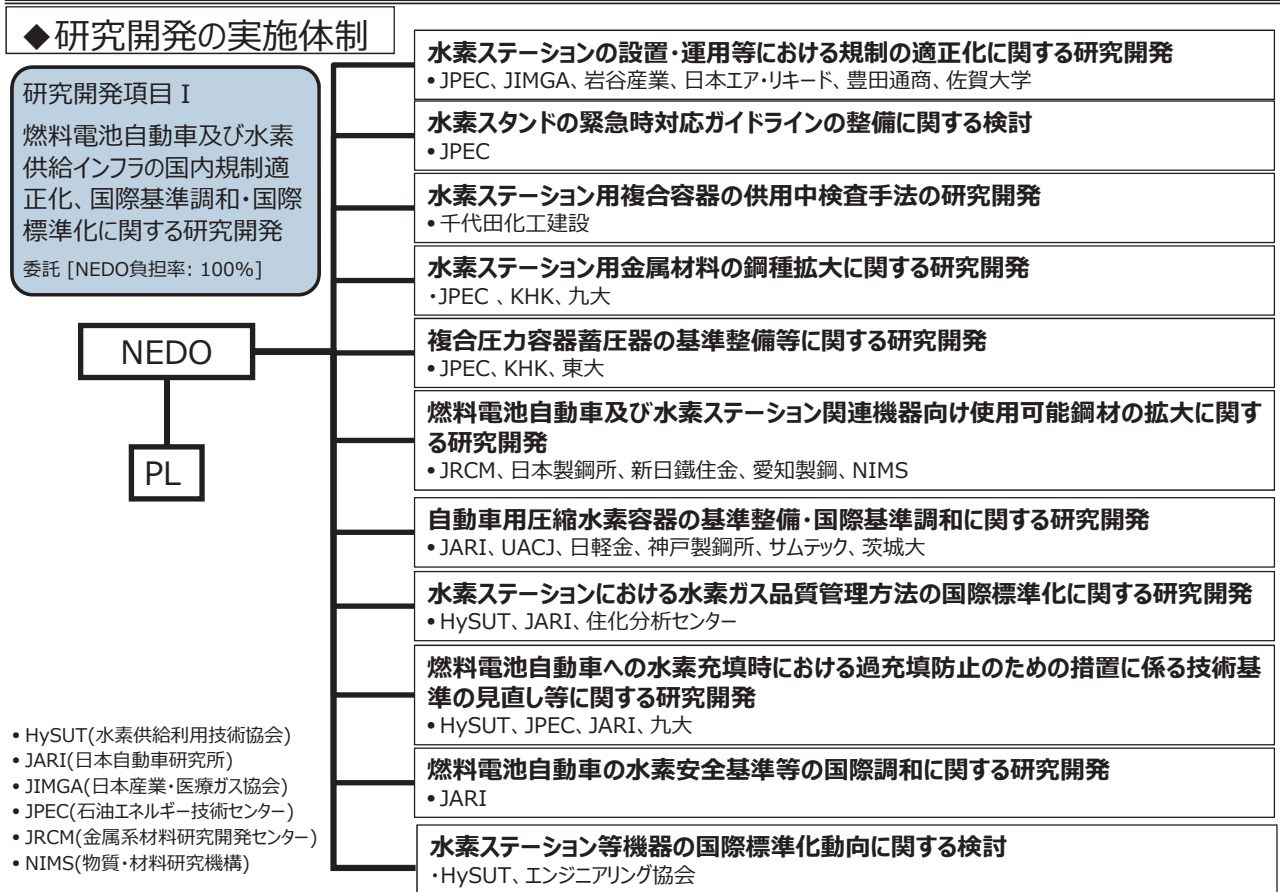
18

2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性

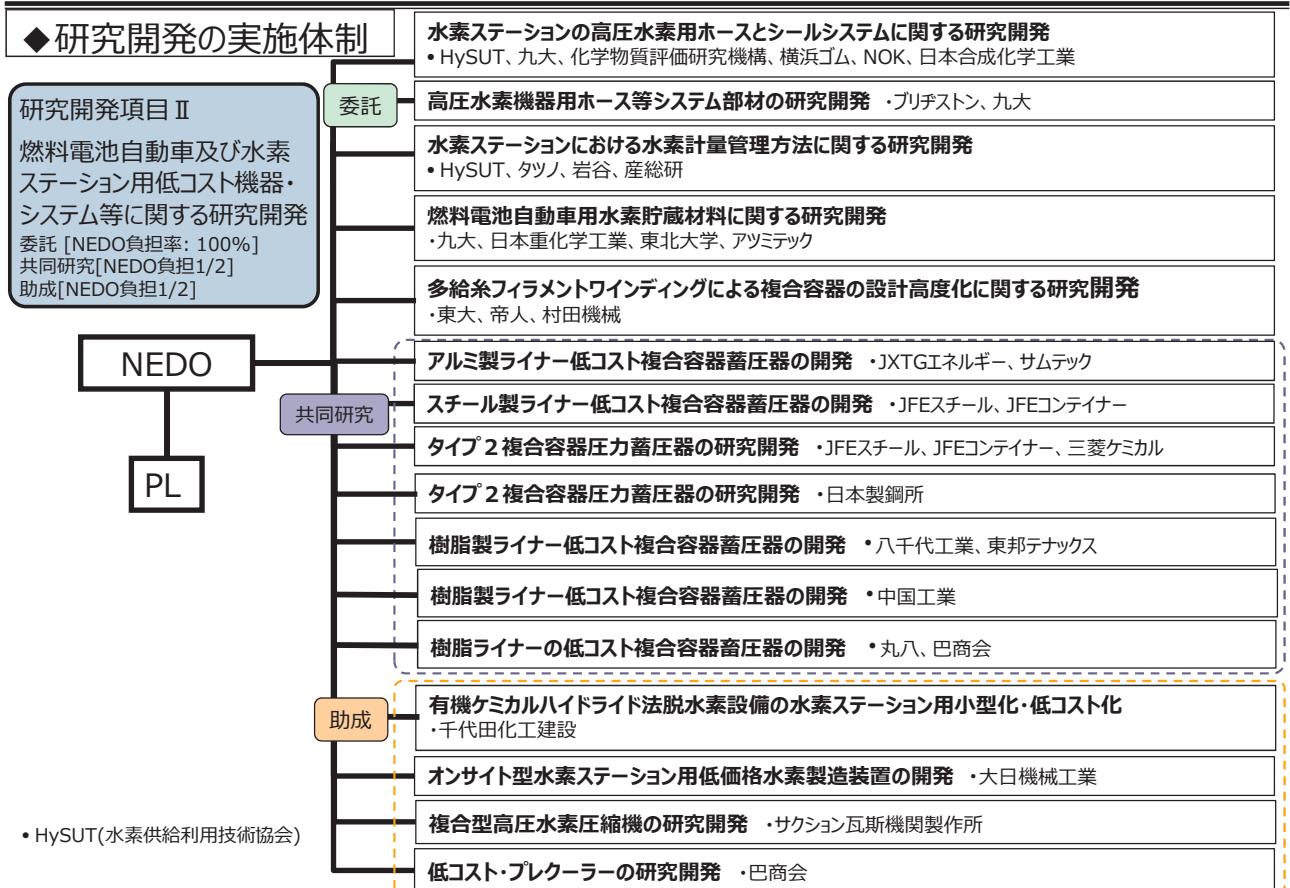
◆研究開発の実施体制



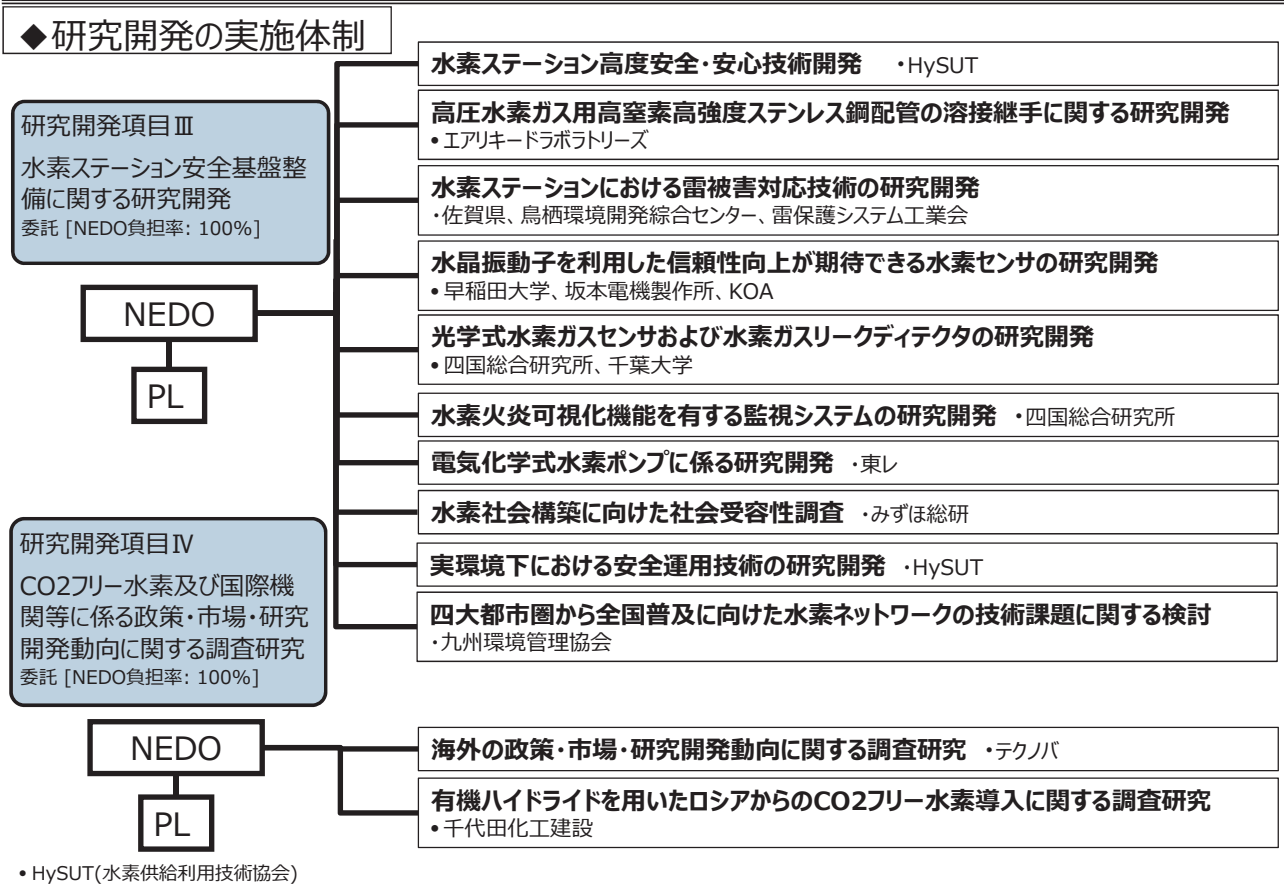
2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性



2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性



2. 研究開発マネジメント (3) 研究開発の実施体制の妥当性



2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

◆研究開発の進捗管理

- ・本事業では基礎的な水素物性の研究から企業での産業化に至るまで、幅広い技術に対し指導・助言を行う必要があるため、以下の分担にて2名のPL（プロジェクトリーダー）を設置した。
 - ①成果の産業化、コスト評価等全般の統括指導
民間企業（JX日鉱日石エネルギー）出身であり（現在は九州大学教授）、「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」のPL経験者である尾上教授
 - ②水素物性・材料評価等の基礎・基盤領域研究全般の統括指導
九州大学 水素材料先端科学研究センター（HYDROGENIUS）センター長であり、水素物性・材料評価等基礎研究に知見のある杉村センター長
- ・各事業毎に有識者、事業者を交えた委員会を年間4回程度設け、事業の進捗をチェックする。また、問題がある場合には、関係者同意の下にその後の事業の進め方を見直す。
（委員会：計15件、検討会：計69件）
- ・新規事業及び進捗に問題が発生しそうな事業については、PM（プロジェクトマネージャー）、PLが事業の現場を訪問し、問題点のヒアリングと進め方についてのアドバイスを行う。

2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

◆ 動向・情勢の把握と対応

情勢	対応
平成25年6月14日に規制改革実施計画が閣議決定された。	新しい規制見直し項目に対応するため、体制変更を行った。青山学院大学を再委託先として追加。
平成27年6月30日に規制改革実施計画が閣議決定された。	新しい規制見直し項目に対応するため、追加公募を実施。
平成25年9月にHFCV-GTR13が成立し、課題として材料の性能要件化が新しい議題になることが明らかになった。	Phase2では日本が議論をリードできるように、体制変更を行うとともに、再委託先としてAISTと東京大学を追加。
70MPaの高圧水素充填がFCVへの水素搭載方法として標準化され、水素貯蔵材料を用いた低圧水素での搭載及びその充填方法の標準化は未検討である。DOEにおいて吸着系水素貯蔵材料の開発が注目を集めている。	<ul style="list-style-type: none"> 開発の進捗を考慮し、開発対象とする材料の選別及び開発体制の再構築を行う。 高圧水素での搭載とほぼ同程度の貯蔵密度（重量、体積）を見込める材料を27年度内に見極め、システム化に着手。
ホース技術に関して大きな課題に直面した。（70MPaホースに不具合発生）	樹脂ホース／チューブ高耐久技術に実績のある山形大、高分子解析技術に実績のある大阪大を新たに再委託先に追加。開発体制を強化。

24

2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

◆ 動向・情勢の把握と対応

情勢	対応
新しい規制見直し項目に対応、新規蓄圧器の開発、ホース開発体制構築を推進、更に新たなステーション開発対応の必要が発生。	平成27年6月追加公募（規制、低コスト）岩谷産業、住化分析センター、千代田化工建設、JFEスチール・JFEコンテナ・三菱ケミカル、日本製鋼所、帝人・村田機械・東京大学、ブリヂストンを委託先として追加。
水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発の追加実施。	平成27年9月追加公募（次世代、安全安心）東レ、みずほ情報総研、HySUT（水素供給利用技術協会）委託先として追加。

25

2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

◆ 動向・情勢の把握と対応

情勢	対応
水素ステーション等機器の国際標準を審議するISO TC197（国際標準化機構水素技術専門委員会）の対応するため。	平成28年3月（ISO調査研究）HySUT（水素供給利用技術協会）を委託先として採択。
水素ステーション等機器の国際標準を審議するISO TC197（国際標準化機構水素技術専門委員会）の対応するため。	平成29年2月（ISO調査研究）HySUT（水素供給利用技術協会）を委託先として採択。
FCV及び水素供給インフラの本格的普及期である2020年以降を想定した普及シナリオに基づく技術的課題を抽出する必要が発生。	平成29年5月追加公募（調査研究）九州環境管理協会を委託先として追加。

26

2. 研究開発マネジメント (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

◆ 開発促進財源投入実績

件名	年度	金額 (百万円)	目的	成果
水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発	平成25年度	500	水素ステーションに使用する金属材料について、耐水素特性に優れ、かつコスト低減を可能とする鋼種の拡大のための研究開発を行う。多種化と使用可能範囲（温度、圧力）の拡大の双方について検討する必要があり、高性能機の増設することで、試験数とその評価条件範囲を拡大した。	<ul style="list-style-type: none"> ・試験加速され、早期に試験が終了した。その結果、事業中間時点にて、鋼種拡大最終目標における最少目標数の拡大を達成した。 ・規制改革会議（内閣府）での規制改革実施計画内の鋼種拡大関連項目において特に指示されるクロムモリブデン鋼等の低合金鋼について評価試験着手が平成28年度予定から平成26年度開始に前倒し加速された。
自動車用圧縮水素容器の基準整備・国際基準調和に関する研究開発	平成26年度	629	FCVは国際商品であり、国際間での合意が重要である。HFCV-GTRでは、材料の性能要件化及び高圧水素容器の破裂圧力を国際的に合意する必要があり、高圧ガス保安法との調和から議論をリードするために評価設備を導入した。	HFCV-GTRでの議論に於いて、日本が議論をリードする形で進められる。平成29年度に合意予定。

27

◆中間評価結果への対応

◆研究開発マネジメント

指摘		対応
1	本事業には、安全規格標準など早期に成果が求められる項目と、水素貯蔵材料開発など開発リスクが高く長期的に取り組む必要がある項目が共存しているが、それぞれの技術に応じた目標設定・マネジメント・評価がなされるように配慮すべきである。	本事業終了時に達成すべき成果はそれぞれの事業の特徴に合わせたレベルに設定している。今回の評価結果を受けFCV用水素貯蔵材、蓄圧器等については各項目の整理、体制の見直し等を行い実施方針、実施計画書に反映した上で、事業のきめ細かいマネジメントを実行した。

◆中間評価結果への対応

◆研究開発成果

指摘		対応
1	FCV用水素貯蔵材料に関する研究開発等、最終目標を達成できる見通しがあるとは判断できないテーマもあった。最終目標に向けて、課題と解決の道筋を明確にするようNEDOが強力にマネジメントする必要がある。	FCV用水素貯蔵材料に関する研究開発に関しては、最終目標の達成が見通せる材料（カーボン系）への絞込みを行い、最終目標に向け開発を推進した。（実施計画書に反映）
2	水素貯蔵材料は車両要求条件を満足するシステム検討を含めた総合的な検討が必要である。	水素貯蔵材に関しては、材料を絞込んだうえで、主軸をこれまでの材料開発からシステム開発に移行するべく、実施体制を変更した。（実施方針、実施計画書に反映）

◆中間評価結果への対応

◆成果の実用化に向けての取り組み及び見通し

指摘		対応
1	水素センサ事業では、計測の専門メーカーとの共同開発とすることが望ましい。	水素センサ事業では、研究開発フェーズから製品開発フェーズへの移行時期を見極め、計測専門メーカーの参加を含めた実施体制を強化した。
2	水素ステーション安全基盤整備に関する研究については、プロジェクト完了後にも継続してデータを収集する体制を構築しておくことが望まれる。	水素ステーション安全基盤整備に関する研究については、H28年4月に技術研究組合(HySUT)から一般社団法人化するHySUTにて、事業終了後もデータ取得を継続可能とする体制構築を進めた。

◆ステージゲートへの対応

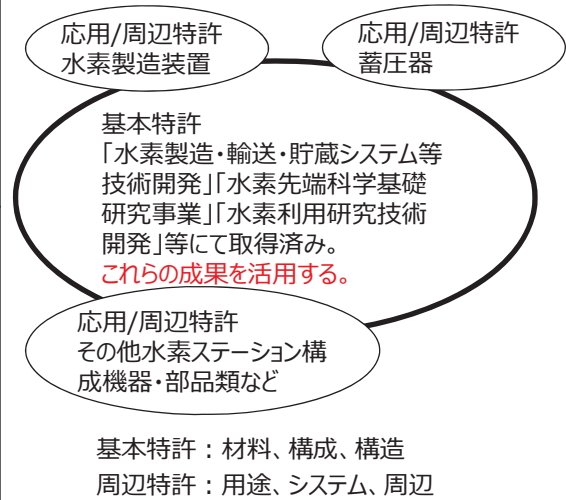
指摘		対応
1	丸八・巴商会 現時点で基本的な耐圧設計は為されているが、同テーマを実施している他社と比較すると、ライナ材の高圧水素暴露時の影響及びガス透過性に関する検討が不十分であり、実用化に至る定量的評価が不十分である。	最終目標に向けた技術課題内容の整理を実施し、「樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発」を27年度で終了とした。
2	九州大学・日本重化学工業・東北大学・アツミテック 燃料電池車用水素貯蔵材としての材料開発の部分に関しては一定の成果がでたと考えられる。 一方車載用の観点からは、実用化を前提としたシステムの検討が不十分であり、また各材料系の評価基準軸が整理されていない。 高圧容器と競争力のある具体的な貯蔵システムを想定して開発を進めるべきである。	<ul style="list-style-type: none"> ・材料の絞り込みを検討し、体制変更を実施した。 (日本重化学工業の開発を27年度で終了とした。) ・車載状態を模擬したシステムを構築し、システム評価を行う様、実施計画の見直しを行った。

◆ 知的財産権等に関する戦略

オープン/クローズ戦略の考え方

	非競争域	競争域
公開	<p>無償実施/標準化推進</p> <ul style="list-style-type: none"> 水素品質の検査法を示した品質管理運用ガイドライン 水素計量の指針を示した計量ガイドライン FCVへの水素充填方法の指針を示した圧縮水素充填技術基準 JPEC-S 0003(2012) JIS、ISO、SAE、HFCV-GTR など 	<p>知財のライセンスなど</p> <ul style="list-style-type: none"> 水素製造装置、水素圧縮機、蓄圧器など水素ステーションを構成する装置・部品類に係る特許による各社の優位性の確保 水素品質分析サービスなど分析コストの低コスト化競争につながる場合は技術情報を開示
非公開		<p>秘匿化</p> <ul style="list-style-type: none"> 複合圧力容器製造工程などノウハウの取得が極めて困難な技術類。 高圧・低(高)温水素雰囲気下での鋼材の挙動に関する各種データ。⇒海外への情報流出を防ぐために原則非公開だが、ISO化などで日本が議論をリードする場合は、適宜公開する。

水素ステーションを構成する機器類の特許を取得し、並行して標準化に於ける議論を日本がリードする。将来は輸出につなげられるよう、国際的な優位性の確保を視野に入れる。



◆ 知的財産管理

- 委託事業・共同研究事業については、「N E D Oプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に基づき、テーマ毎に「知財の取扱いに関する合意書」を策定。
- 合意書では、知財運営委員会や知財の帰属、秘密の保持等、プロジェクトの出口戦略において重要となる知財ルールを整備。
- 助成事業については、個々の事業者の知財戦略を尊重し、アウトカムの最大化を図る。

■ 研究開発成果

■ 成果の実用化に向けた取り組み

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
研究開発項目 I 「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」	平成22年(2010年)12月28日に原子力安全・保安院から公表された「燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制の再点検に係る工程表」に含まれる検討項目及び平成25年6月、平成27年6月及び平成28年6月に閣議決定された「規制改革実施計画」の次世代自動車の世界最速普及において対象として挙げられた項目について、規制見直しを進めるために必要な研究開発を行い、水素ステーションに係るコスト低減等に資する。 その他、水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化、FCVにおける国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資する各種案を作成する。	<ul style="list-style-type: none"> 水素供給インフラに関連した規制見直しは追加検討項目を含め検討を完了した。 また水素充填ガイドライン、水素品質ガイドライン、水素計量ガイドラインなどの制定及び改定と併せ、70MPa水素ステーション及びFCVの普及拡大に必要な合理的な管理ガイドラインも策定された。 MCH由来の不純物であるMCH・トルエンが与える影響を明確にし、品質規格改定議論等を日本がリードした。 FCVの国際流通に必要なISO、SAE、HFCV-GTRは日本が議論をリードする形で成立している。 	○	<ul style="list-style-type: none"> 新たな規制見直し検討項目について検討を進めていく。 HFCV-GTR phase2 インフォーマルワーキングの論議が2017年10月から開始されたため、容器破裂圧適正化・水素適合性試験法・AL合金の腐食試験法等の課題について、日本案の反映が必要。 本格的普及、自立化に必要な規格・標準などの共通課題の整備をすることが必要。

◎ 大きく上回って達成、○ 達成、△ 達成見込み / 一部達成、× 未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況				
研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
研究開発項目Ⅱ 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発	<水素ステーション> 水素ステーション及び水素貯蔵システムのコスト・性能目標を満足する機器・システム等の実用化技術開発を実施し、水素ステーションに係るコスト低減等に資する。	<ul style="list-style-type: none"> ・高圧水素用（87.5MPa用）ホース・シールシステムの要求圧力サイクル回数を試験設備において達成した。また、樹脂製高圧水素用ホースの信頼性評価基準（案）を策定した。 ・コスト目標を達成するプレクラシステム、水素圧縮機、水素製造装置を開発し、実用化完了する目処を得た。複合容器蓄圧器の実用化技術が開発され、大型化達成の目処を得た。 ・Type 4 複合容器の使用条件を明らかにすることが出来た。 ・水素計量技術及び計量器校正等の管理技術を確認し、水素ステーションでの公正な水素販売を実現した。より高精度なマスターメータ法による計量の評価手法を完了した。 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・実環境下でのホース・シールの劣化状況が不明であり、ホースの交換期間の設定や使用時の閾値の設定が困難であるため、実環境下で使用されたホース・シールについて劣化状況を把握し、高圧水素ホース構成部材の各種劣化指標との相関を検討する必要がある。 ・ホースのISO議論が続いていることから、今後も国内基準との調和のために日本の積極的な意見発信が必要である ・水素ステーションコストと合わせて運営コストの低減も検討する必要がある。
	<FCV用水素貯蔵システム> 水素5 kgを搭載した場合、質量貯蔵密度 6質量% 以上、容器体積 100L 以下、コスト 30～50万円以下、かつ燃料電池自動車の低温起動や全開加速に適合する水素放出性能を有する車載用システムの開発。	<ul style="list-style-type: none"> ・車載システムのコンセプトを構築し、自動車走行モデルから車載容器の要求仕様を求め実験およびシミュレーションを用いて車載に適した水素貯蔵材料を用いたシステムの設計および性能の評価を進めた。水素貯蔵材料容器システムの優位性を実証する予定。 	△	<p>水素貯蔵材料容器システムの試作および性能評価とシミュレーションによる定式化に基づいて、プリチャージタンクとメインタンクのサイズおよび水素圧力等の詳細な最適化。</p> <p>水素貯蔵材料の高性能化、高密度化。</p>

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み／一部達成、×未達

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆研究開発項目毎の目標と達成状況				
研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
研究開発項目Ⅲ 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発	より高次元の安全・安心を実現する機器及び運転・管理手法等の要素技術を確認して、水素ステーションの社会受容性の向上に資する。	<ul style="list-style-type: none"> ・セーフティデータベースを作成し、事業者間からの情報収集と展開の仕組みを完成した。 ・水素ステーションのオペレータ向けの教育設備訓練内容指針(案)を作成した。 ・ポータルサイトを開設し、一般の方への情報提供を開始した。 ・水素センサ、火災可視化、電気化学式水素ポンプ等、次世代の水素ステーションに必要な技術課題を具体化した。 ・雷被害リスク軽減に有効な「雷被害対策ガイドライン(案)」を取りまとめた。 ・開発品を実環境下で評価できる水素技術センターを完成し、評価を行った。 	○	
研究開発項目Ⅳ CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究	「国際エネルギー機関(IEA)」や、「国際水素エネルギー・燃料電池パートナーシップ(IPHE)」における情報収集等により海外の政策・市場・研究開発動向を把握するとともに、適切な情報発信を行う。	IEA、IPHEでの海外の政策・市場・研究開発動向に係る情報収集、及びCO2フリー水素の導入・普及に係る可能性調査を実施し、国内の水素・燃料電池利用技術関係者へ情報展開した。その結果、海外の研究開発動向、段階をふまえた新たな研究開発が水素社会構築技術開発事業等で開始され、水素利用技術の展開範囲が拡大した。	○	<ul style="list-style-type: none"> ・国際連携・調和の活動を継続、国内外の研究開発、政策動向を情報収集、情報発信を適切に行うことが必要

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み／一部達成、×未達

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

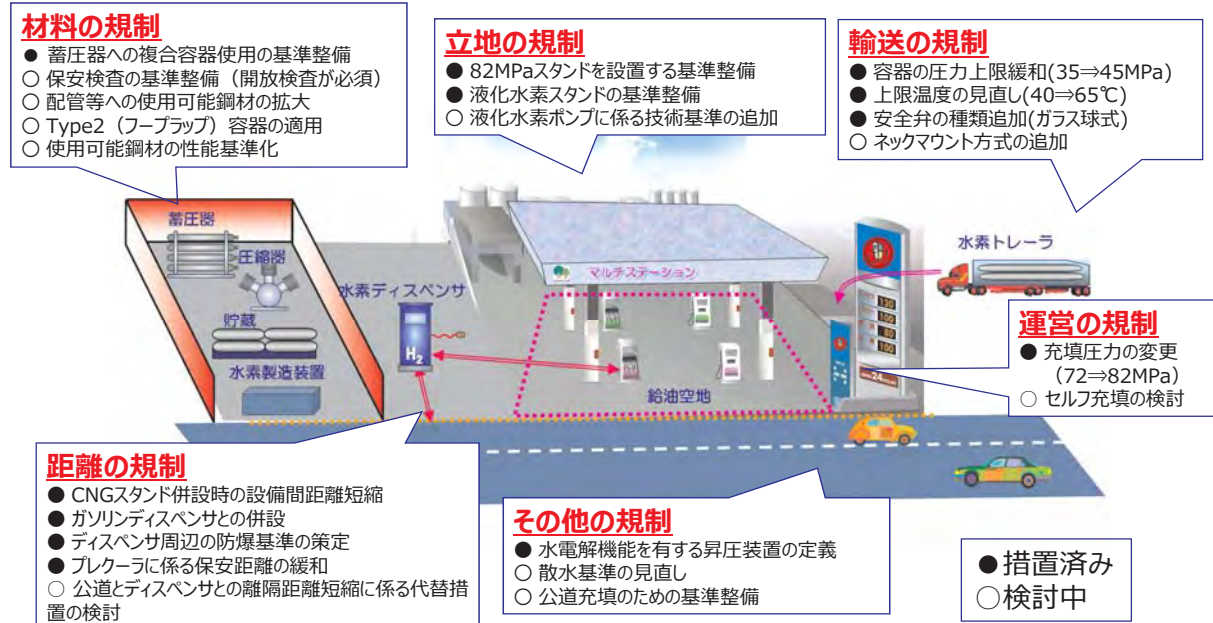
2020年以降のFCV及び水素ステーションの普及に向け

- ・規制の適正化
- ・機器の低コスト化
- ・安全基盤整備

等を進め、一定の成果が得られた。

◆各個別テーマの成果と意義

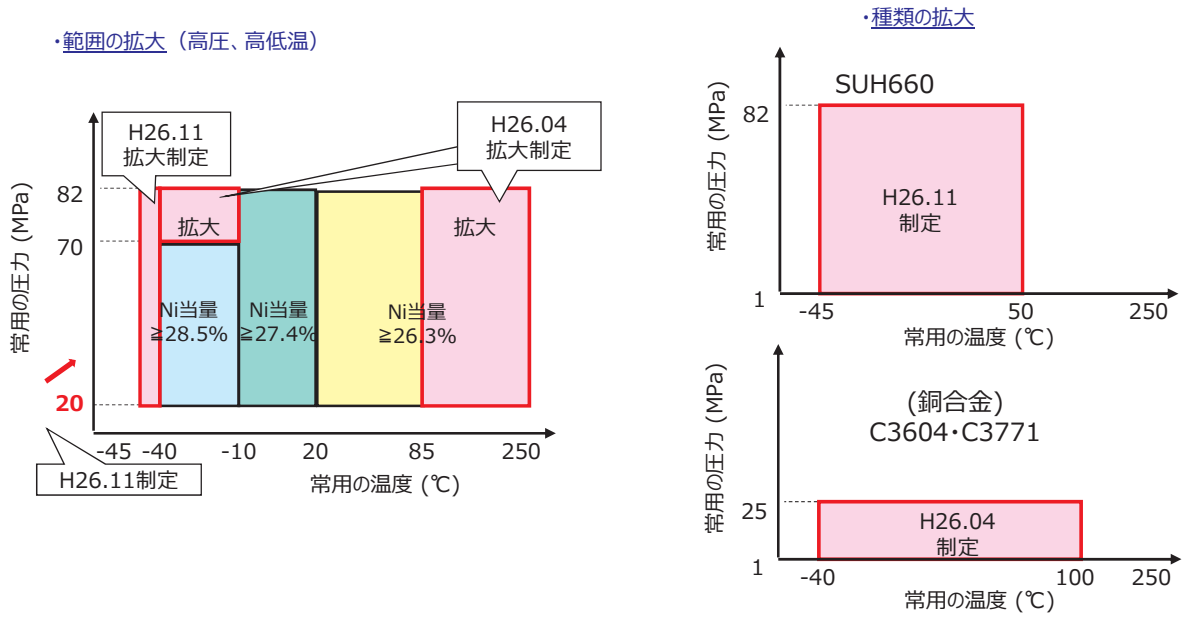
規制適正化 水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関し、規制内容の検討、安全性検証・検討、技術基準案策定、課題整理などを行った。



3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義

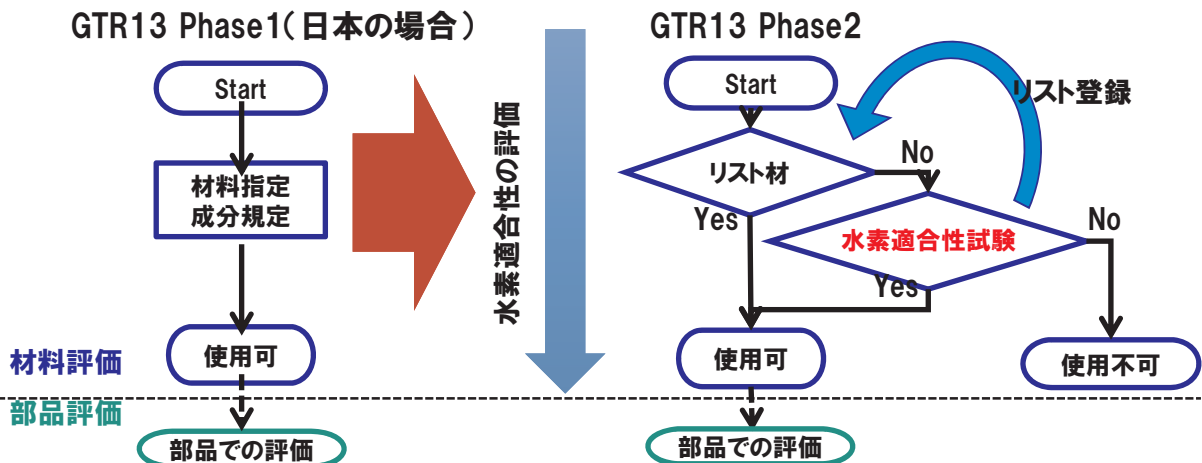
金属材料の鋼種拡大	高圧ガス設備等で使用する金属材料の鋼種の拡大と使用範囲（温度・圧力）拡大を図った。また業界で使用できる低合金鋼に関する技術文書を発行した。
------------------	---



3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆各個別テーマの成果と意義

自動車用圧縮水素容器	水素適合性を評価する材料試験法の開発
項目	成果
安全性評価	疲労試験データを取得し、策定した試験法案の妥当性を評価した。
国内基準の適正化および国際基準調和	実証試験データと試験法案の国内審議から、国際議論の場への開示承認を得た。
材料評価および試験法開発	6000系アルミニウム合金の応力腐食割れ特性データを取得した。策定した湿潤ガス応力腐食割れ (HG-SCC)試験法案の妥当性も見えつつあり、国内外での先行規格化を推進中。



◆各個別テーマの成果と意義 (補助事業)

有機ケミカルハイドライド法脱 水素設備の水素ステーション 用小型化・低コスト化	検証設備製作、一定の運転条件で基本性能の確認済。 継続運転にてデータ取得、解析を予定
--	---

設計時の 検討項目	検証設備
設備容量 設計圧力	製品水素流量：30 Nm ³ /h 1 MPaG未満 (低圧でも運転試験を)
MCH蒸発器・ 過熱器	熱媒による蒸発・過熱器 1 器
脱水素反応器	反応管や触媒のサイズ変更などにより、 機器長さ 3 m以下にほぼ半減
熱媒加熱炉	都市ガスバーナー加熱炉 PSAオフガス混焼
水素精製	冷却後の気液分離に加えて、PSA 製品水素品質：ISO14687-2 (全炭化水素 メタン換算 2 ppm以下 = トルエン残留濃度 0.28 ppm以下)
運転制御の 自動化	定常運転時の自動制御に加えて、起動・ 停止などのシーケンスを概ね自動化



◆各個別テーマの成果と意義 (補助事業)

水素製造装置 目標	100Nm³/h → 5,000万円以下を達成
	300Nm ³ /hの設計及びコスト見通しを得た

項目	仕様
原料	都市ガス 13A
流量	100Nm ³ /h
温度	常温～40℃
圧力	0.6MPaG以上
水素純度	≤99.97%以上
その他ガス組成	ISO14687-2 FCV用 水素燃料規格 (2012 Grade D)
スキッド寸法	3000W×2500D× 3000H



◆各個別テーマの成果と意義 (補助事業)

水素圧縮機 目標	340Nm³/h
	設計見直し 10台ロット機で 7500万円 生産習熟機 コスト見通し (6500万円以下) を得た

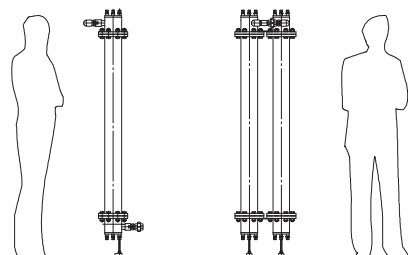
要 目	仕 様
型番	TCH511DP
型式	ダイヤフラム複合型無給油5段圧縮 水冷式高圧水素圧縮機
取扱いガス	水素ガス
吸入圧力	0.6 MPa (0.4 MPa~0.7 MPa の範囲で使用可能)
吐出圧力	82 MPa
容量	340 Nm ³ /h
電動機	90 kW (初号機のみ110 kW試験用電動機使用)



◆各個別テーマの成果と意義 (補助事業)

プレクーラー 目標	熱交換ユニット基数半減・冷凍機能力削減・低コストライン採用により、目標価格を達成 目標価格 (量産時 : 2,400万円)
--------------	---

項 目	成 果
冷凍システム	リザーバータンク設置による冷凍機能力の低減の確認、省エネモードの有効性確認
性能確認	各試験条件下でガス供給温度は充填技術基準を満たす冷却性能を達成
適用性	Heavy duty protocol条件でガス供給温度は管理基準内に留まり十分な冷却性能を確認
コスト等	システム総合コストと小型化に成功した。 コンパクト水素ステーション建設可能性を示す



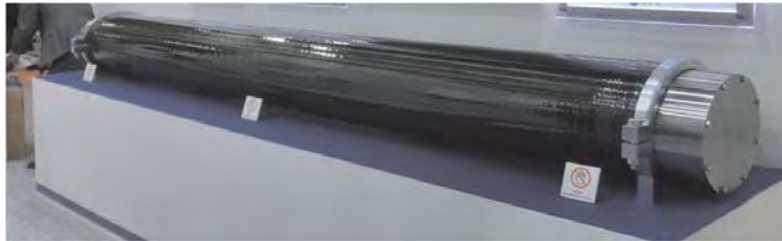
◆各個別テーマの成果と意義

複合容器蓄圧器 (タイプ2) 目標	耐久サイクル回数：達成見込み 複合容器蓄圧器の設計の妥当性検証し、試験実施中
	コスト： 1.2万円/リットルが達成可能と試算結果を得た

日本製鋼所株式会社



JFEスチール株式会社、JFEコンテナ株式会社、三菱ケミカル株式会社

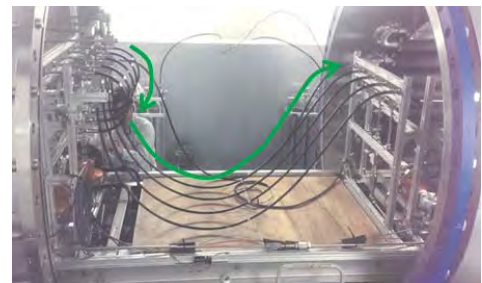


◆各個別テーマの成果と意義

高圧水素ホース評価法の開発

項目	成果
高圧水素ホース 評価法の開発	82MPaホースについて評価実施 2,200回の高圧水素加減圧サイクル達成 引き続き評価を継続し、50,000~70,000回のサイ クル達成
	87.5MPa水素にて実用を模擬した耐久性試験を国内 外で実施し「普及初期1年間ノーメンテナンス」に対する 安全性を評価
内層樹脂 材料探索	ホース内層材など水素機器に用いられる樹脂材料につ いて、高圧水素曝露時の水素侵入量、体積変化率 を測定、データベース構築 90MPaクラスの差圧式水素透過測定法確立
	内面樹脂層への水素影響抑制と低温(-40℃) 機械 特性を両立するバリア材開発、バリア材を持つ2種2層 内層チューブを開発
87.5MPa試作 ホースの開発	内層樹脂にバリア材を持つ2種2層内層チューブを用い たホース試作(日本合成化学工業・横浜ゴム) 内層樹脂配合を改良したホース試作(プリヂストン)

