

「水素社会構築技術開発事業/研究開発項目Ⅱ
（大規模水素エネルギー利用技術開発）」
中間評価報告書

2021年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

2021年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
理事長 石塚 博昭 殿

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

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

「水素社会構築技術開発事業/研究開発項目Ⅱ
(大規模水素エネルギー利用技術開発)」
中間評価報告書

2021年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

目 次

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

はじめに

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構においては、被評価プロジェクトごとに当該技術の外部専門家、有識者等によって構成される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、「水素社会構築技術開発事業/研究開発項目Ⅱ（大規模水素エネルギー利用技術開発）」の中間評価報告書であり、NEDO技術委員・技術委員会等規程第32条に基づき、研究評価委員会において設置された「水素社会構築技術開発事業/研究開発項目Ⅱ（大規模水素エネルギー利用技術開発）」（中間評価）分科会において評価報告書案を策定し、第64回研究評価委員会（2021年3月1日）に諮り、確定されたものである。

2021年3月
国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
研究評価委員会

審議経過

● 分科会（2020年12月4日）

公開セッション

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
6. プロジェクトの詳細説明
7. 全体を通しての質疑
8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

● 第64回研究評価委員会（2021年3月1日）

「水素社会構築技術開発事業/研究開発項目Ⅱ

(大規模水素エネルギー利用技術開発)」

中間評価分科会委員名簿

(2020年12月現在)

	氏名	所属、役職
分科会長	さとかわ しげお 里川 重夫	学校法人成蹊学園 成蹊大学 理工学部 物質生命理工学科 教授
分科会長 代理	の だ ひでとも 野田 英智	中部電力株式会社 事業創造本部 執行役員 副本部長
委員	おおさわ しゅういち 大澤 秀一	大和証券株式会社 エクイティ調査部 シニアアナリスト
	こうの たつおき 河野 龍興	東北大学 金属材料研究所 特任教授 東京大学 先端科学技術研究センター 特任教授
	なかじま りょう 中島 良	テクノ2050 中島技術士事務所 代表
	もりた てつじ 森田 哲司	大阪ガスマーケティング株式会社 商品技術開発部 取締役 商品技術開発部長

敬称略、五十音順

評価概要

1. 総合評価

2050年に向けてカーボンニュートラルを達成するという脱炭素化の目標に対して、水素の利用は世界的に期待が高まっており、水素をエネルギー源として低炭素化に寄与させるには大規模な水素の供給と需要が必須であり、本事業の重要性は高い。民間の活動だけでは国際連携も含めて事業化が難しく、公共性が非常に高いことから、NEDOの関与は妥当と考える。

また、実施者側は高い技術力と事業化能力を有するメンバーが選定されており、実用化に関して今後想定されている水素サプライチェーンに基づいて、ユーザーサイドが関与できる体制も構築されている。さらに、中間目標は概ね達成しており、世界初の技術も多く、高く評価できる。

一方、大規模なテーマを多くの事業者で分担しているため、個別テーマの進捗が全体的にどう関係しているのかが判りにくくなっていることから、全体目標、および個別テーマの定量的目標値の見直し、上位の目標値（水素コスト）に対して、個別テーマの目標値が必要十分であるのか吟味をしていただきたい。また、今回水素サプライチェーンの実証試験が、目標である2030年の水素価格30円/Nm³達成につながる定量的なシナリオが明示されることが望まれる。

今後、海外の未利用資源を活用して安価な水素を大量に輸入できる水素サプライチェーン構築が期待できると共に、水素を燃料とする発電システムの構築により、水素ビジネスの大規模な展開が期待される。

2. 各論

2.1 事業の位置付け・必要性について

2050年に向けてカーボンニュートラルを達成するという脱炭素化の目標に対して、水素の利用は世界的に期待が高まっており、水素をエネルギー源として低炭素化に寄与させるには大規模な水素の供給と需要が必須であり、本事業の重要性は高い。

また、大規模な水素エネルギー技術の国内外の技術動向や国際競争力の状況を鑑みて、特に欧州や豪州での開発・市場動向と国際連携等の観点からも、この事業の目的は妥当である。さらに、水素事業に関しては民間の活動だけでは国際連携も含めて事業化が困難であり、公共性が非常に高いことから、NEDOの関与は妥当と考える。

2.2 研究開発マネジメントについて

水素エネルギー利用に関する国内外の技術動向、市場動向等を鑑みて、戦略的な目標が設定され、目標を達成するための要素技術の開発が網羅されており、スケジュール管理も明確である。また、研究開発の実施体制は、水素エネルギー利用において高い技術力と事業化能力を有する実施者が選定されており、実用化においてユーザーが関与できる体制を構築して

いる。研究開発の進捗管理では、進捗状況を常に把握しているだけでなく、政策・技術の動向等の影響を検討して、適切に対応している。

一方、個別設定された目標については定性的目標設定が多く、また、個別のテーマがプロジェクト全体として初期の目標へどう結びついているのかが少し判りにくい。全体目標からブレイクダウンして個別目標を設定することで、個別テーマの目標値として、根拠を明確にしていくとともに、競争上秘匿が必要なものを除き、極力目標値を明確にしていくことが望ましい。

2. 3 研究開発成果について

中間目標は概ね達成しており、世界初の技術も多く、高く評価できる。また、未達のケースでは、具体的な原因と解決方針を明確にしており、最終目標を達成できる見通しを示し、最終目標に向けた課題とその解決のルートが明確になっていることも評価できる。さらに、技術開発や実証の成果を非常に数多く対外的に発信しており、水素社会構築に向けた理解の促進に大いに寄与している。

NEDO のプロジェクトは、海外に先行して着実に進められてきたと思われるが、昨今の海外の水素への取組が大規模化し、加速してきている状況から、可能な限り前倒しなどが図られることを期待する。

2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

想定される水素サプライチェーンに基づき、水素利用の大型アプリケーションとその市場動向等を把握し、課題及びマイルストーンの検討が進められている点については評価できる。

水素サプライチェーンの実証計画は、将来の実用化時点での機器、装置、システム等のスケールアップを考慮して進められており、技術実証が予定通りに進めば、実用化規模での技術開発は順調に達成できるものと見込まれる。

一方で、目標とする経済性（水素コスト）を達成するために何が必要であるのかが判りづらく、実証が終了した後に、すぐ実用化につながる規模での事業展開は難しいと思われるため、今回の実証と実用化時点での達成すべき技術的課題、経済的課題、諸条件等をできるだけ合理的な根拠に基づいて定量化して示しつつ、2030年までの実用化に至る導入シナリオを明確にしていくことが望まれる。また、その本実証後の実用化に向けたシナリオ、スケールアップの定量的な手段が、対外的に判りやすく発信されることも期待する。

研究評価委員会委員名簿

(2021年3月現在)

	氏 名	所属、役職
委員長	こばやし なおと 小林 直人	早稲田大学 参与・名誉教授
委員	あさの ひろし 浅野 浩志	一般財団法人電力中央研究所 エネルギーイノベーション創発センター 研究アドバイザー
	あたか たつあき 安宅 龍明	先端素材高速開発技術研究組合 (ADMAT) 専務理事
	かわた たかお 河田 孝雄	株式会社日経 BP 日経バイオテック編集 シニアエディター
	ごないかわ ひろし 五内川 拡史	株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長
	さくま いちろう 佐久間 一郎	東京大学 大学院工学系研究科 教授
	たからだ たかゆき 宝田 恭之	群馬大学 大学院理工学府 環境創生部門 特任教授
	ひらお まさひこ 平尾 雅彦	東京大学 大学院工学系研究科 化学システム工学専攻 教授
	まつい としひろ 松井 俊浩	情報セキュリティ大学院大学 情報セキュリティ研究科 教授 国立研究開発法人産業技術総合研究所 名誉リサーチャー
	やまぐち しゅう 山口 周	独立行政法人大学改革支援・学位授与機構 研究開発部 特任教授
	よしかわ のりひこ 吉川 典彦	東海国立大学機構名古屋大学 名誉教授
よしもと ようこ 吉本 陽子	三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社 政策研究事業本部 経済政策部 主席研究員	

敬称略、五十音順

研究評価委員会コメント

第64回研究評価委員会（2021年3月1日開催）に諮り、以下のコメントを評価報告書へ附記することで確定した。

- 水素社会を構築するにあたって重要な課題が3つあると考えられる。1つは、安全性の問題も含めた材料の研究開発、2つ目は、実際に市場投入を行うためのサプライチェーンの構築、そして3つ目は経済性である。2030年に30円/Nm³という明確な目標に向かって、後半ではこれら課題解決を優先的な課題としてプロジェクトを進めて頂きたい。

第1章 評価

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

1. 総合評価

2050年に向けてカーボンニュートラルを達成するという脱炭素化の目標に対して、水素の利用は世界的に期待が高まっており、水素をエネルギー源として低炭素化に寄与させるには大規模な水素の供給と需要が必須であり、本事業の重要性は高い。民間の活動だけでは国際連携も含めて事業化が難しく、公共性が非常に高いことから、NEDOの関与は妥当と考える。

また、実施者側は高い技術力と事業化能力を有するメンバーが選定されており、実用化に関して今後想定されている水素サプライチェーンに基づいて、ユーザーサイドが関与できる体制も構築されている。さらに、中間目標は概ね達成しており、世界初の技術も多く、高く評価できる。

一方、大規模なテーマを多くの事業者で分担しているため、個別テーマの進捗が全体的にどう関係しているのかが判りにくくなっていることから、全体目標、および個別テーマの定量的目標値の見直し、上位の目標値（水素コスト）に対して、個別テーマの目標値が必要十分であるのか吟味をしていただきたい。また、今回水素サプライチェーンの実証試験が、目標である2030年の水素価格30円/Nm³達成につながる定量的なシナリオが明示されることが望まれる。

今後、海外の未利用資源を活用して安価な水素を大量に輸入できる水素サプライチェーン構築が期待できると共に、水素を燃料とする発電システムの構築により、水素ビジネスの大規模な展開が期待される。

<肯定的意見>

- ・ 3つの事業ともここまでは目論見通りの成果が出ているといえる。いずれも世界に先駆けて実証している先端技術であり、今後も着実に開発を進めていただいて問題ないと思う。
- ・ 本中間評価段階で、かなり成果が出ているというのが総合的な評価だと思料。
- ・ 特に、“利用”分野では、実採用の見通しを得た技術もあり、高く評価される。
- ・ 本成果は、ゼロエミという社会的要請という観点からも、更に重要性が高まると思料。
- ・ 水素の本格的な利活用は、製造、運搬・貯蔵、利用の各ステージが同時に進捗することで初めて始めて可能になる。これまでは燃料電池車（及び水素ステーション）と定置用燃料電池による利活用が先行していたが、大規模な需要拡大、大量製造、大量運搬については大きな成果が見込める技術開発はなかったと認識（資本市場）している。本事業の研究開発は、海外の未利用エネルギーから水素を製造し、これを液化水素や有機ヒドライドの形で輸送・貯蔵し、水素発電で利用するための研究開発をシームレスに戦略的に行うものとして高く評価できる。日本の地政学リスクやエネルギー事情から燃料を海外から調達し、脱炭素のために進められる電化に対応するもので、エネルギー政策にも整合することが認められる。特にHySTRAは、褐炭ガス化、液化水素の長距離輸送、水素の荷役技術等の専門技術を複数の会社が持ち寄ることで高い水準で研究開発が実施されていることが確認できる。水素発電も海外案件の獲得に結び

付いており、着実に成果にむすびついていると評価できる。本事業の研究開発成果が2030年以降に花開き、日本の脱炭素化と国際競争力の確保につながることに期待したい。

- 本事業である大規模水素エネルギー利用技術開発は、国内外の技術動向や国際競争力の状況を鑑み、この分野で高い技術開発力を有している日本が世界をリードして、逸早く推進すべきであり、この事業目的は妥当である。また民間の活動だけでは国際連携も含めて事業化が難しく、公共性が非常に高いことからNEDOの関与が大きく必要とされる事業である。実施者側は高い技術力と事業化能力を有するメンバーが選定されており、実用化に関して今後想定されている水素サプライチェーンに基づいて、ユーザーサイドが関与できる体制も構築されている。今後、海外の未利用資源を活用して安価な水素を大量に輸入できる水素サプライチェーン構築が期待できると共に、水素を燃料とする発電システムの構築により、水素ビジネスの大規模な展開が期待される。
- 脱炭素化に向けて、資源に乏しい日本にとって国際的な水素サプライチェーンの構築や、化石燃料の大量消費を代替する水素発電の技術開発は国是に沿ったものと言え、本技術開発・実証はまさに国家プロジェクトにふさわしい取り組みであると考えられる。
- 液化水素輸送船が実際に進水し、有機ハイドライド法により海外で製造された水素により国内の火力発電に供されたこと、また水素発電技術が進展し、海外プロジェクトに採用が決定されたことなど、非常に高い成果が得られたものと考えられる。
- 進捗評価委員会を定期的に開催して有識者や全事業者間での意見交換を行い、課題の共有を実施していることや、随時追加公募を行って必要なテーマを加える事などは、プロジェクトの目標達成に向けた良い取り組みと考えられる。
- プロジェクト開始時には予想できなかった、新型コロナウイルスにより経済活動に様々な支障がある中、大幅なスケジュールの遅れなくそれぞれのプロジェクトを推進されたことは大いに評価できる。
- 世界ではじめてチャレンジする内容や技術的にハードルが高いと思われるテーマも多いが、個々のテーマの進捗は、これまでの技術蓄積を利用しながらそれぞれ順調であり、各テーマでの共通課題に関する連携も取れており、水素社会実現に向けての基礎段階として申し分のないレベルであると思われた。

<改善すべき点>

- 最終目標に向けて定量的な評価ができるような目標への修正をお願いしたい。
- サプライチェーンの構築という観点では、各ステップの本中間段階での実現規模にバラツキがあり、最終目標の“商用レベルの1/100規模の達成”ということをサポートチェーン全体で担保できるのか、マネジメント側で確認することが必要ではないか。
- 個別事業の目標値については、参加事業者からすれば、定量的目標値を公表することは、技術ノウハウ流失にも繋がる懸念があると思われるので、定量的目標値/KPIを

設けることは難しいという事かも知れないが、非公表としてNEDO側で定量的目標値/KPIを把握し、公表方法としては抽象化して提示することも一つの方法ではないか。

- 実施者の成果の実用化に必要な実施者以外の要素（プレーヤーや技術）がある場合は、NEDO事業の範囲外であっても補足情報として情報開示することが望ましいと考える。
- 大規模なテーマを多くの機関で分担しているため、個別テーマの進捗が全体的にどう関係しているのかが判りにくくなっている。全体目標、および個別テーマの定量的目標値の見直し、一部再設定が必要と思われる。上位の目標値（水素コスト）に対して、個別テーマの目標値が必要十分であるのか吟味が必要ではないか。個別テーマがそれぞれ目標を達成したときに、上位目標が本当に達成できるのかという観点から課題が無いのか再検討するとよいように思われる。

<今後に対する提言>

- 本事業は今後の日本にとって大変重要な課題である。どのような水素サプライチェーンを構築できるかは本事業を達成し、次のステップに進んで社会実装の早期実現を目指して欲しい。
- 社会的要請に対し応えていくという観点では、事業の加速化が必要ではないか。
- 水素などの新しい技術の社会実装は社会受容性が前提となることが多い。専門家以外に対しても成果の普及活動を積極的に行うことは、NEDO事業を円滑に進めるためにも有効だと思われる。特許申請や論文は最重要と思うが、外部発表や受賞等についてももっと積極的に取り組めるような仕組みが必要かもしれない。
- 水素エネルギー利用事業の実用化に向けては、成果の発信と知的財産戦略、海外動向のキャッチアップが重要である。論文・学会等を利用して本事業の成果を積極的に発信していただくと共に、知的財産権の出願・登録を事業化戦略の観点から数多くかつ逸早く行っていただけるよう期待する。また水素エネルギー技術は海外、特に欧州及び豪州での開発スピードがグリーンリカバリーの観点から著しく加速されているため、海外技術動向はリアルタイムでキャッチアップしつつ、本事業が逸早く事業化へと繋がるよう期待する。
- 今回の 1/100 スケールの実証試験が、目標である 2030 年の水素価格 30 円/Nm³ 達成につながる定量的なシナリオを明示できることが望ましい。
- 大きな成果が着実に出ているので、技術開発に関して学術的な裏付けとなる論文発表なども増やしていくとよい。
- 今後、水素エネルギーに関して国際的な競争が一層激しくなることが予想されることから、技術成果をノウハウとして秘匿するだけでなく、戦略的な知財獲得について考慮願いたい。
- 現時点では個々のテーマは順調に進んでおり、連携もできている。事業完遂に向けて全体進捗の見える化、の検討が望ましいと思われる。

2. 各論

2. 1 事業の位置付け・必要性について

2050年に向けてカーボンニュートラルを達成するという脱炭素化の目標に対して、水素の利用は世界的に期待が高まっており、水素をエネルギー源として低炭素化に寄与させるには大規模な水素の供給と需要が必須であり、本事業の重要性は高い。

また、大規模な水素エネルギー技術の国内外の技術動向や国際競争力の状況を鑑みて、特に欧州や豪州での開発・市場動向と国際連携等の観点からも、この事業の目的は妥当である。さらに、水素事業に関しては民間の活動だけでは国際連携も含めて事業化が困難であり、公共性が非常に高いことから、NEDOの関与は妥当と考える。

<肯定的意見>

- ・ 海外のグリーン・ブルー水素を日本に輸送し貯蔵する技術は、エネルギー資源に乏しい日本にはいずれ必要不可欠な技術となることは間違いない。また、液化天然ガスの技術開発と同様に世界をリードできる技術になるはずであり、妥当な取り組みといえる。要素技術の開発とともに商用システムとしての技術確立を目指していることは評価できる。
- ・ 本事業（プロジェクト）の当初の開始時期に遡ると、欧米諸国の水素エネルギー利用への取組は少なく、日本の取組は先進的であった。一方で、至近1～2年において欧米諸国の取組は加速しており、本邦の同分野における技術力、国際競争力を確保する上で、重要性は更に増している。特に、サプライチェーンを俯瞰した取組は重要で、他国での取組例もほとんどなく、事業目的としては適切である。
- ・ エネルギー需要動向に鑑みても、CO₂ゼロエミッションのエネルギー供給や発電のニーズは一層高まっており、この点でも重要性は高い。
- ・ 政策動向に鑑みれば、現政権下で2050年にネットゼロ（エミッション）が謳われており、取組としては追い風の状況下であり、総合的に見て、事業の目的は妥当と評価できる。
- ・ 当該事業はエネルギー供給形態、燃料種変更は大型の先行投資を伴う一大事業であり、その技術開発に対しNEDOの関与は必要である。
- ・ 日本の地政学リスクを踏まえれば、水素の新たな需要開拓とサプライチェーンの確立は、将来の安全保障に重要な役割を果たすと考えられる。電化が今後一層進むことを前提にすれば、水素の大規模消費が期待される「水素発電」の研究開発と実用化を押し進めることは妥当である。実用化の課題はコストだが、エネルギー資源が日本よりも圧倒的に豊富な海外から水素を調達する「サプライチェーン」の開発がこれを解決するものと思われる。「水素発電」と「サプライチェーン」の組み合わせは、水素基本戦略における水素利活用のメインシナリオであり、本事業は日本のエネルギー政策の目標達成に大きく寄与するものと考えられる。グローバルな気候変動問題を背景に政府が国際社会にGHG削減をコミットする動きが加速しており、国の目標達成に民間が協力するためにも、リスクがある民間活動の実用化・事業化を加速させ、国際競争

力を確立するためには NEDO の関与は至極妥当と考える。

- 本事業は、大規模な水素エネルギー技術の国内外の技術動向や国際競争力の状況を鑑みて、特に欧州や豪州での開発・市場動向と国際連携等の観点からも、この事業の目的は妥当である。また水素事業に関しては民間の活動だけでは国際連携も含めて事業化が困難であり、公共性が非常に高いことから NEDO の関与が大きく必要とされる事業となっている。また本事業への研究開発投資を実施することにより、海外から安価な水素を大量に輸入できるスキームが構築できると同時に、水素の燃焼による発電という大規模な水素需要の事業展開が期待される。
- 2050 年に向けてカーボンニュートラルを達成するという脱炭素化の目標に対して、水素は世界的に期待が高まっている中、これをエネルギー源として低炭素化に寄与させるには大規模な水素の供給と需要が必須である。国内での水素利活用はモビリティや家庭用コジェネの燃料電池技術利用からスタートしたが、これらは水素の需要量的には十分とは言えず、本事業で取り組む準一次エネルギー的に大量の水素を供給する技術と、これを発電利用する技術は「水素社会」を実現していくうえで必要不可欠なものである。
- 一方で経済性確保には大規模なインフラ構築が必要で、技術のみならず設備投資などに長時間を要することから、民間努力だけで達成することは困難であり、NEDO 事業として進める必然性が極めて高く、意義が大きいものであると考える。
- 水素に対する欧州の動きも活発であり、また日本の脱炭素化の動きが加速される中で、事業として成立するまでの期間ならびに費用がかかる本事業に関して、NEDO 事業として体制を取り、研究開発費を投資することは大変意義があり、妥当と考えられる。

<改善すべき点>

- 事業内容が日本側での新技術開発に集中しており、水素供給元の選定や必要となる技術の課題など不明な点もある。水素サプライチェーンの建設に関わる情報収集と商用化の見通しもこの枠で検討したらどうかと思う。
- 費用対効果を図るには、大型化のステップに対する研究開発投資の成果を考慮する必要があるとともに、これまでの成果に対する投資効果を測るには、もう少し具体的かつ評価し易い K P I 設定が必要である。
- 事業の位置づけについては十分に理解できたが、必要性について定量的に把握することが難しかった。もっとも本事業の本格展開が見込まれる 2030 年以降のエネルギー全体のシナリオ（想定される需給構造）が未だ無いので、必要性（寄与度）を定量把握することはそもそも想定していなかったのだと理解している。
- 本事業を大きく分けると、海外で製造した水素を大量に日本へ供給するサプライチェーンの技術実証と、需要側としての水素発電の技術開発とに分類できると思うが、これらを実現するために必要な多くのテーマ群の相互の位置付けや関係性が複雑であり、理解するのが容易ではない。そのため現在の技術開発・実証テーマで十分であるかの判断・評価も難しいように感じる。上位の達成目標にそれぞれの個別テーマがどう関

わるのかを判りやすく説明する工夫が必要と思われる。

2. 2 研究開発マネジメントについて

水素エネルギー利用に関する国内外の技術動向、市場動向等を鑑みて、戦略的な目標が設定され、目標を達成するための要素技術の開発が網羅されており、スケジュール管理も明確である。また、研究開発の実施体制は、水素エネルギー利用において高い技術力と事業化能力を有する実施者が選定されており、実用化においてユーザーが関与できる体制を構築している。研究開発の進捗管理では、進捗状況を常に把握しているだけでなく、政策・技術の動向等の影響を検討して、適切に対応している。

一方、個別設定された目標については定性的目標設定が多く、また、個別のテーマがプロジェクト全体として初期の目標へどう結びついているのかが少し判りにくい。全体目標からブレイクダウンして個別目標を設定することで、個別テーマの目標値として、根拠を明確にしていくとともに、競争上秘匿が必要なものを除き、極力目標値を明確にしていくことが望ましい。

<肯定的意見>

- ・ 幅広い技術開発項目があるが、ここまで順調に技術を仕上げてきている。サプライチェーンの構築に必要な要素課題の追加なども適切に行なっており、大変良くマネジメントされている。
- ・ 研究開発目標、特に最終目標については、ある程度具体的な目標設定になっており、概ね妥当。
- ・ 研究開発目標の多くは水素基本戦略にある非常に戦略的な「価格目標」を前提にしており妥当と考える。価格目標を見据えた技術的な KPI を評価するためには相応の労力が必要だったが、各事業成果の開示方法（報告資料のフォーマット）がおおむね統一されていたことと、達成見通しや自己評価による定性表現に理解が進んだ。特に、HySTRA はメンバーが多数いるにも関わらず、適切にマネジメントしていることが理解できる。分科会がリモート開催だったにも関わらず、いずれの発表者の説明と質疑応答が丁寧だったことも好印象である。
- ・ 研究開発目標及び計画設定では、水素エネルギー利用に関する国内外の技術動向、市場動向等を鑑みて、戦略的な目標を設定し、目標を達成するための要素技術の開発は網羅されており、スケジュール管理も明確である。また研究開発の実施体制は水素エネルギー利用において高い技術力と事業化能力を有する実施者を選定しており、指揮命令系統及び責任体制は明確であり、実用化においてユーザーが関与できる体制を構築している。研究開発の進捗管理では進捗状況を常に把握しているだけでなく、政策・技術の動向等の影響を検討して、適切に対応している。
- ・ 研究開発目標が、政府の基本計画やロードマップに従ってきちんと設定されている。
- ・ プロジェクトの多くの個別テーマごとにブレイクダウンした目標が展開されており、スケジュールや体制も示されている。
- ・ 毎年進捗評価委員会が開かれて有識者からのアドバイスを得るとともに、全事業者間での意見交換の場を積極的に設けており、個別事業だけでなく水素社会構築に向けた

研究開発全体の課題や情報を共有している。

- 液化水素のサプライチェーン構築に必要な機器装置類の開発を追加公募して新たなテーマに加えるなど、実証事業の進展に合わせた柔軟な研究体制の見直しが行われている。
- 知財戦略については、国際競争の観点からノウハウ化するものや、積極的に取得するものなどについて考え方が示されている。
- サプライチェーンの構築とその利用システムの開発という全体バランスの取れた構成を取っており、さらに共通課題に関しては情報交換会議を実施するなど、チェーン内での検討における工夫がなされていた。具体的には有機ケミカルハイドライド法の実証テーマにおいては、負荷追従性において水素専焼ガスタービン进行想定して設計するなど、他テーマとの連携をとりながらの対応がなされており、適切なマネジメントが取られていると考える。

<改善すべき点>

- 水素のサプライチェーンの構築が目的なので、新技術の開発や国内での実証事業の支援のみならず、相手国側に必要な技術の検討なども必要と思われる。
- 研究開発目標については、特に中間目標は、少し漠な目標設定となっており、もう少し具体的かつ評価し易いK P I 設定が必要である。
- 個別設定された目標については、定性的目標設定が多く、評価を難しくしている。
- 個別に展開された技術開発目標値が全般的に定性的であり、定量的な目標値が少ない。テーマによっては開発すべき対象の容量（サイズ）が非公開資料の中にも全く未記載のものがあつたが、競争上秘匿が必要なものを除き、極力目標値を明確にすべきと考える。
- 全体目標として「水素製造効率」や「輸送効率」を個別テーマごとに設定するものとされているが、中間評価時点では明確に数値目標が設定されていなかった。さらに、「輸送効率」についてはその定義自体も明確であるとはいいがたいように感じる。
- 個別のテーマが達成できていても、プロジェクト全体として初期の目標へどう結びついているのかが少し判りにくい。
- 知財戦略についての各機関の取組方針には、ばらつきが大きい。

<今後に対する提言>

- 水素をタンカーで輸出入する時代もそれほど先ではないように思われる。個々の成果にとどまらず、本事業で技術開発した成果をスケールアップできるように、サプライチェーン全体の実証事業の規模を意識した成果の取りまとめをお願いしたい。
- 個別事業の目標値については、参加事業者からすれば、定量的目標値を公表することは、技術ノウハウ流失にも繋がる懸念があると思われるので、定量的目標値/K P I を設けることは難しいという事かも知れないが、非公表としてN E D O 側で定量的目標値/K P I を把握し、公表方法としては抽象化して提示することも一つの方法ではない

か。(評価についても、NEDOのA B D E F 評価とか、青黄赤評価とかを示すことも一つの方法か)

- 環境・エネルギーを取り巻く社会・経済・政策・技術情勢は日々変化している。実施者はこれらの動向を把握して影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているとは想像するものの、説明資料等に具体的な解説が一つ、二つあればより理解が進むと考える。
- 知的財産や研究開発データに関する取扱についてのルールは整備されており、適切に運用されている。知的財産等に関する戦略についてはNEDO側から設定されているが、実施者側との意識の差が生じているように感じられることから、今後より強い推進を期待する。
- 多数の事業者が参画する大型プロジェクトであるので、例えば「水素製造効率」、「輸送効率」等の定義は明確に定め、NEDO と事業者間の共通認識としておく必要があると思われる。
- 目標が達成されたかどうかの判断を明確化するために、極力ブレークダウンした個別目標には定量的な目標値を設定した方がよいと思われる。
- プロジェクトの進展に伴って、新たな課題や新規の機器装置類に対応するために技術開発を追加していくことなど、これまで同様柔軟に取り組んでいただきたい。
- 今後国際間の競争が激しくなることが予想されることから、知財獲得については海外の最新の情報などをよく検討したうえで、戦略については常に見直しをすることが望ましい。
- 達成度を判定できる定量的な指標が明確でないものもあり、判断がつきにくい点があった。可能な限りの定量的判断要素を導入すべきと考える。

2. 3 研究開発成果について

中間目標は概ね達成しており、世界初の技術も多く、高く評価できる。また、未達のケースでは、具体的な原因と解決方針を明確にしており、最終目標を達成できる見通しを示し、最終目標に向けた課題とその解決のルートが明確になっていることも評価できる。さらに、技術開発や実証の成果を非常に数多く対外的に発信しており、水素社会構築に向けた理解の促進に大いに寄与している。

NEDO のプロジェクトは、海外に先行して着実に進められてきたと思われるが、昨今の海外の水素への取組が大規模化し、加速してきている状況から、可能な限り前倒しなどが図られることを期待する。

<肯定的意見>

- 各課題とも中間目標は全て達成もしくは達成見通しとなっており問題ない。世界初の技術も多く、成果を高く評価できる。対外的な発表も多数行っており情報発信も十分に行われている。各社とも実用化・事業化の見通しを立てており、成果の活用が期待される。
- 全事業を通じて、既に目標達成もしくは2020年度末には達成見込みとなっており、中間目標は達成できており、成果は十分出ているし、実施の意義はあったと評価できる。
- 一部、海外ではあるが、利用システムの開発技術が実採用される見通しが出たことから、この点については特に評価できる。
- 情報発信、知財取得も適切である。
- コロナ禍の下であっても研究開発成果は総じて中間目標を達成していることが確認できた。また、未達の場合でも達成できる見通しが描かれていたことは評価できる。
- 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義の点から、中間目標は概ね達成しており、未達のケースでは、具体的な原因と解決方針を明確にしている。また成果の最終目標の達成可能性については、最終目標を達成できる見通しを示しており、最終目標に向けた課題とその解決のルートは明確となっている。
- 未利用褐炭由来水素では、液化水素船に開発成果の水素タンクが搭載され、地上側水素設備、小型ガス化炉など当初の目標を達成しており、非常に高い成果といえる。世界初の液化水素の大規模海上輸送による褐炭由来の水素が日本へ供給される実現性が大いに高まった。
- 有機ケミカルハイドライド法では、様々な要素技術の開発を経て、ブルネイから川崎までの水素輸送と火力発電への水素供給の一連のサプライチェーン実証が実施されており、非常に高い成果といえる。世界に先駆けて水素の国際サプライチェーンを実現させたことは、高く評価できる。
- 水素発電では、すでにオランダや米国など海外の大型プロジェクトを獲得しており、世界に向けて日本の技術力の高さを示すことができた非常に高い成果といえる。難易度の高い水素専焼技術に積極的に取り組んで成果を上げたことは大いに評価できる。

- ・ 技術開発や実証の成果を非常に数多く対外的に発信しており、水素社会構築に向けた理解の促進に大いに寄与している。
- ・ 褐炭ガス化や液化水素大規模海上輸送など世界初の試みに対して着実に成果を出し、既に実証レベルに到達していることは高く評価できる。また水素混焼や水素専焼タービンの開発において、多くの大学との連携なども有効に使いながら着実に成果を出している。先行している水素混焼タービンについては、世界最高水準の発電効率達成可能なレベルまで開発を進捗させており、プレス発表を行うなど素晴らしい成果と考える。また、全テーマを通じて多数の論文や発表が行われており、取組みの一般的な認知度も高いと思われる。

<改善すべき点>

- ・ 実施項目に対する目標の多くが定性的な表現であるため、達成度の評価が曖昧になってしまう。何らかの数値目標を立てて達成度を明確にして欲しい。
- ・ サプライチェーンの構築という観点では、各ステップの本中間段階での実現規模にバラツキがあり、最終目標の“商用レベルの1/100規模の達成”ということをサポートチェーン全体で担保できるのか、マネジメント側で確認することが必要ではないか。
- ・ ここ数年の政府の成長戦略やエネルギー政策が環境配慮にも重きを置いていることから、一般的な技術成果以外に CO2 削減効果なども積極的に評価するのも一案かと思う。
- ・ 個別テーマについては、それぞれの定量的目標値が明確に設定されていないものが散見される。プロジェクト完了時に目標が達成できたかどうかの判断がつきづらいので、極力目標値を定量化すべきである。
- ・ 中間目標が未達の個別テーマについては、未達原因が何によるものかをよく分析し、新たな技術課題が出てきた場合には、最終目標を達成するために個別テーマとして必要十分な目標に見直すなどの柔軟な対応を検討いただきたい。
- ・ 今後査読付き論文など、学術的な裏付けとなる成果の発信も増やしていただきたい。
- ・ 知財の取得については事業者によってばらつきが大きい。すでに獲得している知財の活用、今後取得していく知財の領域、ノウハウとして秘匿などの戦略をもう少し明確に打ち出した方が良いのではないか。

<今後に対する提言>

- ・ 最終目標に関しては大きさ、性能、回数など定量化できる目標を立てて技術開発に取り組んでいただきたい。
- ・ 本事業とは別に、大型化の技術開発が並行して進められており、それも含めた総合的な推進、評価の枠組みにしていくことが重要ではないか。
- ・ 水素などの新しい技術の社会実装は社会受容性が前提となることが多い。専門家以外に対しても成果の普及活動を積極的に行うことは、NEDO 事業を円滑に進めるためにも有効だと思われる。

- 成果の普及及び知的財産権等の確保に向けた取組の点から、一部の実施者においてはその取り組みに対して消極的であるように見受けられた。論文・学会等の発表では、今後実用化の戦略に沿って適切に発信していただき、また同時に知的財産権の出願・登録を、実用化・事業化の戦略の観点から国内外で適切に実施していただけるよう期待する。
- プロジェクト全体として、個別の研究テーマが目標値を達成できれば全体の目標が達成できるのかどうか判断しづらい。全体目標からドリルダウンして個別目標が設定され、個別テーマの目標値として根拠が明確になっていることが望ましい。
- これまで技術開発・実証が着実に進められてきているので、最終目標に向けてもスケジュールをキープして取り組んでいただきたい。NEDOのプロジェクトは海外に先行して進められてきたと思うが、昨今の海外の水素への取組が大規模化して加速してきている状況から、可能な限り前倒し化なども図ればなお良い。

2. 4 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

想定される水素サプライチェーンに基づき、水素利用の大型アプリケーションとその市場動向等を把握し、課題及びマイルストーンの検討が進められている点については評価できる。

水素サプライチェーンの実証計画は、将来の実用化時点での機器、装置、システム等のスケールアップを考慮して進められており、技術実証が予定通りに進めば、実用化規模での技術開発は順調に達成できるものと見込まれる。

一方で、目標とする経済性（水素コスト）を達成するために何が必要であるのかが判りづらく、実証が終了した後に、すぐ実用化につながる規模での事業展開は難しいと思われるため、今回の実証と実用化時点での達成すべき技術的課題、経済的課題、諸条件等をできるだけ合理的な根拠に基づいて定量化して示しつつ、2030年までの実用化に至る導入シナリオを明確にしていくことが望まれる。また、その本実証後の実用化に向けたシナリオ、スケールアップの定量的な手段が、対外的に判りやすく発信されることも期待する。

<肯定的意見>

- ・ 明確な実用化目標があり、その方向に着実に進んでいるので問題ない。
- ・ 一部、海外ではあるが、利用システムの開発技術が実採用される見通しが出たことから、この点については特に評価できる。
- ・ サプライチェーンについてはブルー水素を海外から調達するものであり、将来のグリーン水素へのトランジション技術として相対的に早期の実用化が期待できる。特にHySTRAはコスト目標への根拠と道筋が描けており、豪州パートの進捗を確認する必要はあるが、実用化戦略は明確かつ妥当である。一方、AHEADについてはコストの実態と見通しが非開示であることから評価は難しい。水素発電については2025年前後に海外においてではあるものの複数案件で運転開始が見込まれており、本事業の実用化戦略が見事に機能していることが伺える。
- ・ 本事業の成果に基づいた実用化に向けた戦略は明確であり、課題及びマイルストーンの検討が進められている。また想定される水素サプライチェーンに基づき、水素利用の大型アプリケーションとその市場動向等を把握している。
- ・ 1/100スケールでの実証計画は、将来の実用化時点での機器、装置、システム等のスケールアップを考慮して進められており、技術実証が予定通りに進めば、実用化規模での技術開発は順調に達成できるものと見込まれる。
- ・ 個々のテーマの技術的課題の解決が順調で、実証試験を行えるレベルに到達しており、さらには既に実証試験に入っているテーマもあり、将来の社会導入の可能性が高まっていると思われた。よって、これまでの実用化の戦略や取組みは適切であると考えられる。

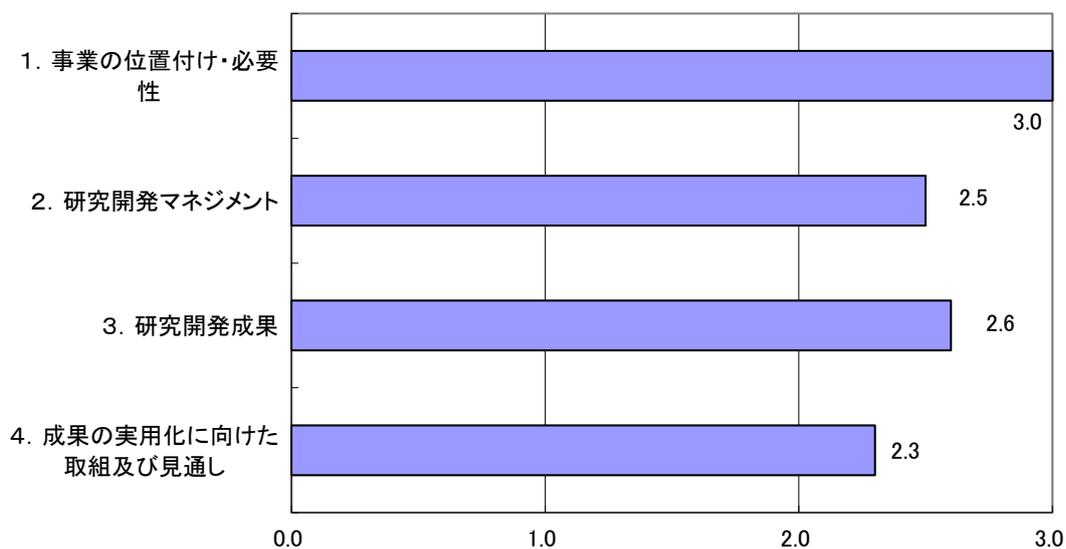
<改善すべき点>

- 本事業の関わる部分の実用化は見通せる内容になっているが、水素サプライチェーンの構築は他の事業と併せて構築することなので、それらの情報も可能な限り開示してほしい。
- 特に、サプライチェーン構築については、最終目標に技術面や実運用上の課題等の抽出、解決に向けた試行的オペレーションがどのように、かつ、何回繰り返されるのか、明確に示され、それが妥当かどうか見極める必要があるのではないかと考える。
- 成果の実用化に外国政府や外国企業の協力が必要となる場合は、NEDO 事業の範囲外であっても補足情報として情報開示することが望ましいと考える。
- 本実証では、商用化時点での 1/100 規模のスケール実証を行うものとされているが、目標とする経済性（水素コスト）を達成するために何が必要であるのかが判りづらいように思われる。
例えば水素製造効率や輸送効率の目標値が 1/100 スケールと実用化規模でそれぞれ合理的な根拠をもって設定されていれば、1/100 スケールの技術実証で目標が達成されたときに、実用化規模での目標達成の確度も高まると思われる。
- 実証が終了した後に、すぐ実用化につながる規模での事業展開は難しいと思われるので、今回の 1/100 スケールから、実用化に向けた大型化へどのようなステップを踏めばよいのか具体的な提示ができると良い。

<今後に対する提言>

- 各事業では技術的な課題だけでなく、国内外で社会実装したときのスケールで波及効果等を試算して欲しい。
- 実用化に向けては、本事業とは別に、大型化の技術開発が並行して進められており、それも含めた総合的な推進、評価の枠組みにしていくことが重要ではないかと考える。
- 難しいとは思いますが、企業の TCFD（気候関連財務情報開示タスクフォース）対応が進んでいることを考慮すれば、当該事業と TCFD 対応の関係を説明することが実用化戦略の一つの説明方法だと考える。例えば、川崎重工業は HySTRA の関連事業の財務情報を開示しているが、今回の分科会（中間評価）では触れていなかった。
- 水素エネルギー利用技術は海外、特に欧州及び豪州での開発スピードが近年著しく速いため、リアルタイムでの技術動向・市場戦略をキャッチアップしつつ、本事業が逸早い事業化へと繋がるよう期待する。
- 2030 年までの実用化に至る導入シナリオを明確化できると良い。その際に、今回の実証と実用化時点での達成すべき技術的課題、経済的課題、諸条件等をできるだけ合理的な根拠に基づいて定量化して示すことができればなお良い。
- 本実証後の実用化に向けたシナリオ、スケールアップの定量的な手段を、対外的に判りやすく発信していただきたい。
- 事業全体がスムーズに流れるように各テーマでボトルネックになっている点がないか等、今後最終段階に至るまでに全体の俯瞰的な見える化の検討が望ましいと思われる。

3. 評点結果



評価項目	平均値	素点 (注)						平均値
		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	3.0
2. 研究開発マネジメントについて	2.5	A	B	A	A	B	B	2.5
3. 研究開発成果について	2.6	A	B	A	A	A	A	2.6
4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて	2.3	A	B	B	A	B	B	2.3

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

〈判定基準〉

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

第2章 評価対象事業に係る資料

1. 事業原簿

次ページより、当該事業の事業原簿を示す。

「水素社会構築技術開発事業／ 大規模水素エネルギー利用技術開発」

事業原簿【公開】

担当部	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 次世代電池・水素部
-----	--

目次

概 要.....	2
プロジェクト用語集.....	6
I 事業の位置付け・必要性について.....	I-1
1. 事業の背景・目的・位置付け.....	I-1
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性.....	I-2
2.1. NEDO が関与することの意義.....	I-2
2.2. 実施の効果（費用対効果）.....	I-4
II 研究開発マネジメントについて.....	II-1
1. 事業の目標.....	II-1
2. 事業の計画内容.....	II-2
2.1. 研究開発の内容.....	II-2
2.2. 研究開発の実施体制.....	II-21
2.3. 研究開発の運営管理.....	II-22
2.4. 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性.....	II-25
3. 情勢変化への対応.....	II-26
4. 中間評価結果への対応.....	II-27
5. 評価に関する事項.....	II-28
III 研究開発成果について.....	III-1
1. 事業全体の成果.....	III-1
2. 研究開発項目毎の成果.....	III-3
IV 成果の実用化に向けた取り組み及び見通しについて.....	IV-1
1. 成果の実用化に向けた取り組み及び見通しについて.....	IV-1

(添付資料)

(添付-1) 各研究開発項目の詳細

(添付-2) プロジェクト基本計画

(添付-3) プロジェクト開始時関連資料（事前評価結果、パブリックコメント募集の結果）

(添付-4) 特許論文等リスト

概 要

		最終更新日	2020年10月30日
プロジェクト名	水素社会構築技術開発事業／ 大規模水素エネルギー利用技術開発		プロジェクト番号 P14026
担当推進部/ PMまたは担当者	新エネルギー部 吉積潔 (2014年6月～2017年7月) 新エネルギー部 大平英二 (2017年8月～2018年3月) 新エネルギー部 横本克巳 (2017年8月～2018年3月) 次世代電池・水素部 大平英二 (2018年4月～) 次世代電池・水素部 横本克巳 (2018年4月～)		
0. 事業の概要	<ul style="list-style-type: none"> 将来、水素発電等の形で水素を本格的に利活用するためには、安価で安定的な水素の調達が必要。 液化水素、有機ハイドライド等の水素の輸送・貯蔵技術の基礎が確立されつつある中、褐炭や副生水素等の海外の未利用エネルギーを活用する水素調達が検討されている。 このような状況の中で、以下の実証により将来の大規模な水素サプライチェーンの構築を目指す。 <ol style="list-style-type: none"> ① 液化水素輸送、脱水素化等をはじめとする要素技術実証。 ② 海外の未利用エネルギーや余剰再生可能エネルギーからの水素製造、輸送、貯蔵、利用に至る サプライチェーン実証。 ③ 水素発電等に関する技術実証 		
1. 事業の位置 付け・必要性 について	水素は使用時に大気汚染物質や温室効果ガスを排出しないクリーンなエネルギーであり、多様な一次エネルギー源から様々な方法で製造することが出来る。また、気体、液体又は固体（合金に吸蔵）というあらゆる形態で輸送・貯蔵が可能であり、利用方法次第では高いエネルギー効率、非常時対応等の効果が期待され、将来の二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待される。		
2. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	研究開発項目Ⅱ：「大規模水素エネルギー利用技術開発」（助成事業 [NEDO 負担率：1/2 又は 2/3] ）の目標は下記の通り。 ① アウトプット目標 (イ) 未利用水素エネルギー由来水素サプライチェーン構築 『最終目標』 ・2030年頃の安定的かつ大量な水素供給体制確立をめざし、2020年において商用レベルの1/100程度のプロトタイプ規模（数千万Nm ³ 規模）のサプライチェーンを構築しシステムとして技術を確認する。システムを構成する技術目標（水素製造効率、輸送効率等）に関しては、水素製造方法や水素キャリア毎の特性に応じ、個別に設定する。 『中間目標』 ・最終目標となる水素サプライチェーン構築のための要素技術を検証し、システムの全体設計を明確にする。 (ロ) 水素エネルギー利用システム開発 『最終目標』 ・水素を混焼あるいは専焼で発電する技術に関して既存の燃料と同等の発電効率、耐久性及び環境性を満たす技術を確認する。あわせて、水素発電等を組み込んだエネルギーシステムについて、市場化に必要な技術を確認する。 『中間目標』 ・各プロジェクトで最終目標としている新技術・システムの確立・技術実証、並びにプラントの基本設計の実施に向けて、基本計画の策定、及び試験条件、解析条件の設定を完了する。 ② アウトカム目標 発電分野等における水素の利活用が抜本的に拡大。2030年頃には世界に先駆け本格的な水素サプライチェーンを構築するとともに、エネルギー供給システムの柔軟性を確立し、エネルギーセキュリティの確保に貢献する。 仮に100万kW規模の水素専焼発電が導入された場合、約24億Nm ³ の水素需要（燃料電池自動車で約220万台に相当）が創出される。 ③ アウトカム目標達成に向けての取り組み 水素製造・利活用拡大技術等の研究成果を活かし、水素利活用装置の技術開発に反映して実証事業等を実施することにより、着実な水素利活用社会の拡大を図る。		

事業の計画内容	研究開発項目	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	II(イ): 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築 II(ロ): 水素エネルギー利用システム開発								
事業費推移 (単位:百万円)	会計・勘定	2015FY	2016FY	2017FY	2018FY	2019FY	2020FY	2021FY	2022FY
	一般会計								
	特別会計(需給)	253	1,443	5,104	4,719	6,147	5,176		
	開発成果促進財源								
	総NEDO負担額	253	1,443	5,104	4,719	6,147	5,176		
	(助成): 助成率1/2又は2/3	253	1,443	5,104	4,719	6,147	5,176		
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 新エネルギーシステム課 水素・燃料電池戦略室							
	プロジェクトリーダー	—							
	プロジェクトマネージャー	新エネルギー部 吉積潔 (2014年6月~2017年7月) 新エネルギー部 大平英二 (2017年8月~2018年3月) 新エネルギー部 横本克巳 (2017年8月~2018年3月) 次世代電池・水素部 大平英二 (2018年4月~) 次世代電池・水素部 横本克巳 (2018年4月~)							
	助成先等	(イ) 未利用水素エネルギー由来水素サプライチェーン構築 技術研究組合 CO2フリー水素サプライチェーン推進機構/次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合/川崎重工業(株)/東京貿易エンジニアリング(株)/ (株)荏原製作所/ (株)IHI 回轉機械エンジニアリング/トーヨーカネツ(株)/ (株)中北製作所/ (株)ササクラ/ (株)キッツ/ (国研)宇宙航空研究開発機構/ (株)IHI/ (大)北海道大学 (ロ) 水素エネルギー利用システム開発 川崎重工業(株)/ (株)大林組/三菱パワー(株)/三菱重工業(株)/三菱パワーインダストリー(株)/ (大)大阪大学/ (学)関西大学/三菱重工エンジニアリング(株)/ (学)帝京大学							
情勢変化への対応	<ul style="list-style-type: none"> 世界初となる液化水素の国際海上輸送のための規制対応に、液化天然ガスの経験を持つ事業者を含めるという実施体制の変更・強化を行った。 液化水素サプライチェーンや水素発電システム等の実用化に向け、本事業の実施期間を2年間延長し、下記技術開発のための実施体制変更・強化を行った。 <ul style="list-style-type: none"> → 液化水素の受け入れ基地に必要な機器の大型化に関する開発を行うため、液化天然ガスの受け入れ基地で使用する機器の開発経験を持つ事業者を採択した。 → 水素を燃料とする発電システムなど新たなエネルギーシステムの技術開発を行うため、天然ガス発電設備開発の経験を持つ事業者を採択した。 								
中間評価結果への対応	2016年度実施の中間評価で「各テーマ間の関連性が明確でない」「連携体制が機能して技術開発が効率的に進められているとは言い難い」との指摘があった。その対応として、2017年度以								

	降「進捗評価委員会」を年1回開催し、事業間の共通課題の解決に向けてNEDO及び実施者間で情報共有・検討を進め、NEDOが効率的・効果的な事業マネジメントを行った。	
評価に関する事項	事前評価	2015年度実施 担当部 新エネルギー部
	中間評価	2016年度 研究開発項目Ⅱ 中間評価実施 2020年度 研究開発項目Ⅱ 中間評価実施
	事後評価	2023年度 事後評価実施予定
3. 研究開発成果について	<p><未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業></p> <ul style="list-style-type: none"> 輸送用タンクシステムの基本設計・詳細設計を完了し、船級立会検査のもと、製作をほぼ完了した。 海上揺動環境下において目標流量及び目標可動範囲を達成できるローディングシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領を作成した。 豪州ラトロバレーでの褐炭の特性を反映したガス設備設計を実施し、試験設備の据付を完了した。 <p><有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証></p> <ul style="list-style-type: none"> 水素化/脱水素化反応器スケールアップの設計手法を確立し、実証設備の反応器設計に反映した。 発電燃料供給チェーンとしての設備仕様、オペレーション要件を確立した。 ブルネイでの水素化、日本での脱水素化を行うサプライチェーン実証を本年度から開始した。 <p><水素 CGS 活用スマートコミュニティ技術開発事業></p> <ul style="list-style-type: none"> 統合型 EMS の開発について、双方向蒸気融通技術と統合型 EMS を導入し、電気・熱・水素を総合管理し、環境性と事業性を確保するエネルギーマネジメントシステムおよび蒸気ハンマーの発生しない双方向融通配管網が構築できた。 水素 CGS の開発について、最終目標である「実負荷運転時の水素混焼割合切替え時の燃焼安定性検証」が完了した。 <p><低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発></p> <ul style="list-style-type: none"> 水素が燃焼器内部温度分布に与える影響を精度よく予測するために、基礎データ取得とシミュレーションの高度化を行い、設計ツールとして活用可能にした。 フラッシュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発し、水素混合割合 30%条件(事業目標：水素混合割合 20%条件)において、安定燃焼が可能なことを実燃焼試験により確認した。 実在するプラントをベースに、プラント建設計画を策定し、本事業成果の商品化に向けた基本設計(商品パッケージ化)を完了した。 	
	投稿論文	12件 (2020年9月末現在)
	特許	出願件数：20件 (うち国際出願2件)
	その他の外部発表 (プレス発表等)	研究発表・講演等：407件 新聞・雑誌等への掲載：185件
	4. 成果の実用化の見通しについて	<ul style="list-style-type: none"> 水素キャリアとしての液化水素、有機ハイドライドそれぞれについて、大規模水素サプライチェーンを構築する上で必要な要素技術の開発に目途がついている。 水素を国際的に大規模大量輸送するための制度・規制に対応可能な見通しがある。 水素を海外から輸送する事業の立上げ当初における国による運営下支えを前提に、2020年代後半に水素のプラント引渡しコストで30円/Nm³程度、つまり発電コストで17円/kWh程度を実現するための基盤技術が確立しつつある。
	作成時期	2014年9月 作成

<p>5. 基本計画に関する事項</p>	<p>変更履歴</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 2015年3月改訂（研究開発項目Ⅱを追加し、実施期間を2020年度までに延長） • 2016年3月改訂（研究開発項目Ⅱの中間評価時期を2017年度から2016年度に変更） • 2017年8月 改訂（PMの変更） • 2018年4月 改訂（担当部を新エネルギー一部から次世代電池・水素部に変更） • 2019年2月 改訂（研究開発の目標及び研究開発の内容を追記。） • 2019年7月 改訂（和暦表記を西暦表記に変更） • 2020年2月 改訂（実施期間を2022年度までに延長。中間評価時期を2020年度に追加、事後評価時期を2023年度に変更）
----------------------	-------------	---

プロジェクト用語集

(イ) 未利用水素エネルギー由来水素サプライチェーン構築

II-①：「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」

技術研究組合 CO2 フリー水素サプライチェーン推進機構

研究開発項目：「1. 液化水素の長距離大量輸送技術の開発」

	用語	説明
英数	FEM	Finite Element Method の略。すなわち、有限要素法。数値解析手法のひとつである。
	GFRP	Glass Fiber Reinforced Plastic の略。すなわち、ガラス繊維強化プラスチック。軽量ながらも高強度で、熱伝達率が低い特性を持つ。
	MLI	Multi-Layer Insulation の略。すなわち、積層断熱材。
あ行	アウトガス	海上輸送用タンクを構成する部材に含まれる物質のことで、時間と共に部材から揮発し、真空断熱層の真空度を悪化させるおそれがある。
	液化水素ポンプ	海上輸送用タンク内部に設置され、液化水素をタンクから移送するために用いられる、浸漬・電動式ポンプ。
さ行	真空層	断熱性能を持たせるために真空にされた、二重殻構造の間の空間のこと。
	真空度	真空槽内の圧力が高い場合、真空度は低い。逆に圧力が低い場合、真空度は高い。
	船級	船級協会が船舶などの海上構造物の船体・搭載機器などを一定の規定に基づいて検査し証明する、資格・等級。保険・売買などのための国際的標準となる。
た行	蓄圧式タンク	海上輸送用タンク内の液化水素から発生する BOG により、タンク内部は加圧される。蓄圧式タンクは、設計圧力まではこの加圧状態を許容するように設計されている。
	ドーム構造	海上輸送用タンクの上部に設置され、主に配管類の貫通と構造の固定及び拘束のために必要となる。タンク内部への検査なども、ドームを通ることを予定している。
な行	熱流束	単位時間あたりに単位面積を横切る熱量で、単位は W/m ² 。この値が低いほど、海上輸送用タンクの断熱性能が良い。
は行	破壊靱性試験	破壊靱性とは、亀裂または亀裂状の欠陥を有する材料に力学的な負荷が加わったときの、破壊に対する抵抗を意味する。低温環境下では一般的に低温脆性が問題となるので、低温環境下での破壊靱性を把握する必要がある。破壊靱性試験はこの破壊靱性値を得るための試験で、様々な試験方法があり、荷重の負荷形式や部材形状により異なる破壊靱性値が得られる。
	バラスト航海	海上輸送用タンクが内部に液化水素をほとんど入れない状態で輸送されること。
ま行	満載航海	海上輸送用タンクが積み付け率上限まで液化水素を貯蔵した状態で輸送されること。

研究開発項目：「2. 液化水素荷役技術の開発」

	用語	説明
英数	BOG	Boil Off Gas の略。液化水素含む低温液化ガスが、外部からの入熱等の影響で蒸発したガス。一般に、発生する BOG は低温液化ガスと同程度に低温である。
	BOG 圧縮機	液化水素貯蔵タンクから発生する BOG を、BOG ホルダーへ圧入するレシプロ式圧縮機。
	BOG 加温器	BOG 圧縮機、ベントスタックへ送られる BOG を加温する大気フィン式熱交換器。
	BOG ホルダー	BOG 圧縮機で圧縮された BOG を貯蔵するタンク。貯蔵された BOG は、船舶のガス置換等に使用される。
	HAZID	Hazard Identification Study の略。過去の事故事例やガイドワードから事故シナリオを想定し、その過程において潜在するハザードを特定。抽出したハザードの深刻度を見積り、リスクランキングに応じて追加安全対策を検討するというリスク分析・評価手法。
	HAZOP	Hazard and Operability Study の略。各オペレーションにおいて、圧力高/低、流量増/減など設計意図のずれに対して、その要因、影響・結果を分析し、安全対策を検討するというリスク分析・評価手法。
あ行	揚荷	船舶に積載された貨物を、陸上側受け入れ設備へ移動すること。本事業においては、液化水素輸送船から液化水素荷役基地へ、液化水素を移送するプロセスをいう。
	圧力損失	流体が配管、機器等を流動する際に摩擦抵抗等により圧力が減少する現象。
	安全離隔距離	可燃性ガス等を取り扱うにあたり、法規の要求やシミュレーションに従って、当該設備から対象までの離隔距離を定めたもの。
	液化水素貯蔵タンク	陸上基地において、液化水素を貯蔵するために設置されるタンク。液化水素の貯蔵タンクにおいては、BOG 発生を抑制するため断熱性能を有する。
か行	気液二相流	物質の複数の相が混ざり合って流動する混相流の一種であり、機体と液体が混ざり合った流動状態をいう。管内を液体が流動する際、外部からの入熱等により液体の一部が気化し、気液二相流が生じる。
	球形真空二重殻	液化水素貯蔵タンクにおける構造の一種。内部流体を保持する球形の内殻と、断熱層を形成するための球形の外殻の二重構造を取る。内殻-外殻間に形成される空間は真空状態であり、断熱性能を有する。
さ行	水素サプライチェーン	豪州側にて水素製造～水素液化～液化水素積荷を行い、日本側において揚荷～水素ガスタービン発電を行う製造・貯蔵・輸送・利用一体となったチェーンをいう。
	蒸発損失	低温液化ガスにおいて、蒸発して失われるガスのこと。
	蒸発率	低温液化ガスの貯蔵タンクにおいて発生する BOG の、貯蔵量に対する比率をいう。本事業では 1 日当たり重量比 (wt%/日) で表す。

	用語	説明
	真空二重フレキシブルホース	液化水素を通液するのに必要な断熱性能を満たすため、真空二重構造としたフレキシブルホース。本事業のローディングシステムに採用している。
た行	大気フィン式熱交換器	拡大伝熱面を有する管内を流動する物質と、大気との間で熱交換を行う機器。
	置換	設備内の物質を、他の物質に置き換える作業をいう。本事業においては、種々の目的に応じ、窒素⇄水素、窒素⇄空気といった置換を行う。
	積荷	陸上側設備に貯蔵した貨物を、船舶へ移動すること。本事業においては、液化水素荷役基地から液化水素輸送船へ、液化水素を移送するプロセスをいう。
な行	荷役	揚荷・積荷をあわせたプロセス。
は行	パーライト	火山岩として算出するパーライト原石や珪藻土等を高温で処理した人口発泡体。軽量・多孔質であり、断熱材としても用いられる。本事業においては、液化水素貯蔵タンクの真空断熱層に充填される。
	バイオネット継手	真空二重管の接続に用いられる継手。通常の継手と異なり、フランジ面も真空二重層となっており、外部からの入熱を低減できる。
	ベントスタック	BOGを廃棄する煙突状の設備。水素は可燃性ガスであることから、周囲への影響を低減するため、放出口高さを十分に取ることを目的とする。
や行	予冷システム	低温水素ガスや少量の液化水素を用いて設備を徐々に冷却するための一連のシステム。液化水素は極低温であるため、常温状態の設備に通液すると接液部が急激に冷却され、設備の損傷等が発生する恐れがある。
	レシプロ式圧縮機	ピストンの往復運動を利用した圧縮機。圧縮比を高めやすいが、大容量化が難しいという特徴がある。
ら行	ローディングシステム	船舶と陸上設備間において、LNG、石油等の液体を荷役する際に用いる設備。本事業においては、世界初の液化水素用ローディングシステムの実証を行う。

研究開発項目：「3. 褐炭ガス化技術の開発」

	用語	説明
英数	EAGLE	多目的石炭ガス製造技術開発 (coal Energy Application for Gas, Liquid and Electricity の略)。化学原料用、水素製造用、合成液体燃料用、電力用等幅広い用途への適用が可能な石炭ガス化技術及びガス精製技術の確立等を目的とする技術開発。
	EPA	環境保全協定 (Environmental Protection Agreement の略)。
	MHF	危険物取扱 (Major Hazard Facilities の略)。
か行	褐炭	石炭の中でも石炭化度が低く、水分や不純物の多い、低品位なものを指す。
	ガス精製	生成ガスの純度を高めるプロセス。
	原炭	原料となる石炭。

	用語	説明
さ行	酸素吹石炭ガス化炉	空気分離装置を用いて酸素を生成し、酸素雰囲気下で石炭のガス化を行うガス化炉。生成ガスの主成分は H ₂ 、CO であり、CO ₂ 分離回収しやすいという特徴がある。
	湿炭	水分を含んだ石炭。
た行	ダイレクトクエンチ方式	生成ガスに直接水を吹きかけることで、生成ガスの冷却を行う方式のこと。
は行	破碎機	対象を目的の大きさまで破碎する機器。
	フィジビリティスタディ	プロジェクトの実現可能性を事前に調査・検討すること。
	ブリケット	石炭粉などを圧縮・成型して作る燃料のこと。
ま行	ミル	石炭を微粉状に粉碎する装置。
ら行	冷ガス効率	ガス化に使われた発熱量が生成ガス発熱量に転換した割合。

II-②：「有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証」

次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合

	用語	説明
英数	GTCC	Gas Turbine Combined-Cycle
	HRSR	Heat Recovery Steam Generator、ガスタービン用排熱回収ボイラ。ガスタービンと組み合わせ「ガスコンバインドサイクル発電」を構成する設備の一つでもある。
	PSA	ガス分離技術の一つ。Pressure Swing Adsorption、圧力変動吸着法。ガス分圧を利用し選択的にガスを吸着材に脱着する事でガスを分離する技術。
か行	気液平衡	液体から気体になる蒸発、気化反応と、気体から液体になる凝縮、液化反応の速度が等しくなり、結果、液体と気体の量が変化しなくなっているように見える状態。
	吸着分離法	気体や液体中のある特定の成分を多孔質個体（吸着剤）に吸着させて、分離・濃縮・除去・回収を行う方法を指す。
た行	多管式反応器	円筒状のシェルの中に、触媒を充填された管（反応管）を複数配置した形式の反応器
な行	熱インテグレーション	今回のケースでは、発電タービンからの放熱を、吸熱反応である脱水素プラントへ供給し熱の有効利用をする事を指す。
は行	バッフルプレート	容器の中で、流体の流れ中に設ける流れを制御する板。
ま行	膜分離法	液体または気体を、選択性を持つ隔壁（膜）に圧力差、濃度差、電位差により通すことで目的物を濾し分ける操作の総称である。
や行	有機ケミカルハイドライド法	触媒反応を介して水素を可逆的に放出する有機化合物（メチルシクロヘキサン・シクロヘキサン・デカリン等）を利用した水素を常温・常圧の液体で貯蔵/運搬す

	用語	説明
		る技術。千代田化工建設では、トルエンに水素添加したメチルシクロヘキサンを採用。
ら行	流動解析	目で直接見られない容器内部の流体の状態をシミュレーションする技術。流体解析 (CFD : Computational Fluid Dynamics)

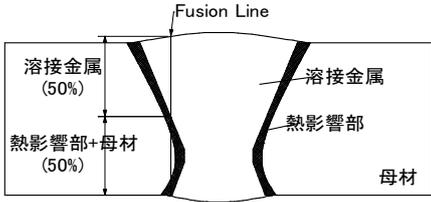
II-③：「液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」

川崎重工業(株)／東京貿易エンジニアリング(株)／

(株)IHI 回転機械エンジニアリング／(株)荏原製作所

	用語	説明
英数	1D CAE	1次元 Computer Aided Engineering の略: 設計支援の考え方、手法、ツールの一つで、機能ベースで対象とする製品全体を表現し、評価解析可能とすることにより、製品開発上流段階での全体適正設計を可能とする。
	BOG	Boil Off Gas (蒸発ガス) の略
	BOR	Boil-off rate の略。 タンク内の液満載時の容積に対する 1 日当たりの液蒸発率 (タンクの断熱性能の指標)
	CCJ®	CRYOCOUP Joint の略 ステンレスパイプとアルミニウムパイプを溶接一体構造とする配管用異材継手 (旭化成株製)
	SSRT	Slow Strain Rate Testing の略 低ひずみ速度試験
	STJ®	Structural Transition Joint の略 アルミニウム合金部と炭素鋼またはステンレス鋼部の溶接を可能とする構造用異材継手 (旭化成株製)
あ行	アンカーストラップ	熱収縮や地震時にタンク側板の浮き上がりを防止するために、側板から基盤に設置される構造部材
	液化水素昇圧ポンプ	液化水素を加圧することを主目的とした遠心式ポンプ
	液空	液体空気の略。圧縮または冷却にて液化した空気
か行	回転継手	スィベルジョイントの項を参照願います。
	緊急離脱機構	突風や潮流等によるタンカーの急激な移動、地震による津波の襲来、火災等の不測の事態が発生した場合に、海上用ローディングアーム内の流体をパージすることなく、短時間でタンカーから安全に切り離すシステムのこと。
さ行	サーマルブレーキ	外部からスカートを通して球形タンクに侵入する熱量を低減させるために、スカートに挟む熱を通しにくい (熱伝導率の低い) 部品
	シールガス	ロッドパッキン部から漏れる微量なガスが、圧縮機フレームに入るのを防ぐために封入される不活性ガス

	用語	説明
	軸スラストバランス機構	回転体に発生する軸方向の力(軸スラスト)を自律的に釣り合わせてゼロにする機構。羽根車周囲の圧力差やポンプ回転体の自重によって釣り合わせる。
	軸スラスト力	ポンプなどの回転機械の回転体(軸や羽根車を組立てた部品)に発生する軸方向の力。内部の圧力差や部品重量などによって発生する。
	シリンダ	往復動圧縮機の圧縮ガスを納める筒のことで、その内部でピストンが往復動することにより、ガスが圧縮される。
	スィベルジョイント	スィベルジョイントとは、360度回転する継手で、圧力のある流体や大気圧以下の流体を輸送するにあたって、その配管を回転・上下・左右・前後の任意の方向に移動させる必要のある時に使用される継手のこと。
	スカート	球形タンクを支持固定するための円筒状の構造部品
	脆化	金属が脆くなる現象。材料によっては極低温や水素ガス環境で生じる場合がある。
た行	対流伝熱	流体の流れによって熱が伝えられる現象
	中間筒	往復動圧縮機のフレームとシリンダ間に設置され、シリンダ側のガスとフレーム側の潤滑油を隔離する。
	定格流量	ポンプ定格運転時の流量。
な行	荷役	トラック・貨車・船舶・航空機などの物流過程における物の取扱いに関する作業。
は行	バイヨネット	常温部(外表面)と低温部(低温水素ガス接触部)の伝熱距離を細く長くとることで入熱量を低減することを目的とした継手
	羽根車	ポンプや水車などに用いられる羽根をもった回転部品。ポンプの場合、遠心力等で液体に圧力および運動エネルギーを与える。扇風機の風を生む部品と同類のもの。
	パラ水素	水素分子の核スピンの方向によりオルト水素、パラ水素に分類され、液化水素はほぼパラ水素で存在する。
	ピストンリング	往復動圧縮機のピストンに装着され、シリンダ内の圧力をシールする摺動部材
	ベローズ	蛇腹とも言い、紙・布・プラスチック・金属などの膜や板状の部材で作られ、山折りと谷折りの繰り返し構造で、伸縮性・気密性・バネ性を持たせたもの。液化水素用配管では真空二重構造で、内管と外管に温度差が生じることから、内管と外管の間で熱収縮による寸法差が発生するため、これを吸収するために使用する。
ま行	メンブレン	タンクの気密性および変位吸収特性を有する薄板の鋼材
ら行	ライダーリング	往復動圧縮機のピストンに装着され、ピストンの自重を支える摺動部材
	ロッドパッキン	ピストンロッドのシリンダ貫通部をガスシールする摺動部材
ら行	ローディングアーム	タンカーから液体を荷揚げまたはタンカーに積み込みするために用いる設備。タンカーの揺動に対し、スィベルジョイントとパイプを組み合わせることで円滑に追従する機能を有する。

	用語	説明
英数	ASME 規格	ASME は”American Society of Mechanical Engineers” (アメリカ機械学会) の略であり、ASME が発行する代表的な規格である「ASME ボイラ及び圧力容器基準」を意味する。
	CFRP	「Carbon Fiber Reinforced Plastics」の略で、「炭素繊維強化プラスチック」を意味する。プラスチック、つまり樹脂を炭素繊維で強化することで、樹脂単体よりも高い強度や剛性を得ることが出来る。
	Fusion Line	一般的には、溶接金属と未溶融母材との境界線であるが、溶接金属が 50%、熱影響部及び母材が合わせて 50%となる線を意味する。  <p>The diagram illustrates a cross-section of a weld joint. A central vertical line is labeled 'Fusion Line'. On either side of this line, there is a shaded region representing the weld metal, with a label '溶接金属 (50%)'. Below the weld metal, there is a region representing the heat-affected zone (HAZ), labeled '熱影響部'. The outermost regions are labeled '熱影響部+母材 (50%)' on the left and '母材' on the right.</p>
	GFRP	Glass Fiber Reinforced Plastics の略称で一般的に FRP と呼ばれている。ガラス繊維と強化材、熱硬化性樹脂を母材とする複合材料である。
	J _{IC} 試験	切欠き(先端は疲労き裂)を有する試験片に荷重を与えて、破壊が生ずる際に材料が示す破壊抵抗値を測定する破壊靱性試験の一種。
	MLI	ポリイミドなどの高分子フィルムにアルミニウムを蒸着メッキを施し、プラスチック製メッシュを交互に積層させ、断熱効果を上げた材料
	mass ppm	質量百万分率を表す。ppm は、100 万分の 1 を意味しており、”parts per million”の頭文字である。
	SSRT	“Slow Strain Rate Technique”の略。低歪速度による応力負荷により強制破断させる方法であり、水素脆化感受性を評価するための方法。
	SUS 316L	18%のクロム(Cr)と 12%のニッケル(Ni)を含み、更にモリブデン(Mo)を添加することで耐食性を上げたオーステナイト系ステンレス鋼の一種。
英数	TIG 溶接	TIG は”Tungsten Inert Gas”の略であり、高融点金属であるタングステンあるいはタングステン合金を電極として用い、母材との間にアークを発生させて溶加ワイヤーを挿入して溶接する方法。溶融部分への大気侵入による溶接金属の酸化や欠陥発生を防止するため、不活性ガス(Inert Gas)で溶融部分を保護する。
か行	ガス放出	真空において物質の表面に吸着、凍結していた水や、油などの有機化合物が蒸発や昇華することによって、気相中に徐々に放される現象のこと。特に多孔質材料は表面積が大きく、真空装置において、ガス放出の原因となることが多い。
	クライオトラップ	気体分子を極低温面に凝縮させて捕捉すること
	コンダクタンス	コンダクタンスとは気体の流れやすさの指標となるもので、同じ圧力差ではコンダクタンスが大きいほど流量が大きくなる。コンダクタンスは、配管等の太

	用語	説明
		さ、長さ、気体の種類、温度に依存する。また圧力によって変わる場合もある。コンダクタンスの単位は SI 単位系で [m ³ s ⁻¹] となり、排気速度と同じ単位である
さ行	水素脆化	金属材料中に吸収された原子状の拡散する水素より、材料の延性又は靱性が低下する現象。
	真空断熱	密閉空間内を負圧状態にして熱移動因子であるガスを除去し、断熱をする方法
な行	熱影響部	溶接、熱切断などの熱で金属組織の微細構造や特性が変化した母材の領域を意味する。
は行	破壊力学	き裂を含む部材や材料の破壊現象を定量的に扱う材料力学をベースとした工学的手法の一つ。
	分子流	圧力が低く、空間における気体分子同士の衝突は殆ど起こらず、気体の流れる寸法に比べて気体分子の平均自由行程が非常に長い場合の流れは
	ベーキング	真空チャンバー外壁にテープ状またはワイヤー状のヒータを巻いて、チャンバー全体を熱し、ガスを事前に放出すること
	ベローズ	蛇腹を意味する英語である。機械分野においては、一般的に、蛇腹構造を持たせ、伸縮性や曲折性といった機能が付与された配管、継手等を指す。
	母材	溶接においては、溶接される金属材料そのものを指し、溶接の熱によって金属組織や特性が変化していないオリジナル部分である。
ま行	ミルメーカー	鉄鋼メーカーを意味する。
や行	溶接金属	溶接中に溶融して凝固した金属を意味する。
	予き裂	破壊靱性試験を行うにあたって、試験片に加工した機械的切欠き先端を自然き裂に見立てて鋭くするために、破壊試験前に切欠き先端に発生・成長させて導入した疲労き裂を意味する。

II-⑤：「液化水素用大口径バタフライバルブの技術開発」 (株)中北製作所

	用語	説明
英数	Cv 値	容量係数 (Cv 値) : バルブ全開時の単位時間あたりにバルブを通過する流体の体積 (容量) で 15.6°C (60°F) の清水が 1psi の差圧でバルブを流れる時の流量を USgal/min で表した数値
	LNG 用極低温バタフライバルブ	-163°Cの液化天然ガス(LNG)の流れを制御する為に開発したバタフライバルブ。
か行	グローブバルブ	一般に球形の弁箱をもち、入口の中心線と出口の中心線とが一直線上にあり、流体の流れが S 字状となるバルブ。
	原理試作品	製品における一部要素の機能や性能を評価する為の試作品。
さ行	シートリング	バルブが閉止位置にある時、バルブ内で締切り面に相当する部位をもつ部品。
	シール面圧	流体を閉止する部位に発生する応力。
	実機試作品	製品の機能や性能を評価する為の試作品。

	用語	説明
	浸漬試験	目標温度に設定してある液中に対象を設置した状態で機能や性能を評価する試験。
た行	ディスク	弁の構成部品のうち、流体を制御する為の円板状の回転体。
は行	バタフライバルブ	短円筒形の弁箱内でディスクが回転するバルブの総称。
	バックアップリング	弁を構成する部品のうち、シートリングの剛性を高める為に取り付ける輪状の部品。
ま行	メンテナンスホール	内部点検・整備の為の穴。

II-⑥：「液化水素用バタフライバルブの開発」 (株)ササクラ

	用語	説明
英数	JAXA	宇宙航空研究開発機構
	LNG	液化天然ガス
	LN2	液体窒素
	LH2	液体水素
	He	ヘリウム
か行	グラウンド部	弁本体(弁軸)と駆動部との接合部から流体が外部へ漏洩するのを防ぐためにシール等で構成された部位
さ行	浸漬法	冷媒に浸して試験を行う方法
	深冷試験	冷媒を用いて極低温に冷却して行う試験
	水素脆性	鋼材中に水素が吸収されることによって、鋼材が脆くなる現象
は行	弁本体(一体型)	弁箱を一つの部品で製作するもの
	弁本体(分割型)	弁箱を複数の部品を組み合わせで製作するもの
	弁座	流体をシールする部分の総称
	弁箱	バルブを構成する主要部品(弁座を有する)の一つで主に流体が流れる部位(バルブのケーシング)
ら行	流路内封入	浸漬法とは別の試験方法で弁箱の流体が流れる部位に冷媒を封入すること

II-⑦：「液化水素用大型バルブの技術開発」 (株)キッツ

	用語	説明
英数	Cv 値	ある特定条件下 (バルブの入出の圧力差が 1psi として 60℃の水を流した時) の流量を US ガロン/min で表した数値。
あ行	インターナルヒンジピン構造	ピン挿入部である外部シール部を無くし、流体の外部漏洩リスクを低減させた構造。
さ行	スイング式逆止弁	弁体がピンを支点とするアームによって弧状運動を行い、流体の圧力によって弁座面が圧着し封止する弁

	用語	説明
た行	トラニオンマウン テッド型ボール弁	弁体(ボール)を上部、下部の2本のステムで保持、固定する構造のボール弁
は行	ボール弁	ボディ内でステムを軸としてボールが回転するバルブ

(ロ) 水素エネルギー利用システム開発

II-⑧：「ドライ低 NOx 水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業」

川崎重工業(株)／(株)大林組

	用語	説明
英数	CGS	コージェネレーションシステム (Co-Generation System) の略号で、熱源より電力と熱を生産し供給するシステムの総称であり、国内では「コージェネ」あるいは「熱電併給」、海外では、” Combined Heat & Power” あるいは ” Cogeneration” 等と呼ばれる。 CGS には内燃機関 (エンジン、タービン) や燃料電池で発電を行ってその際に発生する熱を活用する方法、蒸気ボイラーと蒸気タービンで発電を行って蒸気の一部を熱として活用する方法がある。 (コージェネ財団 HP より一部引用)
	DLE	Dry Low Emission の略号。一般的に水や蒸気を使用しない低 NOx 化技術をいう。
	Dry (ドライ) 燃 焼方式	水や蒸気を使用しない NOx 排出低減燃焼方式をいう。(⇔Wet 燃焼方式)
	EMS	エネルギーマネジメントシステム (Energy Management System) の略号。ビルや工場などで省エネを図るため、IT (Information Technology、情報技術) を活用してエネルギーを最適制御するシステムのこと。
	GT	ガスタービン (Gas-Turbine) の略号。
	Wet (ウェット) 燃焼方式	水や蒸気を使用した NOx 排出抑制燃焼方式をいう。(⇔Dry 燃焼方式)
か行	コージェネ	「CGS」参照。
	コージェネレー ションシステム	「CGS」参照。
さ行	蒸気噴射方式	Wet (ウェット) 燃焼方式を参照。
ま行	水噴射方式	Wet (ウェット) 燃焼方式を参照。

II-⑨：「CO2 フリーアンモニア利用 GTCC システムの技術開発」

三菱パワー(株)

	用語	説明
英数	CFD	計算流体力学 (Computational Fluid Dynamics) のこと。偏微分方程式の数値解法等を使用して流体の運動方程式 (オイラー方程式、ナビエ-ストークス方程

	用語	説明
		式、またはその派生式) を計算機で解くことで流れを観察するシミュレーション手法。
	Fuel NOx	燃料中に含まれる窒素分が起因となる酸化窒素物で、環境汚染物質のこと。 Nitrogen Oxides (NOx)。
	GTCC	ガスタービンコンバインドサイクル(Gas Turbine Combined Cycle)のこと。ガスタービンの出力で発電機を駆動するだけでなく、ガスタービン排ガスを排熱回収ボイラーに導き、その熱回収によって蒸気を発生させ、蒸気タービンを駆動する高効率な発電システム。
	LNG	Liquefied Natural Gas の略語であり、天然ガスを-162℃まで冷却して液化し、遠隔地への輸送や貯蔵をやすくしたものの。
	NOx	Nitrogen Oxides (NOx) 。酸化窒素の総称で、環境汚染物質のこと。
	Thermal NOx	空気中の窒素分が起因となる酸化窒素物で、環境汚染物質のこと。Nitrogen Oxides (NOx) 。
	1 次元層流予混合 火炎	燃料と空気の混合ガスを燃やした際に形成される平面火炎のこと。火炎の基本的な特性を評価する際に使用する。
か行	火炎	燃料や物が燃えるときの、光や熱を出している部分。
	ガスタービン	原動機的一种。燃料の燃焼により生成した高温の燃焼ガスでタービンを回転させ回転運動エネルギーを得る内燃機関。
	化石燃料	地質時代にかけて堆積した動植物などの死骸が地中に堆積し、長い年月をかけて地圧・地熱などにより変成されてできた化石物のうち、人間の経済活動で燃料として用いられる（または今後使用が検討されている）ものの総称。
	逆火	火炎が上流、特に燃料噴射ノズルまで遡ること。逆火によりノズルが損傷するリスクがある。フラッシュバック。
	気流試験	燃料と空気を供給し、燃焼させずに気流の流動や混合を調べる試験。
さ行	詳細反応メカニズム	燃焼現象を表す化学反応式のこと。天然ガスの燃焼は数百から数千からなる多段の化学反応式で表される。
	水素専焼	燃料として水素 100%で燃焼させること。
た行	多孔噴流燃焼方式 (クラスタバー ナ)	空気流中に燃料を噴射して空気と燃料を混合する混合管 1 本を基本構成要素とし、これを複数本備えるバーナ。
	脱硝	窒素酸化物をアンモニア等を用いて還元し、窒素と水に変えて無毒化すること。
	窒素酸化物	酸化窒素の総称で、環境汚染物質のこと。Nitrogen Oxides (NOx) 。
	着火	燃料が空気中の酸素と酸化反応し燃焼を始めること。
	低位発熱量	燃料の燃焼により得ることができる熱量であり、燃焼で生成する水蒸気の凝結による凝結潜熱を差し引いた値。Lower Heating Value (LHV)
	天然ガス	地中から天然に産出するガスの総称。通常、炭化水素類を主成分とする可燃性ガスをさし、化学工業原料・工場燃料・都市ガスなどに利用される。

	用語	説明
	ドライ低 NOx 燃焼器	乾式低 NOx (Dry Low NOx) 燃焼器のことで、乾式とは水や蒸気、窒素などの希釈剤を使用せずに低 NOx を図る燃焼器のこと。
な行	内閣府 SIP	内閣府が推進する戦略的イノベーション創造プログラム(Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program)。
	二段燃焼方式	燃料過濃燃焼と燃料希薄燃焼を単一の燃焼器でおこなう方式 (リッチリーン燃焼方式)。
	燃焼振動	燃焼器内の圧力変動と火炎による発熱変動が同期して圧力変動が増大する共鳴現象であり、燃焼振動が発生すると燃焼器、さらにはガスタービンが破損するリスクがある
	燃焼速度	未燃焼混合気に対する火炎面の相対速度として定義され、燃焼性を直接表す指標。この速度が速いほど燃えやすく、逆火しやすい。
	ノズル	空気流中に燃料を噴射して空気と燃料を混合する装置。
は行	発電端効率	発電機が発電した電力を燃料の投入熱量で除したグロス効率。所内動力を考慮した送電端効率(ネット効率)と区別して用いる。
	非定常燃焼 CFD 解析	時間とともに変化する燃焼現象を予測するために、時間を刻んで計算する解析手法。
や行	予混合燃焼器	乾式低 NOx (Dry Low NOx) 燃焼器のことで、乾式とは水や蒸気、窒素などの希釈剤を使用せずに低 NOx を図る燃焼器のこと。

II-⑩：「低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型 Dry Low NOx 高温ガスタービン発電設備の研究開発」

三菱パワー(株)／三菱重工業(株)

	用語	説明
英数	CFD	計算流体力学 (Computational Fluid Dynamics) のこと。偏微分方程式の数値解法等を使用して流体の運動方程式 (オイラー方程式、ナビエ-ストークス方程式、またはその派生式) を計算機で解くことで流れを観察するシミュレーション手法。
	Dry Low NOx	ドライ低 NOx のこと。詳細はドライ低 NOx 燃焼器の項を参照。
	GW	ギガワット。ギガは接頭辞の1つで、10の9乗倍を表し、ワットは仕事率や電力をあらわす単位。W=J/秒。
あ行	圧力スペクトル	時間領域における圧力変動 (波形) に対し、それから周波数領域への変換で得られる周波数の関数のこと
	インフラ	インフラストラクチャーの略。インフラとは道路、鉄道、上下水道、電気、電話網、通信網など生活や産業などの経済活動を営む上で不可欠な社会基盤となる施設の総称
	音響ライナ	燃焼振動を抑制するための構造を備えたライナ (内筒)
か行	火炎	燃料や物が燃えるときの、光や熱を出している部分

	用語	説明
	ガスタービン	原動機的一种。燃料の燃焼により生成した高温の燃焼ガスでタービンを回転させ回転運動エネルギーを得る内燃機関
	化石燃料	地質時代にかけて堆積した動植物などの死骸が地中に堆積し、長い年月をかけて地圧・地熱などにより変成されてできた化石物のうち、人間の経済活動で燃料として用いられる（または今後使用が検討されている）ものの総称
	逆火	火炎が上流、特に燃料噴射ノズルまで遡ること。逆火によりノズルが損傷するリスクがある。フラッシュバック。
	混合管	クラスタバーナの基本構成要素。空気流中に燃料を噴射して空気と燃料を混合する管のこと。
	コンター	等値線図
さ行	再生可能エネルギー	絶えず資源が補充されて枯渇することのないエネルギー。具体例として、太陽光、太陽熱、水力、風力、地熱、波力、温度差、バイオマスなど。
	水素専焼	燃料として水素 100%で燃焼させること
	水素発電	水素を燃料として用いた発電のこと
	旋回流	気体などの流体が旋回しながら流れる流れ
た行	多孔噴流燃焼方式 (クラスタバーナ)	空気流中に燃料を噴射して空気と燃料を混合する混合管 1 本を基本構成要素とし、これを複数本備えるバーナ
	脱硝	窒素酸化物をアンモニア等を用いて還元し、窒素と水に変えて無毒化すること。
	窒素酸化物	酸化窒素の総称で、環境汚染物質のこと。Nitrogen Oxides (NOx)。
	着火	燃料が空気中の酸素と酸化反応し燃焼を始めること
	低位発熱量	燃料が燃焼し、仕事に変えることができる熱量。Lower Heating Value (LHV)
	点火トーチ	燃料を点火させるために、先端に発熱体などを備えた棒状の構造
	天然ガス	地中から天然に産出するガスの総称。通常、炭化水素類を主成分とする可燃性ガスをさし、化学工業原料・工場燃料・都市ガスなどに利用される。
	ドライ低 NOx 燃焼器	乾式低 NOx (Dry Low NOx) 燃焼器のことで、乾式とは水や蒸気、窒素などの希釈剤を使用せずに低 NOx を図る燃焼器のこと。
な行	二次エネルギー	石炭、石油、天然ガス、薪、水力、原子力、風力、潮流、地熱、太陽エネルギーなど自然から直接採取されるエネルギーを一次エネルギーというのに対して、これらの一次エネルギー源を転換および加工することによって得られる電力、都市ガス、コークスなどのこと。
	燃焼振動	燃焼器内の圧力変動と火炎による発熱変動が同期して圧力変動が増大する共鳴現象であり、燃焼振動が発生すると燃焼器、さらにはガスタービンが破損するリスクがある
	燃焼速度	未燃焼混合気に対する火炎面の相対速度として定義され、燃焼性を直接表す指標。この速度が速いほど燃えやすく、逆火しやすい
	燃料ステージング	着火から定格負荷条件まで各燃料系統に燃料を供給していく計画のこと

	用語	説明
	燃料噴射ノズル	燃料を噴射する装置
	ノズル	空気流中に燃料を噴射して空気と燃料を混合する装置
は行	パーミアウト耐性	ガスタービン燃焼器の燃焼性能のひとつで、フラッシュバックが瞬間的に発生しても回避可能な耐性のこと。
	パイロット系統	主に保安を確保する系統であり、予混パイロット系統、拡散パイロット系統はそれぞれパイロットがそれぞれ予混合燃焼、拡散燃焼方式を採用している系統
	発電端効率	発電機が発電した電力量で評価した効率
	非燃焼試験 (気流試験)	燃料と空気を供給し、燃焼させずに気流の流動や混合を調べる試験
	フラッシュバック	逆火のこと
	ベルマウス	空気がスムーズに流入するように流入部分に取り付けた部品
ま行	マルチクラスタ燃 焼器	モデルバーナを複数備えた燃焼器
	モデルバーナ	混合管を複数本備えた構造
	予混合燃焼方式	燃焼前に予め燃料と空気を混合させる燃焼方式

II-⑪：「高濃度水素混焼／水素専焼焚きボイラ・発電設備の技術開発」

三菱パワーインダストリー(株)

	用語	説明
英数 A	AAP	After Air Ports の略：NOx 低減手法として燃焼用空気を二段に分割して投入する場合の二段目の空気を投入する空気孔。
	A/H	Air Heater の略：煙道ガスの余熱を利用して燃焼用空気の余熱（加熱）を行う装置（熱交換器）。
	Air register	バーナにおいて、燃焼用空気を燃焼に適した流れ及び量に整える装置。
D	Deaerator	脱気器：水中の溶存期待を物理的に分離除去する装置。
E	Economizer	節炭器：ボイラの燃焼排ガスの余熱を利用して給水を加熱する装置。
	Evaporator	減圧することによって水を積極的に蒸発させる機能をもつ装置。
F	FDF	Forced Draft Fun：燃焼室内に燃焼用空気を強制的に押し込んで送風する送風機。
	FLD	Flame Detector:バーナ火炎有無を監視検出する装置。
	Flame holder	保安器：バーナで着火を確実に任せ、かつ火炎の安定性を図る装置。
G	GM	Gas Mixing：燃焼用空気に燃焼ガスを混合して、NOx を低減する手法。
I	I1	共鳴周波数成分の振幅
	IDF	Induced Draft Fun：燃焼室内から燃焼排ガスを強制的に吸い込んで排出する送風機。

	用語	説明
L	LPG	Liquefied Petroleum Gas:液化石油ガスで、プロパンガスとブタンガスを総称して呼ぶ。
S	SDG s	Sustainable Development Goals : 持続可能な開発目標で「環境の持続性確保」他 17 の目標がある。
	Superheater	加熱器 : ボイラで発生した飽和蒸気を過熱して過熱蒸気にするための装置。

II-⑫ : 「大出力水素燃焼エンジン発電システムに関する技術開発」 川崎重工業(株)

	用語	説明
英数	HAZOP	HAZOP (Hazard and Operability Studies) 手法とは、1960 年代、英国の ICI 社が新規化学プロセスを開発する際に安全を確保するために、設計意図と異なる状態発生を網羅し、それらの影響・結果を評価して、必要な対策を取るために考え出した手法。無(no)逆(reverse)他(other than)大(more)小(less)類(as well as)部(part of)早(early)遅(late)前(before)後(after)といった標準ガイドワード (誘導語) を使うことで、効果的に想定外の事象を洗い出すことが可能であり、電気、情報、医療など化学以外の分野でも利用が進んでいる。
か行	空燃比	空気と燃料の質量比。燃焼室内の混合気中における燃料濃度を表す指標。
さ行	図示平均有効圧力	エンジンの 1 サイクル当たりの仕事量を排気量で除して、圧力の単位で示した値を平均有効圧力という。図示平均有効圧力は、シリンダ内の圧力変化を記録した指圧線図 (縦軸 : シリンダ内圧力、横軸 : シリンダ容積) の、曲線内の面積 (= 図示仕事) を行程容積で割った値。 平均有効圧力は、エンジンの回転速度や排気量の大きさの影響を排除してエンジンの性能を相互に比較することができる。
	水素脆化	金属材料中に水素が吸収されることによって、延性が低下する現象。
た行	単筒機	エンジンの 1 シリンダ分を切り出し、主に燃焼室の内部の現象を評価するための試験エンジン。 たくさんのテスト部品を製造せずとも、テスト部品の効果を定量化することができ、評価時間・コストを抑制することができる。
ら行	リスクアセスメント	作業における危険性又は有害性を特定し、それによる被災の程度とその災害が発生する可能性の度合いを組み合わせることでリスクを見積もり、そのリスクの大きさに基づいて対策の優先度を決めた上で、リスクの除去又は低減の措置を検討し、その結果を記録する一連の手法。

II-⑬ : 「水素 CGS 活用スマートコミュニティ技術開発事業」 (株)大林組/川崎重工業(株)

	用語	説明
英数	CGS	コージェネレーションシステム (Co-Generation System) の略号で、熱源より電力と熱を生産し供給するシステムの総称であり、国内では「コージェネ」ある

	用語	説明
		いは「熱電併給」、海外では、” Combined Heat & Power” あるいは ” Cogeneration” 等と呼ばれる。 CGS には内燃機関（エンジン、タービン）や燃料電池で発電を行ってその際に発生する熱を活用する方法、蒸気ボイラーと蒸気タービンで発電を行って蒸気の一部を熱として活用する方法がある。 (コージェネ財団 HP より一部引用)
	EMS	エネルギーマネジメントシステム (Energy Management System) の略号。ビルや工場などで省エネを図るため、IT (Information Technology、情報技術) を活用してエネルギーを最適制御するシステムのこと。
	GT	ガスタービン (Gas-Turbine) の略号。
か行	コージェネ	「CGS」参照。
	コージェネレーションシステム	「CGS」参照。

II-⑭：「低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発」

三菱パワー(株)／三菱重工業(株)

	用語	説明
英数	CFD	計算流体力学 (Computational Fluid Dynamics) のこと。偏微分方程式の数値解法等を使用して流体の運動方程式 (オイラー方程式、ナビエ-ストークス方程式、またはその派生式) を計算機で解くことで流れを観察するシミュレーション手法。
	Dry Low NOx	ドライ低 NOx のこと。詳細はドライ低 NOx 燃焼器の項を参照。
	GW	ギガワット。ギガは接頭辞の1つで、10の9乗倍を表し、ワットは仕事率や電力をあらわす単位。W=J/秒。
	NOx	燃焼反応において生成する窒素酸化物 (NOx) の総称。ガスタービン排ガス中の窒素酸化物 (NOx) は、主として一酸化窒素 (NO) である。
あ行	圧力スペクトル	時間領域における圧力変動 (波形) に対し、それから周波数領域への変換で得られる周波数の関数のこと
	圧縮機	ガスタービンの構成要素であって、作動流体の圧力を上昇させる回転機械。
	圧縮機 (駆動) 動力	圧縮機を駆動させるために必要となる動力。
	インフラ	インフラストラクチャーの略。インフラとは道路、鉄道、上下水道、電気、電話網、通信網など生活や産業などの経済活動を営む上で不可欠な社会基盤となる施設の総称
	音響ライナ	燃焼振動を抑制するための構造を備えたライナ (内筒)
か行	火炎	燃料や物が燃えるときの、光や熱を出している部分

	用語	説明
	拡散燃焼	燃料と空気を別々に供給して、両者の境界面にそれぞれが拡散して燃焼させる方法。
	拡散バーナ	燃料と空気をあらかじめ混合しないで別々に噴射して、両者の界面にそれぞれを拡散させて燃焼させるバーナ。
	ガスタービン	原動機の一つ。燃料の燃焼により生成した高温の燃焼ガスでタービンを回転させ回転運動エネルギーを得る内燃機関
	化石燃料	地質時代にかけて堆積した動植物などの死骸が地中に堆積し、長い年月をかけて地圧・地熱などにより変成されてできた化石物のうち、人間の経済活動で燃料として用いられる（または今後使用が検討されている）ものの総称
	逆火	火炎が上流、特に燃料噴射ノズルまで遡ること。逆火によりノズルが損傷するリスクがある。フラッシュバック。
	混合管	クラスタバーナの基本構成要素。空気流中に燃料を噴射して空気と燃料を混合する管のこと。
	コンター	等値線図
さ行	再生可能エネルギー	絶えず資源が補充されて枯渇することのないエネルギー。具体例として、太陽光、太陽熱、水力、風力、地熱、波力、温度差、バイオマスなど。
	水素専焼	燃料として水素 100%で燃焼させること
	水素発電	水素を燃料として用いた発電のこと
	旋回流	気体などの流体が旋回しながら流れる流れ
た行	タービン	ガスタービンの構成要素であって、作動流体の膨張によって動力を発生させる回転機械。
	(タービン) 入口温度	ガスタービンの機器としての特性を表す代表値の一つで、タービン作動流体のガスタービン入口に相当する流体温度。
	脱硝	窒素酸化物をアンモニア等を用いて還元し、窒素と水に変えて無毒化すること。
	窒素酸化物	酸化窒素の総称で、環境汚染物質のこと。Nitrogen Oxides (NOx)。
	着火	燃料が空気中の酸素と酸化反応し燃焼を始めること
	低位発熱量	燃料が燃焼し、仕事に変えることができる熱量。Lower Heating Value (LHV)
	点火トーチ	燃料を点火させるために、先端に発熱体などを備えた棒状の構造
	天然ガス	地中から天然に産出するガスの総称。通常、炭化水素類を主成分とする可燃性ガスをさし、化学工業原料・工場燃料・都市ガスなどに利用される。
	ドライ低 NOx 燃焼器	乾式低 NOx (Dry Low NOx) 燃焼器のことで、乾式とは水や蒸気、窒素などの希釈剤を使用せずに低 NOx を図る燃焼器のこと。
な行	二次エネルギー	石炭、石油、天然ガス、薪、水力、原子力、風力、潮流、地熱、太陽エネルギーなど自然から直接採取されるエネルギーを一次エネルギーというのに対して、これらの一次エネルギー源を転換および加工することによって得られる電力、都市ガス、コークスなどのこと。
	燃空比	空気流量 (質量) に対する燃料流量 (質量) の割合。

	用語	説明
	燃焼器	燃料を燃焼させて作動流体を直接的に、所定のタービン入口温度まで加熱する装置。
	燃焼振動	燃焼器内の圧力変動と火炎による発熱変動が同期して圧力変動が増大する共鳴現象であり、燃焼振動が発生すると燃焼器、さらにはガスタービンが破損するリスクがある
	燃焼速度	未燃焼混合気に対する火炎面の相対速度として定義され、燃焼性を直接表す指標。この速度が速いほど燃えやすく、逆火しやすい
	燃料ステージング	着火から定格負荷条件まで各燃料系統に燃料を供給していく計画のこと
	燃料圧力制御弁	燃料系の特定箇所の圧力又は差圧を、設定どおりに調整するためのバルブ。
	燃料油ポンプ	燃料を燃料噴射圧力以上に加圧してガスタービンへ供給するポンプ。
	燃料ガス圧縮装置	燃料ガスをガスタービンに必要な圧力まで昇圧する装置。
	燃料遮断弁	燃料系統へのすべての燃料の流れを緊急に遮断する装置。
	燃料調節弁	ガスタービンへの燃料供給を制御する、最終的な燃料調節要素として作動するバルブなどの装置。
	燃料流量制御弁	ガスタービン燃焼器への燃料流量を制御する調節バルブ。
	燃料圧力制御弁	燃料系の特定箇所の圧力又は差圧を、設定どおりに調整するためのバルブ。
	燃料噴射ノズル	燃料を噴射する装置
	ノズル	空気流中に燃料を噴射して空気と燃料を混合する装置
は行	排気排出物	ガスタービンの排気に含まれる環境に影響を与える成分。通常、窒素酸化物(NOx)、硫黄酸化物(SOx)、一酸化炭素(CO)、二酸化炭素(CO2)、未燃炭化水素(HC)、揮発性有機化合物(VOC)、アンモニア、固形粒子などがある。
	爆発限界	可燃性ガスと空気との混合ガスが爆発を起こす濃度範囲の限界値。
	パーミアウト耐性	ガスタービン燃焼器の燃焼性能のひとつで、フラッシュバックが瞬間的に発生しても回避可能な耐性のこと。
	パイロット系統	主に保炎を確保する系統であり、予混パイロット系統、拡散パイロット系統はそれぞれパイロットがそれぞれ予混合燃焼、拡散燃焼方式を採用している系統
	発電端効率	発電機が発電した電力量で評価した効率
	非燃焼試験 (気流試験)	燃料と空気を供給し、燃焼させずに気流の流動や混合を調べる試験
	複合サイクル (コンバインドサイクル)	複数の熱サイクルを結合させて熱効率の向上を図った熱力学的サイクル。一般的には、ガスタービンサイクルと蒸気タービンサイクルとを結合させた熱力学的サイクルを指す。
	フラッシュバック	逆火のこと
や行	予混合バーナ	燃料をあらかじめ空気と混合して噴射させるバーナ。保炎目的にパイロットノズルを用いるものもある。
	予混合燃焼方式	燃焼前に予め燃料と空気を混合させる燃焼方式

I 事業の位置付け・必要性について

1. 事業の背景・目的・位置付け

水素は、使用時に大気汚染物質や温室効果ガスを排出しないクリーンなエネルギーであり、無尽蔵に存在する水や多様な一次エネルギー源から様々な方法で製造することができる。また、気体、液体、固体（合金に吸蔵）というあらゆる形態で輸送・貯蔵が可能であり、利用方法次第では高いエネルギー効率、非常時対応等の効果が期待され、将来の二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待される。

我が国では、水素エネルギーの利活用について、約 30 年間の国家プロジェクト等を経て、2009 年に家庭用燃料電池の商用化により水素利用技術が市場に導入された。2014 年末には燃料電池自動車市場投入され、世界に先駆けてインフラの整備も含めた水素エネルギー利活用に向けた取り組みが進められている。

一方、今後、本格的な水素社会の構築に向け水素エネルギー利用を大きく拡大することが求められるが、燃料電池に続く水素利用のためのアプリケーションや、サプライチェーンについては、現在研究開発または実証段階である。

本事業では、水素の利活用を抜本的に拡大し、2020 年頃に自家発電用水素発電の本格導入を、2030 年頃に発電事業用水素発電の本格導入を世界に先駆けて開始することを目指す。エネルギー供給システムの柔軟性を確立し、エネルギーセキュリティの確保に貢献する。また、水素発電の本格的な導入と大規模な水素サプライチェーンを世界に先駆けて構築することで、水素源の権益や輸送・貯蔵関連技術の特許等の多くを掌握し、産業競争力の強化とエネルギーセキュリティの向上に貢献する。

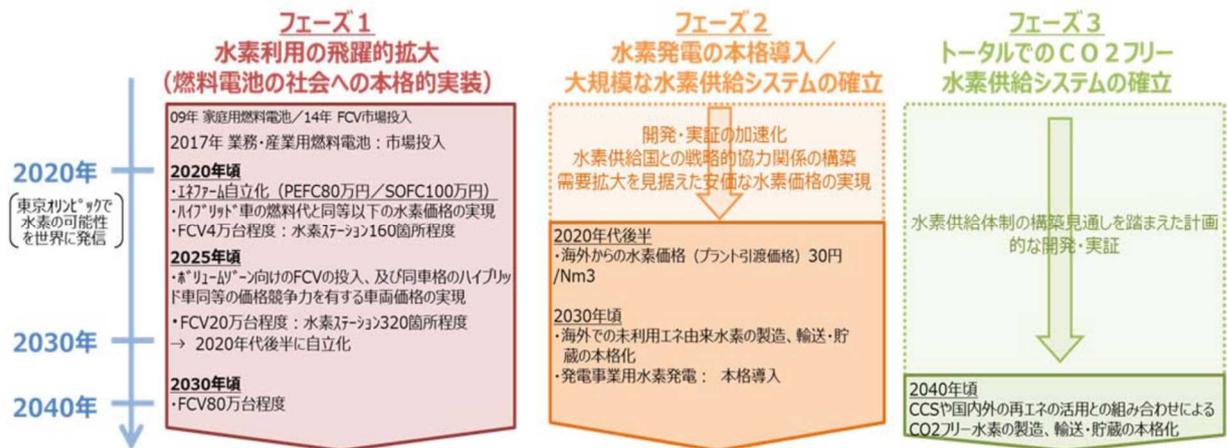
2. NEDO の関与の必要性・制度への適合性

2.1. 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。

水素の利活用は、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。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（同5月）においても燃料電池及び燃料電池普及のために必要となる水素技術開発の重要性が述べられ、さらには、「Cool Earth –エネルギー革新技術計画」（2008年3月）に定置用燃料電池、燃料電池自動車及び水素製造・輸送・貯蔵が位置付けられ、またエネルギー基本計画（2010年改訂）では技術革新の進捗により水素をエネルギーとして利用する“水素社会”についての包括的な検討を進めるべき時期にさしかかっているとしている。更には2014年に改訂されたエネルギー基本計画に「水素を本格的に利活用する社会、すなわち“水素社会”を実現していくためには、水素の製造から貯蔵・輸送、そして利用にいたるサプライチェーン全体を俯瞰した戦略の下、様々な技術的可能性の中から、安全性、利便性、経済性及び環境性能の高い技術が選び抜かれていくような厚みのある多様な技術開発や低コスト化を推進することが重要である。」とうたわれ、「“水素社会”の実現に向けた取り組みの加速」として将来の二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待される。と明示された。従って、本事業は上記エネルギー施策制度の目標達成に適合するものであり、その期待値はますます大きくなっている。

上記エネルギー基本計画に基づき策定された「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（2014年6月策定/2016年3月・2019年3月改訂、経済産業省、以下「ロードマップ」と略す）においては、フェーズ1でのエネファーム・燃料電池自動車の普及拡大による水素社会の土台作りに続き、フェーズ2として、水素発電の本格導入と大規模な水素供給システムの確立を掲げ、2020年頃に自家発電用水素発電の本格導入を、2030年頃に発電事業用水素発電の本格導入と海外からの未利用エネルギー由来の水素の製造、輸送・貯蔵を伴う水素サプライチェーンの本格導入の開始という目標が設定された。



【出典】水素・燃料電池戦略ロードマップ (2016)

本ロードマップでは「海外からの水素供給に関する制度的・技術的な環境整備等」という課題に対して、国が重点的に関与する項目として以下が挙げられている。

a) 海外からの水素供給に関する技術開発・実証等 (～2020年頃)

- ・ 褐炭等の未利用エネルギーを用いた、安価で安定的な水素の製造方法の確立に向けて、必要な開発・実証等を行う。
- ・ 有機ヒドライドによる水素海外輸送について、2020年頃までにファーストチェーンの運用を開始し、実際のチェーン構築及び運用の中で制度的・技術的な課題（例えば通関制度、トルエンの輸送外使用の管理等）を洗い出し、適宜必要な対応を行う。
- ・ 2018年度までに、メチルシクロヘキサン等の水素エネルギーキャリアについて、漏洩などの事故解析や大気拡散シミュレーション等を用いたリスク評価を実施し、許認可（消防法、高圧ガス保安法等）、安全対策、リスクコミュニケーション等のための基盤情報を収集、整備する。
- ・ 液化水素の荷役を行うために必要となるローディングシステムについて、 -253°C の超低温性等の特性に対応した要素技術（液化水素の配管のジョイント、緊急離脱機構等）の研究開発を行う。併せて、液化水素の荷役に関するルールを整備し、国際標準化を図る。
- ・ 2020年頃までに、液化水素を運搬する船舶について、船舶用の液化水素タンクや水素という軽量の貨物に合った船舶建造等に関する実証等を行う。さらに、将来の液化水素の大量輸送に向け、大型化に向けた技術開発等を行う。併せて、液化水素の船舶輸送に関するルールを整備し、国際標準化を図る。

b) 水素供給チェーンの自立化に向けた支援

- ・ 水素海外輸送事業の立上げ当初の運営を下支えすべく、輸送された水素を水素発電ガスタービン等の技術開発・実証等で使用するなど、水素の需要と供給のバランスを取りつつ一体的に取り組む。

これらは長期的かつ大規模な投資を要する取り組みであり、現時点ですぐには事業化が見込めず経済的インセンティブが働かないため民間のみでは成り立たない。また海外の未利用エネルギー

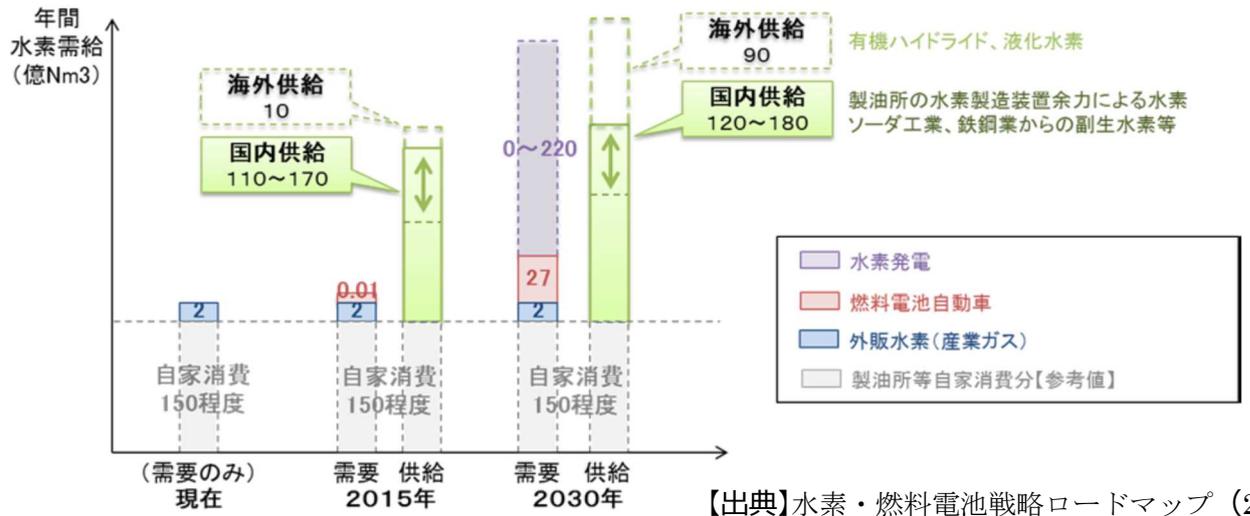
ギーの調達などにおいて外国政府と政府間の協力関係を構築する必要があることから、政府等の協力が不可欠である。以上より、これらは国が重点的に関与する項目と位置付けられているものであり、その実現を目指す本事業に NEDO として取り組むことには大きな意義がある。

2.2. 実施の効果（費用対効果）

当該事業を実施することにより、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（経済産業省 2014 年 6 月制定、2016 年 3 月・2019 年 3 月改訂、図表参照）等で試算される 2030 年の市場規模：日本 1 兆円程度、世界 38 兆円程度 2050 年の市場規模：日本 8 兆円程度、世界 160 兆円程度の成長に寄与することができる。また、燃料電池分野の特許出願数は現在でも世界 1 位で 2 位以下の欧米の各国と比べ 5 倍以上となっており、本事業の推進が水素利活用分野での高い産業競争力を支えている。更には、前述の「Cool Earth - エネルギー革新技術計画」において、世界全体の温室効果ガスの排出量を現状に比して 2050 年までに半減するという長期目標を達成するためのエネルギー分野における 21 の革新的技術開発の中に選定され、温室効果ガスの削減にも大きな貢献をもたらすことが期待されている。

水素需要の観点からは、2030 年の水素供給ポテンシャルは製油所の水素製造装置を用いた追加的な水素製造や、苛性ソーダ製造に伴って発生する副生水素の外販、更には今後導入が期待される水素製造設備等によって 120~180 億 Nm³と試算されている。この水素供給量は FCV 換算では 900~1,300 万台程度に対応できるとされるため、当面の間は国内のみの供給能力で対応できると考えられる。しかしながら、今後 2030 年までに新設・リプレースされる LNG 火力発電の燃料に 50%程度の水素が混合された場合、水素需要は最大 220 億 Nm³と予想され我が国の供給ポテンシャルを超過する可能性があるとの試算もある。本事業により、未利用エネルギーを用いて水素を製造し、更に有機ハイドライドや液化水素の形で水素を我が国に輸送するという一連の未利用エネルギー由来水素供給システムの構築が実現されれば上記の需要に応えることが可能となる。

また、この事業への研究開発投資がもたらす効果として、水素サプライチェーンの構築、水素発電技術の社会への導入・普及は、省エネルギー効果、環境負荷低減効果、エネルギーの供給多様化、石油代替効果、産業競争力強化と新規産業・雇用の創出が期待される。



II 研究開発マネジメントについて

1. 事業の目標

我が国の発電コストは、LNG 火力が 13.7 円/kWh、石炭火力が 12.3 円/kWh、石油火力が 30.6 円～43.4 円/kWh（発電コスト検証ワーキンググループ報告書、2015 年）であるところ、発電事業用水素発電の導入当初（2030 年頃）においては、水素のプラント引渡しコストで 30 円/Nm³程度、つまり発電コストで 17 円/kWh 程度を下回れば許容できるとの調査結果がある。

よって本事業の研究開発項目 II 「大規模水素エネルギー利用技術開発」（助成事業 [NEDO 負担率： 1/2 又は 2/3]）では、2030 年に未利用エネルギー等から製造したプラント引き渡しコスト 30 円/Nm³の実現に向けて、事業終了時にそれを見通すことが出来る基盤技術の確立を目指す。

(イ) 未利用水素エネルギー由来水素サプライチェーン構築

『最終目標』（2022 年度）

- 2030 年頃の安定的かつ大量な水素供給体制確立をめざし、2020 年において商用レベルの 1/100 程度のプロトタイプ規模（数千万 Nm³規模）のサプライチェーンを構築しシステムとして技術を確認する。システムを構成する技術目標（水素製造効率、輸送効率等）に関しては、水素製造方法や水素キャリア毎の特性に応じ、個別に設定する。

『中間目標』（2016 年度）

- 最終目標となる水素サプライチェーン構築のための要素技術を検証し、システムの全体設計を明確にする。

(ロ) 水素エネルギー利用システム開発

『最終目標』（2022 年度）

- 水素を混焼あるいは専焼で発電する技術に関して既存の燃料と同等の発電効率、耐久性及び環境性を満たす技術を確認する。あわせて、水素発電等を組み込んだエネルギーシステムについて、市場化に必要な技術を確認する。

2. 事業の計画内容

2.1. 研究開発の内容

褐炭や原油随伴ガス、化学工場から排出される副生水素などの海外に豊富に存在する未利用エネルギーから水素を製造する技術（褐炭ガス化技術等）、輸送・運搬技術（液化水素船による輸送・荷役技術、有機ハイドライドに係る水素化・脱水素化技術等）、水素混焼・専焼発電技術等を開発・実証し、一連の未利用エネルギー由来水素サプライチェーンを構築すると共に、基盤となる技術を確認することで、2030年頃の大規模水素サプライチェーンの構築に向けた展望を開く。

(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

水素発電の導入及びその需要に対応するための安定的な供給システムの確立に向け、海外の未利用資源を活用した水素の製造、その貯蔵・輸送、更には国内における水素エネルギーの利用まで、一連のチェーンとして構築するための技術開発を行う。

(ロ) 水素エネルギー利用システム開発

水素のエネルギー利用を大幅に拡大するため、水素を燃料とするガスタービン等を用いた発電システムなど新たなエネルギーシステムの技術開発を行う。



ちなみに水素キャリアとしての液化水素、有機ハイドライドはそれぞれ一長一短があり、当面は水素供給元や需要先を含むサプライチェーンの状況によって使い分けられるものと考えられる。

	液化水素	有機ハイドライド
実用化状況	従来はロケット用燃料として用いられ、近年では工業用の水素輸送方法として普及	脱水素のための触媒について研究が進められており、実用化段階に達しつつある
輸送効率	常圧のガス状態に比べて約 800 分の 1 の体積	常圧のガス状態に比べて約 500 分の 1 の体積
エネルギー投入	液化に一定のエネルギーを要する	脱水素に一定のエネルギーを要する
経済性	液化には大規模な設備が必要となるため、設備コストが高まる	水素化合、脱水素には一定の投資が必要であるが、常温・常圧での輸送・貯蔵が可能であり、既存の輸送・貯蔵手段でも対応可能
留意点	一定の割合で気化（ボイルオフ）するため、輸送・貯蔵用の容器の技術開発などにより、これを減少させることが必要 また法令上は「高圧ガス」となるため、高圧ガス保安法等の法規への対応も必要	水素キャリアとしての利用が想定されていないため、各種規制について対応が必要

[出典]水素・燃料電池戦略協議会WG資料（2014年4月14日）より作成

各テーマの実施内容は以下の通りである。

II-①：「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」

技術研究組合 CO2 フリー水素サプライチェーン推進機構

2030年頃に商用化を目指す現状のLNGと同規模の水素サプライチェーン（水素製造・液化水素貯蔵・液化水素海上輸送・水素の発電利用）の実現を見通すために、その構築に必要な3つの主要技術について研究開発を行う。そしてそれらの技術を基に、2020年頃に豪州から日本に液化水素を輸送するサプライチェーンの実証を行う。

①液化水素の長距離大量輸送技術の開発

実績のある液化天然ガス（Liquefied Natural Gas）の海上輸送用タンクと同程度の蒸発量、安全性、耐久性、信頼性、及び製造容易性を有する液化水素海上輸送用タンクを実現するために必要な要素技術を開発する。

②液化水素荷役技術の開発

海上・陸上間の揺動環境下で大量の液化水素を取り扱うことを可能とするローディングシステム、貯蔵タンクや配管類の予冷システムなどの液化水素の荷役技術を開発する。

③褐炭ガス化技術の開発

現地の褐炭の性状やガス化炉設置に係る法規制を踏まえつつ、褐炭の前処理から効率的なガス化技術に至る一連の技術開発を行う。

II-②：「有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証」

次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合

2030年頃に海外の未利用資源由来の水素を有機ケミカルハイドライド法により水素を大量輸送するサプライチェーンを構築するために必要な主要技術について研究開発を行う。そしてその要素技術を基に2020年頃に約1年間の水素サプライチェーンの実証運用を行う。

①水素化プラントに関する技術開発

トルエンと水素を結合させてメチルシクロヘキサンを生成する「水素化」に関して、プラントのスケールアップが可能な設計手法や不純物除去設備の仕様の検討を行う。

②脱水素化プラントに関する技術開発

メチルシクロヘキサンから水素を取り出す「脱水素化」に関して、プラントのスケールアップが可能な設計手法や取り出す水素の純度向上策等を検討する。

③サプライチェーン全体運用に関する技術開発

サプライチェーン全体の運用に関して、商用のトルエンでの運転検証、本格的なサプライチェーン構築時に必要な設備構成などの検討を行う。

II-③：「液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」

川崎重工業(株)／東京貿易エンジニアリング(株)／
(株)IHI 回転機械エンジニアリング／(株)荏原製作所
[共同研究先：(国研)宇宙航空研究開発機構、(株)IHI]

現在行われている「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」において、海上輸送用タンクやローディングシステム、陸上貯蔵容器が製造されているものの、商用の液化水素のサプライチェーンを成立させるために、商用を見据えた大型化のための開発が必要である。

また、荷揚げした水素をガスタービンで発電することを想定した場合、水素を数MPaに加圧する必要があるが、商用では水素を圧縮する電力費を少なくできるよう、効率良く圧縮する必要がある。水素の密度が高い状態で圧縮することで、高効率な圧縮が可能となる。そのため、液の状態に加圧できる液化水素昇圧ポンプや、タンクから蒸発したガスを、低温のままに圧縮する低温水素ガス圧縮機の開発が必要となる。

これら多岐にわたる機器を開発するために、LNG基地、LNG船での実績および知見を有し、かつ液化水素用機器の開発に積極的である企業や研究機関が集結し、下記の機器開発を実施する。

- ① 貯蔵容器および海上輸送用タンク
- ② 商用ローディングアーム
- ③ 低温水素ガス圧縮機
- ④ 液化水素昇圧ポンプ

II-④：「液化水素貯槽の大型化に関する研究開発」 トーヨーカネツ(株)

[委託先：(大)北海道大学]

将来の発電事業用水素発電に資する、平底円筒形の大形液化水素貯槽の建設実現ための要素技術開発を行う。

液化による水素貯蔵は、多様な貯蔵方法の中でも体積密度及び重量密度が高く、貯蔵効率が良いため、発電事業用水素発電導入時の大量水素需要に対応できる貯蔵方法と言える。本テーマでは、大容最の貯蔵が可能になる平底円筒形の大形液化水素貯槽の建設に必要な要素技術の開発を行い、将来的には、5万 m³の平底円筒形貯槽の建設を可能とする。

II-⑤：「液化水素用大口径バタフライバルブの技術開発」 (株)中北製作所

来るべき水素社会に必要とされる大量の水素需要において、貯蔵、運搬などのサプライチェーンの構築及びそれともなう受入基地の大形化のために必要となる液化水素用の極低温バタフライバルブの商用化に向けた研究開発を実施する。

II-⑥：「液化水素用バタフライバルブの開発」 (株)ササクラ

液化水素の受入基地に於けるタンク周辺及びパイプラインに不可欠な大形のバタフライバルブの開発を実施する。

本テーマでは、-253℃の超低温で止める、流す、流量を調整する、を確実にできるバルブ性能に加え、液化水素の気化を抑えるための外部との断熱機能も備える構造の実現を目指す。

また、海外からの液化水素輸送船に使用できるバルブの開発にも取り組む。

II-⑦：「液化水素用大形バルブの技術開発」 (株)キッツ

液化水素の輸送貯蔵機器および受入基地機器の大形化に伴い、配管口径も大形化となる必要がある。本テーマでは、現在存在しない大口径の液化水素用遮断弁、逆止弁を開発する。

II-⑧：「ドライ低 NO_x 水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業」

川崎重工業(株)／(株)大林組

[委託先：(大)大阪大学／(学)関西大学]

将来の本格的な水素発電の普及に向けて、水素ガスタービン・コージェネレーションシステム（水素 CGS）の水素専焼運転での更なる高効率化、NO_x 排出量低減等の環境性能向上、低コスト化運用として、「水素利用等先導研究開発事業／大規模水素利用技術の研究開発／水素ガスタービン燃焼技術の研究開発」で要素開発に目途がついた「水素専焼ドライ低 NO_x 燃焼器」を「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／水素 CGS 活用スマートコミュニティ技術開発事業」で整備した実証設備に実装し、水素専焼運転での水素 CGS のフィールド実証を行う。

II-⑨：「CO₂ フリーアンモニア利用 GTCC システムの技術開発」

三菱パワー(株)

[委託先：三菱重工エンジニアリング(株)／三菱重工業(株)]

既に実用化されている水素と天然ガスの混焼のガスタービン燃焼器、あるいは今後実用化される水素専焼の燃焼器の活用を前提として、ガスタービンの排ガスの熱を利用して水素キャリアであるアンモニアを再水素化し、水素対応燃焼器により燃焼させるシステムに関する技術開発を行う。

II-⑩：「低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型 D r y L o w N O x 高温ガスタービン発電設備の研究開発」

三菱パワー(株)／三菱重工業(株)

水素インフラ成熟期での実用化を目指して、水素専焼によるガスタービン発電設備の研究・開発を行う。具体的には、水素専焼に関する燃焼器設計に加え、大容量水素供給装置を含む燃焼器単缶燃焼設備の構築およびそれを用いた性能検証を行う。

II-⑪：「高濃度水素混焼／水素専焼焚きボイラ・発電設備の技術開発」

三菱パワーインダストリー(株)

[委託先：(学)帝京大学]

LPG および LNG で確立した「バーナ基部の保炎強化」のコンセプトを適用した燃料高圧供給条件での低振動・低 NO_x 燃焼技術（特許化済）を水素混焼および水素専焼に応用することによる、ボイラ排ガス中の CO₂ 排出量のゼロエミッション化及びシステムの簡素化を目的とする。

II-⑫：「大出力水素燃焼エンジン発電システムに関する技術開発」 川崎重工業(株)

再エネの大規模導入により電力システムの安定が損なわれるリスクが顕在化しており、今後も電力システムの安定化のために慣性力を持つ内燃機関が必要とされている。システムの安定化と再エネの導入促進とを同時に実現することが可能となる、従来に無い大出力(2~8MW 級)の水素を主燃料とする 2 元燃料ガスエンジン (水素燃焼エンジン) に関する技術開発を行う。

II-⑬：「水素 CGS 活用スマートコミュニティ技術開発事業」 (株)大林組/川崎重工業(株)

水素 CGS を「電気」「熱」「水素」エネルギーの供給源として用いた、地域レベルでのエネルギー効率利用を目指す新たなエネルギーシステム (統合型 EMS) の技術開発を行う。

① 統合型 EMS の開発：

- ・「電気」「熱」「水素」の統合型 EMS の経済的運用モデルの確立

水素 CGS を組み込み、既存熱源と組み合わせて電気と熱を最適効率で運用する EMS で、既存システムと同等以上の経済性を有する運用モデルを確立する。

- ・蒸気双方向融通技術の確立

単管による蒸気双方向融通技術を確立する。

② 水素 CGS の開発

- ・実負荷運転時の水素混焼割合の切替え時の燃焼安定性の検証

水素と天然ガスを任意の混焼割合で設定が可能な燃焼器を備えた水素混焼ガスタービンを設置し、水素専焼および混焼による発電と排熱ボイラでの熱回収の運転試験により、実負荷運転時で水素と天然ガスの混焼割合を変化させた場合でも、安定して運転が可能なことを確認する。

II-⑭：「低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発」

三菱パワー(株)/三菱重工業(株)

水素インフラ導入期での実用化を目指して、水素と天然ガスの混焼による予混合燃焼方式のガスタービン発電設備の開発を行う。具体的には、天然ガス中に体積割合で 20%の水素を含有した燃料を前提とし、現在の 500MW 級コンバインドサイクル用天然ガス燃焼ガスタービンと同様の出力、安定性と低 NO_x 性を両立したガスタービンの開発を目的とする。

①燃焼器内部温度分布を予測する技術

水素・天然ガスの混焼において、燃焼速度の変化により変化する燃焼器内部の温度分布について、水素の含有が燃焼器内部温度分布に与える影響を精度よく予測するために、基礎データの取得とシミュレーションの高度化を行い、設計ツールとして活用可能な水素・天然ガス混焼火炎の燃焼速度データベースの構築、燃焼シミュレーションの高度化、水素・天然ガス混合気体の着火遅れ時間データベースの構築を行う。

②燃料成分の変化に対する安定運転範囲を拡大する技術

水素・天然ガスの混焼において、燃料成分の変化により変化する燃焼特性に対して幅広く対応可能な燃焼器の設計技術とその性能の検証方法について検討し、500MWCC用ガスタービンで天然ガス燃焼ガスタービンと同等の性能を有する燃焼器を開発する。

③水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

水素・天然ガス混焼ガスタービンの実現の為に、燃焼技術の開発、材料の水素脆化等の影響を考慮したプラントの設計および選定技術の開発について、実在プラントをベースに、水素・天然ガス混焼ガスタービンを新設する場合および、改造適用する場合のそれぞれにおいて、プラント建設計画を策定し、基本設計を行う。

各テーマの実施内容は以下の通りである。

	中間目標 (2020年度)	最終目標 (2022年度)
II-①：「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」		
①液化水素の長距離大量輸送技術の開発		
	<p>c) 輸送用タンクの設計・製作・検査</p> <p>基本設計・詳細設計を元に、タンク製作・検査・船体搭載が着実に成され、配管艙装品を含めたシステム全体が実証試験実施可能な状態になっていること。</p>	<p>・日豪航行試験を繰り返し実施することにより様々な積付率及び気象条件での液化水素の BOR データを取得するとともに、真空度劣化や構造設計の妥当性をデータを蓄積する事で検証する。</p>
	<p>d)-① 安全対策システムの開発 (実証試験の実施)</p> <ul style="list-style-type: none"> ●実証設備を用いた試験方案への船級承認が完了し、2020年度中の日豪間輸送の実現が見込める状態であること。 ●実証試験実施時の危険要因が把握され、それらに対する有識者による安全対策の妥当性検証が完了していること。 	<p>・長期間にわたり使用し液化水素を取り扱った機器 (圧縮機、加温機、蒸発器及び GCU 等) について内部検査を実施し、健全性の評価を行う。</p>
② 液化水素荷役技術の開発		
	<p>a) 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証</p> <ul style="list-style-type: none"> ●海上揺動環境下において、極低温(-253℃) 液化水素の陸上-海上間輸送を想定したローディングシステムの稼働範囲を有し、カゴ1タンク当たり 200m³/h 以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること ●海上揺動環境下で使用する荷役設備を想定して可動範囲を持つローディングシステムを製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること 	<p>大型化に適した鋼製ローディングアームシステムを用いた揺動環境下で使用可能な荷役技術を開発し、液化水素を使用した荷役試験を実施し、成立性を実証する。</p>

