

「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」  
事後評価報告書

平成25年3月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

平成25年3月

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
理事長 古川 一夫 殿

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会 委員長 西村 吉雄

NEDO技術委員・技術委員会等規程第33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。

## 目次

はじめに	1
分科会委員名簿	2
審議経過	3
評価概要	4
研究評価委員会におけるコメント	7
研究評価委員会委員名簿	8
第1章 評価	
1. プロジェクト全体に関する評価結果	1-1
1. 1 総論	
1. 2 各論	
2. 個別テーマに関する評価結果	1-17
2. 1. 1 システム技術開発	
①70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発	
2. 2. 1 要素技術開発	
①水素製造機器要素技術に関する研究開発	
2. 2. 2 要素技術開発	
②水素ステーション機器要素技術に関する研究開発（低コスト機器開発、高耐久化）	
2. 2. 3 要素技術開発	
③水素ステーション機器要素技術に関する研究開発（低コスト材料開発）	
2. 3. 1 次世代技術開発・フィージビリティスタディ等	
①革新的な次世代技術の探索・有効性検証に関する研究開発、水素エネルギー導入・普及のための技術開発シナリオに関するフィージビリティスタディ等研究開発	
3. 評点結果	1-31
第2章 評価対象プロジェクト	
1. 事業原簿	2-1
2. 分科会における説明資料	2-2
参考資料1 評価の実施方法	参考資料 1-1
参考資料2 評価に係る被評価者意見	参考資料 2-1

参考資料 3 分科会議事録

参考資料 3-1

参考資料 4 評価結果を受けた今後の取り組み方針について

参考資料 4-1

## はじめに

独立行政法人新エネルギー・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、「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」の事後評価報告書であり、第32回研究評価委員会において設置された「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」（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35回研究評価委員会（平成25年3月26日）に諮り、確定されたものである。

平成25年3月  
独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
研究評価委員会

「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」

事後評価分科会委員名簿

(平成24年11月現在)

	氏名	所属、役職
分科 会長	かめやま ひでお 亀山 秀雄	東京農工大学大学院 工学府産業技術専攻 教授
分科 会長 代理	よしかわ くにお 吉川 邦夫	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 環境理工創造専攻 教授
委員	いまむら はやお 今村 速夫	山口大学 大学院理工学研究科 物質工学系専攻 教授
	うえの まこと 上野 真	燃料電池実用化推進協議会 企画部 部長
	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
	さとかわ しげお 里川 重夫	成蹊大学 理工学部 物質生命理工学科 教授
	もりや たかし 守谷 隆史	株式会社本田技術研究所 上席研究員

敬称略、五十音順

注\*：実施者の一部と同一大学であるが、所属部署が異なるため（実施者：横浜国立大学大学院工学研究院）「NEDO 技術委員・技術評価委員規程(平成23年7月7日改正)」第34条(評価における利害関係者の排除)により、利害関係はないとする。

## 審議経過

### ● 第1回 分科会（平成24年11月20日）

#### 公開セッション

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法について
4. 評価報告書の構成について
5. プロジェクトの概要説明

#### 非公開セッション

6. プロジェクトの詳細説明
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
10. 閉会

### ● 第35回研究評価委員会（平成25年3月26日）

## 評価概要

### 1. 総論

#### 1) 総合評価

地球環境問題に対する一つの解決手段として、水素を活用したエネルギーシステムが有効であることは周知の事実であり、NEDO 事業として水素製造・輸送・貯蔵システムの実用化と普及を推進することの意義は大きい。政府方針、民間のシナリオにも沿ったものであり、企業、業界の垣根を越えた取り組みが必要という点で NEDO のプロジェクトとして適切なものである。中間評価に基づき、プロジェクトリーダーが選任された結果、研究開発全体の整合性及び早期の実用化を見据えた研究資源の集中に顕著な改善が見られ、プロジェクトリーダーの果たした役割は高く評価できる。また、研究成果についても、技術的には早期の実用化が可能なレベルに達していると評価できる。

一方、実用化に向けて経済性の点で不安がある。水素ステーションの低コスト化（2 億円）の目標を達成する見込みが提示されているが、世界的に見るとまだまだ高いレベルであり、ガソリンステーションとの比較においても普及に向けた更なる低コスト化が望まれる。また、実用化に向けて、コスト面と耐久性の点で、検討が必要なテーマと、実用化がすぐに可能なテーマが混在しているためプロジェクトの管理が難しくなっている。複数のテーマをうまく関連付けるためには、時間軸を意識した枠組みで技術開発を管理すべきである。

#### 2) 今後に対する提言

設計安全係数や使用可能材料の検討は勿論のこと、充填プロトコルや水素計量・課金、安全性向上など商用水素ステーションとして必要な機能において未だ多くの課題があり、今後、国内の規制・制度見直しと国際標準化、国際基準調和との関係がより密接に係ってくると考えられるため、それら全体を把握して研究開発をマネージする必要がある。2001 年に経産省支援により開発された **Project & Program Management for Enterprise Innovation** 手法（現在は P2M と呼ばれている）の導入も検討して欲しい。

水素ステーションの設備コスト引き下げのネックになっている諸規制の緩和を急ぐ必要があるが、万一事故が発生した場合、他の競合技術が多数ある中、水素利用に対する社会的な反発が強まる恐れがあり、慎重に進める必要がある。社会実装において事故の大部分はヒューマンエラー等に起因するものであるから、実証プロジェクトでのソフト的な安全対策への対応も期待する。

2015 年の FCV 普及開始以降、技術開発や規制見直しの進捗に応じて水素ス

テーションの具体的な機器構成が変わっていくことから、時間軸で整理した実用水素ステーションの機器構成とコストのロードマップを提案できるようにして欲しい。

また、自動車は国際商品であるので、水素駆動自動車に対する国際的な動きを常に注視し、国際市場に通用しない技術開発とならないよう、各国の燃料事情の相違も考慮して、国際標準化や国内規制緩和への活動を強化し、国際競争力のある産業育成につながるような事業として進める必要がある。

## 2. 各論

### 1) 事業の位置付け・必要性について

日本のエネルギー政策が混沌とする中で低炭素化の議論が置き去りにされている感があるが、温室効果ガスを低減し地球温暖化を食い止めることは極めて重要な責務である。この一つの手段として水素を利用するエネルギーシステムは有効であり、今回の、水素インフラに関する技術開発は、新しいエネルギーインフラ整備事業であるため、公共性が高く、民間企業主導では無理であり、NEDOのような組織がリーダーシップを執って取りまとめて、予算支援、研究開発マネジメント支援をする必要がある。これにより、国際社会に貢献すると同時に日本の国際競争力を高めることが期待される。日本の企業は高い技術力を有しており、国際標準を含め世界をリードできるレベルにあるが、日本特有の法規制と世界標準との間に違いがあることから、これらの整合性を取ることも含めて本事業で取り組んでいることは価値が高い。

一方、資源、エネルギーに関する国際情勢は時々刻々と動いている。エネルギー安全保障と国内産業育成に寄与できるような事業目標やスケジュール設定を意識し、水素社会の実現に必要な技術開発を推進すると同時に、水素をどのようにして製造するのか、運搬するのか、貯蔵するのか、長期ビジョンを示す必要がある。その時点、時点で実用化される技術を想定し、考えられる水素需要量をどのようにして賄うのかを示すロードマップがあれば、水素社会がより具体的に理解される。

### 2) 研究開発マネジメントについて

本事業は、水素ステーションを中心とした技術の研究開発と実証、規制見直しと国際標準化を幅広く取り扱うテーマで構成されており、それぞれのテーマが有機的に連携することが要求される。中間評価の結果を受けてプロジェクトリーダーが選任され、これにより、早期の実用化を目指した規制緩和に向けてのアクションに着手している点、また、計画をスリム化し、実用化に必要な技術開発に絞り込まれた開発計画となっている点は評価できる。

一方、水素ステーションの開発は燃料電池自動車（FCV）の普及ともリンクしている。高コストのFCVと高コストの水素を前提として、どのような初期実用化体制が構築可能なのかを考慮した柔軟で長期的な展望を持って取り組む必要がある。2015年を間近に迎え、今後は商用的に実用かつ低コストの水素ステーションの機器システムを提案していかなければならないと考える。ステーション構成機器それぞれの技術開発を進めると同時に、それぞれの実用化時期を見据えた上でステーションの機器構成をイメージし、それに向けたマネージが必要になると考える。

### 3) 研究開発成果について

個々のテーマに違いはあるが、技術的にはほぼ目標を達成しつつあると評価でき、耐久性を含めて、早期の商用化に必要な技術及び規制緩和は実現の可能性が高まっていると判断できる。また、個別の技術では世界初、世界最高の技術が含まれており、部分的に世界標準となる可能性を秘めている。

一方、水素ステーションの建設費2億円以下という目標の達成見込みが得られたとのことであるが、いつ適用可能な技術なのかが不明確なところがある。特に規制との関係がある領域については、実際に適用されるために必要な緩和条件と、対応時期を明らかにして成果を実際のステーション設置に反映することが肝要である。

なお、標準化では、国内の規制緩和に集中してきたが、国際標準に対応可能な技術が多く含まれているので、国内対応の技術と国際標準可能な技術を分けて進める必要がある。

### 4) 実用化、事業化の見通しについて

研究成果が実用化に繋がる可能性がある研究課題も比較的多い。事業化にあたっての技術面以外での障害の排除に向けての動きも着実で、国内規制見直しでは例示基準案、技術基準案など、実用化に向けた課題解決が推進され、国際標準化活動でも予定通り国際規格化が進められ、グローバルスタンダードの確立と国内展開に貢献している。

一方、研究目標は達成しているが事業化の可能性は低いテーマも多く、水素ステーションの構成機器において実用化、事業化のイメージはまだ明確ではない。初期導入と言うことでは何とか達成できても、本当に実用化が可能なのかどうか疑問である。水素ステーションを多数建設しないとコストが下がらず、コストが高いために水素ステーションの建設が進まないという悪循環をどのように断ち切るかの明確なビジョンが欠如している。また、国際標準化、国際競争力という観点でも、2億円から更なる低コスト化が必要である。

## 研究評価委員会におけるコメント

第35回研究評価委員会（平成25年3月26日開催）に諮り、本評価報告書は確定された。研究評価委員会からのコメントは特になし。

## 研究評価委員会

委員名簿（敬称略、五十音順）

職 位	氏 名	所属、役職
委員長	西村 吉雄	技術ジャーナリスト
委員長 代理	吉原 一紘	オミクロンナノテクノロジージャパン株式会社 最高顧問
委員	安宅 龍明	元一般社団法人ナノテクノロジービジネス推進協議会 企画運営推進会議 副議長
	伊東 弘一	学校法人早稲田大学 理工学術院 総合研究所 客員教授（専任）
	稲葉 陽二	学校法人日本大学 法学部 教授
	尾形 仁士	三菱電機株式会社 社友
	小林 直人	学校法人早稲田大学 研究戦略センター 教授
	佐久間一郎	国立大学法人東京大学大学院 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
	佐藤 了平	国立大学法人大阪大学 大学院工学研究科 マテリア ル生産科学専攻（システムデザイン領域担当） 教授
	菅野 純夫	国立大学法人東京大学 大学院新領域創成科学研究科 メディカルゲノム専攻 教授
	宮島 篤	国立大学法人東京大学 分子細胞生物学研究所 教授
	吉川 典彦	国立大学法人名古屋大学 大学院工学研究科 マイクロ・ナノシステム工学専攻 教授

## 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「○」「●」「・」が付された箇条書きは、評価委員のコメントを原文のまま、参考として掲載したものである。

## 1. プロジェクト全体に関する評価結果

### 1. 1 総論

#### 1) 総合評価

地球環境問題に対する一つの解決手段として、水素を活用したエネルギーシステムが有効であることは周知の事実であり、NEDO 事業として水素製造・輸送・貯蔵システムの実用化と普及を推進することの意義は大きい。政府方針、民間のシナリオにも沿ったものであり、企業、業界の垣根を越えた取り組みが必要という点で NEDO のプロジェクトとして適切なものである。中間評価に基づき、プロジェクトリーダーが選任された結果、研究開発全体の整合性及び早期の実用化を見据えた研究資源の集中に顕著な改善が見られ、プロジェクトリーダーの果たした役割は高く評価できる。また、研究成果についても、技術的には早期の実用化が可能なレベルに達していると評価できる。

一方、実用化に向けて経済性の点で不安がある。水素ステーションの低コスト化（2 億円）の目標を達成する見込みが提示されているが、世界的に見るとまだまだ高いレベルであり、ガソリンステーションとの比較においても普及に向けた更なる低コスト化が望まれる。また、実用化に向けて、コスト面と耐久性の点で、検討が必要なテーマと、実用化がすぐに可能なテーマが混在しているためプロジェクトの管理が難しくなっている。複数のテーマをうまく関連付けるためには、時間軸を意識した枠組みで技術開発を管理すべきである。

#### 〈肯定的意見〉

- 中間評価に基づき、プロジェクトリーダーが選任された結果、研究開発全体の整合性及び早期の実用化を見据えた研究資源の集中に顕著な改善が見られる。また、研究成果についても、技術的には早期の商用化が可能なレベルに達していると評価できる。
- 地球環境問題に対する一つの解決手段として、水素を活用したエネルギーシステムが有効であることは周知の事実であり、NEDO 事業として水素製造・輸送・貯蔵システムの実用化と普及を推進することの意義は大きい。
- FCV の普及に必要な要素技術の確立に向けて、当初の目標を達成したことは、評価できる。特に、各テーマリーダーのマネジメント力が発揮されるようにプロジェクトリーダーの果たした役割は高く評価できる。
- FCV の 2015 年の一般普及を目指して、「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」としてのシステム技術開発ならびにそれに関連する要素技術や安全技術も含めた広範な領域での精力的な取り組みが行われ、高く評価できる。国の支援するプロジェクトとしてこのような幅広い技術開発に資

する研究が行われることは、その波及効果も大きく関連分野を通して裾野が想像以上に広がるのが最大の利点といえる。

- 本事業における全てのテーマにおいて、ほぼ目標どおりの成果が上げられている。特に、中間評価において指摘されたプロジェクトリーダーの設置により、各テーマの実施計画が見直され研究開発が加速された。
- 政府方針、民間のシナリオにも沿ったものであり、企業、業界の垣根を越えた取り組みが必要という点で NEDO のプロジェクトとして適切なものである。研究費の重点配分、柔軟なテーマ設定の変更など研究全般のマネジメントも適切だと判断できる。
- 強力なプロジェクトリーダーのもと、システム開発、機器開発、調査事業とも一定の成果が得られていると感じられる。中間評価以後、体制の見直しやテーマの整理がしっかり行われたものと評価できる。
- 水素ステーションのコストが 2 億円レベルに到達可能である技術が仕様ベースに落として提示されていると考えるので、普及に向けて価値の高い成果である。
- プロジェクトリーダーの設置で全体が見える形で推進されており、同時にプロジェクトリーダーも全てを把握して推進していることが、質疑応答を通して確認することが出来た。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 実用化に向けて、コスト面と耐久性の点で、検討が必要なテーマと、実用化がすぐに可能なテーマが混在している複数のプロジェクトをうまく関連付けるためには、プログラムマネジメントの考えを今後も積極的に導入して、ロードマップ管理をする手法を導入する必要がある。
- 各テーマがシステム技術、水素製造技術、要素技術等で分類されているが、それぞれの分類の中で実用化や普及フェーズが異なるテーマが混在しているためプロジェクトの管理が難しくなっている。時間軸を意識した枠組みで技術開発を管理すべきである。
- 短期的な仕様についての低コスト化（2 億円）は目標を達成する見込みが提示されたと考えるが、普及に向けては更なる低コスト化が望まれており、更なる普及期におけるステーション仕様と、低コスト化への取り組みを中長期的に検討し、継続的な取組みを推進することが肝要であるとする。
- 経済性の点で、商用化に進めるかどうか不安があり、水素の供給ルートについても、明確な見通しがあるとは言えない。このままでは、2015 年の水素ステーションの商用運用開始が本当に可能かどうか不透明である。
- 安全技術や基準・標準化に関しては必ずしも目指すべき目標が明確化され

ておらず、一定の工夫を再検討することが必要である。

- 当初計画ではシステム開発と機器開発の目標がバラバラな感じがする。個々の事業ではほとんど目標達成されているので、各事業の目標や位置づけを明確にし、事業全体での成果がわかるようにしてほしい。

〈その他の意見〉

- ・ 2億円のステーションは世界的に見るとまだまだ高いレベルであり、ガソリンステーションとの比較においても更なる低コスト化の取組みが必要と考える。特に新規の安価な材料の利用等の規制緩和について、早い時期での適用が可能となる様な継続的な取組みが望まれる。
- ・ インフラを先行して整備するというプロジェクトとして理解するが、燃料電池自動車の開発と歩調を合わせることも必要だと思う。水素を充填する車が来ないことのないようにする必要がある。

## 2) 今後に対する提言

設計安全係数や使用可能材料の検討は勿論のこと、充填プロトコルや水素計量・課金、安全性向上など商用水素ステーションとして必要な機能において未だ多くの課題があり、今後、国内の規制・制度見直しと国際標準化、国際基準調和との関係がより密接に係ってくると考えられるため、それら全体を把握して研究開発をマネージする必要がある。2001年に経産省支援により開発されたProject & Program Management for Enterprise Innovation 手法（現在はP2Mと呼ばれている）の導入も検討して欲しい。

水素ステーションの設備コスト引き下げのネックになっている諸規制の緩和を急ぐ必要があるが、万一事故が発生した場合、他の競合技術が多数ある中、水素利用に対する社会的な反発が強まる恐れがあり、慎重に進める必要がある。社会実装において事故の大部分はヒューマンエラー等に起因するものであるから、実証プロジェクトでのソフト的な安全対策への対応も期待する。

2015年のFCV普及開始以降、技術開発や規制見直しの進捗に応じて水素ステーションの具体的な機器構成が変わっていくことから、時間軸で整理した実用水素ステーションの機器構成とコストのロードマップを提案できるようにして欲しい。

また、自動車は国際商品であるので、水素駆動自動車に対する国際的な動きを常に注視し、国際市場に通用しない技術開発とならないよう、各国の燃料事情の相違も考慮して、国際標準化や国内規制緩和への活動を強化し、国際競争力のある産業育成につながるような事業として進める必要がある。

### 〈今後に対する提言〉

- ・ 水素ステーションの設備コスト引き下げのネックになっている諸規制の緩和を急ぐ必要があるが、万一事故が発生した場合、他の競合技術が多数ある中、水素利用に対する社会的な反発が強まる恐れがあり、慎重に進める必要がある。また、自動車技術は国際市場に大きく左右されるため、水素駆動自動車に対する国際的な動きを常に注視し、国際市場に通用しない技術開発とならないよう注意する必要がある。
- ・ 2015年のFCV普及開始以降、技術開発や規制見直しの進捗に応じて水素ステーションの具体的な機器構成が変わっていくと思われることから、時間軸で整理した実用水素ステーションの機器構成とコストのロードマップを提案できるようにして欲しい。
- ・ 設計安全係数や使用可能材料の検討は勿論のこと、充填プロトコルや水素計量・課金、安全性向上など商用水素ステーションとして必要な機能において未だ多くの課題があり、今後、国内の規制・制度見直しと国際標準化、

国際基準調和との関係がより密接に係ってくると考えられるため、それら全体を把握して研究開発をマネージする必要がある。

- 2001年に経産省支援により開発された Project & Program Management for Enterprise Innovation（現在は P2M と呼ばれて、国際 P2M 学会で知の体系化が行われている）手法を今後は NEDO として積極的に導入活用するとよい。企業でも導入している工程管理ツールの導入を NEDO としても検討するとよい。各プロジェクトリーダーが記入するプロジェクト進捗情報を集約したプログラム情報を NEDO 側もしくはプログラムリーダーが見られるようにすることで、研究開発プラットフォーム管理システムが構築でき、事業化への筋道が見えてくると思う。
- このプロジェクトはハードの技術開発に偏っているが、社会実装においては安全の確保が重要となる。事故の大部分はヒューマンエラー等に起因するものであるから、実証プロジェクトでのソフト的な安全対策への対応に期待したい。
- 水素ステーションの低コスト化に関する取り組みが多岐に渡っており、その進捗とターゲット年度に違いがあることから、適用技術の時期を分けて、短期的に早急に反映すべき技術と、中期的に時間をかけて更に熟成する技術を選択して推進するべきと考える。同時に、既に考慮されているとの話も伺いましたが、予算の分配にも反映されるべきである。
- 現状の高圧ガス保安法に従うと、日本の特殊事情によるオーバースペック設備になりかねない。自動車は国際商品であるので、各国の燃料事情の相違を考慮して、国際標準化や国内規制緩和への活動を強化し、国際競争力のある産業育成につながるような事業として進めてほしい。
- 計量技術やプレクール技術等は、世界をリードしている技術と考えるので、世界標準とすることも考慮して強力で推進すべき技術である。日本の先進性が世界をリードすると同時に、ビジネスにもつながる技術である。
- 費用対効果を含めた研究予算の有効・適切な執行に留意が必要であるが、今後とも水素エネルギー社会の構築に向けた研究開発は重要と考えられる。

#### 〈その他の意見〉

- 商用水素ステーションの確立にはまだまだ多くの課題が残されている。今後もさらなる規制見直しテーマも追加して次期事業の推進をお願いする。
- 我が国の規制・制度は世界で最も厳しいが、逆に、その中で確立された実用技術は世界で通用すると思われるので、産官学の連携で是非とも成し遂げたい。

## 1. 2 各論

### 1) 事業の位置付け・必要性について

日本のエネルギー政策が混沌とする中で低炭素化の議論が置き去りにされている感があるが、温室効果ガスを低減し地球温暖化を食い止めることは極めて重要な責務である。この一つの手段として水素を利用するエネルギーシステムは有効であり、今回の、水素インフラに関する技術開発は、新しいエネルギーインフラ整備事業であるため、公共性が高く、民間企業主導では無理であり、NEDOのような組織がリーダーシップを執って取りまとめて、予算支援、研究開発マネジメント支援をする必要がある。これにより、国際社会に貢献すると同時に日本の国際競争力を高めることが期待される。日本の企業は高い技術力を有しており、国際標準を含め世界をリードできるレベルにあるが、日本特有の法規制と世界標準との間に違いがあることから、これらの整合性を取ることも含めて本事業で取り組んでいることは価値が高い。

一方、資源、エネルギーに関する国際情勢は時々刻々と動いている。エネルギー安全保障と国内産業育成に寄与できるような事業目標やスケジュール設定を意識し、水素社会の実現に必要な技術開発を推進すると同時に、水素をどのようにして製造するのか、運搬するのか、貯蔵するのか、長期ビジョンを示す必要がある。その時点、時点で実用化される技術を想定し、考えられる水素需要量をどのようにして賄うのかを示すロードマップがあれば、水素社会がより具体的に理解される。

#### 〈肯定的意見〉

- 我が国のエネルギー政策上重要な多くの技術開発は、開発期間が長く、複数の技術が複合したものであり、1企業ではリスクが高く、自主的に企業連携コンソーシアムを組んで事業化を目指して開発することはありえない。今回の、水素インフラに関する技術開発は、新しいエネルギーインフラ整備事業であるため、公共性が高く NEDO のような組織がリーダーシップを執って取りまとめて、予算支援、研究開発マネジメント支援をする必要があると考える。
- 日本のエネルギー政策が混沌とする中で低炭素化の議論が置き去りにされている感があるが、温室効果ガスを低減し地球温暖化を食い止めることは極めて重要な責務である。この一つの手段として水素を利用するエネルギーシステムは有効であり、世界に先駆けて日本における研究開発を推進し、国際社会に貢献すると同時に日本の国際競争力を高めることが期待される。これを実現するためには、国の強力なリーダーシップのもと産官学

の連携や従来の業界を超えた連携が必要であり、NEDO の関与が不可欠である。

- 水素ステーションの実現に関わる技術開発は、民間企業主導では無理であり、NEDO の関与が必要であることは間違いない。また、将来の水素社会を見据えた上での水素ステーションの位置づけは重要であり、事業目的は妥当である。
- 本事業は、将来のエネルギーとしての水素の可能性を早期に検証するものであり、特に利用する上でのインフラ整備に対して必要不可欠な事業である。同時に、日本独自の規制や特殊性（土地が狭い等）も考慮した場合、民間だけでは使用整合の難しさや、規制緩和への取り組みが難しいことから、本事業を NEDO 主導の取組みとして行うことは価値が高いと考える。
- 水素エネルギー社会の実現への大きな潮流のなかで、民間のみでは難しい技術開発研究を推進するために NEDO の関与は必須で、果たす役割は大変重要ある。技術立国である我が国が、水素技術分野で国際競争力を確保するためには、水素の実用化技術や安全技術のレベルアップが必要である。
- 国際競争力との観点では、日本の企業は高い技術力を有しており、国際標準を含め世界をリードできるレベルにある。しかし、日本特有の法規制と世界標準との間に違いがあることから、これらの整合性を取ることも含めて本事業で取り組んでいることは価値が高い。
- このプロジェクトは民間の燃料電池自動車の普及シナリオにも沿ったものとなっているが、個々の企業で対応するにはリスクが大きい。NEDO が研究開発資金を提供することにより、個々の企業のリスクを小さくすることに寄与している。
- 水素エネルギー利用は様々なメリットがあるものの、安全に低コストで実用できるかは今後の技術開発動向に依存する。本事業のような先行投資が必要な事業であり、公共性は高く NEDO の投資は妥当であると考ええる。
- 費用としては実証や個別の試験等が必須であり、その観点からは妥当性があると考える。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 水素社会の実現に必要な技術開発を推進すると同時に、水素をどのようにして製造するのか、運搬するのか、貯蔵するのか、長期ビジョンを示す必要がある。その時点、時点で実用化される技術を想定し、考えられる水素需要量をどのようにして賄うのかを示すロードマップがあれば、水素社会がより具体的に理解されると思われる。
- 資源、エネルギーに関する国際情勢は時々刻々と動いている。エネルギー

安全保障と国内産業育成に寄与できるような事業目標やスケジュール設定を意識してほしい。

- プロジェクトの目標管理と個別テーマの目標管理を連結して行う必要がある。また、アウトプット目標管理でなくアウトカム評価管理を行う必要がある。
- 今回のプロジェクトの主要テーマの一つである「車載等水素貯蔵／輸送容器システム技術に関する研究開発」が中間評価以降で中止となり、プロジェクトの方向性や位置付け、また今後のプロジェクトにおける開発スケジュール等を再検討する必要がある出てくるのではないか。
- 国際的な技術開発、市場動向の調査が不十分であり、世界をリードする技術開発になっているとは言い難い面がある。自動車市場は極めて国際性が強いことから、水素ステーションの技術開発にあたって、水素の供給元を含めて、もっと国際市場を意識した戦略を構築する必要がある。
- 費用対効果という観点での評価が難しい面があるが、技術の適用時期を考慮しての精査は重点事業の選択を含め必要である。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 終了したテーマやその後新たに選定されたテーマなどについて、どのようなプロセスでそこに至ったか、プロジェクト全体の中での個々のテーマの位置付けなどが必ずしも明確でなかった。
- ・ 本来、ステーションを含めた規制は安全を担保した上で、世界標準であるべきで、そうすることで相互認証を行えるようになることが、低コスト化も含めて価値が高いと考える。

## 2) 研究開発マネジメントについて

本事業は、水素ステーションを中心とした技術の研究開発と実証、規制見直しと国際標準化を幅広く取り扱うテーマで構成されており、それぞれのテーマが有機的に連携することが要求される。中間評価の結果を受けてプロジェクトリーダーが選任され、これにより、早期の実用化を目指した規制緩和に向けてのアクションに着手している点、また、計画をスリム化し、実用化に必要な技術開発に絞り込まれた開発計画となっている点は評価できる。

一方、水素ステーションの開発は燃料電池自動車（FCV）の普及ともリンクしている。高コストのFCVと高コストの水素を前提として、どのような初期実用化体制が構築可能なのかを考慮した柔軟で長期的な展望を持って取り組む必要がある。2015年を間近に迎え、今後は商用的に実用かつ低コストの水素ステーションの機器システムを提案していかねばならないと考える。ステーション構成機器それぞれの技術開発を進めると同時に、それぞれの実用化時期を見据えた上でステーションの機器構成をイメージし、それに向けたマネージが必要になると考える。

### 〈肯定的意見〉

- 本事業は、水素ステーションを中心とした技術の研究開発と実証、規制見直しと国際標準化を幅広く取り扱うテーマで構成されており、それぞれのテーマが有機的に連携することが要求される。中間評価の結果を受けて、強力なリーダーが選任されたことにより、事業の後半では、ニーズの明確化と規制見直しを見据えた研究開発の方向づけ、基礎データの条件設定、研究委託先の見直し、また NEDO の水素先端科学基礎研究事業との連携などがマネージされ大きな成果を上げている。
- プロジェクトリーダーが選任され、早期の実用化を目指した規制緩和に向けてのアクションに着手している点、また、計画をスリム化し、商用化に必要な技術開発に絞り込まれた開発計画となっている点は評価できる。
- 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発として、実用化のための技術開発と安全技術の両立を目指した目標や課題の設定、さらにその研究開発計画を推進するための研究開発体制のマネジメントやテーマ間の連携、全体の統括などは評価でき妥当である。
- 燃料電池自動車の普及時期も見据えた妥当なスケジュールとなっている。研究開発計画の調整、個々の事業間の分担の調整、情勢変化に対応した経費配分の調整などプロジェクトリーダーが適切に全体計画をコントロールしていると評価する。

- 中間評価以降、プロジェクトリーダーを中心に全体統括がしっかり行われている。オンタイムで当初目標を達成しても、実用できないシステムや機器では問題がある。スケジュールやコスト目標は、内外の事情に合わせて中間で見直し作業を入れたのは良いと思う。
- 日本の法規制の中での目標値設定として、初期のレベルでは妥当な目標値設定であると考えます。将来は規制緩和も踏まえ、更なる高い目標での取り組みが必要であると考えます。技術要素としても初期から重点技術の仕分けも行われ、絞り込みがなされている。
- ここのプロジェクトの研究開発マネジメントは良好である。中間評価から導入したプログラムリーダーの役割も機能していたと思われる。
- 水素ステーション機器システムのコストや耐久性の目標が戦略的かつ意欲的に設定され、テーマの優先順位付け・予算の再配分などが行われ開発が促進された。
- プロジェクトリーダーの主導による取り組みがなされている。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 2015 年を間近に迎え、今後は商用的に実用かつ低コストの水素ステーションの機器システムを提案していかなければならないと考える。ステーション構成機器それぞれの技術開発を進めると同時に、それぞれの実用化時期を見据えた上でステーションの機器構成をイメージし、それに向けたマネージが必要になると考える。
- 自動車会社側が本気で 2015 年の燃料電池車商用化開始を計画しているのかが不明であり、特に、高コストの燃料電池車と高コストの水素を前提として、どのような初期の商用化体制が構築可能なのか（すなわち、消費者にどのようなインセンティブで燃料電池車を購入させるのか）が明確に描かれていない。
- 目標について国内事情を優先させるのか、国際標準を目指すのかがはっきりしない。常用圧力（87.5MPa or 82MPa）や充填速度（70MPa、3分、5kg）によるプレクール（-40℃）の妥当性は、すべての機器の安全性やコストに影響を及ぼす。結局、実証試験をする上での制約を考えるのなら、特区設定や海外での実証も検討してもよいと思う。
- プロジェクト&プログラム管理をもっと導入し、全体の研究成果のロードマップ管理まで発展してくれることを期待している。研究開発コンソーシアムにプラットフォームの考えを入れて情報交流する必要がある。
- シナリオ設定も今回の事業は石油事業者の推すオフサイトとガス事業者の推すオンサイトに絞られているが、そこに注力した理由などを明確にし

ないと、偏った事業計画の感は否めない。国内外の様々な状況を俯瞰した上で、本事業を実施していることを明示してほしい。

- 技術の項目毎にレベルの差があり、達成指標の設定はそれぞれにレベルが異なる様に思う。今後一つの仕様にまとめる際により具体的な指標の設定が必要である。
- 事業化については、未だ十分な検討がなされておらず、今後の課題である。しかし、技術の達成度はそれぞれあるレベルに到達しており、早期の導入が待たれる。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 水素ステーションの開発は FCV の普及ともリンクしている。その辺の事情も考慮した柔軟で長期的な展望を持って取り組むのが良い。
- ・ 車載用水素貯蔵については、2015 年の FCV では 70MPa 高压タンクでスタートすることになりそうだが、車載等水素貯蔵／輸送容器システム技術に関する研究（中間評価以降で中止）においては、より低圧での車載方式の一つとしてハイブリッド貯蔵タンクは中間評価では目標値を超える成果も出ていたので、水素のより安全な利用技術の上からも実用化に向けた技術開発は重要と思われる。
- ・ 今後は水素ステーションの機器及びそのシステム設計の面からマネージする機能が必要と考える。サブリーダーまたはアドバイザーを設定することが望まれる。
- ・ 燃料電池自動車の普及スケジュールに合わせたものとなっているので、燃料電池自動車の普及がスケジュール通りに進むことが期待される。
- ・ 事業の計画当初は達成スケジュールや目標を高く設定しがちである。実証事業ではないので、実現可能性の可否も含めて、中間評価で達成見込みの時期の変更など柔軟な開発姿勢を取ってほしい。

### 3) 研究開発成果について

個々のテーマに違いはあるが、技術的にはほぼ目標を達成しつつあると評価でき、耐久性を含めて、早期の商用化に必要な技術及び規制緩和は実現の可能性が高まっていると判断できる。また、個別の技術では世界初、世界最高の技術が含まれており、部分的に世界標準となる可能性を秘めている。

一方、水素ステーションの建設費2億円以下という目標の達成見込みが得られたとのことであるが、いつ適用可能な技術なのかが不明確なところがある。特に規制との関係がある領域については、実際に適用されるために必要な緩和条件と、対応時期を明らかにして成果を実際のステーション設置に反映することが肝要である。

なお、標準化では、国内の規制緩和に集中してきたが、国際標準に対応可能な技術が多く含まれているので、国内対応の技術と国際標準可能な技術を分けて進める必要がある。

#### 〈肯定的意見〉

- 技術的にはほぼ目標を達成しつつあると評価でき、耐久性を含めて、早期の商用化に必要な技術及び規制緩和は実現の可能性が高まっていると判断できる。
- 当初設定した目標（ステーションコスト2億円以下）については達成する見込みが高いと考える。また、中に含まれる個別の技術は世界初、世界最高の技術が含まれており、部分的に世界標準となる可能性を秘めている。
- 順調に開発が進んでおり、実証試験につながる成果が挙げられたものと評価する。知的財産権等の取得や国内・国際標準化についても適切に取り組まれている。
- 個々の事業に違いはあるが、全体としては成果が出ている。中間評価を経て、終了したもの、目標を変えたものなど、体制変更した点も評価できる。知財や外部発表も適切と考えられる。
- FCV への 70MPa 水素の 3 分充填を目標にしたインフラシステムも含めた技術開発は、全体として目標をほぼ達成し、得られた成果も一般普及に向けて期待できる内容を多く含んでいる。
- 水素ステーションのシステム技術、構成機器の開発、規制見直しに向けた材料データの取得では大きな進捗があり、事業実施期間内ではそれぞれが概ね目標を達成し今後の実用化に貢献すると思われる。
- 現時点での、水素ステーション機器システム全体で2億円を見通せる結果が得られたことは評価できる。

- 全体的に特許、論文発表共に適宜なされており、技術的な成果を挙げていることは関連する領域の関連企業には認識されていると思われる。
- 研究目標は達成され、知財も生まれているので研究成果は十分に上がっていると思われる。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 工程表上、規制緩和を含め、いつ適用可能な技術かが不明確なところがある様に思われる。適用時期について、特に規制との関係がある領域については、単に行った結果を示すだけでなく、その後、実際に適用されるために必要な緩和条件と、対応時期を明らかにして成果を実際のステーション設置に反映することが肝要である。
- 国際標準化という観点では、先ずは国内の規制緩和が先であり、今までは特にその領域に集中しており、国際標準化対応は未だ出来ていない様に思われる。但し、実施している技術は国際標準に対応可能な技術が多く含まれており、国内対応の技術と、国際標準可能な技術を分けて進める必要がある。
- 水素ステーションの建設費 2 億円以下という目標の達成見込みが得られたとのことであるが、建設費の積算根拠や前提となる条件が明示されておらず、この目標が本当に達成可能なのか判断できない。
- アウトプット達成評価でなくアウトカム評価法を取り入れるべきである。
- 国際標準、国際競争力を意識した成果の評価や普及見通しをお願いしたい。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 本件は全く新しいエネルギーシステムに関わる事業である。個々の成果が、全体シナリオの中でどの位置にあるのか？どのような実現性があるのか？コスト競争力があるのか？などリーダーを中心に総括し、次の事業計画に反映してほしい。
- ・ 水素ステーション機器システムのコスト評価の精度を向上するため、統一評価条件（年間の製作台数、製作年数と総台数など）を策定して欲しい。
- ・ 特許、論文発表は、テーマ毎に差があり、十分に出来ているテーマと、そうでないテーマがある。一概に言えないが、成果の見直しをする際にレビューを行うことが必要である様に思われる。

#### 4) 実用化、事業化の見通しについて

研究成果が実用化に繋がる可能性がある研究課題も比較的多い。事業化にあたっての技術面以外での障害の排除に向けての動きも着実で、国内規制見直しでは例示基準案、技術基準案など、実用化に向けた課題解決が推進され、国際標準化活動でも予定通り国際規格化が進められ、グローバルスタンダードの確立と国内展開に貢献している。

一方、研究目標は達成しているが事業化の可能性は低いテーマも多く、水素ステーションの構成機器において実用化、事業化のイメージはまだ明確ではない。初期導入と言うことでは何とか達成できても、本当に実用化が可能なのかどうか疑問である。水素ステーションを多数建設しないとコストが下がらず、コストが高いために水素ステーションの建設が進まないという悪循環をどのように断ち切るかの明確なビジョンが欠如している。また、国際標準化、国際競争力という観点でも、2億円から更なる低コスト化が必要である。

##### 〈肯定的意見〉

- 水素ステーションのシステム技術及び構成機器技術開発のそれぞれにおいて、実用化の可能性が見極められている。また、国内規制見直しにおいても例示基準案、技術基準案など、実用化に向けた課題解決が推進され水素ステーション設置におけるコスト低減が大いに期待される。さらに、国際標準化活動でも予定通り国際規格化が進められ、グローバルスタンダードの確立と国内展開に貢献している。
- 技術的には、早期の実用化が可能段階にほぼ達していると評価できる。また、規制緩和を含め、事業化にあたっての、技術面以外での障害の排除に向けての動きも着実である。
- 研究成果が実用化に繋がる可能性がある研究課題は比較的多いように思える。波及効果が期待できる研究の芽も幾つか出ているので、今後の研究の進展を見守りたい。本プロジェクトは水素技術関連分野の研究や技術開発などへ波及効果も大きく、また実用化へ向けての貴重なデータを提供している。
- 水素インフラ整備に向けて、ステーションのコスト低減は普及に対して必須の技術であり、2億円というコスト目標の達成技術が準備出来ることは、非常に有意義である。実際の適用に際して規制緩和を含めた対応が必要であり、実際の適用に向けたロードマップの策定が待たれる。そのためには実際のステーションでの適用実績が必要であり、継続的な実施が必要である。
- 事業化までのシナリオが明確で、政府目標や民間の普及シナリオに沿った

成果が挙げられている。一部材料開発が遅れているものもみられるが、全体としては実証試験に移る環境が整っている。

- 中間以降の取り組み内容に、国際標準を意識した内容が盛り込まれている。2015年、2025年にどこまで達成するかという意識付けはなされている。
- 事業化の可能性が見えたプロジェクトもあることは評価できる。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 経済性が全く見えず、本当に早期の実用化が可能なのかどうか疑問である。水素ステーションを多数建設しないとコストが下がらず、コストが高いため水素ステーションの建設が進まないという悪循環をどのように断ち切るかの明確なビジョンが欠如している。
- 水素ステーションの構成機器において事業化や商用的実用化のイメージはまだ明確ではない。各構成機器が市場で使用される時期に差があることや規制見直しによって要件が変化することから、時間軸で見たシステム構成をイメージし、それぞれの時期における水素ステーションのシステム機器構成を明確にする必要がある。
- 国際標準化、国際競争力という観点では、2億円から更なる低コスト化が必要である。また、仕様のにも82MPaの最大圧力から、国際標準と言われる87.5MPaへの移行等が今後継続的に必要な取り組みとして必要である。
- 事業化の可能性が見えない目標設定のため、研究目標は達成しているが事業化の可能性は低いプロジェクトも多い。
- 初期導入と言うことでは何とか達成できても、今後のより一層のコストダウン、一般普及や事業化といった実用化の議論を行える段階にはまだ到達しておらず、技術開発の障壁をいかにクリアしていくかをチャレンジしている段階である。
- 実用化や社会的波及効果という点を考えると、水素エネルギーを利用する人に対する教育的なアプローチが含まれていない。技術に「絶対安全」はないので、水素の利便性ととともに、危険性を広く民間人にアピールできる周知活動にも今から力を入れるべきである。

#### 〈その他の意見〉

- ・ FCV普及のシナリオに沿って事業が計画されているが、結果は必ずしも予定通り事業化できるものではない。FCV導入のシナリオも変更はあるかもしれない。実施した各事業の成果が、現実的にどこまで達成されていて、今後事業化までにどのぐらいの時間と投資が必要なのかをしっかりと把握して、次に繋げてほしい。

- 成果は技術的に国際標準になり得る技術も含まれており、部品毎の価値は非常に高いものがある。
- 人材育成についても、世界初の技術評価を色々な機関で行っており、提案した企業のみならず、それを評価する組織体も非常に強化された様に思う。

## 2. 個別テーマに関する評価結果

### 2. 1 システム技術開発

#### ①70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発

- 研究開発成果についての評価
- 実用化、事業化の見通しについての評価
- 今後に対する提言

これまで水素ステーション用に規定がない複合容器や、明確な選定基準が示されていない水素環境下での使用可能な鋼材について、安全を担保する設計条件、評価方法、また候補鋼材の使用条件に対応した特性データが蓄積され、適用基準が明確にされてきた。必要な要素機器の開発は順調に進展しており、要素機器を統合した水素ステーション全体の設計も妥当である。また、急速充填の目標も達成可能な技術レベルに達しつつあり、実用化が見えた成果を上げている。特に-40℃プレクール、緊急離脱カップリングを含めたディスペンサーの開発で、1年間とはいえノーメンテで対応可能となる仕様が提示できていることは評価に値する。

一方、水素ステーション建設費 2 億円以下の見通しを得たことは評価できるが、建設費の積算根拠と前提条件が明示されておらず、どの時点で、建設費 2 億円以下が達成可能なのか不明である。また、コストには土地代は含まれておらず、今後、立地場所や立地規制の問題、それによる運転条件なども再検討する必要がある。

また、水素インフラの普及拡大促進には、より広範な材料や具体的な容器としての基準化を進めることが重要であり、新規鋼種の材料評価には、多く時間がかかることから、早期に着手できるように、準備体制を整えるとともに、長間保証が必要な部品も多くあるので、その実力の確認と共に、更なる改良技術の投入による長寿命化を継続的に図る必要がある。

#### 〈肯定的意見〉

- これまで水素ステーション用に規定がない複合容器や、明確な選定基準が示されていない水素環境下での使用可能な鋼材について、安全を担保する設計条件、評価方法、また候補鋼材の使用条件に対応した特性データが蓄積され、適用基準が明確にされてきた。今後はこうした研究等の取り組みを継続して推進し、より広範な材料や具体的な容器としての基準化を進め

ることが、水素インフラの普及拡大促進に大変重要である。

- 必要な要素機器の開発は順調に進展しており、要素機器を統合した水素ステーション全体の設計も妥当である。また、急速充填の目標も達成可能な技術レベルに達しつつあると評価できる。
- 技術の中身では、特に-40℃プレクール、緊急離脱カップリングを含めたディスペンサーの開発で、1年間とはいえノーメンテで対応可能となる仕様が提示できていることは評価に値する。
- 実用化が見えた成果を上げている。
- 70MPa 級水素ガス充填ステーションの機器システム技術に関して、2015年のFCVの一般普及の開始に繋がる目標を概ねクリアし、水素スタンド実用化に向け関連する要素技術も着実に成果をあげて大いに期待できる。
- 各部品の技術評価がなされ、その上で2億円のステーションの姿が見えたことは非常に価値の高い事である。また、個別の技術も過去の課題を一つ一つ潰しており、その意味では世界初の技術が織り込まれたステーションの仕様が提示できていると考える。
- 機器のユニット化による目標コスト（2億円）の達成と1年間の運転実績を得たことは評価できる。
- 低コスト化、耐久性の目標は達成され、標準仕様が固まった。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 水素ステーション建設費2億円以下の見通しを得たとのことであるが、建設費の積算根拠と前提条件が明示されておらず、どの時点で、建設費2億円以下が達成可能なのか不明である。
- 最終目標である2億円以下の見通しを得たことは評価できるが、水素ステーションコストには土地代は含まれておらず、今後、立地場所や立地規制の問題、それによる運転条件なども再検討する必要があると思われる。
- ステーションの仕様が、日本の規制で国際標準に対して少し最高圧が低い点は仕方がないし、中身の技術は国際標準の最高圧となっても適用可能なものである。しかし、耐久性を先ずは1年ノーメンテを目標として実施されており、インフラ装置としては領域毎に耐久目標は異なるものの、長い期間の保証が必要なものである部品も多くあるので、今後その実力の確認と共に、更なる改良技術の投入による長寿命化を継続的に図る必要がある。
- プレクール熱交の状態解析プログラムの精度があまり良くない。特に伝熱の時定数に問題があるように思われる。使用機器の熱特性値や伝熱機構の想定に問題があるのではないか。
- 研究開発のポイントが不明確。前提条件があまり現実的ではなく、無理に

2 億円に合わせた感じがする。1 年間はノーメンテということであるが、運用コストも試算してほしかった。

- 70MPa の必要性が見えていない。標準化仕様の決定に参加することの意義を明記すべきである。

〈その他の意見〉

- ・ 新規鋼種の方法評価や容器の健全性評価試験は対象材料や試験項目が多く時間がかかることから、次期事業で継続的に取り組む際には早期に着手できるよう、準備体制を整えて推進することが望まれる。
- ・ ステーションのコスト低減は主要課題の一つであるが、中間評価以降の削減は工事費が主で主要設備・機器のコスト（パッケージ扱い）にはほとんど削減効果が見られていないように思う。
- ・ 仕様の平成 25 年度から適用可能とあるが、実際の適用に向けての課題は品質の保証を含め、今後検証の部分もある様に思うので、課題を整理しておくことが肝要かと考える。
- ・ 現地工事費、設計費が大幅に下がっているが、標準仕様が固まってパッケージ化が進むことによる効果が出ていることによるものか。

## 2. 2 要素技術開発

### ①水素製造機器要素技術に関する研究開発

#### ①-1 水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発

#### ①-2 CO<sub>2</sub>膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発

- 研究開発成果についての評価
- 実用化、事業化の見通しについての評価
- 今後に対する提言

水素製造機器要素技術はオンサイトの水素ステーションのために必須の開発研究であり、水素分離型リフォーマーで水素分離膜の劣化機構を解明し、モジュールレベルであるが耐久性目標が達成できたこと、高効率改質システムの開発において新しい方式であるCO<sub>2</sub>分離膜法で実用化に繋がる成果があったことは評価できる。

一方、耐久性、コストの面で実用化レベルになっていないため、目標設定を見直す必要がある。特にCO<sub>2</sub>膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発については、基礎的な原理実証の段階に留まっている。この先、実用化を見据えた次の開発段階に移行すべきかどうかは、慎重に判断する必要がある。

### 〈肯定的意見〉

- ここでの水素製造機器要素技術はオンサイトの水素ステーションのために必須の開発研究であり、高効率での改質システムの開発は実用化に繋がる成果で評価できる。
- オンサイト水素製造における製造装置の耐久性向上及び低コスト化と実用化に向けた技術開発は重要であり、モジュールレベルで耐久性目標が達成できたことは評価される。
- 水素分離膜の劣化機構を解明し、耐久性向上にメドをつけたことは評価できる。
- CO<sub>2</sub>分離膜法は新しい方式であり、実現可能性のあることを示せたことは評価できる。
- 地球温暖化対策の一つの方策として水素を用いたエネルギーシステムを提案する中で、水素分離型リフォーマーで二酸化炭素を効率的に分離・回収できることが実証されたことは有意義である。
- 発想の転換を含め、オンサイトで水素製造を行う際のリフォーマーに関す

る技術が、実証と共に提示できているのは評価に値すると考える。

- ①-1 CO<sub>2</sub>の分離回収も同時に行えることは、単に燃料を水素に変えるということ以上に低炭素社会構築に有効である。
- ①-1 着実に研究開発が進展しており、平成 32 年頃の実用化をめざす開発戦略は妥当である。
- ①-2 原理実証は着実に進展している。
- 水素分離型リフォーマーの耐久性は高く、高純度水素の製造は評価できる。
- 目標は達成しており成果は評価できる。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 耐久性、コストの面で実用化レベルになっていない。目標設定を見直す必要がある。
- ①-2 他の技術開発の進捗状況と比較すると、基礎的な原理実証の段階に留まっている。この先、実用化を見据えた次の開発段階に移行すべきかどうかは、慎重に判断する必要がある。
- 二酸化炭素の分離・回収技術は、回収された二酸化炭素をどのように処理するのかと一体でなければならないと考える。この点から、本研究開発では植物の栽培に使用することであるが、FCV の普及（水素製造量）を時間軸で整理し、回収量と使用量の需給バランスも含めて、事業性を検討して欲しい。
- 水素分離技術が、それぞれ適用目標を 2020 年以降という時期に設定されており、早期導入を目指している技術とは言えない技術であると思う。早期適用に向けた課題と考え方、適用に向けたロードマップを提示する必要がある。
- ①-1 水素製造モジュールの低コスト化を主目的とする研究開発であるが、今後は、システム全体のコストを意識した開発へと進むべきである。
- CO<sub>2</sub>膜分離法を用いた水素製造では、水素純度の確保（水素精製）は PSA で行うことを想定しているが、他方式との比較、優位性やコスト面（ランニングも含んだ）での検討は十分になされているのか。
- ①-2 素材での耐久性は確認できているが、システムとしての耐久性が確認されていない。
- CO<sub>2</sub>分離型は省スペース化できるとはいえ、機器設備が増えるのでメンテナンスコストも踏まえて実現性を評価してほしい。
- 耐久性評価は、1 年強のレベルであり、その意味ではメンテインターバルも考慮した耐久性の目標設定が必要である。

〈その他の意見〉

- Pd のコスト依存性の評価が今回は不明確であり、今後の対応のところで記載してある今後の低コスト化に向けた取り組みに対して提示が必要である。
- 次期事業では、実用スケールでのシステム開発、課題抽出をお願いしたい。

## 2. 3 要素技術開発

- ②水素ステーション機器要素技術に関する研究開発（低コスト機器開発、高耐久化）
- ②-1 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発
- ②-2 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
- ②-3 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器に係わる研究開発
- ②-4 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発
- ②-5 直接充填方式水素ステーション用圧縮機の研究開発

- 研究開発成果についての評価
- 実用化、事業化の見通しについての評価
- 今後に対する提言

70MPa 級水素ステーションを構成する各種機器及び充填制御において、低コスト化及び実用化の見通しが得られたことは大変評価され、目標を達成し、実用化レベルにあると判断できる。2015 年の FCV 普及開始に向け、スタンダードとして期待される。水素関連の各種デバイス開発力は、日本は非常に高い技術を有しており、同時にその評価技術も世界の最先端であり、ビジネス化や国際標準化も含め世界的に優位に立てる領域である。

一方、個々の機器としては達成度を満たしていてもシステムトータルでの運転効率、経済性、耐久性、安全性等についてさらなる検証が望まれる。建設コストをもっと安くしないと普及が進まないため、技術実証が行われる段階での経済性の評価が必要である。

都市型コンパクト水素ステーションの研究開発で検討されている地下式は、規制関連及び近隣の水素安全への考えから実現するまでには極めてハードルが高く、都市部での水素供給の在り方そのもの、例えば水素供給の拠点数や位置、公的な用地の活用などの検討から進めるべきではないだろうか。

### 〈肯定的意見〉

- 70MPa 級水素ステーションを構成する各種機器及び充填制御において、低コスト化及び実用化の見通しが得られたことは大変評価される。2015 年の FCV 普及開始に向け、70MPa 級水素ステーションの構成機器及び充填制御のスタンダードとして期待される。
- 水素の関する各種デバイスの開発力は、日本は非常に高い技術を有しており、同時にそれを評価する技術も世界の最先端を行っている。その意味では、この領域は、ビジネス化も含め世界的に優位に立てる領域であると考

える。

- 目標を達成し、実用化レベルにあると判断できる。
- ディスペンサー、大型複合蓄圧器、圧縮機、ステーション機器、プレクール設備等を含めていずれも成果をあげて良く目標を達成している。水素スタンド実用化に向け各テーマは必要不可欠な要素技術であり、着実に進展していることがわかった。
- 現時点で機器開発が最も重要で、ディスペンサー（流量計、プレクーラーなど）、複合蓄圧器、バルブなどで重要な情報が得られていることは評価できる。また、都市型ステーションのリスク評価等も、いずれ必要になることなので、次の課題に移行する際の重要な知見といえる。
- 水素の計量技術とコンパクトなプレクール技術は世界に先駆けるものであり、非常に価値が高い。現在、世界的に見ても計量に関する標準化、部品の開発は出来ていないことから、国際標準となりうる技術であると考ええる。
- ステーションの低コスト化に向けては、複合容器の利用は非常に価値が高いと考えるが、この領域に取り組んでいることはステーションのコンパクト化と併せて強力に推進すべきと考える。
- 直接充填技術としての圧縮機は、海外の流体を用いるものに対して優位性があり、コンパクト化という観点で価値が高い。早期導入も考慮されており、実証を含めて強力な推進を期待する。
- 水素ステーションの早期の商用化に必要な機器開発および統合システム開発は順調に進捗しており、商用化のイメージも明確化されている。
- 直接充填用圧縮機は、ほぼ実用機レベルまで開発が進捗し目標が達成されたことは評価される。
- 個々の機器に関する開発は目標を十分達成している。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発で検討されている地下式は、規制関連及び近隣の水素安全への考えから実現するまでには極めてハードルが高く、都市部での水素供給の在り方そのもの、例えば水素供給の拠点数や位置、公的な用地の活用などの検討から進めるべきではないだろうか。
- 個々の機器としては達成度を満たしていてもシステムトータルでの運転効率、コストパフォーマンス、耐久性、安全性等についてさらなる検証が望まれる。
- 建設コストをもっと安くしないと普及が進まないと思われる。

- ②-5 これから技術実証が行われる段階で、経済性の評価がなされていない。
- ディスペンサー開発が全体システム内の開発と、個別の開発に分かれており、これを同一にして、ディスペンサーとしての標準化を図る取り組みが必要である。同時に、仕様の決定に向けては実績作りが必要であると考えるので、継続するための進め方の枠組みを考慮した展開が必要であると考ええる。
- 複合容器に関しては、実績が無いことから今後実績作りが必要であると考ええるが、どの様に進めるのかが不明確である。また、技術的には今回提示の保証技術に関する取り組みは非常に時間と手間が掛かるものであり、進める上ではしっかりとした工程表が必要である。
- コンパクトな都市型ステーションに関しては、海外では既に適用されている例もあり、規制緩和との協調が必要となるので、この辺りの取組みとの連携がどの様になされているかを検討する必要があると考える。
- ステーションで使用する機器は海外でも同様な開発が行われているはずで、本事業とそれらの比較がなされていないことが残念である。
- 個々の技術は要求レベルを満足するものに仕上がってきているが、最適な組み合わせはどれかについての検討が望まれる。
- ②-4 安全性および経済性の評価で未達の部分があり、年度末までの達成が望まれる。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 一つ一つが非常に価値の高い技術であることから、遅滞なく早期のステーションに導入可能な様に進めることが必要であると考えます。そのための継続実証や、法規の対応等が強力に推進される様な進めが必要であると考えます。
- ・ 水素ステーションに対する特別処置など国内の法律改正も含めて、ステーションでの建設コストをもっと安くするような工夫が必要である。

## 2. 4 要素技術開発

### ③水素ステーション機器要素技術に関する研究開発（低コスト材料開発）

③-1 水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発

③-2 水素用アルミニウム材料の評価・開発

- 研究開発成果についての評価
- 実用化、事業化の見直しについての評価
- 今後に対する提言

水素エネルギーシステムの利用には、使用できる材料種の拡大は必要不可欠であり、高圧水素関連機器のための金属材料、水素用アルミニウム材料系が探索され、耐水素脆性の材料開発や評価に関する成果は目標を達成している。また、国際標準化及び国内規制の見直しに貢献する評価試験法、材料データが提供されたことも成果として認められる。

一方、開発はまだ材料試験の段階であり、有望と評価された材料を用いた機器のコスト面と耐久性面で実用化に向けた検討が今後必要である。また、いずれも低コスト化に向けては必要な材料変更であるが、適用可否には認可が必要であることから、開発された各種金属材料の認可・市場提供までのスケジュールと課題を整理して実用化の道筋を明確にすることが肝要である。

#### 〈肯定的意見〉

- 高圧水素関連機器のための金属材料、水素用アルミニウム材料系が探索され、耐水素脆性の材料開発や評価に関する成果は目標を達成し、実用材として事業化に繋がる可能性があり期待できる。
- 水素エネルギーシステムの利用には、使用できる材料種の拡大は必要不可欠であり、継続して実施すべき課題と思う。
- 配管、容器類対する様々な低コスト材への転換を図るためのデータ取得がなされており、上下限を考慮してしっかりと推進されていることが分かった。しかし、これらの材料が使えるようになるためには規制の緩和が必要であり、この展開について具体的に適用時期を定めて展開することが必要であると考えます。
- 水素ステーション及び FCV で使用される合金鋼系及びアルミ系金属材料の開発は低コスト化と軽量化から大変重要であり、それぞれ高圧水素環境

下で使用可能な新たな材料が開発されたことは大いに評価される。

- 国際標準化及び国内規制の見直しに貢献する評価試験法、材料データが提供されたことも成果として認められる。
- ステンレス鋼については目標を達成しているし、評価試験法もできている。
- 研究開発は順調に進展しており、開発目標を達成しつつある。
- 目標は達成しており、研究成果は評価できる。

#### 〈問題点・改善すべき点〉

- これらの材料に対する適用可否は、認可が必要であることもあり、早期適用に向けては認可までのスケジュールが提示されていることが肝要である。いずれも低コスト化に向けては必要な材料変更であることから、適用に向けた道筋を示して強力に推進願いたい。
- まだ材料試験の段階であり、有望と評価された材料を用いた機器の耐久性試験へと早期に移行することが望まれる。
- 開発された各種金属材料の認可・市場提供までのスケジュールと課題を整理して実用化の道筋を明確にして欲しい。
- コスト面と耐久性面で実用化に向けた検討が今後必要である。
- 海外の技術情報、他の事業で得られている成果との関連性など、現在わかっている情報をまとめ、材料開発の世界的な動向と本事業の位置づけがわからない。
- アルミニウム系材料も目標を達成できる材料が見つまっているが、組成の異なる材料の探索を続ける必要がある。

#### 〈その他の意見〉

- ・ アルミ材料に関して、**Si** 量に対する見通しを得たことは非常に有意義であると考えますが、**Cu-Mg** 系についての進捗と今後の展開が不明瞭であり、こちらの展開を時系列を考慮して展開して頂きたい。材料開発のロードマップがはっきりしない。目標に沿った開発はできているが、将来のロードマップを踏まえた上で、その時点での技術レベルに則った開発が必要ではないか。

## 2. 5 次世代技術開発・フィージビリティスタディ等

①革新的な次世代技術の探索・有効性検証に関する研究開発、水素エネルギー導入・普及のための技術開発シナリオに関するフィージビリティスタディ等研究開発

- ①-1 水素・燃料電池に関わる国際関連機関等研究・政策動向の調査検討
- ①-2 燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発
- ①-3 水素インフラ等に係る基準整備に関する研究開発
- ①-4 水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化のための研究開発

- 研究開発成果についての評価
- 実用化、事業化の見通しについての評価
- 今後に対する提言

関係する省庁へのヒアリング結果に基づく基準整備・規制合理化の戦略が明確に描かれており、水素ステーションの早期の商用化に向けたソフト面での準備が着実に進展している。水素ステーション技術はFCV開発と連携すべき課題であり、国際標準化の動きに関与し、リードしていく努力は重要であり、日本の活動がテスト手法も含め高く評価され、gtr\*等で議論されていることは、高く評価できる。

一方、国際機関との連携、海外の研究及び政策動向の調査検討の内容及び目的は十分理解できるが、水素・燃料電池事業の中でどのように活用されているか、どのように影響を与え、研究開発の方向づけに貢献しているかが明らかでない。また、イノベーションを興すためには、ビジネスモデルを想定して、要素技術を開発する必要があるが、次世代技術を用いた水素社会のビジネスモデルの調査が十分でない。

**gtr\***：自動車の安全・環境に関する世界統一基準（global technical regulation）の略称。

### 〈肯定的意見〉

- 関係する省庁へのヒアリング結果に基づく基準整備・規制合理化の戦略が明確に描かれており、水素ステーションの早期の商用化に向けたソフト面での準備が着実に進展している。
- 水素ステーション技術はFCV開発と連携すべき課題であり、国際的な基準作りに関与してリードしていく努力は重要。

- 国際標準化の動きに対して、日本の活動がテスト手法も含め高く評価され、**gtr** 等で議論されていることは、高く評価できる。
- 水素に関わる国際標準化活動は日本のエネルギー戦略上極めて重要である。国際会議を通じて多様な海外の情報収集に努めており、また、日本からの情報発信・提案にも努めている。今後は、我が国が戦略的に提案したい国際標準の内容をしっかりと掲げて、その実現を目標として設定して欲しい。また、水素利用技術に関する海外の最先端の動向を、いち早くかつシステムティックに国内の研究活動に反映させる方法の検討が望まれる。
- 水素インフラ等に係わる規制見直しに向けた技術基準の作成及びその方向を導く技術検討は、国内法規に則りながら安全で安価な水素インフラを構築するためにはなくてはならない研究開発であり、金属材料の鋼種拡大につながる材料選定基準の確立、超高压ガス設備の設計係数におけるガイドライン策定など大変有効な成果が得られた。
- 規制緩和に関する動きは、日本の特殊性も考慮すると、一足飛びに国際標準と同等のレベルにすることは、安全の担保の仕方に関する考え方等に違いがあることから難しい事であるが、着実によりリーズナブルな規制に変える様に進化していることが認められ、その進展は評価できる。
- 水素・燃料電池における国際機関との連携、海外の研究及び政策動向の調査検討は、技術先進国とのベンチマーク、日本の技術開発の方向づけ、国際基準・標準への働きかけにおいて成果が認められる。また、その中で得られた情報を関係者に展開されていることは評価する。
- 燃料電池自動車等に係わる国際標準化と規制見直しのための研究では、**FCV** の安全を含む性能要件並びに水素インフラとのインターフェースに関する基準化・標準化において着実に成果を上げている。
- 海外の革新的な技術について情報収集がよく行われている。
- 規制見直しの裏付けとなるデータが揃ってきている。

〈問題点・改善すべき点〉

- 次世代技術を用いた水素社会のビジネスモデルの調査が十分でない。イノベーションを興すためには、ビジネスモデルを想定して、要素技術を開発する必要がある。
- 国際規格作りは、国内規制を見直す機会でもある。日本の技術が国際商品となるように、ステーションの規格作りは **FCV** とステーションがともに国際規格を意識して継続してほしい。但し、本事業ではステーション規格作りに軸足を置いているので、自動車関係の規格事業と連携しつつ、混同しないように進めてほしい。

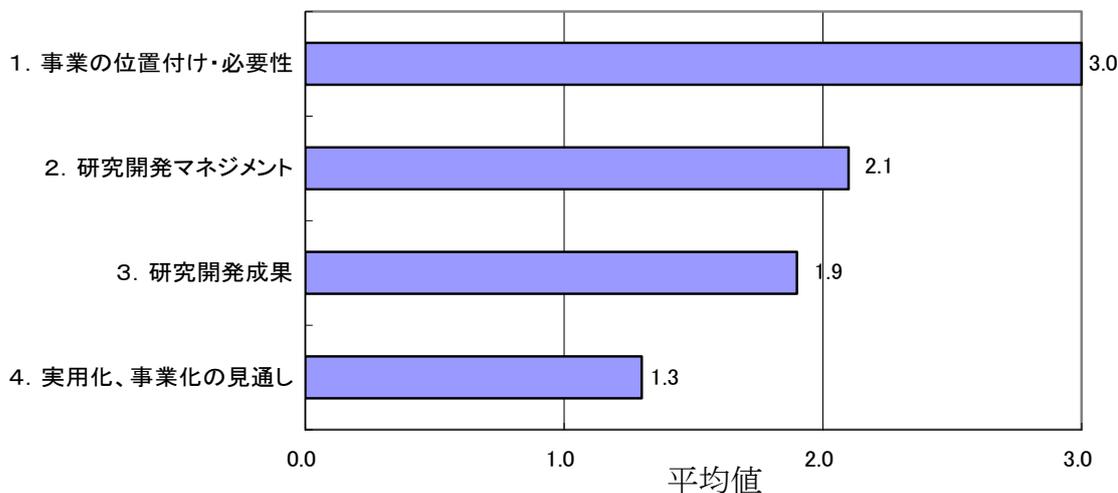
- このテーマは本プロジェクトの中で重要な位置付けにあると思うが、目標の設定や明確化が必ずしも十分になされておらず検討することが必要である。
- 国内の技術基準の基となるデータは揃ってきており、国内基準には反映されていくと思われるが、国際基準をリードしていくためにはより一層積極的な情報発信が望まれる。
- 他のプロジェクトに提供できる情報としてまとめられていないため、プロジェクト間での共有が出来ていない。
- ①-1 海外動向調査結果が、本研究開発に有効に生かされていない。
- 進捗や、情報の見える化を仕組みとして取り入れることが必要である。

#### 〈その他の意見〉

- ・ 国際機関との連携、海外の研究及び政策動向の調査検討の内容及び目的は十分理解できるが、最終的な目的は、この活動で得られた情報や知見が国や NEDO の水素・燃料電池事業の中でどのように活用されているか、どのように影響を与え、研究開発の方向づけに貢献するかであると考えている。評価報告では海外での各種活動の内容ではなくその後の貢献がどのようになされたかに視点を置いて欲しい。
- ・ 水素自動車と家庭用燃料電池の連携についての姿を検討する必要がある。すなわち、非常時に燃料電池への商用電源からの起動用電力が途絶えた場合、水素自動車もしくは家庭用の小型定置用水素ボンベから水素を起動用に供給することで、速やかに自律発電がスタートすることがインターフェースを開発することで可能となるなど。
- ・ 燃料電池自動車等に係わる国際標準化と規制見直しのための研究では、それぞれの技術テーマの成果に軸足を置くのではなく、それぞれの技術テーマの実用化の道筋や波及効果、NEDO の他テーマとの関連やそれへの貢献といった面に焦点を当てた評価報告にするとより理解しやすいと思う。
- ・ FCV の安全性評価や基準化等において、想定される事例はどのような基準で選定されているか、はたして適正なのか、想定が甘くないのか。
- ・ 水素技術については、常に日本がイニシアチブを取り世界をリードする立場にあって、国際規格化や基準化の整備に向けて日本の立場をしっかりと確保して欲しい。
- ・ 世界の動向や、規制緩和の途中状況等は出来るだけプロジェクトメンバーが共有できるように仕組みを考えてうまくコミュニケーションを取っていける様な取り組みが必要であると。

### 3. 評点結果

#### 3. 1 プロジェクト全体



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	2.1	A	B	B	B	B	B	B	B
3. 研究開発成果について	1.9	B	B	B	B	B	B	B	C
4. 実用化、事業化の見通しについて	1.3	A	B	C	C	C	C	D	C

(注) A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

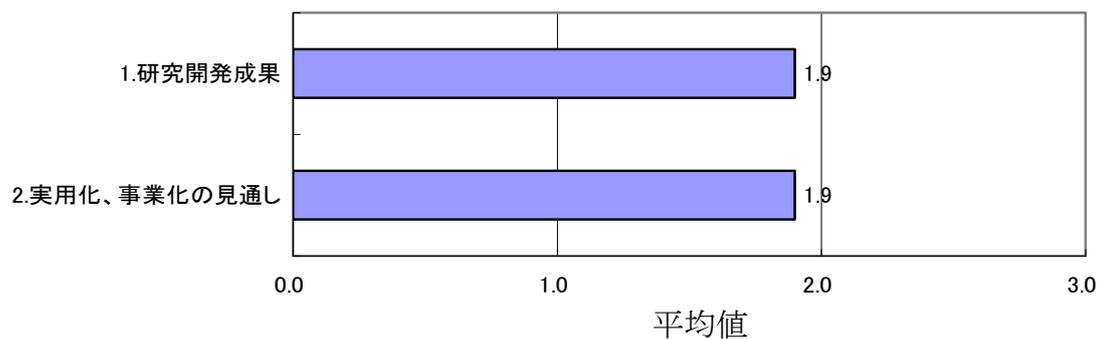
#### 〈判定基準〉

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. 実用化、事業化の見通しについて
・非常によい →A	・明確 →A
・よい →B	・妥当 →B
・概ね適切 →C	・概ね妥当であるが、課題あり →C
・適切とはいえない →D	・見通しが不明 →D

### 3. 2 個別テーマ

#### 3. 2. 1 システム技術開発

①70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発

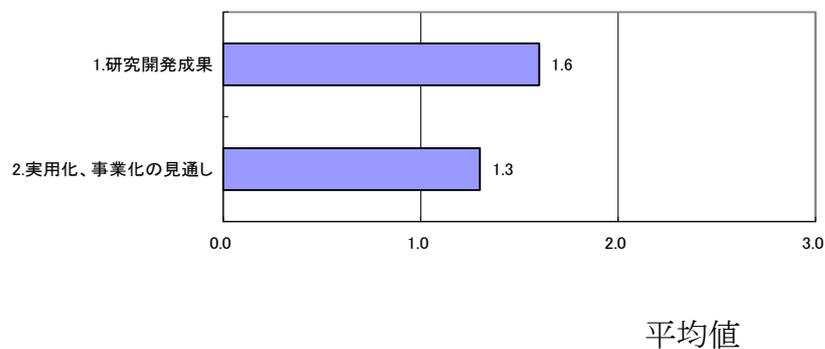


#### 3. 2. 2 要素技術開発

①水素製造機器要素技術に関する研究開発

①-1 水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発

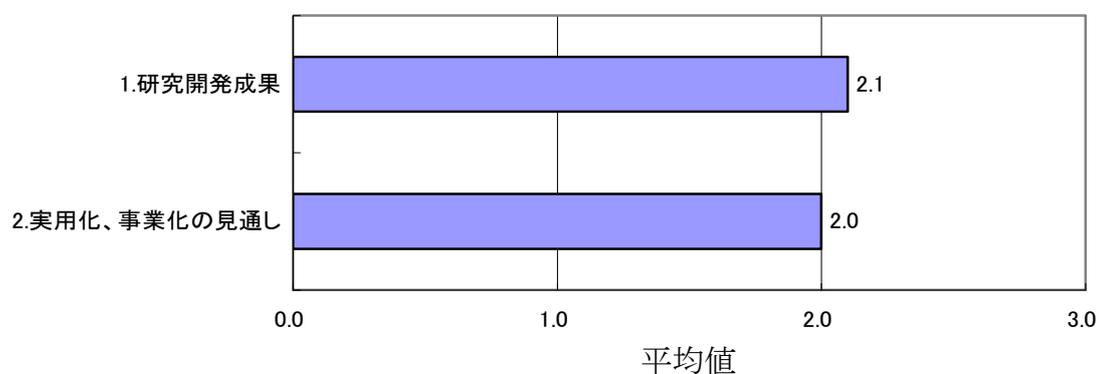
①-2 CO<sub>2</sub>膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発



### 3. 2. 3 要素技術開発

②水素ステーション機器要素技術に関する研究開発（低コスト機器開発、高耐久化）

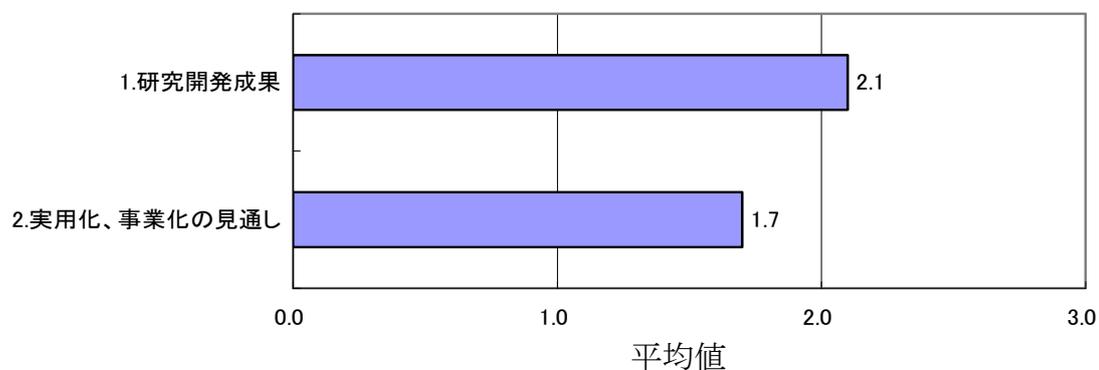
- ②-1 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発
- ②-2 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応大型複合蓄圧器の開発
- ②-3 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器に係わる研究開発
- ②-4 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発
- ②-5 直接充填方式水素ステーション用圧縮機の研究開発



### 3. 2. 4 要素技術開発

③水素ステーション機器要素技術に関する研究開発（低コスト材料開発）

- ③-1 水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発
- ③-2 水素用アルミニウム材料の評価・開発



### 3. 2. 5 次世代技術開発・フィージビリティスタディ等

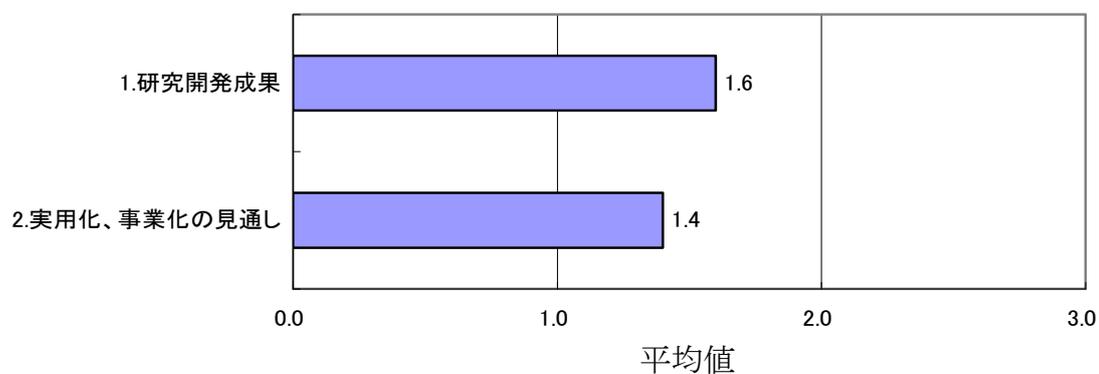
①革新的な次世代技術の探索・有効性検証に関する研究開発、水素エネルギー導入・普及のための技術開発シナリオに関するフィージビリティスタディ等研究開発

①-1 水素・燃料電池に関わる国際関連機関等研究・政策動向の調査検討

①-2 燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発

①-3 水素インフラ等に係る基準整備に関する研究開発

①-4 水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化のための研究開発



個別テーマ名と評価項目	平均値	素点（注）							
3. 2. 1 システム技術開発									
①70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発									
1. 研究開発成果について	1.9	B	B	B	B	C	B	B	
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.9	A	B	A	A	C	D	C	
3. 2. 2 要素技術開発									
①水素製造機器要素技術に関する研究開発									
1. 研究開発成果について	1.6	B	B	C	B	B	B	D	
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.3	B	B	C	C	B	D	C	
3. 2. 3 要素技術開発									
②水素ステーション機器要素技術に関する研究開発（低コスト機器開発、高耐久化）									
1. 研究開発成果について	2.1	A	C	A	B	B	B	B	
2. 実用化、事業化の見通しについて	2.0	A	B	A	B	B	D	B	
3. 2. 4 要素技術開発									
③水素ステーション機器要素技術に関する研究開発（低コスト材料開発）									
1. 研究開発成果について	2.1	B	B	B	A	B	B	B	
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.7	B	B	B	B	C	C	B	
3. 2. 5 次世代技術開発・フュージビリティスタディ等									
①革新的な次世代技術の探索・有効性検証に関する研究開発、水素エネルギー導入・普及のための技術開発シナリオに関するフュージビリティスタディ等研究開発									
1. 研究開発成果について	1.6	B	C	C	B	C	B	B	
2. 実用化、事業化の見通しについて	1.4	B	C	C	B	B	D	B	

（注）A=3, B=2, C=1, D=0 として事務局が数値に換算し、平均値を算出。

〈判定基準〉

1. 研究開発成果について

・非常によい

・よい

・概ね適切

・適切とはいえない

2. 実用化、事業化の見通しについて

→A ・明確

→B ・妥当

→C ・概ね妥当であるが、課題あり

→D ・見通しが不明

→A

→B

→C

→D

## 第2章 評価対象プロジェクト

## 1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

# 「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」

## 事業原簿【公開】

担当部	独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 新エネルギー部
-----	------------------------------------

- 目 次 -

概要

プロジェクト用語集

I. 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…………… I-(1)
  - 1.1 NEDO が関与することの意義…………… I-(1)
  - 1.2 実施の効果（費用対効果）…………… I-(1)
- 2. 事業の背景・目的・位置づけ…………… I-(2)

II. 研究開発マネジメントについて

- 1. 事業の目標…………… II-(1)
  - 1.1 研究開発項目Ⅰ：「システム技術開発」の目標…………… II-(1)
  - 1.2 研究開発項目Ⅱ：「要素技術開発」の目標…………… II-(2)
  - 1.3 研究開発項目Ⅲ：「次世代技術開発・フィージビリティスタディ等」の目標…………… II-(8)
- 2. 事業の計画内容
  - 2.1 研究開発の内容…………… II-(15)
    - 2.1.1 研究開発項目Ⅰ「システム技術開発」実施内容…………… II-(15)
    - 2.1.2 研究開発項目Ⅱ「要素技術開発」実施内容…………… II-(16)
    - 2.1.3 研究開発項目Ⅲ「次世代技術開発・フィージビリティスタディ等」  
実施内容…………… II-(21)
  - 2.2 研究開発の実施体制…………… II-(27)
  - 2.3 研究の運営管理…………… II-(31)
  - 2.4 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性…………… II-(37)
- 3. 情勢変化への対応…………… II-(37)
- 4. 中間評価結果への対応…………… II-(39)
- 5. 評価に関する事項…………… II-(43)

III. 研究開発成果について

- 1. 事業全体の成果…………… III-(1)
  - 1.1 研究開発項目Ⅰ「システム技術開発」…………… III-(1)
  - 1.2 研究開発項目Ⅱ「要素技術開発」…………… III-(1)
  - 1.3 研究開発項目Ⅲ「次世代技術開発・フィージビリティスタディ等」…………… III-(2)
  - 1.4 事業全体の成果概要…………… III-(2)
  - 1.5 特許、論文、外部発表等の件数…………… III-(18)
- 2. 研究開発項目毎の成果…………… III-2.1
  - 2.1 研究開発項目Ⅰ「システム技術開発」…………… III-2.1
  - 2.2 研究開発項目Ⅱ「要素技術開発」…………… III-2.2
  - 2.3 研究開発項目Ⅲ「次世代技術開発・フィージビリティスタディ等」…………… III-2.3

#### IV. 実用化、事業化の見通しについて

(実用化の見通しについて)

- 1. 実用化、事業化の見通しについて…………… IV-(1)
  - 1.1 研究開発項目Ⅰ「システム技術開発」の実用化、事業化の見通しについて…………… IV-(2)
  - 1.2 研究開発項目Ⅱ「要素技術開発」の実用化、事業化の見通しについて…………… IV-(2)
  - 1.3 研究開発項目Ⅲ「次世代技術開発・フィージビリティスタディ等」  
の実用化等の見通しについて…………… IV-(3)

(添付資料)

添付-1：イノベーションプログラム基本計画

添付-2：プロジェクト基本計画

添付-3：技術戦略マップ（分野別技術ロードマップ）

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）

添付-5：特許、論文、外部発表、受賞リスト

## 「研究開発テーマ毎の成果部」目次

<b>2.1 研究開発項目Ⅰ：「システム技術開発」</b> .....	Ⅲ-2.1
Ⅰ-1 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発（実施体制： （財）石油エネルギー技術センター、東邦ガス（株）、トキコテクノ（株）、日立オートモティ ブシステムズ（株）、大陽日酸（株）、横浜ゴム（株）、（国）佐賀大学） .....	Ⅲ2.1-1-1(0)
Ⅰ-2 車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術に関する研究開発（実施体制：日本重化学工業 （株）、サムテック（株）、（独）産業技術総合研究所） .....	Ⅲ2.1-2(0)
<b>2.2 研究開発項目Ⅱ：「要素技術開発」</b> .....	Ⅲ-2.2
Ⅱ-1 水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発（実施体制：東京ガス（株）、 日本特殊陶業（株）） .....	Ⅲ2.2-1(0)
Ⅱ-2 水素製造装置の高性能化・低コスト化・コンパクト化に関する研究開発 （実施体制：三菱化工機（株）） .....	Ⅲ2.2-2(0)
Ⅱ-3 CO <sub>2</sub> 膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発（実施体制：（株）ルネサンス・ エナジー・リサーチ、（国）神戸大学、（国）京都大学、（独）産業技術総合研究所、（株）ミクニ） .....	Ⅲ2.2-3(0)
Ⅱ-4 ホウ素系水素貯蔵材料の開発（実施体制：（株）豊田中央研究所、（国）東北大学） .....	Ⅲ2.2-4(0)
Ⅱ-5 ラーベス構造を有した高容量水素吸蔵合金の開発（実施体制：日本重化学工業（株）） .....	Ⅲ2.2-5(0)
Ⅱ-6 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発（実施体制：（株）タツノ） .....	Ⅲ2.2-6(0)
Ⅱ-7 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（実施体制：JX日鉱日石 エネルギー（株）、サムテック（株）） .....	Ⅲ2.2-7(0)
Ⅱ-8 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器に係わる研究開発（実施体制： （財）石油エネルギー技術センター、（株）キッツ、アズビル（株）、（財）金属系材料研究開発 センター、（株）日本製鋼所） .....	Ⅲ2.2-8(0)
Ⅱ-9 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発（実施体制：清水建設（株）、岩谷産業（株）） .....	Ⅲ2.2-9(0)
Ⅱ-10 直接充填方式水素ステーション用圧縮機の研究開発（実施体制：（株）神戸製鋼所） .....	Ⅲ2.2-10(0)
Ⅱ-11 水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見 直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発（実施体制：新日鐵 住金（株）、愛知製鋼（株）、（独）物質・材料研究機構） .....	Ⅲ2.2-11(0)

Ⅱ-12	水素用アルミニウム材料の評価・開発（実施体制：（国）茨城大学、古河スカイ（株）、 日本軽金属（株）、（株）神戸製鋼所）	Ⅲ2. 2-12 (0)
------	--	--------------

### 2.3 研究開発項目Ⅲ：「次世代技術開発・フィージビリティスタディ等」

Ⅲ-1	水素・燃料電池に関わる国際関連機関等研究・政策動向の調査検討（実施体制： （株）テクノバ）	Ⅲ2. 3-1 (0)
Ⅲ-2	IEA/HIA 水素実施協定における国際技術開発動向の調査検討 （実施体制：（財）エンジニアリング振興協会）	Ⅲ2. 3-2 (0)
Ⅲ-3	可視光応答性半導体を用いた光触媒および多孔質光電極による水分解水素製造の研究開発 （実施体制：（独）産業技術総合研究所）	Ⅲ2. 3-3 (0)
Ⅲ-4	非貴金属化合物を用いた水電解用高機能酸素発生アノード触媒の設計及び開発 （実施体制：（国）横浜国立大学）	Ⅲ2. 3-4 (0)
Ⅲ-5	高効率水素液化磁気冷凍の研究開発（実施体制：（独）物質・材料研究機構、 （国）金沢大学）	Ⅲ2. 3-5 (0)
Ⅲ-6	水素ガス輸送用パイプラインの信頼性評価技術の研究開発（実施体制：（国）東京大学）	Ⅲ2. 3-6 (0)
Ⅲ-7	超高圧水素合成法による新規水素吸蔵合金の研究開発（実施体制：（独）産業技術総合 研究所、（国）東北大学）	Ⅲ2. 3-7 (0)
Ⅲ-8	ゼオライト鑄型炭素をベースとしたスピルオーバー水素貯蔵に関する研究開発 （実施体制：（国）東北大学）	Ⅲ2. 3-8 (0)
Ⅲ-9	Mg および Ti 系相分離型大容量水素吸蔵合金の設計と実証に関わる研究開発 （実施体制：（学）東海大学）	Ⅲ2. 3-9 (0)
Ⅲ-10	燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発 （実施体制：（財）日本自動車研究所）	Ⅲ2. 3-10 (0)
Ⅲ-11	水素エネルギーシステムの社会的便益に関する研究開発（実施体制：（独）産業技術総合 研究所）	Ⅲ2. 3-11 (0)
Ⅲ-12	水素キャリアに応じたフィージビリティスタディ（実施体制：（財）エネルギー総合工学 研究所、岩谷産業（株）、川崎重工業（株）、関西電力（株）、清水建設（株）、 三菱重工業（株）、千代田化工建設（株））	Ⅲ2. 3-12 (0)
Ⅲ-13	水素インフラ等に係る基準整備に関する研究開発（実施体制：高圧ガス保安協会、 （国）東京大学）	Ⅲ2. 3-13 (0)
Ⅲ-14	水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化のための研究開発（実施体制：水素 供給・利用技術研究組合、高圧ガス保安協会）	Ⅲ2. 3-14 (0)

概要

		最終更新日	平成 24 年 10 月 21 日
プログラム名	エネルギーイノベーションプログラム		
プロジェクト名	水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発	プロジェクト番号	P08003
担当推進部/担当者	<p>新エネルギー部 担当者氏名 山本主研、森主査、伊藤主査、主藤主査、藤井主査、橋本主査、畠山主査、柏木主査（24 年度）</p> <p>新エネルギー部 担当者氏名 細井主研、中山主査、曾根主査、森主査、伊藤主査、主藤主査、藤井主査、橋本主査（23 年度）</p> <p>新エネルギー部 担当者氏名 橋本主研、青塚主査、中山主査、大河原主査、曾根主査、深江主査、伊藤主査（22 年度）</p> <p>燃料電池・水素技術開発部 担当者氏名 橋本主研、青塚主査、山下主査、中山主査、大河原主査、山本主査、高橋主査、伊藤主査（21 年度）</p> <p>燃料電池・水素技術開発部 担当者氏名 檜山主研、橋本主研、石原主研、川村主査、青塚主査、中山主査、大河原主査、山本主査、高橋主査、山下主査（20 年度）</p>		
0. 事業の概要	<p>来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立上げ（2015 年頃を想定）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実施する。それにより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を確立する。具体的には、</p> <p>（1）システム技術開発：水素ステーション機器や車載等水素貯蔵/輸送容器について、低コスト化・コンパクト化開発及びそれら機器を組み合わせたシステムとして耐久性検証</p> <p>（2）要素技術開発：水素製造・輸送・貯蔵・充填機器及びシステムに関する高性能化、軽量化、低コスト化及び長寿命化のための要素技術の開発・検証</p> <p>（3）次世代技術開発・フィージビリティスタディ等：新規概念に基づく革新的な技術（例えば、化石燃料以外からの水素製造等）の開発及び水素社会実現に向けた技術開発シナリオの検討等</p> <p>を実施する。</p>		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p>資源の乏しい我が国が、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」の一環として実施する。</p> <p>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（2006 年 3 月）においては「先進燃料電池</p>		

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、エネルギー基本計画（2007年3月）、次世代自動車・燃料イニシアティブ（2007年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 50-エネルギー革新技術に定置用燃料電池、燃料電池自動車及び水素製造・輸送・貯蔵が位置付けられている。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る。

また、本分野における産業界の健全な育成については、産業界各社が自ら活動・対応するだけでなく産業界共有・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・産業界支援を行い各社活動の重複を避け、短期集中的に仕上げることにより産業界全体として効率的な技術開発が可能となる。さらに、世界に先駆けて水素関連技術の実用化に先立ちシステム技術検証や要素技術開発を行うことは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となり、さらに我が国経済力を向上させることに繋がる点で非常に有効である。

## II. 研究開発マネジメントについて

事業の目標	<p>「水素安全利用等基盤技術開発事業」（平成15年度～19年度）において、水素の安全性に係るデータの取得に基づく安全技術の確立、水素の製造・輸送・貯蔵・充填等に係わる技術開発を行い、関連する各機器について基本仕様を固め、性能において世界をリードできるレベルにまで到達させた。このような関連事業成果を踏まえながら、平成22年度末を目途に水素エネルギーの導入・普及に必要な低コスト、耐久性に優れた機器及びシステムを試作開発し、その試作開発結果を基に平成24年度までに耐久性評価等を行うことが事業の目標である。</p>							
事業の計画内容	主な実施事項	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy		
	システム技術開発	低コスト化・コンパクト化・耐久性に繋がる開発・検証					→	
	要素技術開発	低コスト化・耐久性等のための開発・検証				→		
	次世代技術開発等	脱化石燃料による水素製造技術、シナリオ、FS等			→			
開発予算 (単位： 百万円)	会計・勘定	H20fy	H21fy	H22fy	H23fy	H24fy	総額	
	一般会計	0	0	0	0	0	0	
	特別会計 (需給)	1730	1350	1300	1540	1560	7480	

	補正予算	180	0	0	0	0	180
	総予算額	1910	1350	1300	1540	1560	7660
開発体制	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 新エネルギー対策課・燃料電池推進室					
	プロジェクトリーダー	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					
	委託先	<p>(財)石油産業活性化センター、東邦ガス(株)、トキコテクノ(株)、日立オートモティブシステムズ(株)、大陽日酸(株)、横浜ゴム(株)、(国)佐賀大学、日本重化学工業(株)、サムテック(株)、(独)産業技術総合研究所、東京ガス(株)、日本特殊陶業(株)、三菱化工機(株)、(株)ルネッサンス・エナジー・リサーチ、(国)神戸大学、(国)京都大学、(独)産業技術総合研究所、(株)ミクニ、(株)豊田中央研究所、(国)東北大学、日本重化学工業(株)、(株)タツノ、JX日鉱日石エネルギー(株)、サムテック(株)、(株)キッツ、アズビル(株)、(財)金属系材料研究開発センター、(株)日本製鋼所、清水建設(株)、岩谷産業(株)、(株)神戸製鋼所、新日鐵住金(株)、愛知製鋼(株)、(独)物質・材料研究機構、(国)茨城大学、古河スカイ(株)、日本軽金属(株)、(株)神戸製鋼所、(株)テクノバ、(財)エンジニアリング振興協会、(独)産業技術総合研究所、(国)横浜国立大学、(独)物質・材料研究機構、(国)金沢大学、(国)東京大学、(学)東海大学、(財)日本自動車研究所、(財)エネルギー総合工学研究所、川崎重工業(株)、関西電力(株)、清水建設(株)、三菱重工業(株)、千代田化工建設(株)、高圧ガス保安協会、(国)東京大学、水素供給・利用技術研究組合</p>					
情勢変化への対応	<p>本事業開始後、平成22年3月、燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）が「2015年、一般ユーザーへの普及開始を目指す」とする『FCVと水素ステーションの普及に向けたシナリオ』を発表し、平成23年1月、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、共同声明を公表。声明においては、2015年に自動車会社がFCV量産車を販売すること、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。このような情勢変化に対して下記の通り対応している。</p>						

	<p>(1) 鋼種拡大に係る規制の再点検に対する対応</p> <p>平成22年6月に閣議決定された「規制・制度改革に係る対処方針（グリーンイノベーション分野）」を受け、平成22年末に水素ステーションの鋼種拡大に係る規制の再点検及びその結果を踏まえた対応について今後の具体的な工程表が作成され、「例示基準に記載された使用可能鋼材の拡大」が項目の一つに位置付けられた。</p> <p>⇒「水素先端科学基礎研究事業」と連携して、鋼種拡大に資するデータ・安全性のデータ取りの加速に役立てた。</p> <p>⇒工程表の進捗に貢献。平成24年度末に技術基準(案)完成見込み。</p> <p>(2) 水素ステーション100箇所の先行整備に向けた対応</p> <p>平成23年1月、2015年のFCV普及開始に先駆け、100箇所程度の商用水素ステーション設置・実証を行う共同声明が発表された。</p> <p>⇒2015年の商用水素ステーションの目標コスト達成に資する低コスト水素ステーション実証が可能となる見込み。</p>													
<p>評価に関する事項</p>	<p>事前評価</p>	<p>平成19年度実施 担当部 燃料電池・水素技術開発部</p>												
	<p>中間評価</p>	<p>平成22年度実施 担当部 研究評価部</p>												
	<p>事後評価</p>	<p>平成24年度実施 担当部 研究評価部</p>												
<p>Ⅲ. 研究開発成果について</p>	<p>水素の製造・輸送・貯蔵・充填等に係わる技術に関して、性能向上、経済性、信頼性・耐久性向上、コンパクト化など研究開発を行った。これまでの関連事業成果を踏まえながら、平成22年度末を目途に水素エネルギーの導入・普及に必要な低コスト機器及びシステムを試作開発し、その試作開発結果を基に平成24年度までに耐久性評価等を行った。</p> <p>【研究開発目標と成果】</p> <p>●研究開発項目Ⅰ：システム技術開発</p> <p>(Ⅰ-1) 70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発</p> <table border="1" data-bbox="406 1422 1428 1982"> <thead> <tr> <th>実施項目</th> <th>中間目標 (H22年度)</th> <th>最終目標 (H24年度)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ステーション建設 コスト低減検討</td> <td>検討前提仕様作成、 設計費50%減</td> <td rowspan="4">設備コスト2億円以下、 各機器メンテナンス回数1回以下/年 に繋がる技術を開発・評価</td> </tr> <tr> <td>ステーションシステム運転技術 開発検討</td> <td>水素ステーション完成、 1年以上の耐久性確認</td> </tr> <tr> <td>ディスペンサー機器 コスト低減検討</td> <td>機器に関し50%減</td> </tr> <tr> <td>機器耐久性検証 故障予知技術検討</td> <td>1年以上耐久性確認 故障予知技術確立</td> </tr> </tbody> </table>		実施項目	中間目標 (H22年度)	最終目標 (H24年度)	ステーション建設 コスト低減検討	検討前提仕様作成、 設計費50%減	設備コスト2億円以下、 各機器メンテナンス回数1回以下/年 に繋がる技術を開発・評価	ステーションシステム運転技術 開発検討	水素ステーション完成、 1年以上の耐久性確認	ディスペンサー機器 コスト低減検討	機器に関し50%減	機器耐久性検証 故障予知技術検討	1年以上耐久性確認 故障予知技術確立
実施項目	中間目標 (H22年度)	最終目標 (H24年度)												
ステーション建設 コスト低減検討	検討前提仕様作成、 設計費50%減	設備コスト2億円以下、 各機器メンテナンス回数1回以下/年 に繋がる技術を開発・評価												
ステーションシステム運転技術 開発検討	水素ステーション完成、 1年以上の耐久性確認													
ディスペンサー機器 コスト低減検討	機器に関し50%減													
機器耐久性検証 故障予知技術検討	1年以上耐久性確認 故障予知技術確立													

プレール設備開発検討	初期改良型プレール設備製作、コスト低減方法立案	
<p>&lt;成果&gt;</p> <p>&lt;標準仕様検討&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「圧縮機併用差圧充填」と「機器パッケージ化等の現地工事低減策」を採用した水素ステーションは、設備費が2億円以下となることを確認した。</li> <li>・設備費2億円以下となった水素ステーション設備仕様は、標準仕様として図面整備を行った。</li> </ul> <p>&lt;運転技術開発&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・70MPa級水素ステーションを建設し、普及前ならびに普及初期の1年相当の充填回数（270回、945回）の繰返し充填試験を行うことで、構成機器の耐久性を確認し、技術課題を明らかにした。</li> </ul> <p>&lt;ディスペンサー機器開発&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ディスペンサーの主要構成機器（流量計、バルブ類）において、普及初期の1年相当の充填回数に対する耐久性を有していることを確認した。</li> <li>・実ステーションの繰返し充填試験で技術課題の明らかになった緊急離脱カプラ、充填ホースについては、改良品を開発し、普及前の1年相当の充填回数（270回）の耐久性を確認した。</li> <li>・ディスペンサーの故障予知技術としてディスペンサー配管に設置したフィルタでの異物捕集・監視技術を検証し、捕集異物と不具合の関係を明らかにした。</li> </ul> <p>&lt;プレール設備開発&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・プレール熱交換器（熱交出口温度-20℃）の小型化と低コスト化を行い、実ステーションにおいて普及前の1年相当の充填回数（270回）の耐久性を確認した。</li> <li>・水素ステーション設計や運転解析に活用できるシミュレーション技術として、充填タンク解析プログラム、プレール熱交解析プログラムを開発した。</li> </ul> <p>（I-2）車載等水素貯蔵/輸送容器システム技術に関する研究開発</p> <p>『中間目標』</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・水素容積貯蔵密度は、28g/L以上（中間目標）、34.5g/L以上（最終目標）</li> <li>・水素吸蔵合金の吸蔵量:2.7mass%（中間目標）、3.0mass%（最終目標）</li> <li>・水素充填時間は、90%/10min.以内（中間目標）、90%/5min.以内（最終目標）</li> </ul> <p>&lt;成果&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・中間目標である28g/Lを上回る31g/Lの体積貯蔵密度を有するハイブリッド貯蔵タンクの</li> </ul>		

- 設計・製作を実施した。また、中間目標である 2.7 質量%を超える水素吸蔵量 3.2 質量%を有する Ti-V-Mn 系 BCC 合金を合成した。
- ・ 中間目標値（28 g/L）を上回る体積貯蔵密度を有するハイブリッド貯蔵タンク的设计・製作を実施した。
  - ・ 中間目標である 2.7 質量%を超える水素吸蔵量（3.2 質量%）を有する Ti-V-Mn 系 BCC 合金を合成した。
  - ・ 低コスト化を目的として、V系合金の量産性のトライをした。その結果、量産炉での溶解が可能であることを確認し、製造コストの点からは、中間目標値の¥10,000 以下の目処が立った。しかし、原料も含めたトータルのコストとして、安価な原料の使用について検討が必要。
  - ・ 2015 年の実用化に間に合うのか再評価し、研究目標の達成は困難と評価を得て、中間評価後、基礎研究の段階であると判断し、「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」に移管した。

●研究開発項目Ⅱ：要素技術開発

水素製造・輸送・貯蔵・充填機器及びシステムに関する高性能化、軽量化、低コスト化及び長寿命化のための要素技術を開発し、検証する。

（Ⅱ-1）水素分離型リフォーマーの高耐久性・低コスト化研究開発

実施項目	中間目標（H22 年度）	最終目標（H24 年度）
耐久性	モジュールレベルで 8000 時間以上	リフォーマーレベルで 8000 時間以上
起動時間	モジュールレベルで 3 時間未満	リフォーマーレベルで 3 時間未満
リフォーマー耐久性	リフォーマーレベルで 耐久性検証・課題抽出	日常的なメンテナンスを除いて、8000 時間の運転
概念設計	—	水素製造効率 $\geq$ 80% 設備サイズ $\leq$ 10m <sup>3</sup> 設備コスト $\leq$ 30 万円/Nm <sup>3</sup> -h

<成果>

①ステーション運用者の視点から水素製造装置の仕様を明確化した。

- ・ 装置能力： 300Nm<sup>3</sup>/h
- ・ 装置コスト： 9000 万円以下
- ・ 設置スペース： 5.5m×10m（周辺スペース含む）

- ・ 起動時間：1時間（DSS 運用）
- ②改質器、バーナ構造の概念設計を行い改質器の小型化を図り、改質器サイズを従来比1/5とする見通しを得た。
  - ・ 改質器、バーナ構造を模擬改質器燃焼試験で検証し、バーナ設計に反映した。
  - ・ 触媒試験により改質触媒の初期性能を確認し、比較的安価な Ni 系改質触媒にて S/G2.5 以下の適用可能性を見出した。
  - ・ 水素製造装置のプロセス検討により改質効率 85%の見込みを得た。
- ③吸着シミュレーション検討により真空再生の採用と再生サイクルの最適化により、水素回収率 90%の見通しを得た。
  - ・ パイロット規模試験装置で操作パラメータが水素回収率、水素純度に及ぼす影響の傾向を把握した。
  - ・ 実規模システムの検討によりシステムサイズを従来比 1/2 とする見通しを得た。
- ④水素製造装置試作機的设计、製作を行い、検証試験により目標以上の改質効率 84.4%を得た。ただし起動時間は3時間と目標を超過した。
  - ⇒継続研究にて2時間まで短縮した。
- ⑤ステーション運用者の視点から試作機設計図書の検討、評価を行い設計に反映し、試作機運転結果を評価し、商用化に向けた改善点を挙げた。
 

さらに、300Nm<sup>3</sup>/h 商用機設計を行い、目標設置スペースに設置可能との見込みを得たが、コストは1億円を超過する結果となった。

(Ⅱ-2) 水素製造装置の高性能化・低コスト化・コンパクト化に関する研究開発

実施項目	最終目標（H22 年度）
水素製造装置要求仕様の調査、検討	装置仕様の確定
高性能反応器の開発	改質効率：HHV85%以上 スチームカーボン比：2.5 以下
高性能水素 PSA の開発	水素回収率：85% システムサイズ：現状比 1/3
50Nm <sup>3</sup> /h 試作機的设计、製作、 検証運転	改質効率：HHV82.5%以上 起動時間：1 時間
50Nm <sup>3</sup> /h 試作機的设计、 検証運転のユーザ評価	試作機設計、運転結果に対しユーザ視点で評価を行う。

<成果>

- ・ステーション運用者の視点から水素製造装置の仕様を明確化した。
  - 1) 装置能力：300Nm<sup>3</sup>/h, 2) 装置コスト：9000 万円以下, 3) 設置スペース：5.5m×10m (周辺スペース含む), 4) 起動時間：1 時間 (DSS 運用)
- ・改質器、バーナ構造の概念設計を行い改質器の小型化を図り、改質器サイズを従来比 1/5 とする見通しを得た。
- ・改質器、バーナ構造を模擬改質器燃焼試験で検証し、バーナ設計に反映した。
- ・触媒試験により改質触媒の初期性能を確認し、比較的安価な Ni 系改質触媒にて S/G2.5 以下での適用可能性を見出した。
- ・水素製造装置のプロセス検討により改質効率 85%の見込みを得た。
- ・吸着シミュレーション検討により真空再生の採用と再生サイクルの最適化により、水素回収率 90%の見通しを得た。
- ・パイロット規模試験装置で操作パラメータが水素回収率、水素純度に及ぼす影響の傾向を把握した。
- ・実規模システムの検討によりシステムサイズを従来比 1/2 とする見通しを得た。
- ・水素製造装置試作機の設計、製作を行い、検証試験により目標以上の改質効率 84.4%を得た。ただし起動時間は 3 時間と目標を超過した。  
⇒継続研究にて 2 時間まで短縮した。
- ・ステーション運用者の視点から試作機設計図書の検討、評価を行い設計に反映し、試作機運転結果を評価し、商用化に向けた改善点を挙げた。さらに、300Nm<sup>3</sup>/h 商用機設計を行い、目標設置スペースに設置可能との見込みを得たが、コストは 1 億円を超過する結果となった。

(Ⅱ-3) CO<sub>2</sub>膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
CO <sub>2</sub> 選択透過膜の開発	170℃以上にて：1x10 <sup>-4</sup> mol/(m <sup>2</sup> s kPa) の CO <sub>2</sub> 透過速度にて、CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> 選択性が 200	
メンブレンリアクター用 CO 変成触媒の開発	160℃以下、SV2000 h <sup>-1</sup> にてメタン生成が 1%以下、10%程度含まれる CO 0.1%以下に低減(メンブレンの効果を含む)	
メンブレンリアクターの開発	1m <sup>3</sup> /h 原理検証機での性能実証	10m <sup>3</sup> /h 用プラントでの性能実証

水素ステーショントータルシステムの最適化	次世代 H <sub>2</sub> ステーションコンプレックス確立。PSA 1/4, オガスタック不要化, S/C = 2, 効率 80%以上	改質系、PSA を含む 10m <sup>3</sup> /h の能力を持つトータルシステムを、実証するとともに、300m <sup>3</sup> /h トータルシステムの F/S 完了
<p>&lt;成果&gt;</p>		
<p>①CO<sub>2</sub> 選択透過膜の開発</p>		
<p>耐熱性の向上については、180°Cにおいて CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> 選択性<math>\geq</math>200 (mol 比)、CO<sub>2</sub>透過速度<math>\geq 1 \times 10^{-4}</math> mol/(m<sup>2</sup> s kPa)の性能を安定して示す膜を開発した。さらに、モジュール化が容易な円筒型メンブレンの開発に成功した。</p>		
<p>②CO<sub>2</sub> 変性触媒の開発</p>		
<p>Cu系触媒、貴金属触媒共に高性能化に成功し、目標の性能を達成した。さらに、入り口用触媒（高濃度COで高活性）、と出口用触媒（低濃度COで高活性）を開発。リアクター各部分で有効に機能する2種類の触媒の組合せの効果を確認。触媒だけでCO転化率、99%以上、CO濃度0.1%以下が実現できることを見出した。</p>		
<p>③メンブレンリアクターの設計</p>		
<p>平板型、円筒型などのリアクターの形状や加工性の検討を行った。また、円筒型メンブレンによるリアクター設計を検討している</p>		
<p>(II-4) ホウ素系水素貯蔵材料の開発</p>		
実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
複合化によるホウ素系水素化物開発 (H20-H22)	反応パスの理論解明と実験検証と、最適組み合わせ選定	—
中間相を用いたホウ素系水素化物開発 (H20-H22)	中間相の組成・構造の解明と、中間相の絞り込み	—
添加物・微細構造制御による反応速度支配因子の解明 (H21-H22)	添加物の選定、微細構造の評価および、反応速度の支配因子の解明	—
ホウ素系水素貯蔵材料としての最適化 (H22)	150°C以下の水素放出温度、6wt.%級の再吸蔵量を見極め	—

反応サイクル時の劣化要因の 解明 (H23-)	—	劣化要因の解明とその対処 法の確立
実用化技術開発 (H23-)	—	材料系の最適化、大量合成 技術の開発、低コスト化の 指針
実用性評価 (H23-)	—	耐久性評価、小型タンク 評価、実用化の課題抽出

<成果>

理論計算に基づく材料設計、合成、評価・解析を三位一体で展開することにより、新たなホウ素系水素貯蔵材料を開発した。

- ・複合化に関しては、水素貯蔵に有利な反応経路を理論計算により予測し、複合水素化物の貯蔵特性における複合比の効果なども検討し、それらの最適化を進めた。
- ・中間相に関しては、水素放出・再吸蔵過程で生成した中間相を解明し、水素貯蔵特性における中間相の役割を検討した。
- ・水素放出・再吸蔵反応ともに促進できる添加物を選定し、その促進機構を解明した。また、微細構造を調査することによって、反応速度の支配因子を抽出した。

これらの研究を通して、低温での水素放出ならびに再吸蔵が可能な新たなホウ素系水素貯蔵材料の開発指針を明確化することができた。

- ・2015年に普及開始のインフラ技術確立を目指す本事業の目的と乖離が出てきているとの評価を得て、中間評価後、基礎研究の段階であると判断し、「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」に移管した。

(Ⅱ-5) ラーベス構造を有した高容量水素吸蔵合金の開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
MgNi <sub>2</sub> 系 C15 型 ラーベス合金	水素化物の構造を調べ、 合金組成改良による吸蔵 量の向上	3 質量%, 150°C, 1000 サイクルを 満たした合金の開発
RENi <sub>2</sub> 系 C15 型 ラーベス合金	不均化の進行過程を各種 手法にて調査して挙動を 把握する	水素吸蔵による不均化反応のメカニズ ムの解明

CaMg <sub>2</sub> 系 C14 型 ラーベス合金	水素化物の構造を調べ、 合金組成改良による放出 温度の低下	150℃以下でも 6 質量%を放出する合金 の開発
CaLi <sub>2</sub> 系 C14 型 ラーベス合金	格子定数および原子半径 比を変えた合金の作製・ 評価	不均化等を抑制し、室温で 6 質量%を 吸蔵する合金の開発

<成果>

- ・ 2 段のプラトーが出現することで水素吸蔵量がそれまでの 1.0 質量%から 1.7 質量%に増加した、MgPrNi<sub>4</sub> 組成の C15b 型のラーベス構造を有した合金を開発した。
- ・ 313K で 300 サイクルの水素吸蔵・放出を繰り返した後でも、95%以上の水素吸蔵・放出量を維持することができる Mg<sub>1.4</sub>Pr<sub>0.6</sub>Ni<sub>4</sub> 組成の合金を開発した。
- ・ C14 型のラーベス構造を有した CaLi<sub>2</sub> 組成合金および第 3 元素置換を行った合金を正確に作製することができる、ヘリウム雰囲気での浮遊溶解による手法を開発した。
- ・ 2015 年に普及開始のインフラ技術確立を目指す本事業の目的と乖離が出てきているとの評価を得て、中間評価後、基礎研究の段階であると判断し、「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」に移管した。

(Ⅱ-6) 低コスト型 7 OMP a 級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
ディスペンサー 全体	基礎制御評価 防爆申請・コスト検証	低価格・高耐久性ディスペンサーの開発 コスト： 従来比 50% 耐久性： メンテ 1 回以下/年
コリオリ流量計 の開発	大流量用検出部、計測部の簡素化試作 基礎評価・防爆申請	
ディスペンサー 制御部開発	簡素化試作 基礎評価・防爆申請	

<成果>

①ディスペンサー開発

- ・ 他の NEDO 事業で開発した新素材のボールバルブ、流量調節弁を組み、ディスペンサーを開発した。
- ・ 機能を集約化した制御基板による基本的な充填制御方法が確立できた。
- ・ 水素対応の防爆を申請しほぼ取得完了した。

・構成機器の信頼性データを調査取得し耐久性を確認した。

②コリオリ流量計開発

- ・SUH660を使用したフローチューブで器差測定、圧力損失測定等の性能試験を行い、良好な結果が得られた。
- ・改良したコアプロセッサ用の制御基板を開発し、この基板上で動作する流量計測プログラムの動作検証をおこなった。
- ・水素対応の防爆申請のために評価試験をおこない、必要となるデータを取得した。申請図面、計算書を作成し防爆申請をおこなった。

③プレクール装置

- ・社内ヘリウムガス設備に設置した基礎評価装置で性能試験から課題を抽出した。
- ・試験結果、検討課題から水素ステーションにおけるプレクール装置の最適化検討を行った。

(Ⅱ-7) 低コスト型70MPa級水素ガス充填対応大型複合容器の開発

実施項目	中間目標 (H22年度)	最終目標 (H24年度)
常用圧力	80MPa	充填圧対応圧力
容量	200L	300L
重量	1000kg以下	1500kg以下
コスト	1000万円以下	1000万円以下

<成果>

①FW成形技術の開発

- ・大型複合蓄圧器の製作：TPPを利用したDRY法を用い、200LのCFRP蓄圧器において破裂圧力345MPaを達成した。
- ・大型複合蓄圧器の製造および評価技術の開発：大型FW装置を設計開発し、6m、1600kgまでの大型蓄圧器の作製及び評価（破裂試験、サイクル試験、他）が可能となり、300L蓄圧器の試作を行い、長尺化による問題点のないことを確認した。

②内部加熱法の開発

- ・外部加熱装置の併用検討：内部加熱に外部加熱を加えることで、CFRP層を均一に、効率よく加熱することが可能となった。
- ・小型容器での効果確認：外部加熱を併用により、これまで以上に高温での加熱が可能となるため、小型容器で樹脂をゲル化させる温度としFWし破裂強度を評価した。結果、容器の破裂強度が向上することを確認した。

③炭素繊維（CF）・TPPの開発

- ・TPP用樹脂の開発：TPPが収束しにくい樹脂を開発し、蓄圧器の破裂強度を向上させることができた。

④開発蓄圧器の検証

- ・200LのCFRP蓄圧器で水素ステーション実証に提供しうる蓄圧器の設計を完了し、使用認可を取得した。今後、実証テスト用CFRP蓄圧器の製造を行い、実証テストにおいて安全性等の検証を行う。

（Ⅱ-8）低コスト型70MPa級充填対応ステーション機器に係わる研究開発

実施項目	中間目標（H22年度）	最終目標（H24年度）
全体	435百万円/システムの技術的見通し確認	2億円/システムに向けコスト低減策提示
総合的エンジニアリング	ステーション主要機器の最適構成提示	2億円/システム達成可能性提示
鋼製蓄圧器開発	材料評価、施工法、検査技術開発	本体価格、検査・更新費用低減
水素用高圧バルブ開発	ボールバルブ開発の技術的見通し確認	バルブ単価低減 圧力損失低減
高強度金属材料開発	金属材料候補絞込	高強度耐水素性 金属材料開発
制御システム開発	制御システム機器費用低減	制御システム設計費低減
流量調節弁開発	シール技術開発	動作保証回数達成 調節弁価格低減

<成果>

①ステーション全体のコスト低減策候補の提案と総合的エンジニアリング技術の開発（JPEC/九州産業大学）

- ・連名委託先とともにステーション全体のコスト構造分析と課題抽出を行い、開発計画立案、効果検証を進めた。
- ・ダイナミックシミュレーションにより充填時間を検討し、圧縮機併用を含めた差圧充填での最適機器構成を検討した。

- ・平成23年度より、水素ステーション充填解析プログラム開発に着手した。
- ②鋼製蓄圧器開発（日本製鋼所）
  - ・高容量化による蓄圧器設備コスト低減と高耐久化を目的とし、材料、施工法、検査法の技術を開発した。
  - ・開発技術を適用して蓄圧器を試作、高圧水素中データ等に基づく特認取得を通じ、蓄圧器の高耐久化を実現した。
- ③水素用高圧バルブ開発（キッツ）
  - ・バルブ単価の低減と圧力損失の低減を目的とし、高圧水素用ボールバルブの開発に取り組み、高圧水素下でのラボ試験等に基づき、ボールバルブのシートおよびパッキンのシール技術を開発した。
  - ・高圧水素下での開閉作動耐久試験により、開発バルブの耐久性を確認した。
- ④低コスト・高強度材料開発（JRCM）
  - ・JIS SUS316L 材と耐水素性が同等で、強度が30～50%向上する材料を開発した。
  - ・量産化を目指し溶製規模のスケールアップを実施した。
  - ・バルブ、調節弁メーカー等への開発材料を提供し、加工性評価で良好な結果を得た。
- ⑤コントロールシステム開発（アズビル）
  - ・ステーション制御集中化による制御機器費用低減、標準化によるソフト設計費低減を目的とし、制御システムのコンセプトを構築、ソフトウェア仕様を確定させ、制御機器費用の低減を確認した。
  - ・制御システムソフトウェア、ハードウェアを試作し、数値モデルを用いた制御検証を行った。
- ⑥流量調節弁開発（アズビル）
  - ・シール部の長寿命化および、JRCMと連携した調節弁本体小型化によるコスト低減を検討した。
  - ・温度サイクル下における摩擦磨耗試験等を通じ、高圧水素中における表面処理技術、パッキン材の選定を完了した。

（Ⅱ-9）都市型コンパクト水素ステーションの研究開発

実施項目	中間目標（H22年度）	最終目標（H24年度）
試設計	コンパクトした場合の課題抽出	課題解決（案）の提示
安全要素技術開発	安全性を担保する技術開発	開発技術の検証
水素ステーションの	安全要素適用検討	標準設計に対する安全の検

安全性評価		証
水素ステーションの 経済性評価	建築試設計、コスト比較	建設合理化検討
モックアップ実験	実験計画策定	実験実施および評価
標準設計	—	標準設計（案）の提示

<成果>

①試設計

- ・ステーションの試設計を実施し、キャノピー上機器設置化や地下化することで配置計画、コンパクト化（敷地面積 517m<sup>2</sup> 及び 390m<sup>2</sup>）を実現できることを確認した。
- ・地上式（631m<sup>2</sup>）、高架式（517m<sup>2</sup>）、および地下式（517, 390m<sup>2</sup>）のレイアウト完成した。

②安全要素技術の開発

- ・反射圧低減壁の開発において、数値解析により反射波のピーク圧力を低減することが可能な壁（反射圧低減壁）の開発を行い、検証実験によりその性能を確認した。
- ・反射圧低減壁、水素燃焼制御システム、水素の不活性化の各技術を確立した。

③安全性評価

- ・水素燃焼制御システムの開発にて、燃焼伝播の防止に必要な条件を確認した。また、水素の不活性化に関する研究では、着火に至らせない「安全濃度」を決定した。
- ・安全要素技術適用検討および安全性の検証、リスク評価を実施した。

④経済性評価

- ・建築および各システム導入コスト比較した。

⑤検知システム

- ・既存検知器の仕様を調査した。

（Ⅱ-10）直接充填方式水素ステーション用圧縮機の研究開発

実施項目	中間目標（H22年度）	最終目標（H24年度）
1	—	設計吐出圧力 95 MPa、 運転吐出圧力 87.5 MPa、 流量 1200 Nm <sup>3</sup> /h の圧縮機の 試作機を開発・設計・製作 する。

	2	—	インバーター制御による可変速度運転に対応する。
	3	—	直接充填方式ステーションにおける高圧圧縮機の運転の特徴である高頻度起動停止運転に対する耐久性の見通しをつける。
	4	—	圧縮機運転方法の検討のため、圧縮機水素流量と、車載タンクの圧力・温度の時間変化の関係を、圧縮機特性（下流圧力の変化に伴う流量変化など）を含めてシミュレーションするプログラムを開発する。
	5	—	試作機的设计・製作・試験結果、およびHySUTなどユーザーと連携により、実証水素ステーション用の設計吐出圧力100MPa超級圧縮機的设计を完了し、試験計画を策定する。

<成果>

①直接充填用大容量高圧水素圧縮機の仕様

- ・ 運転吸込圧力 40MPa／設計吸込圧力 45MPa
- ・ 運転吐出圧力 87.5MPa／設計吐出圧力 96MPa
- ・ 流量 1200Nm<sup>3</sup>/h シリンダ 2本
- ・ 運転中にベントを大気放出しない
- ・ 上記仕様の試作機を開発・設計し、製作が進行中である。圧縮機ユニットの小型化のために別途開発した超高圧用熱交換器をアフタークーラーとして採用

②インバーター制御可能な仕様の試作機を開発・設計し、製作が進行中であり、検証方法を検討中。

- ③高頻度起動停止運転に対し耐久性の見直し  
摺動部の劣化評価が必要なため運転により検証する。
- ④圧縮機運転方法の検討のため、圧縮機水素流量と、車載タンクの圧力・温度の時間変化の関係を、圧縮機の特性を含めてシミュレーションするプログラムを開発した。この成果を利用して千住・海老名ステーションなどの HySUT 実証事業と連携した対応を進めた。
- ⑤試作機の運転評価による試設計  
運転結果を反映して実施する。
- (Ⅱ-11) 水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
高圧水素および液体水素関連機器に用いるステンレス鋼および関連評価試験法の開発	—	新規水素用高機能ステンレス鋼を開発し、高圧水素環境下におけるその材料データを取得し、基準・標準化に必要な安全検証・裏付けデータとして提示する。
高圧水素配管・容器材料の研究開発	—	高強度ステンレス鋼・高強度低合金鋼を開発し、新規水素用材料として提案する。
高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼に係る研究開発	—	高圧水素環境下で使用できるオーステナイト系ステンレス鋼を開発し、材料種類の拡大を提案する。
低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究	—	低温および高温における高圧水素環境下で引張及び疲労試験を行い、材料特性を評価する。

<成果>

- ①高圧水素および液体水素関連機器に用いるステンレス鋼および関連評価試験法の開発：  
新規開発低 Ni, 省 Mo 系高強度鋼 STH2 の固溶化熱処理材について、高圧水素中での強度、

疲労、疲労亀裂伝播などの諸特性を評価し SUS316L と変わらない特性を示すことを確認した。SUS316L ほか  $\gamma$  系ステンレス鋼の評価結果から、水素脆化が合金元素の偏析部に生じやすいこと、及びその機構を明らかにした。

②高圧水素配管・容器材料の研究開発：高窒素高強度 SUS を開発し、固溶化熱処理材が N 量の増加と共に強度が増加することを確認し、高圧水素中下の SSRT 試験(室温、85MPa)、疲労試験においても良好な特性を確認した。

低合金鋼において高 Mo-V 添加による組織改良鋼を開発し、高圧水素下 SSRT 試験(室温、45MPa)、疲労試験において既存鋼と比較して水素の影響が大幅に改善されたことを確認した。

③高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼に係る研究開発：Mo を含有しないオーステナイト系 SUS を開発し、冷間引抜加工材が高い 0.2%耐力、引張強さを示すことを確認し、高圧水素下の SSRT 試験(-40°C、70MPa)において良好な相対絞り示すことを確認した。

SUS316L 固溶化熱処理材は水素チャージしても室温でのクリープ特性に明瞭な影響が見られないことを確認した。

④低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究：簡易試験法を用いて-200~120°Cの温度範囲における 316 系 SUS を中心とする材料の特性を測定し、水素の影響が少ない良好な材料特性を示すことを確認した。

以上の開発を加速するため、高圧水素中小型疲労試験装置を共通して持つことにより、簡易かつ迅速に新規材料の高圧水素中の疲労特性の測定を可能とし、開発の加速を図った。

また、有明、霞ヶ関、千住、セントレア各水素ステーションにおける長期使用設備の解体調査に協力し、材料特性にも問題はないものの、製作・施工時に注意、改善点があることを示した。

加えて、これら成果を国際標準化、規制見直しの作業に資するため、関係団体等に対して情報を提供し、議論・検討に参画した。

(Ⅱ-12) 水素用アルミニウム材料の評価・開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
Al-Mg 系合金の耐水素脆性評価	—	Al-Mg-(Cu) 合金の水素脆化感受性に及ぼす Mg 量、熱処理の影響を明らかにする
水素脆性に対する抑制元素および有害元素の特定	—	添加元素の影響を把握し、脆化感受性指数<0.2、耐力≥400MPa の合金系を見出す

高強度で切削性に優れるバルブハウジング用合金を開発する	—	耐力 $\geq$ 380MPa で、切削性が6061 合金よりも優れ、水素用として使用可能な 6000 系合金を開発する
VH4 容器の口金等の部材用の鍛造合金を開発する	—	耐力 $\geq$ 360MPa で、鍛造可能で、水素用として使用可能な 6000 系合金を開発する
水素の侵入サイトを可視化法により明らかにする	—	外部環境が、水蒸気の場合と水素の場合の侵入サイトの異同を明らかにする
開発材の耐水素脆性を評価する	—	開発材の耐水素脆性を、湿潤大気中での SSRT 引張・疲労試験などにより評価する

<成果>

- ① Mg 量 5%で鋭敏化処理を行わない限り Al-Mg 系合金は水素脆化を示さないことを確認した。添加元素の影響は、組合せや熱処理条件によっても変化することを見出した。開発目標（水素脆化感受性指数：0.2 未満、耐力値：400MPa）を満たす合金系として Al-Cu-Mg 系合金を見出した。
- ② 試作合金の耐力は、380MPa 以上で、切削性は標準の 6061 押出棒より優れていること、耐水素脆性、その他水素用材料として満たすべき基準を満たしていることを確認した。
- ③ 6069 規格組成内の中で、Cu 下限・Si 過剰組成とした試作材で開発目標を達成した。6066 規格組成の中で、主要組成 Mg、Si、Cu、Mn の添加量を規格下限域とした試作材で目標達成の可能性が高いことを示した。
- ④ 6061、7075 合金において、外部環境が水蒸気の場合と水素の場合の侵入サイトが同じ(第二相粒子)であることを明らかにした。
- ⑤ 開発材の耐水素脆性評価を行い、問題のないことを確認しつつある。

●研究開発項目Ⅲ：次世代技術開発・フィージビリティスタディ等

(Ⅲ-1) 水素燃料電池に係る国際関連機関等研究・政策動向の調査検討

NO	目標
1	IEA/HIA の最新動向・活動を入手し、我が国の政策や技術開発への影響を分析

	する
2	IEA/AFCIA の最新動向・活動を入手し、我が国の政策や技術開発への影響を分析する
3	IPHE の最新動向・活動を入手し、我が国の政策や技術開発への影響を分析する
4	IPHE、HIA、AFCIA メンバー国やその主要関連研究機関の政策・技術開発動向の調査・検討
5	1～4 で把握した技術開発動向及び分析活動ならびに関連国際会議やウェブサイトから得られた水素関連活動等を、国内関係者に定期的に発信し、情報共有を図る
6	再生可能エネルギー由来水素の技術動向のとりまとめ

<成果>

- ・ IEA/HIA の各作業部会に専門家を派遣し、情報を得た。また平成 24 年度は関係者との連携の下で Annex 28(大規模水素インフラ) 会合を日本でホストし(平成 24 年 10 月、東京)、情報収集とその内容の発信を行った。
- ・ IEA/HIA の執行委員会に参加し(専門委員:エンジニアリング協会)、各作業部会の半期毎の活動報告、年次報告書概要等の報告(事務局)、各国の水素関連研究開発動向(各国代表)などの情報を入手した。
- ・ IEA/AFCIA の各作業部会に専門家を派遣し、情報を得た。また平成 24 年度は関係者との連携の下で Annex 25(定置用 FC) 会合を日本でホストし(平成 24 年 10 月、福岡)、情報収集を行った。
- ・ 平成 24 年度より、IEA/AFICA の執行委員会(平成 24 年春季、カナダ、トロント)に参加、各国の燃料電池関連研究開発動向(各国代表)などの情報を入手した。
- ・ IPHE の各委員会に出席し、最新動向、活動内容を入手、わが国からの情報を発信した。また IPHE の議論を分析、わが国の政策や技術開発への影響を分析した。対応が必要な議論や動きに関しては、国内関係者と連携し、その対応を行った。
- ・ IPHE 対応の一環として、平成 23 年 3 月に定置用 FC 国際ワークショップを運営・開催した。
- ・ IPHE が隔年で実施してきた IPHE アワード(IPHE によって、FC/水素分野でのリーダーシップと技術功績をたたえるもの。2 年毎に実施)に関して、経済産業省および関係機関と連携し、日本からの推薦の支援と IPHE 会議での紹介を行なった(優秀リーダーシップ賞に福岡水素エネルギー戦略会議、技術功績賞に秋葉悦男産業技術総合研究所副研究部門長)。この推薦 2 件は、IPHE アワードの受賞を得ることができた。

- ・ JHFC プロジェクト（平成 14～22 年度に実施された FCV・水素ステーションの実証研究プロジェクト。平成 21 年度より NEDO 事業） と連携し、IPHE が企画した IPHE スチューデントコンペティション（IPHE が企画した、FCV・水素の研究に秀でた各国の高校生を表彰するもの。IPHE メンバー国が自主的に優秀校を推薦 ）にわが国から秋田工業高校を推薦し、IPHE スチューデントコンペティション授賞式およびスチューデントプログラム（各国学生との国際交流） に派遣することができた。
- ・ IPHE、AFCIA における情報をもとに、政策情報を取りまとめ、関係者に提供した（内容は、米国、ドイツ、欧州連合に加え、カナダ、ノルウェー、アイスランド、韓国、中国、オーストラリア）。
- ・ 欧州連合およびドイツが実施したマッキンゼー「パワートレインのポートフォリオレポート」を翻訳して関係者に配布した。
- ・ 我が国の水素ステーション規制見直しのために水素規制見直しリーダー会議にオブザーバーとして参画、IPHE などのネットワークを用いて DOE、Air Products、Shell、CaFCP、Linde、TUV 等にヒヤリングを実施、米国・ドイツの水素ステーション規制を日本との対比でとりまとめ、関係者に提供した。
- ・ 平成 22 年度（平成 23 年 2 月）は IEA/HIA に関して、また平成 23 年度（平成 24 年 2 月）は IEA/HIA と IEA/AFCIA の両方に関して、年度末に活動報告会を開催している。活動報告会では、各作業部会を担当する専門家が部会の活動を報告し、質疑応答を行っている。活動報告会参加者は、産学官における水素関連の研究開発・実証試験などに携わる研究者・技術者（約 40 数名が参加）。
- ・ 平成 23 年度 10 月より、FC/水素政策関係者、NEDO、NEDO プロの委託先等を中心に国際情報ネットワークを構築、登録者は現在約 100 名。発信している内容は、作業部会や国際会議の報告、海外政策情報、マンスリーニュースなど。これにより従来は IEA/HIA や IEA/AFCIA の活動報告は年間 1 回（毎年 2 月の活動報告会）のみであったが、タイムリーに国際情報を関係者に提供できるようになった。
- ・ IEA/HIA、IEA/AFCIA、IPHE など得られた情報、また各国の動きがある場合に、その情報（レポート翻訳、概要解説、会議参加報告書）を前述の国際情報共有ネットワークを活用して発信（平成 23 年度はほぼ隔月～3 ヶ月に 1 回程度、平成 24 年度上旬は隔月で発信）。平成 24 年 7 月からはマンスリーレポートも配信。
- ・ IEA/HIA、IEA/AFCIA の作業部会のうちでも、そのテーマが担当する専門家だけでは対応が難しい場合、他の企業や研究機関にも関わりがある場合、また戦略的な情報発信が必要な場合は、その作業部会に出席する専門家のサポートチームを構築した。
- ・ 経済産業省燃料電池分科会（平成 23 年 6 月 3 日）に海外情報を提供した。また FCCJ や関係機関・組織と連携し、2015 年～2030 年に向けての FCV 普及予測を行い、あわせて提供し

た。その後も業界（FCGJ など）の意見を参考に、FCV 普及予測を修正・アップデートした。FCV 普及予測は、大手自動車 3 社の意見を元に、4 つのパラメータ（車両の魅力、燃料経済性、強力な政策支援、車両価格低減）で分析を行った。その結果、普及台数は、2025 年における FCV の普及予測は、36 万台から 240 万台の間となった。

- ・再生可能エネルギー由来水素の可能性に関して、世界の政策動向と最新の技術動向をとりまとめ、「非化石資源および低炭素資源による水素製造の可能性」（120 ページ）として報告した。

（Ⅲ-2）IEA/HIA 水素実施協定における国際技術開発動向の調査検討

NO	目標
1	国際技術開発動向の把握
2	各 Annex（作業部会）の分析活動動向の把握
3	得られた情報の展開・普及及び共有化活動

<成果>

水素経済社会の実現に向けて国際協同研究開発を目的とする IEA/HIA（国際エネルギー機関/水素実施協定）に積極的に参加した。各作業部会にて、収集・交換した水素に関する技術開発動向・情報を国内に展開し、共有化を図った。

（Ⅲ-3）可視光応答性半導体を用いた光触媒および多孔質光電極による水分解水素製造の研究開発

実施項目	目標
多孔質半導体光電極の高性能化	既存半導体光電極の改良で $WO_3$ 光電極の性能を超える。
光触媒-電解ハイブリッドシステムによる水素製造	レドックス媒体を用いた効率的な酸素発生用光触媒の高性能化により太陽エネルギー変換効率の最高値を目指す。
新規可視光応答性半導体探索	高速自動半導体探索システムを用いてできるだけ多くの可視光応答性の新規半導体を探索する。

理論効率や将来性の試算

太陽電池と水電解を単に組み合わせたシステムより  
低コスト水素製造できるか検証する。

<成果>

- ・ W03 光触媒の量子収率をセシウム表面処理で既報の 48 倍に向上できた。太陽エネルギー変換効率(0.3%)は陸上植物並で、人工光合成実現可能レベルに達した。
- ・ BiVO4 光電極の光電流を炭酸塩電解液を利用することで従来の電解液より 6 倍向上できた。高速自動半導体探索システムを活用し、新規半導体の特許を 5 件出願した。
- ・ 光触媒-電解ハイブリッドシステムの小型実証試験を行った。太陽電池と水電解を単に組み合わせたシステムより将来低コスト水素製造が可能、という結論を得た。

(Ⅲ-4) 非貴金属化合物を用いた水電解用高機能酸素発生アノード触媒の設計および開発

実施項目	目標
触媒能評価	現行材料(貴金属系)に近い性能を有する非貴金属系酸素発生触媒の開発
電解試験	非貴金属系材料をアノード触媒に用いて、現行のアルカリ形水電解に匹敵する新規固体高分子形水電解セルの開発

<成果>

- ・ 評価法の確立し、比活性が  $\text{IrO}_2$  を上回る Zr 及び Ta 系材料の触媒の作製に成功した。
- ・ Zr 及び Ta 系化合物は表面が酸化物であると酸素発生反応の活性が向上した。
- ・ Zr 系化合物を電極触媒として電解試験を行い、水電解効率は 60%であった。

(Ⅲ-5) 高効率水素液化磁気冷凍の研究開発

NO	目標
1	実用磁気冷凍磁性材料の開発
2	高効率水素液化機構の開発
3	蓄冷型磁気冷凍機の開発
4	測定技術要素研究
5	水素液化磁気冷凍システムの調査と解析

<成果>

- ・ AMR サイクルに適合した希土類ガーネットと金属間化合物磁性材料の開発を進め、粒状化の実用材料製造技術を確立した。
- ・ 2つの駆動機構をもつ AMR 磁気冷凍サイクル試験装置を設計・作製し、AMR サイクルを実証した。
- ・ 水素液化サイクルの効率改善と高感度水素液量の計測技術を開発した。

(Ⅲ-6) 水素ガス輸送用パイプラインの信頼性評価技術の研究開発

実施項目	目標
水素脆性評価試験	水素濃度；2ppm 以下、負荷速度；準静的～5m/s
実大破壊強度試験	圧力；15MPa 程度、パイプ；X65 高強度鋼管、500mm 径、40m 長
高速き裂伝播計算モデル構築	き裂伝播限界圧力とき裂伝播停止長さを+/-20%で予測
外部からの指導及び協力	大学・企業の研究者・技術者からなる研究会を組織し、指導と協力を得る。

<成果>

- ・ 水素ガスパイプラインで想定される現実的な圧力・温度件では鋼中に拡散侵入する水素濃度は低く、準静的・動的条件ともに水素脆化は顕著ではない。
- ・ 水素ガスパイプラインの実大強度試験を実施し、き裂は長距離伝播することはないことを実証した。
- ・ 開発した高速き裂伝播数値計算モデルを用いて、天然ガスと同程度の靱性を有していれば、水素ガスパイプラインでき裂の伝播を防止できることを確認した。

(Ⅲ-7) 超高压水素合成法による新規水素吸蔵合金の研究開発

実施項目	目標
超高压合成法による新規 Mg 合金系水素貯蔵材料の開発	「質量貯蔵密度 6 質量%以上、放出温度 100 °C以下、耐久性 1,000 回以上」を可能とする材料を探索する。
超高压合成法による新規 Li 合金系水素貯蔵材料の開発	「質量貯蔵密度 6 質量%以上、放出温度 100 °C以下、耐久性 1,000 回以上」を可能とする材料を探索する。

超高压合成法による新規 Al 合金系水素貯蔵材料の開発

「質量貯蔵密度 6 質量%以上、放出温度 100 °C以下、耐久性 1,000 回以上」を可能とする材料を探索する。

<成果>

- ・ Mg-(V, Zr)-(Li, Na)-H 系水素化物において、可逆的に水素を吸蔵・放出する新規水素化物を見出すとともに、水素放出温度と結晶構造との相関を示し得た。
- ・ 7 種の Li-M-H 系新規水素化物 (M: 遷移金属元素) を見出し、Li-Y 系水素化物において、可逆的に水素を吸蔵・放出することを確認した。
- ・ Al 系共晶合金、アラネート、AlH<sub>3</sub> を原料として試みたが、適用条件下では新規水素化物相は得られなかった。

(Ⅲ-8) ゼオライト鑄型炭素をベースとしたスピルオーバー水素貯蔵に関する研究開発

実施項目	目標
細孔制御技術によるゼオライト鑄型炭素 (ZTC) の構造最適化	ZTC 表面積の増大 (目標 5000m <sup>2</sup> /g) と細孔径の最適化 (範囲 0.65 nm~1.2 nm)
金属担持技術による「新たな相互作用」の導入とその最適化	Å、更には原子レベルの金属担持、及び貴金属以外 (Ni、Ti) の担持
ZTC の水素吸蔵性能評価	上記で得られた ZTC の水素貯蔵性能を評価する。

<成果>

- ・ スピルオーバー水素の貯蔵サイトを、炭素担体のエッジ、曲率をもつ部位、含酸素官能基、含窒素官能基に同定できた。
- ・ 炭素担体に担持する Pt の粒径が小さいほどスピルオーバー貯蔵量が増加することを見出した。また、安価な遷移金属 (Ni) による貯蔵にも成功した。
- ・ スピルオーバー水素貯蔵サイト候補である、含酸素官能基の大量ドーピング法の開発に成功した。

(Ⅲ-9) Mg および Ti 系相分離型高容量水素吸蔵合金の設計と実証に係る技術開発

実施項目	目標
Mg 基合金の開発	Mg 基合金に関する作製ノウハウを蓄積
Mg 基合金に関する熱力学的平衡反応特性の研究	Mg 基相分離型水素吸蔵合金の実証 6.0 質量%, 繰り返し 1000 回, 水素放出温度 100°C

Ti 基合金の開発	Ti 基合金に関する作製ノウハウを蓄積
Ti 基合金に関する熱力学的平衡反応特性の研究	Ti 基水素吸蔵合金の実証 6.0 質量%, 繰り返し 1000 回, 水素放出温度 100°C
Al 水素化合物の合成技術の開発	Al 水素化合物の物理的合成法を設計・開発

<成果>

- ・水素吸収・放出に伴う合金の「相分離」によって、MgH<sub>2</sub> が熱力学的に著しく不安定化することが実証された（合金構成元素間の結合력에依存）。
- ・Ti 基を有する非固溶系 b. c. c. 合金の合成に成功し、室温で 3.5 mass %以上の水素吸収・放出反応が実証された。
- ・Al 水素化合物の物理合成装置の設計・開発を行った。AlH<sub>2.5</sub> 組成を得ており、物理的合成の可能性が実証された。

(Ⅲ-10) 燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発

実施項目	目標
圧縮水素を燃料とする FCV の事故後の安全作業の標準化	適正な基準策定のための妥当性検証、事故処理に関わる早期の標準化に向けたデータ取得のための事故処理手法を開発
車載用高圧水素容器／容器附属品の基準適正化活動	適正な基準策定のための妥当性検証および新規構造附属品の国内導入に資するデータ取得
水素充填プロトコルの標準化 水素充填コネクタの標準化	水素ステーションの安全性検証データを提供するとともに、インターフェイスの試験法案策定に向けたデータを取得、および関連する国際標準化活動の推進
その他国際標準化に関わる技術検討	上記の国際標準化に加え、水素燃料仕様、性能・用語等の国際標準化の審議と推進

<成果>

- ・FCV の事故後の乗員救助等、安全作業のための漏洩水素の送風拡散効果の検証、高圧水素容器内の残圧確認手法の開発し、警防マニュアル等の策定に資するデータを取得。
- ・FCV 車両運搬船での火災リスク課題を調査。安全上、問題ないことを確認。
- ・HFCEV-gtr に新規提案された車室内水素濃度計測方法の妥当性を調査し、試験方法等の問題点

を指摘。

- ・ HFCV-gtr の局所火炎暴露試験法策定に必要な車両火災データを提供し、世界に先駆けて当該試験に使用できるバーナーを開発し、国内での試験実施体制を構築。
- ・ HFCV-gtr に日本から液圧での使用環境負荷試験を提案するにあたり、必要な根拠データを提供し、試験法の検証を実施し、国際基準に反映。
- ・ 急速充填試験による充填プロトコル等の検証を行い、安全性を確認し、その結果が国内基準に採用。
- ・ FCV 燃料仕様の国際規格の H2 4 年度内発行段階に目処。

#### (Ⅲ-11) 水素エネルギーシステムの社会的便益に関する研究開発

実施項目	目 標
水素燃料電池自動車の導入に係る社会的便益に関する研究 (H20-21)	種々の FCV 導入シナリオの下で、既存の市場で経済価値として評価されていない、FCV 特有の便益を経済価値として評価すると共に、導入普及による経済的波及効果を評価する。
水素燃料電池自動車の社会的便益評価システムの構築 (H20-21)	FCV や水素インフラの導入施策は、エネルギー・環境を巡る情勢の変化や、技術開発の進捗などを反映して、ダイナミックに変化する可能性があるため、これらの情勢変化に対応したシナリオに対する便益評価を柔軟にするためのシステムを構築する。

#### <成果>

- ・ FCV の導入普及初期の 5 年間 (H20 年度)、及び COCN の新導入シナリオ (H21 年度) をベースとし、環境便益の外部便益 (外部費用の削減)、および経済的波及効果を評価し、導入普及施策に対する示唆を得た。
- ・ 複数のシナリオに対する便益評価を柔軟に実施するため、これまでに開発してきた方法論に従った評価システムを構築した。

#### (Ⅲ-12) 水素キャリアに応じたフィージビリティスタディ

NO	目標
1	前提条件の設定及び全体の評価を行う
2	高圧水素供給フローの検討を行う
3	液体水素供給フローの検討を行う

## &lt;成果&gt;

- ・平成 27 年（2015 年）を想定した水素供給インフラ市場立ち上げに向け、各水素キャリア（高圧水素、液体水素、有機ケミカルハイドライド）を用いた、オフサイト型水素製造から水素ステーションにおける燃料電池自動車への充填までの一連のフローにおける、経済的成立性や実現性及び普及に向けた今後の技術開発課題について抽出・検討を行なった。また、課題の解決策についての提言も行った。

## (Ⅲ-13) 水素インフラ等に係る基準整備に関する研究開発

実施項目	目標
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	新規使用可能材料の選定
圧縮水素運送自動車用複合容器に係る基準整備に関する研究開発	例示基準案※
水素ステーション用複合容器に係る基準整備に関する研究開発	KHK 特認ガイドライン※
圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用に関する研究開発	KHK 事前評価ガイドライン※ KHK 特認ガイドライン※

※基準案及びガイドラインは石油エネルギー技術センターが作成

## &lt;成果&gt;

## A. 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

- ・絞りが 75%以上の SUS316 及び SUS316L については、Ni 当量が 28.5%以上の場合には 70MPa において-40~85℃、Ni 当量が 26.3%以上の場合には 90MPa において 20~85℃で一般則例示基準に追加可能である。

## B. 圧縮水素運送自動車用複合容器に係る基準整備に関する研究開発

- ・圧力、安全を確保するための設計確認試験及び組試験の方法等について検討を行い、JIGAT-S/12/04 をベースとした最高充てん圧力 45MPa の圧縮水素運送自動車用容器の例示基準案

作成のための助言を行った。

C. 水素ステーション用複合容器に係る基準整備に関する研究開発

- ・特定設備として申請するためのガイドラインを ASME Sec. X Appendix 8 をベースとすることを提案した。CFRP 製複合容器の設計基準の基礎となる CFRP のストレスラプチャー試験及び疲労試験を行いデータの充実を図った。JPEC で行われた小型複合容器及び中型複合容器を設計製作、試験条件及び試験結果の評価に対して助言を行った。

D. 圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用に関する研究開発

- ・国内に置いて実績があり設計係数の最も小さな KHKS0220 超高压ガス設備に関する基準の水素適用について検討した。水素の影響に応じて、従来通り大気中のデータを利用して KHKS0220 で設計する場合と、水素中のデータを使用して KHKS0220 で設計する場合とに分けることを提案した。

(Ⅲ-14) 水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化のための研究開発

実施項目	目標
圧縮天然ガス（CNG）スタンド併設時の設備間距離	技術基準案の作成
水素ステーションの保安検査基準	保安検査基準案、定期自主検査指針案の作成
圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁	技術基準案の作成
水素ステーションを併設する給油取扱所	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 並列設置：安全対策の立案</li> <li>・ 無人暖機運転：安全対策、技術基準整備資料の作成</li> </ul>
公道とディスペンサーの離隔距離	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 技術基準案の作成</li> <li>・ 海外基準の離隔距離設定方法等の調査</li> </ul>
セルフ充填式水素ステーション	設備仕様等の資料、技術・運用指針案の作成
水素ディスペンサー周辺の防爆ゾーン基準の明確化	民間自主基準案の作成
公道でのガス欠対応のための水素充填法	充てん場所・使用設備など、公道充てん実施に必要な要件の取りまとめ

	フル充填に対応した水素ステーション	技術基準案（省令・例示基準の改正案）の作成						
	水素ステーションでの水素保有量	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 35MPa 級複合容器水素トレーラーの製作</li> <li>・ 水素貯蔵量規制値超えの許可事例を取得</li> </ul>						
	プレクール設備冷凍機の保安距離短縮に関する検討	技術基準案（省令・例示基準の改正案）の作成						
	複合容器蓄圧器の設置等基準に関する検討	技術基準案（省令・例示基準の改正案）の作成						
	<p>&lt;成果&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 「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」に基づく12項目の規制合理化項目に関する各種技術基準の検討案を作成した。</li> </ul> <table border="1" data-bbox="400 869 1439 1016"> <tr> <td data-bbox="400 869 624 904">投稿論文</td> <td data-bbox="628 869 1439 904">「査読付き」64件、「その他」66件</td> </tr> <tr> <td data-bbox="400 911 624 947">特許</td> <td data-bbox="628 911 1439 947">「特許出願」54件、「PCT出願」7件</td> </tr> <tr> <td data-bbox="400 954 624 1016">その他の外部発表（プレス発表等）</td> <td data-bbox="628 954 1439 1016">「外部発表」313件</td> </tr> </table>		投稿論文	「査読付き」64件、「その他」66件	特許	「特許出願」54件、「PCT出願」7件	その他の外部発表（プレス発表等）	「外部発表」313件
投稿論文	「査読付き」64件、「その他」66件							
特許	「特許出願」54件、「PCT出願」7件							
その他の外部発表（プレス発表等）	「外部発表」313件							
IV. 実用化、事業化の見通しについて	<p>燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）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と位置づけられている。さらに、特出すべき内容は2025年がFCV・ステーションの自立拡大開始の年として、前提条件として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、FCV累計200万台程度、水素ステーション1000箇所程度としている。これは、水素ステーション設置及び水素コストが目標に達し、水素ステーションビジネスが成立する時期として、1水素ステーション当たりFCV2000台という目標数値である。このようなシナリオに基づき、本研究開発も2015年をターゲットとして実用化とその後の事業化を睨んでいる。</p> <p>本事業で得られた成果として、70MPa級水素ステーション機器システム・要素技術の開発を行い、事業適用可能性の見通しが得られたこと、これにより設備コスト2億円以下を見通せる技術を確立できたことがあげられる。さらに、規制合理化に関する各種技術基準案、一般則例示基準案等を作成し、使用可能鋼材拡充に関して、一般則例示基準の改正の見込みが得られた。これらの成果より、70MPa商用水素ステーションの建設が可能となる。</p> <p>今後2025年水素ステーション1000ヶ所への拡大に向けては、更なる低コスト化が必要となるため、低コスト材料の開発や広温度範囲の材料評価技術確立や、使用鋼種拡大に関する規格化や蓄圧器の非解体検査化に取り組むことが重要と考えられる。</p>							

V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成20年3月 制定
	変更履歴	平成20年7月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂。平成21年3月、中間目標等を追記して改訂。 平成22年2月、研究開発項目Ⅱ、Ⅲの拡充、関連事業との連携を追記して改訂。

## プロジェクト用語集

### 研究開発項目 I : 「70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発」

用語	説明
圧縮機	水素を圧縮する装置。東邦瓦斯水素ステーションに設置されている圧縮機の仕様は、流量 300Nm <sup>3</sup> /h、常用圧力 82MPa である。
圧縮機併用差圧充填	水素ステーションにおける充填方式の一つ。蓄圧器による差圧充填と、圧縮機による直充填を同時並行で行う方法。圧縮機は、蓄圧器への水素補給と充填タンクへの水素充填の両方を行う。
緊急離脱カップリング	充填ホースに取り付ける車両誤発進時の安全装置。車両誤発進により一定の張力が両端にかかる、同装置が 2 つに分離し、かつ水素を安全に遮断する機能を有する。
顕微赤外分光分析 (FTIR)	FT-IR とは Fourier Transform Infrared Spectroscopy の略でフーリエ変換赤外分光法のこと。化合物分子の赤外線吸収を利用して化合物を定性・定量する測定法である。
差圧充填	水素ステーションにおける充填方式の一つ。蓄圧器と燃料電池車の水素充填タンク（または試験充填容器）の水素ガス圧力の差のみを利用して充填を行う方式。この際、蓄圧器の上流にある圧縮機は、蓄圧器への水素ガス補給のためだけに私用される。
試験充填容器	燃料電池車が無くとも水素の繰り返し充填試験が可能となるよう設けた容器（鋼製）。東邦瓦斯水素ステーションにおける主な仕様は、常用圧力 70MPa、容量 160L である。
水素回収ライン	東邦瓦斯水素ステーションにおいて試験充填容器に充填した水素を、減圧して再利用するためのライン配管。試験充填容器に充填した水素を放散する必要がなく、効率的に繰り返し充填試験を進めることができる。
スキッド化	機器を同一の盤(スキッド)に載せて製作工場に付帯設備も含めて組立を完成させる手法。本事業では水素ステーションの現地工事量の低減による建設コスト低減を目的として実施した。
Cv 値（読み：シーバイチ）	バルブの性能を表す工学的数値。バルブの開度を一定にし、その前後差圧を 1psi に保ち、60° F の水が 1 分間に流れる量を US ガロンで表した値。この数値が大きいほど、バルブを流体が流れやすい。
遮断弁	水素ステーション設備内の水素ガスの流れを遮断するバルブ。
充填カップリング	水素充填時に水素ステーションと燃料電池車充填タンクまたは試験充填容器間を接続するための水素ステーション側の機器。（燃料電池車充填タンク側の接続機器は「レセプタクル」と呼ぶ）
充填タンク（車載タンク）	燃料電池車で水素ガスを貯蔵する容器。構造は、金属またはプラスチックの膜（ライナー）の外側に接着用の樹脂を含浸させた炭素繊維を幾重にも積層（巻いた）ものとなっている。充填タンクにおける接着用の樹脂は、85°C を超過すると溶解し、耐圧性能を維持できないことから、充填タンクの耐熱温度は 85°C となっている。
充填ホース	水素充填時に水素ステーションと燃料電池車充填タンクまたは試験充填容器間を接続するための水素ステーション側の機器。緊急離脱カップリングと充填カップリング（ノズル）間を接続するもの。

蓄圧器	燃料電池車に水素ガスを充填するために水素ガスを貯蔵する容器。蓄圧器は、その構造、材料により「鋼製蓄圧器」と「複合容器蓄圧器」に分かれる。東邦瓦斯試験ステーションの蓄圧器は、常用圧力 82MPa、容量 255L (日本製鋼製)、100L (高圧昭和製)、60L (住金機工製) がある (すべて鋼製蓄圧器)。
調節弁	水素ステーション設備内の水素ガスの流量を調節するバルブ。
直充填	水素ステーションにおける充填方式の一つ。圧縮機から蓄圧器を介さずに燃料電池車 (または試験充填容器) に水素を直接充填する方式。
ディスペンサー	水素ステーションにおいて水素ガスの計量、流量制御等を行う機器。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、充填カップリング等で構成される。
電子後方散乱像法	電子後方散乱像法 (EBSP: Electron Back Scattering Pattern) のこと。SEM に組合せ、ミクロな結晶方位や結晶系を測定する。結晶粒毎の情報が得られる。また、集合組織や結晶相分布を解析できる。
動的解析	ある系において、時間と共に変化する圧力、流量といった物理量を、経験式や理論式に基づき計算により求める手法。本事業では、水素ステーションの各構成機器、配管等における水素ガスの圧力、温度、流量の時間的変化を解析するために活用している。
2 段直充填	水素ステーションにおける充填方式の一つ。前段圧縮機 (吐出圧力 40MPa)、中間段蓄圧器 (常用圧力 40MPa 程度)、後段圧縮機 (吐出圧力 100MPa) の順に連結し、充填タンクまたは試験充填容器への充填を行う。前段圧縮機で 40MPa 程度まで昇圧した水素ガスを後段圧縮機で 70MPa まで昇圧し充填タンクへ充填を行う。差圧充填方式と比較して蓄圧器設計圧力を小さくでき、蓄圧器コスト低減効果が見込める。また、後段圧縮機の吸込み圧力を高く設定できるため、圧縮比を小さくすることができ、圧縮機コスト低減効果が見込める。
燃料電池自動車試験車両	燃料電池車の水素充填タンクの温度などを計測する機能を持つ車両。
パッケージ化	機器をコンテナ内に収納し、製作工場 で付帯設備も含めて組立を完成させる手法。本事業では、水素ステーションの現地工事量の低減による建設コスト低減を目的として実施した。
普及期前 1 年分に相当する充填回数	普及期前のポスト JHFC (2011~2015 年) 期間における稼働率を、JHFC2 と同様の 0.9 回/ステーション・日と想定し、1 年分に相当する充填回数を 270 回と設定した。
普及初期時 1 年分に相当する充填回数	普及初期時 (2015 年以降) における稼働率を、2.7 回/ステーション・日と想定し、1 年分に相当する充填回数を 945 回と設定した。
プレクール設備	燃料電池車の充填タンク内の温度の上昇*を防止するため、高圧の水素ガスを充填タンクに充填する前に冷却する設備。熱交換器と熱交換器用冷媒冷凍機から構成される。本事業における東邦瓦斯水素ステーションにおけるプレクール設備の要求仕様は、充填ノズル出口での水素温度が-20℃以下としている。 <*参考> 高圧水素の充填においては、充填圧力が高いほど燃料電池車の水素充填タンク内の温度上昇も高くなる現象がある。このため 70MPa 充填では、充填タンクの耐熱許容温度 85℃を超えないよう、水素ガスを冷却して充填タンクに充填する必要がある。

ブライン	プレクール設備に使用される冷媒。プレクール設備におけるブラインは、熱交換器において水素ガスを冷却する2次冷媒をさす（1次冷媒は、冷凍機において2次冷媒を冷却するものを指す）。一般的なブラインとしては、塩化カルシウム水溶液、エチレングリコール水溶液等がある。
平均充填流量	1回の充填における時間あたりの単純平均流量のこと。水素の総充填量(kg)を充填時間(min)で除して算出される。
流量計	水素ステーション設備内の水素ガスの流量を測定する機器。水素ステーションにおいては、コリオリ式質量流量計が採用されている。
<b>[水素インフラの技術基準に関する検討関連]</b>	
安全率	安全率は、容器の破裂試験と圧力サイクル試験において使われることが多い。破裂試験における安全率は、容器の設計圧力に対する破裂圧力の比率であり、2.25倍としている。圧力サイクル試験における安全率は、実使用における圧力サイクル数に対する、試験で合格とする圧力サイクル数の比率のことである。
応力/Stress	荷重 = N (kgf) を材料片の平行部のはじめの断面積 (mm <sup>2</sup> ) で割ったものが応力である。: N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )
応力集中部と応力解析	機械設備等において形状の不連続部の近傍に大きな応力が発生することを応力集中という。応力集中係数 ( $\alpha$ ) は切り欠き部の底に発生する応力と平滑部に発生する応力の比で表す。 $\alpha = \sigma_{max} / \sigma_0$ で表す。応力解析はこの応力集中部での応力を FEM 解析や形状に基づいて実験的に求められた係数 (形状係数) による方法等を用いて解析する手法である。
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。 $\gamma$ Fe、 $\gamma$ 鉄 (ガンマてつ) ともいう。非磁性体である。 $\gamma$ 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度	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。
許容引張り応力	機械や構造物に許容される引っ張り強さを言う。適用する材料の常温及び設計温度での引っ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。
降伏比	引張強さに対する降伏点 (通常は上降伏点) 又は耐力の割合を言う。

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 G0201 鉄鋼用語（熱処理）でこの術語を規定しているが、非鉄金属材料分野をはじめとして、溶体化処理という術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）
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、金属ライナーに圧縮残留応力、金属ライナーの外周繊維に引張り残留応力を発生させる圧力処理。
絞り、相対絞り（RRA）	引っ張り試験や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。
常温圧力サイクル試験	常温にて容器に一定の圧力範囲の負荷を繰り返しかけて、疲労強度を評価する試験方法。
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暴露された場合に、原子状の水素が金属に拡散されることにより靱性が低下する（脆化する）現象を言う。
ストレスラプチャー試験	静的荷重を与えて、破断までの時間を時間を計測する破断強度の時間依存性試験法。水素用非金属材料の基礎物性として実施した。
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。
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。
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。
特認（事前評価）申請	「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であり、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

	きる制度である。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、その評価結果で特認申請を実施する。
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。
引張り試験	引張り試験機を用いて試験片を引張り、降伏点、耐力、引っ張り強さ、降伏伸び、破断伸び、破断絞りなどを測定する試験。
ピーク応力振幅	繰り返し応力が作用する環境に於いて、その応力振幅(最大応力と最小応力の差の1/2)のうち最大のものを言う。
疲労強度、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 <sup>2</sup> )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	人工の傷を与えた試験片に繰り返し応力を与え疲労き裂の長さの増加量を測定する。亀裂進展試験での亀裂進展速度(da/dN)(m/cycle)を縦軸に応力拡大係数幅(ΔK)(MPa√m)を横軸にしたグラフを作成し各材料の亀裂進展特性を評価する。
複合容器	ライナーの外側を、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。
複合容器タイプ	圧力容器の構造によりタイプ1~4に分類されている国際規格。 タイプ1; 全部金属製 タイプ2; 金属製の容器の胴体をリング状の“たが”で補強し、レジンを含浸したもの タイプ3; 金属製容器の全体を繊維で補強し、レジンを含浸したもの タイプ4; 非金属製容器の全体を繊維で補強し、レジンで含浸したもの
フル充填	FCV燃料容器の設計基準で安全が担保されている性能上の上限まで、水素を充填すること。
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-40℃としている。
マルテンサイト	マルテンサイト(martensite、α'鋼)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き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。
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、幸治番号等 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
ライナー	複合容器の内層部品。材質は金属またはプラスチック。ライナーの目的はガスの保管、およびガス圧力をライナーの外周繊維に伝達すること。
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。
ASME B31.12	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 ASME 基準である。設計係数を 3 としている。
A6061-T6	A6061 は熱処理合金のアルミで、強度があり耐食性に優れています。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です。A6061-T6 は耐力 245N/mm <sup>2</sup> 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ります。
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Plastics (炭素繊維強化プラスチック) は、強化材に炭素繊維を用いた繊維強化プラスチックであり、高い強度と軽さを併せ持つ材料のため、様々な用途に使用されている。CFRP の母材には主にエポキシ樹脂が用いられる。
CNG	Compressed Natural Gas (圧縮天然ガス)。天然ガスは、地下に存在するガス、または地下から地表に噴出するガス一般のことであり、この中には化石燃料ガス（可燃性ガス）だけでなく、窒素や酸素、炭酸ガス、水蒸気、硫化水素ガス、亜硫酸ガス、硫酸化物ガスなどの不燃性ガスも含まれる。
FEM 解析	Finite Element Method 有限要素法は数値解析手法の一つ。方程式が定義された領域を小領域（要素）に分割し、各小領域における方程式を比較的単純で共通な補間関数で近似する。
Hydrogenius	産業総合技術研究所（産総研）の水素エネルギー社会構築に向けて水素の安全利用技術の確立のために設立された。「水素材料先端科学研究センター」の略称である。
JHFC	Japan Hydrogen & Fuel Cell Demonstration Project (水素・燃料電池実証プロジェクト) とは、経済産業省が実施する燃料電池シ

	<p>ステム等実証試験研究補助事業に含まれる「燃料電池自動車等実証研究」と「水素インフラ等実証研究」から構成されるプロジェクト。平成14年度～平成22年度まで、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FCV（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・活動を行ってきた。</p>
<p>KHKS 0220 (超高压設備に関する基準)</p>	<p>高压ガス保安法の適用を受ける超高压設備の耐压部の材料、設計、製作、試験・検査に対して適用される基準である。高压ガス保安法の省令、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例示基準の設計係数の低減を可能としている。</p>
LBB	<p>Leak Before Break (破裂前漏洩) 長期間の疲労を受けた場合、亀裂が内面から進展して外面に達し、容器内の水素が放出されて内圧が低下し、不安定破壊には至らない現象。</p>
Ni 当量	<p>ニッケル当量 (Ni 当量) は、組織図法でフェライト量を決定する場合に、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 当量は次の式で表される。</p> <p>1) シェフラの組織図のニッケル当量  <math display="block">\text{ニッケル当量} = 30\%C + 0.5\%Mn + \%Ni</math></p> <p>2) FN 組織図 (デロングの組織図) のニッケル当量  <math display="block">\text{ニッケル当量} = 30\%C + 0.5\%Mn + \%Ni + 30\%N</math></p>
SSRT	<p>Slow Strain Rate Test (低歪速度引張試験) 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れる遅れ割れ試験法。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>
SUS316, SUS316L	<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。ステンレス鋼は、表面に「酸化被膜」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。SUS316L は、SUS316 の炭素含有量 (&lt;=0.08) より低くした (&lt;=0.03%) 極低炭素鋼であり、耐粒界腐食性を有している。</p>
SUH-660	<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。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225N/mm<sup>2</sup> と SUS-316L の約2倍の強度を併せ持っている。</p>

研究開発項目 I : 「車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術に関する研究開発」

用語	説明
圧力損失係数	<p>充填層の圧力損失を求める Cozeny-Carman の式</p> $\frac{\Delta P}{L} = k \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot \mu \cdot S_v^2 U$ <p>を下記の式に変換したときの <math>\alpha</math> を圧力損失係数 [<math>1/m^2</math>] とした。</p> $\frac{\Delta P}{L} = \alpha \cdot v \cdot \frac{\dot{m}}{A} \qquad \alpha = k \frac{(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \cdot S_v^2$ <p><math>\Delta P</math> : 充填層の圧力損失, <math>L</math> : 充填層の長さ, <math>\varepsilon</math> : 空隙率  <math>d</math> : 粒子径, <math>k</math> : Kozeny 係数 (=5), <math>S_v = 6/d</math></p>
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。
火炎暴露試験	圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 JARI S 001 に規定されている設計確認試験の一つ。装置すべきバルブ等を取り付け、最高充てん圧力まで水素ガスを充てんした容器を火炎の中へ曝す試験。合格基準は、容器が破裂することなく、容器内のガスが安全弁から排出されること。
極端温度試験	ANSI/NGV2 (アメリカ国家規格/圧縮天然ガス車両 (NGV) 用燃料容器に対する基本的要求事項) に規定されている試験の一つ。85°C (使用上限温度) で最高充てん圧力×125%を 4,000 回、-40°C (使用下限温度) で最高充てん圧力×80%を 4,000 回行う試験。合格基準は、加圧試験終了後に容器に漏れが無いこと。
高圧水素圧力組成等温線 または P-C 等温線	水素圧力 (P) - 組成 (C) 等温線の呼称。水素貯蔵材料の一定温度下での水素吸蔵放出平衡特性を示す。
固定端/自由端	MH カートリッジは、容器にその両端を保持されている。そのうちの一方はアルミライナーに固定されていて、固定端と呼んでいる。他方は、口金部へ挿入しているプラグで支持され、長手方向に動くことができ、自由端と呼んでいる。
質量貯蔵密度	貯蔵システムの単位質量あたりに貯蔵できる水素質量。水素質量 / (容器質量+水素質量) の値。
常温サイクル試験	圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 JARI S 001 に規定されている設計確認試験の一つ。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。合格基準は、加圧回数が 11,250 回以下で、容器に漏れ及び破裂が無いこと。
耐圧試験	圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 JARI S 001 に規定されている性能確認試験の一つ。最高充てん圧力の 150%以上の圧力に加圧し、30 秒以上保持して容器を十分膨張させる試験。合格基準は、容器に漏れ又は異常膨張がなく、かつ、恒久膨張量が規定値を満足すること。
体積貯蔵密度 (容器体積密度)	貯蔵システムの単位体積あたりに貯蔵できる水素質量。水素質量 / 容器外体積 の値。
バースト試験	圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 JARI S 001 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行う試験。合格基準は、破裂圧力が最小破裂圧力 (最高充てん圧力×225%以上、かつ、応力比 2.25 以上) 以上でありこと。

落下試験	<p>圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 JARI S 001 に規定されている設計確認試験の一つ。水平落下、垂直落下、斜め 45° 落下を実施した容器について、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。合格基準は、加圧回数が 11,250 回以下で、容器に漏れ及び破裂が無いこと。</p> <p>ただし、今回のハイブリッド貯蔵タンクの評価については、落下方法のみを参照した。</p>
BCC 相	体心立方 (Body Centered Cubic) 構造をもつ相。
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Plastics の略。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。
C14 型ラーベス相	AB <sub>2</sub> の組成式で表される金属間化合物のうち、MgZn <sub>2</sub> 型の六方構造をもつもの。
FCC 相	面心立方 (Face Centered Cubic) 構造をもつ相。本研究の場合、Ti-V-Mn 系 BCC 合金相を水素化すると FCC 水素化物相が生成する。
MH	MetalHydride (水素吸蔵合金)
MH カートリッジ	熱交換用のフィン、配管などがついた水素吸蔵合金を入れておくための容器。
Ti-V-Mn 系合金	チタン、バナジウムおよびマンガンからなる合金。金属組成によって BCC 相および C14 型ラーベス相を生成する。

研究開発項目Ⅱ：「水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発」

用語	説明
オフガス (Off gas)	改質側ガスから、水素分離膜により水素を分離精製した残りのガスの呼称。
カーケンダルボイド (Kirkendall void)	異種元素が接し相互拡散する場合、各元素の拡散速度の差異が大きいときに生じる空孔。
グラファイトフェルール (Graphite ferrules)	グラファイト製のフェルール（別途説明あり）。本事業では、触媒一体化モジュールの継手部に使用している。
フェルール (Ferrules)	配管の継手部の流体密封手段のひとつで、チューブ端近くの接続部に咬ませるリング状の部品。
触媒一体化モジュール	水素分離膜モジュール（別途説明あり）の一種。本事業のテーマのひとつで研究開発対象としている。水素分離膜を支持する多孔質支持体に触媒機能を持たせている。別置きの改質触媒を必要としないため、システムのコンパクト化が期待できる。
水素製造効率	水素製造のためのエネルギー効率。定義式は以下のとおり。 $\frac{F_p(H_2) \times Q(H_2)}{F_c(NG) \times Q(NG) + W(AUX)} \times 100(\%)$ $F_p(H_2): \text{製造水素流量 (Nm}^3/\text{h)}$ $Q(H_2): \text{水素の熱量 (J/Nm}^3)$ $F_c(NG): \text{消費される天然ガス流量 (Nm}^3/\text{h)}$ $Q(NG): \text{天然ガスの熱量 (J/Nm}^3)$ $W(AUX): \text{補機の消費エネルギー (J)}$
水素分離型リフォーマー	水蒸気改質による水素生成と水素分離膜による水素精製を単一の反応管内で行う水素製造システム。従来システムに比べて、高効率でシンプルかつコンパクトという特長を有する。
水素分離膜モジュール	水素分離型リフォーマー（別途説明あり）の構成要素のひとつ。水素分離膜とそれを支持する支持体からなる。反応管（別途説明あり）の中で使用される。
反応管	本事業では、水素分離膜モジュールを改質触媒（触媒一体化モジュールの場合は必要なし）とともに内蔵する高温耐圧容器を指す。この中で水素の生成と精製を同時に行う。
ホットモデル	本事業では、補機類（ボイラー、圧縮機、水処理装置等）を別置きした試験用水素分離型リフォーマーを、ホットモデルと称している。
膜モジュール	水素分離膜モジュール（別途説明あり）。
メンブレン (Membrane)	本事業では、水素分離膜を指す。
MOC	Membrane On Catalyst. 触媒一体化モジュールの英語略称。

研究開発項目Ⅱ：「水素製造装置の高性能化・低コスト化・コンパクト化に関する研究開発」

用語	説明
改質効率	水素製造装置に投入した原燃料の熱量に対する送出水素の熱量の比。
製造効率	水素製造装置に投入した原燃料の熱量及び投入電力量の合計に対する送出水素の熱量の比。
HHV	High-Heating Value 高位発熱量。水蒸気の凝縮潜熱を含んだ可燃性ガスの発熱量。
起動時間	装置の起動開始から定格能力の30%程度で水素を送出するまでの時間。
DSS	Daily Start-up Shut-down。装置を毎日起動、停止すること。
ホットスタンバイ	反応器運転温度を維持するため最低負荷状態で運転し、待機した状態。
水蒸気改質	原料（炭化水素）と水蒸気を反応させ、水素を主成分とする改質ガスを生成させる反応操作。
脱硫	原料中の有機硫黄分を除去する反応操作。
変成	改質ガス中の一酸化炭素と水蒸気を水素と二酸化炭素に変換する反応操作。
S/C	Steam Carbon Ratio。水蒸気と炭素のモル比。
PSA	Pressure Swing Adsorption。吸着剤への吸着量が成分によって差異があることを利用し、ガスを精製する装置。水素 PSA は水素以外の成分を吸着除去し、高純度の水素を製造する。
VPSA	Vacuum Pressure Swing Adsorption。PSA の一種で、真空下で吸着剤から吸着成分を脱離する方式。
水素回収率	水素 PSA で供給ガス中の水素量に対する製品水素量の比。
改質ガス	水素を主成分とし、一酸化炭素、二酸化炭素、メタンからなる。
変成ガス	改質ガスを変成器で処理した後のガス。改質ガスと比して、水素濃度、二酸化炭素が増加し、一酸化炭素が数%まで低下する。
オフガス	水素 PSA に供給される変成ガスのうち、製品水素以外のガス改質器のバーナ燃料に使用される。
SV	Space Velocity。単位触媒量、単位時間に流体が触媒層を通過する流量。
メタン転化率	原料中の炭素原子モル量に対する改質ガス中の一酸化炭素、二酸化炭素モル量の比。同じ反応温度においてメタン転化率が高いほど触媒性能が高い。

研究開発項目Ⅱ：「CO<sub>2</sub>膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発」

用語	説明
キャリア	運び手のこと。本研究では、膜内で物質（二酸化炭素等）を輸送する物質のことある。
パーミアンス	透過速度。本研究では、mol/（m <sup>2</sup> skPa）という単位で評価している。
メンブレン	膜のこと。
水蒸気改質反応	炭化水素と自ら、二酸化炭素と水素を得る反応。副生成物として一酸化炭素が発生する。
変性反応	一酸化炭素と水から二酸化炭素と水素を得る反応。
CO転化率	変性反応において、一酸化炭素が反応する割合。
メンブレンリアクター	本研究で開発している、触媒とメンブレンを組み合わせ、CO変性反応を行う反応器。
水素ステーション	燃料電池車に水素を供給するための施設。水素を輸送して貯蔵するオフサイト型と、都市ガスを改質して、水素をその場で製造するオンサイト型があり、水素製造装置（オンサイト型の場合）、貯蔵タンク、圧縮装置、注入装置から構成される。
PSA	pressure swing adsorption：圧力変動吸着。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する装置。

研究開発項目Ⅱ：「ホウ素系水素貯蔵材料の開発」

用語	説明
エリンガム図	標準生成自由エネルギー-温度図のことで、反応の進む方向をこの図から読むことができる。
ガスクロマトグラフィー	気化しやすい化合物の同定・定量に用いられる機器分析の手法である。
赤外分光分析	物質に赤外線を照射し、透過（あるいは反射）光を分光することで得られるスペクトルから分子構造や状態を知る。
$\mu$ SR零磁場測定	$\mu$ SR（下記参照）を外部磁場なしの状態で行う。本研究では、水素化物中の水素原子の内部磁場にのみに影響された $\mu$ SRスペクトルとなる。
第一原理計算	実験結果を含めて経験的パラメーター等を用いなくて、物質に関する計算を行う。本研究では、既知あるいはモデル構造を元に水素化物の熱力学的安定性などを理論的に予測する。
動径分布関数	ある原子のまわりに存在する原子の数が、平均の密度と比べて、どれくらいであるかをあらわす量で距離の関数となる。X線散乱実験などから求めることができる。
熱重量・示差熱分析	物質を恒温保持あるいは昇温・冷却することによって生じる、重量変化や熱変化を捉えることによって、相変態、分解・結合などの反応を分析する。
放射光	高エネルギーの電子等の荷電粒子が磁場中でローレンツ力により曲がるとき、電磁波を放射する現象であり、強力なX線や赤外線が得られ、各種の分析に用いられる。
ホウ素系水素化物	$M(BH_n)_x$ で表される水素化物である。Mはアルカリ、アルカリ土類、遷移金属元素からなる。B（ホウ素）は水素原子と共有結合して(BH <sub>n</sub> )の陰錯イオンを形成し、Mの陽イオンと結合している。
密度汎関数法	物質の電子状態を求める方法のひとつで、多電子系の基底状態における電子密度分布は、電子密度分布関数の汎関数である全エネルギーを最小にするものとして一意的に与えられることを利用する。
ミリング処理	遊星ボールミリング装置等によって行われる物質の処理方法のひとつである。容器内に鋼等の球体と試料をいれ、回転運動を与えることによって、ボールや容器内壁面と試料、試料同士が衝突を繰り返して、粉碎加工される。
無機錯体系水素化物	$M(M'H_n)_x$ で表される一連の水素化物群の総称である。Mはアルカリ、アルカリ土類、遷移金属元素、M'はAl, B, Nなどの元素からなる。M'は水素原子と共有結合して(M'H <sub>n</sub> )の陰錯イオンを形成し、Mの陽イオンと結合している。
ラマン分析	物質にレーザのような単色光を照射し、散乱される光を分光器に通し観測して得られたスペクトルより、物質の微視的な構造や不純物の同定などを行う。
RHC (reactive hydride composite)	金属水素化物とMgB <sub>2</sub> の混合物。ホウ素源としてBのかわりにMgB <sub>2</sub> を用いることで、水素化反応によるボロハイドライドの合成が促進される。

<p><math>\mu</math>SR (muon spin rotation)</p>	<p>スピン偏極したミュオンを物質に注入し、ミュオンスピンの感じる内部磁場の大きさや揺らぎを実時間で捕らえることにより物質の様々な性質を明らかにする手法</p>
<p>マジック角回転法 (MAS)</p>	<p>MAS は、Magic Angle Spinning の略称である。試料を強い磁場の中に入れ、磁場の方向に対して 54.7 度傾いた軸の周りで高速回転する方法。固体試料の NMR シグナルは非常に線幅が広くスペクトルの分解能が低い、マジック角回転法を用いて測定することにより、線幅の狭いシグナルとなり、高分解能スペクトルが得られる。</p>
<p>核磁気共鳴分析 (NMR)</p>	<p>外部静磁場に置かれた物質中の原子核が固有の周波数の電磁波と相互作用する現象を利用した分析手法。原子核の内部構造、物質の分析、同定の手段として用いられる。</p>
<p>XANES分析 (X-ray Absorption Near Edge Structure)</p>	<p>エックス線吸収端近傍構造分析を示す。吸収端の前後 50 eV 程度までの領域に見られるピーク構造を解析することで、X線吸収原子の電子状態や局所構造に関する情報が得られる。</p>

研究開発項目Ⅱ：「ラーベス構造を有した高容量水素吸蔵合金の開発」

用語	説明
原子半径比 ( $R_A/R_B$ )	AB <sub>2</sub> 型のラーベス合金のA元素と、B元素の原子半径の比。2元素系のC15ラーベス合金ではこの値が1.37以上であると、水素を吸蔵して非晶質化が起こるとされている。 なお、理想的なラーベス構造では1.225程度である。
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。
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。
水素化分解（不均化）	水素吸蔵合金が水素を吸蔵した後に水素化物と金属に分解すること。一般に水素化分解が起こると可逆的な吸蔵放出が起こらなくなる。 例： $\text{CaNi}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CaH}_2 + 2\text{Ni}$ （水素化分解＝不均化） 例： $\text{CaNi}_5 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CaNi}_5\text{H}_6$ （水素吸蔵）
水素雰囲気での粉末X線回折測定（in Situ XRD測定）	水素圧下で粉末X線回折測定を行い、様々な水素吸蔵量での水素吸蔵合金の結晶構造を調べる。
水素誘起非晶質化（アモルファス化）、単に非晶質化	水素吸蔵合金が水素を吸蔵した後に結晶構造が崩れアモルファスの水素化物になること。一般に非晶質化が起こると可逆的な吸蔵放出が起こらなくなる。
不均化（水素化分解）	水素吸蔵合金が水素を吸蔵した後に水素化物と金属に分解すること。一般に不均化が起こると可逆的な吸蔵放出が起こらなくなる。 例： $\text{CaNi}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{CaH}_2 + 2\text{Ni}$ （不均化＝水素化分解） 例： $\text{CaNi}_5 + 3\text{H}_2 \rightarrow \text{CaNi}_5\text{H}_6$ （水素吸蔵）
ラーベス構造	A原子とB原子の半径のサイズの比 ( $R_A/R_B$ ) が1.225あるいはそれに近い値をもちAB <sub>2</sub> の形の化学式で表される、緻密で安定な金属間化合物の結晶構造。C15型、C14型、C36型の3種に分類できる。結晶格子内に多数の水素吸蔵サイトが多数存在しており最大でAB <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (H/M=2) まで到達する合金がある。
BCC（体心立方）構造 Body-Centered-Cubic	立方体の格子の頂点以外に中心にも格子点がある結晶構造。格子内に多数の水素吸蔵サイトが存在しており最大でMH <sub>2</sub> (H/M=2) まで到達する。
C14型ラーベス構造	3種類あるラーベス構造の内のひとつで、プロトタイプはMgZn <sub>2</sub> である。ZrやTi系の水素吸蔵合金が多数報告されている。CaMg <sub>2</sub> やCaLi <sub>2</sub> 等の高容量が規定できる軽量の化合物が存在する。
C15型ラーベス構造	3種類あるラーベス構造の内のひとつで、プロトタイプはMgCu <sub>2</sub> である。C14型よりは少ないもののZrやTi系の水素吸蔵合金が報告されている。(Mg, Ca)Ni <sub>2</sub> 組成の室温で可逆的に吸蔵放出可能な合金が存在する。
C15 <sub>b</sub> 型ラーベス構造	C15型のラーベス構造のAサイトが2種類のサイトに規則化した構造。C15はAB <sub>2</sub> であるがC15 <sub>b</sub> は(A <sub>1.5</sub> A <sub>2.5</sub> )B <sub>2</sub> =A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> B <sub>4</sub> で表される。具体的にはMgPrNi <sub>4</sub> が相当している。またこの組成ではMg、Prそれぞれにそれぞれが置換固溶できるため、Mg <sub>1.4</sub> Pr <sub>0.6</sub> Ni <sub>4</sub> やMg <sub>0.8</sub> Pr <sub>1.2</sub> Ni <sub>4</sub> が存在する。最近この系の合金の特異的な水素吸蔵放出特性が明らかになってきている。

ΔH	水素分子 1 モルを水素吸蔵合金が吸蔵もしくは放出する反応時のエンタルピーの変化量。実用的な水素吸蔵合金では、 $-20 \sim -30 \text{ kJ/mol H}_2$ 程度である。
ΔS	水素分子 1 モルを水素吸蔵合金が吸蔵もしくは放出する反応時のエントロピーの変化量。理想的にはおおよそ、 $-130 \text{ J/mol H}_2 \cdot \text{K}$ となる。実際には $-100 \sim -130$ 程度である。
H/M	水素吸蔵量を表す方法のひとつ。金属水素化物の金属原子 M と水素原子 H の比。例えば $\text{Mg}_2\text{NiH}_4$ では $\text{H/M} = 4/3 = 1.33$ (3.6mass%)。
PCT 曲線 Pressure-composition -Temperature curve	水素吸蔵合金の性能を表す最も重要な水素吸蔵量や水素吸蔵・放出温度および圧力を示している曲線。圧力-組成等温線図と呼ばれている。
2 段プラトー	PCT 曲線に低圧、高圧の 2 段のプラトー領域が存在していること。水素圧力あるいは水素量に依存した 2 種類の金属水素化物が存在しているために出現する。本事業で $\text{MgPrNi}_4$ で 2 段プラトーが存在している事を見出した。

研究開発項目Ⅱ：「低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発」

用語	説明
圧力計	圧力を計測し表示する装置。(機械式)
圧力伝送器	圧力を計測し、結果を電気信号にて伝送する装置。
安全弁	高圧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。
カウンター	充てんした水素量およびエラーなどを表示する装置。
ガス検知器	水素ガス検出装置。
気密試験	設計圧力以上の圧力で気体を使用して行う試験。
緊急離脱カップリング	水素充てん中に燃料電池自動車が発進したとき、ホース断裂前に離脱し水素の漏洩を防止する安全装置。
コアプロセッサ	コリオリ流量計で計測部と一体化したデジタル信号処理回路を内蔵する変換器。
コリオリ式流量計	振動するパイプ内を流体が流れるときに発生するコリオリ力を測定することにより質量流量を計測する流量計。
コントロールボックス	充てんおよびディスペンサーを制御する装置。
シーケンサー	リレー回路の代替装置として開発された制御装置。プログラマブルコントローラとも呼ばれる。
遮断弁	水素の供給、遮断を制御するバルブ。
充てんカップリング	燃料電池自動車の水素供給口と接続するディスペンサーからの水素供給の出口。
常用圧力	装置の使用状態での最高圧力。
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。
操作スイッチ	緊急停止、充てん開始・終了、脱圧などをおこなうためのスイッチ。
耐圧試験	設計圧力の1.5倍以上の圧力で水その他の安全な液体を使用して行う試験。(液体の使用が困難な場合、設計圧力の1.25倍以上の圧力で気体を使用)
脱圧弁	ベントラインに接続され充てん終了時にディスペンサー内部配管から水素を抜くためのバルブ。
ディスペンサー	燃料電池自動車の水素タンクに水素を充てんする装置。
バリア	危険場所で使用する電気回路の安全保持回路。
ブライン槽	水素ガスを冷却するために使用する冷却液の容器。
プレクール	水素充てん時、車載タンクの温度上昇を抑制するために前もって水素ガスを冷却すること。
フローチューブ	コリオリ流量計で計測される流体が流通する振動管。
防爆ボックス	全閉構造で爆発性ガス(水素)の内部爆発の圧力に耐え、さらに内部爆発による火炎が外部の爆発性ガス(水素)へ引火を生じることがない容器。
ホース	充てん作業を容易にするためのフレキシブル性を持った水素の通路。
流量調整弁	水素充てん時に水素の流速を制御するためのコントロールバルブ。
レセクタプル	燃料電池自動車の充てんカップリング接続口。

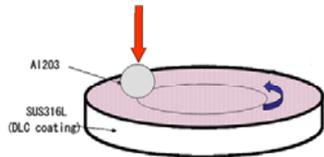
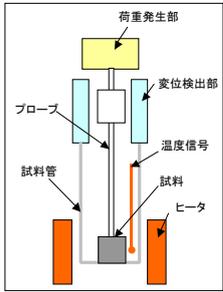
研究開発項目Ⅱ：「低コスト型70MPa級水素ガス充填対応大型複合蓄圧器の開発」

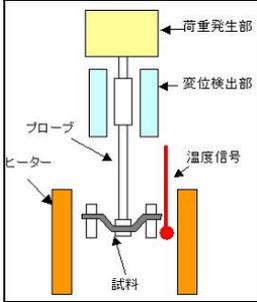
用語	説明
外部加熱法	ライナーを外部から加熱しながらフィラメントワインディングを行う方法。内部加熱法と同様の効果が期待できると共に、内部加熱法と組合せることで効率よく加温することが可能となる。
キャノピー	(ガソリン、水素など) サービスステーションの充填場所の屋根部分。
ゲル化	液状の樹脂が流動性をなくし、固化すること。
硬化	ここでは主にエポキシ樹脂を固めることを指す。樹脂項参照。
樹脂	ここでは主にエポキシ樹脂を指す。加熱により硬化し繊維間に密着力を持たせる。一般には100℃～150℃の熱を加えて硬化させる。
蓄圧器	ここでは高圧水素を蓄えておくボンベ(容器)をいう。70MPaの車載タ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。
内部加熱法	ライナーを内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。
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。
プレクール	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。
ヘリカルバースト	ヘリカル巻した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)した後、樹脂を一般には加熱硬化させて複合容器とする。
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。
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。
WE T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。

研究開発項目Ⅱ：「低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器に関する研究開発」

用語	説明
アクチュエータ	自動弁に用いられる駆動機のこと。水素ステーション関連機器では主に空気圧を動力としたものを使用する。
圧縮機併用方式	蓄圧器からの差圧充填と、圧縮機からの直充填とを同時に用いることにより車両に充填する方式。単純な差圧充填と比較して蓄圧器の容量ができ、また直充填と比較して圧縮気風量を低減できる。 差圧充填方式：蓄圧器と車両充填容器との圧力差を利用して充填を行う方式 直充填方式：圧縮機から蓄圧器を介せず車両充填容器に直接充填を行う方式
圧力上昇率	水素充填時の温度上昇の観点から充填に際し考慮する圧力の上昇率が提案されている。
応力緩和	グランドパッキン等の材料内に作用していた応力が、クリープ変形により低下していく現象。
グランドパッキン増し締め	グランドパッキンは、スタフィングボックス内のパッキンをパッキン押さえで締め付けることによって、軸表面を押し付ける力が発生し、その接触圧力で内部の流体をシールする。日常運転中に漏れが増大したときに行う締め付け調整のこと。
固溶強化	窒素添加等により固溶体を作ることにより高強度化する手法。
自緊 自緊処理 (自己緊縮法：autofrettage)	<p>製造工程中で、水圧などを利用して、容器内面に弾性限度以上になるような高い内圧を加えると、内圧をのぞいた後も変形は元に戻らず、図のように内層には圧縮応力、外層には引っ張り応力が残留し、容器内層が外層によって緊縛された状態になる。</p> <p>自緊により実効的なき裂進展率が低減されるので、蓄圧器の耐久性向上が見込まれる。</p> <div data-bbox="1037 1030 1404 1411" data-label="Figure"> <p>図1 充填時の円周方向応力</p> </div>
靱性 (vE-30°C)	マイナス 30°Cにおけるシャルピー衝撃試験の吸収エネルギー。鋼の靱性はこの数値が高いほど高いとされる。
析出強化	炭化物の代わりに金属間化合物の微細な析出物粒子を熱処理により分散させ強度を高める手法。析出硬化系ステンレス鋼としてSUS630が知られている。
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。
ダイナミックシミュレーション	システムの微小時間の変化をあらゆる微分方程式を立て、数値解法を用いて解くことにより、対象とする流量、圧力等の時間変化を計算する予測計算手法

<p>ナノインデンテーション試験 (超微小押し込み硬さ試験)</p> <p>摩擦磨耗試験</p>	<p>薄膜や微小領域の硬さとヤング率の測定を高精度で行う試験。圧子を材料や薄膜の表面に押し込み、表面硬さ等を求める。</p> <p>試験体の磨耗量、摩擦係数を求める目的で、実供用を模したボールとディスクとの間に荷重をかけ擦り合わせる試験</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div data-bbox="667 450 911 725">  </div> <div data-bbox="1050 461 1374 618">  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 10px;"> <div data-bbox="624 770 967 801"> <p>図2 超微小押し込み硬さ試験機</p> </div> <div data-bbox="1018 757 1406 831"> <p>図3 摩擦磨耗試験 (荷重増加式ボールオンディスク試験)</p> </div> </div>
<p>熱機械分析装置</p>	<p>試料の温度を一定のプログラムによって変化させながら、圧縮、引張り、曲げなどの非振動的荷重を加えてその物質の変形を測定する装置。試料の膨張収縮、軟化といった情報を温度又は時間の関数として定量的に測定できる。主に熱膨張、熱収縮、軟化点などの測定に用いられる。パッキン形状で熱履歴を加えた場合の変形状態を把握するために使用。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div data-bbox="608 1128 783 1435">  </div> <div data-bbox="815 1137 1038 1429">  </div> </div> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">図4 熱機械分析装置の外観と装置構成</p>

粘弾性装置	<p>試料に動的な歪みまたは応力変化（正弦振動）を与えて、発生する応力または歪みを測定する装置。この応力と歪みの温度・周波数依存性から高分子材料のもつ弾性的な特性と粘性的な特性を温度または時間の関数として定量的に測定できる。パッキン材質のガラス転移を代表とする各種の緩和現象や観測し、適切な材料選定のために使用。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div> <p>図5 動的粘弾性装置の外観と装置構成</p>
引張強度 (UTS)	限界引張強さ (Ultimate Tensile Strength – UTS)
フェーズドアレイ UT (Ultrasonic Testing) 法	<p>小さい振動子を多数配列し、そのうちの数個を同時または若干の時間の遅れを持たせて電氣的に制御して振動させ、超音波ビームの方向、集束点等を制御する技術である。フェーズドアレイ技術には従来の方法と比べて、超音波ビームの方向、集束点を任意に設定することが可能で、きずの検出能力が高く広範囲を一度に探傷できることと、その結果が断面画像で見ることができ、材料内部の詳細な情報が得られる。</p>
プレクール設備	車両充填容器に急速充填を行う目的で設けられる熱交換器および冷凍機からなる設備
ボールバルブ (手動弁、遮断弁)	バルブ構造の一つ。弁棒を90°回転させることにより開閉を行う。他構造のバルブと比較して、流量を大きくすることが可能である。
冷間加工	塑性変形を利用した常温で行う加工。オーステナイト系ステンレスは、熱処理により軟化し、冷間加工により硬化、高強度化する。
AE (Acoustic Emission) 法	<p>材料に許容以上の外力などが加わると、材料に蓄えられていたひずみエネルギーは変形やき裂の発生や進展に費やされ、この時の、一部のエネルギーが音に変わる。これをアコースティック・エミッションと呼んでいる。この AE 信号を検出することで稼働中に異常を検出することができるため、装置を停止させることなく監視することが可能である。</p>
CrN	窒化クロムのコーティング。高硬度のため、耐磨耗、摺動性に優れる。プラグの耐エロージョン用として採用実績あり。プラグの摺動性向上のために検討。
Cv 値	バルブの持つ容量係数で、流体がある差圧でバルブを流れる時の流量を表した場合の数値。大きいほど流れやすい。
DLC	ダイヤモンドライクカーボン (Diamond-like carbon) のこと。主として炭化水素、あるいは、炭素の同素体からなる非晶質 (アモルファス) の硬質膜である。一般的な特長は、硬質、潤滑性、耐磨耗性、化学的安定性、表面平滑性、耐焼付き性等。

MC-E	ナイロンモノマーを重合・成形した耐磨耗性、自己潤滑性に優れた樹脂。シールパッキンとして検討。
PEEK	ポリエーテルエーテルケトンの略称。熱可塑性樹脂の一種。硬く潤滑性に優れるため、シールパッキンをバックアップするパッキンとして検討。
PEEK-S	PEEK の摺動性を向上させるために添加材を含有させたもの。PEEK よりも耐久性を向上させるために検討。
POM	ポリオキシメチレンの略称。一般的にはポリアセタール、アセタール樹脂と呼ばれる熱可塑性樹脂。硬く摺動性に優れるため、シールパッキンのバックアップとして検討
PPS	ポリフェニレンサルファイド樹脂の略称。高結晶性の熱可塑性樹脂。硬く摺動性に優れるため、シールパッキンのバックアップとして検討。
PTFE	ポリテトラフルオロエチレンの略称。テトラフルオロエチレンの重合体で、フッ素原子と炭素原子のみからなるフッ素樹脂（フッ化炭素樹脂）。柔らかく自己潤滑性に優れるため、シール用パッキンとして検討。
PTFE-S	PTFE に強度を向上させるための補強材を含有したもの。通常のPTFE では柔らかすぎ、耐久性が乏しいために検討。
PVDF	ポリフッ化ビニリデンの略称。高耐性、高純度な熱可塑性フッ素重合体の一種。硬く潤滑性に優れるため、シールパッキンをバックアップするパッキンとして検討。
Sachs 法	試験体の残留応力を切削前後の寸法変化から求める破壊測定方法。
SA723 鋼	4%Ni 低合金鋼。従来より超高圧特認容器用材料として規定されている。
SNM439 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 (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。
TiC	チタンカーバイドのコーティング。高密着力で高硬度の特性を持つ。耐磨耗性に優れ、平滑性も良いため摺動性も良い。プラグの耐エロージョン用として採用実績あり。摺動性向上のために検討。
TOFD → (TimeofFlightDiffraction) 法	送信用探触子と受信探触子を一定の間隔で対向させ、探触子間を直接伝わる波を検出し表示する方法である。この時、き裂が内在しているとき裂の上端・下端で回折波が発生するので、き裂先端からの回折波の伝搬時間の差を利用して、検出または寸法測定を行なうことが可能である。き裂の高さ寸法の測定精度が良いという特徴がある。
UPE	超高分子量ポリエチレンの略称。熱可塑性樹脂の一種。柔らかく自己潤滑性に優れるため、シール用パッキンとして検討。
UPE-S	UPE の摺動性を向上させるための添加材と、強度を向上させるための補強材を含有したもの。UPE よりも耐久性を向上させるために検討。

研究開発項目Ⅱ：「都市型コンパクト水素ステーションの研究開発」

用語	説明
安全濃度	本研究ではCO <sub>2</sub> を加えることによりある空間に水素が漏洩しても着火しないCO <sub>2</sub> /空気の分圧比と、水素が漏洩した空間内の混合気を外部に排出しても着火の恐れが無いCO <sub>2</sub> /水素分圧比を決定した。本研究ではこの両方の条件を満たすCO <sub>2</sub> /空気/水素混合気の濃度を安全濃度と呼ぶ。
可燃濃度の境界	空气中で水素の可燃限界は下限が4%、上限が75%とされ、その間の濃度が可燃濃度である。空気にCO <sub>2</sub> を加えるとCO <sub>2</sub> の増加とともに下限が上昇、上限が下降して可燃濃度が狭まり、本研究の結果CO <sub>2</sub> 75%で消滅する。CO <sub>2</sub> 濃度を変化させて可燃限界を測定し、それを結んだ曲線が可燃濃度の境界である。
水素燃焼制御	水素混合気の水噴霧や不活性ガスを混合し、水素の燃焼を抑制すること。
水素の不活性化	本研究開発では不活性気体により漏洩した水素が着火・爆燃・爆轟に至らないようにすることを表す。(ハロン消火剤の場合には化学反応により燃焼を抑えるが、本研究のCO <sub>2</sub> の場合には熱的影響により燃焼を抑制している)
パイロットバーナ	燃焼器では主たる燃料と空気の流れとは別に常に安定して燃焼する小さなバーナを備えて、最初の点火や条件変動の際の消炎防止に用いるものをパイロットバーナと呼ぶ。本研究では安定して燃焼する火炎(パイロットバーナ)の周囲にCO <sub>2</sub> /空気/水素混合気を流通させて火炎が広がるか否かを調べた。
爆風圧エネルギー吸収壁	入射する圧力波が壁面で反射する時に、圧力波のエネルギーの一部を吸収して反射圧を低減する機構を取り入れた壁。
反射圧低減壁	入射する圧力波が壁面で反射する時に、反射波のピーク圧力を低減する機構を取り入れた壁。

**研究開発項目Ⅱ：「直接充填方式水素ステーション用圧縮機の研究開発」**

用語	説明
水素ステーション	水素を燃料とする自動車に水素ガスや液体水素を充填する施設。
HySUT	水素供給・利用技術研究組合。
吐出圧力	圧縮機から吐出される空気（本研究開発の場合は水素ガス）の圧力。
特認申請	高圧ガス保安法における経済産業大臣特別認可申請手続。
プレートフィン熱交換器	板状の突起が設けられたタイプの熱交換器。
J2601	充填プロトコル対応 国際基準・SAE J2601 のこと。

研究開発項目Ⅱ：「水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発」

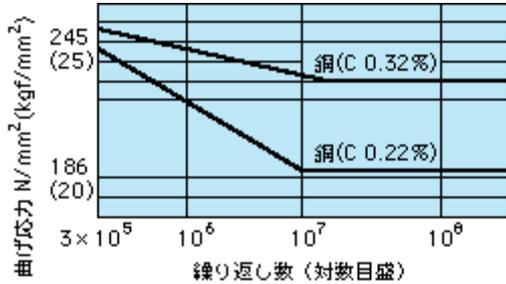
用語	説明
応力/Stress	荷重＝N (kgf) を材料片の平行部のはじめの断面積 (mm <sup>2</sup> ) で割ったものが応力である。: N/mm <sup>2</sup> (kgf/mm <sup>2</sup> )
応力・ひずみ曲線 (S-S 曲線)	応力 (stress) - ひずみ (strain) から S-S 曲線ともいう。引張試験において縦軸に引張応力 (荷重)、横軸に引張ひずみ (伸び) の量または伸び率% をとり、引張応力と伸びの関係を線グラフにしたもので、引張強さ、降伏点、耐力、弾性限度などが図示できる。
オーステナイト/オーステナイト系ステンレス	オーステナイト (austenite) とは、純度 100% の鉄において 911°C ~ 1392°C 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。γ Fe、γ 鉄 (ガンマてつ) ともいう。非磁性体である。γ 鉄に炭素 (C) を最大 2.1% まで固溶した固溶体組織で、727°C 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。
応力拡大係数 範囲 ΔK	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。
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、そのすべり面に対しての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 の範囲内で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。
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も差し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。
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ないで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)でこの術語を規定しているが、非鉄金属材料分野をはじめとして、溶体化処理という術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°C~1,100°C前、アルミニウム合金 450°C~550°C前後)
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。
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。
析出硬化処理	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、ペリリウム銅、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。
ストレスラプチャー試験	静的荷重を与えて、破断までの時間を時間を計測する破断強度の時間依存性試験法。水素用非金属材料の基礎物性として実施した。
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。
疲れ限度／fatigue limit	金属を繰返し折り曲げると、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

	し数 (N) が 1 千万回 (10 <sup>7</sup> ) の繰返しに耐える応力 (S <sub>0</sub> ) を「疲れ強さ」と言い、S <sub>0</sub> kgf/mm <sup>2</sup> (10 <sup>7</sup> ) 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。
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。
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。
ひずみ速度	ひずみの時間的変化の割合で、s <sup>-1</sup> 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。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。
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 <sup>6</sup> ~ 10 <sup>7</sup> 回の繰返し数の範囲に見られる。
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。
マルテンサイト	マルテンサイト (martensite、α' 鋼) 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

	<p>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。</p>								
曲げ試験/bend test	<p>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否判定をする試験法である。</p>								
面心立方格子	<p>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。</p>								
焼入れ/quenching	<p>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、反面もろくなったり、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。</p>								
焼なまし/annealing	<p>「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。</p>								
焼なまし温度	<p>焼きなまし温度は鋼種や目的により幅が大きい目安にすぎないが代表例は下記の通りのようになる。</p> <table border="1" data-bbox="587 1126 949 1361"> <thead> <tr> <th>合金名</th> <th>加熱温度 (°C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A6061 A6063</td> <td>345～415</td> </tr> <tr> <td>A7075</td> <td>345～410</td> </tr> <tr> <td>SUS304</td> <td>900～1000</td> </tr> </tbody> </table>	合金名	加熱温度 (°C)	A6061 A6063	345～415	A7075	345～410	SUS304	900～1000
合金名	加熱温度 (°C)								
A6061 A6063	345～415								
A7075	345～410								
SUS304	900～1000								
溶体化処理/solution heat treatment	<p>「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。</p>								
冷間加工 (C)	<p>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。</p>								
$\alpha$ 鉄	<p>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。<math>\alpha</math> 鉄は常圧下では、912℃、A3点以下で安定。A3点で <math>\alpha \rightleftharpoons \gamma</math> 変態を起こす。</p>								

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)。
δ 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°C~1536°C (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。δFe、δ 鉄 (デルタてつ) ともいう。純度 100%の鉄において、1536°C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°C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。
FRP	ガラス繊維などの強力な繊維を加えたプラスチックで、強度、剛性、耐熱性などの性質を向上させた複合材料 (fiber reinforced plastics)。
Md30 (°C)	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 (°C) = 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 <sup>2</sup> ) を縦軸にとり、横軸に材料が破壊するまでの繰り返し数 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。 
(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。

研究開発項目Ⅱ：「水素用アルミニウム材料の評価・開発」

用語	説明
SSRT 試験	SSRT は、低ひずみ速度法 (Slow Strain Rate Technique) の略称である。主に材料の脆化感受性を評価すること目的として、脆化促進環境中において、非常に小さいひずみ速度条件で材料に引張変形を付与する試験方法を指す。
水蒸気雰囲気試験	水蒸気分圧を制御した環境（一定の湿度環境中）にて、材料特性を評価する試験一般を指す。特にアルミニウム合金の場合は、試験雰囲気中の水蒸気と新生アルミニウム表面が反応して、原子状の水素が発生するために、試験水蒸気分圧を制御することによって容易に高圧水素ガス環境を模擬できるため、水蒸気雰囲気中で SSRT 試験や疲労試験を行って、材料の水素脆性を評価する簡便試験方法として用いられる。
水素脆化感受性指数	材料の水素脆化しやすさを定量的に表す指数。多くの場合は SSRT 試験において、水素脆化を生じない不活性ガス環境中での破断伸び ( $\delta 0$ )、水素脆化が生じる脆化促進環境中での破断伸び ( $\delta E$ ) を用いて以下の式で求められる。 水素脆化感受性指数 = $(\delta 0 - \delta E) / \delta 0$
粒界腐食深さ	材料の耐食性の評価基準の一つである。所定の条件で腐食試験を行った後に、材料断面について組織観察をするなどして、粒界腐食が材料表面からどの程度の深さまで進んでいるかを測定して求める。粒界腐食深さが小さいほど、粒界腐食に対する耐性が高い。
耐 SCC 寿命	SCC は、応力腐食割れ (Stress Corrosion Cracking) の略称であり、材料が応力負荷された状態での使用環境中での腐食によって想定寿命よりも早期に破壊する現象を指す。ここで耐 SCC 寿命とは、所定の試験条件で材料の SCC 試験を行った場合に、破断を生じるまでに要する時間を意味する。
ディンプル破面	金属材料の破面形態の分類の一つ。金属材料の破面を走査型電子顕微鏡などにより高倍率で観察を行うと、表面にくぼみ (ディンプル) が多数認められる形態の破断面を意味する。この形態の破面が存在する場合は、破壊が延性的に生じたことを示す。
粒界割れ	金属材料の破壊形態の分類の一つ。金属材料を引張試験等によって破断させた場合に、結晶粒界面で破壊が生じることを指す。この場合、破面を観察すると粒界面が認められる。水素により材料が脆化した場合は、この破面形態を呈する場合が多い。
T6 処理	溶体化処理後、室温以上の温度でピーク強度に達するまで、時効すること。
マクロ組織観察	金属材料の組織観察方法の一つ。比較的粗大な結晶粒組織を有する材料に適用され、所定のエッチング処理を行った後の組織形態を目視等により観察して、写真撮影等により記録する組織観察方法。
再結晶組織	金属材料のミクロ組織の分類形態の一つ。材料の製造工程等で一旦熱間加工または冷間加工が加わった後に、加熱処理等が行われた場合に、加工組織から再結晶および粒界移動が生じて、組織の大部分が再結晶粒で構成されるようになった組織を意味する。

ファイバー組織	金属材料のミクロ組織の分類形態の一つ。比較的等軸の形状であった結晶粒が、材料の加工によって一方向に著しく引き伸ばされることによって形成されたミクロ組織であり、主に押出加工で形成される。
過剰 Si 型 (6000 系合金)	6000 系合金 (Al-Mg-Si 系合金) の分類の一つ。主要成分である Mg と Si によりなる析出物 (Mg <sub>2</sub> Si) を構成する Mg と Si の原子数比 (2:1) に対して、Si 量が多く添加されている成分の合金を指して、過剰 Si 型と呼ぶ。典型例は 6066 合金である。
バランス型 (60000 系合金)	6000 系合金 (Al-Mg-Si 系合金) の分類の一つ。主要成分である Mg と Si によりなる析出物 (Mg <sub>2</sub> Si) を構成する Mg と Si の原子数比 (2:1) に成分調整された合金を指してバランス型と呼ぶ。典型例は 6061 合金である。
疲労き裂進展試験	材料に予め疲労き裂を導入しておき、この材料に繰り返しの応力を付加して、疲労き裂の進展速度等を評価する試験方法。
破壊靱性試験	破壊靱性とは、材料中にき裂が存在する場合におけるき裂進展に対する材料の抵抗力を広義において意味する。このき裂進展に対する材料の抵抗力を定量的に求めるための試験が破壊靱性試験である。
重水蒸気雰囲気	重水とは、通常水分子を構成する水素原子 (H: 質量数 1) が、重水素原子 (D: 質量数 2) で置換された特殊な水分子を多く含む水を意味する。この重水が蒸発して、空気中に多数の重水分子が含まれる雰囲気を重水蒸気雰囲気と呼ぶ。
昇温脱離分析	省略して、TDS (Thermal Desorption Spectrometry) とも呼ばれる材料中のガスの分析方法の一つである。供試材料の温度を一定速度で高め、その昇温過程で材料中から放出されるガス成分を連続的または一定期間毎に分析して、ガスが放出される温度と放出ガス量の関係等を調べることができる。
陰極電解法	試験片を陰極にして水溶液を電気分解させ、試験片に水素をチャージする方法。
水素マイクロプリント法	英語では Hydrogen Microprint Technique と呼ばれる。金属中の水素は原子状水素 (H) であり強い還元性を持つため、AgBr (写真乳剤の主成分) + H → Ag + HBr の反応により写真と同様に銀 (Ag) が生じることを利用して水素の放出場所を特定する手法。
トリチウムオートラジオグラフィ	オートラジオグラフィは放射線写真法とも呼ばれ、対象物中に分布している放射性物質から放出される β 線や γ 線から画像を作成する手法である。トリチウムオートラジオグラフィはこの手法の一種であり、放射性物質として水素の放射性同位元素であるトリチウムを用いて対象物中の水素 (トリチウム) の分布を調べることができる。
イメージングプレート	X 線、電子線、中性子線による励起で蛍光を発する現象を利用した積分型の二次元検出器である。トリチウムオートラジオグラフィにおいて、トリチウムの崩壊に伴い発生する β 線 (電子線) の発生位置を記録して、水素 (トリチウム) の存在位置を調べるための測定装置である。
SEM	走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscopy: SEM) の略称。試料表面を 1,000 倍以上の高倍率で観察することができる。

研究開発項目Ⅲ：「水素燃料電池に係る国際関連機関等研究・政策動向の調査検討」

用語	説明
Annex (作業部会)	国際エネルギー機関 (International Energy Agency : IEA) における実施協定 (Implementing Agreement) において設置されている作業部会の名称。Task ともいう。
BOP (バランス・オブ・プラント)	Balance of Plant。燃料電池システムにおける、燃料や空気の供給系 (ポンプ等) や発電制御系の総称。
CaFCP (カリフォルニア燃料電池 パートナーシップ)	California Fuel Cell Partnership。1999 年にスタートした官民パートナーシップで、カリフォルニア州における FCV 展開やそのための水素ステーション展開計画の策定、水素燃料品質の検討などを行っている。メンバーは、自動車メーカー、エネルギー供給会社に加えて、カリフォルニア州政府の行政機関 (大気資源局、カリフォルニアエネルギー委員会) も参画。
DFMA	Design for Manufacture and Assembly。米国で開発された製品組み立て手法・ツール。部品数の低減によりコストダウンを図る。
FCH JU (欧州燃料電池水素共同 実施機構)	Fuel Cell and Hydrogen Joint Undertaking。欧州連合の多年度研究開発 (フレームワークプログラム) は、従来は欧州委員会の研究総局 (DG-Research) が公募と助成を行っていたが、より企業ニーズを R&D に反映させるため、2007 年より重要分野 (5 分野) には官民パートナーシップ (民が主導的に助成方針を決める) が設置された。燃料電池水素共同実施機構 (FCH JU) もそのひとつ。
HyNor プロジェクト	ノルウェーが 2003 年より進めている水素利用自動車・水素ステーションの実証プロジェクト。首都オスロからスタバングル (北海油田の基地都市) までを水素ステーションのネットワークでつなげることを目指している。スウェーデンやデンマークとも連携。
IA (実施協定)	国際エネルギー機関 (International Energy Agency : IEA) において実施されている研究交流組織。約 40 の実施協定が実施されている。タスクシェアを基本とする。各実施協定には、Annex (アネックス) あるいは Task (タスク) と呼ばれる作業部会が設置されている。
IEA/AFCIA (IEA 先端燃料電池実施 協定)	先端燃料電池実施協定 (Advanced Fuel Cell Implementing Agreement) は、IEA の実施協定の一つ。AFCIA 傘下には作業部会として、Annex 22 (固体高分子形燃料電池 : PEMFC)、Annex 23 (熔融炭酸塩形燃料電池 : MCFC)、Annex 24 (固体酸化物形燃料電池 : SOFC)、Annex 25 (定置用 FC)、Annex 26 (交通用 FC)、Annex 27 (ポータブル用 FC) が設置されている。
IEA/HIA (IEA 水素実施協定)	水素実施協定 (Hydrogen Implementing Agreement) は、IEA の実施協定の一つ。HIA 傘下には作業部会として、Annex21 (バイオ水素製造)、Annex22 (基礎的・工学的な水素貯蔵材料開発)、Annex23 (水素供給用の小規模改質器)、Annex24 (風力水素)、Annex25 (水素の高温製造技術)、Annex26 (水の光分解による水素製造)、Annex28 (大規模水素インフラ)、Annex29 (分散型水素供給)、Annex30 (グローバル水素システム分析)、Annex31 (水素安全) が設置されている。

IPHE (水素燃料電池国際 パートナーシップ)	水素燃料電池国際パートナーシップ (International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy : IPHE) の略。米国の2003年に設立した、水素・燃料電池に係る政策レベルの国際協力組織。議長国は、2003～2007年が米国、2007～2009年がカナダ、2009～2012年がドイツ。行政担当者間の連携と情報交換を行っている。2010年までは、名称は International Partnership for Hydrogen Economy であった。
IPHE アワード	IPHEによって、FC/水素分野でのリーダーシップと技術功績をたたえるもの。2年毎に実施。
IPHE スチューデント コンペティション	IPHEが企画した、FCV・水素の研究に秀でた各国の高校生を表彰するもの。IPHEメンバー国が自主的に優秀校を推薦。
JHFC プロジェクト	平成14年度から日本で実施されているFCV・水素ステーションの実証研究プロジェクト。平成21年度よりNEDO事業。
NOW (ドイツ水素燃料電池機構)	Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie。ドイツの水素・燃料電池技術革新プログラム(2007～2016年)の実施のために設立された組織で、形式は有限会社。民間の意見をくみ上げて政府の政策立案を支援するとともに、政府のファンドを管理する。ドイツのFCV実証であるCEPプロジェクトや、定置用FCプロジェクトであるCalluxを管轄。最近では、電気自動車(BEV)関連プログラムも管轄しており、「E-Mobility」(注:ドイツでは、FCVとBEVをあわせてE-Mobility呼ぶ)関連プロジェクトの実施機関ともなっている。
PEMEC (固体高分子形電気 分解セル)	PEFC (PEMFC) のセルを電解に用いる技術。一般に膜・電解質は、耐久性の観点から発電利用よりも厚くなっている。
SOEC (固体酸化物形電気分解 セル)	SOFCのセルを電解に用いる技術。一般に膜・電解質は、耐久性の観点から発電利用よりも厚くなっている。
Task (作業部会)	国際エネルギー機関 (International Energy Agency : IEA) における実施協定 (Implementing Agreement) において設置されている作業部会の名称。Annexともいう。
水素貯蔵材料	金属系では、遷移金属系水素化物 (理論値4%←実績2.5%)、マグネシウム系水素化物 (理論値7.6%←実績6.4%)がある。無機系では、アルミニウム水素化物 (理論値10.1%←実績10%【水素放出は不可逆】)、アラネート系水素化物 (理論値5.6%←実績4.8%)、ボロハイドライド系水素化物 (理論値14.9%←実績11%【水素吸蔵は高温・高圧】)、アンモニアボラン系水素化物 (理論値19.6%←実績11%【水素放出は不可逆】)がある。数値はいずれも重量%。
パワートレインのポート フォリオレポート	欧州連合およびドイツがマッキンゼー (欧州) に委託して作成した報告書。世界の主要自動車会社や欧州の主要エネルギー会社が参加し、コストや性能の実データをマッキンゼーに提供、マッキンゼーは限定的なスタッフのみがその実データを加工し、平均値かされたデータのみで将来予測を行った。このような実データの取り扱いを「クリーンルームプロセス」といい、そのスタッフを「クリーンチーム」ということが定着している。

非化石資源由来水素	再生可能エネルギーを利用して製造した水素。米国の「水素実行プラン」(2010年、ドラフト)においては2040年の水素需要の半分をカーボンニュートラル源とすることが想定されている。ドイツのロードマップ研究「GermanHy」は、2050年の水素需要の8割以上を、風力由来水素と石炭ガス化水素(CCS適用あり/なしの両方)とすることを想定している。
-----------	--

研究開発項目Ⅲ：「可視光応答性半導体を用いた光触媒および多孔質光電極による水電解水素製造の研究開発」

用語	説明
可視光応答性	可視光は 400 nm(380 nm)から 800 nm までの波長領域の光である。代表的な光触媒である二酸化チタンはちょうど可視光領域の短波長側より短い波長の光を利用する紫外光応答性光触媒であるので、一般には二酸化チタンの吸収より長い波長の光を利用できる光触媒が可視光応答性光触媒とされる。
酸化タングステン	黄緑色の可視光応答性の半導体。調製法により異なるが、光吸収スペクトルの吸収端は 460~480 nm であり、それよりも短い波長の光を吸収できる。環境浄化利用分野でも銅やパラジウム助触媒を表面に担持することで高い有機物分解性能を示す。強酸性でも非常に安定。
人工光合成	研究分野によって定義は異なる。例えば錯体化学では、植物の光吸収用ポルフィリン錯体や酸素発生用 Mn 錯体の機能を部分的に模倣する研究自体を示す。反応で区分する場合は、光エネルギーを化学エネルギーに「直接」変換・貯蔵する反応（エネルギー蓄積型反応またはアップヒル反応）を起こすシステムを示す。本研究の水を酸素に分解して $Fe^{3+}$ を $Fe^{2+}$ に還元する反応もエネルギー蓄積型反応である。水を水素と酸素に完全分解する反応、炭酸ガスと水から有機物を合成する反応、窒素と水からアンモニアなどを合成する反応も典型的なエネルギー蓄積型の人工光合成反応である。（均一・不均一）光触媒反応や光電極反応がその範疇になる。太陽電池と電気分解を組み合わせた水素製造では、直接的な変換ではないので、人工光合成ではない。
スイッチグラス	イネ科・キビ属の永年性草本植物。米国では大統領の一般教書演説でバイオエタノールを生産するための有望燃料作物として言及されて有名になった。トウモロコシと同じ光合成能力が高い種類で、乾燥にも耐え、農地に適さない土地でも栽培容易なのが特徴。
太陽エネルギー変換効率	単位時間当たりの、入射する太陽エネルギーに対して、取り出したエネルギーの割合。本研究の場合、ソーラーシミュレーターからの疑似太陽光（ラジオメーターで調整）に対して、水を酸素に分解して $Fe^{3+}$ を $Fe^{2+}$ に還元する反応として蓄積されたエネルギーの割合を示す。農作物の場合は、年間の太陽エネルギー総量に対して、年間で収穫された作物の乾燥物から計算した蓄積エネルギーの割合を示す。
光触媒	光触媒は光吸収により励起され、酸化反応および還元反応を引き起こす触媒物質である。不均一系の半導体光触媒や均一系の色素光触媒などがあるが、本発表は前者。半導体触媒は伝導帯と価電子帯が禁制帯で隔てられたバンド構造を持つ。バンドギャップ以上のエネルギーを持つ光により、価電子帯の電子が伝導帯に励起され、伝導帯に電子が、価電子帯にその抜け殻の正孔が生成する。伝導帯に励起された電子は価電子帯の電子よりも還元力が非常に強く、暗時では起こらない還元反応を起こすことができる。同様に、正孔も強力な酸化反応を起こす。今回の反応の場合、正孔により水が酸化さ

	れて、酸素が生成される。一方、伝導帯に励起された電子は $\text{Fe}^{3+}$ を還元し、 $\text{Fe}^{2+}$ が生成する。
光電極	本多藤嶋効果で有名な酸化チタン半導体の単結晶を用いた水分解で用いられた。n型半導体による水分解では、光照射によってその表面で酸素発生、対極で水素発生が起こる。この研究から原理が類似している酸化チタン光触媒の研究が盛んになった。
量子収率	本研究での量子収率は「外部量子収率」で表している。入射する光子の数に対して、反応に利用された光子の割合であり、見かけの量子収率とも言う。光子が反射または透過して吸収されなかった場合や、吸収されて電子-正孔対ができて再結合して熱になった場合、その量子収率は低くなる。一方、吸収された光子の数に対して、反応に利用された光子の割合の場合は内部量子収率と言う。外部量子収率は内部量子収率より低くなる。
レドックス媒体	酸化と還元を安定に繰り返す物質。二次電池材料にも用いられる。本研究については $\text{Fe}^{2+}$ と $\text{Fe}^{3+}$ のイオン。植物の光合成にも酸化や還元を起こす部分に電子移動を仲介する有機物のレドックス媒体が多数存在する。

研究開発項目Ⅲ：「非貴金属化合物を用いた水電解用高機能酸素発生アノード触媒の設計および開発」

用語	説明
アノード(anode)	正電荷が電極相から溶液の方へ向かって移動する電極。電極反応が全体として酸化方向に進行している電極。
アルカリ形水電解 (alkaline electrolyte water electrolysis)	電解質にアルカリ溶液を用いて水の電気分解をおこなう方法ならびに装置。
カソード(cathode)	溶液側から電極相へ正電荷が移動していく電極。電極反応が全体として還元方向に進行している電極。
過電圧(overvoltage)	電極と電解質界面でのただ1つの電気化学反応しか生じていない場合の平衡電位からの電極電位のずれのこと。過電圧は反応や電極の“遅さ”を表す。
固体高分子形水電解 (polymer electrolyte water electrolysis)	電解質に固体高分子膜を用いて水の電気分解を行う方法ならびに装置。
酸素発生電極 (oxygen evolution electrode)	水の電気分解(水電解)におけるアノードのこと。アノードにおいて酸素が発生する反応が起こるので、このように呼ぶ。
質量活性(mass activity)	質量当たりの活性のこと。
定常分極 (steady state polarization)	十分に遅い電位走査速度で自然電位から電極電位をずらしていく操作ならびに測定法。
電解質 (electrolyte)	その内部をイオンが電荷担体として移動して、電流を流すことができるイオン伝導体のこと。
電気二重層 (electrical double layer)	電極を電解液に浸漬すると帯電し、それに液中のイオンが引き寄せられ、電極と電解液中にそれぞれ電荷層が形成される。この層を電気二重層という。
比活性(specific activity)	実面積当たりの活性のこと。

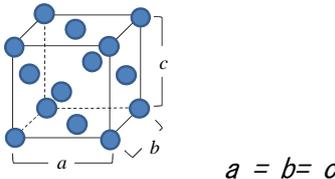
研究開発項目Ⅲ：「高効率水素液化磁気冷凍の研究開発」

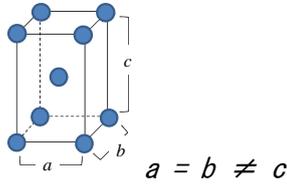
用語	説明
エントロピー変化	磁場により変化する磁性体のエントロピーのこと。これが大きいほど磁性体の冷凍能力が高い。磁性体の磁気相転移温度近傍でのみ大きいため、冷凍温度領域に転移温度を持つ磁性体を選択することが重要である。
カルノー型磁気冷凍	磁気冷凍サイクルの一種。熱機関のカルノーサイクルを磁気冷凍で実現するサイクル。原理的には熱力学最高効率が可能である。
球状化磁性体	磁気作業物質の充填率、熱交換効率を向上し、ガスの圧力損失を減少させるために用いられる球状化した磁性材料である。
磁気熱量効果	磁性体に磁場変化を与えるとき磁性体の温度が変化する。あるいは外部へ放熱、吸熱を起こす効果。磁気冷凍の原理となる物理現象。
磁性体駆動型磁気冷凍サイクル	磁気冷凍サイクルに必要な磁性体の磁場変化を与える方式の一つ。磁性体を駆動することで、超電導マグネットは永久電流モードで運転することができるため、効率的なサイクル運転が可能になる。
蓄冷型磁気冷凍	磁気冷凍サイクルの一種。外部熱交換器(蓄冷器)と熱交換することで、広い温度範囲での冷凍サイクルを可能とする。
ディスプレイサー	シリンダーとピストンによって熱交換ガスを駆動する機構のこと。一般のコンプレッサーと異なり、低温でガスを往復運動させることができる装置のことである。
AMR	Active Magnetic regenerator の略。能動型磁気蓄冷器。蓄冷型磁気冷凍サイクルの一種で、磁性体に蓄冷器と冷凍作業物質の二つの役割をさせることで効率的に蓄冷型冷凍サイクルを実現させる方式である。
%カルノー効率	熱力学的最高効率であるカルノー効率に対する実際のサイクルの効率の割合である。

研究開発項目Ⅲ：「水素ガス輸送用パイプラインの信頼性評価技術の研究開発」

用語	説明
ガスパイプライン実大強度試験	天然ガスパイプラインで広く適用される試験で、他工事損傷などにより鋼管にき裂が発生した場合を想定して、所定の圧力下で初期き裂を強制的に与え、き裂が高速で伝播する挙動を計測する実験方法。
き裂伝播抵抗	延性破壊によりき裂が伝播する際の抵抗値を破壊力学パラメータで表わしたもの。パラメータとして、応力拡大係数やJ積分が使われる。
高速き裂伝播	材料中を高速でき裂が伝播する現象で、鋼の場合には、延性破壊と脆性破壊でき裂が伝播する。前者では、100~300m/s、後者では600~2000m/sの速度である。
水素脆性	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。
水素チャージ	材料の水素脆性感受性を評価するために、材料中に水素を拡散侵入させる方法。高温高圧水素環境下、電気化学的にチャージする方法がある。
TMCP プロセス	鋼管や厚鋼板を製造するプロセスで、Thermo-Mechanical Control Process の略。制御圧延・制御冷却からなる。結晶粒が微細化して強度と靱性が向上する。
TMR プロセス	鋼管や厚鋼板を製造するプロセスで、Thermo-Mechanical Rolling の略。制御圧延を適用する。結晶粒が微細化して強度と靱性が向上する。

研究開発項目Ⅲ：「超高压水素合成法による新規水素吸蔵合金の研究開発」

用語	説明
FCC	Face-centred cubic (面心立方晶) の略。 
共晶合金 Eutectic alloy	共晶反応によって生成する凝固組織を共晶組織と呼び、そのような組織を持つ合金をいう。共晶組織は一般に2種類の板状結晶が交互に配列した層状であるが、稀に棒状、螺旋状をとる。いずれにせよ、数 $\mu\text{m}$ 程度のレベルの微細な組織である。共晶合金が融解するときは、純粋な単体の結晶のように一定温度（共晶点）を保つ。
金属間化合物 Intermetallic compound	2種以上の金属元素から構成される化合物。元素の原子比は整数である。成分元素個々とは異なる、特有の物理的・化学的性質を示す。
空孔 Vacancy	格子欠陥の一種である点欠陥の一つ。原子空孔ともいう。原子が規則正しく配列した結晶格子において、原子が本来在るべき場所から欠落している格子点をいう。絶対零度 (0 K) でない限り、結晶は空孔が存在した方が安定である。
合金 Alloy	金属元素単体からなる純金属に対し、複数の金属元素あるいは金属元素と非金属元素から成る金属様のものをいう。形態としては、完全に溶け込んでいる固溶体や上述の金属間化合物等がある。また、必ずしも単相でなくてもよく、複数の相から構成されるものも含む。金属成分が各々微細に独立した結晶組織を構成している共晶も合金である。
サイト Site	結晶格子における格子点、あるいは複数の原子によって構成される多面体の重心位置を指す。
錯水素化物 Complex hydride	錯体系水素化物の略称。 $[\text{AlH}_4]^-$ 、 $[\text{AlH}_6]^{3-}$ 、 $[\text{BH}_4]^-$ など水素を含み負の電荷を持つ錯イオンと正の電荷を持つ金属イオンとから構成される塩。LiAlH <sub>4</sub> 、NaAlH <sub>4</sub> 、Na <sub>3</sub> AlH <sub>6</sub> 、Mg(BH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> などが該当する。
水素化アルミニウム Aluminum hydride	化学式 AlH <sub>3</sub> 。アランとも呼ばれる。質量水素密度 10.6 %。式量 30.01。密度 1.486 g/cm <sup>3</sup> 。無色の固体。融点約 423K (150°C)。強力な還元剤で、熱力学的に非常に不安定である。金属アルミニウムを直接水素化させる、所謂、気相-固相反応から得ることは平衡解離圧の関係から非常に困難であるが、有機溶媒中でのアラネートを原料としたメタセシス反応により比較的容易に得ることができる。結晶構造が異なる7つの多形 ( $\alpha$ 、 $\alpha'$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\delta$ 、 $\varepsilon$ 、 $\zeta$ ) の存在が知られている。

DSC	<p>Differential scanning calorimetry (示差走査熱量分析) の略。 測定試料と基準物質との間の熱量差を計測することで、相変態温度 (融点、ガラス転移点、水素吸蔵・放出温度など) を測定する熱分析の手法である。</p>
TG-TDS	<p>Thermogravimetry-Thermal desorption spectroscopy (熱重量-昇温脱離ガス分析) の略。 昇温過程で試料表面及び試料中から脱離するガス成分を分子量毎 (定性的) に質量分析計により検出するとともに、試料の質量変化を連続的に測定する。複数種類のガスの放出が並行して起きていなければ、脱離ガス成分毎の定量も可能である。</p>
熱力学的特性 Thermodynamic property	<p>熱伝導率、各種変態温度、エンタルピー、エントロピー、活性化エネルギー、比熱、潜熱、膨脹率、蒸気圧などの数値として表される。</p>
BCT	<p>Body-centred tetragonal (体心正方晶) の略。</p> 
ミリング Milling	<p>ボールミリング、メカニカルアロイング、あるいはメカニカルグラインディングともいう。セラミック製や金属製の硬球と、材料の粉末を円筒形の容器 (材質は硬球と同じ) に入れて自転・公転させることによって、材料を磨り潰して均質な微粉末とする処理。</p>

研究開発項目Ⅲ：「ゼオライト鑄型炭素をベースとしたスピルオーバー水素貯蔵に関する研究  
開発」

用語	説明
エッジ	グラフェンの端の部分のこと。通常は水素で終端されているが、含酸素官能基で終端されることもできる。
含酸素官能基	グラフェンに付加可能な酸素原子を含む官能基。カルボキシル、フェノール性水酸基、ラクトン、カルボニル、エーテルなど様々な種類がある。
含窒素官能基	グラフェンに付加可能な窒素原子を含む官能基。4級炭素（グラフェンシート内の炭素原子1個が窒素原子1個に置換された形）、ピリジン、ピリドン、ピロール、ニトロ基など様々な種類がある。
グラフェン	炭素六角網面からなるシート状物質。グラフェンが規則正しく積そうすると、グラファイトになる。活性炭やゼオライト鑄型炭素などの炭素材料の基本的な構成要素であるが、これらの物質を構成するグラフェンには、大量の構造欠陥（ダングリングボンド、5員環、7員環など）が存在する。
スピルオーバー	金属担持触媒において、気相中の水素分子が金属表面に解離吸着した後、原子状水素（H・）の状態で担体へと流れ出す現象。
スピルオーバー水素	スピルオーバーによって担体へと移動した、原子状水素（H・）のこと。
スピルオーバー貯蔵	スピルオーバー水素を可逆的に吸蔵／放出する、という方式の水素貯蔵。
ゼオライト鑄型炭素	ゼオライトの細孔内部に炭素を充填し、ゼオライトを溶解除去することで得られる多孔性炭素。ゼオライトが鑄型となり、その規則構造が転写された炭素である。鑄型であるゼオライトと同じ長周期規則構造をもち、比表面積は最大で 4000 m <sup>2</sup> /g に達する。
物理吸着	静電相互作用の一種であるファンデルワールス力により、気体分子が固体表面に引き寄せられる現象。固体物質の比表面積が大きいほど、物理吸着量は増加する。

研究開発項目Ⅲ：「Mg および Ti 系相分離型高容量水素吸蔵合金の設計と実証に関わる研究開発」

用語	説明
圧力－組成等温線	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。
グロー放電発光分光分析	分析材料を陰極として異常グロー放電を起こさせ、発する光を分光することにより元素組成分析を行う方法。スパッタリングによって深さ方向にも分解能を持ち、水素のような軽元素も定量できる。
プラトー圧力	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。

研究開発項目Ⅲ：「燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発」

用語	説明
FC	燃料電池 (Fuel Cell) の略称。燃料及び酸化剤が外部から連続的に供給され、電気化学反応によって連続的に発電する装置。燃料がもつ化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換し発電する発電機。
FCV	燃料電池自動車 (Fuel Cell Vehicle) の略称。燃料電池の発電した電気により走行する自動車。
EV	電気自動車 (Electric Vehicle) の略称。電気で駆動する自動車の総称。BEV (バッテリー電気自動車)、HEV (ハイブリッド電気自動車)、FCV (燃料電池自動車) が含まれる。
WP29	World Forum for Harmonization of vehicle Regulations (自動車基準調和世界フォーラム) 自動車基準を国際的に調和することや、認証を輸出入国あるいは地域間でお互いに認め合う相互承認の導入を図ること等を目的としたフォーラムで協定に基づく規則の制定・改正作業を行うとともに、以下の協定の管理・運営を行っている。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・「車両等の型式認定相互承認協定 (略称)」(通称「1958 年協定」)</li> <li>・「車両等の世界的技術規則協定 (略称)」(通称「1998 年協定」)</li> <li>・「国連の自動車検査協定 (略称)」メンバーは国土交通省</li> </ul>
GRPE	WP29 の下に設けられた 6 つの専門分科会のひとつである排出ガス専門分科会 (Working Party on Pollution and Energy) の略称
gtr	自動車の安全・環境に関する世界統一基準 (global technical regulation) の略称。
UN	国際連合 (United Nations) の略称。
AC3	Administrative Committee for co-operation of work for WP29 (3: steering group of gtr) gtr を審議・策定している WP29 傘下の第 3 運営委員会
HFCV gtr	燃料電池自動車の安全・環境に関する世界統一基準 (global technical regulation) の略称。
ECE	Economic Commission for Europe (欧州経済委員会)
IEC	International Electrotechnical Commission (国際電気標準会議)
ISO	International Organization for Standardization (国際標準化機構)
TC	Technical Committee (専門委員会)
SC	Sub Committee (分科委員会)
WG	Working Group (作業グループ)
ISO/TC22	自動車 (専門委員会)
ISO/TC22/SC21	電気自動車 (分科委員会)
ISO/TC21/SC21/WG2	電気自動車の性能 (FCV 燃費試験法) (作業グループ)
ISO/TC197	水素技術 (専門委員会)
ISO/TC197/WG5	水素充填コネクタ (作業グループ)
ISO/TC197/WG6	車載用高圧水素タンク (作業グループ)
ISO/TC197/WG12	燃料電池自動車用水素燃料仕様 (作業グループ)
ISO/TS14687-2	燃料電池自動車用水素規格 技術仕様書
ISO 14687-2	燃料電池自動車用水素規格 (国際規格)

ISO 15869	車載用高圧水素タンク
ISO 17268	水素コネクタ
ISO 23828	FCV 燃費測定法
ISO 6469-1~4	電気自動車の安全規格
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 of International Standard (国際規格原案)
FDIS	Final Draft of International Standard (最終国際規格案)
IS	International Standard (国際規格)
TS	Technical Specification (技術仕様書)
DTS	Draft Technical Specification (技術仕様書案)
SAE	Society of Automotive Engineers (米国自動車技術会)
SAE TIR J2601	小型水素ガス使用自動車用の燃料供給プロトコル (TIR: Technical Information Report、まだ本規格ではない技術情報): この規格は水素ガス燃料ディスペンサーの安全限界と性能要件を確立するもので、コミュニケーションを使わない燃料供給およびコミュニケーションを使う燃料供給それぞれにガイドラインを設定する。
SAE J2579	燃料電池および他の水素自動車の燃料システムに関する技術情報: 自動車用水素貯蔵および取扱いシステムの設計、製造、操作、整備に関する要求事項、水素貯蔵および取扱いシステムの初期設計および製造に関する性能に基づく要求事項。
KHK	高圧ガス保安協会の略称。
ENAA	一般財団法人エンジニアリング協会の略称。
JEMA	一般社団法人日本電機工業会
JARI	一般財団法人日本自動車研究所
JAMA	一般社団法人日本自動車工業会
JASIC	自動車基準認証国際化研究センター
JARI-S001	圧縮水素自動車燃料装置用容器技術基準
JARI-S002	圧縮水素自動車燃料装置用容器附属品技術基準
KHK S 0128 Step 1	70MPa 圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 (H22. 7. 23 制定)
KHK S 0128 Step 2	今後準備される上記基準改訂版
VH3	ガスをバリアするライナーがアルミニウム合金でできた圧縮水素複合容器。
VH4	ガスをバリアするライナーが樹脂でできた圧縮水素複合容器。
CFRP	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 (carbon fiber reinforced plastics)。
安全弁 (PRD)	ガスが充填される容器などが火災時の熱などにより、内部圧力が異常に上昇した際に自動的に圧力を放出させる弁のことである (Pressure Relief Device)。安全弁には圧力作動式、熱作動式、圧力と温度の併用式の三通りがあるが、自動車用圧縮水素容器については、熱作動式安全弁 (TPRD、thermal pressure relief device) のみが認められている。

ガラスボール式安全弁	熱を検知して安全弁を作動させる方式として、熱により破損するガラスボール方式を採用した安全弁。本安全弁は日本では使用を認められていない。
溶栓式安全弁	熱を検知して安全弁を作動させる方式に、熱により溶融する金属を利用した方式を採用した安全弁のこと。
充填コネクタ (ノズル・レセプタクル)	燃料電池自動車の燃料装置用容器に高圧ガスを充てんするための装置の充てんホース先端の接続部(ノズル)と、燃料電池自動車側で圧縮水素を受け入れるための充てんカプラー接続部をいう。
水素充填プロトコル	燃料電池自動車等の燃料容器仕様をフル活用し、ガソリン自動車並の充填時間を達成するために、水素充填時の温度上昇を十分に考慮した安全な充填方法のことをいう。
通信充填	水素ステーション側と燃料電池自動車側の圧力や温度を赤外線などで通信しながら充填方式を演算しながら水素充填する方式。
プレクール	水素充填時の温度上昇を抑えるために、あらかじめ、冷却した水素ガスを充填すること。
充填マップ	充填時の容器の使用温度を超えないために、水素充填速度が記載された表。
LBB	破断前漏洩(Leak Before Break)の略。被害低減のため、破断前に漏洩させる設計指針のこと。
FP	全圧力(Full Pressure)の略。
NWP	定格最高充填圧力(Normal Working Pressure)の略。
振り子試験	評価物を、定められた大きさの振り子によって衝撃を与える試験。
局所火炎暴露試験	安全弁から最も離れた箇所を局所的な火源により、一定時間、容器を炙る試験。局所火炎の間は、熱作動式安全弁が作動しにくいいため、容器に対しては過酷な試験となる。

研究開発項目Ⅲ：「水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化のための研究開発」

用語	説明
一般高圧ガス保安規則	主に工業用等に使用される高圧ガスに関する保安について規定された規則。コンビナート地域以外の水素スタンドは、本規則が適用される。
一般則別表 3	保安検査基準が定められていない技術基準のための保安規定。
液化石油ガス保安規則	LPG(液化石油ガス)に関する保安について規定された規則。
火気離隔距離	高圧ガス設備と火気を引き離してへだてる距離のこと。高圧ガス保安法における火気とは、ライター・マッチ、ボイラー、ストーブ、たばこの火のことを言う。
ガラス球式安全弁	温度の上昇で作動する安全弁の一種で、熱感温部がガラス球製で出来ており、その内部に液体が密閉されている安全弁。
給油取扱所	専用のタンクから給油設備を使用して、自動車や航空機、船舶等の燃料タンクへ給油する施設で消防法上による区分を示す。ガソリンや軽油などの各種エンジン用燃料を主として販売している給油取扱所をガソリンスタンドという。
危険箇所	電気機器の構造、設置及び仕様について特別な安全対策を必要とするほどの爆発性雰囲気が存在し、又は存在することが予想される箇所。
技術基準	法令等で定められた技術的な基準。
技術指針	水素ステーションの設置・運用が適切かつ円滑に実施されるように、技術的に基準となる目安や標準的な方法について示したものの。
建築審査会	<p>行政委員会的一种。建築基準法により特定行政庁（建築主事を置く地方公共団体とその長）の裁量が認められた例外的許可などに対する同意を与えたり、建築基準法などの規定により特定行政庁、建築主事、建築監視員、指定確認検査機関の行った処分や不作為についての審査請求に対する裁決を行う。また、特定行政庁の諮問に応じて建築基準法の施行に関する重要事項を調査審議する。</p> <p>建築審査会の同意が必要とされる内容は、建築制限に対する例外的許可である。</p> <p>建築審査会の委員は、法律、経済、建築、都市計画、公衆衛生または行政に関する学識経験を有し、公共の福祉に関して、公正な判断をすることができる者の中から、特定行政庁の長によって任命される。建築審査会は、これら5～7人の委員で構成される。</p> <p>&lt;参考&gt;建築基準法第48条(用途地域等)による建築規制物件の個別許可において、特定行政庁は、許可をする場合においては、あらかじめ、その許可に利害関係を有する者の出頭を求めて公開による意見の聴取を行い、かつ、建築審査会の同意を得なければならない。</p>
建築基準法	国民の生命・健康・財産の保護のため、建築物の敷地・設備・構造・用途についてその最低基準を定めた法律。
公聴会	<p>建築基準法に基づく行政命令や許可申請などに対して、公開の場で、その当事者や利害関係者から意見を聞くもの。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 違反建築物への命令（法第9条）に対する意見</li> <li>・ 壁面線の指定（法第46条）に対する意見</li> <li>・ 建築物の用途制限許可（法第48条ただし書）に対する意見</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 建築協定の認可申請（法第 70 条）に対する意見などが対象</li> </ul> <p>&lt;参考&gt;建築基準法第 48 条（用途地域等）による用途制限の個別許可において、特定行政庁は、許可をする場合においては、あらかじめ、その許可に利害関係を有する者の出頭を求めて公開による意見の聴取を行い、かつ、建築審査会の同意を得なければならない。</p>
工場電気防爆指針	電気設備を設置し又は使用する場合に電気設備が原因となって生じる爆発又は火災を防止するために独立行政法人産業安全研究所が必要な事項を推奨基準として定めた指針。
厚生労働省労働基準局長通達	厚生労働省労働基準局長から都道府県労働局長及び関係団体等に出している通知・事務連絡をいう。内容としては、法令の解釈、告示や指針の運用基準など様々なものがある。
障壁	爆発等の事故の影響から他を防護するために設置される強固な壁。
敷地境界距離	水素ステーションにおいて高圧ガス設備と敷地境界の間に確保せねばならない距離であり、一般高圧ガス保安規則に規定されている。
設備間距離	本稿では天然ガススタンドの処理設備及び貯蔵設備と水素ステーションの処理設備及び貯蔵設備の間の距離。
第二類危険箇所	労働安全衛生規則に規定する「爆発の危険のある場所」の内、通常状態においてガス又は蒸気が爆発の危険のある濃度に達する恐れが少なく、又は達している時間が短いものをいう。
蓄圧器	圧縮水素を高圧で蓄えておくための貯蔵設備。通常、鋼製ポンペを複数本を架構内に設置する。
定期自主検査指針	高圧ガス設備の運転に関し、保安のために必要な事項を定めた保安規定の遵守状況について、自主的に行う定期検査（通常 1 回/年）のこと。
ディスペンサー	特定圧縮水素スタンドで用いられる設備であって、燃料電池自動車（FCV）の燃料装置用容器に高圧ガスを充填するための装置をいう。
電気機械器具防爆構造規格	厚生労働大臣が定めた防爆構造電気機械器具についての規格。
特定圧縮水素スタンド	一般高圧ガス保安規則により定義された圧縮水素スタンド。一般則第 7 条の 3 に技術基準が規定されている。
道路運送車両法	自動車・原動機付自転車・軽車両について、所有権の公証、安全性の確保、公害の防止、整備等に関し規定した法律。
複合容器	母材の周りを、炭素繊維やガラス繊維等の強化材で多重積層した容器。金属材料よりも比強度が大きく、軽量であることが特徴。
フル充てん	FCV 燃料容器の設計基準で安全が担保されている性能上の上限まで、水素を充填すること。
複合容器	<p>繊維強化プラスチック複合容器のこと。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 金属ライナー製複合容器 : 金属製ライナーに樹脂含浸連続繊維を巻きつけて製造される。金属ライナーにはアルミニウム合金、ステンレス鋼、繊維には主に炭素繊維またはガラス繊維、樹脂にはエポキシ樹脂が使用されている。</li> <li>・ プラスチックライナー製複合容器 : 金属製ライナーの代わりに、おもにポリエチレンライナーが用いられる。</li> </ul>
複合容器蓄圧器	鋼製ポンペの代わりに複合容器を用いる蓄圧器。

プレクール	FCV 燃料容器を保護するために、充填する前に水素を冷却すること。
保安検査	高圧ガス設備の運転に関し、保安のために必要な事項を定めた保安規定の遵守状況について、定期的（通常1回/年）に行う検査のこと。
保有量	水素の貯蔵量は、建築基準法で用途地域毎に最大量が規制されている（建築基準法第48条、施工令第116条、第130条の9） （商業地域・準工業地域でそれぞれ700Nm <sup>3</sup> および、3500Nm <sup>3</sup> ）
保安検査基準	保安検査を行うための検査方法や実施間隔を定めたもの。
保安距離	高圧ガス設備や危険物取扱設備の事故の影響が他に及ぶことを防止するために、当該設備の周囲に確保することが必要な距離。
保安検査告示	民間が策定した保安検査基準を経済産業省が審査し合格した際に保安検査基準として採用することを示す告示。
防爆	爆発を防ぐこと、あるいは爆発の被害をくい止めること。
民間自主基準	民間団体又は業界として法規や例示基準と同様に遵守すべき内容として合意された基準をいう。
容器保安規則	高圧ガスを充てん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された規則。
溶栓式安全弁	高圧ガス容器に取り付けられる、火災時に内部に焼結されている溶解合金が溶融することにより作動する非再閉塞式圧力解放弁。熱感温部が青銅、黄銅、砲金などの可溶栓で出来ている。
離隔距離	高圧ガス設備と火気を取扱う設備等の中で保安上の理由で確保することが義務付けられている距離。
離隔距離	安全のため高圧ガス設備と一定の距離以上離隔する場合の距離。
冷凍機	低温度を作り出して物を冷却・冷蔵・凍結させる機械の総称。高圧ガス保安法上は、冷凍機は「冷凍のためガスを圧縮し、又は液化して高圧ガスの製造をする設備」（保安法第5条）と定義される。
例示基準	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。
冷凍機圧縮機	冷凍機において冷媒ガスを圧縮する圧縮機。
CNG	Compressed Natural Gas の略。圧縮天然ガス
FCV	Fuel Cell Vehicle の略。燃料電池自動車
HFCV-gtr	燃料電池自動車の世界統一基準（Global Technical Regulations）。FCV の環境・安全性能等に関する技術基準であり、国連の傘下に設けられた「自動車基準調和世界フォーラム（WP29）」で検討が進んでいる。
NWP	Nominal Working Pressure の略。FCV 燃料容器を満充填した時の、基準温度における圧力。
SAE J2601	水素ステーションからFCVに対して燃料水素を安全に充填する方法を定めた基準であり、充填プロトコルと呼ばれる。米国の非営利団体 SAE（Society of Automotive Engineers）が発行準備中。

## I. 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」の一環として実施する。

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（2006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（2006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（2006年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ている。エネルギー基本計画（2007年3月）、次世代自動車・燃料イニシアティブ（2007年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 50－エネルギー革新技術に定置用燃料電池、燃料電池自動車及び水素製造・輸送・貯蔵が位置付けられている。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、産業界各社が自ら活動・対応するだけでなく産業界共有・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・産業界支援を行い各社活動の重複を避け、短期集中的に仕上げることにより産業界全体として効率的な技術開発が可能となる。また、世界に先駆けて水素関連技術の実用化に先立ちシステム技術検証や要素技術開発を行うことは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となり、さらに我が国経済力を向上させることに繋がる点で非常に有効である。

#### 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、総合科学技術会議の「環境エネルギー技術革新計画」（平成20年5月）の技術評価において、2030年の市場規模：日本1兆円以上、世界3兆円以上と評価される燃料電池自動車と水素製造・輸送・貯蔵は「Cool Earth－エネルギー革新技術計画」（平成20年3月）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。

一方、民間団体である燃料電池実用化推進協議会（FCGJ）（次頁参照）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、位置づけられており、2025年には、FCV累計200万台程度、水素ステーション1000箇所程度のシナリオが示されている。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、本事業は正に当該シナリオに合致するものである。

このような研究開発投資がもたらす効果として、燃料電池の導入・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

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）では、「水素安全利用等基盤技術開発事業」（平成15年度～19年度）において、水素の安全性に係るデータの取得に基づく安全技術の確立、水素の製造・輸送・貯蔵・充填等に係わる技術開発を行い、関連する各機器について基本仕様を固め、性能において世界をリードできるレベルにまで到達させた。安全技術の確立は、「水素社会構築共通基盤整備事業」（平成17年度～21年度）に引き継がれ、燃料電池の大規模な導入・普及や技術レベルの進展に対応した既存規制の見直し等に資するための安全確認データの取得、国際標準の提案並びに製品性能の試験・評価手法の確立を、産業界との密接な連携のもとで実施している。

また、「水素先端科学基礎研究事業」（平成18年度～24年度）では、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、水素社会到来に向けた基盤整備に資することを目的に、液化・高圧化した状態における水素物性の解明並びに液化・高圧化による材料の水素脆化に関する基本原理の解明及び対策検討など、根本的な現象解析を実施中である。加えて、「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」（平成19年度～23年度）では、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中であり、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ブレイクスルーに繋がることを企図している。

本研究開発では、これらの動向や並行実施事業の進捗状況を踏まえ、来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立上げ（平成27年／2015年頃を想定）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、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を確立することを目的と

する。また、技術開発の一翼を担いつつ、実証研究や基準・標準化に関する事業と連携を図りながら推進することにより、燃料電池の実用化・普及展開及び国際競争力の確保に資するものである。

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

- ・ 高圧水素ガス貯蔵が主流である。また、貯蔵圧力として、1 充填走行距離延伸のため、高圧化の方向（70MPa）となっている。
- ・ 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。  
（重量／体積貯蔵密度：2015 年 5.5wt%/40g/L、究極 7.5wt%/70g/L）

#### ○水素供給インフラ技術

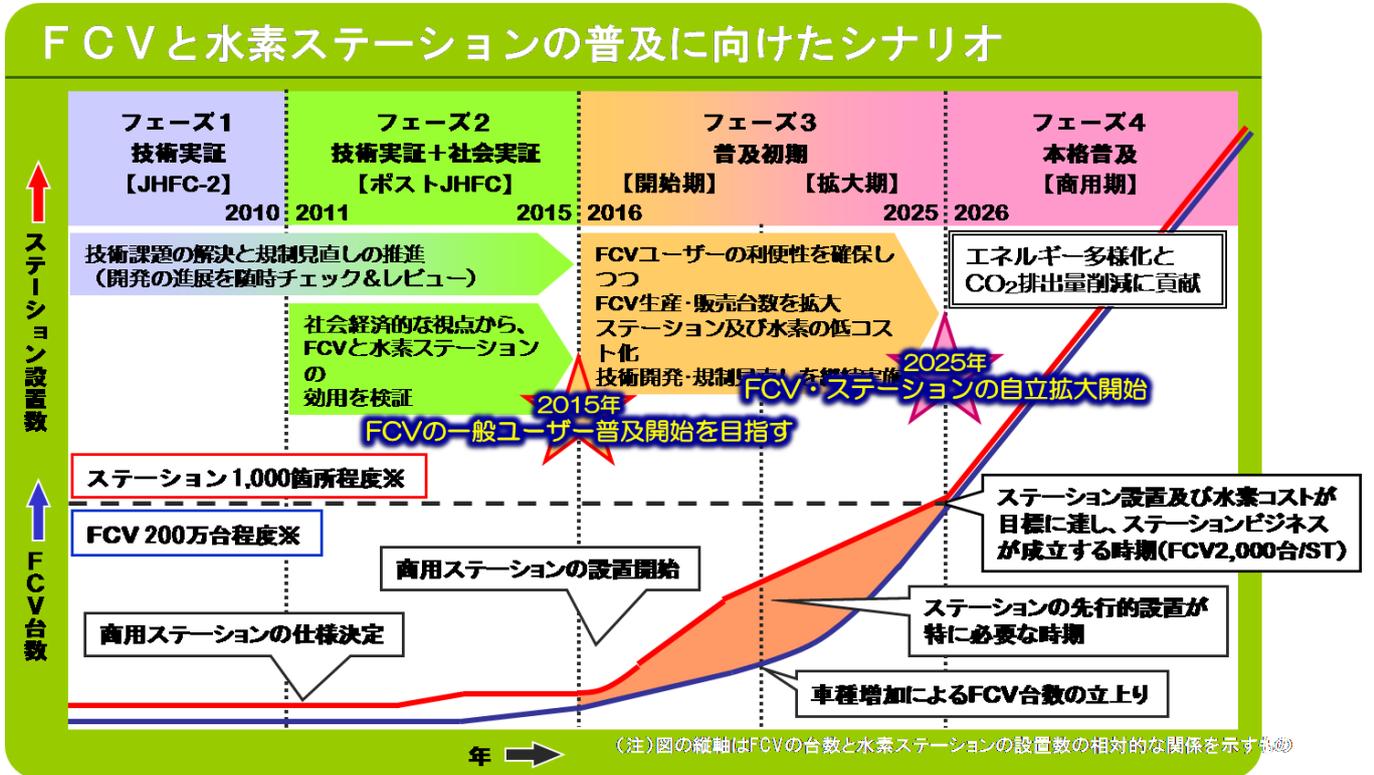
- ・ FCVの水素貯蔵の方向性に合わせ、水素ステーションも高圧ガス充填が主流であり、35MPa→70MPaへと移行する方向である。
- ・ 充填方式は、圧縮機から蓄圧器を介し充填する差圧充填方式と圧縮機から直接充填する直接充填方式がある。両方式ともコスト、技術課題があり実用化のためには検証が必要である。
- ・ 充填速度は、ガソリンスタンド並みの3分/5kg-H<sub>2</sub>が要求されている。  
※日本は、大容量圧縮機による直接充填、FCVの車載水素容器の状態をステーションに逐次伝えて充填する通信充填の開発には未着手。また、規制の面で厳しい状況である。

#### ○各国の技術レベル

技術開発において、北米（特に米国）、欧州（特にドイツ）、日本が進んでいるが、今後、韓国、中国等も追い上げてくる状況である。

次頁以降に「燃料電池実用化推進協議会（FCGJ）」によるシナリオ、「NEDOロードマップ 2010年度版 水素製造・輸送・貯蔵技術ロードマップ、水素貯蔵技術ロードマップ」を添付した。

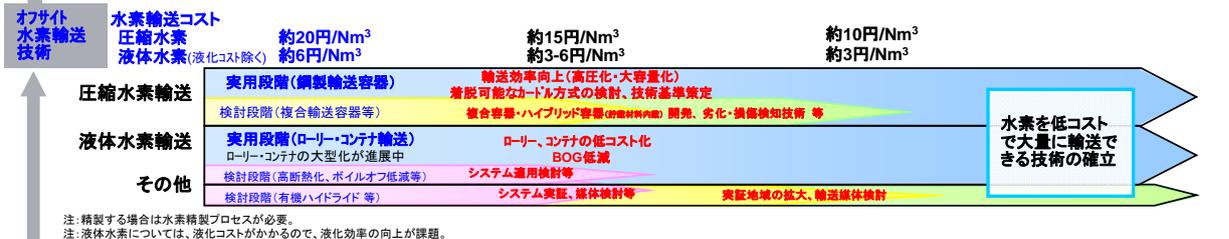
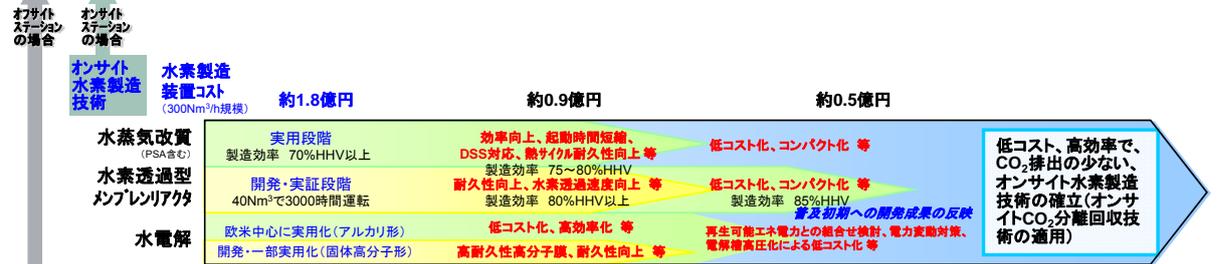
「燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）」によるシナリオ



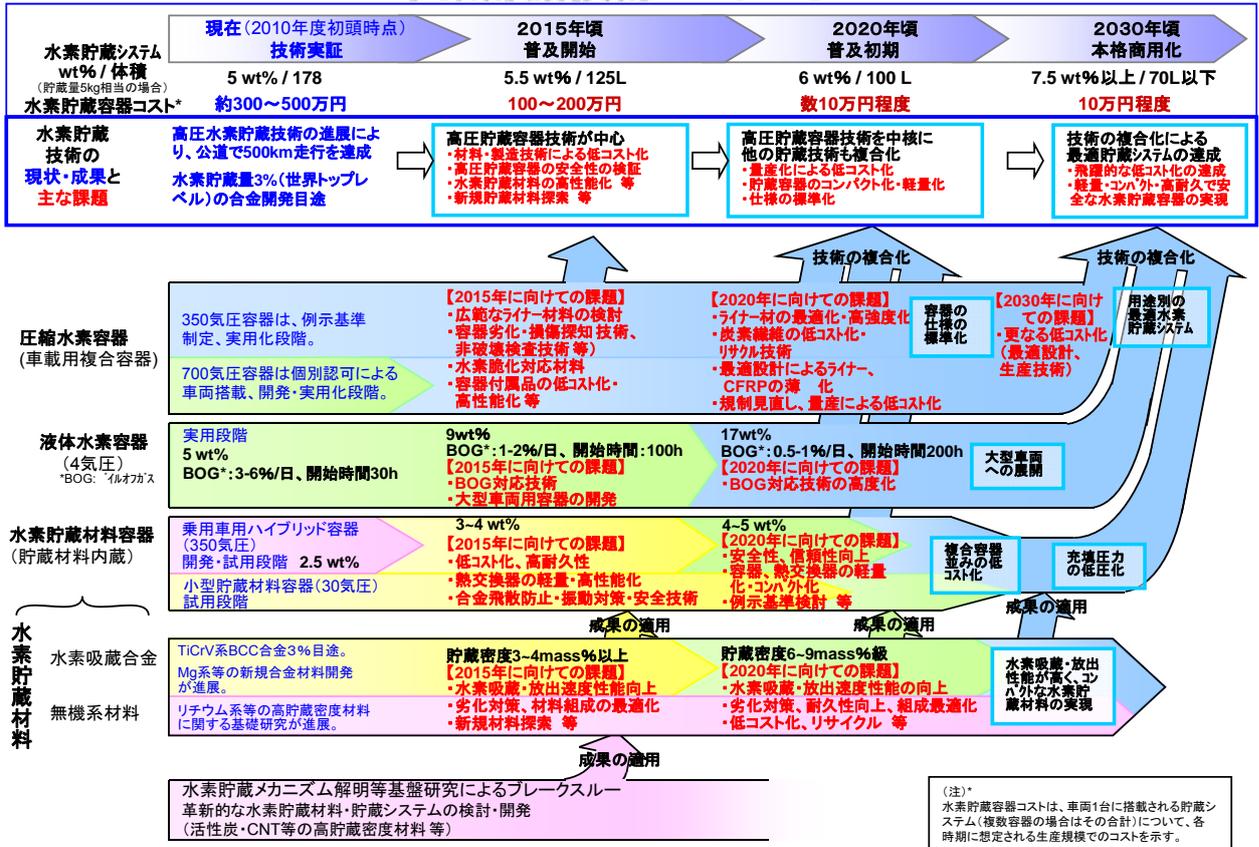
※前提条件:FCVユーザーのメリット(価格・利便性等)が確保されて、順調に普及が進んだ場合