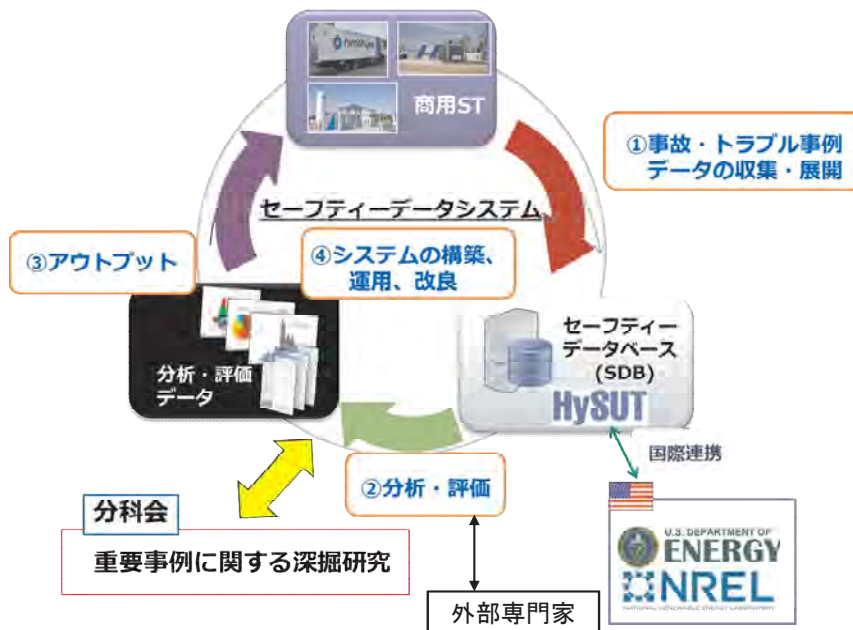
ラボのホース取付



◆各個別テーマの成果と意義

水素ステーション高度安全・安心 セーフティーデータシステムの構築

- ・事故・トラブル事例データの収集、セーフティーデータベース化
- ・データ集計による分析・解析および重要事例の深掘り検討と周知展開



◆各個別テーマの成果と意義

水素ステーション高度安全・安心 社会受容性向上活動

ワンストップポータルサイトの開設・運営

- ・「水素エネルギーナビ」を開設し、最新の情報を更新しながら一般公開中 (HySUT殿の再委託先であるテクノバ殿にて運営)



現在、Google、Yahoo 「水素」検索で第2位

水素エネルギーナビ (<http://hydrogen-navi.jp/>)

- ・理解促進用の動画「Suisoなセカイへ」を完成し、ポータルサイトに掲載



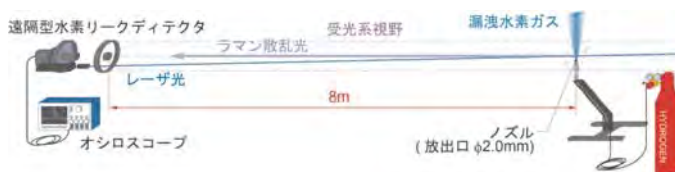
各個別テーマの成果と意義

光学式水素ガスセンサおよび水素ガスリークディテクタ

項目	成果
光学式水素ガスセンサ	実用機が完成，機能評価が完了。 (水素ガス検出限界500ppm，応答速度2sec，使用温度上限200℃を達成)。
水素ガスリークディテクタ	近接型： 実証機が完成，機能評価が完了。 (水素ガス検出限界250ppm，測定精度30%を達成)。 遠隔型： 試験機が完成，機能評価が完了。 (水素ガス検出限界0.5%，離隔距離8m，位置精度0.2mを達成)。



光学式水素ガスセンサ



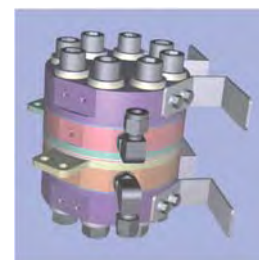
水素ステーションをはじめとする水素関連施設への適用を想定した水素漏洩箇所を特定できる従来にない新技術が実用可能 (水素以外の可燃性ガスへの対応も可能)

◆各個別テーマの成果と意義

電気化学式水素ポンプ	炭化水素系膜を用いたPEMポンプセルの設計・開発により、高圧35MPa水素圧縮に成功 (低圧側0.6MPa)。35MPa機械式圧縮機と同等レベル以上の効率を確認した。更なる45MPa圧縮を達成した。
-------------------	---

	電気化学式水素ポンプ	機械式圧縮機
エネルギー効率	○高い(等温圧縮)	△低い(断熱圧縮)
サイズ	○小さい	×大きい
スケールビリティ	規模に依存しない	規模に依存する
騒音	○小さい	×大きい
水素精製機能	○あり	×なし
水分管理	△必要	○不要
圧力変動	○無し	△有り
耐久性	膜・セルの耐久性に依存	可動部の耐久性に依存

高圧評価用セル



外観：10cmφ×10cm
高圧側内容積：2.9×10⁻⁶m³

3. 研究開発成果 (2) 成果の普及

◆成果の普及

	H25年度	H26年度	H27年度	H28年度	H29年度	計
論文	13	20	24	28	11	96
研究発表・講演	103	173	182	174	121	753
受賞実績	1	4	4	1	0	10
新聞・雑誌等への掲載	10	16	40	11	4	81
展示会への出展	4	15	19	20	11	69

※平成29年9月25日現在

- 研究開発項目Ⅰ「FCV及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」で使用可能鋼材の拡大など産学連携に伴う、基礎的な成果などを発表した。
- 研究開発項目Ⅱ「FCV及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発」では水素の計量方法に於ける技術開発での成果などを発表した。
- これらの成果は、水素品質管理の運用ガイドライン、水素計量管理の運用ガイドライン、水素充填性能確認ガイドラインとして策定され、HySUTより関連事業者に展開を順次行っている。

3. 研究開発成果 (2) 成果の普及

◆成果の普及

ワンストップポータル開設



水素エネルギーナビ (<http://hydrogen-navi.jp/>)

水素エネルギー白書の発行



◆知的財産権の確保に向けた取組

戦略に沿った具体的取り組み

研究開発項目 I は技術基準化、ガイドライン作成等、により関係事業者がFCV・水素インフラ事業に参画しやすくするための仕組みなどを形成する。

例えば水素の品質管理という公共的な側面を有するものについては、「水素品質管理の運用ガイドライン」の中で記載された技術情報については知的財産権を確保し、NEDO事業共同実施者には基本特許の無償実施について基本合意（国内標準となる部分については普及を妨げないオープン特許戦略）としている。

一方、今後普及拡大を進めていく上で必要な低コスト化ならびに次世代の技術開発(研究開発項目 II 及び III)については、先進性が強く、知見の海外流出を避けるために、グループでの情報共有に留めるなど競争領域での優位性の確保につとめている。

	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	計
特許出願（うち外国出願）	5	14(6)	19(2)	16(2)	13(5)	67件

※平成29年9月25日現在

◆知的財産権の確保に向けた取組

その他標準化など

対象技術	反映先
水素ステーションの保安検査	保安検査基準 JPEC-S 0001(2015)
水素ステーション用の使用鋼材の拡大	高圧ガス保安法一般則関係例示基準、コンビ一般則関係例示基準を改正
例示基準に記載された使用可能鋼材の拡大	<p>【例示基準化した鋼材】</p> <ul style="list-style-type: none"> 平成26年4月21日 銅系材料(C3604、C3771)の新規追加 平成26年4月21日 ステンレス鋼(SUS316、SUS316L)の使用範囲(圧力・温度)が追加 平成26年11月20日 耐熱鋼(SUH660)の追加
液化水素を使用した水素ステーション	高圧ガス保安法の省令(一般高圧ガス保安規則)等を改正

※平成29年10月26日現在

◆知的財産権の確保に向けた取組

その他標準化など

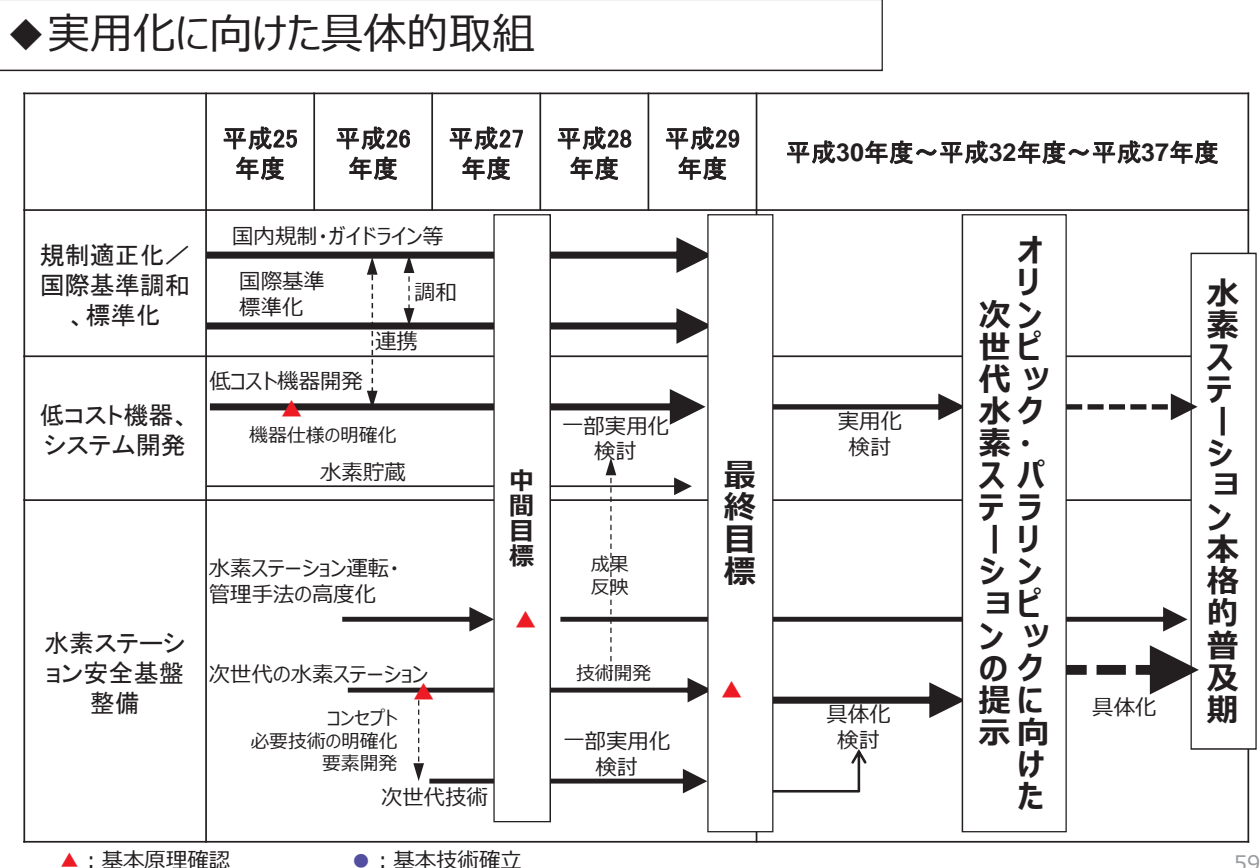
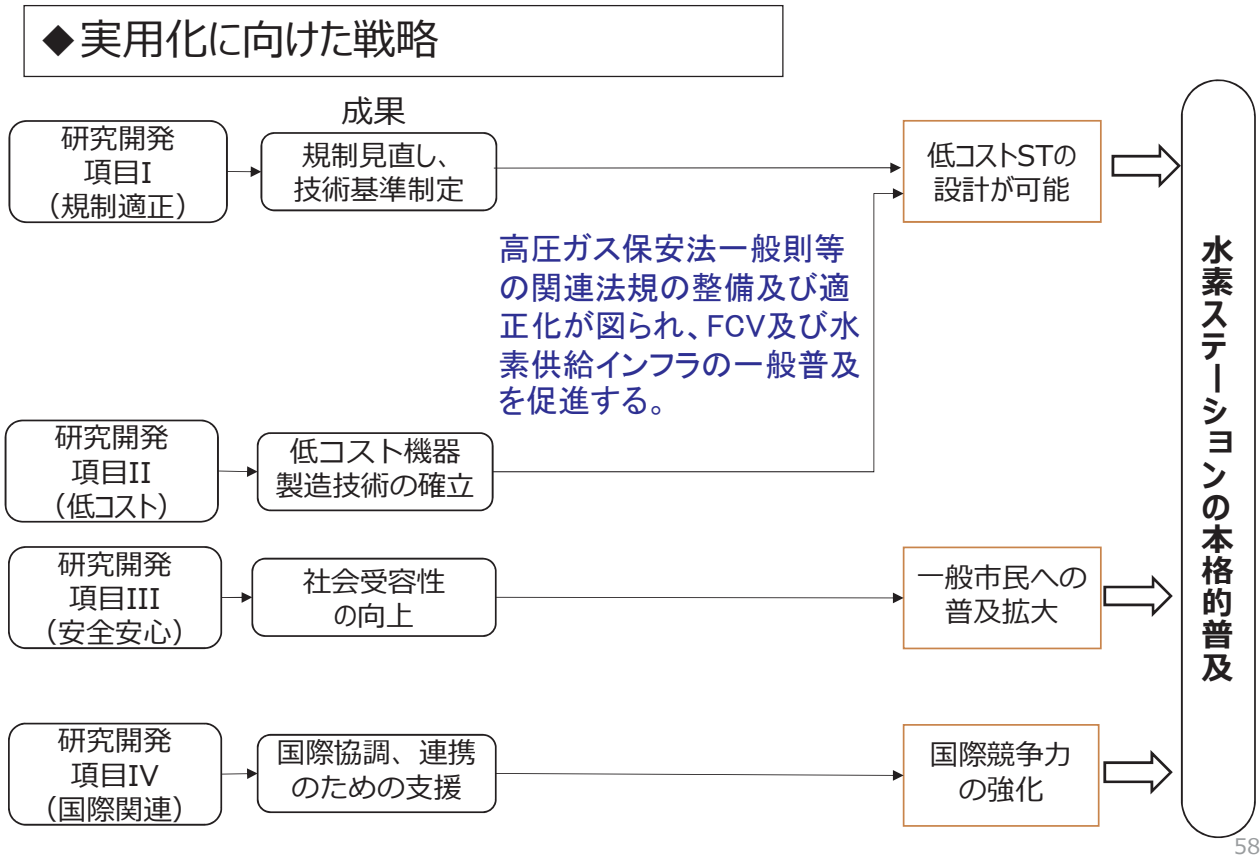
対象技術	反映先
圧縮水素を運送するためのトレーラ	圧縮水素運送自動車用容器の技術基準を改正
水素トレーラー安全技術	水素トレーラー安全技術ガイドライン JPEC-TD0002(2017)
FCV用高压水素容器	高压ガス保安法に基づく容器保安規則、容器保安規則に基づき表示等の細目、容器再検査の方法を定める告示等の改正
水素ステーション用の複合圧力容器	「圧縮水素蓄圧器用複合圧力容器に関する技術文書」(KHKTD 5202(2014))
水素の充填	圧縮水素充填技術基準 JPEC-S 0003(2012) 水素充填性能確認ガイドライン HySUT-G0003 (2017)
水素の品質管理	品質管理運用ガイドライン (FCCJ) ⇒水素品質管理の運用ガイドライン HySUT-G0001 (2017)
水素の計量	計量ガイドライン (FCCJ) ⇒水素計量管理の運用ガイドライン HySUT-G0002 (2017)

※平成29年10月26日現在

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通し

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

	「実用化」の考え方 (定義)	アプローチ
研究開発項目Ⅰ 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発	商用ステーションにおいて利活用されること。	見直された規制や、制定された技術基準等
研究開発項目Ⅱ 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発		研究開発成果が導入された機器
研究開発項目Ⅲ 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発		開発された水素ステーションの安全データベースや、人材育成ツール等
研究開発項目Ⅳ CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究		得られた情報、知見が他の事業に活用されること。



4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し (3) 成果の実用化の見通し

◆成果の実用化の見通し	
	成果の実用化の見通し
研究開発項目Ⅰ 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発	本事業の成果を元に、順次、経産省の保安分科会高圧ガス小委員会での議論を通して、高圧ガス保安法へ反映、もしくは、民間ガイドラインとして策定されており、2015年からの普及開始に伴い、順次実用化され対応している。 また、国際的な規格・基準としてISO、HFCV-GTRについては、事業終了後遅くとも2年以内には実用化(発行)される予定。
研究開発項目Ⅱ 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発	2億円のステーションを成立させる前提である、構成機器に関する低コスト化に取り組み、それぞれの目処がついている。 水素圧縮機 1.5～1億円 → 6500万円 プレクーラー 3000万円 → 2400万円 水素製造装置 1.35億円 → 5000万 (100Nm ³ /h)、9000万円 (300Nm ³ /h) 蓄圧器 5000万円 (ステーションあたり) →1000万円
研究開発項目Ⅲ 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発	セーフティデータベースについては基本フォーマットを作成し、JHFC1～JHFC3までの実証水素ステーションで得られた情報を反映、HySUTを通じて関係事業者への展開を開始。 また、既に関係者へ配布済みの「水素ステーション教育設備・訓練内容指針(案)」を基に「水素ステーション運営訓練カリキュラム」を完成し、水素技術センターにて運用を行う。
研究開発項目Ⅳ CO ₂ フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究	国際機関等の調査において、国内外の関連有識者とのネットワークが構築された。本ネットワークは研究開発項目Ⅲにおいて社会受容性向上の研究において活用されている。また、「水素社会構築技術開発事業」における海外からの水素サプライチェーン構築実証等、他の事業にも知見は活用されている。

60

4. 成果の実用化に向けての取組及び見通し (3) 成果の実用化の見通し

◆成果の実用化の見通し

2025年320箇所、2030年900箇所程度の水素ステーション設置を実現するために

実用化に対する課題

- ▶ 世界に先駆け商用水素ステーションの設置を進めてきたが、整備費、運営費等の更なるコスト低減のための技術開発が必要。
- ▶ 規制の見直しについては、更なる洗い出しと見直しに資する研究開発が必要

今後の方針 (案)

- 機器設備の長寿命化、メンテナンス費用低減、装置・構成部品の規格化・標準化の取組の実施
- 金属材料(汎用材の適用可能性検討等)、高分子材料(評価方法確立等)、次世代水素ステーションの検討
- 規制見直しや国際連携などへの取組

61

◆波及効果

- 日本は燃料電池・水素の分野に関して30年以上にわたる研究開発の経験と蓄積があり、水素材料評価、燃料電池、高圧タンクなど世界の最先端を行っている技術分野が多く、特許出願件数に関しては世界1位で2位以下の欧米をはじめとする各国の約5倍以上を占める。
- 水素／燃料電池関連の市場規模は日本国内だけでも2030年に5,900億円程度に成長すると試算されており、今後の大きな成長が期待されている。
- 研究者、技術者の活躍する土壌が広く、人材育成の観点からも多くの機会を継続的に供給していくことが期待される。

「水素利用研究開発事業」(事後評価)

(平成25年度～平成29年度 5年間)

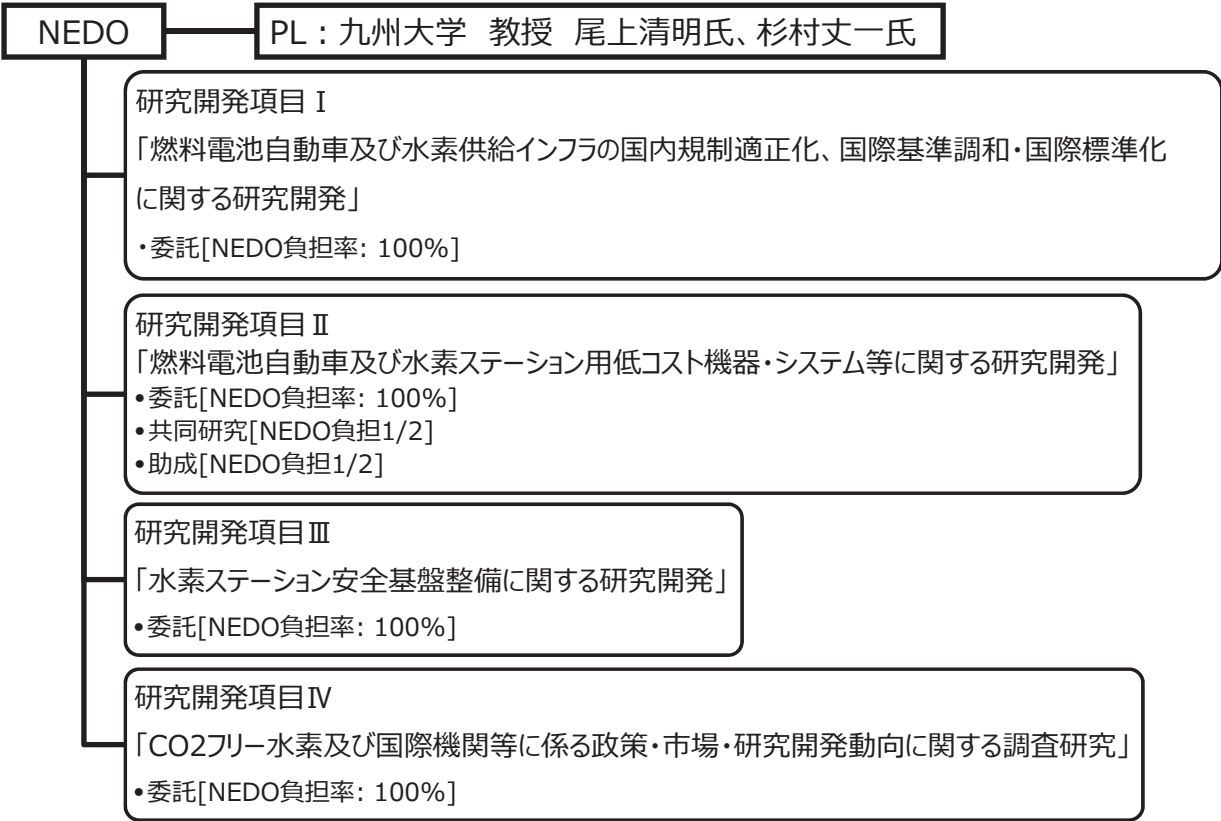
プロジェクトの詳細説明 (公開)

NEDO

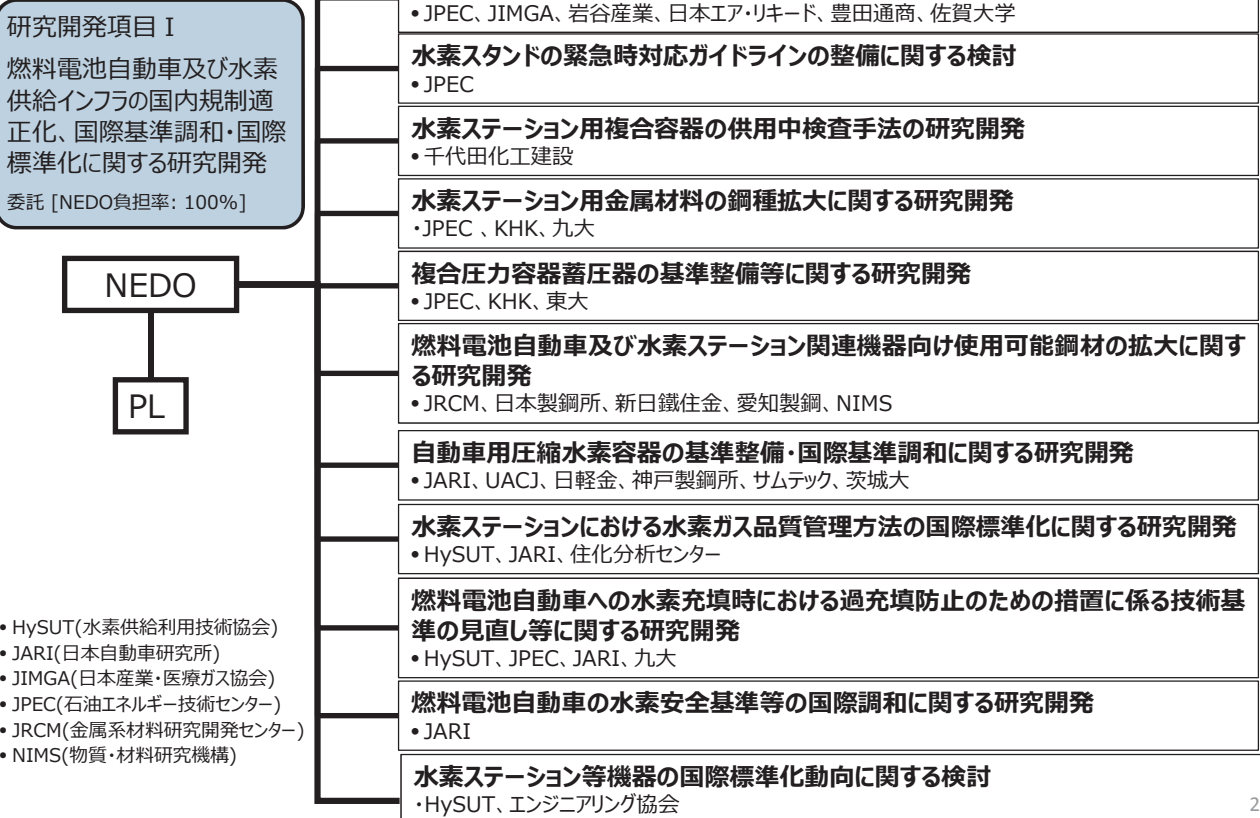
新エネルギー部

平成29年11月24日

◆ 研究開発の実施体制

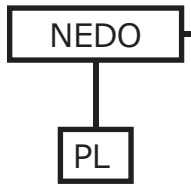


◆ 研究開発の実施体制



◆ 研究開発の実施体制

研究開発項目Ⅱ
燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発
委託 [NEDO負担率: 100%]
共同研究 [NEDO負担1/2]
助成 [NEDO負担1/2]

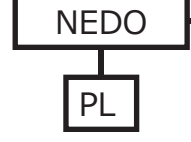


- 委託
 - 水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発
・HySUT、九大、化学物質評価研究機構、横浜ゴム、NOK、日本合成化学工業
 - 高圧水素機器用ホース等システム部材の研究開発 ・ブリヂストン、九大
 - 水素ステーションにおける水素計量管理方法に関する研究開発
・HySUT、タツノ、岩谷、産総研
 - 燃料電池自動車用水素貯蔵材料に関する研究開発
・九大、日本重化学工業、東北大学、アツミテック
 - 多給糸フィラメントワインディングによる複合容器の設計高度化に関する研究開発
・東大、帝人、村田機械
- 共同研究
 - アルミ製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発 ・JXTGエネルギー、サムテック
 - スチール製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発 ・JFEスチール、JFEコンテナ
 - タイプ2複合容器圧力蓄圧器の研究開発 ・JFEスチール、JFEコンテナ、三菱ケミカル
 - タイプ2複合容器圧力蓄圧器の研究開発 ・日本製鋼所
 - 樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発 ・八千代工業、東邦テナックス
 - 樹脂製ライナー低コスト複合容器蓄圧器の開発 ・中国工業
 - 樹脂ライナーの低コスト複合容器蓄圧器の開発 ・丸八、巴商会
- 助成
 - 有機ケミカルハイドライド法脱水素設備の水素ステーション用小型化・低コスト化
・千代田化工建設
 - オンサイト型水素ステーション用低価格水素製造装置の開発 ・大日機械工業
 - 複合型高圧水素圧縮機の研究開発 ・サクシオン瓦斯機関製作所
 - 低コスト・プレクーラーの研究開発 ・巴商会

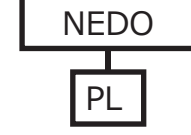
・HySUT(水素供給利用技術協会)

◆ 研究開発の実施体制

研究開発項目Ⅲ
水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発
委託 [NEDO負担率: 100%]



研究開発項目Ⅳ
CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究
委託 [NEDO負担率: 100%]



- 水素ステーション高度安全・安心技術開発 ・HySUT
 - 高圧水素ガス用高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接継手に関する研究開発
・エアキードラボラトリーズ
 - 水素ステーションにおける雷被害対応技術の研究開発
・佐賀県、鳥栖環境開発総合センター、雷保護システム工業会
 - 水晶振動子を利用した信頼性向上が期待できる水素センサの研究開発
・早稲田大学、坂本電機製作所、KOA
 - 光学式水素ガスセンサおよび水素ガスリークディテクタの研究開発
・四国総合研究所、千葉大学
 - 水素火災可視化機能を有する監視システムの研究開発 ・四国総合研究所
 - 電気化学式水素ポンプに係る研究開発 ・東レ
 - 水素社会構築に向けた社会受容性調査 ・みずほ総研
 - 実環境下における安全運用技術の研究開発 ・HySUT
 - 四大都市圏から全国普及に向けた水素ネットワークの技術課題に関する検討
・九州環境管理協会
-
- 海外の政策・市場・研究開発動向に関する調査研究 ・テクバ
 - 有機ハイドライドを用いたロシアからのCO2フリー水素導入に関する調査研究
・千代田化工建設

・HySUT(水素供給利用技術協会)

3. 研究開発成果

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
研究開発項目 I 「燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発」	平成22年(2010年)12月28日に原子力安全・保安院から公表された「燃料電池自動車・水素ステーション普及開始に向けた規制の再点検に係る工程表」に含まれる検討項目及び平成25年6月、平成27年6月及び平成28年6月に閣議決定された「規制改革実施計画」の次世代自動車の世界最速普及において対象として挙げられた項目について、規制見直しを進めるために必要な研究開発を行い、水素ステーションに係るコスト低減等に資する。 その他、水素ステーションにおける水素ガス品質管理方法の国際標準化、FCVにおける国内規制の適正化・国際基準調和・国際標準化等に資する各種案を作成する。	<ul style="list-style-type: none"> 水素供給インフラに関連した規制見直しは追加検討項目を含め検討を完了した。 また水素充填ガイドライン、水素品質ガイドライン、水素計量ガイドラインなどの制定及び改定と併せ、70MPa水素ステーション及びFCVの普及拡大に必要な合理的な管理ガイドラインも策定された。 MCH由来の不純物であるMCH・トルエンが与える影響を明確にし、品質規格改定議論等を日本がリードした。 FCVの国際流通に必要なISO、SAE、HFCV GTRは日本が議論をリードする形で成立している。 	○	<ul style="list-style-type: none"> 新たな規制見直し検討項目について検討を進めていく。 HFCV GTR phase2インフォーマルワーキングの論議が2017年10月から開始されたため、容器破裂圧適正化・水素適合性試験法・AL合金の腐食試験法等の課題について、日本案の反映が必要。 本格的普及、自立化に必要な規格・標準などの共通課題の整備をすることが必要。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み／一部達成、×未達

5

3. 研究開発成果

◆研究開発項目毎の目標と達成状況

研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
研究開発項目 II 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発	<水素ステーション> 水素ステーション及び水素貯蔵システムのコスト・性能目標を満足する機器・システム等の実用化技術開発を実施し、水素ステーションに係るコスト低減等に資する。	<ul style="list-style-type: none"> 高圧水素用（87.5MPa用）ホース・シールシステムの要求圧力サイクル回数を達成した。また、樹脂製高圧水素用ホースの信頼性評価基準（案）を策定した。 コスト目標を達成するプレクラシステム、水素圧縮機、水素製造装置を開発し、実用化完了する目処を得た。 複合容器蓄圧器の実用化技術が開発され、大型化達成の目処を得た。 Type 4 複合容器の使用条件を明らかにすることが出来た。 水素計量技術及び計量器校正等の管理技術を確認し、水素ステーションでの公正な水素販売を実現した。より高精度なマスターメータ法による計量の評価手法を完了した。 	○	<ul style="list-style-type: none"> 実環境下でのホース・シールの劣化状況が不明であり、ホースの交換期間の設定や使用時の閾値の設定が困難であるため、実環境下で使用されたホース・シールについて劣化状況を把握し、高圧水素ホース構成部材の各種劣化指標との相関を検討する必要がある。 ホースのISO議論が続いていることから、今後も国内基準との調和のために日本の積極的な意見発信が必要である 水素ステーションコストと合わせて運営コストの低減も検討する必要がある。
	<FCV用水素貯蔵システム> 水素5 kg を搭載した場合、質量貯蔵密度 6質量% 以上、容器体積 100L 以下、コスト 30～50万円以下、かつ燃料電池自動車の低温起動や全開加速に適合する水素放出性能を有する車載用システムの開発。	<ul style="list-style-type: none"> 車載システムのコンセプトを構築し、自動車走行モデルから車載容器の要求仕様を求め実験およびシミュレーションを用いて車載に適した水素貯蔵材料を用いたシステムの設計および性能の評価を進めた。水素貯蔵材料容器システムの優位性を実証する予定 	△	<ul style="list-style-type: none"> 水素貯蔵材料容器システムの試作および性能評価とシミュレーションによる定式化に基づいて、プリチャージタンクとメインタンクのサイズおよび水素圧力等の詳細な最適化。 水素貯蔵材料の高性能化、高密度化。

◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み／一部達成、×未達

6

3. 研究開発成果

◆研究開発項目毎の目標と達成状況				
研究開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
研究開発項目Ⅲ 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発	より高次元の安全・安心を実現する機器及び運転・管理手法等の要素技術を確立して、水素ステーションの社会受容性の向上に資する。	<ul style="list-style-type: none"> ・セーフティデータベースを作成し、事業者間からの情報収集と展開の仕組みを完成した。 ・水素ステーションのオペレータ向けの教育設備訓練内容指針(案)を作成した。 ・ポータルサイトを開設し、一般の方への情報提供を開始した。 ・水素センサ、火災可視化、電気化学式水素ポンプ等、次世代の水素ステーションに必要な技術課題を具体化した。 ・雷被害リスク軽減に有効な「雷被害対策ガイドライン(案)」を取りまとめた。 ・開発品を実環境下で評価できる水素技術センターを完成し、評価を行った。 	○	
研究開発項目Ⅳ CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究	「国際エネルギー機関(IEA)」や、「国際水素エネルギー・燃料電池パートナーシップ(IPHE)」における情報収集等により海外の政策・市場・研究開発動向を把握するとともに、適切な情報発信を行う。	IEA、IPHEでの海外の政策・市場・研究開発動向に係る情報収集、及びCO2フリー水素の導入・普及に係る可能性調査を実施し、国内の水素・燃料電池利用技術関係者へ情報展開した。その結果、海外の研究開発動向、段階をふまえた新たな研究開発が水素社会構築技術開発事業等で開始され、水素利用技術の展開範囲が拡大した。	○	<ul style="list-style-type: none"> ・国際連携・調和の活動を継続、国内外の研究開発、政策動向を情報収集、情報発信を適切に行うことが必要

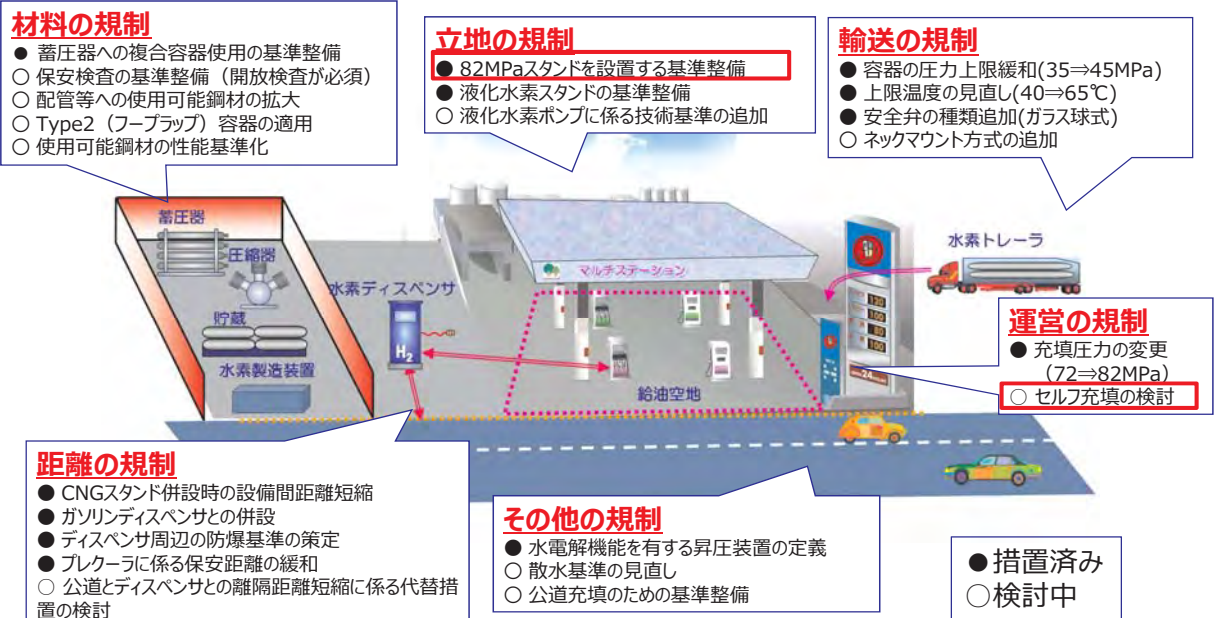
◎ 大きく上回って達成、○達成、△達成見込み／一部達成、×未達

7

3. 研究開発成果 - 研究開発項目Ⅰ

◆各個別テーマの成果と意義

規制適正化 水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関し、規制内容の検討、安全性検証・検討、技術基準案策定、課題整理などを行った。

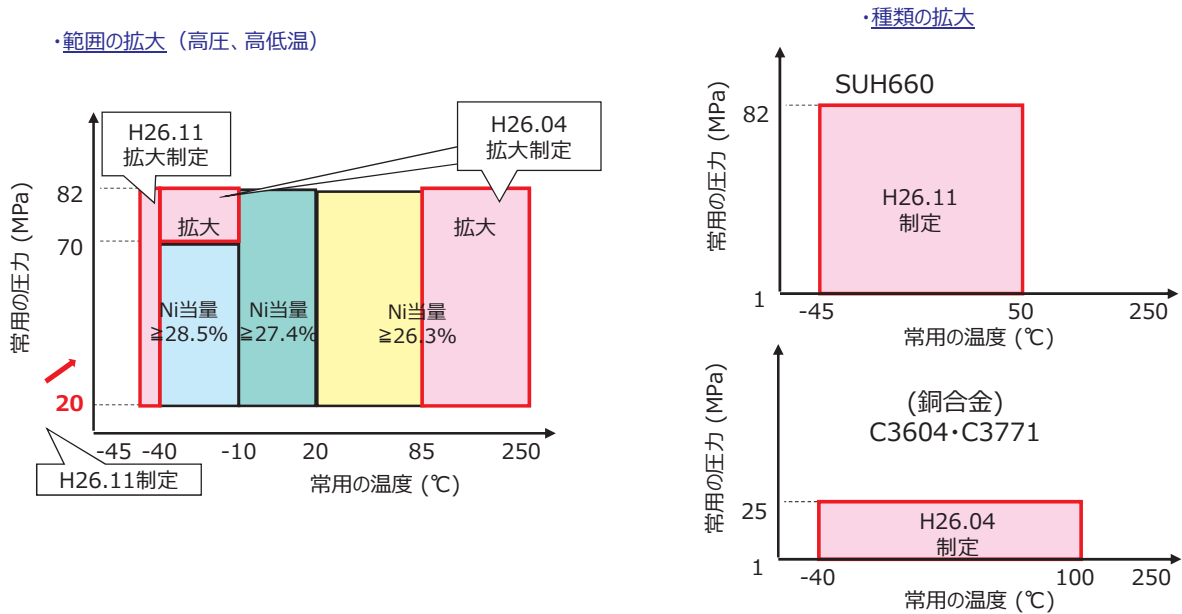


8

3. 研究開発成果 - 研究開発項目 I

◆各個別テーマの成果と意義

金属材料の鋼種拡大	高圧ガス設備等で使用する金属材料の鋼種の拡大と使用範囲（温度・圧力）拡大を図った。また業界で使用できる低合金鋼に関する技術文書を発行した。
------------------	---