	中間目標 (2020 年度)	最終目標 (2022 年度)
	<p>b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発 極低温液化水素の蒸発特性を踏まえ、配管入熱を仮定して、予冷段階、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備、および、目標蒸発率以下のタンクの製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること</p>	<p>液化水素の荷役試験を繰り返し実施することで貯蔵タンク内及び配管内の液化水素の挙動を把握し、設計条件に反映する。</p>
	<p>b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発 貯蔵タンク及び配管類の健全性を確保した予冷システムの設計が完了していること</p>	
	<p>b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証 カーゴタンク当り 200m³/h 以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること</p>	
	③褐炭ガス化技術の開発	
	<p>a) EAGLE 炉への豪州褐炭の適用性評価 以下ガス化試験を踏まえ、EAGLE 炉での褐炭ガス化技術を確認する。 (2t/d 豪州小型ガス化試験装置) ・ 複数の褐炭についてガス化試験を行う。 ・ 1 炭種につき複数回ガス化試験を行うことで、きめ細かく評価する。 (20t/d 若松小型炉試験設備) ・ 2t/d の試験結果を踏まえてガス化試験を行い、褐炭ガス化適用性を評価する。</p>	<p>豪州に設置した「小型ガス化試験設備」を用いてバイオマスを褐炭に混ぜた際のガス化特性を評価する。</p>
	<p>b) 化学原料製造向けガス化技術の検証 ガス化試験にて CO₂ 搬送及びダイレクトクエンチの効果を確認すると共に、シミュレーションにて大型化に向けた見通しを得る。</p>	
	<p>c) 豪州褐炭ガス化運用技術の検討 ガス化試験結果を踏まえ、運用方法の検討を行い、大型化に向けた見通しを得る。</p>	
	④液化水素の利活用	
	—	<p>日豪輸送後の液化水素を近隣施設に供給し、利用できることを実証する。</p>
<p>II-②：「有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証」(2020 年度終了予定)</p>		

	中間目標 (2020 年度)	最終目標 (2022 年度)
①水素化プラント		
	①-1：水素化反応器スケールアップ 商用規模の水素化設備の設計手法の確立。	—
	①-2：不純物除去設備の仕様 大規模水素チェーン向け不純物除去設備の設備仕様の明確化。	—
②脱水素プラント		
	②-1：脱水素反応器スケールアップ 商用規模の脱水素設備の設計手法の確立。	—
	②-2：負荷追従性向上策検討 想定需要要件における負荷変動への対応方法の明確化。	—
	②-3：水素純度向上策 想定需要要件において求められる、水素純度への対応方法の明確化。	—
	④-4：触媒商業生産課題 商業生産設備での触媒製造で所定の性能指標を満たすことの確認。	—
③サプライチェーン構築・運用		
	③-1：商用トルエン運転検証 商用トルエンで安定的なチェーンオペレーションが可能である事の検証。	—
	③-2：サプライチェーン検討 最適な設備構成を検討する手法の確立。	—
	③-3：発電燃料供給チェーンとしての設備仕様・オペレーション要件 1) ガスタービン燃焼機等へのガム状物質付着の定量評価手法の確立。 2) 脱水プラントと発電タービンとの熱インテグレーション効果試算。	—
	新規：反応器運転モードの最適化 経済性向上に資する運転方法の試行。	—
II-③：「液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」		
	①-a) 大型貯蔵容器の開発	
	ア) 断熱性能の目途付け イ) メンブレン形状の解析技術確立	・ BOR が 0.26%/day となる 5 万 m ³ 級の貯蔵容器の基本構造を確立させる
	①-b) 海上輸送用大型液化水素タンクの開発	
	ア) 断熱システム方式	・ 防熱システム方式／構造確定

	中間目標 (2020 年度)	最終目標 (2022 年度)
	<ul style="list-style-type: none"> 断熱システムの基本仕様の確定 	
	イ)タンク構造 <ul style="list-style-type: none"> 基本構造決定 強度/揺動評価 	<ul style="list-style-type: none"> タンク構造とその設計技術確立
	ウ)タンク構造材料 <ul style="list-style-type: none"> 材料選定/データ取得 	<ul style="list-style-type: none"> タンク構造材料確定
	エ)配管との接続方法 <ul style="list-style-type: none"> 方法選定/強度評価 	<ul style="list-style-type: none"> ドーム貫通ピース構造決定 CCJ 利用確定
	オ)タンクシステムの検証 <ul style="list-style-type: none"> 試験タンク設計/材料手配 	<ul style="list-style-type: none"> 大型タンク設計技術取得
	②商用ローディングアームの開発	
	a)大口径緊急離脱機構の開発 理論外部流出量が 125ℓ 以下の緊急離脱機構の開発における試作機の製作	試作機を用いて、JAXA で LH2 の試験を行い、切離時の外部水素ガスセンサによる測定値から安全性を確認する
	b)大口径船陸継手の開発 重量が 1 ton 以下で操作容易な船陸継手の開発における試作機の製作	試作機を用いて、JAXA で LH2 の試験を行い、安全に分離が出来る昇温特性を把握する
	c)鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発 メンテナンス頻度が 1 年に 1 回で済む程度の真空度を確保する試作機の製作	真空劣化度を測定しながら、現地に据付を行い、LH2 での低温実証、真空度保持状態を確認する。
	③低温水素ガス圧縮機の開発	
	a) 液空生成に対し安全性を確保する構造 外表面に液体空気が発生せず、メンテナンス可能な構造の考案	<ul style="list-style-type: none"> 試作機の圧縮機外表面にて液空が発生しないこと。 運転中にサポートや容器等の破損等がないこと。
	b) シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材 <ul style="list-style-type: none"> 窒素シールガスが中間筒内にて液化しない構造を考案する。 商用での連続使用を考慮した高寿命およびシール性に優れた摺動部材の目途付けを行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 運転中に窒素シールガスの液化がなく、ロッドパッキン等に異常摩耗が無いこと。 商用機を見据えた摺動部材の絞込み完了。
	c) 商用機的设计技術および性能評価技術の開発 <ul style="list-style-type: none"> 試作機の現地試運転の計測・性能評価用の試験装置の基本計画が完了 商用機の精度ある性能予測のため、1D CAE を用いた低温水素ガス試作機(1 段)モデルを構築する。 	<ul style="list-style-type: none"> 1D CAE を用いた商用機の吐出温度・性能予測技術の確立。 低温水素ガス温度域での運転データ計測技術・性能評価技術の確立。
	④液化水素昇圧ポンプの開発	

中間目標 (2020 年度)		最終目標 (2022 年度)
	a)軸スラストバランス機構の検討 ・ バランス機構基本構造の設計	軸スラストバランス機構の確立
	b)ポンプ材料の選定 ・ 水素/低温脆化を考慮した材料選定 ・ 材料特性の把握	ポンプ材料の確立
	c)ポンプ性能/機能の評価・分析 ・ 小型試作機の設計	液化水素昇圧ポンプ設計技術の確立
	・ 液化水素試験設備の製作	
II-④：「液化水素貯槽の大型化に関する研究開発」		
1.真空排気システムの確立		
	①貯槽内材料のガス放出量を把握する。	数ヶ月オーダーで所要真空度が得られる真空排気システムを確立する。
	②大型貯槽に適用可能なベーキング手法を確立する。	
	③底部断熱構造側板の真空排気用孔径を決定する。	
2.内槽底部への入熱量算定手法の確立		
	断熱性能測定装置の詳細仕様を決定する。	実測値に合う伝熱解析手法を考案する。
3. SUS316L の溶接材料を使用した溶接施工法の確立		
	①液化水素温度であっても十分な破壊靱性を有する溶接施工法を確立する。	液化水素環境下でも十分な破壊靱性を有し、水素脆化の懸念が無い溶接施工法を確立する。
	②脆化が起りやすくなるといわれている-70℃付近の水素脆化度を確認する。	
II-⑤：「液化水素用大口径バタフライバルブの技術開発」		
①市場調査		
	顧客ニーズ及び高圧ガス保安法適用範囲の調査	顧客ニーズ並びに高圧ガス保安法の適用範囲に基づき、原理開発・実機開発に反映
②原理開発		
	シール構造及び真空断熱構造の開発	原理試作品の試験結果と解析値から、実機試作品を製作するための解析手法を確立
③実機開発		
	—	実流体試験にて各目標値を達成し、試験結果と実機における解析評価とのギャップ分析を完了
II-⑥：「液化水素用バタフライバルブの開発」		
①バルブ大型化による性能確保		
	—	流路内漏洩量 LNG 仕様相当 (2021 年度 LN2 にて評価)
②液化水素として維持可能な構造 (2020 年度で完了予定)		

	中間目標 (2020 年度)	最終目標 (2022 年度)
	バルブ内外の断熱	—
③水素の外部漏れに対する安全 (2020 年度で完了予定)		
	流路外漏洩量 LNG 仕様相当	—
④使用材料による加工とコスト (2020 年度で完了予定)		
	LNG 仕様弁の加工費 1.2 倍	—
⑤液化水素条件下における性能確保		
	—	LNG 仕様相当の漏洩量 (2022 年度 LH2 にて評価)
II-⑦: 「液化水素用大型バルブの技術開発」		
① 弁種の検討(2020 年度で完了予定)		
	大口徑化実現可能な弁種、構造の選定	—
② 封止技術開発(2020 年度で完了予定)		
a)	外部封止構造の検討 液化水素流通における外部封止性能の確保	—
b)	内部封止構造の検討 使用可能樹脂、シール構造の検討	—
c)	部分試作評価 ②a)b)について試作品を製作し、評価を実施する	—
③ 弁の製造方法の検討(2020 年度で完了予定)		
a)	大型化精密加工検討 精密加工可能な製造方法の確立	—
b)	分割構造の検討 溶接等の別体分割構造の確立	—
④ 真空断熱構造の検討 (2021 年度で完了予定)		
a)	組立・分解の検討 (2021 年度以降実施予定)	弁上部より、分解・組立が可能であること。現地でのメンテナンスの目途がたつこと
b)	断熱性能検討 (2021 年度以降実施予定)	バルブと真空ジャケットとの寸法、距離が設定され、入熱量等が規定値以内であること
c)	弁保持方法の検討 (2021 年度以降実施予定)	弁—ジャケット間で弁を確実に保持し、さらに保持部からの入熱量が規定値以内であること
⑤弁試作評価		
a)	弁の試作 (2021 年度以降実施予定)	①～③で確立した要素技術を基に弁の試作を実施する
b)	治工具類の検討 (2021 年度以降実施予定)	組立・分解を可能とする治具、および現地でのメンテナンスを考慮した方法を確立する

	中間目標 (2020 年度)	最終目標 (2022 年度)
	c)性能試験 (2021 年度以降実施予定)	⑤a)の試作品について、各種性能試験を実施し、性能が目標値を満足すること
II-⑧：「ドライ低 NOx 水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業」 (2020 年度終了予定)		
A. ドライ低 NOx 水素専焼ガスタービンの運転実証		
1. 設備改修 (2019 年度で完了)		
1-1	燃料供給系の改修設計 (川崎重工) 燃料供給系の改修設計を完了し、設備改修に必要な機器および工事の発注を完了する。	—
1-2	運転制御システムの改修設計 (川崎重工) 運転制御システムの改修設計を完了し、設備改修に必要な工事の発注を完了する。	—
1-3	統合型 EMS の改修設計(大林組) 統合型 EMS の改修設計を完了し、設備改修に必要な工事の発注を完了する。	—
1-4	機器調達・製作 (川崎重工) 設備改修に必要な機器の調達・製作を完了する。	—
1-5	改修工事の実施(川崎重工/ 大林組) 設備の改修工事を完了し、運転試験実施のための設備動作確認に移行する。	—
2. 実機搭載用燃焼器の製作 (2019 年度で完了)		
2-1	詳細設計 (川崎重工) 実証試験に使用する実機搭載用燃焼器の設計を完了する。	—
2-2	製作 (川崎重工) 実機搭載用燃焼器の製作を完了する。	—
2-3	工場内試験 —燃焼器単体 (川崎重工) 工場内の燃焼器試験設備において、実機搭載用燃焼器の水素による燃焼試験を実施し、燃焼器単体での性能と健全性の確認を完了する。	—
2-4	工場内試験 —始動性確認 (川崎重工) 工場内のガスタービン試験設備において、実機搭載用燃焼器の天然ガスによる始動試験を実施し、始動安定性と安全性の確認を完了する。	—
2-5	改良 (川崎重工) 実証試験の結果をうけて、要すれば燃焼器の改良を実施する。	—
3. 実証運転		
3-1	動作確認 (川崎重工/ 大林組)	—

	中間目標 (2020 年度)	最終目標 (2022 年度)
	設備の改修部分について、機器および制御システムの動作確認を実施し、ドライ燃焼器による運転が可能であることの確認を完了する。	
	3-2 ドライ低 NOx 実証試験 (川崎重工) 起動時およびアイドル運転時において、水素燃焼での失火や逆火が発生しない安定燃焼の達成	—
	ガスタービンの実運用で想定される急激な負荷変動、燃料の急遮断等の条件において、水素燃焼での失火や逆火が発生しない安定燃焼の達成	—
	標準大気条件/発電負荷 100%における発電端効率 27%以上の達成	—
	NOx 濃度 35ppm(残存酸素 16%換算値)以下の達成	—
	3-3 EMS 実証試験 (大林組) 水噴射方式よりもドライ方式の方が環境性や事業性が優位であることを確認	—
	3-4 混焼運転対応に向けた課題抽出 (川崎重工) ドライ燃焼器において、水素/天然ガスの「混焼運転」対応のための課題の抽出が完了している。	—
B. 冷熱活用システムの検討		
	①冷熱利用熱交換器の基礎検討 熱利用熱交換器の基礎検討を行い、液化水素の気化冷熱を活用し空気を冷却する場合の課題を抽出し、その解決策を検討	—
	②蒸発器の着霜防止効果を定量評価 冷熱利用による蒸発器の着霜防止効果を定量的に確認	—
	③空気冷却器着霜発生条件を把握 空気冷却器の模型着霜実験を行い、空気冷却器における着霜発生境界条件を確認	—
	④冷熱利用の経済合理性の定量評価 冷熱利用によるガスタービンの発電出力向上効果を定量的に確認	—
II-⑨ : 「CO2 フリーアンモニア利用 GTCC システムの技術開発」		
	① システム構成の検討	
	<ul style="list-style-type: none"> ・混焼システムの起動停止手順、経済性の検討 ・専焼システム改良案の構成検討 	他の CO2 フリーシステムと比較して経済的に優位 (目標 : 17 円/kWh 以下(2030 年))で運用性に優れたシステム構成/運転条件の検討

中間目標 (2020 年度)		最終目標 (2022 年度)
②アンモニア分解装置の検討		
<ul style="list-style-type: none"> ・ NH3 分解装置の基本試設計(混焼) ・ 触媒性能被毒物質調査 	<ul style="list-style-type: none"> ・ NH3 分解装置の機器構成の決定、分解後の残留 NH3 濃度 0.38%以下 ・ 触媒の実使用環境を考慮した寿命や性能評価 	
③燃焼器の検討		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実圧燃焼試験装置に NH3 供給系統を追設計画 ・ 一次元解析によるガスタービン燃焼器の NOx 排出量予測 	NH3 分解ガス混焼条件(水素体積割合 20%)における実圧燃焼器の NOx 性能の検証	
II-⑩：「低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型 Dry Low NOx 高温ガスタービン発電設備の研究開発」		
A-1 モデルバーナの設計技術		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 高温高圧下のモデルバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口で NOx50ppm 以下 	(2020 年度中に完了)	
A-2 シングルセグメントの設計技術		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 数値解析による概念設計と、水素専焼が逆火耐性に与える影響評価 ・ 非燃焼試験装置の検討および構築 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高温高圧下のセグメントバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口で NOx50ppm 以下 (2021 年) 	
A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 燃焼器の概念設計の完了 	<ul style="list-style-type: none"> ・ クラスタバーナ計画図の完成(2021 年) ・ 燃焼器全体計画図の完成(2021 年) 	
B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 水素供給装置を含めた実圧燃焼試験装置の系統図、配置図の完成 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実圧燃焼試験装置の系統図・配置図の完成(2020 年) ・ 土建工事計画図・配管図の完成(2021 年) 	
B-2 高温高圧下での燃焼器燃焼試験 (2022 年度予定)		
<ul style="list-style-type: none"> ・ 実圧燃焼試験にて、計画運転条件において逆火の発生なく、燃焼器出口で NOx 50ppm 以下(2022 年度) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実圧燃焼試験にて、計画運転条件において逆火の発生なく、燃焼器出口で NOx50ppm 以下(2022 年) 	
II-⑪：「高濃度水素混焼／水素専焼焚きボイラ・発電設備の技術開発」		
①水素ガス供給圧力の 高圧化		
<ul style="list-style-type: none"> 最大 100～990kPa (現状の最大≤80kPa) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水素焚きバーナの最適化 	
②燃焼振動現象の抑制		
<ul style="list-style-type: none"> I1 ≤ 50Pa (I1:共鳴周波数成分の振幅) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水素供給ガス圧の高圧化によるシステムコストの低減及びメンテナンス性改善 	
③NOx の低減		
<ul style="list-style-type: none"> NO x ≤ 60～100ppm 	<ul style="list-style-type: none"> 低 NOx 化対策の最適化及び設備コスト低減 	
④逆火現象の防止		
<ul style="list-style-type: none"> 逆火・焼損回避条件の 明確化 	<ul style="list-style-type: none"> 水素の安全運用及び 事故撲滅 	

	中間目標 (2020 年度)	最終目標 (2022 年度)
	⑤試験用水素燃焼バーナ設計・製作	
	上記①～④の評価、目標達成が可能なバーナ設計	水素燃焼バーナ最適設計条件の確立
	⑥水素供給設備の 設計・製作	
	上記①～④の評価及び安全運用が可能な設備設計	安全な水素供給設備設計の完成
II-12: 「大出力水素燃焼エンジン発電システムに関する技術開発」		
	①-1 既存の天然ガス燃焼単筒試験機での水素燃焼試験	
	空燃比等の運転パラメータによる特性変化の確認	大出力エンジンにおける水素燃焼の特徴を抽出し、水素燃焼単筒機の要目を定める
	②-1 適用材料の水素環境下での強度試験	
	燃焼室周縁部に適用する材料の水素脆化を考慮した強度特性を把握	(2020 年度で終了予定)
	②-2 燃焼室状態の数値解析	
	給気経路や燃焼室及び燃料供給手段の仕様を検討・選定するための数値解析手法を確立	(2020 年度で終了予定)
	②-3 水素燃焼単筒機的设计	
	燃焼室周辺部品などの大物部品の設計・検討完了	水素燃焼に適した単筒試験機を設計・製造し、試験に供用する。
	②-4 水素燃焼単筒試験設備の整備	
	試験設備の基本設計完了	連続 10 時間程度の運転継続能 (2020 年度で終了予定) を持ち、開発項目①で得られた知見の有用性を確認できるエンジン試験設備を整備
	②-5 試験による水素燃焼の最適化	
	—	図示平均有効圧力 1.6MPa の実現
	③-1 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出	
	高リスク部位、部品の見極め リスクアセスメント方針決定	(2020 年度で終了予定)
	③-2 水素燃焼エンジン運用システムの構築および評価	
	—	天然ガス燃焼エンジンと同様の安全性にて運用可能な制御システムを確立する

最終目標 (2018 年度)

II-⑬: 「水素 CGS 活用スマートコミュニティ技術開発事業」 (2018 年度で完了)

A. 統合型 EMS の開発	
A-1) 双方向蒸気融通技術の確立	
A-1-1) 現地調査	<ul style="list-style-type: none"> 基本計画に必要な現地調査が完了していること 基礎構造形式の検討に必要な地質調査が完了していること
A-1-2) 基本計画・基本設計・詳細設計	<ul style="list-style-type: none"> 基本設計のための基本計画が完了していること 詳細設計のための基本設計が完了し、建設のための詳細設計図面が完成していること
A-1-3) 機器製作・現地工事	<ul style="list-style-type: none"> 建設のための機器の製作と納入が完了していること エネルギーセンター工事（インフラ、運転管理室）、需要家への電力・蒸気供給工事、需要家受入れ改修工事が完了していること
A-1-4) 単体試運転	<ul style="list-style-type: none"> エネルギーセンター工事（インフラ、運転管理室）、需要家への電力・蒸気供給工事、需要家受入れ改修工事における各設備の試運転が完了していること
A-1-5) 全体試運転	<ul style="list-style-type: none"> システム全体による連携運転で、発電による系統連系システムおよび蒸気供給システムの動作確認、EMS による動作確認が完了していること
A-1-6) 大阪大学共同研究 シミュレーション・実験	<ul style="list-style-type: none"> 実験やシミュレーション結果を踏まえ、蒸気管を双方向で利用した場合も不具合のない条件を検証・評価し、双方向蒸気融通技術の設計基準を確立すること
A-2) 統合型 EMS の確立	
A-2-1) 基本計画・基本設計・詳細設計	<ul style="list-style-type: none"> 基本設計のための基本計画が完了していること 詳細設計のための基本設計が完了し、建設のための詳細設計図面が完成していること
A-2-2) 機器製作・現地工事	<ul style="list-style-type: none"> 運転監視システムのプログラム製作が完了していること。 建設のための機器の製作と納入が完了していること エネルギーセンター設備（水素 CGS・水素供給設備、その他設備）、需要家への電力・蒸気供給設備、需要家受入れ設備における EMS 工事が完了していること
A-2-3) 単体試運転	<ul style="list-style-type: none"> エネルギーセンター設備（水素 CGS・水素供給設備、その他設備）、需要家への電力・蒸気供給設備、需要家受入れ設備における各 EMS の試運転が完了していること
A-3) 現地実証による性能確認試験	
A-3-1) 実証運転	<ul style="list-style-type: none"> 水素 CGS で発電した電力と熱（蒸気）を地域需要家へ供給する実証運転が完了していること

最終目標（2018年度）	
	<ul style="list-style-type: none"> ・統合型 EMS により運転制御された水素 CGS の実証運転が完了していること ・双方向蒸気融通技術を取り入れた蒸気供給設備による熱（蒸気）供給の実証運転が完了していること
	<p>A-3-2) 評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・統合型 EMS による需給制御の確認・検証(水素 CGS・需要家・既存熱源の連携を確認)が完了していること ・「電気・熱・水素の統合型 EMS の経済的運用技術の確立」の達成度を確認すること ・双方向蒸気融通の挙動確認・検証が完了していること ・「双方向蒸気融通技術の確立」の達成度を確認すること
	B. 水素 CGS の開発
	B-1) 水素 CGS システムの開発
	<p>B-1-1)設計着手前のシステム及び機器構成の基本検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・現地の設計上の制約条件についての詳細項目の洗い出しが完了していること
	<p>B-1-2) 基本設計・詳細設計</p> <ul style="list-style-type: none"> ・機器発注のための機種選定が完了していること ・設備のフロー図や電気回路図等が完成していること ・設備の配置図が完成していること ・主要機器の図面が完成していること
	<p>B-1-3)機器製作・機器発注</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水素CGS設備および水素供給設備に使用する機器の製作と納入が完了していること
	<p>B-1-4) 現地工事</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水素CGS設備および水素供給設備の設置工事が完了していること
	<p>B-1-5) 単体試運転</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水素CGSおよび水素供給設備の各構成機器の単体・運転が完了していること ・各設備の単独運転での動作確認が完了していること
	<p>B-1-6) 全体試運転</p> <ul style="list-style-type: none"> ・システム全体による連携運転で、発電による系統連系システムおよび蒸気供給システムの動作確認が完了していること ・水素CGS設備としての発電量、蒸気発生圧力の確認が完了していること
	B-2) 現地実証による性能確認試験
	<p>B-2-1) 実証運転</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実負荷運転時の水素混焼割合の切替え時の燃焼安定性の検証が完了していること
	<p>B-2-2) 評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・1MW 級の水素混焼コジェネレーションを開発・実証運転が完了していること ・水素専焼（水素 100%）の運転の確認が完了していること
	B-3) 適用法令の確認
	<p>B-3-1) 適用法令の予備検討・適用法令の決定・その他の CGS 設置関連法令の整理</p> <ul style="list-style-type: none"> ・GT発電設備について、主となる適用法令の確認ができていること

最終目標 (2018 年度)	
	<ul style="list-style-type: none"> ・水素CGS設置に関連する法令の洗い出しが完了していること ・監督官庁および行政の関連部門への説明準備が完了していること
	<p>B-3-2) 官庁申請</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水素CGS設置に関連する法令全てに関して、監督官庁および行政の関連部門との事前調整が完了していること ・水素CGS設置に必要な申請・届出が監督官庁および行政の関連部門へ提出・受理され、現地工事の着工許可を得ていること
II-⑭：「低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発」 (2018 年度で完了)	
A. 燃焼器内部温度分布を予測する技術	
	<p>A-1：水素・天然ガス混焼火炎の燃焼速度データベースの構築(大阪大学)</p> <p>高圧条件において水素混合割合が、燃焼速度に与える影響を明らかにする</p>
	<p>A-2：燃焼シミュレーションの高度化(京都大学)</p> <p>実燃焼器において、燃料中の水素混合割合の変化影響をシミュレーションにより予測可能とする</p>
	<p>A-3：水素・天然ガス混合気体の着火遅れ時間データベースの構築(名古屋工業大学)</p> <p>高圧条件において水素混合割合が、着火遅れ時間に与える影響を明らかにし、ガスタービン内部での自己着火による焼損リスクを評価</p>
B. 燃料成分の変化に対する安定運転範囲を拡大する技術	
	<p>水素混焼割合 20%の条件において、最新鋭の天然ガス燃焼ガスタービンと同等の性能を有する燃焼器を開発</p>
C. 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術	
	<p>本事業成果の商品化にむけた基本設計(商品パッケージ化)を完了</p>

2.2. 研究開発の実施体制

本事業「研究開発項目Ⅱ」のプロジェクトマネージャー（以下PMという）にNEDO次世代電池・水素部大平英二、横本克巳を任命し、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。本研究開発は、本邦の企業、研究組合、公益法人、大学等の研究開発機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外企業等（大学、研究機関を含む）の特別な研究開発能力、研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を国外企業等との連携により実施することが出来る。）から公募により実施者を選定して実施する。

加えて専門性の高い技術開発項目の評価や実用化の見通しについては、大学等の研究機関や関連する事業に係る事業者などから成る外部有識者の委員会を編成し、今年度より毎年、評価を行う予定である。

また海外の未利用エネルギーの調達などにおいて、外国政府と協力関係を構築する場合などは政府と一体となって対応している。

2.3. 研究開発の運営管理

●研究開発の事業進捗管理

研究開発項目Ⅱ「大規模水素エネルギー利用技術開発」についてはプロジェクト評価を行う。評価の時期については、中間評価を2016年度と2020年度、事後評価を2023年度に実施する。なお、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行っている。

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、本事業に関する専門的な知見を有する第三者アドバイザー、研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、事業の目的及び目標に照らし適切な運営管理を実施している。具体的には、必要に応じて経済産業省と研究開発実施者との意見交換を行うとともに、有識者からの助言をもとに、適宜事業の軌道修正等を行っている。

毎年の事業成果については、年度末に提出される中間年報により年度毎に設定したマイルストーンの達成状況を確認している。また予算執行については、毎月事業者にそれまでの執行状況と今後の見通しを提出させ、計画と乖離がある場合はヒアリングと必要に応じて指導を行っている。

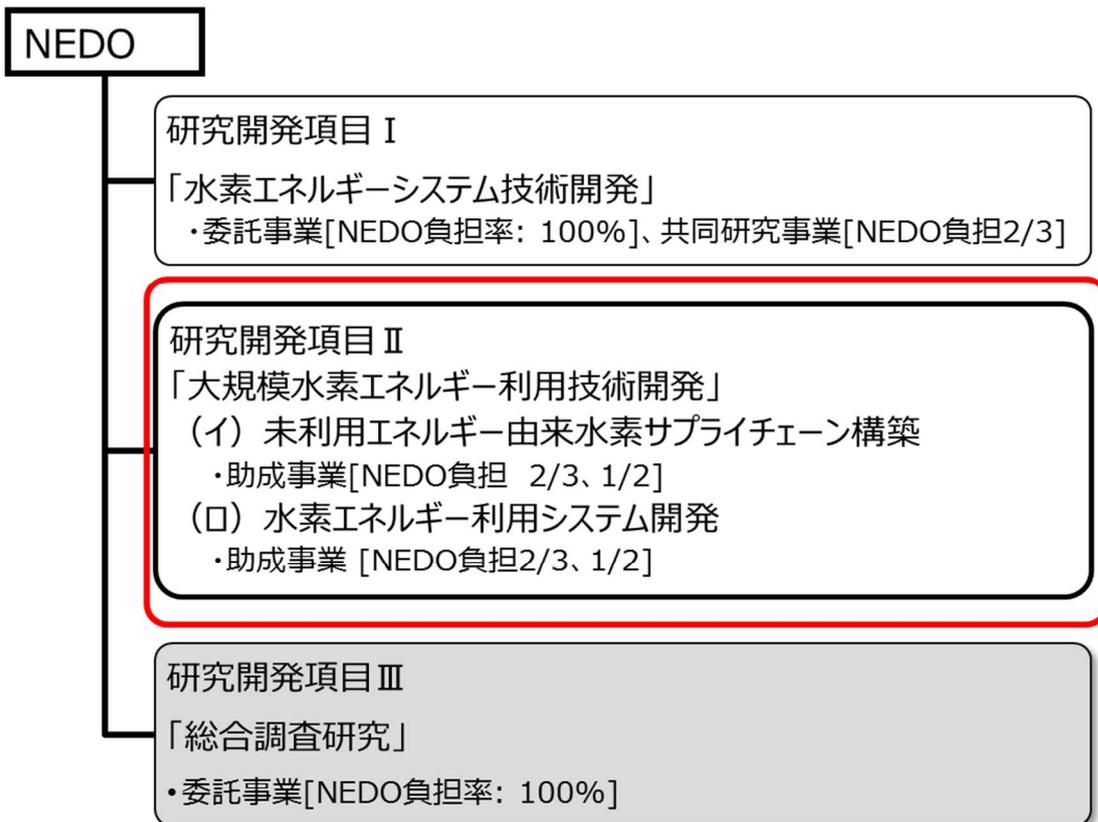
●各種ステークホルダーとの面談及び意見交換について

サプライチェーンやスマートコミュニティの実証には、他国政府、自治体、他企業など様々なステークホルダーが存在する。彼らとの調整には、事業者に加え、NEDO、経済産業省も係っており、そのような様々な機会において頻繁に面談や意見交換を行っている。

●他事業及び事業内の連携体制について

他事業との連携体制について、関係する事業として「水素利用技術研究開発事業(P130002)」「水素利用等先導研究開発事業(P14021)」「固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発(P13001)」「固体高分子形燃料電池利用高度化技術開発事業(P15001)」「超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業(P18011)」「燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業(P20003)」があり、事業担当者が兼務または連携して進める。

また、水素社会構築技術開発事業の「研究開発項目Ⅰ」（水素エネルギーシステム技術開発）はロードマップのフェーズ3に対応するものであり、フェーズ2に対応する研究開発項目Ⅱの内容と密接に連携させる必要がある。よってPMと各主査による毎週の会議において、この研究開発項目Ⅰや他の水素関連事業のテーマと進捗や課題を共有し、課題解決と連携を図っている。



事業番号	事業名	内容
P13002	水素利用技術研究開発事業	2020年以降のFCV及び水素供給インフラの本格普及に向けて、FCV及び水素ステーション関連に資する事業を行う。
P14026	水素社会構築技術開発事業	大規模な水素利用、輸送、貯蔵手段を検討し、2030年頃には世界に先駆け本格的な水素サプライチェーンを構築に資する事業を行う。
P14021	水素利用等先導研究開発事業	2030年頃の長期的視点を睨み、水素等のエネルギーキャリアについて各種化石燃料等と競合できる価格を狙う。
P15001	固体高分子形燃料電池利用高度化技術開発事業	固体高分子形燃料電池(PEFC)の社会への本格実装に向けて、PEFCの大量普及に必要な要素技術を確認する。
P13001	固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発	固体酸化物形燃料電池(SOFC)エネファームの本格普及及び中・大容量システムへの展開のための技術開発及び実証研究を、以下の項目について行う。
P18011	超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業	FCVの世界最速普及を実現するため、水素ステーション(HRS)等に係る超高压水素技術に関し、国内規制適正化やHRSのコスト低減等に関連する技術開発を行う。
P20003	燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業	2030年以降の自立的普及拡大に資する高効率、高耐久、低コストの燃料電池システム(水素貯蔵タンク等を含む)を実現するため研究開発を行う。

本事業は将来の水素サプライチェーンの構築に資する事業であるが、他の事業については水素ステーションならびに FCV の普及に直結する事業を担い、2014 年に開始された FCV の一般販売や水素ステーションの拡大普及に係る技術に資するものである。「水素利用等先導研究開発事業」に関しては 2030 年頃の実用化を目指す長期的な事業であり本事業との関連が深い。

2.4. 研究開発成果の実用化に向けたマネジメントの妥当性

本事業の成果により、海外の未利用エネルギーを活用した大規模水素製造（調達）、輸送及び水素発電の実用化に目処が付くことにより、水素を大量に調達・消費する大規模サプライチェーンの構築を見通すことが可能となる。水素流通量の拡大を通じて、プラント引き渡しコストが低減することにより、さらなる水素サプライチェーンの拡大につながり、水素を本格的に利活用する水素社会の実現に大きく貢献する。

本事業においては、これまで世界に例のない褐炭のガス化、大規模かつ継続的な液化水素、有機ハイドライドによる海上輸送、水素発電等をつなぐサプライチェーン技術にめどをつける開発・実証を行うものであり、その実用化についてはリスクが非常に大きいと考えられる。このため、全事業費のうち一部（2/3 を上限とする）を助成することとする。

また、本事業が終了する 2022 年度以降は成果を最大限に用いて技術的な妥当性の検証をおこないつつ民間投資を最大活用して商用サプライチェーンの構築を目指す。このために本事業内で将来の商用大規模化を見据えることが可能な開発体制としている。

例えば、II-①のような大量の液化水素の海上輸送は世界初の取り組みのため、実用化・さらには将来の事業化に向けた国際的なルールメイキングへの参加を奨励している。例えば本事業者の働きかけにより、2016 年 9 月 5 日～9 日に開催された国際海事機関第三回貨物運送小委員会において、事業者の提案通り液化水素運搬船の安全要件に関する暫定勧告が承認された。

また発電事業で水素を用いるにはエネルギーとしての水素の供給安定性の確保が必要であるが、II-②の中では経済面・環境面から有望な水素源の調査を行うなど将来の事業化に向けた対応を行っている。

その他、成果を上げた後の実用化・事業化を優位に進めるために特許等を着実に出願し権利化するよう指導している。また、外部への成果のアピールの為、論文、プレス発表等を積極的に実施することも奨励している。

3. 情勢変化への対応

● 実施体制の変更

II-①は日豪間で液化水素を大量に輸送するという世界初の取り組みのため、国際的な制度設計や安全規制への対応に経験や知見が必要であった。

本テーマは川崎重工業（株）、岩谷産業（株）、電源開発（株）の3社で事業を開始したが、2016年4月の技術研究組合CO₂フリー水素サプライチェーン推進機構への事業承継の際にシェルジャパン（株）も組合に加わった。これにより液化水素の海上輸送に係る国際的な規制への対応等において、液化天然ガスでの彼らの知識と経験を活かせる体制を整えた。

また、II-②では、有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築において、より柔軟な対応や迅速な決定を図り、効率的な研究遂行を可能とするため、千代田化工建設（株）から次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合へ事業継承を行った。

更には、液化水素サプライチェーンや水素発電システム等の実用化に向け、本事業の実施期間を2年間延長し、2019年度、2020年度に公募を実施し下記技術開発のための実施体制変更・強化を行った。

- ✓ 液化水素の受け入れ基地に必要な機器の大型化に関する開発を行うため、液化天然ガスの受け入れ基地で使用する機器の開発経験を持つ事業者を採択した。
- ✓ 水素を燃料とする発電システムなど新たなエネルギーシステムの技術開発を行うため、天然ガス発電設備開発の経験を持つ事業者を採択した。

● ステークホルダーとの関係構築

サプライチェーンの実証においては水素供給国側にも様々な設備が必要であるが、新たに設備を建設する上で、規制対応、住民の受容性向上、資金等に相手国政府や自治体の支援が欠かせない。

支援の具体的な例としては、II-①に関しては、2015年12月18日に日豪首脳会談の共同声明において「水素社会」実現に向けた水素サプライチェーン事業への支持が示され、豪州側に整備されたガス精製設備、水素液化・荷役設備の建設について豪州からの支援を受けて実証を行っている。

● 実施内容の再検討

II-①では、一旦は豪州において褐炭ガス化技術の確立と実証のためのガス化炉の設置を行う方向で検討を行ったが、研究開発の効率性向上と開発費用の抑制が必要となった。

幾つかの方式を検討した結果、日本にある既存のガス化炉において褐炭ガス化技術を確立し、豪州にも実証のための小型ガス化炉を建設することで研究開発リスクの低減と開発費用の抑制を図ることとした。

4. 中間評価結果への対応

● 研究開発マネジメント

[指摘]：水素サプライチェーンの構築と水素エネルギー利用システム開発に係る各テーマ間の関連性が明確でなく、連携体制が機能して実質的な技術開発が効率的に進められているとは言い難い。各テーマの成果を共有しつつ、事業全体として効果的な技術開発を進める必要がある。

[対応]：2017年度以降「進捗評価委員会」を年1回開催し、事業間の共通課題の解決に向けてNEDO及び実施者間で情報共有・検討を進め、NEDOが効率的・効果的な事業マネジメントを行った。

● 研究開発成果

[指摘]：有機ハイドライドによる方法においては、水素純度向上策の検討等が不十分である。

[対応]：不純物である炭化水素の含有量と燃焼器に与える影響を検証し、現状の脱水素工程から得られる製品水素が商用規模GTに使用可能であることを確認した。発電用途より高い純度が求められる燃料電池自動車向け用途等については、別途「水素利用技術研究開発事業」の中で実施した水素ステーション向けの小型脱水素設備の性能検証にて、ISO規格を満たす水素供給が可能であることを確認した。

[指摘]：本事業では世界に先駆けて取組んでいる技術要素も多く、それらを整理して明示するとともに、得られた成果をアピールすることに努めるべきである。

[対応]：研究成果について国内外の学会、会議やシンポジウムなどで積極的に発信を行い、国内外にアピールを行った。（成果発表件数：341件（2017年以降））

● 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見直し

[指摘]：大規模水素利用を目指す事業は、研究開発の実施者だけでは事業化が完結しない。そのため潜在的な需要家（大規模発電事業者等）や水素ユーザーに将来的に参入してもらえるような成果やメリットを顕在化するような取り組みが必要である。

[対応]：実証の状況や成果については、見学会を開催する等、成果の普及を図った。例えばⅡ-⑬：「水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業」では、実証研究を行ったサイトにて積極的に見学者の受け入れを行っている。（設備完成後の2018年2月からの累計で延べ2500人以上の見学者を受け入れている。）

5. 評価に関する事項

事前評価については、2013年2月（研究開発項目Ⅰ,Ⅱ,Ⅳ）及び2014年2月（研究開発項目Ⅱ）にNEDO新エネルギー部が事前評価書としてまとめ、公開されている。NEDOは、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による中間評価を2016年度と2020年度に、事後評価を2023年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて前倒しする等、適宜見直すものとする。

III 研究開発成果について

1. 事業全体の成果

中間目標に関しては以下の表のとおり達成の見込みである。本事業の最終目標は2030年に未利用エネルギー等から製造したプラント引き渡しコスト30円/Nm³の実現に向けて、事業終了時にそれを見通すことが出来る基盤技術の確立を目指すことであり、その成果によって将来海外の未利用エネルギーを活用し大規模な水素の製造/調達、輸送、水素発電の実用化に目途が付くことにより水素を大量に調達、消費する大規模商用サプライチェーンの確立につながり、水素を本格的に利活用する水素社会の実現、またエネルギーセキュリティの強化に大きく貢献することが可能になると考える。

各プロジェクトの詳細については、III - 2項の研究開発項目毎の成果に掲載。

研究開発項目：

II：「大規模水素エネルギー利用技術開発」

達成度「◎：大幅達成、○：達成、△：一部達成、×：未達」

中間目標	最終目標	成果	達成度	今後の課題
II：「大規模水素エネルギー利用技術開発」				
(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築				
最終ゴールとなる商用の水素サプライチェーン構築のための要素技術を検証し、システムの全体設計を明確にする。	2030年頃の安定的かつ大量な水素供給体制確立をめざし、2020年において商用レベルの1/100程度のプロトタイプ規模(数千万Nm ³ 規模)のサプライチェーンを構築しシステムとして技術を確認する。システムを構成する技術目標(水素製造効率、輸送効率等)に関しては、水素製造方法や水素キャリア毎の特性に応じ、個別に設定する。	<p><液化水素サプライチェーン></p> <ul style="list-style-type: none"> 輸送用タンクシステムの基本設計・詳細設計を完了し、船級立会検査のもと、製作をほぼ完了した。 海上揺動環境下において目標流量及び目標可動範囲を達成できるローディングシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領を作成した。 豪州ラトロブバレーでの褐炭の特性を反映した設備設計を実施し、試験設備の据付を完了した。 <p><有機ハイドライドサプライチェーン></p> <ul style="list-style-type: none"> 水素化/脱水素化反応器スケールアップの設計手法を確立し、実証設備の反応器設計に反映した。 発電燃料供給チェーンとしての設備仕様、オペレーション要件を確立した。 	△ (2022年度達成見込み)	<ul style="list-style-type: none"> 複数回の日豪航行実証試験を通じて、輸送タンクシステム性能、荷役システム性能等の検証を実施する。 海外の未利用資源を活用した水素サプライチェーン構築のために必要となる、液化水素の受け入れ基地(5万Nm³規模)に必要な機器の大型化に関する開発を促進する。

			<ul style="list-style-type: none"> ・ブルネイでの水素化、日本での脱水素化を行うサプライチェーン実証を本年度から開始した。 	
(ロ) 水素エネルギー利用システム開発				
<p>各プロジェクトで最終目標としている新技術・システムの確立・技術実証、並びにプラントの基本設計の実施に向けて、基本計画の策定、及び試験条件、解析条件の設定を完了する。</p>	<p>水素を混焼あるいは専焼で発電する技術に関して既存の燃料と同等の発電効率、耐久性及び環境性を満たす技術を確立する。あわせて、水素発電等を組み込んだエネルギーシステムについて、市場化に必要な技術を確立する。</p>	<p><水素 CGS></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 統合型 EMS の開発について、双方向蒸気融通技術と統合型 EMS を導入し、電気・熱・水素を総合管理し、環境性と事業性を確保するエネルギーマネジメントシステムおよび蒸気ハンマーの発生しない双方向融通配管網が構築できた。 ・ 水素 CGS の開発について、最終目標である「実負荷運転時の水素混焼割合切替え時の燃焼安定性検証」が完了。 <p><混焼 GT></p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 水素が燃焼器内部温度分布に与える影響を精度よく予測するために、基礎データ取得とシミュレーションの高度化を行い、設計ツールとして活用可能にした。 ・ フラッシュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発し、水素混合割合 30%条件(事業目標：水素混合割合 20%条件)において、安定燃焼が可能なことを実圧燃焼試験により確認した。 ・ 実在するプラントをベースに、プラント建設計画を策定し、本事業成果の商品化に向けた基本設計(商品パッケージ化)を完了した。 	<p>△ (2022 年度達成見込み)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 水素専焼ガスタービン発電等、水素のエネルギー利用を大幅に拡大するため水素エネルギー利用システムに関する開発を促進する。

2. 研究開発項目毎の成果

各テーマについての成果概要は以下のとおりである。

研究開発項目Ⅱ：「大規模水素エネルギー利用技術開発」

	中間目標 (2020年度)	研究開発成果@中間	達成度 (達成予定時期)
Ⅱ-①：「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」			
① 液化水素の長距離大量輸送技術の開発			
	c) 輸送用タンクの設計・製作・検査 基本設計・詳細設計を元に、タンク製作・検査・船体搭載が着実に成され、配管艀装品を含めたシステム全体が実証試験実施可能な状態になっていること。	2016年度までに実施した研究開発項目「a) 液化水素海上輸送システムの要素技術の開発」と「b) 輸送用タンクシステムの開発」により開発された要素技術を踏まえ、輸送用タンクシステムおよび配管艀装品の基本設計・詳細設計を完了し、船級立会検査のもと、製作をほぼ完了した。	△ (最速で 2020/11)
	d)-① 安全対策システムの開発 (実証試験の実施) ●実証設備を用いた試験方案への船級承認が完了し、2020年度中の日豪間輸送の実現が見込める状態であること。 ●実証試験実施時の危険要因が把握され、それらに対する有識者による安全対策の妥当性検証が完了していること。	・輸送用タンクおよび各種配管艀装品を含めたシステム全体の詳細設計内容を FMEA に反映し、実証試験で実施すべき項目を実証試験開始までに洗い出し中。 ・船級 (日本海事協会) と実証試験の実施項目を確認中。	△ (最速で 2020/11)
② 液化水素荷役技術の開発			
	a) 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証 ●海上揺動環境下において、極低温(-253℃) 液化水素の陸上-海上間輸送を想定したローディングシステムの稼働範囲を有し、カゴ 1 個当たり 200m ³ /h 以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること ●海上揺動環境下で使用する荷役設備を想定して可動範囲を持つローディングシステムを製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること	海上揺動環境下において目標流量及び目標可動範囲を達成できるローディングシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領を作成した。	○

	中間目標 (2020 年度)	研究開発成果@中間	達成度 (達成予定時期)
	b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発 極低温液化水素の蒸発特性を踏まえ、配管入熱を仮定して、予冷段階、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備、および、目標蒸発率以下のタンクの製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること	<ul style="list-style-type: none"> ・ 設定した配管系およびバレーションを基に蒸発量の算定、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備の製作、設置が完了した ・ 目標蒸発率以下となるタンクの製作、設置が完了し、BOR 計測要領書の策定も完了したことで、実証試験実施の見通しを得た 	○
	b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発 貯蔵タンク及び配管類の健全性を確保した予冷システムの設計が完了していること	積荷及び揚荷バレーションを設定の上、リスクに基づく安全性評価を行い、貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの設計が完了した。	○
	b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証 カゴタンク当り 200m ³ /h 以上の荷役流量を目標とした陸上・海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること	カゴタンク当り 200m ³ /h 以上の荷役流量を目標とした陸上・海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た	○
③褐炭ガス化技術の開発			
	a) EAGLE 炉への豪州褐炭の適用性評価 以下ガス化試験を踏まえ、EAGLE 炉での褐炭ガス化技術を確立する。 (2t/d 豪州小型ガス化試験装置) <ul style="list-style-type: none"> ・ 複数の褐炭についてガス化試験を行う。 ・ 1 炭種につき複数回ガス化試験を行うことで、きめ細かく評価する。 (20t/d 若松小型炉試験設備) <ul style="list-style-type: none"> ・ 2t/d の試験結果を踏まえてガス化試験を行い、褐炭ガス化適用性を評価する。 	(2t/d 豪州小型ガス化試験装置) <ul style="list-style-type: none"> ・ 豪州ラトロブバレーでの褐炭の特性を反映した設備設計を実施。 ・ 豪州での試験設備の据付完了。 (20t/d 若松小型炉試験設備) <ul style="list-style-type: none"> ・ 豪州褐炭の試験サンプルを基に運転条件等の事前解析実施中。(10 月より開始) ・ 褐炭を日本に輸送し、事前乾燥実施中。(10 月より開始) 	○
	b) 化学原料製造向けガス化技術の検証 ガス化試験にて CO ₂ 搬送及びダイレクトクエンチの効果を確認すると共に、シミュレーションにて大型化に向けた見通しを得る。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2t/d ガス化炉で CO₂ 搬送が、20t/d ガス化炉でダイレクトクエンチの試験が可能となるような設備とした。 ・ プロセスシミュレーションのモデル構築中。今後試験結果を踏まえ精度の向上を図る。 	○
	c) 豪州褐炭ガス化運用技術の検討 ガス化試験結果を踏まえ、運用方法の検討を行い、大型化に向けた見通しを得る。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 大型化した場合のシミュレーションモデルを構築中。大型化時のユーティリティ量の把握等に利用する。 	△
II-②：「有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証」			
①水素化プラント			

	中間目標 (2020 年度)	研究開発成果@中間	達成度 (達成予定時期)
	①-1: 水素化反応器スケールアップ 商用規模の水素化設備の設計手法の確立。	①反応器スケールアップの設計手法を確立し、実証設備の反応器設計に反映。 ②実証運転にて2回のターンダウン試験を実施。転化率/選択率に大きな変化はなく目標値以内であることを確認。	○
	①-2: 不純物除去設備の仕様 大規模水素チェーン向け不純物除去設備の設備仕様の明確化。	①蒸留設計のパラメータチューニング及び蒸留試験により蒸留設備の設計仕様妥当性を確認。 ②実証運転にて中軽質不純物蓄積挙動を検証中。顕著な蓄積増加は見られない。	△ (2020 年度中)
②脱水素プラント			
	②-1: 脱水素反応器スケールアップ 商用規模の脱水素設備の設計手法の確立。	①反応器スケールアップの設計手法を確立し、実証設備の反応器設計に反映。 ②Shell 側構造改善シミュレーション検討実施中。 ③実証運転にて1回目のターンダウン試験を実施。転化率/選択率に大きな変化はなく目標値以内であることを確認。	△ (2020 年度中)
	②-2: 負荷追従性向上策検討 想定需要要件における負荷変動への対応方法の明確化。	①商業規模設備のダイナミックシミュレーションによりガスホルダー設置の効果を検証。プラント応答性律速要因を特定。 ②実証設備のダイナミックシミュレーションをモデル化中。 ③実証運転での負荷変動（短時間でのターンダウン/アップ）試験の詳細計画策定。	△ (2020 年度中)
	②-3: 水素純度向上策 想定需要要件において求められる、水素純度への対応方法の明確化。	想定需要へ対応可能であることをラボ試験により確認。	○
	②-4: 触媒商業生産課題 商業生産設備での触媒製造で所定の性能指標を満たすことの確認。	①商業試作により、小規模製造触媒と概ね同等の性能を持つ大規模触媒製造が可能と確認。 ②実証運転により触媒性能を検証中。小規模製造の触媒概ね同等。	△ (2020 年度中)
③サプライチェーン構築・運用			

	中間目標 (2020 年度)	研究開発成果@中間	達成度 (達成予定時期)
	③-1: 商用トルエン運転検証 商用トルエンで安定的なチェーンオペレーションが可能である事の検証。	①商業規模で調達/使用可能なトルエンを選定し、調達仕様を策定。 ②商用トルエンを使用した実証運転継続中。触媒性能や劣化速度は商用トルエンを使用した子安デモプラント運転結果と概ね同等。	△ (2020 年度中)
	③-2: サプライチェン検討 最適な設備構成を検討する手法の確立。	設備構成が供給安定性に与える影響を定量的に評価する基本的な手法が確立。	○
	③-3: 発電燃料供給チェーンとしての設備仕様・オペレーション要件 ①ガスタービン燃焼機等へのガム状物質付着の定量評価手法の確立。 ②脱水プラントと発電タービンとの熱インテグレーション効果試算。	①飽和炭化水素の含有量管理値を策定。製品水素が商業規模発電 GT に使用可能であることを確認。 ②脱水素反応熱を GTCC 発電所の HRSG から供給することで、総合効率の改善の可能性があることが示唆された。	○
	新規: 反応器運転モードの最適化 経済性向上に資する運転方法の試行。	実証運転にて、転化率抑制 (転化率一定) の運転を継続中。	△ (2020 年度中)
II-③: 「液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」			
①-a) 大型貯蔵容器の開発			
	・断熱性能の目途付け ・メンブレン形状の解析技術確立	・極低温、水素ガス中で断熱性能を満足した。 ・考案したメンブレン形状に対し解析にて成立性を確認。	△ (2021/2)
①-b) 海上輸送用大型液化水素タンクの開発			
	ア)断熱システム方式 ・断熱システムの基本仕様の確定	・断熱方式/構造を選定済 ・基本仕様検討中	△ (2021/2)
	イ)タンク構造 ・基本構造決定 ・強度/揺動評価	・基本構造/支持構造を選定済 ・強度評価中	△ (2021/2)
	ウ)タンク構造材料 ・材料選定/データ取得	・材料選定済 ・材料特性データ取得中	△ (2021/2)
	エ)配管との接続方法 ・方法選定/強度評価	・方法選定済 ・強度特性データ取得中	△ (2021/2)
	オ)タンクシステムの検証 ・試験タンク設計/材料手配	・試験タンク設計中 ・材料手配中	△ (2021/2)
②商用ローディングアームの開発			

	中間目標 (2020 年度)	研究開発成果@中間	達成度 (達成予定時期)
	a)大口径緊急離脱機構の開発 理論外部流出量が 125ℓ 以下の緊急離脱機構の開発における試作機の製作	現状では理論外部流出量は 10ℓ 以下の見込みで、試作機を製作中	△ (2021/2)
	b)大口径船陸継手の開発 重量が 1 ton 以下で操作容易な船陸継手の開発における試作機の製作	重量は約 0.5ton 以下になる構造を検討した	△ (2021/2)
	c)鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発 メンテナンス頻度が 1 年に 1 回で済む程度の真空度を確保する試作機の製作	以下 3 点を製作中 ア)吸着剤追加 イ)改良型真空測定装置の追加 ウ)清浄度の高いベローズの採用	△ (2021/2)
③低温水素ガス圧縮機の開発			
	a) 液空生成に対し安全性を確保する構造 外表面に液体空気が発生せず、メンテナンス可能な構造の考案	・真空断熱継手等を採用し、解析にて表面が液空温度(-183℃)以上であることを確認。	○
	b) シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材 ・窒素シールガスが中間筒内にて液化しない構造を考案する。	・中間筒・断熱材を追加することで、構造成立性を解析にて確認した。	○
	・商用での連続使用を考慮した高寿命およびシール性に優れた摺動部材の目途付けを行う。	・低温水素ガス雰囲気中で摺動部材の摩耗試験を実施し、候補材料を選定した上で、基本構造・構成を決定した。	○
	c) 商用機の設計技術および性能評価技術の開発 ・試作機の現地試運転の計測・性能評価用の試験装置の基本計画が完了	・試験目的に見合った低温水素ガス供給設備・基礎・建屋の基本設計を完了して施工業者を決定した。	△ (2021/2)
	・商用機の精度ある性能予測のため、1D CAE を用いた低温水素ガス試作機(1 段)モデルを構築する。	・LNG モデルでの改良と真空容器の断熱効果を反映した上で、試作機の 1D CAE モデルを構築した。	○
④液化水素昇圧ポンプの開発			
	a)軸スラストバランス機構の検討 ・バランス機構基本構造の設計	基本構造設計完了	○
	b)ポンプ材料の選定 ・水素/低温脆化を考慮した材料選定 ・材料特性の把握	構造部品用材料の評価/選定完了	△ (2020/12)
	c)ポンプ性能/機能の評価・分析 ・小型試作機の設計	基本設計完了	△ (2021/2)

	中間目標 (2020 年度)	研究開発成果@中間	達成度 (達成予定時期)
	・液化水素試験設備の製作	製作中	△ (2021/1)
II-④：「液化水素貯槽の大型化に関する研究開発」			
1.真空排気システムの確立			
	①貯槽内材料のガス放出量を把握する。	候補材料のガス放出量を測定し、しきい値以下になることを確認した。	△ (2021/2)
	②大型貯槽に適用可能なベーキング手法を確立する。	大型貯槽に適用可能なベーキング手法を決定した。	
	③底部断熱構造側板の真空排気用孔径を決定する。	座屈応力解析により、孔径の最大値を決定した。底部真空排気シミュレーションの基本プログラムを構築するとともに、その検証実験装置の基本仕様を決定した。	
2.内槽底部への入熱量算定手法の確立			
	断熱性能測定装置の詳細仕様を決定する。	断熱性能測定装置の基本仕様を決定した。	△ (2021/2)
3. SUS316L の溶接材料を使用した溶接施工法の確立			
	①液化水素温度であっても十分な破壊靱性を有する溶接施工法を確立する。	破壊靱性試験 (J1C 試験) を実施して、十分に破壊靱性を有することを確認した。	○
	②脆化が起りやすくなるといわれている-70℃付近の水素脆化度を確認する。	低歪速度引張試験 (SSRT 試験) を実施して、水素脆化感受性が非常に低いことを確認した。	
II-⑤：「液化水素用大口径バタフライバルブの技術開発」			
①市場調査			
	顧客ニーズ及び高圧ガス保安法適用範囲の調査	予定通り進捗	△ (2020/11)
②原理開発			
	シール構造及び真空断熱構造の開発	予定通り進捗	△ (2021/9)
II-⑥：「液化水素用バタフライバルブの開発」			
②液化水素として維持可能な構造			
	バルブ内外の断熱	構造検討、強度計算の実施中	△ (2020 年度)
③水素の外部漏れに対する安全			
	流路外漏洩量 LNG 仕様相当	グランド部の構造検討実施中	△ (2020 年度)
④使用材料による加工とコスト			

	中間目標 (2020 年度)	研究開発成果@中間	達成度 (達成予定時期)
	LNG 仕様弁の加工費 1.2 倍	2020 年度に調達完了予定	△ (2020 年度)
II-⑦：「液化水素用大型バルブの技術開発」			
① 弁種の検討			
	大口径化実現可能な弁種、構造の選定	遮断弁：ボール弁 逆止弁：スイング式逆止弁	○
② 封止技術開発			
	a) 外部封止構造の検討 液化水素流通における外部封止性能の確保	計算・解析等を用いてシール位置の決定	○
	b) 内部封止構造の検討 使用可能樹脂、シール構造の検討	解析により材料・構造の検討実施中	△ (2020 年度)
	c) 部分試作評価 ②a)b)について試作品を製作し、評価を実施する	部分試作品にて液化窒素レベルでの封止性能確認中	△ (2020 年度)
③ 弁の製造方法の検討			
	a) 大型化精密加工検討 精密加工可能な製造方法	構想設計段階において一体加工は難しいとの判断	△ (2020 年度)
	b) 確穿割構造の検討 溶接等の別体分割構造の確立	熱影響の少ない溶接方法にて試作し、精密加工部分を損なわないことを確認中	△ (2020 年度)
II-⑧：「ドライ低 NOx 水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業」			
A. ドライ低 NOx 水素専焼ガスタービンの運転実証			
1. 設備改修			
	1-1 燃料供給系の改修設計 (川崎重工) 燃料供給系の改修設計を完了し、設備改修に必要な機器および工事の発注を完了する。	2019 年 10 月までに、燃料供給系の改修設計を完了し、設備改修に必要な機器および工事の発注を完了。	○
	1-2 運転制御システムの改修設計 (川崎重工) 運転制御システムの改修設計を完了し、設備改修に必要な工事の発注を完了する。	2019 年 12 月までに、運転制御システムの改修設計を完了し、設備改修に必要な工事の発注を完了。	○
	1-3 統合型 EMS の改修設計(大林組) 統合型 EMS の改修設計を完了し、設備改修に必要な工事の発注を完了する。	川崎重工業の監視制御項目のうち、ウェット方式燃焼器からドライ方式燃焼器への改造に伴い変更(確定)となる項目を確認・調整し、EMS 改造計画をまとめた。	○
	1-4 機器調達・製作 (川崎重工) 設備改修に必要な機器の調達・製作を完了する。	2020 年 4 月までに、設備改修に必要な機器の調達・製作を完了。	○

	中間目標 (2020 年度)	研究開発成果@中間	達成度 (達成予定時期)
	1-5 改修工事の実施(川崎重工/ 大林組) 設備の改修工事を完了し、運転試験実施のための設備動作確認に移行する。[川崎重工]	2020年4月までに設備の改修工事を完了し、運転試験実施のための設備動作確認に移行。[川崎重工] 現地(エネルギーセンター)でEMS装置のソフトウェアの設定変更作業、および、クラウドの設定変更作業を行った。[大林組]	○
2. 実機搭載用燃焼器の製作			
	2-1 詳細設計(川崎重工) 実証試験に使用する実機搭載用燃焼器の設計を完了する。	2019年10月/12月/2020年1月までに、実機搭載用燃焼器3基の設計を順次完了。	○
	2-2 製作(川崎重工) 実機搭載用燃焼器の製作を完了する。	2020年1月/3月/5月までに、実機搭載用燃焼器3基の製作を順次完了。	○
	2-3 工場内試験 一燃焼器単体(川崎重工) 工場内の燃焼器試験設備において、実機搭載用燃焼器の水素による燃焼試験を実施し、燃焼器単体での性能と健全性の確認を完了する。	2020年2月/4月/6月までに、実機搭載用燃焼器3基の水素による燃焼試験を実施し、燃焼器単体での性能と健全性の確認を順次完了。	○
	2-4 工場内試験 一始動性確認(川崎重工) 工場内のガスタービン試験設備において、実機搭載用燃焼器の天然ガスによる始動試験を実施し、始動安定性と安全性の確認を完了する。	2020年2月/4月/6月までに、実機搭載用燃焼器3基の天然ガスによる始動試験を実施し、始動安定性と安全性の確認を順次完了。	○
	2-5 改良(川崎重工) 実証試験の結果をうけて、要すれば燃焼器の改良を実施する。	2020年5月より開始した実機に搭載しての実証運転試験の結果、安定運転に障害となる「燃焼振動」が発生したことから、燃焼器の改良を実施し、「燃焼振動」を大幅に抑制するとともに、効率についても向上させる技術の開発に成功。	○
3. 実証運転			
	3-1 動作確認(川崎重工/ 大林組)	2020年4月末までに、機器および制御システムの動作確認を完了し、ドライ燃焼器による運転が可能であることの確認を完了。	○
	3-2 ドライ低NOx実証試験(川崎重工) 起動時およびアイドル運転時において、水素燃焼での失火や逆火が発生しない安定燃焼の達成	2020年5月12日～10月6日までに起動/アイドルを58回実施し、全く問題なし。安定燃焼を達成。	○
	ガスタービンの実運用で想定される急激な負荷変動、燃料の急遮断等の条件において、水素燃焼での失火や逆火が発生しない安定燃焼の達成	2020年5月12日～10月6日までに実運用で想定される急負荷変動/急遮断等の様々な	○

	中間目標 (2020 年度)	研究開発成果@中間	達成度 (達成予定時期)
		運転パターンを実施し、全く問題なし。安定燃焼を達成。	
	標準大気条件/発電負荷 100%における発電端効率 27%以上の達成	2020 年 10 月現在、負荷 100%で発電端効率 27.0%以上を達成	○
	NOx 濃度 35ppm(残存酸素 16%換算値)以下の達成	2020 年 10 月現在、低負荷領域では 35ppm 以下を達成。ただし、高負荷領域において目標の NOx 値 35ppm 以下が未達成 (法律上の制限値[70ppm]は十分クリアしている。)	△
	3-3 EMS 実証試験 (大林組) 水噴射方式よりもドライ方式の方が環境性や事業性が優位であることを確認	2020 年 11 月に実証運転を実施予定。	△
	3-4 混焼運転対応に向けた課題抽出 (川崎重工) ドライ燃焼器において、水素/天然ガスの「混焼運転」対応のための課題の抽出が完了している。	2020 年 7 月から課題抽出のための混焼運転を開始し、安定運転に支障となる「燃焼振動」の発生領域と、天然割合が増加時の保炎可能領域を特定し、「混焼運転」実現のための課題の特定が完了した。	○
B. 冷熱活用システムの検討			
	①冷熱利用熱交換器の基礎検討 熱利用熱交換器の基礎検討を行い、液化水素の気化冷熱を活用し空気を冷却する場合の課題を抽出し、その解決策を検討	<ul style="list-style-type: none"> ・基礎検討完了 ・課題抽出、対応策検討完了 ・熱交換器試設計完了 	○
	②蒸発器の着霜防止効果を定量評価 冷熱利用による蒸発器の着霜防止効果を定量的に確認	<ul style="list-style-type: none"> ・シミュレーションによる評価完了 ・実験装置による評価を実施予定 	△
	③空気冷却器着霜発生条件を把握 空気冷却器の模型着霜実験を行い、空気冷却器における着霜発生境界条件を確認	着霜実験結果を踏まえ評価予定	△
	④冷熱利用の経済合理性の定量評価 冷熱利用によるガスタービンの発電出力向上効果を定量的に確認	<ul style="list-style-type: none"> ・定量評価シミュレーション完成 ・試設計および工事費の算出完了 ・着霜実験結果を踏まえ評価予定 	△

	中間目標 (2020 年度)	研究開発成果@中間	達成度 (達成予定時期)
II-⑨：「CO2 フリーアンモニア利用 GTCC システムの技術開発」			
① システム構成の検討			
	<ul style="list-style-type: none"> ・混焼システムの起動停止手順、経済性の検討 ・専焼システム改良案の構成検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・混焼システムの起動要領を検討 ・NH3 燃料の価格と本システムの建設費をパラメーターとし、本システムの発電コストを評価 ・分解ガス専焼システムについて、改良案を評価 	○
②アンモニア分解装置の検討			
	<ul style="list-style-type: none"> ・NH3 分解装置の基本試設計(混焼) ・触媒性能被毒物質調査 	<ul style="list-style-type: none"> ・H2 濃度 20%混焼の NH3 分解装置全体のシステム構築と熱物質収支を検討し、NH3 分解反応器の構造も含めた試設計を実施 ・NH3 曝露試験 (100 時間、500 時間) で触媒表面の被毒物質の分析、触媒比表面積変化を計測 ・分解装置材料のスクリーニング試験を実施 	○
③燃焼器の検討			
	<ul style="list-style-type: none"> ・実圧燃焼試験装置に NH3 供給系統を追設計画 ・一次元解析によるガスタービン燃焼器の NOx 排出量予測 	<ul style="list-style-type: none"> ・天然ガスと NH3 分解ガスの混焼試験のため、既存実圧燃焼試験装置の燃料系統に微量 NH3 を供給する装置と系統を計画 ・燃焼器の基礎燃焼特性を詳細化学反応計算、気流試験による燃料濃度分布計測、CFD 解析にて実施 	○
II-⑩：「低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型 Dry Low NOx 高温ガスタービン発電設備の研究開発」			
A-1 モデルバーナの設計技術			
	<ul style="list-style-type: none"> ・高温高圧下のモデルバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口で NOx50ppm 以下 	<ul style="list-style-type: none"> ・燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無くターゲット計画条件にて NOx 50ppm (15%O2 換算)以下を達成した 	○
A-2 シングルセグメントの設計技術			
	<ul style="list-style-type: none"> ・数値解析による概念設計と、水素専焼が逆火耐性に与える影響評価 ・非燃焼試験装置の検討および構築 	<ul style="list-style-type: none"> ・シングルセグメントの数値解析により、バーナ内部の流動を確認した 	△ (2021/2)
A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術			

	中間目標 (2020年度)	研究開発成果@中間	達成度 (達成予定時期)
	・ 燃焼器の概念設計の完了	・ 燃料系統、燃料ステージングの計画をもとに、燃焼器全体の計画図を作成した	△ (2021/2)
B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術			
	・ 水素供給装置を含めた実圧燃焼試験装置の系統図、配置図の完成	・ 水素供給装置から燃焼シェルまでの系統構成を検討し、成立性に目途を得た ・ 系統図及び配置図を作成中	△ (2021/2)
II-⑩：「高濃度水素混焼／水素専焼焚きボイラ・発電設備の技術開発」			
①水素ガス供給圧力の高圧化			
	最大 100～990kPa (現状の最大≦80kPa)	今後検証へ	△ (2020/12)
②燃焼振動現象の抑制			
	I1≦50Pa (I1:共鳴周波数成分の振幅)	今後検証へ	△ (2020/12)
③NOxの低減			
	NOx ≦60～100ppm	今後検証へ	△ (2020/12)
④逆火現象の防止			
	逆火・焼損回避条件の明確化	今後検証へ	△ (2020/12)
⑤試験用水素燃焼バーナ設計・製作			
	上記①～④の評価、目標達成が可能なバーナ設計	設計完成	△ (2020/11)
⑥水素供給設備の設計・製作			
	上記①～④の評価及び安全運用が可能な設備設計	設計完成	△ (2020/11)
II-⑪：「大出力水素燃焼エンジン発電システムに関する技術開発」			
①-1 既存の天然ガス燃焼単筒試験機での水素燃焼試験			
	空燃比等の運転パラメータによる特性変化の確認	水素供給機能整備完了し、試験に着手した	△ (2021/2)
②-1 適用材料の水素環境下での強度試験			
	燃焼室周縁部に適用する材料の水素脆化を考慮した強度特性を把握	対象とする材料を選定した。 試験方法を検討し、強度試験に着手した。	△ (2021/2)
②-2 燃焼室状態の数値解析			

	中間目標 (2020 年度)	研究開発成果@中間	達成度 (達成予定時期)
	給気経路や燃焼室及び燃料供給手段の仕様を検討・選定するための数値解析手法を確立	メタンと水素で空気との混合挙動を解くための解析モデル構築が完了し、複数のモデル化手法を比較する準備を整えた	△ (2021/2)
②-3 水素燃焼単筒機的设计			
	燃焼室周辺部品などの大物部品の設計・検討完了	大物部品の設計に着手	△ (2021/2)
②-4 水素燃焼単筒試験設備の整備			
	試験設備の基本設計完了	試験設備の基本設計に着手	△ (2021/2)
③-1 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出			
	高リスク部位、部品の見極め リスクアセスメント方針決定	水素燃焼エンジンにおけるリスク要因抽出に着手	△ (2021/2)
II-⑬: 「水素 CGS 活用スマートコミュニティ技術開発事業」			
A. 統合型 EMS の開発			
A-1) 双方向蒸気融通技術の確立			
	A-1-1) 現地調査 ・基本計画に必要な現地調査が完了していること 基礎構造形式の検討に必要な地質調査が完了していること	・基本計画に必要な条件として、水素 CGS 設置場所の現地状況、需要家施設の設備概要や現地状況、水素 CGS 設置場所から需要家施設までの公道の状況の把握・整理が完了した。 ・基礎構造形式の検討に必要な条件として、地質の把握・整理が完了した。	○
	A-1-2) 基本計画・基本設計・詳細設計 ・基本設計のための基本計画が完了していること ・詳細設計のための基本設計が完了し、建設のための詳細設計図面が完成していること	・測量・現地調査結果をもとに基本計画および基本設計が完了した。 ・基本設計や試験調査結果をもとに詳細設計（実施設計）が完了した。	○
	A-1-3) 機器製作・現地工事 ・建設のための機器の製作と納入が完了していること ・エネルギーセンター工事（インフラ、運転管理室）、需要家への電力・蒸気供給工事、需要家受入れ改修工事が完了していること	A-1-2 詳細設計の完了後、2017 年 4 月より製作を開始し、現地工事が完了した。エネルギーセンター、供給先の改修工事、公道の熱導管工事が完了した。	○
	A-1-4) 単体試運転 ・エネルギーセンター工事（インフラ、運転管理室）、需要家への電力・蒸気供給工事、需要家受	・工事が完了したのから順次、単体試運転を行い、2018 年 2 月に完了した。	○

	中間目標 (2020 年度)	研究開発成果@中間	達成度 (達成予定時期)
	入れ改修工事における各設備の試運転が完了していること		
	A-1-5) 全体試運転 ・システム全体による連携運転で、発電による系統連系システムおよび蒸気供給システムの動作確認、EMS による動作確認が完了していること	・工事が完了したのから順次、全体試運転を行い、2018 年 2 月に完了した。	○
	A-1-6) 大阪大学共同研究 シミュレーション・実験 ・実験やシミュレーション結果を踏まえ、蒸気管を双方向で利用した場合も不具合のない条件を検証・評価し、双方向蒸気融通技術の設計基準を確立すること	・実験や数値解析により、ハンマー現象の発生条件、圧力変動等を明らかにした（ハンマー現象は、凝縮起因が主要因であること、また、その発生原因、発生条件及び回避方法などを明らかにした。ハンマー対策を施し送気試験をしたところ、ハンマーが発生しないことが確認できた。）	○
A-2) 統合型EMSの確立			
	A-2-1) 基本計画・基本設計・詳細設計 ・基本設計のための基本計画が完了していること ・詳細設計のための基本設計が完了し、建設のための詳細設計図面が完成していること	・基本計画が完了した。 ・基本設計が完了した。	○
	A-2-2) 機器製作・現地工事 ・運転監視システムのプログラム製作が完了していること。 ・建設のための機器の製作と納入が完了していること ・エネルギーセンター設備（水素 CGS・水素供給設備、その他設備）、需要家への電力・蒸気供給設備、需要家受入れ設備における EMS 工事が完了していること	・プログラム製作が完了した。 ・統合型EMSの機器製作と現地への設置が完了した。 ・エネルギーセンター、供給先の改修工事、公道の熱導管工事が完了した。	○
	A-2-3) 単体試運転 ・エネルギーセンター設備（水素 CGS・水素供給設備、その他設備）、需要家への電力・蒸気供給設備、需要家受入れ設備における各 EMS の試運転が完了していること	A-2-2 現地工事の完了後、2018 年 1 月より開始し、2018 年 2 月に試運転が完了した。	○
A-3) 現地実証による性能確認試験			
	A-3-1) 実証運転 ・水素 CGS で発電した電力と熱（蒸気）を地域需要家へ供給する実証運転が完了していること	・A-1-5 全体試運転の完了後、2018 年 3 月より開始した	○

	中間目標 (2020 年度)	研究開発成果@中間	達成度 (達成予定時期)
	<ul style="list-style-type: none"> ・統合型 EMS により運転制御された水素 CGS の実証運転が完了していること ・双方向蒸気融通技術を取り入れた蒸気供給設備による熱 (蒸気) 供給の実証運転が完了していること 		
	<p>A-3-2) 評価</p> <ul style="list-style-type: none"> ・統合型 EMS による需給制御の確認・検証(水素 CGS・需要家・既存熱源の連携を確認)が完了していること ・「電気・熱・水素の統合型 EMS の経済的運用技術の確立」の達成度を確認すること ・双方向蒸気融通の挙動確認・検証が完了していること ・「双方向蒸気融通技術の確立」の達成度を確認すること 	<ul style="list-style-type: none"> ・春、夏、秋、冬 実証試験を実施し、光熱水費、CO2 排出量を計測した。 ・実験や数値解析により、ハンマー現象の発生条件、圧力変動等の挙動を明らかにした ・ハンマー対策を施した上で送気試験をしたところ、ハンマーが発生しないことが確認できた。 ・実験や数値解析により、ハンマー現象の発生条件、圧力変動、その回避方法を明らかにできた。 	○
B. 水素 CGS の開発			
B-1) 水素 CGS システムの開発			
	<p>B-1-1)設計着手前のシステム及び機器構成の基本検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・現地の設計上の制約条件についての詳細項目の洗い出しが完了していること 	<ul style="list-style-type: none"> ・運用条件、システム構成、電気/制御、環境条件、設置条件、設計条件、工事所掌、試験時の実負荷使用、ユーティリティ条件の洗い出しが完了 	○
	<p>B-1-2) 基本設計・詳細設計</p> <ul style="list-style-type: none"> ・機器発注のための機種選定が完了していること ・設備のフロー図や電気回路図等が完成していること ・設備の配置図が完成していること ・主要機器の図面が完成していること 	<ul style="list-style-type: none"> ・長納期機器に関して機種選定および仕様確定を完了 ・設備のフロー図および電気回路図、配置図等の基本設計図書の作成を完了し、詳細設計へ移行 ・主要機器および詳細設計の図面作成を 2017 年 9 月末に完了 	○
	<p>B-1-3)機器製作・機器発注</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水素 CGS 設備および水素供給設備に使用する機器の製作と納入が完了していること 	<ul style="list-style-type: none"> ・水素 CGS 設備および水素供給設備に使用する全ての機器の発注・製作着手を完了 ・水素 CGS 設備および水素供給設備に使用する全ての機器の完成・納入が 2017 年 9 月末に完了 	○
	<p>B-1-4) 現地工事</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・2017 年 9 月 22 日に現地工事に向けた仮設事務所等の整備を完了 	○

	中間目標 (2020 年度)	研究開発成果@中間	達成度 (達成予定時期)
	<ul style="list-style-type: none"> 水素CGS設備および水素供給設備の設置工事が完了していること 	<ul style="list-style-type: none"> 2017年9月25日より機器据付工事を開始 2017年12月9日に全ての機器設置工事を完了 	
	B-1-5) 単体試運転 <ul style="list-style-type: none"> 水素CGSおよび水素供給設備の各構成機器の単体・運転が完了していること 各設備の単独運転での動作確認が完了していること 	<ul style="list-style-type: none"> 2017年12月4日より水素CGSの各構成機器の単体試運転を開始し、2017年12月28日に動作確認を完了 水素供給設備については2017年12月より試運転を開始する予定だったが、追加安全対策工事が必要となり、2018年1月11日より構成機器の単体試運転を開始し、2018年3月17日に動作確認を完了 	○
	B-1-6) 全体試運転 <ul style="list-style-type: none"> システム全体による連携運転で、発電による系統連系システムおよび蒸気供給システムの動作確認が完了していること 水素CGS設備としての発電量、蒸気発生圧力の確認が完了していること 	<ul style="list-style-type: none"> 2018年1月10日より都市ガスによる水素CGS設備について、水素設備との連携を除いた他システムとの全体試運転を開始 2018年1月16日に系統連系（発電電力の送電）を、2018年1月22日に蒸気システムとの連携（蒸気の送気）確認を完了 2018年1月22日に都市ガス運転による設備性能確認を実施し、設計性能を満足していることを確認 	○
	B-2) 現地実証による性能確認試験		
	B-2-1) 実証運転 <ul style="list-style-type: none"> 実負荷運転時の水素混焼割合の切替え時の燃焼安定性の検証が完了していること 	<ul style="list-style-type: none"> 2018年3月26日～4月7日にかけて水素ガスを使用した、始動・停止試験、燃焼調整試験、負荷遮断試験を実施し、各種運転が安定して実施できることを確認 	○
	B-2-2) 評価 <ul style="list-style-type: none"> 1MW級の水素混焼コージェネレーションを開発・実証運転が完了していること 水素専焼（水素100%）の運転の確認が完了していること 	<ul style="list-style-type: none"> 2018年4月9日に水素ガスによる連続負荷試験を、2018年5月22日～6月1日、7月20日～8月3日、11月5日～11月16日、2019年1月14日～1月25日に運転試験を実施し、全運転時間において目標値をクリアしていることを確認 2018年11月26日～11月30日に、燃焼器／燃料ノズルの取り外しによる詳細確認と、ボアスコープによるガスタービン本体 	○

	中間目標 (2020 年度)	研究開発成果@中間	達成度 (達成予定時期)
		の内部点検を実施し、有害な損傷等の異常がないことを確認	
B-3) 適用法令の確認			
	B-3-1) 適用法令の予備検討・適用法令の決定・その他の CGS 設置関連法令の整理 ・GT 発電設備について、主となる適用法令の確認ができていないこと ・水素CGS 設置に関連する法令の洗い出しが完了していること ・監督官庁および行政の関連部門への説明準備が完了していること	・発電用 GT は電気事業法を適用することとし、液体水素の貯留・供給部分は高圧ガス保安法を適用することとした。 ・水素CGS 設置に関連する法令の詳細の洗い出しを完了した。 ・監督官庁および行政の関連部門への説明準備が完了した。	○
	B-3-2) 官庁申請 ・水素CGS 設置に関連する法令全てに関して、監督官庁および行政の関連部門との事前調整が完了していること ・水素CGS 設置に必要な申請・届出が監督官庁および行政の関連部門へ提出・受理され、現地工事の着工許可を得ていること	・監督官庁および行政の関連部門への事前協議が完了 ・現地工事の着工に必要な申請を全て完了 ・現地工事の着工許可を受領済 ・設備の設置および運用に必要な法令、届出・申請を 2017 年 12 月 21 日まで全て提出/承認/受理を完了 ・現在の法令内でも水素発電所の建設が対応可能であることを証明	○
II-⑭：「低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発」			
A. 燃焼器内部温度分布を予測する技術 (2018 年度で完了)			
	A-1：水素・天然ガス混焼火炎の燃焼速度データベースの構築(大阪大学) 高圧条件において水素混合割合が、燃焼速度に与える影響を明らかにする	高圧条件下の燃焼速度を計測し、水素混焼の有無に係らず、層流燃焼速度で無次元化することで変動速度と乱流燃焼速度の関係を整理可能を明確化(完了)	○
	A-2：燃焼シミュレーションの高度化(京都大学) 実燃焼器において、燃料中の水素混合割合の変化影響をシミュレーションにより予測可能とする	燃焼モデルとして FGM モデルを適用し、解析により低空気量、高燃空比条件の逆火現象の再現可能を確認(完了)	○
	A-3：水素・天然ガス混合気体の着火遅れ時間データベースの構築(名古屋工業大学) 高圧条件において水素混合割合が、着火遅れ時間に与える影響を明らかにし、ガスタービン内部での自己着火による焼損リスクを評価	ガスタービン燃焼器内部と同等条件で着火遅れ時間を計測し、水素混焼運用時の自己着火発生による焼損のリスクが極めて低いことを確認 (完了)	○
B. 燃料成分の変化に対する安定運転範囲を拡大する技術 (2018 年度で完了)			

	中間目標 (2020 年度)	研究開発成果@中間	達成度 (達成予定時期)
	水素混焼割合 20%の条件において、最新鋭の天然ガス燃焼ガスタービンと同等の性能を有する燃焼器を開発	<ul style="list-style-type: none"> ・渦芯フラッシュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発。水素混合割合 30%条件にて、安定燃焼が可能なことを実圧燃焼試験で確認 (完了) ・メインフィルム構造、上流ノズル構造を改良し、従来燃焼器の構造に対し、高いパーミアウト耐性を有していることを確認 (完了) 	○
C. 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術 (2018 年度で完了)			
	本事業成果の商品化にむけた基本設計(商品パッケージ化)を完了	<ul style="list-style-type: none"> ・水素混焼焚きにおけるプラントの基本設計が完了(完了) ・混合器等の追加設備は不要で、既存の発電設備への水素系統の追加で対応可能を確認(完了) 	○

研究開発成果の意義は、以下のとおりである。

(1) 成果の市場性

事業完了後の 2030 年に海外未利用エネルギーから製造したプラント引き渡しコスト 30 円 /Nm³ の達成に資する。この成果を生かし一気通貫の未利用水素サプライチェーンを世界に先駆けて構築することが可能になると考える。

(2) 成果の水準

世界に先駆けて大規模水素サプライチェーンの構築に係る基盤技術が確立され、水素製造、海上輸送等に関する国際標準、技術規格等の議論をリードすることができる。引き続きこれらの国際議論をリードするためには継続的な技術検討のみならず実証を通しての情報収集、国内外の関係機関・事業との連携が必要である。

(3) 成果の汎用性

大規模サプライチェーンが構築されることにより 2030 年頃に発電事業用水素発電の本格導入が世界に先駆けて開始される。またその時期には国内で 22 万台程度（※1）普及していると見込まれる FCV への安価な水素の供給も可能になる。（※1：富士経済「2016 年版 燃料電池関連技術・市場の将来展望」による）大規模な水素の貯蔵、輸送の技術基盤が確立されることにより、海外からの水素のみならず国内で様々な検討が進んでいる再生可能エネルギーの導入に関しても大きく貢献する。

(4) 他の競合技術と比較しての優位性

水素は製造原料の代替性が高く多様な 1 次エネルギーから様々な方法で製造することができるため、1 次エネルギーとしての調達多様性を持つ。本事業の成果が普及し地政学的なリスクが低い地域からの水素の導入が進めば、エネルギー自給率の向上を通じてエネルギーセキュリティの強化につながると同時に温室効果ガス排出の抑制につながる。

◇ 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 2020 年 9 月末で以下の表のとおりである。論文発表、研究発表等は順調に成果をあげ、特許出願については今年度までに既に 20 件に達した。今後審査請求を通して、積極的な権利化を進める予定である。

研究開発項目Ⅱ「大規模水素エネルギー利用技術開発」

	2015	2016	2017	2018	2019	2020			計
論文	0	0	2	7	2	1			12
研究発表・講演	16	50	86	131	92	32			407
受賞実績	0	0	0	0	0	0			0
新聞・雑誌等への掲載	0	3	53	56	45	28			185
展示会へ出展	9	3	11	8	14	1			46
特許出願	4	1	10	1	1	3			20
うち外国出願	1	0	0	0	0	1			2

※2020年9月末現在

最終年度である 2022 年度末までの達成見通しは以下のとおりである。

研究開発項目 II：「大規模水素エネルギー利用技術開発」

最終目標（2022 年度）		達成見通し
II-①：「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」		
① 液化水素の長距離大量輸送技術の開発		
<ul style="list-style-type: none"> 日豪航行試験を繰り返し実施することにより様々な積付率及び気象条件での液化水素の BOR データを取得するとともに、真空度劣化や構造設計の妥当性をデータを蓄積する事で検証する。 長期間にわたり使用し液化水素を取り扱った機器（圧縮機、加温機、蒸発器及び GCU 等）について内部検査を実施し、健全性の評価を行う。 	<ul style="list-style-type: none"> 2020 年度末までに中間目標が達成可能な見通しである。 今後、航行試験を継続実施することにより様々な積付率及び航海条件下で「輸送タンクシステムに真空防熱性能」、「タンク状態制御方法」について評価をする。また、「輸送タンクシステム安全機構」及び貨物機器の長期運転後健全性」に関して評価を行う。 	
② 液化水素荷役技術の開発		
<ul style="list-style-type: none"> 大型化に適した鋼製ローディングアームシステムを用いた揺動環境下で使用可能な荷役技術を開発し、液化水素を使用した荷役試験を実施し、成立性を実証する。 液化水素の荷役試験を繰り返し実施することで貯蔵タンク内及び配管内の液化水素の挙動を把握し、設計条件に反映する。 	<ul style="list-style-type: none"> 2020 年度末までに中間目標が達成可能な見通しである。 今後、荷役試験を継続することによりデータの蓄積及び検証を行い、「貯蔵タンク及び配管内の蒸発率」、「貯蔵タンク内部状況」及び「荷役流量と配管圧力損失の関係性」について評価を行う。また、鋼製ローディングアームの開発を実施する。 	
③ 褐炭ガス化技術の開発		
<ul style="list-style-type: none"> 豪州に設置した「小型ガス化試験設備」を用いてバイオマスを褐炭に混ぜた際のガス化特性を評価する。 	<ul style="list-style-type: none"> 2020 年度末までに中間目標が達成可能な見通しである。 今後、褐炭—バイオマス混合体でのガス化試験を継続することによりデータの蓄積及び検証を行い、商用化へ向けた知見を得る。 	
④ 液化水素の利活用		
<ul style="list-style-type: none"> 日豪輸送後の液化水素を近隣施設に供給し、利用できることを実証する。 	<ul style="list-style-type: none"> 荷役基地の液水貯蔵タンクは、ローリー等に払出せる構造となっていることから、液化水素の利活用に使用することは問題ないと考える。 	
II-②：「有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証」（2020 年度終了予定）		
① 水素化プラント		
<ul style="list-style-type: none"> ①-1：水素化反応器スケールアップ 商用規模の水素化設備の設計手法の確立。 	<達成済み>	

最終目標（2022年度）		達成見通し
①-2：不純物除去設備の仕様 大規模水素チェーン向け不純物除去設備の設備仕様の明確化。		実証運転終了まで蓄積挙動を検証し、トータル増加量が目標値以内であることを確認する。
②脱水素プラント		
②-1：脱水素反応器スケールアップ 商用規模の脱水素設備の設計手法の確立。		①2 回目のターゲツク試験を実施し、転化率/選択率が目標値以内であることを確認する。 ②Shell 側構造改善シミュレーション検討を完了し、Shell 側構造を最適化する。
②-2：負荷追従性向上策検討 想定需要要件における負荷変動への対応方法の明確化。		①実証運転での負荷変動運転を実施、運転データを収集。負荷変動ケースを増やし追従性の比較実施を予定。 ②ダイナミックシミュレーションで負荷変動試験をトレースし、モデルをブラッシュアップする。
②-3：水素純度向上策 想定需要要件において求められる、水素純度への対応方法の明確化。		<達成済み>
②-4：触媒商業生産課題 商業生産設備での触媒製造で所定の性能指標を満たすことの確認。		実証運転終了まで触媒性能を検証し、転化率が目標値以上であることを確認する。
③サプライチェーン構築・運用		
③-1：商用トルエン運転検証 商用トルエンで安定的なチェーンオペレーションが可能である事の検証。		実証運転終了まで触媒性能や劣化速度を検証し、デモプラント運転に比した転化率/選択率の差が目標値以内であることを確認する。
③-2：サプライチェーン検討 最適な設備構成を検討する手法の確立。		<達成済み>
③-3：発電燃料供給チェーンとしての設備仕様・オペレーション要件 1)ガスタービン燃焼機等へのガム状物質付着の定量評価手法の確立。 2)脱水プラントと発電タービンとの熱インテグレーション効果試算。		<達成済み>
新規：反応器運転モードの最適化 経済性向上に資する運転方法の試行。		実証運転終了まで転化率抑制運転を実施し、転化率抑制運転が可能であることを実証する。
II-③：「液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」		
①-a)大型貯蔵容器の開発		
	・BOR が 0.26%/day となる 5 万 m ³ 級の貯蔵容器の基本構造を確立させる	熱解析モデルを構築して評価することにより、達成の見込み

最終目標 (2022 年度)		達成見通し
①-b)海上輸送用大型液化水素タンクの開発		
・防熱システム方式/構造確定		部分モデル試験データを取得して達成の見込み
・タンク構造とその設計技術確立		タンク構造強度評価で問題無き事を確認した上で達成の見込み
・タンク構造材料確定		タンク構造材料の材料特性データを取得して、タンク構造強度評価で問題無き事を確認した上で達成の見込み
・ドーム貫通ピース構造決定 ・CCJ 利用確定		異材継手 CCJ の強度評価で問題無き事を確認した上で達成の見込み
・大型タンク設計技術取得		低温タンク試験データ取得と解析モデル構築が出来た段階で達成の見込み
②商用ローディングアームの開発		
・試作機を用いて、JAXA で LH2 の試験を行い、切離時の外部水素ガスセンサによる測定値から安全性を確認する		・設計、製作が予定とおり進めば達成可能
・試作機を用いて、JAXA で LH2 の試験を行い、安全に分離が出来る昇温特性を把握する		・設計、製作が予定とおり進めば達成可能
・真空劣化度を測定しながら、現地に据付を行い、LH2 での低温実証、真空度保持状態を確認する。		・現在予定通り進捗しており、達成可能の見通し
③低温水素ガス圧縮機の開発		
・試作機の圧縮機外表面にて液空が発生しないこと。 ・運転中にサポートや容器等の破損等がないこと。		・試作機にて実証することにより、目標達成可能な見通しである。
・運転中に窒素シールガスの液化がなく、ロッドパッキン等に異常摩耗が無いこと。 ・商用機を見据えた摺動部材の絞込み完了。		・試作機にて実証することにより、目標達成可能な見通しである。
・1D CAE を用いた商用機の吐出温度・性能予測技術の確立。 ・低温水素ガス温度域での運転データ計測技術・性能評価技術の確立。		・CAE モデルの改良、試作機の実ガス運転を通して、目標達成可能な見通しである。
④液化水素昇圧ポンプの開発		
・軸スラストバランス機構の確立		・試作機による性能/機能試験による評価を行うことで達成を見込む
・ポンプ材料の確立		
・液化水素昇圧ポンプ設計技術の確立		
II-④：「液化水素貯槽の大型化に関する研究開発」		
1.真空排気システムの確立		

最終目標（2022年度）		達成見通し
	・数ヶ月オーダーで所要真空度が得られる真空排気システムを確立する。	・真空排気シミュレーションプログラムの構築、その検証実験、ベーキング時のガス放出量の把握、及びそれらに基づいた真空ポンプの仕様や配置を決定することにより、達成可能である。
2.内槽底部への入熱量算定手法の確立		
	・実測値に合う伝熱解析手法を考案する。	・装置完成後、断熱性能測定結果を評価・分析することにより達成可能である。
3. SUS316L の溶接材料を使用した溶接施工法の確立		
	・液化水素環境下でも十分な破壊靱性を有し、水素脆化の懸念が無い溶接施工法を確立する。	<達成済み>
II-⑤：「液化水素用大口径バタフライバルブの技術開発」		
①市場調査		
	・顧客ニーズ並びに高圧ガス保安法の適用範囲に基づき、原理開発・実機開発に反映	・複数顧客との打ち合せにより要求仕様の確認を行い、高圧ガス保安協会殿との協議を実施することで、確実に目標達成が可能
②原理開発		
	・原理試作品の試験結果と解析値から、実機試作品を製作するための解析手法を確立	・検討した新構造について、解析評価結果と極低温での社内試験結果を基に体系的な分析を実施することで達成可能
③実機開発		
	・実流体試験にて各目標値を達成し、試験結果と実機における解析評価とのギャップ分析を完了	・原理開発で確立した解析手法を実機設計へ反映し、実流体試験を実施することで達成可能
II-⑥：「液化水素用バタフライバルブの開発」		
①バルブ大型化による性能確保		
	・流路内漏洩量 LNG 仕様相当	2020年度:設計完了 2021年度:試作バルブ完成
②液化水素として維持可能な構造（2020年度終了予定）		
	バルブ内外の断熱	断熱の機構と構造の小型化を行う
③水素の外部漏れに対する安全（2020年度終了予定）		
	流路外漏洩量 LNG 仕様相当	採用した構造で性能の確認を行う
④使用材料による加工とコスト（2020年度終了予定）		
	LNG 仕様弁の加工費 1.2 倍	2021年度の製作完了を考慮してコスト検討する
⑤液化水素条件下における性能確保		
	・LNG 仕様相当の漏洩量	2021年度：試験要領の決定、試験準備

最終目標（2022年度）		達成見通し
		2022年度：LH2にて流路内外の漏洩確認
II-⑦：「液化水素用大型バルブの技術開発」		
① 弁種の検討（2020年度終了予定）		
	大口径化実現可能な弁種、構造の選定	<達成済み>
② 封止技術開発（2020年度終了予定）		
	<ul style="list-style-type: none"> 液化水素流通における外部封止性能の確保（外部封止構造の検討） 使用可能樹脂、シール構造の検討（内部封止構造の検討） 試作品を製作し、評価を実施する（部分試作評価） 	液体窒素との封止性能を比較確認するため、液化水素において評価試験を実施(JAXA 共同研究予定)
③ 弁の製造方法の検討（2020年度終了予定）		
	<ul style="list-style-type: none"> 精密加工可能な製造方法の確立（大型化精密加工検討） 溶接等の別体分割構造の確立（分割構造の検討） 	大口径化に伴う溶接可否の検討及び試作品における溶接歪みの確認を行う
④ 真空断熱構造の検討（2021年度に終了予定）		
	<ul style="list-style-type: none"> 弁上部より、分解・組立が可能であること。現地でのメンテナンスの目途がたつこと バルブと真空ジャケットとの寸法、距離が設定され、入熱量等が規定値以内であること 弁-ジャケット間で弁を確実に保持し、さらに保持部からの入熱量が規定値以内であること 	<ul style="list-style-type: none"> シミュレーションより、実現可能と判断。試作品で治具等を用いて、組立・分解を実施する。 想定したジャケット寸法より、実流体や解析等により、入熱量の確認を実施する。 上記の解析結果等を用いて、保持部を含めた入熱量の確認を実施する。
⑤ 弁試作評価		
	<ul style="list-style-type: none"> ①～③で確立した要素技術を基に弁の試作を実施する。 組立・分解を可能とする治具、および現地でのメンテナンスを考慮した方法を確立する。 ⑤で製作した試作品について、各種性能試験を実施し、性能が目標値を満足すること 	<ul style="list-style-type: none"> ①～③を計画通り確実に進めることで達成可能となる。 ④より確立した組立・分解方法を基に、場所を選ばない治工具類への展開を実施する。 ①～③、⑤を計画通り確実に進めることで達成可能となる。
II-⑧：「ドライ低 NOx 水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業」		
A. ドライ低 NOx 水素専焼ガスタービンの運転実証		
ドライ低 NOx 実証試験		
	<ul style="list-style-type: none"> 起動時およびアイドル運転時において、水素燃焼での失火や逆火が発生しない安定燃焼の達成 	<達成済み>
	<ul style="list-style-type: none"> ガスタービンの実運用で想定される急激な負荷変動、燃料の急遮断等の条件において、水素燃焼での失火や逆火が発生しない安定燃焼の達成 	<達成済み>

	最終目標 (2022 年度)	達成見通し
	<ul style="list-style-type: none"> 標準大気条件/発電負荷 100%における発電端効率 27%以上の達成 	<達成済み>
	<ul style="list-style-type: none"> NOx 濃度 35ppm(残存酸素 16%換算値)以下の達成 	<p>目標達成には「燃焼振動」の発生抑制が必要。</p> <p>「燃焼振動」の抑制には燃焼器の形状の見直しが必要だが、燃焼器を改良することにより目標達成できると見込んでいる。</p>
EMS 実証試験		
	水噴射方式よりもドライ方式の方が環境性や事業性が優位であることを確認	2020 年 11 月に実証運転を実施予定。
B. 冷熱活用システムの検討 (2020 年度終了予定)		
	<p>①冷熱利用熱交換器の基礎検討</p> <p>熱利用熱交換器の基礎検討を行い、液化水素の気化冷熱を活用し空気を冷却する場合の課題を抽出し、その解決策を検討</p>	<達成済み>
	<p>②蒸発器の着霜防止効果を定量評価</p> <p>冷熱利用による蒸発器の着霜防止効果を定量的に確認</p>	シミュレーションと実験結果比較によるシミュレーション精度向上を図る
	<p>③空気冷却器着霜発生条件を把握</p> <p>空気冷却器の模型着霜実験を行い、空気冷却器における着霜発生境界条件を確認</p>	着霜実験結果を踏まえ評価予定
	<p>④冷熱利用の経済合理性の定量評価</p> <p>冷熱利用によるガスタービンの発電出力向上効果を定量的に確認</p>	実験結果により課題を抽出予定
II-⑨：「CO2 フリーアンモニア利用 GTCC システムの技術開発」		
① システム構成の検討		
	<ul style="list-style-type: none"> 他の CO2 フリーシステムと比較して経済的に優位(目標：17 円/kWh 以下(2030 年))で運用性に優れたシステム構成/運転条件の検討 	<ul style="list-style-type: none"> NH3 分解装置の詳細試設計を反映し、専焼システムの起動停止手順の検討/経済性の評価を完遂の見込み
②アンモニア分解装置の検討		
	<ul style="list-style-type: none"> NH3 分解装置の機器構成の決定、分解後の残留 NH3 濃度 0.38%以下 触媒の実使用環境を考慮した寿命や性能評価 	<ul style="list-style-type: none"> 開発項目①の検討から得られた知見を反映し、NH3 分解装置の詳細試設計を完遂の見込み 2,000 h の触媒および材料の暴露試験を完遂見込み
③燃焼器の検討		

	最終目標 (2022年度)	達成見通し
	<ul style="list-style-type: none"> ・NH₃ 分解ガス混焼条件(水素体積割合 20%)における実圧燃焼器の NO_x 性能の検証 	<ul style="list-style-type: none"> ・2020 年末に実圧燃焼試験を実施し、分解ガス中の残留アンモニアが Fuel NO_x に転換される割合を確認する見通し
II-⑩：「低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型 Dry Low NO _x 高温ガスタービン発電設備の研究開発」		
	A-1 モデルバーナの設計技術 <ul style="list-style-type: none"> ・高温高圧下のモデルバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口で NO_x50ppm 以下 	<達成済み>
	A-2 シングルセグメントの設計技術 <ul style="list-style-type: none"> ・高温高圧下のセグメントバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口で NO_x50ppm 以下 (2021 年) 	<ul style="list-style-type: none"> ・①-1 の成果を反映することで達成可能
	A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術 <ul style="list-style-type: none"> ・クラスタバーナ計画図の完成(2021 年) ・燃焼器全体計画図の完成(2021 年) 	<ul style="list-style-type: none"> ・中容量向けクラスタ燃焼器の設計技術を展開し、①-1、2 の結果を設計に反映することで達成可能
	B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術 <ul style="list-style-type: none"> ・実圧燃焼試験装置の系統図・配置図の完成(2020 年) ・土工工事計画図・配管図の完成(2021 年) 	<ul style="list-style-type: none"> ・計画通り進行中であり、達成の見通し
	B-2 高温高圧下での燃焼器燃焼試験 (2022 年度予定) <ul style="list-style-type: none"> ・実圧燃焼試験にて、計画運転条件において逆火の発生なく、燃焼器出口で NO_x50ppm 以下(2022 年) 	<ul style="list-style-type: none"> ・①-1～3、②-1 の目標を達成することで、達成可能
II-⑪：「高濃度水素混焼/水素専焼焚きボイラ・発電設備の技術開発」		
①水素ガス供給圧力の 高圧化、②燃焼振動現象の抑制		
	<ul style="list-style-type: none"> ・水素焚きバーナの最適化 ・水素供給ガス圧の高圧化によるシステムコストの低減及びメンテナンス性改善 	<ul style="list-style-type: none"> ・一連の燃焼試験及び燃焼解析により達成見込み
③NO _x の低減		
	<ul style="list-style-type: none"> ・低 NO_x 化対策の最適化及び設備コスト低減 	<ul style="list-style-type: none"> ・5 種類の NO_x 低減手法を適用した試験で達成見込み
④逆火現象の防止		
	<ul style="list-style-type: none"> ・水素の安全運用及び 事故撲滅 	<ul style="list-style-type: none"> ・燃焼解析 (本事業) と基礎実験 (共研) により達成見込み
⑤試験用水素燃焼バーナ設計・製作		
	<ul style="list-style-type: none"> ・水素焚きバーナ最適設計条件の確立 	<ul style="list-style-type: none"> ・一連の燃焼試験及び燃焼解析により達成見込み
⑥水素供給設備の 設計・製作		
	<ul style="list-style-type: none"> ・安全な水素供給設備設計の完成 	<ul style="list-style-type: none"> ・一連の燃焼試験で実証
II-⑫：「大出力水素燃焼エンジン発電システムに関する技術開発」		

最終目標 (2022 年度)		達成見通し
①-1 既存の天然ガス燃焼単筒試験機での水素燃焼試験		
	・大出力エンジンにおける水素燃焼の特徴を抽出し、水素燃焼単筒機の要目を定める	・空燃比、水素混焼率、エンジン出力変更による特性変化を把握し、試験にて最適な仕様を抽出する。
②-1 適用材料の水素環境下での強度試験 (2020 年度終了予定)		
	燃焼室周縁部に適用する材料の水素脆化を考慮した強度特性を把握	選定した材料の強度試験結果より、水素脆化の影響を確認する
②-2 燃焼室状態の数値解析 (2020 年度終了予定)		
	給気経路や燃焼室及び燃料供給手段の仕様を検討・選定するための数値解析手法を確立	複数のモデル化手法を用いてパラメータ調整や精度検証を実施し、比較することにより、最適な数値解析手法を選定する
②-3 水素燃焼単筒機的设计		
	・水素燃焼に適した単筒試験機を設計・製造し、試験に供用する。	・2021 年度初めに大物部品の設計を完了し、基本構造が決まり次第、併行して中小物部品の設計を進めることで 2021 年度中に出図を完了する見通し。
②-4 水素燃焼単筒試験設備の整備		
	・連続 10 時間程度の運転継続能力を持ち、開発項目①で得られた知見の有用性を確認できるエンジン試験設備を整備	・今年度中に単筒機製造に着手、2021 年度第 3Q に設備建造に着手し、2022 年度第 2Q に単筒機および試験設備が完工する見通し
②-5 試験による水素燃焼の最適化 (予定)		
	・図示平均有効圧力 1.6MPa の実現	・他研究機関では、小型試験機にて図示平均有効圧力 1.4MPa 相当の実績がある。本試験機は設計強度が大きく、高い給気圧で運転できるため、潜在能力が高い。また①-1 で抽出した最適仕様を反映した設計とすることで、目標を達成する見込み。
③-1 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出 (2020 年度で終了予定)		
	高リスク部位、部品の見極め リスクアセスメント方針決定	メタンと水素の物性を比較することで、同等の安全性を実現するための差異を抽出する
③-2 水素燃焼エンジン運用システムの構築および評価 (予定)		
	・天然ガス燃焼エンジンと同様の安全性にて運用可能な制御システムを確立する	・開発項目③-1 で抽出したリスクに対して、HAZOP 等によるリスク定量評価を行い、詳細設計へ反映することで、天然ガス燃焼エンジンと同様の安全性にて運用可能な水素燃焼エンジン運用システムを構築する
II-⑬: 「水素 CGS 活用スマートコミュニティ技術開発事業」		

	最終目標 (2022 年度)	達成見通し
	(2018 年度で終了)	
II-④：「低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発」		
	(2018 年度で終了)	

IV 成果の実用化に向けた取り組み及び見通しについて

1. 成果の実用化に向けた取り組み及び見通しについて

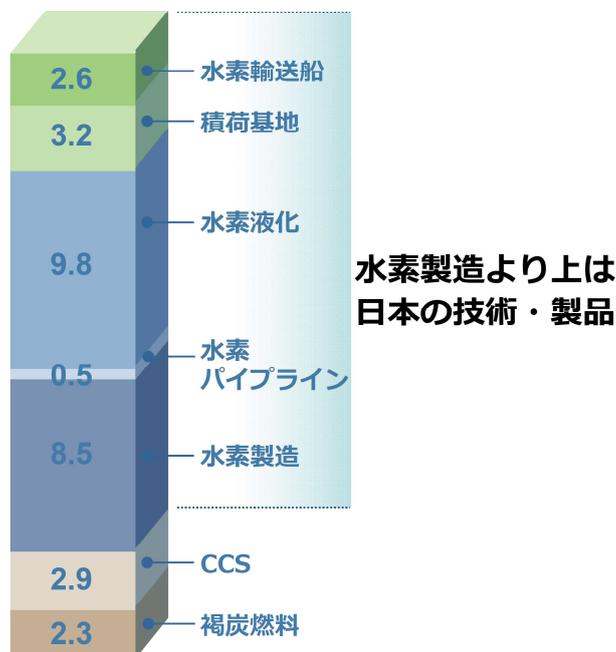
経済産業省 資源エネルギー庁によって2014年6月に策定され2016年3月・2019年3月に改訂された「水素・燃料電池戦略ロードマップ」において2020年代後半から2030年頃までを水素発電の本格導入/大規模な水素供給システムの確立の時期ととらえ水素需要をさらに拡大しつつ、水素限を未利用エネルギーに広げ、従来の「電気・熱」に「水素」を加えた新たな2次エネルギー構造を確立する「フェーズ2」期としている。

本事業はその達成に向けて、開発・実証の加速化を図り、水素供給国との戦略的な協力関係を築き、需要拡大を見据えた安価な水素価格の実現を具体化するために、水素発電、水素サプライチェーンの技術基盤を確立しようとするものである。水素キャリアとしての液化水素と有機ハイドライドのそれぞれについて、大規模水素サプライチェーンを構築する上で必要な要素技術の開発に一定の目途を付けることが出来た。また水素コストについては、ロードマップに記載されている30円/Nm³程度、つまり発電コストで17円/kWh程度を実現するための基盤技術が確立しつつある。

今後は本事業の中で2020年頃に向けてファーストチェーンを構築・運用することにより、開発した技術の性能確認、課題抽出とその解決を行うと共に、コスト見通しの精度向上を図る。

【試算内訳例】

プラント引き渡しコスト 29.8円/Nm³



出典：「国際連携クリーンコール技術開発プロジェクト 低品位炭起源の炭素フリー燃料による将来エネルギーシステム（水素チェーンモデル）の実現可能性に関する調査研究」、NEDO（委託先：川崎重工業(株)）、2012.4 *流動床ガス化炉を前提とした川崎重工業試算例

研究開発項目Ⅱ：「大規模水素エネルギー利用技術開発」

項目	実用化の見通し
<p>Ⅱ-①： 「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」</p>	<p>【政治的視点】 日本政府の政策動向と合致している。また、豪州政府も連邦首相含めた協力姿勢を示している。</p> <p>【経済的視点】 ロードマップ記載のプラント引渡し水素価格 30 円/Nm³ 及び発電コスト 17 円/kWh は、水素 ST 価格 100 円/Nm³ や再生可能エネルギーFIT 価格との比較で価格競争力のある価格。</p> <p>【社会的視点】 「トヨタ環境チャレンジ 2050」などにみられるとおり、CO₂ フリー水素の民間ニーズが顕在化。</p> <p>【技術的視点】 石炭 IGCC、ロケット射点設備、液化水素製造、LNG 運搬船・荷役設備などの技術蓄積がある。本 NEDO 事業においてチェーン実現に不可欠で技術開発要素の高い機器システム開発に優先的に取り組み、世界に先駆けて実証が実現できる。</p> <p>⇒技術実証によって、「実用化・事業化」が更に高まると考える。</p>
<p>Ⅱ-②： 「有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証」</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・本事業における実証運転により、有機ケミカルハイドライド法水素サプライチェーンの技術基盤は確立する。 ・「水素基本戦略(2017/12)」4.1 項に従い、2030 年頃に年間 30 万トン程度の商用規模水素サプライチェーンを目指す。 ・上記の 2030 年頃の大規模商用化チェーンの前に、2025 年頃に国内水素需要に応じた有機ケミカルハイドライド法水素サプライチェーンの構築を目指す。（「水素基本戦略(2017/12)」4.2 (b)項）2025 年頃の水素チェーンにおいても、経済性向上のために、一定規模の水素需要を開拓する。対象となる需要は、発電所を中心に、複数の水素ステーションや産業利用の需要が集中した地域にて需要を取りまとめるケースも検討する。 ・競合する水素キャリアにはそれぞれ特徴があり、水素サプライチェーンの形態により、適切なキャリアが選択されると考える。有機ケミカルハイドライド法（MCH・トルエン）は、常温常圧にて液体であり、既存の石油製品と同様の取扱いができるため、長距離・大量輸送に適している。石油製品における既存技術・既存設備を適用することで、設備コストの低減が期待できる。

II-③：「液化水素の
輸送貯蔵機器大型化
および受入基地機器
に関する開発」

①大型輸送・貯蔵技術の開発

本事業にて、5万 m³ 級大型貯蔵容器および16万 m³ 級海上輸送を可能とする大型タンクの技術開発が実現する。しかしながら実物大の性能実証を本研究で行うことは困難であるため、今後、商用規模の実証により、性能を検証することにより、事業化に結び付ける。

また、海上輸送の事業化においては、国際規則の対応も重要となるため、関係する各機関（日本海事協会、日本船舶技術研究協会等）と協議を開始している。

②商用ローディングアームの開発

大口径緊急離脱機構については、本開発の実物大の実証試験で切離し試験および低温漏れ試験を行うことにより、主要な課題は解決し、上司につなげることができる。

大口径船陸継手については、軽量の開発品を試作、性能試験を行うことにより、安全かつ操作性の良い製品が開発できるため、大口径における実用化、事業化の目途が得られる。

また、鋼管型ローディングアームの荷役技術実証を液化水素を用いて実施することにより、機器の健全性が確認され、スムーズな実用化、事業化が可能となる。

2023年度より商用大口径ローディングアームの事業化を目指し、棧橋条件、タンカー条件の確認を行いながら設計を行い、2025年の設計終了を目指す。

③低温ガス圧縮機の開発

本事業にて、試作機による実証試験を軸に低温水素ガス圧縮機の各種基本技術の確立を図ることで、世界初の低温水素ガス圧縮機の実用化に大きく近づくものと考えられる。

2020年代半ばまでに液化水素サプライチェーンの商用実証化、2030年頃の商用化に合わせ、実用化・事業化をしていく見通しである。

そのためには、実用化・事業化に伴う大型化に際して想定される課題（材質、構造等）を抽出し、商用実証化のステージ或いは、必要に応じて、その前段階にて要素技術開発を行い、商用化の目途を付ける。更に商用化に伴い、期待される摺動部材の寿命の達成可否を商用実証化のステージにて検証し、必要に応じて摺動部材の更なる改良を継続していく予定である。

④液化水素昇圧ポンプの開発

本事業では、液化水素用大容量高圧ポンプ(商用機)を実現するための液化水素昇圧ポンプ設計技術の確立を最終目標として、2019年度から要素技術開発および試作機的设计、試験設備的设计製作を実施してきた。今後、2021年度に試作機を製作し、2022年度に液化水素運転試験にてポンプの性能および機能を評価、分析

項目	実用化の見通し
	<p>することで、液化水素昇圧ポンプ設計技術の確立を見込む。</p> <p>そして、水素基本戦略の2030年頃の大規模水素発電の商用チェーン完成を達成するために、本事業にて得られた知見やノウハウを活用し、2020年代半ばまでに商用実証機の仕様検討、設計、製作および運転を行い、ポンプ設計技術を実証する(実用化検討)。その結果を踏まえて、商用機を設計、製作することで、2030年までに液化水素昇圧ポンプを事業化し、大規模水素発電の商用化に貢献する。</p>
<p>II-④：「液化水素貯槽の大型化に関する研究開発」</p>	<p>当該製品は、水素・燃料電池戦略ロードマップにおけるターゲット『2030年頃の水素発電の商用化』に向け必須の製品であり、また、概ね技術的課題解決への道筋が見えていることから、事業化の可能性は十分に高いものとする。</p> <p>貯槽専門メーカーである本テーマ助成先は、既存事業の延長という形で参入し、継続した受注により、技術水準、経済性を高め、高い競争力を維持することが可能である。その背景として、</p> <ul style="list-style-type: none"> ●既存の貯槽関連事業における人的資源をそのまま転用できる。 ●自前の貯槽製作工場を運営しており、案件が具体化すれば即時に製作を開始できる。 ●国内、海外での建設工事実績から、貯槽工事業者、貯槽専門工を多く擁している。 ●LNG貯槽、その他大型貯槽で築いたブランド力があり、顧客への強い訴求力がある。
<p>II-⑤：「液化水素用大口径バタフライバルブの技術開発」</p>	<p>2030年以降は、我が国全体のCO2排出量の4割を占める電力部門の低炭素化に向け、再生可能エネルギーを主要電源としたエネルギーシステムへの移行が必要となる。この為、発電事業においては供給力と調整力を備える天然ガス火力等と同様の機能を果たしうる水素発電は電力システムのゼロエミッション化を支える重要な役割を期待される。つまりは、主要電源の約2割を水素が賄うと仮定した場合、40か所の受け入れ基地が必要と考えられている。また、これら割合がLNGと同等になれば、現在国内にあるLNG受け入れ基地(36か所、約190基)と同様の市場ニーズは期待されると考える。</p> <p>また、バタフライバルブはLNG運搬船の荷役ラインにも一般的に広く採用されており、水素製造から貯蔵・輸送までのサプライチェーン構築が必須となるうえで、液化水素運搬船においてもバタフライバルブの需要が見込まれる。基地向け及び船舶向けのバタフライバルブの仕様は類似しており、当該事業において技術確立したバタフライバルブは液化水素運搬船の荷役ラインへの流用が可能である。</p> <p>陸上受け入れ基地向けに加え、液化水素運搬船向けの需要が顕在化すれば、本事業で確立した液化水素用大口径バタフライバルブの技術を多様なラインナップに展開することで、本格的な事業化に至ると考えられる。</p>

項目	実用化の見通し
<p>II-⑥：「液化水素用 バタフライバルブの 開発」</p>	<ul style="list-style-type: none"> ●事業化のスケジュール 2022 年度研究開発完了、2023 年から販売価格・販売計画を策定し 2025 年度から販売開始を予定。 ●市場動向・市場規模 政府計画による 2050 年度に総エネルギー量の 20%が水素となる。 (政府計画による。)
<p>II-⑦：「液化水素用 大型バルブの技術開 発」</p>	<p>本研究開発により、液化水素用大口径弁の要素技術確立が可能となり、史上初の液化水素用大口径弁として市場へ導入できる。液化水素受入基地、輸送船等における主要弁類として使用いただくことで大量輸送・貯蔵が可能となり、大規模水素エネルギー利用技術の確立に寄与することができる。</p> <p>また、次世代エネルギーキャリアである液化水素における機器の性能を確立することで、水素社会実現における先駆け企業として、事業化に向けた舵を切ることが可能となる。本プロジェクトを通じて実機評価を実施いただくことで、実用化の確証を得ることができる。</p>
<p>II-⑧： 「ドライ低 NO_x 水素 専焼ガスタービン技 術開発・実証事業」</p>	<p>本プロジェクトの完遂により、ドライ方式水素ガスタービンは実用化に大きく近づくと考えられる。実証で明らかになった課題が有れば、実用化に向けた課題の解決に取り組む。実用化技術を確立した後は、水素の流通価格の低減の推移、および副生水素の発電利用のニーズも見つつ、2020 年代には水素発電の需要が顕在化し、本格的な事業化に至ると考えられる。</p>
<p>II-⑨ ：「CO₂ フリーアン モニア利用 GTCC シ ステムの技術開発」</p>	<p>2021 年度から本システムの改良検討、概念設計、事業性検討を経て、事業性ありと判定した後、実証機のユーザーを探索する。実証機はユーザーの協力を得て、既存のガスタービンプラントを改造してアンモニア分解水素 20vol%程度の混焼システムを運転し信頼性、経済性を確認する。その後、混焼システムを製品として上市可能とする。</p> <p>混焼タイプの実証機の運転を通じて、水素燃焼器やアンモニア分解装置の性能/経済性を向上させる研究開発を行い、アンモニアの利用割合を高めた実証機を建設し、ユーザーの協力を得て信頼性、経済性を確認した後、アンモニア分解ガス専焼システムの商用化を目指す。</p>

項目	実用化の見通し
<p>II-⑩ ：「低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型 Dry Low NOx 高温ガスタービン発電設備の研究開発」</p>	<p>本研究開発において、モデルバーナの燃焼試験により、高圧条件下でフラッシュバックの発生無く、安定燃焼を実現し、ターゲット計画条件において NOx 50 ppm(15%O2 換算)以下を達成した。本成果は、今後のシングルセグメント、燃焼器の設計のためのすべてのベースとなる技術であり、その成果により実用化に向けた取り組みを加速できる。</p> <p>今後、本研究開発の成果を反映しながら、シングルセグメント、フルスケール燃焼器の詳細設計、燃焼器性能の検証を順次ステップを進める。また、2022年度に高温高圧下の燃焼器燃焼試験にて燃焼器性能を検証するため、大容量水素供給装置を含む燃焼試験設備を設計・構築する。</p> <p>開発後も、本研究開発で構築した水素専焼燃焼試験設備を用いて継続的に燃焼器の性能検証、改良を実施し、2025年頃を目途に国内外の水素焼き火力発電所への適用を目指す。</p>
<p>II-⑪：「高濃度水素混焼／水素専焼焼きボイラ・発電設備の技術開発」</p>	<p>本助成事業による効果と事業化の見込み：効果としては水素を適用した中・大型の産業用ボイラ・発電システムを新設・既設改造を含めて商用レベルとする。事業化は、まず 10t/h クラスの高濃度水素混焼焼き新設ボイラを製鉄所に適用する計画である。</p>
<p>II-⑫：「大出力水素燃焼エンジン発電システムに関する技術開発」</p>	<p>本プロジェクト終了後に製品化開発（エンジンの多気筒化）を実施し、客先サイト等での実証試験を実施する。実証試験において、一定の信頼性を確認した後に上市する計画。</p> <p>実用化の対象として、以下のアプリケーションを想定している。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・分散発電・電力変動調整用発電エンジン ・液化水素運搬船・水素燃料船用発電エンジン ・水素発電バージ，など
<p>II-⑬： 「水素 CGS 活用スマートコミュニティ技術開発事業」</p>	<p>本プロジェクトの完遂により、1MW級水素CGS、双方向蒸気融通技術、統合型EMSは実用化に大きく近づくと考えられる。実証で明らかになった課題があれば、実用化に向けた課題の解決に取り組む。実用化技術を確立した後は、水素の流通価格の低減の推移、および副生水素の発電利用のニーズも見つつ、2020年代には水素発電の需要が顕在化し、本格的な事業化に至ると考えられる。</p>
<p>II-⑭： 「低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発」</p>	<p>海外において水素の発電利用は再生可能エネルギーの利用拡大に伴うエネルギー貯蔵ニーズとして関心が高まっており、複数の発電所で検討が開始されており、米国/インターマウンテン電力向けに水素焼き JAC 形ガスタービンが適用される。</p> <p>2025年に水素混焼率 30%で運転を開始、2045年までに水素 100%での運転を目指す。また国内においても NEDO 「我が国における水素発電導入可能性に関する調査」 に代表されるように、電力会社における検討が開始されており、本テーマ助成先も参画している。</p>

(添付-1)

各研究開発項目の詳細

各研究開発項目の詳細

(イ) 未利用水素エネルギー由来水素サプライチェーン構築

- II-① 未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証・・・・・・・・・・1
- II-② 有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来
水素サプライチェーン実証・・・・・・・・・・51
- II-③ 液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発・・・・・・・・94
- II-④ 液化水素貯槽の大型化に関する研究開発・・・・・・・・・・113
- II-⑤ 液化水素用大口徑バタフライバルブの技術開発・・・・・・・・・・126
- II-⑥ 液化水素用バタフライバルブの開発・・・・・・・・・・132
- II-⑦ 液化水素用大型バルブの技術開発・・・・・・・・・・139

(ロ) 水素エネルギー利用システム開発

- II-⑧ ドライ低NO_x水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業・・・・・・・・・・154
- II-⑨ CO₂フリーアンモニア利用GTCCシステムの技術開発・・・・・・・・・・172
- II-⑩ 低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型 DryLowNO_x 高温ガスタービン発電設備
の研究開発・・・・・・・・・・190
- II-⑪ 高濃度水素混焼／水素専焼焚きボイラ・発電設備の技術開発・・・・・・・・210
- II-⑫ 大出力水素燃焼エンジン発電システムに関する技術開発・・・・・・・・221
- II-⑬ 水素 CGS 活用スマートコミュニティ技術開発事業・・・・・・・・・・229
- II-⑭ 低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備
の研究開発・・・・・・・・・・249

(Ⅱ-①)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サブライチエーン構築実証事業」

助成先：技術研究組合
CO2リ-水素切-ライチエーン推進機構
(HySTRA)

●成果リ-リ (実施期間：2015年度～2022年度終了予定)

- ・液化水素の長距離大量輸送技術の開発において、液化水素輸送タンクシステムに関し海上輸送を考慮した断熱システムの開発及び設計を終了するとともに、タンクシステムの設計・製作を2020年2月に完了し、船体への搭載も完了した。現在、タンクシステム周りの真空二重管の施工及び水素側運動機器の搭載を実施中である。年内に海上公試を終了し、年度内の船取取得、日豪航海を目指す。
- ・液化水素高圧技術の開発において、揺動環境下におけるローディングシステムにおける断熱システムの開発及び設計を終了し、年度内の船取取得、日豪航海を目指す。
- ・8月に液化水素貯蔵タンクへの液化水素の充填を完了し、現在、実証試験を実施中である。
- ・ガス化技術の開発において、豊州に2t/gas化炉設備の設計・製作を実施し、2020年9月に据付工事を完了した。今後、試運転を経て、10月中旬以降以降の製造を開始する予定である。国内に設置の20t/d若松小型炉試験設備での試験は年明け以降に実施予定である。

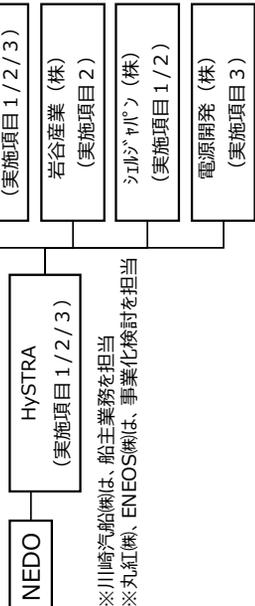
●背景/研究内容・目的

2030年頃に商用化を目指す現状のLNGと同規模の水素サブライチエーン(水素製造・液化水素貯蔵・液化水素解凍輸送・水素の発電利用)の現状を見通すために、現状のLNG内航船と同規模の輸送用タンクに1. 液化水素の長距離大量輸送技術、それに対応する2. 液化高圧技術、及び豊州の未利用エネルギーである褐炭を用いた3. 褐炭ガス化技術の研究開発を行う。

●研究目標

実施項目	目標
1. 液化水素の長距離大量輸送技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 液化水素輸送用タンクの要素技術の開発 ・ 輸送用タンクシステムの開発 ・ 商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得
2. 液化水素高圧技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 液化水素高圧技術の開発 ・ ローディングシステム及び安全な運用システムを開発し、商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得
3. ガス化技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 褐炭ガス化炉の開発 ・ 商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得

●実施体制及び分担等



※川崎汽船(株)は、船主業務を担当
※丸紅(株)、ENEOS(株)は、事業化検討を担当

●これまでの実施内容/研究成果

実施項目	実施内容/研究成果
1. 液化水素の長距離大量輸送技術の開発	<p>(a) 液化水素海上輸送システムの要素技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・真空条件下でタンクへの液流束が目標値以下となる断熱構成を確認した。 ・揺動環境下でのタンク構造と荷重材設計を完成した。 <p>(b) 輸送用タンクシステムの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・真空度の経時劣化の傾向を確認し、これを基に断熱仕様を確定した。 ・解凍による材質選定作業が現実的な時間内で実施可能であることを確認した。 ・LNGで実績のある既存の液面計が液化水素に對しても適用可能であることを確認した。 <p>(c) 輸送用タンクシステムの設計・製作・検査</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2016年度までに豊州に研究開発設備(a)(b)(c)により開発された技術を確認する輸送用タンクシステムの設計・製作・検査 ・2016年度までに豊州に研究開発設備の基本設計・詳細設計を完了し、船体検査検査を完了し、製作をほぼ完了した。 <p>(d) 実証試験の実施</p> <ul style="list-style-type: none"> ・輸送用タンクおよび各種配管配線部品を念のためシステム全体の詳細設計内容をFMEAに反映し、船体検査後に実証試験を実施し、船体検査を完了し、製作をほぼ完了した。 ・船取 (日本海事協会と実証試験の実施項目を確認中。
2. 液化水素高圧技術の開発	<p>(a) 液化水素の陸上・海上高圧輸送技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・海上輸送環境下において目標流量及び目標圧力範囲を達成できるローディングシステムの製作・設置が完了し、実証試験の要請書を作成し、船取に提出した。 ・高圧試験に必要となるオペレーション技術の開発 <p>(b) 高圧試験におけるオペレーション技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・目標流量以下となる液流速範囲での製作・設置が完了し、BOR計測要領書の策定も完了したことで、実証試験実施の見通しを得た。 ・カ-リカガリで200m3/h以上の高圧流量を目標とした陸上・海上間輸送設備及び基地配管の製作・設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た。
3. ガス化技術の開発	<p>(a) EAGLE炉への豊州規模の適用性検討</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2t/dカ-リカガリ・豊州規模の炉内・炭層での褐炭の特性を反映した設備設計を委託。豊州での試験設備の据付完了。 ・2016年10月に豊州に研究開発設備の試験用スケールモデルを製作し、試験用スケールモデルの据付完了。 <p>(b) 化学原料製造向けガス化技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2t/dカ-リカガリ・豊州規模の炉内・炭層での褐炭の特性を反映した設備設計を委託。豊州での試験設備の据付完了。 ・2016年10月に豊州に研究開発設備の試験用スケールモデルを製作し、試験用スケールモデルの据付完了。 <p>(c) 豊州規模のガス化炉設備の設計・構築したスケールモデルを用い、大型化時のスケールアップの把握等に利用する。</p>