# 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/トン(2010)→\$805/トン(2020)



# 水素貯蔵技術ロードマップ



## II. 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「水素安全利用等基盤技術開発」（平成19年度終了事業）等の関連事業成果を踏まえながら、平成22年度末を目途に、水素エネルギーの導入・普及に必要な低コスト機器及びシステムを試作開発し、その試作開発結果を基に平成24年度までに耐久性評価等を行った。

以下の最終目標は、国内外の技術動向、市場動向を踏まえて策定したNEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップに沿った各機器仕様を満足すると共に、関係産業界の要望を反映し、水素インフラ市場立ち上げ・普及に必要な技術開発目標値を設定した。

#### 1. 1 研究開発項目 I : 「システム技術開発」の目標

各研究開発テーマに関する達成目標は下記の通り。

##### (1) 70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発

2015年頃の市場立ち上げ時期に必要な70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器システムとして以下を満足する技術を確立する。

###### 『中間目標』

「水素安全利用等基盤技術開発」にて開発した要素機器等に必要な改良を加えつつ、水素ステーションシステムとして構成配置し、延べ1年以上（DSS運転等を含む）の耐久性を検証する。

###### 『最終目標』

低コスト化：設備コスト 2億円以下／システム

[300Nm<sup>3</sup>/h規模の場合、土地取得価格を除く]

高耐久性：各機器メンテナンス回数 1回以下/年

[日常的な簡易検査やメンテナンスを除く]

##### (2) 車載等水素貯蔵/輸送容器システム技術に関する研究開発

水素ステーション機器システムと連動させたトータルシステムの中で、車載等水素貯蔵/輸送システムに水素をスムーズに充填できると共に、以下を満足する技術を確立する。

###### 『中間目標』

低コスト化：水素貯蔵合金のコストを¥10,000/kg以下にする目処をつける。

高性能化：容器体積密度（外容積）=28（g-H<sub>2</sub>/L）以上

（ハイブリッド容器システムの場合）

###### 『最終目標』

低コスト化：20万円以下／容器システム

ハイブリッド容器システムの場合は、

圧力=35MPa

質量貯蔵密度（システム）＝3 w t %

水素量/容積/容器質量＝5 k g / 1 0 0 L / 1 6 5 k g

## 1.2 研究開発項目Ⅱ：「要素技術開発」の目標

達成目標は下記の通り。なお、いずれもシステム技術に適用できる要素技術であることから、システム技術開発で設定した達成目標を満たす内容とする。

### （1）水素製造機器要素技術

水蒸気改質方式に関して、

『中間目標』

小規模のパイロットプラントを設計・製作し、性能の検証を行う。

『最終目標』

改質効率＝80%以上

起動時間＝3時間未満

設備サイズ＝10m<sup>3</sup>以下

設備コスト＝30万円/Nm<sup>3</sup>・h

具体的には、以下の各テーマのとおりである。

### （Ⅱ-1）水素分離型リフォーマーの高耐久性・低コスト化研究開発

実施項目	中間目標（H22年度）	最終目標（H24年度）
耐久性	モジュールレベルで8000時間以上	リフォーマーレベルで8000時間以上
起動時間	モジュールレベルで3時間未満	リフォーマーレベルで3時間未満
リフォーマー耐久性	リフォーマーレベルで耐久性検証・課題抽出	日常的なメンテナンスを除いて、8000時間の運転
概念設計	—	水素製造効率≥80% 設備サイズ≤10m <sup>3</sup> 設備コスト≤30万円/Nm <sup>3</sup> -h

(Ⅱ-2) 水素製造装置の高性能化・低コスト化・コンパクト化に関する研究開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
水素製造装置要求仕様の調査、検討	—	装置仕様の確定
高性能反応器の開発	—	改質効率：HHV85%以上 スチームカーボン比：2.5 以下
高性能水素 PSA の開発	—	水素回収率：85% システムサイズ：現状比 1/3
50Nm <sup>3</sup> /h 試作機的设计、製作、検証運転	—	改質効率：HHV82.5%以上 起動時間：1 時間
50Nm <sup>3</sup> /h 試作機的设计、検証運転のユーザ評価	—	試作機設計、運転結果に対しユーザ視点で評価を行う。

(Ⅱ-3) CO<sub>2</sub>膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
CO <sub>2</sub> 選択透過膜の開発	170°C以上にて：1x10 <sup>-4</sup> mol/(m <sup>2</sup> s kPa) の CO <sub>2</sub> 透過速度にて、CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> 選択性が 200	
メンブレンリアクター用 CO 変成触媒の開発	160°C以下、SV2000 h <sup>-1</sup> にてメタン生成が 1%以下、10%程度含まれる CO 0.1%以下に低減(メンブレンの効果を含む)	
メンブレンリアクターの開発	1m <sup>3</sup> /h 原理検証機での性能実証	10m <sup>3</sup> /h 用プラントでの性能実証
水素ステーショントータルシステムの最適化	次世代 H <sub>2</sub> ステーションコンセプト確立 PSA 1/4, オフガスタック不要化, S/C = 2, 効率 80%以上	改質系、PSA を含む 10m <sup>3</sup> /h の能力を持つトータルシステムを、実証するとともに、300m <sup>3</sup> /h トータルシステムの F/S 完了

(2) 水素貯蔵材料 (同材料容器を含む)・水素貯蔵/輸送容器要素技術

『中間目標』

材料系の探索と開発を実施し、そこから材料組成等を絞り込み、最終目標の質量水素密度 6 w t % 以上および水素放出温度 150°C 以下を達成する新規材料の開発の可能性を見極める。

『最終目標』

貯蔵材料 (同材料容器や関連部品を含む) に関しては、

質量貯蔵密度 = 6 w t % 以上、

水素放出温度 = 150°C 以下、

耐久性 = 1000 回吸放出で初期貯蔵性能の 90% 保持、

材料コスト = 1000 円/kg

具体的には、以下の各テーマのとおりである。

(II-4) ホウ素系水素貯蔵材料の開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
複合化によるホウ素系水素化物開発 (H20-H22)	反応パスの理論解明と実験検証と、最適組み合わせ選定	—
中間相を用いたホウ素系水素化物開発 (H20-H22)	中間相の組成・構造の解明と、中間相の絞り込み	—
添加物・微細構造制御による反応速度支配因子の解明 (H21-H22)	添加物の選定、微細構造の評価および、反応速度の支配因子の解明	—
ホウ素系水素貯蔵材料としての最適化 (H22)	150℃以下の水素放出温度、6wt%級の再吸蔵量を見極め	—
反応サイクル時の劣化要因の解明 (H23-)	—	劣化要因の解明とその対処法の確立
実用化技術開発 (H23-)	—	材料系の最適化、大量合成技術の開発、低コスト化の指針
実用性評価 (H23-)	—	耐久性評価、小型タンク評価、実用化の課題抽出

(II-5) ラーベス構造を有した高容量水素吸蔵合金の開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
MgNi <sub>2</sub> 系 C15 型ラーベス合金	水素化物の構造を調べ、合金組成改良による吸蔵量の向上	3 質量%, 150℃, 1000 サイクルを満たした合金の開発
RENi <sub>2</sub> 系 C15 型ラーベス合金	不均化の進行過程を各種手法にて調査して挙動を把握する	水素吸蔵による不均化反応のメカニズムの解明
CaMg <sub>2</sub> 系 C14 型ラーベス合金	水素化物の構造を調べ、合金組成改良による放出温度の低下	150℃以下でも 6 質量%を放出する合金の開発
CaLi <sub>2</sub> 系 C14 型ラーベス合金	格子定数および原子半径比を変えた合金の作製・評価	不均化等を抑制し、室温で 6 質量%を吸蔵する合金の開発

(3) 水素ステーション機器要素技術

水素ステーション機器システムに適用される要素技術として、下記目標達成に繋がる技術として確立する。

『中間目標』

普及に向けた水素ステーションシステム及び機器に関するコストダウン検討を行い、その対策案を検証する。

『最終目標』

低コスト化：設備コスト 2億円以下/システム

[300Nm<sup>3</sup>/h規模の場合、土地取得価格を除く]

高耐久性：各機器メンテナンス回数 1回以下/年

[日常的な簡易検査やメンテナンスを除く]

具体的には、以下の各テーマのとおりである。

(II-6) 低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発

実施項目	中間目標 (H22年度)	最終目標 (H24年度)
ディスペンサー全体	基礎制御評価 防爆申請・コスト検証	低価格・高耐久性ディスペンサーの開発 コスト： 従来比50% 耐久性： メンテ1回以下/年
コリオリ流量計の開発	大流量用検出部、計測部の簡素化試作 基礎評価・防爆申請	
ディスペンサー制御部 開発	簡素化試作 基礎評価・防爆申請	

(II-7) 低コスト型70MPa級水素ガス充填対応大型複合容器の開発

実施項目	中間目標 (H22年度)	最終目標 (H24年度)
常用圧力	80MPa	充填圧対応圧力
容量	200L	300L
重量	1000kg以下	1500kg以下
コスト	1000万円以下	1000万円以下

(Ⅱ-8) 低コスト型 70MPa 級充填対応ステーション機器に係わる研究開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
全体	435 百万円/システムの技術的見通し確認	2 億円/システムに向けコスト低減策提示
総合的エンジニアリング	ステーション主要機器の最適構成提示	2 億円/システム達成可能性提示
鋼製蓄圧器開発	材料評価、施工法、検査技術開発	本体価格、検査・更新費用低減
水素用高圧バルブ開発	ボールバルブ開発の技術的見通し確認	バルブ単価低減 圧力損失低減
高強度金属材料開発	金属材料候補絞込	高強度耐水素性 金属材料開発
制御システム開発	制御システム 機器費用低減	制御システム設計費低減
流量調節弁開発	シール技術開発	動作保証回数達成 調節弁価格低減

(Ⅱ-9) 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
試設計	コンパクトした場合の課題抽出	課題解決(案)の提示
安全要素技術開発	安全性を担保する技術開発	開発技術の検証
水素ステーションの安全性評価	安全要素適用検討	標準設計に対する安全の検証
水素ステーションの経済性評価	建築試設計、コスト比較	建設合理化検討
モックアップ実験	実験計画策定	実験実施および評価
標準設計	—	標準設計(案)の提示

(Ⅱ-10) 直接充填方式水素ステーション用圧縮機の研究開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
1	—	設計吐出圧力 95 MPa、運転吐出圧力 87.5 MPa、流量 1200 Nm <sup>3</sup> /h の圧縮機の試作機を開発・設計・製作する
2	—	インバーター制御による可変速度運転に対応する
3	—	直接充填方式ステーションにおける高圧圧縮機の運転の特徴である高頻度起動停止運転に対する耐久性の見直しをつける
4	—	圧縮機運転方法の検討のため、圧縮機水素流量と、車載タンクの圧力・温度の時間変化の関係を、圧縮機の特長(下流圧力の変化に伴う流量変化など)を含めてシミュレーションするプログラムを開発する
5	—	試作機の設計・製作・試験結果、および HySUT などユーザーと連携により、実証水素ステーション用の設計吐出圧力 100MPa 超級圧縮機の設計を完了し、試験計画を策定する

(Ⅱ-11) 水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
高圧水素および液体水素関連機器に用いるステンレス鋼および関連評価試験法の開発	—	新規水素用高機能ステンレス鋼を開発し、高圧水素環境下におけるその材料データを取得し、基準・標準化に必要な安全検証・裏付けデータとして提示する
高圧水素配管・容器材料の研究開発	—	高強度ステンレス鋼・高強度低合金鋼を開発し、新規水素用材料として提案する
高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼に係る研究開発	—	高圧水素環境下で使用できるオーステナイト系ステンレス鋼を開発し、材料種類の拡大を提案する
低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究	—	低温および高温における高圧水素環境下で引張及び疲労試験を行い、材料特性を評価する

(Ⅱ-12) 水素用アルミニウム材料の評価・開発

実施項目	中間目標 (H22 年度)	最終目標 (H24 年度)
Al-Mg 系合金の耐水素脆性評価	—	Al-Mg-(Cu) 合金の水素脆化感受性に及ぼす Mg 量、熱処理の影響を明らかにする
水素脆性に対する抑制元素および有害元素の特定	—	添加元素の影響を把握し、脆化感受性指数<0.2、耐力≥400MPa の合金系を見出す
高強度で切削性に優れたバルブハウジング用合金を開発する	—	耐力≥380MPa で、切削性が 6061 合金よりも優れ、水素用として使用可能な 6000 系合金を開発する
VH4 容器の口金等の部材用の鍛造合金を開発する	—	耐力≥360MPa で、鍛造可能で、水素用として使用可能な 6000 系合金を開発する
水素の侵入サイトを可視化法により明らかにする	—	外部環境が、水蒸気の場合と水素の場合の侵入サイトの異同を明らかにする
開発材の耐水素脆性を評価する	—	開発材の耐水素脆性を、湿潤大気中での SSRT 引張・疲労試験などにより評価する

1.3 研究開発項目Ⅲ：「次世代技術開発・フーズビリティスタディ等」の目標

具体的には、以下の各テーマのとおりである。

(Ⅲ-1) 水素燃料電池に係る国際関連機関等研究・政策動向の調査検討

NO	目標
1	IEA/HIA の最新動向・活動を入手し、我が国の政策や技術開発への影響を分析する
2	IEA/AFCIA の最新動向・活動を入手し、我が国の政策や技術開発への影響を分析する
3	IPHE の最新動向・活動を入手し、我が国の政策や技術開発への影響を分析する
4	IPHE、HIA、AFCIA メンバー国やその主要関連研究機関の政策・技術開発動向の調査・検討
5	1～4 で把握した技術開発動向及び分析活動ならびに関連国際会議やウェブサイトから得られた水素関連活動等を、国内関係者に定期的に発信し、情報共有を図る
6	再生可能エネルギー由来水素の技術動向のとりまとめ

(Ⅲ-2) IEA/HIA 水素実施協定における国際技術開発動向の調査検討

NO	目標
1	国際技術開発動向の把握
2	各 Annex (作業部会) の分析活動動向の把握
3	得られた情報の展開・普及及び共有化活動

(Ⅲ-3) 可視光応答性半導体を用いた光触媒および多孔質光電極による水分解水素製造の研究開発

実施項目	目標
多孔質半導体光電極の高性能化	既存半導体光電極の改良で $WO_3$ 光電極の性能を超える。
光触媒-電解ハイブリッドシステムによる水素製造	レドックス媒体を用いた効率的な酸素発生用光触媒の高性能化により太陽エネルギー変換効率の最高値を目指す。
新規可視光応答性半導体探索	高速自動半導体探索システムを用いてできるだけ多くの可視光応答性の新規半導体を探索する。
理論効率や将来性の試算	太陽電池と水電解を単に組み合わせたシステムより低コスト水素製造できるか検証する。

(Ⅲ-4) 非貴金属化合物を用いた水電解用高機能酸素発生アノード触媒の設計および開発

実施項目	目標
触媒能評価	現行材料(貴金属系)に近い性能を有する非貴金属系酸素発生触媒の開発
電解試験	非貴金属系材料をアノード触媒に用いて、現行のアルカリ形水電解に匹敵する新規固体高分子形水電解セルの開発

(Ⅲ-5) 高効率水素液化磁気冷凍の研究開発

NO	目標
1	実用磁気冷凍磁性材料の開発
2	高効率水素液化機構の開発
3	蓄冷型磁気冷凍機の開発
4	測定技術要素研究
5	水素液化磁気冷凍システムの調査と解析

(Ⅲ-6) 水素ガス輸送用パイプラインの信頼性評価技術の研究開発

実施項目	目標
水素脆性評価試験	水素濃度 ; 2ppm 以下、負荷速度 ; 準静的 ~5m/s
実大破壊強度試験	圧力 ; 15MPa 程度、パイプ ; X65 高強度鋼管、500mm 径、40m 長
高速き裂伝播計算モデル構築	き裂伝播限界圧力とき裂伝播停止長さを +/-20% で予測
外部からの指導及び協力	大学・企業の研究者・技術者からなる研究会を組織し、指導と協力を得る

(Ⅲ-7) 超高压水素合成法による新規水素吸蔵合金の研究開発

実施項目	目標
超高压合成法による新規 Mg 合金系水素貯蔵材料の開発	「質量貯蔵密度 6 質量%以上、放出温度 100 °C以下、耐久性 1,000 回以上」を可能とする材料を探索する
超高压合成法による新規 Li 合金系水素貯蔵材料の開発	「質量貯蔵密度 6 質量%以上、放出温度 100 °C以下、耐久性 1,000 回以上」を可能とする材料を探索する
超高压合成法による新規 Al 合金系水素貯蔵材料の開発	「質量貯蔵密度 6 質量%以上、放出温度 100 °C以下、耐久性 1,000 回以上」を可能とする材料を探索する

(Ⅲ-8) ゼオライト鑄型炭素をベースとしたスピルオーバー水素貯蔵に関する研究開発

実施項目	目標
細孔制御技術によるゼオライト鑄型炭素 (ZTC) の構造最適化	ZTC 表面積の増大 (目標 5000m <sup>2</sup> /g) と細孔径の最適化 (範囲 0.65 nm~1.2 nm)
金属担持技術による「新たな相互作用」の導入とその最適化	Å、更には原子レベルの金属担持、及び貴金属以外 (Ni、Ti) の担持
ZTC の水素吸蔵性能評価	上記で得られた ZTC の水素貯蔵性能を評価する。

(Ⅲ-9) Mg および Ti 系相分離型高容量水素吸蔵合金の設計と実証に係る技術開発

実施項目	目標
Mg 基合金の開発	Mg 基合金に関する作製ノウハウを蓄積
Mg 基合金に関する熱力学的平衡反応特性の研究	Mg 基相分離型水素吸蔵合金の実証 6.0 質量%, 繰り返し 1000 回, 水素放出温度 100°C
Ti 基合金の開発	Ti 基合金に関する作製ノウハウを蓄積
Ti 基合金に関する熱力学的平衡反応特性の研究	Ti 基水素吸蔵合金の実証 6.0 質量%, 繰り返し 1000 回, 水素放出温度 100°C
Al 水素化合物の合成技術の開発	Al 水素化合物の物理的合成法を設計・開発

(Ⅲ-10) 燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発

実施項目	目 標
圧縮水素を燃料とするFCVの事故後の安全作業の標準化	適正な基準策定のための妥当性検証、事故処理に関わる早期の標準化に向けたデータ取得のための事故処理手法を開発
車載用高圧水素容器／容器附属品の基準適正化活動	適正な基準策定のための妥当性検証および新規構造附属品の国内導入に資するデータ取得
水素充填プロトコルの標準化 水素充填コネクタの標準化	水素ステーションの安全性検証データを提供するとともに、インターフェイスの試験法案策定に向けたデータを取得、および関連する国際標準化活動の推進
その他国際標準化に関わる技術検討	上記の国際標準化に加え、水素燃料仕様、性能・用語等の国際標準化の審議と推進

(Ⅲ-11) 水素エネルギーシステムの社会的便益に関する研究開発

実施項目	目 標
水素燃料電池自動車の導入に係る社会的便益に関する研究 (H20-21)	種々のFCV導入シナリオの下で、既存の市場で経済価値として評価されていない、FCV特有の便益を経済価値として評価すると共に、導入普及による経済的波及効果を評価する
水素燃料電池自動車の社会的便益評価システムの構築 (H20-21)	FCVや水素インフラの導入施策は、エネルギー・環境を巡る情勢の変化や、技術開発の進捗などを反映して、ダイナミックに変化する可能性があるため、これらの情勢変化に対応したシナリオに対する便益評価を柔軟にするためのシステムを構築する

(Ⅲ-12) 水素キャリアに応じたフィージビリティスタディ

NO	目 標
1	前提条件の設定及び全体の評価を行う
2	高圧水素供給フローの検討を行う
3	液体水素供給フローの検討を行う
4	有機ケミカルハイドライド法の検討を行う

(Ⅲ-13) 水素インフラ等に係る基準整備に関する研究開発

実施項目	目 標
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	新規使用可能材料の選定
圧縮水素運送自動車用複合容器に係る基準整備に関する研究開発	例示基準案※
水素ステーション用複合容器に係る基準整備に関する研究開発	KHK 特認ガイドライン※
圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用に関する研究開発	KHK 事前評価ガイドライン※ KHK 特認ガイドライン※

※基準案及びガイドラインは石油エネルギー技術センターが作成

(Ⅲ-14) 水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化のための研究開発

実施項目	目 標
圧縮天然ガス（CNG）スタンド併設時の設備間距離	技術基準案の作成
水素ステーションの保安検査基準	保安検査基準案、定期自主検査指針案の作成
圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁	技術基準案の作成
水素ステーションを併設する給油取扱所	・並列設置：安全対策の立案 ・無人暖機運転：安全対策、技術基準整備資料の作成
公道とディスプレイの離隔距離	・技術基準案の作成 ・海外基準の離隔距離設定方法等の調査
セルフ充填式水素ステーション	設備仕様等の資料、技術・運用指針案の作成
水素ディスプレイ周辺の防爆ゾーン基準の明確化	民間自主基準案の作成
公道でのガス欠対応のための水素充填法	充てん場所・使用設備など、公道充てん実施に必要な要件の取りまとめ
フル充填に対応した水素ステーション	技術基準案（省令・例示基準の改正案）の作成
水素ステーションでの水素保有量	・35MPa 級複合容器水素トレーラーの製作 ・水素貯蔵量規制値超えの許可事例を取得
プレクール設備冷凍機の保安距離短縮に関する検討	技術基準案（省令・例示基準の改正案）の作成
複合容器蓄圧器の設置等基準に関する検討	技術基準案（省令・例示基準の改正案）の作成

「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(水素ステーションシステム・機器関連)」に関するマスタープラン

研究開発項目	担当	平成20年度 (2008年度)	平成21年度 (2009年度)	平成22年度 (2010年度)	平成23年度 (2011年度)	平成24年度 (2012年度)	最終目標(出力)
<b>1.システム技術開発</b> 70MPa級水素ステーションシステム技術開発 ①システム検討・評価 ②圧縮機 ③蓄圧器 ④ブレクール ⑤ディスペンサー ⑥システム低コスト検討	東邦ガス他 東邦ガス 東邦ガス 大陽日酸 佐賀大 トキコテクノ 日立AMS 横浜ゴム PEC	要素機器の改良、ステーションシステムの構築、耐久性検証 ※水素安全事業開発品(日立)の活用 ※水素社会構築事業開発技術(PEC、日製鋼)の活用			耐久性検証の継続、システムとしての更なる低コスト化 ※JHFC等にも提供 ★中間評価 中間目標 要素機器の改良、ステーションシステムの構築、耐久性検証		最終目標 ①普及初期運用を想定した延べ1年間の耐久性検証・有効性確認 ②ステーションコスト低減のための技術的課題明確化、技術的課題解決によるコスト低減効果の評価 ※基本計画目標値 a.設備コスト: 2億円以下/システム b.耐久性: メンテナンス回数1回/年以下
<b>2.要素技術開発</b> 低コスト型70MPa級水素ステーション機器要素技術開発 [ディスペンサー開発] [大型複合蓄圧器] [低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器] ①機器仕様検討 ②バルブ開発 ③コントロール弁 ④鋼製蓄圧器 ⑤材料開発 [コンパクト型水素ステーション検討] 水素製造機器(改質器低コスト化/高耐久性化) [水素分離膜方式] [改質器・PSA精製方式] [CO2分離膜方式]	タツノ JX、サムテック PEC キッツ 山武 JSW JRCM 岩谷 清水建設 東京ガス 日本特殊陶業 三菱化工機 ルネッサンス、産総研 神戸大、京都大 ミクニ	各機器のコストダウン検討、その対応策の検討 コンパクト型システム仕様確立 小規模パイロットプラントの設計/製作、性能検証、最終目標達成の目処			目標仕様に基づく水素ステーション機器の製作、耐久性検証 ★中間評価 中間目標 各機器のコストダウン検討、その対応策の検討 コンパクト型システム評価検討 目標仕様に基づく水素製造装置の製作、耐久性検証 ★中間評価 中間目標 小規模パイロットプラントの設計・製作、性能検証、最終目標達成の目処		最終目標 コスト低減対策要素機器による実用上耐久性検証及び普及期生産時のコスト低減目標(基本計画目標値)の達成可能であることを示す。 ※基本計画目標値 a.設備コスト: 2億円以下/システム b.耐久性: メンテナンス回数1回/年以下を支える機器 最終目標 ①改質効率:80% ②起動時間:3時間未満 ③設備サイズ:10m3以下 ④設備コスト:30万円/Nm3/h
<b>3.他並行事業</b> 燃料電池システム等実証研究(JHFC) 水素社会構築事業 水素先端科学事業	PEC, JARI, ENAA, JGA JARI, PEC等 産総研、九大						※進捗状況及び成果を技術開発へフィードバック
<b>4.フイージビリティスタディ等</b> フイージビリティスタディ ①オフサイト型水素供給 ②液体水素供給 ③ケミカルハイドライド供給	エネ総工研 岩谷、川重、関電、清水、三菱重工 千代田化工		技術開発課題抽出・整理 ※経済性等評価基準を揃えるなど、連携実施				最終目標 今後の技術開発における課題を抽出する。 ★中間評価

「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(水素貯蔵システム関連)」に関するマスタープラン

研究開発項目	担当	平成20年度 (2008年度)	平成21年度 (2009年度)	平成22年度 (2010年度)	平成23年度 (2011年度)	平成24年度 (2012年度)	最終目標(出力)
<b>1.システム技術開発</b> 車載等水素貯蔵システム技術開発 ①システム検討・評価 ②熱交換器開発 ③広口容器開発 ④貯蔵材料低コスト化	日重化 サムテック 産総研	容器体積密度 $\geq 28\text{g/l}$ 、MHの低コスト化等			容器システムとしての更なる高密度化、コンパクト化、低コスト化	システム検証・評価	最終目標 ①低コスト化: 20万円以下/容器システム ②水素体積貯蔵密度: 5kg/100L以上 ③水素重量貯蔵密度: 3wt% ④充填速度: 吸蔵量90%/10分以内
<b>2.要素技術開発</b> 高容量貯蔵合金開発 吸放出速度及び低温化ホウ素系貯蔵材料開発	日重化 豊田中研 東北大	最終目標を達成する新規材料の可能性見極め	最終目標を達成する新規材料の可能性見極め	最終目標を達成する新規材料の可能性見極め	目標達成に向けた新規材料の開発、性能評価	システム検証・評価	最終目標 ①重量貯蔵密度: 6wt%以上 ②水素放出温度: 150℃以下 ③耐久性:1000回吸放出で初期貯蔵性能の90%保持 ④材料コスト: 1000円/kg以下
<b>3.次世代技術開発</b> ①可視光応答性半導体 ②非貴金属化合物 ③磁気冷凍 ④水素ガスバイブライン ⑤超高压水素合成 ⑥ゼオライト構造炭素 ⑦Mg及びTi系相分離型	産総研 横浜国大 物材研、金沢大 東大 産総研、東北大 東北大 東海大			★継続審査により2件延長	★中間評価	中間目標 将来的な水素技術基盤の確立	最終目標 現有ガソリン供給インフラと同等の設備コストで対応可能となる材料、機器、システムの設計指針または概念設計を確立する。
<b>4.他並行事業</b> 水素社会構築事業 水素貯蔵材料事業	JARI、PEC等 産総研、原研等						
<b>5.フィージビリティスタディ等</b> 技術動向調査 ①IEA/HIA ②IEA/AFC等 社会便益性検討 ①FCV、H2便益	エン振協 テクノバ 産総研	動向整理・技術開発課題抽出▽			★新規公募	★中間評価 ★新規な課題が判明した場合新規公募	最終目標 今後の技術開発における課題を抽出する。

## 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、別紙のマスタープランに基づき、研究開発を実施する。

#### I. システム技術開発:

「水素供給システム」を構成する機器である、水素ステーション機器や車載等水素貯蔵/輸送容器について、低コスト化・コンパクト化に繋がる開発を行うと共に、複数機器を組み合わせた「水素供給システム」の全体として耐久性等の検証を行う。

#### II. 要素技術開発:

水素製造・輸送・貯蔵・充填機器及びシステムに関する高性能化、軽量化、低コスト化及び長寿命化のための要素技術を開発し、検証する。

#### III. 次世代技術開発・

フイージビリティスタディ等:水素エネルギーの導入・普及に関する新規の概念に基づく革新的な技術(例えば、化石燃料以外からの水素製造等)の開発(国外研究機関を活用した国際共同研究や国際協力を含む)及び水素社会実現に向けた技術開発シナリオの検討、水素キャリアに応じたフイージビリティスタディ等を行う。

### 2. 1. 1 研究開発項目 I 「システム技術開発」実施内容

(1) 70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発

(実施体制:(財)石油エネルギー技術センター、東邦ガス(株)、トキコテクノ(株)、日立オートモティブシステムズ(株)、大陽日酸(株)、横浜ゴム(株)、(国)佐賀大学)

2015年頃を想定した水素供給インフラ市場立上げに向け、低コストかつ耐久性に優れた水素ステーションを実現する必要がある、本研究開発では、それに向けたシステム技術開発を実施する。具体的には以下の内容を実施する。

#### ①ステーション建設コスト低減検討

・ステーション仕様検討、建設コスト低減検討、材料物性評価支援(サーベイルンス試験)

#### ②ステーションシステム運転技術開発検討

・ステーションシステム耐久性検討、運転技術検証

#### ③ディスペンサー機器開発検討

・ディスペンサーコスト低減、耐久性検討

・故障予知技術開発、配管材料探索

・充填ホースコスト低減、耐久性検討

#### ④プレクール設備開発検討

- ・初期改良型プレクール設備製作、プレクール設備コスト低減検討
- ・シミュレーション技術による開発支援

### (2) 車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術に関する研究開発

(実施体制：日本重化学工業(株)、サムテック(株)、(独)産業技術総合研究所)

車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術の低コスト化、コンパクト化および高耐久性に関する機器および市場立ち上げ時期に必要なシステムの仕様検討、試作開発、性能検証・評価を実施すると共に、実際の充填や輸送を模擬した条件下における性能検証・評価を実施する。

具体的には、燃料電池車の燃料装置用容器として期待されている「水素吸蔵合金と高圧水素ガスによる水素貯蔵方式を組み合わせたハイブリッド貯蔵タンク」を対象に、70MPaの高圧水素容器以上の容器体積密度を有するハイブリッド貯蔵タンクの開発及び実用的なハイブリッド貯蔵タンク用水素吸蔵合金の開発を行い、その性能評価と安全性評価を実施する。具体的には以下の内容を実施する。

- ・ハイブリッド貯蔵タンク用MHカートリッジの開発
- ・計算による熱伝導構造の最適化
- ・ハイブリッド貯蔵タンク用広口高圧タンクの開発
- ・ハイブリッド貯蔵タンク用水素吸蔵合金の開発

## 2. 1. 2 研究開発項目Ⅱ「要素技術開発」実施内容

### (1) 水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発

(実施体制：東京ガス(株)、日本特殊陶業(株))

水素分離型リフォーマーは、従来のリフォーマーと比較して、最も高効率に水素を製造することが可能であるだけでなく、シンプルかつコンパクトという特長を有している。

本事業は、実用的な燃料である天然ガスを用いた水素分離型リフォーマー技術に関するものであり、平成24年度末に社会実証試験に供試できるレベルの技術を確立する。具体的には、平成17年度～平成19年度までの前事業「水素安全利用等基盤技術／水素インフラに関する研究開発／高効率水素製造メンブレン技術の開発」において得られた成果を活用しつつ、水素分離型リフォーマーの高耐久化と低コスト化を目指して、以下の2テーマを実施する。

- ・水素分離型リフォーマーシステムの耐久性向上の研究開発
- ・触媒一体化モジュールの研究開発

## (2) 水素製造装置の高性能化・低コスト化・コンパクト化に関する研究開発

(実施体制：三菱化工機(株))

本研究開発では、FCV普及初期(2015年頃を想定)での事業化に対応した実用的な水素ステーション用水素製造装置に要求される性能、仕様をユーザの視点から調査、検討し、その結果により水素製造装置の仕様目標を明確にするとともに、改質器と水素PSAの高効率化開発を軸とした研究開発を行い、50Nm<sup>3</sup>/h規模試作装置による検証運転を実施し、その結果とユーザ視点での評価を商用水素製造装置の設計に反映させる。具体的には以下の内容を実施する。

- ・水素ステーション用水素製造装置に対する要求仕様の調査、検討
- ・高性能反応器の研究開発
- ・高性能水素PSAの研究開発
- ・50Nm<sup>3</sup>/h水素製造装置試作機の設計、製作、検証運転
- ・50Nm<sup>3</sup>/h水素製造装置試作機のユーザ評価

## (3) CO<sub>2</sub>膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発

(実施体制：(株)ルネッサンス・エナジー・リサーチ、(国)神戸大学、(国)京都大学、(独)産業技術総合研究所、(株)ミクニ)

選択的、高効率にCO<sub>2</sub>分離が可能なCO<sub>2</sub>選択透過膜と高性能なCO変成触媒を組み合わせたメンブレンリアクターを開発する。その完成度を高めるために、メンブレンリアクターを構成するCO<sub>2</sub>選択透過膜、CO変成触媒等の各種要素技術の耐久性、信頼性を確立するとともに、量産化検討、コストダウン研究等を実施する。さらに、1m<sup>3</sup>/hr規模のメンブレンリアクターシステム(原理検証装置)での性能実証、メンブレンリアクターの特長を活かしたPSAの最適化検討を行ない、その成果を基に10m<sup>3</sup>/hr規模の小型パイロットプラント(改質器、メンブレンリアクター、PSAを含むトータルシステムを想定)の設計を行なうとともに、実機(300m<sup>3</sup>/hr規模の能力)を想定した一次FSを行う。

## (4) ホウ素系水素貯蔵材料の開発(実施体制：(株)豊田中央研究所、(国)東北大学)

無機錯体系水素化物のうちホウ素系水素化物(以下M-B-H)は、理論的には最大18wt%も水素を含有することができる。M-B-Hの潜在能力を引き出し、車載用の水素貯蔵材料としての要求を満たすことができれば、燃料電池車の普及を大きく進めることが可能である。しかしながら、M-B-Hは熱力学的に安定であるため水素を取り出す際に高温にする必要がある。M-B-Hを車載用水素貯蔵材料として実用化するには、最大の特長である水素密度を損なうことなく、室温~150°C程度の比較的低温において迅速に水素を吸蔵・放出可能な特性を付与する必要がある。本研究開発では、先の「水素安全利用等技術開発事業」において得られた

M-B-H に関する知見を活かし、新しいコンセプト（複合化、中間相、添加物）に基づくホウ素系水素貯蔵材料の開発を推進する。具体的には以下の内容を実施する。

- ・ 複合化によるホウ素系水素化物開発
- ・ 中間相を用いたホウ素系水素化物開発
- ・ 添加物・微細構造制御による反応速度支配因子の解明
- ・ ホウ素系水素貯蔵材料としての最適化
- ・ 反応サイクル時の劣化要因の解明
- ・ 実用化技術開発
- ・ 実用性評価

(5) ラーベス構造を有した高容量水素吸蔵合金の開発（実施体制：日本重化学工業(株)）

本研究開発では、蒸気圧が高い Mg や Li および Ca 等の軽量な金属を主要な構成元素とするラーベス構造を有した合金の放出特性の改善や不均化反応のメカニズム解明を行い、その抑制を目指した組成の改良・設計を行うことで、6mass%級合金の開発を目指す。また放出特性の改善や不均化反応の抑制に関する開発指針を得るために、質量貯蔵密度は少ないが同じ C15 型ラーベス構造を有した Mg 系合金や希土類系合金の水素化物の詳細な調査を実施し、得られた開発指針を高容量な Ca 系合金に応用することを試みる。具体的には以下の内容を実施する。

- ・ Mg 系合金による水素吸蔵サイトの解析
- ・ 希土類-Ni 系合金による不均化のメカニズム解析
- ・ CaMg<sub>2</sub> 系合金の開発
- ・ CaLi<sub>2</sub> 系合金の開発

(6) 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発

（実施体制：(株)タツノ）

水素ディスペンサーは、ガス流路として遮断弁、流量調整弁、コリオリ流量計、ホース、緊急離脱カップリング、充てんカップリングなど多数のコンポーネントが組み合わされ、またそれらをコントロールする制御部および充てん量を表示するカウンターで構成されている。これらの構成機器のうち、具体的には低コスト化に向けたコリオリ流量計の開発と、ディスペンサー制御部の開発（機器の簡素化、集約化）を行う。

プレクール装置は 70MPa 水素ガスを燃料電池自動車へ短時間に充てんする場合、水素を冷却するためのシステムである。現時点ではディスペンサーとは独立機器として運用されているため、ディスペンサーとの最適化システムを低価格化と併せて検討する。

コリオリ流量計のフローチューブは現時点では水素脆化の懸念が持たれているため、安全

性、計測精度における問題有無確認のため従来フローチューブでの水素暴露試験を実施すると共に、水素に対して低感受性新素材のフローチューブによるコリオリ流量計製作を実施する。

#### (7) 70MPa級水素ガス充填対応大型複合蓄圧器の開発

(実施体制：JX日鉱日石エネルギー(株)、サムテック(株))

現状の鋼製蓄圧器と比較して、コスト的にもスペース的にも有利な蓄圧器用大型炭素繊維強化複合材料(CFRP)容器の開発を行う。これにより、蓄圧器コストを50%以下とし、水素ステーション建設コストの6%以上を削減することが可能となる。また、蓄圧器重量が軽量化(目標30%以下)されることにより、蓄圧器をキャノピー上に設置するなどレイアウトの自由度が増し、余剰スペースの有効活用や耐震強度軽減によるコスト削減などが期待できる。

効率の面からも水素ステーション蓄圧器はFCV用容器よりも高容量(200L以上)のものが望まれるため、大型・長尺の容器の製造・評価技術の開発が必要である。

具体的には以下の内容を実施する。

##### ①FW成形技術の開発

- ・ 高圧CFRP容器の作製の開発
- ・ 大型(長尺)CFRPの作製の設計開発

##### ②内部加熱法の開発

- ・ 中型内部加熱装置の設計開発
- ・ 内部加熱装置の適用検討

##### ③炭素繊維(CF)・トウプリプレグ(TPP)の開発

- ・ 等幅FW技術の開発と開繊トウプリプレグの開発
- ・ 低温硬化型樹脂の開発

(8) 低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器に係わる研究開発

(実施体制：(財)石油エネルギー技術センター、(株)キッツ、アズビル(株)、  
(財)金属系材料研究開発センター、(株)日本製鋼所)

70MPa級水素ステーション構成機器に対して技術、コスト両面から分析したうえで、充填時間を考慮した最適化検討と、要素技術開発を実施する。専門分野の異なる連名委託先が相互に連携し、ダイナミックシミュレーションを核とした総合的エンジニアリング技術と、これら最先端、最高水準の開発要素技術を組み合わせることにより、低コスト型水素ステーション機器の研究開発を推進する。具体的には以下の内容を実施する。

- ・水素ステーションの設備、運用の最適化検討
- ・鋼製蓄圧器の開発
- ・水素用高圧バルブ開発
- ・低コスト・高強度材料開発に係わるFS検討および開発
- ・コントロールシステム開発に係わるFS検討および開発
- ・流量調節弁開発に係わるFS検討および開発

(9) 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発

(実施体制：清水建設(株)、岩谷産業(株))

本研究開発においては、都市部での燃料電池自動車の普及のために必要となる安全でコンパクトな水素ステーションを提案し、その安全性・経済性について検証するものである。また、その普及については、既存のガソリンスタンドとの併設についても視野にいれ、実用化・事業化を図っていくものとする。具体的には以下の内容を実施する。

- ・コンパクト水素ステーションの試設計と課題の抽出
- ・水素ステーションの安全要素技術開発（反射圧低減壁・爆風エネルギー吸収壁の開発、水素燃焼制御システムの開発、水素の不活性化技術の開発）
- ・開発した各安全要素技術を適用した水素ステーションの安全性評価、経済性評価
- ・上記開発成果を踏まえたモックアップ試験
- ・都市型コンパクト水素ステーションの標準設計

(10) 直接充填方式水素ステーション用圧縮機の研究開発（実施体制：(株)神戸製鋼所）

燃料電池自動車の電気自動車に対する優位点として、電気自動車では大容量高速充電が難しいのに対して燃料電池自動車用水素は高速充填が可能であるという点がある。差圧充填方式では高価な高圧蓄圧タンクが多数必要となることに加えて運用上の制限も大きいため、大容量直接充填用水素圧縮機を開発・実証し短時間での水素充填・連続充填を可能にし、FCVの早期普及を可能にすることを目的とする。

(11) 水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発

(実施体制：新日鐵住金(株)、愛知製鋼(株)、(独)物質・材料研究機構)

水素製造・輸送・貯蔵に用いられる材料に関し、低コスト、高強度、高加工性等の特性を有する耐水素脆性特性に優れた、ステンレス鋼を中心とする金属材料を開発し、高圧水素下における強度、靱性、疲労特性、等の基礎物性値を、水素脆化機構の解明や、新しい測定法の開発も平行して行いつつ取得し、当該材料を用いるために必要な基準、標準の制定等に必要データとして提供することによって材料種の拡大を図ると共に、基準見直し、国際標準化活動等に資する研究開発を行う。

(12) 水素用アルミニウム材料の評価・開発

(実施体制：(国)茨城大学、古河スカイ(株)、日本軽金属(株)、(株)神戸製鋼所)

車載用水素関係の金属材料には、耐水素脆性を示さずに高強度であることが求められる。本事業では、①アルミニウムの水素脆化性に及ぼす添加元素の影響を明らかにし、高強度で耐水素脆性を示さない合金系を見出す、②現行の SUS316L を代替できる程度に高強度で切削性に優れたバルブハウジング用アルミニウム合金を開発する、③VH4 容器の口金等車載関係部材用のアルミニウム鍛造合金を開発する、④水素の侵入サイトを明らかにする、⑤開発材の耐水素脆性を評価する、ことを目的とした。

## 2. 1. 3 研究開発項目Ⅲ「次世代技術開発・フィージビリティスタディ等」実施内容

(1) 水素・燃料電池に関わる国際関連機関等研究・政策動向の調査検討

(実施体制：(株)テクノバ)

IEA の先端燃料電池実施協定(AFCIA)は 41 ある IEA の実施協定のひとつで、現在 19 カ国が参加しており、各種燃料電池や主要アプリケーション(自動車、定置、マイクロ)分野での研究協力を行っている。また水素経済のための国際協力(IPHE)は、2003 年に米国エネルギー省の主導で設立した水素・燃料電池の政策面での国際コラボレーション組織であり、現在 16 カ国・1 地域が参加している。IPHE では政策面での情報交換、研究開発のプライオリティの決定、水素ロードマップ比較などの活動を行っているとともに、わが国の政策・研究開発にも影響を与えかねない基準・標準活動や FCV デモンストレーション評価活動も行っている。今後 IPHE と AFCIA は、連携も深めつつ、水素のアプリケーションとしての燃料電池分野でも情報交換し、水素・燃料電池の両面で活動領域を広げていくことが予想される。

そのため、わが国の将来の水素・燃料電池政策、技術開発のために、IPHE と AFCIA の両面から情報を収集するとともに、その動向を調査・検討する。

## (2) IEA/HIA 水素実施協定における国際技術開発動向の調査検討

(実施体制:(財)エンジニアリング振興協会)

IEA/HIA(国際エネルギー機関/水素実施協定)のビジョンである「経済のあらゆる分野の要となるクリーンで持続可能なエネルギー源による水素の未来」に向けて、現在、水素統合システムの評価、水素安全、水の光分解による水素製造、バイオ水素製造、基礎的・工学的な水素貯蔵材料開発、各水素供給用の小規模改質器、風力エネルギーと水素の統合を目標に掲げている。

本調査では、メンバーである我が国も積極的に参加して総合的な水素に関する技術開発動向の把握と分析活動動向の把握を行い、情報を関係者に共有する。

## (3) 可視光応答性半導体を用いた光触媒および多孔質光電極による水分解水素製造の研究開発

(実施体制:(独)産業技術総合研究所)

可視光応答性半導体を用いた光触媒及び多孔質光電極による水分解水素製造の研究開発に関して、太陽光による水分解水素製造の実用化のための基礎要素技術を開発するとともに、理論効率、経済性・将来性の試算に必要な実験データを収集し、太陽電池と水電解を単に組み合わせたシステムの水素製造コストよりも大きく下回る新しい低コスト水素製造システムの実現可能性を検討する。具体的には以下の内容を実施する。

- ・多孔質半導体光電極の構造制御による高性能化
- ・レドックス媒体を用いた効率的な光触媒—電解ハイブリッドシステムによる水素製造
- ・高速自動半導体探索システムと計算化学を用いた新規可視光応答性半導体探索
- ・理論効率、経済性・将来性の試算

## (4) 非貴金属化合物を用いた水電解用高機能酸素発生アノード触媒の設計及び開発

(実施体制:(国)横浜国立大学)

固体高分子形水電解(PEWE)は貴金属由来の材料が酸素発生電極として使用され、システムにおけるコストの割合が大きい。今後の商用化を考えると、貴金属材料の低減が必須であり、更には酸素発生における過電圧の低い材料の開発が望まれている。

本研究開発では、低コスト並びに高活性PEWE酸素極材料の創生を目指し、非貴金属化合物を用いて水電解用高機能酸素発生アノード触媒の設計および開発を行う。具体的には、以下の内容を実施する。

- ・触媒能評価として現行材料(貴金属系)に近い性能を有する非貴金属系酸素発生触媒の開発
- ・現行のアルカリ形水電解に匹敵する新規固体高分子形水電解セルの開発

(5) 高効率水素液化磁気冷凍の研究開発

(実施体制:(独)物質・材料研究機構、(国)金沢大学)

磁気冷凍によるエネルギー効率の高い水素液化・貯蔵に関する基盤技術の確立を行う。水素液化サイクルと蓄冷型サイクルとを組み合わせた高効率水素液化磁気冷凍実証システムの構築と検証を行い、液体水素製造プラントや水素貯蔵および輸送に関する磁気冷凍の実用技術へ発展させる。

具体的には以下の内容を実施する。

- ・実用磁気冷凍磁性材料(酸化物系材料、金属間化合物系磁性材料)の開発
- ・高効率水素液化機構の検証
- ・蓄冷型磁気冷凍試験装置の開発
- ・液面測定技術の要素研究
- ・水素液化磁気冷凍システムの調査と解析

(6) 水素ガス輸送用パイプラインの信頼性評価技術の研究開発(実施体制:(国)東京大学)

水素社会における大量の水素輸送をガスパイプラインによって実現するためには水素ガスパイプラインの信頼性に関する信頼性指針を確立する必要がある。平成18～19年度に実施した「水素安全利用等基盤技術水素に関する共通基盤技術—国際共同研究水素ガスパイプライン高速破壊防止技術の研究開発」において小径のパイプを用いた破壊強度試験を世界で初めて実施して、水素ガスパイプラインの信頼性評価に関する研究を行った。

上記を背景として、本研究開発では、高強度鋼管材料に対する水素脆化感受性の評価、大口径の鋼管を適用した水素ガスパイプラインの実大強度試験による高速き裂伝播の現象の調査、水素ガス漏出を想定した燃焼熱輻射に関する検討、ガスパイプライン高速延性き裂伝播の数値計算モデルの開発、水素ガスパイプライン大規模破壊を防止するための条件に関する試算を行った上で、これらを総合的に検討するとともに、水素ガスパイプラインの耐破壊信頼性指針を確立するために必要な検討課題を整理する。

#### (7) 超高压水素合成法による新規水素吸蔵合金の研究開発

(実施体制:(独)産業技術総合研究所、(国)東北大学)

本研究開発は、水素吸蔵合金を用いた自動車向けの水素貯蔵装置を成立させるため、また、燃料電池を熱源として水素を放出可能とするために、「質量貯蔵密度6質量%以上、放出温度100°C以下、耐久性1,000回以上」を可能とする革新的な水素貯蔵材料を探索し、同材料の有効性を検証・確認する。

具体的には、数GPa(数万気圧)の水素雰囲気下で新規高密度水素化物の合成を行う超高压水素合成法を利用して、開発目標値を満たすことができる革新的な水素貯蔵材料の探索研究を実施する。水素貯蔵材料として、新規マグネシウム合金系材料、新規リチウム合金系材料、新規アルミニウム合金系材料の合成を行い、これら新材料の可逆的な水素吸蔵・放出特性評価を行うとともに、放射光などを利用しての精密構造解析を体系的に行い、高密度水素貯蔵材料の設計指針を確立する。

#### (8) ゼオライト鑄型炭素をベースとしたスピルオーバー水素貯蔵に関する研究開発

(実施体制:(国)東北大学)

水素吸蔵材料として、活性炭、カーボンナノチューブ(CNT)、有機金属錯体等に代表される吸着系材料は、化学反応を一切伴わず物理吸着により水素を貯蔵するため、水素の吸蔵・放出に加熱は不要であり、しかも吸蔵・放出速度が大きく、繰り返し耐久性も極めて高い。しかし、吸着系材料の室温における水素吸蔵能は、我々が近年報告したゼオライト鑄型炭素による2.2wt%(30°C、34 MPa)が最高値であり(J. Phys. Chem. C 113 (2009) 3189)、物理吸着だけを利用して同じ温度・圧力条件においてこれ以上の水素吸蔵能を達成することは極めて困難である。そこで近年着目されているのが、水素分子(H<sub>2</sub>)の物理吸着に加え、スピルオーバーにより生成する原子状水素(H<sup>•</sup>)の可逆貯蔵も併用した新しい貯蔵方式である。

本研究開発では、室温・高圧における物理吸着量が極めて大きいゼオライト鑄型炭素をベースに、スピルオーバー水素の貯蔵も併用した高容量水素吸蔵材料の開発を行う。

具体的には、ゼオライト鑄型炭素をベースとし、「物理吸着+スピルオーバー」のメカニズムにより水素を高密度で貯蔵可能な吸蔵材料(水素貯蔵量6mass%以上)の開発を行う。

(9) MgおよびTi系相分離型高容量水素吸蔵合金の設計と実証に関わる研究開発

(実施体制:(学)東海大学)

本研究開発では、合金の相分離によって発現する「吸熱反応」を利用して、水素化合物の熱力学的な不安定化を実証することを目指すとともに、新しい「相分離型水素吸蔵合金」の開発として、Mg基およびTi基を有し、ⅢA族、ⅣA族元素との合金を作製し、水素吸蔵特性を明らかにする。また、Tiを中心に非固溶反応系の合金設計と水素吸収・放出反応についての検討、軽量な水素化合物の代表である $\text{AlH}_3$ の物理的合成法の開発を実施する。具体的には以下の内容を実施する。

- ・Mg基を有する合金の作製と熱力学的平衡反応特性
- ・Ti基を有する合金の作製と熱力学的平衡反応特性
- ・Al水素化合物の物理合成法の開発

(10) 燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発

(実施体制:(財)日本自動車研究所)

2015年頃のFCV普及開始期の市場形成に向けて必要な安全確保のための技術的知見の系統的構築や基準・標準の整備に注力し、FCVの実用化・普及展開及び国際競争力の確保に資することを目的とする。

(11) 水素エネルギーシステムの社会的便益に関する研究開発

(実施体制:(独)産業技術総合研究所)

本研究開発は、特に、水素エネルギーシステム技術の導入と社会との関わりから研究を実施し、本プロジェクトが目標とする、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の確立による新しいエネルギーシステムの構築を支援することを目的とする。

本研究は、このような基本的認識に基づいて、堅実な形での水素エネルギーシステムの社会導入を図るため、水素燃料電池自動車及び上記システムの導入に伴う社会的・経済的便益の分析評価を通じて、有効な施策を提言するものであり、燃料電池自動車の本格的導入普及に向けた水素供給インフラ市場立上げ時期を念頭において、堅実な形での水素燃料電池自動車の社会導入を図るための方策について、①水素燃料電池自動車の導入に伴う社会的・経済的便益の評価、及び②社会的便益評価システムの構築を通じて、燃料電池自動車の有効な導入施策の検討などを行い、燃料電池自動車及び水素の社会的受容の拡大と導入普及の効率的な実現施策を支援するものである。

## (12)水素キャリアに応じたフィージビリティスタディ

(実施体制:(財)エネルギー総合工学研究所、岩谷産業(株)、川崎重工業(株)、関西電力(株)、清水建設(株)、三菱重工業(株)、千代田化工建設(株))

本研究開発は、各種水素キャリア(高圧水素、液体水素、有機ケミカルハイドライド)を用いた、オフサイト型水素製造拠点から水素ステーションにおける燃料電池自動車(FCV)への充填までの一連のフローにおける経済的成立性や実現性を検討・評価し、普及に向けた今後の技術開発課題を抽出することを目的とする。

本研究開発を実施するにあたっては、水素供給インフラ立上げの想定である2015年のほか、FCVの普及が始まると予想される2020年、本格的普及時期と予想される2030年におけるFCVの普及台数と水素供給ステーション設置数を想定し、各年における水素需要量、対象となる3種の水素キャリアに共通の前提条件を設定する。

この前提条件に基づき、フィージビリティスタディは、始めに各水素キャリア毎に現状の技術を用いた場合の各年における水素供給コストを算出し、コスト構成を把握した上で技術開発が期待できる項目を抽出し、技術開発が達成された際の水素供給コストを集め求め、経済性、WtTのエネルギー効率、環境性(CO<sub>2</sub>排出量)の評価を行うとともに、それらの検討を基に、各水素キャリア毎に普及に向けての技術開発課題を抽出するものである。

## (13)水素インフラ等に係る基準整備に関する研究開発

(実施体制:高圧ガス保安協会、(国)東京大学)

70MPa級水素ステーションを構成する配管、バルブなど各部品を製造する前提となる高圧水素ガス設備に使用可能な金属材料の鋼種拡大、高圧水素ガスの輸送・貯蔵を目的とした複合容器(CFRP)に係る技術基準の整備を見据えた調査及び試験に加え、水素ステーションに用いる圧力設備のより合理的な設計を可能とすべく、圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用に関する検討を行う。本事業の成果物は、広く一般に公開され、将来の水素ステーション等の規制見直しに資することが可能な資料となる。

## (14)水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化のための研究開発

(実施体制:水素供給・利用技術研究組合、高圧ガス保安協会)

2015年のFCV普及開始に向け、主要な規制の合理化の検討を示した「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」に基づき12項目の規制合理化項目に関する各種技術基準の検討案を作成するものである。

## 2.2 研究開発の実施体制

本事業は、3分類され「水素ステーション機器システム、車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術」のシステム技術開発、「水素製造機器、貯蔵材料・輸送機器、水素ステーション機器」の要素技術開発、「技術開発シナリオ、革新的次世代技術」の次世代技術開発・フィージビリティスタディ等となっている。システム技術開発の最終目標に向けて要素技術開発の各テーマが個々の目標を設定し実施している。また、技術開発シナリオの調査結果等により研究開発の方向付けの微調整等も行える体制である。下記に実施者を記載したが、各実施者は各テーマの先駆的な実施者で技術力もあり、また将来の事業化に向けた企業規模を有する実施者である。

また、2.3項の「研究の運営管理」で記載したように関連するテーマ毎にWGを立ち上げWG毎にリーダーを選出し情報の共有化等を図るためにWG体制を構築した。

### 2.2.1 研究開発項目Ⅰ「システム技術開発」の実施体制

(1) 70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発

実施体制:(財)石油エネルギー技術センター、東邦ガス(株)、トキコテクノ(株)、  
日立オートモティブシステムズ(株)、大陽日酸(株)、横浜ゴム(株)、(国)佐賀大学

(2) 車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術に関する研究開発

実施体制:日本重化学工業(株)、サムテック(株)、(独)産業技術総合研究所

### 2.2.2 研究開発項目Ⅱ「要素技術開発」の実施体制

(1) 水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発

実施体制:東京ガス(株)、日本特殊陶業(株)

(2) 水素製造装置の高性能化・低コスト化・コンパクト化に関する研究開発

実施体制:三菱化工機(株)

(3) CO<sub>2</sub>膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発

実施体制:(株)ルネッサンス・エナジー・リサーチ、(国)神戸大学、(国)京都大学、  
(独)産業技術総合研究所、(株)ミクニ

(4) ホウ素系水素貯蔵材料の開発

実施体制:(株)豊田中央研究所、(国)東北大学

(5) ラーベス構造を有した高容量水素吸蔵合金の開発

実施体制:日本重化学工業(株)

(6) 低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発

実施体制:(株)タツノ

- (7) 70MPa級水素ガス充填対応大型複合蓄圧器の開発  
実施体制: JX日鉱日石エネルギー(株)、サムテック(株)
- (8) 低コスト型 70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器に係わる研究開発  
実施体制: (財)石油エネルギー技術センター、(株)キッツ、アズビル(株)、  
(財)金属系材料研究開発センター、(株)日本製鋼所
- (9) 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発  
実施体制: 清水建設(株)、岩谷産業(株)
- (10) 直接充填方式水素ステーション用圧縮機の研究開発  
実施体制: (株)神戸製鋼所
- (11) 水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発  
実施体制: 新日鐵住金(株)、愛知製鋼(株)、(独)物質・材料研究機構
- (12) 水素用アルミニウム材料の評価・開発  
実施体制: (国)茨城大学、古河スカイ(株)、日本軽金属(株)、(株)神戸製鋼所

## 2. 2. 3 研究開発項目Ⅲ「次世代技術開発・フィージビリティスタディ等」の実施体制

- (1) 水素・燃料電池に関わる国際関連機関等研究・政策動向の調査検討  
実施体制: (株)テクノバ
- (2) IEA/HIA 水素実施協定における国際技術開発動向の調査検討  
実施体制: (財)エンジニアリング振興協会
- (3) 可視光応答性半導体を用いた光触媒および多孔質光電極による水分解水素製造の研究開発  
実施体制: (独)産業技術総合研究所
- (4) 非貴金属化合物を用いた水電解用高機能酸素発生アノード触媒の設計及び開発  
実施体制: (国)横浜国立大学
- (5) 高効率水素液化磁気冷凍の研究開発  
実施体制: (独)物質・材料研究機構、(国)金沢大学
- (6) 水素ガス輸送用パイプラインの信頼性評価技術の研究開発  
実施体制: (国)東京大学
- (7) 超高圧水素合成法による新規水素吸蔵合金の研究開発  
実施体制: (独)産業技術総合研究所、(国)東北大学
- (8) ゼオライト鑄型炭素をベースとしたスピルオーバー水素貯蔵に関する研究開発  
実施体制: (国)東北大学
- (9) Mg および Ti 系相分離型高容量水素吸蔵合金の設計と実証に関わる研究開発  
実施体制: (学)東海大学

(10) 燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発

実施体制:(財)日本自動車研究所

(11) 水素エネルギーシステムの社会的便益に関する研究開発

実施体制:(独)産業技術総合研究所

(12) 水素キャリアに応じたフイージビリティスタディ

実施体制:(財)エネルギー総合工学研究所、岩谷産業(株)、川崎重工業(株)、関西電力(株)、  
清水建設(株)、三菱重工業(株)、千代田化工建設(株)

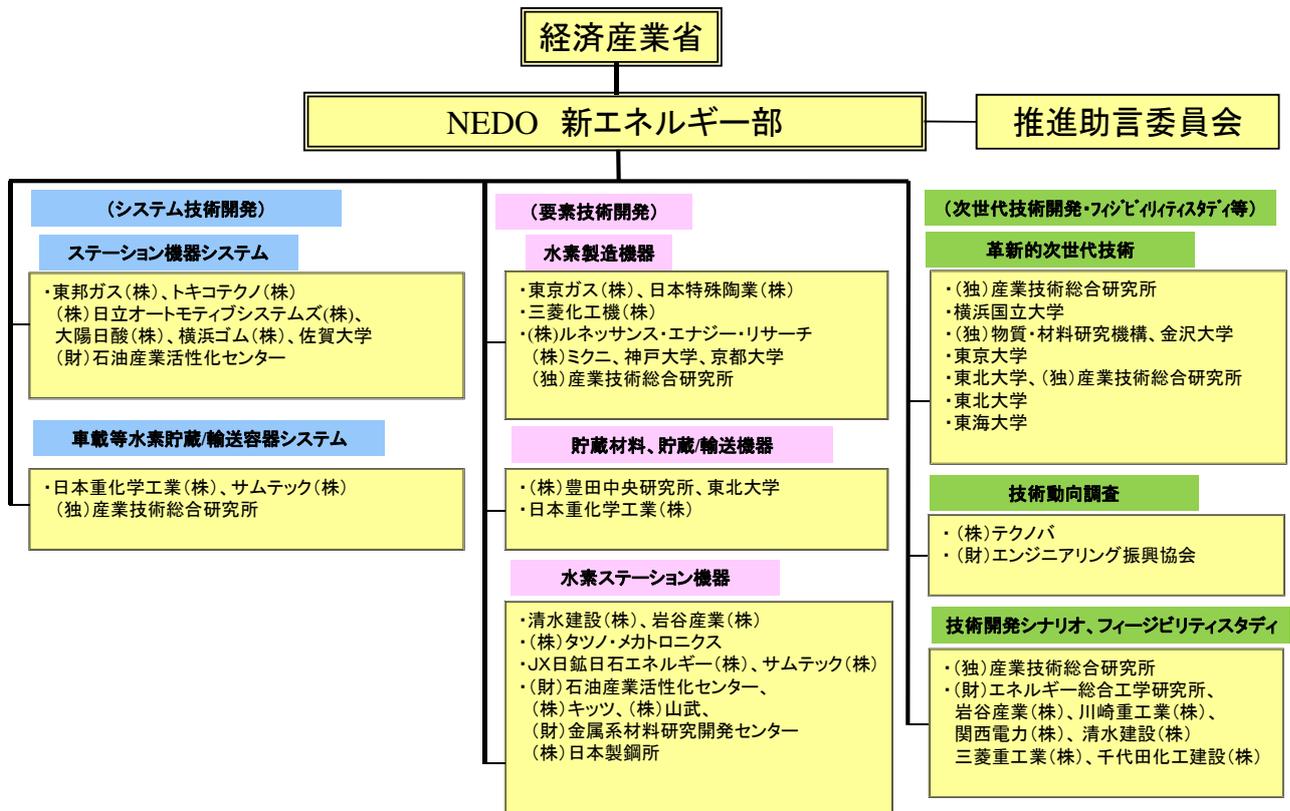
(13) 水素インフラ等に係る基準整備に関する研究開発

実施体制: 高圧ガス保安協会、(国)東京大学

(14) 水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化のための研究開発

実施体制: 水素供給・利用技術研究組合、高圧ガス保安協会

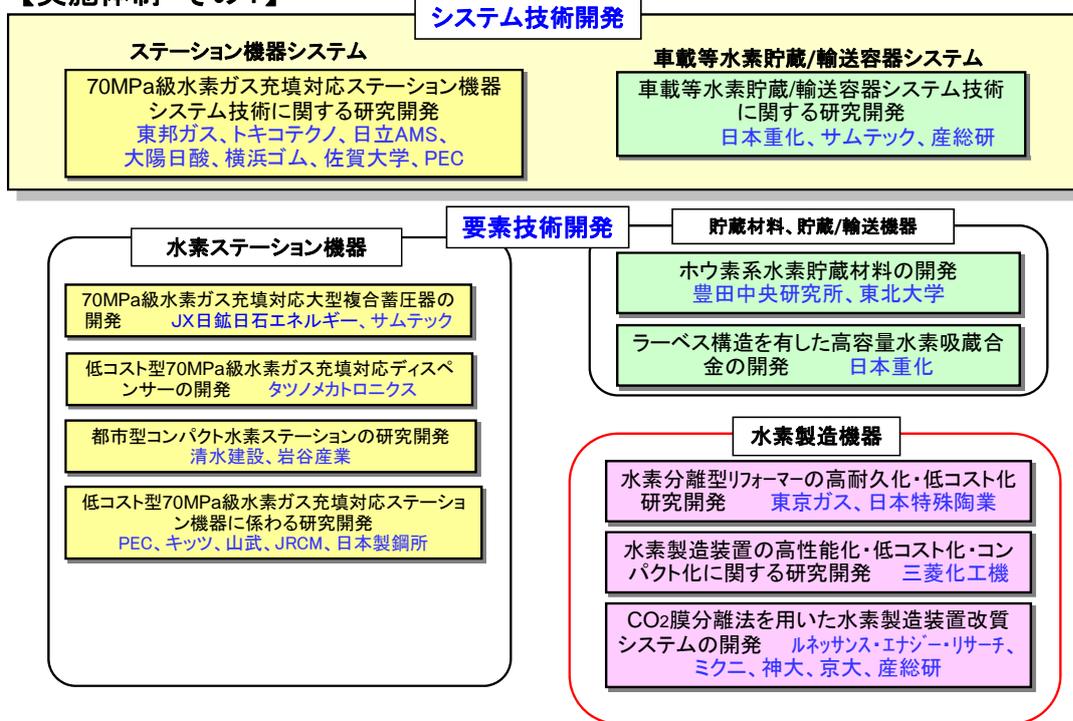
### <事業実施体制の全体図>



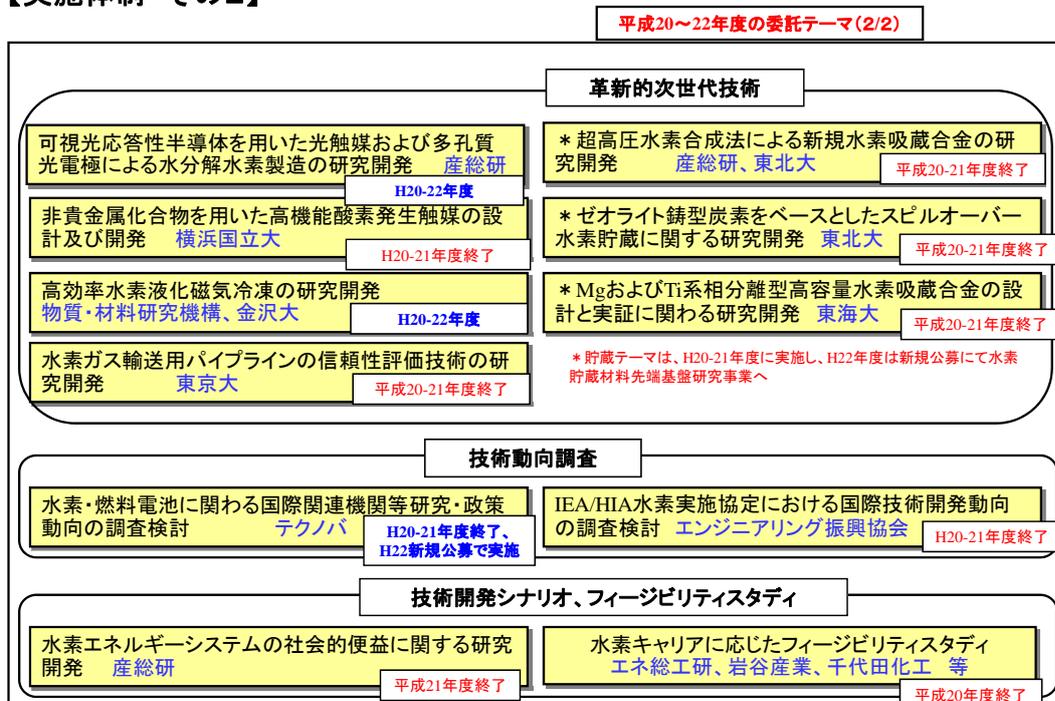
【実施体制 その1, その2】として各区分での実施テーマ名と実施者について下記に記す。

【実施体制 その2】では、実施年度についても記載した。

### 【実施体制 その1】



### 【実施体制 その2】



## 2. 3 研究の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び研究開発責任者や研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標並びに本研究開発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NEDOに設置する技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、適時委託先からプロジェクトの進捗について報告を受けるなどを行う。

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。

水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発に関する外部有識者（関係産業界、学識経験者、関連事業関係者）による「推進助言委員会」を平成21年11月に開催し事業の進め方等について意見及び助言を頂き取り進めた。また、実施者間での意見交換等のため「水素ステーション関連WG」、「（下部WGとして水素ステーション関連サブWG1、WG2）」、「水素製造関連WG」、「水素貯蔵関連WG」、「水素キャリア委員会」を開催し各プロジェクトの目標の共有化、進捗状況等について報告を行い事業の推進を図った。下記に各WGの参加対象テーマと実施者の構成及び実施内容を示す。

### 【研究開発の運営管理（WGの目的、実施状況）】

WG名	実施者 リーダー	目的	実施状況
水素ステーション関連WG	(財)石油産業活性化センター	<ul style="list-style-type: none"> <li>各社進捗状況の紹介、意見交換</li> <li>水素ステーション建設コスト2億円に向けた各社目標コストの設定、コスト低減策の討議・検討</li> </ul>	WGを4回開催（システム、機器に関するサブWGを各2回開催）
水素製造関連WG	東京ガス(株)	<ul style="list-style-type: none"> <li>各社進捗状況の紹介、意見交換</li> <li>水素製造装置の効率等の定義、現状及び将来の技術水準の統一</li> <li>補機類等共通機器のコスト低減策の検討・討議</li> </ul>	WGを3回開催（他に水素分離型リフォーマーの開発の外部助言委員会を4回開催）
水素貯蔵関連WG	日本重化学工業(株)	<ul style="list-style-type: none"> <li>各社進捗状況の紹介、意見交換</li> <li>自動車メーカー等ユーザーとの意見交換によるユーザー・ニーズの研究開発への取り込み</li> </ul>	WGを3回開催（他に貯蔵容器システム技術は自工会と意見交換）
水素キャリア委員会	(財)エネルギー総合工学研究所	FSの前提条件、実施方針、評価方法、まとめ方等の討議・検討	委員会を2回開催

● 「水素ステーション関連WG」の参加対象テーマと実施者

WGリーダー：(財)石油エネルギー技術センター

- ・ 70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発

実施者：(財)石油エネルギー技術センター、東邦ガス(株)、トキコテクノ(株)、

日立オートモティブシステムズ(株)、大陽日酸(株)、横浜ゴム(株)、(国)佐賀大学

- ・ 低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発

実施者：(株)タツノ・メカトロニクス

- ・ 70MPa級水素ガス充填対応大型複合蓄圧器の開発

実施者：JX日鉱日石エネルギー(株)

- ・ 低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器に係わる研究開発

実施者：(財)石油エネルギー技術センター、(株)キッツ、(株)山武、

(財)金属系材料研究開発センター、(株)日本製鋼所

- ・ 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発

実施者：清水建設(株)、岩谷産業(株)

- ・ 水素・燃料電池に関わる国際関連機関等研究・政策動向の調査検討

実施者：(株)テクノバ

- ・ IEA/HIA水素実施協定における国際技術開発動向の調査検討

実施者：(財)エンジニアリング振興協会

さらに、サブWGによりテーマを絞り込んで「水素ステーション関連サブWG1」はシステム技術テーマを中心に実施したサブWGであり、「水素ステーション関連サブWG2」は要素機器技術テーマを中心に実施したサブWGである。

このWGでは、最終目標である設備コスト 2億円以下/システム [300Nm<sup>3</sup>/h規模の場合、土地取得価格を除く] に向けて各機器メーカーと検討を行い、現時点で約2.5億円程度の見通しを得ており、最終目標値へ向けて検討中である。また、耐久性に関しても各機器メンテナンス回数1回以下/年 [日常的な簡易検査やメンテナンスを除く] について各実施者が試験室レベルでデータ検証中であり、これに並行して各要素機器を組み合わせたシステムとして東邦ガス総合研究所でデータ検証試験中であり試験室レベルのデータとシステム実証データとを総合的に検討しながら最終目標値に向けて取り進めている。

● 「水素製造関連WG」の参加対象テーマと実施者

WGリーダー：東京ガス(株)

- ・ 水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発

実施者：東京ガス(株)、日本特殊陶業(株)

- ・水素製造装置の高性能化・低コスト化・コンパクト化に関する研究開発

実施者：三菱化工機(株)

- ・CO<sub>2</sub>膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発

実施者：(株)ルネッサ・エッジ・リサーチ、(国)神戸大学、(国)京都大学、(独)産業技術総合研究所、  
(株)ミクニ

2015年のオンサイト型の水素ステーションの水素製造装置の低コスト化、高耐久性に向けて各実施間で実施内容、進捗状況を報告し共有化を図った。また、各実施者間で相違していた効率の定義、機器の稼働率の考え方について整理し目標値に対する整合性を図った。補機等の共通機器のコスト低減策の検討討議を実施した。また、実施者による外部助言委員会にNEDOも参加し本事業での位置づけあるいは方向付けについて助言を行った。

#### ●「水素貯蔵関連WG」の参加対象テーマと実施者

WGリーダー：日本重化学工業(株)

- ・車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術に関する研究開発

実施者：日本重化学工業(株)、サムテック(株)、(独)産業技術総合研究所

- ・ホウ素系水素貯蔵材料の開発

実施者：(株)豊田中央研究所、(国)東北大学

- ・ラーベス構造を有した高容量水素吸蔵合金の開発

実施者：日本重化学工業(株)

水素貯蔵に関する情報交換を行い、熱処理時の温度履歴測定、スピニング時の温度変化測定について討議検討した。ハイブリッド貯蔵タンクに関する法令対応については高圧ガス保安法だけでなく、道路運送車両法についても検討する必要があることが判明した。熱処理工程、研究設備、破裂試験等の見学を行うと共に意見交換を実施し、情報の共有化に努めた。また、自動車メーカー等のユーザー・ニーズの研究開発への取り組みのためWGへの参加と意見交換を実施した。

#### ●「水素キャリア委員会」の参加対象テーマと実施者

WGリーダー：(財)エネルギー総合工学研究所

- ・水素キャリアに応じたフィージビリティスタディ

実施者：(財)エネルギー総合工学研究所、岩谷産業(株)、川崎重工業(株)、関西電力(株)、清水建設(株)、三菱重工業(株)、千代田化工建設(株)

本委員会では、実施者のみならず外部有識者、関係業界団体等も委員会の委員として参加し、ユーザー側での立場としての見解も網羅した。高圧水素、液体水素、有機ケミカルハイドライドによる供給フローについて検討し、各フローについて経済性等も検討した結果、普及初期では高圧水素供給が有利であることが判明した。これにより現在、高圧水素供給に集中した研究開発体制で実施している。

各「水素ステーション関連WG」、「水素ステーション関連サブWG 1」、「水素ステーション関連サブWG 2」、「水素製造関連WG」、「水素製造プロジェクトで実施者独自での外部有識者による外部助言委員会」、「水素貯蔵関連WG」、「水素キャリア委員会」での会議実績表を頁WG-(1)～(7)に提示した。

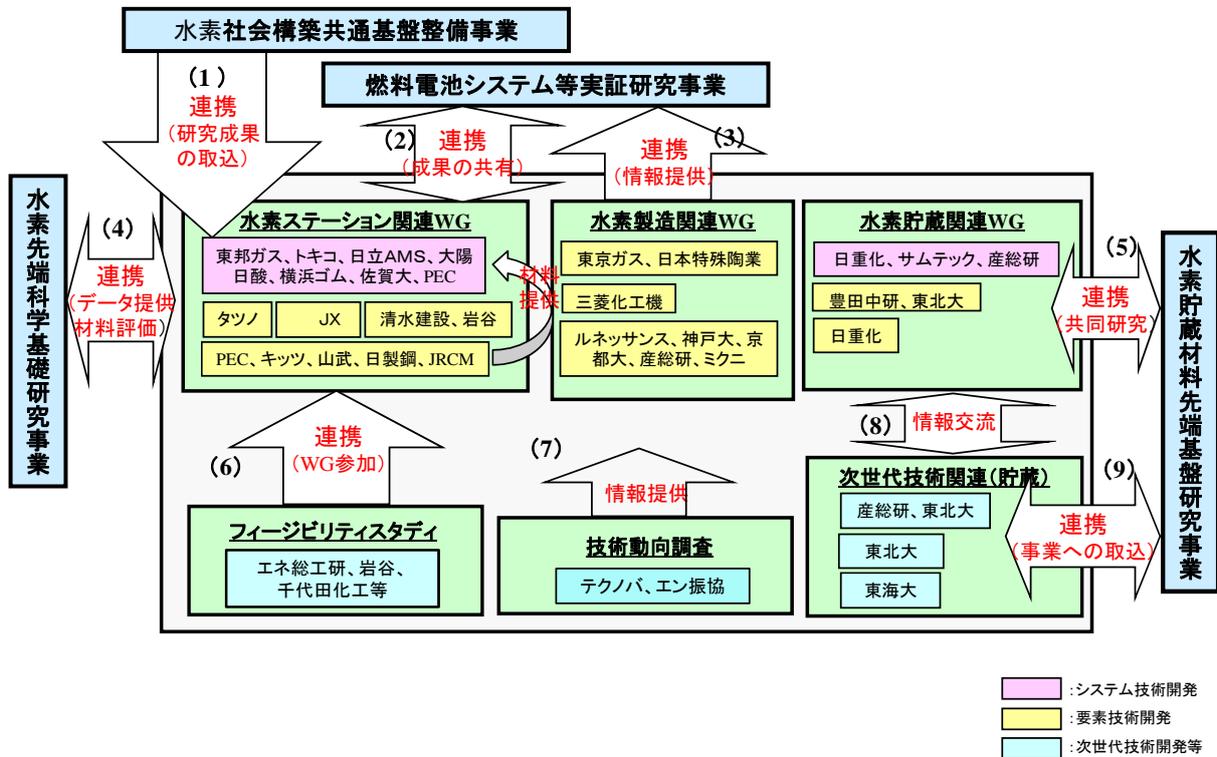
●NEDOと実施者との面談及び意見交換について

平成20年より開始した事業で約1.5年経過した時期である、平成21年度の間中期に各テーマの実施者との面談を約1～2時間程度を掛け行い「進捗状況の報告、予算執行状況、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進言等を行った。これ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WGの連係体制について

基礎基盤研究である「水素先端科学基盤研究事業、水素貯蔵材料先端基盤研究事業」、技術実証である「燃料電池等システム実証研究」、また水素社会構築共通基盤整備事業（平成21年度終了）とも連携を図り取り進めている。

## 【研究開発の運営管理(他事業及び事業内の連携)】



上記の(1)～(9)までの連携については以下のとおりである。

- (1) 水素インフラに関する安全技術研究において設計、製作した70MPa充填対応の蓄圧器を東邦ガスに建設したステーションに設置し、耐久性を検証している。また、蓄圧器に使用した材料の水素脆化を評価するため同ステーションでサーベランス試験を実施している。
- (2) 水素ステーション関連WGで実施している低コスト化検討とJHFCで実施しているWG1でのコスト評価分科会と連携し、ステーションの低コスト化に向けた検討を連携し実施している。また、水素ステーション関連WGで検討している東邦ガスステーションとJHFCの千住ステーションでの共通課題であるプレクール設備、充填速度等の検討について連携を図り検討を実施している。
- (3) JHFCインフラモデル検討会で検討している水素製造装置のランニングコストの資料について、水素製造関連WGで詳細を検討し数値の見直し等の助言を実施したりし情報の共有化を図った。
- (4) 本事業で開発した流量調整弁等の水素用機器の部材を水素先端科学基礎研究事業に提供し、水素環境下のトライボロジー評価研究の題材とすると共に、材料評価結果を本事業の機器開発にフィードバックした。

水素先端科学基礎研究事業で開発した水素物性データベースの情報をNEDO関連事業関係者に公開する場(2009年10月)に参画し、機器設計等への成果活用を検討するとともに、

データベースの改善提案を行った。

JHFC水素実証で用いた水素ステーションの解体材料を水素先端科学基礎研究事業に提供し、水素環境での長期間使用材料の特性評価を行った。ここで明らかになった蓄圧器材料における熱処理の重要性情報を、JHFCワーキングG会議にて報告し、安全な機器製造に関する情報の共有を図った。

- (5) 水素貯蔵材料先端基盤研究事業へは開発中の貯蔵材料を提供する。代わりに開発・整備している先進的な解析技術等での解析データを受け取ることにより互いの目標達成に向けた連携を実施した。
- (6) 水素キャリアで検討した知見を水素ステーション関連WGのメンバーにも公表し情報の共有化を図るとともにWGへも参加し意見交換を図った。
- (7) 技術動向について実施者よりNEDOをはじめ、各関連WGのメンバーも参加してセミナーを実施し情報の共有化を図った。
- (8) NEDO主催の水素貯蔵材料フォーラム及び連携成果報告会等で開発の進捗に関する情報を共有化した。
- (9) 水素貯蔵材料先端基盤研究事業へは先進的技術により開発中の貯蔵材料を提供する。代わりに開発・整備している先進的な解析技術での解析データ、あるいは計算科学的手法による性能予測データ等を受け取ることにより互いの目標達成に向けた連携を実施した。

水素貯蔵材料に関しては、平成22年度より水素貯蔵材料先端基盤研究事業に新規公募により実施する。

## 2. 4 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

2015年をFCV、水素インフラの普及開始期としての位置付けである。

- (1) FCV、水素インフラの実証試験を行う「燃料電池システム等実証研究」の後継実証事業（2011～2015年度）を立ち上げ、本事業（2008～2012年度）により技術開発が完了したシステム、機器から順次、実使用条件下での実証試験に移行し、その技術が確立したことを検証する実用化、事業化への道筋を構築した。
- (2) 技術開発が完了しても、実用化、事業化には現行の法規制等が支障となる場合がある。そのため、実用化、事業化に支障となるFCV、水素インフラの規制見直し、国際標準化に資するデータ取得等を2010年度より本事業に取込んで実施した。（例えば、使用鋼種の拡大、複合容器の蓄圧器としての使用可、設計基準としての耐圧係数の見直し等）
- (3) 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出願等を積極的に出願し権利化するよう指導した。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た。

## 3. 情勢変化への対応

本事業開始後、平成22年3月、燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）が「2015年、一般ユーザーへの普及開始を目指す」とする『FCVと水素ステーションの普及に向けたシナリオ』を発表し、平成23年1月、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、共同声明を公表。声明においては、2015年に自動車会社がFCV量産車を販売すること、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。

このような情勢変化に対して下記の通り対応している。

### (1) 鋼種拡大に係る規制の再点検に対する対応

平成22年6月に閣議決定された「規制・制度改革に係る対処方針（グリーンイノベーション分野）」を受け、平成22年末に水素ステーションの鋼種拡大に係る規制の再点検及びその結果を踏まえた対応について今後の具体的な工程表が作成され、「例示基準に記載された使用可能鋼材の拡大」が項目の一つに位置付けられた。

⇒「水素先端科学基礎研究事業」と連携して、鋼種拡大に資するデータ・安全性のデータ取りの加速に役立てた。

⇒工程表の進捗に貢献。平成24年度末に技術基準(案)完成見込み。

(2) 水素ステーション100箇所の先行整備に向けた対応

平成23年1月、2015年のFCV普及開始に先駆け、100箇所程度の商用水素ステーション設置・実証を行う共同声明が発表された。

⇒2015年の商用水素ステーションの目標コスト達成に資する低コスト水素ステーション実証が可能となる見込み。

(3) 国際標準化への寄与

水素充填速度は、ガソリンスタンド並みの5kg/3分-H<sub>2</sub>が要求される。

1. 水素充填プロトコルの標準化（急速充填、-40℃のプレクール技術の対応）

⇒SAE J2601-TIR FCV への水素急速充填プロトコルに従った急速充填の安全性を検証し、水素ステーション例示基準に採用となる見込み。

2. 水素充填コネクタの標準化

⇒ISO17268 FDISに基づき、ノズル・レセプタクルの低温信頼性評価（氷結状況確認等）を実施し、水素ステーション例示基準に採用となる見込み

#### 4. 中間評価結果への対応

##### 4. 1 中間評価の主な指摘に係る対応

(1) 指摘：本プロジェクトは、非常に広範な内容を含んでいる。

各開発技術間のインターフェイスの部分、責任を持って管理する強力なリーダーシップを持ったプロジェクトリーダー（PL）を設置することが望ましい。

対応：広範囲の技術領域を含み、かつ基礎的分野から実用的分野までを広く包含する本プロジェクトに精通し、的確な方向性をもって全体を強力にリードできるPLを選任。

（九州大学：尾上先生）

成果：各開発技術の進捗管理を的確に実施し、各開発技術の目標に対し大きな成果を得た。

（都市型コンパクト水素ステーションの実現の目処が立った等）

(2) 指摘：NEDOの他の水素関連事業と一体感をもって実施することが必要。

対応①：「水素先端科学基礎研究事業」との連携強化。

成果①：・規制合理化、国際標準化に資する材料データを特定し、取得の推進を実施。

・水素充填ホース亀裂対策について、「耐水素性を有する水素バリア樹脂」のデータを取得することにより水素充填ホース実用化（亀裂対策）に向けた課題検証（水素溶解量低減／異物対策）完了見込み。

・弾性特性の感度の高い因子を把握することにより、緊急離脱カップリングのリングの水素漏洩対策の指針を得た。

対応②：「地域水素供給インフラ技術・社会実証」との連携強化。

成果②：・水素供給インフラの低コスト化に繋がる技術実証、調査等を行い、水素供給インフラ導入の可能性を明らかにした。

##### 4. 2 中間評価の指摘に係る対応（詳細）

###### (1) 総合評価

本プロジェクトは国際的にも国内的にも重要な技術開発であり、水素社会の構築を目指して、水素製造、輸送・貯蔵の実用化、普及のための技術開発に向けて精力的な取り組みが行われており、着実に成果を上げている。個別の研究開発成果については、高く評価できるものがあり、実用化の可能性を期待させるものである。

一方、本プロジェクトは、非常に広範な内容を含んでいるので、目標達成のためには、システム技術開発と要素技術開発、次世代技術開発の3つの研究開発項目とそこに含まれる個々のテーマの進捗状況を横断的に把握し、インターフェイスの部分について責任を持って管理することが極めて重要である。そのために強力なリーダーシップを持ったプロジェクトリーダーを設置することが望ましい。

また、個別の技術には成熟度の高いものも見られるが、2015年を目標とする水素供給インフラとしてのシステムの事業化という観点からは、事業化までの明確なシナリオが描け

ていない。

#### 【対処方針】

プロジェクトリーダーの設置：広範囲の技術領域を含み、かつ基礎的分野から実用的分野までを広く包含する本プロジェクトの内容に精通し、強力なリーダーシップを発揮するPLを設置。（九州大学：尾上先生）また、本プロジェクトが他のプロジェクトと連携を深めさらに効果的な成果を得るため、水素事業に関連するPL連絡会等の課題共有化の場を新に設ける。

事業化に向けたシナリオ作成：事業化という視点で、目指すべき技術成果とその活用方法を見直し、システムとしての事業化までのシナリオを構築する。

#### (2) 今後に対する提言

個々の技術開発のレベルが、基礎研究レベルから耐久性実証レベルまでばらばらであり、2015年という早期の実用化開始をめざす基幹となる技術構成が不明確である。当面はコスト低減も重要であるが、フィールドテストに移行できるだけの信頼性のある技術確立に注力すべきである。果たして社会システムとして成立するのかという観点から、例えば特区を設定して推進することも必要であろう。同時に、平成22年度からは本プロジェクトに基準・標準化研究が組み入れられているが、海外の強力な企業がしのぎを削る中、海外の動向も十分注視して国際標準に対応できる基準、標準化を進めるべきである。

さらに、副生水素をクレジットや税制として優遇することや、安全面は重視したうえで、高圧ガス保安法・消防法・建築基準法の規制緩和の検討が進むことを期待している。

#### 【対処方針】

実用化開始時の基幹となる技術構成の明確化：早期の実用化を目指す技術については、基幹となる技術構成を明確にした上で今後2年間の開発においてより力点を置いた取り組みを行う。

信頼性のある技術確立への注力：インフラ技術においては、安全性を含む信頼性は最優先すべきものである。信頼性と経済性の両立が不可欠であり、現状でも十分な信頼性を考慮した開発を行っているが、実証試験等のプロジェクトに円滑に移行できるよう、更に信頼性を向上させるよう取り組む。

特区での実証の検討：社会システムとしての成立の検証のため、開発成果は、今後広く実施が計画されている実証試験プロジェクトに適用を図る。

国際標準化の推進：これまでISO/TC197（水素技術）やISO/TC22（電気自動車）等、日本が国際標準化を主導するにあたって必要な基礎的データの取得を本事業において実施しており今後もデータ取得等を引き続き行う。

規制緩和に向けた検討の推進：規制緩和関連テーマは、水素供給インフラ普及には不可欠で、今後重要テーマとして取り組むことを検討する。本年度は、規制緩和に関する研究開発

テーマを複数立ち上げたが、来年度も新たな取り組みを検討する。

### (3) 事業の位置付け・必要性

本プロジェクトは、水素社会を構築するために燃料電池自動車（FCV）の導入と普及を図ることを大前提として、水素製造・輸送・貯蔵システムなどの実用的な技術開発を目的としており、システム・要素技術の開発と事業化調査に傾注している。基礎的かつ萌芽的な研究要素も多く、産官学が一体となってNEDOが関与して開発を促進することは十分な意義がある。エネルギー供給の安全保障、低炭素社会の構築などを鑑みると、本事業の重要性は益々高まると考えられ、2030年の時点では市場規模に対する開発投資という観点から、費用対効果は大きいものと考えられる。（指摘・問題点なし）

### (4) 研究開発マネジメント

本プロジェクトは、開発が広範であるがゆえに多くの企業、大学が参画しており、研究開発の進展に応じて、計画の見直しも適切に実施されている。

一方、主要テーマ毎にワーキンググループを設置し運営や実施状況を管理、確認している体制は見られたが、テーマ間の連携が具体的にどのようなおこなわれているのか明確でない。システム技術開発と要素技術開発の整合性を図るマネジメントを強力に推進する必要がある。

本プロジェクトの目標は2015年頃の水素供給インフラ市場立上げに必要な一連のシステムや機器の技術確立にあるので、中間評価という観点から最終目標達成のための手段を明確にする必要がある。目標においては、経済性の面が強調されている。安全性と相反する面があり、費用対効果とともに安全性の確保も重要である。

これらの観点から、全体の整合性を図りながらプロジェクトを進めるプロジェクトリーダーが不可欠である。また、技術の普及への取り組みについては実証事業との連携、標準化についても基準・標準化の研究開発との連携を強化すべきである。特に、国際標準を目指す戦略が明確でなく、戦略策定が重要である。

#### 【対処方針】

テーマ間連携方法の明確化：これまで定期的にワーキンググループにおける情報交換を実施してきたが、情報交換が具体的にみえるように検討する。

システム・要素の両技術開発の整合性を図るマネジメントの推進：新に設置するPLとNEDOにより、プロジェクト全体にわたってより整合の取れたマネジメントを推進する。

最終目標達成手段の明確化：中間評価の結果を踏まえ、事業化までを考慮した技術開発全体シナリオを構築し、最終目標達成のための課題と手段を明確にする。

経済性と安全性の両立：インフラ技術においては、安全性確保は最優先されるものである。安全性と経済性の両立が不可欠であり、現状十分な安全性を検証する開発を行ってはいるが、

更にその成果が実用的に受け入れられるよう安全性の確保に配慮する。

プロジェクトリーダーの設置：広範囲の技術領域を含み、かつ基礎的分野から実用的分野までを広く包含する本プロジェクトの内容に精通し、強力なリーダーシップを発揮するPLを設置。また、本プロジェクトが他のプロジェクトと連携を深めさらに効果的な成果を得るため、水素事業に関連するPL連絡会等の課題共有化の場を新に設ける。

関連する他事業との連携強化：関連する他のプロジェクトとの連携強化に向け、情報提供および成果の共有化の場を設ける。具体的には①「水素先端科学基礎研究事業」との連携強化を行い、(a)規制合理化、国際標準化に資する材料データを特定し、取得の推進を実施。(b)水素充填ホース亀裂対策について、「耐水素性を有する水素バリア樹脂」のデータを取得することにより水素充填ホース実用化（亀裂対策）に向けた課題検証（水素溶解量低減／異物対策）完了見込み。(c)弾性特性の感度の高い因子を把握することにより、緊急離脱カップリングのリングの水素漏洩対策の指針を得た。②「地域水素供給インフラ技術・社会実証」との連携強化を行い、(a)水素供給インフラの低コスト化に繋がる技術実証、調査等を行い、水素供給インフラ導入の可能性を明らかにした。

国際標準の戦略策定：これまでISO/TC197（水素技術）やISO/TC22（電気自動車）等、日本が国際標準化を主導するにあたって必要な基礎的データの取得を本事業において実施している。なお、現在、内閣官房知的財産戦略本部・国際標準化戦略タスクフォースで戦略検討が進められており、NEDOとしてもデータ提供をしているが、その検討結果を受けて、本事業での対応も検討する。

## （5）研究開発成果

中間目標については、システム技術開発、要素技術開発、及び次世代技術開発において概ね達成されており、最終的な成果は、新しい技術領域の創出につながるものであり、最終目標達成のための素地は十分できているものと考え。特に、ステーションあたり2億円という線が見えてきたのは重要である。また、ホウ素系は2015年の実用化には困難も予想されるものの、世界最高水準の学術的成果を挙げている。

一方、個々のテーマのいくつかは、最終目標の達成が困難で有るように見受けられる。2015年頃までに事業化等も見通せないテーマに関しては、知財権取得をしっかりとすべき。特に、水素貯蔵材料の開発は、水素エネルギーシステムにおいて最重要な要素技術であるが、質量貯蔵密度、水素放出温度、耐久性及び材料コストに関しては目標達成を見通せない状況にあるため、中長期の課題としての再考や見直しを含めて再検討も必要と考える。

また、水素の供給源の見通しを明確にし、水素をステーションまで運搬するのか、ステーションで水素を発生させるのか、開発のターゲットをもっと絞り込むべきである。総花的な開発では、費用対効果が少なくなる恐れがある。

### 【対処方針】

最終目標達成困難なテーマへの対応：最終目標達成の確度にかかわらず、知財権取得を積極的に推進する。

水素貯蔵材料テーマの再検討：水素貯蔵材料の開発は、現状を見極めた上で、大幅な見直しを視野に入れた検討を行う。

水素供給源の絞込み：「水素供給価格シナリオ分析等に関する研究」等過去のNEDO事業において、オンサイト水素供給とオフサイト水素供給の詳細について評価を行っており、水素発生源については、供給エリア等供給状況によってそれぞれに強みがある。その供給エリア等供給状況に応じた普及が見込まれることから本研究開発における絞り込みは行わない。

### (6) 実用化・事業化の見通し

初期の水素スタンド向け技術・製品のめどは立ちつつあるなど実用化に繋がる可能性のある研究成果も見られ、それによる波及効果も期待できる。

一方、競合しかつ先行するであろう電気自動車（EV）に対するFCVの優位性の強調とユーザー側の評価が今後重要な視点となるであろう。

また、目標に到達していない実施項目については、ロードマップを見直すとともに、将来技術として可能性を検討するか、他の代替技術への展開も含めて再考することも必要がある。

水素供給インフラとしてのシステムの事業化という観点からは、事業化までの明確なシナリオが描けておらず、このままでは2015年を目標とする早期の事業化は困難である。特に、水素製造設備と燃料電池自動車の開発・普及との整合性が取れておらず、再度事業化のシナリオを練り直す必要がある。

### 【対処方針】

目標未達の実施項目への対応：目標未達の実施項目については、その技術の必要性和実現困難度を再評価した上で、中断等を含む対処方法を検討する。

事業化に向けたシナリオ作成：事業化という視点で、目指すべき技術成果とその活用方法を見直し、システムとしての事業化までのシナリオを構築する。

## 5. 評価に関する事項

本事業に対し、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について評価を行うと共に、各研究開発項目毎に、進捗及び成果達成状況、実用化の見通し等の中間評価を行い、研究開発計画・実用化見通しに反映した。

水素ステーション関連WG 会議実績表

回数	実施年月日 会議場所	議題	決定事項等	出席者 (団体・会社・大学名等)
1	平成21年9月17日 13:30~15:30 NEDO日比谷オフィス	(1)水素ステーション 関連WGの実施 について (2)今後のスケジュール	(1)検討方針 ・検討体制 ・サブワーキングの設置 ・概略スケジュール (2)検討項目と最終成果の まとめ方	東邦ガス (2名) トキコテクノ (2名) 日立オートモティブシステムズ (1名) 大陽日酸 (1名) 横浜ゴム (2名) 佐賀大学 (1名) 新日本石油 (1名) タツノ・メカトロニクス (2名) 清水建設 (2名) 岩谷産業 (1名) 日本製鋼所 (2名) キッツ (2名) 金属系材料研究開発センター(2名) 山武 (2名) 千代田化工建設 (1名) エンジニアリング振興協会(1名) NEDO (4名) 石油産業活性化センター(9名) 合計出席者 38 名
2	平成21年11月9日 13:30~15:30 NEDO日比谷オフィス	(1)前回議事録確認 (2)検討要領について ・検討前提 ・実施体制 (3)コスト低減の検討 目標コストの設定	(1)前回議事録承認 (2)検討要領の承認 ・検討前提 ・検討の連携体制 (3)検討目標コスト	トキコテクノ (1名) 日立オートモティブシステムズ (1名) 横浜ゴム (1名) 新日本石油 (2名) タツノ・メカトロニクス (1名) 清水建設 (1名) 岩谷産業 (1名) キッツ (2名) 金属系材料研究開発センター(2名) 山武 (3名) エンジニアリング振興協会(1名) NEDO (3名) 石油産業活性化センター(6名) 合計出席者 25 名
3	平成22年1月14日 13:30~16:00 NEDO日比谷オフィス	(1)前回議事録確認 (2)中間報告 (3)検討目標コストの 見直し	(1)前回議事録承認 (2)個別中間報告内容 (3)検討目標コスト	東邦ガス (1名) トキコテクノ (1名) 大陽日酸 (1名) 横浜ゴム (1名) 新日本石油 (2名) タツノ・メカトロニクス (1名) 清水建設 (2名) 岩谷産業 (1名) 日本製鋼所 (1名) キッツ (2名) 金属系材料研究開発センター(2名) 山武 (3名) 千代田化工建設 (1名) エンジニアリング振興協会(1名) NEDO (2名) 石油産業活性化センター(8名) 合計出席者 30 名

4	平成22年3月19日 13:30~16:00 石油産業活性化センター	(1)前回議事録確認 (2)最終報告	(1)前回議事録承認 (2)個別最終報告内容 (3)最終コスト低減見込み	東邦ガス (1名) トキコテクノ (1名) 大陽日酸 (1名) 横浜ゴム (1名) 新日本石油 (2名) タツノ・メカトロニクス (1名) 清水建設 (2名) 岩谷産業 (1名) 日本製鋼所 (2名) キッツ (1名) 金属系材料研究開発センター(1名) 山武 (3名) 千代田化工建設 (1名) エンジニアリング振興協会(1名) NEDO (2名) 石油産業活性化センター(7名) 合計出席者 28 名
---	--	-----------------------	--	--

### 水素ステーション関連サブWG1 会議実績表

回数	実施年月日 会議場所	議題	決定事項等	出席者 (団体・会社・大学名等)
1	平成21年10月1日 14:00~16:00 航空会館	(1)サブWG1の検討 体制及び分担  (2)検討の前提モデル	(1)検討の体制及び分担 (2)検討前提モデルとして PECモデルを選定	東邦ガス (2名) 新日本石油 (2名) 清水建設 (1名) 岩谷産業 (1名) 千代田化工建設 (1名) エンジニアリング振興協会(1名) NEDO (1名) 石油産業活性化センター(4名) 合計出席者 13 名
2	平成21年10月16日 13:00~15:00 石油産業活性化センター	(1)前回議事録の確認  (2)PECモデルの説明 (3)検討の進め方	(1)前回議事録の承認 (2)PECモデルの承認と検討 前提へのコメント (3)検討目標の設定と今後の 予定	東邦ガス (1名) 新日本石油 (2名) 清水建設 (1名) 岩谷産業 (1名) エンジニアリング振興協会(1名) NEDO (2名) 石油産業活性化センター(6名) 合計出席者 14 名

### 水素ステーション関連サブWG2 会議実績表

回数	実施年月日 会議場所	議題	決定事項等	出席者 (団体・会社・大学名等)
1	平成21年10月7日 14:00~16:00 航空会館	(1)検討の進め方  (2)検討の前提モデル	(1)検討の体制及び分担 (2)検討前提モデルとして PECモデルを選定 (3)検討前提として考慮すべ き項目	トキコテクノ (1名) 日立オートモティブシステムズ(1名) 横浜ゴム (2名) タツノ・メカトロニクス(1名) キッツ (2名) 金属系材料研究開発センター(2名) 山武 (3名) エンジニアリング振興協会(1名) NEDO (1名) 石油産業活性化センター(6名) 合計出席者 20 名
2	平成21年11月5日 14:00~16:00 石油産業活性化センター	(1)前回議事録の確認 (2)検討前提の確認 (3)検討の進め方	(1)前回議事録の承認 (2)検討前提の承認 (3)検討目標の設定と今後の 予定	トキコテクノ (2名) 日立オートモティブシステムズ(1名) 大陽日酸 (1名) 横浜ゴム (2名) タツノ・メカトロニクス(1名) キッツ (2名) 金属系材料研究開発センター(2名) 山武 (4名) エンジニアリング振興協会(1名) 石油産業活性化センター(4名) 合計出席者 20 名

## 水素製造WG 会議実績表

回数	実施年月日 会議場所	議題	決定事項等	出席者 (団体・会社・大学名等)
1	平成21年4月27日 15:00 - 17:00  NEDO川崎 2101会議室	(1)各委託先進捗報告 (2)WGのあり方について	(1)効率の定義、補機の低コスト化 など共通の議題を議論する場 とする。	NEDO(5名) 東京ガス(3名) 日本特殊陶業(3名) 三菱化工機(3名) ルネッサンス・エネジー・リサーチ(1名)  合計出席者15名
2	平成21年9月25日 13:30 - 16:00  NEDO川崎 2303会議室	(1)水素製造WGのアンケート結果 について (2)水素製造装置の各社現状報告	(1)効率の定義について統一化 を目指す。 (2)東京ガス白崎氏をWGリーダー とする。	NEDO(2名) 東京ガス(1名) 日本特殊陶業(2名) 三菱化工機(2名) ルネッサンス・エネジー・リサーチ(2名)  合計出席者 9名
3	平成22年2月8日 13:30 - 16:30  NEDO川崎 2302会議室	(1)水素製造装置コスト低減に 向けた検討 (2)効率の定義、稼働率の考え方の 共有化 (3)水素製造装置の防爆基準について	(1)効率の定義、稼働率の考え方 について、WG内では東京ガス 案に統一する。	NEDO(3名) 東京ガス(2名) 日本特殊陶業(1名) 三菱化工機(2名) ルネッサンス・エネジー・リサーチ(1名)  合計出席者 9名

水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発 外部助言委員会 会議実績表

回数	実施年月日 会議場所	議題	主な発言・助言	出席者
1	平成20年11月4日 14:30～17:00 東京ガス(株)横浜研究所	(1)NEDO挨拶 (2)研究開発経緯の報告 (3)各テーマの実施計画報告 (4)その他事務連絡	(1)試験計画はかなり厳しい内容である。 (2)毎日ON/OFFする運転は、繰り返しクリープが懸念される。	宇都宮大学(1名) 九州大学(1名) 東京大学(1名) NEDO(1名) 東京ガス(3名) 日本特殊陶業(4名)  合計出席者11名
2	平成21年3月9日 14:00～16:00 東京ガス(株)横浜研究所	(1)NEDO挨拶 (2)各テーマの実施計画報告 (3)その他事務連絡	(1)FeO付着試験を行なっているが、FeとFeOではメカニズムが違う。 (2)実証試験を行なう時期なので、予算面でもNEDOにぜひ支援してほしい。 (3)モジュール中の流れが層流だとすると境膜がしやすい。	宇都宮大学(1名) 九州大学(1名) 東京大学(1名) NEDO(1名) 東京ガス(4名) 日本特殊陶業(3名)  合計出席者11名
3	平成21年11月2日 13:30～15:00 九州大学 伊都キャンパス	(1)NEDO挨拶 (2)前回議事録確認 (3)各テーマの実施計画報告 (4)その他事務連絡	(1)難しい課題に取り組んでいるなか早く進捗している。 (2)最終目標であるリーク量に最初から拘らないこと。 (3)触媒の変化と水素分離膜の変化を切り離して評価すべき。 (4)触媒にセリアを添加するという方法もある。	宇都宮大学(1名) 九州大学(1名) 東京大学(1名) NEDO(2名) 東京ガス(4名) 日本特殊陶業(3名)  合計出席者12名
4	平成22年5月24日 14:00～16:00 東京ガス(株)横浜研究所	(1)NEDO挨拶 (2)前回議事録確認 (3)各テーマの実施計画報告 (4)その他事務連絡	(1)モジュール単体とシステムの違いを究明できれば実用化が見えてくる。 (2)Fe系異物が気相で飛来する可能性も調べるべき。 (3)2つのテーマそれぞれの位置づけを明確にすべき。	宇都宮大学(1名) 九州大学(1名) 東京大学(1名) NEDO(1名) 東京ガス(6名) 日本特殊陶業(3名)  合計出席者13名
5	平成23年2月21日 12:30～14:30 日本特殊陶業(株)小牧工場	(1)NEDO挨拶 (2)前回議事録確認 (3)中間評価結果概要の報告 (4)各テーマの実施計画報告 (5)その他事務連絡	(1)中間評価の点数は非常に高かった。 (2)起動時間3時間未満という目標は、廃止し、より実用化を意識した目標に見直す。 (3)本テーマ内では要素技術をしっかり固め、その後の実用化は会社の努力で行うという当初方針を維持すべきである。	宇都宮大学(1名) 九州大学(1名) 東京大学(1名) NEDO(3名) 東京ガス(3名) 日本特殊陶業(4名)  合計出席者13名
6	平成24年2月16日 15:00～19:30 東京ガス(株)本社	(1)NEDO挨拶 (2)前回議事録確認 (3)各テーマの実施計画報告 (4)その他事務連絡	(1)起動停止12回耐久性の目標を追加する。 (2)メタン化触媒により不純物はほぼ全量メタン化されるので、水素純度99.99%を達成すればISO基準も達成できる。 (3)緊急停止時の支持体クラックは、Niの水蒸気酸化のほか、膜起因の可能性もある。	宇都宮大学(1名) 九州大学(1名) 東京大学(1名) NEDO(1名) 東京ガス(3名) 日本特殊陶業(4名)  合計出席者11名

水素貯蔵WG 会議実績表

回数	実施年月日 会議場所	議題	決定事項等	出席者 (団体・会社・大学名等)
1	平成21年3月16-21日 サムテックインターナショナル	(1)熱処理の影響調査 (2)スピニング時の熱影響調査 (3)熱処理工程の見学	(1)熱処理時の温度履歴測定 (2)スピニング時の温度変化測定	日本重化学工業 サムテック 産総研 佐賀大学  合計出席者 7名
2	平成21年7月8日 11:00-17:00 佐賀大学 理工学部	(1)情報交換 (2)秘密保持について (3)研究設備見学	(1)各グループの開発状況に関する報告	日本重化学工業 サムテック 産総研 佐賀大学 豊田中央研究所 東北大学 NEDO  合計出席者 14名
3	平成21年7月8日 10:00-12:00 NEDO川崎	(1)ハイブリッド貯蔵タンクの法令対応について	(1)法令対応について、高圧ガス保安法だけでなく、道路運送車両法についても検討する必要がある。	日本重化学工業 サムテック 産総研 佐賀大学 自動車工業会 NEDO  合計出席者 10名
4	平成22年3月9日 13:00-17:00 サムテックインターナショナル	(1)情報交換 (2)高圧容器の設備見学 (3)破裂試験の見学	(1)各グループの開発状況に関する報告	日本重化学工業 サムテック 産総研 佐賀大学 豊田中央研究所 NEDO  合計出席者 14名
5	平成22年5月10日 13:30-16:30 航空会館	(1)意見交換会	(1)水素貯蔵材料開発や、ハイブリッド貯蔵タンク開発に関して意見交換会を行い、ユーザーの立場から、多くの貴重な意見を頂いた。	燃料電池実用化推進協議会 日本重化学工業 サムテック 産総研 佐賀大学 豊田中央研究所 東北大学 NEDO  合計出席者 25名

水素キャリア委員会 会議実績表

回数	実施年月日 会議場所	議題	決定事項等	出席者 (団体・会社・大学名等)
1	平成20年12月19日 14:00～16:00 第1回水素キャリア評価 委員会 航空会館204会議室	(1)業務の概要説明 (2)前提条件の設定 (3)各水素キャリアの FSの進め方とこ れまでの結果 報告	(1)前提条件 (2)各水素キャリアのFSの 実施方針と方法 (3)FSの評価方法 他	委員(11名) 横浜国大・委員長 燃料電池実用化推進協議会 日本電機工業会 日本ガス協会 エンジニアリング振興協会 産総研 新日本石油 石油産業活性化センター 出光興産 経済産業省 2名 NEDO 3名 岩谷産業 川崎重工 関西電力 清水建設 三菱重工 千代田化工建設  エネルギー総合工学研究所 事務局(6名)  合計出席者 29名
2	平成21年2月23日 10:00～12:00 第2回水素キャリア評価 委員会 富国生命ビル 中会議室	(1)前回議事録確認 (2)前提条件(その2) (3)各水素キャリアの FS結果報告	(1)各水素キャリアのFS結果 に対する評価 (2)成果報告書のまとめ方 他	委員(10名) 横浜国大・委員長 燃料電池実用化推進協議会 日本電機工業会 日本ガス協会 エンジニアリング振興協会 産総研 新日本石油 出光興産 NEDO 3名 岩谷産業 川崎重工 関西電力 清水建設 三菱重工 千代田化工建設  エネルギー総合工学研究所 事務局(6名)  合計出席者 26名

水素ステーション定例会議 会議実績表

回数	実施年月日 会議場所	議題	決定事項等	出席者 (団体・会社・大学名等)
1	平成22年2月24日 16:00～17:30 JPEC	東邦瓦斯水素ステーションの 評価試験内容検討	①評価試験の詳細内容検討 耐久性評価試験内容 連続充填試験	NEDO(3名) 東邦瓦斯(3名) トキコテクノ(1名) 大陽日酸(1名) 横浜ゴム(1名) 佐賀大学(1名) JPEC(4名) 合計出席者14名
2	平成22年3月26日 13:30～15:30 JPEC	東邦瓦斯水素ステーションの 運転状況、評価試験内容検討	①評価試験の詳細内容検討	NEDO(2名) 東邦瓦斯(2名) トキコテクノ(1名) 日立AMS(1名) 大陽日酸(1名) 横浜ゴム(2名) JPEC(6名) 合計出席者15名
3	平成22年4月20日 13:30～17:00 東邦瓦斯技術研究所	東邦瓦斯水素ステーションの 運転状況確認、課題検討	①技術課題の抽出と対策検討 圧縮機 充填カップリング 充填容器内温度測定方法 配管圧力損失(熱電対)	NEDO(1名) 東邦瓦斯(3名) トキコテクノ(2名) 日立AMS(1名) 大陽日酸(1名) 横浜ゴム(1名) 佐賀大学(1名) JPEC(2名) 合計出席者12名
4	平成22年5月20日 15:00～17:30 JPEC	①東邦瓦斯水素ステーションの 運転状況確認、課題検討 ②JHFCステーション情報収集	①技術課題の抽出と対策検討 最大流量試験 昇圧率一定充填試験 プレクール設備熱交換器 通信充填 水素ガス中の水分の影響 充填解析シミュレーション 充填容器内温度測定方法	NEDO(2名) エンジニアリング協会(3名) 東邦瓦斯(3名) トキコテクノ(1名) 日立AMS(2名) 大陽日酸(2名) 横浜ゴム(2名) 佐賀大学(1名) JPEC(7名) 合計出席者23名
5	平成22年8月2日 14:00～16:00 JPEC	技術課題対応の進捗確認	①技術課題の抽出と対策検討 耐久性検証のための充填回数 緊急離脱カブラ耐久性検証方法 故障予知、材料評価検証方法 充填ホース耐久性検証方法 建設コスト低減方法	東邦瓦斯(1名) トキコテクノ(2名) 日立AMS(1名) 大陽日酸(1名) 横浜ゴム(2名) JPEC(5名) 合計出席者12名
6	平成23年5月27日 13:30～16:00 東邦瓦斯技術研究所	技術課題対応の進捗確認	①技術課題の抽出と対策検討 複合容器充填タンクの導入方法 充填設備の運転上の課題 緊急離脱カブラ改良状況 充填ホース改良状況 故障予知技術開発状況 配管材料評価 プレクール設備開発状況 充填解析プログラム開発状況 技術基準、規制合理化検討状況	NEDO(1名) 九州大学(PL)(1名) 東邦瓦斯(4名) トキコテクノ(2名) 日立AMS(2名) 大陽日酸(1名) 横浜ゴム(1名) 佐賀大学(1名) JPEC(3名) 合計出席者16名

## 高強度配管材料WG 会議実績表

回数	実施年月日 会議場所	議題	決定事項等	出席者 (団体・会社・大学名等)
1	平成22年12月16日 10:30~12:15 NEDO川崎 会議室	(1)新規金属材料 による開発機器の 提供時期について (2)KHKへの申請 について	(1)提供時期 ・素材 ・調節弁 (2)確認結果報告、 協力体制確認	タツノ・メカトロニクス (1名) キッツ (2名) 山武 (1名) 金属系材料研究開発センター(2名) NEDO (2名) 石油産業活性化センター(2名) 合計出席者 10 名
2	平成23年1月18日 10:00~11:30 PEC第1会議室	(1)高圧ガス申請方法 (2)高圧ガス申請の 評価試験内容	(1)申請の窓口、分担 (2)試験方法、試験条件	タツノ・メカトロニクス (2名) 金属系材料研究開発センター(2名) 石油産業活性化センター(5名) 合計出席者 9 名
3	平成23年1月25日 13:30~16:30 NEDO川崎 会議室	(1)前回議事録確認 (2)評価試験  (3)素材の提供 (4)高圧ガスの 申請について	(1)前回議事録追記事項確認 (2)試験材、試験時期、 試験実施者 (3)試験素材形状 (4)申請の実施者	タツノ・メカトロニクス (2名) キッツ (1名) 山武 (1名) 新日鐵(2名) 金属系材料研究開発センター(2名) NEDO (2名) 石油産業活性化センター(3名) 合計出席者 13 名
4	平成23年5月9日 16:00~17:45 NEDO日比谷 会議室	(1)前回までの 打合内容確認  (2)進捗とスケジュール	(1)内容確認 ・ステーション仕様 ・試験材手配方法 ・高圧ガス申請方法 (2)各機器開発の進捗、 ステーション仕様面の懸案	タツノ・メカトロニクス (2名) キッツ (1名) 山武 (1名) 新日鐵(2名) 金属系材料研究開発センター(3名) NEDO (2名) 石油産業活性化センター(7名) 合計出席者 18 名

水素ステーション開発・実証連携会議 会議実績表

回数	実施年月日 会議場所	議題	決定事項等	出席者	
				(団体・会社・大学名等)	(人数)
1	平成23年6月17日 13:00～15:00 石油エネルギー技術センター	・技術開発分野 全般の技術発表	【発表テーマ】 ①水素ステーション技術開発 (石油エネルギー技術センター) ②先行4項目基準検討 (石油エネルギー技術センター) ③規制合理化(10項目) (石油エネルギー技術センター)	九州大学	1
				HySUT	10
				NEDO	2
				石油エネルギー技術センター	9
				合計 出席者	22
2	平成23年7月22日 13:30～17:30 NEDO日比谷オフィス	・技術開発分野 個別の技術発表	【発表テーマ】 ①新規開発鋼種の材料特性 (金属系材料研究 開発センター) ②鋼製蓄圧器の高耐久化、 低コスト化 (日本製鋼所) ③70MPa級高圧ボールバルブ (キッツ) ④水素用流量調節弁 ⑤制御システム (アズビル) ⑥直接充填方式圧縮機 (神戸製鋼所) ⑦高圧水素用ディスプレイ (日立、トキコテクノ) ⑧フレール熱交換器の小型化 (大陽日酸) ⑨水素充填シミュレーション (佐賀大学) ⑩水素製造装置 (三菱化工機) ⑪ステーション用複合容器 (JX日鉱日石エネルギー) ⑫先行4項目基準検討 (石油エネルギー技術センター) ⑬規制合理化(10項目) (石油エネルギー技術センター)	九州大学	1
				佐賀大学	1
				日立オートモティブシステムズ	1
				トキコテクノ	2
				大陽日酸	3
				横浜ゴム	1
				日本製鋼所	3
				キッツ	2
				山武(アズビル)	3
				神戸製鋼所	2
				三菱化工機	3
				サムテック	2
				日本特殊陶業	1
				ミクニ	1
				タツノ	1
				東京ガス	5
				大阪ガス	1
				東邦ガス	1
				岩谷産業	2
				日本エア・リキード	2
				JX日鉱日石エネルギー	1
				出光興産	1
				コスモ石油	1
				コスモエンジニアリング	4
				昭和シェル石油	1
				燃料電池推進協議会	2
				金属系材料研究開発センター	3
				日本自動車研究所	2
				日本ガス協会	1
				HySUT	7
				NEDO	5
				石油エネルギー技術センター	11
				合計 出席者	77
3	平成23年12月12日 14:00～17:30 石油エネルギー技術センター	・ディスプレイ、 バルブ、周辺機器類 の技術発表	【発表テーマ】 ①新規開発鋼種の材料特性 (金属系材料研究 開発センター) ②70MPa級高圧ボールバルブ (キッツ) ③水素用流量調節弁 (アズビル) ④高圧水素用ディスプレイ (日立、トキコテクノ) ⑤フレール熱交換器の小型化 (大陽日酸)	九州大学	1
				日立オートモティブシステムズ	2
				大陽日酸	1
				神戸製鋼所	2
				ヤマト産業	
				横浜ゴム	1
				キッツ	3
				山武(アズビル)	1
				東京ガス	4
				大阪ガス	1
				東邦ガス	1
				日本エア・リキード	1
				金属系材料研究開発センター	3
				燃料電池推進協議会	1
				HySUT	6
				NEDO	3
				石油エネルギー技術センター	9
				合計 出席者	41

4	平成24年1月20日 13:30~17:00 石油エネルギー技術センター	・蓄圧器、圧縮機の 技術発表	【発表テーマ】 ①直接充填方式圧縮機 (神戸製鋼所) ②鋼製蓄圧器の高耐久化・ 低コスト化 (日本製鋼所) ③制御システム (アズビル) ④高圧水素ディスペンサー (タツノ) ⑤水素ステーション動的解析 (石油エネルギー技術センター)	九州大学	1
				佐賀大学	1
				日立オートモティブシステム*	1
				大陽日酸	5
				神戸製鋼所	4
				日本製鋼所	3
				ヤマト産業	1
				タツノ	2
				キッツ	1
				山武(アズビル)	3
				東京ガス	4
				大阪ガス	2
				東邦ガス	2
				岩谷産業	1
				JX日鉱日石エネルギー	4
				出光興産	1
				コスモ石油	2
				日本エア・リキード	3
				川崎重工	1
				三菱化工機	1
				ハマイ	1
				経済産業省	2
				福岡県	1
				燃料電池推進協議会	1
				HySUT	8
				NEDO	2
				石油エネルギー技術センター	8
				合計 出席者	66
5	平成24年1月26日 13:30~17:00 石油エネルギー技術センター	・解析、エンジニアリ ング技術の技術発表	【発表テーマ】 ①水素ステーション構築 (大陽日酸) ②水素ステーション構築 (日本エア・リキード) ③蓄圧器(複合容器) (JX日鉱日石エネルギー) ④水素ステーション構築 (岩谷産業) ⑤充填モデル(理論) (佐賀大学・九州産業大学) ⑥低コスト水素ステーション (ヤマト産業)	九州大学	1
				佐賀大学	1
				九州産業大学	1
				日立オートモティブシステム*	1
				大陽日酸	5
				神戸製鋼所	1
				ヤマト産業	4
				タツノ	2
				キッツ	1
				アズビル	2
				東京ガス	6
				大阪ガス	2
				東邦ガス	2
				岩谷産業	1
				JX日鉱日石エネルギー	1
				コスモ石油	3
				日本エア・リキード	2
				川崎重工	1
				三菱化工機	1
				千代田化工	2
				ハマイ	1
				福岡県	1
				金属系材料研究開発センター	1
				燃料電池推進協議会	2
				HySUT	10
				NEDO	2
				石油エネルギー技術センター	8
				合計 出席者	65

6	平成24年6月26日 13:30~16:00 NEDO震ヶ関分室	・鉄鋼材料の技術発表	【発表テーマ】	日立オートモティブシステムズ	1
			①技術基準に関する検討 (鋼種 拡大) (石油エネルギー技術センター)	日立プラントテクノロジー	1
			②鋼製蓄圧器の材料選定と 安全性評価 (日本製鋼所)	日東工器	1
				巴商会	2
			合計 出席者	大陽日酸	2
				日本製鋼所(JSW)	2
				トキコテクノ	1
				タツノ	1
				キッツ	1
				東京ガス	2
				岩谷産業	5
				JX日鉱日石エネルギー	4
				出光興産	1
				昭和シェル	1
				東邦ガス	3
				日本エア・リキード	2
				燃料電池推進協議会	2
日本ガス協会	1				
HySUT	6				
NEDO	3				
石油エネルギー技術センター	5				
合計 出席者				47	

水素充填プログラム開発全体報告会 会議実績表

回数	実施年月日 会議場所	議題	決定事項等	出席者	
				(団体・会社・大学名等)	(人)
1	平成23年12月1日 15:00～17:45 JPEC	プログラム開発の課題検討	①開発項目、優先順位、期限 ②既存プログラム改造方法	NEDO	1
				佐賀大学	2
				九州大学	2
				九州産業大学	1
				JPEC	6
				合計 出席者	12
2	平成24年3月22日 15:00～18:00 佐賀大学	プログラム開発の進捗確認と 技術課題検討	①技術課題の抽出と対策検討 直充填プログラム HYSYS動的解析 温度計測誤差	NEDO	2
				佐賀大学	2
				九州大学	1
				九州産業大学	1
				JX	2
				JPEC	3
				合計 出席者	11
3	平成24年8月10日 15:00～18:15 佐賀大学	プログラム開発の進捗確認と 技術課題検討	①技術課題の抽出と対策検討 プレカール解析プログラム 差圧充填解析プログラム 温度計測誤差 HYSYS動的解析	NEDO	1
				佐賀大学	2
				明石工専	1
				九州産業大学	1
				東京ガス	1
				JPEC	3
				合計 出席者	9

### Ⅲ. 研究開発成果について

#### 1. 事業全体の成果

研究目標に対して総じて達成したものと判断できる。本事業の最終目標はFCV、水素ステーションの普及であるが現在これらが実証段階の国は米国、独国そして日本である。世界的に見ても日本は先駆者であり、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、また新たな周辺産業として例えば、定期メンテナンス、点検検査等の業務が立ち上げることも考えられる。

##### 1. 1 研究開発項目Ⅰ「システム技術開発」

「70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発」では市場立上げ時期に必要な70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器システムとして低コスト化（設備コスト2億円以下／システム<300Nm<sup>3</sup>/h>）、高耐久性（メンテナンス回数1回／年以下）を満足する技術を確立することが研究目標であるが、2億円以下を見通せる技術を確立、5kg/3分充填、充填プロトコル、通信充填の連携を確認し達成見込みで、70MPa級ステーション機器システム技術の水素ステーション事業への適用可能性の見通しを得ており、目標に対して十分な成果を達成した。「車載等水素貯蔵/輸送容器システム技術に関する研究開発」では水素ステーション機器システムと連動させたトータルシステムの中で、車載等水素貯蔵/輸送システムに水素をスムーズに充填できると共に、中間目標に十分な成果を達成していたが、2015年の実用化に間に合うのか再評価し、研究目標の達成は困難と評価を得て、中間評価後、基礎研究の段階であると判断し、「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」に移管した。

各プロジェクトの詳細については、2.1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Ⅱ「要素技術開発」

要素技術については、いずれもシステム技術に適用できる技術であることから、システム技術開発で設定した達成目標を満たす内容となっている。水素製造機器要素技術での水蒸気改質方式に関して、小規模のパイロットプラントを設計・製作し、性能の検証をほぼ達成しており十分な成果を得ている。また、メンブレンタイプの研究開発に関しても研究目標に対して十分な成果を得ている。水素貯蔵材料（同材料容器を含む）・水素貯蔵/輸送容器要素技術に関しては中間目標に対して一部未達成な部分があり、2015年に普及開始のインフラ技術確立を目指す本事業の目的と乖離が出てきているとの評価を得て、中間評価後、基礎研究の段階であると判断し、「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」に移管した。また、水素ステーション機器要素技術では、水素ステーション機器システムに適用される要素技術として、コスト低減に向けて検討をし、システム技術へ適用できる

よう実施しており、研究目標に対して十分な成果を得ている。

各プロジェクトの詳細については、2.2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Ⅲ「次世代技術開発・フイージビリティスタディ等」

水素エネルギーの導入・普及に対し、新規の概念に基づく革新的な次世代技術（たとえば、化石燃料以外からの水素製造等）の探索及び同技術の有効性確認・検証を行うと共に、水素社会実現のための技術開発シナリオの検討、水素キャリアに応じたフイージビリティスタディ、基準・標準化に資するデータ取得等を行うことが必要である。次世代技術開発について、平成20年、21年を実施し成果を得ており、また技術開発シナリオについては、平成20年度に「水素キャリアに応じたフイージビリティスタディ」、平成22年度に「水素エネルギーシステムの社会的便益に関する研究開発」を実施し、他プロジェクトへ内容を反映し成果を上げている。

国際研究協力を含む国内外技術開発動向の調査、革新的な次世代技術の探索・有効性検証を実施するとの研究目標に対し、水素・燃料電池関連国際機関（IEA/ AFCIA、IEA/HIA、IPHE）の研究・政策動向を調査し、情報を産業界に展開しており、目標を達成出来た。この成果により、2015年のFCV商用化にむけたインフラ整備の議論が進む中で、わが国の研究開発促進に貢献出来た。

国内規制見直しでは使用可能鋼材拡充等に資するデータ取得し見直すとともに、国際標準化では水素燃料仕様等の標準化を日本が主導的に進めるとの研究目標に対し、規制見直しに関する一般則例示基準案、各種技術基準案等を作成し、水素燃料仕様、安全規格、性能規格の標準化への進捗を達成した。この成果により、使用可能鋼材拡充において一般則例示基準が改定の見込みが得られ、水素充填コネクタ国際規格の統一によるFCV普及を促進した。

各プロジェクトの詳細については、2.3項の研究開発項目毎の成果を参照のこと。

## 1.4 事業全体の成果概要

### 1.4.1 事業全体

研究開発項目の研究目標に対して、下記の表のとおり概ね達成する見込みである。

達成度「◎：大幅達成、○：達成、△：一部達成、×：未達」

研究開発項目	研究目標	成果	アウトカム	評価
(1) システム技術開発 ・70MPa級ステーション機器システム技術開発  ・車載等水素貯蔵／輸送容器システム技術開発	・低コスト化（設備コスト2億円以下／システム<math><300\text{Nm}^3/\text{h}</math>）、高耐久性（メンテナンス回数1回／年以下）	・2億円以下を見通せる技術を確立 ・5kg/3分充填、充填プロトコル、通信充填の連携を確認し達成見込み	・70MPa級ステーション機器システム技術の水素ステーション事業への適用可能性の見通しを得た	△
	・低コスト化（合金コスト=1万円/kg以下に目処）、高性能化（容器体積密度=28g-H <sub>2</sub> /L以上）	・水素貯蔵材料に関して、2015年の実用化に間に合うのか再評価し、最終目標の達成は困難と評価	・中間評価後、基礎研究の段階であると判断し、「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」に移管した	—

<p>(2) 要素技術開発 ・水素製造機器要素技術に関する研究開発</p>	<p>・改質効率=80%以上、起動時間=3h未 満、設備サイズ= 10m<sup>3</sup>以下、設備コス ト=30万円/Nm<sup>3</sup>・h 以下</p>	<p>・水蒸気改質方式で 改質効率84.4%、起 動時間2hを達成、 概念設計により設備 サイズ・コストの見 通し得た</p>	<p>・70MPa級実証ス テーションにおいて 本事業で試作した水 素製造装置の実証運 用が行われている</p>	<p>○</p>
<p>・水素貯蔵材料・水素貯 蔵/輸送機器要素技術に 関する研究開発</p>	<p>・貯蔵材料に関し て、質量貯蔵密度= 6wt%以上、水素放出 温度=150℃以下を 達成する可能性を見 極める</p>	<p>・2015年に普及開始 のインフラ技術確立 を目指す本事業の目 的と乖離が出てきて いる評価</p>	<p>・中間評価後、基礎 研究の段階であると 判断し、「水素貯蔵 材料先端基盤研究事 業」に移管した</p>	<p>—</p>
<p>・水素ステーション機器 要素技術に関する研究開 発(低コスト機器開発、 高耐久化)</p>	<p>・設備コスト 2億 円以下/システム &lt;300Nm<sup>3</sup>/h&gt;、メンテ ナンス回数 1回/ 年以下に繋がる要素 技術の確立</p>	<p>・個別性能(蓄圧 器、バルブ、制御シ ステム、調節弁)目 標は達成、2億円/ システム達成可能性 を提示</p>	<p>・70MPa級実ステー ション、および実証 ステーションへの個 別機器の導入を計画 中または検討中</p>	<p>○</p>
<p>・水素ステーション機器 要素技術に関する研究開 発(低コスト材料開発)</p>	<p>・例示基準材 (SUS316L、A6061- T6)より高強度、安 価な材料の開発、基 準・標準化に必要な データを取得</p>	<p>・鉄鋼系では低Ni、 省Mo系、高N系、 省Mo系ステンレス を、アルミ系では Al-Cu-Mg系、6000 系合金を開発</p>	<p>・鉄鋼系ではバルブ 等の特認取得に必要 なデータを提供、ア ルミ系では自動車業 界に情報を提供</p>	<p>○</p>
<p>(3) 次世代技術開発 ・フィージビリティスタ ディ等(革新的な次世代 技術の探索、有効性検 証)</p>	<p>・国際研究協力を含 む国内外技術開発動 向の調査、革新的な 次世代技術の探索・ 有効性検証</p>	<p>・水素・燃料電池関 連国際機関(IEA/ AFCIA、IEA/HIA、 IPHE)の研究・政策 動向を調査し、情報 を産業界に展開</p>	<p>・2015年のFCV商用 化にむけたインフラ 整備の議論が進む中 で、わが国の研究開 発促進に貢献</p>	<p>○</p>
<p>・規制見直し、基準・標 準化、技術開発動向調査</p>	<p>・国内規制見直しで は使用可能鋼材拡充 等に資するデータ取 得し見直す ・国際標準化では水 素燃料仕様等の標準 化を日本が主導的に 進める</p>	<p>・規制見直しに関す る一般則例示基準 案、各種技術基準案 等を作成 ・水素燃料仕様、安 全規格、性能規格の 標準化への進捗を達 成</p>	<p>・使用可能鋼材拡充 において、一般則例 示基準が改定の見込 み ・水素充填コネクタ 国際規格の統一によ るFCV普及の促進</p>	<p>◎</p>

## 1. 4. 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。

達成度「◎：大幅達成、○：達成、△：一部達成、×：未達」

### 研究開発項目Ⅰ：「システム技術開発」

研究目標	研究開発成果	達成度
<p>(1) 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発</p> <p>市場立上げ時期に必要なとなる70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器システムとして以下を満足する技術を確立する。</p> <p>『中間目標』 「水素安全利用等基盤技術開発」にて開発した要素機器等に必要な改良を加えつつ、水素ステーションシステムとして構成配置し、延べ1年以上(DSS 運転等を含む)の耐久性を検証する。</p> <p>『最終目標』 低コスト化：設備コスト2億円以下／システム [300Nm<sup>3</sup>/h 規模の場合、土地取得価格を除く] 高耐久性：各機器メンテナンス回数 1回以下/年 [日常的な簡易検査やメンテナンスを除く]</p>	<p>&lt;標準仕様検討&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>「圧縮機併用差圧充填」と「機器パッケージ化等の現地工事低減策」を採用した水素ステーションは、設備費が2億円以下となることを確認した。</li> <li>設備費2億円以下となった水素ステーション設備仕様は、標準仕様として図面整備を行った。</li> </ul> <p>&lt;運転技術開発&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>70MPa 級水素ステーションを建設し、普及前ならびに普及初期の1年相当の充填回数(270回、945回)の繰返し充填試験を行うことで、構成機器の耐久性を確認し、技術課題を明らかにした。</li> </ul> <p>&lt;ディスペンサー機器開発&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ディスペンサーの主要構成機器(流量計、バルブ類)において、普及初期の1年相当の充填回数に対する耐久性を有していることを確認した。</li> <li>実ステーションの繰返し充填試験で技術課題の明らかになった緊急離脱カプラ、充填ホースについては、改良品を開発し、普及前の1年相当の充填回数(270回)の耐久性を確認した。</li> <li>ディスペンサーの故障予知技術としてディスペンサー配管に設置したフィルタでの異物捕集・監視技術を検証し、捕集異物と不具合の関係を明らかにした。</li> </ul> <p>&lt;プレクール設備開発&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>プレクール熱交換器(熱交出口温度-20℃)の小型化と低コスト化を行い、実ステーションにおいて普及前の1年相当の充填回数(270回)の耐久性を確認した。</li> <li>水素ステーション設計や運転解析に活用できるシミュレーション技術として、充填タンク解析プログラム、プレクール熱交解析プログラムを開発した。</li> </ul>	○
<p>(2) 車載等水素貯蔵/輸送容器システム技術に関する研究開発</p> <p>水素ステーション機器システムと連動させたトータルシステムの中で、車載等水素貯蔵/輸送システムに水素をスムーズに充填できると共に、以下を満足する技術を確立する。</p> <p>『中間目標』 低コスト化：水素貯蔵合金のコスト</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>中間目標値(28g/L)を上回る体積貯蔵密度を有するハイブリッド貯蔵タンクの設計・製作を実施した。</li> <li>中間目標である2.7質量%を超える水素吸蔵量(3.2質量%)を有するTi-V-Mn系BCC合金を合成した。</li> <li>低コスト化を目的として、V系合金の量産性のトライをした。その結果、量産炉での溶解が可能であることを確認し、製造コストの点からは、中間目標値の¥10,000以下の目処が立った。しかし、原料も含めたトータルのコストとして、安価な原料の</li> </ul>	△ 中間評価 後移管

<p>を¥10,000/kg以下にする目処をつける。  高性能化：容器体積密度（外容積）  =28 (g-H<sub>2</sub>/L) 以上  ハイブリッド容器システムの場合</p> <p>『最終目標』  低コスト化：20万円以下／容器システム  高性能化  ハイブリッド容器システムの場合は、  圧力=35MPa  質量貯蔵密度（システム）=3wt%  水素量/容積/容器質量  =5kg/100L/165kg</p>	<p>使用について検討が必要。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・2015年の実用化に間に合うのか再評価し、最終目標の達成は困難と評価を得て、中間評価後、基礎研究の段階であると判断し、「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」に移管した。</li> </ul>	
--	--	--

**研究開発項目Ⅱ：「要素技術開発」**

中間目標	研究開発成果	達成度
<p>(1) 水素製造機器要素技術</p> <p>水蒸気改質方式に関して、</p> <p>『中間目標』  小規模のパイロットプラントを設計・製作し、性能の検証を行う。</p> <p>『最終目標』  改質効率=80%以上、  起動時間=3時間未満  設備サイズ=10m<sup>3</sup>以下、  設備コスト=30万円/Nm<sup>3</sup>・h</p>	<p>&lt;水素分離型リフォーマー&gt;</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>①ステーション運用者の視点から水素製造装置の仕様を明確化した。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・装置能力：300Nm<sup>3</sup>/h</li> <li>・装置コスト：9000万円以下</li> <li>・設置スペース：5.5m×10m（周辺スペース含む）</li> <li>・起動時間：1時間（DSS運用）</li> </ul> </li> <li>②改質器、バーナ構造の概念設計を行い改質器の小型化を図り、改質器サイズを従来比1/5とする見通しを得た。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・改質器、バーナ構造を模擬改質器燃焼試験で検証し、バーナ設計に反映した。</li> <li>・触媒試験により改質触媒の初期性能を確認し、比較的安価なNi系改質触媒にてS/C<sub>2</sub>.5以下での適用可能性を見出した。</li> <li>・水素製造装置のプロセス検討により改質効率85%の見込みを得た。</li> </ul> </li> <li>③吸着シミュレーション検討により真空再生の採用と再生サイクルの最適化により、水素回収率90%の見通しを得た。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・パイロット規模試験装置で操作パラメータが水素回収率、水素純度に及ぼす影響の傾向を把握した。</li> <li>・実規模システムの検討によりシステムサイズを従来比1/2とする見通しを得た。</li> </ul> </li> <li>④水素製造装置試作機の設計、製作を行い、検証試験により目標以上の改質効率84.4%を得た。ただし起動時間は3時間と目標を超過した。  ⇒継続研究にて2時間まで短縮した。</li> <li>⑤ステーション運用者の視点から試作機設計図書の検討、評価を行い設計に反映し、試作機運転結果を評価し、商用化に向けた改善点を挙げた。</li> </ol>	<p>○</p>

さらに、300Nm<sup>3</sup>/h 商用機試設計を行い、目標設置スペースに設置可能との見込みを得たが、コストは1億円を超過する結果となった。

#### <改質器・PSA精製>

- ・ステーション運用者の視点から水素製造装置の仕様を明確化した。  
1) 装置能力：300Nm<sup>3</sup>/h, 2) 装置コスト：9000万円以下, 3) 設置スペース：5.5m×10m（周辺スペース含む）, 4) 起動時間：1時間（DSS運用）
- ・改質器、バーナ構造の概念設計を行い改質器の小型化を図り、改質器サイズを従来比1/5とする見通しを得た。
- ・改質器、バーナ構造を模擬改質器燃焼試験で検証し、バーナ設計に反映した。
- ・触媒試験により改質触媒の初期性能を確認し、比較的安価なNi系改質触媒にてS/G2.5以下での適用可能性を見出した。
- ・水素製造装置のプロセス検討により改質効率85%の見込みを得た。
- ・吸着シミュレーション検討により真空再生の採用と再生サイクルの最適化により、水素回収率90%の見通しを得た。
- ・パイロット規模試験装置で操作パラメータが水素回収率、水素純度に及ぼす影響の傾向を把握した。
- ・実規模システムの検討によりシステムサイズを従来比1/2とする見通しを得た。
- ・水素製造装置試作機の設計、製作を行い、検証試験により目標以上の改質効率84.4%を得た。ただし起動時間は3時間と目標を超過した。  
⇒継続研究にて2時間まで短縮した。
- ・ステーション運用者の視点から試作機設計図書の見直し、評価を行い設計に反映し、試作機運転結果を評価し、商用化に向けた改善点を挙げた。  
さらに、300Nm<sup>3</sup>/h 商用機試設計を行い、目標設置スペースに設置可能との見込みを得たが、コストは1億円を超過する結果となった。

#### <CO<sub>2</sub>膜分離法>

##### ①CO<sub>2</sub>選択透過膜の開発

耐熱性の向上については、180°CにおいてCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>選択性 $\geq 200$  (mol比)、CO<sub>2</sub>透過速度 $\geq 1 \times 10^{-4}$  mol/(m<sup>2</sup> s kPa)の性能を安定して示す膜を開発した。さらに、モジュール化が容易な円筒型メンブレンの開発に成功した。

##### ②CO<sub>2</sub>変性触媒の開発

Cu系触媒、貴金属触媒共に高性能化に成功し、目標の性能を達成した。さらに、入り口用触媒（高濃度COで高活性）と出口用触媒（低濃度COで高活性）を開発。リアクター各部で有効に機能する2種

	<p>類の触媒の組合せの効果を確認。触媒だけでCO転化率99%以上、CO濃度0.1%以下が実現できることを見出した。</p> <p>③メンブレンリアクターの設計 平板型、円筒型などのリアクターの形状や加工性の検討を行った。また、円筒型メンブレンによるリアクター設計を検討している</p>	
<p>(2) 水素貯蔵材料(同材料容器を含む)・水素貯蔵/輸送容器要素技術</p> <p>『中間目標』 材料系の探索と開発を実施し、そこから材料組成等を絞り込み、最終目標の質量水素密度6wt%以上および水素放出温度150℃以下を達成する新規材料の開発の可能性を見極める。</p> <p>『最終目標』 貯蔵材料(同材料容器や関連部品を含む)に関しては、 質量貯蔵密度=6wt%以上、 水素放出温度=150℃以下、 耐久性=1000回吸放出で初期貯蔵性能の90%保持、 材料コスト=1000円/kg</p>	<p>&lt;ホウ素系&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>複合化に関しては、水素貯蔵に有利な反応経路を理論計算により予測し、複合水素化物の貯蔵特性における複合比の効果なども検討し、それらの最適化を進めた。</li> <li>中間相に関しては、水素放出・再吸蔵過程で生成した中間相を解明し、水素貯蔵特性における中間相の役割を検討した。</li> <li>水素放出・再吸蔵反応ともに促進できる添加物を選定し、その促進機構を解明した。また、微細構造を調査することによって、反応速度の支配因子を抽出した。</li> </ul> <p>&lt;ラーベス構造&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2段のプラトーが出現することで水素吸蔵量がそれまでの1.0質量%から1.7質量%に増加した、MgPrNi<sub>4</sub>組成のC15<sub>b</sub>型のラーベス構造を有した合金を開発した。</li> <li>313Kで300サイクルの水素吸蔵・放出を繰り返した後も、95%以上の水素吸蔵・放出量を維持することができるMg<sub>1.4</sub>Pr<sub>0.6</sub>Ni<sub>4</sub>組成の合金を開発した。</li> <li>C14型のラーベス構造を有したCaLi<sub>2</sub>組成合金および第3元素置換を行った合金を正確に作製することができる、ヘリウム雰囲気での浮遊溶解による手法を開発した</li> </ul>	<p>△ 中間評価 後移管</p>
<p>(3) 水素ステーション機器要素技術 水素ステーション機器システムに適用される要素技術として、下記目標達成に繋がる技術として確立する。</p> <p>『中間目標』 普及に向けた水素ステーションシステム及び機器に関するコストダウン検討を行い、その対策案を検証する。</p> <p>『最終目標』 低コスト化：設備コスト 2億円以下/システム [300Nm<sup>3</sup>/h規模の場合、土地取得価格を除く] 高耐久性：各機器メンテナンス回数1回以下/年</p>	<p>&lt;ディスペンサー&gt;</p> <p>①ディスペンサー開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>他のNEDO事業で開発した新素材のボールバルブ、流量調節弁を組み込み、ディスペンサーを開発した。</li> <li>機能を集約化した制御基板による基本的な充填制御方法が確立できた。</li> <li>水素対応の防爆を申請しほぼ取得完了した。</li> <li>構成機器の信頼性データを調査取得し耐久性を確認した。</li> </ul> <p>②コリオリ流量計開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>SUH660を使用したフローチューブで器差測定、圧力損失測定等の性能試験をおこない、良好な結果が得られた。</li> <li>改良したコアプロセッサ用の制御基板を開発し、この基板上で動作する流量計測プログラムの動作検証をおこなった。</li> <li>水素対応の防爆申請のために評価試験をおこな</li> </ul>	<p>○</p>

<p>[日常的な簡易検査やメンテナンスを除く]</p>	<p>い、必要となるデータを取得した。申請図面、計算書を作成し防爆申請をおこなった。</p> <p>③プレクール装置</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・社内ヘリウムガス設備に設置した基礎評価装置で性能試験から課題を抽出した。</li> <li>・試験結果、検討課題から水素ステーションにおけるプレクール装置の最適化検討をおこなった。</li> </ul> <p>&lt;大型複合容器&gt;</p> <p>①FW成形技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・大型複合蓄圧器の製作：TPPを利用したDRY法を用い、200LのCFRP蓄圧器において破裂圧力345MPaを達成した。</li> <li>・大型複合蓄圧器の製造および評価技術の開発：大型FW装置を設計開発し、6m、1600kgまでの大型蓄圧器の作製及び評価（破裂試験、サイクル試験、他）が可能となり、300L蓄圧器の試作を行い、長尺化による問題点のないことを確認した。</li> </ul> <p>②内部加熱法の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・外部加熱装置の併用検討：内部加熱に外部加熱を加えることで、CFRP層を均一に、効率よく加熱することが可能となった。</li> <li>・小型容器での効果確認：外部加熱を併用により、これまで以上に高温での加熱が可能となるため、小型容器で樹脂をゲル化させる温度としFWし破裂強度を評価した。結果、容器の破裂強度が向上することを確認した。</li> </ul> <p>③炭素繊維（CF）・TPPの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・TPP用樹脂の開発：TPPが収束しにくい樹脂を開発し、蓄圧器の破裂強度を向上させることができた。</li> </ul> <p>④開発蓄圧器の検証</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・200LのCFRP蓄圧器で水素ステーション実証に提供しうる蓄圧器の設計を完了し、使用認可を取得した。今後、実証テスト用CFRP蓄圧器の製造を行い、実証テストにおいて安全性等の検証を行う。</li> </ul> <p>&lt;低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器&gt;</p> <p>①ステーション全体のコスト低減策候補の提案と総合的エンジニアリング技術の開発（JPEC/九州産業大学）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・連名委託先とともにステーション全体のコスト構造分析と課題抽出を行い、開発計画立案、効果検証を進めた。</li> <li>・ダイナミックシミュレーションにより充填時間を検討し、圧縮機併用を含めた差圧充填での最適機器構成を検討した。</li> <li>・平成23年度より、水素ステーション充填解析</li> </ul>	
-----------------------------	---	--

	<p>プログラム開発に着手した。</p> <p>②鋼製蓄圧器開発（日本製鋼所）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・高容量化による蓄圧器設備コスト低減と高耐久化を目的とし、材料、施工法、検査法の技術を開発した。</li> <li>・開発技術を適用して蓄圧器を試作、高圧水素中データ等に基づく特認取得を通じ、蓄圧器の高耐久化を実現した。</li> </ul> <p>③水素用高圧バルブ開発（キッツ）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・バルブ単価の低減と圧力損失の低減を目的とし、高圧水素用ボールバルブの開発に取り組み、高圧水素下でのラボ試験等に基づき、ボールバルブのシートおよびパッキンのシール技術を開発した。</li> <li>・高圧水素下での開閉作動耐久試験により、開発バルブの耐久性を確認した。</li> </ul> <p>④低コスト・高強度材料開発（JRCM）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・JIS SUS316L 材と耐水素性が同等で、強度が 30～50%向上する材料を開発した。</li> <li>・量産化を目指し溶製規模のスケールアップを実施した。</li> <li>・バルブ、調節弁メーカー等への開発材料を提供し、加工性評価で良好な結果を得た。</li> </ul> <p>⑤コントロールシステム開発（アズビル）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ステーション制御集中化による制御機器費用低減、標準化によるソフト設計費低減を目的とし、制御システムのコンセプトを構築、ソフトウェア仕様を確定させ、制御機器費用の低減を確認した。</li> <li>・制御システムソフトウェア、ハードウェアを試作し、数値モデルを用いた制御検証を行った。</li> </ul> <p>⑥流量調節弁開発（アズビル）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・シール部の長寿命化および、JRCMと連携した調節弁本体小型化によるコスト低減を検討した。</li> </ul> <p>（H24）</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・温度サイクル下における摩擦磨耗試験等を通じ、高圧水素中における表面処理技術、パッキン材の選定を完了した。</li> </ul> <p>&lt;都市型コンパクト水素ステーション&gt;</p> <p>①試設計</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ステーションの試設計を実施し、キャノピー上機器設置化や地下化することで配置計画、コンパクト化（敷地面積 517m<sup>2</sup> 及び 390m<sup>2</sup>）を実現できることを確認した。</li> <li>・地上式（631m<sup>2</sup>）、高架式（517m<sup>2</sup>）、および地下式（517m<sup>2</sup>、390m<sup>2</sup>）のレイアウト完成した。</li> </ul> <p>②安全要素技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・反射圧低減壁の開発において、数値解析により反射波のピーク圧力を低減することが可能な壁（反射波低減壁）の開発を行い、検証実験によりその性能を確認した。</li> <li>・反射圧低減壁、水素燃焼制御システム、水素の不</li> </ul>	
--	--	--

	<p>活性化の各技術を確立した。</p> <p>③安全性評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・水素燃焼制御システムの開発にて、燃焼伝播の防止に必要な条件を確認した。また、水素の不活性化に関する研究では、着火に至らせない「安全濃度」を決定した。</li> <li>・安全要素技術適用検討および安全性の検証、リスク評価を実施した。</li> </ul> <p>④経済性評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・建築および各システム導入コスト比較した。</li> </ul> <p>⑤検知システム</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・既存検知器の仕様を調査した。</li> </ul> <p>&lt;直接充填方式水素ステーション用圧縮機&gt;</p> <p>①直接充填用大容量高圧水素圧縮機の仕様</p> <p>運転吸込圧力 40MPa/設計吸込圧力 45MPa  運転吐出圧力 87.5MPa/設計吐出圧力 96MPa  流量 1200Nm<sup>3</sup>/h シリンダ 2本  運転中にベントを大気放出しない</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・上記仕様の試作機を開発・設計し、製作が進行中である。圧縮機ユニットの小型化のために別途開発した超高圧用熱交換器をアフタークーラーとして採用</li> </ul> <p>②インバーター制御可能な仕様の試作機を開発・設計し、製作が進行中であり、検証方法を検討中。</p> <p>③高頻度起動停止運転に対し耐久性の見直し 摺動部の劣化評価が必要なため運転により検証する。</p> <p>④圧縮機運転方法の検討のため、圧縮機水素流量と、車載タンクの圧力・温度の時間変化の関係を、圧縮機の特性を含めてシミュレーションするプログラムを開発した。この成果を利用して千住・海老名ステーションなどの HySUT 実証事業と連携した対応を進めた。</p> <p>⑤試作機の運転評価による試設計 運転結果を反映して実施する。</p> <p>&lt;金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発&gt;</p> <p>①高圧水素および液体水素関連機器に用いるステンレス鋼および関連評価試験法の開発：新規開発低 Ni, 省 Mo 系高強度鋼 STH2 の固溶化熱処理材について、高圧水素中での強度、疲労、疲労亀裂伝播などの諸特性を評価し SUS316L と変わらない特性を示すことを確認した。SUS316L ほか <math>\gamma</math> 系ステンレス鋼の評価結果から、水素脆化が合金元素の偏析部に生じやすいこと、及びその機構を明らかにした。</p> <p>②高圧水素配管・容器材料の研究開発：高窒素高強度 SUS を開発し、固溶化熱処理材が N 量の増加と</p>	
--	---	--

	<p>共に強度が増加することを確認し、高圧水素中下の SSRT 試験(室温、85MPa)、疲労試験においても良好な特性を確認した。</p> <p>低合金鋼において高 Mo-V 添加による組織改良鋼を開発し、高圧水素下 SSRT 試験(室温、45MPa)、疲労試験において既存鋼と比較して水素の影響が大幅に改善されたことを確認した。</p> <p>③高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼に係る研究開発： Mo を含有しないオーステナイト系 SUS を開発し、冷間引抜加工材が高い 0.2%耐力、引張強さを示すことを確認し、高圧水素下の SSRT 試験(-40℃、70MPa)において良好な相対絞り示すことを確認した。</p> <p>SUS316L 固溶化熱処理材は水素チャージしても室温でのクリープ特性に明瞭な影響が見られないことを確認した。</p> <p>④低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究： 簡易試験法を用いて-200~120℃の温度範囲における 316 系 SUS を中心とする材料の特性を測定し、水素の影響が少ない良好な材料特性を示すことを確認した。</p> <p>以上の開発を加速するため、高圧水素中小型疲労試験装置を共通して持つことにより、簡易かつ迅速に新規材料の高圧水素中の疲労特性の測定を可能とし、開発の加速を図った。</p> <p>また、有明、霞ヶ関、千住、セントレア各水素ステーションにおける長期使用設備の解体調査に協力し、材料特性にも問題はないものの、製作・施工時に注意、改善点があることを示した。</p> <p>加えて、これら成果を国際標準化、規制見直しの作業に資するため、関係団体等に対して情報を提供し、議論・検討に参画した。</p> <p>&lt;水素用アルミニウム材料の評価・開発&gt;</p> <p>① Mg 量 5%で鋭敏化処理を行わない限り Al-Mg 系合金は水素脆化を示さないことを確認した。添加元素の影響は、組合せや熱処理条件によっても変化することを見出した。開発目標(水素脆化感受性指数：0.2 未満、耐力値：400MPa)を満たす合金系として Al-Cu-Mg 系合金を見出した。</p> <p>② 試作合金の耐力は、380MPa 以上で、切削性は標準の 6061 押出棒より優れていること、耐水素脆性、その他水素用材料として満たすべき基準を満たしていることを確認した。</p> <p>③ 6069 規格組成内の中で、Cu 下限・Si 過剰組成とした試作材で開発目標を達成した。6066 規格組成の中で、主要組成 Mg、Si、Cu、Mn の添加量を規格下限域とした試作材で目標達成の可能性が高いことを示した。</p> <p>④ 6061、7075 合金において、外部環境が水蒸気の</p>	
--	---	--

	<p>場合と水素の場合の侵入サイトが同じ(第二相粒子)であることを明らかにした。</p> <p>⑤ 開発材の耐水素脆性評価を行い、問題のないことを確認しつつある。</p>	
--	---	--

**研究開発項目Ⅲ：「次世代技術開発・フイージビリティスタディ等」**

研究目標	研究開発成果	達成度
<p>(1) 革新的な次世代技術の探索・有効性検証</p> <p>革新的な次世代技術の探索・有効性検証</p> <p>現有ガソリン供給インフラと同等の設備コストで対応可能となる(水素供給インフラを構成する)材料、機器、システムの設計指針または概念設計を確立する</p>	<p>&lt;可視光応答性半導体 水分解&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>WO<sub>3</sub>光触媒の量子収率をセシウム表面処理で既報の48倍に向上できた。太陽エネルギー変換効率(0.3%)は陸上植物並で、人工光合成実現可能レベルに達した。</li> <li>BiVO<sub>4</sub>光電極の光電流を炭酸塩電解液を利用することで従来の電解液より6倍向上できた。高速自動半導体探索システムを活用し、新規半導体の特許を5件出願した。</li> <li>光触媒-電解ハイブリッドシステムの小型実証試験を行った。太陽電池と水電解を単に組み合わせたシステムより将来低コスト水素製造が可能、という結論を得た。</li> </ul> <p>&lt;非貴金属化合物を用いた水電解&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>評価法の確立し、比活性がIrO<sub>2</sub>を上回るZr及びTa系材料の触媒の作製に成功した。</li> <li>Zr及びTa系化合物は表面が酸化物であると酸素発生反応の活性が向上した。</li> <li>Zr系化合物を電極触媒として電解試験を行い、水電解効率は60%であった。</li> </ul> <p>&lt;高効率水素液化磁気冷凍&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>AMRサイクルに適合した希土類ガーネットと金属間化合物磁性材料の開発を進め、粒状化の実用材料製造技術を確立した。</li> <li>2つの駆動機構をもつAMR磁気冷凍サイクル試験装置を設計・作製し、AMRサイクルを実証した。</li> <li>水素液化サイクルの効率改善と高感度水素液量の計測技術を開発した。</li> </ul> <p>&lt;水素ガスパイプライン&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>水素ガスパイプラインで想定される現実的な圧力・温度件では鋼中に拡散侵入する水素濃度は低く、準静的・動的条件ともに水素脆化は顕著ではない。</li> <li>水素ガスパイプラインの実大強度試験を実施し、き裂は長距離伝播することはないことを実証した。</li> <li>開発した高速き裂伝播数値計算モデルを用いて、天然ガスと同程度の靱性を有していれば、水素ガスパイプラインでき裂の伝播を防止できることを確認した。</li> </ul> <p>&lt;超高压水素合成法&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Mg-(V, Zr)-(Li, Na)-H系水素化物において、可逆的に水素を吸蔵・放出する新規水素化物を見出すとともに、水素放出温度と結晶構造との</li> </ul>	<p>△ 中間評価 後移管</p>

	<p>相関を示し得た。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 7種のLi-M-H系新規水素化物（M：遷移金属元素）を見出し、Li-Y系水素化物において、可逆的に水素を吸蔵・放出することを確認した。</li> <li>・ Al系共晶合金、アラネート、AlH<sub>3</sub>を原料として試みたが、適用条件下では新規水素化物相は得られなかった。</li> </ul> <p>&lt;ゼオライト鑄型炭素&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ スピルオーバー水素の貯蔵サイトを、炭素担体のエッジ、曲率をもつ部位、含酸素官能基、含窒素官能基に同定できた。</li> <li>・ 炭素担体に担持するPtの粒径が小さいほどスピルオーバー貯蔵量が増加することを見出した。また、安価な遷移金属（Ni）による貯蔵にも成功した。</li> <li>・ スピルオーバー水素貯蔵サイト候補である、含窒素官能基の大量ドーブ法の開発に成功した。</li> </ul> <p>&lt;MgおよびTi系相分離型&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水素吸収・放出に伴う合金の「相分離」によって、MgH<sub>2</sub>が熱力学的に著しく不安定化することが実証された（合金構成元素間の結合力に依存）。</li> <li>・ Ti基を有する非固溶系b.c.c.合金の合成に成功し、室温で3.5 mass %以上の水素吸収・放出反応が実証された。</li> <li>・ Al水素化合物の物理合成装置の設計・開発を行った。AlH<sub>2.5</sub>組成を得ており、物理的合成の可能性が実証された。</li> </ul>	
<p>（2）水素エネルギー導入・普及のための技術開発シナリオに関するフィジビリティスタディ等</p> <p>水素エネルギー導入・普及のための技術開発シナリオに関するフィジビリティスタディ等</p> <p>国際標準に関して、取得したデータを基に、水素燃料仕様等の国際標準化において日本が主導的にIS化を進め、期限内に完了する。国内規制見直しに関しては、水素エネルギー導入・普及に向け、使用可能鋼材の拡充、耐圧安全係数検討等に資するデータを取得し、産業界主導で見直しを完了する（平成24年度までの目標）。</p>	<p>&lt;IEA/HIA/AFCIAの動向&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ IEA/HIAの各作業部会に専門家を派遣し、情報を得た。また平成24年度は関係者との連携の下でAnnex 28(大規模水素インフラ)会合を日本でホストし（平成24年10月、東京）、情報収集とその内容の発信を行った。</li> <li>・ IEA/HIAの執行委員会に参加し（専門委員：エンジニアリング協会）、各作業部会の半期毎の活動報告、年次報告書概要等の報告（事務局）、各国の水素関連研究開発動向（各国代表）などの情報を入手した。</li> <li>・ IEA/AFCIAの各作業部会に専門家を派遣し、情報を得た。また平成24年度は関係者との連携の下でAnnex 25(定置用FC)会合を日本でホストし（平成24年10月、福岡）、情報収集を行った。</li> <li>・ 平成24年度より、IEA/AFICAの執行委員会（平成24年春季、カナダ、トロント）に参加、各国の燃料電池関連研究開発動向（各国代表）などの情報を入手した。</li> </ul> <p>&lt;IPHEの動向&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ IPHEの各委員会に出席し、最新動向、活動内容を入手、わが国からの情報を発信した。またIPHEの</li> </ul>	○

	<p>議論を分析、わが国の政策や技術開発への影響を分析した。対応が必要な議論や動きに関しては、国内関係者と連携し、その対応を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ IPHE 対応の一環として、平成 23 年 3 月に定置用 FC 国際ワークショップを運営・開催した。</li> <li>・ IPHE が隔年で実施してきた IPHE アワード（IPHE によって、FC/水素分野でのリーダーシップと技術功績をたたえるもの。2 年毎に実施）に関して、経済産業省および関係機関と連携し、日本からの推薦の支援と IPHE 会議での紹介を行なった（優秀リーダーシップ賞に福岡水素エネルギー戦略会議、技術功績賞に秋葉悦男産業技術総合研究所副研究部門長）。この推薦 2 件は、IPHE アワードの受賞を得ることができた。</li> <li>・ JHFC プロジェクト（平成 14～22 年度に実施された FCV・水素ステーションの実証研究プロジェクト。平成 21 年度より NEDO 事業）と連携し、IPHE が企画した IPHE スチューデントコンペティション（IPHE が企画した、FCV・水素の研究に秀でた各国の高校生を表彰するもの。IPHE メンバー国が自主的に優秀校を推薦）にわが国から秋田工業高校を推薦し、IPHE スチューデントコンペティション授賞式およびスチューデントプログラム（各国学生との国際交流）に派遣することができた。</li> </ul> <p>&lt;IPHE、HIA、AFCIA メンバー国やその主要関連研究機関の政策・技術開発動向&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ IPHE、AFCIA における情報をもとに、政策情報を取りまとめ、関係者に提供した（内容は、米国、ドイツ、欧州連合に加え、カナダ、ノルウェー、アイスランド、韓国、中国、オーストラリア）。</li> <li>・ 欧州連合およびドイツが実施したマッキンゼー「パワートレインのポートフォリオレポート」を翻訳して関係者に配布した。</li> <li>・ 我が国の水素ステーション規制見直しのために水素規制見直しリーダー会議にオブザーバーとして参画、IPHE などのネットワークを用いて DOE、Air Products、Shell、CaFCP、Linde、TUV 等にヒヤリングを実施、米国・ドイツの水素ステーション規制を日本との対比でとりまとめ、関係者に提供した。</li> </ul> <p>&lt;情報の展開・普及及び共有化活動&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 平成 22 年度（平成 23 年 2 月）は IEA/HIA に関して、また平成 23 年度（平成 24 年 2 月）は IEA/HIA と IEA/AFCIA の両方に関して、年度末に活動報告会を開催している。活動報告会では、各作業部会を担当する専門家が部会の活動を報告し、質疑応答を行っている。活動報告会参加者は、産学官における水素関連の研究開発・実証試験な</li> </ul>	
--	---	--

	<p>どに携わる研究者・技術者（約 40 数名が参加）。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・平成 23 年度 10 月より、FC/水素政策関係者、NEDO、NEDO プロの委託先等を中心に国際情報ネットワークを構築、登録者は現在約 100 名。発信している内容は、作業部会や国際会議の報告、海外政策情報、マンスリーニュースなど。これにより従来は IEA/HIA や IEA/AFCIA の活動報告は年間 1 回（毎年 2 月の活動報告会）のみであったが、タイムリーに国際情報を関係者に提供できるようになった。</li> <li>・ IEA/HIA、IEA/AFCIA、IPHE など得られた情報、また各国の動きがある場合に、その情報（レポート翻訳、概要解説、会議参加報告書）を前述の国際情報共有ネットワークを活用して発信（平成 23 年度はほぼ隔月～3 ヶ月に 1 回程度、平成 24 年度月上旬は隔月で発信）。平成 24 年 7 月からはマンスリーレポートも配信。</li> <li>・ IEA/HIA、IEA/AFCIA の作業部会のうちでも、そのテーマが担当する専門家だけでは対応が難しい場合、他の企業や研究機関にも関わりがある場合、また戦略的な情報発信が必要な場合は、その作業部会に出席する専門家のサポートチームを構築した。</li> <li>・ 経済産業省燃料電池分科会（平成 23 年 6 月 3 日）に海外情報を提供した。また FCCJ や関係機関・組織と連携し、2015 年～2030 年に向けての FCV 普及予測を行い、あわせて提供した。その後も業界（FCCJ など）の意見を参考に、FCV 普及予測を修正・アップデートした。FCV 普及予測は、大手自動車 3 社の意見を元に、4 つのパラメータ（車両の魅力、燃料経済性、強力な政策支援、車両価格低減）で分析を行った。その結果、普及台数は、2025 年における FCV の普及予測は、36 万台から 240 万台の間となった。</li> </ul> <p>&lt;再生可能エネルギー由来水素の技術動向&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 再生可能エネルギー由来水素の可能性に関して、世界の政策動向と最新の技術動向をとりまとめ、「非化石資源および低炭素資源による水素製造の可能性」（120 ページ）として報告した。</li> </ul> <p>&lt;水素エネルギーシステム便益&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ FCV の導入普及初期の 5 年間（H20 年度）、及び COCN の新導入シナリオ（H21 年度）をベースとし、環境便益の外部便益（外部費用の削減）、および経済的波及効果を評価し、導入普及施策に対する示唆を得た。</li> <li>・ 複数のシナリオに対する便益評価を柔軟に実施するため、これまでに開発してきた方法論に従った評価システムを構築した。</li> </ul>	
--	---	--

	<p>&lt;水素キャリアに応じた&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・平成 27 年（2015 年）を想定した水素供給インフラ市場立ち上げに向け、各水素キャリア（高圧水素、液体水素、有機ケミカルハイドライド）を用いた、オフサイト型水素製造から水素ステーションにおける燃料電池自動車への充填までの一連のフローにおける、経済的成立性や実現性及び普及に向けた今後の技術開発課題について抽出・検討を行なった。また、課題の解決策についての提言も行った。</li> </ul> <p>&lt;燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直し&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・FCV の事故後の乗員救助等、安全作業のための漏洩水素の送風拡散効果の検証、高圧水素容器内の残圧確認手法の開発し、警防マニュアル等の策定に資するデータを取得。</li> <li>・FCV 車両運搬船での火災リスク課題を調査。安全上、問題ないことを確認。</li> <li>・HFCV-gtr に新規提案された車室内水素濃度計測方法の妥当性を調査し、試験方法等の問題点を指摘。</li> <li>・HFCV-gtr の局所火炎暴露試験法策定に必要な車両火災データを提供し、世界に先駆けて当該試験に使用できるバーナーを開発し、国内での試験実施体制を構築。</li> <li>・HFCV-gtr に日本から液圧での使用環境負荷試験を提案するにあたり、必要な根拠データを提供し、試験法の検証を実施し、国際基準に反映。</li> <li>・急速充填試験による充填プロトコル等の検証を行い、安全性を確認し、その結果が国内基準に採用。</li> <li>・FCV 燃料仕様の国際規格の H2 4 年度内発行段階に目処。</li> </ul> <p>&lt;水素インフラ等に係る基準整備&gt;</p> <p>A. 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> <ul style="list-style-type: none"> <li>・絞りが 75%以上の SUS316 及び SUS316L については、Ni 当量が 28.5%以上の場合には 70MPa において -40～85℃、Ni 当量が 26.3%以上の場合には 90MPa において 20～85℃で一般則例示基準に追加可能である。</li> </ul> <p>B. 圧縮水素運送自動車用複合容器に係る基準整備に関する研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・圧力、安全を確保するための設計確認試験及び組試験の方法等について検討を行い、JIGA-T-S/12/04 をベースとした最高充てん圧力 45MPa の圧縮水素運送自動車用容器の例示基準案作成のための助言を行った。</li> </ul>	
--	--	--

	<p>C. 水素ステーション用複合容器に係る基準整備に関する研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 特定設備として申請するためのガイドラインを ASME Sec. X Appendix 8 をベースとすることを提案した。CFRP 製複合容器の設計基準の基礎となる CFRP のストレスラプチャー試験及び疲労試験を行いデータの充実を図った。JPEC で行われた小型複合容器及び中型複合容器を設計製作、試験条件及び試験結果の評価に対して助言を行った。</li> </ul> <p>D. 圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用に関する研究開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 国内に置いて実績があり設計係数の最も小さな KHKS0220 超高圧ガス設備に関する基準の水素適用について検討した。水素の影響に応じて、従来通り大気中のデータを利用して KHKS0220 で設計する場合と、水素中のデータを使用して KHKS0220 で設計する場合とに分けることを提案した。</li> </ul> <p>&lt;水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化&gt;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 「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」に基づく 12 項目の規制合理化項目に関する各種技術基準の検討案を作成した。</li> </ul>	
--	---	--

### 1. 4. 3 研究開発成果の意義

#### (1) 成果の市場性

水素ステーションに係わるシステム、要素機器、水素製造装置の成果は、2015年のFCV・水素インフラの普及開始期の市場の創造に繋がる。一方、車載等水素貯蔵・輸送容器、水素貯蔵材料等の成果は、水素の高圧水素貯蔵だけでは限界があり、複合化（高圧＋貯蔵材料）によるコンパクト化等が可能となり、2020年以降の市場の創造に繋がることが期待されている。

水素ステーションシステム、要素機器及び水素製造装置等の技術開発成果、並びに、規制見直し案の策定により、水素インフラ普及期に水素ステーションを2億円／システムで設置することが可能となった。

#### (2) 成果の水準

開発成果は、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る。また、安全性を担保した規制見直し案を策定したことにより、欧米製の水素ステーション機器に対してコスト的に競合可能な水準になった。

#### (3) 成果の汎用性

水素製造装置等の技術開発成果は、他用途向けの水素製造に適用可能である。また、超高压 70MPa の水素貯蔵・輸送・充填等に係る成果は、天然ガス等、他の高圧ガスにも適用可能である。

#### (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、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、CO<sub>2</sub>削減の面からも優位である。ただし現時点では経済性が課題である。

#### (5) 成果の普及

##### (a) 国際基準調和への寄与

##### 1. HFCV-gtr (Hydrogen and Fuel Cell Vehicles global technical regulation)

- ・圧縮水素を燃料とするFCVの事故後の安全作業の標準化を行った
- ・国際基準(HFCV-gtr)で審議されている衝突試験後の車室内水素濃度計測手法の妥当性を検証した(世界で初めて取得された成果。HFCV-gtrの審議の場で活用)
- ・車載容器の局所火炎暴露試験法策定に必要な車両火災試験データを提供、世界初のバーナー製作、試験実施体制の構築した

##### 2. ISO (International Organization for Standardization)

- ・水素燃料仕様 ISO14687-2 の FDIS 投票→発行に目処がたった(議長：日本)
- ・FCVも含む電動車両安全規格 ISO6469-1, -2, -3 の発行(リーダー：日本)

##### 3. SAE (Society of Automotive Engineers)

- ・SAE J2719 (FCV用水素の品質に関するガイドライン)をISOに整合した。

##### (b) 国内基準化への寄与

##### 1. 高圧ガス保安法

- ・車載用高圧水素容器／容器附属品の国内基準(KHK S 0128)に係る使用環境負荷試験の検証、HFCV gtr との国際基準調和に向けた液圧シリーズ試験の妥当性検証を実施

##### 2. 消防関係

- ・警防活動時における安全管理マニュアル等に資するデータ取得した

### 1. 5 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以下の表のとおりである。平成20年度に成果を上げ、その成果を平成21年度に反映したものであり特許、論文の件数が増加しており研究内容を踏まえ適切に発信した。また、外部発表について平成20年度は61件、平成21年度は143件、平成22年度は46件、平成23年度は42件、平成24年度は21件の件数であり一般に向けて広く研究内容及び研究成果を情報発信した。

具体的な特許、論文、外部発表の内容については添付リストを参照のこと。

特許、論文、外部発表等の件数

区分 年度	特許出願			論文		その他外部 発表（プレ ス発表等）
	国内	外国	PCT 出願	査読付き	その他	
H20 年度	9	0	2	10	6	61
H21 年度	25	0	1	25	13	143
H22 年度	11	0	1	13	15	54
H23 年度	9	0	3	15	17	56
H24 年度	4	0	0	8	16	36
合計	58	0	7	71	67	350

平成24年10月31日現在

## 2. 研究開発項目毎の成果

### 2.1 研究開発項目 I 「システム技術開発」

- I-1 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発  
(実施者：(財)石油エネルギー技術センター、東邦ガス(株)、トキコテクノ(株)、  
日立オートモティブシステムズ(株)、大陽日酸(株)、横浜ゴム(株)、(国)佐賀大学)
  
- I-2 車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術に関する研究開発  
(実施者：日本重化学工業(株)、サムテック(株)、(独)産業技術総合研究所)

# (I-1) 70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発／技術開発

委託先：(一財)石油エネルギー技術センター(JPEC)、東邦瓦斯(株)、トキコテクノ(株)、日立オートモティブシステムズ(株)(日立AMS)、大陽日酸(株)、横浜ゴム(株)、(国)佐賀大学

## ●成果サマリ(H20年度～H24年度10月)

- ・低コスト型水素ステーションの基本仕様を検討し、建設費2億円以下/システムの実現可能性の見込みを得た。
- ・実車での3分間充填が可能な70MPa級水素ステーションを建設し、模擬タンクを用いた充填試験を行い、メンテナンス回数1回以下/年の見通しを得た。

## ●事業目標

水素エネルギー普及のため、2015年頃を想定した水素供給インフラ市場立ち上げに向け、低コスト(建設費2億円以下)かつ耐久性に優れた(メンテナンス1回/年)水素ステーションを実現する。

実施項目	最終目標(H24年度)
①低コスト型水素ステーション検討	標準設計資料の作成 建設費2億円以下の可能性確認
②運転技術開発	システム耐久性確認(1年以上) 運転課題抽出
③ディスペンサ及び関連機器開発	機器耐久性確認(1年以上) 充填制御技術確立 故障予知技術確立
④プレクール設備開発	設備の低コスト化 設備耐久性確認(1年以上) 水素充填での温度解析プログラム開発

## ●実施体制および分担等

PL/NEDO	項目	実行額
		年度 百万円
JPEC	項目①②	H20 161
東邦瓦斯	項目②	H21 470
トキコテクノ	項目②③	H22 213
日立AMS	項目②③	H23 265
横浜ゴム	項目②③	H24 321
大陽日酸	項目②④	
佐賀大学	項目④	

## ●研究成果

- ①低コスト型水素ステーション検討
  - ・低コスト型水素ステーションの基本仕様として、「圧縮機併用差圧充填方式」を前提に、「機器・設備のパッケージ化」を組合せる設備仕様を提案し、標準仕様として、機器リスト、図面類を整備を行っている。
  - ・規制見直し、大量生産効果を考慮した場合、建設費2億円以下の可能性がある見込みを得た。
- ②運転技術開発
  - ・70MPa級水素ステーションを建設し、普及初期を想定した年間充填回数に相当する945回の充填試験を行い、開発機器の技術課題を明らかにすることにより、耐久性向上を実現した。
- ③ディスペンサ及び関連機器開発
  - ・ディスペンサで使用する流量計、バルブ類に関しては、普及初期に対応した耐久性を有していることを確認した。
  - ・繰返し充填試験で技術課題の明らかになった緊急離脱カプラ、充填ホースについては、NEDO「水素先端科学基礎研究」事業との連携により、耐低温の改良を行い、普及前に想定される270回の充填回数に対する耐久性を確認し、更に耐久試験を継続している。
  - ・給油型圧縮機を使用した本水素ステーションでも、ディスペンサーに影響を及ぼす異物、ミスト等の発生がないことを確認した。
- ④プレクール設備開発
  - ・プレクール設備熱交換器(水素ガス温度-20℃)の小型化と低コスト化を実現した。
  - ・水素ステーション設計や運転解析に活用できる温度解析プログラムとして、充填タンク解析プログラム、プレクール熱交解析プログラムを開発した。

## ●実用化・事業化の見通し

以下により、水素ステーションの全国的な整備が加速される。

- ・水素ステーションの構成機器の耐久性確認を行い、技術開発成果が実用化可能であることが確認できた。
- ・技術課題の改善を行い、ステーションの信頼性が向上した。
- ・更なる耐久性向上に向け、本水素ステーションによる継続研究が計画されている。
- ・今後の水素ステーション整備において、開発品の採用が計画されている。

## ●研究成果まとめ

項目	成果	自己評価
①	低コスト型水素ステーション仕様検討	○
②	運転技術開発	◎
③	ディスペンサ及び関連機器開発	○
④	プレクール設備開発	◎

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	3	22	0

注)「水素インフラの技術基準に関する検討」は別に成果概要を纏める。

# 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発

実施者：(一財)石油エネルギー技術センター、東邦瓦斯(株)、トキコテクノ(株)

日立オートモティブシステムズ(株)、大陽日酸(株)、横浜ゴム(株)、(国)佐賀大学

## 1. 事業概要

平成 27 年(2015 年)頃を想定した水素供給インフラ市場立上げに向け、低コストかつ耐久性に優れた水素ステーションを実現する必要がある。本事業では、それに向けたシステム技術開発に取り組む。本事業の研究テーマと担当は表 1-1、本事業と関係する事業を含めた実施体制図を図 1-1 に示す。

表 1-1 研究テーマと担当

実施項目	研究テーマ	担当
①標準仕様検討	ステーション建設費低減 ステーション標準設備仕様検討	JPEC
②運転技術開発	ステーションシステム耐久性検討 運転技術課題抽出	東邦瓦斯 トキコテクノ 大陽日酸 JPEC
③ディスペンサー機器開発	ディスペンサー耐久性検証、コスト低減 充填制御技術開発	トキコテクノ
	故障予知技術開発、配管材料探索	日立 AMS
	充填ホース耐久性検証	横浜ゴム
④プレクール設備開発	プレクール設備コスト低減、耐久性検証	大陽日酸
	水素充填シミュレーション開発	佐賀大学

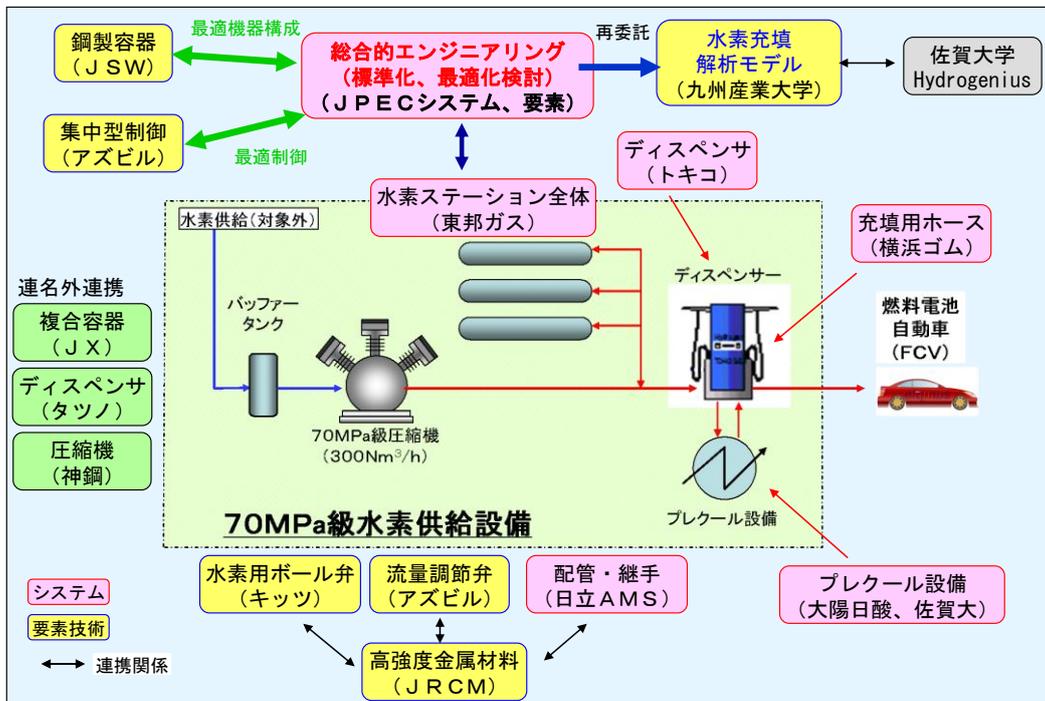


図 1-1 実施体制図 (他事業との連携関係も併せて記載)

## 2. 事業目標

本事業の目標は、水素エネルギー普及のため、2015年頃を想定した水素供給インフラ市場立ち上げに向け、「低コスト」かつ「耐久性に優れた」水素ステーションを実現することである。コストと耐久性に関する具体的な目標値は以下の通りである。

また、目標達成に向けて4つの実施項目（標準仕様検討、運転技術開発、ディスペンサー機器開発、プレクール設備開発）を設定し、実施項目毎に目標を定めた。

- ①低コスト : コスト2億円以下/システム（水素供給能力300Nm<sup>3</sup>/h規模、土地取得価格除く）
- ②高耐久性 : 年間メンテナンス回数1回以下（日常的な簡易検査やメンテナンスを除く）

水素ステーションを構成する大型機器（金属材料、蓄圧器、バルブ類、運転制御）については、「水素ステーション機器要素技術に関する研究開発」等にて研究開発が行われており、本事業（システム技術開発）では、実際の水素ステーション建設・運転や車両充填性能に関わる4つの実施項目（標準仕様検討、運転技術開発、ディスペンサー機器開発、プレクール設備開発）を設定し、実施項目毎に目標を定めた。

### 2.1 標準仕様検討

事業目標の1つである「水素ステーションコスト2億円以下/システム」の実現可能性を検証する。本事業ならびに他事業にて得られた水素ステーション機器類の耐久性検証結果、コスト低減検討結果を総合し、低コスト型水素ステーションの標準仕様を確立し、標準設計資料として整備する。

### 2.2 運転技術開発

70MPa級水素ステーションを建設し、繰り返し充填試験ならびに日常点検、定期点検等を通じて、水素ステーション構成設備、システム全体の年間メンテナンス回数1回以下の実現可能性を検証する。水素ステーションでの各種試験、点検を通じて明らかになった技術課題は、開発担当にフィードバックし、技術開発を加速させる。

### 2.3 ディスペンサー機器開発

#### (1) ディスペンサー耐久性検証、コスト低減

ディスペンサー装着状態での構成機器の耐久性検証・評価として、プレクール設備を含めた運転条件において、各構成機器の性能が1年間維持でき、ディスペンサーとして1年間ノーメンテナンスに相当する耐久性を確保する技術を確立する。

#### (2) ディスペンサー等故障予知技術開発

ディスペンサー等の故障予知を行うための定量的な評価技術を確立する。バルブ故障の予兆を把握する技術の確立に向け、バルブ故障現象と水素中不純物の関係を明示する。

#### (3) 充填ホース耐久性検証、コスト低減

普及期に必要となる耐久性（目標：充填回数30000回）を確保する充填ホース仕様を確立する。

### 2.4 プレクール設備開発

#### (1) プレクール設備耐久性検証、コスト低減

プレクール設備を設計製作し、水素ステーションにおける各種試験、点検を通じて、1年間ノーメ

メンテナンスならびにコスト低減の実現可能性を検証する。上記試験、点検を通じて明らかになった技術課題は、プレクール設備仕様に反映する。

## (2) 水素充填シミュレーション開発

水素ステーション設計や運転解析に活用できる汎用的なシミュレーションプログラムを開発する。

## 3. 事業成果

### 3.1 標準仕様検討

本実施項目の成果は以下の通りである。

- ・「圧縮機併用差圧充填」と「機器パッケージ化等の現地工事低減策」を採用した水素ステーションにおいて、コストが2億円以下の見通しを得た。
- ・コスト2億円以下となった水素ステーション設備を標準仕様として確立し、設計資料をまとめた。

本成果の詳細を以下に示す。

#### (1) 水素ステーション関連ワーキンググループにおけるコスト低減検討

水素ステーションのコスト低減のため、水素ステーション関連ワーキンググループ(WG)を開催し、コスト区分毎に検討を実施した。検討の前提を表3-1に示す。

表 3-1 水素ステーション関連 WG のコスト低減における検討前提

項目	前提	備考
0.全般	<ul style="list-style-type: none"> <li>・70MPa 差圧充填を基本とする。ブースター型(2 段圧縮)も検討する。</li> <li>・5 台/時間を満足する仕様とするが、充填時間は制約としない。最大流量、充填時間については、ステーション全体で推算し、充填時間短縮の技術課題を整理する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・87.5MPa 充填は課題検討を行う。</li> <li>・仕様検討で最大流量が必要な場合は、個別設備の条件として仮置きする</li> </ul>
1.圧縮機	<ul style="list-style-type: none"> <li>・100MPa 級、300Nm<sup>3</sup>/h、1 基とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・別途ブースター型も検討する。</li> </ul>
2.蓄圧器	<ul style="list-style-type: none"> <li>・70MPa 差圧充填を基本とし、必要容量、必要バンク数は WG(最適化検討)にて提示する。</li> </ul>	
3.ディスペンサー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1 基/ステーションとする。</li> <li>最大流量 3kg/min として、その可否を検討する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ディスペンサーが複数のケースも検討する。</li> </ul>
4.プレクール設備	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱交出口で水素ガス温度 -20℃とする。</li> <li>最大流量 3kg/min で仕様(伝面等)を検討する。</li> </ul>	
5.配管、バルブ類	<ul style="list-style-type: none"> <li>・配管サイズ 9/16B とする。</li> <li>・機械特性は SUS316 冷間加工と同等とする。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設置箇所、個数は P&amp;ID に記載する。</li> </ul>
6.計装・制御	<ul style="list-style-type: none"> <li>・制御方式は WG(最適化検討)にて提示する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ディスペンサー制御との取合は個別に検討する。</li> <li>・設置箇所、基数は P&amp;ID に記載する。</li> </ul>
7.土木、機器設置等工事	<ul style="list-style-type: none"> <li>・プロット図をベースに検討する。</li> <li>・オフサイト型を考慮する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・用役、保安設備を含む。</li> </ul>
8.設計費等	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新規の 70MPa 級水素ステーションの単独設置を想定する。</li> <li>・ガソリンスタンド等との併設はなしとする。</li> </ul>	
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>・土地の取得価格は考慮しない</li> <li>・水素ガスは最大量での保有が可能とする。</li> <li>・高圧ガス保安法(一般則第 7 条の 3 第 2 項)の法規制、基準を満足する。</li> <li>・最適化検討により P&amp;ID の見直しが発生する可能性はある。</li> <li>・制御システムの検討では、オンサイト型についても検討を行う。</li> <li>・車両通信は含まず、課題の整理を行う。</li> </ul>	

検討の結果、水素ステーションコストは、平成 21 年度時点での推定コスト 5.98 億円から 2.55 億円まで低減可能であることを確認した(表 3-2)。

表 3-2 水素ステーション関連 WG 検討結果 (単位：百万円)

コスト区分	検討担当	H21 年 WG 時点での 現状コスト	H21 年 WG での コスト低減見込み
1. 圧縮機	JPEC	92	75
2. 蓄圧器	JSW、JX	90	
3. ディスペンサー	タツノ、横浜ゴム	40	15
4. プレクール設備	大陽日酸	40	24
5. 配管・バルブ類	キッツ、アズビル、日立 AMS	21	7
6. 計装・制御関連	アズビル	35	30
7. 土木・機器設置等工事	JPEC	180	76
8. 設計費等	JPEC	100	28
合計		598	255

(2) 更なるコスト低減検討

差圧充填方式の水素ステーションのコスト低減検討として、水素ステーション関連 WG にて主要構成機器のスキッド化(蓄圧器、圧縮機、用役設備をそれぞれ一つの土台(スキッド)に載せ、製作工場 で組み立てることによって現地組立工事量を削減する方法)や充填方式の最適化検討(2 段直充填方式(図 3-2)の採用)を実施してきた。しかし、コスト 2 億円達成見込みを得ることが困難であると判断し、以下のコスト低減施策を立案した。

① 「圧縮機併用差圧充填方式」の採用による蓄圧器機器費の低減

蓄圧器機器費を低減するために、蓄圧器総容量を小さくすることができる「圧縮機併用差圧充填方式(図 3-3)」を採用した。要素技術開発事業において最適機器構成を検討した結果、蓄圧器 300L×2 バンクの方式が最適であるとの結論を得たため、本設備仕様にて、水素ステーション設備仕様を作成した。

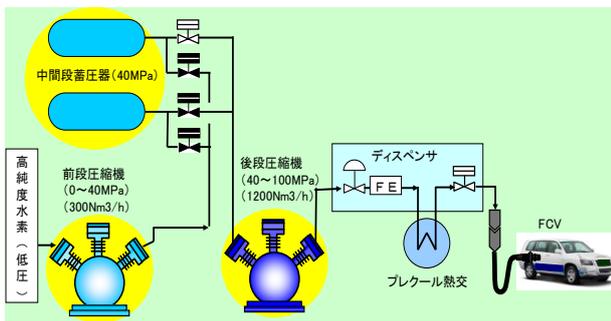


図 3-2 2 段直充填方式の概略フロー

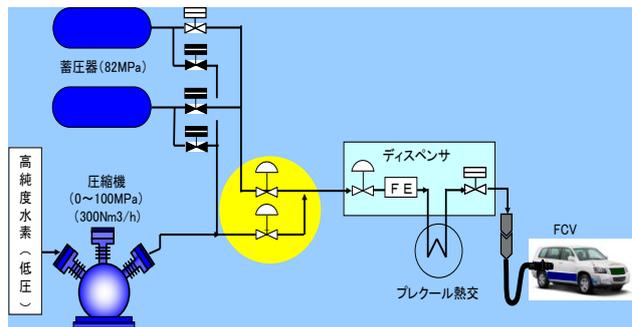


図 3-3 圧縮機併用差圧充填方式の概略フロー

② 「機器パッケージ化」の採用による現地工事費の低減

現地工事費を低減するという観点から、主要機器のスキッド化を更に発展させ、圧縮機および蓄圧器、プレクール設備、ディスペンサー等をコンテナ内に収納し、関連配管、付帯設備等を製造工場 で事前に組み立てる方式(「機器パッケージ化」)を採用した。

機器のパッケージ化による主な工事費低減項目は以下の通りである。

- ・ プレハブ率の更なる向上（スキッド化検討時対比）

蓄圧器、ディスペンサー、プレクール設備熱交換器を一つのコンテナに収納することにより、付帯設備も含めた現地据付工事量の更なる低減が可能となる。

- ・ 障壁工事の省略

コンテナ側壁を補強することで、コンテナ側壁を障壁代わりにすることができ、障壁設置工事の現地工事費低減が可能となる。

これらコスト低減施策を反映した水素ステーション設備に対して詳細積算を行った結果、2億円の見通しを得た（表3-3）。

表3-3 水素ステーション建設費内訳（単位：百万円）

コスト区分	H21年WG時点での 現状コスト（再掲）	H21年WGでの コスト低減見込み（再掲）	H24年度検討結果
1. 圧縮機	92	75	65 ※1
2. 蓄圧器	90		50 ※2
3. ディスペンサー	40		
4. プレクール設備	40	24	
5. 配管・バルブ類	21	7	3
6. 計装・制御関連	35	30	24
7. 土木・機器設置等工事	180	76	47
8. 設計費等	100	28	11
合計	598	255	200

※1 圧縮機パッケージの金額

※2 蓄圧器・ディスペンサーパッケージの金額

蓄圧器（300Lx2バンク複合容器、6百万円）、プレクール設備（-20℃対応 24百万円）

コスト2億円となった水素ステーション設備については、標準仕様として設計資料をまとめた。

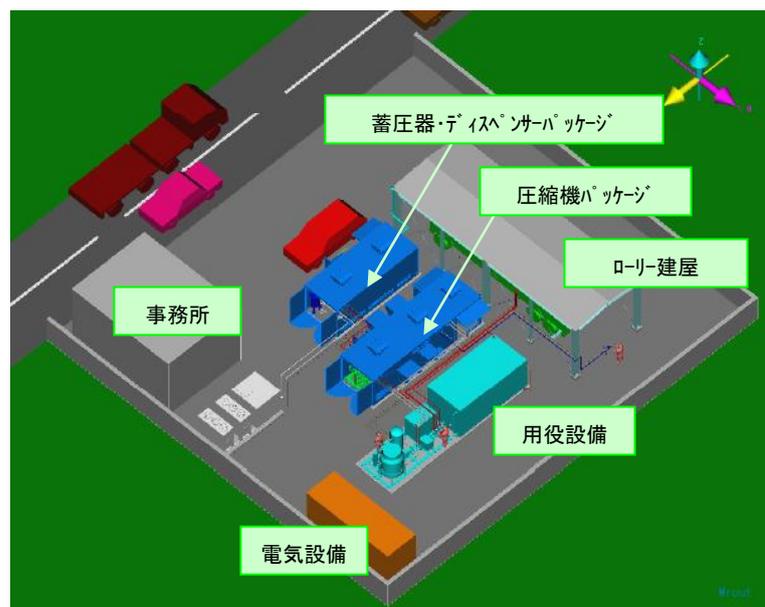


図3-4 パッケージ化を導入した水素ステーションレイアウト図

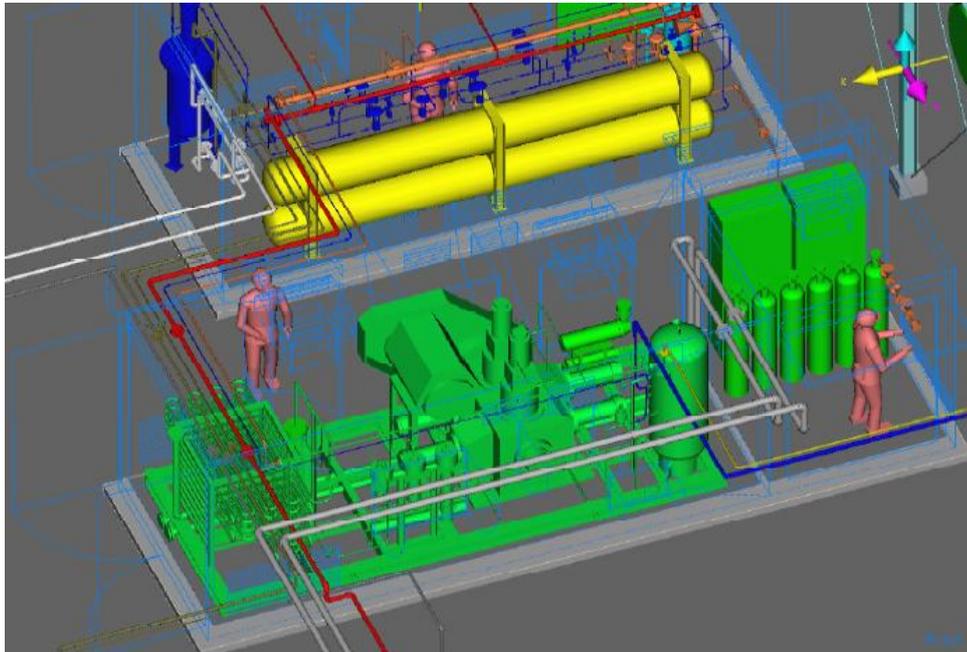


図 3-5 圧縮機パッケージのイメージ図

### 3.2 運転技術開発

本実施項目の成果は以下の通りである。

70MPa 級水素ステーションを建設し、普及前ならびに普及初期の 1 年相当の充填回数（270 回、945 回）の繰返し充填試験を達成した。  
この試験で構成機器の耐久性が確認でき、併せて今後の技術課題を明らかにした。

本成果の詳細を以下に示す。

#### (1) 70MPa 級水素ステーションシステムの構築

構成機器・配管類の点検部位、点検方法、周期を立案したうえで、平成 21 年 4 月より 70MPa 級水素ステーションの設計に着手し、平成 22 年 2 月に完成させた（東邦瓦斯技術研究所内に設置）（図 3-6）。

平成 22 年 3 月から、「水素ステーションシステムの耐久性評価」「蓄圧器およびプレクール設備の最適設計」「圧縮機による直接充填」「充填制御方法の最適化」等を目的とした各種試験ならびに点検を開始した。本水素ステーションにおける充填試験の結果、平均充填流量は約 1.7kg/min（最大瞬間流量：約 3.0kg/min）、プレクール熱交出口水素ガス温度は約-30℃を示し、国内最大級の充填能力を有していることが確認できた（図 3-7）。

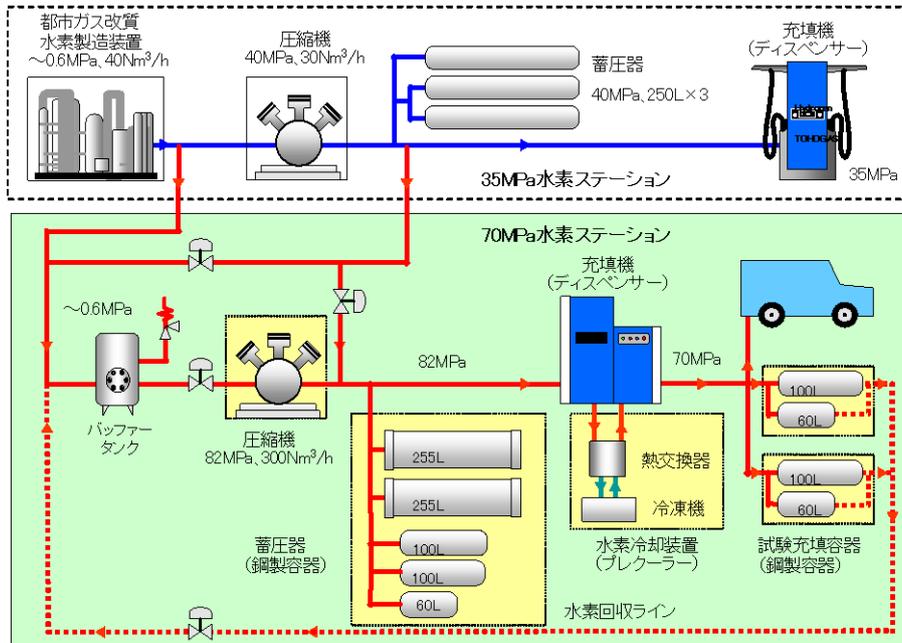


図 3-6 東邦瓦斯技術研究所水素ステーションの概略フロー図

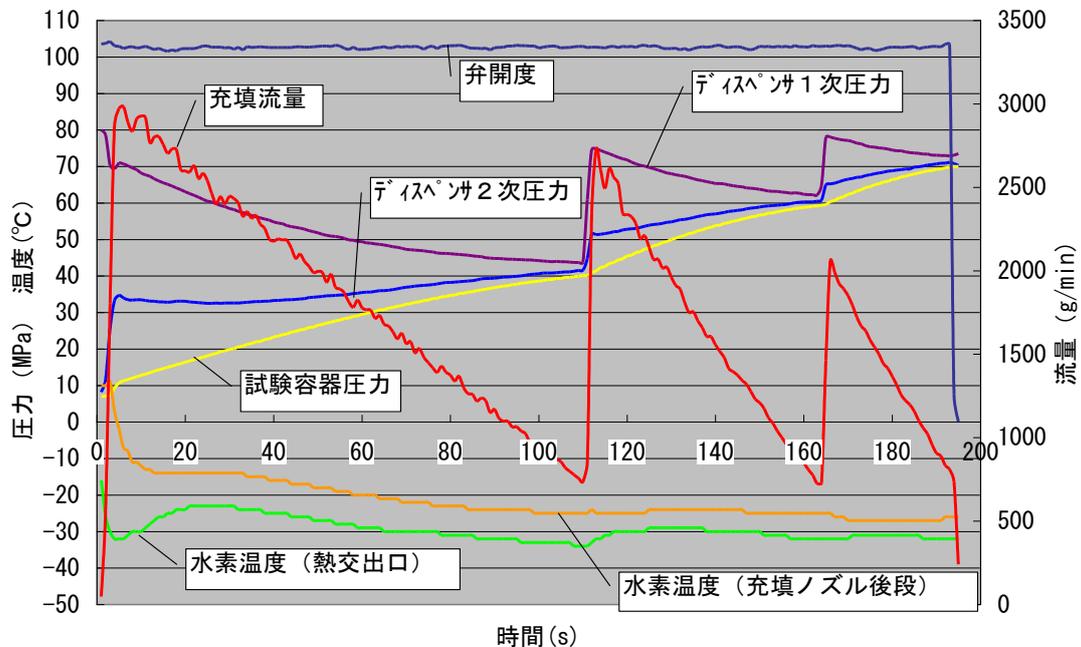


図 3-7 充填能力確認試験結果

## (2) 耐久性向上に関する検討

水素ステーションシステム1年間ノーメンテナンスの実現可能性を検証するために、試験項目の詳細を立案した。耐久性の検証は、試験充填容器（鋼製容器）と燃料電池車輛（複合容器）への繰り返し充填によって行った。試験充填容器への繰り返し充填試験は、普及期前の1年分に相当する充填回数（270回）と普及初期の1年分に相当する充填回数（945回）を行い、運転時点検ならびに定期点検によってシステムの健全性を確認した。

耐久性検証の結果、圧縮機、ディスペンサー（緊急離脱カップリング、充填ホースを除く）、蓄圧器、プレクーラー設備、配管バルブ類において1年間ノーメンテナンスを達成した。

緊急離脱カップリング（Oリング）、充填ホース（ホース樹脂材料）については、低温時の耐性不足という技術課題が明らかとなった。本技術課題は、当該機器の開発担当（緊急離脱カップリング：トキコテクノ、充填ホース：横浜ゴム）にフィードバックし、機器開発を加速した。改良された緊急離脱カップリングならびに充填ホースは、再度、水素ステーションに設置し、繰り返し充填試験を行うことで、普及期前における1年間ノーメンテナンスが実現可能であることが確認できた。

### 3.3 ディスペンサー機器開発

本実施項目の成果は以下の通りである。

- ・ ディスペンサーの主要構成機器（流量計、バルブ類）において、普及初期の1年相当の充填回数に対する耐久性を有していることを確認した。
- ・ 水素ステーションの繰り返し充填試験で技術課題の明らかになった緊急離脱カップリング、充填ホースについては、改良品を開発し、普及前の1年相当の充填回数に対する耐久性を確認した。
- ・ ディスペンサーにフィルタを設置することで、捕捉異物の分析による異物発生（不具合）箇所の推定と、フィルタの定期調査による故障の予測が可能である見込みを得た。

本成果の詳細を以下に示す。

#### (1) ディスペンサー構成機器の耐久性評価

水素ステーションでの繰り返し充填試験を通じて、緊急離脱カップリング以外のディスペンサー構成機器（バルブ類、充填カップリング、流量計等）について1年間のノーメンテナンスが実現可能であることを確認した。

低温状態でのOリング部の耐性不足という課題が明らかとなった緊急離脱カップリングについては、「NEDO 水素先端科学基礎研究事業」にてOリングの開発を実施している九州大学の材料研究チームと連携し、低温で耐ブリスタ特性を有するOリングを開発した。開発したOリングを組み込んだ緊急離脱カップリングについては、低温（-30℃）高圧水素環境下での健全性（水素シール性）を低温加減圧試験によって確認した。

改良した緊急離脱カップリングは、改めて水素ステーションに設置し、繰り返し充填試験を実施した（図3-8）。試験の結果、改良した緊急離脱カップリングは、1年間のノーメンテナンスが実現可能であることを確認した。

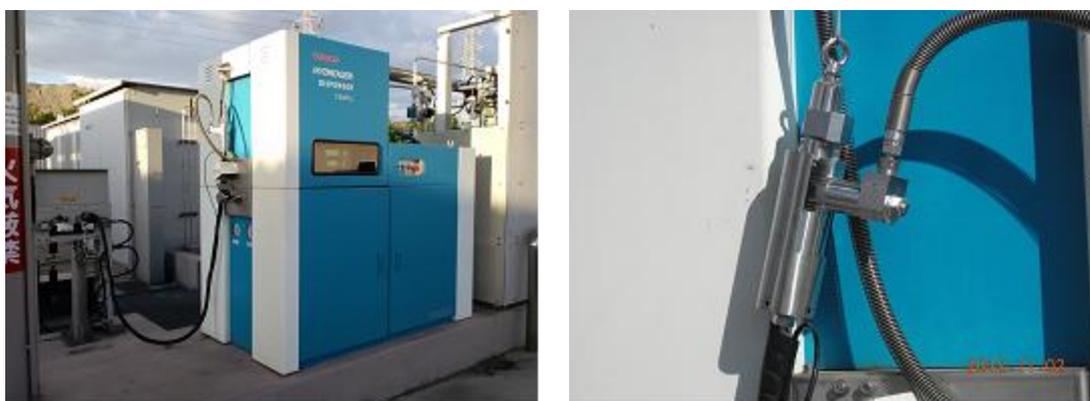


図3-8 ディスペンサー全景（左）および改良した緊急離脱カップリング拡大図（右）

(2) ディスペンサー等故障予知技術開発

フィルタ捕獲物に関して形態観察や元素・組成解析をすることで、異物、樹脂成分等の識別が可能であることを確認した。そこで実際に充填試験を実施しているディスペンサーに異物捕集用フィルタ（図 3-9）を設置し、異物のサンプリング分析を行うことで、バルブ故障事象と水素中不純物の関係有無について調査を実施した。これまでに3回のフィルタ分析（図 3-10）を行い、フッ素系樹脂やオーステナイト系ステンレスを確認した。この他入口部フィルタで、平成 22 年（6 ヶ月）には設置時に混入したと思われる珪酸類が見られた。平成 23 年（1.5 年）には鉄腐食生成物やガラスファイバーが異物として捕捉され、圧縮機潤滑油オーバーフローによる圧縮機ロッドパッキン、ピストンリングの破片と推測された。平成 24 年（2.5 年）は、点検時に混入したと思われる化学繊維が見られた。

バルブ故障と水素中不純物の関係有無についての調査を加速させるため、バルブ故障時の現象把握試験装置（図 3-11）を製作し、バルブ動作試験を実施した。初期（0～5 万回）では比較的大きな水素中不純物が捕獲され、20 万回以降では回数に応じた小さな異物が捕獲（図 3-12）された。これらのことから、定期点検時のフィルタを分析し、そのデータを蓄積することで、不純物による故障予測が可能となる見通しを得た。

物理的、機械的評価機器による故障診断の可能性検討として、アコースティックエミッション装置によるバルブ微小漏れ検知の下限を測定し、920cc/min を得た。

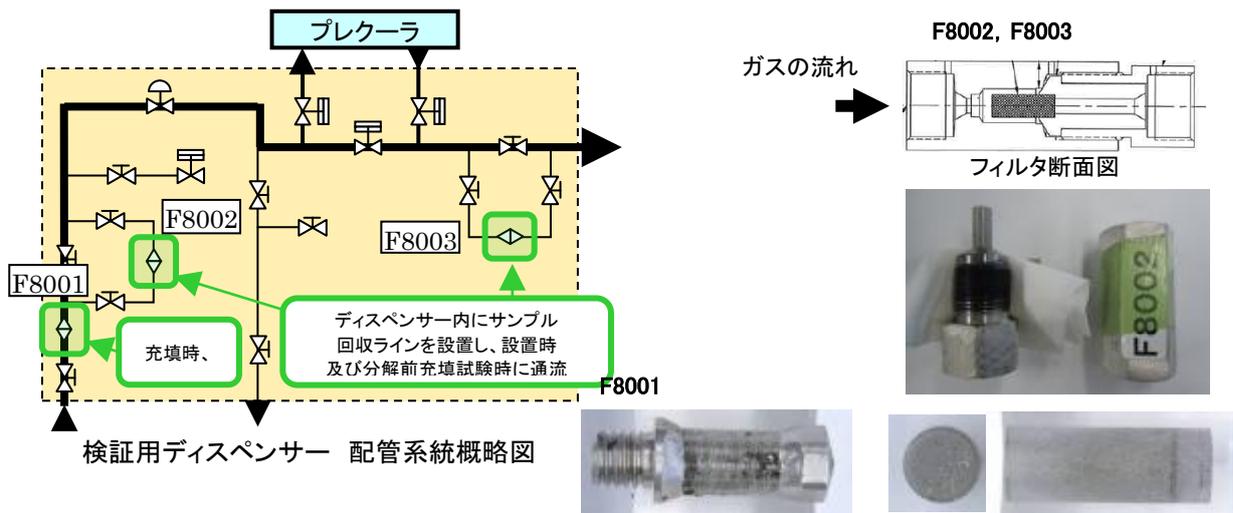


図 3-9 異物捕集用フィルタと設置構成

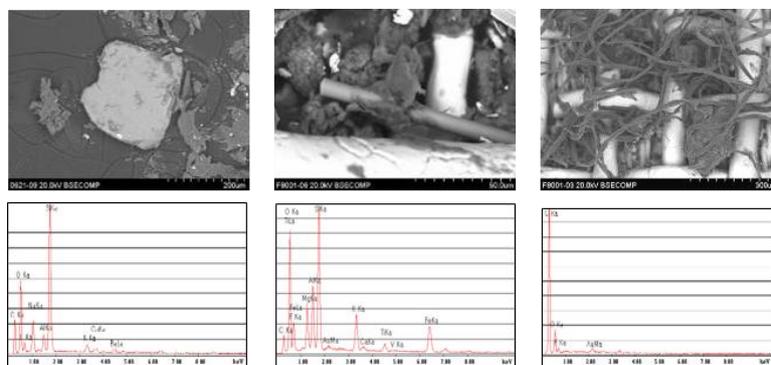


図 3-10 フィルタ異物分析例（F8001）

(H20 年回収：珪酸類、平成 21 年：ガラス繊維、平成 22 年：化学繊維)

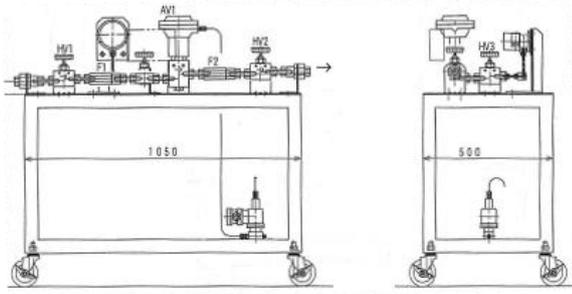


図 3-11 バルブ故障時の現象把握試験装置

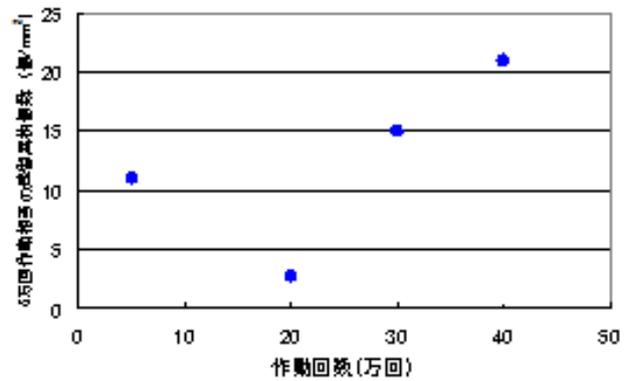


図 3-12 試験装置による捕捉異物量の推移

### (3) 充填ホース耐久性検討

水素ステーションにおいて繰り返し充填試験を実施した結果、充填ホースの耐久性に関して以下 2 つの対策が必要であることを確認した。

- ①配管内混入物による充填ホース内面傷（耐久性低下の起点）発生の抑制
- ②充填ホース内面への水素透過によるブリスタ（耐久性低下の起点）発生の低減

①については、充填ホース内面保護のために、ホース最内層へフッ素樹脂を積層した改良型充填ホースを開発した。改良型充填ホースについては、水素ステーションに設置し、繰り返し充填試験による耐久性評価を実施した（図 3-13）。繰り返し充填試験は普及期前の 1 年間の想定充填回数（270 回）まで実施し、健全性を確認した。

②については、耐水素ガス透過性に優れた材料の選定および積層構造等について検討を行った。本検討は、「NEDO 水素に対して耐性に優れた適用材料の研究開発事業（実施者：日本合成化学工業株式会社）」との連携して行った。



図 3-13 改良充填ホース外観写真

### 3.4 プレクール設備開発

本実施項目の成果は以下の通りである。

- ・プレクール設備（熱交換器出口温度 $-20^{\circ}\text{C}$ ）の小型化と低コスト化を行い、実ステーションにおいて普及前の1年相当の充填回数（270回）の耐久性が確認できた。
- ・水素ステーション設計や運転解析に活用できるシミュレーション技術として、充填タンク解析プログラム、プレクール熱交解析プログラムを開発した。

本成果の詳細を以下に示す。

#### (1) 初期改良型プレクール設備の開発および耐久性検証

NEDO 事業におけるプレクール設備の技術的課題（運転上の課題対応、製作期間短縮のための使用部品点数の削減、冷却効率向上等）およびプレクール設備設計に必要な運転データ取得を考慮し、「初期改良型プレクール設備」を設計・製作した。

初期改良型プレクール設備の熱交換器部分は、大陽日酸試験フィールドにて単体試運転を実施し、設計時の要求仕様を満足していることを確認した。その後、東邦瓦斯水素ステーションに初期改良型プレクール設備を設置し、繰り返し充填試験による耐久性検証を行った。充填試験の結果、普及期前の1年間の想定充填回数(270回)において耐久性を確認した。さらに、初期改良型プレクール設備出口の水素ガス温度が「年間を通じて $-20^{\circ}\text{C}$ 以下」を維持可能であることを国内で初めて実証した。

#### (2) 次期プレクール設備の開発および耐久性検証

初期改良型プレクール設備における繰り返し充填試験データおよび東邦瓦斯が水素ステーションオーナーとして提示する要望（経済性、使い勝手、メンテナンス性等）を考慮したうえで、「冷却性能は維持したままで、コスト低減ならびに小型化、1年間ノーメンテナンス」を満足する「次期プレクール設備（図3-14）」を設計・製作した。

コスト低減については、初期改良型プレクール設備熱交換器と比較して3.6百万円の低減を実現した。また、小型化については、初期改良型プレクール設備熱交換器と比較して占有面積を1/4まで縮小した。なお、次期プレクール設備熱交換器の1年間ノーメンテナンスを実現するための技術として、溶接配管の螺旋加工技術も次期プレクール設備熱交換器の設計・製作に併せて開発した。これによりプレクール設備における熱交換器高圧配管に継手を全く使用しない構造が実現し、プレクール設備熱交換器の更なる信頼性の向上を実現させた。

次期プレクール設備を水素ステーションに設置し、繰り返し充填試験による耐久性検証を継続中である。これまでにプレクール設備の冷却性能の観点から1年間のうち最も過酷な条件となる夏季（8月）に、次期プレクール設備熱交換器出口の水素ガス温度が「 $-20^{\circ}\text{C}$ 以下」を維持することを確認した。

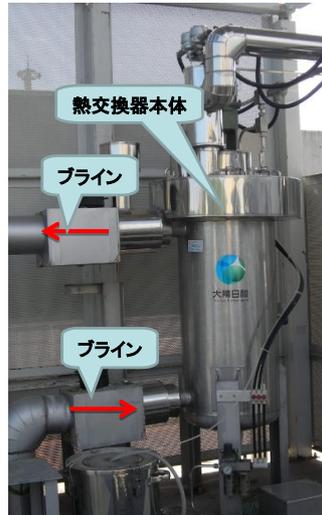


図 3-14 次期プレクール設備熱交換器外観図

### (3) 水素充填シミュレーション技術開発

#### ① 水素充填タンク温度解析プログラム

NEDO 事業「水素社会構築共通基盤整備事業-圧縮水素容器系の高圧化要素技術の開発」において開発した「水素を高圧容器に急速充填した時の容器内の水素ガス温度を解析するシミュレーションプログラム」は、充填容器への水素供給条件または放出条件（初期水素ガス圧力、温度等や充填容器の形状）を与えると、充填容器内の水素ガスの温度上昇を解析することができるものであった。

本事業では、当該プログラムを改造し、充填水素ガスを規定の温度（85℃）以下で充填するための条件（充填流量、充填水素ガス温度等）を推定できるシミュレーションプログラム（以下、水素充填タンク温度解析プログラムと記す）を開発した。

この結果、既存プログラムと改良プログラムの両者を活用することにより、蓄圧器形状ならびに水素ガス初期圧力、温度が既知の場合に、充填容器内の充填水素ガスを規定の温度（85℃）以下に充填するために必要なプレクール設備の冷却性能が導出できるようになった。

#### ② プレクール設備解析プログラム

前項①で説明した水素充填タンク温度解析プログラムによって、プレクール設備に必要な冷却性能を導出できるようになった。そこで必要な冷却性能を得るためのプレクール設備の詳細仕様を導出し、設備設計に反映するためのシミュレーションプログラム（以下、プレクール設備解析プログラムと記す）を開発した。

プレクール設備解析プログラムは、プレクール設備仕様（熱交配管形状、冷媒温度等）およびプレクール設備入口の水素ガス供給条件（圧力、温度、流量の時間変化）を与えた際に、プレクール設備出口での水素ガスの圧力、温度、流量を解析するものである。

本プログラムの解析精度検証は、東邦瓦斯に設置されているプレクール設備の充填試験結果との照合によって行った。解析精度検証の結果、本プログラム解析結果は、実際のプレクール設備の充填試験結果と精度良く一致していることを確認した（図 3-15）。

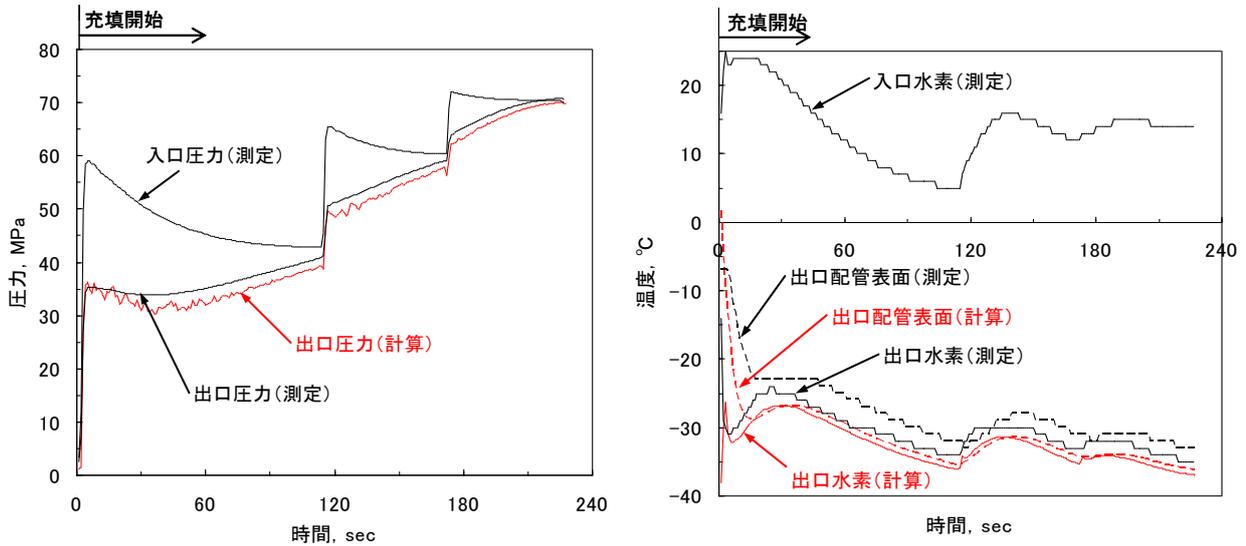


図 3-15 プレクール設備解析プログラムと実際のプレクール設備充填試験データとの照合結果  
 (左図：水素ガス圧力変化 右図：水素ガス温度変化)

「水素充填タンク温度解析プログラム」ならび「プレクール設備解析プログラム」の解析結果は、大陽日酸が開発した「次期プレクール設備 (3.4 項参照)」の最適設計に反映されている。さらに、要素技術開発事業にて実施している「水素ステーション充填解析プログラム開発」へも当該プログラムが応用されている。

### 3.5 その他の事業成果

本事業の実施内容、成果について、実施計画書との対比を表 3-4 に示す。

表 3-4 実施計画書と成果の比較一覧

実施計画書記載内容 (表中番号は、実施計画書の章番号)	実施内容
1.普及開始時の水素ステーションシステムの基本仕様の導出【JPEC】	<p>①検討前提仕様の設定            FCV 普及初期、本格普及期など、時期毎の区分、FCV 普及台数、ステーション面積、設置場所(立地条件)、水素供給量(圧縮機容量、蓄圧器容量等)等、水素ステーション規模に関する要因を整理した。</p> <p>②普及開始時の基本仕様の導出            300L×3バンク差圧充填型水素ステーションのプロセスフローを策定した。</p>
2.システム技術課題の整理検討	
2-1 イニシャルコスト低減に関する検討【JPEC】	<p>①コスト低減検討基準値の設定            平成 20 年度時点の既設水素ステーションの機器構成に関する資料を収集し、その結果をもとにコスト積算を行い、300L×3バンク差圧充填型水素ステーションコストは 5.98 億円であるという結果を得た。</p>

	<p>②差圧充填型水素ステーション図面整備 コスト低減検討の基礎となる資料として、300L×3バンク、450L×2バンク差圧充填型水素ステーションのPFD図、機器リスト、P&amp;ID、PLOT図を整備した。</p> <p>③低コスト型水素ステーション概略仕様検討 差圧充填型水素ステーションの蓄圧器機器費の低減を目的とし、「直充填2段型水素ステーション」のプロセスフローを策定し、コスト低減効果を検証した。</p> <p>④水素ステーションの動的解析 「300L×3バンク差圧充填型」「直充填2段型」水素ステーションにおける水素充填状態を動的解析モデルによって検証した。</p>
<p>2-2 ランニングコスト低減に関する検討【東邦瓦斯】</p>	<p>①水素ステーションの設計段階において、70MPa級水素ステーションの運用上、日常点検の対象となる要素機器を整理した。</p> <p>②日常点検や定期点検時の検証・評価項目を整理し、ステーションシステム構築後から日常点検を開始した。</p> <p>③システムの運転試験を実施する中で、メンテナンス上の課題および構成要素機器の機能上の課題を抽出し、関連機器メーカー及びプロジェクトメンバーに提示することで、メンテナンスコスト低減に関する技術開発を推進すると共にその成果を評価した。</p> <p>④蓄圧器、プレクール設備、圧縮機からの直接充填、充填制御方法についてシステム運転を通じて問題点の把握・整理を行い、プロジェクトメンバーおよび関連機器メーカーによるシステムの効率化につながる検討を推進した。</p> <p>⑤圧縮機の消耗品交換の考え方について、試験結果をもとに推定した普及初期の稼働率における消耗品の消耗度合いを、年1回の圧縮機点検において消耗品を取外し検査することで適正さを検証し、各消耗品の交換時期を設定した。</p>
<p>2-3 耐久性向上に関する検討【東邦瓦斯】</p>	<p>①「地域水素供給インフラ技術・社会実証」(2011年～2015年)に向けた水素ステーションシステムの1年間ノーメンテナンスのための技術開発課題について、耐久性検証の対象、試験項目及び試験方法を整理した。</p> <p>②70MPaFCVへの実充填と鋼製容器等への充填試験により、耐久性を評価・検証した。</p> <p>③試験充填容器などへの繰り返し充填試験により、普及期前の1年分に相当する充填試験(270回/セット)を1セット、普及初期の1年分に相当する充填試験(945回/セット)を2セット実施した。高圧設備点検及び日常点検等により、システムの健全性をモニターし、普及期前及び普及初期における1年間ノーメンテナンスが実現可能であることを確認した。</p>

	④プレクール熱交換器での圧力損失上昇、緊急離脱カップリングの低温状態での O-リング部の耐性不足、充填ホースのゴム材料の耐性不足等、発生した不具合や技術的課題については、プロジェクトメンバーへ情報提供し、技術開発課題を設定し、開発成果について評価した。
3 水素ステーションのシステム構成機器に関する試作・検証・評価	
3-1 圧縮機の単体予備試験【東邦瓦斯、JPEC】	①圧縮機単体での耐久試験の結果、実測の圧力・温度は設計圧力、設計温度以内であり、問題ないことを確認した。また、耐久試験後の開放点検により全ての部品の耐久性を確認した。本結果から、システム試験に活用することとした。 ②移設後の圧縮機について、1年間ノーメンテナンスの対象とすべき点検部位、点検方法、点検サイクル等の点検内容を、石油エネルギー技術センターと共に、圧縮機メーカーからの情報収集等に基づいて明らかにした。
3-2 ディスペンサーに関する試作・検証・評価	
3-2-1 ディスペンサー構成機器の耐久性事前評価【トキコテクノ】	検証用ディスペンサーを試作し、トキコテクノ事業所内 70MPa 級水素ガス用充てん試験設備を用いて高圧水素ガスによる事前評価試験を実施した。
3-2-2 ディスペンサー等故障予知技術の検討【日立 AMS、トキコテクノ】	①ガス中異物のサンプリング方法選定 予備試験よりフィルタで異物が捕捉され、評価法として可能性があることが判った。フィルタは流体特性(圧力損失)やフィルタ交換時の作業性から、カップタイプを選定した。ディスペンサー入口部および出口部にフィルタを設け、比較することにより、ディスペンサー内部からの異物の発生状況も把握できるものとした。 ②異物分析手法の確立 フィルタで捕捉された異物を、(1)光学的観察(顕微鏡)、(2)走査型電子顕微鏡(SEM)観察により形状を把握、(3)エネルギー分散型X線分光法(EDS)により元素を分析した。油分(有機化合物)や樹脂については、(4)赤外線分光分析(FT-IR)により材料組成を同定した。 ③物理的、機械的評価機器による故障診断の可能性検討 アコースティックエミッション装置によるバルブ微小漏れ検知の下限を測定し、920cc/min を得た。
3-2-3 水素充填制御技術の検討	
3-2-3-1 充填制御シーケンスの製作と予備試験【トキコテクノ】	充てん開始前の車両容器圧力と外気温とに対応して、設定した圧力上昇率を選択しディスペンサー側で圧力等を監視しながら充てんを行う制御を開発した。
3-2-4 ディスペンサーのコスト低減検討	
3-2-4-1 ディスペンサー構成機器についての検討【トキコテクノ】	自社開発品、他社開発品について量産効果を見込んだ分析を実施してコスト低減策を抽出、目標である 50%コスト低減の見通しを得た。

<p>3-2-4-2 ディスペンサー構成機器・配管材料についての検討【日立 AMS、トキコテクノ】</p>	<p>①コスト低減材料の検討 他研究機関による材料への高圧水素ガス暴露の影響評価や、合金開発についての研究動向を調査し、SUS316L 材に対し有利な材料の選定を行った。</p>
	<p>②水素環境脆化に対する影響検証・評価 予備試験として、配管材料の水素暴露試験を行った。さらに実証ディスペンサーに試験体(ダミー配管)を併設し、検証試験を行った。水素暴露後も、水素浸入量や機械特性に変化は見られなかった。</p>
	<p>③加工性の検証・評価 配管曲げ加工による加工誘起マルテンサイトの増加が見られないことを確認した。加工性(旋削、穿孔)において、SUS316L 材と比較して、同等以上の加工性、ドリル寿命を確認した。</p>
<p>3-3 プレクール設備に関する製作・検証・評価</p>	
<p>3-3-1 プレクール設備の開発・事前検証【大陽日酸】</p>	<p>①初期改良型プレクール設備の設計を完了した。</p>
	<p>②初期改良型プレクール設備の製作・単体試運転を実施し、設計時の要求仕様を満足していることを確認した。</p>
	<p>③プレクール設備の健全性評価方法の検討し、高圧配管に継手を使用しない構造にすることを前提に、1 年毎に定期自主検査 (KHKS 0850) を実施することが、適正であると判断した。</p>
	<p>④次期プレクール設備の製作及び試運転を完了した。そして、初期改良型プレクール装置に対し、3.6 百万円のコストダウンを達成した。また、フットプリントの縮小(1/4)によるディスペンサーとの一体化を可能とすると共に、シェル内部の高圧配管に継手を全く使用しない構造とし、水素漏洩リスクのミニマム化を実現した。</p>
	<p>⑤初期改良型プレクール熱交換器の高圧配管材料の安全性確認を目的に水素先端科学基礎研究事業として、その事業の受託先である九州大学に、評価用サンプルとして、高圧配管材料を提供した。</p>
<p>3-4 ディスペンサーホースに関する試作・検証・評価</p>	
<p>3-4-1 充填ホースの単体耐久性評価・検証【横浜ゴム】</p>	<p>①充填ホースの耐久性評価方法の検討 ステーションシステムへのプレクール設備導入に対する充填ホースの耐久性評価のため、低温水素を用いる試験仕様の検討を行い、より実用に近い条件を実現すべく、試験設備の高圧化および低温水素を供給可能とする改造を実施した。</p>
	<p>②充填ホースの低温耐久性評価 低温水素耐久性および低温屈曲耐久性について評価を実施し、加圧および屈曲回数 2,200 回(ステーション耐久性評価での目標値)以上の耐久性</p>

	<p>を有していることを確認した。</p>
	<p>③高圧水素による材料への影響評価 ホース使用材料について、内面層および補強層材料の高圧水素環境での暴露試験を行い、材料物性の変化やブリスタ発生のないことを確認した。</p>
	<p>④ステーション充填試験にて発生したホース内面層き裂に関する調査・検証 ・各種再現試験を実施し、ホース内面に傷が生じた場合のみ加圧の繰返しにより内面層の亀裂が進展し貫通に至ることが判明した。 ・ステーション充填試験時の配管内に微小な金属片や氷結水分の混入が確認されており、「配管内異物による外的な要因」がき裂発生の原因と推測した。</p>
	<p>⑤ホース内面き裂に対する対策(改良型)検討・評価 ・外的要因によるホース内面への傷防止のため、ホース最内面に「傷に強い材料(フッ素樹脂)」を積層する仕様へ改良を行った。 ・改良型ホースについて傷進展の再現試験を実施し、傷に対する積層の抑制効果を確認した。</p>
	<p>⑥ホース仕様最適化(水素透過量の低減)の検討 ・内面層材料および構成に関する基礎検討成果(連携事業※の成果)を活用したホース仕様の検討およびホース試作・性能評価を実施した。 ・ホース単体での水素耐久性評価にて層間の水素溜まりやはく離が確認されたため、層間接着力や材料物性の改善の検討を行い、最適化仕様の確立へつなげる。 ※「水素先端科学基礎研究／水素に対して耐久性に優れた適用材料の研究開発(実施者:日本合成化学工業株式会社)」</p>
<p>3-4-2 充填ホースおよび継手金具の低コスト化検討【横浜ゴム】</p>	<p>①ホースおよび継手金具のコスト構成分析ホースアセンブリの構成部品について材料・加工・組立等のコスト構成比率の分析を実施した。また、他社高圧ホースに関する情報収集を行い、コスト低減目標値の設定を行った。</p> <p>②コスト低減策の検討と効果確認 ・材質、構成、サイズ等の仕様検討により、金具の材質・形状変更およびホースの構成材料・構造変更により、約 20%のコスト低減策を明らかにした。 ・また、コスト低減実現のために必要な技術課題(規制緩和等)を明確にした。</p> <p>③改良型充填ホースのコスト再検証 改良型ホースについて、上記コスト低減策の有効性について確認を行い、同様のコスト低減の見込みを得た。</p>

4 総合的なシステム構築・検証・評価	
4-1 70MPa 級水素ステーションシステムの構築【東邦瓦斯】	<p>①システム仕様検討を基に、70MPa 級水素ステーションシステムの設計・設置を完了した。</p> <p>②蓄圧器の最適設計、プレクール設備の最適設計、圧縮機からの直接充填、充填制御方法の最適化等の項目についてシステム運転を通じて問題点の把握・整理を行い、その結果をもとに、プロジェクトメンバーおよび関連機器メーカーによるシステムの効率化につながる検討を推進した。</p>
4-2 圧縮機に関する検証・評価【東邦瓦斯、JPEC】	<p>①定期点検・日常点検及び運転時において、圧縮機の健全性をモニターし、普及期前及び普及初期における1年間ノーメンテナンスが実現可能であることを確認した。</p> <p>②圧縮機の運用中に発生した技術課題については、石油エネルギー技術センター等を通じて開発者へのフィードバック提言を行った。</p>
4-3 ディスペンサーに関する試作・検証・評価	
4-3-1 ディスペンサー装着状態での構成機器の耐久性検証・評価【トキコテクノ】	<p>①低温状態でのOリング部の耐性不足という課題を抽出した緊急離脱カップリングについては、「水素先端科学基礎研究」にてOリングの開発を実施している九州大学の材料研究チームと連携し、低温で耐ブリスタ特性を有する材料を開発し、極低温(-30℃)下でのOリングのシール性確保について目処を立てた。</p> <p>②開発したOリングを組み込んだ緊急離脱カップリングを用いて、実証試験において検証を実施した。</p>
4-3-2 ディスペンサー等故障予知技術の確立【日立 AMS、トキコテクノ】	<p>①フィルタ水素不純物分析による故障予知技術の有効性検証 これまでに3回のフィルタ分析を行い、フッ素系樹脂やオーステナイト系ステンレスを確認した。この他入口部フィルタで、2010年(6ヶ月)には設置時に混入したと思われる珪酸類が見られた。2011年(1.5年)には鉄腐食生成物やガラスファイバーが異物として捕捉され、圧縮機潤滑油オーバーフローによる圧縮機ロッドパッキン、ピストンリングの破片と推測された。2012年(2.5年)は、点検時に混入したと思われる化学繊維が見られた。</p> <p>②バルブの故障事象と水素中不純物との関係を明示 バルブ故障時の現象把握試験装置を用い、バルブ動作試験を実施した。バルブ出入口に設置したフィルタで不純物を捕捉し、定期的に分析・評価した。初期(0~5万回)では比較的大きな水素中不純物が捕獲され、20万回以降では回数に応じた小さな異物が捕獲された。これらのことから、定期点検時のフィルタを分析し、そのデータを蓄積することで、不純物による故障予測が可能となる見通しを得た。</p>
4-3-3 水素充填制御技術の検証・評価	
4-3-3-1 充填制御のフィールド運用試験【トキコテクノ】	<p>充てん開始前の車両容器圧力と外気温とに対応して、設定した圧力上昇率を選択しディスペンサー側で圧力等を監視しながら充てんを行う制御を開発した。</p>

<p>4-3-3-2 最適充填制御に向けた検討【トキコテクノ】</p>	<p>①車両非通信での制御方式について、充填プロトコルに対応する充填制御シーケンスの設計、及びソフトウェアの改良を実施、実証試験における検証を実施した。</p> <p>②車両通信用モジュールをシステムに組み込み、車両通信を用いた充填実証試験を実施した。</p>
<p>4-4 プレクール設備に関する試作・検証・評価</p>	
<p>4-4-1 プレクール設備の開発・耐久性検証【大陽日酸】</p>	<p>①初期改良型プレクール設備を試験フィールドである東邦瓦斯技術研究所に設置し、試運転を完了した。そして、設計時の要求仕様を満足することを実証した。</p> <p>②初期改良型プレクール設備を稼働させた状態で、水素充填試験を実施し、その試験時の各種データを蓄積した。</p> <p>③次期プレクール設備を試験フィールドである東邦瓦斯技術研究所に設置し、試運転を完了した。そして、設計時の要求仕様を満足することを実証した。</p> <p>④次期プレクール設備を稼働させた状態で、水素充填試験を実施し、その試験時の各種データを蓄積を継続中。</p>
<p>4-4-2 次期プレクール設備の仕様検討【大陽日酸、東邦瓦斯】</p>	<p>①次期プレクール設備の仕様検討するために必要な測定項目を決定し、初期改良型プレクール設備の稼働時に、測定可能とした。</p> <p>②初期改良型プレクール設備を稼働させた状態で、水素充填試験を実施し、その試験時の各種データを収集した。そして、年間を通じて、初期改良型プレクール装置出口の水素温度が「常時-20℃以下維持」を満足することを実証（日本初）した。</p> <p>③次期プレクール設備を稼働させた状態で、水素充填試験を実施し、その試験時の各種データを収集を継続中。そして、1年間の中で最も過酷な条件となる夏季(平成24年度8月)に、次期プレクール装置出口の水素温度が「常時-20℃以下維持」を満足することを確認した。</p> <p>④初期改良型プレクール設備を用いた各種データの検討等を実施し、年間を通じた性能目標である「常時-20℃以下維持」を満足させる次期プレクール装置の仕様を検討し、設計を完了した。</p> <p>⑤次期プレクールの仕様検討において、水素ステーション運用者としての要望(経済性・使い勝手・メンテナンス性等)を整理した。</p> <p>⑥次期プレクールを水素ステーションシステムへ設置後、冷却能力等について評価した。</p>
<p>4-4-3 普及型プレクール設備の仕様検討【大陽日酸】</p>	<p>①次期プレクール設備水素充填データの収集を継続中。</p> <p>②普及期のプレクール設備の仕様検討を行い、次期プレクール装置と同一の、シェルアンドチューブ方式が優位であると判断した。また、冷凍機はコストダウンを目的に市販品の採用を前提とするのが良好であると判断した。</p>

<p>4-4-4 水素充填のためのシミュレーションソフト開発【佐賀大学】</p>	<p>①水素充填タンク温度解析プログラム開発          充填水素ガスを規定の温度(85℃)以下で充填するための条件(充填流量、充填水素ガス温度等)を推定できるシミュレーションプログラム(以下、水素充填タンク温度解析プログラムと記す)を開発した。</p> <p>②プレクール設備解析プログラム開発          必要な冷却性能を得るためのプレクール設備の詳細仕様を導出し、設備設計に反映するためのシミュレーションプログラム(以下、プレクール設備解析プログラムと記す)を開発した。          本プログラムの解析精度検証を東邦瓦斯に設置されているプレクール設備の充填試験結果との照合によって行った。解析精度検証の結果、本プログラム解析結果は、実際のプレクール設備の充填試験結果と精度良く一致していることを確認した。</p>
<p>4-5 圧縮機からの直接充填技術に関する研究</p>	
<p>4-5-1 直充填システムの構築【東邦瓦斯】</p>	<p>直接充填用制御内容をシーケンス化して、制御ソフトとして全体制御盤へ直接充填制御機能を組み込み、充填試験を実施した。充填試験は四季を通じて行い、夏場においても水素冷却温度-20℃以下、圧力脈動なし、タンク内温度管理値(85℃)以下で充填可能であることを確認した。制御性等に関する課題に対して改良開発を実施し、その効果を検証した。</p>
<p>4-5-2 直接充填向けディスペンサー充填制御の検証・評価【トキコテクノ】</p>	<p>①圧縮機単独運転の直接充填制御、及び蓄圧器と連動した直接充填制御等の上位システムとの連動運転について検証試験を実施し、課題を抽出した。</p> <p>②抽出した課題について充填制御シーケンスを設計、及びソフトウェアの改良を実施し、実証試験において検証を実施した。</p>
<p>4-5-3 直接充填向けプレクール設備の評価【大陽日酸】</p>	<p>①直充填時のプレクール設備の運用方法を検討し、差圧充填対応のプレクール設備の流用することが良好であると判断した。また、直充填時のプレクール設備管理において必要な計測点も差圧充填対応のプレクール設備と同一であることが良好だであると判断した。</p> <p>②直充填時のプレクール設備の運転上の課題及び技術的な問題点に関する検討を行い、差圧充填対応のプレクール設備と同仕様とすることで、安全に水素冷却が可能であるとの結論に至った。</p> <p>③直充填専用のプレクール設備への要件の整理を行い、差圧充填対応のプレクール設備と同一の仕様とすることが良好であると判断した。</p>
<p>4-6 ディスペンサーホースに関する耐久性評価・検証</p>	

<p>4-6-1 充填ホースのステーションにおける耐久性評価・検証【横浜ゴム】</p>	<p>①充填ホースのステーション耐久性検証</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ホース単体耐久性評価結果を踏まえ、ステーションでの耐久性評価を実施した。</li> <li>・充填回数 165 回でホース内面層き裂によるガス漏れが発生し、ホースの耐性不足が実用上の課題として明らかとなった。</li> <li>・発生原因の調査および対策検討を行い、改善策を改良型ホース仕様へ反映した。</li> </ul> <p>②改良型充填ホースのステーション耐久性評価</p> <p>充填回数約 150 回を実施し問題のないことを確認した。10 月末までで 270 回までの耐久性確認を見込んでおり、継続し、耐久性評価を実施する。</p>
<p>4-7 バルブ、弁、配管等に関する検証・評価【東邦瓦斯、JPEC】</p>	<p>①検証・評価対象機器及び日常点検や定期点検時の検証・評価項目を整理した。</p> <p>②東邦瓦斯水素ステーションにおける繰返し充填試験で明らかになった技術課題を、開発者にフィードバックし、耐久性向上開発に反映させた。</p> <p>③日常点検および高圧設備点検によりデータを蓄積し、普及期前及び普及初期の 1 年間ノーメンテナンスが実現可能であることを確認した。</p>
<p>4-8 蓄圧器に関する検証・評価【東邦瓦斯、JPEC】</p>	<p>①蓄圧器について、日常点検や定期点検時の検証・評価項目を整理し、システム構築後から日常点検を実施した。日常点検および高圧設備点検によりデータを蓄積し、普及期前及び普及初期の 1 年間ノーメンテナンスが実現可能であることを確認した。</p> <p>②要素技術開発事業にて別途開発予定の SA723 材蓄圧器を水素ステーションシステムに組み込み、繰返し充填試験を実施し、日常点検により健全性を確認した。</p> <p>③鋼製蓄圧器の最適材料選定のために、サーベイランス試験スケジュールおよび鋼材における水素の影響を確認する試験内容を社会構築事業と連携して実施した。</p>
<p>5 総合評価・まとめ【JPEC】</p>	<p>①水素ステーション関連 WG によるコスト低減検討</p> <p>技術開発成果ならびに要素技術開発にて検討した機器スキッド化等による機器設置工事費低コスト化検討を行い、水素ステーション全体コストを 2.55 億円まで低減できる見込みを得た。</p> <p>②圧縮機併用差圧充填型水素ステーションの検討</p> <p>水素ステーション関連 WG 検討結果である、水素ステーションコスト(2.55 億円)をさらに低減するために、「圧縮機併用型差圧充填方式」水素ステーション設備仕様を検討した(要素技術開発と連携)。検討に際しては、動的解析技術等を活用した。</p> <p>③機器パッケージ化によるコスト低減検討</p> <p>水素ステーション建設コスト低減のうち、現地工事費の低減を目的として、要素技術開発で検討した「機器スキッド化」を更に発展させた「機器パッケージ化」を立案した。</p>

	<p>④標準設計資料の整備による設計費の低減効果検討 低コスト型水素ステーションの標準設計資料として「圧縮機併用型差圧充填方式(300L×2バンク)」のPFD図、P&amp;ID図、PLOT図、機器リスト等をまとめた。本標準化により、水素ステーション建設コストのうちの、設計費の低減を行った。</p>
	<p>⑤水素ステーションコスト低減検討 上記の検討結果の効果を積算し、水素ステーション全体のコストが2億円となる見通しを得た。</p>
	<p>⑥普及に向けた開発成果・技術課題の展開および検討 「水素ステーション開発・実証連携会議」を開催し、システム技術開発、要素技術開発の成果の活用・普及を推進した。また、技術開発に関する個別の課題等については、「水素ステーション連絡会」等の会議を開催し、技術課題の検討を行った。</p>

### 3.6 年度毎の特許、論文、外部発表等の件数

特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※出願	査読付き	その他	
H20FY	0件	0件	0件	0件	0件	1件
H21FY	0件	0件	0件	0件	0件	8件
H22FY	1件	0件	0件	2件	0件	9件
H23FY	0件	0件	0件	1件	0件	7件
H24FY	0件	0件	0件	1件	0件	4件

## 4. まとめ

### (1) 標準仕様検討

- ・「圧縮機併用差圧充填」と「機器パッケージ化等の現地工事低減策」を採用した水素ステーションにおいて、建設費が2億円以下の見通しを得た。
- ・建設費2億円以下となった水素ステーション設備を標準仕様として確立し、設計資料をまとめた。

### (2) 運転技術開発

70MPa級水素ステーションを建設し、普及前ならびに普及初期の1年相当の充填回数(270回、945回)の繰返し充填試験を達成した。この試験で構成機器の耐久性が確認でき、併せて今後の技術課題を明らかにした。

### (3) ディスペンサー機器開発

- ・ディスペンサーの主要構成機器(流量計、バルブ類)において、普及初期の1年相当の充填回数に対する耐久性を有していることを確認した。
- ・実ステーションの繰返し充填試験で技術課題の明らかになった緊急離脱カプラ、充填ホースにつ

いては、改良品を開発し、普及前の1年相当の充填回数（270回）の耐久性を確認した。

- ・ディスペンサーにフィルタを設置することで、捕捉異物の分析による異物発生（不具合）箇所の推定と、フィルタの定期調査による故障の予測が可能である見込みを得た。

#### (4) プレクール設備開発

- ・プレクール設備熱交換器（熱交出口温度-20℃）の小型化と低コスト化、設備信頼性向上を行い、実ステーションにおいて普及前の1年相当の充填回数（270回）の耐久性を確認した。
- ・水素ステーション設計や運転解析に活用できるシミュレーション技術として、充填タンク解析プログラム、プレクール設備解析プログラムを開発した。

#### 5. 実用化・事業化見通し

- ・ディスペンサーは、今後の水素ステーション整備において、開発品の採用が計画されている。
- ・充填ホースは、更なる最適仕様検討（充填ホース材料、構造等）を進め、商品化を検討している。
- ・プレクール設備は、平成25年度の市場導入が可能となった。
- ・充填タンク解析プログラムならびにプレクール設備解析プログラムは、プレクール設備設計ならびに水素ステーション全体の充填解析プログラム開発に応用されている。

# (I-1) 70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発／基準検討

委託先: 国立大学法人 東京大学／一般財団法人石油エネルギー技術センター(JPEC)

## ●進捗成果サマリ(平成22年度～平成24年度11月)

- ・水素ステーション用鋼種拡大のため、水素中での材料評価試験を行い、SUS316系鋼材の評価方法・使用基準を決定し、例示基準の整備に資する資料を作成した。
- ・圧縮水素運送自動車用容器の例示基準JIGA-T-S/12/04に代わる、最高充填圧力45MPaに対応したJPEC技術基準案の整備に資する資料を作成した。
- ・水素ステーション用複合容器製蓄圧器に関する小型・中型複合容器試験を実施し、特認申請のガイドラインとなる技術基準案の整備に資する資料を作成した。
- ・KHKS0220の水素適用方法を検討し、水素用圧力設備の設計係数変更に係わる特認申請のガイドラインとなる技術基準案の整備に資する資料を作成した。

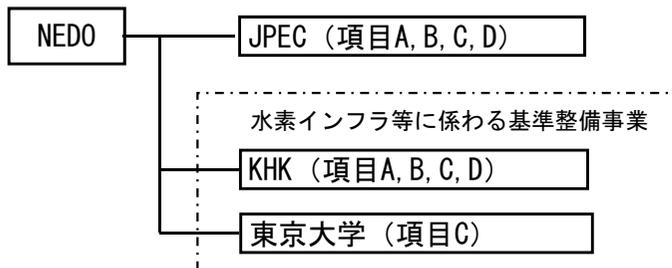
## ●背景/研究内容・目的

70MPa級水素ステーションを構成する配管、バルブなど各部品を製造する前提となる高圧水素ガス設備に使用可能な金属材料の鋼種拡大、高圧水素ガスの輸送・貯蔵を目的とした複合容器(CFRP)に係る技術基準の整備を見据えた調査及び試験に加え、水素ステーションに用いる圧力設備のより合理的な設計を可能とすべく、圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用に関する検討を行うことにより、全体として高効率で可能な限りのコスト抑制・高耐久性の水素ステーションの実現に資する研究開発を行う。

## ●研究目標

実施項目	最終目標(H24年度)
A.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	新規使用可能材料の選定と例示基準の整備に資する資料の作成
B.圧縮水素運送自動車用複合容器に係る基準整備に関する研究開発	高圧化(45MPa)に対応した複合容器基準案に資する資料の作成
C.水素ステーション用複合容器に係る基準整備に関する研究開発	水素ステーション用複合容器の特認取得基準に資する資料の作成
D.圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用に関する研究開発	水素用圧力設備の設計係数変更に係るKHK特認ガイドラインに資する資料の作成

## ●実施体制及び分担等



## ●これまでの実施内容／研究成果

- A ・鋼種拡大候補として、SUS316 (Ni>12%)、同冷間加工品 (CW=20%,40%)、SUH660、A6061の鋼種を選定し、Hydrogeniusと連携し、使用条件に応じた材料評価試験を実施した。  
 ・KHKから提案されたSUS316系の使用基準案等をベースに、例示基準の整備に資する資料を作成するとともに、これまで十分な評価がなされていない高温領域での追加水素試験を開始した。
- B ・圧縮水素運送自動車用容器の最適最高充填圧力の検討を行い、45MPaと決定した。  
 ・KHKの助言を得ながら、JIGA-T-S/12/04をベースとして、45MPaに対応した圧縮水素運送自動車用複合容器のJPEC技術基準案の整備に資する資料を作成した。
- C ・東京大学と連携し、試験用小型・中型複合容器を設計・製作を行い、複合容器試験を実施するとともに、試験結果から複合容器技術基準検討に活用する技術データを取得した。  
 ・KHKの助言を得ながら、ASME Sec. X Appendix 8をベースとして、水素ステーション用複合容器の特認取得基準に資する資料を作成した。
- D ・超高压ガス設備に関する基準(KHKS0220)の水素適用について、KHKの検討内容に基づき、水素ステーションでの使用を想定した特認取得のガイドライン案を検討した。  
 ・他NEDO事業での水素ステーション建設に特認取得ガイドライン案を適用し、設計係数変更に係る特認取得ガイドラインに資する資料として整備した。

## ●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A.	・新規使用可能鋼材の評価実施 ・例示基準の整備に資する資料作成	◎ ◎
B.	最高充填圧力45MPaの圧縮水素運送自動車用容器技術基準案の作成	◎
C.	・小型複合容器評価試験の実施と寿命予測線図の検討 ・水素ステーション用複合容器の特認取得基準に資する資料の作成	◎ ○
D.	・KHKS0220の水素適用方法を確立 ・特認ガイドラインに資する資料作成	○ ○

## ●実用化・事業化の見通し

- ・鋼種拡大については、既に本事業の成果に基づいた、材料選定が行なわれている。
- ・圧縮水素運送自動車用容器については、最高充填圧力45MPaの容器の試作計画が進んでいる。
- ・水素ステーション用複合容器については、既に特認取得実績が得られ、更なる特認申請が予定されている。
- ・設計係数見直しについては、今後の水素ステーション整備に合わせ具体的な計画を検討している。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	6	0

# 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発 水素インフラの技術基準に関する検討

実施者：（一財）石油エネルギー技術センター（JPEC）

## 1. 事業概要

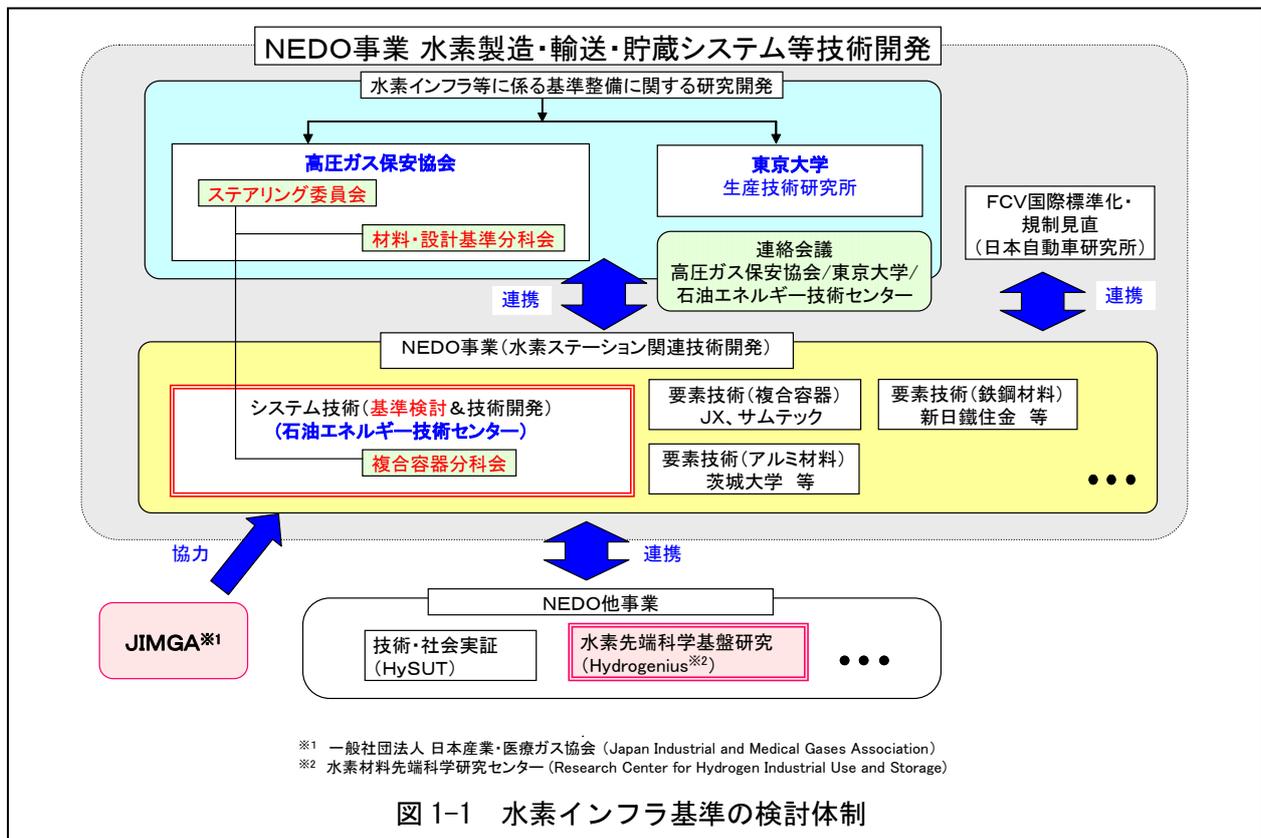
燃料電池自動車・水素ステーションの 2015 年における一般ユーザーへの普及開始に際し、水素ステーション、水素貯蔵及び水素輸送に係わる水素インフラ整備が必要不可欠である。

中でも先行実証研究にて抽出された水素インフラに関する規制見直しはインフラ整備の核となる重要課題であり、水素ステーションに関連するコストに重大な影響を与える以下の 4 項目の技術基準については、水素インフラ関連業界からも最重要課題として高いニーズが掲げられている。

このような背景から本検討では、図 1-1 に示す高圧ガス保安協会（KHK）、東京大学と共同した検討体制で、表 1-1 の研究開発を実施した。併せて水素ステーションの規制基準全般の調査検討を行った。

表 1-1 研究開発項目

	研究開発項目	担当
1.	水素ステーション用金属材料の鋼種拡大	JPEC、KHK
2.	水素輸送用複合容器に係る基準整備	JPEC、KHK
3.	水素ステーション用複合容器に係る基準整備	JPEC、KHK、東京大学
4.	圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用	JPEC、KHK



\*1 一般社団法人 日本産業・医療ガス協会（Japan Industrial and Medical Gases Association）  
\*2 水素材料先端科学基盤研究センター（Research Center for Hydrogen Industrial Use and Storage）

## 2. 事業目標

### 2.1 水素ステーション用金属材料の鋼種拡大

水素ステーションでの使用を目的とした配管、バルブ用材質として耐食性ステンレス鋼 (SUS316L) は、高圧水素雰囲気下で劣化を起こしにくいことが知られており、35MPa 水素ステーションで使用可能な鋼材として認められていたが、より高圧の 70MPa 水素ステーションで使用するのは、材料強度が不足し、SUS316L では水素ステーションとしての必要性能を満足できないことが判明した。そのため、SUS316L に代わる高圧水素環境下で使用可能な耐水素劣化特性を有する強度の高い材料を見出すための検討を行い、水素ステーション用金属材料の鋼種拡大を実現する技術基準に資する資料を作成する。

### 2.2 水素輸送用複合容器に係る基準整備

水素輸送用のCFRP製複合容器に関して、より高圧化し輸送効率を向上させるために、現行の35MPa以上の高圧化に対応した容器の技術基準に関する検討を行い、新たな輸送用複合容器の技術基準に資する資料を作成する。

### 2.3 水素ステーション用複合容器に係る基準整備

CFRP製複合容器については、軽量化が可能なこと、またコスト低減が見込まれることから、水素ステーションで使用する蓄圧器として活用することが強く望まれている。しかし、蓄圧器としての利用に対しては、これまで実績がなく、省令・例示基準等を含めた技術基準類の整備がなされていない。そこで、複合容器を水素ステーション用蓄圧器として使用するために必要となる技術基準に関する検討を行い、特認取得のためのガイドラインに資する資料を作成する。