9

3. 研究開発成果 - 研究開発項目 I

◆各個別テーマの成果と意義

複合容器の供用中検査手法

項目	成果
アルミ合金の疲労試験時におけるAE発生挙動調査	特定の周波数帯域のAEパラメータを用いて、疲労き裂進展が評価できる事を示した。
CFRPの破壊時のAE発生挙動調査	CFRP破壊のAE信号は疲労評価のためのAE周波数帯域と異なる事を確認した。
タイプ3高圧タンクの疲労破壊試験時のAE発生挙動調査	波形分類と振幅比の併用による新しいAEパラメータによって複合容器の疲労評価の可能性を見出した。

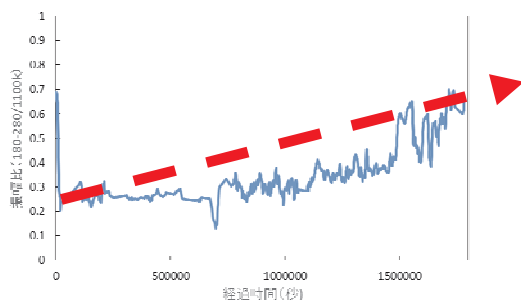


図12 複合容器とAEセンサの外観 (JPEC殿提供写真)

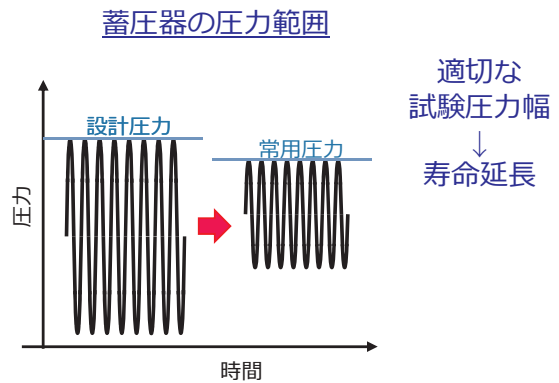
⇒ 全AE波を波形分類して振幅比を分析する手法によって疲労損傷を正しく評価できる事を示した。

10

◆ 各個別テーマの成果と意義

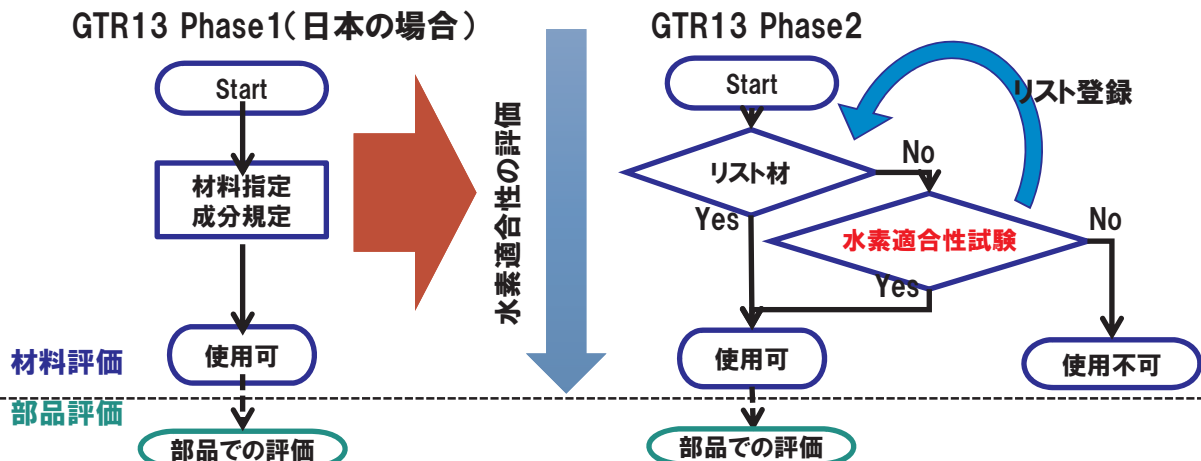
複合圧力容器の基準整備	Type2.3.4容器の疲労寿命評価方法の確立に向けたデータ取得を行い応力範囲と疲労寿命の相関を確認
--------------------	--

項目	
Type2容器	・容器における部分充填効果と損傷モードを確認し、これらの結果を基に自主基準案を作成した。
Type3容器	・容器の疲労試験に関する技術文書 KHKTD5202の改定素案及び解説書素案を作成し、改定申請を実施した。 ・容器応力解析の高度開発
Type4容器	・技術基準案の策定に資する適切な疲労寿命評価方法を提示 ・小型容器での応力範囲（圧力サイクル幅）と疲労寿命の相関取得



◆ 各個別テーマの成果と意義

自動車用圧縮水素容器	水素適合性を評価する材料試験法の開発
項目	成果
安全性評価	疲労試験データを取得し、策定した試験法案の妥当性を評価した。
国内基準の適正化および国際基準調和	実証試験データと試験法案の国内審議から、国際議論の場への開示承認を得た。
材料評価および試験法開発	6000系アルミニウム合金の応力腐食割れ特性データを取得した。策定した湿潤ガス応力腐食割れ（HG-SCC）試験法案の妥当性も見えつつあり、国内外での先行規格化を推進中。



3. 研究開発成果 - 研究開発項目 I

◆ 各個別テーマの成果と意義

水素ガス品質管理方法の国際標準化

項目	成果
水素品質管理運用ガイドライン (GL) の策定	水素ステーションの品質管理方法を規定する運用GLを予定通り平成26年9月に作成し、以降2回の改定を実施。既に広く利用されている。 全て水素ステーションの結果はISO14687-2を満足していることを確認した。
現地評価機能を付加したサンプリング方式と分析法の開発	現地分析可能な項目別の分析装置を組み込んだキットを作成し、更なる分析費用の削減見込みを得た。 (目標：分析費用1/10以下、分析時間1/5以下)
水素燃料仕様の国際標準化	ISO14687-2に改訂提案に加え、ISO 19880-8 (水素品質管理) の新規提案を日本が実施。各々H29年度中にDISおよび発行段階に到達する見込み。 (日本は、当該規格のそれぞれについて、議長を務めている。)



サンプリングキット



試料採取容器

13

3. 研究開発成果 - 研究開発項目 I

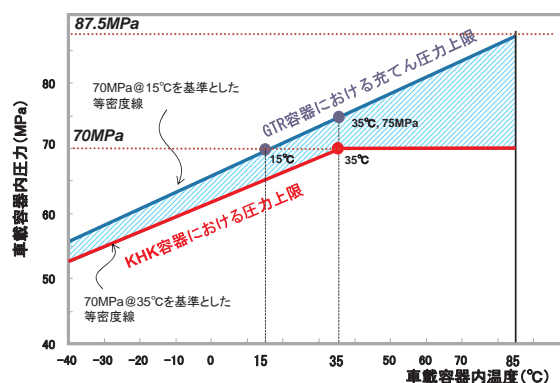
◆ 各個別テーマの成果と意義

過充填防止のための措置に係る技術基準の見直し等

項目	成果
国内基準類の改正案作成及び制定	FCV用基準制定FCバス用基準制定 MCフォーミュラ (新しい充填方式) 方式充填基準案策定 FCV、FCバス用基準対応ガイドラインを作成
国際標準と国内基準類の調和、国際連携	SAE J2601に日本の意向反映。ISOへの提案実施 充填プロトコルに関連してプロトコル及び評価ガイドラインを欧米(SAE、ISO)に提案し、充填基準の国際標準化に貢献。
充填技術開発/充填技術検証	ブレクールした低温水素ガスをバスと二輪の充填、氷結試験のデータ取得し、問題ないことを確認した。



70MPa超領域確認用充填性能評価装置



14

3. 研究開発成果 - 研究開発項目 I

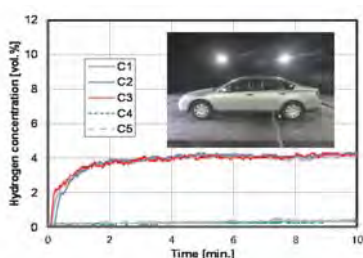
◆ 各個別テーマの成果と意義

燃料電池自動車の水素安全基準等の国際調和

項目	成果
FCVの国内規制および国際基準調和に資するデータ取得	「車載容器の局所火炎暴露試験法」、「衝突試験後の車室内水素濃度測定法」、「水素バージガス試験法」に関わるデータ取得
FCVの国際標準化	イグニッションオフ後の水素遮断特性や車載用水素センサー仕様を提案し、合意を得た。また、事故車両の識別やFCV廃車処理に関わる標準化について、JEVS(日本電動車両規格) (案) を作成し、発行の予定。
安全な事故後処理・廃車処理に資するデータ取得	消防関係、容器クズ化業界へデータ提供し、今年度内に各団体からマニュアル発行される予定。
FC2輪車の安全に関するデータ取得	二輪車特有の課題をデータ提供し、2016年、道路運送車両保安基準の細目告示(別添118)により、世界初のFC二輪車の安全基準が策定された。



車載容器局所火炎暴露試験



車室内水素漏洩試験



連続的漏洩 250 NL/min
FC二輪車の水素センサー取付け要件に関わる水素漏洩試験

15

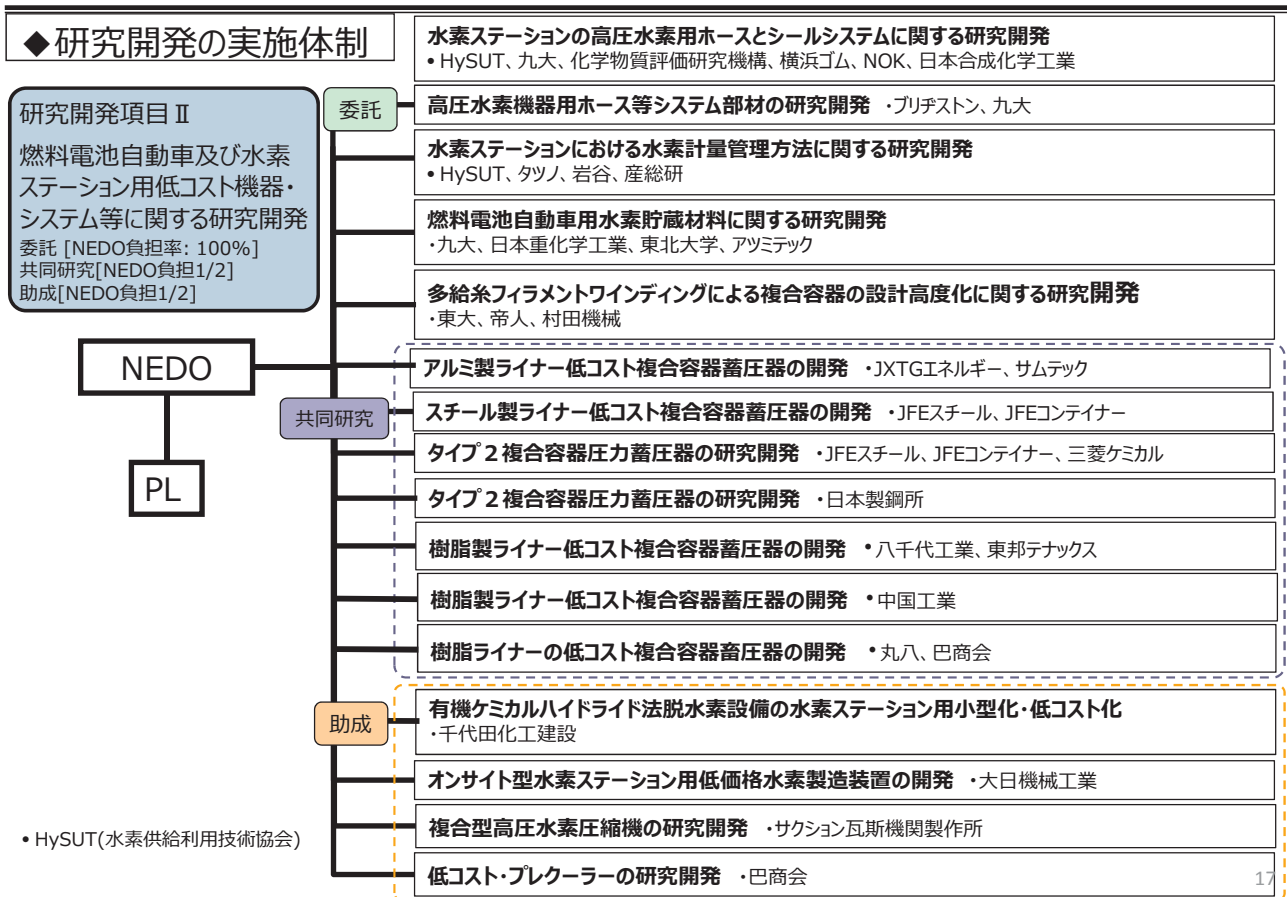
3. 研究開発成果 - 研究開発項目 I

◆ 各個別テーマの成果と意義

水素ステーション等機器の国際標準化

項目	成果
ISO等の国際標準化の動向調査	<p>充填・品質・ホース等のNEDOの他の研究開発事業と連携し、14全てのWG運営を遅滞なく行い、制定状況の把握と日本意見の適切な反映。</p> <p>我が国がコンビナ(国際議長)として提案したWG(*) WG19(水素ステーション用ディスペンサー=充填機)、WG20(水素ステーション用バルブ類)、WG27(FCV用PEFC、定置用PEFC等のための水素品質規格)、WG28(FCV用水素品質管理)</p>
ISO等国際標準と国内技術等との比較調査	<p>既に国際規格(IS)等を発行済の10のWGを対象に、ISやTSの国内利用状況を調査し、成果と課題を明らかにした。</p> <p>ISO規格制定過程で日本の技術貢献が大なケース ・ISO17268(水素充填コネクタ) NEDO事業で開発し日本が提案した評価試験法と仕様(形状)が追加された。 ・ISO14687-2(FCV用水素燃料仕様) 13種の不純物規格値の根拠データの大半はNEDO事業で取得した成果 ・ISO14687-3(定置式PEFC水素燃料仕様) 同上</p>

16



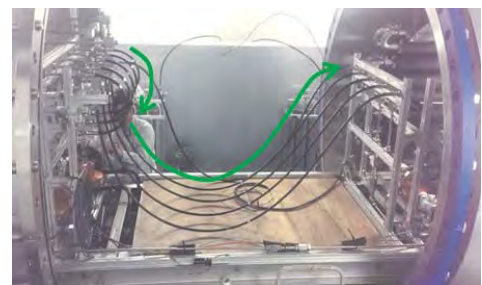
3. 研究開発成果 - 研究開発項目Ⅱ

◆ 各個別テーマの成果と意義

高圧水素ホース評価法の開発

項目	成果
高圧水素ホース評価法の開発	82MPaホースについて評価実施 2,200回の高圧水素加減圧サイクル達成 引き続き評価を継続し、50,000~70,000回のサイクル達成 87.5MPa水素にて実用を模擬した耐久性試験を国内外で実施し「普及初期1年間ノーメンテナンス」に対する安全性を評価
内層樹脂材料探索	ホース内層材など水素機器に用いられる樹脂材料について、高圧水素曝露時の水素侵入量、体積変化率を測定、データベース構築 90MPaクラスの差圧式水素透過測定法確立 内面樹脂層への水素影響抑制と低温 (-40℃) 機械特性を両立するバリア材開発、バリア材を持つ2種2層内層チューブを開発
87.5MPa試作ホースの開発	内層樹脂にバリア材を持つ2種2層内層チューブを用いたホース試作 (日本合成化学工業・横浜ゴム) 内層樹脂配合を改良したホース試作 (ブリヂストン)

ロボのホース取付

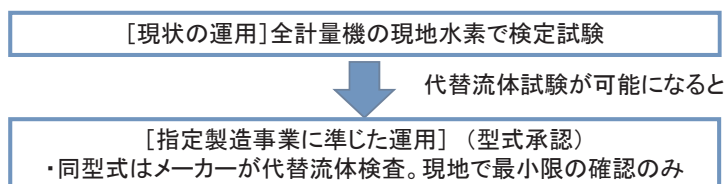


3. 研究開発成果 - 研究開発項目Ⅱ

◆各個別テーマの成果と意義

水素ステーションにおける水素計量管理方法

項目	成果
重量法およびマスターメーター法による水素計量に係るガイドライン案の策定	2014年秋に初版のガイドライン案を作成した。業界団体に採用され、全ての商用水素ステーションの計量検査で活用されるなど波及効果は大きい。その後、実施者のデータ・知見を踏まえて、ガイドラインの適正化を行い、ガイドライン改定案を作成した。
重量法による評価方法の確立	試験装置を用いたステーションにおける計量精度試験の実施し、試験結果をガイドライン案に反映。全ての商用ステーションで計量精度を確認し、影響因子を解明。計量システムの精度改善に繋げた。
マスターメーター法による評価方法の確立	マスターメーター法による評価技術を確認し、水素ステーションにてその実用性を確認中
代替流体による校正方法の検証、基準化	水素・代替流体で流量計の校正実証で相関性を確認し、指針を得ることができた



19

3. 研究開発成果 - 研究開発項目Ⅱ

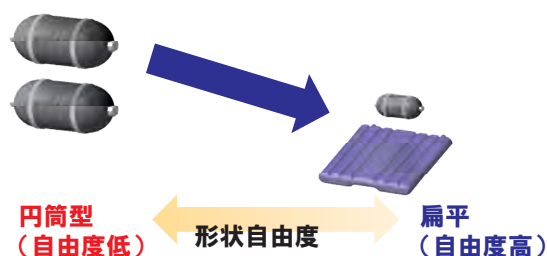
◆各個別テーマの成果と意義

燃料電池自動車用水素貯蔵材料

水素5 kg を搭載した場合、質量貯蔵密度 6質量% 以上、容器体積 100L 以下、コスト 30~50万円以下、かつ燃料電池自動車の低温起動や全開加速に適合する水素放出性能を有する車載用システムの開発

項目	成果
吸着系水素貯蔵材料の研究開発	高い吸蔵量を実現可能なスピルオーバー現象を確立するとともに安価な触媒を開発して車載に適した材料を提案
軽量水素貯蔵材料の研究開発	水素吸蔵量7.5質量%のMg系材料を開発
車載用水素貯蔵システムの構築と評価	燃料電池自動車の車載容器への要求仕様のリバース解析による確認シミュレーション：材料の水素放出特性推算式および容器システムの実験再現

システム評価からの提案例：
形状自由度の高いコンパクトな容器システム
(プリチャージタンク+扁平型メインタンクの2
タンク容器システム)



20

3. 研究開発成果 - 研究開発項目Ⅱ

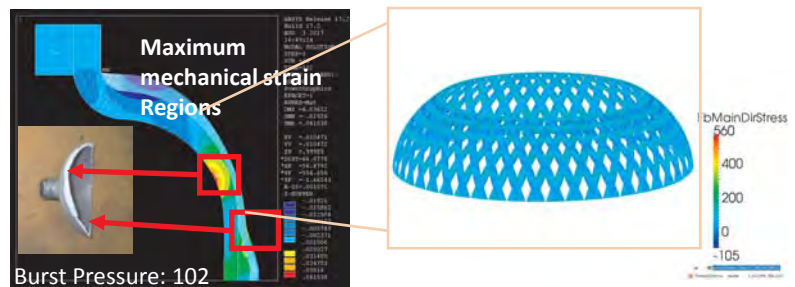
◆各個別テーマの成果と意義

多給糸フィラメントワインディングによる複合容器の設計高度化

項目	成果
メソスケールシミュレーションに基づく最適設計手法の開発	有限要素シミュレーション手法および鏡部形状最適化手法の確立
多給糸FWにより製造された容器の製造誤差評価技術の開発	繊維配向方向計測技術の開発と炭素繊維束寸法誤差の影響評価法開発
多給糸FW製法による最適設計容器の実証	炭素繊維量を十分に低減した設計で常用圧力の2.25倍の破裂圧力達成

有限要素法によるズーム解析

繊維方向ひずみを規準として高精度で破裂圧力予測を行うことが世界で初めて可能となった。



21

3. 研究開発成果 - 研究開発項目Ⅱ

◆各個別テーマの成果と意義

アルミ製ライナー複合容器蓄圧器（タイプ3）

項目	成果
耐久サイクル回数	10万回 複合容器蓄圧器の設計の妥当性の検証
製造コスト	2万円/リットル 汎用CF-TPPの適用、高速ワインディング、量産化により更なる低コスト化が達成可能と試算結果を得た

大型容器設計確認

アルミライナーとCFRP厚さの最適化を行った300L蓄圧器をDRY法にて製作した。

- 仕様 AL材：6061-T6、
- CF：汎用CF-TPP
- 容量：300L、重量：680kg、
- 外径：423mm、
- 設計圧力：99MPaG
- 常用圧力：82MPaG
- 破裂性能：250MPaG
- サイクル性能：100,000回以上
(39.6MPaG ⇔ 99MPaG)

トウプリプレグ(TPP)



22

3. 研究開発成果 - 研究開発項目Ⅱ

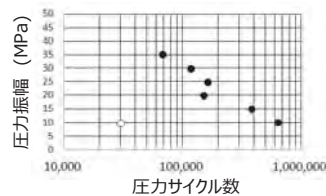
◆各個別テーマの成果と意義

スチール製ライナー-低コスト複合容器蓄圧器 (タイプ3)

項目	成果
スチールライナーの寿命検討	<ul style="list-style-type: none"> ・材質データ採取完了。 ・疲労限(100万回)およびSSRT最高荷重は大気中と水素中で同等。大気中材料特性により容器設計可能。 ・疲労限は水素環境でも周波数依存性なし。
簡易シミュレーションによる蓄圧器の特性予測	<ul style="list-style-type: none"> ・スチールライナー-CFRP厚設計指針提示。 ・設計係数4では、ライナー厚50mm、CFRP厚30mm、CFRP量200kg。 ・重量、コストとも目標達成可能。
規制見直しへの取組	<ul style="list-style-type: none"> ・低合金鋼ガイドラインWG、スチールライナー-CFRP複合容器ガイドラインおよび技術基準策定検討開始に寄与。

・スチール製ライナー-低コスト複合容器 (Type3) 蓄圧器の基本設計を27年度内に完了
⇒27年度にて事業終了し、Type 2 容器開発へ着手

小型容器の
疲労試験結果



○：鋼製ライナー単体の疲労寿命



厚肉ライナー (30 L) 容器の破裂試験結果
(CFRPが破断しても、ライナーは破裂しない)

23

3. 研究開発成果 - 研究開発項目Ⅱ

◆各個別テーマの成果と意義

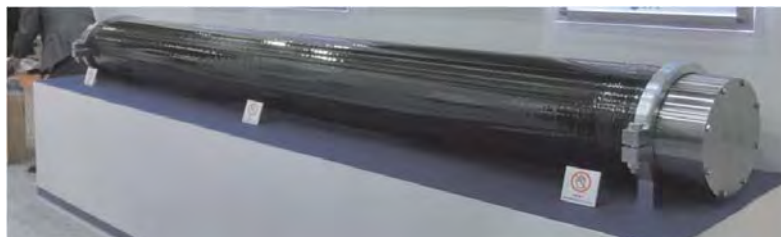
複合容器蓄圧器 (タイプ2)

項目	成果
耐久サイクル回数	5万回以上 (達成見込み) 複合容器蓄圧器の設計の妥当性検証し、試験実施中
製造コスト	1.2万円/リットルが達成可能と試算結果を得た

日本製鋼所株式会社



JFEスチール株式会社
JFEコンテイナー株式会社
三菱ケミカル株式会社



24

3. 研究開発成果 - 研究開発項目Ⅱ

◆各個別テーマの成果と意義

樹脂製ライナー複合容器蓄圧器（タイプ4）

項目	成果
ライナー製法、口金部等の構造決定	基本設計、要素試験を完了し、小型容器での各種試験を実施
大型容器を作製するためのフィージビリティスタディの実施	小型容器で得られた指針を大型容器試作に反映 プラスチックライナー製作にあたっての融着構造、口金シール構造など仕様の決定
実容器における性能評価 ・破裂圧力、疲労試験など	<ul style="list-style-type: none"> ・破裂圧力試験（水）：最高充填圧力の2.25倍を達成 ・サイクル試験（水）：実施中（目標100,000回） →下部に記載 ・ガス透過試験：5cc/L・h以下を達成



大型サブスケール試作容器（67L）
（八千代工業）



大型リアルスケールたわみ検証状況
（八千代工業）



改良したFWプログラムによる試作容器(30L)
（中国工業）

大型化に向けては、中型容器の試験結果の解析を行い、
複合容器蓄圧器としての性能検証の必要あり

25

3. 研究開発成果 - 研究開発項目Ⅱ

◆各個別テーマの成果と意義（補助事業）

有機ケミカルハイドライド法 脱水素設備の水素ステーション用小型化・低コスト化	検証設備製作、一定の運転条件で基本性能の確認済。 継続運転にてデータ取得、解析を予定
---	---

設計時の検討項目	検証設備
設備容量 設計圧力	製品水素流量：30 Nm ³ /h 1 MPaG未満（低圧でも運転試験を）
MCH蒸発器・ 過熱器	熱媒による蒸発・過熱器 1 器
脱水素反応器	反応管や触媒のサイズ変更などにより、 機器長さ 3 m以下にほぼ半減
熱媒加熱炉	都市ガスバーナー加熱炉 PSAオフガス混焼
水素精製	冷却後の気液分離に加えて、PSA 製品水素品質：ISO14687-2 （全炭化水素 メタン換算 2 ppm以下 = トルエン残留濃度 0.28 ppm以下）
運転制御の自動化	定常運転時の自動制御に加えて、起 動・停止などのシーケンスを概ね自動化



26

3. 研究開発成果 - 研究開発項目Ⅱ

◆各個別テーマの成果と意義（補助事業）

水素製造装置	100Nm ³ /h	→	5,000万円以下を達成
	300Nm ³ /hの設計及びコスト見通しを得た		

項目	開発目標
原料	都市ガス 13A
流量	100Nm ³ /h
温度	常温～40℃
圧力	0.6MPaG以上
水素純度	≦99.97%以上
その他ガス組成	ISO14687-2 FCV用水素燃料規格 (2012 Grade D)
スキッド寸法	3000W×2500D×3000H



27

3. 研究開発成果 - 研究開発項目Ⅱ

◆各個別テーマの成果と意義（補助事業）

水素圧縮機	340Nm ³ /h
	設計見直し 10台ロット機で 7500万円 生産習熟機 コスト見通し（6500万円以下）を得た

要目	仕様
型番	TCH511DP
型式	ダイヤフラム複合型無給油5段圧縮水冷式 高圧水素圧縮機
取扱いガス	水素ガス
吸入圧力	0.6 MPaG（0.4 MPaG～0.7 MPaGの 範囲で使用可能）
吐出圧力	82 MPaG
容量	340 Nm ³ /h
電動機	90 kW (初号機のみ110 kW試験用電動機使用)

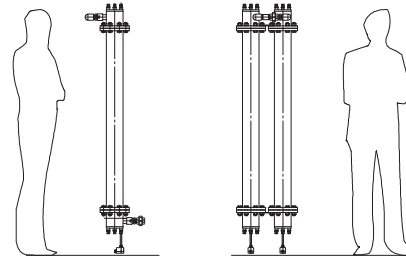


28

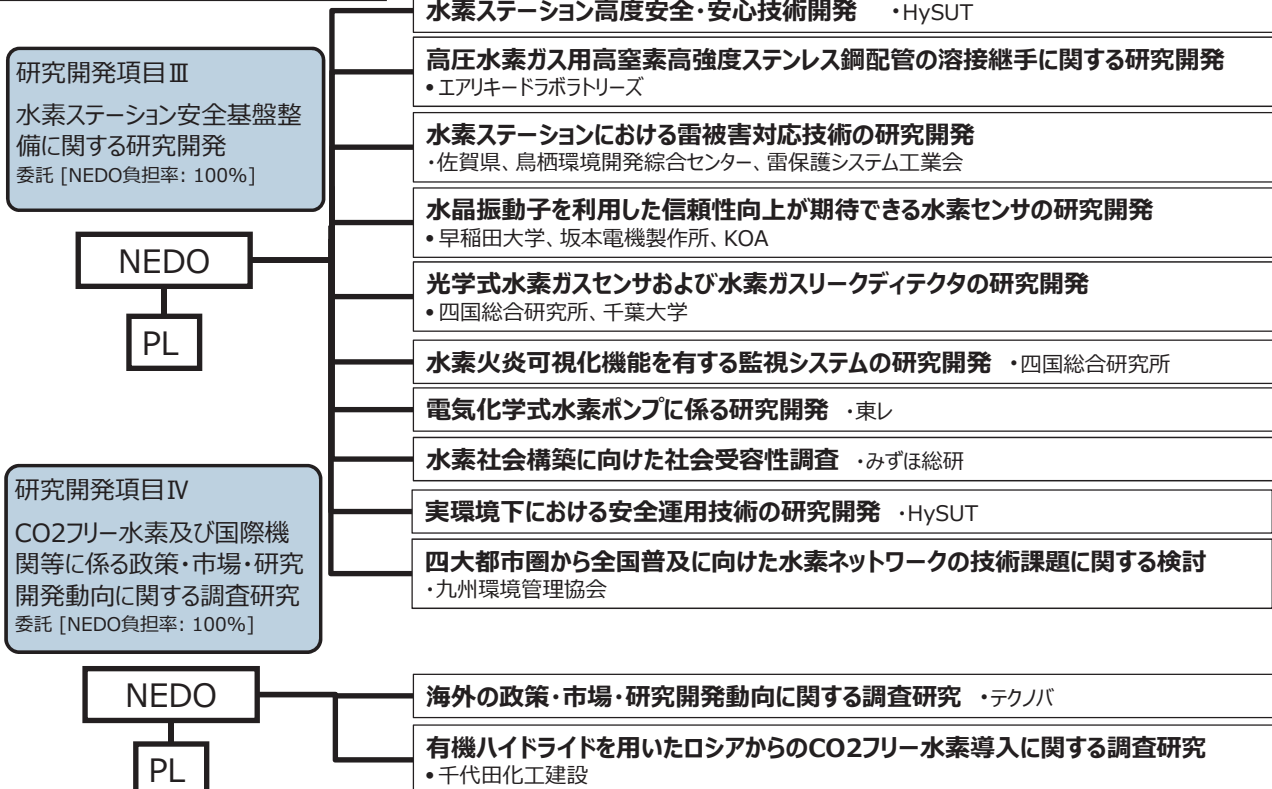
◆各個別テーマの成果と意義（補助事業）

プレクーラー	熱交換ユニット基数半減・冷凍機能力削減・低コストブライン採用により、目標価格を達成 目標価格（量産時：2,400万円）
---------------	---

項目	成果
冷凍システム	リザーバータンク設置による冷凍機能力の低減の確認、省エネモードの有効性確認
性能確認	各試験条件下でガス供給温度は充填技術基準を満たす冷却性能を達成
適用性	Heavy duty protocol条件でガス供給温度は管理基準内に留まり十分な冷却性能を確認
コスト等	システム総合コストと小型化に成功した。コンパクト水素ステーション建設可能性を示す。



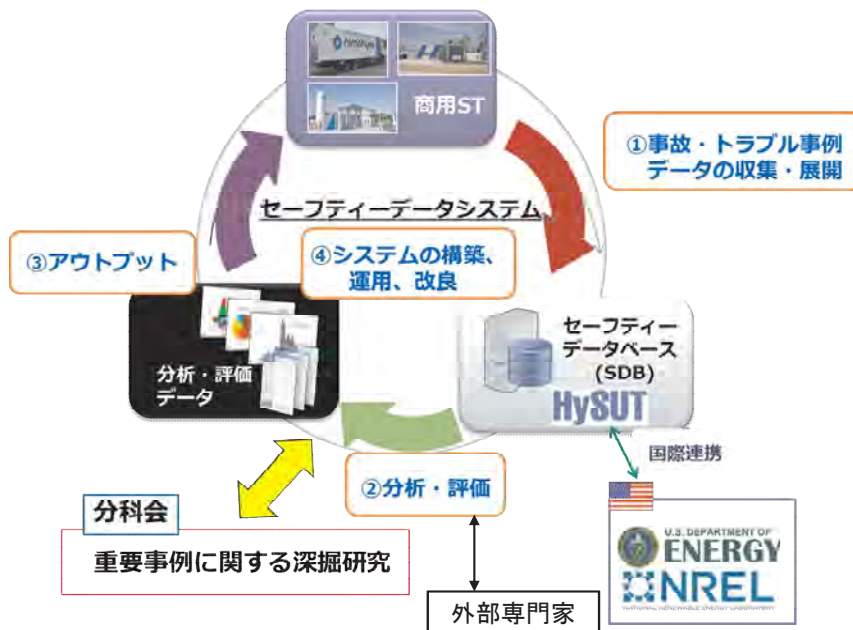
◆研究開発の実施体制



◆各個別テーマの成果と意義

水素ステーション高度安全・安心 セーフティーデータシステムの構築

- ・事故・トラブル事例データの収集、セーフティーデータベース化
- ・データ集計による分析・解析および重要事例の深掘り検討と周知展開



◆各個別テーマの成果と意義

水素ステーション高度安全・安心 社会受容性向上活動

ワンストップポータルサイトの開設・運営

- ・「水素エネルギーナビ」を開設し、最新の情報を更新しながら一般公開中 (HySUT殿の再委託先であるテクノバ殿にて運営)



水素エネルギーナビ (<http://hydrogen-navi.jp/>)

- ・理解促進用の動画「Suisoなセカイへ」を完成し、ポータルサイトに掲載



◆各個別テーマの成果と意義

高圧水素ガス用高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接継手

項目	成果
高窒素高強度ステンレス鋼配管の溶接技術開発	溶接ガス、溶接材料を開発し、それらを含めて溶接条件の最適化を行った。母材の引張強さの規格値以上の配管溶接継手の引張強さを達成した。
溶接金属の金属組織評価	溶接部の窒素濃度分布、結晶粒径、 δ フェライトの定量評価から強度特性との関連付けを行い、溶接パラメータ最適化の指針となるデータを取得した。
溶接部の水素脆化評価	高圧水素ガス中のSSRT試験、圧力サイクル試験と水素チャージ材の疲労試験により、SSRT特性、疲労強度と疲労寿命に水素の影響が無いことを明らかにした。

プロジェクト内で行った予備経済評価では、メンテナンスや漏洩リスクに関するコストを減らす溶接継手や関連するガスケット利用継手の長期的利点を示した。

◆各個別テーマの成果と意義

水素ステーションにおける雷被害対応技術

項目	成果
雷害リスクの想定	構成機器等の直撃雷リスク及び雷サージリスクを分析し、個別ステーション毎にリスクを評価するための基準を定めるとともに、リスクに応じた対策の考え方を検討
リスク評価試験の実施	鳥栖実証水素ステーションにおいて雷を模した電流を実際に印加する試験を実施し、雷被害リスクを分析
雷害対策評価試験の実施	鳥栖実証水素ステーションに対し雷被害対策を実施したうえで、実際の落雷に対する効果について検証し、対策の有効性を確認
雷害対策ガイドライン(案)策定	水素ステーション固有の雷害リスク軽減に有効な「雷被害対策ガイドライン（案）」をとりまとめた



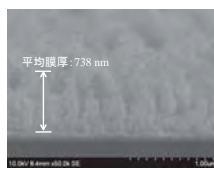
「水素ステーションにおける雷害対策ガイドライン」を（一社）日本雷保護システム工業会（JLPA）にて公開し、水素ステーションへの雷被害リスクの防止・軽減に貢献している。

3. 研究開発成果 - 研究開発項目Ⅲ

◆ 各個別テーマの成果と意義

水晶振動子を利用した信頼性向上が期待できる水素センサ

項目	成果
センサの高感度化と製作プロセスの確立	電気メッキによるナノ白金触媒の形成条件最適化 製作プロセスでのセンサの試作
センサ駆動回路の開発	高精度のヒータ温度制御回路、マイコンを用いた水素濃度演算機能の開発
センサパッケージの開発	センサ素子と駆動ICを実装した小型セラミックパッケージの開発
センサシステムの開発と評価	ハンディー型の試作器完成、定置型は開発中（2月完了予定）

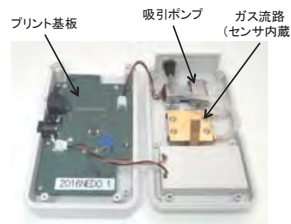


白金触媒のSEM写真



センサ素子

水晶振動子式センサにおける白金触媒の最適形成条件の決定
(米国電気電子学会IEEE論文賞受賞)



ハンディー型検知器の本体ケース



3. 研究開発成果 - 研究開発項目Ⅲ

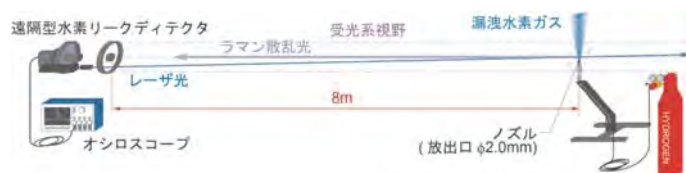
各個別テーマの成果と意義

光学式水素ガスセンサおよび水素ガスリークディテクタ

項目	成果
光学式水素ガスセンサ	実用機が完成，機能評価が完了。 (水素ガス検出限界500ppm，応答速度2sec，使用温度上限200℃を達成)。
水素ガスリークディテクタ	近接型： 実証機が完成，機能評価が完了。 (水素ガス検出限界250ppm，測定精度30%を達成)。 遠隔型： 試験機が完成，機能評価が完了。 (水素ガス検出限界0.5%，離隔距離8m，位置精度0.2mを達成)。



光学式水素ガスセンサ



水素ステーションをはじめとする水素関連施設への適用を想定した，水素漏洩箇所を特定できる従来にはない新技術が実用可能（水素以外の可燃性ガスへの対応も可能）

3. 研究開発成果 - 研究開発項目Ⅲ

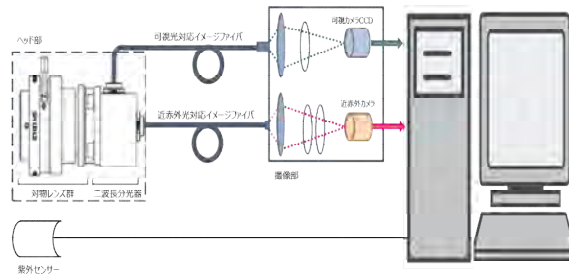
各個別テーマの成果と意義

水素火炎可視化機能を有する監視システム

項目	成果
火炎可視化装置の小型・高性能化	近赤外カメラと光学フィルターの適用により、水素火炎の可視化が可能であることを実証。 太陽光のスペクトル強度が弱いことから、適切な波長を選別することにより、撮像時の外乱要因となり得る太陽光の影響排除が可能であることを確認。
水素火炎検知機能を有する監視システムの開発	監視用途には近赤外光画像よりも遠赤外光画像が適していることを確認。 昼・夜間毎に可視光画像と遠赤外光画像を切り替える方式を採用すれば、遠赤外光画像を侵入監視用途にも適用することが出来るとの結論を得た
フィールド試験	前照灯による影響排除のための効果的な対策が必要であることを明らかにした。



微小水素火炎の可視画像
(背景画像上への近赤外光差分画像と紫外画像の重ね合わせ)



車両や人の出入りが多く、様々な事象の発生が想定される事業者構内の一角に実証モデル機を設置し、フィールド試験を実施。

37

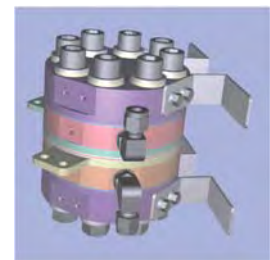
3. 研究開発成果 - 研究開発項目Ⅲ

◆各個別テーマの成果と意義

電気化学式水素ポンプ	炭化水素系膜を用いたPEMポンプセルの設計・開発により、高圧35MPa水素圧縮に成功（低圧側0.6MPa）。 35MPa機械式圧縮機と同等レベル以上の効率を確認。 45MPa圧縮を達成。
-------------------	---