●今後の課題

- 【実施項目1及び2】 日豪航海を実施する。日豪航海を複数回実施することにより、液水輸送及び荷役に伴う種々のデータの取得及び検証が実用化には必要である。
- 【実施項目3】 着実に試運転を遂行し、褐炭からの水素の製造を実施し、実用化に向けたデータを取得する。

●実用化・事業化の見通し

水素・燃料電池輸送ロードマップ、地球温暖化対策計画などからニーズの高い技術であり、本事業により、成立性が高いことが認知されるため、事業の可能性は十分に高いと考えられる。

●研究成果まとめ (2020年9月末現在)

実施項目	成果内容	自己評価			
1	液化水素輸送用タンクの製作を完了し、船体への搭載も完了した。年度内の船取取得、日豪航海を目指す。	△ (2020/11)			
2	高圧試験の据付を完了し、基地単独実証試験を開始した。	○			
3	2t/dカ-リカガリ設備の据付工事を完了した。10月より水素製造を実施する。	△ (2021/2)			
特許出願		論文発表	外部発表	外部発表	受賞等
14	3	286	1		

課題番号 : II- ①

研究開発名 : 「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」

1. 研究開発概要

2015 年度～2020 年度における本実証事業にて実施した各パートでの研究開発概要を以下に記す。

(1) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

a) 液化水素海上輸送システムの要素技術の開発

- ・真空条件下で輸送タンクへの熱流束が目標値以下となる断熱構成を確認し、設計へ反映した。
- ・海面揺動に対応した輸送タンクドーム構造及び拘束材設計を完了した。

b) 輸送用タンクシステムの開発

- ・真空度の経時劣化の傾向を確認し、これを基に断熱仕様を確定した。
- ・使用する素材の破壊靱性試験により、輸送タンク構造の強度を確認した。
- ・解析により輸送タンクのガス置換作業が現実的な時間で実施可能であることを確認した。
- ・LNG で実績のある既存の液面計が液化水素に対しても適用可能であることを確認した。

c) 輸送タンクシステムの設計・製作・検査

- ・2016 年度までに実施した要素技術の開発結果を踏まえ輸送タンクシステム及び配管艀装品の基本設計、詳細設計を完了し、船級立会検査のもと、製作をほぼ完了した。

d) 実証試験の実施

- ・輸送タンク及び各種配管艀装品を含めたシステム全体の詳細設計内容を FMEA に反映し、実証試験開始までに実証試験で実施すべき項目の洗出しを実施中である。
- ・船級（日本海事協会）と実証試験の実施項目について確認中である。

(2) 液化水素荷役技術の開発

a) 液化水素の陸上－海上間輸送技実証

- ・海上揺動環境下において目標流量及び目標可動範囲を達成できるローディングシステムの製作、設置は完了し、実証試験の要領書を作成した。

b) 荷役基地におけるオペレーション技術の開発

- ・目標蒸発量以下となる液化水素タンクの製作、設置が完了し、BOR 計測要領書の作成が完了したことで実証試験実施の見通しを得た。
- ・船側輸送タンク 1 基当たり 200m³/hr 以上の荷役流量を目標とした陸上－海上間輸送設備及び基地配管の製作、設置が完了し、実施試験実施の見通しを得た。

(3) 褐炭ガス化技術の開発

a) EAGLE 炉への豪州褐炭の適用性検討

- ・【2t/d ガス化炉】：豪州ラトロブバレー炭鉱での褐炭の特性を反映した設備設計を実施し、豪州での試験設備の据え付けを完了した。
- ・【20t/d ガス化炉】：豪州褐炭の試験サンプルを基に運転条件等の事前解析を本年 10 月より実施する。また、試験用の褐炭を日本に輸送し、事前乾燥を 10 月から実施する。

b) 化学原料製造向けガス化技術の検討

- ・「2t/d ガス化炉」について CO₂ 輸送、「20t/d ガス化炉」ではダイレクトクエンチ輸送の試験が可能となる設計を完了し、プロセスシミュレーションのモデルを構築中である。今後、試験結果を踏まえ計算精度の向上を図る。

c) 豪州褐炭ガス化運用技術の検討

- ・構築したシミュレーションモデルを使用し、大型化時のユーティリティ量の把握等を行う。

2. 研究開発目標（中間目標）

本実証事業では、世界初となる褐炭ガス化、液化水素大規模海上輸送及び液化水素荷役に関して実証試験が実施可能な各設備を設計、製作するとともに、運用要領を確立することが目標である。各パートの中間目標を以下に記す。

(1) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

- 液化水素輸送用タンクシステムの要素技術の開発ならびに液化水素輸送用タンクシステムの開発
- 商用化へのスケールアップに必要な知見の取得

(2) 液化水素荷役技術の開発

- 液化水素荷役技術の開発
- ローディングアームシステム及び安全な運用システムを開発し、商用化へのスケールアップに必要な知見の取得

(3) 褐炭ガス化技術の開発

- 褐炭ガス化炉の開発
- 商用化へのスケールアップに必要な知見の取得

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

以下に、各研究開発項目の成果の具体例を示す。

(1) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

a) 液化水素海上輸送システムの要素技術の開発

a)-① 揺動環境下で適用する断熱材の開発

<2016 年度（中間評価）までの研究開発成果>

真空度別・積層構成別の断熱材性能試験やアウトガス量測定を実施し、真空条件下でタンクへの熱流束が目標値となる断熱構成を得た。

支持部材から貨物タンクへの入熱を低減するために、支持部材への断熱材の施工方法を検討し、入熱を測定した（図1）。これにより、効果的に入熱を低減できるような断熱材施工法が確立された。

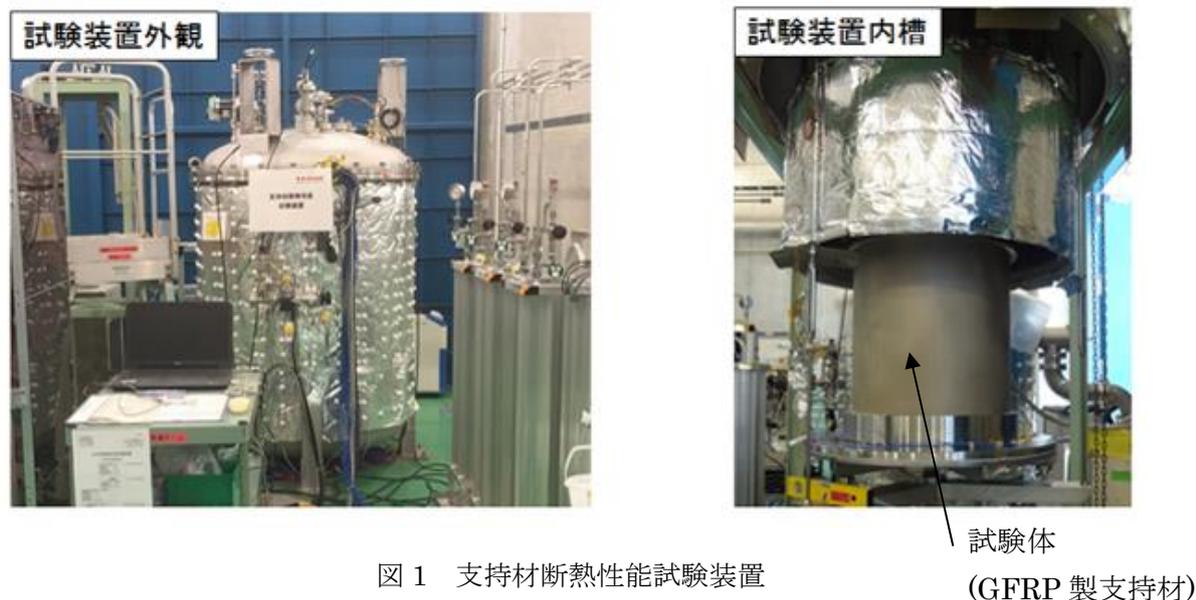


図1 支持材断熱性能試験装置

次に、積層真空断熱材(MLI)の突合せ部（接合部）の処理と断熱性能の関係を明らかにし、所定の断熱性能を確保できる断熱材構成を検討した。これにより、貨物タンク表面での平均断熱性能を目標値以下とすることができた。

a)-② 高真空度維持システムの開発

<2016年度（中間評価）までの研究開発成果>

真空層に炭酸ガスを注入した状態で内槽に液体窒素を充填し、真空層の真空度が安定するまで静置し、到達した真空度を計測することで、内槽の極低温部の表面積と真空度との関係を定量的に把握することができた。

次に、試料（ステンレス鋼、積層真空断熱材、GFRP製支持材など）を120℃のチャンバー内に50時間放置して、放出ガス量を測定し、実サイズタンクの真空槽内に残るガス成分の量を計算した。これにより、所定の真空度を維持することで十分な断熱性能を発揮できることが確認された。

a)-③ タンク構造の最適化検討

<2016年度（中間評価）までの研究開発成果>

ドーム部拘束機構を検討し、FEM解析を実施した。これにより、ドーム拘束機構を含んだドーム構造について、輸送環境に対応した基本設計が完了した。

a)-④ 輸送環境下で適用する内槽支持構造の耐久性評価

<2016年度（中間評価）までの研究開発成果>

内槽支持構造部材の疲労試験を実施し、本部材が熱変形及び揺動による疲労に耐えうることを確認した。

b) 輸送用タンクシステムの開発

b)-① 海上輸送時の液化水素蒸発予測・制御技術の開発

<2016年度（中間評価）までの研究開発成果>

真空度の経時劣化の傾向を確認し、これを基に防熱仕様を確定した。また、吸着剤による真空度の経時劣化抑制の有効性について確認した。

b)-② タンクシステムの構造健全性の検証

<2016年度（中間評価）までの研究開発成果>

開放検査に対応可能なドーム構造を含め、タンクシステムの基本設計が完了した。また、タンクに使用する素材の破壊靱性試験（図2）により、タンク構造の健全性を確認した。

方法：ASTM E1820 に準拠

対象素材：オーステナイト系ステンレス鋼溶接継手

雰囲気：液化ヘリウム中（4K）、液化窒素中（77K）、室温大気中（R.T.）

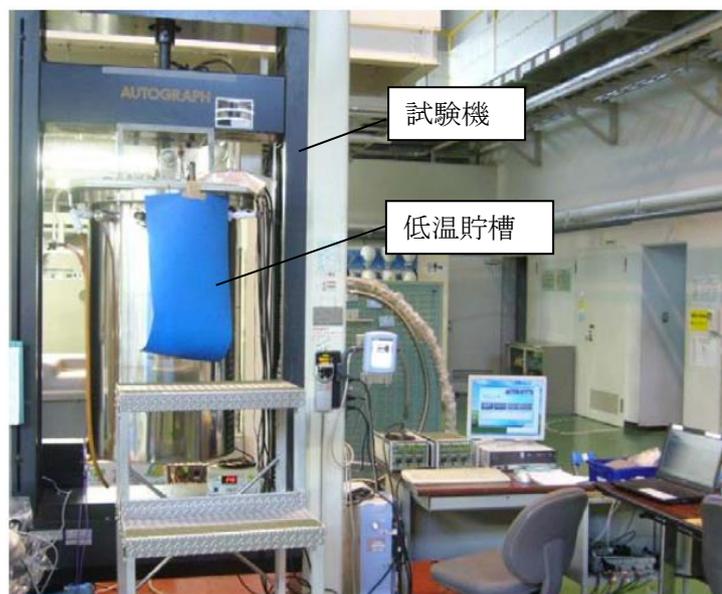


図2 破壊靱性試験、試験状況

b)-③ 検査対応ガス置換技術の開発

<2016年度（中間評価）までの研究開発成果>

荷役に必要な貨物操作フローを検討した。その中で、数値解析（図3）と理論解析を実施し、置換作業が現実的な時間で実施可能となる置換手順を組むことが出来た。

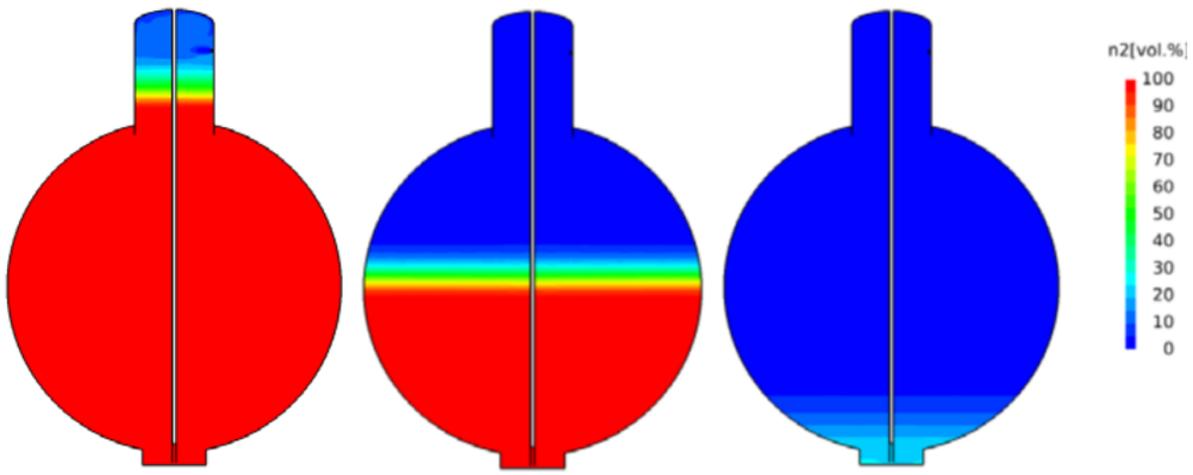


図3 貨物タンクガス置換 数値解析モデル計算結果例

b)-④ 周辺機器・計装品類の健全性の検証

<2016年度（中間評価）までの研究開発成果>

LNG で実績のある既存の液面計(レーダー式、静電容量式、およびディスプレイサ式)が液化水素中でも液位を計測できることを確認し、既存製品や技術が液化水素の海上輸送用途に適用可能であることを確認した。(図4、図5)

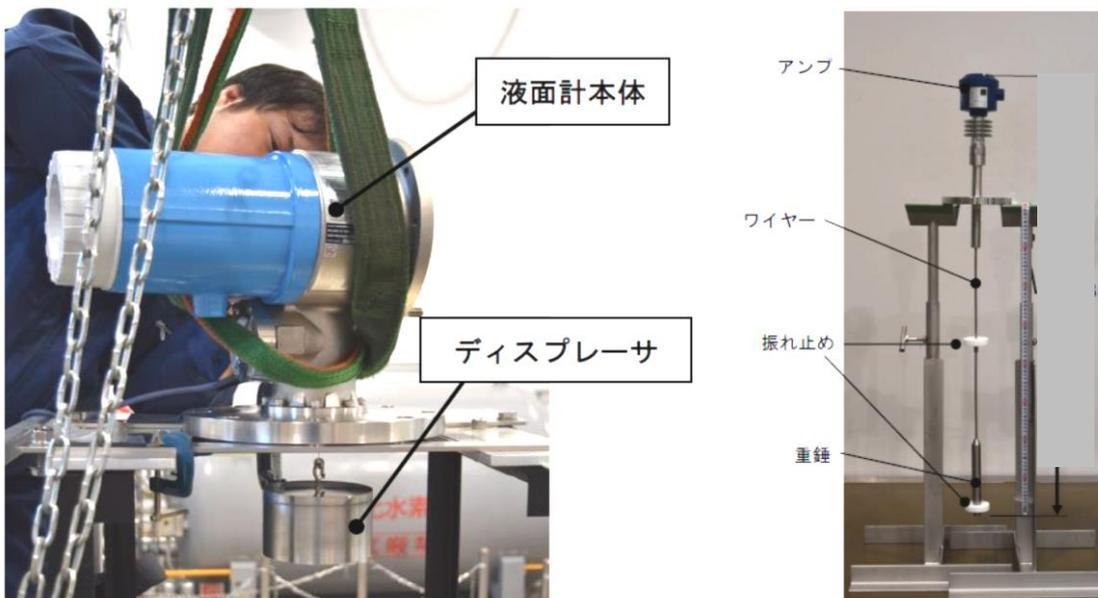


図4 液面計試験装置 (左: ディスプレーサ式、右: 静電容量式)

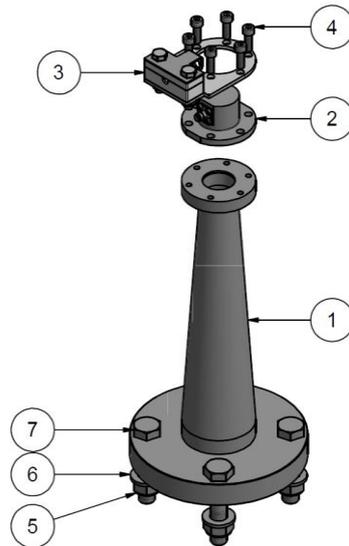


図5 試験用レーダー式液面計

<2017年度の研究開発成果>

液化水素ポンプ、気体水素圧縮機、温度センサ、蒸発器、加温機が必要なタイミングで入手できることを確認し、各機器・計装品の調達を開始した。

c) 輸送用タンクシステムの設計・製作・検査

<2016年度（中間評価）までの研究開発成果>

ステージゲート（2016年度）時点では評価を行わず、作業が終わった時に改めて外部評価を受ける。

<2017年度の研究開発成果>

基本設計を完了し、詳細設計およびタンクシステムの製作を開始した。

<2018年度の研究開発成果>

タンクシステムの製作及び真空二重配管、艀装品の製作、調達を開始した。タンクシステムについては、内槽、外槽の製作を行い、内槽については、大組立を終了し耐圧機密検査を完了した。外槽については、内外槽一体化前までの大組立を完了した。内槽を図6、外槽を図7に示す。



図6 内槽製作状況



図7 外槽製作状況

<2019 年度の研究開発成果>

液化水素タンクシステムの製作作業を継続実施した。7月までに内槽及び外槽の一体化作業を終え、秋頃より内槽-外槽間の真空引きを実施した。真空引き終了後外槽外壁に断熱パネルを取り付け、本タンクシステムの製作を完了した。

一方、本タンクを搭載する液化水素運搬船は、6月から建造を開始し、12月に無事に進水式を終えた。

2020年3月に本タンクの船体へ搭載を完了した。図8に内槽及び外槽一体化後の液化水素タンクシステム、図9に進水式、図10に船体への本タンクシステム搭載作業時の様子を示す。



図8 内槽・外槽一体化後のタンクシステムの様子



図9 「すいそ ふろんていあ」進水式



図 10 船体への本タンクシステム搭載作業時の様子

<2020 年度の研究開発成果>

タンクシステム搭載後、船上への配管敷設や真空引き、水素用艀装品との接続作業などを行い、船級承認された検査要領に則って検査を進め、現在は各種艀装品の試運転作業を実施中である。

d) 実証試験の実施

d)-① 安全対策システムの開発

<2016 年度（中間評価）までの研究開発成果>

船級（日本海事協会）と機器承認手順について確認した。また、リスク分析に基づく安全性評価を行い、危険要因の把握と追加安全対策の検討が完了した。

主な検討成果として、以下の3つが挙げられる。

- ✓ 漏洩シナリオに基づく水素拡散挙動を把握する
→ 拡散シミュレーションを実施し、緊急時に水素ガスがタンクから排出されても、居住区などが爆発下限界範囲に入らず、安全であることが確認された。
- ✓ 揚荷時に貨物を沸騰させない適切な落圧速度とする
- ✓ 配管系統への隔離弁、ドレインポートを追加する

<2017 年度の研究開発成果>

船級（日本海事協会）と、機器毎に承認に必要なリスク分析手法を合意した。また、搭載タンク個数変更に伴う HAZID と HAZOP の再実施を行い、タンク個数変更が安全対策に大きく影響しないことを確認した。

<2018 年度・2019 年度の研究開発成果>

周辺機器・計装品のそれぞれについて詳細設計をレビューし、LNG 船での設計のギャップを洗い出すなどして、想定される不具合や故障モードを抽出した。

<2020 年度の研究開発成果>

実証試験の方案作成に着手した。これまでのリスクアセスメントの結果を元に、水素関連機器の危険要因や故障モードを FMEA に落としこみつつ、船級協会と試験の実施項目を確認し

ながら、方案完成に向けて調整中である。

(2) 液化水素荷役技術の開発

a) 液化水素の陸上－海上間移送技術実証

<2016年度（中間評価）までの研究開発成果>

必要設置エリア、アーム間隔等を検討の上、ローディングシステムの基本構造（図 11）を決定した。設定した横方向可動範囲に基づいたアーム部、および接続部の構造解析も行っている。また、揺動環境下で使用可能なバイオネット継手の接続構造の検討を行い、ローディングシステムとしての製作実現の見通しを得た。

<2017年度の研究開発成果>

基本設計を踏まえ、ローディングシステムの試験体設計・製作を行ったうえ、液化水素温度における荷重試験、疲労試験等を実施し、良好な結果を得るとともに、ERS 等、一部要素については将来に向けた技術課題の抽出ができた。また、基本設計および各種試験の結果を反映したローディングシステムの詳細設計を実施し、液化水素接液部の製作を開始した。

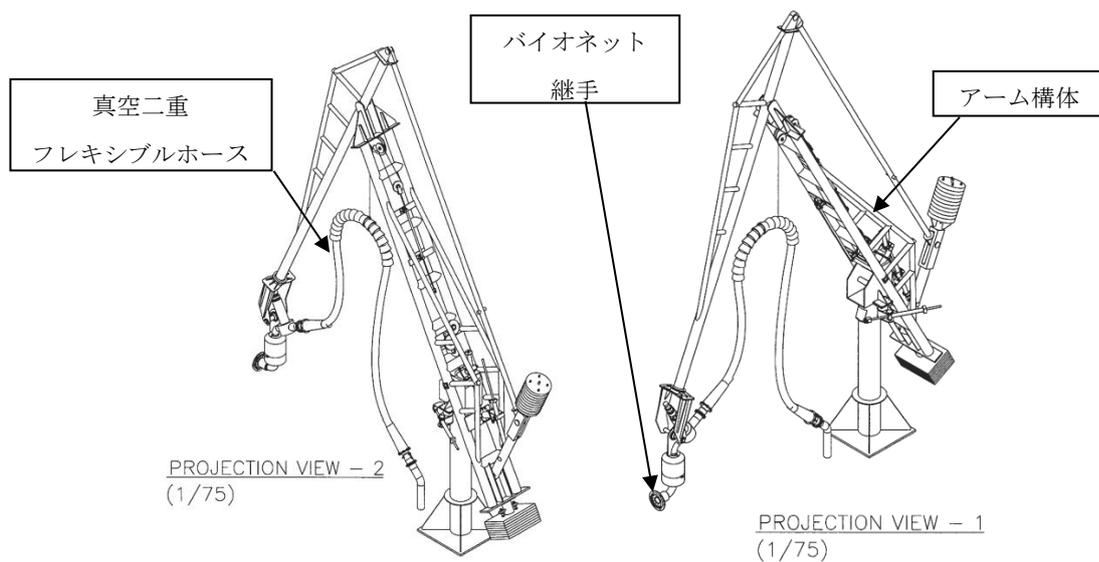


図 11 ローディングシステム外形図

<2018年度の研究開発成果>

ERS を含んだローディングアームシステムに関しては、製作をほぼ完了し出荷前検査を実施した。

<2019年度の研究開発成果>

ローディングアームシステムについては、液化水素を用いた出荷前検査を海外で実施し、荷役基地へ輸送 2020 年 3 月に据付工事を完了した。図 12 に据付中の様子を示す。



図 12 ローディングアーム現地据付の様子（2020年2月）

<2020年度の研究開発成果>

ローディングアームシステムについては、2020年5月に高圧ガス保安法における完成検査を受検/合格している。その後、一部補修も含め、2020年9月に完成、液化水素を用いた実証試験の実施準備が整った。図13に据付完了後のローディングアームシステムを示す。



図 13 ローディングアーム据付等完了（2020年2月）

b) 荷役基地におけるオペレーション技術の開発

b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発

<2016年度（中間評価）までの研究開発成果>

設定した配管系について、各オペレーションモード（表1 積荷オペレーションの例）ごとに蒸発量の算定、管内の流れ状態等を考慮の上、基本設計を実施した。また、液化水素貯蔵タンクについては、断熱性能の高い球形真空二重殻タイプを採用し、内外径、断熱構造、部材仕様等を決定し、目標蒸発率を達成する目処を付けることができた。（図14）

<2017年度の研究開発成果>

基本設計を踏まえた詳細設計を実施・完了し、液化水素貯蔵タンクの製作に着手した。液化水素を流動させる配管系については、次年度より配管プレハブに着手するため、材料手配等を実施した。

表1 積荷オペレーション手順概要

No.	作業項目
0	基地配管予冷
1	着棧
2	ローディングシステム接続
3	窒素⇒水素置換
4	ローディングシステム予冷
5	詠歌水素積荷
6	ローディングシステム液抜き
7	水素⇒窒素置換
8	ローディングシステム切離し
9	出向

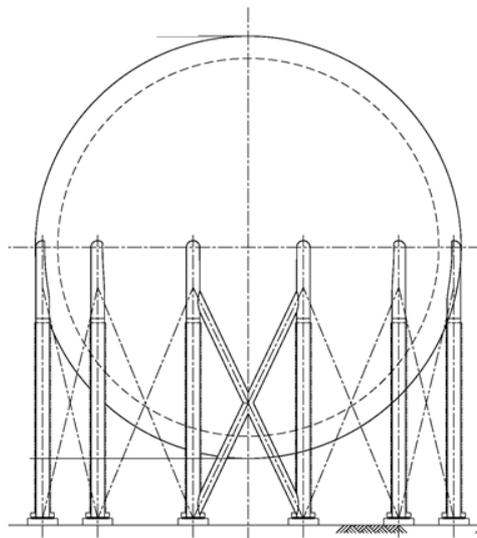


図14 液化水素貯蔵タンク外形図

<2018 年度の研究開発成果>

前年度の詳細設計にしたがい荷役基地の建設工事を開始した。液化水素貯蔵タンクを現地にて建設した。また、タンクの他に BOG 圧縮機などの機器の据付も順次進めた。図 15 に建設状況を示す。(2019 年 3 月)



図 15 荷役基地建設状況 (2019 年 3 月現在)

<2019 年度の研究開発成果>

液化水素貯蔵タンクやローディングシステムワーキングプラットフォームの建設を継続するとともに、BOG ホルダーやベントスタックの設置を完了した。

液化水素貯蔵タンクは、建設完了後、内槽・外槽間に断熱材（パーライト）充填し、真空引きを実施した。また、機器据付の他に電気、外構、道路工事を実施した。建設中の各設備の状況を図 16～図 17 に示す。



(a) 液化水素貯蔵タンク



(b) LAS ワーキングプラットフォーム



(c) 管理棟



(d) BOG フォルダー

図 16 荷役基地建设状況 (2019年4月)



(a) 液化水素貯蔵タンク



(b) ベントスタック

図 17 荷役基地建设状況 (2019年8月)

<2020年度の研究開発成果>

2020年5月に液化水素貯蔵タンクの建設が完了し、2020年6月より実証試験フェーズに入っている。2020年6月にタンクの水素ガス置換およびクールダウン、2020年8月に貯蔵タンクの液化水素充填が完了した。2020年9月に貯蔵タンク蒸発量を計測し、目標値以下を達成できることを確認しており、液化水素荷役中の蒸発量予測手法の開発に繋がる。図18に建設完了した液化水素貯蔵タンクを示す。



図 18 荷役基地建设完了（2020年8月）

b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発

<2016年度（中間評価）までの研究開発成果>

積荷及び揚荷オペレーションの手順を設定し、リスク分析に基づく安全性評価を行い、貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの基本設計が完了した。

<2017年度の研究開発成果>

基本設計を踏まえた詳細設計を実施・完了し、液化水素貯蔵タンクの製作に着手した。液化水素を流動させる配管系については、次年度より配管プレハブに着手するため、材料手配等を実施した。

<2018年度の研究開発成果>

前年度の詳細設計にしたがい荷役基地の建設工事を開始した。液化水素貯蔵タンクに関しては現地にて建設を実施した。また、真空二重管に関しては材料の調達は完了し、プレハブを製作した。

<2019年度の研究開発成果>

真空2重管については、据付工事を完了し、真空引きを実施した。

<2020年度の研究開発成果>

2020年5月に液化水素貯蔵タンクおよび真空2重管の建設が完了し、2020年6月より実証試験フェーズに入っている。2020年6月にタンクの水素ガス置換および予冷を実施し、予冷手順等について事前検討との比較検証が可能なデータを取得した。引き続き、船陸間荷役実証でのデータを取得することで、将来に向けた予冷システム開発に繋がる。

b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証

<2016年度（中間評価）までの研究開発成果>

発生の可能性がある二相流の状態等を検討の上、カーゴタンク当り $200\text{m}^3/\text{h}$ 以上の荷役流量を目標とした基地配管の基本設計が完了した。（参考：表2 構成設備概要、図19 荷役基地概略フロー）

<2017年度の研究開発成果>

完了した基地配管の基本設計を踏まえ、詳細設計を実施・完了した。次年度より配管プレハブに着手するため、材料手配等を実施した。

<2018年度の研究開発成果>

真空二重管に関しては材料の調達は完了し、プレハブを製作した。

<2019年度の研究開発成果>

b)-②と同様である。

<2020年度の研究開発成果>

2020年5月に真空2重管の建設が完了した。引き続き、船陸間荷役実証でのデータを取得することで、液化水素の管内流動状況の検証に繋がる。

表 2 構成設備概要

機器	目的	備考
液化水素貯蔵タンク	荷役基地から輸送船への積荷、輸送船から荷役基地への揚荷ができるよう液化水素を貯蔵する	蒸発損失を抑えるため真空二重断熱となっている
液化水素ローディングシステム	輸送船と荷役基地を接続し、積荷・揚荷を行う	蒸発損失を抑えるため通液部は真空二重断熱となっている
BOG 加温器	1) BOG を圧縮機へ送るため加温する 2) BOG をベントスタックへ送るため加温する	
BOG 圧縮機	BOG を圧縮し、BOG ホルダーへ圧入する	
BOG ホルダー	輸送船へ送る圧縮水素ガスを貯蔵する	
ベントスタック	水素ガスを廃棄する	

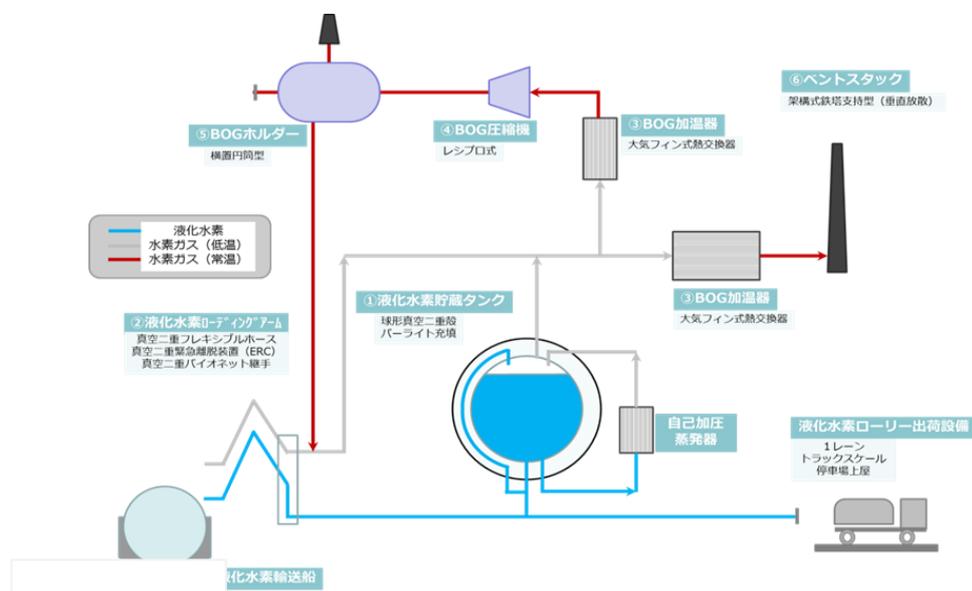


図 19 荷役基地 概略フロー

(3) 褐炭ガス化技術の開発

褐炭からの水素製造供給チェーンは、未利用の褐炭を山元でガス化し、ガス化ガスから CO₂ を分離回収することで水素を製造、液化水素等として日本に輸送し活用する一連のシステムである。また分離回収した CO₂ を山元で貯留することで、水素を石炭由来のゼロエミッション燃料とすることを目指している。

本プロジェクトは図 20 に示す通り、豪州ラトロブバレーの褐炭をガス化し製造した水素を日本に輸送するサプライチェーンの実証を目的としている。褐炭ガス化技術の開発においては本プロジェクトにおいて、ガス化炉の設計、建設、管理、運転及びメンテナンスに関する検討を行う。

豪州現地には褐炭湿炭ベースで 2t/d のガス化プラント（以下、豪州小型ガス化試験設備）を建設し、①EAGLE 炉適性炭のスクリーニング、② 褐炭前処理技術の確立、③ガス化炉への褐炭投入条件確立を目指した試験を行う。また、並行して国内に電源開発(株)が所有する褐炭湿炭ベースで 20t/d に相当する EAGLE 炉を活用し、褐炭ガス化システム技術の確立を行う。すなわち、図 20 の破線内に示される 2 つのガス化炉を用いて、褐炭ガス化技術の確立を図ると共に、将来の大型化に向けた見通しを得ることとしている。

図 21 に豪州に建設する小型ガス化試験設備のイメージ図、表 3 に主な仕様を示す。

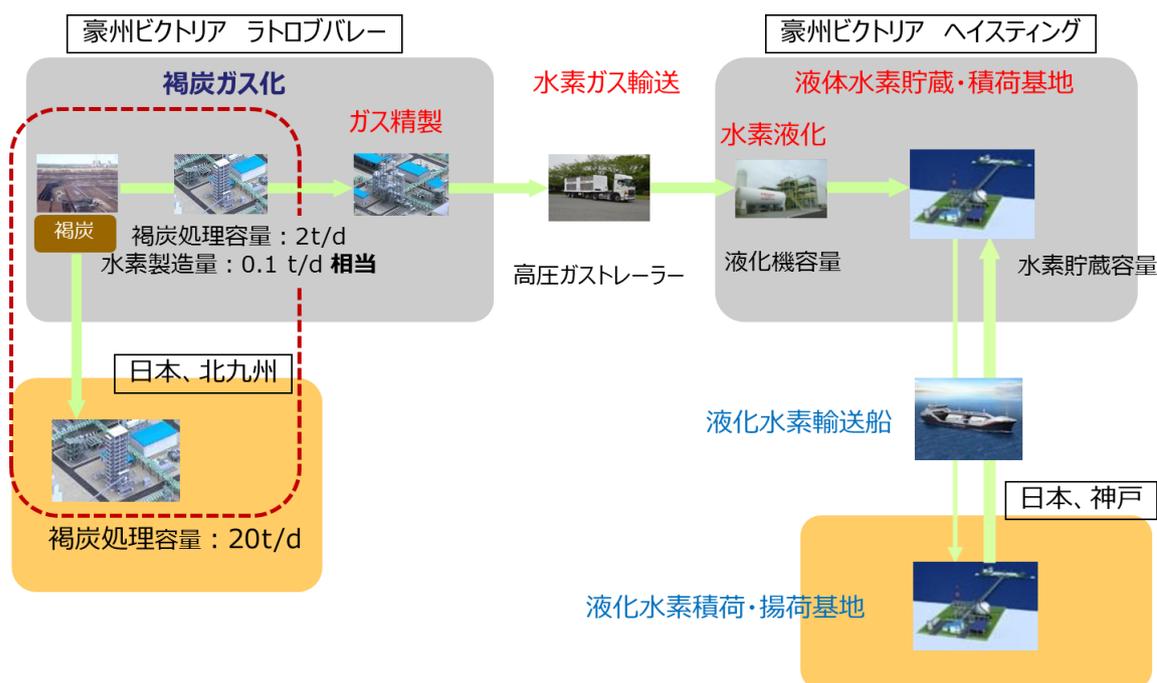


図 20 サプライチェーンにおける褐炭ガス化プロジェクトの概要



表 3 小型ガス化試験設備 主な仕様

項目	仕様
石炭供給量	原炭 2.0 ton/d (乾燥炭 1.0 ton/d)
ガス化圧力	2.5 MPaG
石炭供給ガス	CO ₂ または N ₂
粗ガス生成量	100Nm ³ /h

a) EAGLE 炉への豪州褐炭の適用性検討

a)-① 褐炭炭前処理技術の検討

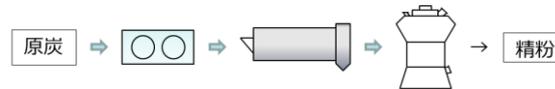
<2016 年度（中間評価）までの研究開発成果>

豪州褐炭を EAGLE 炉へ適用するに当たり、褐炭を乾燥、粉砕状態にする必要がある。そのため図 22 の①～③に示すようなプロセスを検討した。これらプロセスの評価のため、豪州ラトロブバレー主要 3 炭種（ロイヤン炭、ヤルーン炭、モーウェル炭）の褐炭による前処理事前確認試験を実施した結果、粉砕性、安定性の観点から、② 破砕機→乾燥機→堅型ミル というプロセスが目標としていた褐炭処理の達成に有効であることがわかった。但し、経済性については① 破砕機→堅型ミル→乾燥機 のプロセスが優れることから、豪州建設プラントにおいては乾燥機と堅型ミルの順番を切替えられるように設計し、将来の商用機に向けて①・②のプロセスフローにおいて乾燥・粉砕効率及び経済性を検証できるような設計とした。（2018 年度の追加検討の結果、最終的には乾燥機を不設置とした。後述）

① 破碎機 ⇒ 堅型ミル ⇒ 乾燥機



② 破碎機 ⇒ 乾燥機 ⇒ 堅型ミル



③ 破碎機 ⇒ 乾燥機 ⇒ ボールミル



図 22 褐炭前処理技術の検討プロセスフロー

<2017 年度の研究開発成果>

プロセス検討の結果から豪州に設置するプラントのプロセスを決定し、設置する設備の仕様を概ね決定した。なお、商用機に向けて前処理乾燥技術の調査を実施したところ、一般炭向け堅型ミルと比べ、褐炭前処理技術の設備費および運転費が増大することが分かり、商用機の課題として認識することとした。

<2018 年度の研究開発成果>

仕様の詳細検討を進める中で、小型ガス化試験設備では乾燥機を設置せずとも処理量の大きな堅型ミルのみで乾燥粉碎可能であることが事前試験の結果確認できたことから、乾燥機を不設置とした設備仕様へ変更した。最終決定したプロセスフローを図 23 に示す。

HAZOP（設備の安全性評価）を実施し、その際の指摘を踏まえた上で詳細設計を完了し、製作を開始した。

破碎機 ⇒ 堅型ミル

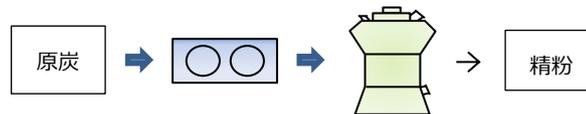


図 23 褐炭前処理技術の最終プロセスフロー

<2019 年度の研究開発成果>

前処理装置については製作が完了。完了した機器については現地に輸送が行われ、建設工事を開始。

<2020 年度の研究開発成果>

コロナの影響を受け、工場の休止、ロジスティックの停滞等により、現地への搬送時期が大幅に遅延した。またコロナの影響を受け、2 月以降、多くの作業員が現場を離れ、作業効率が低下した。その結果、据付工事が大幅に遅れたものの、軽微な駄目工事を除き、9/10 に据付工事を完了した。現在試運転調整を実施中である。

a)-② 褐炭ガス化評価検討

<2016 年度（中間評価）までの研究開発成果>

豪州小型ガス化試験設備について安全性・運用性を考慮したフィジビリティスタディを実

施した。また、国内ガス化試験設備において褐炭ガス化事前確認試験を実施し、豪州小型ガス化試験設備設計に必要なデータを取得するとともに、豪州での褐炭ガス化試験実施の目途が得られた。

豪州現地コンサルティング会社による調査において、商用プラントの設置を想定した条件で、対象となる関連法規のスクリーニング調査を実施した。結果、特に工程に大きく影響するのは EPA（環境保全協定）と MHF（危険物取扱）にかかる法規制であることがわかった。

豪州小型ガス化試験設備用の許認可取得に関しては、関係省庁、及び許認可取得スケジュール及びシーケンスについて調査を実施し、その概要を把握した。

<2016 年度の研究開発成果>

フィジビリティスタディ及び褐炭ガス化事前試験の結果を踏まえ、実際に設置する豪州小型ガス化炉の基本設計を実施した。

豪州に設置するプラントの情報から許認可の申請に必要なデータを整理し、申請書を作成した。その申請書について、事前申請という形で関係省庁へ提出した。

<2018 年度の研究開発成果>

豪州小型ガス化試験装置については HAZOP（設備の安全性評価）を実施し、その際の指摘を踏まえた上で詳細設計を行い、主機のガス化炉の製作を完了した。また、プラント設置に必要な許認可の申請書を豪州政府に提出し、許認可を取得した。

<2019 年度の研究開発成果>

製作が完了したガス化炉については現地へ輸送し、プラント全体の建設を開始。前処理装置を含めたプラント全体の運転に必要な手順書について検討を行った。図 24～図 27 に建設状況を示す。



(a) ガス化炉



(b) 褐炭前処理装置

図 24 小型ガス化試験設備 建設状況 (2019 年 12 月)



図 25 小型ガス化試験設備 建設状況（2020年1月）



(a) 現地サイト全景



(b) 褐炭前処理装置

図 26 小型ガス化試験設備 建設状況（2020年3月）

<2020年度の研究開発成果>

コロナの影響を受け、工場の休止、ロジスティックの停滞等により、現地への搬送時期が大幅に遅延した。またコロナの影響を受け、2月以降、多くの作業員が現場を離れ、作業効率が低下した。その結果、据付工事が大幅に遅れたものの、軽微な駄目工事を除き、9/10に据付工事を完了した。現在、試運転調整を実施中であり、10月からの実証試験開始を目指している。据付工事が完成した設備全景を図 27 に示す。



(a) ガス化炉、褐炭前処理装置



(b) プラント全景

図 27 小型ガス化試験設備 建設状況 (2020 年 7 月)

a)-③ EAGLE 炉への適用検討

<2016 年度 (中間評価) までの研究開発成果>

小型炉試験設備で褐炭ガス化試験を行うに当たり、改造が不要になると想定される乾燥微粉褐炭での輸送若しくはブリケットとしての輸送の可能性について検討を行っている。同時に、改造の要否を確認するため、既存石炭前処理設備を用いた褐炭原炭の事前粉碎・乾燥試験の検討を進めている。また、小型炉試験設備には、ガス化ガス冷却システムとしてダイレクトクエンチ方式が採用されている。

<2017 年度の研究開発成果>

若松に既に設置されている石炭前処理設備を用いて褐炭の粉碎試験を実施し、褐炭の粉碎については問題なく実施できることを確認した。

<2020 年度の研究開発成果>

褐炭は石炭中水分が非常に多く、従来の垂漉青炭を想定した小型炉試験設備では十分に褐炭を乾燥できないことから、褐炭を日本に輸送したのち、プレ乾燥として 30%程度以下にまで水分を取り除く計画としている。現在、プレ乾燥中であり、完了後に輸送し、小型炉試験設備で試験を実施する予定である。

また事前準備として、褐炭のサンプルの性状分析を行い、運転条件等の解析を実施することを計画しており、現在実施中である。

b) 化学原料製造向けガス化技術の検証

b) - ① CO₂による褐炭運搬システムの検討

<2016 年度 (中間評価) までの研究開発成果>

N₂搬送による褐炭ガス化事前確認試験を実施し、その結果から CO₂搬送とした場合のガス組成等を試算し、N₂搬送時と CO₂搬送時のガス化の特性について比較検討を行った。

<2017 年度の研究成果>

豪州小型ガス化試験設備において、CO₂による微粉炭の搬送が可能となるシステムを検討し、豪州小型ガス化炉設備の基本設計において、CO₂搬送が可能な設計を行った。

<2018 年度の研究成果>

CO₂搬送が可能な詳細設計を完了し、機器等の製作を実施した。

<2020年度の研究成果>

CO₂搬送が可能な設備の据付を完了した。実証試験においては、N₂搬送から試験を開始し、その後CO₂搬送によるガス化特性データを取得し、N₂搬送時とCO₂搬送時のガス化の特性について比較評価を行う計画である。

b) - ② ダイレクトクエンチ方式を用いた褐炭ガス化技術の検討

<2020年度の研究成果>

プロセスシミュレーションのモデルを構築中である。本プロジェクトとは別途実施予定の小型炉試験設備を用いたダイレクトクエンチの試験を踏まえ、精度の向上および大型化に向けた評価を実施する計画である。

c) 豪州褐炭ガス化運用技術の検討

<2020年度の研究成果>

上記 a),b)の結果を踏まえるとともに、構築したプロセスシミュレーションのモデルを用いることで、ユーティリティ量の把握を含め、運用に関する大型化への課題抽出および評価を行う。

3. 2 成果の意義

(1) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

a) 液化水素海上輸送システムの要素技術の開発

「2. 1 a)-① 揺動環境下で適用する断熱材の開発」および「2. 1 a)-② 高真空度維持システムの開発」により、極低温(-253℃)の液化水素を揺動環境下で長期間(約20日間)保持する、世界初の技術が開発できた。

「2. 1 a)-③ タンク構造の最適化」および「2. 1 a)-④ 輸送環境下で適用する内槽支持構造の耐久性評価」により、液化水素に荷役による熱変形や、揺動環境下による荷重に対し、真空二重殻間の変位を許容できる、世界初の技術が開発できた。また、部材の強度を確認することにより、数か月を有するような大規模な部材交換が運用期間中に不要であることが明らかになり、高い稼働率での運用が期待できることが判明した。

b) 輸送用タンクシステムの開発

b)-① 海上輸送時の液化水素蒸発予測・制御技術の開発

将来の大型輸送船の開発において、高い精度で貨物の蒸発量を予測可能な技術が開発できた。

b)-② タンクシステムの構造健全性の評価

タンク溶接部を破壊力学的に評価し、液化水素の海上輸送用として世界初の船級承認を取得する見通しを得た。

b)-③ 検査対応ガス置換技術の開発

大容量の輸送タンクにおいて引火性の高い水素ガスを安全かつ現実的な時間で空気に置換

可能であり、数年ごとの定期検査時の開放点検に対応できる技術を開発できた。

b)-④ 周辺機器・計装品類の検証

既存製品や技術が液化水素に適用可能であることが世界で初めて確認され、液化水素用途として世界で初めて船への搭載が承認される見通しを得た。

c) 輸送用タンクシステムの設計・製作・検査

船級協会の認める設計・検査内容で以て大容量の輸送タンクが製造出来ることが確認された。

d) 実証試験の実施

d)-① 安全対策システムの開発

世界水準の安全評価手法に則った設計手法が適用され、将来的に液化水素の大量海上輸送技術として、世界初の輸送実績を伴った設計技術として標準化されていく見込みである。

また、世界で初めて液化水素の大量輸送を可能にするシステム全体の船級承認を取得と、実際の日豪間運用の実績を得られる見通しである。

(2) 液化水素荷役技術の開発

a) 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証

ローディングシステムについて、設備据付まで完了したことにより、引き続き船陸間荷役実証に入ることができ、実機による液化水素ローディングシステムの実現性検証に繋がる。

b) 荷役基地におけるオペレーション技術の開発

b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発

液化水素貯蔵タンクおよび真空 2 重管の建設が完了し、液化水素貯蔵タンクの蒸発率計測を行ったことにより、引き続き行う船陸間荷役実証でのデータ取得と併せ、液化水素荷役基地でのオペレーション技術開発に向けた課題の一つである「液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発」の実現に繋がる。

b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発

液化水素貯蔵タンクおよび真空 2 重管の建設が完了し、液化水素荷役基地でのオペレーション技術開発に向けた課題の一つである「貯蔵タンクおよび配管類の予冷システムの開発」の実現に繋がる。また、世界初の液化水素の陸上-海上間移送技術を有する設備であり、実施した安全性評価により、商用に向けた安全性評価手法の確立、安全離隔距離の設定等が可能になる。

b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証

真空 2 重管の建設が完了し、液化水素荷役基地でのオペレーション技術開発に向けた課題の一つである「液化水素の管内流動状況の検証」に繋がる。

(3) 褐炭ガス化技術の開発

a) EAGLE 炉への豪州褐炭の適用性検討

a)-① 褐炭炭前処理技術の検討

これまで経験のない褐炭を使った褐炭前処理設備の設計を行い、据付を完了。試験準備が整ったことで複数の豪州褐炭のガス化特性を評価することができ、課題抽出に向けて前進した。

a)-② 褐炭ガス化評価検討

これまで経験のない褐炭を使ったガス化炉の設計を行い、据付を完了。今後本装置を使用して、複数の豪州褐炭によるガス化特性を取得することができる。試験準備が整ったことで複数の豪州褐炭のガス化特性を評価することができ、課題抽出に向けて前進した。

a)-③ EAGLE 炉への適用検討

事前準備作業を着実に進めることで、若松小型炉試験設備での確実な試験運転に繋げる事が可能となった。

b) 化学原料製造向けガス化技術の検証

b)-① CO₂ による褐炭運搬システムの検討

必要な試験が可能となり、実試験データを取得することで、化学原料製造向けガス化技術のプロセス最適化を図ることができる。

b)-② ダイレクトクエンチ方式を用いた褐炭ガス化技術の検討

コストメリットに資する設備改造が完了し、化学原料製造向けガス化技術のプロセス最適化に向け前進した。またプロセスシミュレーションのモデル構築により、大型化に向けた効率的なプロセス評価が可能となった。

c) 豪州褐炭ガス化運用技術の検討

シミュレーションモデルを用いることで、ユーティリティ量の把握を含め、運用に関する大型化への課題抽出および評価が可能となった。

3. 3 成果の最終目標の達成可能性

以下に最終目標の達成可能性についての見解を示す。

(1) 最終目標の達成可能性（全体）

研究テーマ毎の中間目標は達成及び達成見込みであり、プロジェクトとしての中間目標も同様に概ね達成の見込みである。

本プロジェクトの最終目標は、褐炭ガス化及び日豪航海試験を繰り返し実施し、様々な条件下での実証試験を実施することで設計の妥当性を検証すると共に取得した知見・経験を商用化設計へ反映することである。

(2) 成果の最終目標の達成可能性（項目別）

各研究開発項目別の達成可能性について以下に示す。

①液化水素の長距離大量輸送技術の開発

(最終目標)

日豪航行試験を繰り返し実施することにより様々な積付率及び気象条件での液化水素のBORデータを取得するとともに、真空度劣化や構造設計の妥当性に関してデータを蓄積する事で検証する。

長期間にわたり使用し液化水素を取り扱った機器（圧縮機、加温機、蒸発器及びGCU等）について内部検査を実施し、健全性の評価を行う。

(達成の見込み)

今後、航行試験を継続実施することにより様々な積付率及び航海条件下で「輸送タンクシステムに真空防熱性能」、「タンク状態制御方法」について評価をする。また、「輸送タンクシステム安全機構」及び貨物機器の長期運転後健全性」に関して評価を行う。

②液化水素荷役技術の開発

(最終目標)

大型化に適した鋼製ローディングアームシステムを用いた揺動環境下で使用可能な荷役技術を開発し、液化水素を使用した荷役試験を実施し、成立性を実証する。

液化水素の荷役試験を繰り返し実施することで貯蔵タンク内及び配管内の液化水素の挙動を把握し、設計条件に反映する。

(達成の見込み)

今後、荷役試験を継続することによりデータの蓄積及び検証を行い、「貯蔵タンク及び配管内の蒸発率」、「貯蔵タンク内部状況」及び「荷役流量と配管圧力損失の関係性」について評価を行う。また、鋼製ローディングアームの開発を実施する。

③褐炭ガス化技術の開発

(最終目標)

豪州に設置した「小型ガス化試験設備」を用いてバイオマスを褐炭に混ぜた際のガス化特性を評価する。

(達成の見込み)

今後、褐炭ーバイオマス混合体でのガス化試験を継続することによりデータの蓄積及び検証を行い、商用化へ向けた知見を得る。

④液化水素の利活用

(最終目標)

日豪輸送後の液化水素を近隣施設に供給し、利用できることを実証する。

(達成の見込み)

荷役基地の液水貯蔵タンクは、ローリー等に払出せる構造となっていることから、液化水素の利活用に使用することは問題ないと考える。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

4. 1 まとめ及び課題

(1) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

2016年度までに実施した研究開発項目 a)と b)により開発された技術を踏まえ、輸送用タンクシステムおよび配管艀装品の基本設計・詳細設計を完了し、船級立会検査のもと、製作をほぼ完了した。

輸送用タンクおよび各種配管艀装品を含めたシステム全体の詳細設計内容を FMEA に反映し、実証試験で実施すべき項目を実証試験開始までに洗い出し中であり、また、船級（日本海事協会）と実証試験の実施項目を確認中である。

今後、日豪航行試験を継続することで様々な条件での BOR データを所得するとともに、真空度劣化や構造設計の妥当性を検証する。また、長期間に渡る極低温で使用した機器の健全性を評価し、世界初の液化水素輸送タンクシステムの商用化への設計条件に反映していく。最終目標達成に向けての課題は、現状では特になし。

(2) 液化水素荷役技術の開発

2015年度～2020年度に渡り設計、製作したローディングアームシステムの知見に基づき、大型化に適した鋼製ローディングアームシステムを用いた揺動環境下で使用可能な荷役技術を開発し、液化水素を使用した荷役試験を実施し、成立性を実証する。

また、液化水素の荷役試験を継続実施することで貯蔵タンク内及び配管内の液化水素の挙動を把握し、商用化に向けた設計条件に反映する。最終目標達成に向けての課題は、現状では特になし。

(3) 褐炭ガス化技術の開発

褐炭性状の把握及び事前確認試験を通じて、これまで経験のない褐炭ガス化システムの設計に向け必要なデータを採取した。また、豪州の必要法規制等調査を行うことで、豪州小型ガス化試験設備設置に向けて必要となる許認可の把握、設計のベースとなる豪州独自の規格・基準を把握することができた。

豪州小型ガス化試験設備設置の据付が完了し、実証試験開始に向け、鋭意試運転調整を実施している。今後の実証試験を通じて試験データを蓄積すること、またそのデータを用いてシミュレーション等による大型化検討・評価を行うことで、最終目標達成が可能と考えている。

4. 2 事業化までのシナリオ

(1) 基本認識

本実証事業は、6年計画の最終年度を迎え、要素技術開発を行い、現在、設備製造・据付工事を行い、順次完工、実証試験を開始しつつある。実証試験を通して、目標達成の可能性は十分にあると考える。

エネルギー基本計画、水素・燃料電池戦略ロードマップ、次世代火力発電に係る技術ロードマップ等の製作方針やパリ協定の合意、民間事業者における CO₂削減のための水素活用計画の活発化など、社会ニーズが高まってきており、特に欧州、豪州、中東などの資源国や国内におけるエネルギー企業を含む民間事業者の検討が随所で実施されており、事業化の可能性が高まってきている。

(2) 実用化・事業化の時期

当技組にて想定している実用化・事業化の時期について以下に記す。

<2015年～2022年>

本実証プロジェクト（「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン実証事業」）を完遂することにより、水素の海外からのサプライチェーン構築について社会認知を得るとともに、エネルギー事業者への実現性認知を得る。

<2020年代半ば>

商用実証（大型化）を実施する。

<2030年～>

水素発電等が本格化し、大量低コストが期待される海外からの輸入水素が必要となることにより、商用化サプライチェーンのための、水素製造、液化システム、貯蔵基地及び運搬船の技術及び運用をシステム・パッケージ化し、商用化する。

(3) 成果の実用性・事業性の見通し

①液水素の長距離大量輸送技術の開発

実証試験により断熱性能、タンク構造が所定の性能を持つことを確認する。また、事業化に向けて適正なタンク規模を明確にするとともに、大型タンクの開発を進める。

②液化水素荷役技術の開発

実証試験により荷役流量、蒸発率及び緊急遮断機構が所定の性能をもつことを確認する。また、事業化に向けてより効率的な運用方法を具体化すると共に、より高度なLNGに適用されるローディングアームジョイント手法の適用を進める。

③褐炭ガス化技術の開発

実証試験により前処理設備を含んだ褐炭ガス化適用性を確認する。また、事業化に向け実証試験結果を踏まえた運用方法の検討を行い、大型化に向け検討を進める。

④規格、基準類の整備

液化水素運搬船、荷役基地、ローディングアーム等の規格・基準類の整備に取り組む。

⑤商用化検討の推進

発電事業者、エネルギー商社などとビジネスモデルの精密化を図ると共に、産官連駅による水素発電事業成立の環境醸成を推進する。

5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2015/12/03	環境委員会主催講演会	CO2 フリー水素導入 構想への取り組み	川崎重工業(株) 西村元彦
2	2015/12/17	千葉市 地球環境保全セミナー	水素社会の実現に向けた取り組み	川崎重工業(株) 千代亮
3	2015/12/17	神戸市議会	水素エネルギーサプライチェーン実現への取り組み	川崎重工業(株) 原田英一
4	2016/1/8	国土交通省 海事局 環境政策課	CO2 フリー水素導入 構想と技術開発	川崎重工業(株) 西村元彦
5	2016/1/17	近畿地区7高専連携シンポジウム	水素チェーン構想と 安全への取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
6	2016/1/19	東北再生可能エネルギー研究会 平成27年度総会・講演会 ～東北地方での水素利用を考える～	CO2フリー水素導 入構想と技術開発	川崎重工業(株) 洲河誠一
7	2016/1/26	兵庫県 次世代産業雇用創造 プロジェクト/水素関連産業市場への企業参入支援事業 水素社会実現に向けたサプライチェーンの動向と課題	水素エネルギーサプライチェーン 実現への取り組み	川崎重工業(株) 西村元彦
8	2016/2/3	水素先端世界フォーラム2016	Kawasaki Hydrogen Road	川崎重工業(株) 西村元彦
9	2016/2/6	I2CNER International Workshop	IMPORT of LOW-CARBON HYDROGEN from OVERSEAS	川崎重工業(株) 西村元彦
10	2016/2/9	第10回 イワタニ水素エネルギーフォーラム 大阪	水素エネルギー導入 と水素ガスタービン 発電の 実現に向けた川崎重 工の取組み	川崎重工業(株) 山崎 徹
11	2016/2/10	第199回FKT会	川崎重工業の水素社 会への取り組み	川崎重工業(株) 西村元彦
12	2016/2/12	海事における将来技術とファイナンスに関するセミナー	Hydrogen Supply Chain with Long	川崎重工業(株) 洲河誠一

			Distance Transport	
13	2016/2/18	日本計画研究所（J P I）エグゼクティブセミナー	世界に先んじて水素サプライチェーン構築を目指す川崎重工のチャレンジ	川崎重工業(株) 西村元彦
14	2016/3/1	「次世代エネルギー社会の行方」	水素エネルギーの本格実用化を担う、水素サプライチェーン・インフラ技術	川崎重工業(株) 西村元彦
15	2016/3/2	FC EXPO 基調講演	水素エネルギーサプライチェーン 実現への取り組み	川崎重工業(株) 原田英一
16	2016/3/9	神戸商工会議所 ビジネスマッチングフェア 2016	「水素社会への取り組み～業界参入に向けて求められること～」	川崎重工業(株) 西村元彦
17	2016/4/11	Global Energy Village	How Japan is Building its Green (Hydrogen) Value Chain	川崎重工業(株) 洲河誠一
18	2016/4/21	FEE 活動説明会	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた取り組み	川崎重工業(株) 千代亮
19	2016/5/23	かがわエネルギーフォーラム	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 洲河誠一
20	2016/5/23	東海圏開発プロジェクト分科会	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 山本 滋
21	2016/5/31	Tekna's Small Scale LNG conference, Norway	Kawasaki Heavy Industries activity for realizing the hydrogen society	川崎重工業(株) 千代 亮

22	2016/6/3	神戸市・水素エネルギー講演会	「水素をつくる・はこぶ・ためる・つかう」～水素エネルギーが普及する未来の社会～	川崎重工業(株) 西村元彦
23	2016/6/3	中部地区ボイラー・タービン主任技術者会	CO2 フリー水素サプライチェーン実現に向けた取組み	川崎重工業(株) 吉村健二
24	2016/6/17	第 8 回 神戸ものづくり中小企業展示商談会	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 洲河誠一
25	2016/6/29	関西大学創立 120 周年記念事業シンポジウム 日本とエネルギーの未来を考える	持続可能な社会に向けた水素エネルギーの活用と展開について～新たなエネルギー・オプションへの挑戦～	NIRO 牧村実
26	2016/7/12	日経イノベーションフォーラム	CO2 フリー水素サプライチェーン構想実現への取組み	川崎重工業(株) 原田英一
27	2016/7/19	「広域関東圏水素・燃料電池連携」キックオフシンポジウム	クリーン水素エネルギーサプライチェーン実現に向けた川崎重工の取組	川崎重工業(株) 西村元彦
28	2016/7/20	CCT ワークショップ 2016	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 洲河誠一
29	2016/7/21	第 132 回 「全国経営者セミナー」	水素エネルギーサプライチェーンの本格稼働を目指して！ー 2020 年～パイロット実証開始ー	川崎重工業(株) 西村元彦
30	2016/7/29	FCCJ : CO2 フリー水素セミナー	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 千代亮

31	2016/8/3	東京都次世代イノベーション2020	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組	川崎重工業(株) 松本俊一
32	2016/8/4	160804 マテリアルズ・テラリング研究会	Toward Realization of a Hydrogen Energy Supply Chain	川崎重工業(株) 洲河誠一
33	2016/8/25	公益財団法人原総合知的通信システム基金主催特別セミナー	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組	川崎重工業(株) 松本俊一
34	2016/9/2	IMO CCC3 Work Shop	Safety Measures in Design of Liquefied Hydrogen Carriers	川崎重工業(株) 加賀谷博昭
35	2016/9/14	兵庫県次世代産業雇用創造プロジェクト	新たなエネルギーオプション「水素」の導入と次世代成長産業への展開	NIRO 牧村実
36	2016/9/29	日本船舶海洋工学会(関西船舶海洋流体力学研究会)	液化水素運搬船について	川崎重工業(株) 孝岡祐吉
37	2016/10/5	炭素隔離リーダーシップフォーラム (CSLF) 年次会合	CO2-Free Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 千代亮
38	2016/10/14	高分子学会 水素・燃料電池材料研究会	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組	川崎重工業(株) 千代亮
39	2016/10/17	The 11 th National Conference on Hydrogen Energy and Fuel Cells in National Taipei University of Technology, Taiwan.	Import to Low-Carbon Hydrogen from Oversea	川崎重工業(株) 千代亮
40	2016/10/28	METI 長期温暖化対策プラットフォーム「海外戦略タスクフォース」第2回会合	海外連携による水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた取組	川崎重工業(株) 西村元彦
41	2016/11/10	全国空港ビル協会技術研修会	水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組	川崎重工業(株) 原田英一

42	2016/11/11	イワタニ水素エネルギーフォーラム周南	水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 山本滋
43	2016/11/15	SIGTTO Japan Regional Forum	Safety Considerations for Design of Pilot Liquefied Hydrogen Carriers	川崎重工業(株) 加賀谷博昭 孝岡祐吉 シエル Ahmer Saeed
44	2016/11/15	神戸市企業立地セミナー	水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 千代亮
45	2016/11/16	化学工学会関西支部 水素社会を目前にして	水素サプライチェーンの実現に向けた取組みについて	川崎重工業(株) 洲河誠一
46	2016/11/21	神戸地域ビジョン	水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 山本滋
47	2016/11/21	兵庫県試験・分析技術研究会	水素サプライチェーンの実現に向けた取組みについて	川崎重工業(株) 洲河誠一
48	2016/11/22	神戸エネルギーフォーラム	水素エネルギー利用社会の実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
49	2016/11/22	神戸市産業振興財団・水素クラスター勉強会	水素サプライチェーン構築実証事業における液化水素基地の概要と川崎重工業の取組み	川崎重工業(株) 山本滋
50	2016/11/25	触媒学会 水素の利用と製造のための触媒技術研究会	水素エネルギーサプライチェーン実現に向けた取組み	川崎重工業(株) 洲河誠一
51	2016/11/28	第1回日豪炭素資源有効利用シンポジウム	Toward Realization of a Hydrogen Energy Supply Chain	川崎重工業(株) 長谷川卓
52	2016/12/9	自動車技術会 関東支部講演・講習会	水素エネルギーサプライチェーン実現への取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
53	2016/12/9	第61回日本エネルギー学会関	水素をつくる・はこ	川崎重工業(株)

		西支部合同研究発表会講演会	ぶ・ためる・つかう	原田英一
54	2016/12/16	日本エネルギー学会 第3回水素エネルギー講演会	海外からの液化水素 サプライチェーン構 築への取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
55	2017/1/19	神戸生産技術研究会	将来のエネルギーオ プション「水素」の導 入と次世代成長産業 への展開	NIRO 牧村実
56	2017/1/23	日本機械学会・関東支部 水素社会に向けた取組みの最前 線	液化水素サプライチ ェーン実現に向けた 取組み	川崎重工業(株) 洲河誠一
57	2017/1/26	Ship-CORE セミナー	液化水素運搬船につ いて	川崎重工業(株) 孝岡祐吉
58	2017/1/27	山形県新エネルギー産業事業 化促進協議会主催セミナー	CO2 フリー水素サプ ライチェーンプロジ ェクトと関連製品の 開発	川崎重工業(株) 千代亮
59	2017/1/29	日本科学未来館サイエンティ スト・トーク	液化水素サプライチ ェーン実現に向けた 取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
60	2017/2/17	神戸の地域エネルギーを未来 に繋ぐ懇談会	水素エネルギー利用 社会の実現に向けた 取組み	川崎重工業(株) 洲河誠一
61	2017/2/28	ノルウェーセミナー	Long distance transportation of LH2	川崎重工業(株) 西村元彦
62	2017/3/17	日本化学会春季年会	液化水素による水素 の大量輸送技術	川崎重工業(株) 神谷祥二
63	2017/3/31	RITE 無機膜研究センター 産業化	水素エネルギーサプ ライチェーン実現に 向けた川崎重工の取 組み	川崎重工業(株) 松本俊一
64	2017/5/26	第24回燃料電池シンポジウム	CO2 フリー水素サプ ライチェーン実現へ の川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
65	2017/6/26	東京工業大学 GHEC 第6回ワークショップ	国際液化水素サプ ライチェーン実現への 取組み	川崎重工業(株) 西村元彦

66	2017/6/28	日本計画研究セミナー	世界初として着手した「液化水素サプライチェーン公知」の進歩と20年を目指した国内外連携プロジェクトの展開	川崎重工業(株) 西村元彦
67	2017/6/21	CCT ワークショップ	水素エネルギーサプライチェーン実現への取組み	川崎重工業(株) 千代亮
68	2017/5/17	5 th International Workshop on Hydrogen	Introduction of Liquefied Hydrogen Energy Supply Chain Pilot Project in Japan	川崎重工業(株) 長谷川卓
69	2017/7/9 ~7/12	World Hydrogen Technology Convention 2017	Research and development of temperature sensor for an ocean-going liquid hydrogen carrier	産総研
70	2017/8/16	日経新聞	from LABO	日経新聞(取材記事)
71	2017/8	EMIRA	未利用資源をエネルギーに！安定供給に向けた水素サプライチェーン構想	EMIRA (Web 取材記事)
72	2017/8/3	電事連第3回水素技術検討会	水素サプライチェーン構築に向けた取組みについて	電源開発 大畑博資
73	2017/8/30	経産新報	水素エネルギーの社会実装を目指す水素サプライチェーン構想	経産新報(取材記事)
74	2017/9/5	The 2017 INTERNATIONAL PYMPOSIUM on "Hydrodynamics Testing Facility for Supporting Indonesia Maritime Industry"	The Role of NMRI to the Japanese Shipbuilding Industries	海上技術安全研究所 谷澤克治

75	2017/9/21	化学工業学会第 49 回秋季大会 環境部会シンポジウム	水素エネルギーサプ ライチェーンの実現 に向けた取組み	川崎重工業(株) 洲河誠一
76	2017/9/13	2017 Saudi Aramco-JCCP Symposium on the Global Perspective of the hydrogen	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 西村元彦
77	2017/9/8	国際フロンティア産業メッセ 2017	水素サプライチェーン の実現に向けた川 崎重工の取組み	川崎重工業(株) 原田英一
78	2017/9/18	ガスエネルギー新聞	クローズアップ	ガスエネルギー 新聞 (取材記事)
79	2017/9/26	NEDO フォーラム 2017in 兵庫	水素サプライチェーン の実現に向けた取 組み	川崎重工業(株) 西村元彦
80	2017/10/7	神戸空港ターミナル講演会	国際水素サプライチ ェーンの実現向け た川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 山本滋
81	2017/10/25	第 9 回よこはま水素エネルギー 協議会セミナー	国際水素サプライチ ェーンの実現向け た川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 山本滋
82	2017/10/11	第 17 回九州低炭素システム研 究会	未利用褐炭由来大規 模海上輸送サプラ イチェーン構築実証事 業について	川崎重工業(株) 原田英一
83	2017/10/12	CEA TECH DAYs	Toward Realization of a Hydrogen Energy Supply Chain	川崎重工業(株) 長谷川卓
84	2017/11/13	Hydrogen Council Annual CEO Meeting	Roadmap toward a hydrogen economy	Hydrogen Council
85	2017/10/19	台日水素フォーラム	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 西村元彦
86	2017/11/14	JST/ISAS 水素シンポジウム	国際水素サプライチ ェーン実現への取組 み	川崎重工業(株) 千代亮
87	2017/11/22	日本船舶機関士協会 技術講 演会	水素エネルギーサプ ライチェーン全般と 液化水素運搬船開発	川崎重工業(株) 山本滋 稲津晶平

			&燃料電池船の照会	
88	2017/11/13	Hydrogen Council Annual Meeting	Production of CO2-free H2, transcontinental LH2 transport, H2-based power generation	川崎重工業(株) 金花社長
89	2018/1/25 ~1/26	エネルギー資源学会 第34回エネルギーシステム・ 経済・環境コンファレンス	水素液化貯蔵システムの開発	川崎重工業(株) 山下誠二
90	2017/12/10	神戸の地域エネルギーを未来 につなぐシンポジウム	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み および神戸における 実証プロジェクトについて	川崎重工業(株) 原田英一
91	2018/1/25	高温ガス炉プラント研究会 第12回定期講演会	来るべき水素社会へ 向けて	川崎重工業(株) 西村元彦
92	2018/2/1	水素エネルギー推進セミナー	脱炭素社会へ貢献する 国際水素サプライ チェーン技術実証へ の取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
93	2018/2/7	平成29年度中小造船所・船用 工業経営技術セミナー	水素で拓く海事産業 の未来	川崎重工業(株) 稲津晶平
94	2018/2/9	近畿地区自治体ボイラータ ーピン主任技術者会議	国際水素サプライチ ェーンの実現に向 けた川崎重工の取組	川崎重工業(株) 長谷川卓
95	2018/2/13 2018/4/17	第12回イワタニ水素エネルギ ーフォーラム	未利用褐炭由来大規 模海上輸送サプラ イチェーン構築実証 事業への取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
96	2018/2/20	堺市水素エネルギー社会推進 協議会セミナー	国際水素サプライチ ェーンの実現に向 けた川崎重工の取組	川崎重工業(株) 山本滋
97	2018/3/1	バーデン・ヴェルテンベルグ州 経済振興公社主催意見交換会	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工号(株) 山本滋
98	2018/3/1	第2回次世代火力展	低炭素から脱炭素社 会に向けた次世代火	川崎重工業(株) 西村元彦

			力発電システムの最新事例	
99	2018/3/1	IEA 先端燃料に関する技術協力プログラム運営会議	KHI's Activity for International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 吉村健二
100	2018/3/2	甲南新素材フロンティア研究プロジェクト第1回公開シンポジウム	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工業の取り組み	川崎重工業(株) 山本滋
101	2018/3/2	Global Warming and Decarbonization 4 th International Symposium	Development of Overseas Energy Carrier with Liquid Hydrogen	川崎重工業(株) 千代亮
102	2018/3/9	第51回神戸ラスキン会	国際水素サプライチェーンの構築について	川崎重工業(株) 山本滋 稲津晶平
103	2018/3/23	Workshop Hydrogen Economy March 23	KHI's Activity for International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 長谷川卓
104	2018/4/3	神戸市、ハンブルグ市、フロンニンゲン州 環境・エネルギーセミナー	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 西村元彦
105	2018/4/10	第27回 Gas Conference	Liquefied Hydrogen Supply Chain and Carrie Ship to Realize Hydrogen	川崎重工業(株) 森本勝哉
106	2018/4/10	第6回 GS+I 公開セミナー	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組	川崎重工業(株) 千代亮
107	2018/4/18	18 th Annual Global Energy Village	International Liquefied Hydrogen Supply chain	川崎重工業(株) 千代亮
108	2018/4/19	豪州プロジェクト開始記念ミーティング	KHI's portion in the Pilot Hydrogen Energy Supply Chain Project	川崎重工業(株) 原田英一
109	2018/4/25	第12回日独経済フォーラム	KHI Activity for	川崎重工業(株)

			Hydrogen Supply Chain	長谷川卓
110	2018/5/9	The Annual Asia Pacific CCS Forum	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 重清秀雄
111	2018/5/10	水素エネルギー政策国際会議 (IPHE)	—	川崎重工業(株) 原田英一、 西村元彦
112	2018/5/30	水素・再生エネルギー社会の新事業創出フォーラム	日豪液化水素サプライチェーン構築への取組と技術開発	川崎重工業(株) 西村元彦
113	2018/6/4		国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 千代亮
114	2018/6/10	The International Society of Offshore and Polar Engineering 2018(ISOPE)	Clarification of Hazardous Areas Applied to Newly Developed Liquefied Hydrogen Carrier	川崎重工業(株) 孝岡祐吉
115	2018/6/20	22th World Hydrogen Energy Supply Chain	KHI Activity for Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 長谷川卓
116	2018/6/20	クリーンコールテクノロジーワークショップ 2018	豪州褐炭からの水素製造技術	電源開発(株) 小俣浩次
117	2018/6/22	環境・エネルギービジネス研究会	「国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み～豪州産褐炭水素プロジェクト・神戸水素発電実証事業を例に～」	川崎重工業(株) 西村元彦
118	2018/6/26	第 39 回スマートグリッド/スマートコミュニティー研究会	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 山本滋
119	2018/6/28	(一社) 日本高圧技術協会技術セミナー	国際水素サプライチェーン実現への取組	川崎重工業(株) 川越英司
120	2018/7/11	日本計画研究所セミナー	『国際水素サプライチェーン構築』2020	川崎重工業(株) 西村元彦

			年を目指した国内外連携プロジェクトパイロット実証の進捗と今後の展開	
121	2018/7/12	中国訪問団神戸スマコミ見学講演	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 山本滋
122	2018/7/13	燃料電池・FCH 部会 第 252 回定例研究会	国際液化水素チェーン実現への取組みと水素ガスタービンの開発状況	川崎重工業(株) 西村元彦
123	2018/7/24	日経社会イノベーションフォーラム	—	川崎重工業(株) 原田英一
124	2018/7/24	日経社会イノベーションフォーラム	—	岩谷産業(株) 宮崎淳
125	2018/8/9	第 1 回水素・燃料電池関連産業セミナー	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 山本滋
126	2018/9/6	JEMA 第 96 回新エネルギー講演会	—	川崎重工業(株) 西村元彦
127	2018/9/18	37 th ISO TC8 Plenary	Standardization of transfer arms for marine transportation of liquefied hydrogen	川崎重工業(株) 猪俣昭彦
128	2018/9/21	3 rd Workshop on Hydrogen Cryogenics 2018	Toward development of the large scale liquefied hydrogen transportation and storage technology	川崎重工業(株) 中土洋輝
129	2018/9/26	関西 水素・燃料電池展 特別講演	交際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 山本滋
130	2018/10/3	第 1 回水素等次世代エネルギーの動向と将来展望	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 山本滋
131	2018/10/10	International for Cool Earth Forum(ICEF)	International Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 西村元彦

132	2018/10/24	第2回液化水素技術国際ワークショップ	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	HySTRA 西村元彦
133	2018/10/15	Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF)	Hydrogen from brown coal with CCS Australia / Japan collaboration	川崎重工業(株) 吉野泰
134	2018/10/19	IEA GHG 54 th Executive Committee	Osaki Coolgen Project update and Hydrogen Energy Supply Chain Project Overview	電源開発(株) 本江誠治
135	2018/10/25	IEA GHGT-14	Hydrogen Energy Supply Chain Project in Collaboration with CarbonNet Project	川崎重工業(株) 原田英一
136	2018/10/25	北陸技術交流テクノフェア2018	川崎重工業が目指す未来、ものづくり企業の可能性	川崎重工業(株) 社長 金花芳則
137	2018/11/5	HESS 第157回定例研究会	液化水素運搬船の国際安全基準の策定	川崎重工業(株) 社長 金花芳則
138	2018/11/6	H30 福岡水素エネルギー戦略会議人材育成セミナー	国際水素サプライチェーン構築に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 千代亮
139	2018/11/7	SIGTTO Asia Pacific Regional Forum	Safety Consideration for Operation of Pilot LH2 Shore Loading Arm System	Shell Japan Ltd. Ahmer Saeed
140	2018/11/17	第1回水素エネルギーテクノシンプोजウム	水素の製造・貯蔵・輸送・利用に至る国際サプライチェーン構築への取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
141	2018/11/19	第3回脱炭素社会における水素・FCVの可能性	国際水素サプライチェーン構築に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
142	2018/11/28	いばらき水素利用シンプोजウム	未利用褐炭水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業1業への取組み	HySTRA 東 達弘

143	2018/12/8	海事産業説明会 2018	造船業界の現状と今後の展望	川崎重工業(株) 西山五郎
144	2019/1/19	エネルギーに関するワークショップ	水素サプライチェーン構築実証事業	川崎重工業(株) 足利 貢
145	2019/1/24	生産技術振興会アライアンス委員会 未来エネルギー分科会・街づくり分科会共済講演会	水素社会構築に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
146	2019/1/25	堺市水素エネルギー社会推進協議会セミナー	—	岩谷産業(株) 繁森 敦
147	2019/1/28	Workshop on Carbon-Free Hydrogen and Ammonia with CCS	Power Generation Decarbonization Efforts with CO2 Free Hydrogen and Ammonia	電源開発(株) 大畑博資
148	2019/1/29	九州水素・燃料電池フォーラム	豪州褐炭由来水素サプライチェーンパイロット実証	岩谷産業(株) 繁森 敦
149	2019/2/15	兵庫県電気協会姫路支部第5回技術講習会	水素エネルギー社会実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 吉山 孝
150	2019/2/26	Japan-Norway Hydrogen Seminar 2019	International Hydrogen Supply Chain and Hydrogen Gas Turbine	川崎重工業(株) 森本勝哉
151	2019/2/28	第15回国際水素・燃料電池展専門技術セミナー	褐炭由来水素サプライチェーン構築への取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
152	2019/3/6	Liquid Hydrogen Workshop	Large Scale LH2 Chain Project & Gas Turbine Demonstration	川崎重工業(株) 森本勝哉
153	2019/3/6	Hydrogen Production, Storage and Refueling Station Technology Forum 2019	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 重清秀雄
154	2019/3/21	2018年度日本台湾技術交流会	水素社会構築に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 石川勝也
155	2019/3/25	Stanford Hydrogen Economy Workshop	International Liquefied Hydrogen	川崎重工業(株) 石川勝也

			Supply Chain and Related Cryogenic Technology	
156	2019/3/26	第 8 回フレンドシップサロン	持続可能なエネルギー社会へ 水素サプライチェーン構築に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 山本滋
157	2019/3/26	Hydrogen Energy Summit	The Hydrogen Energy Supply Chain (HESC) - Project Overview -	電源開発(株) 本江誠治 川崎重工業(株) 川副洋史
158	2019/5/31	The APAC CCS Forum 6 th 2019	The Hydrogen Energy Supply Chain Project	川崎重工業(株) 吉野泰
159	2019/5/31	ISO TC8/SC2 年次総会	Standardization of Transfer Arms for Marine Transportation of Liquefied Hydrogen	川崎重工業(株) 石川勝也
160	2019/6/4	WHTC 2019	International Liquefied Hydrogen Supply Chain and Hydrogen Gas Turbine	川崎重工業(株) 西村元彦
161	2019/7/10	第 14 回再生利用エネルギー世界展来会&フォーラム	国際水素サプライチェーン構築への取り組み	川崎重工業(株) 千代亮
162	2019/7/22	エコマテリアル・フォーラム 年会シンポジウム	国際液化水素サプライチェーン構築に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 石川勝也
163	2019/7/24	日経社会イノベーションフォーラム	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 原田英一
164	2019/8/7	第 3 回水素エネルギー産業勉強会	国際液化水素サプライチェーン構築に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 西村元彦

165	2019/8/20	日本計画研究所セミナー	「国際液化水素サプライチェーン構築」の進捗と今後の更なる展開について	川崎重工業(株) 西村元彦
166	2019/8/29	2019 Carbon Capture, Utilization, Storage, and Oil & Gas technology Integrated Review Meeting	Hydrogen Energy Supply Chain, from Australia to Japan	川崎重工業(株) 石川勝也
167	2019/9/10	第160回年齢制限のない若手勉強会	液化水素運搬船について	川崎重工業(株) 小村 淳
168	2019/9/10	クリーンコールデイ 2019	Technology Innovation for Coal Evolution	電源開発(株) 坂梨特別参与
169	2019/9/11	福岡県水素エネルギー人材育成センター技術者教育セミナー	水素ガスタービン発電の実現に向けた取り組み	川崎重工業(株) 西村元彦
170	2019/9/14	第16回関西伝熱セミナー	CO2フリー水素サプライチェーンと水素コージェネレーションシステムの開発状況	川崎重工業(株) 山口正人
171	2019/9/25	第2回水素閣僚会議	KHI's Activity for International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 社長 金花芳則
172	2019/9/25	第2回水素閣僚会議	Hydrogen Production by Coal Gasification	電源開発(株) 北村会長
173	2019/9/27	Regional Workshop on Green and Low Carbon Hydrogen Energy Shanghai, People's Republic of China	Hydrogen Energy Supply Chain Project	川崎重工業(株) 吉野泰
174	2019/9/27	Hydrogen Liquefaction & Storage Symposium, Perth	Development of the Large Scale Liquid Hydrogen value chain	川崎重工業(株) 神谷祥二
175	2019/10/8	第57回日豪経済合同委員会	New Partnership for the Future	川崎重工業(株) 社長 金花芳則

176	2019/10/17	トリパタイトミーティング（船級／船主／造船）の三団体の会合	Opportunities and Challenges for Maritime Transport of Liquefied Hydrogen in Bulk	川崎重工業(株) 孝岡祐吉 Shell Japan Ltd. Ahmer Saeed
177	2019/10/21	ICOPE-2019	International Conference on Power Engineering-2019	川崎重工業(株) 鈴木啓真
178	2019/11/16	海洋教育フォーラム	次世代エネルギー水素を運ぶ	川崎重工業(株) 稲津晶平
179	2019/11/18	Workshop on Hydrogen Production with CCS	The Hydrogen Energy Supply Chain - Project overview -	電源開発(株) 大畑博資
180	2019/12/3	Marintec China 2019 Senior Maritime Forum	Kawasaki's cooperation with China in maritime industry and Kawasaki Hydrogen Road	川崎重工豪(株) 会長 村山滋
181	2019/12/12	大阪工研特別セミナー	国際水素サプライチェーン構築と水素ガスタービン開発への取り組み	川崎重工業(株) 吉山 孝
182	2020/1/7	10th ACASC / 2nd Asian ICMC / CSSJ joint conference	Development of a large scale liquid hydrogen energy value chain	川崎重工業(株) 神谷祥二
183	2020/1/15	Energy Workshop ADNOC & JCCME	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 千代亮
184	2020/1//29	ひょうご次世代産業高度化プロジェクト／水素等次世代エネルギー・環境分野参入促進事業 第3回セミナー	国際水素サプライチェーン構築に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 新道憲二郎
185	2020/2/25	Japan-Norway Hydrogen Seminar 2020	Status of the Hydrogen Energy Supply Chain Project	川崎重工業(株) 森本勝哉
	2020/2/25	Hydrogen Energy Between	Update on the Brown	川崎重工業(株)

		Japan and Netherland	Coal Hydrogen Energy Supply Chain Project between Japan and Australia	吉野 泰
186	2020/3/2	日船工第2回 GHG ゼロエミッションワークショップ	液化水素運搬船の技術	川崎重工業(株) 稲津晶平
187	2020/3/6	日本マリンエンジニアリング学会 第64回特別記念講演	液化水素運搬船の技術	川崎重工業(株) 稲津晶平
188	2020/5/15	日経 SDGs フェス講演会	Jパワーにおける水素の取組み	電源開発(株) 笹津浩司
189	2020/5/15	日経社会イノベーションフォーラム	国際水素サプライチェーンの実現に向けた取組み	川崎重工業(株) 原田英一
190	2020/6/30	水素社会実現に向けたサプライチェーンの構築と展望	水素社会実現に向けたサプライチェーンの構築と展望	川崎重工業(株) 稲津晶平
191	2020/7/9	グローバル CCS インスティテュート日本事務所主催第32回勉強会	国際水素サプライチェーンの実現に向けた取組み	川崎重工業(株) 重清秀雄
192	2020/9/9	日本冷凍空調学会 年次大会	国際水素サプライチェーン構築への取組み	川崎重工業(株) 井上健司
193	2020/9/9	クリーンコールディ	Technology Development for Energy Transitions	電源開発(株) 村山 均
194	2020/9/10	クリーンコールディ	International Liquefied Hydrogen Supply Chain Utilizing Brown Coal	川崎重工業(株) 原田英一
195	2020/9/30	日本伝熱学会関西支部 第27期第1回特別講演	国際水素サプライチェーン構築への取組み	川崎重工業(株) 井上健司
196	2020/10/6	日計画研究所セミナー	「水素サプライチェーン」の技術開発及び世界初:日豪パイロット実証プロジェクトの進展と商用への道筋	川崎重工業(株) 森本勝哉

197	2020/10/7	Tokyo Back-to-Business Program Series 2020	Way to Decarbonization Kawasaki Hydrogen Road	川崎重工業(株) 会長 金花芳則
198	2020/10/16	第36回日エネルギー学会関西セミナー	国際水素サプライチェーン構築への取り組み 日本初の水素液化機の開発	川崎重工業(株) 松田吉洋

－文献等、その他－

1	2016年6月号	「時評」(座談会)	水素を使って、まちの電力発電を実現へ	川崎重工業(株) 村山滋
2	2016年7月号	「日本ガスタービン学会誌」	水素サプライチェーンと水素発電	川崎重工業(株) 西村元彦、饒雅英、神谷祥二
3	2017年6月号	「エネルギーフォーラム」	次世代「CO2フリー」水素社会の実現を目指して	川崎重工業(株) 西村元彦
4	2017年5月号	「Class NK magazine 80号」	Guideline for a hydrogen powered future	日本海技技術
5	2017年12月号	「投資経済」	資源エネルギー特集 -水素実用化に向けた実証試験への準備加速-	投資経済社
6	2018年1月号	「電気論評」	豪州褐炭水素プロジェクトの取り組み	電源開発(株) 村山副社長
7	2017/11/11	「技術士・ひょうご95号」	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 原田英一
8	2018年2月号	「KAIUN」	CO2フリー水素チェーンの実現が将来の地球温暖化に大きく寄与	川崎重工業(株) 西村元彦 河合宗一
9	2018年2月	「ハイドリズム Vol.8」	褐炭由来水素は、水素社会のキックスター	川崎重工業(株) 西村元彦
10	2018年3月号	「Wedge」	胎動する CO2フリー	電源開発(株)

			水素サプライチェーン	小俣浩次
11	2018年4月号	「月刊エコロジー」		川崎重工業(株) 西村元彦
12	2018年5月号	「エネルギー・資源」	国際液化水素サプライチェーンの技術構築の現状	川崎重工業(株) 西村元彦
13	2018年6月号、7月号	「時評」	国際液化水素サプライチェーン実現への取組	川崎重工業(株) 会長 村山滋
14	2018年10月	「水素の製造、輸送・貯蔵技術と材料開発、劣化対策」 技術情報協会編	「液化水素の輸送・貯蔵技術の研究開発動向」	川崎重工業(株) 猪俣昭彦
15	2018年10月	「水素利用技術集成 vol.5 ー施設の安全性と国際規格ー」	液化水素運搬船の開発と安全対策	川崎重工業(株) 加賀谷博明 HySTRA 孝岡祐吉
16	2019年1月号	溶接学会誌	日豪水素サプライチェーン構築への取組み	川崎重工業(株) 西村元彦 山本滋、熊本秀喜
17	2019年5月号	月刊環境管理	国際 CO2 フリー水素サプライチェーン構築に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
18	2019/10/21	ICOPE-2019	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 鈴木啓真
19	2019年9月	日本マリンエンジニアリング学会誌 54巻5号	液化水素運搬船の技術	川崎重工業(株) 稲津晶平
20	2020年3月頃	Mechanical Engineering Magazine	Hydrogen Energy Supply Chain for Decarbonization	川崎重工業(株) 西村元彦
21	2020年3月	Mechanical Engineering Magazine 3月号	Hydrogen Energy Supply Chain for Decarbonization	川崎重工業(株) 西村元彦
22	2020年3月	エネルギー・資源 3月号	液化水素運搬船「すいそふろんていあ」命名・進水式報告	川崎重工業(株) 八木さやか
23	2020年3月	ENAA2019 年度エネルギー	地域活性化し資する	川崎重工業(株)

		ー・環境研究部会報告書	持続可能なエネルギー・環境エンジニアリングの調査研究	横山 稔
24	2020年5月	エネルギー・資源 5月号	液化水素による国際水素サプライチェーンの紹介	川崎重工業(株) 新道憲二郎
25	2020年5月	エネルギーと動力 5月号	未利用褐炭由来水素サプライチェーン実証プロジェクトの進捗状況について	HySTRA 東 達弘 川崎重工業(株) 橋本成樹 電源開発(株) 黒木貴士
26	2020年6月	Cryogenics	Development of fiber Bragg grating strain sensor with temperature compensation for measurement of cryogenic structures	川崎重工業(株) 白土 透 今井達也
27	2020年8月	電気学会誌	日豪水素サプライチェーンの構築	川崎重工業(株) 西村元彦
28	2020年8月	時評 8月号	液化水素運搬船でサプライチェーンを担う	川崎重工業(株) 村岸 治
29	2020年9月	川崎重工技報 第182号	ー	川崎重工業(株) 技術開発本部
30	2020年9月	港湾荷役 9月25日号	ー	川崎重工業(株) 八木さやか 平 純考 吉村健二
31	2020年10月	季刊誌じば 2020年秋号	わが社のこだわり「川崎重工業」	川崎重工業(株) 福岡 誠

ー特許等ー

No.	出願日	出願番号	発明の名称	会社名
1	2016/2/12	PCT/JP2016/000750	船用二重殻タンク	川崎重工業
2	2017/2/8	2017-021257	断熱構造	川崎重工業
3	2017/6/6	2017-111749	ガス放出システム	川崎重工業

4	2017/6/6	2017-111750	ガス放出システム	川崎重工業
5	2017/6/6	2017-111751	液化ガス運搬船	川崎重工業
6	2017/6/6	2017-111752	ガス漏洩検知システム 及びガス漏洩検知方法	川崎重工業
7	2017/10/16	2017-200327	二重殻タンク及び船舶	川崎重工業
8	2018/3/2	2018-037207	船舶	川崎重工業
9	2018/3/2	2018-037208	二重殻タンク及び液化ガス運搬船	川崎重工業
10	2018/3/6	2018-039576	液化水素運搬船及び船体保護方法	川崎重工業
11	2018/12/28	2018-247352	船舶	川崎重工業
12	2020/3/30	2020-061456	液化ガス貯留船	川崎重工業
13	2020/4/1	2020-072352	船舶	川崎重工業
14	2020/5/25	2020-090259	ベントマスト	川崎重工業

(Ⅱ-②)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証)」

助成先：次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合

● 成果サマリ (実施期間：2015年度～2020年度終了予定)

- ・水素化プラント関連：商業規模へのスケールアップが問題ないことを確認できた。
- ・脱水素プラント関連：商業規模へのスケールアップが問題ないことを確認できた。
- ・サプライチェーン運用関連：第2期については水素源・需要地それぞれプラントを建設、運用開始し、各種データを取得中。

● 背景/研究内容・目的

将来の水素需要に対応可能な、海外の未利用資源から製造した水素を有機ケミカルハイドライド法により大量に輸送するサプライチェーンの実証運用を行う。第1期、第2期から構成され、第1期ではサプライチェーンの運用に必要な基盤技術の検証を①水素化プラント、②脱水素プラント、③サプライチェーン全体運用の3つの領域にて進める。合わせて、実証運用チェーンの適切な規模・形態・実施時期について検討する。第2期では第1期の成果を活かして、実証チェーンの運用し、技術・非技術両面での課題抽出と対応策検討を行うことで基盤技術の深耕を目指す。

● 研究目標

実施項目	目標
水素化プラント関連	コンピュータシミュレーション/実証運転を通じて、大型反応器設計手法の確立。不純物除去の設備仕様の確定。
脱水素プラント関連	コンピュータシミュレーション/実証運転を通じて大型反応器設計手法の確立、負荷追従検討、商業用触媒製造工程における主要管理指標の確立。
サプライチェーン運用関連	シミュレーション/実証運転を通じて汎用トルエンの利用可能性検討、負荷変動への対応方法明確化、チェーン全体の信頼性確認、設備構成の確認

● 実施体制及び分担等



千代田化建設・三菱商事・三井物産・日本郵船にて次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合を設立し、実証事業の遂行を担う。

● これまでの実施内容／研究成果まとめ

実施項目	実施内容	研究成果	自己評価
水素化プラント関連	コンピュータシミュレーションを用いて反応器内部の温度・流速を解析。シミュレータを用いて不純物除去の設備仕様を検討する。	商業規模へのスケールアップが問題ないことを確認できた。	△ (2021年1月達成予定)
脱水素プラント関連	コンピュータシミュレーションを用いた大型反応器設計手法の確立、動的シミュレーションにて負荷追従検討、商業用触媒製造工程における主要管理指標の確立。	商業規模へのスケールアップは可能であることが確認できた。	△ (2021年1月達成予定)
サプライチェーン運用関連	汎用トルエンの利用可能性検討、シミュレーションによるチェーン全体の信頼性確認、設備構成の確認、第2期の適切な規模・形態・実施時期の検討	汎用トルエン利用可能性検討は継続中、第2期について運用中、各種データ取得中	△ (2021年1月達成予定)

● 今後の課題

第1期の成果を活かして第2期では実証チェーンの運用を行い、技術・非技術両面での課題抽出と対応策検討を行うことで基盤技術の深耕を目指す。2ndチェーン以降の事業化に向けた礎を築く。

● 実用化・事業化の見通し

第1期の成果により、プロトタイプサプライチェーンの構築については一定の目処が得られたと考えられる。その先のゴールである大規模商業水素サプライチェーンの実現に向けては (1) 信頼性の確立、(2) コストの低減、(3) 市場環境の醸成の3要件が必要と考える。

- (1) 信頼性の確立
第2期におけるチェーン運用にて課題抽出と対応策検討を行い、需要家のニーズに適合した信頼性の高い水素サプライチェーンの構築・運用を実現する為、技術的基盤が確立するものと期待される。
- (2) コストの低減
a. チェーン形態・規模の適正化によるスケールメリット最大化
b. 触媒改良による輸送効率向上・操業費用低減
c. 熱インテグレーション・排熱利用等による熱コスト低減

- (3) 市場環境の醸成
実証チェーン運用を通じて、社会に対しての課題提起を関係者とともに継続的に行っていくたい

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	135	0

2020年10月9日現在

課題番号：Ⅱ-②

研究開発名：「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証」

1. 研究開発概要

水素発電の導入時の水素需要に対応可能な、安定的な大規模水素供給システムの確立を最終ゴールとし、海外の未利用資源から製造した水素を、有機ケミカルハイドライド法により消費地まで輸送するサプライチェーンの実証運用を行う。

研究は第1期、第2期から構成されるフェーズドアプローチにより進めることとし、第1期では最終ゴールにおけるサプライチェーンの運用に必要な基盤技術の検証を①水素化プラント、②脱水素プラント、③サプライチェーン全体運用の3つの領域において進めることとする。また、合わせて、実証運用チェーンの適切な規模・形態・実施時期について検討する。

第2期では第1期の成果を活かして、実際に実証チェーンの運用を長期（1年間程度）にわたりに行うと共に、同運用を通じて技術・非技術両面での課題抽出と対応策検討を行うことで基盤技術の深耕を目指す。

2. 研究開発目標

2.1 目標設定の考え方

第1期の研究開発目標は、前述の3領域（①水素化プラント、②脱水素プラント、③サプライチェーン全体運用）において、次の二つの観点から取組みテーマと目標を設定する。

チェーンの大規模化

有機ケミカルハイドライド法については、弊社子安リサーチパーク内の技術実証プラントにて基本的な技術検証が完了している。しかし、事業化に向けては数千倍程度への大規模化が必要となる為、これに資する技術開発テーマを設定する

エネルギー輸送チェーンの安定運用

前述の通りプラントとしては基本的な技術検証が完了しているが、エネルギー輸送チェーンとしての品質（例えば信頼性や負荷追従性）については、水素需要家のニーズに対応する為に改良・改善が必要と考えられる。これに資する技術開発テーマを設定する。

また、上記に加えて、第2期計画具現化の為の調査・検討についても別途テーマを設定する。設定したテーマ・目標については表1に示す4群にグルーピングする。

表1 テーマ・目標のグルーピング

群	説明	テーマ・目標数
①群	水素化プラントに関するもの	2
②群	脱水素プラントに関するもの	4
③群	チェーン全体運用に関するもの	3
④群	第2期計画具現化に関するもの	1

2.2 水素化プラントに関する研究目標（テーマ①群）

(1) 第1期では水素化プラントに関連しては表 2-1 に示した 2 つの目標を設定した。

表 2-1 ①群の設定目標

テーマ番号	テーマ名	設定目標
①-1	水素化スケールアップ検討	コンピュータシミュレーションにより反応器内部の温度・流速を解析、1 基あたり 10 万 Nm ³ /h 程度の水素化反応器において触媒管流速分布の偏りが概ね±5%程度に収まり、かつ反応熱除去が不十分な領域を生じさせない設計手法（形状の工夫、バフフルプレートの配置等）が確立していること。
①-2	不純物除去設備の仕様検討	商業チェーンにおける運転時に不純物濃度を安定的にコントロールする為に、不純物除去設備の設備仕様（機器構成、運転条件等）が明確になっていること。

①-1 の研究開発目標は化学プラント設計における経験則に基づき設定している。①-2 の研究開発目標は技術実証プラントの運転を通じ得られた知見に基づき設定している。また、H-1 の成果はチェーンの大規模化に、①-2 の成果はエネルギー輸送チェーンの安定運用に資する。

(2) 第2期 水素化プラントに関連しては表 2-2 に示した 2 つの目標を設定した。

表 2-2 ①群の設定目標

テーマ番号	テーマ名	設定目標
①-1	水素化スケールアップ検討	商用規模の水素化設備の設計手法の確立。
①-2	不純物除去設備の仕様検討	大規模水素チェーン向け不純物除去設備の設備仕様の明確化。

2.3 脱水素プラントに関する研究目標（テーマ②群）

(1) 第1期では脱水素プラントに関連しては表 3-1 に示した以下の 4 つの目標を設定した。

表 3-1 ②群の設定目標

テーマ番号	テーマ名	設定目標
②-1	脱水素スケールアップ検討	コンピュータシミュレーションにより反応器内部の温度・流速を解析、1 基あたり 10 万 Nm ³ /h 程度の脱水素反応器において触媒管流速分布の偏りが概ね±5%程度に収まり、かつ反応加熱が不十分な領域を生じさせない設計手法（形状の工夫、バフフルプレートの配置等）が確立していること。
②-2	負荷追従性向上策検討	コンピュータシミュレーションによりプラント各所の運転条件（温度・流量・圧力等）を解析、以下の想定需要要件において求められる負荷変動への対応方法（必要となる設備構成、運転方法等）が明確になっていること。 【想定需要要件】

		「ロードアップ 3.5%/分」および「ロードダウン 3.5%/分」 (脱水素プラントから事業用火力発電所への水素供給を想定)
②-3	水素純度向上 策検討	想定需要要件 (FCV 向け水素供給を想定し C1 換算 2ppm) に おいて求められる、水素純度への対応方法 (必要となる設備構 成、運転方法等) が明確になっていること。
②-4	触媒商業生産 課題検討	商業ラインにおいて脱水素触媒を製造した場合の性能が所定の 性能指標を満たし、触媒製造工程における主要管理指標が明ら かになっていること。 (試作用小規模設備製造品と同等)

②-1 の研究開発目標は化学プラント設計における経験則に基づき設定している。②-4 の研究開発目標は技術実証プラントの運転を通じ得られた知見に基づき設定している。②-2,②-3 の研究開発目標は文献調査・ヒアリング調査から想定した需要家ニーズに基づき設定しているが、②-2 に関してはタービンメーカーの知見も反映した目標設定となっている。

②-1、②-4 の成果はチェーンの大規模化に、②-2、②-3 の成果はエネルギー輸送チェーンの安定運用に資する。

(2) 第 2 期では脱水素プラントに関連しては表 3-2 に示した以下の 4 つの目標を設定した。

表 3-2 ②群の設定目標

テーマ番号	テーマ名	設定目標
②-1	脱水素スケールアップ検討	商用規模の脱水素設備の設計手法の確立。
②-2	負荷追従性向上策検討	想定需要要件における負荷変動への対応方法の明確化。
②-3	水素純度向上策検討	想定需要要件において求められる、水素純度への対応方法の明確化
②-4	触媒商業生産課題検討	商業生産設備での触媒製造で所定の性能指標を満たすことの確認。

2.4. サプライチェーン全体運用に関する目標 (テーマ③群)

(1) 第 1 期ではサプライチェーン全体運用の領域においては表 4-1 に示した 3 つの目標を設定する。

表 4-1 ③群の設定目標

テーマ番号	テーマ名	設定目標
③-1	商用トルエン 運転検証	汎用的に調達可能なトルエンを使用した場合も、所定の性能指標を發揮し、安定的なチェーンオペレーションが可能であることがデモプラントでの試験運転により確認されること。 水素チェーンに利用可能なトルエンのスペック（組成）が明確になっていること。
③-2	サプライチェーン設備 構成検討	サプライチェーン全体をモデル化したコンピュータシミュレーションにより、設備構成がチェーンの信頼性に与える影響を定量的に分析出来ていること。 需要家が求める信頼性を確保する為に適当な設備構成（タンクの容量・構成、タンカーのサイズ・隻数等）を検討する手法が確立されていること。
③-3	設備仕様・ オペレーション要件 検討	事業用発電設備と連携運転をする為に、次の事項が明確になっていること。 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 燃料ガス（天然ガス・水素ガスの混合気体）中の不純物の析出によるガスタービン燃焼機などへのガム状物質付着可能性の定量的評価手法 ✓ 脱水素プラントと発電タービンとの熱インテグレーション実施時の効果試算と課題

③-1の研究開発目標は技術実証プラントの運転を通じ得られた知見に基づき設定している。③-2、③-3の研究開発目標は文献調査・ヒアリング調査から想定した需要家ニーズに基づき設定しているが、③-3に関してはタービンメーカーの知見も反映した目標設定となっている。

また、③-1の成果はチェーンの大規模化に、③-2、③-3の成果はエネルギー輸送チェーンの安定運用に資する。

(2)第2期ではサプライチェーン全体運用の領域においては表 4-2 に示した4つの目標を設定した。

表 4-2 ③群の設定目標

テーマ番号	テーマ名	設定目標
③-1	商用トルエン 運転検証	商用トルエンで安定的なチェーンオペレーションが可能である事の検証
③-2	サプライチェーン 検討	最適な設備構成を検討する手法の確立。
③-3	発電燃料供給 チェーンとし ての設備仕 様・オペレー	①ガスタービン燃焼機等へのガム状物質付着の定量評価手法の確立。 ②脱水プラントと発電タービンとの熱インテグレーション効果試算。

	ション要件	
③-4	サプライチェーン効率化	反応器運転モードの最適化。経済性向上に資する運転方法の試行。

2.5 第2期研究計画立案の為の調査研究(テーマ④群)

また、前述までの3領域(①群、②群、③群)に亘る9つの研究目標に加えて、第2期研究計画の立案の為に表5に示した研究目標を設定する。

表5 ④群の設定目標

テーマ番号	テーマ名	設定目標
④-1	水素サプライチェーンの将来形態・第2期計画具現化	水素発電本格普及期における水素サプライチェーンの規模・形態・課題を整理する。課題整理の一環として水素供給コスト(含む脱水素反応熱※1の供給コスト)低減シナリオを策定する。 実証水素チェーン運用の為に、水素供給源、水素需要先、実証サイト等を選定する。

※1 脱水素反応熱:脱水素プラントにおける脱水素反応は吸熱反応であり、外部から熱を供給する。供給された熱は水素の化学的エネルギーに変換される。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果、達成度

前項にて列記したテーマ毎に実施内容と成果を記載する。

(1) 水素化スケールアップ検討(テーマ番号:①-1)

① 第1期

a.実施内容

商業規模多管式反応器の実績調査に基づき、水素化反応器の最大可能規模を反応器内径 9m と想定した。これは水素処理量として約 9 万 Nm³/h であり、千代田化工子安のデモプラントの約 1,800 倍に相当する。水素化反応器の概要を図1に示す。

上記の規模での反応器及びプロセス条件の試設計を実施し、この結果をベースとして水素化反応器の流動解析を実施した。実施したケーススタディ項目を表6に示す。

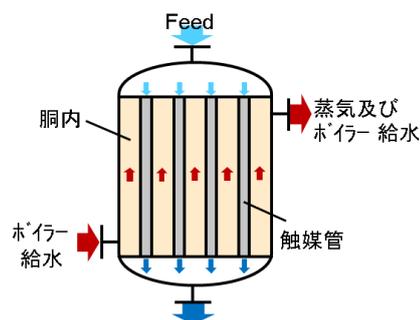


図1 水素化反応器概念図

表6 流動解析ケーススタディ項目

	水素化反応器	
	胴内	触媒管
定格Load	●	●
低Load感度		●
触媒充填差圧感度		●
構造クリアランス感度	●	

b.解析結果

流動解析結果の一例として、定格ロード時の触媒管体積流量偏差を図2に示す。

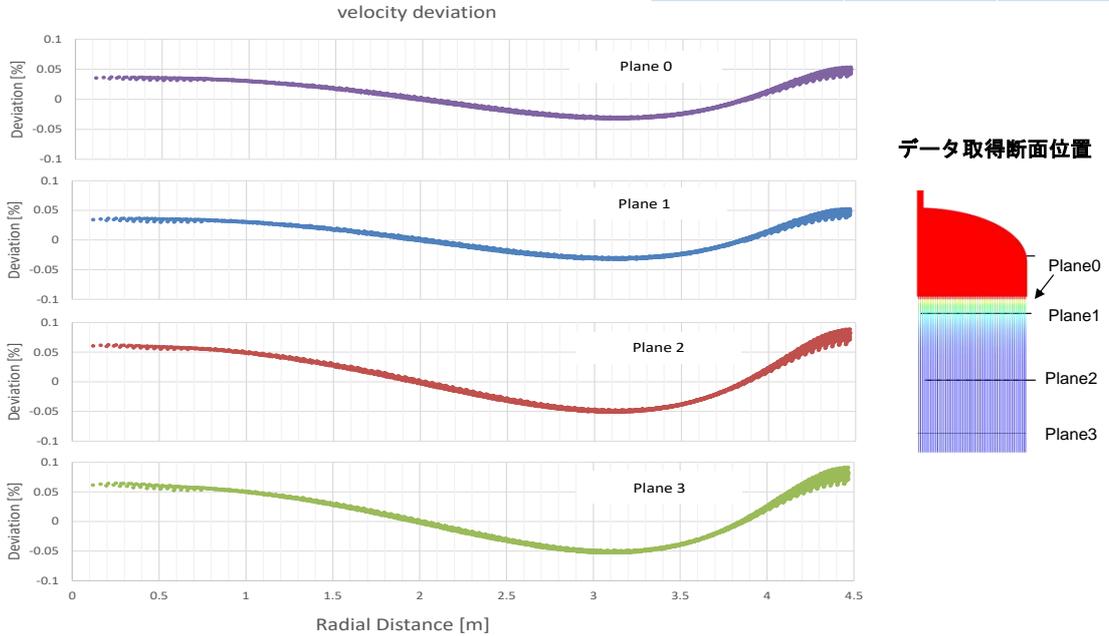


図2 定格ロード時の触媒管水平断面体積流量偏差

流動解析ケーススタディの主要な結果を以下に示す。

- ・ 定格ロード時及び低ロード（40%）共に、全触媒管領域での製品体積流量偏差は±0.1%以下となった。
- ・ 触媒充填時の充填バラつきにより触媒管差圧に現状想定内の偏差が生じた場合でも、製品体積流量偏差は±4%以下となった。
- ・ 胴側上部に、蒸気のみが存在するため反応熱除去が不十分になる領域が生ずる可能性が示された。

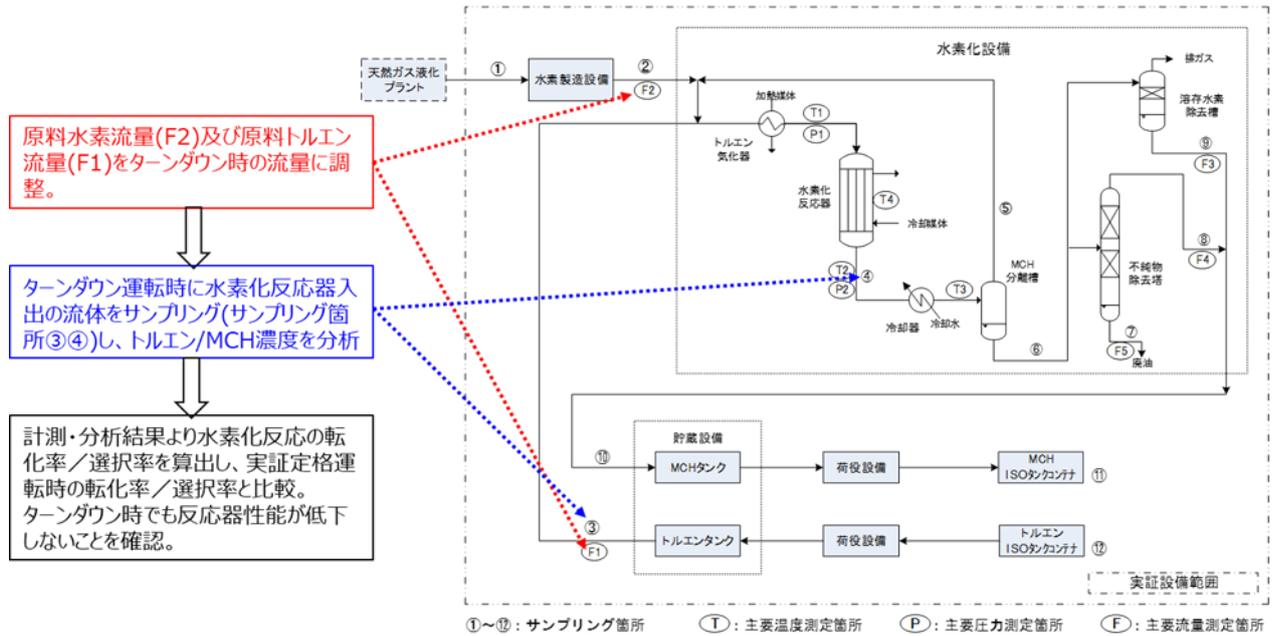
c. 成果及び達成度

触媒管側流動解析結果により、触媒充填バラつきを現状想定内に収めることにより、触媒管の流量偏差は目標である±5%以内を達成可能であることが示された。また胴側で生ずる可能性の有る若干の除熱不十分も、現状計画している触媒充填法の工夫により十分回避が可能と考えられる。以上より、商業規模への水素化反応器スケールアップの妥当性が確認された。

② 第2期

a. 実施内容

Tube側編流について、ターンダウン時性能低下有無を検証するために、原料水素流量及び原料トルエン流量をターンダウン時の流量に調整し、水素化反応器入出の流体をサンプリングし、トルエン/MCH濃度を分析。



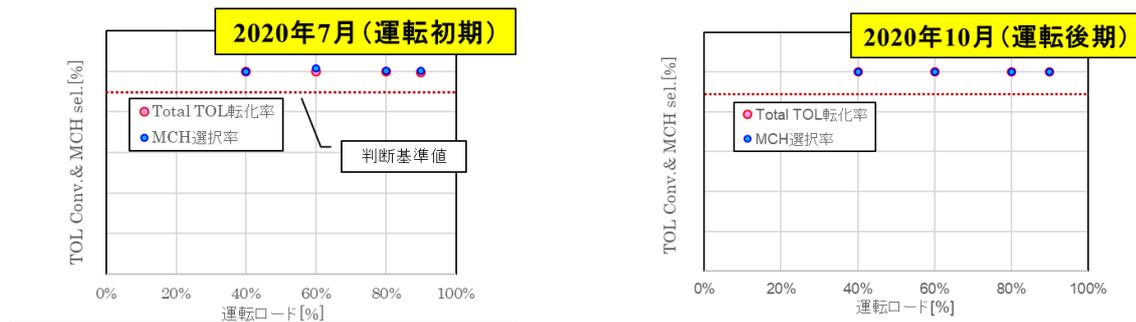
原料水素流量(F2)及び原料トルエン流量(F1)をターンダウン時の流量に調整。

ターンダウン運転時に水素化反応器入出の流体をサンプリング(サンプリング箇所③④)し、トルエン/MCH濃度を分析

計測・分析結果より水素化反応の転化率/選択率を算出し、実証定格運転時の転化率/選択率と比較。ターンダウン時でも反応器性能が低下しないことを確認。

b. 試験結果

ターンダウン運転結果 (測定負荷 40%、60%、80%)



c. 成果

運転ロードによらず、転化率、選択率の基準以上の低下は見られないことから、ターンダウン時の性能維持を確認(各ロード整定後に前項のサンプリング箇所から採取した液の分析結果より算出)。商業規模への水素化反応器スケールアップの妥当性を確認し、設計手法を確立。実証設備の反応器設計に反映。

(2) 不純物除去設備の仕様検討(テーマ番号: ①-2)

① 第1期

a. 実施内容

想定される不純物が蒸留設備設計に与える影響度等を検討した上で、検証すべき不純物を特定し、これら不純物を組み合わせた2成分系気液平衡データをラボスケール測定器により測定した。また、これら実測データに合致するように、蒸留設計に使用するプロセスシミュレーターの気液平衡推算パラメーターをチューニングした。

表7 気液平衡データ取得状況

	Toluene	MCH	A	B	C	D	E
Toluene		取得済 (文獻データ有)	取得済 (文獻データ有)	取得済 (文獻データ有)	取得済 (文獻データ有)	取得済 (文獻データ有)	取得済 (文獻データ有)
MCH			取得済 (文獻データ有)	取得済 (文獻データ有)	取得済 (文獻データ有)	取得済 (文獻データ有)	取得済 (文獻データ有)
A				取得済 (文獻データ有)	取得済 (文獻データ有)	取得済 (文獻データ有)	取得済 (文獻データ有)
B					取得済 (文獻データ有)	取得済 (文獻データ有)	取得済 (文獻データ有)
C						取得済 (文獻データ有)	取得済 (文獻データ有)
D							取得済 (文獻データ有)
E							

更に、過去に子安デモプラントでの実証運転にて取得した不純物含有トルエンを用い、ベンチスケールの連続式蒸留試験装置を使用して商業装置での蒸留設備を模擬した運転試験を実施し、上述のパラメーターチューニングを実施したシミュレーターにより運転試験結果を解析検証した。

b. 解析結果

プロセスシミュレーターに気液平衡データが内蔵されている成分系、及び試薬調達困難な成分系を除き、想定される成分系の概ね全てについて気液平衡データを取得した。

データの取得状況を表7に示す。また、パラメーターチューニング後の気液平衡シミュレーション結果と、チューニング前の推算パラメーターによるシミュレーション結果との比較例を図3に示す。

更に、蒸留試験結果とパラメーターチューニング後のシミュレーション結果との比較例を図4に示す。

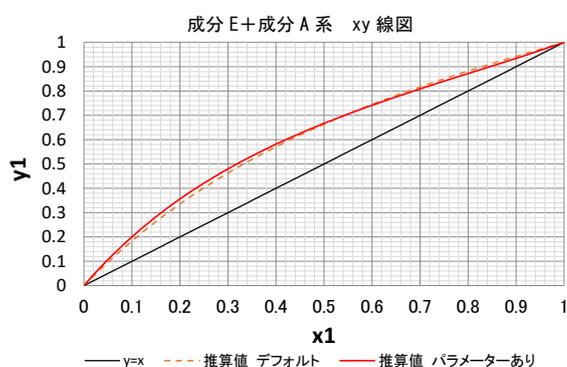


図3 蒸留シミュレーターへの気液平衡データ反映例

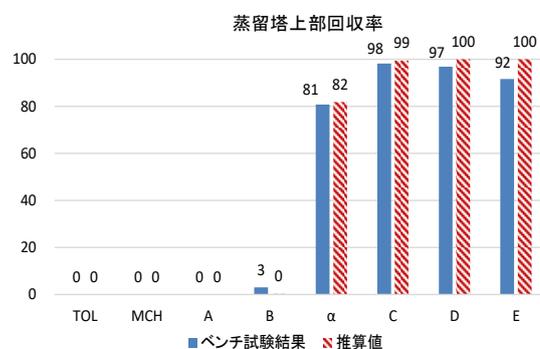


図4 蒸留試験結果とシミュレーション結果の比較例

c. 成果及び達成度

上記のスタディにより、商業装置向け蒸留設備の現状設計仕様が概ね妥当であることを確認したと共に、設計品質を向上することが出来た。この結果、商業規模にて所定の性能を満たす蒸留設備が確実に設計可能であることが確認され、目標を達成した。

② 第2期

a. シミュレーション

a-1. 実施内容

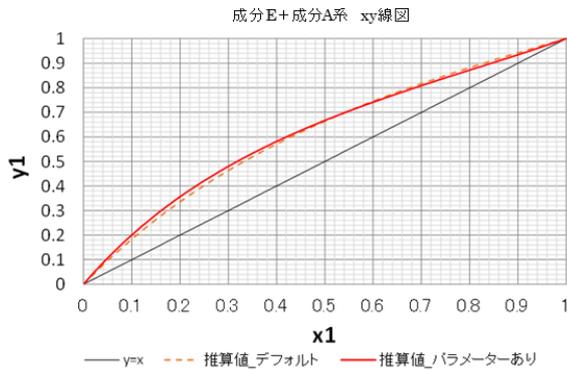
- ・蒸留設備設計に影響を与える不純物を特定し、必要な2成分系気液平衡データをラボスケール測定器により測定し、蒸留設計に使用するプロセスシミュレーターの気液平衡推算パラメーターをチューニング。
- ・技術実証プラントの不純物含有トルエンを用い、商業装置での蒸留設備を模擬した試験を実施。この試験結果を上述のパラメーターチューニングを実施したシミュレーターにより解析検証した。

a-2. 試験・解析結果

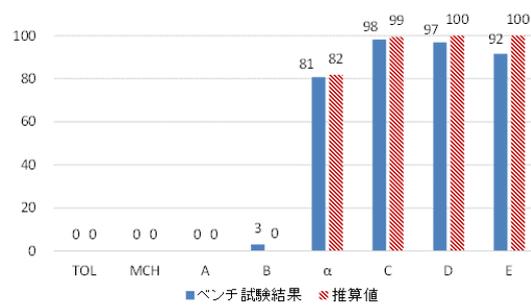
パラメーターチューニング前後（推算パラメーター/気液平衡シミュレーション結果）は図5、

蒸留試験結果とパラメーターチューニング後のシミュレーション結果との比較例は図 6 に示す。

図 5 シミュレーション結果との比較例
(パラメータチューニング前後)



蒸留試験結果とシミュレーション結果比較例 図 6



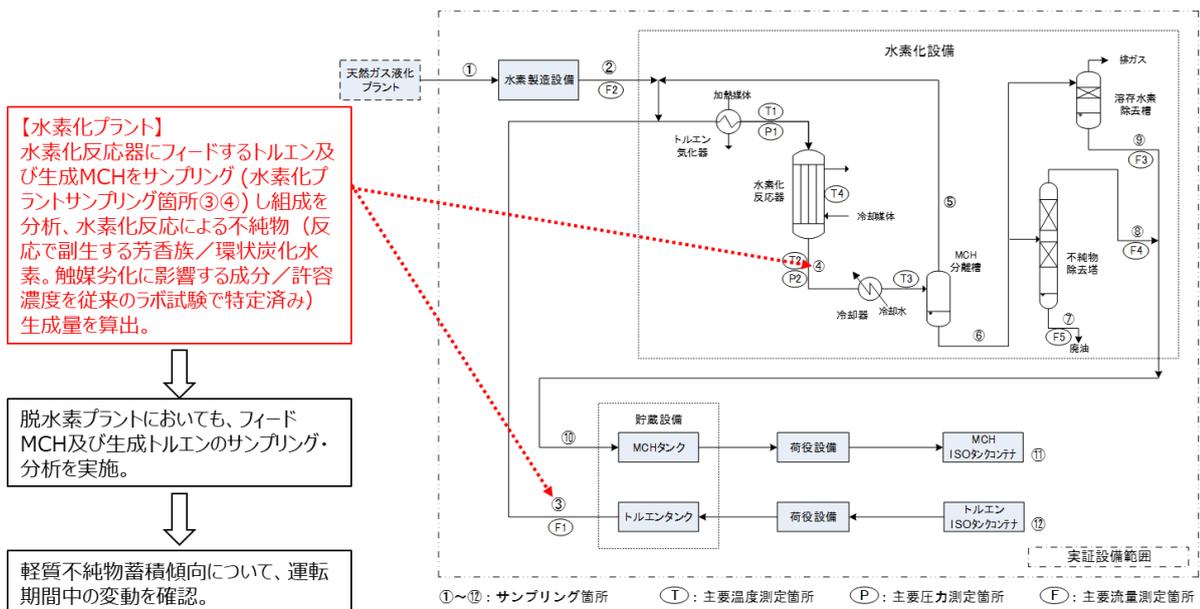
a-3. 成果

パラメータチューニング及び蒸留試験から、蒸留設備の設計手法の精度を向上出来たと共に、現状の蒸留設備の設計仕様が妥当であることが確認され、商用規模での蒸留設計が可能となった。

b. サンプル分析

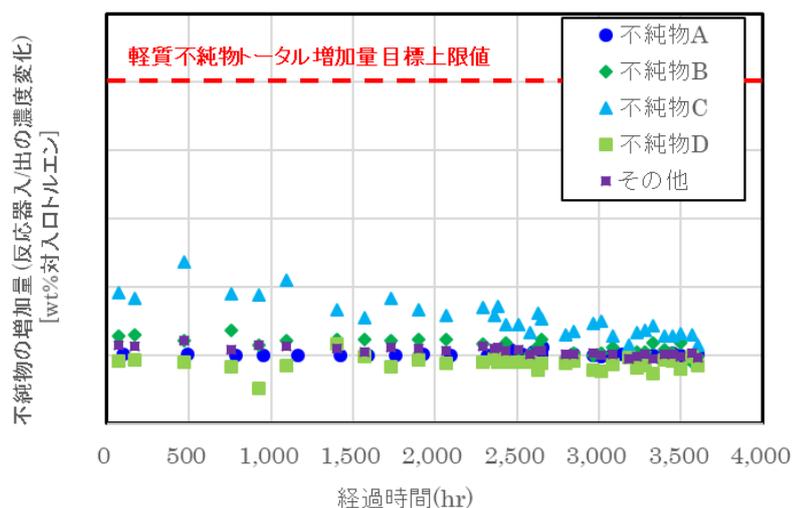
b-1. 実施内容

実証運転時のトルエン・MCH 中軽質不純物蓄積挙動の検証として、水素化反応器にフィードするトルエン及び生成 MCH をサンプリングし組成を分析、水素化反応による不純物（反応で副生する芳香族／環状炭化水素。触媒劣化に影響する成分／許容濃度を従来のラボ試験で特定済み）生成量を算出した。



b-2. 試験結果

不純物の生成量算出結果（川崎側のトルエン/MCH 中の不純物量と比較し、分析結果の妥当性は定量的に確認済み）



b-3. 成果

軽質不純物トータル増加量が目標上限値以内を確認。運転期間中のトルエンおよびMCH中の軽質不純物の蓄積速度の変化が得られ、これを商業設備の軽質不純物除去設備設計及び運転条件に反映できる。これにより設備性能担保のために過剰な設計余裕を取る必要がなくなり、設備コスト、運転コストの最適化が期待できる。

* 商用トルエン実証運転終了時、約1500時間での軽質不純物のトータル増加量を基準に決定した。

(3) 脱水素スケールアップ検討(テーマ番号：②-1)

① 第1期

a. 実施内容

商業規模多管式反応器の実績調査に基づき、脱水素反応器の最大可能規模を反応器内径9mと想定した。これは水素処理量として約13万Nm³/hであり、千代田化工子安のデモプラントの約2,600倍に相当する。脱水素反応器の概要を図7に示す。