### 2.4 圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用

圧力設備の設計基準における設計係数に関して、海外の設計基準における設計係数との違いが問題となり、水素ステーション設備のコンパクト化やコスト低減の観点から、設計係数の低減を実現することが強く望まれている。そこで十分な安全レベルを確保しつつ、設計係数を既存の技術基準よりも小さくした技術基準の導入及びその水素への適用検討を行い、設計係数低減の特認取得のためのガイドラインに資する資料を作成する。

## 3. 事業成果

### 3.1 水素ステーション用金属材料の鋼種拡大

#### (1) 鋼種拡大候補材の選定と評価試験の実施

70MPa 水素ステーションを実用化するために必要な材料について、ステーション設置者、機器設備メーカー、水素材料評価機関等の産学関係者から幅広く情報収集を行った。その結果、水素の影響を受ける材料については、まだ水素の影響の定量的評価が体系化されていないことなどから、短期間の検討は不可能なことが判明し、70MPa 水素ステーションを実用化するために必要最低限の金属材料として、SUS316L と同等の水素の影響を受けにくい金属材料から候補を選定した。

表 3-1-1 鋼種拡大候補材

順位	鋼材名	用途
1	SUS316 (高 Ni>12%)	配管、バルブ類
2	同冷間加工材 (加工度 20%、40%)	配管、バルブ類
3	SUH660	流量計、ノズル、他
4	A6061	ステーション用複合容器ライナー材

これら材料評価については、120MPa 水素評価試験装置を所有している Hydrogenius と連携し、将来的な国際標準との整合性も視野に入れ、115MPa での高圧水素条件下で評価を実施することとし、水素の影響を受けにくい材料であることから、SSRT、疲労試験、疲労き裂進展試験の3種類の試験を実施した。

尚、材料評価と並行して実施した文献などの調査から、プレクール設備を使用する場合にガス温度として想定される-40℃前後の低温領域で、水素の影響を受けにくいとされている SUS316L においても水素の影響が見られることが判明したため、SSRT 試験については、低温 (-40℃)、常温 (室温)、高温 (85~120℃) の3点での測定を実施した。表 3-1-2 に材料評価試験スケジュールを示す。

表 3-1-2 材料評価試験スケジュール

	H22 年度	H23 年度		H24 年度	
		上期	下期	上期	下期
・ SUS316 (高 Ni>12%) 及び 冷間加工品 ・ SUH660 ・ A6061	試料準備	材料評価試験			
	試料準備			材料評価試験	
				試料準備	材料評価試験
材料評価試験は、Hydrogenius が実施					

(2) 本事業の成果

平成 23 年度に実施した、SUS316L (Ni > 12%) 及び同冷間加工品 (加工度 20% 及び 40%) の評価において、SSRT、疲労試験、疲労き裂進展試験の水素中での評価結果は、大気中との差がほとんどないことが確認された。また、温度の影響を確認するために実施した-40℃の低温領域での SSRT についても、顕著な水素脆化は確認されなかった。

平成 24 年度に実施の SUH660 についても、-40℃の低温から 85℃までの温度範囲において、水素による脆化傾向は確認されなかった。尚、A6061 については、現在評価を実施中である。

これらの結果から、KHK は、材料評価に関する以下の技術基準案を提案し、材料・設計基準分科会及びステアリング委員会で審議を行っている。

- ① SUS316L 等の水素の影響を受けにくい材料については、使用条件における SSRT 試験及び疲労試験の結果から材料選定を行うことができる。
- ② SSRT 試験では、引張試験またはミルシートの絞りに、設計圧力以上で水素と大気中 (または不活性ガス中) の絞りの比 (相対絞り値) を掛けた値が、材料規格に規定する規格値以上で合格とする。
- ③ 尚、SUS316 や SUS316L の場合、Ni 量のみで相対絞り値を整理することが困難であることから、オーステナイトの安定化度を示す指標である Ni 当量 (%) =  $12.6C + 0.35Si + 1.05Mn + 1.0Ni + 0.65Cr + 0.98Mo$  で整理を行う。

- ④ 疲労試験では、大気中における  $10^7$  回の疲労強度が、許容引張応力の 1.6 倍以上であるものを合格とする。

これらの技術基準案の材料・設計基準分科会及びステアリング委員会での審議を経た後、「水素ステーション用金属材料に係わる技術基準の整備に資する資料」として取りまとめる。

### 3.2 水素輸送用複合容器に係る基準整備

#### (1) 容器圧力に関する検討

水素輸送用のCFRP製複合容器に関しては、容器保安規則例示基準（JIGA-T-S/12/04）が既に制定されている。そこでは容器の最高充てん圧力が35MPaと規定されているが、燃料電池自動車の燃料水素圧力高圧化に伴い水素ステーションにおける水素供給量が増えることが予測され、輸送効率を向上させるために、水素輸送用容器をより高圧化した容器について検討を行った。

その結果、複合容器の最高充てん圧力については、以下の理由から45Maとした。

- ・最高充てん圧力35MPaのJIGA-T-S/12/04が既に存在し、材料の水素劣化特性およびガス透過率を考慮すれば最高充てん圧力45MPa技術基準への適用範囲拡大が可能となる。破裂試験、圧力サイクル試験等に関しても、車載用複合容器では70MPaが実現されていることから、最高充てん圧力45MPa、サイクル試験等の圧力（45MPa×1.25）試験データを整備することは技術的に可能である。
- ・輸送コスト試算で、最高充てん圧力45MPaが最も経済的である。
- ・DOT(米国運輸省)は最高充てん圧力45MPaでSpecial Permit（特認）を与えている。国際的な整合性という意味で45MPaが妥当と言える。
- ・水素充てん時の温度上昇は、到達圧力70MPaより45MPaの場合が低い。

#### (2) 最高充てん圧力（45MPa）の変更に伴う検討

水素輸送用のCFRP製複合容器の最高充てん圧力を35MPaから45MPaに変更することに伴い、現行基準（JIGA-T-S/12/04）において見直し検討が必要と思われるものについて項目の整理を実施した。

その結果、「① 最高充てん圧力が基準に直接影響する項目」が全29項目中13項目あり、「② 最高充てん圧力変更の影響を確認する必要がある項目」が5項目あることを確認した。

このうち、「① 最高充てん圧力が基準に直接影響する項目」については、容器検査、破裂試験、圧力サイクル試験など主に検査方法に関する項目であり、国内外の関連基準や検査機関を含めた関係者への確認を行い、現行の技術基準内容で問題ないことを確認した。

#### (3) その他の技術検討

「② 最高充てん圧力変更の影響を確認する必要がある項目」については、複合容器の技術開発状況に関する情報収集結果も参考にして検討を行い、その結果、最高充てん圧力の変更以外に、以下の3項目についても、検討を行った。

##### ア) ライナー材料の検討

ライナー材料についての鋼種拡大の要望があり、複合容器メーカーから見直しの意見が出されたが、水素の影響を受け易い低合金鋼などの材料については、その影響の度合いがまだ十分解明

されておらず、今回の検討期間で結論を出すことが困難と考えられた。

一方、現行基準（JIGA-T-S/12/04）でライナー材料として使用が認められている金属材料であるSUS316L、A6061-T6については、KHK S 0128（自動車用燃料容器最高充てん圧力70MPa）検討時に水素圧90MPaまでの材料評価が行われ、問題ないことが確認されている。

そのため、今回の見直しでは、SUS316L、A6061-T6については、容器材料の鋼種変更は必要なしとした。

#### イ) 内容積の検討

内容積については、複合容器メーカーから見直しの意見が出されたが、以下の検討を行い、今回は、現状と同じく360L以下とした。

- ・ 300L程度までの内容積の容器はタイプ3容器がCNG用のバス天井設置用として使用されているが、水素用としての生産実績はない。また、これ以上の大容量容器製作については具体的な計画がなく、評価用試験装置等のインフラも整備されていない。
- ・ 海外情報や国際基準の動向等の情報が十分でなく、まず大型容器に関する国内外の実態調査から行う必要がある。
- ・ 従って目的の早期実現のためには現行基準(JIGA-T-S/12/04)の内容積で十分であることを関係先と確認を行った。

#### ロ) ガス透過率の検討

ガス透過率については、日本自動車研究所(JARI)によるプラスチックライナーを使用するタイプ4容器のガス透過率の検討にて、ガス透過率が、HDPEをライナーに使用したタイプ4容器【35MPa時、15℃、20℃】でJIGA-T-S/12/04の合格基準値である2(cm<sup>3</sup>/hr・L)を超えるが、ポリアミドを使用した容器ではこの基準値を満足することが明らかになっている。

試験結果より、45MPaで、200L程度以上の大容量の容器を使用した場合、ガス透過率は合格基準値である2(cm<sup>3</sup>/hr・L)に入るものと推定されることより、合格基準値2(cm<sup>3</sup>/hr・L)で変更は必要なしとし、ライナー材の種類でガス透過率が異なるが、ライナー材種類の制約ではなくガス透過率として規定することとした。

#### (4) 技術基準の整備に資する資料

以上の検討をもとに、水素輸送用複合容器に係る技術基準の整備に資する資料を作成した。輸送用複合容器、及び輸送用複合容器積載(例)を図3-2-1に示す。

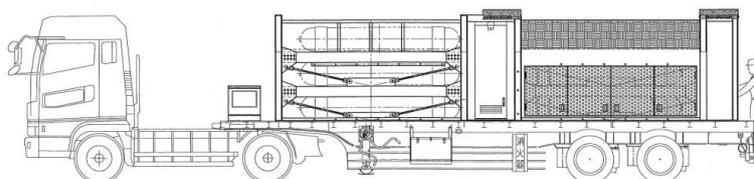


図 3-2-1 輸送用複合容器、及び輸送用複合容器積載(例)

### 3.3 水素ステーション用複合容器に係る基準整備

#### (1) 材料試験法、評価指標に関する検討

水素ステーションでCFRP製複合容器を蓄圧器として使用することを想定した場合のニーズ、使用条件、技術開発状況等に関する情報をユーザーやメーカー等の関連業界から幅広く調査、収集すると共に、小型複合容器の評価試験法の検討を行い、対象とする複合容器タイプ（タイプ2：荷重分担金属ライナー製円筒胴繊維強化圧力容器、タイプ3：荷重分担金属ライナー製円筒胴・ドーム部繊維強化圧力容器、タイプ4：非荷重分担ライナー製円筒胴・ドーム部繊維強化圧力容器）について検討した。

水素ステーション用CFRP製蓄圧器としての使用条件、技術開発状況等を取りまとめると共に、複合容器の評価基準に関する海外調査を行い、必要な情報提供を行った。

#### (2) 評価試験の実施

関連業界及び有識者の意見を参考に、評価試験を実施する対象としてタイプ3複合容器を選定した。評価試験計画の策定及び評価試験に供する試験用複合容器の設計については、連携する東京大学が主体となって実施した。JPECは上記(1)の材料試験法、評価指標に関する検討結果等及び水素ステーション用CFRP製蓄圧器としての使用条件、技術開発状況等を取り纏め、試験用複合容器の設計に必要な不可欠な情報の提供を行った。

(1)で得られた「材料試験法、評価指標」と「評価試験計画」及び「試験用複合容器の設計」の検討結果に基づき、小型複合容器評価用の供試体を製作し、外注により複合容器評価試験を実施した。

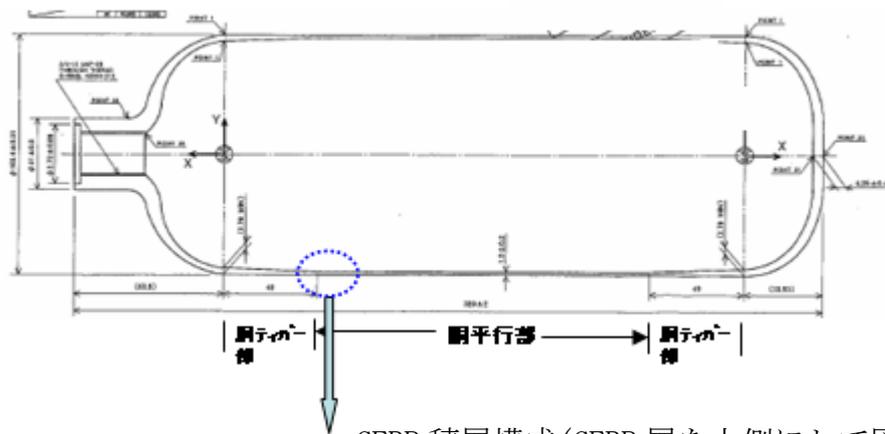
##### ①有限要素法解析に基づく試験用小型複合容器の設計と評価試験計画策定

有限要素法解析により、アルミ合金ライナーに発生する応力変動を明らかにし、試験用小型複合容器を設計した。小型複合容器の基本設計・製作仕様を表3-3-1、小型複合容器の外観とCFRP積層構成を図3-3-1に示す。ライナーの疲労強度評価に必要な寿命予測線図を作成するために有限要素法解析により、ライナーに発生する応力を正確に把握し、常温圧力サイクル試験の適切な自緊処理圧力と試験圧力範囲を探索し、評価試験計画を策定した。試験用小型複合容器は50本製作した。

表 3-3-1 小型複合容器の基本設計・製作仕様

項目	仕様
最高充填圧力	20 MPa
内容積	2 ℓ
ライナー材質	J I S A 6 0 6 1 - T 6
ライナー寸法（直径×長さ×胴平行部肉厚）	103×320×1.5 mm
最小破裂圧力	70 MPa
ライナー0.2%耐力： $\sigma_y$	286.81 MPa
ライナーヤング率	70,600 MPa
ライナーポアソン比： $\nu$	0.3
繊維材料	炭素繊維：TRH50, 12L FILAMENT
CFRP ヤング率（繊維方向）： $E_1$	142.79 GPa
CFRP ヤング率（繊維直行方向）： $E_2$	14.681 GPa
繊維直行方向の引張りに関するCFRPせん断弾性係数率： $G_{23}$	8.268 GPa

繊維厚み方向の引張りに関する CFRP せん断 弾性係数率 : $G_{31}$	14.014 GPa
CFRP ポアソン比 : $\nu_{21}$	0.029
CFRP ポアソン比 : $\nu_{31}$	0.029
CFRP ポアソン比 : $\nu_{32}$	0.379
繊維の体積含有率 : $V_f$	0.57
ワインディング方法	ウェットワインディング
積層構成	1層 : フープワインディング 約 1.0mm (胴平行部)
	2層 : ヘリカルワインディング 約 1.2mm (胴平行部)
	3層 : フープワインディング 約 0.9mm (胴平行部)



CFRP 積層構成 (CFRP 層を上側にして図示)

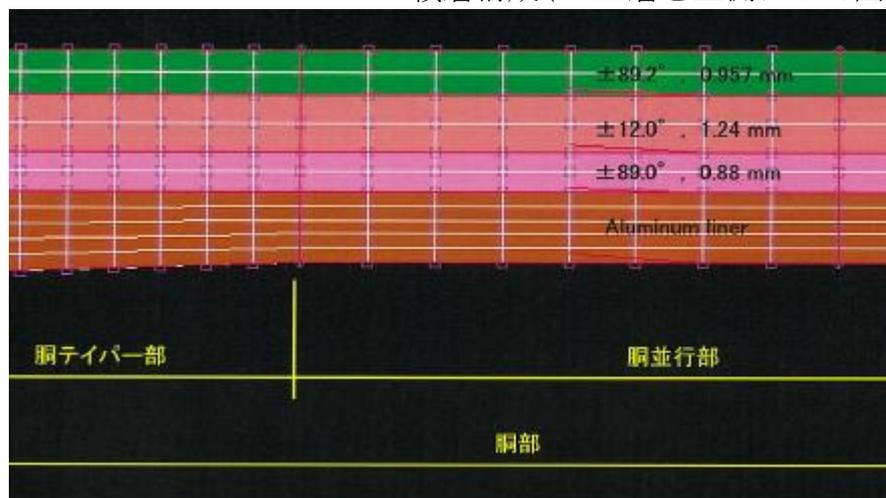


図3-3-1 小型複合容器の外観とCFRP積層構成

## ②小型複合容器の評価試験

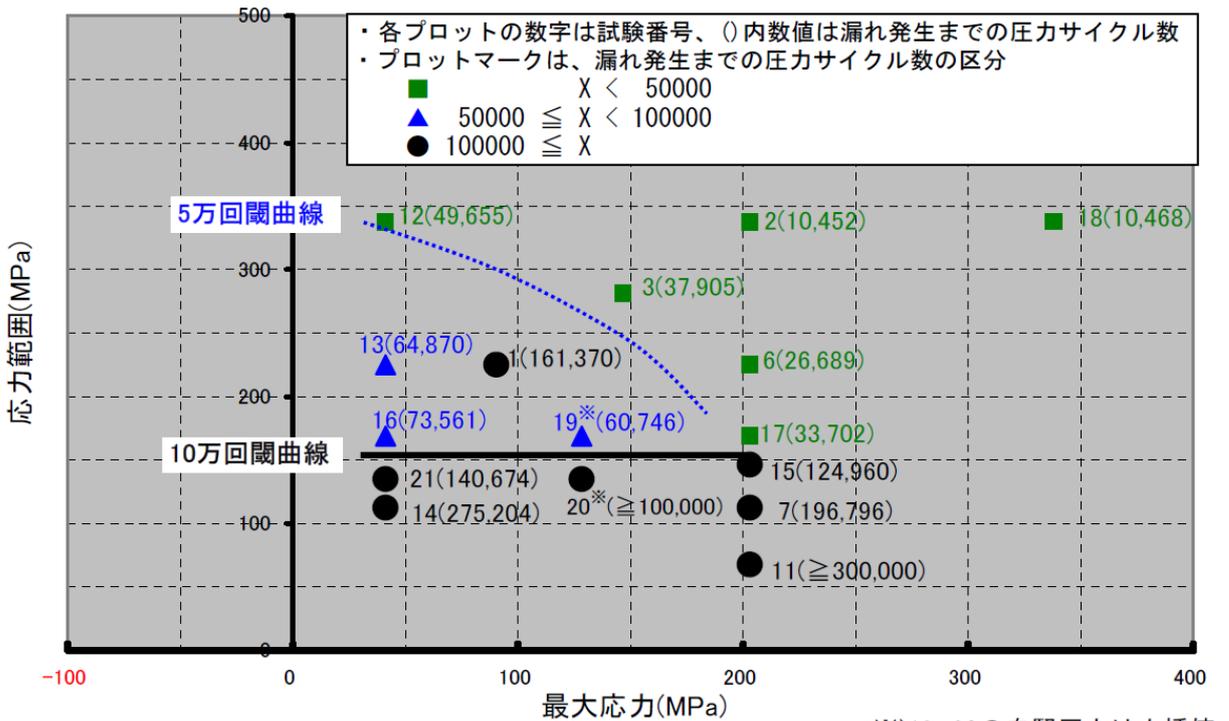
策定された評価試験計画に基づき、常温圧力サイクル試験と破裂試験の評価試験を実施し、一部の容器については評価試験後に亀裂発生部の調査を実施した。表3-3-2に小型複合容器評価試験等のスケジュールを示す。常温圧力サイクル試験結果を取り纏めた「応力範囲に基づく寿命予測線図 (最大応力-応力範囲)」を図3-3-2に示す。

その寿命予測線図の解析により、想定される10万回寿命を達成するためには、圧力サイクルにより発生する応力範囲を100MPaとすればよいことを見出した。

表3-3-2 小型複合容器評価試験等のスケジュール

評価試験番号・亀裂部調査	試験条件概要		平成23年度												平成24年度							
	自緊差圧(MPa)	圧力範囲(MPa)	2月	3月	4月	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
No. 1	37	0-20	■																			
No. 1追加	37	0-20																				
No. 2	37	0-30				■																
No. 3	37	0-25					■															
No. 4	75	0-25						■														
No. 5	75	0-30							■													
No. 6	37	10-30								■												
No. 7	37	20-30									■											
No. 8	75	10-40										■										
No. 9	75	20-40											■									
No. 10	75	25-40												■								
No. 11	37	24-30													■							
No. 12	50	0-30														■						
No. 13	50	10-30															■					
No. 14	50	20-30																■				
No. 14追加	50	20-30																	■			
No. 15	37	17-30																	■			
No. 16	50	15-30																		■		
No. 17	37	15-30																			■	
No. 18	0	0-30																				■
No. 19	43	15-30																				■
No. 20	43	18-30																				■
No. 21	50	18-30																				■
亀裂部調査	-	-																				
亀裂部調査(追加1)	-	-																				
亀裂部調査(追加2)	-	-																				

試験・調査期間: ■



※)19、20の自緊圧力は内挿値

図3-3-2 応力範囲に基づく寿命予測線図 (最大応力-応力範囲)

③中型複合容器の設計・製作、及び評価試験

小型複合容器を用いて得られた結論の普遍性を確認するため、また大型複合容器の製作の可否を確認すると共に、複合容器の大型化により発生する可能性がある不確定要素を抽出し解決するため、中型複合容器を8本製作し圧力サイクル試験と破裂試験に供した。基本設計・製作仕様を表3-3-3に示す。完成容器の外観を図3-3-3(写真)に示す。

表3-3-3 中型複合容器の基本設計・製作仕様

設計圧力	110MPa
設計破裂圧力	330MPa以上
材料	ライナー：A6061-T6 繊維：炭素繊維
内容積	100L
寸法	外径396.2mm×長さ2072.6mm
重量	約230Kg
設計圧力サイクル数	試験圧力範囲が0～110MPaでの常温圧力サイクル試験において漏れ発生まで10万回を目標
調達本数	8本



図3-3-3(写真) 完成容器の外観写真

容器メーカーが米国で独自に行った試験では、圧力変動が最も厳しい0-100%設計圧力の圧力サイクルで、LBBが成立すると共に10万回以上の疲労寿命を有することが確認されたが、国内の試験機関で行った試験では目標回数を大きく下回る結果となった。調査の結果、温度管理等の試験手順が異なることがわかり、容器の寿命を的確に評価するための方法論を確立することが全世界的な課題となっていることが判明した。そのような課題を有しながらも、実際の蓄圧器の運転条件に近い圧力変動である50%、または75%設計圧力と100%設計圧力との間の圧力条件の試験を実施し、疲労寿命が大幅に延長すること、破裂試験では破裂安全率が設計圧力の3倍以上あることを確認し、タイプ3大型複合容器の蓄圧器としての成立性が検証できた。

### (3) 評価試験結果の取りまとめと技術基準の整備に資する資料の作成

小型複合容器と中型複合容器の各評価試験の結果を取りまとめ、水素ステーション用複合容器の製作に必要な技術的要件について検討し、「水素ステーション用複合容器に係わる技術基準の整備に資する資料」を作成した。これらの検討や資料の検証内容等については、関係者による検討会や産学官との連絡会等で内容を確認し、要素技術開発事業、規制合理化事業、並びに技術・社会実証

事業と連携して内容を精査すると共に、「複合容器分科会」と上位の「基準検討ステアリング委員会」で審議した。

### 3.4 圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用

#### (1) 欧米規格、実績等に関する情報収集

圧力設備の設計係数を検討するにあたり、国内外の規格、基準の調査を行い、設計係数の比較を実施した。この結果、表 3-4-1 に示すように、SUS316L 冷間加工品の配管の場合、内径で約 4 割、配管断面積で約 2 倍の向上が期待できることが確認できた。

このことから、国内において実績があり、最も小さな設計係数が可能な「超高压ガス設備に関する基準 (KHKS0220)」の水素適用を対象に検討を進めることとした。

表 3-4-1 国内外の規格・基準における設計係数の比較

No	材料	適用基準	外径 (mm)	最小厚さ (mm)	内径 (mm)	許容応力 値 (MPa)
1	SUS316L (JISG 4303)	一般則例示基準 8 特定則例示別添 1 (設計係数 4)	14.2	6.1	2.0	104
2	SUS316L 冷間加工 20%相当 品	同上		3.4	7.4	180
3		ASME B31.12 (設計係数 3)		2.6	9.0	240
4		KHKS 0220 (設計係数 2.4)		2.1	10.0	258

注) SUS316L (JISG 4303) は降伏比 0.5 以下のため、KHKS 0220 は適用できない

#### (2) KHKS0220 の事前評価ガイドラインの作成

KHKS0220 は、事前評価申請を前提とした基準であり、その水素適用において、KHK から、以下の提案がなされた。

- ・従来通り LBB (破裂前漏洩) 判定を行い、LBB が成立しない材料も除外しない
- ・材料特性として大気中データを用いる場合と、水素中データを用いる場合とに区分する。

しかしながら、水素の金属材料に対する影響がまだ十分解明されておらず、限られた水素の影響評価データしかない状況のなかで、そのまま KHKS0220 を水素適用することは、機器・設備メーカーにとって困難であった。

そのため、現状での水素ステーション設置を前提にした、KHKS0220 の水素適用のためのガイドラインを検討した。

このガイドラインの前提は、以下の通りである。

- ・水素ステーションでの使用のニーズが最も高い、鋼種拡大において検討が行われている水素の影響を受けにくい材料 (オーステナイト系ステンレス鋼) を対象とする。
- ・これら材料は、基本的に LBB が成立するとともに、大気中のデータの使用が可能と考えられる。

図 3-4-1 に設計フローの比較を示すように、KHKS0220 の場合、強度計算に加え、応力集中部に対する応力解析によるピーク応力振幅と疲労寿命の評価を行う必要がある。

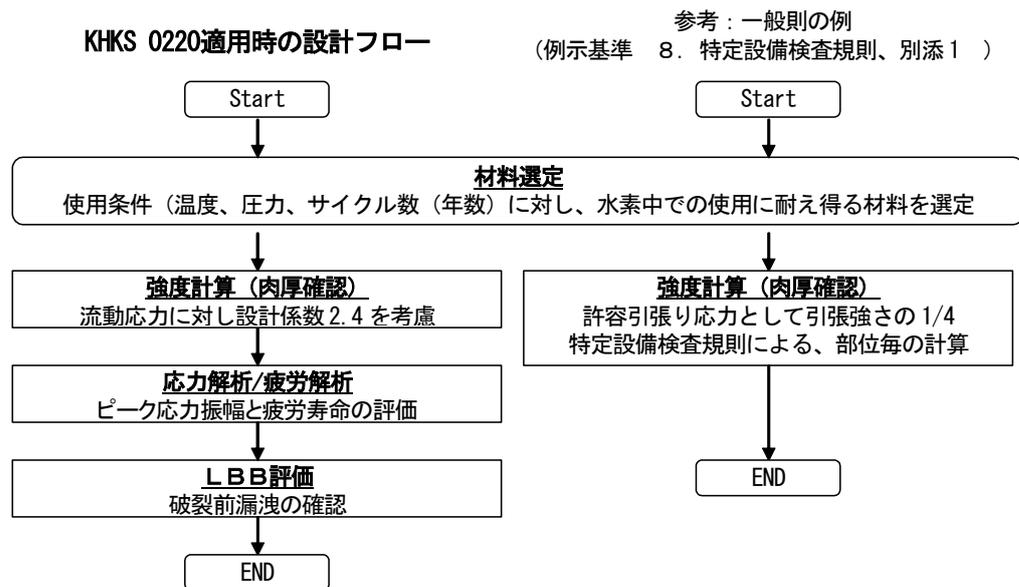


図 3-4-1 設計フローの比較

### (3) KHKS0220 の水素適用の実施例

事前評価ガイドラインを用いた KHKS0220 の水素適用申請は既に行われており、公表の許可が得られた実施例を表 3-4-2 に示す。尚、表 3-4-2 の事例では、水素ステーションの設置計画に対し、十分な事前評価時間がなかったため、設計係数の変更は達成していない。

表 3-4-2 事前評価ガイドラインを用いた実施例

メーカー	対象となる設備・機器	設計温度・圧力		使用材料		
		圧力(MPa)	温度(°C)	材料種類	耐力(MPa)	引張強さ(MPa)
A 社	弁類	96.3	-40~50	SUH660	590	900
B 社	圧縮機出口 小型圧力容器	90.2	~70	SUH660	590	900
C 社	圧縮機出口 配管	95	180	ASTM Type316 Ni≥12%,冷間加工	517	724
D 社	圧縮機出口 継手類	95	180	SUH660 相当品 ASME SA638	585	895

### 3.5 水素ステーションの規制基準全般に関する調査検討

規制見直しの必要な項目として、「JHFC WG1 安全性・規制見直し検討会」で検討された 44 項目のうち、水素供給インフラの整備に向けて、必要な以下の 15 項目を取り上げた。

#### (1) ステーション設置環境面の課題

- ・ CNG スタンドとの併設
- ・ ディスペンサーの並列設置

- ・ 35MPa および 70MPa 水素ステーションに係る法整備
  - ・ 保安距離の更なる緩和
  - ・ 水素ディスペンサー周辺の危険ゾーン基準の明確化
- (2)ステーション建設材料面の課題
- ・ 設計係数の見直し
  - ・ 使用可能鋼材の拡大
  - ・ 高圧水素輸送用トレーラーへの複合容器使用
  - ・ 水素ステーション蓄圧器への複合容器使用
- (3)ステーション運営面の課題
- ・ 改質器の無人暖気運転の実現
  - ・ 保安検査の簡略化
  - ・ 市街地における水素保有量の増加
  - ・ 公道での FCV への充填
- (4)2015 年の普及開始時のあるべき姿を想定した課題
- ・ セルフ充填式水素ステーション
  - ・ フル充填に係る法整備

この 15 項目について、以下の観点から、整理した。

これにより、2015 年普及開始時に必要な規制見直し項目の抽出は満足できていると考えられる。

- ① 現行法規（法、政令、省令、告示、通達等を含む）における規制の現状の整理
  - ・ 関係者が規制の現状を理解するための、条文抽出や関係資料の整備を含む
- ② 海外における同種規制の現状の整理
  - ・ 新たに海外調査は実施せず、国内で入手可能な情報を整理
- ③ 国内における同種規制の現状の整理
  - ・ 国内における同種規制の現状、見直し状況、見直しのために取られた施策等を整理
- ④ 業界の規制見直しニーズの整理
  - ・ 業界ニーズを踏まえ、当局に要望すべき規制見直しの内容を整理
- ⑤ 法令上の見直し箇所の整理
  - ・ ④を実現するために必要な法令上の見直し箇所を整理
- ⑥ 解決のアプローチ（案）の提示
  - ・ 見直しのためのアプローチ（案）を提示

### 3.6 特許、論文、講演、報道等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT 出願	査読 付き	その 他	
H22FY	0	0	0	0	0	なし
H23FY	0	0	0	0	0	JPEC平成23年度技術開発・調査事業成果発表会(JPEC) 福岡水素エネルギー戦略会議 平成23年度研究分科会(第3回)「水素 社会システム実証研究分科会/高効率水素製造研究分科会」(JPEC) 触媒学会「水素の製造と利用のための触媒技術研究会」「水素の製 造と利用に関するシンポジウム」(JPEC)
H24FY	0	0	0	0	0	JPEC平成24年度技術開発・調査事業成果発表会(JPEC) 日本ゴム協会第2回水素機器用エラストマー材料研究分科会(JPEC) 一般財団法人日本高圧力技術協会平成24年度秋季講演会(JPEC)

## 4. まとめ

### (1) 鋼種拡大

- ・ 鋼種拡大候補として、SUS316 (Ni>12%)、同冷間加工品 (CW=20%, 40%)、SUH660、A6061 の鋼種を選定し、Hydrogenius と連携し、使用条件に応じた材料評価試験を実施した。
- ・ KHK の助言を得ながら、Ni 当量で整理した SUS316 系鋼材の水素中での使用基準に基づき、例示基準の整備に資する資料を作成した。

### (2) 輸送用複合

- ・ 圧縮水素運送自動車用容器の最高充填圧力を 45MPa と決定し、JIGA-T-S/12/04 をベースとして、45MPa に対応した圧縮水素運送自動車用複合容器の技術基準案の整備に資する資料を作成した。

### (3) 水素ステーション用複合容器

- ・ 東京大学と連携し、小型・中型複合容器を設計・製作を行い、複合容器試験を実施するとともに、試験結果から複合容器技術基準検討に活用する技術データを取得した。
- ・ KHK の助言を得ながら、ASME Sec. X Appendix 8 をベースとして、水素ステーション用複合容器の特認取得基準に資する資料を作成した。

### (4) 設計係数

- ・ KHK の助言を得ながら、水素ステーションでの使用を想定した特認取得のガイドライン案を検討した。
- ・ 他 NEDO 事業での水素ステーション建設に特認取得ガイドライン案を適用し、設計係数変更に係る特認取得ガイドラインに資する資料として整備した。

## 5. 実用化・事業化見通し

- ・ SUS 316 系鋼材の使用基準については、既に例示基準に反映させるため、インフラ業界として働きかけを行なうとともに、HySUTで整備予定のステーションについては、この使用基準に基づく材料調達が行なわれている。
- ・ 45MPa に対応した圧縮水素運送自動車用複合容器の技術基準として JPEC-S を制定し、45MPa の輸送用複合容器製作の事業が進行している。
- ・ 普及初期を想定した水素ステーション用複合容器での特認取得の見込みを得たが、本格的な複合容器の普及を促進するためには、容器寿命を的確に評価する試験方法の検討が必要なことが判明した。
- ・ 既に KHK S0220 の水素適用のための特認取得ガイドラインを用いた検討が行われているが、今回の水素ステーションの先行整備においては申請期間に制約があり、まだ設計係数低減は実現していない。

●進捗成果サマリ(平成20年度～平成22年度6月末)

- ・中間目標値(28g/L)を上回る体積貯蔵密度を有するハイブリッド貯蔵タンクの設計・製作を実施した。
- ・中間目標である2.7質量%を超える水素吸蔵量(3.2質量%)を有するTi-V-Mn系BCC合金を合成した。
- ・低コスト化を目的として、V系合金の量産性のトライをした。その結果、量産炉での溶解が可能であることを確認し、製造コストの点からは、中間目標値の¥10,000以下の目処が立った。しかし、原料も含めたトータルのコストとして、安価な原料の使用について検討が必要。

●背景/研究内容・目的

近年、自動車メーカーにより燃料電池自動車の実証試験が実施されているが、水素の搭載方式としては、高压複合容器(Type-3, Type-4)が主流となっている。最近では1充填あたりの航続距離の伸長を目的として、充填圧力を35MPaから70MPaへ高压化した容器を搭載した燃料電池自動車の実証試験も実施されており、車載に適した、よりコンパクトな貯蔵方法が必要とされている。本研究開発では、70MPa高压容器以上の体積貯蔵密度を有し、かつ、より低压での水素貯蔵を可能とする水素吸蔵合金と高压複合容器を組み合わせたハイブリッド水素貯蔵タンクの開発を実施し、開発したハイブリッド貯蔵タンクの性能試験・安全性試験を実施する事を目的としている。

●研究目標

実施項目	中間目標 (H22年度)	最終目標 (H24年度)
(A)ハイブリッド貯蔵タンク用MHカートリッジの開発	MHカートリッジの設計・製作・MHの低コスト化	性能向上、安全性試験の実施
(B)計算による熱伝導構造の最適化	シミュレーションの精度向上	シミュレーションを用いた最適化
(C)ハイブリッド貯蔵タンク用広口高压タンクの開発	広口高压タンクの設計・製作	性能向上、安全性試験の実施
(D)ハイブリッド貯蔵タンク用水素吸蔵合金の開発	Ti-Mn-V系水素吸蔵合金の開発	性能向上、耐久性試験の実施

【ハイブリッド貯蔵タンクの開発目標】

- 1)水素容積貯蔵密度は、28g/L以上(中間目標)、34.5g/L以上(最終目標)
- 2)水素充填時間は、90%/10min.以内(中間目標)、90%/5min.以内(最終目標)
- 3)水素吸蔵合金の吸蔵量:2.7mass%(中間目標)、3.0mass%(最終目標)
- 4)水素吸蔵合金のコスト ¥10,000以下(中間目標)、¥3,000円/kg(最終目標)

●実施体制及び分担等

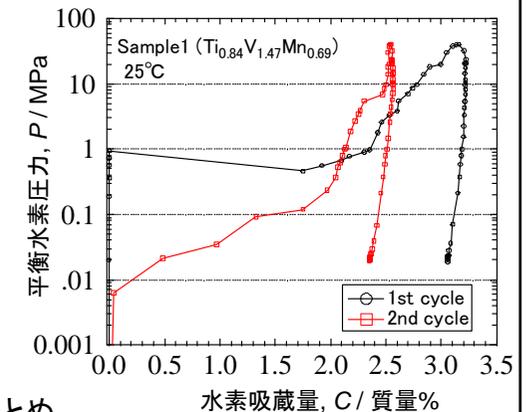


●これまでの実施内容／研究成果

高融点金属であるVを多く含むMHの量産性の検討のため、コールドクルーシブル炉での溶解をトライし、量産規模で溶解可能なことを確認した。2本のタンクで5kgの水素を貯蔵することを想定(現状のMHでは4kg)し、内容積を50L、車載を想定して全長を1m未満として、ハイブリッド貯蔵タンクを設計・製作した。水素吸蔵試験を今後、実施する予定であるが、容積貯蔵密度は70MPaの高压容器を上回るハイブリッド貯蔵タンクを開発した。今後、性能試験、安全性試験を実施する予定である。また、性能試験の結果、充填性能を向上させたハイブリッドタンクを今年度、製作し、中間目標値の90%/10min.を目指す。



新規容器のスペック	(一部は設計値)
内容積(L)	50.8(L)
外容積(L)	66(L)
高压容器質量	29.6(kg)
MHカートリッジ質量	68.2(kg)
水素重量(kg)	2.0(kg)
体積貯蔵密度	31(g/外容積-L)
質量貯蔵密度	2.0(%)



●今後の課題

／スケジュール(H24年度まで)

- ・性能試験の実施、熱交換器の改良
- ・安全性試験の実施
- ・体積貯蔵密度を追求したハイブリッド貯蔵タンクの設計・製作
- ・低コスト化・高性能化

●実用化・事業化の見通し

質量貯蔵密度は高压容器に劣るが、ハイブリッド貯蔵容器の利点である体積貯蔵密度の高さを生かした車両への適用が期待されている。今後も「技術課題」の解決に取り組み、実用化を目指し、FCVの2025年の自立拡大開始に間に合うよう開発を継続する必要がある。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
(A)ハイブリッド貯蔵タンク用MHカートリッジの開発	中間目標を超える体積貯蔵密度を有するタンクを開発	○
(B)計算による熱伝導構造の最適化	MH充填層の圧力損失係数の測定を実施した。	○
(C)ハイブリッド貯蔵タンク用広口高压タンクの開発	中間目標を超える体積貯蔵密度を有するタンクを開発	◎
(D)ハイブリッド貯蔵タンク用水素吸蔵合金の開発	中間目標を超える水素吸蔵量を有する合金を合成した。	◎

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
2	1	14	0

開発項目 「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発／システム技術開発／車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術に関する研究開発」

実施者：サムテック（株）、日本重化学工業（株）、（独）産業技術総合研究所

### 1. 事業概要

本事業は、「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」を対象として、車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術の低コスト化、コンパクト化および高耐久性に関する機器および市場立ち上げ時期に必要なシステムの仕様検討、試作開発、性能検証・評価を実施すると共に、実際の充填や輸送を模擬した条件下における性能検証・評価を実施する。

具体的には、燃料電池車の燃料装置用容器として期待されている「水素吸蔵合金と高圧水素ガスによる水素貯蔵方式を組み合わせたハイブリッド貯蔵タンク」を対象に、70MPa の高圧水素容器以上の容器体積密度を有するハイブリッド貯蔵タンクの開発及び実用的なハイブリッド貯蔵タンク用水素吸蔵合金の開発を行い、その性能評価と安全性評価を実施する。

### 2. 事業目標

本事業の平成 24 年度の開発最終目標は基本計画に掲げられているとおり、システムの仕様として、水素量／容積（内容積）／容器質量＝5kg／100L／165kg を前提とする。この目標値に外容積基準値を追加すると、水素量／容積（内容積）／外容積／容器質量＝5kg／100L／145L／165kg となり、本開発対象システムの最大の特徴である容器体積密度（外容積基準）は約 34.5g-H<sub>2</sub>/L となる（5kg／145L＝34.5）。これは、競合する技術である 70MPa 高圧容器の容器体積密度を上回る目標値である。なお、H22 年度の間目標としては、下記の目標を掲げ、開発を推進している。

（平成 22 年度：中間目標）

- (i) 容器体積密度（システム） 28(g-H<sub>2</sub>/L)以上（最高使用圧力：35MPa）  
容器体積密度＝定格水素貯蔵量(g)/ハイブリッド貯蔵タンクの外容積(L)  
以下、容器体積密度は外容積を基準とする。  
参考値：1)平成 17～19 年度、NEDO 事業でのハイブリッドタンクの実績値：26(g-H<sub>2</sub>/L)  
2)70MPa 高圧容器(35MPa 容器の 1.3 倍の貯蔵量と仮定し計算)：24(g-H<sub>2</sub>/L)
- (ii) 水素充填時間（システム）  
10 分間で定格水素貯蔵量の 90%以上の量を貯蔵できること
- (iii) 実用的水素吸蔵合金の水素貯蔵量  
2.7mass%
- (iv) 水素吸蔵合金のコスト  
10,000 円/kg 以下のめどを立てる（現状 30,000～40,000 円/kg）

### 3. 事業成果

2本のタンクで 5kg の水素を貯蔵することを想定（現状の MH では 4kg）し、内容積を 50L、車載を想定し、全長を 1m 未満として、ハイブリッド貯蔵タンクを設計・製作した。水素吸蔵試験を今後、実施する予定であるが、容積貯蔵密度は 70MPa の高圧容器を上回るハイブリッド貯蔵タンクを開発した。今後、性能試験、安全性試験を実施する予定である。

表 3.1 新規試作容器スペック（一部は設計値）

内容積(L)	50.8(L)
外容積(L)	66(L)
高圧容器質量	29.6(kg)
MHカートリッジ質量	68.2(kg)
水素重量(kg)	2.0(kg)
体積貯蔵密度	31(g/外容積-L)
質量貯蔵密度	2.0(%)



図 3.1 開発したハイブリッドタンク

## I ハイブリッド貯蔵タンク用広口高压タンクの開発 (サムテック株式会社)

### (1)性能向上開発

ハイブリッド貯蔵タンクの高性能化に焦点を絞り、広口高压タンクの開発を行った。新規試作容器の概要を図 3.1-2 に示す。今回の開発するハイブリッド貯蔵タンクは、中間目標である体積貯蔵密度 (外体積) 28[H<sub>2</sub>-g/L]を達成でき、31[H<sub>2</sub>-g/L]となる。

今回試作するハイブリッド貯蔵タンクは、70MPa 高压タンクよりも多くの水素を貯蔵できるため、破裂試験および常温サイクル試験の基準は、70MPa 圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 (仮称) を参考にした。主要要素技術開発成果を以下に示す。

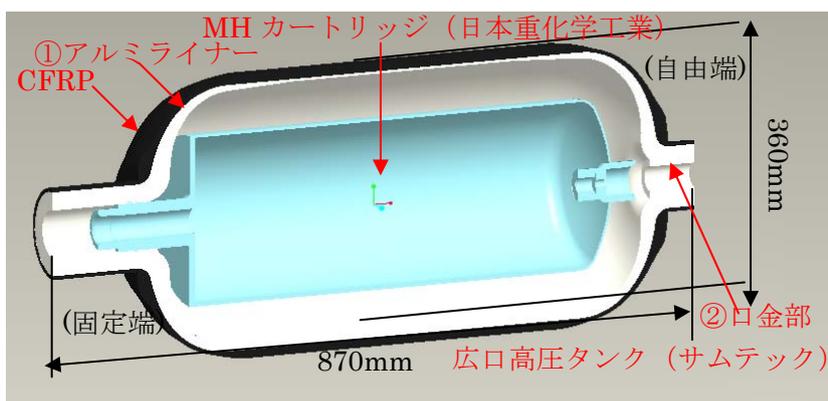


図 3.1-2 三次試作容器の概略図

#### ①熱処理不要なアルミライナーの開発

ハイブリッド貯蔵タンクの性能 (充てん速度) 向上を図るために、MHカートリッジの設計自由度を向上できる熱処理不要なアルミ材料を用いた容器開発を行った。小型試験容器を用いた評価の結果、熱処理不要なアルミ材料をハイブリッド貯蔵タンクに適用する場合、応力設計は従来材料と比べ、1割程度低く設定する必要があるものの、ハイブリッド貯蔵タンクの性能としては、同等であることが確認できた。

#### ②容器口金部の見直しによる軽量化

固定端側は、ライナーで MH カートリッジを保持しているが、自由端側は、プラグおよび口金部で保持するために、シールへの負担が大きいことがわかった。これより、三次試作容器においては、MH カートリッジの保持方法を見直すことにより、自由端側の口金部の径を小さくすることにより、シールへの負担を軽減し、軽量化を達成した。

### (2)安全性確認・評価試験

前事業より、ハイブリッド貯蔵タンクの安全性について、車載用高压水素容器の技術基準 (JARIS 001) に基づく評価試験を進めてきた (バースト試験、常温サイクル試験、極端温度試験、火炎暴露試験は前事業で実施済み)。本事業では、JARIS001に基づいて落下した広口高压タンクと従来仕様のハイブリッド貯蔵タンクの損傷について、各容器を耐圧試験圧力まで加圧し、その際のひずみ測定から剛性の低下率を算出することで評価した。

この結果、図3.2-1のようにハイブリッド貯蔵タンクは広口高压タンクと比べて約2倍剛性が低下していることがわかった。これより、ハイブリッド貯蔵タンクの耐衝撃性の評価として、通常の高圧タンクと同じ評価方法の適用は困難であることがわかった。

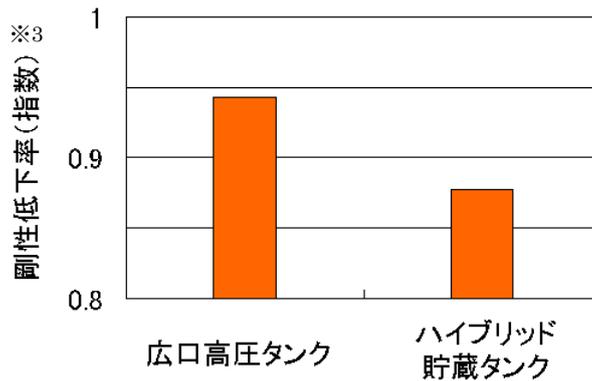


図 3.2-1 剛性低下比較

※3 剛性低下率(指数) = 各容器の損傷していない箇所の弾性率を1とした時の損傷した場所の弾性率の指数

## II ハイブリッド貯蔵タンク用 MH カートリッジと水素吸蔵合金の開発

(日本重化学工業株式会社)

### ① ハイブリッド貯蔵タンクの基本諸元の策定

昨年度検討した結果、コストの観点からは低圧化することにより、FRP の肉厚の減少や熱交換器の材質の薄肉化等が可能となり、低コスト化が可能となるが、現状、室温で使用可能な水素吸蔵合金 (2.2~2.4mass%) を考慮すると、体積貯蔵密度、重量貯蔵密度の観点からは 35MPa が最適な圧力となる事を確認した。そこで貯蔵圧力を 35MPa とし、内容積を 100L とした場合、50L とした場合のアルミライナー+CFRP の設計を共同実施先であるサムテックにて設計し、その広口高压容器に対して、MH カートリッジの基本設計を実施した (図 3.2-1、2 参照)。中間目標である 28g/L を超える貯蔵密度とするには、100L タンクの場合には MH カートリッジの重量が 140kg 程度となる。100kg を超える MH カートリッジをハイブリッド貯蔵タンク内部に保持するためには、アルミライナーの肉厚を増加する必要があり、現時点の水素吸蔵合金の吸蔵量では、現実的でない設計となってしまう。そこで、ハイブリッド貯蔵タンクの基本諸元としては、充填圧力を 35MPa、内容積を 50L として、設計を実施することとした。

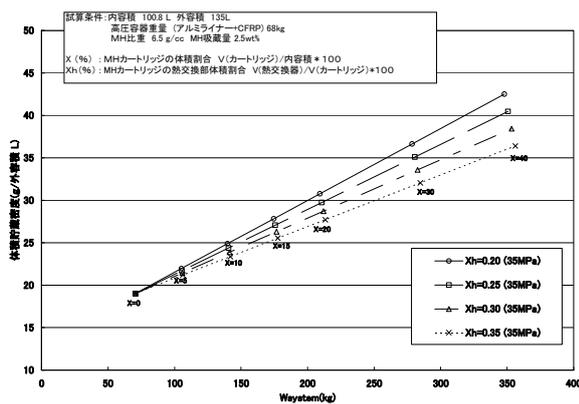


図 3.2-1 体積貯蔵密度 (内容積 100L)

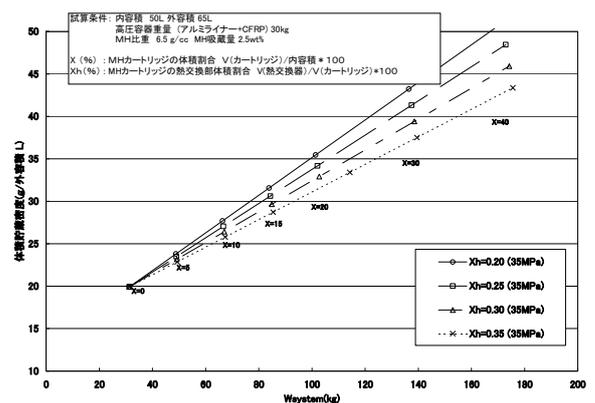


図 3.2-2 体積貯蔵密度 (内容積 50L)

### ② 小型フランジ容器による水素吸蔵特性評価

ハイブリッド貯蔵タンクに求められる性能の一つに水素スタンドでの急速充填性能があげられる。本プロジェクトでは、中間目標として 90%/10min の性能の達成を目標に MH カートリッジの熱交換器の検討を実施している。前事業では、MH の吸蔵反応時の反応熱を除去するため、熱媒管を MH カートリッジの外筒の周囲に溶接加工し、合金層の発熱を熱媒管へ伝えるために、合金層内部にアルミニウムフィンを設置した熱交換器を採用した。その結果、水素吸蔵特性は 81%/10min であり、目標を達成するためには、更なる伝熱効率の向上が必要とされている。そこで、MH の反応熱を直接、

熱媒管へ効率良く伝えるために、熱媒管を合金層内部に設置する構造について小型フランジ容器を用いて検討した。具体的には、熱媒管にアルミ製のエロフィン巻きつけた熱交換器を製作し水素吸蔵特性試験を実施した。実験結果より 10 分間に熱媒管の管壁からどの範囲まで反応が進んでいるかを熱電対の測定結果、水素吸蔵量から算出した。今後、これらの結果を元に、熱交換器を最適化した MH カートリッジの設計・製作を実施し、中間目標値の達成を目指す。

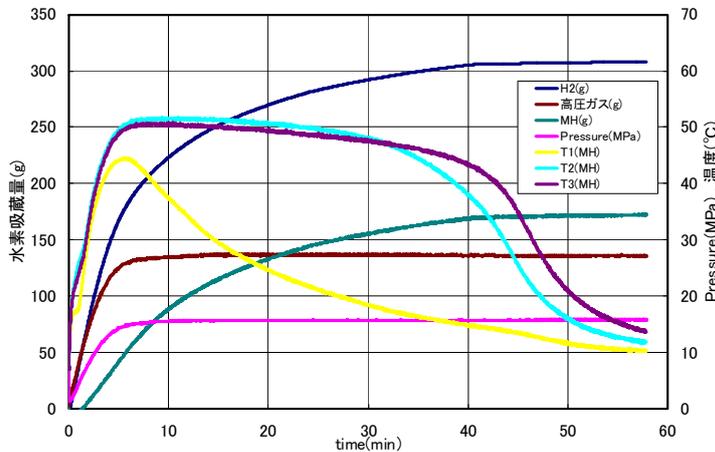


図 3.2-3 フランジ容器を用いた水素吸蔵特性評価



図 3.2-4 熱交換器 (小型フランジ容器)

## ② 水素吸蔵合金の開発

MH カートリッジに、水素吸蔵合金を充填した状態で工程を進める場合、水素吸蔵合金にはアルミライナー加工時の熱負荷や、熱処理による熱負荷がかかる。その影響を調査するため、アルミライナーの加工工程における影響を調査した。その結果、ライナーのスピニング加工後に取り出した水素吸蔵合金の水素吸蔵量は、熱処理工程を経していない合金との差は無く、スピニング加工における熱影響は無かった。しかし、その後の T6 処理まで行うと、水素吸蔵量が減少した。水素吸蔵量の減少は、酸素濃度測定の結果、熱処理中に水素吸蔵合金の表面が酸化したことによるものと考えられる。熱処理の影響を排除するためには、スプレーでの急冷処理や熱処理の必要の無い材料の検討が必要である。

また、量産化技術の検討を行うため、V 等の活性な高融点金属の溶解に用いられているコールドクルーシブ炉での溶解をトライし、量産性の検討を実施した。溶解に用いた炉は鉄換算で 10 kg 規模の CCM 炉であり、溶解量を 7kg とし、溶解を実施した。CCM 炉による溶解は水冷銅るつぼ内にて実施するため、初回の溶解時にるつぼ底面に凝固相 (スカル) が残存するが、化学分析の結果、ほぼ目標組成どおりに溶解できることを確認した。また、アーク溶解法では酸素濃度が 1000~2000ppm であったのに対し、CCM 炉の溶解では、原料の酸素濃度と同等の 400ppm 程度であった。量産試験の結果、量産炉での溶解が可能であることを確認し、製造コストの点からは、中間目標である ¥10,000 以下の目処が立った。しかし、原料も含めたトータルのコストとして、安価な原料の使用について検討が必要。

## Ⅲ 計算による熱伝導構造の最適化 (国立大学佐賀大学：日本重化学より再委託)

前事業において、模擬的な 3 次元モデルを用いた水素吸蔵特性のシミュレーションを実施し、熱交換器を設計したが、実験データとの差異があり、目標の吸蔵特性を達成することができなかった。その差異の要因として、合金層の圧力損失の影響を考慮していなかったことが原因の一つではないかと考えた。そこで、昨年度、圧力損失の影響を考慮したシミュレーション方法を検討した。そのシミュレーション手法から予

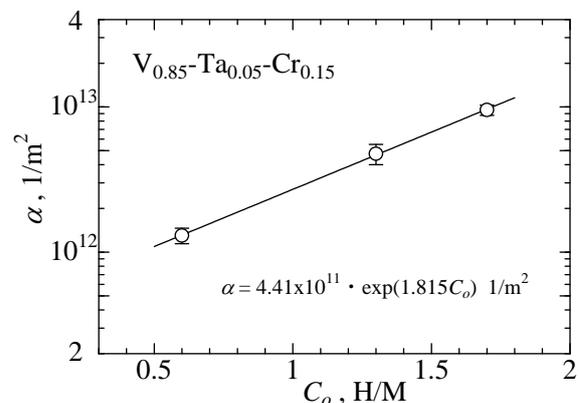


図 3.2-5 圧力損失係数の測定

測された圧力損失係数の値は  $3.8 \times 10^{16} [1/m^3]$  であった。今年度は、水素吸蔵状態の圧力損失係数を実験的に求める装置を設計・製作し、シミュレーションで予測された値との比較を実施した。実験により観測された圧力損失係数の値は  $10^{13} [1/m^3]$  のオーダーであった。この結果より、シミュレーションと実験結果との差異の原因を全て圧力損失の影響であるとは言えないことが確認できた。今後、その他の要因について調査し、シミュレーションコードの精度を向上し、熱伝導構造の最適化を実施する。

#### IV ハイブリッド貯蔵タンク用水素吸蔵合金の開発 (独立行政法人産業技術総合研究所)

現在ハイブリッド貯蔵タンクに用いられている水素貯蔵材料は、過去に産業技術総合研究所がトヨタ自動車との共同研究により開発した体心立方 (BCC) 構造をもつチタン系合金がベースとなっている。Ti-V-Mn 系 BCC 合金は水素化によって BCC 相および 2 つの面心立方 (FCC) 相の 3 種類の水素化物相を生成する。本研究では、これら 3 種類の水素化物間の水素吸蔵放出を利用することで高い水素貯蔵量を目指した。また、Ti-V-Mn 系合金は合金の組成によって BCC 相の他に C14 型ラーベス相を生成する。我々は本研究課題開始以前に BCC 相が C14 型ラーベス相に比べて高い水素貯蔵量をもつことを明らかにしており、平成 20 年度より BCC 相を主たる成分とする合金の開発を進めてきた。図 3.4-1 は  $Ti_{0.84}V_{1.47}Mn_{0.69}$ 、 $Ti_{0.93}V_{0.93}Mn_{1.14}$  および  $Ti_{0.63}V_{0.93}Mn_{1.44}$  合金の 25°C における水素圧力 ( $P$ ) - 組成 ( $C$ ) 等温曲線を示したものである。 $Ti_{0.84}V_{1.47}Mn_{0.69}$  合金は、25°C において中間目標である 2.7 質量%を越える 3.2 質量%の水素を吸蔵したが放出はほとんど観察されなかった。この合金は 120°C で水素を放出した後であれば再び 25°C において 2.6 質量%の水素を吸蔵することが分かった。他方、 $Ti_{0.93}V_{0.93}Mn_{1.14}$  合金は吸蔵した水素の約 40%、 $Ti_{0.63}V_{0.93}Mn_{1.44}$  合金はほぼ 100%の水素を 25°C において放出した。X 線回折実験により、 $Ti_{0.84}V_{1.47}Mn_{0.69}$  合金は BCC 単相合金であることが、 $Ti_{0.93}V_{0.93}Mn_{1.14}$  および  $Ti_{0.63}V_{0.93}Mn_{1.44}$  合金は BCC 相および C14 型ラーベス相からなる 2 相合金であることが分かった。現時点ではその機構は不明であるが、C14 型ラーベス相が BCC 相に共存した合金では室温付近で水素放出が観察されることが分かった。

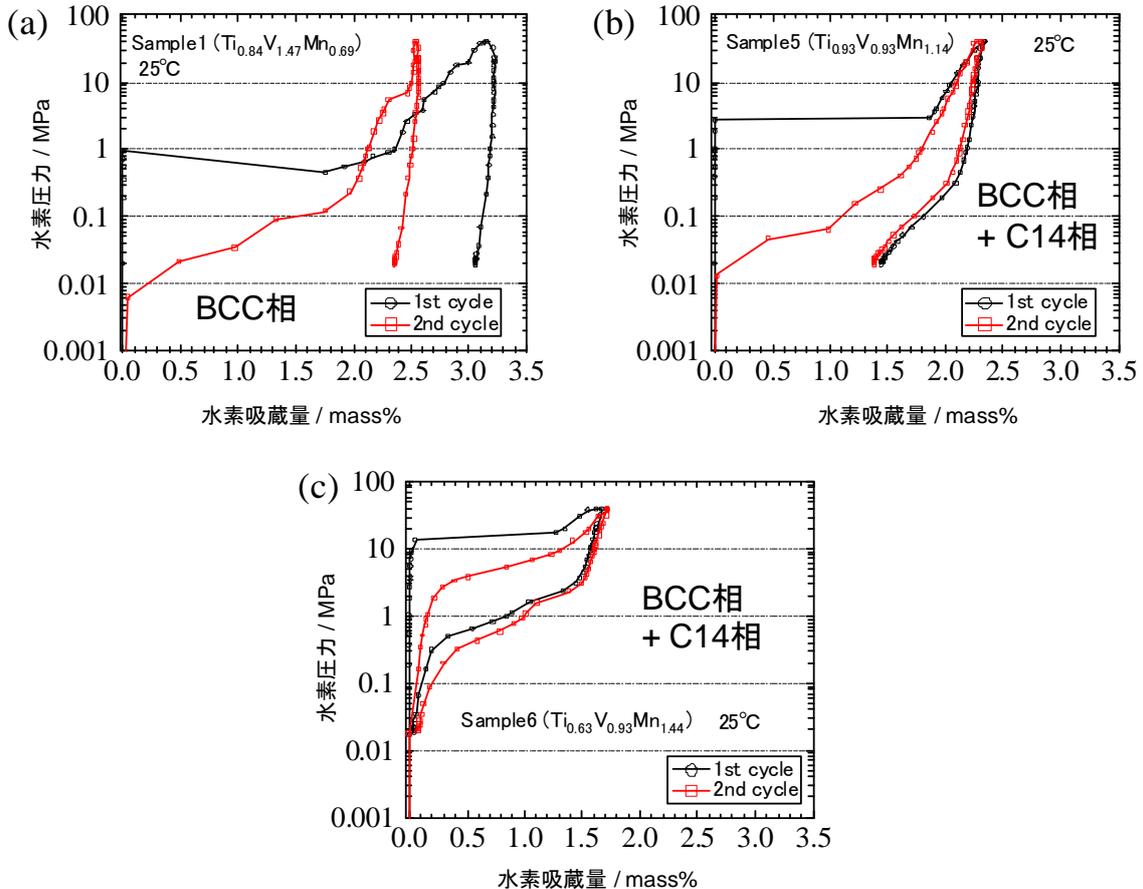


図 3.4-1 : (a) $Ti_{0.84}V_{1.47}Mn_{0.69}-H_2$ 、(b) $Ti_{0.93}V_{0.93}Mn_{1.14}-H_2$  および(c) $Ti_{0.63}V_{0.93}Mn_{1.44}-H_2$  系の 25°C における  $PC$  等温曲線。

特許、論文、外部発表等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT*出願	査読付き	その他	
H20FY	0件	0件	0件	件	0件	4件
H21FY	2件	0件	0件	1件	0件	9件
H22FY	0件	0件	0件	件	0件	1件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

#### 4. まとめ及び課題

ハイブリッド貯蔵タンクの開発では、2本のタンクで5kgの水素を貯蔵することを想定（現状のMHでは4kg）し、内容積を50L、車載を想定して全長を1m未満として、ハイブリッド貯蔵タンクを設計・製作した。水素吸蔵試験を今後、実施する予定であるが、容積貯蔵密度は70MPaの高圧容器を上回るハイブリッド貯蔵タンクを開発した。今後、性能試験、安全性試験を実施する予定であり、急速充填試験を実施し、性能を改善したタンクの設計・製作を今年度中に実施する予定である。

安全性については、落下試験後のハイブリッド貯蔵タンクと落下試験後の通常の高圧容器（Type-3）を耐圧試験圧力まで加圧し、その際のひずみ測定から剛性の低下率を算出したところ、ハイブリッド貯蔵タンクは広口高圧タンクと比べて約2倍剛性が低下していることがわかった。

水素吸蔵合金の開発に関しては、種々の組成をもつTi-V-Mn系合金を合成して、その水素吸蔵放出特性を明らかにした。その結果、水素貯蔵量の間目標である2.7質量%を上回る合金の合成に成功した。現時点では室温付近でのこの合金の水素放出は確認されていない。Ti-V-Mn系合金は組成を変化させることによりBCC（体心立方）相の他にC14型ラーベス相を生成させることができる。これまでに、BCC相およびC14型ラーベス相が共存した合金では室温付近での水素放出を観察できたため、今後はBCC相およびC14型ラーベス相からなる2相合金を合成して、水素貯蔵量および水素吸蔵放出圧力を最適化する予定である。特に、合金が室温付近で繰り返して水素を吸蔵放出することを目指して、水素放出過程の平衡水素圧力を上昇させることが課題である。

#### 5. 実用化・事業化見通し

体積貯蔵密度に関して、70MPaの高圧容器を上回るハイブリッド貯蔵タンクを開発できたが、実用化へ向けての課題として、コスト低減や安全性評価方法の確立が必要である。コスト低減に関しては、高圧容器（Type-3,Type-4）の低コスト化の課題と共通するが、安価な炭素繊維の採用、製造コストの低減等があげられる。また、水素吸蔵合金の高容量化及び低コスト化も課題である。

安全性評価方法については、高圧ガス保安法や道路運送車両法への対応が必要となる。落下試験、水素吸蔵合金の膨張・収縮による影響、振動試験の影響等、従来の高圧容器の安全性評価だけでは評価できない項目について整理し、安全性に関するデータを蓄積する必要がある。

現時点では、重量貯蔵密度は複合容器に劣るが、ハイブリッド貯蔵容器の利点である体積貯蔵密度の高さを生かした車両への適用が期待されている。今後も「技術課題」の解決に取り組み、実用化を目指し、FCVの2025年の自立拡大開始に間に合うよう開発を継続する必要がある。

## 2. 2 研究開発項目Ⅱ「要素技術開発」

- Ⅱ－1 水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発  
(実施者：東京ガス(株)、日本特殊陶業(株))
- Ⅱ－2 水素製造装置の高性能化・低コスト化・コンパクト化に関する研究開発  
(実施者：三菱化工機(株))
- Ⅱ－3 CO<sub>2</sub>膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発  
(実施者：(株)ルネッサンス・エナジー・リサーチ、(国)神戸大学、(国)京都大学、  
(独)産業技術総合研究所、(株)ミクニ)
- Ⅱ－4 ホウ素系水素貯蔵材料の開発  
(実施者：(株)豊田中央研究所、(国)東北大学)
- Ⅱ－5 ラーベス構造を有した高容量水素吸蔵合金の開発  
(実施者：日本重化学工業(株))
- Ⅱ－6 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発  
(実施者：(株)タツノ)
- Ⅱ－7 70MPa 級水素ガス充填対応大型複合蓄圧器の開発  
(実施者：J×日鉱日石エネルギー(株)、サムテック(株))
- Ⅱ－8 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器に係わる研究開発  
(実施者：(財)石油エネルギー技術センター、(株)キッツ、アズビル(株)、  
(財)金属系材料研究開発センター、(株)日本製鋼所)
- Ⅱ－9 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発  
(実施者：清水建設(株)、岩谷産業(株))
- Ⅱ－10 直接充填方式水素ステーション用圧縮機の研究開発  
(実施者：(株)神戸製鋼所)
- Ⅱ－11 水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制  
見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発  
(実施者：新日鐵住金(株)、愛知製鋼(株)、(独)物質・材料研究機構)
- Ⅱ－12 水素用アルミニウム材料の評価・開発  
(実施体制：(国)茨城大学、古河スカイ(株)、日本軽金属(株)、(株)神戸製鋼所)

## (II-1) 水素分離型リフォーマーの高耐久性・低コスト化研究開発

### ●進捗成果サマリ(平成20年度～平成24年度予定)

#### テーマ(i) 水素分離型リフォーマーシステムの耐久性向上の研究開発

- ・水素製造モジュール単体において、膜反応器用のPd合金水素分離膜としては他の研究例(数百時間レベル)を大幅に上回る**1300時間超**の耐久性を実証した。
- ・40Nm<sup>3</sup>/h級水素分離型リフォーマシステム(世界で唯一、実証レベルにあるシステム)において、安定性の向上を図ることにより、**8000時間超**の運転時間を実証した。

#### テーマ(ii) 触媒一体化モジュールの研究開発

- ・触媒機能を持たせたセラミックス支持体+めっき膜から構成され、量産による低コスト化が見込める「触媒一体化モジュール」の製造技術を確立した。
- ・モジュール単体(電気炉試験)で**8000時間超**の耐久性を実証した。ガス燃焼炉では、現在試験を継続中であり、来夏に8000時間に到達する予定。

### ●背景/研究内容・目的

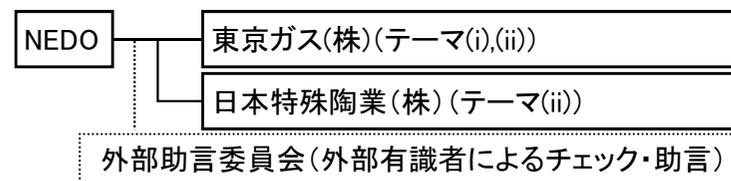
FCVと水素供給インフラの普及には、水素製造装置の高効率化・低コスト化・コンパクト化が必要である。なかでも、装置稼働率が上がるFCVの本格普及期には、高効率化が水素製造コストを下げるための最も重要な要素となる。

本事業は、前事業で高効率・コンパクトを実証した「水素分離型リフォーマー」について、高耐久性・低コスト化研究開発を行うものであり、FCVの本格普及期(平成32年頃～)に実用化・事業化することを想定し、平成24年度末に実証機の開発を開始(平成27年度に実証試験を開始)できるレベルの技術の確立を目的とする。

### ●研究目標

項目	目標内容
A	【連続改質耐久性】8000時間以上の運転経過後においても、水素純度99.99%以上を維持することを実証。(i)(ii)
B	【起動停止耐久性】12回起動以上の停止後においても、水素純度99.99%以上を維持することを実証。(i)(ii)
C	【運転安定性】システムとして、8000時間以上の運転が可能であることを実証。(i)
D	【概念設計】100～300Nm <sup>3</sup> /h規模のシステムの概念設計を行う。条件は、
E	D: 水素製造効率≥80%HHV
F	E: 設備サイズ≤10m <sup>3</sup> F: 設備コスト≤30万円/Nm <sup>3</sup> -h

### ●実施体制及び分担等



### ●これまでの実施内容/研究成果

テーマ	実施内容	研究成果
(i)	水素製造モジュールの耐久性を向上させ、システムの長期耐久運転を実証。	電気炉で <b>1300時間超</b> の耐久性を実証済。システムで <b>8000時間超</b> の耐久性を実証済。
	オフガス中CO <sub>2</sub> の分離回収を実証。	わずか3%ポイントのエネルギーロスで、CO <sub>2</sub> を液化分離し、オフガス中のCO <sub>2</sub> の90%以上を回収した。分散型水素製造としてのCO <sub>2</sub> 回収実証は <b>世界初</b> 。
(ii)	触媒一体化モジュールの製造技術を確立。	電気炉で <b>8000時間</b> の耐久性を実証済。
	ガス燃焼炉を製作し、耐久試験を実施。	<b>1300時間</b> の耐久性を実証し、試験継続中。
共通	効率計算のプロセスシミュレーションを実施。	スケールアップした際の効率向上分を予測。
	触媒一体化モジュールを前提とし、コンパクト・低コストなシステムのプロトタイプ概念設計を実施。	補機について一定のコンパクト化・低コスト化を見込んだうえで、目標サイズ・コストへの見通しを得た。

### ●今後の課題

- ・8000時間耐久試験後の水素製造モジュールを分析することにより、さらに長期の耐久性が見通せるかを調査・検討する。

### ●実用化・事業化の見通し

- ・テーマ(i)で得たシステムレベルでのノウハウを活かし、テーマ(ii)で開発した低コストな水素製造モジュールを用いて、速やかに実用化開発に移行する\*1。
- ・水素性状に関するISO基準に対応する\*2。
- ・本事業の実施項目外であった補機についても、最適機種を選定、あるいはよりコンパクト、低コスト、高効率な補機の開発を行う。

(\*1, \*2: 詳細は事後評価分科会で報告)

### ●研究成果まとめ

項目	成果内容	自己評価
A	(i) <b>8000時間超</b> の耐久性を実証済。	○
	(ii) <b>1300時間</b> を経過し、試験継続中。来夏8000時間に到達予定。	○ 予定
B	(i) 目標を大幅に超える耐久性( <b>起動停止97回</b> )を実証済。	◎
	(ii) <b>12回</b> の耐久性を実証済。	○
C	(i) <b>8000時間超</b> の耐久性を実証済。	○
D/E/F	所定の条件で概念設計を実施済。	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
19	9	46	12

# 「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発 水素製造機器要素技術に関する研究開発 水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発」

実施者： 東京ガス株式会社  
日本特殊陶業株式会社

## 1. 事業概要

将来の燃料電池自動車等の本格普及に向けては、先行して水素供給インフラの整備が必須であり、2015（平成 27）年頃より、水素供給インフラの立上げが期待されている。水素供給インフラの立上げおよびその拡大に際しては、安定かつ低価格な水素製造法の早期の確立が求められているが、その最も有力な候補が、炭化水素系燃料を水蒸気と反応させて水素を生成させる水蒸気改質法である。なかでも、水素分離型リフォーマーは、従来のリフォーマーと比較して、最も高効率に水素を製造することが可能であるだけでなく、シンプルかつコンパクトという特長を有している。燃料電池自動車の本格普及期には、水素供給インフラの稼働率が上がることが想定されるため、水素製造効率が特に重要な要素となる。

本事業は、実用的な燃料である天然ガスを用いた水素分離型リフォーマー技術に関するものであり、燃料電池自動車の本格普及期（平成 32 年頃～）に実用化・事業化することを想定し、平成 24 年度末に実証機の開発を開始（平成 27 年度に実証試験を開始）できるレベルの技術の確立を目的としている。具体的には、平成 17 年度～19 年度までの前事業「水素安全利用等基盤技術／水素インフラに関する研究開発／高効率水素製造メンブレン技術の開発」において得られた成果を活用しつつ、水素分離型リフォーマーの高耐久化と低コスト化を目指して、以下の 2 テーマを実施する。

- (i) 水素分離型リフォーマーシステムの耐久性向上の研究開発
- (ii) 触媒一体化モジュールの研究開発

## 2. 事業目標

下記 A、B について、電気炉およびガス燃焼式リフォーマー（試験用小容量リフォーマーを含む）で達成する。C については、前事業で開発した 40 Nm<sup>3</sup>/h 級システムを用いた長期運転試験により検証する。また、D～F については、普及機を想定した 100～300 Nm<sup>3</sup>/h 規模へスケールアップしたシステムの概念設計による検証を目標とする。

なお、B については、起動停止時間に関する目標を達成したうえで、起動停止回数に関する目標に変更した。これは、水素分離型リフォーマーは、実用化時においては、稼働率が高くなり、ほぼ連続運転（起動停止回数は最大でも月 1 回）になることが想定されるためである。

- A 高耐久性： メンテナンス回数を 1 回／年以下とするための長期耐久性を持つ水素分離膜モジュールを開発すること。（指標としては、リフォーマーレベルでの耐久試験を実施し、8000 時間以上の運転経過後においても、水素純度 99.99%以上を維持するものとする）。
- B 起動停止回数： メンテナンス回数を 1 回／年以下とするための起動停止耐久性を持つ水素分離膜モジュールを開発すること。（指標としては、リフォーマーレベルでの起動停止試験を実施し、12 回以上の起動停止後においても、水素純度 99.99%以上を維持しているものとする）。

- C 運転安定性： システムを構成する補機類について、メンテナンス回数を1回／年以下とするための耐久性を確認すること。(指標としては、日常的な簡易検査やメンテナンスを除いて、8000時間以上の運転が可能であることを実証するものとする。)
- D 水素製造効率： 水素製造効率が80%以上を達成可能であること。
- E 設備サイズ： 設備サイズが10m<sup>3</sup>以下を達成可能であること。
- F 設備コスト： 設備コストが30万円/Nm<sup>3</sup>・hを達成可能であること。

### 3. 事業成果

#### 3.1 (i) 水素分離型リフォーマーシステムの耐久性向上の研究開発

##### A 連続改質耐久性 (○達成)

###### ・電気炉での耐久性実証

水素分離膜モジュール2本を組み込んだ反応管を用いて、膜モジュール単体レベル(電気炉)での連続改質試験を継続実施した。使用した膜モジュールは、前事業で開発した改良品であり、従来品から耐久性に悪影響を及ぼす膜材料中不純物を低減したものである。試験の結果、目標の8000時間を大幅に上回る13000時間にわたる試験後においても、製品水素純度は99.9968% (不純物濃度は32ppm)であった(図1)。この試験結果から、膜の高純度化によって大幅に耐久性向上がなされたことが確認された。

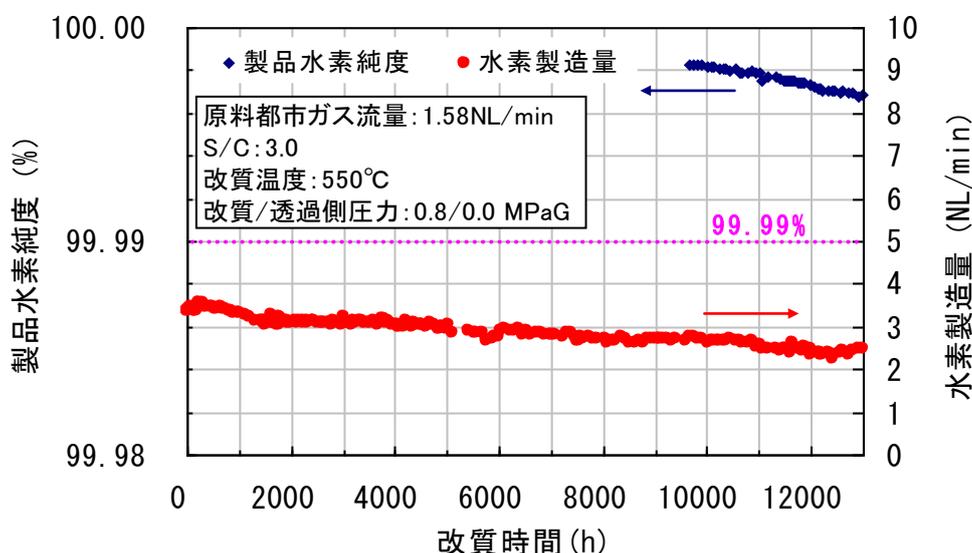


図1 モジュール耐久試験結果 (電気炉)

###### ・ガス燃焼炉での耐久性実証

前事業で開発した40Nm<sup>3</sup>/h級システム(図2)を活用し、ガス燃焼式リフォーマーによる加熱環境下での耐久試験を実施した。40Nm<sup>3</sup>/h級システムは反応管ユニット16個から構成され、1つの反応管ユニットは前記水素分離膜モジュール16個を内蔵している。運転継続のため、途中で一部のユニットを交換したが、総運転時間、総改質時間も8000時間超を実証した。こ

のとき、初期から交換していないユニットで製品水素純度 99.9943%（不純物濃度 57 ppm）を実証した。



図 2 40 Nm<sup>3</sup>/h 級システム

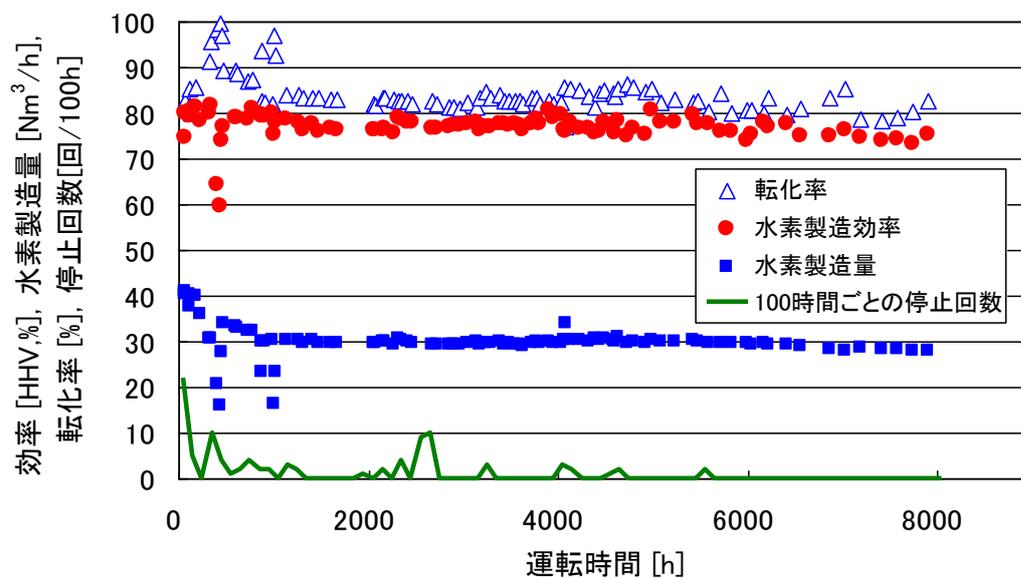


図 3 40 Nm<sup>3</sup>/h 級システム運転試験結果

### B 起動停止耐久性 (◎大幅達成)

40 Nm<sup>3</sup>/h 級システム (図 2) の運転試験をもって、ガス燃焼式リフォーマー環境下での起動停止試験とした。起動停止回数は目標の 12 回を大幅に上回る 97 回を数えているが、製品水素純度は 99.99%以上を維持している。97 回の起動停止耐久性は、月一回のメンテナンスによる起動停止を想定すると、約 8 年間の耐久性を示すものである。

### C 運転安定性 (○達成)

40 Nm<sup>3</sup>/h 級システム (図 2) の運転試験を行い、補機を含むシステムとして実使用環境下での耐久性を検証した。総運転時間、総改質時間は 8000 時間以上、起動停止回数は 97 回を数えているが、水素製造量、水素製造効率とも安定していた (運転時間 840 時間以前は負荷変動試験、以降は 75%負荷耐久運転を実施した) (図 3)。システムの信頼性に関しては、主に運転時間 2000~2500 時間において、ボイラーやフレアスタックなどの補機類で蒸気圧低下や失火などの不具合が発生したが、修理や改良の対策を行った結果、これらの補機類に起因する不具合 (異常停止) を低減することができた。特に、5500 時間~8000 時間では停止回数はゼロ回であり、長期の安定運転が可能であることが示された。システムトラブルに対する知見は、今後のシステム実用化開発で活用していく。

## 3.2 (ii) 触媒一体化モジュールの研究開発

### A 連続改質耐久性 (○来夏確認予定)

#### ・電気炉での耐久性実証

本事業の初期において、触媒一体化モジュールが 40 Nm<sup>3</sup>/h 級システムに搭載されている水素分離膜モジュールと同等の水素製造性能を有することを実証した。一方で、リーク (製品水素純度低下) という課題があることがわかり、結果的にはこれが触媒一体化モジュール開発における最大の課題であった。本事業においては、詳細にリーク箇所を分析することにより、リーク発生要因を解明し、各要因ごとに対策を実施した (図 4)。

リーク対策の効果は顕著であり、リーク対策後のモジュールを用いた連続改質耐久試験において、リークに対する耐久性が大幅に向上することを実証した (図 5)。ただし、このモジュールは、装置トラブルによる緊急停止の後、リークが大幅に増加してしまった。

このほかにも、緊急停止の後にリーク量が増大し、製品水素純度が低下する場面があることを確認している。この原因は、緊急停止操作 (一時、水蒸気によるプロセス側ページ処理) に起因する支持体中の Ni の水蒸気酸化の可能性が高い。Ni の水蒸気酸化のリスクを排除するために、水素透過方向を「内→外」から「外→内」に変更した連続改質試験では、複数回の緊急停止にもかかわらず、製品水素純度は高いレベルで安定しており、8000 時間の耐久性 (8000 時間経過後も製品水素純度は約 99.9989%) を実証済みである (図 5)。

#### ・ガス燃焼式リフォーマー (試験用小容量リフォーマー) での耐久性実証

ガス燃焼炉での連続改質耐久試験については、当該試験用にリーク対策後のモジュールの開発・製造に長期間を要したことから、試験開始が遅れた。また評価装置のトラブル解消に時間がかかったことも、試験遅延の要因である。電気炉試験はモジュール 1 本を評価するものであ

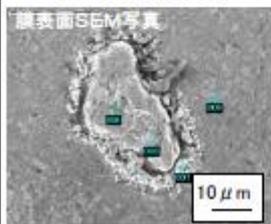
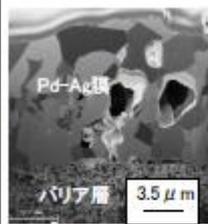
	リーク箇所写真	リーク発生要因	リーク対策
1	 <p>膜表面SEM写真 10 μm</p>	<p>・使用条件に起因</p> <p>外部からFe系の異物が膜に飛来・付着した結果、Pdと反応しポイド(カーケンダルポイド)を生じた。</p>	<p>試験用反応管内面からのFe系異物飛来を防止するため、<b>試験用反応管内面をめっき処理した。</b></p>
2	 <p>Pd-Ag膜 バリア層 3.5 μm</p>	<p>・製造プロセスに起因</p> <p>水素分離膜製膜中に膜中空孔が生じ、使用中にリークに発展した。</p>	<p>めっき条件の適正化により、<b>膜の密着性を向上した。</b></p>
3		<p>・製造プロセスに起因</p> <p>継手の異種材料間の熱膨張差等の影響で使用中にリークが発生した。</p>	<p>GFにガラスを併用して<b>シール性を向上し、リークフリー化を実現した。</b></p>

図4 触媒一体化モジュールリークの原因と対策

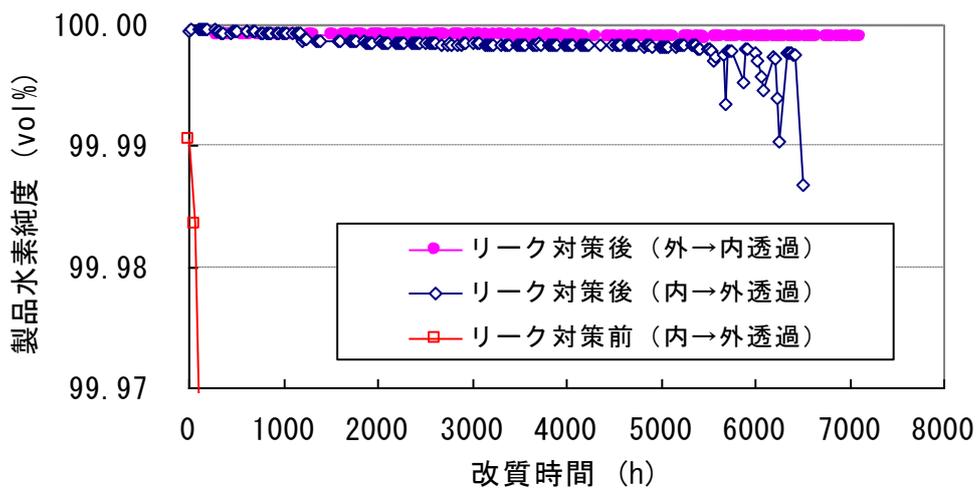


図5 触媒一体化モジュール耐久試験結果 (電気炉)

り、完成度の高い市販の試験装置を用いたため、装置トラブルは少ない。一方、ガス燃焼式リフォーマー試験は最大モジュール12本までを評価するものであり、試験装置を自作したため、装置トラブルが多い。さらに、装置トラブルにより、一度に多数のモジュールを破損することがあったことで、モジュール準備に時間を要した。

しかしながら、ガス燃焼炉での試験と電気炉での試験との間の本質的違いは、炉内温度分布の大小のみである。電気炉試験では容易に数℃程度まで温度分布を小さくできるのに対し、ガス燃焼炉では温度分布の低減は困難である。本事業では、ガス燃焼炉内の温度分布を、モジュール内温度差<50℃、モジュール間温度差<20℃まで低減した。また、電気炉による試験で、モジュールに最大300℃の温度分布を意図的に生じさせても、損傷を受けないこと、特にリークは発生しないことを別途確認している。したがって、ガス燃焼式リフォーマーでの試験も、モジュールの耐久性の観点からは、電気炉での試験と本質的に変わらないと考えられる。実際、ガス燃焼式リフォーマー試験において、電気炉での試験と同等の劣化ペースであることを確認している。したがって、リフォーマー試験においても、試験開始が遅れた事情はあるものの、来夏には電気炉試験と同様8000時間の耐久性を確認できる予定である。

#### B 起動停止耐久性 (○達成)

##### ・電気炉での耐久性実証

リーク対策後のモジュールを用いて、起動停止を繰り返す試験を実施した(N=3)。その結果、全てのモジュールにおいて、目標である起動停止回数12回の後も、製品水素純度99.99%以上を維持していることを確認した。

##### ・ガス燃焼式リフォーマー（試験用小容量リフォーマー）での耐久性実証

リーク対策後のモジュールを用いて、起動停止を繰り返す試験を実施した(N=3)。その結果、全てのモジュールにおいて、目標である起動停止回数12回の後も、製品水素純度99.99%以上を維持していることを確認した。

### **3.3 概念設計（テーマ(i)(ii)共通）**

#### D 水素製造効率 (○達成)

汎用プロセスシミュレーターを用いて、シミュレーションを実施した(図6)。シミュレーションにおいては、まず40Nm<sup>3</sup>/h級システムの運転をできる限り正確に再現できるようにパラメーター・フィッティングを行い、その後システムを普及機を想定した容量(100~300Nm<sup>3</sup>/h規模)へスケールアップした際の水素製造効率を計算した。一般に、スケールアップすると放熱ロス低減し、補機の効率は向上するため、水素製造効率はスケールアップ前よりも高くなる。

40Nm<sup>3</sup>/h級システムでは、前事業において、すでに80%HHVの水素製造効率を実証している。したがって、普及機を想定した容量(100~300Nm<sup>3</sup>/h規模)へスケールアップしたシステムに対して、シミュレーションによって得られる水素製造効率は、80%HHV以上となる。今後は、スケールアップにより水素製造効率をどの程度まで上げられるか、定量評価する予定である。

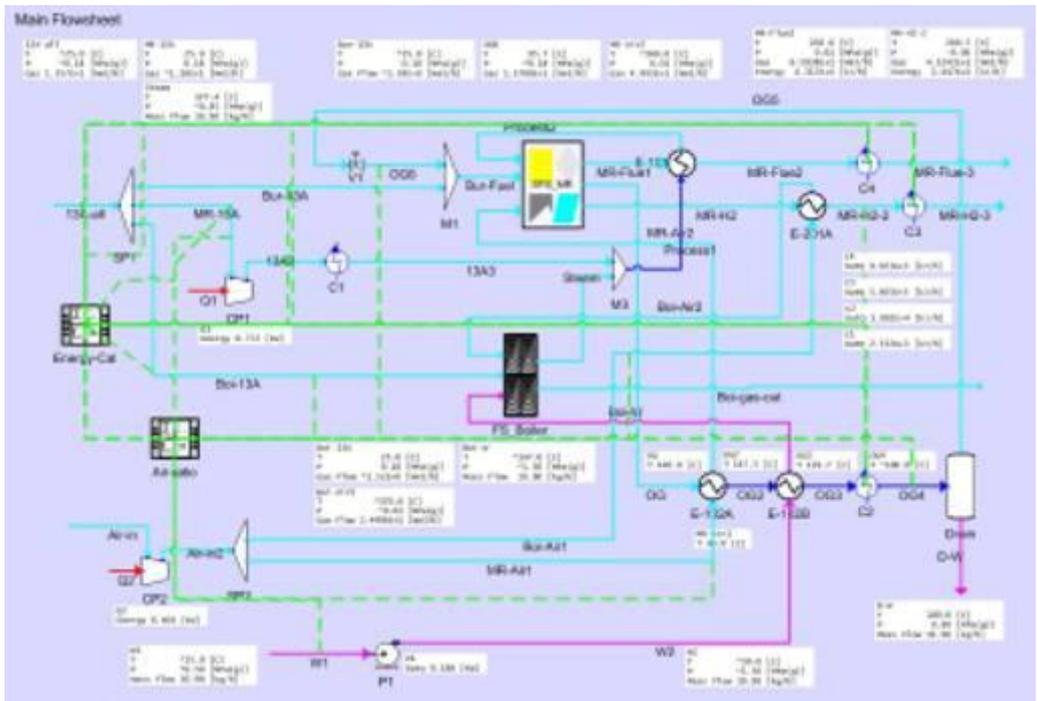


図6 40 Nm<sup>3</sup>/h 機プロセスシミュレーション

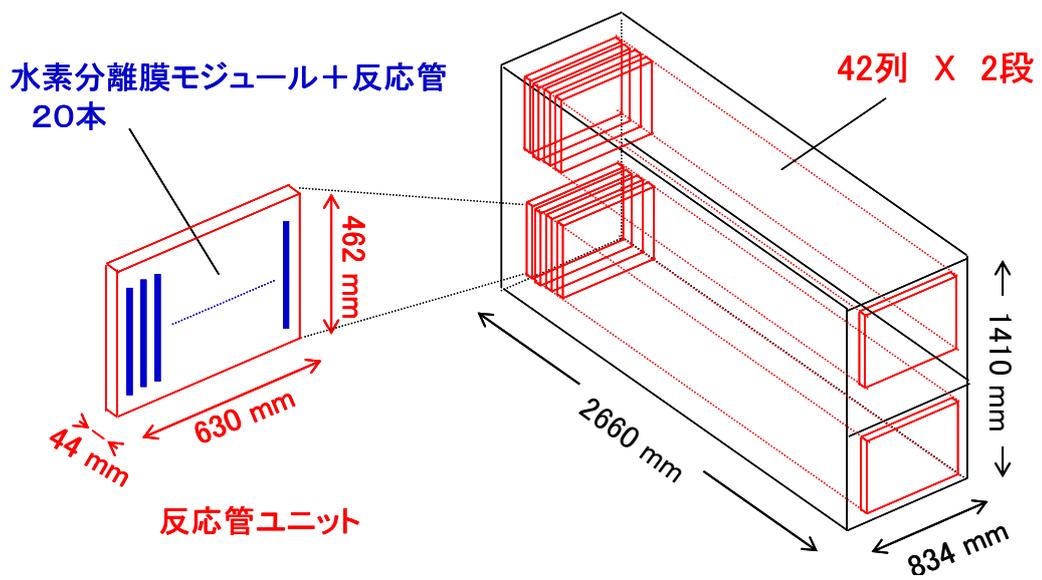


図7 リフォーマー炉サイズ概念設計

### E 設備サイズ (○達成)

普及機を想定した容量としては最も小さい 100 Nm<sup>3</sup>/h 規模を前提として、設備サイズの試算（概念設計）を行った。水素分離膜モジュールについて、コンパクト性に優れた「触媒一体化モジュール」のサイズを前提として、100 Nm<sup>3</sup>/h 級リフォーマー炉を概念設計した結果、リフォーマー炉のサイズを W2.05 (m) x D1.08 (m) x H1.41 (m) = 3.12 m<sup>3</sup> となった (図 7)。補機については本事業の実施項目対象外であるが、普及機の実用化開発において補機についても相当のサイズダウンを行い、残り 6.18 m<sup>3</sup> のスペースに入る補機を実現して、設備サイズ目標 (10 m<sup>3</sup>) を達成する。

### F 設備コスト (○達成)

普及機を想定して設備コストの試算（概念設計）を行い、1 Nm<sup>3</sup>/h あたりの設備コストに換算した。現状の 40 Nm<sup>3</sup>/h 級システムは水素分離膜モジュールのコストが高価になっており、これを低減することが目標コスト達成のための、最重要課題である。

40 Nm<sup>3</sup>/h 級システムで採用されている水素分離膜モジュールのコストが高い理由は、量産効果が見込めない構成である事である。これに対して、「触媒一体化モジュール」では、セラミックス製品の量産技術が適用できる構成であるため、コストダウンが期待できる。普及機を想定したモジュールコストを試算した結果、システム目標コスト (30 万円/ Nm<sup>3</sup>-h) の 30%以下となった (図 8)。補機については本事業の実施項目対象外であるが、普及機の実用化開発において相当のコストダウンを行い、残り約 70%のコスト (約 6300 万円@300 Nm<sup>3</sup>/h) まで補機コストを低減し、設備コスト目標を達成する。

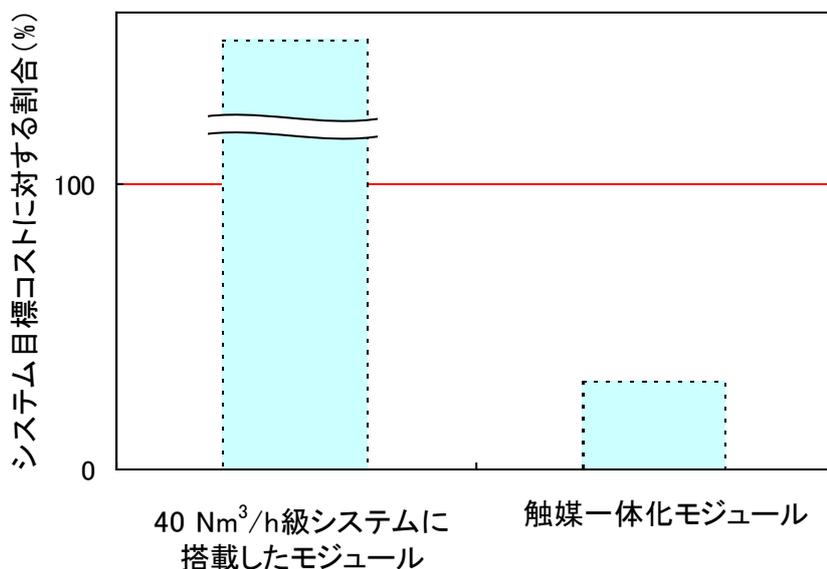


図 8 システム目標コストに対するモジュールコスト割合

### 3.4 その他（テーマ(i)(ii)共通）

#### 1) CO<sub>2</sub>回収実証（分散型水素製造としては世界初）

CO<sub>2</sub>分離回収装置（図9）を製作し分散型水素製造として世界で初めてCO<sub>2</sub>の分離回収を実証した。水素分離型リフォーマーは、オフガス（改質側ガスから、水素分離膜により水素を分離精製した残りのガス）中のCO<sub>2</sub>濃度が高い（参考：LNG火力排ガス：3～4%、石炭火力排ガス：12～14%、PSAオフガス：40～45%）という特長がある。このため、オフガスを除湿した後、加圧・冷却して液化することにより、容易にCO<sub>2</sub>を液化回収できる（図10）。本事業では、わずか3%ポイントのエネルギーロスでCO<sub>2</sub>の液化回収まで成功し、その結果としてオフガス中のCO<sub>2</sub>の90%以上を分離回収することができた。



図9 CO<sub>2</sub>分離回収装置外観

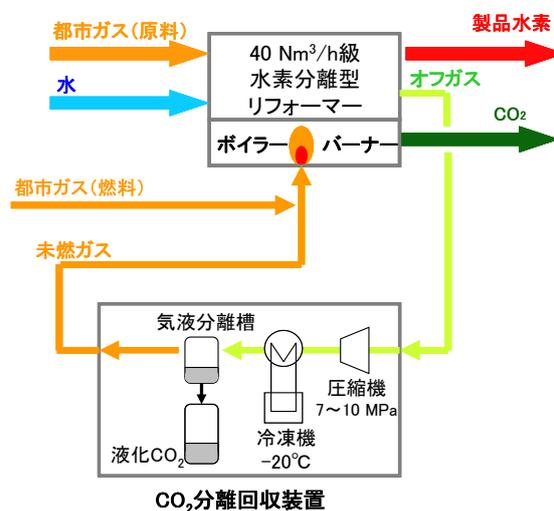


図10 CO<sub>2</sub>分離回収フロー

#### 2) 技術調査

多数の学会・国際会議（Fuel Cell Seminar & Exposition, HYPOTHESIS, International Conference on Catalyst in Membrane Reactors, NHA Hydrogen Conference and Expo, International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies, World Hydrogen Energy Conference, World Hydrogen Technology Convention, International Gas Union Research Conference, Low Carbon Earth Summit, International Conference on Hydrogen Production）に参加し、水素分離型リフォーマーに関する情報収集を行った。

#### 3) 特許・論文発表・外部発表・プレス発表

積極的に特許出願・論文発表・外部発表・プレス発表を行った。本事業に関わる特許、論文、外部発表（講演発表）、プレス発表の件数は表1のとおりである。

表1 特許・論文・外部発表等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT*出願	査読有り	査読無し	
H20年度	2	0	0	1	1	3件+ <sup>7</sup> 以発表9件
H21年度	7	0	0	0	2	13件
H22年度	2	0	0	0	1	10件
H23年度	4	0	0	3	1	14件+ <sup>7</sup> 以発表3件
H24年度	3	0	0	0	0	6件
合計	18	0	0	4	5件	46件+ <sup>7</sup> 以発表12件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

H24年10月10日現在

4) 外部助言委員会

外部有識者によるチェックと助言を得るため、伊藤直次教授(宇都宮大)、石原達己教授(九州大)、香川豊教授(東京大)を招き、外部助言委員会を計6回実施した。

4. 研究成果のまとめ及び今後の課題

目標に対する達成度を表2にまとめる。

表2 目標に対する達成度一覧

実施項目	最終目標	テーマ	成果内容	自己評価
A	【連続改質耐久性】 8000時間以上の運転経過後においても、水素純度99.99%以上を維持することを実証。(i)(ii)	(i)	8000時間超の耐久性を実証済。	○達成
		(ii)	電気炉では8000時間超の耐久性を実証済。	○来夏確認予定
B	【起動停止耐久性】 12回起動停止後においても、水素純度99.99%以上を維持することを実証。	(i)	目標を大幅に超える耐久性(起動停止97回)を実証した。	◎大幅達成
		(ii)	12回の耐久性を実証した。	○達成
C	【運転安定性】 日常的な簡易検査やメンテナンスを除いて、8000時間以上の運転が可能であることを実証。(i)	(i)	8000時間超の運転安定性を実証済。	○達成
D	【水素製造効率】 ≥80%HHV	共通	所定の条件で概念設計を実施。	○達成
E	【設備サイズ】 ≤10m <sup>3</sup>	共通	所定の条件で概念設計を実施。	○達成
F	【設備コスト】 ≤30万円/Nm <sup>3</sup> -h	共通	所定の条件で概念設計を実施。	○達成

## **5. 実用化・事業化見通し**

- ・ テマ(i)で得たシステムレベルでのノウハウを活かし、テマ(ii)で開発した低コストな水素製造モジュールを用いて、速やかに実用化開発に移行する。
- ・ 水素性状に関する ISO 基準に対応する。
- ・ 本事業の実施項目外であった補機についても、最適機種を選定、あるいはよりコンパクト、低コスト、高効率な補機の開発を行う。

●進捗成果サマリ(平成20年度～平成23年度3月完了, 継続研究:平成23年9月～平成24年1月完了)

- ・FCV普及初期に向けた水素ステーション用水素製造装置の仕様を明確にした。
- ・プロセス検討、改質器構造の概念検討、模擬改質器燃焼試験、改質触媒試験により、改質効率85%、S/C2.5、改質器サイズ従来比1/5とする見通しを得た。
- ・水素PSAの検討により、PSA回収率90%、実規模システムサイズ従来比1/2とする見通しを得た。
- ・ステーション運用者視点での評価を反映した75Nm<sup>3</sup>/h水素製造装置試作機にて目標以上の改質効率(84.4%)を確認し、300Nm<sup>3</sup>/h商用機の改質効率目標(85%)の達成見込みを得た。

●背景/研究内容・目的

水素インフラの中心である水素ステーションを普及可能なものとするためには、水素製造装置の高性能化、低コスト化等に加えて、水素ステーションの運用に求められる起動時間の短縮化、首都圏等の狭小エリアへの設置等を想定した開発が必要である。FCV普及初期での事業化に対応した実用的な水素ステーション用水素製造装置を提供するため、水素製造装置仕様の明確化と装置仕様を満足する水素製造技術の確立を目的とする。

●研究目標

実施項目	最終目標
A.水素製造装置要求仕様の調査, 検討	装置仕様の確定
B.高性能反応器の開発	改質効率: HHV85%以上 スチームカーボン比: 2.5以下
C.高性能水素PSAの開発	水素回収率: 85% システムサイズ: 現状比1/3
D. 試作機の設計, 製作, 検証運転	製造効率: HHV77.5%以上 起動時間: 1時間
E. 試作機の設計, 検証運転のユーザ評価	試作機設計, 運転結果に対しユーザ視点で評価を行う。

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

- A. ・ステーション運用者の視点から水素製造装置の仕様を明確化した。  
1) 装置能力: 300Nm<sup>3</sup>/h, 2) 装置コスト: 9000万円以下, 3) 設置スペース: 5.5m×10m(周辺スペース含む), 4) 起動時間 : 1時間(DSS運用)
- B. ・改質器、バーナ構造の概念設計を行い改質器の小型化を図り、改質器サイズを従来比1/5とする見通しを得た。  
・改質器、バーナ構造を模擬改質器燃焼試験で検証し、バーナ設計に反映した。  
・触媒試験により改質触媒の初期性能を確認し、比較的安価なNi系改質触媒にて S/C2.5以下での適用可能性を見出した。  
・水素製造装置のプロセス検討により改質効率85%の見込みを得た。
- C. ・吸着シミュレーション検討により真空再生の採用と再生サイクルの最適化により、水素回収率90%の見通しを得た。  
・パイロット規模試験装置で操作パラメータが水素回収率、水素純度に及ぼす影響の傾向を把握した。  
・実規模システムの検討によりシステムサイズを従来比1/2とする見通しを得た。
- D. ・水素製造装置試作機の設計、製作を行い、検証試験により目標以上の改質効率84.4%を得た。ただし起動時間は3時間と目標を超過した。⇒継続研究にて2時間まで短縮した。
- E. ・ステーション運用者の視点から試作機設計図書の見直し、評価を行い設計に反映し、試作機運転結果を評価し、商用化に向けた改善点を挙げた。
- さらに、300Nm<sup>3</sup>/h商用機試設計を行い、目標設置スペースに設置可能との見込みを得たが、コストは1億円を超過する結果となった。



75Nm<sup>3</sup>/h試作機外観

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A.	水素製造装置仕様の明確化	○
B.	改質効率85%(HHV基準) S/C=2.5(Ni系改質触媒) 改質器サイズ従来比1/5	○
C.	水素回収率90% システムサイズ1/2	△
D.	製造効率79.2% 起動時間3時間⇒2時間	△
E.	ユーザ視点から試作機設計を評価検討し、設計に反映	○
商用機試設計	設置エリア: 10m×5.5m コスト: ≤9000万円	△

●今後の課題

試作機は「地域水素供給インフラ技術・社会実証(1)技術・社会実証研究」にて千住水素ステーションに設置され、実証運用を通し、長期性能、耐久性等を検証する。  
コストは材料、生産から見直し、徹底的なコストダウンを図る。

●実用化・事業化の見通し

試作機の検証結果を元に、コストダウンを含め商用規模水素製造装置の商品化開発を進め、2015年頃までの先行整備期での市場投入を計画している。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	2	0

# 水素製造装置の高性能化・低コスト化・コンパクト化に関する研究開発

実施者：三菱化工機株式会社

再委託先：東京ガスケミカル株式会社

## 1. 事業概要

現在、JHFC ステーションでは従来の工業用途向け水素製造装置を転用して実証中であるが、効率やコスト等未だ多くの解決すべき課題がある。水素インフラの中心である水素ステーションを普及可能なものとするためには、水素ステーション用として水素製造装置の高性能化、低コスト化等のための要素技術開発に加えて、水素ステーションの運用に求められる起動時間の短縮化、首都圏等の狭小エリアへの設置等を想定した開発が必要である。

本研究開発では、表1の研究開発を実施する。FCV 普及初期（2015年頃を想定）での事業化に対応した実用的な水素ステーション用水素製造装置に要求される性能、仕様をユーザの視点から調査、検討し、その結果により水素製造装置の仕様目標を明確にするとともに、改質器と水素 PSA の高効率化開発を軸とした研究開発を行い、試作装置による検証運転を実施し、その結果とユーザ視点での評価を商用水素製造装置の設計に反映させた。

表1 研究開発項目

研究開発項目	担当（再委託）
水素ステーション用水素製造装置に対する要求仕様の調査、検討	（東京ガスケミカル株）
高性能反応器の研究開発	三菱化工機株
高性能水素 PSA の研究開発	三菱化工機株
水素製造装置試作機の設計、製作	三菱化工機株
水素製造装置試作機の検証運転	三菱化工機株
水素製造装置試作機のユーザ評価	（東京ガスケミカル株）

## 2. 事業目標

### 2-1 商用水素製造装置の目標仕様

水素ステーション用商用水素製造装置の想定目標仕様を表1の通り設定したが、各数値は、要求仕様の調査、検討の結果を反映させ、見直しを図った。

表2 商用水素製造装置想定仕様

	当初想定目標仕様	現状（工業用途向け）
水素製造能力	300Nm <sup>3</sup> /h	~200Nm <sup>3</sup> /h
改質効率（HHV 基準）	85%以上	75%程度
（製造効率（HHV 基準））	（80%以上）	（70%程度）
装置サイズ	20m <sup>3</sup> 以下	80m <sup>3</sup> 程度
装置コスト	90 百万円以下	180 百万円程度
起動時間	1 時間	4 時間程度
原料	13A 都市ガス	13A 都市ガス、LPG 等

## 2-2 開発項目の目標

本研究開発は、改質器と水素 PSA の高効率化開発を軸とした研究開発を行い、50Nm<sup>3</sup>/h 試作装置を設計、製作し、検証運転による成果の確認を実施する。各研究開発項目の目標は以下の通りである。

### (1) 高性能反応器開発目標

- ①改質効率：85%以上（HHV 基準，300Nm<sup>3</sup>/h 相当商用機）
- ②S/C：2.5 以下（都市ガス原料では従来 3.0 程度）

### (2) 高性能 PSA 開発目標

- ①水素回収率：85%以上（300Nm<sup>3</sup>/h 相当実用機）
- ②システムサイズ：現状の 1/3 以下

### (3) 試作機開発目標

- ①水素製造能力：50Nm<sup>3</sup>/h
- ②改質効率：82.5%以上（HHV 基準）
- ③起動時間：1 時間

## 3. 事業成果

### 3-1 水素ステーション用水素製造装置に対する要求仕様の調査，検討

天然ガススタンドの建設・運転管理・設備管理の経験を元に装置サイズ、コスト、メンテナンス方法、起動時間、ステーション運営に応じた装置の運転方法につき仕様を検討し、表 2 の通り目標仕様を決定した。

表 3 水素製造装置目標仕様

	目標仕様
水素製造能力	300Nm <sup>3</sup> /h
設置面積	10m × 5.5m (周囲スペース含む)
装置コスト	90 百万円以下
装置運用	起動時間 1 時間 DSS 運用

#### (1) 水素製造能力

既存給油スタンドの需要実績を参考とし水素ステーションでの車両充填スケジュールを仮定し、供給量および稼働率の点から装置能力を検討した結果、300Nm<sup>3</sup>/h が妥当と判断した。

#### (2) 装置サイズ

FCV 普及初期は既存天然ガススタンドを水素ステーションに置き換えることが主流になるものと想定し、既存天然ガススタンドの敷地面積を調査した結果、単独設置型天然ガススタンドの 80~90%は、その敷地面積が 450m<sup>2</sup>程度であった。この敷地面積に対し、水素ステーションのレイアウト検討を行った結果、キャノピー上に各装置が配置できるものとした場合、水素製造装置の設置面積としては、装置周囲歩廊，メンテナンスエリア等を含め 10m × 5.5m 程度になるとの結果を得た。

#### (3) 装置コスト

設備投資費による水素単価の影響を検討した結果、FCV 普及初期の水素価格を 70~80 円 /Nm<sup>3</sup>とするには装置稼働率を 100%としても、水素ステーション建設費は 3 億円程度とする必要があり、他の建設、設備コストを考慮すると水素製造装置は 90 百万円とする必要がある。

#### (4) 運用方法

既存のガソリンスタンド、天然ガススタンド、LPG スタンド等の調査結果を参考に、水素ステーションの営業時間と充填台数の時間帯別分布を想定し、要求される起動時間を検討した結果、開店準備時間内に起動する必要があるとあり、1 時間以内の起動時間が求められると判断した。また DSS 運用と夜間ホットスタンバイ運用でのコスト比較の結果、DSS 運用が有利と判明した。

#### (5) メンテナンス

水素単価低減には、装置稼働率を高めることが必須であり、メンテナンスに伴うステーション休業日数は出来るだけ短期間にする必要がある。水素製造装置および付帯設備に関する法定検査及び定期修理項目別に実施内容を検討し、短縮化を図ることが必要である。

### 3-2 高性能反応器の研究開発

#### (1) 改質効率の向上

##### 1) 水素製造装置プロセス検討

改質方式には高い改質効率を得られる水蒸気改質方式を採用し、水素製造装置のプロセス並びに装置構成を検討した。検討の結果、S/C=2.5、水素 PSA の水素回収 90%以上とすることで改質効率 85%を達成できる見通しを得た。最終的なプロセス、装置構成についてはコスト、装置サイズとのバランスより決定した。

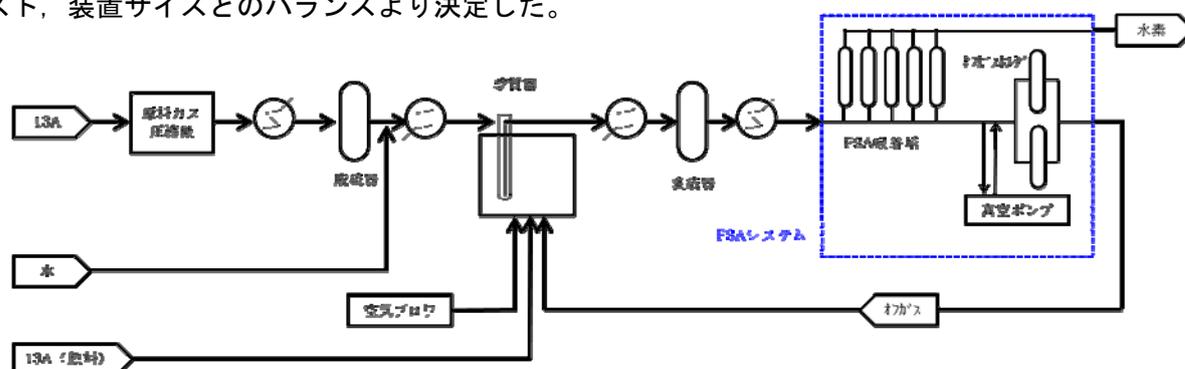


図1 水素製造装置概略フロー

##### 2) 改質触媒の評価試験

マイクロ試験設備にて S/C=2.5 において十分な活性を有する改質触媒を探索するため、触媒試験装置にて Ni 系触媒と Ru 系触媒の短期性能試験を行った (図 2)。原料には 13A 都市ガスを用いた。300 時間程度の短期試験では触媒の違いによるメタン転化率の低下、改質ガス中に C2 以上の成分が検出されるなどの劣化兆候は見られなかった。また、使用済触媒の炭素量分析では S/C=1.5 では Ni 系触媒の炭素析出量が多い結果となったものの、S/C=2.0 では Ni 系と Ru 系での炭素析出に差異は見られず、13A 都市ガス原料では Ni 系触媒を S/C=2.5 で使用できる可能性があるかと判断し、さらに長期連続試験にて適用可能性を追求した (図 3)。4000 時間経過後も触媒性能劣化は認められなかったことから、比較的安価な Ni 系改質触媒を S/C=2.5 の条件にて運転可能なことを確認し、水素製造装置試作機に採用

し、実装置環境下で検証することとした。

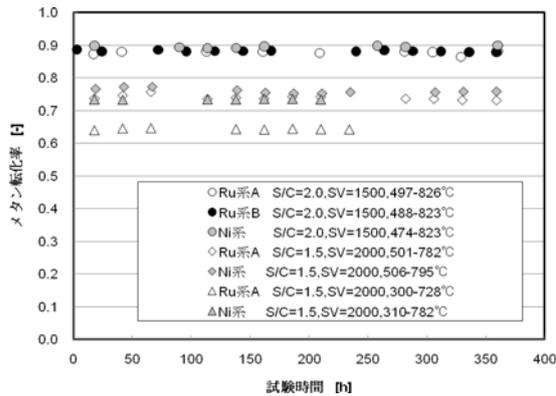


図2 改質触媒短期比較試験結果

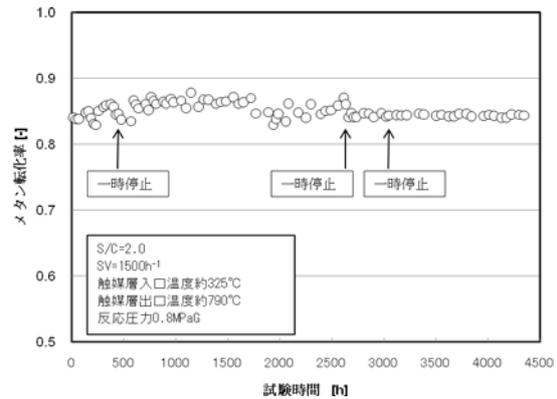


図3 Ni系改質触媒長期試験結果

## (2) 小型化

### 1) 改質器構造の検討

従来装置では主要機器である改質器が多くのスペースを占有していることから、改質器の大幅な小型化を検討した。反応管の小径多管化、配置の極小化、バーナ構造を検討した結果、改質器の占有容積を従来装置の1/5程度まで低減可能との見通しを得た。

### 2) 模擬改質器による検証

改質器の反応管への改質反応熱を有効に伝達させるには改質器炉内の温度分布が均一になることが望ましく、改質器、バーナ構造の検証のため、熱流体解析と模擬改質器による検証を行った。水素製造量 50Nm<sup>3</sup>/h 相当規模の模擬改質器を製作し、バーナ燃焼試験を行った。バーナはパイロットバーナ、メインノズル、オフガスノズルを有した混焼バーナであり、各ノズル径、数量及び配置等を種々変更し、都市ガス単独燃焼、オフガス混合燃焼において良好な燃焼状態を確認し、改質器及びバーナ設計へ反映した。

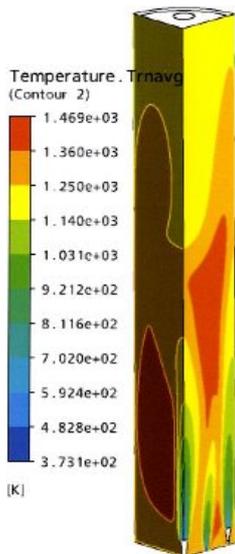


図4 模擬改質炉解析例



図5 模擬改質器

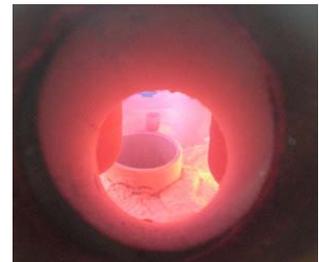


図6 模擬改質器炉内状況

#### (1) パイロット規模検証試験

パイロット規模試験装置にて検証試験を実施した。試験設備規模の制約から吸着剤量に対し配管等のデッドスペースが過大なため、高純度での評価が困難であったが、システム各操作パラメータが水素回収率、水素純度に及ぼす影響の傾向を把握し、PSA システムのシーケンス設計データを入手した。

#### (2) 実規模システムの検討

パイロット規模検証試験結果と吸着シミュレーション検討結果を元に、実規模 PSA システムの検討を行った。真空再生方式の採用、高サイクル化により、吸着剤充填量およびオフガスホルダ容積が低減できることを確認し、最終的に従来に比して1塔当りの吸着剤量を1/3に、オフガスホルダについてはさらに2塔化による吸着塔脱圧工程の改良により、ホルダ容積を1/5に低減可能であることが分かった。なお、真空再生方式では常圧再生方式にはない真空ポンプが必要となるが、その占有容積を加味しても常圧再生方式 PSA システムと比較し占有機器容積で1/2に縮小出来ることが分かった。この結果を水素製造装置設計に反映した。

表4 PSA システム比較

	従来	本研究開発
方式	4塔常圧再生	5塔真空再生
サイクル時間比	1	0.33
水素回収率	75%	90%
吸着剤量比(1塔当り)	1	0.33
オフガスホルダ容積比	1	0.2
真空ポンプ	なし	あり
システム機器占有容積比	1	0.5

#### 3-4 水素製造装置試作機の設計、製作及び検証運転

上記の各研究開発項目の検証として、300Nm<sup>3</sup>/h 商用機を考慮した試作機を設計、製作した。



図7 試作機改質器



図8 試作機外観

試作機の設計仕様は下記の通りである。改質効率については装置規模を考慮し、82.5%とした。水素製造能力については特に主要機器である改質器のスケールアップを考慮し、商用機の1/4である75Nm<sup>3</sup>/hとした。

表5 試作機設計仕様

項目	商用機	試作機	備考
水素製造量	300Nm <sup>3</sup> /h	75Nm <sup>3</sup> /h	
改質効率	85%以上	82.5%以上	装置規模による熱損失を考慮
製造効率	80%以上	77.5%以上	
起動時間	1時間	1時間	

延べ運転時間 168 時間，起動停止 21 回の運転を実施し、定格原料負荷にて水素製造量 75Nm<sup>3</sup>/h、改質効率 82.5%以上を確認した。ただし、水素回収率、製品水素純度は設計値に及ばなかったため、水素 PSA のさらなる調整が必要である。また、起動時間も3時間を要したが、平成 23 年度の継続研究にて起動工程の見直しにより起動時間を2時間まで短縮した。商用化に向け、さらに工程の見直しを検討する。

### 3-6 水素製造装置試作機のユーザ評価

工業用途向け水素製造装置の運用経験を元に試作機の基本設計図書について評価、検討を行い、設計に反映させた。

試作機の検証運転の評価を行い、装置機能，メンテナンス性等の改善項目を明確にした。

### 3-7 300Nm<sup>3</sup>/h 商用機試設計

試作機製作の結果を元に 300Nm<sup>3</sup>/h 級商用機の試設計とコスト試算を行い、装置サイズは「3.2m×7.5m×3.3m」と、目標設置スペースに設置できる見込みである。

コストは1台当り1億円を超過する結果となり、さらなる検討が必要であることが明らかになった。

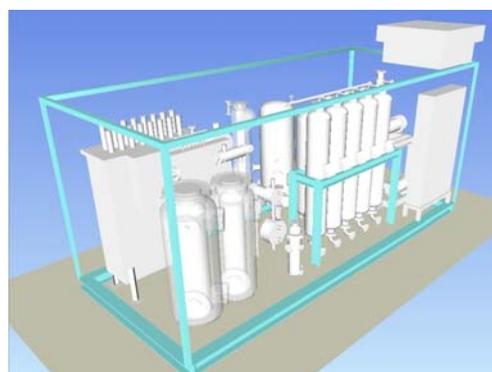


図9 300Nm<sup>3</sup>/h 商用水素製造装置イメージ

### 3-8 特許、論文、講演、報道等の件数

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT <sup>*</sup> 出願	査読付き	その他	
H20FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H21FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H22FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

#### 4. まとめ及び課題

##### 4-1 まとめ

- (1) 水素ステーション用水素製造装置に対する要求仕様の調査, 検討
  - ・水素製造装置の目標仕様を明確化した。
- (2) 高性能反応器の研究開発
  - ・水素製造装置プロセス、機器構成を検討、決定した。
  - ・改質器構造検討により従来の約 1/5 のサイズとした。
  - ・模擬改質器燃焼試験結果をバーナ設計に反映した。
  - ・低 S/C 下でも安価な Ni 系改質触媒が使用できる見通しを得た。
- (3) 高性能水素 PSA の研究開発
  - ・パイロット規模試験装置にて実機設計データを取得した。
  - ・PSA システム検討により、システムサイズを従来の 1/2 に縮小可能なことを確認した。
- (4) 水素製造装置試作機的设计・製作及び検証運転
  - ・ユーザ評価を反映させた 75Nm<sup>3</sup>/h 級試作機を製作し、検証試験を実施した。
  - ・設計目標から 2 ポイント程度高い改質効率及び製造効率を達成した。
  - ・起動時間は目標 1 時間に対し 3 時間を要した。(継続研究で 2 時間まで短縮)
- (5) 水素製造装置試作機のユーザ評価

水素製造装置試作機の基本設計についてユーザの観点から評価を行い、装置の信頼性、耐久性、メンテナンス性等を向上させるべく、設計仕様に反映させた。また、水素製造装置試作機の検証運転結果から、装置改善項目を明確にした。

##### 4-2 課題

本委託研究終了後の継続研究にて水素製造装置試作機の検証運転を実施し、起動操作等の見直しにより DSS 運用下での起動時間を当初の 3 時間から 2 時間程度まで短縮できることを確認した。ただし、目標である 1 時間達成のためにはさらなる検討が必要である。

また実用化に当たっては長期運転による検証が必要であるが、「地域水素供給インフラ技術・社会実証事業 (1) 技術・社会実証研究」にて、本事業の成果品である水素製造装置試作機は千住水素ステーションに移設され、実証運用を継続中である。実証運用での検証結果を商用機設計に反映することで、より水素ステーション事業に適した水素製造装置の提供が可能となるものと考える。

コストについては構成材料、部品数量、加工法等の見直しや生産検討により、徹底的なコストダウンを図る。

#### 5. 実用化・事業化見通し

弊社は既に工業用途向水素製造装置について事業化しており、多数の実績を有している。本研究開発で得られた成果を元に水素ステーション用水素製造装置の商用化開発を進めており、2015 年頃までの先行整備期に市場投入を計画している。

## (Ⅱ-3) CO<sub>2</sub>膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発

委託先: (株)ルネッサンス・エナジー・リサーチ、神戸大学、京都大学  
(独)産業技術総合研究所、(株)ミクニ、再委託先: 大分大学

### ●進捗成果サマリ(平成20年度～平成24年度7月末)

- ・CO<sub>2</sub>選択透過膜は180℃で、目標レベルの安定した性能を有する膜の開発に成功した。
- ・CO変性触媒については、より高活性な触媒への改良、コストダウン、量産化の実現に近づいている。
- ・高性能化と加工性の向上・低コスト化を両立すべく、触媒の組み合わせやリアクター構造の検討を実施した。

### ●背景/研究内容・目的

水素ステーションの小型化、低コスト化、高効率化を目的として、選択的、高効率にCO<sub>2</sub>分離が可能なCO<sub>2</sub>選択透過膜と高性能なCO変性触媒を組み合わせたメンブレンリアクターを開発する。その完成度を高めるために、メンブレンリアクターを構成するCO<sub>2</sub>選択透過膜、CO変性触媒等の各種要素技術の耐久性、信頼性を確立する。さらに起動停止を含む実使用条件下での性能・寿命等のエンジニアリングデータを取得しフルスケール(300Nm<sup>3</sup>/Hr規模)の水素ステーション用改質システムのコスト、効率、サイズを含めた一次FSを行う。

### ●これまでの実施内容／研究成果

#### (A)CO<sub>2</sub>選択透過膜の開発

耐熱性の向上については、180℃においてCO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>選択性 $\geq 200$ (mol比)、CO<sub>2</sub>透過速度 $\geq 1 \times 10^{-4}$  mol/(m<sup>2</sup> s kPa)の性能を安定して示す膜を開発した(図1)。さらに、モジュール化が容易な円筒型メンブレンの開発に成功した。

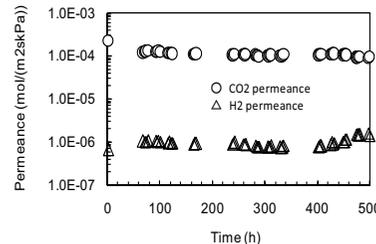


図1 180℃での性能試験結果

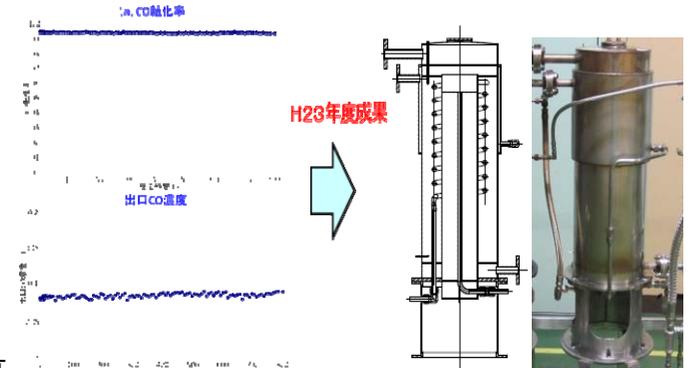


図2 高性能CO変性触媒と熱交換型等温CO変成器によるCO低減効果

#### (B)CO<sub>2</sub>変性触媒の開発

Cu系触媒、貴金属触媒共に高性能化に成功し、目標の性能を達成した。さらに、入り口用触媒(高濃度COで高活性)、と出口用触媒(低濃度COで高活性)を開発。リアクター各部で有効に機能する2種類の触媒の組合せの効果を確認。触媒だけでCO転化率、99%以上、CO濃度0.1%以下が実現できることを見出した(図2)

#### (C)メンブレンリアクターの設計

平板型、円筒型などのリアクターの形状や加工性の検討を行った。また、円筒型メンブレンによるリアクター設計を検討している

### ●今後の課題／スケジュール(H24年度まで)

#### 課題

開発した要素技術を組み合わせてメンブレンリアクターとしての実証を行う。

#### スケジュール

- 22年度 1Nm<sup>3</sup>/Hr 規模の原理検証機による検証
- 23年度 機動停止を含む実使用条件下での性能・寿命エンジニアリングデータ取得
- 24年度 フルスケール(300Nm<sup>3</sup>/Hr規模)の水素ステーション用改質システムのコスト、効率、サイズを含めた一次FSを行う。

### ●実用化・事業化の見通し

水素ステーションへの応用については、共同開発先の株ミクニが水素関連ビジネスの一環として実施予定。

### ●研究成果まとめ

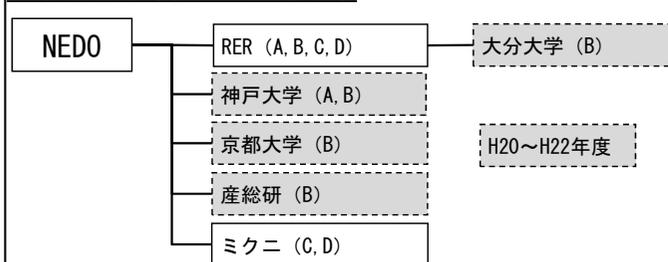
実施項目	成果内容	自己評価
(A)	開発目標性能を達成。円筒型メンブレンの開発に成功。	◎
(B)	入り口用触媒(高濃度COで高活性)、と出口用触媒(低濃度COで高活性)を開発。リアクター各部で有効に機能する2種類の触媒の組合せの効果を確認。触媒だけでCO転化率、99%以上、CO濃度0.1%以下が実現できることを見出した	◎
(C)	実機想定条件下での各種エンジニアリングデータを取得した	○
(D)	フルスケール(300Nm <sup>3</sup> /Hr規模)の水素ステーション用改質システムのコスト、効率、サイズを含めた一次FS実施(予定)	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
6	1	22	2

### ●研究目標

実施項目	中間目標(H22年度)	最終目標(H24年度)
(A) CO <sub>2</sub> 選択透過膜の開発	170℃以上にて: $1 \times 10^{-4}$ mol/(m <sup>2</sup> s kPa) のCO <sub>2</sub> 透過速度にて、CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> 選択性が200	
(B) メンブレンリアクター用CO変性触媒の開発	160℃以下、SV2000 h <sup>-1</sup> にてメタン生成が1%以下、10%程度含まれるCO 0.1%以下に低減(メンブレンの効果を含む)	
(C) メンブレンリアクターの開発	1m <sup>3</sup> /h原理検証機での性能実証	起動停止を含む実使用条件下での性能・寿命等エンジニアリングデータの取得
(D) 水素ステーショントータルシステムの最適化	次世代H <sub>2</sub> ステーションコンセプト確立。PSA 1/4, オフガスタク不要化, S/C = 2, 効率80%以上	フルスケール(300Nm <sup>3</sup> /Hr規模)の水素ステーション用改質システムの試設計を行いコスト、効率、サイズを含めた総合的なFSを行う。

### ●実施体制及び分担等



事業名：「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発／水素製造機器要素技術に関する研究開発／  
CO<sub>2</sub>膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発」

実施者：株式会社ルネッサンス・エナジー・リサーチ

(再委託先：国立大学法人大分大学)

株式会社ミクニ

国立大学法人神戸大学

国立大学法人京都大学

独立行政法人産業技術総合研究所

## 1. 事業概要

水素ステーションの小型化、低コスト化、高効率化を目的として、選択的、高効率に CO<sub>2</sub> 分離が可能な CO<sub>2</sub> 選択透過膜と高性能な CO 変成触媒を組み合わせたメンブレンリアクターを開発する。その完成度を高めるために、メンブレンリアクターを構成する CO<sub>2</sub> 選択透過膜、CO 変成触媒等の各種要素技術の耐久性、信頼性を確立するとともに、量産化検討、コストダウン研究等を実施する。さらに、小規模のメンブレンリアクターシステム(原理検証装置)での性能実証、メンブレンリアクターの特長を活かした PSA の小型化検討を行ない、その成果を基に実機(300m<sup>3</sup>/Hr 規模の能力)を想定した一次 FS を行う。

## 2. 事業目標

### 2-1 研究開発の目標(本開発プロジェクト全体の目標)

従来の水素ステーション用改質システムの代替技術として CO、CO<sub>2</sub> を化学平衡の制約を越えて同時に低減できるメンブレンリアクターを開発し、メンブレンリアクターの特長を活かし PSA の小型化検討を行なう。また下記の性能・特長を有するメンブレンリアクターを 1Nm<sup>3</sup>/Hr 規模の原理検証装置を用いて耐久性、信頼性も含めて実証する。

### 2-2 全体の目標を達成するための開発項目毎の目標

#### 1) CO<sub>2</sub> 選択透過膜の開発

前プロジェクトで得られた 160℃ の操作で CO<sub>2</sub> 透過速度が 1x10<sup>-4</sup> mol/(m<sup>2</sup> s kPa)、CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> 選択性が約 100 の性能を有する CO<sub>2</sub> 選択透過膜をベースに、耐熱性をさらに向上させると共に、長期耐久性の確認、量産化技術の検討を実施する。

開発目標： 耐熱性	170℃以上(前プロジェクトで160℃を達成)
CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> 選択性	約200(前プロジェクトで100を達成)
CO <sub>2</sub> 透過速度	1x10 <sup>-4</sup> mol/(m <sup>2</sup> s kPa)以上

#### 2) 高性能 CO 変成触媒の開発

現状(断熱型変成器)：200℃、SV 1000 h<sup>-1</sup> で CO を 0.5～1.0% 以下に低減

開発目標：動作温度 170℃ 以下(銅系触媒：ただし耐熱 170℃ のメンブレンを前提)

SV 約 2000 h<sup>-1</sup>

メタン生成 1% 以下

10% 程度含まれる CO を 0.1% 以下に低減

(ただし前提となるCO<sub>2</sub>透過速度 $1 \times 10^{-4} \text{ mol}/(\text{m}^2 \text{ s kPa})$ 、メンブレンの効果を含む)  
 メンブレンの耐熱性、長期耐久性の確保の観点から、より低温活性の優れた貴金属系触媒も  
 平行して開発する。

開発目標: 貴金属系触媒: 動作温度目標160°C

(触媒の量産化手法の確立、貴金属濃度約1/2、コスト半減を目指す)

### 3) メンブレンリアクターの開発

開発目標: 出口CO濃度 0.1%以下(従来のCO変成器は1.0~0.5%)

出口CO<sub>2</sub>濃度 2.0%以下(従来のCO変成器は20%以上)

メンブレンリアクター操作温度: 170°C以下で使用可能

(従来のメンブレン耐熱性は160°C)

メンブレン・触媒複合化の効果を合せてSV2000 h<sup>-1</sup>程度を達成

### 4) 水素ステーショントータルシステムの最適化

次世代H<sub>2</sub>ステーションコンセプト確立。PSA 1/4, オフガスタク不要化, S/C = 2, 効率80%以上

## 3. 事業成果

### 3-1 CO<sub>2</sub> 選択透過膜の開発研究成果

#### ① 耐熱性の向上

前プロジェクトで開発した CO<sub>2</sub> 選択透過膜をベースにキャリアや製膜方法の改良による耐熱性の向上を検討した結果を図-1 に示す。図中の波線はそれぞれ本プロジェクトの CO<sub>2</sub> パーミアンス、CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> 選択性の目標値である。図に示されるように 160°C~200°Cの範囲において、初期性能では目標値をクリアすることができた。図-2(a)に同膜を改良した膜の 170°Cでの耐久性試験結果を示す。170°Cにおいて、CO<sub>2</sub> パーミアンスは 350 時間以上経過後も  $1 \times 10^{-4} \text{ mol}/(\text{m}^2 \text{ s kPa})$  以上の性能を安定して維持していることがわかる。また 180°Cでの耐久性も図-2(b)に示すが、安定した性能を維持している。

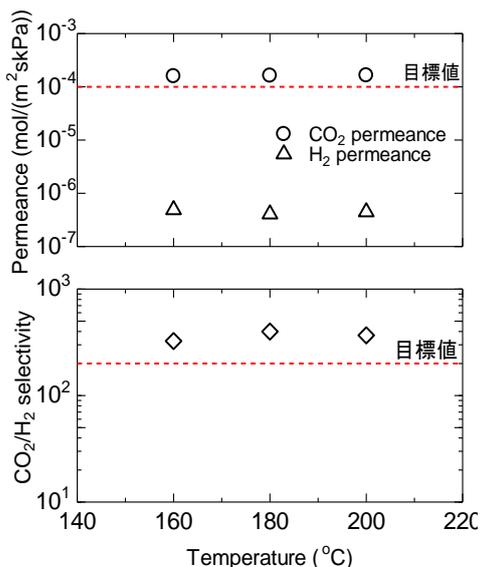


図-1 CO<sub>2</sub> パーミアンス、H<sub>2</sub> パーミアンス、CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> 選択性に対する温度の影響

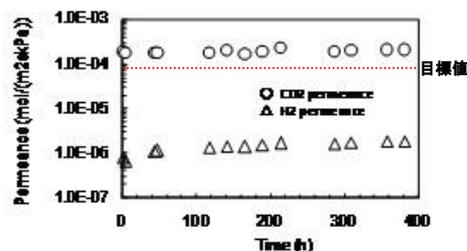


図-2(a) 170°Cでの耐久性試験結果

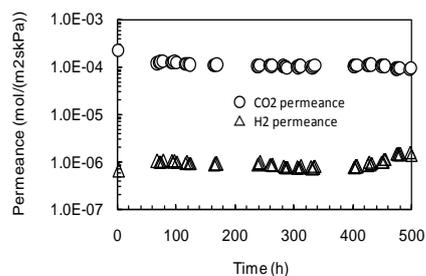


図-2(b) 180°Cでの耐久性試験結果

## ②円筒型支持体への製膜法の確立

従来メンブレンは成膜が容易な平膜での研究を進めてきたが、本 PJ では量産化が容易で、触媒との組み合わせにも自由度が大きい、円筒型支持体内側への製膜方法を検討した。図-3 に円筒内コート膜、外コート膜の評価結果を示す。製膜方法の検討の結果、内コート膜、外コート膜共に、CO<sub>2</sub>透過速度が $1 \times 10^{-4} \text{ mol}/(\text{m}^2 \text{ s kPa})$ を超える性能を示す製膜法の開発に成功した。

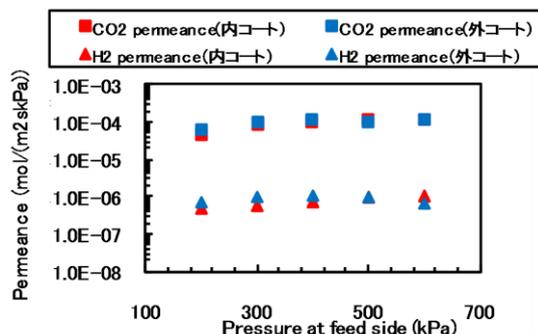


図-3 円筒内コート膜、円筒外コート膜の評価結果

## ③CO<sub>2</sub>選択透過膜のモジュール化に関わる開発成果

従来のメンブレン性能評価やモジュール試験は主として常圧条件で行われてきたが、実機では中圧(1MP以下)の都市ガスを原料とするケースが最も有利なため、加圧条件下でのメンブレン性能評価、加圧対応型の製膜条件の改良を行った。さらに加圧対応型メンブレンモジュールの検討・試作・評価も実施した。具体的には、従来の平板型スタックに比べ、耐圧性に優れた円筒内コート型メンブレンをベースにしたシリンダー型メンブレンモジュール構造を検討し、単管メンブレン 36 本から成っている 1m<sup>2</sup> モジュールの設計、試作を行った。試運転の結果、円筒型単管メンブレンの性能とほぼ同等の性能が 1m<sup>2</sup> モジュール(単管メンブレン 36 本から成っている)でも確認できた。

図-4 に CO<sub>2</sub> 選択透過膜のモジュール化に関わる製膜手法を含めた性能改良結果を示している。図中、a、b には本プロジェクト当初から開発を進めてきた平膜型メンブレンの性能を示している。図中 b の平膜型スタックモジュールの小型試作機の外観写真を図-5 に示している。本試作機では 1310mm<sup>2</sup> の円形の平膜を用いているが、1枚当たりの膜面積を増大させると共に、多層に積層することが可能な構造となっている。a、b とも同等の性能を示しており、本試作機構造はメンブレンの性能をスポイルすることなくスケールアップできることを示している。

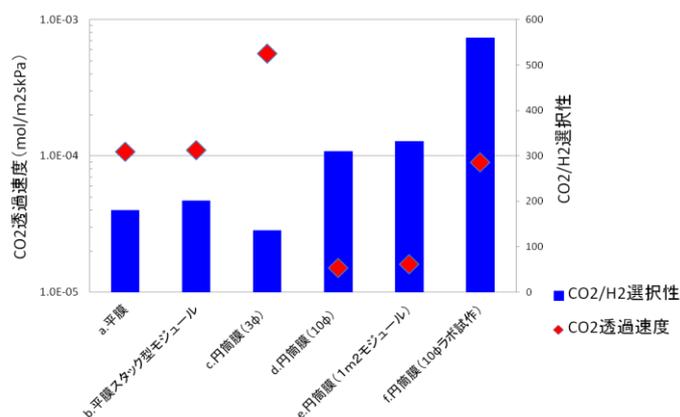


図-4 CO<sub>2</sub> 選択透過膜の改良・モジュール化進捗状況

図-4の c, d は平膜よりも耐圧性に優れた円筒内コート型メンブレンの性能を示している。c は従来円筒型メンブレンの支持基体としてきた 3mm φ のセラミックスチューブを用いた円筒内コート型メンブレンで、優れた CO<sub>2</sub> パーミアンスが得られているが、絶対的な強度が低く、大型化を想定した長尺化には限界がある事が分かった。そこで次に長尺化が可能な 10mm φ のセラミックスチューブを支持基体として用いる事を検討してきた。しかし、その場合、図-4 の d を見ればわかるようにチューブの肉厚増加に伴う CO<sub>2</sub> の透過抵抗の増大により、CO<sub>2</sub> パーミアンスの低下が認められた。そこで対策としてセラミックス細孔径を増大させることにより、CO<sub>2</sub> パーミアンスを向上させる事を検討した。その結果を図-1 の f に示しているが、CO<sub>2</sub> パーミアンス、対水素選択性共に大幅な性能向上に成功した。ただし、細孔径を大きくした 10mm φ のセラミックスチューブは、まだラボ試作の段階であり、今後量産製造プロセスの確立に注力する予定である。

図-4の e には今年度設計・試作した、10mm φ の単管メンブレン 36 本から成る 1m<sup>2</sup> モジュールの性能が示している。それを見ればわかるように、円筒型単管メンブレンの性能とほぼ同等の性能が 1m<sup>2</sup> モジュールでも確認できた。本モジュールの構造は円筒型メンブレンの性能をスポイルすることなくモジュール化できることを示している。

図-5 に 1m<sup>2</sup> モジュールのイメージ図(外筒なし)、図-6 には、今回のモジュール評価に使用したモジュール評価装置の外観写真を示す。



図-5 1m<sup>2</sup> モジュール円筒膜のイメージ図

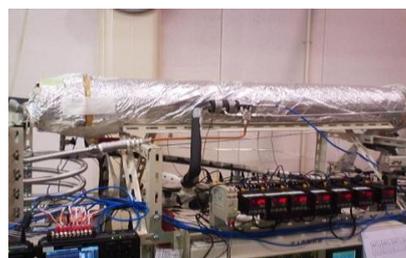


図-6 1m<sup>2</sup> モジュール評価装置

#### ④CO<sub>2</sub> 選択透過膜の対水素選択性の向上

これまでの検討で、180°Cにおいて、目標であるパーミアンス  $1 \times 10^{-4} \text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s kPa})$  以上の CO<sub>2</sub> 透過性能を安定して維持する CO<sub>2</sub> 選択透過膜の開発に成功した。しかし①で報告している様に、180°Cの連続運転結果(図-2(b))では、400 時間経過後から水素選択性の低下が認められ、500 時間後には 100 以下に低下していた。水素選択性の低下は、メンブレンリアクターでの水素ロスを増大させるため、水素ステーションの効率低下の原因となる。そこで、目標である、CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> 選択性 200 以上を達成できるように、CO<sub>2</sub> 選択透過膜の対水素選択性の向上を目指した検討を実施した。製膜法としては②で報告した円筒型支持体内部への量産型製膜技術をベースに各種製膜条件を見直し、最適化することで対水素選択性を改良していった。

図-7に CO<sub>2</sub> キャリアのゲル膜への含有方法を最適化した水素選択性改良膜の 160°Cでの性能を示す。本実験は、水素ステーションシステムの建設を考えた場合、エネルギー効率的にも、コンパクト化の点からも有利な加圧条件下でのデータ取得を目的として原料側圧力 400~600Kpa の中圧条件で実施している。(スイープ側圧力はいずれも 100Kpa)

図-7を見れば分かるように、今回開発した水素選択性改良膜では、中圧条件下でも  $1 \times 10^{-4} \text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s kPa})$  以上の CO<sub>2</sub> パーミアンスと 800 以上の非常に高い CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub> 選択性を併せ持っていることが分かる。

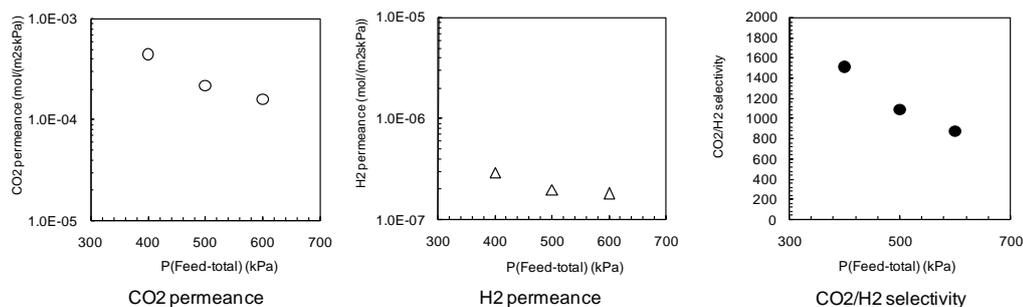


図-7 対水素性改良膜の160°Cでの性能試験結果

### ⑤ 起動停止の影響把握

モジュール化が容易な10mmφ円筒型セラミックチューブを支持基体とした加圧対応型CO<sub>2</sub>選択透過膜を用いて起動停止を繰り返し、膜性能に与える起動停止の影響を調べた。その結果を図-8に示すが、CO<sub>2</sub>パーミアンスは起動停止の影響を受けずに安定している事が分かる。またH<sub>2</sub>パーミアンスについても、初期に大きな変動が認められたものの、その後は安定していることが分かった。今後、モジュールについても同様の検討を行う予定である。図-8に認められたH<sub>2</sub>パーミアンスの初期の性能変動については、現在その原因・対策等を検討中である。

本実験条件については、後述する3-2③で得られた成果を基に、CO変性反応部とCO<sub>2</sub>メンブレンによるCO<sub>2</sub>除去部を切り離れたメンブレンリアクター方式を想定している。

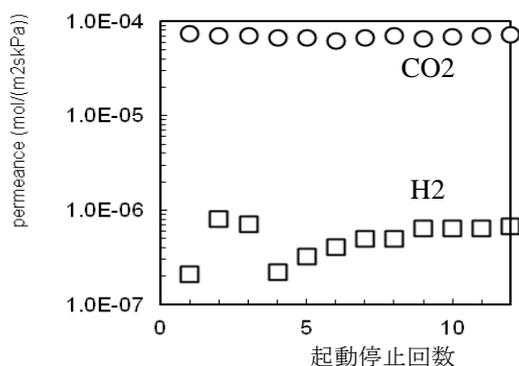


図-8 CO<sub>2</sub>選択透過膜に対する起動停止の影響

### ⑥ 長期耐久性能の確認

モジュール化が容易な10mmφ円筒型セラミックチューブを支持基体とした加圧対応型CO<sub>2</sub>選択透過膜を用いて3000時間の長期耐久テストを実施した。本実験条件についても、CO変性反応部とCO<sub>2</sub>メンブレンによるCO<sub>2</sub>除去部を切り離れたメンブレンリアクター方式を想定している。

その結果を図-9に示すが、CO<sub>2</sub>パーミアンスは3000時間以上ほぼ安定している事が分かる。本試験では当初は長期連続運転の安全性を考慮してCO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>系で運転を開始し、その後、定期的にCO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>系の原料ガスに切り替えることで、対水素選択性と対窒素選択性の安定性も調べた。図-9を見ればわかるように、対水素選択性については、継時的に若干の選択性の低下は認められるものの、2000時間以降はほぼ一定であり、目標である200以上を維持している事が分かる。対窒素選択性については運転初期よりほぼ一定で、非常に安定しており数千以上の非常に高い選択性を維持していることが分かる。

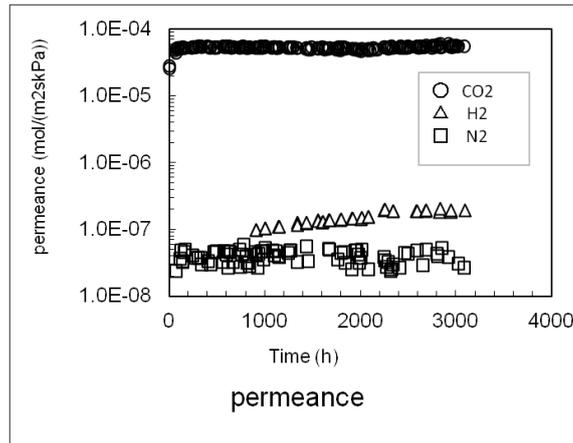


図-9 CO<sub>2</sub>選択透過膜の長期耐久性

### 3-2 高性能CO変成触媒の開発成果

#### ① 銅系触媒の改良

CO<sub>2</sub>分離膜と組み合わせるメンブレンリアクター用のCO変成触媒は、分離膜の熱安定性の問題からなるべく低温で操作できることが好ましいが既存Cu系CO変成触媒は180℃以下の温度域での性能は不十分であった。

180℃以下でのCu系CO変成触媒の活性向上を目指し、Cu系触媒(Cu-ZnO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>触媒)をベースに調製法および第4成分の添加効果を検討した結果を図-10に示す。検討した第4成分のうち、M4、M5、M6またはM7を添加すると触媒性能(CO転化率)が向上することを見出した。これらの添加効果を詳細に解析してみると、M4とM5は低濃度CO<sub>2</sub>条件(1容量%程度)下での反応速度の向上が期待できる元素であり、一方、M6とM7は共存CO<sub>2</sub>によるCO転化率低下の抑制が期待できる元素であることが分かった。

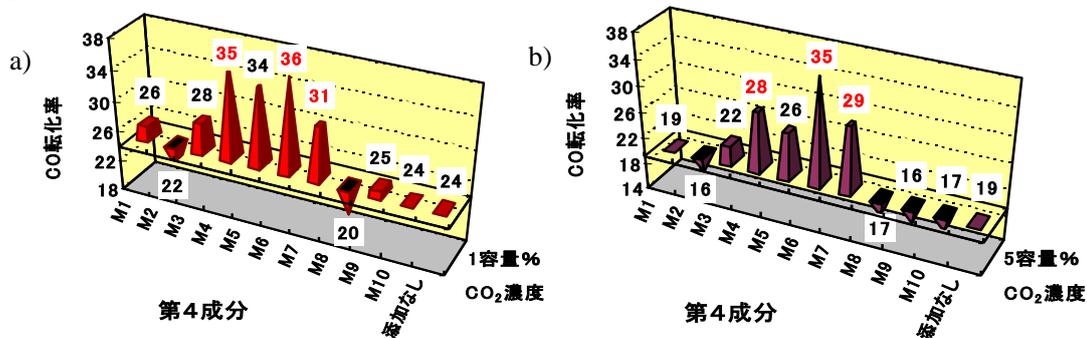


図-10 Cu-ZnO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>触媒への第4成分の添加効果(CO<sub>2</sub>濃度依存性)  
CO<sub>2</sub>濃度は a) 1容量% と b) 5容量%の比較、反応温度は150℃

以上の知見をベースに調製法の改良や第4成分の添加効果を調べ、Cuの分散性を向上させることにより、活性の向上につなげる事が出来た。さらに、Cu系触媒の試作・評価を繰り返し改良を積み重ねた結果、低温活性を目標としてきた20℃以上向上することに初めて成功した。図-11に 変成触媒の性能向上を経時的に整理しているが、図-11(b)に示す平成22年度のCu系改良触媒は160℃で既存Cu系工業触媒の180℃以上の活性を示していることが分かる。このレベルの性能は従来、貴金属触媒(図-11(a)参照)でしか達成できなかったもので、メンブレンリアクターの経済性の向上に大きく寄与するものである。

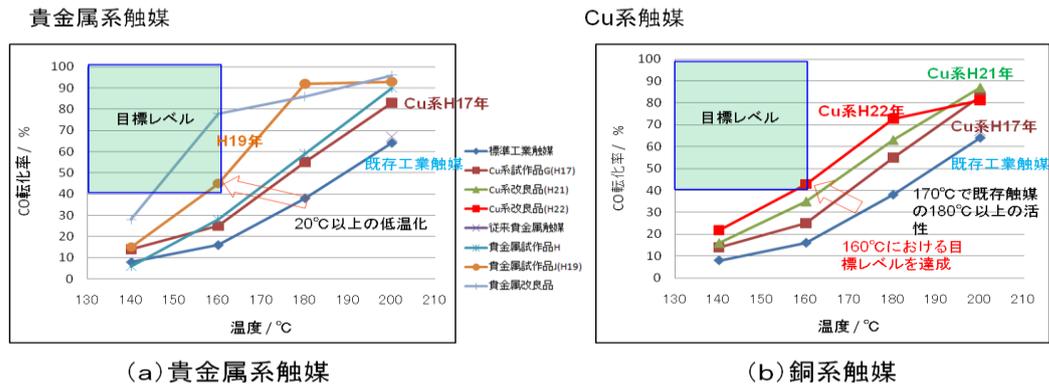


図-11 CO 変性触媒の開発経過

② 貴金属系CO変性触媒の改良

前PJの開発成果として既存の銅触媒の180°Cの活性レベルを160°Cで発揮する貴金属触媒の開発に成功している。本PJではさらに貴金属濃度の低減を目的とした研究をおこない、貴金属担持方法の改良により従来の1/3程度の貴金属量で十分な性能を持たせることに成功した。

③ メンブレンリアクターへの触媒充填方法の最適化 CO 変性触媒の改良の過程で、高CO濃度(CO変成器入口部)で高活性を示す触媒と逆に、低CO濃度領域(CO変成器出口部)で高活性を示す特性の異なる2種類の触媒を見出した。

前者はメンブレンリアクター入口部に適しており、後者はメンブレンリアクターの出口部に適している。その2種の触媒を組み合わせることで大きなCO低減効果があることを確認した。その結果を図-12に示す。

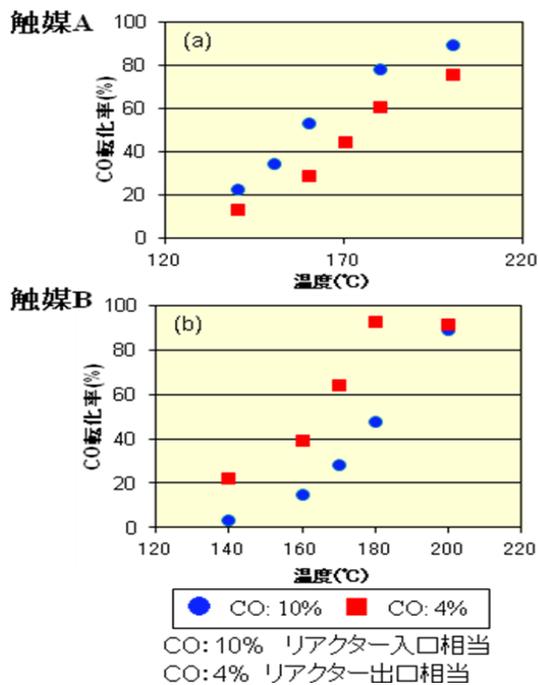


図-12(a)機能の異なる2種類の触媒の性能

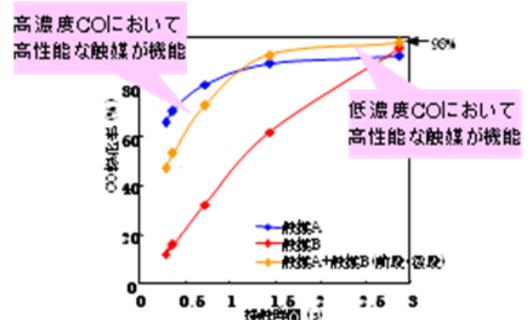


図-12 (b) 2種類の触媒の組合せ効果

本項目については、さらに実際の使用条件を想定した条件で耐久テストを実施した。原料ガスはメンブレンリアクター入口ガスを模擬した混合ガス(CO:CO<sub>2</sub>:H<sub>2</sub>O:H<sub>2</sub>=10:5:30:55)を用い、反応温度条件はメンブレンリアクターの温度制御方式を考慮し160℃の等温反応とした。また反応圧力は装置の制約から常圧条件を採用した。その結果を図-13に示す。それを見れば分かるように、本方式を採用することで、CO濃度を0.1%以下に低減することができた。当初の計画では、CO濃度の0.1%レベルへの低減は触媒の高性能化とCO<sub>2</sub>メンブレンによるCO<sub>2</sub>除去効果と合わせて達成できると想定していたが、本PJの成果である特性の異なる2種類の触媒の組み合わせにより、CO<sub>2</sub>メンブレンによるCO<sub>2</sub>除去効果抜きで達成できた。

この事は、メンブレンリアクターは必ずしも、CO変性触媒とCO<sub>2</sub>メンブレンを同時に動作させる必要はない事を示しており、今後のプロセス最適化に当たり、大きな自由度を与えるものである。

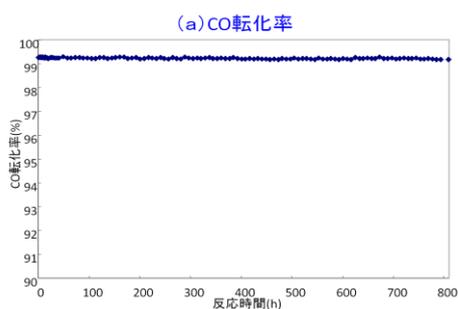


図-13-a CO変性触媒の組み合わせによるCO低減効果とその経時変化(CO転化率)

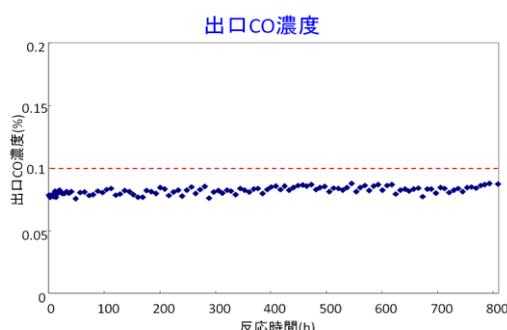


図-13-b CO変性触媒の組み合わせによるCO低減効果とその経時変化(出口CO濃度)

### 3-3 メンブレンリアクターの開発成果

前プロジェクトの成果としてCO<sub>2</sub>選択透過膜とCO変性触媒を組み合わせたメンブレンリアクターの実証に成功し、出口CO濃度は5ppm、CO<sub>2</sub>も0.3%と、コンベンショナルなCO変性技術では原理的に不可能なCO、CO<sub>2</sub>の低減が達成されている。本PJでは、最終的なターゲットである300Nm<sup>3</sup>/Hr規模の水素ステーションを想定した時のスケールアップ手法を検討し、メンブレンのモジュール化を実施する。

本PJでは、メンブレンリアクターの試作研究成果を基に生産性を意識した構造および加工方法の検討を実施した。更なる量産性の向上を目指し、量産性の高いプレス加工を主体とした透過膜保持部の構造・加工方法検討、および小中規模生産に対応可能な積層シール構造のメンブレンリアクターの設計を行った。

図-14に設計・試作したメンブレンリアクターの概略図を示す。図-14(a)のような従来の方形のリアクターを、図-14(b)、(c)のような円形のリアクターとすることで、円筒状の部品構成が可能となりコスト面及び強度面で有利となった。また、プレス加工、へム加工を可能とすることにより、従来のリアクターより、加工面での設計自由度やコストの優位性を高めることが期待できる。

さらに、以上の内容の検討結果をもとに試作した各種メンブレンリアクター構造での基本性能の確認を行っている。

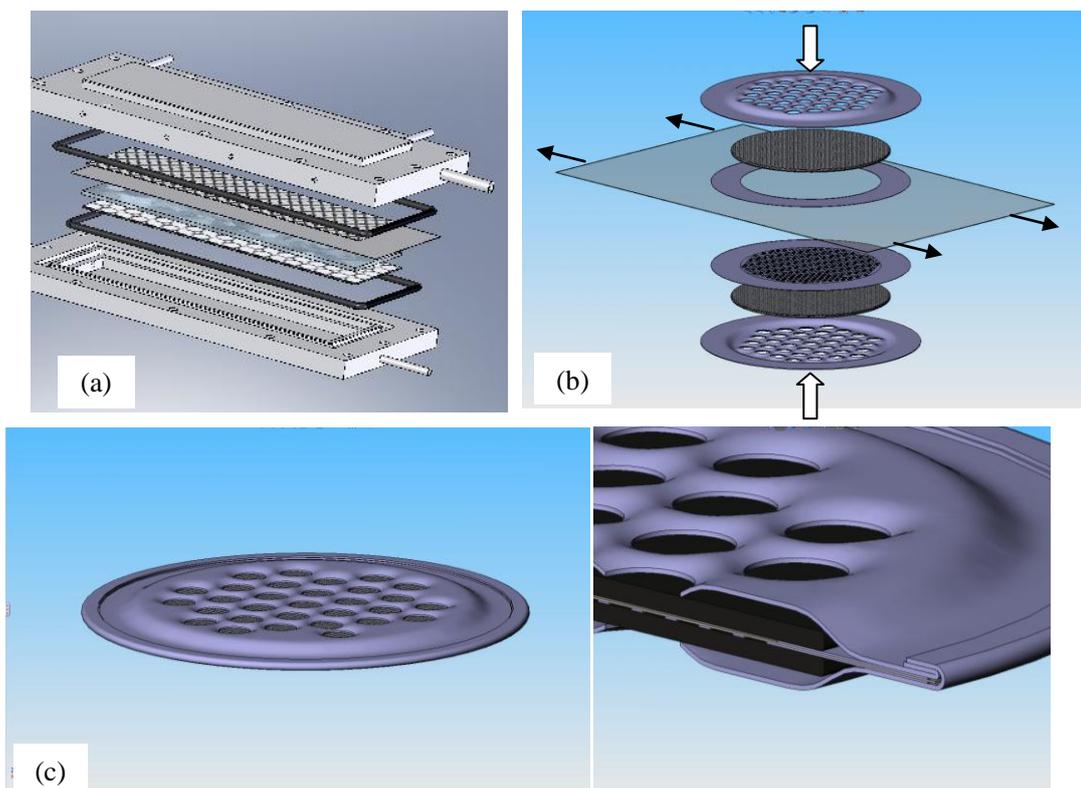


図-14 透過膜保持気密部概略図

(a) 従来のリアクタ構造, (b) 透過膜保持部の構造展開, (c) 透過膜保持部の外観および断面

図-15 は平板型スタック構造の小型試作機の外観写真である、本試作機では  $1310\text{mm}^2$  の円形の平膜を用いているが、1枚当たりの膜面積を増大させると共に、多層に積層することが可能な構造となっている。本試作機を用いたテストの結果から、 $\text{CO}_2$  メンブレンの性能は  $1 \times 10^{-4} \text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s kPa})$  以上の  $\text{CO}_2$  パーマランスと 200 近い  $\text{CO}_2/\text{H}_2$  選択性を合わせ持っていると計算された。これは本試作機構造はメンブレンの性能をスポイルすることなくスケールアップできることを示している。

また並行して、円筒型支持体内面に製膜したチューブ型メンブレンによるモジュール構造の検討も実施しているが、 $3\text{mm} \phi$  のセラミックスチューブは強度的な不安があったため、十分な強度を有し、長尺化が可能な  $10\text{mm} \phi$  のセラミックスチューブを用いたシェルアンドチューブ型のモジュールの設計、試作も実施した。その場合、 $3\text{mm} \phi$  のセラミックスチューブでは達成できた  $1 \times 10^{-4} \text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s kPa})$  以上の  $\text{CO}_2$  パーマランスが量産型の  $10\text{mm} \phi$  セラミックチューブでは達成できず  $1 \times 10^{-5} \text{mol}/(\text{m}^2 \text{ s kPa})$  位の低いパフォーマンスにとどまっている(3-1③項参照)。しかし、モジュールとしての性能については、3-1③項に示すように、円筒型単管メンブレンの性能とほぼ同等の性能が  $1\text{m}^2$  モジュールでも確認できた。本モジュールの構造は円筒型メンブレンの性能をスポイルすることなくモジュール化できることを示している。



図-15 透過膜セル外観

また前項(3-2 の③)の成果として、本PJの成果である特性の異なる2種類の高性能 CO 変性触媒を組み合わせ使用すれば、メンブレンリアクターは必ずしも従来考えていたように触媒層と CO<sub>2</sub> メンブレンによる CO<sub>2</sub> 除去層が同じ空間にある必要はなく、分離していても CO 濃度を 0.1%以下にすることが可能であることがわかった。この結果を基に、現在、CO 変性反応部分と CO<sub>2</sub> 除去部分を分離したタイプのメンブレンリアクター方式も検討している。

平成 23 年度には高性能 CO 変性触媒の組み合わせ効果のスケールアップ検討として 10m<sup>3</sup>/Hr の水素製造能力を持つ熱交換型等温 CO 変成器の設計・試作を行った。試作したスケールアップ装置(熱交換型等温 CO 変成器)の試運転結果では、ラボ評価と同様に、触媒のみで CO 転化率 99%以上、出口 CO 濃度 0.1% 以下を達成しており、良好な性能が得られている。(図-16 にスケールアップ装置の内部構造のイメージ図と外観写真を示す)

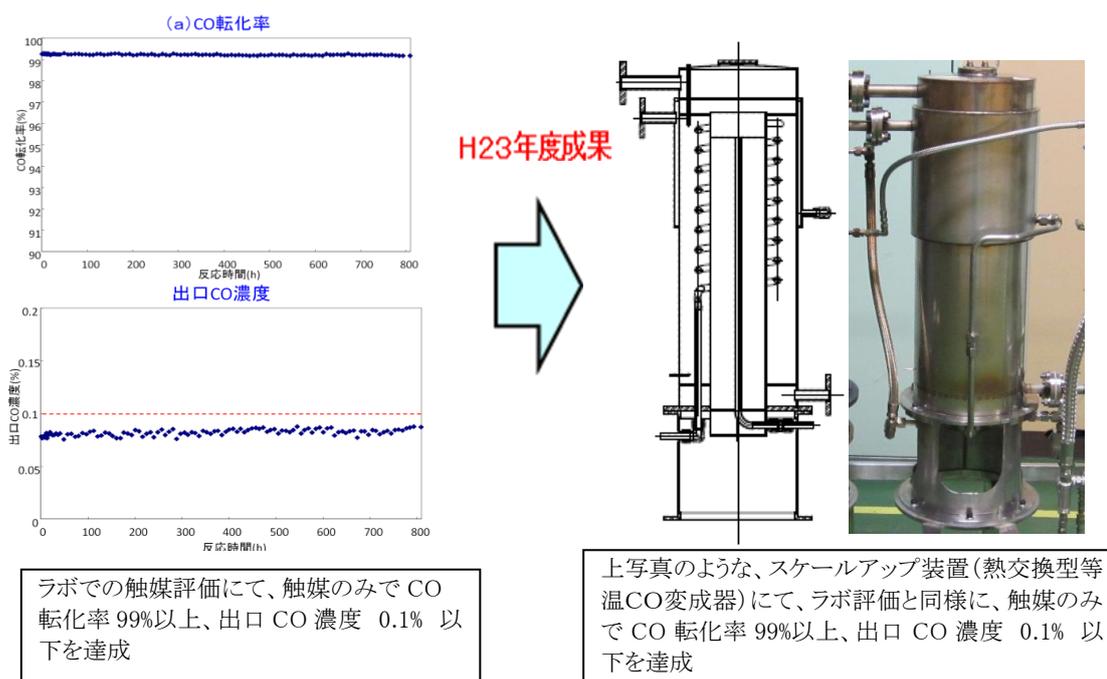


図-16 高性能 CO 変性触媒と熱交換型等温CO変成器によるCO低減効果

### 3-4 水素ステーショントータルシステムの最適化の成果

本PJでは前PJに引き続き、改質器の効率、改質器出口ガス組成、PSAの設計、パージガス必要量、水素回収率等をパラメーターとした水蒸気改質器関連のプロセススタディを実施すると共に、最近のPSA吸着剤の進歩を調査し、メンブレンリアクター出口ガス組成が与える、PSA吸着剤必要量への影響をアップデートした。既存あるいは最新型のPSA吸着剤をもとにしたシミュレーションの結果では、COやメタンは0.1%程度の濃度でも吸着剤必要量に影響するが、CO<sub>2</sub>濃度はある程度まで(～2%)低減されていれば、全体のPSA吸着剤必要量(PSAサイズ)への影響はあまり大きくないことが分かった。このことはメンブレンリアクターの基本設計において、CO変性触媒量とCO<sub>2</sub>選択透過膜の膜面積のバランスは、従来の設定よりもCO変性反応の進行に考慮した設計が有利なことを示している。この結果は今後のシステム検討に反映させる予定である。

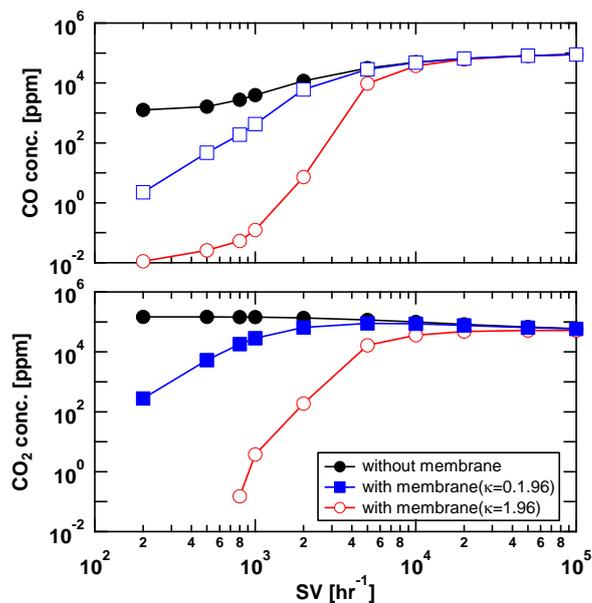


図-17 プレート型メンブレンリアクターにおける CO、CO<sub>2</sub> の濃度変化 (Cu 系触媒  $\kappa \approx 0.2, 2.0$ )

また今までの検討により、膜分離速度と反応速度の比である無次元パラメータ  $\kappa$  を用いて分離膜の効果と転化率の関係を表現する簡便な反応器設計法を提案しており、コンパクトリアクターでは膜の比表面積を大きくできるためメンブレンリアクターが有効に作用することを明らかにしている。 $\kappa$  が大きいほどメンブレンリアクターの効果が大きくなるが、現状の分離膜の性能を考慮するとコンパクトなリアクターを用いても  $\kappa=2$  程度が限界であり、それ以上  $\kappa$  を大きくするためには触媒活性を低下させる必要がある。これは触媒量を増加させる結果となる。また、触媒活性を大きくしても、 $\kappa$  が小さくなるため、結果としてメンブレンの効果小さくなる。よって、触媒活性については本研究で開発した触媒性能で十分であり、むしろ効率的に CO<sub>2</sub> を膜分離することによって活性低下を抑えることが重要であると考えられる。

図-16 に Cu 系改質触媒改質ガス流路深さ  $d_f=400 \mu\text{m}$ 、触媒層厚さ(コーティング厚さ、膜状触媒厚さに対応)  $d_c=200 \mu\text{m}$  のプレート型メンブレンリアクターによる CO 変成および CO<sub>2</sub> 分離結果を示す。分離膜の CO<sub>2</sub> 透過速度が  $5 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{kPa}^{-1}$  の場合、このサイズのメンブレンリアクターでは  $\kappa \approx 2$  となる。

図-17 より、分離膜が無い場合や  $\kappa$  が小さい場合は反応による CO 濃度の低下にともなって CO<sub>2</sub> 濃度が増加するが、分離膜を設置した場合は CO<sub>2</sub> 濃度も単調に減少することが分かる。SV が大きい範囲すなわち反応率が低い場合は、分離膜による反応の促進効果はほとんどないが、 $\kappa \approx 2$  の条件において SV を小さくして反応率を大きくすると CO<sub>2</sub> 分離され、CO<sub>2</sub> 阻害の抑制と平衡反応の進行によって CO 濃度が大きく低減する。すなわち、CO<sub>2</sub> の膜分離を行わない場合は SV を数百まで小さくしても CO 濃度の低下は小さく、0.1%程度が限界であるが、 $\kappa=2$  程度となる条件に反応器を設計すると数千程度の SV で ppm オーダーまで CO 濃度を低減することが可能であることを示している。これは PSA をさらに小型化できる可能性を示している。

当初平成 23、24 年度で計画していた改質器、メンブレンリアクター、PSA を含む水素ステーショントータルシステムのパイロットプラント(10m<sup>3</sup> クラスを予定していた)の建設・運転の工程については実施しないことが決定しているため、今後は、改質器、メンブレンリアクター、PSA を含む全体システムの最適化検討を、具体的な、既存水素ステーションへの部分的な要素技術の適用を検討する中で進めて行く予定であり、最終的には、実機(300m<sup>3</sup>/Hr 規模の能力)を想定した一次 FS につなげる。

### 3-5 成果の意義

本研究開発により得られる CO<sub>2</sub> 分離型メンブレン CO 変性器は、CO を既存の CO 変性器と違い平衡の制約を越えて一桁低い 0.1% レベル以下にまで除去できると共に、CO<sub>2</sub> の除去も同時に行える。従って、水素ステーションに適用すれば、最大のコストを占めていた PSA の大幅な小型化と共に、低 S/C による大幅な効率向上も可能となるため、水素ステーションの普及促進に貢献できると考えている。また自動車用および家庭用の PEFC システム向けの新技术として大きなインパクトがあり、PEFC システムの早期実用化、普及拡大に貢献できるものと考えている。

### 3-6 特許、論文、外部発表等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT <sup>※</sup> 出願	査読付き	その他	
H20	1件	0件	1件	0件	1件	6件
H21	0件	0件	0件	0件	0件	14件
H22	0件	0件	0件	0件	0件	6件
H23	3件	0件	1件	0件	0件	3件
H24	0件	0件	0件	0件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

## 4. まとめ及び課題

前 PJ で開発した促進輸送膜の更なる開発を行ない、170℃の高温で高い CO<sub>2</sub> 透過速度(目標:1×10<sup>-4</sup>mol/(m<sup>2</sup> s・kPa)以上)と高い対水素選択性(目標:200 以上)を合せ持つ CO<sub>2</sub> 選択透過膜の開発に成功した。促進輸送膜は、過去の研究ではもっぱら低温域で研究がなされ、100℃以上のデータは得られていなかったが、キャリアを含めた膜の製造方法を最適化することでこれらの目標を達成する事ができた。耐久性についても、当初は初期劣化が著しく、耐久性に問題があったが、製膜条件を改良することで、使用条件下で安定な性能を発揮する膜を開発し、長期耐久性の確立にメドをつけた。またガス透過選択性についても、既に述べたように、対水素選択性は既に目標であった CO<sub>2</sub> / H<sub>2</sub> のモル比で 200 以上の性能が達成できているが、最近では 160℃で 700 を超える性能の膜の試作にも成功している。

本研究開発のベースとなる CO<sub>2</sub> 分離膜は、出来るだけ低温で操作する事が望ましく、前 PJ では 160℃で十分な活性を有する CO 変成触媒の開発を目指し、Cu 系触媒の 180℃の活性レベルを示す貴金属系高性能触媒の開発に成功した。本 PJ では、Cu 系触媒の更なる性能向上と、貴金属系触媒の、量産技術の確立を進めてきた。その結果、Cu 系触媒では第 4 成分の添加による活性向上を見出し、貴金属系触媒では、従来の 1/3 の貴金属量で十分な性能を持たせることに成功した。さらに、反応特性が異なる 2 種の触媒を組み合わせることにより、触媒だけでも出口 CO 濃度を 0.1% 未満とできることを見出した。

上記、CO<sub>2</sub> 選択透過膜の開発成果と、触媒の開発成果を組み合わせ、メンブレンリアクターにより、従来の CO 変性器の出口 CO 濃度および、出口 CO<sub>2</sub> 濃度をそれぞれ、0.1% 以下(従来の CO 変成器は 1.0~0.5%)、1.0% 以下(従来の CO 変成器は 20% 以上)という非常に高性能な CO 変性器が可能となる事が示唆されており、PSA の小型化による水素ステーションのコストダウン、サイズダウンが期待できる。今後、メンブレンリアクタの要素技術である CO<sub>2</sub> 選択透過膜と CO 変性触媒を合わせたメンブレン

リアクターの原理検証装置(メンブレンリアクターとして $1\text{m}^3/\text{Hr}$  規模のシステムを想定、改質器、PSA は含まない)に組み込み、千時間以上の耐久性を確認し、1 年以上のメンブレンリアクターおよび各要素技術の耐久性を見通す予定である。当初平成 23、24 年度で計画していた改質器、メンブレンリアクター、PSA を含む水素ステーショントータルシステムのパイロットプラント( $10\text{m}^3$  クラスを予定していた)の建設・運転の工程については実施しないことが決定しているため、今後は、改質器、メンブレンリアクター、PSA を含む全体システムの最適化検討を、具体的な、既存水素ステーションへの部分的な要素技術の適用を検討する中で進めて行く予定であり、最終的には、実機( $300\text{m}^3/\text{Hr}$  規模の能力)を想定した一次 FS につなげる。

#### 5. 実用化・事業化見通し

開発成果の実用化・事業化については、早期導入の望まれる水素ステーションへの応用については、共同開発先の(株)ミクニが水素関連ビジネスの一環として実施する。(株)ミクニは自動車部品メーカーであり、家庭用燃料電池の(改質器を始めとする)各種部品の開発・事業化を行っており、本開発成果についても水素ステーション用のみならず、燃料電池自動車や家庭用 PEFC システムのパーツとしての $\text{CO}_2$  分離型メンブレンリアクター単体での商品化も想定している。将来的には、メーカーの海外部門を通じて海外事業化展開も行う計画である。

今後の事業化計画としては、本研究開発成果である $\text{CO}_2$ メンブレンリアクターの完成度を高めると共に、コストダウンや信頼性向上を目的として、 $\text{CO}_2$ 選択透過膜の長期耐久性の確立、選択性、動作温度の最適化、高性能 $\text{CO}$ 変成触媒の長期耐久性の確立、コストダウン研究等を実施し、さらに改質器、メンブレンリアクター、PSAを含むトータルシステムでの性能実証を行ない、スケールアップのためのエンジニアリングデータを取得し、2015年以降できるだけ早い時期での実用化を目指す。平成24年度以降の開発については、長期耐久性の確認および商品化のための量産化・コストダウンのための検討を2年間程度行った後、国内外での事業化展開を考えている。

水素ステーションや燃料電池分野以外の一般化学分野や石油精製分野の $\text{CO}$ 変性器の省エネルギー技術としての事業化については、本プロジェクト終了後にスケールアップ、高圧対応の検討を必要があればエンジニアリング会社との連携により実施し、(株)ルネッサンス・エナジー・リサーチがライセンスビジネスとして国内外に展開する。

# (II-4)ホウ素系水素貯蔵材料の開発

委託先: (株)豊田中央研究所、東北大学金属材料研究所

## ●進捗成果サマリ(平成20年度～平成22年度6月末)

理論計算に基づく材料設計、合成・評価・解析を三位一体で展開することにより、新たなホウ素系水素貯蔵材料を開発した。  
 ・複合化に関しては、水素貯蔵に有利な反応経路を理論計算により予測し、複合水素化物の貯蔵特性における複合比の効果なども検討し、それらの最適化を進めた。  
 ・中間相に関しては、水素放出・再吸蔵過程で生成した中間相を解明し、水素貯蔵特性における中間相の役割を検討した。  
 ・水素放出・再吸蔵反応ともに促進できる添加物を選定し、その促進機構を解明した。また、微細構造を調査することによって、反応速度の支配因子を抽出した。  
 これらの研究を通して、低温での水素放出ならびに再吸蔵が可能な新たなホウ素系水素貯蔵材料の開発指針を明確化することができた。

## ●背景/研究内容・目的

背景: 地球環境およびエネルギー供給に関する問題解決の手段として燃料電池車の普及が重要であるが、そのためには実用的な走行距離を実現する必要がある。

目的: 車載可能な高容量新規水素貯蔵材料を開発して燃料電池車の走行距離を向上させ、その普及に貢献することを最終的なターゲットとする。

研究内容: 本事業では高水素密度を有するホウ素系水素化物(M-B-H)に着目し、理論計算・合成・評価・解析技術を結集した体制で、新しいコンセプト(複合化、中間相、添加物)に基づくホウ素系水素貯蔵材料の開発を推進する。

## ●研究目標

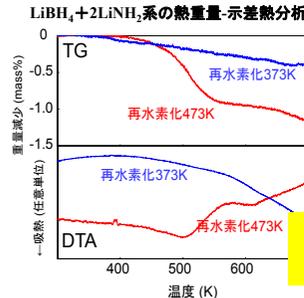
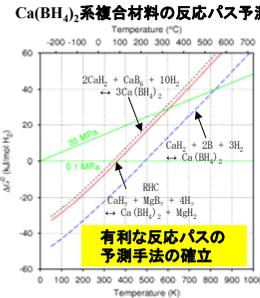
実施項目	目 標
1. 複合化によるホウ素系水素化物開発 (H20-H22)	反応バスの理論解明と実験検証と、最適組み合わせ選定
2. 中間相を用いたホウ素系水素化物開発 (H20-H22)	中間相の組成・構造の解明と、中間相の絞り込み
3. 添加物・微細構造制御による反応速度支配因子の解明 (H21-H22)	添加物の選定、微細構造の評価および、反応速度の支配因子の解明
4. ホウ素系水素貯蔵材料としての最適化 (H22)	150℃以下の水素放出温度、6wt.%級の再吸蔵量を見極め
5. 反応サイクル時の劣化要因の解明 (H23-)	劣化要因の解明とその対処法の確立
6. 実用化技術開発 (H23-)	材料系の最適化、大量合成技術の開発、低コスト化の指針
7. 実用性評価 (H23-)	耐久性評価、小型タンク評価、実用化の課題抽出

## ●実施体制及び分担等

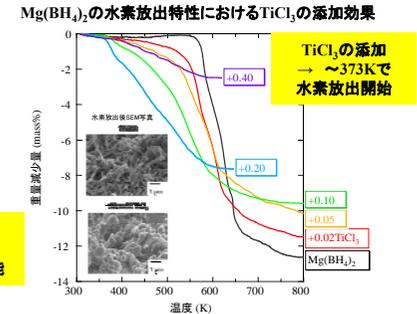
NEDO	(株)豊田中央研究所	実施項目 1, 2, 4, 5, 6, 7
	東北大学金属材料研究所	実施項目 2, 3, 4, 5, 6

## ●これまでの実施内容/研究成果

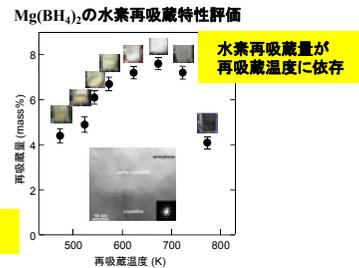
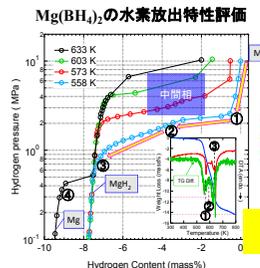
### <複合化によるホウ素系水素化物開発>



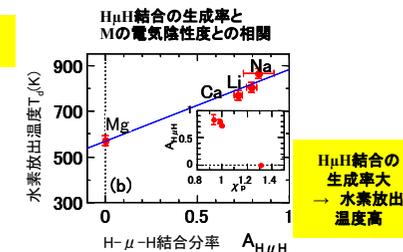
### <添加物による反応活性化>



### <中間相を用いたホウ素系水素化物開発>



### <μSR解析>



## ●今後の課題

### スケジュール(H24年度まで)

開発目標を達成するには、さらなる温度低下、反応速度の大幅な改良が必要である。今後、本事業で開発したLi-B-N-H系複合材料の組成、添加物、および微細構造等の最適化を行い、実用可能なホウ素系水素貯蔵材料の開発を推進する。

### ●実用化・事業化の見通し

ホウ素系水素化物は10mass%以上の水素を貯蔵可能である。本事業の開発により、100℃付近まで水素放出温度が低下し、再吸蔵反応が部分的に進行することを見出した。実用レベルまでには、さらなる温度低下、反応速度の大幅な改良が必要である。これらの課題を解決することにより実用化検討へ進むことが期待される。

## ●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
1. 複合化によるホウ素系水素化物開発	第一原理に基づく反応バスの予測手法を確立 M-B-N-H系複合材料を開発	○
2. 中間相を用いたホウ素系水素化物開発	水素放出・再吸蔵過程で生成した中間相を解明 および、貯蔵特性における中間相の役割を解明	◎
3. 添加物・微細構造制御による反応速度支配因子の解明	水素放出・再吸蔵反応を促進する添加物の選定 微細構造と反応速度の相関を検討 反応速度の支配因子を抽出	○
4. ホウ素系水素貯蔵材料としての最適化	200℃付近で水素放出・再吸蔵できるLi-B-N-H系複合材料を選定	△

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
2	16	45	0

1. 事業概要

無機錯体系水素化物のうちホウ素系水素化物（以下 M-B-H）は、理論的には最大 18wt% もの水素を含有することができる。M-B-H の潜在能力を引き出し、車載用の水素貯蔵材料としての要求を満たすことができれば、燃料電池車の普及を大きく進めることが可能である。しかしながら、M-B-H は熱力学的に安定であるため水素を取り出す際に高温にする必要がある。M-B-H を車載用水素貯蔵材料として実用化するには、最大の特長である水素密度を損なうことなく、室温～150℃程度の比較的低温において迅速に水素を吸蔵・放出可能な特性を付与する必要がある。本事業では、先の「水素安全利用等技術開発事業」において得られた M-B-H に関する知見を活かし、新しいコンセプト（複合化、中間相、添加物）に基づく取り組みを活発に展開することによって目標達成を図る。

2. 事業目標

水素貯蔵材料（同材料容器や関連部品を含む）の開発目標は i) 質量貯蔵密度=6wt%以上、ii) 水素放出温度=150℃以下、iii) 耐久性=1000 回吸放出で初期貯蔵性能の 90%保持、iv) 材料コスト=1000 円/kg である。前期事業(平成 20-22 年度)では、M-B-H 系水素化物の探索と開発を実施し、そこから材料組成等を絞り込む。22 年度末の時点で、最終目標の質量水素密度 6wt%以上および水素放出温度 150℃以下を達成可能な新規材料の可能性を見極める。

3. 事業成果

理論・実験・解析の三位一体として研究開発を展開し実施計画の遂行に努め、下記の成果を得た。

(1) 複合化によるホウ素系水素化物開発

①MgB<sub>2</sub> をホウ素源として金属水素化物と混合することで、ホウ素系水素化物への水素化反応が促進されることが報告されており、このような混合体は Reactive Hydride Composite (RHC) と呼ばれている。この RHC の熱力学的安定性と水素化・脱水素化反応の可逆性について、密度汎関数法に基づく第一原理計算により解析した。

図 1 は Ca 系 RHC の水素化・脱水素化反応に対する温度と標準生成自由エネルギーの関係を示したエリンガム図である。水素平衡圧を一定とした場合、通常の水素化反応に比べ RHC の方が平衡温度は低いことから、RHC により水素化反応の熱力学的特性が改善されていることがわかる。ただし、RHC を水素化した後の脱水素化反応は Ca(BH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> 単体の分解反応と比べて、平衡温度がわずかに低い。すなわち Ca 系 RHC の水素化・脱水素化反応は可逆的ではない可能性が高い。

②Mg(BH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>+xMg(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> は純粋な Mg(BH<sub>4</sub>)<sub>2</sub> や Mg(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> に比べて水素放出温度が低い。このため、まず水素化反応に対する複合比 x の影響を調べた。熱重量・示差熱分析(TG/DTA) 曲線を図 2 に示す。723K までの各複合体の水素放出量は x の増加に伴い減少する結果となった(x=1, 1.5, 2 でそれぞれ 10.1, 8.2, 7.7 mass%)。623K で比較すると x=1.5 が最も水素放出量が多い。一方、x の増加に伴い水素放出ピーク温度(523K

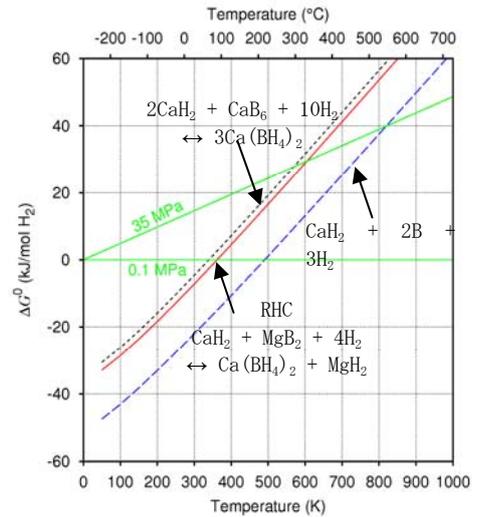


図 1 Ca 系 RHC に関するエリンガム図。

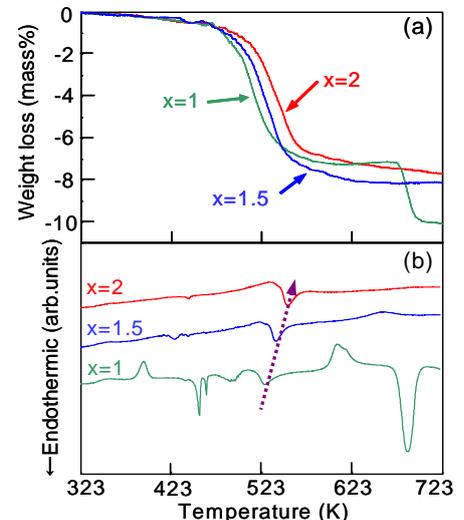


図 2 Mg(BH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>+xMg(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> の (a) 熱重量分析結果と (b) 示差熱分析結果。

付近)は上昇する傾向を示した(図2(b)中に矢印で示す)。

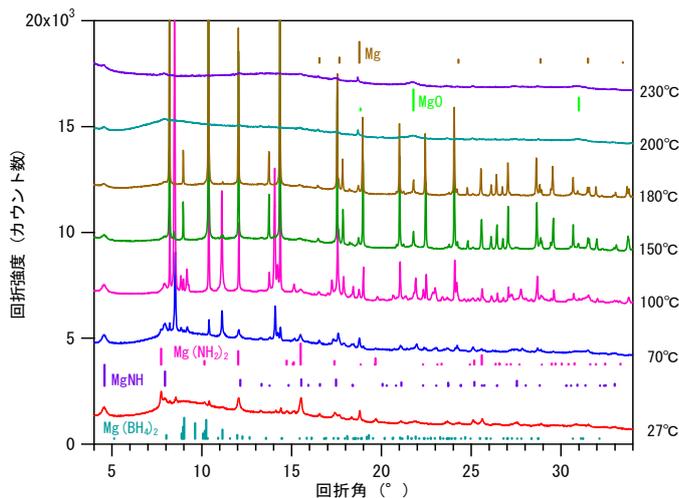


図3 Mg(BH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>+Mg(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>のXRD プロファイル

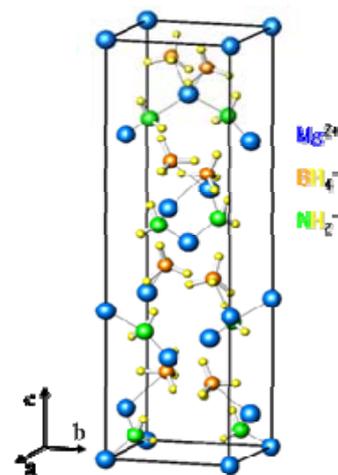


図4 Mg(BH<sub>4</sub>)(NH<sub>2</sub>)の結晶構造

次にMg(BH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>+xMg(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub> (x=1, 1.5, 2)のミリング処理後(水素放出前)と水素中573Kで水素放出した試料について、放射光(SPring-8 BL19B2)によるX線回折測定および汎用XRD装置を改良した水素雰囲気中でのin-situ XRD測定(図3)を行なった。Mg(BH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>+Mg(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>は加熱に伴い、結晶相1→結晶相2(2Mg(BH<sub>4</sub>)(NH<sub>2</sub>))→非晶質相の過程を経て水素を放出する。結晶相2について、第一原理計算に基づく安定構造予測結果と比較しながら結晶構造を精密化した結果、図4に示すように、c軸方向にMg<sup>2+</sup>、NH<sub>2</sub><sup>-</sup>、Mg<sup>2+</sup>、BH<sub>4</sub><sup>-</sup>、Mg<sup>2+</sup>の順に陽イオンMg<sup>2+</sup>と陰イオンBH<sub>4</sub><sup>-</sup>、NH<sub>2</sub><sup>-</sup>が交互に積み重なる構造であることが明らかになった。この構造はLiBH<sub>4</sub>+nLiNH<sub>2</sub> (n=1~3)複合系の場合と同様に、性質の異なる2種類の陰イオンBH<sub>4</sub><sup>-</sup>とNH<sub>2</sub><sup>-</sup>が共存しており、この結果水素放出が低温化しているものと考えられる。

③LiBH<sub>4</sub>+2LiNH<sub>2</sub>混合体(5wt%NiCl<sub>2</sub>添加)は423Kで9mass%以上の水素を放出する。本実験では再水素化の可能性について検討した。水素圧力0.1MPa、523Kで脱水素化した後、水素圧力50MPa、温度373Kまたは473K、24時間保持の条件で再水素化処理を行なった。図5にTGおよびDTA分析結果を示す。TG曲線から見積もると、473Kで再水素化処理した試料の水素放出量は1.2mass%であった。また、423K付近で水素の放出が開始していることから、本複合材料の一部が再水素化されていることが明らかになった。

④Ca(BH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>にLiAlH<sub>4</sub>と複合化させた材料を合成し、その水素放出特性を評価した。ガスクロマトグラフによる水素検出では、各試料とも約130°C付近から水素の放出が開始した(図6)。Ca(BH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>とLiAlH<sub>4</sub>を複合化させることで、水素の放出温度を下げる事が可能であることが明らかになった。

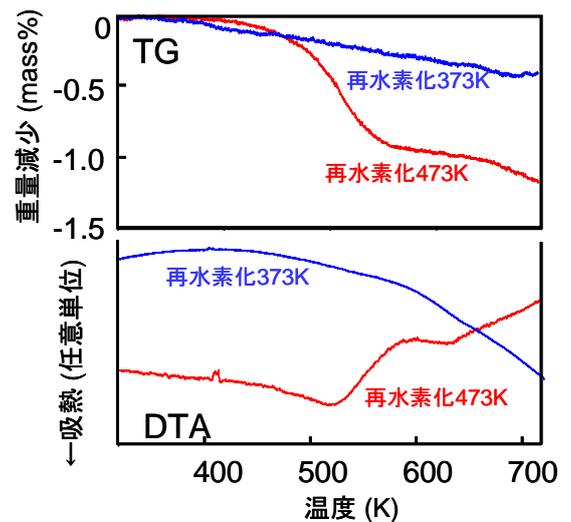


図5 LiBH<sub>4</sub>+2LiNH<sub>2</sub>再水素化試料のTG/DTA分析

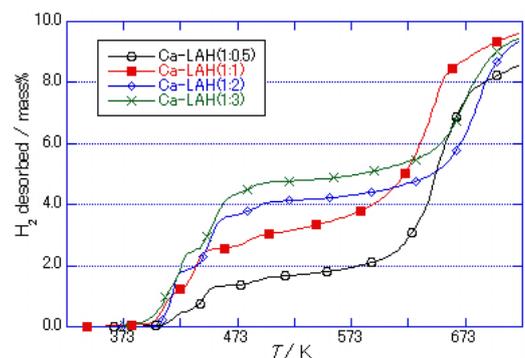


図6 TPD-GCによるCa(BH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>+nLiAlH<sub>4</sub>からの放出水素量(n=0.5~3)

(2) 中間相を用いたホウ素系水素化物開発

① 14.9 mass%もの高い水素貯蔵密度を有する  $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$  に着目して、水素放出反応の過程で生成する中間相に対して、水素放出条件（等温または昇温過程）が及ぼす影響について詳細に解析した。

図7に等温過程における  $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$  の水素放出特性を示す。633 K での2つのプラトーは、それぞれが  $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$  から  $\text{MgH}_2$  まで、 $\text{MgH}_2$  から  $\text{Mg}$  までの水素放出に相当する。また558 Kにおけるプラトーの形状から、多段階反応で  $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$  の中間相が生成していることが示唆された。図7の挿入図に示す熱重量-示差熱分析の結果からは、昇温過程における水素放出反応でも等温過程と同様に多段階で進行し、中間相が生成することが判明した。ラマン・赤外分光分析および第一原理計算などの結果を総合すると、この中間相は  $\text{MgB}_{12}\text{H}_{12}$  を中心とする B-H 系化合物であることが確認された。

②  $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$  の再水素化特性を調査するために、 $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$  を 623K、6h で脱水素化処理後、473~773K の温度域（いずれも 40MPa、12h）で再水素化処理を行った。各温度で再水素化した試料の再水素化量を図8に示す。再水素化量は 673K 付近で最大値の 7.6mass%となることが分かる。即ち、再水素化温度の上昇に伴い、その反応が速度論的に促進されるために再水素化量が顕著に増加する。一方、再水素化温度が 700K を超える場合には、再水素化した試料が熱力学的に不安定となり逆に再水素化量が減少する。図9に示す再水素化した試料の  $^{11}\text{B}$  マジック角回転法核磁気共鳴分析 ( $^{11}\text{B}$  MAS NMR) の結果から、 $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$  および中間相  $\text{MgB}_{12}\text{H}_{12}$  の再生成が確認できた。これらの結果から、再水素化温度を制御することによって、 $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$  および中間相  $\text{MgB}_{12}\text{H}_{12}$  の再生成が可能になることが示唆される。

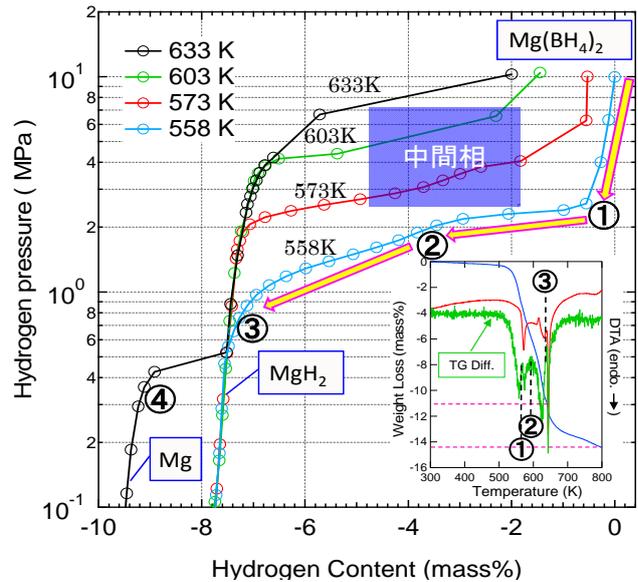


図7  $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$  の水素放出特性（挿入図は昇温過程における熱重量-示差熱分析の結果）。

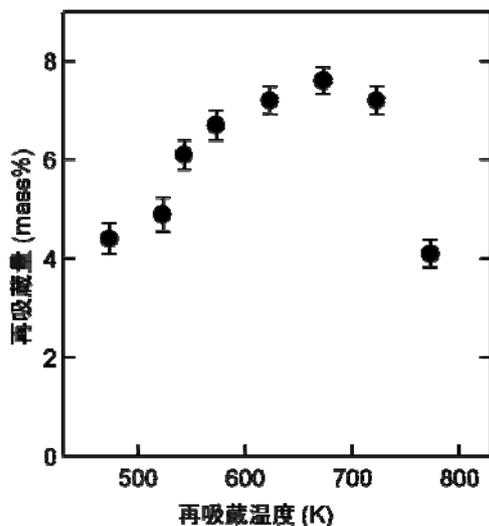


図8  $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$  の各温度で再水素化（40MPa  $\text{H}_2$ 、12h）で再水素化処理した試料の水素含有量（=再水素化量）

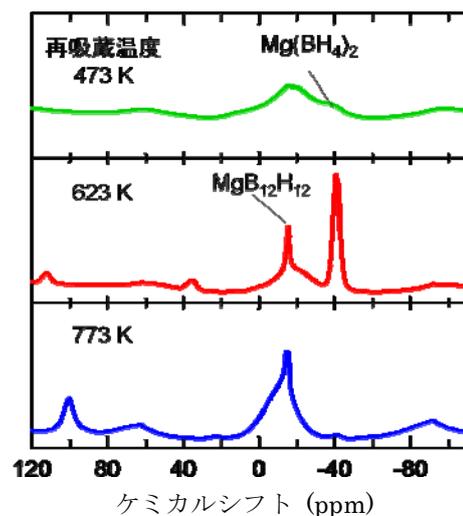


図9 再水素化した試料の  $^{11}\text{B}$  MAS NMR 分析結果【共同研究先 東北大学 前川英己氏、高村仁氏】

③200°C付近での水素放出反応が期待される  $Y(BH_4)_3$  に注目して、その合成条件を確立するとともに、水素放出反応や中間相組成を解析した。

$YCl_3$  と  $LiBH_4$  を出発原料として、ジエチルエーテル中でのメタセシス反応と  $LiCl$  分離により高純度の目的化合物を合成した。粉末 X 線回折測定の結果、生成物である  $LiCl$  の一部が残留しているものの、主成分は  $Y(BH_4)_3$  であることを確認した。図 1 0 に昇温過程における熱重量一示差熱分析および質量分析の結果を示す。 $Mg(BH_4)_2$  と比較して水素放出量 (6.8 mass%) は少ないが、約 460K で水素放出反応が開始している。水素放出反応は  $Mg(BH_4)_2$  と同様に多段反応であり、昇温に伴い 1) 相変態 (低温相 → 高温相)、2) 融解、3)  $Y(BH_4)_3$  の中間相と  $YH_3$  への分解、4) 中間相の分解、5)  $YH_3$  の分解が順に起こることが明らかになった。

(3) 添加物・微細構造制御による反応速度支配因子の解明

① $Mg(BH_4)_2$  の水素放出特性における添加物効果を調査した。

図 1 1 に各種の化合物を添加した試料の熱重量分析の結果を示す。いずれの試料においても 14mass% 前後の水素放出量が確認される。また、各試料の水素放出開始温度を単独の  $Mg(BH_4)_2$  (約 550K) と比較すると、C、TiC、 $TiB_2$  を添加した場合は明確な変化が見られないが、 $TiCl_3$  を添加することで約 370K から水素放出反応が開始することが明らかになった。また水素再吸蔵反応においても、 $TiCl_3$  はもっとも良い反応促進効果を示した。

$TiCl_3$  の促進効果を明らかにするために、XANES 測定により Ti の動径分布関数を解析、評価した。図 1 2 に 10mol%  $TiCl_3$  を添加した試料を再吸蔵処理した試料、及びそれを 523K、773K まで加熱した試料の Ti の動径分布関数を示す。全ての試料において観測された Ti の動径分布関数は Ti が  $TiB_2$  として存在していることを示唆している。このため、添加した  $TiCl_3$  は  $Mg(BH_4)_2$  と反応することで  $Ti(BH_4)_3$  を形成し、この  $Ti(BH_4)_3$  が分解することで  $TiB_2$  が生成したと考えられる。このように生成した  $TiB_2$  は、 $Mg(BH_4)_2$  の水素放出温度の低下および、再吸蔵反応の促進に寄与すると考えられる。

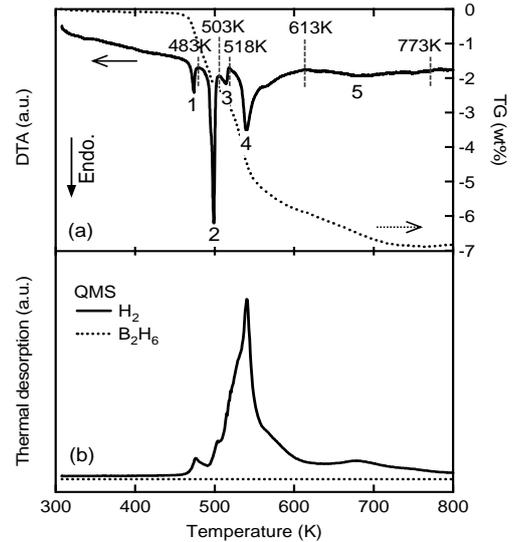


図 1 0 昇温過程における  $Y(BH_4)_3$  の熱分析結果 ((a) 熱重量一示差熱分析、(b) 質量分析)。

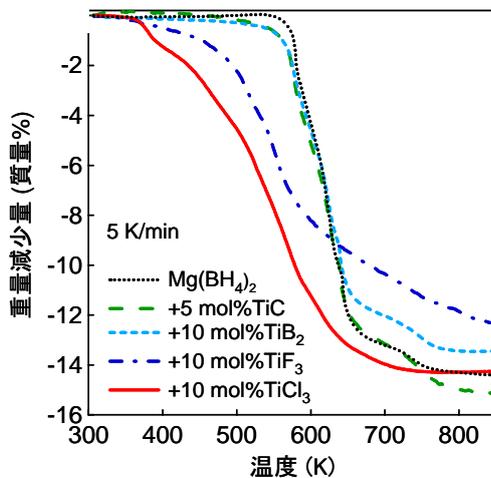


図 1 1 各種添加物を混合した  $Mg(BH_4)_2$  試料の熱重量分析結果

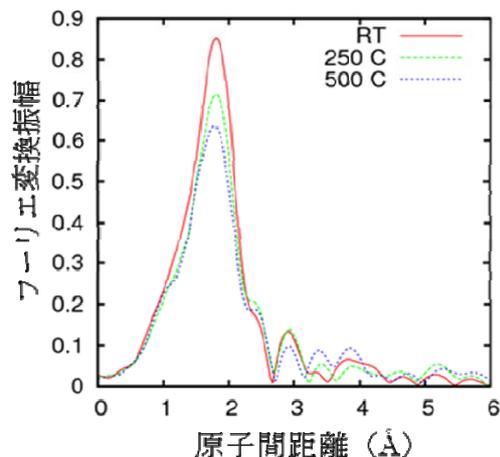


図 1 2 10mol%  $TiCl_3$  を添加した試料を再吸蔵処理した後、及びそれを 523K、773K まで加熱した試料の Ti の動径分布関数【共同研究先 日本原子力研究開発機構 西畑保雄氏】

水素放出後試料の微細構造観察から、 $\text{TiCl}_3$  の添加により  $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$  の再吸蔵反応が促進されたもう一つの原因として、水素放出反応時における  $\text{MgH}_2$  の析出の抑制であると考えられる。

図 1 3 に  $\text{TiCl}_3$  無添加の  $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$  と  $\text{TiCl}_3$  を 10mol% 添加した試料をそれぞれ水素放出処理した試料の SEM 像を示す。単独の  $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$  では試料表面に針状の  $\text{MgH}_2$  の析出が観察される。一方で  $\text{TiCl}_3$  を添加した試料では数  $\mu\text{m}$  前後の粒子が凝集しており、針状の  $\text{MgH}_2$  の析出は確認できなかった。

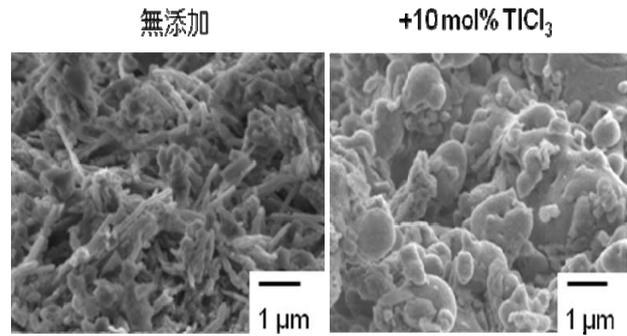


図 1 3  $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$  および  $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$  に 10mol%  $\text{TiCl}_3$  を添加した試料の水素放出後の SEM 像

$\text{TiCl}_3$  無添加試料では、水素放出後に試料表面に  $\text{MgH}_2$  が析出するため、試料中の Mg と B 原子を偏在する結果となる。このため、水素を再吸蔵させるためには Mg と B 原子の長距離拡散が必要となり、結果として反応速度が低下したのと考えられる。 $\text{TiCl}_3$  を添加した試料では、 $\text{MgH}_2$  の析出が抑制され、水素放出後の試料中に Mg や B 原子が高分散状態を保つことで、拡散距離の短縮、さらには再吸蔵反応が促進されたと考えられる。

#### (4) $\mu\text{SR}$ (ミュオン・スピン回転・緩和法) によるホウ素系水素化物の分析・解析

ホウ素系水素化物中に微量の不純物としてプロトンが存在したときのプロトンの占有サイト及び結合状態を調べるため、 $\mu\text{SR}$  実験を行った。正ミュオン ( $\mu^+$ ) は軽いプロトンの同位体 (質量はプロトンの 1/9) と考えられ、物質中の振舞いはプロトンとほぼ同様であるため、 $\mu^+$  の状態を解析することにより、プロトンの状態を知ることができる。図 1 4 に結果の一例を示す。実験はカナダの TRIUMF 研究所の M20 ビームラインで行った。 $\text{LiBH}_4$  の零磁場測定では自発的な回転信号を観測した。これは、 $\mu^+$  と核スピン 1/2 のプロトンが結合状態 ( $\text{H}-\mu^+-\text{H}$  結合) を形成していることに起因する。

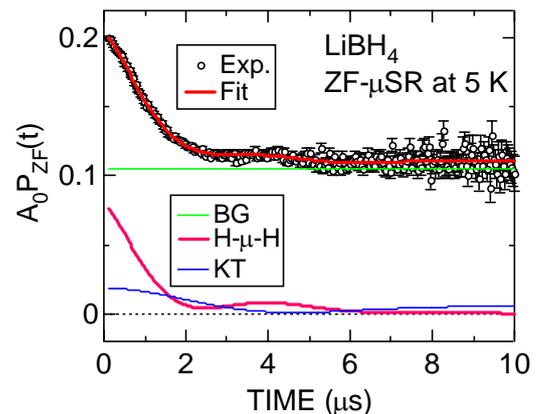


図 1 4  $\text{LiBH}_4$  中のミュオンスピン偏極度の時間変化

各種のホウ素系水素化物中のプロトンの状態を調べるため  $\mu\text{SR}$  実験を行った。試料には  $\text{LiBH}_4$ 、 $\text{NaBH}_4$ 、 $\text{KBH}_4$ 、 $\text{Ca}(\text{BH}_4)_2$ 、 $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$ 、 $\text{Sc}(\text{BH}_4)_3$  6 種の粉末多結晶を用いた。零磁場測定 (図 1 5) では  $\text{Mg}(\text{BH}_4)_2$  を除く 3 種の試料で測定した全ての温度範囲で、回転信号

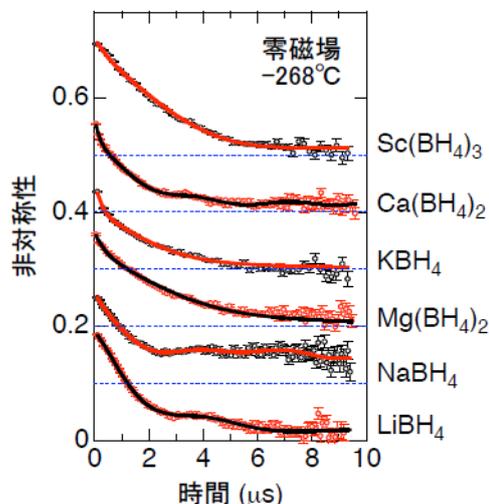


図 1 5  $\mu\text{SR}$  プロファイル

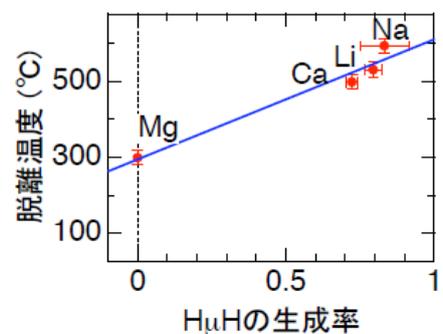


図 1 6 脱離温度と  $\text{H}-\mu^+-\text{H}$  生成率の関係

を観測した。磁性を持たない物質における零磁場ミュオンスペクトルの回転信号は、正ミュオン ( $\mu^+$ ) と水素 H が結合状態を形成していることに起因する。図 16 に零磁場スペクトルの解析結果を示す。横軸は試料中に打ち込んだ  $\mu^+$  が H- $\mu^+$ -H 結合を形成する確率、縦軸は試料からの水素脱離温度  $T_d$  である。  $T_d$  と H- $\mu^+$ -H 結合の生成率に明瞭な相関を見出した。

#### 特許、論文、外部発表等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT*出願	査読付き	その他	
H20FY	0 件	0 件	0 件	3 件	3 件	13 件
H21FY	2 件	0 件	0 件	5 件	5 件	32 件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

#### 4. まとめ及び課題

理論計算・実験・解析チームが一体となって、ホウ素系水素貯蔵材料の研究開発を実施した。

(1) 理論計算では、ホウ素化物を用いた RHC (reactive hydride composite) の水素化・脱水素化の反応経路を予測し、複合化の方向性を示した。

(2) 種々の錯体水素化物の複合化を実施し、単体  $BH_4$  および  $NH_2$  化合物よりも水素放出温度が低い複陰イオン錯体水素化物 Mg-B-N-H を開発した。同様の複陰イオン錯体水素化物である Li-B-N-H について、塩化物の添加と高温高圧水素化処理により、一部再水素化が可能であることを示した。一部の水素が  $130^\circ C$  で放出可能な複陽イオン錯体水素化物 Li-Ca-Al-B-H を開発した。

(3)  $Mg(BH_4)_2$ ,  $Y(BH_4)_3$  のホウ素系水素化物を合成し、水素放出過程での中間相の生成を明らかにした。また、再水素化過程においても中間相は重要な役割を有していることが示唆された。

(4)  $Mg(BH_4)_2$  の水素放出・再水素化反応への添加物効果を検討し、 $TiCl_3$  化合物が水素放出・再水素化の両反応に極めて効果的であることを見出すとともに、その機構についても解析を進めた。また、添加物により水素放出後試料の微細構造を制御することで、構成元素の良好な分散状態を維持することが再水素化反応の速度向上に寄与することを示した。

(5) ホウ素系水素化物の微細構造解析技術として  $\mu SR$  を導入し、陽イオン種の違いによるホウ素系水素化物の熱力学的安定性と H- $\mu^+$ -H 生成率との相関を見出した。

#### 5. 実用化・事業化見通し

ホウ素系水素化物は 10mass% 以上の水素を貯蔵可能である。本研究開発では、複合化、中間相、添加物等の最適化によって、水素放出温度が  $100^\circ C$  付近まで下がり、高温高圧ではあるが一部再水素化も可能であることを見出した。実用レベルまでには、さらなる温度低下、反応速度の大幅な改良が必要である。今後の研究開発によって、これらの課題を解決したうえで、実用化検討へ進むことが期待される。

# (Ⅱ-5) ラーベス構造を有した高容量水素吸蔵合金の開発

委託先: 日本重化学工業株式会社

## ●進捗成果サマリ(平成20年度～平成22年度6月末)

- ・2段のプラトーが出現することで水素吸蔵量がそれまでの1.0質量%から1.7質量%に増加した, MgPrNi<sub>4</sub>組成のC15<sub>b</sub>型のラーベス構造を有した合金を開発した
- ・313Kで300サイクルの水素吸蔵・放出を繰り返した後も, 95%以上の水素吸蔵・放出量を維持することができるMg<sub>1.4</sub>Pr<sub>0.6</sub>Ni<sub>4</sub>組成の合金を開発した
- ・C14型のラーベス構造を有したCaLi<sub>2</sub>組成合金および第3元素置換を行った合金を正確に作製することができる, ヘリウム雰囲気での浮遊溶解による手法を開発した

## ●背景/研究内容・目的

ラーベス合金ではZrV<sub>2</sub>H<sub>6</sub>のようにH/Mが2.0まで到達する合金が存在している。一方Mgを含んだ軽なラーベス合金では, H/M=0.7程度までしか水素を吸蔵しない。その理由を調べるために水素化物の構造等の情報を取得し, ZrV<sub>2</sub>のそれらと比較・検討を行う。また得られた知見をもとにMg系ラーベス合金が, H/M=0.7程度までしか水素を吸蔵しない理由および常温常圧で可逆的に水素を吸蔵・放出できる理由を解明する。その結果をもとに, より高吸蔵量が期待できる合金系であるC14型のCaMg<sub>2</sub>系およびCaLi<sub>2</sub>系の合金が吸蔵・放出可能となるような改良へのフィードバックを行う。

## ●研究目標

実施項目	中間目標(H22年度)	最終目標(H24年度)
MgNi <sub>2</sub> 系C15型ラーベス合金	水素化物の構造を調べ, 合金組成改良による吸蔵量の向上	3質量%, 150°C, 1000サイクルを満たした合金の開発
RENi <sub>2</sub> 系C15型ラーベス合金	不均化の進行過程を各種手法にて調査して挙動を把握する	水素吸蔵による不均化反応のメカニズムの解明
CaMg <sub>2</sub> 系C14型ラーベス合金	水素化物の構造を調べ, 合金組成改良による放出温度の低下	150°C以下でも6質量%を放出する合金の開発
CaLi <sub>2</sub> 系C14型ラーベス合金	格子定数および原子半径比を変えた合金の作製・評価	不均化等を抑制し, 室温で6質量%を吸蔵する合金の開発

## ●実施体制及び分担等

NEDO — 日本重化学工業(株)

## ●これまでの実施内容/研究成果

右の図には2段目のプラトー領域が確認できたMgPrNi<sub>4</sub>の各温度でのPCT曲線を記した。水素吸蔵量は0°C, 8MPaで約H/M=1.1, 1.7質量%であった。上段および下段のプラトー領域の水素放出の平衡圧力値からファントホッププロットにより求めたΔHおよびΔSはそれぞれ-19.6, -42.4kJ/molH<sub>2</sub>および-98.2, -126.8kJ/molH<sub>2</sub>・Kであった。また上段の水素化物は立方晶C15<sub>b</sub>, 下段の水素化物は斜方晶であった。Mg<sub>1.4</sub>Pr<sub>0.6</sub>Ni<sub>4</sub>組成合金では313Kで300サイクルの吸蔵・放出後も95%以上の水素移動量を維持していた。

RE系合金: 各種RE, 微量添加合金の試作・評価  
Ca系合金: 第3元素を置換した合金の試作・評価

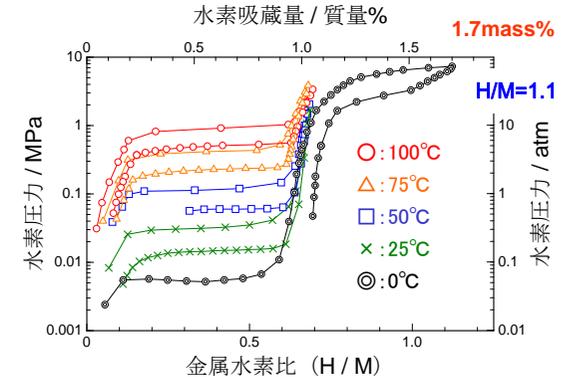


図. MgPrNi<sub>4</sub>組成合金のPCT曲線

## ●今後の課題

### ／スケジュール(H24年度まで)

- MgおよびRE系
  - ・不均化の挙動解析によるメカニズムの解明および抑制方法の考案
  - 23年度まで: 不均化挙動の観察, 測定
  - 24年度まで: メカニズム解明および抑制方法の考案, 実証
- Ca系
  - ・改良した組成合金の水素化物の構造解析を行い, 死蔵水素の情報を取得し, 再度の組成設計に反映させる
  - 23年度まで: 水素化物の構造調査
  - 24年度まで: 再設計合金の試作・評価

## ●実用化・事業化の見通し

現状では, 2段プラトーによる吸蔵量の増加と断片的な不均化に関する情報の取得に留まっており, 今後これらを基にCa系の改良ができれば実用化の見通しがたつと考えている。

## ●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
MgNi <sub>2</sub> 系C15型ラーベス合金	2段プラトーによる吸蔵量が増加する合金の発見および2種類の水素化物の構造解析	○
RENi <sub>2</sub> 系C15型ラーベス合金	不均化挙動に関する情報を取得, 抑制案に基づいた試作の実施	△
CaMg <sub>2</sub> 系C14型ラーベス合金	室温で水素化物の高真空による放出の有無の調査実施	×
CaLi <sub>2</sub> 系C14型ラーベス合金	ヘリウム雰囲気での浮遊溶解炉を用いたCaLi <sub>2</sub> 系合金の作製方法を開発	△

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	6	0

## ラーベス構造を有した高容量水素吸蔵合金の開発

実施者：日本重化学工業（株）

### 1. 事業概要

高容量な水素貯蔵材料を開発するために重要なことは、軽量な元素で構成された材料を開発することである。Mg、Li および Ca 等は軽量であるためそれらの水素化物(MgH<sub>2</sub> 等)の水素含有量(水素貯蔵量)は高濃度(高容量)となる。しかしながらそれらの水素化物は通常、非常に安定であるため、大気圧力程度の水素放出圧力を得るためには、少なくとも 300℃以上の高温が必要になる。この課題を克服するために現在までに、さまざまな試みが行われてきたが、Mg、Li および Ca 等が室温程度の温度で可逆的に大気圧力程度の水素を速やかに放出するような改良は成功していない。

また様々な手法で Mg、Li および Ca を主要な構成元素とする合金を作製することで、室温程度の温度で可逆的に大気圧力程度の水素を速やかに吸蔵・放出することを目指した改良も試みられているが、満足のいく結果は得られていない。水素の吸蔵反応は室温程度の温度で開始するようにはなるものの、放出反応は依然として 300℃程度を必要とし、かつ可逆性や反応速度にも問題がある結果となっているのが現状である。反応速度に関しては通常の AB<sub>5</sub> 型の合金では、平衡状態に達するまでに要する時間が数分程度であるが、一部の Mg 系合金では数時間から数日かかるものがあり、大きな課題となっている。

また一部の Mg、Li および Ca 系の合金は水素を吸蔵した後に、合金の分解反応(不均化反応)が起こり、MgH<sub>2</sub> や CaH<sub>2</sub> および LiH 等の水素化物が生成してしまう。一旦これらが生成すると、大気圧力程度の水素の放出には MgH<sub>2</sub> や CaH<sub>2</sub> および LiH 等の分解反応に必要な、少なくとも 300℃以上の高温が必要になる。また上記のように、遅い反応速度、高温を要する放出特性および不均化反応等の問題のほかにも、Mg、Li および Ca 等を含有した合金を開発する際の問題点として、通常の溶解法では蒸発によって生成する Mg、Li および Ca の微粉末の危険性がある。このため、多種多様な合金を系統的に作製し研究することが困難であることが、この系の合金開発の進展を妨げている理由のひとつでもある。この問題に関しては、これまでの研究開発で、溶解時の雰囲気ガスの成分を変化させることや、融点が低い母合金を用いる 2 段階の溶解法で、Mg などの蒸気圧の高い金属群がチャンバ内壁に凝縮して微粉末となり、自然発火性の危険性が高くなる合金開発実験上の障害を取り除くことが可能であることを見出した。

当社では平成 15 年度～19 年度にかけて「水素安全利用等基盤技術開発—水素に関する共通基盤技術開発—高容量水素吸蔵合金と貯蔵タンクの開発」事業において(独)産業技術総合研究所殿と共同で Mg 系合金の開発および溶解作製法の改良を行ってきた結果、室温で可逆的かつ速やかに水素を吸蔵・放出することが可能な Mg 系 C15 型および C15<sub>o</sub> 型ラーベス構造の合金を開発した。開発した合金は Mg を 30at%程度含有しており、質量貯蔵密度は 1.5mass%程度である。この Mg を多量に含有し室温で可逆的かつ速やかに吸蔵・放出する合金の開発は世界的にも注目を集めている。この系の合金の水素吸蔵量を増やす目的で新たに開発した Ca 系 C14 型ラーベス構造の合金は、Mg を 70at%程度含有しており、室温で速やかに 5mass%以上の水素を吸蔵する。またこの合金は水素吸蔵後でも不均化反応による MgH<sub>2</sub> を生成することなく、合金は分解せず、結晶構造を維持した状態で水素を吸蔵する。しかし大気圧力程度の水素を放出する反応は室温では起こらず、ターボ分子ポンプによる高真空までの減圧や 250℃程度の加熱によって、はじめて水素を放出する。この 250℃の加熱もしくは真空排気による水素放出反応を詳細に調べた結果、室温での水素吸蔵後では生成していなかった、MgH<sub>2</sub> からの放出が起こっていることが判明した。

これらの結果をふまえ、本事業の研究開発では蒸気圧が高い Mg や Li および Ca 等の軽量な金属を主要な構成元素とするラーベス構造を有した合金の放出特性の改善や不均化反応のメカニズム解明を行い、その抑制を目指した組成の改良・設計を行うことで、6mass%級合金の開発を目指す。また放出特性の改善や不均化反応の抑制に関する開発指針を得るために、質量貯蔵密度は少ないが同じ C15 型ラーベス構造を有した Mg 系合金や希土類系合金の水素化物の詳細な調査を実施し、得られた開発指針を高容量な Ca 系合金に応用することを試みる。

C15 型ラーベス構造を有する Mg 系や希土類系のメカニズム解析は、基本的には 6mass%が期待できる C14 型 Ca 系合金の高容量化のアプローチの手段である。

なお本研究に使用する合金の試作方法に関しては、先に記した開発した溶解方法を用いる予定である。

本事業では、以下のメカニズム解析と研究開発を実施する。

#### 1) Mg 系合金による水素吸蔵サイトの解析

室温で可逆的に吸蔵・放出可能な C15 型ラーベス構造の Mg 系合金が、なぜ室温でも放出可能なのかを調べる目的で水素吸蔵サイトの情報を取得し、得られた情報をもとに、高吸蔵量型合金である C14 型の

CaMg<sub>2</sub> 系合金が、室温で水素を放出可能となるような改良にフィードバックを行う。

## 2) 希土類-Ni系合金による不均化のメカニズム解析

C15 型ラーベス構造の希土類-Ni 系合金の水素吸蔵による不均化反応のメカニズム解明を行い、得られた情報をもとに、高吸蔵量型合金である C14 型ラーベス構造の CaLi<sub>2</sub> 系合金の不均化反応抑制を目指した合金設計にフィードバックして 6mass% 級合金の開発を行う。

## 3) CaMg<sub>2</sub> 系合金の開発

CaMg<sub>2</sub> 系合金の水素が吸蔵されているサイトおよび吸蔵されていないサイトの情報を取得し、その情報をもとに元素置換等によりサイトの構成元素を変化させることおよび C15 型ラーベス合金によるメカニズム解明の結果を応用することで放出特性を改善する。

## 4) CaLi<sub>2</sub> 系合金の開発

高吸蔵量の C14 型ラーベス構造の CaLi<sub>2</sub> 系合金では水素吸蔵後の CaH<sub>2</sub> と LiH への不均化反応の抑制を目指し、不均化反応のメカニズムを解明することにより得られた情報および C15 型ラーベス合金での解析情報をもとに不均化反応抑制を目指した合金設計を行い、実用的な 6mass% 級合金を開発する。

## 2. 事業目標

本事業は燃料電池自動車等の普及と水素エネルギーの導入・普及に向けて必要となる水素製造・輸送・貯蔵・充填等一連の機器およびシステムに関する要素技術開発のうち、高容量水素吸蔵合金を開発するために実施するものである。また本事業では、水素貯蔵技術に関する要素技術の開発として、ラーベス構造を有した新規高容量水素吸蔵合金の研究開発を実施し、水素貯蔵機器およびシステムの高性能化・軽量化等効率向上に繋がる技術を開発することを目的としている。

具体的には以下の性能を満たした水素吸蔵合金を開発することが事業の目標である。

- ・水素質量貯蔵密度が 6mass% を有すること
- ・0.1MPa 以上の水素圧力での水素放出温度が 150°C 以下であること
- ・初期貯蔵性能の 90% を維持した吸蔵・放出回数としての耐久性が 1000 サイクル以上であること

また、実用化を考慮して -10°C ~ 50°C での温度範囲での使用を想定した水素貯蔵タンクに合金を充填することを想定した結果、以下の数値に関しても目標とする。

- ・反応熱 | $\Delta H$ | が 20 ~ 30 kJ/molH<sub>2</sub> 程度 (ただし  $\Delta S$  は -100 J/molH<sub>2</sub> · K とする)
- ・水素の体積貯蔵密度が 0.25 ~ 0.10 g/cm<sup>3</sup> 程度
- ・水素の吸蔵・放出速度が 10 分で最大吸蔵量の 90% 以上を吸蔵・放出
- ・材料コストが 1000 円/kg

## 3. 事業成果

### 3-1. Mg 系合金

以下の図 1 には Mg<sub>2-x</sub>Pr<sub>x</sub>Ni<sub>4</sub> 組成の C15<sub>b</sub> 型のラーベス合金の 0 ~ 100°C で 0.01 ~ 8MPa までの範囲の PCT 曲線を示した。これらの結果から分かるとおり、PCT 曲線は、化学組成がわずかにかわることで大きく特徴が変化することが分かった。x=0.6 合金の PCT 曲線では平坦で幅が広

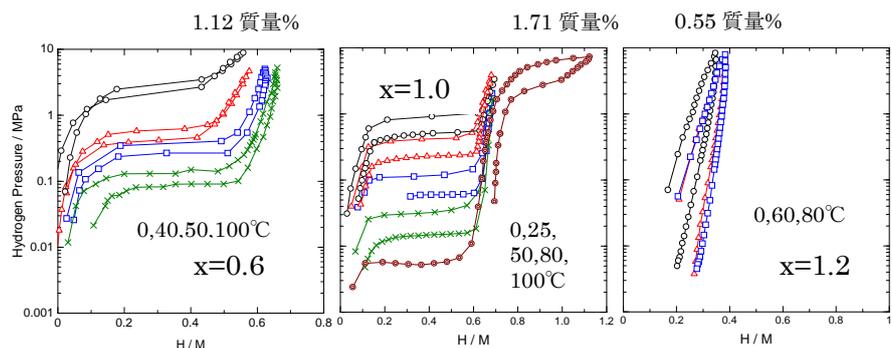


図 1. Mg<sub>2-x</sub>Pr<sub>x</sub>Ni<sub>4</sub> の PCT 曲線 (x=0.6, 1.0, 1.2)

い1段のプラトー領域が確認できたが、化学量論組成である  $x=1.0$  合金での  $0^\circ\text{C}$  で  $8\text{MPa}$  までの測定の結果では、高圧部分で2段のプラトー領域の出現が確認できた。その結果、水素吸蔵量は  $\text{H}/\text{M}=0.6$  ( $1.0$  質量%)から  $\text{H}/\text{M}=1.1$  ( $1.7$  質量%)まで増加した。下段のプラトー領域の水素放出の平衡圧力値からファントホッププロットにより求めた  $\Delta\text{H}$  および  $\Delta\text{S}$  は  $x=0.6, 1.0$  合金でそれぞれ  $-39.2, -42.4\text{kJ}/\text{molH}_2$  および  $-133.0, -126.8\text{kJ}/\text{molH}_2\cdot\text{K}$  であった。より高圧の水素を用いて  $x=1.0$  合金の上段プラトーの詳細を調べた結果、 $\Delta\text{H}$  および  $\Delta\text{S}$  は  $-19.6\text{kJ}/\text{molH}_2$  および  $-98.2\text{kJ}/\text{molH}_2\cdot\text{K}$  であった。化学量論組成より Pr がリッチな  $x=1.2$  合金では、明確なプラトー領域が存在しておらず、吸蔵量も極端に少ない結果となっていた。

図2には、同合金の水素吸蔵時の構造の変化を調べた粉末X線回折測定結果を示した。測定領域は、水素固溶相(合金相)、プラトー領域(2相共存領域)および水素化物相の3つの領域である。 $x=0.6$  合金では生成する水素化物の金属副格子はホストの合金と同じ  $\text{C}_{15}$  型のラーベス構造であった。つまり水素吸蔵時に合金は等方的に膨張していた。一方  $x=1.0$  合金は生成する水素化物は斜方晶系の結晶構造であった。つまり異方的に膨張していた。 $x=1.2$  合金では水素吸蔵によって非晶質化が起っていた。また Mg, Pr の加重平均した原子半径と Ni の原子半径の比 ( $R_{\text{Mg,Pr}}/R_{\text{Ni}}$ ) が、 $1.39(x=1.2)$  であり、2元素の  $\text{C}_{15}$  型ラーベス合金で非晶質化が起こるとされている  $1.37$  以上の値となっている。よって本系でも「原子半径比が  $1.37$  以上で非晶質化が起こる」という経験則が有効であることが分かった。従って今後の実用合金の化学組成を設計する際には、非晶質化を抑制するために、この原子半径比を考慮する必要があると言える。

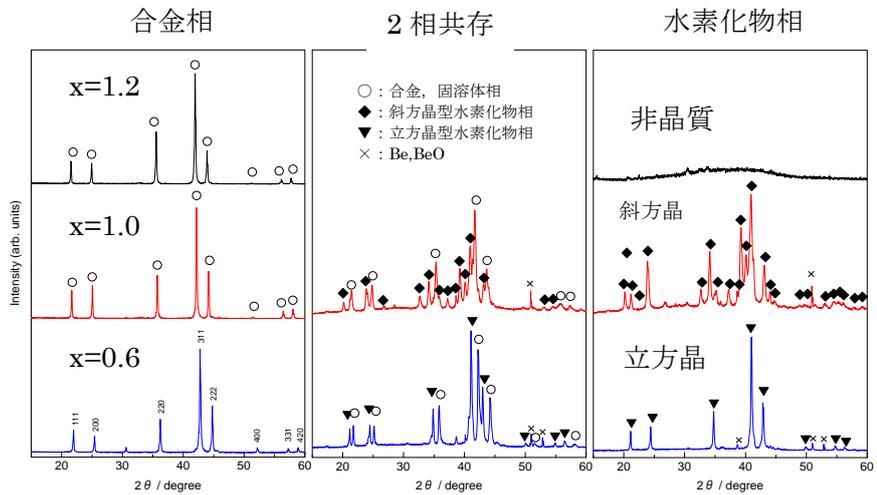


図2.  $\text{Mg}_{2-x}\text{Pr}_x\text{Ni}_4$  の各状態での XRD プロファイル ( $x=0.6, 1.0, 1.2$ )

図3には、 $\text{MgRENi}_4$  合金 ( $\text{RE}:\text{La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd}$ ) の PCT 曲線を示した。La, Ce 合金以外では明確にプラトー領域が確認できた。また Nd, Sm, Gd 合金では格子定数が Pr 合金より小さくなっており、そのため平衡圧力が上昇し、測定した温度、圧力範囲では2段目のプラトーが観察できなかったものと思われる。Nd, Sm, Gd 合金での  $\Delta\text{H}$  および  $\Delta\text{S}$  はそれぞれ、 $-43.9, -33.3, -34.5\text{kJ}/\text{molH}_2$  および  $-133.5, -108.2, -120.8\text{kJ}/\text{molH}_2\cdot\text{K}$  であった。La 合金では、 $1$  質量%程度の水素の吸蔵・放出は確認できたが、プラトーは確認できなかった。Ce 合金では水素の吸蔵が確認できなかった。これらに関しては今後詳細を調べ明らかにしていきたいと考えている。

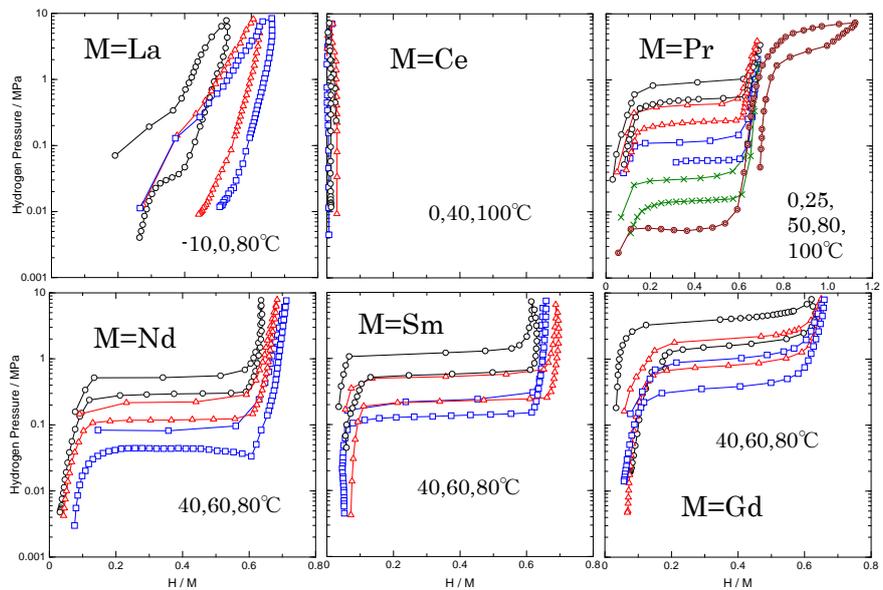


図3.  $\text{MgRENi}_4$  の PCT 曲線 (RE : La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd)

下の図4には化学量論組成合金である  $\text{MgRENi}_4$  ( $\text{RE}:\text{Pr, Nd, Sm, Gd}$ ) の水素化物の水素雰囲気中での XRD 測定の結果を示した。この結果から分かるとおり、いずれの希土類元素を用いた合金でも  $\text{MgPrNi}_4$  と同様に、水素化

物の金属副格子は◆印で示した元の合金と同様の C15<sub>h</sub> 型の結晶構造を取ることが分かった。つまり水素化物は異方的に膨張していることが分かった。

また以前の研究で Mg<sub>1.4</sub>RE<sub>0.6</sub>Ni<sub>4</sub> (RE: Nd, Sm, Gd) 合金では Pr の場合と同様に1段のプラトー領域が確認でき、かつ水素化物が等方的に膨張した C15<sub>h</sub> 型の構造を取ることが分かっている。これらのことと今回の結

果を合わせて考えると、Mg<sub>2-x</sub>Pr<sub>x</sub>Ni<sub>4</sub> 合金で観られた x の値の違いでの水素化物が、①C15<sub>h</sub> 型(等方的膨張, 1段プラトー)、②斜方晶化(異方的膨張, 2段プラトー有り)、③非晶質化と変化する傾向が、RE: Nd, Sm, Gd 合金でも観られるものと予想される。ただし非晶質化に関しては原子半径が Pr>Nd>Sm>Gd となっているため、それぞれの合金で非晶質化が起こる x の値は変化してくるものと思われる。またこの x の値は臨界値の 1.37 から逆算すると、x=1.1(RE: Nd)、x=1.2(RE: Sm)、x=1.3(RE: Gd)と予想される。

図 5 には MgPrNi<sub>4</sub> および Mg<sub>1.4</sub>Pr<sub>0.6</sub>Ni<sub>4</sub> 合金のサイクル特性を調べた結果を示した。測定は 313K で、約 3MPa の水素圧をチャージし 10 分間吸蔵させた後、ロータリーポンプで同じく 10 分間真空排気を行うサイクルを繰り返した。またサイクル測定の中で、313K で最高 8MPa までの条件で PCT 測定を実施した。その結果を図 6 に示した。図 5 の結果から明らかのように、Mg<sub>1.4</sub>Pr<sub>0.6</sub>Ni<sub>4</sub> 合金では非常にサイクル特性に優れており、300 サイクル後も 97% 程度の水素吸蔵量を維持していた。この値から推定すると目標の 1000 サイクルで 90% 以上を達成するものと思われる。一方 MgPrNi<sub>4</sub> 合金では、初期の 50 サイクルで 25% 以上吸蔵量が減少してしまう結果となっていた。同様の傾向が PCT 測定結果でも得られた。サイクル測定後の合金の XRD 測定および粒度分布測定を行った結果より、MgPrNi<sub>4</sub> 合金では XRD ピークのプロードニングが顕著に確認できた。一方 Mg<sub>1.4</sub>Pr<sub>0.6</sub>Ni<sub>4</sub> 合金では 300 サイクル後も XRD ピークはシャープなままであった。また、粒度の変化にも違いがみられ、MgPrNi<sub>4</sub> 合金にくらべて Mg<sub>1.4</sub>Pr<sub>0.6</sub>Ni<sub>4</sub> 合金では微粉化が顕著に起こっていた。これらの結果からサイクル特性に影響を与えている要因を考察し、今後の特性の向上に向けての化学組成や構造の改良に反映していくことが重要であると思われる。

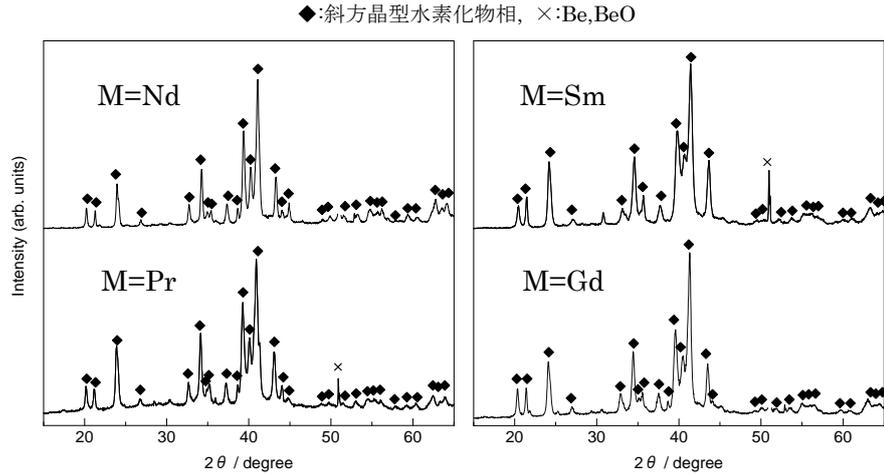


図 4. MgRENi<sub>4</sub> の水素化物の XRD プロファイル (RE : Nd, Pr, Sm, Gd)

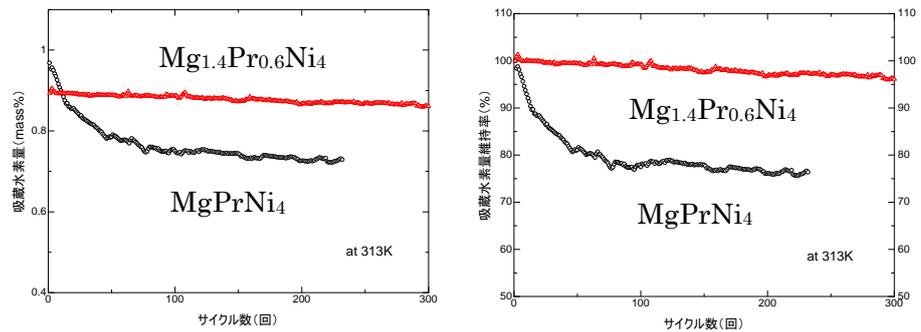


図 5. MgPrNi<sub>4</sub> および Mg<sub>1.4</sub>Pr<sub>0.6</sub>Ni<sub>4</sub> のサイクル特性

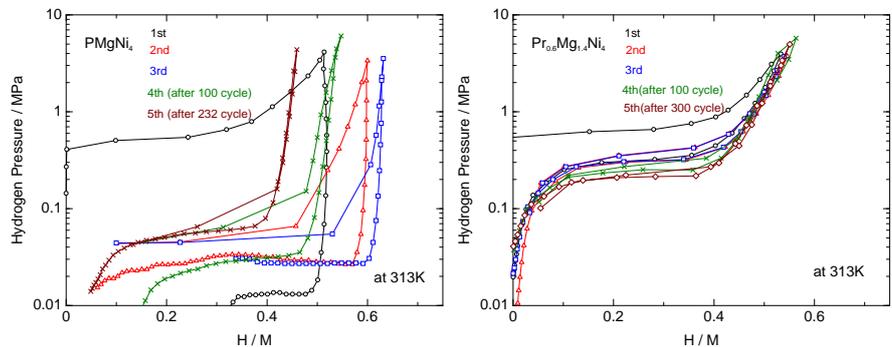


図 6. MgPrNi<sub>4</sub> および Mg<sub>1.4</sub>Pr<sub>0.6</sub>Ni<sub>4</sub> のサイクル試験途中の PCT 曲

### 3-2. 希土類 Ni<sub>2</sub> 系合金

CaNi<sub>2</sub> でみられた水素吸蔵による不均化を抑制するために、格子定数および原子半径比を減少させた RENi<sub>2</sub> 系合金の作製、評価を行った。RE が La, Pr, Gd 合金では不均化が確認できた。より格子定数および原子半径比を減少させた合金での不均化抑制効果を確認する目的で RE が Eu, Er, Yb, Lu での合金をアーク溶解法にて作製した。また第 3 元素添加による不均化反応の抑制効果を確認する目的で RENi<sub>2</sub>B<sub>0.25</sub> 合金 (RE:Ca, La, Pr, Gd, Eu, Er, Yb, Lu) を高周波誘導溶解およびアーク溶解法により作製した。

RENi<sub>2</sub> 合金 (RE:Pr, Gd) の RE サイトを 50% 以下の量で Mg で置換した合金では水素吸蔵による非晶質化が確認できた。この非晶質化は合金の化学組成に敏感に依存しており、置換量が 50% をこえると非晶質化が起こらなくなる事がわかった。また水素化時の温度が高いとより非晶質化しやすいことも分かった。

### 3-3. CaMg<sub>2</sub> 系合金

CaMg<sub>2</sub> 系の不均化の抑制ができた (Ca<sub>0.8</sub>La<sub>0.2</sub>)Mg<sub>2</sub>Ni<sub>0.1</sub> 組成合金が C14 構造を維持しての 150°C 以下での放出が可能かどうかを確認するために、ターボ分子ポンプを用いて (Ca<sub>0.8</sub>La<sub>0.2</sub>)Mg<sub>2</sub>Ni<sub>0.1</sub>H<sub>5.8</sub> の真空排気を 100°C にて行った。実験手順は以下の通りである。

1. 水素化物作製
2. ターボ分子ポンプによる真空排気 (100°C、約 10 時間)
3. 室温、3MPa の水素チャージ (1 回目)
4. R.P. による真空排気 (80°C、約 10 時間)
5. 室温、3MPa の水素チャージ (2 回目)
6. 粉末 X 線回折測定 (大気中)

なお、ターボ分子ポンプによる最高到達真空度は約  $3 \times 10^{-3}$  Pa であった。1 回目の水素チャージでは、吸蔵量は 24 時間で約 1.7mass% であった。1 回目の水素チャージでは、70 時間で約 1.0mass% であった。粉末 X 線回折測定の結果、C14 相は観られず、Mg、Ca に分解していた。以上の結果のように、ターボ分子ポンプによる排気後では水素の再吸蔵は起こったつまり放出は起こったが、C14 構造を維持することができなかった。(Ca<sub>0.8</sub>La<sub>0.2</sub>)Mg<sub>2.14</sub>Ni<sub>0.11</sub>H<sub>5.8</sub> を不安定化させる目的で (Ca<sub>0.8</sub>La<sub>0.2</sub>)Mg<sub>2</sub>Ni<sub>0.1</sub> の格子定数を小さくするよう La を Ce, Pr, Nd, Sm で置換した合金を作製した。また生成した C14 相の格子定数がわずかに小さくなっていることを確認した。

### 3-4. CaLi<sub>2</sub> 系合金

CaLi<sub>2</sub> の水素吸蔵による不均化を抑制するために、格子定数および原子半径比を変化させた合金の試作を試みた。具体的には高周波誘導溶解炉により B, C, Al, Mg, La, Ni の添加・置換合金の作製を試みた。しかし高温、長時間の溶解により、るつぼと熔融金属との反応が確認できた。様々な素材のるつぼでの溶解を試みたが、結果は同様であった。そこで、るつぼからの不純物の混入を防ぐため浮遊溶解炉での試作を試みた。その結果、最初に溶けた Li の液体が Ca 等の固体と良く反応し、均一な合金組成の湯が容易に作製できた。また雰囲気ガスを He にすることで Li や Mg の蒸発挙動を制御でき、安全に精度良く正確に目的組成の合金を作製することができた。以下の図 7, 8 には浮遊溶解中の CaLi<sub>2</sub> 系合金および凝固後のインゴットの写真を示した。なおインゴットは直径が 2~3cm で 5~10g 程度である。粉砕等の作業はグローブボックス内で行っている。



図 7. 浮遊溶解中の CaLi<sub>2</sub> 系合金の様子



図 8. 作製した CaLi<sub>2</sub> 系合金インゴット

特許、論文、外部発表等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※出願	査読付き	その他	
H20FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H21FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件
H22FY	0件	0件	0件	0件	0件	3件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

4. まとめ及び課題

○Mg系 C15<sub>b</sub>型合金 : MgRENi<sub>4</sub>組成合金で2段のプラトー領域が出現し、水素吸蔵量が向上することを見出した。低圧および高圧で出現する2種類の水素化物の結晶構造は斜方晶および立方晶(C15<sub>b</sub>型)であることがわかった。水素化特性は化学組成に非常に敏感であり、MgとREの量比がわずかにずれるだけで2段プラトーが消滅したりアモルファス化が起こったりする。サイクル特性ではMg<sub>1.4</sub>Pr<sub>0.6</sub>Ni<sub>4</sub>組成合金が優れており300サイクル後でも95%以上性能を維持していた。

課題 : 2段プラトーの詳細およびMgCeNi<sub>4</sub>およびMgLaNi<sub>4</sub>組成合金でみられる他の希土類組成合金とは異なる挙動の調査を行う。

○希土類 Ni<sub>2</sub>系合金 : 水素吸蔵による非晶質化(不均化)の挙動に関する情報を取得できた。また非晶質化の有無が合金の化学組成に敏感に依存していることがわかった。

課題 : 不均化の初期段階を各種手法で観察することで挙動の解析を行い、メカニズムを解明することで抑制方法を考案し、実際の合金組成に反映させ実証する。

○CaMg<sub>2</sub>系合金 : C14型の結晶構造を維持した状態で生成する水素化物は150°C以下で高真空での排気により水素を放出するものの、不均化が起こってしまう。放出温度の低下を目指した格子定数が(Ca<sub>0.8</sub>La<sub>0.2</sub>)Mg<sub>2</sub>Ni<sub>0.1</sub>より小さい合金を試作した。

課題 : 格子定数を小さくした合金の評価を行い、生成する水素化物の構造解析を実施する。また中性子回折等で死蔵水素の情報を取得し、不安定を目指した組成設計に反映する。

○CaLi<sub>2</sub>系合金 : 格子定数や原子半径比を変化させた組成の合金を精度良く作製可能な、ヘリウムガス雰囲気中での浮遊溶解炉を用いた手法を開発し、CaLi<sub>2</sub>のCaおよびLiサイトを第3元素で置換した合金を作製した。

課題 : 改良した組成合金の水素化物の構造解析を行い、死蔵水素の情報を取得し、更なる組成設計に反映させる。不均化抑制メカニズムを盛り込んだ組成合金の試作評価を行う。

5. 実用化・事業化見通し

現状では、Mg系合金での2段プラトーによる吸蔵量の増加、RE系合金での断片的な不均化に関する情報の取得およびCaLi<sub>2</sub>系での試料作製手法の開発に留まっており、今後これらを基に高容量が期待できるCa系合金の組成設計により、不均化抑制や放出特性の改良ができれば実用化・事業化の見通しがたつものと考えている。

●進捗成果サマリ(平成20年度～平成24年度10月末)

- ・ディスペンサーの性能を評価するため充填試験をおこない、基本的な充填制御方法が確立できた。構成機器の信頼性データから目標とする耐久性を確認した。
- ・コリオリ流量計の性能検証から良好な結果が得られた。水素に対応した防爆申請をおこなった。
- ・評価装置によるプレクール基礎評価おこない、プレクール装置の課題抽出と改善方法を検討した。

●背景/研究内容・目的

背景: 世界的な環境意識の高まりや、我が国エネルギー供給の安定化・効率化・地球温暖化、環境問題の解決および新エネルギーの開発等を図る目的の一環として水素社会構築の重要性が認識され、その早期実現が求められている。また、普及促進のためには安全性を担保した低価格、高耐久性の水素ステーションの早期実現が必須である。

目的: 水素供給インフラ立ち上げ(2015年頃)に向けた低コスト、高耐久性を実現した水素ディスペンサーを開発する。

●研究目標

実施項目	最終目標(H24年度)	
ディスペンサー開発	充填制御評価 防爆申請・コスト検証	低価格・高耐久性 ディスペンサーの開発
コリオリ流量計開発	性能試験・耐久試験・ 防爆申請	コスト: 従来比50% 耐久性: メンテ1回以下/年
プレクール装置	評価試験・課題抽出・ 最適化検討	

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

- ①ディスペンサー開発
  - ・他のNEDO事業で開発した新素材のボールバルブ、流量調節弁を組み込み、ディスペンサーを開発した。
  - ・機能を集約化した制御基板による基本的な充填制御方法が確立できた。
  - ・水素対応の防爆を申請しほぼ取得完了した。
  - ・構成機器の信頼性データを調査取得し耐久性を確認した。
- ②コリオリ流量計開発
  - ・SUH660を使用したフローチューブで器差測定、圧力損失測定等の性能試験をおこない、良好な結果が得られた。
  - ・改良したコアプロセッサ用制御基板を開発し、この基板上で動作する流量計測プログラムの動作検証をおこなった。
  - ・水素対応の防爆申請のために評価試験をおこない、必要となるデータを取得した。申請図面、計算書を作成し防爆申請をおこなった。
- ③プレクール装置
  - ・社内ヘリウムガス設備に設置した基礎評価装置で性能試験から課題を抽出した。
  - ・試験結果、検討課題から水素ステーションにおけるプレクール装置の最適化検討をおこなった。



ディスペンサ



コリオリ流量計

●今後の課題

- ①ディスペンサー、コリオリ流量計の水素防爆取得
- ②ディスペンサーの改良設計にともなう、コスト検討、耐久性検討
- ③コリオリ流量計の新規格適合材料検討

●実用化・事業化の見通し

実用化の目途が立ち、インフラ立ち上がり状況に合わせて事業化を予定。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己達成度
ディスペンサー開発	開発したディスペンサーの実用化に見通しを得た。	○
コリオリ流量計開発	コアプロセッサタイプの実用化に目処がついた。	○
プレクール装置	性能評価の結果から最適化検討を実施した。	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	0	1	0

# 低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発

委託先：(株)タツノ

## 1. 事業概要

本研究開発は、「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」を対象として、「水素ステーション機器要素技術に関する研究開発」を行うこととし、研究開発項目「低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発」を実施する。

燃料電池自動車へ高圧水素を供給する重要な機器である水素ディスペンサーは、ガス流路として遮断弁、流量調整弁、コリオリ流量計、ホース、緊急離脱カップリング、充填カップリングなど多数のコンポーネントが組み合わされ、またそれらをコントロールする制御部および充填量を表示するカウンターで構成されている。これらの構成機器のうち、具体的には低コスト化に向けたコリオリ流量計の開発と、ディスペンサー制御部を開発（機器の簡素化、集約化）を行うと共に、同NEDO事業内の他のプロジェクトで開発予定の廉価版遮断弁、流量調整弁等の搭載および機器メーカーでの新規開発品の搭載によりコスト低減を図る。尚、各機器の開発時にはコスト低減のための製造手法（一体化、樹脂化、板金金型化等）について検討し、その手法による開発の有効性が顕著であれば実施する。

プレクール装置は70MPa水素ガスを燃料電池自動車へ短時間に充填する場合、水素を冷却するためのシステムである。現時点ではディスペンサーとは独立機器として運用されているため、ディスペンサーとの最適化システムを低価格化と併せて検討する。

コリオリ流量計のフローチューブは現時点では水素脆化の懸念が持たれているため、安全性、計測精度における問題有無確認のため従来フローチューブでの水素暴露試験を実施すると共に、水素に対して低感受性新素材のフローチューブによるコリオリ流量計製作を実施する。