	電気化学式水素ポンプ	機械式圧縮機
エネルギー効率	○高い(等温圧縮)	△低い(断熱圧縮)
サイズ	○小さい	×大きい
スケールビリティ	規模に依存しない	規模に依存する
騒音	○小さい	×大きい
水素精製機能	○あり	×なし
水分管理	△必要	○不要
圧力変動	○無し	△有り
耐久性	膜・セルの耐久性に依存	可動部の耐久性に依存

高圧評価用セル



外観：10cmφ×10cm
高圧側内容積：2.9×10⁻⁶m³

38

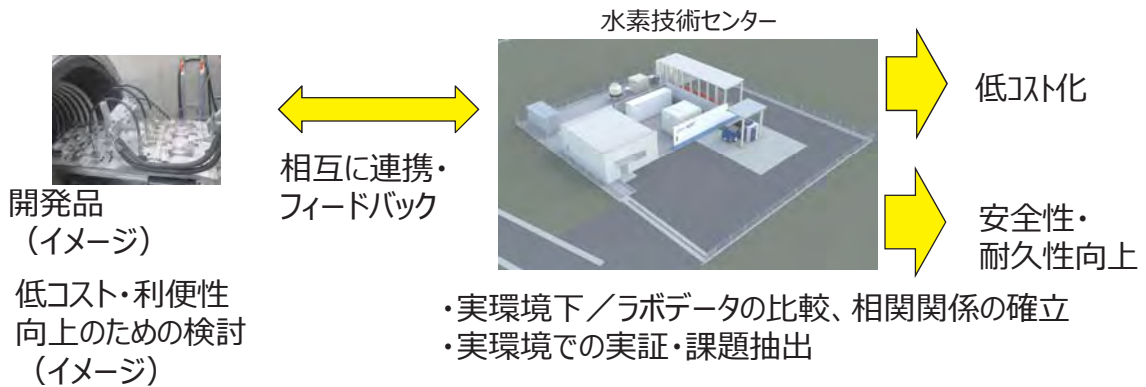
3. 研究開発成果 - 研究開発項目Ⅲ

◆ 各個別テーマの成果と意義

実環境下における安全運用技術

水素技術センター仕様

受入設備	19.6MPaカードル3基受け入れ可能
圧縮機	流量：340Nm ³ /h以上 吐出圧：87.5MPa
蓄圧器	常用圧力：87.5MPa 容量：300L x 4本 材質：炭素繊維強化プラスチック(CFRP)製(Type3)
ディスペンサー	常用圧力：87.5MPa（ホースまで） JPEC-S0003の充填に加え、直充填制御等にも対応可能



39

3. 研究開発成果 - 研究開発項目Ⅲ

◆ 各個別テーマの成果と意義

四大都市圏から全国普及に向けた水素ネットワークの技術課題に関する検討

項目	成果
四大都市圏から全国普及に向けた水素ネットワークの技術課題に関する検討	地域特性、ステーションの適正配置とFCVの普及シナリオ、水素ステーション普及時の課題抽出を行った。

40

◆各個別テーマの成果と意義

CO2フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査

項目	成果
海外の政策・市場・研究開発動向に関する調査	IEA/HIA、IEA/AFCIA、IPHEに関し、執行委員会（ExCo）、作業部会への参加等、最新動向・各国活動の情報収集・分析。
有機ハイドライドを用いたロシアからのCO2フリー水素導入に関する調査	エネルギー・環境政策、電力事業、再エネ賦存量、技術開発動向等の調査をはじめ、フィジビリティスタディー（FS）と課題の抽出を行った。

「水素利用技術研究開発事業」
（前倒し事後評価）分科会
資料6-2A

「水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発／水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発」（事後評価）

プロジェクトの概要（公開）

（一財）石油エネルギー技術センター、（一社）日本産業・医療ガス協会
岩谷産業（株）、豊田通商（株）、日本エア・リキード（株）、（国）佐賀大学

平成29年11月24日

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
(1)70MPaスタンドの保安検査基準の整備に関する検討 (JPEC)	蓄圧器の供用中検査を可能とするため、超音波探傷試験を取り入れた検査方法をまとめ、保安検査基準(案)等を策定する。	超音波探傷試験を取り入れた検査方法をまとめ、保安検査基準(案)を策定した。	○	法制化審査対応
(2)圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討 (JPEC)	高圧ガス保安法に係る技術基準(案)を策定する。	高圧ガス保安法に係る技術基準(案)を策定し、例示基準が見直された。	○	なし
(3)水素スタンドの距離規制見直しに関する検討 (JPEC)	水素スタンド離隔距離短縮に必要な検討項目を整理し、実験を通じて距離短縮の方策をまとめ、技術基準(案)を策定する。	距離短縮の方策をまとめ、技術基準(案)を策定した。	○	法制化審査対応
(4)-1公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討(公道充填) (JPEC/日本I/Fキート)	公道水素充填を可能にするための課題抽出、安全な設備仕様とその運用方法の確立	簡易充填設備製作と模擬実証実験、公道充填課題抽出、設備仕様と運用方法を検討した。	○	なし
(4)-2 同上 (ディーラー充填) (豊田通商)	特定多数場所へのガス欠対応用超小型水素充填装置設置および運用・規制の課題整理	超小型水素充填装置の試作と充填実証試験の実施、設備・運用・規制面の課題を整理した。	○	有り 1)
(5)圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討 (JPEC/佐賀大学)	・圧縮水素輸送自動車用容器の使用上限温度(85℃)以下で使用可能とする為の高圧ガス保安法に係る技術基準(案)を策定する。 ・水素トレーラー火災の原因究明及び当面の再発防止対策検討	圧縮水素輸送自動車用容器の使用上限温度(85℃)以下で使用可能とする為の高圧ガス保安法に係る技術基準(案)を策定し、省令が改正された。水素トレーラー火災の原因究明及び再発防止対策をまとめたガイドラインを策定した。	○	なし
(6)液体水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討(JIMGA)	液化水素を水素源とする圧縮水素スタンドの技術基準(案)を策定する。	液化水素を水素源とする圧縮水素スタンドの技術基準(案)を策定した。(2月時見込)	○	法制化審査対応
(7)2種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討 (JIMGA)	第二種製造者の圧縮水素スタンドの技術基準(案)を策定する。	第二種製造者圧縮水素スタンド技術基準(案)を策定し、省令が改正された。	○	なし
(9)温度上昇を防止する装置(散水基準)の見直しに関する検討 (JPEC)	圧縮水素スタンド蓄圧器の散水設備に関し、散水量低減を可能とするより合理的な例示基準の改正に資する資料を策定する。	散水量低減を可能とするより合理的な例示基準の改正に資する資料を策定した。	○	なし
(10)水素スタンドにおけるセルフ充填の許容に関する検討(JPEC)	海外の事例を調査し、安全性と利便性の確保の観点から、必要な技術的課題を抽出し、対応策を検討する。得られた結果を反映したセルフ充填のガイドライン(案)を策定する。	検討結果を反映したセルフ充填のガイドライン(案)を策定した。(2月時見込)	○	法制化審査対応
(11)圧縮水素運送自動車用容器の固定方法の追加に関する検討(JPEC)	圧縮水素運送自動車用容器の固定方法にネックマウント方式を追加するために必要なデータを採取し、技術基準(案)を策定する。	ネックマウント方式を追加するための技術基準(案)を策定した。(2月時見込)	○	法制化審査対応
(12)有機ハイドライドを用いた水素スタンドの基準整備に関する検討(JPEC)	有機ハイドライド水素供給装置を既存の水素スタンドと同様の用途地域に設置可能とするために必要なリスク評価と安全対策の検討を行い、技術基準(案)等を策定する。	有機ハイドライド水素供給装置を用途地域に設置可能とするための技術基準(案)を策定した。(2月時見込)	○	法制化審査対応

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達 1) 作業有資格者の確保、充填作業員の教育

2 / 19

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

全体概要：開発項目検討期間と研究体制

項目	H25	H26	H27	H28	H29
(1)70MPa水素スタンドの保安検査基準の整備	■				
(2)圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討	■	■			
(3)水素スタンドの距離規制見直しに関する検討	■				
(4)-1公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討(公道充填)	■	■			
(4)-2 同上(ディーラー充填)	■	■			
(5)圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討	■	■	■		
(6)液体水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備	■	■			
(7)2種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討	■	■	■		
(9)温度上昇を防止する装置(散水基準)の見直しに関する検討			■	■	
(10)水素スタンドにおけるセルフ充填の許容に関する検討				■	
(11)圧縮水素運送自動車用容器の固定方法の追加に関する検討				■	
(12)有機ハイドライドを用いた水素スタンドの基準整備に関する検討				■	

NEDO
委託

プロジェクトリーダー

規制適正化検討委員会 (JPEC)

- (1) 保安検査検討会 (JPEC)
- (2) 複合容器安全弁検討会 (JPEC)
- (3) 距離規制見直し検討会 (JPEC、青山学院大学、岐阜大学)
- (4)-1 公道充填検討会 (JPEC、日本I/Fキート)
- (4)-2 ディーラー充填検討会 (豊田通商)
- (5) トレーラー充填上限温度検討会 (JPEC、佐賀大学)
- (5)-② トレーラー安全技術検討会 (JPEC)
- (6)-1 液体水素スタンド基準整備検討会 (JIMGA)
- (6)-2 液化水素ボンブ昇圧型圧縮水素スタンド基準整備検討会 (JIMGA、岩谷産業、JAXA、NIMS)
- (7) 小規模製造水素供給設備基準整備検討会 (JIMGA)
- (8) 圧縮スタンド安全技術基準検討会 (JPEC)
- (9) 散水基準見直し検討会 (JPEC、九州大学)
- (10) セルフ水素スタンド検討会 (JPEC)
- (11) トレーラー容器固定方法検討会 (JPEC)
- (12) 有機ハイドライド水素スタンド検討会 (JPEC、横浜国立大学)

3 / 19

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

(1) : 70MPa水素スタンドの保安検査基準の整備

<JPEC>

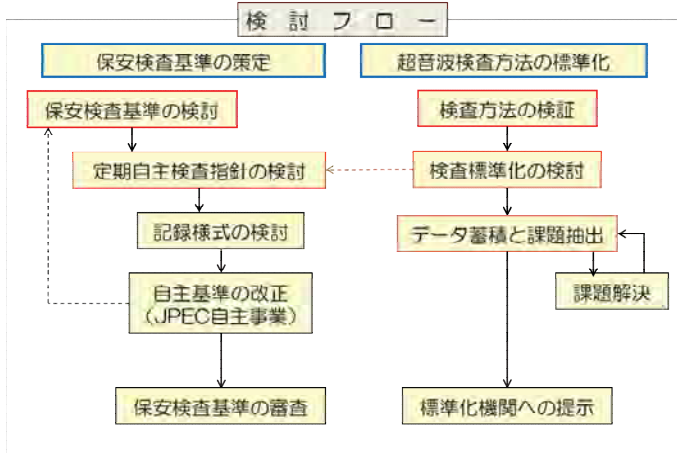
実績

- 1)保安検査基準※の検討
「保安検査基準(圧縮水素スタンド関係) JPEC-S 0001(2017)」(案)の策定
 - 2)定期自主検査方法の検討
「定期自主検査指針(圧縮水素スタンド関係) JPEC-S 0002(2017)」(案)の策定
 - 3)蓄圧器の超音波検査方法の標準化に関する検討
非破壊検査協会規格としての標準化を前提に、試験方法の検証のため、人工傷を付したモデル蓄圧器内部の探傷試験の実施
- ※NEDO成果「保安検査基準」(案)を基に、JPEC自主事業により「保安検査基準(圧縮水素スタンド関係) JPEC-S 0001(2015)」が制定された。

平成25~29年度

目標

- 平成27年度 超音波検査方法の標準化のための検証
平成28年度: 「保安検査基準JPEC-S 0001(2017) (案)」策定、定期自主検査指針JPEC-S 0002(2017) (案)策定
平成29年度: 蓄圧器の超音波探傷試験法の標準化、保安検査基準の審議過程における説明



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

(2) : 圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討

<JPEC>

実績

- 1)HFCV-gtrと海外標準の調査・検討
FCV用容器の熱作動式安全弁(ガラス球式安全弁及び溶栓式安全弁を含む)試験内容が、圧縮水素運送自動車用容器の熱作動式安全弁にも適用できることを整理
- 2)試験の規定内容の実験。
検討試験方法の適切性を実験で確認
- 3)技術基準案の検討
上記検討結果に基づき、ガラス球式安全弁に対応した技術基準(案)を策定し、例示基準が見直された。

平成25~27年度

目標

- 平成25年度: ガラス球式安全弁を使用可能とする溶栓式安全弁の規定を見直した技術基準(案)を検討
平成26年度: 技術基準(案)の策定
平成27年度: 審議過程での説明を実施する。

・圧縮水素運送自動車用附属品の技術基準(案)検討

国内技術基準(JIGA-T-S/13/04)の構成に準拠し、燃料電池自動車の国際標準HFCV-gtrの試験内容を適時設計確認試験に導入することを検討。概要は以下の通り。

(1) 試験項目

- ・安全弁の試験項目を、現状の技術基準(対象:溶栓式安全弁)に比べ充実させた。
(圧力サイクル試験、加速寿命試験、温度サイクル試験、塩水腐食試験、安全弁環境試験、応力腐食割れ試験、落下・振動試験、気密試験、作動試験、流量試験)
- ・バルブと緊急遮断装置についても、HFCV-gtrを参考に試験項目を充実させた。
(耐圧試験、気密試験、塩水腐食試験、環境試験、振動試験、応力腐食割れ試験)

(2) 試験条件

- ・各試験で規定する圧力や温度、及びサイクル数等の具体的数値は、当該附属品が装置される容器の試験内容や水素トレーラの条件等を検討して決定した。

・実験による試験方法の確認

新規に規定する試験項目の中から、主要なものに試験方法の確認を実施した。
(温度サイクル試験の温度管理、作動試験の環境設定、流量試験の測定方法、等)



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

(3) : 水素スタンドの距離規制見直しに関する検討 (JPEC、青山学院大学、岐阜大学)

実績	1) 距離規制見直しのロジックの明確化検討 2) 実験・シミュレーションによる高圧水素噴流の拡散・着火・燃焼挙動の解明 3) 距離規制代替措置のまとめと技術基準(案)の策定	平成25~29年度
目標	平成25-28年度：距離見直しロジック検討、実験・シミュレーション検討 平成29年度：距離短縮方策のまとめと技術基準(案)の策定、審議過程における説明	

1) 距離規制見直しのロジックの明確化検討

- 各種離隔距離に関わる現行法規制調査(現行規制の設定根拠等を含む)
- 水素の拡散・着火挙動に関する過去の研究調査
- 省令に定める距離8m確保と同等とみなすことができる代替措置のロジック検討
- 事業者ヒアリング、規制当局との意見交換
- 新たな代替措置に関わるリスク評価検討

3) 技術基準(案)の概要

【現行例示基準】

平面図: 公道から8m以上の距離にディスペンサーを設置。

立面図: 敷地境界上の鉛直面上で、8m以上の見通し距離を確保。

【新たな代替措置】

平面図: 公道から5m以上の距離に、適切な構造の筐体のディスペンサーを設置。

立面図: 敷地境界上の鉛直面上で、5m以上の見通し距離を確保。必要な箇所を鋼板等のパネルで遮蔽。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

(4)-1 : 公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討 (公道充填) (JPEC、日本アイアード)

実績	1) 車載簡易充填設備の詳細設計、製作 2) 実証試験(製造者敷地内)の実施 製作した設備を用い、製造者敷地内での実証試験を実施、設備の操作性改善検討実施 3) 公道充填の実施に係る課題整理 公道充填用の設備仕様と運用方法の確立 不特定場所における充填の実現のための課題取り纏め	平成26年度終了
目標	平成25年度：簡易水素充填設備試作品の設計・製作を行い、実証試験を開始 平成26年度：公道充填の課題を抽出し、安全な設備仕様とその運用方法を確立	



検討フロー

```

    graph TD
        A[車載簡易充填設備の設計方針の決定] --> B[詳細設計]
        B --> C[設計承認]
        C --> D[車載簡易充填設備の製作]
        C --> E[実証試験(製造者敷地内)の実施内容決定]
        D --> F[実証試験(敷地内)の実施]
        E --> F
        F --> G[課題抽出]
        G --> H[実証試験(公道)の実施内容決定]
        G --> I[車載簡易充填設備の改造]
        G --> J[実証試験(公道)の場所の選定及び届出]
        H --> K[実証試験(公道)の実施]
        I --> K
        J --> K
    
```

課題の整理

- 設備仕様
- 運用方法
- 課題
- 将来の実用設備と運用方法(案)

水素搭載量、水素品質、設備に必要な安全対策
 現行法令下で可能な運用方法
 法令面の課題、運用面の課題

法令改正を前提として実用的な設備と運用方法を考察
 (平成27年度 JPECにて「公道充填ガイドライン」作成)

法体制等の整備

(将来の課題)

技術基準等整備

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

(4)-2 : 公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討
(ディーラー充填)

〈豊田通商〉

実績

1. ガス欠対応充填を想定した超小型水素充填装置の仕様確定・試作
2. 超小型水素充填装置の設置が可能なディーラー等で試作装置を用いたFCVへの充填作業等の実証試験実施 (全国10カ所で実施)
3. 実証試験の結果を踏まえ、ディーラーへの超小型水素充填装置設置につき法規制・装置システム・運用の観点で課題・要望整理

平成26年度終了

目標

- 平成25年度: 超小型水素充填装置の試作、試作機を用いて実際に店舗に設置および使用によるソフト面および規制面での問題点把握(実証試験)
- 平成26年度: 実証結果を踏まえたケーススタディーの実施および結果の整理

実証結果

1. 法規制上の課題

高圧ガス保安法による火気距離のスペースを都心のディーラーで確保するのはほぼ不可能(図1参照)
⇒「クルマは火気でない」ことを全国統一判断として周知いたくことで駐車場での充填ができ、対象となるディーラーが拡大。

2. 装置システム上の課題

装置の自動化、簡素化(例:EV用急速充填装置のような簡便性)
装置の盗難対策、安全対策
上記を織り込んだ上で、装置コストの低減
⇒現状では、自動化、火気距離対策、安全対策、建屋での防爆化対策等を行うと、1000万円~3000万円程度になる試算。

3. ディーラー充填運用上の課題

作業有資格者の確保、充填作業員の教育

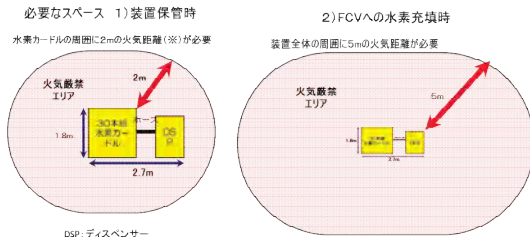


図1: 火気距離



図2: 超小型水素充填装置(試作品)

〈設備の仕様〉
充填圧力最大15MPa
(FCV 100km走行可能)
1カードル充填台数 約10台
手動操作

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

(5) : 圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討

〈JPEC、佐賀大学〉

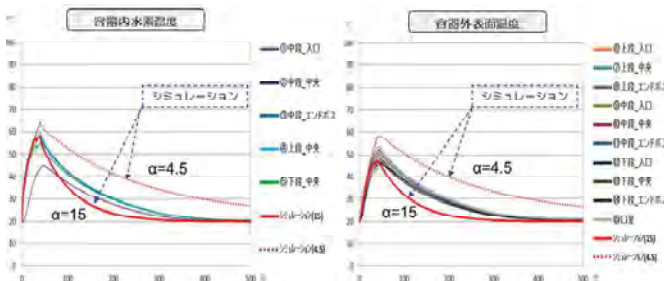
実績

- 1) 容器温度の測定方法の検討
容器外表面に貼りつけた熱電対により容器温度を測定する方法を採用
- 2) シミュレーションによる容器温度の推定方法の検討
容器外表面温度測定値から容器内表面温度を推定手段としてシミュレーションを用いる温度推定方法を纏めた
- 3) 技術基準案の検討
検討結果に基づき、使用上限温度を65℃まで引上げることが可能とした技術基準(案)を策定、省令改正済

平成25~27年度

目標

- 平成25年度: 圧縮水素輸送自動車用容器を高温環境下(上限85℃)で使用可能とする技術基準(案)の検討
- 平成26年度: 技術基準(案)の策定、審議過程における説明



一般高圧ガス保安規則例示基準関係 改正部分(要点)

シミュレーション適用可能性検討

※ $\alpha=4.5$: 周囲が無風ケース $\alpha=15$: 周囲そよ風ケース
適切な熱伝達率 α 設定で水素温度、外表面温度の推定可能

容器の上限温度の値

- ・設計温度
FCV容器同様一時的には85℃まで使用可能
- ・使用方法:
トレーラー容器はFCV容器より温持続時間が長期化傾向
- ・『設計確認試験における加速応力破壊試験』試験温度65℃
⇒ 容器の上限温度65℃採用

一般高圧ガス保安規則 改正部分(要点)

(新設) 21の3 圧縮水素輸送自動車用容器に圧縮水素を充填する際に、当該容器の温度が40℃を超える場合に講じる「容器の破裂を防止する措置」とは、次の各号に掲げる措置をいう。

1. 容器の温度の監視は、基本第12で規定する温度計で行い、かつ電氣的に温度を出力及び表示できるものを用いること。
2. 温度計は、容器の外表面の温度を測定するものとし、バンクごとに一つ以上設置すること。
3. 容器の外表面の温度計の測定値に基づき、容器の内表面の温度が65℃を超えるおそれがある場合に、速やかに充填を停止するものであること。

(新設) 75の2 圧縮水素輸送自動車用容器の雨水等による劣化を防止するため、当該圧縮水素輸送自動車用容器の外表面には防水塗料を塗布し、口金部へシール材を塗布すること。

第六条第2項
(新設) 第2号ル 圧縮水素輸送自動車用容器に圧縮水素を充てんするときは、当該圧縮水素輸送自動車用容器の温度を常に六十五度以下に保つとともに、温度が四十度を超える場合は、容器の破裂を防止する措置を講ずること。
(新設) 第8号ハ 圧縮水素輸送自動車用容器は、常に温度六十五度以下に保つこと。
第四十九条第1項第22号
(新設) 圧縮水素輸送自動車用容器は、常に温度六十五度以下に保つとともに、その外部からの雨水等による劣化を防止するための措置を講ずること。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

(5) : 圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討
トレーラ安全技術検討

〈JPEC〉

実績	1) 車両火災経過把握、安全対策の評価と追加安全対策の検討 ・車両火災の経過把握及び事故シナリオの設定 (実施済) ・配管・容器等への影響把握、溶栓弁等安全対策の作動状況等確認 ・配管の火災影響把握のための試験・測定、安全対策の検討 ・水素トレーラー安全技術ガイドラインJPEC-TD 0002 (2017) の策定
----	--

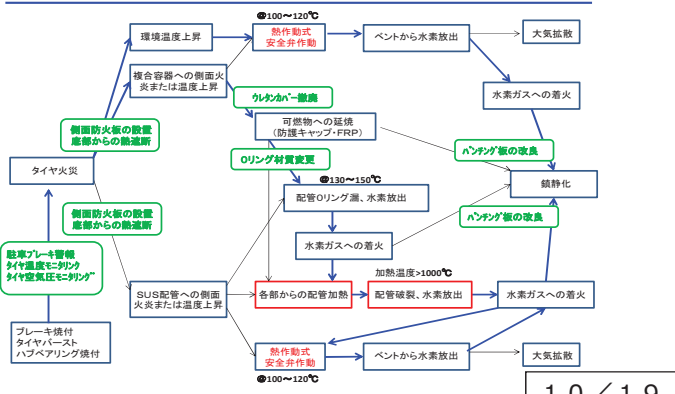
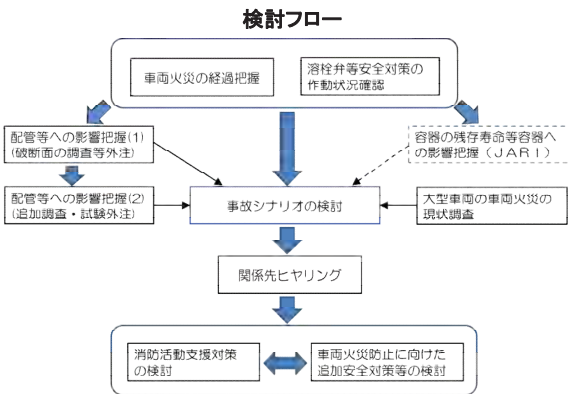
平成26~27年度

目標	平成26年度：配管等への事故影響確認、溶栓弁等の安全対策の作動状況の調査 平成27年度：車両火災の事故シナリオの確定、追加安全対策案の提示
----	--



事故状況確認
 ・全容器の溶栓式安全弁作動確認 (水素全量車外放出)
 ・容器付属配管の一部に破裂様開口確認
 ・配管損傷状況 (熱履歴、残存強度等) 解析
 ・現行安全対策の評価と追加安全対策を検討

トレーラー火災及び配管破裂の想定シナリオ (安全対策記入)



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

(6) : 液体水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討

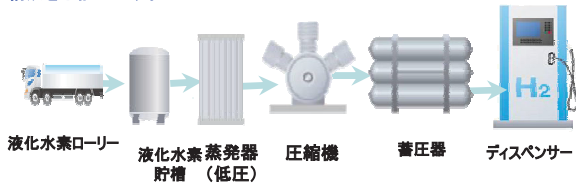
〈JIMGA、岩谷産業、JAXA、NIMS〉

実績	1) 液体水素による貯蔵・水素スタンドの技術基準案・例示基準案の検討 リスク評価、安全対策を検討、液体水素による貯蔵・水素スタンドの技術基準案作成 2) 基準案審査過程における追加安全対策等の検討 3) 液体水素ポンプ昇圧型圧縮水素スタンドのリスクアセスメント、リスク低減のための安全対策の検討、技術基準(案)の策定 (2月時見込)
----	---

平成25~29年度

目標	<液体水素貯蔵型圧縮水素スタンド(常用圧1MPa未満)> 平成25年度：液体水素による水素スタンドについて、高圧ガス保安法に係る技術基準整備に資する資料作成 平成26、27年度：基準案審査過程における追加安全対策等の検討 <液体水素貯蔵型圧縮水素スタンド(常用圧力82MPa以下)> 平成27年度：必要な実験データの検討、実験の仕様検討、実験の進捗確認フォロー 平成28年度：実験の進捗確認、技術基準案の検討 平成29年度：得られたデータの検討、技術基準(案)の策定
----	---

常用圧力1MPa未満の液体水素を水素源とする圧縮水素スタンドのモデル構成を下記に示す。



液体水素を水素源とする常用圧力82MPa以下の圧縮水素スタンドのモデル構成を下記に示す。



液体水素ポンプの導入を今回モデル構成に取り入れ検討を行った。

常用圧力82MPa以下の圧縮水素スタンドに特有な安全対策の一例

分類	安全対策名
全般	圧力リリーフ弁設置・ベント放出
	熱応力対策設計
液体水素ポンプ	送ガス蒸発器出口圧力上昇監視及び液体水素ポンプ運転停止インターロック
液体水素蒸発器	送ガス蒸発器出口温度監視及び運転停止インターロック
	蓄圧器入温度監視及び運転停止インターロック
ハザードの影響を低減する対策	液体水素ポンプのケーシング内設置

常用圧力1MPa未満の圧縮水素スタンドのリスクアセスメントを経て抽出された安全対策が技術基準に反映された一例。

分類	一般高圧ガス保安規則第7条に追加された安全対策
ローリー、ローリー停車位置	安全対策 他の車両との接触事故を起こさない場所 ローリーと貯槽との適切な距離 緊急遮断弁 放出管をスタンド内の放出管に接続 脱着防止
	安全弁の作動を確認した場合の整備 受入・送出管に遮断装置 二以上の安全装置(弁が同時に閉まることのできない構造のもの) 適切な真空度維持 放出ラインに加熱器設置
液体水素貯槽	

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

(6) : 液体水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討
(JIMGA、岩谷産業、JAXA、NIMS)

実績
 ・液体水素漏洩拡散試験設備の構築、試験を実施し、1%濃度距離、火炎長、爆風圧、輻射熱の計測を実施、データ取得。
 ・実用的高強度材料(XM-19、SUH660)の材料試験を実施し、極低温超高压下で水素適合性を確認。

目標
 平成27年度：実験方法の検討
 平成28年度：実験設備の構築・データ取得
 平成29年度：データ取得・妥当性確認

平成27～29年度

<漏洩拡散実験、燃焼・爆発実験に関する検討>

実験系を構築し、ピンホールから液化水素を噴射し、以下の計測を行った(各40MPa条件、82MPa条件)

- ① 1%濃度距離
- ② 火炎長
- ③ 爆風圧1kPa距離
- ④ 輻射熱1.26kW/m²距離



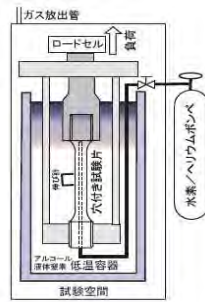
液化水素漏洩拡散実験の様子



火炎長の測定

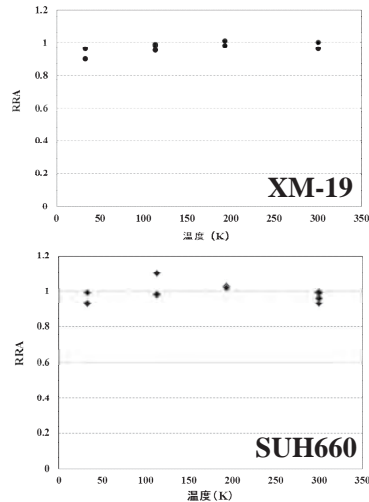
<実用的高強度材料の材料評価試験に関する検討>

実用的高強度材料(XM-19、SUH660)について、低歪速度引張試験(SSRT)と破壊靱性試験を実施し、極低温超高压水素下で水素適合性の確認(RRAが1近傍)、脆性破壊しないことを確認した



中空型試験片方式概略図

低歪速度引張試験は、中空試験片方式を採用



低歪速度引張試験(SSRT)結果

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

(7) : 2種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討
(JIMGA)

実績
 1) 2種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準案の検討
 1日の処理能力が30m³未満の第二種製造者の圧縮水素スタンドの技術基準(案)策定、省令改正済
 2) 水電解水素昇圧装置の安全性の検討
 第二種製造者の圧縮水素スタンドに設置が想定される水電解水素昇圧装置の安全性検討を実施

平成25～27年度

目標
 平成25年度：既存設備調査・ニーズ調査により対象とする小規模水素供給設備の抽出
 平成26年度：技術基準案作成、追加安全対策等の検討、水電解水素昇圧装置の安全性検討
 平成27年度：技術基準(案)の審議過程における説明

・第二種製造者の技術基準案の検討

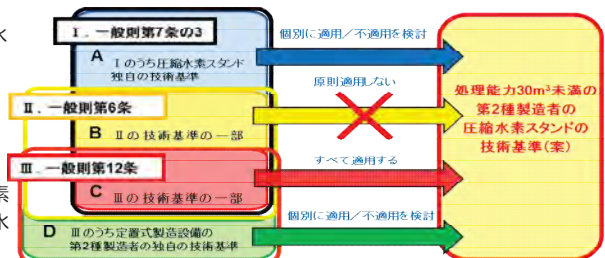
以下に示す内容を考慮して、処理能力30m³未満の第二種製造者の圧縮水素スタンドの技術基準案の検討を行った。

- (1) 水素スタンド特有の設備の技術基準を適用(ディスペンサー等)
- (2) 離隔距離の規定を適用(敷地境界距離等)
- (3) 水素による影響を考慮(材料の制限等)

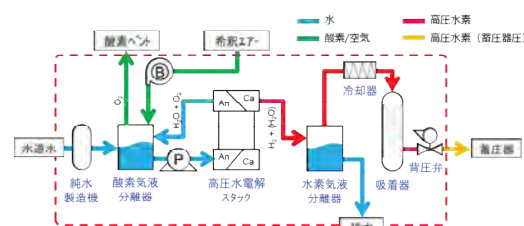
・水電解機能を有する昇圧装置の安全性の検討

第二種製造者の圧縮水素スタンドに設置することが想定される水電解水素昇圧装置(水の電気分解により水素及び酸素を発生し、かつ、発生した水素のみの圧力を上昇する装置)について安全性の検討を行った。

- (1) 特定設備検査事前評価申請を通じて水電解スタックの安全性確認
- (2) リスクアセスメントにより水電解水素昇圧装置の必要な安全対策を検討



第二種製造者の技術基準案の考え方



水電解水素昇圧装置の概略フロー

安全対策名	有効性	目的
安全弁設置	非常に有効	内圧上昇防止
手動弁誤操作、いたずら操作対策	有効	誤操作・いたずら防止
適切な材料選定	極めて有効	水素脆化等による配管・機器類損傷防止
敷地境界に防火壁設置	非常に有効	敷地外火災対策
設置エリア周辺の障壁設置	極めて有効	車両飛び込み対策
配管・機器の隔離	非常に有効	塩化物SCC対策
水電解水素昇圧装置出口側圧力上昇監視及び運転停止インターロック	非常に有効	配管・機器類損傷防止
水電解水素昇圧装置内の漏洩検知器設置	非常に有効	水素漏洩による災害防止
水電解水素昇圧装置のケーシング内設置	極めて有効	飛散物、近隣火災による損傷対策

水電解水素昇圧装置のリスクアセスメントによる安全対策の例

(9)：温度上昇を防止する装置（散水基準）の見直しに関する検討（JPEC、九州大学）

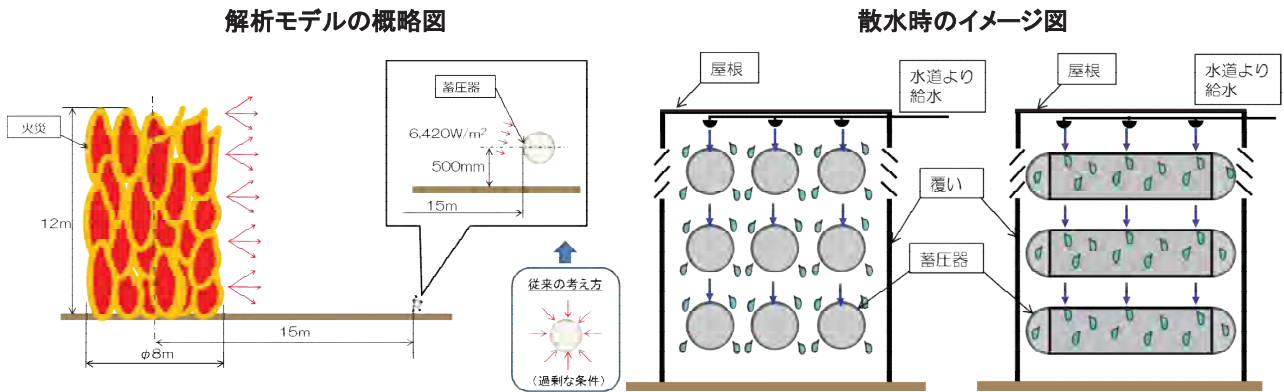
実績

- 散水量低減手法の検討
 - 散水量低減を可能とするより合理的な手法の検討
- シミュレーション実施による検討
 - 種々の条件下での温度上昇パターンを推測し、この結果をベースに散水量低減策の構築
- 例示基準の改正に資する資料の策定
 - 散水量低減を可能とするより合理的な例示基準の改正に資する資料の策定

平成27～28年度

目標

平成27年度：圧縮水素スタンド蓄圧器の散水設備に関し、散水量低減を可能とするより合理的な手法の検討
 平成28年度：散水量低減を可能とするより合理的な例示基準の改正に資する資料の策定



(10)：水素スタンドにおけるセルフ充填の許容に関する検討（JPEC）

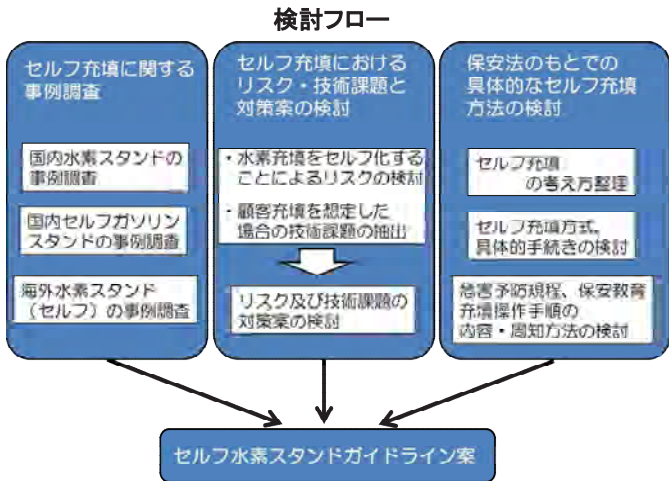
実績

- セルフ充填に関する調査
 - 国内商用水素スタンドとセルフガソリンスタンドの現状、米国セルフ水素スタンドの事例調査
- セルフ充填の技術課題と対応策検討
 - 安全性と利便性の確保の観点から、必要な技術的課題を抽出し、ハード面及びソフト面の対応策の検討
- セルフ充填作業に関する考え方の検討・整理
 - 高圧ガス保安法に則り懸案事項を検討し、充填作業に関する考え方の具体化
- ガイドライン（案）の策定
 - 上記検討結果に基づき、水素スタンドにおけるセルフ充填のガイドライン（案）の策定（2月時見込）

平成27～29年度

目標

平成27年度：過去の検討内容の調査
 平成28年度：セルフ充填に関する事例調査 技術課題の対応策検討
 平成29年度：技術課題への対応策と充填手法のまとめ ガイドライン（案）の策定



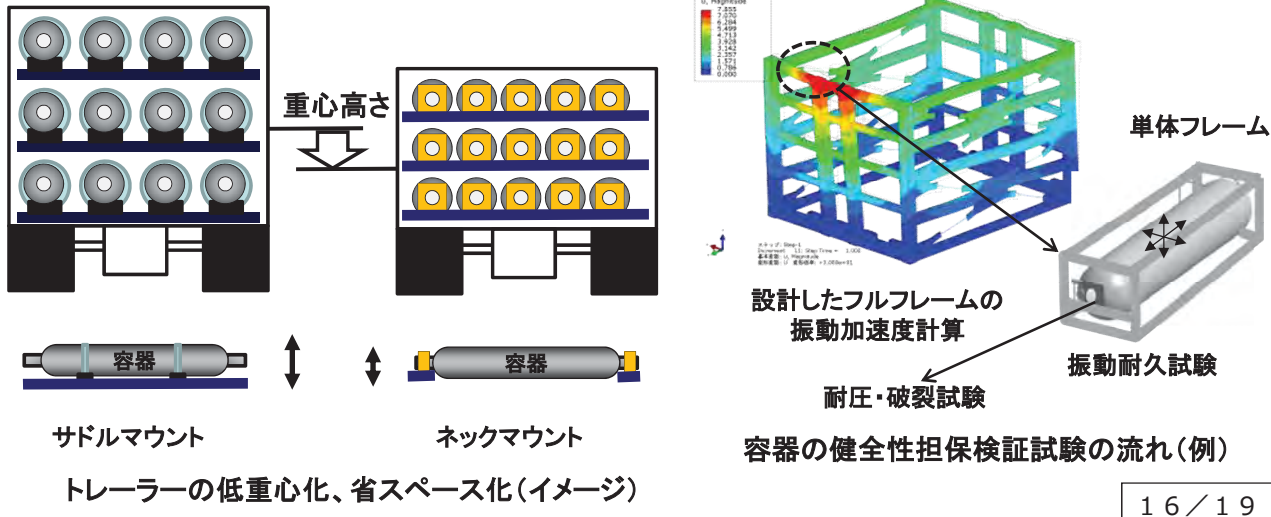
技術課題と対応策

項目	対応策
静電気除去装置	対策可否要検討
車載容器の記載事項確認	契約顧客自身による目視確認（機械的確認方法も妨げない）
充填ホースの損傷防止	圧縮水素スタンド安全技術基準 JPEC-S 0007(2017)に規定済
ノズル落下による損傷防止	バランスーの設置
ノズル装着の確認	・正しく装着されなければ、充填できない構造のノズルを使用する ・嵌合確認のための表示
充填状況表示	対策可否要検討
脱圧の自動化	自動脱圧
顧客とのコミュニケーションツール設置	インターホン、監視カメラ等の設置 顧客への周知方法、マニュアル整備