上記の規模での反応器及びプロセス条件の試設計を実施し、この結果をベースとして脱水素反応器の流動解析を実施した。実施したケーススタディ項目を表8に示す。

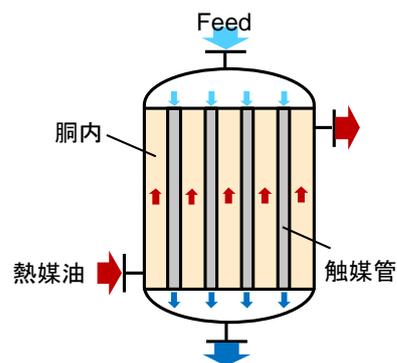


図7 脱水素反応器概念図

表 8 流動解析ケーススタディ項目

	脱水素反応器	
	胴内	触媒管
定格Load	●	●
低Load感度		●
触媒充填差圧感度		●
構造クリアランス感度	●	

b. 解析結果

流動解析結果の一例として、定格ロード時の触媒管体積流量偏差を図 8 に示す。

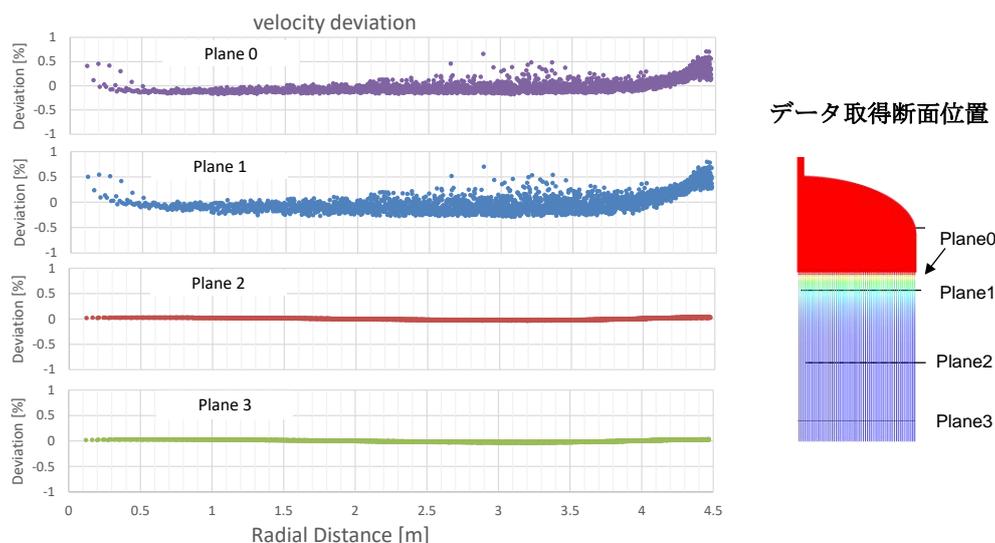


図 8 定格ロード時の触媒管水平断面体積流量偏差

流動解析ケーススタディの主要な結果を以下に示す。

- 定格ロード時及び低ロード（40%）共に、全触媒管領域での製品体積流量偏差は±1%以下となった。
- 触媒充填時の充填バラつきにより触媒管差圧に現状想定内の偏差が生じた場合でも、製品体積流量偏差は±6%以下となった。
- 触媒管とバッフルプレートとの隙間を熱媒油の一部が短絡流れする影響により、胴側上部に加熱不十分になる領域が生ずる可能性が示された。

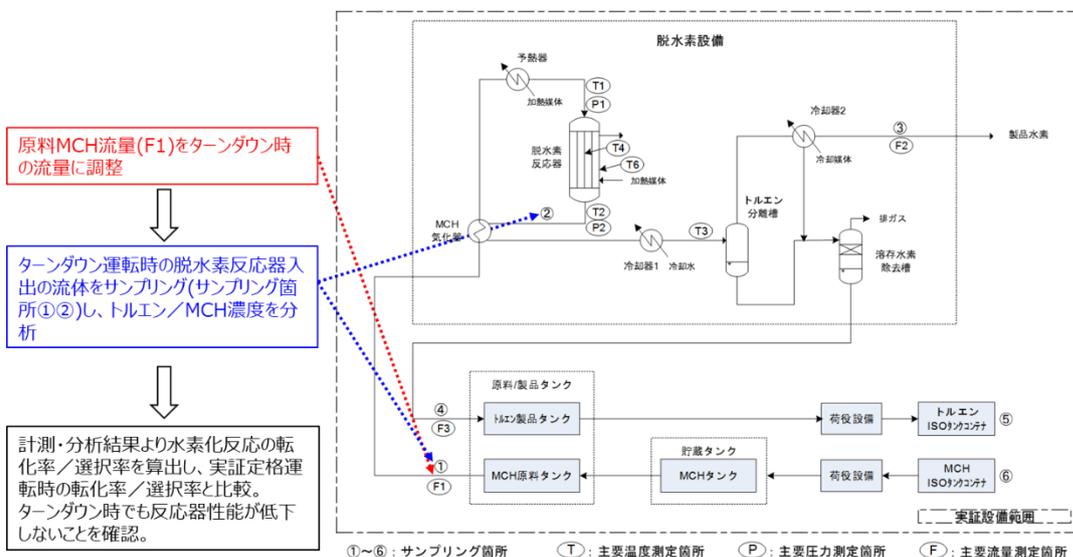
c. 成果及び達成度

触媒管側流動解析結果により、現状想定内の触媒充填偏差では触媒管流量偏差が最大 6%程度となる結果となった。しかし、シミュレーションにおいては触媒充填時の充填密度のバラつきを厳しめに設定していることから、実運用においては充填作業要領等の最適化により目標である±5%以内を達成することは十分可能であると考えられる。

また胴側で生ずる可能性の有る加熱不十分については、バッフルプレートの枚数や形状、熱媒油入出ノズルの数等を最適化することにより回避可能と考えられ、大規模反応器の実現に向けて更なる検討を行う。以上より、商業規模への脱水素反応器スケールアップは概ね妥当であり、更なる改善に向けての方向性が確認された。

② 第2期

a. 実施内容 Tube 側偏流について、ターンダウン時性能低下有無の検証するために、ターンダウン運転時の脱水素反応器入出の流体をサンプリングし、トルエン/MCH 濃度を分析。



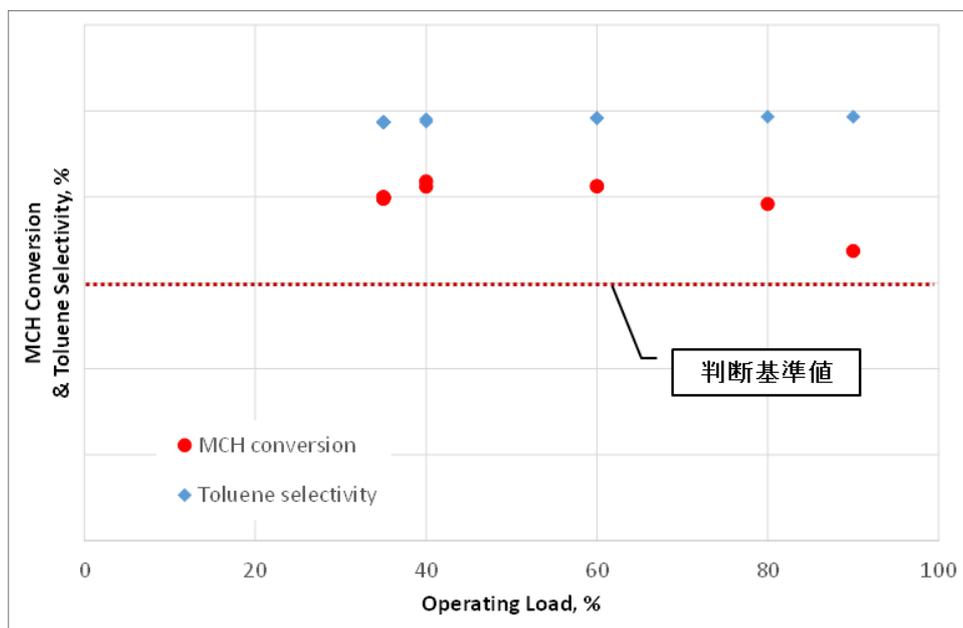
原料MCH流量(F1)をターンダウン時の流量に調整

ターンダウン運転時の脱水素反応器入出の流体をサンプリング(サンプリング箇所①②)し、トルエン/MCH濃度を分析

計測・分析結果より水素化反応の転化率/選択率を算出し、実証定格運転時の転化率/選択率と比較。ターンダウン時でも反応器性能が低下しないことを確認。

b. 試験結果

ターンダウン運転結果 (35%、40%、50%、80%) を以下に示す。



c. 成果

運転ロードによらず、転化率、選択率の基準以上の低下は見られないことから、ターンダウン時の性能維持を確認(各ロード整定後に前項のサンプリング箇所から採取した液の分析結果より算出)。商業規模への脱水素反応器スケールアップの妥当性を確認し、設計手法を確立。実証設備の反応器設計に反映。

(4) 負荷追従性向上策検討(テーマ番号：②-2)

①第1期

a.実施内容

最も厳しい負荷追従性を必要とする水素需要としてガスタービン発電を想定し、タービンメーカーへのヒアリングを実施して脱水素設備目標負荷追従速度を 3.5%/min と設定した。また、現状最大級のガスタービンでの水素専焼発電を想定し、検討対象とする脱水素設備規模を 20 万 Nm³/h (最大規模反応器 2 系列) と想定した。

上記の条件に基づいて脱水素設備について試設計し、これをモデル化したダイナミックシミュレーションによるケーススタディを実施することにより、現状計画設備仕様での負荷追従性、これを向上するための設備構成や制御システムについて検討した。

b.実施結果

一連のケーススタディの内、主要な結果を以下に示す。

b-1 脱水素設備下流にバッファとなる水素ガスホルダーを設置することにより、目標とした負荷追従性を確保出来る。但し、現状計画設備仕様のままでは大容量のガスホルダーが必要となる。

b-2 脱水素設備の内、脱水素反応器を加熱するための熱媒加熱炉(標準仕様)が負荷追従性の主な律速となっている。この加熱炉の負荷追従性が向上できれば、ガスホルダー容積を大幅に低減することが可能となる。解析の一例として、加熱炉の目標とした負荷追従性を向上させ、かつガスホルダーを設置しない場合のロードアップシミュレーション結果を図9、図10に示す。

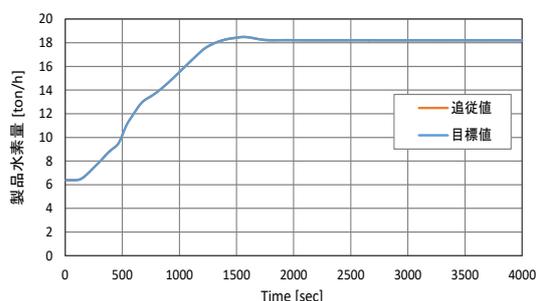


図9 解析結果例 製品水素流量

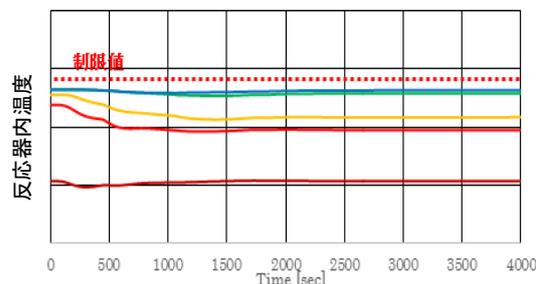


図10 解析結果例 反応器内温度

c.成果及び達成度

一連のダイナミックシミュレーションの結果、水素ガスホルダーを設けることにより、現状計画設備仕様でもガスタービン発電の要求負荷変動に追従出来ることが確認された。更に、熱媒加熱炉の負荷追従性を向上することにより、負荷追従に必要な水素ガスホルダー容積を大幅に低減することが可能となる見通しを得た。加熱炉の構成材や燃焼制御系の最適化により負荷追従性を向上することは十分に可能と見込まれる。

②第2期

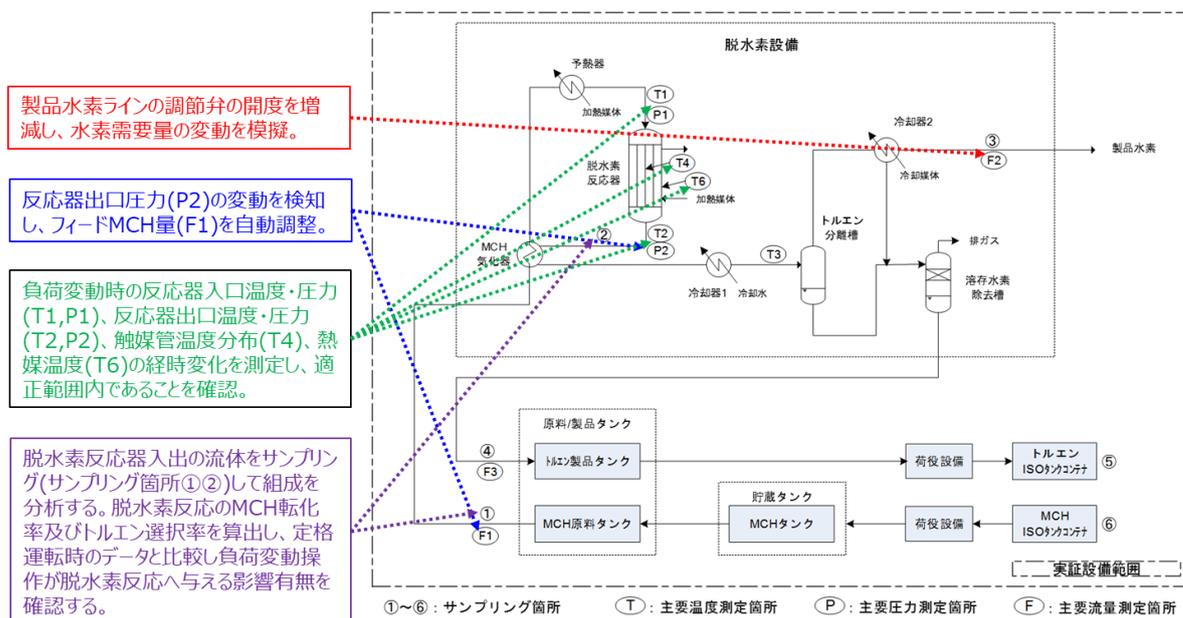
a.実施内容

負荷変動(短時間でのターンダウン/ターンアップ)運転の実施、運転データ収集を行う。製品水素ラインの調節弁の開度を増減し、水素需要量の変動を模擬。負荷変動時の反応器入口温度・圧力、反応器出口温度・圧力、触媒管温度分布、熱媒温度の経時変化を測定し、適正範囲内であることを確認する。

また、負荷変動時の反応器入口温度・圧力、反応器出口温度・圧力、触媒管温度分布、熱媒

温度の経時変化を測定し、適正範囲内であることを確認する。

オンタイムの需要側要求の変動を検知した MCH 供給量制御方式よりも、需要変動を予め見越した MCH 供給量制御方式の方が有利ではないかとの仮説の上、この方式での負荷追従試験を実施し、商業運転時の運転ケースの多様化を図る。



b.実施結果

データ取得中

c.成果及び達成度

(期待される成果)負荷変動の試験ケース毎の追従性の結果が得られ、商業設備の負荷変動に関する制御設備設計に反映。これにより負荷変動追従性の更なる向上が期待できる。

(5) 製品水素純度向上策検討(②-3)

①実施内容

脱水素設備にて製造される製品水素の純度を高める技術の調査、検討を行なった。水素は、その利用先の使用用途に応じた水素純度 (グレード B~E) に適合する必要がある。メチルシクロヘキサンの脱水素により製造された粗水素は少量の不純物を含むことが明らかとなっているが、商業的にその精製を実施した例はこれまでにはなく、技術的な対応可否の確認が課題である。本粗水素を対象とした精製技術の調査、及び試験設備を用いた検証を実施した。

②実施結果

精製方法として、膜分離法、および吸着分離法の調査を実施した。また、吸着分離法については、実施例がないことから、ラボスケールにて PSA (Pressure Swing Adsorption) の実験を行い確認した。

表 9 に各種水素燃料の ISO 規格および当該規格に適合する精製方法について結果を示した。

■適合する精製方法 ⇒ Grade B:冷却分離法、Grade D、および E : PSA 法

表 9 水素燃料規格と精製方法

		ISO 14687-1(1999)			ISO 14987-2(2012)	ISO 14687-3FDIS(2013)		
		Grade A 内燃機関、 輸送用、住 宅用	Grade B 発電等工業 用燃料	Grade C 宇宙、航空 機用地上支 援	Type I	Grade E		
					Grade D FCV用	定置用燃料電池		
					Category 1	Category 2	Category 3	
H2	%	98.0	99.90	99.995	99.97	50	50	99.9
Para-H2	%	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Total non-hydrogen gases	μ mol/mol	NC	NC	50	300	50%	50%	0.1%
H2O	μ mol/mol			b	5	NC	NC	NC
T-hydrocarbons (Methane basis)	μ mol/mol	100		b	2 (g)	10 (h)	2 (i)	2 (j)
O2	μ mol/mol	a	100	c	5	200	200	50
He	μ mol/mol	a		39	300	50%	50%	0.1%
N2+Ar	μ mol/mol	a	400	b	100			
CO2	μ mol/mol			d	2	Included in total non-hydrogen gases		2
CO	μ mol/mol	1		d	0.2	10	10	0.2
Total sulfur compounds (H2S basis)	μ mol/mol	2	10		0.004	0.004	0.004	0.004
HCHO	μ mol/mol				0.01	3	0.01	0.01
HCOOH	μ mol/mol				0.2	10	0.2	0.2
NH3	μ mol/mol				0.1	0.1	0.1	0.1
Total halogenated compounds	μ mol/mol				0.05	0.05	0.05	0.05
Hg			0.004					
Maximum particulates concentration	mg/kg	f	e	e	1	1	1	1

PSA 3塔式連続試験

・模擬ガス (H₂/CH₄/TOL)供給テスト
 CH₄ 1200ppm→ 0.1ppm以下
 TOL 8000ppm→ 0.1ppm以下

・模擬ガス (H₂/H₂S)供給テスト
 H₂S 100ppb→0.1ppb以下

③成果及び達成度

脱水素設備から製造した水素は、冷却分離によりトルエン等を除去し、水素純度を99.9%以上とすることが出来ることから、水素発電用燃料（グレード B）に用いることが可能であることを確認した。

PSAにて、水素中の不純物を除去し、グレード D,及びグレード E に規定されている値をクリアすることが出来ることから、FCV用、および定置用燃料電池に用いることができることを確認した。

(6) 触媒商業生産課題検討(②-4)

① 第1期

a. 実施内容

小規模設備で製造され、既に性能実証済みの脱水素触媒と同様の製造レシピ/仕様に、実際の商業規模生産設備を用いた数百 kg/ロットを超える規模での触媒試験製造（触媒担体製造及び触媒担持調整）を実施し、ラボ反応試験により性能を評価した（一次試作）。

この評価結果に基づいて、商業規模生産において触媒性能に影響する要因を抽出検証し、これを反映した製造レシピ/仕様に基づく二次試作を開始した。

b. 実施結果

今回実施した商業規模設備での脱水素触媒試作の概要を表 10 に示す。

表 10 触媒試作の概要

	担体製造 (アルミナ担体)	触媒調製 (活性種の担持)
従来施策	商業生産設備	セミコマーシャル設備
一次試作	商業生産設備	商業生産設備
スケール比	1	10~100

また、試作触媒の性能評価結果の一例を図 11 に示す。

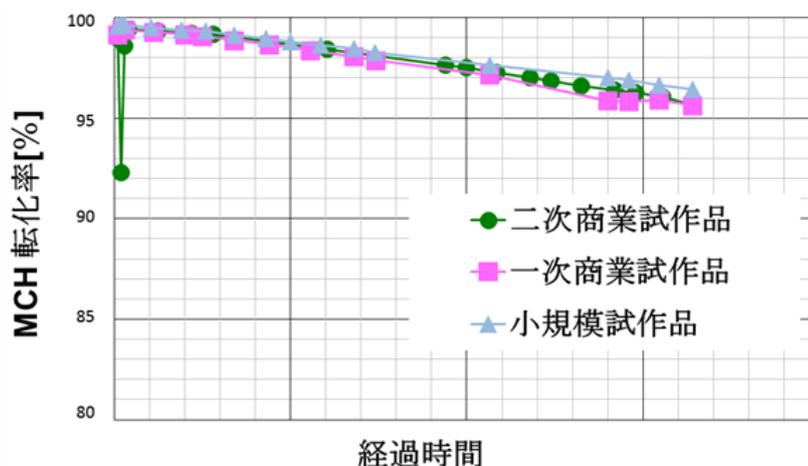


図 11 商業生産触媒ラボ評価例

一連の試作評価の主要な結果を以下に示す。

- b-1. 一次試作の触媒は小規模設備製造での触媒に比べ、初期活性が若干低い傾向を示したものの、長期的な活性及び性能安定性はほぼ同等であった。
- b-2. 初期活性低下の原因を検証し、二次試作向けに触媒担持調整レシピ、及び設備の仕様の一部を更新した。
- b-3. 二次試作の結果、小規模設備での性能と同等の能力を持つことが確認できた。

c. 成果及び達成度

商業規模生産設備を用いた脱水素触媒試作の結果、小規模設備製造での触媒と概ね同等の性能を持つ大規模触媒製造が可能であることが確認された。

d. 第 1 期完了までの取組

触媒製造レシピ及び製造設備仕様の一部を更新した二次試作は 2016 年 12 月に完了し、この結果をラボ反応試験等により検証することで大規模製造触媒の更なる性能向上が期待出来る。

②第 2 期

a. 実施内容

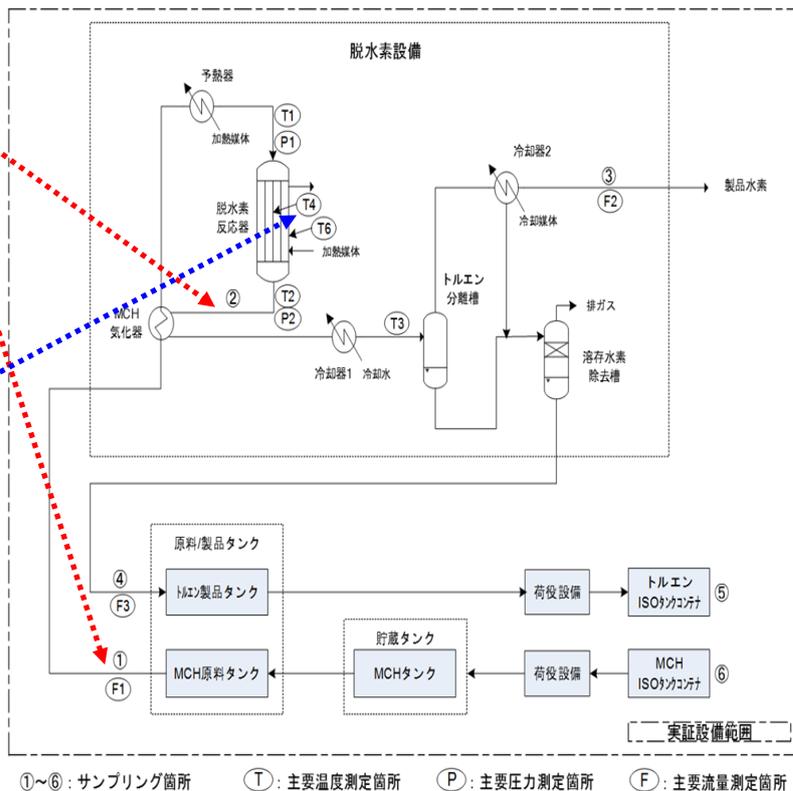
商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用し、脱水素設備を運転、運転データの収集をする。脱水素反応器入出の液体をサンプリングして組成（トルエン、MCH、反応副生芳香族/環状炭化水素濃度）を分析する。

また触媒管の温度分布の経時変化を測定し、脱水素触媒の劣化傾向を把握する（従来のデモプラント運転により、触媒管温度分布変化と触媒劣化の相関を把握済み）。

脱水素反応器入出の流体をサンプリング(サンプリング箇所①②)して組成（トルエン、MCH、反応副生芳香族／環状炭化水素濃度）を分析

触媒管の温度分布(温度測定箇所 T4)の経時変化を測定し、脱水素触媒の劣化傾向を把握（従来のデモプラント運転により、触媒管温度分布変化と触媒劣化の相関を把握済み）

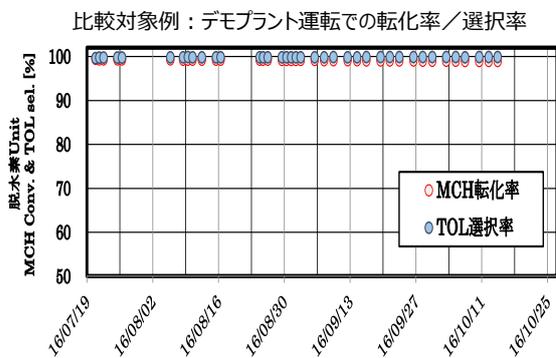
脱水素反応の転化率／選択率、不純物濃度の経時変化を算出し、触媒性能や劣化速度が小規模試作の触媒と同等であることを確認。



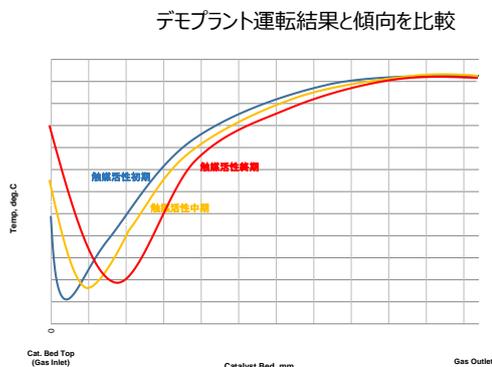
b.実施結果

試験結果判断基準は、

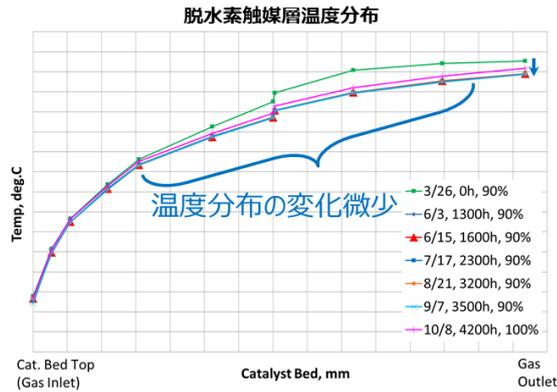
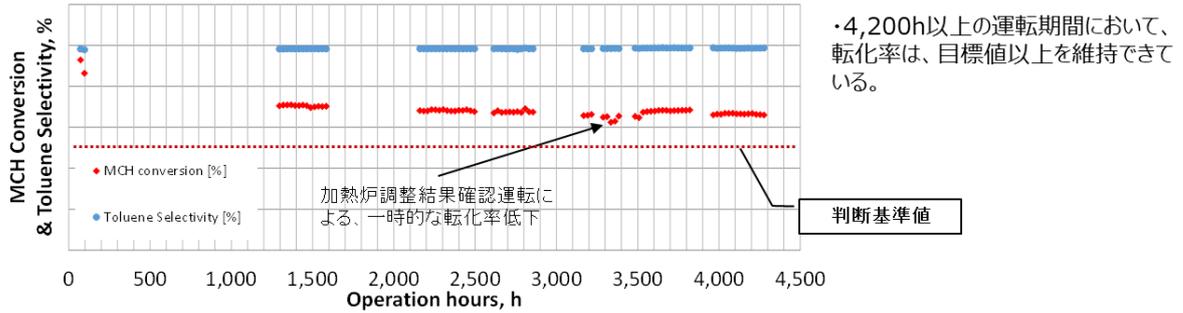
- ・触媒性能（運転期間を通じて転化率が目標値以上であること）や劣化速度が小規模試作の触媒を使用したデモプラント運転と同等であること（各ロード安定後に前項のサンプリング箇所から採取した液の分析結果より算出）とする。



比較対象例：触媒管温度分布（触媒劣化の指標）イメージ図



90%~100%ロードにおける転化率とトルエン選択率



反応温度の調整による転化率管理にて、触媒劣化を抑制しながら、目標値以上のMCH転化率を維持

【反応温度管理】

- ・低ロード運転時は、90%ロード運転時の温度分布に合わせる。
- ・目標MCH転化率を目安に、反応温度を調整する。

・触媒層温度分布の大きな変化（触媒性能の変化）は見られていない。

c. 成果及び達成度

運転開始以降、転化率、選択率が目標値以上を維持していることから、商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用し、所定の触媒性能が得られることが検証できた。

(7) 商用トルエン運転検証(③-1)

① 第1期

a. 実施内容

子安デモプラントで実施する商用トルエン運転検証に使用するトルエンを選定するために、国内外の商用トルエン供給社より6種のサンプルを調達し、ラボ反応試験によるスクリーニング評価を実施した。試験の結果で不適合と判断されたトルエンについては、その原因を検証し、これを反映して商業規模導入トルエンの仕様を策定した。上記の策定仕様、及び供給社のトルエン供給能力を考慮した上でトルエンを選定し、これを子安デモプラントに導入して運転検証を開始した。

b. 実施結果

商用トルエンスクリーニング結果を表11に纏めて示す。また、子安デモプラントの検証運転状況を図12に示す。

表 11 商用トルエンスクリーニング結果

供給元	起源*	生産能力 (万t/年)	規格/サンプル 純度,wt%	スクリーニング結果		評価
				水素化	脱水素	
A社	COLO	< 5	99.99	○	○	2013年子安デモ実証済み、供給ポテンシャルが極めて低い
B社	Reformate	< 5	91.20	×	×	特定物質不純物濃度が高く、不適合
C社(a工場)	Pygas	5 - 10	99.96	○	○	供給ポテンシャルが低い
C社(b工場)	Reformate	> 20	99.96	○	○	第一期検証：子安デモ機での実証に導入
D社(海外)	Reformate & Pygas	> 20	99.98	×	×	サンプリング方法に起因する特定物質のコンタミにより不適合、再調達・再評価が必要
E社	Reformate	> 20	98.18			追加試験予定

*Reformate: 接触改質油（製油所）、Pygas: 熱分解油（化学（エフソ）工場）、COLO: コークス炉軽油（製鉄所）

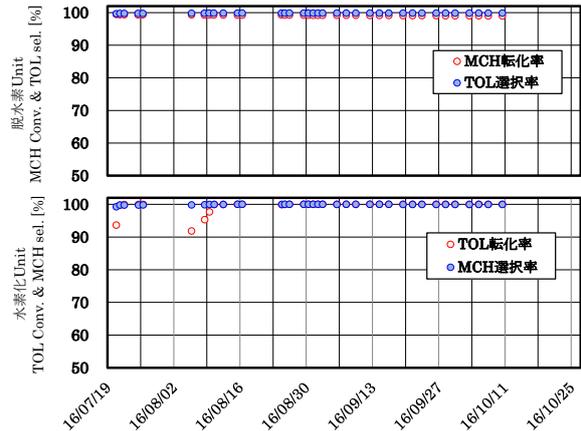


図 12 子安デモプラント検証運転状

一連のスタディの主要な結果を以下に示す。

- b-1. 反応試験結果が良好であったこと、及び商業規模でのトルエン供給が十分可能である能力を有していることから、国内 C 社 b 工場のトルエンを最終選定した。
- b-2. 2 種のサンプルについては反応試験結果が不適合であったため、含有成分の詳細分析や検証試験を実施して不適合要因を定量的に検証した。これまでの知見に更はこの結果を反映して商業規模導入トルエンの仕様を策定した。
- b-3. 最終選定した商用トルエン約 30kL を、商業仕様での輸送手段／手順にて子安デモプラントに導入し、2016 年 7 月より検証運転を開始し、現在まで安定に運転を継続中。

c. 成果及び達成度

一連の検証にて、商業規模で調達／使用可能なトルエンを選定することが出来た。また、設備の安定運転を可能とするトルエン調達仕様を策定出来た。

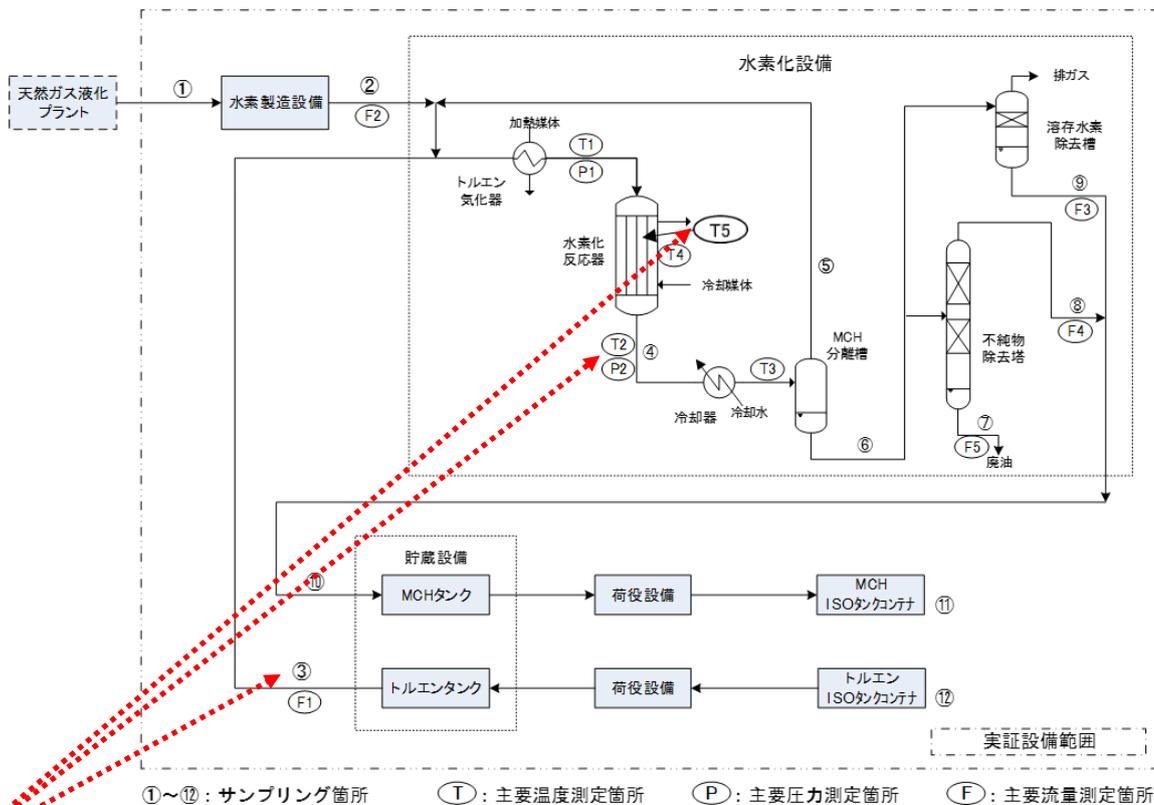
d. 第 1 期完了までの取組

今後 2016 年 10 月末までデモプラントにて実証運転を実施し、その結果を評価確認することにより、商業チェーンにて大規模に調達可能な商用トルエンが使用可能であることを実証する。

② 第2期

a.実施内容

スペック適合品の大規模購入トルエンでの実証運転実施と性能の検証を実施する。



【水素化プラント】

水素化反応器入出の流体をサンプリング（水素化プラントサンプリング箇所③④）し組成（トルエン、MCH、反応副生芳香族／環状炭化水素濃度）を分析。触媒管の温度分布（温度測定箇所T5）の経時変化を測定。

脱水素プラントにおいても、フィード MCH 及び生成トルエンのサンプリング・分析、触媒管温度分布測定を実施。

上記により水素化／脱水素反応の転化率／選択率、不純物濃度の経時変化を算出し、触媒性能や劣化速度が商用トルエンを使用したデモプラント運転と同等であることを確認。

b.実施結果

現在実施中

c.成果および達成度

実証チェーン運転に商用トルエンを使用し、取得した運転データにより、チェーンとして所定の性能が得られることを検証

(8) サプライチェーン設備構成検討(③-2)

①実施内容

需要家への水素供給の安定性には、水素源からの水素供給量変動、水素需要家個別の水素需要量変動、MCH/トルエン輸送の遅延など多くの事象が影響する。このため、水素サプライチェーン全体を見通しての供給安定性を検証することが必要である。そこで、水素源から水素需要家までをカバーし得る水素サプライチェーン全体をモデル化し、想定される様々な事象発生に対するチェーン全体としての安定性を検証すると共に、安定性を向上するための各種設備の規模や冗長性の検討を行った。

③ 実施結果

シミュレーション結果の一例を図 13 に示す。タンカーの輸送能力、航海の遅延発生確率等を一定としたうえで、水素化・脱水素設備の貯蔵能力と系内のトルエン量を一定の刻み幅で増減させた場合の、サプライチェーン起因の水素供給停止時間の発生確率分布をグラフ化したものである。

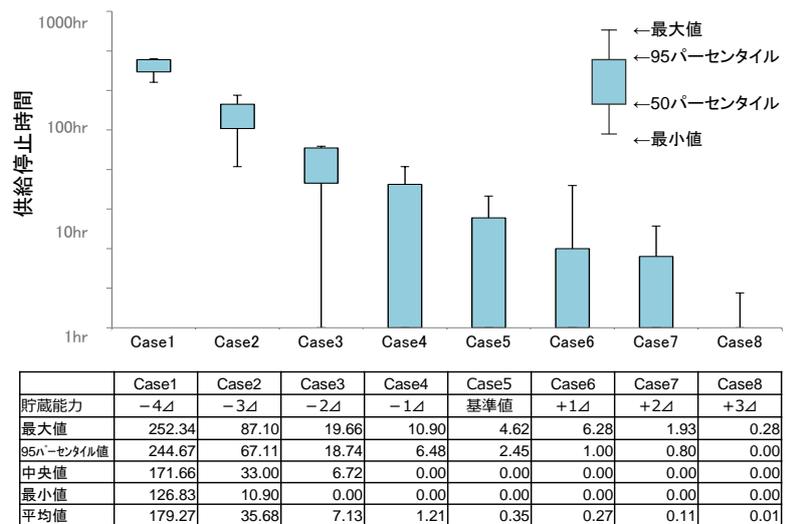


図 13 シミュレーション結果の一例

供給停止時間分布の中央値に注目した場合、Case3 と Case4 の間に変化点があることが見て取れる。ターゲットとする信頼性にも依るが、本例においては上記変化点近傍が信頼性と設備コストのバランスが取れた設備構成と考えられる。

④ 成果及び達成度

本研究を通じて設備構成が供給安定性に与える影響を定量的に評価する基本的な手法が確立できたものと考えられる。

⑤ 第1期完了までの取組

当初構築したシミュレーションモデルは水素化基地、脱水素基地とも1拠点のシンプルなチェーンを対象としたものであったが、現在両拠点が複数存在するチェーンについてもシミュレーション可能なモデルへの機能強化を実施中であり、完了後に追加のケーススタディを実施する。

(9) 発電燃料供給チェーンとしての設備仕様・オペレーション要件(③-3)

① 脱水素設備による製品水素性状が商業規模発電 GT に及ぼす影響の検討

a. 実施内容

脱水素設備からの製品水素は、微量のトルエン (TOL) やメチルシクロヘキサン (MCH) を含んでおり、これら高分子炭化水素は、高温の重合反応でガム状生成物を生じ、燃料ガスとともに GT 燃焼器に導入され、燃焼器ノズルの閉塞原因となる。ガム状物質の生成量は原因物質の量だけでなく、温度・圧力および微量成分により影響を受ける。また、天然ガス中にもガム状になる原因物質や影響物質が存在するため、混合ガス燃料におけるガム状物質生成状況をラボ試験により把握する。

b. 実施結果

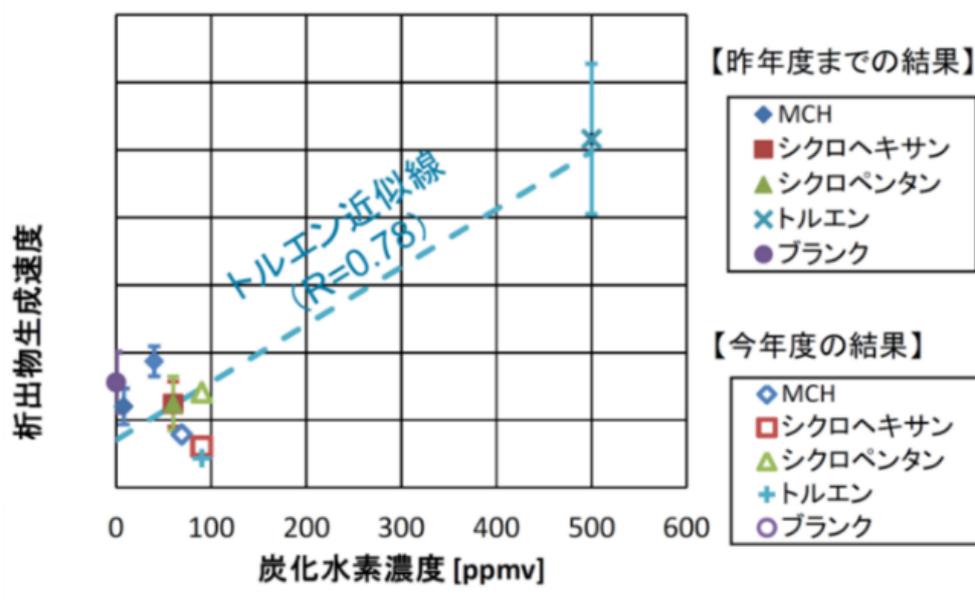
2015 年度、脱水素設備からの製品水素品質から、必要な試験項目と方法を検討し、手順書を作成した。

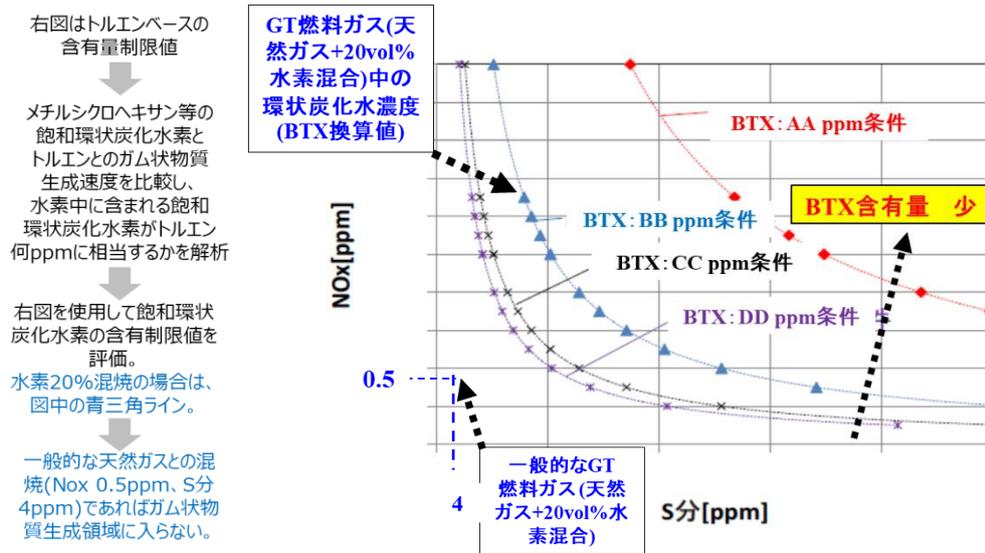
2016 年度、ガム状物質析出特性試験 (図 12 参照) を実施して、予混合燃焼 GT への 20 vol% 水素混焼時の影響評価を行う。

c. 成果及び達成度

2016 年 9 月末時点で、試験仕様の策定を終え、試験準備作業を進めている (当初予定通りのスケジュール)。今後、2017 年 1 月まで試験を実施し、2 月に結果取り纏めの計画。

2016 年 9 月以降、天然ガスに 20vol% の水素を混合し、ベースガスとした。想定される炭化水素を微量添加し、燃料配管中の析出物生成速度を測定。飽和炭化水素を低濃度にて比較すると、トルエンより析出物生成速度が速く、析出しやすい事が判明した。トルエンベースの含有量制限値 (試験委託先機関での従来研究結果に基づく) を使用して、MCH 等の飽和環状炭化水素の含有制限値を評価した。





GT燃料ガス中のBTX（ベンゼン/トルエン/キシレン）含有量制限値
(試験委託先機関での従来研究結果に基づく)

- ✓ 飽和炭化水素の含有量管理値を策定した。
- ✓ 現状の脱水素工程にて、製品水素が商業規模発電GTに使用可能であることを確認した。

② 脱水素反応熱をGTCC発電所のHRSGから供給する方法の可能性検討

a. 実施内容

GTCC (Gas Turbine Combined Cycle) 発電所のHRSG (排ガスボイラー) に Hot Oil Heater (HOH) を設置し、熱媒により脱水素反応熱を供給する場合をシミュレーションにより検討する。検討条件は、①GTCCは450MWクラス予混合燃焼、②天然ガスへの水素混焼率を70 vol%。

b. 実施結果

シミュレーション検討により部分負荷時も含めHOHを設置した場合の、発電効率を比較したところ、若干の効率向上が見られた。(図14参照)。本シミュレーションを通じ、①GT起動時、②外気温変化時、③混焼率変更時など、多彩な運転モードに対応できるシステム構築には課題があることも確認された(設備運転制御が複雑化することなど)。

c. 成果及び達成度

脱水素反応熱をGTCC発電所のHRSGから供給することで、総合効率の改善の可能性があることが示唆された。合わせて、その実現に向けた課題の頭出しを行うことができた。

- ✓ HRSG熱利用についてはシミュレーション検討を終了し、HOHを設置した場合に、部分負荷時も含め発電効率が若干改善されるシステムが確認できた(右図参照)。
- ✓ ①GT起動時、②外気温変化時、③混焼率変更時など、多彩な運転モードに対応できるシステムは、設定が困難であり実用には、より多くの課題があることも確認された。(設備運転制御が複雑化することなど。)

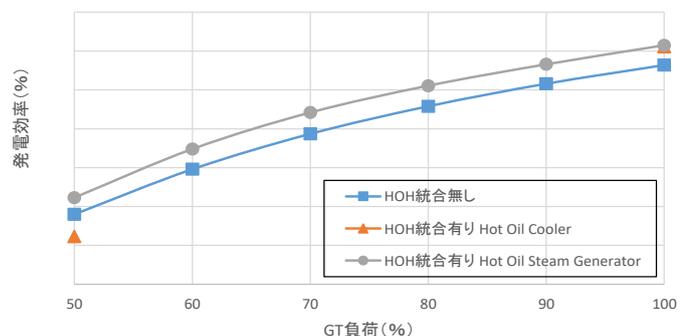


図14 HOHの有無による発電効率比較

✓脱水素反応熱をGTCC発電所のHRSGから供給することで、総合効率の改善の可能性があることが示唆された。合わせて、その実現にむけた課題の頭出しを行うことができた。

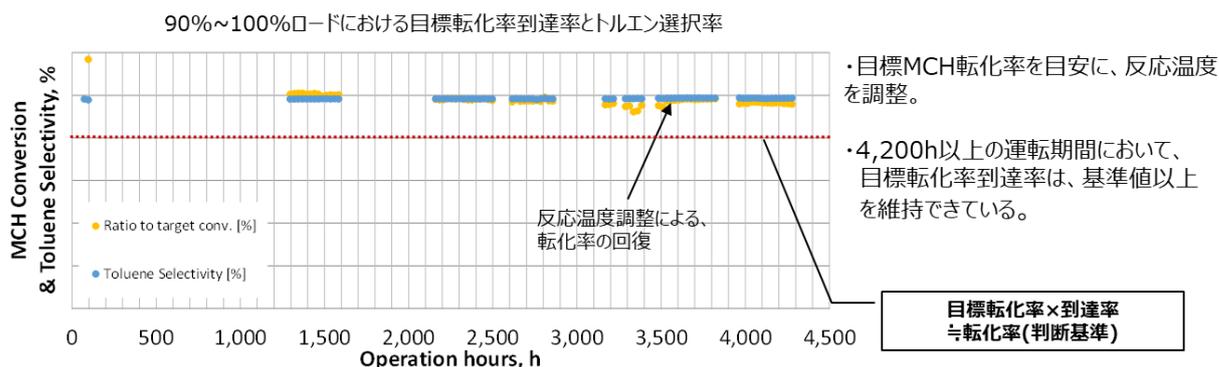
(10) サプライチェーン効率化 (③-4)

① 実施内容

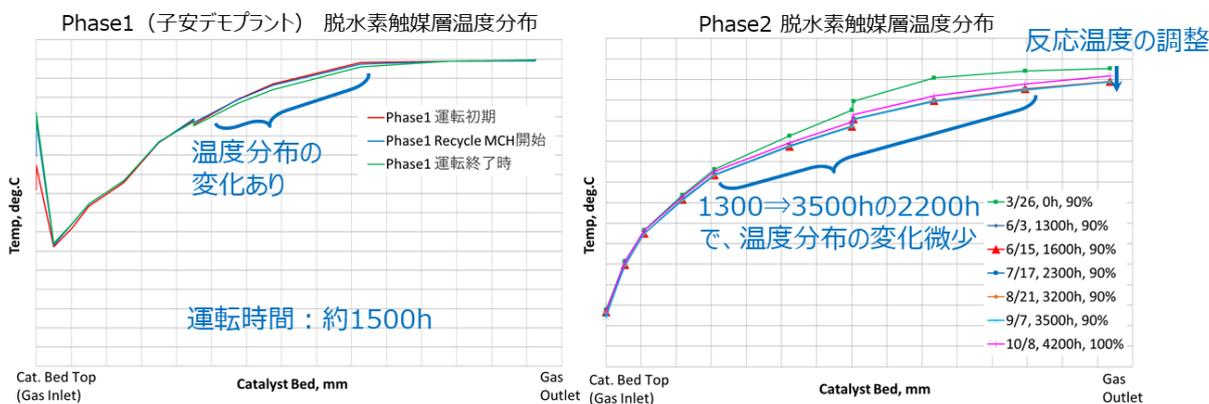
反応条件を調整して反応転化率を一定に維持した運転（シビアリティ管理）を実施し、触媒管の温度分布の経時変化を測定する。

② 実施結果

反応器触媒管の温度分布の経時変化測定結果



反応器触媒管の温度分布の経時変化測定結果



- ・反応温度の調整（シビアリティ管理）により、触媒層温度分析の変化（触媒性能の変化）を制御している。
- ・9月中旬に転化率が管理範囲以下になり、反応温度を高温側に調整（10/8の温度分布）

判断基準

Phase1 運転に比べて触媒の長寿命化傾向が観察されること。

③ 成果および達成度

反応転化率一定運転（シビアリティ管理）を検証し、商業運転時の運転方法へ適用可能であることを確認した。

(1 1) 水素サプライチェーンの将来形態検討と第 2 期計画具現化 (④-1)

① 水素源調査

a.実施内容

今回の調査では、将来の水素チェーンの有り得る姿(規模・形態)を考察する基礎情報として、経済面、環境面から有望な水素源の検討と期待しうる水素源の規模、地域を整理し、ロングリストを作成するため、表 12 に示す水素源を対象に以下の STEP1、STEP2 のアプローチで有望水素源の調査を行う。

ロングリストに記載された水素供給ポテンシャルは、目安として当該国の供給ポテンシャルの 7~8 割程度をカバーするものとした。

STEP1 潜在的な水素供給ポテンシャル(水素量に換算)高い国を 10 か国程度スクリーニング

STEP2 スクリーニングされた 10 か国程度において、有望な水素源のリストを作成

表 12 水素源一覧

水素源	水素製造方法
副生水素	電解プラント、メタノールプラント、エチレンプラントからの副生水素
褐炭	褐炭のガス化+改質による水素製造
油田随伴ガス(フレア)	フレアリングされている油田随伴ガスを改質し水素製造
油田随伴ガス(圧入利用)	油田の圧力維持の為に圧入されている油田随伴ガス(随伴ガスに依り水素を製造し、副生物として得られる二酸化炭素を圧力維持の為に圧入ガスとして利用することを想定)
再生可能エネルギー	太陽光・風力・水力・地熱発電の電力を利用した水電解

b.実施結果

水素源毎に以下の調査結果を得た。途中計画である STEP1 の結果は省略し、STEP2 終了時の結果のみ記載する。

➤ 副生水素(電解プラント、メタノールプラント、エチレンプラントからの副生)

中国・米国・ロシアが供給ポテンシャル上位国であり、サウジアラビア、イラン、UAE 等の中東諸国が続く。上位国では、十数万 Nm³/h 規模の水素の供給ポテンシャルがあることから当面の水素源として期待できる。しかしながら、他の水素源に比べると規模が限定的であり、数十万 Nm³/h クラスのさらに大規模な水素源としては厳しい。

➤ 褐炭(ガス化により水素製造)

インドネシア・オーストラリア・インド・トルコ等が有望候補と考えられる。供給量の面での制約が少なく数十万 Nm³/h クラスの水素源としても期待できるが、CO₂ 処理方法の検討、水素製造コスト低減の検討を要する。

➤ 油田随伴ガス(フレアガス)

ロシア・イラン・イラク・インドネシア等が有望候補と考えられる。フレアガスの発生源が分散しがちな為、水素源としての有望度は個別の油ガス井毎に精査が必要である。

➤ 油田随伴ガス(油田圧入ガス)

アラスカ・イラン・カナダ・UAE・イエメン等が有望候補と考えられる。数十万 Nm³/h クラスの水素源としての利用が期待される地域も存在するが、圧力維持の為の圧入ガスとして CO₂ を利用可否が油井工学的見地から難しいケースもあり、より正確な有望度評価の為には個別の地域・油田毎の詳細調査が必要となる。

➤ 再生可能エネルギー (太陽光・風力・地熱・水力)

太陽光は、日射量、オフグリッド地域とのマッチング(人口密集地から離れている場所ほど有望とした)、海岸までの距離(海岸部に近い程水素の積出しが容易であり有望度高とした)、地形とのマッチングで評価、中東エリアのサウジアラビア、イエメン、オマーン、イラン等が有望地域として挙げられた。風力は、平均風速、オフグリッド地域とのマッチング、海岸までの距離で評価、中国、ニュージーランド、インド、オーストラリア、オマーンと、世界各地に有望地域が点在している。

地熱/水力は賦存量の観点からはポテンシャルのある国はあるものの、陸続きの隣国への電力輸出が可能なケースが多く、有望地域がアジア諸国やロシアに限定される。

c.成果及び達成度

水素源・地域ごとに概算レベルで供給ポテンシャルの評価をする事ができた。また、水素源・地域ごとに供給ポテンシャル精査のポイントを明らかにする事が出来た。

② 第2期計画具体化 (実証チェーンの具体化)

a.実施内容

前述までの研究成果、地理的制約や既存設備に関する調査結果、技術的な検討を踏まえて、実証チェーンの規模、形態等を以下の通り定めた。なお、以下の検討結果は現時点での計画であり、今後のステークホルダーとの協議により、実行段階においては一部が変更となる可能性もある。

b.実施結果

b-1.規模

水素化プラント、脱水素プラントそれぞれについて 300Nm³/h 程度の規模とする。大規模化の観点からは、当社子安リサーチパーク内で稼働中の技術実証プラント(50Nm³/h)と初期の商業チェーン(数万 Nm³/h)との間をつなぐ位置付けとなるが、チェーン全体およびプラントの机上スケールアップの確実性と実証コストを勘案し、チェーン規模を決定した。なお、1年間の実証運転を通じて 200t 程度の水素(FCV 満タン換算で4万台分)を本チェーンより輸送する計画である。

b-2.水素源

本章①にて述べた副生水素供給ポテンシャルに関するスクリーニング調査を通過し、

詳細調査対象となった H 国の L 化学工場からの副生水素を水素源とする。

b-3.形態

年間の水素輸送量を踏まえ、経済性や現地固有の事情を勘案し輸送手段を検討した結果、メチルシクロヘキサン、トルエンに輸送は ISO コンテナを利用することとした。

水素源から水素需要先までの大まかなフローを図 15 に示す。

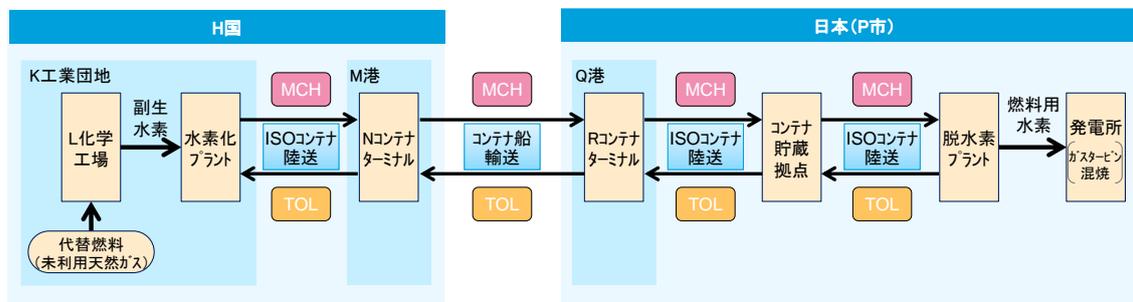


図 15 実証チェーン概略フロー

なお、国内に開設予定のコンテナ貯蔵拠点は、後述の通り脱水素プラントを既設石油精製工場内に設置する為、敷地内の貯蔵容量が限定的な為、これを補完する為に設置するものである。

b-4.配置

b-4-1.海外

東南アジアの資源国であるブルネイ・ダルサラーム国の工業団地内に実証サイトを開設し、水素化プラントを設置する。なお、前述の水素源となるブルネイ LNG 工場も同工業団地内にあり、同工場と水素化プラントの間を結ぶパイプラインも新たに建設する。

ISO コンテナの荷役拠点としては同国内のムアラ港にあるコンテナターミナルを利用する。

b-4-2.国内

首都圏川崎市の東亜石油京浜製油所内の一角を借用し、脱水素プラントを設置する。既設工場内に設置することで、一部の用役(蒸気、圧縮空気等)については同工場から供給を受けることが可能となり、実証コストの削減が期待できる。なお、水素需要先となる発電設備も同工場内に設置されている。

ISO コンテナの荷役拠点としては川崎市内の川崎港にあるコンテナターミナルの利用を計画している。また、前述の貯蔵基地については、物流事業者の倉庫、または川崎市内の工場跡地を活用する計画である。

c.成果と達成度

本検討の成果として、国内外の設備の規模・水素源・携帯・配置が決まり、設計作業に着手する事が可能となった。

3.2 成果の意義

(1) チェーンの大規模化の観点から

表 13 に示した 4 つのテーマの成果から、有機ケミカルハイドライド法による水素サプライ輸送チェーンのコア要素である脱水素触媒、トルエン、水素化・脱水素反応器に関して、数万～数十万 Nm³/h 規模の商業化チェーンの実現化に必要な技術が概ね確立

できたものとする。本研究第2期において、当該テーマの成果を反映した実証チェーンの運用と技術検証を行うことで、商業水素チェーンの運用開始への技術面での準備が整うものと期待できる。

表 13 チェーン大規模化に関連するテーマの成果

#	テーマ名	成果	備考
①-1	水素化スケールアップ検討	反応器スケールアップの妥当性を確認	-
②-1	脱水素スケールアップ検討	反応器スケールアップの妥当性と改善方向性を確認	-
②-4	触媒商業生産検討	大規模触媒製造が可能であることを確認	
③-1	商用トルエン運転検証	商業規模でのトルエン調達仕様を策定	

(2) エネルギー輸送チェーンの安定運用の観点から

表 14 に示した 5 つのテーマの成果から、エネルギー輸送チェーンとしての安定運用に資する技術の確立に一定の目処が立ったものと考えられる（一部テーマについては実証チェーンでの技術検証を予定）。多くのテーマが想定した需要家ニーズをベースに目標設定しているため、本研究の成果により直ちに商業水素チェーンの準備が完了とは言えないが、需要家ニーズへ対応する為に必要な技術的な基盤が整えられたものと考えられる。

表 14 エネルギー輸送チェーンの安定運用に関連するテーマの成果

#	テーマ名	成果	備考
①-2	不純物除去設備仕様検討	蒸留設備仕様の妥当性を確認	-
②-2	負荷追従性策向上	要求仕様(負荷追従性)への対応が可能であることを確認	-
②-3	水素純度向上策検討	要求仕様(水素純度)への対応が可能であることを確認	-
③-2	サプライチェーン設備構成最適化検討	設備構成が供給安定性に与える影響について基本的な定量評価手法を確立	シミュレーションモデルの機能強化、追加ケーススタディを実施中
③-3	設備仕様オペレーション検討	脱水素反応熱の効率的な供給の可能性を示唆	

(3) 実証チェーン具体化の観点から

(1)(2)において記した通り、実証チェーン運用を通じて幾つかのテーマにおいては商業化に向けて本研究で確立した基盤技術を検証する必要がある。「④-1: 水素サプライチェーンの将来形態検討と第2期計画具現化」においては、今後ステークホルダー各社との

商務面の調整は必要ではあるものの、2020年1月から1年間の実証運転計画を策定、技術検証の場を確保することに一定の目処がついたと考えられる。

3.3 成果の最終目標の達成可能性

本研究の最終目標である「2030年頃の安定的かつ大量な水素供給体制確立を目指した、プロトタイプ規模のサプライチェーン構築」の実現に向けて、以下の課題を認識している。いずれも、最終目標の達成には解決することが必須であり、各項にて述べるアプローチで着実に研究開発を推進していく。

(1) 基盤技術

第1期の研究テーマ全10件のうち、実証チェーンの構築にその成果を直接活用するのは表15に示した6テーマである。

表15 実証チェーンに成果を活用するテーマの進捗状況

#	テーマ名	実証チェーン構築準備状況
①-1	水素化スケールアップ検討	完了(目標達成)
①-2	不純物除去設備の仕様検討	完了(目標達成)
②-1	脱水素スケールアップ検討	完了(目標達成)
②-2	負荷追従性向上	完了(目標達成)
②-4	触媒商業生産検討	完了(目標達成)
③-1	商用トルエン運転検証	完了(目標達成)

実証チェーンの構築準備という観点からは、4テーマ(①-1,①-2,②-1,②-2)については、一部テーマで追加のケーススタディが必要であるものの、初期の目標を達成し完了している。

2テーマ(②-4,③-1)については実施中であるが、既に完了した分析・評価作業から概ね目標通りの成果が期待できるものと考えている。引き続き適切なスコープ・進捗管理を継続し、第1期期間中の目標達成を目指していく。

(2) 運用準備

本実証においては、従来に類を見ない循環型のエネルギーサプライチェーンを運用する。第1期を完了し、技術的には万全の備えでチェーンの構築に取り組むものの、実際の運用段階では想定外の事象の発生も想定される。

安定的なチェーン運用を実現する為に、様々な事象を想定したチェーンオペレーション計画の立案が必要不可欠である。具体的には、海運会社、物流会社、石油精製会社等と連携しながら、実運用を念頭に置いた計画の立案を進める。

(3) スケジュール

チェーン全体としての運用開始は2020年1月を予定している。このことに加え、脱水素プラントの試運転は、水素化プラントの試運転完了後に可能になる(水素化プラントで製造したメチルシクロヘキサンが脱水素プラントの試運転に必要となる)等のスケジュール制約があり、全体的にタイトなスケジュールとなる。

遅滞のない計画実現に向けて、スケジュールの全体感を踏まえたマイルストーンを設定、当該マイルストーンにおいてクリアすべき要件を明確に定め、その達成状況の見通しを継続的にモニタリングし計画的にプロジェクトを遂行する。

(4) ステークホルダーとの調整

輸送量・運用期間が限定的な実証チェーンと雖も、海外からのエネルギーサプライチェーンを実際に構築する為には、多岐にわたるステークホルダーとの調整・交渉が必要となり、計画実施段階では、事業実施主体のコントロールが効きにくい事象が発生することも想定される。

既に実施した設備仕様や運用要件についての検討結果を最大限活用し、またステークホルダー各社との対話を丁寧かつ迅速に進めることで、遅滞の無い計画実施を目指す。

4. まとめおよび課題、事業化までのシナリオ

第1期の成果により、本研究の最終目標であるプロトタイプサプライチェーンの構築については一定の目処が得られたと考えられる。しかし、プロトタイプチェーン構築のその先のゴールである大規模商業水素サプライチェーンの実現に向けては(1)信頼性の確立、(2)コストの低減、(3)市場環境の醸成の3要件が必要と考える。

(1) 信頼性の確立

本研究の第2期においてプロトタイプチェーンの運用を通じた課題抽出と対応策検討を行うことで、将来の事業化段階において、需要家のニーズに適合した信頼性の高い水素サプライチェーンの構築・運用を実現する為の、技術的基盤が確立するものと期待される。

(2) コストの低減

コストの低減は事業化にむけて解決が必須の課題である。資源エネルギー庁のロードマップにある2030年にプラント渡し30円/Nm³の実現に向けて、実証チェーンの構築と並行して、以下の3つのアプローチでの取り組みを行う。

① チェーン形態・規模の適正化によるスケールメリット最大化

設備規模を拡大することで単位水素量当たりの固定的費用の削減が期待できる。具体的には、水素供給ポテンシャルも勘案し、数十万Nm³/h規模の水素チェーン構築を目標とする。勿論、チェーンの規模は水素需要量が律速要因となるので、一つの水素源から複数の水素需要へ供給を行う等の工夫を行う。

また、チェーンの構成要素の能力(水素化・脱水素基地の貯蔵容量、タンカーの輸送力)とチェーンとしての信頼性は一般にトレードオフの関係にある為、サプライチェーンシミュレーションを活用し規模を適正化することで同様に固定的費用の削減が期待できる。さらに、複数の水素源と水素需要を一体的に運用することで、信頼性確保のマージンとして保持する容量を削減可能となり、より一層の固定的費用の削減が期待できる

上記の取り組みによりチェーン形態・規模を適正なものとし、スケールメリットを最大化することでコスト低減を実現する。

② 触媒改良による輸送効率向上・操業費用低減

収率向上や長寿命化等の触媒改良を推進する。例えば、収率を向上させることで、一定量の

水素を供給する為に運ぶ必要のあるメチルシクロヘキサンの量を少なくでき、輸送費の削減が可能となる、また、触媒の交換頻度を下げることで、単位水素量当たりの触媒製造費や交換コスト等の操業費用の削減が可能になる。

③ 熱インテグレーション・排熱利用等による熱コスト低減

脱水素プラントの操業費用において大きな割合を占める熱コスト低減も重要な課題である。以下の3つの方策を水素の需要特性(規模・立地等)に合わせて適用することで水素コスト低減を目指す。

a. 発電設備との熱インテグレーション

テーマ③-3「発電燃料供給チェーンとしての設備仕様・オペレーション要件」の研究結果に記す通り、発電設備からの排熱を脱水素熱源として利用することで総合効率向上の可能性が示唆されている。但し、実現に向けては多様な運転モードへの対応等課題が多い。

さらに、今後の燃料電池技術の進歩により、事業用の燃料電池発電が実現した段階では、燃料電池の排熱を脱水素熱源として活用することもより有効な方策として考えられる。

b. 排熱利用

コンビナート等の工場排熱の利用も一つの方策として考えられる。これは、有効利用が比較的難しい200℃未満の排熱を利用し、低廉な熱源として活用するものである。但し、実現には触媒改良等により脱水素反応温度を低減させる必要がある。また、この場合排熱供給量が脱水素プラント規模の制約要因となるため、小規模ゆえに固定費が割高とならないように、コンビナートに既に存在するインフラ(荷役設備・貯蔵設備等)の転用・共用を検討することが必要となる。

c. 低炭素熱源

熱量当たりの単価という観点では、特段のコスト低減が期待できるものではないが、CO₂対策費の観点からは、低炭素熱源(バイオマス燃料等)の利用もコスト低減に資するものと考えられる。これは、熱量当たりの単価が同じで種類の異なる燃料の熱源利用を比較した場合、燃料のCO₂排出係数が小さい方が、水素1Nm³あたりのCO₂原単位が小さくなり、CO₂排出削減量1t当たりのコスト低減が期待できるものである。

(3) 市場環境の醸成

高信頼性・低コストを継続的な技術開発により追求することは大前提としても、2次エネルギーの媒体として水素を輸送する以上、他の1次エネルギーとの比較では相対的に高コストとなることは構造的な課題である。一方で、「相対的な高コスト」には以下のような環境面、エネルギーセキュリティ面での価値が含まれている

- ✓ エネルギーの消費地と離れた場所でCO₂の処理が可能となる。即ち、CO₂処理をより適した場所で行うことが可能となる
- ✓ 従来需要地への輸送が難しかったエネルギーの利用が可能となる

市場において上記価値の貨幣価値へ換算をどの様に行うかは非常に難しい課題ではあるが、事業としての2次エネルギー輸送チェーンの成立の為には、その価値を織り込んだ取引が行える市場環境の醸成は必須要件である。

課題としては、一事業者の取組範囲を大きく超えたものとなるが、技術開発を進める当事者としては、実証チェーン運用を通じて、社会に対しての課題提起を継続的に行っていききたい。

5. 研究発表・特許等

—新聞・雑誌等への掲載—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2017/06/01	日本工業新聞社「月刊ビジネスアイ エネコ」雑誌と web (取材)	松本真由美の環境・エネルギーDiary 「水素社会」の実現に近づく！ 水素を常温で安全に大量輸送へ	千代田化工建設
2	2017/07/27	各種メディア (プレスリリース)	世界に先駆けて国際間水素サプライチェーン実証事業に本格着手	千代田化工建設 遠藤英樹 GM
3	2017/08/21	化学工業日報	SPERA 水素事業の全体像、今後の展望について (特に水素の小型ステーションにつき、詳細取材希望) その1	千代田化工建設 遠藤英樹 GM
4	2017/08/23	化学工業日報	SPERA 水素事業の全体像、今後の展望について (特に水素の小型ステーションにつき、詳細取材希望) その2	千代田化工建設 遠藤英樹 GM
5	2017/09/01	ガスレビュー	有機ケミカルハイドライド法を用いた国際間大量水素サプライチェーン実証段階へ	千代田化工建設 遠藤英樹 GM
6	2017/09/03	日経ヴェリタス	水素社会、実現迫る	千代田化工建設 遠藤英樹 GM
7	2017/09/05	化学工業日報	SPERA 水素事業の全体像、今後の展望について (特に水素の小型ステーションにつき、詳細取材希望) その3	千代田化工建設 遠藤英樹 GM
8	2017/09/18	ガスエネルギー新聞	水素のサプライチェーンに関する特集記事	千代田化工建設 遠藤英樹 GM
9	2017/10/01	ジェトロセンサー (取材)	ブルネイ国ー川崎 世界に先駆け国際間水素サプライチェーン実証	千代田化工建設 遠藤英樹 GM
10	2017/10/05	千代田化工建設 HP	弊社ウェブサイトの改訂	千代田化工建設

11	2017/10/15	エネルギージャーナル	ブルネイ国ー川崎 世界に先駆け国際間水素サプライチェーン実証	千代田化工建設 遠藤英樹 GM
12	2017/11/01	エネルギーの新潮流、およびエネルギー総工研web	ブルネイ国ー川崎 世界に先駆け国際間水素サプライチェーン実証	千代田化工建設 遠藤英樹 GM
13	2017/11/10	投資経済	世界に先駆け、国際間水素サプライチェーン構築へ	千代田化工建設 大島泰輔 TL
14	2018/02/01	川崎市環境技術紹介パンフ「エコテックウォーカー」	水素社会を支え、世界のサステナビリティに貢献！	千代田化工建設 岡田技師長
15	2018/01/30	月刊クリーンエネルギー	技術研究組合の設立と取り組みー世界に先駆けた有機ケミカルハイドライド法の水素サプライチェーン実証ー	AHEAD 遠藤 理事長
16	2018/02/05	日本海運集会所 KAIUN	世界に先駆けた国際実証を通じて水素の大量輸送・供給技術を確立	AHEAD 遠藤 理事長
17	2018/02/01	株式会社ガスレビュー発行 ハイドリズム 8	有機ハイドライド法は水素エネルギー社会の“希望、である	千代田化工建設
18	2018/02/01	WEB および小冊子 (CSR)	水素サプライチェーン実証	東亜石油
19	2018/01/23	武蔵野大学西脇教授 水素エネルギーで飛躍するビジネス	水素事業全般	千代田化工建設 遠藤英樹 GM
20	2018/05/01	機関投資家向け IR 資料	INVESTOR'S BRIEF 2018	千代田化工建設
21	2018/04/10	加地テック WEB	NEDO 助成事業での圧縮機の受注	加地テック
22	2018/05/11	決算発表	世界に先駆けた国際間水素サプライチェーン実証のご紹介	千代田化工建設
23	2018/07/12	京浜臨海部ニュース 8 月号	次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合について	AHEAD
24	2018/09/01	2018 サステナビリティレポート	川崎市と取り組む脱炭素社会への貢献	千代田化工建設

25	2018/08/28	月刊ビジネスアイ エネ コ	OCH を用いた水素サプ ライチェーン構築へ...千代田 化工建設の取り組み	千代田化工建設
26	2018/08/07	電気新聞	SPERA 水素 千代田の水 素供給事業	千代田化工建設
27	2018/08/09	8th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology	Development of Novel Dehydrogenation Catalyst for Hydrogen Carrier	千代田化工建設 岡田技師長
28	2018/09/01	NHK	国際間水素サプライチェー ンにおける水素源ブルネイ 紹介	千代田化工建設 岡田技師長
29	18/11/15 18/11/1 19/1/30	日刊工業新聞、エネルギ ージャーナル、エネ総工 研 web	千代田の水素供給事業	千代田化工建設 長井部長
30	2018/11/01	HP	国際間水素サプライチェー ン実証事業の起工式	昭和シェル石油 株式会社
31	2018/11/27	日経産業新聞コラム 「グリーン技術」	千代田の水素供給事業	千代田化工建設 長井部長
32	2019/01/30	社内報	東亜石油殿（川崎京浜製油 所内）にて起工式典を開催	千代田化工建設
33	2019/01/07	社内報	脱水素プラント建設工事起 工式	東亜石油
34	2018/01/10	読売新聞神奈川版	千代田の水素供給事業	千代田化工建設
35	2019/02/25	ソウル経済新聞	水素社会に向けた日本の取 組み	千代田化工建設 長井部長
36	2019/05/01	Investor's Brief 2019	Hydrogen Supply Business	千代田化工建設
37	2019/07/01	市民向けパンフレット	「水素って何？」	川崎市
38	2019/06/04	世界水素技術会議 (WHTC) 2019 での広 報展示およびガイドブッ クへの広告	有機ケミカルハイドライド 法による未利用エネルギー 由来水素サプライチェーン	千代田化工建設
39	2019/06/01	Chiyoda in Brief	Hydrogen Supply Chain	千代田化工建設
40	2019/06/14	G20 軽井沢大臣会合、屋 外展示会場での展示	有機ケミカルハイドライド 法による未利用エネルギー 由来水素サプライチェーン	千代田化工建設
41	2019/07/04	朝日新聞電子版	中国でも注目している SPERA 水素技術	千代田化工建設 長井部長

42	2019/07/22	化学工業日報	千代田化工建設の水素の取り組み	千代田化工建設 長井部長
43	2019/08/19	「火力原子力発電」2019年10月号	有機ハイドライド法水素貯蔵輸送技術と将来の展望	千代田化工建設
44	2019/03/01	株主向け資料	水素サプライチェーン事業 脱水素プラント完成	東亜石油
45	2020/01/30	サステナビリティレポート	水素サプライチェーンへの協力	出光昭和シェル (出光興産株式会社)
46	2020/02/20	日経産業新聞	水素サプライチェーン実証 水素輸送の開始	日本郵船
47	2020/02/20	電気新聞	水素サプライチェーン実証 水素輸送の開始	日本郵船
48	2020/03/16	電気新聞	千代田化工、水素製造コスト低減へ触媒研究／量産見据え耐久性向上	千代田化工建設 長井部長
49	2020/05/01	月刊誌「KAIUN」5月号	水素サプライチェーン実証	日本郵船
50	2020/04/01	日経ビジネス電子版	水素は、“ごく普通のタンクローリー”で輸送できる?!	千代田化工建設 長井部長
51	2020/04/28	「海事プレス」	水素サプライチェーン実証 稼働開始	日本郵船
52	2020/04/28	「日本海事新聞」	水素サプライチェーン実証 稼働開始	日本郵船
53	2020/05/29	Investor's Brief 2020	SPERA Hydrogen / The World's First Global Supply Chain Transportation Project	千代田化工建設
54	2020/05/25	HP	輸入水素の発電利用開始	川崎市
55	2020/05/26	HP	【世界初国際間水素サプライチェーン】 海外から輸送した水素による国内初の発電開始	千代田化工建設
56	2020/06/25	報道関係者様向けプラント見学会、HP	水素サプライチェーン実証 概要説明	AHEAD
57	2020/06/25	HP	世界初、水素を輸送する国際実証試験を本格開始 ～水素サプライチェーンの	日本郵船

			循環に成功、水素社会の実現を目指す～	
58	2020/10/15	情報誌「港湾 10月号」	特集 【港湾における脱炭素社会の実現に向けて】 「川崎における水素サプライチェーン構築に向けた取組み」	AHEAD 森本 理事長
59	2020/11/01	配管技術 11月号	水素の大量長距離輸送技術 SPERA 水素®システムの開発 -世界初の国際間水素サプライチェーン実証プロジェクト-	千代田化工建設 岡田技師長

－研究発表・講演－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2017/7/12	The 7th World Hydrogen Technologies Convention	Hydrogen Storage and Transportation using SPERA Hydrogen Process for realizing Low-Carbon Society	高野 宗一郎
2	2017/09/26	JPI カンファレンス	世界に先駆けた国際間水素サプライチェーン商用化事業の全容	千代田化工建設 遠藤英 GM
3	2017/10/13	川崎市水素ネットワーク協議会	世界に先駆けた国際間水素サプライチェーン実証のご紹介	千代田化工建設 黒崎大輔 GL
4	2018/02/07	敦賀商工会議所向け講演	水素エネルギー事業構築に向けた取組み	三菱商事
5	2018/03/15	ナノテクノロジービジネス推進協議会主催 ‘環境・エネルギー研究会	水素エネルギー事業構築に向けた取組み	三菱商事
6	2018/02/20	ハグミュージアム	有機ハイドライド国際水素サプライチェーン構築に向けた取組み	千代田化工建設 岡田技師長
7	2018/02/26	駐日ブルネイ大使館	ブルネイに於ける三菱商事の取組み	三菱商事

8	2018/03/01	Palace Hotel	有機ハイドライド法および 水素サプライチェーン実証	AHEAD 成毛理 事
9	2018/03/19	Kumul Petroleum (パプア国営石油会社) 主催 Energy Summit	Chiyoda in PNG	千代田化工建設
10	2018/04/25	HANNOVER MESSE/ 第12回日独経済フォー ラム	Large-scale hydrogen storage and transportation technology	千代田化工建設
11	2018/04/24	日本溶接学会シンポジウ ム	『創る・運ぶ』水素製造・ 運搬・利用技術	千代田化工建設 岡田技師長
12	2018/05/23	第31回日智経済委員会	水素エネルギー事業につい て	三菱商事
13	2018/05/30	第3回 水素再エネ社会 の新事業創出フォーラム	SPERA 水素システムの開 発状況と展望	千代田化工建設 岡田技師長
14	2018/06/28	(一社)日本高圧力技術協 会 技術セミナー	有機ハイドライド法を用い た水素の大量貯蔵輸送技術	千代田化工建設 河合
15	2018/06/19	World Hydrogen Energy Conference 2018	Large-Scale Hydrogen Storage and Transportation System -“SPERA Hydrogen TM” System-	千代田化工建設 岡田技師長
16	2018/07/24	日経社会イノベーション フォーラム	川崎市リーディングプロジ ェクト一覧	川崎市福田市長
17	2018/07/12	アジア・大洋州における 気候変動と脆弱性に関す る国際会議	世界に先駆けた国際間水素 サプライチェーン実証のご 紹介	千代田化工建設
18	2018/09/04	ブルネイ大学	国際間水素サプライチェー ン実証紹介	千代田化工建設
19	2018/09/04	Green Hydrogen for the Chilean Energy Transition	Large-Scale Hydrogen Storage and Transportation System	千代田化工建設
20	2018/09/12	International Hydrogen Infrastructure Workshop	Introduction of Liquid Organic Hydrogen Carrier and the Global Hydrogen Supply Chain Project	AHEAD
21	2018/09/20	化学工学会 第50回秋季 大会	有機ハイドライド法を用い た水素の大量貯蔵輸送技術	千代田化工建設

22	2018/12/03	ブルネイ 天皇誕生日祝賀会	The world's first SPERA hydrogen supply chain starts in 2020	AHEAD
23	2018/10/23	水素閣僚会議	SPERA Hydrogen Hydrogen Supply Chain by LOHC System	千代田化工建設 清水専務
24	2018/11/25	第12回日中省エネルギー・環境総合フォーラム	水素社会実現に向けた 千代田化工建設の取組み	千代田化工建設 山東社長
25	2018/11/16	The 4th Korea-Japan Joint Symposium on Hydrogen in Materials	Development of SPERA Hydrogen system and its prospects	千代田化工建設 岡田技師長
26	2018/12/07	第11回『よこはま水素エネルギー協議会』セミナー	水素社会に向けた水素の大規模貯蔵輸送技術による取組み	千代田化工建設
27	2018/12/10	California Hydrogen Business Council	2018 California Hydrogen and Fuel Cell Summit	千代田化工建設
28	2019/01/14	WFES 2019 - World Future Energy Summit	「SPERA Hydrogen The global hydrogen supply chain demo project」 「Introduction of Hydrogen Supply Chain」	千代田化工建設
29	2019/02/07	エコビジネスフォーラム	水素サプライチェーン実証事業への協力	東亜石油
30	2019/03/27	株主通信およびCSRレポート	脱水素プラント建設工事起工式等	東亜石油
31	2019/02/22	日本計装工業会 講演会	有機ハイドライド法を用いた水素の大量貯蔵輸送技術 (SPERA 水素)	千代田化工建設 河合
32	2019/02/27	FC-EXPO 第15回水素・燃料電池展	SPERA 水素 国際間水素サプライチェーン実証プロジェクト	千代田化工建設 長井部長
33	2019/03/01	第5回集光型太陽熱技術研究会	Chiyoda Hydrogen Supply Chain Vision	千代田化工建設
34	2019/03/14	第84回 化学工学会年会	水素の大規模貯蔵輸送技術 -SPERA 水素®システム- の開発と展望	千代田化工建設 岡田技師長

35	2019/03/25	Stanford 大学 Htdrogen Workshop	Liquid Organic Hydrogen Carrier Technology for Hydrogen Storage and Transportation in Large- Scale	千代田化工建設 岡田技師長
36	2019/06/03	World Hydrogen Technology Convention 2019	Development of SPERA Hydrogen™ System using LOHC	千代田化工建設 岡田技師長
37	2019/07/01 2019/08/01	日刊工業新聞、エネ総工 研 web「エネルギーの新 潮流」	水素大量導入時代に向け	千代田化工建設 長井部長
38	2019/06/27	G20 大阪サミット、国際 メディアセンター内での 展示	有機ケミカルハイドライド 法による未利用エネルギー 由来水素サプライチェーン	千代田化工建設
39	2019/06/28	技術情報センター Power to Gas セミナー	大規模水素貯蔵輸送技術に よる Power to Gas 実現へ の展望	千代田化工建設 岡田技師長
40	2019/06/19	Credit Suisse Hydrogen Seminar	Overview of the Hydrogen Market Energy of the Future?	Chiyoda Oceania Pty Ltd
41	2019/07/10	第 14 回再生可能エネル ギー世界展示会&フォー ラム	再生可能エネルギー由来の 水素供給事業 ー有機ケミカルハイドライ ド法ー	千代田化工建設 長井部長
42	2019/07/24	日経イノベーションフォ ーラム	水素エネルギー社会の実装 とグローバル連携	川崎市福田市長
43	2019/10/31	第 49 回 石油・石油化 学討論会	有機ケミカルハイドライド 法による水素の大量貯蔵・ 輸送技術の開発	千代田化工建設
44	2019/09/18	JPI セミナー	水素貯蔵輸送技術による Power to Gas への適用と 今後の展望 - SPERA 水素システムの 展開と応用技術開発 -	千代田化工建設 岡田技師長
45	2019/09/25	Hydrogen Energy Ministerial Meeting 2019	Demonstration Project “AHEAD”	三菱商事

46	2019/10/11	RD20(Research and Development 20 for clean energy technologies)	SPERA Hydrogen System - H2 Storage and Transportation in Large-scale -	千代田化工建設 岡田技師長
47	2019/10/19	Japan-Myanmar Resource, Trade & Investment EXPO 2019 映像放映	テーマ「日本をもっと身近に」(ミャンマーに進出している日本企業を広く紹介する展示会の中で、当社の取組みを紹介)	千代田化工建設
48	2019/11/05	2019 Fuel Cell Seminar & Energy Exposition, Long Beach, California	Advances in Chemical Carriers for Hydrogen	千代田化工建設
49	2019/11/07	東工大 AES センターシンポジウム	蓄電池や水素を活用した脱炭素化への取組みについて	三菱商事
50	2019/11/13	Department of Energy Hydrogen Carrier Workshop	Advances in chemical Carriers for hydrogen	千代田化工建設
51	2019/12/12	Kuwait Symposium on Blue Hydrogen(JCCP/Kuwait Foundation 共催)	Development of SPERA Hydrogen TM System using LOHC	千代田化工建設 岡田技師長
52	2019/12/16	ERIA Annex Office, Jakarta, Indonesia	The World's First Global Hydrogen Supply Chain Demonstration Project Update	千代田化工建設
53	2020/01/30	公益財団法人原総合知的通信システム基金特別セミナー	水素の大規模貯蔵輸送技術の開発と展望 -SPERA 水素システムの開発と今後の展望-	千代田化工建設 岡田技師長
54	2020/02/12	Stanford University Explore Course ERE205 Hydrogen Economy	MCH_LOHC_System	千代田化工建設
55	2020/02/18	天皇誕生日式典展示@ブルネイ	"The World's First Global Hydrogen Supply Chain starts in 2020 " by SPERA Hydrogen® between Brunei Darussalam and Kawasaki, Japan.	AHEAD

56	2020/02/19	川崎水素戦略シンポジウム	大規模水素供給チェーンに向けた歩み<SPERA 水素>	千代田化工建設 長井部長
57	2020/07/31	令和2年第1回 川崎臨海部水素ネットワーク協議会	川崎市水素戦略リーディングプロジェクト進捗状況報告 【水素サプライチェーン構築モデル】	AHEAD
58	2020/08/06	日本計画研究所 (JPI) セミナー	「水素貯蔵輸送技術の Power to Gas への適用可能性と今後の展望」	千代田化工建設 岡田技師長
59	2020/10/14	水素閣僚会議 2020	SPERA Hydrogen for the Future	千代田化工建設 山東社長
60	2020/10/15	The 5th International Conference on Maritime Hydrogen and Marine Energy	Shipping of Hydrogen from Brunei to Japan – Building a Global Hydrogen Network through “SPERA Hydrogen®”-	千代田化工建設
61	2020/10/20	CSJ 化学フェスタ	世界初国際間水素サプライチェーンの紹介 ～水素の大規模貯蔵輸送システムとサプライチェーン構想～	千代田化工建設
62	2020/10/20	2020 中国 (太原) 国際エネルギー産業博覧会	SPERA 水素ビジネス紹介	千代田化工建設 長井部長

－展示会出展－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2017/11/20	INCHEM TOKYO	SPERA 水素 千代田の水素供給事業 世界に先駆けた国際間水素サプライチェーン実証のご紹介	千代田化工建設
2	2017/11/21	APEC Energy Working Group 54 EV and Hydrogen Technology Policy Workshop	Establishing a Hydrogen Supply Chain to Japan	三菱商事

3	2017/11/28	在ブルネイ日本大使館レセプション	水素事業全般	AHEAD
4	2018/02/01	川崎国際環境技術展	SPERA 水素 千代田の水素供給事業	千代田化工建設
5	2018/02/01	東京都水素エネルギー推進セミナー	SPERA 水素 千代田の水素供給事業（プレゼンおよび映像）	千代田化工建設 AHEAD 成毛理事
6	2018/02/28	FC Expo	水素サプライチェーン構築モデル	川崎市
7	2018/07/18	smart engineering tokyo2018	SPERA 水素 千代田の水素供給事業	千代田化工建設
8	2019/02/07	第11回 川崎国際環境技術展	SPERA 水素 千代田の水素供給事業	千代田化工建設
9	2019/02/27	FC-EXPO 第15回 水素・燃料電池展	SPERA 水素 国際間水素サプライチェーン実証プロジェクト	川崎市
10	2019/10/23	TOKYO MOTOR SHOW 2019 ×COUNTDOWN SHOWCASE FUTURE EXPO	SPERA 水素@千代田の水素サプライチェーン (有機ケミカルハイドライド法)	千代田化工建設
11	2019/11/13	第12回川崎国際環境技術展	SPERA 水素@千代田の水素サプライチェーン (有機ケミカルハイドライド法)	千代田化工建設
12	2019/11/27	ブルネイオープニングセレモニー 展示	SPERA 水素@千代田の水素サプライチェーン (有機ケミカルハイドライド法)	AHEAD
13	2019/12/21	水素エネルギーイベント@MEGAWEB 映像放映・パンフ配布	SPERA 水素@千代田の水素サプライチェーン (有機ケミカルハイドライド法)	千代田化工建設
14	2020/02/26	FC-EXPO2020 映像放映	SPERA 水素® 千代田の水素サプライチェーン (有機ケミカルハイドライド法)	Hysut

－特許等－

該当なし。

(Ⅱ-③)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」①大型輸送・貯蔵容器の開発

助成先：川崎重工業株式会社

●成果概要（実施期間：2019年度～2022年度終了予定）

- ・大型貯蔵容器の断熱性能（極低温、水素ガス中）の目処付け、メンブレン形状に対して解析にて成立性確認
- ・海上輸送用大型液化水素タンクの断熱構造、タンク構造、タンク構造材料、配管との接続方法に関する各種特性試験・解析を実施して、データを取得中
- ・海上輸送用大型液化水素タンクのタンクシステムの検証に向けて、試験タンクを設計し、材料を手配中

●背景/研究内容・目的

<背景>

大量の水素を国際輸送し、エネルギー利用するため重要な機器となる、液化水素の大型貯蔵容器および海上輸送用大型液化水素タンクの開発を実施している。

<研究内容・目的>

貯蔵容器と海上輸送用液化水素タンクの大型化に向けた構造、材料、断熱性能に関わる各種特性データを取得し、基本仕様を確定する。また、試験タンクでの性能検証に向けた準備（タンク設計、材料手配）を実施する。

●研究目標

実施項目	目標
a)大型貯蔵容器	ア)断熱性能の目処付け イ)メンブレン形状の解析技術確立
b)海上輸送用大型液化水素タンク	ア)断熱システム方式／構造選定 イ)タンク基本構造決定、強度／揺動評価 ウ)タンク構造材料選定／データ取得 エ)配管との接続方法選定／強度評価 オ)タンクシステムの検証に向けた試験タンク設計／材料手配

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

- a)大型貯蔵容器
- ア)極低温、水素ガス中で断熱性能を満足
 - イ)考案したメンブレン形状に対して解析にて成立性を確認
- b)海上輸送用大型液化水素タンク
- ア)断熱方式／構造選定済
 - イ)タンク構造の基本構造／支持構造を選定済み、強度評価中
 - ウ)タンク材料を選定済、材料特性データ取得中
 - エ)配管との接続方法を選定済み、強度特性データ取得中
 - オ)タンクシステムの検証に向けて、試験タンク設計中、材料手配中

●今後の課題

- a)大型貯蔵容器
- ・量産性、構造面の課題に対して考案した三重殻構造の成立性を検証
- B)海上輸送用大型液化水素タンク
- ・部材の耐久性確認
 - ・材料特性データ、強度特性データ取得完了後のタンク基本仕様決定
- 実用化・事業化の見通し
- 本開発で得られた設計技術をもとに、商用規模の実証を行い、性能を検証することにより、事業化に結び付ける。

実施項目	成果内容	自己評価
a)大型貯蔵容器	断熱性能を評価中	△(2021/2)
	メンブレン形状の成立性を確認中	△(2021/2)
b)海上輸送用大型液化水素タンク	断熱方式／構造選定中	△(2021/2)
	タンク構造/支持構造選定/評価中	△(2021/2)
	タンク構造材料選定/データ取得中	△(2021/2)
	配管との接続方法選定/データ取得中	△(2021/2)
	試験タンク設計、材料手配中	△(2021/2)

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	なし	1	なし

(Ⅱ-③)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素の輸送用貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」②商用ローディングアームの開発

助成先：
東京貿易エンジニアリング株式会社

●成果概要（実施期間：2019年度～2022年度終了予定）

・2020年9月時点

- 1) 大口径緊急離脱機構：動作手順の変更により、理論外部流出量は10ℓ以下になる見込みで、試作機を製作中。
- 2) 大口径船陸継手：構造の変更により、重量は0.5ton以下になる見込みで、試作機の製作を開始した。
- 3) 鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発：真空度保持対策として、新たな対策を策定し、製作中である。

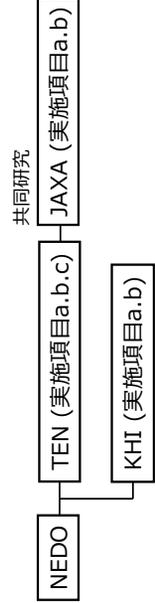
●背景/研究内容・目的

大量の水素を国際輸送し、エネルギー利用するために重要な機器となる液化水素用ローディングアームが実用化されていないため、コアパーツである大型の緊急離脱機構と船陸継手を開発し、また鋼製ローディングアームについて液化水素を用いた試験を行い、商用ローディングアームの開発に目途をつける。

●研究目標

実施項目	目標
a) 大口径緊急離脱機構	理論外部流出量が125ℓ以下の緊急離脱機構の開発における試作機の製作
b) 大口径船陸継手	重量が1ton以下で操作容易な船陸継手の開発における試作機の製作
c) 鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発	メンテナンス頻度が1年に1回程度で済む真空度を確保する試作機の製作

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

- a) 大口径緊急離脱機構：現状では、従来型のクランパーが外れて弁体が閉じる構造から、先に弁体が閉じて、その後クランパーが外れる構造に変更した為、理論外部流出量は10ℓ以下の見込みでを得た。現在熱応力解析を実施するとともに、試作機の製作に着手した。
- b) 大口径船陸継手：分離面を平行にし、位置合わせユニットを不要とした構造の採用により重量は約0.5ton以下になる見込み。また、分離後の大気露出面の構造を決定した。
- c) 鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発：吸着剤追加、改良型真空測定装置の追加、清浄度の高いパロースの採用を行い製作中。

●今後の課題

- a) 大口径緊急離脱機構：熱応力解析で変位が過大な箇所があるため、ガイド部品を追加し再解析を実施中。2021～2022年にかけてJAXAで試験を行う。
- b) 大口径船陸継手：シール性を確保するために接触面の平行が維持されるか熱応力解析で検証する。
- c) 鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発：2020年度で部品製作、2021年度に真空引実施、2022年度に液化水素による試験を行う。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
大口径緊急離脱機構	現状では理論外部流出量は10ℓ以下の見込みで、現在解析を実施しながら、試作機を製作中	△ (2021/2)
大口径船陸継手	分離面を平行にし、位置合わせユニットを不要とした構造の採用により重量は約0.5ton以下になる見込みで、現在試作機を製作中	△ (2021/2)
鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発	真空度保持対策として、吸着剤追加、改良型真空測定装置の追加、清浄度の高いパロースの採用、が必要なが分り、現在製作中	△ (2021/2)

●実用化・事業化の見通し

現状の開発が予定通りに進捗させることにより、2023年度より商用大口径ローディングアームの事業化を目指し、栈橋条件、タンカー条件の確認を行いながら設計を行うい、2025年の設計終了を目指す。

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
なし	なし	なし	なし

(II-③)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」③低温水素ガス圧縮機の開発

助成先： 株式会社IH回転機械エンジニアリング

● 成果概要 (実施期間：2019年度～2022年度終了予定)

- ・液空生成に対し安全性を確保する構造の開発において、伝熱解析にて圧縮機外表面が液空温度以上であることを確認し、基本設計を完了して製作に着手している。
- ・シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材の開発において、伝熱解析にてシールガスの液化がないことを確認、ラボでの摩擦試験から候補材を選定し、基本設計を完了。
- ・商用機の設計技術および性能評価技術の開発において、試作機の1D CAEモデルの構築、現地試験目的に見合った低温水素ガス供給設備・基礎・建屋の基本設計を完了。

● 背景/研究内容・目的

◎ 背景

LNG基地において貯蔵タンクからの発生ガスを圧縮して発電設備に供給する場合、大容量・高圧で負荷変動に対応できる往復動式圧縮機が主に適用されているが、現状は液化水素の蒸発力温度に対応できる当該形式の圧縮機は存在しない。

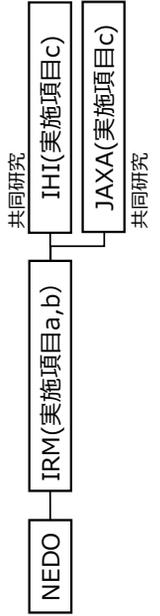
◎ 研究内容・目的

本事業では、LNG用BOG圧縮機と同程度の安全性、耐久性、信頼性を有する大容量・高圧の低温水素ガス圧縮機の開発・実用化のために必要となる要素技術、運用技術の開発を行い試作機の実ガス運転にて実証試験を実施する。

● 研究目標

実施項目	目標
a) 液空生成に対し安全性を確保する構造の開発	低温水素ガスを吸入しても、外表面にて液空を発生させない真空容器構造、熱変位を吸収するサポート構造を考案する
b) シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材の開発	窒素シールガスを中間筒内、ロッド表面で液化させない軸シール構造を考案し、摺動部材の用途を付ける
c) 商用機の設計技術および性能評価技術の開発	試作機の1D CAEモデルを構築し、試作機の現地試験設備の基本計画を完了し、2021FYの試験の用途を付ける

● 実施体制及び分担等



● これまでの実施内容／研究成果

- 液空生成に対し安全性を確保する構造の開発
 - ・ ガス入口部にはバイネット接手を採用し、ガスシール性も改良した形状による伝熱解析にて真空容器表面が液空温度(-183℃)以上であることを確認し、基本設計を完了した。
 - ・ 熱応力解析および振動解析にてサポートや容器の各部の応力が各部材の疲労限度以下であることを確認し、基本設計を完了した。
- シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材の開発
 - ・ 中間筒・断熱材を追加することで、窒素ガスにて軸シール構造が成立することを伝熱解析にて確認した。
 - ・ 低温水素ガス雰囲気中摺動部材の摩擦試験を実施し、候補材を選定した上で、基本構造・構成を決定した。
- 商用機の設計技術および性能評価技術の開発
 - ・ 試験目的に見合った低温水素ガス供給設備・基礎・建屋の基本設計を完了して施工業者を決定した。
 - ・ LNG多段の1D CAEモデルで中間段吐出温度を除き、流量・最終吐出温度誤差は大幅に改善した。
 - ・ LNGモデルでの改良と真空容器の断熱効果を反映した上で、試作機の1D CAEモデルを構築した。

● 今後の課題

- 2019FYまでに用途を付けた以下要素技術・運用技術の試作機による実証が課題
- ・ 真空容器付きシリンダの安全性
 - ・ サポート構造の健全性
 - ・ 軸シール構造の妥当性
 - ・ 摺動部材の摺動特性
 - ・ 1D CAEモデルによる性能予測技術
 - ・ 吸入温度制御・性能評価技術

● 実用化・事業化の見通し

2020年代半ばまでに液化水素サブライターの商用実証化、2030年頃の商用化に合わせ、低温水素ガス圧縮機も実用化・事業化していく見通し。

● 研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
a)	・真空容器付きシリンダの伝熱解析を完了 ・サポート構造の熱応力・振動解析を完了 ・真空容器シリンダの基本設計を完了	○
b)	・新しい軸シール構造の伝熱解析を完了 ・摺動部材の候補材の絞り込みを完了 ・軸シール構造・摺動部材の基本設計を完了	○
c)	・試作機の1D CAEモデルの構築を完了 ・試作機の現地試験設備の基本計画を完了	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
なし	なし	なし	なし

(Ⅱ-③)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」 ④液化水素昇圧ポンプの開発

助成先：株式会社荏原製作所

●成果ガマリ（実施期間）：2019年度～2022年度終了予定）

- ・液化水素昇圧ポンプ用軸スラストバランス機構基本構造の設計完了。
- ・液化水素昇圧ポンプ用材料の評価、選定が完了。ポンプ設計用材料特性把握のため文献調査、材料試験を実施中。
- ・液化水素昇圧ポンプ小型試作機の基本設計が完了。設計評価を行い、詳細設計を進める。
- ・小型試作機の液化水素運転試験内容を検討し、それを基に液化水素試験設備を設計/製作中

●背景/研究内容・目的

<背景>

水素発電設備の一つとして、発電設備に液化水素を昇圧して供給する、大容量液化水素昇圧ポンプの開発が必要である。

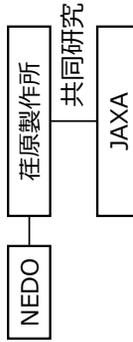
<研究内容・目的>

大容量高圧ポンプ(商用機)を実現するため、軸スラストバランス機構やポンプ材料選定といった要素技術開発と試作機の設計/製作、液化水素運転試験での評価・分析より液化水素昇圧ポンプの設計技術を確立する。

●研究目標

実施項目	目標
軸スラストバランス機構の検討	バランス機構基本構造の設計
ポンプ材料の選定	・水素/低温脆化を考慮した材料選定 ・材料特性の把握
ポンプ性能/機能の評価・分析	・試作機の設計 ・試験設備の製作

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

a)軸スラストバランス機構の検討

液化水素ポンプ用新型基本構造を設計し、商用機および小型試作機の仕様において、計算上、軸スラストカがバランスすることを確認した。

b)ポンプ材料の選定

材料試験により材料特性を評価、ポンプ材料を選定した。

c)ポンプ性能/機能の評価・分析

- ・小型試作機の基本設計を完了し、性能/機能を詳細評価している。
- ・液化水素運転試験内容を計画し、それに基づき、試験設備を設計し、製作を行っている。

●今後の課題

a)軸スラストバランス機構の検討

試作機運転試験における機能検証

b)ポンプ材料の選定

・ポンプ設計の為に材料特性の把握

・試作機試験での健全性確認

c)ポンプ性能/機能の評価・分析

・小型試作機の詳細設計、設計評価

・試験設備の製作

・2021年度以降、試作機製作/試験、評価・分析

以上より、液化水素昇圧ポンプ設計技術を確立する。

●実用化・事業化の見通し

2021年度以降、試作機を製作し、運転試験を行い、性能/機能を評価することで設計技術確立を達成する。2030年頃の水素発電商用チェーンの完成に向けて、水素発電用ポンプの具体的な仕様検討と設計を行っている。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
軸スラストバランス機構の検討	基本構造の設計完了	○
ポンプ材料の選定	構造部品用材料の評価/選定完了 (2020/12)	△
ポンプ性能/機能の評価・分析	試作機基本設計完了 試験設備製作着手	△ (2021/2)

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	なし	なし	なし

課題番号：Ⅱ-③

研究開発名：「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」

1. 研究開発概要

大量の液化水素を海外で製造、液化して運搬船で輸送した水素を荷揚げし、発電設備まで供給する場合、LNGの機器構成と同様に、大型の液化水素タンクやローディングアーム、水素を効率的に加圧するための液化水素昇圧ポンプや、タンクから蒸発したガスを、低温のままで圧縮する低温水素ガス圧縮機の開発が必要となる。

これら多岐にわたる機器を開発するために、LNG基地、LNG船での実績および知見を有し、かつ液化水素用機器の開発に積極的である企業や研究機関が集結し、下記の分担で開発を実施する。

- ① 貯蔵容器および海上輸送用タンク：川崎重工業株式会社（KHI）
- ② 商用ローディングアーム：東京貿易エンジニアリング株式会社（TEN）とKHIの共同開発
- ③ 低温水素ガス圧縮機：株式会社IHI回転機械エンジニアリング（IRM）
- ④ 液化水素昇圧ポンプ：株式会社荏原製作所（EBR）

サプライチェーンにおける各社開発機器の位置づけを図1に示す。JAXA（宇宙航空研究開発機構）は、②、③、④の共同研究先である。

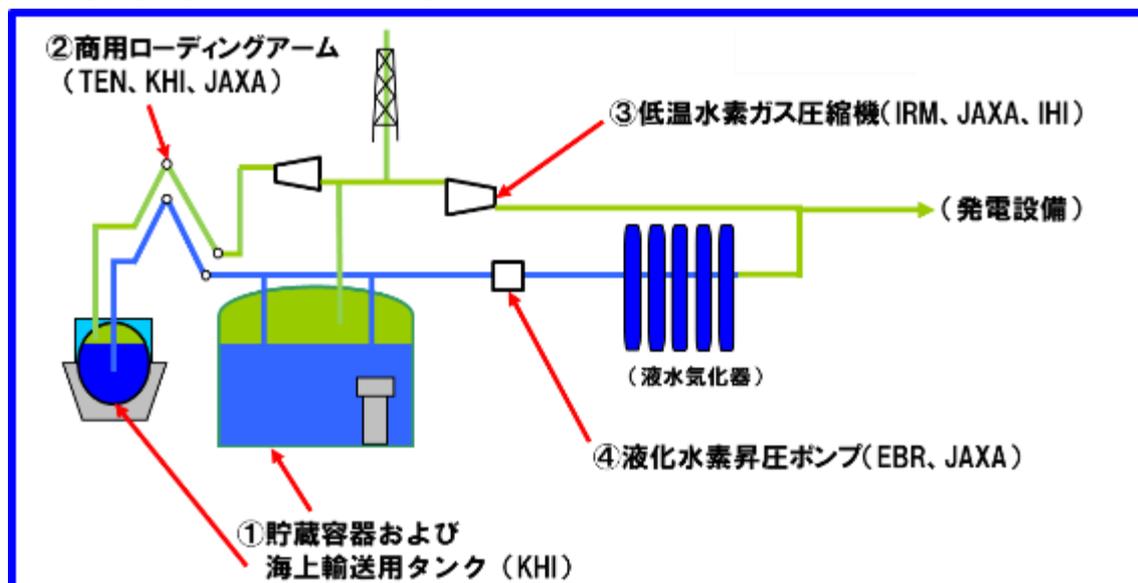


図1 液化水素受入基地および発電設備への供給プラントの主要機器構成

2. 研究開発目標（設定の理由も含め）

貯蔵容器、海上輸送用タンク、商用ローディングアームについては、機器大型化を達成するために解決すべき課題、低温水素ガス圧縮機および液化水素昇圧ポンプについては、水素用として使用する場合に新たに発生する課題を解決させる必要がある。2022年度までに、各機器について商用機を設計、製作できる目途を得ることを考慮して、2020年度までに到達すべき成果を、開発目標として設定した。

表1 研究開発目標

機器	実施項目	目標
①大型輸送・貯蔵技術の開発	a) 大型貯蔵容器の開発	ア) 断熱性能に目途を付ける。 イ) メンブレン形状の解析技術を確立する
	b) 海上輸送用大型液化水素タンクの開発	ア) 断熱システム方式/構造を選定する。 イ) タンク基本構造を決定し、強度/揺動評価を実施する。 ウ) タンク構造材料を選定して、材料特性データを取得する。 エ) 配管との接続方法を選定して、強度評価を実施する。 オ) タンクシステムの検証に向けて、試験タンクを設計して、材料を手配する。
②商用ローディングアーム	a) 大口径緊急離脱機構の開発	理論外部流出量が 125ℓ以下の緊急離脱機構の開発における試作機の製作
	b) 大口径船陸継手の開発	重量が 1 ton 以下で操作容易な船陸継手の開発における試作機の製作
	c) 鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発	メンテナンス頻度が 1 年に 1 回程度で済む真空度を確保する試作機の製作
③低温水素ガス圧縮機	a) 液空生成に対し安全性を確保する構造の開発	低温水素ガスを吸入しても、外表面にて液空を発生させない真空容器構造、熱変位を吸収するサポート構造を考案する
	b) シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材の開発	窒素シールガスを中間筒内、ロッド表面で液化させない軸シール構造を考案し、摺動部材の目途を付ける
	c) 商用機的设计技術および性能評価技術の開発	試作機の 1D CAE モデルの構築し、試作機の現地試験設備の基本計画を完了し、2021FY の試験の目途を付ける
④液化水素昇圧ポンプ	a) 軸スラストバランス機構の検討	バランス機構基本構造の設計
	b) ポンプ材料の選定	・水素/低温脆化を考慮した材料選定 ・材料特性の把握
	c) ポンプ性能/機能の評価・分析	・試作機的设计 ・試験設備の製作

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

①大型輸送・貯蔵技術の開発

表2に開発項目ごとに設定した目標、成果および達成状況を示す。各項目共に順調に進捗しており、2020年度に設定した目標が達成可能な目途を得た。以下、各項目の成果について述べる。

表2 開発目標と達成度

開発項目	目標	成果	達成度
ア)大型貯蔵容器の開発	ア)断熱性能の目途付け イ)メンブレン形状の解析技術確立	・極低温、水素ガス中で断熱性能を満足した。 ・考案したメンブレン形状に対し解析にて成立性を確認。	△ (2021/2)
イ)海上輸送用大型液化水素タンクの開発	ア)断熱システム方式 ・断熱システムの基本仕様の確定	・断熱方式/構造を選定済 ・基本仕様検討中	△ (2021/2)
	イ)タンク構造 ・基本構造決定 ・強度/揺動評価	・基本構造/支持構造を選定済 ・強度評価中	△ (2021/2)
	ウ)タンク構造材料 ・材料選定/データ取得	・材料選定済 ・材料特性データ取得中	△ (2021/2)
	エ)配管との接続方法 ・方法選定/強度評価	・方法選定済 ・強度特性データ取得中	△ (2021/2)
	オ)タンクシステムの検証 ・試験タンク設計/材料手配	・試験タンク設計中 ・材料手配中	△ (2021/2)

a) 大型貯蔵容器の開発

ア) 断熱材の開発

ガスバリア層を設けた発泡断熱材の構造を決定し、ヘリウム雰囲気下での熱伝導率を計測した結果、大気中と同等レベルの熱伝導率を達成できていることを確認した。また、計測したガス透過性能をもとに、使用環境下（水素ガス雰囲気中、-190℃）での熱伝導率の予測計算を実施した結果、長期間にわたり断熱性能を維持できることを確認した。（図2）

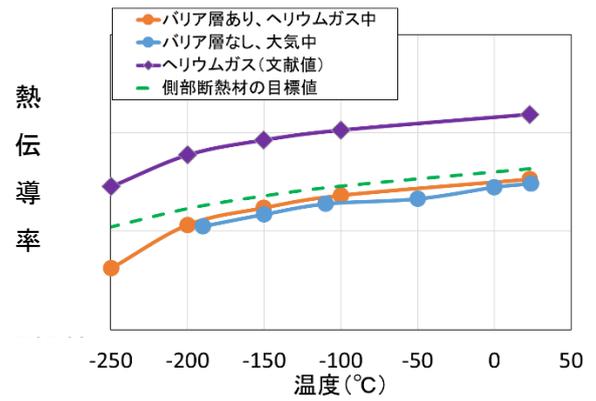
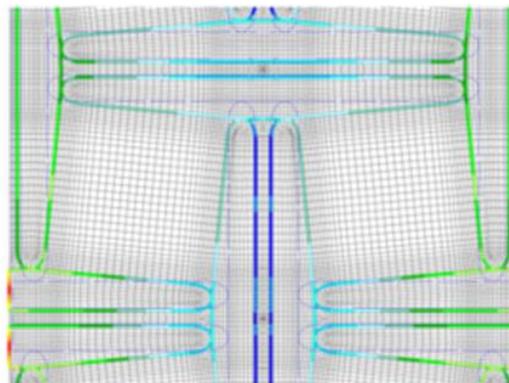


図2 極低温熱伝導率計測装置の外観（左）と計測結果（右）

イ) メンブレンの開発

一般部メンブレンの形状を決定してモデルを作成して強度解析を行い、温度変化等による荷重の影響を検討した。その結果、本メンブレンは温度変化による熱収縮を吸収する構造であることを確認した。本解析結果をもとに、メンブレンの基本形状を決定し、一般部メンブレンの評価試験で用いる供試体の試製作を行った。

さらに、メンブレンの候補材の一つである SUS316L について、実機相当の予ひずみを加えた後に、水素脆化の影響を受ける可能性のある -80°C 付近の SSRT 試験 (Slow Strain Rate Testing : 低ひずみ速度試験) を実施した。この結果、-80°C 水素ガス雰囲気における引張強度の顕著な低下は見られないという知見を得た。(図 3, 4)



(変形倍率: 20 倍)

図3 メンブレン（側部）の強度解析結果（変形量）

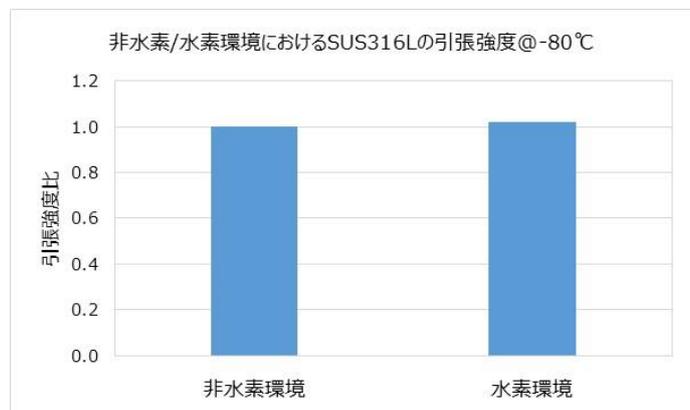


図4 低温水素ガス雰囲気環境 SSRT 試験装置の外観（左）と試験結果（右）

なお、実用化の検討を進めるうえで、以下の新たな課題が顕在化した。

- ・ガスバリア層の大型化向けの施工が困難で、量産対応可能なメーカーが存在しない。
- ・内槽にメンブレンを固定する場合、内槽の温度変化による相対変異の予測が困難。

そこで、新たに、内槽を厚板とした、金属三重殻構造を考案した（図5）。この構造の主な課題の一つとして、耐震性を有する内槽の支持構造の確立が挙げられるが、検討の結果、概ね対応できるめどがみついた。

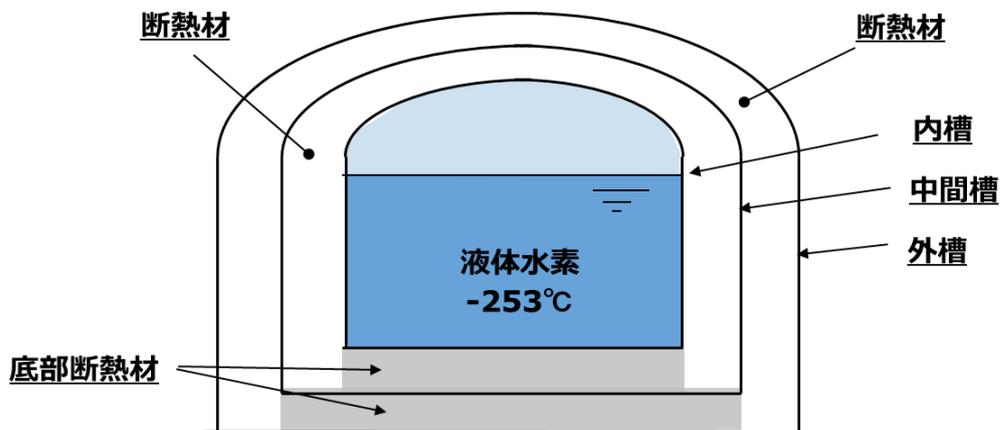


図5 金属三重殻構造案

各要素技術の開発については予定通り 2020 年度目標を達成見込みである。量産化等の課題により新たな構造を考案し、本構造の成立性を検証することにより、当初予定通り、最終目標である 2022 年度末までに大型タンクの設計、製造に必要な開発を終了させる見込みである。

b) 海上輸送用大型液化水素タンクの開発

今回の開発によって得た成果の達成状況を表3に示す。成果が途中となっている分については、引き続き開発を継続して、2020 年度内に達成する計画である。

表3 海上輸送用大型液化水素タンクの開発によって得られた成果

開発項目	成果の達成状況	達成度
ア) 断熱システム方式/構造	<ul style="list-style-type: none"> 方式/構造選定済 基本仕様検討中 	△ (2021年2月達成予定)
イ) タンク構造	<ul style="list-style-type: none"> 基本構造/支持構造選定済 強度評価中 揺動評価完了 	△ (2021年2月達成予定)
ウ) タンク構造材料	<ul style="list-style-type: none"> 材料選定済 特性データ取得中 	△ (2021年2月達成予定)
エ) 配管との接続方法	<ul style="list-style-type: none"> 材料選定済 特性データ取得中 	△ (2021年2月達成予定)
オ) タンクシステムの検証	<ul style="list-style-type: none"> 試験タンク設計中 材料手配中 	△ (2021年2月達成予定)

大型タンク（40,000m³/タンク）の実現に向けて、LNG 船で培ったタンク構造/材料、防熱構造の実績を踏襲しつつ、液体水素温度（-253℃）、水素雰囲気に対応する基本仕様を以下の通り検討した（図6、表4参照）。

- タンク構造/材料/断熱は、球形アルミタンク、二重殻防熱とした。
- タンクの支持構造はスカートを採用し、スカートにSUS材（サーマルブレーキ）を挟むこととした（熱伝導の高いアルミ合金によるヒートロスを抑制）。
- タンクドームの船上配管に接続するため配管構造検討を完了した。また、配管（アルミ合金）と船上配管（SUS）を、フランジを使わずに溶接で接合するために、配管用異材継手CCJ（旭化成製）を利用することで検討を進めた。

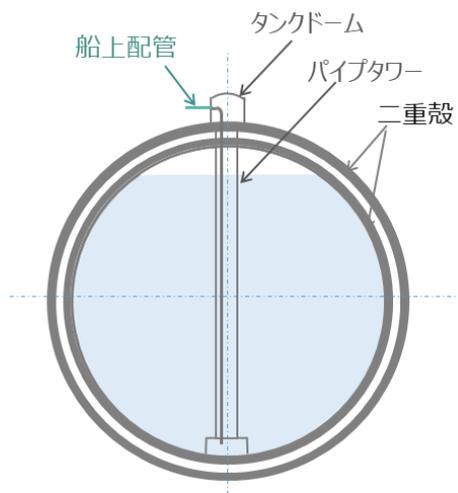


図6 タンク構造

表4 海上輸送用大型液化水素タンクの基本仕様

項目	基本仕様	
タンク構造/材質	基本構造	球形二重殻
	ベース材料	アルミニウム合金
	支持構造	スカート *サーマルブレーキ（SUS）を含む
	異材接続方法	構造用異材継手STJの利用/溶接
断熱構造	方式	二重殻防熱方式
配管接続部	船上配管との異材接続方法	配管用異材継手CCJの利用/溶接

STJ: Structural Transition Joint

CCJ: Cryocoup Joint

基本仕様の実現に向けて実施した内容は下記の通りである。（図7、図8）

- 上述の基本仕様を実現するために、材料特性データ、熱物性データなどを試験によって取得した。

- それらを用いて（未取得データについては、推定）、強度解析（降伏、座屈、破壊、疲労）を実施して、タンク構造の実用化（許容応力以下）を確認した。
- また、防熱構造を仮決定し、来期予定の部分モデル試験に向けた試験準備を完了予定である。
- 加えて、タンク製造法、防熱施工法などの検討を進めて、将来の低温タンク試験に向けて、試験タンク的设计、材料手配を実施中である。

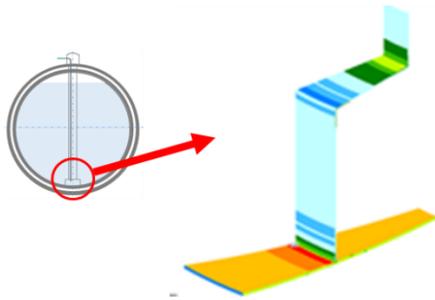


図7 タンク降伏強度解析事例

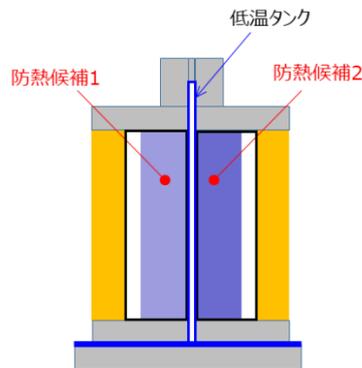


図8 部分モデル試験装置概観

②商用ローディングアームの開発

表5に開発項目ごとに設定した目標、成果および達成状況を示す。各項目共に順調に進捗しており、2020年度に設定した目標が達成可能な目途を得た。以下、各項目の成果について述べる。

表5 開発目標と達成度

開発項目	目標	成果	達成度
a) 大口径緊急離脱機構の開発	理論外部流出量が1250以下の緊急離脱機構の開発における試作機の製作	現状では理論外部流出量は100以下の見込みで、試作機を製作中	△ (2021年2月)
b) 大口径船陸継手の開発	重量が1ton以下で操作容易な船陸継手の開発における試作機の製作	重量は約0.5ton以下になる構造を検討した	△ (2021年2月)
c) 鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発	メンテナンス頻度が1年に1回で済む程度の真空度を確保する試作機の製作	以下3点を製作中 ア) 吸着剤追加 イ) 改良型真空測定装置の追加 ウ) 清浄度の高いベローズの採用	△ (2021年2月)

a) 大口径緊急離脱機構の開発

現状の従来型のクランパーが外れて弁体が閉じる構造から、先に弁体が閉じて、その後にクランパー

が外れる構造に変更した為、理論外部流出量は10ℓ以下の見込みで、解析で変形量が過大な箇所が見つかった為、サポートを追加して、現在再解析を実施しながら、試作機を製作中。(図9)

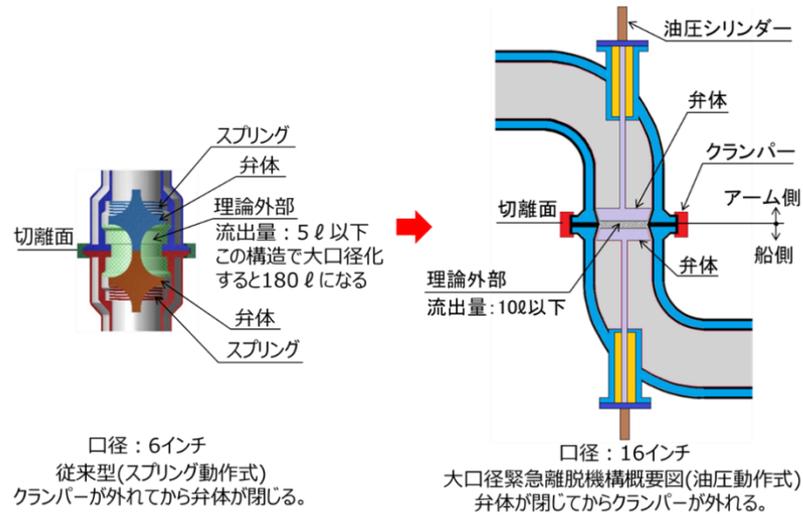


図9 大口徑緊急離脱機構

b) 大口徑船陸継手の開発

継手の分離面(接続面)を平行にし、従来構造で必要だった位置合わせユニットを不要とした構造の採用により、重量は約0.5ton以下になる見込み。また、分離後の大気露出面の構造を決定した。(図10)

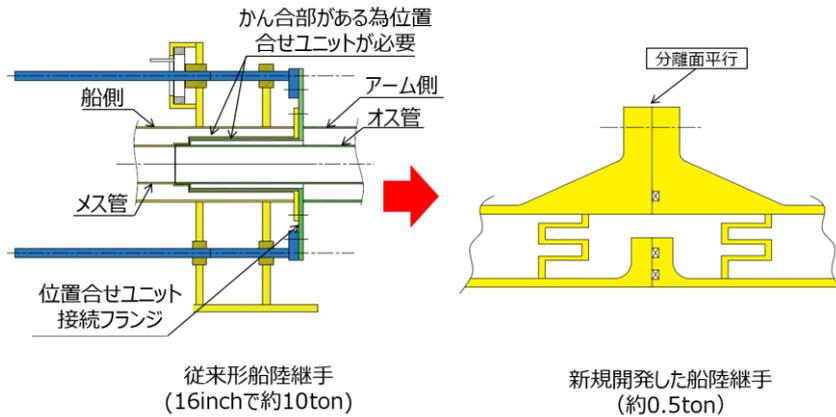


図10 大口徑船陸継手の構造

c) 鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発

液化水素を用いた鋼管製ローディングアームの試験の実施に際し、吸着剤の追加、改良型真空測定装置の設置、清浄度の高いベローズの採用を行うこととし、現在製作中である。

③ 低温水素ガス圧縮機

表6に開発項目ごとに設定した目標、成果および達成状況を示す。

各項目共に順調に進捗しており、2020年度に設定した目標が達成可能な目途を得た。以下、各項目の成果について述べる

表6 開発目標と達成度

開発項目	目標	成果	達成度
a) 液空生成に対し安全性を確保する構造	外表面に液体空気が発生せず、メンテナンス可能な構造の考案	真空断熱継手等を採用し、解析にて表面が液空温度(-183℃)以上であることを確認。	○
b) シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材	窒素シールガスが中間筒内にて液化しない構造を考案する。	中間筒・断熱材を追加することで、構造成立性を解析にて確認した。	○
	商用での連続使用を考慮した高寿命およびシール性に優れた摺動部材の目途付けを行う。	低温水素ガス雰囲気での摺動部材の摩耗試験を実施し、候補材料を選定した上で、基本構造・構成を決定した。	○
c) 商用機的设计技術および性能評価技術の開発	試作機の現地試運転の計測・性能評価用の試験装置の基本計画が完了	試験目的に見合った低温水素ガス供給設備・基礎・建屋の基本設計を完了して施工業者を決定した。	△ (2021年2月完了予定)
	商用機の精度ある性能予測のため、1D CAEを用いた低温水素ガス試作機(1段)モデルを構築する。	LNGモデルでの改良と真空容器の断熱効果を反映した上で、試作機の1D CAEモデルを構築した。	○

a) 液空生成に対し安全性を確保する構造の開発

- 240℃の低温水素ガスを吸入しても、外表面にて液空が発生せず、シリンダ内部部品のメンテナンスが可能な真空容器構造を考案すること。

成果：ガス入口部にはバイヨネット接手を採用し、ガスシール性も改良した形状による伝熱解析(図11)にて真空容器表面が液空温度(-183℃)以上であることを確認し、基本設計を完了した。

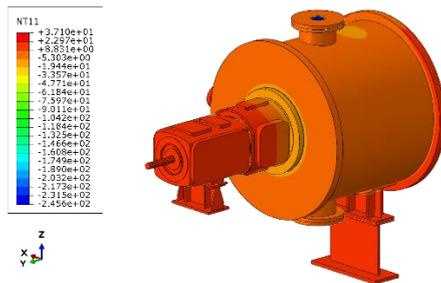


図11 真空容器付きシリンダの伝熱解析結果

- ・ シリンダと真空容器間の温度差による熱変位を吸収し、積極的な熱パスとならないシリンダサポート構造を考案すること。

成果：熱応力解析および振動解析（図 12）にてサポートや容器の各部の応力が各部材の疲労限以下であることを確認し、基本設計を完了した。

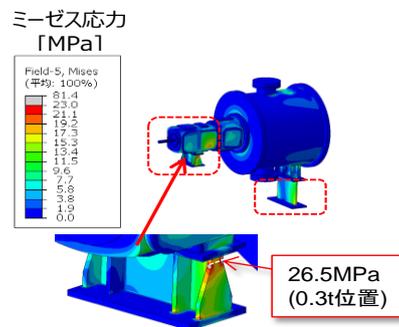


図 12 真空容器付きシリンダの熱応力・振動解析結果

b) シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材の開発

- ・ フレーム側への冷熱伝熱を緩和し、窒素シールガスが中間筒内にて液化しない往復動軸シール構造を考案すること。

成果：中間筒・断熱材を追加することで、N₂ ガスにて軸シール構造が成立することを伝熱解析にて確認した。

- ・ 商用での連続使用を考慮した高寿命およびシール性に優れた摺動部材の目途が付いていること。

成果：低温水素ガス雰囲気中で摺動部材（図 13）の摩耗試験を実施し、候補材料を選定した上で、基本構造・構成を決定した。

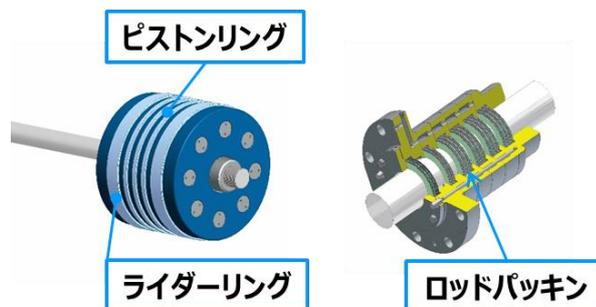


図 13 往復動摺動部材

c) 商用機的设计技術および性能評価技術の開発

- ・ 試作機の現地試運転の計測・性能評価用の試験装置の基本計画が完了し、2021 年度の試験に向けて目途が立っていること。

成果：試験目的に見合った低温水素ガス供給設備・基礎・建屋の基本設計を完了して施工業者を決定した。今後、高圧ガス設備の完成検査証を取得する。

- ・ 商用機の精度ある性能予測のため、1D CAE を用いた LNG 多段モデルの精度を向上し、真空容器で覆われる低温水素ガス試作機(1 段)モデルを構築すること。