## 2. 事業目標

我が国エネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題・地球環境問題の解決および新エネルギーの開発等を図る目的の一環として、水素社会構築の重要性が広く認識され早期実現が求められている。水素インフラ立ち上げは2015年に燃料電池自動車の一般ユーザーへの普及開始を目指す。FCCJが表明しているが、その後の普及促進のためには安全性を担保した低価格、高耐久性の水素ステーションの早期実現が急務である。よって、本事業における低コスト型70MPa級水素ディスペンサーの研究開発（機器開発を含む、低コストおよび高耐久性機器開発）では、水素ステーションの普及促進、ひいては水素エネルギー社会の実現を図るため以下を目標とする。

- ①低価格ディスペンサーの開発（現行比50%）
- ②高耐久ディスペンサーの開発（メンテ周期1年以上）

また、実施にあたり各研究機関等で得られたデータを有効に活用する必要があるため、水素充填に関係する委員会、W. Gなどへ積極的に参画する等、本事業の他分野の委託先（財団法人 石油エネルギー技術センター等）、並びに関連機器メーカー、車両メーカーと緊密に連携して取り組むこととする。

## 3. 事業成果

### 3. 1 ディスペンサー開発

#### (1) 仕様・特長

ディスペンサーの概略仕様は以下のとおりである。

- ①型式：EAIT1111（暫定）、シングル、両面カウンター、サイドカップリング掛け
- ②充填圧力：70.0MPa
- ③常用圧力：上流側 80.0MPa 下流側 70.0MPa
- ④設計圧力：上流側 89.0MPa 下流側 78.0MPa
- ⑤計量範囲：0.25～5.0kg/min
- ⑥計量精度：±1.5%
- ⑦カウンター：液晶 6桁 0～999999g
- ⑧流量計：コリオリ式流量計

- ⑨遮断弁／脱圧弁：ボールバルブ
- ⑩流量調節弁：電空式制御弁
- ⑪安全弁：設定圧力 78.0MPa
- ⑫圧力伝送器：出力レンジ 0～120MPa
- ⑬圧力計：測定レンジ 0～120MPa

また、他のNEDO事業での規制見直しの観点から以下の追加内容を実施した。

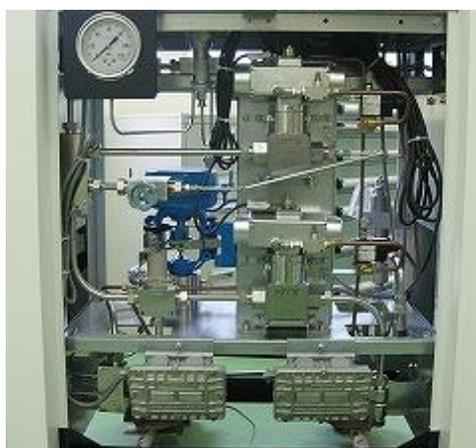
- ①ホース断裂保護のため緊急離脱カップリングの設置



ディスペンサー外観

特長は以下に示すとおりである。

- ①新開発コリオリ流量計を採用。  
本事業で開発したコアプロセッサタイプのコリオリ流量計を組込んだ。
- ②遮断弁、脱圧弁にNEDO事業で株式会社キッツが開発した安価なボールバルブを採用。
- ③流量調節弁についても同じくNEDO事業でアズビル株式会社が開発した新バルブを採用。
- ④配管（9／16in）のベンディングによりディスペンサーの小型化を実現。  
構成機器の配置を見直し効率的に設置することにより、35MPaディスペンサーと同サイズ（当社比）を実現した。



ディスペンサー内部

⑤プレクーラー内蔵に対応可能。

現在のプレクーラー熱交換器はディスペンサーに内蔵することが困難な大きさであるが、高効率で小型化された熱交換器が開発され、ディスペンサーへの内蔵が可能となった場合にも対応できる配管構成とした。

⑥シーケンサーを削除、新開発コリオリ流量計に対応した高機能制御基板を搭載。

従来からの充填制御、高圧ガス機器の制御、制御盤との信号授受などの機能に加えて、いままでシーケンサーが受け持っていた機能を移植し、さらにコリオリ流量計の表示操作機能を統合、集約化した高機能制御基板を開発した。



制御基板



電源基板

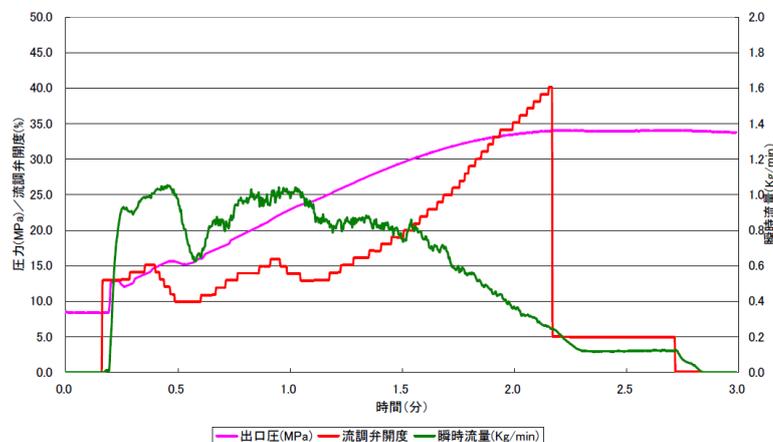
(2) 機能・性能評価試験

制御基板に搭載する充填制御プログラムの開発は、まずシーケンサーを削除するために、22年度に開発したオープンキットと模擬制御盤をCC-Link（通信）で接続してディスペンサーと制御盤間の動作を検証した。検証結果から必要な通信機能プログラムを作成し制御基板に搭載することで、シーケンサーを削除することができた。

つぎに充填制御用のプログラムは、充填検証用モニターを使って蓄ガス圧力、充填圧力、流量調節弁開度等に対応して擬似的に流速を変動させ、その変動に適合した制御を検証することにより作成した。

これら検証結果から作成した充填制御プログラムをディスペンサーに搭載し、社内にあるNED O高圧ヘリウム設備を使用して充填動作を検証した。充填容器の都合上35MPaまでの充填検証ではあるが、新規に開発したボール弁の遮断弁動作、流量調整弁に対して要求した開度動作について良好な結果が得られ、使用上問題なきことを確認した。また、従来シーケンサーで行っていた制御盤との通信連動についても、遅れ、エラー等の不具合がなく良好な結果が得られ、シーケンサーを削除したディスペンサーの構成において、基本的な充填制御方法を確立することができた。

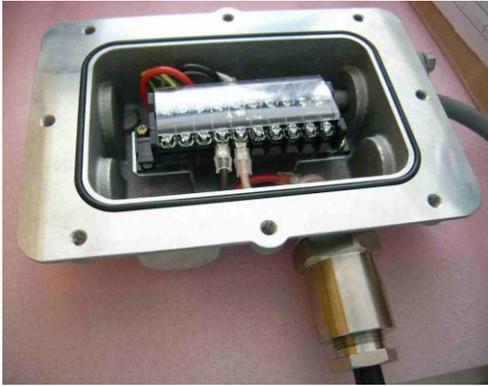
計量機検証



充填データ

### (3) 防爆申請

ディスペンサーを構成する電子関係部品につき水素防爆が必要な、ジョイントボックス、2種類のコントロールボックス、ディスプレイ関係の4品について必要な評価試験、型式試験の実施、申請図面、計算書等の書類作成、供試品の組み立てを行った。平成23年8月にジョイントボックスの防爆申請を行い取得した。平成24年1月には2種類のコントロールボックスの申請を行い合格した。ディスプレイ関係は平成24年4月に申請し、審査結果待ちの状況である。防爆取得後は水素ガスへの展開が可能となる。



ジョイントボックス



防爆ボックス

### (4) コスト検討

開発したディスペンサーについて暫定的ではあるがコストを試算し、計画立案時コスト、目標コストとの比較検討を行った。

(千円)

	計画立案時コスト	目標コスト	開発モデルコスト
ハウジング	3,000	1,000	2,000
制御機器	1,800	600	600
高圧ガス機器	30,000	14,700	13,700
配管等	3,000	2,200	2,100
合計	37,800	18,500	18,400

表に示したとおり計画立案時の目標コストを達成し、計画立案時コストに対して50パーセント以上のコストダウンを達成した。ディスペンサーのコストに占める流量調整弁、遮断弁、流量計、充填カップリング等の高圧ガス機器の費用割合が大きいことには変化はないが、これら高圧ガス機器のコストダウンが全体のコスト抑制に対して大きく寄与している。これはコストダウン化された新規開発品の採用、自社製品化および従来品の量産化による効果である。制御機器に関しては充填制御をおこなっていた本体制御部に、従来シーケンサーが受け持っていた制御盤との通信機能を統合させ、ガソリン計量機の部品を流用した新しい本体制御用電子基板を開発し、電子部のコンパクト化、コストダウン化を実現した。

今後、ヘリウムガス、水素ガスによる試験結果、防爆検定に合格した防爆ボックスの量産効果、加えて高圧ガスに関する規制緩和、高圧水素に対する使用可能鋼種の拡大等の効果を取り入れることによりさらなるコストダウンが期待できる。

### (5) 信頼性検討

ディスペンサーを構成する要素機器において、充填時に高圧水素に接し動作する機器について信頼性に関するデータの調査を実施した。以下の調査結果から各機器の健全性は、想定される1年間の充填回数7300回(20回/日×365日)を十分満足すると考えられ、ディスペンサーは目

標とするメンテナンスの周期1回／1年を達成できることを確認した。

①遮断弁

NEDO事業にて開発されたボールバルブの耐久性については、水素閉開作動耐久試験において40000回をクリアしている。これは充填回数40000回に相当する。

②流量調節弁

NEDO事業にて開発された流量調節弁の耐久性については、水素雰囲気下での耐久試験において30万回をクリアしている。これは1回の充填において3回閉開するとすれば10万回の充填に相当する。

③コリオリ流量計

本事業において85MPaの静圧試験および0～95MPa、-40℃～常温のサイクル試験にて、耐久性評価を計画している。

④緊急離脱カップリング

メーカーで実施した耐久試験の結果から十分な耐久性を確認した。

⑤ホース

以前のNEDO事業（水素社会構築共通基盤整備事業）の安全性検証にて弊社が実施した低温応力繰り返しおよび低温屈曲繰り返し試験において9万回をクリアしている。

⑥充填カップリング

メーカーで実施した耐久試験の結果から十分な耐久性を確認した。

### 3. 2 コリオリ流量計開発

#### (1) 仕様・特長

コリオリ流量計の概略仕様は以下のとおりである。

- ①適用流体：水素
- ②周囲温度：-20～50℃
- ③流体温度：-40～80℃
- ④許容最大流量：480Kg/h
- ⑤器差（工場校正時）：±0.5% rate  
(48～480Kg/h)
- ⑥温度精度（参考値）：±1℃
- ⑦フローチューブ素材：SUH660
- ⑧ボディ素材：SUS316L
- ⑨カバー素材：AC4C-T6
- ⑩接続規格：3/8HP オートクレーブ継手（メス）
- ⑪設計圧力：99MPa
- ⑫防爆認定：Ex dib IIB+H2 T4
- ⑬電源：DC24V
- ⑭デジタル出力：オープンコレクタ出力 流量パルス出力
- ⑮アナログ出力：電流出力（4～20mA）瞬時流量、温度出力



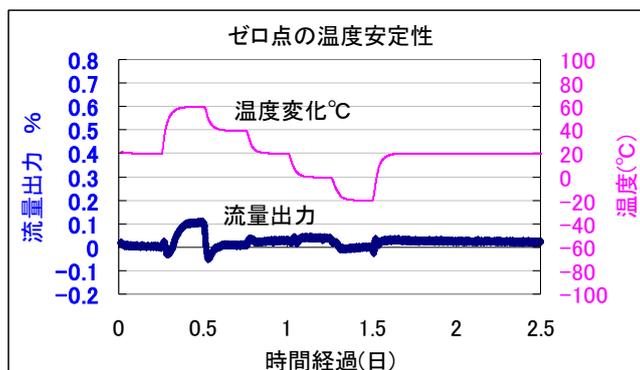
また、特長を以下に示す。

- ①最大480Kg/hまで計量が可能。  
大型バスへ充填する大流量充填用ディスペンサーに対応した。
- ②±0.5%の高精度。  
480Kg/hの大流量でも±0.5%の精度を実現した。
- ③一体型コンパクト。  
電子部品を見直し高密度実装した専用基板を開発し、コンパクトな構造とした。

#### (2) 検出器の性能評価

開発したコリオリ流量計について以下の評価試験を行った。本開発ではSUH660製、新形状フローチューブの採用により、耐水素脆化性に優れ、大流量化に対応しつつ、流量計としての安定性向上、流量精度の向上が実現できた。

- ①耐圧・気密試験 150MPa（耐水圧）、100MPa（ガス圧）にて問題なし。
- ②ゼロ点安定性試験（温度影響） -20℃～60℃において安定、（下図参照）

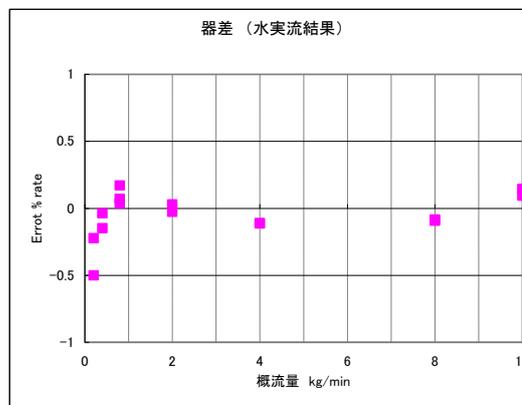
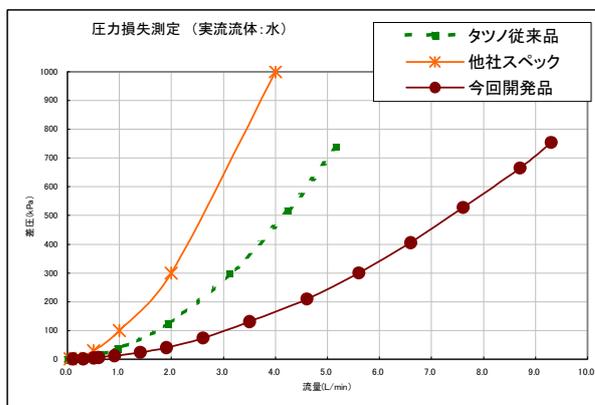


③サイクル耐久試験

NEDOの他のプロジェクト（水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発／水素ステーション機器要素技術に関する研究開発／低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器に係る研究開発）と連携し、外部研究試験機関にて長期の高圧水素暴露試験を行った。ろう付け部に極微量の水素リークが確認された。ろう付け部を分析し、ろう付けの最適な条件を検討、試作し、引張り試験および断面観察結果、改善が確認できたので、高圧水素環境下での耐久試験にて最終評価を計画している。

④圧力損失試験、精度試験

タツノ従来のコリオリメータ、他社コリオリメータと比較し良好な結果が得られた。



(3) 検出器接ガス部（フローチューブ、ボデー）の材質

今回、フローチューブには SUH660、ボデーには SUS316L を採用した。フローチューブに使用した SUH660 は水素感受性が低く水素脆化が少なく、かつ高圧ガスに耐えうる強度を併せ持った材料で、開発当初は最も有力な材料であった。

但し、2011 年以降、低温での水素脆化の問題や、法規制の改訂が予定されており、材料選定基準が従来から急激に変わってきた。SUH660 は引き続き有力材料ではあるが、通常 SUS316L の使用は困難な状況で、流量計の使用材も見直す必要に迫られている。

下表に示したように、各材料とも一長一短があるが、それら材料単独の特性だけでなく、各材料のろう付け性の調査とサイクル耐久試験等の総合評価が必要である。低コスト、高耐久性のコリオリ流量計を実現するにあたり、材料の見極めと実水素下でのサイクル耐久試験を早急を実施する必要がある。

材質	許容応力	耐水素脆化	法規制等	判定・選定結果
SUS316L	△	○	△	当初使用、低温に難あり
SUS310S	○	○	△	
NW0276	◎	△	△	当初使用
SUH660	◎	○	○	今回採用

< 以下、2011年以降登場の新有力材料 >

新 SUS316 ※1	△	◎	◎	ボデー材に有望
新 SUS316CW ※1,2	◎	◎	◎	ろう付け不可
XM19	◎	◎	○	フローチューブに有望

※1：所定のNi当量、絞り値を満たす材料

※2：冷間加工による加工硬化材

#### (4) 変換器の性能評価

コアプロセッサ用の制御基板は評価と改良を繰り返して行い、防爆要件を満足しつつ部品の高密度実装化を実現し、電源基板の改良と併せてコンパクトな変換器に結びつく電子基板を具体化した。この制御基板に搭載する流量計測プログラム、入出力制御プログラムの評価は信号発生器を模擬的に検出器として接続して検証を行った。信号発生器からの信号を変化させることにより擬似的に水素流量の変動を発生させ、その変動に対応した流量を確認し良好な結果が得られた。



変換器のケースについては、大きな容積が必要となる

二室構造から小型一室構造の鋳物ケースを開発した。パッキングランドはディスペンサーの防爆ボックスと共用化した。これらの改善により防爆要件を満たしながらコンパクトで軽量、低コストな変換器を開発した。

#### (5) 防爆申請

開発したコリオリ流量計を水素計量するため防爆申請を行った。動作検証を行った試作機をベースとして接続配線の設計、評価試験、型式試験の実施、申請図面、計算書の作成、供試品の製作等を実施した。平成24年度中に防爆を取得する予定である。

### 3. 3 プレクール開発

燃料電池自動車へ70MPa水素ガスを充填するときには、車両容器の温度上昇を抑えるため、水素ガスを冷却するプレクール装置が設置されている。現行のプレクール装置は独立した装置でディスペンサーとは連動して制御していない。充填システム全体の簡素化、低価格化の観点からプレクール機能を統合した充填システムを検討した。プレクールの機器構成を検討するため、ヘリウムガスでの基礎評価設備の設計、試作を実施した。



プレクール評価用冷凍機・循環装置



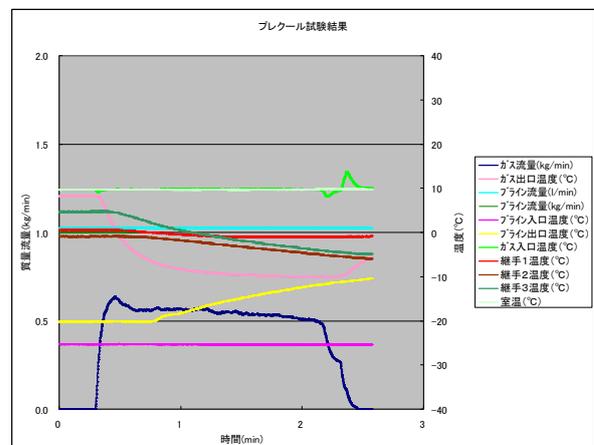
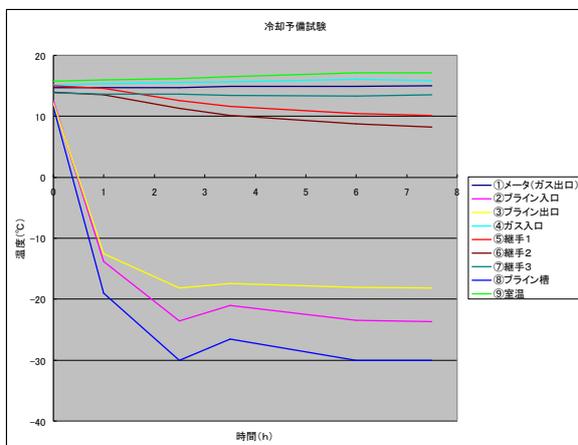
熱交換器（試験装置）

試験は冷凍機にて指定温度に調整した液体ブラインを循環させ熱交換器（試験装置）を冷却し、高圧のヘリウムガスを熱交換器に流入し試験を行った。

試験データからこの試験装置について次の課題が判明した。

ヘリウムガスを流していない状態では、この二重管対向流方式の熱交換器では二重管になっていない接続用配管、継手部分の冷却は金属の伝熱に依存している。この部分を十分に冷却することができず、装置全体で温度分布にばらつきが生じていると考えられる

この状態でヘリウムガスを0.5 Kg/min程度流すと、ヘリウムガスは開始後1分程度で-10℃まで冷却されている。これは冷却されている二重管の部分での熱交換によるものと考えられる。しかし流し続けても二重管になっていない接続用配管、継手を冷却するために熱を奪われ、ブライン温度が上昇するために-10℃以下には冷却できなかった。これを解消するためには1 Kg/minで循環しているブラインの流量を増加することで冷却性能の向上が期待できるが、循環ポンプの性能を勘案すると、同じブラインで粘度を下げるためには希釈しなければならないが、希釈したブラインでは冷却性能が低下してしまうため、低温で低粘度のブラインが必要となる。



この評価用装置は実際の水素ステーションで想定されるプレクール装置の5分の1程度の流量であるが、プレクール装置に二重管対向流方式の熱交換器を使用する場合には、

- ①十分に水素ガスを冷却するための熱交換器の大型化。
- ②大型熱交換器を冷却するためには低温で低粘度のブラインが大量に必要。

が想定され、プレクール装置のイニシャルコストダウン、ランニングコストダウン、スペース効率アップを妨げる要因となることが予想される。

これらの課題を解消するためには、高効率で小型の熱交換器の開発が必要である。現在、水素ステーションで使用が検討されている熱交換器の方式は、二重管対向流方式とシェル&チューブ方式が主流であるが、いずれも装置が大型のため、今後スペース効率を考慮したディスペンサーとの一体化による小型化、コストダウン化が困難になると懸念される。NEDOの他の事業で紹介され、圧縮機等で使用実績がある積層型多流路熱交換器は、耐圧性、耐熱性に問題がなく単位体積あたりの伝熱効率に優れているため小型化が可能であり、水素ディスペンサーとの一体化した熱交換器が期待できる装置である。また、燃料電池自動車への水素充填後の脱圧時間短縮、脱圧量減少にも適した熱交換器である。

冷却システムの効率化、小型化のためには低温で低粘度のブラインが必要となるが、液体のブラインでは小型化が困難なため $LCO_2$ による冷却を検討した。

$LCO_2$ による冷却するシステムの場合

- ①配管の小口径化  
液体ブラインでは60A程度の配管が必要と想定されるが、気体では25A程度と小口径化が可能である。
- ②循環ポンプの小型化  
粘度の高い液体ブラインを循環させるために10KW以上のポンプが必要になるが、気体であれば、1KW程度のポンプで循環が可能である。

といった特長がある。

また、CO<sub>2</sub>は

- ①爆発性がない
- ②漏れに対するリスクが少ない
- ③低コストで入手性がよい

といった特長があり、プレクール装置に適したものと考えられる。

以上のような検討結果から、現時点では水素ステーション用プレクール装置にはLCO<sub>2</sub>による積層型多流路熱交換器が最適なシステムと考える。

### 3. 4 特許、論文、外部発表等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※出願	査読付き	その他	
H2 0FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H2 1FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H2 2FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H2 3FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H2 4FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

## 4. まとめ及び課題

### 4. 1 まとめ

実施計画書の事業目標と照らし合わせ、ほぼ計画どおりの成果が見込まれる。

- ①機能を集約した制御システム、新開発コリオリ流量計、新素材のボールバルブ、流量調節弁を組込んだディスペンサーを開発した。
- ②ディスペンサーの基本的な充填制御に目途がついた。
- ③ディスペンサーのコスト検証についても計画どおりの見通しを得た。
- ③コアプロセッサタイプのコリオリメータの開発に目処がついた。
- ④プレクール装置の基礎評価から実ステーション向け最適化検討を実施した。

### 4. 2 課題

この事業の完成度を更に向上させるために以下の課題を示す。

- ①ディスペンサーの改良設計  
実ステーションでの充填を考慮した充填プロトコル、車両との通信機能に対応した改良設計。
- ②コリオリメータの製品展開  
ディスペンサー組込み専用として開発は完了した。汎用品への商品展開。新基準、新規格に適合したフローチューブ材料の選定とろう付け評価。
- ③プレクール装置の具体化  
最適化検討をおこなったLCO<sub>2</sub>による冷却、積層型多流路熱交換器の実機評価。

## 5. 実用化・事業化見通し

ディスペンサーの実用化の目途がついたと判断ができる。事業化については社会情勢、インフラ立ち上がり状況を鑑みて判断したい。

## (Ⅱ-7) 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

### ●進捗成果サマリ(平成20年度～平成24年度7月末)

- ・新開発樹脂を採用したトウプリプレグ(TPP)を用いたDRY法によって、アルミライナー製大型複合蓄圧器の開発を行い、200L蓄圧器で破裂圧力345MPaを達成した。
- ・大型・長尺複合蓄圧器を製造する大型フイラメントワインディング(FW)装置の設計開発が終了し、300L級複合蓄圧器の製造が可能となった。
- ・小型容器で内部加熱法の有効性を確認するとともに、外部加熱装置を併用することで大型蓄圧器製造時においても均一に加熱することが可能となった。
- ・常用圧力82MPa、内容量200Lの複合蓄圧器を完成し、別事業で実施中の水素ステーション実証に採用され、規制当局から使用認可を取得した。

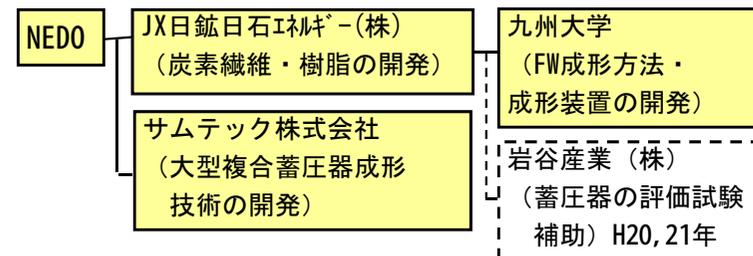
### ●背景/研究内容・目的

燃料電池自動車(FCV)の2015年度からの普及に向け、2013年度末までに水素供給インフラ整備の目処を立てる必要がある。現在、FCVに搭載されている圧縮水素用容器の圧力仕様は、70MPaが主流となっており、水素ステーションに必要な蓄圧器の常用最高圧力は80MPa以上となる見込みである。この高圧水素用蓄圧器として、本研究では、現行の鋼製蓄圧器と比較して、コスト的にもスペース的にも有利な蓄圧器用大型炭素繊維強化複合材料(CFRP)蓄圧器の開発を行う。この開発により、水素ステーション建設コストを6%以上削減し、水素供給インフラの整備に貢献する。本研究では、従来のWET法に比べ、品質が安定し高速でFWすることのできるTPP(DRY法)とFW時の巻崩れや樹脂の加熱硬化工程時間の削減が期待できる内部加熱法を組み合わせた新規のFW手法によりコストダウンを目指す。

### ●研究目標

実施項目	中間目標(H22年度)	最終目標(H24年度)
常用圧力	80MPa	82MPa
容量	200L	300L
重量	1000kg以下	1000kg以下
コスト	1000万円以下	1000万円以下

### ●実施体制及び分担等



### ●これまでの実施内容／研究成果

#### 1. 炭素繊維(CF)・樹脂の開発

##### (1) TPP用樹脂の開発

TPPが収束しにくい樹脂を開発し、蓄圧器の破裂強度を向上させることができ、200Lの複合蓄圧器において破裂圧力345MPaを達成した。

#### 2. FW成形方法、成形装置の開発

##### (1) 大型複合蓄圧器の製造技術の開発

大型FW装置を設計開発し、6m、1600kgまでの大型蓄圧器のFWを可能とし、大型硬化炉を導入し、適切な温度条件で樹脂を硬化させ、300L級大型蓄圧器を製造することが可能となった。

##### (2) 内部加熱FW装置の開発

小型容器内部加熱FW法の有効性を確認した。更に、外部加熱を併用することで、均一に加熱させることが可能となり、大型蓄圧器への適用を検討している。

#### 3. 大型複合蓄圧器成形技術の開発

##### (1) 評価試験法の確立

大型、高圧蓄圧器に対応可能な破裂試験機、サイクル試験機、ハイドロ試験機を設計、導入し、評価試験が可能となった。また、内面検査機によるライナーの評価手法を開発中である。

#### 4. 検証テスト用大型複合蓄圧器の開発

200Lの複合蓄圧器で水素ステーション実証に提供しうる設計を完了し、使用認可を取得した。今後、別事業で実施中の水素ステーション実証に投入し、安全性等の検証を行う。

### ●今後の課題

#### ／スケジュール(H24年度末まで)

更にコストダウンを目指した量産可能な300L蓄圧器の設計確立と別事業と連携し200L複合蓄圧器の実証ステーションでの安全性等を検証する。

### ●実用化・事業化の見通し

NEDO別事業で実施している規制合理化検討と連携し、水素ステーションでの使用認可を簡略化することで納期・費用を削減するとともに、製造技術の向上検討を継続し、商用仕様水素ステーションへの採用を目指す。

### ●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価	
CF・樹脂	大型蓄圧器に適した樹脂を開発し、200L、破裂圧力345MPa達成	○	
FW成形方法・装置開発	目標に達し得る82MPa、300L級蓄圧器の製作実施	○	
大型蓄圧器成形技術	大型蓄圧器の製造条件、評価方法確立	○	
検証テスト	検証用200L蓄圧器の認可取得	○	
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
7件	5件	9件	—

# 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

委託先: JX日鉱日石エネルギー株式会社  
サムテック株式会社

## 1. 事業概要

燃料電池自動車(FCV)の2015年度からの普及に向け、2013年度末までに水素供給インフラ整備の目処を立てる必要がある。現在、FCVに搭載されている圧縮水素用容器の圧力仕様は、70MPaが主流となっており、そのFCVに水素を供給する水素ステーションに必要となる蓄圧器は、常用最高圧力が80MPa以上となる見込みである。この蓄圧器を既存の鋼製材料を用いて製造した場合には、かなり厚肉な容器となり、重量が過大になるばかりでなく、製造の困難さからコストも大幅に上昇してしまう。(250Lの鋼製蓄圧器コスト:2500万円、重量:3800kg)

本事業では、現状の鋼製蓄圧器と比較して、コスト的にもスペース的にも有利な大型蓄圧器用の炭素繊維強化複合材料(CFRP)蓄圧器の開発を行う。これにより、蓄圧器コストを50%以下にすることによって、水素ステーション建設コストの6%以上を削減することが可能となる。また、蓄圧器重量が軽量化(目標30%以下)されることにより、蓄圧器をキャンピアー上に設置するなどレイアウトの自由度が増し、余剰スペースの有効活用や蓄圧器設置部の耐震強度軽減によるコスト削減などが期待できる。

FCVでは、70MPa級水素用CFRP容器の設計・製造・評価技術が確立されているが、水素ステーション蓄圧器に求められる技術基準は、FCV用CFRP容器の技術基準\*1より厳しいものとなる見込みであり、炭素繊維(CF)を厚巻にすることによる技術的課題は大きい。また、効率の面からも水素ステーション蓄圧器はFCV用容器よりも高容量(200L以上)のものが望まれるため、大型・長尺の蓄圧器の製造・評価技術の開発が必要となる。

本事業では、この技術的課題をクリアし、より低コストのCFRP蓄圧器を製造するために、以下の手法を用いて高圧大型複合蓄圧器の開発を進める。

①あらかじめCFに樹脂を塗布したトウプリプレグ(TPP)を用いたドライ(DRY)法によりフィラメントワインディング(FW)を行う。これにより、従来のFW直前に樹脂を塗布するウェット(WET)法に比べ、高速でのFWが可能となり、量産化時のコストダウンが期待できる。

②ライナーの内部を加熱しながらFWを行う(内部加熱法)。このFW手法により、FW時に樹脂の硬化を開始させ、厚巻による内層のCFの巻崩れ防止、FW後の樹脂硬化工程の時間短縮、厚巻時の樹脂硬化発熱による過昇温の低減などが期待できる。

\*1)最小破裂圧力:最高充填圧力(70MPa)の2.25倍以上(158MPa以上)、サイクル寿命:11,250回以上

## 2. 事業目標

### 2.1 平成20-22年度開発目標(達成済)

- (1) 常用圧力80MPa、200LのCFRP蓄圧器の完成。コスト1000万円以下、重量1000kg以下。
- (2) 技術基準が確定していないため、蓄圧器性能として破裂圧力300MPa以上を目標とする。

### 2.2 平成23-24年度開発目標

- (1) 常用圧力82MPa、300LのCFRP蓄圧器の設計完成。コスト1000万円以下、重量1000kg以下。
- (2) 当事業とは別に実施しているNEDO実証事業に適用可能な性能の大型CFRP蓄圧器を設計開発し、水素ステーションでの使用認可を取得後、実証事業で安全性等を検証する。

### 2.3 その他事業との協力

- (1) 平成23年度～平成24年度に、「水素インフラ等に係る規制見直しのための研究開発」で検討中の技術基準案に沿ったCFRP蓄圧器(200L)を作製し、水素ステーションでの使用認可取得を目指す。
- (2) 平成24年度、水素ステーションでの使用認可を取得したCFRP蓄圧器でNEDO別事業の水素ステーション実証テストにおいて、疲労劣化のないこと、システムとして問題の起こらないことなど安全性の確認を行う。
- (3) 「水素インフラ等に係る規制見直しのための研究開発」事業後の措置として、平成26年度までに例示

基準化が計られる見込みである。これに対応し、300L の CFRP 蓄圧器を作製し、平成 27 年度からの FCV 普及開始に向けたインフラ整備に着手する。



図1 事業目標とスケジュール(案)

### 3. 事業成果

#### 3.1 CF・樹脂の開発

##### (1) 樹脂の開発

TPPに使用する樹脂の開発を行い、容器の破裂強度を向上させることができた。その中で繊維束が収束しにくい樹脂を使用したTPP3を実証テスト用として採用することとした。開発したTPPの比較評価結果を図2に示す。

##### 【試験条件】

- ・ライナー容量 : 7.5L
- ・容器設計 : ヘリカルバースト(破裂圧力 120MPa 程度)
- ・CFRP 層厚 : 約 10mm
- ・TPP1: 汎用TPP、 TPP2: 平成22年度開発TPP、 TPP3: 平成23年度開発TPP

##### 【結果】

当初採用していたTPP1に比べ、新規に開発したTPP3では約10%程度破裂強度を向上させることが可能となった。

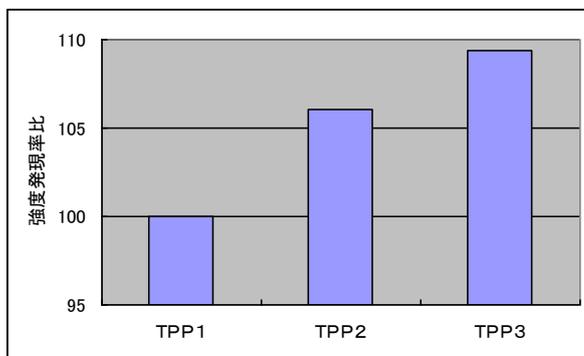


図2 TPPの開発検討結果

##### (2) 大型複合蓄圧器の試作

(1)で開発したTPP2と3. 2項で述べる FW 成形技術を使い 200L 蓄圧器の試作を行い、破裂圧力 345MPa を達成した。試作した蓄圧器と破裂試験後の写真を図3、4に示す。

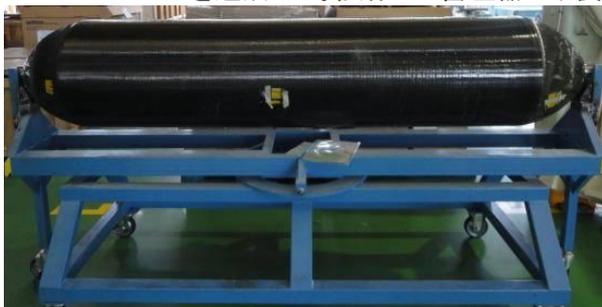


図3 試作 200L 蓄圧器



図4 破裂試験後の試作 200L 蓄圧器

#### 【試作 200L 蓄圧器の仕様】

ライナー : アルミニウム合金 (T6061-T6)

長さ : 2800mm、 外径 : 561mm、 重量 : 752kg

適用TPP仕様 : CF・・・ポリアクリロニトリル(PAN)系

樹脂・・・JX日鉱日石エネルギー株式会社製 TPP2

●破裂圧力 : 345MPa

この結果により、実証水素ステーションにおいて常用圧力とされる 80～82MPa の 4 倍耐圧以上の蓄圧器の製造が可能となり、水素ステーションでの仕様認可を取得するに十分な製造技術の確立ができた。

### 3. 2 FW 成形方法、成形装置の開発

#### (1) 大型複合蓄圧器の製造技術の開発

最大 FW 可能長さ:6m、最大 FW 可能重量:1633kg、最高水平移動速度(ヘッド、水平軸など):従来機の5倍である FW 装置(図5)を設計開発し、運転を開始した。また、6m 長尺蓄圧器に対応し、硬化時の容器温度を確認可能な硬化炉(図6)を導入した。



図5 大型FW装置



図6 大型硬化炉

これらの装置導入により、大型・長尺蓄圧器の製造が可能となった。これらを用いて試作した 300L 蓄圧器を図7に示す。



図7 試作 300L 蓄圧器

#### 【試作 300L 蓄圧器の仕様】

ライナー : アルミニウム合金 (T6061-T6)

長さ : 3800mm、 外径 : 485mm、 重量 : 660kg

適用TPP仕様 : CF・・・ポリアクリロニトリル(PAN)系

樹脂・・・JX日鉱日石エネルギー株式会社製 TPP3

#### (2) 内部加熱FW装置の開発

##### (2)-1 小型容器での効果確認

7.5L 小型容器を用いて内部加熱法の効果の確認を行い、温度条件によっては、130%近い破裂強度の向上が期待できることがわかった。結果を図8に示す。

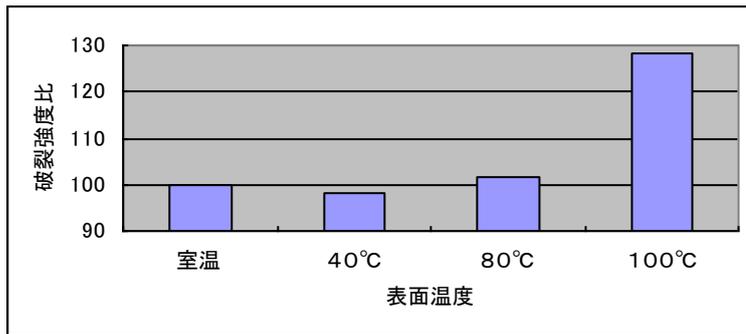


図8 FW 時の内部加熱温度を変えたときの破裂強度比

【試験条件】

- ・ライナー容量 : 7.5L
- ・容器設計 : フープバースト(破裂圧力 60MPa 程度)
- ・CFRP 層厚 : 約 5mm
- ・FW 時の表面温度条件 : 室温、40°C、80°C、100°C



図9 内部加熱概略図\*2

【結果】

表面温度を 100°C にコントロールすることで、著しく破裂強度が向上した。これは、FW 時に樹脂がゲル化(硬化)することによって、フープ巻き部分の巻き緩みや波打ち現象が起こりにくくなったためと推測される。

\*2) 本内部加熱装置は、コンプレッサーで圧縮した空気を、流量計を介して電磁弁で制御しつつ給気部へと流す。給気部の内部には空気を加熱するためのヒータが内蔵されており、流れてきた空気を加熱する。CFRP 容器温度は 2 つの熱画像装置(サーモグラフィ)によって PC へ転送し、リアルタイムでモニタリングを行い、ヒータ温度へとフィードバックし、温度調整を行う。

(2)-2 大型容器への内部加熱法検討

内部加熱法は、CFRP 層が厚くなるほど、温度ムラが生じやすいことや、内部と表面の温度差が大きくライナーに影響を与えない温度での加熱では CFRP 外表面を十分に加熱できないという問題がある。この問題を改善すべく、外部加熱の併用を検討した。

図10に内部外部加熱装置での運転状況を、図11に温度測定位置を、図12にこれまでの内部加熱のみでの温度分布を、図13に内部加熱に外部加熱を組合せた場合の温度分布を示す。尚、温度の測定は、40mm 厚の CFRP 層を巻いた CFRP 容器で行った。



図10 内部外部加熱装置

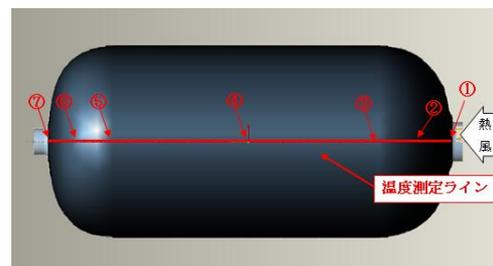


図11 温度測定位置

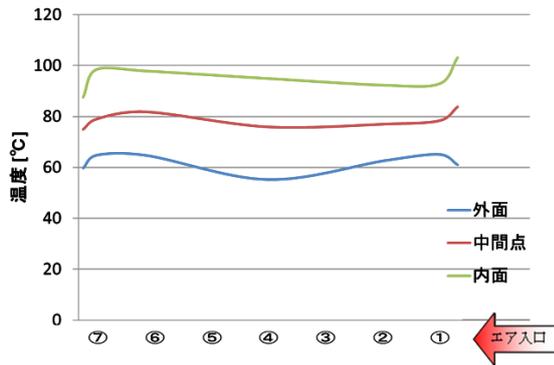


図12 従来の内部加熱のみでの各部温度

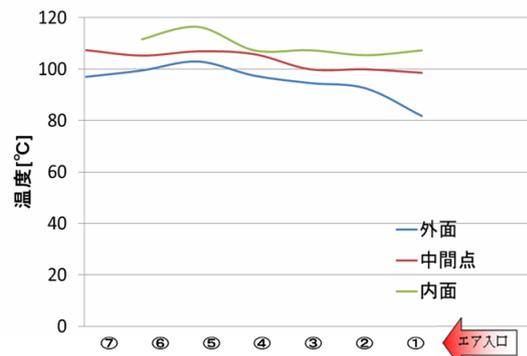


図13 内部外部加熱を行った場合の各部温度

内部加熱に外部加熱を加えることで内面と外面(CFRP 表面)の温度差が減少し、口金部を除き全体の温度ムラが改善された。

【課題】

実際の FW 工程においては、フープ巻、ヘリカル巻の変更時など、容器の回転を止めてTPPをセッティングするなどの作業が必要となり、外部加熱装置の付け外しが必要となる。そのため、より効率的に加熱できる外部加熱装置の開発が必要である。

3.3 大型複合蓄圧器成形技術の開発

(1) 評価装置

各種大型・長尺蓄圧器を試験する評価装置を設計導入した。導入した評価装置を図14～16に示す。



図14 破裂試験用高圧ポンプ



図15 ハイドロ試験装置



図16 サイクル試験装置

- ・破裂試験用高圧ポンプ :最大 400MPa までの昇圧能力があり、高耐圧蓄圧器の評価が可能である。
- ・ハイドロ試験装置 :非水槽式で 270MPa の圧力まで、6m の長尺蓄圧器に対応可能である。
- ・サイクル試験装置 :最高圧力 120MPa、容量 300L、試験圧力 0⇔120MPa の条件でサイクル速度 15 秒/1 サイクルの試験が可能である。

これにより、外部機関でも評価できない大容量・高圧・長尺蓄圧器の評価試験が可能となった。

(2) 検査手法の確立

図17に探傷検査器(レーザー超音波方式)を示す。これにより目視の難しい長尺ライナー内面の検査を行い、0.1mm 深さの傷の検知が可能となるよう検討中である。



図17 探傷検査機(レーザー超音波方式)

### 3.4 開発容器の検証

#### (1) 実証テスト用蓄圧器の開発

「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の仕様を以下の通り確定した。完成した蓄圧器を図18に示す。

#### 【実証テスト用 200L 蓄圧器仕様】

内容量 : 200L 常用圧力 : 82MPa

長さ : 2805mm 外径 : 488mm 重量 : 484kg

適用TPP仕様 : CF・・・ポリアクリロニトリル(PAN)系

樹脂・・・JX日鉱日石エネルギー株式会社製 TPP3

●最小破裂圧力 : 210MPa ●常温圧力サイクル性能 : 2万回以上(0⇔102.5MPa)

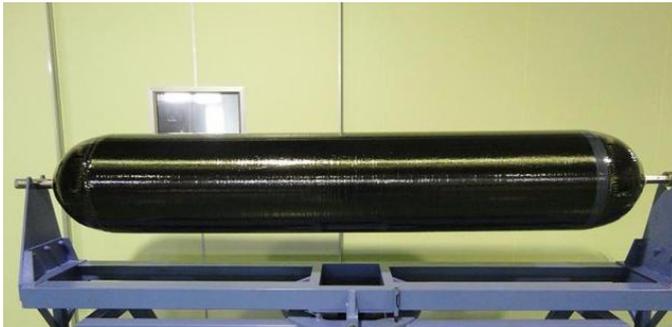


図18 実証テスト用 200L 蓄圧器

#### (2) 水素ステーションで使用するための認可取得

上記(1)の仕様の CFRP 容器を複合蓄圧器として初めて水素ステーションで使用すべく、認可の取得を行った。使用期間条件は、水素の充填放出回数 5000 回または 3 年間のいずれか早い方とする。平成24年度中に実証ステーションに本蓄圧器を提供し、安全性の検証を行う予定である。

### 3.5 特許、論文、外部発表等の件数一覧

表1 特許、論文、外部発表等の件数

区分	特許出願			論文		その他外部発表 (件)
	国内 (件)	外国 (件)	PCT*出願 (件)	査読付 (件)	その他 (件)	
平成20年度	1	0	0	0	0	0
平成21年度	3	0	1	0	0	1
平成22年度	0	0	0	0	0	5
平成23年度	2	0	0	3	1	2
平成24年度	0	0	0	1	0	1

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

#### 4. まとめ及び課題

TPP を用いた DRY 法で 300L 級の高圧(破裂圧力 200MPa 以上)複合蓄圧器の製造が可能となり、実証テストに提供する 200L 蓄圧器の仕様を確定し、水素ステーションでの使用認可を取得した。今後水素ステーション実証テストに提供する複合蓄圧器を製造すると共に、水素ステーションでの安全性を検証する。現行 DRY 法は生産効率的には十分勝れているものの、強度的にはまだ向上の可能性があるため、更なる TPP の改良(開繊、樹脂の改良)、DRY 法 FW 技術の向上を行いながら、内部外部加熱法を量産化に適用しうよう検討することで、低コスト型蓄圧器の完成を目指す必要がある。

#### 5. 実用化・事業化見通し

NEDO事業「水素インフラ等に係る規制見直しのための研究開発」およびポストJHFCプロジェクトと協力し、平成 24 年度から実証化テストを行い、水素ステーションにおける複合蓄圧器の安全性等の確認と技術基準の法制化を行い、認可のための評価費用の削減と納期の短縮を実現し、実用化を目指す。

また、平成 27 年度からのインフラ整備に対しては、本事業で開発した 300L 級の複合蓄圧器を更にコストダウンして投入する予定である。

# (Ⅱ-8) 低コスト型70MPa級充填対応ステーション機器に係わる研究開発

委託先: 一般財団法人石油エネルギー技術センター(JPEC)/九州産業大学、(株)日本製鋼所、(株)キッツ、一般財団法人金属系材料研究開発センター(JRCM)、アズビル(株)

## ●進捗成果サマリ(平成20年度～平成24年度9月末)

- ・70MPa級水素ステーションに関する要素技術開発として、鋼製蓄圧器、高強度配管材料、高圧水素用ボール弁、流量調節弁、並びに水素ステーション制御システムの開発に取り組み、コスト低減、耐久性の両面で開発目標を達成した。
- ・総合的エンジニアリング技術開発として、水素ステーション構成機器の最適化検討を行い、設備コスト2億円が達成可能であることの見込みを得た。

## ●背景/研究内容・目的

水素供給インフラ市場立上げ(平成27年/2015年頃を想定)に向け、水素ステーション全体の開発目標達成に繋がる要素技術開発を行う。

最終目標 低コスト化: 設備コスト2億円以下/システム  
耐久性: 各機器メンテナンス回数1回以下/年

## ●研究目標

実施項目	最終目標(H24年度)
①総合的エンジニアリング技術開発	・水素ステーション構成機器の最適システムの提示 ・設備コスト2億円以下の達成可能性確認
②鋼製蓄圧器開発	・蓄圧器価格の半減(1億→5千万円) ・検査更新費用の低減、耐久性向上
③水素用高圧バルブ開発	・バルブ単価の半減(遮断弁: 70→35万円) ・バルブ圧力損失の低減
④高強度金属材料開発	・耐水素脆化特性がSUS316Lと同等で、30～50%高強度の金属材料の開発
⑤制御システム開発	・制御システムのコスト低減として、構築費30%低減、設計費50%低減
⑥流量調節弁開発	・流量調節弁価格の30%低減 ・30万回以上の作動耐久性の実現

## ●実施体制及び分担等

NEDO /PL	JPEC/九産大(項目①) 日本製鋼所(項目②) キッツ(項目③) JRCM(項目④) アズビル(項目⑤、⑥)	実行額	
		年度	百万円
		H20	27
		H21	245
		H22	310
		H23	253
		H24	253

## ●これまでの実施内容/研究成果

- (1)総合的エンジニアリング技術の開発 (JPEC、再委託先:九州産業大学)
  - ・全委託先がステーション全体のコスト構造分析と課題抽出を行い、開発計画立案、効果検証を行った。
  - ・ダイナミックシミュレーションを用いた充填解析を行い、差圧充填型、続いて、圧縮機併用型差圧充填型での最適機器構成の検討を行った。
  - ・システム技術開発、水素先端基礎研究事業と連携し、九州産業大学と共同で、温度変化も含めた水素充填状態の推定が可能な数値解析プログラム開発を行った。
- (2)鋼製蓄圧器開発 (日本製鋼所)
  - ・鋼製蓄圧器の高容量化を実現するために、材料検討を行い、SA723鋼を選定するとともに、大型蓄圧器に対する自緊処理技術を確立し、世界初となる450Lの高容量蓄圧器を試作した。
  - ・高圧ガス保安法の特認申請において、大幅な寿命延長を実現するとともに、コスト低減目標も達成した。
- (3)水素用高圧バルブ開発 (キッツ)
  - ・世界初となる高圧水素用ボールバルブを開発し、8万回の作動確認を行った。
  - ・遮断弁(自動弁)、手動弁ともコスト低減目標を達成した。
- (4)低コスト・高強度材料開発 (JRCM)
  - ・JIS SUS316L材と耐水素性が同等で、強度が30～50%向上する材料を開発した。
  - ・バルブメーカー等へ開発材料を提供し、加工性においても問題がないことを確認した。
- (5)制御システム開発 (アズビル)
  - ・水素ステーション制御集中化による制御機器を統合し、制御機器費用の低減を実現した。
  - ・水素ステーション仕様の標準化、ソフトウェアの共通化によりシステム設計費の低減を達成した。
- (6)流量調節弁開発 (アズビル)
  - ・世界最高水準のシール技術を開発し、水素中で30万回の作動耐久性を実現した。
  - ・流量調節弁のコスト低減においても、目標とするコスト低減を実現した。

## ●実用化・事業化の見通し

- ・鋼製蓄圧器は、既に特認申請を終了し、今後システム技術開発と連携して、実ステーションでの耐久性評価を継続研究する予定である。
- ・バルブ、調節弁は、一部ステーションでの採用が計画され、高圧ガス保安法に基づく事前申請を行っている。
- ・今後の水素ステーション整備においても、開発品の採用が計画されている。
- ・高強度金属材料開発については、製品開発まで視野に入れた開発計画の検討が行われている。

## ●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
項目①	最適化検討、コスト低減見込み	○
項目②	高容量蓄圧器試作、コスト低減	◎
項目③	水素用ボール弁開発、コスト低減	◎
項目④	高強度配管用材料開発	○
項目⑤	集中制御システム試作、コスト低減	○
項目⑥	高耐久流量調節弁試作、コスト低減	◎

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
8	2	12	0

## 低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器に係わる研究開発

実施者：一般財団法人石油エネルギー技術センター（JPEC）/九州産業大学、株式会社日本製鋼所、株式会社キッツ、一般財団法人金属系材料研究開発センター（JRCM）、アズビル株式会社

### 1. 事業概要

70MPa級水素ステーション構成機器に対して技術、コスト両面から平成20年度分析したうえで、充填時間を考慮した最適化検討と、要素技術開発に取り組んだ。個々の要素技術開発の技術的見通しを高圧水素中のラボ試験等により確認のうえで、機器試作と耐久性評価に取り組み、水素ステーション用として世界初となる以下機器等の提供を可能とした。

高容量鋼製蓄圧器 水素用高圧ボールバルブ 高強度金属材料 集中型制御システム 高耐久型流量調節弁

### 2. 事業目標

本研究開発における開発内容、最終目標を表1に示す。

表1 開発内容および最終目標

実施項目	開発内容	最終目標
①総合的エンジニアリング	・ステーション構成機器最適化検討 ・水素ステーション充填解析プログラム開発	2億円/システム達成可能性提示
②鋼製蓄圧器開発	高容量化材料評価、高耐久化施工法、 検査技術開発	本体価格、検査・更新費用低減
③水素用高圧バルブ開発	ボールバルブ開発	バルブ単価低減、圧力損失低減
④高強度金属材料開発	金属材料候補絞り込、試作・試製、評価	高強度耐水素性金属材料開発
⑤制御システム開発	制御システム機能集約化、標準化	制御システム設計費低減
⑥流量調節弁開発	シール技術開発、本体コンパクト化	動作保証回数達成、価格低減

### 3. 事業成果

委託先ごとの主要な事業成果を以下に述べる。なお、個別の要素技術開発におけるその他試験研究等の実施状況は表6にまとめて記載する。

#### 3.1 水素ステーション最適化検討、水素充填プログラム開発（JPEC/九州産業大学）

##### (1) 差圧充填モデルでの最適化検討

水素ステーションのコスト低減検討を行うためには、蓄圧器の容量を決定する必要がある。蓄圧器の容量は、充填可能な燃料電池車（FCV車）の台数や水素充填時間によって決まるが、本事業での水素ステーションの要求仕様が、水素供給能力300Nm<sup>3</sup>/hであることから、FCV車への充填能力を1時間当たり5台（1台当たり60Nm<sup>3</sup>）とし、充填能力と必要蓄圧器容量の検討を行った。

水素充填方式としては、高圧蓄圧器を使用する差圧充填方式を選定し、ダイナミックシミュレーションが可能な市販の汎用ソフトを用いて、差圧充填における流量圧力および充填時間の解析を行なった。図1に差圧充填モデルの概略フローを示す。

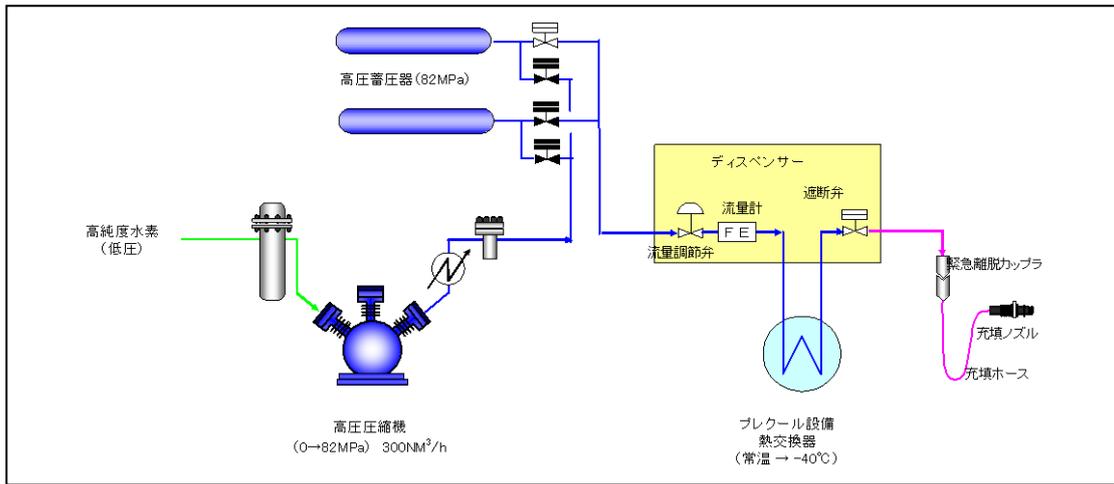


図1 差圧充填モデルの概略フロー

差圧充填モデルでのダイナミックシミュレーションを用いた解析結果として、蓄圧器450L×2バンクと蓄圧器300L×3バンクの例を図2に示す。蓄圧器450L×2バンクの場合と、蓄圧器300L×3バンクの場合とを比較した結果、蓄圧器の総容量は同じであるが、2バンクシステムの方が、バンク容量が450Lと大きいいため、圧力降下が小さく、平均ガス流速が大きくなることと、バンク切替回数が少なくなるため切替時間が1回分削減できることにより、充填時間の短縮化について有利であることが確認された。また、コスト面においても、バンク数が少ない方が、バルブや配管付属品類が少なくなり、有利である。

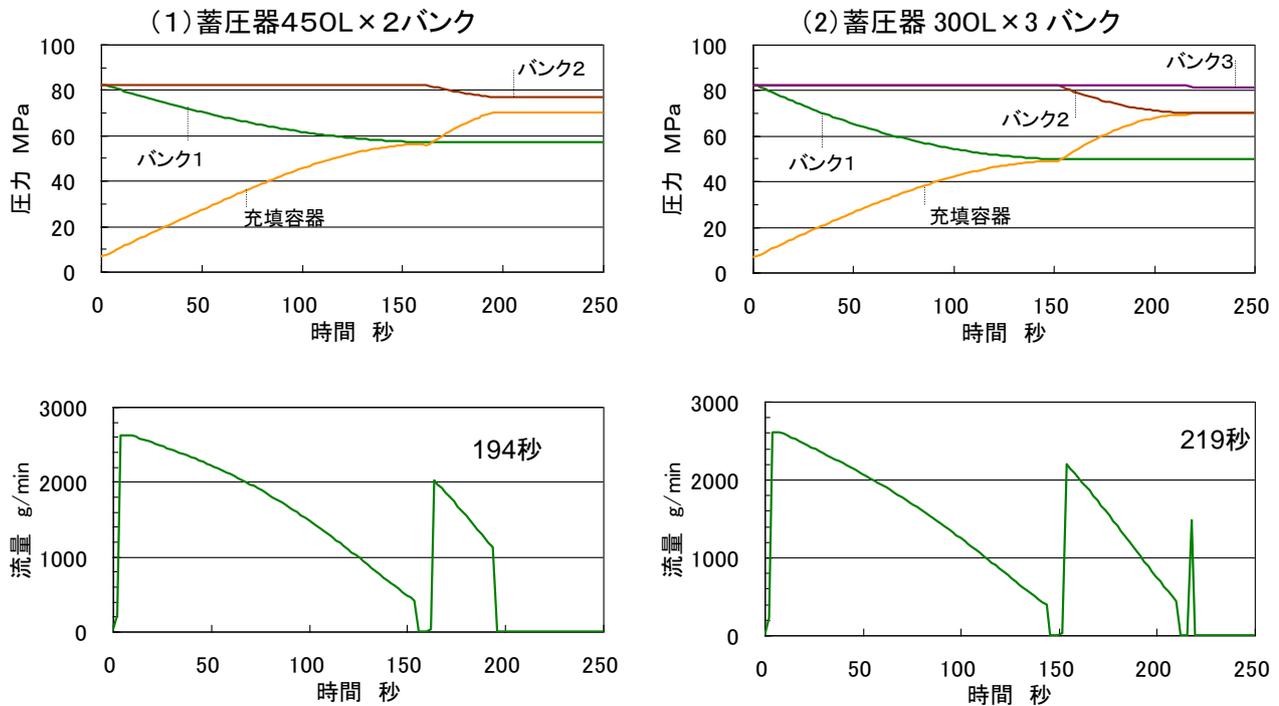


図2 差圧充填モデルでのダイナミックシミュレーションによる解析結果

また、水素ステーションとしての充填能力、即ち、1時間当たりFCV車5台(1台当たり 60Nm<sup>3</sup>)充填に関する検討を行い、充填に供しない蓄圧器を再昇圧することにより、蓄圧器基数を増やすことなく、1時間当たりFCV車5台の充填が可能となる、最低蓄圧器容量があることが判明し、2バンクの場合で450L/基、3バンクでは300L/基であった。図3に2バンクでの連続充填時の圧力変化を示す。

以上のことから、差圧充填モデルでは蓄圧器450L×2バンクを最適モデルと選定した。

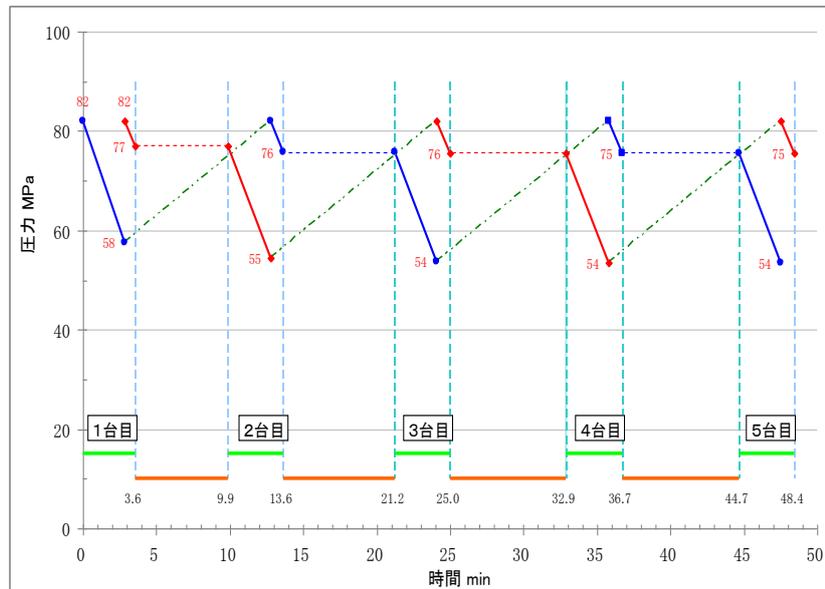


図3 連続充填時の圧力変化(差圧充填モデル:450L×2バンク)

## (2)スキッド化検討

2バンク差圧充填(蓄圧器450L×2基)を基本仕様として、ステーション機器のスキッド化仕様を検討したうえで、ステーション現地工事費用の低減効果を試算した。スキッド化の対象とした機器および範囲を図4に、現地工事費低減の評価結果を表2に示す。

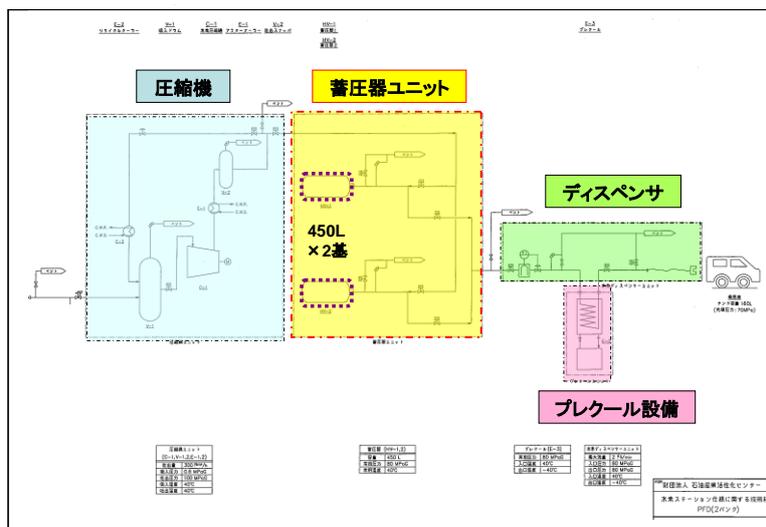


図4 スキッド化の対象とした機器および範囲(高圧水素関係)

表2 スキッド化による現地工事費低減の評価結果

(単位:百万円)

区分	スキッド化対象項目	H21 積算結果 (スキッド化前)	H22 見直し結果 (スキッド化後)	スキッド化効果
基礎、土木、建築工事		105	44	
据付配管工事 (据付配管工事) (蓄圧器ユニット化工事)	○	34 (34) (-)	14 (4) (10)	▲20
計装、電気、現場管理	○	31	10	▲21
ユーティリティ設備		10	8	
スキッド化効果合計				▲41

(3) 更なる最適化検討

平成24年度以降は、ステーションコスト面で大きな割合を占める蓄圧器コストの更なる低減を図るため、差圧充填時に圧縮機充填も併用する、「圧縮機併用充填」モデルの検討に取り組んだ。圧縮機併用充填モデルの特徴は、これまでの差圧充填モデルが、圧縮機からの直接充填は行わず、蓄圧器を介しての充填のみを行っていたのに対し、蓄圧器からの差圧充填に加え、圧縮機からの直接充填を行なうことで、蓄圧器容量の低減が可能となることである。図5に圧縮機併用充填モデルの概略フローを示す。

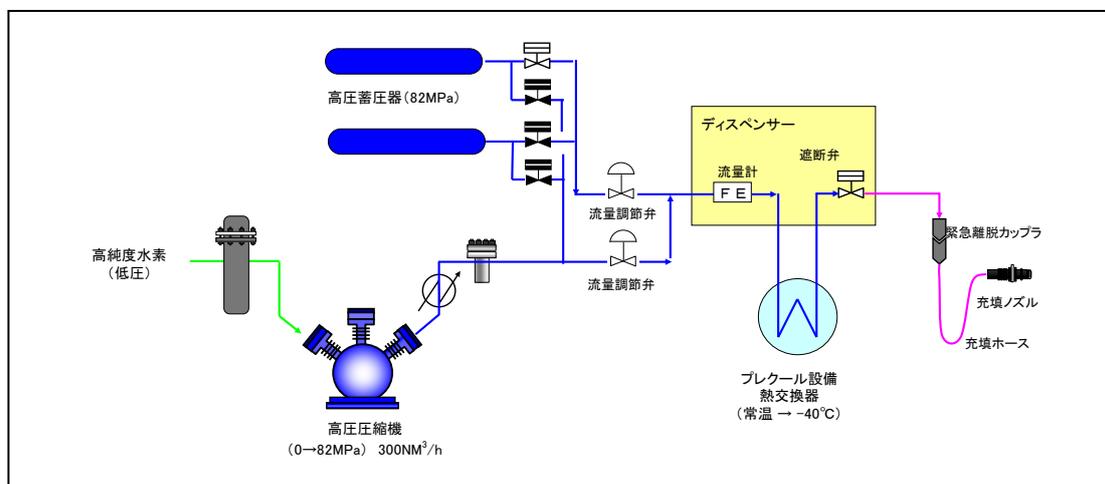


図5 圧縮機併用充填モデルの概略フロー

圧縮機併用充填モデルでは、もともと蓄圧器容量ゼロの場合でも、圧縮機(供給能力300Nm<sup>3</sup>/h)からの直接充填で、概ね12分でFCV車(1台当たり60Nm<sup>3</sup>)への場合の充填が可能あり、蓄圧器からの差圧充填と併用することにより、少ない蓄圧器容量でも充填時間の短縮化が可能となる。図6に蓄圧器300L×2基の圧縮機併用充填モデルの解析例を示すが、この場合、充填時間が約197秒であり、差圧充填モデルでの蓄圧器450L×2基の充填時間194秒にほぼ匹敵している。

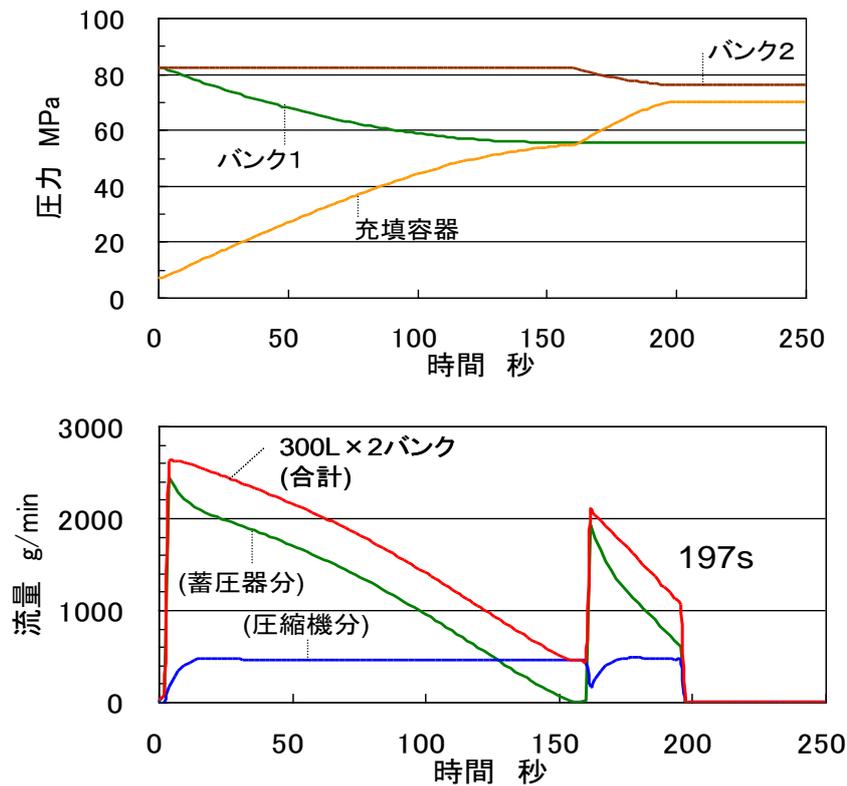


図6 圧縮機併用充填モデルでのダイナミックシミュレーションによる解析結果

続いて、図 7 に示すように差圧充填モデルの蓄圧器2バンクおよび3バンクケース、ならびに圧縮機併用充填モデルの蓄圧器2バンクケースについて、蓄圧器総容量と1台あたり充填時間の関係と比較した。

蓄圧器容量が同じ場合では、圧縮機併用充填モデルは差圧充填モデルと比較して、充填時間が短くなる。充填時間 200 秒以下を許容時間とし、蓄圧器容量が最少となる300L×2基のケースを、圧縮機併用充填モデルでの最適機器構成として選定した。

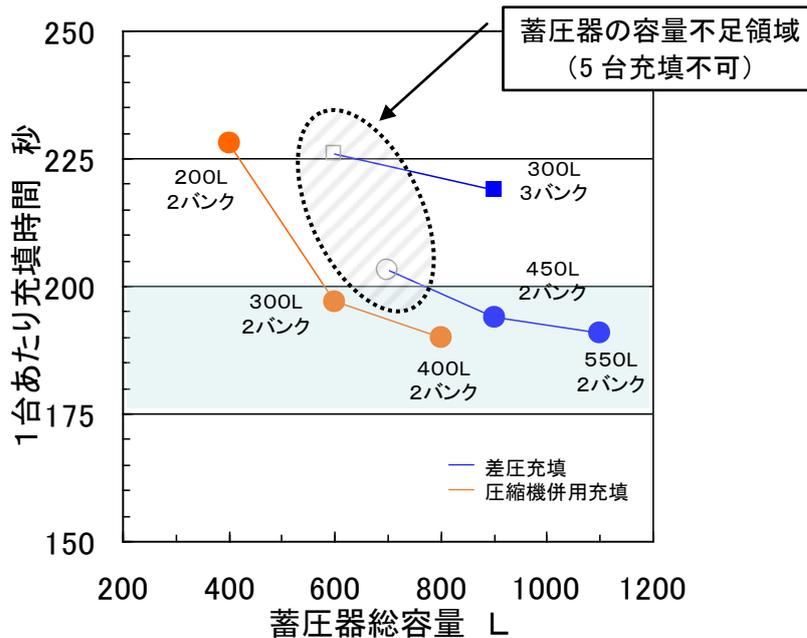


図 7 蓄圧器容量と1台あたり充填時間の関係(圧縮機能力 300Nm<sup>3</sup>/h)

#### (4) 水素ステーション充填解析プログラムの開発

これまで実施してきた市販のダイナミックシミュレーションソフトによる解析では、水素充填時の温度変化を正確に検証することができなかった。そこで、水素充填時の状態をより正確に解析するため、平成 23 年度から、世界最高の精度を有する Hydrogenius の水素物性データベースと佐賀大学が開発したタンク充填プログラムおよびプレクール熱交解析プログラムを活用した、新たな水素ステーション充填解析プログラムの開発を開始した。

これまでに、水素充填解析プログラムのプロトタイプを作成し、市販プログラムによる検証を実施した。図 8 に市販プログラムによる開発モデルの検証結果を示す。今後、実機データとの照合を行い、プログラムとして使用可能であることを確認する。

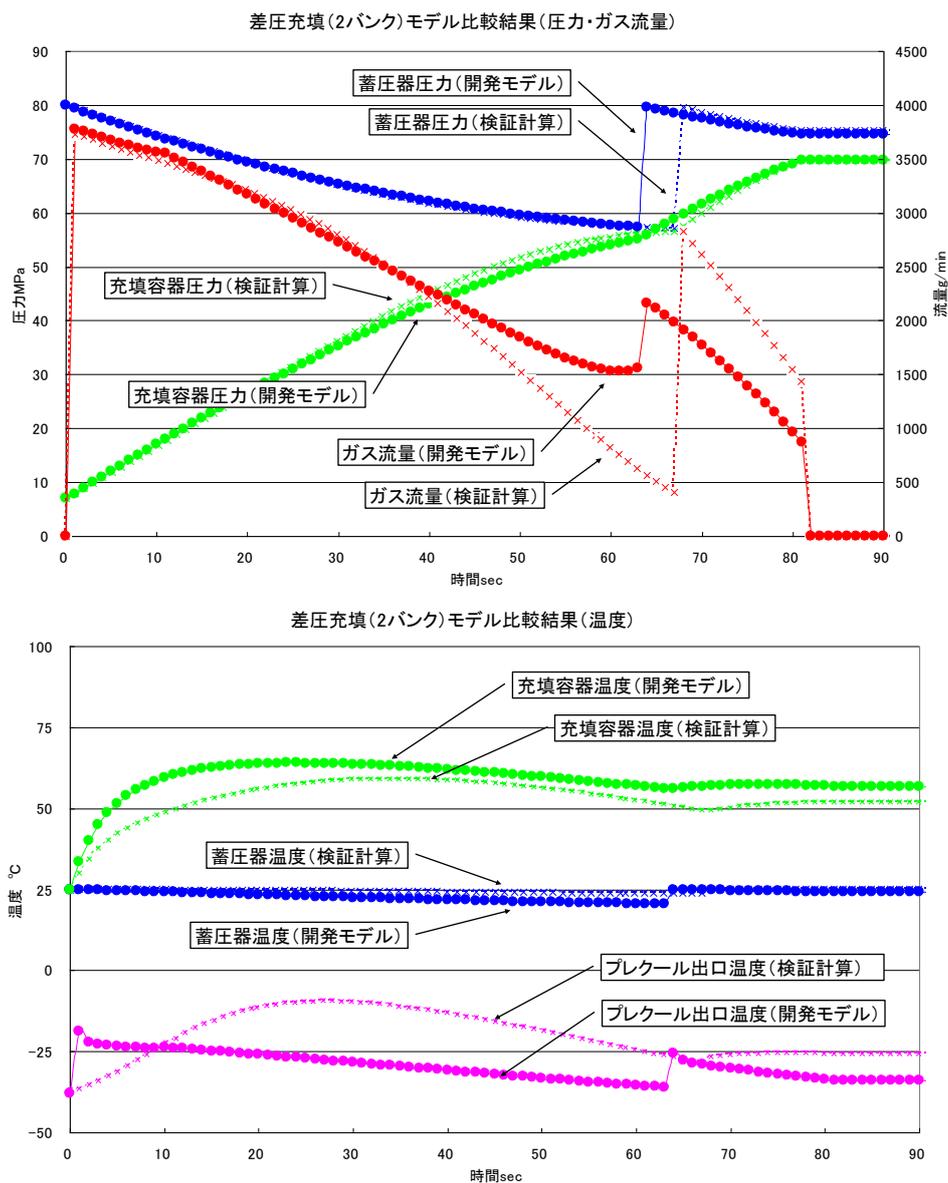


図8 水素充填解析プログラム(開発モデル)の検証結果

### 3.2 鋼製蓄圧器の開発(日本製鋼所)

蓄圧器の高容量化が可能な SA723 鋼の安全性検証試験と、高耐久化のための施工技術開発を行ったうえで、世界初となる高耐久・高容量化蓄圧器の試作・事前評価申請を行った。開発目標とした本体価格、検査更新費用低減を可能とした蓄圧器の仕様を従来と比較し表3に示す。試作蓄圧器の外観を図9に示す。

表3 本事業開発蓄圧器の仕様

項目	従来蓄圧器 (SNCM439 鋼強度低減材)	開発蓄圧器 (SA723 鋼/高耐久化施工)
容量	255L/基	450L/基
製造コスト	10 万円/L	30~60%低減
使用上限回数	3 千回、5 年間	5 万回、10 年間
設計圧力	90MPa	99MPa
検査コスト	300 万円/年 (毎年開放検査)	30~50%低減 (毎年 UT 検査、3年毎開放検査)



図9 試作蓄圧器の外観写真 (450L/基)

#### ① 高容量化蓄圧器用材料の検討

ASME SA-723 鋼の化学成分や熱処理条件の最適化を図ることで肉厚中心部まで均一組織且つ微細な結晶粒を得、高温焼き戻しの適用により水素脆化感受性を低減することが出来た。SA-723 鋼の 100 万回の疲労試験を実施し、疲労き裂の発生しないことを確認した(図10)。最低設計温度(-15°C)において SA723 鋼の SSRT (Slow Strain Rate Tensile)試験を実施し、水素ガス中においても最高荷重点まで到達することを確認した。

#### ② 設計・施工技術の開発

高容量化蓄圧器の耐久性向上を目的として内面への高耐久化処理を検討した。1.6mm 深さ(規格で示される設定初期き裂深さ)のき裂が胴部内面に存在する場合のき裂進展解析結果を図 11に示す。高耐久化施工を行った蓄圧器では普及期における水素ステーションの耐久性(充填回数>30 万回)を確保できることが示された。高耐久化施工上必要とされる製造技術を検討し、これまでに例のない大口徑容器に対する高耐久化施工技術を開発した。高耐久化施工を施した高容量化蓄圧器は、本年度中にシステム技術開発と連携し、耐久性評価の実証試験を開始する予定である。

#### ③健全性監視技術の開発

鋼製水素蓄圧器の運用コスト低減を目的とし、AE(アコースティック・エミッション)法による水素脆性き裂発生を検出と TOFD/UT(超音波探傷)法による微小き裂進展量の測定を併用した常時状態監視手法適用の可能性について検討を実施した。エコーの反射特性やノイズレベルを考慮して TOFD/UT の条件設定を行うことで、厚肉の鋼製蓄圧器内面に発生する 1.6mm 深さ以上の疲労き裂が検出可能であることが示された。開放検査を行わず外面からの TOFD/UT 法の検査を行うことにより、検査コストを 1/3 程度に低減できる見込みを得た。

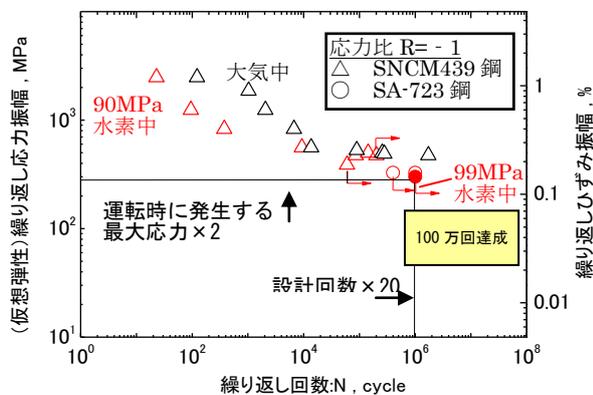


図10 SA-723 鋼の疲労試験結果

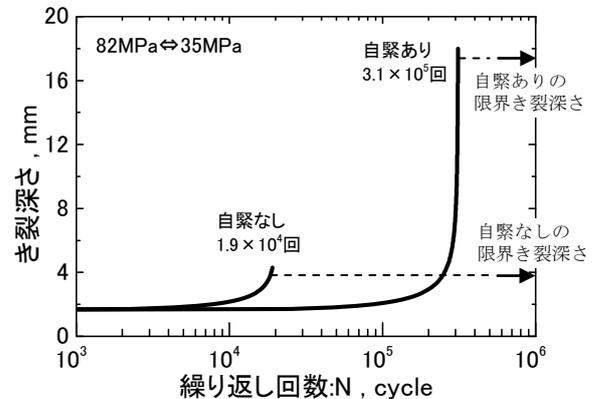


図11 蓄圧器胴部のき裂進展解析結果

### 3. 3 水素用高圧バルブ開発 (キット)

既に確立したCNGステーション用ボールバルブの設計技術を基礎とし、加えてバルブ重要部位構造、材質に関する試験検討を行った。国内初の水素用高圧ボールバルブ開発の技術的見通しを得、手動弁、遮断弁の設計を完了(図12)させ、JRCM提供材料等を用いて試作を行い、異なる温度サイクル条件下において、1年間ノーメンテナンスを目的とした8万回の開閉作動耐久性を確認した。

ボールシート及びパッキンは候補材料に対し、高圧水素環境下長期保持試験を実施し、シール材として使用可能な非金属材料を選定した。遮断弁は、バルブの作動トルクにマッチしたアクチュエータの設計及びバルブとの接続方式を考案することでアクチュエータ搭載時のコンパクト化を実現した。

耐久試験に合格した構造に対し、水素材料先端科学研究センター(Hydrogenius)水素高分子材料研究チーム、水素トライボロジー研究チームと連携し、以下試験を実施することで、最適化を図ると共に、信頼性を確立させた。パッキン封止構造部は Hydrogenius との検討により優れた封止構造であることを確認した。シート封止構造部は今回選定したDLCコーティングが水素環境下において非常に優れた性能であることを確認した。

- ・パッキン封止構造部 : 部分試作による漏れ(透過)測定試験、構造材料の水素暴露試験、摩擦試験
- ・シート封止構造部 : 摩擦試験

以上の結果を反映させ、バルブの改良商品化設計、量産試作を行い、加工性の確認と商品化の見通しをつけ、目標としたバルブ単価低減を確認した(図13)。更に、量産試作を行ったバルブに対し、東邦ガス技術研究所70MPa水素ステーションのディスベンサ入口、出口側各1台ずつ取り付け、実機評価を実施した(図14)。また、東邦ガスの定修に合わせ、バルブの分解調査を行った。

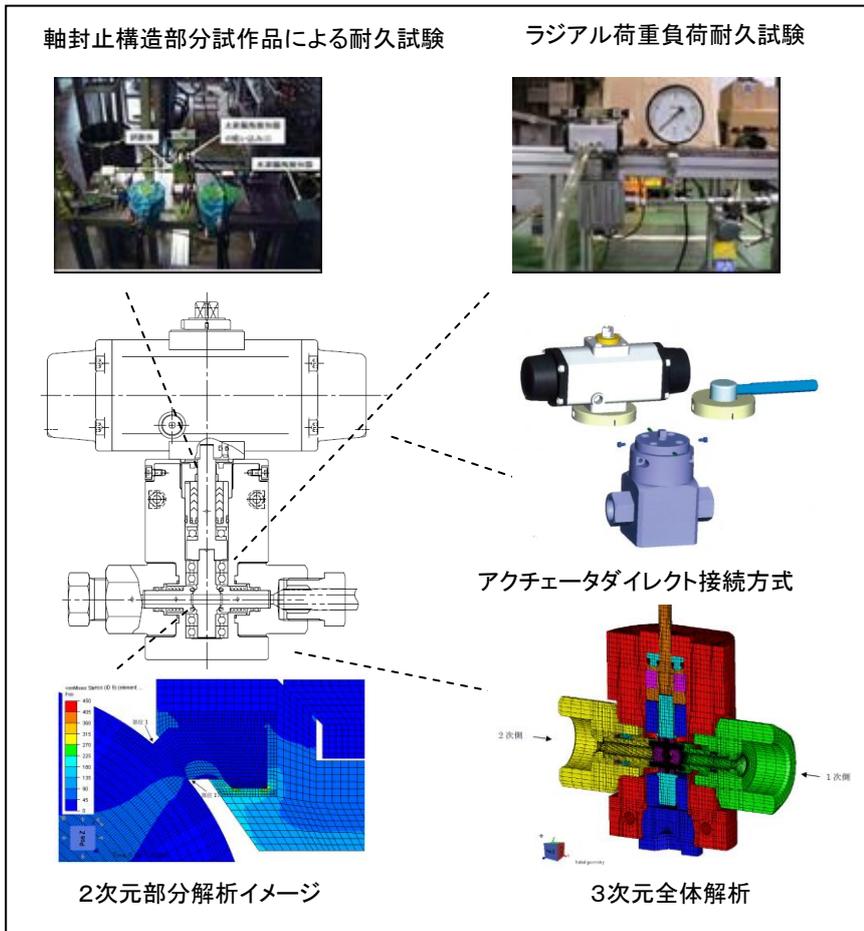


図12 開発ボールバルブ(遮断弁)の断面構造

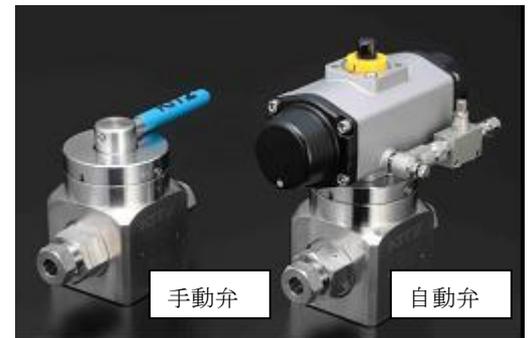


図13 改良商品化設計バルブの外観写真  
( Cv値2.1 内径6.4mm )



図14 試作バルブの実機評価状況

### 3. 4 低コスト・高強度材料開発に係わる F S 検討および開発 ( J R C M )

#### (1) ラボレベルでの溶製→圧延による材料試作

水素ステーション用材料として世界最高水準の低コスト・高強度材料開発を目的として(表4)、特性評価用試験材の試作を実施した(表5)。比較材である JIS SUS316L 材の機械的強度(耐力)の 30~50%向上を開発目標とした。材料の高強度化のため方策として固溶強化、析出強化、冷間加工等の方法を用いることで、試作する鋼種の成分を決定した。試作は、ラボレベルでの溶製、圧延、熱処理を行って、特性等の検討・評価のための試験片を作製した。

表4 開発目標

項目	開発目標
機械的強度(耐力)	比較材の 30%~50%向上
耐水素脆性	比較材と同等

比較材：JIS SUS316L 材

表5 試作鋼種の特徴

#1	SUS316L ベース(Ni: 12.5%)
#2	Type316 ベース(Ni: 12.5%)
#3	SUS316L + Mn + 高窒素添加
#4	高 Mn 低 Ni 鋼(高窒素添加)
#5	窒化物析出強化

#### (2) 試作材料の特性等の検討・評価及び絞り込み

(1)項で作製した試験片(試作試料)の機械的特性、耐水素特性の検討・評価を行った。特性評価として SSRT(Slow Strain Rate Technique)試験や組織観察等を実施し、開発目標を達成した。試作材料の中で機械的特性、耐水素特性の優れた材料(#4)を絞り込み、今後の開発に供する候補材料とした(図15)。

#### (3) バルブ、調節弁メーカーへの試作材料提供と一次評価

(2)項で絞り込まれた試作材等を、(1)項で溶製した材料の一部から丸棒等に加工し、バルブ、調節弁メーカー等3社へ提供し、加工性の評価を実施した。その結果はいずれも問題なく、今後の開発に供する候補材はこの評価結果をもふまえて選定した。

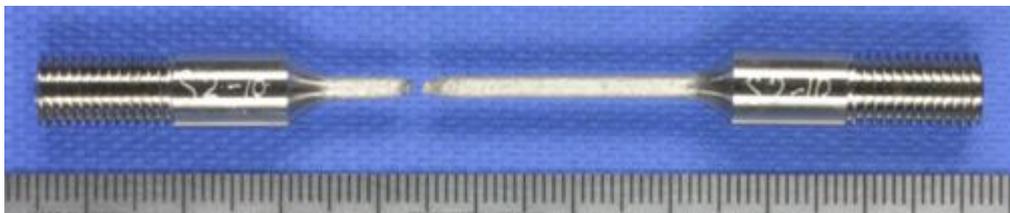


図15 SSRT 試験結果の例 ( #4: 高圧水素ガス中(85MPa) )

#### (4) 候補材の量産化を想定した溶製とバルブ、調節弁メーカーへの試作材料提供

(3)項の結果をもとに候補材の量産化を想定して溶製のバッチ処理量を増大させた。当初の処理量は 150kg/バッチであったが、加速財源を原資として 300kg/バッチの溶製を実施した。さらに、将来の大型炉での溶製を目指し、700kg/バッチの溶製を実施しバルブ、調節弁メーカー等3社へ提供し、加工性の評価を実施した。その結果はいずれも問題なく、今後の開発に供する候補材として適切であることが判明した。

#### (5) 他プロジェクトとの連携

効率的な開発を進めるために「金属材料開発および国際標準化、規制見直しに資する評価試験法の開発」プロジェクト(以下「連携プロジェクト」と表記)と連携して次の項目を実施した。

まず、上記の 300kg/バッチの溶製で作成した候補材を「連携プロジェクト」へ提供し、疲労亀裂進展試験等の疲労試験を実施した。また、更なる高強度化による鋼種拡大を目指して「連携プロジェクト」で見出した 2 鋼種の溶製方法を変更した場合に関して、機械的特性試験、SSRT 試験、疲労試験を実施する予定である。

### 3.5 コントロールシステム開発に係わるFS検討および開発(アズビル株式会社)

制御システムのハードウェア(制御盤)を集約化、ソフトウェアを標準化することによるコスト低減を検討し、試作に基づき、ハードウェアについてコスト低減(目標 2100 万円以下)を確認するとともに、制御システムの作動検証を行った。検証用システム試作機の外観を図16に示す。

#### (1)室内設置制御盤のコンパクト化によるコスト低減

複数の設備メーカーの提供する制御盤を集中化し、計装制御盤の面数を低減することでのコンパクト化と、コスト低減を可能とする構成を検討した。

#### (2)ソフトウェア、設計図書類の徹底的な再利用

各設備との入出力や実施する制御機能を標準仕様として定義しソフトウェア仕様書としてまとめ、検証用システム試作機を通じ仕様書の有用性と再利用性検証を実施した。このソフトウェア標準化により今後の制御システム設計費の低減(目標 50%低減)が可能となる。

#### (3)FS検討ベースモデルに対応する効率化制御機能の検討

ステーション全体へのコスト低減と運用上の効率化を目的とし、最大4台の圧縮機やディスペンサ、さらに充填方式の切替、将来の車両通信にも対応できる国内初の制御機能の検討を行っている。加えて最新の圧力上昇率を一定に保つ制御仕様を反映し、既に顕在している実用要求への対応を実施した。

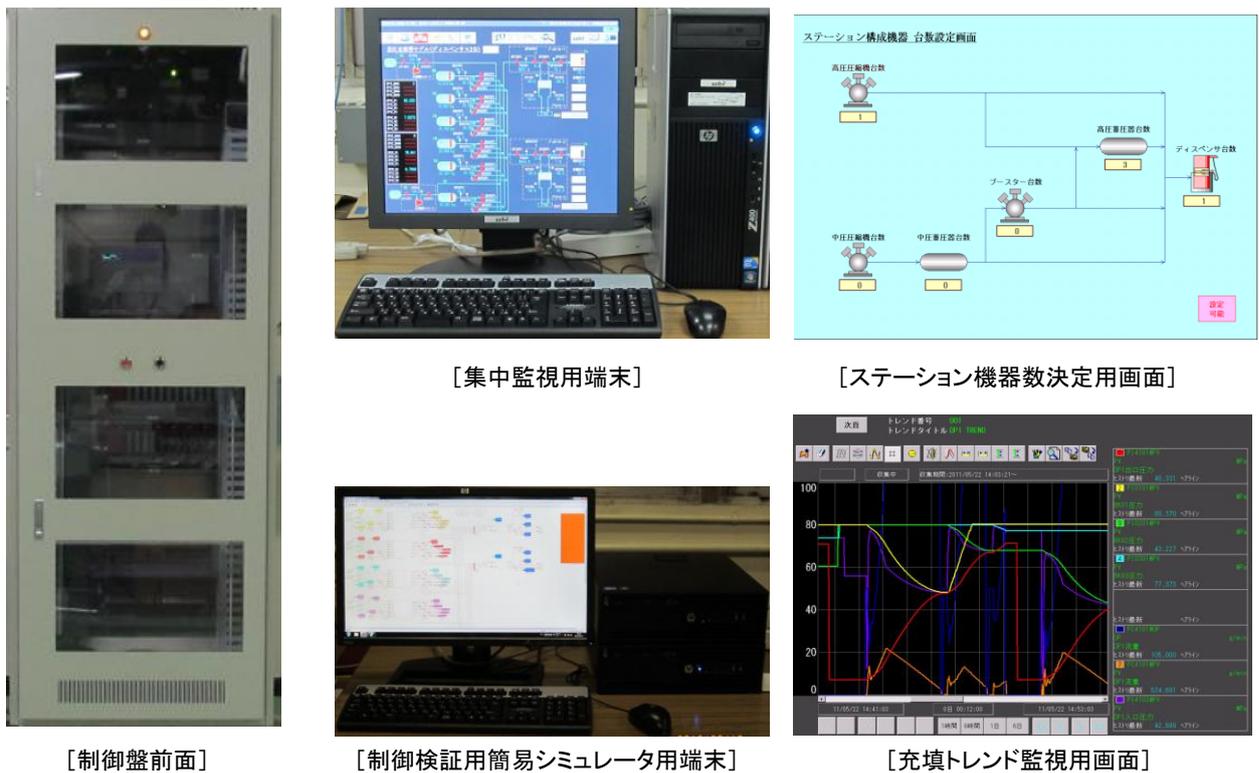
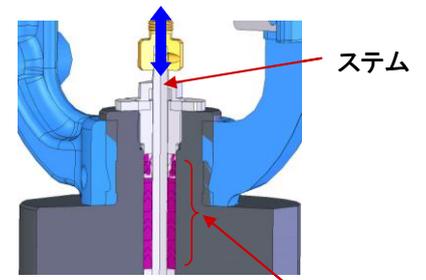


図 16 検証用システム試作機外観

3. 6 流量調節弁開発に係わるFS検討および開発（アズビル株式会社）

世界最高水準である30万回以上のシール寿命を有する流量調節弁を実現するため、調節弁のシール構造（図17）に対して高圧水素下での基礎的試験検討を行うとともに、高強度耐水素性金属材料を用いた調節弁本体の設計製作を検討した。温度サイクルを加えた高圧水素下での開閉作動耐久試験により、目標とした30万回以上の連続作動を確認し（図18）、JRCM提供材料等を用いて流量調節弁の製作を行い、調節弁価格20%低減を確認、提供可能とした（図19）。



グランドパッキン  
図17 流量調節弁シール構造

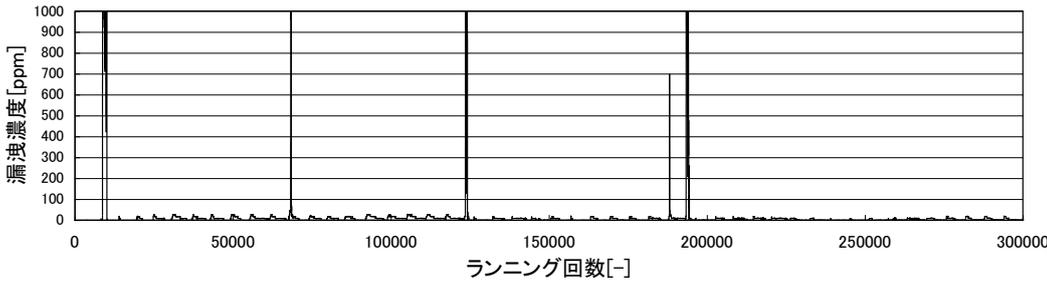


図18 水素雰囲気下のシール部試験結果(温度サイクル有)



図19 流量調節弁外観写真

(1) ステム表面処理技術の開発とグランドパッキン材料組合せの選定

水素雰囲気においても剥離しないバルブステムの表面処理技術の開発を行った。いくつかの表面処理候補に対して、ナノインデンテーション試験及び水素雰囲気中における摩擦摩耗試験等を実施することで、水素に対して耐久性のある表面処理候補を得た(図20)。水素充填時における調節弁内部の温度-圧力変化の状態を調査検討し、この状態変化に対して適応可能なグランドパッキン材料の候補の評価を行った(図21)。

(2) 温度サイクルのある高圧水素雰囲気下でのシール寿命延長の検討

(1)で検討した条件に加え、プレクールおよび外気温の変化(主に低温領域)に対しても応力緩和が生じないグランド構造の検討を行った。パッキン材料については熱機械分析、粘弾性装置を使用して絞込みを行い(図22、23)、この材料に対して水素耐久試験を実施した。目標である30万回は達成のうえ、さらに増し締め回数を低減することができた。

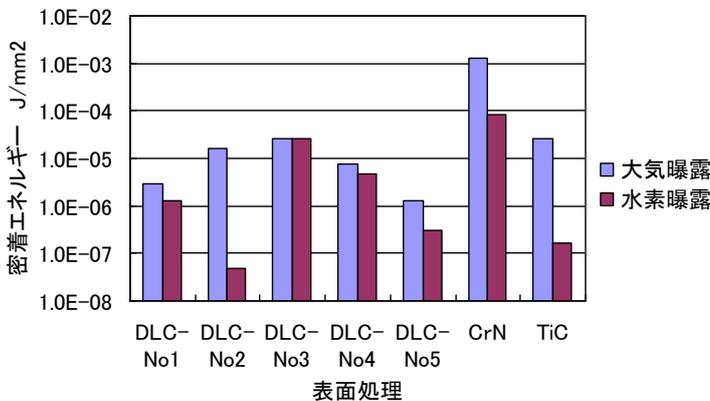


図20 各表面処理膜の密着エネルギー

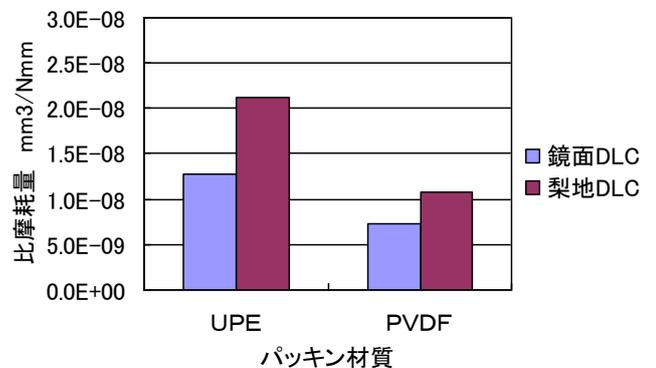


図21 パッキン候補材料の比摩耗量 (摩擦摩耗試験結果)

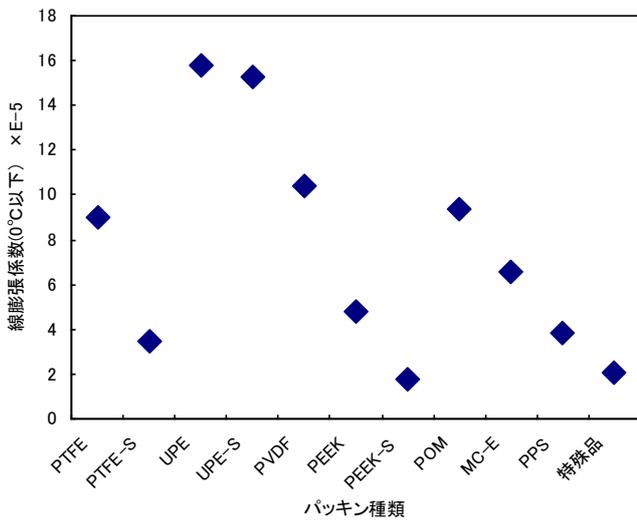


図22 熱機械分析評価結果

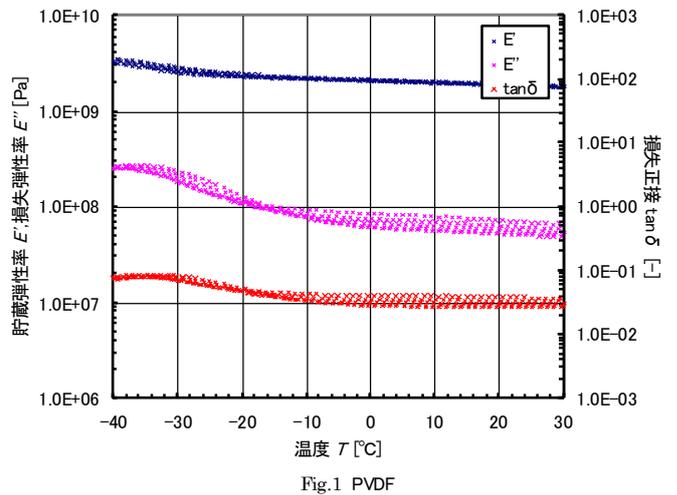


図23 粘弾性評価結果(PVDF)

### 3. 7 その他実施項目

個別の要素技術開発における上記以外の試験研究等の実施状況を次表6にまとめて記載する。

表6 個別要素技術開発におけるその他試験研究等の実施状況

実施項目	実施内容
〈総合的エンジニアリング技術の開発〉(JPEC、再委託先:九州産業大学)	
水素ステーション要求仕様の整理	一日あたりの充填台数や、立地条件など、水素ステーションの普及段階における前提条件についての情報分析を実施した
水素ステーションベースモデルの設定、及び建設コストの試算	整理した要求仕様に基づいてステーションの基本仕様(ベースモデル)を設定した。 ベースモデルに対して、コスト試算に必要な情報を収集して、現状の技術を前提としたコスト構造を明らかにした
水素ステーション全体のコスト低減策の整理	コスト構造に対する分析を実施し、コスト低減策のアイデア出しを行い、ステーション全体におけるコストインパクトや技術的解決の難易度等から、ステーションの低コスト化検討のために取り上げるべき、コスト低減策候補を選定した。
コスト低減型水素ステーション基本仕様の整理	ステーション全体を視野にいれた技術開発、例えば、圧縮機・蓄圧器の最適設計等については、まだ十分な検討がなされていないことが判明した。そのため、平成21年度以降は、総合的エンジニアリング技術開発として、複数の技術を組合せた技術開発を行った。
連名委託先の検討結果を反映した水素ステーション全体の建設コスト試算	連名委託先のコスト低減検討結果はそれぞれの委託先報告で総合的エンジニアリング技術開発として、他の NEDO 事業も含めた水素ステーション関連 WG でのコスト低減検討を「システム技術開発」で実施した。
プレクール設備の機器構成、運用の最適化検討	プレクール設備と充填方式について、機器仕様や設備コスト、充填時間等の面から比較検討を行い、冷却システムの最適化技術を提示した。

＜鋼製蓄圧器開発の開発＞（日本製鋼所）	
高容量化蓄圧器最適素材の絞り込み	複数の候補材について焼入性や強度・韌性バランスを調査し、厚肉の高容量化蓄圧器においても均一組織が得られる SA-723 鋼を最適候補材として選定。
SA-723 鋼の安全性データの採取	大気中および水素中における引張試験、シャルピー衝撃試験、き裂進展試験、疲労試験、遅れ割れ試験、ライジングロード試験等により、水素ガス環境下における安全性データの採取を実施した。
サーベイランス試験の実施	システム開発事業と相互に連携し、SA-723 鋼と、実際に水素ステーションで使用している蓄圧器用材料である SNCM439 鋼の遅れ割れ試験片を稼働中の蓄圧器内に挿入したサーベイランス試験を実施した。
供用終了後の蓄圧器の解体調査	これまでの NEDO 事業で製造し、実際の水素ステーションで使用されていた蓄圧器を解体調査し、供用後の蓄圧器の健全性について調査中。非破壊検査や引張試験など、一部の試験は完了。
水素侵入特性の評価	熱処理条件の変化によって認められる材料中の拡散性水素量の違いについて、析出物や組織の観点から評価を実施した。
最適な自緊施工条件の見極め	予ひずみが付与された SA-723 鋼の機械的特性の調査、自緊圧と容器内表面に発生する圧縮残留応力の関係調査、内圧疲労試験による圧縮残留応力の減衰傾向を調査し、高耐久化を実現できる自緊施工の条件を決定した。
健全性監視手法の検討	通常の鋼製大型容器に適用されている健全性監視手法である知らせ穴法やアコースティック・エミッション法、従来より行われている超音波探傷法や渦流探傷法に関して、大型蓄圧容器を想定した総合的な検討を行った。
初期の微小欠陥検出技術の開発	蓄圧器を架台から外すことなく定期的に全内周の探傷を行うことを想定し、外面からの微小欠陥検出精度に関する調査と検査条件の検討を実施した。
＜水素用高圧バルブの開発＞(キッツ)	
ボールシート及びパッキンの封止構造の検討	バルブ重要部位である、ボールシート部、パッキン部に対し部分構造設計を行い、各々の構造解析を実施し、その解析結果の評価を行った。
バルブ重要部位構造及び材質の決定	複数案の部分設計及び部分試作を実施し、高圧ガス昇圧ユニットを用いたヘリウム気密試験及び水素気密試験を行い、90MPa のシール性能等を確認し、バルブ重要部位の構造及び材質を決定した。
バルブ設計	手動弁、遮断弁のバルブ設計を完了した。
バルブ試作	アクチュエータ、バルブの部品図を作成、各部品の試作を実施した。バルブ及びバルブの性能上重要な部品に関してはシリアルナンバーをつけると共に重要な部位に関しては全数寸法検査を実施、他の部位に関してはロットの初品、終品のみ寸法検査を実施した。
高圧ヘリウムによるバルブ性能試験及び作動耐久試験	90MPa の高圧ヘリウムによるバルブ性能試験をヘリウム気密試験機にて実施し、気密性能や作動特性等に問題がないことを確認した。

メンテナンス性能評価	高圧水素による常温での開閉作動耐久試験終了後のバルブを分解し、構成部品の摩耗状態を確認し、メンテナンス時に交換する必要がある部品を仮に決定させた。次に、仮決定した部品を実際に交換し、性能が良好であることを確認した。
高圧水素によるバルブ性能試験	90MPa の高圧水素によるバルブ性能試験を実施し、問題がないことを確認した。
使用温度を考慮した高圧水素による作動耐久試験	高圧水素によるバルブ性能試験に合格したバルブ 3 台に対し、高圧水素による低温、高温での開閉作動耐久試験を実施し、目標とする4万回まで完了させた。
高圧ガス保安法に基づくバルブの供給	JRCM より提供された金属材料で試作したバルブをディスペンサーメーカーへ供給するため、タツノ、アズビル、JRCM と連携して、水素ガスでの試験に供されるバルブの提供を可能とする法対応を行った。
改良商品化設計	パッキン封止構造部、軸摺動構造部等を改良した新たな設計を完了させた。
バルブ量産試作	改良設計したボールバルブを 15 台製作した。また遮断弁用のアクチュエータに関しては、アルミダイキャスト用金型を製作、初品として 50 台量産試作を実施した。アルミダイキャスト製量産試作アクチュエータには単品で負荷耐久試験を実施し、10 万回までの耐久性能を確認した。
高圧水素による作動耐久試験の実施	90MPa の高圧水素によるバルブ性能試験を実施し、問題がないことを確認した後、プレクール熱交換器を模擬した水素ガス冷却装置を用いた、開閉作動耐久試験を実施した。 また、耐久試験では、NEDO の他プロジェクト(水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発／水素ステーション機器要素技術に関する研究開発／低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発)と連携し、機器開発品の水素評価を共同で行った。
流量試験の実施	流量試験を行い、高圧水素でのバルブの流量特性を確認し、定格 Cv 値を確定させた。
シールキットの量産試作	メンテナンス時に交換する必要がある部品を確定させた。12 月に試作品の完成予定。
コスト試算	遮断弁、手動弁ともコスト試算を行った。目標単価を達成するため、生産ロットを確定させた。
＜低コスト・高強度材料開発＞金属系材料研究開発センター	
低コスト化材料開発の方針検討(H2OFS)	材料に関する情報を収集し、低コスト化に向けた材料設計に活かす基礎とした。これら知見をベースに、高価素材原料(Ni 等)の安価素材原料(Mn 等)による置換等、高強度化を見据えた窒素添加による固溶強化等について FS を進めた。
高圧水素ステーション機器用の低コスト配管及びバルブ等を得るための技術方策の整理	将来の実ステーション中での材料(バルブ、配管)の使用環境や動作環境などの情報を勘案し、金属系構造材料候補の絞込みを行い、SUS316L 並みもしくはそれ以上の加工特性を有し、高圧水素下における疲労特性及

(H20FS)	び引張特性も SUS316L 並みであることを開発目標とした。
試製、試験計画案検討 (H20FS)	試製計画、評価項目および試験計画等を検討し、高強度化を第一優先、低コスト化を第二の目的とし、耐水素脆化特性が SUS316L 同等程度で 30～50%高強度の金属材料を開発することとした。
ラボレベルでの溶製→圧延による材料試作	H21:H20 の試製、試験計画案を基に、材料特性評価用の材料試作を行った。試作にあたっては、材料の高強度化のための固溶強化、析出強化、冷間加工の方策を用い、鋼種の成分を決めた。ラボレベルでの溶製、圧延、熱処理を行って、特性等の検討・評価のための試験片を作製した。 ②項で H22～H24: 絞り込んだ材料のラボレベルでの溶製、圧延、熱処理を行って、特性等の検討・評価のための試験片を作製した。
試作材料の特性等の検討・評価及び絞り込み	H21:①項で作製した試験片の機械的特性、耐水素特性の検討・評価を行った。特性評価のために SSRT(Slow Strain Rate Technique)や組織観察等による試験を実施した。試作材料の中で機械的特性、耐水素特性の優れた材料を絞り込んだ。
バルブ、調節弁メーカーへの試作材料提供	H21:溶製した材料の残材から丸棒素材等に加工し、バルブ、調節弁メーカー等へ提供し、加工性の評価を受けた。 H22～H24:溶製した材料の残材から丸棒素材等に加工し、バルブ、調節弁メーカー等へ提供し、加工性の評価を受けた。また、H22 から開始された「要素技術開発」「水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発および国際標準化、規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発」と密に連携し、効率良く研究を実施した。 H24: 高圧ガス保安法に則った実部品製作が可能な高強度耐水素性材料の仕様を確立する見込である。
＜コントロールシステム開発＞アズビル	
既設水素ステーションの詳細実態調査による低コスト化視点の検討(H20FS)	制御システムハードウェアとしては、設備ベンダーや設備区分に複数設けられた制御装置(PLC)と監視端末の統合と制御盤を小型化がコスト低減の焦点になることを認識した。
室内設置制御盤のコンパクト化によるハードウェアコスト低減(平成 21 年～22 年)	設備の稼動や保安機能を含む制御内容、機器構成、盤面での監視表示関連機器が、機能上必要なレベルで過剰なく実装されていることの総合的な評価を行い、現状存在する制御盤等の最少化を図ることによるコスト低減を検討し、当初推定コストに対し目標であった 30%低減を達成する構成を確認した。
ソフトウェア、設計図書類の徹底的な再利用によるソフトウェアコスト低減(平成 21 年～22 年)	ソフトウェア面でのコスト低減に向け、フィールド計器や相互配線接続を含むステーション全体の制御システムの標準モデルを作成した。 特に、制御システム関連図面や作業工数自体の削減も含め、監視操作に使用する計器タグ名や各種設定値の名称、表示画面レイアウトや表示色などまで、徹底した共通化、標準化を実施し、仕様書としてまとめた。
室内設置制御盤の試作、検証(平成 23 年～24 年)	平成 22 年度までに実施した室内設置制御盤のコンパクト化設計を基に、検証用システム試作機、製作、検査における課題を抽出し、改良・改善項

	目として取り纏めを行うとともに、更なるコンパクト化、及びコスト低減の可能性を検討した。結果としてハードウェアコスト低減目標が達成可能であることを検証した。
試作システムによる訓練システムの構築検討(平成23年～24年)	検証用試作機の一環で製作したシミュレーションシステムを単独でステーション運転員訓練システムへの発展の可能性を検討した。 結果として、当面の建設においてはステーションオーナー等での技術者に対する充填方法と充填時間のシミュレーションシステムとしての活用価値が認められた。
遠隔監視機能の検討(平成23年～24年)	ステーション外の遠隔地へ提供する情報内容(水素在庫量、ステーションの稼働状態、等)及びシステム化の形態、条件を取り纏めた。 制御システムへの実装と実用性を検討中であり期限内に結果を得る。
〈流量調節弁開発〉アズビル	
コスト低減のための水素用高圧調節弁候補の構造・材料に係わる代替技術の洗い出しと定量的なコスト評価等に基づくアプローチの選定(H2OFS)	流量調節弁のコスト低減着眼点抽出および低減効果の推定を行った結果、流量調節弁に関してはコスト低減よりも信頼性の向上が重要であるとの結論に至り、特に要求の高いシール部の信頼性向上(=長寿命化)に主眼を置いて開発を進めることを決定した。
流量弁のコンパクト化技術の開発	H22年度は金属系材料研究開発センターが開発する新材料を用いた調節弁を試作し、製作における問題点の確認を実施した。 H23年度は新材料の目標仕様をもとに調節弁のコンパクト化設計を実施し、性能上の問題点および目標コスト達成の可能性の検討を実施した。

### 3. 8 特許、論文、講演、報道等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT 出願	査読 付き	その他	
H20FY	0	0	0	0	0	なし
H21FY	0	0	0	0	1	学術振興会第129委員会 ((株)日本製鋼所) Hydrogenius Tribology Symposium (アズビル(株)) 第6回国際水素・燃料電池展「FC EXPO 2010」(アズビル(株))
H22FY	6	0	1	0	0	なし
H23FY	0	0	1	0	1	JPEC平成23年度技術開発・調査事業成果発表会(JPEC) 福岡水素エネルギー戦略会議平成23年度第2回研究分科会(キッツ) 福岡水素エネルギー戦略会議平成23年度研究分科会(第3回)「水素社会システム実証研究分科会/高効率水素製造研究分科会」(JPEC) 触媒学会「水素の製造と利用のための触媒技術研究会」「水素の製造と利用に関するシンポジウム」(JPEC) JPEC平成24年度技術開発・調査事業成果発表会(JPEC) JPEC平成24年度技術開発・調査事業成果発表会(九州産業大学)
H24FY	0	0	0	0	0	日本非破壊検査協会超音波部門講演会 (日鋼検査サービス/日本製鋼所) HESS 機関紙「水素エネルギーシステム」(JPEC) 日本ゴム協会第2回水素機器用エラストマー材料研究分科会

#### 4. まとめ

以下に技術開発内容と課題を示す。本事業においては平成20年度のFS検討に基づき、平成22年度までにラボ試験等により個々の要素技術開発の技術的見通しを得、平成23年度以降は試作、耐久性検証等、最終的な製品としての開発目標達成に向けた技術開発を行った。

項目	技術開発内容(H21~H24)
総合的エンジニアリング技術の開発 (JPEC、再委託先:九州産業大学)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・連名委託先とともにステーション全体のコスト構造分析と課題抽出を行い、開発計画立案、効果検証を行った。</li> <li>・ダイナミックシミュレーションを用いた充填解析を行い、差圧充填型、続いて、圧縮機併用型差圧充填型での最適機器構成の検討を行った。</li> <li>・システム技術開発、水素先端基礎研究事業と連携し、九州産業大学と共同で、温度変化も含めた水素充填状態の推定が可能な数値解析プログラム開発を行った。</li> </ul>
鋼製蓄圧器開発 (日本製鋼所)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・鋼製蓄圧器の高容量化を実現するために、材料検討を行い、SA723鋼を選定するとともに、大型蓄圧器に対する自緊処理技術を確立し、耐久性向上を実現した。</li> <li>・世界初となる450Lの高容量蓄圧器を試作し、特認申請において大幅な寿命延長を実現するとともに、コスト低減目標も達成した。</li> </ul>
水素用高圧バルブ開発 (キッツ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・世界初となる高圧水素用ボールバルブを開発し、8万回に作動確認を行った。</li> <li>・遮断弁(自動弁)、手動弁ともコスト低減目標を達成した。</li> </ul>
低コスト・高強度材料開発 (JRCM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・JIS SUS316L材と耐水素性が同等で、強度が30~50%向上する材料を開発した。</li> <li>・バルブメーカー等へ開発材料を提供し、加工性においても問題がないことを確認した。</li> </ul>
制御システム開発 (アズビル)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水素ステーション制御集中化による制御機器を統合し、制御機器費用の低減を実現した。</li> <li>・水素ステーション仕様の標準化、ソフトウェアの共通化によりシステム設計費の低減を達成した。</li> </ul>
流量調節弁開発 (アズビル)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・世界最高水準のシール技術を開発し、水素中で30万回の作動耐久性を実現した。</li> <li>・流量調節弁のコスト低減においても、目標とするコスト低減を実現した。</li> </ul>

#### 5. 実用化・事業化見通し

- ・鋼製蓄圧器は、既に特認申請を終了し、今後システム技術開発と連携して、実ステーションでの耐久性評価を継続研究する予定である。
- ・バルブ、調節弁は、既にステーションでの採用が計画され、高圧ガス保安法に基づく事前申請を行っている。また、今後の水素ステーション整備においても、開発品の採用が計画されている。
- ・集中型制御システムは、試作デモ機による作動検証を行い、来年度以降設置のステーションへの導入を検討している。
- ・高強度金属材料開発については、製品開発まで視野に入れた開発計画の検討が行われている。

## (Ⅱ-9) 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発

### ●進捗成果サマリ(平成20年度～平成24年度5月末)

- ・ステーションの試設計を実施し、キャノピー上機器設置化や地下化することで配置計画、コンパクト化(敷地面積517m<sup>2</sup>及び390m<sup>2</sup>)を実現できることを確認した。
- ・要素技術として、換気による水素拡散性状の把握、反射圧低減壁、水素燃焼制御システムおよび水素不活性化に関する技術を確認した。
- ・各要素技術の実機への適用検討を行い、安全性の検証(一部方針の策定のみ)および経済性を検証し、成立性を確認した。

### ●背景/研究内容・目的

都市部に水素ステーションを設置する際には、人・建物が密集するため通常以上の安全性の確保が重要な課題となる。また、現行法規制下の一般的な水素ステーションの敷地面積が1000m<sup>2</sup>程度であるのに対し、都市部の既存ガソリンスタンドの2/3が敷地面積660m<sup>2</sup>以下となっていることから、都市部の狭い敷地に建設可能で安全なコンパクト水素ステーションの実現が必要である。

本研究開発では、このような背景を踏まえ、敷地面積500m<sup>2</sup>、さらには350m<sup>2</sup>といったコンパクトな70MPa水素ステーション(図1)の実現のため、機器配置計画を行い、建設合理化等も含めた低コスト化を図るとともに、多重防護の考えに基づく安全要素技術を開発し、安全性を確保することを目的としている。

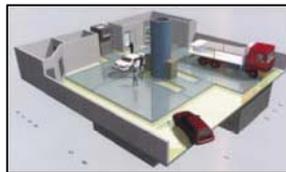


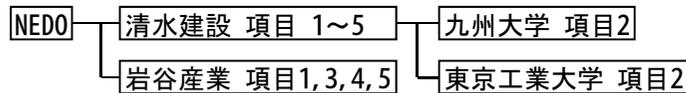
図1 都市型コンパクト水素ステーション(案)

さらに、これらの計画・設計・施工技術を統合して、コンパクト・低コスト・安全な70MPa水素ステーションを構築し、既存のガソリンスタンドとの併設も含め、水素ステーション建設促進につなげる。

### ●研究目標

実施項目	中間成果(H24/9)	最終目標
1. 試設計	コンパクトした場合の課題抽出	課題解決(案)の提示
2. 安全要素技術開発	安全性を担保する要素技術の確立	開発技術の検証
3. 水素ステーションの安全性評価	安全要素適用検討 安全性の検証およびリスク評価	標準設計に対する安全の検証
4. 水素ステーションの経済性評価	各建屋形式のコスト比較 各システムの導入コスト算定	合理化検討
5. 検知システムの構築	既存検知器の仕様調査	検知システムの設計

### ●実施体制及び分担等



### ●これまでの実施内容／研究成果

#### 1. 試設計と課題の抽出

- 1) 試設計  
機器配置を地下化、屋上化することで、配置計画、コンパクト化を実現できることを確認(図2)



地上階 屋上階  
図2 敷地面積517m<sup>2</sup>の配置例

#### 2. 安全要素技術の開発

##### 2-1) 換気システム

漏洩水素の拡散解析を実施、可燃濃度以下に換気可能であることを確認(図3)

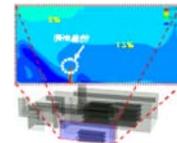


図3 水素ガスの濃度分布

##### 2-2) 反射圧低減壁及びエネルギー吸収壁

反射圧低減壁およびエネルギー吸収壁の効果を検証(図4)

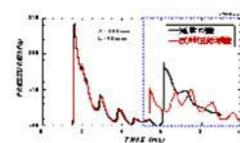


図4 反射波の圧力の時刻歴波形

##### 2-3) 燃焼制御システム開発

燃焼伝播の防止条件を実験的に確認(図5)

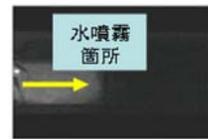


図5 燃焼伝播の防止

##### 2-4) 不活性化に関する研究

燃焼実験により安全濃度を示す2つのCO<sub>2</sub>分圧比を決定(図6)



図6 不活性化の概念

### ●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
1. 試設計	地上式(631m <sup>2</sup> )、高架式(517m <sup>2</sup> )、および地下式(517, 390m <sup>2</sup> )のレイアウト完成	○
2. 安全要素技術の開発	反射圧低減壁、水素燃焼制御システム、水素の不活性化の各技術の確立	○
3. 安全性評価	安全要素技術適用検討および安全性の検証、リスク評価の実施	△
4. 経済性評価	建築および各システム導入コスト比較	△
5. 検知システム	既存検知器の仕様調査	△

#### 3. 安全性評価

実機への適用検討を行い、換気システム、爆風圧低減システムについて検証を行い効果を確認。またリスク評価を実施

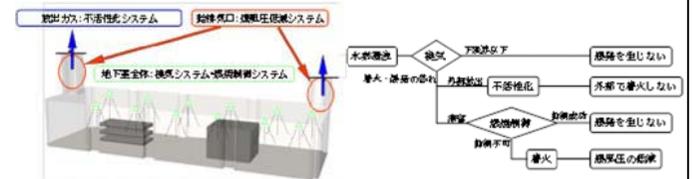


図7 適用結果と防護のフロー

表1 リスク評価結果

大1 中 小	①安全対策なしケース				②安全対策実施ケース				③多重防護対策付加ケース			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
大	4	1	2	3	1	1	2	3	1	1	2	3
中	7	7	7	30	2	2	4	3	2	2	11	11
小	2	1	1	1	1	2	3	3	1	2	3	3
計	13	9	10	34	4	4	9	9	4	5	6	6

#### 4. 経済性評価

建屋各形式別コスト比較を行い、土木・建築工事費と土地代の合計がベース配置の約半分になることを確認

	地上式	高架式	地下式
機器設置等	ベース配置 緩和適用	キャノピー式	地下設置 低圧容器設置
敷地面積(m <sup>2</sup> )	876	613	517
土木・建築工事費(億円)	0.72	0.54	0.56
土地代(億円)	6.12	4.40	3.82

注) 貯蔵容器は70MPaを想定  
地下式低圧容器設置は貯蔵容器を35MPaとして、必要離隔距離を緩和した場合  
斜体の数値は概算値  
地下は都区内の主要駅から10km圏内とする  
土木・建築費は直接工事費とする

	費用(億円)	備考
不活性化	0.60	機器弁類:0.31億/配管工事:0.19億
燃焼制御	0.47	機器弁類:0.22億/ミスト配管工事:0.05億/He配管工事:0.12億
爆風圧低減	0.03	

### ●実用化・事業化の見通し

コンパクトな機器配置が実現され、安全要素技術の目的が立ったことから、H24年度までの検証で成立性が確認できた。都市型コンパクト水素ステーションの実用化にむけては、安全性、経済性および運用面での実証の為のモックアップ実験が不可欠である。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
6	3	0	0

## 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発

実施者：清水建設(株)・岩谷産業(株)

### 1. 事業概要

燃料電池自動車の実用・普及に伴って、水素ステーションの全国的な需要が高まると予想される。特に、都市部に水素ステーションを設置する際には、人や建物が密集するため通常以上の安全性が必要となるとともに、敷地の確保が重要な課題となる。図1-1に東京都の既存ガソリンスタンドの敷地面積に関する統計によると、全スタンドの2/3が敷地面積660m<sup>2</sup>以下であるのに対し、従来の（現行法規制下で建設される一般的な）水素ステーションが1000m<sup>2</sup>程度の敷地を要していることから、同程度のコンパクト化が必要と考えられる。

本研究開発においては、都市部での燃料電池自動車の普及のために必要となる安全でコンパクトな水素ステーションを提案し、その安全性・経済性について検証するものである。また、その普及については、既存のガソリンスタンドとの併設についても視野にいれ、実用化・事業化を図っていくものとする。

コンパクト化に関しては、現行法規制、前提条件を踏襲し、考え得る最小面積の水素ステーションの機器配置図を策定した。この基本配置案に基づいてさらに緩和規定を考慮し、地上式、キャノピー上機器設置式、地下式の3種類の機器配置図を提案した。例として図1-2に敷地面積390m<sup>2</sup>の水素ステーション(案)を示す。さらには、これらの機器配置図を基に、ステーションの建築設計を行い、建設工事費等を算出して経済性評価を行い、低コスト化のための合理化検討の基礎とする。

安全性の検討に当たっては、多重防護の考えに基づいて、3つの安全要素技術の開発を進めている。3つの安全要素技術としては、「着火・爆発しても被害を低減する」技術として、反射圧低減壁・爆風エネルギー吸収壁の開発、「着火しても燃焼を制御する」技術として水素燃焼制御システムの開発、および「漏洩ガスに着火させない」技術として、水素の不活性化の研究を実施した。

今年度は、これらの要素技術を組み合わせ、水素ステーションに適用し、安全性の確認をするとともに、経済性評価を実施している。安全性の確認について具体的な内容は、検知システムの構築（岩谷産業）、安全要素技術の安全性評価（清水建設）、リスク評価（岩谷産業）である。

今後は、設定した安全レベルを達成する構造および設備の実現へと繋げていく。

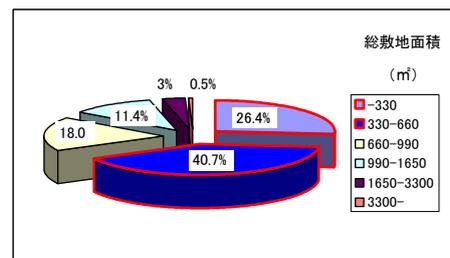


図1-1 東京都ガソリンスタンド総敷地面積統計  
（「H17年度 給油所経営・構造改善等実態調査報告書」  
H18.3(財)日本エネルギー経済研究所石油情報センター）

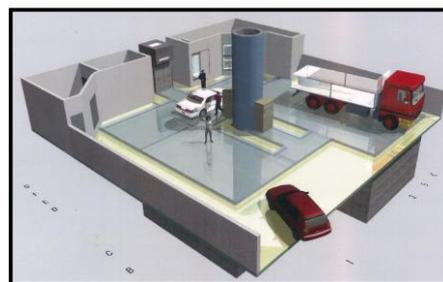


図1-2 都市型コンパクト水素ステーション(案)

### 2. 事業目標

本研究開発の事業目標は、水素ステーションのコンパクト化および安全性確保による都市型水素ステーションの標準設計の確立であり、燃料電池自動車の将来の普及に繋がる技術を確保することである。そこで、本研究開発においては、水素ステーションの「コンパクト化」および「安全性確保」を実現するために次のような要素技術の開発を行い、安全要素技術を適用した水素ステーションの試設計および試設計に対する安全性と経済性の評価を行うこととした。

① 水素ステーションの試設計と課題の抽出

現行の法規制に則り、ベースとなる水素ステーションの機器配置を確定する。それと同時に、関連法規整理、機器仕様明確化を行う。さらにこの基礎配置に基づき、機器の地下設置、キャノピー上設置、地下とキャノピー上の分散設置などの配置検討を行うとともにそれぞれの課題を抽出する。

② 水素ステーションの安全要素技術開発

1) 反射圧低減壁・爆風エネルギー吸収壁の開発

「着火・爆発しても被害を低減する」ことを目標に、反射圧低減壁・爆風エネルギー吸収壁を開発する。ここでは、反射波のピーク圧力を低減すること、反射波のエネルギーを吸収して反射圧を弱めることを目標とする。

2) 水素燃焼制御システムの開発

「着火しても燃焼を制御する」ことを目標に、漏洩水素ガスに着火しても、その燃焼伝播を防止、あるいは被害を低減可能な水素燃焼制御システムを開発（確立）する。

3) 水素の不活性化技術の開発

「漏洩ガスに着火させない」ことを目標に、水素ステーション機器のある空間に対し、常時不活性気体を充満しておくことで、仮に水素が漏洩しても空間内で着火させず、さらに不活性気体と混合することで安全に外部に放出する安全技術を開発することを目標とする。

③ 水素ステーションの安全性評価

②で開発した各安全要素技術の水素ステーションに適用し、安全性の評価・検証を行う。

④ 水素ステーションの経済性評価

経済性評価のデータとして、①で提案された機器レイアウトについて、設計・施工等の検討を行い、都市型水素ステーションのコスト評価を行う。さらに、このコストをベースとして、設計・施工合理化検討による低コスト化へと繋げる。

⑤ 水素漏洩検知システムの構築

多重防護安全システムの検出・作動条件となる水素漏洩検知システムに関する仕様、開発動向の調査を行い、検知システムの構築を行う。

3. 事業成果

1) コンパクト水素ステーションの試設計と課題の抽出

燃料電池自動車の導入・普及が先行されると目される都市部での水素ステーション設置に向けて、従来よりも設置面積の低減を目指したコンパクト水素ステーションの試設計を実施した。

燃料電池自動車への充填圧力は、一充填走行距離を延ばすことを目的として、従来の 35MPa から 70MPa へと高圧化する傾向にある。水素ステーションに適用される技術基準（一般高圧ガス保安規則第 7 条の 3）もそれに合わせた改定が進められているが、70MPa 級水素ステーションにおいては、35MPa 級水素ステーションに比べ、離隔距離が延びることから大きな敷地面積が必要となるため更なるコンパクト化が必要となる。

敷地面積削減のひとつの方法として、高圧ガス設備の地下設置、屋上設置が考えられるが、これについては法文上記載がないため、こういった配置計画は国内では前例がない。そこで 70MPa 級水素スタンドにおいて、①一般高圧ガス保安規則第 7 条の 3（離隔距離の緩和措置なし）に従った場合、②一

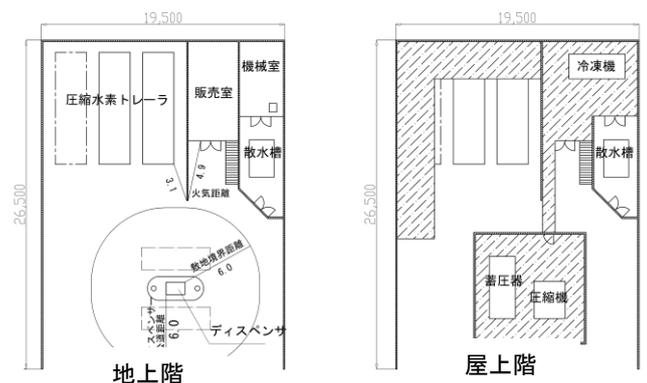


図 3-1 屋上設置の設計例

般高圧ガス保安機側第7条の3（離隔距離の緩和措置あり）に従った場合、③高圧ガス設備を地下に設置した場合、④高圧ガス設備を屋上に設置した場合、について配置検討を行い課題の抽出を行った。ここで、離隔距離については未制定のため、火気距離8m、敷地境界距離、ディスペンサ公道距離6mと仮定した。図3-1に屋上設置の設計例を示す。

これらの配置検討を行った結果、法整備がなされていない地下式、屋上式の安全面に対する課題としてあがった項目を表3-1に記載する。

表 3-1 安全面に対する課題

方式	課題
地下式	閉鎖空間となるため強制換気等の滞留防止措置を取る必要がある。
	爆発時の爆風圧が周囲・地上に与える影響を考慮する必要がある。
屋上式	着火時の火炎・輻射熱、爆発時の爆風圧が周囲に与える影響を考慮する必要がある。

## 2) 安全要素技術開発

### 2-1) 換気システム

提案された地下式コンパクト水素ステーションに対して、漏洩水素の拡散解析を実施し、必要換気量を確認した。現状の圧縮天然ガススタンドの法定換気量の6割程度の換気量があれば、直径0.2mmのピンホール連続漏洩に対しては水素ガスの可燃濃度以下に換気可能であることを確認した。また、換気システムが停止した場合の水素ガス濃度の拡散性状を解析し、時間経過に伴い水素ガスの可燃濃度範囲がどの程度まで拡大して行くかを確認した。図3-2に水素ガスの濃度コンター図を示す。

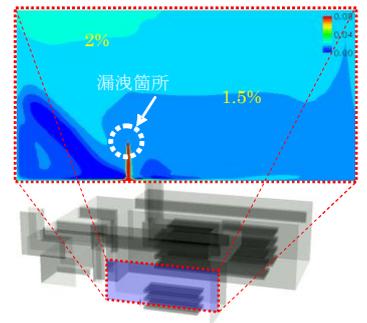


図 3-2 水素ガスの濃度コンター図

### 2-2) 反射圧低減壁及びエネルギー吸収壁

反射圧低減壁の材料および構造の検討を行い、効果的な反射圧低減壁を提案するとともに、提案された低減壁の低減性能、および低減メカニズムを数値解析により確認した。その結果、反射波のピーク圧力を4割程度低減できることが明らかになった。図3-3に反射波の圧力の時刻歴波形を示す。

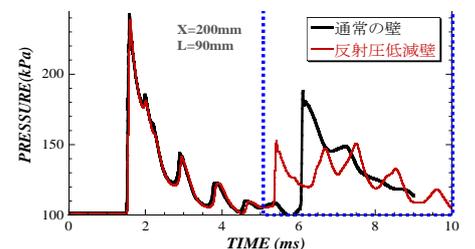


図 3-3 反射後の圧力の時刻歴波形

数値解析により開発した反射圧低減壁の低減効果を検証するために爆発実験を実施した（図3-4）。数値解析同様、反射波のピーク圧力が低減することが確認された。さらに、爆風圧のエネルギーを吸収するエネルギー吸収壁について提案し、その効果を検証した。本技術を機器室の壁に適用する際の設置イメージ図を

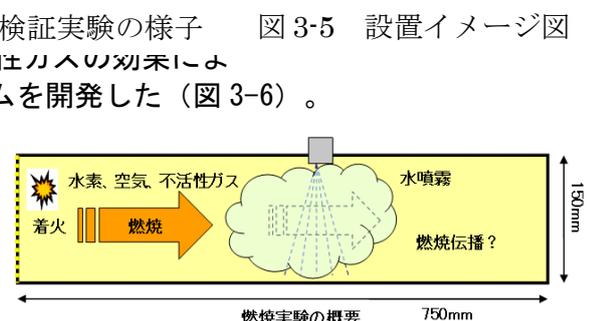


図3-5に示す。

### 2-3) 水素燃焼制御システム

漏洩水素ガスの燃焼・爆発のリスクに対し、水噴霧による燃焼抑制効果により、水素の燃焼を抑制し、その空間の安全を維持するシステムを開発した（図3-6）。

水噴霧はその粒径が重要であり、平均粒径が16ミクロンのものを用いた。不活性ガスとしては、ヘリウム、二酸化炭素、および窒素の様々な濃度の組み合わせを検討した。



実験の結果、水素濃度 8% および 16% いずれの場合でも、水噴霧と不活性ガスの効果により燃焼伝播の防止が可能であることが判明した (図 3-7)。結果の一部を表 3-2 に示す。

これらの結果から、水素濃度が 8% の場合に、燃焼伝播を防止するためには、水噴霧が 8 ノズル、ヘリウム 20% が適当である。水素濃度が 16% の場合には水噴霧が 8 ノズル、二酸化炭素 5% + ヘリウム 50% あるいは窒素 55% が適当である。

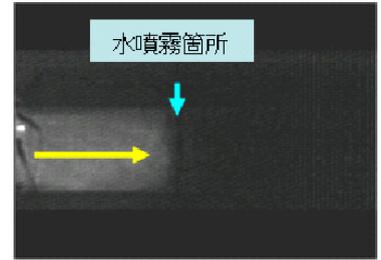


図 3-7 燃焼伝播の防止

表 3-2 水素濃度 8%、水噴霧 8 ノズルの場合の各ガスでの伝播限界濃度と燃焼速度

ガス	He	CO2	N2	CO2+He	CO2+He	CO2+N2	CO2+N2
伝播限界濃度 (%)	20	25	35	5+15	10+10	5+15 以上	10+10 以上
最少燃焼速度 (m/s)	0.127	0.094	0.141	0.113	0.102	0.132	0.105

\* 伝播限界濃度は燃焼伝播を防止できる最少ガス濃度 (体積%)

\* 最少燃焼速度は燃焼が防止できなかった実験条件のなかで、最も遅い燃焼速度である。

水噴霧による気流により燃焼が促進される可能性があるため、気流速度を低減するための器具 (図 3-8) について検討した。高速度カメラで撮影した画像を処理することで気流速度を測定する (図 3-9)。水噴霧用のノズルに適当な形状の囲いを設けることで気流速度が抑制できることを実験的に確認した。最適な囲いの形状を今後検討する必要がある。

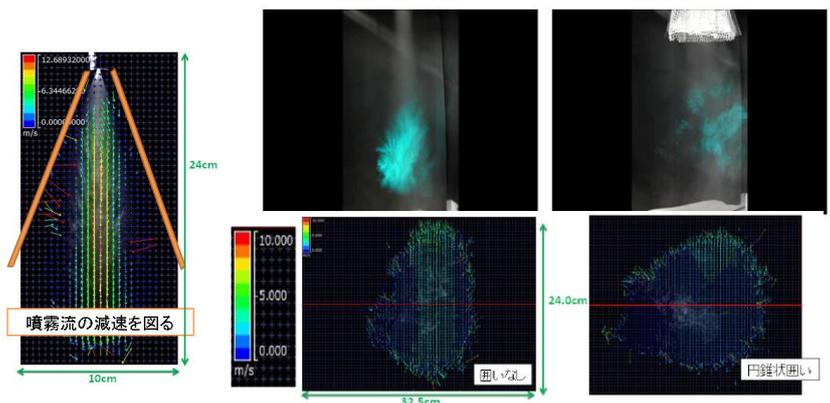


図 3-8 気流抑制の概念

図 3-9 実験と画像処理による評価

また実機への適用にあたり、水噴霧の濃度を定量的に評価する方法について検討した。実験装置の一端から光を当て、もう一方で光強度を照度計で測定すること (図 3-10) により噴霧濃度を評価できることを確認した。

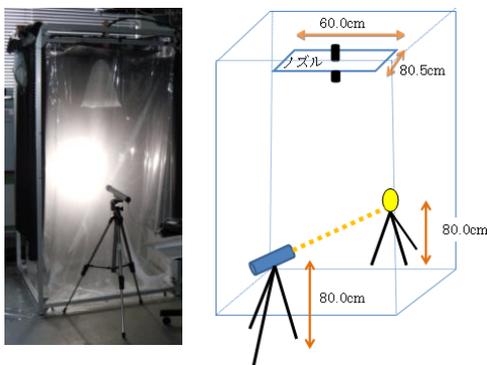


図 3-10 実験装置の概要

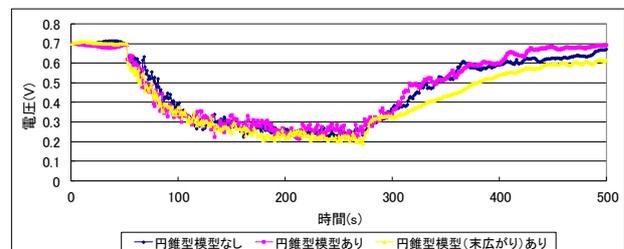


図 3-11 噴霧濃度の変化

## 2-4) 水素の不活性化に関する研究

地下室のような半閉鎖空間に不活性気体を注入することにより、漏洩水素の着火を防止するのに加えて、排気筒から外気に放出した場合にステーションの近隣での着火を防止する安全濃度を保つという新しい概念の安全技術である。

図 3-12 に CO<sub>2</sub> による不活性化の概念を示す。空気中における水素の可燃範囲は、水素濃度が燃焼の下限界（4%）から上限界（75%）であるので、H<sub>2</sub>、Air、CO<sub>2</sub> 混合気の可燃濃度は図に示す 3 角形に近い形状になる。

この可燃濃度の境界（いわゆる可燃限界）は測定装置、測定方法に依存する値であるが、ここでは特に厳しい条件として裸火が存在する場合の可燃限界を測定するために、パイロットバーナの周囲に H<sub>2</sub>、Air、CO<sub>2</sub> 混合気を流通させる燃焼器を制作した。本測定結果と従来の火炎伝播による測定結果（途中まで伝播した場合も含む）から最も厳しい条件を可燃濃度とした。H<sub>2</sub> および Air の頂点から可燃と判断された実験結果の外側に接する直線を引いて安全濃度を示す 2 つの CO<sub>2</sub> 分圧比を定義した。

$$Y = \text{CO}_2 / (\text{CO}_2 + \text{空気}) \geq 0.75 \quad (1)$$

$$Z = \text{CO}_2 / (\text{CO}_2 + \text{H}_2) \geq 0.9 \quad (2)$$

これら両方の条件を満たす領域が図の「安全濃度」と記された四角形であり、不活性化の対象空間を常にこの濃度範囲に制御することにより、水素が漏洩しても空間内が可燃濃度になることが避けられる。さらに、漏洩した水素が拡散混合により安全濃度になれば外部に放出してもステーション外の点火源により着火することが避けられる。

さらに、熱流体解析ソフト STAR-CD を用いて空間内に放出された水素の流動・拡散挙動を計算することにより、漏洩水素の流動・拡散の基本的特徴を明らかし、水素ステーションにおける不活性化空間設計の指針を得た。

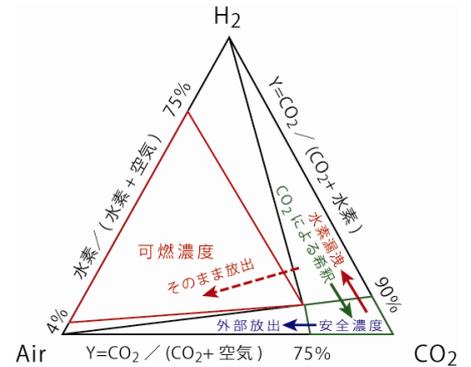


図 3-12 CO<sub>2</sub> による不活性化の概

## 3) 水素ステーションの安全性評価

### 3-1) 適用検討

標準型として地下式 517m<sup>2</sup> のステーション形式を選択し、各安全システムの適用を検討した。原則として換気により水素漏洩時の滞留を防止するものとし、配管破断などの大規模漏洩時に対して安全性を確保できるよう各安全システムの適用を検討した。具体的には、地下室内での着火・燃焼拡大を防止するため地下室全体に燃焼制御システムを適用し、高濃度な水素ガスが換気筒から外部に放出される際に、外部での燃焼・爆発を防止するため、放出ガスを不活性化することとした。また換気筒内に圧力低減板を設け、地下室内での爆発が生じた際に、換気筒から外部に放出される圧力による周辺の被害を低減する構造とした。例として燃焼制御システムの系統図を図 3-13 に示す。

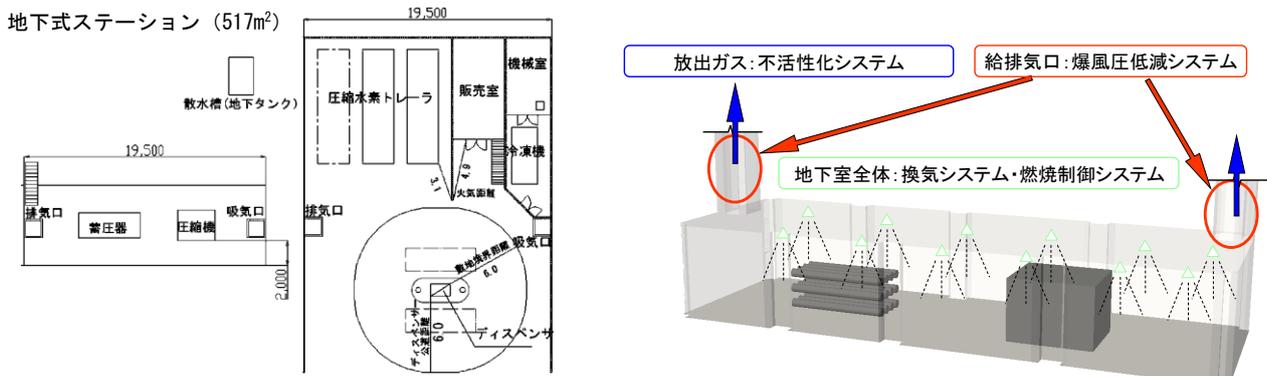


図 3-13 安全システムの適用概念

### 3-2) 爆風圧低減システムの検証

圧力低減板による効果を検証するために、換気筒の一部および外部空間を再現し、解析的な検討を行った。低減板の数および間隔を変えて検討した圧力時刻歴を図 3-15 に示す。低減板の数が多いほど、間隔が広いほど圧力が低減されており、複数枚の低減板を設けることで、外部空間での圧力が 3 割程度低減できることを確認した。

また数値解析結果の妥当性を検証するため、数値解析と同様の条件での実験を行い、両者の整合を確認した (図 3-16)。

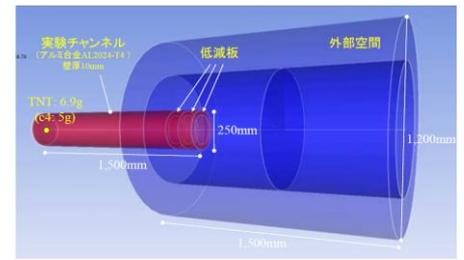


図 3-14 数値解析モデル

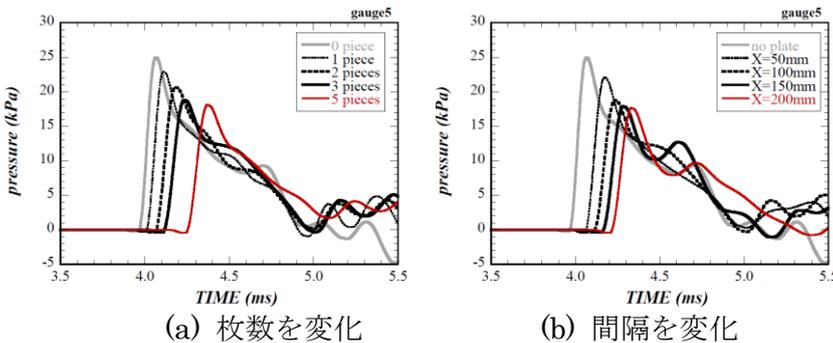


図 3-15 低減板の効果

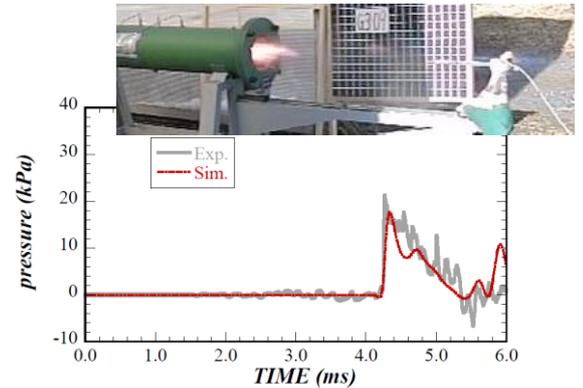


図 3-16 検証実験

### 3-3) 換気システムの検証

ピンホールが生じた場合の水素漏洩量に対して必要な換気量を解析的に検証した。圧縮天然ガススタンドに準じた換気量 (水素ガス漏洩量の 64 倍) を確保した場合に、圧力 80MPa の配管に、径 0.2mm のピンホールが生じ、水素ガスが連続漏洩するものとして検討を行っている。

解析結果からは高濃度の水素ガスが滞流している部位は見られず、地下室のほとんどで水素ガス濃度は 1% 以下となっていることがわかる。

漏洩条件は連続漏洩としているが、仮に検知器が作動しない場合でも、換気が確保されている場合は、地下室全体が下限濃度以下となることを確認した。

一方で配管破断時においては、地下室全体に高濃度の水素が滞流することが想定される。配管破断時の水素の拡散挙動および換気により排出される水素ガスについて定量的な評価を行い、ステーション外での着火・爆発を防止するための不活性化処置について検討する。

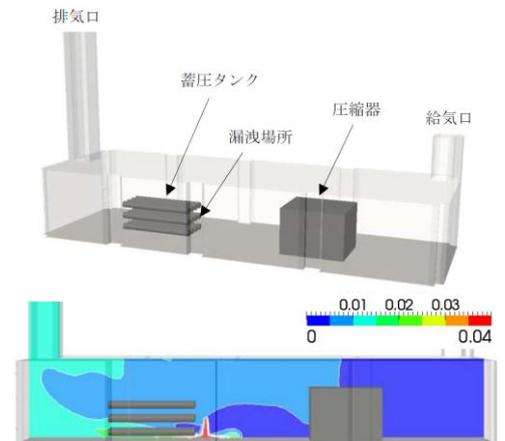


図 3-17 換気検証解析

### 3-4) 耐圧建屋成立性検討

水素漏洩に対しては原則として換気により対応し、燃焼制御システムにより地下室内での着火・爆発を抑制するが、最悪の事態として地下室内での漏洩水素への着火・爆発に対し内圧を抑え込める建屋耐力を確保するものとする。水素量としては 1 バンク内の全量 (3 × 100ℓ) を想定する。

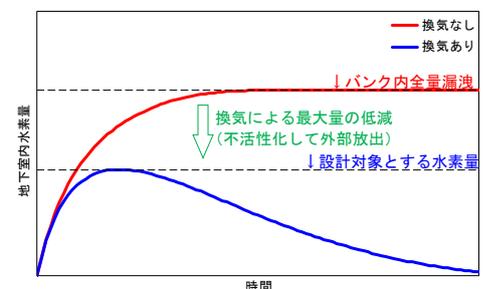


図 3-18 水素量変化イメージ

### 3-5) リスク評価

リスク評価の前提とした各安全システムの作動フローを図 3-19 に示す。

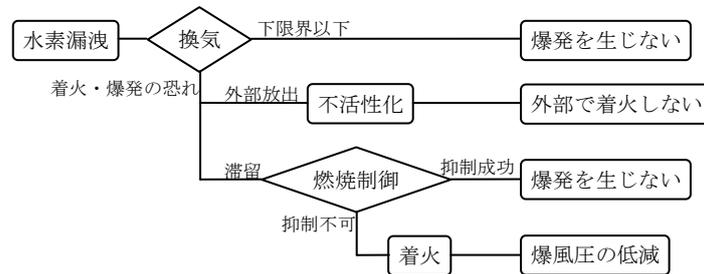
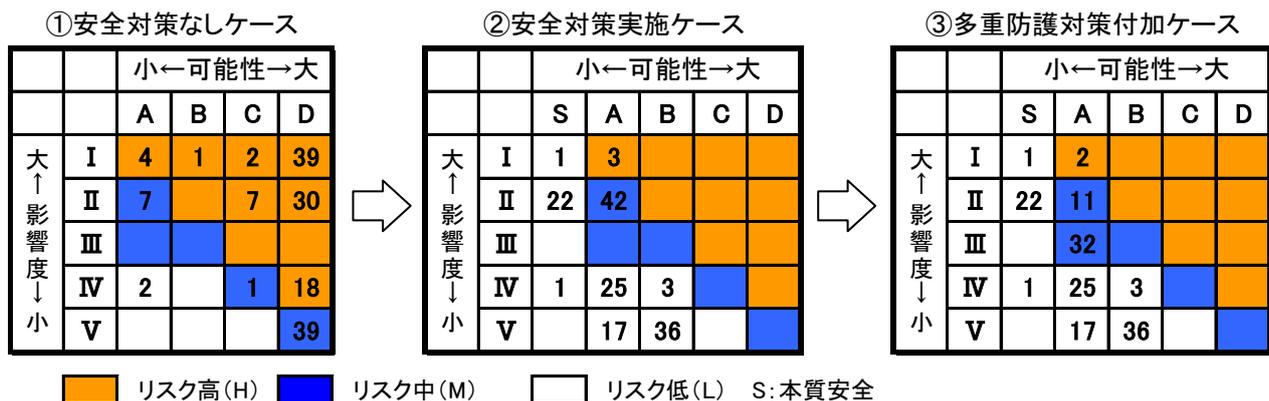


図 3-19 安全システムのフロー

蓄圧器ならびに圧縮機の地下設置に際して、抽出された150 件の事故シナリオ(FMEA143 件、Hazop7 件)に関し、多重防護安全対策(不活性化システム、爆風圧低減システムならびに燃焼制御システム)を採用した場合のリスク評価を実施した。

多重防護対策付加ケースのリスク評価結果は、既存安全対策実施ケース(一般則第7条の3 で採用されているような安全対策)と比べ、改善効果(H→M:1 件、M(AⅡ)→M(AⅢ):31 件)が得られた。



### 3-6) 安全性評価結果

地下室内は密閉空間であることから、漏洩水素に着火した場合は、建屋が破壊し、周辺に甚大な被害を及ぼすこととなる。そこで原則として換気を行い、地下室内に水素が滞留しないよう措置を講じた。

十分な換気を行うことにより、軽微な漏洩においては安全性を担保できる。一方で配管破断時には、地下室全体に高濃度の水素が滞流することが想定されるが、放出ガスに対する不活性化、地下室内の燃焼抑制により、着火・爆発の可能性を低減できる。また地下室内での爆発の際には内圧を十分に抑え込める建屋耐力を確保し、圧力低減板を用いることで、周辺への影響を低減できるものと考えられる。

#### 4) 水素ステーションの経済性評価

##### 4-1) 土木・建築工事費

各建屋形式別に行ったコスト比較を表 3-3 に示す。

表 3-3 各建屋形式別コスト比較

機器設置等	地上式		高架式	地下式	
	ベース配置	緩和適用	キャノピー式	地下設置	低圧容器設置
敷地面積 (m <sup>2</sup> )	876	613	517	517	390
土木・建築工事費(億円)	0.72	0.54	0.56	0.78	0.81
土地代(億円)	6.12	4.40	3.82	3.82	2.88

注) 貯蔵容器は 70MPa を想定

地下式低圧容器設置は貯蔵容器を 35MPa とし、必要離隔距離を緩和した場合  
斜体の数値は概算値

地下は都区内の主要駅から 10km 圏内とする

土木・建築費は直接工事費とする

##### 4-2) 各安全システムのコスト概算

表 3-4 に各システムのコスト概算を示す。不活性化システムの CO<sub>2</sub> および燃焼制御システムの He ガス関係設備が高コストとなっていることが確認できた。

表 3-4 各安全システムのコスト概算

	費用(億円)	備考
不活性化システム	0.60	機器弁類 : 0.31 億/配管工事 0.19 億
燃焼制御システム	0.47	機器弁類 : 0.22 億/ミス配管工事 : 0.05 億/He 配管工事 : 0.12 億
爆風圧低減システム	0.03	

##### 4-3) 経済性評価結果

建屋形式を地下式とした場合、ベースとなる配置に対し、土木・建築工事費は同程度となるものの、必要敷地面積の縮小による土地代の低減効果が大きく、合計ではベースとなる機器配置に比べ、約 6 割程度になることを確認した。

また各安全システムについて導入コストについては、ガス関係の機器・弁類が大きなコストを占めており、コストの低減には各安全システムの要求性能および仕様を明確にし、合理化を行う必要がある。

#### 5) 水素漏洩検知システムの構築

多重防護安全システムの検出・作動条件となる水素漏洩検知システムに関する仕様、開発動向の調査を実施した。

現状、水素ステーションでは、設置場所、検出濃度に応じて、接触燃焼式(高濃度用)、熱線型半導体式(低濃度用)の 2 種類の水素漏洩検知器が使用されている。これらの漏洩検知器は応答の速い熱線型半導体式においても、秒単位の応答速度となっている。

一方で、超音波や水素吸蔵合金といった他の検出原理を用いて応答速度を改善した新規の水素漏洩検知器の開発も進められているが、未だ実用段階になく、コスト低減等の課題も存在する。

このため、本研究では、既存の水素漏洩検知器をベースにシステム構築を行い、応答性等の問題点の洗い出しを行うこととした。

表 5-1 水素漏えい検知器の仕様と特徴

方式	ステーション 利用	水素 選択性	応答性	測定レンジ	精度等その他
熱線型半導体式	○	あり	◎	低濃度域	長寿命、長期安定性、耐久性 ディスプレイ部に用いられる
接触燃焼式	○	なし	○	LEL 付近	高精度、温度、湿度の影響なし 水素ステーションでよく用いられる
気体熱伝導式	△	なし	○	高濃度域	触媒の劣化、被毒なし
半導体式	×	なし	○	低濃度域	長寿命、長期安定性

#### 6) 特許、論文、外部発表等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※出願	査読付き	その他	
H20FY	3 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
H21FY	3 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
H22FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件
H23FY	0 件	0 件	0 件	0 件	2 件	0 件
H24FY	0 件	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件

(※Patent Cooperation Treaty : 特許協力条約)

#### 4. まとめ及び課題

##### 1) 水素ステーションの試設計と課題の抽出

一般高圧ガス保安規則第 7 条の 3 をベースに、高圧ガス設備を地下に設置した場合、屋上に設置した場合等のコンパクト化配置検討を行った。

試設計を実施した各配置案に関し、万一の漏洩・着火・爆発時の周囲に与える影響の評価ならびに安全対策の付与によるコンパクト化案の妥当性を検証する必要がある。

##### 2) 安全要素技術開発

###### 2-1) 換気システム

提案された地下式コンパクト水素ステーションを対象に必要な換気量を明らかにした。今後の課題として、地下室サイズと換気量および最適な給排気口の位置の関係を明らかにする必要があると考えられる。

###### 2-2) 反射圧低減壁及びエネルギー吸収壁

数値解析により反射圧低減壁の開発を行い、検証実験によりその性能を確認した。さらに、エネルギー吸収壁について提案し、その効果を検証した。今後の課題として、水素ガスでの検証や実規模サイズでの性能確認が必要であると考えられる。

###### 2-3) 水素燃焼制御システムの開発

漏洩水素ガスの燃焼・爆発のリスクに対し、水噴霧と不活性ガスの効果により、水素の燃焼を抑制し、その空間の安全を維持するシステムを開発した。また、噴霧時において、燃焼を促進する可能性のある気流の抑制方法および噴霧濃度の定量的評価手法について実験的に検証した。今後、実規模に近いサイ

ズでの燃焼制御実験、ならびに可能性としての水素の最強の濃度である 30%程度での燃焼抑制実験が必要であると考えられる。また、誤報の識別を含め、水素センサとの連動によるシステム化を検討する必要がある。

#### 2-4) 水素の不活性化に関する研究

CO<sub>2</sub>による半閉鎖空間の不活性化の指標となる安全濃度については信頼性の高い値が得られたが、漏洩水素の流動・拡散挙動については空間内の機器の配置、水素漏洩場所、水素漏洩量に依存するので、ステーションの設計に当たっては実状に合った条件設定による流動・拡散挙動の計算が必要である。

#### 3) 水素ステーションの安全性評価

各安全システムの実機への適用を検討した。爆風圧低減板の効果として、出口での爆風圧を 3 割程度低減可能であることを確認した。また換気システムにより、0.2mm ピンホール発生時の連続漏洩に対し、地下室内が下限界濃度以下となることが確認できた。

耐圧建屋として事故時の圧力を抑え込む構造とし、構造形式を選定した。

また安全システムを適用したステーションに対しリスク評価を行った。蓄圧器、圧縮機の地下設置に際して、多重防護安全対策を採用することにより、改善効果が得られたが、多重防護安全対策がより効果を発するためシステム改善、システムの組合せが課題となる。

#### 4) 水素ステーションの経済性評価

各建屋形式別コスト比較を行った。都市部における水素ステーションの建設においては、その地代を考慮した場合、機器の高架設置式、地下設置式が低コストであることが確認できた。さらには、このコストをベースとして、合理化検討による低コスト化へと繋げる。また各システムの要求性能および仕様を明確にし、システムの合理化をはかる必要がある。

#### 5) 水素漏洩検知システムの構築

多重防護安全システムの検出・作動条件となる水素漏洩検知システムに関する仕様、開発動向の調査を実施した。

応答速度を改善した新規の水素漏洩検知器の開発も進められているが、未だ実用段階にないため、本研究では、既存の水素漏洩検知器をベースにシステム構築を行う必要がある。検知の確実性、応答速度等、信頼度の高い検知システムの構築が課題となる。

#### 6) 総合評価

都市型コンパクト水素ステーションとして、地下室型のステーション形式について検討を行った。

密閉型であることから、水素の検知が確実となり、安定的な環境であることから、解析結果の信頼性が向上するものと考えられる。また暴露環境下にならないことから、機器・配管類の更新頻度が低減でき、ランニングコストが圧縮できるものと考えられる。

また地下に埋め込まれていることにより、車両や航空機といった外部飛来物に対して潜在的に安全性が向上し、万が一の事故時には側面地盤により、建屋の壁を支持することが可能となる。また必要敷地面積の縮小により、土地代が低減でき、イニシャルコストが低減できる。

一方で、機器へのアクセスが煩雑となることにより、維持運転上の手間が増加する可能性があり、大型の機器更新は困難になるものと予想される。また耐圧構造による躯体の物量増加および安全システムの導入により、コストが増加することが予想される。

### 5. 実用化・事業化見通し

コンパクトな機器配置が実現され、安全要素技術の目途が立ったことから、H24 年度までの検証で成立性が確認できた。都市型コンパクト水素ステーションの実用化にむけては、安全性、経済性および運用面での実証の為のモックアップ実験が不可欠である。

図 5-1 に燃料電池自動車と水素ステーションの普及に向けたシナリオを示す。燃料電池自動車等が普及開始する H27 年度には、今後の低コスト検討・標準化により事業化できる見通しである。

水素ステーション以外にも水素供給インフラ全体、例えば水素製造プラント、および大量需要のための大・中規模水素貯蔵施設等の建設へ事業展開ができる。

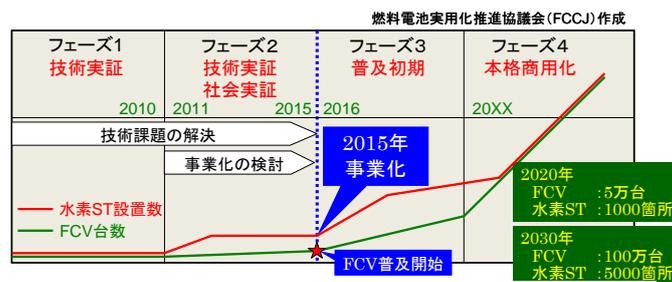


図 5-1 水素ステーション普及シナリオ

●進捗成果サマリ(平成23年度～平成24年度10月)

- ・直接充填方式水素ステーション用高圧水素圧縮機を開発・設計し、高圧ガス保安協会に特認申請を行なって認可をうけスケジュール通りに製作工程を進捗させた。
- ・圧縮機運転方法の検討のため、圧縮機水素流量と車載タンクの圧力・温度の時間変化の関係をシミュレーションするプログラムを開発した。
- ・上記シミュレーションプログラムにより圧縮機の運用方法やステーションにおける機器最適化の検討を実施し圧縮機の仕様・運用の最適化検討を実施中である、

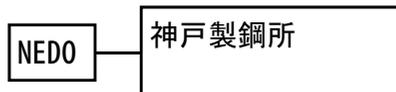
●背景/研究内容・目的

燃料電池自動車の電気自動車に対する優位点として、電気自動車では大容量高速充電が難しいのに対して燃料電池自動車用水素は高速充填が可能であるという点がある。差圧充填方式では高価な高圧蓄圧タンクが多数必要となることに加えて運用上の制限も大きいため、大容量直接充填用水素圧縮機を開発・実証し短時間で水素充填・連続充填を可能にし、FCVの早期普及を可能にすることを目的とする。

●研究目標

- A. 設計吐出圧力95 MPa、運転吐出圧力 87.5 MPa、流量 1200 Nm<sup>3</sup>/h の圧縮機の試作機を開発・設計・製作する。
- B. インバーター制御による可変速度運転に対応する。
- C. 直接充填方式ステーションにおける高圧圧縮機の運転の特徴である高頻度起動停止運転に対する耐久性の見直しをつける。
- D. 圧縮機運転方法の検討のため、圧縮機水素流量と、車載タンクの圧力・温度の時間変化の関係を、圧縮機特性(下流圧力の変化に伴う流量変化など)を含めてシミュレーションするプログラムを開発する。
- E. 試作機の設計・製作・試験結果、およびHySUTなどユーザーと連携により、実証水素ステーション用の設計吐出圧力100 MPa超級圧縮機的设计を完了し、試験計画を策定する。

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

- A. 直接充填用大容量高圧水素圧縮機の仕様  
 運転吸込圧力 40 MPa／設計吸込圧力 45MPa  
 運転吐出圧力 87.5MPa／設計吐出圧力95MPa  
 流量 1200Nm<sup>3</sup>/h シリンダ 2本  
 運転中にベントを大気放出しない  
 ・上記仕様の試作機を開発・設計し、製作が進行中である。圧縮機ユニットの小型化のために別途開発した超高压用熱交換器をアフタークーラーとして採用
- B. インバーター制御可能な仕様の試作機を開発・設計し、製作が進行中であり、検証方法を検討中。
- C. 高頻度起動停止運転に対する耐久性の見直し  
 摺動部の劣化評価が必要なため運転により検証する。
- D. 圧縮機運転方法の検討のため、圧縮機水素流量と、車載タンクの圧力・温度の時間変化の関係を、圧縮機特性を含めてシミュレーションするプログラムを開発した。この成果を利用して千住・海老名ステーションなどのHySUT実証事業と連携した対応を進めた。
- E. 試作機の運転評価による試設計  
 運転結果を反映して実施する。

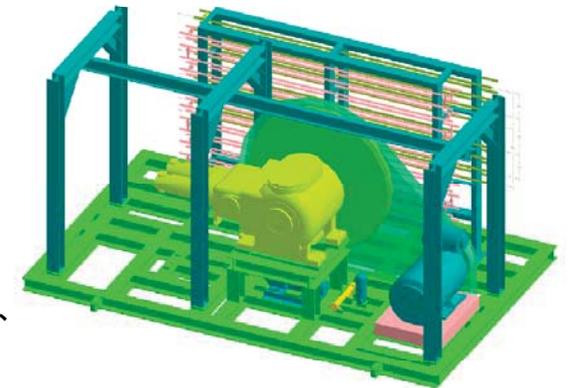


図 試作機イメージ(メインスキッド)

●今後の課題

／スケジュール(H24年度末まで)

試作機の製作・設置工事完了後、運転を実施し、試作機機能、性能の検証を行う。

●実用化・事業化の見直し

試作機による検証結果を反映させた水素ステーション用高圧水素圧縮機を2013年度より市場投入の予定である。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A.	直接充填用大容量高圧水素圧縮機的设计・製作	○
B.	インバーター制御による可変速度運転への対応	○
C.	高頻度起動停止運転の対応	○
D.	水素流量・車載タンク圧力・温度シミュレーションPGM開発	○
E.	試作機設計の運転結果を設計に反映	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	0	0	0

# 直接充填方式水素ステーション用圧縮機の研究開発

実施者: 株式会社神戸製鋼所

## 1. 事業概要

燃料電池自動車の電気自動車に対する優位点として、電気自動車では大容量高速充電が難しいのに対して燃料電池自動車用水素は高速充填が可能であるという点がある。燃料電池自動車の本格的普及のためには、連続充填が可能な普及型水素ステーションが設置整備されていることが前提となるといわれている。これまで天然ガスステーションで適用されていた差圧充填方式では、高価な高圧蓄圧タンクが多数必要となることに加えて運用上の制限も大きいため、大容量直接充填用水素圧縮機を開発・実証し、短時間での高速充填・連続充填を可能にすることを計画した。

本研究開発では、直接充填方式の水素ステーションに適用する運転吐出圧力87.5 MPa かつ水素流量 1200 Nm<sup>3</sup>/h の圧縮機の試作機を開発・設計・製作し、単体試験により性能および耐久性を確認し、実用化課題の抽出を行う。なお、試作機の開発・設計・製作に際しては、所定の安全性、耐久性、実用性、経済性等を得るために必要な構造、使用材料(水素脆化も考慮する)等を検討する。

さらに、上記の設計・製作、試験結果に基づいて、設計吐出圧力 100 MPa 超級圧縮機の設計を行うとともに、この圧縮機を実際の水素ステーションに設置して性能、耐久性、安全性等を実証する場合の試験計画を策定する。なお、この圧縮機の仕様は、水素供給・利用技術研究組合(HySUT。以降、HySUT と記す。)などのユーザーの意向に基づき設定されるものとする。

## 2. 事業目標

### 2-1. 目標

設計吐出圧力 95 MPa、運転吐出圧力 87.5 MPa、流量 1200 Nm<sup>3</sup>/h の圧縮機の試作機を開発・設計・製作する。

圧縮機および電動機・ガスクーラーなどをひとまとめにした高圧圧縮機ユニットは、その大きさが概略 5 m×2.7 m×3 m(H) 以下であり、インバーター制御による可変速度運転に対応する。試作機で運転吐出圧力 87.5 MPa、流量 1200 Nm<sup>3</sup>/h の運転ができることを確認し、さらに直接充填方式の水素ステーションにおける高圧圧縮機の運転の特徴である高頻度起動停止運転に対する耐久性の見通しをつける。試作機の接ガス部に使われた部材に対して機械試験を実施し、材料の耐水素脆性性能に係るデータを取得する。

また、圧縮機の運転方法の検討のため、圧縮機の水素流量と、車載タンクの圧力・温度の時間変化の関係を、圧縮機の特性(下流圧力の変化に伴う流量変化など)を含めてシミュレーションするプログラムを開発する。

上記の試作機の設計・製作・試験結果、および HySUT などのユーザーと連携して、実証水素ス

ーション用の設計吐出圧力 100 MPa 超級圧縮機の設計を完了し、試験計画を策定する。

## 2-2. 高圧水素圧縮機の試作仕様

高圧水素圧縮機の試作仕様を下記表1に記す。

【表1】

	高圧圧縮機(試作)
運転吸込圧力 (MPa)	40
設計吸込圧力 (MPa)	45
運転吐出圧力 (MPa) 目標値	87.5 (最大)
設計吐出圧力 (MPa)	95
流量 (Nm <sup>3</sup> /h) 目標値	1200 (最大)
シリンダ本数	2 本
シリンダ材料	SUH660相当材
運転中の水素の大気ベント 量	0 Nm <sup>3</sup> /h。ベントを外部放出しない。 ベントは、低圧圧縮機吸込ラインに戻す。
備考	吸込圧力 35 MPa、吐出圧力 87.5 MPa の ときの流量は、1050 Nm <sup>3</sup> /h (参考値)。

## 3. 事業成果

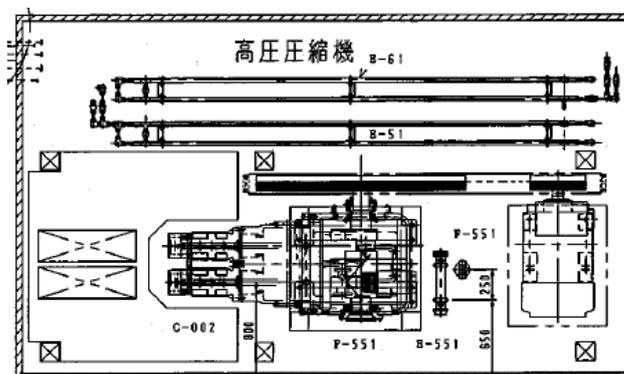
### 3-1 試作高圧水素圧縮機の開発・設計

耐水素脆化材料を調査した上で総合的に考慮し、使用材料・材料の強度値を決定した。高圧ガス保安協会に特認申請を行なって認可を受け、スケジュール通りに製作工程を進捗させた。この特認申請においては、ユーザーサイドである HySUT と連携して全体工程を進めた。

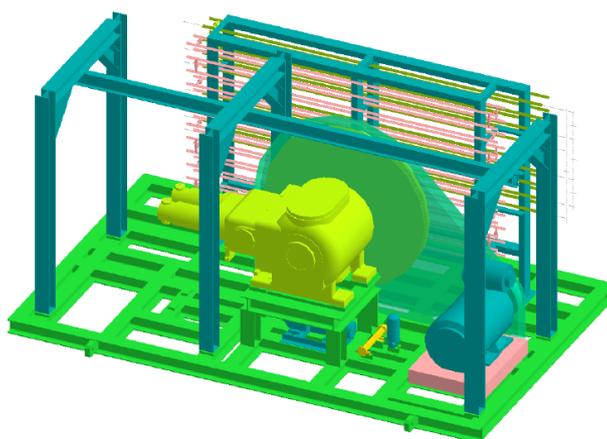
圧縮機および電動機・ガスクーラーなどをひとまとめにした高圧圧縮機ユニットの大きさは 実質的に 5 m × 2.3 m × 2.7m(H) となった。

今回のユニット平面図を以下の図1に示し、その外形を図2に示す。

【図1】



【図2】



占有面積は 5 m×3.1 m×.2.7m(H)となっているが、図1を参照してわかるように、上部に設置しているチューブタイプのアフタークーラーの占有面積が大きい。図1にはE-51・E-61の2基が記載されているが、上側の E-51 は単体試験で水素循環させるための吸込ガス冷却クーラーであり、実機では存在しない。この部分を除くと 5 m×2.3 m×.2.7m(H)である。70MPa という超高压水素が圧縮により 150°Cの高温になったガスを冷却水により冷却するためにアフタークーラーが必要である。耐圧的に難しいこともあり、従来は高压チューブの外側を水冷するタイプのアフタークーラーが採用されてきたが、その設置面積が大きくなってしまふことが問題であった。既存の高压水素圧縮機は、いずれもアフタークーラーが非常に大きなものになっている。この超高压水素の冷却に、神戸製鋼所機器本部の開発した新型プレートフィン熱交換器(本研究開発の範囲外で開発した熱交換器)を採用することで、熱交換器部を1/30~1/100のサイズにコンパクト化することを可能にし、今回の技術開発の中で大容量超高压水素圧縮機用アフタークーラーとして採用可能であることを示す予定である。

これら確認結果を反映し、年度末の報告書においては、さらなる小型化の見通しを反映した設計結果を報告する。

### 3-2 運転吐出圧力 87.5 MPa、流量 1200 Nm<sup>3</sup>/h の運転の確認

2012年10月からの試運転において、運転吐出圧力 87.5 MPa、流量 1200 Nm<sup>3</sup>/h の運転性能・耐久性を確認する。

運転吐出圧力 87.5 MPa、流量 1200 Nm<sup>3</sup>/h の能力を示すこと、シール部リークガス量、運転期間を通したシール部リークガス量の変化をデータとして取得し、耐久性を検証する。この試験により必要なシール機構の目処をたてられる予定である。

### 3-3 インバーター制御による可変速度運転・高頻度起動停止運転

直接充填方式ステーションにおける高压水素圧縮機の運転においては、高頻度起動停止が求められる。

実際の起動時にモーターコイル部の温度上昇が無視できるほど少ないことを確認し、コイル部での温度上昇・絶縁低下による再起動への障害がないことを確認する。またインバーター制御により 30%~+130%までの可変速度運転を行い問題なく運転できることを確認する。

さらに J2601 に対応するために必要な流量制御を確認する。充填モデル流量カーブに従った

35MPa/45MPa2段階の吸い込み圧力において、圧力／流量毎にバイパスバルブ・流量制御バルブとインバーターの組み合わせで運転を実証する。また高頻度起動停止運転を繰り返して行い、試作機における接ガス部の劣化状況を観察し耐久性の見通しを得る。

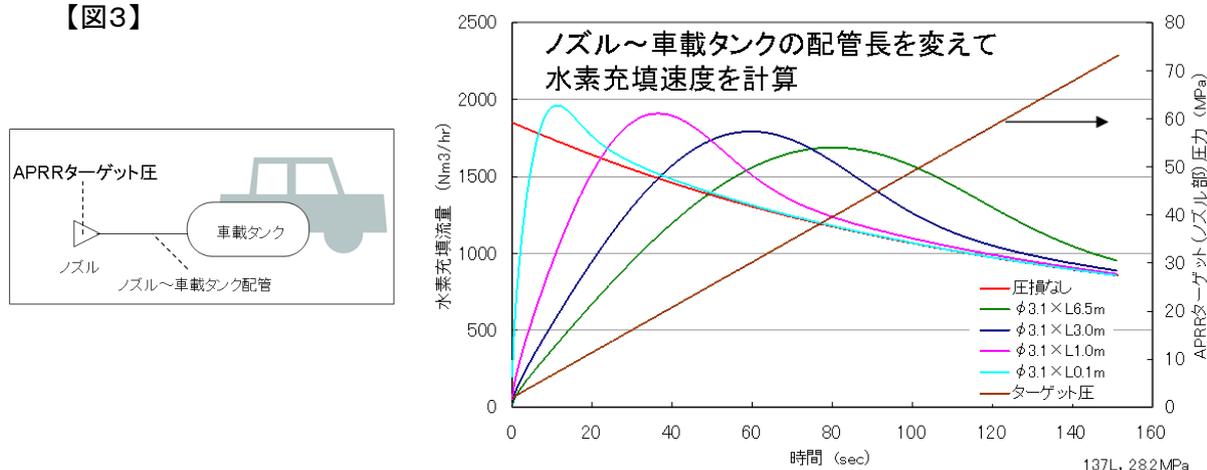
### 3-4 材料の耐水素脆性

試作機の接ガス部に使われた部材に対して機械試験を実施し、材料の耐水素脆性性能を取得する予定である。

### 3-5 圧縮機運転方法の検討

圧縮機運転方法の検討のため、圧縮機水素流量と、車載タンクの圧力・温度の時間変化の関係を、圧縮機の特長(下流圧力の変化に伴う流量変化など)を含めてシミュレーションするプログラムを開発した。

【図3】



このプログラムをもとに、HySUT と連携して水素ステーションに求められる運転形態を明確にし、千住ステーションや海老名ステーションの運転形態を検討・報告した。  
(後日、その内容を追記予定)

### 3-6 実証試験の計画

実証試験を想定し、性能とコストに関するユーザーニーズをもとにさらなる小型化の検討を反映した高圧水素圧縮機ユニットを計画・設計する。

### 3-7 HySUT 実証事業との連携

HySUT 実証事業で計画中のプロトコル検証・ステーション検証に協力し、本研究で試作する圧縮機と同一仕様の別の圧縮機を NEDO 殿ご指示により製作し、千住ステーション、海老名ステーションそれぞれに納入する予定である。

### 3-6 特許、論文、講演、報道等の件数

下記表2に、特許、論文、講演、報道等の件数を示す。

【表2】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT <sup>※</sup> 出 願	査読付き	その他	
H23FY	1件	0件	0件	0件	0件	0件
H24FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

## 4. まとめ及び課題

## (1)直接充填方式ステーション用高圧水素圧縮機の試作

設計吐出圧力 95 MPa、運転吐出圧力 87.5 MPa、流量 1200 Nm<sup>3</sup>/h の圧縮機の試作機を開発・設計した。この圧縮機は平成 24 年度にも引き続いて製作中で、機械試運転を完了し続いての実ガス運転の準備中である。

運転を通してシール部リークガス量の変化をデータとして取得し、耐久性を検証する。材料の耐水素性についても確認する。

## (2)インバーター制御による可変速度運転・高頻度起動停止運転

試作機によりインバーター制御・可変速度運転・高頻度起動停止運転が可能であることを検証する予定である。

## (3)圧縮機運転方法の検討

圧縮機の運転方法の検討のため、圧縮機の水素流量と車載タンクの圧力・温度の時間変化の関係を、圧縮機の特性を含めてシミュレーションするプログラムを開発し、実証試験計画に適用するとともに千住・海老名ステーションなどの計画に適用するなど、HySUT 実証事業と連携した対応をおこなった。

## (4)実証試験の計画

実証試験を想定し、性能とコストに関するユーザーニーズをもとに、小型化のニーズを反映した高圧水素圧縮機ユニットを計画・設計する。

## 5. 実用化・事業化見通し

本研究開発で得られた成果をもとに、水素ステーション用高圧水素圧縮機を 2013 年度より市場投入の予定である。また試作の成果を反映し、継続的に小型化低コスト化を実施していく。

高圧水素圧縮機のみでなくプレクーラーにも適用可能な小型の熱交換器も開発し、水素ステーション全体のコンパクト化・最適化やインバーター採用による受電設備の低コスト化に貢献した。

直接充填方式水素圧縮機は、充填プロトコル J2601 に対応した柔軟な運転・3 分間の短時間で  
の充填／連続運転に対応しており、中間蓄圧タンクの最適化、高圧蓄圧タンクを低減することが可能であるため、水素ステーション全体の設備コスト低減・小型化に寄与することが確実な状況である。

以上

# (II-11)水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発

委託先：愛知製鋼株式会社  
 新日鐵住金株式会社  
 (新日本製鐵株式会社、住友金属工業株式会社)  
 共同実施：新日鐵住金ステンレス株式会社  
 (独)物質・材料研究機構

## ●進捗成果サマリー(平成22年度～平成24年度6月末)

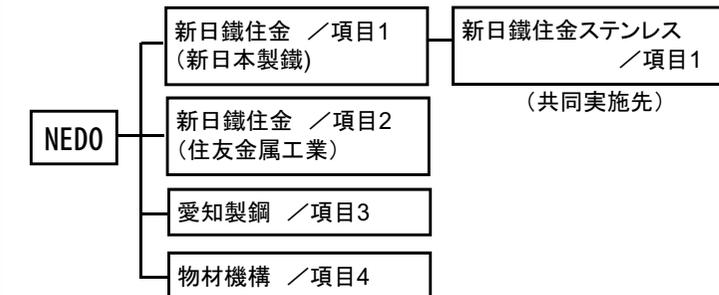
省Ni省Moステンレス鋼、高窒素高強度型ステンレス鋼、Moレスステンレス鋼、高Mo,V型低合金鋼を開発し、高圧水素中で引張強度、疲労特性等の材料特性を測定した結果、これらが高圧水素中で既存のステンレス鋼あるいは低合金鋼と変わらないか、上回る材料特性を示すことを確認した。

## ●背景/研究内容・目的

水素製造・輸送・貯蔵に用いられる材料に関し、低コスト、高強度、高加工性等の特性を有する耐水素脆性特性に優れた、ステンレス鋼を中心とする金属材料を開発し、高圧水素下における強度、靱性、疲労特性、等の基礎物性値を、水素脆化機構の解明や、新しい測定法の開発も平行して行いつつ取得し、当該材料を用いるために必要な基準、標準の制定等に必要データとして提供することによって材料種の拡大を図ると共に、基準見直し、国際標準化活動等に資する研究開発を行う。

## ●研究目標

実施項目	最終目標(H24年度)
1)高圧水素および液体水素関連機器に用いるステンレス鋼および関連評価試験法の開発	新規水素用高機能ステンレス鋼を開発し、高圧水素環境下におけるその材料データを取得し、基準・標準化に必要な安全検証・裏付けデータとして提示する。
2)高圧水素配管・容器材料の研究開発	高強度ステンレス鋼・高強度低合金鋼を開発し、新規水素用材料として提案する。
3)高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼に係る研究開発	高圧水素環境下で使用できるオーステナイト系ステンレス鋼を開発し、材料種類の拡大を提案する。
4)低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究	低温および高温における高圧水素環境下で引張及び疲労試験を行い材料特性を評価する



## ●これまでの実施内容／研究成果

- 1)高圧水素および液体水素関連機器に用いるステンレス鋼および関連評価試験法の開発：  
 新規開発低Ni,省Mo系高強度鋼STH2の固溶化熱処理材について、高圧水素中での強度、疲労、疲労亀裂伝播などの諸特性を評価しSUS316Lと変わらない特性を示すことを確認した。SUS316Lほかγ系ステンレス鋼の評価結果から、水素脆化が合金元素の偏析部に生じやすいこと、及びその機構を明らかにした。
- 2)高圧水素配管・容器材料の研究開発：  
 高窒素高強度SUSを開発し、固溶化熱処理材がN量の増加と共に強度が増加することを確認し、高圧水素中下のSSRT試験(室温、85MPa)、疲労試験においても良好な特性を確認した。  
 低合金鋼において高Mo-V添加による組織改良鋼を開発し、高圧水素下SSRT試験(室温、45MPa)、疲労試験において既存鋼と比較して水素の影響が大幅に改善されたことを確認した。
- 3)高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼に係る研究開発：  
 Moを含有しないオーステナイト系SUSを開発し、冷間引抜加工材が高い0.2%耐力、引張強さを示すことを確認し、高圧水素下のSSRT試験(-40℃、70MPa)において良好な相対絞り示すことを確認した。  
 SUS316L固溶化熱処理材は水素チャージしても室温でのクリープ特性に明瞭な影響が見られないことを確認した。
- 4)低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究：  
 簡易試験法を用いて-200～120℃の温度範囲における316系SUSを中心とする材料の特性を測定し、水素の影響が少ない良好な材料特性を示すことを確認した。

以上の開発を加速するため、高圧水素中小型疲労試験装置を共通して持つことにより、簡易かつ迅速に新規材料の高圧水素中の疲労特性の測定を可能とし、開発の加速を図った。  
 また、有明、霞ヶ関、千住、セントレア各水素ステーションにおける長期使用設備の解体調査に協力し、材料特性にも問題はないものの、製作・施工時に注意、改善点があることを示した。  
 加えて、これら成果を国際標準化、規制見直しの作業に資するため、関係団体等に対して情報を提供し、議論・検討に参画した。

## ●今後の課題

### ／スケジュール(H24年度まで)

新規材料の開発と評価を継続し、新規材料の提案を行うべく、材料特性データの取得と検討を行う。

## ●実用化・事業化の見通し

2015年度の商用化初期段階以降の採用に向け、より安価で高強度、かつ信頼性の高い金属材料の開発を継続すると共に、それらの材料特性の継続的な検討と基準化・標準化に資するデータをも取得することにより実用化を図る。

## ●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価	
1)高圧水素用新規SUS開発	低Ni省Mo型高強度SUSについてSUS316Lより高強度で、同等以上の耐水素脆化特性を確認した。水素脆化の機構を明らかとした。各地で解体調査を実施した。関係団体等に成果を提供した。	○	
2)高圧水素配管材開発	高窒素高強度SUS、組織制御型低合金鋼を開発し、良好な特性を得た。	○	
3)高圧水素バルブ・継手用SUS開発	Moを含有しない冷間仕上オーステナイト系SUSを開発し、良好な特性を得た。	○	
4)低温及び高温特性	簡易評価法により316系SUSの特性を評価した。	○	
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	6	10	0

「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発／水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発」

愛知製鋼株式会社

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

独立行政法人物質・材料研究機構

## 1. 事業概要

本研究開発は、水素環境下で用いられる車載用機器類、供給用インフラ、あるいは関連機器、設備等を支える金属材料について、主としてステンレス鋼および低合金鋼を対象として、より高強度で、より安価で、より使いやすい新たな材料を開発し、基準化、標準化されるものとすべく、それらに向けたデータを取得し、本分野におけるブレークスルーに資することを目的とする。このために必要な以下に示す課題を実施者が連携を図りつつ、分担して実施する。

なお、この開発の背景として、平成21年度まで実施された「水素社会構築基盤整備事業」において実施された、SUS316L等の高い耐水素脆性を示す金属材料の特性をも参照しつつ、同事業で蓄積された基準化・標準化のための技術の活用および発展をも目指すものである。

なおまた、本研究開発は、金属材料に関する研究開発であり、「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」において十分に活用されるべき内容であることから、実施者間の連携はもちろんのこと、「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」に参加する各社、各機関との連携、情報交換等を密接に行って、適切かつ速やかな研究開発の実施を図るものとする。

- ①高圧水素および液体水素関連機器に用いるステンレス鋼および関連評価試験法の開発
- ②高圧水素配管・容器材料の研究開発
- ③高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼に係る研究開発
- ④低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究

## 2. 事業目標

### 2-1 高圧水素および液体水素関連機器に用いるステンレス鋼および関連評価試験法の開発

高圧水素ガスを燃料として搭載した燃料電池自動車、それに水素を供給する水素ステーション等のインフラ、水素を製造・輸送・貯蔵する際に用いる低～高圧水素および液体水素用の容器等の各種機器・部品に使用する金属材料について、自動車業界やインフラ業界等の関係ユーザからの要望を踏まえ、低コスト・高強度・高加工性等の高機能特性を有する水素関連機器用新規ステンレス鋼を開発する。また、各種水素環境下にて材料特性評価を実施し、これら材料の基準・標準化に必要な安全検証・裏付けデータを取得する。取得されたデータは、本開発を実施する他社のデータと併せ、「水素基盤整備事業」で開発されたデータベース

システムに蓄積を図るものとする。これらの結果をもとに、国際標準化・規制見直しに資する評価試験法を整備する。

## 2-2 高圧水素配管・容器材料の研究開発

燃料電池自動車や水素ステーションに用いられる金属材料については、高圧化や軽量薄肉化に対応するためより高強度の材料が要望されている。本研究は配管・容器用金属材料について、高強度かつ優れた耐水素脆性を有する新規ステンレス鋼・低合金鋼を開発する。

## 2-3 高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼に係る研究開発

水素用機器、システムおよび燃料電池自動車用高圧水素システム等で用いられる高圧水素バルブ・継手等の軽量化（高強度化）、低コスト化（省資源化）及び長寿命化を目的として、高圧水素バルブ・継手等に使用する冷間仕上オーステナイト系ステンレス鋼を開発し、高圧水素環境下で使用できる材料種類の拡大を提案する。

また、高圧水素環境下で使用するオーステナイト系ステンレス鋼の長期使用の観点から、室温クリープ特性に及ぼす水素の影響を明らかにし、長期間使用に資する材料データを取得する。

## 2-4. 低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究

試験片内の微小な空隙に水素を封入する簡便な水素環境下材料試験法において、封入するガス量を大幅に削減することで、70MPa 高圧水素環境で使用される材料の特性評価や選定の予備評価手段としての本試験手法を確立し普及を図る。また、本簡便な水素環境評価法を用いて、開発したステンレス鋼や基準化・標準化の対象材料の低温から高温にかけての引張特性や疲労特性等の材料特性を評価し、基準化・標準化に資するデータを取得し解析する。試験温度は対象材料ごとに異なるが、低温としては、水素環境脆性が消滅する約-200℃から室温にかけて、高温は急速充填時の最高温度より上の約 120℃までを想定している。さらに、新たな水素環境下材料試験の簡便法を開発し、破壊靱性特性や疲労き裂進展特性の評価を行う。

以上の開発に加えて、これらの開発で得た知見を活用して、国内における長期使用水素関連機器類について、バルブ、配管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、程度を調査する。

### 3. 事業成果

#### 3-1 高圧水素および液体水素関連機器に用いるステンレス鋼および関連評価試験法の開発

##### a. 高圧水素ガス用材料の研究開発

低コスト型水素ステーションのバルブ類、計器類、配管類への適用が期待されている低コスト・高強度型の低Ni省Mo水素用ステンレス鋼「STH2(Fe-15Cr-6Ni-9Mn-2.5Cu-0.16N)」の溶体化処理材(15mm厚板)から各種試験片を採取し、高圧ガス保安協会への特認申請や水素ステーション設置都道府県の認可に必要なと考えられる引張試験(-40~85℃、大気中、45および90MPa水素ガス中、試験片平行部7mmφ)、疲労亀裂伝播試験(室温、大気中、45および90MPa水素中、1TCT試験片)を実施し、データ採取を完了した。図1に示すとおり、-40℃の高圧水素中でやや絞り(伸び)が低下する試験片も認められたが、高圧水素中で特に顕著な脆化や材料特性劣化はなく、所望の特性を有することが確認された。また、図2に示す通り、疲労き裂伝ば特性も高圧水素中で低下しないことが確認された。

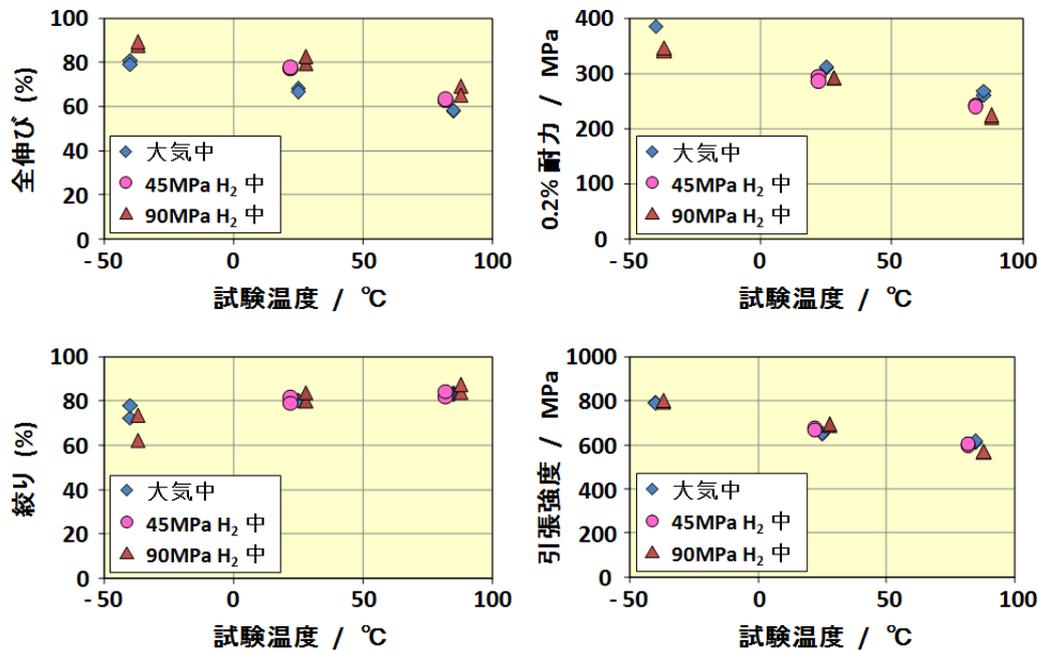


図1 STH2(Fe-15Cr-6Ni-9Mn-2.5Cu-0.16N)鋼溶体化処理材の高圧水素ガス中における引張特性。平行部 7mmφ, 35mm 長の丸棒試験片を使用。歪速度は、水素中  $8 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 、大気中  $8 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$

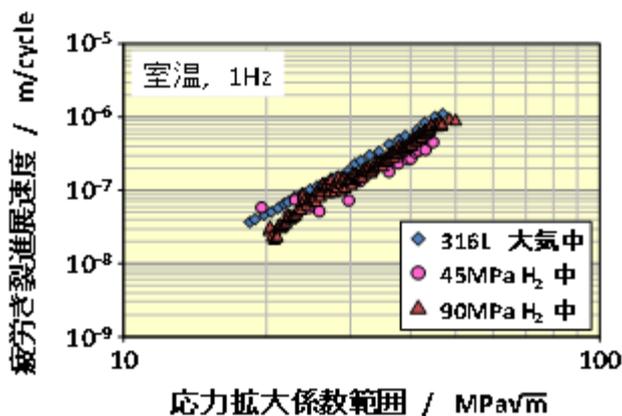


図2 STH2 鋼溶体化処理材の高圧水素ガス中における疲労亀裂伝播特性および比較鋼 (SUS316L) の大気中における疲労亀裂伝播特性 (室温)

また、40%冷間加工した材料（室温0.2%耐力；905MPa）の評価も実施し、図3に示す通り、-40℃でやや絞りが低下する試験片もあったが、その程度はわずかであり、40%程度冷間加工しても、問題となるような水素脆化を示さず、高強度材として期待できることが示された。

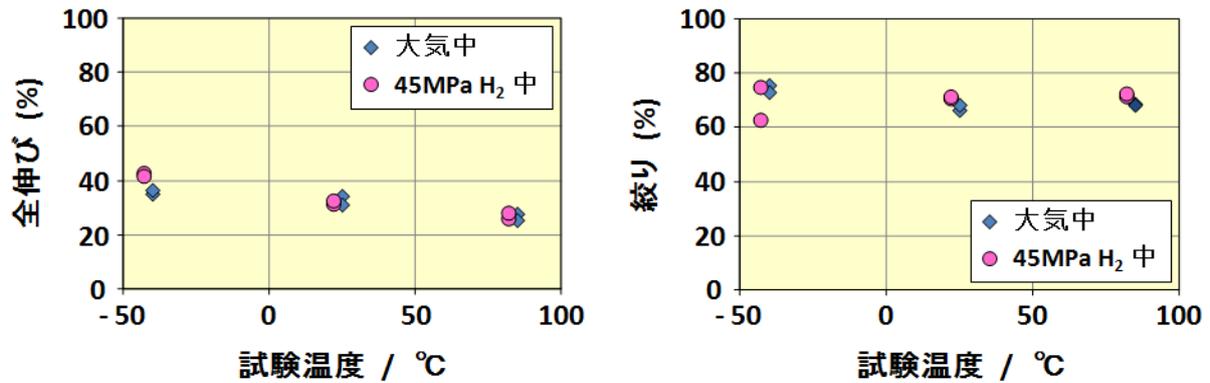


図3 40%冷間加工（冷間圧延）した STH2 鋼の高圧水素ガス中における引張特性。平行部 7mmφ, 35mm 長の丸棒試験片を使用。歪速度は、水素中  $8 \times 10^{-5} \text{s}^{-1}$ 、大気中  $8 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$

さらに、STH2鋼の評価に加え、水素用の標準材であるSUS316L鋼厚板(28mmt)から切り出した試験片(7mmφ)を用いて引張試験を行い、STH2やSUS316Lのように顕著な水素脆化を示さない材料でも、低温、高圧水素ガス中では若干の脆化を示し、破面にその傾向が表れることを示した（図4、図5）。また、厚板や太径棒等の厚肉材では一般に合金元素の偏析が含まれており、試験片採取位置、試験片寸法、偏析の程度によっては見かけ上大きな脆化が起こっているかのような低延性値が得られる場合があることを示した。

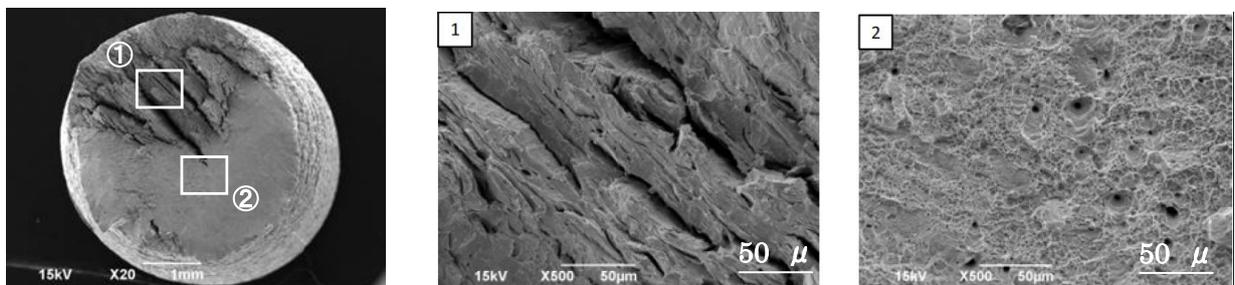


図4 STH2 鋼溶体化処理材の-40℃、90MPa 水素中引張試験破断試験片破面 ① 脆性破面（Ni,Cu,Mn の負偏析部に対応）、② 延性破面

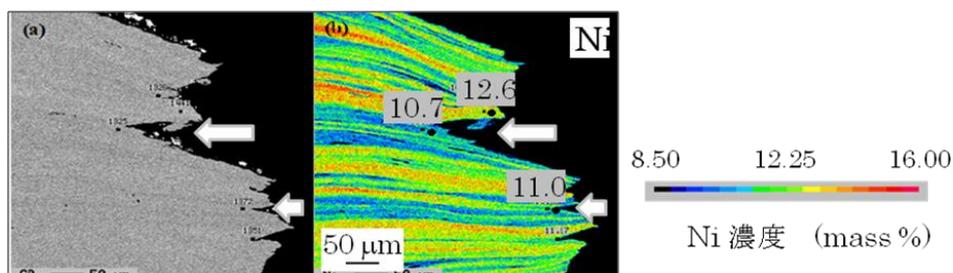


図5 SUS316L 鋼溶体化処理材の-40℃、90MPa 水素中引張試験破断試験片の破面近傍断面組織および Ni 分布。Ni 負偏析部に沿って割れが発生

また、最高120MPaの水素中で疲労特性を評価できる高圧水素中小型疲労試験装置(図6)を導入し、運転を開始した。

#### b. 液体水素用材料の研究開発

STH2鋼の溶接資料を作製し、液体水素中におけるSTH2溶接部の引張特性評価を開始した。

#### c. 長期使用水素関連機器の解体調査

JHFC君津液体水素製造設備解体調査に引き続き、JHFC有明水素ステーションで使用した配管類(液体および高圧水素)、霞ヶ関水素ステーションで使用した配管類(高圧水素)の各種解体調査結果をまとめ、水素中で長期使用したことによる材質特性の劣化や水素侵入の痕跡は認められないことを示した。加えて、水素中で使用する機器であることから、製作・施工時に注意・改善すべき点があることを示した。さらに、千住水素ステーション蓄圧器の解体調査に着手した。



図6 新規導入高圧水素中小型疲労試験装置および機械試験機

#### d. 国際標準化、規制見直しに資する評価試験法の開発

「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」および「燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発」の水素系材料評価法検討会に委員として参画し、a.で述べた材料試験法、試験結果を報告するとともに、評価基準について議論するなど、今までに蓄積してきた知見や専門性を基に、関連技術情報の提供・助言や意見の具申を行い、材料基準の策定を支援した。また、社団法人自動車工業会や「水素ステーション機器要素技術に関する研究開発」プロジェクト参画企業にa.で述べた研究成果を報告し、早期実用化に向け技術的な支援を行った。

#### e. データベースへの蓄積、充実

本開発に関わる4機関が平成22~24年度中に得た各種試験データを、過去実施した水素用材料関連プロジェクトで開発したデータベースシステムに蓄積するため、本データベースシステムの構造・機能および運用方法に高度の知見・技術を有する機関にデータのインプットを外注委託し、過去の公開データも含め、関連技術データの調査・収集を図った。

### 3-2 高圧水素配管・容器材料の研究開発

#### a. 高強度低合金鋼の開発

0.45%Mn鋼をベースに、C含有量を0.2~0.6%、Cr含有量を0~1.25%、Mo含有量を0.3~2.5%、V含有量を0~0.25%の範囲で変化させた低合金鋼を溶製し評価に供した。これらの鋼材を熱間鍛造、熱間圧延により12mm厚の板材とし、焼入れ焼戻し処理により強度を調整し

た。板材から図7に示す切欠付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45MPa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、水素中の破断強度と大気中の破断強度を比較した。

熱間鍛造後焼入れ焼戻し処理により強度を調整した丸棒から図8に示す内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 で変動させ疲労試験を行った。

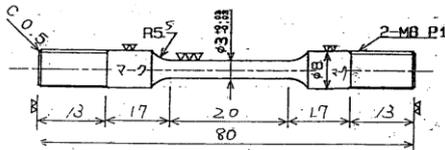


図7 SSRT用試験片

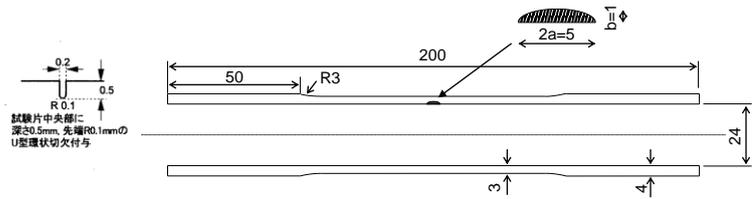


図8 外圧疲労試験片

図9に性能が良好であった組織改良鋼(0.4~0.6C-1Cr-0.5~0.7Mo-0.1V鋼)のSSRTの結果を示す。図中には比較鋼として既報のSCM435の試験結果も示した。縦軸は大気中と水素中の破断強度の比(相対切欠引張強さ)である。組織改良鋼はSCM435に比べて高い相対切欠引張強さを示し、耐水素脆性が改善されていることが確認された。

図10に外圧疲労試験結果を示す。アルゴン中疲労寿命は引張強度によらず20000cycle程度であったが、高強度材ほど水素中疲労寿命は低下した。組織改良鋼はSCM435に比べて水素中疲労寿命が長いことが確認された。

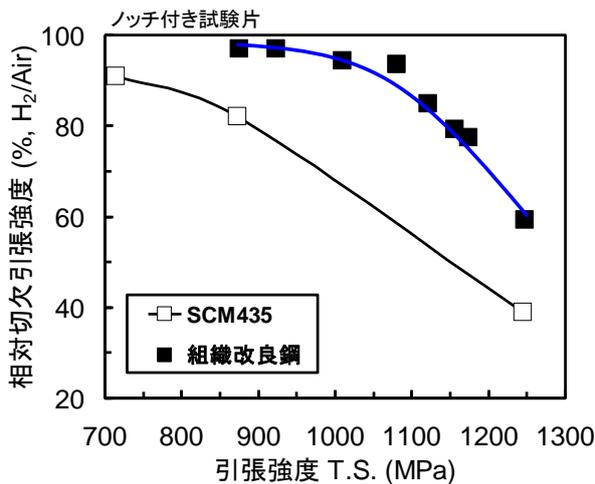


図9 水素中SSRT特性  
(45MPa H<sub>2</sub>, RT)

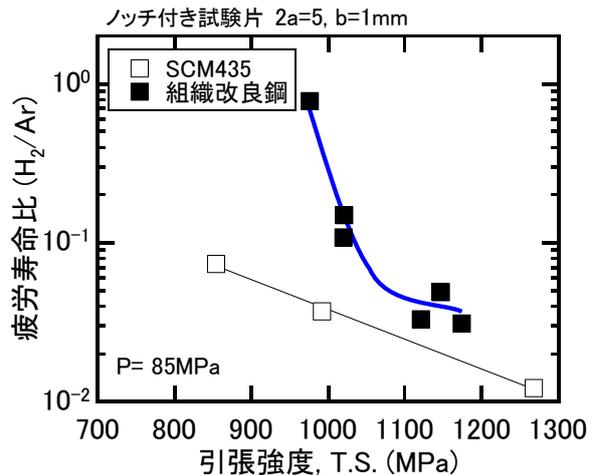


図10 水素中疲労特性  
(85MPa H<sub>2</sub>, RT)

図11に従来鋼と組織改良鋼の疲労試験後の破面および炭化物形態を比較した。従来鋼では旧オーステナイト結晶粒界に炭化物がフィルム状に選択析出し粒界割れを促進するのに対し、

組織改良鋼では高温焼戻しによる粒界炭化物球状化と微細 MC(M=V,Mo)炭化物への水素トラップ効果により SSRT・疲労特性が改善されたと考えられた。

鋼種	従来鋼 (SCM435) TS=1268MPa	組織改良鋼 TS=1121MPa
組織	焼戻しマルテンサイト	
破壊形態	<p>水素中破面観察</p> <p>粒界</p> <p>M<sub>3</sub>C 転位</p>	<p>水素中破面観察</p> <p>析出物制御</p> <p>M<sub>3</sub>C MC 転位</p>
劣化機構	粒界析出したM <sub>3</sub> Cに水素をトラップした転位が集積	粒内析出したMCに水素をトラップした転位が集積

図 11 組織改良鋼の特性改善機構

#### b. 高強度ステンレス鋼の開発

高強度ステンレス鋼として高窒素系の SA312 -TPXM19 鋼 (22Cr-12Ni-4.5Mn-2Mo-0.3N) に着目した。この鋼種をベースに窒素量の異なる鋼を溶製し、熱間鍛造、圧延、固溶化熱処理を行い評価に供した。

常温の 85MPa 水素中ならびに大気中で、丸棒平滑試験片を用いてひずみ速度  $3 \times 10^{-6} (s^{-1})$  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。また、図 9 の内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 で変動させ疲労試験を行った。

図 12 に SSRT の結果を示す。図中には比較鋼として既報の SUS316L、SUS16L の 30% 冷間加工材の結果も示した。縦軸は大気中と水素中の破断伸び(EI)、絞り(RA)の比(相対破断伸び、相対絞り)である。今回検討した鋼は窒素量の増加に伴い強度は上昇するが、相対破断伸び・相対絞りはほぼ 100%で、良好な耐水素環境脆化特性を有することが確認

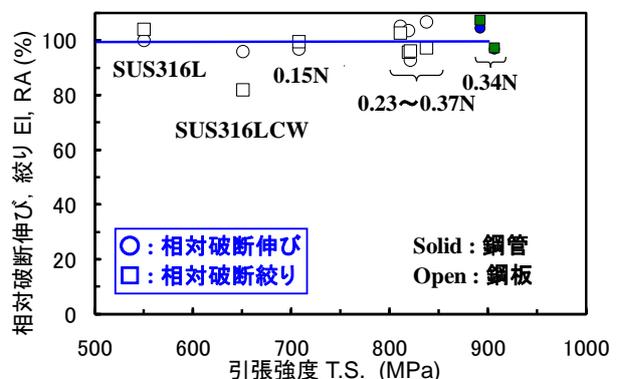


図 12 水素中 SSRT 特性  
(85MPa H<sub>2</sub>, RT)

された。

図 13 に外圧疲労試験結果を示す。XM19 鋼の水素中の疲労寿命はアルゴン中の疲労寿命に比べてやや低下するが、その度合いは SUS316L と同程度であった。A286(既報)は図中の材料のうち最も強度が高いことから大気中では最も疲労寿命が長いが、水素による寿命低下が顕著であった。図 14 に Ar 中と大気中の疲労寿命比を示す。今回の検討鋼は窒素量・強度に関わらず SUS316L と同程度の疲労寿命比を示した。以上の結果から、XM19 鋼は引張強さが 800MPa 超の高強度で、かつ水素中で使用実績のある SUS316L と同等以上の耐水素脆性を有していることが確認された。

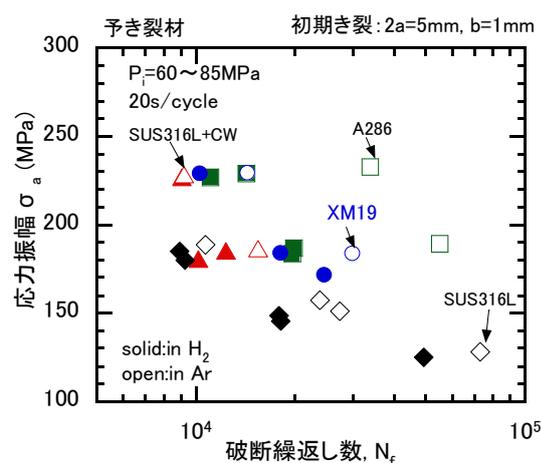


図 13 水素中疲労特性-1  
(85MPa H<sub>2</sub>, RT)

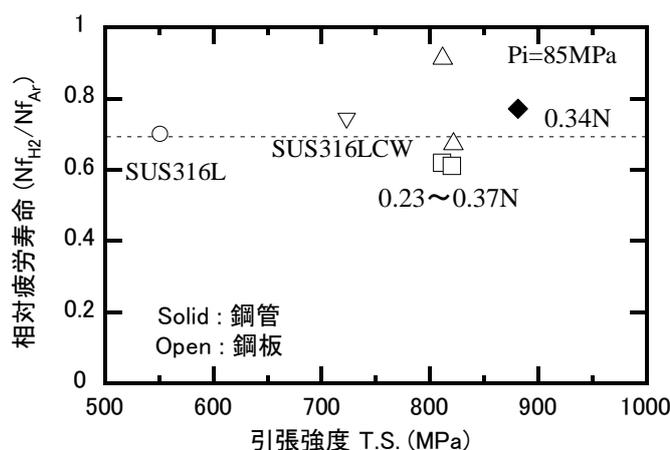


図 14 水素中疲労特性-2  
(85MPa H<sub>2</sub>, RT)

さらに、疲労特性の簡易評価装置として高圧水素中小型疲労試験装置を導入し、試験技術の確立を進めている。

また、長期使用水素関連機器の解体調査として、セントレア水素ステーションの解体調査を実施中である。

### 3-3 高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼に係る研究開発

#### a. 高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼の研究開発

SUS316L と比較して Mo の添加量を低減した数種類のオーステナイト系ステンレス鋼を VIM 溶解し、図 15 に示す工程にて固溶化熱処理後冷間引抜状態の供試材を作製した。表 1 に示すように、供試材の化学成分は比較鋼だけでなく開発鋼も何らかの JIS 規格鋼成分に該当するようにしている。これらの供試材において、高圧水素環境下における使用を念頭に特性評価を進めた。

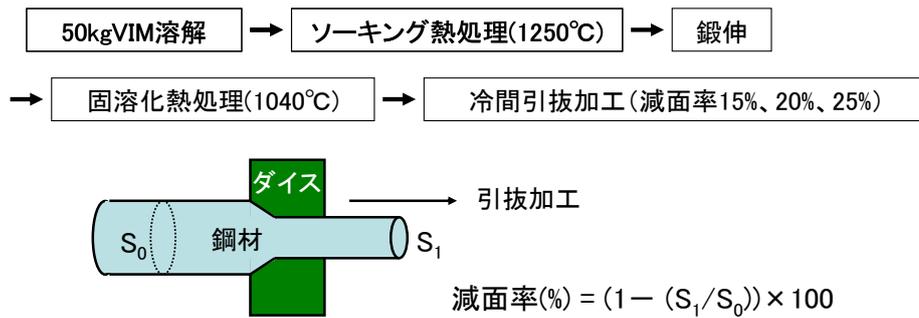


図 15 供試材の作製工程

表 1 化学成分(mass%)

	相当鋼種	C	Si	Mn	Cu	Ni	Cr	Mo
比較鋼	SUS316L	0.02	0.51	1.23	0.21	13.06	17.25	2.77
開発鋼	SUS316J1L	0.02	0.50	1.21	1.50	13.17	17.17	1.23
	SUS316J1	0.04	0.50	1.22	1.50	13.19	17.06	1.23
	SUS305J1	0.05	0.48	1.22	0.20	13.19	18.87	<0.01
	SUS309S	0.05	0.48	1.21	0.20	14.91	22.34	<0.01

鋼材に取り込まれた水素による延性への影響を確認するために、供試材から図 16 に示す引張試験片を機械加工により採取して、高圧水素チャージを実施し、室温大気中における低速引張試験を実施した。

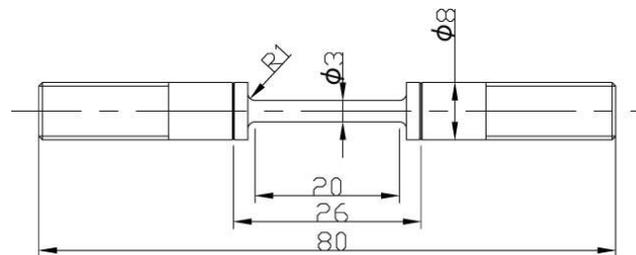


図 16 引張試験片の形状 (寸法単位: mm)

高圧水素チャージにおいては、試験片を 300°C 15.5MPa の水素ガス雰囲気中に 120 時間暴露することで、試験片に水素を吸収させた。尚、水素チャージを施した厚さ 3mm の水素分析用試験片に含まれるトータル水素量は 33~45ppm であり、冷間引抜加工の減面率に対するトータル水素量の変化は認められなかった。

図 17 に室温大気中における低速引張試験の結果を示す。水素チャージなし材と比較して水素チャージあり材の伸びは僅かに低下するものの、Mo の添加が無くとも良好な延性を示すことが確認された。

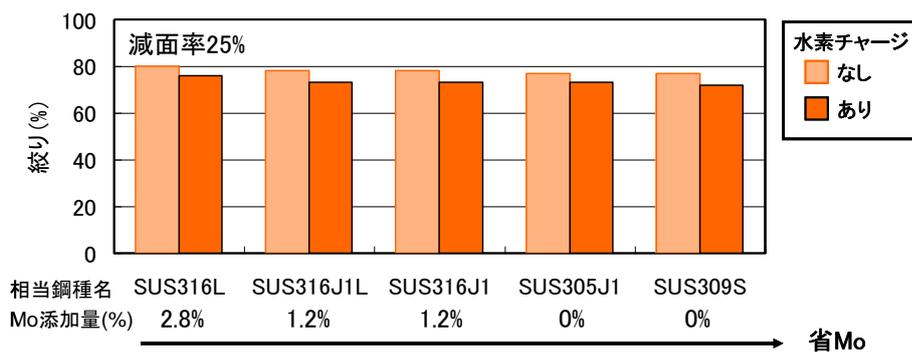


図 17 低速引張試験の結果 (減面率 25%)

低速引張試験の結果等を踏まえ、Mo を含有せず省資源性に優れ、高圧水素チャージ後の低速引張試験における絞りの低下も少ない SUS305J1 相当の開発鋼に重点を置き、さらなる開発鋼の特性評価に取り組んだ。

SUS305J1 相当の開発鋼の機械的性質を表 2 に示す。固溶化熱処理材と比較して冷間引抜材は著しい 0.2%耐力の増加と共に、引張強さも増加することが確認された。

表 2 機械的性質

供試材		0.2%耐力 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	絞り (%)
比較鋼 SUS316L相当	固溶化熱処理材	246	564	57	77
	冷間引抜材 減面率20%	673	739	31	73
	冷間引抜材 減面率25%	725	780	27	71
開発鋼 SUS305J1相当	固溶化熱処理材	239	565	56	78
	冷間引抜材 減面率15%	613	696	33	73
	冷間引抜材 減面率20%	674	746	29	71
	冷間引抜材 減面率25%	739	794	26	71

(試験方法：JISZ2241、試験片：JIS14A 号引張試験片平行部直径 φ 8mm)

SUS305J1 相当の開発鋼の SSRT 試験結果を表 3 に示す。良好な相対絞り（水素中／大気圧もしくは窒素中）が得られている。

これらの評価結果から、SUS305J1 相当の開発鋼冷間引抜材が、一般例である SUS316L 固溶化熱処理材と比較して高強度で省資源性に優れると共に、高圧水素中においても SUS316L と同等レベルの耐水素特性を有する可能性が期待できる。そのため、開発鋼に関する低温 SSRT 試験結果等を学会で報告すると共に、他の NEDO 事業等への開発鋼の紹介を実施した。

なお、冷間仕上オーステナイト系ステンレス鋼の評価試験技術として、高圧水素中小型疲労試験装置の導入を実施し、評価試験技術の確立に向けた取り組みを進めている。

表 3 SSRT 試験結果

供試材	減面率	試験環境	0.2%耐力 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	絞り (%)	相対絞り (水素中/大気中 もしくは窒素中)
比較鋼 SUS316L相当	25%	-40°C大気圧窒素中	810	934	32	73	0.96
		-40°C70MPa水素中	810	946	35	70	
		室温大気圧大気中	780	795	18	74	1.00
		室温85MPa水素中	780	799	18	74	
		90°C大気圧大気中	695	719	14	73	1.03
		90°C85MPa水素中	695	719	13	75	
開発鋼 SUS305J1相当	25%	-40°C大気圧窒素中	840	920	35	72	0.96
		-40°C70MPa水素中	840	924	36	69	
		室温大気圧大気中	780	802	21	74	0.97
		室温85MPa水素中	780	802	19	72	
		90°C大気圧大気中	715	730	12	73	1.01
		90°C85MPa水素中	715	720	12	74	
	20%	-40°C大気圧窒素中	760	908	37	72	1.00
		-40°C70MPa水素中	760	912	40	72	
		室温大気圧大気中	715	754	25	75	0.99
		室温85MPa水素中	715	756	27	74	
		90°C大気圧大気中	645	687	15	73	1.00
		90°C85MPa水素中	645	686	15	73	
	0% (固溶化 熱処理 まま)	-40°C大気圧窒素中	290	741	68	81	0.91
		-40°C70MPa水素中	290	741	58	74	
		室温大気圧大気中	245	568	60	80	1.01
		室温85MPa水素中	245	568	60	81	
		90°C大気圧大気中	200	548	46	81	0.99
		90°C85MPa水素中	200	548	42	80	

(試験片平行部直径：φ3mm(図 16)、歪速度：5×10<sup>-6</sup>s<sup>-1</sup>)

b. 高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼の長期使用に資する評価試験法の研究開発

図 16 に示す形状の引張試験を用いて、表 1 に示す化学成分の SUS316L 固溶化熱処理材に高圧水素チャージを実施し、水素チャージの有無が室温クリープ特性に及ぼす影響を調査した。

図 18 は、約 1000 時間のクリープ試験により得られた試験時間とクリープ伸びの関係を、対数クリープ (クリープ伸び (%) = α × log(h) + β) の関係に回帰計算し、係数 α および、係数 β を求め、初期応力に対して示したものである。室温クリープ特性に及ぼす水素チャージの影響は明瞭には認められないことが確認された。

尚、水素チャージを施した試験片は、室温クリープ試験後においても 33ppm 程度の水素を含有していることが確認されている。

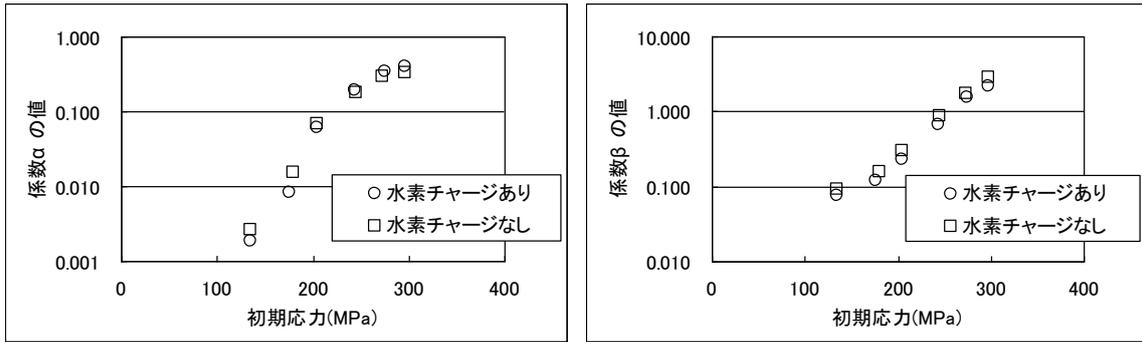


図 18 室温クリープ試験結果(SUS316L 固溶化熱処理材)

c. 長期使用水素関連機器の解体調査

有明、セントレア水素ステーションにおける自動弁、配管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、程度を調査した。

3-4 低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究

a. 低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究

(1) 試験法の概要と試験手順

本課題で用いている簡便な水素環境下材料試験法の模式図を図19に示す。この方法の特徴は、試験片を高圧水素環境に設定した容器内に入れて試験するのではなく、試験片内の微小空隙に環境設定することにより、試験片外部に環境設定した場合と同様の結果が得られることである。試験環境のための高圧容器が不要になるだけでなく、試験片の加熱・冷却も容易である。

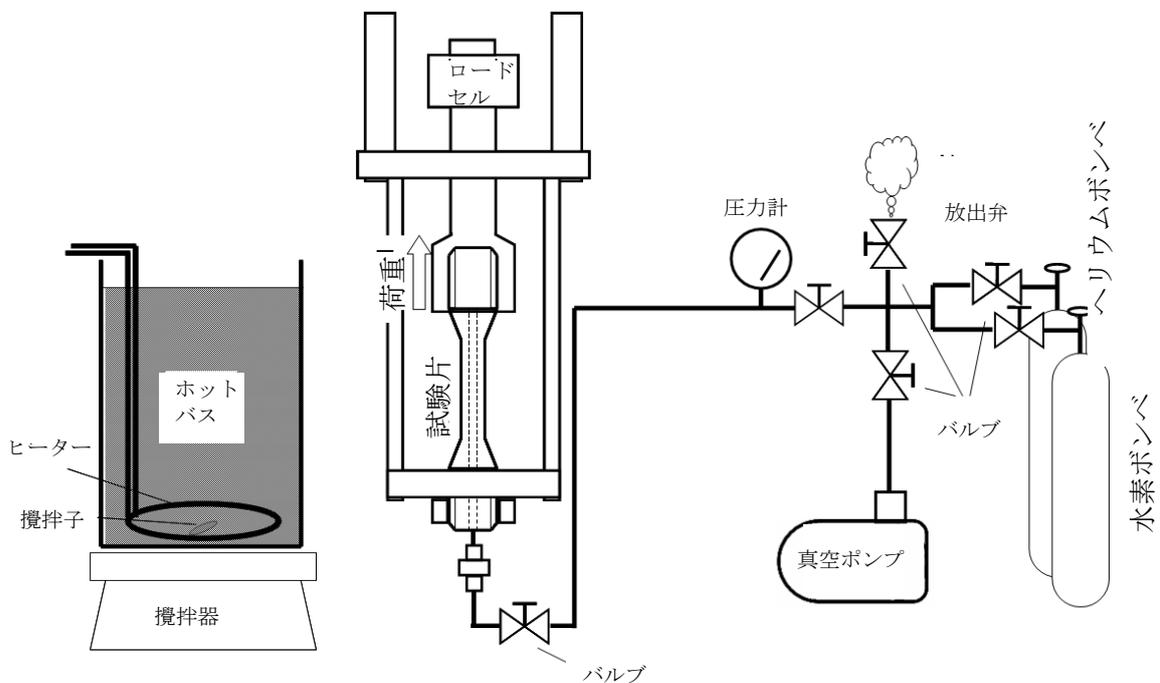


図19 簡便な高圧水素環境中材料試験法

図19に示すように治具を貫通させた試験片の端部からガスを封入する。試験片の平行部直径は6.25mmで、試験片端部より中心軸に1mm～2mmの穴をワイヤカットで加工する。本簡便法による120℃の試験は、図19に示すホットバスの中の、120℃に加熱し攪拌しているシリコンオイルの中に、治具部を挿入し試験片を加熱する。試験片温度は、試験片の平行部中央に取り付けた温度センサーでモニターし、設定温度到達後、試験片内圧力を調整する。

## (2)供試材と引張試験速度

供試材は、表4に示すようにSUS304Lと316Lおよび冷間加工をした316で、この316は米国で実際の配管部材に使われている材料として棒材(直径12.5mm)を購入したものである。316\_Rは冷間引き抜き材で、316\_Aはアニール材である。

試験片の平行部長さは33mmであり、引張試験速度は、弾性領域においては0.6mm/minであり、それ以降は0.06mm/minである。

表 4 供試材の化学成分 (wt%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Co	N
SUS304L	0.016	0.53	1.03	0.029	0.003	9.42	18.01			
SUS316L	0.007	0.47	1.54	0.026	0.027	12.09	17.31	2.26		
316_R	0.050	0.41	1.66	0.028	0.021	12.22	17.66	2.07	0.090	0.037
316_A	0.46	0.42	1.66	0.030	0.020	12.14	17.65	2.10	0.090	0.042

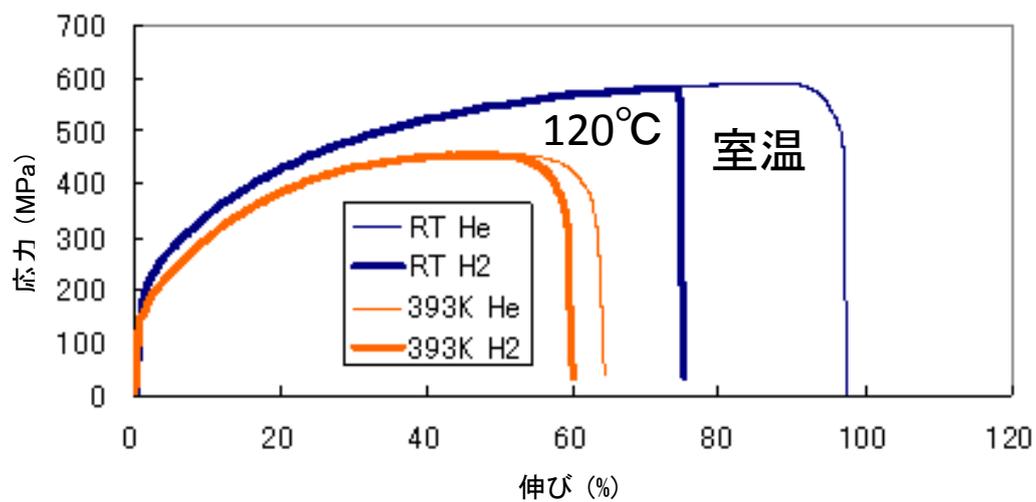


図20 SUS304Lの室温と120°Cでの水素中とヘリウム環境中の荷重-変位曲線

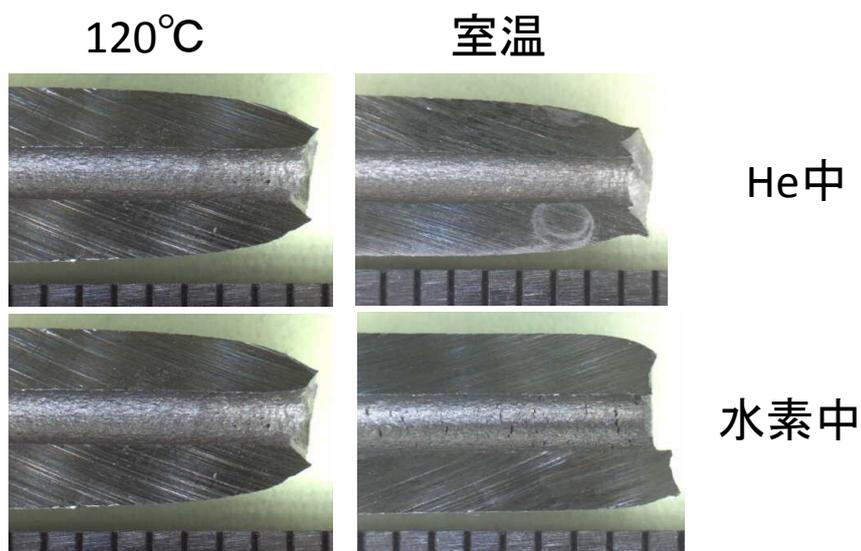


図21 SUS304Lの室温と120°Cでの水素中とヘリウム環境中試験後の破断部と穴の内面の様子

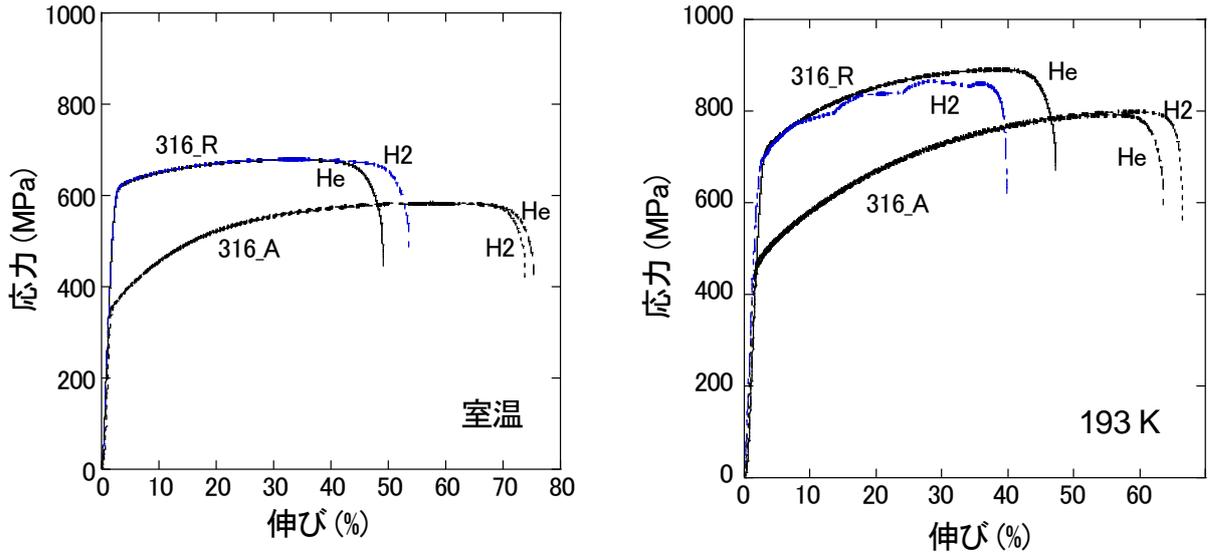


図22 冷間加工316材(316\_R)とアニール材(316\_A)の室温と193Kにおける引張曲線

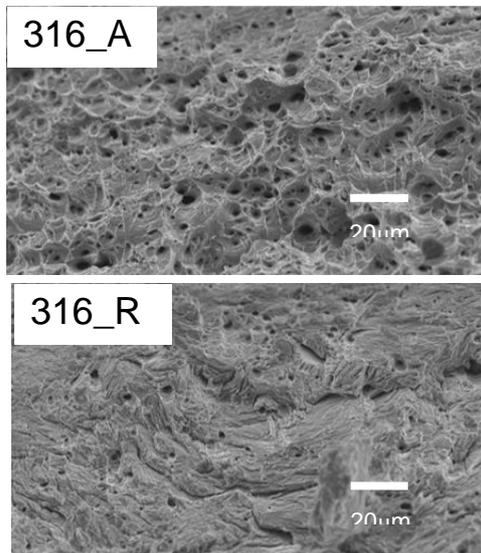


図23 冷間加工316材(316\_R)とアニール材(316\_A)の193Kにおける破面

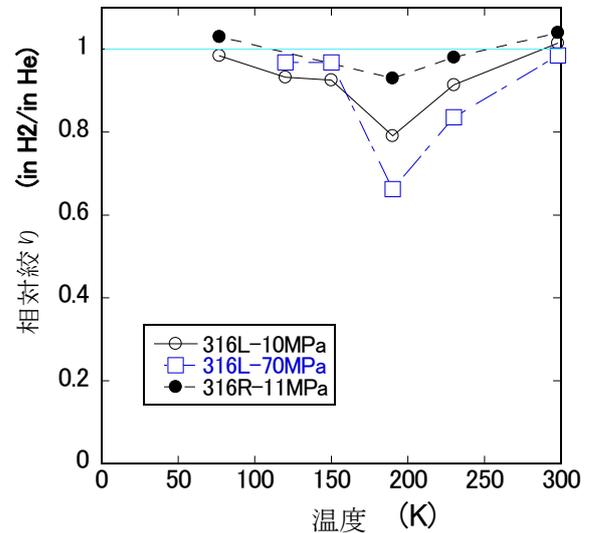


図24 冷間加工316材(316\_R)とSUS316Lの相対絞りの温度変化

### (3) 試験結果と考察

図20にSUS304Lの室温と120°Cでの約10MPa水素中とヘリウム環境中の荷重-変位曲線を示す。120°Cの方が室温よりも強度が低く伸びも短いですが、水素の影響は小さくなっている。室温よりも伸びが短いのは、ネッキングが早期に生じるためと推察する。316Lでは10MPa級ではあるが、室温でも高温側でも水素環境の影響は見られず、この結果では水素中の方が若干伸びが大きい。

図21にSUS304Lの室温と120°Cでの水素中とヘリウム環境中試験後の破断部と穴の内面の様子を示す。室温水素中だけ内部にクラックが観察され、他のものに比べ直線的に破断している。

図 22 に AISI316 の冷間引き抜き材(316\_R)とアニール材(316\_A)の室温と低温(193K)での 10MPa 級水素中とヘリウム環境中の荷重-変位曲線を示す。アニール材と冷間引き抜き材の荷重-変位曲線を比較すると、冷間引き抜き材は 40%程度の加工が加わっていると見られる。よって、冷間引き抜き材の破断伸びは約 50%で、アニール材より小さくなっている。水素圧は 10MPa 級ではあるが、室温と低温(193K)において冷間引き抜き材もアニール材も水素環境の明瞭な影響は見られなかった。

図 23 に、193K の低温における引張破断面を示す。アニール材は全面ディンプル破面であるが、冷間加工 316 材は加工の影響と考えられる組織の流れが見られる。

図 24 に、冷間加工 316 材と SUS316L の相対絞りの液体窒素温度 77K から室温 300K (RT) までの温度変化を示す。冷間加工材ではあるが、10MPa 水素環境中では低温での相対絞りの低下は顕著ではなく、70MPa のデータを追試する。

### 3-5. 特許、論文、講演、報道等の件数

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	海外	PCT 出願	査読付き	その他	
H22FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	2 件
H23FY	0 件	0 件	0 件	5 件	0 件	3 件
H24FY	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件	5 件

## 4. まとめと課題

まとめ：

### 4-1 高圧水素および液体水素関連機器に用いるステンレス鋼および関連評価試験法の開発

#### a. 高圧水素ガス用材料の研究開発

- ・低 Ni 省 Mo 水素用ステンレス鋼(STH2)の引張試験、疲労亀裂伝播試験等を高圧水素中で実施して顕著な脆化や劣化が無いことを確認した。

#### b. 液体水素用材料の研究開発

- ・液体水素中における STH2 溶接部の引張特性評価を開始した。

#### c. 長期使用水素関連機器の解体調査

- ・水素ステーションで使用した配管類の各種解体調査結果をまとめた。

#### d. 国際標準化、規制見直しに資する評価試験法の開発

- ・各種検討委員会で材料基準の策定を支援するための試験データを取得、提供した。

#### e. データベースへの蓄積、充実

- ・参画機関の関連技術データを中心に、過去の公開データ含めて調査・収集を図った。

#### 4-2 高圧水素配管・容器材料の研究開発

##### a. 高圧水素用高強度鋼の開発

- ・低合金鋼と高窒素系高強度ステンレス鋼を用いる高圧水素用高強度鋼を開発した。

##### b. 高圧水素ガス中の低ひずみ速度引張特性と脆化機構評価

- ・開発した低合金鋼と高窒素系高強度ステンレス鋼が低ひずみ速度引張特性試験と脆化機構評価を実施した。

##### c. 高圧水素ガス内外圧疲労特性評価

- ・開発した低合金鋼と高窒素系高強度ステンレス鋼が外圧疲労特性に優れることを確認した。

#### 4-3. 高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼に係る研究開発

##### a. 高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼の研究開発

- ・高圧水素環境下における使用条件で低 Mo オーステナイト系ステンレス鋼を評価した。

##### b. 高圧水素バルブ・継手用ステンレス鋼の長期使用に資する評価試験法の研究開発

- ・SUS316L 固溶化熱処理材を用いて、水素チャージの有無が室温クリープ特性に及ぼす影響を調査した。

##### c. 長期使用水素関連機器の解体調査

- ・水素ステーションの自動弁等の解体調査を実施して劣化の有無、程度を調査した。

#### 4-4. 低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究

##### a. 低温及び高温ガス環境下での材料特性に関する研究

- ・実配管材料を用いて低温及び高温水素環境下における材料特性を評価した。

#### 課題：

水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する新規な金属材料の開発を目的として、引き続き、新規材料の開発と評価を継続し、新規材料の提案を行うべく、材料特性データの取得と検討を行う。

新規な金属材料の実用化には、国際標準化や規制の見直しが重要であることから、継続して、国際標準化・規制見直しに資する評価試験法を開発すると共に、開発した評価試験方法を用いて、材料データの取得とデータベースの構築を行う。

### 5. 実用化・事業化見通し

高圧水素および液体水素関連機器に用いるステンレス鋼を始めとする金属材料、および関連評価試験法、並びに材料特性に関する研究を実施して目的の成果を上げており、2015年度の商用化初期段階以降の採用に向け、より安価で高強度、かつ信頼性の高い金属材料の開発を継続すると共に、それらの材料特性の継続的な検討と基準化・標準化に資するデータをも取得することにより実用化を図る。

以上

●進捗成果サマリ(平成22年度～平成24年度9月末)

- ① アルミニウム合金の水素脆化感受性に及ぼす添加元素の影響を明らかに、水素脆化を示さず0.2%耐力が400MPa以上の合金系を見出すという開発目標を達成した。
- ② 0.2%耐力、切削性において6061合金を上回るバルブハウジング用合金を開発し、目標を達成した。
- ③ 0.2%耐力において6061合金を上回る口金等容器関連部材用の素材を開発し、目標を達成した。
- ④ トリチウムオートラジオグラフィなどの可視化法により、外部環境が水蒸気の場合と水素の場合の侵入サイトが同じであることを明らかにした。
- ⑤ 開発材の耐水素脆性評価を行い、問題のないことを確認しつつある。

●背景/研究内容・目的

車載用水素関係の金属材料には、耐水素脆性を示さずに高強度であることが求められる。本事業では、①アルミニウムの水素脆化性に及ぼす添加元素の影響を明らかにし、高強度で耐水素脆性を示さない合金系を見出す、②現行のSUS316Lを代替できる程度に高強度で切削性に優れたバルブハウジング用アルミニウム合金を開発する、③VH4容器の口金等車載関係部材用のアルミニウム鍛造合金を開発する、④水素の侵入サイトを明らかにする、⑤開発材の耐水素脆性を評価する、ことを目的とした。

●研究目標

実施項目	最終目標
①-1. Al-Mg系合金の耐水素脆性評価	Al-Mg-(Cu)合金の水素脆化感受性に及ぼすMg量、熱処理の影響を明らかにする。
①-2. 水素脆性に対する抑制元素および有害元素の特定	添加元素の影響を把握し、脆化感受性指数<0.2、耐力≥400MPaの合金系を見出す。
②高強度で切削性に優れたバルブハウジング用合金を開発する	耐力≥380MPaで、切削性が6061合金よりも優れ、水素用として使用可能な6000系合金を開発する。
③VH4容器の口金等の部材用の鍛造合金を開発する	耐力≥360MPaで、鍛造可能で、水素用として使用可能な6000系合金を開発する。
④水素の侵入サイトを可視化法により明らかにする	外部環境が、水蒸気の場合と水素の場合の侵入サイトの異同を明らかにする
⑤開発材の耐水素脆性を評価する	開発材の耐水素脆性を、湿潤大気中でのSSRT引張・疲労試験などにより評価する。

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

- ① Mg量5%で鋭敏化処理を行わない限りAl-Mg系合金は水素脆化を示さないことを確認した。添加元素の影響は、組合せや熱処理条件によっても変化することを見出した。開発目標(水素脆化感受性指数:0.2未満、耐力値:400MPa)を満たす合金系としてAl-Cu-Mg系合金を見出した。(図1)
- ② 試作合金の耐力は、380MPa以上で、切削性は標準の6061押出棒より優れていること、耐水素脆性、その他水素用材料として満たすべき基準を満たしていることを確認した。
- ③ 6069規格組成内の中で、Cu下限・Si過剰組成とした試作材で開発目標を達成した。6066規格組成の中で、主要組成Mg、Si、Cu、Mnの添加量を規格下限域とした試作材で目標達成の可能性が高いことを示した。
- ④ 6061、7075合金において、外部環境が水蒸気の場合と水素の場合の侵入サイトが同じ(第二相粒子)であることを明らかにした。
- ⑤ 開発材の耐水素脆性評価を行い、問題のないことを確認しつつある。

●今後の課題／スケジュール(H24年度末まで)

- ① Al-Cu-Mg系合金(必要に応じて耐食クラッド実施)の強度・耐水素脆化性以外の特性評価。
- ② 特性の裏付け解析。
- ③ 6066系開発材の熱処理条件の最適化。
- ④ 第二相粒子の侵入サイト効果の程度の解析。
- ⑤ 引張・疲労試験データの追加・蓄積

●実用化・事業化の見通し

使用実績を積みめば6000系開発合金の2015年市場投入は可能。Al-Cu-Mg系合金も耐食性改善の見通しがつけば、実用化の見込み大。

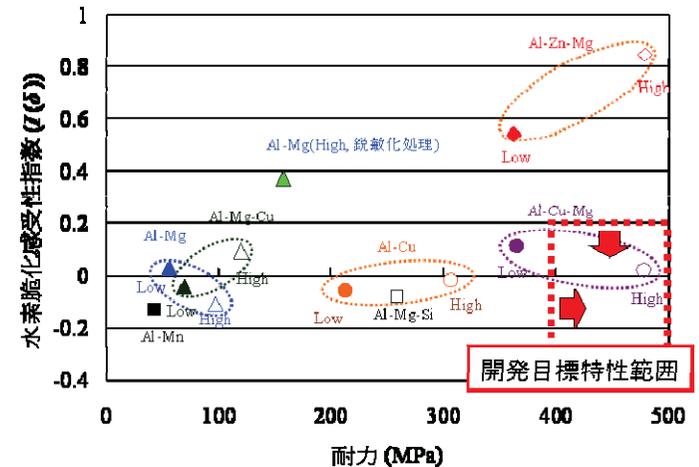


図1 各合金の水素脆化感受性と耐力の関係

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
①	添加元素の影響を明らかにし、耐水素脆性に優れかつ高強度の合金系を見出した。	○
②	高強度で切削性に優れたバルブハウジング用合金を開発した。	○
③	高強度の口金等容器関連部材用の素材を開発した。	○
④	水素侵入サイトを明らかにした。	○
⑤	開発材の耐水素脆性を評価し、問題のないことを確認しつつある。	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
3	25	2	0

## 水素用アルミニウム材料の評価・開発

実施者：古河スカイ株式会社  
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

### 1. 事業概要

本事業は、水素製造・輸送・貯蔵充填機器及びシステムに関する高性能化、軽量化、低コスト化及び長寿命化のための要素技術を開発し、検証した。すなわち、水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用するアルミニウム材料開発および国際標準化、規制見直しに資する材料データの取得、評価試験法の開発を行った。

平成 21 年度までの事業(以下、前事業と略記する)において、燃料電池自動車 (FCV) 搭載高圧水素容器用アルミニウム合金として 6061 合金を評価し、6061 合金の範囲内で上限まで Si 量を増量し高強度化した合金 (6061HS) を含めて安全性を確認した。70MPa 対応の例示基準策定に大きく貢献した。さらに高強度の 6000 系合金として 6066 および 6069 合金、また 7000 系合金として 7N01、7003 合金等について、水蒸気分圧制御環境下 SSRT 試験および疲労試験によって、その水素脆化感受性の評価を行い、これらの合金についても、高圧水素ガス中で使用する上での一定の指針を示した。

本事業では、これまで実施してきた自動車用高圧水素タンク等に加え、水素製造・輸送・貯蔵充填のための水素関連機器及びシステムの高性能化、軽量化、低コスト化及び長寿命化のための開発をさらに加速するために、この種の機器・部材に要求されるアルミニウム材料の開発を目指した。また、FCV や水素インフラ (HIS) 等の普及促進のために、高圧水素環境下で使用するアルミニウム材料の安全性・信頼性等に係る材料評価試験法開発および材料データ取得を行った。本コンソーシアムでは、高圧水素環境下での材料試験装置を保有していないこと、及び当然ながら FCV 側・HIS 側のニーズ、規制当局側の見解などを総合的に踏まえて事業を進める必要があることから、関連 NEDO 事業の他コンソーシアムとの連携を密接に行った。

具体的な研究開発項目を表 1 に示すとともに、それぞれの事業概要を以下に記した。

表 1 研究開発項目

研究開発項目	担当 (再委託)
①耐水素脆化性に及ぼす合金元素の役割の解明および高強度アルミニウム合金材の開発	古河スカイ株式会社
②バルブハウジング用アルミニウム素材の開発	日本軽金属株式会社
③口金等容器関連アルミニウム部材の研究開発	株式会社神戸製鋼所
④アルミニウム合金材料評価法の確立および水素挙動解析	国立大学法人茨城大学
⑤開発材の耐水素脆化性評価	古河スカイ株式会社 国立大学法人茨城大学
⑥関連 NEDO 事業との連携調整	国立大学法人茨城大学

### ①耐水素脆化性に及ぼす合金元素の役割の解明および高強度アルミニウム合金材の開発

車載用高圧水素ガスタンクでは、ライナー素材に高強度かつ耐水素脆化性に優れた素材を用い、廉価な CFRP 適用によるタンクのコスト低減が求められている。一方、インフラ用水素タンクは、車載用タンクと比較して大容量が求められることから、大型構造物を構成するための優れた加工性も重要となる。大型一体成形を可能とする成形性、あるいは圧力容器としての高い信頼性が確保できる接合性が求められることになる。これらのことから、本事業では、最適なアルミニウム合金材料の選定を可能とするため、アルミニウムの水素脆化性に及ぼす添加元素の影響を明らかにすることを目的とした。

### ②バルブハウジング用アルミニウム素材の開発

車載用高圧水素容器以外の水素用部品としてバルブハウジング（図 1）があり、こちらも軽量化・低コスト化のニーズが大きい。燃料電池自動車用水素容器のバルブハウジングは、現状ステンレスを切削加工することで作られている。しかし、ステンレスは素材比重が大きいことから部品が重くなること、難切削材料であるため加工時間が長く生産コストが高くなるなどの課題を有しており、軽合金で、かつ切削加工しやすい材料への期待が大きい。アルミニウム系材料はこれら課題を解決できる可能性を有しており、現行ボンベ材で使用される 6061 合金以上の強度を有し、かつ切削性、耐水素脆化性に優れた素材を開発できれば、軽量かつ切削性に優れた燃料電池自動車用水素容器のバルブハウジング素材を提供できる。そこで、部品形状に近い形の製造が可能な押出工法でバルブハウジング用アルミニウム合金素材を開発した。



図 1 高圧水素タンクとバルブハウジング（トヨタ VH4 水素タンク；2011 東京モーターショー）

### ③口金等容器関連アルミニウム部材の研究開発

高圧水素ガス容器等への使用を、JARI-S001 が認めているアルミニウム合金は、中強度合金の 6061-T6 のみである。バルブハウジングや VH4 複合容器の口金においては、自緊処理が施されないため、高強度材適用による軽量化の効果は大きいと考える。茨城大学、古河スカイ株式会社、日本軽金属株式会社ならびに弊社(株)神戸製鋼所からなる共同事業体の中で、弊社は特に「口金等容器関連アルミニウム部材の研究開発（口金部材）」に注力し、高強度 6000 系合金材適用による軽量化、さらには低コスト化の可能性を整理する。

### ④アルミニウム合金材料評価法の確立および水素挙動解析

水蒸気雰囲気中での試験と高圧試験との関係づけを行った。市販のアルミニウム材は高圧水素中で水素脆化を示さないため、相関を取ることができない。そこでコンソーシアム内で特別に調製された試験材について、水蒸気雰囲気中および高圧水素ガス中での引張・疲労試験を行った。高圧試験は、(独)物質材料研究機構で開発された内圧型の手法を用いる。他方、理論的には両試験法での違いは、水素の侵入サイトおよび侵入量であり、これらについて両試験法で途中まで引張変形を与えた試験材について、各種手法により、水素侵入サイトが試験法によらないことを明らかにしようとした。

#### ⑤開発材の耐水素脆化性評価

コンソーシアム内で調製された試験材について、水蒸気分圧制御大気環境下および内圧式の高圧水素ガス中での SSRT 引張、および疲労試験を行った。特定用途に限定した材料選定に当たる他の 2 企業の評価材とともに、大型水素用タンクに求められる成形性や接合性の観点から非熱処理系アルミニウム合金材料の水蒸気雰囲気試験による水素脆化性の評価を行った。

#### ⑥関連 NEDO 事業との連携調整

FCV 側・HIS 側のニーズ、規制当局側の見解などを把握するために、NEDO 事業の他コンソーシアムとの連携を密接に行った。

## 2. 事業目標

### 2-1 コンソーシアム全体での目標

本事業では、これまでの水素社会構築のための燃料電池／水素エネルギー利用分野における技術開発成果や近年の社会動向を踏まえ、燃料電池自動車等の普及のための水素供給インフラ市場立上げ（平成 27 年（2015 年）頃を想定）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構築に用いるアルミニウム素材の開発およびその評価技術の確立を目的とした。

### 2-2 開発項目の目標

各研究開発項目の目標は以下の通りである。

#### ①耐水素脆化性に及ぼす合金元素の役割の解明および高強度アルミニウム合金材の開発 高強度アルミニウム合金材の開発目標

- (1)耐水素脆性：水素脆化感受性指数（ $I(\delta)$ 、乾燥窒素ガス環境を基準環境、RH90%環境を苛酷環境として SSRT 試験を行った際の伸びの低下割合）が 0.2 未満であること
- (2)材料強度：耐力値 400MPa 以上

#### ②バルブハウジング用アルミニウム素材の開発

現行の 6061 合金中の高強度材と同程度の押出性を有し、強度（0.2%耐力）が 15%高く（約 380MPa）かつ切削性、耐水素脆化性に優れるバルブハウジング用アルミニウム材料を開発することを目標とした。

#### ③口金等容器関連アルミニウム部材の研究開発

口金等容器関連アルミニウム部材（口金部材）の想定目標仕様を表 2 の通り設定した。

なお、各数値は、要求仕様の調査、今後の試験ならびに調査結果を反映させ、適宜見直しを図る。引張特性のうち耐力は、高強度 6000 系合金口金部材と同工程（表 3、図 2）で作製した 6061-T6 材の耐力 (314MPa) に対して、+約 15% の 360MPa を当面の目標仕様値とした。

なお、高圧水素ガス容器ならびに周辺部材においても、耐水素脆化性の他に、「圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準（別添 9）」による一般耐食性も必要となることが示唆されたため、想定仕様には、同技術基準による一般耐食性も盛り込んだ。

表 2 口金等容器関連アルミニウム部材の想定仕様

		想定仕様1)	JIS H4140 (型打鍛造品) 2)
引張特性	引張強さ, MPa	—	265MPa最小値)
	耐力, MPa	360MPa以上 (実体)	245MPa (最小値)
	伸び, %	—	5% (最小値)
水素脆化感受性3)		6061-T6と同程度	—
一般耐食性3)	粒界腐食深さ	200 $\mu$ m以下 (ST方向)	—
	耐SCC寿命	30日間以上 (ST方向)	—

1)引張方向:LT。

2)引張方向:鍛造フローと平行とは異なる方向。

3)SSRTによる特性評価、引張方向:LT。

4)圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準(別添9)を鍛造部材に適用。

表 3 口金模擬鍛造品の製造工程 (鋳塊から最終調質まで)

鋳塊	均質化熱処理	面削	熱間鍛造	溶体化処理と焼入	高温時効
ブックモールド材 底部: $\Phi$ 65mm 上部: $\Phi$ 100mm 高さ: h200mm	550°C × 4hr	$\Phi$ 65 × h100mm	500°C 60mm/分 h100→h20mm	555 × 3hr →40°C焼入	180°C × 9hr(T6) 190°C過時効工程も実施

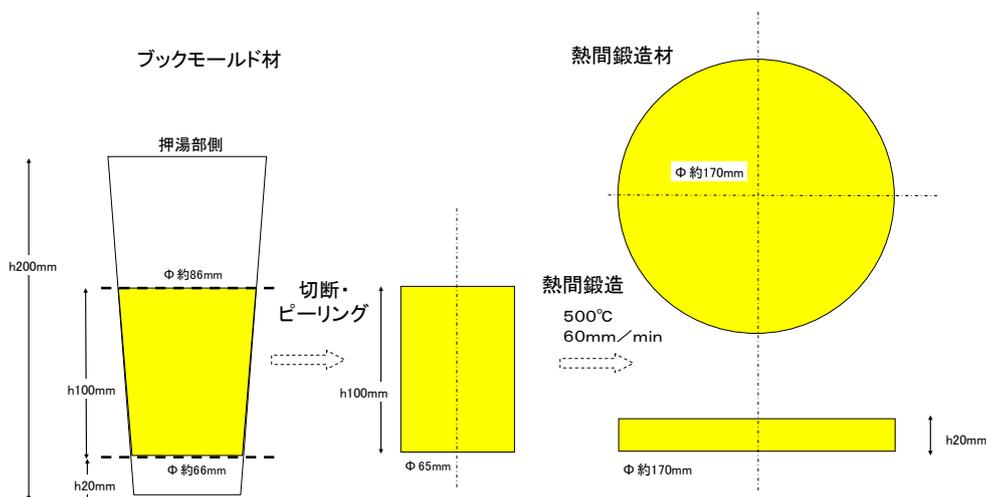


図2 口金部模擬鍛造品の製造工程 (鋳塊から鍛造まで)

#### ④アルミニウム合金材料評価法の確立および水素挙動解析

水素侵入サイトが環境によらないこと、水蒸気分圧を制御することにより水素侵入量も同等にできることを明らかにすることを目標とした。

### ⑤開発材の耐水素脆化性評価

コンソーシアム内で特別に調製された試験材について、水蒸気雰囲気中および高圧水素ガス中での引張・疲労試験を行い、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構築に用いるアルミニウム素材のデータを提供することを目標とした。