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

(11)：圧縮水素運送自動車用容器の固定方法の追加に関する検討 <JPEC>

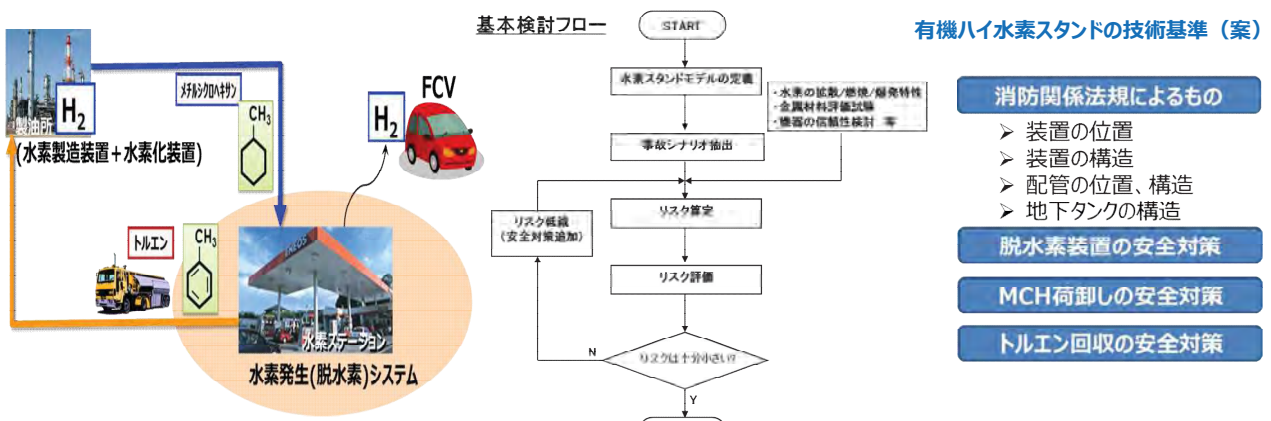
実績	1) ネックマウントトレーラーに関する情報収集 ・海外事故事例を調査し、ネックマウント由来の事故がないことを確認 2) 容器の健全性検証試験 ・定常使用15年分の振動を付与(加振)する振動耐久試験を実施した容器に対し、耐圧・破裂試験データを取得 ・非定常(事故時)想定衝撃を付与する衝撃試験を実施した容器に対し、耐圧・破裂試験データを取得 ・容器固有振動数試験等から容器の疲労破壊の可能性に関するデータを取得等を実施し、容器の健全性が担保できることを確認 3) 技術基準(案)の策定 (2月時見込)	平成28～29年度
目標	平成28年度：ネックマウントトレーラーに関する情報収集、単体フレーム作成・振動耐久試験データ採取完了 平成29年度：各種試験の実施によるデータ採取完了、技術基準(案)の策定	



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

(12)：有機ハイドライドを用いた水素スタンドの基準整備 <JPEC、横浜国立大学>

実績	1) 有機ハイドライドを用いた水素スタンドの関連技術調査 ・有機ハイドライドの技術調査(性状など) ・有機ハイドライドを用いた水素スタンド建設に係る関係法規等調査 ・有機ハイドライドを用いた水素スタンドの設備仕様を調査しモデルフローの作成 2) リスク評価・安全対策 ・モデルフローを用いたリスク評価の実施 ・リスク低減に必要な安全対策の抽出 ・リスク低減のための安全対策の仕様検討 3) 技術基準(案)の策定 (2月時見込)	平成28～29年度
目標	平成28年度：有機ハイドライドを用いた水素スタンドの関連技術調査、リスク評価・安全対策 平成29年度：リスク評価・安全対策、技術基準(案)の策定	技術基準(案)を基に、関連する消防関係法規等に見直し検討に繋がる見込み



3. 研究開発成果について (3) 知財と標準化 (4) 成果の普及

◆知的財産権の確保に向けた取り組み

●技術開発を伴わない研究開発のため該当せず

◆成果の普及

※平成29年度9月25日現在

	H25	H26	H27	H28	H29	計
論文(査読付き)	0	0	0	0	0	0件
研究発表・講演	0	2	4	14	11	31件
受賞実績	0	0	0	0	0	0件
新聞・雑誌等への掲載	0	1	1	0	2	4件
展示会への出展	0	0	0	0	0	0件

	H25	H26	H27	H28	H29	計
省令改正	0	0	1	2	0	3件
例示標準化	0	0	0	2	0	2件

●本検討の成果である技術基準案、ガイドライン等は技術的妥当性が評価され、その後高圧ガス保安室により安全性が確認された場合、関連法規の改正等の措置が成される。(一部改正済み)

4. 実用化の見通しについて

◆実用化に向けた具体的取り組み

年度	H25	H26	H27	H28	H29		H30~H32	
(1)70MPaスタンドの保安検査基準の整備に関する検討<JPEC>	→					技術基準(案)の整備に資する資料作成	KHKとの共同規格化	
(2)圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討<JPEC>	→						技術基準(案)策定	更なる検査内容見直し
(3)水素スタンドの距離規制見直しに関する検討<JPEC>	→						例示標準化完了	METI保安課措置
(4)-1公道でのガス欠対応のための充填場所の確保に関する検討(公道充填)<JPEC/日本エアリート>	→						運用方法確立	省令改正完了
(4)-2 同上(ディーラー充填)<豊田通商>	→						課題整理完了	省令改正完了
(5)圧縮水素輸送自動車用容器の充填時の上限温度の緩和に関する検討<JPEC/佐賀大学>	→						技術基準(案)策定	省令改正完了
(6)液体水素による貯蔵・水素スタンド規制・基準の整備に関する検討<JIMGA>	→						省令改正完了	METI保安課措置
(7)2種製造設備に相当する水素供給設備の技術基準の整備に関する検討<JIMGA>	→						技術基準(案)策定	省令改正完了
(9)温度上昇を防止する装置(散水基準)の見直しに関する検討<JPEC>	→						技術基準(案)策定	METI保安課措置
(10)水素スタンドにおけるセルフ充填の許容に関する検討<JPEC>	→							METI保安課措置
(11)圧縮水素運送自動車用容器の固定方法の追加に関する検討<JPEC>	→							METI保安課措置
(12)有機ハイドライドを用いた水素スタンドの基準整備に関する検討<JPEC>	→							総務省消防庁継続検討

水素スタンド等での実用化・事業化

「水素利用技術研究開発事業」
燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・
国際標準化に関する研究開発
水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発
(事後評価)

プロジェクトの概要 (公開)

一般財団法人石油エネルギー技術センター
高圧ガス保安協会
国立大学法人九州大学
(再委託先) 国立研究開発法人産業技術総合研究所
(再委託先) 国立研究開発法人物質・材料研究機構

平成29年11月24日

複製を禁ず

1/29

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

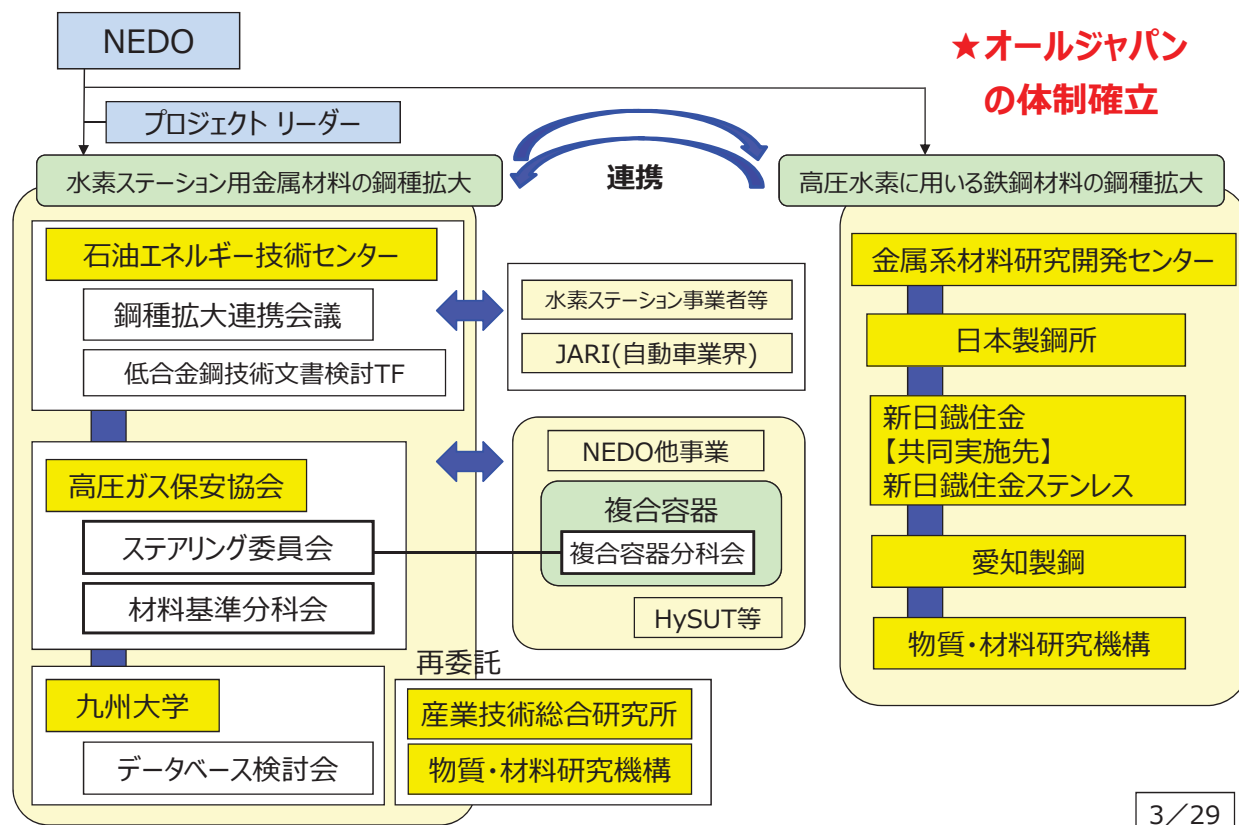
◆ 個別研究開発項目の目標と達成状況

開発項目	最終目標	成果	達成度	備考
①-1 汎用材の利用拡大	汎用材の累計5~8種の研究、評価、使用条件の明確化	・SUH660 (1種), 銅合金 (2種) の例示基準化 ・20MPa以下のNi当量規制除外 (加圧鋼を含む多鋼種の使用が可)	◎	
①-2 新たなニーズに基づいた汎用鋼種の拡大		・汎用SUS材の使用可能域拡大研究 ⇒現行規制の妥当性を検証済 ・低合金鋼の超高压利用方策提言 ・低合金鋼がトライン作成研究 ⇒ 技術文書発行	◎	
②-1 超高压、広温度範囲での利用拡大	ステンレス材の累計3~5種、もしくはその他材料の研究、評価、使用条件の明確化	・SUS316(高Ni)材の使用可能域拡大 (3種) ・HRX19の耐水素特性立証 (1種) ・ターボマシナリ構築、産業界への提供	◎	
②-2 新たなニーズに基づいた超高压、広温度範囲の鋼種拡大		・HRX19の溶接研究 ・海外規格材の例示基準への取込み (SUH660温度拡張基準化 (1種), HRX19の基準化に向けた道筋の明確化)	◎	

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

2/29

研究体制表



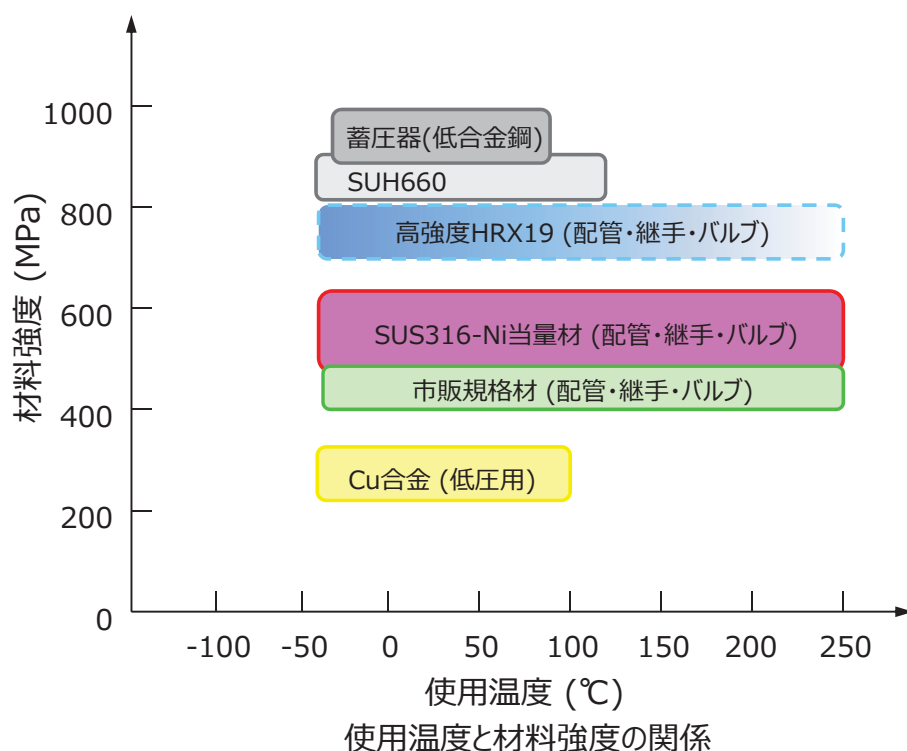
3/29

3. 研究開発成果について

(2) 成果の意義

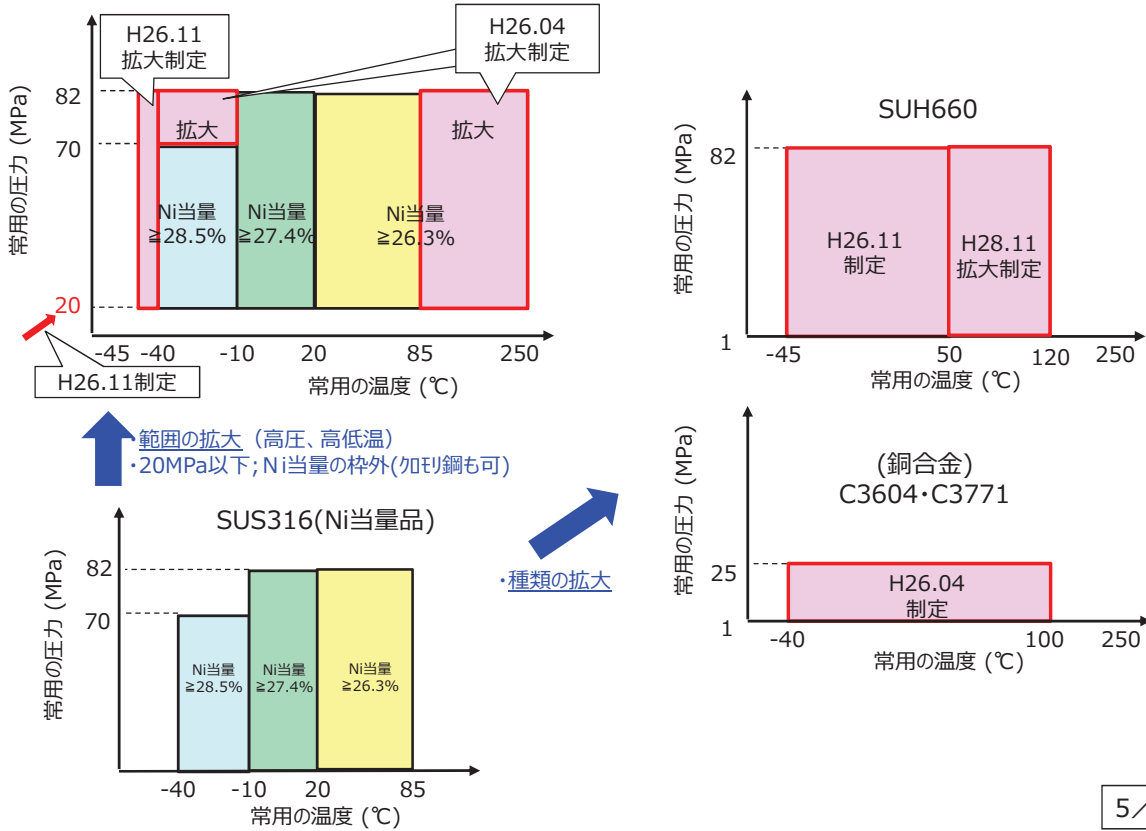
◆各個別テーマの成果と意義

水素ステーションに関わる事業者へのニーズ調査（アンケート、ヒアリング）を通じて、鋼種拡大の方向性を下図の通り定めた。

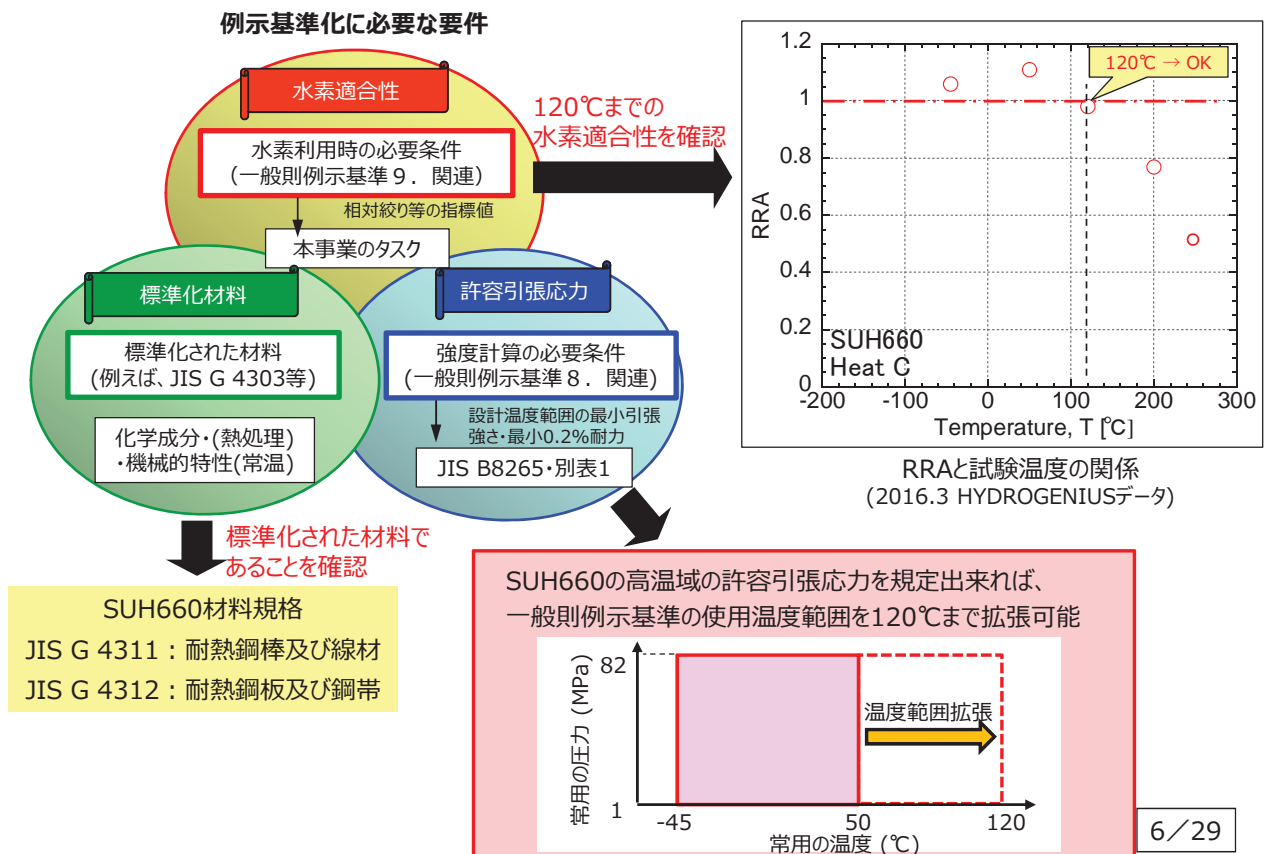


4/29

これまでの一般則例示基準化実績



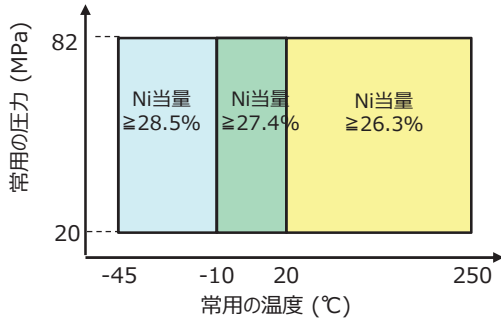
①SUH660：一般則例示基準の使用温度範囲拡大



②SUS316系：規制合理化の可能性検討

【目的】 SUS316系のNi当量規制について、規制合理化の可能性を検討する。

現行の一般則例示基準



$$\text{Ni当量} = \text{Ni} + 12.6 \text{ C} + 0.35 \text{ Si} + 1.05 \text{ Mn} + 0.65 \text{ Cr} + 0.98 \text{ Mo}$$

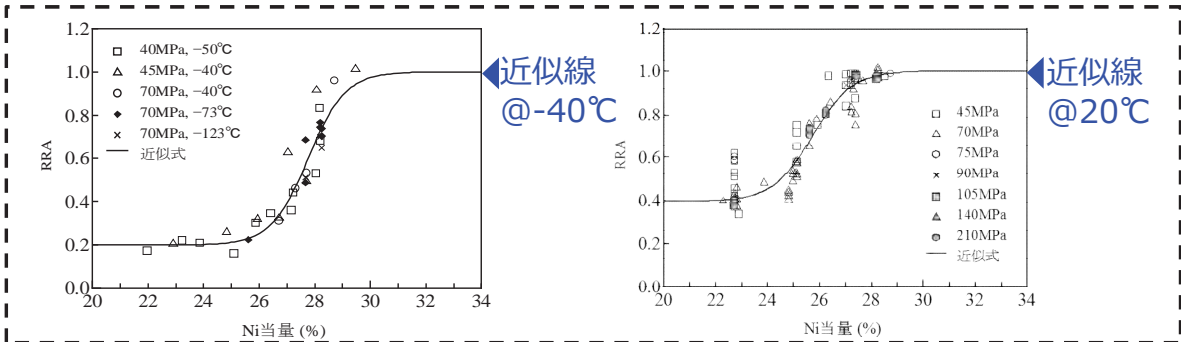
(平山の式)

【水素適合性判断基準】

水素中の絞り \geq 材料規格の絞り

SUS316系の材料規格の絞りは60%以上。
大気中の絞りの実績値が75%を超えるため、 $\text{RRA} \geq 0.8$

現行規制を支持するデータ

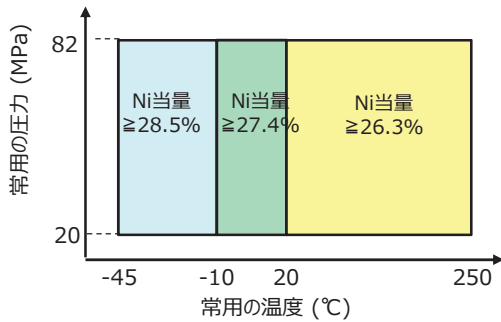


9/29

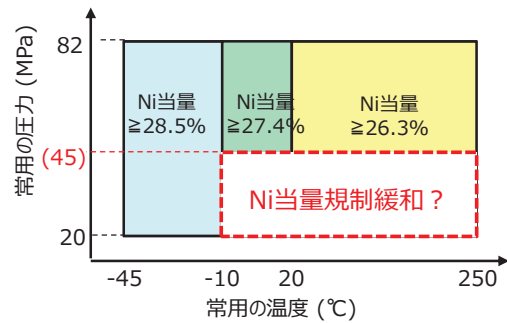
②SUS316系：規制合理化の可能性検討

【目的】 SUS316系のNi当量規制について、規制合理化の可能性を検討する。

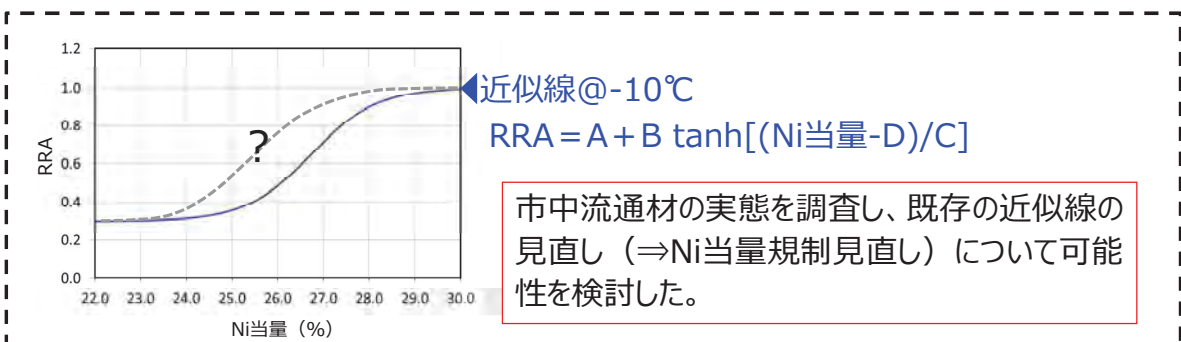
現行の一般則例示基準



規制合理化のイメージ

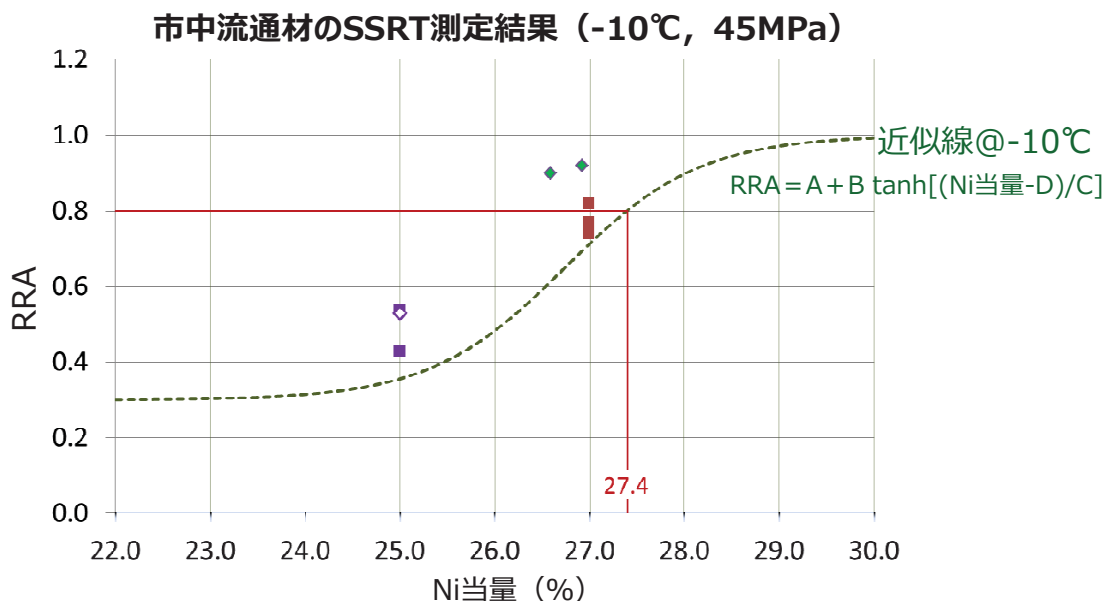


現行規制を支持するデータ



10/29

②SUS316系：市中流通材の実態調査結果



市中流通材のRRAは既存の近似線を上回った。試験結果の下限值も考慮すると、規制合理化の提案までは出来ないが、-10℃における近似線の妥当性を実データで検証することが出来た（既存の近似線は安全側に設定されており妥当）。

【今後の展開】汎用材を使用したいというニーズへの対応検討
（新たな水素特性判断基準の検討等）

11/29

③低合金鋼：低合金鋼技術文書の作成

【目的】低合金鋼（=合金成分5%以下）は高強度で比較的安価だが水素影響がある材料。水素適合性について、Ni当量のような一義的な指標で規定するのが難しい。そこで、申請に必要な指針を示すことで、蓄圧器への利用を促進する。



事前評価を想定し、現行の特定則例示基準の規定以外に考慮すべき注意事項及び判定根拠を例示する。



平成29年度に低合金鋼技術文書完成

12/29

③低合金鋼：低合金鋼技術文書の検討体制

(NEDO事業) 低合金鋼技術文書検討TF

メンバー：JSW，東京大学，九州大学，ベンカン機工，高圧昭和ポンベ，
JFEスチール，JFEコンテナ，JRRCM，KHK，NEDO
事務局：JPEC

会議開催日：H28.9.20、H29.2.14、H29.7.6、H29.10.5、H29.11.29



低合金鋼技術文書案提案

(JPEC事業) 低合金鋼技術文書検討分科会

委員：東京電機大学（主査），東京大学，青山学院大学，慶應義塾大学，
横浜国立大学，FCCJ
事務局：JPEC

会議開催日：H29.2.20、H29.7.24、H29.10.23、H29.12.11

13/29

③低合金鋼：低合金鋼技術文書の構成

低合金鋼技術文書の構成

- 1 適用範囲
- 2 引用規格
- 3 用語の定義
- 4 材料
 - 4.1 水素適合性の判定
 - 4.2 製品と同等の材料
 - 4.2.1 鍛鋼品における「製品と同等の材料」の定義
 - 4.2.2 継目無鋼管における「製品と同等の材料」の定義
- 5 設計
 - 5.1 許容引張応力の設定
 - 5.2 硬さ試験
 - 5.3 材料の靱性検証(衝撃試験)
 - 5.4 破裂前漏洩条件の検証
 - 5.5 蓄圧器応力解析
 - 5.6 蓄圧器の累積許容繰返し数の設定(疲労寿命試験による検証)
 - 5.7 設計段階における検査周期の設定
 - 5.7.1 有害な欠陥の検査方法
 - 5.7.2 検査周期の設定
 - 5.7.2.1 疲労き裂進展の打切点
 - 5.7.2.2 疲労き裂進展解析

【基本的な考え方（一部紹介）】



○水素適合性の判定

材料の強度が高くなるほど水素の影響が顕著となる傾向があり、水素影響を小さくするためには適切な強度に調整した材料を用いる必要がある。

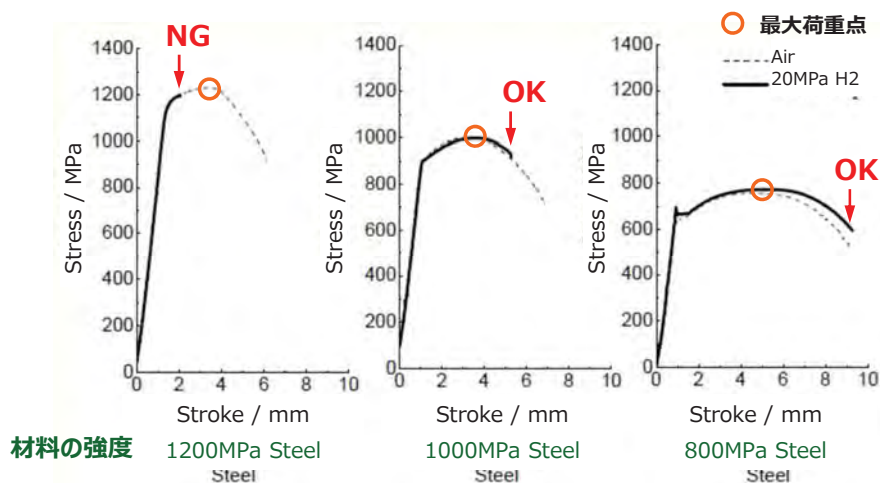
⇒骨子を紹介（次ページ）

14/29

③低合金鋼：水素適合性の判定

【水素適合性の判定（骨子）】

水素ガス中SSRTの荷重－変位線図において、最大荷重点を超過することを確認する。



水素ガス中SSRTの事例

出典：Wada, Y. et al., Proc. 2007 ASME Pressure Vessels and Piping Division Conference (ASME2007) PVP2007-26533

④溶接：溶接の安全利用に必要な要件の提示

【経緯】

商用水素ステーションにおいて、コーン&スレッド継手からの微小な水素漏洩が頻発しており、事業者にとって多大な負担となっていることを確認した。

前記課題を解決するため、コーン&スレッド継手をHRX19を事例とする溶接継手に代替することを目標とし、**高圧水素中で使用する溶接継手の安全要件**として次の項目を抽出した。



安全要件：溶接部の水素適合性・標準化材料・溶接継手強度・溶接健全性



ASME PVP 2017において国内議論の現状を報告し、高圧水素中で使用する溶接継手の安全利用に関して海外有識者の意見を聴取した。

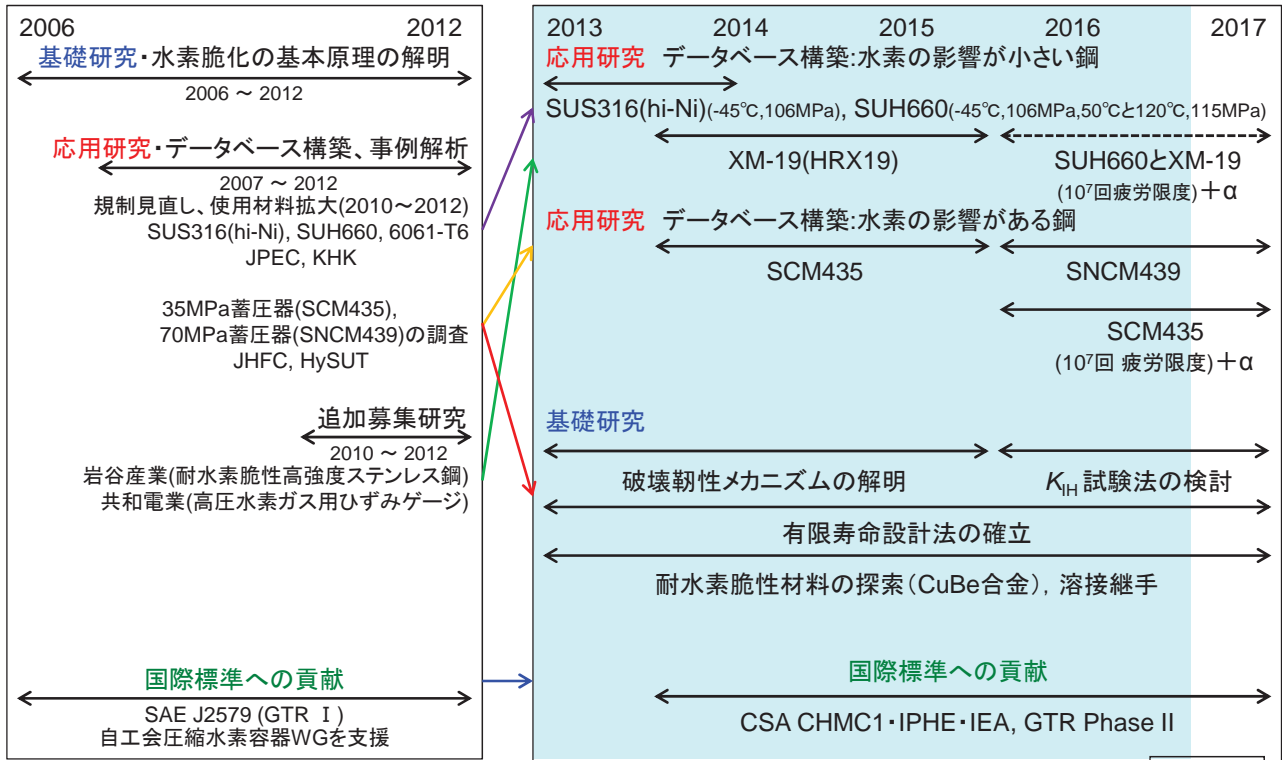
海外有識者の意見やHRX19溶接の検討結果等を踏まえ、溶接の安全利用に必要な要件を提示する。

九州大学HYDROGENIUS 取組みの概要と年次計画

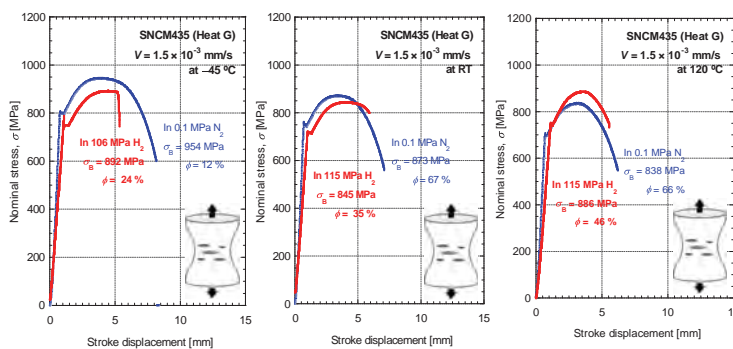
水素材料先端基礎研究事業
I 期(水素材料強度特性チーム)

鋼種拡大プロジェクト
II 期(金属材料部門)

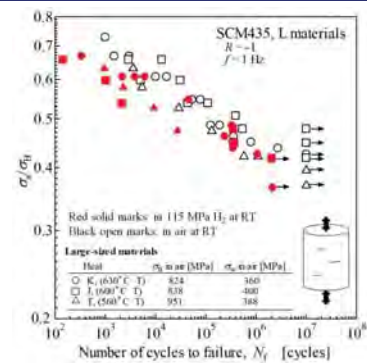
HYDROGENIUS



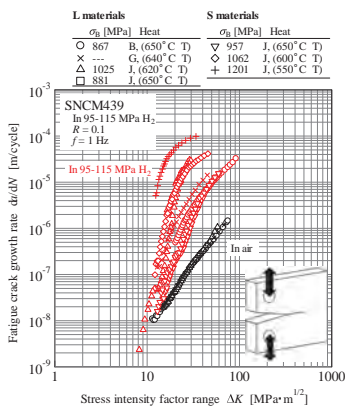
データベース構築, 産業界への提供: 低合金鋼SCM435とSNCM439



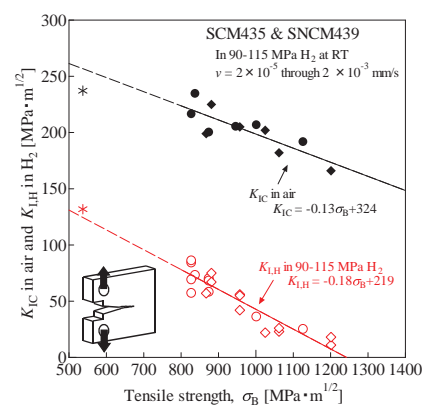
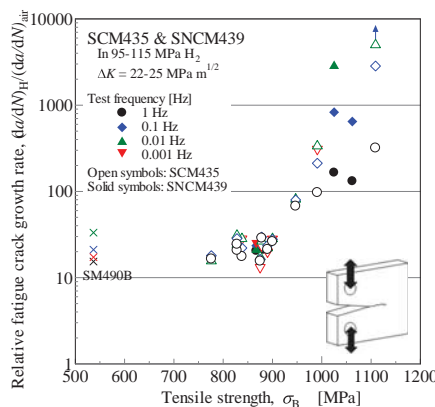
115MPa水素ガス中でも引張強さは確保