成果:LNG 多段モデルで中間段吐出温度を除き、流量・最終吐出温度誤差は大幅に改善し、LNG モデルでの改良と真空容器の断熱効果を反映した上で、試作機の 1D CAE モデルを構築した。

④液化水素昇圧ポンプ

表 7 に開発項目ごとに設定した目標、成果および達成状況を示す。各項目共に順調に進捗しており、2020 年度に設定した目標が達成可能な目途を得た。

表 7 研究開発項目毎の目標と達成状況

開発項目	目標	成果	達成度
a) 軸スラストバランス機構の検討	バランス機構 基本構造の設計	基本構造 設計完了	○
b) ポンプ材料の選定	・水素/低温脆化を 考慮した材料選定 ・材料特性の把握	構造部品用材料の 評価/選定完了	△ 2020 年 12 月達成予定
c) ポンプ性能/機能の 評価・分析	小型試作機の設計	基本設計完了	△ 2021 年 2 月達成予定
	液化水素試験設備の製作	製作中	△ 2021 年 1 月達成予定

以下に、各開発項目の成果概要を示す。

a) 軸スラストバランス機構の検討

商用機および小型試作機（羽根車径が商用機の約 2/3 のサイズ）の仕様において、計算上、定格流量 100% に対し 0~120% の範囲で軸スラスト力がバランスする新型基本構造が得られた。本バランス機構は羽根車の昇圧圧力を用いて回転体に上向き力を発生させるものである（特許公開前の為、詳細は省略）。

今後は、2022 年度に予定している試作機運転試験にて機能検証を実施する。

b) ポンプ材料の選定

液化水素ポンプ用材料の候補として、鋳物 A、B、C を対象に材料試験を実施した。表 8 に試験条件を示す。材料の低温脆化を評価するため、試験雰囲気は 4K(液体ヘリウム環境)、77K(液体窒素環境)、室温(大気環境)とした。また、試験前処理として試験片への水素チャージの有無により水素脆化を評価した。

表 8 材料試験条件

試験環境 温度 / 雰囲気		水素脆化の評価	
		水素チャージ	
低温脆化の評価	室温 / 大気 (RT)	無	有
	77K / 液体窒素	無	有
	4K / 液体ヘリウム	無	有

試験結果より、鋳物 A は低温および水素による脆化特性はないと考えられ、液化水素ポンプ材料に使用可能と判断する。鋳物 B は、低温および水素により脆化するが、その脆化量を商用機と類似仕様の液

化ガスポンプの使用条件とそのときの材料特性を基準に評価し、使用可能と判断する。

今後は、ポンプ設計の為の材料特性を文献調査、材料試験により取得する。また、選定した材料の健全性を試作機試験にて確認する。

c) 液化水素でのポンプ性能/機能確認

商用機の約2/3のサイズの羽根車を有する小型試作機の回転体、ケーシング、要素部品の基本設計を完了し、成立性評価を実施している。また、液化水素運転試験内容を計画し、それに基づき試験設備の設計を行い、製作に着手、2021年1月末に完成予定である。

今後は、試作機の詳細設計と設計評価を行い、2021年に試作機を製作し、2022年に運転試験を実施し、性能/機能を評価、分析し液化水素昇圧ポンプの設計技術を確立する。

3. 2 成果の意義

①大型輸送・貯蔵技術の開発

将来的に、水素発電に必要となるスケールの液化水素を輸送・貯蔵する技術は、現在のところ存在しない。今年度は、基地用貯蔵容器の要素試験、解析および海上輸送用大型タンクの基本仕様と実用化に向けた課題と解決策などを検討し、各種評価試験を実施している。これらの成果をもとに、大型容器の設計、製作可能な技術を確立し、我が国の液化水素の大量輸送・貯蔵分野の研究・開発の促進に寄与できる点で意義がある。

②商用ローディングアームの開発

液化水素用ローディングアームは現在商用化されておらず、日本で口径150mm程度の機器を荷役実証で製作されたのみである。将来的に水素発電に必要となるスケールの液化水素を移送する場合には、大型化が必要である。本年度に製作したキーハードの実機大の試作機をもとに、次年度以降に実証試験を行うことにより、技術的目途が得られ、商用スケール実用化につながることから、本成果は意義があると言える。

③低温ガス圧縮機の開発

LNG基地において貯蔵タンクからの蒸発ガスを圧縮して発電設備に供給する場合、大容量・高圧で負荷変動に対応できる往復動式圧縮機が主に適用されているが、液化水素の蒸発ガス温度(-240℃程度)に対応できる当該形式の圧縮機は現状存在しない。

プレヒーティングすることなく、液化水素の蒸発ガスを低温のまま、高密度なガスを吸込むことができれば、常温圧縮機よりも圧倒的に消費電力を小さく抑えることが出来る。

従って、本事業の実施により、要素技術、運用技術を開発し、その成果を生かして、世界初となる大容量・高圧の低温水素ガス圧縮機を開発することは、液化水素サプライチェーン全体の競争優位性・運用コスト削減に大きく貢献するものと考えられる。

④液化水素昇圧ポンプの開発

各開発項目の成果の意義を以下に示す。

・軸スラストバランス機構の検討

本事業にて得られた軸スラストバランス機構は液化水素遠心ポンプ全般に適用が可能である。

- ・ポンプ材料の選定

本事業にて得られた材料試験結果は、液化水素機器全般の材料選定根拠となる。

- ・液化水素でのポンプ性能/機能確認

小型試作機の液化水素運転試験にて性能/機能を評価し、液化水素ポンプ設計技術を確立することで、水素発電用液化水素ポンプの上市が可能となり、水素普及に寄与する。

3. 3 成果の最終目標の達成可能性

①大型輸送・貯蔵技術の開発

大型貯蔵容器については、三重殻液化水素タンクを新たに考案し、2022年度までに断熱構造の成立性および適用候補材料の評価を実施し、大型機の熱解析モデルを構築することにより、最終目標である5万m³級の貯蔵容器の構造を確立することが可能となる。

海上輸送用大型タンクについては、引き続き断熱、構造強度、材料、配管接続といった各要素に関する各種特性データ取得を行うとともに、断熱構造の基本仕様を決定するための部分モデル試験や、構造および熱解析モデルを構築するための試験を期間内に行うことで、最終目標である各要素の基本仕様の最終決定および設計技術の構築を達成できる見込みである。

②商用ローディングアームの開発

a) 大口径緊急離脱機構

現状は、試作機を製作中である。試作機を用いて、JAXAで液化水素の試験を行い、切離時の外部水素ガスセンサによる測定値から安全性を確認する。設計、製作が予定とおり進めば達成可能である。

b) 大口径船陸継手

現状は、試作機を製作中である。試作機を用いて、JAXAで液化水素の試験を行い、安全に分離が出来る昇温特性を把握する。設計、製作が予定とおり進めば達成可能である。

c) 鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発

現状は、真空保持対策を実施中である。真空劣化度を測定しながら、現地に据付を行い、液化水素での低温実証、真空度保持状態を確認する。現在予定通り進捗しており、達成可能の見通しである。

③低温ガス圧縮機の開発

a) 液空生成に対し安全性を確保する構造の開発

伝熱解析において、外表面の予想最低温度は-40℃程度であること、熱応力解析、振動解析にてサポート部等の応力が疲労限以下であることを確認済みであり、今年度中に試作機の大物部品の発注・製作、来年度中に実ガス運転にて真空容器付きシリンダの安全性を実証することにより、目標達成可能な見通しである。

b) シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材の開発

伝熱解析において、中間筒内部およびピストンロッド表面温度が-30～-20℃程度であることを確認済み、ラボでの摩擦試験において候補材を選定済みであり、来年度中に実ガス運転にて軸シール構造の妥

当性、摺動特性、シール性を実証することにより、目標達成可能な見通しである。

c) 商用機の設計技術および性能評価技術の開発

試作機の 1D CAE モデルは構築済みであり、来年度から多段モデルの精度向上を再開し、実ガス試験結果をフィードバックすることにより、達成可能な見通しである。

また、商用化を見据えたパラ水素および吸入温度をパラメータとした低温水素ガス供給設備を計画済みで、実ガス運転を通して目標達成可能な見通しである。

④液化水素昇圧ポンプの開発

各開発項目の中間目標は達成見込みである。それらの上述の成果に基づき、2021 年度に小型試作機を製作し、2022 年度に液化水素運転試験を行い、ポンプ性能および機能を評価、分析することで、最終目標である商用機仕様を実現し得る液化水素昇圧ポンプ設計技術の確立を達成する見込みである。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

①大型輸送・貯蔵技術の開発

本事業にて、5 万 m³ 級大型貯蔵容器および 16 万 m³ 級海上輸送を可能とする大型タンクの技術開発が実現する。しかしながら実物大の性能実証を本研究で行うことは困難であるため、今後、商用規模の実証により、性能を検証することにより、事業化に結び付ける。

また、海上輸送の事業化においては、国際規則の対応も重要となるため、関係する各機関（日本海事協会、日本船舶技術研究協会等）と協議を開始している。

②商用ローディングアームの開発

大口径緊急離脱機構については、本開発の実物大の実証試験で切離し試験および低温漏れ試験を行うことにより、主要な課題は解決し、上司につなげることができる。

大口径船陸継手については、軽量の開発品を試作、性能試験を行うことにより、安全かつ操作性の良い製品が開発できるため、大口径における実用化、事業化の目途が得られる。

また、鋼管型ローディングアームの荷役技術実証を液化水素を用いて実施することにより、機器の健全性が確認され、スムーズな実用化、事業化が可能となる。

2023 年度より商用大口径ローディングアームの事業化を目指し、栈橋条件、タンカー条件の確認を行いながら設計を行い、2025 年の設計終了を目指す。

③低温ガス圧縮機の開発

本事業にて、試作機による実証試験を軸に低温水素ガス圧縮機の各種基本技術の確立を図ることで、世界初の低温水素ガス圧縮機の実用化に大きく近づくものと考えられる。

2020 年代半ばまでに液化水素サプライチェーンの商用実証化、2030 年頃の商用化に合わせ、実用化・事業化をしていく見通しである。

そのためには、実用化・事業化に伴う大型化に際して想定される課題（材質、構造等）を抽出し、商用実証化のステージ或いは、必要に応じて、その前段階にて要素技術開発を行い、商用化の目途を付ける。更に商用化に伴い、期待される摺動部材の寿命の達成可否を商用実証化のステージにて検証し、必

要に応じて摺動部材の更なる改良を継続していく予定である。

④液化水素昇圧ポンプの開発

本事業では、液化水素用大容量高压ポンプ(商用機)を実現するための液化水素昇圧ポンプ設計技術の確立を最終目標として、2019年度から要素技術開発および試作機の設計、試験設備の設計製作を実施してきた。今後、2021年度に試作機を製作し、2022年度に液化水素運転試験にてポンプの性能および機能の評価、分析することで、液化水素昇圧ポンプ設計技術の確立を見込む。

そして、水素基本戦略の2030年頃の大規模水素発電の商用チェーン完成を達成するために、本事業にて得られた知見やノウハウを活用し、2020年代半ばまでに商用実証機の仕様検討、設計、製作および運転を行い、ポンプ設計技術を実証する(実用化検討)。その結果を踏まえて、商用機を設計、製作することで、2030年までに液化水素昇圧ポンプを事業化し、大規模水素発電の商用化に貢献する。

5. 研究発表・特許等

—研究発表・講演、文献等、その他—

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2019/9/25	水素閣僚会議	KHI's Activity for International Liquefied Hydrogen Supply Chain	金花芳則
2	2020/9	川崎重工技報	水素をためる —液化水素基地の開発—	猪股昭彦ほか

—特許等—

No.	出願日	出願番号	発明の名称	会社名
1	2020/6/26	PCT/JP2020/025367	二重殻タンク及び船舶	川崎重工業
2	2020/3/26	特願 2020—56701	ポンプ装置	荏原製作所

(Ⅱ-④)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素貯槽の大型化に関する研究」

助成先：トーヨーカネツ(株)

●成果サマリ (実施期間：2019年7月～2023年2月終了予定)

- 真空排気システムの確立において、大型貯槽に適用可能な材料及びベークング手法の見通しを得るとともに、真空排気シミュレーションの基本プログラムの構築及びその検証実験装置の基本仕様を決定した。
- 内槽底部への入熱量算定手法の確立において、断熱性能測定装置の基本仕様を決定した。
- SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立において、十分に破壊靱性を有することを確認するとともに、水素脆化感受性は非常に低いことを確認した。

●背景/研究内容・目的

2030年頃の水素発電の商用化に向けた、安定的かつ大量な水素供給体制の構築に資する、大型液化水素貯槽の建設に必要な要素技術の開発を行う。

これまで当社では、平底円筒型の大形貯槽の断熱構造を東京工業大学と開発するとともに、内槽材料特性を研究してきた。実機建設に向けたさらなる課題として、「I：真空排気システムの確立」、「II：内槽底部への入熱量算定手法の確立」及び「III：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立」があるため、本事業においてこれらを解決する。

●研究目標

実施項目	目標
I：真空排気システムの確立	①候補材料のガス放出量の測定 ②ベークング手法の確立 ③底部断熱構造側板の真空排気用孔径の決定
II：内槽底部への入熱量算定手法の確立	断熱性能測定装置の詳細仕様を決定する。
III：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立	①液化水素温度であっても十分な破壊靱性を有する溶接施工法を確立する。 ②脆化が最も起こりやすくなると思われる-70℃付近の水素脆化度を確認する。

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

実施項目	成果内容
I：真空排気システムの確立	①候補材料のガス放出量を測定し、しきい値以下になることを確認した。 ②大型貯槽に適用可能なベークング手法を決定した。 ③座屈応力解析により、孔径の最大値を決定した。真空排気シミュレーションの基本プログラムを構築するとともに、その検証実験装置の基本仕様を決定した。
II：内槽底部への入熱量算定手法の確立	断熱性能測定装置の基本仕様を決定した。
III：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立	①破壊靱性試験 (JIC試験) を実施して、十分に破壊靱性を有することを確認した。 ②低速引張試験 (SSRT試験) を実施して、水素脆化感受性は非常に低いことを確認した。

●今後の課題

真空排気システムの確立において、ベークング時のガス放出量の把握、ヒーター詳細仕様の決定、及びコスト算定を実施する。また、真空排気シミュレーションに適用するパラメータの詳細解析による取得、及びシミュレーション検証実験装置の製作・実験を実施する。

●実用化・事業化の見通し

当該製品は、水素・燃料電池戦略ロードマップにおけるターゲット「2030年頃の水素発電の商用化」に向け必須の製品であり、概ね技術的課題解決への道筋が見えていくことから、事業化の可能性は十分に高いものと考ええる。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
I	①大型の平底円筒貯槽に適用可能な材料の見通しを得た。 ②真空排気性を考慮した底部断熱構造設計確立への見通しを得た。	2021.2 達成予定
II	断熱性能測定装置完成への見通しを得た	2021.2 達成予定
III	SUS316Lの大型液化水素貯槽への適用を可能とする根拠を得た。	○

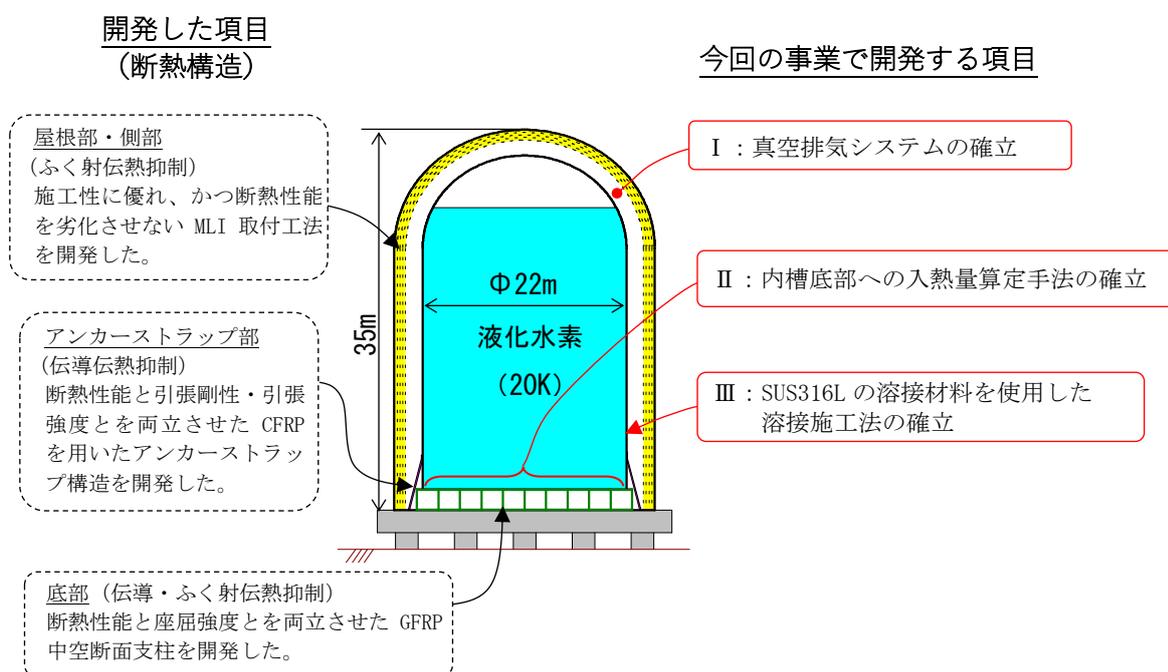
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
なし	なし	なし	なし

課題番号：Ⅱ－④

研究開発名：「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素貯槽の大型化に関する研究開発」

1. 研究開発概要

これまでに弊社では、平底円筒形の大規模液化水素貯槽の断熱構造を東京工業大学と開発するとともに、内槽材料特性を研究してきた。実機建設に向けたさらなる課題として、「Ⅰ：真空排気システムの確立」、「Ⅱ：内槽底部への入熱量算定手法の確立」、「Ⅲ：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立」、があるため、本事業においてこれらを解決する（図－1）。



図－1 開発した項目と今回の事業で開発する項目

2. 研究開発の目標

研究開発を行う各課題の目標を以下に示す。

2. 1 真空排気システムの確立

本貯槽は、真空断熱を採用しており、所要の断熱性能を実現するためには、内外槽間を $1 \times 10^{-3} \text{Pa}$ 程度以下の高真空に保つことが要求される。分子流領域となる $1 \times 10^{-1} \text{Pa}$ 程度以下からは、材料からのガス放出量が真空排気時間を決定するため、使用材料のガス放出量を把握する必要がある。

また、本貯槽は大型であるため、現地施工になり、工場施工の貯槽に比べ表面が汚染され易い。表面の汚染はガス放出量の増加につながり、真空排気において有害要素になる。このため、各材料について、表面の清浄度を決定する必要がある。

さらに、現実的な時間内に目標真空度を得ようとする場合、材料表面に吸着した水分子や油等の有機汚染分子を気相中に放出するためにベーキング（加熱脱ガス処理）が必要になる。

上記課題を解決し、数ヶ月オーダーで目標真空度が得られる真空排気システムを構築するための実施項目及び目標を以下に示す

実施項目	目標
①真空排気工法調査	真空排気に関する既存技術が把握できていること。
②各材料のガス放出量の測定	貯槽内の各材料のガス放出量を把握すると共に、使用可能な材料を決定していること。
③ベーキング手法の確立	実機におけるベーキング方法及びそれを適用した時のガス放出量が把握できていること。
④底部断熱構造側板の真空排気用孔径の決定	強度と排気性を両立する GFRP 支柱側板の真空排気用孔径が決定されていること。

①真空排気工法調査

真空排気に関する既存技術を把握し、今後の研究における指標を得るため、文献及びメーカーヒアリングによる技術調査を実施する。具体的には、既存小型タンクにおける、鋼板の清浄度及びガス放出量、ベーキング手法、真空排気システムの調査を実施する。ガス放出量は、鋼板の他に MLI、FRP についても調査する。

②各材料のガス放出量の測定

本貯槽に使用する材料のガス放出量を把握する。ガス放出量が大きく、使用不適と判断された材料は、ガス放出量抑制策の考案、或いは、適する材料への変更を行う。必要清浄度は、必要真空度を確保できるガス放出量となる清浄度として決定する。

③ベーキング手法の確立

技術的及び経済的な観点から検討を行い、大型貯槽に適用可能なベーキング手法を決定する。決定したベーキング手法に対する評価は、そのベーキング条件を与えた材料のガス放出量の測定結果により行う。

④底部断熱構造側板の真空排気用孔径の決定

底部断熱構造は、図-2に示す構造を図-3のように隣接させながら配置するため、真空排気においては、GFRP 側板に排気用の孔を設ける必要がある。孔は底部断熱構造の強度低下にも影響を及ぼすため、必要最小限の孔径を、本事業で構築する底部真空排気シミュレーションにより、数ヶ月オーダーで目標真空度（ $1 \times 10^{-3} \text{Pa}$ 程度）が得られる大きさとして決定する。

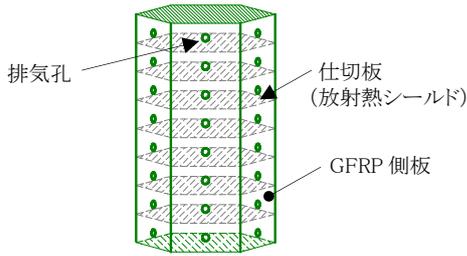


図-2 底部断熱構造概念図

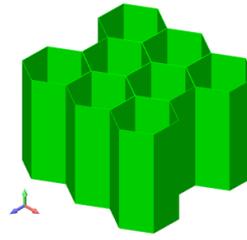


図-3 底部断熱構造配置イメージ

2. 2 内槽底部への入熱量算定手法の確立

過去の研究開発において、底部断熱構造から内槽への入熱量は、GFRP 熱伝導率の測定値とアルミニウムふく射率の測定値を用いて、伝導とふく射を考慮した熱解析により算定した。しかし、この熱解析手法の妥当性は検証されていない。このため、スケールダウンした試験体の断熱性能を、ボイルオフカロリーメータ法を用いた試験装置で実測し、その実測結果と熱解析結果とを比較する。相違があった場合は、その要因を分析し、実測値に合う熱解析手法を考案することで、内槽底部への入熱量算定手法を確立する。

実施項目	目標
①断熱性能試験装置の設計	試験装置の詳細仕様が決定していること

2. 3 SUS316L の溶接材料を使用した溶接施工法の確立

液化水素温度でも十分な靱性を有し、過度な水素脆化を起こさない SUS316L の溶接施工法を確立する。実施項目を以下に示す。

実施項目	目標
①破壊靱性試験	液化水素温度下でも十分な破壊靱性を有する溶接施工法が確立できていること
②SSRT試験	脆化が最も起こりやすくなると言われている -70°C 付近の水素脆化の度合いが確認できていること

①破壊靱性試験

J1C 試験を実施する。破壊靱性値 (K1C 値) のしきい値は ASME Sec.VIII Div1 で要求される $132\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ 以上とし、溶接施工法の妥当性を検証する。

②SSRT試験

-70°C での SSRT(Slow Strain Rate Technique)試験を実施する。

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

(1) 真空排気システムの確立 (達成度: 50%)

①真空排気工法調査

真空排気に関する既存技術を把握し、今後の研究における指標を得るため、文献による技術調査を実施した。入手した文献は、真空タンク、大型真空排気システム、ガス放出量、真空排気時間算定、真空排気シミュレーション、真空材料にカテゴリーを分けてデータベース化し、研究員間で得られた情報を共有した。

②各材料のガス放出量の測定

a.ガス放出量のしきい値の設定

本液化水素貯槽の内外槽間の真空排気は、まず、空間内の主成分が H_2O になる圧力までポンプで機械的に排気し、次に、ポンプを作動させながら、内槽を液化窒素で 77K まで冷却することで、低温面をクライオトラップとして作用させて、断熱性能を確保するための圧力である 10^{-3}Pa オーダーまで降圧させる。この真空排気の考え方にに基づき、底部(中間部・外槽側)、底部(内槽側)、屋根部・側部に分けて、しきい値を設定した。

b.ガス放出量測定結果

ガス放出量測定結果を図-4に示す。各部位において、複数材料のガス放出量を測定した結果、許容範囲内となる材料を確認することができた。なお、ガス放出量は以下の式により算出した。

$$q = \frac{P \cdot S}{A}$$

q : ガス放出量 ($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/[\text{s} \cdot \text{m}^2]$)、 P : 真空槽内圧力 (Pa)

S : ポンプ排気速度 ($0.1 \text{ m}^3/\text{s}$)、 A : 試験体表面積 (m^2)

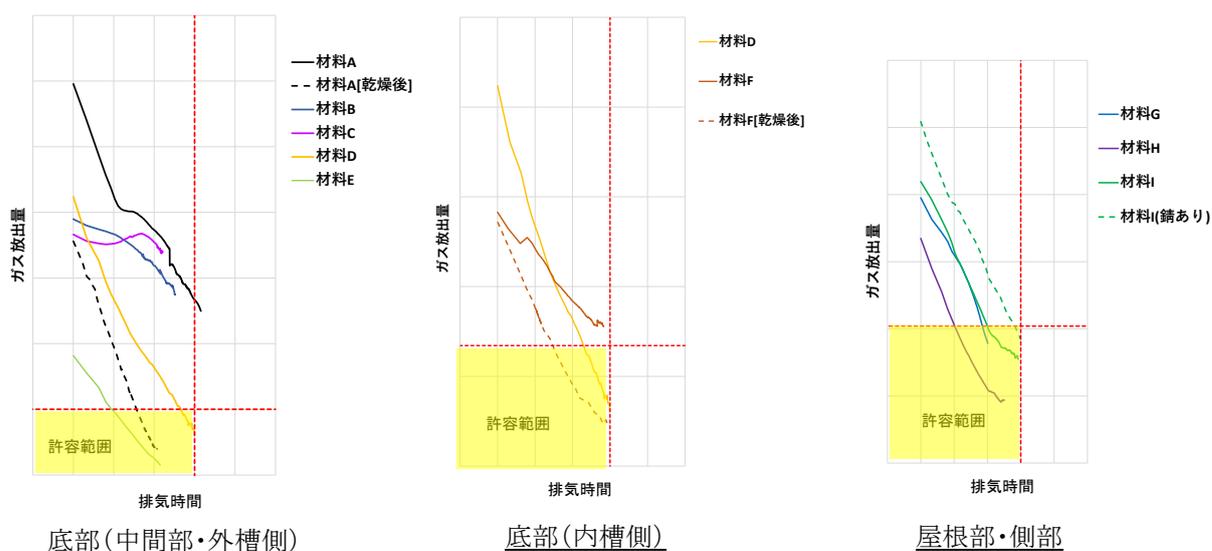


図-4 ガス放出量測定結果

③ベーキング手法の確立

実機における適用可能なベーキング手法を決定した。考案したベーキング手法の概要を図-5に示す。今後は、この手法に最適なヒーター仕様の選定、加熱温度を決定し、コストを算定する。また、加熱温度の継続時間は、試料のガス放出量を測定することで決定する。

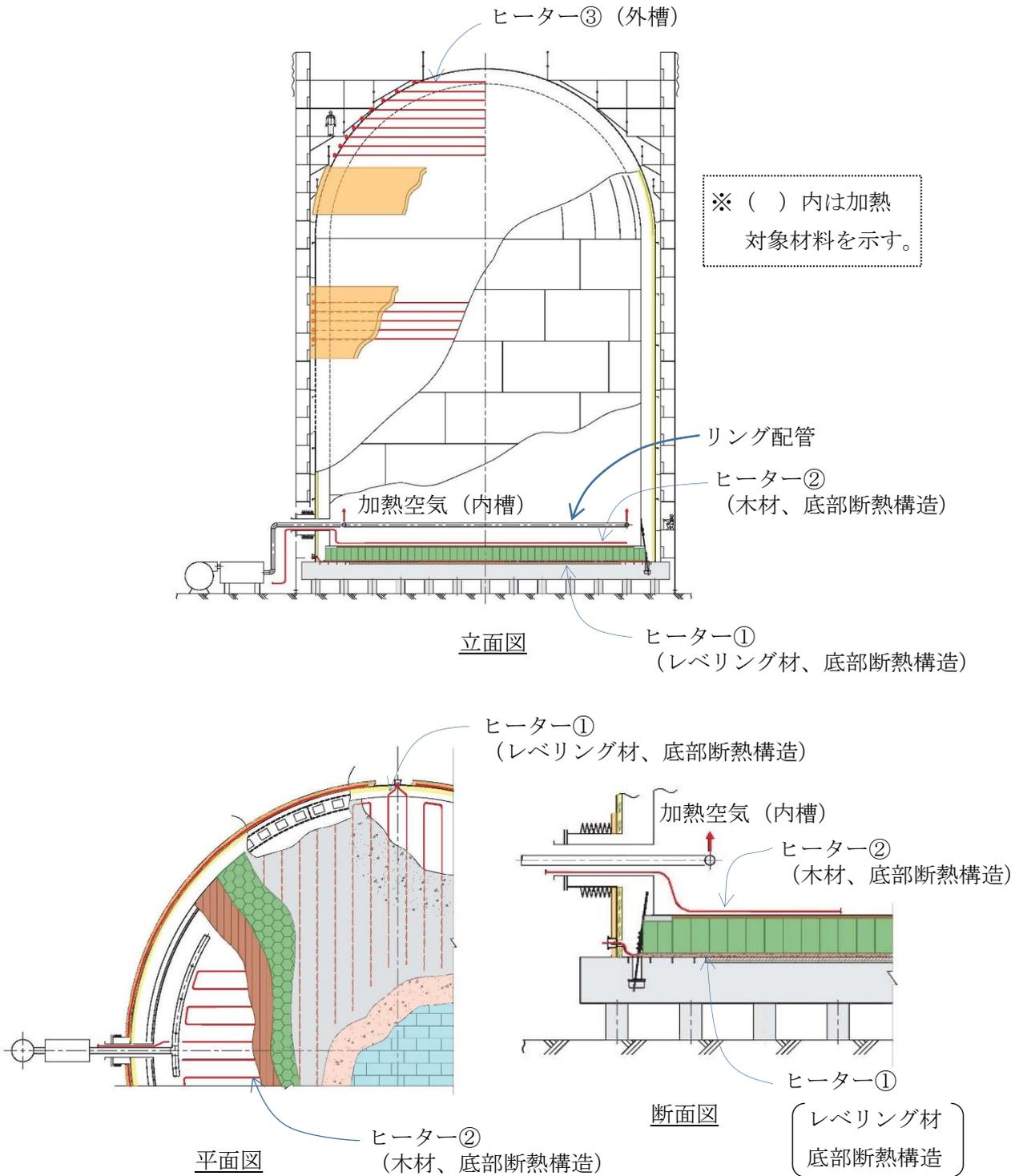
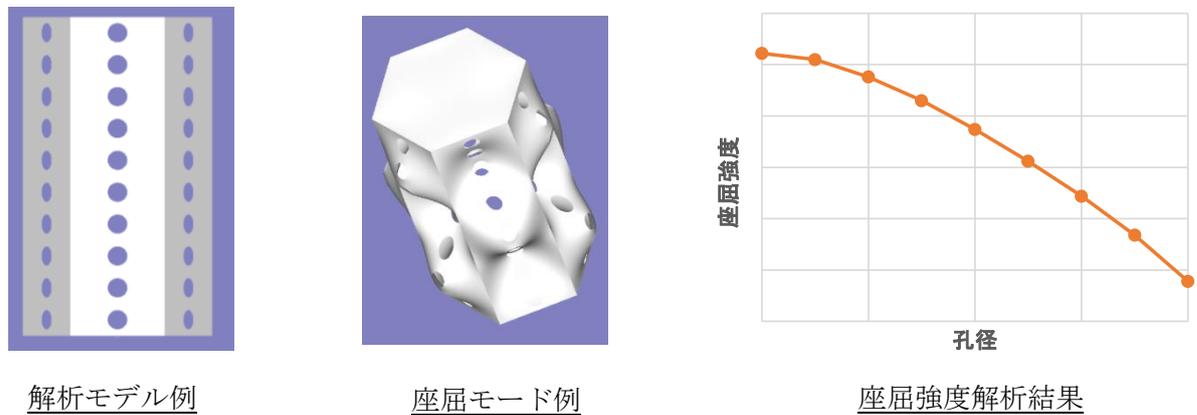


図-5 ベーキング手法

④底部断熱構造側板の真空排気用孔径の決定

a.座屈解析による最大孔径の決定

底部断熱構造へは貯槽から圧縮力が作用するため、その側板の真空排気用孔径の最大値は座屈強度により決定される。本研究では、線形座屈解析により孔径を変化させた場合の座屈強度を算定し、最大孔径を決定した（図－6）。



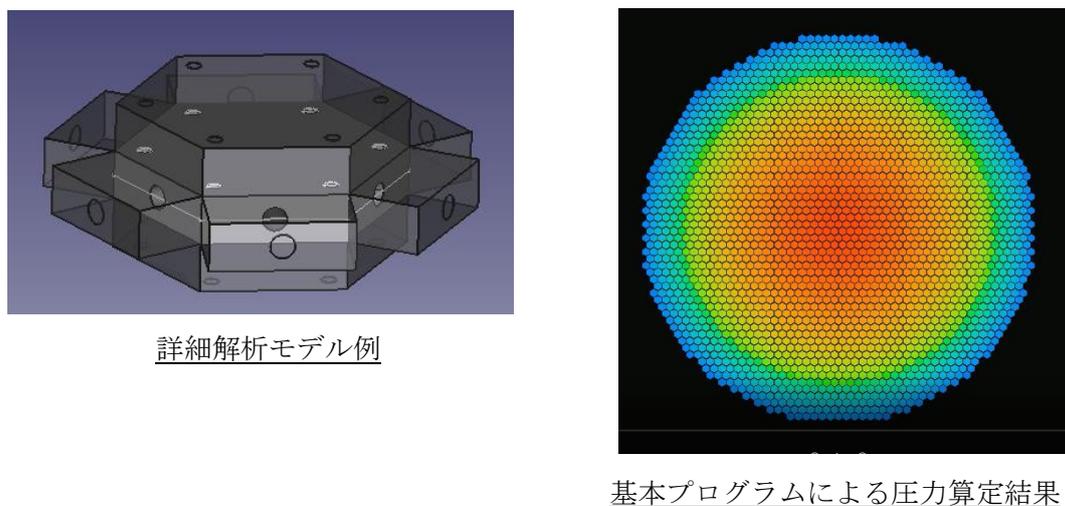
図－6 座屈解析による最大孔径の決定

b.底部真空排気シミュレーション

コンダクタンスの算定が複雑な底部断熱構造群の真空排気計算を可能とするシミュレーションを構築する。これまでに、シミュレーション手法を考案し基本プログラムの作製を行った。

本シミュレーションは、各孔径における圧力と流束（通過する分子数の個数）との関係を詳細解析により取得し、それを別途作製する全体系のシミュレーションに適用することで、多数の連続した中空六角柱内部の圧力を計算するものである。

詳細解析モデルと、圧力-流束関係を一定値にした基本プログラムによる圧力計算結果を図－7に示す。



図－7 真空排気シミュレーション

c.底部真空排気シミュレーション検証実験装置

装置概要を図-8に示す。真空チャンバー内に底部断熱構造ミニチュア試験体を設置し、外周部が一定の圧力になるように、板を介して中央部から真空排気する。底部断熱構造のガス放出量が飽和するまで排気できたら、所定の圧力レベルになるように一定量の窒素ガスを注入し、各位置の圧力を測定する。これらの測定値と計算結果を比較することでシミュレーションの妥当性の検証を行う。これまでに、実験装置の基本仕様を決定した。

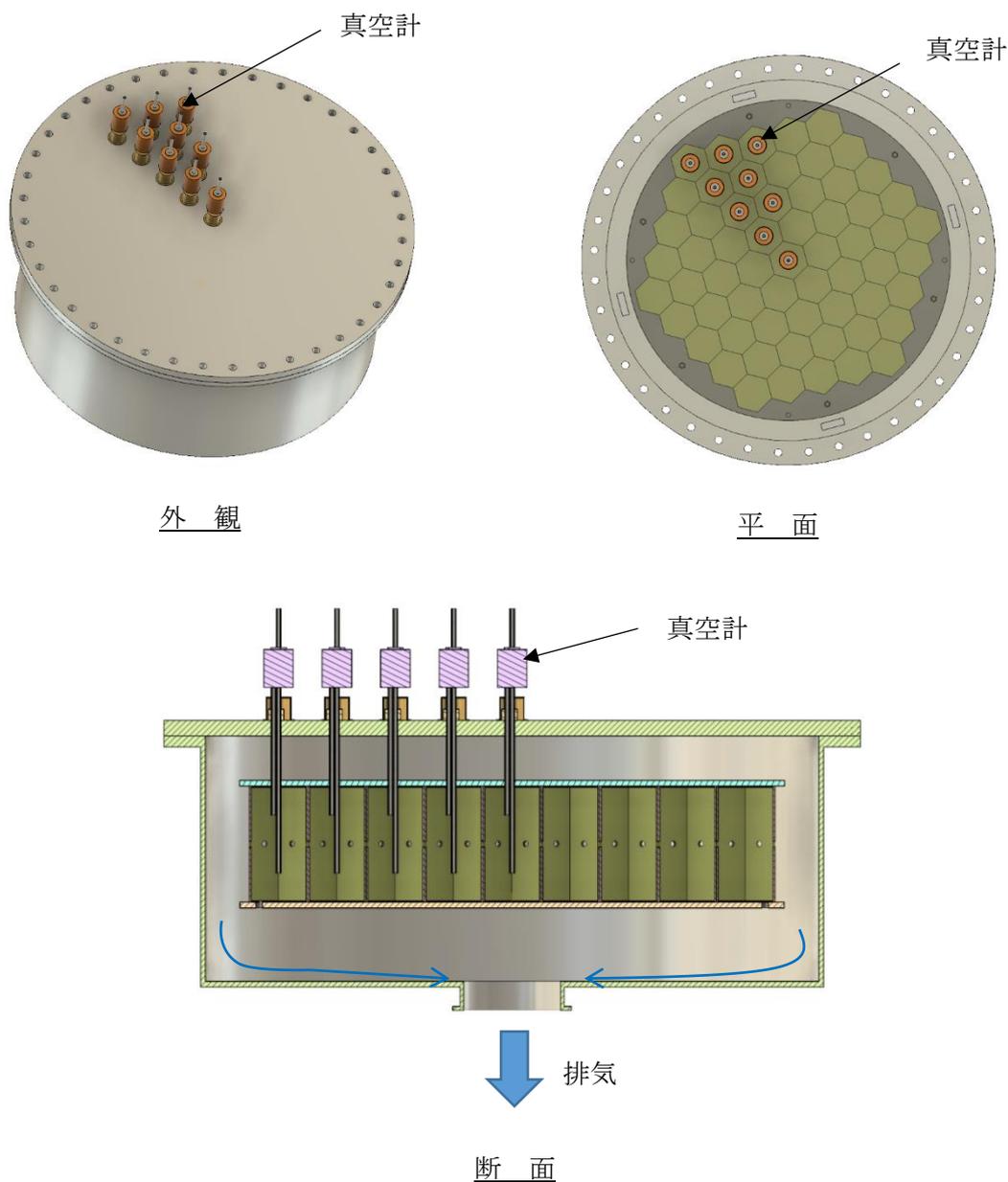
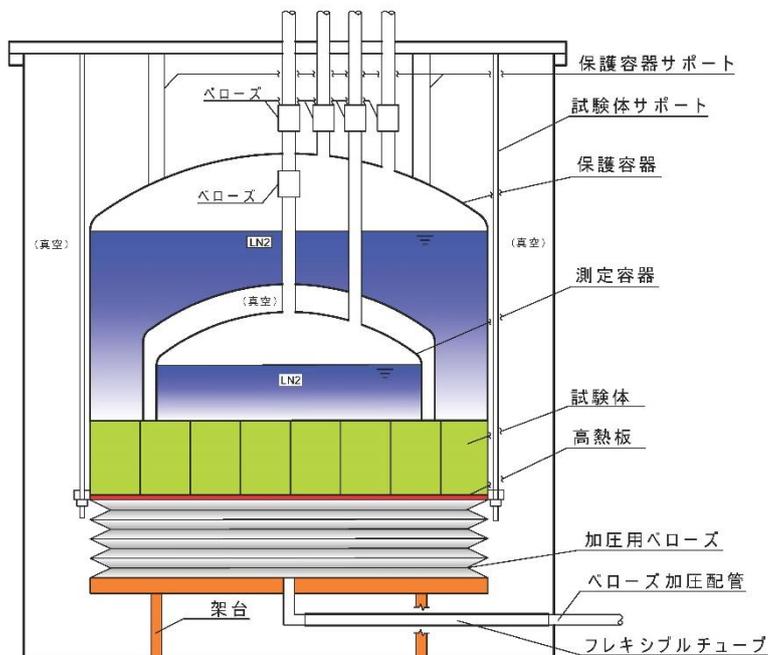


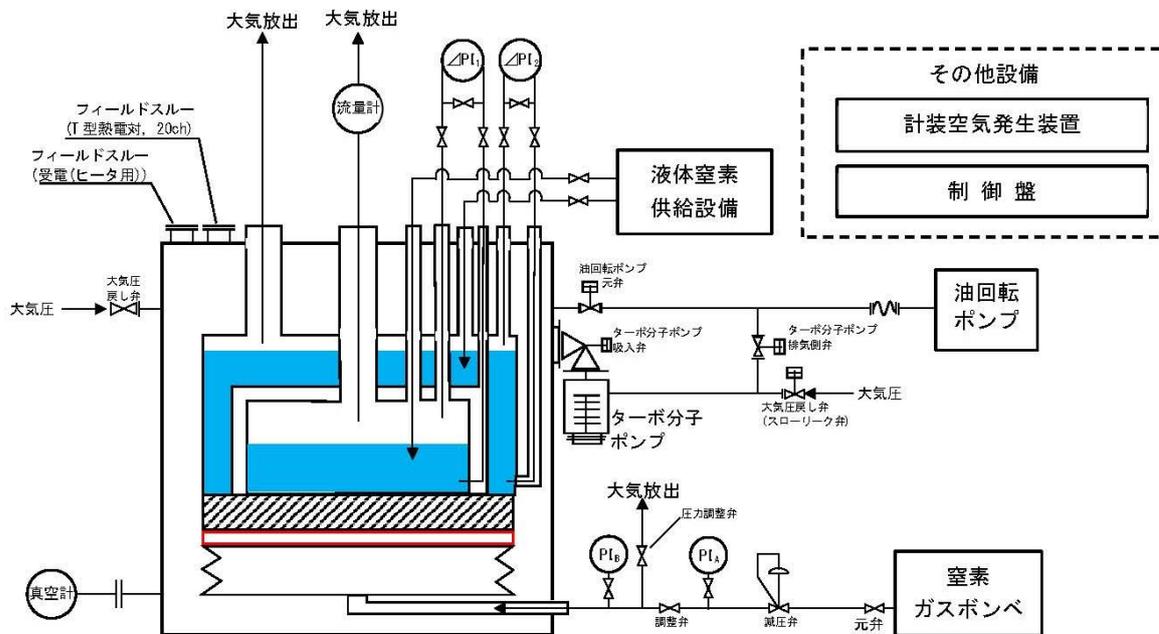
図-8 底部真空排気シミュレーション検証実験装置

(2) 内槽底部への入熱量算定手法の確立 (達成度: 50%)

断熱性能試験装置の基本仕様を決定した。装置及びシステムスローの概要を図-9に示す。試験体断熱性能は、測定タンク内の液化窒素の蒸発量、すなわち、測定容器への入熱量により評価する。保護容器により試験体側面からの入熱を遮断し、測定容器下面の一次元熱流束を確保する。試験体が測定容器へ十分に密着するように、加圧ベローズで試験体を押し付けた。



装置概要



システムフロー概要

図-9 断熱性能測定装置

(3) SUS316L の溶接材料を使用した溶接施工法の確立 (達成度: 100%)

①破壊靱性試験 (J_{IC} 試験)

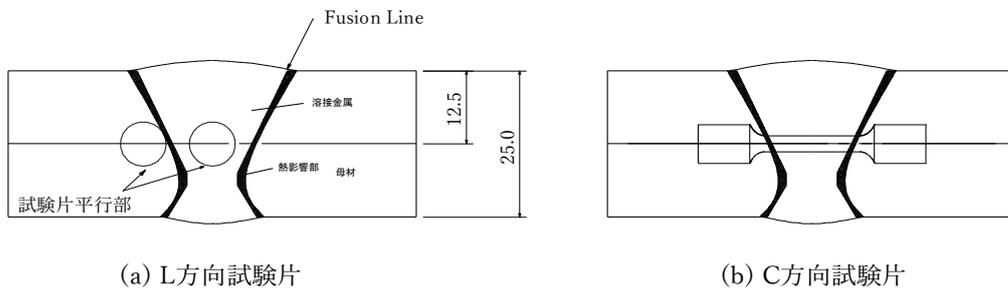
試験温度-269 °C で J_{IC} 試験を実施した。予き裂は、溶接金属中央部及び Fusion Line (50%溶接金属+50%熱影響部、母材) の 2 箇所を導入した。すべての試験片において ASME 規格要求の値を満足した。



図一 1 0 J_{IC} 試験実施装置 (写真)

②低歪速度引張試験 (SSRT)

試験温度-70 °C, 試験圧力 0.1 MPa のアルゴンガス環境下及び水素環境下で SSRT を実施し、水素脆化感受性は非常に低いことを確認した。



(a) L方向試験片

(b) C方向試験片

図一 1 1 試験片の採取方法及び位置



図一 1 2 SSRT 試験装置 (写真)

3. 2 成果の意義

(1) 真空排気システムの確立

- ・候補材料のガス放出量を測定した結果、しきい値以下になることを確認できたことから、適用可能な材料の見通しを得た。
- ・大型貯槽に適用可能なベーキング手法を決定し、加熱温度の決定及びコスト算定への見通しを得た。
- ・座屈応力解析による最大孔径の決定、底部真空排気シミュレーションの基本プログラムの構築、底部真空排気シミュレーション検証実験装置の基本仕様決定により、真空排気性を考慮した底部断熱構造設計確立への見通しを得た。

(2) 内槽底部への入熱量算定手法の確立

断熱性能測定装置の基本仕様の決定により、伝熱解析手法確立への見通しを得た。

(3) SUS316L の溶接材料を使用した溶接施工法の確立

J1C 試験により 4K 環境でも十分に破壊靱性を有することを確認するとともに、SSRT 試験により水素脆化感受性は非常に低いことを確認したことで、当社の溶接施工法による SUS316L の継手は、大型液化水素貯槽での使用が可能と考えられる。

3. 3 成果の最終目標の達成可能性

プロジェクトとしての中間目標は、概ね達成見込みである。各研究開発項目別の達成可能性について以下に示す。

開発項目	現状	最終目標	達成可能性
I：真空排気システムの確立	①適用可能な材料の見通しを得た。 ②大型貯槽に適用可能なベーキング手法を決定した。 ③底部真空排気シミュレーションの基本プログラムの作製及びシミュレーション検証実験装置の基本仕様を決定した。	数ヶ月オーダーで所要真空度が得られる真空排気システムを確立する。	底部真空排気シミュレーションプログラムの構築、その検証実験、ベーキング時のガス放出量の把握、及びそれらに基づいた真空ポンプの仕様や配置を決定することにより、達成可能である。
II：内槽底部への入熱量算定手法の確立	断熱性能測定装置の基本仕様を決定した。	精度が良い伝熱解析手法を考案する。	装置完成後、断熱性能測定結果を評価・分析することにより達成可能である。
III：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立	①破壊靱性試験（J1C試験）を実施して、4K環境でも十分に破壊靱性を有することを確認した。 ②低歪速度引張試験（SSRT試験）を実施して、水素脆化感受性は非常に低いことを確認した。	液化水素環境下でも十分な破壊靱性を有し、水素脆化の懸念が無い溶接施工法を確立する。	目標を達成した。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

4. 1 まとめ及び課題

- ・真空排気システムの確立において、大型貯槽に適用可能な材料及びベーキング手法の見通しを得るとともに、底部真空排気シミュレーションの基本プログラムの構築及びその検証実験装置の基本仕様を決定した。
- ・内槽底部への入熱量算定手法の確立において、断熱性能測定装置の基本仕様を決定した。
- ・SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工の確立において、十分は破壊靱性を有することを確認するとともに、水素脆化感受性は非常に低いことを確認した。

4. 2 事業化までのシナリオ

(1) 本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

当該製品は、水素サプライチェーンの上流の供給元での設備、また、下流の需要家での設備の双方に採用される。顧客は、水素供給者、大口需要家である電力会社、ガス会社、石油会社等エネルギー関連の会社となる。また、液化水素基地の施設全体を建設するゼネラルコントラクター、エンジニアリング会社等、コントラクターを通しての販路もある。現在のLNGチェーンと同様に、水素利用が世界的な広がりを見せることが予想されるので、グローバル市場への参入を想定している。

(2) 成果の実用化・事業化の見通し

当該製品は、水素・燃料電池戦略ロードマップにおけるターゲット『2030年頃の水素発電の商用化』に向け必須の製品であり、また、概ね技術的課題解決への道筋が見えていることから、事業化の可能性は十分に高いものとする。

貯槽専門メーカーである当社は、既存事業の延長という形で参入し、継続した受注により、技術水準、経済性を高め、高い競争力を維持することが可能である。その背景として、

- 既存の貯槽関連事業における人的資源をそのまま転用できる。
- 自前の貯槽製作工場を運営しており、案件が具体化すれば即時に製作を開始できる。
- 国内、海外での建設工事実績から、貯槽工事業者、貯槽専門工を多く擁している。
- LNG貯槽、その他大型貯槽で築いたブランド力があり、顧客への強い訴求力がある。

(3) 実用化・事業化に向けた具体的取組み

実用化事業化に向けた取組みを下表に示す。

	2019	2020	2021	2022	2023～	
I：真空排気システムの確立		貯槽底部 真空排気設計手法確立				
II：内槽底部への入熱量算定手法の確立		装置設計	装置製作	測定・分析・評価		技術基準の整備
III：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立		継手作製		試験・分析・評価		

(Ⅱ-⑤)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素用大口径バタフライバルブの技術開発」

助成先：株式会社北製作所

●成果ガマリ（実施期間）：2020年度～2022年度終了予定）

- 液化水素用大口径バタフライバルブの開発に係る市場調査として、メーカーとの協議においてバルブの要求仕様や仕様条件等の情報を収集。
- 液化水素用大口径バタフライバルブの原理開発として、新たなシール構造を検討し、要素モデルにおける解析を実施。

●背景/研究内容・目的

◎背景

来るべき水素社会に必要なとされる大量の水素需要に対応する為、貯蔵、運搬などのサブライチエーションの構築及び、各種機器のスケールアップが必須である。

今後の受入基地の大型化に対応するための液化水素用バルブには、軽量・省スペース・大口径にも対応できるバタフライバルブでの技術開発が必要である。

◎研究内容・目的

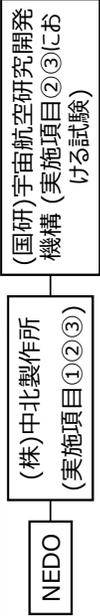
流体を遮断するためのシール面制御を構築することが最も重要な研究内容である。また、液化水素を流体制御するバルブ内面と外気に触れるバルブ外面との間には、メンテナンス性を考慮した真空断熱構造が必要となる。

これらの研究内容を達成することで、極低温の液化水素を大容量且つ安全に貯蔵・輸送することのできる大口径バタフライバルブの技術が確立し、水素サブライチエーション構築に不可欠な陸上基地の受け入れ能力の向上に寄与することが可能となる。

●研究目標

実施項目	目標
①：市場調査	顧客ニーズ並びに高圧ガス保安法の適用範囲を把握し、原理設計・実機設計に反映する
②：原理開発	数種類のシール構造による原理試作品の試験結果と解析値から、実機バルブを製作するための構造・解析手法を確立
③：実機開発	バルブ実機における実流体試験にて各目標値を達成し、試験結果と実機モデル解析とのギャップ分析を完了することで、液化水素用大口径バタフライバルブの技術を確認

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

①市場調査

メーカーとの協議により、受け入れ基地等に求められるバルブの要求仕様や仕様条件等の情報を収集を進めている。また、高圧ガス保安法の適用範囲について、高圧ガス保安協会と協議を実施した。

②原理開発

基本設計として、解析に必要な低温物性データの収集を実施し、シール性能と耐久性を兼ね備えたシール構造の検討を実施した。検討したシール構造案について、2次元・3次元モデルを作製し、常温における構造解析を実施し、シール面圧を評価した。引き続き、原理試作品における試験結果との比較検証に向けた準備を進める。

●今後の課題

①市場調査

引き続きメーカーとの協議によって、詳細な要求仕様の把握を進めるとともに、高圧ガス保安法の適用範囲・解釈について高圧ガス保安協会と協議を重ね、原理開発に展開する。

②原理開発

解析評価結果も反映し、数種類のシール構造を組み込んだ原理試作品の開発を行い、試験結果値と解析値の比較検証を実施する。

③実機開発

原理試作品をもとに、バタフライバルブ実機の開発を行い、実流体試験にて各目標値を達成する。試験結果と実機モデル解析とのギャップ分析を完了することで、液化水素用大口径バタフライバルブの技術を確認する。

●実用化・事業化の見通し

水素サブライチエーション構築にはタンク等を始めとした各種輸送・貯蔵機器のスケールアップが必須で、大規模輸送・貯蔵に対応可能な液化水素用大口径バタフライバルブのニーズは確実にあると考えられる。本事業で技術確立することで、他口径のバタフライバルブへ展開し、2025年以降の、大容量貯蔵が可能で陸上受け入れ基地等への提供が可能となるラインナップ拡充を目指す。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
①：市場調査	メーカーとの協議において、バルブの要求仕様や仕様条件等の情報を収集。	△ 予定通りの進捗
②：原理開発	解析評価に必要な低温物性データを収集。新たなシール構造を検討し、要素モデルにおける解析を実施。	△ 予定通りの進捗
③：実機開発	2021年度以降着手。	- (未着手)

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
なし	なし	なし	なし

課題番号：Ⅱ－⑤

研究開発名：「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素用大口径バタフライバルブの技術開発」

1. 研究開発概要

1. 1 背景

COP21 を受け、CO₂削減目標として 2030 年度に 26%減（2013 年度比）をかかげている。また、2050 年には 80%減（2013 年度比）を見据えている。削減するには我が国全体の CO₂排出量の 4 割を占めるエネルギー転換部門の低炭素化に向け、再生可能エネルギーを主要電源としたエネルギーシステムへの移行が必須となる。また、NEDO 殿においても 2015 年から世界に先駆けて水素社会構築に向けた事業を推進しており、海外の未利用資源を活用した水素の製造・貯蔵・輸送、さらには国内における水素エネルギーの利用までをサプライチェーンを構築するための実証事業を行っている。

そこで、来るべき水素社会に必要とされる大量の水素需要において、貯蔵、運搬などのサプライチェーンの構築及びそれにとまなう受入基地の大型化が想定される。この大型化に伴う液化水素の荷役用バルブとして、弊社がロケット設備並びに LNG 用極低温バタフライバルブで培った要素技術を生かし、液化水素用の極低温バタフライバルブの商用化に向けた研究開発に取り組む。

現市場の需要が小口径であったことや、液化水素をシールするためのシール面圧制御が容易な構造であるため、現状の液化水素用バルブにはグローブバルブの採用が一般的である。

しかしながら、このグローブバルブは構造上ボディ自体が大きく質量がありコスト面での問題や、他のバルブに比べ容量係数（Cv 値）が低く輸送効率が悪い点などのデメリットが挙げられるため、これから必要とされる大口径化には適さない。

今後の受入基地の大型化に対応するための液化水素用バルブには、軽量・省スペース・大口径にも対応できるバタフライバルブでの商用化に向けた研究開発が必要である。

1. 2 研究開発内容・目的

本研究開発目標となる液化水素（LH₂）は、液化天然ガス（LNG）に比べ、さらに極低温の温度領域であり、かつ水素の分子量の小ささからより漏れやすい特性があると考えられる。このような環境、流体の特性を踏まえたうえで、流体を遮断するためのシール面圧制御を構築することが最も重要な研究課題として挙げられる。

また、液化水素をバルブで流体制御する際にはエネルギーロスを考慮した断熱性能の担保に加え、-253℃という特性から、バルブ外表面において酸素が液化する点-183℃よりさらにマイナスになる可能性があり、火災を誘発する液体酸素を生成する恐れがある。したがって、液化水素を流体制御するバルブ内面と外気に触れるバルブ外面との間には、真空断熱構造が必要となる。真空断熱構造は、バルブメンテナンス時にシート部の取替を可能とした構造とすることも更に難易度を上げており、本助成研究開発でクリアにする必要のある研究課題である。

上記内容から、本事業においては、液化水素用バタフライバルブの商用化に向けて、極低温液

化水素をシールするための面圧制御、バルブ内部の液化水素の温度上昇とバルブ外表面における液体酸素の生成を防止する断熱構造を研究課題として挙げる。

2. 研究開発目標

2. 1 実施項目①「市場調査」

2. 1. 1 顧客のニーズ調査

受入基地に求められるバルブの要求仕様に加え、当該バルブの使用条件、環境条件、メンテナンス方法、周期の把握を行う。

2. 1. 2 市場調査

今後の受入基地の建設情報やラインスペックの情報収集を行う。

2. 1. 3 高圧ガス保安法の適合調査

高圧ガス保安法における適用規則や製造に関する要求事項を把握する。これにより、保安法に基づく構造設計、素材の調達を含む製造、検査を原理試作品・実機試作品に反映する

2. 2 実施項目②「原理開発」

2. 2. 1 基本設計

シート構造の検討として、LNG用バタフライバルブで蓄積した知見をもとに、シール面圧制御にとって重要な構造要素であるシートリング、ディスク、バックアップリング等の基本設計を行い、シール性能と耐久性能を兼ね備えた、シール構造の開発を行う。

また、真空断熱構造については、極低温領域かつ液化水素に適した材質を、各文献、真空断熱メーカーと打ち合わせを行うことにより実施する。

2. 2. 2 特定要素の解析

バタフライバルブのシール構造について 2次元及び3次元モデルを作製し、主要構造、主要寸法、材質・加工方法を選定するための基本設計で得られた構造に対して、常温から極低温領域における熱流体解析と構造解析を実施する。熱流体解析で得られた熱分布の結果をもとに、構造解析を実施し、熱応力による各構造のひずみを評価する。各解析結果を基に形状、駆動力等の最適化を図る。

また、メンテナンスホールを設けた真空断熱構造の断熱機能及び真空保持機能について解析評価を実施する。主に真空層内での輻射による熱移動を解析により評価並びにメンテナンスホールへの伝熱について解析評価を行う。

本評価結果をもとに、主要構造、主要寸法、材質・加工方法を選定するための基本設計にフィードバックすることで、より詳細な設計を実施する。

2. 2. 3 原理試作品の開発

主要構造、主要寸法、材質・加工方法を選定するための基本設計、流体、構造解析による評価で得られた結果から、バタフライバルブの動きに近い機構で、シール面圧制御に関する部分的な

数種類のシートアッセンブリとそれを組み込める原理試作品の開発を行う。これらの試験結果値と解析値の比較を行う為に内部に、温度、圧力、歪み等の物理量センサーを内蔵出来る構造とする。

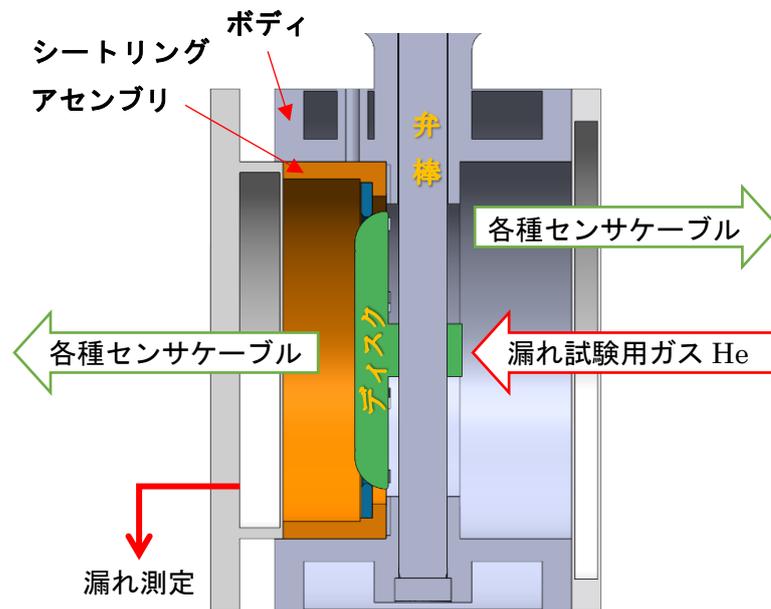


図1. 原理試作品概念図

2. 2. 4 試験結果と解析結果の比較

解析においても、原理試作品の各試験条件におけるシール面圧、応力、ひずみの試験結果と同じ物理量にて評価を行い、同等の結果が得られることを確認することで解析手法の確証を得る。

2. 3 実施項目③「実機開発」

2. 3. 1 実機試作品開発

市場調査からの顧客ニーズ・高圧ガス保安法の適用範囲並びに、原理開発で得た技術的要件を反映した実機試作品（バタフライバルブ）を開発する。製造においては、選定材料、製造工程、検査方法を確立し、製品ベースと同等の工程管理を行い素材調達並びに製作を行う。

2. 3. 2 実機試作品の試験

超低温恒温槽の液体窒素での浸漬試験を実施し、 -196°C 領域でのシール性能、耐久性能並びに断熱性能を確認し、実流体試験における各種データの取得手順を確立する。

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構殿にて、液化水素を用いた作動試験、漏れ試験、耐久試験を一連で実施し、シール性能・断熱性能を評価する。

2. 3. 3 解析手法の確立

試験結果と解析結果とのギャップ分析を実施することで、高精度の解析評価手法を確立する。

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

3. 1. 1 実施項目①「市場調査」

メーカーとの協議により、受け入れ基地等に求められるバルブの要求仕様や使用・環境条件、メンテナンス方法・周期の把握を進めている。

(達成度：予定通り進捗)

3. 1. 2 実施項目②「原理開発」

基本設計として、解析に必要な低温物性データの収集を実施し、シール性能と耐久性能を兼ね備えたシール構造の検討を実施した。検討したシール構造案について 3 次元モデルを作製し、構造解析によるシール面圧評価を実施した。今後は試験結果との比較検証の準備を進める。

(達成度：予定通り進捗)

3. 1. 3 実施項目③「実機開発」

(達成度：未実施)

3. 2 成果の意義

実施項目①②③により構築する、液化水素用大口径バタフライバルブの技術は、2025 年以降の陸上受け入れ基地等への納入が可能なラインナップ拡充につながり、受け入れ基地の荷役能力向上に寄与することができる為、液化水素の大規模輸送・貯蔵が可能な水素サプライチェーン構築に貢献することができると思う。

3. 3 成果の最終目標の達成可能性

3. 3. 1 実施項目①「市場調査」

メーカー及び高圧ガス保安協会との協議を重ね、要求仕様及び適用範囲を明確にすることで目標達成が可能。

3. 3. 2 実施項目②「原理開発」

検討した新構造について、解析評価結果と極低温での社内試験結果を基に体系的な分析を実施することで目標達成可能。

3. 3. 3 実施項目③「実機開発」

原理開発で確立した解析手法を実機設計へ反映し、実流体試験を実施することで目標達成可能。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

2030 年以降は、我が国全体の CO₂ 排出量の 4 割を占める電力部門の低炭素化に向け、再生可能エネルギーを主要電源としたエネルギーシステムへの移行が必要となる。この為、発電事業に

においては供給力と調整力を備える天然ガス火力等と同様の機能を果たしうる水素発電は電力システムのゼロエミッション化を支える重要な役割を期待される。つまりは、主要電源の約 2 割を水素が賄うと仮定した場合、40 か所の受け入れ基地が必要と考えられている。また、これら割合が LNG と同等になれば、現在国内にある LNG 受け入れ基地（36 か所、約 190 基）と同様の市場ニーズは期待されると考える。

また、バタフライバルブは LNG 運搬船の荷役ラインにも一般的に広く採用されており、水素製造から貯蔵・輸送までのサプライチェーン構築が必須となるうえで、液化水素運搬船においてもバタフライバルブの需要が見込まれる。基地向け及び船舶向けのバタフライバルブの仕様は類似しており、当該事業において技術確立したバタフライバルブは液化水素運搬船の荷役ラインへの流用が可能である。

陸上受け入れ基地向けに加え、液化水素運搬船向けの需要が顕在化すれば、本事業で確立した液化水素用大口径バタフライバルブの技術を多様なラインナップに展開することで、本格的な事業化に至ると考えられる。

- 成果が Mali (実施期間：2020年度～2022年度予定)
- 2020年度は試作バルブ製作にむけて、構造、加工方法を検討および製作準備。
- 2021年度に試作バルブを製作完了、2022年度に性能評価を完了させる。

● 背景/研究内容・目的

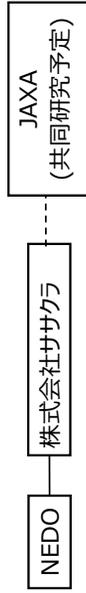
政府計画による2050年度に総エネルギー量の20%を水素とする水素社会実現に向けて、現在様々な分野で技術開発が進んでいるが、超低温流体への対応としてその大半はLNGの関連技術から発展させるものが多い。また基地においてはLNG同様に受入やタンク周辺のパイプラインには流量調整に適しているバルブとしてバタフライバルブが不可欠であるが、現在のところ水素用のバタフライバルブの技術開発は確立していない。

● 当社はこれまで(1972年以降)初の国内メーカーとして約50箇所のLNG基地に高いシェアを誇るバタフライバルブを5,000台以上納入してきた。また、JAXA製の基地にもロケット燃料系パイプラインに水素用のバルブも納めており、この技術を開発させて液相水素用途で使用できるバタフライバルブを開発して水素社会確立のためにインフラ基盤を支える役割を担うことを目的とする。

● 研究目標

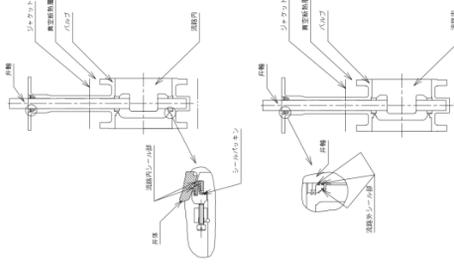
実施項目	目標
①バルブ大型化による性能確保	流路内漏洩量 LNG仕様相当
②液相水素として維持可能な構造	バルブ内外の断熱
③水素の外部漏れに対する安全	流路外漏洩量 LNG仕様相当
④使用材料による加工とコスト	LNG仕様バルブの 加工費1.2倍
⑤液相水素条件下における性能確保	LNG仕様相当の漏洩量

● 実施体制及び負担等



● これまでの実施内容 / 研究成果

- ②液相水素として維持可能な構造
 - (1)実績と同様の構造で、シャケットの支持部(部材、溶接)の強度に問題がないか確認を行う。耐震を含めて検討中。
 - (2)実績のある小型バルブ同等の断熱効果が見込める最小の構造を決定することで試験バルブに採用して効果・確認ができる。
- ③水素の外部漏れに対する安全
 - (1)グラント部からLH2の漏洩を考慮した構造を検討中。
 - (2)①バルブ大型化による性能確保と合わせて、LNG仕様相当の性能が確保されることが確認されることにより、「⑤液相水素条件下における性能確保」の項目に移行可能となる。
- ④使用材料による加工とコスト
 - (1)バルブ本体の構造(一体型、分割型)について、コスト調査、比較検討中。
 - (2)コスト低減、製作技術力が確認されることにより、実用化・事業化に移行が可能となる。



● 研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
①バルブ大型化による性能確保	試作バルブの構造検討中 (2021年度LH2にて評価)	△2022年度完了予定
②液相水素として維持可能な構造	構造検討、強度計算の実施中	△2020年度完了予定
③水素の外部漏れに対する安全	グラント部の構造検討実施中	△2020年度完了予定
④使用材料による加工とコスト	2020年度に調達完了予定	△2020年度完了予定
⑤液相水素条件下における性能確保	JAXA殿と概要の打合せを実施 (2022年度LH2にて評価)	△2022年度完了予定

● 今後の課題

- 2021年度に試作バルブ製作
- 2022年度に試作バルブ性能評価

● 実用化・事業化の見通し

- 2022年度開発完了
- 2025年に販売開始予定

課題番号：Ⅱ-⑥

研究開発名：「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用 技術開発／液化水素用バタフライバルブの開発」

1. 研究開発概要

政府計画による 2050 年度に総エネルギー量の 20%を水素とする水素社会実現に向けて、現在様々な分野で技術開発が進んでいるが、超低温流体への対応としてその大半は LNG の関連技術から発展させるものが多い。また基地においては LNG 同様に受入やタンク周辺のパイプラインには流量調整に適しているバルブとしてバタフライバルブが不可欠であるが、現在のところ水素用のバタフライバルブの技術開発は確立していない。

LNG と液化水素の環境において、使用温度が LNG -162°C と液化水素 -253°C の差がある。この温度差においては、当社独自の技術でロケット燃料ラインの液化水素用としての実績はある。

ただし、これまで 10B(250A)以下と非常に小径で、且つ常時使用される設備ではないため、連続使用の耐久性については確認出来ていない。液化水素用の用途として予想される最大口径 28B(700A)である。

「液化水素の受け入れ基地に必要な機器の大型化」のために実績ある構造から、真空ジャケットによる断熱構造をもつフランジ接続型のバルブを LNG 基地規模と同程度である 10B～28B にスケールアップさせ、且つ連続使用の耐久性をもつバルブを開発する。

1.1 開発項目

① バルブ大型化による性能確保

液化水素用途のバタフライバルブとして最初に考える課題は、液化水素の温度域においてバルブ機能の耐久性である。ここでいう耐久性とは流路内における弁座のシール性能のことで、液化水素の温度領域でもしっかりと流体を止める機能が維持できることである。大型化することでも LNG における性能と同程度の性能確保を目指す。

② 液化水素として維持可能な構造

当社は小口径ではあるが水素用途として実績があり、構造的に信頼性がある真空層を持つジャケット構造を採用する。しかし、この構造は外部にジャケットが追加されるためバルブ全体が大きくなってしまうという問題もある。実用化サイズにおいてはかなり大きくなるため単純なスケールアップではなく、できるだけ省スペースのデザインを検討する。

③ 水素の外部漏れに対する安全

接続部などから流路外に流体が漏れるリスクも考慮した安全性も確保しなければならない。
軸部からの漏洩に対してグランド部の構造を検討する。弁箱の接合部や軸部からの漏

れについて弁箱の気密試験を実施する。

上記②断熱構造を取る事で、万が一水素が流路から漏れても一層外の真空層があり、真空層は基地側の配管全体の真空層と共に真空引きされている前提のためバルブ外部には漏れず安全は担保できると考える。

④ 使用材料による加工とコスト

水素脆性の観点から LNG 用途で使用している鋳物が使用できないと考えるため、液化水素を考慮した材料を採用する。スケールアップに伴うコストや加工時間の増大を低減させるための構造を検討する。

⑤ 液化水素条件下における性能確保

本課題実現のためには実液(液化水素)によるバルブの性能試験が必要となる。本課題実現のためには実液(液化水素)によるバルブの性能試験が必要となる。JAXA 殿の液化水素試験設備を使用してバルブ性能試験を実施する。

2. 研究開発目標

表 1. 研究開発目標

No.	開発項目	内容	評価方法	目標
①	バルブ大型化による性能確保	LN2深冷試験の実施確認	流路外の漏れ量確認 流路内の漏れ量確認	LNG仕様相当の漏洩量
②	液化水素として維持可能な構造	真空層構造の採用	深冷試験における表面温度計測	バルブ内外の断熱
③	水素の外部漏れに対する安全	グランド部の構造	弁箱の気密試験	LNG仕様相当の漏洩量
④	使用材料による加工とコスト	加工工数低減のための構造検討	コスト算出	LNG仕様の弁の1.2倍
⑤	液化水素条件下における性能確保	LH2深冷試験の実施確認	流路外の漏れ量確認 流路内の漏れ量確認	LNG仕様相当の漏洩量

3. 研究開発成果

3.1 研究開発成果達成度

開発項目②～④の成果は下表に示す。

表 2. 研究開発成果達成度

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
②液化水素として維持可能な構造	バルブ内外の断熱	構造検討、強度計算の実施中	2020年度末達成予定	断熱の機構と構造の小型化
③水素の外部漏れに対する安全	流路外漏洩量 LNG仕様相当	グランド部の構造検討実施中	2020年度末達成予定	採用した構造で性能の確認
④使用材料による加工とコスト	LNG仕様弁の加工費1.2倍	2020年度に調達完了予定	2020年度末達成予定	2021年度の製作完了を考慮してコスト検討

②液化水素として維持可能な構造

液化水素用小型バルブと同様の構造

- ・ジャケットの支持部（部材、溶接）の強度確認

液化水素用小型バルブと同様の断熱効果構造を最小化

- ・液化水素用大型試験バルブに採用し効果確認の実施

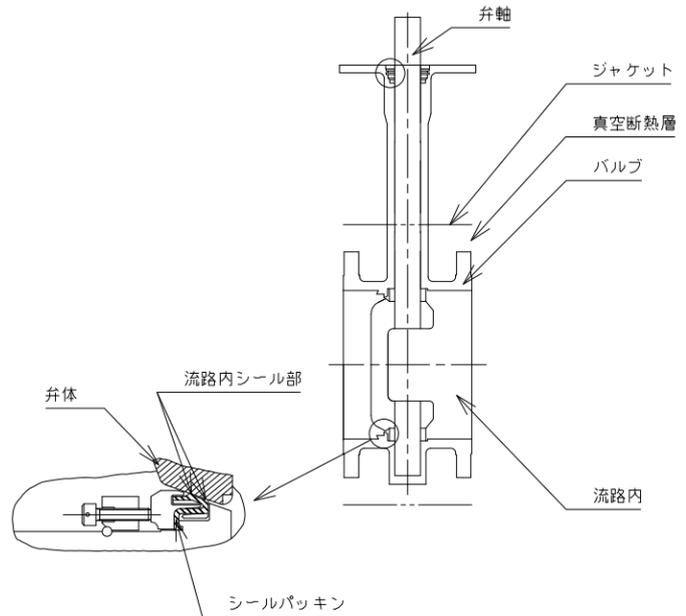


図 1.バルブ構造図

③水素の外部漏れに対する安全

グラント部構造

- ・グラント部から LH2 の漏洩を考慮した構造検討
- ・LNG 仕様相当の性能を確保
- ・“⑤液化水素条件下における性能確保” に移行

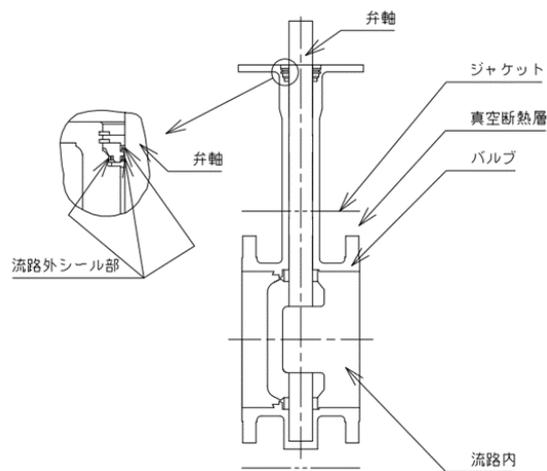


図 2.バルブ構造図(グラント部)

④使用材料による加工とコスト

バルブ本体の構造（一体型、分割型）

- ・加工コストの調査・比較検討

実用化・事業化

- ・バルブ本体構造のコスト低減・製作技術力の確認

3.2 成果の最終目標の達成の可能性

表 3. 最終目標達成の可能性

開発項目	現状	最終目標	達成見通し
①バルブ大型化による性能確保	試作バルブの構造検討中	流路内漏洩量 LNG仕様相当	2020年度に設計完了をし2021年度に試作バルブを完成させ自社で評価をすることで達成の見込み。
⑤液化水素条件下における性能確保	JAXA殿と概要の打合せを実施	LNG仕様相当の漏洩量	2021年度に試験要領の決定、試験準備をしてJAXA殿設備にて評価をすることで達成の見込み。

①バルブ大型化による性能確保

実施時期：2021年度

実施場所：弊社工場

実施内容：LN2にて流路内外の漏洩確認

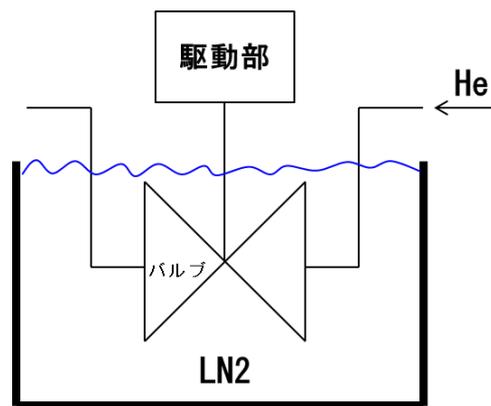


図 3.試験概念図(LN2 浸漬法)

⑤液化水素条件下における性能確保

実施時期：2022年度

実施場所：JAXA 殿設備

実施内容：LH2にて流路内外の漏洩確認

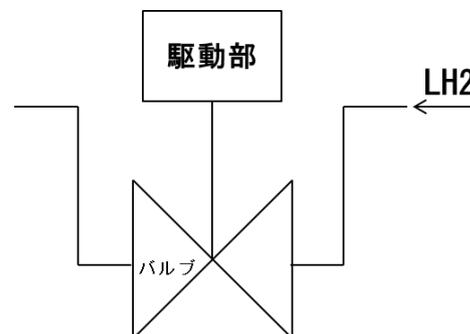


図 4.試験概念図(LH2 流路内封入)

表 4. 研究開発目標

	課題	項目	2020年度				2021年度				2022年度			
			第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
①	バルブ大型化による性能確保	LN2深冷試験(浸漬法)						→						
		LN2深冷試験(流路内封入)								→				
②	液化水素として維持可能な構造	構造検討		→										
③	水素の外部漏れに対する安全	構造検討		→										
④	使用材料による加工とコスト	詳細設計			→									
		製作				→		→						
⑤	液化水素条件下における性能確保	LH2深冷試験(流路内封入)										→		→

4.まとめ、事業化までのシナリオ

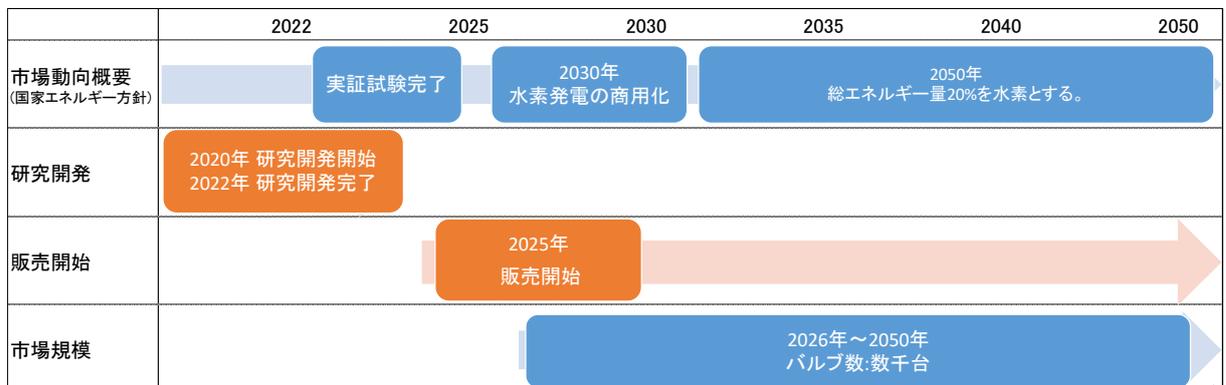
4.1 まとめ

日本の LNG エネルギー普及において既に経験済みだが、国内のエネルギー基盤を支えるインフラに関わる事業を担うという責任の重要度から製品に求められる信頼性は非常に高く、「流す・止める」というバルブの基本性能においては超低温環境下でもリークゼロを求められ応えてきた。水素社会確立のためには LNG よりも更に高い安全性を求める水素においてもリークゼロで応える事により、水素をより安全・安心で当たり前のエネルギーとして使える世の中にした

4.2 事業化までのシナリオ

2022年度研究開発完了、2023年から販売価格・販売計画を策定し2025年度から販売開始する。目指す市場規模は政府計画による 2050 年度に総エネルギー量の 20%が水素。

表 5. 事業化までのシナリオ



5.研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
該当なし				

－特許等－

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
該当なし				

(資料Ⅱ-⑦)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／
液化水素用大型バルブの技術開発」

助成先：株式会社キッツ

●成果概要 (実施期間：2020年度～2022年度予定)

- ・大口径化実現可能な弁種・構造の決定 (遮断弁：ボール弁、逆止弁：スイング式逆止弁)
- ・要素技術 (封止技術) に関する設計検討および部分試作評価 (シール位置・材料・構造・封止性能)

●背景/研究内容・目的

液化水素の輸送貯蔵機器および受入基地機器の大型化に伴い、配管口径も大型化が必要である。

本事業では、現在存在しない大口径の液化水素用遮断弁、逆止弁を開発する。

【2020年度】

バルブの弁種・構造を決定し、重要部位となる内部封止性能、外部封止性能に関する要素技術開発を実施する。

【2021年度(参考)】

代表サイズのバルブプロトタイプの試作を実施し、実流体を用いて性能評価を実施する。

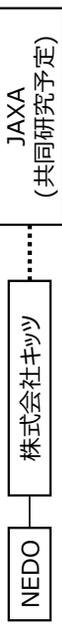
【2022年度(参考)】

実運用上、想定される大口径サイズのバルブ試作を実施し、実流体を用いて性能評価を実施する。また、実運用上必要と考えられるサイズについて、設計を行い、妥当性の評価を行う。

●研究目標

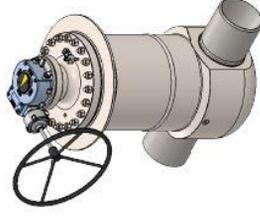
実施項目	目標
① 弁種の検討	大口径化実現可能な弁種・構造の選定
② 封止技術開発	液化水素温度下 (-253℃) における外部・内部封止性能の確立(JAXA共同研究予定)
③ 弁の製造方法の検討	大型精密部品の製造方法の決定
④ 真空断熱構造の検討	弁接統を真空配管上部へ配置する構造確立 断熱性、弁保持方法の決定 (2021年度)
⑤ 弁試作評価	弁の試作、組立・分解工具の確立 弁に要求される性能評価試験を実施 弁のサイズ展開設計完了 (2022年度)

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

項目	実施内容	研究成果
① 弁種の検討	大口径化実現可能な弁種・構造の決定	遮断弁：ボール弁 逆止弁：スイング式逆止弁
② 封止技術開発	・解析等を用いた熱解析による温度分布の検討 ・使用可能樹脂、シール構造の検討 ・試作品を製作し、評価を実施中	・計算、解析等を用いてシール位置の決定 ・解析により材料・構造の検討中
③ 弁の製造方法の検討	・精密加工可能な製造方法の検討 ・精密加工部分を生かした溶接等の別体分割構造の検討中	熱影響の少ない溶接工法を試作し、精密加工部分を損傷しないことを確認
④ 真空断熱構造の検討	・縮小モデルの製作により組立・分解のシミュレーションを実施中 ・解析等を用いて入熱計算を実施中	研究成果は2021年度に得られる予定
⑤ 弁試作評価	2021年度より実施予定	研究成果は2022年度に得られる予定



●実用化・事業化の見通し

- ・フィールド試験等にて実使用における製品の性能、耐久、経年評価を実施
- ・小口径の市場要求を把握する。開発必要と判断した場合、市場要求仕様、導入時期を調査し、開発へ着手する
- ・今後の市場発展に合わせられる生産体制の構築が必要



バルブの性能確保、液化水素市場の継続的発展に伴い、事業の柱へと成長させる。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
① 弁種の検討	遮断弁：ボール弁 逆止弁：スイング式	○
② 封止技術開発	解析等より、シール位置決定 材料、形状を検討中	△(2020年度完了予定)
③ 弁の製造方法の検討	一体加工製造は困難 別体分割構造を検討中	△(2020年度完了予定)
④ 真空断熱構造の検討	縮小モデルで組立・分解方法の検討実施中	△(2021年度完了予定)
⑤ 弁試作評価	2021年度より着手予定	△(2022年度完了予定)

●今後の課題

- 【封止技術開発】
 - ・②～③を進め、実流体評価を実施
 - ・解析と実流体との関係性を把握し、実流体による封止性能を確立することが必要
 - ⇒液化水素による実流体評価試験を実施し、封止性能の確認を実施予定(JAXA共同研究予定)
- 【弁の製造方法検討】
 - ・一体部品における大型化精密加工は難しいと判断
 - ・溶接等を用いた別体構造の検討が必要
 - ⇒大口径化に伴う溶接可否の検討及び試作品における溶接歪み等の確認中
- 【真空断熱構造の検討】
 - ・ジャケットを施した状態で分解・組立を可能とする検証が必要
 - ⇒試作品にて治具等を用いて検証予定
 - ・バルブ保持方法を確定させ、保持部を考慮した断熱性能の確認が必要
 - ⇒解析等を実施し、保持部を含めた入熱の検討を実施予定
- 【弁試作評価】
 - ・プロトタイプの性能が目標値を満足すること
 - ⇒①～④にて実証後、評価を実施予定。

課題番号：Ⅱ-⑦

研究開発名：「水素社会構築技術開発事業／大規模エネルギー利用技術 開発／液化水素用大型バルブの技術開発」

実施者：株式会社キッツ

1. 研究開発概要

液化水素の輸送貯蔵機器および受入基地機器の大型化に伴い、配管口径も大型化となる必要がある。本事業では、現在存在しない大口径の液化水素用遮断弁、逆止弁を開発する。2020年度にバルブの重要部位となる内部封止性能、外部封止性能に関する要素技術開発を実施する。2021年度に代表サイズ of バルブ試作を実施し、実流体を用いて性能評価を実施する。2022年度に実運用上、想定される大口径サイズのバルブ試作を実施し、実流体を用いて性能評価を実施する。また、実運用上必要と考えられるサイズについて、設計を行い、妥当性の評価を行う。

2. 研究開発目標

現状存在する液化水素用弁類は、小口径に限定されており、実証レベルのプラント用途でも最大 200mm (8 inch) 程度となっている。

対して、大規模水素エネルギー利用技術開発事業において、将来目指している液化水素の輸送貯蔵および受入基地では、現在存在する液化天然ガス市場における輸送貯蔵および受入基地と同等レベルでの大型化を目標としており、その口径は最大 900mm (36 inch) である。

また、液化天然ガス市場における弁は、弁種とその特徴から口径、圧力に対し、図 1、図 2 に示す範囲が考えられる。

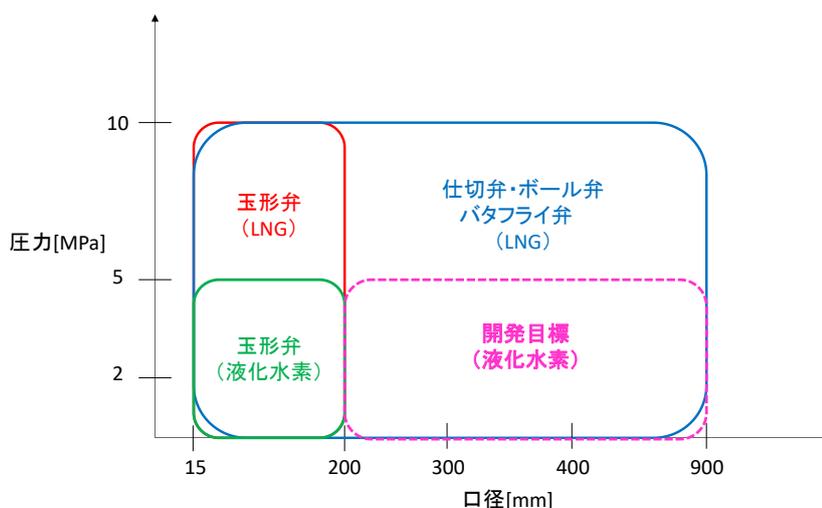


図 1 超低温遮断弁 圧力-口径と弁種のイメージ

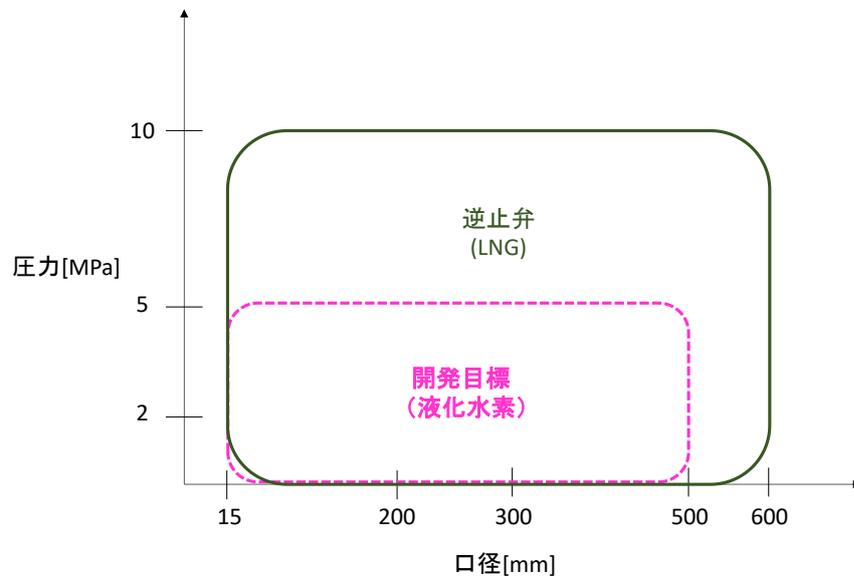


図2 超低温逆止弁 圧力-口径のイメージ

株式会社キッツでは2008年～2012年まで「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／水素ステーション機器要素技術にかかわる研究開発／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わる研究開発」事業に採択を受け、水素ステーション用弁類の開発を実施し、現在まで多く販売している。また液化天然ガス用弁類に関しては多種、開発、製造、販売を行っており、多くの実績がある（図3）。

本事業ではキッツが保有している高圧水素ガス用弁類と液化天然ガス用弁類の基礎技術をもとに液化水素用弁類として開発を行う。

流体が液化水素になることで、仕様が変わる点を表1に示す。

表1 変化点と比較表

変化点	液化天然ガス用弁	液化水素用弁
温度	-196℃～常温	-253℃～常温
材料	JIS G5121 SCS14A	JIS G4303 SUS316L
保冷方法	断熱材による保冷	真空2重配管による保冷
評価試験	液体窒素浸漬試験	液化水素流通試験、もしくは浸漬試験



図3 液化天然ガス用弁

また、表2にバルブ開発の目標値を示す。

目標値は、市場調査や客先ヒアリング、LNG弁類での実績、規格等を踏まえた上で設定している。

表2 バルブ開発の目標値

仕様	目標値	
	遮断弁	逆止弁
内部漏れ ※1	10cc/min/inch	50cc/min/inch
外部漏れ	外部漏れなきこと	外部漏れなきこと
耐久性能 ※2	1000回	2年
温度	-253℃～常温	-253℃～常温
圧力	クラス 300(4.14MPa)	クラス 300(4.14MPa)
真空断熱性能 ※3	入熱が 100W 以下であること	入熱が 100W 以下であること

※1 LNG弁類で実績のあるT.T.O.指針を参考に設定している。今後の客先との調整によっては変動する可能性がある。

※2 1日2回の作動、継続使用2年間を想定し設定している。今後の客先との調整によっては、変動する可能性がある。

※3 市場調査により設定している。今後の客先との調整によっては変動する可能性がある。

表 2 の目標値達成のための課題を表 3 に示す。

表 3 目標達成のための課題

No.	課題		内容
①	弁種の検討		大口徑化実現可能な弁種、構造の選定
②	封止技術開発	外部封止	-196℃⇒-253℃による外部封止性能の検討
		内部封止	-196℃⇒-253℃による内部封止性能の検討
③	製造方法検討		大型精密部品の製造方法の検討
④	真空断熱構造の検討		弁接続部を真空配管上部へ配置する構造検討 断熱性能の検討 弁保持方法の検討
⑤	弁試作評価	弁試作	弁の試作の実施
		治工具	組立・分解治工具の検討
		性能試験	弁に要求される性能評価試験を実施
		サイズ展開	弁のサイズ展開設計

以上のように、本事業では上記目標値を基に、現在存在しない大口徑の液化水素用遮断弁、逆止弁の開発を行い、大規模水素エネルギー利用技術開発事業の液化水素輸送貯蔵および受入基地の大型化の実証プラントに使用され、実現に寄与することを目標とする。

本事業の実施計画を表 4 に示す。

大まかな計画としては、2020 年度に要素技術完了、2021 年度に設計＋中間口径の試作評価完了、2022 年度にサイズ展開＋大口徑の試作評価完了となる。

なお 2021 年度、2022 年度の計画については現時点では参考計画である。

(2) 2021 年度(参考)

①中間口径での試作弁の製作、性能評価

前年度の設計を元に、中間口径にて試作弁の製作を行う。

基本性能試験、低温性能試験、実流体試験を実施し、その性能確認を行う。性能項目は、開閉作動、外部封止、内部封止とする。

②最大口径での試作弁の設計

市場調査より、最大口径の特定を行い、試作弁の設計を行う。同時に、組立分解性の検討、2重管による真空断熱性能の検討、大型化による弁保持方法の検討、加工性の検討を行う。

(3) 2022 年度(参考)

①最大口径での試作弁の製作、性能評価

前年度の設計を元に、最大口径にて試作弁の製作を行う。

基本性能試験、低温性能試験、実流体試験を実施し、その性能確認を行う。性能項目は、開閉作動、外部封止、内部封止とする。

②サイズ展開設計

試作弁以外のサイズ展開設計を行う。

各研究開発項目とその最終目標を表 5 にまとめる。

表 5 研究開発目標

開発項目	目標
① 弁種の検討	大口径化実現可能な弁種、構造の選定
② 封止技術開発 a) 外部封止構造の検討	液化水素流通における外部封止性能の確保
② 封止技術開発 b) 内部封止構造の検討	使用可能樹脂、シール構造の検討
② 封止技術開発 c) 部分試作評価	②a)b)について試作品を製作し、評価を実施する
③ 弁の製造方法の検討 a) 大型化精密加工検討	精密加工可能な製造方法の確立
③ 弁の製造方法の検討 b) 分割構造の検討	溶接等の別体分割構造の確立
④ 真空断熱構造の検討 a) 組立・分解の検討	弁上部より、分解・組立が可能であること。現地でのメンテナンスの目途がたつこと

④ 真空断熱構造の検討 b) 断熱性能検討	バルブと真空ジャケットとの寸法、距離が設定され、入熱量等が規定値以内であること
④ 真空断熱構造の検討 c) 弁保持方法の検討	バルブージャケット間で弁を確実に保持し、さらに保持部からの入熱量が規定値以内であること
⑤ 弁試作評価 a) 弁の試作	①～③で確立した要素技術を基に弁の試作を実施する
⑤ 弁試作評価 b) 治工具類の検討	組立・分解を可能とする治具、および現地でのメンテナンスを考慮した方法を確立する
⑤ 弁試作評価 c) 性能試験	⑤a)の試作品について、各種性能試験を実施し、性能が目標値を満足すること

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度、意義

各研究開発項目の成果と達成度、その意義を以下に示す。

(1) 弁種の検討

大口径化実現可能な弁種、構造の検討を行い、遮断弁はトラニオンマウンテッド型ボール弁、逆止弁はスイング式インターナルヒンジピン構造を選定した。これら2種類の構造は、キットにおいて低温弁含め実績のある構造であり、液化水素用弁として展開可能であると考えられる。

遮断弁については、ボール弁を選定することで、コンパクト性と大流量輸送の確保が可能となり、大型プラントにおける優位性を得ることができる。逆止弁においてはスイング式を選定することで大型化が可能となり、インターナルヒンジピン構造を選定することで、外部リークのリスクを減らすことが可能となる(○)。

図4にボール弁、図5にスイング式逆止弁の概要図を示す。

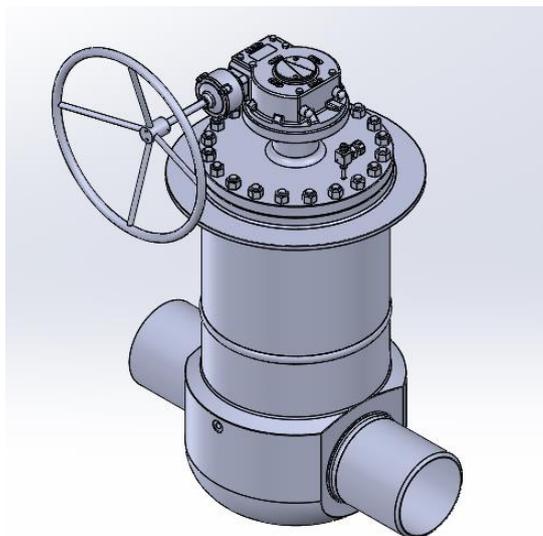


図4 ボール弁概要図

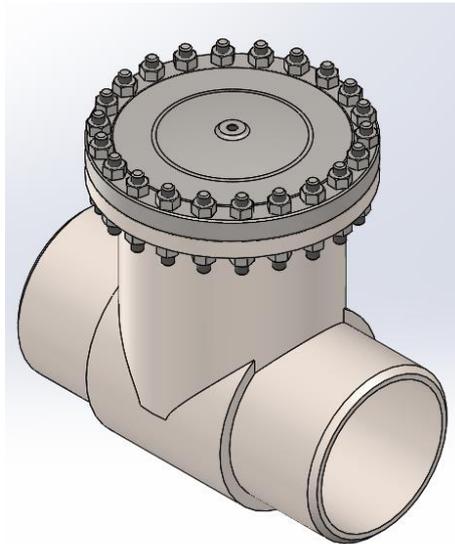


図 5 スイング式逆止弁

(2) 封止技術開発

①外部封止構造の検討

液化水素を流通させる条件で計算・解析等を実施し、外部封止位置を決定した (○)。外部封止位置の想定温度から、既存シール技術を流用することで、安定的な外部封止性能が得られると考えられる。

また、上記解析条件として、バルブ上部へ液化水素を流入させない条件と設定し、バルブ流路部とキャビティ内を分離させるシール機構を検討した。分離させるシール機構、形状および材料について設計を実施し、試作評価を実施する。

②内部封止構造の検討

トラニオンマウンテッド型ボール弁の構造より、セルフシール(バネ力+流体力によるシール)が必要とされるリテーナグランド部のシール性能確保が必要である。液化水素を流通させた条件で、計算・解析等を用いて、シール材質、形状・構造を決定した (△)。

今後は、液体窒素との封止性能を比較確認するため、液化水素において評価試験を実施する。

③部分試作評価

外部封止構造 (軸シール) の部分試作治具を製作し、常温、超低温 (液化窒素) にて封止性能確認中 (△)。今後極低温 (液化水素) にて検証試験を実施する (JAXA と共同研究予定) (2020 年 10 月~2021 年 3 月予定)。

図 6 に外部封止構造の検証治具の概要図を示す。

内部封止構造 (リテーナパッキン) の部分試作治具を製作し、常温、超低温 (液化窒素) にて封止性能確認中 (△)。今後極低温 (液化水素) にて検証試験を実施する (JAXA と共同研究予定) (2020 年 10 月~2021 年 3 月予定)。

図 7 に内部封止構造の検証治具の概要図を示す。

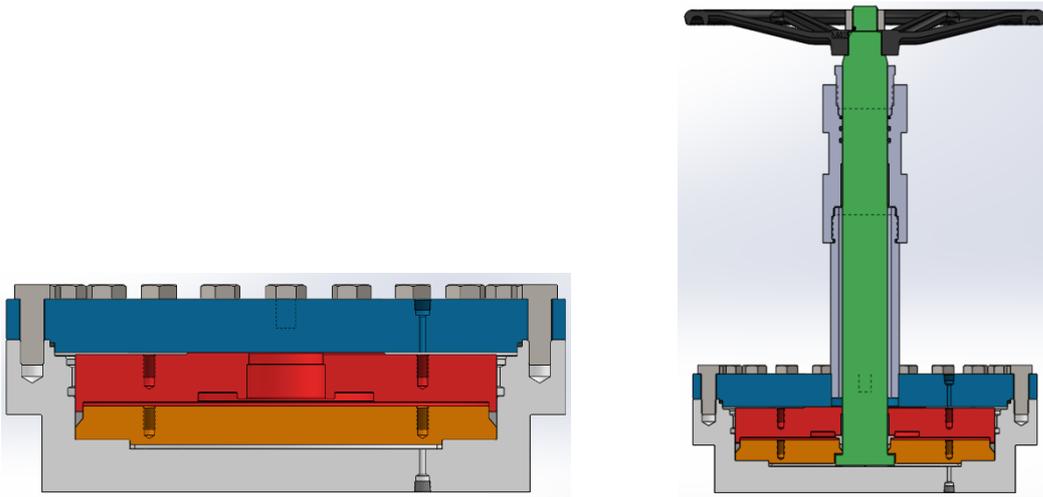


図6 外部封止構造の検証治具

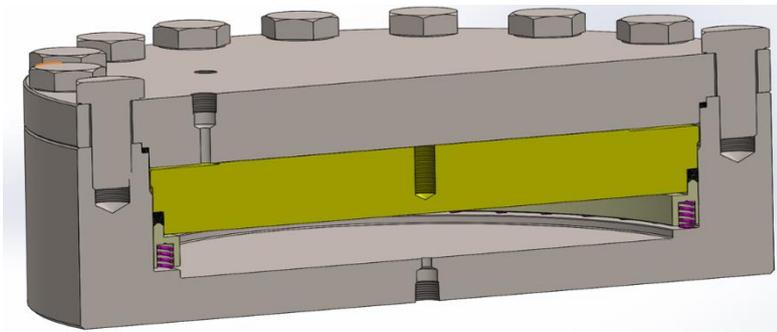


図7 内部封止構造の検証治具

(3) 弁の製造方法の検討

①大型化精密加工検討

過去に実績のない大型鍛造材からの精密加工が必要とされるため、加工実現性の検討が必要である。特に精密加工が必要とされる弁箱部の構想設計を行い、加工可否の検討を実施した。構想設計において、弁箱下部の重要部位として精密公差を設定し、多角的に製造方法の検討を実施したが、一体の加工実現は難しいと判断した（△）。

別案の設計検討も実施したが、バルブとしての性能確保が難しいと判断し、大型材料における一体加工とは別の加工方法を検討することとした。

②分割構造の検討

①より、弁箱下部において、大型鍛造材からの一体加工は難しいと判断し、分割構造の検討を実施した。分割構造についてバルブの仕様上、ボルト止め等、漏れが発生する可能性のある接続部を設けることができないため、溶接等による接合方法を有力案として検討を進めた。

加工完了部品を用いて溶接等で接合を実施し、さらに加工完了部品の精密寸法を損なわない溶接方法を検討中（△）。

部分試作等実施し、寸法変化の検証を行い、弁箱下部として使用できる検証を実施する。

(4) 真空断熱構造の検討

①組立・分解の検討

バルブ全体をジャケットで覆う仕様であること、またジャケット内にはボルト等による接続部を設けない仕様から遮断弁はロングボディ構造を有したトップエントリー型ボール弁とした。

ジャケット外に配置されたボディ上部から組立・分解を可能とさせるため、3Dプリンター等を用いて縮小モデルにおける組立・分解の検証を実施する。縮小モデルにて検証を実施したのち、試作品製作時に組立・分解の検証を実施する。

これによりジャケットの分解をせずに現地でのメンテナンスが可能となり、メンテナンスコストを大幅に削減することができる。

②断熱性能検討

解析等を用いて入熱計算を実施し、バルブ外面とジャケットの距離を検証した。

ジャケットの形状について設計を実施し、ジャケットとバルブを保持する方法を決定させる。

断熱性能を確保することで、実使用上、外部からの入熱を防ぎ、液化水素を健全な状態で輸送することが可能となる。

3. 2 成果の最終目標の達成可能性、今後の課題

各研究開発項目について、2022年度末の最終目標に対する達成可能性と、今後の課題を以下に示す。

(1) 弁種の検討

①最終目標の達成可能性

大型化実現可能な弁種、構造の選定を完了した。要素技術を予定通り確立することでバルブとしての性能確保が見込まれる。

②今後の課題

各種要素技術の確立と実流体評価を進め、バルブプロトタイプにおいて実流体評価を実施する。

(2) 封止技術開発

①外部封止構造の検討

a. 最終目標の達成可能性

実流体にてバルブとして外部封止性能が規定値以内の性能を確保する。

熱伝導解析より外部封止位置が決定。実績のある構造を基に実流体評価で性能確保できる見込みである。

b. 今後の課題

解析による結果と液体窒素による評価結果と実流体との相違を確認するため、液化水素を用いた評価試験が必要となる（JAXAと共同研究予定）。

②内部封止構造の検討

a. 最終目標の達成可能性

実流体にてバルブとしての内部封止性能を規定値以内の性能を確保する。

ボール弁内部シールの重要部であるリテーナシールの性能確保により、内部封止性能が確保できる見込みである。

b. 今後の課題

解析による結果と液体窒素による評価結果と実流体との相違を確認するため、液化水素を用いた評価試験が必要となる（JAXA と共同研究予定）。

③部分試作評価

a. 最終目標の達成可能性

バルブを模擬した部分試作品にて、実流体を用いて性能評価を実施し、性能を規定値以内の性能を確保する。①②について理論的に解決することで、目標を達成できる見込みである。

b. 今後の課題

解析による結果と液体窒素による評価結果と実流体との相違を確認するため、液化水素を用いた評価試験が必要となる（JAXA と共同研究予定）。

（3）弁の製造方法の検討

①大型化精密加工検討

a. 最終目標の達成可能性

弁の大型化に合わせて、加工方法を確立する。

b. 今後の課題

大型材料における一体加工とは別の加工方法を検討する。

②分割構造の検討

a. 最終目標の達成可能性

精密加工を実現させるために、分割構造を用いて最適な加工方法を確立する。

b. 今後の課題

溶接等を用いる場合、熱収縮、歪み等による寸法変化の発生が考えられる。精密加工を損なわない溶接等の接合方法を見出し、試作評価を実施する。

(4) 真空断熱構造の検討

①組立・分解の検討

a. 最終目標の達成可能性

弁上部より組立・分解が可能な構造とし、現地でのメンテナンスが可能な構造であること。

b. 今後の課題

バルブプロトタイプにおいて、組立治具を用いて検証を実施。更にメンテナンスを考慮し、配管施工後の分解・組立が可能であることの検証が必要となる。

②断熱性能検討

a. 最終目標の達成可能性

バルブと真空ジャケットとの寸法、距離を設定し、入熱量等を規定値以内にするこことである。

b. 今後の課題

バルブが重量物となるため、バルブージャケット間に保持する構造が必要。そのため、保持部を通じた入熱が予想されるため、保持部の材質・構造を決定し、再度入熱量の検討が必要となる。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

4. 1 まとめ及び課題

3. 項までの内容および目標を達成したのち、事業化までの課題は以下が想定される。

(1) 信頼性

本事業を通してバルブ開発における性能評価は可能となるが、実使用における信頼性の評価、耐久性の評価が必要と考えられる。

信頼性を確保するためにはフィールド試験等にて実使用における製品の性能、耐久、経年評価を実施し、運用における課題解決が必要と考えられる。

(2) サイズ展開

本プロジェクトでは大型バルブの開発を行っている（10～20インチ）。

しかし、大型プラントでのバルブ使用を想定しても、8インチ以下の小口径の需要は多数存在すると考えられる。

そのため、小口径については市場での要求仕様を調査し、早期開発着手が必要である。

(3) 生産体制

経済原理に基づき、次世代エネルギーとして液化水素市場が永続的に発展すると想定した場合、現在の生産体制では想定される要求納期で生産、納入することは困難であると考えられる。

そのため、市場動向に合わせ、市場要求に応えることが可能な生産体制を構築することが必要である。

4. 2 事業化までのシナリオ

本事業におけるバルブ開発に向けた事業化のシナリオは以下の通り。

(1) 開発期間 2020年～2022年

要素技術を確立させ、弁の試作、性能の評価確認を行い、大口径液化水素用バルブの製品開発を完了する。

(2) 実用化 2023年～2024年

実用化に向けた詳細な仕様の検討や必要な認証の取得を行う。また企業と協力し、フィールド試験を通して実使用における製品の性能や耐久性等の課題抽出、解決を行い実用化の確証を得ていく。

(3) 事業化 2025年以降

将来の市場の要求を把握し、開発の要否判断をする。

本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方としては、以下の通りである。

本研究開発により、液化水素用大口径弁の要素技術確立が可能となり、史上初の液化水素用大口径弁として市場へ導入できる。液化水素受入基地、輸送船等における主要弁類として使用いただくことで大量輸送・貯蔵が可能となり、大規模水素エネルギー利用技術の確立に寄与することができる。

また、次世代エネルギーキャリアである液化水素における機器の性能を確立することで、水素社会実現における先駆け企業として、事業化に向けた舵を切ることが可能となる。本プロジェクトを通じて実機評価を実施いただくことで、実用化の確証を得ることができる。

5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－

現時点では発表・講演等を行っていない。

●成果サリ(実施期間)：2019年度～2020年度終了)

・ドライ低NOx水素専焼燃焼器を実際のガスタービン発電装置に搭載し、実運用で想定される様々な運転条件において、失火や逆火が発生しない安定燃焼を達成。

●背景/研究内容・目的

◎背景

2017年12月策定の「水素基本戦略」には、「将来的に水素専焼発電を実現するためには、NOx値の低減、高い発電効率、高濃度な水素混焼などを同時に達成可能とする新たな燃焼技術の早期の実用化を目指す」ことが謳われており、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」には2020年頃にNOx排出値35ppm(残存酸素16%換算値)以下および発電効率27%以上の達成を目標として掲げられている。

◎研究内容・目的
ガスタービン発電において、水素専焼運転による更なる高効率化とNOx排出量の低減の達成を目指した。水を使用しないドライ方式の低NOx水素専焼ガスタービンの運転実証を実施する。また、液化水素の冷熱利用によるガスタービンの発電出力、発電効率向上効果を定量的に確認することで、水素発電の普及に向けた水素専焼運転での更なる高効率化、低コスト化運用に向けた研究を行う。

●研究目標

実施項目	目標
A:「ドライ低NOx水素専焼ガスタービンの運転実証」	①安定燃焼の達成 ②発電効率27%以上(定格)を達成 ③NOx排出値35ppm以下の達成 ④「混焼運転」対応のための課題抽出
B:「冷熱活用システム検討」	①冷熱利用熱交換器の基礎検討 ②蒸発器の着霜防止効果を定量的評価 ③空気を冷却器着霜発生条件を把握 ④冷熱利用の経済合理性の定量的評価

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

A.ドライ低NOx水素専焼ガスタービンの運転実証

- ① 前事業で整備した水素ガスタービン発電実証試験設備において、新開発のドライ低NOx水素専焼燃焼器を適用して、ガスタービン発電装置の実運用で想定される各種運転パターンで、失火や逆火が発生しない燃焼安定性の確認を完了し、2020年10月には「世界初」となるドライ方式燃焼器を適用した「水素ガスタービン発電所」として運用を開始することにより、実用レベルのドライ方式水素ガスタービン発電装置の実証を完了した。
- ② 定格運転条件において発電効率27%以上を達成した。
- ③ NOx排出値35ppm(残存酸素濃度16%換算)以下については、負荷領域によって部分的に見違える部分があり、全負荷領域での達成に向けた方策を検討中。
- ④ ドライ低NOx燃焼器での水素／天然ガスの「混焼運転」対応のための課題抽出を完了した。

B.冷熱活用システム検討

- ①熱利用熱交換器(液化水素(ブライン)の基礎検討を行い、液化水素の気化冷熱を活用し空気を冷却する場合の課題を抽出し、その解決策を検討した。
- ②冷熱利用による蒸発器の着霜防止効果を定量的に確認する。
- ③空気冷却器の模型着霜実験を行い、空気冷却器における着霜発生境界条件を確認する。
- ④冷熱利用によるガスタービンの発電出力向上効果を定量的に確認する。

●今後の課題

- ドライ低NOx水素専焼ガスタービン開発全負荷領域において、NOx排出値35ppm以下の達成に向けた改良開発の実証が必要。
- 冷熱活用システム検討
タービン吸気冷却を行った場合のタービン側の課題を抽出してゆくことが必要

●実用化・事業化の見通し

水素の市場価格推移、副生水素の発電利用ニーズを注視しつつ、2020年代初頭には水素発電の需要が顕在化し、本格的な事業化に至ると考えられる。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A:「ドライ低NOx水素専焼ガスタービンの運転実証」	・世界初の実用レベルのドライ方式水素専焼ガスタービンによる発電装置の実証を完了し、水素発電所としての実運用を開始 ・発電効率27%以上を達成	○
B:「冷熱活用システム検討」	・冷熱利用の基礎検討およびシミュレーションモデルの作成が完了。発電出力および効率向上効果の定量的評価に目途	○
特許出願	論文発表 外部発表	受賞等
1件(予定)	1件 66件	なし

課題番号：Ⅱ－⑧

研究開発名：「水素利用研究開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／ドライ低 NOx 水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業」

1. 研究開発概要

◎背景

「2017年12月策定の「水素基本戦略」には、「将来的に水素専焼発電を実現するためには、NOx 値の低減、高い発電効率、高濃度な水素混焼などを同時に達成可能とする新たな燃焼技術の早期の実用化を目指す」ことが謳われており、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」には2020年頃にNOx 排出値35ppm(残存酸素16%換算値)以下および発電端効率27%以上の達成を目標として掲げられている。

◎研究内容・目的

将来の本格的な水素発電の普及に向けて、水素ガスタービン・コージェネレーションシステム(水素CGS)の水素専焼運転での更なる高効率化、NOx 排出量低減等の環境性能向上、低コスト化運用として、「水素利用等先導研究開発事業／大規模水素利用技術の研究開発／水素ガスタービン燃焼技術の研究開発」で要素開発に目途がついた「水素専焼ドライ低 NOx 燃焼器」を「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業」で整備した実証設備に実装し、水素専焼運転での水素CGSのフィールド実証を行う。

本実証では以下のテーマの開発を実施する。

- A. ドライ低NOx 水素専焼ガスタービンの運転実証【川崎重工業㈱／㈱大林組】
- B. 冷熱活用システム検討【㈱大林組】

2. 研究開発目標

- A. ドライ低NOx 水素専焼ガスタービンの運転実証

【川崎重工業株式会社】

- i) 1MW級ガスタービンの50%負荷から定格100%負荷運転において、NOx 濃度35ppm(残存酸素16%換算値)以下を達成する。
- ii) 1MW級ガスタービンの着火、起動時の回転数上昇およびアイドル運転において、水素燃焼での失火や逆火が発生しない安定燃焼を達成する。
- iii) ガスタービンの実運用で想定される急激な負荷変動に対応すべく、燃料の急遮断等の条件において、水素燃焼での失火や逆火が発生しない安定燃焼を達成する。
- iv) 現状の天然ガス用ドライ低NOx ガスタービンと同等の発電端効率27%以上を達成する。

【株式会社大林組】

- i) ウェット方式よりもドライ方式水素ガスタービン・コージェネレーションシステムで電熱を供給した場合の方が環境性や事業性が優位であることを確認する。

- B. 冷熱活用システム検討

【株式会社大林組】

- i) 冷熱利用熱交換器（液化水素/ブライン）の基礎検討を行い、液化水素の気化冷熱を活用し空気を冷却する場合の課題を抽出し、その解決策を検討する。
- ii) 冷熱利用による蒸発器の着霜防止効果を定量的に確認する。
- iii) 空気冷却器の模型実験（着霜評価実験）を行い、空気冷却器における着霜発生境界条件を確認する。
- iv) 冷熱利用によるガスタービンの発電出力向上効果を定量的に確認する。

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

A. ドライ低NOx 水素専焼ガスタービンの運転実証

1. 設備改修

1-1 燃料供給系の改修設計(川崎重工)

燃料供給系の改修設計を完了し、設備改修に必要な機器および工事の発注を完了する。
 (成果：2019年10月までに、燃料供給系の改修設計を完了し、設備改修に必要な機器および工事の発注を完了。)

(達成度：○)

1-2 運転制御システムの改修設計(川崎重工)

運転制御システムの改修設計を完了し、設備改修に必要な工事の発注を完了する。
 (成果：2019年12月までに、運転制御システムの改修設計を完了し、設備改修に必要な工事の発注を完了。)

(達成度：○)

1-3 統合型EMSの改修設計(大林組)

1-3-1 基本計画

川崎重工業の監視制御項目のうち、ウェット方式燃焼器からドライ方式燃焼器への改造に伴い変更予定となる項目を確認・調整し、EMS改造概要をまとめた。
 (成果：川崎重工業の監視制御計画においては、ウェット方式燃焼器からドライ方式燃焼器へ改造した場合も、川崎重工業と大林組間の取合点は可能な限り既存と同じ仕様(点数、信号タイプ)とする方針となった。)

(達成度：○)

1-3-2 基本設計

(成果：川崎重工業の監視制御項目のうち、ウェット方式燃焼器からドライ方式燃焼器への改造に伴い変更(確定)となる項目を確認・調整し、EMS改造計画をまとめた。)

(達成度：○)

1-4 機器調達・製作(川崎重工)

設備改修に必要な機器の調達・製作を完了する。
 (成果：2020年4月までに、設備改修に必要な機器の調達・製作を完了。)

(達成度：○)

1-5 改修工事の実施

1-5-1 改修工事の実施(川崎重工)

設備の改修工事を完了し、運転試験実施のための設備動作確認に移行する。

(成果：2020年4月までに設備の改修工事を完了し、運転試験実施のための設備動作確認に移行。)

(達成度：○)

1-5-2 改造作業（大林組）

(成果：現地（エネルギーセンター）でEMS装置のソフトウェアの設定変更作業、および、クラウドの設定変更作業を行った。)

(達成度：○)

1-5-3 既設設備の維持保守（大林組）

(成果：既設設備の機能維持のため、日常点検、定期点検を実施した。川崎重工業 ガスタービン維持保守運転に合わせてガスタービン補機動力の運転実績データの計測や、需要家の電力・熱需要データの計測を継続して行っている。)

(達成度：○)

2. 実機搭載用燃焼器の製作

2-1 詳細設計(川崎重工)

実証試験に使用する実機搭載用燃焼器の設計を完了する。

(成果：2019年10月/12月/2020年1月までに、実機搭載用燃焼器3基（供試体①/②/③）の設計を順次完了。)

(達成度：○)

2-2 製作(川崎重工)

実機搭載用燃焼器の製作を完了する。

(成果：2020年1月/3月/5月までに、実機搭載用燃焼器3基（供試体①/②/③）の製作を順次完了。)

(達成度：○)

2-3 工場内試験－燃焼器単体(川崎重工)

工場内の燃焼器試験設備において、実機搭載用燃焼器の水素による燃焼試験を実施し、燃焼器単体での性能と健全性の確認を完了する。

(成果：2020年2月/4月/6月までに、実機搭載用燃焼器3基（供試体①/②/③）の水素による燃焼試験を実施し、燃焼器単体での性能と健全性の確認を順次完了。)

(達成度：○)

2-4 工場内試験－始動性確認(川崎重工)

工場内のガスタービン試験設備において、実機搭載用燃焼器の天然ガスによる始動試験を実施し、始動安定性と安全性の確認を完了する。

(成果：2020年2月/4月/6月までに、実機搭載用燃焼器3基（供試体①/②/③）の天然ガスによる始動試験を実施し、始動安定性と安全性の確認を順次完了。)

(達成度：○)

2-5 改良(川崎重工)

実証試験の結果をうけて、要すれば燃焼器の改良を実施する。

(成果：2020年5月より開始した実機に搭載しての実証運転試験の結果、安定運転に

障害となる「燃焼振動」が発生したことから、燃焼器の改良を実施し、「燃焼振動」を大幅に抑制するとともに、効率についても向上させる技術の開発に成功。）

(達成度：○)

3. 実証運転

3-1 動作確認(川崎重工/大林組)

設備の改修部分について、機器および制御システムの動作確認を実施し、ドライ燃焼器による運転が可能であることの確認を完了する。

(成果：2020年4月末までに、機器および制御システムの動作確認を完了し、ドライ燃焼器による運転が可能であることの確認を完了。)

(達成度：○)

3-2 ドライ低NOx 実証試験(川崎重工)

3-2-1 起動時およびアイドル運転時において、水素燃焼での失火や逆火が発生しない安定燃焼の達成。

(成果：2020年5月12日～10月6日までに起動/アイドルを58回実施し、全く問題なし。安定燃焼を達成。)

(達成度：○)

3-2-2 ガスタービンの実運用で想定される急激な負荷変動、燃料の急遮断等の条件において、水素燃焼での失火や逆火が発生しない安定燃焼の達成。

(成果：2020年5月12日～10月6日までに実運用で想定される急負荷変動/急遮断等の様々な運転パターンを実施し、全く問題なし。安定燃焼を達成。)

(達成度：○)

3-2-3 標準大気条件/発電負荷100%における発電端効率27%以上の達成。

(成果：2020年10月現在、負荷100%で発電端効率27.0%以上を達成。)

(達成度：○)

3-2-4 NOx濃度35ppm(残存酸素16%換算値)以下の達成。

(成果：2020年10月現在、低負荷領域では35ppm以下を達成。ただし、高負荷領域において目標のNOx値35ppm以下が未達成[法律上の制限値(70ppm)は十分クリアしている]。目標達成には「燃焼振動」の発生抑制が必要。「燃焼振動」の抑制には燃焼器の形状の見直しが必要だが、燃焼器を改良することにより目標達成できると見込んでいる。)

(達成度：△)

3-3 EMS 実証試験(大林組)

水噴射方式よりもドライ方式の方が環境性や事業性が優位であることを確認。

(成果：2020年11月に実証運転を実施予定。)

(達成度：△)

3-4 混焼運転対応に向けた課題抽出(川崎重工)

ドライ燃焼器において、水素/天然ガスの「混焼運転」対応のための課題の抽出が完了している。

(成果：2020年7月から課題抽出のための混焼運転を開始し、安定運転に支障となる

「燃焼振動」の発生領域と、天然割合が増加時の保炎可能領域を特定し、「混焼運転」実現のための課題の特定が完了した。）

(達成度：○)

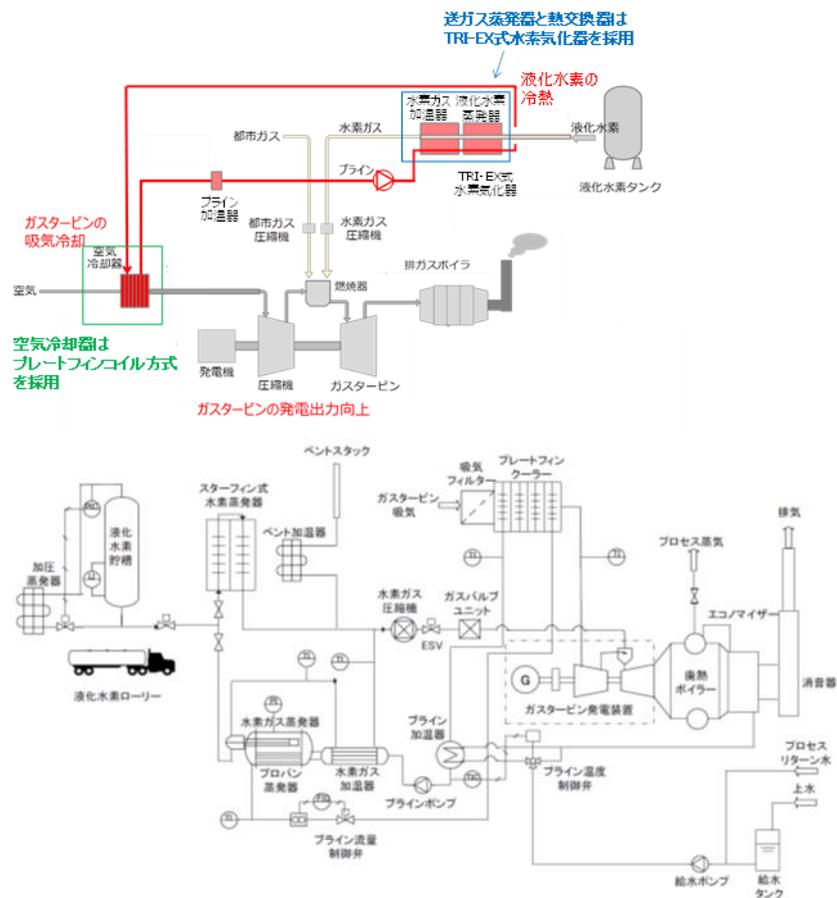
B. 冷熱活用システム検討

・研究方針

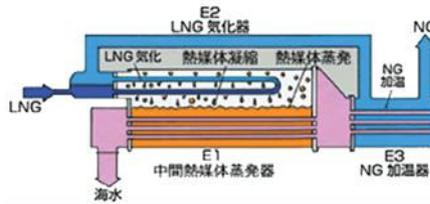
液化水素の冷熱をガスタービンの吸気冷却に活用するシステムについて検討するため、液化水素の蒸発器を液温式（液体/液体）とし、既存のLNG気化器の構造にならい水素用気化器を試設計し、その性能を研究することとした。また、冷熱を用いてタービン給気を冷却するための空気冷却器は、シンプルなシステム構成、運転制御・運用保守のし易さ、導入実績を鑑み、プレートフィンコイル方式を採用した。研究は、プロセスシミュレーションでこのモデルを構築し、発電出力向上効果（概算）を確認することで行った。

・システム構成

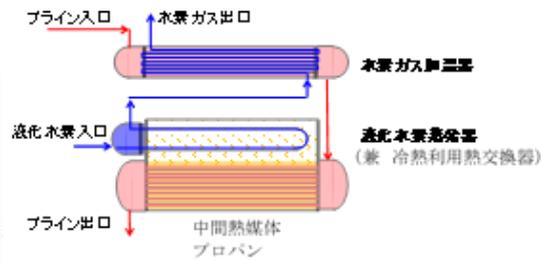
液化水素冷熱を直接冷却媒体と熱交換させると、媒体の凍結や着霜の問題が生ずるため、プロパン等を中間媒体とし、タービン給気を冷却のためにブラインを介して取得した熱でプロパン蒸気を気化させ、気化したプロパン蒸気を水素冷熱で冷却するというシステム構成とした。なお、中間媒体やブラインは各種比較検討し、本実証に最適な材料を選定した。