### ⑥関連 NEDO 事業との連携調整

FCV 側・HIS 側のニーズ、規制当局側の見解などを把握するために、NEDO 事業の他コンソーシアムとの連携を密接に行い、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構築に貢献することを目標とした。

## 3. 事業成果

### 3-1 耐水素脆化性に及ぼす合金元素の役割の解明および高強度アルミニウム合金材の開発

#### (1) Al-Mg 系合金の耐水素脆性評価

インフラ用大型構造物を構成するために優れた強度とともに、特に良好な加工性が強く求められることから、これまでは重点を置いていなかった非熱処理型のアルミニウム合金について検討した。具体的には、非熱処理型のアルミニウム合金系の中で、比較的強度調整が可能で、成形性や接合性に富んだ 5000 系アルミニウム合金についての評価を行った。供試材として作製した Al-Mg 系合金の組成を表 4 に示す。Mg 量は低添加である 2.5mass% と高添加である 5.0mass% の 2 水準、Cu 量は無添加、および 0.4mass% 添加した 2 水準の計 4 材料を用いた。本供試材の製造方法は、DC 鑄造により作製した鑄塊を面削後に、450°C で加熱して 2~3 時間保持後に、熱間圧延（板厚 4mm まで）、冷間圧延（板厚 1mm まで）を行い、得られた冷間圧延板について、再結晶処理（500°C×1min）を行った。本合金板より JIS5 号試験片を圧延方向と直角方向に採取して、引張試験を行って調べた機械的特性を表 5 にまとめた。

表 4 供試材として作製した Al-Mg 系合金の成分（mass %）

合金系	合金名	Mg	Cu	Mn	Cr	Fe	Si	Ti
Al-Mg	Al-2.5Mg(Low-Mg)	2.41	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	0.01
	Al-5.0Mg (High-Mg)	4.94	0.00	0.00	0.00	0.06	0.02	0.01
Al-Mg-Cu	Al-2.5Mg-Cu (Low-Mg-Cu)	2.51	0.41	0.00	0.00	0.03	0.02	0.01
	Al-5.0Mg-Cu (High-Mg-Cu)	4.98	0.40	0.00	0.00	0.03	0.02	0.01

表 5 供試材の機械的特性（N = 3 平均値）

合金名	TS, MPa	YS, MPa	EL, %
Al-2.5Mg	168	56	30.0
Al-5.0Mg	247	97	32.8
Al-2.5Mg-Cu	199	70	33.3
Al-5.0Mg-Cu	282	120	31.8

供試材の引張変形時の水素脆化感受性を調べるために、水蒸気分圧制御環境下での低ひ

ずみ速度引張試験（Slow strain rate tensile test: SSRT test）を実施した。試験片は供試圧延板から、引張方向が圧延方向に対して直角となるように採取し、SSRT 試験の雰囲気は、乾燥窒素ガス（Dry nitrogen gas、以下 DNG と略記）と、相対湿度 90%（以下 RH90% と略記）の 2 条件とした。DNG 環境の試験温度は、25～30℃の室温であり、RH90%環境の試験温度は、25℃とした。また、SSRT 試験のクロスヘッド速度は 0.0005mm/min（初期ひずみ速度  $6.94 \times 10^{-7} \text{s}^{-1}$ ）とした。図 3 に、DNG、RH90%の各環境下試験により得られた破断伸びにより、以下の式（1）を用いて算出した水素脆化感受性指数を示す。再結晶処理を行った供試材では、いずれの場合も水素脆化感受性指数は 0.2 未満と低く、また観察結果は省略するが、いずれの場合も破断面は全面的に延性的なディンプル破面を呈しており、水素脆化が生じていないことが確認された。

$$\text{水素脆化感受性指数} = (\text{DNG 中伸び} - \text{RH90\% 中伸び}) / \text{DNG 中伸び} \quad \text{----式 (1)}$$

一方で、特に Mg 濃度が比較の高い Al-Mg 系合金では、Mg の粒界析出に伴う耐 SCC 性の経時劣化が知られていることから、促進試験として加工歪導入後に 150℃程度の高温で数時間の熱処理を施す鋭敏化処理を用いた評価が行われている。Al-Mg 系合金を水素用材料として適用するためには、耐水素脆性の経時劣化の有無についても確認する必要がある。そこで、鋭敏化処理を施した Al-5.0Mg 材について、水素脆化感受性評価を行った。

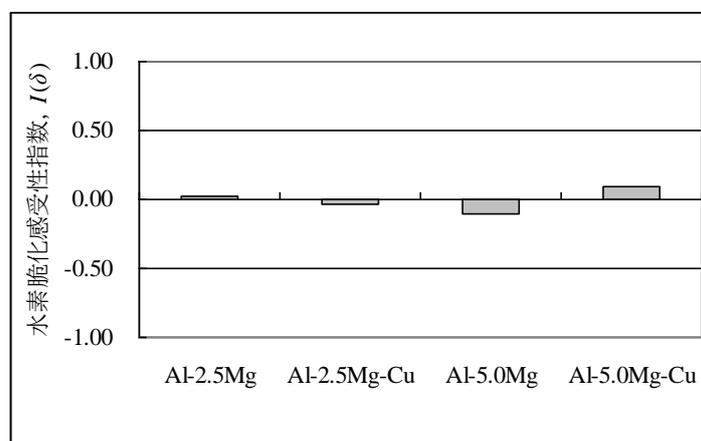


図 3 Al-Mg 系合金の水素脆化感受性指数

図 4 に、20%冷延後、150℃で 64h の鋭敏化処理を行った試料の水素脆化感受性指数を示す。この結果より、鋭敏化処理によって水素脆化感受性指数が若干増大することが確認された。図 5 に SSRT 試験後の破面を SEM にて観察した結果を示す。RH90%環境下における破面端部の一部では図 3 (c)に示すような粒界割れが確認され、RH90%環境下では脆性的な破面形態に変化した。これより、鋭敏化処理材では水素脆化によって粒界割れが生じ、延性が低下したものと考えられる。観察結果は省略するが、鋭敏化処理材では β 相が粒界に

析出していることが組織観察により確認しており、水素脆化感受性の増加は  $\beta$  相の粒界析出に起因するものと考えられる。

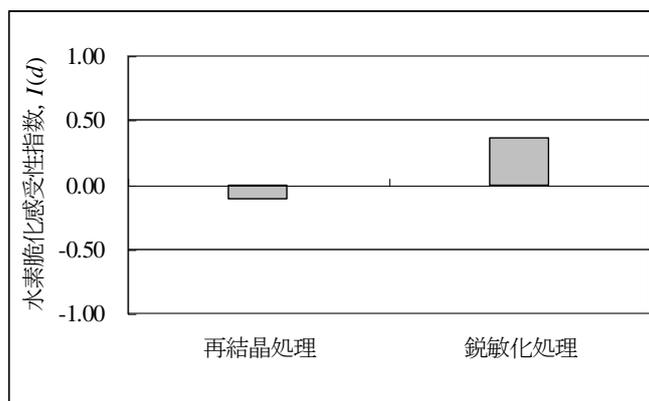


図4 鋭敏化処理を施した Al-5.0Mg 合金の水素脆化感受性指数

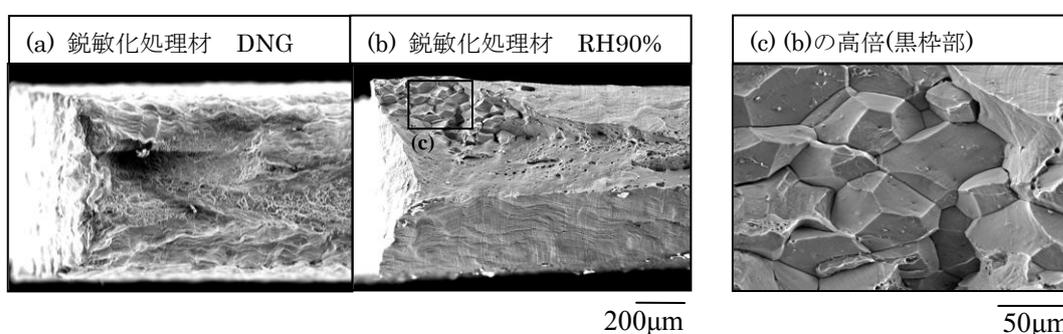


図5 鋭敏化処理を施した Al-5.0Mg 合金の SSRT 試験後の破面観察結果

## (2) アルミニウム合金の水素脆性に対する抑制元素および有害元素の特定

平成 22～23 年度およびそれ以前のプロジェクトで評価を行った各種 2 元および 3 元合金の合金成分を表 6 に示した。また、上記 (1) にて Al-Mg 系合金について SSRT 試験により水素脆化感受性を評価した方法と同じ方法によって、これらの合金の水素脆化感受性指数を評価した結果を、各合金の耐力値とともに図 6 に示した。これらの合金の熱処理型の Al-Mg-Si 系、Al-Cu 系、Al-Cu-Mg 系、Al-Zn-Mg 系合金はいずれも最高強度が得られる T 6 処理材について評価を行い、他の Al-Mn 系および Al-Mg 系合金では、再結晶処理ままの状態の評価を行い、一部の Al-Mg 合金に関してはさらに鋭敏化処理を行った状態でも評価した。これらの処理を行った各合金の機械的特性（圧延直角方向に JIS5 号試験片を採取して引張試験により評価）を表 7 に示した。7000 系合金に相当する Al-Zn-Mg 合金においては低・高組成ともに高い水素脆化感受性を示した。一方これと同程度の高強度を有する 2000 系合金に相当する Al-Cu-Mg 系合金の水素脆化感受性は小さかった。また Al-Mn 合金および Al-Cu 系合金の水素脆化感受性も同様に小さかった。一方で、上記 (1) で述べたように Al-Mg 合金のうち Al-5.0%Mg 合金では、再結晶処理ままの状態では水素脆化感受性が小さかったものの、鋭敏化処理を行うと水素脆化感受性が増加することが確認された。以上の結果より、各種の添加元素は、水素脆性に対して、必ずしも単純に抑制元素・有害元素に分類されず、添加元素の組合せおよび熱処理条件等によっても変化することが示された。

また、以上の結果より、高強度かつ耐水素脆性に優れる（水素脆化感受性指数が小さい）合金としては、Al-Cu-Mg合金が最適であると判断された。

表6 各種2元および3元アルミニウム合金の成分(mass%)および機械的特性

合金系	表記	Mn	Cu	Zn	Mg	Fe	Si	Ti	Al	TS(MPa)	YS(MPa)	EL(%)
Al-Mn	Al-Mn	1.20	0.00	0.00	0.00	0.06	0.03	0.01	Bal.	105	43	42
Al-Mg-Si	Al-Mg-Si	0.00	0.00	0.00	0.82	0.06	0.82	0.02	Bal.	287	244	13
Al-Cu	Low-Cu	0.00	2.46	0.00	0.00	0.06	0.03	0.01	Bal.	213	118	14
	High-Cu	0.00	4.53	0.00	0.00	0.07	0.03	0.01	Bal.	307	203	13
Al-Cu-Mg	Low-Cu-Mg	0.00	4.52	0.00	0.48	0.07	0.03	0.01	Bal.	366	306	10
	High-Cu-Mg	0.00	4.50	0.00	1.48	0.06	0.03	0.01	Bal.	479	424	7
Al-Zn-Mg	Low-Zn-Mg	0.00	0.00	4.19	1.46	0.06	0.02	0.01	Bal.	362	312	15
	High-Zn-Mg	0.00	0.00	5.57	2.48	0.06	0.02	0.01	Bal.	479	444	11
Al-Mg	Low-Mg	0.00	0.00	0.00	2.41	0.04	0.02	0.01	Bal.	168	56	30
	High-Mg	0.00	0.00	0.00	4.94	0.06	0.02	0.01	Bal.	244	97	33
Al-Mg-Cu	Low-Mg-Cu	0.00	0.41	0.00	2.51	0.03	0.02	0.01	Bal.	199	70	33
	High-Mg-Cu	0.00	0.40	0.00	4.98	0.03	0.02	0.01	Bal.	279	120	32

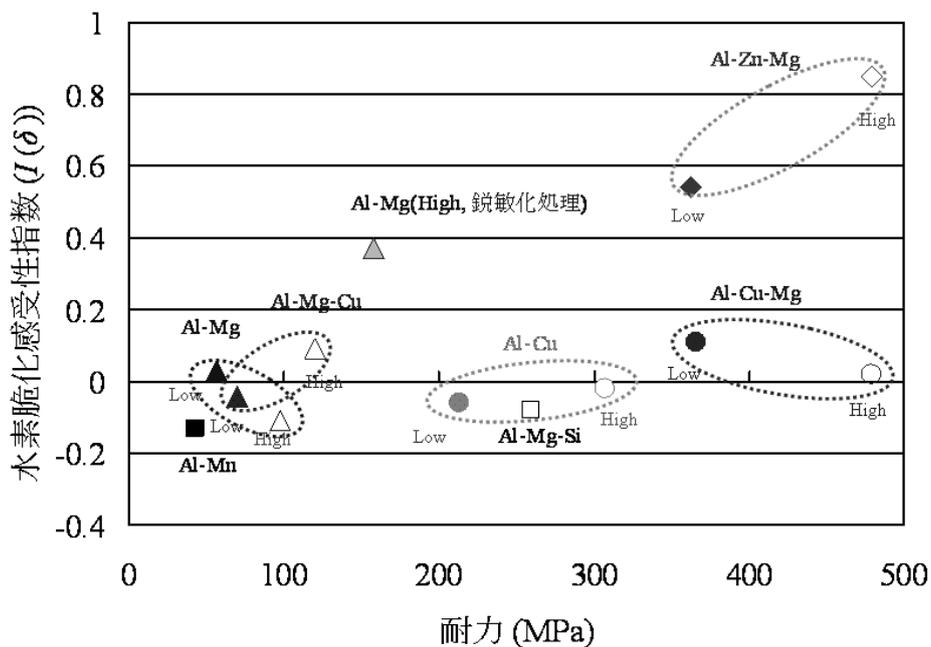


図6 各種2元および3元合金の水素脆化感受性指数と耐力値の関係

### 3-2 バルブハウジング用アルミニウム素材の開発

#### (1) 設計した合金の組成

表7 合金組成

合金	組成(mass%)							備考
	Mg	Si	Cu	Fe	Mn	Cr	Ti	
1	1.00	0.78	0.35	0.16	-	0.24	0.02	6061HS BASE
2	0.80	0.78	0.80	0.16	-	0.24	0.02	Cu増による強度アップ
3	0.80	1.50	0.80	0.16	-	0.24	0.02	Si増による強度、切削性アップ
4	0.80	3.00	0.80	0.16	-	0.24	0.02	
5	0.80	3.00	0.50	0.16	-	0.24	0.02	No.4よりCu減で耐食性アップ
6	0.80	3.00	0.50	0.16	0.37	0.27	0.02	遷移元素増によるファイバー組織、強度アップ

表7に示す6種類の材料を選定し押出工法を用いてφ35mm（合金No.6のみはφ33mm）の丸棒をラボ試作（調質T6511）した。得られた材料の結晶粒組織および基本特性（引張特性、切削性、耐食性）を評価した。

#### (2) 材料のマクロ組織観察及び引張特性

マクロ観察により結晶粒組織を評価した結果を図7に示す。合金No.1~No.5は全面再結晶組織であったが、合金No.6は外周部を除きファイバー組織であった。引張特性の評価結果を表8に示す。合金No.6が0.2%耐力の目標である380MPa以上を達成した。そこで合金No.6に絞って切削性、耐食性、水素脆性などの評価を実施することとした。

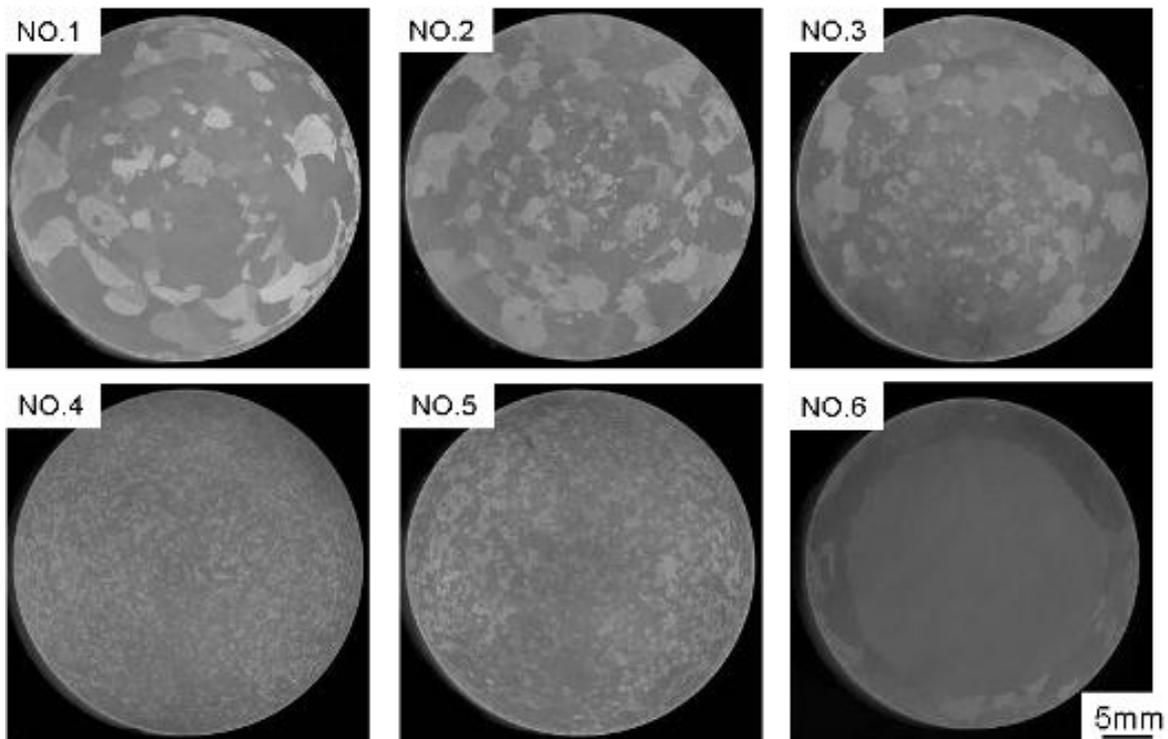


図7 押出棒のマクロ組織

表 8 押出棒 (T6511) の引張特性

合金No.	$\sigma_B$ (MPa)	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	$\delta$ (%)
1	321	314	20
2	361	342	20
3	330	290	24
4	346	302	21
5	337	299	20
6	416	386	14

(3) 合金 No. 6 の切削性評価

切削性評価は、市販の 6061 合金押出棒 (調質 : T6) を比較材とした。ドリルにより穴あけ加工し加工面の粗さを測定した。粗さ測定結果を図 8 に示す、合金 No. 6 の加工面は 6061 より平滑であり、合金 No. 6 は良好な切削性を有していることを確認した。図 9 はドリル穴あけ加工後の切粉の外観写真である。合金 No. 6 の切粉は 6061 より細かい。切粉のドリルへの絡まりが少なく、ドリル切削加工性に優れることが示唆される。これらから、合金 No. 6 のドリル切削性は 6061 より優れることが明らかとなった。

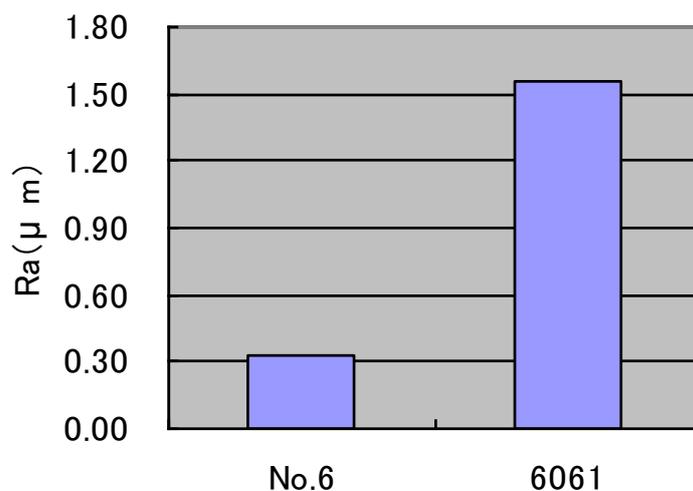


図 8 ドリル穴明け加工後の加工面の粗さ測定結果



図9 ドリル穴明け加工後の切粉外観写真（同重量で比較）

（4）合金 No. 6 の耐食性評価

社団法人日本ガス協会が作成した圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準に基づく試験（粒界腐食試験）方法にて合金 No. 6 の耐食性を評価した。比較材は 6061 合金組成範囲内である合金 No. 1 とした。図 10 に粒界腐食試験後の外観写真を、腐食深さの測定結果を図 11 に示す。合金 No. 6 の試験後外観はやや黒っぽいが、腐食深さの最大値はいずれも  $200\mu\text{m}$  以下であった。

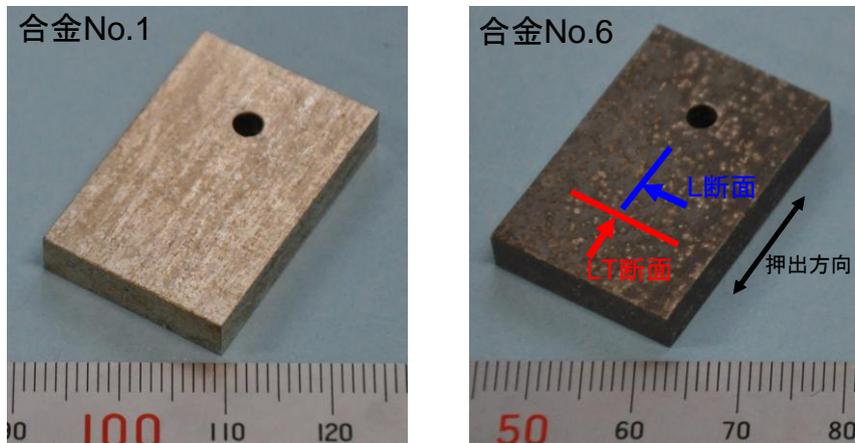


図 10 粒界腐食試験後の外観写真

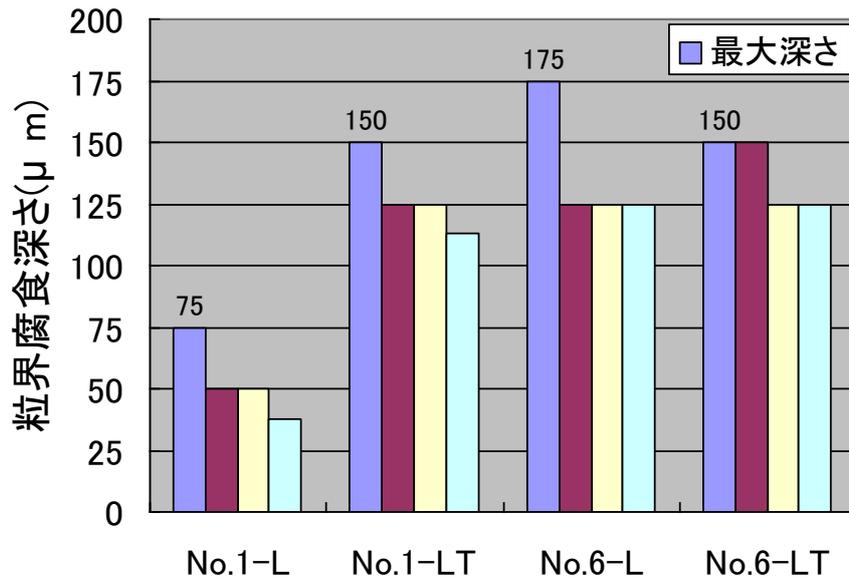


図 11 粒界腐食深さ測定結果

### 3-3 口金等容器関連アルミニウム部材の研究開発

高圧水素ガス容器の口金部(図 12)を対象に、高強度アルミニウム 6000 系合金の中より、過剰 Si 型高 Cu 添加の 6066-T6 ならびにバランス型高 Cu 添加の 6069-T6 を 2 種類の合金を選択した。口金部模擬鍛造部材の作製ならびに特性調査(引張特性、SSRT による脆化感受性、一般耐食性)を進めたところ、下記 2 種類の候補材を得た。

#### ① バランス型高 Cu 系合金

- 6069 規格組成内の中で、表 9 および図 13 の合金番号⑪、⑫のように Cu 下限・Si 過剰組成を選択することにより、耐力が約 370MPa(図 14)で、脆化感受性は 6061-T6 と同等(図 15)、耐 SCC 寿命は 30 日間以上(図 16)、粒界腐食深さは 200 μm 以下(図 17)の口金等容器関連アルミニウム部材の想定仕様を満足することがわかった(表 10)。今後、確認調査を進めるとともに、過時効処理適用による一般耐食性の向上も図り、安定して仕様値を満足する組成・高温時効条件を把握する。

#### ② 過剰 Si 型高 Cu 系合金

- 6066 規格組成の中で、合金番号①のように、主要組成 Mg、Si、Cu ならびに遷移元素 Mn の添加量を規格下限域とし、さらに高温時効処理ではやや過時効条件を選定(図 14, 16, 17 の図中に条件を記載)することにより、耐力は 335MPa(図 14)とやや低いものの、脆化感受性は 6061-T6 と同等(図 15)で、口金等容器関連アルミニウム部材の想定仕様の耐 SCC 寿命(図 16)、粒界深さ(図 17)を満足することがわかった(表 10)。今後、過時効条件を見直して耐力の向上を図り、候補材として継続して検討する。

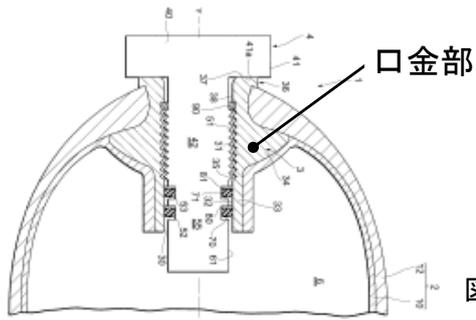


図12 口金部の例 (特願2006-183522より)

表9 化学成分

		(wt%)											
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Zr	V	Sr	
6069	中心組成	0.91	0.19	0.75	0.00	1.5	0.20	0.00	0.02	0.00	0.10	-	④
	Cu下限	0.91	0.19	0.52	0.00	1.5	0.20	0.00	0.02	0.00	0.10	-	⑤
	Cu下限(n2)	0.87	0.24	0.52	0.00	1.5	0.18	0.00	0.03	0.00	0.10	-	⑩
	CuSi下限	0.67	0.21	0.51	0.00	1.4	0.20	0.00	0.02	0.00	0.10	-	⑥
	CuSiMg下限	0.66	0.21	0.51	0.00	1.3	0.20	0.00	0.02	0.00	0.10	-	⑦
	Cu下限・過剰Si	1.08	0.24	0.51	0.00	1.5	0.18	0.00	0.03	0.00	0.10	-	⑪
	Cu下限・過剰Si-2	1.25	0.23	0.52	0.00	1.5	0.18	0.00	0.03	0.00	0.10	-	⑫
6066	中心組成	1.4	0.20	0.89	0.77	1.2	0.02	<0.01	0.02	-	-	-	②
	低組成	1.1	0.19	0.69	0.60	0.89	0.02	<0.01	0.03	-	-	-	①
6061	中心組成	0.61	0.21	0.26	<0.01	0.96	0.15	<0.01	0.03	-	-	-	③
規格	6069	0.6 /1.2	0.40	0.55 /1.0	0.05	1.2 /1.6	0.05 /0.30	0.05	0.10	-	0.01 /0.3	0.05	
	6066	0.9 /1.8	0.50	0.7 /1.2	0.6 /1.1	0.8 /1.4	0.40	0.25	0.20	-	-	-	
	6061	0.4 /0.8	0.7	0.15 /0.4	0.15	0.8 /1.2	0.04 /0.35	0.25	0.15	-	-	-	

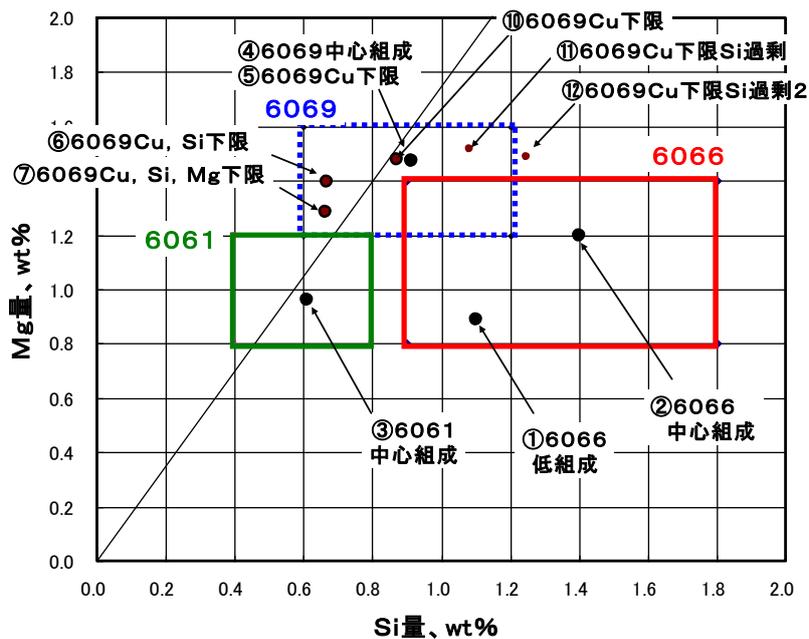


図13 供試材の化学成分 (Si, Mg)

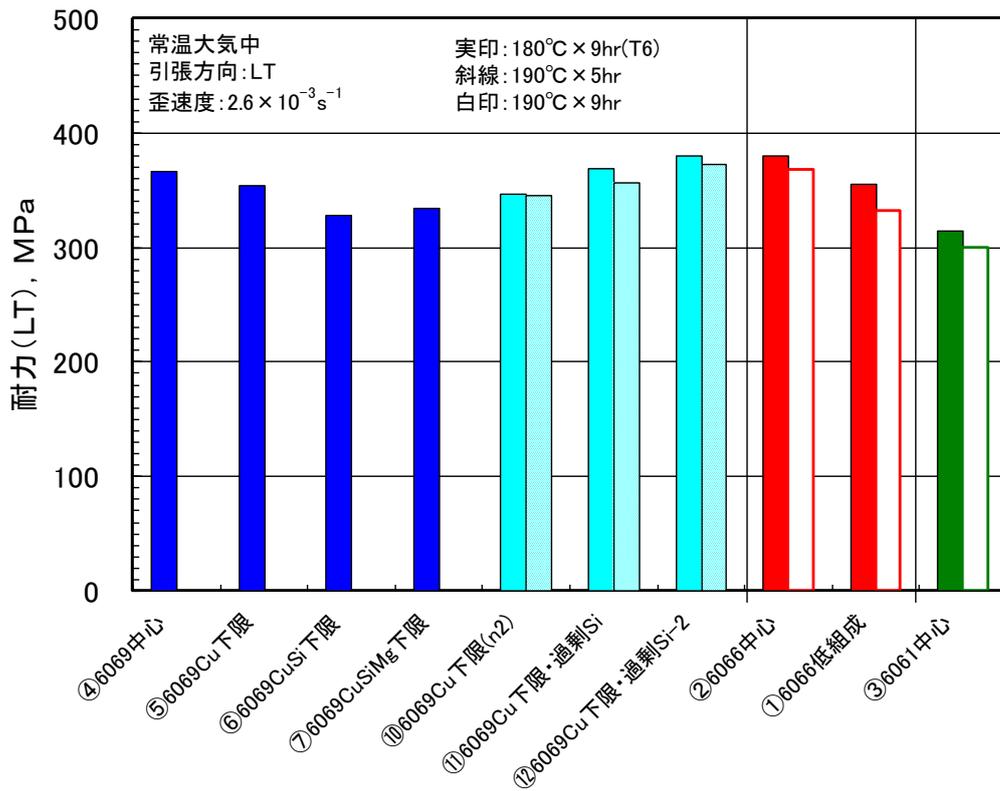


図 14 口金部模擬鍛造品の引張特性

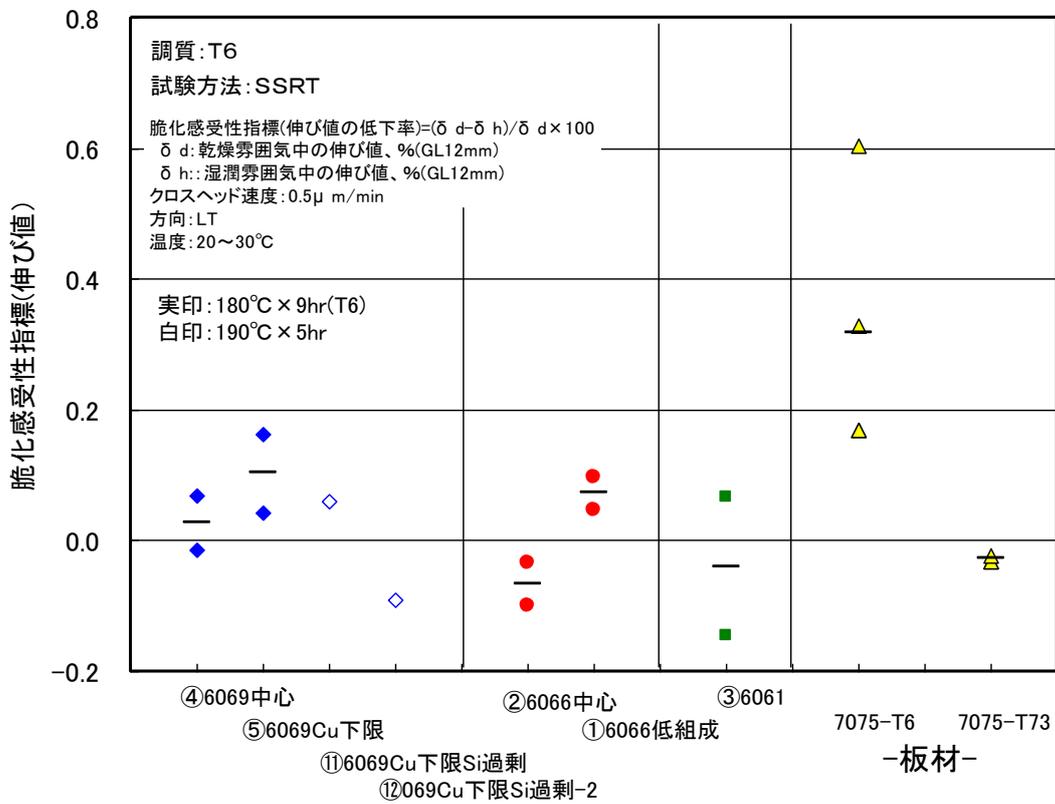


図 15 口金部模擬鍛造品の脆化感受性

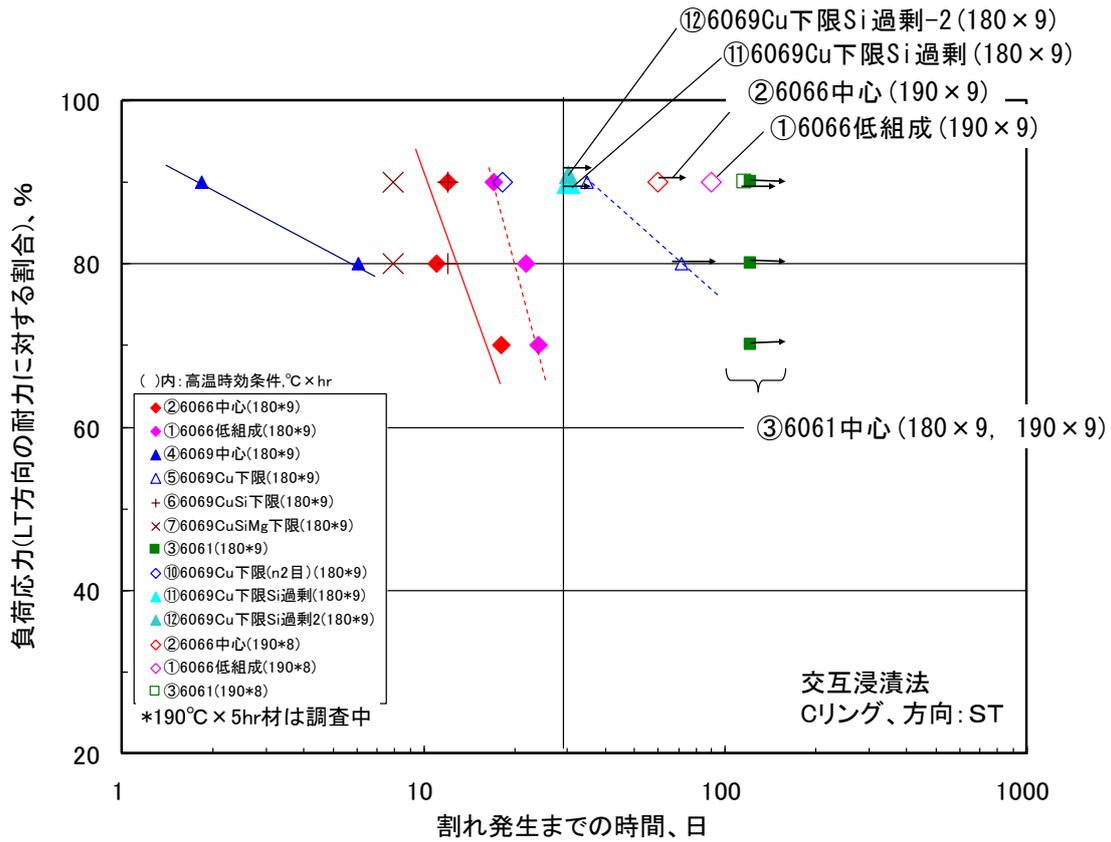


図 16 口金部模擬鍛造品の耐 SCC 性

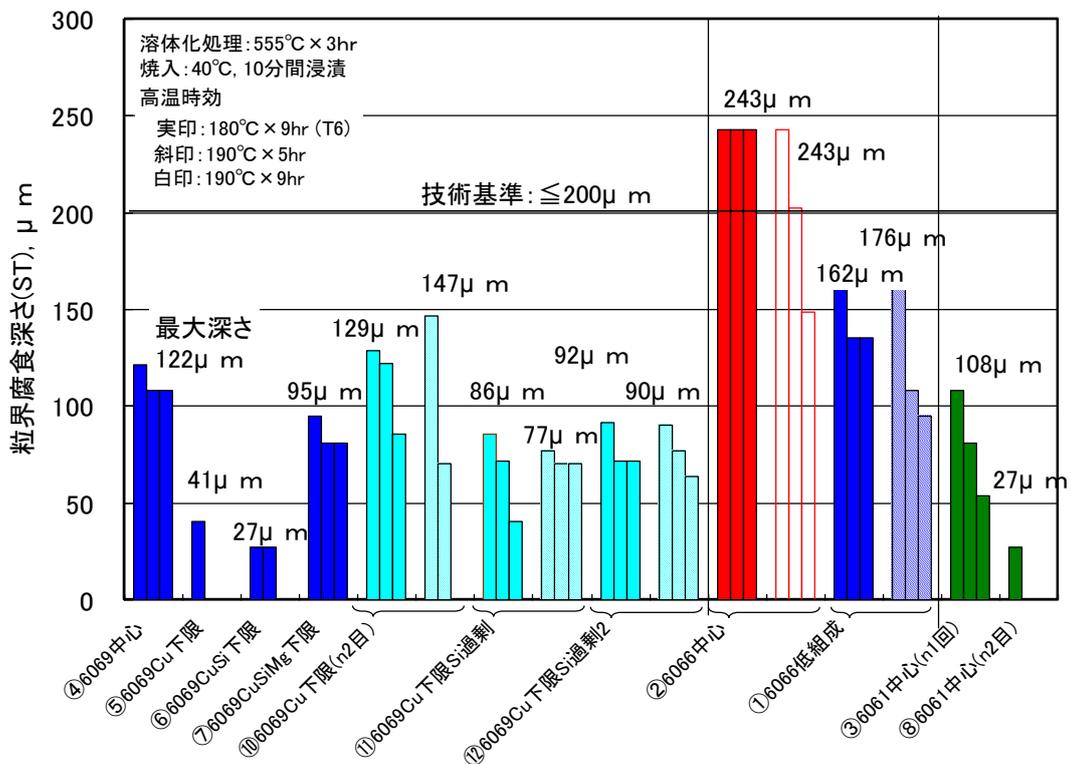


図 17 口金部模擬鍛造品の粒界腐食深さ

表 10 口金容器関連アルミニウム部材の想定仕様と候補材

		想定仕様1)	①6069Cu下限過剰Si材 180°C×9hr	②6069Cu下限過剰Si材- 2 180°C×9hr	③6066低組成材 190°C×9hr
引張特性	引張強さ, MPa	—	406	412	359
	耐力, MPa	360MPa以上 (実体)	369	380	332
	伸び, %	—	18	18	9
水素脆化感受性3)		6061-T6と同程度	←	←	←
一般耐食性3)	粒界腐食深さ	200 μm以下 (ST方向)	86	96	176
	耐SCC寿命	30日間以上 (ST方向)	≥30(継続中)	≥30(継続中)	≥30(×90)

- 1)引張方向:LT。  
 2)引張方向:鍛造フローと平行とは異なる方向。  
 3)SSRTによる特性評価、引張方向:LT。  
 4)圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準(別添9)を鍛造部材に適用。

### 3-4 アルミニウム合金材料評価法の確立および水素挙動解析 (茨城大学担当)

以下に研究開発項目ごとに内容と成果を述べる。

#### (a) 内圧型高圧水素環境下引張・疲労試験装置の製作

図 18 に高圧水素充填装置の概略(完成図)を示す。製作前は、図の  $V_1$  と  $V_2$  を一つのニードル弁(流量調節可能)とする予定であったが、ニードル弁の耐压性能の関係で、設計の変更を余儀なくされた。充填ガスとしてアルゴンを用い、液体窒素による冷却と室温への昇温の結果、圧力が約 2 倍上昇することを確認した。本来、平成 23 年度第 1 四半期に装置が完成しているはずであったが、東日本大震災の影響で、大幅に遅れ、とりあえず充填装置の組み立てが完了した段階である。液体窒素による冷却と室温への昇温による圧力上昇の確認を、実際の水素を用いて行ったが、上昇は認められなかった。そこで、液体ヘリウムを

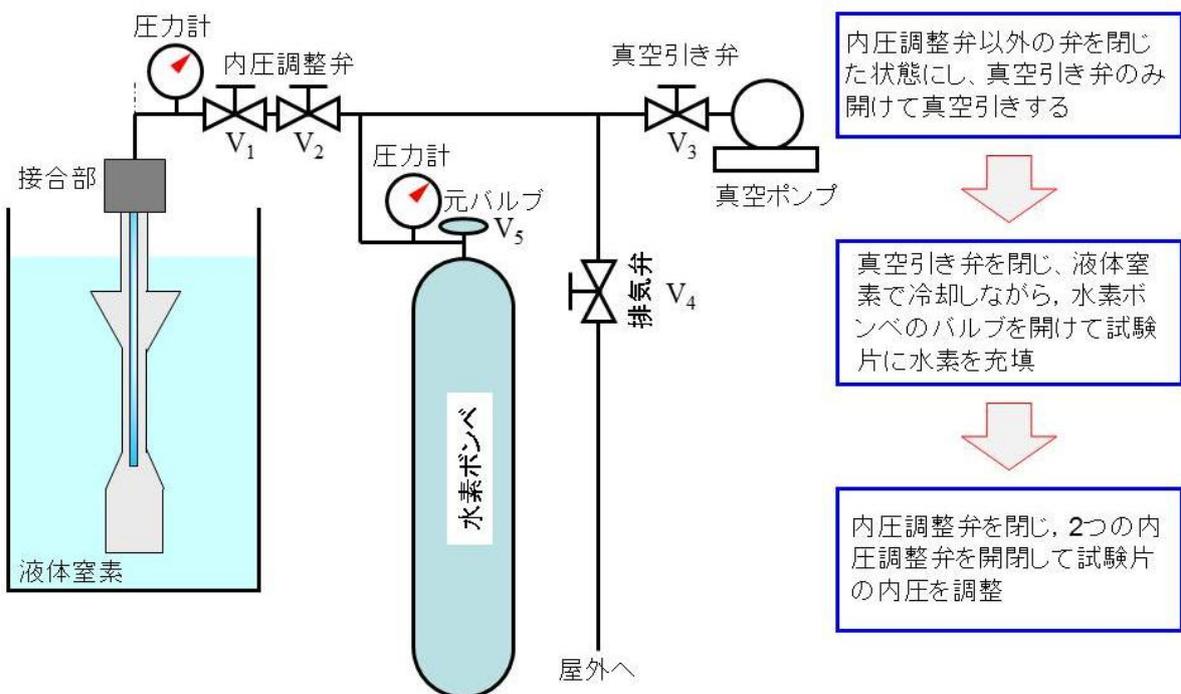


図 18 内圧型高圧水素環境下引張・疲労試験に用いる試験片の高圧水素充填装置の概略。

用いての圧力上昇を平成 24 年度第 3 四半期以降に確認し、試験する予定である。それまでの間ボンベ圧以下の圧力 (10MPa) で試験することとした (成果は項目 (g) で述べる)。

(b) 水蒸気分圧制御雰囲気中での引張・疲労試験

6061-T6 および 7075-T6 材を用い、疲労き裂進展試験および破壊靱性試験を行い、き裂進展特性および破壊靱性に及ぼす外部環境水素の影響を調べた。外部環境を実験室大気から、重水蒸気で飽和させた大気に変えても、き裂進展速度や破壊靱性に影響は見られなかった。

(c) 重水素・昇温脱離分析による侵入水素量の調査

上記のように、重水蒸気雰囲気中で疲労き裂進展および破壊靱性試験を行い、き裂前方 (確認できるき裂から 1mm 以上離れた位置) から試験片を切り出し、昇温脱離分析 (TDS) を行った。前年度、重水蒸気雰囲気中で負荷した材料において、重水素量が増加すると報告したが、無負荷で同じ雰囲気中に暴露した試験片における重水素増加量とほとんど差がなかった。したがって表面酸化膜に吸着または水和膜中の普通の水素と置換した重水素以外に、内部に侵入する水素 (重水素量の増加) は検出されないと結論された。

次に、疲労予き裂の入った厚さ 5mm、高さ 8mm、幅 25mm の最終試験片を使用し、試験片に水素をチャージする直前に試験片にテーパピンを挿入して予き裂を進展させた。そしてこの応力負荷状態にて陰極電解法を用いて水素チャージを行った。電解液には、水素再結合毒としてひ酸 2 ナトリウム 7 水和物 ( $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) を 1g/L 添加した 2N 硫酸水溶液を用い、試験片を陰極、白金を陽極とし電流密度約  $100\text{A}/\text{m}^2$  で 30min チャージを行った。チャージを行う際、チャージ面はき裂面および試験片中央部に設けられた切欠き面 (ワイヤー放電加工面) のみとし、他の面は絶縁テープにてマスキングを施した。き裂前方に侵入した水素を調査するため、き裂前方からき裂面と平行に  $5 \times 5 \times 2\text{mm}$  の正方形の試片を切り出した。このとき表面 (き裂面) が含まれないようにするために、き裂に近い側の試片端面は、き裂が確認できなくなるまで湿式研磨し、#2000 で仕上げた。その後、これらの水素をチャージした試片、および応力は負荷するが無チャージの試片を TDS に供した。

TDS によって得られた各試験片の水素総放出量を図 19 に示す。6061 合金は応力を負荷し、水素チャージした試験片のほうが応力負荷、無チャージの試験片よりも水素放出量は多かった。これに対して 7075 合金では、チャージに伴う水素量の増加はほとんど見られない。

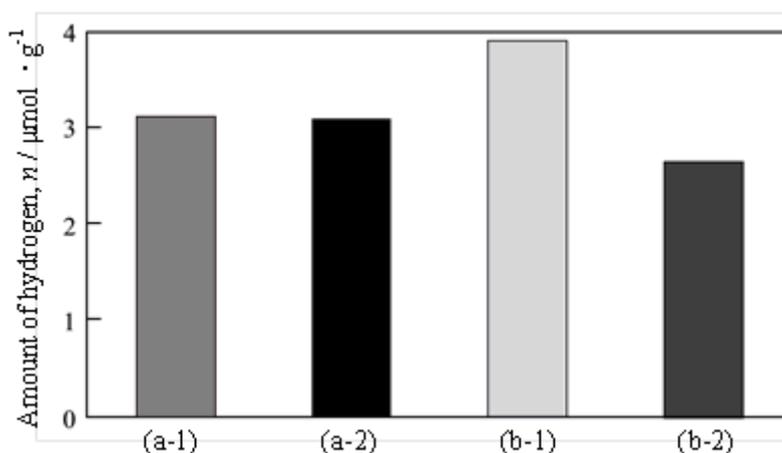


図 19 TDS により評価されたき裂前方における水素量。(a) 7075、(b) 6061 ; (1) 陰極電解チャージ材、(2) 無チャージ材。

無応力状態で陰極電解を行い、水素を可視化することのできる水素マイクロプリント法により水素侵入量を調査した結果では、7075 合金のほうが 6061 合金よりも水素侵入量が多い (67 倍) が、6061 合金では深さ約  $400\ \mu\text{m}$  まで侵入するのに対し、7075 合金では極浅い表面 (約  $5\ \mu\text{m}$ ) までしか水素は侵入しないと報告されている。本研究ではき裂表面に吸着した水素の影響を除き、き裂前方に侵入した水素量を調査するため、切り出した試片の端面からき裂が確認できなくなるまで研磨を行っている。そのため、き裂の先端から最大で  $10\ \mu\text{m}$  程度試料が除去された可能性がある。このことから、7075 合金ではき裂付与および応力負荷を行っても、き裂前方から採取した試片では陰極電解チャージしても水素量がほとんど増加しなかったと考えられた。

#### (d) トリチウムオートラジオグラフィ (TARG) による侵入サイトの調査

7075-T6 および 6061-T6 試験材にテーパピンを挿入して予き裂を進展させ、応力負荷状態にてトリチウムガス環境でトリチウムをチャージした。試験片は室温で圧力  $453\text{Pa}$  のトリチウムガス (モル比で  $T/(D+T)=0.16$ 、 $T$ : トリチウム、 $D$ : 重水素) 中に 3h 保持した。チャージ後、試験片深さ方向のトリチウム侵入挙動を観察するために、厚さを  $5\text{mm}$  から約  $2\text{mm}$  になるように切断し、切断面を耐水研磨紙にて #1500 までの湿式研磨で仕上げた。そしてイメージングプレート (IP) 上で 14d 露光した後、IP リーダーを用いて、光輝尽発光 (PSL) 強度を測定し、試験片に侵入したトリチウム分布を求めた。

各試験片のトリチウム (PSL 強度) 分布像を図 20 に示す。試験片は  $\beta$  線 (PSL) 強度が高い黒色の領域で囲まれている。応力を負荷するためにテーパピンを挿入したことで試験片が変形している。 $\beta$  線強度は、試験片の表面 (図の試験片上下面、切欠き面、き裂面) の外側で高いが、これは表面に吸着したトリチウムが壊変した際に放出された  $\beta$  線の影響を受けたものと考えられる ( $\beta$  線の空気中の飛程は試料中の約 2200 倍)。き裂前方にトリチウムが侵入し、集中している様子は確認できなかった。

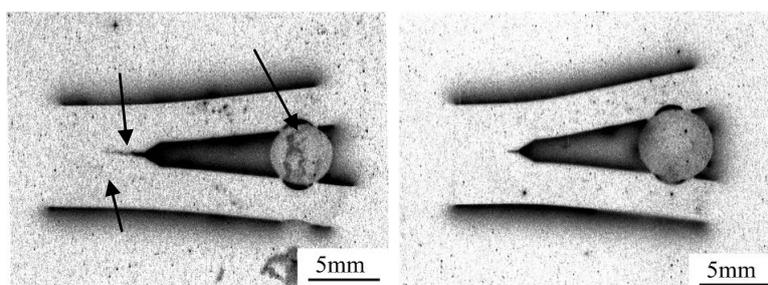


図 20 IP により計測された  $\beta$  線像。(a) 7075、(b) 6061。

H22 年度に、水素脆化が報告された 7075 アルミニウム合金の主たる金属間化合物である  $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$  相が水素の侵入挙動に与える影響を、材料中に存在する水素の存在位置を調査するのに有効な手法であるトリチウムオートラジオグラフィ (TARG) を用いて調査した。TARG では、水素の放射性同位体であるトリチウムをトレーサーとして試料中に導入した後、写真用乳剤を試料表面に塗布し、トリチウムから放射される  $\beta$  線による感光作用を利用するため、表面近傍にとどまっている水素 (トリチウム) を検出することができる。そして、 $\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$  相は水素の侵入および拡散を助長する効果があることが明らかになった。しかし、7075 合金にはその他にも多くの金属間化合物を有しており、その中でも 7000 系合金の主要合金元

素である Mg、Zn からなる金属間化合物 ( $MgZn_2$  相) において、水素の侵入挙動に与える影響を明らかにすることは重要である。そこで H23 年度に、 $MgZn_2$  相のみを生じ、その体積率が異なる 3 種類の Al-Zn-Mg 合金を作製し、TARG を用いて水素の侵入挙動を調査し、その結果と前報までの結果とを比較、検討した。

Zn と Mg の原子比が一定 (2 : 1) となるように組成を決定した 2 種類の合金 (Al-32Zn-6Mg、Al-11Zn-2Mg、組成は mass%)、および 7075 の組成範囲に入るよう Zn、Mg の組成を決定した合金 (Al-6Zn-3Mg、組成は mass%) を電気炉にて溶解し、六塩化エタンを用いた脱ガス処理を施した後、金型に鑄造し、厚さ 20mm×幅 27mm×長さ 200mm の鑄塊を作製した。これらの鑄塊を 440°C で 1d の均質化処理、厚さ方向に各面 3mm の両面面削、1.1mm 厚までの熱間圧延を行った。その後 Al-32Zn-6Mg には 410°C で 1h の焼鈍を施し、Al-11Zn-2Mg・Al-6Zn-3Mg には  $MgZn_2$  相の体積率を変える目的で、460°C で 1h5min の溶体化処理を施した後に、時効処理として Al-11Zn-2Mg は 110°C で 7h、その後 170°C で 24h 保持し、Al-6Zn-3Mg は室温で 24h、その後 120°C で 24h 保持した。これらの熱処理を施した板材から 12mm×12mm の試片を切り出し、両面を #2000 まで湿式研磨、そして片面のみアルミナ、ダイヤモンドペーストを用いたバフ研磨により鏡面に仕上げた。

これらの試片にトリチウムガスにより材料中へトリチウムをチャージした。チャージは、装置中の試料ホルダーに試片を入れた後に真空排気処理を施し、その後トリチウムガス ( $T/(D+T)=0.16$ ) をホルダー内圧力が 1333Pa になるよう送り込み、その雰囲気下にて室温で 3h 保持した。

チャージ直後に、Al-32Zn-6Mg には表面および断面に、Al-11Zn-2Mg・Al-6Zn-3Mg には表面に暗室にて写真用乳剤 (コニカミノルタ NR-H2 を脱イオン水で 4 倍に希釈したもの) をワイヤーループ法により塗布した。なお断面はチャージ直後に試片を 2 つに切断した後、切断面を上述と同様の手法で鏡面に仕上げた後に乳剤を塗布した。乳剤を塗布した試片は、液体窒素中で 28d 露光した後、フジスーパープロドールを用いた 3.75min の現像およびスーパーフジフィックスを用いた 6min の定着処理を施し、SEM にて観察した。

各合金における表面の TARG/SEM 像を図 21 に示す。この Al-32Zn-6Mg および Al-11Zn-2Mg に見られる矢印部の白色粒子を EDXS 分析した結果、銀粒子であることを確認した。また、銀粒子は全て  $MgZn_2$  相上で検出された。一方 Al-6Zn-3Mg では銀粒子を検出することができなかった。このことから比較的大きな寸法 (0.5 $\mu$ m 以上) の  $MgZn_2$  相は水素の侵入サイトになると考えられた。

ここで、同手法を用いて 7075 の主要な金属間化合物である  $Al_7Cu_2Fe$  相について調査した結果<sup>1)</sup>と今回の Al-32Zn-6Mg の結果とを比較すると、表面での銀粒子の検出量が、 $Al_7Cu_2Fe$

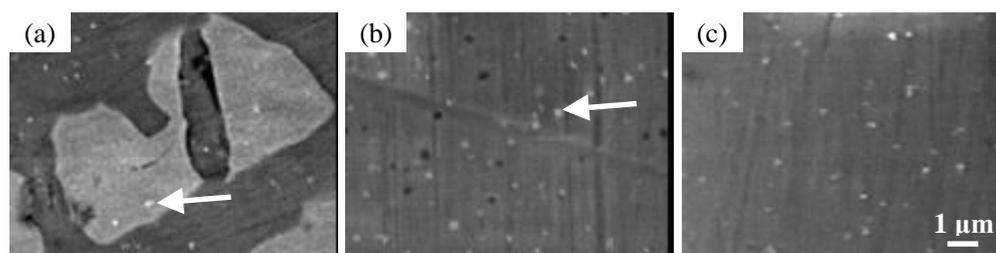


図 21 各試料の TARG/SEM 像。(a) Al-32Zn-6Mg、(b) Al-11Zn-2Mg、(c) Al-6Zn-3Mg。

>MgZn<sub>2</sub> であり、断面でのトリチウムの侵入深さも Al<sub>7</sub>Cu<sub>2</sub>Fe>MgZn<sub>2</sub> であることが分かった。これらのことから MgZn<sub>2</sub> 相の水素の侵入および拡散への助長効果は Al<sub>7</sub>Cu<sub>2</sub>Fe 相に比べ小さいと考えられた。そして、水素の侵入量が異なる要因としては、母相、MgZn<sub>2</sub> 相、Al<sub>7</sub>Cu<sub>2</sub>Fe 相それぞれの酸化皮膜が異なり、それらの酸化皮膜の水素の透過のしやすさが、Al<sub>7</sub>Cu<sub>2</sub>Fe 相>MgZn<sub>2</sub> 相>母相となっていることが考えられた。

(e) 調査結果のまとめ

以上の調査の結果を総合すると、き裂先端での水素の分布を明らかにすることはできなかったが、無応力の状態で、水素は水蒸気雰囲気や水素ガス環境から、比較的大きな寸法の MgZn<sub>2</sub> 相をサイトとして侵入すると考えられた。しかし MgZn<sub>2</sub> 相は Al<sub>7</sub>Cu<sub>2</sub>Fe 相よりも侵入を助長する効果が少ないことが分かった。ただし今回の結果は、応力を負荷しない場合であったので、平成 24 年度は応力負荷の影響を明らかにする予定である。

(f) 関連 NEDO 事業との連携調整

3-6 節に記載した。

(g) 内圧型高圧水素環境下引張・疲労試験

3-5 節に記載した。

【参考文献】

- 1) 伊藤吾朗, 渡壁尚仁, 波多野雄治: 軽金属学会第 120 回春期大会講演概要, (2011), pp. 33-34.

3-5 開発材の耐水素脆化性評価

3-2 で設計・試作した 6 種類の合金の耐水素脆性評価を茨城大学で行った。項目 3-4 (a) で製作したシステムに液体窒素を用いて水素ガスの昇圧を試みたが、圧力の上昇が認められなかった。同じ内圧型の試験片 (図 22) を用いて、ボンベ圧以下の一定圧力 (10MPa) の水素または窒素ガスを充てんして試験した。試験条件を表 11 に示す。各合金

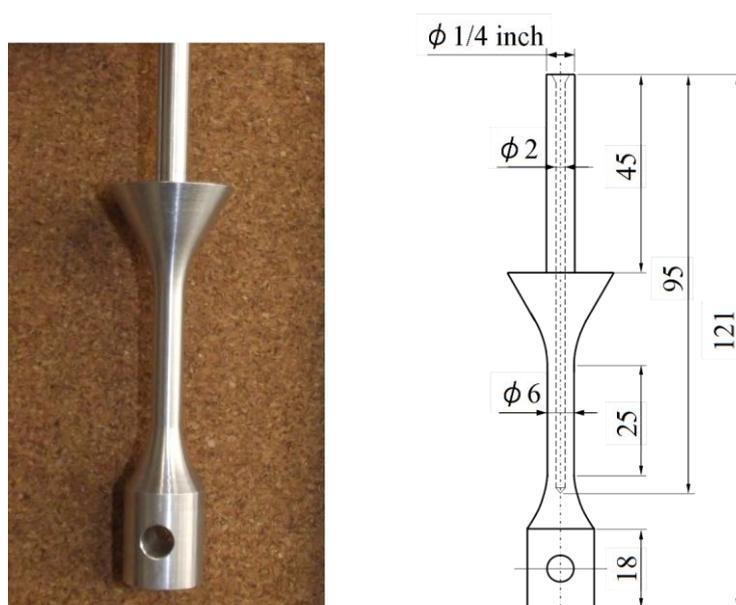


図 22 内圧型引張試験片の外観、形状、寸法 (断りのない数値は、mm 単位)

表 11 内圧型引張試験片を用いて行った引張試験条件。

試験圧力[MPa]		10	
試験環境	試験片内	窒素ガス	水素ガス
	試験片外	大気	
	温度[°C]	25	
初期ひずみ速度[s <sup>-1</sup> ]		2.67×10 <sup>-5</sup>	

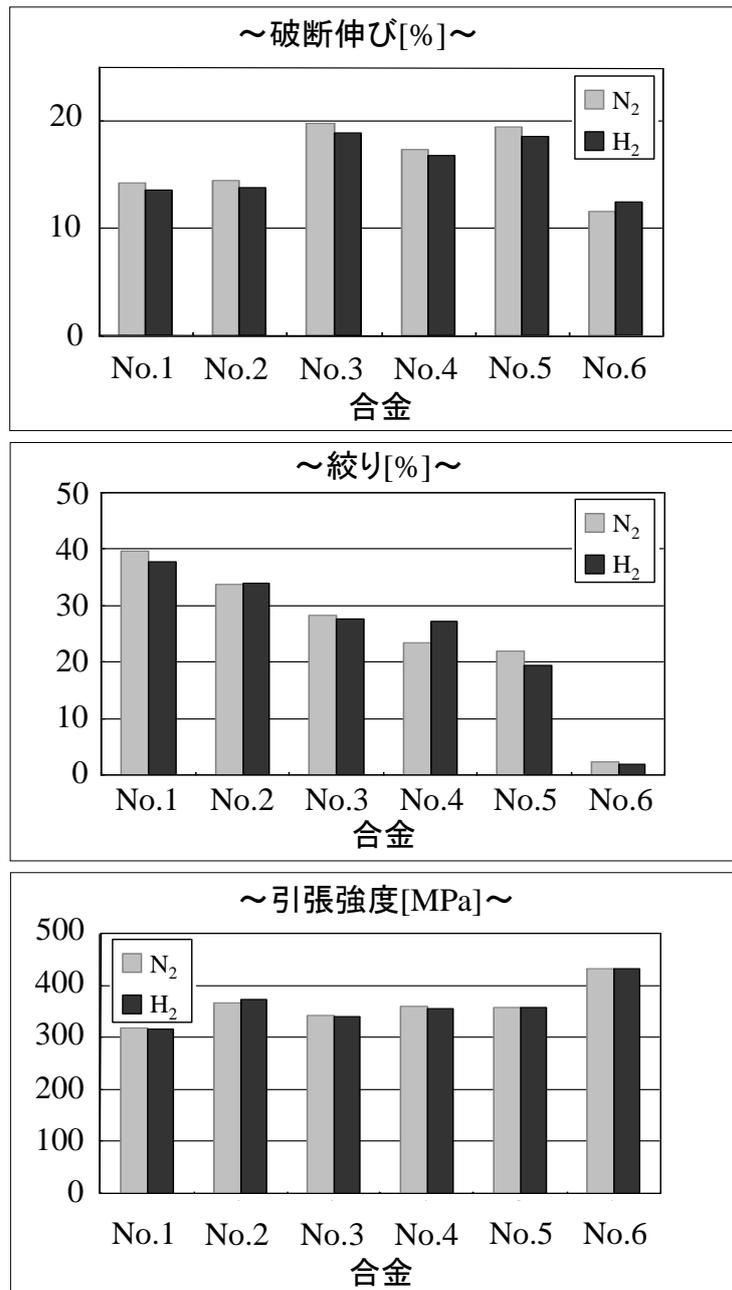


図 22 表 11 の条件で試験して得られた各合金の破断伸び、絞り、引張強さ。

の水素および窒素雰囲気における破断伸び、破断絞り、引張強さを図 23 に示した。なお、破断絞りは試験前の断面積を測定できなかったため、設計寸法通りに加工されているとして試験前断面積を算出し、一方試験後の断面積は破面の SEM 像から測定した。これより、0.2%耐力が目標の 380MPa 以上を達成した No.6 をはじめすべての試験材において、十分な耐水素脆性を示すことが確認される。同じ試験材について、1 気圧の湿潤大気中および乾燥窒素中で SSRT 引張試験し、耐水素脆性の評価を進めている。

項目 3-4(a)で製作したシステムに液体ヘリウムを用い水素ガスの昇圧を検討しているが、液体ヘリウム供給業者（太陽日酸東関東）からは、日立地域で企業等からまとまった量の発注があった時のみ供給できるとのことで、その時期を待っている状態である。

3-3で試作した開発材の湿潤大気中での疲労試験を古河スカイ(株)で実施中である。

### 3-6 関連 NEDO 事業との連携調整

これまで、平成 22 年 11 月 18 日、平成 22 年 12 月 22 日、平成 23 年 2 月 28 日、平成 23 年 6 月 28 日、平成 23 年 9 月 26 日、平成 23 年 12 月 7 日、平成 24 年 2 月 22 日、平成 24 年 6 月 27 日の計 8 回水素用アルミニウム材料の評価・開発研究調整WGを開催し、グループ内での研究の進捗状況の確認、その後の研究計画の調整を密接に行った。また、平成 23 年 2 月 28 日、平成 23 年 10 月 21 日、平成 24 年 7 月 20 日に水素用アルミニウム材料の評価・開発事業 推進委員会を開催し、グループ構成機関のメンバーに、高圧ガス保安協会および自動車工業会メンバー・オブザーバーを加えて、規制の見直しの方向を議論した。

さらに、財団法人石油産業活性化センター主催の水素ステーションの技術基準に関する検討「複合容器分科会」の委員として、伊藤が参画し、アルミニウム材料に関する知見を提供し、ステーションにおける複合容器の技術基準策定に貢献した。他方、その基準策定の過程から逆にアルミニウム材料の課題を抽出し、今後の検討に生かす予定である。

その他に、平成 22 年 12 月 13 日に水素用材料評価関係者会議、平成 23 年 6 月 8 日水素系材料評価法検討会準備会、平成 23 年 8 月 2 日第 1 回水素系材料評価法検討会、平成 23 年 10 月 26 日に第 2 回水素系材料評価法検討会に、伊藤が委員として参画し、国際標準化や材料評価法に関する情報収集を行うとともに、アルミニウム材料の研究開発の状況を述べ、国際標準化や材料評価法の進展に貢献した。

これらと平行して、HYDROGENIUS（水素先端科学基礎研究事業）と連携し、VH3 複合容器のステーション蓄圧器への利用に関する規制緩和をめざし、これに必要な 100MPa 級の高圧水素中での試験のための材料提供を行った。

### 3-7 特許、論文、講演、報道等の件数

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT**出願	査読付き	その他	
H22FY	0 件	0 件	0 件	0 件	7 件	0 件
H23FY	0 件	0 件	1 件	0 件	11 件	0 件
H24FY	2 件	0 件	0 件	1 件	6 件	0 件

(※Patent Cooperation Treaty : 特許協力条約)

#### 4. まとめ及び課題

以上、得られた成果のまとめ及び課題を研究開発項目ごとに、以下に記す。

##### (1) 耐水素脆化性に及ぼす合金元素の役割の解明および高強度アルミニウム合金材の開発

- ・ Al-Mg 系合金は、再結晶処理ままの状態においては水素脆化を示さないことが確認されたが、このうち Al-5.0Mg 材について、鋭敏化処理（20%冷延後に 150°C で 64 時間時効処理）を行うと、若干水素脆化感受性指数が増加して、試料の破断面の一部で粒界割れを伴う水素脆化が生じることが確認された。
- ・ 上記の Al-Mg 系合金に加えて、過去の水素脆化感受性を評価した各種の 2 元および 3 元アルミニウム合金の評価結果より、アルミニウムに対する各種の添加元素は、その水素脆化性に対して必ずしも単純に抑制元素や有害元素に分類されるわけではなく、添加元素の組合せによって大きく変化し、また熱処理条件等によっても変化することが示された。
- ・ アルミニウム合金の水素脆化性に及ぼす各種添加元素の影響について評価した結果、優れた耐水素脆性と高強度を合わせ持つ合金系として Al-Cu-Mg 系合金を見出し、水素脆化感受性指数（ $I(\delta)$ ）が 0.2 未満、耐力値 400MPa の両方を満足するアルミニウム合金の基本組成を見出すことができた。

##### (2) バルブハウジング用アルミニウム素材の開発

- ・ 6 種類の合金の設計、試作及び試作材の特性評価を行った。その中で、合金 No. 6 の 0.2% 耐力が目標の 380MPa 以上を達成した。また、合金 No. 6 の切削性は市販の 6061 押出棒より優れていることを確認した。現在、合金 No. 6 の応力腐食割れ感受性評価（日本軽金属）及び耐水素脆性評価（茨城大学）を実行中である。

##### (3) 口金等容器関連アルミニウム部材の研究開発

- ・ 口金等容器関連アルミニウム部材向け高強度 6000 系合金として、6066 合金では 6066Cu 下限過剰 Si 材、6069 合金では主要組成 Mg、Si、Cu ならびに遷移元素 Mn の添加量を低減し、且つ過時効処理を施した 6066 低組成材を候補材とすることが出来た。耐力の向上とともに安定して仕様値を満足する最適な組成・高温時効条件の把握を今後も継続するものの、高圧水素ガス雰囲気中での評価試験機には限りがあり、実環境下での材料特性評価が難しい状況にある。評価では、実形状に試作した口金部材の調査ならびに課題の抽出は必要と考える。なお、口金部材は、容器材に比べて、高強度化によるメリットを数値化することは、現状は難しく水素推進委員会等からも意見をヒアリングし、最終報告書に向け明確にしてゆきたい。

##### (4) アルミニウム合金材料評価法の確立および水素挙動解析

- ・ 湿潤大気中での SSRT 試験は、高圧水素ガス中での試験に比べて、厳しいことが分かっている。そして湿潤大気中での SSRT 試験でも、脆化を示す合金は限られている。長期的課題として、アルミニウム合金の場合、高圧水素中での試験を不要として、基準に盛り込めるようにしたい。むしろ、圧縮天然ガス自動車燃料装置用容器の技術基準に基づく試験（粒界腐食、応力腐食割れ、長期負荷割れ）のほうが、ハードルが高い。これについても、圧縮天然ガスのように金属単体容器に必要な試験が、VH3 容器にも必要かどうかなど、必要に応じて実験を行いつつ、安全を担保しつつも効率的な試験方法の確立を追及する必要がある。

- ・き裂先端での水素の分布を明らかにすることはできなかったが、無応力の状態で、水素は水蒸気雰囲気や水素ガス環境から、比較的大きな寸法の  $MgZn_2$  相をサイトとして侵入すると考えられた。しかし  $MgZn_2$  相は  $Al_7Cu_2Fe$  相よりも侵入を助長する効果が少ないことが分かった。ただし今回の結果は、応力を負荷しない場合であったので、平成 24 年度は応力負荷の影響を明らかにする予定である。

#### (5) 開発材の耐水素脆化性評価

- ・3-2 で設計・試作した 6 種類の合金の特性評価を行った。その中で、0.2% 耐力が目標の 380MPa 以上を達成した No.6 の耐水素脆性評価を 10MPa の水素ガス中で行った結果、十分な耐水素脆性を示すことを確認した。
- ・種々のアルミニウム合金の水素脆化性を評価した結果、優れた耐水素脆性と高強度を合わせ持つ合金系として Al-Cu-Mg 系合金を見出し、水素脆化感受性指数 ( $I(\delta)$ ) が 0.2 未満、耐力値 400MPa の両方を満足するアルミニウム合金の基本組成を見出すことができた。

#### (6) 関連 NEDO 事業との連携調整

- ・これまで、計 8 回水素用アルミニウム材料の評価・開発研究調整WGを開催し、グループ内での研究の進捗状況の確認、その後の研究計画の調整を密接に行った。また、計 3 回水素用アルミニウム材料の評価・開発事業 推進委員会を開催し、グループ構成機関のメンバーに、高圧ガス保安協会および自動車工業会メンバー・オブザーバーを加えて、規制の見直しの方向を議論した。
- ・財団法人石油産業活性化センター主催の水素ステーションの技術基準に関する検討「複合容器分科会」の委員として、伊藤が参画し、アルミニウム材料に関する知見を提供し、ステーションにおける複合容器の技術基準策定に貢献した。他方、その基準策定の過程から逆にアルミニウム材料の課題を抽出し、今後の検討に生かす予定である。
- ・NEDO主催の水素系材料評価法に関係する関係者の協議会に参画し、国際標準化や材料評価法に関する情報収集を行うとともに、アルミニウム材料の研究開発の状況を述べ、国際標準化や材料評価法の進展に貢献した。
- ・HYDROGENIUS（水素先端科学基礎研究事業）と連携し、VH3 複合容器のステーション蓄圧器への利用に関する規制緩和をめざし、これに必要な 100MPa 級の高圧水素中での試験のための材料提供を行った。

## 5. 実用化・事業化見通し

開発に関係する項目について、項目ごとに実用化・事業化の見通しを以下に記す。

- (1) 優れた耐水素脆性と高強度を合わせ持つ Al-Cu-Mg 合金は一般耐食性に劣ることが懸念されるので、純アルミニウムを表面にクラッドするなどの技術と組合せて、一般耐食性を改善した上で、実用化に向けてユーザー提案を行っていく予定である。
- (2) 今後、実用化に当たって、2013 年度までにバルブハウジングメーカーへ開発合金素材を提供し、実際にバルブハウジングの作製を行うとともに、実環境下での検証を進め、素材製造事業化へつなげる。
- (3) 本研究開発で得られた口金等容器関連アルミニウム部材向け高強度 6000 系合金の成果を元に、継続して認証に必要な高圧水素ガス中等でのデータを整備し、早期の市

場投入を進めたい。また、VH3 容器向け材にも展開していきたい。

本研究開発で得られた成果を基に、新たに材料種拡大の基準策定を進めれば、2015 年頃より市場投入予定の HIS および FCV に、本研究開発で提案した材料が使用される可能性が大である。

## 2. 3 研究開発項目Ⅲ「次世代技術開発・フィージビリティスタディ等」

- Ⅲ－1 水素・燃料電池に関わる国際関連機関等研究・政策動向の調査検討  
(実施者：(株)テクノバ)
- Ⅲ－2 IEA/HIA 水素実施協定における国際技術開発動向の調査検討  
(実施者：(財)エンジニアリング振興協会)
- Ⅲ－3 可視光応答性半導体を用いた光触媒および多孔質光電極による水分解水素製造の研究開発 (実施者：(独)産業技術総合研究所)
- Ⅲ－4 非貴金属化合物を用いた水電解用高機能酸素発生アノード触媒の設計及び開発  
(実施者：(国)横浜国立大学)
- Ⅲ－5 高効率水素液化磁気冷凍の研究開発  
(実施者：(独)物質・材料研究機構、(国)金沢大学)
- Ⅲ－6 水素ガス輸送用パイプラインの信頼性評価技術の研究開発  
(実施者：(国)東京大学)
- Ⅲ－7 超高压水素合成法による新規水素吸蔵合金の研究開発  
(実施者：(独)産業技術総合研究所、(国)東北大学)
- Ⅲ－8 ゼオライト鑄型炭素をベースとしたスプルーオーバー水素貯蔵に関する研究開発  
(実施者：(国)東北大学)
- Ⅲ－9 Mg および Ti 系相分離型高容量水素吸蔵合金の設計と実証に関わる研究開発  
(実施者：(学)東海大学)
- Ⅲ－10 燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発  
(実施者：(財)日本自動車研究所)
- Ⅲ－11 水素エネルギーシステムの社会的便益に関する研究開発  
(実施者：(独)産業技術総合研究所)
- Ⅲ－12 水素キャリアに応じたフィージビリティスタディ  
(実施者：(財)エネルギー総合工学研究所、岩谷産業(株)、川崎重工業(株)、  
関西電力(株)、清水建設(株)、三菱重工業(株)、千代田化工建設(株))
- Ⅲ－13 水素インフラ等に係る基準整備に関する研究開発  
(実施者：高压ガス保安協会、(国)東京大学)
- Ⅲ－14 水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化のための研究開発  
(実施者：水素供給・利用技術研究組合、高压ガス保安協会)

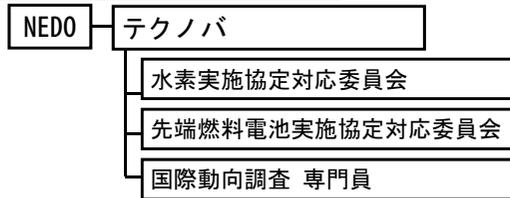
●進捗成果サマリ(平成22年度～平成24年度11月)

水素・燃料電池に係る国際関連機関(IEA水素実施協定、IEA先端燃料電池実施協定、水素燃料電池国際パートナーシップ)などの研究・政策動向の調査、情報展開を通じて、わが国の水素・燃料電池の技術開発の促進に貢献した。

●背景/研究内容・目的

国際エネルギー機関(IEA)の水素実施協定(IEA/HIA)、および先端燃料電池実施協定(IEA/AFCIA)の執行委員会やそれぞれに設置されている各作業部会に日本の専門家を派遣して、水素・燃料電池に関する技術開発動向及び分析活動動向を把握する。また水素燃料電池国際パートナーシップ(IPHE)の情報を収集する。これらの情報を収集するとともに、それらを適時各国の動向を調査・検討する。さらに、これらの情報を適時・定期的に国内関係者に発信・展開し、情報共有を図る。

●実施体制及び分担等



特許 出願	論文 発表	外部 発表	受賞 等
0	0	1	0

●研究目標／成果／実用化・事業化／課題

	テーマ	目標	成果	実用化・事業化の見通し	課題	
①	IEA/HIAの動向の調査・検討・普及	IEA/HIAの最新動向・活動を入手し、我が国の政策や技術開発への影響を分析する。また必要に応じて、その対応を検討する。	引き続き、専門家派遣による情報収集を通じて、各国の最新情報を収集する。またわが国の取り組みは高く評価されており、ある程度情報発信を通じて、より多くの海外情報を収集し、関係者に発信することに努める	調査(フィージビリティ調査の一環)であるため、実用化をめざした技術開発は行っていないが、調査による結果の情報提供を通じて、他の研究開発の実用化を支援できると考えられる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業部会のうち、そのテーマが担当する専門家だけでは対応が難しいもの、他の企業や研究機関にも関わりがあるもの、また戦略的な情報発信が必要なものがある(水素実施協定のTask28(大規模水素)インフラ、Task30(グローバル水素システムの分析)、Task31(水素安全))。そのような作業部会に関しては引き続きサポートチームによる支援を継続する。</li> <li>専門家の見直しを適時行うことが必要。NEDOおよび国際連携に関わる組織・企業、国際情報が必要な組織・機関と連携し、よりより情報収集と発信に努める。</li> </ul>	
②	IEA/AFCIAの動向の調査・検討・普及	IEA/AFCIAの最新動向・活動を入手し、我が国の政策や技術開発への影響を分析する。また必要に応じて、その対応を検討する				
③	IPHEの動向の調査・検討・普及	IPHEの最新動向・活動を入手し、我が国の政策や技術開発への影響を分析する。また必要に応じて、その対応を検討する。さらに、IPHEが企画している定置用FC国際ワークショップの国内開催を支援し、その情報を関係者に発信する。	水素・FC政策における情報交換の機会として有益であり、特にFC・水素の先進国である日米欧(独)が意見交換できる機会となっている。			<ul style="list-style-type: none"> <li>IPHEは2012年11月で10年の初期タームを終えるが、さらに10年延長することが決まっている。2015年に向かって、世界の主要国が連携するために、わが国としても積極的な関与が期待されている。</li> </ul>
④	IPHE、HIA、AFCIAメンバー国やその主要関連研究機関の政策・技術開発動向の調査・検討	IPHE、HIA、AFCIAメンバー国の発言、プレゼンテーション、およびその他の情報から、参加メンバー国や、その主要関連研究機関の政策・動向を把握し、我が国の政策や技術開発への影響を分析する。	①～③の情報を用いて、わが国の水素・FC関係者に参考になる情報を、引き続き発信する。			<ul style="list-style-type: none"> <li>世界の動向のうちでも、米国(DOE、カリフォルニア州政府、CaFCPなど)、欧州連合(FCH JU)、ドイツ(NOW)の動きは引き続き注意が必要である。また韓国、中国、フランス、英国でもFCV普及と水素インフラ展開を推進する動きもあり、注意が必要である。</li> </ul>
⑤	情報の展開・普及及び共有化活動	①～④で把握した技術開発動向及び分析活動ならびに関連国際会議やウェブサイトから得られた水素関連活動等を、国内関係者に定期的に発信し、情報共有を図る。	国際情報共有ネットワークを通じて、引き続き情報を発信した			<ul style="list-style-type: none"> <li>HIA、AFCIAの各作業部会に関しては、引き続き出席した専門家からのレポートを適切に取りまとめ、得られた情報を国内関係者に配信する。</li> <li>マンスリーレポートを定着させる。</li> <li>今後、①～③の実施(専門家派遣)に関して、事後報告だけでなく、事前の会議情報提供や意見集約に国際情報共有ネットワークを活用する。</li> </ul>
⑥	再生可能エネルギー由来水素の技術動向	再生可能エネルギー由来水素の可能性に関して、既存の技術動向をとりまとめる。	「非化石資源由来水素」報告書を取りまとめ、提出(平成23年度)。			わが国や世界のエネルギー政策・エネルギー需給動向の変更を踏まえ、また2015年以降のFCV実用化の流れの中で、再生可能エネルギー由来水素の重要性が増してきていることに留意しつつ、平成23年度版のアップデートを行う

●研究成果まとめ

日本と欧州で定置用燃料電池市場が立ち上がり、また2015年に向けてFCV商用化にむけたインフラ整備の議論が進む中で、IEA/HIA、IEA/AFCIA、IPHEの活動も活発になってきており、その調査検討を通じて、わが国のFC/水素研究開発の促進に貢献した

## 開発項目

「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発・フーズビリティスタディ等革新的な次世代技術の探索、有効性検証に関する研究開発－水素・燃料電池に係る国際関連機関等研究・政策動向の調査  
(平成22年度～平成24年度)

(株)テクノバ

### 1. 事業概要

本技術開発では、国際エネルギー機関(International Energy Agency: IEA)の水素実施協定(Hydrogen Implementing Agreement、以下 IEA/HIA)、および先端燃料電池実施協定(Advanced Fuel Cell Implementing Agreement、以下 IEA/AFCIA)の執行委員会やそれぞれに設置されている各作業部会に日本の専門家を派遣して、水素・燃料電池に関する技術開発動向及び分析活動動向を把握する。また水素燃料電池国際パートナーシップ(International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy、以下 IPHE)の情報を収集する。これらの情報を収集するとともに、それらを通じ各国の動向を調査・検討する。さらに、これらの情報を適時・定期的に国内関係者に発信・展開し、情報共有化を図る。

IEA/HIA は 1970 年に設置された水素分野における研究協力組織である(表 1)。

表 1. IEA/HIA の各作業部会の内容と対応委員

対象	内容	対応委員
Annex 21	バイオ水素製造	大阪大
Annex 22	基礎的・工学的な水素貯蔵材料開発	(独)産業技術総合研究所、九州大、東北大、広島大
Annex 23	水素供給用の小規模改質器	東京ガス(株)
Annex 24 ★	風力水素	横浜国大
Annex 26	水の光分解による水素製造	産業技術総合研究所
Annex 28	大規模水素インフラ	東京ガス(株)、日産自動車(株)
Annex 29	分散型水素供給	(独)産業技術総合研究所
Annex 30	グローバル水素システム分析	東京ガス(株)
Annex 31	水素安全	東邦大

注: 上記の他に、Annex25(熱化学サイクル)があるが、本事業の対応外である。★は平成 23 年度で終了。

IEA/AFCIA は 1990 年に設置された FC 分野における研究協力組織である(表 2)。

表 2. IEA/AFCIA の各作業部会の内容と対応委員

対象	内容	専門家
Annex 22	固体高分子形燃料電池(PEFC)	トヨタ自動車(株)
Annex 24	固体酸化物型燃料電池(SOFC)	(独)産業技術総合研究所
Annex 25	定置用燃料電池システム	パナソニック、東芝燃料電池システム、アイシン精機

注: 上記の他に、Annex23(熔融炭酸塩形燃料電池: MCFC)、Annex26(自動車用燃料電池システム)、Annex27(ポータブル燃料電池)があるが、本事業の対応外である。

IPHE は 2003 年に米国エネルギー省の主導で設立した水素・燃料電池の政策面での国際コラボレーション組織であり、現在 17 力国・1 地域が参加している。IPHE では政策面での情報交換、各国の研究開発の状況分析、各種のワークショップの開催などの活動を行っているとともに、最近では車載水素容器の国際ラウンドロビントの提案・実施など、基準標準活動にも影響を与える可能性がある活動も実施されており、日本としてもその詳細について情報収集を行うことが必要と思われる。

## 2. 事業目標

### ① IEA/HIA の動向の調査・検討・普及

本事業では IEA/HIA の最新動向・活動を入手し、我が国の政策や技術開発への影響を分析する。また必要に応じて、その対応を検討する。

### ② IEA/AFCIA の動向の調査・検討・普及

本事業では IEA/AFCIA の最新動向・活動を入手し、我が国の政策や技術開発への影響を分析する。また必要に応じて、その対応を検討する。

### ③ IPHE の動向の調査・検討・普及

本事業では IPHE の最新動向・活動を入手し、我が国の政策や技術開発への影響を分析する。また必要に応じて、その対応を検討する。さらに、IPHE が企画している定置用 FC 国際ワークショップの国内開催を支援し、その情報を関係者に発信する。

### ④ IPHE、HIA、AFCIA メンバー国やその主要関連研究機関の政策・技術開発動向の調査・検討

IPHE、HIA、AFCIA メンバー国の発言、プレゼンテーション、およびその他の情報から、参加メンバー国や、その主要関連研究機関の政策・動向を把握し、我が国の政策や技術開発への影響を分析する。

### ⑤ 情報の展開・普及及び共有化活動

①～④で把握した技術開発動向及び分析活動ならびに関連国際会議やウェブサイトから得られた水素関連活動等を、国内関係者に定期的に発信し、情報共有を図る。

### ⑥ 再生可能エネルギー由来水素の技術動向

再生可能エネルギー由来水素の可能性に関して、既存の技術動向をとりまとめる。

### 3. 事業成果

事業の成果は以下のとおりである。

#### ① IEA/HIA の動向の調査・検討・普及

##### 1) 国際技術開発動向の把握

IEA/HIA の各作業部会に専門家を派遣、表 3 の情報を得た。

また平成 24 年度は関係者との連携の下で Annex 28(大規模水素インフラ)会合を日本でホストし(平成 24 年 10 月、東京)、情報収集とその内容の発信を行った。

表 3. IEA/HIA の各作業部会における成果

作業部会	成果
Annex 21(光生物学的水素製造)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 国によっては、バイオ水素実用化の可能性がでてきた(例 ブラジル)。</li> <li>- 研究開発ではアジア諸国が急速に成長(主に有機性廃棄物利用)。</li> <li>- 米国は光合成+人工光合成の基礎に注力、ヨーロッパは総じて水素発生酵素の化学と遺伝子工学に注力している。</li> </ul>
Annex 22(基礎的・工学的水素貯蔵材料の開発)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ボロハイドライド、ALH<sub>3</sub>、Mg 系材料、合金等の合成・物性・計算・構造・ダイナミクスの報告あり。日本からはアンモニア-アルカリ金属水素化物系、ボロハイドライド系及び ALH<sub>3</sub>・Mg 系水素化物の高圧合成を報告。</li> <li>- 2010 年にエンジニアリング部会を新設。日本からハイブリッド容器研究を報告。</li> </ul>
Annex 23(オンサイト水素供給用小規模改質器)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- サブタスク 3「市場研究」(サブタスクリーダ:東京ガス)で、設備コストと製造能力の相関について分析。改質器サプライヤーリストのとりまとめ作業を実施。</li> <li>- 改質器メーカーからのデータを利用し、設備コストと製造能力との相関を分析。</li> </ul>
Annex 24(風力エネルギーと水素の統合)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 風力発電-水電解-水素製造の統合システム化と活用を探求</li> <li>- 2010 年より電解槽メーカーである Stadoil Hydro と Hydrogenics が加わり、水電解技術の議論が活発化。</li> </ul>
Annex 26(旧 20)(水の光分解による水素製造)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 日本(産総研)の太陽光水素製造技術を。また光電極については主に Fe<sub>2</sub>WO<sub>6</sub> について検討し、バンド構造の解析、ガス発生測定や長期安定性について紹介。</li> <li>- 各国エキスパートの得意分野を分担執筆した光電気化学的 水素製造に関するレポートを発刊することを計画。</li> </ul>
Annex 28(大規模水素インフラ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 各国のインフラ整備の取組内容を紹介</li> <li>- 水素インフラ状況の情報を共有。</li> </ul>
Annex 29(分散コミュニティ用水素システム):	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 小規模コミュニティを洗い出し。</li> <li>- 小規模コミュニティをモデルにて類型化。さらに代表モデルを選定(日本のエネファームも選定)、その共通点を検討中。</li> </ul>
Annex 30(グローバル水素システムの分析)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- グローバル水素資源の詳細を分析中。</li> <li>- IEA「World Energy Outlook(WEO)」と「Energy Technology Perspective (ETP)」に、水素関連の情報を盛り込むことを模索。</li> </ul>
Annex 31(水素安全)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- リスク管理手法、水素安全に関するテスト、情報管理(水素安全に関する情報共有)を実施。2012 年に成果報告ワークショップを開催予定。</li> </ul>

## 2) 執行委員会への参加と情報収集

IEA/HIA の執行委員会に参加し(専門委員:エンジニアリング協会)、各作業部会の半期毎の活動報告、年次報告書概要等の報告(事務局)、各国の水素関連研究開発動向(各国代表)などの情報を入手した(表 4)。

特に平成 23 年度は、第 65 回執行委員会(2011 年 10 月)を日本(福岡)で開催し、表 5 に示す成果を挙げた。

表 4. IEA/HIA の執行委員会

2010 年 5 月	第 62 回執行委員会(ドイツ、エッセン)
2010 年 11 月	第 63 回執行委員会(トルコ、イスタンブール)
2011 年 6 月	第 64 回執行委員会(デンマーク、コペンハーゲン)
2011 年 10 月	第 65 回執行委員会(日本・福岡)
2012 年 6 月	第 66 回執行委員会(カナダ、トロント)

表 5. 平成 23 年度に日本で開催した第 65 回執行委員会(福岡)

日時	2011 年(平成 23 年)10 月 11 日(木)～10 月 14 日(金)
開催場所	ヒルトン福岡シーホーク ホテル(福岡)
参加人数	 29 名
会議日程	1 日目 OA(作業部会幹事)会議 2 日目 水素エネルギー製品研究試験センター(HyTreC)と九州大学(Hydrogenius)との意見交換会 3～4 日目 執行委員会
得られた情報	(1) 各国の状況 ① 米国の水素 FC 関連予算(米国の報告より) ・現在 2012 年度予算を議会が審議中。DOE の予算要求は約 1 億ドルだが、下院は 9100 万ドルを、上院は 9800 万ドルを回答。おそらくその中間の金額になる見込み。 ② フランスと欧州燃料電池水素共同実施機構の状況(フランスの報告より) ・フランスとしては、欧州燃料電池水素共同実施機構(FCH JU)での枠組みで引き続き FC/水素の R&D を推進。フランスにおける中核企業は Air Liquide。 ・現在 FCH JU は第四回目の公募を実施。FCH JU 終了後の 2014 年以降の枠組みも検討されている。ポスト FCH JU は、交通分野を重視することになる見込み。 ③ HyNor プロジェクト(ノルウェーの報告より) ・ノルウェーでは HyNor プロジェクト を推進しており、水素ハイウェイ構築のために水素ステーションを整備中。現在 5 箇所。 (2) 各作業部会の報告

## ② IEA/AFCIA の動向の調査・検討・普及

### 1) 国際技術開発動向の把握

IEA/AFCIA の各作業部会に専門家を派遣、表 6 の情報を得た。

また平成 24 年度は関係者との連携の下で Annex 25(定置用 FC) 会合を日本でホストし(平成 24 年 10 月、福岡)、情報収集を行った。

表 6. IEA/AFCIA の各作業部会における成果

作業部会	成果
Annex 22 (PEFC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PEFC の材料・現象に関する意見交換と政策情報交換を実施。</li> <li>- 高温作動 PEMC、DEFC、非白金系の新規電極触媒の開発状況、再生可能燃料からの水素製造、PEFC の劣化挙動など、極めて技術的な意見交換が中心。</li> <li>- 欧州からは政策の発表も多い。</li> </ul>
Annex 24 (SOFC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- SOFC の主要メーカーが参画。</li> <li>- 豪 CFCL の「BlueGen」の販売、デンマークの SOFC 研究開発、フランスの SOFC/SOEC 開発、イタリアの SOFC 開発などの報告あり。</li> <li>- 共有情報は日本の対応委員を通じて、NEDO プロに反映。</li> </ul>
Annex 25 (定置用FC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 世界の定置 FC 主要メーカーが参画。</li> <li>- 政策情報(ドイツ、デンマークの定置 FC 政策)、技術情報を共有。</li> <li>- 再生可能エネルギー貯蔵手段としての水素の発表も多い。</li> <li>- 日本の NEDO プロ、SOFC 実証試験、エネファーム導入状況等の紹介(解説)に対する評価は高く、委員の強い要望をうけて、平成 24 年度秋季会合を日本(福岡)で開催することになった。</li> </ul>

### 2) 執行委員会への参加と情報収集

平成 24 年度より、IEA/AFICA の執行委員会(平成 24 年春季、カナダ、トロント)に参加、各国の燃料電池関連研究開発動向(各国代表)などの情報を入手した(表 7)。

表 7. 第 44 回執行委員会(平成 24 年 6 月、カナダ トロント)での情報

得られた 情報	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各 Annex の OA から概要説明がなされ、情報共有と運営効率の強化がなされた。</li> <li>・再生可能エネルギー貯蔵の点で注目が高まる水電解に関し、PEM 形電気分解セル(PEMEC)と固体酸化物形電気分解セル(SOEC)を、Annex22(PEFC)と Annex24(SOFC)傘下にサブタスクを儲けることで検討予定。</li> <li>・日本より、Annex25(定置用 FC)の秋季会合を日本開催(福岡)で調整していることを報告。</li> </ul>
------------	--

### ③ IPHE の動向の調査・検討・普及

#### 1) IPHE における対応

IPHE の各委員会に出席し、最新動向、活動内容を入手、わが国からの情報を発信した(表 8)。また IPHE の議論を分析、わが国の政策や技術開発への影響を分析した。対応が必要な議論や動きに関しては、国内関係者と連携し、その対応を行った。

表 8. IPHE 関連会合とその成果

平成 22 年 5 月 (同時開催)	第 13 回委員会(ドイツ、エッセン) IPHE スチューデントコンペティション
	【成果】
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ドイツが初めての議長。ワークショップを中心に産業界と連携していく方針を打ち出す。</li> <li>・ IPHE の組織を改変。運営委員会と実行連絡委員会を一体化(運営委員会に統合)。</li> <li>・ 進展のないプロジェクトの見直し、中止。</li> </ul>
平成 22 年 9 月 (同時開催)	第 14 回委員会(中国、上海) FCV デモンストレーション国際ワークショップ
	【成果】
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ IPHE のビジョンを採択。</li> <li>・ 中国を中心に「大臣級会合準備タスクフォース」結成。</li> <li>・ 要請を受け、日本で定置用 FC 国際ワークショップを開催することを受け入れ。</li> </ul>
平成 23 年 3 月	定置用 FC 国際ワークショップ(東京)
	【成果】
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 日本(東京)にて、約 80 名(招待のみ)が参加してワークショップを実施。</li> </ul>
平成 23 年 5 月	第 15 回委員会(カナダ、バンクーバー)
	【成果】
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ IPHE の延長の可能性を議論</li> <li>・ 定置用 FC 国際ワークショップの成果を報告。</li> <li>・ 再生可能エネルギー由来水素国際ワークショップの実施を決定。</li> </ul>
平成 23 年 11 月	第 16 回委員会(ドイツ、ベルリン)
	【成果】
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ IPHE の正式延長を決定。</li> <li>・ 産業界(ステークホルダ)との対話を実施。</li> </ul>
平成 24 年 5 月	第 17 回委員会(南アフリカ、ケープタウン)
	【成果】
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ IPHE の 10 年延長を決定。</li> <li>・ 年会費については意見がまとまらず。</li> <li>・ 南アフリカの産業界との対話を実施。</li> </ul>
平成 24 年 11 月 (同時開催)	第 16 回委員会(スペイン、セビリア) 再生可能エネルギー由来水素国際ワークショップ

## 2) IPHE ワークショップの運営と情報収集(平成 22 年度)

IPHE 対応の一環として、平成 23 年 3 月に定置用 FC 国際ワークショップを運営・開催した(図 1)。ワークショップの報告書を作成し、IPHE に提出し、IPHE ホームページで公開されている(図 2)。

### プログラム

**1 挨拶**

- ・飯田健太(燃料電池推進室長)
- ・Kai Klinder(ドイツ NOW)

**2 政策セッション**

- ・NEDO
- ・FCH JU
- ・米国 DOE
- ・NOW

**3-1 住宅用セッション**

- ・東芝
- ・E.ON
- ・Baxi
- ・アイシン精機
- ・CFCL
- ・Clear Edge
- ・KOGAS

**3-2 産業用セッション**

- ・富士電機
- ・UTC
- ・POSCO
- ・三菱重工
- ・Ballard
- ・Wärtsilä

**4 ディスカッション**

- ・セッションからの報告とディスカッション



飯田 健太 燃料電池  
推進室室長ご挨拶



Kai Klinder, Managing Director  
NOW GmbHご挨拶



ディスカッション

図 1. 定置用 FC 国際ワークショップの運営(プログラム、会議の様子)

4th IPHE Workshop Report Stationary Fuel Cells

**Opening Remarks by METI**  
*Kenta Iida, Director, Hydrogen and Fuel Cell Promotion Office*

Japan is the founding member of IPHE, and we support its activities since its founding in 2003. It is our honor that Japan hosts 4th IPHE Workshop Report Stationary Fuel Cells in Tokyo.

- To achieve 3Es (Energy security, Environment protection, and Economic efficiency) simultaneously, METI has been promoting "Green Innovation" technologies, and hydrogen and fuel cell technology is an important part of the green innovation.
- Japan is the world first country to commercialize residential fuel cells. Since 2009, Japanese manufacturers have been selling ENE-FARM (1 kW PEMC system). As of end of this February, nearly 10,000 units have been sold in Japan. The top runner units can reduce more than 100 kg-CO<sub>2</sub>/month, 38% reduction if compared with thermal power plant.

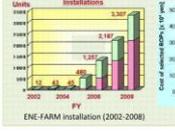
**IPHE Remarks**  
*Kai Klinder, Managing Director, NOW GmbH*

- In the fields of fuel cell and hydrogen, we need co-operations, because no one can promote the technology, alone. That is why we have established IPHE in 2003.
- NOW is also willing to promote bilateral cooperation, with Japan (NEDO), USA (USA), and Korea.
- FC technology in stationary / CHP application is competing with existing technologies. The cost is still high. FC's durability and performance are becoming acceptable but need to be improved.
- "Think Global, Act Local" is the keyword for us all. This workshop will provide very good opportunity to learn the best practices.

**Government Session**

*Activities of NEDO for practical use of stationary fuel cells*  
*Atsumu Okawara, Chief Officer, Fuel Cell and Hydrogen*

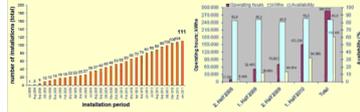
- Japan has selected 21 key technologies for "C" technology in listed as a core technology in production, storage and transport.
- Japanese companies started selling residential fuel cells "ENE-FARM". The Ministry of Economy, program to increase demand of ENE-FARM and 2008, more than 3000 units were installed. With were offered for FY 2009-2010. For FY 2011, we will expand cooperation among PEMFC, mainly resulting in the performance improvements and of (2006-2009). BOP system cost has been reduced 1/3. Under the SOFC program, 36 stationary SOFCs. Some units have achieved the durability of 8,000 hours.



4th IPHE Workshop Report Stationary Fuel Cells

**Callux - The German Lighthouse Project for Market Introduction for Domestic Fuel Cell CHP Systems**  
*Dr. Stephan Rameschl, Vice President Research and Development, E.ON Ruhrgas AG*

- CALLUX has started in September 2008. CALLUX target is to prepare the market launch of gas-driven fuel cell heating appliances by demonstrating technical maturity, developing supply chains, enhancing product profile on the market, and validating requirements against customers and the market.
- Approx. 800 fuel cell heating appliances are to be installed under the CALLUX field test by 2012 and to be operated in some cases until 2015. Today 111 fuel cell heating appliances are in operation.
- CALLUX has a total investment volume of more than €80 million, of which 52% are contributed by the project partners.



4th IPHE Workshop Report Stationary Fuel Cells

**Cooperation as Success Factor for the German National Innovation Program**  
*Kai Klinder, Managing Director, Program Management Stationary Fuel Cells, NOW GmbH*

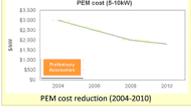
- In Sept 2010, German Government has announced "Climate Protection Plan 2050", which aims to reduce the primary energy consumption by 80% until 2050, and to reduce GHG emission by 80% -95% until 2050. For that purpose, Germany will invest 20 billion € per year. High efficient fuel cells, FC CHP and FCs with bio-energy will directly support the major climate protection targets.
- Germany has launched National Platform for Hydrogen and Fuel Cell Technologies (NPH) to invest totally 1,400 ME into FC/H2 applications in 2007-2016. 200 ME is funded by Federal Ministry of Economics, focusing on R&D. 500 ME is funded by Federal Ministry of Transport, Building & Urban Affairs, focusing on demonstration with R&D.
- NPH plans to allocate 30% of the budget to the stationary applications (FC CHP for residential and small business applications, and marine application).
- Lighthouse CALLUX (High-efficient co-generation for residential houses) program has started in Sept 2008. With the budget of 80 ME, 800 units will be installed by 2015.
- Other than CALLUX, 7 development projects with SOFC, LI-PEM and HT-PEM, and 1 research project "Dematerialisation Standard" are ongoing.
- In a global market, a synchronized global R&D and market preparation schedule is required.



4th IPHE Workshop Report Stationary Fuel Cells

**Large scale demonstration project**  
*Dr. Ralf Breda, Deputy Program Manager and Chief Engineer for the FC Technology Program, US DOE*

- DOE's targets for stationary FCs are the durability of 40,000 hours and system cost of 750\$/kW. The system cost is one of the largest barriers for commercialization, so the DOE is promoting Market transformation program to support the market introduction.
- For stationary FCs, DOE is primarily focusing on PEMFC technology, but also promoting SOFC technology, too.
- With DOE's R&D program, 35% electrical efficiency and 61% CHP efficiency have been demonstrated by LI-PEM. Over 7,000 hours durability with load cycling has been demonstrated in 20-cell stack. PEM cost is also 40% reduced from 2004 to 2010.
- DOE's targets for micro CHP (0.10 kW) on natural gas are the electrical efficiency of 42.5%, CHP efficiency of 87.5%, cost of \$700/kW, and the durability of 40,000 hours.
- With DOE's market transformation program, industry scale FCs (up to 1 MW) are already installed at supermarkets and factories.



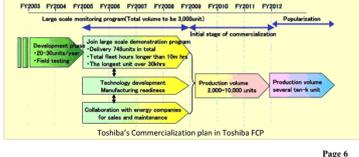
4th IPHE Workshop Report Stationary Fuel Cells

**Parallel Session 1 Residential & Micro-CHP Application**  
*Chair: Takahiro Kasah, Associate Director, General Manager, Osaka Gas*

**Challenge to expand the commercialization opportunity with residential PEM, ENE-FARM**  
*Yuji Nagano, Technology Executive, Toshiba Fuel Cell Power Systems Corporation*

Through the verification and introduction phase, Japan started the commercialization of small residential PEM with standard name, "ENE-FARM" in January 2009. The key factors for the success are (i) governmental leadership, (ii) collaborative development under NEDO Project, (iii) technology potential of manufacturers with long history, (iv) collaborations among Japanese companies FCCI, and (v) partnership with energy companies and manufacturers.

- Toshiba has started the delivery of the initial commercial unit in 2009 with around 2,000 units per year, and 10,000 Toshiba units will be installed by 2012.



4th IPHE Workshop Report Stationary Fuel Cells

**FCI - EU European public/private joint support for fuel cells and hydrogen activities**  
*Mirela Hatanu, Project Manager Stationary Applications, Fuel Cells & Hydrogen Joint Undertaking*

3 pillars of the EU Energy Policy are "sustainable development", "security of supply" and "competitiveness". In this respect, fuel cell and hydrogen technologies are key towards Europe's 20-20-20 targets (by 2020, 20% increase in renewable, 20% decrease in emissions, and 20% increase in efficiency).

- The objectives of FCI JU are (i) to bring resources together under a cohesive, long-term strategy (public-private partnership), (ii) to ensure commercial focus by matching R&D activities to industry's needs and expectations, and (iii) to scale-up and intensify links between industry and the Research Community.
- By today, three calls have been launched. The 2011 call will be the biggest call. 34.37% of FCI JU budget will be allocated for stationary power generation and CHP area.
- FCI JU's stationary application targets are (i) installation: 1 - 7 MW electrical capacity by 2010 and 100 MW electrical capacity by 2015, (ii) cost: 5 000 - 6 000 €/kW for micro CHP units and 1,500 - 2,500 €/kW for commercial/industrial units.

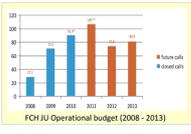


図 2. 定置用 FC 国際ワークショップの報告(英文) 注:IPHE ホームページで公開

### 3) IPHE アワードへの日本からの推薦の支援(平成 22 年度)

IPHE が隔年で実施してきた IPHE アワード(IPHE によって、FC/水素分野でのリーダーシップと技術功績をたたえるもの。2 年毎に実施)に関して、経済産業省および関係機関と連携し、日本からの推薦の支援と IPHE 会議での紹介を行なった(優秀リーダーシップ賞に福岡水素エネルギー戦略会議、技術功績賞に秋葉悦男産業技術総合研究所副研究部門長)。この推薦2件は、IPHE アワードの受賞を得ることができた(図 3)。

<p><b>News Release</b></p> <p style="text-align: right;">経済産業省 Ministry of Economy, Trade and Industry</p> <p style="text-align: center;">平成 22 年 5 月 18 日</p> <p style="text-align: center;">水素経済のための国際パートナーシップ (IPHE) で 優秀リーダーシップ賞と技術功績賞の受賞</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・「優秀リーダーシップ賞」: 福岡水素エネルギー戦略会議</li> <li>・「技術功績賞」: 秋葉悦男産業技術総合研究所副研究部門長</li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> <p>「水素経済のための国際パートナーシップ (IPHE)」による、2010 年の「優秀リーダーシップ賞」を福岡水素エネルギー戦略会議が、「技術功績賞」を独立行政法人産業技術総合研究所の秋葉悦男副研究部門長がそれぞれ受賞いたしました。</p> <p>5 月 17 日にドイツにおいて受賞式が行われましたのでお知らせいたします。</p> </div> <p><b>1. 水素経済のための国際パートナーシップ (IPHE) とは</b> 水素経済のための国際パートナーシップ (IPHE: International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy) とは、平成 15 年に米国エネルギー省が提唱した、水素・燃料電池に係る技術開発、基準・標準化、情報交換等を促進するための国際協力枠組みで、現在、我が国を含む 18ヶ国・機関が参加しています。</p> <p>IPHE では、2006 年より、水素経済への移行に貢献した個人、団体、国際プロジェクトを表彰しており、授賞式は本年 5 月 17 日 (月)、ドイツエッセンにおいて行われました。全体では 5 団体・個人が表彰され、日本から福岡水素エネルギー戦略会議及び秋葉副研究部門長が表彰されました。</p> <p>また、IPHE での水素・燃料電池における将来の人材育成の一環として、グローバルスチューデントコンペティションにて、5 カ国の代表校が表彰され、日本から秋田県立秋田工業高等学校が表彰されました。</p> <p><b>2. 福岡水素エネルギー戦略会議の優秀リーダーシップ賞 (Excellence in Leadership Award) 受賞</b> 福岡水素エネルギー戦略会議は、環境に優しい水素エネルギー社会の実現に向け、平成 16 年 8 月に我が国の先進的な水素関連企業が結集して設立されたものです。福岡水素エネルギー戦略会議では、九州大学を中核とした世界最先端の研究開発、「福岡水素タウン」や「水素ハイウェイ」、「北九州水素タウン」の先導的な社会実証、全国唯一の水素人材育成、水素エネルギー新産業の育成・集積、世界最先端の水素情報拠点の構築を柱とした「福岡水素戦略 Hy-Life (ハイライフ) プロジェクト」を展開しています。</p> <p>今回の受賞は、水素エネルギー社会の実現を目指し、世界最先端の取り組みを総合的に進める福岡水素エネルギー戦略会議の取り組みが高く評価されたものです。</p>	<p><b>3. 秋葉悦男産業技術総合研究所副研究部門長の技術功績賞 (Technical Achievement Award) 受賞</b> 秋葉副研究部門長は、約 30 年前から水素貯蔵材料に関して基礎から応用まで幅広い研究を続けており、世界のトップレベルの研究者として広く知られています。特に、企業と共同で世界最高性能の水素吸蔵合金の開発に成功するなど新材料の開発と、材料の「水素雰囲気下その場評価」に関して目覚ましい研究成果を挙げられました。同氏は水素貯蔵材料に関する主要な国際学会のほとんどでオーガナイザーを歴任するなど、この分野の世界的なリーダーとして活躍されています。また、現在、NEDO (独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構) の水素貯蔵材料先端基盤研究事業 (HYDRO-STAR) のプロジェクトリーダーを務め、基礎基盤研究に基づく高性能材料開発指針を産業界へ提供することを目指して精力的に活動を進めています。</p> <p>今回の受賞は、同氏のこれまでの水素貯蔵材料分野における創造的な成果が評価されたものです。</p> <p>(写真) 授賞式の様子 ・左から 2 人目が福岡水素エネルギー戦略会議の幹事を務める九州大学水素エネルギー国際研究センター長の佐々木一成教授 ・左から 4 人目が秋葉悦男副研究部門長</p> <p>(参考) IPHE の過去の受賞歴について 2006 年「特別認定アワード」 Jeremy Bentham (Shell)、Don Paul (Chevron) 「技術達成アワード」 HYFLEET: OJTE (EU)、Project Hydrosol (EU) JHFC プロジェクト ( (財)日本自動車研究所、(財)エンジニアリング振興協会) 2007 年「功労賞」 ゲイル・ホルデ氏 (アイスランド首相) 「優秀リーダーシップ賞」 許・偉 氏 (中国科学技術部) 「技術功績賞」 水素ハイウェイ (カナダ・ブリティッシュコロンビア州) 渡辺政廣教授 (山梨大学)</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <p>(本発表資料のお問い合わせ先) 資源エネルギー庁省エネルギー・新エネルギー部 燃料電池推進室長 飯田健太 担当者: 小口、今田 電 話: 03-3501-7807 (直通)</p> </div>
--	--

図 3. 経済産業省ニュースリリースでの紹介(平成 22 年度)

(経済産業省ホームページより)

#### 4) IPHE スチューデントコンペティションへの協力(平成 22 年度)

JHFC プロジェクト(平成 14~22 年度に実施された FCV・水素ステーションの実証研究プロジェクト。平成 21 年度より NEDO 事業)と連携し、IPHE が企画した IPHE スチューデントコンペティション(IPHE が企画した、FCV・水素の研究に秀でた各国の高校生を表彰するもの。IPHE メンバー国が自主的に優秀校を推薦)にわが国から秋田工業高校を推薦し、IPHE スチューデントコンペティション授賞式およびスチューデントプログラム(各国学生との国際交流)に派遣することができた(図 4)。

##### FCコンペティションの想い

###### 次世代を担う高校生、先生たちに水素・燃料電池をもっと知ってもらいたい

JHFCとIPHEは共に、これから大学などで専門知識を学ぶ若者(高校、高专)と、その先生たちに、次世代の新技术として世界が水素・燃料電池に注目していることを知ってもらい、もっと興味を持ってもらいたいという想いが一致しました。さらにJHFCは将来、国際的に活躍できる人材を育てる上で、日本の若い世代に国際会議で発表する機会を提供し体験してもらうことは有意義と考えてIPHE FCコンペティションに参加、国内コンペ実施を決めました。

###### JHFCプロジェクトと相乗効果

JHFCは、今まで主に将来FCVユーザーとなる小学生を対象に教育活動を実施してきました。その活動成果や教育マテリアルは、IPHEを始め国際的にも高い評価を得てきましたが、それらの経験からより広い年齢層へのアプローチを試みたいと願っていました。FCコンペティションの国内選考を通して、FCVを研究したい高校生と協力体制を築くことは、学生たちに更なる研究の機会を提供でき、わたしたちも彼らを通してFCVや国内デモンストレーションのニーズを把握、また機運を高めることができ、相乗効果が得られると考えました。



###### IPHEとの連携

IPHEで承認されたFCコンペティションには、現議長国である米国のほか、カナダ、欧州の主要国が参加することが早くから決定していました。また本企画の提案国であるドイツは、欧州で最も積極的な水素・燃料電池政策を掲げている国です。IPHEと連携することで、技術や情報など様々な国の意見を聞くことが出来るのは、日本にとっても好機と受け止めました。満を持して、2009年日本でもFCコンペティション国内選考を実施することになりました。

##### IPHE学生FCコンペ授賞式

いよいよ本番、IPHE学生FCコンペ各国優秀者の授賞式がWHEC2010プレナリーセッションで行われます。IPHE学生FCコンペ参加国は、ドイツ、アメリカ、アイスランド、ラトビア、日本の五カ国、学生、教師含め30名の参加者は、ホテルから燃料電池バスで会場のメッセ・エッセンに向かいました。

同じ年頃なのに、体格が良く大人びている他国の学生に早々に圧倒されてしまった4人。でも、詰襟学生服で挑んだ表彰式では、一番最初に紹介され存在感たっぷりでした。

表彰状を受け取り、プレゼンターと握手したみんなは、喜びを噛みしめると共に、礎を築いてきた先輩と一緒に取組む仲間、サポートしてくれる地元の方々や先生に心から感謝していますとコメントしました。



日本優秀賞授賞式



秋田工業高等学校の皆さん



各国優秀賞受賞者



WHEC2010プレナリーセッション会場

図 4. IPHE スチューデントコンペティションへの派遣(JHFC ホームページより)

④ IPHE、HIA、AFCIA メンバー国やその主要関連研究機関の政策・技術開発動向の調査・検討

1) 「世界の燃料電池・水素プログラム」とりまとめ(平成 24 年度)

IPHE、AFCIA における情報をもとに、政策情報をとりまとめ、関係者に提供した(内容は、米国、ドイツ、欧州連合に加え、カナダ、ノルウェー、アイスランド、韓国、中国、オーストラリア)。

2) マッキンゼー「パワートレインのポートフォリオレポート」翻訳(平成 22 年度)

欧州連合およびドイツが実施したマッキンゼー「パワートレインのポートフォリオレポート」を翻訳して関係者に配布した(図 5)。



図 5「パワートレインのポートフォリオレポート」翻訳

3) 欧米の水素ステーション規制動向調査(平成 22 年度)

我が国の水素ステーション規制見直しのために水素規制見直しリーダー会議にオブザーバーとして参画、IPHE などのネットワークを用いて DOE、Air Products、Shell、CaFCP、Linde、TUV 等にヒヤリングを実施、米国・ドイツの水素ステーション規制を日本との対比でとりまとめ、関係者に提供した(図 6)。

海外規制動向まとめ(米国、ドイツ)	現況(法/規制の概要)	規制・基準の理由/根拠	国際標準化動向(TC197委員会)
<p>保安検査の簡略化</p> <p>米 州によっては消防署による形式的な検査が必要であるが、外観検査、目視点検レベルで特別な装置を用いない程度で検査を実施。 (ASMEスタンプ発行の要件は厳格中。)</p> <p>独 「ドイツ企業安全基準例第22」により、ドイツ技術検査協会(TÜV/テュフ)をはじめとした有資格安全組織(第三者認証機関)による検査が必要。 この第三者認証機関は州ごとに異なる。 検査においては、「運用安全に係る技術規制※3」が適用される。 さらにTÜV(ドイツ技術検査協会)では現在、「水素充填ステーションの運用規制」のドラフトを策定し、すでに検査に利用されている。</p>	<p>ASME認可の容器では定期検査は法的には不要。 配管についても検査不要。 検査の実施は、検査項目を全ての所有者の判断による。自主検査の位置づけであるが、一般的にASME基準以上の基準を設け、技術力を示すものとしている。具体的には、ASMEエンパワは圧力変動試験に注目し検査対象での位置の期間(10年あるいはそれ以上)となる予定)で検査すべきの要件。 TÜV(水素充填ステーション)の運用規制ドラフトでは、登録試験機関(TÜV)による10年ごとに強度検査を義務づけている。ただし、ステーション全体は5年ごとに検査が必要。 ステーション運用者が規制・基準に基づいて定期検査を実施し、TÜVのような認定試験機関が、その検査チェックを承認する。 *ドイツでは、米国と異なり消防署など、市や州が検査を最終承認・認可することは無い。</p>	なし。	<p>圧力容器についてはW96(車載用高圧水素容器)があるが(対象:タイプ1金属性容器、タイプ2複合容器、特殊ISO/TS15869(技術仕様)でTS(国際標準)はこれからの作業。現時点で定期検査に関する規定は無い。 ステーション用圧力容器(蓄圧器)はW915として2010年5月に立ち上げられ、ISはこれからの作業。タイプの金属性容器についてはISO2669-1と2(充填可能な高圧ガス容器)にて材料・試験方法などを参考としている。</p>
<p>設計係数の見直し</p> <p>米 高圧ガス保安法に該当する法規はなく、市や郡の消防署が米国防火協会防火標準(NFPA)を定めている。NFPAは家内においてASMEを参照すること規定しており、実質的にASME基準を適用することになる。 具体的にはNFPA 55(高圧ガス、液化燃料の貯蔵基準)において、容器は「受動性の規制、カナダ運輸省危険物輸送基準、ASMEエンパワ及び圧力容器基準に基づいて設計・製造・検査・認証される」と規定されている。 配管: チューブ、継ぎ手等は「ANSI/ASME B31(工業プロセス用配管)」の要求や、その他の承認された基準に基づいて設計・製造・検査される」と規定されている。</p> <p>独 欧州委員会によって高圧機器指令(PED)(97/23/EC)等により規定したものに各国が従っている。</p>	<p>【圧力容器】 米国溶接研究会(WRC)が1999年に発表したレポート「WRC Bulletin 465」によれば、ASME Section VIII, Division 10改訂(安全係数4→8.5)は、ASME規格で製造された圧力容器の連続運転が良好であること、各種破壊モードの影響がない、過去の改善により同規格の安全性が向上していること等が確認されたことにより緩和されたとされている。 【配管】 ASME B31で安全係数は3と定めている。</p> <p>【圧力容器】 欧州委員会規格406/2010(26 April 2010)により調製したCFFRPの規格は2.42.25に定められている。 規格406/2010(水素動力車用型式認定規則の実施規則)のAnnex IV Part 2「4テスト方法、4.2 容器試験(Burst test) 4.2.1 破断試験(Burst test) 4.2.2 方法」 容器は標準で米国による破断テストを実施。昇圧速度は、名目使用圧力の80%×安全係数(2.25)以上の圧力では1.4 MPa/秒以下。(以下略)</p>	<p>米国溶接研究会(WRC)が1999年に発表したレポート「WRC Bulletin 465」によれば、ASME Section VIII, Division 10改訂(安全係数4→8.5)は、ASME規格で製造された圧力容器の連続運転が良好であること、各種破壊モードの影響がない、過去の改善により同規格の安全性が向上していること等が確認されたことにより緩和されたとされている。</p>	<p>【S-3規格同】圧力容器についてはW96(車載用高圧水素容器)があるが(対象:タイプ1金属性容器、タイプ2複合容器)、特殊ISO/TS15869(技術仕様)でTS(国際標準)はこれからの作業。ステーション用圧力容器(蓄圧器)はW915として2010年5月に立ち上げられ、ISはこれからの作業となる。タイプの金属性容器についてはISO2669-1と2(充填可能な高圧ガス容器)にて材料・試験方法などを参考としている。 【配管】バルブTC1977は調製中。</p>

- 調査項目**
- ・ 使用可能鋼材の拡大
  - ・ 設計基準(耐圧安全係数)の見直し
  - ・ 輸送用複合容器の適用範囲拡大
  - ・ 市街地における水素貯蔵量の増加
  - ・ 保安検査の簡略化
  - ・ 開放周期の周期延長
  - ・ 複合容器の蓄圧器としての使用
  - ・ 保安距離の更なる緩和
  - ・ 改質器の無人運転
  - ・ 防爆性能の見直し
  - ・ 蓄圧器等のキャンピー上設置
  - ・ ディスペンサーの並列設置
  - ・ 公道でのFCVへの充填
  - ・ CCS用CO2回収設備の付帯設備化

図 6. 米国・ドイツの水素ステーション規制状況の取りまとめの内容

## ⑤ 情報の展開・普及及び共有化活動

### 1) 活動報告会の開催(平成 22 年度～)

平成 22 年度(平成 23 年 2 月)は IEA/HIA に関して、また平成 23 年度(平成 24 年 2 月)は IEA/HIA と IEA/AFCIA の両方に関して、年度末に活動報告会を開催している。活動報告会では、各作業部会を担当する専門家が部会の活動を報告し、質疑応答を行っている。活動報告会参加者は、産学官における水素関連の研究開発・実証試験などに携わる研究者・技術者(約 40 数名が参加)。

### 2) 国際情報共有ネットワークの立ち上げと専用 HP の開設(平成 24 年度～)

平成 23 年度 10 月より、FC/水素政策関係者、NEDO、NEDO プロの委託先等を中心に国際情報ネットワークを構築、登録者は現在約 100 名(図 7、図 8)。発信している内容は、作業部会や国際会議の報告、海外政策情報、マンスリーニュースなど。これにより従来は IEA/HIA や IEA/AFCIA の活動報告は年間 1 回(毎年 2 月の活動報告会)のみであったが、タイムリーに国際情報を関係者に提供できるようになった。

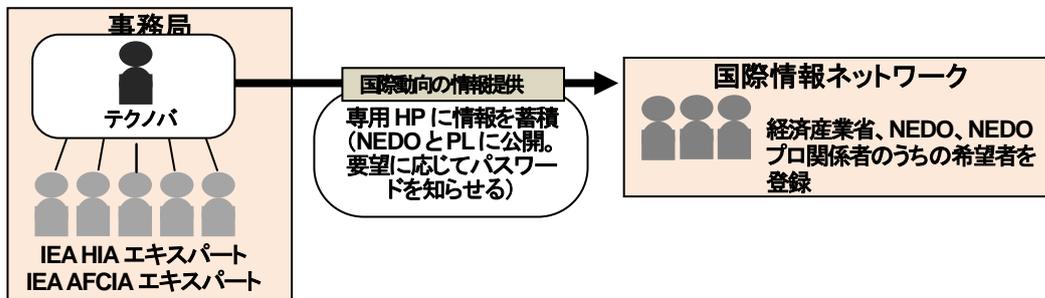


図 7. 国際情報共有ネットワークの立ち上げ

Technova Inc. 株式会社テクノバ [サイトマップ](#) | [個人情報の取り扱いについて](#)  
[ホーム](#) > [事業分野](#) > [エネルギー・環境](#) > 国際情報共有ネットワーク  
 NEDO「水素・燃料電池に係る国際関連機関等研究・政策動向の調査検討」事業

Posted: 2012/7/6 IEA水素実施協定(HIA)分科会報告

- Task23(オンサイト水素供給用小規模改質器、2012年4月ワークショップ)報告
- Task28(大規模水素供給インフラ、2012年4月会合)報告
- Task29(分散コミュニティ水素システム、2012年6月会合)報告
- Task29(分散コミュニティ水素システム、2012年6月会合)サブタスク2.2 活動レポート(英文)
- Task29(分散コミュニティ水素システム、2012年6月会合)サブタスク2.3 プロジェクト選定レポート(英文)
- Task29(分散コミュニティ水素システム、2012年6月会合)伊藤氏(AIST)プレゼンスライド
- Task30(グローバル水素システム分析、2012年3月会合)報告
- Task30(グローバル水素システム分析、2012年3月会合)議事録(英文)
- Task30(グローバル水素システム分析、2012年3月会合)分科会からIEA上部組織(エネルギー研究技術委員会)への報告(2011年11月)
- Task30(グローバル水素システム分析、2012年3月会合)安田氏(東京ガス)プレゼンスライド

Posted: 2012/6/4 韓国「水素タウンモデル事業」に関して(2012年5月28日発表)

- [韓国「水素タウンモデル事業」に関して](#)

Posted: 2012/3/16 NEDO IEA HIA水素実施協定・AFCIA先端燃料電池実施協定活動報告会プレゼンテーション(2012年2月22日)

- HIAの概要
- HIA Annex 21(バイオ水素製造)
- HIA Annex 22(水素貯蔵材料)
- HIA Annex 23(定置式小規模改質器)
- HIA Annex 24(風力発電→水素製造)
- HIA Annex 26(水の電分解による水素製造)
- HIA Annex 28(大規模水素インフラ)
- HIA Annex 29(分散型水素システム)
- HIA Annex 30(グローバル水素システムの分析)
- HIA Annex 31(水素安全)
- AFCIAの概要
- AFCIA Annex 22(PEFC)
- AFCIA Annex 24(SOFC)
- AFCIA Annex 25(定置用FC)

図 8. 国際情報ネットワークの専用 HP の開設

### 3) 国際動向レポートの発行(平成 23 年度～)

IEA/HIA、IEA/AFCIA、IPHE など得られた情報、また各国の動きがある場合に、その情報(レポート翻訳、概要解説、会議参加報告書)を前述の国際情報共有ネットワークを活用して発信(平成 23 年度はほぼ隔月～3 ヶ月に 1 回程度、平成 24 年度月上旬は隔月で発信)。平成 24 年 7 月からはマンスリーレポートも配信。

### 4) 作業部会のサポートチーム設置(平成 24 年度～)

IEA/HIA、IEA/AFCIA の作業部会のうちでも、そのテーマが担当する専門家だけでは対応が難しい場合、他の企業や研究機関にも関わりがある場合、また戦略的な情報発信が必要な場合は、その作業部会に出席する専門家のサポートチームを構築した(表 9)。

表 9. 作業部会のサポートチーム設置

作業部会	エキスパート	サポートチーム
IEA/HIA Annex 28 (大規模水素インフラ)	東京ガス 日産自動車	(確認中)
IEA/HIA Annex 30(グローバル水素システムの分析)	東京ガス	日本自動車工業会、エネルギー総合工学研究所、JX 日鉱日石エネルギー
IEA/HIA Annex 31 (水素安全)	東邦大学	日本自動車工業会、水素供給・利用技術研究組合(HySUT)、日本自動車研究所(JARI)、燃料電池実用化推進協議会(FCCJ)

### 5) 経済産業省燃料電池分科会への海外情報提供と FCV 普及予測の実施(平成 23 年度)

経済産業省燃料電池分科会(平成 23 年 6 月 3 日)に海外情報を提供した。また FCCJ や関係機関・組織と連携し、2015 年～2030 年に向けての FCV 普及予測を行い、あわせて提供した。その後も業界(FCCJ など)の意見を参考に、FCV 普及予測を修正・アップデートした。FCV 普及予測は、大手自動車 3 社の意見を元に、4 つのパラメータ(車両の魅力、燃料経済性、強力な政策支援、車両価格低減)で分析を行った。その結果、普及台数は、2025 年における FCV の普及予測は、36 万台から 240 万台の間となった(表 10、図 9)

表 10. FCV の普及予測

FCV 普及に関するパラメータ				インフラ	2025年時点での普及台数
車両の魅力	燃料経済性	強力な政策的支援	車両価格低減		
あり	あり	あり	(最初から)あり	(最初から)あり	➡ 240万台
あり	あり	あり	(徐々に)進む	(最初から)あり	➡ 146万台
あり	あり	なし	(最初から)あり	(最初から)あり	➡ 50万台
あり	あり	なし	(徐々に)進む	(最初から)あり	➡ 36万台



⑥ 再生可能エネルギー由来水素の技術動向

再生可能エネルギー由来水素の可能性に関して、世界の政策動向と最新の技術動向をとりまとめ、「非化石資源および低炭素資源による水素製造の可能性」(120 ページ)として報告した(表 11～表 12)。

表 11. 「非化石資源および低炭素資源による水素製造の可能性」の概要①

各国の政策

米国:水素実行プランで 2040 年の水素需要の半分をカーボンニュートラル源とすることを想定。

ドイツ:2050 年に向かって風力由来水素と石炭ガス化水素で 8 割以上を賄う(GermanHy、右図)。

	2010	2015	2020	2030	2050
水素需要コスト	1,000 台以下 ・CEPII ・デモンストレーション ST 約 10 カ所	10 万台以下 ・初期市場 ST 142-218 カ所	乗用車 35 万-58 万台 商用車 56-96,000 台 ST 1296-2666 か所 4.5~5 ユーロ/kg	乗用車 410-640 万台 商用車 382-598,000 台 ST 3,497-8,816 か所 3.5~4.5 ユーロ/kg	2200-3800 万台 ・初期市場 ST 7,275-12,388 カ所
水素源		天然ガス		石炭(CCS 併用) 再生可能エネルギー(風力) バイオマス	再生可能エネルギー由来電力(輸入)
水素インフラ		副生水素	液体水素(トレーラー輸送)	圧縮水素(パイプライン輸送)	
	天然ガス改質/水電解		オンサイト水素製造		水電解

GermanHy の水素ロードマップ

欧州連合:2015 年に水素需要の 10~20%をカーボンフリー/低炭素とする(右図)。

欧州燃料電池水素共同実施機構 多年度研究計画 2008-2013

分野	2010 年目標	2015 年目標	
		量	コスト・技術
交通、充填インフラ	- 1 地域で FCV を 10 台、既存水素ステーション(供給能力 50 台規模)への展開 - 3 地域に FC バス 20 台導入(適切な能力の水素ステーション)	- 追加 3 地域で 500 台(LDV)、水素ステーション 3 箇所追加 - 10 地域(うち 7 箇所は新規追加)で FC バス 500 台、充填ステーション能力>400kg/日	システムコスト: 100€/kW 車載時の耐久性: 5000 時間 商業水素ステーションインフラロードマップの策定
水素製造、輸送	交通用、定置用、初期市場用に適した適切な水素供給チェーン(燃料純度を含む)の構築 <b>2015 年においては水素需要の 10~20%はカーボンフリー/低炭素水素</b>		水素ステーションでの水素コスト: <5€/kg(€0.15/kWh) 水素貯蔵密度の向上: 9%wt 水素
定置用発電、CHP	EU での前商業化レベルのデモンストレーション: 3~7MW	~100MW	マイクロ CHP: €4,000~5,000/kW 産業・商業発電: €1,500~2,500/kW
初期市場	新規 500 ユニット - UPS/バックアップ: 50 ユニット - 産業車両/オフロード車両: 20 ユニット - ホータブル/マイクロ FC: ~400 ユニット	新規 14,000 ユニット - UPS/バックアップ: 1,000 ユニット - 産業車両/オフロード車両: 500 ユニット - ホータブル/マイクロ FC: 12,000~13,000 ユニット	

HyWays とマッキンゼーレポートの両方とも、CCS と風力が重要な役割を果たしている。

非化石資源による水素製造技術の開発動向

現実的な非化石資源由来水素製造技術は水電解。

表 12. 「非化石資源および低炭素資源による水素製造の可能性」の概要②

水電解を中心とする水素コストの目標・試算・分析

わが国の風力発電による電力コストと電解水素のコストを適用しても、大規模風力(4.5MW以上)で10~14円/kWhが、中規模風力(3MW~600kW)で18~24円/kWhの電力コストが達成できる見込み(下図)。

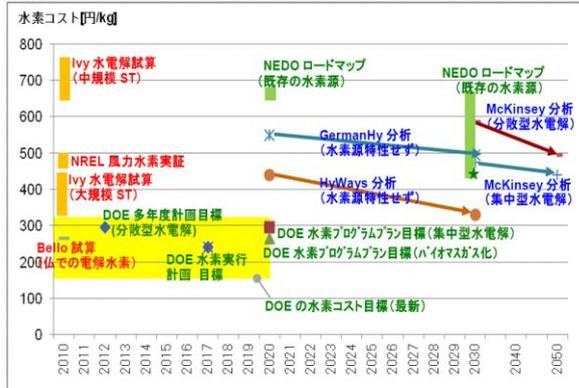


図 2-1. 水素コストの目標・分析・試算のまとめ  
(緑: コストの目標値、赤: 現在コストの試算、青: 将来コストの分析値)

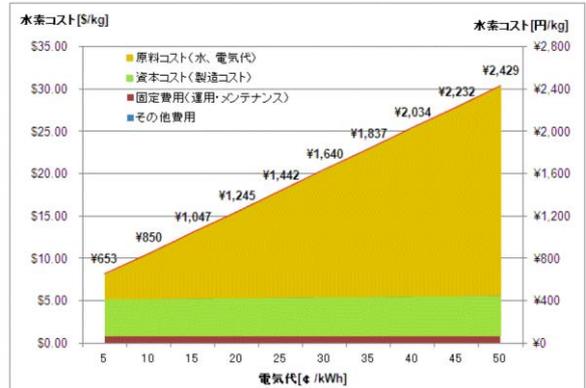


図 2-3. 中規模ステーションの電力価格と水素コストの関係  
注: NREL (IVY) を参考に試算。原料コストと資本コストは電力料金に比例するとした。

水電解の技術的課題の整理

水電解の課題を整理(右図)。

表 6-1. 水電解による水素製造技術の課題と R&D 項目

システム効率と電力コスト	パワーエレクトロニクス(再生可能エネルギー発電装置)	資本コスト/設置面積
<ul style="list-style-type: none"> <li>- メンブレンの改良</li> <li>- 触媒、電極の改良</li> <li>- アーキテクチャの最適化</li> <li>- 水素ドライヤの改良</li> <li>- 需要変動、電力変動に対応するためのシステム最適化</li> <li>- 高温運用のための改善</li> <li>- 圧縮機効率の向上</li> <li>- パワーエレクトロニクスの改良</li> <li>- 中圧~高圧運用のための改善</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- パワーエレクトロニクスの標準化と量産性向上</li> <li>- 再生可能エネルギーによる発電装置のパワーエレクトロニクスと、電解装置のパワーエレクトロニクスの統合</li> <li>- コストの低減</li> <li>- 効率の向上</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 低コストメンブレン</li> <li>- 低コスト触媒</li> <li>- アーキテクチャの改良</li> <li>- 水素ドライヤの改良、水素品質の制御</li> <li>- 製造・設置コストの低減</li> <li>- システム効率の向上</li> <li>- 製造量の増加</li> <li>- 大規模化</li> <li>- 低コストな熱マネジメントとシール材の開発</li> <li>- 需要変動に対応するためのシステム最適化</li> <li>- DFMAと量産、BOP開発</li> <li>- システム部品の統合</li> <li>- システムの耐久性向上と長寿命化</li> <li>- 認証・基準・標準の策定</li> <li>- 分散型システムでの設置面積低減: 7000ft<sup>2</sup>(650m<sup>2</sup>)</li> </ul>
<b>製造</b>		<b>運用・メンテナンスコスト</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 低コストな分離・精製技術</li> <li>- システムの耐久性向上、長寿命化</li> <li>- BOP(水精製装置、ユーティリティ関連装置、センサー等)の低コスト化</li> <li>- 分散型水素製造技術のための DFMAによるモジュールデザイン</li> <li>- 大規模集中型水素製造のための DFMAによるスケールアップデザイン</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 人手がかからない運用、プロセス制御の自動化</li> <li>- システム信頼性向上、耐久性向上、長寿命化</li> <li>- 材料・エネルギーのロスの低減</li> <li>- BOP(水関連装置、ユーティリティ関連装置、センサー)の運用・メンテナンスコストの低減</li> <li>- 水素ドライヤの改良</li> <li>- システム部品の統合</li> <li>- ターンダウン最適化による資本利用率の向上</li> <li>- システム効率の向上</li> </ul>
<b>電力網からのエミッション</b>		<b>制御・安全</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- システム効率の向上</li> <li>- 電源構成の改善</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- システム部品の統合</li> <li>- ターンダウンの最適化</li> <li>- 認証・基準・標準の策定</li> <li>- 安価なセンサーの開発</li> </ul>

出所: Hydrogen Production Technocal Team, FreedomCAR & Fuel Partnership 「Hydrogen Production Roadmap 2009」(DOE, 2009)

#### 4. まとめ及び課題

日本と欧州で定置用燃料電池市場が立ち上がり、また 2015 年に向けて FCV 商用化にむけたインフラ整備の議論が進む中で、IEA/HIA、IEA/AFCIA、IPHE の活動も活発になってきている。以下にまとめと課題を示す。

##### ① IEA/HIA の動向の調査・検討・普及 および ② IEA/AFCIA の動向の調査・検討・普及

###### 【まとめ】

- ・ 引き続き、専門家派遣による情報収集を通じて、各国の最新情報を収集する。またわが国の取り組みは高く評価されており、ある程度の情報発信を通じて、より多くの海外情報を収集し、関係者に発信することに努める。

###### 【課題】

- ・ 作業部会のうち、そのテーマが担当する専門家だけでは対応が難しいもの、他の企業や研究機関にも関わりがあるもの、また戦略的な情報発信が必要なものがある(水素実施協定の Task28(大規模水素)インフラ、Task30(グローバル水素システムの分析)、Task31(水素安全))。そのような作業部会に関しては、引き続きサポートチームによる支援を継続する。
- ・ 専門家の見直しを適時行うことが必要。NEDO および国際連携に関わる組織・企業、国際情報が必要な組織・機関と連携し、よりよい情報収集と発信に努める。

##### ③ IPHE の動向の調査・検討・普及

###### 【まとめ】

- ・ 水素・FC 政策における情報交換の機会として有益であり、特に FC・水素の先進国である日米欧(独)が意見交換できる機会となっている。

###### 【課題】

- ・ IPHE は 2012 年 11 月で 10 年の初期タームを終えるが、さらに 10 年延長することが決まっている。2015 年に向かって、世界の主要国が連携するために、わが国としても積極的な関与が期待されている。

##### ④ IPHE、HIA、AFCIA メンバー国やその主要関連研究機関の政策・技術開発動向の調査・検討

###### 【まとめ】

- ・ ①～③の情報をを用いて、わが国の水素・FC 関係者に参考になる情報を、引き続き発信する。

###### 【課題】

- ・ 世界の動向のうちでも、米国(DOE、カリフォルニア州政府、CaFCP など)、欧州連合(FCH JU)、ドイツ(NOW)の動きは引き続き注意が必要である。また韓国、中国、フランス、英国でも FCV 普及と水素インフラ展開を推進する動きもあり、注意が必要である。

##### ⑤ 情報の展開・普及及び共有化活動

###### 【まとめ】

- ・ 国際情報共有ネットワークを通じて、引き続き情報を発信する。

###### 【課題】

- ・ HIA、AFCIA の各作業部会に関しては、引き続き出席した専門家からのレポートを適切に取りまとめ、得られた情報を国内関係者に配信する。
- ・ マンスリーレポートを定着させる。
- ・ 今後、①～③の実施(専門家派遣)に関して、事後報告だけでなく、事前の会議情報提供や意見集約に国際情報共有ネットワークを活用する。

## ⑥ 再生可能エネルギー由来水素の技術動向

### 【まとめ】

- ・ 「非化石資源由来水素」報告書を取りまとめ、提出(平成 23 年度)。

### 【課題】

- ・ わが国や世界のエネルギー政策・エネルギー需給動向の変更を踏まえ、また 2015 年以降の FCV 実用化の流れの中で、再生可能エネルギー由来水素の重要性が増してきていることに留意しつつ、平成 23 年度版のアップデートを行う。

## 5. 実用化・事業化見通し

調査(フィージビリティ調査の一環)であるため、実用化をめざした技術開発は行っていないが、調査による結果の情報提供を通じて、他の研究開発の実用化を支援できると考えられる。

- 例：・2025 年までの FCV の普及予測を通じて、わが国における水素ステーション普及展開における基礎的データを提供。
- ・マッキンゼー報告やカリフォルニア燃料電池パートナーシップの水素ステーション展開に関するレポートの翻訳、水素ステーション視察報告などを通じて、海外の水素ステーション普及戦略や水素ステーションのコスト情報、技術情報をわが国の関係者に紹介。

以上

●全期間成果サマリ(実施期間 :平成20年度～平成21年度)

水素経済社会の実現に向けて国際協同研究開発を目的とするIEA/HIA(国際エネルギー機関/水素実施協定)に積極的に参加した。各作業部会にて、収集・交換した水素に関する技術開発動向・情報を国内に展開し、共有化を図った。

●背景

・OECD(経済開発機構)による国際エネルギー計画  
・世界のエネルギー需給構造の改善が必要



OECDの傘下に代替エネルギー源の開発を目的にIEA(国際エネルギー機関)が設立  
・IEAの中に水素に関する協同研究開発を目的にHIA(水素実施協定)が1977年に設立

●目的

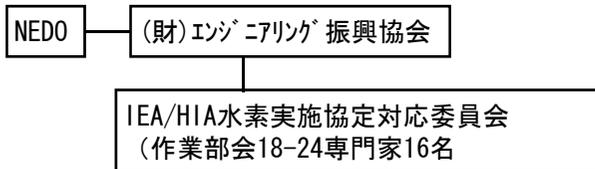
- (1) 水素経済社会の実現に向けて国際的協同研究開発を実施
- (2) 安全・環境を配慮した世界共通の水素技術関連情報の共有
- (3) 総合的な水素研究開発と分析活動の支援

●研究の概要と目標

概要: 水素に関する国際技術開発動向と分析活動動向の把握を行い、情報を関係者に発信する

実施項目	目標
A	国際技術開発動向の把握
B	各Annex(作業部会)の分析活動動向の把握
C	得られた情報の展開・普及及び共有化活動

●実施体制及び分担等



●全期間実施内容／研究成果

No.	研究開発項目	研究成果内容
18	水素統合システムの評価	●サブタスクB「実証プロジェクトの評価」は水素実証プロジェクトを既存の評価ソフトを利用してエネルギー効率、経済性等システム評価を行う。第2期(2007-2009)では水素ステーションを中心に新たに10システムの評価を実施した。2010より新たに「水素供給コミュニティ」が発足予定。
19	水素安全	●サブタスクA: リスク管理手法、B: 水素安全に関するテスト。C: 情報管理。水素安全に関する各国の安全実験が紹介・データベース化。日本からはJARIのHY-SEFを紹介。
26	水の光分解水素製造	●光電気化学的水電解用に効率と安定性に優れた光電極・光触媒材料の開発に向けてR&D。
21	バイオ水素製造(幹事:産総研/日本)	●バイオマスや太陽光等の再生可能エネルギーを原料にして発酵や光合成反応にて水素製造する。アジアにおけるこの分野での研究開発が期待される
22	水素貯蔵材料	●IPHE(水素経済の国際パートナーシップ)との合同がIPHE/DOEより提案され、双方合意。2008.3月カナダ及び2008.10月イタリアにて合同会議。
23	定置式小型改質器	●2006.6月のキックオフ会議にてサブタスク3(市場研究)のリーダーは日本(東京ガス)に選ばれた。
24	風力発電-水素	●サブタスクA: 風車、水電解装置のレビュー B: システムのインテグレーション、C: 市場研究、横浜国大から専門家登録。
28	大規模水素インフラ	●2009.11月のEx-Co会議にて新規タスクとして、承認された。

●今後の課題

- (1) 水素経済社会実現に向けてIEA/HIAへの積極的参加
  - 新規Annex 28(大規模水素インフラ)への参加
- (2) IEA/HIA国際会議にて得た情報の国内への展開と普及
  - 公開されたデータベース(Website)の利用
  - IEA/HIA国際協同研究開発の活動報告会の実施

●実用化の見通し及び特許等: なし

●研究成果まとめ

実施項目	自己評価
A	◎
B	○
C	○

## 1. 事業の概要

本事業は、「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」を対象として IEA/HIA(国際エネルギー機関/水素実施協定)のビジョンである「経済のあらゆる分野の要となるクリーンで持続可能なエネルギー源による水素の未来」に向けて下記のテーマを目標に掲げており、メンバーである我が国も積極的に参加して総合的な水素に関する技術開発動向の把握と分析活動動向の把握を行い、情報を関係者に共有する。

### 【IEA/HIA 水素実施協定専門作業部会と内容】

Annex(作業部会)	内容	日本の専門家
Annex 18	水素統合システムの評価	産総研(2名)
Annex 19	水素安全	日本自動車研究所(JARI) 石油産業活性化センター(PEC) (2名)
Annex 26(旧 20)	水の光分解による水素製造	産総研(2名)
Annex 21	バイオ水素製造	産総研他(2名)
Annex 22	基礎的・工学的な水素貯蔵材料開発	産総研他(4名)
Annex 23	水素供給用の小規模改質器	東京ガス他(2名)
Annex 24	風力エネルギーと水素の統合	横浜国大(1名)

## 2. 事業目標

### 1) 国際技術開発動向の把握

- ・ 日本からの専門家を派遣し、総合的な水素研究開発・分析活動の情報交換を行う。又、入手した水素関連情報を展開し、NEDO の推進する水素関連事業などに資する。
- ・ 各作業部会に派遣した日本の専門家を通して各作業部会で実施している実用化前の共同研究開発動向を把握する。分野としては、製造・貯蔵・統合システムなどがある。

製造: Annex 20(水の光分解による水素製造)、Annex 21(バイオ水素製造)、Annex 23(小規模改質器)

貯蔵: Annex 22(水素貯蔵材料開発)、Annex 24(風力エネルギーと水素の統合)

統合システム: Annex 18(水素統合システムの評価)、Annex 19(水素安全)

### 2) 分析活動動向の把握

IEA/HIA水素実施協定では独立した分析活動を行っており、既存のモデルを使って、参加国が実施する実証事業の成果と学習点を分析する。我が国も派遣する専門家が各Annex(作業部会)にて分担を持って分析活動を行なう。

### 3) 情報の展開・普及及び共有化活動

各作業部会で把握した技術開発動向及び分析活動動向ならびにIEA/HIA水素実施協定における各Annex（作業部会）のワークショップ（国際会議）や各Annex 毎に設けられたウェブサイトやIEA/HIA水素実施協定が発行する年次報告書やNews Letter等から得られた水素関連情報の展開・普及及び共有化を図る。具体的には下記が挙げられる；

- ・ エンジニアリング振興協会での成果発表会：年1回の成果発表会にてIEA/HIA水素実施協定における国際技術開発状況の情報を展開する。
- ・ 関連する団体・企業への情報展開：各Annexの技術開発項目に関連する団体・企業などへ技術開発状況の情報を展開する。（例：Annex 23「小型定置式改質器」⇒日本の「改質器」メーカー・団体などに情報の展開）
- ・ 出版物の展開・普及：IEA/HIA水素実施協定にて公開しているAnnual Report（年次報告書）やIEA/HIA News Letterなどを適宜、関連業界・団体へ情報を展開・普及する。

### 3. 事業の成果概要

1) IEA HIA(水素実施協定)専門会議へ専門家を派遣し、水素に関する国際的技術開発動向の把握と情報の共有化と展開を図る：

2) 分析活動動向の把握

IEA/HIA 水素実施協定では独立した分析活動を行っており、既存のモデルを使って、参加国が実施する実証事業の成果と学習点を分析する。

①Annex-18（水素実証試験の評価）：

- ・ 本 Annex は「水素システム社会への融合に関する情報を提供する」という全体目標の下に二つの Subtask より構成されてきたが、2006年11月に3年間の延長が承認され、2007年1月より2nd Phase に入る（2009年12月まで）。
- ・ 2008年は4月にアテネ、9月にコペンハーゲンにて Workshop 会議を実施。
- ・ 2nd Phase では下記三つの Subtask となった。  
Subtask A: 情報データベースの構築  
Subtask B: 実証プロジェクトの評価  
Subtask C: 統合と研修（技術的側面のみならず社会的・経済的側面を考慮に入れて水素システム導入の障壁となっている原因を抽出し、その対策を検討する。）
- ・ 2009年10月ハワイにて国際会議：Annex 18 は2009年度にて終了予定。Final Report 概要を審議した。次期 Annex は「Distributed and Remote Energy Systems using H<sub>2</sub>」（分散型水素システム）にて立上げ、OA（幹事）はトルコの UNIDO が予定。2010.5月のエッセン IEA/HIA Ex-Co 会議に Proposal を提出後、発足予定。

②Annex-19（水素安全）

以下三つの Subtask に分けて各 Subtask リーダの下で検討・議論されている。

Subtask A: Risk Management（危機管理）：A1 既存のリスクアセスメント手法の調査、  
A2 水素システムと従来の炭化水素系燃料設備とのリスクアセスメント比較、A3 確立論的リスク評価

Subtask B: Safety Testing (安全試験): B1 既存の実験データの調査、B2 現在実施中の実験プログラムの調査、B3 リスクマネジメントの観点での既存データの十分性の調査及び不足項目の抽出

Subtask C: Information Dissemination (ステークホルダー向けの情報整理とその提供)

- 2008年3月カナダ、同8年9月オスロ及び2009年4月サンフランシスコ、同年9月に仏・コルシカにて国際会議を実施。Subtask A では日本から規制見直し様に実施したリスク評価も含めて評価事例の調査結果を整理(PEG/菊川氏)。又 JARI/HySEF における水素安全に関するデータや評価技術レベルについてのデータなどについて発表・報告した

#### ③Annex 26 (旧 20)(水の光分解による水素製造)

- 2008.10.18 ハワイにて Annex26 のキックオフ会議、2009年4月サンフランシスコにてワークショップ会議が開催された。
- 旧 20 の水の光分解による水素製造の為の材料開発として半導体材料分野を各担当が分担して探索が進められている。
- 米国 DOE ではいくつかの機関にて鉄系酸化物半導体、酸化タングステン系半導体、非酸化物半導体、シリコン系半導体などを担当し探索中で今後データベース化予定。
- EU ではタンデム型光電極の水素製造、半導体光電極のナノ構造制御する水分解水素製造の2つのプロジェクトが進められている。
- 日本(産総研)の太陽光水素製造の位置づけについて紹介し、その後光電極及び光触媒を紹介。光電極については主に  $\text{Fe}_2\text{WO}_6$  について、その性能向上の最適化、バンド構造の解析、ガス発生測定や長期安定性について紹介した。

#### ④Annex-21(光生物学的水素製造):

- 産業技術総合研究所/三宅氏が OA(幹事)となりすすめられ、2008年8月にスペイン・マジョルカ島、2009年2月にスエーデン・ウマア、同年9月にフィンランド、2010年3月にイタリアにて国際会議が実施された。
- 本 Annex 21 は下記四つの Subtask に分けられる。  
Subtask A: 光合成微生物(藻類や光合成細菌)や嫌気性細菌のバイオマス水素製造  
Subtask B: 光合成微生物と光エネルギーを用いた水やバイオマスからの水素製造システムの高効率化技術  
Subtask C: 微生物が有する酵素やタンパク質を利活用した生体模倣技術・分子ハンドリング技術による光水素生産デバイス・燃料電池システムの構築  
Subtask D: 当該技術のフィージビリティスタディなどの可能性評価、社会生活・社会システムへの影響評価、生活の質の確保に関する評価など。
- バイオマスの利用技術に関しては中国、台湾の研究が活発化しているが、プロジェクトでは韓国、日本が優位に立っている。北欧では大型基礎研究プロジェクトが数件進行中であり、高度な基礎研究を行える環境を維持している。上記国際会議に各国のバイオ水素製造の研究の現状について意見交換が成された。
- 2008.11月の IEA/HIA Ex-Co 会議にて 2009年から第2期として2年の延長が承認さ

れ、2010.8月にAnnex 21 OA(三宅氏)→米国に交替予定。次回会議は2010.9頃

⑤Annex 22(固相及び液相水素貯蔵材料の開発):

- 2006年6月Ex-Co総会にてAnnex 17から22へ継続が承認され、2007年1月から3年間(2009.12.31まで)の継続。2010.1月よりAnnex22第2期(2年間)移行予定。
- Annex 22で設定されている目標は以下の通り。
  - A) 国際的な水素貯蔵目標に合致する可逆的 or 再生可能水素貯蔵媒体を開発する。
  - B) 目標Aに合致する可能性ある水素吸蔵媒体の基礎的及び工学的理解を深める。
  - C) 定置用途向けの水素貯蔵材料及び貯蔵システムを開発する。
- IEA/HIAとIPHEとの協同がMOU(覚書)により実現され、2008.3月のカナダWorkshop会議よりIPHEからの参加(ロシアを含む数名)があった。
- 2009.4月韓国済州島会議、同10月パリ会議が実施され、日本より専門家出席。
- 第2期からはサブタスクが増える見込みで「水素貯蔵技術のエンジニアリング及び応用セッション」が立上げ予定で日本から更に1名(日本重化学)の専門家を増員予定。

⑥Annex-23(オンサイト水素供給用小規模改質器):

- 2006年6月Annex 23キックオフ会議(ブラッセル)Subtask1/標準化とモジュール化、Subtask2/持続可能性と再生可能資源、Subtask3/市場調査から構成される活動行うことで合意。
- OAはノルウェーのSINTEF, Subtask1,2,3のリーダーは各1, 2をノルウェー、3を日本(東京ガス/安田氏、三菱化工機/小淵氏)が務めることで合意した。
- 2008年4月の東京会議、同年11月のパリ会議、2009年10月のイスタンブール会議(2009.5月のオスロ会議は豚インフルエンザによる海外渡航自粛令にて不参加)ではSubtask1では100/500Nm<sup>3</sup>級改質器の仕様比較作業を、ST2では小規模CCSについてCO<sub>2</sub>削減の量的寄与について審議、ST3では日本のシナリオ研究から抽出したパラメータリストとステーション建設に関わる規制・基準について紹介した。

⑦Annex-24(風力発電-水素製造):

- OA(幹事)国はスペインで出席者は6カ国合計17名。各国の風力発電の現状、風力-水素製造に向けた研究など報告された。
- SubtaskはA) State of Art(現状の機器設備-風車、水電解装置、中間機器のレビューと水素製造能力・市場研究など)、B) Needed improvement & system integration C) Business concept developmentの三つに分けられる。
- 2008.4月にアテネ(Annex 18と併催)及び同年10月スイスでは水電解メーカーIHT社のホストによる工場視察を兼ねて会議開催され(日本から横浜国大/太田氏出席)風力から水電解による水素製造の技術課題が議論された。
- 2009.4月米国デンバー(NREL)会議ではNRELの実証(風力発電+水電解水素製造)の施設を視察した。又、同年10月のドイツOldenburg会議で、燃料電池サイトを視察。

⑧Annex 28(仮称)新規立上げ予定(大規模水素インフラと大容量水素貯蔵)

- 2009.2月アムステルダムにて定義付け会議が開催され、日本からENAA出席。(日本の水素インフラの現況-JHFC2を公表・報告

- ・ 本作業部会の展望は 2020-2025 年の水素インフラを焦点とし、大量貯蔵及び流通を含む最も実用的・経済的水素インフラを探索するものとして捉える。(OA オランダ)
- ・ 2009 年 11 月の IEA/HIA Ex-Co 会議 (セベリア)にて新規立上げの承認を受けた。(日本からの参加するとの意向を表明した。)キックオフ会議は 2010.5 月エッセン予定

### 3) 情報の展開・普及及び共有化活動

#### ① IEA ExCo 会議への出席

- ・ 2008 年 6 月にブリスベンにて第 58 回、2008 年 11 月にギリシャ・アテネにて第 59 回、2009 年 11 月スペイン・セベリアにて第 61 回の Ex-Co 総会が実施され、日本から NEDO, ENAA+OA(Annex 21=産総研)が出席した。(第 60 回の 2009.5 月サンフランシスコ Ex-Co 会議は豚インフルエンザによる海外渡航自粛の為、不参加)
- ・ 日本からは我国の燃料電池、水素技術取組みの現状等、JHFC 水素ステーション状況等を報告。又 ExCo 総会出席の機会に、各国メンバーとの情報交換を行い水素エネルギー利用に関する各国の研究開発動向の把握に努めた。

#### ② 国際会議出席による情報収集・交換などの実施

【WHEC 17(第 17 回世界水素エネルギー会議)】(2008 年 6 月豪州・ブリスベン)

- ・ 約 1000 名参加(日本から約 100 名)各国から水素技術開発に関する講演発表が 300 件、。他に約 250 件のポスター発表あった。各国の報告の項目骨子以下の通り。
- ・ 米国:水素社会への政策、水素貯蔵技術、自動車用燃料電池システム等
- ・ EU:課題=エネルギーセキュリティ、大気汚染、温室ガス低減、産業競争力の確保等。
- ・ 日本:水素ステーション、燃料電池、技術開発ロードマップ等

【ICH3 第 3 回国際水素安全会議】(2009 年 9 月フランス・コルシカ)出席

- ・ 約 200 名参加(日本から 5 名)IEA/HIA Annex 19 (水素安全)と併催。
- ・ 日本から青山学院大/山田氏、JARI/富岡氏、ENAA/宮下がプレゼンを行った。
- ・ ENAA/宮下から「Residential Fuel Cell Certification and Insurance in Japan」(日本における家庭用燃料電池の認証及び保険について)を発表した。

【特記事項】:IEA/HIA水素実施協定-各Annex活動報告会を実施

- ・ IEA/HIA水素実施協定の各Annexの専門家より平成20年度～21年度における活動報告会を平成22年2月9日(火)にNEDO日比谷オフィス国際ビル4階会議室にて実施。
- ・ 参加者は産学官における水素関連の研究開発・実証試験などに携わる研究者・技術者を対象に約40数名が参加され、専門家による報告に質疑応答が成された。
- ・ 今回初めての試みとして、広くオープンに声を掛けて、IEA/HIA水素実施協定における国際技術開発動向について、得られた情報を展開・発信したが、好評であったので、今後も継続して報告会を実施したい。

## 4. まとめ及び課題

### 1) まとめ

各国で水素エネルギー導入に向けての長期ロードマップが相次いで発表されたことを受けて、研究者、事業者の間でも水素技術、水素プロジェクトへの参加が急速に増加しており、この動きを受けて、IEAの水素実施協定活動も活発になってきている。

Annex (作業部会)19「水素安全」は、我国を含む12カ国の参加により水素安全に関する「リスク管理手法」「安全検証のためのテスト方法」など広範な内容を含む国際協力活動に取り組むことになった。「水素安全」の分野では、我国はWE-NET事業以来、種々の爆発実験など様々な分野で研究開発を進めてきた経緯があり、この分野での国際協力への貢献が大いに期待されている。又 Annex 21(バイオ水素製造)のOA (Operating Agent =作業幹事)を努める我国(産総研)は、積極的なリーダ活動を展開し、来る水素社会の実現に向けた研究開発においてプレゼンスを高めることに意義があった。又、Annex 23 (小規模改質器)においては日本はサブタスク3(市場研究)のリーダを務め、日欧米の「改質器-水素」のコスト調査など市場研究に貢献し、評価を得た。

特記事項として「IEA/HIA 水素実施 IEA/HIA 水素実施協定-各 Annex 活動報告会」を2010年2月9日に実施し、産学官における水素関連の研究開発・実証試験などに携わる研究者・技術者を対象に約40数名が参加し、専門家による報告に質疑応答が成された。今回初めての試みとして、広くオープンに声を掛けて、IEA/HIA 水素実施協定における国際技術開発動向について、得られた情報を展開・発信したが、好評であったので、今後も継続して報告会を実施したい

## 2) 課題

### ① 水素経済社会の実現に向けた国際技術開発の積極的参加

- ・ 新規 Annex 28(大規模水素インフラ&パイプライン及び大量貯蔵)への参加

### ② IEA/HIA 国際会議にて得た共有の水素関連研究開発 情報の国内への展開と普及

- ・ 公開された研究開発情報をデータベース(Website)の利用
- ・ 国内水素関連会議にてIEA/HIA 水素実施協定における国際協同研究開発紹介
- ・ IEA/HIA 水素実施協定国際協同研究開発の活動を通じた技術開発情報の発信

## 5. 実用化・事業化見通し

IEA/HIA 水素実施協定における国際技術開発は現状 R&D (研究開発)と未来の水素社会に向けた情報の共有であり、実用化・事業化の見通しはまだ立っていない。

以上

# (Ⅲ-3) 可視光応答性半導体を用いた光触媒および多孔質光電極による水分解水素製造の研究開発

委託先: 産業技術総合研究所

## ●進捗成果サマリ(平成20年度～平成22年度6月末)

- ・WO<sub>3</sub>光触媒の量子収率をセシウム表面処理で既報の48倍に向上できた。太陽エネルギー変換効率(0.3%)は陸上植物並で、人工光合成実現可能レベルに達した。
- ・BiVO<sub>4</sub>光電極の光電流を炭酸塩電解液を利用することで従来の電解液より6倍向上できた。高速自動半導体探索システムを活用し、新規半導体の特許を5件出願した。
- ・光触媒-電解ハイブリッドシステムの小型実証試験を行った。太陽電池と水電解を単に組み合わせたシステムより将来低コスト水素製造が可能、という結論を得た。

## ●背景/研究内容・目的

・可視光応答性半導体を用いた光触媒及び多孔質光電極による水分解水素製造の研究開発に関して、太陽光による水分解水素製造の実用化のための基礎要素技術を開発するとともに、理論効率、経済性・将来性の試算に必要な実験データを収集する。

・太陽電池と水電解を単に組み合わせたシステムの水素製造コストよりも大きく下回る新しい低コスト水素製造システムの実現可能性を検討する。

## ●研究目標

実施項目	目標
①多孔質半導体光電極の高性能化	既存半導体光電極の改良でWO <sub>3</sub> 光電極の性能を超える。
②光触媒-電解ハイブリッドシステムによる水素製造	レドックス媒体を用いた効率的な酸素発生用光触媒の高性能化により太陽エネルギー変換効率の最高値を目指す。
③新規可視光応答性半導体探索	高速自動半導体探索システムを用いてできるだけ多くの可視光応答性の新規半導体を探索する。
④理論効率や将来性の試算	太陽電池と水電解を単に組み合わせたシステムより低コスト水素製造できるか検証する。

## ●実施体制及び分担等

NEDO — 産総研(全項目)

## ●これまでの実施内容/研究成果

- ①BiVO<sub>4</sub>光電極の光電流を炭酸塩電解液を利用することで従来の電解液より6倍向上できた。性能向上の反応機構として、中間体の炭酸ラジカルから半導体伝導帯への電子注入の可能性が推察され、量子収率が100%を超える(最大133%)可能性があり、理論限界効率の増大につながる成果である。450nm付近ではBiVO<sub>4</sub>光電極の量子収率はWO<sub>3</sub>光電極を大幅に上回った。
- ②光触媒-電解ハイブリッドシステムにおけるFe<sup>3+</sup>還元用光触媒の研究において、飛躍的に高性能で安定な光触媒(Cs等アルカリ表面処理WO<sub>3</sub>)を開発した(特許出願済み)。この触媒を用いるとFe<sup>3+</sup>をすみやかにFe<sup>2+</sup>へ100%変換することで太陽エネルギーを貯蔵でき、小さな電解電圧(<0.8V)で水素を製造できるという小型実証試験も行った。その量子収率(可視光で19%)はこれまで論文報告値(0.4%)の48倍、太陽エネルギー変換効率(0.3%)はこれまで論文報告値で最も高い。この太陽エネルギー変換効率はバイオマスエタノール原料の高収量作物として注目されているスイッチグラスの値(0.2%)よりも高い。しかもバイオマスエタノール製造に必要な後工程(収穫や粉碎、糖化、発酵等)が不要である。つまり、バイオマスエネルギーよりも高効率且つ2次利用しやすい変換貯蔵形態を実現できたことで、本光触媒反応は自然のバイオマスを超えたことになる。まさに人工光合成システムを実現できるレベルに達したと言える。
- ③ロボットを用いた高速自動半導体合成・探索システムを活用し、Fe-Ti-X系(X=Sr,Ba,Ta,In,Sm)やFe-Zr-X系(X=Sr,Si,Al,Zn,Ta,In)など新規の可視光応答性半導体組成43種を見出し、特許5件出願した。
- ④光触媒-電解ハイブリッドシステムにおいて、太陽電池と水電解を単に組み合わせたシステムより低コスト水素製造が可能、という結果を得た。効率3%の光触媒プールを仮定し、電解ハイブリッドシステムにおける水素製造コストは、ハイブリッドしない場合に比べて約7割に低減できることが試算された。

## ●今後の課題

### ／スケジュール(H22年度まで)

実験としては効率の向上を更に目指すとともに、コスト試算の設定条件を幅広くし、資産精度を向上させることで将来性・実現可能性を明確にする。

## ●実用化の見通し

実用化のためには、効率を現状より6～10倍に向上する必要があるが、原理的には可能であることがわかった。効率を3倍の1%にできれば世界中で研究ブームが起こり、日本はその先頭に立つことができる。

## ●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
①	従来法より効率は超えてないが量子収率では450nmで最高値	△
②	粉末系で最も高く、陸上植物並みの効率を達成	◎
③	新規組成で5件の特許出願	○
④	太陽電池-水電解法より低コストの試算	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
6	4	23	0

# 可視光応答性半導体を用いた光触媒および多孔質光電極による 水分解水素製造の研究開発

独立行政法人 産業技術総合研究所 エネルギー技術研究部門 佐山 和弘

## 1. 事業概要

太陽エネルギー利用の数少ない選択肢の一つとして、水を分解して水素と酸素を製造する「太陽光水素製造技術」は持続可能な水素社会実現のための理想的な技術である。本研究開発事業の目的としては、可視光応答性半導体を用いた光触媒及び多孔質光電極による水分解水素製造の研究開発に関して、太陽光による水分解水素製造の実用化のための基礎要素技術を開発するとともに、正確なコスト計算に必要な実験データを収集することである。太陽電池と水電解を単に組み合わせたシステムや化石資源の接触改質による水素製造システムの水素製造コストよりも大きく下回る新しい低コスト水素製造システムの実現可能性を検討する。具体的には、多孔質半導体光電極の構造制御による高性能化、レドックス媒体を用いた効率的な光触媒—電解ハイブリッドシステムによる水素製造、高速自動半導体探索システムと計算化学を用いた新規可視光応答性半導体探索、理論効率、経済性・将来性の試算などの研究を進めて、上記事業目的を達成する。

## 2. 事業目標

(1) 多孔質半導体光電極の構造制御による高性能化：

既存半導体光電極の改良で  $WO_3$  光電極の性能を超える。

(2) 高速自動半導体探索システムを用いた新規可視光応答性半導体探索：

レドックス媒体を用いた効率的な酸素発生用光触媒の高性能化により太陽エネルギー変換効率の最高値を目指す。

(3) レドックス媒体を用いた効率的な光触媒—電解ハイブリッドシステムによる水素製造：

高速自動半導体探索システムを用いてできるだけ多くの可視光応答性の新規半導体を探索する。

(4) 理論効率や将来性の試算：

太陽電池と水電解を単に組み合わせたシステムより低コスト水素製造できるか検証する。

## 3. 事業成果

(1) 多孔質半導体光電極の構造制御による高性能化

本研究では、既存の半導体を用いた多孔質半導体光電極についてその高性能化を行い、従来の  $WO_3$  光電極の性能を上回る水分解効率を達成できるかどうか検討した。いくつかの半導体を検討した中では  $WO_3$  よりも長波長まで吸収を示し、且つ比較的量子収率が高い  $BiVO_4$  光電極の高性能化を中心に研究した。この研究の過程で、炭酸塩電解液を利用することにより光電流値を従来の電解液に比べ著しく向上する効果を見出した。この反応機構を推察すると、量子収率が将来 100% を超える可能性があり、その興味深い現象を詳しく調べた。

図 1 に代表例として  $K_2SO_4$  と  $NaHCO_3$  電解液での電流-電圧 (I-V) 特性を示す。 $Na_2SO_4$  に比べて  $NaHCO_3$  や  $KHCO_3$  中の光電流が非常に高い。1.23V (RHE) と 1.9V で 1.7 と 2.6 mA/cm<sup>2</sup> であった。 $Na_2SO_4$  は緩衝液ではないので、光電流を過小評価する可能性がある。リン酸や硼酸は炭酸塩と同じ緩衝液であるが、リン酸や硼酸では光電流は低かった。つまり、炭酸塩の電流向上効果は緩衝効果と

は無関係と言える。Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> は高濃度でも性能はあまり変わらなかったが、炭酸塩では飽和溶液が最も良かった。似たような pH 領域で比較しても炭酸塩では効率が大きく向上しているので、光電流向上は pH の効果ではない。炭酸塩としては CO<sub>2</sub> を吹き込んで pH を低くした方が光電流が大きかった。KHCO<sub>3</sub> 以外はどれも Na 塩で統一比較し、炭酸塩では Na と K どちらも効果があるので、カチオンの効果でもない。以上の結果より、光電流の向上は炭酸アニオン、特に HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> イオンが直接影響していることが明確に言える。吸収および IPCE (見かけの量子収率) スペクトルを比較すると、スペクトル端はどちらも 520nm で単斜晶 BiVO<sub>4</sub> のバンドギャップ (2.4eV) と一致した。IPCE は電圧とともに向上し、最高で 420nm で 45% になった。この値は、BiVO<sub>4</sub> 光電極の報告例の中で最高値であり、可視光応答性半導体光電極の中で、WO<sub>3</sub> に次いで 2 番目に大きかった。また、440nm 付近では WO<sub>3</sub> の値を超え、酸化物半導体電極では最も高い量子収率になることがわかった。

次に、炭酸イオンの著しい効果について議論する。HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> イオンの著しい効果としては、UV 照射下での TiO<sub>2</sub> 光電極酸素発生において、二段階電流-電圧曲線および飽和光電流の向上が観測されている。さらに UV 照射下での TiO<sub>2</sub>、Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、ZrO<sub>2</sub> などの光触媒による水の完全分解でも炭酸塩の活性向上効果が観測されている。ZrO<sub>2</sub> 光触媒上では Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> でも効果があるが、NaHCO<sub>3</sub> でより効果があった。光触媒上では助触媒の逆反応抑制とパーオキシカーボネート経由の酸素発生促進の 2 つの効果が考えられている。今回の BiVO<sub>4</sub> 電極での HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> イオンの著しい酸素発生促進効果では、まず 2 つの場合分け (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> イオンと半導体との間に電子移動がある場合と無い場合) が考えられる。電子移動が無い機構の場合、酸素の吸着を抑制している可能性がある。電子移動が無い場合では、表面に吸着した HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> イオンが立体障害的に酸素の BiVO<sub>4</sub> 上の吸着を防ぎ、逆反応 (BiVO<sub>4</sub> 上の電子による酸素の還元) を妨げる機構が考えられる。しかし、暗時の BiVO<sub>4</sub> 電極上での酸素の電気化学的還元によるカソード電流を測定すると、NaHCO<sub>3</sub> 中ではリン酸や硫酸水溶液中よりも酸素還元電流が小さくなるのではなくむしろ大きくなり、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> の存在は酸素還元を抑制しているという説明はできないことが明確に言える。

もう一方の説明は、電子移動がある機構の場合、つまり、炭酸ラジカルやパーオキシカーボネート経由の酸素発生促進の機構である。TiO<sub>2</sub> 光電極上では HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> イオン存在下で 2 段階の電流-電圧曲線の特異の形状から、炭酸ラジカルの生成とそのラジカルから FTO 近傍の TiO<sub>2</sub> の CB または FTO への電子注入の反応機構が推察された。2 段階目の光電流向上は 0.8V (NHE) 以上で観測された。一方、BiVO<sub>4</sub> 電極の場合は電流-電圧曲線は 2 段階ではなく、一般的な形状に見える。BiVO<sub>4</sub> のオンセット電位 (Voc) は TiO<sub>2</sub> より約 0.5V 正なのでその CB も正に大きいと推察される。そのため、炭酸ラジカルからの電子注入は BiVO<sub>4</sub> の Voc 付近の電位から既に起こっているため、全電位領域で他の電解液よりも光電流が大きかったと考えれば、このメカニズムとの整合性はある。炭酸イオン濃度が飽和まで高いほど光電流が高いこともこのメカニズムを支持している。この反応機構が正しいければ量子収率は最高で 133% まで大きくなる可能性があり、学術的にも実用的にも非常に興味深い現象である。将来性試算にも影響があるので、現在詳しく検討している。

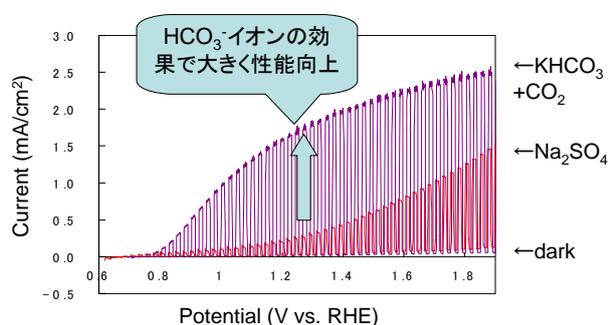


図 1 : BiVO<sub>4</sub> 電極の電流電圧特性  
ライトチョッパーで断続光照射。  
(AM-1.5,1Sun)

## (2) 高速自動半導体探索システムを用いた新規可視光応答性半導体探索

複数の元素で構成される半導体はドーパ化合物や定比複合化合物、固溶体、結晶系などを考慮すると数万種類以上になる。これまでの新規可視光応答型半導体の探索は手作業で行われており、迅速に進んでいるとは言えない。効率よく探索を行うためには、経験とデータの蓄積に基づいた従来型の手法だけでなく、探索の高速自動化技術の開発も同時に必要である。そこで、汎用性の高い半導体膜ライブラリー合成手法としてMOD法を用いた高速自動合成探索システムを利用して様々な半導体の電荷分離効率の高速探索と高速評価を行った。昨年度までに11000個以上のサンプル評価を行った。その結果酸化鉄三元系、すなわちFe-Ti-X(X=Sr, Ba, Ta, In, Sm)系(図2)やFe-Zr-X(X=Sr, Si, Al, Zn, Ta, In, Sn, B, Y)系における特殊な組成で可視光応答性が向上することを見いだした。これ以外の三元系においても特異的に光電流が向上する組成を43種類見いだした。この成果をまとめて特許を5報出願した。3元系以上の複合酸化物のこのようなピンポイントに近い特異的な組成を手動による探索で見いだすのは困難であり、本自動半導体合成装置の有用性を示す例の一つである。鉄系の複合酸化物の開発は欧米で激しい競争が行われている。実施例の明確な材料特許戦略を推進する上でこのような高速自動探索装置の利用は重要である。

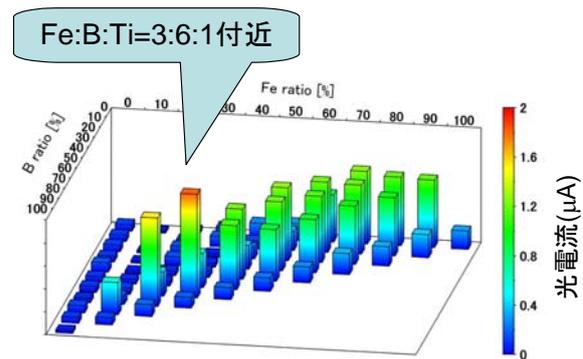


図2 : Fe-Ti-B系の光電流測定結果

## (3) レドックス媒体を用いた効率的な光触媒—電解ハイブリッドシステムによる水素製造

太陽電池を用いた電気分解による水素製造法は、非常に高い効率で高純度水素が得られるという長所を持っているが、酸素生成のための大きな過電圧により、電気分解するためには1.6~2.0Vの外部バイアスが必要となり、非常に高コストである太陽電池を少なくとも3~4個以上直列した電圧が必要になってしまうという課題がある。このことから、大きく低コスト化できる技術の開発が望まれている。一方、光触媒による直接水分解法は、太陽電池と比べ非常に低コストかつシンプルであり、撒くだけで大面積化できるという魅力的な長所を持っている反面、反応の難易度が非常に高いために、現状の反応効率はまだまだ低い。そのため、大幅な効率向上が望まれている。このように、これら2つの技術は、それぞれの課題が克服できればもちろん理想的な水素製造技術となる可能性を秘めているが、どちらも解決しなければならない深刻な課題がある。そのため、それぞれの課題克服のみに焦点を絞って研究を進展させるだけでなく、それ以外の全く新しい基盤技術の開発、もしくは既存の技術をうまく組み合わせ、より理想的なシステムの開発も、近い将来この課題を必ず解決するためには重要である。我々は、この光触媒技術と太陽電池による直接電解技術の2つの技術をうまく組み合わせることで、どちらの課題も克服できる可能性のある水素製造システムを考案した。それが光触媒—電解ハイブリッドシステムである(図3)。レドックス媒体として鉄イオンを例に挙げてこのシステムを説明する。まず1段階目として、粉末光触媒を利用して $Fe^{3+}$ イオンを $Fe^{2+}$ イオンに還元しながら酸素を製造するエネルギー蓄積反応を進行させる。そして2段階目として $Fe^{2+}$ イオンを $Fe^{3+}$ イオンに再酸化しながら水素を製造する反応を電気分解技術により進行させ、全体で水を分解し水素を製造する。1段階目の光触媒を利用したエネルギー蓄積反応では、生成する気体は酸素のみであり、太陽光エネルギーは $Fe^{2+}$ イオンとして溶液中に安定に蓄えられる。このことから、光触媒による直接水分解では

必要となってしまう、透明かつ水素を捕集できる大面積カバーが必要ないため、大面積化がより容易に行える。さらにこの  $\text{Fe}^{3+}$  の還元反応は、困難な水の分解反応と比べ熱力学的に求められる条件が非常に緩いため、より高効率に反応を進行できる材料を開発できる可能性がある。2段階目の  $\text{Fe}$  イオンを用いた電気分解技術は、別目的ではあるがすでにパイロットプラントとして確立した技術であり、 $\text{Fe}^{2+}$  イオンさえ安定に供給することができれば、従来の直接水電解法の半分以下である  $0.8\text{V}$  以下の低い電圧で効率よく高純度水素を得ることができる。このことから、現段階の  $\text{Fe}$  イオンをレドックス媒体として利用した場合であっても電解コストを単純に半分程度まで下げることが可能となる。このように、このシステムにはどちらの課題も克服できる可能性がある。このシステムに残された当面の課題は、このシステムを高効率に駆動させるために、 $\text{Fe}^{3+}$  イオンを高効率に還元できる光触媒を開発することである。そこで、この  $\text{Fe}^{3+}$  イオンの還元反応に対して活性を示すと報告されている  $\text{WO}_3$  に着目し、その高性能化を検討した。

水を酸化させながら  $\text{Fe}^{3+}$  イオンの還元を行う反応に対して、様々な金属塩を含む水溶液で  $\text{WO}_3$  粉末に対する表面処理を行ったところ、セシウム塩水溶液で表面処理を行った  $\text{WO}_3$  光触媒（以後 Cs- $\text{WO}_3$  と表記する）が非常に高い性能を示すことがわかった。ここで  $\text{Fe}^{2+}$  は、酸素生成量に比例して化学量論的に生成していることを確かめている。セシウム塩水溶液の処理前後で、 $\text{WO}_3$  光触媒粒子の表面積、粒子形状、光吸収、および内部構造はほとんど変化していなかったのに対し、活性向上した  $\text{WO}_3$  光触媒表面には、水に溶解しない Cs 化合物が存在していることが確認できた。Cs 塩水溶液による表面処理方法としては、水熱処理溶液に Cs 金属塩を添加する方法、および炭酸セシウムを  $\text{WO}_3$  粒子に含浸して  $500\text{ }^\circ\text{C}$  程度で焼成する方法のどちらも有効であった。この Cs 塩水溶液で表面処理した  $\text{WO}_3$  光触媒は強酸性水で洗浄して表面の Cs イオンを強制的に除去することでさらに活性が向上した。なかでも、硫酸鉄 ( $\text{FeSO}_4$ ) 水溶液で洗浄することで最も高い活性を示し、最終的には未処理の  $\text{WO}_3$  光触媒 ( $18\text{ }\mu\text{mol/h}$ ) に比べて 10 倍以上の活性 ( $196\text{ }\mu\text{mol/h}$ ) になった。そこでこの Cs- $\text{WO}_3$  光触媒の劇的な活性向上メカニズムを詳細に調べた。その結果、 $\text{WO}_3$  表面に偏在した Cs を強酸性水で強制的に除去することで、通常の  $\text{WO}_3$  表面には無かったイオン交換可能なサイトが形成されていることが明らかとなった。さらに、このイオン交換サイトにプロトン ( $\text{H}^+$ ) と水が  $\text{H}_3\text{O}^+$  の形で特異吸着したサイトでは、水の酸化による酸素発生が効率的に進行し、一部  $\text{Fe}^{2+}$  が置換したサイトでは  $\text{Fe}^{3+}$  の  $\text{Fe}^{2+}$  への還元反応がすみやかに進行しているというメカニズムが実験的に推察された。

最も活性が高い条件に最適化した光触媒の酸素発生の経時変化を図 4 に示す。実験の最初に添加した  $\text{Fe}^{3+}$  イオンがすべて  $\text{Fe}^{2+}$  に還元されるまで酸素発生反応が効率よく進行した。鉄塩水溶液

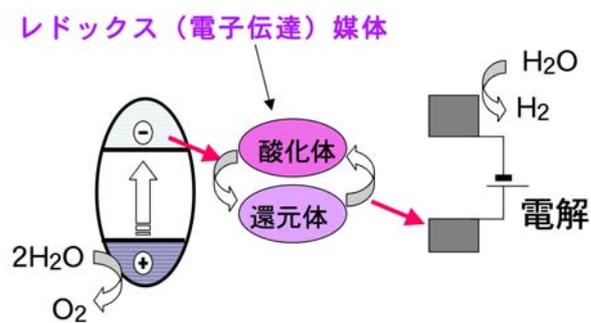


図3 光触媒-電解ハイブリッド水分解システムの原理

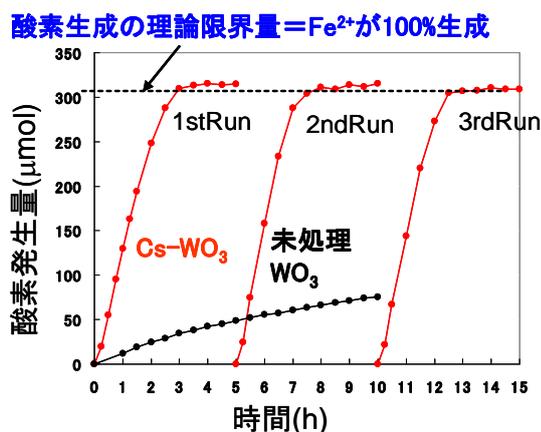


図4：光触媒反応での酸素発生の経時変化

は硫酸塩でも塩化物でも 100 %化学量論的に反応が進行し、塩化鉄水溶液の方が高い活性 (256  $\mu\text{mol/h}$ ) を示した。繰り返し実験しても触媒の活性劣化は無かった。可視光での量子収率 19 % (420 nm) は、 $\text{Fe}^{3+}$  イオンからの酸素発生  $\text{WO}_3$  光触媒に関するこれまでの報告値 0.4 % (405 nm) の 48 倍であった。太陽光のエネルギーが  $\text{Fe}^{2+}$  イオンという化学エネルギーに変換される太陽エネルギー変換効率は 0.3 % に達した。この値は、バイオ燃料の有望原料作物として有名なスイッチグラス (0.2 %) を超える値である。光合成のバイオマスを原料としてエタノールなどの二次利用しやすいエネルギー形態に変換するバイオ燃料製造では、収穫や運搬、粉碎、発酵などの処理工程が非常に複雑である。一方、光触媒—電解ハイブリッドシステムでは図 3 に示したように  $\text{Fe}^{2+}$  イオンを含む水溶液を低電圧電解することで直接水素製造ができる。今回の研究成果は安価な粉末光触媒システムを利用して、将来の水素エネルギー社会構築のための太陽エネルギーを用いた低コストによる水素製造の実現を目指す上で大きな進歩である。

#### (4) 理論効率や将来性の試算

鉄レドックスを利用した場合、様々な光触媒の理論限界効率を計算したところ、 $\text{WO}_3$  並 (~480nm) や  $\text{BiVO}_4$  並 (~520nm) までの波長の光を全て利用できると仮定すると、太陽エネルギー変換効率は 2.4% および 3.6% になるので、2~3% の実現は将来可能と考えられる。簡便な試算であるが、光触媒プールと夜間電力 (8 円/kWh) の電解ハイブリッドシステムにおける水素製造コストは、ハイブリッドしない夜間電力水電解の水素コストに比べて将来的には約 3 割以上低減できることが試算された。電解電源に太陽光発電からの電力を用いた場合は、電力費の割合が多くなるので、これに光触媒とハイブリッドすると水素コストの削減割合は更に大きく、4 割以上低減できる。以上より、少なくとも太陽電池と電解を単純に組み合わせた水素コストよりはるかに安価であると結論できる。また、レドックス媒体として鉄イオン ( $E=0.77\text{V}$ ) ではなくもっと負のレドックスポテンシャルの媒体を使えば、電解電圧は更に小さくなり、水素コストも大幅に削減できる。さらに、本システムは電力平準化にも大きく貢献できるので、太陽光発電や風力発電など変動の大きな再生可能エネルギーの導入推進に役に立つ。

#### 特許、論文、外部発表等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※出 願	査読付 き	その他	
H20FY	0 件	0 件	0 件	0 件	0 件	1 件
H21FY	6 件	0 件	0 件	3 件	3 件	19 件
H22FY	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件	2 件 (予定も含む)

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

#### 4. まとめ及び課題

##### (1) 多孔質半導体光電極の構造制御による高性能化

炭酸塩電解液を利用することにより、既存の  $\text{BiVO}_4$  光電極の光電流値を従来の電解液に比べ 6 倍向上することができた。440nm 以上の波長領域ではこの  $\text{BiVO}_4$  光電極の量子収率は従来の  $\text{WO}_3$

光電極を上回る値であった。この反応機構として、中間体の炭酸ラジカルからの電子注入の可能性が推察されたので、量子収率が100%を超える可能性があることが示唆された。

#### (2) 高速自動半導体探索システムを用いた新規可視光応答性半導体探索

自動高速半導体合成探索装置を利用して11000個以上のサンプル評価を行った。その結果酸化鉄三元系、すなわち Fe-Ti-X (X=Sr, Ba, Ta, In, Sm) 系や Fe-Zr-X (X=Sr, Si, Al, Zn, Ta, In, Sn, B, Y) 系における特殊な組成で可視光応答性が向上することを見いだした。これ以外の三元系においても特異的に光電流が向上する組成を43種類見いだした。この成果に関しては特許を5件出願した。

#### (3) レドックス媒体を用いた効率的な光触媒—電解ハイブリッドシステムによる水素製造

鉄レドックスを用いた系において、Cs 表面処理した  $WO_3$  という飛躍的に高性能な光触媒を開発することが出来た。この成果に関して特許を1件出願し、プレスリリースを行った。この光触媒の活性は未処理触媒の約14倍であり、量子収率19%はこれまで論文で報告されていた値の48倍であった。これは太陽エネルギー変換効率0.3%という植物並みの効率を達成したものであり、人工光合成の実現可能性が見えてきた。

#### (4) 理論効率や将来性の試算

光触媒—電解ハイブリッドシステムにおいて、太陽電池と水電解を単に組み合わせたシステムより低コストで水素製造が将来的に可能という結果を得た。将来の効率3%の光触媒プールを仮定し、電解ハイブリッドシステムにおける水素製造コストは、ハイブリッドでない場合に比べて3割以上低減できることが試算された。今年度中にコスト試算精度を更に向上させる。

### 5. 実用化の見通し

太陽エネルギー利用の数少ない選択肢の一つである、光触媒及び多孔質光電極を用いて水を分解して水素と酸素を製造する「太陽光水素製造技術」は持続可能な水素社会実現のための理想的な技術である。Cool Earth-エネルギー革新技術計画にも将来の再生可能エネルギーを用いた革新的低コスト水素製造技術として記載がある。欧州7カ国では昨年からユーロプロジェクト (FP7) が開始され、多孔質酸化物半導体光電極のナノ構造を精密に制御することで水分解太陽エネルギー変換効率の向上を検討し、太陽光発電—水電解を単純に組み合わせたシステムより大幅に水素コストを低減させることを目指している。米国でも DOE や NSF の Solar Hydrogen プロジェクトが進められ、さらに Solar Fuel のイノベーションバブ拠点の選定も進行している。このように太陽エネルギーを直接化学エネルギーに変換・蓄積する研究が世界的に盛り上がっている。このような状況の中で、本次世代技術開発・フィージビリティスタディの研究に関して、将来の効率がどこまで向上できるかなどの予測を行い、太陽電池と水電解を単に組み合わせたシステムより低コストで水素製造が可能というコスト試算を得たことは大きな前進である。目標値が明確になりロードマップも作成できるようになる。

実用化のためには、太陽エネルギー変換効率を現状より6~10倍に向上する必要があるが、原理的には可能であることがわかった。これまであまり研究資金を投資してこなかった分野であり、この成果を踏まえて、企業や大学とともにプロジェクト化をすればより実用化は加速される。短期的には5年以内に太陽エネルギー変換効率を現状の3倍の1%にできれば世界中で研究ブームが起り、日本はその先頭に立つことができる。

# (Ⅲ-4) 非貴金属化合物を用いた水電解用高機能酸素発生アノード触媒の設計および開発

委託先: 国立大学法人 横浜国立大学

## ●全期間成果サマリ(実施期間 : 平成20年度～平成21年度)

- ・評価法の確立し、比活性がIrO<sub>2</sub>を上回るZr及びTa系材料の触媒の作製に成功した。
- ・Zr及びTa系化合物は表面が酸化物であると酸素発生反応の活性が向上した。
- ・Zr系化合物を電極触媒として電解試験を行い、水電解効率は60%であった。

## ●背景/研究内容・目的

固体高分子形水電解(PEWE)は貴金属由来の材料が酸素発生電極として使用され、システムにおけるコストの割合が大きい。今後の商用化を考えると、貴金属材料の低減が必須であり、更には酸素発生における過電圧の低い材料の開発が望まれている。

本事業では低コスト並びに高活性PEWE酸素極材料の創生を目指し、非貴金属化合物を用いて水電解用高機能酸素発生アノード触媒の設計および開発を行った。

## ●研究目標

実施項目	目標
(A) 触媒能評価	現行材料(貴金属系)に近い性能を有する非貴金属系酸素発生触媒の開発
(B) 電解試験	非貴金属系材料をアノード触媒に用いて、現行のアルカリ形水電解に匹敵する新規固体高分子形水電解セルの開発

## ●実施体制及び分担等

NEDO — 国立大学法人 横浜国立大学

## ●これまでの実施内容/研究成果

擬似反応表面積:  
電気二重層領域の  
アノード電気量(Q<sub>A</sub>)

より有効な触媒能評価  
のために

$$i^* = \frac{I}{Q_A}$$

(I: 電流)

定常分極  
測定

定電位測定

面積あたりに規格化した酸素発生電流  
 $i^* @ 1.6 \text{ V} \equiv i_{init}^*$  (初期比活性指標)

$i^*(0.5 \text{ h} @ 1.6 \text{ V}) \equiv i_{ss}^*$  (定常比活性指標)

酸化度(DOO)の定義  
(X線回折より)

$$DOO = \frac{\text{Intensity}_{\text{Ta}_2\text{O}_5 \text{ or } \text{ZrO}_2}}{\text{Intensity}_{\text{Ta}_2\text{O}_5 \text{ or } \text{ZrO}_2} + \text{Intensity}_{\text{Ta}_{0.5}\text{N}_{0.5} \text{ or } \text{Zr}_{0.5}\text{N}_{0.5}}}$$

薄膜材料

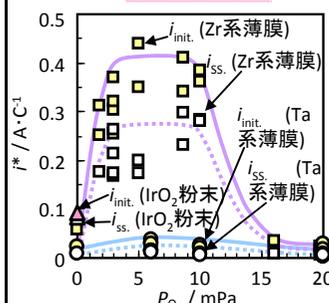


図1  $i^*$ のTa及びZr化合物薄膜作製時の酸素分圧( $P_{O_2}$ )依存性。

粉末材料

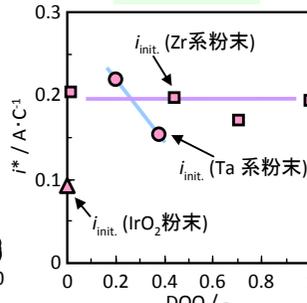


図2  $i_{init}^*$ のZr及びTa化合物粉末のDOO依存性。

電解セル

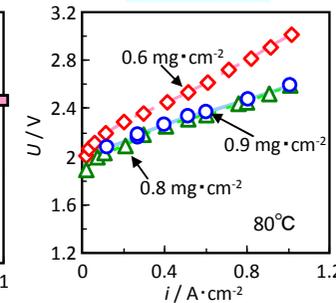


図3 水電解電流密度と水電解電圧の関係。

アノード: Zr-CNO (DOO=0.07) 粉末  
電解質: Nafion® 膜  
カソード: Pt

## ●今後の課題

- ・触媒の質量活性の向上
- ・Ta及びZr系触媒を用いた電解セルでの効率の向上

## ●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A	現行材料より高い酸素発生比活性触媒の作製	◎ 目標以上
B	非貴金属化合物でも水電解することを確認	△ ほぼ達成

## ●実用化の見通し

電極の作製及び塗布条件の最適化することで実用化へ見通し

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	1	3	0

# 非貴金属化合物を用いた水電解用高機能酸素発生アノード触媒の設計および開発

実施者：国立大学法人 横浜国立大学

## 1. 事業目的

水電解は原理的に水素とともに酸素も発生するが、その酸素発生時の過電圧が高いと、それに伴うロスも大きくなり、商用化にとって障害となる。特に固体高分子形水電解(PEWE)では電解質が強酸性であるため、酸素発生時の過電圧が多少大きくとも耐酸性を有する条件が優先され、貴金属由来の材料が酸素発生極として使用されており(図1)、コストに占める割合が大きい。今後の商用化を考えると、コストの面からは貴金属材料の低減が必須であり、更には酸素発生における過電圧の低い材料の開発が望まれている。そこで本事業の目的はその双方を満たすべく、非貴金属化合物を用いて水電解用高機能酸素発生アノード触媒の設計および開発を行った。

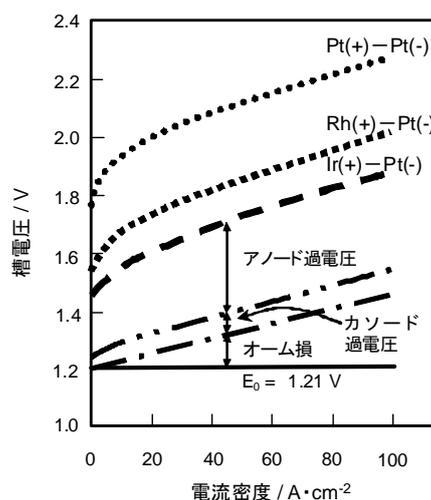


図1 固体高分子型水電解(SPWE)の電圧収支例(50°C)

## 2. 事業目標

本プロジェクトでは部分酸化技術を用いて、耐久性を備えた高機能酸素発生触媒の研究開発を行い、それを非貴金属化合物における酸素発生触媒能の開発設計に活かしていく。以下の二点が目標である。

- 1) 現行材料(貴金属系)に近い酸素発生触媒能を有する非貴金属系酸素発生触媒の開発
- 2) 非貴金属系材料をアノード触媒に用いて、現行のアルカリ形水電解に匹敵する新規固体高分子形水電解セルの開発

具体的には1)では薄膜及び粉末材料の双方からの開発を行った。PEWEに使用されている現行材料との比較を行うために、薄膜及び粉末の実表面積あたりの活性(比活性)を評価できる手法の開発を行った。その評価手法を基に電気化学測定を行い、非貴金属系材料と現行材料との比較を検討した。2)では非貴金属材料が果たして酸素発生電極として作用するのかを現行の電解セルのアノード電極触媒として組み込んで、電解試験を行い、電圧-電流の関係及び水電解効率を算出した。

### 3. 事業成果

#### 3-1. 触媒活性評価法

電流に関して、 $\text{IrO}_2$  粉末:Zr 化合物薄膜 $=1:4 \times 10^{-4}$ であるのに対して、表面積に関しては、おおよそ  $\text{IrO}_2$  粉末:Zr 化合物薄膜 $=1:5 \times 10^{-1}$ であった。表面積と電流密度が比例関係にない事がわかる。触媒能を幾何面積のみで比較する方法は必ずしも適切ではない。そこで、電気化学的実表面積を模擬できる指標を用いて両者を比較する。指標として電気二重層領域(0.3 - 0.8 V)の CV からアノード電気量( $Q_A$ )を求めた。定常分極及び定電位測定から得られた電流を  $I$  とした。それを用いて  $k(= I Q_A^{-1})$ を算出し、 $\text{IrO}_2$  粉末触媒との比較可能な触媒比活性評価法とした。定常分極における 1.6 の  $k(k_{\text{init.}})$ をこれまでの  $E_{\text{OER}}$ に替わる指標とし、初期比活性を評価した。また、定電位測定で得られた 0.5 h における  $k$ を  $i_{\text{SS},*}$ とし、定常状態の比活性として評価した。

#### 3-2. 薄膜触媒

##### 3-2-1. 薄膜作成時の基板温度( $\theta_{\text{Base.}}$ )が触媒比活性(酸素発生反応)に与える影響

Zr 及び Ta 化合物薄膜( $P_{\text{O}_2} = 20$  mPa)の  $k$ と $\theta_{\text{Base.}}$ の関係を図 2 に示す。比較として  $\text{IrO}_2$  粉末の  $k_{\text{init.}}$ 及び  $i_{\text{SS},*}$ を併記した。どちらの化合物ともに温度が低いほど  $k_{\text{init.}}$ が大きくなり、Zr 化合物薄膜は $\theta_{\text{Base.}} = 30^\circ\text{C}$ で Ta 化合物薄膜は $\theta_{\text{Base.}} = 50^\circ\text{C}$ で最大値を示した。その時の  $k_{\text{init.}}$ は Zr 及び Ta 化合物薄膜においては  $\text{IrO}_2$  粉末の値よりも 3 倍以上大きく、Ta 化合物薄膜においては  $\text{IrO}_2$  粉末の値よりも 1.5 倍程度大きく、どちらの化合物ともに初期比活性は高いと考えられる。しかし、全ての Zr および Ta 化合物薄膜の  $i_{\text{SS},*}$ は  $\text{IrO}_2$  粉末の値よりも小さく、安定性が低かった。各 $\theta_{\text{Base.}}$ の  $k_{\text{init.}}$ と  $i_{\text{SS},*}$ を比較すると、温度が低いほど  $k_{\text{init.}}$ と  $i_{\text{SS},*}$ の差が開いている。温度が高いほど安定性が維持されると思われる。

##### 3-2-2. 薄膜作成時の酸素分圧( $P_{\text{O}_2}$ )が触媒比活性(酸素発生反応)に与える影響

Zr 化合物薄膜( $\theta_{\text{Base.}} = 200^\circ\text{C}$ )および Ta 化合物薄膜( $\theta_{\text{Base.}} = 320^\circ\text{C}$ )の  $k$ と  $P_{\text{O}_2}$ の関係を図 3 に示す。比較として  $\text{IrO}_2$  粉末の  $k_{\text{init.}}$ 及び  $i_{\text{SS},*}$ を併記した。Ta 化合物薄膜については  $i_{\text{SS},*}$ と  $k_{\text{init.}}$ 共に  $P_{\text{O}_2} = 6$  mPa において最大値を得た。このことから酸素分圧には最適値が存在することが考えられる。つまり高活性な触媒を得るための、酸素と窒素の最適な割合が存在する可能性があることがわかる。しかし結果から、 $i_{\text{SS},*}$ と  $k_{\text{init.}}$ 共に  $\text{IrO}_2$  の値より小さい値であった。一方、Zr 化合物薄膜においては 3-10 mPa で極大領域が見られた。この  $P_{\text{O}_2}$  領域で作製した Zr 化合物薄膜の  $k_{\text{init.}}$ は  $\text{IrO}_2$  粉末の  $k_{\text{init.}}$ と比較して 3 倍程度大きい。従って、Zr 化合物薄膜の比活性は  $\text{IrO}_2$  粉末よりも高いと思われる。また、各  $P_{\text{O}_2}$ の  $k_{\text{init.}}$ と  $i_{\text{SS},*}$ を比較すると、比活性が高い Zr 化合物薄膜ほど、全体として安定性は低いと思われる。しかし、この時の Zr 化合物薄膜の  $i_{\text{SS},*}$ の  $\text{IrO}_2$  の  $i_{\text{SS},*}$ より大きいことから、安定性は良好であると言える。従って、 $\theta_{\text{Base.}} = 200^\circ\text{C}$ 、 $P_{\text{O}_2} = 3-10$  mPa で作製した Zr 化合物薄膜は  $\text{IrO}_2$  を超える高比活性な酸素発生触媒であると思われる。

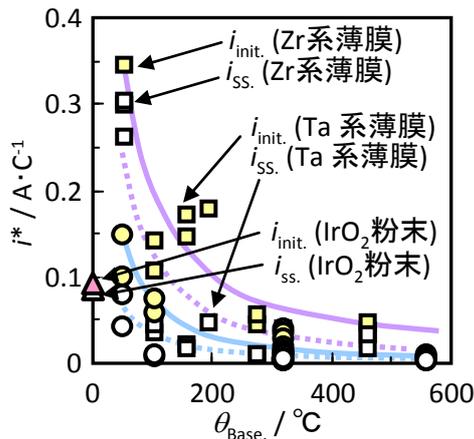


図2  $i^*$ のTa及びZr化合物薄膜作製時の基板温度( $\theta_{Base}$ )依存性.

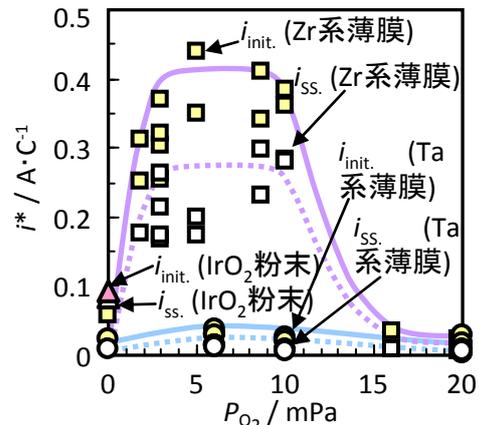


図3  $i^*$ のTa及びZr化合物薄膜作製時の酸素分圧( $P_{O_2}$ )依存性.

### 3-3. 粉末触媒

資源量も比較的多く、酸性溶媒中で安定な Zr 及び Ta 化合物<sup>2-3)</sup>を非貴金属代替アノード材料として着目し、酸素発生反応(OER)の触媒能の検討および評価を行った。

#### 3-3-1. 粉末の部分酸化時の温度が触媒比活性(酸素発生反応)に与える影響

図 1.2-1 に Zr-CNO 粉末の  $i^*$  と  $\theta_{Base}$  の関係を示す。比較として  $IrO_2$  粉末の  $i_{init}^*$  及び  $i_{ss}^*$  を併記した。Zr-CNO の  $i_{init}^*$  及び  $i_{ss}^*$  は  $700^\circ C$  以上で一定となり、その値の  $i_{init}^*$  及び  $i_{ss}^*$  は  $IrO_2$  粉末のそれと比較しても高い値となった。従って、Zr-CNO 粉末の比活性は  $IrO_2$  粉末と同等であると思われ、特に初期比活性の  $i_{init}^*$  は  $IrO_2$  粉末の  $i_{init}^*$  と比較して 2 倍程度高いものであった。従って、 $\theta_{Base} = 700^\circ C$  以上で作製した Zr-CNO 粉末は  $IrO_2$  を超える高活性 OER 触媒であることを示唆した。

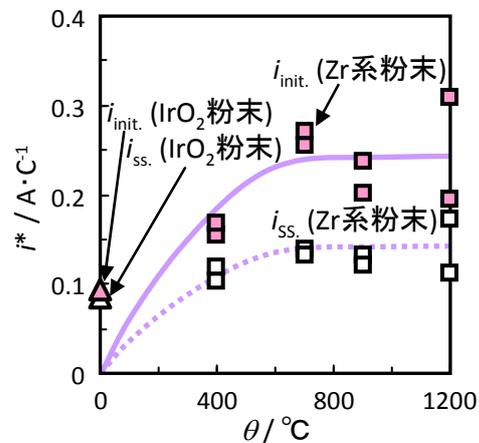


図4  $i^*$ のZr化合物粉末触媒作製時の粉末作製温度( $\theta$ )依存性 ( $0.1 M H_2SO_4$ ,  $30^\circ C$ ).

#### 3-3-2. Zr 化合物粉末の XRD 評価と酸化度

部分酸化処理の時間を変えることにより、酸化の程度を変化させた粉末試料を得た。図 5 に  $ZrC_{0.5}N_{0.5}$  を出発物質として、部分酸化処理の時間を変化させた試料の XRD 回折パターンを示す。 $TaC_{0.5}N_{0.5}$  からの酸化の程度を表す指標として酸化度(DOO : Degree Of Oxidation)を導入する。酸化度は  $TaC_{0.5}N_{0.5}$  が  $2\theta \cong 33.4^\circ$  となる最強のピーク強度  $I [ZrC_{0.5}N_{0.5}]$  と、 $ZrO_2$  monoclinic の  $2\theta \cong 28.3^\circ$  のピーク強度  $I [ZrO_2]$  を用いて、次式で定義した。

$$DOO = I_{\text{mono. ZrO}_2} / (I_{\text{mono. ZrO}_2} + I_{\text{ZrC}_{0.5}\text{N}_{0.5}}) \quad (1)$$

### 3-3-3. DOO と Zr および Ta 化合物粉末の初期比活性評価

Zr および Ta 化合物粉末における DOO と  $i_{\text{init.}}$  の関係を図 6 に示す。比較のために  $\text{IrO}_2$  粉末の  $i_{\text{init.}}$  も併記した。DOO に関わらず部分酸化することにより、酸素発生初期比活性は  $\text{IrO}_2$  粉末の  $i_{\text{init.}}$  よりも高い結果が得られた。また、Zr 化合物粉末の  $i_{\text{init.}}$  は DOO に強く依存する結果にはならなかった。いずれにせよ、Zr 化合物の  $i_{\text{init.}}$  は  $\text{IrO}_2$  粉末の  $i_{\text{init.}}$  より 2 倍程度高い結果となり、 $\text{IrO}_2$  を超える高比活性酸素発生触媒であることを示唆した。

一方、Ta 化合物粉末の  $i_{\text{init.}}$  は DOO に依存する結果を示唆し、DOO が大きくなると  $i_{\text{init.}}$  は小さくなった。今回の実験範囲では Ta 化合物粉末の  $i_{\text{init.}}$  は  $\text{IrO}_2$  粉末の  $i_{\text{init.}}$  より高くなり、DOO = 0.2 においては  $\text{IrO}_2$  粉末の  $i_{\text{init.}}$  の 2 倍強高い結果となった。このことから Ta 化合物の  $i_{\text{init.}}$  は条件によっては  $\text{IrO}_2$  を超える高比活性酸素発生触媒であることを示唆した。

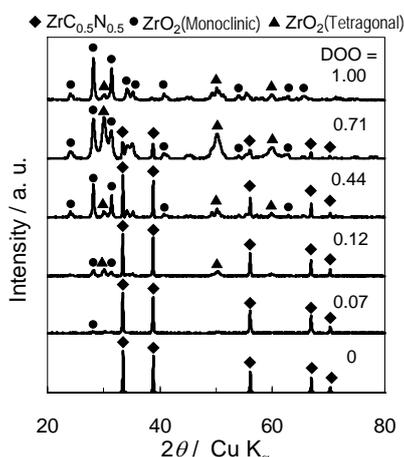


図5 焼成時間の異なるZr化合物粉末のX線回折パターン。

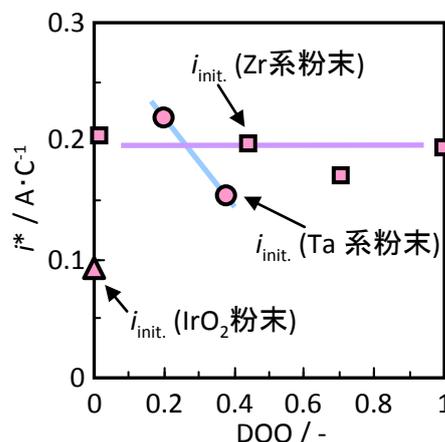


図6  $i_{\text{init.}}$  のZr及びTa化合物粉末のDOO依存性。

### 3-4. 電解セル試験

これまでに Zr や Ta の炭窒化物の OER 触媒能を評価してきたが、それが果たして PEWE アノードの電極触媒に用いた際に水電解を行うことができるのか、また、そのときの効率がどうであるのかを確かめる必要がある。そこで部分酸化した Zr 炭窒化物( $\text{Zr-CNO}$ )を PEWE のアノード電極触媒として用い、電解セルを試験して、その特性を評価した。

水素極(カソード)には白金触媒、電解質に Nafion<sup>®</sup>膜を用い、酸素(アノード)極の触媒量を  $0.6 - 0.9 \text{ mgcm}^{-2}$  で 3 段階に分けて調整して試験を行った。なお、アノード電極触媒には  $\text{Zr-CNO}$  (DOO = 0.07)を用いた。測定温度は  $80^\circ\text{C}$ で行った。

図 6 に水電解電流密度( $\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ )と水電解電圧(V)の関係を示す。触媒量の増加とともにその電解電圧は小さくなり、担持量が  $0.8 \text{ mg}\cdot\text{cm}^{-2}$  以降で  $1 \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$  のとき  $2.6 \text{ V}$  であった。また、 $1 \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$  における新触媒担持量と水電解効率の関係を図 7 に示す。こ

の結果より、担持量が $0.8 \text{ mg}\cdot\text{cm}^2$ 以降でおおよそ一定となり、 $0.9 \text{ mg}\cdot\text{cm}^2$ のとき、効率が60%となり最も高かった。以上の結果より、担持量が $0.9 \text{ mg}\cdot\text{cm}^2$ のときに最も良好な電解特性を示し、またこの値が試験条件において最適であることがわかった。

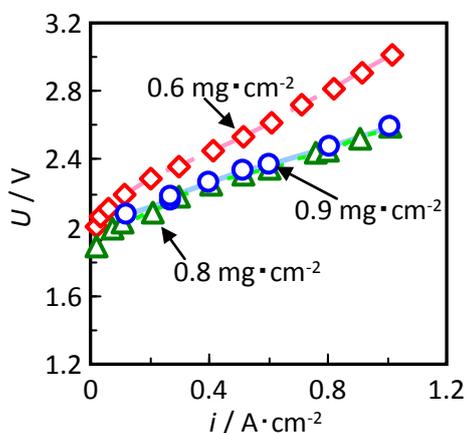


図6 水電解電流密度と水電解電圧の関係。

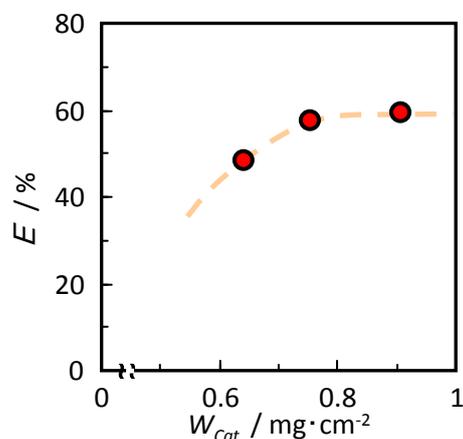


図7 セルの触媒担持量と $1 \text{ A}\cdot\text{cm}^2$ でのエネルギー効率の関係。

<参考文献>

- 1) L. A. da Silva, V. A. Alves, M. A. P. da Silva, S. Trasatti and J. F. C. Boodtst, *Electrochim. Acta*, **42**, 272 (1997).
- 2) Y. Ohgi, A. Ishihara, K. Matsuzawa, S. Mitsushima, and K. Ota, *J. Electrochem. Soc.*, **157**, B885 (2010).
- 3) M. Tamura, A. Ishihara, T. Tada, K. Matsuzawa, S. Mitsushima, and K. Ota, *ECS Trans.*, **16**(24), 125 (2009).

3-5. 特許、論文、外部発表等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT*出 願	査読付き	その他	
H20FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H21FY	0件	0件	0件	0件	1件	3件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

(1) まとめ及び課題

まとめ

- 評価法の確立し、Zr 及び Ta 系材料で現行材料の  $\text{IrO}_2$  を上回る比活性を有する触媒の作製に成功した。
- Ta 及び Zr 系化合物における酸素発生反応は表面が酸化物であることが活性に寄与することがわかった。

- ・遷移金属系材料を電極触媒として電解試験を行い、水電解効率 60%の性能を有することがわかった。

#### 課題

- ・触媒の質量活性の向上  
Ta及びZr系触媒の更なる性能開発及び粉末の微細化(nmオーダーレベル)によりIrO<sub>2</sub>に匹敵する質量活性を有する触媒材料の開発
- ・Ta及びZr系触媒を用いた電解セルでの効率の向上  
材料及び担持量等の最適化により、現状のPEWEのエネルギー変換効率(80%以上)の達成及び1 Acm<sup>-2</sup>で電圧1.6 V以下の達成を目指す
- ・Ta及びZr系触媒の耐久性の評価  
非貴金属材料を用いた電解セルを長時間運転し、寿命評価及び電気化学的手法を用いた材料劣化手法の確立

#### (2) 実用化の見通し

本プロジェクトで単極試験におけるZrおよびTa系薄膜および粉末材料の比活性は現行のIrO<sub>2</sub>を上回る結果が得られた。TaおよびZrの資源量はIrO<sub>2</sub>のそれと比較して、10倍および100倍以上あり、価格は1/10および1/100以下となる。従って、上記の成果は画期的なものであり、実用化に大きく寄与できるものと考えられる。本プロジェクトでは予算の関係で粉末材料を用いての電解セル試験しか出来なかったが、PEWEのアノードにはTi基板上にTa<sub>2</sub>O<sub>5</sub>膜、そしてその上にIrO<sub>2</sub>膜によって形成されたDSA(Dimensionally Stable Anode)電極も使用可能である。事業化にむけては薄膜電極を用いて電解セルを作製することでその見通しが得られると考えられる。また、上記の課題をクリアできれば、世界的にも先進的な水素エネルギー社会を牽引する水電解セルが作製できると思われる。

# (Ⅲ - 5) 高効率水素液化磁気冷凍の研究開発

委託先: 物質・材料研究機構、金沢大学

2.3-5(0)

## ●進捗成果サマリ(平成20年度～平成22年度6月末)

- ・AMRサイクルに適合した希土類ガーネットと金属間化合物磁性材料の開発を進め、粒状化の実用材料製造技術を確立した。
- ・2つの駆動機構をもつAMR磁気冷凍サイクル試験装置を設計・作製し、AMRサイクルを実証した。
- ・水素液化サイクルの効率改善と高感度水素液量の計測技術を開発した。

## ●背景/研究内容・目的

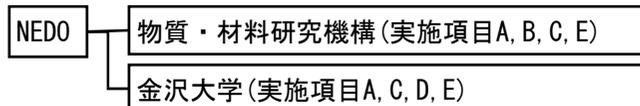
エネルギー密度の高い液体水素は貯蔵・輸送に有用であるが、極低温で液化する際には相当量の仕事が必要されるため、液化や貯蔵に最適化された冷凍システムの開発が不可欠となっている。磁気冷凍法は原理的にはカルノー効率を満足するため、世界的にも水素液化への応用が進められている。

磁気冷凍によるエネルギー効率の高い水素液化・貯蔵に関する基盤技術の確立を目的としている。水素液化サイクルと蓄冷型サイクルとを組み合わせた高効率水素液化磁気冷凍実証システムの構築と検証を行い、液体水素製造プラントや水素貯蔵および輸送に関する磁気冷凍の実用技術を大きく進展させる。

## ●研究目標

実施項目	目標
A	実用磁気冷凍磁性材料の開発
B	高効率水素液化機構の開発
C	蓄冷型磁気冷凍機の開発
D	測定技術要素研究
E	水素液化磁気冷凍システムの調査と解析

## ●実施体制及び分担等



## ●これまでの実施内容／研究成果

- 実用磁気冷凍磁性材料の開発
  - 酸化物系材料  
鉄ガーネットにおける鉄原子間の強い相互作用を利用したGd-Fe-Ga ガーネット (GGIG) の開発に成功した。30K領域で使用可能であり、かつ水素化しない特長をもつ。
  - 金属間化合物系磁性材料  
RT<sub>2</sub>系(R:Dy, Gd, T:Al, Ni)強磁性体について、遠心力 casting 法により粒状化に成功した。広い温度で使用が可能であり、一次転移、二次転移による大きな熱量効果が発生できる。
- 高効率水素液化機構  
粒状磁性体と板状磁性体のハイブリッド構成により水素液化効率を向上。
- 蓄冷型磁気冷凍試験装置の開発  
2つの駆動機構をもつ試験装置を設計・製作し、磁場・熱交換を独立制御することに成功した。これによって本格的なAMRサイクルの駆動を行い、わずか1.8Tで12度以上の冷却温度幅を得た。
- 測定技術要素研究  
超高感度・小型静電容量型水素液面計を開発し、十分な性能を持つことが確認された。
- 水素液化磁気冷凍システムの調査と解析  
蓄冷型磁気冷凍サイクルのシミュレーションによる解析手法を確立した。特に、蓄冷器内での磁性体の多層化や多段化の解析を行ない、磁性体の選択や蓄冷器内への配分比等の指針を得た。

## ●今後の課題

### ／スケジュール(H22年度まで)

AMRサイクルの熱交換ガス駆動に、外部のディスプレイサーを用いる方式を開発中。これによって、駆動部分を小型化させ、5Tの有効磁場を用いることが可能となる。

## ●実用化の見通し

現在は冷凍サイクルの実証に注力しているが、最適化された専用のマグネットを使用することにより、5年以内に実機レベルの水素液化機を構築できる可能性。

## ●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A	実用材料の開発に成功	◎
B	ハイブリッド化設計を終了	○
C	AMR冷凍サイクルを実証	○
D	超高感度・小型水素液面計を開発	○
E	シミュレーション手法を確立	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	10	33	0

## 高効率水素液化磁気冷凍の研究開発

実施者：物質・材料研究機構、金沢大学

### 1. 事業概要

水素の輸送・貯蔵・供給形態を考えると、エネルギー密度の高い液体水素はきわめて有用であるが、極低温液体であるがゆえに生成・保持の観点からは利用方法が限定されてしまう。また、常温の水素ガスを極低温で液化するには相当量の仕事が消費されるため、有効エネルギー効率の低下は避けられない。したがって、液体水素を有効利用するためには、液化や貯蔵に最適化された冷凍システムの開発が不可欠となっている。磁性体の磁気熱量効果を利用する磁気冷凍法は原理的な冷凍効率がカルノー効率を満足するため、世界的にも水素液化への応用が進められている。

本事業はこれまでに蓄積してきた磁気冷凍による水素液化技術をもとに、エネルギー効率の高い水素液化・貯蔵に関する基盤技術の確立を目的としている。水素液化サイクルと蓄冷型サイクルとを組み合わせた高効率水素液化磁気冷凍実証システムを構築し、その検証を行い、液体水素製造プラントや水素貯蔵および輸送に関する磁気冷凍の実用技術を大きく進展させる。本事業は物質・材料研究機構と金沢大学との共同によって実施される。

### 2. 事業目標

水素磁気冷凍に関するこれまでの研究成果を継承しながら、冷凍システムへの飛躍を目指して、その基盤技術の開発と検討を行う。実施項目と目標を併記して以下に示す。

#### ① 実用磁気冷凍磁性材料の開発（金沢大学、物材機構）

ガーネット系磁性材料、金属間化合物磁性材料、一次転移材料を取り上げ、熱交換効率の高性能化に不可欠な粒状化試料の作製・評価を行う。

【到達目標】球状試料（直径 0.3mm 以上）の製造法を確立し、ガーネット材料と金属系材料を組み合わせ、30K から 77K までの領域を AMR サイクルで駆動可能であることを示す。

#### ② 高効率水素液化機構の開発（物材機構）

低圧の水素ガスを対流させ液化水素を効率的に取り出す機構や、高効率磁気冷凍水素液化機構に蓄冷型冷凍サイクルを結合したサイクルを用いることにより、磁気冷凍水素液化機構のさらなる高効率化を図る。

【到達目標】磁性体やシリンダー形状、ガスシールの工夫により、現状の液化効率を 10% 以上向上させる。

#### ③ 蓄冷型磁気冷凍機の開発（物材機構）

大口径超電導マグネットに適合したクライオスタットを製作し、ガス駆動機構を有する

本格的な AMR サイクル試験機を構築する。これによって、20K から 77K までをカバーする水素液化温度領域における蓄冷型磁気冷凍サイクルの実証と実用化への可能性を調べる。

【到達目標】 ガスシールをピストンリング式へ変更し、冷凍周波数と効率を向上させる。排熱温度の制御を向上した試験冷凍により、プロトタイプシステムに必要な情報を得る。

#### ④ 測定技術要素研究（金沢大学）

一般に市販されている水素液面計は本研究にはサイズの点から使用が困難である。MgB<sub>2</sub> を用いた超電導液面計や、液体水素の誘電率を利用した楕形や同軸型の静電容量式液面計の開発を行う。

【到達目標】 長さ 10cm 以下の極小サイズ水素液面計を磁気冷凍水素液化機構に用い、分解能 3%以上を達成する。

#### ⑤ 水素液化磁気冷凍システムの調査と解析（金沢大学、物材機構）

磁気冷凍サイクルの熱解析、材料や冷凍システム構築の概念設計などを通じて、磁気冷凍システムの経済性等について検討を進める。また水素磁気冷凍開発の調査を実施する。

【到達目標】 海外で進められている磁気冷凍システムの比較を行い、現状の磁気冷凍における効率の到達点を示すと共に、国際技術交流を進める。

### 3. 事業成果

#### 3.1 実用磁気冷凍磁性材料の開発

##### (1) 希土類鉄ガーネット材料

液化段及び予冷段低温側で有望な材料として期待される希土類鉄ガーネット材料の性能評価と磁性材料の球状化を行った。これまでに液化段に用いられていた希土類ガーネットは磁気特性、耐水素性に優れた性能を示しているが、高温側で磁気エントロピー変化が小さくなる。鉄ガーネットにおいては、鉄の強い相互作用により作られる内部磁場により希土類が受ける磁場を増強することができるため、高温でも大きなエントロピー変化が期待される。そこで本研究では Gd<sub>3</sub>Ga<sub>5</sub>O<sub>12</sub> の Ga を 30%, 40%, 50%鉄に置換した材料 (GGIG) を作成した。転動造粒法により、直径 0.4mm 程度の球状化したガーネットの作成も行った。この磁性材料の性能を磁化測定、断熱消磁実験によって行った。球状化した材料を塊状の材料と比較した場合、低磁場において若干磁気エントロピー変化が減少する傾向が見られたが、ほぼ同等の磁気特性を得ることができた。また、実際の蓄冷型磁気冷凍機に組み込み、冷凍試験を実施した。この結果、従来のガーネット材料を上回る効果が高温領域で確認された。

##### (2) 金属間化合物系磁性材料

予冷段高温側材料には強磁性体の材料が望ましい。金属間化合物系磁性材料で有望な RT<sub>2</sub>

系(R:Ho, Dy, Gd, T:Al, Ni)の磁性体について、磁性材料の球状化について遠心力アトマイズ法により最適条件を見出すことができた。この結果、ほぼ球状に近い試料の作製に成功した(図1)。これらの試料は蓄冷型磁気冷凍機に実際に組み込まれ、冷凍試験によって優れた特性が確認された。



図1. 試作された球状化 GdNi<sub>2</sub> 試料

### 3.2 高効率水素液化機構の開発

低圧の水素ガスを磁性体シリンダー中に流し、カルノーサイクルによって液化水素を高効率で生成する機構を検討した。粒状の磁性体を用いると間隙に液体水素がトラップされるため、液体水素の取り出しが困難となる。しかし、熱交換面積は著しく増加するため、初期の液化過程における効率は板状に比べて50%以上大きい。本研究では両者を融合し、液体水素の流路を設置した磁性体形状を調べた。シミュレーションの結果、水素と磁性体との熱交換効率は流路の形状に大きく依存することがわかった。球状と板状とを組み合わせたハイブリッド化によって、効率の増加が見込めることがわかった。

### 3.3 蓄冷型磁気冷凍機の開発

物質・材料研究機構が所有している大口径超電導マグネットに適合した新しいクライオスタットの設計と製作を行った。これまでは蓄冷器が磁場中で移動することによる磁場変化と蓄冷器内の流体の流れが同時に起こり独立した制御が不可能であったが、本研究で開発する磁気冷凍機においてはマグネットの口径の大きさを利用し流体の流れを発生させるディスプレイサーを蓄冷器に内蔵することが可能になり、磁場変化と流体の流れを独立に制御できるシステムを完成させることができた(図2)。研究項目3.1で実施した試料を用い、AMR型蓄冷サイクル(Active Magnetic Regeneration)の実験を実施した。その結果、30Kから60K領域でのAMRサイクルの作動が実証された。駆動型磁気冷凍では初めてである。また、HoAl<sub>2</sub>を用いた冷凍試験では、わずか有効磁場1.8Tのもとで磁性体ホルダー内部に

12 度以上の温度勾配が形成され、磁気冷凍による蓄冷サイクルが水素予冷に有効であることが実証された（図 3）。

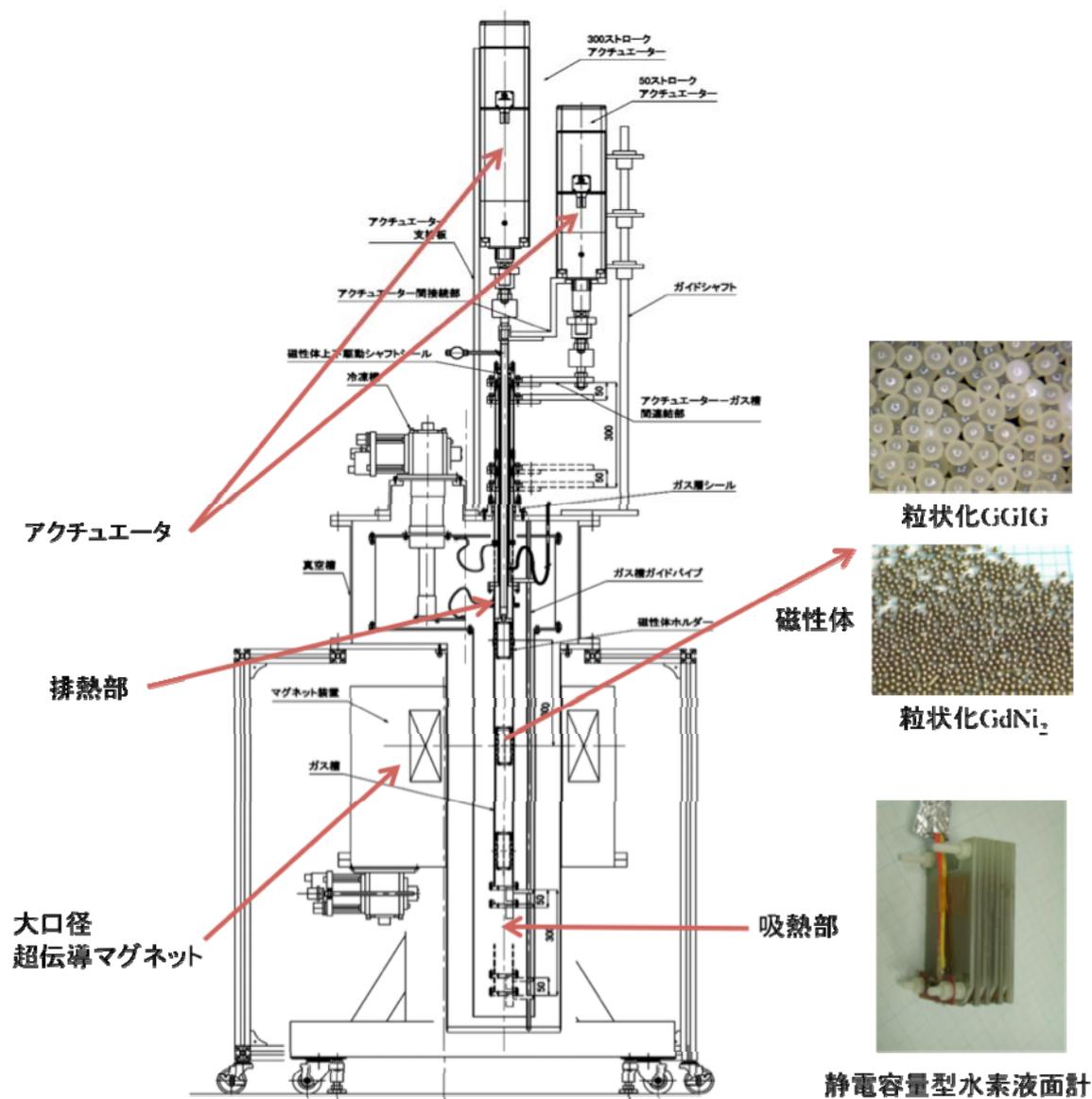


図 2. 試作された水素磁気冷凍用 AMR 試験装置

GGIG(ガーネット)とHoAl<sub>2</sub>についての試験結果(有効磁場変化2T, 0.1Hz)  
AMR効果を明確に実証し、25K~40K領域で10度以上の温度差発生に成功

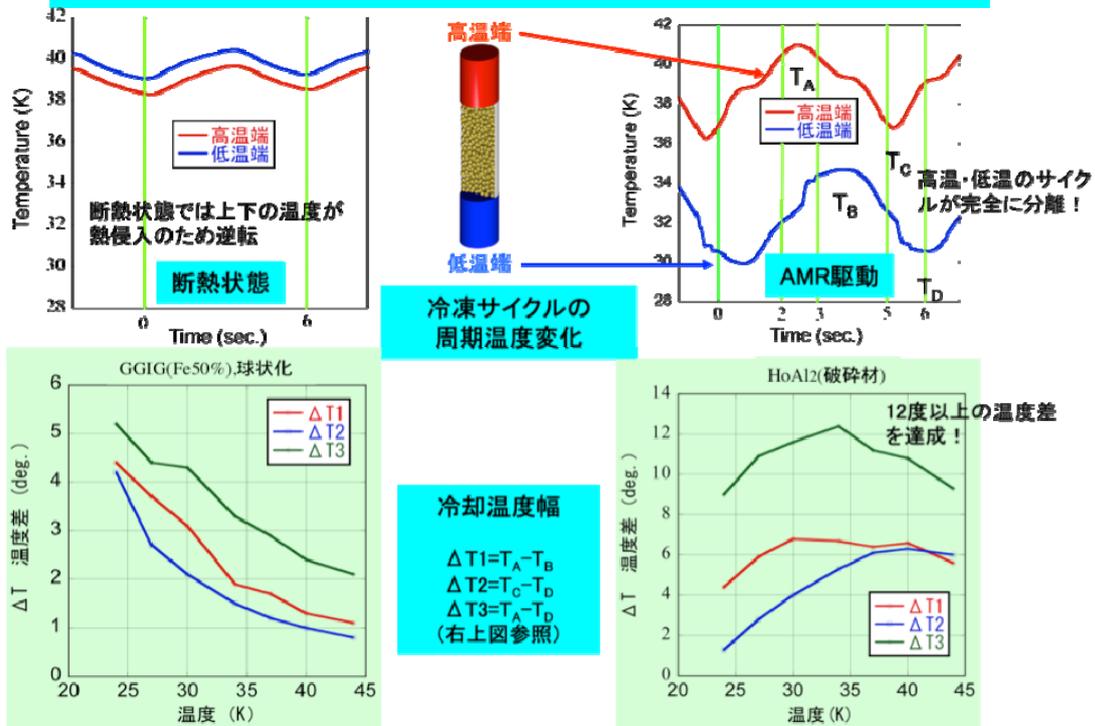


図3. 水素磁気冷凍用 AMR 試験装置による取得データの一例

### 3.4 測定技術要素研究

本研究で開発される小型の磁気冷凍機に適合する、MgB<sub>2</sub>を用いた超電導液面計と液体・気体水素の誘電率の差を利用した静電容量式の水素液面計を開発した。液体水素を用いた動作確認を校正が行われ、静電容量式では液面分解能 0.02mm (0.06%以上の分解能)を達成した。また、長さ10cm以下の小型化が可能であり、十分な性能を持つことが確認された。

### 3.5 水素液化磁気冷凍システムの調査と解析

水素磁気冷凍システムにおいて主要部である、蓄冷型 AMR 磁気冷凍サイクルのシミュレーションによる解析を進めた。特に、広い温度範囲での動作に必要な蓄冷器内での磁性体の多層化や AMR の多段化によるサイクルの冷凍能力や効率の解析を行ない、磁性体の選択や蓄冷器内への配分比等の指針を得ることができた。海外における磁気冷凍開発の調査によって、韓国等で試作が進んでいる磁気冷凍サイクルの実験に参加し、幅広い討論を行った。サイクル解析においては、水素温度領域と同様に磁性体の磁場変化と流体変化が同時に起こる場合の解析法について調べた。

### 3.6 特許、論文、講演、報道等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※出願	査読付き	その他	
H20FY	0件	0件	0件	4件	0件	7件
H21FY	0件	0件	0件	4件	0件	9件
H22FY	0件	0件	0件	1件	0件	4件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

## 4. まとめ及び課題

### (1) まとめ

- ・ 鉄系希土類ガーネットを開発し、水素液化温度以上の領域でも使用可能となった。転動造粒法により、球状試料の大量生産技術を確立した。
- ・  $RT_2$  系の磁性体について、遠心力鑄造法により粒状化試料の作製に成功した。冷凍テストにより、その性能が確認された。
- ・ 高効率水素液化機構に蓄冷型冷凍サイクルを結合したハイブリッドサイクルの有効性を確認するとともに、流体流れの解析によって、高効率化への条件を明らかにした。
- ・ 2つのディスプレイサを使った AMR 蓄冷型冷凍サイクルを実現した。25K～60K 領域での駆動に成功するとともに、有効磁場変化 1.8 T で、12 度以上の温度差発生を達成した。
- ・ MgB2 超伝導および静電容量型の 2 方式の磁気冷凍用小型水素液面の開発に成功。液体水素を用いた試験により十分な性能を確認した。

### (2) 課題

- ・ 粒状化について製造企業との連携により実用技術開発を進める必要がある。
- ・ 熱交換ガスの駆動機構を磁性体と分離する方式を採用することにより、小型化と熱安定化を達成させる。
- ・ ハイブリッドサイクル（水素液化+AMR サイクル）の実証試験により、高温領域からの水素液化を試みる必要がある。

## 5. 実用化・事業化の見通し

磁気冷凍サイクルに最適化されたマグネットを用いれば、実用化への展望は大きく開けると考えられる。LNG 熱源を利用可能な冷凍システムであり、事業化への魅力は大きい。

# (III-6) 水素ガス輸送用パイプラインの信頼性評価技術の研究開発

委託先:(国) 東京大学

## ●全期間成果サマリ(実施期間 :平成20年度～平成21年度)

- ・水素ガスパイプラインで想定される現実的な圧力・温度条件下で鋼中に拡散侵入する水素濃度は低く、準静的・動的条件下とも水素脆化は顕著ではない。
- ・水素ガスパイプラインの実大強度試験を実施し、き裂は長距離伝播することはないことを実証した。
- ・開発した高速き裂伝播数値計算モデルを用いて、天然ガスと同程度の靱性を有していれば、水素ガスパイプラインでき裂の伝播を防止できることを確認した。

## ●背景/研究内容・目的

水素社会における大量の水素輸送をガスパイプラインによって実現するためには水素ガスパイプラインの信頼性に関する信頼性指針を確立する必要がある。高強度鋼管材料に対する水素脆化感受性の評価、水素ガスパイプラインの実大強度試験による高速き裂伝播の現象の調査、水素ガス漏出を想定した燃焼熱輻射に関する検討、ガスパイプライン高速延性き裂伝播の数値計算モデルの開発、水素ガスパイプライン大規模破壊を防止するための条件に関する試算を行った上で、これらを総合的に検討するとともに、水素ガスパイプラインの耐破壊信頼性指針を確立するために必要な検討課題を整理する。

## ●研究目標

実施項目	目標
A 水素脆性評価試験	水素濃度:2ppm以下、負荷速度:準静的～5m/s
B 実大破壊強度試験	圧力:15MPa程度、パイプ:X65高強度鋼管、500mm径、40m長
C 高速き裂伝播計算モデル構築	き裂伝播限界圧力とき裂伝播停止長さを+/-20%で予測
D 外部からの指導及び協力	大学・企業の研究者・技術者からなる研究会を組織し、指導と協力を得る。

## ●実施体制及び分担等



## ●全期間実施内容／研究成果

- (1)水素チャージ鋼管材のき裂伝播抵抗を計測し、水素ガスパイプラインで想定される現実的な圧力と温度の上限条件でも鋼中に拡散侵入する水素の濃度は高々0.01ppm程度以下と低く、準静的・動的条件下とも水素脆化はほとんど現れないことを確認した。(図1)
- (2)水素ガスパイプラインの実大強度試験を実施し、強制的に発生させた延性き裂は長距離伝播することなく、300～600mm程度で停止することを実証した(圧力:16MPa、鋼管:X65、550mm径、13.5mm厚)。(図2)
- (3)漏出水素ガス燃焼熱輻射に関する数値検討を行い、天然ガスパイプラインに比べて水素ガスパイプラインのほうが熱輻射が小さいという結果を得た。
- (4)開発した高速き裂伝播数値計算モデルにより、同一靱性(き裂伝播抵抗値)で比較すると、天然ガスパイプラインよりも水素ガスパイプラインのほうがき裂伝播距離が短く、天然ガスパイプラインと同レベルの靱性を確保しておけば、き裂が長距離伝播することを防止できることを確認した。

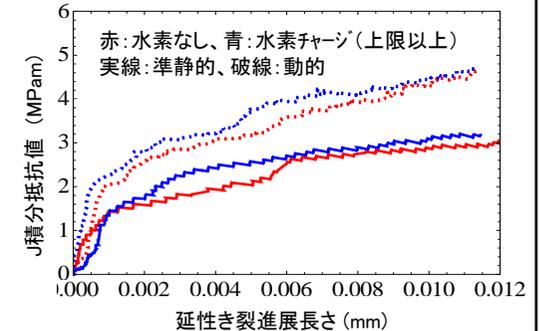


図1 き裂伝播抵抗に及ぼす水素の影響

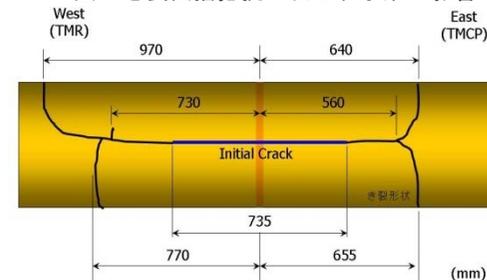


図2 実大強度試験におけるき裂伝播挙動

## ●今後の課題

- (1)広範な鋼管材料に対する水素脆化感受性の評価と限界条件の見極め
- (2)より広範な条件下における高速き裂伝播と停止に対する評価とこれに基づいた鋼管の必要靱性値の決定
- (3)漏出水素ガス燃焼熱輻射の実測と計算による影響度評価
- (4)上記検討結果を総合した水素ガスパイプラインの信頼性評価指針の確立

## ●実用化の見通し

我が国の製鉄会社で製造される高靱性鋼管を適用すれば高圧水素ガスパイプラインを実現することは技術的に可能である。

## ●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A	現実的な条件下で水素脆化顕著でないことを確認。	○達成
B	実大強度試験により大規模破壊が発生しないことを実証。	○達成
C	き裂伝播距離推定精度20%を達成。	○達成
D	研究会により外部助言・指導実施	○達成

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	3	6	0

# 水素ガス輸送用パイプラインの信頼性評価技術の研究開発

実施者：国立大学法人 東京大学  
再委託先：SINTEF（ノルウェー）

## 1. 事業概要

水素社会における大量の水素輸送をガスパイプラインによって実現するためには水素ガスパイプラインの信頼性に関する信頼性指針を確立する必要がある。平成18～19年度に実施した「水素安全利用等基盤技術水素に関する共通基盤技術－国際共同研究水素ガスパイプライン高速破壊防止技術の研究開発」において小径のパイプを用いた破壊強度試験を世界で初めて実施して、水素ガスパイプラインの信頼性評価に関する研究を行った。

上記を背景として、本研究においては、高強度鋼管材料に対する水素脆化感受性の評価、大口径の鋼管を適用した水素ガスパイプラインの実大強度試験による高速き裂伝播の現象の調査、水素ガス漏出を想定した燃焼熱輻射に関する検討、ガスパイプライン高速延性き裂伝播の数値計算モデルの開発、水素ガスパイプライン大規模破壊を防止するための条件に関する試算を行った上で、これらを総合的に検討するとともに、水素ガスパイプラインの耐破壊信頼性指針を確立するために必要な検討課題を整理する。

## 2. 事業目標

本事業における各実施項目と目標は以下のとおりである。

### ①パイプ材料の水素脆性評価試験（東京大学）

高圧水素ガス環境下においてパイプ材料中に侵入する水素模擬し、実験室的に水素をチャージしたパイプ素材に対して準静的破壊靱性試験、及び、高速き裂伝播試験を行ない、水素脆性の定量的評価を行う。

#### (a) 落錘型の高速破壊試験機を用いた水素チャージ材き裂伝播抵抗測定法の確立

- ・試験条件：落錘質量；200kg以下、荷重負荷速度；7m/s程度以下、評価材料の板厚；12mm以下
- ・測定項目：荷重、変位、及び、き裂成長量の動的計測
- ・き裂伝播抵抗値：破壊力学パラメータ（J積分等）の抵抗曲線を適用

#### (b) パイプ材料のき裂伝播抵抗値に及ぼす鋼中水素濃度の影響の明確化

- ・J積分抵抗曲線の水素濃度依存性に関するデータ取得
- ・試験条件：水素濃度；2ppm程度以下、温度；0℃～室温の範囲、荷重負荷速度；準静的～5m/s程度の範囲

### ②水素ガスパイプライン実大破壊強度試験（東京大学・SINTEF）

口径が約500mmの鋼管を用いて実大破壊強度試験を実施する。き裂伝播挙動、パイプの歪、パイプ内圧等の動的計測を行う。パイプの全体的な破壊挙動を高速度カメラにより観察する。加えて、ガス漏出による周辺環境への影響を調査するために、燃焼輻射について検討する。

#### (a) 試験体の設計、作製、及び、試験条件の設定（東京大学）

- ・実大水素ガスパイプラインき裂伝播試験に供試する試験体を1体作製
- ・条件：圧力；15MPa程度に設定、パイプ；X65高強度鋼管、板厚12mm、口径500mm、長さ40m程度で設定

#### (b) 実大破壊強度試験の実施と動的計測（SINTEF）

- ・測定項目；き裂伝播速度、パイプの動的歪、パイプ内圧の動的変化、パイプ全体の動的変形挙動（高速度カメラ）

### ③水素ガスパイプライン高速き裂伝播計算モデルの構築（東京大学）

既開発の水素ガスパイプライン高速き裂伝播現象を再現する計算のプロトタイプモデルを拡張して、き裂伝播開始直後の挙動の記述ができるようにし、計算を適用できるパイプの口径の拡張を図る。このために、き裂伝播に伴う過渡現象を扱えるモデルに改良する。さらに、実大破壊強度試験との整合性をとり、計算可能な口径の範囲拡大を図る。

・き裂の発生から伝播、停止に至る動的なプロセスを計算するモデルを構築。ガスの減圧挙動とパイプの破壊挙動を連成。き裂伝播開始直後の過渡的挙動を計算可能とする。水素脆化の影響を考慮（材料の特性値として）。

・適用範囲：圧力；15MPa程度以下の水素ガス、及び、メタンガス（比較）、パイプ口径：200～500mm

・計算精度：実大破壊強度試験において、き裂伝播限界圧力とき裂伝播停止長さを $\pm 20\%$ で予測

・本モデルにより、口径が500mm程度までの水素ガスパイプラインにおいて、き裂非伝播（ガス漏洩）を実現するための必要条件（所与の圧力、口径、板厚、初期き裂寸法に対する材料の必要抵抗値）を計算可能とする。

#### ④外部からの指導及び協力

本研究には、天然ガスパイプラインの破壊強度と信頼性に関する知見が参考となる。これまで、この分野で多くの知見を有しているガス事業者、パイプ製造鉄鋼会社等の研究者から指導と協力を得るために研究会を設置する。

・ガスパイプラインの強度に関する大学・企業の研究者・技術者からなる研究会を組織し、有意義な研究成果が出せるように、指導と協力を仰ぐ。

### 3. 事業成果

#### 3-1 研究成果

##### (1) パイプ材料の水素脆性評価試験（実施項目①）

本試験では、次項で述べる実大試験に供試した鋼管材料に対して、水素チャージにより鋼中に水素を拡散侵入させ、落重試験による動的試験、及び、比較として準静的試験を行い、水素脆化の評価を実施した。

鋼管から長さ190mm、幅35mm、厚さ10mmの切欠き付曲げ試験片を採取した。繰返し荷重により約2mm長の疲労予き裂を導入した。水素チャージ条件は、条件(1)：45MPa $\times$ 50 $^{\circ}$ C $\times$ 48h、条件(2)：45MPa $\times$ 95 $^{\circ}$ C $\times$ 48h、及び、チャージなし、とした。チャージはオートクレーブにより行った。水素ガスパイプラインの上限圧力としては20MPa程度を想定すればよいが、安全側としてそれよりも高い45MPaとした（条件(1)）。条件(2)は水素脆化の影響を明確にするために、条件(1)よりもさらに高温にし（装置の上限条件）、水素濃度を高くすることとした。

既設の落重試験機を改造して本研究に適用できるように改造して動的試験を実施した。準静的試験には油圧サーボ試験機を使用した。図1に、落重試験における試験片の変形とき裂進展の様相（高速カメラ映像）の例を示す。

き裂進展を考慮したJ積分算式を用いて、計測データからJ積分抵抗曲線を求めた。図2に、水素チャージなしとチャージ条件(2)の結果を示す。ここで、横軸はき裂進展長さ、縦軸はJ積分値である。全体的に、準静的試験よりも動的試験のほうが抵抗値が大きい。これは歪速度が上昇したことにより強度が上昇したことが主な原因と考えられる。次に、準静的試験において、水素チャージの有無による抵抗曲線の勾配に差が現れた。一方、動的試験においては、抵抗曲線の若干の差はあるものの、水素チャージの有無によって抵抗曲線の勾配には有意な差は認められなかった。従って、

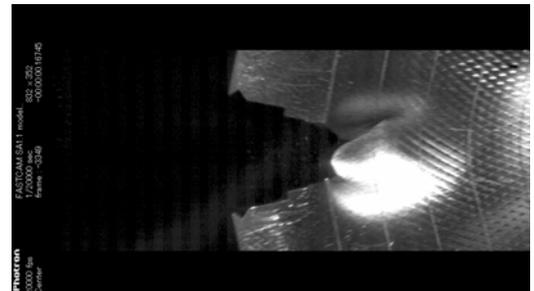


図1 落重試験中の試験片変形とき裂進展の様相（条件(2)）

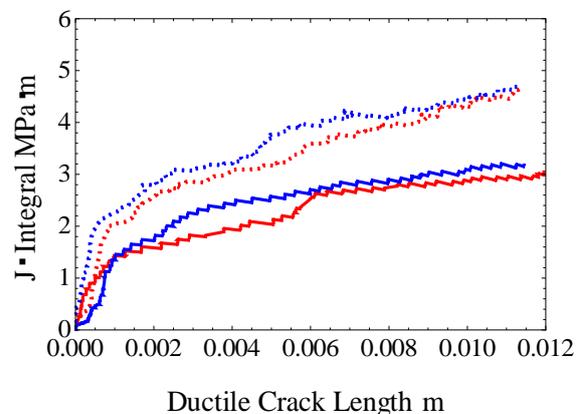


図2 J-R曲線に及ぼす水素チャージ有無と荷重速度影響（実線；準静的、破線；動的、青；無チャージ、赤；チャージ条件(2)）

き裂が動的に伝播する場合には、水素チャージの影響は少ないと言える。

試験後実施した水素昇温分析の結果、拡散性水素濃度は条件(1)で0.01ppm以下、条件(2)で0.14~0.18ppmであった。条件(2)は現実の水素ガスパイプラインで想定されるよりもはるかに高い温度と圧力であり、それでも動的試験において水素の影響は顕著ではなかった。条件(1)では、拡散性水素濃度は高々0.01ppmであり、この強度の鋼では準静的な条件でも水素脆化が顕著には現れないレベルであると考えられる。

以上の結果から、現実的な水素ガスパイプラインに条件を想定した場合には、X65程度の強度レベルにおいて水素脆化は顕著ではないと結論できる。ただし、より厳しい条件においては水素脆化が顕在化する可能性があるため、限界条件の見極めにはさらに詳細な調査が必要である。

(2) 水素ガスパイプライン実大破壊強度試験 (実施項目②)

本実験で供試した鋼管は、米国石油協会規格 API 5L-X65 の UOE 鋼管で、外径は 559mm、肉厚は 13.5mm である。TMCP プロセス、及び、TMR プロセスで製造された鋼管を用いた。実大バースト試験は 2009 年 8 月、ノルウェーの Giskas にて実施した。11m 長の 4 本の鋼管を溶接して全長 44m の試験体を作製した。図 3 に試験体のレイアウトを示す。中央には TMCP と TMR 鋼管を配置した。図 4 に試験体の設置状況を示す。試験体に純度 99.9% の水素ガスを封入し、圧力が 16.0MPa に達した時点で、長さが 700mm の初期き裂を瞬時に導入して、その直後のき裂伝播挙動を観察した。図 5 に、伝播したき裂の形状を示す。初期き裂を含めて、TMCP 鋼管側で 640mm、TMR 鋼管で 970mm の長さでき裂は停止した。き裂伝播速度の最大値は概ね、200m/s であった。図 6 に、ガス減圧挙動を示す。き裂発生直後に減圧が生じていることが確認された (破線は後述のモデル計算値)。

本試験により、水素ガスパイプラインにおいて、軸方向に伝播開始したき裂は早期に停止することが実証された。

水素ガスパイプラインにおいて、き裂が発生して開口部からガスが漏出することを想定し、漏出したガスの燃焼による輻射の影響を評価した。評価にあたり非定常の輻射モデルを構築し、上記の実大試験データからパラメータを設定した。計算結果の例を図 7 に示す。横軸は初期圧力、縦軸は火炎から 40m の

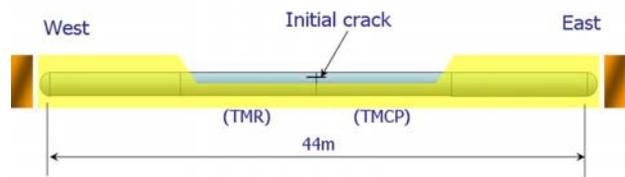


図 3 実大バースト試験体のレイアウト



図 4 実大バースト試験体の設置状況

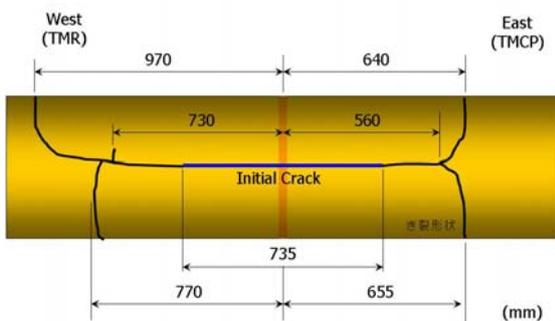


図 5 初期き裂から伝播したき裂の形状

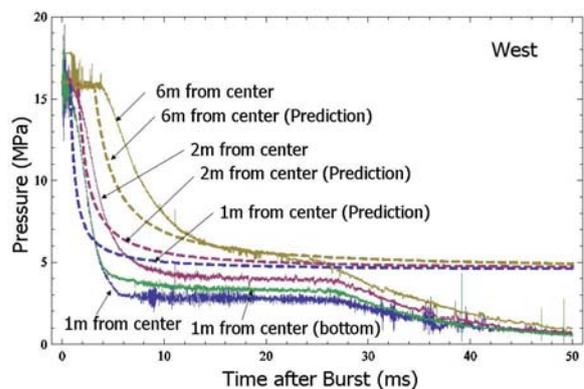


図 6 実大試験におけるガス減圧挙動

位置における輻射エネルギーである。同一の鋼管径と圧力で比較すると、天然ガスパイプラインよりも水素ガスパイプラインのほうが被害範囲は小さくなる結果が得られた。

(3) 水素ガスパイプライン高速き裂伝播計算モデルの構築 (実施項目③)

実施項目②で実施した水素ガスパイプラインの実大試験において、き裂は長距離伝播しないことが実証されたが、圧力や鋼管の形状・強度によって同様な信頼性が確保されていることを確認するためには、数値解析が必要である。このために、本研究では、水素ガスパイプラインにも適用可能な高圧ガスパイプラインの高速破壊現象を解析するプログラムを開発した。

本プログラムの特徴を以下に記す。(a) 鋼管の変形に対して大変形理論を適用することにより、大規模塑性変形状態でも精度の高い計算が可能、(b) 計算の高速化を図るために、変形状態を一次元の微分方程式で表現、(c) 開口したき裂からのガス漏出を考慮することにより、鋼管の変形・破壊とガス減圧を連成して解く、(d) ガス減圧は一次元の微分方程式により計算、(e) 系のエネルギー収支とき裂伝播抵抗の速度依存性の関係からき裂伝播速度を計算。

開発した計算プログラムの妥当性を検証するために、データが豊富な天然ガスパイプライン実大試験を中心に解析した。検証結果の例を図8、図9に示す。図8はき裂伝播長さに対するき裂伝播速度の変化、図9はき裂長さが約15mにおけるパイプの変形形状を示す。パラメータの合わせ込みをしていないにもかかわらず、き裂伝播速度の履歴とき裂伝播距離を精度よく推定できることが確認された。

実施項目②で実施した水素ガスパイプライン実大試験の結果を本計算プログラムで解析した。結果を図10に示す。

実測のき裂伝播速度の最大値は概ね200m/sであったのに対して、計算では約150m/sであった。また、き裂伝播距離はTMR鋼管よりもTMCP鋼管のほうが短かったが、計算でもこの傾向が再現できた。き裂伝播距離は20%以上の精度で予測ができた。この実験ではき裂発生直後の遷移域において早期に停止した。従来の高圧ガスパイプラインの高速き裂伝播を扱うモデルはどれもき裂が長距離伝播して定常状態に近い状況を扱うものであり、遷移域の高度に非定常な状態におけるき裂伝播・停止を扱うことができなかった。本計算モデルは経験則に基づいた従来モデルとは異なり、物理現象をモデル化したものであり、水素ガスパイプラインにおける短距離でのき裂停止による信頼性確保の評価を行う場合に特に威力を発揮することができると言える。

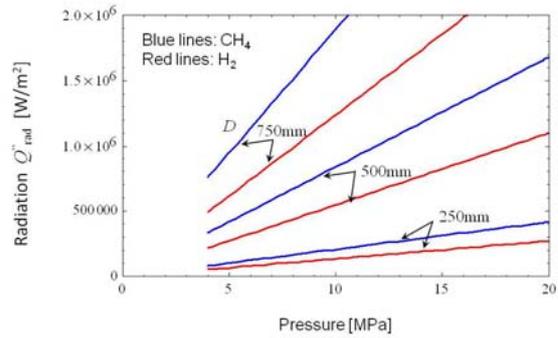


図7 輻射熱流速の計算結果 (水素ガス・天然ガスパイプライン)