疲労限度も低下せず



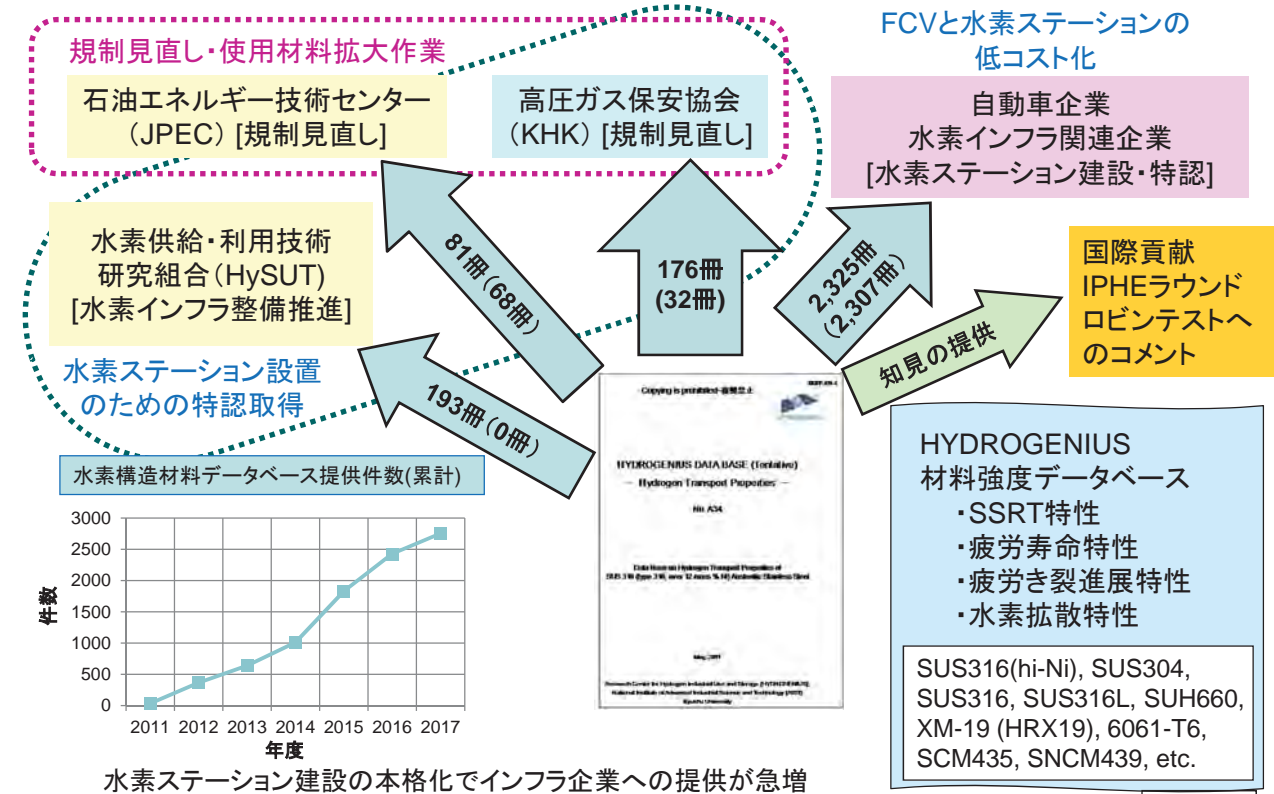
$\sigma_B \leq 900$ MPaで疲労き裂進展加速に上限値(大気中の約30倍)が存在



115MPa H₂ 中で $K_{I,H} \approx 57$ MPa·m^{1/2}

データベース構築，産業界への提供（基準見直しと製品開発への貢献）

取得データをデータベース化，提供総数：**2,407件**（平成25年度以前を含めた総数：2,775件）



SCM435とSNCM439の使用指針と設計指針（九大提案）

低合金鋼の超高压利用方策提言

HYDROGENIUS

九州大学で取得した実験データおよび基礎研究から得られた知見をもとに，H27年度第3回KHK基準分科会（H28.3.3）およびステアリング委員会（H28.3.22）で提案。

115MPa水素ガス中におけるSCM435とSNCM439の使用指針と設計指針

使用指針

- ・厚さ $t \leq 30\text{mm}$ ，引張強さ $\sigma_B \leq 900\text{MPa}$ を満たす SCM435 並びに厚さ $\leq 60\text{mm}$ ，引張強さ $\sigma_B \leq 900\text{MPa}$ を満たす SNCM439 は，温度が -45°C から 120°C ，圧力が 115MPa 以下の水素ガス中で使用できる。

設計指針

- ・115MPa水素ガス中でのSSRT試験で引張強さが確保でき， $\sigma_B \leq 900\text{MPa}$ であることを確認
- ・疲労寿命解析には，水素ガス中で疲労限度が低下しないS-N設計線図（強度で1/2，寿命で1/20）を使用。
- ・疲労き裂進展解析には，上限の $da/dN-\Delta K$ 線図（大気中の30倍）と $\sigma_B = 900\text{MPa}$ での水素誘起き裂進展下限界値 $K_{I,H} = 57\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ を使用。
- ・LBB評価には， $\sigma_B = 900\text{MPa}$ での大気中の破壊靱性値 $K_{Ic} = 207\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ を使用。

ただし，上記の肉厚制限($t \leq 60\text{mm}$)と強度レベルの上限($\sigma_B \leq 900\text{MPa}$)は，本事業で取得したデータから仮決定したものであり，今後，追加試験や材料開発を行うことで変更していく必要がある。

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

(1) 目標に対する達成状況

①汎用材の利用拡大の目標に対する達成状況は以下のとおり。

- ・SUH660 (1種), 銅合金 (2種) の例示基準化
- ・20MPa以下のNi当量規制除外 (加珪鋼を含む多鋼種の使用が可)
- ・汎用SUS材の使用可能域拡大研究⇒現行規制の妥当性を検証済
- ・低合金鋼の超高圧利用方策提言
- ・低合金鋼がドライブ作成研究 ⇒ 技術文書発行

例示基準化達成数で、8種を達成した。

さらに低合金鋼技術文書発行等、目標数を上回る実用化を達成した。

②超高圧、広温度範囲の利用拡大の目標に対する達成状況は以下のとおり。

- ・SUS316(高Ni)材の使用可能域拡大 (3種)
- ・HRX19の耐水素特性立証 (1種)
- ・データベース構築、産業界への提供
- ・HRX19の溶接研究
- ・海外規格材の例示基準への取込み検討 (SUH660温度拡張基準化 (1種), HRX19の基準化に向けた道筋の明確化)

例示基準化達成数で、4種を達成した。

さらにHRX19の耐水素特性立証・溶接実用化等、目標数を上回る実用化を達成した。

21/29

(2) 成果の意義

①汎用材の利用拡大

- ・水素ステーションのコスト低減に寄与できる。

②超高圧、広温度範囲の利用拡大

- ・70MPa級水素ステーションの超高圧域での建設に寄与できる。

③データベース提供

- ・広く産業界にデータ提供を行うことで、詳細基準事前評価や特定案件事前評価 (大臣特認) の申請に活用されており、水素ステーション普及に貢献している。

22/29

◆ 成果の普及

● 石油エネルギー技術センター、高圧ガス保安協会、九州大学の合計件数を示す。

	H25	H26	H27	H28	H29	H30	計
特許出願(うち外国出願)							0件
論文(査読付き)	3	8	13	10	6		40件
研究発表・講演	25	62	59	53	19		218件
受賞実績	0	0	1	0	0		1件
新聞・雑誌等への掲載	1	1	1	1			4件
展示会への出展							0件

※平成29年9月25日現在

23/29

◆ 成果の普及

(1) 発表会

- ・JPEC成果報告会 平成26年 6月 「水素輸送容器等に使用する金属の鋼種拡大」
平成27年 5月 「水素ステーション等で使用する金属材料の鋼種拡大」
平成28年 5月 「水素ステーション等で使用する金属材料の鋼種拡大に関する検討状況」
平成29年 5月 「鋼種拡大に関する進捗状況について」
- ・KHK研究発表会 平成26年11月 「水素環境における金属材料劣化に関する最新情報」
平成27年12月 「高圧水素用材料及び容器の基準について」
平成28年12月 「高圧水素設備に使用される材料について」

(2) ヒアリング調査

- ・ユーザーヒアリングを随時実施し、事業の進捗状況や例示基準化状況等を説明している。
フェイス to フェイスで話すことの意義が非常に大きい。

(3) 業界関係者への周知

- ・鋼材使用側の水素業界、提供側の鉄鋼業界を含めたオールジャパン体制を構築し、
会議を通じて、得られた成果を早く業界へ周知できる仕組みとしている。

24/29

4. 実用化の見通しについて

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

水素ステーションでニーズの高い鋼材について、事業者の申請負担を軽減し、新たな鋼材（＝例示基準化されていない鋼材）を使いやすくすることで、水素ステーションでの利用を促進する。

水素ステーションに関わる申請方法と事業者の申請負担

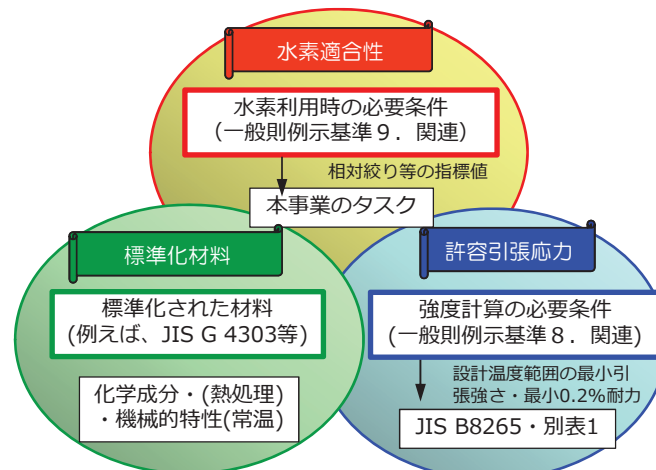
申請方法	内容	イメージ図	本事業での取り組み	事業者の申請負担 ↑小 ↓大
一般申請	○例示基準の範囲内		<ul style="list-style-type: none"> ・新たな鋼材の例示基準化 ・規制合理化の可能性検討 	
詳細基準事前評価	○例示基準の範囲外に及ぶ場合 申請者が作成した詳細基準が関係規則に定める機能性基準に適合するか否かが判断される。		<ul style="list-style-type: none"> ・技術文書化 ・事前評価要求事項の明確化 	

4. 実用化の見通しについて

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

水素ステーションでニーズの高い鋼材について、事業者の申請負担を軽減し、新たな鋼材（＝例示基準化されていない鋼材）を使いやすくすることで、水素ステーションでの利用を促進する。

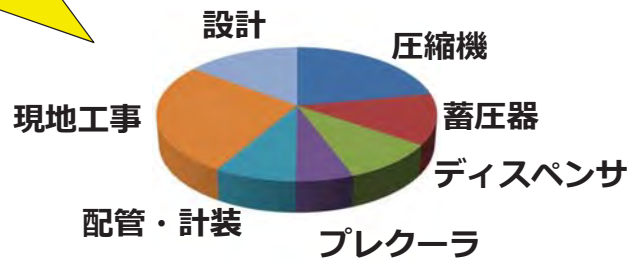
例示基準化に必要な要件



4. 実用化の見通しについて

◆成果の実用化の見通し

水素ステーションのコスト構成



NEDO報告書；
「製造・輸送・貯蔵シ
テム等技術開発」より

- ◆ 上図に、水素ステーションのコスト構成を示す。
 - 鋼種拡大の寄与はほとんどの機器に及ぶものの、コスト的にはいずれも製作・加工費の割合が高く、材料費のみが全体コストへ及ぼす影響は少ない。
 - 汎用品化、例示基準化により、材料入手、各種手続きの簡素化、及び利用方法の改善（溶接など）効果が非常に大きい。
- ◆ 新たな鋼材の例示基準化により、申請負荷を軽減することがニーズとなっている。
- ◆ 本事業において、例示基準化に資する資料の作成を行ってきており、このニーズに合致している。

4. 実用化の見通しについて

◆成果の実用化の見通し

	鋼材等	使用・検討条件等	成果	
範囲 拡大	SUS316 (Ni当量品)	-45℃～250℃	例示基準改正	
		Ni当量規制合理化	規制合理化には至らなかったが、 現行規制の妥当性を検証	
	SUH660	-45℃～50℃	例示基準改正	
		温度範囲拡張（～120℃）	例示基準改正	
HRX19	-45℃～250℃	基準化に向けた道筋の明確化		
種類 拡大	銅合金系	-40℃～100℃、25MPa以下	例示基準改正	
	低合金鋼	SCM435	70MPa級蓄圧器	使用指針と設計指針の提案
		SNM439		
汎用鋼（SUS，低合金鋼含む）	20MPa以下	例示基準改正		
使い 方 拡大	許容応力値の海外規格引用	SUH660の350℃までの ASME規格値のJISへの引用	JIS B8265改正	
	溶接	HRX19を事例として溶接材の水素適合性 を検証	溶接の安全利用に必要な 要件の提示	
	低合金鋼の利用拡大	70MPa級蓄圧器	低合金鋼技術文書発行	

ユーザーニーズに基づき、各種鋼材の実用化（例示基準化等）を達成した。

4. 実用化の見通しについて

◆ 実用化に向けた具体的取り組み

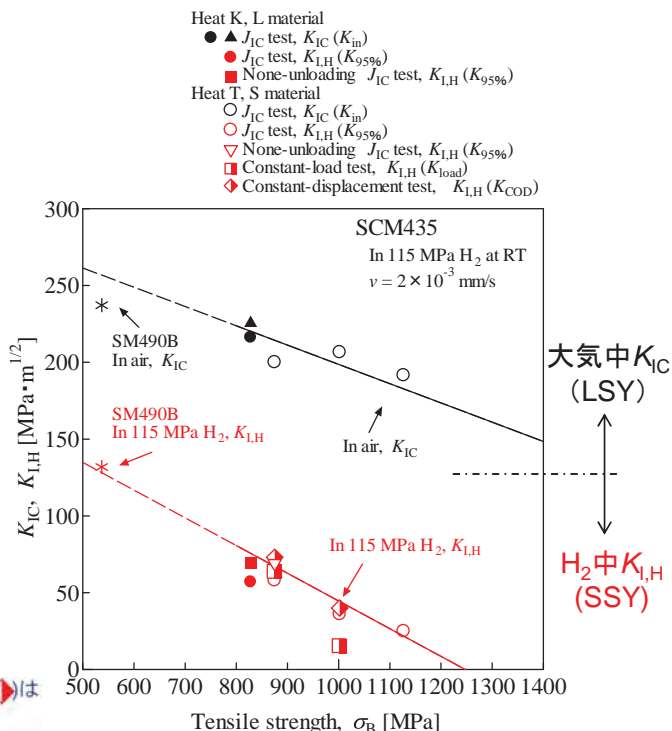
年度	H 2 5	H 2 6	H 2 7	H 2 8	H 2 9
範囲の拡大					
① SUS 3 1 6 (Ni 当量品)	→	→	→	→	→
② SUH 6 6 0	→	→	→	→	→
③ HRX 1 9		→	→	→	→
種類の拡大					
① 銅合金系	→	→	→	→	→
② 低合金鋼		→	→	→	→
・ SCM 4 3 5		→	→	→	→
・ SNCM 4 3 9		→	→	→	→
③ 汎用鋼 (SUS、低合金鋼等含む)	→	→	→	→	→
使い方の拡大					
① 許容応力値等の海外規格引用		→	→	→	→
② 溶接		→	→	→	→
③ 低合金鋼の利用拡大		→	→	→	→

水素ステーションでの利用拡大

以下、補足資料（再委託先の成果）

疲労き裂進展特性に加え, 破壊前漏洩(Leak Before Break : LBB)の評価には大気中の破壊靱性値 K_{IC} , 使用回数の決定には水素ガス中の水素誘起裂進展下限界値 $K_{I,H}$ が必要

試験方法	規格
<p>COD J_{IC}試験</p>	ASTM E1820
<p>COD 除荷なしJ_{IC}試験</p>	ASTM E399
<p>定荷重試験</p>	ASME BPVC KD-10 ISO 11114-4
<p>定変位試験</p>	



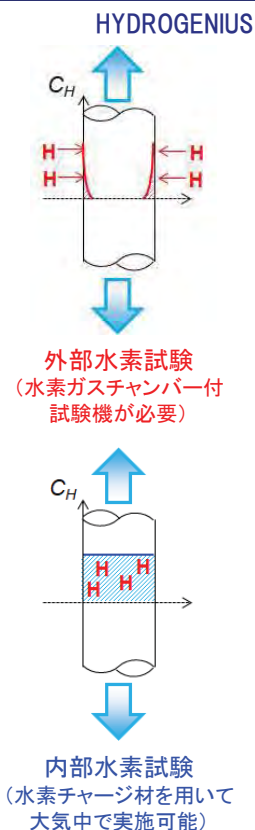
115MPa水素ガス中では, 定荷重試験結果(■)と定変位試験結果(◆)は J_{IC} 試験結果(●, ○), 除荷なし J_{IC} 試験結果(■, ▽)と一致。

外部・内部水素による破壊形態の分類と内部水素試験の適用可能性の提案

鋼種名	SSRT試験	疲労寿命試験	疲労き裂進展試験
Low-Ni _{eq} (SUS304)	○ 外部水素: HIS ² 内部水素: HIS ²	○ (内部水素により疲労限上昇) 外部水素: HIS ² 内部水素: HIS ²	○ (内部水素でき裂進展加速) 外部水素: HIS ² 内部水素: HIS ²
High-Ni _{eq} (SUS316L)	○ 外部水素: D 内部水素: D(ポイドシート)	○ 外部水素: S 内部水素: S	○ 外部水素: S 内部水素: S
High-Ni _{eq} (SUH660)	△ 外部水素: D 内部水素: F	○ 外部水素: S 内部水素: S	○ 外部水素: S 内部水素: S
SCM435	× (内部水素で特性に変化なし) 外部水素: HIS ² 内部水素: D	× (内部水素で特性に変化なし) 外部水素: HIS ² 内部水素: S	○ (内部水素でき裂進展加速) 外部水素: HIS ² 内部水素: HIS ²

HIS²: 水素継続すべり破面
 D: デンプル破面
 S: ストライエーション(疲労破面の代表)
 F: ファセット破面

○: 適用可能→データベース化
 △: ある限られた条件のみ適用可
 ×: 適用不可



「水素利用技術研究開発事業／燃料電池自動車及び水素供給 インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する 研究開発／燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け 使用可能鋼材の拡大に関する研究開発」(事後評価)

プロジェクトの概要 (公開)

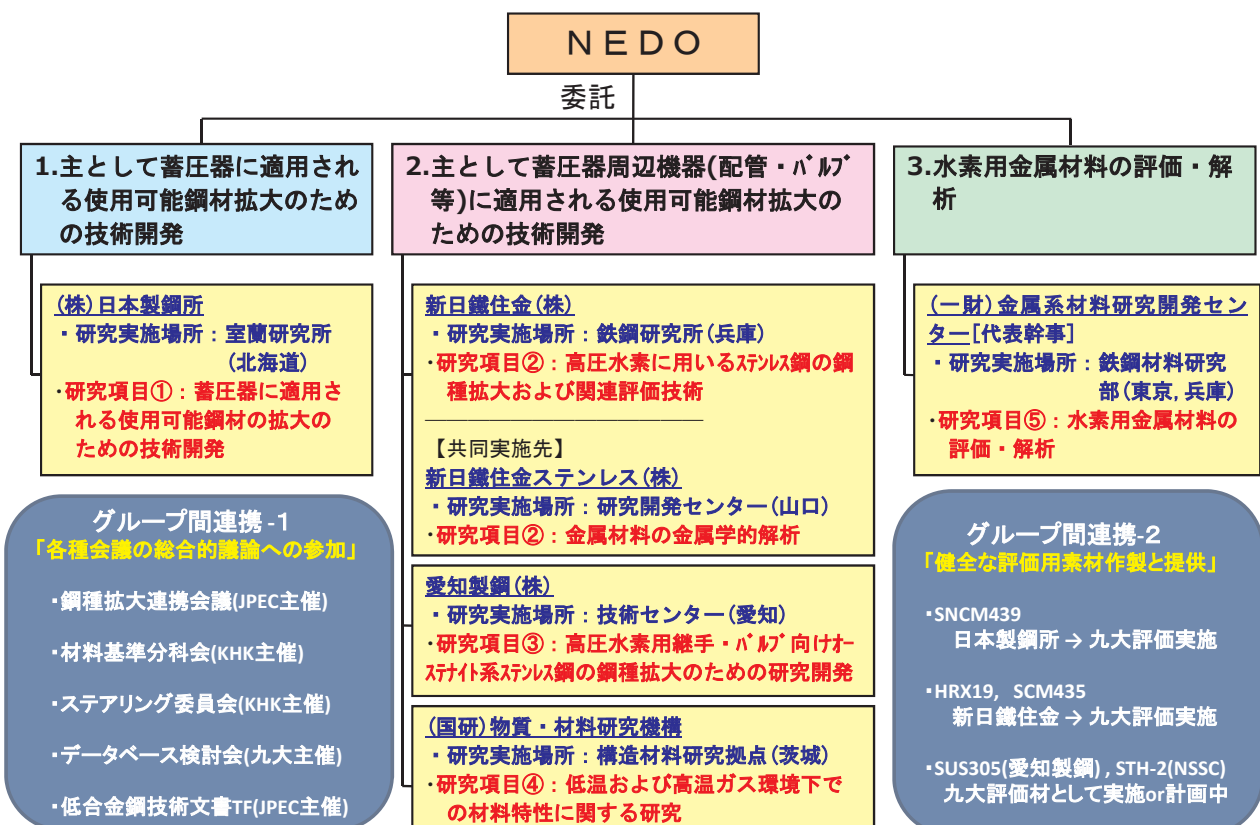
一般財団法人金属系材料研究開発センター
株式会社日本製鋼所
新日鐵住金株式会社 (共)新日鐵住金ステンレス株式会社
愛知製鋼株式会社
国立研究開発法人物質・材料研究機構

平成29年11月24日

複製を禁ず

1/16

研究開発体制／課題／「JPEC・KHK・九大」グループとの連携状況



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆ 個別研究開発項目の目標と達成状況

開発項目	最終目標	成果	達成度	備考
① 主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発【日本製鋼所】	低合金鋼の安全利用に資する知見を獲得し、基準作成に協力。	材料データ提供、設計・製造の知見等を通じて低合金鋼技術文書の策定に貢献した。	○	H30年2月達成予定
②-1 高圧水素に用いるステンレス鋼の鋼種拡大及び関連評価技術の開発【新日鐵住金、(共)新日鐵住金ステンレス】	新規水素用高機能ステンレス鋼の基準・標準化に必要な材料データ採取と溶接等に係わる利用技術データの拡充	HRX19の溶接継手は母材と同等の優れた耐水素脆化特性を有し、STH-2の耐水素ガス脆化特性向上にCu, Nが有効なことを確認した。	○	H30年2月達成予定
②-2 高圧水素用継手・バルブ向けオーステナイト系ステンレス鋼の鋼種拡大のための研究開発【愛知製鋼】	高圧水素環境下で使用可能でMoフリー省資源鋼SUS305相当のステンレス鋼棒鋼および鍛造品の開発による使用可能鋼材の拡大	SUS305相当高圧水素用ステンレス鋼の棒材および鍛造品を開発し、良好な水素環境特性を得た。	○	H30年2月達成予定
②-3 低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究【物質・材料研究機構】	各種鉄鋼材料の高圧水素環境中引張特性の極低温域までの中空試験片を用いた簡便な評価と水素環境脆化に及ぼす因子の把握	STH2, HRX19やSUS630等について高圧水素環境中の機械的性質を評価し、水素環境脆化挙動に関する知見を得た。	○	H30年2月達成予定
③ 水素用金属材料の評価と解析【金属系材料研究開発センター】	開発した評価試験法の標準試験方法としての可能性の検証	従来データとの比較により簡便な評価試験法の有効性を確認した。	○	H30年2月達成予定

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

3/16

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

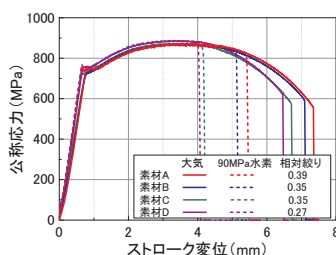
◆ 各個別テーマの成果と意義

① 主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発

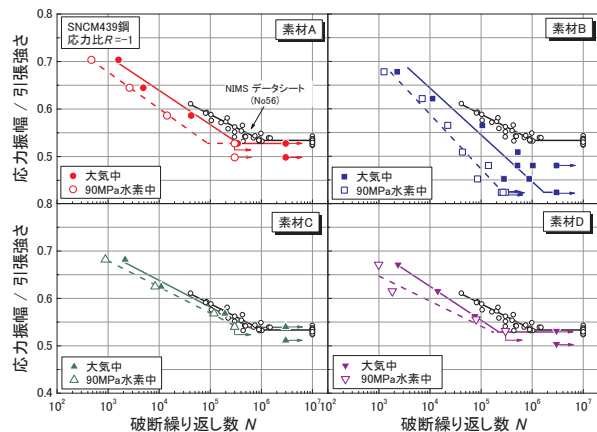
蓄圧器材の安全性評価試験に関して、試験方法による影響や非金属介在物の影響を調査し、得られた知見を低合金鋼技術文書へ反映することで、**材料規格等で防ぎきれない粗悪材が製品に使用されることを防ぐ。**

蓄圧器部材の評価試験項目

評価試験項目	目的
SSRT試験	水素適合性の判定
疲労試験	許容繰返し数の検証
疲労き裂進展試験	疲労き裂進展速度の把握
遅れ割れ試験	水素助長割れ下限界
ライニングロード試験	応力拡大係数 K_{IH} の把握



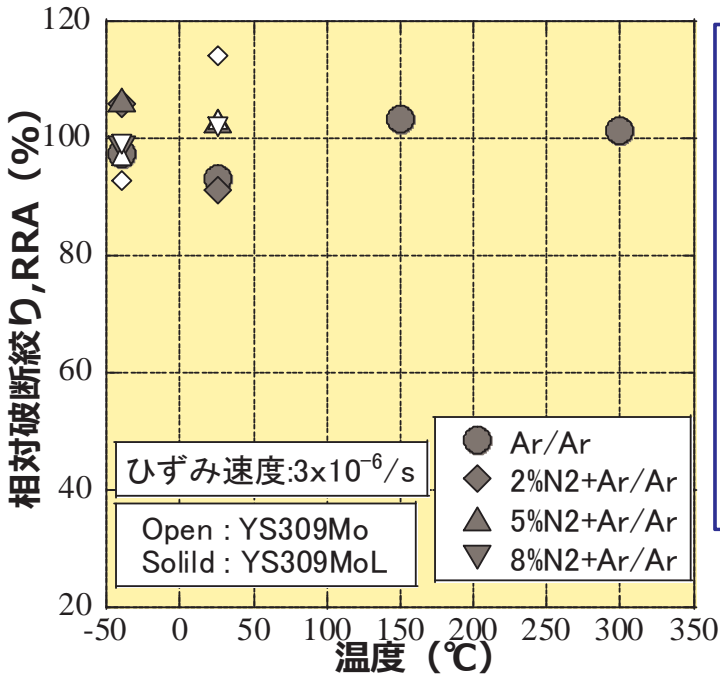
SSRT特性の比較



疲労特性の比較

4/16

**目標：HRX19母材同等の耐水素ガス脆化特性を確保：フィラー溶接継手
→母材に近いNi当量の溶接材料を選定(YS309MoL,YS309Mo系)**



★試験方法

- ・ 素材：HRX19 板厚15mm
- ・ 溶接材料：YS309Mo*,YS309MoL*
- ・ 溶接方法：1G自動TIG
- シールドガス：2%,5%,8%N₂+Ar
- バックシールドガス：Ar
- *JISZ3321該当材を使用

★SSRT条件

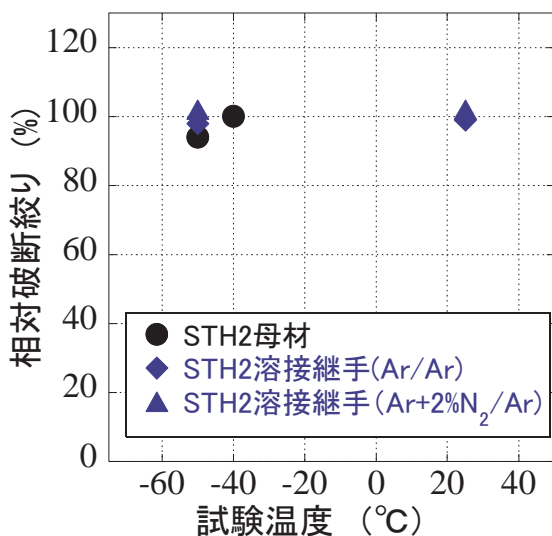
- ・ 85MPaH₂@150℃,300℃
- ・ 90MPaH₂@RT
- ・ 70MPaH₂@-40℃



低温から高温までHRX19溶接継手は良好な水素脆化特性を示す

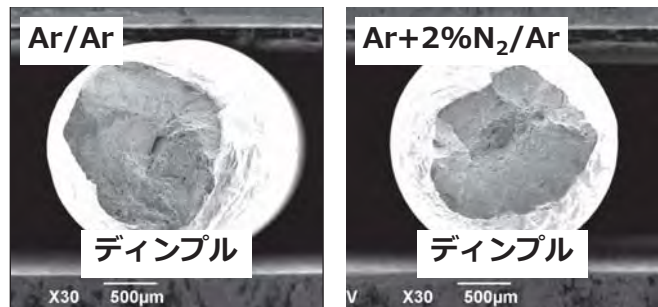
■ STH2の溶接性に係わる利用技術データ拡充

母材の耐水素ガス脆化特性が良好であることを確認できたSTH2において利用技術データの拡充を行うため、YS309MoLを溶接材料として自動TIG溶接により溶接継手を作製し、SSRT試験により耐水素脆化特性を評価する



- ・ 溶接材料：YS309MoL
- ・ 溶接方法：1G自動TIG
- ・ シールドガス：Ar, 2%N₂+Ar
- ・ バックシールドガス：Ar

-50℃・70MPa水素中破面



STH2溶接継手の耐水素ガス脆化特性は-50℃まで良好であることを確認できた

◆各個別テーマの成果と意義

②-2 高圧水素用継手・バルブ向けオーステナイト系ステンレス鋼の鋼種拡大のための研究開発
表. 高圧水素用SUS305(AUS305-H2)の
化学成分の例 (%)

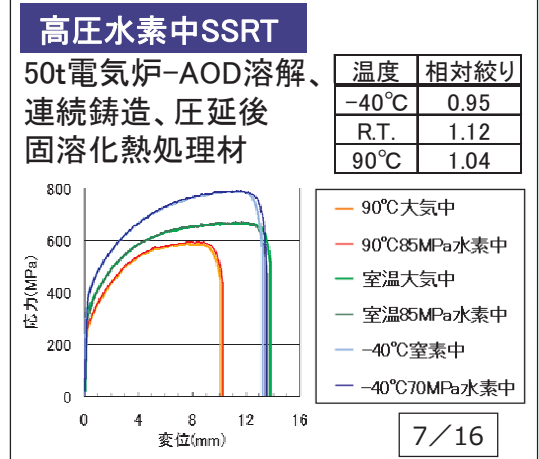
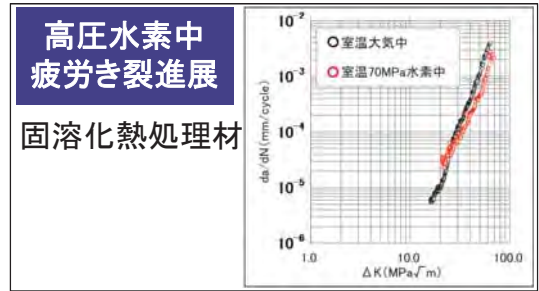
鋼種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Ni当量
SUS305 成分規格	0.12 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.045 以下	0.030 以下	10.50 -13.00	17.00 -19.00	-	-
AUS305-H2	0.11	0.95	1.92	0.032	0.006	12.88	18.87	-	28.9
SUS316L	0.021	0.53	1.19	0.032	0.004	13.44	17.02	2.76	28.9

Ni当量(平山の式) = 12.6C+0.35Si+1.05Mn+Ni+0.65Cr+0.98Mo

表. 機械的性質の例

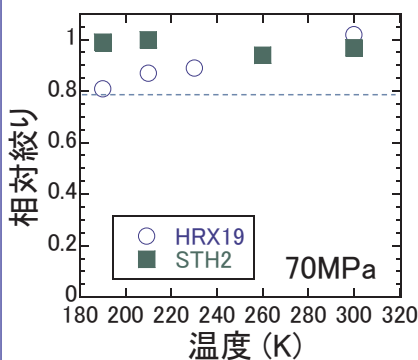
鋼種	状態	0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	絞り (%)
AUS305-H2	固溶化熱処理材	272	604	60	76
	冷間引抜材(減面率20%)	708	800	33	71
SUS316L	固溶化熱処理材	265	578	56	81
	冷間引抜材(減面率20%)	690	772	28	75

- ・高価なMoを含有せず、安価なC等の添加によりSUS305にて、Ni当量28.5以上を実現。
- ・高圧水素環境にて良好な延性が得られることを確認。

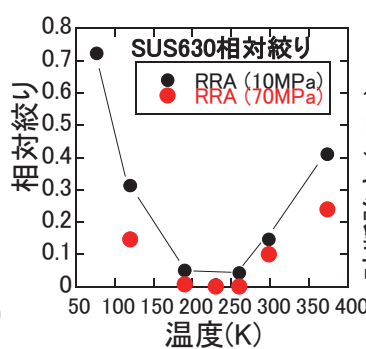


◆各個別テーマの成果と意義

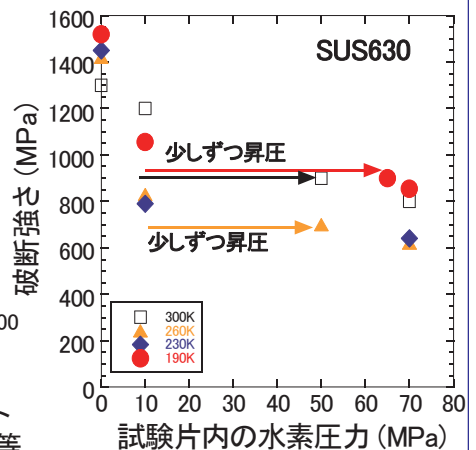
②-3 低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究【物質・材料研究機構】
量産プロセスで製造された各種水素環境用鉄鋼材料(SUS316L、STH2、HRX19)とSUS630について、高圧水素環境中の引張特性を極低温域まで中空試験片を用いた簡便な評価試験方法による低温域までの特性評価を実施し、水素環境脆化に及ぼす因子を把握した。



STH2とHRX19について-80°Cでも70MPa水素環境で水素の影響が小さいことを確認した。



加工誘起マルテンサイト変態を生じないSUS630等は、-40°C付近で水素の影響が大きくなる。



水素ガス脆化は臨界の水素圧力・応力で一義的に決まる。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

小項目「燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発」に関する研究開発全体の総括として、目標は計画どおりに達成予定である。

【成果の意義】

① 主として蓄圧器に適用される使用可能鋼材拡大のための技術開発

必要な材料データの採取と製造メーカーとしての知見の反映により低合金技術文書の完成に寄与した(予定)。これによりCr-Mo低合金鋼を高圧水素環境において安全に使用することが可能となると共に水素ステーション用素材の低コスト化により今後の市場拡大が期待できる。

② 高圧水素用継手・バルブ向けオーステナイト系ステンレス鋼の鋼種拡大のための研究開発

(1) HRX19の特性および利用技術に関するデータの拡充を目的に、高圧水素環境中の各種データの蓄積を行い、特にフィラー有無の場合について溶接継手の水素中のデータの拡充により 実用化に必要なデータを取得したことは、水素社会インフラ基盤構築に寄与するものである。

また、水素脆性発現の指標としてN,Cuの影響を反映したNi当量式の提案に資する材料特性データを取得した。本成果により水素インフラで使用可能な低コストの鋼種の拡大が期待できる。

(2) Ni当量28.5以上の高圧水素用SUS305ステンレス鋼に関し、固溶化熱処理材、冷間引抜材、鍛造材において、SUS316Lと比較して遜色のない、高圧水素ガス環境における延性確保が確認された。

本鋼種は高価なMoを含有せず、鋼材の低コスト化に寄与する。

(3) 高圧水素環境中の簡便な評価法を確立し、STH2、HRX19やSUS630等について機械的性質を評価し、高圧水素環境脆化挙動に関する知見を得た。確立した高圧水素環境中の簡便な評価法や得られた知見は、将来の市場拡大に貢献するものである。

③ 水素用金属材料の評価と解析

高圧水素環境中における試験データの妥当性と簡易試験法の有効性を確認した。

9/16

3. 研究開発成果について (3) 知財と標準化 (4) 成果の普及

◆成果の普及

「燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発」

	H25	H26	H27	H28	H29	計
論文(査読付き)	3	3	2	2	0	10件
研究発表・講演	6	10	11	9	5	41件
受賞実績	0	2	1	0	0	3件
新聞・雑誌等への掲載	2	1	23	2	1	29件
展示会への出展	0	0	2	2	2	6件

※平成29年度9月25日現在

10/16

◆ 知的財産権の確保に向けた取り組み

「燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発」
戦略に沿った具体的取り組み

1. 水素ステーション用に使用可能な鋼材として着目した非磁性鋼及びそれを使用した蓄圧器部材について特許出願を行った(2件)。
2. HRX19およびSTH-2に関しては、得られた研究成果は各種学協会・雑誌、等にて積極的な公表を行う。新知見が得られた場合には特許出願を行う。
3. 高圧水素用SUS305鋼に関しては論文投稿や学会発表等による公知化を推進する一方、隣接成分(非JIS組成)については特許出願を行った(1件)。

	平成25 年度	平成26 年度	平成27 年度	平成28 年度	平成29 年度	計
特許出願(うち外国出願)	0	1	0	1	1	3件

※平成29年度9月21日現在

◆ 成果の普及

一般に向けた情報発信例

1. HRX19に関する記事が掲載された新聞他

<2015年>	<2015年>
1月21日 日本経済新聞	1月31日 HYDRHYTHM2015 Vol.5
1月21日 日刊産業新聞	2月2日 ガスエネ新聞
1月21日 産経新聞	2月27日 FC EXPO
1月21日 日刊自動車新聞	3月16日 日刊工業新聞
1月21日 日経産業新聞	3月17日 日経産業新聞
1月21日 フジサンケイビジネスアイ	3月24日 レアメタルニュース
1月21日 鉄鋼新聞	4月8日 高機能金属展
1月21日 鉄鋼通信	5月11日 日経Automotive6月号
1月21日 日刊工業新聞	7月3日 日刊工業新聞
1月21日 日本金属通信	<2016年>
1月21日 時事通信	6月15日 日経産業新聞
1月22日 化学工業日報	9月3日 週刊ダイヤモンド

2. JRCM NEWSにおけるレポート記事掲載

参画している5つの研究機関がJRCM NEWS(毎月1000部発行、関連産業界他に配布)において各々の成果を本事業5年間に各2回(計10回)紹介。

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

低合金鋼においては、蓄圧器製造メーカーとしての知見を反映させた低合金鋼技術文書が発行され、水素の影響を受ける高強度低合金鋼においても安全に使用することが可能となり、水素ステーションおよび燃料電池自動車、等に採用されることを実用化と考える。また、水素環境用に開発された各種ステンレス鋼においては、それ

参考資料 1 分科会議事録

研究評価委員会
「水素利用技術研究開発事業」(前倒し事後評価) 分科会
議事録

日 時： 平成 29 年 11 月 24 日 (金) 10 : 00~17 : 10

場 所： WTC コンファレンスセンター RoomA

〒105-6103 東京都港区浜松町 2-4-1 世界貿易センタービル 3 階

出席者 (敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長	大谷 英雄	横浜国立大学 大学院環境情報研究院 人工環境と情報部門 教授
分科会長代理	栗飯原 周二	東京大学 大学院 工学系研究科 システム創成学専攻 教授
委員	飯山 明裕	山梨大学 燃料電池ナノ材料研究センター 特任教授/センター長
委員	栗山 信宏	産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 電池技術研究部門 副部門長
委員	柴田 善朗	日本エネルギー経済研究所 研究主幹
委員	正田 一貴	日本ガス協会 技術開発部 部長
委員	藤本 佳夫	トヨタ自動車株式会社 F C 技術・開発部 企画総括室 渉外グループ グループ長