シミュレーション対象とした液化水素冷熱活用ガスタービン吸気冷却システム構成



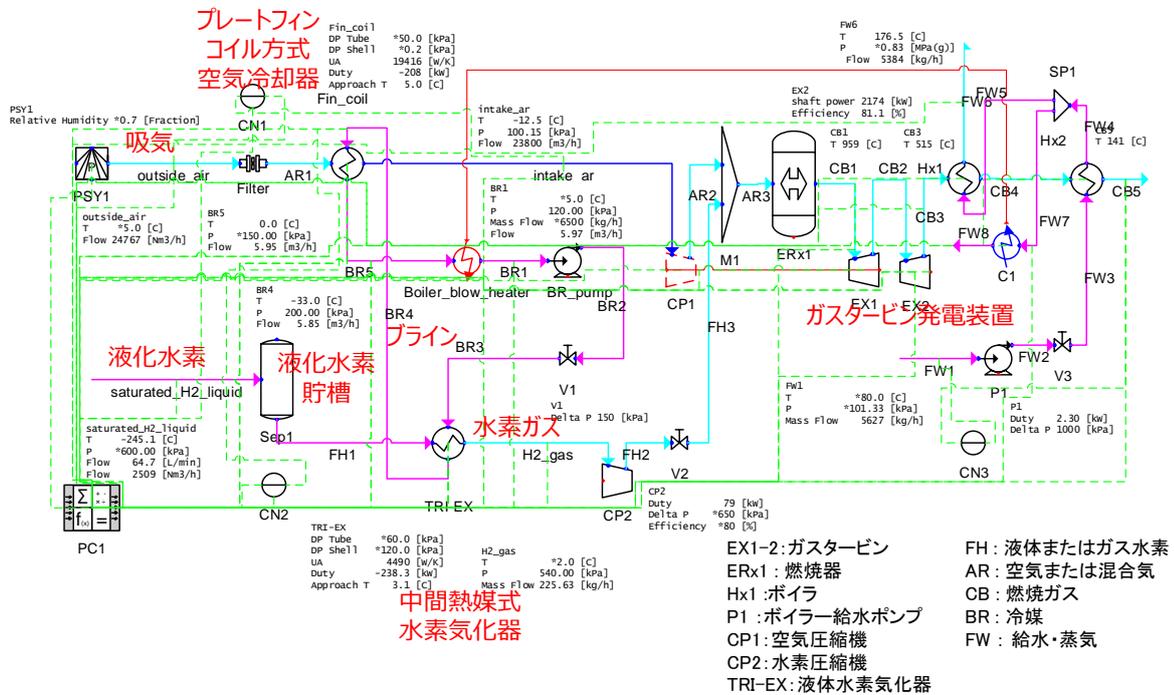
既存の LNG 気化器の構成



水素用気化器の構成

・シミュレーションモデルの構築

中間熱媒式 水素気化器を組み込んだシミュレーションモデルを構築し、液化水素冷熱でガスタービンの吸気を冷却した場合の発電出力・効率を評価した。



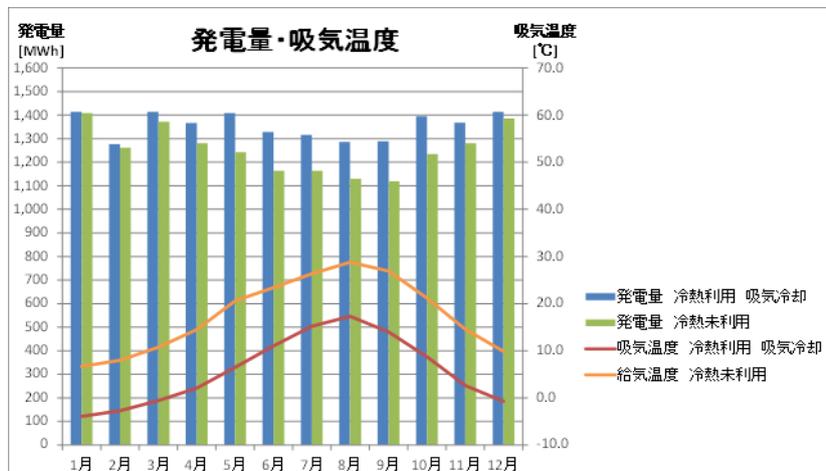
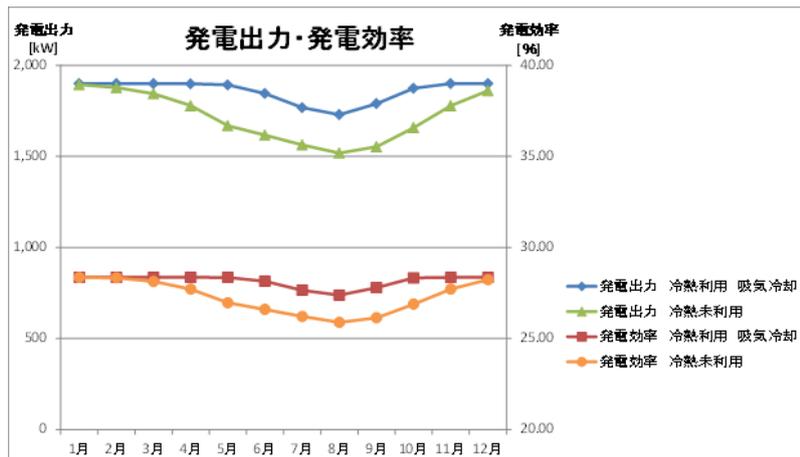
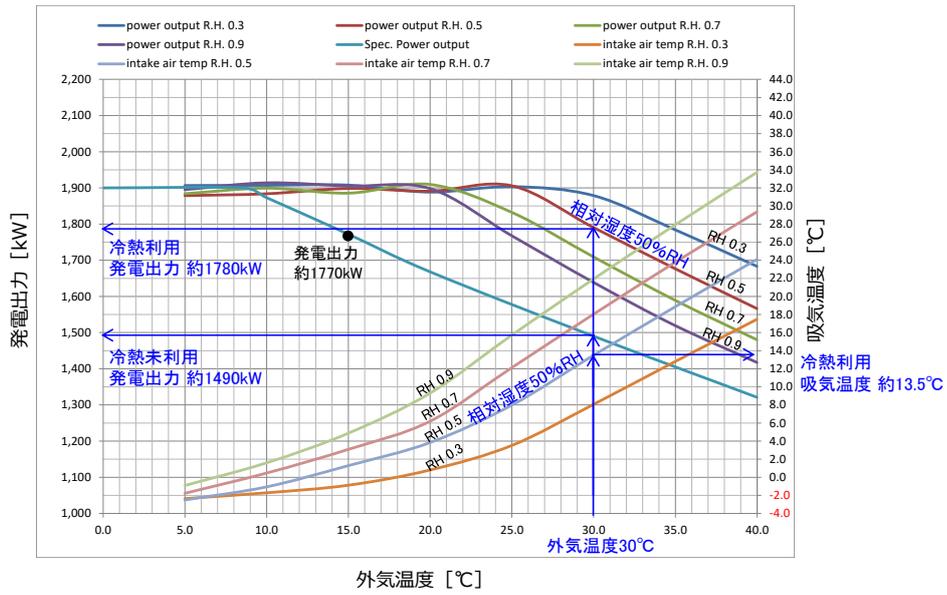
・ガスタービン発電出力向上効果のシミュレーション結果

1MW 級ガスタービンにおける発電出力、発電量、発電効率の向上効果を試算した。1MW 級ガスタービンの場合では、

- 発電出力 およそ年間平均 130kW 増加 (8%増加)
- 発電量 およそ年間あたり 1200MWh/年 増加 (8%増加)
- 発電効率 およそ年間平均 0.8 ポイント 向上

が得られることが確認できた。

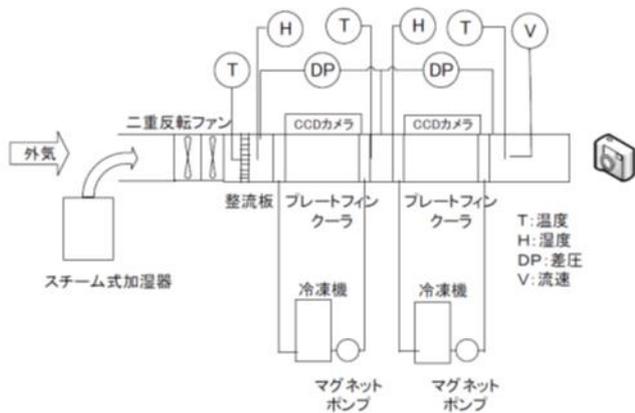
外気温度・相対湿度と発電出力の関係 外気温度・相対湿度と吸気温度の関係



・タービン給気冷却における課題

本研究により液化水素気化時の着霜は解決するものの、得られた冷熱をガスタービン吸気冷却に利用する場合、空気冷却器においても外気条件、空気冷却温度によってはコイル表面が着霜する。着霜した場合、空気冷却器での熱交換効率低下に伴い空気冷却効果が低下し（空気温度が下がらず）、発電出力向上効果の低下が懸念される。また、着霜による圧力損失増加に伴い吸気量が低下し、発電出力の低下が懸念される。冷熱を最大限活用するためには、着霜を抑制した運用が鍵となる。

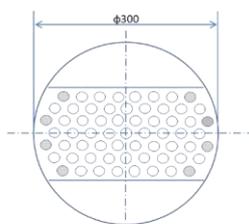
一方、霜の形成過程は複雑で、これまで具体的な知見は見受けられない。そのため、着霜発生条件、あるいは、着霜しない限界条件について実験を通して探り、その結果をシミュレーションに反映させ、計算精度を高めることとした。そこで、下図に示すような空気冷却器の着霜評価実験（模擬実験）を行うこととし、10月から実験開始を予定している。



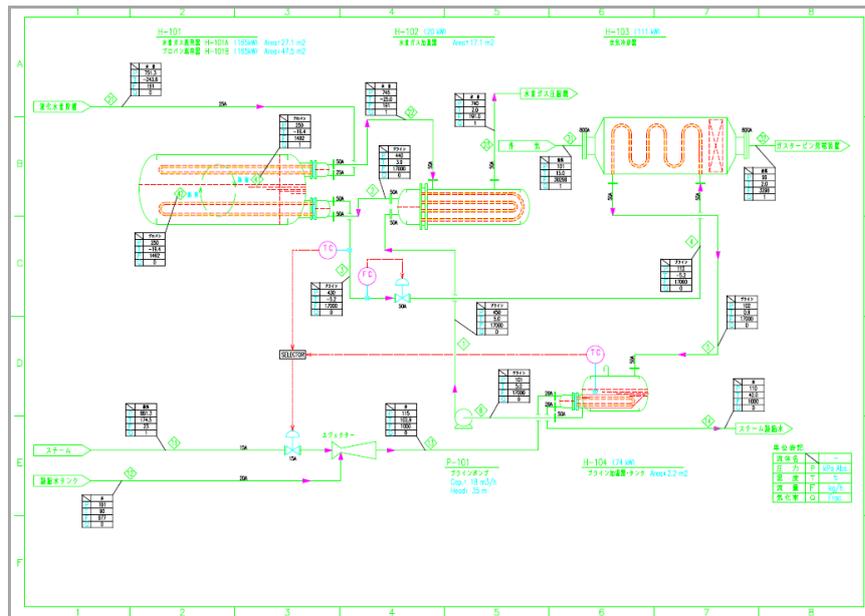
・冷熱活用システムの経済合理性評価

冷熱活用システムの経済性を確認するため、1メガワットの水素ガスタービン向けの液化冷熱システムの試設計（主要機器選定、配管系統図、配置図、配管フロー図作成および工事費の概算見積もり）を実施した。先の着霜実験の結果を踏まえた液化冷熱利用効果と合わせて、システム全体の経済合理性を評価する予定である。

水素ガス加湿器Hx1



Input		Output	
Name	Z Value	Name	Z Value
Tube Material	304 Stainless Steel	Area [m ²]	0.87
Tube Type	304Stainless(TubeSheet)	Area Ratio	1.00
Tube Length	3.0000	U Value [W/(m ² K)]	0.2000
Tube Per Pass	10	Corrected U Value [W/(m ² K)]	0.2000
Passes	1	F Correction Factor	1.00
Length Per Pass [m]	3.000	Heat Removal Area [m ²]	0.869
Tube Bundle Clearance [m]	0.0107	Tube Pressure Drop [Pa]	7.0862
Trailing Factor [m/(m ² K)]	0.000000	Shell Pressure Drop [Pa]	0.3029
Outside Diameter [m]	0.3000	Tube Fin Coefficient [W/(m ² K)]	1.81
Tube Thickness [m]	0.0000	Shell Fin Coefficient [W/(m ² K)]	0.3888
In Inside Diameter [m]	0.3000	Tube Velocity [m/s]	0.4022
Out Inside Diameter [m]	0.3000	Shell Velocity [m/s]	2.04
Pressure Drop Calculation		Fin Efficiency [%]	0.99
Colburn J _c			
Shell			
Shell Type	Single Segmental		
Shell Cut Pass	0.2500		
Shell Cut Factor	0.8172		
Shell Thickness [m]	0.0100		
Shell Bundle Clearance [m]	0.0100		
Trailing Factor [m/(m ² K)]	0.000000		
Shell Diameter [m]	0.3000		
In Inside Diameter [m]	0.2900		
Out Inside Diameter [m]	0.2900		
Spacing Steps	2		
h _c Fin			



- ・ 研究開発の成果の企業化及び輸出の見通し

【ドライ低NOx 水素専焼ガスタービンの運転実証 統合型EMSによる環境性・事業性評価】

- ・ 水素の流通価格の低減の推移、および副生水素の発電利用のニーズも見つつ、2020年代には水素発電の需要が顕在化し、本格的な事業化に至ると考えられる。現段階においても一部の電熱供給事業においては、環境性と事業性の最適バランスを導くエネルギーマネジメントシステムの要素技術は活用できると思われる。

【冷熱活用システムの研究】

- ・ 現状、水素ガスと天然ガスとのあいだには価格差があるが、ガスタービン発電効率は水素と天然ガスとで大差なくほぼ同等である。水素発電を普及拡大させるには、水素発電の更なる高効率化、経済性の向上が必要である。液化水素は液化天然ガスよりも冷熱保有量が大きいため、液化水素の冷熱を活用した水素発電システムが実現すれば高効率化に繋がり、市場ニーズに応えることが出来る。

3. 2 成果の意義

A. ドライ低NOx 水素専焼ガスタービンの運転実証

世界初となるドライ方式を適用した水素専焼ガスタービン発電所が落成したことは、高効率なドライ方式燃焼器が実用レベルの完成度であることを証明したことに他ならない。高効率化の達成は、将来の本格的な水素発電におけるランニングコスト低減に大きく寄与し、水素社会の実現に大きく貢献するものとする。

B. 冷熱活用システム検討

ガスタービン発電において、水素専焼運転による更なる高効率化とNOx排出量の低減の達成を目指した、水を使用しないドライ方式の低NOx水素専焼ガスタービンの運転実証を実施する。また、液化水素の冷熱利

用によるガスタービンの発電出力、発電効率向上効果を定量的に確認することで、水素発電の普及に向けた水素専焼運転での更なる高効率化、低コスト化に貢献できる。

3. 3 成果の最終目標の達成可能性

A. ドライ低NOx 水素専焼ガスタービンの運転実証

最終目標のうち以下のものは、既に達成済である。

- － 起動時およびアイドル運転時において、水素燃焼での失火や逆火が発生しない安定燃焼の達成
- － ガスタービンの実運用で想定される急激な負荷変動、燃料の急遮断等の条件において、水素燃焼での失火や逆火が発生しない安定燃焼の達成
- － 標準大気条件/発電負荷 100%における発電端効率 27%以上の達成

最終目標のうち以下のものは、現状では部分的に未達の状況にある。

- － NOx 濃度 35ppm(残存酸素 16%換算値)以下の達成

B. 冷熱活用システム検討

下記①～④により、冷熱利用によるガスタービン複合発電の高効率化(目標効率1~2ポイントアップ)、およびできるだけ外気温度に影響を受けない高稼働率化システムを提案できるものとする。

- ①冷熱利用熱交換器の基礎検討
- ②蒸発器の着霜防止効果を定量評価
- ③空気冷却器着霜発生条件を把握
- ④冷熱利用の経済合理性の定量評価

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本プロジェクトの完遂により、ドライ方式水素ガスタービンは実用化に大きく近づくと考えられる。実証で明らかになった課題が有れば、実用化に向けた課題の解決に取り組む。実用化技術を確立した後は、水素の流通価格の低減の推移、および副生水素の発電利用のニーズも見つつ、2020年代には水素発電の需要が顕在化し、本格的な事業化に至ると考えられる。

5. 研究発表・特許等

－論文－ (2020年9月分まで)

No.	年月	発表先	題目	所属	発表者
1	2019年11月	国際ガスタービン会議 IGTC2019 東京	Application of Low NOx Micro-Mix Hydrogen Combustion to 2MW Class Industrial Gas Turbine Combustor	川崎重工業(株) 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部	堀川 敦史

—研究発表・講演— (2020年9月分まで)

No.	年月	発表先	題目	所属	発表者
1	2019年4月	技術情報センター主催 セミナー「低炭素発電と 燃料供給に関する要素 技術・事業動向」(東京・ 新お茶の水連合会館)	水素燃料に対応する燃焼 技術とガスタービン開発 状況	技術開発本部 技 術研究所 熱シス テム研究部	堀川 敦 史
2	2019年5月	Parlamentarischer Abend des Bundesverband Bioenergie e. V. und der Botschaft von Japan in Deutschland	Kawasaki's Activity for Hydrogen Supply Chain and Hydrogen Gas Turbine	Kawasaki Gas Turbine Europe	緒方 正 裕
3	2019年6月	World Hydrogen Technologies Convention (WHTC) 2019 (東京国際フォーラム)	International Liquefied Hydrogen Supply Chain and Hydrogen Gas Turbine	技術開発本部 水 素チェーン開発セ ンター	西村 元 彦
4	2019年6月	World Hydrogen Technologies Convention (WHTC) 2019 (東京国際フォーラム)	Development and Evaluation of a Combined Heat and Power Supply System using a Hydrogen Gas Turbine	技術開発本部 水 素チェーン開発セ ンター プロジェ クト管理部	足利 貢 山口 正 人 小浜 範 芳
5	2019年7月	第14回再生可能エネ ルギー世界展示会&フ ォーラム	国際水素サプライチェー ン構築への取組	技術開発本部 水 素チェーン開発セ ンター プロジェ クト推進部 水素 エネルギー利用推 進課	千代 亮
6	2019年7月	日本社会イノベーション フォーラム2019	国際水素サプライチェー ンの実現に向けた川崎重 工の取組み	技術開発本部	原田 英 一
7	2019年8月	敦賀商工会議所主催「第 3回 “水素エネルギー 産業”勉強会」	国際水素サプライチェー ン構築に向けた川崎重工 の取組	技術開発本部 水 素チェーン開発セ ンター	西村 元 彦
8	2019年8月	日本計画研究所主催 セミナー	川崎重工業「国際液化水素 サプライチェーン構築」の 進捗と今後のさらなる展 開について	技術開発本部 水 素チェーン開発セ ンター	西村 元 彦
9	2019年9月	福岡水素エネルギー人 材育成センター主催「水 素入門コース」	水素ガスタービン発電の 実現に向けた取組み	技術開発本部 水 素チェーン開発セ ンター プロジェ クト推進部 水素 チェーン推進二課	吉山 孝
10	2019年9月	日独産業協会主催「Asa No Kai 朝の会」	The actions of Kawasaki - Hydrogen Technologies in Japan and Germany	Kawasaki Gas Turbine Europe GmbH	緒方 正 裕
11	2019年9月	日本伝熱学会主催「第16 回関西伝熱セミナー」	CO2フリー水素サプライチ ェーンと水素コージェネ レーションシステムの開 発状況	技術開発本部 水 素チェーン開発セ ンター プロジェ クト管理部	山口 正 人

No.	年月	発表先	題目	所属	発表者
12	2019年9月	関西火力発電EXPO 技術セミナー	国際水素サプライチェーン構築と水素ガスタービン開発への取り組み	技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト推進部 水素チェーン推進二課	吉山 孝
13	2019年9月	Regional Workshop on Green and Low Carbon Hydrogen Energy	Hydrogen Energy Supply Chain Project	技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト推進部	吉野 泰
14	2019年10月8日	第57回 日豪経済合同委員会会議	New Partnership for the Future	本社	金花 芳則
15	2019年10月	International Conference on Power Engineering-2019	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト推進部 水素チェーン推進二課	鈴木 啓真
16	2019年12月	JXTG・NHK エンタープライズ社主催シンポジウム	国際水素エネルギーサプライチェーン構築に向けた取り組み	技術開発本部 水素チェーン開発センター	西村 元彦
17	2019年12月12日	大阪産業技術研究所 森之宮センター	国際水素サプライチェーン構築と水素ガスタービン開発への取り組み	技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト推進部 水素チェーン推進二課	吉山 孝
18	2020年1月	Energy Workshp ADNOC&JCCME	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト開発部 水素エネルギー利用推進課	千代 亮
19	2020年1月	NIRO 主催 第3回セミナー・見学会「水素サプライチェーン構築に向けた取り組み」	国際水素サプライチェーン構築に向けた川崎重工の取り組み	技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト推進部	新道 憲二郎
20	2020年2月	Japan-Norway Hydrogen Seminar 2020 "Innovative Hydrogen End-Use in Global Supply Chains"	Status of the Hydrogen Energy Supply Chain Project	技術開発本部 水素チェーン開発センター	森本 勝哉
21	2020年3月	Hydrogen Safety Conference Osaka 2020	Demonstration Project of Smart Community using Hydrogen Co-generation System	技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト管理部	足利 貢
22	2020年5月	日経 社会イノベーションフォーラム	水素エネルギー社会の実装とグローバル連携	技術開発本部	原田 英一
23	2020年5月中旬	第27回 燃料電池シンポジウム	水素ガスタービンの開発および水素コージェネレーションシステムによる熱電供給実証	技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト管理部	足利 貢

No.	年月	発表先	題目	所属	発表者
24	2020年6月	メルボルン大学教員、学生向けセミナーでのライブ中継	Hydrogen Energy Supply Chain (HESC)	Hydrogen Engineering Australia Pty Ltd (HEA)	川副 洋史
25	2020年7月	グローバルCCSインスティテュート日本事務所主催 第32回勉強会	国際水素サプライチェーンの実現に向けた取り組み	技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト開発部 水素事業開発課	重清 秀雄
26	2020年7月5日～9日	23rd World Hydrogen Energy Conference	DEVELOPMENT OF INNOVATIVE HYDROGEN COMBUSTION SYSTEMS FOR INDUSTRIAL GAS TURBINES	Kawasaki Gas Turbine Europe	Nurettin Tekin
27	2020年8月	(株)技術情報センター主催 セミナー -アンモニア利用発電、水素発電、超臨界CO2 サイクルなど- 低炭素発電と燃料供給に関する要素技術と事業動向	水素燃料に対応する燃焼技術とガスタービン開発状況	技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部	堀川 敦史
28	2020年9月	ENAA 研究成果発表会 2020	ENAA 研究成果発表会 2020 F-2: 「水素インフラ研究会」活動報告	一般財団法人 エンジニアリング協会	水素インフラ研究会
29	2020年9月	2020年度/第29回クリーン・コール・デー国際会議 (Web形式にて実施)	International Liquefied Hydrogen Supply Chain Utilizing Brown Coal	技術開発本部	原田 英一

—新聞・雑誌等— (2020年11月分まで)

No.	年月	発表先	題目	所属	発表者
1	2019年4月	日本動力協会『エネルギーと動力』	水素専焼/混焼ガスタービンによる熱・電供給実証事業の紹介	株式会社大林組	—
2	2019年5月	日本動力協会「エネルギーと動力」第292号	水素専焼/混焼ガスタービンによる熱・電供給実証事業の紹介	川崎重工業(株) 技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト管理部	足利貢 山口正人
3	2019年6月	一般社団法人 日本電気工業会 機関紙「電機」	川崎重工業株式会社におけるSDGsへの取り組み	川崎重工業(株) 本社 総務本部 CSR部 CSR企画課	—
4	2019年6月	(公) 日本港湾協会「港湾」6月号 「港の現場最前線」	神戸港産「水素エネルギー」～国際液化水素サプライチェーンの実現に向けた取り組み～	川崎重工業(株) 技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト管理部	土屋昌義
5	2019年6月	一般社団法人 水素エネルギー協会 (HESS) 協会誌「水素エネルギーシステム」	水素CGS活用スマートコミュニティ実証事業	株式会社大林組	小野嶋一、島潔

No.	年月	発表先	題目	所属	発表者
6	2019年7月	省エネルギーセンター 「月刊省エネルギー誌7月号」	高効率5MW級ガスタービンコージェネの開発と水素燃料タービンの技術開発状況	川崎重工業(株) エネルギー・環境プラントカンパニー エネルギーシステム統括部	寺内晃司 堂浦康司 中安稔 合田真琴
7	2019年8月	エネルギー総合工学研究所「エネルギーの新潮流9月号」	川崎重工業 西村元彦 技術開発本部水素チェーン開発センター長に聞く	川崎重工業(株) 技術開発本部 水素チェーン開発センター	西村元彦
8	2019年9月	日本機械学会「ニュースレター第62号」	水素専焼/混焼ガスタービンによる熱・電供給実証事業の紹介	川崎重工業(株) 技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト管理部	山口正人
9	2019年9月	経済産業新報2019年9月9日号	水素エネルギーの社会実装を目指す水素サプライチェーン構想	川崎重工業(株) 技術開発本部 水素チェーン開発センター	西村元彦
10	2019年9月	Financial Times 社出版物	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 技術開発本部 水素チェーン開発センター	西村元彦
11	2019年9月	日本機械学会動力エネルギーシステム部門 ニュースレター第62号	水素専焼/混焼ガスタービンによる熱・電供給実証事業の紹介	川崎重工業(株) 技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト管理部	山口正人
12	2019年10月	火力原子力発電技術協会「火力原子力発電10月号」	川崎重工における水素焚きガスタービンの開発状況	川崎重工業(株) 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部 研究一課	堀川敦史
13	2020年3月	ASME「Mechanical Engineering 3月号」	HYDROGEN ENERGY SUPPLY CHAIN FOR DECARBONIZATION	川崎重工業(株) 技術開発本部 水素チェーン開発センター	西村元彦
14	2020年3月	読売新聞	変わりゆく万博 3	川崎重工業(株) 技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト推進部 水素涉外課	井本有太郎
15	2020年7月	ENN-エンジニアリングネットワーク	水素ガスタービンについて	川崎重工業(株) エネルギー・環境プラントカンパニー エネルギーディビジョン エネルギーシステム統括部 ガスタービン技術部	辰巳康司

No.	年月	発表先	題目	所属	発表者
16	2020年8月	ENAA 研究成果発表会 2020	ENAA 研究成果発表会 2020 F-2:「水素イン フラ研究会」活動報告	一般財団法人 エ ンジニアリング協 会	—
17	2020年9月	エネルギー総合工学研究 所「エネルギーの新潮流 9月号」	川崎重工業 西村元彦 技術開発本部水素チェ ーン開発センターセン ター長 (プロジェクト 総括担当) 准執行役員 に聞く	川崎重工業㈱ 技 術開発本部 水素 チェーン開発セン ター	西村元彦
18	2020年11月	新建築社 ja 118号	水素でエネルギー危機 に備える	株式会社大林組	—

—展示会への出展— (2020年9月分まで)

No.	年月	発表先	題目	所属	発表者
1	2019年6月 4日～6 月5日	World Hydrogen Technologies Convention (WHTC) 2019 (東京国際フォーラ ム)	Kawasaki Hydrogen Road	技術開発本部 水素 チェーン開発センタ ー プロジェクト推 進部 水素渉外課	—
2	2020年2月 26日～2月 28日	次世代火力発電 EXPO	次世代火力ボイラ/CGS コージェネレーション システム	技術開発本部 水素チェーン開発セ ンター プロジェク ト推進部 水素渉外 課	井本 有 太郎
3	2020年2月 26日～2月 28日	次世代火力発電 EXPO	スマートコミュニティ 技術開発事業 水素ガスタービンによ るコージェネレーショ ンシステムを活用した 実証事業	技術開発本部 水素チェーン開発セ ンター プロジェク ト推進部 水素渉外 課	井本 有 太郎
4	2020年2月 26日～2月 28日	次世代火力発電 EXPO	CGS コージェネレーシ ョンシステム THE NEXT 火力発電	技術開発本部 水素チェーン開発セ ンター プロジェク ト推進部 水素渉外 課	井本 有 太郎

—プレスリリース— (2020年9月分まで)

No.	年月	発表先	題目	所属	発表者
1	2020年7 月	HP 掲載 (マスコミ へのメール配信有 り)	世界初、ドライ低NOx水素専 焼ガスタービンの技術実証 試験に成功～水素社会の実 現に向けて水素発電の性能 を向上～	川崎重工業㈱ 技術 開発本部 水素チェ ーン開発センター プロジェクト管理部 ソリューション課	山口正人

No.	年月	発表先	題目	所属	発表者
2	2020年8月	HP掲載	World's First Successful Technology Verification of 100% Hydrogen-fueled Gas Turbine Operation with Dry Low NOx Combustion Technology Improving Power Generation Performances to Realize a Hydrogen Society	川崎重工業(株) 技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト管理部 ソリューション課	山口正人
3	2020年7月	大林組ホームページ	世界初、ドライ低NOx水素専焼ガスタービンの技術実証試験を開始 ～水素社会の実現に向けて水素発電の性能を向上～	株式会社大林組 コーポレート・コミュニケーション室	
4	2020年7月	大林組ホームページ	World's First Successful Technology Verification of 100% Hydrogen-fueled Gas Turbine Operation with Dry Low NOx Combustion Technology	株式会社大林組	
5	2020年8月	大林組ホームページ	神戸・関西圏水素利活用協議会の設立と参画について	株式会社大林組	

－その他－ (2020年9月分まで)

No.	年月	発表先	題目	所属	発表者
1	2019年5月	当社ホームページ	水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業 神戸ポートアイランド	川崎重工業(株) 本社 コーポレートコミュニケーション部	-
2	2019年5月	インターネット動画サイト YouTube	水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業 神戸ポートアイランド	川崎重工業(株) 本社 コーポレートコミュニケーション部	-
3	2019年9月、12月	当社冊子、当社ホームページ	Kawasaki Report (統合報告書) 2019	川崎重工業(株) 総務本部 CSR部	-
4	2019年11月	当社カタログ	カワサキガスタービン コージェネレーションシステム	川崎重工業(株) エネルギー・環境プラントカンパニー 営業本部 国内常用発電営業部 第一営業課	-
5	2020年1月	WFES2019	Development of Smart Community Technology by utilization of Hydrogen CGS	川崎重工業(株) 技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト推進部 水素涉外課	井本有太郎

No.	年月	発表先	題目	所属	発表者
6	2020年3月	エネルギーの創造	水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業	川崎重工業(株) 技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト推進部 水素渉外課	井本有太郎
7	2020年4月	地域活性化に資する持続可能なエネルギー・環境エンジニアリングの調査研究(仮題)	水素CGS実証プロジェクト視察	川崎重工業(株) 企画本部	横山稔
8	2020年4月	HYDROGEN ENERGY-RELATED FACILITIES (for Transformation, Storage, and Utilization)	Smart community technorogy development project utilizing Hydrogen Cogeneration Systems	川崎重工業(株) 技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト推進部 水素渉外課	井本有太郎
9	2020年8月	川崎重工技報 182号	①脱炭素社会構築に不可欠な水素エネルギー導入に向けた開発と実証 ②国際液化水素サプライチェーン構築への取り組み ③水素をつかう -水素発電技術の開発-	川崎重工業(株) ①技術開発本部 ②技術開発本部 水素チェーン開発センター ③技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部 研究一課	①原田英一 ②西村元彦 ③堀川敦史
10	2020年8月	川崎重工業株式会社 エネルギー・環境プラントカンパニーパンフレット	Kawasaki Hydrogen Road	川崎重工業(株) エネルギー・環境プラントカンパニー 企画本部 プラント人事総務部 人事総務課	-

—特許等—

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名

（資料Ⅱ-⑨）「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／CO₂フリーアンモニア利用GTCCシステムの技術開発」

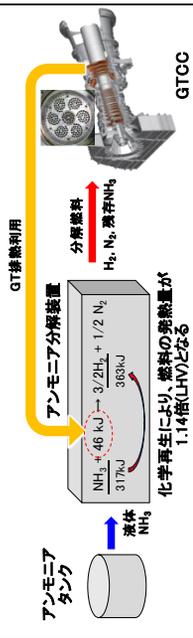
助成先：三菱パワー
委託先：三菱重工、三菱重工エンジニアリング

●成果ガマリ（実施期間：2019年度～2020年度終了予定）

- (1) NH₃分解水素ガスと天然ガスの混焼システムの起動要領を検討するとともに、本システムの発電コストを評価した。2020年度は専焼システムの検討を実施中。
- (2) 混焼システムのNH₃分解反応器の構造も含めた試設計を実施、NH₃分解触媒表面の被毒物質等を分析した。2020年度は材料、触媒の試験を実施中。
- (3) 燃焼器の検討は、既存実圧燃焼試験装置の燃料系統に微量NH₃を供給する系統を計画し、2020年12月に試験実施予定。

●背景/研究内容・目的

- 水素キャリアとして有望なアンモニア(NH₃)を熱分解により再水素化し、水素燃焼ガスタービンで発電するシステム(下図)を対象とする。
- 分解性、運用性を考慮した改良システム構成の検討、NH₃分解装置の大型化、分解触媒性能の評価、実圧燃焼試験によるNOx転換特性の検討を実施し、本システムの実用化に必要な技術を開発することを目的とする。



●研究目標

実施項目	目標
(1) システム構成の検討	他のCO ₂ フリーシステムと比較して経済的に優位(目標：17円/kWh以下(2030年))で運用性に優れたシステム構成/運転条件の検討
(2) NH ₃ 分解装置の検討	<ul style="list-style-type: none"> NH₃分解装置の機器構成の決定、分解後の残留NH₃濃度0.38%以下 触媒の実使用環境を考慮した寿命や性能評価
(3) 燃焼器の検討	NH ₃ 分解ガス混焼条件(水素体積割合20%)における実圧燃焼器のNOx性能の検証

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容/研究成果

- (1) NH₃分解水素専焼システムの系統構成、部分負荷ヒートバランス、起動停止手順を検討した。
NH₃燃料の価格と本システムの建設費をパラメータとし、本システムの発電コストを評価した。
- (2) NH₃分解装置に関して、分解反応器の試設計を実施した。
高温かつ高濃度のNH₃の条件下で使用されるNH₃分解反応器の材料、触媒について、材料の耐窒化性の観点、触媒の被毒、比表面積の観点から試験及び検討を実施中。
- (3) NH₃分解ガス混焼条件(水素20 vol%)における実圧燃焼器のNOx性能を検証する準備を進めており、2020年末に実圧燃焼試験を実施。分解ガス中の残留NH₃がFuel NOxに転換される割合を解析評価中。

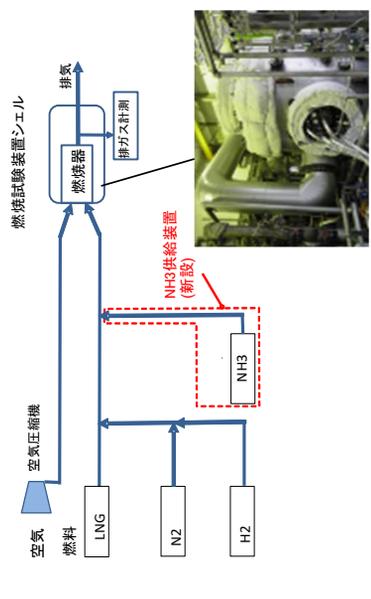


図 実圧燃焼試験装置の微量NH₃供給系統

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
(1) システム構成の検討	<ul style="list-style-type: none"> 混焼システムの起動要領を検討 NH₃燃料の価格と本システムの建設費をパラメータとし、本システムの発電コストを評価 	達成
(2) NH ₃ 分解装置の検討	<ul style="list-style-type: none"> 混焼システムのNH₃分解反応器の構造も含めた試設計を実施 NH₃曝露試験で触媒表面の被毒物質の分析、触媒比表面積変化を計測 	達成
(3) 燃焼器の検討	既存実圧燃焼試験装置の燃料系統に微量NH ₃ を供給する系統を計画	達成

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	0	7	0

課題番号：Ⅱ-⑨

研究開発名：「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／CO₂フリーアンモニア利用GTCCシステムの技術開発」

1. 研究開発概要

地球環境保全のために二酸化炭素(CO₂)排出量を削減する手段として、燃焼排ガスに二酸化炭素を含有しない水素(H₂)を燃料として利用することが有力な選択肢となっている。特に水素発電については、2017年12月に策定された「水素基本戦略」において、国際的な水素サプライチェーンとともに2030年頃の商用化を実現し、発電コスト17円/kWhを目指し、そのために必要となる水素調達量として年間30万t程度(発電容量で1GW)を目安に導入するとされている。

しかし水素は貯蔵や輸送に技術的・経済的なハードルが高い。このため水素を含む化学物質をエネルギー輸送媒体(以下、水素キャリア)とすることによりこれらの課題を克服することが検討されている。その中でもアンモニア(NH₃)は、変換効率の高さ、貯蔵、輸送の容易さの観点から水素キャリアの有力な候補で、ガスタービンで利用する場合には、天然ガスなどの燃料に混合して燃焼させることが検討されている。

燃料中にアンモニアが混合した場合、わずかな量のアンモニアでも燃焼後の窒素酸化物(NO_x)濃度が急激に高くなることが知られている。特にタービン入口燃焼ガス温度が高く、GTCCとして高い熱効率が得られる大型ガスタービンの場合、表1に示すような制約が生じる。

表1 アンモニア燃焼の特徴と大型ガスタービンにおける制約

アンモニア燃焼の特徴	大型ガスタービンにおける制約
燃焼速度が遅い (メタンの約1/5)	<ul style="list-style-type: none">燃焼完了に必要な時間を確保するため、燃焼器のサイズが大きくなる。大型ガスタービンは多缶式燃焼器のため燃焼器のサイズ拡大に制約あり。
燃料中に窒素を含有する	<ul style="list-style-type: none">Fuel NO_xが発生するが、大型ガスタービンはThermal NO_xが許容する範囲で燃焼ガス温度を高温化しており、Fuel NO_xを許容する余地は少ない。二段燃焼による低NO_x化が考えられるが、大型ガスタービンの場合、燃焼器の大型化や複雑化など技術課題が多い。

これらの制約を克服して実用するためには相当の研究開発期間が必要になることから、既に実用化されている水素と天然ガスの混焼のガスタービン燃焼器、あるいは今後実用化される水素専焼の燃焼器の活用を前提として、水素キャリアであるアンモニアを熱分解により再水素化して水素燃焼ガスタービンで利用するシステムに着目した。

図1に、本事業で提案するCO₂フリーアンモニア利用ガスタービン複合発電(CO₂フリーアンモニア利用GTCC)システムの概念を示す。本システムは、水素キャリアであるアンモニアを、ガスタービン(GT)の排ガスの熱を利用して水素と窒素に熱分解し、図2に示すような既に実用化されている水素と天然ガスの混焼の予混合燃焼器により燃焼させる。さらに水素専焼できるマル

チクラスタ燃焼器が開発されれば、燃料の全てを水素キャリア利用とすることができる。

水素キャリアであるアンモニアを熱分解して再水素化するためには、アンモニア 1 モルあたり 46 kJ の反応熱が必要となるが、GT 排熱を利用することにより外部からの熱供給を不要にできる。また、この反応熱を供給することにより燃料の発熱量が 1.14 倍（LHV ベース）に増加(化学再生)されるため、GT への入熱を増加することができる。

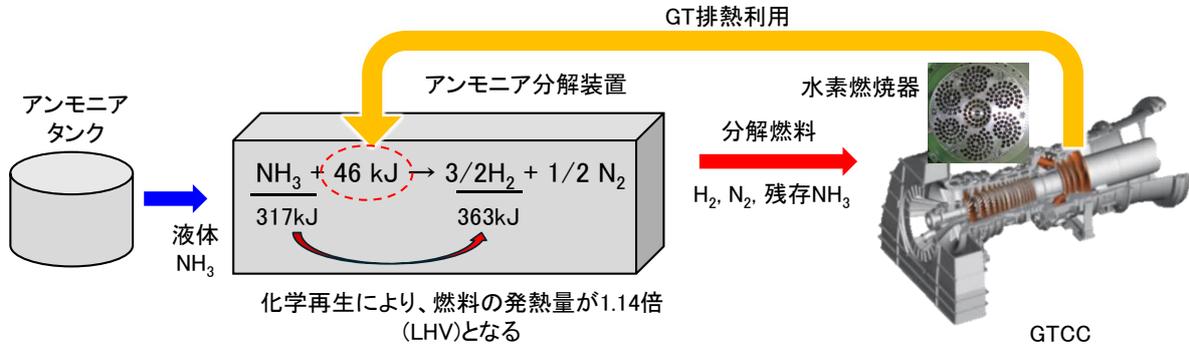


図 1 CO₂フリーアンモニア利用 GTCC システム概念図

	予混合燃焼器 (水素と天然ガスの混焼)	マルチクラスタ燃焼器(水素専焼)
燃焼器		 NEDO事業「水素専焼対応型Dry Low NO _x 高温ガスタービンの研究開発」より

図 2 水素燃焼向けガスタービン燃焼器（水素混焼および水素専焼）

本システムに関しては、2017-18 年度に内閣府 SIP で基礎的な検討を行い、原理的には成立する見通しを得た。本事業において、経済性、運用性を考慮した改良システム構成の検討、アンモニア分解装置の大型化、分解触媒の寿命や被毒物質等に関する調査、実圧燃焼試験による NO_x 転換特性の検討を実施し、本システムの実用化に必要な技術を開発することを目的とする。

2. 研究開発目標

本事業の実施内容は、以下の 3 つのテーマに大別され、それぞれのテーマの目標を以下に示す。これらの目標を達成することにより NEDO 基本計画の研究開発項目 II : 「大規模水素エネルギー技術開発」のうち (ロ) 「水素エネルギー利用システム開発」で必要とされる、様々な水素キャリアを利用した水素発電等を組み込んだエネルギーシステムの市場化に必要な基盤技術を確立する。

(1) システム構成の検討

CO₂フリーアンモニア利用 GTCC が、他の CO₂フリーシステムと比較して経済的に優位かつ運用性に優れたシステム構成/運転条件を明らかにする。目安とする経済性の指標は、2030 年時点で発電コストが 17 円/kWh 以下とする。

本事業で検討するアンモニア分解装置、燃焼器の仕様/性能の検討結果と、アンモニア燃料の価格など外部要因を考慮し、経済性(燃料費、発電コスト)、環境性(NO_x 排出、CO₂削減)、運用性(起

動停止など)の観点から最適となる本システムの構成と運転条件を定量的に明らかにする。

(2) アンモニア分解装置の検討

アンモニア分解装置の具体的な構造を検討し、熱供給の促進やアンモニアの分解について、評価を実施する。本システムで水素を体積割合で約 20%混焼するガスタービンでの NOx 増加量を 50ppm 以下とするため、ガスタービン入口での水素リッチな燃料ガス中の残留 NH₃濃度が 0.38% 以下とする。またアンモニア分解触媒の耐久性に関して、実際の使用環境を考慮した触媒寿命や被毒物質等の調査を行い性能を評価する。

(3) 燃焼器の検討

大型ガスタービンに適用される予混合燃焼器の開発では、予混合ガスの希薄化・均一化による低 NOx 化に加え、燃焼振動の抑制が課題であり、さらに、燃料中に天然ガスより燃焼速度が速く最小着火エネルギーの低い水素が混ざれば、逆火のリスクが増える。当社は、これらの技術課題に対応して、現在の市場のボリュームゾーンである大型・高効率の 500MW 級のガスタービンに適用されている既存の予混合燃焼器については体積割合で約 20%の水素混焼が可能である目途を得ている。

一方で、アンモニアを大型ガスタービンの予混合燃焼器にて直接燃焼させる場合、天然ガスに比べ燃焼速度が十分遅いので燃焼完了に必要な時間を確保するための燃焼器の大型化や、アンモニア中の窒素分により大量発生する Fuel NOx を低減するための二段燃焼方式の採用による燃焼器の複雑化など多くの技術課題があり、技術ハードルも高い。

そこで、アンモニアを水素と窒素に熱分解したガスを天然ガスと混ぜて、上述の水素混焼が可能な予混合燃焼器にて燃焼させるシステムの適用を検討し、混焼による燃焼器の影響(燃焼性等)を調査・確認することを目標とする。特にアンモニア分解ガス中に含まれる残留アンモニアが燃焼器出口 NOx に及ぼす影響を確認し、システム構成の検討および、アンモニア分解装置の検討にフィードバックする。

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発項目別成果及び達成度

研究開発項目毎に、マイルストーンとして設定した中間目標と成果、達成度を表 2 に示す。開発項目は、① システム構成の検討、②アンモニア分解装置の検討、③燃焼器の検討の 3 項目あり、いずれも中間目標を達成した。以下、その成果の詳細を述べる。

表 2 研究開発項目毎の成果と達成度

開発項目	中間目標 (中間評価時点)	成果	達成度	今後の課題と 解決方針
① システム構成の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・混焼システムの起動停止手順、経済性の検討 ・専焼システム改良案の構成検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・混焼システムの起動要領を検討 ・NH₃ 燃料の価格と本システムの建設費をパラメータとし、本システムの発電コストを評価 ・分解ガス専焼システムについて、改良案を評価 	○	専焼システムの改良案に対して起動停止手順の検討/経済性の評価
②アンモニア分解装置の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・NH₃分解装置の基本試設計(混焼) ・触媒性能被毒物質調査 	<ul style="list-style-type: none"> ・H₂ 濃度 20%混焼の NH₃ 分解装置全体のシステム構築と熱物質収支を検討し、NH₃ 分解反応器の構造も含めた試設計を実施 ・NH₃ 曝露試験 (100 時間、500 時間) で触媒表面の被毒物質の分析、触媒比表面積変化を計測 ・分解装置材料のスクリーニング試験を実施 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・NH₃ 分解装置の詳細試設計 (混焼) ・触媒劣化性能評価
③燃焼器の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・実圧燃焼試験装置に NH₃ 供給系統を追設計画 ・一次元解析によるガスタービン燃焼器の NO_x 排出量予測 	<ul style="list-style-type: none"> ・天然ガスと NH₃ 分解ガスの混焼試験のため、既存実圧燃焼試験装置の燃料系統に微量 NH₃ を供給する装置と系統を計画 ・燃焼器の基礎燃焼特性を詳細化学反応計算、気流試験による燃料濃度分布計測、CFD 解析にて実施 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・実圧燃焼試験及び結果検討 ・燃焼解析による NO_x 評価

(注) 達成度 『◎：大幅達成 ○：達成 △：一部達成 ×：未達』

(1) システム構成の検討

プラント全体の起動停止手順や、ガスタービンの部分負荷時のアンモニア分解装置の運用方法を検討する目的で、図 3 に示す天然ガスとアンモニア分解ガスの混焼システム(燃焼器入口水素濃度 20 体積%)におけるガスタービン本体の部分負荷特性評価(無負荷～100%負荷)を実施した。

今回検討したいずれのガスタービン (GT) 負荷率でも、NH₃ 分解器、ガス処理装置に供給可能

な蒸気流量は、それぞれ、全負荷 (GT 負荷率:100%) の場合に必要な蒸気流量を上回っており (図 4)、NH₃ 分解器、ガス処理装置に十分な量の蒸気を供給可能であることが明らかになった。今後の課題として、NH₃ 分解反応に必要な熱が多くなる専焼システムの場合にガスタービン排ガス側から分解装置側へ熱を伝える手段、部分負荷での運用を検討が必要であり 2020 年度に実施予定である。

部分負荷特性評価結果と、開発項目(3)の燃焼器の検討結果をもとに、天然ガス燃料でガスタービンを起動した後に分解ガス燃料との混焼に切り換える手順を検討した (図 5)。2020 年度に開発項目(3)で予定している燃焼試験において、この条件での燃焼器の燃焼性(燃焼振動や排ガス性状等)を確認することにより、商用機での起動停止手順の目途付けや課題抽出が可能となる。

アンモニア燃料の価格と本システムの建設費をパラメーターとし、本システムの発電コストを評価した (図 6)。本システムの発電コストは燃料費が支配的であることが判り、アンモニア分解の温度等の条件を検討する際は、熱効率優先で検討すべきとの設計指針を得た。一方、燃料となるアンモニアの価格が非常に重要であるため、将来の CO₂ フリーアンモニア燃料のコスト見通しを調査し経済性評価することが必要である。

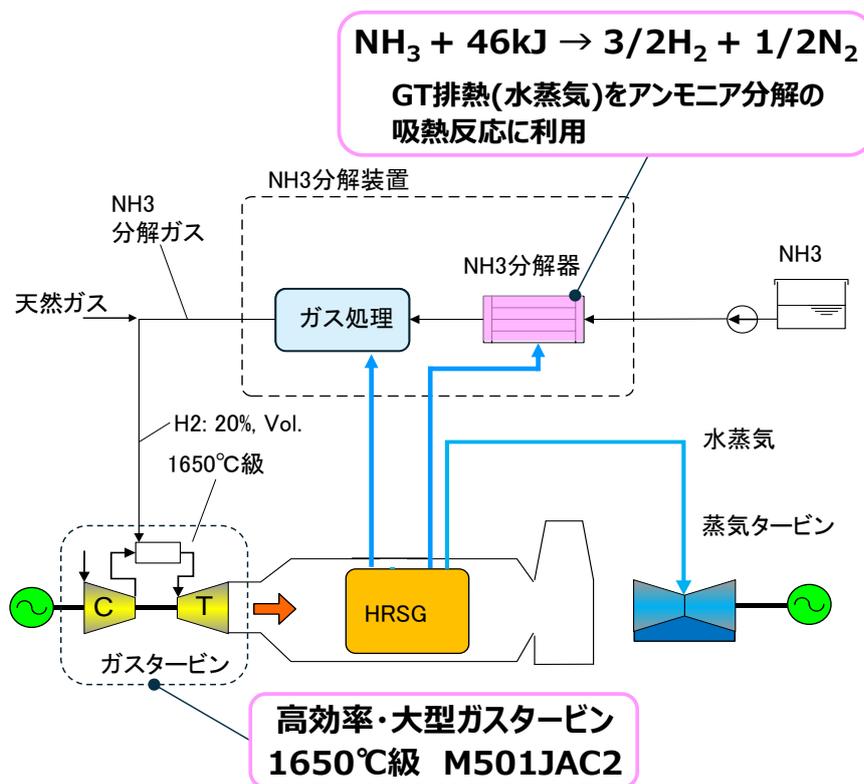


図 3 天然ガスとアンモニア分解ガスの混焼ガスタービンシステム
(燃焼器入口水素濃度 20 体積%)

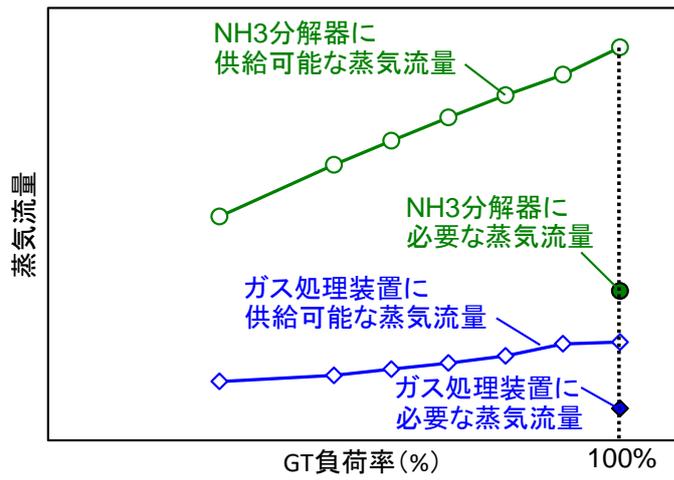


図 4 NH₃ 分解器およびガス処理装置に必要な蒸気流量と供給可能な蒸気流量

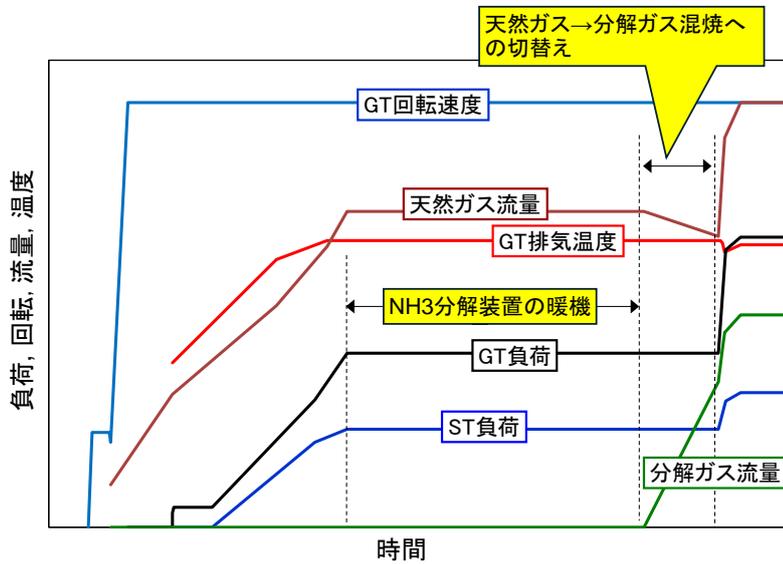


図 5 システムの起動時に分解ガス燃料との混焼に切替える手順案

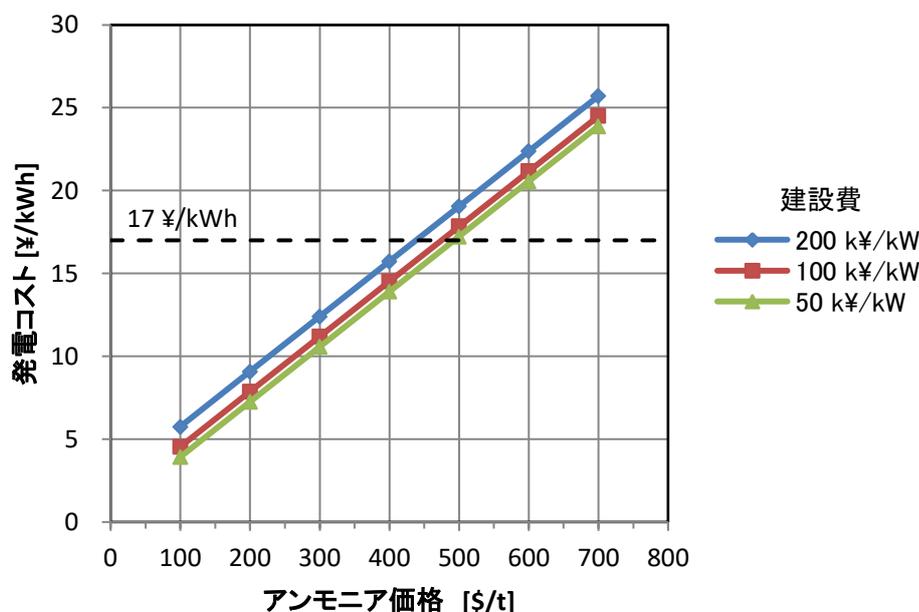


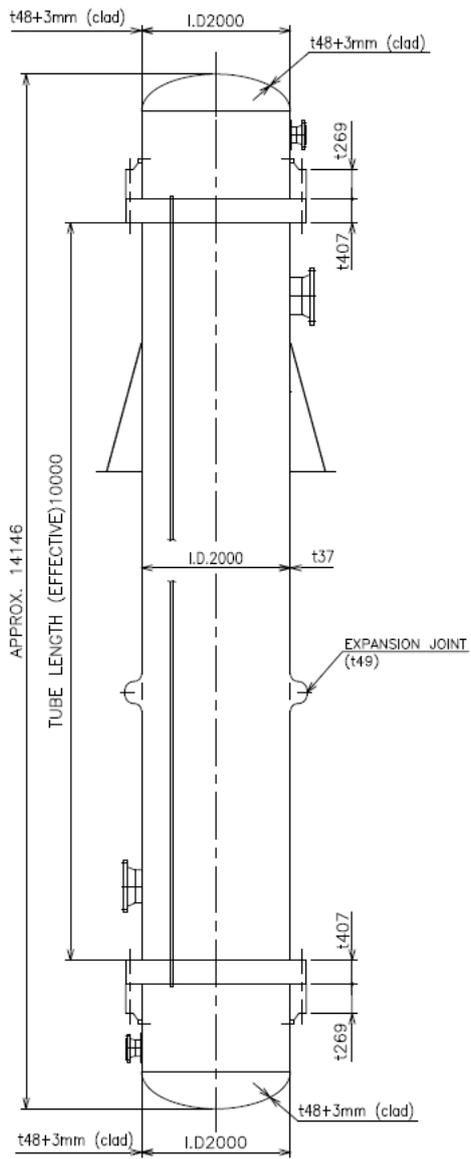
図 6 アンモニア燃料の価格と本システムの建設費をパラメーターとした発電コスト評価の結果例

(2) アンモニア分解装置の検討

アンモニア分解装置の分解反応管の材料を仮定して、アンモニア分解反応器の試設計を実施した。触媒を充填した反応管を蒸気により外部から間接加熱するシェル&チューブ方式を想定し、開発項目(1)から提示された境界条件を基に試設計した結果、500MW クラス・分解水素 20%混焼において、径=約 2m、反応管長さ=約 10 m、反応管本数=約 1,900 本のアンモニア分解反応器 1 基が必要である事が判った(図 7)。また、アンモニア分解反応器出口の未反応アンモニアを回収する為に必要なシステムについても、必要な機器の構成や大きさを明らかにする事が出来た(図 8)。

アンモニア分解装置で用いる分解触媒に関して、アンモニア曝露試験(100 時間、500 時間)を実施し、触媒表面における被毒物質の分析、触媒比表面積の変化を計測した。その結果、500 時間経過時点で被毒物質の生成は確認されず、触媒比表面積についても大きな変化は認められなかった(表 3)。より長時間での被毒、熱劣化を評価するため、最大 2,000 時間のアンモニア曝露試験を実施、その後の触媒の表面状況について調査を実施する。

加えて、アンモニア分解反応器は、高温かつ高濃度のアンモニアの条件下で使用されるため、材料の窒化による機械的損傷が懸念されることが判った。このため、文献調査や材料メーカーからのヒアリングにより、耐窒化性を有する候補材料を選定し、温度やアンモニア濃度を变化させた曝露試験を実施中である。2019 年度には、アンモニア濃度が 90%の試験を実施した(図 9)。2020 年度は、2019 年度の試験状況を考慮して対象とする材料を追加/削除するとともに、実際のアンモニア分解装置のプロセスを想定し、アンモニア濃度を变化させた試験を実施している。また、アンモニアによる窒化反応は、一般の腐食事例と同様に、曝露開始時には速く進行し、次第に進行速度が遅くなっていくものと推測される。したがって、窒化の影響をより精度良く評価するため、アンモニア曝露時間を最大 2,000 時間とした試験を実施する。



項目	仕様
型式	縦型固定管板 (BEM) シェル側エキスパンション付き

図 7 アンモニア分解反応器の試設計結果

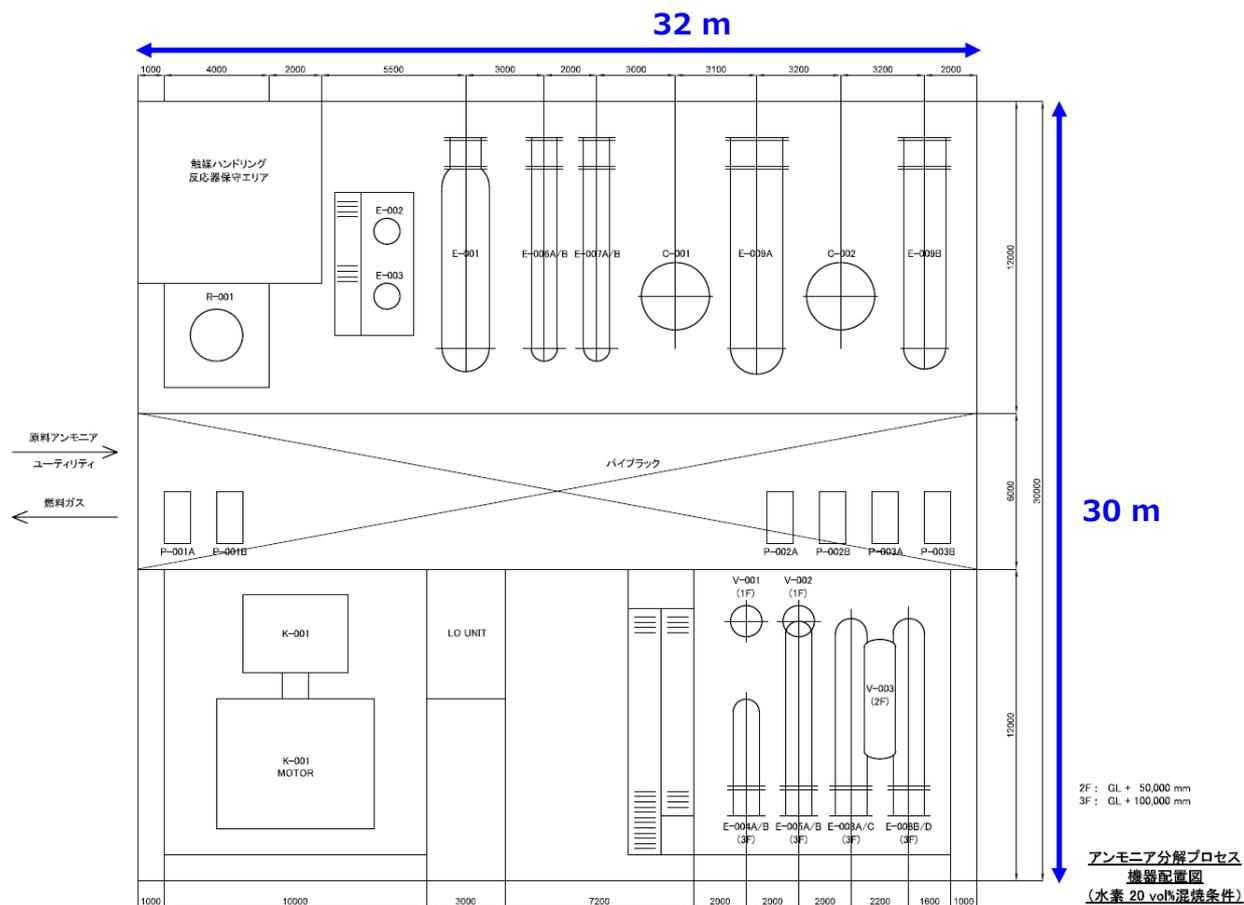


図 8 アンモニア分解装置の概略機器配置図(燃焼器入口水素濃度 20 体積%ケース)

表 3 アンモニア曝露試験 (100 時間、500 時間) における触媒比表面積の変化

Run No.	Run1-1,1-2	Run2-1,2-2	Run1-1,1-2	Run2-1,2-2
触媒	非貴金属系触媒/RX-7-MH-03		貴金属系触媒/RX-7-MH-04	
温度 (°C)	500	600	500	600
試験前	96.03	96.03	138.56	138.56
(H ₂ 還元処理後)	70.33	70.33	108.42	108.42
100H 曝露後	74.86	69.28	110.91	108.56
500H 曝露後	70.11	75.92	108.19	108.28

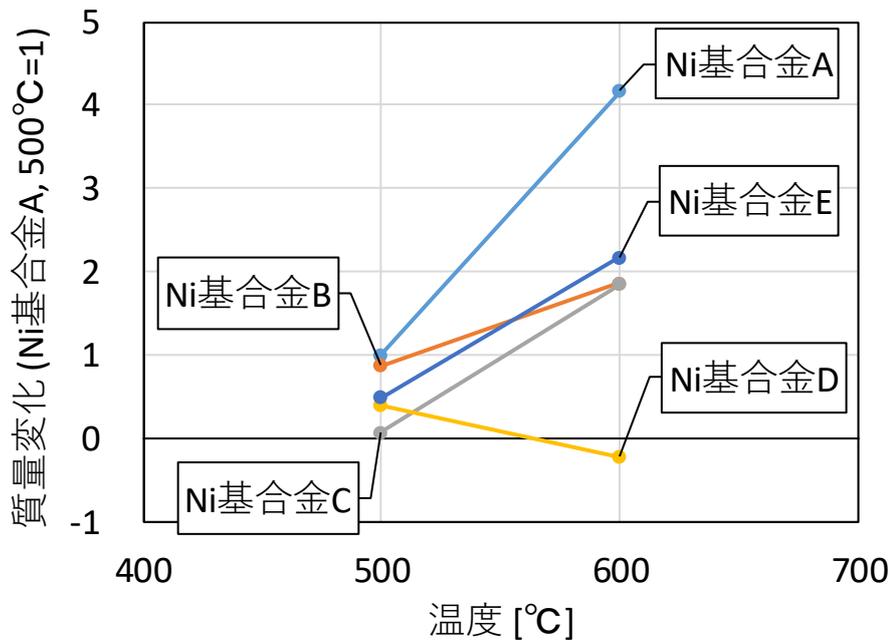


図 9 アンモニア暴露試験における材料の質量変化(500 時間暴露後)

(3) 燃焼器の検討

1650°C級ガスタービン燃焼器を対象にして、水素 20vol%相当の混合燃料(天然ガス:67.3%、水素:20%、窒素:6.7%、微量アンモニア)を供給できる設備の検討を進めた。水素、窒素については、アンモニア分解ガスを模擬するために体積流量比を 3:1 に保持して供給する計画とした。アンモニアについては、試験で燃料中の残留アンモニア量と NO_x 排出量の間係を取得する目的で、0g/s~4.4g/s の範囲で供給できる装置計画とした(図 10)。これは、燃料中のアンモニア濃度を 0%~0.33%の範囲で変化させることができる。このアンモニア量が燃焼出口 NO_x 排出量に及ぼす影響を確認し、開発項目(1)のシステム構成の検討および開発項目(2)のアンモニア分解装置の検討にフィードバックする。

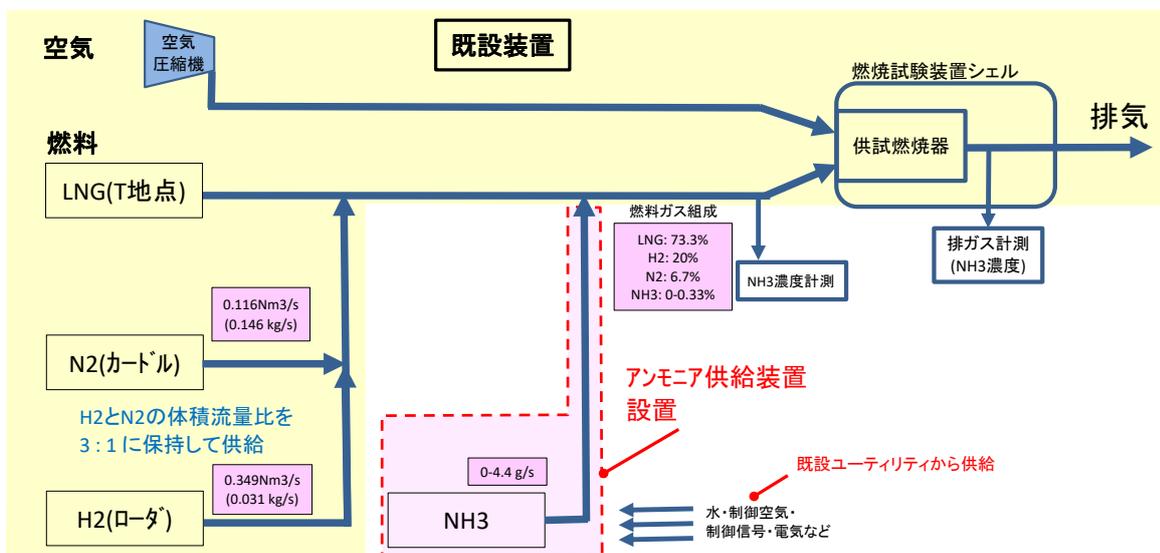


図 10 実圧燃焼試験装置の燃料系統

詳細素反応メカニズムを用いた1次元層流予混合火炎の数値解析により、アンモニア分解ガス混焼条件でのNO_x生成を予測した。各負荷条件において、燃料中の残留アンモニア濃度の増加と共にNO濃度が線形で増加する結果となった(図11)。無負荷条件を除いて残留アンモニアのNO転換率は100%であり、反応計算上は残留アンモニアは全量NO_xになることがわかった。

He添加によりアンモニア分解ガスと空気の密度比を模擬した気流試験を実施したところ、燃焼器の予混合ノズル出口の最高濃度が減少した。気流試験は、燃焼器1缶を対象に燃焼用空気と燃料の混合を模擬し、ノズル出口の燃料濃度分布をサンプリング計測により評価する非燃焼試験である。

燃料温度320°Cの場合に予混合ノズル出口の最高濃度が低く、天然ガス燃焼時と比較し、NO_xを同等以下にできると予測される(図12)。ここで、NO_xとの関係性を評価しやすいように、濃度を燃焼温度に換算した温度換算濃度を用いて整理した。

非定常燃焼CFD解析では、天然ガス+アンモニア分解ガスの混焼条件で、予混合ノズル出口の最高温度が天然ガス条件よりも低下した。定量値としてはCFDと気流試験で差があるものの傾向は一致している。また、燃料温度を下げて燃料の貫通力を天然ガス条件に合わせると、天然ガスに近い濃度分布が得られた(図13)。天然ガス+アンモニア分解ガスの混焼条件では、火炎面で残留アンモニアからFuel NO_xが生成されるため、天然ガス条件よりもNO_xが約20%増加する結果となった(表4)。これを開発項目(1)へフィードバックし、排ガスからの脱硝装置などで対応可能できるよう検討する。

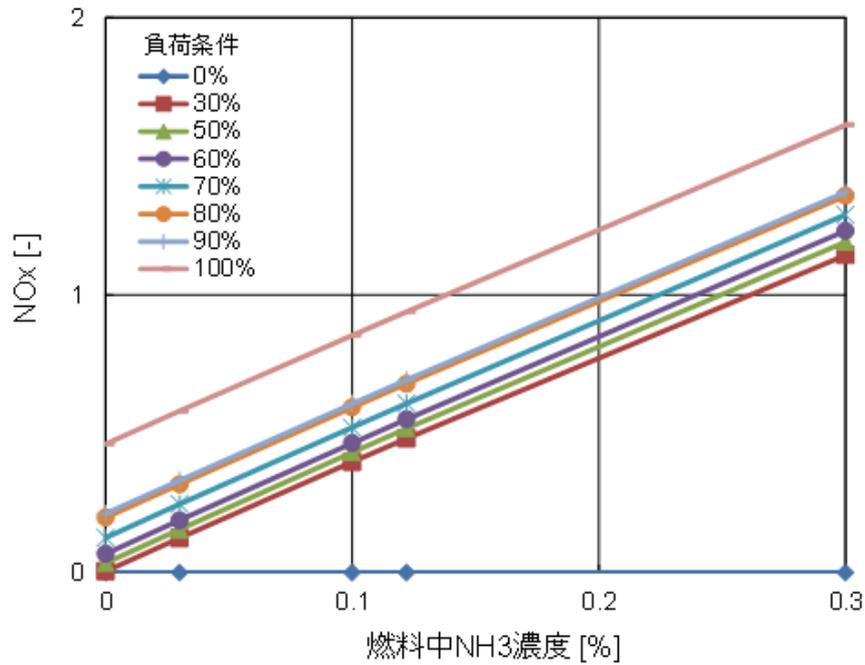


図 11 残留 NH3 濃度に対する NOx 予測値 (水素 20%vol 混合条件)

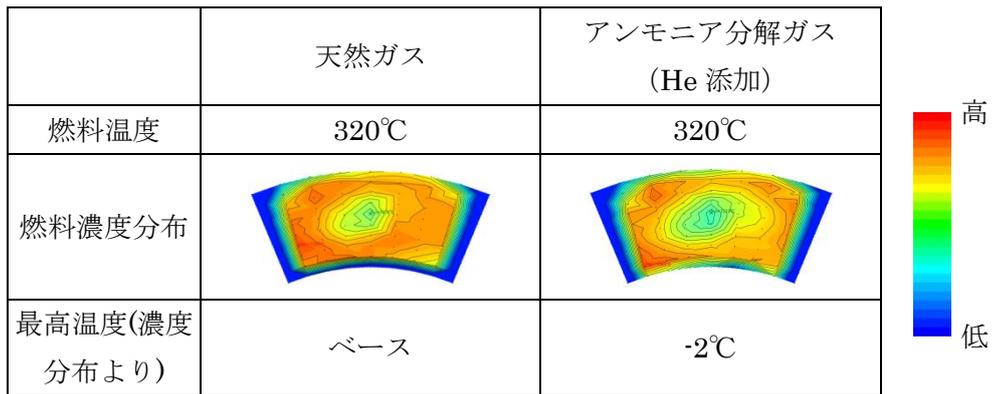


図 12 予混合ノズル出口燃料濃度分布の比較(気流試験)

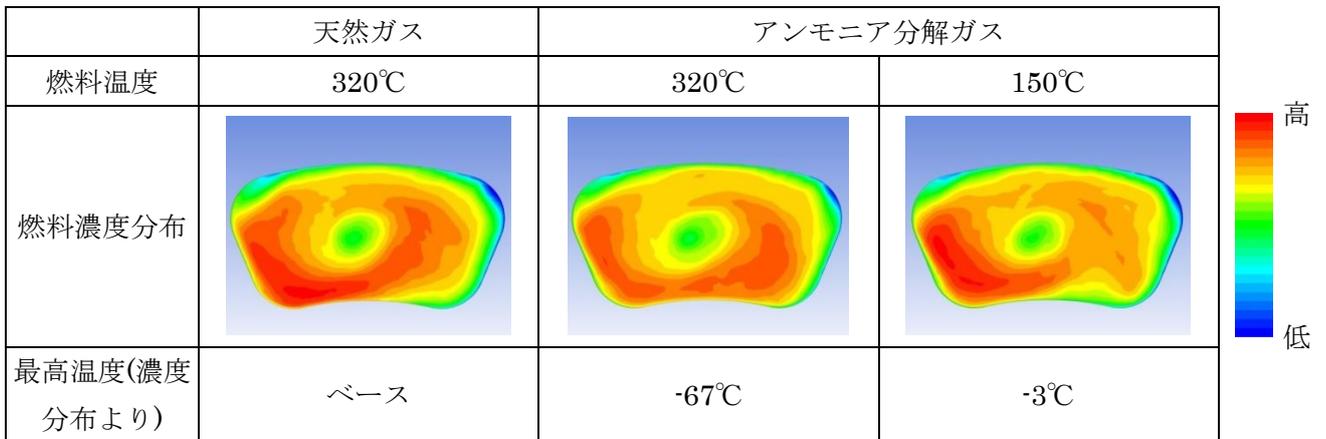


図 13 予混合ノズル出口燃料濃度分布の比較(CFD 結果)

表 4 NO_x 量比較(CFD 結果)

	天然ガス	アンモニア分解ガス	
燃料温度	320℃	320℃	150℃
NO _x [ppm@15%O ₂ dry]	ベース	+18%	+23%

3. 2 成果の意義

本事業の目的は本システムの実用化に必要な技術を開発することであり、① システム構成の検討、②アンモニア分解装置の検討、③燃焼器の検討を当初計画どおりに実施しており、目的を達成しつつある。

本事業による検討の結果、従来実績のない機器構成/運転条件となる部分が明らかになりつつあり、本事業終了後にその部分の要素実証をおこなうことにより、本システムの実用化へ結びつけることが可能となる。

本システムを実用化できた場合、水素を体積割合で約 20%混焼する出力 500MW の GTCC は、燃料電池自動車 10~13 万台分の水素を利用することになり大量の CO₂ 削減に寄与することが可能となる。

表 5 アンモニア利用 GTCC による CO₂ 削減量の目論見

システム	混焼システム例(出力約 430MW)	専焼システム例(出力約 530MW)
燃料組成	天然ガス(主成分: CH ₄)に、NH ₃ 分解ガス(H ₂ =75 vol%, N ₂ =25 vol%)を混合	NH ₃ 分解ガス(H ₂ =75 vol%, N ₂ =25 vol%)
NH ₃ の発熱量割合	約 6.5% (水素体積割合 20%の場合)	100%
必要な機器	・比較的小さな NH ₃ 分解装置(約 10 t/h) ・水素混焼(体積割合約 20%)燃焼器	・比較的大きな NH ₃ 分解装置(約 170 t/h) ・水素専焼燃焼器
CO ₂ 削減量	3 万 t/年/台	110 万 t/年/台
NH ₃ 利用量	6 万 t/年/台	100 万 t/年/台
特徴	既存システムの改造(レトロフィット)も可能 専焼システムよりも開発要素小	CO ₂ 削減効果大

3. 3 成果の最終目標の達成可能性

開発項目の現状と最終目標の達成の見通しを表 6 にまとめる。

表 6 開発項目の現状と達成の見通し

開発項目	現状	最終目標 (2020 年度末)	達成見通し
① システム構成の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・専焼システムの燃料切替負荷検討完了 ・NH₃ 分解装置との熱の授受のモデル構築中 	他の CO ₂ フリーシステムと比較して経済的に優位(目標：17 円/kWh 以下(2030 年))で運用性に優れたシステム構成/運転条件の検討	NH ₃ 分解装置の詳細試設計を反映し、専焼システムの起動停止手順の検討/経済性の評価を完遂の見込み
② アンモニア分解装置の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・H₂ 濃度 20%混焼の NH₃ 分解装置全体の詳細試設計を実施中 ・材料および触媒の NH₃ 曝露試験 (2,000 時間目標) の実施中 	<ul style="list-style-type: none"> ・NH₃ 分解装置の機器構成の決定、分解後の残留 NH₃ 濃度 0.38% 以下 ・触媒の実使用環境を考慮した寿命や性能評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・開発項目①の検討から得られた知見を反映し、NH₃ 分解装置の詳細試設計を完遂の見込み ・2,000 時間の触媒および材料の曝露試験を完遂見込み
③ 燃焼器の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・LNG と NH₃ 分解ガスの混焼試験のため、燃料系統に微量 NH₃ を供給する装置と系統を計画 ・燃焼器の基礎燃焼特性を詳細化学反応計算、気流試験、CFD 解析にて実施 	NH ₃ 分解ガス混焼条件(水素体積割合 20%)における実圧燃焼器の NO _x 性能の検証	2020 年 12 月に実圧燃焼試験を実施し、分解ガス中の残留アンモニアが Fuel NO _x に転換される割合を確認する見通し

(1) システム構成の検討

本開発項目では、開発項目(2)のアンモニア分解装置の検討の結果が得られれば、それを反映したシステムヒートマスバランスモデルを構築し、部分負荷でも運転可能なこと、ガスタービンを天然ガスで起動してアンモニア分解装置が動作してから分解ガス燃料に切替えて運転可能なことを計算により確認できる見通しである。

経済性の評価に関しては、本開発項目で開発したシステムヒートマスバランスモデルを用い、CO₂ フリーアンモニアの入手価格を仮定することにより、本システムの建設費と発電コストの関係性を評価でき、本システムが他の CO₂ フリーシステムと比較して有意となるシステム構成と運転条件を絞り込むことが可能となる見込みである。

(2) アンモニア分解装置の検討

本開発項目では前記の通り、水素濃度 20%混焼におけるアンモニア分解装置の基本試設計については実施済み。これに対して、今後、開発項目①システム構成の検討から得られた知見を反映し、さらにシステムの性能を向上させた水素濃度 20%混焼の詳細試設計を完遂させる見込みである。

アンモニア分解装置で用いる分解触媒に関しては、100 時間および 500 時間のアンモニア曝露試験を実施し、触媒表面における被毒物質の分析、触媒比表面積の変化を計測してきた。今後、分解反応器の材料とともに、当初目標の 2,000 時間までアンモニア曝露試験を継続して実施可能な見込みである。

(3) 燃焼器の検討

本項目では、これまでに、天然ガスとアンモニア分解ガス(H₂, N₂, 微量アンモニア)の混合ガスの混焼試験を実機運転条件を模擬した単缶の燃焼器体系で実施するために、既存の実圧燃焼試験装置の燃料系統に微量のアンモニアを供給する系統を計画した。また、燃焼器の基礎燃焼特性の評価を詳細化学反応計算、気流試験、CFD 解析にて実施した。今後、2020 年末に実圧燃焼試験を実施し、分解ガス中の残留アンモニアが Fuel NO_x に転換される割合を確認する。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

開発項目(1)では、アンモニア分解装置の詳細試設計を反映し、専焼システムの起動停止手順の検討/経済性の評価を完遂の見込みである。今後の課題として、NH₃ 分解反応に必要な熱が多くなる専焼システムの場合にガスタービン排ガス側から分解装置側へ熱を伝える手段、部分負荷での運用を検討が必要であり 2020 年度に実施予定である。経済性評価に関しては、燃料となるアンモニアの価格が非常に重要であるため、将来の CO₂ フリーアンモニア燃料のコスト見通しを調査することが必要である。

開発項目(2)では、高温かつ高濃度のアンモニアの条件下で使用されるアンモニア分解反応器の材料、触媒について、材料の耐窒化性の観点、触媒の被毒、比表面積の観点から試験及び検討を実施している。現時点では短時間の試験しか実施しておらず、より長時間での被毒、熱劣化を評価するため、2,000 時間までの試験を行い結果を分析の予定である。アンモニア分解装置に関しては、分解反応器の試設計を実施している。開発項目(1)のシステム検討と連携するとともに材料試験等の結果も考慮して適切な運転条件を選定することが必要である。

開発項目(3)では、NH₃ 分解ガス混焼条件(水素体積割合 20%)における実圧燃焼器の NO_x 性能を検証する準備を進めており、2020 年末に実圧燃焼試験を実施する計画である。並行して分解ガス中の残留アンモニアが Fuel NO_x に転換される割合を解析により評価しており、試験結果と対比する。

本事業終了後の事業化のシナリオとして以下を検討している。

2021 年度から本システムの改良検討、概念設計、事業性検討を経て、事業性ありと判定した後、実証機のユーザーを探索する。実証機はユーザーの協力を得て、既存のガスタービンプラントを改造してアンモニア分解水素 20vol%程度の混焼システムを運転し信頼性、経済性を確認する。その後、混焼システムを製品として上市可能とする。

混焼タイプの実証機の運転を通じて、水素燃焼器やアンモニア分解装置の性能/経済性を向上さ

せる研究開発を行い、アンモニアの利用割合を高めた実証機を建設し、ユーザーの協力を得て信頼性、経済性を確認した後、アンモニア分解ガス専焼システムの商用化を目指す。

この事業化スケジュールを図 14 に示す。

大項目	中項目	2019	2020	2021～
技術開発	システム構成の検討 (三菱パワー)	システム構成の検討 運用性・経済性	システム熱物質収支検討	
	アンモニア分解装置 (三菱重工エンジ)	NH3分解装置の要求仕様 NH3分解装置の構造検討 触媒性能、熱物質収支検討		改良検討 概念設計 事業性検討
	燃焼器の検討 (三菱パワー)	実圧燃焼試験装置Ⅰ 設計・製作 NOx評価	実圧燃焼試験 試験準備・評価	
実証機Ⅰ (現行燃焼器、 水素: 20vol% ≒ NH3: 6.5cal%)	実証機 (ユーザー)			▼運用 設計・製作 実証試験
実証機Ⅱ (水素燃焼器、 NH3: 100%利用)	実証機 (ユーザー)			燃焼試験、改良 ▼運用 設計・製作 実証試験

図 14 実用化までの工程案

5. 研究発表・特許等

－研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2019年10月	機械学会関西支部秋季技術フォーラム講演	水素ガスタービンの開発について	谷村 聡 (MHPS)
2	2019年11月	International Gas Turbine Congress 2019 (IGTC2019) パネル展示	Hydrogen Gas Turbine	谷村 聡 (MHPS)
3	2019年11月	International Gas Turbine Congress 2019(IGTC2019) 講演	H2 Gas Turbine for Low Carbon Society	谷村 聡 (MHPS)
4	2020年1月	第48回ガスタービンセミナー	発電用ガスタービンにおける水素利用	岸田 宏明 (MHPS)
5	2020年2月	Japan-Norway Hydrogen Seminar 2020	MHPS H2 Gas Turbine for Low Carbon Society	Haavard Oevernes (MHPS)
6	2020年2月	火力原子力発電技術協会 東北支部 令和元年度技術講演会	発電用ガスタービンにおける水素利用	宮本 健司 (MHPS)
7	2020年10月	第2回 GAC 国際シンポジウム パネルディスカッション	セッション③技術開発	石井 弘実 (三菱パワー)

注：No. 1～6は、水素燃焼ガスタービンの研究発表が主体だが、水素燃料の供給手段の一つとして本システムの紹介を実施した。

－特許等－

No.	出願日	出願番号	発明の名称	助成先名
1	2021年1月予定	未定	アンモニア分解装置	三菱パワー、三菱重工エンジニアリング(委託先)

●成果サリ (実施期間：2020年7月～2021年2月終了予定)

- ・数値解析によりフラッシュバック耐性を改善したノズル構造を設計し、気流試験によりその改善効果を確認した。
- ・燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無クターゲット計画条件にてNOx 50ppm(15%O2換算)以下を達成した。
- ・燃料系統、燃料ステージングの計画をもとに、燃焼器の全体計画図案を設計した。
- ・水素供給装置から燃焼セルまでの系統構成を検討し、成立性の目的を得た。

●背景/研究内容・目的

- ・地球温暖化、化石燃料の枯渇の課題に対して、水素を本格的に活用する水素社会の実現が求められており、水素インフラの充実と普及拡大が必要
- ・水素専焼大型ガスタービンの導入は、水素需要を大幅に拡大し、従来の水素消費量の目標達成が可能
- ・水素は燃焼速度が速く逆火リスクが高いため、高い逆火耐性をもち多孔隙噴流燃焼方式(クラスターバーナ)が有効
- ・大型ガスタービンに適用可能な水素専焼ドライ低NOx燃焼器(クラスターバーナ採用)の設計に必要な研究開発を実施し、安定運用と低NOx性の両立に必要な課題の抽出、その解決に向けた研究開発を実施
- ・大容量水素供給装置を含む燃焼試験設備を構築し、燃焼器燃焼試験で燃焼器性能を検証する

●研究目標

実施項目	目標 (2020年度)
A-1 モデルバーナの設計技術	・高温高圧下のモデルバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下
A-2 シングルセグメントの設計技術	・数値解析による概念設計 ・水素専焼が逆火耐性に与える影響評価を完了
A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術	・燃焼器の概念設計の完了
B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術	・水素供給装置を含めた実圧燃焼試験装置の系統図、配置図の完成
B-2 高温高圧下の燃焼器燃焼試験(2022年度予定)	・計画運転条件において、逆火なく燃焼器出口でNOx50ppm以下

●実施体制及び分担等

NEDO	三菱パワー株式会社 (実施項目A-1～3、B-1、2)
	三菱重工株式会社 (実施項目A-1～3、B-1、2)

●実施内容/研究成果

A-1 モデルバーナの設計技術

燃焼器全体計画図

A-2 シングルセグメントの設計技術

シングルセグメント流動解析

A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術

B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術

●今後の課題

- ・設計裕度範囲拡大のためのノズル構造改良
- ・シングルセグメント燃焼器/燃料系統/燃料ステージングの詳細設計
- ・大容量水素供給装置および燃焼試験装置の詳細設計
- ・燃焼器燃焼試験による性能検証
- 実用化・事業化の見通し
- ・大型GTに適用可能な水素専焼燃焼器の実用化に向け、バーナ改良、フルスケール燃焼器の詳細設計、性能検証を順次進めるとともに、燃焼器性能を検証可能な実圧燃焼試験装置を構築し、2022年度に高温高圧下で燃焼器の性能を実証する。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
モデルバーナの設計技術	・燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無クターゲット計画条件にてNOx 50ppm(15%O2換算)以下を達成した	○
シングルセグメントの設計技術	・シングルセグメントの数値解析により、バーナ内部の流動を確認した	△
大型ガスタービン燃焼器設計技術	・燃料系統、燃料ステージングの計画をもとに、燃焼器全体の計画図を作成した	△
大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術	・水素供給装置から燃焼セルまでの系統構成を検討し、成立性の目的を得た	△

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	0	5	0

課題番号：Ⅱ-⑩

研究開発名：「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術研究開発／低炭素社会実現に向けた水素専焼 DryLowNOx 高温ガスタービン発電設備の研究開発」

1. 研究開発概要

我が国の産業競争力を維持・強化していくためには、エネルギーの安定供給を確保し、安定かつ低廉なエネルギーを供給することが不可欠である。また、厳しさを増す国際エネルギー情勢や地球温暖化問題を踏まえ、技術先進国である日本が、主要国や国際機関等と連携し、いかにして国際的な責任を果たしていくかが重要である。同時に、日本成長戦略にも資するという観点から、安定供給確保や技術開発の強化を含めた強靱なエネルギー政策が必要である。

地球温暖化、化石燃料の枯渇等の課題に対して、省エネルギー・節電対策の抜本的強化、再生可能エネルギー導入・普及の最大限の加速、環境負荷に最大限配慮した化石燃料の有効活用が求められている。また、将来の二次エネルギーとして、電気、熱に加えて、水素が中心的役割を担うことが期待されており、水素を本格的に利活用する水素社会の実現が求められている。

再生可能エネルギーの導入については、例えば、風力発電の導入量は、世界では 2011 年以降 40.5 GW／年で増加し、2030 年には最大 2500 GW 程度まで拡大するとの予測がある。再生可能エネルギーは出力変動が大きいいため、再生可能エネルギー発電設備の増大とともに、余剰電力量も増大していく見込みである。このような余剰電力量の有効利用には、蓄電池あるいは水素等への変換によるエネルギー貯蔵技術が不可欠であり、特に変動周期が長く、容量が必要とされる場合には、水素に変換して利用することが有効である。ドイツにおいては、風力発電の電力を水素に転換して利用する実証事業が行われている。

水素を利用して発電する水素発電について、水素基本戦略で掲げる年間水素消費目安量 500 万～1000 万トンは発電容量で 15～30 GW に相当し、大型ガスタービンによる水素専焼技術開発および商用化が不可欠となる。水素専焼大型ガスタービンの導入は、水素需要を大幅に拡大し、水素インフラの充実と普及拡大に対しても、大きな波及効果をもたらすと考える。

水素は、ガスタービンの燃料として一般的に使用される天然ガスと比べて燃焼特性が大きく異なり、特に燃焼速度が水素は速い。そのため、大型ガスタービンの天然ガス焚きドライ低 NOx 燃焼器に一般的に採用される旋回流を利用した予混合燃焼方式では、水素燃焼時に火炎が燃料噴射ノズルに接近（逆火、フラッシュバック）することにより生じるノズル焼損の発生を完全に防止することは困難と考える。そこで、水素燃焼には、旋回流を伴わず逆火に対して高い耐性をもつ多孔噴流燃焼方式（クラスタバーナ）が有効と考える。

本事業では、現在のガスタービンのように燃焼時 CO₂ を発生する天然ガスではなく、水素を燃料とした、数百 MW 級の発電事業者向け大型ガスタービンに適用可能な水素専焼ドライ低 NOx 燃焼器を実用化するため、水素専焼条件における安定運用と低 NOx 性の両立に必要な課題の抽

出と、その解決に向けた研究開発を実施し、開発後 2025 年頃を目途に国内外の水素焼き火力発電所への適用を目指す。



図1 大型ガスタービンの水素消費量(試算)

2. 研究開発目標

本事業で開発する燃焼器は、日本国内の発電事業において一般的に要求される脱硝前 NO_x 50 ppm（15%酸素濃度(O₂)換算）を低位発熱量（Lower Heating Value : LHV）基準の発電端コンバインド効率 60%が達成可能な燃焼条件において、フラッシュバックの発生を伴わず、安定運用が可能な性能を目標とした。本事業において、大容量水素供給装置を含む燃焼器単缶燃焼設備を構築し、実ガスタービンと同条件での燃焼試験を実施し、性能検証を行う。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発項目別成果及び達成度

研究開発項目毎に、設定した目標と成果、達成度を表1に示す。開発項目は、モデルバーナの設計技術、シングルセグメントの設計技術、大型ガスタービン燃焼器設計技術、大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術、高温高圧下での燃焼器燃焼試験の5項目であり、高温高圧下での燃焼器燃焼試験は、2022年度に実施を計画している。以下、その成果の詳細を述べる。

表1 研究開発項目毎の成果と達成度 (2020年度)

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
A. 燃焼器安定運転を可能にする燃焼器設計技術				
A-1 モデルバーナの設計技術	<ul style="list-style-type: none"> ・数値解析にて、水素専焼が逆火耐性に与える影響評価を完了 ・非燃焼試験にて、混合管内流速分布および燃料濃度分布が計画した目標値に対して許容範囲内であること ・高温高圧燃焼試験にて、逆火なく安定燃焼が可能で、かつ燃焼器出口 NOx50ppm 以下を達成 	<ul style="list-style-type: none"> ・数値解析にて、逆火耐性を改善したノズルを設計 ・非燃焼試験にて、壁面濃度低減による逆火耐性改善効果を確認 ・燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無くターゲット計画条件にて NOx 50ppm (15%O2 換算)以下を達成 	○	設計裕度範囲をさらに拡大させるための単孔ノズル構造の改良
A-2 シングルセグメントの設計技術	<ul style="list-style-type: none"> ・数値解析にて、概念設計を行うと同時に、水素専焼が逆火耐性に与える影響評価を完了 ・非燃焼試験用装置の検討および構築 	<ul style="list-style-type: none"> ・シングルセグメントの数値解析により、バーナ内部の流動を確認した 	△ (2021年2月予定)	<ul style="list-style-type: none"> ・水素専焼において逆火耐性を有する流動場の設計。燃焼器設計に向けて取り組みを継続
A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術	<ul style="list-style-type: none"> ・燃焼器の概念設計の完了 	<ul style="list-style-type: none"> ・燃料系統、燃料ステージングの計画をもとに、燃焼器全体の計画図を作成した 	△ (2021年2月予定)	<ul style="list-style-type: none"> ・着火・起動から定格負荷まで安定運転を可能とする燃焼器を設計 ・① - 1、2 で構築した設計技術を適用
B. 燃焼器安定運転範囲検証技術				
B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術	<ul style="list-style-type: none"> ・水素供給装置を含めた実圧燃焼試験装置の基礎設計にあたる系統図・配置図の完成 	<ul style="list-style-type: none"> ・水素供給装置から燃焼シェルまでの系統構成を検討し、成立性に目途を得た ・系統図及び配置図を作成中 	△ (2021年2月予定)	設備のコンパクト化、フルスケール燃焼器の検証試験を安全に取り行う為の運用性も考慮した詳細設計

B-2 高温高圧下での燃 焼器燃焼試験 (2022年予定)	・実圧燃焼試験にて、 計画運転条件におい て逆火の発生なく、燃 焼器出口で NOx 50ppm 以下	—	—	—
--	--	---	---	---

(注) 達成度 『◎：大幅達成 ○：達成 △：一部達成 ×：未達』

A. 燃焼器安定運転を可能にする燃焼器設計技術

燃焼器に採用するクラスタバーナの設計フローを図 2 に示す。クラスタバーナでは、空気流中に燃料を噴射して空気と燃料を混合する混合管 1 本を単孔ノズルとし、これを最小構成要素とする。単孔ノズルの集合により構成させる基本構成の一纏まりがシングルセグメントである。そして、クラスタバーナは、シングルセグメントの集合により構成される。一方、モデルバーナは、シングルセグメントの一部を切り出した複数の単孔ノズルから構成される基本構成要素であり、クラスタバーナの基本燃焼特性を評価することができる。クラスタバーナは、モデルバーナ、シングルセグメント、燃焼器のステップで開発する。

ガスタービン燃焼器の技術課題として、窒素酸化物 (Nitrogen Oxides、NOx)、フラッシュバック、燃焼振動が挙げられる。それらの課題の中で、水素は燃焼速度が速いため、特にフラッシュバックの発生が懸念される。クラスタバーナは単孔ノズル (混合管) ごとに独立した短小火炎となるため、混合管の水素燃料濃度分布が燃焼特性に対して重要となり、低 NOx 性能とフラッシュバック耐性を両立させる必要がある。そこで、クラスタバーナでは水素燃料濃度分布を制御することで低 NOx とフラッシュバック耐性を図る。図 3 にクラスタバーナのコンセプトを示す。燃料濃度分布で特に断面内の最大値、および壁面での最大値が重要であり、NOx は断面最高濃度、フラッシュバック耐性は壁面最高濃度で決まると考えられる。NOx 目標を満足する断面最高濃度として NOx リミットが決まり、断面最高濃度を NOx リミット以下の濃度とする必要がある。一方、フラッシュバックが発生しない壁面最高濃度として、壁面フラッシュバックリミットが決まり、壁面最高濃度を壁面フラッシュバックリミット以下の濃度とする必要がある。以上から、燃料濃度を NOx リミットと壁面フラッシュバックリミットを両立させる範囲とするように設計し、低 NOx 性能とフラッシュバック耐性を満足させる。

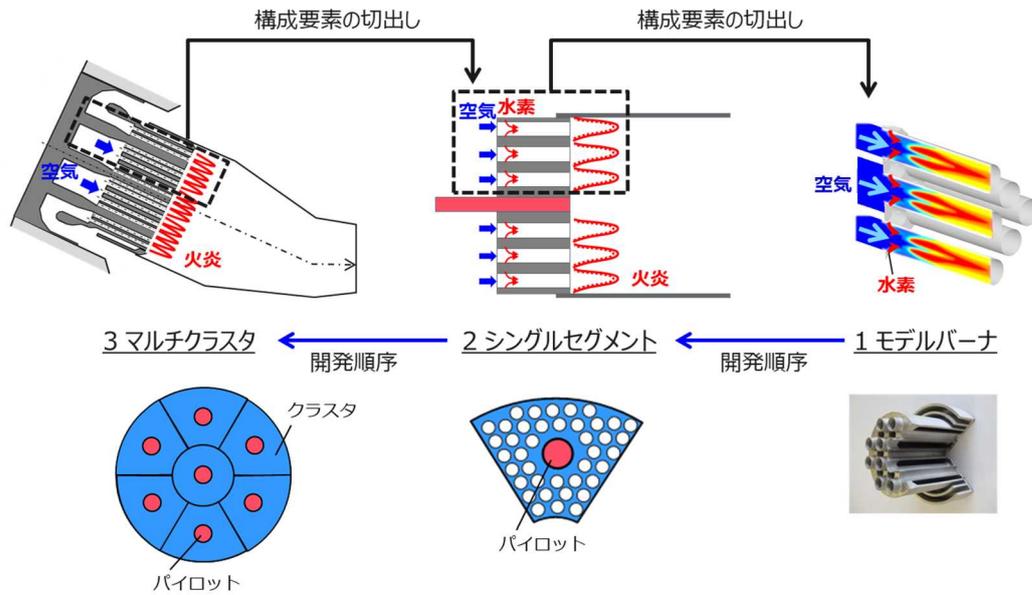


図2 クラスタバーナの設計フロー

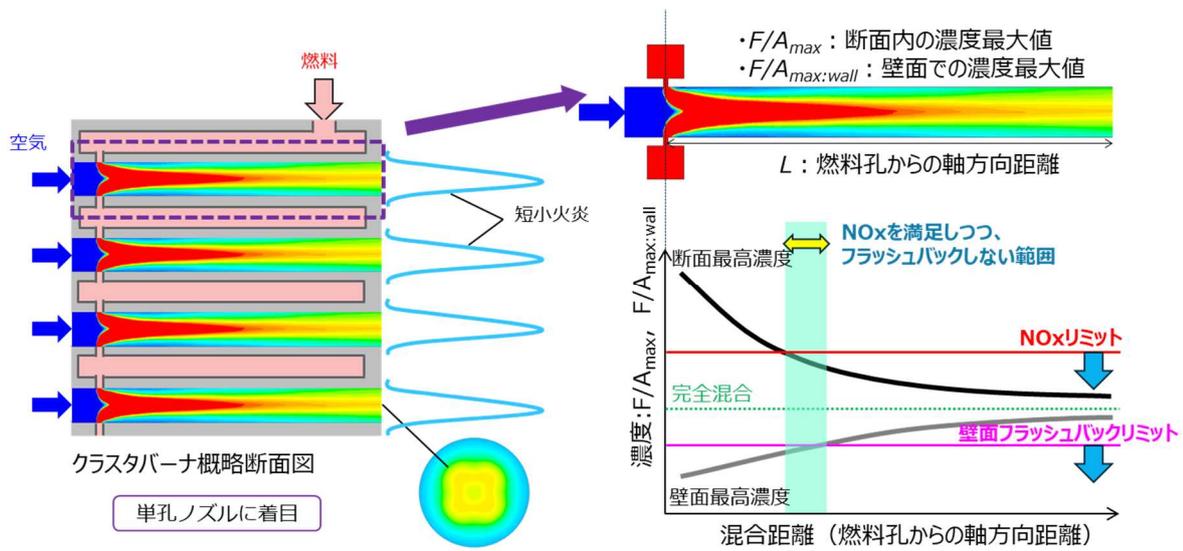


図3 クラスタバーナのコンセプト

クラスタバーナの研究開発はモデルバーナ、シングルセグメント、燃焼器の順に進め、それぞれの開発項目の成果の詳細を以下に述べる。

A-1. モデルバーナの設計技術

本項目では、クラスタバーナの基本構成要素である単孔ノズルの形状について、数値解析（非燃焼 CFD 解析(CFD：数値流体力学、Computational Fluid Dynamics)）によりフラッシュバックを発生しないノズル構造を設計し、非燃焼試験（気流試験）によりフラッシュバックを発生しない許容範囲にあることを検証した。

クラスタバーナの設計パラメータを図4に示す。設計パラメータとして、2019年度までに燃料孔配置（燃料噴孔数、燃料噴射角度）、混合管入口形状（ベルマウス、切欠き形状）、および燃料噴射方式（壁面燃料噴射方式、上流突出噴射方式）を検討した。燃料噴孔数、燃料噴射角度や混合管入口形状を調整することで、断面と壁面の最高濃度ともに低減でき、低NO_x性能とフラッシュバック耐性をともに確保できることを確認している。また、これまでに燃料噴射方式の影響を検討している。両方式の断面と壁面の最高濃度のCFD解析結果を図5に示す。壁面燃料噴射方式のNO_x・フラッシュバック両立範囲を水色の領域、上流突出噴射方式の両立範囲を茶色の領域で示す。両者を比較すると、上流突出噴射方式の方が壁面燃料噴射方式よりも両立する範囲が拡大しており、混合管の上流に位置する突き出し部から燃料を噴射することで、低NO_x性能とフラッシュバック耐性を満足する領域を拡大することができる。

2020年度は、実用化に向けてフラッシュバック耐性をさらに改善するため、燃料の噴射角度と混合管長さをパラメータに、壁面濃度を低減できるノズル構造をCFD解析と気流試験により検討した。

燃料噴射角度と混合管長さを変えた2ケースを対象に、気流試験で燃料濃度分布を計測した結果を図6に示す。両構造の気流試験の断面コンター、および断面最高濃度と壁面最高濃度を比較する。断面最高濃度については2019年度までのノズル構造の方が低く、低NO_x性能は有利といえる。一方、壁面最高濃度については、燃料噴射角を調整し、混合管を短くしたノズル構造の方が壁面濃度は低下するため、フラッシュバック耐性に対して有利であることを確認した。

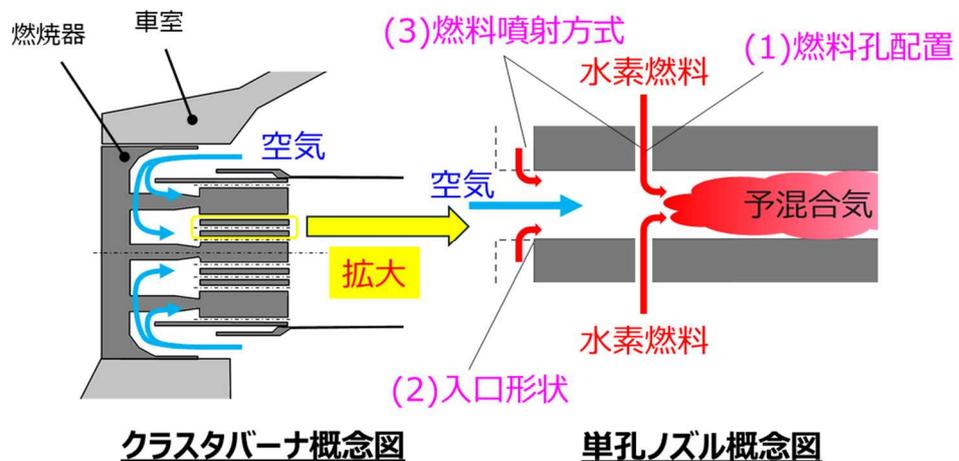


図4 クラスタバーナの設計パラメータ

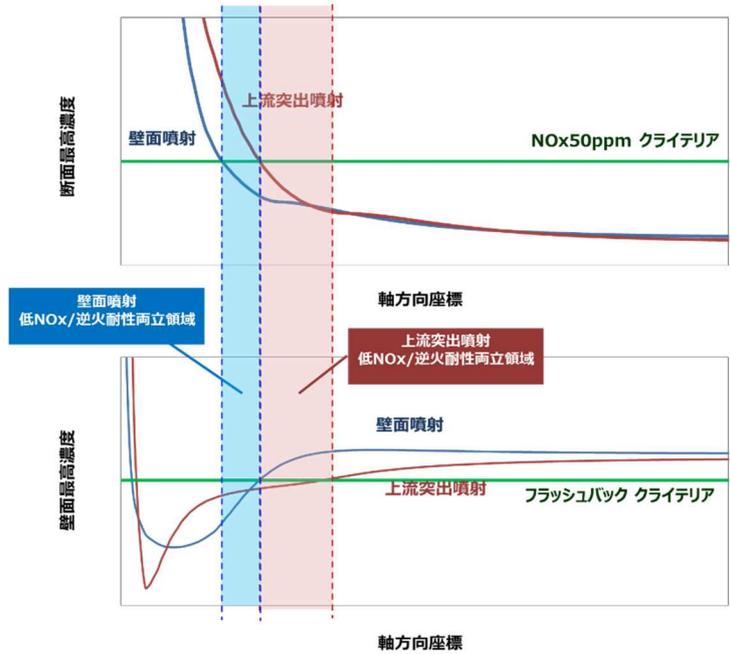


図5 燃料噴射方式の影響（非燃焼 CFD 解析結果）

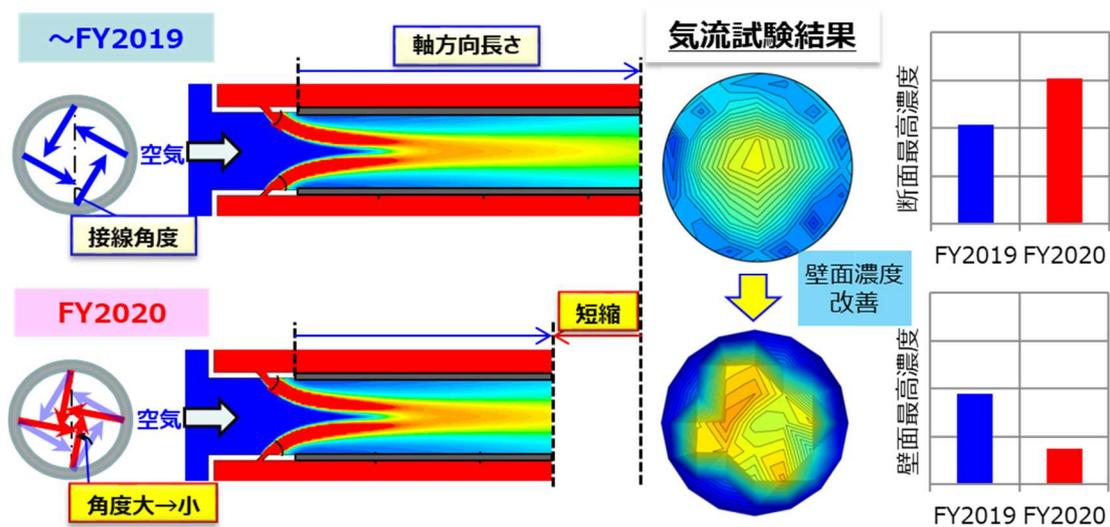


図6 ノズル構造見直し結果（非燃焼 CFD 解析と気流試験結果）

本研究開発項目では、解析・気流試験により基本設計した単孔ノズルを複数本配置した縮小モデルバーナについて、燃焼試験によりその NO_x 性能、フラッシュバック耐性を検証した。

モデルバーナの燃焼試験供試体を図 7 に示す。モデルバーナは、単孔ノズルを 9 本配置した構成とし、着火および燃焼試験条件を変化させるときに、火炎を安定に保持するためのパイロット用の燃料孔を設けた。このモデルバーナの燃焼試験が可能な燃焼試験装置 (図 8) を用いてモデルバーナの燃焼特性を確認した。図 9 に NO_x 計測結果を示す。逆火耐性を改善するために、壁面濃度を下げた改良をおこなったことにより、中圧条件における NO_x 排出量は増加している。中圧条件から高压条件に圧力を増加させることで NO_x 排出量はさらに増加しているが、フラッシュバックの発生なく安定燃焼を実現し、ターゲット計画条件において NO_x が目標の 50 ppm(15%O₂ 換算)以下を確認した。

次に、空気流速の影響を調べた試験における火炎観察結果を図 10 に示す。可視化計測では、水素燃焼で生成する水分による赤色発光が強まり、希薄予混合水素火炎の微弱な可視光は確認できていないが、紫外光計測により火炎中で生成される OH ラジカルからの自発光を捉え、火炎を可視化することに成功した。ターゲットの計画空気流速条件では、バーナ出口から少し浮き上がった位置に火炎が形成されており、フラッシュバックの発生無く、安定燃焼を実現できた。一方で、ターゲットの計画流速条件から流速を下げた条件では、混合管内部に火炎が戻ることが確認された。今後、実用化に向けて設計裕度を拡大するため、フラッシュバック耐性の向上を図ったモデルバーナ構造の改良を進める。

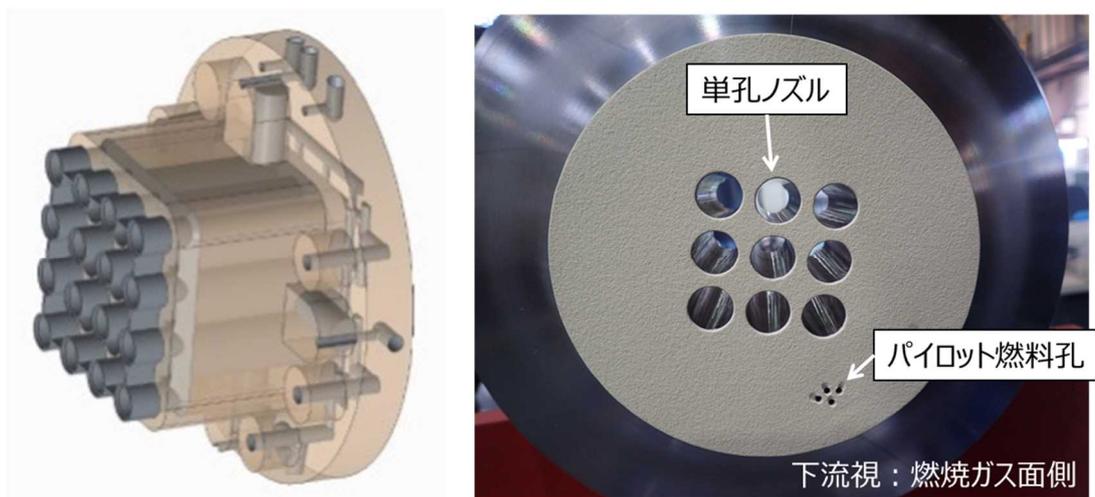


図 7 モデルバーナ燃焼試験供試体

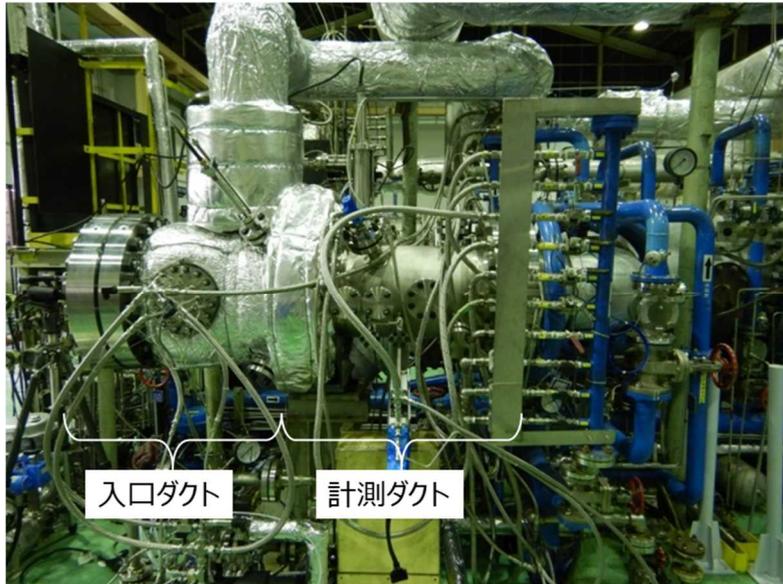


図 8 燃焼試験装置

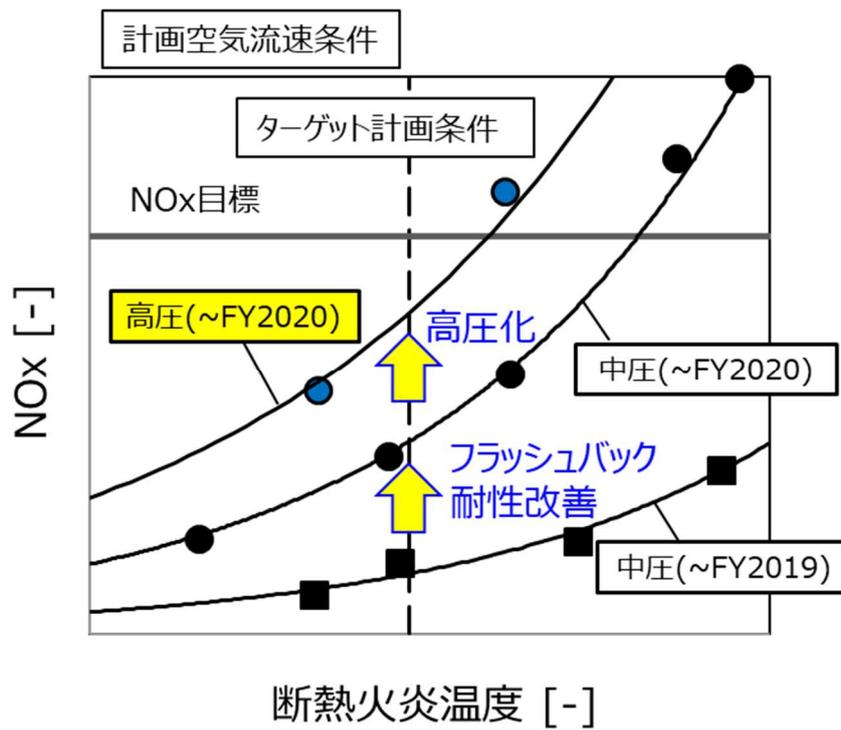


図 9 NOx 計測結果

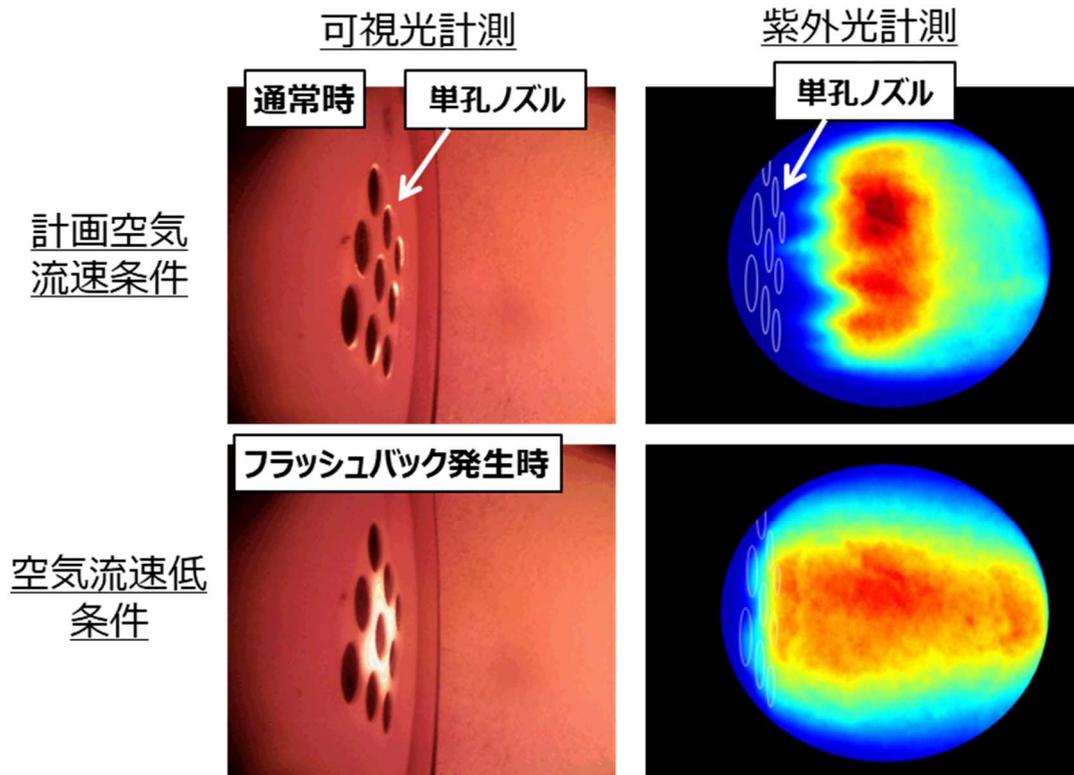


図 10 火炎観察結果

A-2. シングルセグメントの設計技術

本研究開発項目では、研究開発項目 A-1 で実施したモデルバーナ設計に基づいて、複数の噴流ノズルで構成されたクラスタバーナ シングルセグメントにて、逆火耐性評価および低 NOx が可能となる技術を開発し、シングルセグメント形状のスクリーニング、最適なシングルセグメントを設計する。ガスタービンに適用するクラスタバーナはシングルセグメントの集合構造である為、シングルセグメントの燃焼特性から実機の燃焼特性を予測する事が可能と考える。切出し範囲は燃焼器の構成に応じて、1/5 から 1/8 程度を想定している。

燃焼器では、上流で 180° 流れ方向を転向してからバーナに空気が流入する。混合管上流での空気の偏流や、各混合管に流入する空気量の偏差は、NOx 性能や逆火耐性に大きく影響する。そのため、燃焼器の一部を切り出したシングルセグメントを対象に CFD 解析を実施し、空気の流動を確認した。今後、より均一な流れを実現するシングルセグメント構造を検討する。

今後、非燃焼試験により燃焼器内部の燃料濃度分布および流速分布が、数値解析等で予測された計画値に対し許容範囲内にある事を確認するとともに、燃焼試験により安定燃焼及び燃焼器出口 NOx 濃度 50ppm 以下が達成可能であることを確認する。

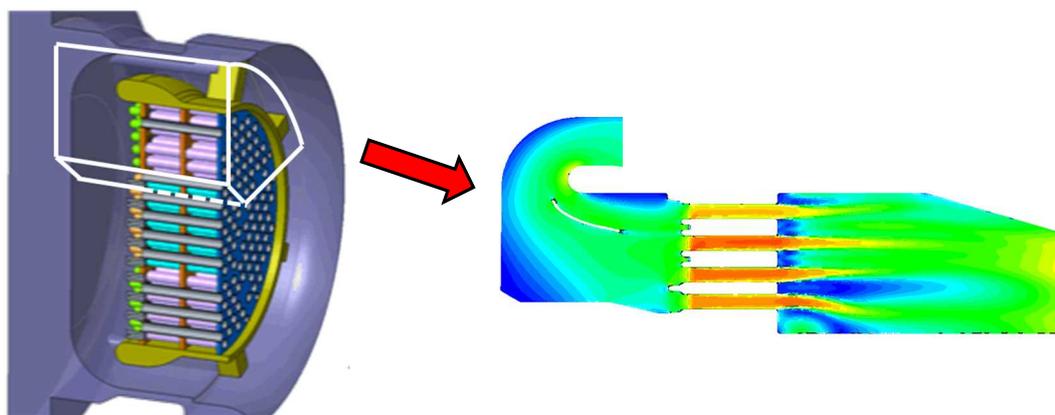


図 11 シングルセグメント CFD 解析

A-3. 大型ガスタービン燃焼器設計技術

クラスタバーナは、中小型ガスタービン(110MW級)向けに開発された燃焼器から、数百MW級大型高効率ガスタービンに適用するにあたり、ガスタービン本体側との取り合い構造、燃焼用空気を供給する流路構造等、大型化に向けた検討が合わせて必要となる。また複雑な形状となるため、AM(Additive Manufacturing)製造技術も必要となる。

クラスタバーナを大型ガスタービンに適用した場合、ガスタービン効率が天然ガス燃料適用時と同等となる条件では、従来の予混合燃焼器と比較して1.2~1.4倍の体格が必要となる。また、水素専焼クラスタバーナを適用した際に、ガスタービン全体の開発を短期間で済ませるために、既存のタービンおよび圧縮機が流用可能なように燃焼器全体を設計する必要があるとともに、ガスタービンの運用を考えて、着火から定格負荷まで安定に燃焼させるために燃料系統を分割し、適切な燃料ステージングを計画する必要がある。各燃料系統のバーナ配置の一例を図12に示す。

本研究開発項目では、上記を考慮して燃焼器全体の計画図を作成した。図13に燃焼器全体の計画図の1例を示す。今後、A-1、A-2で実施したモデルバーナ、シングルセグメントの設計に基づいて、大型ガスタービンに適用可能なクラスタバーナ燃焼器の概念設計を完了させ、AM製造に向けた課題の抽出および最適形状を検討し、燃焼器・燃料系統・燃料ステージングの詳細設計を進める。

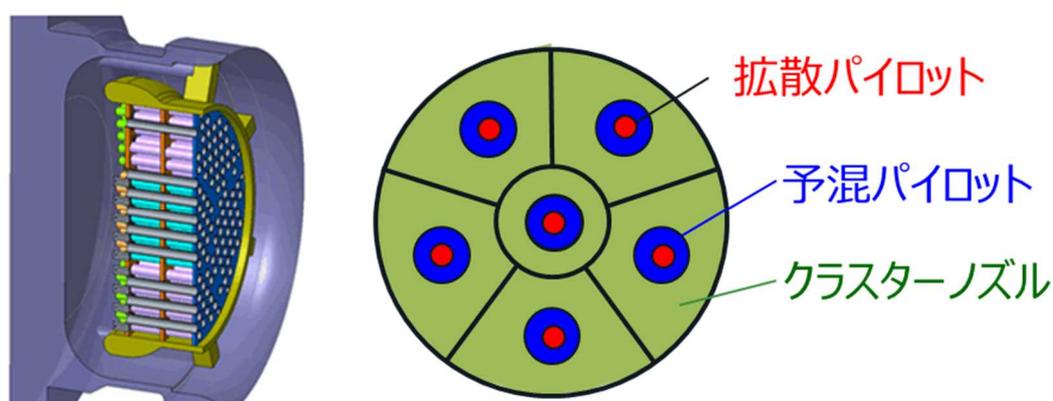


図12 水素専焼クラスタバーナの燃料系統分割例

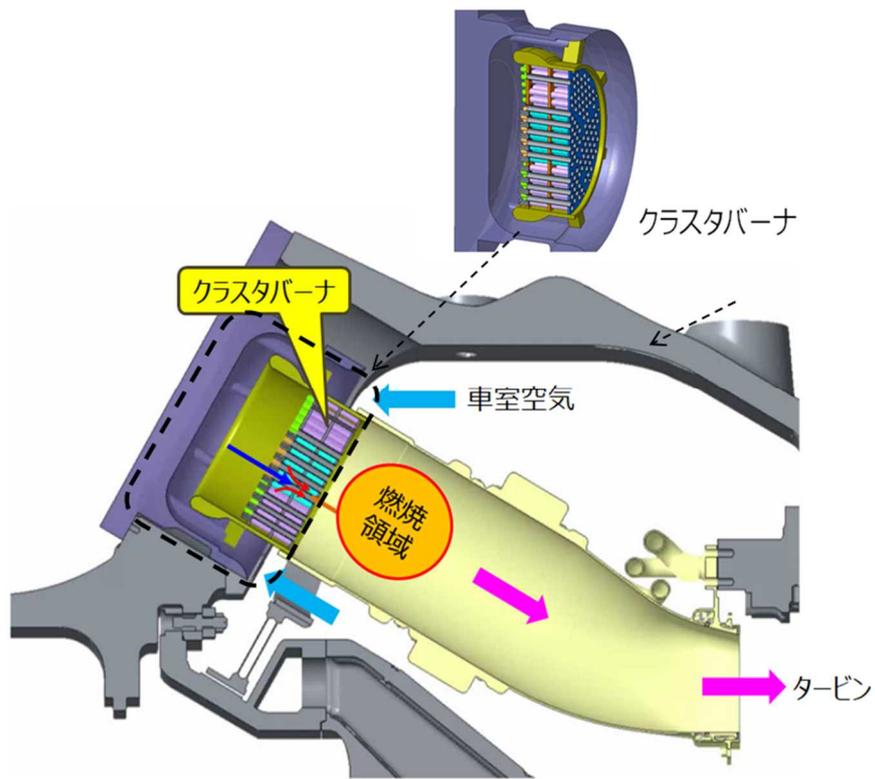


図 13 水素専焼クラスタバーナ燃焼器全体の計画図

B. 燃焼器安定運転範囲検証技術

研究開発項目 A にて設計された燃焼器 1 缶での安定運転範囲を検証し、商用化に向けた課題を明らかにするために、大規模な水素供給装置を含めた燃焼試験装置を構築し、高温高圧下での燃焼器燃焼試験の実施が必要となる。研究開発項目 B-2 の高温高圧下での燃焼器燃焼試験は、2022 年度の実施を計画しており、本研究開発項目では、燃焼試験の実施に向けて水素供給装置を含めた燃焼試験装置の設計・検討、工事を実施する。

以下、研究開発項目 B-1 の成果の詳細を述べる。

B-1. 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術

本研究開発項目では、水素 100% 専焼可能な大容量水素設備の計画、燃焼器ステージング要領に合わせた系統設計 及び 水素特有の設計指針の検討を行い、水素供給装置から燃焼シェルまでの系統構成の成立性に目途を得た。