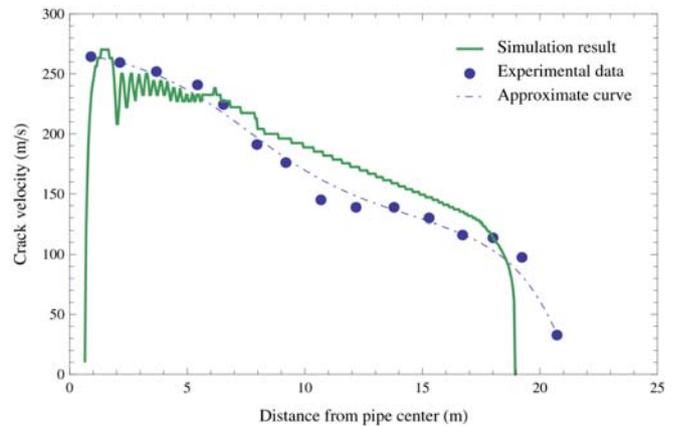


図8 き裂伝播速度の比較 (X70鋼管バースト試験 1980年)

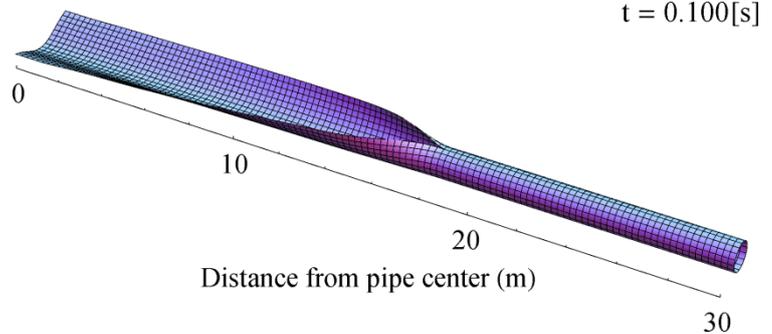


図9 鋼管の変形破壊状況の計算結果 (X70鋼管バースト試験 1980年)

図 11 に、水素ガスと天然ガスのパイプラインにおける高速き裂伝播挙動の計算による比較を示す（横軸は鋼管中央からの距離、縦軸はき裂伝播速度）。ここで、初期圧力を 15MPa、鋼管の直径を 254mm、厚さを 5.7mm とした。天然ガスパイプラインではき裂伝播抵抗が低い場合にき裂は長距離伝播するのに対して、水素ガスパイプラインではき裂は短距離で停止した。水素ガスのほうが早期に減圧が起きるためにき裂駆動力が低下してき裂は長距離伝播することができない。図 12 に、き裂伝播距離を水素ガスと天然ガスのパイプラインで比較した結果を示す（横軸はき裂伝播抵抗値、縦軸はき裂伝播距離）。水素ガスパイプラインでは抵抗値が低くてもき裂は早期に停止することが予測された。すなわち、天然ガスパイプラインと同程度の抵抗値を有する鋼管を使えば水素ガスパイプラインは高速き裂伝播を防止する観点からは安全性が確保できるということができる。なお、(1) の結果から、き裂の高速伝播抵抗に対する現実的条件での水素脆性の影響はほとんどないので、図 12 の結果とあわせて、水素脆性によるき裂の長距離伝播への影響は無視できると言える。

(4) 外部からの指導及び協力（実施項目④）

天然ガスパイプラインの強度に関する専門家からなる研究会を組織して、本研究に対する指導と助言をいただいた。(a) 実大試験の条件設定に際して、天然ガスパイプラインの同様な試験のデータを提供、(b) 実大試験における圧力や歪の動的計測に関する知見の提供、(c) 実験に供試する鋼管の選定に関する助言、(d) 実大試験の立会、(e) 水素脆化試験の方法と結果の考察に対する助言、(f) 漏出ガスの熱輻射のモデル化に関する助言。

3-2 成果の意義

(1) グレード X65 鋼管材料に対して延性き裂発生・成長における J 積分抵抗曲線に及ぼす水素の影響を調査した結果、水素ガスパイプラインで想定される現実的な圧力と温度の上限条件では鋼中に拡散侵入する水素の濃度は高々 0.01ppm 程度以下と低く、準静的・動的条件ともに水素脆化はほとんど現れないことを確認した。比較のために行った左記条件よりもさらに厳しいチャージ条件では、水素濃度は高々 0.2ppm 程度で、準静的条件において延性き裂抵抗曲線の勾配が低下したものの、その影響は大きくなく、また、動的な条件では水素の影響は顕著ではなかった。以上の結果から、今回調査した強度レベルの鋼管において現実的な条件（たとえば 20MPa 以下）では水素脆化は懸念する必要はないと考えられる。しかしながら、より厳しい条件では水素脆化が顕在化する可能性があるため、限界条件の見極めのためには、さらに詳細な調査が必要である。

(2) 水素ガスパイプラインの実大バースト試験を実施した結果、強制的に発生させた延性き裂は約 200m/s の速度で軸方向に伝播したが、300~600mm 程度伝播後、き裂分岐、または、周方向への逸脱

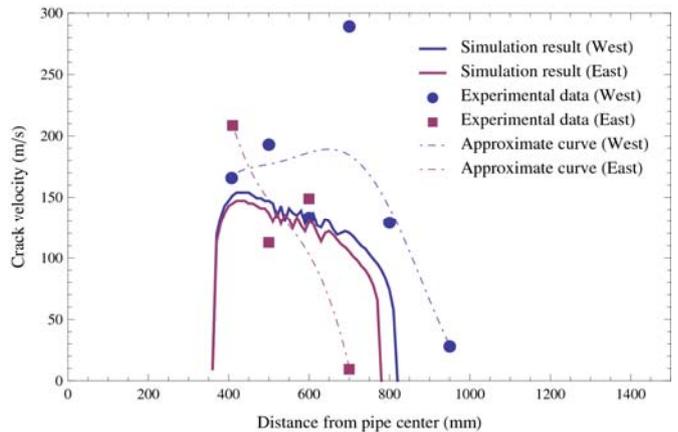


図10 本研究で実施した実大試験におけるき裂伝播速度の実測と計算の比較

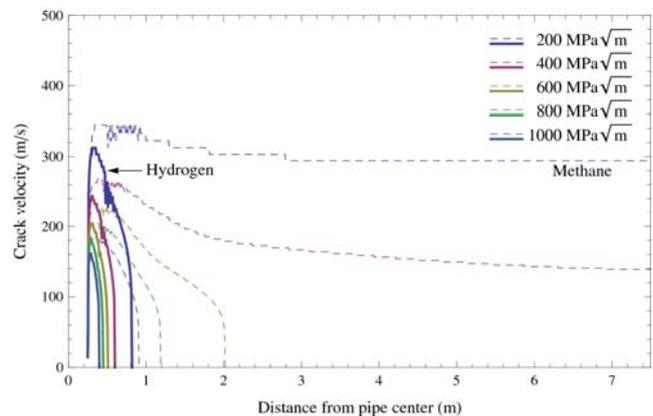


図 11 水素ガスパイプラインと天然ガスパイプラインのき裂伝播速度履歴の比較

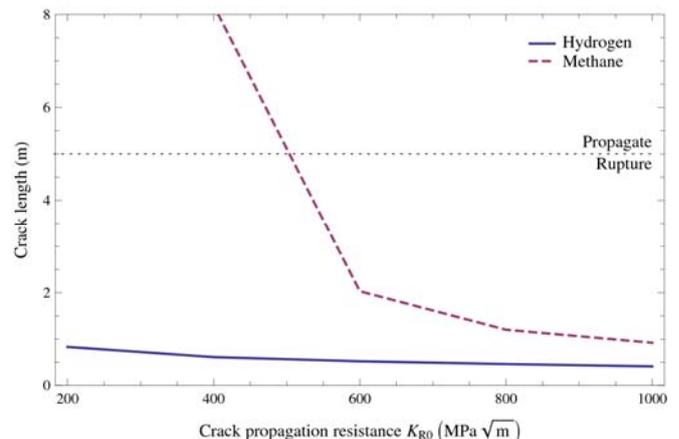


図12 水素ガスパイプラインと天然ガスパイプラインのき裂伝播距離の比較

によりき裂が停止した。水素ガスパイプラインにおいて、き裂は長距離伝播することはないことが実証された。

(3) 水素ガスパイプラインの損傷によりき裂開口部から水素ガスが漏出することを想定して、燃焼ガスの熱輻射に関する数値検討を行った結果、天然ガスパイプラインに比べて水素ガスパイプラインのほうが熱輻射が小さいという結果が得られた。ただし、詳細な検討を行うためには、熱輻射の実測とそれに基づいたモデルの高精度化が必要である。

(4) 水素ガスパイプラインにおける高速延性き裂伝播と停止をシミュレーションできる数値計算モデルを開発し、目標とする計算精度が得られることを確認した。水素ガスパイプラインと天然ガスパイプラインを本モデルで比較した結果、同一靱性（き裂伝播抵抗値）で比較すると、天然ガスパイプラインよりも水素ガスパイプラインのほうがき裂伝播距離が短く、調査した範囲では長距離伝播することはないことを数値計算でも確認した。高速延性き裂伝播現象に関する限り、天然ガスパイプラインと同レベルの靱性を確保しておけば、水素ガスパイプラインでき裂が長距離伝播することを防止できると考えることができる。

(5) 以上を総合して評価すると、現実的な条件では水素脆化は顕著に現れることはなく、既存の天然ガスと同程度の靱性を有している鋼管を用いれば、水素ガスパイプラインは技術的に可能であると考えることができる。ただし、その実現のためには、鋼管や溶接材料の選定基準、設計・製造基準、維持基準等を整備する必要がある。

### 3-3 特許、論文、外部発表等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (学会口頭発表)
	国内	外国	PCT*出願	査読付き	その他	
H20FY	0件	0件	0件	0件	1件	3件
H21FY	0件	0件	0件	2件	0件	3件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

## 4. まとめ及び課題

### 4-1 研究成果のまとめ

水素脆化に関する実験室規模の再現試験、水素ガスパイプラインの実大破壊強度試験、高速き裂伝播の数値モデル開発と計算を実施した結果、既存の天然ガスパイプラインと同程度の靱性を確保しておけば、水素ガスパイプラインにおいて大規模な破壊を防止することが可能であると結論した。ただし、最終的な信頼性指針確立のためには、以下のような残された課題を検討し、総合的な評価が必要である。

### 4-2 残された課題

- (1) 広範な鋼管材料に対する水素脆化感受性の評価と、現実的な水素圧力と温度における限界条件の見極め
- (2) より広範な条件における高速き裂伝播と停止に対する評価とこれに基づいた鋼管の必要靱性値の決定
- (3) 事故を想定した漏出水素ガス燃焼輻射の実測と計算による影響度評価
- (4) 既存天然ガスパイプラインの各種安全基準の水素ガスパイプラインへの適合性の検討と上記検討結果を総合した水素ガスパイプラインの信頼性評価指針の確立

## 5. 実用化・事業化見通し

我が国の製鉄会社で製造される高靱性鋼管を適用すれば高圧水素ガスパイプラインを実現することは技術的には可能である。ただし、水素社会の初期段階において高圧水素ガスパイプラインを必要とする程度の水素輸送量が必要でない段階では、低圧・小径のパイプラインの敷設から開始すべきである。このためにも、各種規格類を整備しておく必要がある。

# (Ⅲ-7) 超高压水素合成法による新規水素吸蔵合金の研究開発

委託先: (独)産業技術総合研究所、東北大学

## ●全期間成果サマリ(実施期間:平成20年度~平成21年度)

- ・Mg-(V, Zr)-(Li, Na)-H系水素化物において、可逆的に水素を吸蔵・放出する新規水素化物を見出すとともに、水素放出温度と結晶構造との相関を示し得た。
- ・7種のLi-M-H系新規水素化物(M: 遷移金属元素)を見出し、Li-Y系水素化物において、可逆的に水素を吸蔵・放出することを確認した。
- ・Al系共晶合金、アラネート、AlH<sub>3</sub>を原料として試みたが、適用条件下では新規水素化物相は得られなかった。

## ●背景/研究内容・目的

本研究開発は、水素吸蔵合金を用いた自動車向けの水素貯蔵装置を成立させるため、開発目標値である「質量貯蔵密度6質量%以上、放出温度100℃以下、耐久性1,000回以上」を可能とする革新的な水素貯蔵材料を探索し、同材料の有効性を検証・確認することを目的とする。

上記目標を満たすため数GPa(数万気圧)の水素雰囲気下で新規高密度水素化物の合成を行う超高压水素合成法を利用して、革新的な水素貯蔵材料の探索研究を実施する。また、これら新材料の可逆的な水素吸蔵・放出特性評価を行うとともに、放射光などを利用しての精密構造解析を体系的に行い、高密度水素貯蔵材料の設計指針を確立する。

## ●研究目標

実施項目	目標
A:超高压合成法による新規Mg合金系水素貯蔵材料の開発	「質量貯蔵密度6質量%以上、放出温度100℃以下、耐久性1,000回以上」を可能とする材料を探索する。
B:超高压合成法による新規Li合金系水素貯蔵材料の開発	「質量貯蔵密度6質量%以上、放出温度100℃以下、耐久性1,000回以上」を可能とする材料を探索する。
C:超高压合成法による新規Al合金系水素貯蔵材料の開発	「質量貯蔵密度6質量%以上、放出温度100℃以下、耐久性1,000回以上」を可能とする材料を探索する。

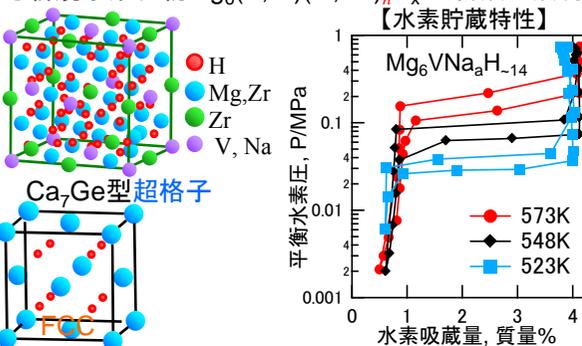
## ●実施体制及び分担等

NEDO	産業技術総合研究所 (実施項目A, C)
	東北大学 (実施項目B, C)

## ●全期間実施内容/研究成果

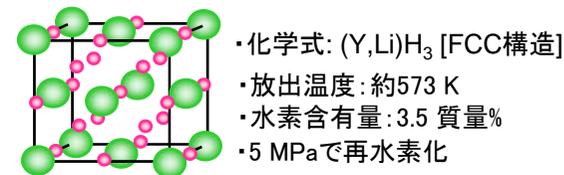
### I. マグネシウム合金系新規水素吸蔵材料の探索

Ca<sub>7</sub>Ge型超格子構造、または単純FCC構造を有する新規水素化物Mg<sub>6</sub>(V,Zr)(Li,Na)<sub>x</sub>H<sub>x</sub>の合成に成功



水素化物の相分率70%を考慮すると、吸蔵量は5.4~5.7質量%

### II. リチウム合金系新規水素吸蔵材料の探索



- ・化学式: (Y,Li)H<sub>3</sub> [FCC構造]
- ・放出温度: 約573 K
- ・水素含有量: 3.5 質量%
- ・5 MPaで再水素化

超高压水素とLiで、常圧で不安定な水素化物相が安定化し、可逆的に水素を放出・再吸蔵する。

- ◆7つのリチウム系新規水素化物の合成に成功
- 超高压法が強力な探索ツールであることを実証
- ◆水素化物高压相の安定化機構の解明に期待
- 高性能材料開発の新しい設計指針

### III. アルミニウム合金系新規水素吸蔵材料の探索

産総研において、次の状態のAlを起点とした三元/四元系水素化物を探索したが、得られなかった。

Al基材料	Al基材料その態	検討した系	合成温度[K]	形成相
① Al-Si	過共晶合金	Al-Li-Si-H系	873	-
② NaAlH <sub>4</sub>	錯水素化物	Al-Na-Ti-H系	873	TiAl <sub>3</sub> , Na <sub>3</sub> AlH <sub>6</sub>
③ α AlH <sub>3</sub>	Et <sub>2</sub> O和水素化物	Al-Si-(C-O)-H系	823	-

東北大において、6 GPaの超高压水素雰囲気において、Al-H-X系新規水素化物相を合成。

## ●今後の課題

- ・高水素吸蔵量を保持しつつ、水素放出温度を更に低減できる水素化物の組成・構造の探索。
- ・実用化を見据えた“穏和な”条件下での新規水素化物形成に向けたフィードバック

## ●実用化の見通し

超高压合成法は、水素貯蔵材料の探索に、有効的な手段である。今後も、継続的に本手法を用いて材料を探索することにより、目標を満足する材料を提案することが可能であると考え。また、量産法を検討することで、実用化が可能となる。

## ●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A	523 Kで可逆的に水素を放出・吸蔵する新規水素化物の合成に成功した。	△
B	新規水素化物の合成に成功し、可逆的に水素を放出・吸蔵する。	△
C	新規水素化物は合成されたが、その他の詳細は未同定である。	△

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	5	21	1

## 「超高压水素合成法による新規水素吸蔵合金の研究開発」

実施者：独立行政法人 産業技術総合研究所、国立大学法人 東北大学

### 1. 事業概要

本研究開発は、水素吸蔵合金を用いた自動車向けの水素貯蔵装置を成立させるため、また、燃料電池を熱源として水素を放出可能とするために、『NEDO 燃料電池・水素技術開発ロードマップ 2008』に掲げられた開発目標値である「質量貯蔵密度 6 質量%以上、放出温度 100 °C以下、耐久性 1,000 回以上」を可能とする革新的な水素貯蔵材料を探索し、同材料の有効性を検証・確認することを目的とする。

具体的には、数 GPa（数万気圧）の水素雰囲気下で新規高密度水素化物の合成を行う超高压水素合成法を利用して、開発目標値を満たすことができる革新的な水素貯蔵材料の探索研究を、この分野の世界的な研究拠点である独立行政法人産業技術総合研究所と国立大学法人東北大学が共同で実施する。具体的には、①新規マグネシウム合金系材料（産総研）、②新規リチウム合金系材料（東北大）、③新規アルミニウム合金系材料（産総研、東北大学）の合成を分担して行い、これら新材料の可逆的な水素吸蔵・放出特性評価を行うとともに、放射光などを利用しての精密構造解析を体系的に行い、高密度水素貯蔵材料の設計指針を確立する。

### 2. 事業目標

開発目標値である「質量貯蔵密度 6 質量%以上、放出温度 100 °C以下、耐久性 1,000 回以上」を可能とする革新的な水素貯蔵材料を①マグネシウム水素化物 ( $MgH_2$ ; 7.6 質量%)、②リチウム水素化物 ( $LiH$ ; 12.6 質量%)、③アルミニウム水素化物 ( $AlH_3$ ; 10 質量%) を原材料とし、超高压合成法により高容量水素吸蔵合金の研究として、i) 超高压合成による新材料創製、ii) 新材料の水素吸蔵・放出特性評価、iii) 新材料の精密構造解析を体系的に実施し目標値を満たすことができる世界初の革新的な水素貯蔵材料の開発を目指す。

### 3. 事業成果

#### 3-1. 超高压合成法による新規マグネシウム合金系水素貯蔵材料の研究開発（産総研）

##### 超高压合成による新材料創製

##### i) 超高压合成による新材料創製

- Mg-V-Li-H 系及び Mg-V-Na-H 系では、 $Mg:V:(Li, Na)=6:1:n$  ( $n=0\sim 1.0$ ) で混合した原料に対して、合成圧力 8 GPa 以上、合成温度 823 K を適用することにより、新規水素化物が合成された。また、Li 若しくは Na の添加量が増加すると、新規水素化物の生成率が増加した。
- Mg-Zr-Li-H 系及び Mg-Zr-Na-H 系では、 $Mg:Zr:(Li, Na)=6:1:n$  ( $n=0\sim 1.0$ ) で混合した原料に対して、合成圧力 8 GPa 以上、合成温度 823 K を適用することにより、新規水素化物が合成された。

##### ii) 水素吸蔵・放出特性評価

- Mg-V-Na-H 系新規水素化物は、水素雰囲気中の DSC 測定で、それぞれ 575 K、631 K において吸熱及び発熱ピークが確認され、合成した新規水素化物は、可逆的に水素を吸蔵・放出することがわかった。また、573~523 K において PCT 測定を行い、可逆的に約 4 質量%の水素を吸蔵・放出することが確認された。なお、試料中の水素化物の重量分率が 70%であることを考慮すると、新規水素化物は、5.4~5.7 質量%の水素を可逆的に吸蔵・放出することができる。
- Mg-Zr-Li-H 系及び Mg-Zr-Na-H 系新規水素化物は、水素雰囲気中の DSC 測定で、それぞれ 575 K、631 K において吸熱及び発熱ピークが確認され、合成した新規水素化物は、可逆的に水素を吸蔵・放出することがわかった。また、Li 若しくは Na の添加量が増加すると、水素放出温度が低下する傾向が確認できた。また、Mg-Zr-Li-H 系新規水素化物 573~523 K において PCT 測定を行い、可逆的に約 3 質量%の水素を吸蔵・放出することが確認された。また、試料中の新規水素化物の重量分率が 54%であることを考慮すると、新規水素化物は、5.5 質量%程度の水素を可逆的に吸蔵・放出することができる。

##### iii) 精密構造解析

- Mg-V-Na-H 系で合成された新規水素化物は、超格子型  $Ca_7Ge$  構造を有し、Na 添加量の増加に伴い、

格子定数が増加する傾向を呈した。また、新規水素化物の生成率も、Na 添加量の増加に伴い、増加する傾向であった。Rietveld 解析の結果、添加した Na 原子は、3 元系水素化物  $Mg_6VH_x$  において原子空孔であった 4b サイトを選択的に占有することが分かった。図 1 に超格子型  $Ca_7Ge$  構造を有する Mg-V-Na-H 系水素化物の結晶構造モデルを示す。

- b. 超高压合成された Mg-Zr-Li-H 系新規水素化物は、3 元系水素化物  $Mg_6ZrH_x$  と同じ単純 FCC 結晶構造を有することが分かった。これに対して、Mg-Zr-Na-H 系新規水素化物は、Na 添加量が増加すると、単純 FCC 構造から超格子型  $Ca_7Ge$  構造に変化することが分かった。図 2 に超格子型  $Ca_7Ge$  構造を有する Mg-Zr-Na-H 系水素化物の結晶構造モデルを示す。

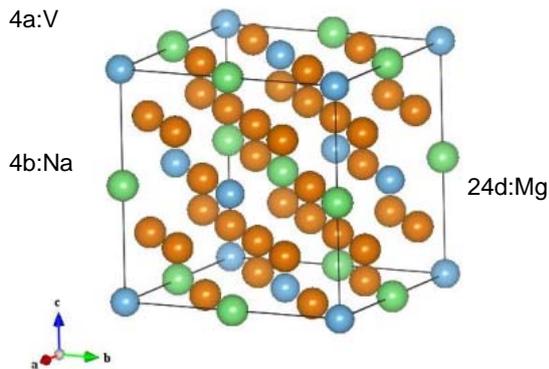


図 1 超格子型  $Ca_7Ge$  構造を有する Mg-V-Na-H 系水素化物の結晶構造モデル

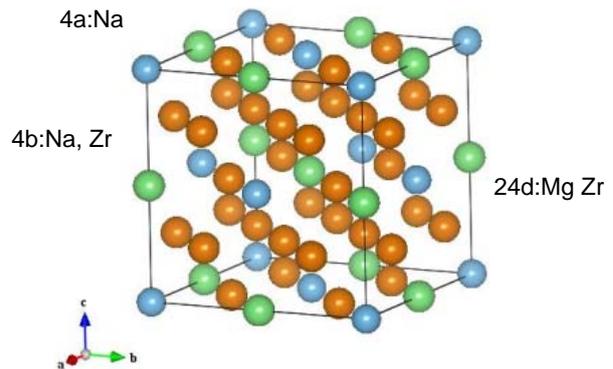


図 2 超格子型  $Ca_7Ge$  構造を有する Mg-Zr-Na-H 系水素化物の結晶構造モデル

### 3-2. 超高压合成法による新規リチウム合金系水素貯蔵材料の研究開発（東北大学）

#### i) 超高压合成による新材料創製

- a. Li-Y-H 系、Li-Gd-H 系及び Li-Dy-H 系では、LiH-90 mol%  $REH_3$  ( $RE = Y, Gd, Dy$ ) に対して合成圧力 2 GPa 以上、合成温度 1173 K を適用することにより、新規水素化物が合成された。
- b. Li-TM-H 系 ( $TM = Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn$ ) の 6 GPa までの超高压における探索では、 $TM = Cr, Mn, Co$  及び  $Ni$  の場合において、5 GPa- $H_2$  の圧力、973 K、973 K、973 K 及び 873 K の温度をそれぞれ適用することにより、新規水素化物が合成された。

#### ii) 水素吸蔵・放出特性評価

- a. Li-Y-H 系、Li-Gd-H 系及び Li-Dy-H 系新規水素化物は、Ar 気流中 DSC 測定で、それぞれ 575 K、631 K、651 K において吸熱を伴い分解することが確認された。更に、Li-Y-H 系で得られた新規水素化物については、水素放出後の試料を 5 MPa- $H_2$ 、623 K の条件で処理することにより、元の Li-Y-H 系新規相に再水素化することが確認された。
- b. Li-Cr-H 系、Li-Mn-H 系および Li-Co-H 系新規水素化物はそれぞれ、Ar 気流中 DSC 測定により 420 K、396 K および 400 K において分解することが判明し、また TG-TDS 測定により、分解時に水素放出を伴うことが確認された。このうち、Li-Cr-H 系、Li-Mn-H 系では分解過程において中間相が確認された。Li-Cr-H 系新規 FCC 水素化物は水素放出に伴い結晶格子が等方的に収縮し、格子体積が 4.6 % 縮減した FCC' 相 ( $a = 0.386$  nm) が得られた。また、Li-Mn-H 系新規 FCC 水素化物は水素放出に伴い  $c$  軸方向に異方的に収縮し、体積が 3.3% 縮減した体心正方晶構造 ( $I4$ , No. 79) の BCT 相 ( $a = 0.266420(6)$  nm、 $c = 0.3693(1)$  nm) が得られた。Li-Co-H 系新規水素化物では、Ar 気流中 DSC 測定の結果、506 K、564 K で吸熱を伴うピークが観測され、新規水素化物が分解することが確認された。

#### iii) 精密構造解析

- a. 得られた Li-Y-H 系、Li-Gd-H 系及び Li-Dy-H 系新規水素化物は、常圧・常温で不安定な FCC の  $BiF_3$

型構造を有する FCC-REH<sub>3</sub> 高压相と類似の格子定数を有する (Li<sub>0.1</sub>RE<sub>0.9</sub>)H<sub>3-δ</sub>なる化学式で表すことのできる化合物であることが分かった。Li-Y-H 系新規水素化物は、Rietveld 解析の結果、Li と Y は出発組成比とほぼ同じ Li : Y = 0.09 : 0.91 (9) で同一サイトを占有していることが判明した。図 3 に FCC 構造を有する Li-Y-H 系新規相の結晶構造モデルを示す。

- b. 超高压合成された Li-Cr-H 系、Li-Mn-H 系及び Li-Ni-H 系新規水素化物は、FCC 構造の  $\gamma$ -TMH<sub>x</sub> と同じ結晶構造を有することが分かった。これら新規水素化物の格子定数  $a$  はそれぞれ 0.392733 (9) nm、0.37678 (1) nm 及び 0.37482 (1) nm と精密化された。これらの新規水素化物は、GPa オーダーの水素雰囲気下において  $\gamma$ -TMH<sub>x</sub> 中の TM サイトに多量に生成された空孔に入り込んだ Li が水素と結合することにより、常圧・常温下で不安定な  $\gamma$ -TMH<sub>x</sub> を安定化した構造であると考えられる。また、超高压合成された Li-Co-H 系新規水素化物は、LiH-16.7 mol% Co の組成において FCC 構造を有し、格子定数が  $a = 0.69530 (8)$  nm であることが分かった。図 4 に脱水素前後の LiH-80 mol%Mn 試料における新規化合物相の FCC 構造と BCT 構造の結晶学的関係を示す。

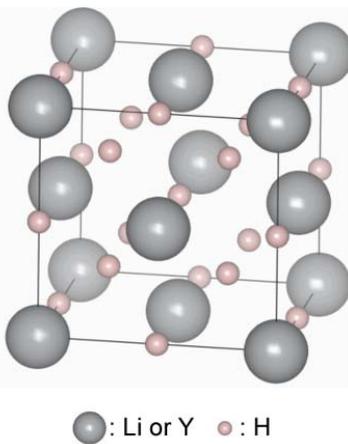


図 3 FCC 構造を有する Li-Y-H 系新規相の結晶構造モデル

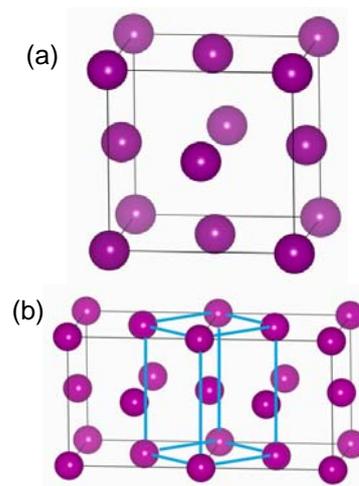


図 4 脱水素前後の LiH-80 mol%Mn 試料における新規化合物相の FCC 構造と BCT 構造の結晶学的関係  
(a) 新規 Li-Mn 水素化物 (FCC 構造)  
(b) 新規 Li-Mn 化合物 (BCT 構造)

### 3-3. 超高压合成法を用いた新規アルミニウム合金系水素貯蔵材料の研究開発

#### 3-3-1. 超高压合成法を用いた新規アルミニウム合金系水素貯蔵材料の研究開発 (産総研)

##### i) 超高压合成による新材料創製

水素に対して極めて不活性であり、直接の水素化が困難であるアルミニウム及びその合金の多くに関しては、これまでに水素化物が得られた例さえ殆ど無いことから、超高压下での適切な水素化条件の設定が先ず必要である。そこで、本検討では、水素の拡散促進と反応活性化因子の究明が必要と考え、組織が微細な Al 基共晶合金 (a)、アラネート (b) 及び水素化アルミニウム (c) を各々出発原料に採用することで、三元乃至は四元の新規水素化物相を探索した。

- a. 過共晶合金 Al<sub>0.8</sub>Si<sub>0.2</sub> 及び LiH を原料とし、Al<sub>0.8</sub>Si<sub>0.2</sub>+LiH に対して十分な混合及び更なる組織微細化を図るためにミリング処理を施した。この前駆体に対して、8 GPa、873 K で 1 hr. の処理を施したところ、LiAlO<sub>2</sub> と Si が生成するのみであった。一方、Al と Si を独立に原料とした場合は金属 Al 相が独立して現れた。今回の合金を用いる試みでは新規水素化物は形成されなかったが、Al の水素化に関して単体 Al を出発物質とする場合とは異なる反応メカニズムを期する狙いとしては適切であったと考えられる。
- b. 錯水素化物 NaAlH<sub>4</sub> を出発物質に NaAlH<sub>4</sub>+xTiH<sub>2</sub> ( $x = 0.10, 0.33$ ) に対して、8 GPa、873 K で 1 hr. の処理を施した。Na<sub>3</sub>AlH<sub>6</sub> 及び TiAl<sub>3</sub> が生成されたが、新規水素化物は生成されなかった。Na<sub>3</sub>AlH<sub>6</sub> は NaAlH<sub>4</sub> が高温下で一部の水素を解離したものである (NaAlH<sub>4</sub> → (1/3)Na<sub>3</sub>AlH<sub>6</sub> + (2/3)Al+H<sub>2</sub>)。TiAl<sub>3</sub> は TiH<sub>2</sub> から水素が解離した Ti と前述の Al が金属間化合物を形成したもので、この相がエネルギー的に非常に安定であるがために、水素化物が形成されなかったと考えられる。

c. 水素化物  $\text{AlH}_3$  (ジエチルエーテル ( $\text{Et}_2\text{O}$ ) 和物) を出発物質とし、仕込み組成  $8\alpha\text{AlH}_3+\text{Si}$  に対して 8 GPa、823 K で 1 hr. の処理を施した。しかし、原料である  $\text{AlH}_3$  が Al に分解するのみで、新規水素化物相は得られなかった。ただ、溶媒和  $\text{Et}_2\text{O}$  が及ぼす影響や、 $\text{AlH}_3$  と対となる原料に水素化物を使用しなかったこと (マグネシウム系の検討での経験では原料を全て水素化物としないと新規相を形成させるのは非常に困難であったが、アルミニウム系も同様か否かは不明) など、合成に際して検討・改善を要する要素が多い。

ii) 水素吸蔵・放出特性評価

新規水素化物相を示唆する結果が得られなかったことから、水素特性評価は行っていない。

iii) 精密構造解析

新規水素化物相を示唆する結果が得られなかったことから、精密構造解析は行っていない。

3-3-2. 超高压合成法を用いた新規アルミニウム合金系水素貯蔵材料の研究開発 (東北大学)

i) 超高压合成による新材料創製

Al-TM-H 系について超高压合成を通じて新規化合物の探索を行い、新規化合物を示唆する結果が得られた。

ii) 水素吸蔵・放出特性評価

水素特性評価を行ったが、新規相の単相化について検討を行い、精密な解析が必要である。

iii) 精密構造解析

結晶構造解析を行っているが、新規相の単相化について検討の余地があり、本研究計画の中では結晶構造の決定には至らなかった。

特許、論文、外部発表等の件数一覧

区分	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※出願	査読付き	その他	
年度						
H20FY	0件	0件	0件	0件	0件	6件
H21FY	0件	0件	0件	5件	0件	15件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

4. まとめ及び課題

4-1. 超高压合成法を用いた新規マグネシウム合金系水素貯蔵材料の研究開発 (産総研)

超高压合成法により、Mg-(V, Zr)-(Li, Na)-H 系において、新規 4 元系水素化物の合成に成功した。合成した水素化物は、単純な FCC 構造若しくは、超格子型  $\text{Ca}_7\text{Ge}$  構造を有している。また、これら水素化物は、反応速度も敏速であり、可逆的な水素吸蔵・放出ができることを実証できた。

超高压法により、多数の新規水素化物の合成に成功し、可逆的な水素貯蔵特性を呈しており、本手法が有効的な材料探索ツールであることを実証した。しかしながら、これら材料において、目標温度を満足するには至っておらず、高度な物性評価や結晶構造解析技術をもつ専門グループと連携し、水素貯蔵材料の探索を行う必要がある。また、実用化を念頭におき、穏和な条件下での新規水素化物形成に向けたフィードバック等を展開していく必要もある。

4-2. 超高压合成法を用いた新規リチウム合金系水素貯蔵材料の研究開発 (東北大学)

これまで Li と水素化物を形成しないと考えられていた希土類元素や遷移金属元素との組み合わせで新しい複合水素化物を形成することが判明し、従来型の試料作製装置では探索が困難なりチウム系においても超高压合成法が有力な探索ツールであることが実証された。特に、構成元素として Y, Gd, Dy, Cr, Mn, Co, Ni を含む系において、常圧下では安定に存在し得ない高压水素化物と同じ結晶構造、同程度の格子定数を有する新規水素化物が得られた。これらの結果は、高压で安定な水素化物に Li が存在することにより、高压相が常圧下でも安定化に存在できるようになったことを示唆している。

以上は、今後の水素貯蔵材料の設計指針となり得る結果であると考えられる。本研究では考察だけにとどまったが、今後更に高度な物性評価や結晶構造解析技術をもつ専門グループと連携または共

同で研究を進め、中性子回折実験等により結晶構造中での Li および H の存在位置、またその結合状態を詳細に調べ、安定化の要因を明らかにすることにより、新しい水素貯蔵材料の探索指針の創製が期待される。

#### 4-3. 超高压合成法を用いた新規アルミニウム合金系水素貯蔵材料の研究開発（産総研）

Al-Si(-Li)-H 系及び Al-Na-Ti-H 系を対象に、アルミニウムを単体金属としての他、合金や水素化物の形で出発物質に採用するなどして探索を進めたが、新規水素化物を得るには至らなかった。今後は、適切な出発物質やその組織状態を選択し、それらの熱力学的特性や機械的特性、混合する材料との組成比、反応温度・時間などの試行錯誤を経ながら、水素化物が形成される条件を見極めていく必要がある。

### 5. 実用化・事業化見通し

#### 5-1. 産総研担当分

超高压合成法により、超高压法を用いて、マグネシウム系およびアルミニウム系の新規水素化物の開発に着手し、マグネシウム系において新規 4 元系水素化物の合成に成功し、その水素特性や結晶構造の解析を行い、当初計画の成果はほぼ達成された。今後も、本手法を展開することにより、より低温度下で可逆的な水素吸蔵・放出が可能な材料を探索し、現在推進中の NEDO プロジェクト「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」の放射光科学グループや計算科学グループなどと連携することによって、低温度化の機構等を解明できると考えている。また、穏和な条件下での新規水素化物形成に向けたフィードバック等を展開することで、実用化を目指せると考えている。

#### 5-2. 東北大学担当分

超高压法を用いて、これまでは合成や探索が困難であったリチウム系およびアルミニウム系の新規水素化物の開発に着手し、それぞれの系において新規水素化物の合成に成功し、その水素特性や結晶構造の解析を行い、当初計画の成果はほぼ達成された。

Li-RE-H 系(RE= Y, Dy, Gd)においては、常圧では不安定な水素化物高圧相に Li を含有させて超高压合成することによって、常圧化でも安定化し、可逆的に水素吸蔵・放出することが分かった。これまでは高容量水素貯蔵材料開発のため Mg 系や Li 系などの水素化物を如何に不安定化（低温放出化）させるかが開発指針のトレンドであったが、今回の知見は水素貯蔵材料探索の範囲を大きく拡大させるものであり、その波及効果は大きい。

アルミニウム系の結晶構造などの解析については、複雑な回折データのため本研究で行った手法では限界があったが、今後は現在推進中の NEDO プロジェクト「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」の放射光科学グループや計算科学グループなどと連携することによって、明らかにされと考えられる。

# (Ⅲ-8)ゼオライト鑄型炭素をベースとしたスピルオーバー水素貯蔵に関する研究開発

委託先: 東北大学

## ●全期間成果サマリ(実施期間:平成20年度～平成21年度)

- ・スピルオーバー水素の貯蔵サイトを、炭素担体のエッジ、曲率をもつ部位、含酸素官能基、含窒素官能基に同定できた。
- ・炭素担体に担持するPtの粒径が小さいほどスピルオーバー貯蔵量が増加することを見出した。また、安価な遷移金属(Ni)による貯蔵にも成功した。
- ・スピルオーバー水素貯蔵サイト候補である、含窒素官能基の大量ドーブ法の開発に成功した。

## ●背景/研究内容・目的

吸着系材料は、化学反応を一切伴わず物理吸着により水素を貯蔵するため、水素の吸蔵・放出に加熱は不要であり、しかも吸蔵・放出速度が大きく、繰り返し耐久性も極めて高い。しかし、吸着系材料の室温における水素吸蔵能は、我々が近年報告したゼオライト鑄型炭素による2.2 wt% (30 °C、34 MPa)が最高値であり(*J. Phys. Chem. C* **113** (2009) 3189)、物理吸着だけを利用して同じ温度・圧力条件においてこれ以上の水素吸蔵能を達成することは極めて困難である。そこで近年着目されているのが、水素分子(H<sub>2</sub>)の物理吸着に加え、スピルオーバーにより生成する原子状水素(H・)の可逆貯蔵も併用した新しい貯蔵方式である。

本研究開発では、室温・高圧における物理吸着量が極めて大きいゼオライト鑄型炭素をベースに、スピルオーバー水素の貯蔵も併用した高容量水素吸蔵材料の開発を行う。最終目標は、水素貯蔵量6 mass%を超える材料の開発である。

## ●研究目標

実施項目	目標
細孔制御技術によるゼオライト鑄型炭素(ZTC)の構造最適化	ZTC表面積の増大(目標5000 m <sup>2</sup> /g)と細孔径の最適化(範囲0.65 nm～1.2 nm)
金属担持技術による「新たな相互作用」の導入とその最適化	A、更には原子レベルの金属担持、及び貴金属以外(Ni、Ti)の担持
ZTCの水素吸蔵性能評価	(1)、(2)で得られたZTCの水素貯蔵性能を評価する。

## ●実施体制及び分担等

NEDO	委託先: 東北大学 (実施項目A～D)	共同実施先: 日産自動車株式会社 (実施項目A～D)
------	------------------------	-------------------------------

## ●全期間実施内容/研究成果

### 1. 細孔制御技術によるゼオライト鑄型炭素(ZTC)の構造最適化

物理吸着量を最大化するため、ゼオライト鑄型炭素の比表面積の最大化を行った。その結果、4000 m<sup>2</sup>/gが現状の最大であると結論した。粒子外表面に存在するアモルファス炭素層を完全に除去し、かつ骨格内部に含まれる含酸素官能基を完全に除去できれば、比表面積5000 m<sup>2</sup>/gを超えるものも理論上は可能である。これらを実現するには今回の研究開発で調査した方法(水素処理、プラズマ処理、液相酸化、ゼオライト鑄型の変更)とは異なる新たな方法を用いる必要がある。細孔径制御については、ZTCを機械的に圧縮することによる細孔径可逆制御が可能であることがわかった。

### 2. 金属担持技術による「新たな相互作用」の導入とその最適化

Pt粒子の粒径が小さいほどスピルオーバー貯蔵量が増加することを見出した。粒径10～30 Åまでの減少に成功した。スピルオーバー水素の貯蔵サイトを、炭素担体のエッジ、曲率をもつ部位、含酸素官能基、含窒素官能基に絞り込むことができた。そこで、貯蔵サイトとして有用である含窒素官能基の大量ドーブ法の開発を行った。その結果、窒素含有量をN/C = 0.09 mol/molまで増加させることができた。

Ni担持した試料においてもスピルオーバーによる水素吸蔵量の増加を確認できた。また、Niナノ粒子の粒径が小さい方がスピルオーバー効果が大きいことがわかった。

### 3. ゼオライト鑄型炭素の水素吸蔵性能評価

実施項目1. および2. に関し、水素吸蔵能の評価を行い、材料合成へフィードバックすることができた。

## ●今後の課題

- ・スピルオーバー貯蔵のメカニズム解明
- ・比表面積5000 m<sup>2</sup>/gの達成
- ・「物理吸着+スピルオーバー」による6 mass%の達成
- ・高表面積炭素の製造コストの削減

## ●実用化の見通し

スピルオーバー貯蔵のメカニズム解明に2年、「物理吸着+スピルオーバー」による6 mass%達成に1年、貯蔵材料の製造コスト削減に1年を要する。最短で、5年後(2015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
細孔制御技術によるゼオライト鑄型炭素(ZTC)の構造最適化	4000 m <sup>2</sup> /g越えには至らず。細孔径可逆制御の原理を確立。	△
金属担持技術による「新たな相互作用」の導入とその最適化	粒径10～30 Å達成、Ni担持達成	△
ZTCの水素吸蔵性能評価	評価結果を材料合成にフィードバックできた	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
3	1	6	1

## 「ゼオライト鑄型炭素をベースとしたスピルオーバー水素貯蔵に関する研究開発」

実施者：国立大学法人 東北大学

### 1. 事業概要

燃料電池自動車の実用化に向け、大容量の水素貯蔵容器の開発は極めて重要である。現在までに試作されている燃料電池自動車の多くは圧縮水素ボンベ（～70 MPa）を搭載しているが、その貯蔵量は十分とは言えない。このため、圧縮水素ボンベの中に水素吸蔵材料を充填し、貯蔵密度を更に増加させる必要がある。

水素吸蔵材料としては、水素吸蔵合金、化学水素化物、吸着系材料の3種類が検討されている。前者2つは吸蔵量が5 wt%を超えるものも多いが、水素放出時に加熱が必要、繰り返し耐久性が低い、オンボードでの充填および再生（再水素化）に長時間を要するといった多くの課題がある。一方、活性炭、カーボンナノチューブ（CNT）、有機金属錯体等に代表される吸着系材料は、化学反応を一切伴わず物理吸着により水素を貯蔵するため、水素の吸蔵・放出に加熱は不要であり、しかも吸蔵・放出速度が大きく、繰り返し耐久性も極めて高い。しかし、吸着系材料の室温における水素吸蔵能は、我々が近年報告したゼオライト鑄型炭素による2.2 wt%（30 °C、34 MPa）が最高値であり（J. Phys. Chem. C 113（2009）3189）、物理吸着だけを利用して同じ温度・圧力条件においてこれ以上の水素吸蔵能を達成することは極めて困難である。そこで近年着目されているのが、水素分子（H<sub>2</sub>）の物理吸着に加え、スピルオーバーにより生成する原子状水素（H $\cdot$ ）の可逆貯蔵も併用した新しい貯蔵方式である。

本研究開発では、室温・高圧における物理吸着量が極めて大きいゼオライト鑄型炭素をベースに、スピルオーバー水素の貯蔵も併用した高容量水素吸蔵材料の開発を行う。

本研究の目的は、ゼオライト鑄型炭素をベースとし、「物理吸着＋スピルオーバー」のメカニズムにより水素を高密度で貯蔵可能な吸蔵材料の開発を行うことである。最終目標は、水素貯蔵量6 mass%を超える材料の開発である。

### 2. 事業目標

本研究開発においては、以下の4つの項目を実施した。それぞれの項目について、開発目標および実施内容を記す。

研究開発項目1. 細孔制御技術によるゼオライト鑄型炭素（ZTC）の構造最適化

開発目標：ZTC表面積の増大（目標5000m<sup>2</sup>/g）と細孔径の最適化（範囲0.65 nm～1.2 nm）

実施内容：「物理吸着＋スピルオーバー」の貯蔵方式においては、物理吸着量の最大化とスピルオーバー貯蔵量の最大化の両方が重要である。特に前者は炭素の構造に大きく左右されるため、これを最適化する必要がある。そこで、様々な条件でゼオライト鑄型炭素を合成し、比表面積の測定を行った。また、機械的圧縮により、細孔径の可逆制御を試みた。

研究開発項目2. 金属担持技術による「新たな相互作用」の導入とその最適化

開発目標：Å、更には原子レベルの金属担持、及び貴金属以外（Ni、Ti）の担持

実施内容：スピルオーバー貯蔵のメカニズムはほぼ不明であるため、貯蔵メカニズムを解明し、貯蔵量を最大化するための材料設計の指針を立てることが必須である。金属粒子サイズおよび炭素構造が貯蔵に及ぼす影響について検討を行った。

窒素原子がドーピングされた炭素は、水素分子および原子状水素と強く相互作用すると予測されている。そこで、ゼオライト鑄型炭素へ大量の窒素原子をドーピングする手法の開発を行った。

スピルオーバー貯蔵に有用な金属として報告されているのはPtやPdなどの貴金属であり、材料コストが高い。実用化の観点からは、安価な遷移金属によるスピルオーバー貯蔵が望ましい。そこで、Ptの代替として、Niを担持したゼオライト鑄型炭素を合成し、スピルオーバー貯蔵量の測定を行った。

研究開発項目3. ZTCの水素吸蔵性能評価

開発目標：（1）、（2）で得られたZTCの水素貯蔵性能を評価する。

実施内容：ZTCの水素貯蔵能を評価し、材料合成へとフィードバックを行った。

### 3. 事業成果

## 研究開発項目 1. 細孔制御技術によるゼオライト鑄型炭素 (ZTC) の構造最適化

水素物理吸着量を最大化するため、以下の2つの構造最適化を行った。

### 1. 合成条件の最適化

ゼオライト鑄型炭素の分子モデルを図1に示す。ゼオライト鑄型炭素はナノサイズのグラフェンシートが3次元的に連結した構造をもち、その比表面積はグラフェンのサイズおよびエッジの量、スタックの有無に大きく左右される。そこで、様々な合成条件を試し、比表面積を最大化する条件の探索を行った。

### 2. 外表面炭素層の除去

ゼオライト鑄型炭素はサブミクロンサイズの微粒子として得られるが、図2に示すように、その粒子外表面には約20 wt%もの無孔質炭素層が存在している。もしこの外表面炭素を除去できれば、表面積は5000 m<sup>2</sup>/gになるはずである。そこで、外表面炭素の無いゼオライト鑄型炭素の調製を試みた。

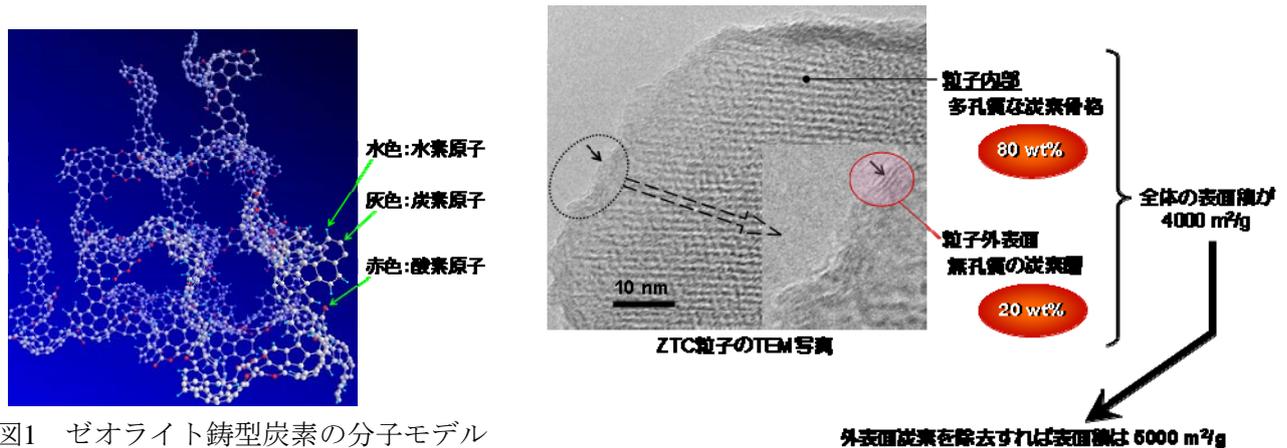


図1 ゼオライト鑄型炭素の分子モデル

図2 ゼオライト鑄型炭素の外表面炭素と表面積

### 1. 合成条件の最適化の結果

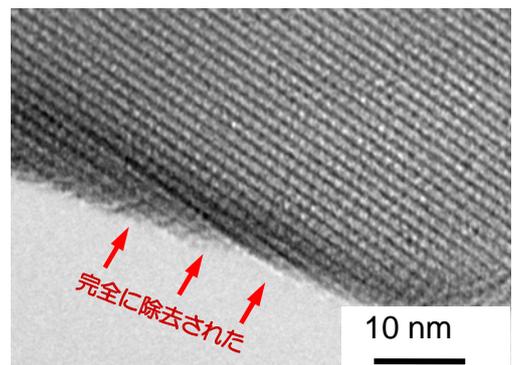
従来のゼオライト鑄型炭素の合成においては、NaY ゼオライトにフルフリルアルコールを含浸し、細孔内でこれを重合した後に700 °Cに昇温してこれを炭素化し、さらに700 °Cで1 hのプロピレンCVDを行い炭素充填を行う。最後に、HFによりゼオライト鑄型を除去してゼオライト鑄型炭素を得る。

プロピレンCVD前のポリフルフリルアルコール炭素化条件の最適化、プロピレンCVD条件の最適化、プロピレンCVDをアセチレンCVDに変更、炭素骨格に含まれる含酸素官能基の除去など、多くの合成条件について検討を行った。しかし、比表面積が従来の4000 m<sup>2</sup>/gを超えるものは得られなかった。ゼオライト鑄型炭素は図1に示した分子構造をしており、骨格を細くしてエッジの割合を増加させれば比表面積は増加すると考えられるが、骨格を補足すると機械的強度が低下し、グラフェン同士がスタックする部位が生じるため、比表面積が低下するものと考えられる。すなわち、従来の合成条件で得られていたゼオライト鑄型炭素が、最も比表面積を高くする、バランスのよい分子構造をもつことが判明した。

### 2. 外表面炭素層の除去の結果

上述したように、骨格を細くするアプローチでは比表面積の増加は困難であったため、別のアプローチとして、粒子外表面に存在する外表面炭素層の除去を検討した。

外表面炭素の除去方法として、炭素を充填したゼオライトへの、液相酸化とプラズマ処理を検討した。いずれの方法を用いても、処理後には外表面炭素層が除去されることを確認した。図3に、空気プラズマ処理後の炭素/ゼオライト複合体のTEM写真を示す。図2で見られていた外表面炭素層が除去されていることがわかる。外表面炭素層を除去後の炭素/ゼオライト複合体をHF処理し、得られたゼオライト鑄型炭素の比表面積測定を行った。その結果、いずれの試料も外表面炭素層を除去する前よりも比表面積が低下していた。XRDによる分析から、液相酸化



III 2.3-8(2)

図3 空気プラズマ処理後のTEM写真

およびプラズマ処理は、外表面炭素層だけでなく、ゼオライト内部に存在している炭素の構造も破壊してしまうことが示唆された。

結論として、ゼオライト鑄型炭素で達成可能な比表面積は現状では 4000 m<sup>2</sup>/g が上限である。これをベースにして、スピルオーバー貯蔵量の追加により高容量貯蔵を目指す。

ゼオライト鑄型炭素の粒子外表面に存在するアモルファス炭素層を完全に除去し、かつ骨格内部に含まれる含酸素官能基を完全に除去できれば、比表面積 5000 m<sup>2</sup>/g を超えるものも理論上は可能である。これらを実現するには今回の研究開発で調査した方法（水素処理、プラズマ処理、液相酸化、ゼオライト鑄型の変更）とは異なる新たな方法を用いる必要がある。

また、ゼオライト鑄型炭素の機械的圧縮による細孔径可逆制御を試みた。その結果、ゼオライト鑄型炭素は外力に対して弾性変形し、外力によってその細孔径を Åオーダーで制御可能であることが示された。

## 研究開発項目 2. 金属担持技術による「新たな相互作用」の導入とその最適化

「物理吸着+スピルオーバー」による水素貯蔵においては、物理吸着により水素分子が炭素表面に蓄えられるのと同時に、白金ナノ粒子から炭素へスピルオーバーした水素原子が貯蔵される。この貯蔵概念は、ミシガン大のグループにより提唱されたものである。これまでにいくつかのグループが、炭素に貴金属を担持することで水素貯蔵量が 10~300%増加することを報告する一方で、室温におけるスピルオーバー貯蔵を否定する結果も報告されており、そのメカニズムはよくわかっていないのが現状である。スピルオーバー水素による貯蔵量を増加させるためには、そのメカニズムの理解が重要となる。

まず、白金担持方法の比較を行った。KOH 賦活活性炭およびゼオライト鑄型炭素に種々の方法で白金担持した際の、担持前後の H<sub>2</sub> 吸脱着等温線の変化を図 5 および図 6 に示す。図 5 において、気相還元法によって調製した白金担持 KOH 賦活活性炭ではスピルオーバーは見られないが、液相担持法により調製した試料ではスピルオーバーが見られる。両者の違いは白金ナノ粒子の粒径である。図 5 においては、白金ナノ粒子の粒径が小さい方がスピルオーバー効果が大きい。また、図 6 においては、ゼオライト鑄型炭素においては気相還元法、液相還元法を問わず、全ての白金担持試料でスピルオーバーが生じている。これは、ゼオライト鑄型炭素を担体とした場合には、いずれの白金担持法によっても、極めて小さい Pt 粒子が大量に担持できたためと考えられる。結論として、粒径のごく小さい (< 3 nm) Pt 粒子のみがスピルオーバー貯蔵に関与している可能性が示唆された。

以上の結果より、室温における水素のスピルオーバー貯蔵に関しては、炭素の構造及び白金粒子の構造が大きく影響することが明らかとなった。スピルオーバー貯蔵を最大化するための炭素構造としては、比表面積が大きく、かつ大量のエッジ、グラフェン湾曲部、含酸素官能基および含窒素官能基をもつものが貯蔵材料として優れていると考えられる。また、白金粒子は粒径 3 nm 以下のものを高分散で担持することが重要であると考えられる。

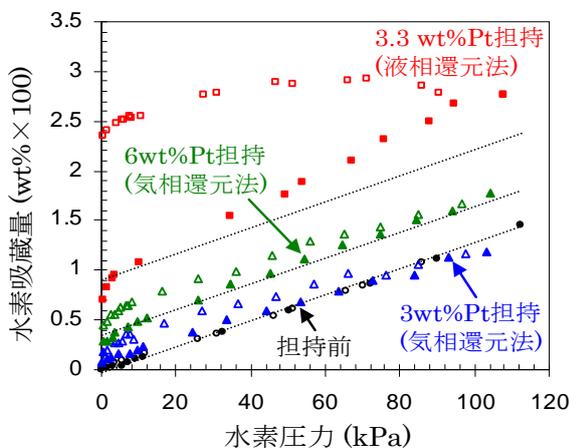


図5 種々の方法で調製したPt担持KOH賦活活性炭における、Pt担持前後のH<sub>2</sub>吸脱着等温線 (25 °C) の比較。3本の黒色の点直線は、担持前の試料の傾きを示したもの。

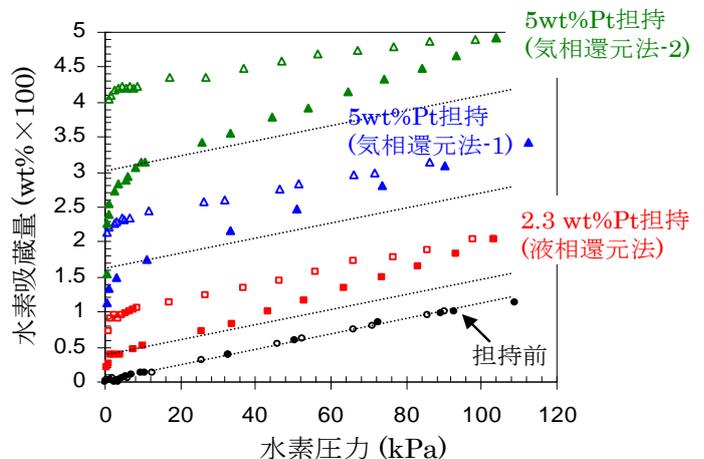


図6 種々の方法で調製したPt担持ゼオライト鑄型炭素における、Pt担持前後のH<sub>2</sub>吸脱着等温線 (25 °C) の比較。3本の黒色の点直線は、MSC30の傾きを示したもの。

次に、種々の炭素に Pt を担持し、担持前後におけるスピルオーバー貯蔵量の比較を行うことで、炭素の構造が及ぼす影響について検討を行った。

図 7 に、白金担持前後の H<sub>2</sub> 吸脱着等温線を比較した。ゼオライト鑄型炭素、窒素ドーピングゼオライト鑄型炭素、KOH 賦活活性炭においては、等温線の傾きが担持前よりも増加しており、スピルオーバー貯蔵が生じているが、水蒸気賦活活性炭においてはスピルオーバー貯蔵は殆ど生じていない。これらの炭素構造の違いから、スピルオーバー貯蔵に重要な因子が下記の構造であることが示唆された。

- ・含酸素官能基の量が多い（ゼオライト鑄型炭素、窒素ドーピングゼオライト鑄型炭素、KOH 賦活活性炭）
- ・炭素を構成するグラフェンにおけるエッジの量が多い（ゼオライト鑄型炭素、窒素ドーピングゼオライト鑄型炭素、KOH 賦活活性炭）
- ・窒素官能基を含む（窒素ドーピングゼオライト鑄型炭素）
- ・グラフェンシートが湾曲している（ゼオライト鑄型炭素、窒素ドーピングゼオライト鑄型炭素）

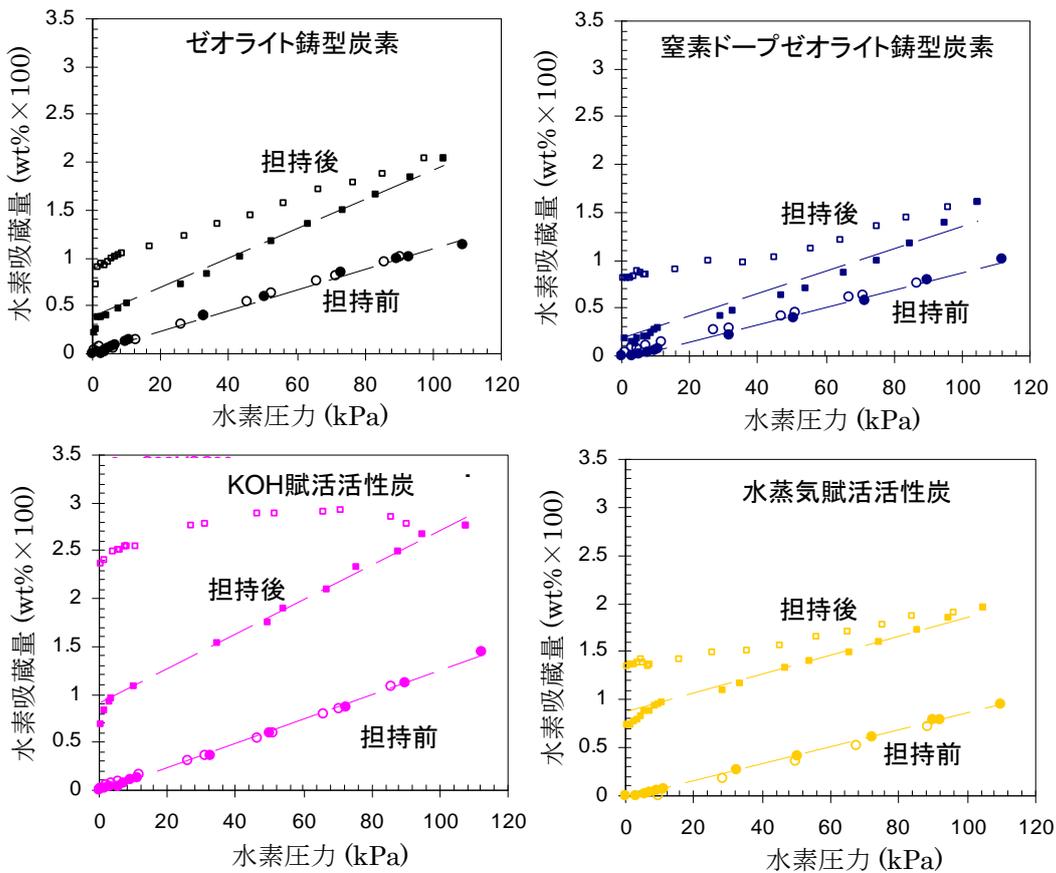


図7 各炭素における白金担持前後のH<sub>2</sub>吸脱着等温線（25 °C）の比較

含窒素官能基がスピルオーバー貯蔵サイトであることが示唆されたので、窒素の大量ドーピング法の開発を行った。具体的には、①ゼオライト鑄型の交換カチオンを従来の Na<sup>+</sup>から NH<sub>4</sub><sup>+</sup>へ変更、②ゼオライトに充填する炭素前駆体を従来のポリフルフリルアルコール (PFA) から 4,6-dihydropyrimidine (DHP) へ変更、の2つの方法を軸に、様々な条件で試料を合成した。合成した試料の BET 表面積、N/C、XRD の結果を表 1 に示す。①と②の方法を組み合わせた NH<sub>4</sub>Y-DHP-An8(2)-H9(1) では、窒素含有量が N/C = 0.09 に達した。

窒素ドーピング試料の水蒸気吸着等温線を図 8 に

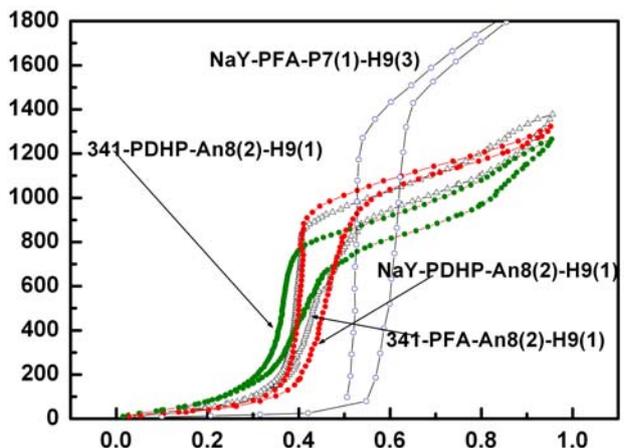


図8 窒素ドーピング試料の水蒸気吸着等温線（25 °C）

示す。いずれの試料も相対圧が 0.3~0.6 の間で水蒸気吸着量が急激に増加することがわかる。細孔径が同一の場合、吸着量が急激に増加する相対圧が小さいほど材料表面は親水性である。図 8 より、窒素含有量が大きい試料ほど親水性が大きいことがわかる。すなわち、窒素含有量により材料表面の極性が大きくなり、H<sub>2</sub>O 分子との相互作用が強化されたとは明らかである。窒素ドーブ試料は水素、特にスピルオーバーして生じた原子状水素との強い相互作用が期待できる。

表1 窒素ドーブ試料の合成条件、BET表面積、N/C、XRD結果のまとめ

試料名	ゼオライトのカチオン	炭素前駆体	BET表面積	N/C <sup>※1</sup>	XRD <sup>※2</sup>
			m <sup>2</sup> /g	mol/mol	
NaY-PFA-An8.5(2)-H9(1)	Na <sup>+</sup>	PFA	2900	0.058	○
NH <sub>4</sub> Y-PFA-An8.5(2)-H9(1)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PFA	2670	0.07	○
NH <sub>4</sub> Y-PFA-An8(2)-H9(1)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PFA	2650	0.07	×
NH <sub>4</sub> Y-PFA-An8(2)-H9(3)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	PFA	3580	0.013	◎
NaY-DHP-H7(2)-An8.5(2)-H9(1)	Na <sup>+</sup>	DHP	2010	0.077	△
NaY-DHP-H7(2)-An8(2)-H9(3)	Na <sup>+</sup>	DHP	2420	0.079	○
NaY-DHP	Na <sup>+</sup>	DHP	—	0.37	—
NaY-DHP-H7(2)	Na <sup>+</sup>	DHP	—	0.13	—
NaY-DHP-An8(2)-H9(1)	Na <sup>+</sup>	DHP	2840	0.05	○
NH <sub>4</sub> Y-DHP	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	DHP	—	0.43	—
NH <sub>4</sub> Y-DHP-An8(2)-H9(1)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	DHP	2080	0.09	×
NH <sub>4</sub> Y-DHP-An8(2)-H9(3)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	DHP	2100	0.084	×

※1 元素分析により求めた窒素と炭素の組成比

※2 XRDパターンにおける2θ = 6.4° 近辺の長周期規則構造を示すピークの強度。◎:非常に強い、○:強  
三角:弱い、×:ほとんど無い

図 9 に Ni を担持したゼオライト鑄型炭素の H<sub>2</sub> 吸脱着等温線を示す。比較のために、Pt ナノ粒子を 0.2 wt%担持した試料のデータも示す。液相還元、気相還元のいずれの方法で調製した Ni 担持ゼオライト鑄型炭素も、表面積が担持前より大幅に小さいため、図 9a において、Ni 担持後の H<sub>2</sub> 吸蔵量は担持前に比べると小さくなるはずである。しかし、液相還元により調製した Ni 担持ゼオライト鑄型炭素は、担持前よりも大きな H<sub>2</sub> 吸蔵量を示している。さらに、図 9a に示した H<sub>2</sub> 吸蔵量をそれぞれの試料の BET 表面積で割り、表面積あたりの H<sub>2</sub> 吸着量で表現した図 9b を見ると、いずれの Ni 担持ゼオライト鑄型炭素も、担持前より H<sub>2</sub> 吸蔵量が増加していることがわかる。このように、安価な遷移金属である Ni 担持によっても、スピルオーバーによる水素貯蔵量の増加が確認された。

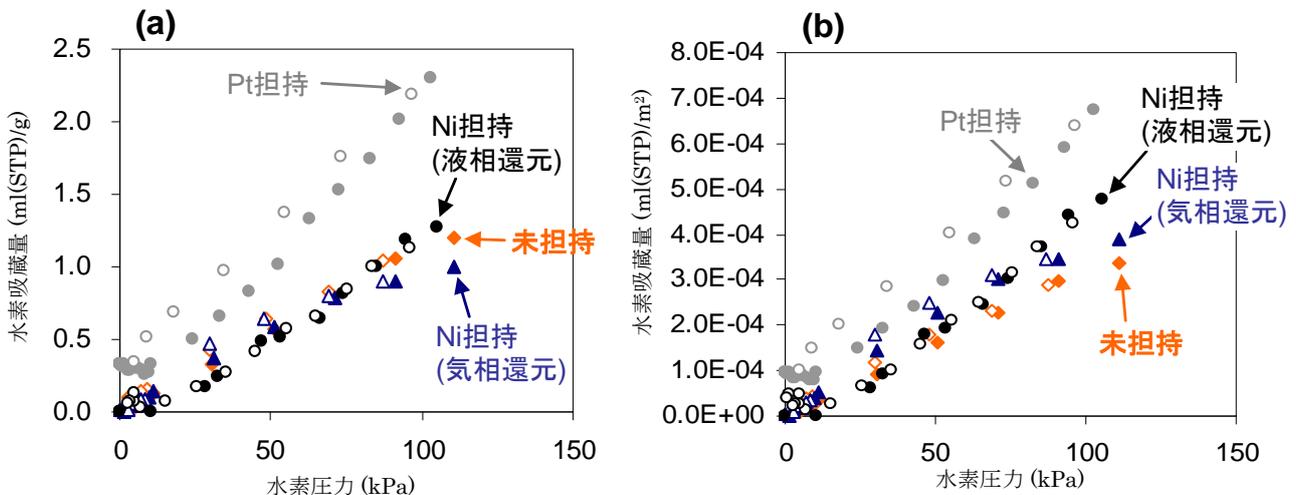


図9 NiおよびPtを担持したゼオライト鑄型炭素のH<sub>2</sub>吸脱着等温線 (25 °C) ; (a) 試料の重量あたりのH<sub>2</sub>吸蔵量、(b)試料の表面積あたりのH<sub>2</sub>吸蔵量

#### 特許、論文、外部発表等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※出願	査読付き	その他	
H20FY	1件	0件	1件	0件	0件	新聞2件
H21FY	1件	0件	0件	0件	1件	新聞1件、学会3件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

#### 4. まとめ及び課題

##### 1. 細孔制御技術によるゼオライト鑄型炭素 (ZTC) の構造最適化

物理吸着量を最大化するため、ゼオライト鑄型炭素の比表面積の最大化を行った。その結果、4000 m<sup>2</sup>/g が現状の最大であると結論した。粒子外表面に存在するアモルファス炭素層を完全に除去し、かつ骨格内部に含まれる含酸素官能基を完全に除去できれば、比表面積 5000 m<sup>2</sup>/g を超えるものも理論上は可能である。これらを実現するには今回の研究開発で調査した方法（水素処理、プラズマ処理、液相酸化、ゼオライト鑄型の変更）とは異なる新たな方法を用いる必要がある。

また、細孔徑制御技術の原理は確立できたので、今後は実証試験を行う必要がある。

##### 2. 金属担持技術による「新たな相互作用」の導入とその最適化

スピルオーバー水素の貯蔵サイトを、炭素担体のエッジ、曲率をもつ部位、含酸素官能基、含窒素官能基に絞り込むことができた。また、Pt 粒子の粒径が小さいほどスピルオーバー貯蔵量が増加することも見出した。

従来法で達成できる窒素含有量は N/C = 0.058 mol/mol に限られていた。今回、合成法を改良することで、従来を大幅に上回る N/C = 0.09 mol/mol の窒素含有量を達成できた。

Ni 担持した試料においてもスピルオーバーによる水素吸蔵量の増加を確認できた。また、Ni ナノ粒子の粒径が小さい方がスピルオーバー効果が大きいことがわかった。安価な金属を用いたスピルオーバー貯蔵の可能が示されたことから、Pd, Ru, Fe, Co, Ni, Cu, V 等他の金属や、合金系における今後の進展が期待できる。

これまで、金属担持炭素系における室温でのスピルオーバー貯蔵を報告している例は世界でも少なく、その効果は半ば疑問視されていたが、今回の研究開発により、炭素担体の構造および金属の担持状態を適切に設計することで、スピルオーバー貯蔵が確実に起こることを明らかにできた。また、今まで全く不明であったスピルオーバー貯蔵のメカニズムに関する多くの知見が得られ、スピルオーバー貯蔵がいくつかのステップから成る複合的現象であることを明らかにした。それと共に、スピルオーバー貯蔵量を最大化するためには各ステップの効率化が必須であり、1つ1つのステップについて、適切な材料設計をする必要があることが判明した。今回は2年間という研究開発期間の中で、最終目標である 6 mass%の達成には至らなかったが、そこへ至るための道筋を示すことができた。今後の開発課題を以下に示す。

1. スピルオーバー効果を最大化する金属(および合金)種の探索
2. 金属種と担体との接合状態がスピルオーバー効果に及ぼす影響の解明
3. Å オーダーの金属超微粒子の担持技術の開発
4. 超高表面積をもち、かつ大量のエッジ、グラフェン湾曲部、酸素/窒素官能基をもつ炭素の開発
5. 高容量貯蔵サイトの更なる探索 (O, N 以外のヘテロ原子導入サイトなど)
6. スピルオーバーした原子状水素の炭素上における表面拡散機構の解明
7. スピルオーバー貯蔵された原子状水素の放出メカニズムの解明

##### 5. 実用化・事業化見通し

スピルオーバー貯蔵のメカニズム解明に2年、「物理吸着+スピルオーバー」による 6 mass%達成に1年、貯蔵材料の製造コスト削減に1年を要する。最短で、5年後(2015年)の実用化を目指す。

### (Ⅲ-9) MgおよびTi系相分離型高容量水素吸蔵合金の設計と実証に係る技術開発

委託先: 学校法人東海大学

#### ●全期間成果サマリ(実施期間 : 平成20年度～平成21年度)

- ・水素吸収・放出に伴う合金の「相分離」によって、MgH<sub>2</sub>が熱力学的に著しく不安定化することが実証された(合金構成元素間の結合力に依存)。
- ・Ti基を有する非固溶系b.c.c.合金の合成に成功し、室温で3.5 mass %以上の水素吸収・放出反応が実証された。
- ・Al水素化合物の物理合成装置の設計・開発を行った。AlH<sub>2.5</sub>組成を得ており、物理的合成の可能性が実証された。

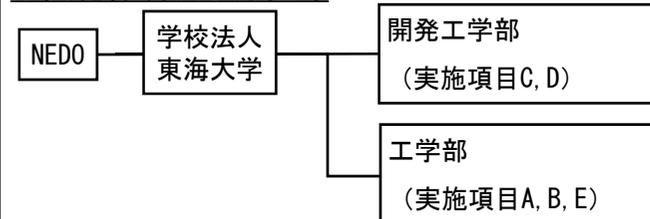
#### ●背景/研究内容・目的

Mgを含む合金の水素化合物の物性は、Mgと水素の強い結合力に支配され、燃料電池用水素供給源としての適正供給圧力および速やかな水素吸収・放出を実現するためには、水素化合物の「熱力学的不安定化」が課題である。本研究開発では、合金の相分離によって発現する「吸熱反応」を利用して、水素化合物の不安定化を実証した。また、軽量な水素化合物の代表であるAlH<sub>3</sub>の物理的合成法の開発に挑戦した。

#### ●研究目標

実施項目	目標
A: Mg基合金の開発	Mg基合金に関する作製ノウハウを蓄積
B: Mg基合金に関する熱力学的平衡反応特性の研究	Mg基相分離型水素吸蔵合金の実証 6.0質量%, 繰り返し1000回, 水素放出温度100°C
C: Ti基合金の開発	Ti基合金に関する作製ノウハウを蓄積
D: Ti基合金に関する熱力学的平衡反応特性の研究	Ti基水素吸蔵合金の実証 6.0質量%, 繰り返し1000回, 水素放出温度100°C
E: Al水素化合物の合成技術の開発	Al水素化合物の物理的合成法を設計・開発

#### ●実施体制及び分担等



#### ●全期間実施内容／研究成果

- ・相分離型水素吸蔵合金により、MgH<sub>2</sub>の顕著な熱力学的不安定化が実証された(A, B)。
- ・下表に示すとおり、合金系によってMgH<sub>2</sub>の熱力学安定性がことなることが明らかとなり、これらは合金の構成元素間の電気陰性度差によって整理することが出来た(A, B)。
- ・TiMg系合金を開発し、常温で水素を吸放出することが明らかとなった(下図)。新たな合金設計手法として、軽量合金の開発に一定の目処を得た(C, D)。
- ・TiMgAl系合金を開発し、水素の吸収を確認した(C, D)。
- ・Al水素化合物の物理合成法を検討し、局部的に水素化合物を得ることが出来た(E)。

表 熱力学的特性および水素供給可能圧力

合金	ΔH <sub>H<sub>2</sub></sub> [kJ/mol <sub>H<sub>2</sub></sub> ]	供給圧力@100°C [bar]
Mg	-38.6	3 × 10 <sup>-5</sup>
Mg <sub>17</sub> Al <sub>12</sub>	-35.8, -31.1	2 × 10 <sup>-4</sup> , 4 × 10 <sup>-3</sup>
MgIn	-24.6	2 × 10 <sup>-1</sup>
Mg <sub>2</sub> Ge	> -21.8	> 1.5
Mg <sub>2</sub> Sn	> -21.8	> 1.5
Mg <sub>2</sub> Si	> -21.8	> 1.5

適正值 ↓

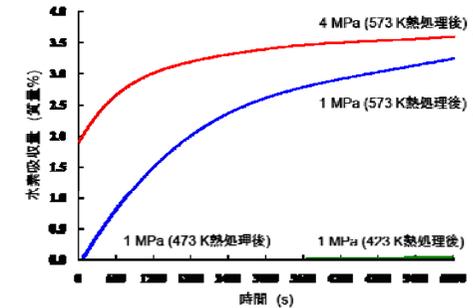


図 Ti<sub>75</sub>Mg<sub>25</sub> の水素吸収特性(室温)

#### ●今後の課題

- ・結合力の強い合金系による、MgH<sub>2</sub>の更なる熱力学的不安定化(2 bar以上@100°C)
- ・実用化を見据えた耐久性の確認(1000回以上)
- ・Al水素化合物の大量物理合成法検討

#### ●実用化の見通し

Mg系材料を燃料電池への水素供給源として実用化するためには、現在までに報告されている中で、適正な水素供給圧力を提供する唯一の手法(相分離型合金)であることが示唆される結果である。

#### ●研究成果まとめ

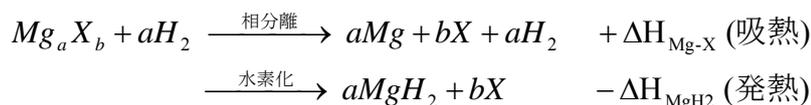
実施項目	成果内容	自己評価
A: Mg基合金の開発	Mg系合金を室温で合成	○
B: Mg基合金に関する熱力学的平衡反応特性の研究	相分離型合金の実証に成功 4.7質量%, 20回, 325°C	△
C: Ti基合金の開発	非固溶系Ti合金の合成成功	○
D: Ti基合金に関する熱力学的平衡反応特性の研究	室温で水素吸放出に成功 3.5質量%, 5回, 25°C	△
E: Al水素化合物の合成技術の開発	局部的AlH <sub>x</sub> の物理合成	△

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	6	15	0

## 1. 事業概要

Mgは最大水素吸蔵量7.6質量%を示すことから、水素吸蔵材料として大きく期待されている一方で、イオン結合性に由来するMgと水素との結合が非常に強いなど、低温下における速やかな水素吸収・放出を実現するためには、水素化合物の熱力学的不安定化が課題である。しかしながら、他の元素と合金化させるなどの伝統的手法では、水素化合物の熱力学的安定性の指標である圧力-組成等温線図上のプラトー圧力にほとんど変化が見られず、Mg元素を含む合金の水素化合物の物性は、Mg元素の化学的性格に強く支配されていることが問題であり、実用的な水素供給能力には限界があった。

最近の研究開発動向では、触媒を利用することで水素吸収・放出温度の低下を目指す「反応速度論」的研究が主流であるが、Mgと水素の反応は発熱反応系であるため、可動温度の低下と共に水素放出圧力も著しく低下するのが現状である。実際、多くの研究報告において記述される水素放出温度の低下とは、真空に対して水素を放出することが可能となったことを意味している。しかしながら、燃料電池等への水素供給源として利用することを念頭に置くならば、適正な水素供給圧力を実現するための「化学平衡論」的な研究開発が同時に遂行されなければならない。本研究開発では、「相分離型」水素吸蔵合金という新たなコンセプトを提示し、合金の相分離に伴う「吸熱反応」を利用して、水素化合物の熱力学的な不安定化を実証することを目指した。従来、水素吸蔵合金の研究分野において、相分離とは不均化反応と呼ばれ、可逆的な水素吸収・放出反応を阻害する主な原因とされてきた経緯がある。本研究開発では、その反応をむしろ積極的に利用していることが大きな特徴である。新たに提唱する「相分離型」水素吸蔵合金の基本コンセプトは、合金の相分離に伴う「吸熱反応」を利用して、水素化合物の不安定化を狙うことである。化学的に合金化が可能なMg-X系合金(X:任意の元素)は、単体のMgと比べて熱力学的に安定であるため、MgとXに分解する際のエンタルピー変化は $\Delta H > 0$  (吸熱反応)である。同様に、合金 $Mg_aX_b$ が相分離を伴って水素化合物を形成する反応を、次のような2段階反応として考えることができる。



系全体の反応は、



と表すことができ、合金の分解および水素吸収を含めた系全体の反応に伴うエンタルピー変化は、単体 Mg 水素化合物の形成エンタルピー $-\Delta H_{MgH_2}$ と比較して、 $\Delta H_{Mg-X}$ の分だけ負に小さくなることから、

「相分離を伴う」反応系では、水素化合物の熱力学的に不安定化されることが示唆される。本研究開発では、新しい「相分離型水素吸蔵合金」の開発として、Mg 基および Ti 基を有し、ⅢA 族、ⅣA 族元素との合金を作製し、水素吸蔵特性を明らかにすることを目的とした。

また、現在の水素吸蔵材料開発においては、ナノ構造化が例外のないキープロセスである。ボールミリングに代表される固相法（メカニカルアロイング法）では、材料のナノ構造化のみならず、化学的に合金化されない非固溶反応系においてさえ合金化が可能であるなど、新しい合金設計の重要なツールとなる可能性がある。本研究開発では、Ti を中心に非固溶反応系の合金設計と水素吸収・放出反応について検討を行った。

最後に、軽量の Al 水素化合物の利用方法として、使い切りカセット等が提案されているが、水素の再充填技術には全く目処が立っていないのが現状である。これは、Al と気体水素とが化学的には直接反応しないことに由来している。本プロジェクトでは、NEDO「微小試料内全元素分析用パルス同期マルチガスプラズマ分析装置の開発(産業技術研究助成事業)」において、東京工業大学の沖野晃俊教授らが開発した ICP 源プラズマを材料合成に応用し、Al 水素化合物の新しい物理的合成方法の開発を行った。

## 2. 事業目標

本研究開発では、新しい設計思想に基づいた Mg 基および Ti 基を有する合金の開発および実証を目標とした。具体的な数値目標としては、有効水素吸蔵量が 6 質量%以上、放出温度 100℃、耐久水素吸放出回数が 1,000 回である。

## 3. 事業成果

### 3.1. Mg 基を有する合金の作製と熱力学的平衡反応特性

Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>合金の水素吸放出反応を中心に検討を行った。Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>の水素吸収・放出反応は、下記2段階の相分離を呈する可逆的な反応であることが明らかとなった。



また、水素化合物を形成する際のプラトー圧力がMgのものと比較して明らかに上昇していることが確認された(図1)。熱力学的には、水素化合物形成に伴う相部分モルエンタルピー $\Delta H$ を算出し、Mgのもの比べて、一段階目の反応では $2.8\text{kJ}(\text{mol}_H)^{-1}$ 、二段階目の反応においては $7.5\text{kJ}(\text{mol}_H)^{-1}$ だけ不安定化したことが分かった。Mg-Al合金系の形成エンタルピー変化のデータから、水素化合物の熱力学的不安定化に対して相分離の寄与を計算したところ、実験結果と良い一致を示した。有効水素吸蔵量は約4.5質量%であり、相分離を伴う反応が有効水素吸蔵量を保持しながら水素化合物の不安定化を促すことが明らかとなった。

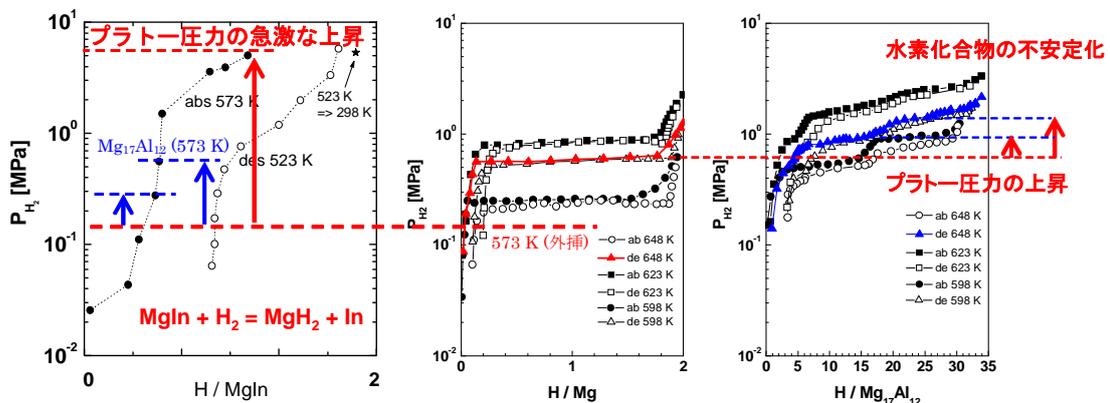


図1. Mg-H系, Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>-H系およびMgIn-H系の圧力-組成等温図. 相分離に伴うプラトー圧力の上昇(水素化合物の不安定化)が顕著に見られる。

相分離の効果を確認するために、MgIn水素化合物の合成と水素吸収・放出反応を測定したところ、下記1段階の相分離を伴う反応であることが分かった。



プラトー圧力はMg-H系と比較して約5MPa、Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>-H系と比較して4.5~4.8MPa上昇し、水素化合物の急激な不安定化が示された(図1)。電気陰性度の観点では、Mg-Al系と比べて、Mg-In系の結合力が大きいことから(図2)、合金の相分離に伴う「正の」エンタルピー寄与は、Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>合金と比べてMgIn合金の方が大きいことが予想される。これは、急激な水素化合物の不安定化が見られた実験結果と一致し、相分離型水素吸蔵合金の方向性を支持する結果となった。

他の系について、Mg-Sn系、Mg-Ge系、Mg-Si系およびMg-Pb系の合金化条件を検討し、全ての系について既に単相の合金を得ることに成功した。現在までの結果からは、10MPa以上の水素雰囲気においてさえも、プラトー圧力が現れておらず、MgIn-H系よりも更にプラトー圧力の上昇が期待される。これは、電気陰性度の観点からも予想される結果であり、今後も詳細について追求する予定である。

以上の結果を下の表にまとめた。実質的な水素供給可能圧力は、各合金系のプラトー圧力である。触媒等の研究成果によって水素吸収・放出速度が改善され、可動温度が100°Cにまで低下した場合のプラトー圧力を示している。相分離型合金では、Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>ではMgと比べて2桁、MgInでは4桁もの著しい水素供給圧力の上昇が予想できる。燃料電池用の水素供給源としては、2 bar以上の供給圧力が必要だとされていることから、他の合金系で更に1桁の圧力上昇が可能となれば、触媒開発の成果との組み合わせで実用化への展望が開けるのではないかと考えられる。事実、研究継続中である他の合金系の途中結果では、更なる水素化合物の熱力学的不安定化を示す結果が得られており、今後も継続的な研究開発を進める予定でいる。

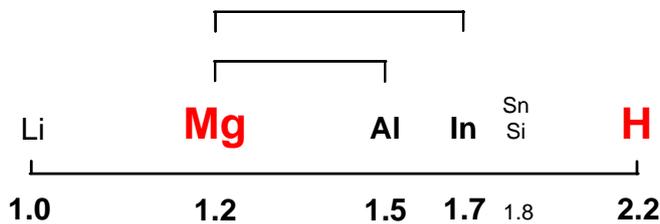


図2. 電気陰性度 (Paulingの値)から観た合金組合せ

表 熱力学的特性および水素供給可能圧力

合金	$\Delta H_1$ [kJ/mol <sub>H<sub>2</sub></sub> ]	供給圧力@100°C [bar]
Mg	-35.8	$3 \times 10^4$
Mg <sub>17</sub> Al <sub>12</sub>	-35.8, -31.1	$2 \times 10^4, 4 \times 10^3$
MgIn	-24.6	$2 \times 10^1$
Mg <sub>2</sub> Ge	> -21.8	> 1.5
Mg <sub>2</sub> Sn	> -21.8	> 1.5
Mg <sub>2</sub> Si	> -21.8	> 1.5

適正值

### 3.2. Ti基を有する合金の作製と熱力学的平衡反応特性

Ti基を有する合金開発において、その組み合わせは軽量元素であることが望ましいが、常温における $\alpha$ -Tiとは化学的に非固溶な組み合わせも多く存在する。本研究開発では、 $\alpha$ -Tiに対してボールミリング法によって物理的なエネルギーを印加し、Tiの結晶構造を変化させて互いに非固溶な元素との親和性を向上させ、これを出発原料として新規合金を開発することを試みた。

図3にボールミリング法によってTiの構造が変化する様子を示した。10hのミリング時間から $\beta$ -Ti相が出現しており、高温でしか存在し得ない相を室温で作製することが出来た。この $\beta$ -Tiを原材料として非固溶な組み合わせであるTi-Mg系合金の作製を試みたところ、Ti75Mg25組成において単相を得ることが出来た。このことから、Ti基を有する合金開発においては、 $\beta$ -Tiを原材料として使用することで、新たな軽量合金の組み合わせに対する許容幅が広がったことになる。図4では、Ti75Mg25合金の水素吸収特性を示している。合金作製直後では水素を吸収しないものの、熱処理を施すことによって、室温で3.5質量%の水素を吸収することが明らかとなった。また、この反応は可逆的であることも併せて明らかとなっている。

この他には、(Ti80Al20)80Mg20合金の作製にも成功し、定性的ではあるものの水素の吸収・放出反応が可逆的であることまで明らかとなっている。

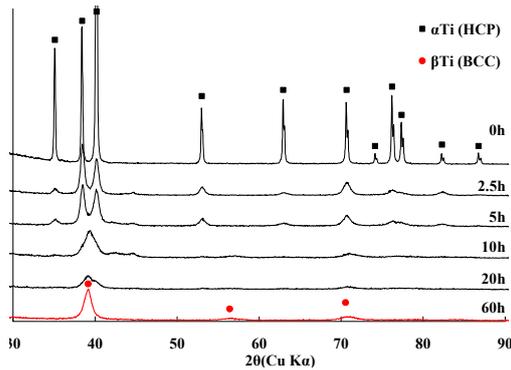


図3 ボールミリングによる $\alpha$ -Ti $\rightarrow$  $\beta$ -Ti相変態

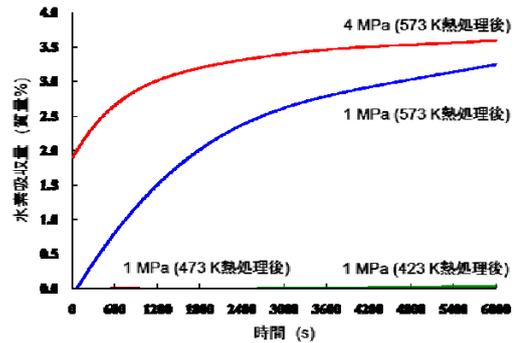


図4 Ti75Mg25 の水素吸収特性(室温)

### 3.3. Al 水素化合物の物理合成法の開発

Al と気体水素との反応系は、自由エネルギー変化が正であるため、ほとんど反応を示さず、これまでに理論的背景から作成された状態図によれば、常圧・室温雰囲気下において、Al 中に固溶する水素は僅か  $10^{-4}$  ppb 以下に過ぎない。自由エネルギー変化が正である化学反応系では、化学エネルギーとは別に、過剰なエネルギーを印加することで、化合物を形成することが出来るとの報告がある。過剰なエネルギーとしては、プラズマ状態を形成する反応系が考えられる。特に、固相-気相反応系では、Ti-N 系において実績があり、最近では量産ラインにおいてもプラズマを利用する機会が増えている。本研究開発では、プラズマ状態によって気体水素を強制的に原子状水素へと解離させ、雰囲気中に Al を投入することによって水素化合物の形成を目指した。

作製した試料について、グロー放電発光分光分析 (GDS) により元素分析を行った。比較のために Al 試料を用い、Ar によるスパッタリングを行いながら、深さ方向に Al、O、および H 原子について分析を行った。図 5 に分析結果を示す。水素ラジカル反応によって作製した薄膜表面近傍では、高濃度な水素原子の存在が確認され、平均組成は  $AlH_{2.5}$  であった。純 Al 薄膜では、表面近傍に水素原子が殆ど存在しないことから、表面に吸着している  $H_2O$  の寄与であるとは考えにくく、局部的に  $AlH_3$  化合物相が形成されている可能性が示唆される。

Al-H 反応系では、自由エネルギー変化が正であるものの、Al 水素化合物の表面に  $Al_2O_3$  不動態膜が形成されることで、Al 水素化合物の存在を可能にしていることが知られている。また、 $150\sim 200^\circ C$  の温度を印加すると、水素化合物の分解が生じ、固体内部から表面に向けて水素原子の拡散、および表面での再結合・脱離反応が起こる。当該試料では、表面付近に高濃度の水素原子が存在しており、反応プロセスの中で Al と水素の反応が起きたことは明らかである。しかしながら、均一な水素化合物相として得ることが出来なかったのには、不動態層の形成も伴う凝集過程にあるのではないかと考えられる。即ち、気相中において  $AlH_3$  相が形成されたものの、その後の凝集過程において、冷却速度および不動態形成速度よりも  $AlH_3$  化合物の分解反応速度の方が速いため、表面付近における水素濃度が顕著であったのではないかと示唆される。

以上より、プラズマ中に冷却部を設置することで、 $AlH_3$  化合物の分解反応の進行前に凝集・回収することが可能であるのではないかと考え、装置を改造して実験を行った直近の結果からは、試料内部に高濃度の水素原子が分布していることが明らかとなった。反面、酸素原子の分布量も増加しているため、現在は詳細な分析を行っているところである。

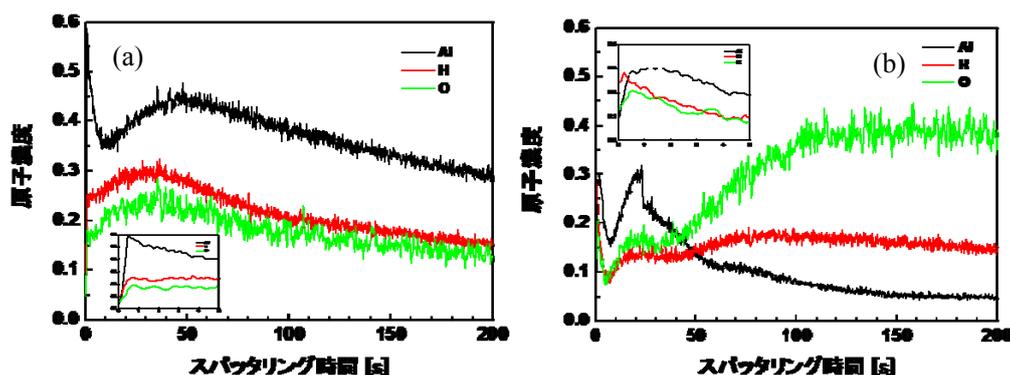


図5 (a) Al (b) AlH<sub>x</sub> の GDS 測定結果

#### 特許、論文、外部発表等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT <sup>※</sup> 出願	査読付き	その他	
H20FY2008	0件	0件	0件	2件	0件	7件
H21FY2009	0件	0件	0件	4件	0件	8件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

#### 4. まとめ及び課題

本研究開発において得られた成果から、Mg系合金は、相分離型として設計すれば、燃料電池に対して適正な供給圧力を確保できる可能性を有する、現状では唯一の手段であることが実証された。しかしながら、水素吸収放出の動作温度の低下は必要不可欠であり、触媒の研究開発グループの成果との組み合わせを模索するなどの課題がある。

Ti系合金は、 $\alpha$ -Ti から  $\beta$ -Ti を経由・原材料にすることで、新しい軽量合金の合成が可能であることが実証された。非固溶系合金であっても、室温で可逆的な水素吸収・放出を示すなど、今後の合金設計に一定の目処がついたと考えられる。本研究開発では、水素供給圧力の指標となる圧力-組成等温度線のデータが未取得であり、今後の課題となる。

Al水素化合物は、プラズマを利用することでAl水素化合物の合成が可能であることが示唆され、合成条件の最適化によって、安定したAlH<sub>3</sub>合成の可能性が見出された。歩留まりが不安定であり、合成条件等の見直し・最適化は必須である。

#### 5. 実用化・事業化見通し

高容量水素貯蔵材料として期待されるMg系合金の中で、本研究開発で提案した相分離型水素吸蔵合金は、燃料電池に対して適正な供給圧力を確保できる可能性を有する、現状では唯一の手段である。合金系の組み合わせによって水素吸蔵量に差があるが、Mgの含有量を多くすることによって一定の吸蔵量を確保できる。相分離反応のみでは、期待される動作可能温度に至らないが、触媒開発の成果との組み合わせを条件に、実用化に大きな期待が持たれる。

本研究で開発されたTi系合金は、既に室温での水素吸収・放出が確認されており、水素吸蔵量も3.5質量%と実用化されている既存の水素吸蔵材料と比較しても期待以上の成果であった。非固溶系の組み合わせであるため、合金化可能な組成を予測することは困難であるが、組成の最適化によって更なる容量増加は十分に考えられる。水素放出温度の目標は達成しており、Mg系合金よりも実用化の可能性が大きいのではないかと考えられる。

Al水素化合物に関して、水素貯蔵材料としての考え方には各国で温度差があるものの、欧州や米国では継続的な研究・開発がなされている。日本においても、NEDOの事業内で開発を進めている他グ

ループが存在している。Al 水素化合物を実用化する上で障壁となる大きな課題は、Al 水素化合物の新しい製造方法である。10 質量%と高容量材料であるものの、可逆性に乏しいために使い捨て型の使用が提案されているが、水素の再充填には適当な方法が存在しない。本研究で目指したプラズマを利用した方法は、Al から直接 Al 水素化合物を合成するものであり、既存の数工程を経る手法とは一線を画す。また副生成物との分離も必要ないため、再充填方法としては理想的であると考えられる。実用化に関しては、量産を視野に入れた大型装置を考える必要があるため、現状の実績からは早期の実用化に至るとは考え難く、基礎的なデータの収集に時間が必要ではないかと考えられる。

Ⅲ-10) 燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発

委託先:(一財)日本自動車研究所

●進捗成果サマリ(平成22年度～平成24年度8月末)

- ・FCVの世界統一基準(以下、HFCV-gtr)において、日本あるいは海外からの新規提案基準について、試験法の問題点抽出や妥当性検証を行い、それらの根拠データ(主体的データ提供は日本のみ)を、日本の主張展開の裏づけとして活用・貢献することができた。また、これらの試験を国内にて評価できる体制を整えた。
- ・FCVを含む事故後処理安全に関わる課題抽出、およびその中の一部の課題について事故処理手法を開発し、FCV警防マニュアル等の策定に資するデータを得た。
- ・充填プロトコル等の安全性検証試験を実施し、国内70MPa水素ステーション実証事業にデータ提供を行い、これらの成果が国内水素ステーションの基準に採用された。
- ・その他の国際標準化に関わる技術開発として、上記に加え、FCV用燃料仕様、安全規格、性能規格に関するIS等の発行あるいはFDIS化への進捗を達成できた。

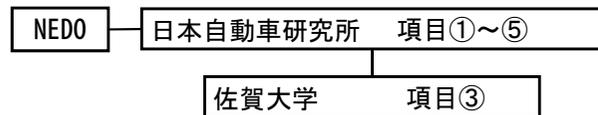
●背景/研究内容・目的

2015年頃のFCV普及開始期の市場形成に向けて必要な安全確保のための技術的知見の系統的構築や基準・標準の整備に注力し、FCVの実用化・普及展開及び国際競争力の確保に資することを目的とする。

●研究目標

実施項目	最終目標 (H24年度)
①圧縮水素を燃料とするFCVの事故後の安全作業の標準化	適正な基準策定のための妥当性検証、事故処理に関わる早期の標準化に向けたデータ取得のための事故処理手法を開発
②車載用高圧水素容器／容器附属品の基準適正化活動	適正な基準策定のための妥当性検証および新規構造附属品の国内導入に資するデータ取得
③水素充填プロトコルの標準化	水素ステーションの安全性検証データを提供するとともに、インターフェイスの試験法策定に向けたデータ取得、および関連する国際標準化活動の推進
④水素充填コネクタの標準化	
⑤ その他国際標準化に関わる技術検討	上記の国際標準化に加え、水素燃料仕様、性能・用語等の国際標準化の審議と推進

●実施体制及び分担等



充填プロトコル実装に必要な充填設定一欄検討のためのシミュレーション: H 24年度より

●これまでの実施内容／研究成果

- ・FCVの事故後の乗員救助等、安全作業のための漏洩水素の送風拡散効果の検証、高圧水素容器内の残圧確認手法の開発し、警防マニュアル等の策定に資するデータを取得。
- ・FCV車両運搬船での火災リスク課題を調査。安全上、問題ないことを確認。
- ・HFCV-gtrに新規提案された車室内水素濃度計測方法の妥当性を調査し、試験方法等の問題点を指摘。
- ・HFCV-gtrの局所火炎暴露試験法策定に必要な車両火災データを提供し、世界に先駆けて当該試験に使用できるバーナーを開発し、国内での試験実施体制を構築。
- ・HFCV-gtrに日本から液圧での使用環境負荷試験を提案するにあたり、必要な根拠データを提供し、試験法の検証を実施し、国際基準に反映。
- ・急速充填試験による充填プロトコル等の検証を行い、安全性を確認し、その結果が国内基準に採用。
- ・FCV燃料仕様の国際規格のH24年度内発行段階に目処。

●研究成果まとめ

●今後の課題／スケジュール(H24年度まで)

- ・車室内水素濃度計測手法の風の影響・代替ガス調査
- ・水素漏れ時の発生音と漏れ量の関係明確化 等
- ・HFCV-gtrガスシリーズ試験の実施・試験法検証
- ・容器附属品(TPRD)のHFCV-gtr試験法検証
- ・改良型充填プロトコル検証、ノズル氷結検証等
- ・その他国際標準化項目の進捗確認

●実用化・事業化の見通し

- ・衝突火災事故後の安全な救助・消火活動を行うためのデータ取得を今後も継続することにより、事故後の二次災害の発生を抑制・防止できる。
- ・FCV海上輸送の基準が適正化されることでFCVの海外輸出を円滑化できる。
- ・さらにHFCV-gtr Phase 2に向けたデータ構築を進めることで、より安全なFCV開発が可能となる。それらを踏まえた国内基準整備が進められることによりFCVの普及拡大に繋がる。
- ・より安全で短時間での充填を可能とするプロトコル等の開発を進めることで、FCVの利便性が向上し、普及が進む
- ・FCV水素燃料仕様の国際規格第1版の発行により、迅速なFCV普及の基盤構築となる。

実施項目	成果内容	自己評価
①	FCVの安全性に関し、審議状況に対応しながら、迅速に評価手法の確立に資するデータを取得	○
②	業界要望を取り入れながら、高圧水素容器/附属品の評価試験法策定に資するデータを取得し、国内にて評価できる体制を整えた。	◎
③	国内水素ステーション実用化スケジュールに対応をしながら、充填プロトコルの安全性確立に資するデータを取得	◎
④	水素充填コネクタ(ノズル・レセプタクル)の安全性確立に資するデータを取得し、計画通りに進捗	○
⑤	国内外の標準化活動を計画通りに推進	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	14	30	1

# 燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発

実施者：(一財)日本自動車研究所

## 1. 事業概要

### ① 圧縮水素を燃料とするFCVの事故後の安全作業の標準化

FCVは国内市場のみではなく世界が市場であるため、圧縮水素を燃料とするFCVの安全基準を定める道路運送車両法のみならず UN-ECE/WP29/AC3 (World Forum for Harmonization of vehicle Regulations/ Working Party on Pollution and Energy) HFCV gtr (global technical regulation、FCV等の世界統一技術基準)を適正なものとして成立させなければならない。

そこで、現在審議されている衝突試験後の車室内水素濃度計測および車載容器局所火炎暴露試験について、試験法の妥当性および試験方法に関わる問題点について調査し、国際基準調和活動において、日本国の主張の裏付けデータとして活用された。

また、水素燃料自動車の船舶輸送の消火対応等に関わる規制緩和についての審議におけるリスク調査の中で、床下からの輻射熱による安全弁作動の可能性が指摘され、本事業にて本件を調査し、得られたデータは、国際海事機関(IMO)での技術基準策定に関わる審議において活用された。

事故後の安全作業においては、安全な事故処理対応に関わるデータ取得のため、送風による水素拡散の効果、水素漏れ発生音と漏れ量の調査、鎮火後における安全弁の作動調査、車載容器の健全性把握方法の調査、および容器の脱ガス方法の検討を行い、水素FCVに対する警防活動の救助活動マニュアル改訂に資するデータを取得し、今後、活発化する可能性が高い事故処理対応に関わる標準化活動において、日本が先導できるデータを構築した。

### ② 車載用高圧水素容器／容器附属品の基準適正化活動

国内新基準「70MPa 圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 (KHK S 0128)」の使用環境負荷試験および HFCV-gtr/SAE J2579 の液圧シリーズ試験を実施し、試験手順をより明確化する必要性があることを確認した。また、局所火炎暴露試験では、本試験法に適合した信頼性の高いバーナを世界に先駆けて開発し、国内にて局所火炎暴露試験を実施できる体制を整えるとともに、試験法の妥当性を確認した。また、ガスシリーズ試験においては、試験が長期化してしまうという試験法の課題等を把握した。

これらの成果は、国際基準化活動での基準策定に反映され、日本の主張の裏付けデータとして活用されるとともに、新規試験法に対する容器・車両の設計・開発の対応が迅速にできる環境を整えた。また、国内容器基準 Step2 での基準策定に資するデータとして提供した。さらに、熱作動式安全弁(ガラス式安全弁)の作動影響に関するデータを取得し、新規構造の安全弁に対する試験法策定に資するデータを取得した。

### ③ 水素充填プロトコルの標準化(急速充填試験)

充填プロトコル条件にもとづく急速充填試験を実施し、ガス温度・圧力を測定して安全を検証し、業界自主基準(JPEC S0003)策定に貢献した。併せて、数値シミュレーションを再委託し、充填プロトコル策定の基礎となる海外で実施された数値シミュレーションの精度を検証し、加えて、国内における充填シミュレーション技術を構築した。

#### ④ 水素充填コネクタの標準化(ノズル・レセプタクル氷結試験)

ノズル・レセプタクルの氷結現象を調査し、氷結状況および安全性を確認した。これらの成果は、国内の次期 70MPa 水素ステーションにおけるノズル・レセプタクル導入の安全性検証データとして活用されるとともに、将来的には ISO17268 改定時の充填ノズル評価試験方法として提案を予定している。

#### ⑤ その他国際標準化に関わる技術検討

解析・技術部門各 WG および各国内標準化 WG においてそれぞれの国際規格案を審議し、国際会議 ISO/TC22/SC21(電気自動車)および ISO/TC 197(水素技術)への対応を行った。そのために、国内での活発な議論に基づき、当プロジェクト等で取得した試験データをベースとして、ISO の審議において日本がリードし、計 11 件の国際規格 (IS 8 件、TS 2 件、TR 1 件)の発行に寄与した。さらにその他の改定案件(3 件)についても、当プロジェクト等で取得したデータを活用している。

特に、FCV 水素燃料仕様 (ISO14687-2)については、日本が議長国となって審議を進め、平成 24 年に FDIS 投票が終了し、発行段階となった。また、FCV を含む電気自動車の安全規格 (ISO6469-1~3)についても、日本が策定した原案を基に審議が進められ、発行に至った。

## 2. 事業目標

資源に乏しい我が国が持続的発展を続けるためには、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が、なかでも燃料電池自動車(FCV)は世界市場を視野に入れ、国内においては、2015 年を想定した普及開始を目標として新規市場を形成するべく開発努力が続けられており、水素供給インフラ市場もまた同時期の立上げを目指している。

普及期の市場形成にあたっては、水素の製造・輸送・貯蔵・充填等に係わる技術開発とともに、安全技術の確立や基準・標準の整備が不可欠であり、(一財)日本自動車研究所(JARI)は、平成17年度～21年度に実施された「水素社会構築共通基盤整備事業」の委託先として、既存規制の見直し等に資するための安全確認データの取得、国際標準の提案を実施した。

本事業においては、普及期市場醸成に向けて必要な安全確保のための技術的知見の系統的構築や基準・標準の整備に注力し、FCV の実用化・普及展開及び国際競争力の確保に資することを目的とする。

国際商品でもある FCV は、平成20年から UN-ECE/WP29/AC3(World Forum for Harmonization of vehicle Regulations/ Working Party on Pollution and Energy) HFCV gtr (global technical regulation、FCV 等の世界統一技術基準)の議論が継続されており、当該議論に資するデータを提供していく。

また、FCV 固有の技術に関連する国際標準については、安全(車載水素容器、車両、充填コネクタ、要素部品、充填プロトコル(手順))ならびに、水素燃料仕様・性能等の標準化が要望されていることから、当該議論が実施される ISO/TC22/SC21(電気自動車)、ISO/TC197(水素技術)、IEC/TC105(燃料電池)等の国際審議の場において、主導的立場で標準化活動を進める。

併せて、UN-ECE/WP29/AC3 HFCV gtr ならびに ISO/TC197 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、日本の自動車業界の意見を反映する。

現在、FCV の国際標準化においては日本が主導的な立場を維持しているが、今後、諸外国が新規規格を提案し、市場における優位性を確保しようとする動向も懸念される。係る懸念を払拭するために、従来の国際標準化活動で JARI が構築してきた海外ネットワークを活用して、遅滞なく動向把握に努めるとともに、試験データ取得等、機動的に事業を推進する。海外ネットワークとして、昨年、JARI が電動車両の標準化に係る覚書を取り交わした中国自動車技術研究センター(CATARC)との連携、今後の連携強化が想定される米国エネルギー省(USDOE)との FCV に係る標準化および研究開発の協力と言う枠組みも積極的に活用する。

一方、平成27年以降の FCV の本格普及を想定すると、FCV の安全性確保や事故時の FCV の安全性確保に関して、事故後・火災後まで視野に入れて、十分な知見をあらかじめ用意していく必要がある。そのような視点で、本事業において事故・火災後を想定し、実際の処理を想定した課題抽出を行い、その結果を踏まえて、系統的な知見取得を進める。なお、これらの成果については、必要に応じて、関係法令の適正化やマニュアル作成に資するものとしていく。

### 3. 事業成果

#### ① 圧縮水素を燃料とするFCVの事故後の安全作業の標準化

##### 1) 衝突・火災事故時の安全性評価

現在、HFCV gtr の策定作業の中で、以下の2つの事項が検討されている。

- 衝突試験後の水素漏洩試験
- 車載容器局所火炎暴露試験

これらの試験法の問題点およびそれらの課題を検討した。

また、水素燃料電池自動車(HFCV)に水素ガスを充填したままで船舶輸送するための課題として、国際海事機関(IMO)にてリスク調査およびそれらの課題対応が検討されている。さらに、新たなリスクとして、床下からの輻射熱による安全弁作動が指摘されたことを受けて、日本および産業界の要望に迅速対応するため、本事業にて検討した。

- 床下からの輻射熱による安全弁作動の可能性調査

以上の検討項目については、当初試験計画を変更し、柔軟に対応した。

本項における具体的な取り組み成果(ア～ウ)を、それぞれ目的、方法を含めて、以下にまとめる。

#### ア. 衝突試験後の水素漏洩試験

##### <目的>

現在、HFCV gtr では、衝突試験後の車室内空間での水素漏れ試験(Post-Crash Test of Enclosed Spaces - Compressed Hydrogen Storage)が検討されている。この試験では、衝突試験後、車室内の定められた位置で水素濃度が計測される。本研究では、本試験法の問題点を抽出し、これらの課題を検討する。なお、本試験は燃料電池自動車のHFCV-gtr 審議の中で、米国運輸省道路安全局(NHTSA)から、今までになかった衝突試験後の車室内の水素濃度計測が提案されたため、その計測法の妥当性を調査するため、基本計画を速やかに修正の上、試験を実施した。

##### <方法>

衝突後を模擬した車両および衝突試験(図2)後の車両を用い、車両底部から水素を漏洩させた場合の車室内の水素濃度計測、および風の影響や水素に替えヘリウムガスによる評価の可能性などについて調査する。

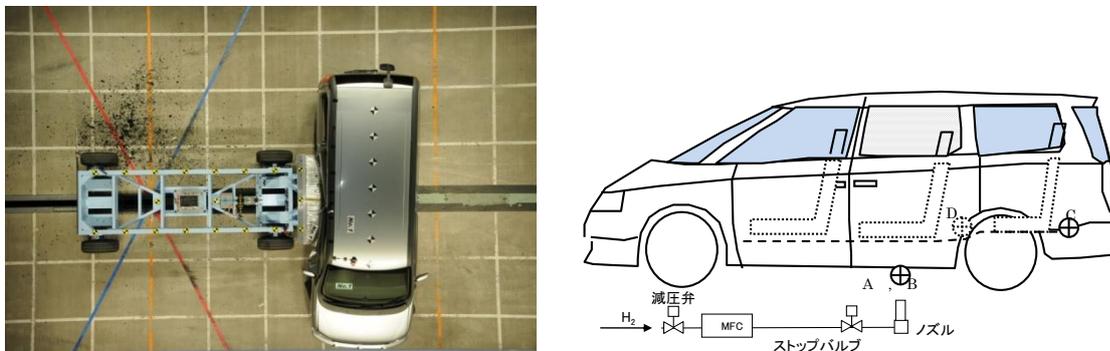


図2 衝突実験(側面衝突)および水素漏洩試験の概要

## <結果>

図3に車両底部から水素を漏洩させた場合の車室内の水素濃度計測結果の一例に示す。

この結果、衝突試験水素許容漏洩量 118NL/min 以下でも車室内水素濃度は 4%以上になることがあること、漏洩速度の違いによる空間の水素濃度に及ぼす影響が大きいこと、ヘリウムは代替ガスとして使用できないこと、また、車室内の水素濃度は風の影響を受けやすいので、測定時の風速規定が必要であることが明らかになった。

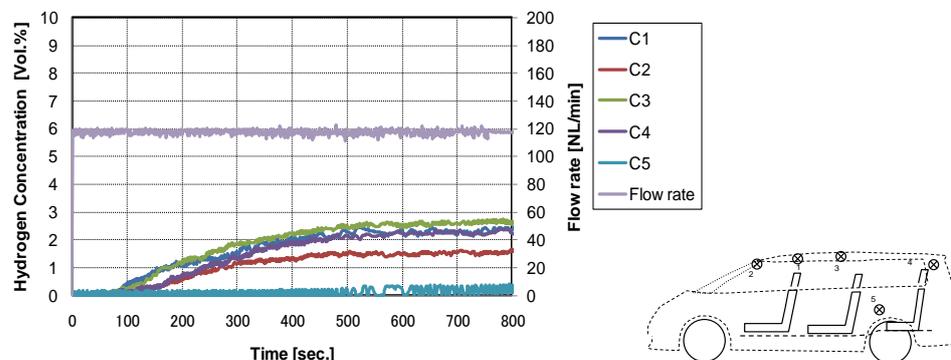


図3 車室内の水素濃度経時変化の一例

(車両中央床下からの水素漏洩, 上方向, 漏れ径 4mm, 漏れ量 118NL/min)

これらの結果をHFCV gtrの審議の場に提供し、衝突試験後の車室内水素濃度計測は、風等の影響を受け、再現性の高い結果が得られる試験方法ではないことが理解された。これにより衝突試験後の車室内水素濃度計測については、HFCV-gtr Phase 2での再検討課題となった。このように本試験は日本国、ならびに日本の産業界の主張の裏付けデータとして貢献した。

現在、ヘリウムガスによる代替可能性や車室内の水素濃度に影響しない風速条件の閾値について、さらに検討を進めている。

## イ. 車載容器局所火炎暴露試験

### <目的>

現在、HFCV gtrでは、車載容器の局所火炎暴露試験法が検討されている。本研究では、本試験法の問題点を抽出し、これらの課題を検討する。

### <方法>

容器単体の局所火炎暴露試験と同等の火炎の状態(同一のプロパンガス流量)で、車体に容器を固定した上で火炎に暴露し、車載したことによる容器表面や火源温度への影響について調査する(図4)。また、アンダーカバー(樹脂および金属性)が装着された場合の火源温度への影響などについても調査する。

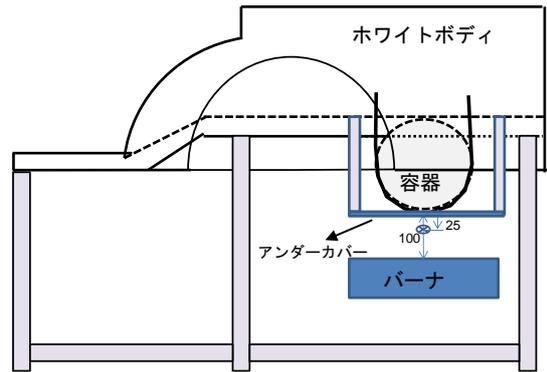


図4 車載容器(ホワイトボディ車)の局所火炎暴露試験のイメージ

なお、これらの試験は平成 24 年 9 月に実施する。

#### ウ. FCV 運搬船に関わる安全情報

##### <目的>

FCV 国際基準の策定および船舶輸送時の規制見直しに際し、船舶輸送で懸念される問題が課題として挙げられた。具体的には、図5に示すように、下部階層から出火し、上部階層に駐車した車両の安全弁(PRD)が、床からの輻射熱によって作動し、未燃の水素ガスが放出され、船倉内にガス充満後、引火・爆発する可能性が指摘されており、その際の、引火・爆発の可能性について調査する。なお、本試験は船舶による燃料電池自動車等の輸送に関わる国連法規の規制見直しの審議の過程において、新たなリスクが取り上げられ、その対応が求められたため、そのリスクの可能性の有無を調査するため、事業計画を速やかに修正の上、実施した。

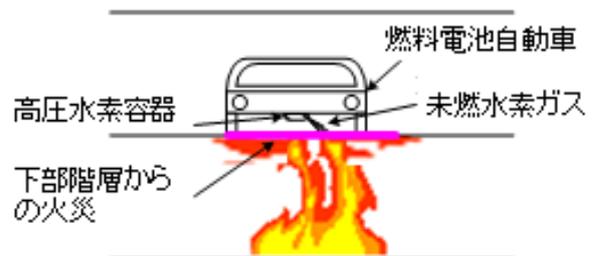


図5 船舶での輸送時の火災に関わる懸念事項

##### <方法>

輻射熱による安全弁の作動試験および作動に関して数値シミュレーションを用いた調査を実施する。

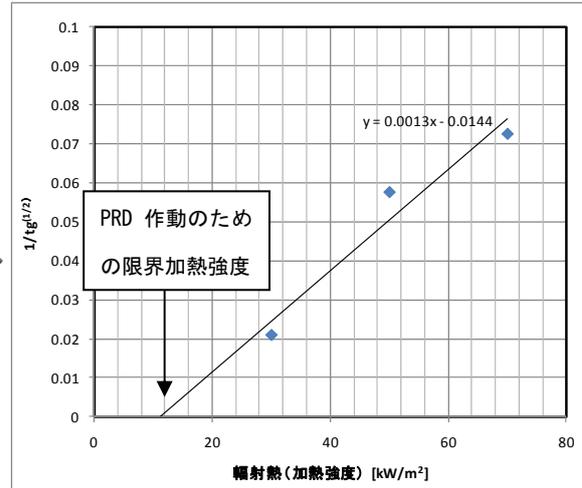
##### (図6)

##### <結果>

その結果、タイヤの発火温度になった際に安全弁が受ける熱流束  $11[\text{kW}/\text{m}^2]$ よりも、安全弁作動限界加熱強度(安全弁が作動するために必要な熱流束)  $12[\text{kW}/\text{m}^2]$ が大きいため、下層階に火災が発生しても、FCV と同じ階層に火炎が存在しなければ安全弁は作動しないことが分かり、未燃ガスが充満する前に放出した水素が着火し、爆発する恐れがないことが分かった。



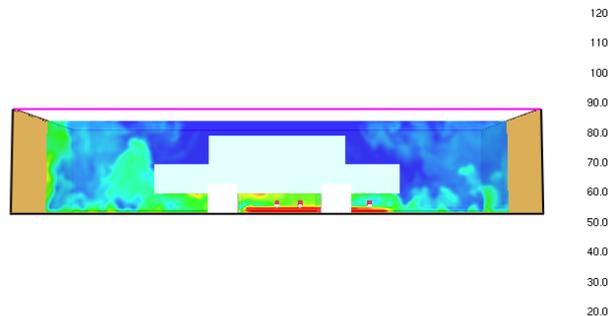
輻射熱による安全弁動作試験



輻射熱と安全弁作動時間の関係

( $T_g$ : 安全弁作動時間)

Smokeview 5.4.3 - Aug 31 2009



床からの輻射熱による車両周囲の温度

(数値シミュレーション結果)

図6 下層階での火災による安全弁作動可能性検討

得られた成果は、国際海事機関の国際海上輸送における技術基準の策定に活用された。

## 2) 衝突・火災事故後の安全性評価

2015年のFCVの一般ユーザーへの普及開始を踏まえると、FCVに係る事故や火災の発生が十分に想定される。FCVを含む事故・火災後の対応を考えると、ガソリン等の液体燃料を搭載した車両とは、大きく異なる事態が想定される。これに対して、FCVを含めた事故・火災後の処理を安全確実に実施するための知見は十分とは言えない。従って、2015年の一般ユーザーへのFCVの導入開始・普及拡大に先立って、これらの知見を確保し、必要に応じて、基準・標準化することが、必要である。そこで、一般社団法人日本自動車工業会および火災関係の専門家などと連携し、衝突事故や火災事故後の乗員救助から車両の撤去に関わる作業シナリオおよびその中で必要となる研究課題を抽出した。(図7および図8)

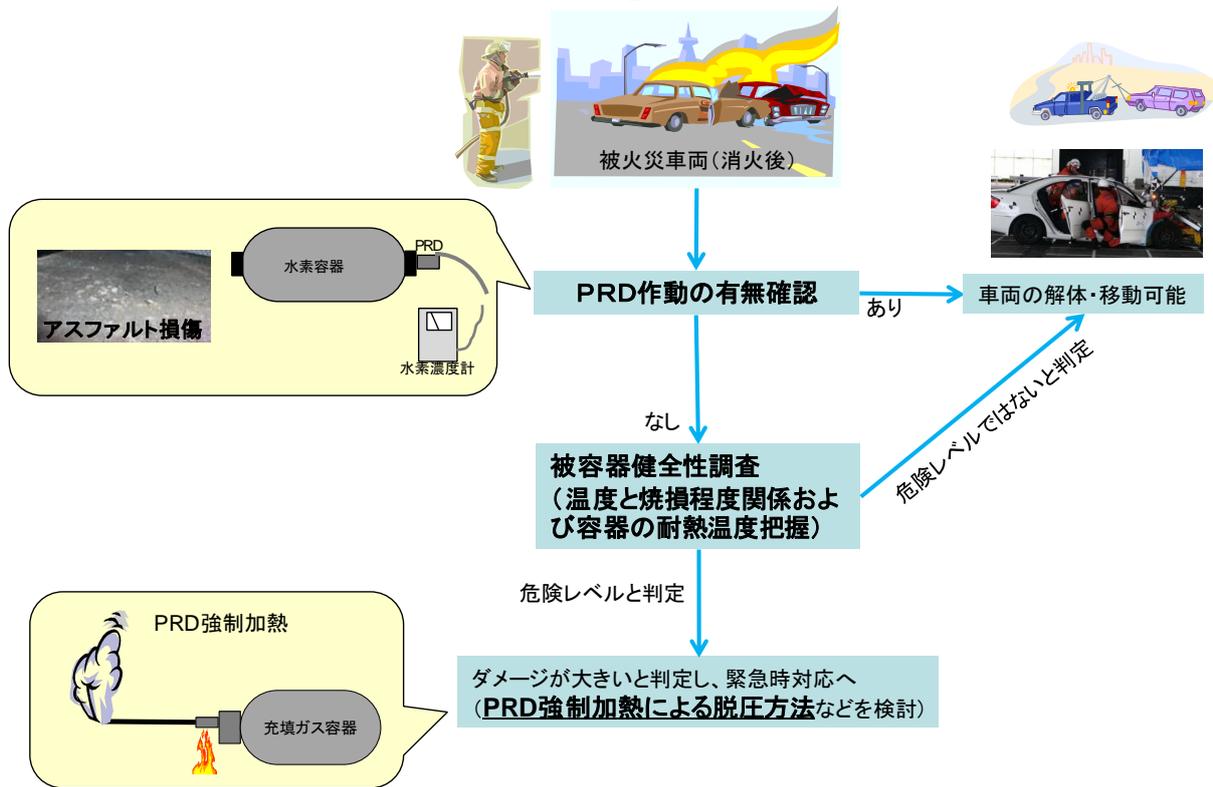


図7 火災事故後の作業シナリオと研究課題

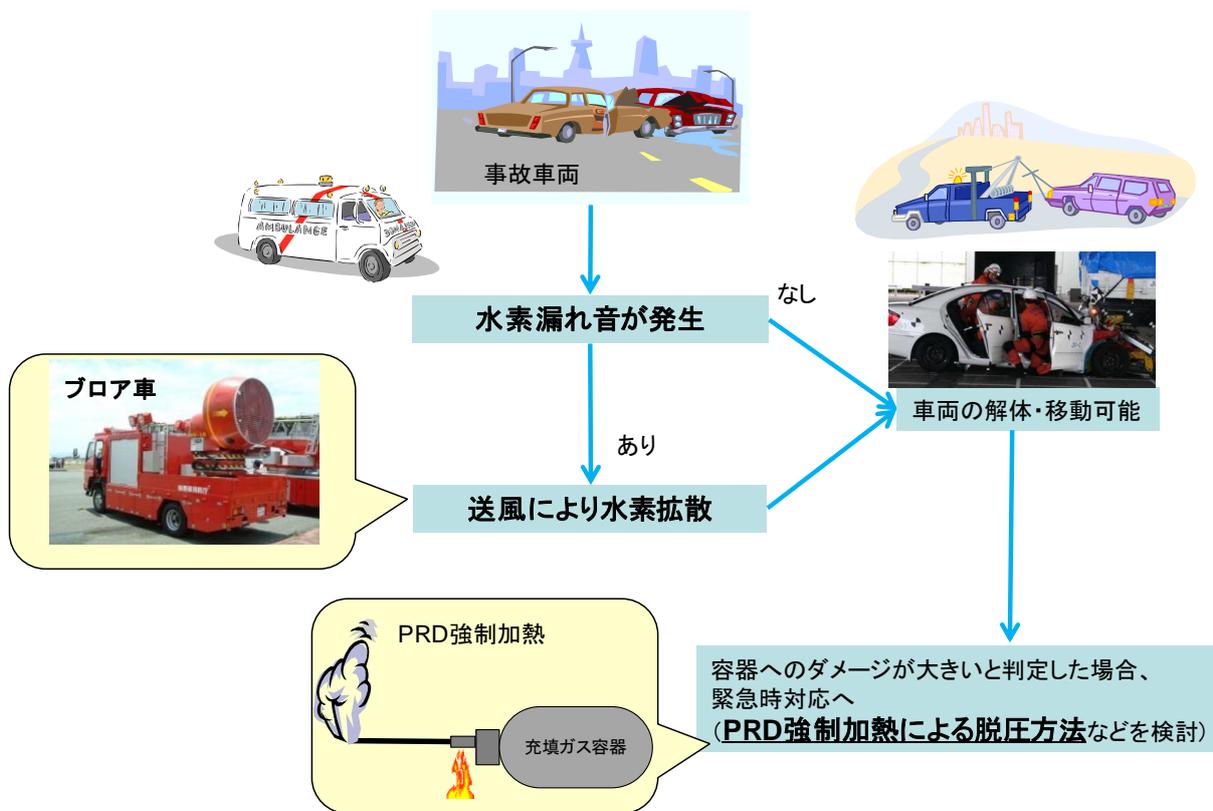


図8 衝突事故後の作業シナリオと研究課題

上記の結果、早期に実施すべきものとして、以下の課題が抽出された。

- 送風による水素拡散の効果
- 水素漏れ発生音と漏れ量の調査
- 鎮火後における安全弁の作動調査
- 車載容器の健全性把握方法の調査
- 容器の脱ガス方法の検討
- 熱作動式安全弁再閉塞確認試験法開発

これらの研究項目について試験を行った。本項における具体的な取り組み成果(ア.~カ.)を、それぞれ目的、方法を含めて、以下にまとめる。

#### ア. 送風による水素拡散の効果

##### <目的>

HFCV を、より安全に安心して使用するためには、衝突や火災後の事故処理に関わる安全な作業工程を事前に検討しておく必要がある。事故処理の一連の作業工程の中で、安全上、課題が残された事象のひとつに、水素ガスが漏れたままの状態、事故処理をしなければならない場合がある。具体的には、衝突事故などにより水素漏れが発生している中で、車両に閉じ込められた乗員を救助する場合、あるいは地下駐車場などで水素漏れが止められない車両を安全な場所へ移動したい場合などがある。このような事態に直面した際の安全な方策のひとつとしては、送風機で風を送りながら、漏れている水素ガスを最小可燃限界以下に拡散させながら事故処理作業をする方法がある。そこで、乗用車の車両底部から水素ガスが漏れた場合を想定し、送風による水素の拡散効果および安全性を調べるため、救助者の安全性に着目した送風を伴う車両周囲の水素濃度の計測、および引火試験を実施し、送風した場合の有効性を調べた。

##### <方法>

車両床下中央から水素を漏洩させ、送風した場合の車両周辺や車底部、および救助時を想定したドア開口時の車室内の水素濃度を測定した。水素は、車両床下中央の地上高 200mm の位置に設置した内径 4mm のパイプから、車両に向け(上方)で、2000NL/min で放出した。この量は、普通乗用車の出力を約 200kW とした場合に燃料電池が要求する水素消費量相当であり、これを事故時における最大の水素漏洩量と仮定した。(図9)

##### <結果>

風上側から車両に近寄れば、救助者が着火源となる可能性は少ないが、送風量が少ないと、その反対側では、可燃範囲が広がってしまうことなどが明らかになった。(図10および図11)

なお、現在、送風量のさらなる増大およびダクトを利用した場合の水素拡散効果について調査中である。

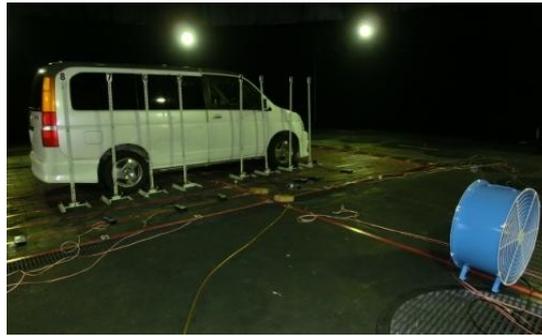


図9 送風状態での車両周囲の水素濃度計測

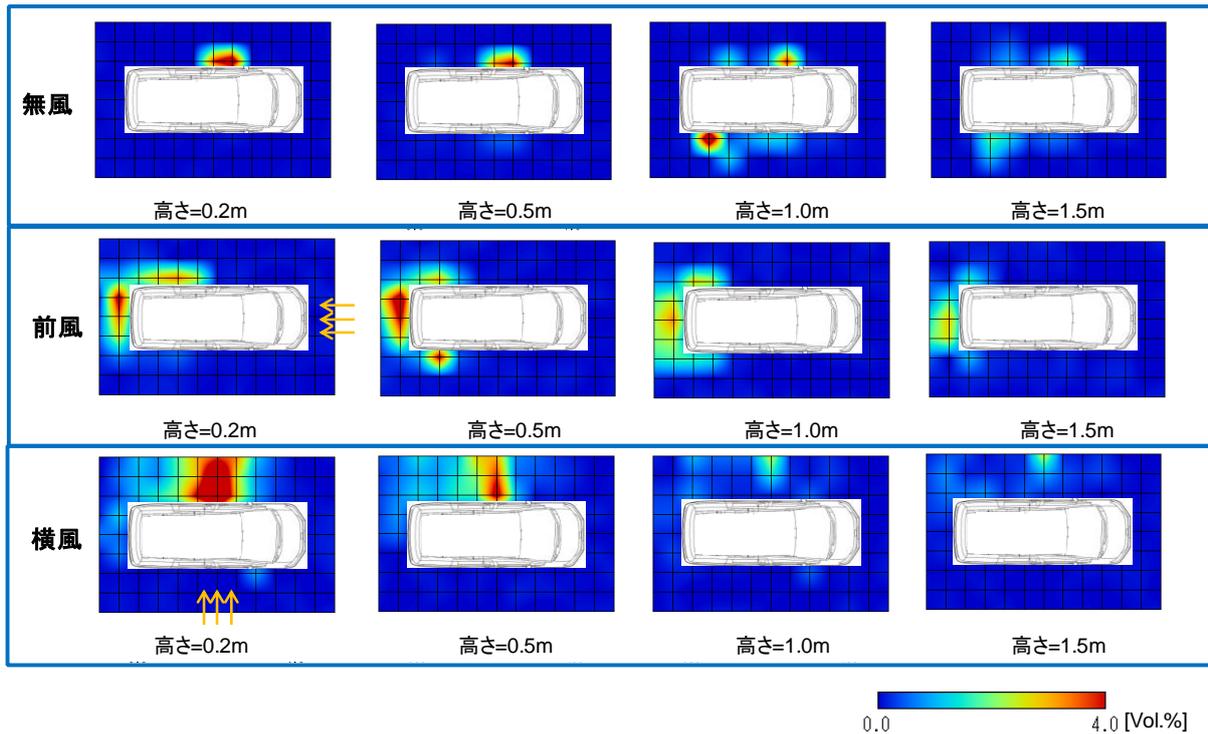


図10 車両周囲水素濃度(送風ファン(平均 7m/s)を車両から 5m に設置した場合)

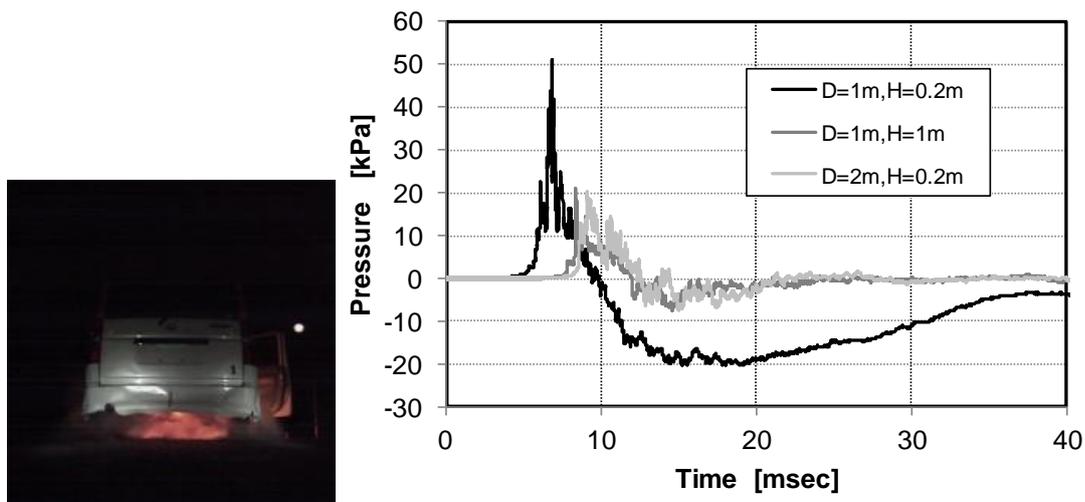


図11 素漏洩引火試験状況と引火時の車両周囲圧力計測の一例

#### イ. 水素漏れ発生音と漏れ量の調査

##### <目的>

事故車両からガス漏れ音が聞こえた際の救助の安全性を検討するため、最小可聴音の際の最大水素漏洩量を把握する。また、漏れ音の情報から漏れの有無や漏れ箇所の特特定ができるかを調査する。

##### <方法>

水素漏れと騒音レベルの関係を調べる。また、音源探査装置や周波数分析により、漏れの有無(超音波ガス漏れ検知器の有用性)や漏れ箇所の特特定(音源探査装置の有用性)、水素固有の音があるのか(識別の可能性)について調べる。

##### <結果>

予備試験の結果、以下の諸点が明らかになった。

- ・ 流量増大により音圧レベルが高くなる。また、ノズル径が小さいほど、音圧レベルが高くなる。よって、漏れる径が大きいほど、可聴しにくく危険である。
- ・ 水素漏れ音の周波数分析では 40KHz までは特に顕著なピークが見られない(ホワイトノイズ)
- ・ 同じ距離でも、車両の周囲で聞こえる部分と聞こえにくい部分が存在する。
- ・ 最小可聴の最大水素漏れ量は 80NL/min 程度(車両から 5m 位置)であり、引火時の漏れ流量としては、特に問題のないレベルである。

今後、機器選定を行い、より正確にデータを得る予定である。

#### ウ. 鎮火後における安全弁の作動調査

##### <目的>

火災事故後の車両を安全に輸送するためには、安全弁が作動したかどうかを判断する必要がある。そこで外観から安全弁が作動したかを判断するための判定方法を開発する。

##### <方法>

充填圧 5MPa の水素容器を搭載した車両火災試験(図12)を行い、以下の安全弁作動判定方法が有効であるかを確認する。

- a)容器のベント管付近の水素濃度計測
- b)安全弁、ベント管およびその周囲の温度計測、アスファルト路面の外観観察



点火2分後

PRD 作動(点火 17 分 23 秒)

点火2時間後

図12 車両火災試験

<結果>

a) 鎮火後、安全弁ベント管付近の水素濃度計測(図13)

鎮火直後、車両から発生したガス(炭化水素系ガスなど)には干渉せずに、問題なく容器内の水素ガスが検知できた。また、試験1ヶ月経過後も、ベント部で容器内残留の水素が確認でき、有効が確認できた。また、ガス吸引時の配管内の減圧状況を調べることで配管系の健全性についても確認できる。

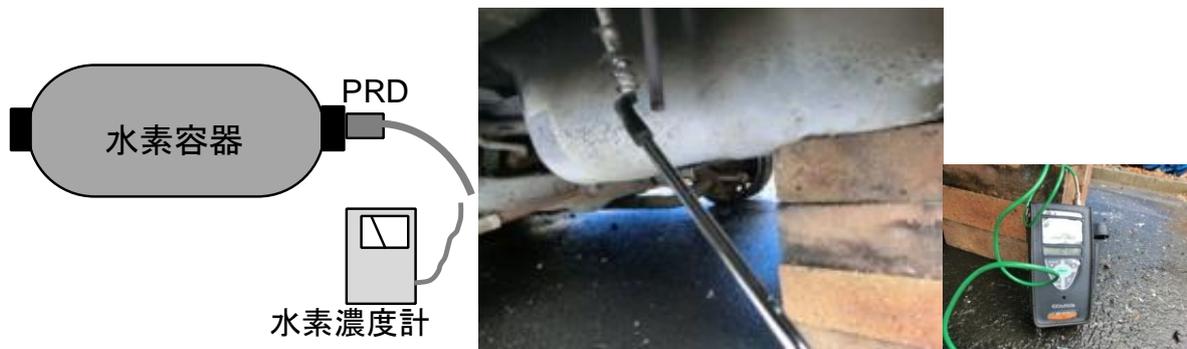


図13 焼損車両のベント管での水素濃度計測

b) 安全弁、ベント管およびその周囲の温度計測(図14および図15)

ベント管直下のアスファルト路面は最大 1000°Cに達し、その部分では、直径約 30cm 深さ約 3cm が陥没し、アスファルトの骨材である採石が観察された。このことから、ベント管近傍のアスファルトの焼損によって安全弁の作動状況が判定できる可能性があることが分かった。

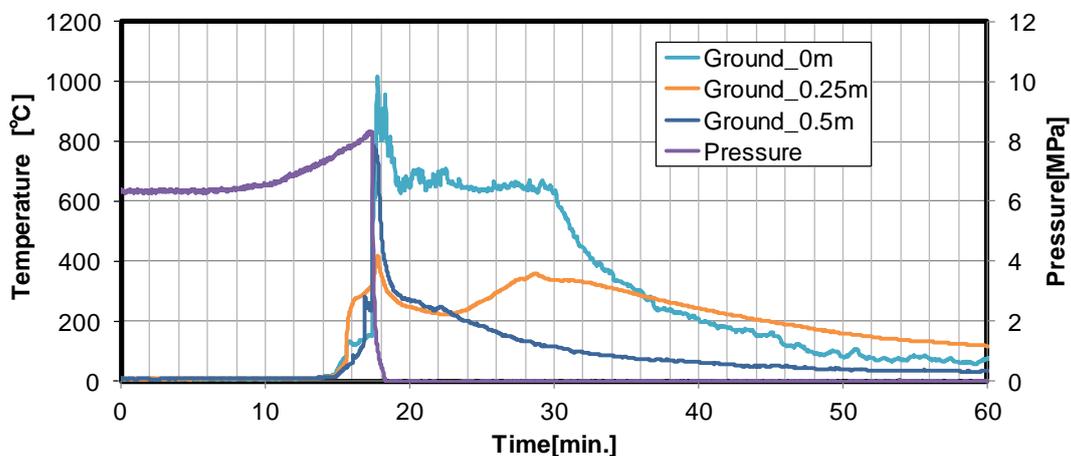


図14 アスファルト路面の温度履歴



図15 アスファルト路面の損傷状況

## I. 車載容器の健全性把握方法の調査

### <目的>

車両は一部焼損しているが、容器にはあまり焼損が見られない場合の容器の健全性を把握するため、サーモラベルやサーモ塗料による情報によって容器の健全性を識別できるかを調査する。

### <方法>

容器健全性の評価方法として、以下の2つの試験を実施する。

#### a)自動車用複合容器の耐熱劣化温度の把握とサーモラベル(塗料)の有用性

ガスを充填した容器を最大 300°C程度で約1時間(火災発生から鎮火までの想定)炉の中に入れる。容器が破裂しなかった場合、ガスを抜き、水破裂試験で耐圧を調べる。

#### b)温度と容器表面の焼損程度の関係

CFPR 容器から切り出した容器片を 100°C~800°C(100°C刻み)で炉の中に入れ、容器表面の変色や煤などを観察する。

### <結果>

試験は 10 月末までに実施する予定である。

## オ. 容器の脱ガス方法の検討

### <目的>

事故によって、容器にダメージが認められ、車両を安全な場所へ移動することが不可能であり、現場にてガスを抜きたいという場合がありうる。しかし、緊急用のガス抜き弁が破損し、作動不能の場合も想定される。その際の手段として、安全弁を強制的に加熱し、ガスを抜く方策が考えられる。そこで、これによって、安全にガス抜きができるかを調査する。

### <方法>

基礎データとして、どの程度の熱量で安全弁を加熱すれば良いかを調べるため、輻射熱による安全弁作動試験を実施し、安全弁単体での加熱強度を調べる。また、実際に容器に装着された安全弁をヒータなどで強制加熱し、安全なガス抜き方法を調べる。

### <結果>

これらの結果(図16)、安全弁単体の加熱強度としては、10 分以内に安全弁を作動させるためには、30kW/m<sup>2</sup> 以上の熱量が必要であること、また、熱流束が高くなると、溶栓式に比べてガラス式の方がレ

スポンスが早いことなどが分かった。

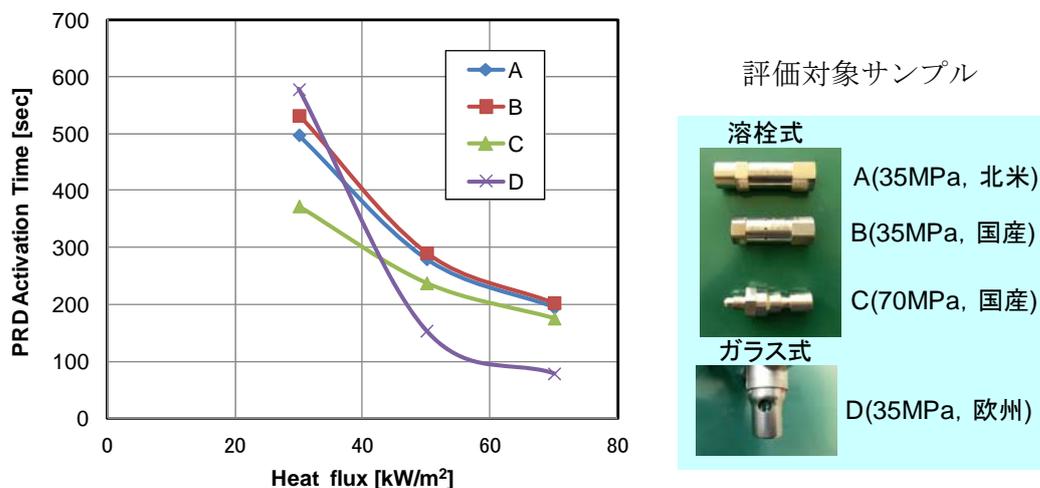


図16 安全弁作動と輻射熱の関係

今後、実際の容器から安全にガスを抜く方法を確認する予定である。

#### カ. 熱作動式安全弁再閉塞確認試験法開発

##### <目的>

過去の実験において、安全弁 (PRD) 作動時の水素放出および水消火時において、溶栓式 PRD が再閉塞した事例があった。作動時に再閉塞する可能性のある熱作動式 PRD を市場から排他するための再閉塞確認試験法を開発する。

##### <方法>

第一歩として、構造要件として再閉塞する PRD を識別できるかを把握するため、再閉塞した PRD の構造を調査する

##### <結果>

本件については、現在調査中である。

#### ②車載用高圧水素容器／容器附属品の基準適正化活動

2004 年、我が国では FCV の実用化を図ることを目的に、圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 (JARI-S001) および附属品の技術基準 (JARI-S002) が例示された。しかし、普及促進を図るには、安全性を前提とした技術基準をさらに合理化する必要がある。また、圧縮水素を燃料とする FCV の安全基準を定める道路運送車両法の見直し、UN-ECE/WP29) での HFCV gtr も重要課題である。これらの技術基準改訂に向けたデータを取得するため、以下の課題について検討し、基準・標準化に資する基礎データを構築した。

- ・ 使用環境負荷試験
- ・ HFCV-gtr/SAE J2579 の液圧サイクル試験

- ・ 容器単体局所火炎暴露試験
- ・ ガスシリーズ試験
- ・ 熱作動式安全弁の評価試験

上記各項目に関する取り組み成果(ア.~エ.)を、それぞれ目的、方法を含めて、以下にまとめる。

## ア. 使用環境負荷試験

### <目的>

国内新基準「70MPa 圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 (KHK S 0128)」では、新たに液圧シリーズ試験(使用環境負荷試験)が提案されている。これらの試験を実施する上での問題点の把握および現状容器の実力値把握を行う必要がある。そこで、現行基準 JARI S001 を満足する容器を使用して、新基準 KHK S0128 で提案されているを実施し、試験を実施する上での問題点の把握および現状容器の実力値把握を行った。

### <方法>

以下の容器仕様の容器(各1個)について、図17に示す評価試験法に従って試験を実施した。

#### 評価対象容器仕様

容器1: 35MPa\_VH3\_28L\_16kg

容器2: 70MPa\_VH3\_36L\_44kg

容器3: 70MPa\_VH4\_37L\_33kg

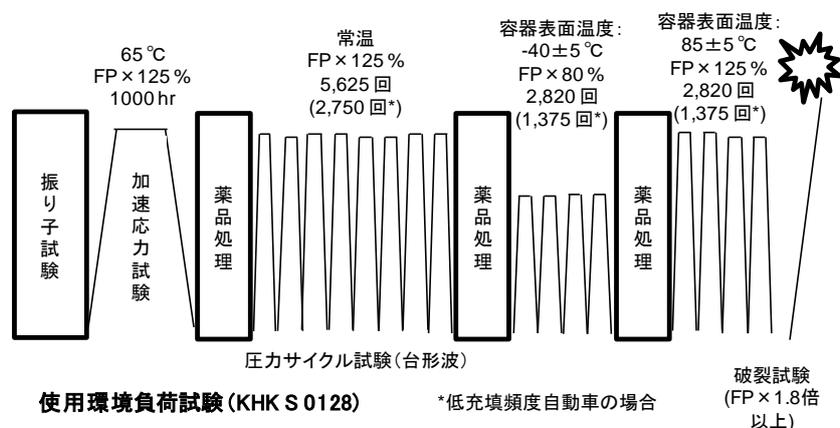


図17 使用環境負荷試験

### <結果>

供試 35MPa\_VH3 容器および供試 70MPa\_VH4 容器は不具合なく終了した。供試 70MPa\_VH3 容器の場合、加速応力試験前後の高温・低圧時にライナーの残留応力が低下し、疲労寿命が低下した可能性があるため、使用環境負荷試験の中の加速応力試験の過程においては、加熱・加圧の試験手順の記載が必要であることなどが明らかとなった。その他に、使用環境負荷試験を実施する上での問題点は特に確認できなかった。

## イ. HFCV-gtr/SAE J2579 の液圧サイクル試験

### <目的>

国際基準 HFCV-gtr/SAE J2579 では、新たに液圧シリーズ試験が提案されている。これらの試験を実施する上での問題点の把握および現状容器の実力値把握を行う必要がある。現行基準 JARI S001 を満足する容器を使用して、HFCV-gtr、SAE J2579 で提案されている液圧シリーズ試験を実施し、試験を実施する上での問題点の把握および現状容器の実力値把握を行った。

### <方法>

以下の容器仕様の容器(各1個)について、図18に示す、評価試験法に従って試験を実施した。

#### 評価対象容器仕様

容器1: 35MPa\_VH3\_28L\_16kg

容器2: 70MPa\_VH3\_36L\_44kg

容器3: 70MPa\_VH4\_37L\_33kg

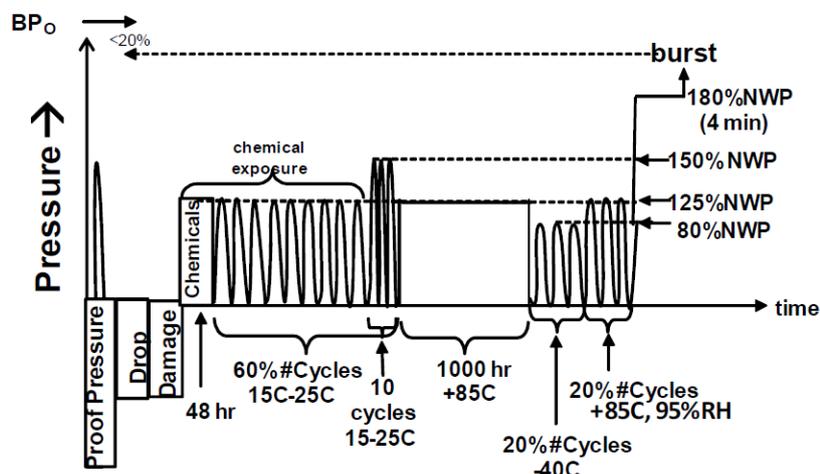


図18 液圧シリーズ試験

### <結果>

供試 70MPa\_VH3 容器および供試 70MPa\_VH4 容器は不具合なく終了した。供試 35MPa\_VH3 容器の場合、加速応力試験前後の高温・低圧時にライナーの残留応力が低下し、疲労寿命が低下した。そのため、KHK S 0128 と同様に、液圧シリーズ試験の中の加速応力試験の過程においては、加熱・加圧の試験手順の記載が必要であることなどが明らかになった。その他に、液圧シリーズ試験を実施する上での問題点は特になかった。

## ウ. 容器単体局所火炎暴露試験

### <目的>

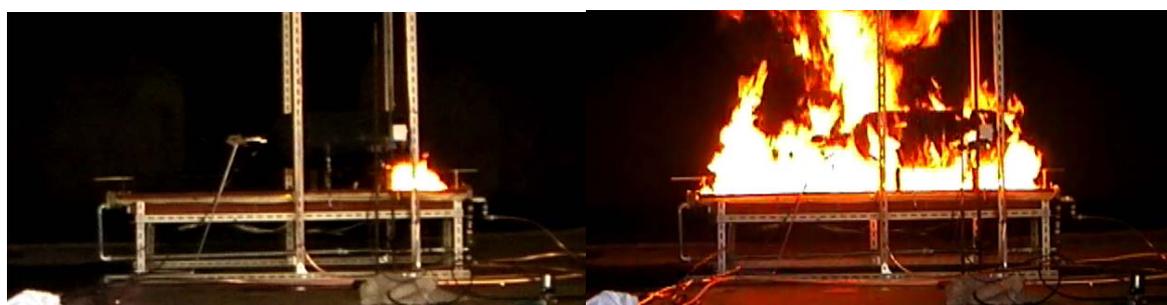
UN-ECE/WP29/AC3 HFCV gtr では、実市場での車両火災では、火災発生初期に高圧水素容器が局所的に火炎に暴露される場合があることを想定し、定められた温度プロファイルに火炎温度を制御しながら実施される局所火炎暴露試験が提案された。そこで、局所火炎暴露試験を実施するためのバーナ開発ならびにそれをを用いた本試験法の妥当性検証や問題点抽出を行う必要がある。

#### <方法>

これまでの高圧容器火炎暴露試験で用いたバーナの開発により JARI が蓄積してきた知見を生かして、局所火炎暴露用バーナを開発した。それらを用いて、温度プロファイルの設定制度の検証ならびに本試験法の検証を行った。

#### <結果>

本試験用に開発したバーナを評価した結果、プロパンガスバーナの欠点であるバーナポート近傍において局部的に温度上昇する点は改良することができ、規定された温度プロファイル通りに容器を均一に加熱することができた。また、本バーナを用い、35MPa および 70MPaVH3 容器の局所火炎暴露試験を実施し、現状容器の実力値も把握した。この結果、供試容器に関しては、特に対策しなくても本試験をパスすることができるなどが明らかになった。(図19)



局所火炎領域時

全面火炎領域時

図19 局所火炎暴露試験の状況

HFCV gr で提案された局所火炎暴露試験の検証・問題点抽出ならびに現状容器の実力値を把握するため、安全弁を不作動にさせた三種類の自動車用高圧水素容器の局所火炎暴露試験を含めた火炎暴露試験を実施した。その結果を図20に示す。容器 A(35MPa, VH3 容器)に関しては、火炎形態が局所火炎のみ、全面火炎のみ、局所火炎(局所火炎 8 分経過後に全面火炎へ移行)の三種類で異なっても、容器の破裂圧は約 55MPa であった。また、局所火炎での暴露時間が 8 分間加わっても、全面火炎移行後から容器が破裂するまでの時間は全面火炎のみの時間とほぼ同じであった。一方、供試した三種類の容器は、安全弁を装着すれば局所火炎暴露試験(局所火炎 8 分経過後に全面火炎へ以降)に合格する実力があることや容器 C(70MPa, VH4 容器)は破裂せずにリークで終了することなどが明らかになった。

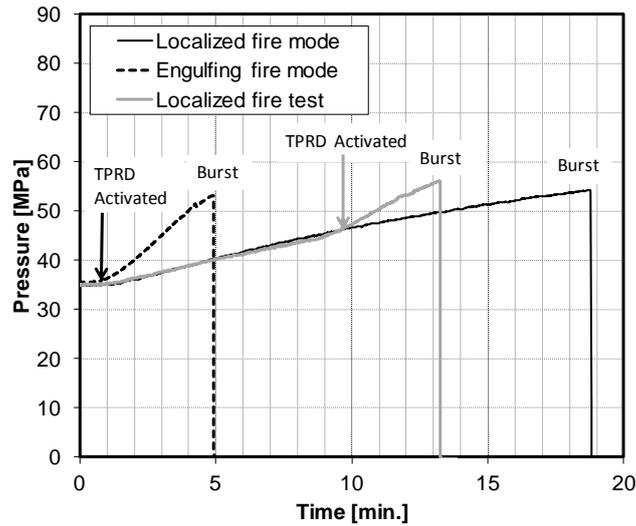


図20 容器 A(35MPa,VH3)容器の各種火炎形態の違いによる試験時間と容器内圧

## I. ガスシリーズ試験

### <目的>

国際基準 HFCV gtr では、水素ガスを用いて水素充填・放出を連続して繰り返すガスサイクル試験が提案されている。そこで、ガスサイクル試験を含む HFCV gtr で提案されているガスシリーズ試験を行い、試験を実施する上での問題点を把握した。

### <方法>

ガスシリーズ試験は、図21に示すガスサイクル試験とガス透過試験を交互に2回ずつ繰り返して行う。本試験では、これらの2つの試験に先立ち、容器の初期のガス透過性能を把握するために透過試験を行った。なお、ガスサイクル試験におけるサイクル数は HFCV gtr に規定されている回数より縮減して実施した。試験容器は VH4 容器(容積 36L)を使用した。

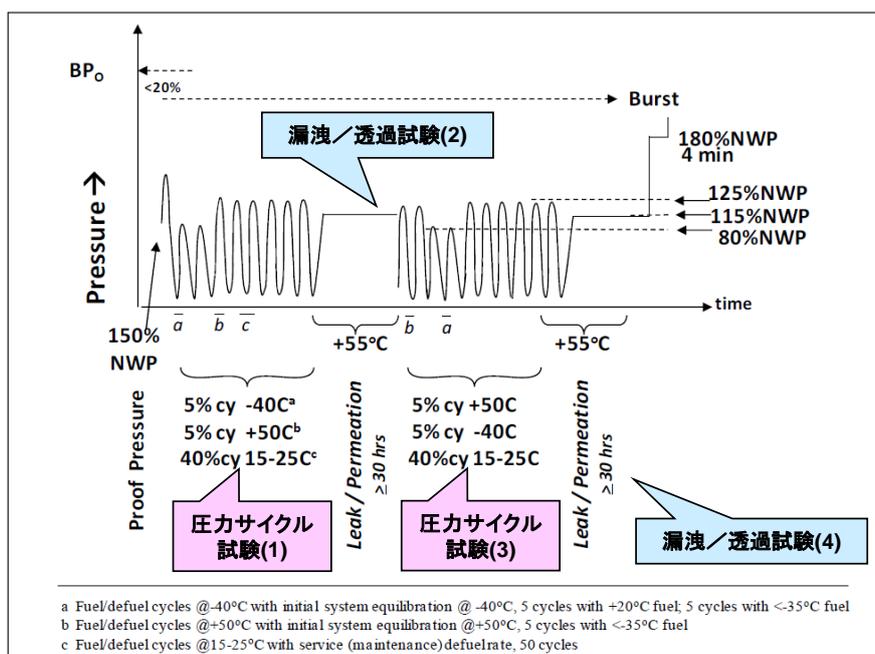


図21ガスシリーズ試験

<結果>

ガス圧カサイクルおよびガス透過試験を実施した結果、以下の成果を得た。

- ・ サイクル数を縮減して試験を実施した結果、全体の試験期間の長期化や、ガス透過試験の試験時間について検討が必要である等、細かな部分については課題があるものの、一連の試験自体は実施可能であることが世界で初めて検証できた。
- ・ サイクル放出時の温度平衡条件についてはより明確化する必要がある、かつその条件によっては試験を長期化にするため、より合理的な方法の検討が必要である。

上記の試験結果より、本試験条件における、容器への熱負荷および温度平衡に関する妥当性を検討する必要があると考えられる。これらの得られた成果は、国際基準化活動での基準策定に資するデータとして提供される予定である。

オ. 熱作動式安全弁評価試験

<目的>

国際基準(HFCV gr)で検討されている附属品基準においては、ガラスボール方式を含む熱作動式安全弁(TPRD)が対象とされており、国内導入に資するデータを取得する必要がある。そこで、TPRDに関する試験を行い、試験を実施する上での問題点の把握を行った。

<方法>

具体的な試験内容を以下にまとめる。

供試安全弁

- ・ガラスボール式安全弁
- ・溶栓式安全弁

## 試験内容

- ・圧力サイクル試験(水素ガス)、11,000 回
- ・加速寿命試験(水素ガス)
- ・温度サイクル試験(水素ガス)
- ・塩分腐食試験(水素ガス or 液)
- ・車両環境試験
- ・応力腐食割れ試験
- ・落下試験・振動試験
- ・リークチェック(水素ガス)
- ・作動確認試験
- ・流量試験

### <結果>

試験は 10 月末より以下に対する結果を得るために実施する予定である。

- ・ 本試験を実施する上での問題点把握
- ・ ガラスボール式と溶栓式で試験結果の差異

## ③水素充填プロトコルの標準化

充填プロトコルの安全性検証のためのデータ取得に関する取り組み成果を、以下にまとめる。

### <目的>

国内の次期実証ステーションにおいて、国際調和も勘案し、-40°Cプレクールの実用化や通信デバイスを使用し、フル充填を想定する SAE TIR J2601 に準拠した充填が検討されている。そのため実証ステーションにおける充填実施に先立ち、SAE TIR J2601 で規定された充填条件の安全性を検証するとともに、プレクールガスに曝露された際の通信デバイスの動作を検証する必要がある。そこで、SAE TIR J2601 に基づき、-40°C水素ガスを用いた急速充填試験を実施し、充填中に変化する容器内の圧力や温度が安全な範囲で充填可能かを調査することにより、プロトコルの安全性を検証した。また充填ライン中のノズルおよびレセプタクルなどの充填コネクタに装着した通信デバイスについて、低温状態における動作確認および通信への影響についても調査した。

### <方法>

プレクーラーにより冷却した水素ガスの容器への 70MPa フル充填(70MPa、15°C基準の密度換算で SOC=100%)を行った。充填初期圧力、充填速度、容器環境温度は SAE TIR J2601 の Default 通信および Alt 通信用充填マップより、常温環境や過酷環境を想定して各々7 条件を選定した。

- ・容器 : 70MPa-VH3-36L 容器, 70MPa-VH4-39L 容器, 各 1 本
- ・充填初期圧力 : 2MPa, 30MPa, 50MPa
- ・充填終了圧力 : 70MPa フル充填圧力(SOC100%)
- ・充填速度 : SAE TIR J2601 の充填条件に基づく流量(昇圧速度)
- ・容器環境温度 : -40°C, -10°C, 25°C, 40°C, 50°C
- ・充填ガス温度 : -33 ~ -38°C
- ・赤外線デバイス : SAE TIR J2601 準拠品を使用

## <結果>

試験により得られた、各充填条件における充填後の圧力と温度の関係を図22に示す。VH3 および VH4 の各容器に対して、SAE TIR J2601 に規定の条件に基づいた充填を実施した結果、すべての条件において、過昇圧状態 ( $>87.5\text{MPa}$ ) および過昇温状態 ( $>85^\circ\text{C}$ ) には至らず、SOC=100%を超えない範囲で安全に充填できることを確認した。また、充填ライン上のノズルおよびレセプタクルに設置した赤外線通信デバイスは、プレクール水素ガスを供給時も通信エラーやデータ欠落は無く、通信性能を満足した。従って、SAE TIR J2601 に準じた充填の安全性を確認した。これらの結果は 70MPa 水素ステーションの例示基準の充填条件としても採用された。

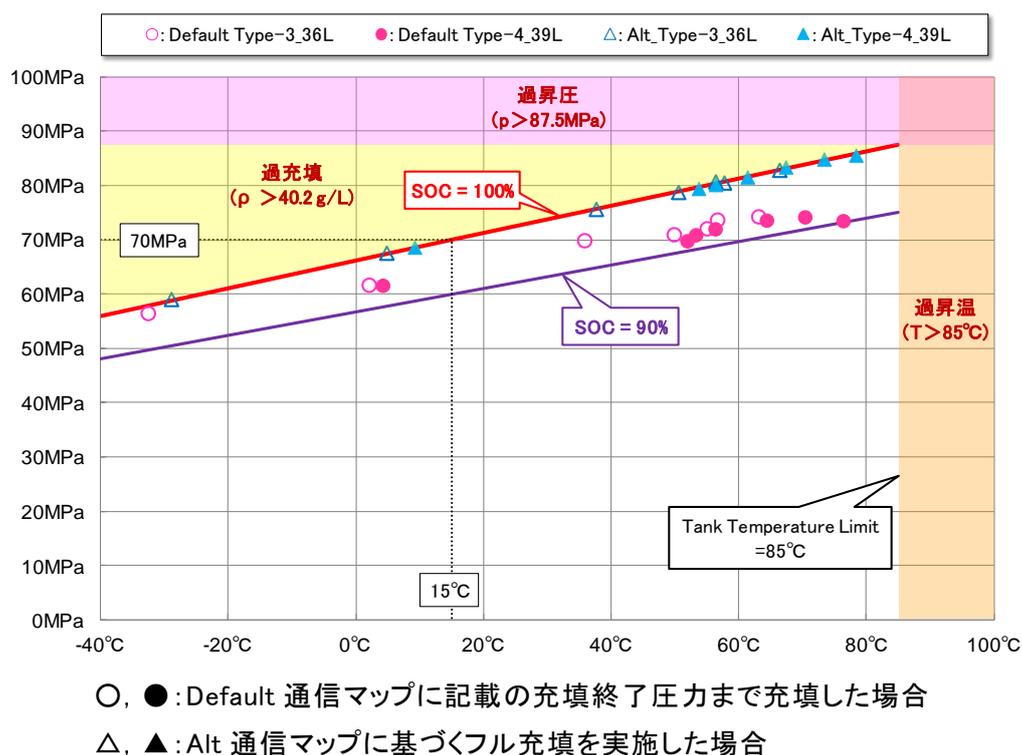


図22 試験結果と安全な試験範囲との比較

## ④水素充填コネクタの標準化

ノズル・レセプタクルの氷結現象に関する取り組み成果を、以下にまとめる。

### <目的>

国内の次期実証ステーションにおいて、 $-40^\circ\text{C}$ プレクールの実用化やフル充填を想定する SAE TIR J2601 に準拠した充填が検討されている。 $-40^\circ\text{C}$ プレクール実用化で先行している海外ステーションにおいては、ノズル・レセプタクルに結露した水などが氷結し、ノズルが外れなくなる事例が報告されている。そのため、水素ステーションにおける $-40^\circ\text{C}$ プレクール導入に先立ち、ノズル・レセプタクルの氷結現象および安全性の検証が必要となっている。そこで $-40^\circ\text{C}$ プレクール充填を想定したノズル・レセプタクルの離脱試験を実施し、ノズル・レセプタクルの氷結の確認を行った。また、離脱、装着操作時における水素漏洩の有無の確認も行った。

### <方法>

レセプタクルシール構造を有するノズルおよびレセプタクルを使用し、充填間隔毎に水素ガスをノズル+レセプタクルに圧力 35MPa で 3 分間、流量 650g/min で循環流通させ、脱圧した後に手動で離脱可否を確認した。充填は氷結するまで繰返し実施し、固着する(離脱不可)の場合は、固着に至るまでの充填回数をカウントし、あわせて固着解消までの時間を測定した。また試験中のガス漏洩は、ガス検知器で測定した。環境温度は、過酷環境における使用を想定し、-10℃、15℃、30℃、湿度を 60%および 95%とした。さらに使用中の水分付着を想定し、ノズルおよびレセプタクルに霧吹きよる水分を付加した条件の試験も実施した。

### <結果>

水素供給後のノズルおよびレセプタクル離脱時の様子を図23に示す。



図23 水素供給後のノズル・レセプタクルの状況

すべての試験条件において、ノズルおよびレセプタクルは、プレクールガスの流通により冷却され、水分(露または霜)が付着した。

試験の結果、以下の事項が明らかとなった。

- ・ ノズルの固着は、スリーブ隙間およびチャック部に事前に水分付着があり、低温度環境、ノズルの乾燥不足といった、水分が存在する(しやすい)条件で氷結に至った。
- ・ 氷結による水素漏洩および O-リングへのダメージは確認されなかった。

また、本試験により、ステーションにおける実際の充填を模擬した水素供給を実施したところ、ノズルおよびレセプタクルの氷結現象を再現し、水分の影響を抑える対策が必要であることが明らかになった。本試験で得られた成果は、ISO17268 へ提案を予定している充填ノズル評価試験方法案の策定に資するデータとして提供するとともに、国内の 70MPa 水素ステーションの例示基準にも採用された。

### ⑤ その他国際標準化に関わる技術検討

下記の項目について、本事業等で取得した技術・試験データを国際標準化および HFCV gtr の議論に活用し、それらの議論を日本の主導にて進めることに貢献した。また、これらの標準化活動の促進のため、米国 DOE 等と標準化に係る情報交換を実施した。

### ア. 車載容器基準・標準

国内基準と整合する HFCV gtr を発行し、ISO に展開するという(一社)日本自動車工業会の基本

戦略に則り、技術データを取得・提供するとともに、関係者間の情報共有に貢献した。

国内基準 KHK S 0128 ならびに別添案文作成にあたっては、平成 21 年度に実施したガス透過試験データを提供し新基準値策定に貢献した。

関連する ISO/DIS15869. 4 投票においては、HFCV gr との整合を想定すると、技術的不整合が認められることから反対投票を行い否決された。併せて、水素系材料評価法検討会を開催し、高圧水素環境下で使用する金属材料の評価について、国内有識者の意見を整理した。

#### イ. 充填コネクタ

35MPa 仕様のレセプタクル構造を規定する ISO/DIS17268 発行後、70MPa 仕様の標準構造について、図24に示すレセプタクル側シール構造とノズル側シール構造が最終選考対象となり、主として米国 SAE J2600 の場で議論が進められた。議論が膠着したが、国内外関係者との協議により、レセプタクル側シール構造で国際統一することで合意が得られ、議論の過程で、平成 20 年度 NEDO 事業で実施した経年劣化耐久試験を ISO に反映した。当該 ISO/DIS17268-2 は反対票なしで採択され、平成 24 年 7 月の FDIS 投票の結果、承認された。国内合意形成に向けては、充填プロトコル SWG を通じて、燃料供給者、ステーション供給者、自動車メーカー等関係者に周知し意見を聴取するとともに、ISO/TC197/WG5 国内対応委員会を開催して、国内意見をまとめた。

欧米においては、 $-40^{\circ}\text{C}$ プレクール充填時の課題として、ノズル・レセプタクルに生じた氷結によってノズルを脱離できなくなる現象が指摘されているが、JARI で再現試験を実施し、ノズル・レセプタクルに生じた氷結の有無によらず水素漏洩は発生しなかった旨を国内関係者に周知した。

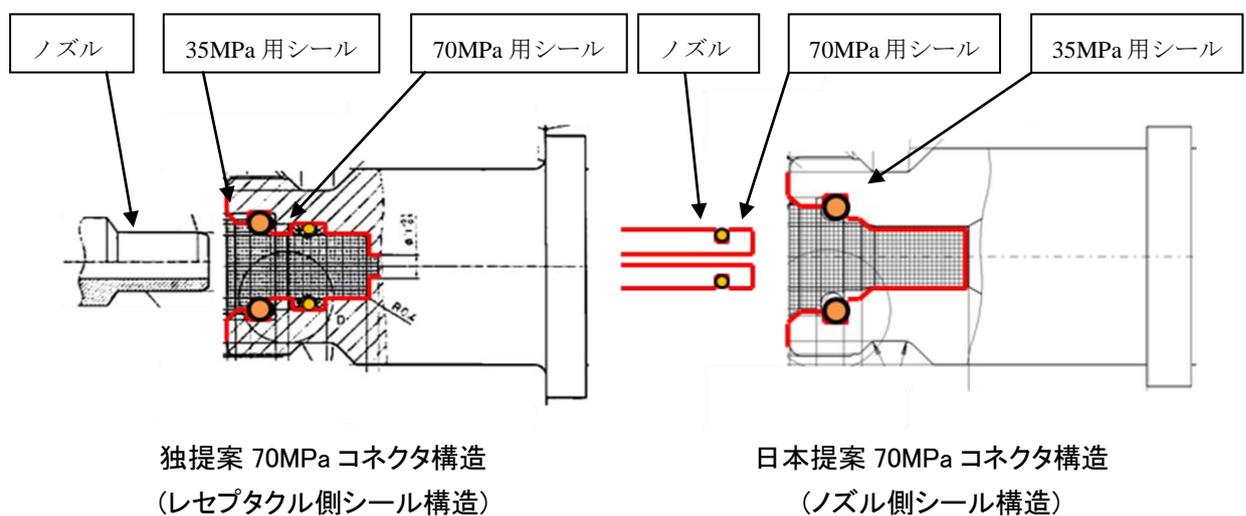


図24 70MPa 仕様のシール構造案

#### ウ. 充填プロトコル

水素ステーション実証事業と連携し、SAE J2601 プロトコルを実践的で効率的な商用プロトコルとするべく、国内関係者の意向を踏まえ、SAE に対して修正案を提案した。併せて、充填プロトコル

SWG を通じて、燃料供給者、ステーション供給者、自動車メーカー等関係者に周知し意見を聴取し、現行プロトコルの安全検証やノズル氷結に関する関係者要望を整理して試験内容に反映させるとともに、得られた成果を関係者に周知し情報共有に寄与した。

急速充填試験により、国内基準に適合するよう充填上限圧を 70MPa とした場合の温度・圧力・SOC を確認し、過昇温状態 (>85°C)・過昇圧状態 (>87.5MPa)・過充填状態 (>100%)には至らず安全性を検証することができ、以って 70MPa 充填に関する業界自主基準 JPEC S003 の策定に貢献し、国内の 70MPa 水素ステーションの例示基準として採用された。

#### イ. 衝突・火災事故後の安全対策に係る標準化

FCV 事故後の安全な対応方法の標準化を進めるため、水素漏洩試験・火災試験等を実施し、当該成果の具体的なアウトプット先について検討した。

HFCV gtr で審議されている衝突試験後の車室内水素濃度計測方法の妥当性を調査するために、衝突後を模擬した車両における車室内の水素濃度計測を行い、HFCV gtr に提案された当該試験法が正確で再現性の高い結果が得られる試験ではないことを示し、衝突試験後の車室内水素濃度試験方法については、HFCV gtr Phase 2 での再検討課題とする日本の意向を国際審議の場に反映することができた。

#### オ. その他国際標準化

##### ISO/TC197/WG12(水素燃料仕様)

WG12 エキスパートによる DIS 原案合意により、平成 22 年 10 月末に DIS 原案を TC197 に送付し、平成 23 年 1 月 5 日に DIS 投票が開始された。平成 23 年 6 月 5 日に締め切りとなった DIS 投票について、賛成 12 カ国、反対 2 カ国(米国、英国)で承認された。米国からのコメント対応調整のため、JARI が DOE と協議し、WG12 国際会議に先立ち、ASTM の参照について、参考補足(Informative Annex)中の分析法のリスト表中に ASTM の規格番号を掲載することで、合意を得た。その他粒子状物質のサイズ規定に関する米国コメントも取り下げてもらったこととした。平成 23 年 11 月ワシントン会議で FDIS 最終案を取りまとめ、TC197 に提出した。その後の編集上の修正を加えた後、FDIS 投票が開始され、平成 24 年度中に発行段階となり、HFCV 用の水素燃料仕様の国際規格が制定されることになる。

既に発行された ISO/TS14687-2 と IS 化を目指す ISO/FDIS14687-2 の規格値について、表 2 に示す。

また、米国 SAE J2719(HFCV 用水素燃料規格)の本規格化において、粒子状物質のサイズ規定について、独自の案も出されていたが、ISO/TC197/WG12 事務局として日本よりコメント活動の上、ISO14687-2 と全ての規格値を整合するよう修正することで SAE と合意した。ISO と整合した SAE J2719 は平成 23 年 9 月に発行されている。

これらの審議に際して、NEDO「固体高分子形燃料電池実用化推進技術開発／基盤技術開発／セル評価解析の共通基盤技術」にて実施された水素燃料中不純物の影響調査の成果が活用された。

表2 FCV 用水素規格 TS と ISO/DIS14687-2 の比較

特性 (定量分析)	ISO/TS 14687-2 Grade D	ISO/FDIS 14687-2 Grade D
水素純度 (最小モル分率) <sup>a</sup>	99.99 %	99.97 %
許容最大不純物組成 (指定ない限り最大モル分率)		
全ガス (Total gases)	100 μ mol/mol	300 μ mol/mol
水 (H <sub>2</sub> O)	5 μ mol/mol	5 μ mol/mol
全炭化水素 (C <sub>1</sub> 換算)	2 μ mol/mol	2 μ mol/mol
酸素 (O <sub>2</sub> )	5 μ mol/mol	5 μ mol/mol
ヘリウム(He), 窒素 (N <sub>2</sub> ), アルゴン(Ar),	100 μ mol/mol	ヘリウムのみ 300 μ mol/mol 他 100 μ mol/mol
二酸化炭素 (CO <sub>2</sub> )	2 μ mol/mol	2 μ mol/mol
一酸化酸素 (CO)	0.2 μ mol/mol	0.2 μ mol/mol
硫黄化合物	0.004 μ mol/mol <sup>f</sup>	0.004 μ mol/mol
ホルムアルデヒド (HCHO)	0.01 μ mol/mol	0.01 μ mol/mol
蟻酸 (HCOOH)	0.2 μ mol/mol <sup>f</sup>	0.2 μ mol/mol
アンモニア (NH <sub>3</sub> )	0.1 μ mol/mol <sup>f</sup>	0.1 μ mol/mol
ハロゲン化物	0.05 μ mol/mol	0.05 μ mol/mol
最大粒子状物質サイズ	10 μ m	—
最大粒子状物質組成 <sup>e</sup>	1 μ g/L at 20 °C and 101.325 kPa	1 mg/kg
アンダーライン部が変更点		

ISO/TC22/SC21/WG2(電気自動車安全)

本分野での取り組み成果 i) ~iii) について以下にまとめる。

i) ISO6469-3(Electrically propelled road vehicles – Safety specifications – Part 3: Protection of persons against electric shock)

電気自動車全般の安全、特にパート 3(電気安全)に関しては、常に、国際・国内基準との内容の整合に努めながら国際標準化を進めてきた。具体的には、ISO 会議への参画に加え、海外の基準・規格との整合もはかるため、(一社)日本自動車工業会(JAMA)のECE100改定委員との対応検討やSAE会議への書面或いは電話による対応を行ってきた。

ii) ISO6469-4 (Electrically Propelled Road Vehicle – Safety Specifications — Part 4: Post crash electrical safety requirements)

平成 23 年 1 月から正式プロジェクトとしてスタート。前述の 3 部構成に Part 4 として加える形になる。

日本としては、道路運送車両法の保安基準と海外基準 (ECE 基準, gtr、各国基準・規格等) 等と技術的矛盾なく整合させた IS を目指す。既に、平成 23 年 11 月の国際会議で課題抽出・確認を行っており、平成 24 年 2 月ベルリンでの国際会議では本格的に技術議論を開始した。(間接接触保護、衝突後のエネルギー、バッテリー固定要件等)

iii) ISO/CD12619(低圧水素部品)

自動車用圧縮ガス燃料供給システムに於ける低圧ガス部品に関する国際標準化であるが、純水素及び水素ブレンド双方がスコープに入っている。更に、対象車両は内燃機関自動車のみならず FCV も含むものとしている。そのため燃料の性状違いによる部品に対する影響、車両の動力違いによる部品への影響等の配慮が不十分な規格案である。これらの日本コメントにより国際基準を満足する FCV はスコープから外すという NOTE を追加することになり、FCV に支障のない内容となった。

iv). SAE Safety WG

平成 22 年は、ISO6469 Part3(電気安全)並びに国際基準 ECE R100, R94/95 等で議論中のキャパシタンスエネルギー安全規定等について、SAE J2578 並びに J1766 への追加規定を提案し、検討が必要な項目として認識され、議論を開始するに至った。また、米国の FMVSS305 発行を受けて、SAE J1766(衝突後の安全)の見直しもはじまり、平成 23 年 9 月の SAE Safety WG から議論を開始している。日本は、国内基準、国際基準の内容も考慮に入れ、ISO/WD6469-4(衝突後の安全)と内容が矛盾しないようにコメントした。

特許、論文、講演、報道等の件数

年度	特許出願			論文発表			新聞報道	受賞
	出願済	登録	実施	査読付き	その他	口頭発表		
H22	0	0	0	9	7	13	0	0
H23	0	0	0	3	2	10	0	1
H24	0	0	0	1	7	7	0	0
計	0	0	0	14	16	30	0	1

## 4. まとめ及び課題

### 4.1 まとめ

水素・燃料電池自動車の普及期市場熟成に向けた安全性評価の研究開発を実施し、燃料電池自動車の基準・標準化を推進した。主な成果は以下のとおり。

#### ① 圧縮水素を燃料とする FCV の事故後の安全作業の標準化

<国際基準(HFCV-gtr)への寄与>

- 衝突試験後の車室内水素濃度計測手法の妥当性を検証
- 車載容器の局所火炎暴露試験法策定に必要な車両火災試験データを提供
- 局所火炎暴露試験用バーナーを世界に先駆けて開発
- 試験実施体制の構築

<国際基準(海上輸送技術基準)への寄与>

- 床下からの輻射熱による安全弁作動有無を確認
- 下層階での火災による FCV への影響等について、安全上問題ないことを確認

<警防活動時等における安全管理マニュアルなどに資するデータ取得>

- FCV 事故後の漏洩水素の送風拡散効果の検証
- 水素漏れ発生音と漏れ量の関係を調査
- 車載容器の残圧確認手法の開発
- 車載容器の健全性把握方法の調査等

#### ② 車載用高圧水素容器／容器附属品の基準適正化活動

<国内・国際基準(HFCV gtr)への寄与>

- 国内基準(KHK S 0128)使用環境負荷試験の検証
- 国際基準(HFCV gtr)液圧シリーズ試験提案の根拠データ取得

<ガスシリーズ試験を検証>

- 容器附属品(TPRD)の国内導入に向けた HFCV gtr 試験法を検証

#### ③ 水素充填プロトコルの標準化

- 充填プロトコルによる急速充填の安全性を検証し、水素ステーション例示基準に採用

#### ④ 水素充填コネクタの標準化

- ノズル・レセプタクルの氷結状況を確認し、水素ステーション例示基準に採用

#### ⑤ その他国際標準化に関わる技術検討

- 水素燃料仕様 ISO14687-2 の FDIS 投票終了→発行段階(議長:日本)
- FCV も含む電動車両安全規格 ISO6469-1, -2, -3 の発行(リーダー:日本)
- 燃費測定法改定、高圧水素容器、水素コネクタ等の審議に積極的に参加(日本の主導的役割)

成果の概要と自己評価

項目	目標	成果	自己評価
① 圧縮水素を燃料とする FCV の事故後の安全作業の標準化			
1) 衝突・火災事故時の安全性評価	水素FCVの国際基準調和に関わる適正な基準策定のための妥当性検証、および事故処理に関わる早期の標準化に向けたデータ取得のための事故処理手法を開発する。	HFCV gtr で審議されている衝突試験後の車室内水素濃度計測および世界に先駆けて開発したバーナを用いて車載容器局所火炎暴露試験を行い、試験法の問題点抽出およびこれらの課題を検討し、国際基準調和活動において、日本の主張の裏付けデータとして活用された。 さらに、水素燃料自動車の船舶輸送の消火対応等に関わる規制緩和のため、床下からの輻射熱による安全弁作動の可能性調査し、国際海事機構での規制緩和に関わる審議に活用した。	○
2) 衝突・火災事故後の安全性評価	事故処理に関わる早期の標準化に向けたデータ取得のための事故処理手法を開発する。	安全な事故処理対応に関わるデータ取得のため、送風による水素拡散の効果、水素漏れ発生音と漏れ量の調査、鎮火後における安全弁の作動調査、車載容器の健全性把握方法の調査、および容器の脱ガス方法の検討を行い、HFCV の警防活動時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し、今後、活発化する可能性が高い事故処理対応に関わる標準化活動において、日本が先導できるデータを構築した。	○
② 車載用高圧水素容器/容器附属品の基準適正化活動			
	自動車用圧縮水素容器の適正な基準策定のための妥当性検証、および新規構造附属品の国内導入に資するデータ取得を取得する。また、国内にて、新規試験法に対応する環境を整える。	国内新基準「70MPa 圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準 (KHK S 0128)」の使用環境負荷試験および HFCV gtr/SAE J2579 の液圧シリーズ試験を実施し、試験手順をより明確化する必要があることを把握した。また、局所火炎暴露試験では、本試験法に適合した信頼性の高いバーナを世界に先駆けて開発し、国内にて局所火炎を実施できる体制を整えたとともに、試験法の妥当性を確認した。 ガスシリーズ試験においては、試験を長期化してしまうとの試験法の課題等を把握した。 これらの成果は、国際基準化活動での基準策定に反映され、日本の主張の裏付けデータとして活	◎

		用・貢献した。また、国内基準作成 Step2 での基準策定に資するデータとして提供した。 また、ガラス式安全弁の作動影響に関するデータ取得を取得し、新材質の安全弁に対する試験法案策定に資するデータを取得した。	
③ 水素充填プロトコルの標準化(急速充填試験)			
	国内の次期 70MPa 水素ステーションにおける充填実施に先立ち、その安全性検証データを取得する。	急速充填試験により商用充填プロトコルの事前検証および充填設定一覧検討のための数値シミュレーションを行い、その成果を利用し、国内水素ステーションのプロトコル導入を可能とし、例示基準に採用された。	◎
④ 水素充填コネクタの標準化(ノズル・レセプタクル氷結試験)			
	70MPa 水素充填コネクタの安全評価試験を実施し、水素ステーションの安全性検証データを提供するとともに、インターフェイスの試験法案策定に向けたデータを取得する。	ノズル・レセプタクルの氷結現象を調査し、氷結現象および安全性を確認した。これらの成果は、国内の次期 70MPa 水素ステーションにおけるノズル・レセプタクル導入の安全性検証データとして活用され、例示基準に採用されるとともに、ISO17268 へ提案を予定している充填ノズル評価試験方法案の策定に資するデータとして活用予定。	○
⑤ その他国際標準化に関わる技術検討			
国内外での基準・標準化	解析・技術部門各 WG、及び各国内標準化 WG において審議し、国際会議 ISO/TC22/SC21(電気自動車)および ISO/TC 197(水素技術)への対応を行う。	国内での活発な議論に基づき、本事業で得られた試験データを活用し、ISO の審議において日本がリードして国際標準化を実施。当プロジェクト取得のデータ等が貢献した発行済み国際規格は計 11 件(IS 8 件、TS 2 件、TR 1 件)であり、その他改定も含めて 3 件が審議中となっている。具体的に、HFCV-gtr の日本の主張の裏付け、水素充填プロトコル、コネクタ、水素燃料仕様、FCV 安全規格の策定に結びつけた。	○

#### 4.2 課題

FCV の更なる大量普及に対応するため、以下の点について検討を進める必要がある。

##### ◆ 圧縮水素を燃料とする燃料電池自動車の水素安全

##### ➤ 事故後の安全作業の標準化／基準化

FCV事故処理の各フェーズで必要となる技術データのさらなる取得

- 衝突時の客室水素濃度測定試験方法および衝突時の許容水素漏れの検討
- ◆ FCV廃車処理ならびにリサイクル対応(クズ化)
- ◆ 車載用高圧水素容器／容器附属品の基準適正化活動
  - 容器ならびに附属品などの HFCV gtr Phase2 検討に資するデータ取得
- ◆ 圧縮水素充填技術・インターフェイス関連の基準・標準化
  - 普及に適した、より安全で短時間での充填を可能とする充填技術開発に資するデータ取得
- ◆ 普及後の水素燃料系システムコストの更なる削減等に向けた対応
  - 水素燃料システムのコスト削減に向けて、量産化を前提とした試験法の適正化
- ◆ その他国際標準化に関わる技術検討
  - その他の関連する標準化案件について日本の主導的立場を維持し、日本の主張を反映。

## 5. 実用化・事業化見通し

本事業では、普及期市場醸成に向けて必要な安全確保のための技術的知見の系統的構築や基準・標準の整備に注力し、FCV の実用化・普及展開及び国際競争力の確保に資するデータ取得を、業界団体のニーズを反映させながら、計画立案し実施してきた。

これにより、道路運送車両法に関連した UN-ECE/WP29/AC3 gtr 化活動の第 1 フェーズにおいては、提案された新たな試験法に係わる妥当性の問題に対し、迅速に本事業で対応を行った結果、今後、一部の試験法に対しては、規定の在り方も含め研究活動が継続され、HFCV gtr の第 2 フェーズにて再検討されることになった。さらに第 2 フェーズでは、さらなる国際基準調和と FCV に特化した基準の見直しが計画されており、さらには、米国においてバッテリー電気自動車の事故処理に係わる基準・標準化の動きが見られ、HFCV に対しても波及する可能性が考えられることから、今後も、これらの動向を注視し、gtr 策定および見直しに資するデータ取得を進める。

自動車用圧縮水素容器および附属品の基準化活動に関しては、自動車用容器の生涯に渡る負荷を評価する液圧およびガスによる連続負荷試験に係わるデータ取得を、また、附属品に関しては、新規部品の国内導入に資するデータ取得を計画立案し、実施してきた。今後も、HFCV gtr の第 2 フェーズおよび HFCV の国内導入に係わる「70MPa 圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準」Step2 基準の策定のためデータ取得を進める必要がある。

また、本事業では、これらの新規試験法を国内にて精度良く実現するためのデバイスや手法も開発し、新規試験法に係わる対応を早期に具体化できる体制を整えたため、国内の自動車および容器・附属品メーカーの開発促進にも貢献が期待できる。

充填プロトコルの標準化においては、国内の 70MPa 水素ステーション実証試験における充填実施に先立ち、急速充填試験によりその安全性検証データを取得し、商用充填プロトコルの事前検証および充

充填設定一覧検討のための数値シミュレーションを行い、国内水素ステーションのprotocols導入の策定に貢献した。併せて水素充填コネクタの標準化において 70MPa 水素充填コネクタの安全評価試験を実施し、水素ステーションの安全性検証データを提供するとともに、インターフェイスの試験法案策定に向けたデータを取得し、標準化に貢献するとともに、国際標準化審議の中で、その形状を統一した。これらのことにより、今後のステーションの効率的な運用、ステーション設置の進捗が期待される。

FCV 用水素燃料仕様に関しては、TS として 2008 年に発行されたのち、FCV 導入期の燃料仕様の IS 化を目指し、FDIS まで結びつけ、国際的な統一規格の制定が確実となった。今後の FCV 大量普及に対応するため、コスト、水素製造プロセスまで考慮した改訂版の議論も並行して進め、大量普及期に備える必要がある。その他の標準化活動として、FCV も含めた EV の安全について、第 3 部までの IS 発行に貢献した。これらの標準化活動の成果により、FCV の安全な普及の迅速化を図ることができる。このように、今後も、水素・FCV の普及促進のために、各種基準・標準化活動を継続して推進する必要がある。

## ●全期間成果サマリ(実施期間 :平成20年度～平成21年度)

- FCVの導入普及初期の5年間(H20年度)、及びCO2の新導入シナリオ(H21年度)をベースとし、環境便益の外部便益(外部費用の削減)、および経済的波及効果を評価し、導入普及施策に対する示唆を得た。
- 複数のシナリオに対する便益評価を柔軟に実施するため、これまでに開発してきた方法論に従った評価システムを構築した。

## ●背景/研究内容・目的

### 背景

FCVは、走行時に大気汚染物質やGHGなどを排出しない車として、政府による技術開発が促進されている。市場メカニズムの活用が重視される社会の中で、政府がこのような技術開発に関与する理由は基本的に外部経済の存在に求められる。即ち、従来自動車の外部費用の削減(→外部便益)が期待できるということが施策実施の根拠になる。

### 研究内容・目的

FCVの本格的導入普及に向けた水素供給インフラの立上げ時期を含めたシナリオを念頭に、①FCVの導入に伴う社会的・経済的便益の評価、及び②社会的便益評価システムの構築を通じて、FCVの有効な導入施策の検討などを行い、FCV及び水素の社会的受容の拡大と導入普及の効率的な実現施策を支援する。

## ●研究目標

実施項目	目標
水素燃料電池自動車の導入に係る社会的便益に関する研究(H20-21)	種々のFCV導入シナリオの下で、既存の市場で経済価値として評価されていない、FCV特有の便益を経済価値として評価すると共に、導入普及による経済的波及効果を評価する。
水素燃料電池自動車の社会的便益評価システムの構築(H20-21)	FCVや水素インフラの導入施策は、エネルギー・環境を巡る情勢の変化や、技術開発の進捗などを反映して、ダイナミックに変化する可能性があるため、これらの情勢変化に対応したシナリオに対する便益評価を柔軟にするためのシステムを構築する。

## ●実施体制及び分担等

NEDO (独)産業技術総合研究所

## ●全期間実施内容／研究成果

### 水素燃料電池自動車の導入に係る社会的便益に関する研究

- FCVの導入普及初期の5年間(H20年度)、及びCO2の新導入シナリオ(H21年度)をベースとし、環境便益の外部便益(外部費用の削減)、および経済的波及効果を評価した。主な結果は下記の通り:
  - ◆ 車種別にFCV1台導入あたりの外部便益を算出。また、競合シナリオの検討のため、電気自動車(EV)、プラグインハイブリッド車(PHEV)、ハイブリッド車に関しても外部便益を算出。
    - 4種類の代替次世代車の外部便益には大きな差はなく、ガソリン利用乗用車(自家用)を代替する場合は、1台あたり年間7000円前後の外部便益となる
    - FCVの各車種に対する外部便益評価の結果から、車種、つまり代替する燃料(ガソリン、あるいはディーゼル)や走行形態によって外部便益が異なり、水素燃料1Nm<sup>3</sup>あたりの外部便益は、ガソリン代替で17円/Nm<sup>3</sup>(15~31円/Nm<sup>3</sup>)、ディーゼル代替で8円/Nm<sup>3</sup>(1~27円/Nm<sup>3</sup>)となる
  - ◆ FCVの普及初期の経済的波及効果について、産業連関分析を行い下記の結果を得た:
    - 投資額合計は10年間累計で17,931億円、経済波及効果は51,599億円、投資額合計に対する比は2.88倍。また、投資額100万円あたり0.14人の雇用創出。GDP押し上げ効果は年平均0.043%

### 水素燃料電池自動車の社会的便益評価システムの構築

- 複数のシナリオに対する便益評価を柔軟に実施するため、これまでに開発してきた方法論に従った評価システムを構築した

## ●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
水素燃料電池自動車の導入に係る社会的便益に関する研究	FCVの導入普及初期の5年間(H20年度)、及びCO2の新導入シナリオ(H21年度)をベースとし、環境便益の外部便益(外部費用の削減)、および経済的波及効果を評価を実施した。	○
水素燃料電池自動車の社会的便益評価システムの構築	複数のシナリオに対する便益評価を柔軟に実施するため、これまでに開発してきた方法論に従った評価システムを構築	○

## ●今後の課題

- 技術進歩や新たなFCV導入シナリオに基づいた評価の実施、及び作業性を向上した評価ソフトの開発

## ●実用化の見通し

- 外部性評価手法は確立され、その過程で開発した分析ツールや、評価システムについては、操作性を向上すれば実用化可能

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
		2	

# 水素エネルギーシステムの社会的便益に関する研究開発

独立行政法人 産業技術総合研究所

赤井 誠

## 1. 事業概要

本研究開発は、特に、水素エネルギーシステム技術の導入と社会との関わりの側面から研究を実施し、本プロジェクトが目標とする、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の確立による新しいエネルギーシステムの構築を支援することを目的とするものである。

プロジェクトの基本計画にも記載されている通り、燃料電池を核とした水素エネルギーシステムの構築は、長期的には我が国のエネルギー供給の安定化・効率化、地球温暖化問題（CO<sub>2</sub>）や地域環境問題（NO<sub>x</sub>、PM 等）の解決、新規産業・雇用の創出に寄与するものと期待される。

本研究は、このような基本的認識に基づいて、堅実な形での水素エネルギーシステムの社会導入を図るため、水素燃料電池自動車及び上記システムの導入に伴う社会的・経済的便益の分析評価を通じて、有効な施策を提言するものである。

## 2. 事業目標（設定の理由も含め）

本研究開発を含む事業では、来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立上げ（平成 27 年／2015 年頃を想定）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、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の確立することを目的としている。また、技術開発の一翼を担いつつ、実証研究や基準・標準化に関する事業と連携を図りながら推進することにより、燃料電池の実用化・普及展開及び国際競争力の確保に資する。

本研究は、これらのうち、「シナリオ策定」の成果を反映した「フィージビリティスタディ等」の一環として、燃料電池自動車の本格的導入普及に向けた水素供給インフラ市場立上げ時期を念頭において、堅実な形での水素燃料電池自動車の社会導入を図るための方策について、①水素燃料電池自動車の導入に伴う社会的・経済的便益の評価、及び②社会的便益評価システムの構築を通じて、燃料電池自動車の有効な導入施策の検討などを行い、燃料電池自動車及び水素の社会的受容の拡大と導入普及の効率的な実現施策を支援することとし、以下の様な目標を設定して研究を実施した。

### 2-1 水素燃料電池自動車の導入に係る社会的便益に関する研究

#### 最終目標

燃料電池自動車の本格的導入普及に向けた水素供給インフラ市場立上げ時期を念頭において、既存の市場で経済価値として評価されていない水素エネルギーシステム特有の便益及びコストに係る要素を抽出し、それらを経済価値として定量的に評価し、水素エネルギーシステムの外部性として評価することを最終目標とする。また、技術確立に伴う産業経済面での波及効果分析を実施する。

## 設定理由

FCVは、走行時に大気汚染物質や温室効果ガスなどを排出しない車として、政府による技術開発が促進されている。市場メカニズムの活用が重視される資本主義の社会の中で、政府がこのような技術開発に関与する理由は基本的に外部経済の存在に求められる。すなわち、従来自動車の外部費用の削減（□外部便益）が期待できるということが施策実施の根拠になる。一方、経済的影響（波及効果）は内部的影響の連鎖を通じてもたらされるため、一般的な外部性（技術的外部性）ではないが、経済面では重要な意味を持ち、経済的外部性と呼ばれることもある。これらの分析評価を通じて、FCVの導入意義を明らかにするのみならず、政府による研究開発施策の有効性・合理的根拠を示すことは施策の評価といった面でも極めて重要である。

## 2-2 水素燃料電池自動車の社会的便益評価システムの構築

### 最終目標

様々なシナリオに対する評価を柔軟に実施するため、これまでに開発してきた方法論に沿った評価システムを構築することを最終目標とする。

### 設定理由

FCVや水素インフラの導入施策は、エネルギー・環境を巡る情勢の変化や、技術開発の進捗などを反映して、ダイナミックに変化する可能性があり、また本研究と同時並行的に新たなシナリオが作成される可能性が大であるため、これらの情勢変化に対応したシナリオに対する便益評価を柔軟かつ迅速に実施できるシステムを整備しておくことが重要である。

## 3. 事業成果

図1に示すように、本研究は下記の二つのテーマから成る。

### 3. 1 水素燃料電池自動車の導入に係る社会的便益に関する研究

FCVの導入による、局所・地域・地域環境の改善などの外部便益を構成する要因を抽出し、大気排出物による環境や人体への影響を定量化するための暴露反応関数や、これらを経済価値に換算するための係数など、便益を定量的に評価するために必要なデータを収集・整備し、FCVの便益評価項目について検討した。

FCV導入による外部便益は、FCVがガソリンや軽油を使用する従来自動車を代替することによる、従来自動車のもたらす外部費用の削減分と考えることができる。主な外部便益の項目としては、①大気汚染物質（NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>、SPM等）の排出削減、②温室効果ガス（CO<sub>2</sub>）排出削減、③石油資源消費削減、④エネルギーセキュリティ向上、⑤騒音減少が挙げられる。①～④は化石燃料消費に係るものである。これら化石燃料消費に係る影響の経済価値評価の試みは、主として欧米で行われてきたが、この内貨幣評価の手法がある程度確立しているのは①②である。⑤に関してはいくつかの経済価値評価の事例が見られるが、便益移転に困難な面があると考えられる。本研究では、①②⑤について、主要な健康影響を主な対象とし外部費用削減について評価を

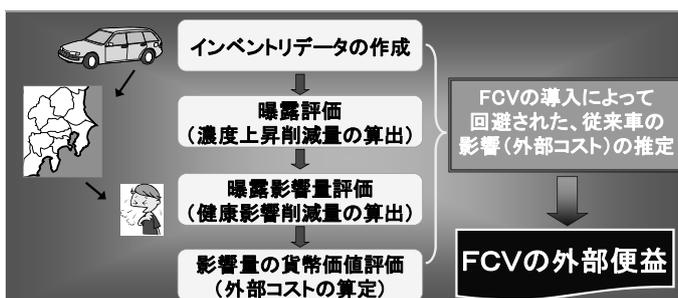


図1 外部便益算定手順（大気排出物による健康被害削減）

行った。大気汚染物質の削減による外部便益の評価手順を図 1 に示す。

まず、FCV 導入による大気汚染物質及び温室効果ガスの排出削減量（インベントリデータ）を推定した。走行時に関しては、FCV は当該物質の排出はゼロなので、代替される従来車の走行時の当該物質排出量を算出しそのまま削減量とした。インベントリに計上された大気汚染物質による影響に関しては被害経路評価アプローチを採用した。すなわち、産総研において別途開発した拡散シミュレーションモデル等を用いて大気汚染物質の濃度上昇の評価を行い、既存文献からの暴露反応係数を用いて、健康リスク削減量評価を行った。健康リスク削減量は、産総研における過去の研究成果などに基づいた統計的生命価値等を用いて経済的便益に換算した。また、自動車騒音は現在でも深刻な環境問題となっており、自動車騒音常時監視の対象となる地域では、夜間に 2 割程度の住居が環境基準を超過していること、及び、道路の延長、自動車の増加によって、対象地域は増加すると予測されていることから、現状の被害量と車種別の騒音データをもとに、FCV の導入による自動車騒音改善便益をも評価した。CO<sub>2</sub>については、ダメージコストに関する既存研究およびコントロールコストのデータから、推定した。

これらの方法論は、本研究に先立つ研究においてほぼ確立したものであるが、本研究においては、さらに、(1)燃料の資源採掘、輸送・貯蔵、燃料製造、輸送・貯蔵、燃料供給を含めるように評価バウンダリを拡大し、(2)欧米を含めた排出規制や燃費達成目標の設定動向などを参照した排出係数の見直しや暴露評価などの分析・評価手法の再検討などを通じた便益評価精度の向上を図り、FCV の導入初期のシナリオ（NEDO/MRI（2008）、「水素経済社会移行シナリオ等研究」）や、産業競争力懇話会（COCN）によるシナリオをベースとしつつ、競合する次世代型自動車（電気自動車（EV）、プラグインハイブリッド自動車（PHEV）、ハイブリッド自動車（HEV））が導入される競合シナリオなど、種々のシナリオ下での便益評価を実施した。

今後の FCV 普及施策選択肢の検討に資するデータの作成を目的として、車種別に 1 台導入あたりの外部便益を算出した結果を図 2 に示す。水素製造における都市ガス改質時および水素圧縮時における電力消費により、FCV でもある程度の CO<sub>2</sub> を排出している。特に、ディーゼル代替普通貨物車は既存車に対する効率が 1.25 倍と高くないため、CO<sub>2</sub>に関しては既存車よりやや多く排出しており、不確実性はあるものの中央値としては負の外部性を有するとの結果となった。それに関わらず、ディーゼル代替普通バス（営業用、外部便益 29.4 万円/年）に次ぐ 18.3 万円/年という大きな外部便益をもたらすのは、大気汚染物質削減による外部便益が大きいためであり、FCV 導入が大気汚染対策

としても効果があることを示唆している。

これらの結果を水素 1Nm<sup>3</sup> 消費当りの便益として表したのが図 3 であるが、外部便益は、水素 1Nm<sup>3</sup> あたりにすると年間走行距離の影響が相殺され、FCV のエネルギー効率が大きく影響する。

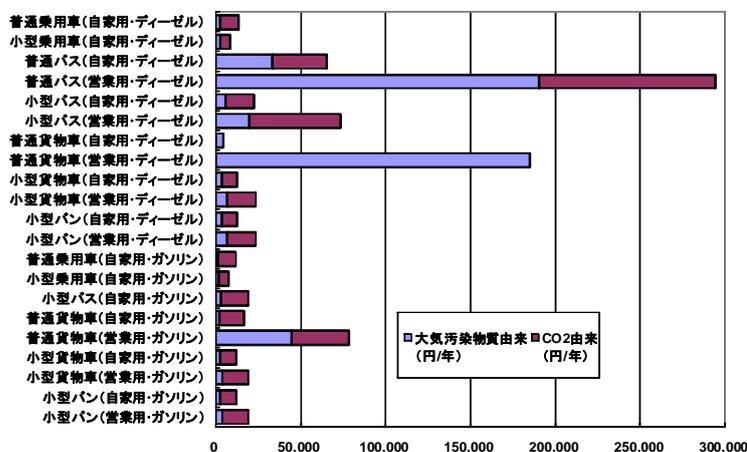


図 2 FCV が既存車を代替した時の 1 台あたりの年間外部便益

ディーゼル代替普通貨物車（営業用、自家用）は FCV の効率が 1.35 倍と他の車（ガソリン代替車は 3.5 倍、普通貨物車以外のディーゼル代替車は 3.2 倍）よりも低いため、水素 1Nm<sup>3</sup>あたりの外部便益は低い結果となっている。

また、水素 1Nm<sup>3</sup>あたりの外部便益の低い普通貨物車（営業用、自家用）の水素消費量がディーゼル代替車の水素消費量の 76%を占めているため、ディーゼル代替車の水素 1Nm<sup>3</sup>あたりの平均外部便益はガソリン代替車よりも低くなる。年間水素消費量により加重平均した燃料ごとの外部便益は、ガソリン代替で 16.7 円/Nm<sup>3</sup>、ディーゼル代替で 8.0 円/Nm<sup>3</sup>である。

次に、FCV と競合する高性能ハイブリッド車（HEV）、プラグインハイブリッド車（PHEV）、及び電気自動車（EV）の年間外部便益を比較して図 4 に示す。この比較より次のような結果が導かれる：

- 代替車は、ガソリン利用乗用車（自家用）を代替する場合は、1 台あたり年間 6,200～12,500 円の外部便益を持つ。
- EV は、本分析の航続距離の想定（7,000km）では FCV、PHEV よりも外部便益は少ないが、他の代替小型乗用車と同程度の年間走行距離を想定すると 4 種類の代替車（小型乗用車）の中で最も大きい外部便益（8,241 円/年）を持つ。
- PHEV は夜間電力を用いた EV 走行による効果により、HEV より約 2,000 円高い外部便益を有する。HEV は 1.05 万円の外部便益であるが、現状普及している技術であり最も安い費用で導入できると考えられる。また、HEV、PEV はインフラ設置費用が必要ない。
- FCV は外部便益が大きく、大量導入による大きな外部便益（大気汚染物質および CO2 排出削減による外部便益）が期待できるが、車両価格が既存車に比べて高いことに加え、インフラの整備に大きな投資が必要である。

図 5 は、COCN シナリオに基づいて FCV の外部便益を評価した結果である。FCCJ の「FCV と水素ステーションの普及に向けたシナリオ」（2010 年 3 月）はこの COCN シナリオと整合している。

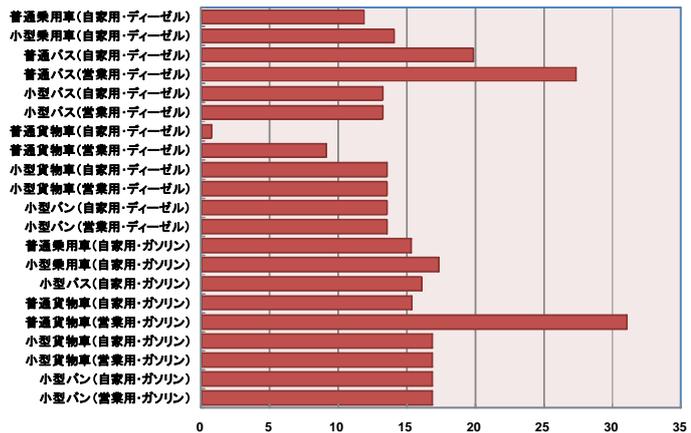


図 3 水素 1Nm<sup>3</sup>あたりの外部便益の比較

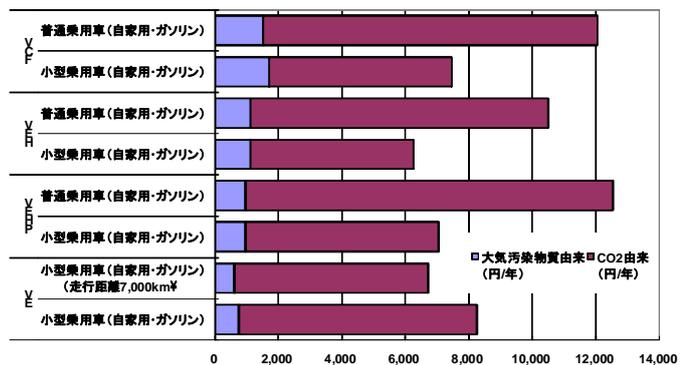


図 4 FCV と競合代替車 1 台あたりの年間外部便益の比較

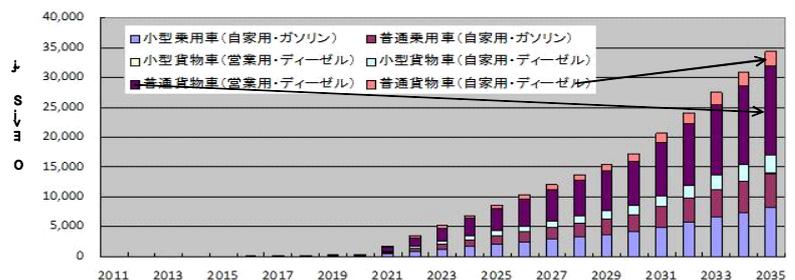


図 5 COCN シナリオによる FCV の外部便益

COCN では導入車種を乗用車（ガソリン普通車、小型車）および貨物（軽以外の貨物、乗合、特殊車）としており、それ以上の細分化は行われていない。外部便益は代替された既存自動車の車種や燃料に依存するため、本研究では、現在の車種割合を用いて、乗用車についてはガソリン代替自家用普通乗用車およびガソリン代替自家用小型乗用車、貨物に関してはディーゼル代替普通貨物車とディーゼル代替小型貨物車に区分して便益評価を実施した。

その結果、2015～2035年の累積便益は、全車種で2,332億円、乗用車のみで952億円となった。

一方、経済的影響（波及効果）は内部的影響の連鎖を通じても

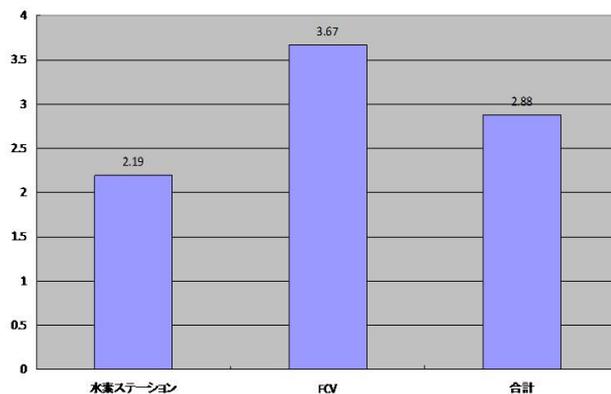
たらされるため、一般的な外部性（技術的外部性）ではないが、経済面では重要な意味を持ち、経済的外部性と呼ばれることもある。本研究では、NEDO/MRI（2010）のケース1（COCN 想定）を用いて、10年間でステーション1,312基、FCV保有台数が約110万台となった場合の経済的波及効果について「平成17年（2005年）産業連関表」を用いた分析を行った。結果を図6に示すが、投資額合計は10年間累計で17,931億円となり、経済波及効果は51,599億円、投資額合計に対する比は2.88倍となった。また、投資額100万円あたり0.14人の雇用創出効果が見込まれ、GDP押し上げ効果は年平均0.043%と推計された。一般的に全国レベルの事業の波及効果は1.9～2.6倍であり、水素ステーション整備まで含めたFCV普及事業は経済波及効果誘発比率の比較的大きい事業といえる。また、波及先の裾野が広いことも特長の一つである。

### 3-2 水素燃料電池自動車の社会的便益評価システムの構築

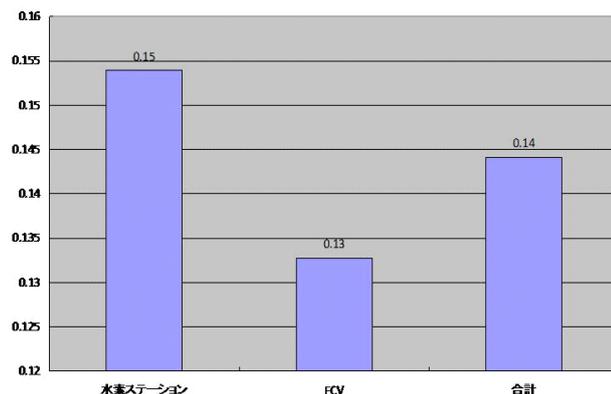
市販の数値分析ソフトウェア Analytica™ をベースとし、Excel™ シートで計算条件・導入シナリオを入力し、自動的に Analytica で読み込み、外部コストおよび導入コストを計算し、エクセルに出力するモデルを構築した。また、主要パラメータに対して確率分布を設定し、モンテカルロシミュレーションにより感度分析も実施可能とした。

### 3-3 成果の意義

FCVの導入による社会的便益を評価した結果、得られる環境改善便益は水素供給価格目標と比較して有意な値となることが示された。また経済的波及効果が大きく、政府による研究開発投



(a) 累積追加投資額と経済波及効果の比



(b) 追加投資100万円あたりの雇用創出（単位：人／百万円）

図6 FCV導入による経済波及効果

資の意義も提示することができた。本結果は、今後のFCV導入に係る補助施策（例えば、外部便益の値を根拠とした水素燃料への補助金など）を検討する際の合理的根拠となる情報を提供するものである。

### 3-4 特許、論文、講演、報道等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※出願	査読付き	その他	
H21FY	0件	0件	0件	0件	0件	2件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

## 4. まとめ及び課題

### 4-1 成果のまとめ

研究に必要な方法論やモデルを開発し、分析評価を行った結果、以下のような成果を得た：

- FCVの導入普及による環境改善便益を評価した結果、水素の供給目標価格に比して有意な便益が存在することを明らかにした。
- FCVの導入は、大きな経済波及効果を有する事業であることを明らかにした。
- 複数のシナリオに対する便益評価を柔軟に実施するため、これまでに開発してきた方法論に従った評価システムを構築した。

### 4-2 情勢変化への対応（計画実施時の周辺状況変化等を記載。予算や計画の変更等も含む）

本研究の進捗と並行して、NEDO/MRI、CO2N、FCCJなどにおいて、FCVやインフラの導入普及シナリオの検討が行われてきたが、本研究ではこれらのシナリオ検討の経過を適宜反映して分析評価を行ってきた。

### 4-3 残された課題

本研究成果を発展させる方向性としては、①外部便益評価の不確実性の低減、②技術進歩や新たなFCV導入シナリオに基づいた評価、③作業性の向上のためのインターフェースの開発などを含めた便益評価用独自ソフトウェアの開発、などが挙げられる。

## 5. 実用化・事業化見通し

本研究は特定の技術（ハードウェア）開発を目指すものではなく、水素／燃料電池自動車の導入・普及シナリオの策定に関わる研究を通じて、水素エネルギー技術の開発計画立案と普及実現に貢献することを目的としているため、研究内容がそのまま実用化や事業化に結びつく性格のものではない。ただし、ここで開発した外部便益の評価手法や、評価用データ等は、先例のないものが多く、今後の同様な研究に大きく寄与するものと考えられる。また、本研究では、商用ソフトウェアを利用した便益評価システムを構築したが、独自ソフトウェアを構築することによる事業化の方向も考えられる。

# (Ⅲ-12) 水素キャリアに応じたフイージビリティスタディ

委託先: (財)エネルギー総合工学研究所、岩谷産業(株)、川崎重工(株)、関西電力(株)、清水建設(株)、三菱重工(株)、千代田化工(株)

## ●全期間成果サマリ

平成27年(2015年)を想定した水素供給インフラ市場立ち上げに向け、各水素キャリア(高圧水素、液体水素、有機ケミカルハイドライド)を用いた、オフサイト型水素製造から水素ステーションにおける燃料電池自動車への充填までの一連のフローにおける、経済的成立性や実現性及び普及に向けた今後の技術開発課題について抽出・検討を行なった。また、課題の解決策についての提言も行った。

## ●背景/研究内容・目的

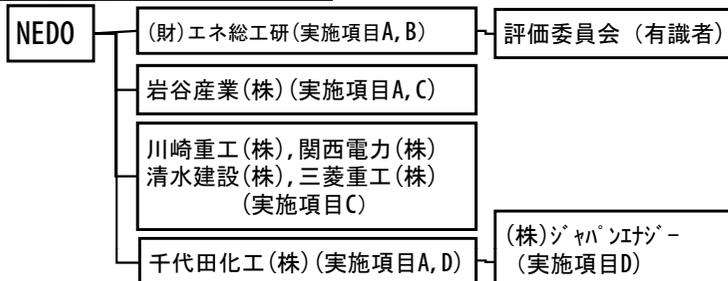
地球温暖化問題が国際的な課題として重要性を増す中、わが国では燃料電池自動車等の普及のための水素供給インフラ立ち上げに向けて各種研究開発が進められている。その中で、本研究開発は、各水素キャリアを用いた、オフサイト型水素製造拠点から水素ステーションにおける燃料電池自動車(FCV)への充填までの一連のフローにおける経済的成立性や実現性を検討・評価し、普及に向けた今後の技術開発課題を抽出することを目的に実施した。

本研究開発では、まず2015年、2020年、2030年時点でのFCVの普及台数と水素ステーションの設置数を想定し、その条件下で各水素キャリア毎の水素供給価格、エネルギー効率、環境性を検討し、技術開発課題を含め実現性を評価した。

## ●研究目標

実施項目	目標
A	前提条件の設定及び全体の評価を行う
B	高圧水素供給フローの検討を行う
C	液体水素供給フローの検討を行う
D	有機ケミカルハイドライド法の検討を行う

## ●実施体制及び分担等



## ●全期間実施内容／研究成果

### ●FCVと水素ステーションの普及状況想定

年	2015年	2020年	2030年
FCV台数	800	150,000	5,000,000
ステーション数	40	500	3,500

### ●経済性評価及びエネルギー効率

■いづれの水素キャリアにおいても、既存技術を用いた場合においては、水素供給コストは水素ステーションの建設費が高いため、各年及び35MPa と70MPaのいずれもNEDOロードマップの目標値を達成できないが、技術開発やコスト低減策により達成できる可能性がある。

■エネルギー効率は35MPa、70MPaともWtoTで50%以上であることが判明した。

### ●課題の抽出と対策提言

#### ■高圧水素供給フロー

- ・普及初期には簡易な輸送・供給方法の検討が必要。
- ・本格普及期には、高圧水素を大量・安価に輸送するため輸送用複合容器の開発と法整備が必要。
- ・水素ステーション構成機器及び建設費の低コスト化が不可欠。

#### ■液体水素供給フロー

- ・LNG冷熱を利用した低温圧縮技術等の採用による液化動力原単位の低減が必要。
- ・輸送、ステーションにおける移送・運転ロス低減する70MPa用液水ポンプ等の開発が必要。
- ・ステーション構成機器の低コスト化並びに普及初期の移動式設備等の開発・投入が必要。

#### ■有機ケミカルハイドライド法による

#### 水素供給フロー

- ・水素ステーションにおける脱水素反応／水素精製の効率向上と低コスト化が必要。
- ・技術実証試験の早期実施が不可欠。
- ・ステーションの低コスト化。

## ●今後の課題

- ・「製造～充填」のトータルシステムとしての最適化検討。
- ・構成機器類の開発(高効率、低コスト)。
- ・技術／社会実証試験の早期実施。

## ●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A	適正な条件設定と評価	○(ほぼ達成)
B	高圧水素供給フローの検討	○(ほぼ達成)
C	液体水素供給フローの検討	○(ほぼ達成)
D	有機ケミカルハイドライド法の検討	○(ほぼ達成)

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	1	1	0

## 水素キャリアに応じたフィージビリティスタディ

実施者：財団法人 エネルギー総合工学研究所  
岩谷産業株式会社  
川崎重工業株式会社  
関西電力株式会社  
清水建設株式会社  
三菱重工業株式会社  
千代田化工建設株式会社

### 1. 事業概要

本研究開発は、「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」の一環として、各種水素キャリア（高圧水素、液体水素、有機ケミカルハイドライド）を用いた、オフサイト型水素製造拠点から水素ステーションにおける燃料電池自動車（FCV）への充填までの一連のフローにおける経済的成立性や実現性を検討・評価し、普及に向けた今後の技術開発課題を抽出することを目的としている。

本研究開発を実施するにあたっては、まず、水素供給インフラ立上げの想定である 2015 年のほか、FCV の普及が始まると予想される 2020 年、本格的普及時期と予想される 2030 年における FCV の普及台数と水素供給ステーション設置数を想定し、各年における水素需要量を設定した。また、対象となる 3 種の水素キャリアに共通の前提条件を設定した。

フィージビリティスタディは、始めに各水素キャリア毎に現状の技術を用いた場合の各年における水素供給コストを算出し、コスト構成を把握した上で技術開発が期待できる項目を抽出し、技術開発が達成された際の水素供給コストを集め求め、経済性の評価を行った。また、WtT のエネルギー効率と、環境性（CO<sub>2</sub> 排出量）についても計算を行った。

更に、今回の研究開発は各水素キャリアの比較が目的ではないため、各々の特徴が発揮できるケースについても検討を行った。

それらの検討を基に、各水素キャリア毎に普及に向けての技術開発課題を抽出した。

なお、研究開発の実施に際しては、外部有識者及びステークホルダーからなる「水素キャリア評価委員会」を（財）エネルギー総合工学研究所に設置し、検討の進め方や評価についての助言をいただいた。

また、本研究開発は以下に示す分担で実施した。

- ・ 前提条件、評価方法の設定：エネ総工研
- ・ 各キャリアのフィージビリティスタディ
  - ① 高圧水素：エネ総工研
  - ② 液体水素：岩谷産業、川崎重工、関西電力、清水建設、三菱重工
  - ③ 有機ケミカルハイドライド：千代田化工建設
- ・ 水素キャリア評価委員会の運営、他 WG との調整：エネ総工研

## 2. 事業目標

### 2.1 前提条件と評価法の設定

本研究開発では、高圧水素、液体水素及び有機ケミカルハイドライドという三種類の異なる水素キャリアのフィージビリティスタディを行うため、各キャリアに共通となる前提条件を設定した。具体例としては、水素製造コスト、水素ステーションの建設コスト、人件費、ユーティリティコスト等の原単位は共通の値を用いることとし、各キャリアに特有な条件についてはそれらに付加或いは削除することとした。また、エネルギー効率や、環境性評価のための CO<sub>2</sub> 排出量を求めるための原単位についても共通の値を用いることとした。

それらの前提条件を統一するとともに評価方法も合わせることにし、条件が変更となった際にも対応可能なスキームを構築することを目標とした。

なお、2015 年、2020 年及び 2030 年における FCV の普及台数や水素ステーションの設置数は、産業競争力懇談会等の他機関の検討結果を参考とした上で設定した。

#### 高圧水素供給フロー

高圧水素による輸送はこれまでも産業ガス業界が長年に渡って事業を行っており、ある程度技術的にも確立されている。また、水素ステーションにおける水素供給コストについても、過去の NEDO プロジェクト等で検討されてきた。そのため、本研究開発においては、コスト面、技術面で如何にして NEDO ロードマップの目標値に近づけるかを目標にフィージビリティスタディを実施した。

また、水素供給コストやエネルギー効率等が、液体水素や有機ケミカルハイドライド法を用いた輸送方法を検討する上での基準となるようにした。

#### 液体水素供給フロー

液体水素による輸送は宇宙開発用等ですでに実用化されており、技術的にもある程度は確立しているが、事業規模はまだ小さい。これは、まだ水素需要が少なく、液体水素の優位性である大量輸送のニーズが少ないことが理由の一つである。そこで、本研究開発においては将来の大量輸送を想定し、コスト面、効率面で高圧水素と同等以上になるように、LNG 冷熱を用いた水素液化の効率化やボイルオフ等によるロス低減等の技術開発課題を明確にし、今後の開発に繋げることを目標とした。

#### 有機ケミカルハイドライド法による水素供給フロー

有機ケミカルハイドライド法による水素の輸送は、基礎研究開発は完了しているが、技術の実証はまだ行われていない状況である。この方法は大量・長距離輸送に適していると考えられているため、現状技術によるフィージビリティスタディを行った上で、更なるコスト低減及び効率向上のための課題抽出を行い、今後の技術実証に繋げることを目標とした。

## 3. 事業成果

### 3.1 前提条件の設定

① FCV 普及台数とステーション数

表-1 のように設定。

② FCV 及びステーションの条件

- ・ FCV 燃費・年間走行距離：  
100km/kg-H<sub>2</sub>、10,000km/年
- ・ FCV は満充填量の 20%の残量で充填するものと仮定。
- ・ 水素ステーション供給能力：300Nm<sup>3</sup>/h（13 時間/日、365 日/年営業）

③ 水素ステーションの建設コスト

表-2 のように設定した。

- ・ 35MPa 級水素ステーションの現状コストは「NEDO H17~18 水素供給価格シナリオ分析等」の検討結果を引用した。
- ・ 70MPa 級水素ステーションの現状コストは、「NEDO 水素製造・輸送・貯蔵システム等研究開発/低コスト型 70MPa 級水素ステーションに係る研究開発」中間報告（平成 21 年 1 月 28 日）の資料の「平成 24 年度末での期待効果」のコストを引用した。
- ・ この現状コストに、「NEDO H17~18 水素供給価格シナリオ分析等」で採用した学習効果を各設備毎に適用し、各年の建設コストを算定した。

④ 原料水素

原料水素はナフサ改質の製油所水素を前提としたが、水素キャリアに応じて特徴が発揮できる原料を選定することとした。

⑤ 輸送距離

オフサイト型水素製造設備から水素ステーションまでの輸送距離は 50km と想定した。但し、長距離輸送にメリットが出る場合があるため、キャリアによって輸送距離を変えた検討も行った。

⑥ 検討のフロー

検討フローの一例を図-1 に示す。

表-1 FCV と水素ステーション数

年	2015年	2020年	2030年
フェーズ	~社会実証	~普及初期	本格商用化
FCV台数	800	150,000	5,000,000
ステーション数	40	500	3,500

表-2 ステーション建設費（単位：百万円）

	現状コスト	2015年	2020年	2030年
35MPa級	189.1	162.1	147.4	141.8
70MPa級	435.0	376.5	344.2	415.7

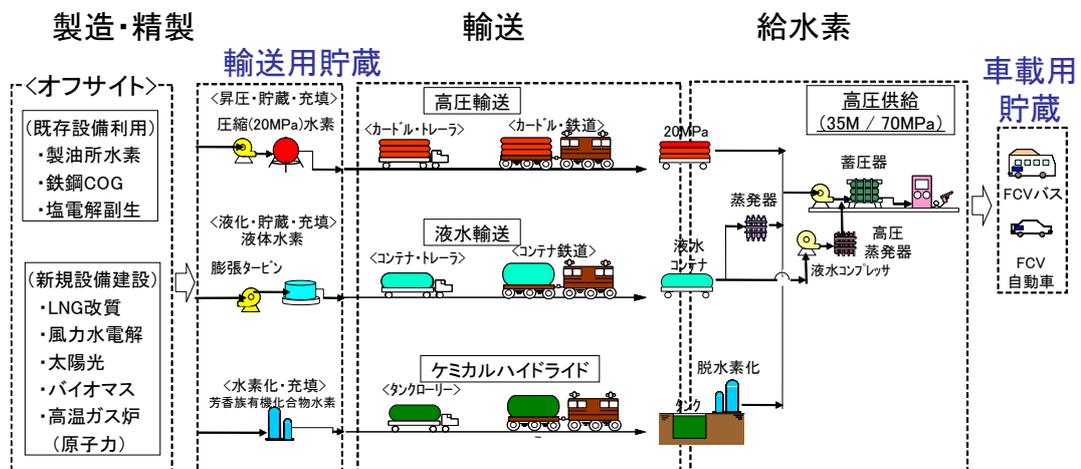


図-1 水素供給フローの例

検討は、途中に中継基地等を設けない「シングルパス」とした。

### 3.2 検討結果

フィジビリティスタディの結果の概要を表-3に示す。

表-3 検討結果の概要

		高圧水素		液体水素		有機ケミカルハイドライド*	
		35MPa	70MPa	35MPa	70MPa	35MPa	70MPa
水素供給コスト (円/Nm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub> )	2015年	1,869	3,485	2,160(←)	3,944(←)	2,562	3,998
	2020年	141	245	148(147)(*3)	241(240)(*3)	175	267
	2030年	56(*1)	87(*1)	60(56)(*3)	83(79)(*3)	55(*4)	84(*4)
エネルギー効率 (%)	2015年	54.5	52.0	11.4	10.6	37.9	36.6
	2020年	58.3(*2)	55.7(*2)	50.8(*3)	48.8(*3)	38.4	37.0
	2030年	58.3(*2)	55.7(*2)	57.4(*3)	55.7(*3)	54.1(*4)	52.1(*4)
環境性(CO <sub>2</sub> 排出量) (kg-CO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> -H <sub>2</sub> )	2015年	1.78	1.87	6.04	6.45	2.02	2.12
	2020年	1.61(*2)	1.70(*2)	1.30(*3)	1.43(*3)	1.99	2.09
	2030年	1.61(*2)	1.70(*2)	1.14(*3)	1.16(*3)	1.62(*4)	1.72(*4)
2015年時点での 実用化の可能性	◎ ・初期経済性が相対的に優れている ・産業用ガス輸送で成熟している技術であり、 <b>現状の技術で実用化が可能</b> ・輸送用複合容器の実用化は2015年以降と想定		◎ ・既プラントが稼働中であり、 <b>現状の技術での実用化が可能</b> ・低温圧縮機の実用化は2015年以降と想定		◎ ・初期経済性と初期段階におけるエネルギー効率は劣るが、近い将来改善の見通しがある ・ <b>技術的には概ね確立されているので、2015年での実用化は可能</b>		
主要技術開発課題	・ <b>水素輸送用大型複合容器の開発</b> ・現状輸送用容器は鋼製に限定されており、規制緩和が必要		・LNG冷熱を利用した低温圧縮技術等を用いた液化動力及び大型化による <b>液化コストの削減</b> ・ステーション構成機器の低コスト化 ・離隔距離等の規制緩和		・ <b>脱水素反応系の効率向上</b> (*4) ・「危険物製造所」の保安距離等の規制緩和 ・ <b>実証試験が必要</b>		

(\*1): 約200Lで35MPa充填の複合容器が30万円/基で製作できた場合を想定

(\*2): 製油所における水素製造に「高温空気燃焼技術 (High Temperature Air Combustion Technology)」を適用した場合を想定

(\*3): 低温コンプレッサーが開発できた場合を想定

(「液体水素」の( )内の数値は、製造・輸送段階に学習効果を加味した値を示す。)

(\*4): 上記(\*2)に加え、脱水素反応系の効率向上が成された場合を想定

#### ① 経済性 (水素供給コスト)

三方式とも、2015年時点では水素の需要量が少なく水素ステーションの稼働率が低いので、大変割高となる。2020年時点では大分コストは下がるが、NEDOロードマップの目標値を達成することはできない。

2030年時点になれば、水素ステーションの稼働率も上がり、また水素ステーションの建設コスト等の低減や技術開発の成果も期待できるため、35MPa級水素ステーションでの水素供給コストはNEDO目標に近づく。但し、70MPa級ではまだ高いので、水素供給コストの約半分を占める水素ステーション建設費の更なる低減が必要である。

#### ② エネルギー効率

高圧水素による供給フローでは、35MPa級、70MPa級ともにエネルギー効率は50%以上となることがわかった。

液体水素による供給フローでは、水素の需要が少ない2015年時点では、水素ステーションでの受入れロスや充填ロス等のために極端に効率が低くなり、インフラ立上げ時には有利とはならない。但し、水素の需要が増大し、低温コンプレッサーの開発が期待される2030年時点においては、高圧水素を上回る効率の実現が可能と思われる。

有機ケミカルハイドライド法による供給フローでは、現状技術のままではエネルギー効率は30%台と低いが、水素ステーションにおける脱水素反応の効率向上が成されれば、50%以上の効率が期待できる。

### ③ 環境性（CO<sub>2</sub>排出量）

環境性はCO<sub>2</sub>の排出量で評価したが、エネルギー効率同様、液体水素及び有機ケミカルハイドライド法は高圧水素に比べ、ロスのみで単位供給水素当たりのCO<sub>2</sub>排出量は多くなる。しかしながら、上記の技術開発が行われた場合には、高圧水素と同等以上の環境性が得られる可能性がある。

## 3.3 普及に向けての課題の抽出

### ① 高圧水素

- ・ 水素ステーションの建設コストの低減 ⇒ 今後のNEDOプロジェクトの成果に期待。
- ・ 水素供給フローの最適化の検討  
⇒ 水素製造からFCVへの充填に至る一連の供給フローで、最適となる輸送圧力を検討する必要がある。  
水素ステーションでのバンク構成の検討、一次圧変動に対応可能な圧縮機の開発等。
- ・ FCV普及初期における水素ステーション及び輸送方法の簡素化  
⇒ 簡易ステーションや移動式ステーションの採用、小型ボンベカードルによる輸送等
- ・ 高圧水素の大量輸送の検討  
⇒ 複合容器の材質、構造、製造方法等の検討が必要。
- ・ 規制緩和への期待  
⇒ 高圧ガス保安法による「圧縮水素運送自動車用容器の認定ため、強度・耐久性等のデータを取得し、安全性の確保が必要。各機関における研究の成果に期待。

### ② 液体水素

- ・ LNG冷熱を利用した低温圧縮技術等の採用による液化動力原単位の低減（0.97→0.40 kWh/Nm<sup>3</sup>-H<sub>2</sub>）と、大型化技術（36～70t/日）による液化コストの低減。
- ・ 輸送、水素ステーションにおける移送・運転ロスを低減する液水ポンプ（70MPa用）等の開発。
- ・ 水素ステーション構成機器の低コスト化並びに普及初期の移動式設備等の開発・投入。
- ・ 規制緩和への期待  
⇒ 高圧ガス保安法（液水貯蔵型ステーション技術基準の整備、留置の時間制限や規定の明確化、保安距離、耐震設計等）、消防法（ガソリンスタンド併設ステーションの技術基準の整備）、道路運送車両法（車両大型化）、建築基準法（液水貯槽の地下埋設。用途地域での貯蔵量制限）等。

### ③ 有機ケミカルハイドライド法

- ・ 本方式は、既に芳香族の水素化プロセスが大規模に工業化されており、これらの適用が可能。貯蔵輸送工程もガソリンの既存インフラの転用が可能。  
⇒ 本供給フローに開発課題はないため、実用化には早期の実証試験が必要。
- ・ 水素輸送効率向上のために、脱水素触媒の転嫁率の向上が必要。  
⇒ 現状95%から98%程度（目標）。
- ・ 水素精製工程のエネルギーロス低減のため、膜分離プロセスの採用が不可欠。

- ・ 規制緩和への期待  
⇒ 消防法（高圧ガス設備との保安距離）、建築基準法（立地制限）等。

### 3.4 成果の意義

これまで各々の水素キャリア用いたフイージビリティスタディは NEDO プロジェクトを含め種々行われてきたが、時間軸と FCV 普及台数（＝水素需要量）を想定し、尚且つ、三種類の水素キャリアを同一条件の下に実施されたものはなかった。そのため、本研究開発により、各キャリアの特徴が発揮される実用化に向けた技術開発課題や開発目標を明確にできた。

また、2015 年の水素供給インフラ立上げに向けての課題も明らかになった。

### 3.5 特許、論文、講演、報道等の件数一覧

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※出願	査読付き	その他	
H21FY	0 件	0 件	0 件	1 件	0 件	1 件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

## 4. まとめ及び課題

高圧水素、液体水素及び有機ケミカルハイドライド法の三種類の水素キャリアについてフイージビリティスタディを実施した結果、2015 年に想定される水素供給インフラ立上げに向けては、技術的には何れも実現可能であるとの結果を得られた。但し、水素の需要量が少ない初期においては、経済性、エネルギー効率、環境性ともに高圧水素による供給が有利であることが判明した。液体水素、有機ケミカルハイドライド法による水素供給は大量輸送或いは長距離輸送に適しているため、今後の技術開発によっては、将来の水素需要量の増大に対し、高圧水素よりも有利になる可能性があることが示唆された。

本研究開発において提案した技術開発課題の実行、有機ケミカルハイドライド法については早期の実証試験の実施が課題である。

## 5. 実用化・事業化の見通し

本研究開発はフイージビリティスタディが主であるため、成果そのものが製品として実用化或いは事業化されるものではない。しかし、本研究開発の成果が、水素供給インフラの整備や FCV 普及のための検討や、今後の技術開発の一助となるものとする。

以上

●進捗成果サマリ(平成22年度～平成24年度11月)

- ・一般則例示基準における水素ステーション用金属材料の選定方法を提案した。提案した材料選定方法を基に、SUS316及びSUS316Lの適用範囲を決定した。
- ・圧縮水素運送自動車用容器の例示基準JIGA-T-S/12/04に代わる、最高充てん圧力45MPaの例示基準の原案となるJPEC基準案へ助言を行った。
- ・水素ステーション用複合容器製蓄圧器の特認申請のガイドラインとなる技術基準案策定を先導した。設計に必要となるCFRPの疲労特性及びストレスプチャー特性を得た。
- ・水素環境において材料規格に規定されている最低要求値を満足する材料は、KHKS0220の設計で規格値を使用することが可能である。

●背景/研究内容・目的

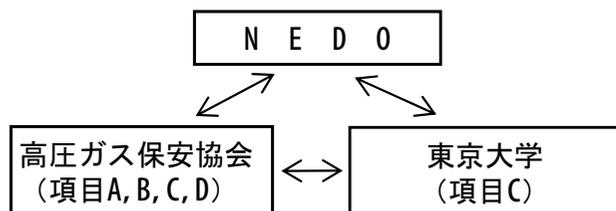
70MPa級水素ステーションを構成する配管、バルブなど各部品を製造する前提となる高圧水素ガス設備に使用可能な金属材料の鋼種拡大、高圧水素ガスの輸送・貯蔵を目的とした複合容器(CFRP)に係る技術基準の整備を見据えた調査及び試験に加え、水素ステーションに用いる圧力設備のより合理的な設計を可能とすべく、圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用に関する検討を行う。本事業の成果物は、広く一般に公開され、将来の水素ステーション等の規制見直しに資することが可能な資料となる。

●研究目標

実施項目	最終目標(H24年度)
A.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	新規使用可能材料の選定
B.圧縮水素運送自動車用複合容器に係る基準整備に関する研究開発	例示基準案※
C.水素ステーション用複合容器に係る基準整備に関する研究開発	KHK特認ガイドライン案※
D.圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用に関する研究開発	KHK事前評価ガイドライン案※ KHK特認ガイドライン案※

※基準案及びガイドライン案は石油エネルギー技術センターが作成

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

- ・絞りが75%以上のSUS316及びSUS316Lについては、Ni当量が28.5%以上の場合には70MPaにおいて-40～85℃、Ni当量が26.3%以上の場合には90MPaにおいて20～85℃で一般則例示基準に追加可能である。
- ・圧力、安全を確保するための設計確認試験及び組試験の方法等について検討を行い、JIGA-T-S/12/04をベースとした最高充てん圧力45MPaの圧縮水素運送自動車用容器の例示基準案作成のための助言を行った。
- ・特定設備として申請するためのガイドラインをASME Sec. X Appendix 8をベースとすることを提案した。CFRP製複合容器の設計基準の基礎となるCFRPのストレスプチャー試験及び疲労試験を行いデータの充実を図った。JPECにて行われた小型複合容器及び中型複合容器の設計製作、試験計画の策定及び試験結果の評価に対して助言を行い、蓄圧器の圧力繰返し寿命に関する健全性確保のための設計指針を得た。
- ・国内に置いて実績があり設計係数の最も小さなKHKS0220超高压ガス設備に関する基準の水素適用について検討した。水素の影響に応じて、従来通り大気中のデータを利用してKHKS0220で設計する場合と、水素中のデータを使用してKHKS0220で設計する場合とに分けることを提案した。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A.	SUS316及びSUS316Lの使用範囲を決定	◎
B.	最高充てん圧力45MPaの圧縮水素運送自動車用容器技術基準案へ助言	◎
C.	水素ステーション用複合容器製蓄圧器の技術基準案へ助言及びCFRPの疲労特性及びストレスプチャー特性の取得 試験計画の策定及び試験結果の評価解析を行った	◎
D.	KHKS0220の水素適用方法を確立	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	3	1	0

●今後の課題

／スケジュール(H24年度まで)

NEDO他事業で実施される高圧水素試験結果を評価し本事業成果へ反映させる。

●実用化・事業化の見通し

本研究開発で得られた成果を元に規制の再点検に係る工程表「2015年の燃料電池自動車・水素ステーションの普及開始に向けて実施すべき事項」の例示基準の改正等が2013年頃より開始される予定である。

# 水素インフラ等に係る基準整備に関する研究開発

実施者：高圧ガス保安協会

(国) 東京大学

## 1. 事業概要

資源に乏しい我が国が、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のエネルギー利用社会の構築に取り組むことが不可欠である。燃料電池及び水素技術はこのためのキーテクノロジーの一つであり、重点的に取り組むべき革新技術として位置づけられている。燃料電池自動車の運用に必要不可欠である水素ステーション、水素貯蔵及び水素輸送に関する水素インフラの普及促進のためには、先行事業の中で抽出された水素インフラに関する規制見直しの最重点課題の解決が必要である。

本研究開発では、一般財団法人石油エネルギー技術センター(JPEC)と共同で表1の研究開発を実施する。70MPa級水素ステーションを構成する配管、バルブなど各部品を製造する前提となる高圧水素ガス設備に使用可能な金属材料の鋼種拡大、高圧水素ガスの輸送・貯蔵を目的とした複合容器(CFRP)に係る技術基準の整備を見据えた調査及び試験に加え、水素ステーションに用いる圧力設備のより合理的な設計を可能とすべく、圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用に関する検討を行う。本事業の成果物は、広く一般に公開され、将来の水素ステーション等の規制見直しに資することが可能な資料となる。

表1 研究開発項目

研究開発項目	担当
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	高圧ガス保安協会
圧縮水素運送自動車用複合容器に係る基準整備に関する研究開発	高圧ガス保安協会
水素ステーション用複合容器に係る基準整備に関する研究開発	高圧ガス保安協会 (国) 東京大学
圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用に関する研究開発	高圧ガス保安協会

## 2. 事業目標

### 2-1 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の使用を目的とした配管、バルブ用材質としては、先行プロジェクトによる評価の結果、オーステナイト系ステンレス鋼SUS316Lが、高圧水素雰囲気下で劣化を起こしにくいことが知られている。しかしながら、SUS316Lは、一般的に用いられるステンレス鋼(例えばSUS304や316)に比較して強度が低く、配管、バルブ等の設計にあたり必要寸法が大きくなり、設置環境などによっては使用できないケースがあるため、高圧水素環境下で必要な耐水素劣化特性を有する強度の高い材料を見出す必要がある。

そこで、金属材料の評価を行うため、設備・材料に応じて必要とされる評価試験の種類（例えば、SSRT（低ひずみ速度引張試験）、遅れ破壊試験、疲労試験、き裂進展試験等）と共に、評価試験の条件（温度、圧力、負荷速度、負荷周期、試験時間、ガス純度等）、試験片の採取方法及び加工条件（寸法精度、加工度、表面粗さ等）などに関する試験項目を検討する。あわせて試験結果の判定基準についても検討を行う。試験条件の検討対象は、配管・バルブ類・継手類等の材料のうち、耐水素劣化特性に優れていると考えられる材料を優先して行う。なお、当該試験条件については、他機関においても同一条件で試験を実施することを可能とするため一般公開するものとする。また、得られた評価試験結果を、高圧ガス保安協会（KHK）内に設置した材料・設計基準分科会において、検討した判定基準を用いて材料の耐水素劣化特性を評価する。本研究開発項目に関するJPECとの役割分担を表2に示す。

表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の役割分担

KHK	JPEC
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 試験データの収集及び評価</li> <li>・ 判定基準の検討</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ インフラ業界の意見収集</li> <li>・ 材料の優先順位の決定</li> <li>・ 試験片の製作</li> </ul>

### 2-2 圧縮水素運送自動車用複合容器に係る基準整備に関する研究開発

高圧ガス保安法容器保安規則例示基準では、上限圧力が35MPaの圧縮水素輸送用のCFRP（炭素繊維強化プラスチック）製複合容器に関する技術基準（圧縮水素運送自動車用容器の技術基準：JIGA-T-S/12/04、圧縮水素運送自動車用付属品の技術基準：JIGA-T-S/13/04）が既に制定されている。しかしながら、圧縮水素自動車燃料装置用容器の高圧化に伴い、水素ステーションにおける水素供給量が増えることが予測されるため、水素運送用容器をより高圧化し、輸送効率を向上させることが望まれている。

そこで、本研究開発では、輸送効率が最適と考えられている45MPa程度の高圧化に対応した容器に必要な技術課題に関して検討を行う。また、使用可能な材料、設計方法、加工方法を含め、容器の設計確認試験及び組試験方法（耐圧試験、破裂試験、圧力サイクル試験等）及び判定基準の高圧化に対応する検討を行う。本研究開発項目に関するJPECとの役割分担を表3に示す。

表3 圧縮水素運送自動車用複合容器に係る基準整備に関する研究開発の役割分担

KHK	JPEC
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 技術基準案の作成に対する指針指示</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 例示基準案の作成</li> </ul>

### 2-3 水素ステーション用複合容器に係る基準整備に関する研究開発

圧縮水素自動車燃料装置用容器の高圧化に伴い、水素ステーション用における蓄圧器にも高圧化が要求される。蓄圧器を鋼製容器で製作すると厚肉となり現状では製作が困難とな

るため、CFRP製複合容器を使用した蓄圧器を活用することが求められている。

そこで、本研究開発では、CFRP製複合容器で蓄圧器を製造する際の要求事項について整理し、将来、水素ステーション用蓄圧器として採用することを見据えた技術基準類の整備に資するための資料作成を行う。

また、CFRP製複合容器の設計基準の基礎となるCFRPのストレスラプチャー試験及び疲労試験を行いデータの充実を図る。なお、JPECが行う破裂試験及び圧力サイクル試験は、本事業内で別途、東京大学で実施する事業において設計された容器を用いて実施する。本研究開発項目に関するJPECとの役割分担を表4に示す。

表4 水素ステーション用複合容器に係る基準整備に関する研究開発の役割分担

KHK、東京大学	JPEC
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 技術基準案の作成に対する助言</li> <li>・ CFRP試験の実施</li> <li>・ 試験容器の設計と試験計画の策定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 特認ガイドライン案の作成</li> <li>・ 試験容器の製作</li> <li>・ 容器試験の実施及び評価</li> </ul>

#### 2-4 圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用に関する研究開発

近年、圧力設備の設計基準における設計係数に関し、米国やEUでは日本で整備されている技術基準の設計係数と比較して、より小さな係数値の導入が進んでいる。この流れを受け、日本でも同様に設計係数を小さくした技術基準の検討が進められている。

設計係数を小さくした技術基準の導入は、水素ステーションに適用することを考えた場合には、使用される設備の大きさや使用板厚の薄肉化に寄与することが予想され、引いては水素ステーション及び自動車の普及に貢献することが期待される重要な課題の一つである。

そこで、設計係数を既存の技術基準よりも小さくした技術基準の導入及びその水素への適用について検討するため、諸外国の設計係数に対する基本的な考え方、材料特性、設計方法、検査方法等の情報を収集する。また、水素ステーションで使用する機器、配管類を対象としてASME（米国機械工学会）規格やEN（欧州規格）を調査し、その実情について情報調査を行い、今後の標準化を見据えた設計係数の見直しに関して必要な情報を収集する。これらに加えて、欧米規格、実績等に関する情報収集で得られた知見をもとに、「材料・設計基準分科会」において、設計係数の変更と水素適用に関する評価・検討を行い、水素ステーション関連設備の設計係数変更の可否、安全確保のために特に確認すべき事項等について纏める。本研究開発項目に関するJPECとの役割分担を表5に示す。

表5 圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用に関する研究開発の役割分担

KHK	JPEC
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 欧米の設計係数に関する情報収集</li> <li>・ 設計係数の水素適用への評価</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ インフラ業界の意見収集</li> <li>・ 特認及び事前評価ガイドライン案の作成</li> </ul>

### 3. 事業成果

#### 3-1 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

現在の一般則例示基準において水素ステーションで使用できる材料は、SSRT、疲労試験及び疲労き裂進展試験の3つの試験結果を踏まえて認められている。本事業において必要な試験種類について検討した結果、SSRTと疲労試験の2つの試験結果から材料の選定できることを提案した。

SSRTでは、引張試験又はミルシートの絞りに、設計圧力以上で水素と大気中（又は不活性ガス中）の比を掛けて材料規格に規定する規格値以上で合格とする。オーステナイト系ステンレス鋼ではNi量のみでは他の成分の影響から相対絞り比を整理することが困難であるため、他の成分の影響を考慮したNi当量（ $\%$ ） $=12.6 C + 0.35 Si + 1.05 Mn + Ni + 0.65 Cr + 0.98 Mo$ ）で整理することを提案した。

疲労試験では、オーステナイト系ステンレス鋼については大気中における $10^7$ 回疲労強度が許容引張応力の1.6倍以上で、水素の影響がないものを合格とする。

上記の選定方法で入手可能なオーステナイト系ステンレス鋼のSSRT及び疲労試験結果について一般則例示基準の検討を行った結果、絞りが75%以上のSUS316及びSUS316Lについては、Ni当量が28.5%以上の場合には70MPaにおいて $-40\sim 85^{\circ}\text{C}$ 、Ni当量が26.3%以上の場合には90MPaにおいて $20\sim 85^{\circ}\text{C}$ で使用できることを提案した。

#### 3-2 圧縮水素運送自動車用複合容器に係る基準整備に関する研究開発

今後の圧力水素運送自動車用容器に必要とされる圧力、安全を確保するための設計確認試験及び組試験の方法等について検討を行い、例示基準のベースとするためのJPEC基準の原案作成に対して助言を行った。

JPEC基準のベースには唯一の圧縮水素運送自動車用容器の例示基準であるJIGA-T-S/12/04を採用することとし、最高充填圧力は、高圧水素ガスの容積、容器の質量等から最も輸送効率の良い値である45MPaとした。最高充填圧力45MPaの高圧水素ガス環境における材料の劣化に関しては、最高充填圧力70MPaの圧縮水素自動車燃料装置用容器の技術基準であるKH K S0128において劣化の傾向がないとされたライナー材料・ボス材料として、アルミニウム合金A6061及びオーステナイト系ステンレス鋼SUS316L並びに熱可塑性プラスチックを採用した。

また、設計方法、加工方法を含む設計確認試験方法及び組試験方法に関して検討を行った結果JIGA-T-S/12/04を踏襲することとした。

#### 3-3 水素ステーション用複合容器に係る基準整備に関する研究開発

水素ステーション用複合容器に要求される圧力繰返し回数を検討した結果、10万回の圧力繰返しに耐える必要があるとの結論を得た。水素ステーション用複合容器は、特定設備検査規則が適用されるため、設計時の疲労寿命予測が要求される。これに対して燃料電池自動車用圧縮水素燃料容器に代表される既往のFRP圧力容器は、要求される圧力繰返し回数が1万回程度であり、設計確認試験により圧力繰返し試験に合格することが要求されている。

FRP複合容器にとって10万回の圧力繰返しに耐える設計は未踏の領域である。このため、

10倍の繰返し回数に耐える設計をどの様に行うかを検証するため、JPECにて行われた小型複合容器及び中型複合容器の設計製作、試験計画の策定及び試験結果の評価に対して助言を行い、圧力繰返しに対する疲労寿命確保のための設計指針を得た。

また、水素ステーション用複合容器は特別認可が必要になることから、特定設備として申請するためのガイドラインをASME Sec. X Appendix 8をベースとすることを提案した。

さらに、CFRP製複合容器の設計基準の基礎となるCFRPのストレスラプチャー試験及び疲労試験を行いデータの充実を図った。

### 3-4 圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用に関する研究開発

国内において実績があり設計係数の最も小さなKHKS0220超高压ガス設備に関する基準の水素適用について検討した。従来通りLBB（破裂前漏洩）判定は行い、LBBが成立しない材料を除外しないことを提案した。また水素の影響に応じて、従来通り大気中のデータを利用してKHKS0220で設計する場合と、水素中のデータを使用してKHKS0220で設計する場合とに分けることを提案した。

従来通り大気中のデータを利用してKHKS0220で設計するためには、材料は以下の1)～3)を満たす必要がある。

- 1) 設計圧力、設計温度範囲において水素中の材料強度の設定値が大気中と同等以上。
- 2) 設計圧力、設計温度範囲において水素中の疲労寿命が大気中と同等以上。
- 3) 設計圧力、設計温度範囲において水素中の疲労き裂進展速度が大気中と同等以上。

なお、LBBが成立する場合には、3)は不必要である。

水素中のデータを利用してKHKS0220で設計するためには、材料は以下の1)～3)を保証する必要がある。

- 1) 設計圧力、設計温度範囲における水素中の材料強度の設定値。
- 2) 設計圧力、設計温度範囲における水素中の疲労寿命。
- 3) 設計圧力、設計温度範囲における水素中の疲労き裂進展速度。

なお、LBBが成立する場合には、3)は不必要である。

### 3-5 特許、論文、講演、報道等の件数

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国	PCT※出願	査読付き	その他	
H22FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H23FY	0件	0件	0件	0件	0件	0件
H24FY	0件	0件	0件	2件	1件	1件

(※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約)

#### 4. まとめ及び課題

##### (1) 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

・一般則例示基準における水素ステーション用金属材料の選定方法を提案した。提案した材料選定方法を基に、SUS316 及び SUS316L の適用範囲を決定した。

##### (2) 圧縮水素運送自動車用複合容器に係る基準整備に関する研究開発

・圧縮水素運送自動車用容器の例示基準 JIGA-T-S/12/04 に代わる、最高充てん圧力 45MPa の例示基準の原案となる JPEC 基準案作成に対する助言を行った。

##### (3) 水素ステーション用複合容器に係る基準整備に関する研究開発

・水素ステーション用複合容器製蓄圧器の特認申請のガイドラインとなる技術基準案作成に対する助言を行った。JPEC にて行われた複合容器試験を先導し、蓄圧器の圧力繰返し寿命に関する健全性確保のための設計指針を得た。また、設計及び技術案作成に必要な CFRP の疲労特性及びストレスラプチャー特性を得た。

##### (4) 圧力設備の設計基準における設計係数と水素適用に関する研究開発

・水素環境において材料規格に規定されている最低要求値を満足する材料は、KHKS0220 の設計で規格値を使用することが可能である。水素環境で材料規格に規定されている最低要求値を満足できない材料は、KHKS0220 の設計に使用する値の保証が必要となる。

#### 5. 実用化・事業化見通し

本研究開発で得られた成果を元に規制の再点検に係る工程表「2015 年の燃料電池自動車・水素ステーションの普及開始に向けて実施すべき事項」の例示基準の改正等が 2013 年頃より開始される予定である。

# (Ⅲ-14) 水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化のための研究開発

委託先: 水素供給・利用技術研究組合 (HySUT)、高圧ガス保安協会 (KHK)

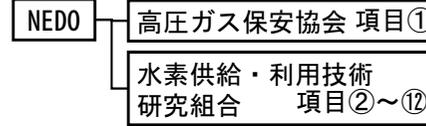
## ●進捗成果サマリ(平成23年度～平成24年度11月)