<推進部署>

近藤 裕之	NEDO 新エネルギー部 部長
生田目 修志	NEDO 新エネルギー部 統括研究員
横本 克己 (PM)	NEDO 新エネルギー部 主任研究員
原 大周	NEDO 新エネルギー部 主任研究員
早坂 真紀	NEDO 新エネルギー部 主査
井戸口 隆一	NEDO 新エネルギー部 主査
吉田 勇一	NEDO 新エネルギー部 主査
寺尾 勝廣	NEDO 新エネルギー部 主査
遠山 大輔	NEDO 新エネルギー部 職員

<実施者>

尾上 清明 (PL)	九州大学 環境安全衛生推進室 教授
杉村 丈一 (PL)	九州大学 大学院工学研究院機械工学部門 教授
佐藤 光一	石油エネルギー技術センター 自動車・新燃料部 上席主任研究員
小林 拡	石油エネルギー技術センター 自動車・新燃料部 水素利用推進室 室長
前田 尚志	金属系材料研究開発センター 鉄鋼材料研究部 主席研究員
金子 彰一	水素供給利用技術協会 技術 1 部 シニアマネージャー
西村 伸	九州大学 大学院工学研究院機械工学部門 教授

<評価事務局>

保坂 尚子	NEDO 評価部 部長
前澤 幸繁	NEDO 評価部 主査
中井 岳	NEDO 評価部 主任

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント
 - 5.2 研究開発成果、成果の実用化に向けた取組及び見通し
 - 5.3 質疑応答
6. プロジェクトの詳細説明
 - 6.1 全体説明
 - [研究開発項目Ⅰ] 燃料電池自動車及び水素供給インフラの国内規制適正化、国際基準調和・国際標準化に関する研究開発
 - [研究開発項目Ⅱ] 燃料電池自動車及び水素ステーション用低コスト機器・システム等に関する研究開発
 - [研究開発項目Ⅲ] 水素ステーション安全基盤整備に関する研究開発
 - [研究開発項目Ⅳ] CO₂フリー水素及び国際機関等に係る政策・市場・研究開発動向に関する調査研究
 - 6.2 個別テーマ詳細説明
 - 6.2.1 研究開発項目Ⅰ：規制適正化(*1)、鋼種拡大(*2)(*3)
 - 6.2.2 研究開発項目Ⅰ：国際標準化(*4)
 - 6.2.3 研究開発項目Ⅱ：高圧水素用ホース(*5)(*6)

(非公開セッション)

7. 事業全体の進捗、課題及び将来へ向けた指摘事項等に関する全体を通しての質疑

(公開セッション)

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

<備考：事業名称>

- (*1) 水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発
- (*2) 水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発
- (*3) 燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発
- (*4) 水素ステーション等機器の国際標準化動向に関する検討
- (*5) 水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発
- (*6) 高圧水素機器用ホース等システム部材の研究開発

議事内容

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
開会宣言 (評価事務局)
配布資料確認 (評価事務局)
 2. 分科会の設置について
研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき評価事務局より説明。
出席者の紹介 (評価事務局、推進部署)
 3. 分科会の公開について
評価事務局より資料 2 及び 3 に基づき説明し、議題 7「事業全体の進捗、課題及び将来へ向けた指摘事項等に関する全体を通しての質疑」を非公開とした。
 4. 評価の実施方法について
評価の手順を評価事務局より資料 4-1~4-5 に基づき説明した。
 5. プロジェクトの概要説明
- 5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント
 - 5.2 研究開発成果、成果の実用化に向けた取組及び見通し
横本PMより、資料5に基づき説明が行われた。
 - 5.3 質疑応答
5.2 の説明内容に対し質疑応答が行われた。

【大谷分科会長】 ありがとうございます。

技術の詳細については、次の議題 6. で扱いますので、ここでは、主に、事業の位置付け・必要性、マネジメントについて議論したいと思います。ただいまの説明に対して、ご意見、ご質問等がありましたらお願いしたいと思います。いかがでしょうか。

【栗飯原分科会長代理】 海外の動向が非常に気になるところで、米国とドイツの状況はご説明いただきましたが、やはり中国が気になります。いかがでしょうか。

【横本 PM】 中国も戦略的な設定をしております、日本の経産省が一昨年作成したロードマップに乗って、2020年、400か所の稼働ステーションを設置したい、車は1,000台導入します、という形の目標を立てています。現状としては、それはまだ十分にできていないのですが、国力、国の大きさとしては、我々としても追いつかれないように進めていかなければいけない状況になっております。韓国も日本とほぼ同じくらいのステーションの設置稼働を目標としていますので、我々としても後れないように進めていきたいと考えています。日本の優位性がどこにあるかと申しますと、100か所のステーションを10年くらい運営してきているので、そこで得られたノウハウは、公開できるものは公開していきながら、公開できないものは関係者の方に使っていただきながらという形の戦略で進めていきたいと思っております。

【栗山委員】 栗飯原分科会長代理のコメントに関連して、もう少しスペシフィックな話として、知財について、データベースなどいろいろな情報がありますが、中国、欧米を含めて、日本と同じように進めていく内容を考えた上で、ほかのところはどういう取得状況なのかはどのように把握されていますか。場合によっては、外国でもデータ取得が進められているとなると、うまく協調しないと乱立して後でややこしいことになったりしますので、そこはどのように把握されていますか。

【横本 PM】 国際調和については、我々としても、HySUT、自工会を含めて、どのような状況になっているのか把握しています。今、まさに比較表を作成してまして、日本はどこが後れているのか、どこが足りないのか、ヨーロッパやアメリカのどこが進んでいるのかということも把握した上で、今からスタートしようとしているところです。これまでの事業としては、栗山委員がご指摘のとおり、単独にならないよというということで進めてきたものがあります。出せるものは出していっているという回答しかできないのですが、当然、日本が少し後れているというか、法律的に厳しいものもあり、午後からの非公開の場でご相談したいと思っしていることがあります。NEDOとしては、きちんと把握した上でプロジェクトを進めているとご理解いただければありがたいと思います。

【栗山委員】 あとは各論になりますので、後でお話しします。

【正田委員】 適宜進めていただいている中で状況が変わっていき、そしてテーマ数が増えていって随時対応していただいていると思いますが、単純に、仕事量が増えていくと大変だろうなと思います。そのあたり、体制自体の強化をしたなどのことがあればお教えてください。

【横本 PM】 NEDO 内の体制としては、人数は変わらず1人の負荷を増やしている状況ではありますが、逆に、我々としては、バランスをとりながら、データベースや国がかかわるデータについては、強化を緩めずにそのまま進めさせていただきました。実際に、委託先で進んでいるところについては状況を把握しながら、難しいと思った場合は強く突っ込んでいくなど強化する形で進めさせていただきました。特に、2年前に Type2 の容器の事業者が入った際には、そこはスタートですので強く力を入れて事業を進め、同じ人数でバランスよく人員を配置したという形です。

【大谷分科会長】 研究開発動向のところ、アメリカはカリフォルニアが進んでいて、その計画も入っていますが、何年前でしたか、たしかカリフォルニアで水素ステーションが爆発事故を起こしていますね。その事故で何か影響を受けているとか、そういうことはないですか。

【横本 PM】 爆発事故というのは、たしか液水のローリーがホースをつけばなしのままで移動したという事故だったと思います。それによってアメリカが大きな影響を受けているかということ、今のところは、DOE の情報を含めて、そこは大きな問題になっていないと思います。しかし、安全管理及びリスク管理を運営側で行っていると聞いています。

【大谷分科会長】 私も消防関係で映像を見せていただきましたが、周囲に何も無いような広大な場所だから、ここなら影響はないかなと思いました。そういう意味では、日本だと、都市計画法か何かで、こういう場所に設置してもいいかどうかということが問題になりそうな気がします。

【横本 PM】 現在、日本では建築基準法で、第一種低層住宅地、一般の家があるところ、準工業地域、いろいろな分け方がありまして、その中で、貯蔵できる水素の量が決められていますので、その範囲で何とかできるように我々としては取り組んでいるところです。併せて、分科会長がおっしゃった事故ではないですが、そういうことも踏まえて、過去から、水素の漏洩が起きた場合、どの範囲まで広がり、どの範囲が危険域になるのかというデータはずっと蓄積していますので、その範囲で、安全なエリアはきちんと確保できるような形で事業者とても進めております。また、事業者の皆さんはそれを基準としてステーションを整備していただいています。

【大谷分科会長】 私も、危険物関係で、ガソリンスタンドに併設したらどうなるのかななどの検討もさせていただきましたが、水素は拡散してしまうのであまり高濃度にはならないですね。キャノピーに少したまるかなという話があることはありますが、たぶん、爆発するほどの濃度にはならないという結果が出ているので、それほど問題はないだろうと思います。ただ、普及に当たっては、技術的な面もそうですが、土地が確保できるかどうかという点も少し気になっています。

【横本 PM】 現在は、離隔距離は、公道からの距離として広い距離を持たせていただいています。スタート当初の公道までの距離 8mからは短くなっており、それは技術的なバックボーンから規制の見直しを

含めて行っております。将来に向けたステーションはどのような形であるべきかということも、後で紹介しますが、こういう対策を立ててきちんと対応しています、こういう対策がとられています、マニュアルはこうです、ということも実際には進めています。そういう形で、できたものをいかに周知して皆さんに理解してもらうかということも一つの課題と思っています。分科会長がおっしゃったように、土地の問題も含めて、ステーションの周りを含めた形の取組が我々としては必要だと考えております。

【大谷分科会長】 規制等の見直しにも柔軟に対応していただいている、いいなと思いますが、やはりまだわかっていないというか、これから規制を考えるような部分もあるのではないかという気がしますので、そこら辺は今後の課題になってしまいますが、これまでのところは柔軟に対応していただいているという感じを受けました。

他にいかがでしょうか。

【栗山委員】 先ほども質問がありましたが、かなり大きな事業で、資料についても評価委員泣かせのものだと思います。この事業は、大きくてもマネジメントを上手にされているように思いますが、これはPLのお二人が活躍されていらっしゃるのかなと思います。実際、マネジメントを行う場合、例えば、事業などで、昔であれば上部委員会があるなどのマネジメントの方法もありましたが、その辺はある程度、委員会の体制とかそういうことは、後で出てくるのかもしれませんが、NEDOの中ではここにまとめられていないので、ある程度グルーピングして、情報交換であったり、マネジメントの意思の統一などはされていたのでしょうか。

【横本PM】 具体的に委員会を設けたわけではないのですが、各事業の中で、知財のマネジメントの委員会がありましたので、そこで進捗状況の管理・確認がされ、我々も参加して、進捗の確認をさせていただいています。横串を通す際に、今回、PLを2人お願いして、研究開発にかかわるところについては杉村PLに見ていただくというマネジメントをお願いしています。当然、その委員会には我々も参加します。尾上PLにおかれましては、企業がどのような形で進めているのかということ把握していただきまして、こういう形で進めたほうがいいのか、こうあるべきではないかというご指導をいただきながら、一緒に進めています。特にNEDOとして、全体委員会を設置して、事業全体の進捗等の把握、例えば昔やっていたようなPL委員会のような形のものではできていなく、個別の事業を、PLの先生2人と我々が一緒にマネジメントして進めてきております。基本的に私がPMを務めさせていただいていますが、全体を把握するのは当然我々NEDOの仕事ですが、その中で、正田委員からもご指摘がありました、いかにうまく事業者と連携をとっていくかということを中心にマネジメントさせていただきました。

【飯山委員】 質問です。資料の27ページに「開発促進財源投入実績」があります。この金額は、18ページの「プロジェクト費用」とは別の金額と見てよろしいですか。

【横本PM】 この金額は、我々のプロジェクト費用に含まれた形になっています。

【飯山委員】 そうすると、18ページの、例えば平成26年度であれば、全体が約35億9,000万円で、その中の一部として6億2,900万円の開発促進財源が含まれているという理解でよろしいですか。

【横本PM】 はい、投入した金額です。

【飯山委員】 こういう、いわゆる緊急に起きた課題に対して、開発を促進する財源として括って支出をいただいていると思いますが、これは、もとのプロジェクト費用に含まれるとすると、年度初めに予算計上されているということですか。それとも、やりくりして捻出したということでしょうか。

【横本PM】 この2つの加速については、経産省に要望して、こういう突発的な事項が発生しましたということで、費用を捻出してほしいということはありません。皆様ご存じのように、国としても、全て一律ではなくて、必要なものには措置いただける制度もありますので、加速という形の措置をいただいで準備をさせていただいた費用になっております。

【飯山委員】 わかりました。非常にフレキシブルに、これだけのお金を必要に応じて出していただくようなマネジメントは、かなり良いのかなと感じていました。そこが、ある意味、年度ごとに見たプロジェクト全体のバランスを崩さずに何か対応されているようでしたので、感想を述べさせていただきました。ありがとうございました。

【大谷分科会長】 他にはよろしいですか。

NEDOの事業ということで、かなり実利的なところを目的とされているということですが、そこら辺について、柴田委員、何かご意見ございますか。

【柴田委員】 少し場違いな話かもしれませんが、費用対効果ということがよく言われますね。R&Dの費用対効果を定量化するのは難しいのですが、10ページに載っているのは、既存の調査を引用していらっしゃいますが、2億円コストでステーションが実現できたらこのくらいの規模というものが見込めるのではないかというお考えのもとなのでしょうか。

【横本PM】 そうですね、富士経済がどう試算したのかわかりませんが、基本的に、国が掲げているステーションは、現段階では2.3億円でしましようという形のもので、それをターゲットにして、年間どのくらいの台数が必要かということで大体こういう規模になるのではないかと考えています。しかし、このために180億円投資したのかとなると、それだけではなくて、金属材料やゴム材料などのデータベース用データ取得をすることで日本が優位に立てるものもこの中には含まれていますので、実際、ステーションや車が普及するだけではないということをご理解いただければありがたいと思います。当然、データベースのデータも、将来的には公開していくべきものだと思っていますので、その取扱いについては、事業者を含めて国とも相談しながら進めていきたいと考えています。

【大谷分科会長】 正田委員、何かございますか。

【正田委員】 もしかしたら、最後の非公開セッションでの話になるのかなという気もしますが、ご説明の中で、将来のステーションの形というようなお話で幾つかコメントをいただいています、一方、例えば2億円のステーションを整備するという話があって、安全対策も考えなければいけないという話があって、そこは、将来のステーションというのは、今見えている、顕在化している課題をつぶしていくことで見えてくる話なのか、全然違う、例えばアメリカやドイツなどでは違う方法をしていて、そういうことを含めて違う形のステーションになるという将来の話をされているのか、その辺はどうなのかなと思いました。

【横本PM】 将来のステーションのあり方、どのようなステーションが良いかというのは、今のステーションから見て、どこがコストアップになっているのか、どこが律速になっていて車の充填台数が限られているのかということも議論した上での「将来のステーション」の形を考えています。ですから、現状とは異なるステーションになる可能性もありますが、現行のステーションからいかに使いやすいステーションに進むのかということ「将来のステーション」という位置づけにしています。そのために、今できるものとして、個別の漏洩対策の開発などもさせていただいている状況です。もしかして、海外で、更に安いステーションができますと、当然、それをターゲットに、今度は、日本における規制はどうかという検討を含めて進めていく必要があるのではないかと考えています。それはまた非公開セッションでお話をさせていただければと思います。

【大谷分科会長】 藤本委員、自動車の立場から見るとどうなのでしょう。

【藤本委員】 自動車の立場というか、私の興味で、CO₂フリー水素が挙がっていますが、私の理解では、IEAやIPHEなどの会議に出席していて、そこに出すレポートに変なことを書かれないというか、日本の考え方も入れ込んで、それをまたフィードバックすることなのかなという理解をしていることと、これが将来的に実用面でどういうことにつながっていくか、そうした考えがあまりなら聞きたいと思っています。

【横本 PM】 CO₂フリー水素は、おっしゃったように、今、国際的に定義を決めようという流れもあり、それからは離れないようにしようということで書いています。個別の企業になりますが、千代田化工に、例えばロシアから持ってくることはできないかということで、国際連携の中の一つのような位置づけも、このCO₂フリー水素の中には含まれています。それは当然、今、欧米とはきちんと対応していますが、少し抜けている国が何か国かあると思っていただければ、その取組としては、将来に向けて、その位置づけとしては十分あるのではないかと進めています。

あと、ご指摘の中で、次はどうするのかということですが、経産省のロードマップの中のフェーズ2、フェーズ3の先あたりになりますので、この事業は少し先取りで、実施したという位置づけになります。国内でもCO₂フリー水素の委員会がありますので、その中で議論されている内容の一部をここで少し調べてみたという形です。

【藤本委員】 分科会長からご指摘があった自動車の観点から少し話します。一応、国際標準とフェーズ2対応ということでかなり対応いただけていて、実際にフェーズ2の議論が今年秋ごろから始まっていて、データが役に立っているということで、非常に有用な事業であると考えていますので、これは今後も続けていただけるといいかなと思います。

【栗山委員】 10ページの費用対効果ですが、これはインフラの部分だけですね。実は、これがないと車も普及しない、制約されることになると思います。そこは、ある意味、これだけだと過小評価になりそうな気がします。

【横本 PM】 この事業としては、水素ステーションの設置にかかわるところがメインの事業になりますのでこういう結果になるのではないかと思います。我々が実施する燃料電池実用化の技術開発の中では、将来にわたって自動車のための燃料電池スタック、山梨大学で進めてもらう総合技術開発のものも含めると、もう少し大きな市場規模が、真ん中の部分に車という市場が出てくるのではないかと思います。我々としては、今はあくまでステーション絡みということで、ここに記載されている内容になっております。車の仕様につきましては、藤本委員がよくご存じだと思いますが、今から広がっていく市場ですし、更なる燃料電池自体の性能アップ、コスト低減というところも、燃料電池の技術開発のほうで見ていただければいいと思います。

【栗山委員】 よく知らない人を見ると過小評価してしまいそうなので、そういう広がる可能性があるということ、定量的ではなくても、何かの折に書き加えていただくことがいいのではないかと感じを少し受けました。

【飯山委員】 今の関連で、この水素ステーションと水素燃料の金額は、日本国内だけの市場規模ですか。

【横本 PM】 富士経済のこのデータは、国内市場です。

【飯山委員】 事業が国内ステーションということだと思いますが、開発されている機器・部品などは、ある意味、国際商品としても展開できるわけなので、そういう国際市場での部品や機器のマーケットについての波及効果を算出することは、どうなのでしょう。

【横本 PM】 海外のステーションの動向、設置台数がおおよそ見えていますので今後どれだけ参入できるかということになると思います。現状で申しますと、日本から外に出る部品が非常に少ないという状況があります。それは、国際的な基準が日本とは違うところがありますが、その点については、ISO等の中に踏み込んでいって進めていければいいかなと思っています。また、将来的には当然、各社とも海外展開もターゲットにされており、その要望についての話は聞いていますので、次のプロジェクトでは何かできないかという思いはあります。

【飯山委員】 ありがとうございます。伺っていると、国際標準、そういうところで日本の国のリードでそうした標準を決めて、それに合致したステーションとステーションの機器を、国内のメーカーが、国内はもとより海外でも各企業の努力で展開できるような技術開発を実施しているという形がいいのではない

かと思えます。もし、そういうことにまだまだ課題があるということであれば、今後とも議論が必要なのではないかと思いました。

【横本 PM】 ありがとうございます。

【柴田委員】 成果の公表として、一般向けにということでご活動されていると認識させていただきました。例えば、水素エネルギーナビを設置されたりなどということ。それと同時に、古い知識で恐縮ですが、例えばカリフォルニアなどでは消防庁と連携して実際に一般の人が水素を体験するなどの活動があったと思います。そうした活動はされていますか。NEDO の範疇外のような気もしますが、その辺はどのようにお考えでしょうか。

【横本 PM】 アメリカで実施しているような一般向けのことは日本ではできていない状況です。しかし、我々の事業ではありませんが、総務省の関連で、ステーションのあり方については 3 年くらい前から議論をしまして、例えば離隔距離のデータなどの我々が得たデータも入れていただいて、消防のマニュアル等に反映させる事業が進められています。一般の方向けにということで、今、我々としてご協力させていただいている内容として、水素ナビがあります。また、HySUT にお願ひし、山梨県に実証ステーションを建設中で、建設はほぼ終わっています。そこでは、ステーションで働く方の教育・訓練などもできるような体制を構築しております。

【柴田委員】 わかりました。

【大谷分科会長】 実用化という観点では、実際のステーションができると、一応、評価は十分ということになるかなと思っていますが、まだそこまでできていないというか、運転していないと。

【横本 PM】 今ちょうど最後の段階で、間もなく、いわゆるデータ取りの試験も始まる状況です。

【大谷分科会長】 そういう、まだ見込みというものが残っていますけどね。

【柴田委員】 一般の人へ、水素の市民権というか、理解度を上げるためにもと思った次第です。

【横本 PM】 水素ナビは、自治体の方を含めた委員会を構成し、こういう構成であれば市役所の中でも、一般の方向けにも使えるということでお話をいただきながら作っています。つまり、自治体や、広く周知していただく側の方のご意見も取り入れて作らせていただいたものですので、意外と多くの方がご覧いただいているのではないかと思います。

【栗飯原分科会長代理】 先ほどの飯山委員の質問に関係するのですが、やはり海外展開は重要だと思います。材料を開発したり、機器を開発したり、これは国内のマーケットで使うことはもちろんですが、海外に展開できる、輸出できることになると企業にとっても良いことだと思います。このプロジェクトで開発した技術が、国内の基準になることはもちろんですが、国際基準に積極的に入れていく必要があると思います。そういう意味で、ISO の規格化ということでしょうか、この辺は既に対応されていると思いますが、さらに強力に進めていただきたいと思います。どのようなお立場でしょうか。

【横本 PM】 この事業では、対応できるところは既にいろいろ対応させていただきました。基準化についても後でご紹介したいと思います。あとは、NEDO の中でも指摘がありましたが、将来にわたっては、せっかくこれだけデータがあるのであれば、それを海外に提案して日本の優位性を保っていかうというお話をいただいています。これは、今進めているものだけではなくて、次のプロジェクトに関しても同じような方向で進めたいと思っております。

【栗山委員】 先ほど広報のお話がありましたが、私の記憶では、HySUT が、この事業とは別に、一般とのコミュニケーションなどをされている、広報活動をされていますので、そこは水素の世界全体としては、あるという認識で私はいます。

【横本 PM】 そうですね。本事業として、ついこの前のモーターショーにもブースを準備していますので、一般の方にも少しずつ水素ステーションを知っていただく機会は設けていただけるようにしています。

【大谷分科会長】 よろしいでしょうか。

予定の時間がまいりました。ありがとうございました。他にもご意見、ご質問等があらうかと思われませんが、予定の時間がまいりましたので、ここで終了したいと思います。

6. プロジェクトの詳細説明

6.1 全体説明

横本PMより資料6に基づき、[研究開発項目 I]～[研究開発項目IV]に関して説明が行われ、その内容に関して質疑応答が行われた。

【大谷分科会長】 ありがとうございます。

まず全体についてご説明いただきました。後ほど個別にもう少し説明があるものもありますが、全体について、何かご質問、ご意見がございますか。

【栗山委員】 議論の前提になることかと思いますが、3 ページの「研究開発の実施体制」の研究開発項目 II に、「委託」、「共同研究」、「助成」とあります。認識を合わせるために、このそれぞれの意味合いをご説明いただければと思います。

【横本 PM】 「委託研究」については、NEDO から、こういうことをしてほしいということで、そのテーマ全てを、ここに記載してあります四角の枠に囲ってあるグループにお願いしており、100%の資金を準備して実施していただく形の体制です。ですから、「委託」の中で、我々はこういうことをしてほしいということで実施計画を立てていただいた中で、それを内部で敢行していただくものが委託研究です。

「共同研究」については、特に研究開発要素が強いもので少し市場に近いものを NEDO、事業者両者の負担として実施するものです。この事業では 2 分の 1 の負担とし、NEDO も半額出しますが、企業も半額を出して協働して進めています。

「助成」というのは補助事業でありまして、それぞれ皆さんがお持ちの開発した技術を、最終的に商品もしくは形にするものです。負担については、我々 NEDO も半額出し、企業にも半額出していただいた上で、商品化の最後の一押しを一緒に行いませんかということで位置づけられた事業です。

ですから、基礎研究は委託事業、少し進んだものが共同研究、出口に近いところが助成・補助事業という位置づけで考えていただければ結構かと思います。

【大谷分科会長】 今の 3 ページ目は、一番上に線が入っていませんが、一番上も委託事業ですよ。

【横本 PM】 そうです。ページの関係で線が消えていますが、一番上の「水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発」も委託事業です。このプロジェクトでは、「共同研究」、「助成」が研究開発テーマの II のところで、それ以外は全て「委託」の形で事業を展開していただいております。

【藤本委員】 自動車側からということで、関連するのは国際標準化のところ、資料の 12 ページ、水素ガス品質の 13 ページ、15 ページ、16 ページあたりになりますが、これまで、冒頭にお話があったように、15 年間ずっと NEDO 事業で進めていただいたので、データベースで話ができるということで日本は優位に立ってきたと思います。しかし、近年は、ヨーロッパにしても、韓国や中国にしても、研究が進んできて、こういう標準化の議論の場でもデータを持って彼らの意見を主張してくることがかなり増えてきているということです。これまで進めてきて、かなり成果が出ているということは、私は今、肯定的なコメントをしているのですが、今後もこうしたことは続きますので、継続的に取り組む必要があると考えています。

【大谷分科会長】 他にいかがでしょうか。

8ページに規制適正化の図がありまして、この中には、液化水素スタンドやCNGスタンド併設、ガソリンディスペンサとの併設などの記載がありますが、ここら辺は、今回の研究開発というよりも、これまでの知見を活かして規制適正化に持ち込んだという理解でよろしいですか。

【横本PM】 はい。この事業をスタートしたときに、この○印、●印の課題が残っていました。過去に取得したデータ、この事業で得たデータを含めて、●は「措置済み」と書いてあるように、この事業の中で措置できたものです。○印は残っているものですが、全てではなく、ある程度のものについては今回、2月の終わりまでに●に移行できる予定です。当然、過去の事業と本事業で得たデータを合わせて進めています。

【大谷分科会長】 ありがとうございます。

何かございませんか。

【正田委員】 先ほど質問された、「助成」や「委託」と少し関連しますが、結果として、「助成」に関するものが、コストや金額がはっきりと成果のところに書かれていて、それはもう実用化されているもののコストダウンなどがあるから記載されているということでもいいですか。

【横本PM】 はい。既にステーションで使われている機器、例えば圧縮器は、現在の市場価格が大体わかっていますので、技術開発によって下げられるターゲットについては、性能を満足した上で、きちんとコストを設定し進めさせていただいています。

【正田委員】 途中で少しコメントがあったと思いますが、例えば複合容器の供用中検査のところなどでは、評価できそうなめどが立ったのという話がありつつも、少しハイスペックかもしれないという話があったように思います。そのあたりは委託研究の段階なので、ここは基礎研究なので、若干ハイスペックであっても目標を達成するという——まず検査方法を確立するステージなので、そこは評価としてもOKであるということでもいいですか。

【横本PM】 そうです。例えば、複合容器の供用中検査というのは、今、国内の高圧ガス保安法では、容器の検査は開放検査などいろいろありますが、それを行うと、一度ステーションを止めてしまうのでこの検査方法であれば、開けなくてもできないかということがスタートになっています。そうすることによって、ステーションの稼働率が上がる、運営コストが下げられるということがターゲットの一つになっているので、できればいいというか、こういう方式でもやればいいねということです。

【正田委員】 それは、ハイスペックであっても、ほかでコストダウンできるとか、ほかのメリットがあるからいいのではないかとということで、ここにゴール設定しているということですか。

【横本PM】 はい。これも規制にかかわる部分ですので、きちんとできたものは証明していかないと規制見直しもできないということになります。

【大谷分科会長】 今のお話だと、コストという意味では、建設コストと運用コストが一緒になっているからという気がしますね。別にした方がいいかもしれませんね。

【横本PM】 このプロジェクトが立ち上がる際は、実は、ステーションを整備して運営してきたということが大きな実績でした。しかし、最近では、ステーションは確実に運営できるようになったけれども、運営コストがやはり課題として出てきたということが、この年の状況です。

【正田委員】 私が午前中にした質問と同じような話になるかもしれませんが、規制適正化に関して言うと、資料の8ページのようにステーションがあって、この中のここをクリアしていきますよという話になっていると思います。例えば、安全性の話で、アプローチが、新しいセンサーをつくる話であったり、いろいろな切り口があると思いますが、その話は、全体像の中のどこの話なのかというところはどうか考えたらいいのでしょうか。少し理解できていなくて。

【横本PM】 安全性については、次世代ということで、こういう機器があつたらいい、こういう機器があれば、よりお客様に安心してもらえという位置づけで研究開発テーマⅢで技術開発しています。それ

は、大きく分けて、機器の開発、ステーションの運営、お客様への周知の3点をターゲットにして研究開発項目Ⅲを進めています。ですから、現状の規制を抜きにして、将来ある姿をターゲットにしたというだけで考えていただきたいと思います。この切り分けは、例えば既に水素センサーなどがありますし、火災検知器もありますが、その精度をどう上げていくかということが、使っていただくお客様、地域住民の皆様を説得できる材料になるということで進めているものです。

【大谷分科会長】 今ご質問があった社会受容性のようなことは、私の専門といえば専門ですが、これだけの話ではなく、原子力などいろいろありますが、現状では、技術開発と、その情報発信くらいの話になっていて、将来的には、発信した情報がどう受け取られているかなどの研究も必要になってくるのではないかという気がします。どうすれば受容してもらえるかということは本当に悩みの種で、いろいろな分野に関係する難しい点ですので、ここだけのテーマではないと思います。

他にいかがでしょうか。詳しいことはもう少し個別テーマの説明を受けてからというような気もしますし、質問することがなかなか難しいかなという点もあります。

【柴田委員】 細かな話ですが、セーフティデータベースでの話を聞かせていただきたいと思います。31ページに、米国のDOEのNRELと連携と書いてあります。連携とは具体的にどういうことでしょうか。例えば、データベース自体を共同運用しているわけではないと思いますが、具体的な活動をお聞かせください。

【横本PM】 毎年1回、DOEの成果報告会が6月にありますが、NEDOとHySUTは、その中でDOEとの会議の場を設け、中身の詳細は別にして、こういうデータが集まっている、日本はここと取り組んでいるというご紹介をさせていただくようなことをしています。

今後ですが、既に、10月8日に、NEDOのホームページでも公開しましたが、DOEと連携して、水素のステーションにかかわる部分の情報交換をし、より詳しく、取ったデータを分析して、協力できるものはしていこうとしています。これを含めて、もっと協力的に進めていくことが今後の取組になってまいります。当然、単独では成り立たないので、お話したように、持っているデータ、持っていないデータ、良いところ、悪いところをきちんとお互いに整理して進めていこうという取組に、この先はなってまいります。

【大谷分科会長】 この辺もできるだけデータがあった方が良いに越したことはないのですが、私も事故のデータベースで統計処理のようなことも行いますが、条件がなかなか均一ではないというか、国際的に基準が全く同じで、同じような構造のものであればいいのですが、そうではないことも考えられますね。そこら辺はどうなのでしょう。こういう情報を得たけれども、日本でこれと同じことは起こりそうもないとか、そういうことも可能性としてはあるのではないかと思います。

【横本PM】 そういうことはあると思います。今ちょうど、DOEとの連携を発表する前後にあたって、今持っているデータを委託先からいただいて、NEDOとして表にまとめて、当然、圧力も違いますし、使用条件も違いますので、今から詰めてDOEとのやりとりをしていくというスケジュールになっております。

【藤本委員】 32ページの水素ポータルサイトについて、私は仕事の関係で広報のものを見たりしていますが、例えばモーターショーなどで説明員を務めると、水素や燃料電池を知らない人が圧倒的に多いというフィードバックを受けていまして、こういうポータルサイトは重要だと思います。これはNEDO事業ですと行うのでしょうか、研究開発期間が終わるとどうなるのでしょうか。

【横本PM】 今それも検討中です。とりあえず、昨年ようやくこれを皆さんにご覧いただくような形になって、この先もこのまま続けていくのか、ブラッシュアップしていくのかについては、我々としても課題になっています。極力、皆様からのお声としては続けてほしいということですが、NEDOとしてど

こまで一般市民に対して、技術開発ではない面を行うのかという点についても議論していかなければいけないと考えています。必要性は十分に感じております。

【藤本委員】 我々はこういうところで話していると当たり前ですが、一般的には認知度がすごく低いことは、モーターショーなどを開催するとよくわかります。私どものグループに説明員がいるので、話を聞いていると、こんなとんちんかんな質問がありましたとか。こういうことは続けていくことが重要ではないかと、私見ですが、そのように思いました。

【横本 PM】 ありがとうございます。

あと、我々NEDOとしては、いろいろな場で水素のお話をする機会がありますので、少しずつでも紹介して、広く見ていただくように努力していきたいと思っています。

【大谷分科会長】 ありがとうございました。

予定の時間ですので、次の議題に移ります。

6.2 個別テーマ詳細説明

6.2.1 研究開発項目 I：規制の適正化（水素ステーションの設置・運用等における規制の適正化に関する研究開発）、鋼種拡大（水素ステーション用金属材料の鋼種拡大に関する研究開発、燃料電池自動車及び水素ステーション関連機器向け使用可能鋼材の拡大に関する研究開発）

実施者により資料6-2A～Cに基づき、規制の適正化、鋼種拡大に関して説明が行われ、その内容に関して質疑応答が行われた。

【大谷分科会長】 ありがとうございました。

かなり詳しくて具体的な内容のご説明をいただきました。ただいまの説明に対して、ご意見、ご質問等がございましたらお願いしたいと思います。いかがでしょうか。

【飯山委員】 規制改革について、12項目の対応をほぼ全てされたということですが、最初に7項目が平成25年度からスタートして、以降、平成27年度に2つ、平成28年度に2つと追加されています。こうしたどの規制改革項目をNEDO事業で行うのかというところを決めていくプロセスというか、そういうものについてお伺いしたいことと、これまで全部12項目を全てクリアされていますが、今後の課題の中でさらに対応しなければいけない課題について検討されるとあります。それについてどのような状況なのか、少しお聞かせいただければと思います。

【佐藤上席主任研究員】 最初のご質問ですが、追加になった項目としては、業界、実施者からのご要望などを受けるとともにNEDOとも相談した上で、追加の検討項目を増やすというステップで検討に加えています。今後の検討につきましては、今ご説明申し上げた12のテーマで、一部、成果を出してはいますが、継続して検討するテーマがあります。その継続するテーマのほかに、今後検討すべきテーマは新たに設けます。ポイントになるのは、当然、安全性を担保した上で、できるだけ設置しやすいような規制見直しが重要になりますので、そうしたところは今後の新しいテーマとして考えていくべきものと考え、取り組んでいければなという考えでおります。

【横本 PM】 補足させていただきます。

新たなテーマにつきましては、今、規制改革会議の中で、水素ステーションにかかわる37項目が挙がっています。その中で、技術開発で対応できるものは私どもNEDOで対応して、次のプロジェクトの中でも行いたいと考えております。

【正田委員】 規制適正化について、たくさんの項目に取り組みましたことがよくわかりました。確認ですが、規制適正化の作業をいろいろされて、出口としては技術基準に落とし込まれるとか、省令改正につながるなどの話があるのと同時に、例えば JPEC の自主基準の案のようなところも出口にあるのかと思います。これは NEDO 事業の外側の話になるかもしれませんが、そのあたりについても成果として出ているという理解をしたらいいですか。

【佐藤上席主任研究員】 ご質問の点ですが、NEDO プロジェクトの成果としては、技術基準に資する資料を作成するところまでで、あとは、業界自身として、JPEC-S、そうしたところを検討して進めていく部分は、NEDO 予算とは別予算枠で検討している状況です。

【正田委員】 先ほどは実用化の話でしたので、出口に出なければいけないと思っているので、そのあたりも順次成果としては出しているという理解でいいですか。

【佐藤上席主任研究員】 そのようなところです。順次、後れがないように取り組ませていただいております。

【栗飯原分科会長代理】 材料に関しては、規格化・基準化に資するような技術基準までしっかりつけているということで、きちんと進んでいると思います。ただ、HRX19 では溶接部の特性評価という話がありましたが、こういう材料は母材で決まるのではなくて溶接部で特性が決まるケースが非常に多いと思います。HRX 以外の材料で溶接部の溶接が適用されるのか、その場合、特性の評価はどうなっているのか、もう少し説明していただきたいのですが。

【小林室長】 今年度は、この事業については HRX19 をもっと使いこなしたい、溶接まで持っていきたいという要望があります。今後、水素ステーション全体のコストを下げなければいけないので、もう少し汎用性のステンレスまで広げたい。その際 SUS316L やできれば 304 あたりまで広げたい。合わせて、そのときに溶接もどのように評価すれば溶接部の健全性を担保できるかというところは、今後の一番大きな課題であると思っております。今、溶接に関しては、課題の整理、並びに今後の実験計画を立てているところです。

【正田委員】 今ご説明いただいた鋼種拡大のところ、資料 6-2B の 4 ページで、アンケートを通じて鋼種拡大の方向性を定めているということで、現場の要望に応じて鋼種を選ばれているというアプローチは、それはそのとおりだと思っております。先ほどの基準の話もそうですが、実際に既にステーションを運営されているところや、今作ろうとされているところからすると、早くコストダウンしたいという要望がたぶんあって、そうした意味では、何を優先順位にするかはいろいろな考え方があると思います。例えば、鋼種拡大の優先順位の決め方や、両方が受けたものも全部するのがいいのか、そのあたりの順番の決め方、評価の進め方などについてコメントをいただければと思います。

【小林室長】 まず、この事業の各年度の 4 月、5 月に、いろいろなところを駆けずり回って要望を聞き込み、それを全部一覧表にして、それで、例えば FCCJ などいろいろなところで、需要が大きいものは何かという点で優先順位を決めて、あくまでも、私共 JPEC の主観で決めてきたということは一切ありません。どちらかというと、この事業の立ち上がりのときには、SUS316 を使用した水素ステーションの建設が始まっていたので、その点において大きく外れることはありませんでした。ただし、実際に建設するに当たって、ニッケル当量の大きなものはなかなか入手しづらいし、少し高いというかなり現実的な話になり、最後の 2 年、1 年くらいに、もう少し安い鋼材で安全に使えるようなものを確認してほしいという要望が上がり、溶接を含めた安い鋼材を大きなターゲットと見て今後は拡大

よりもコストダウンに特化して、優先して取り組もうと考えております。

【正田委員】 ありがとうございます。

【大谷分科会長】 最後のお話だと、鋼種拡大は、このくらいあれば大丈夫という感じでしょうか。あまり数を増やして、たくさんあっても混乱するかなという気がします。例えば、設備ごとに推奨鋼材のようなものが決まるとか、そういう流れですか。

【横本 PM】 鋼種拡大につきましては、どこの機器で、どういう材料を使うかということでピックアップして表にしています。その中で優先順位を決めて、この材料を優先的に使いたいということから、取り組んでまいりました。鋼種拡大の中で、どこまで進めたら水素ステーションは安くなるのかという議論が必ず出てまいりますので、現状としては、現在 JIS 化されているものをうまく使いこなせる方法をこの事業で展開してまいりました。これ以上先にさらに新たな材料が出てくるかということ、新規材料開発になりますので、新規材料開発は、我々ではなくて基礎研究で対応してもらいたいような形でスケジュールを立てたいと考えています。

【大谷分科会長】 NEDO の事業としては、実用的なところを目指して、現状あるものでできるだけコストダウンを図るという感じですね。

【横本 PM】 はい。ありがとうございます。

【栗山委員】 鋼種に関するデータをかなり集積されていまして、日本は了解ということですが、外国の場合、鋼種もいろいろ違ったりすることもあると思います。困るのは、違ったデータが並立することは困ることで、その状況はどうなのでしょう。また、そういうリスクはないのでしょうか。また、それを避けるためには、規制に反映された部分はオープンにしていくなど、逆に優位性を確保する方向で捉えているのかどうか、お伺いします。