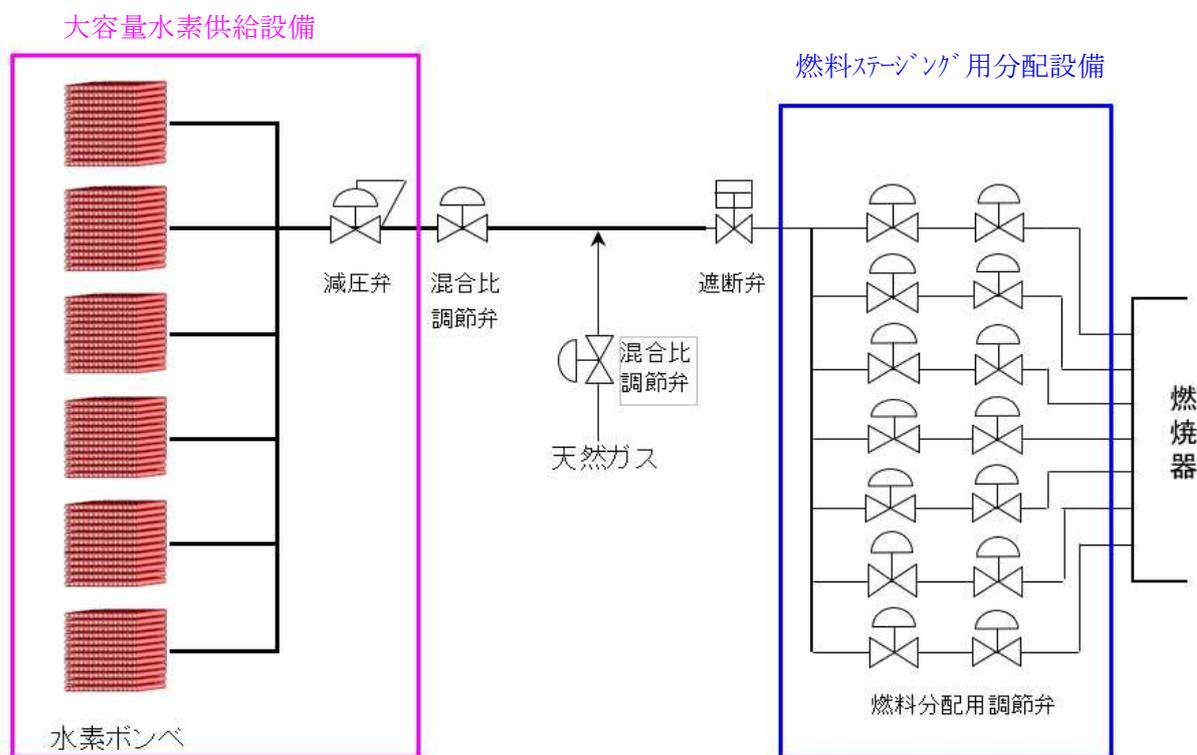


図 14 水素供給設備～燃焼シェル系統構成

3.2 成果の意義

本研究開発では、水素専焼の低 NO_x 性能とフラッシュバック耐性を両立するため、数値解析と気流試験により抽出・検証したクラスタバーナのノズル構造をもとに、モデルバーナを設計・製作し、高圧条件下の燃焼試験によりフラッシュバックを発生させず、NO_x 50 ppm (15%O₂ 換算) 以下の成果を得た。今後、水素専焼大型ガスタービンの実用化に向けた、フラッシュバック耐性を向上するバーナ構造の設計、およびシングルセグメント、フルスケール燃焼器の詳細設計、燃焼器性能の検証を進めていく必要がある。本研究開発で得られた成果は今後の改良のためのすべてのベースとなる技術であり、その成果により実用化に向けた取り組みを継続でき、研究開発を加速できる。

これまで大型ガスタービンで水素専焼を実現した例は無く、水素専焼を実現できれば、世界初の技術となる。水素専焼大型ガスタービンの導入は水素需要を大幅に拡大できるため、水素社会の実現不可欠な水素インフラの充実と普及拡大に対して大きな波及効果をもたらし、将来の水素市場の拡大に大きく貢献できる。

3.3 成果の最終目標の達成可能性

研究開発項目毎に、今後の課題と解決策を以下に述べる。

A-1. モデルバーナの設計技術

本研究開発項目では、モデルバーナの燃焼試験により、高圧条件下でフラッシュバックの発生無く、安定燃焼を実現し、ターゲット計画条件において NO_x 50 ppm(15%O₂ 換算) 以下を達成した。燃焼器では、より複雑な流れ場となり逆火のリスクが増加するため、実用化に向けてさらに逆火耐性を改善し、NO_x の性能裕度を確保したノズル構造の更なる改良を進める。

A-2. シングルセグメントの設計技術

本研究開発項目では、クラスタバーナの一部を切り出したシングルセグメントを対象とした CFD 解析を実施し、バーナの流動場を確認した。最終的には、高温高圧下のセグメント燃焼試験にて、逆火の発生なく NO_x50ppm 以下を達成できるシングルセグメント構造を設計する。これらを実現するためには、水素専焼において逆火耐性、低 NO_x を実現する上で影響の大きいパラメータを検討し、水素専焼に対応したバーナ設計を実施する。

A-3. 大型ガスタービン燃焼器設計技術

本研究開発項目では、大型ガスタービンに適用可能な水素専焼クラスタバーナ燃焼器の全体計画図を作成した。A-1、A-2 で実施したモデルバーナ、シングルセグメントの設計に基づいて、大型ガスタービンに適用可能なクラスタバーナ燃焼器の概念設計を完了させ、AM 製造に向けた課題の抽出および最適形状を検討し、燃焼器・燃料系統・燃料ステージの詳細設計を進める。

B-1. 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術

本研究開発項目では、水素 100%専焼可能な大容量水素設備の計画、燃焼器のステージ詳細検討を実現する為の系統設計を行った。今後、設備のコンパクト化、フルスケール燃焼器の検証試験を安全に取り行う為の運用性も考慮した詳細設計を進める。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本研究開発において、モデルバーナの燃焼試験により、高圧条件下でフラッシュバックの発生無く、安定燃焼を実現し、ターゲット計画条件において NO_x 50 ppm(15% O_2 換算)以下を達成した。本成果は、今後のシングルセグメント、燃焼器の設計のためのすべてのベースとなる技術であり、その成果により実用化に向けた取り組みを加速できる。

今後、本研究開発の成果を反映しながら、シングルセグメント、フルスケール燃焼器の詳細設計、燃焼器性能の検証を順次ステップを進める。また、2022年度に高温高圧下の燃焼器燃焼試験にて燃焼器性能を検証するため、大容量水素供給装置を含む燃焼試験設備を設計・構築する。

開発後も、本研究開発で得られたノウハウを有する助成事業者（三菱パワー株式会社、三菱重工業株式会社）が、本研究開発で構築した水素専焼燃焼試験設備を用いて継続的に燃焼器の性能検証、改良を実施し、2025年頃を目途に国内外の水素焚き火力発電所への適用を目指す。

5. 特許・研究発表等

－研究発表・講演、文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2020年8月	(株)技術情報センターセミナー：低炭素発電と燃料供給に関する技術と事業動向	大型ガスタービンにおける水素エネルギー利用の取組み	斉藤 圭司郎 (MHI)
2	2020年10月	火力原子力発電技術協会 関東支部 講演会	発電用大型ガスタービンにおける水素利用	川上 朋 (三菱パワー)
3	2020年10月	日本ガスタービン学会 定期講演会先端技術フォーラム 講演会	大型水素ガスタービンの開発	谷村 聡 (三菱パワー)
4	2020年10月	ICCI2020 event in Turkey	MITSUBISHI POWER'S JAC SERIES GAS TURBINES	Bulent Mehmetli (三菱パワー)
5	2020年10月	発電用大型ガスタービン における水素利用	火力原子力発電技術協会九州支部 講演会	西海 高史 (三菱パワー)

－特許等－

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	2020年7月10日	PCT/JP2020/0270 16	バーナー集合体、ガスタービン燃焼器及びガスタービン	三菱日立パワーシステムズ株式会社

(Ⅱ-①)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／高濃度水素混焼／水素専焼蒸気ボイラ・発電設備の技術開発」

委託研究／助成先：三菱パワーインダストリー(株)

●成果ガリ(実施期間：2020年度～2021年度終了予定)

- ・産業用ボイラを対象とし、安全、低NOx、低コストで水素を混焼または専焼する技術を確立する。
- ・水素のバーナ入口供給圧力は従来実績が現状80kPa以下であるが、最大100～990kPaとする水素蒸気バーナを開発する。
- ・逆火現象の定量評価を行い、逆火現象の防止策を確立する。

●背景/研究内容・目的

製鉄所、ソーダ工場、化学プラント等では副生ガスとして低濃度から100%濃度までの水素が発生しており、産業用ボイラにおいて、60～100%の高濃度の水素燃料の燃焼二酸化炭素が高まっている。

本事業は、産業用ボイラ（ユーティリティまたは発電用）を対象とする。そして、安全、低NOx、低コストで水素を混焼または専焼する技術を確立し、ボイラ排ガス中のCO₂排出量の低減またはゼロエミッション化を図る。

これにより、SDGsの持続可能な循環社会の構築に向け、低炭素化さらには脱炭素化に寄与できる。

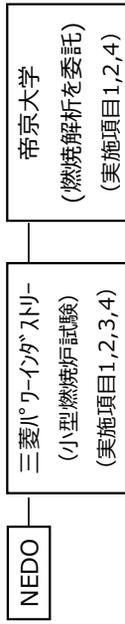
なお、本事業で確立した技術は事業用のガス蒸気ボイラにも適用可能である。

●研究目標

実施項目	目標
1. 水素ガス供給圧力の高圧化	供給圧力：100～990kPa
2. 燃焼振動現象の抑制	I1 ≤ 50Pa (*1)
3. NOx低減	NOx ≤ 60～100ppm
4. 逆火現象の防止	逆火・焼損回避条件の明確化

*1:共鳴周波数成分の振幅

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

本事業は、今年7月22日に交付決定通知書を受け、現在、研究開発目標を達成するための試験設備の計画をほぼ完了し、11月末の設備完成を目指して安全対策、水素供給設備設計・手配、バーナ設計・製作等を鋭意推進中である。実施項目1～4を検証するためのバーナ設計を完了済みで、現在製作中である。また、試験を安全に推進するために、消防署への相談を含め、関係者で数度、燃焼解析は、今年度、ガスバーナの基本構成となる単孔ノズルを用いた燃焼解析を委託先である帝京大学が実施予定である。本件も計画段階であるが、基本モデルは構築済みである。

本事業に関連する、着手前の成果実績を以下に記述する。

- ①当社はLPGおよびLNGで確立した「バーナ基部の保安強化」のコンセプトを適用した燃料高圧供給条件での低振動・低NOx燃焼技術（特許化済）を保有している。本技術を適用したガスバーナは、産業用小～大のガス蒸気ボイラ・発電設備に適用済（計14台）である。～300kPaのバーナ入口ガス圧条件下で、低振動・低NOxを実証済である。この特許化済の技術を本事業に適用し、研究開発を推進する。
- ②当社は、水素濃度84%の高濃度水素燃料にて、バーナ型式は異なるが、蒸発量100t/hの中型ボイラで、ガス供給圧力55kPa、燃焼振動なし、NOx ≤ 100ppm、逆火現象無し（ガスノズル焼損無し）の良好な実績を有している。上記①及び②の成果を本事業に反映する。

●今後の課題

現適用案件の問題として、高濃度水素の供給圧力が5～7kPaと低く、安定燃焼させるために高圧化が課題。本事業の成果に基づき、供給圧力をアップする。

●実用化・事業化の見通し

現在、某製鉄会社から濃度90%レベルの高濃度水素を燃焼可能な蒸発量10t/hクラスの施設ボイラの引き合いがきている。上記の今後の課題に記述した内容を反映する。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
1	高圧ガスバーナ実績を水素蒸気バーナ設計に反映済	5/10
2	低振動ガスバーナ実績を水素蒸気バーナ設計に反映済	5/10
3	本事業では5種類の低NOx手法を適用。水素濃度84%燃料にて水噴霧でNOx100ppm以下を実証済	6/10
4	逆火現象評価用の基本解析モデルは作成済	5/10

登録特許	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	0	0

課題番号：Ⅱ-⑪

「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発 ／高濃度水素混焼/水素専焼焚きボイラ・発電設備の技術開発」

1. 研究開発概要

製鉄所、ソーダ工場、化学プラント等では副生ガスとして低濃度から 100%濃度までの水素が発生しており、一部を主に小型ボイラの燃料として使用している。一方、最近、ボイラ排ガス中の CO₂ 量低減推進の背景もあり、産業用ボイラにおいて、60%~100%の高濃度の水素燃料での燃焼ニーズが高まっている。

本事業は、産業用ボイラ（ユーティリティまたは発電用）を対象とする。そして、安全、低 NO_x、低コストで水素を専焼する技術を確認し、ボイラ排ガス中の CO₂ 排出量のゼロエミッション化を目的とする。

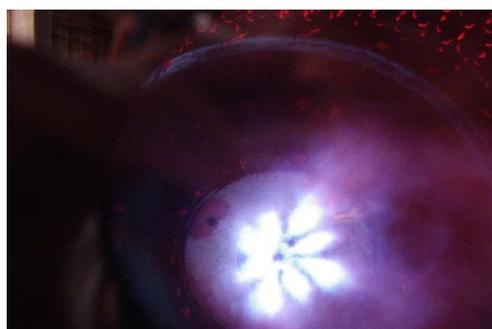
なお、本事業で確立した技術は事業用のガス焚きボイラにも適用可能である。

2. 研究開発目標

研究開発の目標は、ボイラに設置する水素混焼または水素専焼焚きガスバーナにおいて、以下 a~d の項目を満足することである。これらの項目を達成することにより、中・大型の産業用ボイラで 60~100%の高濃度の水素が燃焼可能となり、水素エネルギー利用システム開発として大きく貢献できるものと判断できる。

a. バーナ入口のガス供給圧力を最大 100~990kPa (G) とする（現状ボイラ用水素燃焼バーナに於ける水準は最大 80kPa (G) 以下）

他社製ボイラ用ガスバーナのバーナ入口のガス供給圧力は、燃焼騒音・燃焼振動の影響から最大 8~130kPa 以下レベル（都市ガス他）に設定している。一方、本助成事業に適用するガスバーナ（特許取得済）を用いた燃焼試験で、LPG にて最大 500kPa においても安定燃焼可能であることを実証済である（図 1 参照）。水素に於けるバーナ入口ガス供給の従来実績 80kPa 以下に対して、消防法の申請が不要である 990kPa (G) を今回試験の上限供給圧力として、どこまで高圧化可能であるかを評価する。なお、燃焼可能であることの見極め条件は、火炎の逆火（密着）がないこと（目視及び写真判定）及び燃焼振動がないこと（I1（共鳴周波数成分の振幅） $\leq 50\text{Pa}$ ）とする。



- ・燃料種：LPG 専焼
- ・バーナ入口ガス供給圧力：500kPa

図 1 本事業で適用するガスバーナの燃焼状況

b. 逆火現象を回避し安全性を確保

本事業とは別に、弊社と横浜国立大学との共同研究で実施する逆火現象の基礎研究により、逆火並びに逆火に伴うノズル焼損などの回避条件を明確化し、それを弊社の知見として本助成事業のシステムに反映する。具体的には、ノズルを焼損させない噴き出し流速の下限値等を設定する。

c. 燃焼振動を抑制する機能を有すること（目標値： $I1 \leq 50\text{Pa}$ ）

ガス焚きボイラにおいて、他社製のバーナ適用時に燃焼振動を経験している。一方、本助成事業に適用するガスバーナ（特許取得済）は、当社独自の「バーナ基部の保炎強化」のコンセプトを導入した燃焼振動対策を施したバーナである。これまで 14 缶のガス焚きボイラに適用しているが、燃焼振動の経験はない。

なお、水素は燃焼速度が速く、燃焼振動のポテンシャルが高いため、本助成事業の燃焼試験にて現象評価を行う。また、ノズル角度適正化等の必要に応じた対策を講じて、燃焼振動の指数となる共鳴周波数成分の振幅 $I1$ が 50Pa 以下となるように、バーナの最終構造に反映する。

d. NO_x を抑制する機能を有すること（ $60 \sim 100\text{ppm}$ 以下）

水素は燃焼時の火炎が高温となるため、サーマル NO_x が高く、通常 250ppm レベルとなる。 NO_x の目標値 $60 \sim 100\text{ppm}$ 以下を達成させるため、低 NO_x バーナを適用すると共に、二段燃焼設備及びスチームインジェクション設備（またはウォーターインジェクション設備）を準備する。また、新たな低 NO_x 化対策として、バーナ近傍に水管群を設置した場合の火炎冷却による低 NO_x 効果について、燃焼による基礎評価試験を実施する。

3. 研究開発成果

本事業は、今年 7 月 22 日に交付決定通知書を受け、現在、研究開発目標を達成するための試験設備の計画をほぼ完了し、11 月末の設備完成を目指して安全対策、水素供給設備設計・手配、バーナ設計・製作等を鋭意推進中である。従って、燃焼試験の実施は今年 12 月以降の実施予定であり、研究開発の具体的成果は来年 1 月以降に達成可能と判断されるため、本資料では、計画状況及び予想成果について記述する。

また、燃焼解析は、今年度、ガスバーナの基本構成となる単孔ノズルを用いた燃焼解析を委託先である帝京大学が実施予定である。本件も計画段階であるので、予想成果について記述する。

3.1 研究開発の状況、予想成果、達成度

3.1.1 小型燃焼炉試験

(1) 研究開発の状況

表 1 に今年度の小型燃焼炉による燃焼試験計画工程を示す。

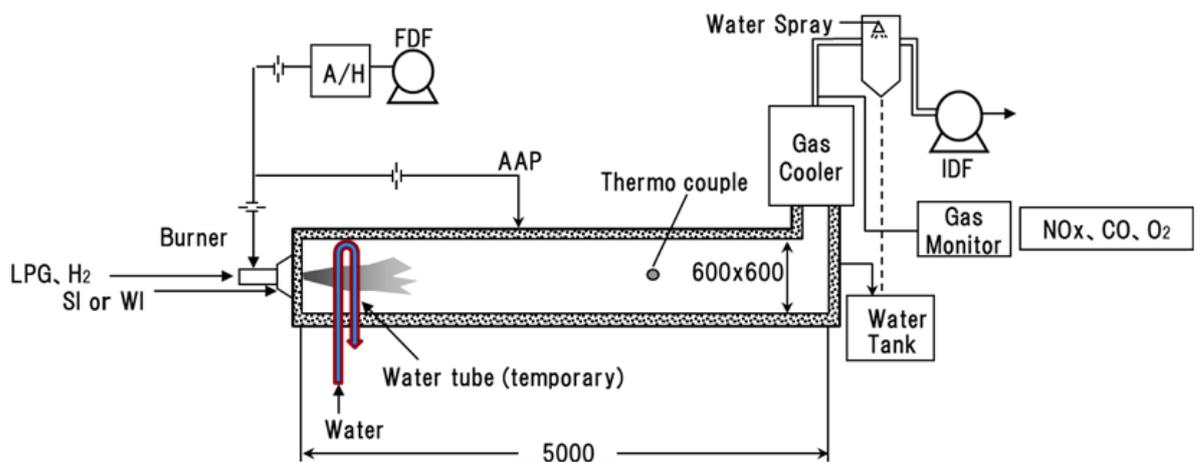
- a. 小型燃焼炉は設置後、約 40 年経過しており、水素燃焼試験への適用性可否を確認するため、非燃焼及び燃焼条件（既設 LPG 適用）下で試運転を実施。結果適用性を確認した（①、②）。
- b. 本試験は高圧設備対象外であるが、水素燃焼試験の安全性を確保する観点から消防局に事前相談を行った。消防及び会社の安全審査会のコメントを水素供給設備他に反映した（④、⑤）。
- c. 各開発項目を評価・検証するための、水素燃焼試験用のバーナ設計及び製作手配を完了した（⑧、⑨）。
- d. 図 2 に示す小型燃焼炉に適用する、安全を考慮した水素供給設備の設計及び製作手配を完了

した(⑩、⑪)。

e. 新規設備を適用した燃焼試験を今年12月に実施予定(⑮～⑲)。

表1 今年度の小型燃焼炉による燃焼試験計画工程

No.	実施項目	2020年						2021年		
		7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
①	点検確認(非燃焼)	▼								
②	現状設備での燃焼確認	▼								
③	貸借契約書		■	■	■					
④	安全計画(消防)		■							
⑤	改造計画事前相談(MHPS安全、人事)		■	■						
⑥	既設設備の補修内容総括・手配		■	■						
⑦	既設設備関係手配(FLD、GM流量計)				■	■				
⑧	バーナ設計		■	■						
⑨	バーナ製作手配				■	■				
⑩	水素供給設備(安全対策含)計画		■	■						
⑪	水素供給設備(安全対策含)手配				■	■				
⑫	設備改造・追設前の安全審査						▼			
⑬	設備改造・追設				■	■				
⑭	設備改造・追設後の安全審査						▼			
⑮	LPG専焼(80kPa)						■			
⑯	LPG/H ₂ 混焼試験(80kPa)--2軸混焼						■			
⑰	LPG/H ₂ 混焼試験(80kPa)--同軸混焼						■			
⑱	H ₂ 専焼試験(80、300、500、900kPa)						■			
⑲	水管群設置試験(低NO _x 化味見試験)						■			
⑳	試験結果評価・2021年度試験計画							■	■	■



SI: スチームインジェクション
 WI: ウォーターインジェクション
 Water tube: 水管(仮設)

図2 小型燃焼炉の概略構成

(2) 研究開発の予想成果

表2に個別研究開発項目の目標と達成状況を示す。

表2 個別研究開発項目の目標と達成状況

No.	開発項目	目標	成果	達成度*	今後の課題と解決方針
①	水素ガス供給圧力の高圧化	最大100~990kPa (現状の最大 \leq 80kPa)	—	Δ (2020/12)	水素燃焼試験及び燃焼解析で検証
②	燃焼振動現象の抑制	$I1 \leq 50\text{Pa}$ (I1:共鳴周波数成分の振幅)	—	Δ (2020/12)	水素燃焼試験及び燃焼解析で検証
③	NOxの低減	$\text{NO}_x \leq 60 \sim 100\text{ppm}$	—	Δ (2020/12)	水素燃焼試験で検証
④	逆火現象の防止	逆火・焼損回避条件の明確化	—	Δ (2020/12)	水素燃焼試験及び燃焼解析で検証
⑤	試験用水素燃焼バーナ設計・製作	上記①~④の評価、目標達成が可能なバーナ設計	設計完	Δ (2020/11)	バーナ製作完了後、試運転にて検証
⑥	水素供給設備の設計・製作	上記①~④の評価及び安全運用が可能な設備設計	設計完	Δ (2020/11)	水素供給設備完成後、試運転にて検証

* : 達成度の記号説明 ◎ : 大幅達成、 ○ : 達成、 Δ : 達成見込み、 × : 未達

3.1.2 燃焼解析

(1) 研究開発の状況

表3に燃焼解析の計画工程を示す。燃焼解析は、Ansys/Fluent 16.2を用いた定常解析により、ガスノズル近傍の燃焼状態を評価する。計算用コンピュータは、スーパーコンピュータを適用する。本解析により、水素の混合比率、バーナ供給圧力を変化させた場合の燃焼振動ポテンシャル、火炎温度及び逆火現象の防止を目的としたノズル先端温度評価などを実施する。今年度は、水素バーナノズル構成の基本となる単孔ノズルを対象として、燃焼解析を実施する。

本助成事業とは別に、弊社と横浜国立大学との共同研究で実施する逆火現象の基礎研究により、逆火並びに逆火に伴うノズル焼損などの回避条件を明確化し、弊社の知見として、本助成事業のシステムに反映する。具体的には、ノズルを焼損させない噴き出し流速の下限値等を設定する。

表3 燃焼解析の計画工程

実施項目	2020年度							2021年度
	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
単孔ノズルモデル								
①解析モデル作成		■						
②解析			■	■	■			
③解析結果纏め			■					
④進捗状況報告			▽					
⑤最終報告						▽		
試験バーナモデル								
①解析モデル作成					■	■	■	
②解析							■	■
③解析結果纏め							■	■
④進捗状況報告							■	■
⑤最終報告							■	■

継続実施

(2) 研究開発の予想成果

表 2 の開発項目に示す、①水素ガス供給圧力の高圧化、②燃焼振動現象の抑制及び、④逆火現象の防止に記載している。

3.2 成果の意義

(1) ①水素ガス供給圧力の高圧化及び②燃焼振動現象の抑制

図 3 に小型燃焼炉に設置する低 NO_x ガスバーナの概略構造を示す。本ガスバーナ (HT-LH バーナ) は、1 次空気スリーブの先端に所定角度の傾斜を設けることで、1 次空気と 2 次空気の分離による低 NO_x 燃焼をシンプルな構造で達成可能な低 NO_x バーナ (特許第 5736583 号) である。本バーナを適用した燃焼試験で、LPG にて最大 500kPa においても安定燃焼可能であることを燃焼解析及び燃焼試験 (図 1 参照) で検証済である。

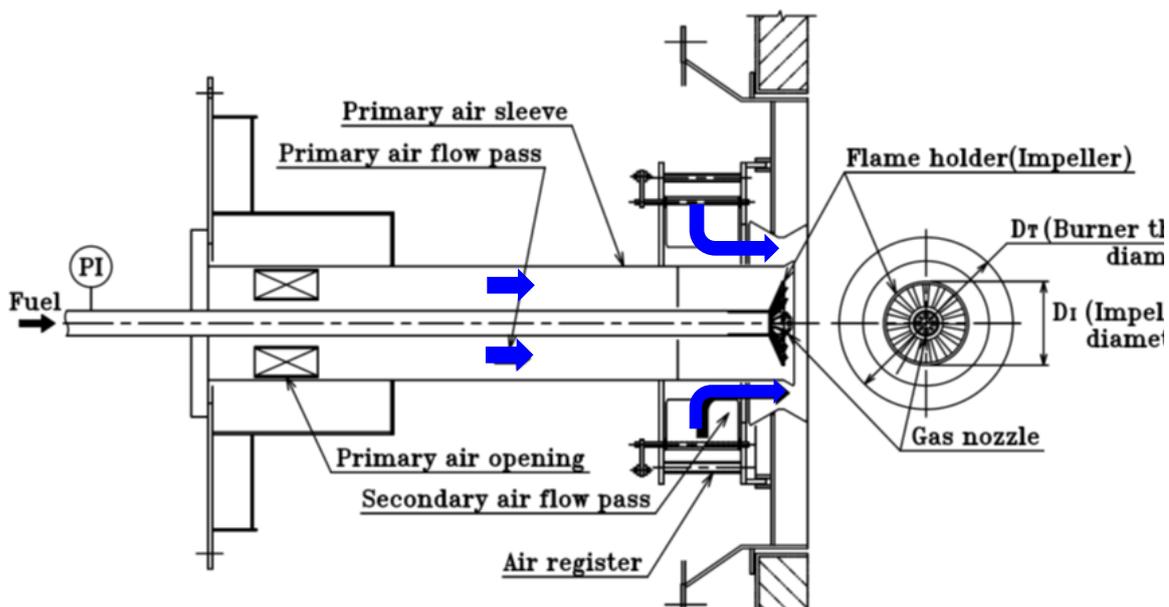
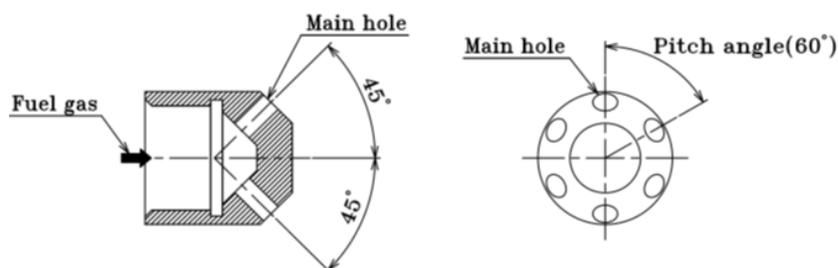


図 3 ガスバーナ (HT-LH バーナ) の概略構造

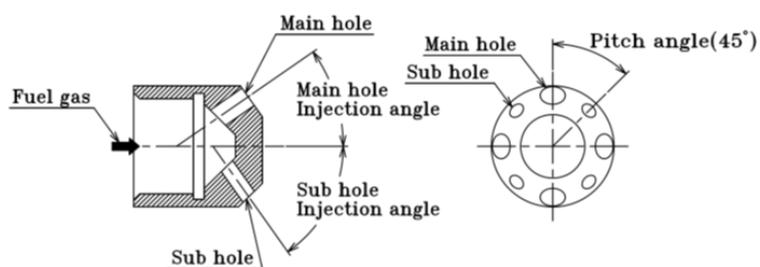
図3のガスバーナに適用する低振動型ガスノズル(図4b)を、従来型ガスノズル(図4a)と比較して示す。



従来型ガスノズル

- ・同径の6個の主孔を同心円状に均等に配置
- ・噴射角度は全て45°設定

図4a 従来型ガスノズル



低振動型ガスノズル(特許第460085号)

- ・直径の大きい主孔と直径の小さい副孔を4個ずつ交互に配置
- ・副孔は孔の断面積を小さくすると共に、噴射角度を広角(45°)とすることで、孔出口部での燃料と空気との混合促進により、バーナ基部の火炎の揺らぎ抑制を目的とする
- ・主孔は噴射角度を狭角(40°)とすることで長炎化によるガス燃焼の緩慢化を目的とする

図4b 低振動型ガスノズル(本事業に適用)

図 5a に従来型ガスノズルの都市ガスの燃焼状況、図 5b に低振動ガスノズルの都市ガスの燃焼状況を示す。従来型ガスノズルでは、燃焼振動と強い相関のある共鳴周波数成分の振幅 $I1$ が 102Pa で燃焼振動の兆候があるのに対して、低振動型ノズルでは、“バーナ火炎基部の保炎”が火炎基部全体で達成されており、燃焼振動の兆候は無く、 $I1$ も 16Pa と $1/6$ 以下であることを実証した。なお、本低振動ガスノズルを HT-LH バーナに設置して実機に適用したボイラ数は 14 缶で合計 77 台のバーナに適用実績がある。いずれも、燃焼振動の事象は無く、バーナ根元から安定した火炎を形成すると共に、低 NO_x 燃焼を実証し、多くの顧客より高い評価を得ている。

本事業に、本 HT-LH バーナと低振動ガスノズルを適用することで、これまでボイラでのガス供給圧力実績が 80kPa 以下の水素燃焼に於いても、 100kPa ($\sim 990\text{kPa}$) の水素高圧供給条件下で、燃焼振動のない安定燃焼を実現可能と評価している。

また、水素を高圧条件で供給可能となれば、単位発熱量当たりの体積量が大きい水素を、小径配管・小径機器で搬送可能となり、バーナ近傍もコンパクト化可能となるため、システムコスト面及びメンテナンス面での成果の意義は大きいと評価できる。

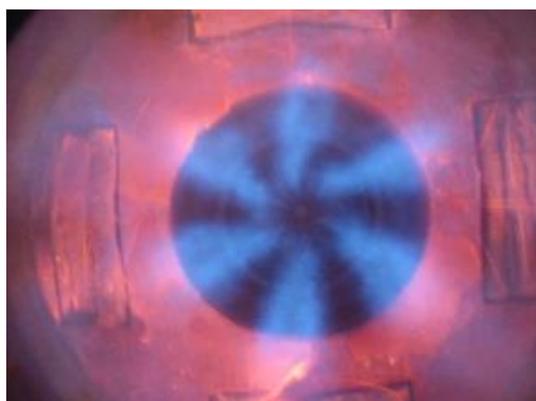


図 5a 従来型ガスノズルの燃焼状況
($I1^{(*)} = 102\text{Pa}$: 燃焼振動の兆候有)

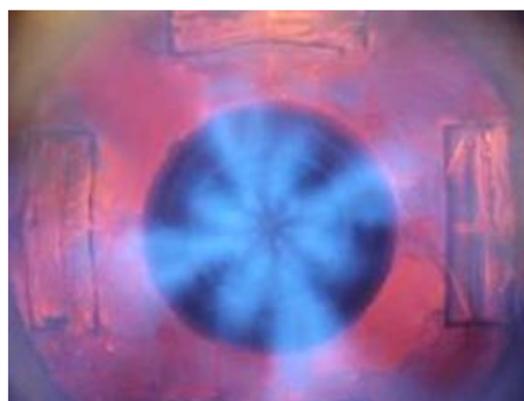


図 5b 低振動型ガスノズルの燃焼状況
($I1 = 16\text{Pa}$: 燃焼振動の兆候無)



(本助成事業に適用)

(*) $I1$: 共鳴周波数成分の振幅 (燃焼振動と強い相関有 : 目標基準値 $\leq 50\text{Pa}$)。なお、 $I1$ は炉内の圧力特性の計測結果により評価実施

(2) ③NO_xの低減

水素は燃焼時の火炎が高温となるため、サーマル NO_x が高く、通常 250ppm レベルとなる。NO_x レベルを 60~100ppm 以下とすることを目標に以下 a~e の低 NO_x 化対策試験を行う。

- a. 低 NO_x バーナの採用：燃焼用空気の分割投入による低 NO_x 化
- b. 水噴霧（W I）：火炎温度の低減による低 NO_x 化
- c. 二段燃焼：還元燃焼による低 NO_x 化
- d. 排ガス混合：燃焼用空気に排ガスを混合し、酸素分圧の低減による低 NO_x 化
- e. 水管群設置：水管群に火炎を接触させ、火炎冷却による低 NO_x 化

上記 a~e の各手法による NO_x 低減効果及びコストを定量的に評価し、ターゲット NO_x に応じた最適な手法（組合せ含む）を選定する。

上記一連の低 NO_x 化対策試験結果に基づき、最適手法の選定により、水素燃焼に於ける低 NO_x 化対策を、最小の設備・コストで計画可能となり、その成果の意義は大きいと評価できる。

(3) ④逆火現象の防止

水素は燃焼速度が速く、逆火ポテンシャルが高い。そこで、本事業では、燃焼方式を空気とブリミックスさせる予混合燃焼方式ではなく、逆火防止の観点から、ノズルから水素を噴出させた後に、水素と燃焼用空気とを混合させる拡散燃焼方式を採用する。但し、拡散燃焼方式に於いても、水素の噴出流速が遅いとノズル先端が高温化し、焼損する可能性がある。

本事業では、今年度、水素バーナノズル構成の基本となる単孔ノズルを対象として、燃焼解析で火炎温度及び逆火現象の防止を目的とした、ノズル先端温度評価などを帝京大学にて実施する。

上記燃焼解析及び横浜国立大学との共同研究で実施する逆火現象の基礎実験により、ノズルを焼損させない噴き出し流速の下限値等を設定する。

上記の一連の燃焼解析並びに基礎実験により、水素を安全に燃焼させる条件を明確化することが可能となる。水素の安全運用及び事故撲滅の観点から、その成果の意義は大きいと評価できる。

3.3 成果の最終目標の達成可能性

表 4 に各開発項目に対する成果の最終目標と達成の可能性を総括して記載する。

表 4 成果の最終目標と達成の可能性

No.	開発項目	目標	成果の最終目標	達成の可能性
①	水素ガス供給圧力の高圧化	最大 100~990kPa (現状の最大 ≤ 80kPa)	・水素焚きバーナの最適化 ・水素供給ガス圧の高圧化	一連の燃焼試験及び燃焼解析により達成可能と評価する
②	燃焼振動現象の抑制	$I1 \leq 50Pa$ (I1:共鳴周波数成分の振幅)	によるシステムコストの低減及びメンテナンス性改善	
③	NO _x の低減	NO _x ≤ 60~100ppm	低NO _x 化対策の最適化及び設備コスト低減	5種類のNO _x 低減手法を適用した試験で達成可能と評価する
④	逆火現象の防止	逆火・焼損回避条件の明確化	水素の安全運用及び事故撲滅	燃焼解析(本事業)と基礎実験(共研)により達成可能と評価する
⑤	試験用水素燃焼バーナ設計・製作	上記①~④の評価、目標達成が可能なバーナ設計	水素焚きバーナ最適設計条件の確立	一連の燃焼試験及び燃焼解析により達成可能と評価する
⑥	水素供給設備の設計・製作	上記①~④の評価及び安全運用が可能な設備設計	安全な水素供給設備設計の完成	一連の燃焼試験で実証可能と評価する

現状、当社は、水素濃度 84%の高濃度水素燃料にて、バーナ型式は異なるが、蒸発量 100t/h の中型ボイラで、①ガス供給圧力 55kPa、②燃焼振動なし、③NO_x≤100ppm、④逆火現象無し(ガスノズル焼損無し) の良好な実績を有している。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本事業である「高濃度水素混焼／水素専焼焚きボイラ・発電設備の技術開発」の概要を以下に総括する。

(1) 研究開発の概要

- ① 事業目的：中・大型の産業用ボイラを対象とし、安全、低 NO_x、低コストで水素を混焼または専焼する技術を確立し、水素専焼の発電システムの開発を最終目標とする。
- ② 事業目標及び研究開発の内容：60～100%の高濃度水素燃料に対して以下を達成する。
 - a. バーナ入口のガス供給圧力を最大 100～990kPa とする
 - b. 燃焼振動の抑制 ($I_1 \leq 50\text{Pa}$)
 - c. NO_x の抑制 ($\leq 60 \sim 100\text{ppm}$)
 - d. 逆火現象の回避

(2) 事業化内容の推進方法

- ① 水素供給圧の高圧化の検討：小型燃焼炉を用いて、燃焼振動、NO_x を含めて総合評価
- ② 逆火現象の防止検討：燃焼解析を用いて各種パラメータによる逆火現象の定量化実施。
- ③ 燃焼解析：水素混焼比率、バーナ供給圧力を変化させた場合の燃焼振動評価他を実施。

(3) 研究体制：助成先:三菱パワーインダストリー㈱、委託先:帝京大学

- (4) 本助成事業による効果と事業化の見込み：効果としては水素を適用した中・大型の産業用ボイラ・発電システムを新設・既設改造を含めて商用レベルとする。事業化は、まず 10t/h クラスの高濃度水素混焼焚き新設ボイラを製鉄所に適用する計画である。

- (5) 全体スケジュールおよび本年度のアウトプット：本年度は表 2 に示す①～⑥の開発項目を第 4 四半期まで実施する。

5. 研究発表・特許等

表5に本事業に関連する研究発表及び執筆論文、表6に登録特許を記載する。

表5 本事業に関連する研究発表及び執筆論文

No.	年月	発表先	題目	発表者
	—	—	—	—

表6 本事業に関連する登録特許

No.	特許登録日	特許番号	発明の名称	会社名
1	2010/10/8	第4600850号	ガスバーナ	三菱パワー インダストリー(株)
2	2015/5/1	第5736583号	バーナ装置	三菱パワー インダストリー(株)

(Ⅱ-⑫)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／大出力水素燃焼エンジン発電システムに関する技術開発」

助成先：川崎重工業株式会社

●成果サマリ（実施期間：2020年度～2022年度(予定)）

・①既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価②水素燃焼単筒機の開発及び③水素燃焼の最適化の各研究開発に着手した。

●背景/研究内容・目的

水素を主燃料とする従来に無い大出力(2～8MW級)の水素燃焼エンジン発電システムを実現させるための燃焼技術開発を行い、2022年度未までに終了させる。具体的には、①既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価②水素燃焼単筒機の開発及び③水素燃焼の最適化、の3項目の実施により燃焼技術を構築する。

●研究目標

実施項目	目標
① 既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価	大出力エンジンにおける水素燃焼の特徴を抽出し、水素燃焼単筒機の要目を定める
② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化	<ul style="list-style-type: none"> 多くの量の水素を貯蔵・供給ができる水素燃焼専用試験運転設備を整備する 要素試験結果を反映した水素燃焼専用単筒機を用いて、従来実績を上回る図示平均有効圧力1.6MPaを実現する
③ 水素燃焼単筒機運用システムの開発	天然ガス燃焼エンジンと同様の安全性にて運用可能な運用制御システムを確立する

●実施体制及び分担等

NEDO	川崎重工業株式会社
------	-----------

●これまでの実施内容／研究成果

- ①：水素供給機能の整備を完了し、試験に着手した。
- ②：
 - 水素脆化を考慮して強度評価を行う対象材料の抽出、評価試験方法・条件の検討を完了し、評価試験に着手した
 - 給気経路や燃焼室及び燃料供給手段の仕様を検討・選定するための数値解析手法を確立すべく計画した複数の水素の解析モデル構築を完了し、各種解析手法を比較する準備を整えた
 - 水素燃焼エンジン単筒機の燃焼室周辺部品などの大物部品の設計に着手した
 - 試験運転設備の基本設計（設備全体のフロー図、潤滑油ポンプ等の補機仕様書等の作成）に着手した
- ③：水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出に着手した。

●今後の課題

- ①既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価②水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化③水素燃焼単筒機運用システムの開発を行い、水素を主燃料として従来実績を上回る図示平均有効圧力1.6MPaを実現する。

●実用化・事業化の見通し

本プロジェクト終了後に製品化開発（エンジンの多気筒化）を実施し、客先サイト等での実証試験を実施する計画である。実証試験において、一定の信頼性を確認した後に上市する。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
①	水素供給機能整備完了し、試験に着手	△ 達成見込み
②	<ul style="list-style-type: none"> 強度評価を行う対象部品を抽出 各種解析手法を比較する準備を整えた 大物部品の設計に着手 試験設備の基本設計に着手 	△ 達成見込み
③	水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出に着手	△ 達成見込み

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	0	0

課題番号：Ⅱ－⑫

研究開発名：「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／大出力水素燃焼エンジン発電システムに関する技術開発」

1. 研究開発概要

本事業では、従来に無い大出力(2～8MW級)の水素を主燃料とする水素燃焼エンジン発電システムを実現させるための燃焼技術開発を行い、2022年度末までに終了させる。具体的には、①既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価②水素燃焼単筒機の開発及び③水素燃焼の最適化を通して燃焼技術を構築する。

2. 研究開発目標

2. 1 既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価

開発項目①-1 既存の天然ガス燃焼単筒機での水素燃焼試験

水素の燃焼速度は、天然ガスに比べて著しく大きい。この特徴により、過大な熱損失や異常燃焼が発生しやすくなり、同サイズの天然ガスエンジンに比べ最大出力が制限されることが想定される。これまで、想定する製品と同等サイズの試験機を用いた水素燃焼評価の実績は数少なく、具体的な異常燃焼の程度の把握や燃焼速度低減手段の効果確認を行うことが重要である。天然ガス燃焼単筒機(図1)に水素を供給できる機能を整備することで、法規上の制約により長時間の運転が難しいものの、大出力エンジンにおける水素燃焼の特徴を抽出する燃焼試験を行うことが可能となり、水素の特徴をふまえた各種計測を行うことができる。よって、天然ガス燃焼単筒機に水素燃料供給機器(法規上、水素の貯蔵量が相当制限される)の追設を施して、水素混焼率5%以上(目標95%以上)の空燃比・水素混焼率・エンジン出力を変更した試験を実施する。空燃比等の運転パラメータによる特性変化を確認し、本結果を以て水素燃焼エンジンの主要目などを定めることを目標とする。これらの仕様の詳細については、後述の2. 2で定める。

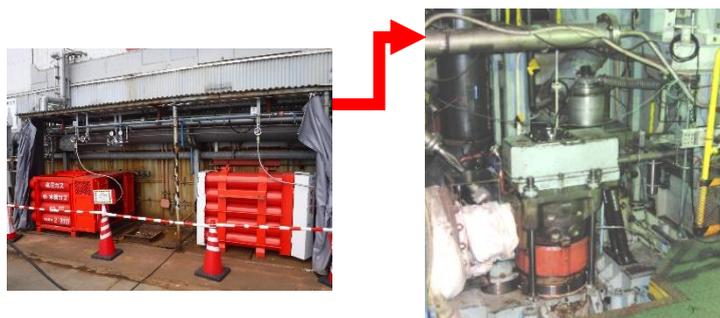


図1 既存の単筒試験機

2. 2 水素燃焼単筒機の開発、及び水素燃焼の最適化

開発項目②-1 適用材料の水素環境下での強度試験

水素燃焼エンジンを、天然ガス燃焼エンジン同等の信頼性とするためには、水素脆化リスクを考慮した設計を行う必要がある。そのため、水素燃焼エンジンに適した条件や評価方法を検討して、材料強度評価を行い、燃焼室周縁部に適用する材料の水素脆化を考慮した強度特性を把握することを目標とする。

開発項目②-2 燃焼室状態の数値解析

水素と空気は、密度差が大きく相互の混合・拡散を精度良く計算することが難しく、水素燃焼エンジン燃焼室内の水素濃度分布をシミュレーションした実績例は少ない。燃料噴射の位置・方向や給気経路・燃焼室形状の最適化は、良好な混合気分布形成を通じた平均有効圧向上実現のために重要であり、精度と必要時間のバランスの良い数値シミュレーション技術の整備が必要である。そのため、天然ガス燃焼エンジンの解析で用いていた数値解析手法を元に、水素の取り扱い方を変えた複数のモデル化手法を用いてパラメータ調整や精度検証を実施し、比較することにより、最適な数値解析手法を選定し、給気経路や燃焼室及び燃料供給手段の仕様を検討・選定するための数値解析手法(図2※イメージ)を確立することを目標とする。

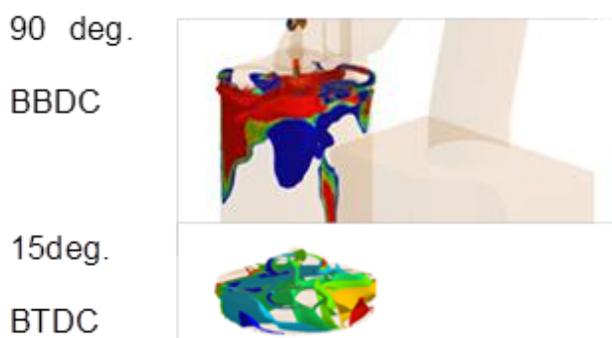


図2 エンジン筒内燃料濃度分布シミュレーションのイメージ

開発項目②-3 水素燃焼単筒機的设计

開発項目①-1で用いた既存の天然ガス燃焼用単筒試験機は、得た成果をエンジン設計に反映する余地が乏しいが、天然ガスと水素は燃焼特性の差異が大きく、多岐にわたると予想される様々な仕様変更を反映できる水素燃焼専用試験エンジン(図3※イメージ)を設計・製造し、試験に供用することを最終目標とする。2020年度は燃焼室周辺の基本構造を決定し、大物部品の設計・検討を完了することを目標とする。

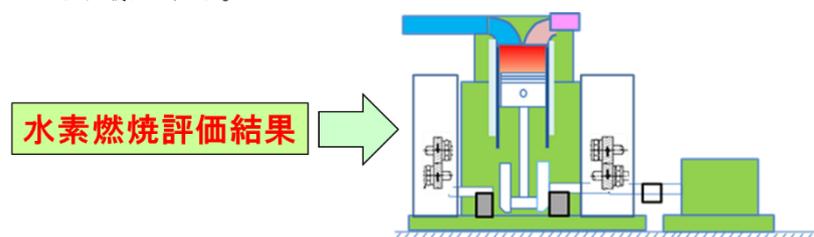


図3 水素燃焼用単筒試験機イメージ

開発項目②-4 水素燃焼単筒試験設備の整備

既存の天然ガス燃焼単筒機は、天然ガス燃焼に最適化されている上に、法規上の制約により試験機近傍での水素貯蔵量が限られているため、同試験機を用いた十分な評価・確認を行うことが難しい。そこで、十分な量の水素を貯蔵・供給でき、水素燃焼時の性能及び耐久性等を的確に把握するために重要な連続10時間程度の運転継続を実現し、水素燃焼エンジン開発を加速することを目的に、水素燃焼単筒機及び、十分時間の連続運転が可能な水素供給機能を併せた試験運転設

備（図4※イメージ）を整備することを最終目標とする。2020年度は試験設備の基本設計（設備全体のフロー図、潤滑油ポンプ等の補機仕様書の完成）を完了させることを目標とする。

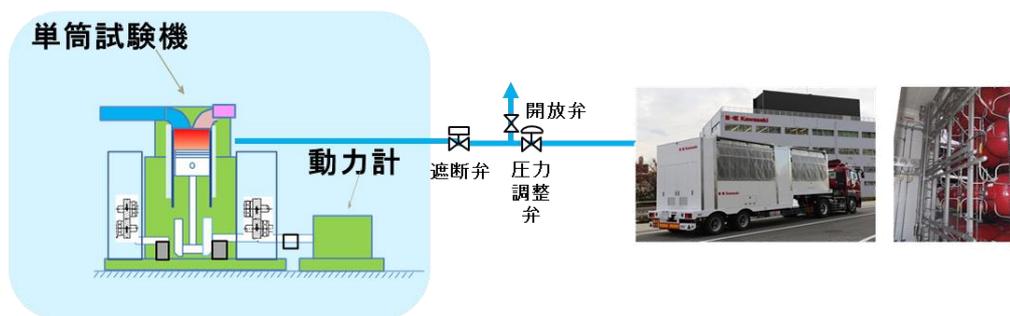


図4 水素燃焼単筒試験設備のイメージ

開発項目②-5 試験による水素燃焼の最適化（2022年度実施予定）

出力密度(図示平均有効圧に比例)を高めることによる、市場からの出力当たりのエンジン価格低減要請が強いため、製品化にあたってはエンジン各部を水素燃焼に最適化する必要がある。他研究機関は、小型試験機にて図示平均有効圧力1.4MPa相当の実績があるが、本事業では前述の水素燃焼用単筒試験機を用いて燃焼試験（図5※イメージ）を実施し、従来実績を上回る図示平均有効圧力1.6MPaを実現させることを目標とする。



図5 目標図示平均有効圧達成のために検証するパラメータ例

2. 3 水素燃焼単筒機運用システムの開発

開発項目③-1 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出

水素はガス密度が小さいため、漏洩しやすいだけでなく、天然ガスに比べ可燃範囲が広く、最小着火エネルギーも小さいため、僅かな量の漏洩でも着火しやすい。そのため、設備基本設計の段階で水素燃料使用に対するリスクを抽出し、それぞれのリスクへの対策を機器・制御に織り込む必要がある。そこで、メタンと水素の物性を比較することで、同等の安全性を実現するための差異を抽出することで、高リスク部位（図6※例）、部品を見極め、リスクアセスメント方針を決定することを目指す。

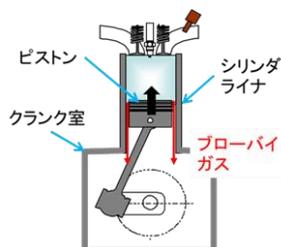


図6（絞り込みリスクの例）ブローバイガスによるクランクケース内雰囲気

開発項目③-2 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出（2021～2022年度実施予定）

天然ガス燃焼エンジンと同様の安全性にて運用可能な水素燃焼エンジン運用システムを構築するために、水素燃焼単筒機運用システム(図7※イメージ)を開発する。③-1で抽出したリスクを低減し、天然ガス燃焼エンジンと同様の安全性にて運用可能な運用・制御システムを確立することを目標とする。

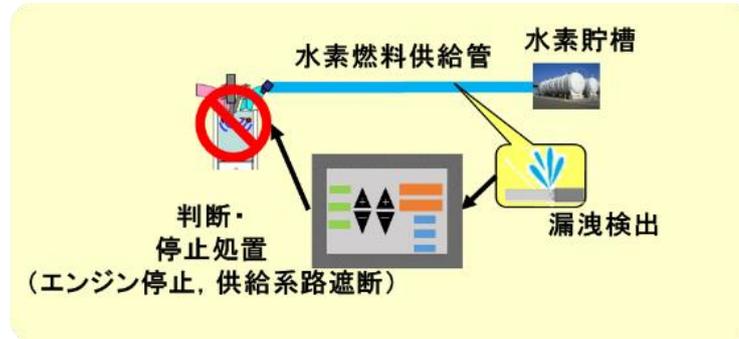


図7 制御システム 機能の例

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

(1) 既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価

開発項目①-1 既存の天然ガス燃焼単筒機での水素燃焼試験

水素供給機能整備完了し、試験に着手した。

具体的には、

- ・ボンベから試験エンジンへ水素を供給する機能を整備した
- ・万が一の水素漏洩の際にも、確実に検知し供給を停止する安全対策を施した
- ・手順書を整備し、試験運転を開始した。準備した機器の正常動作を確認した

(2) 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

開発項目②-1 適用材料の水素環境下での強度試験

水素脆化を考慮して強度評価を行う対象部品を抽出した(図8)。



図8 強度評価対象部品の例

開発項目②-2 「燃焼室状態の数値解析」

メタンと水素で空気との混合挙動を解くための解析モデル構築が完了し、水素の取り扱い方を変えた複数のモデル化手法を用いてパラメータ調整や精度検証を実施し、比較することにより、最適な数値解析手法を選定する準備が整った(図9)。

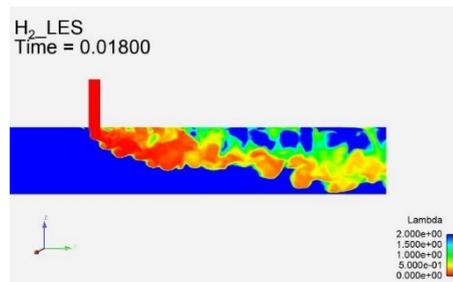


図9 解析モデルの例

開発項目②-3 「水素燃焼単筒機的设计」

燃焼室周辺部品などの大物部品の設計に着手した。

開発項目②-4 「水素燃焼単筒試験設備の整備」

試験設備の基本設計（設備全体のフロー図、潤滑油ポンプ等の補機仕様書等の作成）に着手した。

(3) 水素燃焼単筒機運用システムの開発

開発項目③-1 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出

水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出に着手した。

3. 2 成果の意義

(1) 既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価

開発項目①-1 既存の天然ガス燃焼単筒機での水素燃焼試験

従来研究では小型試験機による試験の実績しかないため、想定する製品サイズと同等の試験機にて、水素燃焼の課題や出力を制限する要因を抽出する。

(2) 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

開発項目②-1 適用材料の水素環境下での強度試験

本開発エンジンは、従来研究で適用されたサイズのエンジンより許容燃焼圧力および許容温度を高めるため、水素脆化の影響が大きくなることが予想される。大出力エンジンに適用される材料の水素脆化に関する研究は数少なく、エンジンの燃焼室環境を模擬した評価は世界初となる。

開発項目②-2 燃焼室状態の数値解析

2021年度以降に給気経路や燃焼室及び燃料供給手段の仕様検討で数値解析を活用できる。

開発項目②-3 水素燃焼単筒機的设计

既存の天然ガス燃焼単筒試験機は設計変更の余地が少ない一方で、天然ガスと水素とは燃焼特性の差異が大きいため、設計変更点が多岐にわたるが、開発項目①で得た成果を反映することで水素燃焼専用単筒機を製造し試験を行うことができる。

開発項目②-4 水素燃焼単筒試験設備の整備

建造する設備により、多くの量の水素を貯蔵・供給ができ、性能等の評価を効率よく把握するために重要な十分な時間の運転継続を実現し、水素燃焼エンジン開発を加速できる。

(3) 水素燃焼単筒機運用システムの開発

開発項目③-1 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出

抽出したリスク要因は天然ガス燃焼エンジンと同様の安全性にて運用可能な設備・制御システムを確立するためのリスクアセスメントの基礎データになる。

3. 3 成果の最終目標の達成可能性

(1) 既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価

開発項目①-1 既存の天然ガス燃焼単筒機での水素燃焼試験

空燃比、水素混焼率、エンジン出力変更による特性変化を把握し、試験にて最適な仕様を抽出することで、目標を達成できる見通し。

(2) 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

開発項目②-1 適用材料の水素環境下での強度試験 (2020年度未完了予定)

2020年末までに試験が終了し、水素脆化の影響を把握できる見通し。その結果を設計に反映する。

開発項目②-2 燃焼室状態の数値解析 (2020年度未完了予定)

各種解析手法を用いてパラメータ調整や精度検証を実施することにより、2020年末までに数値解析手法を確立する見通し。その手法を開発項目②-3にて用いる。

開発項目②-3 水素燃焼単筒機的设计

2021年度初めに大物部品の設計を完了し、基本構造が決まり次第、併行して中小物部品の設計を進めることで2021年度中に出図を完了できる見通し。

開発項目②-4 水素燃焼単筒試験設備の整備

2020年度中に単筒機製造に着手、2021年度第3Qに設備建造に着手できれば、2022年度第2Qに単筒機および試験設備が完工する見通し。

開発項目②-5 試験による水素燃焼の最適化 (2022年度実施予定)

他研究機関の研究では、小型試験機にて図示平均有効圧力1.4MPa相当の実績がある。本試験機は設計強度が大きく、高い給気圧で運転できるようにするため、潜在能力が高い。また①-1で抽出した最適仕様を反映した設計とするため、目標を達成できる見込み。

(3) 水素燃焼単筒機運用システムの開発

開発項目③-1 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出 (2020年度未完了予定)

2020年度末までに高リスク部位、部品の見極め、およびリスクアセスメント方針を決定する

見通し。その成果は開発項目②-4、③-2などに反映する。

開発項目③-2 水素燃焼エンジン運用システムの構築および評価（2021～2022年度実施予定）

開発項目③-1で抽出したリスクに対して、HAZOP等によるリスク定量評価を行い、制御システムの詳細設計へ反映することで、天然ガス燃焼エンジンと同様の安全性にて運用可能な水素燃焼エンジン運用・制御システムを構築する目標を達成できる見込み。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

4. 1 まとめ及び課題

水素燃焼単筒機を用いて、水素燃焼エンジン発電システムを実現するための技術開発をテーマとして、①既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価②水素燃焼単筒機の開発及び③水素燃焼の最適化の各研究開発項目に着手した。

今後の課題は以下である。

- 既存の天然ガス燃焼単筒試験機での水素燃焼試験により空燃比等の運転パラメータによる特性変化を確認する
- 多くの量の水素を貯蔵・供給ができ、様々な仕様変更を反映できる水素燃焼専用単筒機設備を建造すべく、
 - ・ 燃焼室周縁部に適用する材料の水素脆化を考慮した強度特性を把握する
 - ・ 給気経路や燃焼室及び燃料供給手段の仕様を検討・選定するための数値解析手法を確立する
 - ・ メタンと水素の物性を比較することで、同等の安全性を実現するための差異を抽出することで、高リスク部位、部品を見極め、リスクアセスメント方針を決定する
 - ・ 天然ガス燃焼エンジンと同様の安全性にて運用可能な運用・制御システムを確立する
- 上記の水素燃焼専用単筒機設備を用いて、既存単筒試験機での試験で得た知見を反映した燃焼試験を実施し、従来実績を上回る図示平均有効圧力1.6MPaを実現する

4. 2 事業化までのシナリオ

本プロジェクト終了後に製品化開発（エンジンの多気筒化）を実施し、客先サイト等での実証試験を実施する計画である。実証試験において、一定の信頼性を確認した後に上市する。

5. 研究発表・特許等

現状なし

(Ⅱ-13) 「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業」

助成先：(株)大林組、川崎重工業(株)

● 成果及び(実施期間)：2015年度～2018年度終了)

- ・統合型EMSの開発について、双方向蒸気融通技術と統合型EMSを導入し、電気・熱・水素を総合管理し、環境性と事業性を確保するエネルギーマネジメントシステムおよび蒸気ハンマーの発生しない双方向融通配管網が構築できた。
- ・水素CGSの開発について、最終目標である「実負荷運転時の水素混焼割合切替時の燃焼安定性検証」が完了。

● 背景/研究内容/目的

◎背景
2014年4月策定の「エネルギー基本計画」では、エネルギーマネジメントシステム(EMS)はスマートコミュニティにおけるエネルギー使用の合理化や低炭素化などを達成するための重要なシステムとして位置付けられており、「電気」「熱」「水素」を最適にマネジメントし、経済性に優れた統合型EMSの将来導入ニーズは相当規模存在すると思われる。

また、2014年6月策定の「水素・燃料電池戦略ロードマップ訂版」では、水素発電の本格導入を目指しており、水素混焼・専焼可能なガスタービンコジェネ(CGS)の開発が求められている。

◎研究内容/目的
水素を燃料とする1MW級ガスタービンを有する発電設備(水素CGS)を用いて、地域レベルでの「電気」「熱」のエネルギー効率利用を目指す新エネルギーシステム(統合型EMS)の技術開発・実証を行い、水素・天然ガス混焼ガスタービンの燃焼安定性の検証、双方向蒸気融通技術の確立、統合型EMSの経済的運用モデルの確立に取り組むことで、統合型EMSおよび水素CGSの事業化を推進する。

● 研究目標

実施項目	目標
A： 「統合型EMSの開発」	「電気」「熱」「水素」の統合型EMSの経済的運用モデルと双方向蒸気融通技術の確立
B： 「水素CGSの開発」	実負荷運転時の水素混焼割合の切替え時の燃焼安定性の検証

● 実施体制及び分担等



● これまでの実施内容/研究成果

A. 統合型EMSの開発

① 計画、設計、施工
電気・熱・水素を総合管理し、環境性と事業性を確保する統合型エネルギーマネジメントシステムおよび双方向蒸気融通配管網を計画、設計、施工し、現地に実装した。

② 性能検証

季節ごと(外気温、需要の変化)の実負荷運転を行い、運転実績値をもとにEMSの改訂を行うことで、需要予測や最適運転計画の精度向上を図り、±10%以内の精度を発揮できた。また、実証運転により蒸気を双方向に融通させもハンマーが発生しないことが確認できた。

B. 水素CGSの開発

① 実負荷運転時の水素混焼割合切替時の燃焼安定性検証の完了

本事業で整備した実証試験設備を使用し、ガスタービン発電装置の運用で想定される各種パターンでの運転試験により、出力/回転数/温度/圧力などの各種データを取得し、水素専焼および水素・天然ガスの混焼での運転の安定性、また水素専焼と混焼、天然ガス専焼と混焼、混焼での水素混台率の変更での運転安定性とNOxの排出規制値(大気汚染防止法：70ppm以下、残存酸素濃度16%換算)を満足すること、燃焼器部品の焼損等がないことを確認した。

2018年6月には、純水素および水素/天然ガスの任意混合率での混焼運転が可能な「ガスタービン発電所」して認可を取得し、「世界初」となる実用レベルの水素ガスタービン発電装置の開発を完了した。

● 今後の課題

A. 統合型EMSの開発

今回のフィールドに即したシステムは構築できたため、システムとしての課題はないものの、さらなる精度向上に努めてゆく。

B. 水素CGSの開発

今後は、水素発電の他燃料発電との競争力強化および受容性向上のため、水素ガスタービンの発電効率の向上や周辺機器のエネルギー損失の低減等に取り組んでゆく必要がある。

● 実用化・事業化の見通し

水素の市場価格推移、副生水素の発電利用ニーズを注視しつつ、2020年代初頭には水素発電の需要が顕在化し、本格的な事業化に至ると考えられる。

● 研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A： 「統合型EMSの開発」	・「電気」「熱」「水素」の統合型EMSの経済的運用モデル確立の完了 ・双方向蒸気融通技術確立の完了	○
B： 「水素CGSの開発」	・実負荷運転時の水素混焼割合切替え時の燃焼安定性検証の完了	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
なし	4件	131件	なし

課題番号：Ⅱ－⑬

研究開発名：「水素利用研究開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業」

1. 研究開発概要

◎背景

「エネルギー基本計画（平成26年4月）」、「水素・燃料電池戦略ロードマップ（平成26年6月）」では、水素社会の実現に向けて、水素需要の拡大や水素サプライチェーン構築との一体的な取り組みの必要性が示された。また、「水素・燃料電池戦略ロードマップ改訂版（平成28年3月）」には、水素発電の本格導入が示された。自家発電用・発電事業用水素発電の本格導入、商業ベースでの効率的な水素の国内流通網の拡大を目指しており、水素の混焼・専焼可能なガスタービンコジェネ（CGS）の開発が求められている。また、エネルギーマネジメントシステム（EMS）は、スマートコミュニティにおけるエネルギー使用の合理化や低炭素化などを達成するための重要なシステムとして位置付けられている。

一方、水素CGSは実用化されておらず、また、水素をエネルギーの中心として捉え、「電気」「熱」「水素」の三位一体でマネジメントするという取り組みは行われていない。

◎研究内容・目的

水素社会の実現に向けた新たな水素需要の創出・利用拡大として、水素と天然ガスを燃料とする1MW級ガスタービンを有する発電設備（水素CGS）を用いて、地域レベルでの「電気」「熱」のエネルギー効率利用を目指す新たなエネルギーマネジメントシステム（統合型EMS）の技術開発・実証を行う。

本実証では以下のテーマの開発を実施する。

- A. 統合型EMSの開発【榎大林組】
- B. 水素CGSの開発【川崎重工業株】

2. 研究開発目標

A. 統合型EMSの開発

A-1) 「電気」「熱」「水素」の統合型EMSの経済的運用モデルの確立

電力・熱・水素を総合管理し、更に既存熱源設備やクラウドを活用することで、既存システムと同等以上の効率性、経済性、環境性を確保したエネルギーマネジメントシステム技術を確立する。

A-2) 双方向蒸気融通技術の確立

蒸気配管（熱導管）について、単管で蒸気を双方向に利用する技術を確立する。

従来の一方向利用ではなく、双方向利用による技術的課題（ドレン還水処理など）を解決し、設計手法を確立する。

B. 水素CGSの開発

① 実負荷運転時の水素混焼割合の切替え時の燃焼安定性の検証

天然ガスと水素の切り替え及び任意の混焼割合の設定が可能となる、燃焼安定性を満たす技術を確立する。

水素と天然ガスの燃焼が可能な 1MW 級のガスタービンを設置し、運転試験によりタービン回転数・タービン入口ガス温度および圧力などの各種データより、燃焼安定性を確認する。

3. 研究開発成果

3. 1 研究開発成果、達成度

A. 統合型 EMS の開発

A-1) 「電気」「熱」「水素」の統合型 EMS の経済的運用モデルの確立

A-1-1) 基本計画・基本設計・詳細設計

基本設計のための基本計画が完了していること。

(成果：基本計画が完了した。)

(達成度：○)

A-1-2) 機器製作・現地工事

運転管理システムのプログラム製作が完了していること。

建設のための機器の製作と納入が完了していること。

水素 CGS 設備、液化水素設備、エネルギー供給設備（各施設（需要家）への電力・蒸気供給設備）における EMS 工事（各種運転データ取得等）が完了していること。

(成果：プログラム製作および EMS 工事が完了した。)

(達成度：○)

A-1-3) 単体試運転

各種データの試運転（動作確認等）が完了していること。

(成果：単体動作確認が完了した。)

(達成度：○)

A-1-4) 全体試運転

システム全体の連携運転、発電電力の系統連系および蒸気供給の動作確認、EMS の動作確認が完了していること。

(成果：システム全体動作確認が完了した。)

(達成度：○)

A-1-5) 実証運転

水素 CGS で発電した電力と熱（蒸気）を各施設（需要家）へ供給する実証運転が完了していること。統合型 EMS により、環境性と事業性が最適となる水素 CGS の実証運転が完了していること。

(成果：2018 年春、夏、秋、冬 実証試験を実施し、光熱水費、CO2 排出量とも、運転実績値に対する運転計画値の誤差率は±10%以内であることを確認した。

これにより、今回のフィールドに即した、電気・熱・水素の総合管理が可能な統合型 EMS を構築したことを確認した。)

(達成度：○)

A-2) 双方向蒸気融通技術の確立

A-2-1) 現地調査

基本計画に必要な現地調査が完了していること。

(成果：水素CGS 設置場所、エネルギー供給先となる需要家施設、水素CGS 設置場所から需要家施設までの公道を現地調査し、熱供給方法、経路を決定した。)

(達成度：○)

基礎構造形式の検討に必要な地質調査が完了していること。

(成果：水素CGS 設置場所の地質調査を実施し、基礎構造形式検討のための地質調査結果をまとめた。)

(達成度：○)

A-2-2) 基本計画・基本設計・詳細設計

関連法令の整理が完了していること。

(成果：本設備の建設に関連する法令の洗い出し、協議事項、諸官庁協議先の整理を完了した。)

(達成度：○)

設計のための基本計画が完了していること。

(成果：電気・熱供給方法、附帯設備仕様、供給経路を決定し、基本計画を作成した。また、概算工事費を見積り、事業性を再検証し、エネルギー供給先を決定した。)

(達成度：○)

B. 水素CGS の開発

B-1) 水素CGS システムの開発

B-1-1) 設計着手前のシステム及び機器構成の基本検討

現地の設計上の制約条件についての詳細項目の洗い出しが完了していること。

(成果：運用条件、システム構成、電気/制御、環境条件、設置条件、設計条件、工事所掌、試験時の実負荷使用、ユーティリティ条件の洗い出しが完了した。)

(達成度：○)

B-1-2) 基本設計・詳細設計

機器発注のための機種選定が完了していること。

(成果：長納期機器に関して機種選定および仕様確定を完了した。)

(達成度：○)

設備のフロー図や電気回路図、設備の配置図等が完成していること。

(成果：設備のフロー図および電気回路図、配置図等の基本設計図書の作成を完了し、詳細設計へ移行した。)

(達成度：○)

主要機器の図面が完成していること。

(成果：主要機器および詳細設計の図面作成を2017年9月末に完了した。)

(達成度：○)

B-1-3) 機器製作・機器発注

水素CGS設備および水素供給設備に使用する機器の製作と納入が完了していること。

(成果：水素CGS設備および水素供給設備に使用する全ての機器の発注・製作着手を完了し、水素CGS設備および水素供給設備に使用する全ての機器の完成・納入が2017年9月末に完了した。)

(達成度：○)

B-1-4) 現地工事

水素CGS設備および水素供給設備の設置工事が完了していること。

(成果：2017年9月22日に現地工事に向けた仮設事務所等の整備を完了。2017年9月25日より機器据付工事を開始。2017年12月9日に全ての機器設置工事を完了した。)

(達成度：○)

B-1-5) 単体試運転

水素CGSおよび水素供給設備の各構成機器の単体運転が完了していること。

(成果：2017年12月4日より水素CGSの各構成機器の単体試運転を開始し、2017年12月28日に動作確認を完了した。)

(達成度：○)

各設備の単独運転での動作確認が完了していること。

(成果：2018年1月11日より構成機器の単体試運転を開始し、2018年3月17日に動作確認を完了した。)

(達成度：○)

B-1-6) 全体試運転

システム全体による連携運転で、発電による系統連系システムおよび蒸気供給システムの動作確認が完了していること。

(成果：2018年1月10日より都市ガスによる水素CGS設備について、水素設備との連携を除いた他システムとの全体試運転を開始。2018年1月16日に系統連系(発電電力の送電)を、2018年1月22日に蒸気システムとの連携(蒸気の送気)確認を完了した。)

(達成度：○)

水素CGS設備としての発電量、蒸気発生圧力の確認が完了していること。

(成果：2018年1月22日に都市ガス運転による設備性能確認を実施し、発電出力については設計1,800kWに対して1,802kW、蒸気発生量については設計予想値4,720kg/hに対し4,989kg/hであり、設計性能を満足していることを確認した。)

(達成度：○)

B-2) 現地実証による性能確認試験

B-2-1) 実証運転

B-2-1-1) 始動・停止試験

発電装置の始動・停止の灯油⇔水素ガス、および天然ガス⇔水素ガスへの切替運転

の安定性の確認が完了していること。

(成果：2018年4月6日に水素ガスによる始動・停止試験を実施し、水素ガスを使用した起動・停止が安定して実施できることを確認した。)

(達成度：○)

B-2-1-2) 燃焼調整試験

水素運転で、NOx 排出量が規制値以下となるよう水噴射量の調整が完了していること。

(成果：2018年3月26日～3月28日、4月6日に水素ガスによる燃焼調整試験を実施し、水素ガスを使用した運転でNOx 排出量が規制値以下となることを確認した。)

(達成度：○)

B-2-1-3) 負荷遮断試験

水素運転で、負荷運転中に負荷遮断した場合に、安全に無負荷運転に移行することの確認が完了していること。

(成果：2018年4月7日に水素ガスによる負荷遮断試験を実施し、水素ガスを使用した負荷遮断動作が安定して実施できることを確認した。)

(達成度：○)

B-2-2) 評価

B-2-2-1) 連続負荷試験

3時間の水素連続運転での発電装置の健全性の確認を完了していること。

(成果：2018年4月9日に水素ガスによる連続負荷試験を実施し、水素ガスを使用した負荷運転が安定して実施できることを確認した。2018年5月18日に電気事業法での発電所開設に関する最終審査である「使用前安全管理審査」を受検・合格、2018年6月29日付で評定通知書(20180622産保近第12号)を受領し、日本初の「純水素で運転可能な発電所」としての認可を得た)

(達成度：○)

B-2-2-2) 外気温変化による性能評価

季節変動(吸気温度)によるガスタービン性能変化および運転健全性の確認が完了していること。

(成果：2018年5月22日～6月1日に春季[吸気温度範囲：20.6～29.3℃]、7月20日～8月3日に夏季運転[吸気温度範囲：27.0～37.8℃]、11月5日～11月16日に秋季運転[吸気温度範囲：14.1～24.9℃]、2019年1月14日～1月25日に冬季運転[吸気温度範囲：4.9～17.7℃]を実施し、全3,478点のデータを取得し、全運転時間において目標値をクリアしていることを確認した。)

(達成度：○)

B-2-2-3) 一定時間運転後の機器健全性評価

一定時間運転後のガスタービン本体の健全性の確認が完了していること。

(成果：2018年11月26日～11月30日に、燃焼器/燃料ノズルの取り外しによる詳細確認と、ボアスコープによるガスタービン本体の内部確認を実施し、燃焼器/

燃料ノズル／ガスタービン本体に有害な損傷等の異常がないことを確認した。)

(達成度：○)

B-3) 適用法令の確認

B-3-1) 適用法令の予備検討・適用法令の決定・その他のCGS設置関連法令の整理

GT発電設備について、主となる適用法令の確認ができていていること。水素CGS設置に関連する法令の洗い出しが完了していること。

(成果：水素CGS設置に関連する法令の詳細の洗い出しを完了した。)

(達成度：○)

監督官庁および行政の関連部門への説明準備が完了していること。

(成果：監督官庁および行政の関連部門への説明準備が完了した。)

(達成度：○)

B-3-2) 官庁申請

水素CGS設置に関連する法令全てに関して、監督官庁および行政の関連部門との事前調整が完了していること。

(成果：監督官庁および行政の関連部門への事前協議、現地工事の着工に必要な申請を全て完了し、現地工事の着工許可の受領を完了した。)

(達成度：○)

水素CGS設置に必要な申請・届出が監督官庁および行政の関連部門へ提出・受理され、現地工事の着工許可を得ていること。

(成果：設備の設置および運用に必要な法令、届出・申請を2017年12月21日まで全て提出／承認／受理を完了し、現在の法令内でも水素発電所の建設が対応可能であることを証明した。)

(達成度：○)

3. 2 成果の意義

A. 統合型EMSの開発

水素需要の拡大

従来の「電気」「熱」に新たに「水素」を加えた統合型EMSの構築は、水素CGSの最適制御に必要な運用システムとして普及し、水素需要の拡大に貢献できる。

スマートコミュニティの普及

既存熱源設備を有効活用できる双方向蒸気融通技術の確立は、熱融通網構築時の初期投資額抑制に繋がり、蒸気エネルギーインフラの整備、普及に貢献できる。また、クラウド方式でのEMS構築は、EMS構築時の初期投資額抑制に繋がり、EMSの導入促進に貢献できる。これらによって、エネルギー利活用の最適化、低炭素化の実現に向けたスマートコミュニティの普及に貢献できる。

B. 水素CGSの開発

CO2排出量削減

CO2削減効果の高い分散電源の導入は、国内のCO2排出量削減に大きく貢献できる。

水素需要の創出

1MW 級水素 CGS の年間水素消費量は、燃料電池自動 (FCV) の約 2 万台分に相当することから、水素 CGS の開発は水素社会の実現に向けた新たな水素需要の創出に大きく貢献できる。

3. 3 成果の最終目標の達成可能性

研究テーマ毎のプロジェクトとしての最終目標は全て達成した。

A. 統合型 EMS の開発

水素社会の実現に向けた新たな水素需要の創出・利用拡大として、水素と天然ガスを燃料とする 1MW 級ガスタービンを用いた発電設備 (水素 CGS) を用いて、地域レベルでの「電気」「熱」のエネルギー効率利用を目指す新たなエネルギーマネジメントシステム (統合型 EMS) の開発を完了した。

B. 水素 CGS の開発

実負荷運転時の水素混焼割合の切替え時の燃焼安定性の検証、および水素専焼(100%)及び水素と天然ガスの任意割合の混焼において、安定した燃焼を実現する技術の確立を達成した。本達成により、純水素および水素/天然ガスの任意混合率での混焼運転が可能な「ガスタービン発電所」として認可を取得し、「世界初」となる実用レベルの水素ガスタービン発電装置の開発を完了した。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

本プロジェクトの完遂により、1MW 級水素 CGS、双方向蒸気融通技術、統合型 EMS は実用化に大きく近づくと考えられる。実証で明らかになった課題については、実用化に向けた取り組みの中で解決してゆく。実用化技術を確立した後は、水素の流通価格の低減の推移、および副生水素の発電利用のニーズも見つつ、2020 年代には水素発電の需要が顕在化し、本格的な事業化に至ると考えられる。

5. 研究発表・特許等

—研究発表・講演、文献等、その他—

No.	年月	発表先	題目	発表者
展示会				
1	2015/7/22	日経 社会イノベーションフォーラム「水素が切り開く日本の成長戦略とスマート社会」	CO2 フリー水素導入構想への川崎重工の取り組み	川崎重工業
2	2015/7/29	第10回 再生可能エネルギー国際フォーラム	CO2 フリー水素の製造と大量輸送技術	川崎重工業
3	2015/8/21	The 24th IIR International Congress of Refrigeration	DEVELOPMENT FOR ENERGY CARRIER WITH LIQUID HYDROGEN FROM OVERSEAS	川崎重工業
4	2015/10/14	WHTC2015; World Hydrogen Technologies Convention, Sydney, Australia	Development of Energy Carrier with Liquid Hydrogen from Australia	川崎重工業
5	2015/11/5	神戸市講演会「水素社会の実現へ 環境貢献都市 KOBE の取り組み」	川崎重工業の水素社会への取り組み	川崎重工業
6	2015/11/24	一般社団法人 日本電機工業会 2015/度 第83回 新エネルギー講演会	水素エネルギーサプライチェーン実現への取り組み	川崎重工業
7	2016/2/4	I2CNER International Workshop	IMPORT of LOW-CARBON HYDROGEN from OVERSEES	川崎重工業
8	2016/2/9	第10回 イワタニ水素エネルギーフォーラム大阪	水素エネルギー導入と 水素ガスタービン発電の 実現に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業
9	2016/4/13	16th Global Energy Village Summit	Toward Realization of a Hydrogen Energy Supply Chain	川崎重工業
10	2016/7/12	日経 社会イノベーションフォーラム「水素が切り開く日本の成長戦略とスマート社会」	CO2 フリー水素サプライチェーン構想実現への取り組み	川崎重工業
11	2017/11/7	山口県産業技術センター「水素関連技術マッチングセミナー」	エネルギー利用の効率化を中心としてスマートエネルギー都市を担う水素の可能性これからの水素社会共創に向けて	大林組
12	2018/5/11	IPHE 国際会議@神戸	Kawasaki Hydrogen Road	川崎重工業
13	2018/10/25	北陸技術交流テクノフェア	川崎重工業が目指す未来、ものづくり企業の可能性 ～カワ、サキへ。 Changing forward～	川崎重工業
14	2017/9/22	住宅・都市イノベーション総合展 2017	スマートシティの概要と当社の取り組み	大林組
15	2017/10/1～10/31	神戸市・神戸空港展示会「水素で世界に誇れる夢のある街へ」	水素 CGS 活用スマートコミュニティ技術開発事業	川崎重工業

No.	年月	発表先	題目	発表者
16	2017/9/7～ 9/8	国際フロンティア産業メッセ 2017	水素 CGS 活用スマートコミュニ ティ技術開発事業	川崎重工業
17	2017/12/8	兵庫県 次世代産業雇用創造 プロジェクト/水素関連産業 市場への企業参入支援事業 「水素関連セミナー（特別講 演）」	きたるべき水素社会に向けてー 大林組の取り組みー	大林組
18	2018/9/11	京都丹波イノベーション創出 ビジネスマッチング交流会	エネルギーの地産地消を中心と した保有技術等の紹介	大林組
19	2018/10/21 ～10/25	GHGT-14	Kawasaki Hydrogen Road	川崎重工業
20	2018/11/7～ 11/10	メッセナゴヤ 2018	サステナブルエネルギー関連技 術水素の活用水素活用に向けた 実証事業等への参画	大林組
21	2018/2/28～ 3/2	次世代火力発電 EXPO	水素 CGS 活用スマートコミュニ ティ技術開発事業	川崎重工業
講演会				
1	2016/3/2～ 3/4	スマートエネルギー Week2016 国際スマートグリ ッド EXPO	水素 CGS 活用スマートコミュニ ティ技術開発事業	梶木盛也, 大林組 本社 技術本部 スマートシティ 推進室
2	2016/11/10	全国空港ビル協会 技術研修 会	水素エネルギーサプライチェー ンの実現に向けた川崎重工の取 り組み	原田 英一, 川崎 重工業 技術開発 本部 水素チェー ン開発センター
3	2016/11/11	イワタニ水素エネルギーフォ ーラム周南	水素エネルギーサプライチェー ンの実現に向けた川崎重工の取 り組み	山本 滋, 川崎重 工業 技術開発本 部 水素チェー ン開発センター プロジェクト推 進部
4	2017/1/23	日本機械学会関東支部講習会	水素エネルギーサプライチェー ンの実現に向けた取り組み	洲河 誠一, 川崎 重工業 技術開発 本部 水素チェー ン開発センター プロジェクト推 進部
5	2017/3/2	次世代火力発電 EXPO 専門 技術セミナー	低炭素発電および水素発電を実 現する川崎重工の技術	西村 元彦, 川崎 重工業 技術開発 本部 水素チェー ン開発センター
6	2017/5/26	第 24 回燃料電池シンポジウ ム	CO2 フリー水素サプライチェー ン実現への川崎重工の取組み	西村 元彦, 川崎 重工業 技術開発 本部 水素チェー ン開発センター

No.	年月	発表先	題目	発表者
7	2017/6/21	CCT ワークショップ 2017	水素エネルギーサプライチェーン実現への取り組み	千代 亮, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト推進部
8	2017/6/26	東京工業大学グローバル水素エネルギーコンソーシアム	国際液化水素サプライチェーン実現への取り組み	西村 元彦, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
9	2017/6/28	日本計画研究所セミナー	脱炭素社会に向けた世界初となる液化水素サプライチェーン構築における川崎重工業の取組について	西村 元彦, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
10	2017/7/12	THE 7th WORLD HYDROGEN TECHNOLOGY CONVENTION	Low NOx hydrogen combustion technology for gas turbine	饒 雅英, 川崎重工業 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部
11	2017/7/28	日経社会イノベーションフォーラム	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組	原田 英一, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
12	2017/8/8	福岡水素エネルギー戦略会議	海外の未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築に向けた取組状況	原田 英一, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
13	2017/9/8	国際フロンティア産業メッセ 2017	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組	原田 英一, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
14	2017/9/13	2017 Saudi Aramco-JCCP Symposium on the Global Perspective of the Hydrogen Economy	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	西村 元彦, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
15	2017/9/15	平成 29 年度 空気調和・衛生工学会大会	双方向蒸気融通技術の確立に関する研究 (第 1 報) 実験および数値解析概要	島潔 大林組 本社 技術本部 スマートシティ推進室
16	2017/10/6	電気設備学会関西支部「フォーラム関西」講演会「建築電気設備に関する仕事 ―学生と企業の交流会―」	スマートエネルギーシステムと最新技術の紹介	島潔 大林組 本社 技術開発本部 スマートシティ推進室
17	2017/10/7	神戸市・神戸空港講演会「水素で世界に誇れる夢のある街へ」	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組	山本 滋, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター

No.	年月	発表先	題目	発表者
18	2017/10/12	CEA tech days	Toward Realization of a Hydrogen Energy Supply Chain	長谷川 卓, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
19	2017/10/19	台日水素フォーラム	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	西村 元彦, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
20	2017/10/25	よこはま水素エネルギー協議会	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	山本 滋, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
21	2017/11/1	経済産業省平成29年度「分散型エネルギー関連政策立案研修」(案)	スマートコミュニティの実績と取組み	島潔, 大林組 本社 技術開発本部 スマートシティ推進室
22	2017/11/11	兵庫県技術士会	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	原田 英一, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
23	2017/11/13	Hydrogen Council CEO 会合	Roadmap towards a hydrogen economy	川崎重工業, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
24	2017/11/14	液体水素利用シンポジウム	国際水素サプライチェーン実現への取組み	千代 亮, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
25	2017/11/22	日本船舶機関士協会講演会	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	山本 滋, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
26	2017/11/24	地球温暖化対策シンポジウム	水素エネルギー利用社会実現に向けた川崎重工の取組み	西村 元彦, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
27	2017/12/4	第37回水素エネルギー協会大会	川崎重工における水素ガスタービンの開発	堀川 敦史, 川崎重工業 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部
28	2017/12/10	神戸の地域エネルギーを未来に繋ぐシンポジウム	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組みおよび神戸における実証プロジェクトについて	原田 英一, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
29	2017/12/12	EPOC 低炭素社会分科会 水素フォーラム	大林組スマートシティ化への取組み	島潔, 大林組 本社 技術本部 スマートシティ推進室

No.	年月	発表先	題目	発表者
30	2017/12/15	日本産業機械工業会	川崎重工における水素専焼・混焼タービンの開発状況について	堀川 敦史, 川崎重工業 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部
31	2018/1/25	高温ガス炉プラント研究会	来たるべき水素社会にむけてー国際液化水素サプライチェーン実現への取組みー	西村 元彦, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
32	2018/1/30	千葉県水素エネルギー関連産業振興プラットフォーム	水素ガスタービン発電最前線	西村 元彦, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
33	2018/2/9	近畿地区ボイラータービン主任者会議	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	長谷川 卓, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
34	2018/2/13	第12回イワタニ水素エネルギーフォーラム大阪	未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業への取組	西村 元彦, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
35	2018/2/20	堺市水素エネルギー社会推進協議会	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	山本 滋, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
36	2018/3/1	次世代火力発電 EXPO	低炭素から脱炭素社会に向けた次世代火力発電システムの最新事例	西村 元彦, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
37	2018/3/1	IEA 先端燃料電池に関する技術協力プログラム	KHI's Activity for International Liquefied Hydrogen Supply Chain	吉村 健二, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
38	2018/3/1	ALCANTARA and VIU SYMPOSIUM	Hydrogen (Supply Chain)	千代 亮, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
39	2018/3/2	甲南大学シンポジウム	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	山本 滋, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
40	2018/3/5	平成29年度 近畿経済産業局 関西スマートエネルギー推進事業自治体×企業 スマエネマッチング会	地域における新たなエネルギービジネスモデル「エネルギーの地産地消」再生可能エネルギーを核とした地域循環経済の構築	種田裕, 大林組 大阪本店 建築事業部
41	2018/3/9	神戸ラスキン会	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	山本 滋, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター

No.	年月	発表先	題目	発表者
42	2018/3/16	兵庫県水素社会戦略研究会	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	山本 滋, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
43	2018/3/23	Workshop Hydrogen Economy	KHI's Activity for International Liquefied Hydrogen Supply Chain	長谷川 卓, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
44	2018/4/3	ドイツ・オランダセミナー	Hydrogen (Supply Chain) Development of Overseas Energy Carrier with Liquid Hydrogen	西村 元彦, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
45	2018/4/10	Gas Conference	Liquefied Hydrogen Supply Chain and Carrier Ship to Realize Hydrogen Economy	森本 勝哉, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター 技術開発部
46	2018/4/10	東京大学 GSI セミナー	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	千代 亮, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
47	2018/4/17	イワタニ水素エネルギーフォーラム@東京	未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業への取組	西村 元彦, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
48	2018/4/18	Global Energy Village	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	千代 亮, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
49	2018/4/25	Hannover Messe 日独経済フォーラム	KHI Activity for Hydrogen Supply Chain	長谷川 卓, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
50	2018/5/9	The Annual Asia Pacific CCS Forum	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	重清 秀雄, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
51	2018/5/30	水素・再エネ社会の新事業創出フォーラム	日豪液化水素サプライチェーン構築への取組みと技術開発	西村 元彦, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
52	2018/6/4	井之上先生勉強会: 第45回水素研究会	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	千代 亮, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
53	2018/6/6	東工大 GHEC エネルギーコンソーシアム	水素ガスタービンのエクセルギー解析と将来サイクルの展望	山下 誠二, 川崎重工業 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部

No.	年月	発表先	題目	発表者
54	2018/6/20	22nd World Hydrogen Energy Conference (WHEC)	Technical development of hydrogen related equipment for realization of 'Hydrogen Economy'	長谷川 卓, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
55	2018/6/22	大阪商工会議所：環境・エネルギービジネス研究会	国際液化水素サプライチェーン構築への川崎重工の取組み～ 豪州褐炭由来水素プロジェクト・神戸水素発電実証事業を例に ～	西村 元彦, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
56	2018/6/26	スマートグリッド/スマートコミュニティ研究会	川崎重工における水素専焼・混焼タービンの開発状況について	堀川 敦史, 川崎重工業 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部
57	2018/6/28	高圧力技術協会(HPI)技術セミナー	国際水素サプライチェーン 実現への取組み	川越 英司, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
58	2018/7/11	日本計画研究所セミナー	『国際液化水素サプライチェーン構築』 2020年を目指した国内外連携プロジェクト パイロット実証の進捗と今後の展開	西村 元彦, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
59	2018/7/13	大阪科学技術センター	国際液化水素チェーン実現への取組みと水素ガスタービンの開発状況	西村 元彦, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
60	2018/7/24	日経イノベーションフォーラム	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	原田 英一, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
61	2018/7/27	大阪大学工業会・技術交流会	CO2フリー水素サプライチェーンでの水素燃焼技術の開発	飴 雅英, 川崎重工業 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部
62	2018/8/9	宮城県 水素・燃料電池関連産業セミナー	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	山本 滋, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
63	2018/8/21	技術情報センター主催セミナー	水素燃料に対応する燃焼技術とガスタービン開発状況	堀川 敦史, 川崎重工業 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部
64	2018/8/22	Asian Congress on Gas Turbines 2018	CO2-free Hydrogen chain and Hydrogen combustion technology for gas turbine	飴 雅英, 川崎重工業 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部

No.	年月	発表先	題目	発表者
65	2018/8/31	西豪州 RE Hydrogen	Hydrogen Supply Chains for a Sustainable Future	西村 元彦, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
66	2018/9/6	JEMA・新エネルギー講演会	国際液化水素サプライチェーン構築への取り組みと水素発電実証	西村 元彦, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
67	2018/9/10	クリーンコールデー国際会議	International Liquefied Hydrogen Supply Chain Utilizing Brown Coal	原田 英一, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
68	2018/9/10-9/11	第50回 日本・米国中西部会日米合同会議	About Kawasaki - Hydrogen Road -	金花 芳則, 川崎重工業 代表取締役社長
69	2018/9/18-9/20	POWER-GEN Asia 2018	Hydrogen Gas Turbine	明日 芳浩, 川崎重工業 ガスタービン・機械カンパニー 技術総括部 産業ガスタービン技術部 燃焼器技術課
70	2018/9/26	関西 FC-EXPO	国際液化水素サプライチェーンの実現に向けた 川崎重工の取り組み	山本 滋, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト推進部
71	2018/9/27	関西スマートエネルギー Week2018 専門技術セミナー	神戸ポートアイランドにおける水素CGSスマートコミュニティ事業	種田裕, 大林組大阪本店 建築事業部
72	2018/10/3	NIRO セミナー	国際液化水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組み	山本 滋, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト推進部
73	2018/10/10	Innovation for Cool Earth(ICEF 2018)	International Hydrogen Supply Chain	西村 元彦, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
74	2018/10/24	第2回液化水素技術国際ワークショップ	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	西村 元彦, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
75	2018/10/26	生産技術振興協会ハイテクセミナー	神戸市ポートアイランドにおける水素CGS スマートコミュニティ事業	島潔, 大林組 本社 技術本部 スマートシティ推進室

No.	年月	発表先	題目	発表者
76	2018/11/6	福岡水素エネルギー戦略会議 人材育成セミナー	国際水素サプライチェーン構築 に向けた 川崎重工の取組	千代 亮, 川崎重 工業 技術開発本 部 水素チェーン 開発センター プ ロジェクト推進 部
77	2018/11/14	第51回 2018 建築設備技術 会議	水素を軸とした次世代スマート コミュニティへの挑戦	島潔, 大林組 本 社 技術本部 ス マートシティ推 進室
78	2018/11/17	水素エネルギーテクノシンプ ジウム	水素の製造・貯蔵・輸送・利用に 至る国際サプライチェーン構築 への取組み	西村 元彦, 川崎 重工業 技術開発 本部 水素チェー ン開発センター
79	2018/11/19	名古屋商工会議所	国際水素サプライチェーン構築 に向けた川崎重工の取組	西村 元彦, 川崎 重工業 技術開発 本部 水素チェー ン開発センター
80	2019/1/24	生産技術振興協会	水素社会構築に向けた川崎重工 の取組み	西村 元彦, 川崎 重工業 技術開発 本部 水素チェー ン開発センター
81	2019/1/25	第47回ガスタービンセミナ ー	水素焼きガスタービン開発の取 り組み	柏原 宏行, 川崎 重工業 技術開発 本部 技術研究所 熱システム研究 部
82	2019/2/15	兵庫県電気協会技術講習会	水素エネルギー社会実現に向け た川崎重工の取組み	吉山 孝, 川崎重 工業 技術開発本 部 水素チェーン 開発センター プ ロジェクト推進 部
83	2019/2/26	Japan-Norway Hydrogen Seminar 2019	International Hydrogen Supply Chain and Hydrogen Gas Turbine	森本 勝哉, 川崎 重工業 技術開発 本部 水素チェー ン開発センター 技術開発部
84	2019/2/28	FC EXPO 2019	褐炭由来水素サプライチェーン 構築への取組み	西村 元彦, 川崎 重工業 技術開発 本部 水素チェー ン開発センター
85	2019/3/6	Workshop on LIQUID HYDROGEN SAFETY	Large Scale LH2 Supply Chain Project & H2 Gas Turbine Demonstration	森本 勝哉, 川崎 重工業 技術開発 本部 水素チェー ン開発センター 技術開発部

No.	年月	発表先	題目	発表者
86	2019/3/6	Hydrogen Production, Storage and Refueling Station Technology Forum 2019	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	重清 秀雄, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト推進部
論文				
1	2017/9/15	平成 29 年度 空気調和・衛生工学会大会	双方向蒸気融通技術の確立に関する研究 (第 1 報) 実験および数値解析概要	島潔, 大林組 本社 技術本部 スマートシティ推進室
2	2018/5/1	エネルギー資源学会誌	国際液化水素サプライチェーンの技術構築の現状	西村 元彦, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター
3	2018/9/10	エネルギー・資源 Vol.39, No.5 (通巻 231 号)	川崎重工における水素焼きガスタービンの開発状況	堂浦 康司, 川崎重工業 ガスタービン・機械カンパニー 技術総括部 産業ガスタービン技術部 燃焼器技術課
4	2019/1/1	溶接学会誌	日豪水素サプライチェーン構築への取り組み	山本 滋, 川崎重工業 技術開発本部 水素チェーン開発センター プロジェクト推進部
新聞・雑誌等への掲載				
1	2018/4/5	Frankfurt Allgemeine Zeitung	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業
2	2018/4/9	日本海事新聞	脱炭素社会実現に日本の水素テクノロジー 2050 年 80%削減へのチャレンジ	川崎重工業
3	2018/5/1	時評社鼎談	国際液化水素サプライチェーン実現への 取り組み	川崎重工業
4	2018/5/11	矢野経済研究所	月刊誌「Yano E Plus」2018 年 5 月号	川崎重工業
5	2018/5/17	電気新聞	日豪液化水素サプライチェーン および 水素発電の実現を目指した取り組み	川崎重工業
6	2018/6/5	朝日新聞	神戸発 水素発電に熱視線 市街地に供給 世界初 大林組・川重が実証 石油よりも割高 普及の壁	川崎重工業
7	2018/7/5	社内報「かわさき」No237	世界初、市街地で水素 100%による熱電併給を達成	川崎重工業
8	2018/8/1	産経新聞社「月刊ビジネスアイ エネコ」9 月号	市街地で 100%水素による熱電供給も...大林組の取り組み	大林組

No.	年月	発表先	題目	発表者
9	2018/8/1	DIV Gas for Energy Journal	Enhancement of Fuel Flexibility of Industrial Gas Turbines by Development of Innovative Combustion Systems	川崎重工業
10	2018/8/1	Kawasaki Report 2018(日本語版)	水素コージェネレーションシステムの実証プロジェクト	川崎重工業
11	2018/8/1	日経ビジネス	国際液化水素サプライチェーン構築と水素発電実証の取組み	川崎重工業
12	2018/8/1	Kawasaki News 191号「水素特集」	実証段階を迎えた“Hydrogen Road”～水素社会への2nd Step～	川崎重工業
13	106号 (2018/8/20)	日本熱供給事業協会「熱供給」106号	地域コミュニティでのエネルギーでのエネルギー最適制御技術の開発と地域熱供給への期待-世界初・市街地における水素100%熱電併給の達成-	大林組
14	2018/9/1	PEI(Power Engineering International) Journal	Enhancement of Fuel Flexibility of Industrial Gas Turbines by Development of Innovative Combustion Systems	川崎重工業
15	2018/9/1	Kawasaki Report 2018(英語版)	Demonstration Project for Hydrogen Co-Generation System	川崎重工業
16	2018/9/10	経産新報	水素エネルギーの社会実装を目指す水素サプライチェーン構想	川崎重工業
17	2018/9/11	エネルギージャーナル	水素エネルギーの社会実装を目指す水素サプライチェーン構想	川崎重工業
18	2018/10/22	HEA (Hydrogen Engineering Australia Pty Ltd)	HYDROGEN CONSORTIUM WELCOMES CHIEF SCIENTIST STUDY TOUR TO JAPANESE PROJECT SITES	川崎重工業
19	2018/11/30	Kawasaki News 「水素特集」⇒株主通信へ掲載	実証段階を迎えた“Hydrogen Road”～水素社会への2nd Step～	川崎重工業
20	12月号 (2018/12/5)	日本工業出版「建築設備と配管工事」12月号	世界初、市街地で水素100%による熱供給について	大林組
21	2019/1/18	共同通信社	水素発電および国際水素サプライチェーン構築に向けた取り組み	川崎重工業
22	2019/1/25	日刊工業新聞・広告	兵庫・神戸新年特集「新時代に挑む」	川崎重工業
23	2019/1/31	経産新報：電力・ガス新ビジネス EXPO 開催記念号	川崎重工 水素エネルギーの社会実装を目指す水素サプライチェーン構想	川崎重工業
プレスリリース				

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2018/9/18	川崎重工ホームページ	世界の水素関連企業がサンフランシスコに集結。テクノロジー業界のリーダーたちも交え、エネルギー転換へ向けて推進	川崎重工業
その他				
1	2018/5/10	IPHE 国際会議@神戸	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	西村 元彦
2	2018/6/18	日経環境技術大賞	水素ガスタービンによる熱電併給スマートコミュニティー	鳥居 敬
3	2018/7/9～7/17	【経団連】SDGsに資するイノベーション事例調査	CO2フリー水素チェーンの構築	—
4	2018/9/12-9/13	Hydrogen Council CEO 会合	60 Seconds With...Yoshinori Kanehana Kawasaki Hydrogen Milestone in 2018	金花 芳則 石川 主典
5	2018/10/31	地球環境大賞(フジサンケイビジネスアイ)	CO2フリー水素サプライチェーンの実現に向けた水素ガスタービン実証	-
6	2019/1/31	日本産業技術大賞(日刊工業新聞)	水素・天然ガス燃料自在型ガスタービンの開発	—

—特許等—

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名

(Ⅱ-14) 「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発
低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発」

助成先：三菱パワー株式会社
三菱重工株式会社

●成果サマリ (実施期間：2015年8月～2019年3月終了)

- 水素が燃焼器内部温度分布に与える影響を精度よく予測するために、基礎データ取得とシミュレーションの高度化を行い、設計ツールとして活用可能にした。
- ・ファンジュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発し、水素混合割合30%条件(> 事業目標：水素混合割合20%条件)において、安定燃焼が可能なることを実圧燃焼試験により確認した。
- ・実在するプラントをベースに、プラント建設計画を策定し、本事業成果の商品化に向けた基本設計(商品パッケージ化)を完了した。
- ・インターマウンテン電力向けに、当社高効率機種であるJAC形発電設備を受注。2025年に水素混焼率30%で運転を開始予定。

●背景/研究内容・目的

- 地球温暖化、化石燃料の枯渇の課題に対して、水素を本格的に利活用する水素社会の実現が求められており、水素インフラの充実と普及拡大が必要
- ・本事業では水素インフラ導入期での早期実用化を目指して、水素と天然ガスの混焼による予混合燃焼方式のガスタービン発電設備の開発を行う。
- ・天然ガス中に体積割合20%水素を含有した燃料を前提とし、天然ガス燃焼ガスタービンと同様の安定性と低NOx性を両立したガスタービンを実現する上での課題の抽出、解決に向けた研究を行い、プラント建設・運用に向けた具体的計画を策定する。

●研究目標

実施項目	目標(2018年度)
A-1	高圧条件において水素混焼割合が燃焼速度に与える影響を明らかにする
A-2	実燃焼器において燃料中の水素混焼割合の変化影響をシミュレーションにより予測する
A-3	ガスタービン内部での自己着火による損傷リスクを評価する
B	水素混焼割合20%の条件において天然ガス燃焼GT同等の性能を有する燃焼器を開発する
C	本事業成果の商品化に向けた基本設計(用品パッケージ化)を完了する

●実施体制及び分担等



●実施内容／研究成果

A 燃焼器内部温度分布を予測する技術

B 燃料成分の変化に対する安定運用範囲を拡大する技術

・水素混焼割合30%条件での安定燃焼を実圧燃焼試験で確認

C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

・水素混焼燃焼におけるプラントの基本設計が完了

●今後の課題

- ・2025年度末までの水素混焼実証運転に向けて、実現性の高い事業計画の構築
- ・水素混焼発電設備の実検証に向けて、実プラントの合わせた詳細プラント設計

●実用化・事業化の見通し

- ・NEDO我が国における水素発電導入可能性に関する調査に代表されるように、国内の電力会社における検討が開始された。
- ・海外においても水素発電利用は再生可能エネルギーの利用拡大に伴うエネルギー貯蔵ニーズとして関心が高まっており、複数の発電所で検討が開始された。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A-1	高圧条件下の燃焼速度を計測し、亂流燃焼速度で無次元化することで変動速度と乱流燃焼速度の関係で整理可能であることを明確化	○
A-2	燃焼モデルとしてFGMモデル適用し、解析により低空流量、高燃空比条件の逆火現象再現が可能であることを確認	○
A-3	ガスタービン燃焼器内部と同等条件で着火遅れ時間を計測し、水素混焼運用時の自己着火発生による焼損リスクが低いことを確認	○
B	燃料成分の変化に安定運用範囲を拡大する技術	○
C	水素・天然ガス混焼プラントの設計技術	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
5	4	28	-

課題番号：Ⅱ-⑭

研究開発名：「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術研究開発／低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発」

1. 研究開発概要

日本国内における一次エネルギーの主たる変換先は、電力であり、全体の約43%を占めるに至っている。また、日本の電力構成は震災以後、その大部分を火力発電に依存している。この為、火力電力分野への水素燃料の適用は、大きな二酸化炭素削減効果をもたらすと同時に、大規模水素需要の発生による水素インフラの拡充や水素生産コスト低減への波及効果も期待できる。

火力発電の発電効率は、天然ガス火力（ガスタービンコンバインド）発電が最も高い。水素等のエネルギーキャリアについて各種化石燃料等と競合できる価格の実現の為には、水素から電力への高効率な変換が重要となる為、ガスタービンコンバインド発電分野への水素燃料適用可能なガスタービンの開発が必須と言える。

現在の大型ガスタービンは、効率がが高く、水や水蒸気の噴射を伴わずに低NO_x化を実現可能な予混合燃焼方式（Dry Low NO_x）の採用が主流になっている。大型ガスタービンの標準的な出力は約500MWであり、ガスタービン1台について体積割合で20%の水素を混焼させた場合、水素の燃焼により得られるエネルギーは、発電エネルギーの約6%分に相当し、CO₂フリーの一次エネルギー源で水素を製造すると、6%のCO₂削減が可能である。また、その年間水素消費量はおよそ12,500トンに及ぶ。これは燃料電池車の水素消費量に換算すると10万～13万台分に相当する。

完全な水素発電を実現するためには、発電システムの開発のみならず、水素供給インフラの十分な整備が必要となり、早期に実用化する事は難しい。そこで、水素インフラの導入期においては、現状のガスタービンの一般的な燃料である汎用天然ガスに水素を混合し、燃焼させることで発電エネルギーを得る方法が有用と考える。

本事業では、天然ガス中に体積割合で20%の水素を含有した燃料を前提とし、現在の天然ガス燃料ガスタービンと同様の安定性と低NO_x性を両立したガスタービンを実現する上で、必要な課題の抽出と、その解決に向けた研究を行うことによって、プラント建設・運用にむけた具体的な計画を策定する。

2. 研究開発目標（設定の理由も含め）

事業では水素インフラ導入期での実用化を目指して、水素と天然ガスの混焼による予混合燃焼方式のガスタービン発電設備の開発を行う。具体的には、天然ガス中に体積割合で20%の水素を含有した燃料を前提とし、現在の500MW級コンバインドサイクル用天然ガス燃焼ガスタービン（以後500MWCC用ガスタービン）と同様の出力、安定性と低NO_x性を両立したガスタービンの開発を目的とする。

3. 研究開発成果

3.1 研究開発項目別成果及び達成度

研究開発項目毎に、設定した目標と成果、達成度を表1に示す。計画時に設定した全て

の目標を達成した。以下に、研究開発項目毎の成果概要を示す。

表1 研究開発項目毎の成果と達成度

開発項目		目標	目標達成に向けた 検証項目・目標値	成果	達成度
A. 燃焼器 内部 温度 分布 を 予 測 す る 技 術	A-1 水素・天然ガ ス混焼火炎の 燃焼速度デー タベースの構 築(大阪大学)	高圧条件において 水素混合割合が、燃 焼速度に与える影 響を明らかにする。	水素混合割合に対する燃 焼速度のデータベースを 構築し、作動条件に照し 合せて燃焼速度を評価す る。	高圧条件下の燃焼速度 を計測し、水素混焼の 有無に係らず、層流燃 焼速度で無次元化する ことで変動速度と乱流 燃焼速度の関係を整理 可能を明確化。(完了)	○
	A-2 燃焼シミュレ ーションの高度 化(京都大学)	実燃焼器において、 燃料中の水素混合 割合の変化影響を シミュレーション により予測可能と する。	実機を対象とした解析 において、燃料中の水素含 有割合の変化に対し、諸 量の変化を定性的に再現 可能とする。	燃焼モデルとして FGMモデルを適用し、 解析により低空気量、 高燃空比条件の逆火現 象の再現可能を確認。 (完了)	○
	A-3 水素・天然ガ ス混合気体の 着火遅れ時間 データベース の構築(名古屋 工業大学)	高圧条件において 水素混合割合が、 着火遅れ時間に与 える影響を明らかに し、ガスタービン 内部での自己着 火による焼損リス クを評価する。	水素混合割合に対する着 火遅れ時間のデータベ ースを構築し、作動条件 に照し合せて着火遅れ時 間を評価する。	ガスタービン燃焼器内 部と同等条件で着火遅 れ時間を計測し、水素 混焼運用時の自己着火 発生による焼損のリス クが極めて低いことを 確認。(完了)	○
B. 燃料成分の変化に 対する安定運転範 囲を拡大する技術	水素混焼割合 20% の条件において、最 新鋭の天然ガス焚 ガスタービンと同 等の性能を有する 燃焼器を開発する。	以下の項目を実圧燃焼試 験により確認する。 ・NOx が天然ガス焚きガ スタービンと同等 ・燃焼振動が制限値以下 ・逆火(フラッシュバ ック)の発生兆候なし	・渦芯フラッシュバ ックに対し高い耐性を有 する改良燃焼器を開 発。水素混合割合 30% 条件にて、安定燃焼が 可能なことを実圧燃焼 試験で確認。(完了) ・メインフィルム構 造、上流ノズル構造を 改良し、従来燃焼器の 構造に対し、高いパー ジアウト耐性を有して いることを確認(完了)	○	
C. 水素・天然ガス混 焼プラントの設計 技術	本事業成果の商品 化にむけた基本設 計(商品パッケージ 化)を完了する。	天然ガス焚きプラントか ら水素混焼プラントへの 改造、もしくは水素混焼 プラントの新規建設に関 する基本計画を策定す る。	・水素混焼焚きにおけ るプラントの基本設計 が完了。(完了) ・混合器等の追加設備 は不要で、既存の発電 設備への水素系統の追 加で対応可能を確認。 (完了)	○	

(注) 達成度 『◎：大幅達成 ○：達成 △：一部達成 ×：未達』

A. 燃焼器内部温度分布を予測する技術

A-1 水素・天然ガス混焼火炎の燃焼速度データベースの構築(大阪大学)

水素は天然ガスと比較して燃焼速度が大きいいため、燃焼器内部の温度分布を予測する為には、水素混焼による燃焼速度の変化を把握する必要がある。水素と天然ガスの層流燃焼速度および乱流燃焼速度を比較した文献は複数存在するが、水素と天然ガスの混焼状態において、燃焼速度を調査した例は極めて少ない。

本研究項目では、水素と天然ガスの混焼状態における燃焼速度のデータベースを構築し、ガスタービンの運転条件に照し合せて燃焼速度を予測可能な技術を確認する。

平成 27 年度に、大気圧条件における層流燃焼速度計測が可能なバーナを製作し、計測を実施した。計測結果を整理することで、燃焼速度が水素混合割合の増加に伴って上昇すること、また、同一の水素混合割合においては当量比 1 付近において最高値が現れる事を確認した。平成 28 年度には、高圧(10ata)条件にて燃焼速度の計測が可能な装置(図 1)を製作し、装置内圧の上昇が可能である事を確認した。また、バーナ中心部分に平均流速、変動流速共に平坦な分布が形成されている事を確認し、火炎形状の計測に適した計測範囲を見出した。本計測装置を適用し、燃焼速度の計測を開始したが、火炎安定範囲(吹き消えと逆火が生じない範囲)が狭かった為、保炎用バーナ部の改良を実施した。平成 29 年度には、高圧条件下での乱流燃焼速度の計測を実施した。その結果、乱流燃焼速度と変動流速とともに層流燃焼速度で正規化すると、水素混合割合の違い(0%、20%)にかかわらず、概ね同様の傾向が現れることを確認した。平成 30 年度は、予混合気温度および圧力をパラメータとした試験を実施した。昨年度までに得られた計測結果を統合整理し、乱流燃焼速度と層流燃焼速度の比は、水素分率、当量比、圧力の上昇に伴って上昇するが(図 2)、混合気温度には影響されないという結論を得た。

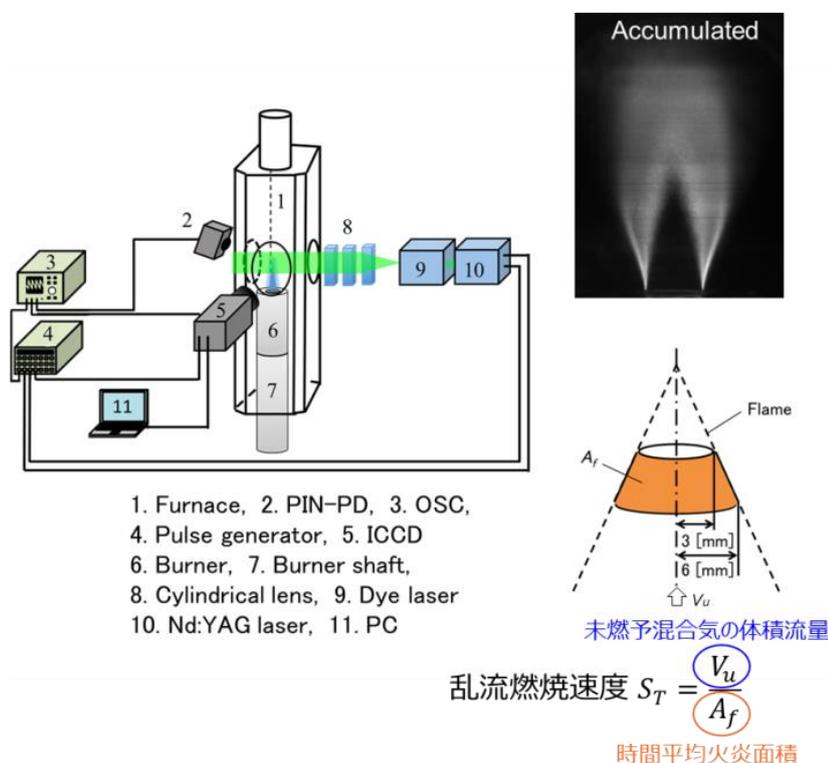


図 1 燃焼速度計測装置概要

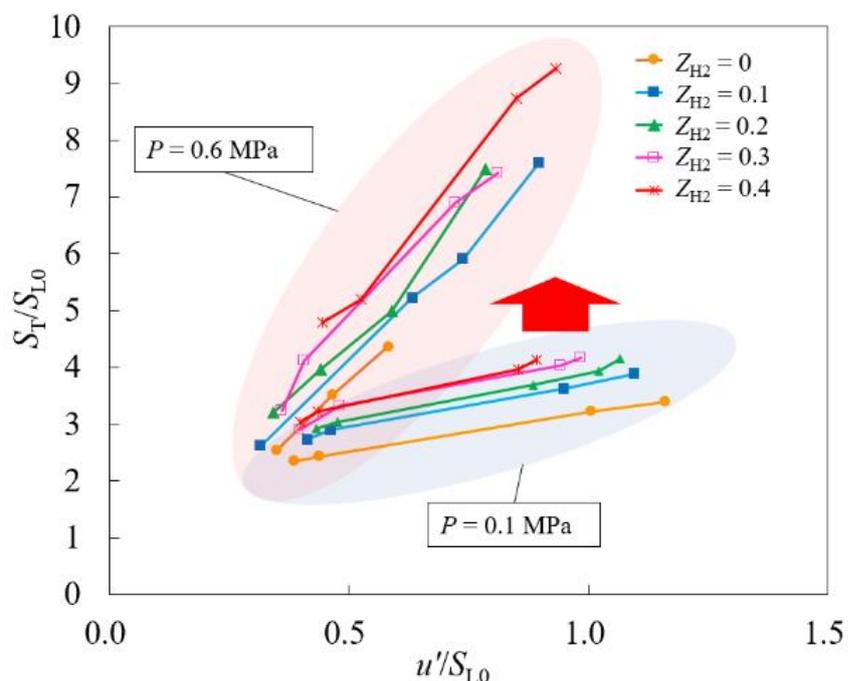


図2 乱流燃焼速度計測結果

A-2 燃焼シミュレーションの高度化(京都大学)

ガスタービンの開発において、開発コストの低減と、工期短縮のために数値シミュレーションが積極的に活用されている。現在、計算コストの低さからマグヌッセンモデルが燃焼モデルとして一般的に採用されている。しかしながら、マグヌッセンモデルでは燃焼速度の変化が解析モデル中に考慮されていないため、水素混焼の影響を精度良く予測することはモデルの性質上不可能であると考えられる。そこで、本研究項目では、適正な燃焼モデルを選定し、モデルパラメータを調整することで、水素混焼影響を精度よく予測可能とする燃焼シミュレーションモデルを構築する。

平成 27 年度に、MHPS 社のガスタービン燃焼器を対象とした非燃焼条件において、適正な乱流モデル(LES モデル)を選定し、メッシュ品質を適正化することで、計測結果と比較して流速分布および燃料濃度分布の解析予測誤差を±20%以下とする事に成功した。平成 28 年度には、モデルバーナを対象として、種々の燃焼モデルを適用した解析を実施し、適正な燃焼モデルとして Flamelet generation manifold (FGM)モデルを選定した。また、本モデルを適用した実燃焼器解析において、火炎形状が不自然な分布とならない事を確認した。平成 29 年度には、FGM モデルを適用した解析において、低空気量、高燃空比条件における逆火事象を再現可能であることを確認した。平成 30 年度には、水素混焼により逆火の発生する燃空比が低くなる事、および本事業で開発した改良ノズルを適用する事により、逆火の発生を抑制可能であることを明らかにした。(図 3)

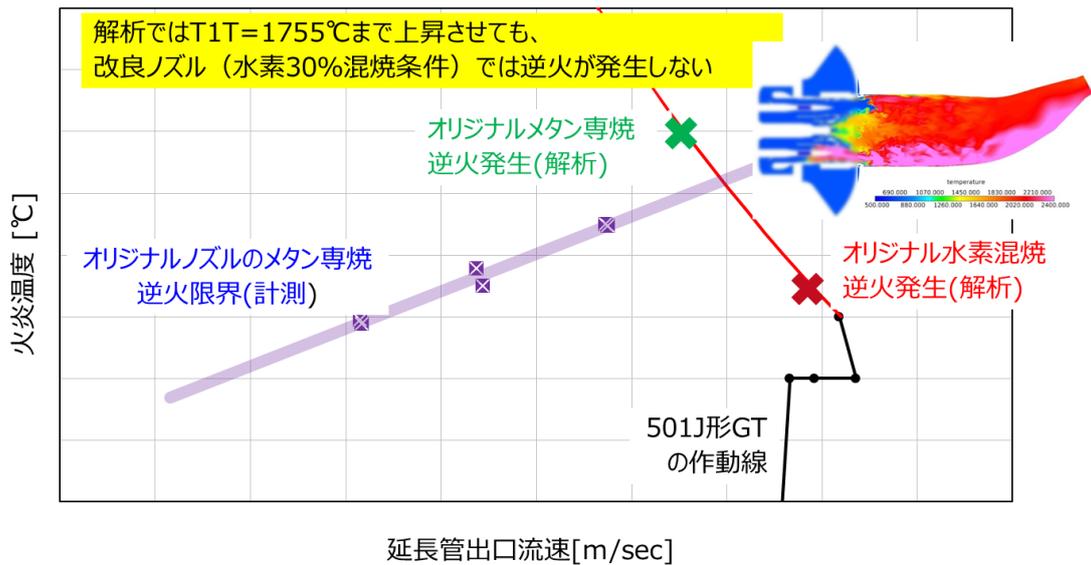


図3 乱流燃焼速度計測結果

A-3 水素・天然ガス混合気体の着火遅れ時間データベースの構築(名古屋工業大学)

天然ガスと水素の混焼において、燃焼速度の変化に加えて問題となるのが自己着火温度発生条件の変化である。水素は天然ガスと比較して、自己着火が起こる混合気温度が低く、自己着火に至るまでの時間が短いことが知られている。しかしながら、天然ガスと水素の混合気体においては、水素の含有割合に応じて、それらがどのように変化するかは明らかとなっていない。本研究項目では、各パラメータが着火遅れ時間に与える影響をデータベース化することで、ガスタービンの運転条件に照し合せて着火遅れ時間を予測する技術を確立し、燃焼器内部での自己着火発生による焼損のリスクを評価可能とする。

平成 27 年度に低圧条件(10ata 以下)での着火遅れ時間計測を完了した。その結果を整理し、圧力影響に対する外挿評価が困難である事が判明した為、平成 28 年度に実燃焼器と同等の圧力条件において着火遅れ時間が計測可能な試験装置(図 4)を製作した。また、当該装置において計測部の圧力をガスタービン実機と同等まで上昇可能であることを確認した。平成 29 年度は、ガスタービン燃焼器内部と同等の圧力、温度条件において着火遅れ時間を計測し、燃焼器内滞留時間と比較して十分に長い事を確認した(図 5)。従って、水素混焼運用時に、自己着火発生による焼損トラブルのリスクは非常に低いといえる。

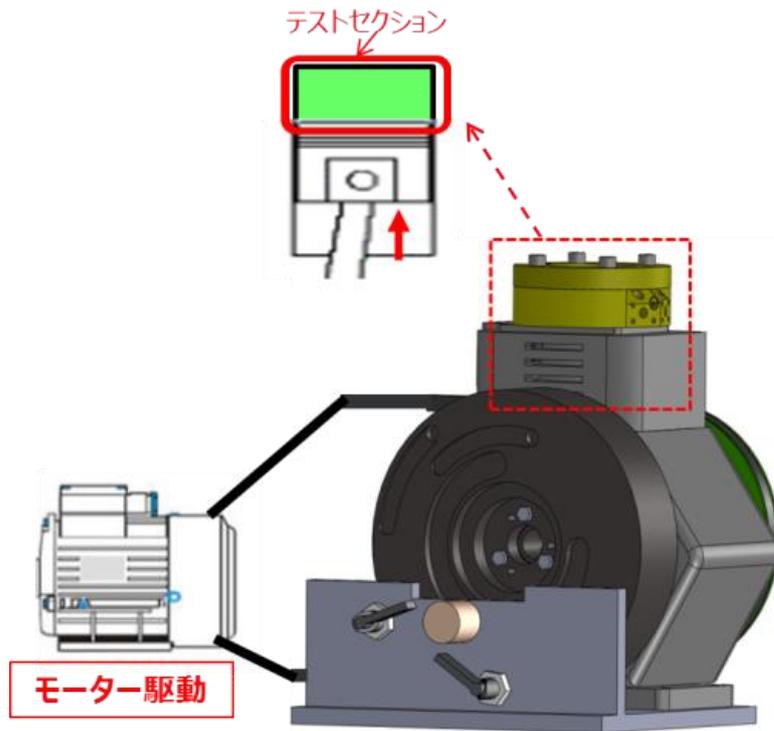


図4 着火遅れ時間計測装置 (急速圧縮器)

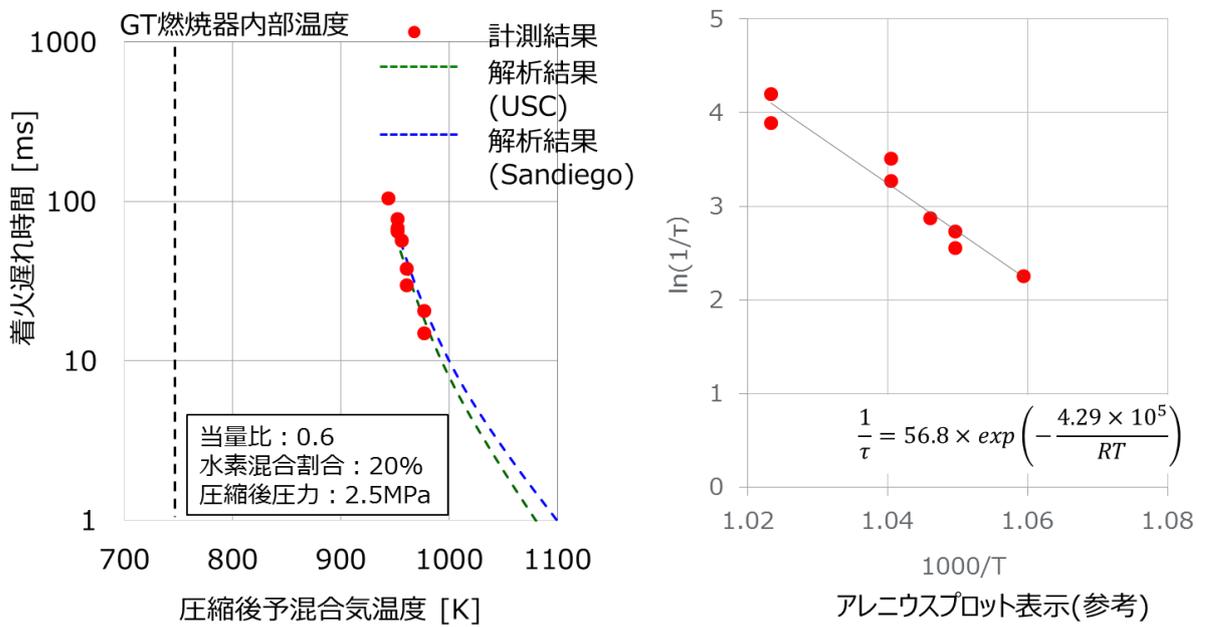


図5 水素混合割合 20%における着火遅れ時間

B 燃料成分の変化に対する安定運転範囲を拡大する技術

天然ガスと水素を混焼させた場合、燃料成分の変化により燃焼特性が変化する。特に、ガスタービンを安定的に運転する為には、燃焼速度の変化に対応する技術の開発が必要となる。水素は天然ガスと比較して燃焼速度が高い事が知られている。燃焼速度が燃焼器内部の流速よりも高くなった場合、火炎は燃焼器の内部を遡り、上流の無冷却部を焼損させる可能性がある。この現象は一般に逆火（フラッシュバック）現象と呼称される。本研究項目では、逆火現象防止に効果的な燃焼器の改良を実施する。本研究開発項目における改良を実施することで、体積割合で 20%の水素を混焼させて安定的にガスタービンを運用する上で、十分な裕度を持った燃焼器を開発することを目標とする。

平成 27 年度にオリジナル燃焼器を対象として、ノズル要素試験、実圧燃焼試験を実施し、水素混焼割合 20%条件において、安定運転が可能な事を確認した。平成 28 年度には、最もフラッシュバック耐性が低いと考えられるメインノズル旋回中心(渦芯)の逆火耐性向上設計に着手し、ノズル先端から空気を噴射する事で、渦芯部における流速を著しく上昇させる事が可能な事を見出した。本コンセプトで設計した改良ノズルを適用し実圧燃焼試験を実施した結果、水素混焼割合 25%条件において、NO_x はオリジナルノズルと同等、燃焼振動は制限値以下でフラッシュバック発生の兆候を伴わず安定運転が可能な事を確認した。平成 29 年度は、平成 28 年度に開発したフラッシュバック耐性向上ノズルの外部空気供給システムを廃止し、燃焼器内差圧を利用した空気供給を採用することで大幅なイニシャルコストの低減に成功した。本ノズルを適用した実圧燃焼試験により、水素混焼割合 30%条件において、NO_x はオリジナルノズルと同等、燃焼振動は制限値以下でフラッシュバック発生の兆候を伴わず安定運転が可能な事を確認した。平成 30 年度は、(予期せぬ非定常的な水素混焼割合のオーバーシュートに対応する為) より高濃度の水素混焼割合における安定運用達成に向けて、メインフィルム構造、上流ノズル構造の改良を実施し、従来燃焼器の構造に対し、高いパーミアウト耐性を有している事を確認した。(図 6)また、改良上流ノズルを平成 29 年度に開発したフラッシュバック対策ノズルと組み合わせて実圧燃焼試験を実施し、燃焼特性に問題が無い事を確認した。(図 7)