「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」に基づく12項目の規制合理化項目に関する各種技術基準の検討案を作成した。

### ●背景/研究内容・目的

2015年のFCV普及開始に向け、主要な規制の合理化の検討を示した「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」に基づき12項目の規制合理化項目に関する各種技術基準の検討案を作成するものである。

### ●実施体制及び分担等



特許 出願	論文 発表	外部 発表	受賞等
0	0	2	0

### ●研究目標／成果／実用化・事業化／課題

	テーマ	目標	成果	実用化・事業化の見通し	課題
①	圧縮天然ガス(CNG)スタンド併設時の設備間距離	技術基準案の作成	技術基準の検討案を2月までに完成する見込み	本事業で作成した、一般高圧ガス保安規則第7条、第7条の3およびそれらに付随する例示基準に関する技術基準案を元に、平成25年度以降、経済産業省 原子力安全・保安院 保安課にて、省令や例示基準への取り込みについて検討される。	無し
②	水素ステーションの保安検査基準	保安検査基準案、定期自主検査指針案の作成	保安検査基準案および定期自主検査指針案を作成した。	経済産業省による審査にて民間自主基準「保安検査基準(JPEC-S0001)」の安全性が確認された場合、保安検査告示にて保安検査の方法として指定される。	無し
③	圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁	技術基準案の作成	技術基準案を作成した。	H23年度以降、海外での検討状況も視野に入れ、現状の技術基準案の見直しを実施し、民間自主基準を制定予定。	無し
④	水素ステーションを併設する給油取扱所	・並列設置:安全対策の立案 ・無人暖機運転:安全対策、技術基準整備資料の作成	並列設置のレイアウト具体例および遠隔監視等による無人暖機運転の安全策とりまとめ、消防庁より通知が交付された。	消防庁の「圧縮水素充てん設備設置給油所の安全対策に関する検討報告書(H24.03.23)」の公開、および消防防第140号(H24.5.23)通知により、並列設置・無人暖機運転が可能となった。	無し
⑤	公道とディスペンサーの離隔距離	・技術基準案の作成 ・海外基準の離隔距離設定方法等の調査	・鋼板製・コンクリート製の障壁を用いた技術基準案を作成した。 ・海外基準調査を2月までに終了予定。	H25年度から民間が継続して実施する検討に活用される。	無し
⑥	セルフ充填式水素ステーション	設備仕様等の資料、技術・運用指針案の作成	セルフ充てん実現に必要な要件を2月までに纏める予定。	H25年度以降の水素ステーションの普及状況を考慮しつつ、民間が実施するセルフ充てん式水素スタンド実現に向けた将来の検討に活用される。	無し
⑦	水素ディスペンサー周辺の防爆ゾーン基準の明確化	民間自主基準案の作成	民間自主基準案を作成した。	経済産業省により厚生労働省に民間自主基準「ディスペンサー周辺の防爆基準(JPEC-S0004)」の妥当性の確認が行われ、妥当性が確認された場合、都道府県に対し本基準の内容が周知される。	無し
⑧	公道でのガス欠対応のための水素充填法	充てん場所・使用設備など、公道充てん実施に必要な要件の取りまとめ	高速道路および一般道での充てん実現に必要な要件を2月までに纏める予定。	H25年度から民間が継続して実施する実証を含む検討に活用される。	無し
⑨	フル充填に対応した水素ステーション	技術基準案(省令・例示基準の改正案)の作成	技術基準案を2月までに完成予定。	H25年度に高圧ガス保安協会による技術的妥当性が評価され、その後経済産業省により安全性が確認された場合、省令・例示基準の見直しが行われる。	無し
⑩	水素ステーションでの水素保有量	・35MPa級複合容器水素トレーラーの製作 ・水素貯蔵量規制値超えの許可事例を取得	・35MPa級複合容器水素トレーラーを完成した ・水素貯蔵量規制値超えの許可事例を2月までに取得予定	水素ステーションの水素貯蔵量の上限を超える個別許可を蓄積し、平成25年以降、国土交通省により政令改正されることにより、水素ステーションでの水素保有量が増加される予定である。	無し
⑪	プレクール設備冷凍機の保安距離短縮に関する検討	技術基準案(省令・例示基準の改正案)の作成	技術基準案を2月までに完成予定。	H25年度に高圧ガス保安協会による技術的妥当性が評価され、その後経済産業省により安全性が確認された場合、省令・例示基準の見直しが行われる。	無し
⑫	複合容器蓄圧器の設置等基準に関する検討	技術基準案(省令・例示基準の改正案)の作成	技術基準案を2月までに完成予定。	H25年度に高圧ガス保安協会による技術的妥当性が評価され、その後経済産業省により安全性が確認された場合、省令・例示基準の見直しが行われる。	無し

### ●研究成果まとめ

「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」に基づく12項目の規制合理化項目に関する各種技術基準の検討案を作成した。

## 水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化のための研究開発

実施者：水素供給・利用技術研究組合、高圧ガス保安協会

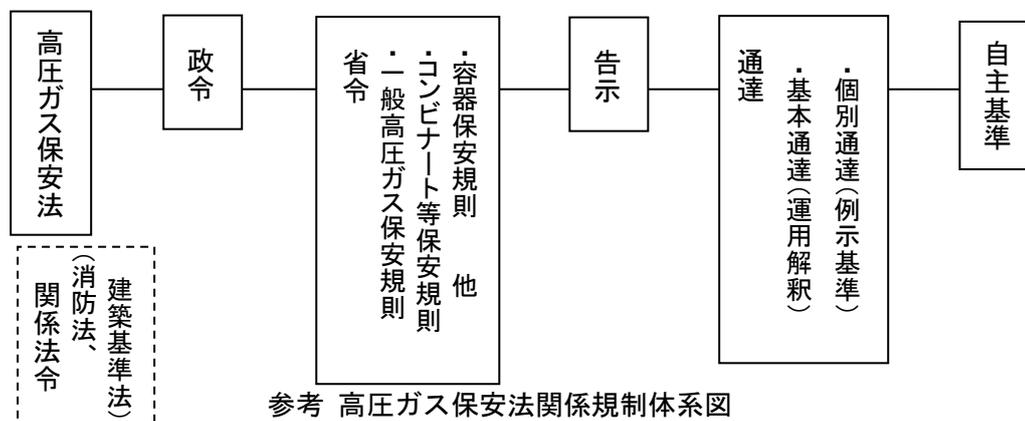
### 1. 事業概要

2015年のFCV普及開始に向け、関係する規制について再点検が行われ、関係省庁間で調整の上、主要な規制の合理化の検討を2012年度までに完了することを示した「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」（以下、工程表という）の作成を2010年末に完了し、公表された。

本事業は、この工程表に基づき水素供給・利用技術研究組合（HySUT）と高圧ガス保安協会（KHK）が協力して、以表に記す12項目の規制合理化項目に関する安全性に係るリスクの抽出及びその対策を検討し、得られたデータや知見を取りまとめ、関連業界が国土交通省、消防庁、経済産業省原子力安全・保安院等に提案するための各種技術基準の検討案を作成するものである。

No.	工程表※	検討項目	検討対象基準類
1	2	CNG スタンド併設時の設備間距離に関する検討	省令・例示基準
2	3	水素ステーションの保安検査基準に関する検討	自主基準
3	8	圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討	例示基準
4	11	水素ステーションを併設する給油取扱所に関する検討	関係法令（消防法）
5	12	公道とディスペンサーの離隔距離に関する検討	省令・例示基準
6	13	セルフ充てん式ステーションに関する検討	省令・例示基準
7	14	ディスペンサー周辺の防爆ゾーン基準に関する検討	自主基準
8	15	公道でのガス欠対応のための水素充てんに関する検討	省令・例示基準
9	16	フル充てんに対応した水素ステーションに関する検討	省令・例示基準
10	4	水素ステーションでの水素保有量に関する検討	関係法令（建築基準法）
11	1	プレクール設備冷凍機の保安距離短縮に関する検討	省令・例示基準
12	1	複合容器蓄圧器の設置等基準に関する検討	省令・例示基準

※工程表：別紙参照

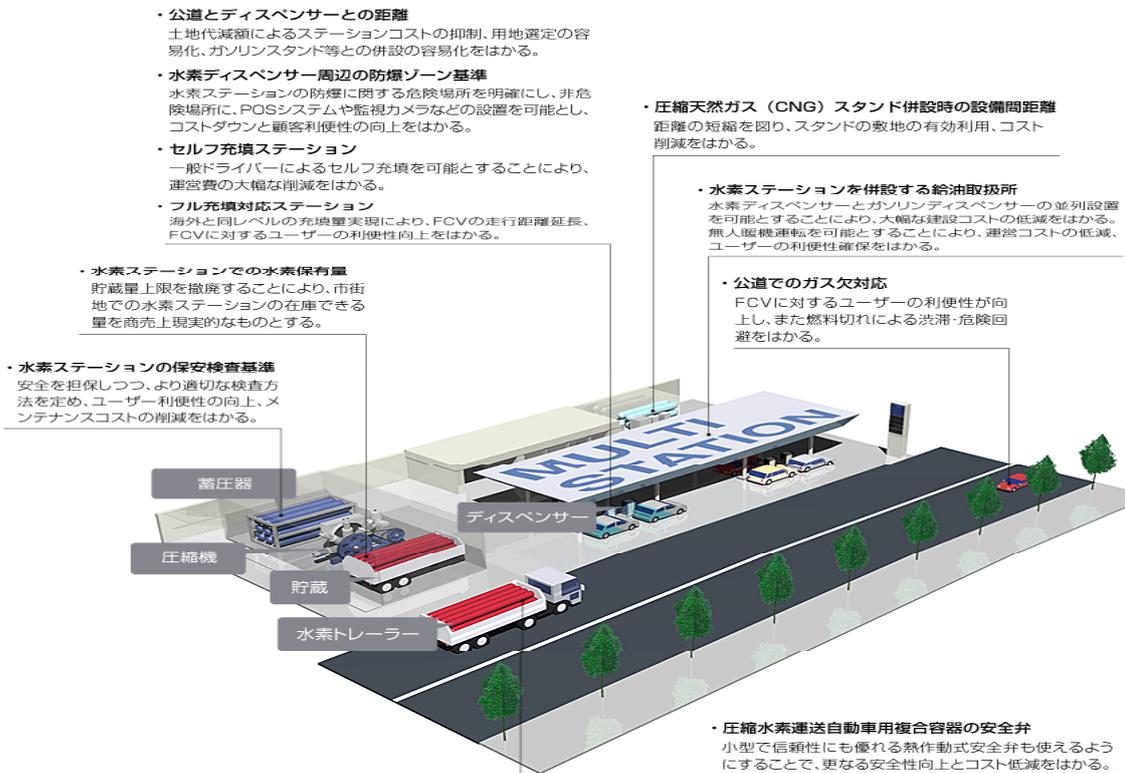


【検討体制】

規制合理化検討委員会



【規制合理化検討項目】



## 2. 事業目標

### 2.1 CNGスタンド併設時の設備間距離に関する検討

CNGスタンドに水素ステーションの併設を容易とするCNGスタンドに関する技術基準の整備に資する資料や技術基準の検討案を作成する。

(目標)

平成23年度：現状整理を行い、検討項目を明確化し、拡散シミュレーションを検討する。  
同時にリスク評価を開始する。

平成24年度：平成23年度の拡散シミュレーションやリスク評価を進め、それに基づく対応策を踏まえて、設備間距離に関する規定である一般高圧ガス保安規則第7条、第7条の3およびそれらに付随する例示基準に関する技術基準の検討案を作成する。

### 2.2 水素ステーションの保安検査基準に関する検討

特定圧縮水素スタンド（40MPa 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および定期自主検査指針検討案を作成する。

(目標)

平成23年度：保安検査基準の検討案および、定期自主検査指針の検討案を作成する。

### 2.3 圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討

事業者の選択肢の幅を広げ、かつ適切な安全弁の選択を可能にするため、ガラス球式安全弁の各種実験（作動信頼性・再現性・耐久性等）による安全性検証を行い、それを基に、技術基準の整備に資する資料および、技術基準の検討案を作成する。

(目標)

平成23年度：

- ・ガラス球式安全弁の安全性を検証するための実験データを取得する。
- ・実験データの収集・解析結果から、ガラス球式安全弁を使用する場合の安全性について検討する。
- ・技術基準の整備に資する資料および、技術基準の検討案を作成する。

### 2.4 水素ステーションを併設する給油取扱所に関する検討

ガソリンディスペンサーと水素ディスペンサーの並列設置を可能とするため、ディスペンサー相互の事故影響、ガソリン・水素の漏えい・火災によるFCV等への影響や安全性確保に向けたレイアウト等の検討を行い、検討結果を消防庁に報告する。また、石油系原料を用いる改質器の無人暖機運転を可能とするため、想定される事故を防止する対策や発災時の迅速な対応を可能とする体制等を検討し、無人暖機運転に関する技術基準の整備に資する資料を作成し、消防庁に報告する。

(目標)

平成23年度：

並列設置については、ディスペンサー相互の事故影響やFCV等およびガソリン自動車への影響を検討の上、必要な安全対策（レイアウト等）を立案し、検討結果を消防庁に報告する。また、無人暖機運転時については、想定される事故・トラブルに対する安全対策を立案し、技術基準の整備に資する資料を作成し、消防庁に報告する。

## 2.5 公道とディスペンサーの離隔距離に関する検討

限られた敷地面積を有効に活用するために、安全性を確保した上で離隔距離を短縮する障壁等の措置に関して検討を行う。また、検討に当たっては、海外における規制の考え方、離隔距離設定方法について調査する。これら検討の結果として、公道とディスペンサーの離隔距離の緩和措置に関する一般高圧ガス保安規則第7条の3に係る技術基準の整備に資する資料および技術基準の検討案を作成する。さらに、海外基準における離隔距離設定の方法や根拠を調査し、離隔距離短縮に資する資料を作成する。

(目標)

平成23年度：公道とディスペンサーの離隔距離を緩和する具体的方策を特定し、技術基準の検討案を作成する。

平成24年度：保安課による技術基準案の審査に応じてシミュレーション・実験等を行い、データを取得する。海外調査を継続し、離隔距離短縮に資する資料を作成する。

## 2.6 セルフ充電式ステーションに関する検討

一般ユーザーがセルフ充電できるよう、関係する法令等を体系的に調査・整理し、安全対策の検討、海外の状況の把握および比較、幅広いユーザーが容易に充電可能な機器や作業検討を行い、設備仕様および運用方法に関する技術や運用指針の整備に資する資料や、技術および運用指針の検討案を作成する。

(目標)

平成23年度：海外のセルフ水素ステーションの現状把握等を行い、そのイメージを明確化し危険要因の抽出・分析を行う。

平成24年度：平成23年度で抽出された危険要因に対する安全な充電方法、安全な充電システムを検討し、セルフ充電を行うための必要な安全対策および必要要件に関する資料や設備面での技術指針の検討案を作成する。

## 2.7 ディスペンサー周辺の防爆ゾーン基準に関する検討

海外の危険場所設定の検証、水素放出量の調査等により、ディスペンサー周辺における適切な危険場所設定を検討し、厚生労働省の通達（平成20年9月25日）に基づき民間自主基準

を作成する。

注) 現在わが国には、水素ステーションに関し、防爆電気機器を設置すべき危険場所を具体的に定めた厚生労働省の基準はないため、民間自主基準を作成する必要がある。

(目標)

平成23年度：水素ステーションに電気機器を設置する場合、設置場所に応じた適切な防爆構造を調査、検討する。

平成24年度：平成23年度の調査、検討に基づき民間自主基準を作成する。

## 2.8 公道でのガス欠対応のための水素充てんに関する検討

公道でのガス欠に対応できる状況を確認するため、対応が円滑に実施されているガソリン車等の先行例・法令等を調査し、ガス欠したFCV等に公道で水素を充てんする場合の安全な対処方法（水素充てんの場所、使用装置等）や確保すべき救援体制など安全な対処方法や関連法令について検討する。この検討結果を基に、公道充てんが実施できる必要要件を取りまとめる。

なお、日本自動車連盟等有識者からガス欠対応方法や法規制（液化石油ガス保安規則、消防法、道路法、道路運送車両法他）について、ヒヤリングする。

(目標)

平成23年度：公道でのガス欠対応のため、水素充てんするために必要な安全対策を抽出する。

平成24年度：公道充てんのための設備仕様および充てん方法等、安全対策の必要要件を取りまとめる。

## 2.9 フル充てんに対応した水素ステーションに関する検討

本検討においては、別途実施される「フル充てんに対応した車載容器に関する規制見直し検討（容器保安規則）」と歩調を合わせ、フル充てんに対応した水素ステーションに関連する安全性評価検討を行う。一般高圧ガス保安規則および同例示基準の見直しに資する資料や技術基準の検討案を作成する。これにより、より多くの水素を安全にFCV等に充てんすることができるフル充てんを可能とする。なお、今回の研究開発では、FCV等車載容器のNWPを超え82MPa\*を上限とする圧力まで、通信充てんおよび非通信充てんにより水素を充てんする方式について検討する。

\* 70MPa充てん対応水素ステーション一般高圧ガス保安規則および同例示基準見直し案（本年度高圧ガス保安協会にて審査予定）における水素ステーションの常用圧力。

本検討の推進にあたっては、関連する他のNEDO事業と密接に連携し、他事業で実施する実験データ等の成果を取り込み、効率的な事業推進をはかる。

(目標)

平成23年度：検討のベースとする水素ステーションの設備構成と設備仕様を決定する

と共に、想定事故検討、安全対策検討を開始する。

平成24年度：フル充電に関わる一般高圧ガス保安規則第7条の3および、同例示基準の見直しに資する資料や技術基準の検討案を作成する。

## 2.10 水素ステーションでの水素保有量に関する検討

現行の建築基準法で定められた水素貯蔵量では、FCV普及時の商用水素ステーションの貯蔵量として大幅に不足するため、貯蔵量の増加が必要である。規定の水素貯蔵量を超えて、水素を貯蔵する水素ステーションの許可制運用の実例として、既存の水素ステーションの貯蔵量増加にかかわる地方自治体への許可申請、公聴会（或いは建築審査会）等の手続きを行う。そのために、高圧ガス保安法、道路運送車両法等に適合した水素トレーラー開発と製作を行い、安全を確保した上で、実際に高圧水素トレーラーで水素を運搬し、水素ステーションでの貯蔵等必要な実証を行う。

（目標）

平成23年度：

- ・水素トレーラー留め置きによる水素貯蔵方式で、水素貯蔵量が規制値を超える水素ステーションの建築基準法の個別許可取得に必要な資料の作成を行い、行政庁および建築審査会への事前説明を実施する。
- ・35MPa級複合容器搭載水素トレーラー（プロトタイプ）を設計、製作する。

平成24年度：

- ・35MPa級複合容器水素トレーラー運用による水素輸送・貯蔵を検証し運用実績を蓄積する。
- ・45MPa級複合容器搭載水素トレーラーの開発と運用に資するデザインレビューを行う。
- ・上記35MPa級複合容器水素トレーラーの運用を前提とした、水素貯蔵量が規制値を超える水素ステーションの建築基準法の個別許可の取得により、許可事例をつくる。

## 2.11 プレクール設備冷凍機の保安距離短縮に関する検討

冷凍機に関する関連法令の整理・検討を実施するとともに、プレクール設備の冷凍機に関する安全性検討を実施し、必要な保安距離に関する技術的検討を行う。これら検討結果をもとに、冷凍機圧縮機の保安距離を、他の水素ステーション設備における敷地境界距離と同等程度まで短縮する技術基準の検討案を作成する。

（目標）

平成24年度：プレクール設備冷凍機に関わる一般高圧ガス保安規則第7条の3の見直しに資する資料や技術基準の検討案を作成する。

## 2.12 複合容器蓄圧器の設置等基準に関する検討

複合容器蓄圧器は鋼製蓄圧器と比較して、使用材料や設計方法が大きく異なり、かつ使

用実績も無いため、現状では水素ステーションへの設置が認められていない。そのため、複合容器蓄圧器と鋼製蓄圧器を比較し、複合容器蓄圧器に必要となる安全対策を海外調査の結果も踏まえ検討する。その検討結果をもとに、複合容器蓄圧器を水素ステーションに設置することを可能とする技術基準の検討案を作成する。

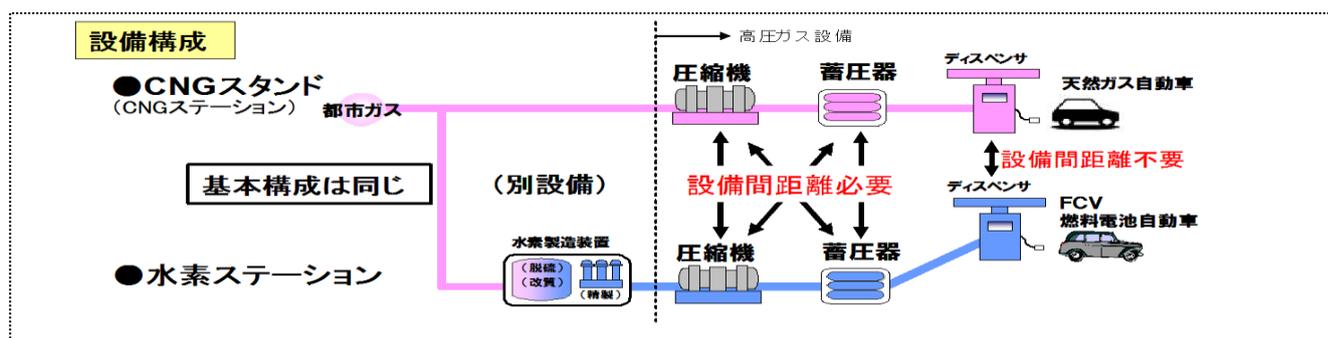
(目標)

平成24年度：複合容器蓄圧器に関わる一般高圧ガス保安規則第7条の3の見直しに資する資料や技術基準の検討案を作成する。

### 3. 事業成果

#### 3.1 CNG スタンド併設時の設備間距離に関する検討

CNG スタンドに水素ステーションを併設する場合に、併設することによる事故発生リスクとその要因をこれまでの事故事例等を踏まえて検証し、両者の設備間距離を短縮することによる事故発生リスクの増加を抑制するための措置として本研究では障壁の設置について検討しており、事故発生シナリオとガス流動及び着火時の挙動に関するシミュレーション等を活用し、安全性および事故時の対応を検討して、技術基準の検討案を作成しており、年度内に完成する見込みである。



- ・ 現行の基準における CNG スタンドおよび水素ステーションに関する距離規定の調査を行い、火炎長、輻射強度、漏洩拡散の状況等を考慮して保安距離等を規定していることがわかった。
- ・ 天然ガスおよび水素の物性について整理を行い、両者の物理的及び化学的性質に大きく異なる部分がないことがわかった。
- ・ CNG スタンド及び水素ステーションにおいて火災が発生した場合には、漏えいが安全に停止されない限り消火しないことや火災の輻射熱による周辺設備の温度の上昇を防止する措置がとられ、CNG スタンド及び水素ステーションでは消火方法に大きく相違が無い事がわかった。
- ・ CNG スタンド及び水素ステーションそれぞれにおける事故の分析を行い、双方ともに動機器に関する事故事例が多くなっており、事故の主原因は CNG スタンドでは経年劣化、水素ステーションでは製品不良や保全不良による事例が最も多くなって

ることがわかった。

- ・ CNGスタンドと水素ステーションの事故シナリオを作成しリスクランクを算定したが、水素ステーション特有の事例として、設備が高圧の水素環境下での運転となるため、水素脆化に起因する事故シナリオが洗い出された以外は同等の分析結果となり、双方ともにリスクが高いと評価された事故シナリオは存在しなかった。
- ・ 同様に現行基準における CNG スタンドと水素ステーションを併設した際のリスク評価を行うとともに、設備間に障壁を設置して設備間距離 6m を短縮した場合のリスク評価を行い、現行基準と同等以上の安全性を持っていることについて確認を実施している。
- ・ CNGスタンドと水素ステーションを併設する際にモデルとなるレイアウトを作成して、解析対象内の天然ガスおよび水素の拡散・燃焼挙動についてシミュレーションを行い、輻射熱等による設備への影響を考慮した設備から壁までの距離および壁の高さ等について検討を行い、短縮可能な設備間距離について検討を実施している。
- ・ 以上の検討を元にして、一般高圧ガス保安規則第 7 条、第 7 条の 3 およびそれらに付随する例示基準に関する技術基準案を作成して、本事業は今年度中に終了する見込みである。

### 3.2 水素ステーションの保安検査基準に関する検討

水素ステーションの保安検査項目および検査方法が定められている一般則別表 3 の記載内容を参考に、特定圧縮水素スタンドの保安検査基準の検討案および定期自主検査指針の検討案を作成した。この中で、高圧ガス設備の耐圧性能・強度については、過去の破壊検査・材料評価試験・超音波検査などの結果を調査し、非破壊検査方法として、超音波探傷検査を採用することにより、蓄圧器の開放検査を不要とした。

#### 【保安検査基準（抜粋）】

#### 4.3 高圧ガス設備の耐圧性能及び強度\*<sup>1</sup>

別表 3：高圧ガス設備の耐圧性能及び強度に係る検査は、耐圧性能及び強度に支障を及ぼす摩耗、劣化損傷その他の異常がないことを目視及び非破壊検査（肉厚測定を含む。）により検査する。

##### 【検査方法】

高圧ガス設備の耐圧性能・強度に係る検査は、耐圧性能・強度に支障を及ぼす減肉、劣化損傷、その他の異常がないことを目視検査及び非破壊検査（肉厚測定を含む。）により確認する。

（2-2）非破壊検査（磁粉探傷試験、浸透探傷試験、超音波探傷試験、放射線透過試験及び渦流探傷試験等、ただし、蓄圧器にあつては超音波探傷試験とする。）は、当該高圧ガス設備の減肉、劣化損傷の検出に対して適切な検査方法を選定して行う。

##### 【対応規則条項】

一般則：第 6 条第 1 項第 1 1 号・1 3 号、第 7 条の 3 第 1 項第 1 号（準用）、第 7 条の 3 第 2 項第 1 号（準用）

コンビ則：第 5 条第 1 項第 1 7 号・1 9 号、第 7 条の 3 第 1 項第 1 号（準用）、第 7 条の 3 第 2 項第 1 号（準用）

##### 【（1）目視検査\*<sup>2</sup>】

圧縮水素ガススタンドに係る高圧ガス設備の外部について、1 年に 1 回目視検査を行う。

なお、弁類及び動機器にあつては、分解点検・整備のための開放時\*<sup>3</sup>に目視検査を行う。

## 【(2) 非破壊検査】

### (2-1) 肉厚測定

圧縮水素ガススタンドに係る高圧ガス設備にあつては、「(1) 目視検査」に定めるところにより、1年に1回外部について目視検査を行い、減肉、劣化損傷、その他の異常の有無を確認した結果、異常が認められた場合には、肉厚測定用器具を用いて肉厚測定を行う。

### (2-2) 肉厚測定以外の非破壊検査

特定圧縮水素ガススタンドに係る蓄圧器にあつては、1年に1回外部から水素脆化による疲労割れ等の進展について超音波探傷試験により内部の状況を確認する。<sup>\*4</sup>

又、特定圧縮水素ガススタンドに係る高圧ガス設備の溶接部（高圧ガス配管や圧縮機の付属機器等の溶接部）にあつては、「(1) 目視検査」に定めるところにより、1年に1回外部の減肉、劣化損傷、その他の異常の有無を確認した結果、異常が認められた場合には、非破壊検査を行う。

## 3.3 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複合容器に取り付けることが出来る安全弁の形式を溶栓式に限定している現行の技術基準（JIGA-T-S/13/04）を元に、現行の検査項目のガラス球式への適用の可否に加え、ガラス球式の構造上の特徴に基づく固有の検査項目として落下試験の採用を検討した。検査項目の選定に当たっては、ガラス球安全弁を用いた確認試験を実施した。

その結果、現行の技術基準で規定されている検査項目に加え、新たにガラス球式安全弁固有の検査項目として落下試験を追加した技術基準の検討案を作成した。



ガラス球式安全弁の外形（一例）

### 【技術基準(案)抜粋】

(設計確認試験における安全弁落下試験)

第4条の2 ガラス球式安全弁は、同一の型式から採取した5個の安全弁について、次項から

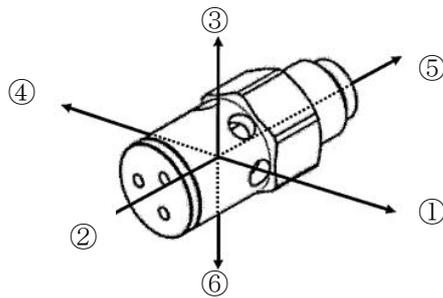
第5項に定めるところにより安全弁落下試験を行い、これに合格しなければならない。

また、安全弁が容器元弁等の附属品に組み込まれた一体構造で製作され、安全弁が取り外せないものについては、附属品一体で安全弁落下試験を行うことができる。

2 試験は、次の各号に定めるところに従って行うものとする。

(1) 安全弁の最低部が落下させる床面から1.8m以上の位置で保持した後、落下させる。

(2) 安全弁を次の図に示す6方向から落下させる。この場合、6方向からの自由落下を可能とする。

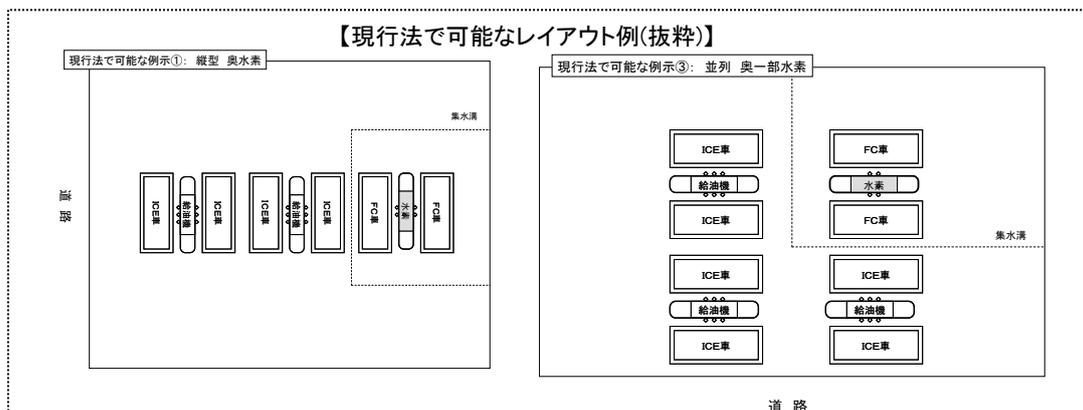


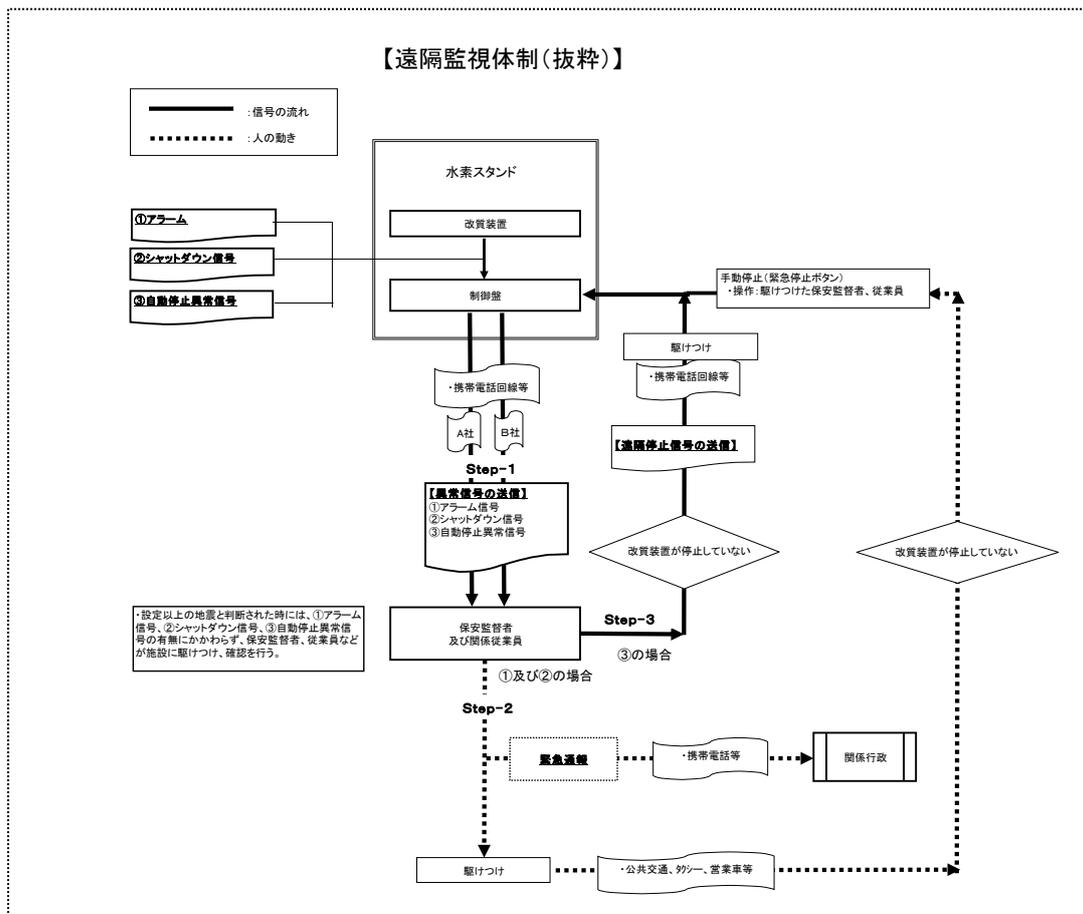
- (3) 落下させる床面は、平滑で水平なコンクリート、またはこれと同程度の堅固な水平面とする。
- (4) 安全弁は、次項と第 4 項に定める試験を行う上で、支障の無いように結合部を保護することができる。
- 3 安全弁は、前項に定める試験を実施した後、当該安全弁が装置される容器の気密試験圧力以上の圧力を加えることにより気密試験を行うものとする。
- 4 安全弁は、第 2 項と前項に定める試験を実施した後、当該安全弁が装置される容器の耐圧試験圧力となる温度以下の温度を加えることにより作動試験を行うものとする。この場合、加圧状態にした安全弁を水、グリセリン又はシリコン油(以下「試験液」という。)に浸漬させ、試験液を攪拌しながら徐々に加熱することによって行う。この場合、試験液の温度が当該安全弁の作動温度に近い温度に達したときは、1分間以上3分間以下に温度が1℃上昇する割合で昇温させるものとする。
- 5 試験は、安全弁に漏れ等がなく前項で規定する温度で作動するものを合格とする。

### 3.4 水素ステーションを併設する給油取扱所に関する検討

昨年度はディスペンサーの並列設置に必要な安全対策として、漏洩ガソリンが水素ディスペンサー側へ流入することを防止するための集油溝を設置すること、並びに無人暖機運転の安全対策として有資格者による遠隔監視体制を立案し、その検討結果の報告を消防庁に実施した。

その結果、水素ディスペンサーとガソリンディスペンサーの並列設置については、現行法で設置可能な圧縮水素充填設備設置給油取扱所のレイアウトの具体例が、石油系原料を用いる改質器の暖機運転については、遠隔監視体制を含む必要な安全対策が「危険物から水素を製造するための改質装置の遠隔監視に必要な安全対策のあり方」として纏められ、「圧縮水素充填設備設置給油取扱所の安全対策に係る検討報告書」(平成 24 年 3 月 23 日に公表)に示された。

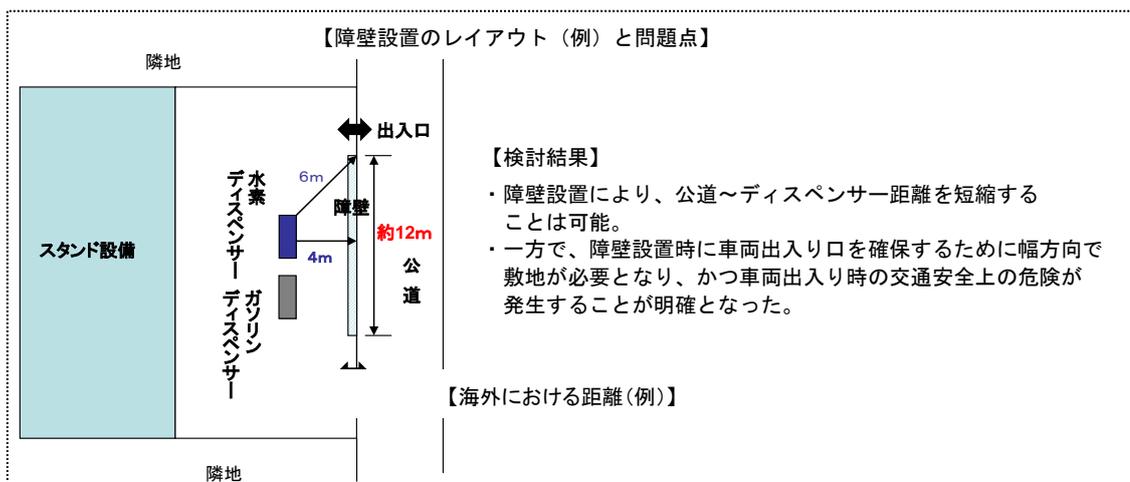




### 3.5 公道とディスプレイの離隔距離に関する検討

平成 23 年度には、障壁材料の候補材として透明で使い勝手の良いポリカーボネートについて調査・検討を行なったが、障壁材質として不燃性が必要となるため、当該材料の採用には至らなかった。そのため、現行例示基準で、敷地境界距離の緩和処置として認められている鋼板製・コンクリート製障壁を前提に、水素ステーションに障壁を設置した場合のレイアウト検討・安全性検討を実施し、技術の検討案を作成した。

また平成 24 年度は、海外基準における離隔距離決定方法の調査を実施することにより、離隔距離短縮に関する広範な知識を習得する計画であり、平成 25 年 2 月末までに完了する予定である。



	Safety Distances	
	公道～ディスペンサ	(参考) 高圧ガス設備～敷地境界
一般則7条の3第2項	6m	6m
ISO DIS 20100	5m ※1	5m ※2
NFPA52 (2010 edition)	3m (10ft) ※3	11.38m (35ft) ※4
VD-TUV Merkblatt 514	2m	規定無し

※1: ISO DIS 20100の14.2.2.3

※2: ISO DIS 20100の14.2.2.1.2、Table 2のCategory3,Complex system

※3: NFPA52(2010) Table9.3.1.4

※4: NFPA52(2010) Table9.3.1.3(b)。なお、2時間耐火防火壁により距離1/2に短縮可。

### 3.6 セルフ充てん式ステーションに関する検討

水素ガスのセルフ充てんに関する高圧ガス保安法の関連条項の整理、ガソリンのセルフ充てん開始時の消防法の改正内容の調査に加え、運用面では作業分析の実施、安全性についてはセルフ式ガソリンスタンドの事故事例の調査を実施した。その結果、法律面では事業所従業員以外の顧客による水素充てん作業の容認、および充てん容器への充てんガスの種類の確認方法などの課題を検討する必要があると明らかとなった。また作業面、安全面からは作業性の良い軽量な充てんノズルの必要性が明らかとなった。

今後これらの課題の解決策等を検討し、平成25年2月末までに、セルフ充てんを可能とするための必要要件を纏める予定である。

セルフ充填での課題と対応策(案): 抜粋

○: 防止(対応)可能なもの △: 一定の効果が期待できるもの

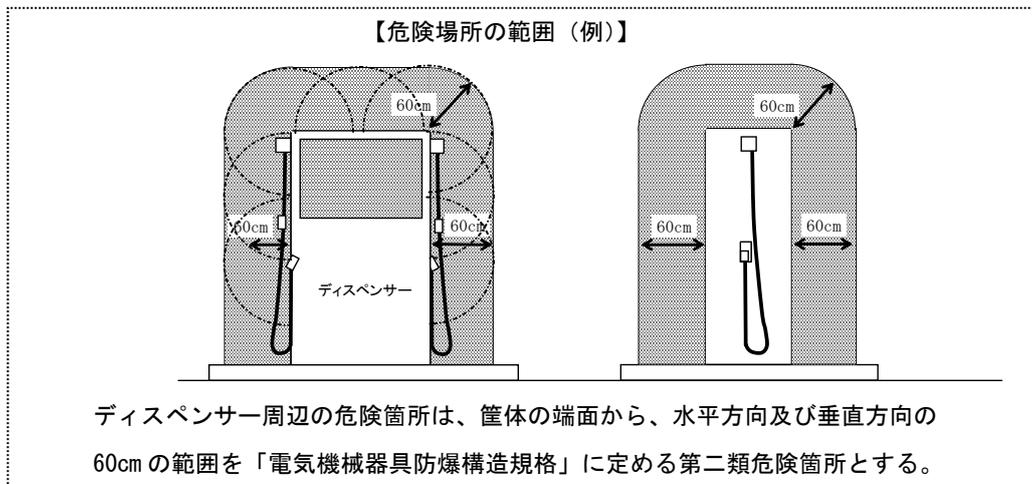
高圧ガス保安法関連での対策 消防法関連での対策	水素SSでの対策										セルフガソリンスタンドでの対策	使用方法・危険性説明の掲示 看板・停止位置の表示 人体の静電気除去 従業員による監視 車両防護柵 緊急離脱カブラ 日常点検 ノズル返却精算完了システム 課題となるものがない構造					
	水素漏洩検知器	火災検知器	感震計	過流防止弁	設備異常時のインターロック	圧力によるノズル形状	充填プロトコルによる制御	緊急停止ボタン	課題となるものがない構造	ノズル返却精算完了システム			日常点検	緊急離脱カブラ	車両防護柵	従業員による監視	人体の静電気除去
セルフ充填での課題																	
1. セルフ充填(製造)の許可																	課題
2. FCV容器の記載内容を遵守し充填																	
充填可能期間を過ぎたものに充填しない																	△
充填すべき圧力						○	○										△
3. セルフ客への教育、従業員の責務																	
危害予防規程を定めセルフ客に遵守させる																	課題
保安教育を実行する。																	課題
4. 適切な方法での充填																	
喫煙(火気)使用の注意													○				△
ノズルを落として傷つける																	△
ノズルが重くて、操作できない																	課題
5. 異常発生時の適切な対応																	
設備の水素漏洩	○			△	○				△					○			
ロックが解除できず、ノズルが外れない														○			
地震発生			○		○									○			
火災		○			○									○			
6. 車両の適切な誘導																	
貯槽・ガス設備・容器置場への衝突防止策													○			△	
フルサービス・セルフサービスの間違い防止																○	

3.7 ディスペンサー周辺の防爆ゾーン基準に関する検討

厚生労働省労働基準局長通達及び JISC60079-10:2008(爆発性雰囲気で使用使用する電気機器器具-第10部:危険箇所の分類)に示す危険箇所の区分と範囲を分類する設定手順に基づき、特定圧縮水素スタンドに設置するディスペンサーの周囲 60cm を第二類危険箇所に規定した民間自主基準案を作成した。

【ディスペンサー周辺の危険箇所の区分と範囲の設定手順(概要)】

- ステップ 1 放出源の放出等級を決定する。
- ステップ 2 危険箇所の区分と範囲に影響を与える要因(放出量や放出速度)の評価を行う。
- ステップ 3 換気度を決定する。
- ステップ 4 換気の有効度を決定する。
- ステップ 5 危険箇所の区分を決定する。
- ステップ 6 計算により範囲を決定する。



### 3.8 公道でのガス欠対応のための水素充てんに関する検討

高速道路におけるガス欠対応時の必要水素ガス量は、水素ポンペ1本（7m<sup>3</sup>）程度であること、さらにこの程度の水素ガス量ならば、充てん設備および充てん場所の安全を確保することにより、現行の高圧ガス保安法でも主要高速道路のサービスエリア、パーキングエリア、インターチェンジ事務所近傍などの安全を確保できる場所を事前に都道府県に届けることで、公道充てんが可能であることを確認した。

また一般道でのガス欠時の対応策、充てん設備仕様の検討を実施中であり、平成25年2月末までに、公道充てん実施の必要要件を取りまとめる予定である。

【国内高速道路の調査】

高速道路名	SA数	SS数	PA数	IC数	SA・SA間距離		PA・SA間距離		PA・SA・IC間距離	
					最長	平均	最長	平均	最長	平均
東北自動車道	12	15	41	42	99.1	53.9	24.2	16.1	17.6	7.2
関越自動車道	5	5	16	16	55.0	44.2	24.8	14.4	13.6	6.8
東名高速道路	6	6	22	23	67.0	51.0	23.0	15.2	15.6	7.0
名神高速道路	4	4	15	14	75.9	53.0	19.6	12.3	14.3	5.7
北陸自動車道	7	8	26	34	83.4	55.0	28.1	18.0	17.1	7.1
中国自動車道	9	9	30	27	73.6	54.2	24.9	17.6	22.1	8.2
山陽自動車道	8	8	21	31	64.7	50.9	38.0	19.4	18.0	7.0
九州自動車道	6	6	19	25	75.3	54.0	28.7	17.0	26.1	6.9
合計	62	61	210	240	-	-	-	-	-	-
首都高速	0	0	20	-	-	-	-	-	-	-

↓  
99.1

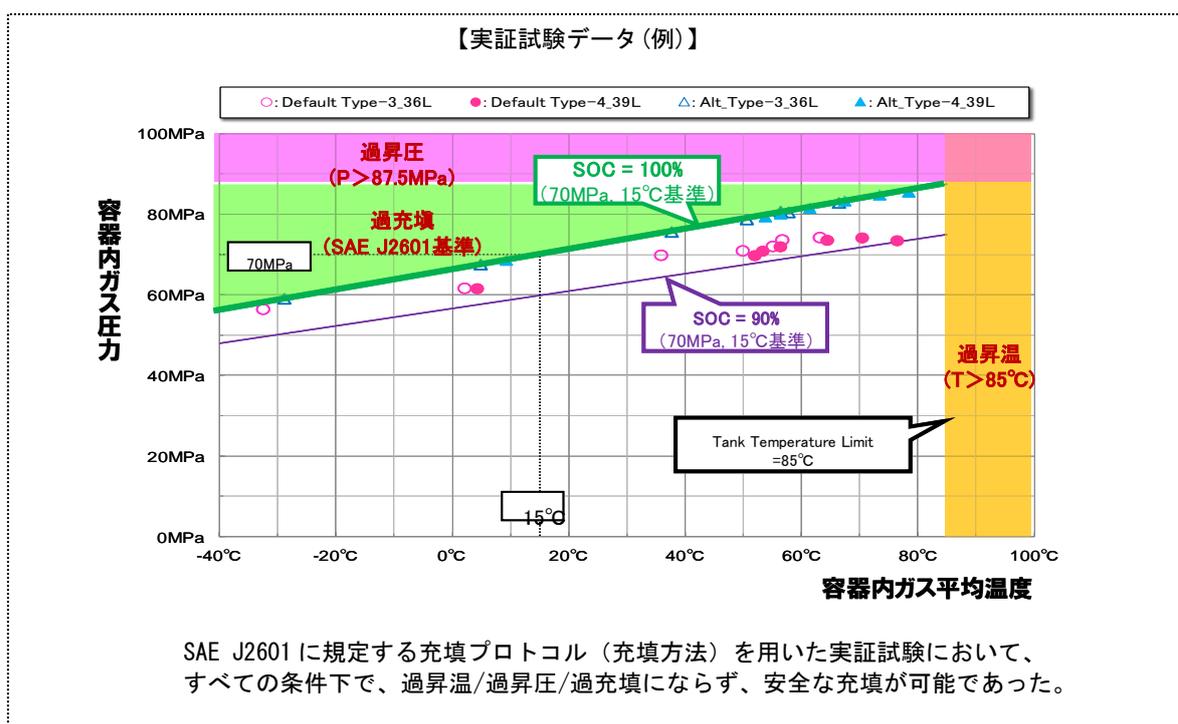
↓  
38.0

↓  
26.1

JAFのレスキュー方針を考慮すると、最長約30km・平均約10kmのレッカー移動後、SA・PA・ICの事務所付近など**安全な場所**で、レスキュー車両による給ガスを行うことが妥当。

### 3.9 フル充電に対応した水素ステーションに関する検討

平成 23 年度は関連する国際基準である SAE TIR J2601 に基づき、水素ステーションの設備構成、設備仕様、想定事故、および安全対策の検討を実施し、70MPa 水素スタンド技術基準案（省令、例示基準）にて対応可能であるとの見込みを得た。平成 24 年度は、さらに国際基準 SAE J2601、HFCV-gtr の検討状況を把握し、平成 25 年 2 月末までに技術基準見直しに資する資料を作成予定である。



### 3.10 水素ステーションでの水素保有量に関する検討

杉並水素ステーションは建築基準法により水素を 3,500m<sup>3</sup> しか貯蔵することが出来ないため、この貯蔵量の制限を超えて水素を貯蔵するには、建築基準法の個別許可を得る必要がある。そこで、平成 23 年度は杉並区や建築審査会等に向けた技術資料や質疑応答集を作成し、杉並区・同建築審査会事前説明会・近隣住民への説明を実施した。

また、水素輸送用トレーラーに係る関連法規、技術基準に基づき、35MPa 級複合容器水素トレーラー（1,435m<sup>3</sup>）を設計・製作した。

平成 24 年度は水素貯蔵量の制限（3,500m<sup>3</sup>）内で 35MPa 級複合容器水素トレーラーを杉並水素ステーションに留置き、水素トレーラーによる水素輸送・貯蔵の実績をつくった。この実績を基に、水素貯蔵量の制限を超える個別許可申請を平成 25 年 2 月末までに行う予定である。

また、平成 23 年度の杉並区等への説明を踏まえ、個別許可取得のための技術資料および質疑応答集の改訂を実施し、個別許可取得に活用可能な汎用性の高い、建築審査会および

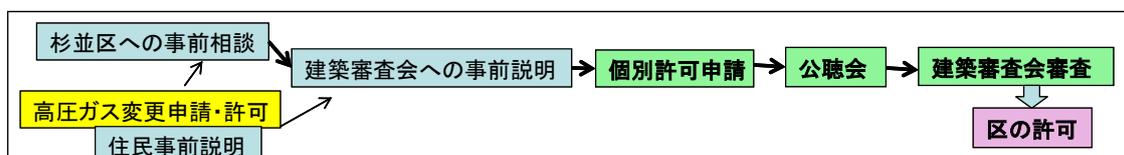
公聴会向けの技術資料を平成 25 年 2 月末までに作成する予定である。



35MPa トレーラー外観と内部容器



杉並 S T での規制値内運用



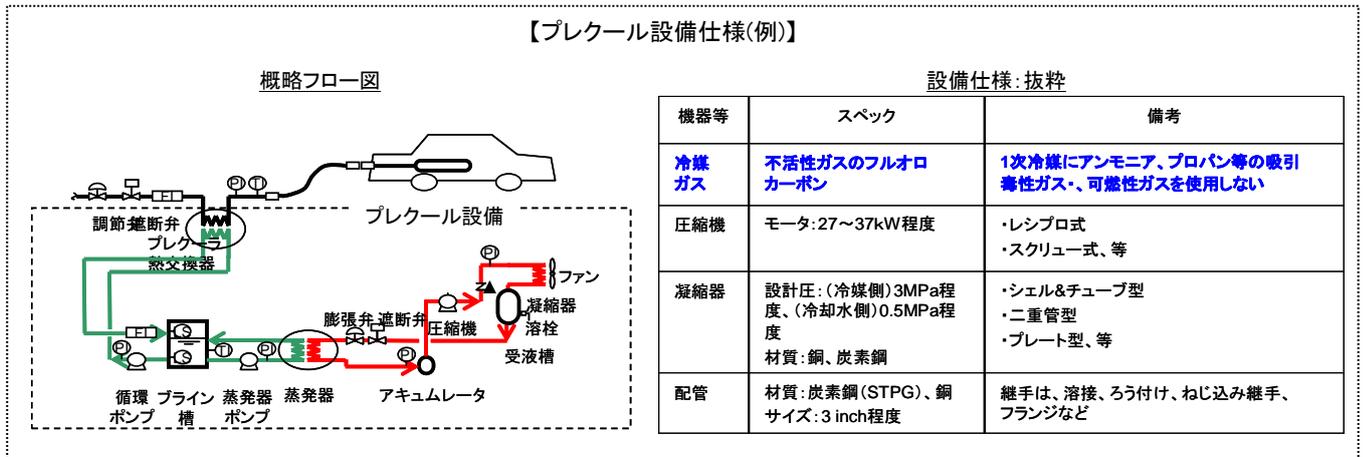
建築基準法の個別許可取得手順

### 3.11 プレクール設備冷凍機の保安距離短縮に関する検討

プレクール設備冷凍機に関する関連法令の整理・検討、冷凍機に係る事故事例調査、プレクール設備冷凍機の仕様を確認した。そのうち事故事例調査では、不活性ガスを冷媒に使用する冷凍機では不活性ガスの漏洩による酸欠事故が発生していることを把握した。

平成 25 年 2 月末までに、事故事例に加え想定事故に対する対応策の検討を実施し、その結果に基づき安全対策を検討し、プレクール設備冷凍機の保安距離を、同一敷地内の高圧ガス設備の保安距離（敷地境界距離）以下に短縮する技術基準の検討案を取り纏める予定である。

【プレクール設備仕様(例)】



### 3.12 複合容器蓄圧器の設置等基準に関する検討

複合容器蓄圧器の設計仕様を検討した結果、複合容器蓄圧器を水素ステーションへ設置するためには鋼製蓄圧器と同じく火災等による輻射熱への対策に加え、複合容器蓄圧器固有の紫外線による樹脂等の劣化、飛来物による損傷などへの対策が必要となる可能性を把握した。

平成 25 年 2 月末までに輻射熱、紫外線および飛来物等に対する対応策の検討結果に基づき、複合容器蓄圧器に必要な安全対策を検討し、複合容器蓄圧器を水素ステーションに設置することを可能とする技術基準の検討案を作成予定である。

【複合容器蓄圧器の概略設計仕様 (想定)】

- ・ 設計圧力 : 106MPa 以下
- ・ 設計圧力 : 最高 85℃ 最低-40℃
- ・ 構造 : フルラップ構造
- ・ 耐圧部材料 : 炭素繊維
- ・ 保護材料 : ガラス繊維
- ・ 樹脂材料 : エポキシ樹脂

## 4. まとめ及び課題

### 4.1 CNG スタンド併設時の設備間距離に関する検討

設備間に障壁を設置することによって、現行の設備間距離 6m よりも設備間距離が短縮された一般高圧ガス保安規則第 7 条、第 7 条の 3 およびそれらに付随する例示基準に関する技術基準案を平成 25 年 2 月末までに作成する予定である。

### 4.2 水素ステーションの保安検査基準に関する検討

一般則第 7 条の 3 に準拠しつつ、蓄圧器の耐圧性能・強度の検査方法に超音波探傷検査を採用することにより、蓄圧器の開放検査を不要とする特定圧縮水素スタンドの保安検査基準案および定期自主検査指針案を作成した。

### 4.3 圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討

現状の溶栓式安全弁を対象とした技術基準(JIGA-TS/13/04)に、ガラス球式安全弁固有の落下試験項目を追加することにより、安全性を担保した上でガラス球式安全弁を使用可能とする技術基準案を作成した。

これによりガラス球式安全弁使用への道が開けた。

### 4.4 水素ステーションを併設する給油取扱所に関する検討

水素ディスペンサーとガソリンディスペンサーの並列設置については、現行法で設置可能な圧縮水素充填設備設置給油取扱所のレイアウトの具体例が、石油系原料を用いる改質器の暖機運転については、遠隔監視体制を含む必要な安全対策が「危険物から水素を製造するための改質装置の遠隔監視に必要な安全対策のあり方」として纏められ、「圧縮水素充填設備設置給油取扱所の安全対策に係る検討報告書」(平成24年3月23日に公表)に示された。

これにより、水素ディスペンサーとガソリンディスペンサーの並列設置、および石油系原料を用いる改質器の無人暖気運転が可能となった。

### 4.5 公道とディスペンサーの離隔距離に関する検討

公道とディスペンサーの離隔距離の緩和策として、鋼板製・コンクリート製の障壁を用いた技術基準の検討案を作成した。ただし、障壁設置は車の出入り時に歩行者が見えないなどの危険性を伴う可能性があるため、平成24年度は、海外基準における離隔距離決定方法の調査を実施することにより、離隔距離短縮に関する広範な知識を習得する計画であり、平成25年2月末までに終了予定である。

### 4.6 セルフ充てん式ステーションに関する検討

事業所従業員以外の顧客による水素充てん作業の容認、充てん容器への充てんガスの種類の確認方法、および軽量充てんノズルの必要性などの課題に対する解決策を検討すること

により、セルフ充てんを可能とするための必要な要件を平成 25 年 2 月末までに纏める予定である。

#### 4.7 ディスペンサー周辺の防爆ゾーン基準に関する検討

ディスペンサー周辺60cmを第二类危険箇所に規定した「ディスペンサー周辺の防爆基準(案)」を作成した。

#### 4.8 公道でのガス欠対応のための水素充てんに関する検討

高速道路におけるガス欠対応時の必要水素ガス量は、水素ボンベ1本(7m<sup>3</sup>)程度であり、充てん設備および充てん場所の安全を確保することにより、現行の高圧ガス保安法でも主要高速道路のサービスエリア、パーキングエリア、インターチェンジ事務所近傍などの場所を特定することで、公道充てんが可能であることを確認した。

また充てん設備仕様、充てん方法、および安全対策など、高速道路および一般道での充てんを可能とするための必要な要件を平成 25 年 2 月末までに取り纏める予定である。

#### 4.9 フル充てんに対応した水素ステーションに関する検討

70MPa水素スタンド技術基準案(省令、例示基準)にて国際基準SAE TIR J2601には対応可能であるとの見込みを得たが、平成25年2月末までに国際基準SAE J2601、HFCV-gtrで採用される充填方法を反映した技術基準の見直しに資する資料を作成予定である。

#### 4.10 水素ステーションでの水素保有量に関する検討

関連法令に適合した複合容器水素トレーラーを製作し、安全な水素トレーラーによる水素輸送、水素ステーションへ留置き、水素貯蔵実績をつくった。その実績をもとに、水素貯蔵量が規制値を超える水素ステーションの建築基準法の個別許可を平成 25 年 2 月末までに取得する予定である。

また、個別許可申請・取得に必要な建築審査会・公聴会向けの技術資料(安全対策、安全管理体制などを記載)および質疑応答集を、有識者の知見を得て平成 25 年 2 月末までに作成する予定である。

今後も貯蔵量の制限を超える個別許可取得の事例を更に蓄積するとともに、水素輸送・貯蔵技術の進展が必要である。

#### 4.11 プレクール設備冷凍機の保安距離短縮に関する検討

事件事例に加え想定事故に対する対応策の検討を実施し、その結果に基づく安全対策を講じることにより、プレクール設備冷凍機の保安距離を、同一敷地内の高圧ガス設備の保安距離(敷地境界距離)以下に短縮する技術基準の検討案を、平成25年2月末までに作成する予定である。

#### 4.12 複合容器蓄圧器の設置等基準に関する検討

火災による輻射熱、紫外線による樹脂等の劣化、および飛来物による損傷などへの安全対策を講じることにより、水素ステーションへの複合容器蓄合器の設置を可能とする技術基準の検討案を、平成 25 年 2 月末までに作成する予定である。

### 5. 実用化・事業化見通し

#### 5.1 CNG スタンド併設時の設備間距離に関する検討

本事業で作成した、一般高圧ガス保安規則第 7 条、第 7 条の 3 およびそれらに付随する例示基準に関する技術基準の検討案を元に、平成 25 年度以降、経済産業省 原子力安全・保安院 保安課にて、省令や例示基準への取り込みについて検討される。

#### 5.2 水素ステーションの保安検査基準に関する検討

本事業の成果を基に、平成 24 年度に民間自主基準である「保安検査基準（JPEC-S0001）」が制定される。さらに保安検査基準については経済産業省による審査にて安全性が確認された場合、保安検査告示にて保安検査の方法として指定される予定である。

#### 5.3 圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に関する検討

燃料電池自動車に関する熱作動式安全弁を含む国際調和の検討状況などの海外の検討状況も考慮し、平成 25 年度から民間が実施する現状の技術基準案の見直し作業の後、民間自主基準が制定される予定である。

#### 5.4 水素ステーションを併設する給油取扱所に関する検討

消防庁が公表した「圧縮水素充填設備設置給油取扱所の安全対策に係る検討報告書」（平成 24 年 3 月 23 日に公表）、および危険物から水素を製造するための改質装置の遠隔監視に必要な安全対策について」（平成 24 年 5 月 23 日、消防危第 140 号）に関する通知に基づき、平成 24 年度以降、水素ステーションでのガソリンと水素ディスペンスターの並列設置、および石油系原料を用いた改質装置の遠隔監視による無人暖気運転が実施可能となった。

#### 5.5 公道とディスペンスターの離隔距離に関する検討

本事業の成果は、平成 25 年度から民間が継続して実施する公道・ディスペンスター離隔距離等の短縮に関わる検討に活用される予定である。

#### 5.6 セルフ充てん式ステーションに関する検討

本事業の成果は、平成 25 年度以降の水素ステーションの普及状況を考慮しつつ、民間が実施するセルフ充てん式水素ステーションの実現に向けた将来の検討に活用される予定である。

#### 5.7 ディスペンサー周辺の防爆ゾーン基準に関する検討

本事業の成果をもとに、平成 24 年度には民間自主基準である「ディスペンサー周辺の防爆基準（JPEG-S0004）」が制定された。その後、経済産業省により厚生労働省に当該基準の妥当性の確認が行われ、妥当性が確認された場合、都道府県に対して本基準の内容が周知される予定である。

#### 5.8 公道でのガス欠対応のための水素充てんに関する検討

本事業の成果は、平成 25 年度から民間が継続して実施する実証試験含む検討に活用される予定である。

#### 5.9 フル充てんに対応した水素ステーションに関する検討

本事業の成果をもとに、平成 25 年度に高圧ガス保安協会による技術的妥当性が評価され、その後経済産業省により安全性が確認された場合、省令・例示基準の見直しが行なわれる予定である。

#### 5.10 水素ステーションでの水素保有量に関する検討

水素ステーションの水素貯蔵量の制限を超える個別許可を蓄積し、平成 25 年以降は国土交通省により政令改正等の必要な措置が講じられることにより、水素ステーションでの水素保有量が増加される予定。

#### 5.11 プレクール設備冷凍機の保安距離短縮に関する検討

本事業の成果をもとに、平成 25 年度に高圧ガス保安協会にて技術的妥当性が評価され、その後経済産業省により安全性が確認された場合、省令・例示基準の見直しが行なわれる予定である。

#### 5.12 複合容器蓄圧器の設置等基準に関する検討

本事業の成果をもとに、平成 25 年度に高圧ガス保安協会にて技術的妥当性が評価され、その後経済産業省にて安全性が確認された場合、省令・例示基準の見直しが行なわれる予定である。

## 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の作成について

2010年12月

### 1. 目的

水素エネルギーは、利用段階ではCO<sub>2</sub>を排出しない低炭素型のエネルギー媒体であり、今後、民生・産業部門の分散型電源システムや輸送用途の有力なエネルギー源の一つとして一層の活用が期待される。2010年6月に閣議決定されたエネルギー基本計画においては、国は、燃料電池自動車について、2015年からの普及開始に向け、水素ステーション等の水素供給インフラの整備支援を推進することとしている。

燃料電池自動車の本格的普及のためには、燃料電池自動車用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っている。こうした点を踏まえ、関係省庁は、安全確保を前提に、技術の進展に合わせた燃料電池に係る規制の再点検を行うこととした。

### 2. 検討の経緯

燃料電池の実用化に関して、「燃料電池実用化に関する関係省庁連絡会議」が2002年に設置され、事業者団体からの規制再点検に係る要望項目について、再点検の道筋を取りまとめた。これに従い、2005年に、燃料電池自動車の今後の普及を見込み、40MPa以下の圧縮水素を充填するための特定圧縮水素スタンドに係る基準として、高圧ガス保安法一般則第7条の3が追加された。また、当該特定圧縮水素スタンドを給油取扱所内に設置するための基準として、危険物の規制に関する政令第17条第3項第5号の追加等が行われた。さらに、用途地域による立地規制の緩和に係る建築基準法施行令の改正が行われた。

その後、2009年3月に発足した行政刷新会議規制・制度改革に関する分科会（以下、分科会という。）において、国民生活や経済活動に影響を与える規制・制度について見直しの検討が行われ、その結果、「規制・制度改革に係る対処方針（2010年6月18日閣議決定）」において、2010年中に水素ステーションに係る規制の再点検及びその結果を踏まえた対応について今後の具体的な工程表を作成することが決定された。

当該決定を踏まえ、関係省庁は事業者団体等からのヒアリングを行い、関係者との協議を行って、規制の再点検に係る工程表を別紙のようにとりまとめた。

### 3. 工程表を作成した検討項目

具体的には、2015年の燃料電池自動車・水素ステーションの普及開始に向けて、以下の16項目について、工程表を作成した。

＜工程表に盛り込まれた項目＞

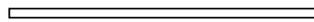
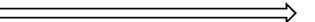
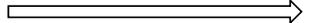
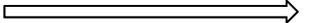
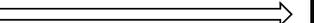
1. 70MPa水素スタンドに対応した技術上の基準や例示基準の整備
2. CNGスタンドとの併設をより容易にするための設備間距離規制の緩和
3. 保安検査の簡略化に向けた保安検査基準の策定と保安検査方法告示での指定
4. 市街地における水素保有量の増加
5. 設計係数の低い特定設備、配管等の技術基準適合手続の簡略化
6. 例示基準に記載された使用可能鋼材の拡大
7. 圧縮水素運送自動車用複合容器の最高充填圧力引上げ（35MPa→45MPa程度）のための例示基準の改正
8. 圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に熱作動式安全弁（ガラス球式）を追加するための附属品の例示基準の改正
9. 圧縮水素運送自動車用複合容器・附属品に対する刻印方式の特例の創設
10. 水素スタンド蓄圧器への複合容器使用に向けた技術基準適合手続の簡略化
11. 水素ステーション併設に係る給油取扱所の規制の合理化
12. 公道とディスペンサーとの距離に係る障壁等の代替措置の創設
13. セルフ充填式水素スタンド実現に向けた高圧ガス製造の許可を受けた者以外による水素の充填行為の許容
14. 水素ディスペンサー周辺の防爆ゾーン基準の明確化
15. 公道でのガス欠対応のための充填場所の確保
16. フル充填に向けた最高充填圧力の変更と例示基準の改正

### 4. 工程表のフォローアップについて

今回作成された工程表について、関係省庁は毎年フォローアップを行い、進捗状況により見直しを行うものとする。

● 規制の再点検に係る工程表 2015年の燃料電池自動車・水素ステーションの普及開始に向けて、実施すべき事項

	法令名	関係省庁	検討事項	再点検実施スケジュール		
				2011年度	2012年度	2013年度以降
1	高圧ガス保安法	経済産業省	70MPa水素スタンドに対応した技術上の基準や例示基準の整備	<p>→</p> <p>・2011年度: 高圧ガス保安協会は、水素供給関連事業者を含む民間団体等(以下、「民間団体等」)が作成した70MPa基準(省令・例示基準案)について、経済産業省の調査研究事業等を活用し、安全性評価・適合性評価を実施する。</p>	<p>→</p> <p>・2012年度: 経済産業省は、高圧ガス保安協会の評価結果及び他の規制見直し項目の見直し結果を受けて、安全性が確認された場合、省令及び例示基準の改正を行う。</p>	
2	高圧ガス保安法	経済産業省	CNGスタンドとの併設をより容易にするための設備間距離規制の緩和	<p>→</p> <p>・2012年度まで: 民間団体等は、高圧ガス保安協会の助言を得て、CNGスタンドと水素スタンドの併設における設備間距離を緩和することについて有識者検討会議を実施し、安全性の担保に係る考えを整理・検討・評価し、結論を得る。 加えて、必要に応じて、民間団体等は、CNGスタンドと水素スタンドの併設における設備間距離を緩和することについて、大臣特認の手続きを行う。</p>	<p>→</p>	<p>→</p> <p>・2013年度以降: 経済産業省は、大臣特認の実績や、有識者検討会議の検討結果を踏まえ、省令及び例示基準へのとりこみの可否について検討を行う。</p>
3	高圧ガス保安法	経済産業省	保安検査の簡略化に向けた保安検査基準の策定と保安検査方法告示での指定	<p>→</p> <p>・2011年度: 民間団体等は、高圧ガス保安協会の参画を得て、特定圧縮水素スタンドに係る保安検査基準を作成する。</p>	<p>→</p> <p>・2012年度: 経済産業省は、作成された保安検査基準を審査し、安全性が確認された場合、保安検査告示にて保安検査の方法として指定する。その際、一般高圧ガス保安規則別表3及びコンビート等保安規則別表4の該当部分を削除する。</p>	
4	建築基準法	国土交通省	市街地における水素保有量の増加	<p>→</p> <p>・2010年度: 国土交通省は、建築基準法の圧縮水素の貯蔵量規制について、安全性に関する検討を行い、合理的な水素貯蔵量の基準について、個別許可に係る技術的助言を行う。</p> <p>→</p> <p>・2011年度以降: 民間団体等は個別許可により、圧縮水素の貯蔵量の規制値を超えた水素スタンドの建設を行う。</p>	<p>→</p> <p>・2012年度: 国土交通省は、水素スタンドの建設に係る個別許可事例の蓄積を踏まえ、規制の合理化等について検証を行い、結論を得る。</p>	<p>→</p> <p>・2013年度以降: 国土交通省は、必要に応じて、2012年度の検証結果及び更なる事例の蓄積・技術の進歩等を踏まえ、必要な措置を講ずる。</p>
5	高圧ガス保安法	経済産業省	設計係数の低い特定設備、配管等の技術基準適合手続の簡略化	<p>→</p> <p>・2012年度まで: 民間団体等は、高圧ガス保安協会の参画を得つつ、経済産業省が実施する技術開発及び有識者検討会議の経過を踏まえて、設計係数の低い特定設備並びに配管等に係る民間基準案を作成する。加えて、民間団体等は当該基準案を見据えて大臣特認、配管等に係る事前評価の手続き等を行う。</p>	<p>→</p>	<p>→</p> <p>・2013年度: 高圧ガス保安協会は、経済産業省が実施する技術開発及び有識者検討会議の成果を踏まえて、KHKS0220(2004)超高圧ガス設備に関する基準の拡充(あるいは水素スタンド関係設備のための別の基準の策定)を行う。</p>
6	高圧ガス保安法	経済産業省	例示基準に記載された使用可能鋼材の拡大	<p>→</p> <p>・2012年度まで: 民間団体等は、高圧ガス保安協会の参画を得つつ、経済産業省が実施する技術開発及び有識者検討会議の経過を踏まえて、使用可能鋼材の拡大に係る民間基準を作成するとともに、当該基準に係る鋼種を拡大するための実験データを取得する。</p>	<p>→</p>	<p>→</p> <p>・2013年度: 高圧ガス保安協会は、当該民間基準について、技術基準への適合性評価を実施する。経済産業省は評価結果を受けて、安全性が確認された場合、例示基準の改正を行う。</p>
7	高圧ガス保安法	経済産業省	圧縮水素運送自動車用複合容器の最高充填圧力引上げ(35MPa→45MPa程度)のための例示基準の改正	<p>→</p> <p>・2011年度: 民間団体等は、高圧ガス保安協会の参画を得つつ、経済産業省が実施する技術開発及び有識者検討会議の経過を踏まえて、最高充填圧力45MPa程度の圧縮水素運送自動車用複合容器に係る民間基準を作成し、必要に応じて当該基準の安全性を検証するための実験データを取得する。</p>	<p>→</p> <p>・2012年度: 高圧ガス保安協会は、当該民間基準案について、技術基準への適合性評価を実施する。経済産業省は、評価結果を受けて、安全性が確認された場合、例示基準の改正を行う。</p>	

	法令名	関係省庁	検討事項	再点検実施スケジュール		
				2011年度	2012年度	2013年度以降
8	高圧ガス保安法	経済産業省	圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に熱作動式安全弁(ガラス球式)を追加するための附属品の例示基準の改正	 <p>・2011年度:民間団体等は、経済産業省、高圧ガス保安協会の助言を得て有識者検討会議を実施し、圧縮水素運送自動車用複合容器の安全弁に熱作動式安全弁(ガラス球式)を用いる場合の安全性について検討する。民間団体等は、有識者検討会議における審議結果を反映させた民間基準を作成するとともに、必要に応じて当該基準の安全性を検証するための実験データを取得する。</p>	 <p>・2012年度:高圧ガス保安協会は、当該民間基準について、技術基準への適合性評価を実施する。経済産業省は、評価結果を受けて、安全性が確認された場合、例示基準の改正を行う。</p>	
9	高圧ガス保安法	経済産業省	圧縮水素運送自動車用複合容器・附属品に対する刻印方式の特例の創設	 <p>・2011年度上半期:経済産業省は、圧縮水素運送自動車用複合容器・附属品に対する刻印方式に係る問題点の把握、技術的検討及び評価を行い、安全性が確認された場合、省令・容器保安規則細目告示の改正を行う。</p>		
10	高圧ガス保安法	経済産業省	水素スタンド蓄圧器への複合容器使用に向けた技術基準適合手続の簡略化	 <p>・2012年度まで:民間団体等は、高圧ガス保安協会の参画を得つつ、経済産業省が実施する技術開発及び有識者検討会議の経過を踏まえて、水素スタンド蓄圧器への複合容器使用に係る民間基準案を作成するとともに、当該基準の安全性を検証するための実験データを取得する。</p>		 <p>・2013年度:高圧ガス保安協会は、経済産業省が実施する技術開発及び有識者検討会議を通じて得られたデータ等を基に、ASME Sec.X等を参考に基準を作成する。</p>
11	消防法	消防庁	水素ステーション併設に係る給油取扱所の規制の合理化	 <p>・2011年度:消防庁は、給油取扱所に70MPaの水素充てん設備を設置した水素ステーションを併設する場合に必要な安全対策等について、有識者検討会議を設置し、検討を行う。</p>	 <p>・2012年度:消防庁は、2011年度の検討結果を踏まえ、結論が得られた事項について必要な措置を講ずる。</p>	 <p>※今後、引き続き技術の進歩を見極めつつ、安全対策の確保を前提に、必要に応じて水素ステーション併設に係る給油取扱所の規制の合理化を図る。</p>
12	高圧ガス保安法	経済産業省	公道とディスプレイとの距離に係る障壁等の代替措置の創設	 <p>・2011年度:民間団体等は、経済産業省、高圧ガス保安協会の助言を得て有識者検討会議を実施し、公道とディスプレイとの距離に係る障壁等の代替措置についての研究及び当該代替措置の安全性を検証するための実験データの取得を行う。</p>	 <p>・2012年度:経済産業省は、データの安全性を検証、評価した上で、安全性が確認された場合、技術基準を整備(省令を改正)する。民間団体等は、必要があれば実験データの補強を行う。また、民間団体等は、民間基準を作成し、高圧ガス保安協会が当該民間基準について技術基準への適合性の評価を実施する。</p>	 <p>・2013年度:経済産業省は、評価結果を受けて、安全性が確認された場合、例示基準の改正を行う。</p>
13	高圧ガス保安法	経済産業省	セルフ充填式水素スタンド実現に向けた高圧ガス製造の許可を受けた者以外による水素の充填行為の許容	 <p>2012年度まで:民間団体等は、経済産業省、高圧ガス保安協会の助言を得て有識者検討会議を実施し、水素スタンドにおけるセルフ充填に必要な充てん者への教育、マニュアルを必要としない安全な充填手法、安全確保のためのシステム、設備、水素スタンドの稼働実績等の必要要件について検討し、データ取得・整理を行う。</p>		
14	高圧ガス保安法	経済産業省	水素ディスプレイ周辺の防爆ゾーン基準の明確化	 <p>・2011年度:経済産業省は、「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)」における電気設備と火気に関する記述を追加し、各都道府県に通知する。民間団体等は、水素ディスプレイ周辺の防爆ゾーンに係る民間自主基準を作成する。</p>	 <p>・2012年度:経済産業省は、厚生労働省に当該自主基準の妥当性を確認し、妥当性が確認された場合、都道府県に対し、当該民間自主基準の内容について周知を行う。</p>	

	法令名	関係省庁	検討事項	再点検実施スケジュール		
				2011年度	2012年度	2013年度以降
15	高圧ガス保安法	経済産業省	公道でのガス欠対応のための充填場所の確保	<p>2012年度まで：民間団体等は、経済産業省、高圧ガス保安協会の助言を得て有識者検討会議を実施し、公道でのガス欠に対応するために必要となる安全な水素充填方法について検討する。</p> <p>民間団体等は、有識者検討会議において必要とされた技術開発・安全性評価研究並びにガス欠対応のための所要の体制整備の検討等を行う。</p>		
16-1	高圧ガス保安法	経済産業省	フル充填に向けた最高充填圧力の変更と例示基準の改正【容器則関連】	<p>2011年度：民間団体等は、70MPa燃料電池自動車のタンクにフル充填するために、急速充填の安全性を検証するための実験データを取得する。</p>	<p>2012年度：民間団体等は、民間基準（省令改正・例示基準案：最高充填圧力70MPa→75MPaへの引上げ、容器附属品の設計確認試験を含む）を作成する。民間団体等は、必要があれば、実験データの補強を行う。</p>	<p>2013年度：高圧ガス保安協会は、当該民間基準について技術基準としての技術的妥当性に関する評価を実施する。経済産業省は、評価結果を受けて、安全性が確認された場合、省令及び例示基準の改正を行う。</p>
16-2	高圧ガス保安法	経済産業省	フル充填に向けた最高充填圧力の変更と例示基準の改正【一般則関連】	<p>2011年度：民間団体等は、安全なフル充填の方策についての技術開発・安全性評価研究を実施し、安全性を検証するための実験データを取得する。</p>	<p>2012年度：民間団体等は、実験データに基づく民間基準（省令・例示基準案）を作成する。民間団体等は、必要があれば、実験データの補強を行う。</p>	<p>2013年度：高圧ガス保安協会は、当該民間基準について技術基準としての技術的妥当性の評価を実施する。経済産業省は、評価結果を受け、安全性が確認された場合、水素スタンドの常用圧力82MPaを上限とする省令及び例示基準の改正を行う。</p>

※ 本工程表は、毎年度フォローアップを行い、進捗状況により見直しを行うものとする。特に、2015年に燃料電池自動車・水素ステーションの普及を開始するため、民間団体等は2012年度末に経営判断を行うこととしていることを鑑み、進捗に応じて随時前倒しを検討し、可能である場合は工程表の期限を待たずに取り組むものとする。

#### IV. 実用化、事業化の見通しについて

##### (実用化の見通しについて)

#### 1. 実用化、事業化の見通しについて

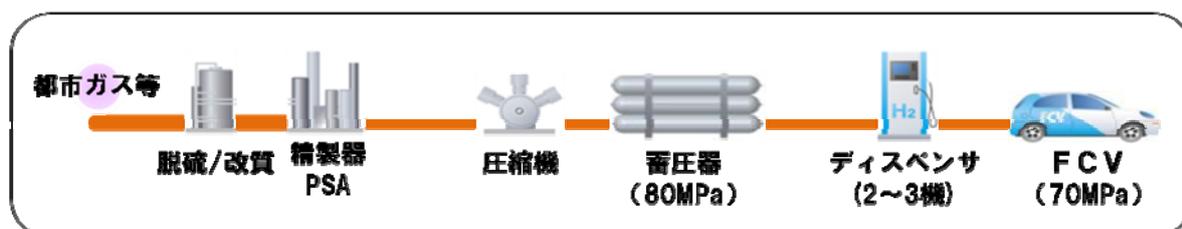
NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップでは、水素製造・輸送・供給技術について2015年頃、2020年頃、2030年頃の水素ステーションコスト、水素供給コストの目標をはじめ各要素機器の事業化に向けた課題を明確化している。また、水素貯蔵技術について水素貯蔵システムの重量密度・体積密度、容器コストの目標をはじめ、各種容器、水素貯蔵材料の事業化に向けた課題を明確化した。前述した燃料電池実用化推進協議会（FCCJ）が平成22年3月に発表した「FCVと水素ステーションの普及に向けたシナリオ」において、2015年がFCVの一般ユーザー普及開始を目指す年と位置づけられている。さらに、特出すべき内容は2025年がFCV・ステーションの自立拡大開始の年として、前提条件として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、FCV累計200万台程度、水素ステーション1000箇所程度としている。これは、水素ステーション設置及び水素コストが目標に達し、水素ステーションビジネスが成立する時期として、1水素ステーション当たりFCV2000台という目標数値である。

本事業で得られた成果として、70MPa級水素ステーション機器システム・要素技術の開発を行い、事業適用可能性の見通しが得られたこと、これにより設備コスト2億円以下を見通せる技術を確立できたことがあげられる。さらに、規制合理化に関する各種技術基準案、一般則例示基準案等を作成し、使用可能鋼材拡充に関して、一般則例示基準の改正の見込みが得られた。これらの成果より、70MPa商用水素ステーションの建設が可能となる。

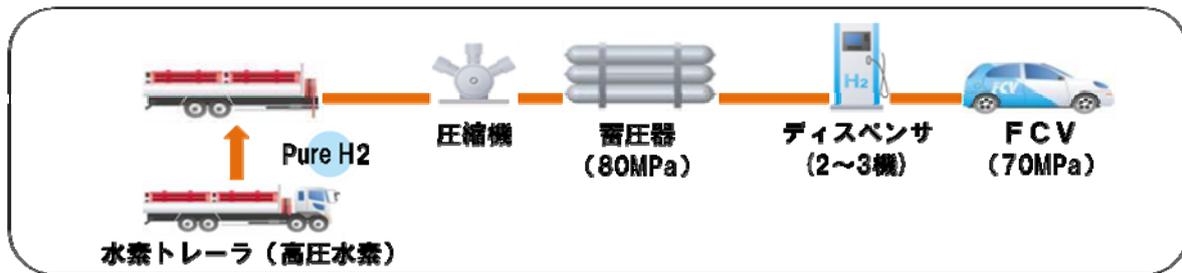
今後2025年水素ステーション1000ヶ所への拡大に向けては、更なる低コスト化が必要となるため、低コスト材料の開発や広温度範囲の材料評価技術確立や、使用鋼種拡大に関する規格化や蓄圧器の非解体検査化に取り組むことが重要と考えられる。

#### <実用化イメージ図>

オンサイト水素ステーションは、現地の水素ステーションで都市ガス等から改質し水素を製造し圧縮機を介して蓄圧器に貯蔵し、ディスペンサーよりFCVへ供給するものである。



オフサイト水素ステーションは、製鉄所、製油所等からの副生水素を水素トレーラにより水素ステーションまで運搬し、圧縮機を介して蓄圧器に貯蔵し、ディスペンサーよりFCVへ供給するものである。



### 1.1 研究開発項目Ⅰ「システム技術開発」の実用化、事業化の見通しについて

水素供給インフラ市場立上げ（2015年頃を想定）のためには、水素ステーション及び水素貯蔵・輸送容器に関し、低コストかつ耐久性に優れた機器及びシステムを市場投入する必要がある。複数機器を連結した「水素供給システム」として、70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器や車載等水素貯蔵容器の低コスト化・コンパクト化に繋がる開発を行うと共に、水素供給システム全体としての必要性がある。

システム技術開発では、設備コスト2億円以下を見通せる技術を確立できた。

ただし、2025年水素ステーション1000ヶ所への拡大に向けては、更なる低コスト化が必要と考えられる。このため、更なる低コスト化に向け、材料開発や広温度範囲の材料評価技術確立に取り組むことが重要と考えられる。

### 1.2 研究開発項目Ⅱ「要素技術開発」の実用化、事業化の見通しについて

複数機器を連結した「水素供給システム」として、70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器や車載等水素貯蔵容器のシステム技術開発を支える要素機器として、水素製造装置、圧縮機、蓄圧器、ディスペンサー、渦流防止弁、緊急離脱カプラー、車載高圧水素ガス容器、複合容器、水素貯蔵材料、熱交換機等々がある。これら要素機器についても低コスト化や高耐久化に向けた開発を行ってきた。

要素技術開発についても、個別の性能目標を達成し、2億円/システムの達成可能性を提示することができた。以下を見通せる実用化、事業化の見通しと同様に進捗するものと考えられる。

ただし、Ⅰ「システム技術開発」と同様に2025年水素ステーション1000ヶ所への拡大に向けては、更なる低コスト化が必要と考えられる。このため、更なる低コスト化に向け、低コスト材料を使用した機器の耐久性評価等に取り組むことが重要と考えられる。これらの要素機器を製作する実施者のすそ野は大きく、またこれらの要素機器のメンテナンス、定期検査等の関連分野への波及効果も大きくものと考えられる。関連分野の拡大により技術的な進歩、経済的な効果も期待出来る。

### 1.3 研究開発項目Ⅲ「次世代技術開発・フィージビリティスタディ等」の実用化の見通し等について

研究開発項目Ⅲは、2つのテーマがある。一つは次世代技術開発のテーマであり、水素エネルギーの導入・普及に関する技術開発において、ブレイクスルーを見出すためには、化石燃料以外からの水素製造など、新規の概念に基づく革新的な次世代技術の探索及び同技術の有効性確認・検証を常に行うことが不可欠である。

このような観点から、国際研究協力を含む国内外技術開発動向の調査、革新的な次世代技術の探索・有効性検証を行い、水素・燃料電池に係る国際関連機関の研究・政策動向を調査し、情報を産業界に展開した。

もう一つは、規制見直しや国際標準化に関するテーマであり、早期に水素社会を実現するためには、開発技術が反映される水素エネルギー導入・普及のための技術開発シナリオの設定・技術開発動向に対応した適時見直し、及び国内規制の見直し、国際標準化が不可欠である。

このため、規制合理化に関する各種技術基準案、一般則例示基準案等を作成し、使用可能鋼材拡充において、一般則例示基準の改定の見込みを得た。また国際標準化については本事業の成果が水素燃料仕様、安全規格、性能規格に反映され、FCVの国際商品化、水素インフラの低コスト化等に貢献する見込みを得た。今後、2025年自立拡大開始に向けて、更なる低コスト化が必要であり、使用鋼種拡大に関する規格化、蓄圧器の非解体検査化等に取り組む必要があると考えられる。

## 添付－１：イノベーションプログラム基本計画

## エネルギーイノベーションプログラム基本計画

### 1. 目的

資源に乏しい我が国が、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。他方、エネルギー技術開発は、長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。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、長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能となる。

エネルギー安全保障の確立や、世界全体の温室効果ガスを 2050 年までに半減するという長期目標を達成するため、以下に政策の柱毎に目的を示す。

#### 1-1. 総合エネルギー効率の向上

1970 年代以来、官民をあげて省エネルギーに取り組み、産業構造の転換や新たな製造技術の導入、民生機器の効率改善等により世界最高水準の省エネルギーを達成している。今後、「新・国家エネルギー戦略」に掲げる、2030 年までに GDP あたりのエネルギー利用効率を約 30% 向上を実現していくためには、産業部門はもとより、全部門において、総合エネルギー効率の向上に資する技術開発とその成果の導入を促進する。

#### 1-2. 運輸部門の燃料多様化

ほぼ 100% を石油に依存する運輸部門は、我が国エネルギー需給構造上、最も脆弱性が高く、その需給構造の次世代化は、将来に向けた早急な対策が不可欠な課題となっている。

「新・国家エネルギー戦略」に掲げる目標（2030 年に向け、運輸部門の石油依存度が 80% 程度となることを目指す）の実現のためにも、官民が中長期的な展望・方向性を共有しつつ、技術開発と関連施策を推進する。

#### 1-3. 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーは、エネルギー源の多様化や地球温暖化対策の観点から重要である。しかし、現時点では経済性や出力安定性といった普及へ向けての課題が存在する。

そのため、これらの課題解決に向けた技術開発の推進及び新エネルギーの導入促進のための関連施策の実施により、更なる新エネルギーの普及を推進する。

#### 1-4. 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

原子力発電は供給安定性に優れ、運用時に CO<sub>2</sub> を排出しないクリーンなエネルギー源である。安全確保を大前提に核燃料サイクルを含む原子力発電を着実に推進する。

#### 1-5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

化石燃料資源の大宗を輸入に依存する我が国にとって、その安定供給の確保は国家安全保障に直結する課題である。このため、石油・天然ガス等の安定供給確保を目指し、我が国企業による資源国における資源開発等に対する支援等の施策を進めるとともに、その有効かつクリーンな利用を図る。

## 2. 政策的位置付け

低炭素社会づくり行動計画（2008年7月閣議決定）

2008年6月の福田総理（当時）のスピーチ「福田ビジョン」等を受け、我が国が低炭素社会へ移行していくための具体的な道筋を示すため、国全体を低炭素化へ動かす仕組みや革新的な技術開発、国民一人ひとりの行動を促すための取組について策定。

「環境エネルギー技術革新計画」や「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」等に示された革新的技術の開発に5年間で300億ドル程度を投入するという具体的な目標が示された。

環境エネルギー技術革新計画（2008年5月）

温室効果ガスの大幅な削減を目指すだけでなく、エネルギー安全保障、環境と経済の両立、開発途上国への貢献等を考慮し、以下の戦略等を策定。

1. 低炭素社会実現に向けた我が国の技術戦略
2. 国際的な温室効果ガス削減策への貢献策
3. 革新的環境エネルギー技術開発の推進方策

Cool Earth - エネルギー革新技術計画（2008年3月）

2007年5月の総理イニシアティブ「クールアース50」を受け、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、エネルギー分野における革新的な技術開発について検討をおこない、21の技術を選定。

エネルギー基本計画（2007年3月閣議決定）

重点的に研究開発のための施策を講ずべきエネルギーに関する技術及びその施策として、

1. 総合エネルギー効率の向上に資する技術
2. 原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保に資する技術
3. 運輸部門のエネルギー多様化に資する技術
4. 新エネルギーに関する技術
5. 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用に資する技術

以上が位置づけられている。

新・国家エネルギー戦略（2006年5月）

世界最先端のエネルギー需給構造の実現を図るため

1. 省エネルギーフロントランナー計画
2. 運輸エネルギーの次世代化計画
3. 新エネルギーイノベーション計画
4. 原子力立国計画

以上の計画が位置づけられている。また、資源外交、エネルギー環境協力の総合的な強化を図るため、「総合資源確保戦略」が位置づけられている。

第3期科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）

国の存立にとって基盤的であり国として取り組むことが不可欠な研究開発課題を重視して研究開発を推進する「推進4分野」であるエネルギー分野、分野別推進戦略（2006年3月総合科学技術会議）における「推進4分野」であるエネルギー分野に位置付けられている。

経済成長戦略大綱（２００６年７月財政・経済一体改革会議）

資源・エネルギー政策の戦略的展開として

- １．省エネルギーフロンティア計画
- ２．次世代自動車・燃料イニシアティブ等による運輸エネルギー次世代化
- ３．新エネルギーイノベーション計画
- ４．原子力立国計画
- ５．資源外交、環境・エネルギー協力等の総合的な強化

以上が位置づけられている。

京都議定書目標達成計画（２００５年４月閣議決定）

「京都議定書の約束を達成するとともに、更に「脱温暖化社会」に向けて長期的・継続的な排出削減を進めるには、究極的には化石燃料への依存を減らすことが必要である。環境と経済の両立を図りつつ、これらの目標を達成するため、省エネルギー、未利用エネルギーの利用等の技術革新を加速し、効率的な機器や先進的なシステムの普及を図り、世界をリードする環境立国を目指す。」とされている。

### ３．達成目標

#### ３ - 総合エネルギー効率の向上

転換部門における「エネルギー転換効率向上」、産業部門における「製造プロセス効率向上」、民生・運輸部門における「省エネルギー」などにより、GDP当たりのエネルギー消費指数を２０３０年度までに少なくとも３０％改善することを目指す。

#### ３ - 運輸部門の燃料多様化

バイオマス由来燃料、GTL、BTL、CTLなどの新燃料、電気自動車や燃料電池自動車などの導入により、現在ほぼ１００％の運輸部門の石油依存度を２０３０年までに８０％程度とすることを目指す。

#### ３ - 新エネルギー等の開発・導入促進

太陽光、風力、バイオマスなどの新エネルギーの技術開発や燃料電池など革新的なエネルギー高度利用を促進することにより、新エネルギー等の自立的な普及を目指すことで、エネルギー源の多様化及び地球温暖化対策に貢献する。

#### ３ - 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

２０３０年以降においても、発電電力量に占める比率を３０～４０％程度以上とすることを目指すため、高速増殖炉サイクルの早期実用化、既設軽水炉代替へ対応する次世代軽水炉の開発、軽水炉技術を前提とした核燃料サイクルの確立、放射性廃棄物対策などの技術開発を推進する。

#### ３ - 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

石油・天然ガスの化石燃料の安定供給確保を目指し、資源獲得能力の強化に資する先端的な技術開発を推進するとともに、環境負荷低減のために化石燃料の効率的かつクリーンな利用を促進するための技術開発・導入を目指す。

#### 4．研究開発内容

##### 4 - . 総合エネルギー効率の向上

##### 4 - - . 共通

###### (1) 省エネルギー革新技术開発事業(運営費交付金)

###### 概要

テーマ公募型事業として、「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」に基づき、「先導研究」、「実用化開発」及び「実証研究」の3つの技術開発フェーズに加え、「挑戦研究」フェーズを追加し、革新的な省エネルギー技術の開発を行う。

###### 技術目標及び達成時期

世界全体の温室効果ガス排出量を現状に比べて2050年までに半減するという長期目標を実現するための「Cool Earth-エネルギー革新技术計画」の主旨に基づき、大幅な省エネルギー効果を発揮する革新的なエネルギー使用合理化技術について研究開発・実用化を推進する。

###### 研究開発時期

2003年度～2013年度

###### (2) エネルギー使用合理化産業技術研究助成事業(運営費交付金)

###### 概要

産業界や社会のニーズに応える省エネルギー技術のシーズの発掘とその育成、並びに、省エネルギー技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。この目的のため、産業界からの期待が高い技術領域・課題を提示した上で、大学や独立行政法人の研究者等から研究開発テーマを募集する。厳正な外部評価によって省エネルギー効果があり且つ独創的・革新的なテーマを選定し、研究者代表者個人を特定して助成金を交付する。

###### 技術的目標及び達成時期

独創性のある研究者等を助成すると共に、中間評価ゲート方式が醸成する競争的環境の下で企業との連携を強化させることにより、10～15年後の実用化が有望な革新的省エネルギー技術の研究開発を促進する。本事業では革新的省エネルギー技術の実用化への第1歩となる特許について、助成期間終了後の出願比率を100%とすることを目標とするとともに、省エネルギー技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。

###### 研究開発期間

2000年度～

###### (3) 新エネルギー技術実用化補助事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

###### (4) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

#### 4 - - . 超燃焼システム技術

##### (1) 環境調和型製鉄プロセス技術開発 (運営費交付金) (再掲)

###### 概要

高炉ガスからの効率的な二酸化炭素分離と中低温排熱の有効活用及び水素を炭素(コークス)の一部代替として鉄鉱石を還元する革新的製鉄プロセスの開発を行う。

###### 技術的目標及び達成時期

最終的な技術開発目標として製鉄プロセスにおけるCO<sub>2</sub>排出量を30%削減することを目指し、2050年までに実用化する。

###### 研究開発期間

2008年度～2017年度

##### (2) 資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発 (運営費交付金)

###### 概要

高品位な製鉄材料(鉄鉱石・石炭等)の入手が困難になってきていることから、原料使用量の低減及び、比較的入手が容易な低品位原料の使用拡大を図ることが喫緊の課題となっている。本技術開発では、還元剤として低品位な石炭と鉄鉱石の塊成物を開発し、炉内反応の高速化・低温化を実現することにより、省エネルギーで高効率な革新的製鉄プロセスを開発する。

###### 技術的目標及び達成時期

2011年度までに、革新的塊成物の組成・構造条件の探索、革新的塊成物の製造プロセス、革新的塊成物による高炉操業プロセスを開発する。これらによる効果は、年産400万トン規模の中型高炉に適用した場合の炭材使用量のうち高品位炭使用量が約80%から50%程度に削減可能となるとともに、革新的塊成物を高炉に使用する操業技術の改良による還元材比の低減により、新開発のプロセスを含めた製鉄プロセスでの投入エネルギーは約10%削減される。

###### 研究開発期間

2009年度～2011年度

##### (3) 革新的ガラス溶融プロセス技術開発 (運営費交付金)

###### 概要

プラズマ等による高温を利用し瞬時にガラス原料をガラス化することにより、極めて効率的にガラスを気中で溶融(インフライトメルティング法)し省エネに資する革新的ガラス溶融プロセス技術を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

###### 技術的目標及び達成時期

2012年度までに、インフライトメルティング法により原料を溶解する技術、カレットをガラス原料として利用するため高効率で加熱する技術、カレット融液とインフライトメルティング法による原料融液とを高速で混合する技術を開発する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

(4) 革新的マイクロ反応場利用部材技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、マイクロリアクター、ナノ空孔などの精密反応場を利用し、反応分子の自由な運動を活性種レベルで制御した革新的な化学反応プロセスと新機能材料創成技術の確立を目指す。さらに、マイクロリアクターとナノ空孔反応場の組み合わせ、各反応場とマイクロ波等のエネルギー供給手段との組み合わせにより協奏的反応場を構成し、さらなる高効率生産等を可能にする基盤技術を開発する。これらの技術の確立により、反応システムの小型化、多段プロセスの簡略化等を通じた化学産業の製造工程等の省エネルギー化を図る。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術的目標及び達成時期

2010年度までに、マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術を軸とし、これらに更にマイクロ波、超臨界流体等のエネルギー供給手段を組み合わせた協奏的反応場を構成することにより、これまでにない革新的な化学反応プロセスを確立し、新機能材料創成技術を実現する。さらに、これらの技術を用いて高性能・高機能電子材料、医薬中間体などの部材を開発する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(5) 鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発(運営費交付金)

概要

プラント、構造物や自動車等の革新的な高効率化、省エネルギー化、長寿命化、安全・安心化を図るため、最新の科学的知見を導入し、鉄鋼材料及び鋼構造体を超高機能化する基盤的研究開発を行う。具体的には、高強度鋼、高機能鋼の実用化拡大の基盤となる(1)高級鋼厚板(高強度鋼、極低温用鋼、耐熱鋼)溶接部の信頼性・寿命を大幅に向上する溶接施工技術(高密度・清浄熱源溶接技術)及びクリープ破壊、金属組織制御技術を基本とする溶接材料技術(クリープ破壊及び水素破壊の機構解明等を踏まえた)の開発、(2)部材の軽量化を図るために強度、加工性等の最適機能傾斜を付与する機械部品鍛造技術(駆動部材の信頼性確保のための耐疲労破壊特性の向上を踏まえた)の開発を行う。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、高級鋼厚板(高強度鋼・極低温用鋼・耐熱鋼)の溶接を予熱・後熱なしに可能とする溶接技術と材料技術を開発するとともに、傾斜機能部材の鍛造技術を開発する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

## (6) 希少金属等高効率回収システム開発

### 概要

小型電子・電気機器にはベースメタルや、金、銀等の貴金属の他、インジウム、ニッケル等の希少金属等を含有している。現状では、これらの機器が廃棄された後は、非常に高温で処理する乾式製錬技術を用いてリサイクル・処理されているため、多大なエネルギーを消費するばかりか、回収可能な金属が銅、金、銀等に限定されており、その他の希少金属等は回収できずに廃棄処分されている。このため、湿式製錬技術を活用した高効率な最適技術の開発等を通じて、回収工程の省エネルギー及び希少金属等の回収率向上を図る。

### 技術目標及び達成時期

- ・ 従来方法(乾式製錬)で処理する場合に比べて、大幅な省エネルギーの実現(省エネルギー効果:原油換算で約78万kL/年削減)
- ・ 廃小型電子・電気機器、廃超硬工具等中に含まれる希少金属等の回収率の向上(インジウム0%→90%、ニッケル50%→95%、コバルト0%→95%、タンタル0%→80%、タングステン90%→95%、レアアース0%→80%)

### 研究開発期間

2007年度～2010年度

## (7) 低品位鉱石・難処理鉱石に対応した革新的製錬プロセス技術の研究開発

### 概要

世界的な鉱石品位の低下、不要元素等の不純物の増加に対応するため、我が国非鉄金属業においては、低品位鉱石の利用拡大による我が国の鉱物資源の安定供給確保の強化が喫緊の課題となっているため、低品位・難処理鉱石の革新的な省エネルギー型の製錬プロセスを開発する。

### 技術目標及び達成時期

低品位鉱石及び難処理鉱石から効率的に銅等有用な非鉄金属を回収するため、低品位鉱石・難処理鉱石に対応した省エネルギー型プロセスによる新たな選鉱技術、製錬技術及び不純物対策技術の研究開発を行う。

#### (1) 高品位精鉱回収技術

低品位鉱石・難処理鉱石から高品位の精鉱を得る選鉱技術の開発。

ハンドリングが難しい極微細鉱等難処理鉱を処理する製錬技術の開発。

#### (2) 有用金属の抽出等回収技術

低品位精鉱から含有金属を高効率に回収する製錬技術の開発。

#### (3) 高濃度不純物の除去等対策技術

不要な元素(ヒ素、ビスマス、アンチモン等)等を多く含む精鉱からの不純物除去、分離、安定化等技術の開発。

上記要素技術を開発し、将来的にエネルギー消費原単位の悪化が予測される非鉄金属製錬について、省エネルギー見込み量、原油換算約2.6万KLを達成。

### 研究開発期間

2009年度～2012年度

## ( 8 ) 環境調和型水循環技術開発

### 概要

我が国が強みを持つ、膜技術を始めとする水処理技術を強化し、省水型・環境調和型の水循環システムの開発に資する省エネ・省水型の要素技術を開発する。

### 技術目標及び達成時期

2013年度までに、以下の技術を開発する。

#### ● 革新的膜分離技術の開発：

従来法に比べ膜透過加圧エネルギー等を50%以上削減。

#### ● 省エネ型膜分離活性汚泥法（MBR）技術の開発：

従来法に比べ膜洗浄の曝気（空気気泡）エネルギー等を30%以上削減。

#### ● 有用金属・有害物質の分離・回収技術の開発：

従来法に比べ汚泥の削減により汚泥処理・処分エネルギーを80%以上削減。

#### ● 高効率難分解性物質分解技術の開発：

従来法に比べ窒素処理に係るエネルギーを50%以上削減。

オゾン酸化法等のエネルギーを50%以上削減。

### 研究開発期間

2009年度～2013年度

## ( 9 ) 微生物機能を活用した環境調和型製造基盤技術開発

### i) 微生物機能を活用した高度製造基盤技術開発（運営費交付金）

#### 概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、省エネルギーかつ環境負荷が少ないといった特徴を有する微生物機能を活用した有用物質の革新的な生産プロセス（モノ作り）の技術を構築するため、産業用途に必要な機能既知遺伝子で構成されたゲノムを持ち、物質生産性向上につながる性能を備えた高性能宿主細胞の創製や、微生物反応の多様化・高機能化技術を開発するとともに、バイオマスを原料として有用物質を体系的かつ効率的に生産する（バイオリファイナリー）ための基盤技術を開発する。

### 技術目標及び達成時期

2010年度までに、物質生産性向上につながる性能を備えた高性能宿主細胞を創製するとともに、バイオプロセスの実用化適用範囲の拡大のための微生物反応の多様化・高機能化技術の開発を行う。バイオリファイナリー技術については、バイオマスを高効率で糖化し、糖から高効率で各種化成品の基幹物質を生産するバイオプロセス体系を構築する。

### 研究開発期間

2006年度～2010年度

ii) 微生物群のデザイン化による高効率型環境バイオ処理技術開発（運営費交付金）

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、従来エネルギー多消費・廃棄物多排出型であった廃水・廃棄物処理において、微生物群の構成及び配置等を人為的に制御（デザイン化）することで、その処理効率を大幅に向上させ、省エネルギーで廃棄物も少ない高効率型廃水、廃棄物処理の基盤技術を確立する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、特定有用微生物群を人為的に安定導入・維持もしくは人為的に空間配置・優先化させる等のデザイン化技術を開発し、従来の廃水、廃棄物処理に比べより高効率で省エネルギーな処理技術を開発するとともに、実用化に資するための実証可能なテストプラント規模にて評価する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(10) 省エネルギー型化学技術創成研究開発補助事業

概要

化学企業が有する技術シーズの中で、省エネルギーのポテンシャルが大きいにもかかわらず民間だけで事業を進めるには開発リスクが大きいこと等がネックになって十分な研究開発費が投じられていない技術に対して、戦略的な研究開発支援を実施することにより、化学産業のみならず、各種最終製品や他産業において抜本的なエネルギー効率の改善を促進するものである。

技術的目標及び達成時期

2010年度までに、将来の発展が有望な技術に関する研究開発の実施とその実用化と普及を通し、化学産業のみならず他分野も含めた我が国省エネルギー対策への一層の寄与を目標とする。

研究開発期間

2004年度～2010年度

(11) エネルギー使用合理化繊維関連次世代技術開発

概要

製造エネルギーの低減を図ることができる革新的な繊維製品製造技術の開発や、使用することでエネルギー消費の低減が可能となる新たな繊維製品を開発。

技術的目標及び達成時期

2010年度までに、以下の開発を行う。

次世代資材用繊維の開発

ポリエチレンテレフタレート製造エネルギー低減技術の開発

研究開発期間

2005年度～2009年度

## (12) 高効率ガスタービン実用化技術開発

### 概要

省エネルギー及びCO<sub>2</sub>削減の観点から電力産業用高効率ガスタービンの実用化を目指し、大容量機(25万kW程度(コンバインド出力40万kW))の高効率化(52%~56%)のために1700級ガスタービンの実用化に必要な先端要素技術を適用した各要素モジュールの検証等を実施する。また、小中容量機(10万kW程度)の高効率化(45%~51%)のために有望とされている高湿分空気利用ガスタービンの実用化に必要な多段軸流圧縮機、多缶燃焼器等の開発を行うとともにシステムの信頼性等の検証を行う。

### 技術的目標及び達成時期

1700級ガスタービン実用化技術開発：先端要素技術を活用した燃焼器、タービン、圧縮機等各モジュールの検証等を行い、送電端熱効率56%以上の達成が可能なことを確認する。

高湿分空気利用ガスタービン実用化技術開発：2011年までに軸流圧縮機の3.5%(空気重量比)吸気噴霧冷却技術、低NO<sub>x</sub>燃焼技術(運用負荷帯で10ppm以下)等を開発すると共に、実機に近い条件での要素機器の信頼性・耐久性を確認する。

### 研究開発期間

2008年度~2011年度

## (13) エネルギー使用合理化高効率パルプ工程技术開発(運営費交付金)

### 概要

紙パルプ産業では、環境に関する自主行動計画に基づき、2010年度までに製品当たり化石エネルギー原単位を1990年度比13%削減し、CO<sub>2</sub>排出原単位を10%削減することを目指し、紙パルプ工程における省エネルギー対策を着実に進めているものの、より一層の省エネルギー対策を進めるためには、技術開発によるブレークスルーが必要となっている。紙パルプ産業は、エネルギー多消費型産業のひとつであり、紙パルプ工程での省エネルギー対策は波及効果が大きいことから、紙パルプ工程におけるエネルギー使用合理化に資する技術開発を提案公募により実施する。

### 技術的目標及び達成時期

京都議定書の第1約束期間中、又は、第2約束期間中を目途として実用化に至るような技術開発を行うことで、京都議定書の第1約束期間の目標を着実に達成するとともに、現在、検討が行われている第2約束期間に向けた省エネルギー対策の更なる深化を進めていく。

### 研究開発期間

2005年度~2010年度

## (14) 革新的省エネセラミックス製造技術開発(運営費交付金)

### 概要

小型炉設備で生産可能な小型セラミック中空ユニットを複数組みあわせること

で、これまでその製造が難しかった複雑な形状を持つ大型セラミックス部材を省エネで製作することができる革新的なセラミック部材製造技術を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。  
技術目標及び達成時期

2013年度までに、高機能化された小さな精密ブロックを立体的に組み上げ、高効率で接合、一体化をし、複雑な形状の部材や大型の部材を製造可能とする革新的なプロセス技術の基盤を確立し、高耐性部材、高温断熱部材及び高比剛性部材の試作を行う。

研究開発期間

2009年度～2013年度

- (15) 発電プラント用超高純度金属材料開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (16) 先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発(4 - - 参照)
- (17) 噴流床石炭ガス化発電プラント開発(4 - - 参照)
- (18) 石油精製高度機能融合技術開発(4 - - 参照)

#### 4 - - . 時空を超えたエネルギー利用技術

- (1) カーボンナノチューブキャパシタ開発プロジェクト(運営費交付金)

概要

高純度、高密度に配向した長尺の単層カーボンナノチューブの大量合成技術を開発するとともに、これを用いた従来よりも格段にパワー(電力)と蓄電量が大きなキャパシタを開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。  
技術目標及び達成時期

2010年度までに、単層カーボンナノチューブの高度配向技術及び大量生産技術を確立するとともに、キャパシタ製造技術を確立することで、20Wh/Kgの高エネルギー密度と耐久性を有する電気二重層キャパシタを開発する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

- (2) イットリウム系超電導電力機器技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) 高温超電導電力ケーブル実証プロジェクト(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (4) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (5) 燃料電池先端科学研究(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (6) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (7) 水素貯蔵材料先端基礎研究事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (8) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)**
- (9) 固体酸化物形燃料電池実証研究(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (10) 大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (11) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (12) 革新型蓄電池先端科学基礎研究(運営費交付金)(4 - - 参照)

#### 4 - - . 省エネ型情報生活空間創生技術

##### (1) グリーンITプロジェクト(運営費交付金)

###### 概要

情報化社会の進展に伴うIT機器の消費電力の大幅な増大に対応し、抜本的な省エネを実現するため、サーバ、ネットワーク機器等の各装置の省エネに加え、省エネ型の巨大コンピューティング技術(グリーン・クラウドコンピューティング技術)、パワーエレクトロニクス技術を開発する。

###### 技術目標及び達成時期

2012年度までに、IT機器・システムのエネルギー消費効率を2倍に向上させる基盤技術を開発する。

###### 研究開発期間

2008年度～2012年度

##### (2) 次世代高効率ネットワークデバイス技術開発(運営費交付金)

###### 概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、ネットワークで伝送されるデータ量の爆発的増加に伴い、関連機器の消費エネルギーが増大している中で、ネットワーク全体の消費電力量を抑制することが喫緊の課題であり、消費エネルギーの低減に大きく貢献するルータ・スイッチの高速化のための研究開発を実施するとともに、機器そのものの消費エネルギーを低減するための研究開発を実施する。

###### 技術的目標及び達成時期

2011年度までに、1チャンネルあたり40Gbps超の通信速度に対応するトラフィック計測・分析・管理技術や40Gbpsのインターフェース、さらなる通信速度向上(100Gbps超)を実現するハードウェア技術、SFQ(単一磁束量子)スイッチに関する実現を可能とするための基盤技術を開発する。

###### 研究開発期間

2007年度～2011年度

##### (3) 次世代大型低消費電力ディスプレイ基盤技術開発(運営費交付金)

###### 概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、次世代の大型液晶及び大型プラズマディスプレイに関する低消費電力ディスプレイを実現するための研究開発を行う。

###### 技術的目標及び達成時期

2011年度までに、液晶に関しては、高効率バックライト、革新的なTFTアレイプロセス技術・製造装置及び低消費電力型の画像処理エンジン等に係る技術を確立する。また、プラズマディスプレイに関しては、超低電圧駆動等に係る技術を確立する。

###### 研究開発期間

2007年度～2011年度

(4) 有機発光機構を用いた高効率照明の開発 (運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、蛍光灯に代わる高効率照明として有機EL発光機構を用いるための技術開発課題(発光効率、演色性、面均一性、生産コスト)等を明らかにし、それをブレイクスルーしうる技術シーズを抽出する。

技術目標及び達成時期

2009年までに現在一般に普及している蛍光灯照明に代わる高効率照明としての必要スペックを達成するとともに、次世代照明として同じく期待されているLEDとの差別化要素を技術的に達成し、大面積/高スループット/低コストで量産するプロセス技術を開発する。また、現在蛍光灯の間接・拡散照明が用いられている照明機器を代替する有機EL照明を実用的なコストで製造できる技術を確認する。

研究開発期間

2007年度～2009年度

(5) マルチセラミックス膜新断熱材料の開発 (運営費交付金)

概要

住宅やビルなどの冷暖房における大幅な省エネを実現する画期的な断熱性能を持つ壁および窓材料を、セラミックスのナノ多孔体構造やポリマー複合化構造などからなるマルチセラミックス膜アセンブリ技術によって開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、熱貫流率(熱の伝わりやすさ)が $0.3\text{ W/m}^2\text{ K}$ 以下、壁厚さ10mm程度の超断熱壁材料および熱貫流率が $0.4\text{ W/m}^2\text{ K}$ 以下、光(可視光)透過率が65%以上(Low-Eガラス使用)、ヘイズ率が1%以下の超断熱窓材料を実現する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(6) 超フレキシブルディスプレイ部材技術開発 (運営費交付金)

概要

製造工程等の省エネルギー化を実現するために行う。従来、表示デバイスの製造には、真空蒸着と高温下での焼成と、それに伴う排ガス排水処理が必須であった。これを、ロールtoロール方式に代替することで常圧、常温下での製造を実現し、フレキシブルな薄型ディスプレイを製造する。そのために、有機TFT材料およびコンタクトプリント技術等を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

#### 技術的目標及び達成時期

2009年度までに、実用化に向けた実証のための巻き取り方式ディスプレイのプロトタイプを試作する。またフレキシブルデバイス材料開発に貢献する部材ならびに薄膜複合化技術を開発し、これらをパネル化するための実用化技術を確立する。

#### 研究開発期間

2006年度～2009年度

### (7) 低損失オプティカル新機能部材技術開発（運営費交付金）

#### 概要

近接場光の原理・効果を応用した低損失オプティカル新機能部材技術を開発し、実用化の目処を得ることを目的とする。動作原理に近接場光を用いるオプティカル新機能部材は、従来の材料特性のみに依存した光学部品では不可能な機能・性能を発揮し、液晶プロジェクター・液晶ディスプレイなど情報家電の省エネルギー、高性能・高信頼化を図る上でのキーデバイスとなることが期待できる。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

#### 技術目標及び達成時期

2010年度までに、共通基盤技術として、ナノ構造部材の設計・作製・評価技術を開発するとともに、ナノ構造部材に発現する近接場光の機能を動作原理とする低損失オプティカル新機能部材を検討し機能を確認する。

#### 研究開発期間

2006年度～2010年度

### (8) 次世代光波制御材料・素子化技術（運営費交付金）

#### 概要

ガラス材料に関する精密モールド技術を確立し、機能性の高い光波制御素子を低コストで生産できるプロセス技術を開発することで部材の小型化・高機能化を図りつつ、省エネを実現する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

#### 技術目標及び達成時期

2010年度までにサブ波長レベルの微細構造をガラス表面にモールド成形する技術を実現し、実装可能な具体的なデバイスを作製する。

#### 研究開発期間

2006年度～2010年度

### (9) 次世代高効率エネルギー利用型住宅システム技術開発・実証事業

（運営費交付金）

#### 概要

ゼロ・エミッションハウスによる生活の大幅な省エネの実現に向け、家屋内直流配電システムや、電力需給の状態に応じた太陽電池等の分散型電源の制御、電力ネットワークを活用した家電の制御等、住宅全体としてエネルギーの最適制御

を行うシステムの開発・実証を行う。

技術的目標及び達成時期

2011年度までに、直流給電・配電に関する規格の標準化、直流配電の電流・電圧の規格化、蓄電池設置に係る安全規制の改正に対する提案が可能となる技術を確立する。

研究開発期間

2009年度～2011年度

#### 4 - - . 先進交通社会確立技術

##### (1) エネルギーITS (運営費交付金)

概要

平成19年5月の「次世代自動車・燃料イニシアティブ」に基づき、運輸部門のエネルギー消費効率改善のため、自動運転・隊列走行技術、高度交通流制御技術等の省エネルギーに資するITS技術の開発を行う。

技術的目標及び達成時期

2012年度までにCO2削減効果評価方法の確立を図るとともに、2020年代に実用化が見通せる運転制御、隊列走行の基盤技術の確立を目指す。

研究開発期間

2008年度～2012年度

##### (2) サステナブルハイパーコンポジット技術の開発 (運営費交付金)

概要

炭素繊維複合材料は、軽量、高強度等の優れた特性を有している。従来の熱硬化性樹脂を用いた炭素繊維複合材料では成形性・加工性に乏しくリサイクルが困難であったため、熱可塑性樹脂を用いた炭素繊維複合材料(CFRTP)の開発を行う。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、炭素繊維と熱可塑性樹脂との中間基材を開発し、高速成形技術、接合技術及びリサイクル技術を開発する。

研究開発期間

2008年度～2012年度

##### (3) 次世代構造部材創製・加工技術開発 (次世代航空機用)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、航空機、高速車両等の輸送機器への先進材料の本格導入を加速させるため、先進複合材料及び先進金属材料について部材開発、設計試作及び評価を実施することで、軽量化によりエネルギー使用効率を大幅に向上させる革新的な構造部材の創製・加工技術の開発を行う。

#### 技術目標及び達成時期

2012年度までに、複合材の構造健全性診断技術、チタン合金の創製・加工技術を確立するとともに、航空機用エンジンへの適用を目指し、耐熱・耐衝撃性に優れた複合材料を開発する。

#### 研究開発期間

2003年度～2012年度

#### (4) 環境適応型小型航空機用エンジン研究開発(運営費交付金)

##### 概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、エネルギー使用効率を大幅に向上し、環境対策にも優れた次世代の小型航空機用エンジンの開発にとって重要な要素技術の研究開発を行う。

#### 技術目標及び達成時期

2010年度までに、エネルギー使用効率を大幅に向上する構造設計技術、騒音、NOx等の環境負荷対応に優れた環境対策技術、インテグレーション技術、高バイパス比化等の高性能化技術といった要素技術の研究開発・実証を行う。

#### 研究開発期間

2003年度～2010年度

#### (5) 省エネ用炭素繊維複合材技術開発

##### 概要

航空機、自動車、鉄道、船舶等の輸送機械等における炭素繊維複合材の適用範囲を拡大し、省エネルギーの促進を図るため、先進的な炭素繊維複合材成形技術や、耐雷対策の容易化技術等の研究開発・実証を行う。

#### 技術目標及び達成時期

2013年度までに、従来の方法に比べ、曲率の大きな部位の成形も行うことができるVaRTM(バータム)法等の炭素繊維複合材成形技術や、炭素繊維複合材を用いた製品の耐雷性能を容易に確保する技術の研究開発・実証を行う。

#### 研究開発期間

2008年度～2013年度

#### (6) 燃料電池システム等実証研究(運営費交付金)(4 - - 参照)

#### (7) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

### 4 - - . 次世代省エネデバイス技術

#### (1) ナノエレクトロニクス半導体新材料・新構造技術開発 - うち窒化物系化合物半導体基板・エピタキシャル成長技術の開発(運営費交付金)

##### 概要

窒化物系化合物半導体は、パワーデバイス、高周波デバイス、発光デバイス等、重要なデバイスの飛躍的な性能向上と消費電力削減への貢献を期待されている。このため、従来の半導体材料では実現出来ない領域で動作可能なハイパワー・超

高効率の電子素子、超高速電子素子等の作成に必要な窒化物系化合物半導体先進技術の国際競争力を強化すべく、高品質かつ大口径単結晶基板、高品質かつ大口径エピタキシャル成長技術等の開発を行う。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。  
技術目標及び達成時期

2011年度までに、次世代窒化物系半導体デバイスを実現する以下結晶作製技術を開発する。

1) 基板技術 (GaN、AlNバルク結晶作製技術)

・口径2～4インチで高品質エピ成膜を可能とする低コストの単結晶基板作製技術の確立。

2) エピ技術 (エピタキシャル成膜及び計測評価技術)

・低欠陥高品質エピ層を実現する成膜技術及び膜成長過程を計測評価する技術の確立。

・高出力かつ高安定動作可能なエピ層の実現

・高耐圧超高速な新しいデバイス構造の開発

研究開発期間

2007年度～2011年度

## (2) 次世代低消費電力半導体基盤技術開発 (MIRAI) (運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、IT化の進展、IT利活用の高度化を支え、あらゆる機器に組み込まれている半導体の低消費電力化を図るため、テクノロジーノード(微細化レベル)45nm以細の次世代低消費電力半導体を実現するため、微細加工の基盤技術やマスク(半導体素子製造過程で用いる原板)の低コスト化・製造時間短縮に必要な基盤技術の開発等を行う。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、マスク設計・描画・検査の各工程に共通的なマスクデータ処理技術、繰り返しパターンやパターン重要度を利用した描画・検査高速化技術等の基本的な開発及びEUVLマスク基盤技術として、許容欠陥の指標明確化、ブランクス有位相欠陥検査技術の確立等を完了する。

研究開発期間

2001年度～2010年度

## (3) 半導体アプリケーションチッププロジェクト (運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、情報通信機器、特に、情報家電(車載を含む)の低消費電力化を実現できる半導体アプリケーションチップ技術の開発を行う。

技術目標及び達成時期

2009年度までに情報家電の低消費電力化を実現できるアプリケーションチ

ップ技術を開発する。

研究開発期間

2003年度～2009年度

(4) 次世代プロセスフレンドリー設計技術開発(運営費交付金)

概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、あらゆる機器に組み込まれている半導体の低消費電力化を図るため、テクノロジーノード45nm以細の半導体に対応するSoC(System on Chip)設計技術を開発する。具体的には、テクノロジーノード45nm以細の半導体の共通設計基盤技術開発として、DFM(Design For Manufacturing)基盤技術を中核とした設計及び製造の全体最適を確保する全く新しいSoC製造フローを開発する。

技術目標及び達成時期

テクノロジーノード45nm以細のSoC開発において製造性を考慮した共通設計基盤技術を確立し、システムLSIデバイスの省エネルギーを実現するとともに、設計生産性を従来予想に比べ2倍にすることを目標とする。

研究開発期間

2006年度～2010年度

(5) 半導体機能性材料の高度評価基盤開発(運営費交付金)

概要

情報通信機器の高機能化や低消費電力化等の要求を満たす半導体集積回路を実現するため、新たな機能性材料開発に貢献する評価基盤技術を開発し、さらに開発した機能性材料の半導体及び半導体集積回路への適用を可能とする統合的なソリューション技術を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術的目標及び達成時期

2011年度までに、半導体デバイス性能に直結する接合素子の性能性及び信頼性等、半導体製造プロセス全体を俯瞰しつつ、機能性材料開発が可能となる評価基盤技術を開発し、開発した機能性材料を用いた統合的なソリューションが提案できる材料評価基盤を構築する。

研究開発期間

2009年度～2011年度

4 - - . その他

(1) 次世代構造部材創製・加工技術開発(次世代衛星基盤)

概要

国際商業市場における我が国衛星メーカーの競争力を強化するべく、準天頂衛星システム(利用者に対し、米国が運用するGPSとの補完による高精度な位置情報等の提供を可能にするシステム)の構築に不可欠な基盤技術(産業競争力強

化にも直結する衛星の軽量化、長寿命化に関する技術等)の開発を行う。本プロジェクトの一部については、他部門と比較して需要増加の割合が高い運輸部門のエネルギー消費を抑制すべく、自動車、高速車両等の輸送機器の軽量化・効率化にも資する複合材料製造設計等の基盤技術を確立するためのものであり、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

静止軌道と一定の角度をなす傾斜軌道に複数の衛星を配置し、見かけ上、常に天頂付近に最低1つの衛星を位置させるシステム。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、準天頂衛星システムの構築に不可欠な基盤技術(産業競争力強化にも直結する衛星の軽量化、長寿命化に関する技術等)の開発を実施し、宇宙空間での技術実証を行う。

研究開発期間

2003年度～2010年度

#### 4 - . 運輸部門の燃料多様化

##### 4 - - . 共通

- (1) 新エネルギー技術実用化補助事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

##### 4 - - . バイオマス由来燃料

- (1) 新エネルギー技術研究開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) E3地域流通スタンダードモデル(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) バイオマス等未活用エネルギー実証事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (4) バイオマスエネルギー地域システム化実験事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (5) セルロース系エタノール革新的生産システム開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

##### 4 - - . G T L 等の合成液体燃料

- (1) 天然ガスの液体燃料化(G T L)技術実証研究(運営費交付金)(4 - - 参照)

##### 4 - - . 燃料電池自動車および水素関連技術

- (1) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) 燃料電池先端科学研究(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (3) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (4) 水素貯蔵材料先端基盤研究事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (5) 水素社会構築共通基盤整備事業(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (6) 燃料電池システム等実証研究(運営費交付金)(4 - - 参照)

##### 4 - - . 電気自動車

- (1) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)
- (2) 革新型蓄電池先端科学基礎研究(運営費交付金)(4 - - 参照)

#### 4 - . 新エネルギー等の開発・導入促進

##### 4 - - . 共通

###### (1) 新エネルギー技術研究開発(運営費交付金)

###### 概要

新エネルギーの自立的普及に向けて、太陽光、風力、バイオマスなど新エネルギー分野でのイノベーションを促進すべく、高効率かつ低コストを目指した先進的技術開発を実施する。具体的には以下の研究開発を実施する。

- A. 革新的な太陽電池の開発を実施する研究拠点を形成し、海外との研究協力等を行いながら、超長期の視野に立って、飛躍的な性能向上を目指した太陽光発電技術の開発を推進する。(革新型太陽電池国際研究拠点整備事業)
- B. 中長期的に、より一層の高効率化と低コスト化を目指して、革新的な材料、構造等を採用した太陽光発電技術の開発を推進する。(太陽光発電システム未来技術研究開発)
- C. 2020年の目標発電コスト14円/kWhおよび太陽光発電システムの大幅な効率向上を実現すべく、未来技術研究開発などで得られた要素技術開発の成果の内、実用化が期待できる太陽電池作製に係る技術について課題を設定し早期実用化を助成する。(太陽光発電システム実用化促進技術開発)
- D. 電力供給源としての太陽光発電の信頼性を確立し、今後の太陽光発電システムの円滑な普及促進を図るため、太陽光発電システムの大量普及時に不可欠な性能評価技術やリサイクル・リユース技術等システムの共通基盤技術に係る研究等を実施する。(太陽光発電システム共通基盤技術研究開発)
- E. PVシステムの普及拡大のため、「集中連系型太陽光発電システム実証研究」の設備を有効利用しながら、認証制度にも資する複数台連系に係わる試験方法を確立する。(単独運転検出装置の複数台連系試験技術開発研究)
- F. 風力発電技術の国際的な動向を把握しつつ、我が国の複雑地形における風力発電利用上の各種課題を克服するための基礎から応用までの技術について研究開発を行う。具体的には我が国の厳しい風特性を反映した風特性モデルの確立及び高々度風況観測を簡便に行うためのリモートセンシング技術の精度検証・評価を行う。

また、全国規模での落雷電流計測、落雷様相観測による雷特性の把握、落雷特性・落雷保護対策と被害実態との相関把握、上記を踏まえた効果的な落雷保護対策の検討及び実機規模での実雷による保護対策検証等を実施し、高精度落雷リスクマップを作成するとともに、風力発電設備へのより効果的な落雷等に対する対策を策定する。(次世代風力発電技術研究開発事業)
- G. 我が国特有の海上特性や気象・海象条件を把握し、これらの自然条件に適した洋上風況観測法や風力発電システムに関する技術開発とその実証を行なうと共に、環境影響評価システム手法を確立する。(洋上風力発電技術研究開発)
- H. バイオマスのエネルギー利用の促進を図るためには、発生地域が分散し、形状・性状が多種多様にわたるバイオマス資源を利用しやすい形態の有用エネルギーへ効率的に転換できる技術を開発する。(バイオマスエネルギー等高効率転換技術開発)

I .世界的にもベンチャー企業による太陽光発電、新型風力発電、燃料電池、バイオ燃料分野におけるイノベーション活動が活発化していることを踏まえ、詳細目標設定・多段階選抜形の米国S B I R制度を参考に特定のキーテクノロジーに対するベンチャーのチャレンジを強力に支援する。(新エネルギーベンチャー技術革新事業)

#### 技術目標及び達成時期

- A . 2050年までに「変換効率が40%超」かつ「発電コストが汎用電力料金並み(7円/kWh)」の太陽電池を実用化することを目指した研究開発の中で、変換効率40%超の実現に向けた技術の基礎・探索研究段階と位置づけて研究開発を実施する。
- B . 2020年頃に業務用電力料金並の発電コスト(14円/kWh、モジュール製造原価として75円/W程度)、2030年頃に火力発電の発電コスト(7円/kWh、モジュール製造原価として50円/W程度)の実現に向けた中・長期的な技術開発を行う。
- C . 2015年に向けて市場競争力を備えた本格生産・商用化を目指す。
- D . 2020年度の技術開発目標である発電コスト14円/kWhを目指し、中期的な視点での太陽光発電の普及拡大に資する。
- E . 2009年度末までに、電力系統側が受け入れ可能な、導入台数の制限のない能動型単独運転検出装置の試験方法を確立する。
- F . 2012年度までに、風力発電の基礎から応用までの技術について、国際的な動向を把握しつつ、我が国特有の気象・地形に起因する各種問題(風車耐久性等)を克服するための研究開発を行って、我が国の風車産業の振興に資するとともに、IEA RD&D WINDなどの最先端の国際的風力発電共同研究に研究成果を反映させる。
- また、2012年度までに、高精度落雷リスクマップを作成するとともに、風力発電設備へのより効果的な落雷等に対する対策を策定する。
- G . 2013年度までに、我が国の海象・気象条件に適した、洋上風況観測システム、洋上風力発電システム及び環境影響評価の手法等の技術を確立する。
- H . 2004年度より、バイオマスエネルギー転換プロセスにおける各工程のボトルネックを抽出し、2008年度までに開発が完了するよう、それぞれのボトルネックをブレークスルーする要素技術開発を提案公募方式により実施する。更に、2005年度より2009年度まで、バイオマスのエネルギー転換・利用技術等の分野において2030年の普及を目指した新規な革新的技術を発掘するための先導技術研究開発を提案公募方式により実施する。
- I .潜在的なオプションの顕在化や関連産業分野の技術開発による技術革新により、新エネルギー導入促進技術オプションの多様化と経済性の向上に寄与する。

#### 研究開発期間

2007年度～2011年度

## (2) 新エネルギー技術フィールドテスト事業(運営費交付金)

### 概要

2010年度の新エネルギー導入目標達成に向け、新技術を活用した太陽光発電及び太陽熱利用システムの有効性の検証、バイオマス熱利用システムの性能・経済性等の検証、風車立地に必要な高所の風況データの収集・解析など総合的な新エネルギーフィールドテストを実施する。具体的には以下のフィールドテストを実施する。

- A. 新技術を活用した太陽光発電システム等を設置し、出力特性等の情報収集及び分析を行うことで、その有効性を確認するとともに、ガイドラインの策定等により広く情報発信を行う。(太陽光発電新技術等フィールドテスト事業)
- B. 新利用形態の太陽熱利用システムや未利用分野においてシステムを設置し、出力特性等の情報収集及び分析を行うことで、その有効性を確認するとともに、ガイドラインの策定等により広く情報発信を行う。(太陽熱高度利用システムフィールドテスト事業)
- C. 広く薄く賦存するバイオマスを、民間企業や研究機関等において研究開発が終了段階をむかえた高効率に熱利用できるシステムを設置し、設置場所の熱需要に合わせたフィールドテストを実施することにより、実運転におけるバイオマス熱利用転換システムとしての課題抽出、解決を行い、早期実用化を図り、バイオマスエネルギーの導入促進を行う。(地域バイオマス熱利用フィールドテスト事業)
- D. 風力発電の導入目標(2010年度300万kW)を達成するため、共同研究事業者と大型風車の導入普及に必要な高所の風況データの収集・解析・評価を行い、公開する。(風力発電フィールドテスト事業)

### 技術目標及び達成時期

- A. 設置システムについて、2007年度に策定したガイドラインを2009年度、2012年度及び2015年度に見直し改訂する。
- B. 設置システムについて、2007年度に策定したガイドラインを2009年度に改訂する。また、2012年度及び2015年度に見直し改訂する。
- C. 一定レベルまで確立されたバイオマス熱利用技術について、性能や経済性等の状況・データを収集・分析し、熱利用システムの有効性を実証するとともに、これらの結果を公表することで汎用性の高い熱利用システムの確立し、2010年度のバイオマス熱利用の導入目標(308万KL)達成を目指す
- D. 2010年度までに、高所の風況データの解析・評価を行い、導入普及に有用な資料の取りまとめを行い、これらの結果を風力発電事業者、研究機関や風力発電事業を計画している各種団体等に公開することにより、風力発電導入の素地を形成し、風力発電の導入を拡大する。

### 研究開発期間

2007年度～2011年度

### (3) 新エネルギー技術実用化補助金(運営費交付金)

#### 概要

科学技術基本計画における戦略的技術領域・課題にかかる技術課題等で石油代替エネルギーの製造・生成・利用に資する実用化開発を行う民間企業に対し助成支援する。

#### 技術目標及び達成時期

助成事業終了後3年以上を経過した時点で25%の実用化達成率。加えて、知的資産経営の方針に対する審査時の評価を通じて、「技術等の知的資産を活かす経営の下で収益拡大を図る(技術を経営、収益につなげる)」意識を普及させる。

#### 研究開発期間

2000年度～

### (4) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業(運営費交付金)

#### 概要

産業界や社会のニーズに応える石油代替技術のシーズの発掘とその育成、並びに、石油代替技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。この目的のため、産業界からの期待が高い技術領域・課題を提示した上で、大学や独立行政法人の若手研究者等から研究開発テーマを募集する。厳正な外部評価によって石油代替効果があり且つ独創的・革新的なテーマを選定し、研究者代表者個人を特定して助成金を交付する。

#### 技術目標及び達成時期

独創性のある若手研究者等を助成すると共に、中間評価ゲート方式が醸成する競争的環境の下で企業との連携を強化させることにより、10～15年後の実用化が有望な革新的石油代替技術の研究開発を促進する。本事業では革新的石油代替技術の実用化への第1歩となる特許について、助成期間終了後の出願比率を100%とすることを目標とするとともに、石油代替技術に関する次世代の研究リーダーの育成を図る。

#### 研究開発期間

2000年度～

## 4 - - . 太陽・風力

### (1) 太陽光発電無線送受電技術の研究開発

#### 概要

将来の新エネルギーシステムとして期待される宇宙太陽光発電システム(SSPS)の中核的技術として応用可能なマイクロ波による太陽光発電無線送受電技術の確立に向け、安全性や効率性等の確保に不可欠な精密ビーム制御技術の研究開発を行う。

#### 技術目標及び達成時期

2012年度までに複数のフェーズドアレイパネル間の位相同期を行い、パイロット信号の方向にマイクロ波を電送するレトロディレクティブ技術を活用した精密ビーム制御技術の確立を目指す。

研究開発期間

2008年度～2012年度

#### 4 - - . 電力系統制御・電力貯蔵

##### (1) 革新型蓄電池先端科学基礎研究(運営費交付金)

概要

電池の基礎的な反応原理・反応メカニズムを解明することで、既存の蓄電池の性能向上及び革新型蓄電との実現に向けた基礎技術の確立を目指す。

技術目標及び達成時期

世界最高レベルの放射光施設を用いた評価装置により、蓄電池の反応メカニズムを解明するとともに、2030年に電気自動車の航続距離500km、コスト1/40を実現すべく、新材料の開発を行う。

研究開発期間

2009年度～2015年度

##### (2) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)(4 - - 参照)

##### (3) 大規模電力供給用太陽光発電システム安定化等実証事業(運営費交付金)(4 - - 参照)

#### 4 - - . バイオマス・廃棄物・地熱等

##### (1) E3地域流通スタンダードモデル創成事業(運営費交付金)

概要

離島(全域)におけるエタノール3%混合ガソリン(E3)の製造から給油までの大規模なフィールドテストを通じ、E3利用に関する社会システムモデルの構築と一般社会へ適用する際の技術課題の抽出を行う。

技術目標及び達成時期

2010年の「京都議定書目標達成計画」の導入目標(50万kl)に資するため、2009年度にE3利用の社会モデルを構築し、2011年度までにその検証を行う。

研究開発期間

2007年度～2011年度

##### (2) バイオマス等未活用エネルギー実証事業(運営費交付金)

概要

地域に賦存する未活用な資源であるバイオマスをエネルギーとして有効活用するため、溶融ガス化等熱化学的変換技術による燃料化システムやメタンガス等生物化学的変換技術による燃料化システム等の実証試験事業、事業可能性調査等を実施し、利用ノウハウ等を蓄積、本格的なバイオマス等エネルギーの導入を推進する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、バイオマス等の種別やエネルギー変換手法、更には地域

特性を加味した一連のエネルギー転換システム毎のフィージビリティスタディや試験設備の設置により、バイオマス等の運搬・収集、エネルギー転換及びエネルギー利用に係るデータの収集、分析、評価を実施し、その結果をフィードバックすることによって本格的なバイオマス等エネルギーの導入を目指す。

研究開発期間

2001年度～2009年度

### (3) バイオマスエネルギー地域システム化実験事業（運営費交付金）

概要

バイオマスエネルギーの資源収集・運搬、転換、残渣処理、利用までの一連の利活用システムについての、各要素の連携の最適化を図るための実証を実施することによって、地域特性に適合した地域主導によるバイオマスの地産地消・地域循環型の先導的モデルシステムを構築することによりバイオマスエネルギーの導入を促進する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、国内バイオマス資源の安定的かつ経済的な供給システム、最適なエネルギー転換技術、エネルギー転換後に発生する残渣の処理等の一連の地産地消型エネルギー転換システムについて、ノウハウ蓄積、課題抽出及びその対策方法の策定、技術確立を行う。また、ここで確立されたバイオマスエネルギーシステムは他地域への波及を先導する事例となることを目標とする。

研究開発期間

2005年度～2009年度

### (4) セルロース系エタノール革新的生産システム開発（運営費交付金）

概要

大規模安定供給が可能で、かつ食料と競合しない、草本系、木質系のセルロース系バイオマス原料の栽培からバイオエタノール製造までの一貫生産システムを構築し、環境負荷、経済性等を評価する。加えて、大規模生産に当たり危惧されている、生態系破壊、森林破壊、ライフサイクルでの環境負荷増大等の負の影響についての適切な評価、認証等、持続可能なバイオ燃料の生産拡大を担保する社会システム整備のあり方についても調査研究を行う。

技術目標及び達成時期

2015年までに、製造コスト40円/L以下、エネルギー回収率35%以上を達成するための技術開発を行う。

研究開発期間

2009年度～2013年度

#### 4 - - . 燃料電池

##### (1) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発(運営費交付金)

###### 概要

自動車用、家庭・業務用等に利用される固体高分子形燃料電池(PEFC)の実用化・普及に向け、要素技術、システム化技術及び次世代技術等の開発を行うとともに、共通的な課題解決に向けた研究開発の体制の構築を図る。

###### 技術目標及び達成時期

2009年度までに、固体高分子形燃料電池の経済性・耐久性の向上や高性能化のための技術開発を行い、燃料電池の普及段階へ向けて必要な基本的技術を確立する。

###### 研究開発期間

2005年度～2009年度

##### (2) 燃料電池先端科学研究(運営費交付金)

###### 概要

燃料電池の基本的反応メカニズムについての根本的な理解を深めるために、高度な科学的知見を要する現象解析及びそのための研究体制の整備を行い、現状の技術開発における壁を打破するための知見を蓄積する。

###### 技術目標及び達成時期

2009年度までに、燃料電池内における反応機構を電気化学(電極触媒反応、イオン移動、分子移動等)及び材料化学(溶解・腐食反応、錯形成反応、ラジカル反応、固相内拡散等)の観点から解明する。また、燃料電池新技術の性能を適切に評価・実証するための基本システムを構築する。

###### 研究開発期間

2005年度～2009年度

##### (3) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発(運営費交付金)

###### 概要

固体酸化物形燃料電池(SOFC)は発電効率が高く、分散型電源として期待されるが、実用化・普及のためには耐久性・信頼性向上、低コスト化等の課題を解決することが必要であり、材料開発や劣化要因解明など基盤的な要素技術の研究を行う。

###### 技術目標及び達成時期

2012年度までに、耐久性・信頼性の向上のための劣化要因解明等の基礎研究、低コスト化のための材料等や高出力セルスタックの開発、起動停止対応等の実用性向上のための技術開発を実施する。

###### 研究開発期間

2008年度～2012年度

#### (4) セラミックリアクター開発（運営費交付金）

##### 概要

低温域かつ高効率なエネルギー変換を可能とする次世代型セラミックリアクターの実現のため、世界最高効率の燃料電池マイクロセルの集積構造技術等の開発を行う。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

##### 技術目標及び達成時期

2009年度までに、新電解質材料の適用や電極反応の高効率化等による、低温作動時（650以下）での出力性能を向上させる材料技術と共に、マイクロセルの集積構造化や精緻なインターフェース構築のための製造プロセス技術を開発。そして、これらの技術を統合することにより、次世代型セラミックリアクターとしてのプロトタイプモジュール実証（出力性能2kW/L等）を行う。

##### 研究開発期間

2005年度～2009年度

#### (5) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発（運営費交付金）

##### 概要

水素の製造・輸送・貯蔵等に係る機器やシステムについて、性能・信頼性・耐久性の向上や低コスト化を目指す水素利用技術の研究開発を行い、水素社会の実現に必要な基盤技術の確立を図る。

##### 技術目標及び達成時期

2012年度までに、水素製造・貯蔵・輸送・充填に関する機器やシステムの信頼性・耐久性向上、低コスト化、性能向上等実用化検証や要素技術開発、及び当該技術を飛躍的に進展させることができる革新的技術開発や調査研究などを行い、その成果を産業界に提供することにより、水素エネルギー初期導入間近の関連機器製造・普及技術として完成させ、水素社会の真の実現に必要な基盤技術の確立を図る。

##### 研究開発期間

2008年度～2012年度

#### (6) 水素貯蔵材料先端基盤研究事業（運営費交付金）

##### 概要

世界トップ水準の優れた研究者を中核に、国内外の研究機関・企業のバーチャルな連携の下、高圧水素貯蔵に比べよりコンパクトかつ効率的な水素貯蔵を可能とする水素貯蔵材料の性能向上に必要な条件等を明らかにすることにより、燃料電池自動車の航続距離の飛躍的向上を図る。

##### 技術目標及び達成時期

2011年度までに、水素貯蔵材料の基本原理、さらには水素貯蔵能力の革新的向上に必要な条件を明らかにすることにより、水素をより安全・簡便・効率的かつ低コストに輸送・貯蔵するための技術基盤を確立する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

(7) 水素先端科学基礎研究事業(運営費交付金)

概要

水素の輸送や貯蔵に必須な材料に関し、水素脆化等の基本原理の解明及び対策の検討を中心とした高度な科学的知見を要する先端的研究を、国内外の研究者を結集し行うことにより、水素をより安全・簡便に利用するための技術基盤を確立する。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、水素脆化、水素トライボロジーの基本原理の解明及び対策の検討等を行い、水素をより安全・簡便に利用するための技術指針を産業界に提供する。

研究開発期間

2006年度～2012年度

(8) 水素社会構築共通基盤整備事業(運営費交付金)

概要

燃料電池の導入・普及に資する基盤整備のため、製品性能の試験・評価手法及び国内外の基準・標準の確立を図る。

技術目標及び達成時期

2009年度を目途に、安全性等に係るデータを取得し、そのデータを基に試験・評価手法の確立、国際標準の確立、規制の再点検を三位一体で進める。

研究開発期間

2005年度～2009年度

(9) 固体酸化物形燃料電池実証研究(運営費交付金)

概要

発電効率が高く、分散型電源として期待される固体酸化物形燃料電池(SOFC)の研究開発・実用化の促進のため、耐久性を始めとしたデータの取得・課題抽出等のための実証を実施する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、SOFCシステムの実証試験を数十～数百台規模で実施し、蓄積が不足している耐久性を始めとした実証データの取得・課題抽出等を行い、SOFC技術開発等へのフィードバックを行う。

研究開発期間

2007年度～2010年度

( 1 0 ) 燃料電池システム等実証研究 ( 運営費交付金 )

概要

実条件に近い中での燃料電池自動車等の実証走行や、高圧水素貯蔵システム、多角的な燃料供給システムの検証を進め、水素エネルギー社会における水素利用の課題等を抽出するとともに、燃料電池・水素に対する国民的理解の醸成を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、実使用条件下における技術的課題を抽出するとともに、環境特性、エネルギー総合効率、安全性、耐久性等に関する基準・標準に資するデータを取得し、燃料電池自動車、水素ステーションの研究開発等へのフィードバックを行う。

研究開発期間

2006年度～2010年度

( 1 1 ) 将来型燃料高度利用技術開発 ( 4 - - 参照 )

4 - . 原子力等利用の推進とその大前提となる安全の確保

4 - - . 軽水炉・軽水炉核燃料サイクル

< 新型軽水炉 >

( 1 ) 次世代軽水炉等技術開発

概要

2030年前後に見込まれる大規模な代替炉建設需要に対応するため、安全性・経済性、信頼性等に優れ、世界標準を獲得し得る次世代軽水炉の技術開発を行う

技術目標及び達成時期

2010年度までに、次世代軽水炉の実現に必要な要素技術開発等及びプラント概念の成立性について見通しを得るための概念設計検討を行う。

研究開発期間

2008年度～2010年度 ( 見直し )

< 軽水炉使用済燃料再処理技術の高度化 >

( 2 ) 使用済燃料再処理事業高度化

概要

再処理施設で用いられるガラス固化技術について、より多くの白金族元素等を含む高レベル廃液を溶融可能な新しい性状のガラスを開発するとともに、これに対応しうる新型の溶融炉を開発することにより、我が国の使用済燃料再処理技術の高度化を図る。新型ガラス溶融炉の開発に際しては、六ヶ所再処理工場の運転経験を反映する研究もあわせ行う。

技術目標及び達成時期

より多くの白金族元素等を含む高レベル廃液を溶融可能なガラス及び溶融炉の開発等によって、より高品質のガラス固化体を製造可能なガラス固化技術を開発する。

また、本事業によって開発されたガラス固化技術を、5年程度で更新が計画されている日本原燃株式会社六ヶ所再処理工場のガラス溶融炉及び同工場のガラス固化施設の運転に反映させる。

研究開発期間

2009年度～2011年度

#### < プルサーマルの推進 >

##### (3) 全炉心混合酸化物燃料原子炉施設技術開発

概要

プルサーマルが当面のプルトニウム利用策として期待されていることを踏まえ、既存の軽水炉に比べ約3倍のプルトニウムを装荷することができる全炉心混合酸化物燃料原子炉に必要な技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、原子炉の開発に必要な設計、解析、試験等を行い、全炉心混合酸化物燃料原子炉技術を確立する。

研究開発期間

1996年度～2011年度

#### < 軽水炉サイクルから高速増殖炉サイクルへの円滑な移行のための技術開発 >

##### (4) 高速炉再処理回収ウラン等除染技術開発

概要

FBR実証炉及び関連サイクル施設の早期実現を図るため、文部科学省と連携し、「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」を推進する。そのなかで、次世代再処理工場から発生する高線量回収ウラン等を既存軽水炉燃料製造施設で取扱可能とする、次世代再処理工場と調和可能な回収ウラン等の除染技術について、調査・基礎試験等を行い、商業的に利用可能な除染技術候補の検討等を実施する。選定された技術については、プロセス試験等を実施する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、回収ウラン等の除染プロセスの候補技術の洗い出し及び候補プロセス技術の基礎試験を終了し、次世代再処理技術との適合性の検証を行い、プロセス試験を実施すべき除染プロセス技術を選定する。

また、2015年までに、選定した除染プロセス技術について工学化規模でのプロセス試験を行い、商業的に利用可能な転換前高除染技術としての実効性を検証する。

研究開発期間

2007年度～2015年度

#### < ウラン濃縮技術の高度化 >

##### (5) 遠心法ウラン濃縮技術開発

概要

我が国におけるウラン濃縮技術や生産能力の維持・向上のため、世界最高水準

の性能を有するなど国際的に比肩し得る経済性と性能を有する新型遠心分離機を開発する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、国際役務価格\$100/kg SWU相当を目指して、現在実用化している金属胷遠心分離機の約5倍という高い分離性能や同遠心分離器を上回る寿命など国際的に比肩し得る技術レベルを有する新型遠心分離機の開発を目指すとともに、最終仕様の新型遠心分離機を多数台用いたカスケード試験の実施により商用プラントとしての信頼性を確立し、運転要領の策定を行う。

研究開発期間

2002年度～2009年度

## < 回収ウラン >

### (6) 回収ウラン利用技術開発

概要

六ヶ所再処理工場で回収される回収ウランを再濃縮し、再び軽水炉で利用するため、濃縮施設等既存施設への影響等を把握し、転換プロセスを中心とした回収ウラン利用技術を開発する。併せて劣化ウラン酸化固形化についても検討を行う。

技術目標及び達成時期

2012年頃までに、劣化ウランの取扱・管理の容易さや貯蔵効率を向上させるための劣化ウラン酸化固形化（再転換を含む）技術の研究開発を行い、同技術に係る基礎プロセスを確立する。2015年度頃までに、再処理により回収される回収ウランの濃縮が可能な商用遠心分離機的设计を確定する。

研究開発期間

2008年度～2015年度

## < 共通基盤技術開発 >

### (7) 革新的実用原子力技術開発

概要

第4世代原子力システムに関する国際フォーラム（GIF）や国際原子力エネルギー・パートナーシップ（GNEP）等の国際協力枠組みにおいて国際連携による研究開発が提案されている技術分野や、近年希薄化が懸念される原子力を支える基盤技術分野について、産業界の参画やニーズ提示のもと、大学等が実施する研究活動への支援や将来の原子力人材の育成を実施しており、各分野の目的に沿った革新的な技術開発を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度まで、基盤技術分野、国際協力技術分野において個別テーマ毎に研究開発を実施する。

研究開発期間

2000年度～2011年度（見直し）

#### 4 - - . 高速増殖炉（FBR）サイクル

##### （1）発電用新型炉等技術開発

###### 概要

FBR実証炉及び関連サイクル施設の早期実現を図るため、文部科学省と連携し、「高速増殖炉サイクル実用化研究開発」を推進する。具体的には、実証炉に必要な要素技術のうち、設計・建設段階において必要となる実プラント技術として、格納容器設計技術、耐震性評価技術、高温材料設計技術、保守・補修技術、大型構造物製作技術の試験等を実施する。

###### 技術目標及び達成時期

2010年度までに、実証炉の概念設計へ反映しうる設計基準データ等の技術的根拠を得る。

###### 研究開発期間

2007年度～2010年度

##### （2）高速炉再処理回収ウラン等除染技術開発（4 - - 参照）

#### 4 - - . 放射性廃棄物処理処分

##### （1）地層処分技術調査等

###### 概要

###### ）地層処分共通技術開発

高レベル放射性廃棄物等の地層処分における共通的技术として、今後段階的に進められる処分地選定の際に重要となる地質等調査技術の高度化開発を行う。

###### ）高レベル放射性廃棄物関連処分技術開発

高レベル放射性廃棄物処分に係る基盤技術として、人工バリア等の長期性能評価技術、処分場操業の際のオーバーパック溶接や搬送・定置等の遠隔操作技術の開発を行う。

###### ）TRU廃棄物処分関連技術開発

TRU廃棄物の地層処分に係る基盤技術として、高レベル放射性廃棄物との併置処分の可能性も念頭に、TRU廃棄物に固有に含まれる核種の閉じ込め技術や人工バリア等の長期性能評価技術の開発を行う。

###### 技術目標及び達成時期

###### ）地層処分共通技術開発

2011年度までに、処分地選定の初期段階で必要となる地上からの調査技術のうち、特に沿岸域の環境や高精度での地下水評価等に係る調査評価技術の高度化・確証を行う。

###### ）高レベル放射性廃棄物関連処分技術開発

2011年度までに、人工バリア等の長期性能評価技術や遠隔操作等の工学技術について高度化を図り、幅広い地質環境に対応可能な技術選択肢と成立性を提示する。

###### ）TRU廃棄物処分関連技術開発

2011年度までに、TRU廃棄物に固有に含まれるヨウ素129や炭素1

4の閉じ込め、高アルカリ環境下での人工バリアの性能評価等に関し、幅広い地質環境に対応可能なデータ・モデルの整備と技術選択肢の提示を行う。

研究開発期間

1998年度～2011年度

(2) 管理型処分技術調査等

) 地下空洞型処分施設性能確認試験

概要

T R U廃棄物や発電所廃棄物等の余裕深度処分において検討されている「地下空洞型処分施設」の成立性確認のため、実規模大の空洞を利用した総合的な確認試験を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、実規模大の空洞内にコンクリートピット等からなる地下空洞型処分施設を構築し、施工性や初期性能の総合的な確認を行う。

研究開発期間

2006年度～2011年

(3) 放射性廃棄物共通技術調査等

概要

) 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

放射性廃棄物処分に係る国内外の最新知見の収集・分析、重要かつ基礎的な課題の抽出並びに研究を実施し、長期に及ぶ処分事業等を支える技術基盤の拡充を図る。

) 放射性核種生物圏移行評価高度化調査

放射性廃棄物処分の安全評価に共通的な基盤情報として、生物圏における核種移行プロセスを評価するため、日本の風土を反映した核種移行パラメータ・モデルを整備する。

技術目標及び達成時期

) 放射性廃棄物重要基礎技術研究調査

2011年度までに、放射性廃棄物処分に共通的な重要基礎技術として、地質環境の長期安定性評価、人工バリアや岩盤の長期挙動評価等に係る知見を整備する。

) 放射性核種生物圏移行評価高度化調査

2011年度までに、沿岸域の環境も含めたわが国表層環境への適用とT R U廃棄物に固有の核種等を考慮した、生物圏核種移行のモデルとデータベースを構築する。

研究開発期間

2001年度～2011年度

#### 4 - - . 原子力利用推進に資する電力系統技術

##### (1) イットリウム系超電導電力機器技術開発(運営費交付金)

###### 概要

世界的にも我が国が最先端の技術力を有する次世代高温超電導線材を活用し、経済社会の基盤となる電力の安定的かつ効率的な供給システムを実現するため、系統を適正に制御し、電力供給を安定化させるための技術及び発電電力を無駄なく輸送するための高効率な送電技術の確立を目指す。

###### 技術目標及び達成時期

2012年度までに、イットリウム系超電導線材を用いたSME S、電力ケーブル、変圧器実現のための重要な技術開発を行い、各機器の成立性を実証する。

###### 研究開発期間

2008年度～2012年度

##### (2) 高温超電導ケーブル実証プロジェクト(運営費交付金)

###### 概要

革新的な高効率送電技術を確立して高温超電導ケーブルの実用化を促進するため、工業生産プロセスで実用化レベルに達している高温超電導線材(DI-BSCCO等)を活用し、首都圏の系統に接続する実証試験及び評価を行う。

なお、本事業は、発電用施設による電気の供給の円滑化を図る観点から行うものである。

###### 技術目標及び達成時期

2011年度までに、200MVA級の中間接続部を有した三心一括型高温超電導ケーブルを、冷却装置や保護装置などの付帯設備とともに66KV実系統に接続して、12ヶ月以上の長期連系試験を行うことによって総合的な安全性や信頼性を実証する。

###### 研究開発期間

2007年度～2012年度

#### 4 - - . その他電力供給安定化技術

##### (1) 大規模電力供給用太陽光発電系統安定化等実証事業(運営費交付金)

###### 概要

大規模太陽光発電を電力系統に連系した場合に課題となる系統安定化対策やピーク対策のための技術等を開発するとともに、その有効性を実証する。

また、国内外の先進的な次世代技術の価格性能を比較することを通じて技術開発を加速する。

###### 技術目標及び達成時期

2010年度までに、下記の実証研究を行い、その有効性を確認する。

- (イ) 蓄電池等を組み合わせた出力変動抑制システムの有効性。
- (ロ) 発電出力のピーク制御(午後のピーク帯へのシフト)の有効性。
- (ハ) 大型インバータによる高調波抑制システムの有効性。
- (ニ) 国内外メーカーの太陽電池モジュールの特性比較を行い、性能、経済性等

を比較・検証。

研究開発期間

2006年度～2010年度

## (2) 次世代蓄電システム実用化戦略的技術開発(運営費交付金)

概要

蓄電池技術は、新エネルギーの出力安定化や燃料電池自動車(FCEV)・ハイブリッド自動車(HEV)・電気自動車(EV)等の高効率次世代自動車に共通する重要なコア技術である。そこで、高性能蓄電システムに係る要素技術開発、新材料開発及び基盤技術の開発を行う。

A．系統連系円滑化蓄電システム技術開発

B．次世代自動車用高性能蓄電システム技術開発

技術目標及び達成時期

A．2010年度末において、寿命10年、コスト4万円/kWh、1MW規模のシステムおよび要素技術の確立と2030年において寿命20年、コスト1.5万円/kWh、20～30MW規模の蓄電システムを見通せる技術開発。また、新エネルギー対応の充放電パターン等、基礎データの整備、大型化に伴う安全性や寿命等の評価手法の確立。

B．2011年度末において、電池開発では、0.3kWhモジュールを作製し、重量エネルギー密度100Wh/kg、出力密度2000W/kg、寿命10年、コスト4万円/kWhを達成すること(条件:3kWhの組電池、100万台生産ベース)。電池構成材料及び電池反応制御技術の開発では重量エネルギー密度200Wh/kg、出力密度2500W/kg、コスト3万円/kWhを小型単電池で達成すること(上記と同条件)。たま、電池周辺機器開発では、格段の高性能化、コンパクト化、低コスト化を達成すること。さらに、重量エネルギー密度500Wh/kgを見通せる新規概念・構造の蓄電池基礎開発の他、劣化・寿命診断法、安全性評価などの各種試験法等の開発およびそれら共通基盤技術の基準・標準化。

研究開発期間

2007年度～2011年度

## (3) 発電プラント用超高純度金属材料の開発(運営費交付金)

概要

超高純度金属材料を発電設備の蒸気配管等に実用化することを目指し、高純度金属材料の高度化に向けた低コスト・量産化製造技術を開発し、実使用環境における超高純度金属材料の耐久性試験等を行う。

なお、本事業は、発電用施設における電気の供給の円滑化を図る観点から行うものである。

技術目標及び達成時期

2009年までに、不純物総量100ppm未満、溶解量数100kg以上の低コスト・量産化技術製造技術を開発するとともに、製造された超高純度材料が発電プ

ラントの各種機器に適用でき、本材料の持つ優れた特性を長期に亘って発揮できることを確認する。

研究開発期間

2005年度～2009年度

#### 4 - . 化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

##### 4 - - . 石油・天然ガス・石炭の探鉱・開発・生産技術

###### (1) 石油・天然ガス開発・利用促進型大型/特別研究(運営費交付金)

概要

石油及び可燃性天然ガス資源の開発に係る技術の振興を図る観点から、大水深、複雑な地層といった悪条件化が進む石油・天然ガスの探鉱・開発技術、利用拡大が見込まれる天然ガス田の開発促進に資する天然ガス有効利用技術等について、短期間で実用化が期待され、民間ニーズに直結した研究開発を提案公募により実施する。

技術目標及び達成時期

2012年度までに、我が国の石油・天然ガスの探鉱・開発技術力の向上、及び天然ガスの利用の促進に向けた天然ガスの有効利用技術の開発を行う。

研究開発期間

2001年度～2012年度

###### (2) 石炭生産技術開発

概要

石油代替エネルギーである石炭の安定供給を図るため、発熱量が低いものの低灰分、低硫黄といった特徴を有する低品位炭の有効利用を目的として、低品位炭の発熱量を高め、自然発火性を抑制する低品位炭改質技術を開発する。

技術目標及び達成時期

2009年度までに、3500～5000kcal/kgの発熱量の低品位炭を瀝青炭並みの6000kcal/kg以上に改質する低品位炭改質技術を開発し、600t/d大型実証プラントでの製造技術を確立する。

研究開発期間

2006年度～2009年度

###### (3) 石油精製物質等簡易有害性評価手法開発(運営費交付金)

概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から、石油製品等に含まれる化学物質によるリスクを把握し、必要な対策を適切に行うことを可能とするため、*in vitro*培養系技術等の活用により遺伝子組換え細胞等を用いた*in vitro*系簡易有害性予測手法、また、トキシコゲノミクスを活用した短期動物試験結果と相関する遺伝子発現データセットを開発する。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、遺伝子導入技術、幹細胞分化誘導技術、生物発光技術等

を適用した培養細胞を用いて、試験期間1ヶ月程度、発がん性、催奇形性及び免疫毒性を予測評価できる試験手法を開発し、また、遺伝子発現解析技術を短期動物試験に適用し、28日間反復投与試験結果と相関する遺伝子発現データセットを完成させる。また、標準的な試験プロトコルを策定する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

#### (4) 石油資源遠隔探知技術の研究開発

概要

我が国が開発・運用する多様な地球観測センサ(ASTER、PALSAR等)の地球観測データを用いて、石油・天然ガス等の安定供給確保のため、資源開発・探査、環境観測等に有効なデータの処理解析手法の研究開発を行う。また、地球観測データのような大容量のデータを容易に扱えるシステムの研究開発を実施することで資源開発・探査、環境観測を含む多様な分野でのリモートセンシングの利用拡大を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、資源開発・探査、環境観測等の分野における地球観測データ処理・解析技術の向上及び地球観測データの利用の拡大を図る。

研究開発期間

1981年度～2010年度

#### (5) ハイパースペクトルセンサ等の研究開発(運営費交付金)

概要

資源開発に有効な岩石・鉱物や地質構造解析の高次元解析を可能とするハイパースペクトルセンサの開発を行うとともに、軌道上におけるデータ取得の実証を行い、センサ技術の確立を行う。

技術目標及び達成時期

2011年度までにスペクトル分解能200バンド前後のハイパースペクトルセンサを開発し、地表面のスペクトル情報を取得して資源開発に有効なセンサ技術の実証を行う。

研究開発期間

2007年度～2011年度

#### (6) 次世代合成開口レーダ等の研究開発

概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から行うものであり、石油及び可燃性天然ガス資源等の開発に資するため、資源探査能力を格段に向上した合成開口レーダである次世代合成開口レーダ(PALSAR)の健全性評価やセンサを維持することにより、取得される画像データを用いた石油・天然ガス資源の遠隔探知を行う技術を確立する。

#### 技術目標及び達成時期

PALSAARの開発、健全性の評価・維持を実施することにより、2010年度までに、レーダ技術の高度化（アンテナ指向の電子制御化、分解能の向上、多偏波観測等）を図る。

#### 研究開発期間

1993年度～2010年度

### (7) 極軌道プラットフォーム搭載用資源探査観測システムの研究開発

#### 概要

石油の生産及び流通の合理化を図る観点から行うものであり、石油及び可燃性天然ガス資源等の開発に資するため、資源探査能力を格段に向上した光学センサである資源探査用将来型センサ（ASTER）の健全性評価やセンサを維持することにより、取得される画像データを用いた石油・天然ガス資源の遠隔探知を行う技術を確立する。

#### 技術目標及び達成時期

ASTERの開発、健全性の評価・維持を実施することにより、2010年度までに、センサ技術の高度化（ポインティング機能の追加、分解能の向上、熱センサの搭載等）を図る。

#### 研究開発期間

1987年度～2010年度

## 4 - - . 石油・天然ガスの有効利用技術

### (1) 石油燃料次世代環境対策技術開発

#### 概要

バイオマス燃料から製造した石油製品が自動車排出ガスに及ぼす影響、新たな自動車燃焼技術（自着火燃焼（着火までに燃料と空気を十分に混合し、その混合気体を点火プラグの使用なしで圧縮することにより着火させる燃焼法でNOx排出低減、熱効率が高い等の利点がある））に適応した燃料に関する技術開発を実施する。

また、建設機械、発電機等のオフロードエンジンの排ガスによる環境負荷低減や石油燃焼機器の効率的な利用を進めるための技術開発を実施する。

#### 技術目標及び達成時期

バイオマス燃料の利用時における、燃料と自動車エンジン技術の両面の影響評価を進め、技術的課題を解決し、運輸部門における燃料多様化を目指す。

また、オフロードエンジンの規制は欧米が先行していることから、2012年頃、欧米において規制強化が予定されている排ガス規制に対応した技術を確立し、我が国における規制強化に対応可能な燃焼技術を実現することを目指す。

#### 研究開発期間

2002年度～2011年度

## (2) 石油精製高度機能融合技術開発

### 概要

石油精製業を中心とする石油コンビナート全体の横断的かつ高度な運営機能の融合を図り、単独企業のみでは達成困難なコンビナート域内の省資源、省エネルギーの向上を進めるため、異業種異企業間における限りある貴重なエネルギー資源の利用効率の高い生産技術に関し技術の開発・実証を行う。

### 技術目標及び達成時期

2009年度までに、我が国における他のコンビナートへの波及効果を含め、CO<sub>2</sub>排出量を63万トン/年削減可能とする技術を確立する。

### 研究開発期間

2006年度～2009年度

## (3) 将来型燃料高度利用技術開発

### 概要

省エネ、二酸化炭素削減効果が見込まれる燃料電池自動車の燃料である高純度(99.99%以上)水素を安定的かつ経済的に供給することは重要である。石油は、その長所として豊富な水素供給余力と安価な水素製造技術及び全国に展開した災害に強いガソリンスタンドを保有している。これら石油の長所を活かした水素供給システムの確立により、水素社会の早期実現に貢献するものである。本事業では、製油所からの高純度水素供給技術開発とガソリンスタンドを拠点とする高純度水素製造技術開発を行う。

### 技術目標及び達成時期

コスト低減のため製油所におけるナフサから高効率(80%以上)な高純度水素製造を可能とする新たな技術を開発する。また、供給地のガソリンスタンドにおいて有機ハイドライドから高純度の水素を高効率(80%)に取り出すための水素発生装置を開発する。また、脱硫後の灯油硫黄分を検出限界以下の10ppb以下とする脱硫剤の開発を行うとともに、貴金属使用量を2-3wt%から0.5wt%以下まで低減しても、従来と同等の高い性能が維持できる改質触媒を開発する。さらに、膜分離型反応器を用いた99.99%高純度水素の製造効率を80%、4万時間の耐久性が期待できる水素製造システムを開発する。

### 研究開発期間

2008年度～2010年度

## (4) 革新的次世代石油精製等技術開発

### 概要

原油価格の高騰・高止まりや原油の重質化と製品需要構造変化等の石油を巡る大きな環境変化のなか、連産品である石油製品を今後とも長期的に安定化かつ効率的に供給するためには、製油所の更なる高度化に向けた技術の開発実用化が必要である。このため、非在来型原油を含めた重質油を原料として、製油所におけるボトムレス化、余剰となる分解留分の高付加価値等のためのプロセスや触媒技術等の開発を行う。また、次世代の技術シーズ創出のため、これまでの技術とは

異なる発想により我が国唯一の革新的な新規触媒研究、新規膜分技術研究、新規製造プロセス研究等を産官学の連携等により実施する。

技術目標及び達成時期

2011年度までに重質油対応型高過酷度接触流動分解技術(HS-FCC)については、3千BD規模(商業レベルの1/10規模)の実証研究を通じ、プロピレン収率20%以上(既存技術4%程度)、将来不足が予想される高オクタン価ガソリン基材(RON98(既存技術92程度))の製造を可能とする技術を確立する。

研究開発期間

2007年度～2011年度

#### (5) 次世代高信頼性ガスセンサー技術開発

概要

一酸化炭素中毒やガス漏れなどのガス事故を限りなくゼロに近づけるため、センサー素子のナノレベルでのメカニズム解析及び開発設計を行い、コードレスで高信頼性を有する次世代高信頼性ガスセンサ(COセンサ・メタンセンサ)を開発する。

なお、本事業は、エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。

技術目標及び達成時期

2011年度までに、最先端のナノテクノロジー及びMEMS技術を導入し、電池駆動で5年以上の長寿命、高信頼性(数百ppm以下の故障率)、低コストなCOとメタンのセンサを開発する。

研究開発期間

2008年度～2011年度

#### (6) 天然ガスの液体燃料化(GTL)技術実証研究(運営費交付金)

概要

硫黄等を含まず排出ガスがクリーン、着火性が高いという特徴を有することから石油系燃料代替として期待されるGTLについて、天然ガス中に含まれるCO<sub>2</sub>を除去せず、原料として積極的に活用することから、従来利用が困難であったCO<sub>2</sub>を多く含むガス田からの天然ガスが利用可能、CO<sub>2</sub>除去装置が不要であることによる生産設備コストの低減が可能、といった強みを有する我が国独自のGTL製造技術の確立を図る。

技術目標及び達成時期

2010年度までに、実証プラントによる運転研究(500バレル/日)を行い、商業規模でのGTL製造技術を確立する。

研究開発期間

2006年度～2010年度

#### (7) 石油・天然ガス開発・利用促進型大型/特別研究(運営費交付金)(4 - - 参照)

#### (8) 高効率ガスタービン実用化技術開発(4 - - 参照)

#### 4 - - .メタンハイドレート等非在来化石資源の利用技術

##### (1)メタンハイドレート開発促進委託費

###### 概要

日本周辺海域に相当量の賦存が見込まれ、国産のクリーンなエネルギー資源として有望なメタンハイドレートを利用可能とするため、資源量評価手法、生産手法及び環境影響評価手法等の確立のための技術開発を行う。

###### 技術目標及び達成時期

2016年度までに、商業的産出のための技術を整備することを目指し、日本周辺海域におけるメタンハイドレートの賦存状況と特性の明確化、有望賦存海域からのメタンハイドレート資源フィールドの選択及び現場産出試験等による生産手法の確立等を推進する。

###### 研究開発期間

2001年度～2016年度

##### (2)革新的次世代石油精製等技術開発(4 - - 参照)

#### 4 - - .石炭クリーン利用技術

##### (1)革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト

###### 概要

石炭の高効率な利用を図るために、

- ・ 酸素吹きによる石炭ガス化発電の開発実証及び化学吸収法によるCO<sub>2</sub>の分離・回収技術の実証
- ・ 石炭ガス化発電からCCSまで一貫したトータルシステムの設計等
- ・ 次世代IGCC(石炭ガス化複合発電)など革新的な石炭ガス化技術にかかる先進基盤研究

を行う。

###### 技術目標及び達成時期

2009年度までに、パイロットプラントにおいて、高圧の石炭ガスからCO<sub>2</sub>の分離・回収技術の確立及びガス化炉の信頼性向上へ向けて、3炭種以上の適応炭種拡大試験を実施する。

###### 研究開発期間

2007年度～2012年度

##### (2)国際革新的ゼロエミッション石炭火力発電プロジェクト補助金

###### 概要

石炭火力発電から排出されるCO<sub>2</sub>の削減技術について諸外国との実証事業等を実施し、当該技術の普及基盤を整備することにより、エネルギー供給に対する環境上の制約を取り除き、もって我が国エネルギー需給構造の安定化を図る。

###### 技術目標及び達成時期

石炭ガス化技術等実証普及事業では、海外において取り組みが進められているゼロエミッション型石炭火力発電の石炭ガス化・発電技術、CO<sub>2</sub>分離回収技術、

CO<sub>2</sub> 輸送貯留技術等に関する情報収集や関連する技術調査の実施等により、我が国におけるゼロエミッション型石炭火力発電の実用化開発に資する技術・知見を得る。

酸素燃焼国際共同実証事業では、既存の微粉炭火力発電の改造による酸素燃焼方式のゼロエミッション型石炭火力発電プラントの実用化を目標とするものであり、既存のプラントの改造により対応可能であること、酸素燃焼を行うことにより、燃焼ガスからCO<sub>2</sub>を分離する装置が不要であることから、比較的lowコストで極めて大きなCO<sub>2</sub>削減効果が期待できる。

石炭火力発電原油増進回収国際共同事業では、2008年5月の日中首脳会談で合意された「日中間でのCCS-EOR（二酸化炭素の回収・貯留、石油増進回収法）協力」に係る日中共同事業として、中国における石炭火力発電CCS-EOR事業の事前調査としてCCS-EORの有効性確認、CCS-EORの経済性・事業実現性等を検討する。これらにより、多量のCO<sub>2</sub>排出削減を実現するモデルの構築、世界のCO<sub>2</sub>排出削減への貢献が期待出来る。

研究開発期間

2007年度～2016年度

### (3) 先進超々臨界圧火力発電実用化要素技術開発費補助金

概要

従来の超々臨界圧火力発電（USC）は、蒸気温度の最高温度は630 程度が限界で、送電端熱効率も42～43%が原理的限界といわれてきた。しかしながら、近年の材料技術の進歩により、700 以上の蒸気温度を達成できる可能性が見えてきたことから、これらの材料を活用した先進超々臨界圧火力発電技術（A-USC）の開発を行うものである。A-USC は、蒸気温度700 級で46%、750 級で48%の高い送電端熱効率の達成が可能な技術であり、2020年以降増大する経年石炭火力発電のリプレース需要に対応するため、早急に技術開発を進める必要がある。そのため、ボイラーメーカー、タービンメーカー及び材料メーカーが共同でA-USC の技術開発に取り組む。

技術目標及び達成時期

平成22年度までにシステム基本設計を完了し、シミュレーションにより送電端熱効率46%～48%の達成が可能なことを確認する。平成24年度までにボイラー、タービン部材等が700 以上の蒸気温度に耐えられるかどうかを試作、評価し、経済性を含めたシステム成立性への見通しを得る。平成27年～平成28年度に実缶試験、回転試験を実施し、蒸気温度700 以上の条件下でボイラー、タービンの信頼性を確認する。また、ボイラー、タービン部材について3万～7万時間の長期信頼性試験を実施し材料特性を検証する。

研究開発期間

2008年度～2016年度

#### (4) 石炭利用技術開発(一部、運営費交付金)

##### 概要

環境適合的な石炭利用の拡大を図るため、石炭利用プロセスにおける環境影響を低減させる手法の開発等、クリーン・コール・テクノロジーの開発を行う。

##### 技術目標及び達成時期

2009年度までに、

- ・ 化学原料等に利用可能な合成用ガスを石炭乾留ガスから無触媒で製造する技術をパイロットプラントで確立する(無触媒石炭乾留ガス改質技術開発)。

2011年度までに、

- ・ 石炭利用プロセスにおいて、環境分析技術の高精度化、環境影響成分の挙動解析のためのモデルの構築等により、環境への影響低減手法を開発する(戦略的炭化ガス化・燃焼技術開発)。

##### 研究開発期間

1995年度～2011年度

- ・ 戦略的炭化ガス化・燃焼技術開発 2007年度～2011年度
- ・ 無触媒石炭乾留ガス改質技術開発 2006年度～2009年度

#### (5) 噴流床石炭ガス化発電プラント開発費補助金

##### 概要

供給安定性に優れた石炭の高効率かつ低環境負荷での利用を図るため、石炭をガス化して燃料とし、コンバインドサイクル(ガスタービンと蒸気タービンの組合せ)を駆動する高効率発電技術(石炭ガス化複合発電技術(IGCC: Integrated coal Gasification Combined Cycle)の実証試験を行う。

##### 技術目標及び達成時期

2009年度までに、25万kWの実証機を用いた実証試験により、熱効率40.5%(送電端、高位発熱量ベース)を目指す。この目標は50万kWの商用機における熱効率46～48%に相当する。本技術は実証試験終了後の2010年度より商用化が可能である。

##### 研究開発期間

1999年度～2009年度

#### (6) 資源対応力強化のための革新的製鉄プロセス技術開発(運営費交付金)(4 - 参照)

4 - - . その他・共通

- ( 1 ) 新エネルギー技術実用化補助事業 ( 運営費交付金 ) ( 4 - - 参照 )
- ( 2 ) 非化石エネルギー産業技術研究助成事業 ( 運営費交付金 ) ( 4 - - 参照 )
- ( 3 ) 固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発 ( 運営費交付金 ) ( 4 - - 参照 )
- ( 4 ) 燃料電池先端科学研究 ( 運営費交付金 ) ( 4 - - 参照 )
- ( 5 ) 固体酸化物形燃料電池システム要素技術開発 ( 運営費交付金 ) ( 4 - - 参照 )
- ( 6 ) 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発 ( 運営費交付金 ) ( 4 - - 参照 )
- ( 7 ) 水素貯蔵材料先端基盤研究 ( 運営費交付金 ) ( 4 - - 参照 )
- ( 8 ) 水素社会構築共通基盤整備事業 ( 運営費交付金 ) ( 4 - - 参照 )
- ( 9 ) 水素先端科学基礎研究事業 ( 運営費交付金 ) ( 4 - - 参照 )
- ( 10 ) 固体酸化物形燃料電池実証研究 ( 運営費交付金 ) ( 4 - - 参照 )
- ( 11 ) 燃料電池システム等実証研究 ( 運営費交付金 ) ( 4 - - 参照 )

## 5．政策目標の実現に向けた環境整備（成果の実用化、導入普及に向けた取組）

### 5 - ．総合エネルギー効率の向上

- 事業者単位の規制体系の導入
- 住宅・建築物に係る省エネルギー対策の強化
- セクター別ベンチマークの導入と初期需要創出（高効率機器の導入補助等）
- トップランナー基準の対象機器の拡充等
- アジアにおける省エネルギー対策の推進を通じた我が国の国際競争力の向上
- 国民の省エネルギー意識の高まりに向けた取組

### 5 - ．運輸部門の燃料多様化

- 公共的車両への積極的導入
- 燃費基準の策定・改定
- アジアにおける新エネルギー協力
- 国際標準化による国際競争力向上

### 5 - ．新エネルギー等の開発・導入促進

- 補助金等による導入支援
- 新エネルギーベンチャービジネスに対する支援の拡大
- 新エネルギー産業構造の形成
- 電気事業制度・ガス事業制度の在り方の検討

### 5 - ．原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保

- 電力自由化環境下での原子力発電の新・増設の実現
- 資源確保戦略の展開
- 次世代を支える人材育成
- 中小型炉の海外市場への展開、我が国原子力産業の国際展開支援
- 原子力発電拡大と核不拡散の両立に向けた国際的枠組み作りへの積極的関与
- 国と地域の信頼強化

### 5 - ．化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用

- 資源国等との総合的な関係強化（研究開発の推進・協力、人材育成・技術移転、経済関係強化など）
- 化石燃料のクリーンな利用の開拓

## 6．研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金による実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したもの）は、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

また、事業名に（採択テーマ）と記載された事業は、提案公募事業により採択されたテーマを記載したものであり、その採択や評価等は、提案公募事業の実施機関の責任の下、実施されるものである。

## 7. 改訂履歴

- (1) 平成16年7月7日付け、省エネルギー技術開発プログラム基本計画、新エネルギー技術開発プログラム基本計画、燃料技術開発プログラム基本計画、電力技術開発プログラム基本計画、原子力技術開発プログラム基本計画制定。固体高分子形燃料電池/水素エネルギー利用プログラム基本計画(平成16・02・03産局第6号)は、新エネルギー技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (2) 平成17年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第8号) 新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第10号) 燃料技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第12号) 電力技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第11号) 原子力技術開発プログラム基本計画(平成16・06・04産局第13号)は、廃止。
- (3) 平成18年3月31日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第14号) 新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第9号) 燃料技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第17号) 電力技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第12号) 原子力技術開発プログラム基本計画(平成17・03・25産局第13号)は、廃止。また、次世代低公害車技術開発プログラム基本計画(平成17・03・29産局第2号)は、省エネルギー技術開発プログラム基本計画及び燃料技術開発プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (4) 平成19年4月2日付け制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成17・03・31産局第19号) 新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第15号) 燃料技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第18号) 電力技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第17号) 原子力技術開発プログラム基本計画(平成18・03・31産局第16号)は、廃止。
- (5) 平成20年4月1日付け、エネルギーイノベーションプログラム基本計画制定。省エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成19・03・26産局第1号) 新エネルギー技術開発プログラム基本計画(平成19・03・20産局第4号) 燃料技術開発プログラム基本計画(平成19・03・19産局第7号) 電力技術開発プログラム基本計画(平成19・03・16産局第3号) 原子力技術開発プログラム基本計画(平成19・03・23産局第2号)は、本プログラム基本計画に統合することとし、廃止。
- (6) 平成21年4月1日付け制定。エネルギーイノベーションプログラム基本計画(平成20・03・25産局第5号)は廃止。

## 添付ー２：プロジェクト基本計画

(エネルギーイノベーションプログラム)  
「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」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

資源に乏しい我が国が、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」の一環として実施する。

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(2006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(2006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(2006年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ている。エネルギー基本計画(2007年3月)、次世代自動車・燃料 イニシアティブ(2007年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 50—エネルギー革新技術に定置用燃料電池、燃料電池自動車及び水素製造・輸送・貯蔵が位置付けられている。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、「NEDO」という。)では、「水素安全利用等基盤技術開発事業」(平成15～19年度)において、水素の安全性に係るデータの取得に基づく安全技術の確立、水素の製造・輸送・貯蔵・充填等に係わる技術開発を行い、関連する各機器について基本仕様を固め、性能において世界をリードできるレベルにまで到達させた。安全技術の確立は、「水素社会構築共通基盤整備事業」(平成17～21年度)に引き継がれ、燃料電池の大規模な導入・普及や技術レベルの進展に対応した既存規制の見直し等に資するための安全確認データの取得、国際標準の提案並びに製品性能の試験・評価手法の確立を、産業界との密接な連携のもとで実施している。

また、「水素先端科学基礎研究事業」(平成18～24年度)では、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、水素社会到来に向けた基盤整備に資することを目的に、液化・高圧化した状態における水素物性の解明並びに液化・高圧化による材料の水素脆化に関する基本原理の解明及び対策検討など、根本的な現象解析を実施中である。加えて、「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」(平成19年度～23年度)では、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中であり、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ブレイクスルー

に繋がることを企図している。

本研究開発では、これらの動向や並行実施事業の進捗状況を踏まえ、来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立上げ(平成27年/2015年頃を想定)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、フイージビリティスタディ等を行い、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を確立することを目的とする。また、技術開発の一翼を担いつつ、実証研究や基準・標準化に関する事業と連携を図りながら推進することにより、燃料電池の実用化・普及展開及び国際競争力の確保に資する。

## (2) 研究開発の目標

これまでの関連事業成果を踏まえながら、平成22年度末を目途に、水素エネルギーの導入・普及に必要な低コスト機器及びシステムを試作開発し、その試作開発結果を基に平成24年度までに耐久性評価等を行う。また平成22年度より、早期の水素供給インフラ市場立上げに資する低コスト材料開発、基準・標準化、規制見直しにも重点を置き、研究開発等を行う。

研究開発項目毎の目標(中間目標、最終目標)は、別紙の研究開発計画に示す。

## (3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき、研究開発を実施する。

〔委託事業、共同研究事業(NEDO 負担率:2/3)〕

- I システム技術開発:「水素供給システム」を構成する機器である、水素ステーション機器や車載等水素貯蔵/輸送容器について、低コスト化・コンパクト化に繋がる開発を行うと共に、複数機器を組み合わせた「水素供給システム」の全体として耐久性等の検証を行う。
- II 要素技術開発:水素製造・輸送・貯蔵・充填機器及びシステムに関する高性能化、軽量化、低コスト化及び長寿命化のための要素技術を開発し、検証する。
- III 次世代技術開発・フイージビリティスタディ等:水素エネルギーの導入・普及に関する新規の概念に基づく革新的な技術(例えば、化石燃料以外からの水素製造等)の開発(国外研究機関を活用した国際共同研究や国際協力を含む)及び水素社会実現に向けた技術開発シナリオの検討、水素キャリアに応じたフイージビリティスタディ、燃料電池自動車及び水素インフラ等に係る基準・標準化のためのデータ取得等を行う。

平成22年2月及び平成23年3月に実施する研究開発項目 II、IIIに関する追加公募については、(i)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、又は(ii)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、(i)については、上記以外のもの(※1)は、共同研究事業〔NEDO 負担率:2/3〕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

## 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、NEDOが、単独ないし複数の原則、本邦の企業、研究組合、公益法人等の研究機関(原則、本邦の企業等で日本国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外の企業等(大学、研究機関を含む)の特別な研究開発能力、研究施設等の活用または国際標準獲得の観点から国外企業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。)から公募によって研究開発実施者を選定後、委託若しくは共同研究により実施する。

また本研究開発の参加企業等が保有する研究開発ポテンシャルを最大限に活用するなど効率的な研究開発の推進を図る観点から、技術分野ごとにワーキンググループ(WG)等を設置して分野間の連携を図り効率的な研究開発を実施する。

加えて、平成22年度より強力なリーダーシップを有するプロジェクトリーダー(PL)を設置し、研究の運営管理の強化を図る。

### (2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び研究開発責任者や研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標並びに本研究開発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NEDOに設置する技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、適時PL及び委託先、共同研究先からプロジェクトの進捗について報告を受けるなどを行う。また、事業を効率的に推進するために、年に一回程度、本事業の実施者が一堂に会する報告会を開催し、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。さらに、各研究テーマの事業化シナリオを明確にしなが、集中と選択を行う等の運営を行う。

## 3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は平成20年度～平成24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などについて、外部有識者による研究開発の中間評価を平成22年度、事後評価を平成25年度に実施する。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、当該研究開発に係わる技術動向、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

#### ① 成果の普及

得られた研究開発の成果は、NEDO、実施者とも普及に努めるものとする。

#### ② 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)制度への提案等を積極的に行う。

### ③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、「独立行政法人新エネルギー・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。

### ④関連事業との連携

「水素社会構築共通基盤整備事業」及び「燃料電池システム等実証研究事業(水素・燃料電池実証プロジェクト)」等の成果や進捗状況を踏まえ、安全性に配慮した、低コストな材料や要素技術を本研究開発で採用すると共に、産業界が中心となって進める基準・標準化整備に沿った機器・システムの試作開発及び耐久性の検証に努めるものとする。

また、「水素先端科学基礎研究事業」及び「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」と連携し、水素用材料に発生した劣化に関する基礎的メカニズムや水素貯蔵材料中の水素貯蔵に関する基本原理解明等の成果も活用しながら水素環境下にて耐久性に優れる機器またはシステムの試作開発及び検証を行うものとする。さらに、当該2事業及び「地域水素供給インフラ技術・社会実証」とは、PL間も含め、情報の共有化等を行う。

また、「固体高分子形燃料電池実用化推進技術開発」等、燃料電池に係わるプロジェクトの成果も活用しながら事業を進めるものとする。

## (2)基本計画の変更

NEDOは、研究開発の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、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

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第一号二に基づき実施する。

## 6. 基本計画の改訂履歴

(1)平成20年3月、制定。

(2)平成20年7月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1)研究開発の目的」の記載を改訂。

(3)平成21年3月、中間目標等を追記して改訂。

(4)平成22年2月、研究開発項目Ⅱ、Ⅲの拡充、関連事業との連携を追記して改訂。

(5)平成23年3月、平成22年度に実施した中間評価を踏まえ、PLの設置、規制見直しへの更なる取組等を追記して改訂。

(6)平成23年7月7日、「石油代替エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律改正」に伴

う根拠法の変更による改定。

## (別紙)研究開発計画

### 研究開発項目 I :「システム技術開発」

#### 1. 研究開発の必要性

水素供給インフラ市場立上げ(2015年頃を想定)のためには、水素ステーション及び水素貯蔵・輸送容器に関し、低コストかつ耐久性に優れた機器及びシステムに関する技術を確立する必要がある。

#### 2. 研究開発の具体的内容

これまでに開発した要素技術及び機器をベースに、複数機器を連結した「水素供給システム」として、70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器や車載等水素貯蔵容器の低コスト化・コンパクト化に繋がる開発を行うと共に、水素供給システム全体としての耐久性等を検証する。

##### (1)70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発

低コスト化、コンパクト化及び高耐久性に関する機器及び市場立上げ時期に必要となるシステム仕様の検討、試作開発、性能検証・評価を実施すると共に、複数機器を連結させた水素供給システム全体としての性能評価を実施する。実施に際しては下記の技術課題に留意する。

##### ①圧縮機、蓄圧器、ディスペンサー等主要部品に関し、

- ・ 低コスト・耐水素脆化材料の採用
- ・ 高圧シール(70MPa 級対応)の工夫・検証・評価
- ・ 耐久性・メンテナンス性・製造加工性を考慮した構造・仕様の検証・評価
- ・ 省スペース化のための工夫・検討
- ・ カプラー、接続継ぎ手部、溶接部の耐久性・信頼性の確認
- ・ 部品の定期的検査方法(非破壊検査を含む)の検討・検証
- ・ 複合容器、バルブ、配管等燃料電池自動車部品の供用・活用
- ・ (圧縮機について)振動・騒音対策、遠隔監視等の検証・評価
- ・ (ディスペンサーについて)プレクール機能の検証・評価

##### ②過流防止弁、緊急離脱カプラー等水素取扱にて安全確保上必須部品に関し、上記①に掲載した項目に加え、

- ・ 国内における製造技術の確立

##### ③水素供給システム全体としての性能評価

- ・ 市場立上げ・普及に対応したシステム仕様の最適化
- ・ 連動性・制御性・負荷追従性確認・評価
- ・ 性能評価結果を元にした機器システム開発へのフィードバック

##### (2)車載等水素貯蔵/輸送容器システム技術に関する研究開発

低コスト化、コンパクト化及び高耐久性に関する機器及び市場立上げ時期に必要なシステム仕様の検討、試作開発、性能検証・評価を実施すると共に、水素ステーション機器システムと連動させたトータルシステムとしての性能評価を実施する。実施に際しては、下記技術課題に留意する。

なお、最終目標の達成に向けては追加的な基礎研究等が必要なことが判明したため、平成22年度末をもって中止とする。

①車載高圧水素ガス容器、ハイブリッド容器、運送用複合容器等に関し、

- ・ 低コスト・耐水素脆化材料の採用
- ・ 高圧シールの工夫・検証・評価
- ・ 耐久性・メンテナンス性・製造加工性を考慮した構造・仕様の検証・評価
- ・ 省スペース化のための工夫・検討・評価
- ・ 溶接、接続継ぎ手部の耐久性・信頼性の確認
- ・ 部品の定期的検査方法(非破壊検査を含む)の検討・評価

②水素貯蔵材料、熱交換器、容器を組み合わせた貯蔵システムに関し、

- ・ 低コスト・高耐久性水素貯蔵材料の採用
- ・ 水素吸放出に伴う温度制御性(熱交換機能)の工夫・検証・評価
- ・ 用途に応じた最適容器形状やシステム構成の検討・評価
- ・ 水素貯蔵材料及び収納容器を含む水素貯蔵システムとしての性能評価・材料開発へのフィードバック

③水素ステーション機器システムと連動させたトータルシステムとしての性能検証・評価

- ・ 市場立上げ・普及に対応したシステム仕様の最適化
- ・ 連動性・制御性・負荷追従性確認・評価
- ・ 性能評価結果を元にした機器開発へのフィードバック

### 3. 達成目標

各研究開発テーマに関する達成目標は下記の通り。

#### (1)70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発

市場立上げ時期に必要な70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器システムとして以下を満足する技術を確立する。

『最終目標』

低コスト化：設備コスト 2億円以下／システム

[300Nm<sup>3</sup>/h規模の場合、土地取得価格を除く]

高耐久性：各機器メンテナンス回数 1回以下/年

[日常的な簡易検査やメンテナンスを除く]

『中間目標』

「水素安全利用等基盤技術開発」にて開発した要素機器等に必要な改良を加えつつ、水

素ステーションシステムとして構成配置し、延べ1年以上（DSS運転等を含む）の耐久性を検証する。

(2) 車載等水素貯蔵/輸送容器システム技術に関する研究開発

水素ステーション機器システムと連動させたトータルシステムの中で、車載等水素貯蔵/輸送システムに水素をスムーズに充填できると共に、以下を満足する技術を確立する。

『中間目標』

低コスト化：水素貯蔵合金のコストを¥10,000/kg以下にする目処をつける。

高性能化：容器体積密度（外容積）=28（g-H<sub>2</sub>/L）以上

（ハイブリッド容器システムの場合）

## 研究開発項目Ⅱ：「要素技術開発」

### 1. 研究開発の必要性

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、軽量化等効率向上を行っておくことが不可欠である。

### 2. 研究開発の具体的内容

水素製造・輸送・貯蔵・充填機器及びシステムの高性能化・軽量化等効率向上に繋がる要素技術について、ユーザーの立場を考慮した高性能化、低コスト化・長寿命化・メンテナンス性向上のための要素技術開発を行う。

#### (1)水素製造機器要素技術に関する研究開発

高性能化に関する機器仕様検討、試作開発、性能評価を実施すると共に、ユーザーの立場を考慮した低コスト化・長寿命化・メンテナンス性向上に関する仕様検討、試作開発、性能検証・評価を実施する。実施に際しては下記の技術課題に留意する。

たとえば、水蒸気改質方式に関して、

- ・ 改質反応温度の低温化のための材料探索・メンブレン構造仕様検討・試作開発
- ・ 低温高活性改質触媒の探索・試作開発
- ・ 耐久性向上のためのメンブレン製造加工方法の工夫・検討
- ・ 起動時間短縮のための機器構造・システム仕様検討・試作開発
- ・ 省スペース化のための工夫・検討
- ・ 遠隔監視、通報・診断機能の工夫・検討

#### (2)水素貯蔵材料・水素貯蔵/輸送機器要素技術に関する研究開発

高性能化に関する機器仕様検討、試作開発、性能検証・評価を実施すると共に、ユーザーの立場を考慮した低コスト化・長寿命化・メンテナンス性向上に関する仕様検討、試作開発、性能検証・評価を実施する。実施に際しては下記の技術課題に留意する。

なお、最終目標の達成に向けては追加的な基礎研究等が必要なことが判明したため、平成22年度末をもって中止とする。

##### ①水素貯蔵合金、無機系貯蔵材料等に関して、

- ・ 水素貯蔵密度の向上
- ・ 水素吸放出温度低温化
- ・ 耐久性・製造加工性を考慮した材料組成・仕様の検討・試作開発
- ・ 低コスト材料の採用
- ・ 材料性能評価方法の検討

##### ②上記水素貯蔵材料を収納した容器(低圧、高圧)等に関し、

- ・ 水素吸放出に伴う温度制御性の向上(熱交換機能の工夫)
- ・ 用途に応じた最適容器形状の検討(省スペース化のための工夫を含む)

### (3) 水素ステーション機器要素技術に関する研究開発

高性能化に関する機器仕様検討、試作開発、性能検証・評価を実施すると共に、ユーザーの立場を考慮した低コスト化・長寿命化・メンテナンス性向上に関する仕様検討、試作開発、性能評価を実施する。実施に際しては、下記の技術課題に留意する。

#### ① 圧縮機、蓄圧器、ディスペンサー等主要部品に関し、

- ・ 低コスト・耐水素脆化材料の採用
- ・ 高圧シール(70MPa 級対応)の工夫・検証・評価
- ・ 耐久性・メンテナンス性・製造加工性を考慮した構造・仕様の検証・評価
- ・ 省スペース化のための工夫・検討
- ・ カプラー、接続継ぎ手部、溶接部の耐久性・信頼性の確認
- ・ 部品の定期的検査方法(非破壊検査を含む)の検討・検証
- ・ 複合容器、バルブ、配管等燃料電池自動車部品の供用・活用
- ・ (圧縮機について)振動・騒音対策、遠隔監視等の検証・評価
- ・ (ディスペンサーについて)プレクール機能の検証・評価
- ・ 機器開発加速のための材料開発及び国内規制見直しに資する材料データ取得

#### ② 過流防止弁、緊急離脱カプラー等水素取扱にて安全確保上必須部品に関し、上記①に掲載した項目に加え、

- ・ 国内における製造技術の確立

#### ③ 水素用機器に関する金属材料開発

- ・ 高強度、安価で、使いやすい新たな材料を開発
- ・ それら開発材料の基準化、標準化に必要な、材料物性データの取得
- ・ 材料の普及に必要な簡便材料評価法の開発
- ・ 実ステーションで長期使用した配管・バルブ類の解体調査(劣化の有無、程度を調査)

### 3. 達成目標

達成目標は下記の通り。なお、いずれもシステム技術に適用できる要素技術であることから、システム技術開発で設定した達成目標を満たす内容とする。

#### (1) 水素製造機器要素技術

水蒸気改質方式に関して、

##### 『最終目標』

改質効率 = 80%以上

起動時間 = 3時間未満

設備サイズ = 10m<sup>3</sup>以下

設備コスト = 30万円/Nm<sup>3</sup>・h

##### 『中間目標』

小規模のパイロットプラントを設計・製作し、性能の検証を行う。

(2) 水素貯蔵材料（同材料容器を含む）・水素貯蔵/輸送容器要素技術

『中間目標』

材料系の探索と開発を実施し、そこから材料組成等を絞り込み、最終目標の質量水素密度 6 w t %以上及び水素放出温度 1 5 0 °C以下を達成する新規材料の開発の可能性を見極める。

(3) 水素ステーション機器要素技術

水素ステーション機器システムに適用される要素技術として、下記目標達成に繋がる技術として確立する。

『最終目標』

低コスト化：設備コスト 2億円以下/システム

[300Nm<sup>3</sup>/h規模の場合、土地取得価格を除く]

高耐久性：各機器メンテナンス回数 1回以下/年

[日常的な簡易検査やメンテナンスを除く]

鋼種拡大：現在例示基準材として認められているSUS316L材、A6061-T6材に対して、より高強度、安価な材料を開発し、加えてそれら材料を基準・標準化していくための材料物性データを取得する。

『中間目標』

普及に向けた水素ステーションシステム及び機器に関するコストダウン検討を行い、その対策案を検証する。

## 研究開発項目Ⅲ：「次世代技術開発・フイージビリティスタディ等」

### 1. 研究開発の必要性

水素エネルギーの導入・普及に関する技術開発において、ブレイクスルーを見出すためには、たとえば化石燃料以外からの水素製造など、新規の概念に基づく革新的な次世代技術の探索及び同技術の有効性確認・検証を常に行うことが不可欠である。また早期に水素社会を実現するためには、開発技術が反映される水素エネルギー導入・普及のための技術開発シナリオの設定・技術開発動向に対応した適時見直し、及び国内規制の見直し、国際標準化が不可欠である。

### 2. 研究開発の具体的内容

水素エネルギーの導入・普及に対し、新規の概念に基づく革新的な次世代技術(たとえば、化石燃料以外からの水素製造等)の探索及び同技術の有効性確認・検証を行うと共に、水素社会実現のための技術開発シナリオの検討、水素キャリアに応じたフイージビリティスタディ、基準・標準化に資するデータ取得等を行う。

#### ①革新的な次世代技術の探索・有効性検証に関する研究開発

(ア)国内外技術開発動向の調査(国際研究協力を含む)

(イ)革新的な次世代技術(たとえば、化石燃料以外からの水素製造等)の探索・有効性検証

#### ②水素エネルギー導入・普及のための技術開発シナリオに関するフイージビリティスタディ等研究開発

(ア) 技術開発シナリオの調査・検討

(イ) 技術開発動向を踏まえたシナリオ見直し

(ウ) 水素キャリア(有機ハイドライド、液体水素等)に応じたフイージビリティスタディ

(エ) 燃料電池自動車及び水素インフラに係る基準・標準化、規制見直しに資するデータ取得、解析・評価等

### 3. 達成目標

#### (1)革新的な次世代技術の探索・有効性検証

現有ガソリン供給インフラと同等の設備コストで対応可能となる(水素供給インフラを構成する)材料、機器、システムの設計指針または概念設計を確立する(平成21年度までの目標)。さらに、それまでの研究開発成果を評価し、更に1年間の継続可と判断する研究開発について、実用化のための詳細検討・検証等を行う(平成22年度までの目標)。

#### (2)水素エネルギー導入・普及のための技術開発シナリオに関するフイージビリティスタディ等

水素エネルギー導入・普及に向け、社会コストミニマムとなる展開シナリオ及び水素キャリア(有機ハイドライド、液体水素等)に応じたケーススタディやフイージビリティスタディを行い、今後の技術開発における課題を抽出する(平成21年度までの目標)。

また、国際標準に関しては、取得したデータを基に、水素燃料仕様等の国際標準化において日本が主導的にIS化を進め、期限内に完了する。国内規制見直しに関しては、水素エネルギー導入・

普及に向け、使用可能鋼材の拡充、耐圧安全係数検討等に資するデータを取得し、産業界主導で見直しを完了する(平成24年度までの目標)。

添付－３：技術戦略マップ  
(分野別技術ロードマップ)

# エネルギー分野

資源に乏しいわが国が、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。他方、エネルギー技術開発は、長期間を要するとともに大規模投資を伴う一方で将来の不確実性が大きいことから、民間企業が持続的な取組を行うことは必ずしも容易ではない。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。

また、「新・国家エネルギー戦略」や「エネルギー基本計画」においても、エネルギー技術戦略策定の必要性が明記されており「新・国家エネルギー戦略」が想定する2030年という長期の時間設定の中、超長期エネルギー技術ビジョン（2005年10月策定）を参考にしつつ、2006年11月策定のエネルギー技術戦略マップ2006をベースにし、技術戦略マップ2007（エネルギー分野）を作成した。技術戦略マップ2008は2007年5月の総理イニシアティブ「クールアース50」を受けて策定された「Cool Earth-エネルギー革新技術計画」（2008年3月策定）をもとに、足下の2030年頃までの見直しに変更があったものについて修正を行ったものである。

技術戦略マップ2009の策定に当たっては主に下記の3項目の内容について見直しを実施し、改訂を行った。

- ・省エネルギー技術戦略との整合【参考資料：省エネルギー技術戦略2009】
- ・既存ロードマップに最新技術を反映
- ・個別技術の統廃合（235技術→178技術（新2技術））

# エネルギー分野の技術戦略マップ

## I. 検討の手順

技術戦略マップは、政策目標を実現するために必要な技術を要素技術を含めて抽出した技術マップ、技術開発の進展を時間軸に沿って示した技術ロードマップ、及び技術開発とそれ以外の関連施策を併せて示した導入シナリオから構成されている。

本技術戦略マップの作成にあたっては、2006年に策定した「新・国家エネルギー戦略」における政策の柱を踏まえ、①総合エネルギー効率の向上、②運輸部門の燃料多様化、③新エネルギーの開発・導入促進、④原子力の利用、そして、⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーン利用、の5つの政策目標を設定した上で、これらに寄与する主なエネルギー分野の技術を抽出した。

### ①総合エネルギー効率の向上

### ②運輸部門の燃料多様化

### ③新エネルギーの開発・導入促進

### ④原子力利用の推進と その大前提となる安全の確保

### ⑤化石燃料の安定供給確保と 有効かつクリーンな利用

次に、抽出した技術を時間軸展開することによりロードマップの作成を行い、技術開発及びその成果が導入されるにあたって必要となる関連施策を整理した導入シナリオの作成を行った。

## II. 技術の特徴付けについて

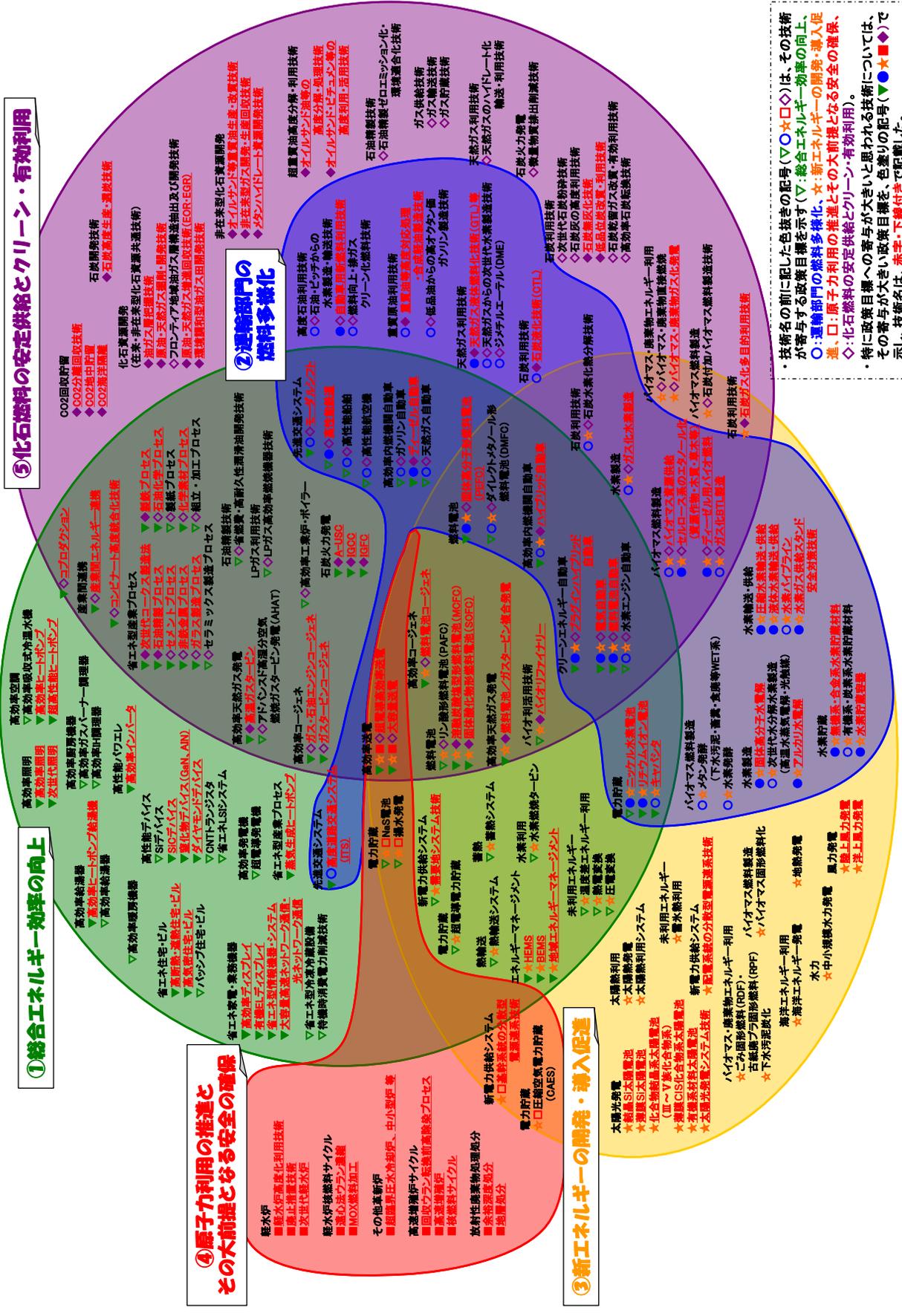
エネルギー技術分野全体を俯瞰するため、有識者にアンケート調査を行い、5つの政策目標に対する寄与について定性的な評価を行った。

評価項目	内容
政策目標に関する指標	
①総合エネルギー効率の向上	転換部門における「エネルギー転換効率向上」、産業部門における「製造プロセス効率向上」、民生・運輸部門における「省エネルギー」など、GDPあたりの最終エネルギー消費指数を向上することに寄与する技術
②運輸部門の燃料多様化	バイオマス由来燃料、GTL (Gas to Liquid)、BTL (Biomass to Liquid)、CTL (Coal to Liquid) などの新燃料、EV (電気自動車) やFCV (燃料電池自動車) など、運輸部門の石油依存度を低減することに寄与する技術
③新エネルギーの開発・導入促進	太陽、風力、バイオマス等を起源とするエネルギーに関連する技術の開発・導入促進に寄与する技術。また、再生可能エネルギーの普及に資する新規技術、エネルギー効率の飛躍的向上に資する技術、エネルギー源の多様化に資する新規技術など「革新的なエネルギー高度利用技術」も含む。
④原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保	2030年以降においても、発電電力量に占める原子力発電の比率を30～40%程度以上とすることに寄与する技術。負荷平準化等、原子力利用の推進に資する技術や安全確保に資する技術も含む。
⑤化石燃料の安定供給とクリーン・有効利用	化石資源の開発・有効利用技術、CCT (クリーン・コール・テクノロジー) などのクリーン利用や、資源確保に資する技術

## III. エネルギー技術全体の俯瞰図について

評価結果を基に、5つの政策目標に対する寄与を示したエネルギー技術全体を俯瞰するマップを作成した。

# エネルギー技術 - 俯瞰図 -



## ① 総合エネルギー効率の向上

- 高効率照明
  - 高効率LED照明
  - LED照明
  - LED照明
- 高効率空調
  - 高効率空調
  - 高効率空調
  - 高効率空調
- 高効率省エネルギー
  - 高効率省エネルギー
  - 高効率省エネルギー
  - 高効率省エネルギー
- 高効率省エネルギー
  - 高効率省エネルギー
  - 高効率省エネルギー
  - 高効率省エネルギー
- 高効率省エネルギー
  - 高効率省エネルギー
  - 高効率省エネルギー
  - 高効率省エネルギー

## ② 運輸部門の燃料多様化

- CO2回収貯留
  - CO2回収貯留
  - CO2回収貯留
  - CO2回収貯留
- 化石資源開採
  - 化石資源開採
  - 化石資源開採
  - 化石資源開採
- 石油精製技術
  - 石油精製技術
  - 石油精製技術
  - 石油精製技術
- 天然ガス利用技術
  - 天然ガス利用技術
  - 天然ガス利用技術
  - 天然ガス利用技術

## ③ 化石燃料の安定供給とクリーン・有効利用

- 石油開発技術
  - 石油開発技術
  - 石油開発技術
  - 石油開発技術
- 石油精製技術
  - 石油精製技術
  - 石油精製技術
  - 石油精製技術
- 天然ガス利用技術
  - 天然ガス利用技術
  - 天然ガス利用技術
  - 天然ガス利用技術
- 石炭火力発電
  - 石炭火力発電
  - 石炭火力発電
  - 石炭火力発電

## ④ 原子力利用の推進と その大前提となる安全の確保

- 原子力発電
  - 原子力発電
  - 原子力発電
  - 原子力発電
- 原子力発電
  - 原子力発電
  - 原子力発電
  - 原子力発電
- 原子力発電
  - 原子力発電
  - 原子力発電
  - 原子力発電

## ③ 新エネルギーの開発・導入促進

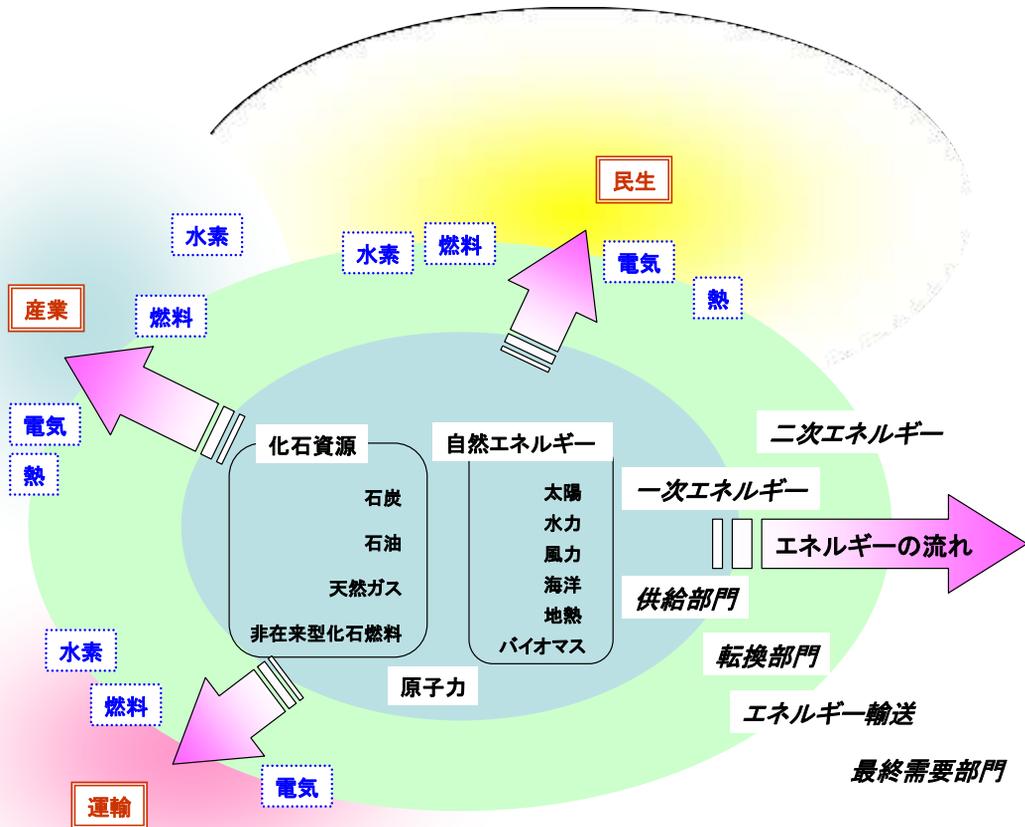
- 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
- 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
- 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電
  - 太陽光発電

・ 技術名の前に記した色抜きの記号(▽○★◇)は、その技術が寄与する政策目標を示す(▽:総合エネルギー効率の向上、○:運輸部門の燃料多様化、★:新エネルギーの開発・導入促進、◇:原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保、●:化石燃料の安定供給とクリーン・有効利用)。  
 ・ 特に政策目標への寄与が大きいと思われる技術については、その寄与が大きい政策目標を、色抜きの記号(▽○★◇)で示し、技術名は、赤字・下線付きで記載した。

#### IV 技術マップ・技術ロードマップ・導入シナリオの見方

##### ○技術マップ

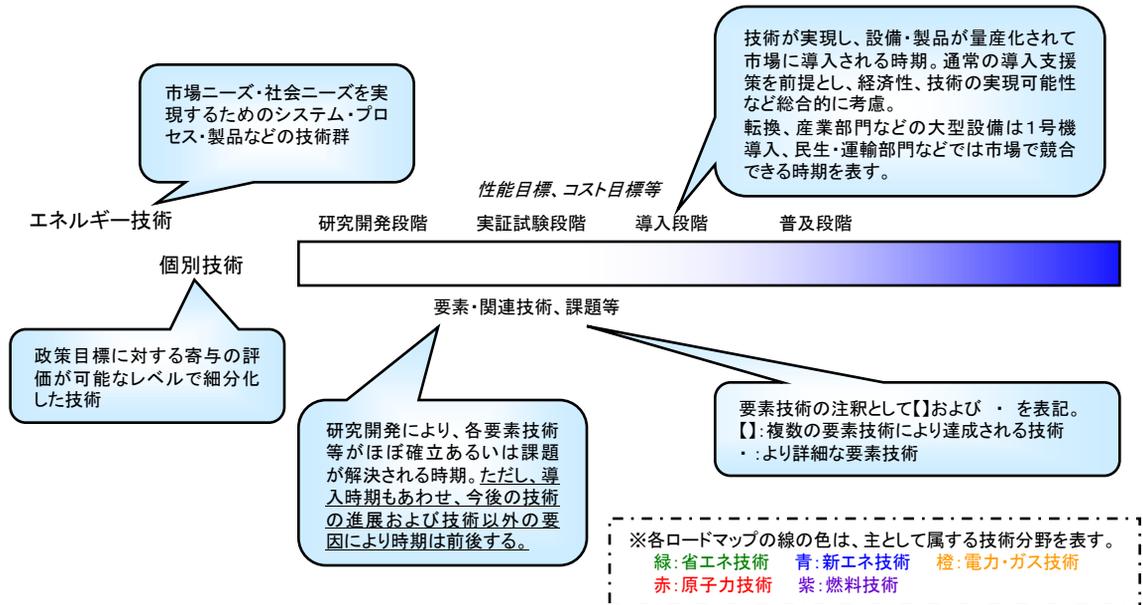
エネルギー分野全体から2030年頃までに実用化され、5つの政策目標に寄与すると思われる178個の技術を洗い出し、それぞれの政策目標の達成に寄与する技術別に、分類・整理してリストとして示すとともに、下図のように一次エネルギー／二次エネルギー／最終エネルギー消費のエネルギーの流れ、電気／熱／燃料等のエネルギーの形態、産業／民生／運輸の需要部門別に整理を行い図示した。



## ○技術ロードマップ

それぞれの政策目標達成に寄与する技術について、技術開発を推進する上で必要な要素技術・課題、求められる機能等の向上、技術開発フェーズの進展等を時間軸上にマイルストーンとして展開した

また、技術スペックの記載にあたっては、分野別推進戦略や他分野のロードマップを参考とした。



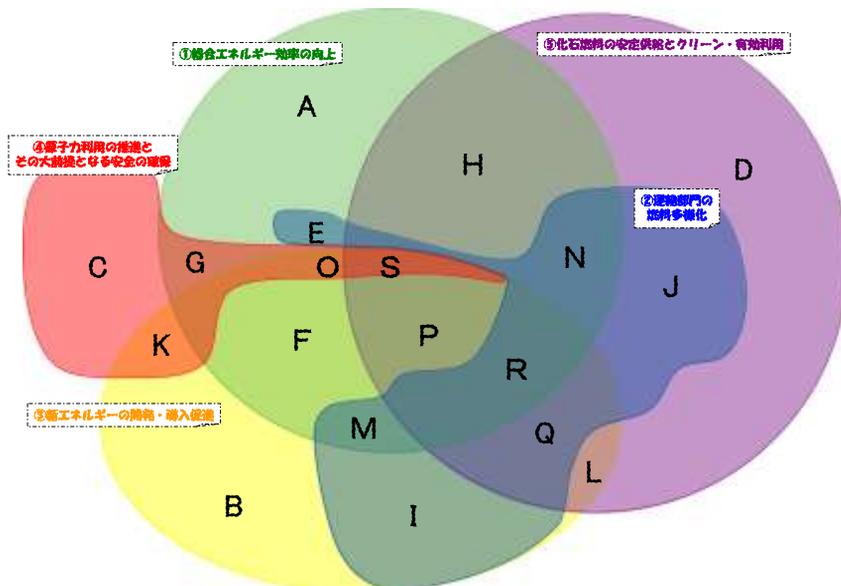
個別技術No. は次の考え方で区分した。

1桁目 : 「新・国家エネルギー戦略」における5つの政策目標のうち一番関連が強い政策目標を表す。

2, 3桁目 : エネルギー技術を指す。

(4桁目 : 個別の番号)

5桁目 : 俯瞰図における位置を指す。



## ○導入シナリオ

5つの政策目標毎に、国内外の背景、エネルギー政策の動向、主な技術開発及び関連施策、その政策目標を達成するための共通関連施策について整理した。

## V. 改定のポイント

- 省エネルギー技術戦略との整合【参考資料：省エネルギー技術戦略2009】
- 既存ロードマップに最新技術を反映
- 個別技術の統廃合（235技術→178技術（新2技術））

## VI 政策目標に寄与する技術の

### 「技術マップ」・「技術ロードマップ」・「導入シナリオ」

#### i. 総合エネルギー効率の向上

##### (i-1) 目標と将来実現する社会像

1970年代以来、官民をあげて省エネルギーに取り組み、産業構造の転換や新たな製造技術の導入、民生機器の効率改善等により相当程度の成功を収めてきた。今後約30年においても、「新・国家エネルギー戦略」に掲げるこれまでと同程度の成果（2030年までにGDPあたりのエネルギー利用効率を約30%向上）を実現していくためには、産業部門はもとより、全部門において、総合エネルギー効率の向上に資する技術開発とその成果の導入を促進することが不可欠である。

##### (i-2) 研究開発の取組み

関連技術を5つ分類した。

- 燃料を省く、または効率的に利用することによる製造プロセスの抜本的な効率化を図るための「超燃焼システム技術」
- 余剰エネルギーを時間的・空間的な制約を超えて利用し、エネルギー需給のミスマッチを解消するための「時空を超えたエネルギー利用技術」
- 生活スタイルの変化に伴う民生部門でのエネルギー消費量の増加に対応し、高効率機器とITとの融合により省エネルギーを図るための「省エネ型情報生活空間創生技術」
- 運輸部門のエネルギー消費量の削減に向け、輸送機器の効率化とモーダルシフト等利用形態の高度化により省エネルギーを図るための「先進交通社会確立技術」
- 幅広い分野で使用される半導体等のデバイスの高性能化により省エネルギーを図るための「次世代省エネデバイス技術」

また、電力貯蔵技術等の電力安定供給に資する技術、送電ロスを大幅に低減する技術等は、「時空を超えたエネルギー利用技術」に分類した。

##### (i-3) 関連施策の取組み

- 事業者支援補助金による初期需要創出（高効率機器の補助導入など）
- セクター別ベンチマークの導入によるエネルギー消費原単位改善
- 省エネ評価制度の国際的整備
- 国際標準化・規格化による国際競争力の向上
- 国民の省エネルギー意識の高まりに向けた取組

## ii. 運輸部門の燃料多様化

### (ii-1) 目標と将来実現する社会像

ほぼ100%を石油に依存する運輸部門は、わが国エネルギー需給構造上、最も脆弱性が高く、その需給構造の次世代化は、将来に向けた早急な対策が不可欠な課題となっている。

「新・国家エネルギー戦略」に掲げる目標（2030年に向け、運輸部門の石油依存度が30%程度となることを目指す）の実現のためにも、官民が中長期的な展望・方向性を共有しつつ、技術開発と関連施策を推進していくことが必要である。

### (ii-2) 研究開発の取組み

#### ○バイオマス由来燃料

地域における実証的な取組が進みつつあるが、供給インフラの未整備や、燃料利用の際の利便性に関する制約等の課題が存在する。このため、こうした課題の解決に向け、バイオマス由来燃料の導入促進に向けた実証実験の推進や供給インフラの整備に加え、低コストなエタノール製造技術等の技術開発を推進することが必要である。

#### ○天然ガスを起源とするGTL (Gas to Liquid)

ディーゼルエンジンでの活用が可能であり、また、硫黄分等を含まないため環境面で優れた新たな形態の燃料として注目されている。今後、バイオマス由来のBTL (Biomass to Liquid) や石炭由来のCTL (Coal to Liquid) とともに、これら合成液体燃料の製造技術の早期確立を図ることが必要である。

#### ○燃料電池自動車関連

走行距離の拡大、燃料電池本体の抜本的低コスト化や耐久性の向上等の技術の確立とともに、水素供給に係わるインフラの整備及び水素製造、並びにそれらの安全対策の確立が不可欠である。

#### ○電気自動車等

近年急速に普及しているハイブリッド自動車の技術をさらに進め、搭載する電池の性能を向上させることにより、プラグインハイブリッド自動車、さらには電気自動車の技術開発を推進することが必要である。

### (ii-3) 関連施策の取組み

#### ○公共的車両への積極的導入

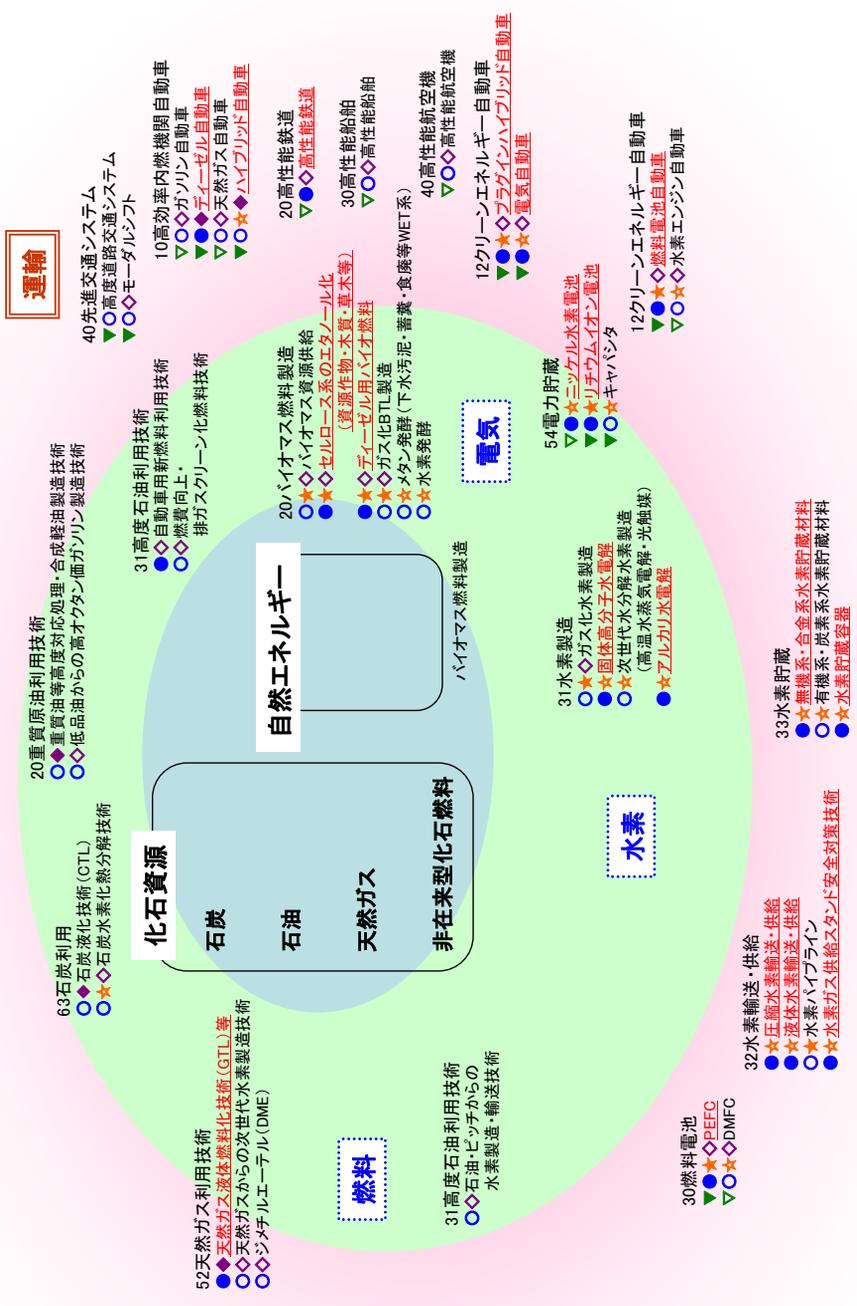
#### ○燃料基準の策定・改定

#### ○アジアにおける新エネルギー協力

#### ○国際標準化による国際競争力向上

#### (ii-4) 改訂の主たるポイント

- 技術の目的、方向性が同一の技術であるものを統廃合し、45の技術とした。
  - 具体的には、
    - ・「天然ガス等からのLPガス合成技術」は同じ天然ガスからの液化技術である5521「天然ガス液体燃料化技術（GTL）」に統廃合した。
    - ・「LPG/DME混合燃料利用技術」は、同じDMEの製造・利用技術である5524J「ジメチルエーテル（DME）」に統廃合した。
    - ・水素貯蔵材料は、貯蔵メカニズムや水素との反応速度など基礎的なメカニズムが解明され、新材料の開発などのステージにある3331I「無機系・合金系水素貯蔵材料」と、基礎的なメカニズムがまだ完全に解明されていない3332I「有機系・炭素系水素貯蔵材料」に分別した。
    - ・「石油からの水素製造・輸送技術」、「石油残渣コークス・ピッチからの水素製造・輸送技術」は同じ製油所から副生、製造される水素の製造・輸送技術であることから5311J「石油・ピッチからの水素製造・輸送技術」に統合した。
    - ・船舶管理システムである「高効率海運システム」は、2301N「高性能船舶」に統廃合した。
    - ・「バイオマス等非在来石油高度利用活用技術」、「GTL等新燃料、石油の共利用技術」は、同じ新燃料利用技術であることから5312J「自動車用新燃料利用技術」に統合した。
    - ・「環境負荷低減オフロードエンジン技術」、「自動車燃費向上・排ガスクリーン化燃料技術」は同じクリーン化技術であることから5313J「燃費向上・排ガスクリーン化燃料技術」に統合した。
- 2008年6月の燃料電池・水素ロードマップの改定に伴い、2123S「燃料電池自動車」等の改定を行った。
- 新エネルギーに定義されているクリーンエネルギー自動車（2121S「プラグインハイブリッド自動車」、「2122S電気自動車」）に、次世代自動車用蓄電池の技術動向を中心に要素技術、マイルストーンの改定を実施した。
- 2101N「ガソリン自動車」、2102N「ディーゼル自動車」に省エネ技術戦略の要素技術を加味すると共に、最新の技術動向を追加した。
- バイオ燃料、GTL等新燃料の混合技術である5312J「自動車新燃料利用技術」は燃料の多様化に欠かせない技術であることから政策寄与度が大きいと思われる技術に位置づけた。



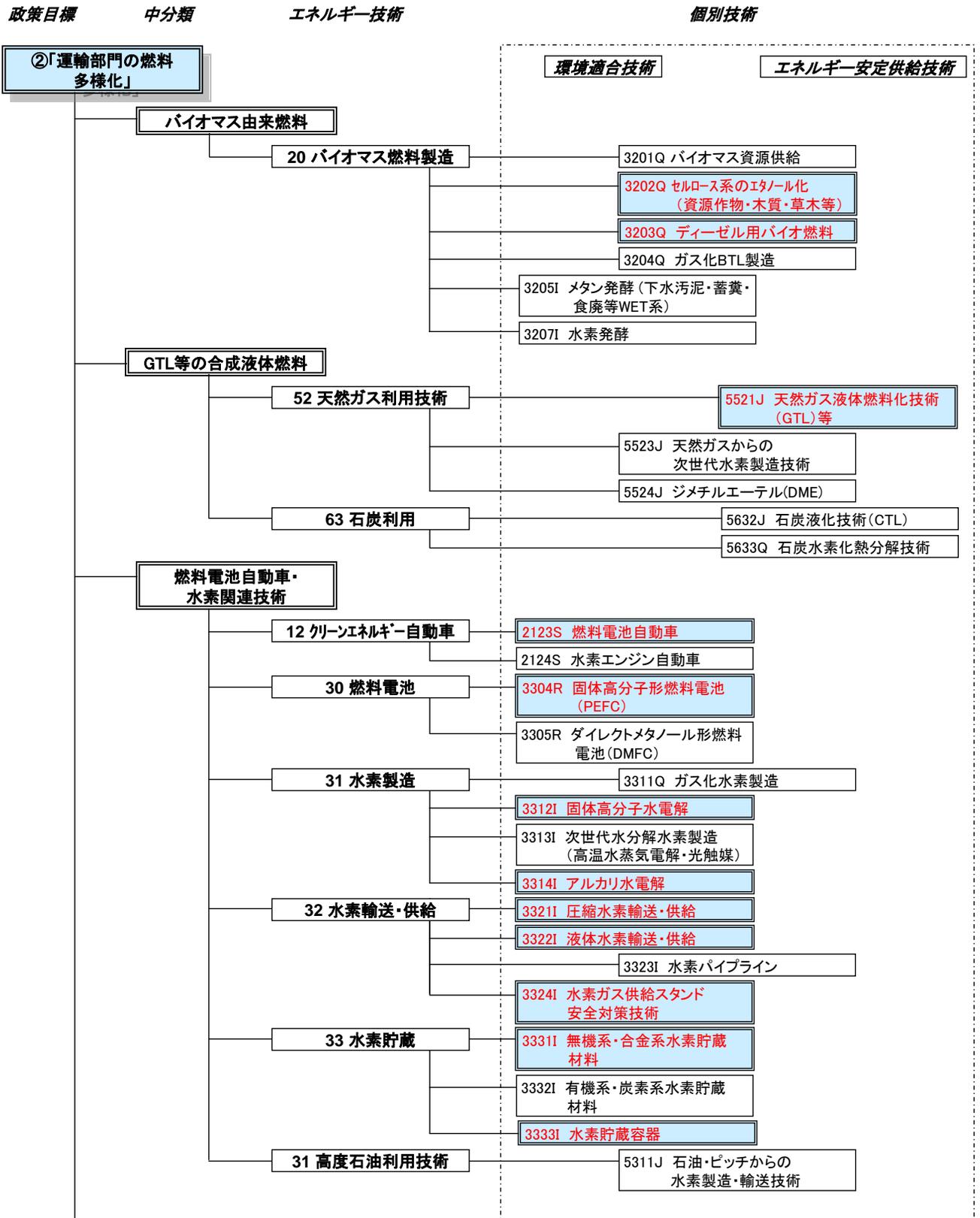
## ②「運輸部門の燃料多様化」に寄与する技術の技術マップ(整理図)

● 技術名の前に記した色括弧の記号 (○◇●☆◇) は、その技術が寄与する政策目標を示す (▽: 総合エネルギー効率の向上、○: 運輸部門の燃料多様化、☆: 新エネルギーの開発・導入促進、◇: 原子力利用の推進とその大前提となる安全の確保、◇: 化石燃料の安定供給とクリーン・有効利用)。

● 「運輸部門の燃料多様化」への寄与が大きいと思われる技術名を、色塗りの記号 (●、赤字・下線付き) で記載した。

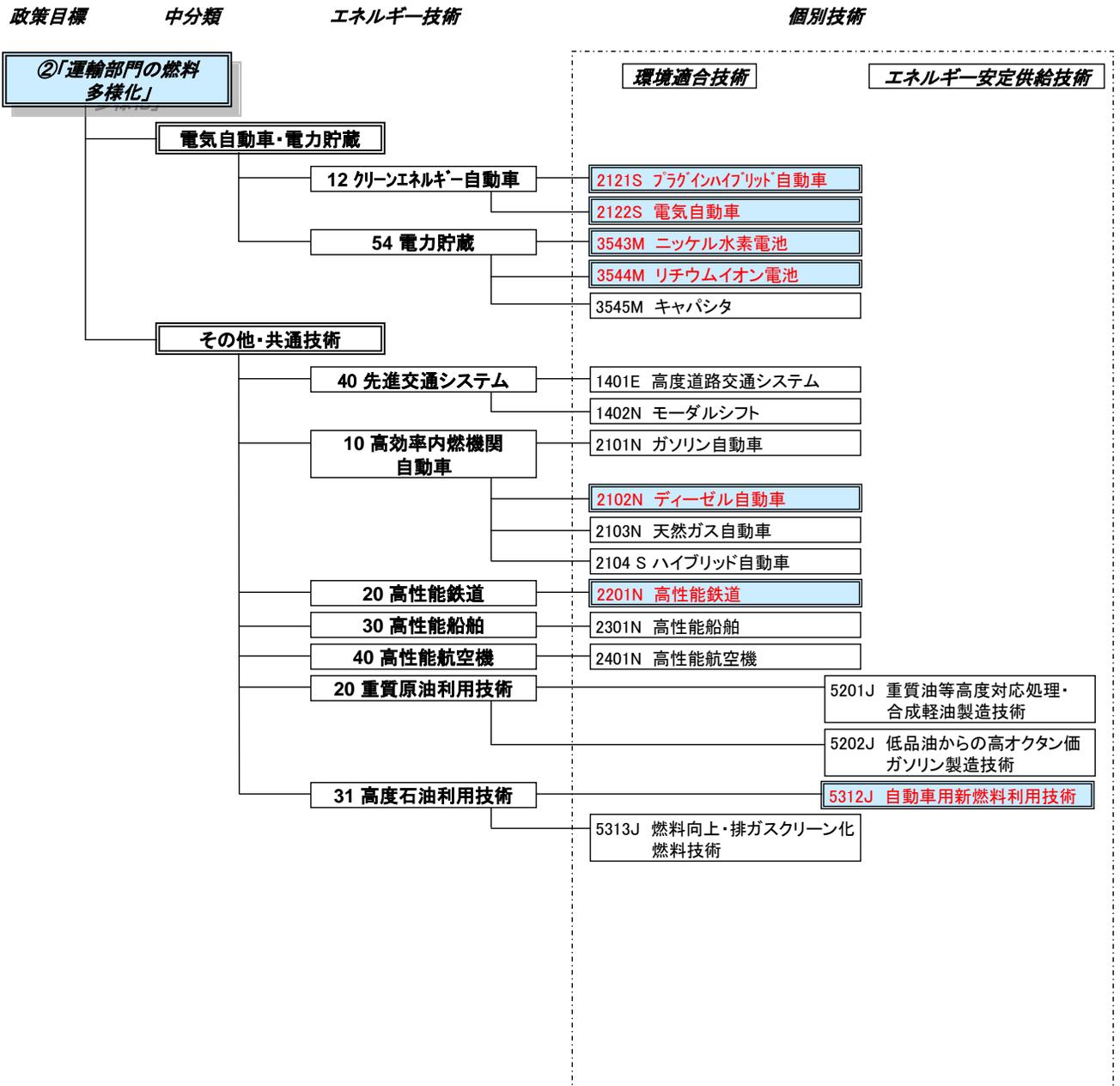
## ②「運輸部門の燃料多様化」 に寄与する技術の技術マップ(技術リスト)(1/2)

※それぞれの政策目標への寄与が大きいと思われる個別技術を **赤字** で示す。



## ②「運輸部門の燃料多様化」 に寄与する技術の技術マップ(技術リスト)(2/2)

※それぞれの政策目標への寄与が大きいと思われる個別技術を **赤字** で示す。



## ②「運輸部門の燃料多様化」 に寄与する技術の技術ロードマップ(1/7)

No.	エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030～
3201Q	20.バイオマス燃料製造  バイオマス資源供給	バイオマス原料用植物の選抜・育成 遺伝子組み換え技術 栽培技術の開発・実証 収穫・乾燥・圧縮・運搬技術 機器・画像技術の低コスト化 基盤技術(ゲノム情報の整備、ミネラルの回収・再利用技術など)				
3202Q	20.バイオマス燃料製造  セルロース系の エタノール化 (資源作物・木質・ 草木等)	ETBE安全性確認	100円/L(木質・林地残材等から)	ETBE導入 40円/L(資源作物等から)		
		糖化プロセス効率化 C5糖のエタノール変換効率向上 リグニン等バイオプロの有効利用 収集運搬効率化・低コスト化	エネルギー回収効率向上 蒸留・脱水工程の省エネ 廃液処理技術 未利用木質資源の利用	大規模エタノール製造技術 製造コスト低減	糖分解酵素の開発 酵母機能改変等によるバイオプロセス効率化 バイオマス燃料(エタノール)精製処理技術(エタノールの膜分離精製など) バイオマス熱分解液化燃料製造技術	
3203Q	20.バイオマス燃料製造  ディーゼル用バイオ燃料	水素化バイオ軽油 地産地消型BDF利用				
		連続エステル化製造 高品質化・製造コスト削減 グリセリン等バイオプロ有効利用 自動車用バイオマス燃料利用技術 石油とバイオマス燃料の共利用技術	低コスト資源作物			
3204Q	20.バイオマス燃料製造  ガス化BTL製造	BTL製造技術				
		FT合成技術	バイオマス/廃棄物ガス化技術	水電解水素による収率向上	BTL製造効率の向上 低コスト化 効率的廃棄物収集システム	
3205I	20.バイオマス燃料製造  メタン発酵 (下水汚泥・畜糞・ 食廃等WET系)	大規模施設・工場導入 中小規模施設・工場導入				
		発酵効率向上 可溶性技術 発酵菌改良 プロセス最適化 都市ガスとの混焼	都市ガスへの混合供給 直接燃焼との組合せシステム 下水処理場内の電気・熱利用	設備低コスト化		
3207I	20.バイオマス燃料製造  水素発酵	嫌気性水素発酵技術 二段発酵(水素+メタン)技術 高効率化・低コスト化				
		光合成細菌による光水素生産技術 水素生産菌株(高温耐性)探索・育成 高効率フォトバイオリクター 水素発酵微生物の高密度化				
5521J	52.天然ガス利用技術  天然ガス液体燃料化 技術(GTL)等	パイロットプラント実証 7 bbl/d 500 bbl/d実証				
		液体燃料(GTL)製造 FT合成技術(コバルト系触媒の高生産、安定的生産) 天然ガス・石炭・CO2等からのLPG合成技術 スケールアップ手法、運転技術 合成ガス製造技術(累積6,600時間の安定的運転)				

## ②「運輸部門の燃料多様化」 に寄与する技術の技術ロードマップ(2/7)

No.	エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030～
5523J	52.天然ガス利用技術 天然ガスからの次世代 水素製造技術	水蒸気改質+PSA	水素透過型メンブリアクタ	CO2分離型水素製造 CO2分離膜		
5524J	52.天然ガス利用技術 ジメチルエーテル(DME)	間接DME合成法	直接DME合成法			
5632J	63.石炭利用技術 石炭液化技術(CTL)	設備規模(国内) 設備規模(中国) 1 t/d試験装置(PSU)(インドネシア)	3,000 t/d 3,000 t/d	6,000 t/d 6,000 t/d		
5633Q	63.石炭利用技術 石炭水素化熱分解技術	実証試験 パイロット試験				
2123S	12.クリーンエネルギー自動車 燃料電池自動車	車両効率(HHV) 約50% 耐久性 3,000時間 始動・作動温度 -30～約90℃ スタック製造原価 約5～6万円/kW	60% 5,000時間 -30～約90-100℃ 約1万円/kW		5,000時間以上 -40～約100-120℃ 約4000円/kW未満	
2124S	12.クリーンエネルギー自動車 水素エンジン自動車	ロータリーエンジン レシプロエンジン		水素直噴・ターボ過給システム		
3304R	30.燃料電池 固体高分子形 燃料電池(PEFC)	発電効率(HHV) 約33% 耐久性 約4万時間	約34% 約4～9万時間		>36% 9万時間	

## ②「運輸部門の燃料多様化」 に寄与する技術の技術ロードマップ(3/7)

No.	エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030～
3305R	30.燃料電池 ダイレクトメタノール形 燃料電池(DMFC)	PC・携帯用 (出力密度(W/kg)、 耐久性(時間)) 小型移動体用 (出力密度(W/kg)、 耐久性(時間))	>15 >1,500時間 >5千時間 >28(低速)、>52(中速・高速) >1,200時間 >1,500時間	>20 >5千時間 >33(低速)、>54(中速・高速) >2,500時間	>40 >1万時間	
		低コスト化 耐久性向上		PC、PDA、携帯用実用化・普及 小型移動体(車いす、スクーター等)実用化・普及 超低クロスオーバー膜 低膨潤膜 高活性触媒		
3311Q	31.水素製造 ガス化水素製造	水素価格(水素製造全体) 150円/Nm3 5 t/d パイロットプラント	80円/Nm3	40円/Nm3		
		ケミカルループ利用ガス化技術 吸収剤リサイクル技術 部分酸化改質 水蒸気改質 オートサーマル改質		CO2回収技術		水素分離膜技術
3312I	31.水素製造 固体高分子水電解	電解効率(HHV) 70%(3A/cm2)・80%(2A/cm2) 設備費 約1億8千万円/Nm3/h(300Nm3/h)		75%(3A/cm2)・85%(2A/cm2) 約1億2千万円/Nm3/h(300Nm3/h)		
		セパレータの低コスト化 MEA製造方法改良 高電流密度化によるコンパクト化 酸素過電圧抑制触媒 貴金属削減		更なる低コスト化 耐久性向上		
3313I	31.水素製造 次世代水分解水素製造 (高温水蒸気電解・ 光触媒)					【高温水蒸気電解】 高温水蒸気電解運転圧力の高圧化 高温水蒸気電解大電流密度化技術 インターコネクタ技術 高温水蒸気電解シール技術  【光触媒】 可視光応答型光触媒 格子欠陥の少ない光触媒調製法 活性化エネルギーの低い 水素生成サイトの構築 光触媒反応装置基礎検討
3314I	31.水素製造 アルカリ水電解	設備費 40万円(Nm3-H2@500Nm3/h)		25万円(Nm3-H2@500Nm3/h)		
		低コスト化 総合効率の向上 高電流密度化 大型化				
3321I	32.水素輸送・供給 圧縮水素輸送・供給	水素輸送コスト 10円/Nm3		7円/Nm3		
		高強度金属材料技術 軽量化 高圧水素圧縮機技術 圧縮効率向上 圧力・容量最適化	高圧水素ディスベンサ技術 高速充填技術 耐久性向上 低コスト化 大型CFRP容器技術 高圧大型圧縮機			
3322I	32.水素輸送・供給 液体水素輸送・供給	水素輸送コスト 6円/Nm3		3円/Nm3		
		内槽タンク支持構造技術 タンク断熱法改善 高効率液化システム技術 磁気冷凍技術 液水容器断熱性能向上	液体水素ディスベンサ・流量計技術 耐久性向上 低コスト化			

## ②「運輸部門の燃料多様化」 に寄与する技術の技術ロードマップ(4/7)

No.	エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030～
3323I	32.水素輸送・供給  水素パイプライン	<p>パイプラインの技術基準策定 短距離(周辺・家屋)</p> <p>工業用水素輸送</p>				
		<p>炭素鋼鋼管と溶接部の材料検討 施工条件の確立 漏洩検知技術の確立 摺動部・可動部の保持方法・シール材</p>	<p>水素配管方法 水素計測技術</p>	<p>高圧輸送技術</p>	<p>メタン・水素混合輸送・供給</p>	
3324I	32.水素輸送・供給  水素ガス供給スタンド 安全対策技術	<p>基準・規格の見直し 安全性検討と例示規準作成</p>				
		<p>ステーション安全計装システム 高速充填への対応(通信、ブレーク) ポイルオフ低減</p>	<p>低コスト化 ステーション総合効率の改善 予防保全システム</p>			
3331I	33.水素貯蔵  無機系・合金系 水素貯蔵材料	<p>【合金系材料】 材料の劣化機構の解明と対策案検証 水素吸蔵・放出速度の向上技術 水素放出温度の低温化 合金系材料新規探索</p>				
		<p>アラネート系 アミド・イミド系 ポリハイドライド系 複合系 など</p>	<p>【無機系材料】 有望材料の探索と材料組成最適化 ハンドリング技術の確立 吸蔵・放出温度低温化 反応速度・耐久性向上 副反応生成物等の放出抑制</p>	<p>合金系材料</p>	<p>無機系材料</p>	
3332I	33.水素貯蔵  有機系・炭素系 水素貯蔵材料	<p>有機系水素貯蔵材料</p> <p>炭素系水素貯蔵材料</p>				
		<p>【有機系水素貯蔵材料】 高性能水素放出触媒 ステーション用水素発生装置 水素ステーション用輸送・回収技術 有機ハイドライド貯蔵技術</p>	<p>【炭素系水素貯蔵材料】 高水素吸蔵量材料の構造設計 または合成指針の確立・適用 (新規形状、化学修飾、元素置換、複合化など)</p>			
3333I	33.水素貯蔵  水素貯蔵容器	<p>水素貯蔵容器コスト (車1台あたり)約300～500万円 水素単量 5kg 約5～7kg 約7kg</p> <p>圧縮水素容器 高強度材料 液体水素容器 耐久性向上 ハイブリッド(高圧水素貯蔵材料容器) 軽量・コンパクト化 断熱性能向上</p>				
5311J	31.高度石油利用技術  石油・ピッチからの 水素製造・輸送技術	<p>灯油等改質オフサイト水素製造技術 灯油改質等オンサイト水素製造技術 ピッチの粘結材利用技術</p> <p>水素製造触媒技術 水素製造プロセス技術</p>				
		<p>灯油脱硫・改質技術 膜分離技術</p>	<p>SOFC用熱自立型改質器システム技術 自動車オンボード改質技術</p>	<p>灯油吸着脱硫技術 灯油改質触媒技術</p>		
2121S	12.クリーンエネルギー自動車  プラグインハイブリッド 自動車	<p>バッテリー性能 2,000W/kg 出力密度 1,800W/kg エネルギー 70Wh/kg 密度 コスト 約20万円/kWh 約3万円/kWh 約2万円/kWh</p> <p>約10万円/kWh</p>				
		<p>モータ効率向上 高性能二次電池(高エネルギー密度化・長寿命化・低コスト化) 最適走行制御技術</p>	<p>電力供給システム</p>	<p>小型・軽量化</p>		

## ②「運輸部門の燃料多様化」 に寄与する技術の技術ロードマップ(5/7)

No.	エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030～
2122S	電気自動車	バッテリー性能 エネルギー密度 約10万円/kWh コスト 約20万円/kWh 走行距離 80 km/(80kg)	150Wh/kg 約3万円/kWh 120 km/(80kg)	250Wh/kg 約2万円/kWh 200 km/(80kg)	一般モーター型EV 本格的EV	500Wh/kg 約1万円/kWh 400 km/(80kg)
3543M	ニッケル水素電池	サイクル寿命 10年 風力・太陽光発電の安定化 ハイブリッド車用	負荷変動補償			20年
3544M	リチウムイオン電池	サイクル寿命 10年 モバイル用	ハイブリッド車用	プラグインハイブリッド車、電気自動車用		20年 革新型蓄電池
3545M	キャパシタ	エネルギー密度 4 Wh/kg(モジュール) 出力密度 1.5 kW/kg(モジュール)	20 Wh/kg(デバイス) 10 kW/kg(デバイス)	民生用 電力品質維持用	運輸用	新概念に基づくキャパシタ
1401E	高度道路交通システム (ITS)	交通流改善技術 ・最適出発時間予測システム(プローブ情報利用) ・異常事態検知システム(プローブ情報利用) プローブ情報利用信号制御	自動運転・隊列走行(高速道路) 信号連携エコドライブ	自動運転・ 協調走行 信号連携グリーンウェーブ走行		
1402N	モーダルシフト	インテリジェント集配システム 汎用標準化送配システム(ICタグの高度利用)	デュアルモードトラック	バイモーダル物流システム(道路→鉄道、船舶)		
2101N	ガソリン自動車	バイオマス等代替燃料・混合燃料利用エンジン技術 部分負荷効率向上のための気筒停止 最適傾斜機能鍛造軽量部材	超高強度CFRP製造技術 HCCIエンジン			
		低摩擦材料表面制御 リーンバーン技術	高負荷領域におけるノック抑制 可変圧縮(膨張)比 連続可変バルブ/可変気筒 軽量化 オクタン価向上 MgCo(OH)系利用実証試験			

## ②「運輸部門の燃料多様化」 に寄与する技術の技術ロードマップ(6/7)

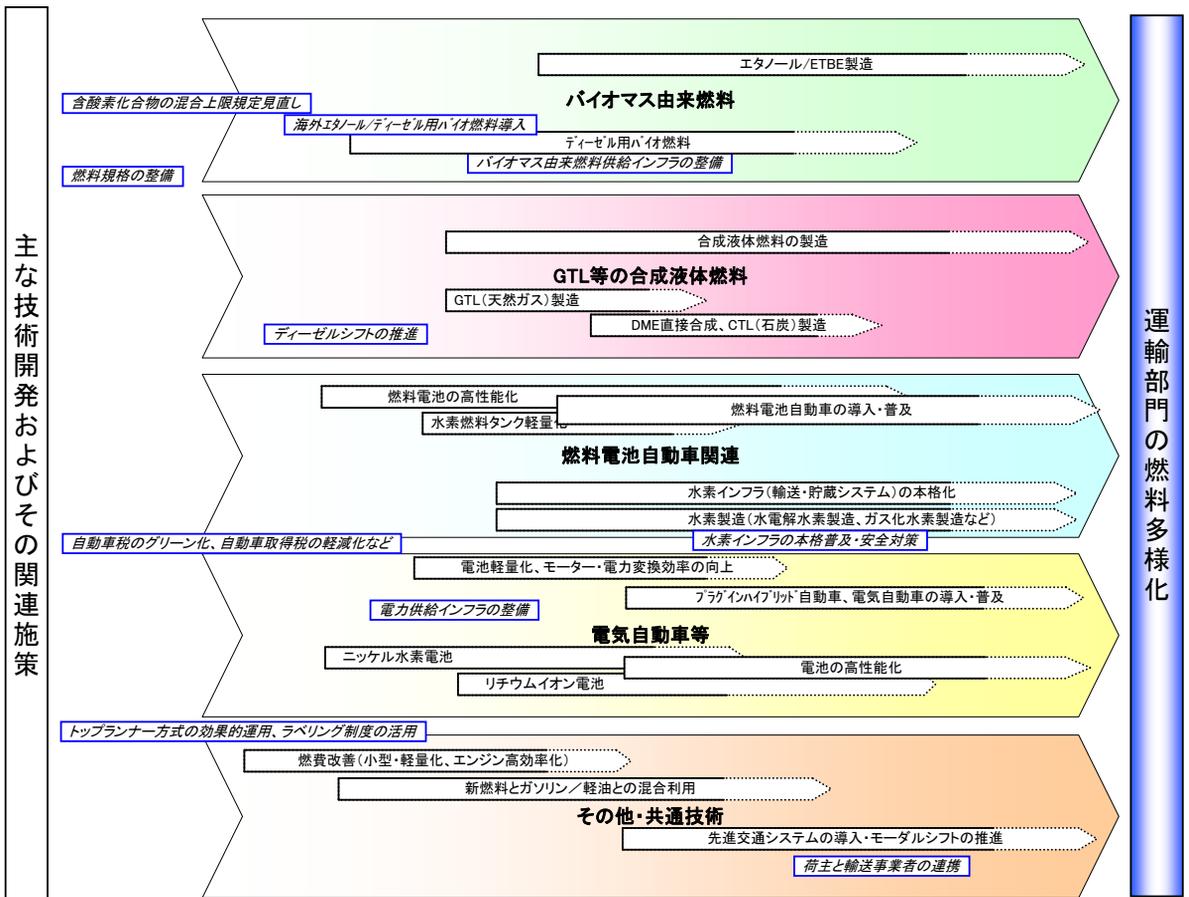
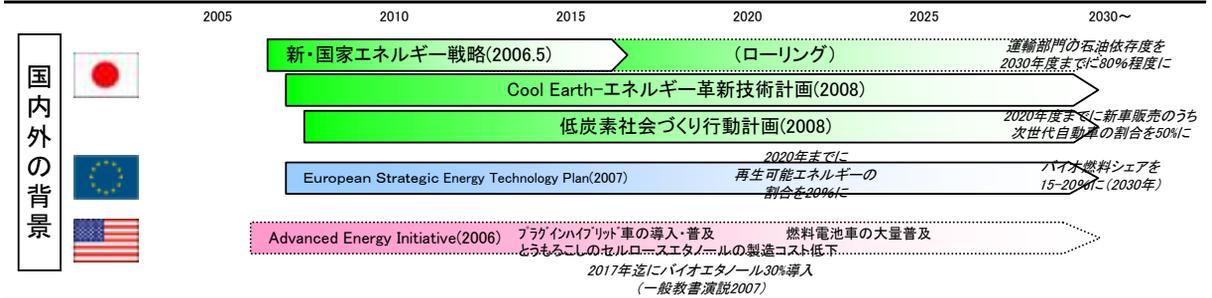
No.	エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030～
2102N	10.高効率内燃機関自動車  ディーゼル自動車					バイオマス等代替燃料・混合燃料利用エンジン技術 低エミッション後処理技術(尿素SCRなど) 高効率・低エミッション燃焼技術  HCCIエンジン
						最適傾斜機能鍛造軽量部材 低摩擦材料表面制御 乗用車用噴射系の向上(超高压化)・小型高過給化 MgCo(OH)系利用実証試験  超強度CFRP製造技術 小型・軽量化 天然ガスエンジンの高効率化(小型化、ハイブリッド化等) ガス供給インフラの拡充
2103N	10.高効率内燃機関自動車  天然ガス自動車					ガソリンとのハイフューエル車 燃料タンクの長寿命化 天然ガス吸蔵材料 MgCo(OH)系利用実証試験  充填インフラの低コスト化 天然ガスエンジンの高効率化(小型化、ハイブリッド化等) ガス供給インフラの拡充
2104S	10.高効率内燃機関自動車  ハイブリッド自動車					バッテリー性能 2,000W/kg 出力密度 1,800W/kg コスト 約20万円/kWh 約10万円/kWh  2,500W/kg 約2万円/kWh  次世代HEV  動力回生システム エンジン効率向上 高性能二次電池(高エネルギー密度化・長寿命化・低コスト化) 低摩擦材料表面制御 軽量化
2201N	20.高性能鉄道  高性能鉄道					高速鉄道 ハイブリッド鉄道車両  燃料電池鉄道車両  車体軽量化 車体傾斜システム 遺伝アルゴリズムによる空力解析
2301N	23.高性能船舶  高性能船舶					ディーゼル発電/電動モータ推進 電動ポッド推進 航行支援システム  超電導モーター推進船 高信頼度知能化船  陸運との連携 燃料電池 軽量化 エンジン廃熱回収 摩擦抵抗低減技術 ハブ港ネットワーク化 船型等省エネ機器技術 性能評価シミュレーション技術
2401N	24.高性能航空機  高性能航空機					炭素系複合材利用拡大などによる軽量化 ジェットエンジンの高効率化 更なる省エネ化 環境性、経済性、安全性等の一層の向上
5201J	20.重質原油利用技術  重質油等高度対応処理 合成軽油製造技術					HSFCCプロセス開発技術 分解軽油水素化分解触媒技術 分解ガス成分異性化触媒技術 重質油対応直接脱硫触媒技術 残油分解触媒技術 重質油からの合成軽油製造技術(ATL)  FT合成技術 水素化分解技術 重質油のガス化技術 組成制御型高度石油精製技術