【横本 PM】 この事業で得たデータ、いわゆる先行で取得しているデータについては、例えば、商品化された場合は公開するという考え方を持っています。しかし、国際的には、栗山委員がおっしゃった、他国の規制の状況を見ながら、出すものは出していき、残すものは残すという考え方を今後も続けていく予定ですし、今までもそのつもりで進めてきております。ただ、どこまで公開するかということについては、業界を含めて今後議論していきたいと思っています。

【栗山委員】 しかし、出てきた状況では既に遅いと思いますので、そこは読みをうまくしていただければと思います。

【横本 PM】 それは ISO、SAE を含めた形で、材料に係る基準のところは、きちんと注視して進めていきたいと思います。ありがとうございます。

【大谷分科会長】 もう少し時間があるようですが、何かご質問等はございませんか。よろしいでしょうか。休憩に入ります。

6.2.2 研究開発項目Ⅱ：国際標準化（水素ステーション等機器の国際標準化動向に関する検討）

実施者により資料6-3に基づき、国際標準化に関して説明が行われ、その内容に関して質疑応答が行われた。

【大谷分科会長】 ありがとうございます。

ただいまの説明に対しまして、ご意見、ご質問等がありましたらお願いします。

【栗飯原分科会長代理】 ISO の対応を日本が主導的にされているということで、非常によろしいことだと思います。自らドラフトを作成することと、他国が作成しているドラフトに意見を言うこととは全然違いますので、ぜひともこの体制を続けていただきたいと思います。

質問は2点あります。この ISO の規格に対応する JIS の規格がどうなるのかということが一つ。もう一つは、先ほどの説明でも、多様な材料が開発されていますが、この材料と ISO 規格との関係がどうなるのでしょうか。

【金子シニアマネージャー】 はっきり言って、新規領域の国際規格ですから、JIS が完全に同じ領域をカバーしているということは少ないです。例えば、水素という JIS はありますが、これは決して燃料電池自動車用の水素について規定しているものではありません。ということで、対応する JIS はあるのかというご質問に関しては、あります。しかし、それは 100% ぴったり対応していないケースのほうが多いです。

【栗飯原分科会長代理】 今後、ISO に対応する JIS 規格を策定する必要があるのでしょうか。

【金子シニアマネージャー】 ケース・バイ・ケースだろうと思います。今ある JIS をきちんと改定する、変えていって包含することができればいいかもしれないし、全く新たに策定しなければいけないケースもあるかもしれません。JIS を作らなくても、例えば業界の自主基準で対応するという考え方もありますので、一概には、こうだということは申し上げにくい状況です。

2 目のご質問についてですが、14 のワーキングをご覧くださいますと、材料はほとんどありません。ですので、今後、TC197 が材料を扱うのに最適なテクニカルコミッティかどうかということも検討する必要があると思いますが、日本からの強みを生かす分野の一つとして、材料について考えていく可能性はあるかもしれません。

【栗飯原分科会長代理】 例えば、ISO の規格の中で使える材料として開発されているようなものが引用されるなど、そういう形になりますか。日本で開発されている材料が積極的に使えるような規格になるということはないですか。

【横本 PM】 現段階では、個別材料を積極的に外へということはない状況です。ただ、容器や材料の寿命を延ばそうという技術開発で、日本で得られたデータを ISO に反映させていくような取組は今からしていこうと考えております。

【大谷分科会長】 他にいかがでしょうか。

ISO と国内技術基準との比較の話のところ、ISO の国際規格よりも国内規格が優先されるケースが 2 つばかりあります。これは、国内規格が厳しすぎるから、これを守っていれば ISO は当然クリアしていると考えればよろしいですか。

【金子シニアマネージャー】 はい、ある意味、そうだと思います。高圧ガス保安法を適用というのは、高圧ガス保安法は ISO に比べて適用範囲が少し狭いということなので、今、国内メーカーが考えているのは、一応 ISO ではなくてもいいという意味です。また、燃料処理装置は、対象とする燃料処理装置自体が、ISO があまりにも範囲が広すぎるので、メーカーとしては、その全てに対応するのは現実的に無理であるということです。

【大谷分科会長】 ISO とは基本的に全然違うわけではなくて、日本の方が範囲が少し狭いという感じでしょうか。

【金子シニアマネージャー】 狭かったり、少し視点が違う、ある意味厳しかったり、ということだと思います。

【大谷分科会長】 日本の基準だと、日本は仕様規定、外国は性能規定というような話も出てきますが、そういう違いではないのですか。

【金子シニアマネージャー】 そうではないと思います。

【大谷分科会長】 わかりました。ありがとうございます。

他にいかがでしょうか。

【正田委員】 私が理解できていないので教えてください。先ほどの ISO と JIS の関係の話で、たしか TBT 協定とか何かありましたね。国際化をしていくには国内のものを合わせなければいけないというように。それとの関係と、先ほどの回答の関係を教えてください。

【金子シニアマネージャー】 TBT 協定というものがあまして、該当する国内規格・法律がある場合は、基本的には ISO と整合させていかなければいけないことになっています。しかし、これは、各々の ISO と国内法規の対象がぴったり合っているなど、いろいろな要件があり、タイトルが同じだから全部を合わせなければいけないということはないと思います。例えば、先ほどの水電解で言いますと、国内の法規、高圧ガス保安法が決められているのは、家庭用のことは一切考えていません。ISO の場合は、家庭用まで視野に入れて作っていくという議論をしていますので、そもそも、各々が見ている対象が違うということもあります。

【飯山委員】 すばらしい体制でいろいろと成果も上がっていると思いますが、中国とかが、これから水素インフラを進めていこう、特にバスなどから入ろうかという決断をされている国の活動として、彼らは ISO をかなり重要視するのではないかと思います。藤本委員からも、データ付きで出していますという発言がありました。今後のことですが、新たな懸念点や対応の必要性、そういうことでお感じになっていることがあれば伺います。

【金子シニアマネージャー】 (資料 4/14 ページ参照) ここに 14 のワーキングを記載してありますが、実は WG17 の水素精製装置は中国の提案です。目下、14 のワーキングのうち中国提案はこの 1 つだけです。なお、この WG17 は、2012 年に提案されまして、途中で TS (Technical Specification) になって、正規の IS(International Standard)になっていません。もう少し詳しく申し上げれば、対象が変わったなどいろいろありますが、目下、中国提案はこれ 1 つ。しかし、今後は少しずつ増えていくかもしれませんし、実は、今年度の TC197 の総会は 12 月に中国で開催されますので、今後一生懸命に進めるという報告をするかもしれません。今まではそれほどでもないと思っております。

【大谷分科会長】 ありがとうございます。時間が参りましたので、次の議題に移ります。

6.2.3 研究開発項目 II : 高圧水素用ホース (水素ステーションの高圧水素用ホースとシールシステムに関する研究開発、高圧水素機器用ホース等システム部材の研究開発)

実施者により資料 6-4 に基づき、高圧水素用ホースに関して説明が行われ、その内容に関して質疑応答が行われた。

【大谷分科会長】 ありがとうございます。

ただいまの説明に対して、ご意見、ご質問等がありましたらお願いしたいと思います。いかがでしょうか。

【藤本委員】 最終的な目標についてお聞きします。37 ページに、1 年間ノーメンテナンスと書いてありますが、これは既に達成したのでしょうか。

【西村教授】 1 年間ノーメンテナンスが本当に可能かどうかはこれからですが、それに対応する回数はクリアしたというイメージです。

【藤本委員】 ノーメンテナンスを達成するのは、最終目標の後の 30 年から 40 年、実際に使ってみてという見方でよろしいでしょうか。

【西村教授】 はい、そのとおりです。ただ、現在の使用回数制限をどう伸ばしていくかというのは、それぞれのホースメーカー内での検討も必要で、どのような信頼性確保の試験を行い、実際にそういう商品

を世に出すかということは、それぞれの企業でさらに検討されなければいけないことですし、実際にそれだけの回数を使っていただけかというのは、ステーション運営業者側といえますか、それを規制する当局の判断も若干絡んできますので、そこに対応するような実績も積んでいかなければいけないということが必要になってきます。それについては、HySUTが整備している山梨センター等も活用させていただきながら進めていこうと考えております。

【藤本委員】 ありがとうございます。

【飯山委員】 ホースについてです。海外のサンプルを5種類、比較されたということでしょうか。

【西村教授】 海外のサンプルを含めて5種類です。

【飯山委員】 そうすると、海外のサンプルも評価されたということで、それに比べると今回の開発品は、どのような位置づけとお考えになりますか。

【西村教授】 性能という意味での位置づけでしょうか。

【飯山委員】 性能や国際競争力、あるいは、製品として販売した場合など、いろいろな観点があるかと思いますが。

【西村教授】 この評価法だけでいいますと、国内2社の改良仕様といえますか、開発成果として得られた仕様は、現行の海外品よりも長持ちすることは確実です。

【飯山委員】 そうすると、ある意味、このNEDOプロジェクトで世界一というか、世界水準を超えるホースができたという位置づけということですね。

【西村教授】 あくまでもこの評価法になりますが、現状、海外の水準状況等を聞きますと、海外品を使ったステーションでは、かなり漏洩等が発生していると聞いていますので、実際にステーションでそれだけの回数を使ったという実績はないので何とも言えませんが、そういうところも含めて、世界一であることがお示しできるような形で進められればと思っております。

【大谷分科会長】 いかがでしょうか。

最初のあたりのところで少しわからなかったのですが、水素インパルス試験で2,200回という条件をクリアしたときは、内装の樹脂ですか、これがない状態で2,200回達成しているということですか。

【西村教授】 (資料5ページ参照) そういうわけではなくて、水素ホースは、35MPa、70MPaと順次開発が進んでいまして、当然ながら、70MPa仕様をベースにした82MPa対応のホースからスタートしています。そこから、こういう評価結果に基づいて、82MPaあるいは87.5MPaにどのような対応が必要かということをホースメーカーが対応されており、その中の一つで本日ご紹介したのは内装樹脂の検討内容であったり、補強方法の検討であったり、そういうことが併せて進められています。その結果、こういう成果が得られたということです。

【大谷分科会長】 今のところ、実地でどのくらいもつかというあたりのところのデータがまだ足りないと。

【西村教授】 実地といえますと、水素ステーションで何回使えるか、ということになりますが、現状、使用回数に制限をつけていますので、壊れるまで使ってくれるようなステーションがどこかにあると非常にいいのですが、そういうわけにはいかない面があり、制限回数の中での実績が積み上げられているということです。

【大谷分科会長】 それだと、水素インパルス試験の繰り返し回数のクリアすべき目標値のようなものをどう決めるのかということが気になるところです。

【西村教授】 そこが次の課題といえますか、ステーションでの劣化状況については、使用済品を回収して分析をして、初期品と比べてどの程度劣化しているのかというところの評価と照合して、例えば水素インパルスで1万回、10万回と行ったものの劣化状況と、実際のステーションの1,000回程度の劣化状況と、どういう相関があるのかということから見ていく必要があるのではないかと考えております。

【大谷分科会長】 横浜ゴムの実用模擬耐久試験機は、実機とどの程度相関がいいのでしょうか。本当に実用模擬できていればこれでいいのかなという気がしますが。

【西村教授】 プロトコルと温度変化については、かなりのところ、実機に迫っていますが、実際のステーションの現状の運用、例えばインターバルなどは模擬できないですし、当然ながら、一度設定すると固定した状況で、このまま動かずに、カバーを閉めてそのまま加減圧するだけですので、実際のステーションでは、曲げたり伸ばしたりという行為が加わります。そうした点がどの程度影響するのかということまでは模擬ができませんので、やはり実機での劣化状況との照合が必要になってくるかと思えます。

【大谷分科会長】 他にいかがでしょうか。

【藤本委員】 これは西村教授に質問することではないかもしれませんが、今は1年ノーメンテナンスと書いてありますが、このホースは大体どのくらいもてばいいのでしょうか。例えば、自動車だと、15年もつかということがありますね。このホースは何年くらいもてばいいのでしょうか。

【西村教授】 現在、NEDOやDOE等で、1つのディスペンサーに1年間に何回充填するかということはある程度計算していて、普及が進んだ場合は、2万回から3万回という数字が出てきています。

【藤本委員】 充填回数ですか。

【西村教授】 はい。充填回数として2万回から3万回です。それが1年間で想定される回数ですので、例えば1年間故障なく使おうとすると、そのくらいの充填回数使えなければいけないだろうと。

【藤本委員】 最終的に1年で替えるということでもいいということでしょうか。

【横本PM】 現状では、ステーションは、1時間に約5台、1日8時間で、1日に約50台充填。それを1年間ということで掛け算して1万5,000から2万回くらいは漏れてほしくないというのがステーション運営側の皆さんのご意見です。また、今、650回という使用回数を設けていますが、芝公園のステーションでは、半年くらいそれでもっています。ただ、普及期になると2万回くらいはもたないと、頻繁に替えることになってしまうというのが現状ですので、そこをターゲットに取り組んでいます。

【藤本委員】 もう一つあったのは、今、世界水準というか、最も良いものが出るということですが、海外にも出していく計画はありますか。

【横本PM】 もしよろしければ、本日、オブザーバーとして実際のホースメーカーさんが見えですので。

どのようなお考えかということは、我々としては実用化の形で出しているの。

【柴野部長（横浜ゴム株式会社）】 横浜ゴムの柴野と申します。

海外の転用については、ステップを踏んでいくことが必要と考えています。西村先生のお話にもありましたが、模擬水素インパルス試験と実機の相関をつかむ、そういうステップを踏んで信頼性を確立した後に、海外の使われ方も同時に見ていき、チャンスがあれば海外で増やしていこうということは、将来的には考えています。

【杉主任部員（株式会社ブリヂストン）】 ブリヂストンの杉と申します。

我々もほぼ、先ほど西村先生からお話があったように、今後、技術的などを把握し、海外のお客様等の要望も加味しながら考えていきたいと考えております。

【栗山委員】 シールのほうですが、10年ほど前に結構問題になって、そこからハイドロジーニアスのアクティビティを始めてしまったと記憶しています。データがかなり積み上がってきて、模擬組成について業界内で共有しているというか、具体的に何かシールの開発に反映された成果は、ここに明確には記載されていないように思いますが、どうなのでしょう。もう一点、27ページにありますように、DOEの標準化のアクティビティが出てきたときに、これは実はデータベース自体は、製品開発に結び

つので普通は公開しにくいところですが、その辺、戦略的にどうオープンにするか、その辺は検討されているのでしょうか。

【西村教授】 まず、具体的な活用事例として、途中で少し申し上げましたが、(資料 25 ページ参照) ここに示してあるデータだけではないのですが、現在、百十数種類のモデル配合ゴム材料についてのデータベースができていまして、そのデータから、例えば単純にいうと、(資料 24 ページ参照) こういう形になっています。フィラーがないものが黒いデータで、青いものはシリカをフィラーとしたもの、赤と黄色はカーボンブラックですが、傾きは、フィラーを入れても、入れなくても、シリカだと変わらないわけで、体積変化を抑制する効果はシリカにはないと。カーボンブラックを入れると傾きが寝てくるので体積変化を抑制できる、要するに、はみ出しを抑制できるわけです。ただ、点がみんな右側に行ってしまうので、これを抑制しなければいけないと。水素が入らなくて、かつ抑制ができる都合のいいものがないかという探索を今進めています、最も単純なのは、この両方を組み合わせるというところで、こうしたところから、両者を適切に配合すると、中間的なというか、両方が適度に抑制されたような材料ができることがわかってまいりました。それをベースに、(資料 31 ページ参照) 特に低温用、EPDM の中でこうしたところは最適化したものが、具体的にはディスプレイに使われる機器の一部のシール材として適用されていて、特に問題なく充填もされていると聞いています。これは国内外のステーションで現在、実績が積み上げられつつある状態になっています。そういう成果が出ていることが一つです。

また、こうしたことをどう共有するかですが、DOE では、現状、彼らは何をしているかということ、普通に手に入る標準的な、O リングでも特殊なものではなくて、普通に手に入る製品を評価しています。彼らが我々に言ってきたのは、ここで使われているものを出してくれといっても、それは出せないと言いました。先ほどお示した、(資料 19 ページ参照) この表に載っているもの、公開しても構わないようなものの中から、それに近いもの、先ほど申し上げたシリカとカーボンブラックを組み合わせたようなものであるとか、彼らと共有できるようなモデル配合を幾つか設定して、その材料を共有することによって、お互いの評価法の善し悪しを考えていこうということ、我々は我々で、ここにあるものと、それを少しモディファイしたものを足して、その何種類かの試料のモデル配合の結果を共有して議論を進めていこうということ、現在動いているところです。

【大谷分科会長】 ありがとうございました。

予定の時間が参りましたので、次の議題に移ります。

(非公開セッション)

7. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

8. まとめ・講評

推進部による補足説明に続いて、各委員による講評が行われた。

【大谷分科会長】 時間になりましたので再開させていただきます。

最初に、推進部から補足説明したいことがあるということですので、少しお時間をいただきます。

【横本 PM】 公開セッションの場で、私に言葉足らずの部分がありましたので、改めて皆様にご報告させていただきます。社会受容性のところで、成果としての記載はなかったのですが、2015 年、2016 年の

間、みずほ情報総研に委託しまして、一般の方々が水素ステーションについてどのようなことを考えているかというアンケート等の調査を実施しております。それは、前の事業で実施したものと比較するため、2009年に実施したものと同一内容で、2015年、16年の間に実施して、どのような受けとめ方をしているか、追跡調査をさせていただいております。それは資料に入っているもので、後でご覧いただければと思います。

それと、データベースの関連では、HySUTで作成したセーフティーデータベースがあり、NRELとは既にデータの一部の情報交換がスタートしております。解析用として、データの一部を情報共有しております。私は「これからです」とお話ししましたが、一部は既にスタートしております。補足と訂正をお願いいたします。

【大谷分科会長】 ありがとうございます。

【大谷分科会長】 それでは、次の議題は「8.まとめ・講評」です。藤本委員から始めて、最後に私という順番で一人一人講評することになっております。それでは、藤本委員からお願いします。

【藤本委員】 今までの会議での発言と重複しますが、私から、国際標準の話をさせていただきたいと思えます。国際標準に日本の実施者が行って主張するには、やはりデータを持っていくことが効果的で重要であるということは、私も国際標準に携わって15年くらいになりますが、これは昔から変わっていないという実感です。これまでは、日本が着手するのが早い、技術が進んでいたということで、ほかの欧米もあまりデータを持っていない中で日本がデータを持って出ていったということで日本がリードできた。それに対して、欧米がデータ取りを始めて、最近、ヨーロッパだとJRCなど、ヨーロッパのお金を使って、かなり水素も突っ込んだ話をしてくれているし、アメリカはDOEのお金を使って、毎年5月ころですが、ああいうデータ取りをしてくれています。そういう欧米のデータが出てきたところに、これからは、韓国や中国もかなりデータを持って話をしてくるようになるのではないかと思います。ですから、次のNEDOの5年間は、欧米に加えて、中国や韓国もデータを持って話をしてくるようになるということで、データ武装していくことが非常に大事になると私は感じています。日本人は、言葉の面で——皆さん英語もかなり話せるようになりましたが、やはり語学力の面では劣る点があるので、技術面で優位に立っておくことが非常に重要だと思いますので、NEDO事業の次の国際標準に対応は非常に重要であると感じております。以上です。

【大谷分科会長】 正田委員、お願いします。

【正田委員】 ありがとうございます。

ご承知の方もいらっしゃると思いますが、今、検討が進められている水素基本戦略の中でも、たたき台のようなものが行われていますが、例えばCO₂フリー水素の供給量を増やしていこうと思ったらモビリティの利用が必要であるというようなコメントがあったかと思えます。それはそのとおりだと思いますし、そのためにこの事業が果たす役割は大変重要であることは皆さんご承知のことかと思えます。本日一日お話を聞かせていただきまして、効果を含めてたくさんの技術者の方や研究者の方々の英知を投入しても、まだたくさんの課題があるということで、非常に難しい、シナリオも要るし、高い技術力も要るし、スピード感も要るし、そういう本当に難しいテーマであると改めて認識しました。そうした意味では、またこの5年間、事業に取り組まれていた皆様に敬意を表しますとともに、セッションの中でも、ほかの委員の皆様からのコメントにもありましたし、今、藤本委員のコメントにもありましたとおり、この技術開発が国際競争力の源泉になればと思った次第です。NEDOのプランの中でもそのあた

りをまた強化していただければと思います。ありがとうございました。

【大谷分科会長】 柴田委員、お願いします。

【柴田委員】 ありがとうございます。NEDOをはじめ関係者の皆様はかなりご苦労された5年間だったと思います。その間に、ご承知のとおり、電気自動車の普及・拡大など環境が変わっている中で、ステーションコスト2億円を目指すとはありますが、もっとさらなるコストダウンが必要ということになってくるかと思います。したがって、限られた予算の中、最適配分を目指しつつ、引き続き効率的な、本事業で続けていただいて、今後のコストダウンも期待させていただきたいと思っています。以上です。

【大谷分科会長】 栗山委員、お願いします。

【栗山委員】 この5年間、多数のデータを積み上げて、かなり進展してきたと思います。これはぜひ、次のフェーズに反映させることを考えていただきたいと思います。今後、いろいろ検討されて、製品化に取り組む場合、透明性のバックのアイデアなども既に出ているかと思いますが、それも活用できるようにしていただければと思います。標準化については、別のところで中国との絡みがあるのですが、かなり若い人がそういう標準化の世界に入り込んできて、リチウム電池のほうではかなりいろいろなデータを出してきています。しかし、標準のための標準のような面もありまして、その辺もきちんと説得できるように、いろいろな基礎固めを今後進めて、これからもあるかもしれませんし、今のデータもきちんとまとめて、活用できるように進めていただければと思います。

【大谷分科会長】 飯山委員、お願いします。

【飯山委員】 いろいろとありがとうございました。特に、私から見ると、例の開発促進の財源を、数億円という規模を機動的に運用されていたことは、マネジメント的にも状況変化にご苦労されたと思います。対応していただいた点は高く評価できるのではないかと思います。結果的に、ホースなどは世界トップのものがこの事業からできているという位置づけになるということで、それは非常に良かったと思います。あと、皆さんからご意見がありましたが、この事業の成果は、一つは国内のいろいろな基準や法令を、水素ステーションの設置に合うように適正化していくところが大きかったと思います。最終的には、世界の標準や法令を、日本が有利になるようにというか、適正な方向に持っていくところがどうしても避けられないのではないかと思います。日本の法令などだけでは、日本も独自に動けない世の中だと思うので、技術開発は行うけれども、そのゴールは、国際展開というか、国際標準化とか、そういうところに一つの大きなところがあるということ、次の段階では意識されるといいのかなと思います。そのためには、藤本委員もおっしゃっていましたが、各国は日本をならって、国としてのお金を出してきています。今までは各企業のボランティアのようなものでしたが、国や公的なものが支援していることと、あと、CSAなどの認可機関が実際に入ってきて、認可できる権限があるところがデータを出してきて、標準や規制の文案もそこが考えてくる。いわゆるプロが乗り出していますので、民間企業がボランティアで業界として対応している段階では、早晩、やられてしまうかもしれないという懸念もあるのではないかと思いますので、体制も含めて、NEDOの中でもいろいろな方とご相談されて、世界の相手が徐々にレベルアップしている中で、国際展開をどう図っていくかということに、もう少し工夫が入ればいいのではないかと思います。どうぞよろしくをお願いします。

【大谷分科会長】 お願いします。

【栗飯原分科会長代理】 5年間のプロジェクト、どうもご苦労さまでした。全般的に見ると、当初の目標を十分達成していると思います。個別の技術開発だけではなくて、国内の規制緩和、技術基準、各種の

規格に反映するところまで進められたということで、具体的な成果として素晴らしいものがあつたと思います。その一方で、未達成ということではありませんが、これは次期プロジェクトへのお願いですが、個別の技術開発でも実施すべき内容がまだありますので、例えば金属材料で言えば溶接、高分子材料でまだ開発すべき項目がありますので、これはぜひとも力を入れて取り組んでいきたいと思います。それから、将来的には、日本企業で開発した材料や機器、システムを海外へ輸出することが重要だと思いますので、そういう意味で、ISO その他の国際基準を我が国が主導して作っていくことが重要でありまして、この点も、今回の事業で随分と活発にされているようですので、次期の事業でも、この点も重点的に実施していただきたいと思います。以上です。

【大谷分科会長】 私は、材料は専門ではないのですが、開発がかなり進んで、本当に実用的なものに近づいているというか、かなり実用化できるレベルまでなってきたなという気がしています。今回のプロジェクトの中にも入っていたのですが、社会受容のような話がありますが、本格的に普及するためには社会に受容されなければいけないということですが、それに当たっては、先ほど、ポータルのご紹介もいただきましたが、情報発信が重要ですし、誰が情報発信しているかということも重要です。受け手側の消費者の皆さんに信用してもらうためには、技術的にしっかりしていることを見せる必要があると思いますので、どこら辺まで展開しているのかということも、普通の人に説明するのはなかなか難しいところがありますが、何かすごいことをしていると思われるくらいでもいいと思いますので、技術力をもっとアピールしてもらうと信用度が違うのではないかと思います。

我々は、リスクアセスメントや社会受容のようなことに携わっていて、最近、迷っている点は、2011年の福島第一原発以降、我々はそれまでは、原子力発電所はリスクマネジメントをきちんと実施しているという認識でしたが、あの事故で崩れてしまいました。再稼働で裁判が起きたりしていますが、あれも結局、きちんとリスクマネジメントをしていることが信用されていない、信用されなくなったということだと思います。原子力の人たちも、それまでも情報公開をしていましたが、一般の人に届いていなかったのではないかとこの気もします。特に、立ち上げの際に何かあると、その後の普及に大きなダメージを受けてしまうということもあります。

これから水素ステーションの数を増やしていかなければいけないのですが、最初は、一気に増やすというよりも、きちんとコントロールできる範囲で増やしてもらうことも必要なのではないかとこの気もしています。ただ、そうすると、コスト面ではうまくいかないかもしれないということもありますが、将来的にどのくらいの数になったら自立できるかというあたりもそろそろ検討する必要があるのではないかとこの気もしました。1時間に5台くらい充填できるなど、そういう数値目標のようなものがあるわけですが、現在のガソリンスタンドは1時間に何台給油しているのかということと比べると、まだまだ少ないわけです。これで自立させるためにはどのくらいのコストか、ということも考えなければいけないのではないかと。当面は、補助で支えていくしかない、インフラとして整わないとそういう段階にならないので、それは本当に長期の目標になるかもしれませんが、かなり実用化に近づいてきたので、ある程度自立するためには何が必要かというあたりも、将来ビジョンのようなものも持っていただくといかないかとこの気もして、聞かせていただきました。

現状、プロジェクトとしては、目標を十分達成されていると思いますし、かなり実用化に近いところまで来たことは感じました。ありがとうございました。

【前澤主査】 どうもありがとうございました。推進部長及びPLから、一言お願いいたします。

【近藤部長】 新エネルギー部長の近藤です。本日は、朝早くから精力的にご審議いただきまして、ありがとうございました。5年間の事業について、概ねNEDOの取組については評価いただけたのではないかと考えております。また、来年度以降の事業につきましては、本格普及に向けたプロジェクトということで準備を進めているところですが、ロードマップの目標達成に向けて、水素ステーションの設置コスト半減、運営費コスト半減、これは重要な課題であると思っています。規制改革会議でも、37項目を含む規制改革要望が決定されていまして、これに向けて合理的な規制ができるようにということで、しっかりとデータを期限内に積み上げていくことが大事と考えております。

本日の意見の中で、特に国際化ですが、IA、IPHE、これらの活動も続いてまいりますし、先月には、DOEとの共同プレスリリース、安全データ等の意見交換も行っており、これらの具体化も進めていきたいと思っています。社会受容性、自立化に向けた取組についても、限られた予算ではありますが、しっかりと取り組んでまいりたいと思います。本日は、どうもありがとうございました。

【尾上PL】 本事業のプロジェクトリーダーを杉村先生と二人で務めさせていただきました、九州大学の尾上です。一日ご苦労さまでした。まず、事業者の皆様に対して、私自身、いろいろな形で、いろいろな会議にできるだけ出席させていただいて、耳の痛いこと、言いにくいこと、聞きづらいことを言わせていただきました。それも、この事業を何とか推進したいという思いであったということ、この言葉でご容赦いただければと思っております。

本日は評価委員会です。評価に際して、最初にありましたように、世界中で最も普及させているのは現在でも日本です。最先端の技術力を持っているのは日本です。この最先端の技術をもってしても、本来、評価委員会ですから、全部100点を取りたいところです。しかし、最先端の技術で100点を取るとは大変難しいことです。それをご了解いただければと思うとともに、こういう事業は、世界に対する現在のアドバンテージを持ったまま継続していただければと思っております。本日はご苦労さまでした。ありがとうございました。

【大谷分科会長】 杉村先生、よろしいですか。

【杉村PL】 はい。

【大谷分科会長】 以上で、議題8を終了します。

9. 今後の予定

10. 閉会

保坂評価部長による挨拶

配布資料

資料 1	研究評価委員会分科会の設置について
資料 2	研究評価委員会分科会の公開について
資料 3	研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて
資料 4-1	NEDO における研究評価について
資料 4-2	評価項目・評価基準
資料 4-3	評点法の実施について
資料 4-4	評価コメント及び評点票
資料 4-5	評価報告書の構成について
資料 5	プロジェクトの概要説明資料（公開）
資料 6-1	プロジェクトの詳細説明資料（全体説明）（公開）
資料 6-2A	プロジェクトの詳細説明資料（研究開発項目 I：規制適正化）（公開）
資料 6-2B	プロジェクトの詳細説明資料（研究開発項目 I：規制適正化、鋼種拡大）（公開）
資料 6-2C	プロジェクトの詳細説明資料（研究開発項目 I：規制適正化、鋼種拡大）（公開）
資料 6-3	プロジェクトの詳細説明資料（研究開発項目 I：国際標準化）（公開）
資料 6-4	プロジェクトの詳細説明資料（研究開発項目 II：高圧水素用ホース）（公開）
資料 6-5	プロジェクトの詳細説明資料（事業全体の進捗、課題及び将来へ向けた指摘事項等）（非公開）
資料 7	事業原簿（公開）
資料 8	今後の予定

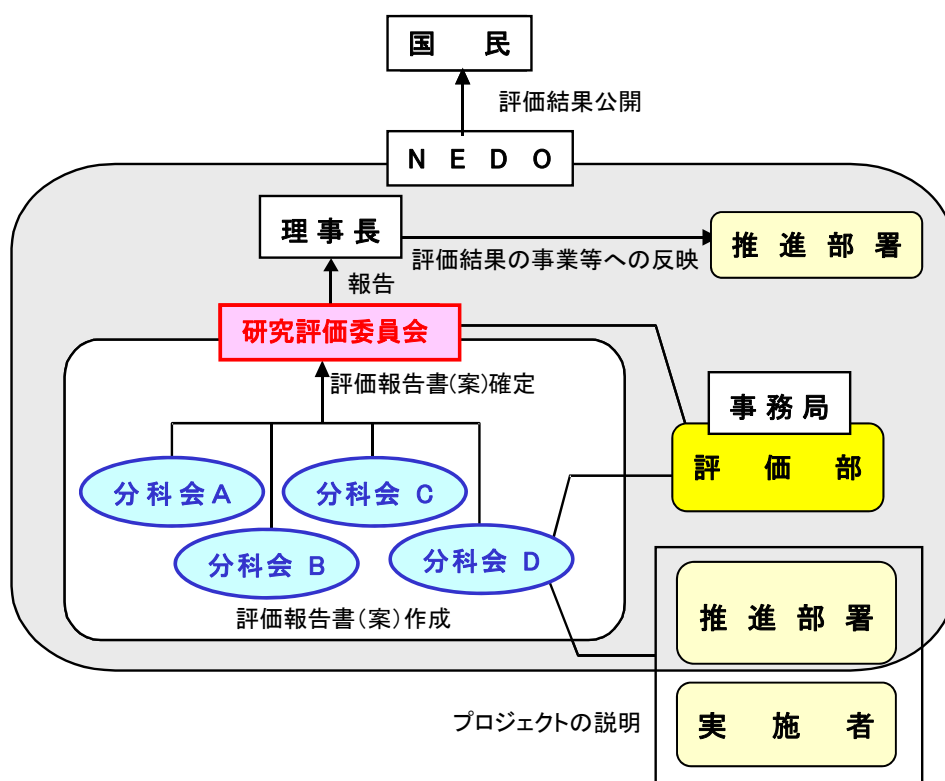
以上

参考資料 2 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて実施する。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)における研究評価では、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
 - 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む
 - 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する
- としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員は、以下のような観点から選定する。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

なお、本分科会の事務局については、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

3. 評価対象

「水素利用技術研究開発事業」を評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び実施者からのヒアリング及び実施者側等との議論を行った。それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、NEDOが定める「標準的評価項目・評価基準」をもとに、当該事業の特性を踏まえ、評価事務局がカスタマイズしたものである。

評価対象プロジェクトについて、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義、実用化に向けての取組や見通し等を評価した。

「水素利用技術研究開発事業」に係る
評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

- ・ 内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・ 上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされた事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、適切な目標であったか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 開発スケジュール（実績）及び研究開発費（研究開発項目の配分を含む）は妥当であったか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されていたか。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・ 実施者は技術力及び事業化能力を發揮したか。
- ・ 指揮命令系統及び責任体制は、有効に機能したか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携は有効に機能したか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みは有効に機能したか。
- ・ 大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献したか。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応したか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応したか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産に関する取扱（実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む）

を整備し、かつ適切に運用したか。

- ・ 国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、最終目標を達成したか。
- ・ 最終目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、最終目標達成までの課題及び課題解決の方針を明確にしている等、研究開発成果として肯定的に評価できるか。
- ・ 投入された研究開発費に見合った成果を得たか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 成果が将来における市場の大幅な拡大又は市場の創造につながると期待できる場合、積極的に評価する。

(2) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信したか。

(3) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外で適切に行ったか。
- ・ 国際標準化に関する事項を計画している場合、国際標準化に向けた見通しはあるか。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

「実用化」の考え方

商用ステーションにおいて利活用されることをいう。

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・ 実用化に向けて、引き続き、誰がどのように研究開発に取り組むのか明確にしているか。
- ・ 想定する製品・サービス等に基づき、課題及びマイルストーンを明確にしているか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・ 想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等を把握しているか。

- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

「プロジェクト」の事後評価に係る標準的評価項目・基準

※「プロジェクト」の特徴に応じて、評価基準を見直すことができる。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することをいう。

なお、「プロジェクト」が基礎的・基盤的研究開発に該当する場合は、以下のとおりとする。

- ・「実用化・事業化」を「実用化」に変更する。
- ・「4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて」は該当するものを選択する。
- ・「実用化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることをいう。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

- ・内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDO の事業としての妥当性

- ・民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDO の関与が必要とされた事業か。
- ・当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、適切な目標であったか。

(2) 研究開発計画の妥当性

- ・開発スケジュール(実績)及び研究開発費(研究開発項目の配分を含む)は妥当であったか。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されていたか。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・実施者は技術力及び事業化能力を発揮したか。

- ・指揮命令系統及び責任体制は、有効に機能したか。
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携は有効に機能したか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みは有効に機能したか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献したか。【該当しない場合、この条項を削除】

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応したか。
- ・社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応したか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・知的財産に関する取扱(実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む)を整備し、かつ適切に運用したか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。【該当しない場合、この条項を削除】

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・成果は、最終目標を達成したか。
- ・最終目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、最終目標達成までの課題及び課題解決の方針を明確にしている等、研究開発成果として肯定的に評価できるか。
- ・投入された研究開発費に見合った成果を得たか。
- ・成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。
- ・成果が将来における市場の大幅な拡大又は市場の創造につながると期待できる場合、積極的に評価する。

(2) 成果の普及

- ・論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行ったか。
- ・一般に向けて、情報を発信したか。

(3) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行ったか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、国際標準化に向けた見通しはあるか。【該当しない場合、

この条項を削除】

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて【基礎的・基盤的研究開発の場合を除く】

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・実用化・事業化に取り組む者が明確か。
- ・実用化・事業化の計画及びマイルストーンは明確か。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・産業技術として適用可能性は明確か。
- ・実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致しているか。
- ・競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・量産化技術を確立する見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて【基礎的・基盤的研究開発の場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・実用化に向けて、引き続き、誰がどのように研究開発に取り組むのか明確にしているか。
- ・想定する製品・サービス等に基づき、課題及びマイルストーンを明確にしているか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等を把握しているか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

【基礎的・基盤的研究開発の場合のうち、知的基盤・標準整備等を目標としている場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・整備した知的基盤・標準の維持管理・活用推進等の計画は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・知的基盤・標準を供給・維持するための体制を整備しているか、又は、整備の見通しはあるか。
- ・実用化に向けて、引き続き研究開発が必要な場合、誰がどのように取り組むのか明確にしているか。

【該当しない場合、この条項を削除】

(3) 成果の実用化の見通し

- ・整備した知的基盤について、利用されているか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

参考資料 3 評価結果の反映について

「水素利用技術研究開発事業」（前倒し事後評価）の評価結果の反映について

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>①充填ホースの耐久性に関して、より挑戦的な目標を設定しないと実用的な機器の開発は難しいと思われる。</p> <p>②論文の発表件数が少ないように思われる。成果の普及という意味では特許よりも論文の方が有利であり、世界に技術を発信することによって規格等をリードすることにもつながるはずである。</p> <p>③国際競争力の観点から 87.5MPa 対応の機器の実用化や鋼種の範囲拡大が望まれる。</p>	<p>①新規 PJ の目標設定において、実使用における耐久性回数を設定する。 具体的な目標値としては、現状の 650 回から約 30,000 回（一年間ノーメンテナンス）を想定するが、採択後に実施者と協議を行った後、設定する。</p> <p>②積極的な発表、国際会議（ISO など）での議論、提案ができるよう努める。</p> <p>③新規 PJ では、鋼種の範囲拡大に向けて、入手しやすく、短納期が期待できる汎用材の使用に関する技術開発を進める。 87.5MPa 対応機器としてネックとなるホースに関しては、本事業で開発目途が立ち、新規 PJ では、実環境における耐久性・長寿命化を実現するホースの研究開発を行う計画である。</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>④各規制の適正化により、どの程度のコスト削減につながるかを定量的に示すべきである。</p> <p>⑤今後の実用化に向けて、誰が何に取り組むのか役割を明確化すべきである。</p> <p>⑥事業全体を見渡し、どの課題がボトルネックとなっているか、常に明確にして事業を進めるべきである。</p> <p>⑦さらなる低コスト化に向けた材料開発も必要と考えられる。</p> <p>⑧充填ホースの耐久性が水素ステーション全体における運</p>	<p>④NEDO の技術開発だけで即コスト削減につながるものと、つながらないものがあるが、新規 PJ では、コストの定量性を考慮しながら規制見直しに関する技術開発を進めるよう努める。</p> <p>⑤実用化に向けた研究開発として技術開発、規制適正化、基準・標準化等が挙げられるが、官民役割分担を考慮し、新規 PJ においては官が取り組むべき課題として実用化の壁となる規制適正化に資するデータ取得、基準・標準化等の研究開発を行う。</p> <p>⑥新規 PJ では NEDO が主体となる「全体技術委員会」を開催し、ボトルネックの見極めや事業間連携がスムーズかつ即反映ができるよう事業を進めるよう努める。</p> <p>⑦新規 PJ の材料の低コスト化に向けては、入手しやすく、短納期となる汎用材に関する技術開発を主として行う。また、材料単体ではなく、実際に使用することを考慮した溶接に関する研究開発も行う。</p> <p>⑧新規 PJ では、使用済みホースの解析・評価等を行う計画</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>用コストの不安要素となっているため、実地での耐久性の確認が必要である。</p>	<p>である。 また、現状では、実ステーションにおける耐久回数とラボ評価の相関が明確となっていないため、新規 PJ では実ステーションでの使用に伴う各種劣化要因に関する試験法の確立・加速試験法を開発も行う。</p>

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 評価部

部長 保坂 尚子

担当 前澤 幸繁

* 研究評価委員会に関する情報は NEDO のホームページに掲載しています。

(http://www.nedo.go.jp/introducing/iinkai/kenkyuu_index.html)

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町1310番地

ミュージア川崎セントラルタワー20F

TEL 044-520-5161 FAX 044-520-5162