## ②「運輸部門の燃料多様化」 に寄与する技術の技術ロードマップ(7/7)

No.	エネルギー技術 個別技術	2010	2015	2020	2025	2030～
5202J	20.重質原油利用技術					
	低品油からの 高オクタン価 ガソリン製造技術	<p>低級ナフサ有効利用技術</p> <p>新規ナフサ異性化触媒技術 高オクタンガソリン製造流動接触分解触媒技術 高オクタンガソリン製造触媒技術</p> <p>高度脱硫(サルファーフリー)技術 ・高度脱硫触媒 ・高度脱硫プロセス</p>				
5312J	31.高度石油利用技術					
	自動車用新燃料 利用技術	<p>バイオ燃料・GTL等新燃料とガソリン・軽油との混合の燃料技術</p> <p>GTLとの混合利用 石炭液化油との混合利用技術 混合燃料対応自動車技術</p> <p>高度脱硫(サルファーフリー)技術 ・高度脱硫触媒 ・高度脱硫プロセス</p>				
5313J	31.高度石油利用技術					
	燃費向上・排ガス クリーン化燃料技術	<p>超低セタン価対応技術 定置式・汎用ディーゼルエンジン用低セタン価燃料開発技術 低セタン価対応エンジン技術</p> <p>最新ディーゼル車対応燃料技術 自動車燃費向上技術 HCCI等の次世代自動車対応燃料技術 アンテック性向上技術</p> <p>高度脱硫(サルファーフリー)技術 ・高度脱硫触媒 ・高度脱硫プロセス</p> <p>燃料多様化対応技術 排ガス等高精度大気シミュレーション技術</p>				

## ②「輸部門の燃料多様化」に向けた導入シナリオ

バイオマス由来燃料、GTL、BTL、CTLなどの新燃料、電気自動車や燃料電池自動車などの導入により、現在ほぼ100%の運輸部門の石油依存度を2030年までに80%程度とすることを目指す。



### 共通関連施策

- 公共的車両への積極的導入
- 燃費基準の策定・改定
- アジアにおける新エネルギー協力
- 国際標準化による国際競争力向上

## 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)

## 事前評価書(案)

	<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 2px;">作成日</td> <td style="padding: 2px;">平成19年12月26日</td> </tr> </table>	作成日	平成19年12月26日
作成日	平成19年12月26日		
1. 事業名称 (コード番号)	水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発		
2. 推進部署名	燃料電池・水素技術開発部		
3. 事業概要	<p>(1)概要:</p> <p>我が国の運輸部門における石油依存度は依然高く、地球温暖化対策の一環として、エネルギーの効率的な利用及び温室効果ガスの排出削減は一段と重要視されており、水素エネルギーに支えられた社会の構築、即ち 燃料電池自動車等の導入・普及が期待されている。</p> <p>そこで本研究開発では、来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立上げ(2015年頃を想定)に向け、これまでに開発してきた要素技術や機器をベースに、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(ステーション及び車載貯蔵)開発並びにシステム技術検証を実施し、システムに関する技術を完成させることを目的とする。また、水素エネルギーの普及に関するシナリオ策定等調査研究を行うとともに水素インフラ機器の更なる効率向上を狙った要素技術開発、及び飛躍的水素供給コスト低減技術や脱化石燃料等を目指した次世代技術開発を実施する。</p> <p>① システム技術開発</p> <p>水素ステーション機器や車載等水素貯蔵容器の低コスト化・コンパクト化に繋がる開発・検証を行うと共に、トータルシステムとしての耐久性等の確認・検証を行う。</p> <p>② 要素技術開発</p> <p>水素製造・輸送・貯蔵・充填機器及びシステムに関し、低コスト化及び長寿命化を考慮した上で高性能化・軽量化等効率向上等に繋がる要素技術開発及び検証を行う。</p> <p>③次世代技術開発・調査研究・フィージビリティスタディ</p> <p>脱化石燃料に繋がる革新的水素製造技術や現水素供給チェーンにおいて飛躍的な効率改善等をもたらす技術開発(国外研究機関を活用した国際共同研究や国際協力を含む)、及び水素社会実現に向けた技術開発シナリオの調査・検討やフィージビリティスタディを行う。</p> <p>開発のポイントは</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・これまでの事業(水素安全利用等基盤技術開発、水素社会構築共通基盤整備事業、水素・燃料電池実証プロジェクト[JHFC]等)成果、進捗状況及び産業界が中心となって進めている基準・標準化整備状況を踏まえた、安全かつ低コストな材料や要素技術を採用した機器・システムの試作開発及び耐久性検証</li> <li>・並行した基礎研究(水素先端科学基礎研究事業、水素貯蔵材料先端基盤研究事業)と連携のもと、水素環境下における材料</li> </ul>		

	<p>劣化・不具合発生時の課題解決が可能となる機器、水素貯蔵材料またはシステムの試作開発・検証</p> <p>(2)事業規模:総事業費約100億円 (予定:委託) 平成20年度 約17億円</p> <p>(3)事業期間:平成20年度～24年度(5年間)</p>
<p>4. 評価の検討状況</p> <p>(1)事業の位置付け・必要性</p> <p>燃料電池・水素技術は、地球環境問題の解決や新規産業・雇用の創出に資するための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(2006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(2006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(2006年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ている。エネルギー基本計画(2007年3月)、次世代自動車・燃料イニシアティブ(2007年5月)においても燃料電池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ている。</p> <p>これに対し、NEDO技術開発機構では、これまでに、水素製造・輸送・貯蔵・充填に関する機器について要素技術開発を推進し、世界をリードできるレベルにまで達することができた。ただし、水素社会の構築・実現を目指し、水素供給に必要なインフラに関する市場を立上げ、燃料電池の円滑な導入・普及を推進するためには、該当機器の、より一層の高耐久性や低コスト化が必要である。また、環境ニーズの急速な高まりによる、将来的な究極の次世代クリーン自動車としての燃料電池自動車への社会的期待も大きくなってきているところである。</p> <p>そこで、本研究開発では、上記情勢を踏まえ、現在推進中の水素関連事業と連携しながら燃料電池自動車の本格的普及のための水素供給インフラ市場立上げに必要な一連の機器及びシステムに関する技術を完成させることを目的に、特に水素製造・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を実施するものである。</p>	

## (2) 研究開発目標の妥当性

2015年頃から立ち上がると想定する水素供給インフラ市場に備え、本事業では、これまでの水素関連事業の成果を踏まえながら、平成22年度末を目処に、同市場の立上げ・普及に必要な低コスト機器及びシステムを試作開発・検証すると共に、同試作開発結果を元に、平成24年度末までに耐久性検証・評価等を行う。

具体的な研究開発目標は以下に示す通りであり、いずれも水素エネルギーの初期導入・普及に対し、有効な目標値であり、妥当と判断される。

### ① システム技術開発等最終目標(平成24年度末)

水素エネルギーの普及のための水素供給インフラ市場立上げに必要な機器及びシステムについて、2006燃料電池・水素技術開発ロードマップに沿った各機器仕様を満足すると共に、関係産業界要望を反映し、当該市場の立上げ・普及に必要な技術開発目標値を具体的に設定する。

#### 1) 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器システム

低コスト化: 設備コスト 1.5~2億円/システム[300Nm<sup>3</sup>/h規模、土地取得価格を除く]

(現行水素ステーション機器システムコストの約1/2以下)

耐久性: 各機器メンテナンス回数 1回以下/年

(現行の各機器メンテナンス回数は2回程度以上/年)

#### 2) 車載等水素貯蔵/輸送容器システム

低コスト化: 15~20万円/容器

(現行の高圧水素容器[TYPE3]のコストは約70万円/容器)

高性能化: ア. 圧縮水素容器(2010年目標)

・圧力: 70MPa

・質量貯蔵密度(システム): 6.5wt%

・水素量/容積/容器質量: 5kg/120L/75kg

イ. ハイブリッド容器(2010年目標)

・圧力: 35MPa

・質量貯蔵密度(システム): 3wt%

・水素量/容積/容器質量: 5kg/100L/165kg

### ② 要素技術開発における分野毎の目標

#### 1) 水素ステーション機器

上記、最終目標達成に繋がる要素技術毎の目標(実施計画書に定める)

#### 2) 車載等水素貯蔵/輸送容器

上記、最終目標達成に繋がる要素技術毎の目標(実施計画書に定める)

#### 3) 水素製造機器(水蒸気改質等)

・改質効率等: 80%以上

・起動時間: 3時間未満

・設備サイズ: 10m<sup>3</sup>(100Nm<sup>3</sup>/h規模)

・設備コスト: 30万円/(Nm<sup>3</sup>/h)

#### 4)水素貯蔵材料(貯蔵材料システムとして:2010年目標)

- ・質量貯蔵密度:5.5wt%以上
- ・水素放出温度:150℃以下
- ・耐久性:2000回吸放出で初期貯蔵性能の90%保持
- ・材料コスト:1000円/kg

#### ③次世代技術開発・調査研究・フィージビリティスタディ

##### 1)革新的技術の探索・有効性検証

脱化石燃料による水素製造技術あるいは現水素供給チェーンにおいて効率等の面で飛躍的な改善が図られること。

##### 2)調査研究・フィージビリティスタディ

水素エネルギー導入・普及に向け、社会コストミニマムとなる展開シナリオ及び水素キャリア(有機ハイドライド、液体水素等)に応じたケーススタディを行い、今後の技術開発における課題を抽出すること。

#### (3)研究開発マネジメント

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDO技術開発機構は、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標並びに本研究開発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、技術分野ごとにワーキング(WG)(必要に応じてNEDO技術開発機構が指名するプロジェクトリーダーを置く)を構成し、その下で研究開発グループ間の連携を図り効果的な研究開発を実施すると共に、並行実施中の水素関連事業(水素社会構築共通基盤整備事業、水素先端科学基礎研究事業、水素貯蔵材料先端基盤研究事業及び水素・燃料電池実証プロジェクト[JHFC])と連携して、研究開発を推進する。

また必要に応じて、NEDO技術開発機構に技術委員会等を設置し、外部有識者らの意見・助言を受けながら運営管理に反映させると共に、適時委託先からプロジェクトの進捗について報告を受けるなどを行う。さらに、年に一回程度、事業の効率的な推進、情報や認識の共有等を目的に、本事業の実施者が一堂に会する報告会を開催し、実施者間及び関係産業界等と情報の共有化を図る予定であり、マネジメント体制として妥当と考える。

#### (4)研究開発成果

経済省の「新産業創造戦略」によれば、燃料電池(燃料電池自動車も含む)の市場規模は2020年で8兆円と試算されているおり、本研究開発の実施により、燃料電池自動車を一般社会へ導入・普及させるための水素供給インフラ整備に必要な技術が完成し、燃料電池の実用化・普及展開及び国際競争力の確保に大きく貢献できるものとする。

また、2015年頃と想定される水素供給インフラ市場立上げに向け、必要となる機器及びシステム技術を、この時期に完成させることは有効かつ妥当と考える。

(5) 実用化・事業化の見通し

平成24年度末までに水素供給インフラ整備に必要な技術が確立すると、平成27年(2015)度頃からの水素供給インフラ市場立上げ・普及展開に大きく貢献することができる。

このインフラ整備により、燃料電池自動車用の水素ステーション等が多数建設されることで燃料電池自動車の普及進展にも大きく貢献することが期待される。

(6) その他特記事項

特になし。

5. 総合評価

本研究開発は、2015年頃に期待される燃料電池自動車に不可欠な水素供給インフラ市場立上げに向け、必要な機器及びシステムに関する技術開発並びに実証であり、将来的に、我が国の運輸部門のエネルギーの効率的な利用及び温室効果ガスの排出削減という困難な問題の解決に大きく寄与することが期待されることから、国の積極的な支援のもと、NEDO技術開発機構が委託事業として実施する意義は大きい。



## 研究テーマ名 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発

### 研究目的

#### ○背景

我が国運輸部門における石油依存度は高く、地球温暖化対策の一環として、エネルギーの効率的な利用及び温室効果ガスの排出削減は一段と重要視されており、国民にとって安全かつ安心な水素エネルギーに支えられた社会の構築、即ち燃料電池自動車や定置用燃料電池システム等の導入・普及が期待されている。

#### ○目的

水素供給インフラ市場立上げ(2015年頃を想定)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(ステーション及び車載貯蔵)開発を実施し、水素関連技術を完成させると共に水素インフラ機器の更なる効率向上を狙った次世代技術の基礎固めを行う。

#### ○必要性

NEDOはこれまで、水素製造・輸送・貯蔵・充填に関する機器について要素技術開発を推進し、世界をリードできるレベルにきている。ただし、水素社会の構築、燃料電池の円滑な導入・普及を推進するには、より一層の高耐久性や低コスト化が強く望まれる。

### プロジェクトの規模

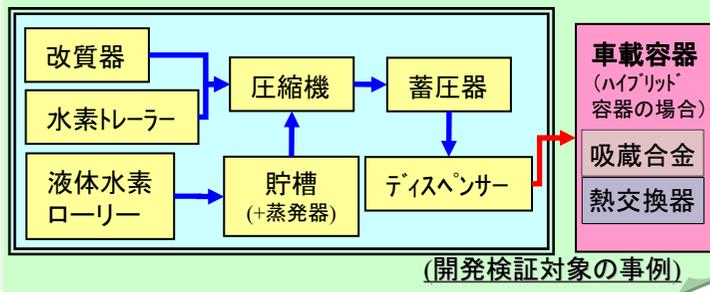
#### ○事業費と研究開発期間(目安として)

平成20年度事業費:約17億円、研究開発期間5年

### 技術戦略マップ上の位置付け

技術戦略マップ「エネルギー分野」の「運輸部門の燃料多様化」等に重要技術として位置付けられている。

### その他関連図表



### 研究内容概略

#### ○研究開発課題(目的達成のための技術課題)

##### ①システム技術開発

水素供給インフラ市場立上げ(2015年頃を想定)に向け、必要となる水素ステーション機器や車載等水素貯蔵容器の低コスト化・コンパクト化に繋がる開発・検証を行うと共にトータルシステムとしての耐久性等確認・検証を行う。

##### ②要素技術開発

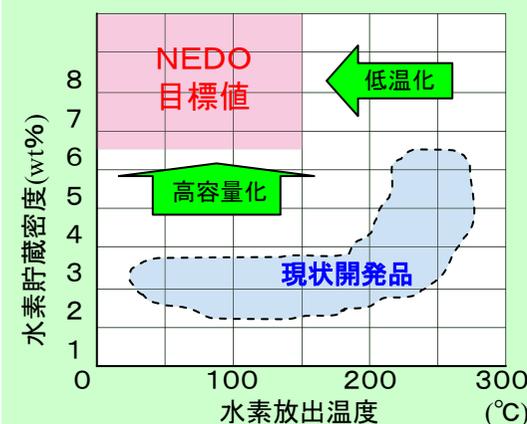
水素供給インフラ市場立上げ・普及(2015年頃及びそれ以降)に向け、必要となる水素製造・輸送・貯蔵・充填機器及びシステムの高性能化・軽量化・低コスト化等効率向上に繋がる要素技術開発を行うと共に、長寿命化・メンテナンス性向上のための要素技術開発検証を行う。

##### ③次世代技術開発・フィージビリティスタディ等

脱化石燃料による水素製造技術あるいは現水素供給チェーンにおいて効率等の面で飛躍的な改善が可能な技術の探索・開発、及び水素社会実現に向けた技術開発シナリオの調査検討やフィージビリティスタディを行う。

#### ○キーテクノロジー、ブレークスルーのポイント、オリジナリティ(課題解決のポイント)

・これまでの事業(水素安全利用等基盤技術開発、水素社会構築共通基盤整備事業等)成果及び産業界が中心となって進めている基準・標準化整備状況を踏まえた、安全かつ低コストな材料や要素技術を採用した機器・システムの試作開発及び耐久性検証  
・並行した基礎研究(水素先端科学基礎研究事業、水素貯蔵材料先端基盤研究事業)と連携のもと、水素環境下における材料劣化・不具合発生時の課題解決が可能となる機器、水素貯蔵材料またはシステムの試作開発・検証



(例)水素貯蔵合金の開発領域

#### ○目標値(例)

①システム技術開発  
70MPa級充填対応水素ステーション機器システムとして[300Nm<sup>3</sup>/h規模の場合]  
-1.5~2億円/施設、  
-メンテナンス(簡易検査を除く)  
1回/年以下

②要素技術開発  
2006燃料電池・水素技術開発ロードマップ記載の目標値  
(例 水素貯蔵密度6%以上、水素吸放出温度150°C以下)

③次世代技術開発  
現有ガソリン供給インフラと同等の設備コストで対応可能となる材料、機器、システムの設計指針が確立できること。

「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発 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20年3月24日  
NEDO技術開発機構  
燃料電池・水素技術開発部

NEDO POST 3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。  
お寄せいただきましたご意見を検討し、別添の基本計画に反映させていただきました。  
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20年2月27日～平成20年3月3日
2. パブリックコメント投稿数＜有効なもの＞  
計3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・技術開発課題への反映
全体について		

<p>[意見1](1件)</p> <p>移動体や携帯できるコンパクトで安全な水素貯蔵を実現する方法として、水素貯蔵材料しかない状況である。しかし、水素貯蔵材料の質量あたりの貯蔵量やコストに対して市場の要望を満足するのは困難な状況である。想定されるシステムごとに水素貯蔵材料の仕様が異なる一方で、それぞれの材料開発に必要なベースは共通することが多い。従って、このプロジェクトにおいて、水素貯蔵材料を一つのカテゴリーにまとめ、システムごとに目標値を設定したことは適切と思われる。一方で、どのシステムに対する目標値も、ブレークスルーなしには得られる見込みがない状況である。そこで、研究対象をなるべく広く捉えられるようにすることが重要である。そのため、研究開発対象を限定しすぎることがない目標値の設定が必要と考えられる。(例えば、6 mass%の材料の目標値(1000円/kg)は極めて高く、対象とする材料系がごく狭い範囲に限定される)今回、掲げられたどの特性も基本的なもので、どれも不可欠なものである。ハイブリッドタンク用の合金など、合金系が特定されつつある。このような場合、水素安全利用等基盤技術開発でも、耐久性のみに着目した研究があったように、ある特定の特性のみを開発するテーマもあってよい。また、実用可能なサイズや重量で水素供給装置ができるであれば、基本計画の目標値に沿わないものでも受容されるのが適当である。以上のように、プロジェクトのテーマ設定に対して柔軟に運用が図られることにより、広い範囲の力が結集されるのを望みます。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>1) 本事業では、これまでの研究成果等を踏まえ、来るべき水素供給インフラ市場立上げ(平成27年/2015年頃を想定)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等を行い、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を確認することを目的としており、本技術開発の成果の反映先及び該当技術課題を明確にして取り組んでいくことが重要と考えております。また効率的・効果的な技術開発のためには、並行実施研究にて、相互補完の上、スケ無きように推進することが不可欠と考えております。</p> <p>2) 開発技術の効果的な普及・定着のためには、当該技術開発の進捗に応じた具体的な課題設定(必要に応じ目標値再設定も含む)が不可欠であり、本事業推進の中で柔軟に対応していきたいと考えます。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし</p>
---	---	---------------------------------

<p>[意見2](1件)</p> <p>「2015 年頃に水素供給インフラマーケットを立ち上げる」とターゲットを明確化することが、「取組む技術課題を安易に絞り込む」ことに繋がらぬよう御考慮を御願いたします。期間を決めてその時期までに商品レベルにまで技術を引き上げることのみ注目すると、化石燃料をベースとした水素社会構築が最有力となろうと考えられるのですが、その先の時代を考えた場合、化石燃料から離れた水素社会の構築も念頭においた技術開発は必須と考えます。化石燃料に因らない水素社会の構築には、高い技術と開発期間が必要で、現時点より継続して取組まねば、本国技術が他国から遅れを取るばかりでなく、エネルギーセキュリティ問題が深刻化してしまうことに成りかねないと考えます。もちろん、水素社会の構築の起爆剤として、化石燃料から高効率で水素を製造する技術を早期に確立することは重要と理解します。ただ、水素社会構築には世論の盛り上がりと参加するプレイヤーの拡大も必要です。取り上げる技術を過度に絞り込み、参加プレイヤーが減少することなきよう御考慮を御願いたします。実施テーマは、基本計画に記載された「具体的な技術課題例」に限定されることなく審査御検討いただけるよう御願いたします。</p>	<p>[考え方と対応]</p> <p>1) 本事業では、これまでの研究成果等を踏まえ、来るべき水素供給インフラ市場立上げ(平成27年/2015年頃を想定)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等を行い、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を確立することを目的としており、本技術開発の成果の反映先及び該当技術課題を明確にして取り組んでいくことが重要と考えております。また効率的・効果的な技術開発のためには、並行実施の研究にて、相互補完の上、ヌケ無きように推進することが不可欠と考えております。</p> <p>2) また中長期的な技術開発や将来を見据えた技術探索も必要との認識から、「次世代技術開発」として取り上げ推進していく予定です。こちらでは、該当研究の意義、独創性・新規性、成果反映先(実用化を図るまでの道筋等)、波及効果等を事前評価した上で、取り組むことが不可欠と考えております。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし</p>
--	--	---------------------------------

[意見3](1件)	[考え方と対応]	[反映の有無と反映内容]
<p>水素社会実現に向けた技術開発シナリオの調査検討やフイージビリティスタディ(FS)の一環として、下記の調査・FSには大きな意義があると考えます。</p> <p>(1)水素社会に向けてのシナリオ・技術調査 FS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・競合技術も含む技術課題整理および技術開発シナリオの調査検討</li> <li>・国内版エネルギー技術モデルの構築とそれに基づく水素普及展望の調査</li> <li>・磁気冷凍技術による水素液化プロセスの技術評価と経済性評価</li> <li>・水素システム(水素コミュニティー)の成立性の技術評価と経済性評価</li> </ul> <p>(2)CO2 低排出の水素製造技術調査・評価および経済性評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・各種の規模のCO2 回収隔離技術の技術評価および経済性評価</li> <li>・バイオマス由来の水素製造の技術調査・評価および経済性評価</li> <li>・光触媒による太陽光利用水素製造技術の技術評価および経済性評価</li> </ul> <p>(3)CO2 低排出水素の国内利用システム調査 FS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・国内における低炭素排出水素システムの技術評価および経済性評価</li> <li>・国内の風力水素の技術調査および経済性評価調査</li> </ul> <p>(4)CO2 低排出水素のグローバル水素システム調査 FS</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・水素を媒体する海外再生可能エネルギー利用システムの技術評価および経済性評価</li> </ul>	<p>[考え方と対応]</p> <p>1)開発技術の効果的な普及・定着のためには、当該技術開発の進捗に応じた具体的な課題設定(必要に応じ目標値再設定も含む)が必要であり、同設定のためにも、該当技術が社会に及ぼす効果や影響を継続的に評価した上で、該当開発にフィードバックすることが不可欠との認識から、本事業の中でも技術開発シナリオ調査検討やフイージビリティスタディとして取り上げ、継続的に推進していく予定です。</p> <p>2)今回のフイージビリティスタディでは、これまでに並行して技術開発や検討が進められてきた複数の水素キャリア(高压水素ガス、液体水素、有機ハイドライド等)に着目し、製造・輸送・貯蔵・充填等水素社会インフラ全体を見据えた観点から、経済性評価や今後の普及に向けた課題抽出等を行う予定です。</p>	<p>[反映の有無と反映内容]</p> <p>特になし</p>

以上

添付－５：特許、論文、外部発表、受賞リスト

【特許リスト】

70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	横浜ゴム(株)	特願 2010-021658	国内	2010/2/2	公開	水素充填用ホースと ホース金具のアッセン ブリ品の製造方法	大倉美恵

車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術に関する研究開発

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	サムテック (株) 日本重化学 工業(株)	特願 2010-080035	国内	2010/3/31	出願	熱処理容器、それを用 いた水素貯蔵タンクの 製造方法、それを用い て製造された水素貯蔵 タンク、並びに、それ を用いた酸化処理物の 製造方法	阪口善樹、 西脇秀晃、 高橋和也、 東條干太、 角掛繁、 布浦達也
2	サムテック (株)	特願 2010-079949	国内	2010/3/31	出願	スピニング加工装置	原田敦、 田中慎一

水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	東京ガス(株) 日本特殊陶 業(株)	特願 2008-268672	国内	2008/10/17	公開	水素製造装置	梶谷昌弘他
2	東京ガス(株) 日本特殊陶 業(株)	特願 2008-270173	国内	2008/10/20	公開	水素製造装置	田中裕之他
3	東京ガス(株) 日本特殊陶 業(株)	特願 2009-273573	国内	2009/12/01	公開	水素製造装置	彦坂英昭他
4	東京ガス(株) 日本特殊陶 業(株)	特願 2009-273574	国内	2009/12/01	公開	水素製造装置	三矢耕平他
5	東京ガス(株) 日本特殊陶 業(株)	特願 2009-277080	国内	2009/12/04	公開	円筒形水素分離型改質 器における水素分離膜 用保護膜及びその形成 方法	黒川英人他
6	東京ガス(株) 日本特殊陶 業(株)	特願 2010-004982	国内	2010/01/13	公開	水素分離装置及び水素 分離装置の製造方法	彦坂英昭他
7	東京ガス(株) 日本特殊陶 業(株)	特願 2010-061419	国内	2010/03/17	公開	水素製造装置	西井匠他

8	東京ガス(株) 日本特殊陶業(株)	特願 2010-061561	国内	2010/03/17	公開	水素製造装置	西井匠他
9	東京ガス(株) 日本特殊陶業(株)	特願 2010-061679	国内	2010/03/17	公開	水素製造装置	西井匠他
10	東京ガス(株) 日本特殊陶業(株)	特願 2010-116959	国内	2010/05/21	出願	ガスシール複合体及び 該ガスシール複合体を 備えた装置	三矢耕平他
11	東京ガス(株) 日本特殊陶業(株)	特願 2010-116960	国内	2010/05/21	公開	ガス分離装置及びその 製造方法	彦坂英昭他
12	日本特殊陶業(株) 東京ガス(株)	特願 2010-173539	国内	2010/08/02	公開	ガスシール複合体及び 該ガスシール複合体を 備えた装置	三矢耕平他
13	日本特殊陶業(株) 東京ガス(株)	特願 2011-097515	国内	2011/04/25	出願	ガス分離装置	川瀬広樹他
14	日本特殊陶業(株) 東京ガス(株)	特願 2011-111563 (国内優先権 適用)	国内	2011/05/18	公開	ガスシール複合体及び 該ガスシール複合体を 備えた装置	三矢耕平他
15	日本特殊陶業(株) 東京ガス(株)	特願 2011-170421	国内	2011/08/03	出願	水素分離装置	梶谷昌弘他
16	日本特殊陶業(株) 東京ガス(株)	特願 2011-209604	国内	2011/09/26	出願	水素製造装置	田中裕之他
17	日本特殊陶業(株) 東京ガス(株)	特願 2012-100096	国内	2012/04/25	出願	水素分離装置の製造方 法及び水素分離装置	彦坂英昭他

#### CO<sub>2</sub>膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	(株)ルネッサ ンス・エナ ジー・リ サーチ	特願 2009-012353	国内	2009/1/22	公開	二酸化炭素分離装置	岡田 治 外5名
2	(株)ルネッサ ンス・エナ ジー・リ サーチ	PCT/JP2009/0 51000	PCT	2009/1/22	公開	CO <sub>2</sub> 促進輸送膜及び その製造方法	岡田 治 外5名
3	(株)ルネッサ ンス・エナ ジー・リ サーチ、 大分大学	特願 2011-149656	国内	2011/7/6	未公 開	一酸化炭素変成装置及 び方法並びに水素製造 装置	岡田 治 外4名

4	(株)ルネッサ ンス・エナ ジー・リ サーチ、 大分大学	PCT/JP2011/06 5428	PCT	2011/7/6	未公 開	一酸化炭素変性装置お よび方法並びに水素製 造装置	岡田 治 外4名
5	(株)ルネッサ ンス・エナ ジー・リ サーチ	特願 2011-263734	国内	2011/12/1	未公 開	促進輸送膜の製造方法	岡田 治 外4名
6	(株)ルネッサ ンス・エナ ジー・リ サーチ	特願 2011-282112	国内	2011/12/22	未公 開	CO変成装置及び変成 方法	岡田 治 外2名

#### ホウ素系水素貯蔵材料の開発

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	(株)豊田中央 研究所	特願 2009-156394	国内	2009/06/30	出願	水素化物複合体及び水 素貯蔵材料	松本満 他
2	(株)豊田中央 研究所	特願 2009-168302	国内	2009/07/16	出願	水素化物複合体及び水 素貯蔵材料	松本満 他

#### 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	(株)タツノ	特願 2012-186010	国内	2012/08/27	出願	ガス充填装置	大沢 紀和

#### 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

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	JX日鉱日石エ ネルギー(株) 九州大学 サムテック(株)	特願 2009-067786 公開 2010-221401	国内	2009/3/19	公開	複合容器の製造方法及 び複合容器の製造装置	鬼鞍宏猷他
2	JX日鉱日石 エネルギー(株) 九州大学	特願 2009-268616 公開 2011-112484	国内	2009/11/26	公開	複合容器の品質判定装 置および方法	鬼鞍宏猷他
3	JX日鉱日石 エネルギー(株) 九州大学	特願 2009-268617 公開 2011-112139	国内	2009/11/26	公開	複合容器の製造試験用 ライナー、及び、製造 試験方法	鬼鞍宏猷他

4	JX日鉱日石 エネルギー(株) 九州大学 サムテック(株)	特願 2009-198238 公開 2011-136491	国内	2009/12/28	公開	複合容器の製造方法	鬼鞍宏猷他
5	JX日鉱日石 エネルギー(株) 九州大学	PCT/JP2010/ 54858	PCT	2010/3/19	出願	複合容器の製造方法及 び製造装置	鬼鞍宏猷他
6	JX日鉱日石 エネルギー(株) サムテック(株)	特願 2010-046415 公開 2011-179638	国内	2010/3/3	公開	高圧タンクの製造装置 並びに製造方法	山崎全彦他
7	JX日鉱日石 エネルギー(株) サムテック(株)	特願 2011-251833	国内	2011/11/17	出願	長尺高圧容器(ガラス織 維)	阪口善樹他

#### 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器に係わる研究開発

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	(株)日本製鋼 所	2011-108056	国内	2011/05/13	出願	内圧試験装置および内 圧試験方法	石垣良次 和田洋流 我孫子貴一
2	(株)キッツ	2010-149694	国内	2010/06/30	出願	トラニオン型ボール弁	中崎幹雄
3	(株)キッツ	2010-149696	国内	2010/06/30	出願	高圧用回転弁の軸封止 構造	五味健 渡辺統
4	(株)キッツ	2010-149695	国内	2010/06/30	出願	バルブ作動機取付構造	五味健 他
5	(株)キッツ	2010- 16092 意匠	国内	2010/06/30	登録	ボールバルブ	五味健 渡辺統
6	(株)キッツ	2012- 41912	国内	2012/02/28	出願	高圧用トラニオン型 ボール弁並びに高圧ス テーション	渡辺統
7	(株)山武	10P00186	PCT	2010/08/17	出願	表面構造	木原啓介
8	(株)山武	11P00057	PCT	2011/08/10	出願	移着膜の予備形成によ る摩擦磨耗特性の改善	林智彦

#### 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	清水建設(株)	特願 2008-194576	国内	2008/7/29	公開	水素関連施設	酒井喜則 他
2	清水建設(株)	特願 2008-329975	国内	2008/12/25	公開	水素燃焼制御システム	井上雅弘 他
3	清水建設(株)	特願 2009-028939	国内	2009/2/10	公開	爆風圧エネルギー変換 装置	尾熊紘而 他
4	清水建設(株)	特願 2009-036932	国内	2009/2/19	公開	水素関連施設	酒井喜則 他
5	清水建設(株)	特願 2009-123111	国内	2009/5/21	公開	水素取扱施設における 安全設備	吉澤善男 他

6	清水建設(株)	特願 2010-014269	国内	2010/1/26	公開	水素関連施設における 壁面構造	酒井喜則
7	清水建設(株)	特願 2010-112322	国内	2010/5/14	公開	爆風圧低減構造体	野津剛 他

#### 水素用アルミニウム材料の評価・開発

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	古河スカイ (株), (株)神戸 製鋼所	特願 2012-149088	国内	平成 24 年 7 月 3 日	未審 査請 求	高圧水素ガス容器用の Al-Mg 系合金	一谷幸司 鹿川隆廣 小山克己
2	(株)神戸製鋼 所, 古河ス カイ(株), 日 本軽金属 (株), 三菱ア ルミニウム (株), 昭和電 工(株)	PCT W02011 /115202 A1	PCT	平成 23 年 3 月 18 日	各国 向け 出願 手続 き準 備中	高圧水素ガス貯蔵容器 用アルミニウム合金材	中井学 安永繁信
3	(株)神戸製鋼 所 〔予定〕 古河スカイ (株), 日本軽 金属(株)	—	国内	平成 24 年 8 月出願予定	—	高圧水素ガス材向け Al-Mg-Si 系合金	中井学 安永繁信

#### 可視光応答性半導体を用いた光触媒および多孔質光電極による水分解水素製造の研究開発

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	(財)産業技 術総合研究 所	特願 2009-116118	国内	2009/05/13	出願	可視光応答性組成物と これを用いた光電極、 光触媒、光センサー	草間仁他
2	(財)産業技 術総合研究 所	特願 2009-128700	国内	2009/05/28	出願	可視光応答性組成物と これを用いた光電極、 光触媒、光センサー	草間仁他
3	(財)産業技 術総合研究 所	特願 2009-128704	国内	2009/05/28	出願	可視光応答性組成物と これを用いた光電極、 光触媒、光センサー	草間仁他
4	(財)産業技 術総合研究 所	特願 2009-128711	国内	2009/05/28	出願	可視光応答性組成物と これを用いた光電極、 光触媒、光センサー	草間仁他
5	(財)産業技 術総合研究 所	特願 2009-128709	国内	2009/05/28	出願	可視光応答性組成物と これを用いた光電極、 光触媒、光センサー	草間仁他
6	(財)産業技 術総合研究 所	特願 2009-203596	国内	2009/09/03	出願	表面改質処理により高 性能化された半導体光 触媒及びその製造方法 並びに該光触媒を用い た水素製造方法	三石雄悟他

ゼオライト鑄型炭素をベースとしたスピロオーバー水素貯蔵に関する研究開発

番号	出願者	出願番号	国内 外国 PCT	出願日	状態	名 称	発明者
1	(株)日産自動車 東北大学 (株)新日鐵化学	特願 2008-269764 国内優先 2009-127456 特開 2010-120836	国内	2009/5/27	公開	マイクロポラス炭素系材料、マイクロポラス炭素系材料の製造方法、吸着材及びマイクロポラス炭素系材料を用いた水素吸蔵方法	伊藤仁 京谷隆 西原洋知 侯鵬翔 李莉香 秦恭平 水内和彦
2	(株)日産自動車 東北大学 (株)新日鐵化学	特願 2008-45069 特願 2008-268753 国内優先 2009-40932 PCT/JP2009/53450	PCT	2009/2/24	出願	マイクロポラス炭素系材料、マイクロポラス炭素系材料の製造方法及びマイクロポラス系炭素材料を用いた水素吸蔵方法	伊藤仁 京谷隆 西原洋知 侯鵬翔 李莉香 秦恭平 水内和彦
3	(株)日産自動車 東北大学 (株)新日鐵化学	特願 2008-45069 特願 2008-268753 国内優先 2009-40932 特開 2010-115636	国内	2009/2/24	公開	マイクロポラス炭素系材料、マイクロポラス炭素系材料の製造方法及びマイクロポラス系炭素材料を用いた水素吸蔵方法	伊藤仁 京谷隆 西原洋知 侯鵬翔 李莉香 秦恭平 水内和彦

【論文リスト】

70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	田中誠一 門出政則	佐賀大学	高圧水素充てん過程の決定パラメータとその推定式の提案	自動車技術会 論文集 Vol.41, No.3, (2010), PP.703-708.	有	2010/5
2	門出政則 田中誠一 高野俊夫	佐賀大学	Prediction of Filling Time and Temperature of Precooled Hydrogen During Filling of Hydrogen into a High - Pressure Tank	SAE International 2010-32-0127 (2010)	有	2010/9
3	門出政則 P.Woodfield 高野俊夫 高坂祐顕	佐賀大学 Griffith Univ. 佐賀大学	Estimation of temperature change in practical hydrogen pressure tanks being filled at high pressures of 35 and 70 MPa	Int. J. of Hydrogen Energy, 37 (2012) 5723-5734	有	2012/2
4	斎藤彰	JPEC	水素インフラ関連技術開発の状況	水素エネルギー システム	有	2012/9

車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術に関する研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	渋谷直哉 中村仁 榎浩利 秋葉悦男	産総研	High pressure hydrogenation properties of Ti-V-Mn alloy for hybrid hydrogen storage vessel	Journal of Alloys and Compounds, 475 (2009) 543-545.	有	2009/5

水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	白崎義則	東京ガス 株	膜反応器を用いる高効率水素製造技術	クリーンエネルギー Vol.17, No.11 (2008) 1-6	無	2008/11
2	白崎義則	東京ガス 株	Development of Membrane Reformer System for Highly Efficient Hydrogen Production from Natural Gas	International Journal of Hydrogen Energy 34 (2009) 4482-4487	有	2009/3
3	黒川英人	東京ガス 株	CO <sub>2</sub> 回収を伴う都市ガスからの高効率分散型水素製造	燃料電池 (夏号), Vol.9, No.1 (2009) 88- 92	無	2009/7
4	黒川英人	東京ガス 株	CO <sub>2</sub> 分離回収を同時に行う高効率水素製造技術の実証	クリーンエネルギー Vol.18, No.1 (2009) 23-27	無	2009/11
5	黒川英人	東京ガス 株	分散型水素製造における CO <sub>2</sub> 分離回収の検討	FC Report (夏号), Vol.28, No.3 (2010)	無	2010/7
6	黒川英人	東京ガス 株	Energy-Efficient Distributed Carbon Capture in Hydrogen Production from Natural Gas	Energy Procedia Vol. 4 (2011) 674-680	有	2011/4

7	久米高生	東京ガス (株)	Development of Compact and Efficient Hydrogen Production Module with Membrane on Catalyst	Journal of Natural Gas Science and Engineering, Vol. 3, No. 5 (2011) 591-600	有	2011/10
8	黒川英人	東京ガス (株)	水素分離型リフォーマーの高耐久化	燃料電池, Vol. 11, No. 3 (2012) 43-49	無	2012/1
9	井関孝弥	東京ガス (株)	高効率水素製造のための水素分離型改質器	膜 Vol. 37, No. 2 (2012) 60-66	有	2012/3

#### CO<sub>2</sub>膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	K.Shimada K.Kuzushita E.Kamio H.Matsuyama N.Ohmura S.Nishiyama K. Mae T.Maki K.Fujiwara S.Terada T.Umegaki O.Okada	神戸大学、 (株)ルネッサ ンス・エナ ジー・リサ ーチ	DEVELOPMENT OF ADVANCED REFORMING SYSTEM FOR H <sub>2</sub> STATION USING CO CONVERTER EQUIPPED WITH CO <sub>2</sub> SELECTIVE MEMBRANE II	2008 Fuel Cell Seminar &Exposition,P100	無	2008/10

#### ホウ素系水素貯蔵材料の開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	T.Noritake M.Aoki M.Matsumoto S.Towata	(株)豊田中 央研究所	Crystal structure analysis of mixed complex hydrides for the hydrogen storage material development	SPring-8 User Experiment Report	無	2008/10
2	則竹達夫 青木正和 松本満 砥綿真一	(株)豊田中 央研究所	水素貯蔵材料開発のための混合水素化物の結晶構造解析	SPring-8 重点産業 利用課題報告書	無	2009/2
3	H.-W.Li T.Sato Y.Yan S.Orimo	東北大学 金属材料 研究所	Formation of intermediate compound with B <sub>12</sub> H <sub>12</sub> cluster: Experimental and theoretical studies on magnesium borohydride Mg(BH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Nanotechnology 20 204013-1-7	有	2009/4
	K.Miwa N.Ohba S.Towata	(株)豊田中 央研究所				
	T.Fujita M.W.Chen	東北大学 WPI-AIMR				

4	H.Tanaka T.Kiyobayashi N.Kuriyama	産業技術 総合研究 所	Hazard assessment of complex hydrides as hydrogen storage materials	Int. J. Hydrogen Energy 34(7)3210- 3218	有	2009/4
	K.Tokoyoda	太平洋セ メント(株)				
	M.Matsumoto	(株)豊田中 央研究所				
	Y.Suzuki	(株)日本カー リット				
5	T.Noritake S.Towata	(株)豊田中 央研究所	The development of hydrogen storage materials by crystal structure analysis of light element hydride	SPring-8 User Experiment Report	無	2009/7
	S.Orimo	東北大学 金属材料 研究所				
6	Y.Yan H.-W.Li N.Umeda S.Orimo	東北大学 金属材料 研究所	Dehydrating and rehydrating properties of yttrium borohydride $Y(BH_4)_3$ prepared by liquid-phase synthesis	Int. J. Hydrogen Energy 34(7)5732- 5736	有	2009/4
	T.Sato	東北大学 WPI-AIMR				
	K.Miwa S.Towata	(株)豊田中 央研究所				
7	Z.Z.Fang X.D.Kang P.Wang	Shenyang National Laboratory for Materials Science, Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences	Unexpected dehydrogenation behavior of $LiBH_4/Mg(BH_4)_2$ mixture associated with the in situ formation of dual-cation borohydride	J. Alloys Compd. 491 L1-L4	有	2010/2
	H.-W.Li S.Orimo	東北大学 金属材料 研究所				
8	T.Noritake M.Aoki M.Matsumoto K.Miwa S.Towata	(株)豊田中 央研究所	Crystal structure and charg density analysis of $Ca(BH_4)_2$	J. Alloys Compd. 491 57-62	有	2009/11
	H.-W.Li S.Orimo	東北大学 金属材料 研究所				

9	J.Sugiyama Y.Ikeda T.Noritake K.Miwa S.Towata	(株)豊田中央研究所	Microscopic indicator for thermodynamic stability of hydrogen storage materials provided by mu+SR	Phys. Rev. B 81 092103	有	2010/3
	O.Ofer T.Goko E.J.Ansaldo J.H.Brewer	TRIUMF				
10	M.Månsson	Laboratory for Neutron Scattering, Paul Scherrer Institut, ETH Zürich	Microscopic indicator for thermodynamic stability of hydrogen storage materials provided by muon-spin spectroscopy	J. of Physics. Conference Series In press	有	2010
	K.H.Chow	Department of Physics, University of Alberta				
	J.Sugiyama Y.Ikeda T.Noritake K.Miwa S.Towata	(株)豊田中央研究所				
	O.Ofer T.Goko E.J.Ansaldo J.H.Brewer	TRIUMF				
	M.Månsson	Laboratory for Neutron Scattering, Paul Scherrer Institut, ETH Zürich				
	K.H.Chow	Department of Physics, University of Alberta				
11	青木正和 高橋直子 野中敬正 野崎洋 松本満 砥綿真一	(株)豊田中央研究所	水素放出に伴う $Mg(BH_4)_2$ 中の B の化学結合状態変化	九州シンクロトロン光研究センター成果報告書	無	2010/5
	李海文 折茂慎一	東北大学金属材料研究所				

12	則竹達夫 青木正和 松本満 砥綿真一	(株)豊田中央研究所	高容量水素貯蔵材料の結晶構造解析	SPring-8 重点産業利用課題成果報告書	無	2010/2
	李海文 折茂慎一	東北大学金属材料研究所				
13	T.Noritake M.Aoki M.Matsumoto K.Miwa S.Towata	(株)豊田中央研究所	Crystal structure change in the dehydrogenation process of the Li-Mg-N-H system	J. Alloys Compd. In press	有	審査中
	H.-W.Li S.Orimo	東北大学金属材料研究所				
14	池田一貴 李海文 折茂慎一	東北大学金属材料研究所	高密度水素貯蔵を目指した水素化物の材料設計と特性評価	化学工業 60 51-55	無	2009/12
15	折茂慎一	東北大学金属材料研究所	燃料電池と水素貯蔵材料	金属材料の最前線 近未来を拓くキー・テクノロジー 第8章 241-259	無	2009/7
16	砥綿真一	(株)豊田中央研究所	ホウ素系水素貯蔵材料	水素貯蔵・吸蔵・貯蔵・輸送材料と安全化	無	2010/8
	李海文 折茂慎一	東北大学金属材料研究所				

#### 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

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	T.MIURA D.TABUCHI T.SAJIMA T.DOI O.OHNISHI	九州大学	Effect of SPWC conditions on CFRP pipe's burst strength	Proc. of The First international conference on manufacturing process technology (ICMPT), pp.10-13	無	2011/5
2	三浦崇寛 田淵大介 佐島隆生 大西修 鬼鞍宏猷 土肥俊郎 黒河周平	九州大学	同時加熱成形法を用いた CFRP パイプ破裂強度改善に関する研究	精密工学会誌 77 巻,09 号 pp.856-860	有	2011/9
3	D.TABUCHI T.SAJIMA T.DOI, H.ONIKURA O.OHNISHI S.KUROKAWA T.MIURA	九州大学	Development of a Filament-Winding Machine Based on Internal Heating by a High-Temperature Fluid for Composite Vessels	Sensors & Materials, Vol.23, No.6 (2011), pp.347-358	有	2011/8

4	T.MIURA D.TABUCHI T.SAJIMA T.DOI O.OHNISHI	九州大学	Effect of CFRP inter laminar shear strength by SPWC method	Proc. of The 6 <sup>th</sup> International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21 <sup>st</sup> Century, 2011, pp. 10-13	有	2011/11
5	D.TABUCHI T.SAJIMA T.DOI H.ONIKURA O.OHNISHI S.KUROKAWA T.MIURA	九州大学	Residual Stress of Hoop-Wound CFRP Composites Manufactured with Simultaneous Heating	Sensors & Materials, Vol.24, No.2 (2012), pp.99-111	有	2012/12

#### 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器に係わる研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	木原 中村 山本	(株)山武	省エネ・環境と安全に貢献する調節弁のシール技術	トライボロジスト特集号(日本トライボロジー学会誌)	無	2011/2
2	渡辺	(株)キッツ	70MPa 級水素ステーション用高圧ボールバルブ	(社)日本バルブ工業会「バルブ技報第68号」	無	2012/3
3	斎藤	JPEC	水素インフラ関連技術開発の状況	水素エネルギーシステム(水素エネルギー協会誌) VOL.37 NO.3 2012	有	2012/9

#### 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	野津剛	清水建設(株)	都市型コンパクト水素ステーションの研究開発(その1) 漏洩水素ガスの拡散シミュレーション	日本建築学会大会学術講演会梗概集, 2011年, D-2分冊, p.825	無	2011
2	酒井喜則	清水建設(株)	都市型コンパクト水素ステーションの研究開発(その2) 爆風圧低減に関する研究	日本建築学会大会学術講演会梗概集, 2011年, D-2分冊, p.827	無	2011
3	酒井喜則	清水建設(株)	都市型コンパクト水素ステーションの研究開発(その4) 燃焼制御システムに関する研究	日本建築学会大会学術講演会梗概集, 2012年	無	2012

水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	藤井秀樹 大宮慎一	新日本製鐵(株)	Deformation Modes Influencing on Mechanical and Fatigue Properties of JIS SUS304L Stainless Steel in High Pressure Gaseous Hydrogen	Proceedings of the 2nd International Symposium on Steel Science	有	2010/12
2	大村朋彦 中村潤	住友金属工業(株)	ステンレス鋼の水素脆性	材料と環境, vol.60, No.5, pp241-247.	有	2011/5
3	中村潤 宮原光雄 大村朋彦 仙波潤之 脇田昌幸	住友金属工業(株)	ステンレス鋼および高強度鋼の高圧水素ガス中の疲労特性と劣化機構	材料, 第 60 巻, 第 12 号, pp1123-1129.	有	2011/12
4	藤井秀樹	新日本製鐵(株)	水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発ー水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発および国際標準化・規制見直しに資する 評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発ー	特殊鋼 vol.61, No.1 pp.61-66	無	2012/1
5	大宮慎一 藤井秀樹	新日本製鐵(株)	Effects of Ni and Cr Contents on Fatigue Crack Growth Properties of SUS316-based Stainless Steels in High-pressure Gaseous Hydrogen	ISIJ International Vol.52, No.2, pp.247-254	有	2012/2
6	Tomohiko Omura and Jun Nakamura	住友金属工業(株)	Hydrogen Embrittlement Properties of Stainless and Low Alloy Steels in High Pressure Gaseous Hydrogen Environment	ISIJ International vol.52, No.2, pp234-239.	有	2012/2
7	藤井秀樹	新日本製鐵(株)	高圧水素ガス環境下で高い耐性を有するステンレス鋼	蓄・省エネルギー(技術情報協会)	無	2012/6
8	緒形俊夫	物材機構	Influence of high pressure hydrogen environment on tensile properties of stainless steels at low temperatures	Advances in Cryogenic Engineering, vol.58, p.39-46	有	2012/7

水素用アルミニウム材料の評価・開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	一谷幸司 小山克己	古河スカイ(株)	疲労試験における 6061 アルミニウム合金の耐水素脆性に及ぼす成分元素の影響	軽金属 第 62 巻 第 5 号 (2012), 212-218.	有	2012

### 可視光応答性半導体を用いた光触媒および多孔質光電極による水分解水素製造の研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	Kazuhiro Sayama 他	産総研エネルギー技術研究部門	Effect of Carbonate Ions on the Photo-oxidation of Water over Porous BiVO <sub>4</sub> Film Photoelectrode under Visible Light”,	Chem. Lett., 39 (2010) 17。	有	2010/1
2	H.Kusama 他	産総研エネルギー技術研究部門	Combinatorial Search for Iron/Titanium-Based Ternary Oxides with a Visible-Light Response	J. Comb. Chem. 12(2010)356	有	2010/7
3	Yugo Miseki 他	産総研エネルギー技術研究部門	Highly efficient WO <sub>3</sub> photocatalysts modified by alkaline ion for water splitting	J. Phys. Chem. Lett., 1 (2010) 1196	有	2010/3
4	Yugo Miseki 他	産総研エネルギー技術研究部門	Significant Effects of Anion in Aqueous Reactant Solution on Photocatalytic O <sub>2</sub> Evolution and Fe(III) Reduction	Chem. Lett., in press.	有	2010/8

### 非貴金属化合物を用いた水電解用高機能酸素発生アノード触媒の設計および開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	Koichi Matsuzawa, Chikako Igarashi, Shigenori Mitsushima, Ken-ichiro Ota	Yokohama National University	Non-precious metal electrocatalyst for oxygen evolution in polymer electrolyte water electrolysis	ECS Trans., 25 (23) 119-124	無	2010/1

### 高効率水素液化磁気冷凍の研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	松本宏一	金沢大学	High sensitive capacitive liquid hydrogen level meter	Cryogenics	有	2010/11
2	松本宏一	金沢大学	Magnetic Refrigeration For Hydrogen Liquefaction	Proceeding of International Cryogenic Engineering Conference	有	2010/12
3	中山祐介	大阪大学	Experimental study of Active Magnetic Regenerator (AMR) composed of spherical GdN	Cryocoolers [投稿済み]	有	2010
4	李晶	NIMS	Numerical modeling on a reciprocating Active Magnetic Regenerator Refrigeration	Cryocoolers [投稿済み]	有	2010
5	松本宏一	金沢大学	Magnetocaloric effect, specific heat and entropy of iron-substituted gadolinium gallium garnets Gd <sub>3</sub> (Ga <sub>1-x</sub> Fe <sub>x</sub> ) <sub>5</sub> O <sub>12</sub>	Japanese Journal of Applied Physics, vol. 48, no. 11 (2009) 113002.	有	2009

6	松本宏一	金沢大学	Magnetic refrigerator for hydrogen liquefaction	Journal of Physics: Conference Series, vol. 150 (2009) 012028.	有	2009/11
7	松本宏一	金沢大学	Numerical analysis of active magnetic regenerators for hydrogen magnetic refrigeration between 20 and 77 K	Journal of Physics: Conference Series, vol. 150 (2009) 012028.	有	2009/3
8	李晶	NIMS	Numerical modeling on an Active Magnetic Regenerator Refrigeration	Cryogenics [投稿済み]	有	2009
9	沼澤健則	NIMS	Development of a Magnetic Refrigerator for Hydrogen Liquefaction	Advances in Cryogenic Engineering, vol. 53 (2008) 1183-1189.	有	2008/3

#### 水素ガス輸送用パイプラインの信頼性評価技術の研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	粟飯原周二	東京大学	Coupled Numerical Model of Gas-Decompression and Unstable Ductile Crack Propagation in High-Pressure Gas Pipelines	Pipeline Technology 2009, Ostend, Belgium, Oct. 12-14, 2009, Paper No. Ostend2009-009.	無	2009/10
2	粟飯原周二	東京大学	Full-Scale Burst Test of Hydrogen Gas X65 Pipeline	International Pipeline Conference IPC2010, Sept. 2010, Calgary Canada, IPC2010-31235, ASME	有	2010/9
3	粟飯原周二	東京大学	A New Model for Dynamic Crack Propagation and Arrest in Gas Pipelines	International Pipeline Conference IPC2010, Sept. 2010, Calgary Canada, IPC2010-31475, ASME	有	2010/9

#### 超高压水素合成法による新規水素吸蔵合金の研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	Riki Kataoka Atsunori Kamegawa Hitoshi Takamura Masuo Okada	東北大学 大学院 工学研究 科	High Pressure Synthesis of Novel $Mg(Ni_{1-x}Cu_x)_2$ Hydrides ( $x=0-0.2$ )	Mater. Trans., 50(5), 1179-1182.	有	2009/5

2	Masatsugu Kawakami Takahiro Kuriwa Atsunori Kamegawa Hitoshi Takamura Masuo Okada	東北大学 大学院 工学研究 科	Optimum Hydrogen Desorption Properties in LiH-LiOH Composites	Mater. Trans., <u>50</u> (7), 1855-1858.	有	2009/7
	Tomohiro Kaburagi	日産自動車				
3	Riki Kataoka Takahiro Kuriwa Atsunori Kamegawa Hitoshi Takamura Masuo Okada	東北大学 大学院 工学研究 科	High Pressure Synthesis of Hydride in Li-Y System	Mater. Trans., <u>50</u> (8), 2069-2072.	有	2009/8
4	Yasutaka Kamata Takahiro Kuriwa Atsunori Kamegawa Masuo Okada	東北大学 大学院 工学研究 科	Effect of Cu or Ti Substitution in MgNi on Crystal Structure and Hydrogen Absorption-Desorption Properties	Mater. Trans., <u>50</u> (8), 2064-2068.	有	2009/8
5	Xiao Yang Nobuhiko Takeichi Kenji Shida Hideaki Tanaka Nobuhiro Kuriyama Tetsuo Sakai	産業技術 総合研究 所 ユビキタス エネ ルギー 研究 部門	Novel Mg-Zr-A-H (A = Li, Na) hydrides synthesized by a high pressure technique and their hydrogen storage properties	J. Alloys Comp.	有	2010/3 投稿

#### ゼオライト鑄型炭素をベースとしたスピルオーバー水素貯蔵に関する研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、 ページ番号	査読	発表年
1	西原洋知 京谷隆	東北大学	ゼオライト鑄型炭素による水素 吸蔵	燃料電池, 9, 37-42 (2009).	無	2009/7
	伊藤仁 内山誠	日産				

#### Mg および Ti 系相分離型高容量水素吸蔵合金の設計と実証に係る技術開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、 ページ番号	査読	発表年
1	久慈俊郎	東海大学 開発工	Synthesis of Mg-Al Alloys by Bulk Mechanical Alloying and Their Hydrogen Solubility	Materials Transactions 49, 2679-2685	有	2008

2	久慈俊郎	東海大学 開発工	Improvement of MgAl alloys for hydrogen storage applications	International Journal of Hydrogen Energy 34, 1937-1943	有	2009
3	佐藤正志	東海大工	Effect of H <sub>2</sub> Flow Rate on the Plasmatic Synthesis of Al Hydride	Proc. 10 <sup>th</sup> International Symposium on Sputtering & Plasma Processes	有	2009
4	佐藤正志	東海大工	Phase separation assists the destabilisation of MgH <sub>2</sub> : Mg <sub>17</sub> Al <sub>12</sub> -H system.	to be published in American Journal of Chemical Society	有	投稿準備中
5	佐藤正志	東海大工	Nano-crystalline growth of Mg-Al intermetallics	to be published in Nanotechnology	有	投稿準備中
6	村上貴洋	東海大工	ボールミリング法により作製した BCC-TiAlMg 合金の水素親和性	to be published in Trans. JIM	有	投稿準備中

#### 燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	田村陽介	(財)日本自動車研究所	圧縮水素容器搭載車両の火災対応に関する一考察	自動車技術会論文集 Vol.41, No.3	有	2010/5/25
2	吉村大士	(財)日本自動車研究所	自動車用圧縮水素容器の急速充填における容器内温度挙動	自動車技術会論文集 Vol.41, No.3	有	2010/5/25
3	田村陽介	(財)日本自動車研究所	燃料電池自動車用水素容器の静電気特性	静電気学会誌	有	2010/7
4	田村陽介	(財)日本自動車研究所	An Experimental Study on the Fire Response of Vehicles with Compressed Hydrogen Cylinders	SAE 2010 Transactions Journal of Passenger Cars - Mechanical System	有	2010/12/4
5	富岡純一	(財)日本自動車研究所	Influence of Temperature on the Fatigue Strength of Compressed Hydrogen Tanks for Vehicles	International Journal of Hydrogen Energy Vol.26, No.4	有	2011/2
6	田村陽介	(財)日本自動車研究所	自動車火災試験や着火試験結果からみた水素の安全性について	日本化学会「化学と教育」 Vol.59, No.1	有	2011/3
7	田村陽介	(財)日本自動車研究所	圧縮水素貯蔵容器および水素燃料電池自動車の安全性	日本燃焼学会誌 Vol.53, No.163	有	2011/3
8	田村陽介	(財)日本自動車研究所	燃料電池自動車火災における隣接車両への延焼性	自動車技術会論文集 Vol.42, No.2	有	2011/3/30
9	富岡純一	(財)日本自動車研究所	極端温度環境・実使用圧力条件による自動車用圧縮水素容器(VH3)の疲労寿命調査	自動車技術会論文集 Vol.42, No.2	有	2011/3/30

10	富岡純一	(財)日本自動車研究所	極端温度環境・実使用圧力条件による自動車用圧縮水素容器(VH3)の疲労寿命調査－電気的試験法の調査(第2報)	自動車研究 第32巻第6号	無	2010/6/1
11	富岡純一	(財)日本自動車研究所	自動車用圧縮水素容器(VH3)の疲労寿命に影響を及ぼす熱応力の調査	自動車研究 第32巻第6号	無	2010/6/1
12	松野 優	(財)日本自動車研究所	自動車用圧縮水素容器への充填放出サイクルにおける容器内温度挙動	自動車研究 第32巻第6号	無	2010/6/1
13	糸井裕彦	(財)日本自動車研究所	自動車用圧縮水素容器のガス透過の温度、圧力および材質依存性に関する研究(第三報)	自動車研究 第32巻第6号	無	2010/6/1
14	福本 紀	(財)日本自動車研究所	水素技術に係る国際基準・標準化動向について－高圧水素技術関連－	自動車研究 第32巻第6号	無	2010/6/1
15	富岡秀徳	(財)日本自動車研究所	水素技術に係る国際標準化の動向－水素燃料仕様の2009年以降の進捗について－	自動車研究 第33巻第7号	無	2010/6/1
16	福本 紀	(財)日本自動車研究所	13.5 防爆技術 b. 安全性試験施設(海外)	水素の事典 (朝倉書店)	無	2011/3
17	糸井裕彦	(財)日本自動車研究所	水素消費による容器および附属品の温度変化の研究	自動車技術会論文集 Vol.42, No.4	有	2011/7
18	田村陽介	(財)日本自動車研究所	Combustion Behavior of Leaking Hydrogen and Effects of Ceiling Variations	SAE 2011 Transactions Journal of Passenger Cars – Mechanical System	有	2012/2/1
19	田村陽介	(財)日本自動車研究所	圧縮水素容器における局所火炎暴露試験用バーナの開発と本試験法の一評価	自動車技術会論文集 Vol.43, No.2	有	2012/3/30
20	富岡純一	(財)日本自動車研究所	自動車用圧縮水素容器の熱応力解析・検証	自動車研究 第33巻第6号	無	2010/7/1
21	田村陽介	(財)日本自動車研究所	局所火炎暴露試験用プロパンバーナの開発	自動車研究 第33巻第7号	無	2010/7/1
22	田村陽介	(財)日本自動車研究所	Development and Characteristics of a Burner for Localized Fire Tests and Evaluation of Those Fire Tests	SAE 20102 Transactions Journal of Passenger Cars – Mechanical System	有	2012/6/1
23	田村陽介	(財)日本自動車研究所	水素燃料自動車の事故処理を想定した水素漏洩時の送風の有効性	JARI Research Journal 第34巻第6号	無	2012/6/1
24	松野優	(財)日本自動車研究所	水素充填用赤外線通信機器の性能検証	JARI Research Journal 第34巻第6号	無	2012/6/1

25	富岡純一	(財)日本自動車研究所	使用環境負荷試験に関する研究	JARI Research Journal 第34巻第6号	無	2012/6/1
26	福本紀	(財)日本自動車研究所	燃料電池自動車用水素燃料仕様に係る国際標準化	JARI Research Journal 第34巻第6号	無	2012/6/1
27	富岡秀徳	(財)日本自動車研究所	燃料電池自動車の高圧水素技術に係る標準化動向について	JARI Research Journal 第34巻第7号	無	2012/7/1
28	三石洋之	(財)日本自動車研究所	水素・燃料電池自動車の安全性	水素エネルギー協会誌 第36巻第3号	無	2012/9/30
29	三石洋之	(財)日本自動車研究所	トンネル内での水素の安全性	水素エネルギー協会誌 第36巻第3号	無	2012/9/30

#### 水素キャリアに応じたフィージビリティスタディ

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	國分裕一	(財)エネルギー総合工学研究所	高圧水素の輸送にかかわるコストとエネルギー効率	水素エネルギーシステム VOL.34 NO.4	有	2009/12

#### 水素インフラ等に係る基準整備に関する研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年
1	山田敏弘	高圧ガス保安協会	水素ステーション設備に使用する材料の選定基準	高圧ガス、49(10)、pp.885-893	有	2012/10/1
2	吉川暢宏	東京大学	TypeⅢ複合容器の圧力サイクル寿命予測	日本高圧力技術協会平成24年度秋季講演会概要集	無	2012/12
3	針谷耕太 吉川暢宏	東京大学	水素ステーション用 TypeⅢ蓄圧器の最適設計	圧力技術	有	2013/1 or3

【外部発表リスト】

70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体等	発表年月
1	大井出竜二	佐賀大学	高圧水素充てん中の容器内水素温度と容器壁温度特性	第 28 回水素エネルギー協会大会	2008/12
2	田中誠一	佐賀大学	高圧水素急速充填中の容器内水素の熱的特性	日本機械学会 長崎講演会	2009/10
3	門出政則	佐賀大学	未来の車	FCV フェスタ in SAGA 2009	2009/10
4	田中誠一	佐賀大学	高圧水素貯蔵容器における水素放出中の熱特性	第 29 回水素エネルギー協会大会	2009/12
5	-	横浜ゴム	超高圧充填用ホースの出展 (※NEDO および岩谷瓦斯ブースでの出展)	第 6 回国際水素・燃料電池展「FC EXPO 2010」	2010/3
6	梅田良人ほか	東邦瓦斯	70MPa ステーション完成発表	■新聞社 日本経済新聞 朝日新聞、読売新聞 毎日新聞、日刊工業新聞 中部経済新聞、電気新聞 岐阜新聞、伊勢新聞 北海道新聞	2010/3
				中日新聞	2010/3
				ガスエネルギー新聞	2010/3
				日経産業新聞	2010/4
				■テレビ NHK	2010/3
7	-	横浜ゴム	高圧水素ガス用ホース ibar HG70 開発に関するニュースリリース	重化学工業会記者クラブへのプレス発表	2010/4
				ゴム報知新聞 ゴムタイムス	2010/4
				ゴム化学新聞 ガスエネルギー新聞	2010/5
				工業ガス専門誌ガスレビュー	2010/5
8	舘勇希	東邦瓦斯	70MPa 水素ステーションの建設と技術開発の取り組みについて	都市ガスシンポジウム(主催:日本ガス協会)	2010/6
9	田中誠一	佐賀大学	Prediction of Filling Time and Temperature of Precooled Hydrogen During Filling of Hydrogen into a High-pressure Tank	Small Engine Technology Conference, Linz, Austria	2010/9
10	田中誠一	佐賀大学	水素ステーションにおけるプレクール装置の出口温度・圧力の推定	熱工学コンファレンス 2010	2010/10
11	門出政則	佐賀大学	高圧水素充填インフラと充填基準の国際標準化への挑戦	イワタニ水素エネルギーフォーラム大阪	2011/1
12	横山佳資	JPEC	70MPa 級水素ステーションシステム技術開発活動報告	平成 23 年度(JPEC) 技術開発・調査事業成果報告会	2011/6
13	工藤尚文	JPEC	水素インフラの技術基準に関する検討活動報告	平成 23 年度(JPEC) 技術開発・調査事業成果報告会	2011/6

14	盛興昌勝	東邦瓦斯	70MPa 水素ステーションの技術開発について	都市ガスシンポジウム	2011/6
15	斎藤彰	JPEC	2015 年を目指した水素ステーションの技術開発/規制見直し状況について	福岡水素エネルギー戦略会議 平成 23 年度第 3 回研究分科会水素社会システム実証検討分科会/高効率水素製造研究分科会	2011/10
16	伊藤久敏	東邦瓦斯	Demonstration Study of a 70MPa Hydrogen Refueling Station	International Gas Union Research Conference SEOUL 2011	2011/10
17	門出政則	佐賀大学	Characteristics of Temperature Rise in Practical Hydrogen Pressure Tanks Being Filled at High Pressure of 35 and 70MPa	International Conference on Mechanical Engineering and Renewable Energy 2011 (ICMERE2011), Chittagong, Bangladesh	2011/12
18	斎藤彰	JPEC	JPEC(石油エネルギー技術センター)の水素ステーションに対する取り組みについて	触媒学会 水素の製造と利用に関するシンポジウム	2012/1
19	横山佳資	JPEC	70MPa 水素ステーションシステム技術開発	平成 24 年度(JPEC)技術開発・調査事業成果報告会	2012/6
20	手塚俊雄	JPEC	水素インフラの技術基準に関する検討	平成 24 年度(JPEC)技術開発・調査事業成果報告会	2012/6
21	伊藤久敏	東邦瓦斯	Demonstration Study of a 70MPa Hydrogen Refueling Station	25th World Gas Conference	2012/6
22	斎藤彰	JPEC	水素ステーションの現状と課題	第 2 回水素機器用エラストマー材料研究分科会	2012/9
23	吉田剛 石本裕保 佐藤克哉	JPEC	TypeⅢ複合容器の圧力サイクル寿命予測	一般財団法人日本高圧力技術協会 平成24年度秋季講演会	2012/12

#### 車載等水素貯蔵・輸送容器システム技術に関する研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体等	発表年月
1	秋葉悦男 中村仁 岩瀬謙二 Chai Yujun 榎浩利 榑浩司 浅野耕太 中村優美子	産総研	Crystal Structures and Hydrogenation Behaviors of the RMn ( $3 < n < 5$ ) (R=La, Mg; M=Ni, Co) "Superlattice" Alloys	口頭発表 2009MRS Fall Meeting (ボストン, 米国)	2008/12
2	秋葉悦男	産総研	新しい Metal Hydrides の探索あるいは創製	口頭発表 日本金属学会 春期大会 (東京工業大学)	2009/3
3	秋葉悦男	産総研	高性能な水素貯蔵材料の実現に向けて	口頭発表 日本金属学会 春期大会 (東京工業大学)	2009/3
4	上條亮毅 Leng Haiyan 秋葉悦男	産総研	Ti-V-Mn 三元系合金の水素吸蔵特性	口頭発表 日本金属学会 春期大会 (東京工業大学)	2009/3

5	秋葉悦男	産総研	水素の貯蔵輸送と水素貯蔵材料	総説 伝熱, 48(2009) 20-25.	2009/4
6	秋葉悦男	産総研	水素吸蔵合金および水素吸蔵技術の現状と課題	総説 触媒, 51(2009) 287-291	2009/6
7	布浦達也 角掛繁 寺下尚克	日重化	水素吸蔵合金と高圧複合容器によるハイブリッド貯蔵タンク	Semiconductor FPD World 2009.8	2009/7
8	浅野耕太 榎浩利 秋葉悦男	産総研	Mg-Ti 系合金および水素化物の合成	口頭発表 材料における水素有効利用研究会 (北海道北見市)	2009/8
9	秋葉悦男	産総研	水素貯蔵材料	総説 工業材料, 58(2010)42-43	2010/1
10	秋葉悦男	産総研	Investigation of hydrogen storage alloys and their application to on-board storage tank	口頭発表 4th Symposium Hydrogen & Energy (Wildhaus, スイス)	2010/1
11	角掛繁	日重化	HEV 用電池材料から燃料電池用水素タンクの開発まで	日本粉体工業技術協会 第 3 回電池製造技術分科会	2010/1
12	秋葉悦男 浅野耕太 角掛繁 布浦達也 坂口善樹 門出政則	産総研 日重化 サムテック 佐賀大	Development of hybrid tank system and investigation of hydrogen absorbing alloys	口頭発表 Materials Innovations in an Emerging Hydrogen Economy 2008 (フロリダ, 米国)	2010/2
13	角掛繁	日重化	高容量水素吸蔵合金とハイブリッド水素貯蔵タンクの開発	日本化学会 第 90 春季年会 依頼講演	2010/3
14	浅野耕太 中島典行 榎浩利 秋葉悦男	産総研	Ti-V-Mn 系合金中の BCC 相の格子定数と C14 相の生成が水素吸蔵性に及ぼす影響	口頭発表 日本金属学会 秋期大会 (北海道大学)	2010/9

#### 水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	発表年月
1	白崎義則	東京ガス(株)	水素分離型改質器の開発	化学工学会 第 40 回秋季大会	2008/9
2	西井 匠	東京ガス(株)	Development of Highly Efficient Hydrogen Production Module with Membrane On Catalyst	2008 Fuel Cell Seminar & Exposition	2008/10
3	西井 匠	東京ガス(株)	触媒一体化モジュールの開発	第 28 回 水素エネルギー協会大会	2008/12
4	白崎義則	東京ガス(株)	Development of Distributed Highly-efficient Hydrogen Production System based on Membrane Reformer with CO <sub>2</sub> Capture	HYPOTHESIS VIII	2009/4
5	黒川英人	東京ガス(株)	CO <sub>2</sub> 回収を伴う都市ガスからの高効率分散型水素製造	第 16 回燃料電池シンポジウム	2009/5
6	黒川英人	東京ガス(株)	CO <sub>2</sub> 回収を伴う都市ガスからの分散型水素製造	2009 年都市ガスシンポジウム	2009/6

7	西井 匠	東京ガス(株)	Reforming Performance of Hydrogen Production Module Based on Membrane On Catalyst	9th International Conference on Catalysis in Membrane Reactors	2009/6
8	黒川英人	東京ガス(株)	分散型水素製造におけるCO <sub>2</sub> 回収	第18回日本エネルギー学会大会	2009/7
9	黒川英人	東京ガス(株)	CO <sub>2</sub> 回収を伴う高効率水素分離型リフォーマーの開発	化学工学会 第41回秋季大会	2009/9
10	黒川英人	東京ガス(株)	Highly Efficient Distributed Hydrogen Production from Natural Gas with CO <sub>2</sub> Capture	2009 Fuel Cell Seminar & Exposition	2009/11
11	黒川英人	東京ガス(株)	分散型水素製造におけるCO <sub>2</sub> 分離回収	第29回水素エネルギー協会大会	2009/12
12	西井 匠	東京ガス(株)	触媒一体化モジュールの改質性能	第29回水素エネルギー協会大会	2009/12
13	黒川英人	東京ガス(株)	分散型水素製造におけるCO <sub>2</sub> 回収の検討	JFCA テクノフェスタ	2010/1
14	西井 匠	東京ガス(株)	水素製造用触媒一体化モジュールの改質性能[第一報]	化学工学会第75年会	2010/3
15	西井 匠	東京ガス(株)	水素製造用触媒一体化モジュールの改質性能[第二報]	化学工学会第75年会	2010/3
16	白崎義則	東京ガス(株)	メンブレンリフォーマーによる分散型水素製造とCO <sub>2</sub> 回収の検討	日本鉄鋼協会 第159回春季講演大会	2010/3
17	井関孝弥	東京ガス(株)	A Compact Hydrogen Production Module with Membrane on Catalyst	NHA Hydrogen Conference & Expo	2010/5
18	黒川英人	東京ガス(株)	Demonstration of Highly-Efficient Distributed Hydrogen Production from Natural Gas with CO <sub>2</sub> Capture	18 <sup>th</sup> World Hydrogen Energy Conference 2010	2010/5
19	高木保宏	日本特殊陶業(株)	Reforming Performance of Hydrogen Production Modules Based on Membrane On Catalyst	18 <sup>th</sup> World Hydrogen Energy Conference 2010	2010/5
20	矢加部久孝	東京ガス(株)	水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発	第17回燃料電池シンポジウム	2010/5
21	黒川英人	東京ガス(株)	Energy-Efficient Distributed Carbon Capture in Hydrogen Production from Natural Gas	10 <sup>th</sup> International Conference on Greenhouse Gas Control Technologies	2010/09
22	中川友貴	東京ガス(株)	水素製造用触媒一体化モジュール解析	2010 Japan ANSYS Conference	2010/11
23	矢加部久孝	東京ガス(株)	東京ガスの水素エネルギーへの取り組み	触媒学会「水素の製造と利用に関するシンポジウム」	2011/1
24	久米高生	東京ガス(株)	触媒一体化モジュールの耐リーク性能向上	化学工学会第76年会	2011/3
25	金子祐大	東京ガス(株)	水素分離型リフォーマーの耐久性向上に関する研究	日本金属学会 春季大会 2011	2011/3
26	梶谷昌弘	日本特殊陶業(株)	高純度水素製造用触媒一体化モジュールの開発	日本金属学会 春季大会 2011	2011/3
27	矢加部久孝	東京ガス(株)	水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発	第18回燃料電池シンポジウム	2011/6

28	久米高生	東京ガス(株)	水素分離膜を用いた高効率水素製造技術の開発	2011 年都市ガスシンポジウム	2011/6
29	黒川英人	東京ガス(株)	Development of Highly-Efficient Hydrogen Production Module with Palladium-Based Membrane	10 <sup>th</sup> International Conference on Catalyst in Membrane Reactors	2011/6
30	田中裕之	日本特殊陶業(株)	Reforming Performance and Durability of Hydrogen Production module based on Membrane On Catalyst	10 <sup>th</sup> International Conference on Catalyst in Membrane Reactors	2011/6
31	黒川英人	東京ガス(株)	Development of Membrane Modules for Highly-Efficient Hydrogen Production System	4 <sup>th</sup> World Hydrogen Technology Convention	2011/9
32	久米高生	東京ガス(株)	水素製造用触媒一体化モジュールの耐久性向上	化学工学会 第 43 回秋季大会	2011/9
33	久米高生	東京ガス(株)	Development of Compact and Efficient Hydrogen Production Module with Membrane on Catalyst	International Gas Union Research Conference	2011/10
34	金子祐大	東京ガス(株)	Highly Efficient Hydrogen Production System with Membrane Reformer	International Gas Union Research Conference	2011/10
35	中川友貴	東京ガス(株)	Computational Fluid Dynamics Analysis for Hydrogen Production System Design	International Gas Union Research Conference	2011/10
36	久米高生	東京ガス(株)	Development of a Compact and Efficient Module For Hydrogen Production from Natural Gas with a Membrane on Catalyst	Low Carbon Earth Summit 2011	2011/10
37	金子祐大	東京ガス(株)	水素分離膜材料高純度化の膜耐久性への効果	日本金属学会 秋季大会 2011	2011/11
38	梶谷昌弘	日本特殊陶業(株)	高純度水素製造用触媒一体化モジュールの開発(第2報)	日本金属学会 秋季大会 2011	2011/11
39	矢加部久孝	東京ガス(株)	東京ガスにおける水素分離型リフォーマーシステムの研究開発	反応分離講習会 2012	2012/2
40	黒川英人	東京ガス(株)	水素分離型リフォーマーシステムの耐久性評価	日本金属学会 春季大会 2011	2012/3
41	矢加部久孝	東京ガス(株)	Development of Hydrogen Production Systems with Pd-Based Alloy Membrane	19 <sup>th</sup> World Hydrogen Energy Conference 2012	2012/6
42	彦坂英昭	日本特殊陶業(株)	Improvement in the durability of a hydrogen production module based on Membrane On Catalyst	19 <sup>th</sup> World Hydrogen Energy Conference 2012	2012/6
43	矢加部久孝	東京ガス(株)	水素と燃料電池技術	2012 エレクトロニクス実装学会 最先端実装技術シンポジウム	2012/6
44	池田陽一	東京ガス(株)	水素分離型リフォーマーの耐久性向上と低コスト化の取り組み	2012 年都市ガスシンポジウム	2012/6

45	久米高生	東京ガス(株)	Performance Evaluation of Membrane on Catalyst (MOC) Module for Hydrogen Production from Natural Gas	International Conference on Hydrogen Production	2012/6
----	------	---------	--	---	--------

#### 水素製造装置の高性能化・低コスト化・コンパクト化に関する研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体等	発表年月
1	—	—	三菱化工機の HyGeia-A (高効率水素製造装置)	第8回【国際】水素・燃料電池展 自社出展ブース 掲示パネル	2012/2
2	内山賢彦 (執筆)	三菱化工機	トピックス「今月の新技術」『水素ステーション用水素製造装置』	社団法人産業機械工業会「産業機械」H24年9月号	2012/9

#### CO<sub>2</sub>膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体等	発表年月
1	T.Ishikawa, K.Shimada, O.Okada, S.Tsuruya, Y.Ichihashi and S.Nishiyama	(株)ルネッサンス・エナジー・リサーチ	Strong effect of CO <sub>2</sub> and H <sub>2</sub> on the rate of water-gas shift reaction	5th International Conference on Environmental Catalysis(Belfast)	2008/8
2	島田敬子 寺本正明 神尾英治 葛下かおり 岡田治 曾谷知弘 松山秀人	神戸大学 (株)ルネッサンス・エナジー・リサーチ	CO <sub>2</sub> 分離型メンブレン CO 変成器に用いる CO <sub>2</sub> 分離促進輸送膜の開発	化学工学会 第40回秋季大会	2008/9
3	K. Shimada, K.Kuzushita, E. Kamio, H.Matsuyama, N.Ohmura, S.Nishiyama, K. Mae, T.Maki, K.Fujiwara, S.Terada, T.Umegaki and O.Okada	神戸大学 (株)ルネッサンス・エナジー・リサーチ	DEVELOPMENT OF ADVANCED REFORMING SYSTEM FOR H <sub>2</sub> STATION USING CO CONVERTER EQUIPPED WITH CO <sub>2</sub> SELECTIVE MEMBRANE II	Fuel Cell Seminar 2008 (USA)	2008/10
4	岡田 治	(株)ルネッサンス・エナジー・リサーチ	次世代型水素ステーションの開発	化学工学会姫路大会	2008/11
5	岡田 治	(株)ルネッサンス・エナジー・リサーチ	CO <sub>2</sub> 選択透過膜の水素製造プロセス	先端膜工学研究推進機構春季講演会	2009/3

6	島田敬子 寺本正明 神尾英治 葛下かおり 岡田 治 羽川和希 曾谷知弘 丸山達生 松山秀人	(株)ルネッサ ンス・エナ ジー・リサー チ、 神戸大学	CO <sub>2</sub> 分離促進輸送膜の開発 とメンブレンリアクターへの応 用	化学工学会 第 74 年会	2009/3
7	Kazuki Hagawa, Yoshikage Ohmukai, Tatsuo Maruyama, Keiko Shimada, Kaori Kuzushita, Eiji Kamio, Masaaki Teramoto, Osamu Okada, Hideto Matsuyama	(学)神戸大 学、(株)ル ネッサンス・ エナジー・リ サーチ	Application of membrane reactor with CO <sub>2</sub> -selective membrane to water gas reaction for H <sub>2</sub> purification	The Fifth Conference of Aseanian Membrane Socie	2009/7
8	Keiko Shimada, Kaori Kuzushita, Eiji Kamio, Masaaki Teramoto, Osamu Okada, Kazuki Hagawa, Yoshikage Ohmukai, Tatsuo Maruyama, Hideto Matsuyama	神戸大学、 (株)ルネッサ ンス・エナ ジー・リサー チ	Development of facilitated transport membrane for CO <sub>2</sub> separation at elevated temperatures.	The Fifth Conference of Aseanian Membrane Societ	2009/7
9	牧泰輔	京都大学	マイクロリアクターを用いた触 媒反応場の設計	化学工学会秋季大会 (展望講演)	2009/9
10	福田 工藤 牧 前	京都大学	金/酸化鉄触媒の低温還元 処理に伴う担体構造変化と CO 変性反応の活性評価	化学工学会秋季大会	2009/9
11	前田友洋 森 卓哉 石川哲也 市橋祐一 西山 覚	神戸大学	水性ガスシフト反応用 Cu- Zn-Al 触媒に対する La 添 加効果	第 104 回触媒討論会	2010/9
12	岡田治	(株)ルネッサ ンス・エナ ジー・リサー チ	CO <sub>2</sub> 選択透過膜を用いた次 世代型水素ステーション膜の 開発	化学工学三支部合同 北九州大会	2010/10

13	Osamu Okada, Kaori Kuzushita, Keiko Shimada, Eiji Kamio, Maiko Nakayama Satoru Nishiyama Katsutoshi Nagaoka Tetsuo Umegaki	(株)ルネッサ ンス・エナ ジー・リサー チ、 神戸大学、 大分大学	Development of advanced catalysts for CO converter equipped with CO <sub>2</sub> selective membrane	Fuel Cell Seminar 2009 (USA)	2009/11
14	T. Ishikawa, K. Shimada, O.Okada, K.Taniya, T.Horie, S.Tsuruya, Y.Ichihashi, S.Nishiyama	神戸大学、 (株)ルネッサ ンス・エナ ジー・リサー チ	Cerium-Modification of Copper-Zinc Oxide-Alumina Catalysts for Water Gas Shift Reaction	The 11th International Symposium on Eco- Materials Processing and Design	2010/1
15	羽川 和希 大向 吉景 丸山 達生 松山 秀人 島田 敬子 寺本正明 神尾 英治 岡田 治	神戸大学、 (株)ルネッサ ンス・エナ ジー・リサー チ	水素製造を目的とした CO <sub>2</sub> 選択透過性膜を用いたメンブ レンリアクターの性能評価	化学工学会 第 75 年会	2010/3
16	Osamu Okada, Keiko Shimada, Eiji Kamio, Chihiro Ito, Maiko Nakayama, Satoru Nishiyama, Yuichi Ichihashi, Katsutoshi Nagaoka, Atsushi Ueda, Tetsuo Umegaki, Nobuhiro Kuriyama	神戸大学、 (株)ルネッサ ンス・エナ ジー・リサー チ、(独)産 業技術総合 研究所	Development of advanced catalysts for CO converter equipped with CO <sub>2</sub> selective membrane	The Sixth Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology & The Fifth Asia Pacific Congress on Catalysis	2010/7
17	牧 福田 山形 前	京都大学	マイクロ空間を利用したメン ブレンリアクターの設計	化学工学会秋季大会	2010/9

18	Osamu Okada, Eiji Kamio, Chihiro Ito, Keiko Shimada, Maiko Nakayama, Nobuaki Hanai, Masaaki Teramoto Hdeto Matsuyama, Satoru Nishiyama, Kazuhiro Mae, Taisuke Maki, Kazuhiro Fujiwara, Nobuhiro Kuriyama, Atsushi Ueda, Katsutoshi Nagaoka	神戸大学、 株式会社ルネッサンス・エナジー・リサーチ、(独)産業技術総合研究所	Development of advanced reforming system for H2 station using CO converter equipped with CO2 selective membrane III	Fuel Cell Seminar 2010 (USA)	2010/10
19	上田厚 梅垣哲士 栗山信宏	(独)産業技術総合研究所、日本大学理工学部	コンビケム手法を活用したCOシフト触媒の探索	化学工学 3支部合同徳島大会	2010/10
20	Osamu Okada	株式会社ルネッサンス・エナジー・リサーチ	Development of advanced CO2 selective membrane: Current situation and future prospects	神戸大学先端膜工学センター・先端膜工学研究推進機構 設立5周年記念国際シンポジウム	2011/8
21	岡田 治	株式会社ルネッサンス・エナジー・リサーチ	CO2 選択透過膜の開発と水素製造プロセスへの応用	第28回ニューメンブレonteクノロジーシンポジウム2011	2011/11
22	岡田 治	株式会社ルネッサンス・エナジー・リサーチ	CO2膜分離法を用いた水素ステーション用水素製造システムの開発	「膜」37巻2号 (日本膜学会編集、発行)	2012/3

#### ホウ素系水素貯蔵材料の開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体等	発表年月
1	青木正和 松本満 則竹達夫 大庭伸子 三輪和利 砥綿真一	株式会社豊田中央研究所	Mg(BH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> +xMg(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> 混合体の水素放出特性	口頭発表 日本金属学会 2008年秋期大会 (熊本大学)	2008/9
	李海文 折茂慎一	東北大学金属材料研究所			

2	李海文 菊池健太郎 中森裕子 折茂慎一	東北大学 金属材料 研究所	TiCl <sub>3</sub> 添加によるマグネシウム ボロハイドライドの水素貯 蔵特性の向上	口頭発表 日本金属学会 2008 年秋期大会 (熊本大学)	2008/9
	青木正和 三輪和利 砥綿真一	(株)豊田中央 研究所			
3	梅田尚義 巖義剛 李海文 佐藤豊人 池田一貴 折茂慎一	東北大学 金属材料 研究所	マグネシウムボロハイドライド の脱・再水素化特性に対する 添加物の効果	口頭発表 日本金属学会 2008 年秋期大会 (熊本大学)	2008/9
	青木正和 三輪和利 砥綿真一	(株)豊田中央 研究所			
4	折茂慎一	東北大学 金属材料 研究所	エネルギー利用を目指した錯 体水素化物の材料設計”、化 学工学会 シンポジウ ム「燃料電池、太陽電池、二 次電池等の電池およびその 関連技術」	招待講演 化学工学会 第 40 回秋季大会 (東北大学)	2008/9
5	S. Orimo H.-W. Li M. Matsuo T. Sato K. Ikeda	東北大学 金属材料 研究所	Energy-related materials science on metal borohydrides	招待講演 The 2008 Asian Conference on Nanoscience and Nanotechnology (Singapore)	2008/11
6	砥綿真一	(株)豊田中央 研究所	クリーンモビリティ燃料電池 車の実用化 -水素貯蔵技術 の進展-	特別講義 九州工業大学工学部 総合システム工学科 (九州工業大学)	2008/12
7	M. Matsumoto K. Aoki T. Noritake K. Miwa N. Ohba S. Kitajima M. Satoh S. Towata	(株)豊田中央 研究所	Liquid phase synthesis of magnesium amide and amide based hydrogen storage materials	口頭発表 3rd Symposium Hydrogen & Energy (EMPA)	2009/1
	H.-W. Li S. Orimo	東北大学 金属材料 研究所			
8	池戸豊 杉山純 則竹達夫 砥綿真一	(株)豊田中央 研究所	ミュオンスピン回転・緩和法 によるホウ素形錯体水素化 物中のプロトンの解析	口頭発表 日本物理学会 2009 年春季大会 (立教大学)	2009/3
	E. J. Ansaldo	TRIUMF			
	J. H. Brewer	Univ. of British Columbia			

9	池戸豊 杉山純 則竹達夫 砥綿真一	(株)豊田中央 研究所	ミュオンスピン回転・緩和法 によるホウ素形錯体水素化 物中のプロトンの解析	口頭発表 日本金属学会 2009年春期大会 (東京工業大学)	2009/3
	E. J. Ansaldo	TRIUMF			
	J. H. Brewer	Univ. of British Columbia			
10	梅田尚義 Yan Yigang 李海文 池田一貴 折茂慎一	東北大学 金属材料 研究所	マグネシウムボロハイドライド の再水素化特性およびそれ に対する添加物の効果	口頭発表 日本金属学会 2009年春期大会 (東京工業大学)	2009/3
	佐藤豊人	東北大学 WPI-AIMR			
	青木正和 松本満 三輪和利 砥綿真一	(株)豊田中央 研究所			
11	巖義剛 梅田尚義 李海文 折茂慎一	東北大学 金属材料 研究所	Thermodynamics and kinetics investigations of magnesium borohydride	口頭発表 日本金属学会 2009年春期大会 (東京工業大学)	2009/3
	三輪和利 砥綿真一	(株)豊田中央 研究所			
12	則竹達夫 青木正和 松本満 三輪和利 砥綿真一	(株)豊田中央 研究所	Mg(BH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> +xMg(NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> 混合系 の結晶構造解析	口頭発表 日本金属学会 2009年春期大会 (東京工業大学)	2009/3
	李海文 折茂慎一	東北大学 金属材料 研究所			
13	三輪和利 青木正和 松本満 則竹達夫 砥綿真一	(株)豊田中央 研究所	複合水素化物に対する熱力 学的安定性の第一原理計算	口頭発表 日本金属学会 2009年春期大会 (東京工業大学)	2009/3
	李海文 折茂慎一	東北大学 金属材料 研究所			
14	H.-W. Li M. Matsuo Y. Yan N. Umeda Y. Miura H. Oguchi M. Menjo K. Ikeda S. Orimo	東北大学 金属材料 研究所	Metal borohydrides for energy storage	口頭発表 4th China-Japan hydrogen storage seminar (Guangzhou)	2009/4
	T. Sato	東北大学 WPI-AIMR			

15	S. Orimo	東北大学 金属材料 研究所	Development of light-weight and compact hydrides	口頭発表 Task 22 IEA HIA Expert meeting AGENDA – SPRING 2009 (Jeju)	2009/4
16	H.-W. Li M. Matsuo Y. Yan N. Umeda Y. Miura H. Oguchi M. Menjo K. Ikeda S. Orimo	東北大学 金属材料 研究所	Borohydrides for energy applications	口頭発表 4th UK-Japan Workshop on Solid-State Hydrogen Storage (東北大学)	2009/5
	T. Sato	東北大学 WPI-AIMR			
17	H.-W. Li	東北大学 金属材料 研究所	Metal borohydrides, $M(BH_4)_n$ – thermodynamic stability depends on electronegativity of $M$	ポスター発表 4th UK-Japan Workshop on Solid-State Hydrogen Storage (東北大学)	2009/5
18	H.-W. Li	東北大学 金属材料 研究所	Magnesium borohydride, $Mg(BH_4)_2$ –synthesis, dehydrogenating and rehydrogenating properties–	ポスター発表 4th UK-Japan Workshop on Solid-State Hydrogen Storage (東北大学)	2009/5
19	S. Orimo	東北大学 金属材料 研究所	Energy-related materials science on metal borohydrides	ポスター発表 Gordon Research Conference (Hydrogen- Metal Systems)(Lucca)	2009/7
20	三輪和利	(株)豊田中央 研究所	水素貯蔵材料の理論設計	招待講演 第22期 CAMM フォーラム 7月例会(東京)	2009/7
21	S. Orimo	東北大学 金属材料 研究所	Metal borohydrides for energy storage	招待講演 42nd IUPAC CONGRESS “Chemistry Solutions, Materials, Hydrogen Storage”(Glasgow)	2009/8
22	李海文 梅田尚義 Yan Yigang 佐藤翔平 池田一貴 折茂慎一	東北大学 金属材料 研究所	マグネシウムボロハイドライド の水素貯蔵機能	口頭発表 材料における水素有効利 用研究会(北見)	2009/8
	青木正和 松本満 則竹達夫 三輪和利 砥綿真一	(株)豊田中央 研究所			

23	S. Orimo H.-W. Li M. Matsuo T. Sato K. Ikeda M. Menjo	東北大学 金属材料 研究所	Energy-related materials science on metal borohydrides	招待講演 THERMEC' 2009 International Conference on PROCESSING & MANUFACTURING OF ADVANCED MATERIALS	2009/8
	T. Sato	東北大学 WPI-AIMR			
24	S.Towata K.Miwa T.Noritake M.Matsumoto M.Aoki	(株)豊田中央 研究所	Development of Solid State Hydride for Hydrogen Storage System of Fuel Cell Vehicles	招待講演 THERMEC' 2009 International Conference on PROCESSING & MANUFACTURING OF ADVANCED MATERIALS	2009/8
25	松本満 則竹達夫 青木正和 砥綿真一	(株)豊田中央 研究所	Ca 系複合水素化物の合成と 水素放出特性に関する研究	口頭発表 日本金属学会 2009 年秋期大会 (京都大学)	2009/9
	李海文 折茂慎一	東北大学 金属材料 研究所			
26	梅田尚義 李海文 Yan Yigang 池田一貴 折茂慎一	東北大学 金属材料 研究所	再水素化条件の最適化によ る $Mg(BH_4)_2$ の水素貯蔵特 性の解明	口頭発表 日本金属学会 2009 年秋期大会 (京都大学)	2009/9
	青木正和 松本満 三輪和利 砥綿真一	(株)豊田中央 研究所			
27	三輪和利 則竹達夫 青木正和 松本満 砥綿真一	(株)豊田中央 研究所	第一原理計算による $Mg(BH_4)(NH_2)$ の結晶構造 予測	口頭発表 日本金属学会 2009 年秋期大会 (京都大学)	2009/9
	李海文 折茂慎一	東北大学 金属材料 研究所			
28	兵藤義浩 梅田尚義 佐藤翔平 Yan Yigang 池田一貴 折茂慎一	東北大学 金属材料 研究所	中間相の生成を伴う $Mg(BH_4)_2$ の脱水素化および 再水素化特性	ポスター発表 日本金属学会 2009 年秋期大会 (京都大学)	2009/9
	青木正和 松本満 三輪和利 砥綿真一	(株)豊田中央 研究所			

29	嚴義剛 梅田尚義 李海文 池田一貴 折茂慎一	東北大学 金属材料 研究所	Synthesis and dehydrating/rehydrating properties of $Y(BH_4)_3$	ポスター発表 日本金属学会 2009 年秋期大会 (京都大学)	2009/9
	佐藤豊人	東北大学 WPI-AIMR			
	三輪和利 砥綿真一	(株)豊田中央 研究所			
30	H.-W. Li S. Orimo	東北大学 金属材料 研究所	Development of light-weight and compact hydrides	口頭発表 Task 22 IEA HIA Expert meeting Paris – autumn 2009 (Paris)	2009/10
31	S. Orimo	東北大学 金属材料 研究所	High-density hydrogen storage and lithium super- ionic conductivity in metal borohydrides	基調講演 5th IUPAC International Symposium on Novel Materials and Synthesis (NMS-V) & 19th International Symposium on Fine Chemistry and Functional Polymers (FCFP-XIX) & 3rd Symposium on Power Sources for Energy Storage and their Key Materials (PS-III: International) (Shanghai)	2009/10
32	J. Sugiyama	(株)豊田中央 研究所	Muon-spin rotation/relaxation study on hydrogen storage materials	招待講演 Advanced Science Research Symposium 2009(ASR2009), Positron, Muon and other exotic particle beams for material and atomic/molecular science (Tokai)	2009/11
33	S. Orimo	東北大学 金属材料 研究所	Stability and dynamics of metal borohydrides	招待講演 2009 MRS Fall Meeting (Boston)	2009/11
34	S. Orimo	東北大学 金属材料 研究所	The 4th LANL-NEDO-AIST Workshop -Hydrogen Storage Materials-	招待講演 2009 MRS Fall Meeting (Boston)	2009/12
35	K. Miwa T. Noritake M. Aoki, M. Matsumoto S. Towata	(株)豊田中央 研究所	Structural and thermodynamical properties of double-anion complex hydride, $Mg(BH_4)(NH_2)$	ポスター発表 EMPA 4th Symposium Hydrogen & Energy (Wildhaus)	2010/1
	H.-W. Li S. Orimo	東北大学 金属材料 研究所			

36	S. Orimo	東北大学 金属材料 研究所	Physics and chemistry of hydrogen storage materials	招待講演 JAEA-Symposium on Synchrotron Radiation Research 2010 –Material Science on Metal Hydride– (佐用)	2010/2
37	砥綿真一, 三輪和利 青木正和 則竹達夫 松本満 蒲沢和也 杉山純	(株)豊田中央 研究所	Development of boro- hydrides for hydrogen storage with advanced materials analyses	口頭発表 Internation Forum for Hydrogen Strogae 2010 (東京)	2010/3
	李海文 折茂慎一	東北大学 金属材料 研究所			
38	S. Orimo	東北大学 金属材料 研究所	High-density hydrogen storage and lithium super- ionic conductivity in metal borohydrides	口頭発表 5th Japan-China hydrogen storage seminar (東京)	2010/3
39	H.-W. Li N. Umeda Y. Yan S. Orimo	東北大学 金属材料 研究所	Hydrogen desorption and reabsorption properties of Mg(BH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	ポスター発表 5th Japan-China hydrogen storage seminar (東京)	2010/3
	K. Miwa S. Towata	(株)豊田中央 研究所			
40	Y. Yan N. Umeda H.-W. Li K. Ikeda S. Orimo	東北大学 金属材料 研究所	Hydrogen storage properties of Y(BH <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	ポスター発表 5th Japan-China hydrogen storage seminar (東京)	2010/3
	T. Sato	東北大学 WPI-AIMR			
	K. Miwa S. Towata	(株)豊田中央 研究所			
41	則竹達夫	(株)豊田中央 研究所	X線結晶構造解析による 水素貯蔵材料の開発	招待講演 平成 21 年度シンクロトロン 光利用者研究会 第 3 回 粉末回析グループ利用者 研究会(ウインク愛知)	2010/3
42	三輪和利 青木正和 則竹達夫 松本満 砥綿真一	(株)豊田中央 研究所	複合水素化物 LiBH <sub>4</sub> /MgH <sub>2</sub> に 対する分子動力学計算	口頭発表 日本金属学会 2009 年秋期大会 (筑波大学)	2010/3
	李海文 折茂慎一	東北大学 金属材料 研究所			

43	松村大樹 大山隆啓 岡島由佳 西畑保雄	原子力機構	X線吸収分光による Mg(BH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> の水素貯蔵特性に おけるTiCl <sub>3</sub> 添加効果の解明	口頭発表 日本金属学会 2009年秋期大会 (筑波大学)	2010/3
	李海文 池田一貴 折茂慎一	東北大学 金属材料 研究所			
44	Y. Yan H.-W. Li M. Menjo K. Ikeda S. Orimo	東北大学 金属材料 研究所	Enhanced dehydriding and rehydriding properties of LiBH <sub>4</sub> by Ni addition	口頭発表 日本金属学会 2009年秋期大会 (筑波大学)	2010/3
	K. Miwa S. Towata	(株)豊田中央 研究所			
45	李海文 梅田尚義 Y. Yan 佐藤翔平 池田一貴 折茂慎一	東北大学 金属材料 研究所	水素貯蔵材料としてのマグネ シウムボロハイドライド — 単相合成、脱・再水素化 特性、添加物効果 —	口頭発表 日本金属学会 2009年秋期大会 (筑波大学)	2010/3
	松本満 青木正和 則竹達夫 三輪和利 砥綿真一	(株)豊田中央 研究所			

#### ラーベス構造を有した高容量水素吸蔵合金の開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	発表年月
1	寺下尚克 角掛繁 榑浩司 中村優美子 秋葉悦男	日重化 日重化 産総研 産総研 産総研	(Mg <sub>1-x</sub> Pr <sub>x</sub> )Ni <sub>2</sub> 系 C15 <sub>b</sub> 型ラー ベス相合金の水素化特性	口頭発表 日本金属学会 2009年春季大会 (東京工業大学)	2009/3
2	寺下尚克 角掛繁 榑浩司 中村優美子 秋葉悦男	日重化 日重化 産総研 産総研 産総研	REMgNi <sub>4</sub> 系 C15 <sub>b</sub> 型ラーベス 相の水素化特性(RE=La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd)	口頭発表 日本金属学会 2009年秋季大会 (京都大学)	2009/9
3	榑浩司 中村優美子 秋葉悦男 寺下尚克 角掛繁	産総研 産総研 産総研 日重化 日重化	In-Situ XRD 測定による Mg <sub>2-x</sub> Re <sub>x</sub> Ni <sub>4</sub> 系 (Re=La, Pr, Nd) C15 <sub>b</sub> ラーベス相合金の 結晶構造変化の解析	口頭発表 日本金属学会 2010年春季大会 (筑波大学)	2010/3
4	榑浩司 中村優美子 秋葉悦男 寺下尚克 角掛繁	産総研 産総研 産総研 日重化 日重化	Dependence of the chemical composition on the crystal structure of Mg <sub>2-x</sub> RE <sub>x</sub> Ni <sub>4</sub> (RE: La, Pr, Nd, Sm, Gd, x=0.6, 1.0) hydride	口頭発表 International Symposium on Metal-Hydrogen Systems (MH2010, Moscow, Russia)	2010/7

5	寺下尚克 角掛繁 榑浩司 中村優美子 秋葉悦男	日重化 日重化 産総研 産総研 産総研	Hydrogenation properties of the ternary compounds $Mg_{2-x}Pr_xNi_4$ and $MgRENi_4$ ( $0.6 \leq x \leq 1.4$ , RE: La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd)	ポスター発表 International Symposium on Metal-Hydrogen Systems (MH2010, Moscow, Russia)	2010/7
6	榑浩司 中村優美子 秋葉悦男 寺下尚克 角掛繁	産総研 産総研 産総研 日重化 日重化	C15b 型ラーベス相合金 $Mg_{0.8}Pr_{1.2}Ni_4$ の水素吸蔵特性と水素誘起アモルファス化	口頭発表 日本金属学会 2010 年秋期大会 (北海道大学)	2010/9

#### 低コスト型70MPa級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体等	発表年月
1	木村 潔	タツノ 設計部 設計1G	低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発	「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」第 2 回開発・実証連携会議 (JPEC 会議室)	2012/1

#### 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

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体等	発表年月
1	岡崎順二	JX 日鉱日石エネルギー(株)	70MPa 級水素ガス充填対応型複合容器の開発	福岡水素エネルギー戦略会議平成 21 年度研究分科会(第 5 回)	2010/2
2	中川幸次郎	JX 日鉱日石エネルギー(株)	Nippon Oil's activities toward realization of hydrogen society	World Hydrogen Energy Conference 2010	2010/5
3	中川幸次郎	JX 日鉱日石エネルギー(株)	JX の水素エネルギー社会実現への取組み	水素エネルギーシステム VOL.35 NO.3 2010, 第 132 回定例研究会	2010/9
4	山崎全彦	サムテック(株)	低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応型複合蓄圧器の開発	第 30 回水素エネルギー協会大会	2010/12
5	東條千太	サムテック(株)	水素ステーション用複合蓄圧器の開発	福岡水素エネルギー戦略会議平成 22 年度高圧水素貯蔵・輸送分科会(第 6 回)	2011/2
6	三浦崇寛	九州大学大学院	内部加熱方式による複合蓄圧器製造に関する研究	福岡水素エネルギー戦略会議平成 22 年度高圧水素貯蔵・輸送分科会(第 6 回)	2011/2
7	三浦崇寛	九州大学大学院	Effect of SPWC conditions on CFRP pipe's burst strength	The First International Conference on Manufacturing Process Technology	2011/5
8	三浦崇寛	九州大学大学院	Effect of CFRP inter laminar shear strength by SPWC method	The 6th International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century	2011/11
9	岡崎順二	JX 日鉱日石エネルギー(株)	水素ステーション用大型 CFRP 蓄圧器の開発	第 4 回イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発シンポジウム	2012/7

低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器に係わる研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体等	発表年月
1	和田	(株)日本製鋼所	高容量化に対応した超高压水素蓄圧器の開発(仮題)	学術振興会 第 129 委員会	2010/12
2	木原	(株)山武	Some issues on control valve application under high pressure hydrogen atmosphere	Hydrogenius Tribology Symposium	2010/2
3	吉田、山本	(株)山武	水素ステーション計装制御システムおよび高压水素用流量調節弁	FC EXPO 2010	2010/3
4	名武	JPEC	70MPa級水素ステーション要素技術開発活動報告	一般財団法人石油エネルギー技術センター 平成 23 年度技術開発・調査事業成果発表会	2011/6
5	渡辺	(株)キッツ	70MPa 級水素ステーション用高压ボールバルブの研究開発	福岡水素エネルギー戦略会議 平成 23 年度第 2 回研究分科会	2011/8
6	斎藤	JPEC	2015 年を目指した水素ステーションの技術開発／規制見直し状況について	福岡水素エネルギー戦略会議 平成 23 年度研究分科会(第 3 回) 「水素社会システム実証研究分科会／高効率水素製造研究分科会」	2011/10
7	斎藤	JPEC	JPECの水素ステーションに対する取組み	触媒学会「水素の製造と利用のための触媒技術研究会」「水素の製造と利用に関するシンポジウム」	2012/1
8	名武	JPEC	70MPa級水素ステーション要素技術開発	一般財団法人石油エネルギー技術センター 平成 24 年度技術開発・調査事業成果発表会	2012/6
9	赤坂	九州産業大学	水素ステーション充填解析プログラム開発	一般財団法人石油エネルギー技術センター 平成 24 年度技術開発・調査事業成果発表会	2012/6
10	田中、石垣、荒島	日鋼検査サービス(株) (株)日本製鋼所	水素中疲労き裂進展の TOFD 法による計測	日本非破壊検査協会 超音波部門講演会	2012/6
11	斎藤	JPEC	水素ステーションの現状と課題	日本ゴム協会 第2回水素機器用エラストマー材料研究分科会	2012/9

水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体等	発表年月
1	緒形俊夫	物材機構	高温から低温までの簡便な 高圧水素環境中材料試験の 検討	日本鉄鋼協会水素脆化 研究の基盤構築研究会	2011/3
2	T.Ogata	NIMS	Influence of high pressure hydrogen environment on tensile and fatigue properties of stainless steels at low temperatures	ICMC2011 (ワシントン州スポケーン) 国際会議	2011/6
3	大宮慎一 藤井秀樹	新日本製鐵 (株)	SUS304L 鋼の高圧水素ガス 中疲労き裂伝ば特性に及ぼ す圧力および周波数の影響	日本鉄鋼協会シンポジウ ム「水素脆化研究の基盤 構築中間報告会」	2011/9
4	渡邊義典 窪田和正 後藤万慶	愛知製鋼(株)	省 Mo オーステナイト系 ステンレス鋼冷間引抜材にお ける高圧水素ガス環境の影響	(社)日本金属学会 2012 年春期(第 150 回)大会	2012/3
5	松本和久 大宮慎一 藤井秀樹 秦野正治	新日本製鐵 (株)	N 添加した低 Ni 省 Mo 型 水素用ステンレス鋼の高圧 水素ガス中における機械的 特性	日本鉄鋼協会 第 164 回講演大会	2012/9
6	中村潤 大村朋彦 富尾悠素 平田弘征 照沼正明 旦越雄	住友金属工 業(株)	高圧水素ガス中における 高窒素高強度ステンレス鋼 の機械的特性	日本鉄鋼協会 秋季講演大会	2012/9
7	緒形俊夫	物材機構	Ti-6Al-4V ELI 合金の引張特 性に及ぼす水素環境の 温度と圧力の影響	日本鉄鋼協会講演大会 水素シンポジウム	2012/9
8	窪田和正	愛知製鋼(株)	第5部・医療・新規分野 5-3 水素関連容器・機器	材料の組織と特性部会 「ステンレス鋼の科学技術 における最前線」自主 フォーラム研究会「ステンレ ス鋼利用技術の最前線」	2012/11

水素用アルミニウム材料の評価・開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体等	発表年月
1	K.Ichitani, K.Koyama	Furukawa- Sky Aluminum Corp.	Effect of Experimental Humidity on Fatigue Fracture of 6XXX-series Aluminum Alloys	The 12th International Conference on Aluminum Alloys	2010/9
2	伊藤吾朗 堤友浩 伊藤伸英	茨城大学	電解チャージしたアルミニウム 合金中の環境水素の挙動	軽金属学会第 120 回 春期大会講演概要	2011/5
3	伊藤吾朗 岩橋秀樹 渡壁尚仁 車田亮 波多野雄治	茨城大学、 富山大学	7075 および 6061 アルミニウ ム合金におけるき裂先端近傍 の水素挙動	軽金属学会第 120 回 春期大会講演概要	2011/5

4	伊藤吾朗 渡壁尚仁 波多野雄治	茨城大学、 富山大学	アルミニウム合金における晶 出第二相からの水素侵入挙動	軽金属学会第 120 回 春期大会講演概要	2011/5
5	伊藤吾朗 中野雅彦 渡壁尚仁	茨城大学	アルミニウム合金中における 金属間化合物の水素放出挙 動への影響	軽金属学会第 120 回 春期大会講演概要	2011/5
6	伊藤吾朗 早瀬弘章 渡邊雅貴	茨城大学	7075 アルミニウム合金にお ける水素侵入に及ぼす第二相 の影響	軽金属学会第 120 回 春期大会講演概要	2011/5
7	伊藤吾朗 渡壁尚仁 中野雅彦	茨城大学	アルミニウムにおける環境水 素の挙動に及ぼす金属間化 合物の影響	軽金属学会第 121 回 春期大会講演概要	2011/11
8	伊藤吾朗 中野雅彦 渡壁尚仁	茨城大学	重水素環境に暴露したアルミ ニウムの昇温脱離解析	軽金属学会第 121 回 春期大会講演概要	2011/11
9	伊藤吾朗 早瀬弘章	茨城大学	7075 アルミニウム合金にお ける水素挙動に及ぼす第二相 の影響	軽金属学会第 121 回 春期大会講演概要	2011/11
10	伊藤吾朗 岩橋秀樹 渡壁尚仁 伊藤伸英	茨城大学	アルミニウム合金におけるき 裂先端近傍の水素の挙動	軽金属学会第 121 回 春期大会講演概要	2011/11
11	伊藤吾朗 中野雅彦	茨城大学	アルミニウムにおける水素の 挙動に及ぼす応力負荷の影響	軽金属学会第 122 回 春期大会講演概要	2012/5
12	伊藤吾朗 早瀬弘章 伊藤伸英 路志勇	茨城大学、 日本軽金属 (株)	Si 過剰の 6000 系アルミニウム 合金の耐水素脆化特性評価	軽金属学会第 122 回 春期大会講演概要	2012/5
13	鹿川隆廣 一谷幸司 小山克己	古河スカイ	Al-Mg系合金の低ひずみ速度 引張試験による水素脆化特性評価	軽金属学会第 122 回 春期大会講演概要	2012/5
14	伊藤吾朗 中野雅彦	茨城大学	応力負荷しながら電解チャー ージしたアルミニウム中の水素 挙動	軽金属学会第 123 回 秋期大会講演概要 (発表予定)	2012/11
15	伊藤吾朗 早瀬弘章 寺田将也 伊藤伸英 路志勇	茨城大学、 日本軽金属 (株)	Si 過剰の 6000 系アルミニウ ム合金における耐水素脆化特 性評価	軽金属学会第 123 回 秋期大会講演概要 (発表予定)	2012/11

#### 水素燃料電池に係る国際関連機関等研究・政策動向の調査検討

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体等	発表年月
1	丸田昭輝	テクノバ	IEA の活動状況	FCCJ第6回標準化・ 規制見直し動向説明会	2010/9
2	丸田昭輝	テクノバ	諸外国の水素コスト・水素イン フラのあり方、FCV 普及シナリ オ	経済産業省 燃料電池分科会	2011/6
3	丸田昭輝	テクノバ	海外の FCV 普及・水素ステー ション展開の状況 ～カリフォル ニアとドイツを中心に～	水素エネルギー協会 (HESS)会誌	2012/9

可視光応答性半導体を用いた光触媒および多孔質光電極による水分解水素製造の研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体等	発表年月
1	佐山和弘ら	産総研エネルギー技術RI	光触媒・電解ハイブリッドシステムによる太陽光利用水素製造	電気学会、第4回新エネルギーシンポジウム、つくば	2009/03
2	佐山和弘	産総研エネルギー技術RI	2050年の夢技術：光からエネルギー、挑戦続く	日刊工業新聞	2009/05
3	佐山和弘	産総研エネルギー技術RI	技術で社会を先導 産総研R&D 次世代の低コスト太陽エネルギー変換システム	日刊工業新聞	2009/11
4	佐山和弘	産総研エネルギー技術RI	人工光合成	日刊工業新聞 テクノ編集局	2010/01
5	佐山和弘	産総研エネルギー技術RI	セシウムで表面処理した高性能光触媒を開発－太陽光を用いた新しい水素製造システムの実現に近づく－	プレスリリース	2010/03
6	佐山和弘	産総研エネルギー技術RI	酸化タングステン光触媒反応活性 10 倍以上	日刊工業新聞	2010/03
7	佐山和弘	産総研エネルギー技術RI	太陽光による水素製造システムに道、高性能光触媒	日経産業新聞	2010/03
8	佐山和弘	産総研エネルギー技術RI	水素製造向け新光触媒	化学工業日報	2010/03
9	佐山和弘	産総研エネルギー技術RI	NHK ニュースワイド茨城	テレビ報道	2010/03
10	佐山和弘	産総研エネルギー技術RI	Introduction of the researches on Photoelectrochemical and photo catalytic H2 production in Japan	IEA-HIA Annex-24 国際会議、 米国・サンフランシスコ	2009/04
11	佐山和弘	産総研エネルギー技術RI	－革新的な太陽光エネルギー利用技術－可視光応答型光触媒による水分解水素製造と環境浄化	時代を刷新する会、 東京	2009/05
12	三石雄悟雄悟、 佐山和弘ら	産総研エネルギー技術RI	可視光応答性半導体を用いた光触媒および多孔質電極による水分解水素製造の研究開発	東京	2009/07
13	佐山和弘	産総研エネルギー技術RI	太陽エネルギーの革新的利用－光触媒を用いた環境浄化から水分解水素製造まで－	表面科学会市民講座、 東京	2009/08
14	佐山和弘ら	産総研エネルギー技術RI	多孔質半導体光電極による水分解水素製造における電解質の影響	電気化学会、東京	2009/09
15	三石雄悟、 佐山和弘ら	産総研エネルギー技術RI	種々の金属塩水溶液中で水熱処理した WO3 光触媒による Fe <sup>3+</sup> からの酸素生成反応	電気化学会 東京	2009/09

16	荒野大輔、 佐山和弘ら	産総研エネ ルギー技術 RI	WO <sub>3</sub> 光触媒を用いた光触媒・ 電解ハイブリッドによる水素製 造	触媒学会、宮崎	2009/09
17	三石雄悟、 佐山和弘ら	産総研エネ ルギー技術 RI	様々な金属塩水溶液で表面 処理した WO <sub>3</sub> 光触媒による Fe <sup>3+</sup> からの酸素生成反応	第 28 回固体・表面化学 討論会、京都	2009/11
18	佐山和弘ら	産総研エネ ルギー技術 RI	可視光応答性多孔質半導体 光触媒による水分解の炭酸塩 効果	光触媒シンポジウム、 川崎	2009/12
19	佐山和弘	産総研エネ ルギー技術 RI	太陽光水素製造および化学エ ネルギー貯蔵のための人工光 合成技術	応用物理学会、神奈川	2009/03
20	佐山和弘	産総研エネ ルギー技術 RI	太陽エネルギーの革新的利用 ー光触媒を用いた環境浄化か らの水分解水素製造まで	表面科学会東北支部 市民講座、仙台	2009/08
21	佐山 和弘	産総研エネ ルギー技術 研究部門	可視光応答性の半導体光触 媒および光電極による水分解 水素製造システム	電気学会誌 78 (2010) 64	2010/01
22	佐山 和弘他	産総研エネ ルギー技術 研究部門	半導体光触媒および光電極に よる水分解水素製造システム ー人工光合成ー	クリーンエネルギー 19 (2010) 39	2009/12
23	佐山 和弘他	産総研エネ ルギー技術 研究部門	人工光合成技術による水素製 造	高圧ガス 47(2010)10	2010/01

#### 非貴金属化合物を用いた水電解用高機能酸素発生アノード触媒の設計および開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体等	発表年月
1	五十嵐千香子 松澤幸一 光島重徳 太田健一郎	横浜国立大 学	部分酸化処理した非貴金属材 料の酸素発生触媒能評価	2009 年電気化学 秋季大会	2009/9
2	Koichi Matsuzawa, Chikako Igarashi, Shigenori Mitsushima, Ken-ichiro Ota	Yokohama National University	Non-precious metal electrocatalyst for oxygen evolution in polymer electrolyte water electrolysis	216 <sup>th</sup> ECS Meetings	2009/10
3	山内亨祐 松澤幸一 光島重徳 太田健一郎	横浜国立大 学	硫酸中における Ta 系化合物 薄膜の酸素発生触媒能評価	電気化学会第 77 回大会	2010/3

#### 高効率水素液化磁気冷凍の研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体等	発表年月
1	Koichi MATSUMOTO and Takenori NUMAZAWA	Kanazawa University and NIMS	Magnetic Refrigeration for Hydrogen Liquefaction	23 <sup>rd</sup> International Cryogenic Engineering Conference	2010/7

2	Yusuke Hirayama, Hiroyuki Okada, Takashi Nakagawa, Takao Yamamoto, Takafumi Kusunose, Takenori Numazawa, Koichi Matsumoto, Toshio Irie, and Eiji Nakamura	Osaka University , Kanazawa University and NIMS	Experimental study of Active Magnetic Regenerator (AMR) composed of spherical GdN	16th International Cryocooler Conference	2010/5
3	Takenori Numazawa, Yuta Hirano, Hideyuki Hattori, Masamitsu Sobue, Kai Asamoto, Hideki Nakagome, and Koichi Matsumoto	NIMS, Chiba University and Kanazawa University	Experimental Study for Hydrogen AMR Cycle	16th International Cryocooler Conference	2010/5
4	Jing LI, Takenori Numazawa, Hideki Nakagome, and Koichi Matsumoto	Chiba University, NIMS and Kanazawa University	Numerical modeling on a reciprocating Active Magnetic Regenerator Refrigeration	16th International Cryocooler Conference	2010/5
5	Koichi MATSUMOTO, Takuya KONDOH, and Takenori NUMAZAWA	Kanazawa University and NIMS	Numerical analysis of active magnetic regenerators for hydrogen magnetic refrigeration between 20 and 77 K	Asian Conference on Applied Superconductivity and Cryogenics	2009/12
6	Jing LI, Takenori NUMAZAWA, Hideki NAKAGOME, and Koichi MATSUMOTO	Chiba University, NIMS and Kanazawa University	Numerical modeling on an Active Magnetic Regenerator Refrigeration	Asian Conference on Applied Superconductivity and Cryogenics	2009/12
7	平野雄大 王鵬 服部英之 祖父江雅充 朝本海 西村優大 松本宏一 沼澤健則	千葉大学、 金沢大学、 物質・材料 研究機構	水素磁気冷凍用 AMR サイク ル評価試験装置の構築	2009 秋季 超電導・低温工学会	2009/11
8	祖父江雅充 朝本海 西村優大 松本宏一 沼澤健則	金沢大学、 物質・材料 研究機構	水素磁気冷凍用静電容量式 液面計の研究	2009 秋季 超電導・低温工学会	2009/11

9	朝本海 祖父江雅充 西村優大 松本宏一 沼澤健則 森高桂 入江年雄	金沢大学、 物質・材料 研究機構、 三徳	水素磁気冷凍用粒状化 RT2 系磁気作業物質の特性	2009 秋季 超電導・低温工学会	2009/11
10	祖父江雅充 朝本海 西村優大 松本宏一 沼澤健則	金沢大学、 物質・材料 研究機構	水素磁気冷凍用静電容量式液 面計の研究	2009 年度日本物理学会 北陸支部定例学術講演会	2009/12
11	朝本海 祖父江雅充 西村優大 松本宏一 沼澤健則 森高桂 入江年雄	金沢大学、 物質・材料 研究機構、 三徳	水素磁気冷凍用粒状化 RT2 系磁気作業物質の特性	2009 年度日本物理学会 北陸支部定例学術講演会	2009/12
12	祖父江雅充 近藤卓矢 仙波直人 松本宏一 神谷宏治 沼澤健則	金沢大学、 物質・材料 研究機構	MgB2 を用いた水素用液面計	2008 年度日本物理学会 北陸支部定例学術講演会	2008/11
13	近藤卓矢 祖父江雅充 松本宏一 沼澤健則	金沢大学、 物質・材料 研究機構	水素用磁気冷凍 -AMR サイ クルの解析 2-	2008 年度日本物理学会 北陸支部定例学術講演会	2008/11
14	近藤卓矢 祖父江雅充 松本宏一 沼澤健則	金沢大学、 物質・材料 研究機構	水素用磁気冷凍 -AMR サイ クルにおける二次転移材料の 転移温度制御 2-	2008 年度秋季 低温工学・超電導学会	2008/11
15	吉岡尚吾 近藤卓矢 神谷宏治 沼澤健則 中込秀樹 松本宏一	千葉大学、 物質・材料 研究機構、 金沢大学	水素磁気冷凍 AMR サイクル 用ガーネット磁性材料の検討	2008 年度秋季 低温工学・超電導学会	2008/11
16	K. Matsumoto, T. Kondo, S. Yoshioka, K. Kamiya, and T. Numazawa	Kanazawa University and NIMS	Magnetic refrigerator for hydrogen liquefaction	25th International Conference on Low Temperature Physics	2008/8
17	近藤卓矢 池田正和 祖父江雅充 松本宏一 神谷宏治 沼澤健則	金沢大学、 物質・材料 研究機構	水素用磁気冷凍 -AMR サイ クルにおける二次転移材料の 転移温度制御-	2008 年度春季 低温工学・超電導学会	2008/5

18	吉岡尚吾 近藤卓矢 松本宏一 神谷宏治 沼澤健則	千葉大学、 金沢大学、 物質・材料 研究機構	AMR磁気冷凍機の開発 -実験結果とサイクルについて-	2008 年度春季 低温工学・超電導学会	2008/5
19	松本宏一 沼澤健則	金沢大学、 物質・材料 研究機構	水素磁気冷凍機の開発の現状	超電導 Web21, 2009 年 6 月号 p. 9	2009/6
20	K. Matsumoto, T. Numazawa	金沢大学、 物質・材料 研究機構	Present status of cryocooling/cold energy technology - Present status of the development of magnetic cryocooler for Hydrogen liquefaction -	Superconductivity Web21, October 15, 2009.	2009/10

### 水素ガス輸送用パイプラインの信頼性評価技術の研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	発表年月
1	栗飯原周二	東京大学	ガス減圧と動的破壊現象を連成した高圧ガスパイプライン高速延性き裂伝播シミュレーションモデルの開発	日本鉄鋼協会 第 156 回秋季講演大会、 CAMP-ISIJ vol.21 (2008)-1432	2008/9
2	栗飯原周二	同上	Unstable ductile fracture of hydrogen and methane gas pipelines	8th Int. Symp. Japan Welding Society, Kyoto, 18, Nov. 2008.	2008/11
3	栗飯原周二	同上	ガス減圧と動的破壊現象を連成した高圧ガスパイプライン高速延性き裂伝播シミュレーションモデルによる伝播挙動解析	日本鉄鋼協会 第 157 回春季講演大会、 CAMP-ISIJ vol.22 (2009)-402	2009/3
4	栗飯原周二	同上	高圧ガスパイプライン高速延性き裂伝播シミュレーションモデルを用いたバースト挙動に対するバックフィル影響の評価	日本鉄鋼協会 第 158 回秋季講演大会、 CAMP-ISIJ vol.22 (2009)-1319	2009/9
5	栗飯原周二	同上	Unstable Crack Propagation and Arrest Behaviors in a Hydrogen Gas Pipeline Burst Test	CAMP-ISIJ vol.23(2010)- 355	2010/3
6	栗飯原周二	同上	水素ガスパイプラインの不安定延性破壊試験	パイプラインの安全性に関するシンポジウム、東京	2010/3

### 超高圧水素合成法による新規水素吸蔵合金の研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体等	発表年月
1	片岡 理樹 栗岩 貴寛 亀川 厚則 岡田 益男	東北大学 大学院 工学研究 科	超高圧合成法による新規 Li-TM系水素化物の合成 (TM = Cr, Mn, Ni)	ポスター発表 MH利用開発研究会 平成20年度シンポジウム (滋賀県立大学)	2008/10
2	川上 真世 栗岩 貴寛 亀川 厚則 岡田 益男	東北大学 大学院 工学研究 科	超高圧法による新規RE-Pd系 水素化物の探索 (RE = Y, La)	ポスター発表 MH利用開発研究会 平成20年度シンポジウム (滋賀県立大学)	2008/10

3	鎌田 康孝 栗岩 貴寛 亀川 厚則 岡田 益男	東北大学 大学院 工学研究 科	超高压合成されたMgNi化合物 の水素吸放出特性とCuおよび Ti置換の影響	口頭発表 平成20年度材料における 水素有効利用研究会 (ホテルアトールエメラルド 宮古島, 沖縄)	2008/11
4	片岡 理樹 栗岩 貴寛 亀川 厚則 岡田 益男	東北大学 大学院 工学研究 科	超高压合成法による新規 Li-TM系水素化物の探索 (TM= Cr, Mn, Ni)	口頭発表 平成20年度材料における 水素有効利用研究会 (ホテルアトールエメラルド 宮古島, 沖縄)	2008/11
5	亀川 厚則	東北大学 大学院 工学研究 科	超高压合成法による新規水素 化物の創製	口頭発表 第1回先端水素貯蔵材料 研究交流会 (独)産業技術総合研究 所関西センター, 大阪)	2009/1
6	片岡 理樹 八木 洋光 山家 勇一 栗岩 貴寛 亀川 厚則 岡田 益男	東北大学 大学院 工学研究 科	超高压法による新規 Li-TM 系水素化物の合成 (TM=Ti, V, Zr, Nb, Hf)	口頭発表 日本金属学会 2009年春期大会 (東京工業大学 大岡山キャンパス)	2009/3
7	R. Kataoka T. Kuriwa A. Kamegawa M. Okada	東北大学 大学院 工学研究 科	High-Pressure Synthesis of Novel Hydrides in Li-TM Systems. (TM= Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn)	ポスター発表 UK-Japan Workshop (東北大学金属材料研究所 , 宮城)	2009/5
8	片岡 理樹 栗岩 貴寛 亀川 厚則 岡田 益男	東北大学 大学院 工学研究 科	Li添加によるFCC-REH <sub>3</sub> の安定 化(RE = Y, Gd, Dy)	口頭発表 平成21年度材料における 水素有効利用研究会 (サロマ湖鶴雅リゾート, 北海道)	2009/8
9	井上 亮史 片岡 理樹 栗岩 貴寛 亀川 厚則 岡田 益男	東北大学 大学院 工学研究 科	超高压法による新規Mg-Y系金 属間化合物の合成	ポスター発表 第4回水素若手研究会 (関西大学, 大阪)	2009/8
10	井上 亮史 片岡 理樹 栗岩 貴寛 亀川 厚則 岡田 益男	東北大学 大学院 工学研究 科	超高压法による新規Mg-Y系金 属間化合物の合成	ポスター発表 MH利用開発研究会 平成21年度シンポジウム (大阪府立大学)	2009/9
11	片岡 理樹 栗岩 貴寛 亀川 厚則 岡田 益男	東北大学 大学院 工学研究 科	Li添加によるFCC-REH <sub>3</sub> 高圧相 の安定化(RE = Y, Dy, Gd)	ポスター発表 MH利用開発研究会 平成21年度シンポジウム (大阪府立大学)	2009/9
12	竹市 信彦 志田 賢二 鄺 俊敏 田中 秀明 栗山 信宏 境 哲男	産業技術 総合研究 所	超高压下で合成したMg-V-Na 系水素化物の水素貯蔵特性と 結晶構造	口頭発表 日本金属学会 2009年秋期大会 (京都大学吉田キャンパス)	2009/9

13	亀川 厚則 岡田 益男	東北大学 大学院 工学研究 科	超高圧合成法によるMg系新規 水素貯蔵材料の探索	口頭発表・基調講演 日本金属学会 2009年秋期大会 (京都大学吉田キャンパス)	2009/9
14	N. Takeichi X. Yang J. Yan K. Shida H. Tanaka N. Kuriyama T. Sakai	産業技術 総合研究 所	Structural Analysis for novel Mg-based Hydrides Prepared by Gigapascal Hydrogen Pressure Method	ポスター発表 MRS 2009 Fall Meeting (Boston, USA)	2009/11
15	R. Kataoka T. Kuriwa A. Kamegawa M. Okada	東北大学 大学院 工学研究 科	FCC-REH <sub>3</sub> high pressure phase stabilized by Li (RE = Y, Gd, Dy)	口頭発表 KINKEN-WAKATE2009 6th Materials Science School for Young Scientists (岩沼屋ホテル,宮城)	2009/12
16	M. Kawakami T. Kuriwa A. Kamegawa M. Okada	東北大学 大学院 工学研究 科	High-Pressure Synthesis of Novel Hydrides in Pd-X Systems (X = Ba, Y, La)	口頭発表 KINKEN-WAKATE2009 6th Materials Science School for Young Scientists (岩沼屋ホテル,宮城)	2009/12
17	片岡 理樹 栗岩 貴寛 亀川 厚則 岡田 益男	東北大学 大学院 工学研究 科	超高圧法による新規Li-TM系 水素化物の合成	口頭発表・受賞講演 MH利用開発研究会 平成21年度第4回研究会 (大阪科学技術センター)	2010/2
18	N. Takeichi X. Yang J. Yan K. Shida H. Tanaka N. Kuriyama T. Sakai	産業技術 総合研究 所	Structural Analysis for novel Mg-based Hydrides Prepared by Gigapascal Hydrogen Pressure Method	ポスター発表 5 <sup>th</sup> JAEA Symposium (SPring-8, 兵庫)	2010/2
19	X. Yang N. Takeichi H. Tanaka N. Kuriyama T. Sakai	産業技術 総合研究 所	Hydrogen Storage Properties and Crystal Structural for novel FCC-type Mg-based Hydrides Prepared by Gigapascal Hydrogen Pressure Method	ポスター発表 5 <sup>th</sup> Japan-China Seminar on Hydrogen Storage Materials (東京国際交流館プラ ザ平成)	2010/3
20	竹市 信彦 楊 肖 志田 賢二 鄒 俊敏 田中 秀明 栗山 信宏 境 哲男	産業技術 総合研究 所	超高圧法で合成されたMg基 水素化物の結晶構造と水素 貯蔵特性	口頭発表 日本金属学会 2010年春期大会 (筑波大学, 茨城)	2010/3
21	片岡 理樹 栗岩 貴寛 亀川 厚則 岡田 益男	東北大学 大学院 工学研究 科	超高圧法による新規Li-TM系 水素化物の合成(TM = Nb, Ta)	口頭発表 日本金属学会 2010年春期大会 (筑波大学, 茨城)	2010/3

**ゼオライト鑄型炭素をベースとしたスピルオーバー水素貯蔵に関する研究開発**

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体等	発表年月
1		東北大 日産	東北大が水素吸着の炭素物質を開発、日産と燃料電池へ利用へ	日本経済新聞朝刊第 13 面	2009/3
2		東北大	東北大がゼオライトを鑄型とするカーボン材料の開発に成功	日経産業新聞第 19 面	2009/3
3		東北大	東北大がゼオライトを鑄型とするカーボン材料の開発に成功	日経産業新聞 online	2009/4
4		東北大	東北大が開発したゼオライトを鑄型が、新たなエネルギー貯蔵材料として紹介される	東日本放送「東北大学の 新世紀」にて放映	2009/12
5	S.Ittisanronnachai H.Nishihara Li.-X. Li T. Kyotani	東北大	The mechanism of H <sub>2</sub> storage through spillover in Pt-loaded zeolite-templated carbons	ポスター発表 第 36 回 炭素材料学会 年会 (仙台戦災復興記念館)	2009/12
	M. Ito T.Kaburagi M.Uchiyama	日産			
6	S.Ittisanronnachai H.Nishihara Li.-X. Li T. Kyotani	東北大	Enhanced H <sub>2</sub> adsorption at 25 ° C on porous carbons by platinum loading	ポスター発表 第 9 回東北大学 多元物質科学研究所 研究発表会 (東北大学) ※ポスター賞受賞	2009/12
	M. Ito T.Kaburagi M.Uchiyama	日産			
7	S.Ittisanronnachai H.Nishihara Li.-X. Li T. Kyotani	東北大	High Pressure Hydrogen Storage in Zeolite Templated Carbon	招待講演 CIMTEC 5 <sup>th</sup> Forum on New Materials (Palazzo dei Congressi, Montecatini Terme)	2010/6
	M. Ito	日産			

**Mg および Ti 系相分離型高容量水素吸蔵合金の設計と実証に係る技術開発**

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	発表年月
1	久慈俊郎	東海大 開発工	MA による Mg-Al 系水素吸蔵合金の創製とその特性	日本金属学会 2008 年秋期大会	2008/9
2	久慈俊郎	東海大 開発工	ボールミリングで作製したナノ構造 MgAl 合金の結晶化挙動とその水素吸蔵特性	軽金属学会第 115 回秋期大会	2008/10
3	佐藤正志	東海大工	Plasma Driven Synthesis of Al Hydride Thin Film	The 4th Vacuum and Surface Sciences Conference of Asia and Australia	2008/10
4	佐藤正志	東海大工	Effect of H <sub>2</sub> Flow Rate on the Plasmatic Synthesis of Al Hydride	The 4th Vacuum and Surface Sciences Conference of Asia and Australia	2008/10
5	久慈俊郎	東海大 開発工	Mg および Ti 系相分離型高容量水素吸蔵合金の設計と実証に関わる研究開発	水素貯蔵フォーラム 2009	2009/2

6	佐藤正志	東海大工	Recent Research Activity	Einladung zum seminar: Fortshritte in der Physikalischen Chemie, Institute fuer Physikalische Chemie der Universitaet Wien	2009/3
7	佐藤正志	東海大工	相分離を呈する Mg <sub>17</sub> Al <sub>12</sub> 合金の可逆的水素吸蔵特性	日本金属学会 2009 年春季大会	2009/3
8	佐藤正志	東海大工	Mg <sub>17</sub> Al <sub>12</sub> 金属間化合物の水素吸蔵特性	2009 年春季第 57 回 応用物理学関係連合講演会	2009/4
9	佐藤正志	東海大工	Effect of H <sub>2</sub> Flow Rate on the Plasmatic Synthesis of Al Hydride	The 10th International Symposium on Sputtering & Plasma Processes	2009/7
10	佐藤正志	東海大工	相分離を呈する Mg <sub>17</sub> Al <sub>12</sub> の水素吸放出に関する熱力学的特性	2009 年秋季第 70 回応用物理学 学会学術講演会	2009/9
11	佐藤正志	東海大工	Thermodynamic Behaviour of Mg- or Ti- Based Alloy - H <sub>2</sub> Systems	5th Japan-China Seminar on Hydrogen Storage Materials	2010/3
12	村上貴洋	東海大 開発工	ボールミリング法により作製した BCCTiAlMg 合金の水素親和性	日本金属学会 2010 年春季大会	2010/3
13	佐藤正志	東海大工	バルクメカニカルアロイング (BMA)による Mg <sub>17</sub> Al <sub>12</sub> 金属間化合物の合成	粉体粉末冶金協会 平成 22 年度春季大会 (第 105 回講演大会)	2010/5
14	佐藤正志	東海大工	Mg-Zn 系相分離型モデルによる MgH <sub>2</sub> の熱力学的不安定化	2010 年秋季第 71 回 応用物理学学会学術講演会	2010/9
15	佐藤正志	東海大工	Mg <sub>17</sub> Al <sub>12</sub> の水素吸収に伴う相分離反応の熱力学的考察	日本金属学会 2010 年秋季大会	2010/9

#### 燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	発表年月
1	田村陽介	(財)日本自動車研究所	An Experimental Study on the Fire Response of Vehicles with Compressed Hydrogen Cylinders	2010 SAE World Congress	2010/4
2	鈴木仁治	(財)日本自動車研究所	圧縮水素容器搭載自動車の火災安全性評価ーガソリン及び CNG 自動車との比較	平成 22 年度日本火災学会研究発表会	2010/5
3	田村陽介	(財)日本自動車研究所	A Study on the Fire Response of Compressed Hydrogen Gas Vehicles	18th World Hydrogen Energy Conference 2010	2010/5
4	田村陽介	(財)日本自動車研究所	圧縮水素燃料自動車火災での隣接車両を伴う燃焼性状	日本機械学会 2010 年度 年次大会	2010/9
5	糸井裕彦	(財)日本自動車研究所	自動車用圧縮水素容器のガス透過の温度、圧力及び材質依存性について	日本機械学会 2010 年度 年次大会	2010/9
6	富岡純一	(財)日本自動車研究所	極端温度環境・実使用圧力条件による自動車圧縮水素容器 (VH3) の疲労寿命調査	日本機械学会 2010 年度 年次大会	2010/9

7	松野優	(財)日本自動車研究所	自動車用圧縮水素容器の充填放出サイクル時における容器内温度挙動	日本機械学会 2010 年度 年次大会	2010/9
8	糸井裕彦	(財)日本自動車研究所	水素消費による容器および附属品の温度変化の研究	自動車技術会 2010 年度秋季学術講演会	2010/9
9	富岡純一	(財)日本自動車研究所	自動車用圧縮水素容器(VH3)の疲労寿命に影響を及ぼす熱応力の調査	自動車技術会 2010 年度秋季学術講演会	2010/9
10	松野優	(財)日本自動車研究所	自動車用圧縮水素容器のガス充填放出サイクルにおける容器内の到達温度	自動車技術会 2010 年度秋季学術講演会	2010/9
11	田村陽介	(財)日本自動車研究所	燃料電池自動車火災における隣接車両への延焼性	自動車技術会 2010 年度秋季学術講演会	2010/9
12	富岡純一	(財)日本自動車研究所	自動車用圧縮水素容器の疲労調査	第 12 回フラクトグラフィシンポジウム	2010/12
13	糸井裕彦	(財)日本自動車研究所	水素消費時における自動車用圧縮水素容器(VH3), 放出ラインおよび附属品の温度変化	第 30 回水素エネルギー協会大会	2010/9
14	富岡純一	(財)日本自動車研究所	自動車用圧縮水素容器(VH3)の疲労寿命に及ぼす温度・圧力の影響	第 30 回水素エネルギー協会大会	2010/9
15	松野優	(財)日本自動車研究所	自動車用圧縮水素容器の充填放出サイクルにおける容器内ガスの温度挙動	第 30 回水素エネルギー協会大会	2010/9
16	田村陽介	(財)日本自動車研究所	Combustion Behavior of Leaking Hydrogen and Effects of Ceiling Variations	2011 SAE World Congress	2011/4
17	田村陽介	(財)日本自動車研究所	水素燃料電池自動車等を運送する船舶の安全基準の策定	平成 23 年度海上技術安全研究所研究発表会	2011/5
18	松野 優	(財)日本自動車研究所	Attained Temperature During Gas Fueling and Defueling Cycles of Compressed Hydrogen Tanks for FCV	4th International Conference on Hydrogen Safety	2011/9
19	富岡純一	(財)日本自動車研究所	Influence of pressure and temperature on the fatigue strength of Type-3 compressed-hydrogen tanks	4th International Conference on Hydrogen Safety	2011/9
20	田村陽介	(財)日本自動車研究所	The spread of fire from adjoining vehicles to a hydrogen fuel cell vehicle	4th International Conference on Hydrogen Safety	2011/9
21	田村陽介	(財)日本自動車研究所	局所火炎曝露試験用プロパンバーナの開発とその特性に関する研究	自動車技術会 2011 年度秋季学術講演会	2010/9
22	富岡純一	(財)日本自動車研究所	自動車用圧縮水素容器(VH3)の疲労寿命に及ぼす温度・圧力の影響	第 30 回水素エネルギー協会大会	2010/9
23	松野優	(財)日本自動車研究所	自動車用圧縮水素容器の充填放出サイクルにおける容器内ガスの温度挙動	第 30 回水素エネルギー協会大会	2010/9

24	田村陽介	(財)日本自動車研究所	Development and Characteristics of a Burner for Localized Fire Tests and Evaluation of Those Fire Tests	SAE 2012 World Congress	2012/4
25	田村陽介	(財)日本自動車研究所	水素漏洩を伴う水素燃料自動車の事故処理を想定した送風の有効性	平成 24 年度日本火災学会研究発表会	2012/5
26	田村陽介	(財)日本自動車研究所	Determining Hydrogen Concentration in a Vehicle after a Collision Test	Fires In Vehicles	2012/9
27	田村陽介	(財)日本自動車研究所	衝突試験後の閉鎖空間内での水素漏洩試験方法の検討	自動車技術会 2012 年度秋季学術講演会	2012/10
28	富岡純一	(財)日本自動車研究所	圧縮水素容器の使用環境負荷試験に関わる温調・加圧手順の影響	自動車技術会 2012 年度秋季学術講演会	2012/10
29	松野優	(財)日本自動車研究所	自動車用圧縮水素容器の急速充填における容器内温度挙動(第 5 報)	自動車技術会 2012 年度秋季学術講演会	2012/10
30	松野優	(財)日本自動車研究所	Recent and Future Research of Hydrogen Fueling Test in JARI	Fuel Cell Seminar & Exposition	2012/11

#### 水素エネルギーシステムの社会的便益に関する研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体等	発表年月
1	斉藤文 板岡健之 赤井誠	みずほ情報 総研 産総研	クリーン自動車の環境性能に対する支払意志額調査結果の適用方法の検討	口頭発表 環境経済・政策学会 2008 年大会	2008/9
2	斉藤文 板岡健之 赤井誠	みずほ情報 総研 産総研	クリーン自動車の導入における外部便益の比較分析:ハイブリッド自動車、プラグインハイブリッド車、電気自動車、燃料電池自動車	口頭発表 環境経済・政策学会 2008 年大会	2009/9

#### 水素キャリアに応じたフィージビリティスタディ

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体等	発表年月
1	國分裕一	(財)エネルギー総合工学研究所	水素キャリアに応じたフィージビリティスタディ(高圧水素を中心として)	第 29 回水素エネルギー協会大会	2009/12

#### 水素インフラ等に係る基準整備に関する研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体等	発表年月
1	山田敏弘 (共著者)	高圧ガス保安協会	水素と材料	独立行政法人 物質・材料研究機構 宇宙関連材料シンポジウム	2012/6

水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化のための研究開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表媒体等	発表年月
1	遠藤明	JPEC	2015年の燃料電池自動車・水素ステーションの普及に向けた規制再点検への取り組み	JPEC News 2011年9月号	2011/9
2	吉久憲司	JPEC	水素ステーションの設置・運用等に係わる規制合理化の研究開発	JPEC 平成24年度 技術開発・調査事業成果発表会	2012/6

【受賞リスト】

水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発

番号	受賞者	所属	受賞タイトル名 (報道 見出し等)	主催者名 (報道機関)	受賞年月 (報道年月日)
1	東京ガス(株)		CO <sub>2</sub> 排出を半減	朝日新聞	2008/8/27
2	東京ガス(株)		水素製造時の CO <sub>2</sub> 回収	ガスエネルギー新聞	2009/3/11
3	東京ガス(株)		水素製造時の CO <sub>2</sub> 回収	日本経済新聞	2009/3/13
4	東京ガス(株)		水素製造時 CO <sub>2</sub> 回収	日本経済産業新聞	2009/3/13
5	東京ガス(株)		東ガス、CO <sub>2</sub> 半減	日刊工業新聞	2009/3/13
6	東京ガス(株)		東ガス 水素製造と同時に CO <sub>2</sub> 分離回収	ビジネスアイ	2009/3/13
7	東京ガス(株)		CO <sub>2</sub> を同時回収・半減	化学工業新聞	2009/3/13
8	東京ガス(株)		水素製造時に CCS	電気新聞	2009/3/13
9	東京ガス(株)		CO <sub>2</sub> 排出量を半減	ガスエネルギー新聞	2009/3/18
10	東京ガス(株)		基板と触媒を一体化	日経産業新聞	2012/01/27
11	東京ガス(株)		効率高め HV に挑む	日経産業新聞	2012/02/07
12	日本特殊陶業(株)		水素製造の中核技術開発	日本経済新聞 (中部版経済面)	2012/02/29

CO<sub>2</sub> 膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発

番号	受賞者	所属	受賞タイトル名	主催者名	受賞年月
1	岡田 治	(株)ルネッサンス・エナジー・リサーチ	JVA2010環境特別賞	(独)中小企業基盤整備機構	2010/2/2
2	(株)ルネッサンス・エナジー・リサーチ		経済産業省産業クラスター計画 関西フロントランナー大賞 2010	(財)関西情報・産業活性化センター ネオクラスター推進共同体	2010/2/23

超高圧水素合成法による新規水素吸蔵合金の研究開発

番号	受賞者	所属	受賞タイトル名	主催者名	受賞年月
1	片岡理樹 栗岩貴寛 亀川厚則 岡田益男	東北大学 大学院 工学研究科	平成 21 年度シンポジウム 優秀賞	MH利用開発研究会	2009/ 9

ゼオライト鑄型炭素をベースとしたスピルオーバー水素貯蔵に関する研究開発

番号	受賞者	所属	受賞タイトル名	主催者名	受賞年月
1	S.Ittisanronnachai	東北大	第 9 回多元物質科学研究所研究 発表会ポスター賞 『Enhanced H <sub>2</sub> adsorption at 25 ° C on porous carbons by platinum loading』	東北大学 多元物質科学研究所	2009/12

燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発

番号	受賞者	所属	受賞タイトル名	主催者名	受賞年月
1	高木靖雄	東京都市大学 名誉教授	2011 年度 標準事業 国際功績賞 (燃料標準化 WG 委員、 ISO/TC197/WG12 コンビナ)	日本機械学会	2012/3

## 2. 分科会における説明資料

次ページより、プロジェクト推進・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。

# 水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発(事後評価)

2008年度～2012年度 5年間

## プロジェクトの概要(公開)

NEDO 新エネルギー部

2012年11月20日(火)

1

## 発表内容

### <午前の公開セッション>

- I. 事業の位置づけ・必要性
- II. 研究開発マネジメント
- III-1. 研究開発成果の概要
- IV-1. 実用化、事業化の見通しの概要

NEDOより  
報告

### <午後の非公開セッション>

- III-2. 研究開発成果  
(実用化、事業化の見通しを含む)

個別テーマ毎に  
実施者より報告

2

## I. 事業の位置付け・必要性

### 【日本のエネルギー政策①】

「燃料電池」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。

新・国家エネルギー戦略	2006年5月	燃料電池を基幹技術として位置付け。 石炭ガス化燃料電池複合発電を総合資源戦略として位置付け。
Cool-Earth エネルギー革新技術計画	2008年3月	燃料電池をCO <sub>2</sub> 排出量の大幅削減を可能とする革新技術として選定。
環境エネルギー技術革新計画	2008年5月	燃料電池を低炭素社会実現に必要な技術と位置づけ。
低炭素社会づくり行動計画	2008年7月	2020～2030年に定置用燃料電池を本格普及を目指す。
エネルギー基本計画	2010年6月	低コスト化を進めて、燃料電池普及による天然ガスシフトを推進。
新成長戦略	2010年6月	日本がイニシアティブを取り、国際標準化を推進。
日本再生戦略	2012年7月	燃料電池自動車などの次世代自動車について世界市場を獲得するため、他国を圧倒する性能・品質を実現し、世界的な潜在市場の掘り起こしを図る。

## I. 事業の位置付け・必要性

### 【研究開発政策上の位置づけ】

本事業は**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。

#### 「エネルギーイノベーションプログラム」

- ・資源の乏しい我が国は、革新的なエネルギー技術の開発、導入普及により、次世代型のエネルギー利用社会の構築が不可欠。
- ・政府が長期を見据えた技術進展の方向性を示し、官民が共有することで長期にわたり軸のぶれない取組の実施が可能。

#### エネルギーイノベーションプログラムの5つの柱

- ①総合エネルギー効率の向上
- ②運輸部門の燃料多様化
- ③新エネルギー等の開発・導入促進
- ④原子力等利用の促進とその大前提となる安全の確保
- ⑤化石燃料の安定供給確保と有効かつクリーンな利用



本事業は、**水素供給インフラ立ち上げに向けて、70MPa級水素ステーションのシステム及び機器の低コスト化・耐久性向上、並びに規制見直し・国際標準化**を目標としており、上記エネルギーイノベーションプログラムの5つの柱の**①②③⑤の目標達成に寄与**する。

# I. 事業の位置付け・必要性

## 【日本のエネルギー政策②】

燃料電池自動車(FCV)、定置用燃料電池、水素製造・輸送・貯蔵技術を、**長期的、重点的に取り組むべきエネルギー革新技術**に選定。



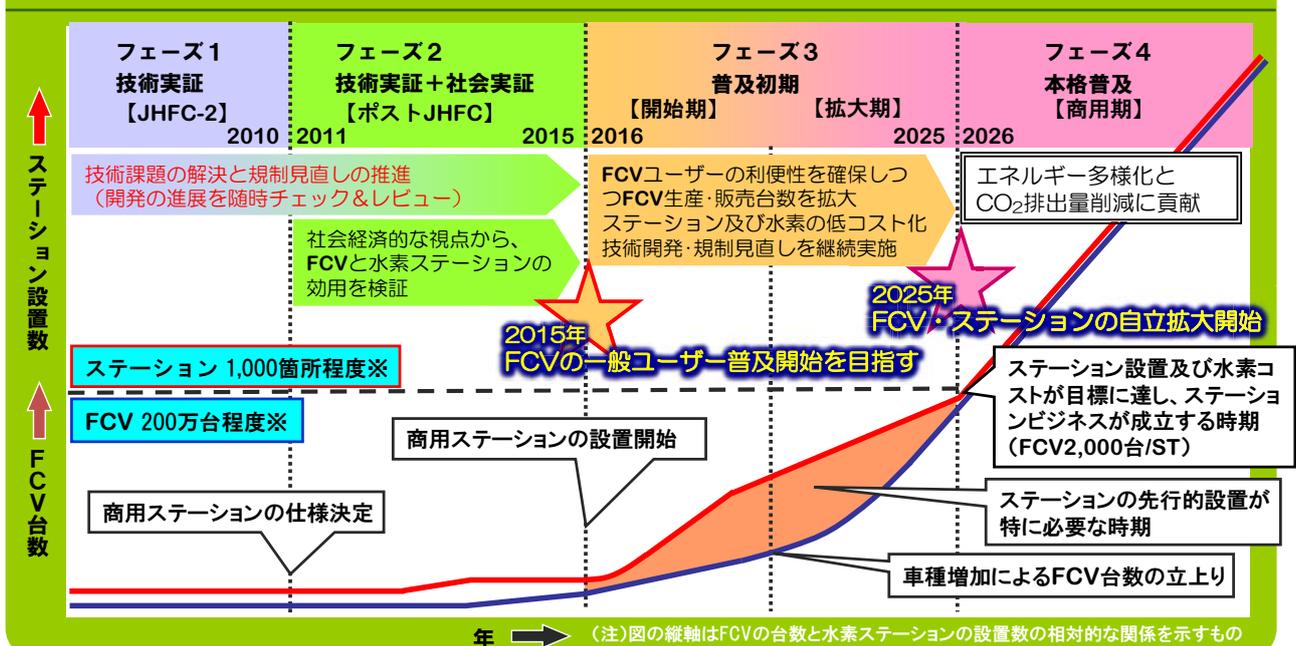
- 国民の資産をエネルギー(化石燃料)の輸入に多量に投入。⇒エネルギーを燃料電池由来にすることで、解決に近づく。(使用している炭化水素を30パーセント削減可能)
- 燃料電池は日本の技術という資力を活用でき、国力向上に寄与。

# I. 事業の位置付け・必要性

## 【民間のシナリオ①】 【燃料電池実用化推進協議会(FCCJ)の新シナリオ(H22.3月)】

2025年の燃料電池自動車(FCV)と水素ステーションの自立拡大開始を見据え、**2015年にFCVの一般ユーザー普及開始**を目指す。

### FCVと水素ステーションの普及に向けたシナリオ



## I. 事業の位置付け・必要性

### 【民間のシナリオ②】 【燃料電池自動車の国内市場導入と水素インフラ整備に関する共同声明】

2015年のFCV一般ユーザー普及開始の実現を目指し、  
4大都市圏を中心として100箇所程度の水素ステーションを先行整備する。

平成23年1月、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、共同声明を公表。声明においては、2015年に自動車会社がFCV量産車を販売すること、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。

#### 水素インフラの先行整備イメージ



※ 導入以降、全国的なFCV導入拡大と水素供給インフラの整備に取り組む

事業原簿 I-(1)~(6)

出典:燃料電池自動車の国内市場導入と水素供給インフラ整備に関する共同声明(トヨタ自動車他、平成23年1月13日)

7

## I. 事業の位置付け・必要性

### 【世界のFCV・ステーション技術開発動向】

FCV車載用水素貯蔵技術、水素供給インフラ技術ともに70MPa級の高压ガス貯蔵、高压ガス充填が主流。わが国は国際基準調和を積極的に推進している。

#### ○FCV車載用水素貯蔵技術

- ・高压水素ガス貯蔵が主流。1回の充填による走行距離を延ばすため、水素充填量を5kg/回とする。そのためには、70MPa級の高压化が必要となる。

#### ○水素供給インフラ技術

- ・FCVの水素貯蔵の方向性に合わせ、水素ステーションも高压ガス充填が主流。70MPaの高压水素をFCVに供給可能な高压ガス充填設備が必要となる。
- ・ガソリン車並みの利便性を達成するため、-40°Cのプレクール技術等、3分間で5kgの水素を充填する技術が要求される。
- ・わが国では、FCVへの水素供給に関する法整備がこれまで行われていないが、大容量圧縮機による直接充填、通信充填(\*)に関する規制を整備中である。
- ・北米(特に米国)、欧州(特にドイツ)も日本と同様の技術開発動向で、わが国は国際基準調和を積極的に推進している。

(\*) FCV車載水素容器の状態をステーションに逐次伝えて充填

事業原簿 I-(1)~(6)

8

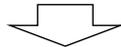
# I. 事業の位置付け・必要性

## 【事業の目的】

70MPa級水素ステーションの**機器開発、規制見直し、国際標準化**を推進。

燃料電池自動車(FCV)及び水素供給インフラ市場立ち上げのために、以下を一体的に連携して推進する。

- ・70MPa級水素ステーション機器の**低コスト化及び耐久性向上**
- ・70MPa級水素ステーション設置のための**規制見直し**
- ・FCV及び水素ステーション機器等の**国際標準化**

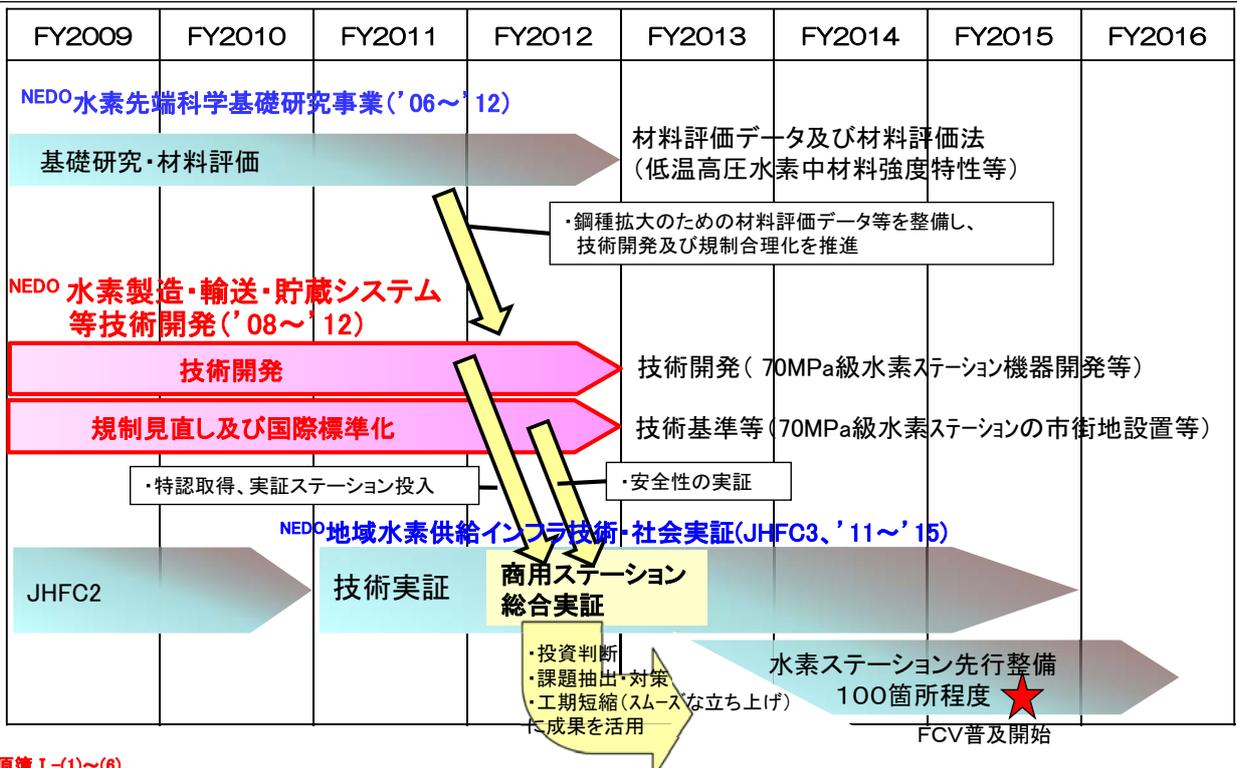


- ・70MPa級水素ステーション対応の**システム技術及び機器の要素技術を開発**
- ・規制見直しのため、金属材料評価、破裂試験等の**基礎的データ収集及び各種技術基準案を作成**
- ・国際標準化のため、容器の火炎暴露試験等の**基礎的データ収集及び充填プロトコル、水素燃料仕様等の技術検討を実施**

# I. 事業の位置付け・必要性

## 【本事業の位置付け】

基礎研究の成果を活かして、**技術開発、規制見直し及び国際標準化**を推進し、**商用ステーション総合実証事業等の実現に貢献**する。

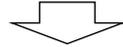


## I. 事業の位置付け・必要性

### 【NEDOが関与する意義】

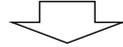
水素ステーション機器の開発には、技術開発、規制見直し及び国際標準化が必要であり、多大な労力が必要となるため、民間負担での実施には限界あり。また、NEDOの他事業との連携だけでなく、本事業の項目間で連携をすることにより、**効果的に開発を進めることが可能**となる。

- ・水素ステーション機器の開発には、材料に対する水素の影響評価やそれぞれの機器の多様な試験、システム設計等が必要。
- ・水素に関連する規制の見直しが必要。



**民間企業のみでは実施が困難**

- ・「水素先端科学基礎研究事業」「地域水素供給インフラ技術・社会実証」等NEDO他事業との連携及び事業内での連携が可能。



**産業全体として効率的な技術開発が可能**

## II. 研究開発マネジメントについて

### 【事業の目標】

水素ステーション及び燃料電池自動車に関する**機器システムの低コスト化、信頼性・耐久性向上、性能向上等の実用化検証。**

- ① 水素エネルギーの導入・普及に必要な低コスト機器及びシステムを試作。
- ② 試作した機器の耐久性検証・評価等を実施。
- ③ 燃料電池自動車及び水素供給インフラ市場立ち上げのために必要な基準・標準化、規制合理化に資する検討・開発を実施。

## Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

### 【研究開発の実施内容】

水素ステーション及び燃料電池自動車に関する**技術開発、及び基準・標準化に資するデータ取得**を実施する。

#### (1) システム技術開発

複数機器を連結した水素供給システムとして、70MPa級水素ステーションや車載等水素貯蔵容器の低コスト化・コンパクト化に繋がる開発、及び耐久性等の検証

- ① 70MPa級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発
- ② 車載等水素貯蔵／輸送容器システム技術に関する研究開発※

#### (2) 要素技術開発

水素製造・輸送・貯蔵・充填機器の高性能化・軽量化・低コスト化及び長寿命化のための要素技術を開発及び検証

- ① 水素製造機器要素技術に関する研究開発
- ② 水素貯蔵材料・水素貯蔵／輸送機器要素技術に関する研究開発※
- ③ 水素ステーション機器要素技術に関する研究開発

#### (3) 次世代技術開発・フィージビリティスタディ等

水素エネルギーの導入・普及に対し、革新的な技術の探索・有効性確認、技術開発シナリオの検討、フィージビリティスタディ、基準・標準化に資するデータ取得

- ① 革新的な次世代技術の探索、有効性検証※
- ② 燃料電池自動車及び水素インフラ普及に係る規制見直しと基準・標準化

## Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

### 【開発予算】

事業全体の予算は約75億円。平成22年3月に発表のFCCJ新シナリオを受け、平成23年度以降は水素ステーション機器の要素技術開発（低コスト機器開発、高耐久化と低コスト材料開発）、国内規制見直し、及び国際標準化に対して重点的に配分した。

#### 【内訳】

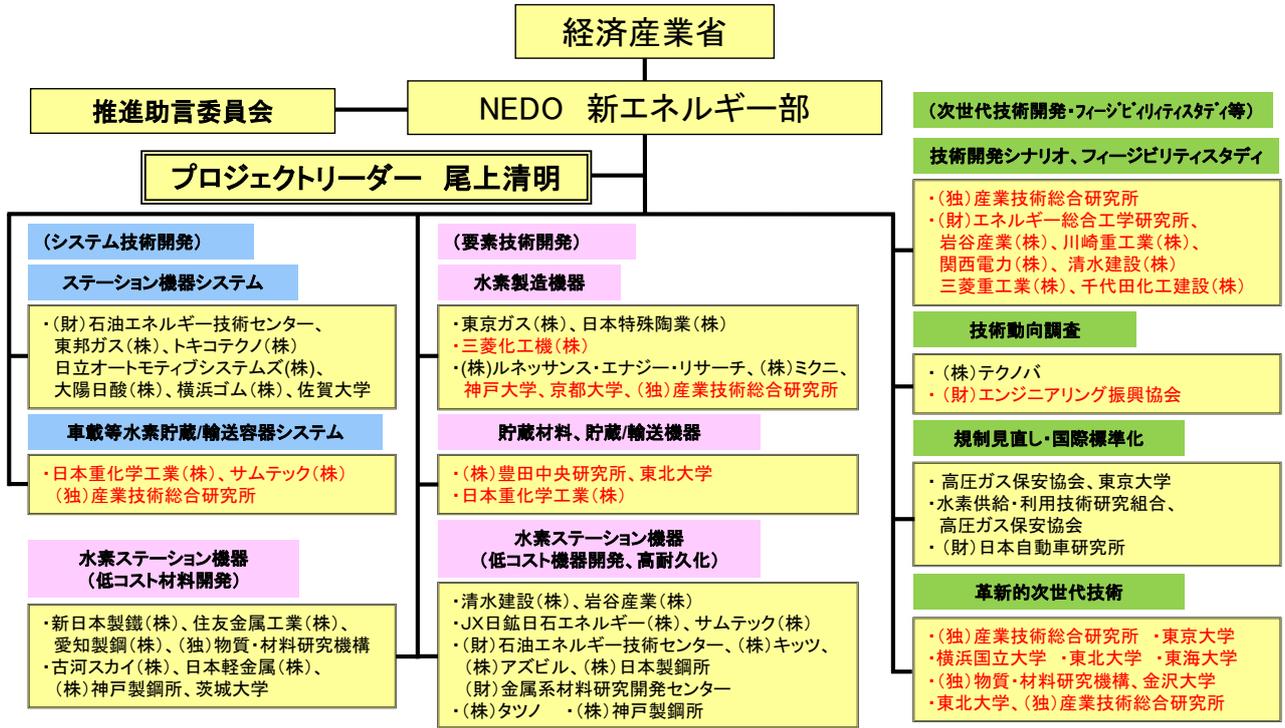
(単位:億円)

大項目	中項目	H20 (2008)	H21 (2009)	H22 (2010)	H23 (2011)	H24 (2012)
システム技術開発	70MPa級ステーション機器システム技術開発	3.4	3.0	1.6	2.7	3.2
	車載等水素貯蔵／輸送容器システム技術	4.1	1.2	0.7	0	0
要素技術開発	水素製造機器	3.5	2.4	1.9	1.2	1.1
	水素貯蔵材料・水素貯蔵／輸送機器	1.5	0.5	0.3	0	0
	水素ステーション機器(低コスト機器開発、高耐久化)	2.6	4.4	5.5	5.0	5.8
	水素ステーション機器(低コスト材料開発)	0	0	1.7	1.5	1.2
次世代技術開発・フィージビリティスタディ等	革新的な次世代技術の探索、有効性検証	2.2	2.0	0.4	0.2	0.3
	規制見直し、基準・標準化	0	0	0.9	4.8	4.0
年度別予算		17.3	13.5	13.0	15.4	15.6

## II. 研究開発マネジメントについて

### 【研究開発の実施体制】

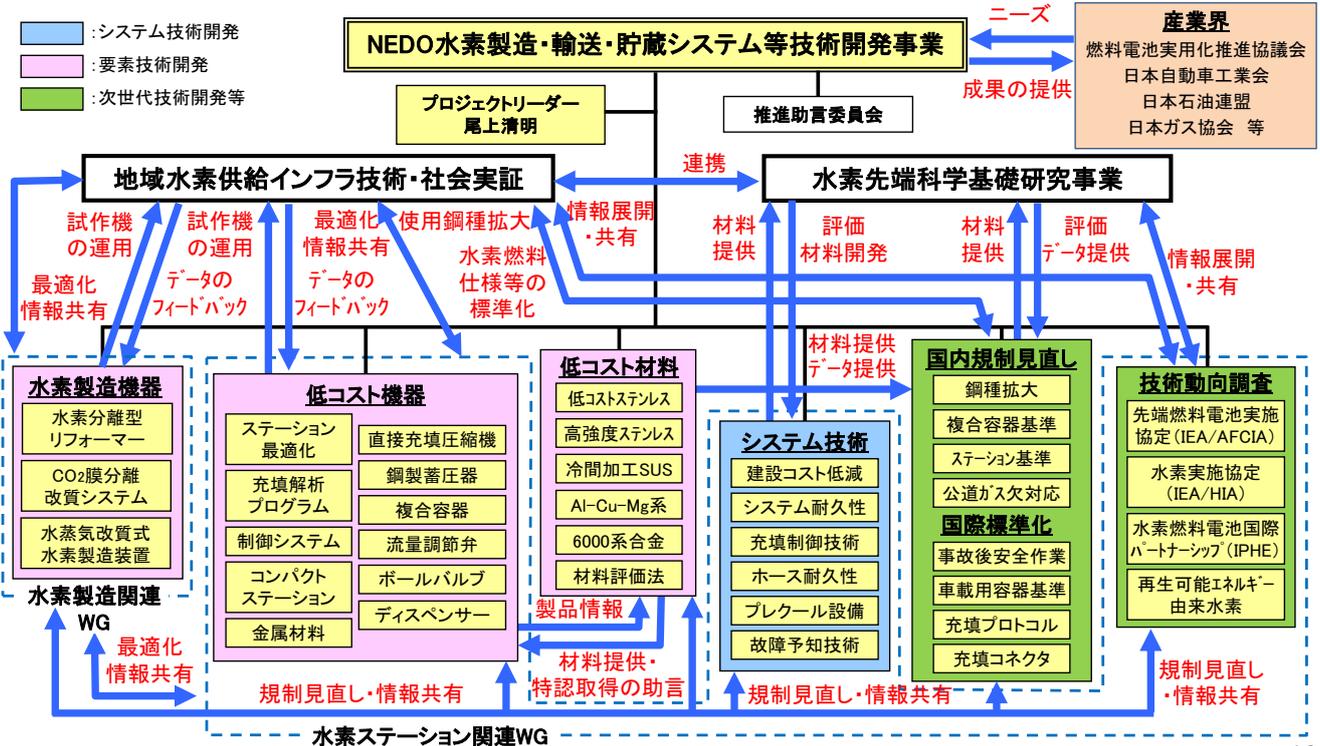
本プロジェクトは非常に広範な内容を含み、個々のテーマを横断的に把握かつ整合することがきわめて重要であるため、**H22年度の間中評価以降、プロジェクトリーダーを選定。**



## II. 研究開発マネジメントについて

### 【研究開発の運営管理】 【事業内及び他事業との連携】

本プロジェクト内の研究間で連携しつつ、関連のNEDO事業と連携し、**産業界のニーズ集約と産業界への成果のフィードバックを相互に実施。**



## Ⅱ. 研究開発マネジメント

### 【平成22年度の中間評価の主な指摘に係る対応①】

PLを選任したことを受けて、**的確な方向性をもって全体を強力にリード**できた。

(1) 指摘: 本プロジェクトは、非常に広範な内容を含んでいる。  
各開発技術間のインターフェイスの部分について、責任を持って管理する強力なリーダーシップを持ったプロジェクトリーダー(PL)を設置することが望ましい。

対応: 広範囲の技術領域を含み、かつ基礎的分野から実用的分野までを広く包含する本プロジェクトに精通し、的確な方向性をもって全体を強力にリードできるPLを選任。(九州大学:尾上教授)

成果: ①課題を明確にし、1社で出来ないことを関連企業に確認し対応  
②予算の割り振りにメリハリをつけた  
(2015年に向け加速が必要なものに割り振った)  
③規制の見直しを視野に入れながら開発

## Ⅱ. 研究開発マネジメント

### 【平成22年度の中間評価の主な指摘に係る対応②】

「地域水素供給インフラ技術・社会実証」及び「水素先端科学基礎研究事業」との連携を強化したことを受けて、**技術の普及への取り組みを加速**できた。

(2) 指摘: 技術の普及への取り組みについては実証事業との連携、標準化についても基準・標準化の研究開発との連携を強化すべきである。

対応①: 「地域水素供給インフラ技術・社会実証」との連携を強化

成果①: ・水素供給インフラの低コスト化に繋がる技術実証、調査等を行い、水素供給インフラ導入の可能性を明らかにした。

対応②: 「水素先端科学基礎研究事業」との連携を強化

成果②: ・規制合理化、国際標準化に資する材料データを特定し、データ取得を推進した。  
・水素バリア樹脂等のデータを取得することにより、水素充填ホース実用化に向けた、亀裂対策等の課題検証を完了見込みとできた。  
・弾性特性の感度の高い因子を把握することにより、緊急離脱カップリング用リングの水素漏洩対策の指針を得ることができた。

## Ⅱ. 研究開発マネジメント

### 【情勢変化への対応①】

商用水素ステーション設置・実証を行うとの共同声明発表を受けて、加速予算を設定し、**技術開発及び規制見直し活動を加速した。**

#### (1) 鋼種拡大に係る規制の再点検に対する対応

平成22年6月に閣議決定された「規制・制度改革に係る対処方針(グリーンイノベーション分野)」を受け、平成22年末に水素ステーションの鋼種拡大に係る規制の再点検及びその結果を踏まえた対応について今後の具体的な工程表が作成され、「**例示基準に記載された使用可能鋼材の拡大**」が項目の一つに位置付けられた。

⇒ 「水素先端科学基礎研究事業」と連係して、鋼種拡大に資するデータ及び安全性向上に資するデータ取得を加速した。

⇒ 工程表の進捗に貢献し、平成24年度末に**技術基準(案)完成見込み**。

#### (2) 水素ステーション100箇所の先行整備に向けた対応

平成23年1月、2015年のFCV普及開始に先駆け、100箇所程度の商用水素ステーション設置・実証を行う共同声明が発表された。

⇒ 2015年の商用水素ステーションの目標コスト達成に資する低コスト水素ステーション実証が可能となる見込み。

## Ⅱ. 研究開発マネジメント

### 【情勢変化への対応②】

水素充填速度は5kg/3分が要求され、急速充填のため-40℃のプレクール技術が必要となった。それに合わせ、**水素充填プロトコルの標準化を実施**。

#### (3) 国際標準化への寄与

★水素充填速度は、ガソリンスタンド並みの5kg/3分-H<sub>2</sub>が要求される。

##### 1. 水素充填プロトコルの標準化(急速充填、-40℃のプレクール技術の対応)

⇒SAE J2601-TIR FCVへの水素急速充填プロトコルに従った急速充填の安全性を検証し、水素ステーション例示基準に採用

##### 2. 水素充填コネクタの標準化

⇒ISO17268 FDISに基づき、ノズル・レセプタクルの低温信頼性評価(氷結状況確認等)を実施し、水素ステーション例示基準に採用

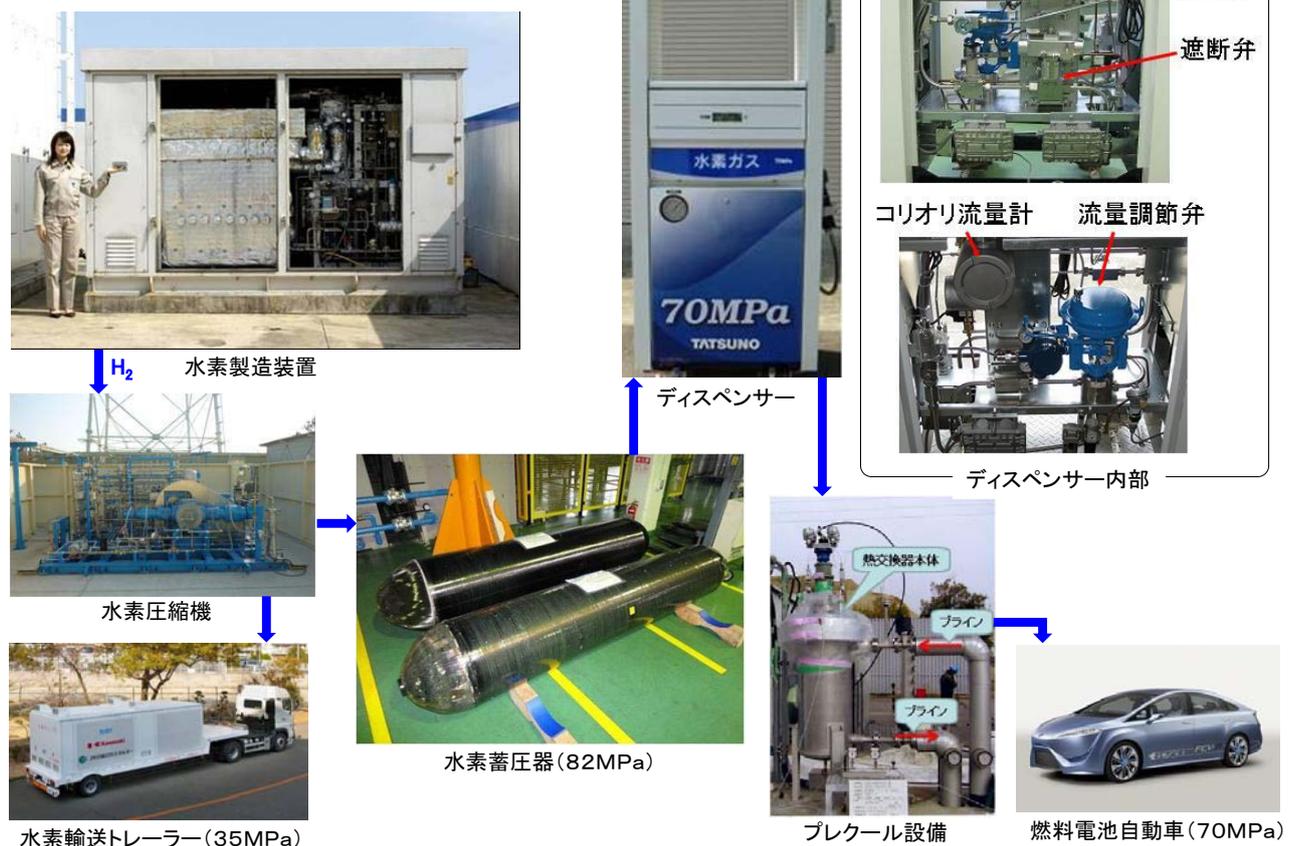
### Ⅲ. 研究開発成果 概要 【研究開発ごとの目標と達成度】

研究開発項目	研究目標	成果	アウトカム	評価
(1)システム技術開発 ①70MPa級ステーション機器システム技術開発 ②車載等水素貯蔵/輸送容器システム技術開発	・低コスト化(設備コスト2億円以下/システム<300Nm <sup>3</sup> /h>、高耐久性(メンテナンス回数1回/年以下)	・ <b>2億円以下を見通せる技術を確立</b> ・5kg/3分充填、充填プロトコル、通信充填の連携を確認し達成見込み	・70MPa級ステーション機器システム技術の水素ステーション事業への適用可能性の見通しを得た	△
	・低コスト化(合金コスト=1万円/kg以下に目処)、高性能化(容器体積密度=28g-H <sub>2</sub> /L以上)	・水素貯蔵材料に関して、2015年の実用化に間に合うのか再評価し、最終目標の達成は困難と評価	・中間評価後、基礎研究の段階であると判断し、「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」に移管した	
(2)要素技術開発 ①水素製造機器要素技術に関する研究開発 ②水素貯蔵材料・水素貯蔵/輸送機器要素技術に関する研究開発	・改質効率80%以上、起動時間3h未満、設備サイズ10m <sup>3</sup> 以下、設備コスト30万円/Nm <sup>3</sup> ・h以下	・ <b>水蒸気改質方式で改質効率84.4%、起動時間2hを達成</b> 、概念設計により設備サイズ・コストの見通し得た	・70MPa級実証ステーションにおいて本事業で試作した水素製造装置の実証運用が行われている	○
	・貯蔵材料に関して、質量貯蔵密度6wt%以上、水素放出温度150℃以下を達成する可能性を見極める	・2015年に普及開始のインフラ技術確立を目指す本事業の目的と乖離が出てきている評価	・中間評価後、基礎研究の段階であると判断し、「水素貯蔵材料先端基盤研究事業」に移管した	
(3)次世代技術開発-フーズビリティスタディ等 ①革新的な次世代技術の探索、有効性検証 ②規制見直し、基準・標準化、技術開発動向調査	・設備コスト2億円以下/システム<300Nm <sup>3</sup> /h>、メンテナンス回数1回/年以下に繋がる要素技術の確立	・ <b>個別性能(蓄圧器、バルブ、制御システム、調節弁)目標を達成</b> 、2億円/システム達成可能性を提示	・70MPa級実証ステーションおよび実証ステーションへの個別機器の導入を計画中または検討中	○
	・例示基準材(SUS316L、A6061-T6)より高強度、安価な材料の開発、基準・標準化に必要なデータを取得	・ <b>鉄鋼系では低Ni、省Mo系、高N系、省Mo系ステンレスを、アルミ系ではAl-Cu-Mg系、6000系合金を開発</b>	・鉄鋼系ではバルブ等の特認取得に必要なデータを提供、アルミ系では自動車業界に情報を提供	
(3)次世代技術開発-フーズビリティスタディ等 ①革新的な次世代技術の探索、有効性検証 ②規制見直し、基準・標準化、技術開発動向調査	・国際研究協力を含む国内外技術開発動向の調査、革新的な次世代技術の探索・有効性検証	・ <b>水素・燃料電池関連国際機関(IEA/AFCIA, IEA/HIA, IPHE)の研究・政策動向を調査し、情報を産業界に展開</b>	・2015年のFCV商用化にむけたインフラ整備の議論が進む中で、わが国の研究開発促進に貢献	○
	・国内規制見直しでは使用可能鋼材拡充等に資するデータ取得し見直す ・国際標準化では水素燃料仕様等の標準化を日本が主導的に進める	・ <b>規制見直しに関する一般則例示基準案、各種技術基準案等を作成</b> ・水素燃料仕様、安全規格、性能規格の標準化への進捗を達成	・使用可能鋼材拡充において、一般則例示基準が改定の見込み ・水素充填コネクタ国際規格の統一によるFCV普及の促進	

事業原簿Ⅲ-(1)~(3)

各個別テーマの成果については、実施者より報告

### Ⅲ. 研究開発成果 概要 【研究開発ごとの目標と達成度】



事業原簿Ⅲ-(1)~(3)

### Ⅲ. 研究開発成果 概要

#### 【成果の意義】

水素インフラ普及期に水素ステーション2億円／システムで設置することが可能となった。(ガソリン等価の水素ガス60円/Nm<sup>3</sup>)

#### (1) 成果の市場性

水素ステーションシステム、要素機器及び水素製造装置等の技術開発成果、並びに、規制見直し案の策定により、**水素インフラ普及期に水素ステーションを2億円／システムで設置することが可能となった。**

#### (2) 成果の水準

開発成果は、水素製造装置等をはじめ**技術的に世界トップ水準**にある。また、安全性を担保した規制見直し案を策定したことにより、欧米製の水素ステーション機器に対して**コスト的に競合可能な水準**になった。

#### (3) 成果の汎用性

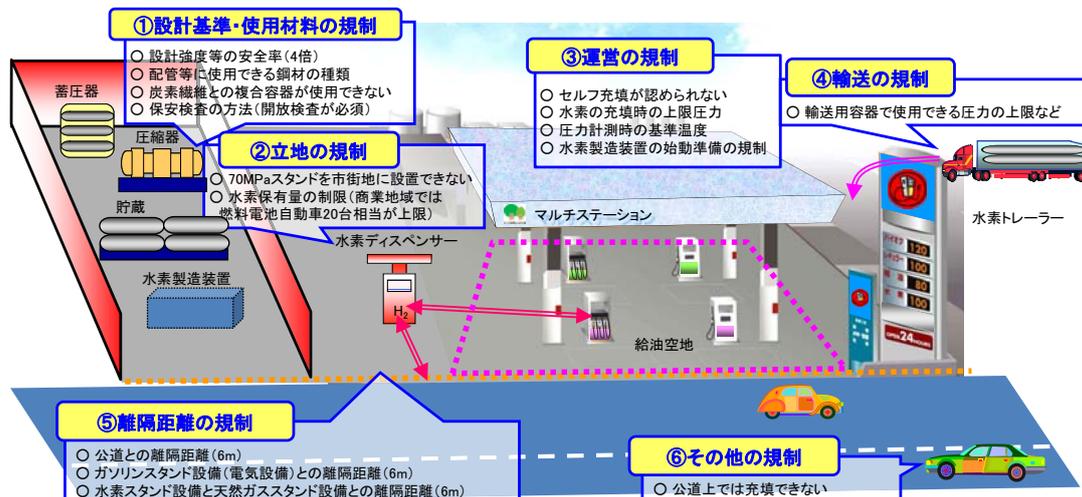
水素製造装置等の技術開発成果は、**他用途向けの水素製造に適用可能**である。また、超高压70MPaの水素貯蔵・輸送・充填等に係る成果は、**天然ガス等、他の高压ガスにも適用可能**である。

### Ⅱ. 研究開発マネジメント

#### 【現状認識】

水素インフラの実用化に向け、**高压ガス保安法等の規制見直し(ガソリンスタンド併設、鋼種拡大、70MPa級水素ステーションの技術基準等)**が着実に進展。

- 平成22年12月、経済産業省・国土交通省・消防庁は、2015年のFCV普及開始に向け16項目の規制再点検工程表を公表。
- NEDOは、水素物性、材料強度試験、鋼種拡大・安全性データの取得等を実施し、行程表の達成に貢献(平成24年度までにこれらの多くを解決見込み。)



### Ⅲ. 研究開発成果 概要

#### 【成果の普及】

本事業の成果は、国内規制の見直しに反映され、  
水素インフラの低コスト化に貢献。

①設計基準・ 使用材料の規制	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素ステーション用金属材料の選定条件を提案。(例示基準化見込み)</li> <li>複合容器の技術基準案、保安検査基準案及び定期自主検査指針案等を作成。(高压ガス保安協会による技術的妥当性が評価され、その後経済産業省による安全性の確認後、例示基準の見直し予定)</li> </ul>
②立地の規制	<ul style="list-style-type: none"> <li>一般高压ガス保安規則第7条、第7条の3及びそれらに付随する例示基準に関する技術基準案を作成。(省令改正見込み)</li> <li>水素貯蔵量規制値を超えた許可事例を2月までに取得見込み。</li> </ul>
③運営の規制	<ul style="list-style-type: none"> <li>セルフ充電実現に必要な要件を集約。</li> <li>ガソリン&amp;ディスペンサの並列設置や無人暖気運転を可能とした。</li> </ul>
④輸送の規制	<ul style="list-style-type: none"> <li>最高充電圧力45MPaの圧縮水素運送自動車用容器の例示基準案作成のための助言を行った。(例示基準改正の見込み)</li> </ul>
⑤離隔距離の 規制	<ul style="list-style-type: none"> <li>CNGスタンドに水素ステーションを併設する場合の技術基準の検討案を2月までに作成見込み。</li> <li>公道との充填距離について、鋼板製・コンクリート製の障壁を用いた技術基準案を作成。</li> </ul>
⑥その他の規制	<ul style="list-style-type: none"> <li>公道上での充填について、高速道路および一般道で充填するための必要要件の取纏めを2月までに完了見込み。</li> </ul>

### Ⅲ. 研究開発成果 概要

#### 【成果の普及】

本事業の成果は、国内の規制見直しだけでなく、  
国際基準調和、国際標準化(ISO、SAE)等に反映され、  
水素インフラの低コスト化及びFCVの国際商品化に貢献。

HFCV-gtr	<ul style="list-style-type: none"> <li>圧縮水素を燃料とするFCVの事故後の安全作業の標準化</li> <li>国際基準(HFCV-gtr)で審議されている衝突試験後の車室内素濃度計測手法の妥当性を検証 (世界で初めて取得された成果。HFCV-gtrの審議の場で活用)</li> <li>車載容器の局所火炎暴露試験法策定に必要な車両火災試験データを提供、世界初のバーナー製作、試験実施体制の構築</li> </ul>
ISO	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素燃料仕様ISO14687-2のFDIS投票→発行に目処(議長:日本)</li> <li>FCVも含む電動車両安全規格ISO6469-1, -2, -3の発行(リーダー:日本)</li> </ul>
SAE	<ul style="list-style-type: none"> <li>SAE J2719(FCV用水素の品質に関するガイドライン)をISOに整合</li> </ul>

### Ⅲ. 研究開発成果 概要

#### 【知的財産権】

水素インフラ向け機器等の特許取得が進み、国内技術レベルを進展出来た。

本事業にて得られた特許出願、論文件数及び外部発表件数等の内訳は下記の通り。

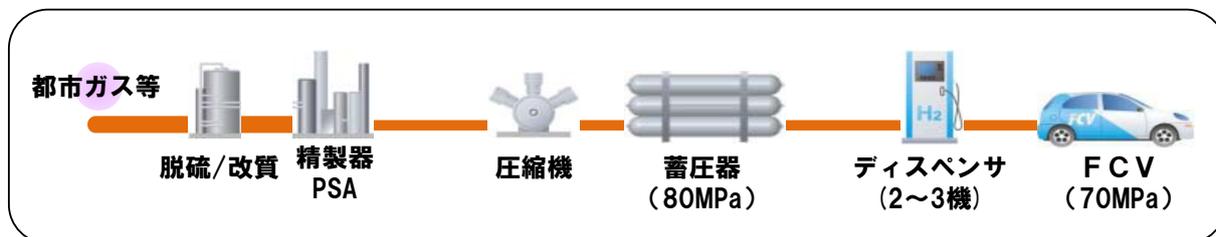
区分 年度	特許出願		論文		その他外部発表 (プレス発表等)
	国内	外国及び PCT出願	査読付き	その他	
H20年度	9	2	10	6	61
H21年度	25	1	25	13	143
H22年度	11	1	13	15	54
H23年度	9	3	15	17	56
H24年度	4	0	8	16	36
合計	58	7	71	67	350

### Ⅳ. 実用化、事業化の見通し

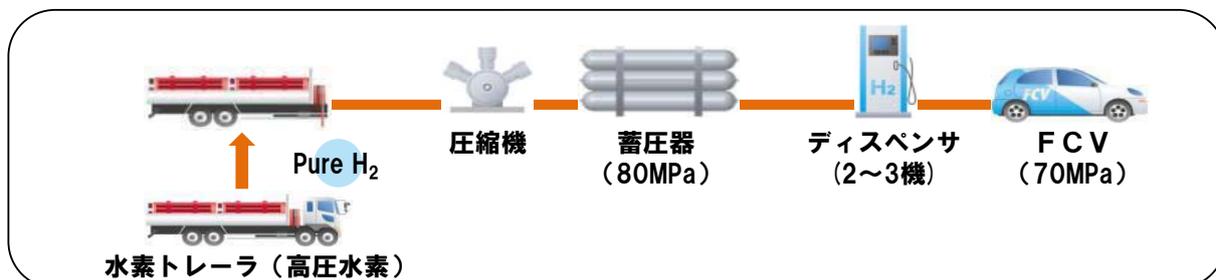
#### 【成果の実用化可能性】

2015年FCV普及開始に向け、本事業で得られた成果を活用するとともに、規制見直しに結び付けることで、70MPa商用水素ステーションが建設可能になる。

オンサイト水素ステーション(300Nm<sup>3</sup>/h ST 70MPa)



オフサイト水素ステーション(300Nm<sup>3</sup>/h ST 70MPa)



## IV. 実用化、事業化の見通し

### 【成果の実用化可能性】

商用ステーションの建設見通しは得られたが、2025年水素ステーション1000ヶ所への拡大に向けては、更なる低コスト化が必要。  
**今後、低コスト材料開発、使用鋼材の拡大に取り組むことが重要。**

	技術開発	規制見直し
本事業で得られた成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設備コスト2億円以下を見通せる技術を確立</li> <li>・70MPa級ステーション機器システム・要素技術の事業適用可能の見通し</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・規制合理化に関する各種技術基準案、一般則例示基準案等を作成</li> <li>・使用可能鋼材拡充において、一般則例示基準改定の見込み</li> </ul>
実用化に向けての課題	<ul style="list-style-type: none"> <li>・新規低コスト材料の開発</li> <li>・広温度範囲の材料評価技術確立</li> <li>・低コスト材料を使用した要素機器の耐久性評価 等</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・使用鋼種拡大に関する規格化</li> <li>・蓄圧器の非解体検査化 等</li> </ul>

事業原簿IV-(1)~(3)

29

## I. 事業の位置付け・必要性

### 【なぜ燃料電池と水素に取り組むのか？】

燃料電池と水素の製造・輸送・貯蔵技術を実用化して普及させるには、**民間だけでは難しく、国・NEDOが中心となって業界全体をけん引する必要がある。**

#### (1) 現状の問題点

- ・日本は化石燃料の輸入に国民の多額の資産を投入をしている。  
 (原油の輸入に約15兆円、天然ガスを加えると約20兆円)
- ・東日本大震災以後、化石燃料の輸入量はさらに増加している。

#### (2) 燃料電池と水素のエネルギー利用によるメリット

- ・燃料電池は効率が高いので、使用する化石燃料を30パーセント削減可能。
- ・水素は様々な一次エネルギーから製造可能でエネルギーセキュリティ上有効。
- ・日本の技術という資力を活用でき、国力の向上に寄与可能。

⇒一方、100MPa(1000気圧)という超高压の水素を扱う難しさ、安全性と経済性を両立させる難しさ、水素を街中に持ち込む難しさ、日本独自の規制の厳しさや対応の難しさ、といった問題も顕在化している。

事業原簿 I-(1)~(6)

30

## 認識の共有

- 日本のエネルギー資源は微小（エネルギー自給率4%）
- 年間約20兆円が海外に流出
  - エネルギー資源の多様化 & 効率化が必要
  - これを支える日本の資源は技術力
- 技術立国として（技術の対価としてエネルギーを求める）**
- 水素・燃料電池では世界のトップ

### ニワトリと卵

- FCVの普及での悩みは世界共通
  - 水素ステーションを普及させるのが先決
  - 水素ステーションは当面**赤字**
  - それでも水素ステーションを設置が必要
- 課題:規制の見直し**
- :安全性とコストの両立した水素ステーション**

31

## PLとしての考え方

- 1. 他プロジェクトや事業間の連携強化**  
 例:水素先端科学基礎研究事業  
 ボールバルブの開発(ΔP改善には不可欠)  
 充填ホース  
 (ゴム・高分子に水素で高圧 & 温度変化は難敵)  
 さらにゴム協会内に 高圧水素の分科会を設置
- 2. 実用化重視と日本の技術力強化**  
 2015年実用化を重視. 要求事項は変化する  
**輸入品は必ずしも国内規制に合致しない**
- 3. 規制の見直しを視野に入れながら開発**  
 現状国内規制内での開発と 規制見直しがされた後  
 視野に入れる  
 海外規制・標準もにらみながら研究・開発  
**水素先端科学基礎事業のデータは不可欠**

32

## 参考資料

## 燃料電池普及の意義

高効率(省エネルギー効果)

燃料電池自動車  
定置用燃料電池



エネルギー供給源の多様化

水素は天然ガス・太陽光・風力・バイオマス等の多様なエネルギー源から製造可能

環境負荷低減効果

CO<sub>2</sub>削減、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>ゼロ

新規産業・雇用の創出  
産業競争力の強化

自動車、電気機器、素材、化学、石油、ガス、電力等幅広い産業に関係しており、新規産業創出への期待も大

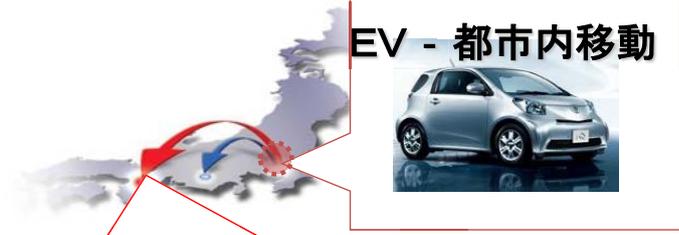
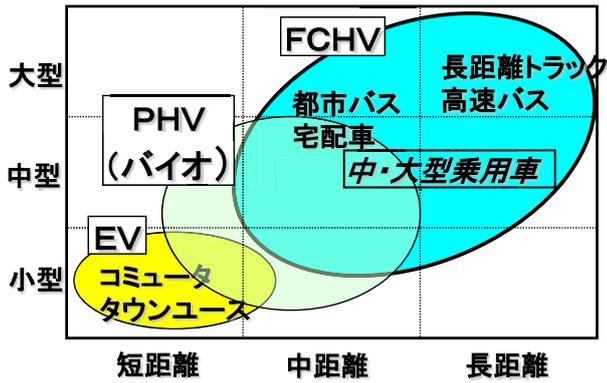
電源分散化

送電損失低減、災害時バックアップ

# EVとFCVの比較

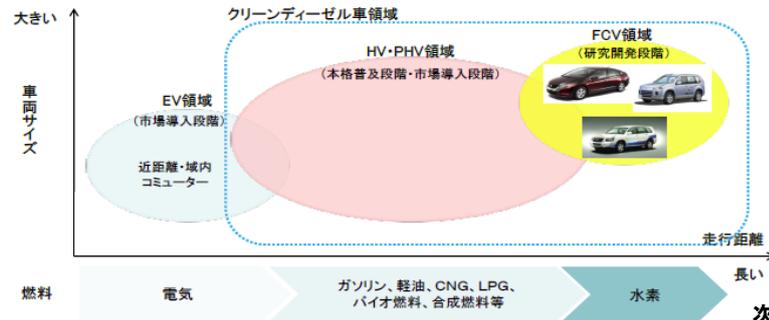
## FCが期待される領域

EVは都市(地域)内移動用、FCHVは都市間移動用のパーソナルモビリティとしての期待が大きい



トヨタ自動車株式会社FC技術部作成 2009

<車種毎の棲み分け概念図>



EVはこれまで3回のブームがありました、普及していません。それは、クルマとしての課題を十分に解決できていないからです。現在もEVブームですが、使い勝手の改善はあるものの、走行距離や充電時間の課題は残っています。

これが、FCVを用いれば全部解決できます。ただし、FCVの場合は、水素インフラの整備に時間がかかってしまいます。その解決策として、ハイブリッド車やプラグインハイブリッド車があるという位置づけです。

(トヨタ大仲FC開発部長、日経エレクトロニクス9-19)

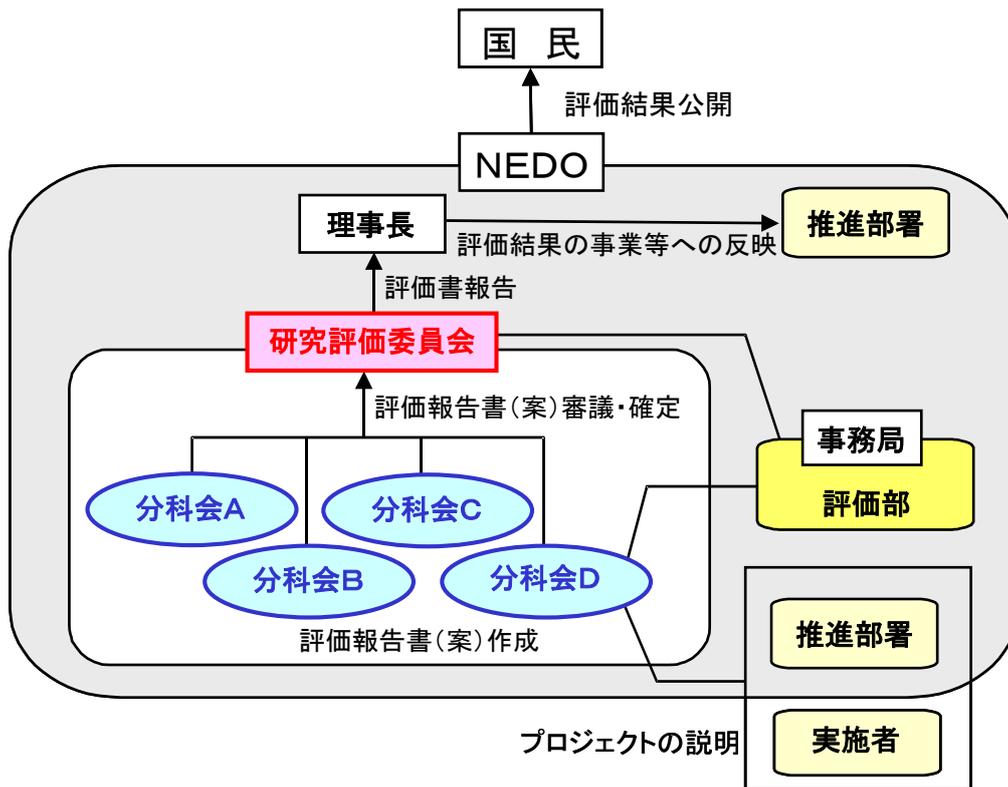
次世代自動車戦略2010(経済産業省)

## 参考資料 1 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）に基づいて研究評価を実施する。

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）における研究評価の手順は、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。分科会委員選定に当たっては以下の事項に配慮して行う。

- 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
- ジャーナリスト

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、分科会委員名簿にある7名を選任した。

なお、本分科会の事務局については、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

## 3. 評価対象

平成20年度に開始された「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」プロジェクトを評価対象とした。

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

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研究実施者からのヒアリングと、それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価及び実施者側等との議論等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、研究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、研究評価委員会による『各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格、中間・事後評価の別等に応じて、各分科会において判断すべきものである。』との考え方に従い、第1回分科会において、事務局が、研究評価委員会により示された「標準的評価項目・評価基準」（参考資料 1-7 頁参照）をもとに改定案を提示し、承認されたものである。

プロジェクト全体に係わる評価においては、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義や実用化への見通し等について評価した。各個別テーマに係る評価については、主にその目標に対する達成度等について評価した。

## 評価項目・評価基準

### 1. 事業の位置付け・必要性について

#### (1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 「エネルギーイノベーションプログラム」の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 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る事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

#### (2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、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、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

### 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、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

#### (2) 研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

#### (3) 研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 3 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環

境が整備されているか。

- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

(4) 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化、事業化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化、事業化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

(5) 情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

### 3. 研究開発成果について

(1) 目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアする見込みか。
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

(2) 成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

(3) 知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に

沿って国内外に適切に行われているか。

- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

#### (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

### 4. 実用化、事業化の見通しについて

#### (1)成果の実用化可能性

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

#### (2)事業化までのシナリオ

- ・ NEDO後継プロジェクト、NEDO実用化助成、企業内研究等、プロジェクト終了後の事業化までの道筋は明確か。
- ・ 市場の規模や成長性、コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

#### (3)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

## 標準的評価項目・評価基準（事後評価）

2010. 3. 26

### 【事後評価 標準的評価項目・評価基準の位置付け（基本的考え方）】

標準的評価項目・評価基準は、第25回研究評価委員会（平成22年3月26日付）において以下のとおり定められている。（本文中の記載例による1…、2…、3…、4…が標準的評価項目、それぞれの項目中の(1)…、(2)…が標準的評価基準、それぞれの基準中の…が視点）

ただし、これらの標準的評価項目・評価基準は、研究開発プロジェクトの事後評価における標準的な評価の視点であり、各分科会における評価項目・評価基準は、被評価プロジェクトの性格等に応じて、各分科会において判断すべきものである。

#### 1. 事業の位置付け・必要性について

##### (1) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 特定の施策（プログラム）、制度の下で実施する事業の場合、当該施策・制度の目標達成のために寄与しているか。
- ・ 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る事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされる効果が、投じた予算との比較において十分であるか。

##### (2) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術開発動向、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、国際貢献の可能性等から見て、事業の目的は妥当か。

#### 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、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

## (2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

## (3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

## (4) 研究開発成果の実用化、事業化に向けたマネジメントの妥当性

- ・ 成果の実用化、事業化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化、事業化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

## (5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

## 3. 研究開発成果について

### (1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。（※）

（※事後評価前倒し実施の場合は、「成果は目標値をクリアする見込みか。」）

- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

## (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながる事が期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓する事が期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

## (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

## (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

## 4. 実用化、事業化の見通しについて

### (1)成果の実用化可能性

- ・ 産業技術としての見極め（適用可能性の明確化）ができているか。
- ・ 実用化に向けて課題が明確になっているか。課題解決の方針が明確になっているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

### (2)事業化までのシナリオ

- ・ N E D O 後継プロジェクト、N E D O 実用化助成、企業内研究等、プロジェクト終了後の事業化までの道筋は明確か。
- ・ 市場の規模や成長性、コストダウン、競合技術との比較、導入普及、事業化までの期間、事業化とそれに伴う経済効果等の見通しは立っているか。

### (3)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

※基礎的・基盤的研究及び知的基盤・標準整備等の研究開発の場合は、以下の項目・基準による。

\*基礎的・基盤的研究開発の場合

## 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、戦略的な目標が設定されているか。
- ・具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

### (2)研究開発計画の妥当性

- ・目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

### (3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。
- ・全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

### (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

- ・成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

#### (5)情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

### 3. 研究開発成果について

#### (1)目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。（※）  
（※事後評価前倒し実施の場合は、「成果は目標値をクリアする見込みか。」）
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

#### (2)成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることを期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は、他の競合技術と比較して優位性があるか。

#### (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

#### (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

#### 4. 実用化の見通しについて

##### (1)成果の実用化可能性

- ・ 実用化イメージ・出口イメージが明確になっているか。
- ・ 実用化イメージ・出口イメージに基づき、開発の各段階でマイルストーンを明確にしているか。それを踏まえ、引き続き研究開発が行われる見通しは立っているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。

##### (2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

\* 知的基盤・標準整備等の研究開発の場合

#### 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、戦略的な目標が設定されているか。
- ・ 具体的かつ明確な開発目標を可能な限り定量的に設定しているか。
- ・ 目標達成度を測定・判断するための適切な指標が設定されているか。

##### (2)研究開発計画の妥当性

- ・ 目標達成のために妥当なスケジュール、予算（各個別研究テーマ毎の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術を取り上げているか。
- ・ 研究開発フローにおける要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・ 継続プロジェクトや長期プロジェクトの場合、技術蓄積を、実用化の観点から絞り込んだうえで活用が図られているか。

##### (3)研究開発実施の事業体制の妥当性

- ・ 適切な研究開発チーム構成での実施体制になっているか。
- ・ 真に技術力と事業化能力を有する企業を実施者として選定しているか。
- ・ 研究管理法人を経由する場合、研究管理法人が真に必要な役割を担っているか。

るか。

- ・ 全体を統括するプロジェクトリーダー等が選任され、十分に活躍できる環境が整備されているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携 and/or 競争が十分に行われる体制となっているか。
- ・ 実用化シナリオに基づき、成果の受け取り手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、関与を求める体制を整えているか。

#### (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

- ・ 成果の実用化につなげる戦略が明確になっているか。
- ・ 成果の実用化につなげる知財マネジメントの方針が明確に示され、かつ妥当なものか。

#### (5) 情勢変化への対応等

- ・ 進捗状況を常に把握し、社会・経済の情勢の変化及び政策・技術動向に機敏かつ適切に対応しているか。
- ・ 計画見直しの方針は一貫しているか（中途半端な計画見直しが研究方針の揺らぎとなっていないか）。計画見直しを適切に実施しているか。

### 3. 研究開発成果について

#### (1) 目標の達成度

- ・ 成果は目標値をクリアしているか。（※）  
（※事後評価前倒し実施の場合は、「成果は目標値をクリアする見込みか。」）
- ・ 全体としての目標達成はどの程度か。
- ・ 目標未達成の場合、目標達成までの課題を把握し、課題解決の方針が明確になっているか。

#### (2) 成果の意義

- ・ 成果は市場の拡大或いは市場の創造につながることが期待できるか。
- ・ 成果は、世界初あるいは世界最高水準か。
- ・ 成果は、新たな技術領域を開拓することが期待できるか。
- ・ 成果は汎用性があるか。
- ・ 投入された予算に見合った成果が得られているか。
- ・ 成果は公開性が確保されているか。

### (3)知的財産権等の取得及び標準化の取組

- ・ 研究内容に新規性がある場合、知的財産権等の取扱（特許や意匠登録出願、著作権や回路配置利用権の登録、品種登録出願、営業機密の管理等）は事業戦略、または実用化計画に沿って国内外に適切に行われているか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、得られた研究開発の成果に基づく国際標準化に向けた提案等の取組が適切に行われているか。

### (4)成果の普及

- ・ 論文の発表は、研究内容を踏まえ適切に行われているか。
- ・ 成果の受取手（ユーザー、活用・実用化の想定者等）に対して、適切に成果を普及しているか。また、普及の見通しは立っているか。
- ・ 一般に向けて広く情報発信をしているか。

## 4. 実用化の見通しについて

### (1)成果の実用化可能性

- ・ 整備した知的基盤についての利用は実際にあるか、その見通しが得られているか。
- ・ 公共財として知的基盤を供給、維持するための体制は整備されているか、その見込みはあるか。
- ・ 国際標準化に関する事項が計画されている場合、国際規格化等、標準整備に向けた見通しが得られているか。
- ・ J I S化、標準整備に向けた見通しが得られているか。注）国内標準に限る
- ・ 一般向け広報は積極的になされているか。

### (2)波及効果

- ・ 成果は関連分野への波及効果（技術的・経済的・社会的）を期待できるものか。
- ・ プロジェクトの実施自体が当該分野の研究開発や人材育成等を促進するなどの波及効果を生じているか。

## 参考資料 2 評価に係る被評価者意見

研究評価委員会（分科会）は、評価結果を確定するにあたり、あらかじめ当該実施者に対して評価結果を示し、その内容が、事実関係から正確性を欠くなどの意見がある場合に、補足説明、反論などの意見を求めた。研究評価委員会（分科会）では、意見があったものに対し、必要に応じて評価結果を修正の上、最終的な評価結果を確定した。

評価結果に対する被評価者意見は全て反映された。

## 参考資料 3 分科会議事録

研究評価委員会  
「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」(事後評価) 分科会  
議事録

日 時：平成24年11月20日(火) 10:00~18:10

場 所：大手町サンスカイルーム A室

〒100-0004 東京都千代田区大手町2丁目6番1号 朝日生命大手町ビル27階

出席者(敬称略、順不同)

<分科会委員>

分科会長	亀山 秀雄	東京農工大学大学院 工学府産業技術専攻	教授
分科会長代理	吉川 邦夫	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 環境理工学創造専攻	教授
委員	今村 速夫	山口大学 大学院理工学研究科 物質工学専攻	教授
委員	上野 真	燃料電池実用化推進協議会 企画部	部長
委員	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
委員	里川 重夫	成蹊大学 理工学部 物質生命理工学科	教授
委員	守谷 隆史	株式会社本田技術研究所	上席研究員

<推進者>

橋本 道雄	NEDO	新エネルギー部	部長
徳岡 麻比古	NEDO	新エネルギー部	統括主幹
山本 将道	NEDO	新エネルギー部	主任研究員
横本 克巳	NEDO	新エネルギー部	プログラムマネージャー
森 大五郎	NEDO	新エネルギー部	主査
伊藤 正	NEDO	新エネルギー部	主査
主藤 祐功	NEDO	新エネルギー部	主査
橋本 秀昭	NEDO	新エネルギー部	主査
畠山 正博	NEDO	新エネルギー部	主査
柏木 愛一郎	NEDO	新エネルギー部	主査
齋藤 春香	NEDO	新エネルギー部	職員

<実施者>

尾上 清明	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/プロジェクトリーダー
吉川 暢弘	国立大学法人東京大学 生産技術研究所	教授
竹花 立美	高压ガス保安協会 総合研究所	所長
斎藤 彰	一般財団法人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
遠藤 明	一般財団法人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	上席主任研究員
三枝 省五	一般財団法人日本自動車研究所 FC・EV 研究部	研究主幹
三石 洋之	一般財団法人日本自動車研究所 FC・EV 研究部	次長
福本 紀	一般財団法人日本自動車研究所 FC・EV 研究部調査・標準化グループ	主任研究員
岡崎 順二	JX日鉱日石エネルギー株式会社	担当マネージャー

壱岐 英	J X日鉱日石エネルギー株式会社	グループマネージャー
高井 康之	J X日鉱日石エネルギー株式会社	担当マネージャー
竹村 哲治	J X日鉱日石エネルギー株式会社	担当マネージャー
甲木 昭雄	国立大学法人九州大学	学術研究員
山崎 全彦	サムテック株式会社	係長
大沢 紀和	株式会社タツノ 設計部 設計2グループ	課長
名取 直明	株式会社タツノ 設計部 電子グループ	課長
長峰 哲	株式会社タツノ 設計部 設計2グループ	係長
高林 勝	株式会社タツノ 設計部 設計2グループ	主幹
高濱 亮太	清水建設株式会社 原子力・火力本部	
酒井 喜則	清水建設株式会社 原子力・火力本部	部長
野津 剛	清水建設株式会社 技術研究所	主任研究員
松岡 美治	岩谷産業株式会社 水素エネルギー部	シニアマネージャー
井関 孝弥	東京ガス株式会社 技術研究所	主幹研究員
矢加部 久孝	東京ガス株式会社 技術研究所	チームリーダー
久米 高生	東京ガス株式会社 技術研究所	主幹研究員
白木 正浩	東京ガス株式会社 技術研究所	主幹研究員
池田 陽一	東京ガス株式会社 技術研究所	研究員
伊藤 正也	日本特殊陶業株式会社 技術開発本部研究開発センター	部長
高木 保宏	日本特殊陶業株式会社 技術開発本部研究開発センター	主査
岡田 治	株式会社ルネッサンス・エネルギー・リサーチ	代表取締役社長
花井 伸彰	株式会社ルネッサンス・エネルギー・リサーチ 神戸分室	室長
瀬戸 武志	株式会社ミクニ 生活機器事業部開発部技術グループ	
大村 朋彦	新日鐵住金株式会社 鉄鋼研究所 水素・エネ材料研究部	主幹研究員
藤井 秀樹	新日鐵住金株式会社 鉄鋼研究所 チタン・特殊SUS研究部	首席主幹研
大宮 慎一	新日鐵住金株式会社 鉄鋼研究所 水素・エネ材料研究部	主幹研究員
中村 潤	新日鐵住金株式会社 鉄鋼研究所 水素・エネ材料研究部	主任研究員
松本 和久	新日鐵住金株式会社 鉄鋼研究所 水素・エネ材料研究部	研究員
日比 政昭	新日鐵住金株式会社 技術開発企画部	首席主幹
風間 伸吾	新日鐵住金株式会社 技術開発企画部	主幹
窪田 和正	愛知製鋼株式会社 技術開発部第2開発室	担当員
渡邊 義典	愛知製鋼株式会社 技術開発部第2開発室	
木村 勝之	高圧ガス保安協会 総合研究所	
山田 敏弘	高圧ガス保安協会 総合研究所	
伊藤 吾朗	国立大学法人茨城大学 工学部機械工学科	教授
小山 克己	古河スカイ株式会社 技術研究所第三研究部	部長
邢 劫	株式会社日本軽金属 グループ技術センタープロセス材料グループ	主任研究員
路 志勇	株式会社日本軽金属 グループ技術センタープロセス材料グループ	
中井 学	株式会社神戸製鋼所 アルミ・銅事業体 技術部プロセス基礎研究室	主任研究員
中村 義弘	東邦ガス株式会社 技術研究所 環境・新エネルギー技術グループ	総括

### 参考資料 3-2

盛興 昌勝	東邦ガス株式会社 技術研究所 環境・新エネルギー技術グループ	課長
永井 恒輝	東邦ガス株式会社 技術研究所 環境・新エネルギー技術グループ	係長
小笠原 恒治	トキコテクノ株式会社 新エネルギー部	部長
櫻井 茂	トキコテクノ株式会社 設計部	主任技師
小林 裕一	日立オートモティブシステムズ株式会社 技術開発本部 開発研究所	主管技師
蓮仏 達也	日立オートモティブシステムズ株式会社 技術開発本部 開発研究所	主任技師
山香 浩一	日立オートモティブシステムズ株式会社 技術開発本部 開発研究所	
今村 等	大陽日酸株式会社 開発・エンジニアリング本部 水素プロジェクト部	部長
渡辺 昇	大陽日酸株式会社 開発・エンジニアリング本部 水素プロジェクト部企画課	
大倉 美恵	横浜ゴム株式会社 工業品技術本部 ホース配管技術部 開発3グループ	
門出 政則	国立大学法人佐賀大学 海洋エネルギー研究センター	センター長、教授
兜森 俊樹	株式会社日本製鋼所 研究開発本部	担当部長
荒島 裕信	株式会社日本製鋼所 室蘭研究所	主任研究員
渡辺 統	株式会社キッツ 技術本部 商品開発部 水素事業開発グループ	グループ長
渡邊 哲弥	株式会社キッツ 技術本部 商品開発部 水素事業開発グループ	
山崎 知哉	株式会社キッツ 技術本部 商品開発部 水素事業開発グループ	
小紫 正樹	一般財団法人金属系材料研究開発センター	専務理事
吉田 周平	一般財団法人金属系材料研究開発センター	主席研究員
森岡 幹雄	一般財団法人金属系材料研究開発センター	主任研究員
浜田 満	一般財団法人金属系材料研究開発センター	主任研究員
松尾 充高	一般財団法人金属系材料研究開発センター	主席研究員
吉田 雅美	アズビル株式会社 AAC マーケティング部	副部長
山本 博司	アズビル株式会社 AAC マーケティング部 アクチュエータグループ	
石川 勤	アズビル株式会社 AAC エンジニアリング本部 計装システム部	部長、理事
中村 憲一	アズビル株式会社 バルブ商品開発部 開発2グループ	
木原 啓介	アズビル株式会社 技術開発本部 工程開発部 生産技術開発グループ	
相川 芳明	一般財団法人石油エネルギー技術センター 自動車・新燃料部	主任研究員
川又 和憲	一般財団法人石油エネルギー技術センター 自動車・新燃料部	主任研究員
手塚 俊雄	一般財団法人石油エネルギー技術センター 自動車・新燃料部	主任研究員
山村 俊行	一般財団法人石油エネルギー技術センター 自動車・新燃料部	主任研究員
名武 秀一郎	一般財団法人石油エネルギー技術センター 自動車・新燃料部	主任研究員
横山 佳資	一般財団法人石油エネルギー技術センター 自動車・新燃料部	副主任研究員
吉田 剛	一般財団法人石油エネルギー技術センター 自動車・新燃料部	主任研究員
石本 裕保	一般財団法人石油エネルギー技術センター 自動車・新燃料部	主任研究員
高木 清美	一般財団法人石油エネルギー技術センター 自動車・新燃料部	主任研究員
佐藤 克哉	一般財団法人石油エネルギー技術センター 自動車・新燃料部	主任研究員
小森 雅浩	一般財団法人石油エネルギー技術センター 自動車・新燃料部	主任研究員
大場 伸和	一般財団法人石油エネルギー技術センター 自動車・新燃料部	主任研究員
吉久 賢司	一般財団法人石油エネルギー技術センター 自動車・新燃料部	主任研究員
相田 敏春	一般財団法人石油エネルギー技術センター 自動車・新燃料部	主任研究員

酒井 峰男	一般財団法人石油エネルギー技術センター 自動車・新燃料部	副主任研究員
名倉 見治	株式会社神戸製鋼所 圧縮機事業部回転機技術部レシプロ室	室長
丸田 昭輝	株式会社テクノバ 調査研究部	主査
宮下 修	一般財団法人エンジニアリング協会(ENAA) 技術部	研究主幹
大野 宣夫	一般財団法人エンジニアリング協会(ENAA) 技術部	技術部長
百田 博宣	一般財団法人エンジニアリング協会(ENAA) 技術部	研究主幹
老松 和俊	川崎重工業株式会社 技術開発本部 技術企画推進センター 水素プロジェクト部	
北中 正宣	水素供給・利用技術研究組合	技術本部長
池田 哲史	水素供給・利用技術研究組合 FCV・インフラ実証部	部長
飯塚 健二	水素供給・利用技術研究組合 FCV・インフラ実証部	副部長
河村 哲	水素供給・利用技術研究組合 FCV・インフラ実証部	シニアマネージャー

<企画調整>

中谷 充良	NEDO 総務企画部	課長代理
-------	------------	------

<事務局>

竹下 満	NEDO 評価部	部長
三上 強	NEDO 評価部	主幹
加藤 芳範	NEDO 評価部	主査
中村 茉央	NEDO 評価部	職員

<一般傍聴者> 4名

## 議事次第

(公開セッション)

1. 開会、分科会の設置、資料の確認
2. 分科会の公開について
3. 評価の実施方法
4. 評価報告書の構成について
5. プロジェクトの概要説明  
非公開資料取扱説明

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明 (中間評価実施年度に終了済みの事業以外)
  - 6.1. システム技術開発
    - ① 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発
  - 6.2. 要素技術開発
    - ① 水素製造機器要素技術に関する研究開発
      - ①-1 水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発
      - ①-2 CO<sub>2</sub>膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発
    - ② 水素ステーション機器要素技術に関する研究開発 (低コスト機器開発、高耐久化)
      - ②-1 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発
      - ②-2 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
      - ②-3 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器に係わる研究開発
      - ②-4 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発
      - ②-5 直接充填方式水素ステーション用圧縮機の研究開発
    - ③ 水素ステーション機器要素技術に関する研究開発 (低コスト材料開発)
      - ③-1 水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発
      - ③-2 水素用アルミニウム材料の評価・開発
  - 6.3. 次世代技術開発・フィージビリティスタディ等
    - ① 革新的な次世代技術の探索・有効性検証に関する研究開発、水素エネルギー導入・普及のための技術開発シナリオに関するフィージビリティスタディ等研究開発
      - ①-1 水素・燃料電池に関わる国際関連機関等研究・政策動向の調査検討
      - ①-2 燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発
      - ①-3 水素インフラ等に係る基準整備に関する研究開発
      - ①-4 水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化のための研究開発
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
10. 閉会

【公開セッション】

1. 開会、分科会の設置について、資料の確認

- ・開会宣言（事務局）
- ・事務局加藤主査より、分科会の設置について資料1-1及び1-2に基づき説明があった。
- ・亀山分科会長挨拶
- ・出席者（委員、推進者、実施者、事務局）の紹介（事務局、推進者）
- ・配布資料の確認（事務局）

2. 分科会の公開について

事務局より資料2-1に基づき説明し、今回の議題のうち議題6「プロジェクトの詳細説明」および議題7「全体を通しての質疑」を非公開とすることが了承された。

3. 評価の実施方法と評価報告書の構成について

評価の手順を事務局より資料3-1～3-5、資料4に基づき説明し、了承された。

4. プロジェクトの概要説明

推進者（NEDO 新エネルギー部 山本主任研究員）および尾上 PL（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）より資料 5-1 に基づき説明が行われた。

- (1) 事業の位置付け・必要性
- (2) 研究開発マネジメント
- (3) 研究開発成果
- (4) 実用化、事業化の見通し

説明に対し以下の質疑応答が行われた。

（亀山分科会長） 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致します。技術の詳細につきましては、後ほど議題 6 以降で議論しますので、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のご意見をお願い致します。

（吉川分科会長代理） NEDO に伺いたい、「どこから水素を持ってくるのか」ということは非常に重要だと思っている。そのコストの見通しが最終的な水素の販売価格にどうリンクしているのかの説明をお願いしたい。

（NEDO・山本主研） 2015年の立ち上げ以降、5年～10年ぐらいの間は石油事業者とガス事業者が化石燃料の改質によって作る水素で供給していくとみている。いずれも水蒸気改質で水素を作るが、現状の技術ではNm<sup>3</sup>あたりおおよそ20円で作っている。これで供給すれば、先ほどの水素インフラ、ステーションのインシヤルコストと合わせて考えると、60円位で供給出来ると認識している。試算では、石油事業者が持っている余剰の水素製造装置を最大限使えるとすると、年間50億Nm<sup>3</sup>位まで生産出来るかもしれないというデータがある。その量は燃料電池自動車でいうと、ほぼ500万台に供給出来ると考えられる。先ほど2025年に200万台と申し上げたが、当面既存の技術を活用して20円近傍で供給出来るのではないかというのが今のNEDOの見方である。

(吉川分科会長代理) そうするとオフサイト型というのが当面のイメージということか。

(NEDO・山本主研) 今後水素ステーションを建設していくが、石油事業者はオフサイト型である。ガス事業者の場合、オンサイトでそこにある天然ガスを水蒸気で改質して水素を作ることが主流になる。その場合でも値段的には同等とらんでおり 20 円ぐらいである。石油事業者は基本的にはオフサイトで、トレーラーでステーションに輸送して、ガス事業者はオンサイトというように認識している。

(吉川分科会長代理) コスト比較として、自動車を直接石油で走らせるのと、石油系を 1 回改質して水素を作って燃料電池で走らせるのとではどちらが経済性、環境性が優れているのかについての評価は如何か。

(NEDO・山本主研) まだざっくりとした試算だが、水素を 60 円ぐらいで供給すると、この水素による燃料自動車の燃費は、ハイブリッド自動車等の燃費のよい自動車の燃料代とほぼ等価になるという試算がある。いまの開発成果を用いて 2 億円ぐらいのステーションを作れば、効率のよいガソリン自動車とほぼ等価になるとみている。燃料電池自動車の普及やユーザーへの魅力を考えると、将来的にはもっと安くしていきたいと思っている。2 億円にとどまらず、例えば 1.5 億円とかいうところまでさらに下げることによって、水素供給コストがトータルで、例えば 50 円とか 40 円とかといったところまで下げていければ、燃料電池がより普及していく素地になるのではないかと考えている。

(里川委員) オンサイト・オフサイト以外にも、最近ではケミカルハイドライドという方法もあり、エネルギー資源は多様化する方向へ進んでいると思う。安定に、低コストになると広い視野が必要であるが、オンサイト・オフサイト以外についての考えを聞かせたい。

(NEDO・山本主研) これは NEDO のプロジェクトにおいて実際に採り入れているものではないが、私のいまの見解は、例えば、先ほどの 2015 年以降のまだ車が少ないときには今のようにオフサイトで水素を作り、高圧ガスで運ぶということが成り立つが、200 万台、300 万台となってきたときを考えると輸送効率が悪くなってくる可能性がある。もっと効率的に輸送出来る手段として、液体水素やメチルシクロヘキサンのような有機ハイドライド、あるいはアンモニアのようなものも使ってもいいのではないかという議論が広く行われ始めていることは承知している。NEDO でも、2015 年以降 5 年～10 年ぐらいは今の高圧水素でいく可能性が高いとみているが、本格普及段階では、より輸送効率を高めるためには水素キャリアのようなものも必要になってくるだろうとらんでおり、今それに向けた議論を始めている。

(九州大学・尾上 PL) これは最終的にユーザーが車なので、日本国だけの話ではなく世界の動きを見て、世界の車がどうなっていくのか、どういうインフラが必要になってくるのかを視野に入れながらやっていかなければならない。自動車メーカーや国際標準を作っている方々とそういうところの動きを、十分にディスカスしながらみていく、それがあって初めてこういう方向があるのではないかと思う。ここでだけ、私たちだけ、作りやすさだけ、安全性だけというように単思考でモノを見ると間違いを起こすと考えている。

(今村委員) 当初本プロジェクトは、70MPa の水素ステーション関連と車載用水素貯蔵のシステム開発の 2 つの柱でスタートして、さらにそれに関連した要素技術の貯蔵材料や貯蔵技術のプロジェクトがあったが、中間評価の段階で削られて、実用化重視ということで高圧に舵を切った方針で進めて、結果的に車載用のシステム開発のプロジェクトが全部なくなってしまったという印象を受ける。プロジェクト途中での変更や修正はあり得ると思うが、NEDO の方針自体の中で、最初にこのプロジェクトを作ったときの位置付けや方針はどうだったのか。

(NEDO・山本主研) 先ほどの情勢変化ということも若干影響したかもしれない。WE-NET を終えてからこのプロジェクトを始める前に、2000 年以降の水素産業を立ち上げるためにいちばん手近なところにあるものとして、家庭用のコジェネ、燃料電池自動車、そしてこの水素インフラを急がなければいけ

ないないということで舵を切った。そのときにだいぶ基礎的な研究は切り落とした。このプロジェクトが始まった後も水素貯蔵材料、特に車に積む高压タンクに代わる、より効率的な水素貯蔵タンクとして水素貯蔵合金も含めた水素貯蔵材料の研究をしていたが、まだ一部実用領域でなかなか性能が出ない、実用領域でなかなかうまくいかないということがあったことから、途中でこのプロジェクトからは外したが、別に「水素貯蔵材料の技術開発」というプロジェクトを行って、そこでもう少し基礎に立ち返って研究をリスタートしている。実際に SPring-8 を使った X 線分析や、あるいは原研の NOVA を使った中性子線分析をしながら、貯蔵材料中の水素のメカニズムを深掘りして、そこから別プロジェクトの中でいま指針をようやく作り上げてきた段階だ。特に難しい基礎的な技術については、後継プロジェクトとして平成 25 年度から水素の利用技術開発を立ち上げる予定で検討している。その中で、この水素貯蔵材料の基礎研究の成果を受けて、きちっと実用を見通せるような課題の設定とシナリオが書けるものがあれば、そういった技術も次のプロジェクトでは取り入れていくべきではないかという議論をしている。NEDO としては、これまでやってきたものを死蔵させずに、うまく生かしながら次につなげていく認識でいる。

(守谷委員) 国際調和ということで標準化も含めてテストをしているという観点から、今回の 70MPa ステーションの位置付けを教えてください。これをそのまま標準化にもっていくのか、今後、国際調和の中でどういう位置付けでやろうとするのか。もう 1 つは、当初 6 億といわれている水素ステーションの建設費が 2 億と 3 分の 1 に下がったわけだが、大きな考え方として 3 分の 1 まで下げられたポイントはどこだったのか。

(九州大学・尾上 PL) 国際的には車側で 87.5MPa という数字も出てきており当然視野には入れるが、現在日本の中で法律を見直していただいているところが 82MPa である。この事業は 82MPa を前提に置き、余力があれば国際的にさらに上を目指しているところは見えていくという考え方をしている。

(NEDO・山本主研) 水素ステーションのコストを分解していくと、おおまかに機器では圧縮機、蓄圧機、ディスペンサーとプレクーラーがあり、それに配管や工事費、設計費がコストとしてあげられトータル 6 億円ということだった。それを 2 億円にする場合、実際に圧縮機、蓄圧機、ディスペンサー、プレクーラーあたりをいまの半分ぐらいに出来るのではないかというメドをつけつつ、NEDO で水素施設の実証事業も行い、そういった経験・知見からその他の工事費や設計費なども含めトータルのコストを下げて、トータル 2 億円が見えてきたのではないかというのが基本的な認識である。

(九州大学・尾上 PL) もう 1 点は規制の見直しが行われるというのが前提だ。いま出している規制の見直しが行われるという前提の下に、いくらか緩まるものがあって距離や圧力の考え方などが変わるので、それらを前提に試算している。

(吉川分科会長代理) 出口が 2015 年の実用化ということで、あと 2 年程しかない。このプロジェクトは今年で終わりと聞いているが、そこから先 2015 年に向けて実際に、例えば 100 カ所水素ステーションを作るといったことになったとき、この 2 年間で何をやる予定か。

(NEDO・山本主研) 今年メドをつけたもので、ただちにそれを実際の商用ステーションに入れていくとしてもやはりリードタイムが若干ある。そこで 1 年、2 年は必要なので、ここまでの成果で、ギリギリ 2015 年に入れていただくということで考えている。来年度から後継プロジェクトを立ち上げる中では、今年度中に片付ける予定となっている開発課題と、規制の見直しの議論、そこに対する補強的ないろいろなデータどりとといった積み残し課題への対応をしっかりとやっていくということが第 1 である。それから 2015 年の先も 2025 年や 2030 年まで何もしなくてもいいのかということではなく、1 年でも早くステーションの低コスト化をさらに進めていきたいと思っている。そこに向けて、これまで対象にしていなかった課題や規制の見直しの項目もあると思っているので、そういった追加的な手当てを来年からも早速考えて、規制当局の方々とも擦り合わせをさせていただきながら取り組んでい

くことではないかと思う。今回、特に高圧タンク用の新しい低コスト鋼材というものが作れないかということで4種類の提案をして、議論させていただいているが、そのもっと先にさらに低コストに出来る考え方もいくつかあるので、そういったところの検討を始めていくとか、まだまだやるべきことはあると思っている。

(九州大学・尾上 PL) 国際的に考えると、先ほど「外国のものはすぐには入って来られない、それは日本の規制がいくつものバリアとなっているところがある」という話があったが、「日本のモノを持っていくのはいいが、入ってくるのはダメだ」というのはとても無理である。受け入れられるためにはどういう形になっていくのか、あるいは更に安全に対して見直すことが出来るのか、出来ないのかまでを追いかけるとなると、相当なところになる。現状は、国際的には相当安全なレベルで素材を選んでいる。その状態で競争力があるかと言われると、ステーションに関しては自信を持って「うん」と言う訳にはいかない。クエスチョンマークが付いている。

(吉川分科会長代理) 先ほどの質問に関連するが、当面は今までやってきた技術をベースにして水素ステーションを作っていくと、2015年で水素ステーション1カ所いくらかという見通しなのか。

(九州大学・尾上 PL) 100カ所同時発注ということが出来るかどうかというのは非常に難しい問題で、部分発注、あるいは1個を作るということであれば、もう少し高いと思う。2億円というのは相当の発注あるいは工夫をしたベースのオーダーと考えている。

(大谷委員) 安全に関しては東日本大震災でかなり変わった面があるが、それが全然反映されていないように思う。実際にステーションを作る段階の話なので、このプロジェクトではそこまでいっていないのかなと感じた。例えば、ガソリンスタンド等では大規模なタンクを地下に埋めるというような議論もある。上に出ているものは全部流されてしまうので、流されることを前提に考えなければいけないということもある。あるいは完全に停電された状態でも燃料は必要だが、では燃料を供給出来るかという話もある。それも踏まえて2億円という話なのか、それがちょっと問題という気がする。

(NEDO・山本主研) NEDOとしても、水素ステーションのビジネス、燃料電池・水素ステーションをセットにして普及させていく上で、安全の確保は大前提であると思っている。その上で、去年の震災以降、事業者の方々と水素の安全についてどう取り組むべきかということは、このプロジェクトの表面には出していないが、実証事業のコミッティの中で徹底議論をしている。欧米の例も見渡すと、水素がちょっとした緩みから漏れてしまうという事例がいくつかある。日常の点検や定期点検での実際の運用上の工夫や設備の設計上の工夫をどうすればそういったリスクが未然に防止出来るのか、漏れてしまったからの対応では問題があるので、そういったものを未然に防止するための工夫としてどうすることが出来るのか等を徹底的に議論している。2億円の水素ステーションと申し上げたが、実際に商業運用を開始すると、それプラス運用面でもコストが当然出てくる。ただ、やはり我々としては2015年以降、初期の段階においては、まずは安全を最優先すべきだという観点から、水素の安全な取り扱いについて、いろいろなディスカッションは始めている。2015年までにしっかりと1つのガイドラインというかたちで纏めるのかはまだ決めてはいないが、その考え方を整理して、実際の事例も収集しながら議論している。ということで、先ほど指摘があった、例えば「津波が来るかもしれないから地下に埋めるような設計もあり得るのではないか」というところまでは議論が行き着いているわけではない。

(上野委員) 今までの委員の方の意見をいろいろ伺っていて、今回の事業の足元は何なのかと少し疑問に思っている。私なりに、今回の5年間のプロジェクトの目的は、システム技術および機器の要素技術を開発する、規制見直しのための基礎的なデータを収集して各種技術基準等を作成する、そして国際標準もやると、そういうことにあると思っている。今までの話を伺っていたことと、私自身もちょっとその一段上の部分、それぞれのデータをとる、あるいは要素技術を開発するということに対してどの

ような作戦でどういうふうに司令を出して、方向付けていくかというところを尾上 PL がやっているようにも思えるが、本来、NEDO 事業としてそこまでの目的を持っていたのかを確認させていただきたい。それから、更に 2015 年に向けてこの事業を後継事業というかたちで続けていくとすると、その司令塔がものすごく大事になってくると感じている。例えば国内規制と国際標準化、あるいは国際基準調和との関係、設計、安全係数をどう考えるのかを、作戦をもって戦略的に取り組んでいかないと技術開発にフィードバック出来ない。よって、この全体を見渡した司令塔というところまで含めて、NEDO の事業というかたちでやっていったらいいのかどうか、そのところが私自身もまだ結論は出ていないが、次期に向けてどう考えているのかを聞かせていただきたい。

(NEDO・山本主研) 今のご指摘は、NEDO としても非常に悩んでいる。まずこのプロジェクトの大目標は 70MPa ステーションを現実のものにして実用化していくというのが 1 番。もう 1 つは、それを 2 億円で作れるような技術で見通すというものがある。それを達成するために個別の機器の開発もするし、実際にデータもとって規制の見直しの検討もすることで取り組んでいる。その作戦の立て方は、NEDO が勝手に考えるのではなく、先ほどは「推進助言委員会」で有識者の方々から意見を聞くと申し上げたが、実はそれ以外にも日本自動車研究所の方々の中でいろいろな産業界が集まっていたくワーキングや、JPEC のほうで一堂に集まっていたくいろいろなワーキング、FCCJ などを通じながら産業界の要望なり戦略も NEDO として把握してきている。実際に現場に近いところでは尾上 PL の力も借りて、実際の現場における見方や作戦から、NEDO はこう動くべきではないかという議論も我々 NEDO と PL との間でしながら、産業界の戦略を国全体の戦略に出来るような議論もできるだけさせていただいている。次のプロジェクトにおいても作戦が大事だというのは当然である。このへんは尾上 PL の力も借りてこれまで通り、産業界のいろいろなワーキングや機会を使わせていただきながら意思疎通良くやって、日本全体としての同一の目的など、それに必要となってくるアプローチとか、そのパスを皆さんと相談しながら、ブレークダウンして次のプロジェクトの中に埋め込んでいくというつもりでやっていきたいと思っている。

(上野委員) まさに、その部分の機能がいま明確になっていないと思っている。そこを NEDO の事業にというのちょっと違うのかなとも思っていたので、先ほどの質問をさせていただいた。今の山本主研の答えでだいぶスッキリした。

(NEDO・山本主研) 規制の見直しについては安全を保護する方々とのディスカッションですから、当然簡単にすべきでもありませんし、ゆっくり時間をかけてきっちりとした議論はすべきだと思っている。その観点で、今回の NEDO プロの中でも、例えば高圧ガス保安協会が実際にこのプロジェクトに入って、一緒にデータをとって、それを我々とも一緒に議論をしていただいているこの体制は、私は非常に素晴らしいと思っており感謝もしている。したがって、次のプロジェクトにおいても、ぜひそのような連携を続けていきたいと思っている。一方、この規制の見直しをするのかどうかというプロセスは、それは規制側の方々の手順等があるものですから、そこは尊重すべきだと思っている。ただ、そこを巻き込んで、我々の問題意識をどう伝えて、どのような手順でやっていくのが一番いいのかのところは、これまで以上に NEDO も産業界とこの規制の方々との間に入りながら、一緒に議論をさせていただければありがたいと思っている。

(里川委員) 燃料電池もこういった水素ステーションの技術も、日本の産業力強化のために進んでいる事業だと理解している。自動車は国際商品であり、自動車会社は海外で売ることも目標に取り組みれていると思う。そうすると、水素ステーションも本来であれば輸出したいという気持ちがある。レートの問題、労働賃金の問題等いろいろありますが、そういったことを超えていくのが技術開発ではないかと思っているが、特に資源の値段はアメリカのシェールガス革命にあるように相当政策的なもので差がついている。このため、すぐ日本で使う技術になるかどうかわからないものも、日本の技術が国

際標準になっていけば外で取り組むことが出来る。最近ではメーカーの方は海外で作って、海外で売ってというスタイルになりつつあると思うので、そういう視点を入れていただければと思う。プロジェクト発足時期はちょっと違ったと思うが、そのあたりについてのお考えを聞かせていただきたい。

(九州大学・尾上 PL) 最初のほうの日本の製品が海外に出ていくことに関しては、最終的には価格帯の問題などいろいろ出てくると思うが、実際に海外の大手の水素供給メーカーがこの成果に対して非常に興味を持っている。2点目の国際標準ですが、これはカーメーカーもインフラメーカーもうまく取り合い、うまく折り合っていかなければいけない。自国に都合の良い方向に引っ張る方もいるが、そういうのを技術的に説明して、それで我が国に良いようにというのが根底にあるスタンスだ。そういうところに、基礎部分から開発部分まで結構力がかかることを、委員の方にも理解願えればと思う。

(亀山分科会長) このプロジェクトはエネルギーイノベーションプログラムという位置付けの中にあるものということで、3つのプロジェクトから構成されている。今お話ししていただいた人たちはそれを束ねる部分であるので、いわゆるプログラムマネジメントに相当する。個々のプロジェクトから出てきた成果、アウトプットが最終的にエネルギーイノベーションプログラムの中でどのようにうまく活用出来るかというアウトカムイメージをある程度 PL は持って、そして各プロジェクトに対して指示をするという役割を持っているのではないかと思った。そして国も最近ではプログラム評価をかなり言うようになってきて、プロジェクトの目標値を達成したというだけではなく、複数のプロジェクトから構成されるプログラムがどうアウトカムを出すかという、そういう評価も始まっているようだが、NEDOとしてはそのあたりをどう考えているか。

(NEDO・山本主研) NEDO から見ていると、プログラム評価は逆に最近大人しいなという気がしていたので、これからまた盛り上がってくるのかもしれない。METI とのプログラム評価というレベルで議論しているわけではない。ただ、いま NEDO 全体で見ると、基礎研究もやり、今回の実用化研究もやり、規制の見直しも検討し、実証ステーションの事業もやるという意味でのプログラムのマネジメントにおいて、NEDO として考えなければいけないことを簡単に申し上げる。お手元の資料でスライド 10 ページにこのプロジェクトの関連図を描きましたが、亀山分科会長のご指摘はごもっともとおっており、我々は基礎研究からこの実用化研究、そしてその中での規制の見直しにいろいろデータを反映し、さらにステーションにつなげていって、この先行整備につなげていくというフィード・フォワードの部分も当然しっかりとやっていく。それに加え、実際にこの水素ステーションの実証の現場からいろいろな課題もバックされてくるので、それをこの実用化の技術開発の中で新たに取り入れ、検討し、対処したり、場合によっては基礎研究まで戻らないとダメだということについては、少し時間をかけてでもしっかりとやっていく、これらのことを一体的にやることによって、例えばこれら 3 つのプロジェクトの費用対効果を最大にしていき、実証ステーション事業とその先の先行整備という民間の事業と必ずつながるかたちで、そういう問題意識の下でこの基礎研究も技術開発もすべきだと思っている。さらに後継プロジェクトを立ち上げたとしても、今後もそういう観点での取り組みをしっかりとマネージするのが NEDO の責任であり、NEDO にしか出来ないことだと思っているので、ただいまの分科会長のご指摘を受けて、今後もしっかりと取り組んでいきたいと思う。

(亀山分科会長) 国のほうから基本の柱が 5 つと言われてやってきているが、実際に現場のプロジェクトの成果を見てみると、例えば 6 つ目の柱が必要だとか、逆にこのプログラムの中から、特にレジリエントな社会を作るには水素というインフラがかなり電力に対する柔軟な役割を示すと、震災前はあまり注視されていなかったのが、水素インフラは地下鉄を整備するのと同じような社会インフラであって、自動車は輸送に使うだけでなくいざというときには発電機になって、家庭用で非常時に発電が出来るし、ガスステーションはその発電のための燃料がいつでも供給されるという、そういう新しい水素のインフラの価値がまた出てきているので、そのあたりもこのプログラムとしてはクローズアッ

ブして、絵に描いて、そして 6 本目の柱を提案するようになっていただけると良いのではないかと思う。

(NEDO・山本主研) エネルギー基本計画を実現するためのいろいろな施策も検討されてくると思うが、それに合わせて、かつ最近の新たなニーズにも応えるかたちで、NEDO の技術ロードマップをいま見直し・検討を行っている。そういったところにも数年前では考えられていなかったが、いまは考えなければならない課題が、亀山先生からもご指摘のとおりいくつか出ている。そこも踏まえたかたちで技術開発のシナリオの中でどう考えるのか、今から何を準備して、いつまでにそのブレークスルーのイノベーションを図っていくのかということを再点検して、しっかりと世の中のニーズに合うようなシナリオをこれからも作りながら、このマネジメントをしていきたいと思っている。

#### 【非公開セッション】(非公開のため省略)

詳細説明に先立ち、非公開資料の取扱について評価部より説明があった。

### 6. プロジェクトの詳細説明 (中間評価実施年度に終了済みの事業以外)

#### 6.1. システム技術開発

① 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発

#### 6.2. 要素技術開発

①水素製造機器要素技術に関する研究開発

①-1 水素分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発

①-2 CO<sub>2</sub>膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発

②水素ステーション機器要素技術に関する研究開発 (低コスト機器開発、高耐久化)

②-1 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ディスペンサーの開発

②-2 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

②-3 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器に係わる研究開発

②-4 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発

②-5 直接充填方式水素ステーション用圧縮機の研究開発

③水素ステーション機器要素技術に関する研究開発 (低コスト材料開発)

③-1 水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発

③-2 水素用アルミニウム材料の評価・開発

#### 6.3. 次世代技術開発・フィージビリティスタディ等

①革新的な次世代技術の探索・有効性検証に関する研究開発、水素エネルギー導入・普及のための技術開発シナリオに関するフィージビリティスタディ等研究開発

①-1 水素・燃料電池に関わる国際関連機関等研究・政策動向の調査検討

①-2 燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発

①-3 水素インフラ等に係る基準整備に関する研究開発

①-4 水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化のための研究開発

### 7. 全体を通しての質疑

#### 【公開セッション】

## 8. まとめ・講評

各評価委員から以下の講評があった。

- (守谷委員) NEDO の水素製造・輸送・貯蔵システムの技術開発が着々と進んでいることがよく分った。中にはタイムフレームでかなりそれぞれの項目が入り組んでいるという感じも受けた。2015 年あるいは 2020 年というのもあったので、それぞれのタイミングに合わせて急ぐもの、もう少しいろいろ考えてやるものとを分けてやっていくのが良いと思った。技術はさすがに日本の技術力ということで、規制される当局の方もいろいろ協力していただいているということもよく分った。これも含め、日本の競争力が維持出来るようにさらに次に向けて進めていただけると良いなと非常に心強く思った。
- (里川委員) 全体としては中間評価に書かれていることがしっかりと実行されている印象だ。特に尾上リーダーがしっかりと事業全体を把握されていて、全体を統括されているという印象があった。本分科会の中でも話させていただいたが、自動車の技術なので国際的にどう取り組んで行くのか、いまいろいろな関税の問題等もあり、日本の技術がガラパゴス化しないための取り組みということでは非常にきついところだと思う。日本の規制がいろいろ厳しいということからそこは不利だと思うが、外と内を見ながら 1 つひとつの技術をうまく組み合わせて、実用化に向かって進んでいただきたい。
- (大谷委員) 私は材料というよりも、どちらかというと全体の安全というのが専門で、ガソリンスタンドに水素ステーションを併設する場合の基準のことなどを検討させていただいたが、ハードに関しては危険物側よりも高圧ガス側のほうが強度的には丈夫に作られていると感じている。ただ、安全ということに関して言うと、人との関係がこれだとまだ見えないというところがあり、そのあたりが見えてこないリスク評価は難しいという感じがしている。ガソリンスタンドぐらいに数が普及すると、いろいろな人が関与してくる。悪い例では、ガソリンスタンドの店長が従業員に腹を立てて、ノズルをつかんでガソリンをばらまいたというのがあったが、こういうこともあるかもしれないので、できればハード的に防げるようなことまで考えていただければありがたいと思う。スタートアップのころはそれなりの人たちが対応してくれるので大丈夫だと思うが、普及期に入ったらどうなるかということで、普及の初期に大きな事故をやってしまうと後は続かないということにもなりかねないので、立ち上げのときには是非いろいろなことを考えて対応していただければと感じた。
- (上野委員) この水素製造・輸送・貯蔵システムというのは多くのテーマを含んでおり、なおかつ中間評価で大変強力な PL が新任されて、全体的に加速されているという印象を受けた。個々の技術で見ると、完成時期がけっこうバラバラしていて、近いものもあれば遠いものもあり、それぞれがステーションを構成する中で大変重要な機器や材料である。2015 年まで、あるいは 2020 年、あるいは 2025 年といったタイムスパンで見たときの水素ステーションのデザインや、どういった機器で構成していく、どういった技術をそこに織り込んでいくというようなロードマップのような絵が描けて、それと規制見直しの進捗と技術の進捗を兼ね合わせて、こんなイメージで水素ステーションは進歩していくというような絵が描けていけると良いなと感じた。年度末完成というテーマもいくつかあったと思うが、今日のたくさんのテーマはそれぞれまだ年度末まで頑張っていたいただきたい。また 2015 年から FCV が市販されて、お客さまが水素を頂戴といったときに、何が必要なのか、どういう技術が 필요한のか、どんなことを用意しなければいけないのか、そういったことがすぐこの先にあると思うので、またそういう面でも一緒に考えて、いろいろ準備していきたいと思うので、よろしく願いたい。
- (今村委員) 私は中間評価を含めて今回の事後評価にも参加した。水素システム、インフラに係る技術開

発、それから要素技術、非常によく達成されていて期待出来るなという印象を受けた。特に 2015 年に FCV 導入ということで進んでいるが、達成項目と挙げられている目標値に関しては、だいたい達成出来ているように思う。ただ、これを実際に動かしていくということになってくると、たぶん話は別になってくと思う。特に私が関係している水素貯蔵の分野では、今回はもう高圧ボンベの 70MPa でスタートするということだが、これは我々研究者としては非常に残念で、何とかもう少し低い圧でいければと思っていたが、残念ながらそうはならなかった。例えばハイブリッドのタンクでいけば 35MPa とか、あるいは貯蔵材料でいいものが出来ればもっと低い圧が可能で、その分安全性が確保されるのではないかと思う。現実はそのではなくて、70MPa のタンクで走っていくことになるので、特にいろいろな安全技術がなおさら大切になると思う。特に燃料電池自動車に係わる国際標準化とか、規制見直しといったことがさらに大切になるのではないかと思っている。今回もいろいろな事例が挙げられて、それに対する様々なデータ収集から、基準の調和とかという話であった。水素ステーションでは防爆の設備とか防護壁といったものは事前に準備・対応出来るが、走っている自動車の場合は想定外というか、事故を起こした場合にそういうことが出来ないの、安全性の向上や検証を十分にしていきたい。

(吉川分科会長代理) 中間評価時点では、実用化のイメージと直結するプロジェクトにしては随分ぜい肉が付いているなど感じがしたが、今日の結果を見ると、だいぶ余分なものはそぎ落とされて、かなり実用化をイメージした集中的な研究開発になっており、そういう意味では PL を設けられたことは非常に効果があったのではないかと積極的に評価している。一方、新しいエネルギー技術は、技術的には出来ても結局、経済性が出ないで普及しないものばかりだとそれは問題である。例えば、自動車事故が起こったから車を止めようとか、飛行機が落ちたから飛行機を止めようという話にはならないのは、代替手段が無いからだ。ところが仮に水素で事故が起こると、もう止めようという議論は非常に起こりやすい。これはいろいろな競合する技術があるし、既に安全性が確認されているものもあるからだ。そういう世間の目を気にしながら、いかにコストダウンを図っていくかという、非常に大変な課題ではないかと私は思う。その時に国際的な動向は非常に大事で、日本だけでこれを実用化しても意味がなくて、やはり車という商品は国際的な商品だから、国際的な全体の動向を見ながら、では日本でどうこの技術を実用化していくかという戦略が非常に大事ではないかと思う。

(亀山分科会長) 私は水素エネルギー協会の会長でもあるので多少水素びいきな話になるが、今回のフォーメーションとしては、やはりプログラムの発想とプロジェクトの関係をうまく組み合わせて、尾上先生に全体の PL として、NEDO 側からは山本主任研究員にいろいろと同じ役割を担っていただき、各プロジェクトもプロジェクトのリーダーが非常によく纏めていたと思った。構想段階からちゃんとプログラムを考え、いわゆるビジネスモデルまで想定した上でプロジェクトを作るという、2001 年に経産省が開発したプロジェクト・プログラム・マネジメント手法が、やっとな NEDO でこういうかたちで浸透してきたなという感じがした。やはりプログラムを実現するという事は、水素の新しい市場を作るということで、技術を開発するその先はイノベーションですので、新しい市場を形成するという事だ。昔ソニーがウォークマンを發明してそれが市場になった。カセットが中心として音楽があったのと同じように、日本で水素をビジネスとしての市場を作るということは、これからの日本にとっても非常に重要な役割を担っているのではないかという気がする。そのためには、1つの会社がいくら頑張っても出来ない複合技術であるのと、社会変革が必要なので、やはり今回 NEDO が中心となってやるこのようなコンソーシアム的なかたちで技術開発と制度変更も含めたことをするのは、日本を変える上で非常に重要ではないかという気がする。今回のプロジェクトは 5 年前にス

ターゲットしたので、5年前の想定のもとに描かれたシナリオだったと思うが、その後震災や原発事故等もあって外部環境が大きく変わってきた。そういう意味ではますます水素が、レジリエントな社会を作る上で非常に重要になってきたということを今日の発表を聞いて感じた。昨日は燃料電池の発表会があったが、結局停電になったときに今の燃料電池は動かなかったということから、停電時でも自律的に動くということになると、では電気はどうするのかといったときに、例えば水素自動車が各家庭に1台ずつあれば停電のときは水素自動車から電気をやって、そして燃料電池のところに供給すれば5分でパッとスタートするわけだ。いまのところ50分もかかってやっと自立運転だが、車がそこにあるだけで5分もかからず発電でぱっと電気がつく。そういうような変化のときに、パッとほかの技術が流用出来るような社会が、持続可能なレジリエントな社会ではないかと思うし、そのときに水素が非常に役に立つと思う。産業界でも石油業界は新しい市場をこれで形成し、ガソリンスタンドのガソリンが減ったとしても今度は水素を売る立場になり、都市ガスも水素市場に入ることになり、おそらく製鉄も鉄の値段だけではなく、コ・プロダクションで水素と鉄を売る会社になっていき、そういう意味では世の中がどんどん変わるきっかけを作るものとして、水素がすごく重要な社会インフラになるのではないかと思う。是非2015年キックオフに自動車が動いて、2025年に自立で水素自動車が200万台動く時代になるように我々は頑張りたいなという感じを持った。

9. 今後の予定、その他

10. 閉会

## 配布資料

- 資料 1-1 研究評価委員会分科会の設置について
- 資料 1-2 NEDO技術委員・技術委員会等規程
- 資料 2-1 研究評価委員会分科会の公開について（案）
- 資料 2-2 研究評価委員会関係の公開について
- 資料 2-3 研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘について
- 資料 2-4 研究評価委員会分科会における非公開資料の取り扱いについて
- 資料 3-1 NEDOにおける研究評価について
- 資料 3-2 技術評価実施規程
- 資料 3-3 評価項目・評価基準
- 資料 3-4 評点法の実施について（案）
- 資料 3-5 評価コメント及び評点票（案）
- 資料 4 評価報告書の構成について（案）
- 資料 5-1 プロジェクトの概要（公開）
- 資料 5-2 事業原簿（公開）
- 資料 6-1-1 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
  - 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器システム技術に関する研究開発
- 資料 6-2-1 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
  - 水分離型リフォーマーの高耐久化・低コスト化研究開発
- 資料 6-2-2 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
  - CO<sub>2</sub>膜分離法を用いた水素製造装置改質システムの開発
- 資料 6-2-3 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
  - 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ディスプレイの開発
- 資料 6-2-4 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
  - 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
- 資料 6-2-5 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
  - 低コスト型 70MPa 級水素ガス充填対応ステーション機器に係わる研究開発
- 資料 6-2-6 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
  - 都市型コンパクト水素ステーションの研究開発
- 資料 6-2-7 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
  - 直接充填方式水素ステーション用圧縮機の研究開発
- 資料 6-2-8 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
  - 水素製造・輸送・貯蔵システム等に使用する金属材料開発、および国際標準化・規制見直しに資する評価試験法の開発、材料データの取得に係る研究開発
- 資料 6-2-9 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
  - 水素用アルミニウム材料の評価・開発
- 資料 6-3-1 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
  - 水素・燃料電池に関わる国際関連機関等研究・政策動向の調査検討
- 資料 6-3-2 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）
  - 燃料電池自動車等に係る国際標準化および規制見直しのための研究開発

資料 6-3-3 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）

水素インフラ等に係る基準整備に関する研究開発

資料 6-3-4 プロジェクトの詳細説明資料（非公開）

水素ステーションの設置・運用等に係る規制合理化のための研究開発

資料 7 今後の予定

## 参考資料4 評価結果の反映について

「水素製造・輸送・貯蔵システム等技術開発」（事後評価前倒し実施）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>・地球環境問題に対する一つの解決手段として、水素を活用したエネルギーシステムが有効であることは周知の事実であり、NEDO 事業として水素製造・輸送・貯蔵システムの実用化と普及を推進することの意義は大きい。</p> <p>・実用化に向けて経済性の点で不安がある。水素ステーションの低コスト化（2億円）の目標を達成する見込みが提示されているが、世界的に見るとまだまだ高いレベルであり、ガソリンステーションとの比較においても普及に向けた更なる低コスト化が望まれる。</p> <p>・実用化に向けて、コスト面と耐久性の点で、検討が必要なテーマと、実用化がすぐに可能なテーマが混在しているためプロジェクトの管理が難しくなっている。複数のテーマをうまく関連付けるためには、時間軸を意識した枠組みで技術開発を管理すべきである。</p>	<p>・近年追加された、コストアップ要因（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）等）も含めたスペックでは、水素ステーション建設費2億円以下という目標は達成できていない。後継事業において、水素ステーションの低コスト化を大目標として位置付けて、規制見直し、機器・材料の低コスト化、設計・土木工事費の低減、量産化等を総合的に考慮して、目標達成を目指す。 →後継事業の基本計画へ反映。</p> <p>・後継事業では、時間軸を意識し、「水素ステーション用低コスト機器・システム機器開発」では、特に実用化に近い部分の技術開発テーマについて推進する。 →後継事業の基本計画に反映。 →平成24年度実施方針、実施計画を変更し対応済み。</p>

本研究評価委員会報告は、独立行政法人新エネルギー・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。

平成25年3月

NEDO 評価部

部長 竹下 満

主幹 三上 強

担当 加藤 芳範

\* 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](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