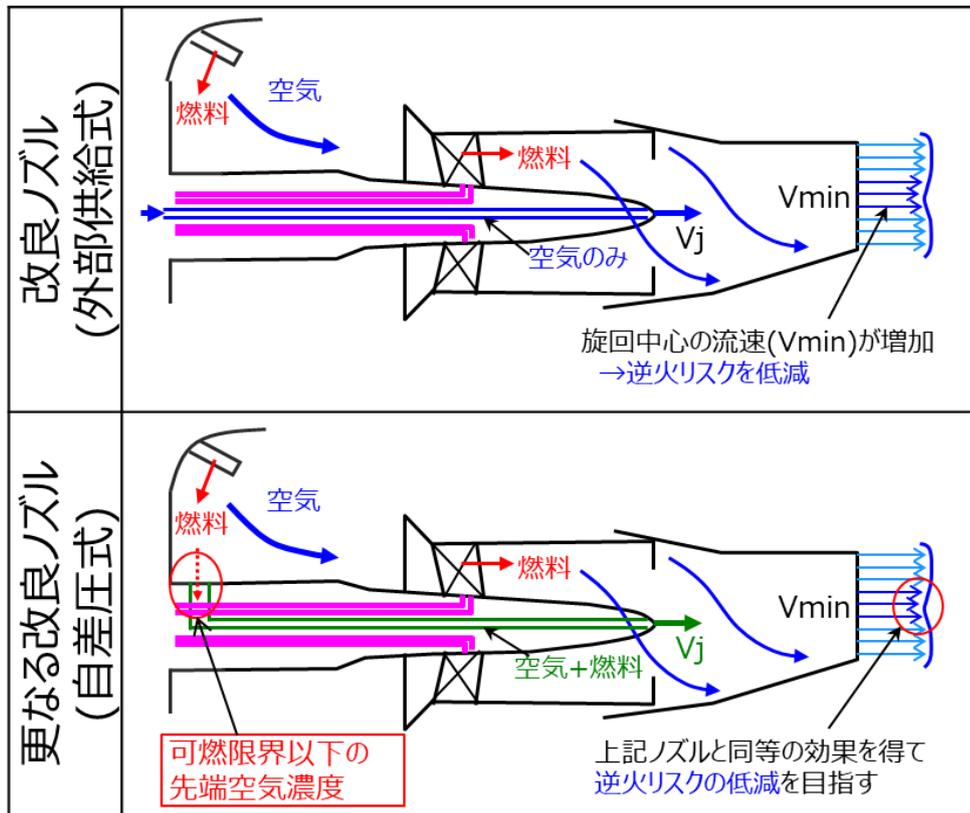


図6 メインノズル改良内容

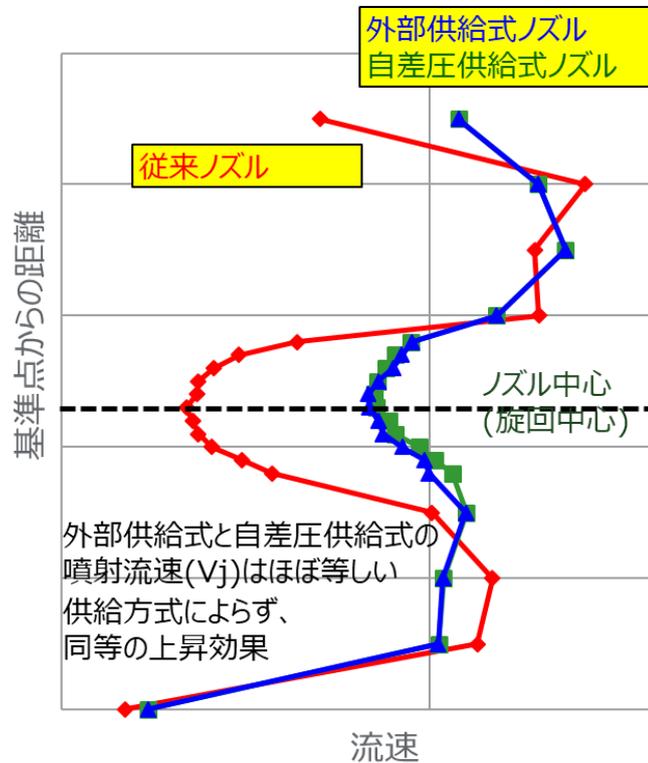


図7 旋回流中心近傍の流速分布

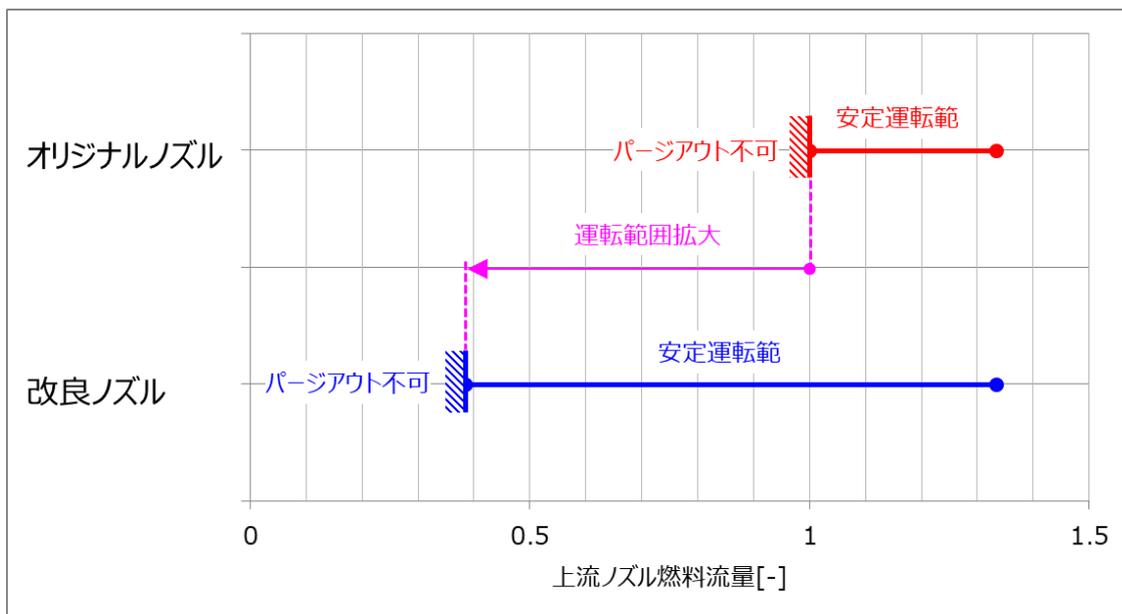


図8 改良上流ノズルによるパーミアウト性能の変化

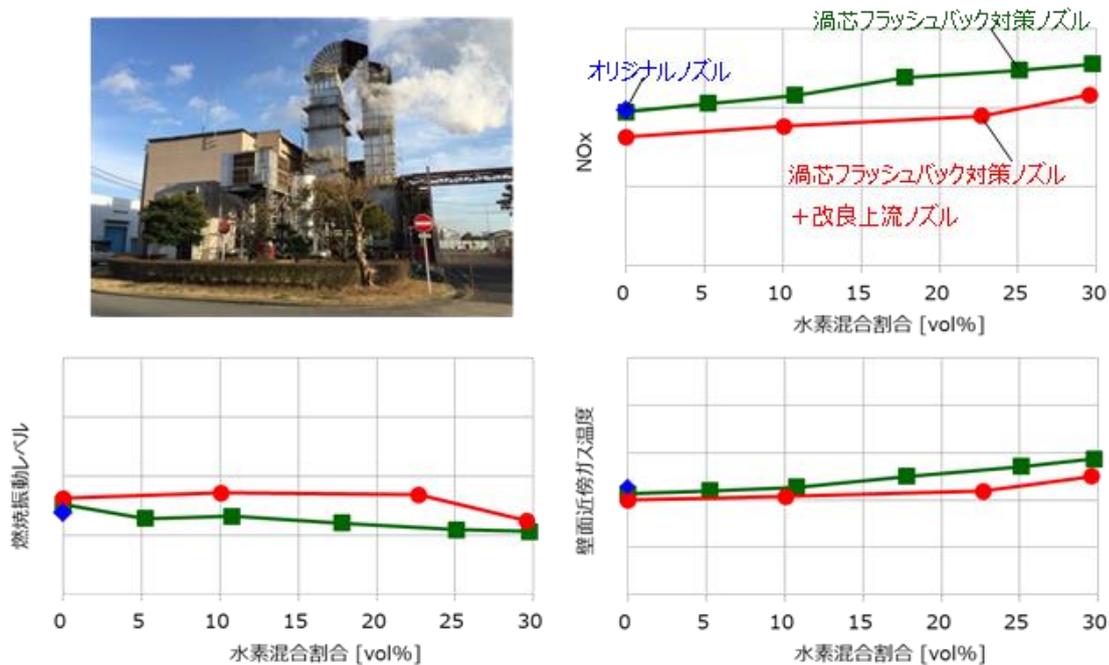


図9 実圧燃焼試験結果

C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

水素・天然ガス混焼ガスタービンプラントを実現にむけて、燃焼器開発と並行してプラントに付随するその他補機、および運用方法の検討を進める必要がある。現在のガスタービンは主として汎用品として流通している天然ガスを燃料としている為、配管材料および、プラントの補機は天然ガス使用を前提として選定されている。水素は天然ガスと比較して漏洩しやすく、また拡散し易い特性を有する為、その特性に適した安全対策を策定し、各部仕様を再選定する必要がある。また、実プラントの運用においては、水素の含有割合が安定しない可能性がある為、水素0%~20%の幅広い含有割合に対応したプラント運用技術の開発が必要となる。本研究開発項目では、それらを統合し、実プラントの設計に必要な課題の抽出と検討を行う事で、水素・天然ガスタービン発電設備建設に向けた基本設計(パッケージ化)を完了することを目指す。

平成 27 年度には水素を含む系統の材料選定指針について規格・基準を調査し、API RP 941 8th Edition が選定指針として適切である事を確認した。本指針に照し合せて材料を検討した結果、水素濃度が 20%またはそれ以上となった場合は、天然ガス焚きプラントにおいて標準的に適用される炭素鋼の使用範囲を超えるため 1.25Cr-0.5Mo 鋼、あるいは 1.0Cr-0.5Mo 鋼に変更する必要がある事が明らかとなった。(図 10) 平成 28 年度は、水素燃料適用時の燃料配管および調整弁の必要容量について検討し、天然ガス焚ガスタービンプラントからの変更要否を確認した。その結果、水素混合割合 30vol%(目標 20vol%)以下の運用においては、配管および調整弁を変更する必要はなく、天然ガス焚ガスタービンプラントとの共通化が可能である事を確認した。平成 29 年度には、負荷遮断等、急激な負荷変化時の水素混合割合の挙動をシミュレーションにより評価した。その結果、水素流量調整に関係する弁を先行して制御する事により、水素混合割合のオーバーシュートを、+60%(先行制御なし)から+6%(先行制御あり)に抑制可能である事が示唆された。また、燃料系統内部の水素と天然ガスの混合を解析により評価し、スタティックミキサ等の設置が無くても、燃焼器ノズル入口においては、水素と天然ガスが十分に均一化される目処をえた。平成 30 年度は、お客様の希望する水素混焼割合に応じたプラント改造もしくは建設計画が提案可能のように、本事業での検討結果を纏めた。(図 11)

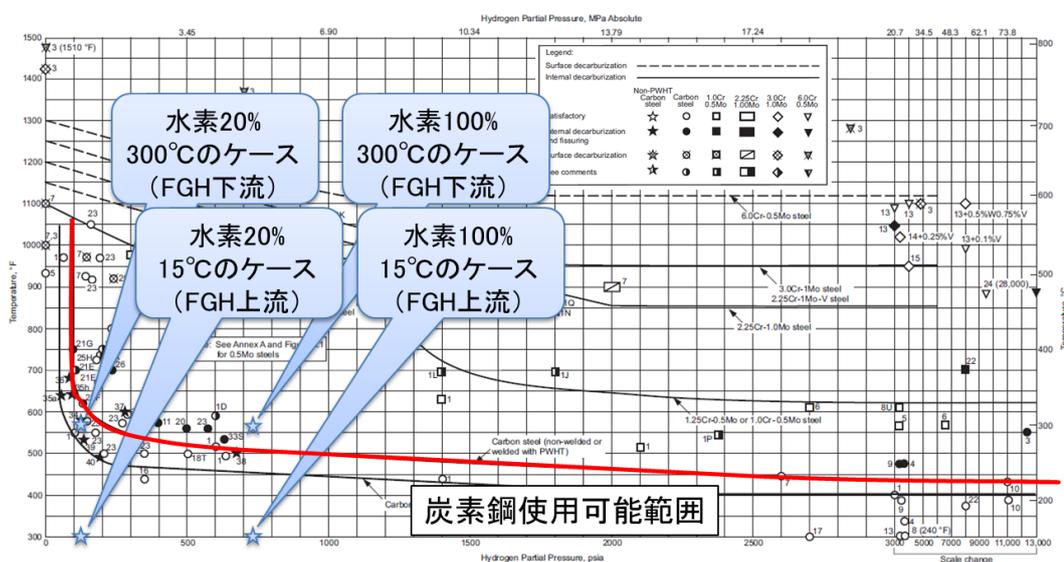


図 10 ネルソンカーブ

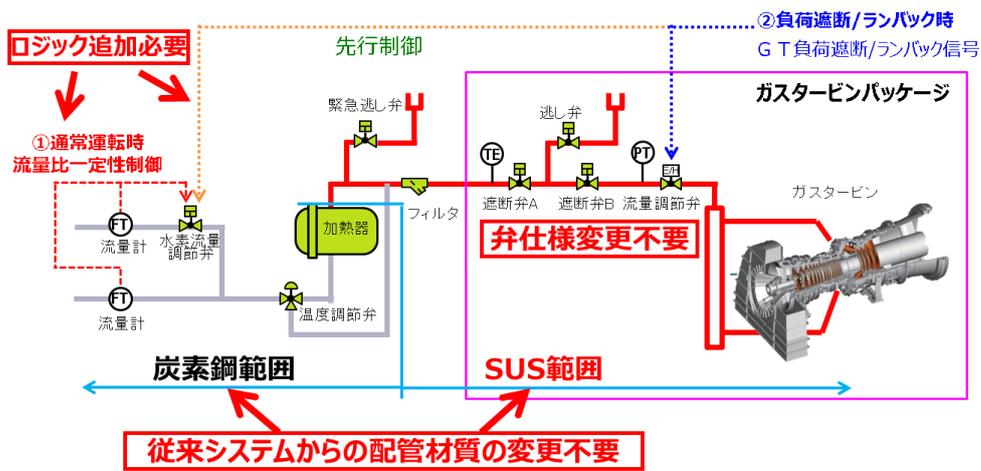


図 1 1 従来システム（天然ガス焼きプラント）からの変更箇所

3.2 成果の意義

燃焼速度データベースの構築、また着火遅れ時間の構築では今まで明らかとなっていなかった水素とメタン(天然ガスの主成分)の混合気体の燃焼特性に対し、貴重なデータを取得する事が出来た。現在高温・高圧条件での計測が進められており、大型ガスタービン燃焼器内部に近い条件での水素・メタン混焼に関する燃焼特性を明らかにした。シミュレーションの高度化においては、非燃焼条件において、設計ツールとして必要十分な予測精度を達成した。また、実機での逆火発生事象を、高い精度で再現可能な事象を確認した。

燃焼器設計においては、渦芯領域での逆火発生を抑制可能なノズルを開発し、タービン入口温度 1600℃条件という天然ガス焼きガスタービンにおける世界最高水準の発電効率(LHV 基準 60%超)を達成可能な条件において、水素 30vol%を天然ガス燃料に混焼した状態でガスタービンの運転が可能な目途を得た。

プラント設計では、配管材料の選定基準について、その評価指針が明らかとなった。また、燃料系統内部の水素と天然ガスの混合を解析により評価し、スタティックミキサ等の設置が無くても、燃焼器ノズル入口においては、水素と天然ガスが十分に均一化される目処をえた。水素供給システムを含め、水素混焼燃焼におけるプラントの基本設計を完了し、ユーザーの希望する水素混焼割合に応じたプラント改造もしくは建設計画が提案可能となった。

3.3 成果の最終目標の達成可能性

計画時に設定した全ての目標を達成した。研究開発項目毎に以下に述べる。

A-1. 水素・天然ガス混焼火炎の燃焼速度データベースの構築(大阪大学)

水素混合割合に対する燃焼速度のデータベースを構築し、作動条件に照し合せて燃焼速度を評価実施した。高圧条件下において水素混焼の有無に係らず、層流燃焼速度で無次元化することで変動速度と乱流燃焼速度の関係を整理し、水素混合割合が燃焼速度に与える影響を明らかにした。

A-2. 燃焼シミュレーションの高度化(京都大学)

実機を対象とした解析において、燃焼モデルとして FGM モデルを適用し、解析により低空気量、高燃空比条件の逆火現象の再現可能を確認し、燃料中の水素混合割合の変化影響をシミュレーションにより予測可能とした。

A-3. 水素・天然ガス混合気体の着火遅れ時間データベースの構築(名古屋工業大学)

高圧条件において水素混合割合が、着火遅れ時間に与える影響を明らかにし、ガスタービン内部での自己着火による焼損リスクを評価した。ガスタービン燃焼器内部と同等条件において、水素混焼運用時の自己着火発生による焼損のリスクが極めて低いことを確認した。

B. 燃料成分の変化に対する安定運転範囲を拡大する技術

渦芯フラッシュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発。水素混合割合 30% 条件にて、安定燃焼が可能なことを実圧燃焼試験で確認した。またメインフィルム構造、上流ノズル構造を改良し、従来燃焼器の構造に対し、高いパーミアウト耐性を有していることを確認した。

C. 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

天然ガス焚きプラントから水素混焼プラントへの改造、もしくは水素混焼プラントの新規建設に関する基本計画を完了した。また混合器等の追加設備は不要で、既存の発電設備への水素系統の追加で対応可能を確認した。

4. まとめ及び課題、事業化までのシナリオ

これまでの研究・開発の成果により、世界最高水準の発電効率を達成可能な条件で天然ガス中に水素 30vol%を混焼運用可能な目途が得られた。また、水素と天然ガスの混焼に対する基礎的な燃焼特性のデータを構築した。さらに実機を対象とした解析において、逆火現象の再現可能を確認し、燃料中の水素混合割合の変化影響をシミュレーションにより予測可能となった。プラント設計については、天然ガス焚きプラントから水素混焼プラントへの改造、もしくは水素混焼プラントの新規建設に関する基本計画を完了した。

海外において水素の発電利用は再生可能エネルギーの利用拡大に伴うエネルギー貯蔵ニーズとして関心が高まっており、複数の発電所で検討が開始されており、米国/インターマウンテン電力向けに水素焚き JAC 形ガスタービンが適用される。2025 年に水素混焼率 30%で運転を開始、2045 年までに水素 100%での運転を目指す。また国内においても NEDO 「我が国における水素発電導入可能性に関する調査」 に代表されるように、電力会社における検討が開始されており、当社も参画している。

5. 特許・研究発表等

－研究発表・講演・文献等、その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2016年3月	FC EXPO 国際水素・燃料電池展	-	MHPS
2	2017年2月	日本機械学会関西支部定期講演会	発電用大型ガスタービン燃焼器における燃料多様化対応技術	谷村 聡 (MHPS)
3	2018年2月	ガスタービン学会若手交流会講演	発電用大型ガスタービン燃焼器における燃料多様化対応技術	谷村 聡 (MHPS)
4	2018年2月	FC EXPO 国際水素・燃料電池展	大型水素ガスタービンの実用化に向けた取組	谷村 聡 (MHPS)
5	2018年3月	日本化学会第98春季年会	発電用大型ガスタービンにおける水素利用	谷村 聡 (MHPS)
6	2018年4月	4 th EU ENERGY SUMMIT	Hydrogen-firing Gas Turbine	谷村 聡 (MHPS)
7	2018年5月	雑誌記事(Gas turbine world)	30 per cent hydrogen gas turbine test	MHPS
8	2018年5月	火力原子力発電技術協会大学講座	大型ガスタービンの最新開発動向	安威 俊重 (MHPS)
9	2018年6月	日本工業出版株式会社 日工技術セミナー	ガスタービン設備	由里 雅則 (MHPS)
10	2018年7月	第91回 大阪大学工業会機械工学系 技術交流会	ガスタービンにおける水素利用	谷村 聡 (MHPS)
11	2018年8月	火力原子力発電技術協会講習会	ガスタービンにおける水素利用	高田 和正 (MHPS)
12	2018年9月	火力原子力発電大会	発電用大型ガスタービンにおける水素利用	川上 朋 (MHPS)
13	2018年10月	European Turbine Network 9th International Gas Turbine	Technology Development for a Low Carbon Society	正田 淳一郎 宮本 健司 (MHPS)
14	2018年10月	三菱重工技報	CO2 フリー社会の実現に向けた水素燃焼ガスタービン	野勢 正和 (MHPS)
15	2019年1月	World Future Energy Summit(WFES) 2019	World Future Energy Summit (WFES) 2019	谷村 聡 (MHPS)
16	2019年1月	火力原子力発電技術協会大学講座	大型ガスタービンの最新開発動向	安威 俊重 (MHPS)
17	2018年2月	愛知県 水素エネルギー社会形成研究会 第4回セミナー	発電用大型ガスタービンにおける水素利用	宮本 健司 (MHPS)
18	2019年2月	日本燃焼学会誌	水素焚きガスタービン燃焼器の開発	市川 雄一郎 (MHI)
19	2019年4月	技術情報センターセミナー「低炭素発電技術と事業動向」講演	ガスタービンにおける水素エネルギー利用の取組みと展望	斉藤 圭司郎 (MHI)
20	2019年4月	日 EU エネルギービジネスセミ	H2 Gas Turbine for	谷村 聡

		ナー	Hydrogen Society	(MHPS)
21	2019年6月	KEPCO GT Conference 2019	MHPS Gas Turbine Technologies and Strategies for a Low-Carbon Society with Hydrogen-fired Combustion	斉藤 圭司郎 (MHI)
22	2019年6月	G20 イノベーション展 模型及びパネル展示	水素ガスタービン	西岡 映二 (MHPS)
23	2019年5月	中国 NexTurbine2019	H2 Gas Turbine for Hydrogen Society	谷村 聡 (MHPS)
24	2019年9月	水素閣僚会議 模型及びパネル展示	水素ガスタービン	西岡 映二 (MHPS)
25	2019年10月	機械学会関西支部秋季技術フォーラム講演	水素ガスタービンの開発について	谷村 聡 (MHPS)
26	2019年12月	COP25 模型及びパネル展示	水素ガスタービン	西岡 勝樹 (MHPS)
27	2019年11月	International Gas Turbine Congress 2019 (IGTC2019) パネル展示	Hydrogen Gas Turbine	谷村 聡 (MHPS)
28	2019年11月	International Gas Turbine Congress 2019(IGTC2019) 講演	H2 Gas Turbine for Low Carbon Society	谷村 聡 (MHPS)
29	2020年1月	第48回ガスタービンセミナー	発電用ガスタービンにおける水素利用	岸田 宏明 (MHPS)
30	2020年2月	Japan-Norway Hydrogen Seminar 2020	MHPS H2 Gas Turbine for Low Carbon Society	Haavard Oevernes (MHPS)
31	2020年2月	火力原子力発電技術協会 東北支部 令和元年度技術講演会	発電用ガスタービンにおける水素利用	宮本 健司 (MHPS)
32	2020年2月	Hydrogen Energy Workshop between Japan and the Netherlands	H2 Gas Turbine for Low Carbon Society	谷村 聡 (MHPS)
33	2020年3月	日本技術士会近畿本部機械システム部会 第81回例会	発電用ガスタービンの燃焼技術開発	西田 幸一 (MHPS)
34	2020年8月	(株)技術情報センターセミナー：低炭素発電と燃料供給に関する技術と事業動向	大型ガスタービンにおける水素エネルギー利用の取組み	斉藤 圭司郎 (MHI)

35	2020年10月	火力原子力発電技術協会 関東支部 講演会	発電用大型ガスタービンにおける水素利用	川上 朋 (三菱パワー)
36	2020年10月	日本ガスタービン学会 定期講演会先端技術フォーラム 講演会	大型水素ガスタービンの開発	谷村 聡 (三菱パワー)
37	2020年10月	ICCI2020 event in Turkey	MITSUBISHI POWER'S JAC SERIES GAS TURBINES	Bulent Mehmetli (三菱パワー)
38	2020年10月	発電用大型ガスタービンにおける水素利用	火力原子力発電技術協会九州支部 講演会	西海 高史 (三菱パワー)

—特許等—

No.	出願日	出願番号	発明の名称	委託会社名
1	2016年3月30日	特願 2016-068018	ガスタービン	三菱重工業株式会社 三菱パワー株式会社
2	2016年3月30日	特願 2016-069384	燃焼器、及びガスタービン	三菱重工業株式会社 三菱パワー株式会社
3	2016年3月30日	特願 2016-067125	燃焼器、及びガスタービン	三菱重工業株式会社 三菱パワー株式会社
4	2017年4月28日	特願 2017-090792	燃焼器ノズル、燃焼器およびガスタービン	三菱パワー株式会社
5	2017年10月27日	特願 2017-208504	ガスタービン燃焼器予混合ノズル	三菱パワー株式会社

(添付-2)
プロジェクト基本計画

「水素社会構築技術開発事業」基本計画

次世代電池・水素部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

①政策的な重要性

水素は、使用時に大気汚染物質や温室効果ガスを排出しないクリーンなエネルギーであり、多様な一次エネルギー源から様々な方法で製造することができる。また、気体、液体又は固体（合金に吸蔵）というあらゆる形態で輸送・貯蔵が可能であり、利用方法次第では高いエネルギー効率、非常時対応等の効果が期待され、将来の二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待される。

2014年4月11日閣議決定された「エネルギー基本計画」では、水素を日常生活や産業活動で利活用する社会である“水素社会”の実現に向けた取組を加速することが定められ、この取組の一つとして、水素社会実現に向けたロードマップの策定があげられている。これを踏まえ、経済産業省では「水素・燃料電池戦略協議会」を設置しその検討を行い、2014年6月23日に「水素・燃料電池戦略ロードマップ～水素社会の実現に向けた取組の加速～」が策定された。

この戦略ロードマップにおいて、水素社会の実現に向けて、これまで取り組んできた定置用燃料電池の普及の拡大及び燃料電池自動車市場の整備に加え、水素発電の本格導入といった水素需要の拡大や、その需要に対応するための水素サプライチェーンの構築の一体的な取り組みの必要性が示されている。

②我が国の状況

水素エネルギーの利活用について、約30年間の国家プロジェクト等を経て、2009年に家庭用燃料電池の商用化により水素利用技術が市場に導入された。2014年末には燃料電池自動車が市場投入され、世界に先駆けてインフラの整備も含めた水素エネルギー利活用に向けた取組が進められている。

今後、本格的な水素社会の構築に向け水素エネルギー利用を大きく拡大することが求められるが、燃料電池に続く水素利用のためのアプリケーションや、サプライチェーンについては、現在研究開発又は実証段階である。

③世界の取り組み状況

ドイツを中心として、欧米各国でも再生可能エネルギー由来の電力を水素に変換するPower to Gasの取組が積極的に行われているが、製造した水素はそのま

ま貯蔵・利用されたり、天然ガスパイプラインに供給されており、水素のサプライチェーンを構築する等の取組は現状なされていない。また、水素発電については、イタリアにおいて実証研究が行われていたほか、現在オランダにおいて FS が実施されている。

世界に先駆けて、水素発電の本格的な導入と大規模な水素サプライチェーンを構築することで、水素源の権益や輸送・貯蔵関連技術の特許等の多くを掌握し、産業競争力の強化とエネルギーセキュリティの向上に貢献する。

(2) 研究開発の目標

①アウトプット目標

研究開発項目Ⅰ：「水素エネルギーシステム技術開発」

『最終目標』（2022年度）

再生可能エネルギー由来の電力による水素製造、輸送・貯蔵及び利用技術を組み合わせたエネルギーシステムについて、社会に実装するためのモデルを確立する。このために必要となる技術目標については、テーマ毎に設定する。

研究開発項目Ⅱ：「大規模水素エネルギー利用技術開発」

(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

『最終目標』（2022年度）

2030年頃への安定的かつ大量な水素供給体制確立を目指し、2020年において商用レベルの1/100程度のプロトタイプ規模（数千万Nm³規模）のサプライチェーンを構築しシステムとして技術を確認する。システムを構成する技術目標（水素製造効率、輸送効率等）に関しては、水素製造方法や水素キャリア毎の特性に応じ、個別に設定する。

『中間目標』（2016年度）

最終目標となる水素サプライチェーン構築のための要素技術を検証し、システムの全体設計を明確にする。

(ロ) 水素エネルギー利用システム開発

『最終目標』（2022年度）

水素を混焼あるいは専焼で発電する技術に関して商用レベルも見据えて既存の燃料と同等の発電効率、耐久性及び環境性を満たす技術を確認する。あわせて、様々な水素キャリアを利用した水素発電等を組み込んだエネルギーシステムについて、市場化に必要な技術を確認する。

②アウトカム目標

発電分野等における水素の利活用が抜本的に拡大。2030年頃には世界に先駆け

本格的な水素サプライチェーンを構築するとともに、エネルギー供給システムの柔軟性を確立し、エネルギーセキュリティの確保に貢献する。

仮に100万kW規模の水素専焼発電が導入された場合、約24億Nm³の水素需要（燃料電池自動車で約220万台に相当）が創出される。

③アウトカム目標達成に向けての取り組み

水素製造・利活用拡大技術等の研究成果を活かし、水素利活用装置の技術開発に反映して実証事業等を実施することにより、着実な水素利活用社会の拡大を図る。

(3) 研究開発の内容

研究開発項目Ⅰ：「水素エネルギーシステム技術開発」

（委託事業、共同研究事業 [NEDO負担率2/3]）

水素を利用して、安定的なエネルギーを供給するための技術開発及び当該技術の実証研究を行う。具体的には、再生可能エネルギー等の出力変動の大きな発電設備に対して、電力を一旦水素に変換して輸送・貯蔵することにより変動を吸収し、出力を安定化させるための技術開発を実施する。

研究開発項目Ⅱ：「大規模水素エネルギー利用技術開発」

（イ）未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

（助成事業 [助成率 1/2又は2/3]）

水素発電の導入及びその需要に対応するための安定的な供給システムの確立に向け、海外の未利用資源を活用した水素の製造、その貯蔵・輸送、更には国内における水素エネルギーの利用まで、一連のチェーンとして構築するための技術開発を行う。加えて、液化水素の受け入れ基地に必要な機器の大型化に関する開発を行う。

（ロ）水素エネルギー利用システム開発

（助成事業 [助成率 1/2又は2/3]）

水素のエネルギー利用を大幅に拡大するため、様々な水素キャリアを利用しつつ、水素を燃料とするガスタービン等を用いた発電システムなど新たなエネルギーシステムの技術開発を行う。

研究開発項目Ⅲ：「総合調査研究」

（イ）水素製造・輸送・貯蔵・利用等に関する調査研究

（委託事業）

水素社会の実現に向け、水素需要の拡大や水素サプライチェーンの構築に関する調査を行う。具体的には、燃料電池バス、フォークリフトなど新たなアプリケーション

ョンも活用した水素の初期需要を誘発するための社会システムや、海外の副生水素・原油随伴ガス・褐炭等の未利用エネルギーを用いた水素製造・輸送・貯蔵技術に関する調査を行う。

(ロ) 水素社会実現に向けた情報発信に関する調査研究
(委託事業)

水素エネルギーに対する需要者の認知向上や興味喚起、水素の安全性に対する正しい理解促進、当該分野に関わる研究者の拡大等を目的として、戦略的な情報発信を行い、認知度向上等の効果を実証する。具体的には、ターゲット層毎に効果的な手法及び内容による情報を発信し、各情報発信手法の効果を調査・分析するとともに、水素エネルギー全般に対する認知等の状況・動向を調査する。

2. 研究開発の実施方式

(1) 研究開発の実施体制

本事業のプロジェクトマネージャー（以下「PM」という）に、NEDO次世代電池・水素部大平英二統括研究員（研究開発項目Ⅰ、Ⅱ(イ)のうち未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業、Ⅲ）、横本克巳主任研究員（研究開発項目Ⅱ(イ)のうち有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証、(ロ)）をそれぞれ任命し、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させる。本研究開発は、本邦の企業、研究組合、公益法人、大学等の研究開発機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外企業等（大学、研究機関を含む）の特別な研究開発能力、研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を国外企業等との連携により実施することができる。）から公募により実施者を選定して実施する。

また、NEDOは必要に応じて実施テーマごとに第三者である外部専門家としてアドバイザーを選定し、各実施者は客観的立場からの技術的助言を受けそれぞれの研究テーマについて研究開発を実施する。

(2) 研究開発の運営管理

経済産業省、アドバイザー、研究開発実施者等と緊密に連携し、適切な運営管理を実施する。また、推進助言委員会等を設置し、外部有識者の意見を運営管理に反映させる。

3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は2014年度～2022年度の9年間とする。
研究開発スケジュールは別紙のとおり。

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、成果の技術的意義及び将来の産業への波及効果等について、評価を実施する。技術評価実施規程に基づき、研究開発項目Ⅰについては制度評価を、研究開発項目Ⅱについてはプロジェクト評価を行う。評価の時期については、研究開発項目Ⅰは中間評価を2017年度、2020年度、事後評価を2023年度に実施する。研究開発項目Ⅱについては、中間評価を2016年度、2020年度、事後評価を2023年度に実施する。

なお、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

また、中間評価結果を踏まえ、必要に応じて研究開発の加速・縮小・中止等の見直しを迅速に行う。

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、機構及び実施者ともに普及に努める。

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、知的基盤整備事業又は国際標準化等との連携を図るため、データベースへのデータ提供、標準技術情報（TR）制度への提案等を戦略的かつ積極的に行う。

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、「国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。なお、本プロジェクトの当初から、事業化を見据えた知財戦略を検討・構築し、適切な知財管理を実施する。

④関連事業との連携

本事業は、技術のシステム化により社会への実装を図るものであり、構成する要素技術については、NEDOの他事業「水素利用等先導研究開発事業」等の進捗状況について把握しつつ、必要に応じて成果の活用を図る。また、社会受容性の確保に向け

て「水素利用技術研究開発事業」と連携し、必要な情報を共有する。

(2) 基本計画の変更

研究開発の内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向（経済産業省の水素・燃料電池戦略協議会等）、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

(3) 根拠法

本研究開発は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第一号ニ及び第三号並びに第九号に基づき実施する。

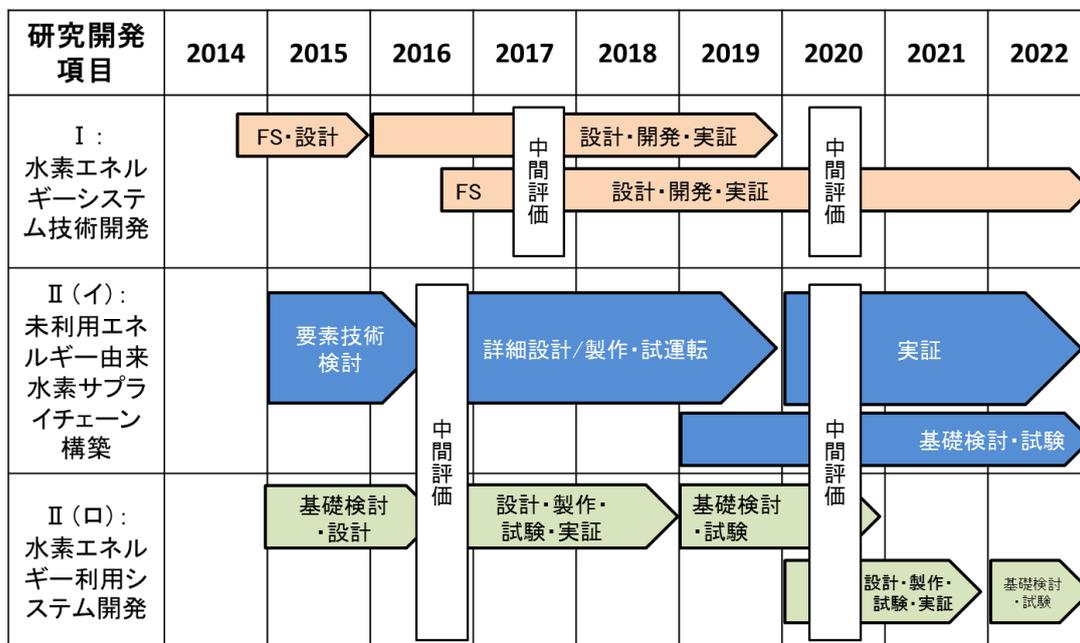
6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 2014年9月、制定。
- (2) 2015年3月、研究開発項目Ⅱ「大規模水素エネルギー利用技術開発」を追加、および研究開発の実施期間を2020年度までに延長。研究開発項目Ⅰ（ロ）水素利用発電システム等技術開発は、研究開発項目Ⅱ（ロ）水素エネルギー利用システム開発に移行。
- (3) 2016年3月、評価の実施について研究開発項目Ⅰを制度評価に変更。研究開発項目Ⅱの中間評価時期を2016年度に変更。また、PMの氏名を追記。
- (4) 2017年8月、PMの氏名及び所管の研究開発項目を変更。また、別紙の研究開発項目Ⅰ「水素エネルギーシステム技術開発」研究開発スケジュールを詳細な表示に修正。
- (5) 2018年4月、担当部を新エネルギー部から次世代電池・水素部に変更。
- (6) 2019年2月、(2) 研究開発の目標及び(3) 研究開発の内容に液化、水素の受け入れ基地に必要な機器の大型化に関する開発及び様々な水素キャリアを利用した水素ガスタービンに関する開発を追記。また、(別紙) 研究開発スケジュールを更新。
- (7) 2019年7月、和暦表記を西暦表記に変更。
- (8) 2020年2月、研究開発の実施期間を2022年度までに延長。あわせて研究開発項目Ⅰ及びⅡの中間評価時期を2020年度に追加、事後評価時期を2023年度に変更。また、(別紙) 研究開発スケジュールを更新。

以上

(別紙)

水素社会構築技術開発事業 研究開発スケジュール概要



(添付-3)

プロジェクト開始時関連資料
(事前評価結果、パブリックコメント募
集の結果)



NEDO POST27年度新規／拡充研究開発プロジェクト概要



作成：平成27年2月

プロジェクト名：水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発

研究開発の目的

○背景

水素は、使用時に大気汚染物質や温室効果ガスを排出しないクリーンなエネルギーであり、無尽蔵に存在する水や多様な一次エネルギー源から様々な方法で製造することができる。また、気体、液体、固体（合金に吸蔵）という様々な形態で輸送・貯蔵が可能であり、利用方法次第では高いエネルギー効率、非常時対応等の効果が期待され、将来の二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待される。我が国では、水素エネルギーの活用について、約30年間の国家プロジェクト等を経て、2009年に家庭用燃料電池の商用化により水素利用技術が市場に導入された。2014年末には燃料電池自動車市場投入され、世界に先駆けてインフラの整備も含めた水素エネルギー活用に向けた取り組みが進められている。

今後、本格的な水素社会の構築に向け水素エネルギー利用を大きく拡大することが求められるが、燃料電池に続く水素利用のためのアプリケーションや、サブライチエーションについては、現在研究開発または実証段階である。

○目的

水素の活用を抜本的に拡大し、2020年頃に自家発電用水素発電の本格導入を、2030年頃に発電事業用水素発電の本格導入を世界に先駆けて開始することを目指す。エネルギー供給システムの柔軟性を確立し、エネルギーセキュリティの確保に貢献する。また、水素発電の本格的な導入と大規模な水素サブライチエーションを世界に先駆けて構築することで、水素源の権益や輸送・貯蔵関連技術の特許等の多くを掌握し、エネルギーセキュリティの向上と産業競争力の強化に貢献する。

プロジェクトの規模

- ・事業費総額 400億円（予定）
- ・NEDO予算総額 20.5億円（平成27年度、予定）
- ・実施期間 平成27～32年度（6年間）

研究開発の内容

(イ)未利用エネルギー由来水素サブライチエーション構築

水素発電の導入及びその需要に対応するための安定的な供給システムの確立に向け、海外の未利用資源を活用した水素の製造、その貯蔵・輸送、更には国内における水素エネルギーの利用まで、一連のチェーンとして構築するための技術開発を行う。

(ロ)水素エネルギー利用システム開発

水素のエネルギー利用を大幅に拡大するため、水素を燃料とするガスタービン等を用いた発電システムなど新たなエネルギーシステムの技術開発を行う。

成果適用のイメージ

2020年頃

- ・プロトタイプ規模のサブライチエーション構築
- ・水素発電等を組み込んだエネルギーシステムについて、市場化に必要な技術を確立

2030年頃

- ・海外からの水素エネルギー導入の本格化
- ・発電事業用水素発電の本格導入

事前評価書

		作成日	平成27年2月6日
1. プロジェクト名	水素社会構築技術開発事業 ／大規模水素エネルギー利用技術開発		
2. 推進部署名	新エネルギー部		
3. プロジェクト概要（予定）			
(1) 概要			
1) 背景			
<p>水素は、使用時に大気汚染物質や温室効果ガスを排出しないクリーンなエネルギーであり、無尽蔵に存在する水や多様な一次エネルギー源から様々な方法で製造することができる。また、気体、液体、固体（合金に吸蔵）というあらゆる形態で輸送・貯蔵が可能であり、利用方法次第では高いエネルギー効率、非常時対応等の効果が期待され、将来の二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待される。</p> <p>我が国では、水素エネルギーの利活用について、約30年間の国家プロジェクト等を経て、2009年に家庭用燃料電池の商用化により水素利用技術が市場に導入された。2014年末には燃料電池自動車市場投入され、世界に先駆けてインフラの整備も含めた水素エネルギー利活用に向けた取り組みが進められている。</p> <p>一方、今後、本格的な水素社会の構築に向け水素エネルギー利用を大きく拡大することが求められるが、燃料電池に続く水素利用のためのアプリケーションや、サプライチェーンについては、現在研究開発または実証段階である。</p>			
2) 目的			
<p>水素の利活用を抜本的に拡大し、2020年頃に自家発電用水素発電の本格導入を、2030年頃に発電事業用水素発電の本格導入を世界に先駆けて開始することを目指す。エネルギー供給システムの柔軟性を確立し、エネルギーセキュリティの確保に貢献する。また、水素発電の本格的な導入と大規模な水素サプライチェーンを世界に先駆けて、構築することで、水素源の権益や輸送・貯蔵関連技術の特許等の多くを掌握し、産業競争力の強化とエネルギーセキュリティの向上に貢献する。</p>			
3) 実施内容			
研究開発項目Ⅱ：「大規模水素エネルギー利用技術開発」			

(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

水素発電の導入及びその需要に対応するための安定的な供給システムの確立に向け、海外の未利用資源を活用した水素の製造、その貯蔵・輸送、更には国内における水素エネルギーの利用まで、一連のチェーンとして構築するための技術開発を行う。

(ロ) 水素エネルギー利用システム開発

水素のエネルギー利用を大幅に拡大するため、水素を燃料とするガスタービン等を用いた発電システムなど新たなエネルギーシステムの技術開発を行う。

(2) 規模 総事業費

需給 400 億円 (需給、6 年間の推定) (項目により、1 / 2、2 / 3 助成)

(3) 期間 平成 27 年度～ 32 年度 (6 年間)

4. 評価内容

(1) 研究開発の目的・目標・内容

1) 研究開発の目的

①政策的な重要性

国内外の周辺動向 (規制・政策動向、エネルギー需給動向、社会・経済動向、産業構造、市場動向等) を踏まえているか。また、政策課題や中期目標に掲げる NEDO のミッションに合致しているか。更に、民間活動のみでは改善できない又は公共性や緊急性が高いプロジェクトであるか。

エネルギー基本計画 (平成 26 年 4 月、経済産業省) において、将来の二次エネルギーでは、電気、熱に加え、水素が中心的役割を担うことが期待されており、“水素社会” の実現のための取り組みを加速していくことが掲げられている。

同計画に基づき策定された「水素・燃料電池戦略ロードマップ」(平成 26 年 6 月、経済産業省) においては、フェーズ 1 でのエネファーム・FCV の普及拡大による水素社会の土台作りに続き、フェーズ 2 として、水素発電の本格導入と大規模な水素供給システムの確立を掲げ、2020 年頃に自家発電用水素発電の本格導入を、2030 年頃に発電事業用水素発電の本格導入と海外からの未利用エネルギー由来の水素の製造、輸送・貯蔵を伴う水素サプライチェーンの本格導入の開始という目標が設定され、これらを実現するための技術開発に国が重点的に関与することとしている。

また、本事業は水素の利活用の幅を広げ、我が国が水素分野で世界に先

行することによる世界市場の獲得、水素の利活用によるエネルギーセキュリティの向上に資することから、エネルギー政策、産業政策上の意義が大きく、優先度の高い事業である。

③ 本事業を実施しない場合、日本の政策上、産業競争力上又はエネルギー・環境上のリスクは何か。

「エネルギー基本計画」（2014年4月）は、将来の二次エネルギーでは、電気、熱に加え、水素が中心的役割を担うことが期待され、水素を本格的に利活用する社会である“水素社会”の実現について言及されている。水素サプライチェーンの構築のような長期的かつ総合的な取り組みは企業単独では実施困難であり、本プロジェクトを実施しない場合、「エネルギー基本計画」等の国家的な施策の実現が困難となる等の産業上のリスクがある。

2) 研究開発の目標

① アウトプット目標

国内外の競合技術のポジショニング状況を踏まえ、戦略的かつ具体的（定量的）な成果目標の設定がなされているか。また、想定する成果（アウトプット）は、十分に意義があり、市場競争力（コスト、クオリティ、バリュー等）が見込めるものか。

本事業における目標を、経済産業省の燃料電池・水素戦略ロードマップに基づき、以下の通り設定する。

研究開発項目Ⅱ：「大規模水素エネルギー利用技術開発」

（イ）未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

『最終目標』（平成32年度）

2030年頃の安定的かつ大量な水素供給体制確立を目指し2020年において商用レベルの1/100程度のプロトタイプ規模（数千万Nm³規模）のサプライチェーンを構築しシステムとして技術確立する。システムを構成する技術目標（水素製造効率、輸送効率等）に関しては、水素製造方法や水素キャリア毎の特性に応じ、個別に設定する。

『中間目標』（平成29年度）

最終目標となる水素サプライチェーン構築のための要素技術を検証し、システムの全体設計を明確にする。

（ロ）水素エネルギー利用システム開発

『最終目標』（平成32年度）

水素を混焼あるいは専焼で発電する技術に関して既存の燃料と同等の発電効率、耐久性、環境性を満たす技術を確立する。あわせて、水素発電等を組み込んだエネルギーシステムについて、市場化に必要な技術を確立する。

②アウトカム目標

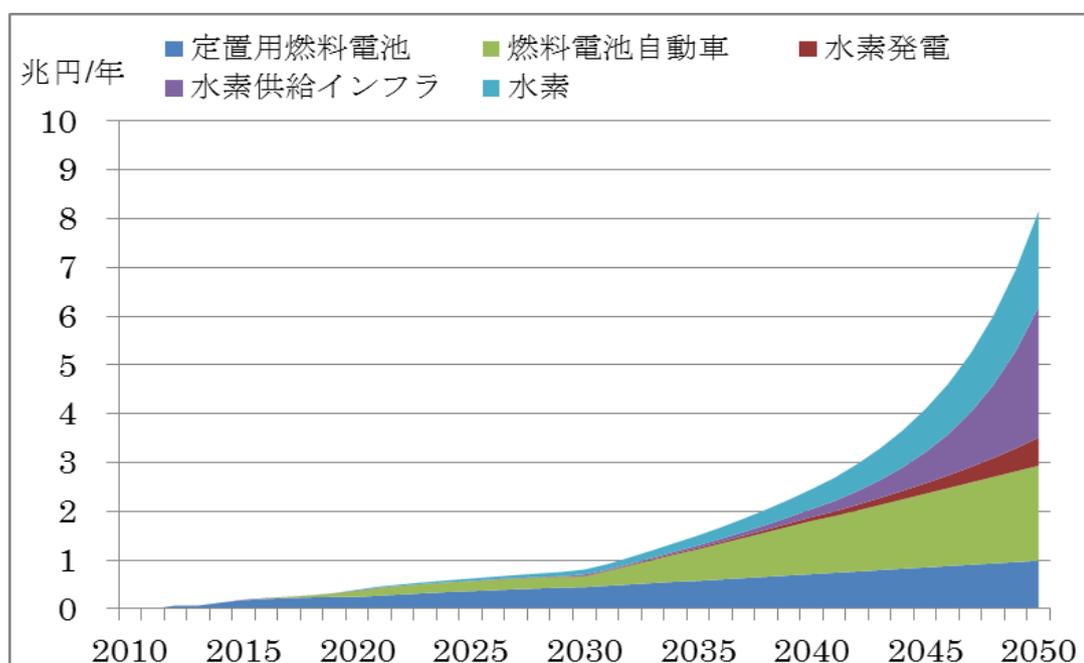
目的の達成による効果予測（アウトカム）は、投じる予算との比較において想定される市場規模または産業インフラ育成の観点から十分であるか。

発電分野等における水素の利活用が抜本的に拡大。2030年頃には世界に先駆け本格的な水素サプライチェーンを構築するとともに、エネルギー供給システムの柔軟性を確立し、エネルギーセキュリティの確保に貢献する。

仮に100万kW規模の水素専焼発電が導入された場合、約24億Nm³の水素需要（燃料電池自動車で約220万台に相当）が創出される。

水素・燃料電池関連の市場規模は、我が国だけでも2030年に約1兆円程度、2050年に約8兆円に拡大するとの試算もあり、十分な費用対効果が得られると考えられる。

我が国における水素・燃料電池関連の市場規模予測



出典：日本エネルギー経済研究所

3) 研究開発の内容と設定根拠

<p>プロジェクトの全体目標からみて、研究開発項目と内容が論理的に設定されているか。</p>
<p>水素サプライチェーンの構築においては、水素を長距離輸送することから、エネルギー密度を高め、効率的に輸送することが不可欠である。本事業においては、過去のWE-NET（水素利用国際クリーンエネルギーシステム技術研究開発）事業等の結果を踏まえた検討を行う、また、現在実施中の内閣府の主導する戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）、NEDOの水素利用等先導研究開発事業等では、液体水素、有機ハイドライド等のエネルギーキャリアを扱う要素技術の研究開発が進められており、これらの成果の活用を見込んだうえで、システムとしての技術開発によるモデル構築、実証が必要である。</p>
<p>(1) 研究開発の目的・目標・内容についての総合的評価</p>
<p>本事業は国の政策等を踏まえた世界最先端の取り組みであり、本技術が実用化されれば、我が国のエネルギーセキュリティ向上、CO₂排出量削減、国際競争力の強化等に大きく寄与することになり、位置付け・必要性は妥当である。</p>
<p>(2) 研究開発の実施方式</p>
<p>1) 研究開発の実施体制・運営方式</p>
<p>成果目標を効果的・効率的に達成するうえで、適切な実施体制の想定はあるか。また、外部有識者による委員会やステージゲート方式等を検討しているか。</p>
<p>本テーマについては、水素分野の技術開発において知見と実績を有するプラント、エンジニアリング関連企業の参画を想定する。上記企業を中心に自治体や商社等の協力を得ることで、成果の実用化・商用化を睨んだ実施体制を想定している。</p> <p>また、外部有識者による中間評価を平成29年度に、事後評価を平成32年度に実施し、必要に応じてテーマの重点化／絞り込み等を行う予定である。</p>
<p>(2) 研究開発の実施方式についての総合的評価</p>
<p>本事業の実施体制等は、大規模水素エネルギー利用システムの開発を図る取り組みとして適切である。</p>

「水素社会構築技術開発事業基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成27年3月23日
NEDO
新エネルギー部

NEDO POSTにおいて標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。

1. パブリックコメント募集期間
平成27年3月4日～平成27年3月18日
2. パブリックコメント投稿数＜有効のもの＞
計0件

以上

(添付-4)

特許論文等リスト

(イ) 未利用水素エネルギー由来水素サプライチェーン構築

II-①：「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」

技術研究組合 CO2 フリー水素サプライチェーン推進機構

—特許等—

No.	出願日	出願番号	名称	会社名
1	2016年2月	PCT/JP2016/000750	船用二重殻タンク	川崎重工業(株)
2	2017年2月	2017-021257	断熱構造	川崎重工業(株)
3	2017年6月	2017-111749	ガス放出システム	川崎重工業(株)
4	2017年6月	2017-111750	ガス放出システム	川崎重工業(株)
5	2017年6月	2017-111751	液化ガス運搬船	川崎重工業(株)
6	2017年6月	2017-111752	ガス漏洩検知システム及びガス漏洩検知方法	川崎重工業(株)
7	2017年10月	2017-200327	二重殻タンク及び船舶	川崎重工業(株)
8	2018年3月	2018-037207	船舶	川崎重工業(株)
9	2018年3月	2018-037208	二重殻タンク及び液化ガス運搬船	川崎重工業(株)
10	2018年3月	2018-039576	液化水素運搬船及び船体保護方法	川崎重工業(株)
11	2018年12月	2018-247352	船舶	川崎重工業(株)
12	2020年3月	2020-061456	液化ガス貯留船	川崎重工業(株)
13	2020年4月	2020-072352	船舶	川崎重工業(株)
14	2020年5月	2020-090259	ベントマスト	川崎重工業(株)

—学会発表・講演—

No.	年月	会議名	タイトル	発表者
1	2015年12月	環境委員会主催講演会	CO2 フリー水素導入構想への取り組み	川崎重工業(株) 西村元彦
2	2015年12月	千葉市 地球環境保全セミナー	水素社会の実現に向けた取り組み	川崎重工業(株) 千代亮
3	2015年12月	神戸市議会	水素エネルギーサプライチェーン実現への取り組み	川崎重工業(株) 原田英一
4	2016年1月	国土交通省 海事局 環境政策課	CO2 フリー水素導入構想と技術開発	川崎重工業(株) 西村元彦
5	2016年1月	近畿地区7高専連携シンポジウム	水素チェーン構想と安全への取り組み	川崎重工業(株) 西村元彦

6	2016年1月	東北再生可能エネルギー研究会 平成27年度総会・講演会 ～東北地方での水素利用を考える～	CO ₂ フリー水素導入構想と技術開発	川崎重工業(株) 洲河誠一
7	2016年1月	兵庫県 次世代産業雇用創造プロジェクト/水素関連産業市場への企業参入支援事業 水素社会実現に向けたサプライチェーンの動向と課題	水素エネルギーサプライチェーン 実現への取り組み	川崎重工業(株) 西村元彦
8	2016年2月	水素先端世界フォーラム2016	Kawasaki Hydrogen Road	川崎重工業(株) 西村元彦
9	2016年2月	I2CNER International Workshop	IMPORT of LOW-CARBON HYDROGEN from OVERSEAS	川崎重工業(株) 西村元彦
10	2016年2月	第10回 イワタニ水素エネルギーフォーラム 大阪	水素エネルギー導入と水素ガスタービン発電の実現に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 山崎徹
11	2016年2月	第199回F K T会	川崎重工業の水素社会への取り組み	川崎重工業(株) 西村元彦
12	2016年2月	海事における将来技術とファイナンスに関するセミナー	Hydrogen Supply Chain with Long Distance Transport	川崎重工業(株) 洲河誠一
13	2016年2月	日本計画研究所(J P I) エグゼクティブセミナー	世界に先んじて水素サプライチェーン構築を目指す川崎重工のチャレンジ	川崎重工業(株) 西村元彦
14	2016年3月	「次世代エネルギー社会の行方」	水素エネルギーの本格実用化を担う、水素サプライチェーン・インフラ技術	川崎重工業(株) 西村元彦
15	2016年3月	FC EXPO 基調講演	水素エネルギーサプライチェーン 実現への取り組み	川崎重工業(株) 原田英一
16	2016年3月	神戸商工会議所 ビジネスマッチングフェア 2016	「水素社会への取り組み～業界参入に向けて求められること～」	川崎重工業(株) 西村元彦

17	2016年4月	Global Energy Village	How Japan is Building its Green (Hydrogen) Value Chain	川崎重工業(株) 洲河誠一
18	2016年4月	FEE 活動説明会	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた取り組み	川崎重工業(株) 千代亮
19	2016年5月	かがわエネルギーフォーラム	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 洲河誠一
20	2016年5月	東海圏開発プロジェクト分科会	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 山本滋
21	2016年5月	Tekna's Small Scale LNG conference, Norway	Kawasaki Heavy Industries activity for realizing the hydrogen society	川崎重工業(株) 千代亮
22	2016年6月	神戸市・水素エネルギー講演会	「水素をつくる・はこぶ・ためる・つかう」 ～水素エネルギーが普及する未来の社会～	川崎重工業(株) 西村元彦
23	2016年6月	中部地区ボイラー・タービン主任技術者会	CO2フリー水素サプライチェーン実現に向けた取り組み	川崎重工業(株) 吉村健二
24	2016年6月	第8回 神戸ものづくり中小企業展示商談会	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 洲河誠一
25	2016年6月	関西大学創立120周年記念事業 シンポジウム 日本とエネルギーの未来を考える	持続可能な社会に向けた水素エネルギーの活用と展開について ～新たなエネルギー・オプションへの挑戦～	(公財)新産業創造研究機構 牧村実
26	2016年7月	日経イノベーションフォーラム	CO2フリー水素サプライチェーン構想実現への取り組み	川崎重工業(株) 原田英一
27	2016年7月	「広域関東圏水素・燃料電池連携体」キックオフシンポジウム	クリーン水素エネルギーサプライチェーン実現に向けた川崎重工の取組	川崎重工業(株) 西村元彦

28	2016年7月	CCT ワークショップ 2016	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 洲河誠一
29	2016年7月	第132回 「全国経営者 セミナー」	水素エネルギーサプライチェーンの本格稼働を目指して！ー2020年～パイロット実証開始ー	川崎重工業(株) 西村元彦
30	2016年7月	FCCJ : CO2 フリー水素 セミナー	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 千代亮
31	2016年8月	東京都次世代イノベーション 2020	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組	川崎重工業(株) 松本俊一
32	2016年8月	160804 マテリアルズ・ テラリング研究会	Toward Realization of a Hydrogen Energy Supply Chain	川崎重工業(株) 洲河誠一
33	2016年8月	公益財団法人原総合知的 通信システム基金主催特 別セミナー	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 松本俊一
34	2016年9月	IMO CCC3 Work Shop	Safety Measures in Design of Liquefied Hydrogen Carriers	川崎重工業(株) 加賀谷博昭
35	2016年9月	兵庫県次世代産業雇用創 造プロジェクト	新たなエネルギーオプション「水素」の導入と次世代成長産業への展開	(公財)新産業創造研究機 構 牧村実
36	2016年9月	日本船舶海洋工学会(関 西船舶海洋流体力学研究 会)	液化水素運搬船について	川崎重工業(株) 孝岡祐吉
37	2016年10月	炭素隔離リーダーシップ フォーラム (CSLF) 年 次会合	CO2-Free Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 千代亮
38	2016年10月	高分子学会 水素・燃料電池材料研究 会	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組	川崎重工業(株) 千代亮

39	2016年10月	The 11 th National Conference on Hydrogen Energy and Fuel Cells in National Taipei University of Technology, Taiwan.	Import to Low-Carbon Hydrogen from Oversea	川崎重工業(株) 千代亮
40	2016年10月	METI 長期温暖化対策プラットフォーム「海外戦略タスクフォース」第2回会合	海外連携による水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
41	2016年11月	全国空港ビル協会技術研修会	水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 原田英一
42	2016年11月	イワタニ水素エネルギーフォーラム周南	水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 山本滋
43	2016年11月	SIGTTO Japan Regional Forum	Safety Considerations for Design of Pilot Liquefied Hydrogen Carriers	川崎重工業(株) 加賀谷博昭 孝岡祐吉 Shell Japan Ltd Ahmer Saeed
44	2016年11月	神戸市企業立地セミナー	水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 千代亮
45	2016年11月	化学工学会関西支部 水素社会を目前にして	水素サプライチェーンの実現に向けた取組みについて	川崎重工業(株) 洲河誠一
46	2016年11月	神戸地域ビジョン	水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 山本滋
47	2016年11月	兵庫県試験・分析技術研究会	水素サプライチェーンの実現に向けた取組みについて	川崎重工業(株) 洲河誠一
48	2016年11月	神戸エネルギーフォーラム	水素エネルギー利用社会の実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 西村元彦

49	2016年11月	神戸市産業振興財団・水素クラスター勉強会	水素サプライチェーン構築 実証事業における液化水素 基地の概要と川崎重工業の 取組み	川崎重工業(株) 山本滋
50	2016年11月	触媒学会 水素の利用と 製造のための触媒技術研 究会	水素エネルギーサプライチ ェーン実現に向けた取組み	川崎重工業(株) 洲河誠一
51	2016年11月	第1回日豪炭素資源有効 利用シンポジウム	Toward Realization of a Hydrogen Energy Supply Chain	川崎重工業(株) 長谷川卓
52	2016年12月	自動車技術会 関東支部 講演・講習会	水素エネルギーサプライチ ェーン実現への取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
53	2016年12月	第61回日本エネルギー 学会関西支部合同研究発 表会講演会	水素をつくる・はこぶ・た める・つかう	川崎重工業(株) 原田英一
54	2016年12月	日本エネルギー学会 第3回水素エネルギー講 演会	海外からの液化水素サプラ イチェーン構築への取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
55	2017年1月	神戸生産技術研究会	将来のエネルギーオプショ ン「水素」の導入と次世代 成長産業への展開	(公財)新産業創造研究機 構 牧村実
56	2017年1月	日本機械学会・関東支部 水素社会に向けた取組みの 最前線	液化水素サプライチェーン 実現に向けた取組み	川崎重工業(株) 洲河誠一
57	2017年1月	Ship-CORE セミナー	液化水素運搬船について	川崎重工業(株) 孝岡祐吉
58	2017年1月	山形県新エネルギー産業 事業化促進協議会主催セ ミナー	CO2フリー水素サプライチ ェーンプロジェクトと関連 製品の開発	川崎重工業(株) 千代亮
59	2017年1月	日本科学未来館サイエン ティスト・トーク	液化水素サプライチェーン 実現に向けた取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
60	2017年2月	神戸の地域エネルギーを 未来に繋ぐ懇談会	水素エネルギー利用社会の 実現に向けた取組み	川崎重工業(株) 洲河誠一
61	2017年2月	ノルウェーセミナー	Long distance transportation of LH2	川崎重工業(株) 西村元彦
62	2017年3月	日本化学会春季年会	液化水素による水素の大量 輸送技術	川崎重工業(株) 神谷祥二

63	2017年3月	RITE 無機膜研究センター 産業化	水素エネルギーサプライチェーン実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 松本俊一
64	2017年5月	第24回燃料電池シンポジウム	CO2フリー水素サプライチェーン実現への川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
65	2017年6月	東京工業大学 GHEC 第6回ワークショップ	国際液化水素サプライチェーン実現への取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
66	2017年6月	日本計画研究セミナー	世界初として着手した「液化水素サプライチェーン公知」の進捗と20年を目指した国内外連携プロジェクトの展開	川崎重工業(株) 西村元彦
67	2017年6月	CCT ワークショップ	水素エネルギーサプライチェーン実現への取組み	川崎重工業(株) 千代亮
68	2017年5月	5 th International Workshop on Hydrogen	Introduction of Liquefied Hydrogen Energy Supply Chain Pilot Project in Japan	川崎重工業(株) 長谷川卓
69	2017年7月	World Hydrogen Technology Convention 2017	Research and development of temperature sensor for an ocean-going liquid hydrogen carrier	(国研)産業技術総合研究所
70	2017年7月	日経新聞	from LABO	(取材記事)
71	2017年8月	EMIRA	未利用資源をエネルギーに！安定供給に向けた水素サプライチェーン構想	(Web 取材記事)
72	2017年8月	電事連第3回水素技術検討会	水素サプライチェーン構築に向けた取組みについて	電源開発(株) 大畑博資
73	2017年8月	経産新報	水素エネルギーの社会実装を目指す水素サプライチェーン構想	(取材記事)

74	2017年8月	The 2017 INTERNATIONAL PYMPOSIUM on "Hydrodynamics Testing Facility for Supporting Indonesia Maritime Industry"	The Role of NMRI to the Japanese Shipbuilding Industries	(国研)海上技術安全研究所 谷澤克治
75	2017年9月	化学工業学会第49回秋季大会環境部会シンポジウム	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた取り組み	川崎重工業(株) 洲河誠一
76	2017年9月	2017 Saudi Aramco-JCCP Symposium on the Global Perspective of the hydrogen	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 西村元彦
77	2017年9月	国際フロンティア産業メッセ 2017	水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 原田英一
78	2017年9月	ガスエネルギー新聞	クローズアップ	(取材記事)
79	2017年9月	NEDO フォーラム 2017in 兵庫	水素サプライチェーンの実現に向けた取り組み	川崎重工業(株) 西村元彦
80	2017年9月	神戸空港ターミナル講演会	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 山本滋
81	2017年10月	第9回よこはま水素エネルギー協議会セミナー	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 山本滋
82	2017年10月	第17回九州低炭素システム研究会	未利用褐炭由来大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業について	川崎重工業(株) 原田英一
83	2017年10月	CEA TECH DAYs	Toward Realization of a Hydrogen Energy Supply Chain	川崎重工業(株) 長谷川卓
84	2017年10月	Hydrogen Council Annual CEO Meeting	Roadmap toward a hydrogen economy	
85	2017年11月	台日水素フォーラム	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 西村元彦

86	2017年10月	JST/ISAS 水素シンポジウム	国際水素サプライチェーン実現への取組み	川崎重工業(株) 千代亮
87	2017年11月	日本船舶機関士協会 技術講演会	水素エネルギーサプライチェーン全般と液化水素運搬船開発&燃料電池船の照会	川崎重工業(株) 山本滋 稲津晶平
88	2017年11月	Hydrogen Council Annual Meeting	Production of CO2-free H2, transcontinental LH2 transport, H2-based power generation	川崎重工業(株) 金花社長
89	2017年11月	エネルギー資源学会 第34回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス	水素液化貯蔵システムの開発	川崎重工業(株) 山下誠二
90	2018年1月	神戸の地域エネルギーを未来につなぐシンポジウム	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組みおよび神戸における実証プロジェクトについて	川崎重工業(株) 原田英一
91	2018年1月	高温ガス炉プラント研究会 第12回定期講演会	来るべき水素社会へ向けて	川崎重工業(株) 西村元彦
92	2017年12月	水素エネルギー推進セミナー	脱炭素社会へ貢献する国際水素サプライチェーン技術実証への取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
93	2018年1月	平成29年度中小造船所・船用工業経営技術セミナー	水素で拓く海事産業の未来	川崎重工業(株) 稲津晶平
94	2018年2月	近畿地区自治体ボイラータービン主任技術者会議	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組	川崎重工業(株) 長谷川卓
95	2018年2月	第12回イワタニ水素エネルギーフォーラム	未利用褐炭由来大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業への取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
96	2018年2月	堺市水素エネルギー社会推進協議会セミナー	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組	川崎重工業(株) 山本滋
97	2018年2月	バーデン・ヴェルテンベルグ州経済振興公社主催意見交換会	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工号(株) 山本滋

98	2018年4月	第2回次世代火力展	低炭素から脱炭素社会に向けた次世代火力発電システムの最新事例	川崎重工業(株) 西村元彦
99	2018年2月	IEA 先端燃料に関する技術協力プログラム運営会議	KHI's Activity for International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 吉村健二
100	2018年3月	甲南新素材フロンティア研究プロジェクト第1回公開シンポジウム	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工業の取組み	川崎重工業(株) 山本滋
101	2018年3月	Global Warming and Decarbonization 4 th International Symposium	Development of Overseas Energy Carrier with Liquid Hydrogen	川崎重工業(株) 千代亮
102	2018年3月	第51回神戸ラスキン会	国際水素サプライチェーンの構築について	川崎重工業(株) 山本滋 稲津晶平
103	2018年3月	Workshop Hydrogen Economy March 23	KHI's Activity for International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 長谷川卓
104	2018年3月	神戸市、ハンブルグ市、フローニンゲン州 環境・エネルギーセミナー	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 西村元彦
105	2018年3月	第27回 Gas Conference	Liquefied Hydrogen Supply Chain and Carrier Ship to Realize Hydrogen	川崎重工業(株) 森本勝哉
106	2018年3月	第6回 GS+I 公開セミナー	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組	川崎重工業(株) 千代亮
107	2018年4月	18 th Annual Global Energy Village	International Liquefied Hydrogen Supply chain	川崎重工業(株) 千代亮
108	2018年4月	豪州プロジェクト開始記念ミーティング	KHI's portion in the Pilot Hydrogen Energy Supply Chain Project	川崎重工業(株) 原田英一
109	2018年4月	第12回日独経済フォーラム	KHI Activity for Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 長谷川卓
110	2018年5月	The Annual Asia Pacific CCS Forum	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 重清秀雄

111	2018年5月	水素エネルギー政策国際 会議 (IPHE)	—	川崎重工業(株) 原田英一、西村元彦
112	2018年5月	水素・再生エネルギー社 会の新事業創出フォーラ ム	日豪液化水素サプライチェ ーン構築への取組と技術開 発	川崎重工業(株) 西村元彦
113	2018年6月		国際水素サプライチェーン の実現に向けた川崎重工の 取組み	川崎重工業(株) 千代亮
114	2018年6月	The International Society of Offshore and Polar Engineering 2018(ISOPE)	Clarification of Hazardous Areas Applied to Newly Developed Liquefied Hydrogen Carrier	川崎重工業(株) 孝岡祐吉
115	2018年6月	22th World Hydrogen Energy Supply Chain	KHI Activity for Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 長谷川卓
116	2018年6月	クリーンコールテクノロ ジーワークショップ 2018	豪州褐炭からの水素製造技 術	電源開発(株) 小俣浩次
117	2018年6月	環境・エネルギービジネ ス研究会	「国際水素サプライチェー ンの実現に向けた川崎重工 の取組み～豪州産褐炭水素 プロジェクト・神戸水素発 電実証事業を例に～」	川崎重工業(株) 西村元彦
118	2018年6月	第39回スマートグリッ ド/スマートコミュニテ ィー研究会	国際水素サプライチェーン の実現に向けた川崎重工業 の取組み	川崎重工業(株) 山本滋
119	2018年6月	(一社)日本高压技術協 会技術セミナー	国際水素サプライチェーン 実現への取組	川崎重工業(株) 川越英司
120	2018年7月	日本計画研究所セミナー	『国際水素サプライチェー ン構築』2020年を目指し た国内外連携プロジェクト パイロット実証の進捗と今 後の展開	川崎重工業(株) 西村元彦
121	2018年7月	中国訪問団神戸スマコミ 見学講演	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 山本滋
122	2018年7月	燃料電池・FCH 部会 第252回定例研究会	国際液化水素チェーン実現 への取組みと水素ガスター ビンの開発状況	川崎重工業(株) 西村元彦

123	2018年7月	日経社会イノベーション フォーラム	—	川崎重工業(株) 原田英一
124	2018年7月	日経社会イノベーション フォーラム	—	岩谷産業(株) 宮崎淳
125	2018年8月	第1回水素・燃料電池関 連産業セミナー	国際水素サプライチェーン の実現に向けた川崎重工の 取組み	川崎重工業(株) 山本滋
126	2018年9月	JEMA 第96回新エネル ギー講演会	—	川崎重工業(株) 西村元彦
127	2018年9月	37 th ISO TC8 Plenary	Standardization of transfer arms for marine transportation of liquefied hydrogen	川崎重工業(株) 猪俣昭彦
128	2018年9月	3 rd Workshop on Hydrogen Cryogenics 2018	Toward development of the large scale liquefied hydrogen transportation and storage technology	川崎重工業(株) 中土洋輝
129	2018年9月	関西 水素・燃料電池展 特別講演	交際水素サプライチェーン の実現に向けた川崎重工の 取組み	川崎重工業(株) 山本滋
130	2018年10月	第1回水素等次世代エネ ルギーの動向と将来展望	国際水素サプライチェーン の実現に向けた川崎重工の 取組み	川崎重工業(株) 山本滋
131	2018年10月	International for Cool Earth Forum(ICEF)	International Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 西村元彦
132	2018年10月	第2回液化水素技術国際 ワークショップ	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	技術研究組合 CO2 フリー 水素サプライチェーン推 進機構(HySTRA) 西村元彦
133	2018年10月	Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF)	Hydrogen from brown coal with CCS Australia / Japan collaboration	川崎重工業(株) 吉野泰
134	2018年10月	IEA GHG 54 th Executive Committee	Osaki Coolgen Project update and Hydrogen Energy Supply Chain Project Overview	電源開発(株) 本江誠治

135	2018年10月	IEA GHGT-14	Hydrogen Energy Supply Chain Project in Collaboration with CarbonNet Project	川崎重工業(株) 原田英一
136	2018年10月	北陸技術交流テクノフェア 2018	川崎重工業が目指す未来、ものづくり企業の可能性	川崎重工業(株) 金花芳則
137	2018年11月	HESS 第157回定例研究会	液化水素運搬船の国際安全基準の策定	川崎重工業(株) 金花芳則
138	2018年11月	H30 福岡水素エネルギー戦略会議人材育成セミナー	国際水素サプライチェーン構築に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 千代亮
139	2018年11月	SIGTTO Asia Pacific Regional Forum	Safety Consideration for Operation of Pilot LH2 Shore Loading Arm System	Shell Japan Ltd. Ahmer Saeed
140	2018年11月	第1回水素エネルギーテクノシンポジウム	水素の製造・貯蔵・輸送・利用に至る国際サプライチェーン構築への取り組み	川崎重工業(株) 西村元彦
141	2018年11月	第3回脱炭素社会における水素・FCVの可能性	国際水素サプライチェーン構築に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 西村元彦
142	2018年11月	いばらき水素利用シンポジウム	未利用褐炭水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業1業への取り組み	技術研究組合 CO2 フリー水素サプライチェーン推進機構(HySTRA) 東達弘
143	2018年12月	海事産業説明会 2018	造船業界の現状と今後の展望	川崎重工業(株) 西山五郎
144	2019年1月	エネルギーに関するワークショップ	水素サプライチェーン構築実証事業	川崎重工業(株) 足利貢
145	2019年1月	生産技術振興会アライアンス委員会 未来エネルギー分科会・街づくり分科会共済講演会	水素社会構築に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 西村元彦
146	2019年1月	堺市水素エネルギー社会推進協議会セミナー	—	岩谷産業(株) 繁森敦

147	2019年1月	Workshop on Carbon-Free Hydrogen and Ammonia with CCS	Power Generation Decarbonization Efforts with CO2 Free Hydrogen and Ammonia	電源開発(株) 大畑博資
148	2019年1月	九州水素・燃料電池フォーラム	豪州褐炭由来水素サプライチェーンパイロット実証	岩谷産業(株) 繁森敦
149	2019年2月	兵庫県電気協会姫路支部第5回技術講習会	水素エネルギー社会実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 吉山孝
150	2019年2月	Japan-Norway Hydrogen Seminar 2019	International Hydrogen Supply Chain and Hydrogen Gas Turbine	川崎重工業(株) 森本勝哉
151	2019年2月	第15回国際水素・燃料電池展専門技術セミナー	褐炭由来水素サプライチェーン構築への取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
152	2019年3月	Liquid Hydrogen Workshop	Large Scale LH2 Chain Project & Gas Turbine Demonstration	川崎重工業(株) 森本勝哉
153	2019年3月	Hydrogen Production, Storage and Refueling Station Technology Forum 2019	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 重清秀雄
154	2019年3月	2018年度日本台湾技術交流会	水素社会構築に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 石川勝也
155	2019年3月	Stanford Hydrogen Economy Workshop	International Liquefied Hydrogen Supply Chain and Related Cryogenic Technology	川崎重工業(株) 石川勝也
156	2019年3月	第8回フレンドシップサロン	持続可能なエネルギー社会へ水素サプライチェーン構築に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 山本滋
157	2019年3月	Hydrogen Energy Summit	The Hydrogen Energy Supply Chain (HESC) - Project Overview -	電源開発(株) 本江誠治 川崎重工業(株) 川副洋史
158	2019年5月	The APAC CCS Forum 6th 2019	The Hydrogen Energy Supply Chain Project	川崎重工業(株) 吉野泰

159	2019年5月	ISO TC8/SC2 年次総会	Standardization of Transfer Arms for Marine Transportation of Liquefied Hydrogen	川崎重工業(株) 石川勝也
160	2019年6月	WHTC 2019	International Liquefied Hydrogen Supply Chain and Hydrogen Gas Turbine	川崎重工業(株) 西村元彦
161	2019年7月	第14回再生利用エネルギー世界展来会&フォーラム	国際水素サプライチェーン構築への取組み	川崎重工業(株) 千代亮
162	2019年7月	エコマテリアル・フォーラム 年会シンポジウム	国際液化水素サプライチェーン構築に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 石川勝也
163	2019年7月	日経社会イノベーションフォーラム	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 原田英一
164	2019年8月	第3回水素エネルギー産業勉強会	国際液化水素サプライチェーン構築に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
165	2019年8月	日本計画研究所セミナー	「国際液化水素サプライチェーン構築」の進捗と今後の更なる展開について	川崎重工業(株) 西村元彦
166	2019年8月	2019 Carbon Capture, Utilization, Storage, and Oil & Gas technology Integrated Review Meeting	Hydrogen Energy Supply Chain, from Australia to Japan	川崎重工業(株) 石川勝也
167	2019年9月	第160回年齢制限のない若手勉強会	液化水素運搬船について	川崎重工業(株) 小村淳
168	2019年9月	クリーンコールデイ 2019	Technology Innovation for Coal Evolution	電源開発(株) 坂梨
169	2019年9月	福岡県水素エネルギー人材育成センター技術者教育セミナー	水素ガスタービン発電の実現に向けた取組み	川崎重工業(株) 西村元彦

170	2019年9月	第16回関西伝熱セミナー	CO2フリー水素サプライチェーンと水素コージェネレーションシステムの開発状況	川崎重工業(株) 山口正人
171	2019年9月	第2回水素閣僚会議	KHI's Activity for International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 金花芳則
172	2019年9月	第2回水素閣僚会議	Hydrogen Production by Coal Gasification	電源開発(株) 北村
173	2019年9月	Regional Workshop on Green and Low Carbon Hydrogen Energy Shanghai, People's Republic of China	Hydrogen Energy Supply Chain Project	川崎重工業(株) 吉野泰
174	2019年9月	Hydrogen Liquefaction & Storage Symposium, Perth	Development of the Large Scale Liquid Hydrogen value chain	川崎重工業(株) 神谷祥二
175	2019年10月	第57回日豪経済合同委員会	New Partnership for the Future	川崎重工業(株) 金花芳則
176	2019年10月	トリパタイトミーティング(船級/船主/造船)の三団体の会合	Opportunities and Challenges for Maritime Transport of Liquefied Hydrogen in Bulk	川崎重工業(株) 孝岡祐吉 Shell Japan Ltd. Ahmer Saeed
177	2019年10月	ICOPE-2019	International Conference on Power Engineering-2019	川崎重工業(株) 鈴木啓真
178	2019年11月	海洋教育フォーラム	次世代エネルギー水素を運ぶ	川崎重工業(株) 稲津晶平
179	2019年11月	Workshop on Hydrogen Production with CCS	The Hydrogen Energy Supply Chain - Project overview -	電源開発(株) 大畑博資
180	2019年12月	Marintec China 2019 Senior Maritime Forum	Kawasaki's cooperation with China in maritime industry and Kawasaki Hydrogen Road	川崎重工豪(株) 村山滋
181	2019年12月	大阪工研特別セミナー	国際水素サプライチェーン構築と水素ガスタービン開発への取組み	川崎重工業(株) 吉山孝

182	2020年1月	10 th ACASC / 2 nd Asian ICMC / CSSJ joint conference	Development of a large scale liquid hydrogen energy value chain	川崎重工業(株) 神谷祥二
183	2020年1月	Energy Workshop ADNOC & JCCME	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 千代亮
184	2020年1月	ひょうご次世代産業高度化プロジェクト/水素等次世代エネルギー・環境分野参入促進事業 第3回セミナー	国際水素サプライチェーン構築に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 新道憲二郎
185	2020年2月	Japan-Norway Hydrogen Seminar 2020	Status of the Hydrogen Energy Supply Chain Project	川崎重工業(株) 森本勝哉
186	2020年2月	Hydrogen Energy Between Japan and Netherland	Update on the Brown Coal Hydrogen Energy Supply Chain Project between Japan and Australia	川崎重工業(株) 吉野泰
187	2020年3月	日船工第2回 GHG ゼロエミッションワークショップ	液化水素運搬船の技術	川崎重工業(株) 稲津晶平
188	2020年3月	日本マリンエンジニアリング学会 第64回特別記念講演	液化水素運搬船の技術	川崎重工業(株) 稲津晶平
189	2020年5月	日経SDGs フェス講演会	Jパワーにおける水素の取り組み	電源開発(株) 笹津浩司
190	2020年5月	日経社会イノベーションフォーラム	国際水素サプライチェーンの実現に向けた取り組み	川崎重工業(株) 原田英一
191	2020年6月	水素社会実現に向けたサプライチェーンの構築と展望	水素社会実現に向けたサプライチェーンの構築と展望	川崎重工業(株) 稲津晶平
192	2020年7月	グローバル CCS インスティテュート日本事務所主催第32回勉強会	国際水素サプライチェーンの実現に向けた取り組み	川崎重工業(株) 重清秀雄
193	2020年9月	日本冷凍空調学会 年次大会	国際水素サプライチェーン構築への取り組み	川崎重工業(株) 井上健司
194	2020年9月	クリーンコールディ	Technology Development for Energy Transitions	電源開発(株) 村山均

195	2020年9月	クリーンコールディ	International Liquefied Hydrogen Supply Chain Utilizing Brown Coal	川崎重工業(株) 原田英一
196	2020年9月	日本伝熱学会関西支部 第27期第1回特別講演	国際水素サプライチェーン 構築への取組み	川崎重工業(株) 井上健司
197	2020年10月	日計画研究所セミナー	「水素サプライチェーン」 の技術開発及び世界初：日 豪パイロット実証プロジェ クトの進展と商用への道筋	川崎重工業(株) 森本勝哉
198	2020年10月	Tokyo Back-to-Business Program Series 2020	Way to Decarbonization Kawasaki Hydrogen Road	川崎重工業(株) 金花芳則
199	2020年10月	第36回日エネルギー学 会関西セミナー	国際水素サプライチェーン 構築への取組み日本初の水 素液化機の開発	川崎重工業(株) 松田吉洋

—新聞・雑誌等—

No.	年月	掲載誌名	タイトル	会社名
1	2016年6月号	「時評」(座談会)	水素を使って、まちの電力発 電を実現へ	川崎重工業(株) 村山滋
2	2016年7月号	「日本ガスタービ ン学会誌」	水素サプライチェーンと水素 発電	川崎重工業(株) 西村元彦、饒雅英、神谷祥二
3	2017年6月号	「エネルギーフォ ーラム」	次世代「CO2フリー」水素 社会の実現を目指して	川崎重工業(株) 西村元彦
4	2017年5月号	「Class NK magazine 80号」	Guideline for a hydrogen powered future	(独)日本海技技術
5	2017年12月号	「投資経済」	資源エネルギー特集 -水素実用化に向けた実証試 験への準備加速-	
6	2018年1月号	「電気論評」	豪州褐炭水素プロジェクトの 取組み	電源開発(株) 村山均
7	2017年11月	「技術士・ひょう ご95号」	国際水素サプライチェーンの 実現に向けた川崎重工の取組 み	川崎重工業(株) 原田英一
8	2018年2月号	「KAIUN」	CO ₂ フリー水素チェーンの実 現が将来の地球温暖化に大き く寄与	川崎重工業(株) 西村元彦 河合宗一
9	2018年2月	「ハイドリズム Vol.8」	褐炭由来水素は、水素社会の キックスターター	川崎重工業(株) 西村元彦

10	2018年3月号	「Wedge」	胎動するCO ₂ フリー水素サプライチェーン	電源開発(株) 小俣浩次
11	2018年4月号	「月刊エコロジー」		川崎重工業(株) 西村元彦
12	2018年5月号	「エネルギー・資源」	国際液化水素サプライチェーンの技術構築の現状	川崎重工業(株) 西村元彦
13	2018年6月号、7月号	「時評」	国際液化水素サプライチェーン実現への取組	川崎重工業(株) 村山滋
14	2018年10月	「水素の製造、輸送・貯蔵技術と材料開発、劣化対策」 技術情報協会編	「液化水素の輸送・貯蔵技術の研究開発動向」	川崎重工業(株) 猪俣昭彦
15	2018年10月	「水素利用技術集成 vol.5 ー施設の安全性と国際規格ー」	液化水素運搬船の開発と安全対策	川崎重工業(株) 加賀谷博明 技術研究組合 CO ₂ フリー水素サプライチェーン推進機構 (HySTRA) 孝岡祐吉
16	2019年1月号	溶接学会誌	日豪水素サプライチェーン構築への取組み	川崎重工業(株) 西村元彦 山本滋、熊本秀喜
17	2019年5月号	月刊環境管理	国際 CO ₂ フリー水素サプライチェーン構築に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
18	2019年10月	ICOPE-2019	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 鈴木啓真
19	2019年9月	日本マリンエンジニアリング学会誌 54巻5号	液化水素運搬船の技術	川崎重工業(株) 稲津晶平
20	2020年3月号	Mechanical Engineering Magazine	Hydrogen Energy Supply Chain for Decarbonization	川崎重工業(株) 西村元彦
21	2020年3月	エネルギー・資源 3月号	液化水素運搬船「すいそふろんていあ」命名・進水式報告	川崎重工業(株) 八木さやか
22	2020年3月	ENAA2019年度エネルギー・環境研究部会報告書	地域活性化し資する持続可能なエネルギー・環境エンジニアリングの調査研究	川崎重工業(株) 横山稔

23	2020年5月	エネルギー・資源 5月号	液化水素による国際水素サプライチェーンの紹介	川崎重工業(株) 新道憲二郎
24	2020年5月	エネルギーと動力 5月号	未利用褐炭由来水素サプライチェーン実証プロジェクトの進捗状況について	技術研究組合 CO2 フリー水素サプライチェーン推進機構 (HySTRA) 東達弘 川崎重工業(株) 橋本成樹 電源開発(株) 黒木貴士
25	2020年6月	Cryogenics	Development of fiber Bragg grating strain sensor with temperature compensation for measurement of cryogenic structures	川崎重工業(株) 白土透 今井達也
26	2020年8月	電気学会誌	日豪水素サプライチェーンの構築	川崎重工業(株) 西村元彦
27	2020年8月	時評 8月号	液化水素運搬船でサプライチェーンを担う	川崎重工業(株) 村岸治
28	2020年9月	川崎重工技報 第182号	—	川崎重工業(株)
29	2020年9月	港湾荷役 9月25日号	—	川崎重工業(株) 八木さやか 平純考 吉村健二
30	2020年10月	季刊誌じば 2020年秋号	わが社のこだわり「川崎重工業」	川崎重工業(株) 福岡誠

II-②：「有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証」
次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合

—学会発表・講演—

No.	年月	会議名	タイトル	発表者
-----	----	-----	------	-----

1	2017年7月	The 7th World Hydrogen Technologies Convention	Hydrogen Storage and Transportation using SPERA Hydrogen Process for realizing Low-Carbon Society	高野宗一郎
2	2017年9月	JPI カンファレンス	世界に先駆けた国際間水素サプライチェーン商用化事業の全容	千代田化工建設(株) 遠藤英樹
3	2017年10月	川崎市水素ネットワーク協議会	世界に先駆けた国際間水素サプライチェーン実証のご紹介	千代田化工建設(株) 黒崎大輔
4	2018年2月	敦賀商工会議所向け講演	水素エネルギー事業構築に向けた取り組み	三菱商事(株)
5	2018年3月	ナノテクノロジービジネス推進協議会主催 '環境・エネルギー研究会	水素エネルギー事業構築に向けた取り組み	三菱商事(株)
6	2018年2月	ハグミュージアム	有機ハイドライド国際水素サプライチェーン構築に向けた取り組み	千代田化工建設(株) 岡田佳巳
7	2018年2月	駐日ブルネイ大使館	ブルネイに於ける三菱商事の取組み	三菱商事(株)
8	2018年3月	Palace Hotel	有機ハイドライド法および水素サプライチェーン実証	次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合(AHEAD) 成毛
9	2018年3月	Kumul Petroleum (パプア 国営石油会社) 主催 Energy Summit	Chiyoda in PNG	千代田化工建設(株)
10	2018年4月	HANNOVER MESSE/第12回日独経済フォーラム	Large-scale hydrogen storage and transportation technology	千代田化工建設(株)
11	2018年4月	日本溶接学会シンポジウム	『創る・運ぶ』水素製造・運搬・利用技術	千代田化工建設(株) 岡田佳巳
12	2018年5月	第31回日智経済委員会	水素エネルギー事業について	三菱商事(株)
13	2018年5月	第3回 水素再エネ社会の新事業創出フォーラム	SPERA 水素システムの開発状況と展望	千代田化工建設(株) 岡田佳巳

14	2018年6月	(一社)日本高圧力技術協会 技術セミナー	有機ハイドライド法を用いた水素の大量貯蔵輸送技術	千代田化工建設(株) 河合
15	2018年6月	World Hydrogen Energy Conference 2018	Large-Scale Hydrogen Storage and Transportation System -“SPERA Hydrogen TM” System-	千代田化工建設(株) 岡田佳巳
16	2018年7月	日経社会イノベーションフォーラム	川崎市リーディングプロジェクト一覧	川崎市
17	2018年7月	アジア・大洋州における気候変動と脆弱性に関する国際会議	世界に先駆けた国際間水素サプライチェーン実証のご紹介	千代田化工建設(株)
18	2018年9月	ブルネイ大学	国際間水素サプライチェーン実証紹介	千代田化工建設(株)
19	2018年9月	Green Hydrogen for the Chilean Energy Transition	Large-Scale Hydrogen Storage and Transportation System	千代田化工建設(株)
20	2018年9月	International Hydrogen Infrastructure Workshop	Introduction of Liquid Organic Hydrogen Carrier and the Global Hydrogen Supply Chain Project	次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合(AHEAD)
21	2018年9月	化学工学会 第50回秋季大会	有機ハイドライド法を用いた水素の大量貯蔵輸送技術	千代田化工建設(株)
22	2018年12月	ブルネイ 天皇誕生日祝賀会	The world's first SPERA hydrogen supply chain starts in 2020	次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合(AHEAD)
23	2018年10月	水素閣僚会議	SPERA Hydrogen Hydrogen Supply Chain by LOHC System	千代田化工建設(株) 清水
24	2018年11月	第12回日中省エネルギー・環境総合フォーラム	水素社会実現に向けた 千代田化工建設の取組み	千代田化工建設(株) 山東
25	2018年11月	The 4th Korea-Japan Joint Symposium on Hydrogen in Materials	Development of SPERA Hydrogen system and its prospects	千代田化工建設(株) 岡田佳巳
26	2018年12月	第11回 『よこはま水素エネルギー協議会』 セミナー	水素社会に向けた水素の大規模貯蔵輸送技術による取組み	千代田化工建設(株)

27	2018年12月	California Hydrogen Business Council	2018 California Hydrogen and Fuel Cell Summit	千代田化工建設(株)
28	2019年1月	WFES 2019 - World Future Energy Summit	「SPERA Hydrogen The global hydrogen supply chain demo project」 「Introduction of Hydrogen Supply Chain」	千代田化工建設(株)
29	2019年2月	エコビジネスフォーラム	水素サプライチェーン実証事業への協力	東亜石油(株)
30	2019年3月	株主通信およびCSR レポート	脱水素プラント建設工事起工式等	東亜石油(株)
31	2019年2月	日本計装工業会 講演会	有機ハイドライド法を用いた水素の大量貯蔵輸送技術 (SPERA 水素)	千代田化工建設(株) 河合
32	2019年2月	FC-EXPO 第15回水素・燃料電池展	SPERA 水素 国際間水素 サプライチェーン実証プロジェクト	千代田化工建設(株) 長井
33	2019年3月	第5回集光型太陽熱技術研究会	Chiyoda Hydrogen Supply Chain Vision	千代田化工建設(株)
34	2019年3月	第84回 化学工学会年会	水素の大規模貯蔵輸送技術 -SPERA 水素®システム-の開発と展望	千代田化工建設(株) 岡田佳巳
35	2019年3月	Stanford 大学 Hydrogen Workshop	Liquid Organic Hydrogen Carrier Technology for Hydrogen Storage and Transportation in Large-Scale	千代田化工建設(株) 岡田佳巳
36	2019年6月	World Hydrogen Technology Convention 2019	Development of SPERA Hydrogen™ System using LOHC	千代田化工建設(株) 岡田佳巳
37	2019年7月 2019年8月	日刊工業新聞、エネ総工研 web 「エネルギーの新潮流」	水素大量導入時代に向け	千代田化工建設(株) 長井
38	2019年6月	G20 大阪サミット、国際メディアセンター内での展示	有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン	千代田化工建設(株)

39	2019年6月	技術情報センター Power to Gas セミナー	大規模水素貯蔵輸送技術による Power to Gas 実現への展望	千代田化工建設(株) 岡田佳巳
40	2019年6月	Credit Suisse Hydrogen Seminar	Overview of the Hydrogen Market Energy of the Future?	Chiyoda Oceania Pty Ltd
41	2019年7月	第14回再生可能エネルギー世界展示会&フォーラム	再生可能エネルギー由来の水素供給事業 ー有機ケミカルハイドライド法ー	千代田化工建設(株) 長井
42	2019年7月	日経イノベーションフォーラム	水素エネルギー社会の実装とグローバル連携	川崎市
43	2019年10月	第49回 石油・石油化学討論会	有機ケミカルハイドライド法による水素の大量貯蔵・輸送技術の開発	千代田化工建設(株)
44	2019年9月	JPI セミナー	水素貯蔵輸送技術による Power to Gas への適用と今後の展望 - SPERA 水素システムの展開と応用技術開発 -	千代田化工建設(株) 岡田佳巳
45	2019年9月	Hydrogen Energy Ministerial Meeting 2019	Demonstration Project “AHEAD”	三菱商事(株)
46	2019年10月	RD20(Research and Development 20 for clean energy technologies)	SPERA Hydrogen System - H2 Storage and Transportation in Large-scale -	千代田化工建設(株) 岡田佳巳
47	2019年10月	Japan-Myanmar Resource, Trade & Investment EXPO 2019 映像放映	テーマ「日本をもっと身近に」(ミャンマーに進出している日本企業を広く紹介する展示会の中で、当社の取組みを紹介)	千代田化工建設(株)
48	2019年11月	2019 Fuel Cell Seminar & Energy Exposition, Long Beach, California	Advances in Chemical Carriers for Hydrogen	千代田化工建設(株)
49	2019年11月	東工大 AES センターシンポジウム	蓄電池や水素を活用した脱炭素化への取組みについて	三菱商事(株)

50	2019年11月	Department of Energy Hydrogen Carrier Workshop	Advances in chemical Carriers for hydrogen	千代田化工建設(株)
51	2019年12月	Kuwait Symposium on Blue Hydrogen(JCCP/Kuwait Foundation 共催)	Development of SPERA Hydrogen TM System using LOHC	千代田化工建設(株) 岡田佳巳
52	2019年12月	ERIA Annex Office, Jakarta, Indonesia	The World's First Global Hydrogen Supply Chain Demonstration Project Update	千代田化工建設(株)
53	2020年1月	公益財団法人原総合知的通信シ ステム基金特別セミナー	水素の大規模貯蔵輸送技術 の開発と展望 -SPERA 水素システムの開 発と今後の展望-	千代田化工建設(株) 岡田佳巳
54	2020年2月	Stanford University Explore Course ERE205 Hydrogen Economy	MCH_LOHC_System	千代田化工建設(株)
55	2020年2月	天皇誕生日式典展示@ブルネイ	"The World's First Global Hydrogen Supply Chain starts in 2020 "by SPERA Hydrogen® between Brunei Darussalam and Kawasaki, Japan.	次世代水素エネル ギーチェーン技術 研究組合(AHEAD)
56	2020年2月	川崎水素戦略シンポジウム	大規模水素供給チェーンに 向けた歩み<SPERA 水素 >	千代田化工建設(株) 長井
57	2020年7月	令和2年第1回 川崎臨海部 水素ネットワーク協議会	川崎市水素戦略リーディン グプロジェクト進捗状況報 告 【水素サプライチェーン構 築モデル】	次世代水素エネル ギーチェーン技術 研究組合(AHEAD)
58	2020年8月	日本計画研究所 (JPI) セミナ ー	「水素貯蔵輸送技術の Power to Gas への適用可能 性と今後の展望」	千代田化工建設(株) 岡田佳巳
59	2020年10月	水素閣僚会議 2020	SPERA Hydrogen for the Future	千代田化工建設(株) 山東社長

60	2020年10月	The 5th International Conference on Maritime Hydrogen and Marine Energy	Shipping of Hydrogen from Brunei to Japan – Building a Global Hydrogen Network through “SPERA Hydrogen®”-	千代田化工建設(株)
61	2020年10月	CSJ 化学フェスタ	世界初国際間水素サプライチェーンの紹介 ～水素の大規模貯蔵輸送システムとサプライチェーン構想～	千代田化工建設(株)
62	2020年10月	2020 中国（太原）国際エネルギー産業博覧会	SPERA 水素ビジネス紹介	千代田化工建設(株) 長井

—新聞・雑誌等—

No.	年月	掲載誌名	タイトル	会社名
1	2017年6月	日本工業新聞社 「月刊ビジネスアイエネコ」雑誌とweb（取材）	松本真由美の環境・エネルギーDiary 「水素社会」の実現に近く！水素を常温で安全に大量輸送へ	千代田化工建設(株)
2	2017年7月	各種メディア（プレスリリース）	世界に先駆けて国際間水素サプライチェーン実証事業に本格着手	千代田化工建設(株) 遠藤英樹
3	2017年8月	化学工業日報	SPERA 水素事業の全体像、今後の展望について（特に水素の小型ステーションにつき、詳細取材希望）その1	千代田化工建設(株) 遠藤英樹
4	2017年8月	化学工業日報	SPERA 水素事業の全体像、今後の展望について（特に水素の小型ステーションにつき、詳細取材希望）その2	千代田化工建設(株) 遠藤英樹
5	2017年9月	ガスレビュー	有機ケミカルハイドライド法を用いた国際間大量水素サプライチェーン実証段階へ	千代田化工建設(株) 遠藤英樹
6	2017年9月	日経ヴェリタス	水素社会、実現迫る	千代田化工建設(株) 遠藤英樹

7	2017年9月	化学工業日報	SPERA 水素事業の全体像、 今後の展望について（特に水 素の小型ステーションにつ き、詳細取材希望）その3	千代田化工建設(株) 遠藤英樹
8	2017年9月	ガスエネルギー新 聞	水素のサプライチェーンに関 する特集記事	千代田化工建設(株) 遠藤英樹
9	2017年10月	ジェトロセンサー (取材)	ブルネイ国ー川崎 世界に先 駆け国際間水素サプライチェ ーン実証	千代田化工建設(株) 遠藤英樹
10	2017年10月	千代田化工建設 HP	弊社ウェブサイトの改訂	千代田化工建設(株)
11	2017年10月	エネルギージャー ナル	ブルネイ国ー川崎 世界に先 駆け国際間水素サプライチェ ーン実証	千代田化工建設(株) 遠藤英樹
12	2017年11月	エネルギーの新潮 流、およびエネル ギー総工研 web	ブルネイ国ー川崎 世界に先 駆け国際間水素サプライチェ ーン実証	千代田化工建設(株) 遠藤英樹
13	2017年11月	投資経済	世界に先駆け、国際間水素サ プライチェーン構築へ	千代田化工建設(株) 大島泰輔
14	2018年2月	川崎市環境技術紹 介パンフ「エコテ ックウォーカー」	水素社会を支え、世界のサス ティナビリティに貢献！	千代田化工建設(株) 岡田佳巳
15	2018年1月	月刊クリーンエネ ルギー	技術研究組合の設立と取り組 みー世界に先駆けた有機ケミ カルハイドライド法の水素サ プライチェーン実証ー	次世代水素エネルギーチェー ン技術研究組合(AHEAD) 遠藤
16	2018年2月	日本海運集会所 KAIUN	世界に先駆けた国際実証を通 じて水素の大量輸送・供給技 術を確立	次世代水素エネルギーチェー ン技術研究組合(AHEAD) 遠藤
17	2018年2月	株式会社ガスレビ ュー発行 ハイドリズム8	有機ハイドライド法は水素エ ネルギー社会の「希望」であ る	千代田化工建設(株)
18	2018年2月	WEBおよび小冊子 (CSR)	水素サプライチェーン実証	東亜石油(株)
19	2018年1月	武蔵野大学西脇教 授 水素エネルギーで 飛躍するビジネス	水素事業全般	千代田化工建設(株) 遠藤英樹

20	2018年5月	機関投資家向けIR資料	INVESTOR'S BRIEF 2018	千代田化工建設(株)
21	2018年4月	加地テックWEB	NEDO助成事業での圧縮機の受注	(株)加地テック
22	2018年5月	決算発表	世界に先駆けた国際間水素サプライチェーン実証のご紹介	千代田化工建設(株)
23	2018年7月	京浜臨海部ニュース8月号	次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合について	次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合(AHEAD)
24	2018年9月	2018サステナビリティレポート	川崎市と取り組む脱炭素社会への貢献	千代田化工建設(株)
25	2018年8月	月刊ビジネスアイエネコ	OCHを用いた水素サプライチェーン構築へ...千代田化工建設の取り組み	千代田化工建設(株)
26	2018年8月	電気新聞	SPERA水素 千代田の水素供給事業	千代田化工建設(株)
27	2018年8月	8th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology	Development of Novel Dehydrogenation Catalyst for Hydrogen Carrier	千代田化工建設(株) 岡田佳巳
28	2018年9月	NHK	国際間水素サプライチェーンにおける水素源ブルネイ紹介	千代田化工建設(株) 岡田佳巳
29	2018年11月 2019年1月	日刊工業新聞、エネルギージャーナル、エネ総工研web	千代田の水素供給事業	千代田化工建設(株) 長井
30	2018年11月	HP	国際間水素サプライチェーン実証事業の起工式	昭和シェル石油(株)
31	2018年11月	日経産業新聞コラム「グリーン技術」	千代田の水素供給事業	千代田化工建設(株) 長井
32	2019年1月	社内報	東亜石油(株)(川崎京浜製油所内)にて起工式典を開催	千代田化工建設(株)
33	2019年1月	社内報	脱水素プラント建設工事起工式	東亜石油(株)
34	2018年1月	読売新聞神奈川版	千代田の水素供給事業	千代田化工建設(株)

35	2019年2月	ソウル経済新聞	水素社会に向けた日本の取組み	千代田化工建設(株) 長井
36	2019年5月	Investor's Brief 2019	Hydrogen Supply Business	千代田化工建設(株)
37	2019年7月	市民向けパンフレット	「水素って何？」	川崎市
38	2019年6月	世界水素技術会議 (WHTC) 2019での 広報展示および ガイドブックへの 広告	有機ケミカルハイドライド法 による未利用エネルギー由来 水素サプライチェーン	千代田化工建設(株)
39	2019年6月	Chiyoda in Brief	Hydrogen Supply Chain	千代田化工建設(株)
40	2019年6月	G20 軽井沢大臣会 合、屋外展示会場 での展示	有機ケミカルハイドライド法 による未利用エネルギー由来 水素サプライチェーン	千代田化工建設(株)
41	2019年7月	朝日新聞電子版	中国でも注目している SPERA 水素技術	千代田化工建設(株) 長井
42	2019年7月	化学工業日報	千代田化工建設の水素の取り 組み	千代田化工建設(株) 長井
43	2019年8月	「火力原子力発 電」2019年10月 号	有機ハイドライド法水素貯蔵 輸送技術と将来の展望	千代田化工建設(株)
44	2019年3月	株主向け資料	水素サプライチェーン事業 脱水素プラント完成	東亜石油(株)
45	2020年1月	サステイナビリティ レポート	水素サプライチェーンへの協 力	出光興産(株)
46	2020年2月	日経産業新聞	水素サプライチェーン実証 水素輸送の開始	日本郵船(株)
47	2020年2月	電気新聞	水素サプライチェーン実証 水素輸送の開始	日本郵船(株)
48	2020年3月	電気新聞	千代田化工、水素製造コス ト低減へ触媒研究/量産見据 え耐久性向上	千代田化工建設(株) 長井
49	2020年5月	月刊誌「KAIUN」 5月号	水素サプライチェーン実証	日本郵船(株)

50	2020年4月	日経ビジネス電子版	水素は、“ごく普通のタンクローリー”で輸送できる?!	千代田化工建設(株) 長井
51	2020年4月	「海事プレス」	水素サプライチェーン実証稼働開始	日本郵船(株)
52	2020年4月	「日本海事新聞」	水素サプライチェーン実証稼働開始	日本郵船(株)
53	2020年5月	Investor's Brief 2020	SPERA Hydrogen / The World's First Global Supply Chain Transportation Project	千代田化工建設(株)
54	2020年5月	HP	輸入水素の発電利用開始	川崎市
55	2020年5月	HP	【世界初国際間水素サプライチェーン】 海外から輸送した水素による国内初の発電開始	千代田化工建設(株)
56	2020年6月	報道関係者様向けプラント見学会、HP	水素サプライチェーン実証概要説明	次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合(AHEAD)
57	2020年6月	HP	世界初、水素を輸送する国際実証試験を本格開始 ～水素サプライチェーンの循環に成功、水素社会の実現を目指す～	日本郵船(株)
58	2020年10月	情報誌「港湾10月号」	特集 【港湾における脱炭素社会の実現に向けて】 「川崎における水素サプライチェーン構築に向けた取り組み」	次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合(AHEAD) 森本理事長
59	2020年11月	配管技術 11月号	水素の大量長距離輸送技術 SPERA 水素®システムの開発 -世界初の国際間水素サプライチェーン実証プロジェクト-	千代田化工建設(株) 岡田佳巳

－その他－

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2017年11月	INCHEM TOKYO	SPERA 水素 千代田の水 素供給事業 世界に先駆けた国際間水素 サプライチェーン実証のご 紹介	千代田化工建設(株)
2	2017年11月	APEC Energy Working Group 54 EV and Hydrogen Technology Policy Workshop	Establishing a Hydrogen Supply Chain to Japan	三菱商事(株)
3	2017年11月	在ブルネイ日本大使 館レセプション	水素事業全般	次世代水素エネルギーチェ ーン技術研究組合(AHEAD)
4	2018年2月	川崎国際環境技術展	SPERA 水素 千代田の水 素供給事業	千代田化工建設(株)
5	2018年2月	東京都水素エネルギ ー推進セミナー	SPERA 水素 千代田の水 素供給事業 (プレゼンおよ び映像)	千代田化工建設(株) 次世代水素エネルギーチェ ーン技術研究組合(AHEAD) 成毛
6	2018年2月	FC Expo	水素サプライチェーン構築 モデル	川崎市
7	2018年7月	smart engineering tokyo2018	SPERA 水素 千代田の水 素供給事業	千代田化工建設(株)
8	2019年2月	第11回 川崎国際環 境技術展	SPERA 水素 千代田の水素 供給事業	千代田化工建設(株)
9	2019年2月	FC-EXPO 第15回 水素・燃料電池展	SPERA 水素 国際間水素 サプライチェーン実証プロ ジェクト	川崎市
10	2019年10月	TOKYO MOTOR SHOW 2019 ×COUNTDOWN SHOWCASE FUTURE EXPO	SPERA 水素@千代田の水 素サプライチェーン (有機ケミカルハイドライ ド法)	千代田化工建設(株)
11	2019年11月	第12回川崎国際環境 技術展	SPERA 水素@千代田の水 素サプライチェーン (有機ケミカルハイドライ ド法)	千代田化工建設(株)

12	2019年11月	ブルネイオープン グセレモニー 展示	SPERA 水素@千代田の水 素サプライチェーン (有機ケミカルハイドライ ド法)	次世代水素エネルギーチェ ーン技術研究組合(AHEAD)
13	2019年12月	水素エネルギーイベ ント@MEGAWEB 映像放映・パンフ配 布	SPERA 水素@千代田の水 素サプライチェーン (有機ケミカルハイドライ ド法)	千代田化工建設(株)
14	2020年2月	FC-EXPO2020 映 像放映	SPERA 水素@ 千代田の水 素サプライチェーン (有機ケミカルハイドライ ド法)	(一社)水素供給利用技術協会

II-③：「液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」

川崎重工業(株)／東京貿易エンジニアリング(株)／
(株)IHI 回転機械エンジニアリング／(株)荏原製作所

－特許等－

No.	出願日	出願番号	名称	会社名
1	2020年6月	PCT/JP2020/025367	二重殻タンク及び船舶	川崎重工業(株)
2	2020年3月	特願 2020-56701	ポンプ装置	(株)荏原製作所

－学会発表・講演－

No.	年月	会議名	タイトル	発表者
1	2019年9月	水素関係会議	KHI's Activity for International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 金花芳則

－新聞・雑誌等－

No.	年月	掲載誌名	タイトル	会社名
1	2019年9月	川崎重工技報	水素をためる－液化水素基 地の開発－	川崎重工業(株) 猪股昭彦ほか

II-④：「液化水素貯槽の大型化に関する研究開発」

トーヨーカネツ(株)

該当なし

II-⑤：「液化水素用大口径バタフライバルブの技術開発」 (株)中北製作所

該当なし

II-⑥：「液化水素用バタフライバルブの開発」 (株)ササクラ

該当なし

II-⑦：「液化水素用大型バルブの技術開発」 (株)キッツ

該当なし

(ロ) 水素エネルギー利用システム開発

II-⑧：「ドライ低 NOx 水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業」

川崎重工業(株)／(株)大林組

—特許等—

No.	出願日	出願番号	名称	会社名
1	2019年11月	国際ガスタービン 会議 IGTC2019 東京	Application of Low NOx Micro-Mix Hydrogen Combustion to 2MW Class Industrial Gas Turbine Combustor	川崎重工業(株)

—学会発表・講演—

No.	年月	会議名	タイトル	発表者
1	2019年4月	技術情報センター主催 セミナー「低炭素発電 と燃料供給に関する要 素技術・事業動向」(東 京・新お茶の水連合会 館)	水素燃料に対応する燃焼技 術とガスタービン開発状況	川崎重工業(株) 堀川敦史

2	2019年5月	Parlamentarischer Abend des Bundesverband Bioenergie e.V. und der Botschaft von Japan in Deutschland	Kawasaki's Activity for Hydrogen Supply Chain and Hydrogen Gas Turbine	Kawasaki Gas Turbine Europe 緒方正裕
3	2019年6月	World Hydrogen Technologies Convention (WHTC) 2019 (東京国際フォー ラム)	International Liquefied Hydrogen Supply Chain and Hydrogen Gas Turbine	川崎重工業(株) 西村元彦
4	2019年6月	World Hydrogen Technologies Convention (WHTC) 2019 (東京国際フォー ラム)	Development and Evaluation of a Combined Heat and Power Supply System using a Hydrogen Gas Turbine	川崎重工業(株) 足利貢 山口正人 小浜範芳
5	2019年7月	第14回再生可能エネ ルギー世界展示会&フ ォーラム	国際水素サプライチェーン 構築への取組	川崎重工業(株) 千代亮
6	2019年7月	日本社会イノベーショ ンフォーラム2019	国際水素サプライチェーン の実現に向けた川崎重工の 取組み	川崎重工業(株) 原田英一
7	2019年8月	敦賀商工会議所主催 「第3回 "水素エネル ギー産業"勉強会」	国際水素サプライチェーン 構築に向けた川崎重工の取 組	川崎重工業(株) 西村元彦
8	2019年8月	日本計画所研究所主催 セミナー	川崎重工業「国際液化水素 サプライチェーン構築」の 進捗と今後のさらなる展開 について	川崎重工業(株) 西村元彦
9	2019年9月	福岡水素エネルギー人 材育成センター主催 「水素入門コース」	水素ガスタービン発電の実 現に向けた取組み	川崎重工業(株) 吉山孝
10	2019年9月	日独産業協会主催 「Asa No Kai 朝の 会」	The actions of Kawasaki – Hydrogen Technologies in Japan and Germany	Kawasaki Gas Turbine Europe GmbH 緒方 正裕

11	2019年9月	日本伝熱学会主催「第16回関西伝熱セミナー」	CO2フリー水素サプライチェーンと水素コージェネレーションシステムの開発状況	川崎重工業(株) 山口正人
12	2019年9月	関西火力発電 EXPO 技術セミナー	国際水素サプライチェーン構築と水素ガスタービン開発への取組み	川崎重工業(株) 吉山孝
13	2019年9月	Regional Workshop on Green and Low Carbon Hydrogen Energy	Hydrogen Energy Supply Chain Project	川崎重工業(株) 吉野泰
14	2019年10月	第57回 日豪経済合同委員会議	New Partnership for the Future	川崎重工業(株) 金花芳則
15	2019年10月	International Conference on Power Engineering-2019	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 鈴木啓真
16	2019年12月	JXTG・NHK エンタープライズ社主催シンポジウム	国際水素エネルギーサプライチェーン構築に向けた取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
17	2019年12月	大阪産業技術研究所 森之宮センター	国際水素サプライチェーン構築と水素ガスタービン開発への取組み	川崎重工業(株) 吉山孝
18	2020年1月	Energy Workshop ADNOC&JCCME	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 千代亮
19	2020年1月	NIRO 主催 第3回セミナー・見学会「水素サプライチェーン構築に向けた取組み」	国際水素サプライチェーン構築に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 新道憲二郎
20	2020年2月	Japan-Norway Hydrogen Seminar 2020 "Innovative Hydrogen End-Use in Global Supply Chains"	Status of the Hydrogen Energy Supply Chain Project	川崎重工業(株) 森本勝哉
21	2020年3月	Hydrogen Safety Conference Osaka 2020	Demonstration Project of Smart Community using Hydrogen Co-generation System	川崎重工業(株) 足利貢

22	2020年5月	日経 社会イノベーションフォーラム	水素エネルギー社会の実装とグローバル連携	川崎重工業(株) 原田英一
23	2020年5月	第27回 燃料電池シンポジウム	水素ガスタービンの開発および水素コージェネレーションシステムによる熱電供給実証	川崎重工業(株) 足利貢
24	2020年6月	メルボルン大学教員、学生向けセミナーでのライブ中継	Hydrogen Energy Supply Chain (HESC)	Hydrogen Engineering Australia Pty Ltd (HEA) 川副洋史
25	2020年7月	グローバル CCS インスティテュート日本事務所主催 第32回勉強会	国際水素サプライチェーンの実現に向けた取組み	川崎重工業(株) 重清秀雄
26	2020年7月	23rd World Hydrogen Energy Conference	DEVELOPMENT OF INNOVATIVE HYDROGEN COMBUSTION SYSTEMS FOR INDUSTRIAL GAS TURBINES	Kawasaki Gas Turbine Europe Nurettin Tekin
27	2020年8月	(株)技術情報センター主催 セミナー -アンモニア利用発電、水素発電、超臨界 CO2 サイクルなど- 低炭素発電と燃料供給に関する要素技術と事業動向	水素燃料に対応する燃焼技術とガスタービン開発状況	川崎重工業(株) 堀川敦史
28	2020年9月	ENAA 研究成果発表会 2020	ENAA 研究成果発表会 2020 F-2: 「水素インフラ研究会」活動報告	(一財)エンジニアリング協会 水素インフラ研究会
29	2020年9月	2020年度/第29回クリーン・コール・デー国際会議 (Web形式にて実施)	International Liquefied Hydrogen Supply Chain Utilizing Brown Coal	川崎重工業(株) 原田英一

30	2019年6月	World Hydrogen Technologies Convention (WHTC) 2019 (東京国際フォーラム)	Kawasaki Hydrogen Road	川崎重工業(株)
31	2020年2月	次世代火力発電 EXPO	次世代火力ボイラ/CGS コージェネレーションシステム	川崎重工業(株) 井本太郎
32	2020年2月	次世代火力発電 EXPO	スマートコミュニティ技術 開発事業 水素ガスタービンによる コージェネレーションシステム を活用した実証事業	川崎重工業(株) 井本有太郎
33	2020年2月	次世代火力発電 EXPO	CGS コージェネレーション システム THE NEXT 火 力発電	川崎重工業(株) 山口正人

—新聞・雑誌等—

No.	年月	掲載誌名	タイトル	会社名
1	2019年4月	日本動力協会『エネルギーと動力』	水素専焼／混焼ガスタービンによる熱・電供給実証事業の紹介	(株)大林組
2	2019年5月	日本動力協会「エネルギーと動力」第292号	水素専焼／混焼ガスタービンによる熱・電供給実証事業の紹介	川崎重工業(株) 足利貢、山口正人
3	2019年6月	一般社団法人 日本電気工業会 機関紙「電機」	川崎重工業株式会社におけるSDGs への取組み	川崎重工業(株)
4	2019年6月	(公) 日本港湾協会「港湾」6月号「港の現場最前線」	神戸港産「水素エネルギー」～国際液化水素サプライチェーンの実現に向けた取り組み～	川崎重工業(株) 土屋昌義
5	2019年6月	一般社団法人 水素エネルギー協会 (HESS) 協会誌「水素エネルギーシステム」	水素 CGS 活用スマートコミュニティ実証事業	(株)大林組 小野嶋一、島潔

6	2019年7月	省エネルギーセンター「月刊省エネルギー誌7月号」	高効率5MW級ガスタービンコージェネの開発と水素燃料タービンの技術開発状況	川崎重工業(株) 寺内晃司、堂浦康司、中安稔、合田真琴
7	2019年8月	エネルギー総合工学研究所「エネルギーの新潮流9月号」	川崎重工業 西村元彦技術開発本部水素チェーン開発センター長に聞く	川崎重工業(株) 西村元彦
8	2019年9月	日本機械学会「ニュースレター第62号」	水素専焼/混焼ガスタービンによる熱・電供給実証事業の紹介	川崎重工業(株) 山口正人
9	2019年9月	経済産業新報2019年9月9日号	水素エネルギーの社会実装を目指す水素サプライチェーン構想	川崎重工業(株) 西村元彦
10	2019年9月	Financial Times 社出版物	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 西村元彦
11	2019年9月	日本機械学会動力エネルギーシステム部門 ニュースレター第62号	水素専焼/混焼ガスタービンによる熱・電供給実証事業の紹介	川崎重工業(株) 山口正人
12	2019年10月	火力原子力発電技術協会「火力原子力発電10月号」	川崎重工における水素焼きガスタービンの開発状況	川崎重工業(株) 堀川敦史
13	2020年3月	ASME「Mechanical Engineering 3月号」	HYDROGEN ENERGY SUPPLY CHAIN FOR DECARBONIZATION	川崎重工業(株) 西村元彦
14	2020年3月	読売新聞	変わりゆく万博 3	川崎重工業(株) 井本有太郎
15	2020年7月	ENN・エンジニアリングネットワーク	水素ガスタービンについて	川崎重工業(株) 辰巳康司
16	2020年8月	ENAA 研究成果発表会 2020	ENAA 研究成果発表会 2020 F-2:「水素インフラ研究会」活動報告	(一財)エンジニアリング協会
17	2020年9月	エネルギー総合工学研究所「エネルギーの新潮流9月号」	川崎重工業 西村元彦技術開発本部水素チェーン開発センターセンター長(プロジェクト総括担当) 准執行役員に聞く	川崎重工業(株) 西村元彦

18	2020年11月	新建築社 ja 118号	水素でエネルギー危機に備える	(株)大林組
19	2020年7月	HP掲載 (マスコミへのメール配信有り)	世界初、ドライ低NOx水素専焼ガスタービンの技術実証試験に成功～水素社会の実現に向けて水素発電の性能を向上～	川崎重工業(株) 山口正人
20	2020年8月	HP掲載	World's First Successful Technology Verification of 100% Hydrogen-fueled Gas Turbine Operation with Dry Low NOx Combustion Technology Improving Power Generation Performances to Realize a Hydrogen Society	川崎重工業(株) 山口正人
21	2020年7月	大林組ホームページ	世界初、ドライ低NOx水素専焼ガスタービンの技術実証試験を開始～水素社会の実現に向けて水素発電の性能を向上～	(株)大林組
22	2020年7月	大林組ホームページ	World's First Successful Technology Verification of 100% Hydrogen-fueled Gas Turbine Operation with Dry Low NOx Combustion Technology	(株)大林組
23	2020年8月	大林組ホームページ	神戸・関西圏水素利活用協議会の設立と参画について	(株)大林組

II-⑨：「CO2フリーアンモニア利用GTCCシステムの技術開発」

三菱パワー(株)

—特許等—

No.	出願日	出願番号	名称	会社名
-----	-----	------	----	-----

1	2021年1月予定	未定	アンモニア分解装置	三菱パワー(株) 三菱重工エンジニアリング(株)
---	-----------	----	-----------	-----------------------------

—学会発表・講演—

No.	年月	会議名	タイトル	発表者
1	2019年10月	機械学会関西支部秋季技術フォーラム講演	水素ガスタービンの開発について	三菱パワー(株) 谷村 聡
2	2019年11月	International Gas Turbine Congress 2019 (IGTC2019) パネル展示	Hydrogen Gas Turbine	三菱パワー(株) 谷村 聡
3	2019年11月	International Gas Turbine Congress 2019(IGTC2019) 講演	H2 Gas Turbine for Low Carbon Society	三菱パワー(株) 谷村 聡
4	2020年1月	第48回ガスタービンセミナー	発電用ガスタービンにおける水素利用	三菱パワー(株) 岸田 宏明
5	2020年2月	Japan-Norway Hydrogen Seminar 2020	MHPS H2 Gas Turbine for Low Carbon Society	三菱パワー(株) Haavard Oevernes
6	2020年2月	火力原子力発電技術協会 東北支部 令和元年度技術講演会	発電用ガスタービンにおける水素利用	三菱パワー(株) 宮本 健司
7	2020年10月	第2回GAC国際シンポジウム パネルディスカッション	セッション③技術開発	三菱パワー(株) 石井 弘実

II-⑩：「低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型Dry Low NOx 高温ガスタービン発電設備の研究開発」

三菱パワー(株)／三菱重工業(株)

—学会発表・講演—

No.	年月	会議名	タイトル	発表者
-----	----	-----	------	-----

1	2020年8月	(株)技術情報センター セミナー：低炭素発 電と燃料供給に關す る技術と事業動向	大型ガスタービンにおける 水素エネルギー利用の取組 み	三菱重工業(株) 齊藤 圭司郎
2	2020年10月	火力原子力発電技術 協会 関東支部 講演 会	発電用大型ガスタービン に おける水素利用	三菱パワー(株) 川上 朋
3	2020年10月	日本ガスタービン学 会 定期講演会先端技術 フォーラム 講演会	大型水素ガスタービンの開 発	三菱パワー(株) 谷村 聡
4	2020年10月	ICCI2020 event in Turkey	MITSUBISHI POWER'S JAC SERIES GAS TURBINES	三菱パワー(株) Bulent Mehmetli
5	2020年10月	発電用大型ガスター ビン における水素利 用	火力原子力発電技術協会 九 州支部 講演会	三菱パワー(株) 西海 高史

II-⑪：「高濃度水素混焼／水素専焼焚きボイラ・発電設備の技術開発」

三菱パワーインダストリー(株)

該当なし

II-⑫：「大出力水素燃焼エンジン発電システムに関する技術開発」

川崎重工業(株)

該当なし

II-⑬：「水素 CGS 活用スマートコミュニティ技術開発事業」 (株)大林組／川崎重工業(株)

—論文—

No.	年月	発表誌名/頁番号	タイトル	発表者
1	2017年9月	平成29年度 空気 調和・衛生工学会 大会	双方向蒸気融通技術の確立に 關する研究(第1報) 実験お よび数値解析概要	(株)大林組 島潔
2	2018年5月	エネルギー資源学 会誌	国際液化水素サプライチェー ンの技術構築の現状	川崎重工業(株) 西村元彦一

3	2018年9月	エネルギー・資源 Vol. 39, No. 5 (通 巻 231号)	川崎重工における水素焚きガ スタービンの開発状況	川崎重工業(株) 堂浦康司
4	2019年1月	溶接学会誌	日豪水素サプライチェーン構 築への取り組み	川崎重工業(株) 山本滋

—学会発表・講演—

No.	年月	会議名	タイトル	発表者
1	2015年7月	日経 社会イノベー ションフォーラム 「水素が切り開く 日本の成長戦略と スマート社会」	CO2フリー水素導入構想への 川崎重工の取り組み	川崎重工業(株)
2	2015年7月	第10回 再生可能 エネルギー国際フ ォーラム	CO2フリー水素の製造と大量 輸送技術	川崎重工業(株)
3	2015年8月	The 24th IIR International Congress of Refrigeration	DEVELOPMENT FOR ENERGY CARRIER WITH LIQUID HYDROGEN FROM OVERSEAS	川崎重工業(株)
4	2015年10月	WHTC2015 ; World Hydrogen Technologies Convention, Sydney, Australia	Development of Energy Carrier with Liquid Hydrogen from Australia	川崎重工業(株)
5	2015年11月	神戸市講演会「水 素社会の実現へ - 環境貢献都市 KOBE の取り組み-」	川崎重工業(株)の水素社会へ の取り組み	川崎重工業(株)
6	2015年11月	一般社団法人 日本 電機工業会 2015/ 度 第83回 新エネ ルギー講演会	水素エネルギーサプライチェ ーン実現への取り組み	川崎重工業(株)
7	2016年2月	I2CNER International Workshop	IMPORT of LOW-CARBON HYDROGEN from OVERSEES	川崎重工業(株)

8	2016年2月	第10回 イワタニ 水素エネルギーフ ォーラム大阪	水素エネルギー導入と 水素 ガスタービン発電の 実現に 向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株)
9	2016年4月	16th Global Energy Village Summit	Toward Realization of a Hydrogen Energy Supply Chain	川崎重工業(株)
10	2016年7月	日経 社会イノベー ションフォーラム 「水素が切り開く 日本の成長戦略と スマート社会」	CO2 フリー水素サプライチェ ーン構想実現への取組み	川崎重工業(株)
11	2017年11月	山口県産業技術セ ンター「水素関連 技術マッチングセ ミナー」	エネルギー利用の効率化を中 心としてスマートエネルギー 都市を担う水素の可能性これ からの水素社会共創に向けて	(株)大林組
12	2018年5月	IPHE 国際会議@神戸	Kawasaki Hydrogen Road	川崎重工業(株)
13	2018年10月	北陸技術交流テク ノフェア	川崎重工業が目指す未来、 ものづくり企業の可能性 ～ カワる、サキへ。 Changing forward～	川崎重工業(株)
14	2017年9月	住宅・都市イノベ ーション総合展 2017	スマートシティの概要と当社 の取組み	(株)大林組
15	2017年10月	神戸市・神戸空港 展示会「水素で世 界に誇れる夢のあ る街へ」	水素 CGS 活用スマートコミュ ニティ技術開発事業	川崎重工業(株)
16	2017年9月	国際フロンティア 産業メッセ 2017	水素 CGS 活用スマートコミュ ニティ技術開発事業	川崎重工業(株)
17	2017年12月	兵庫県 次世代産業 雇用創造プロジェ クト/水素関連産 業市場への企業参 入支援事業「水素 関連セミナー (特 別講演)」	きたるべき水素社会に向けて ー大林組の取組みー	(株)大林組

18	2018年9月	京都丹波イノベーション創出ビジネスマッチング交流会	エネルギーの地産地消を中心とした保有技術等の紹介	(株)大林組
19	2018年10月	GHGT-14	Kawasaki Hydrogen Road	川崎重工業(株)
20	2018年11月	メッセナゴヤ 2018	サステナブルエネルギー関連技術水素の活用水素活用に向けた実証事業等への参画	(株)大林組
21	2018年2月	次世代火力発電 EXPO	水素 CGS 活用スマートコミュニティ技術開発事業	川崎重工業(株)
22	2016年3月	スマートエネルギーWeek2016 国際スマートグリッド EXPO	水素 CGS 活用スマートコミュニティ技術開発事業	(株)大林組 梶木盛也
23	2016年11月	全国空港ビル協会技術研修会	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 原田 英一
24	2016年11月	イワタニ水素エネルギーフォーラム 周南	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 山本滋
25	2017年1月	日本機械学会関東支部講習会	水素エネルギーサプライチェーンの実現に向けた取り組み	川崎重工業(株) 洲河誠一
26	2017年3月	次世代火力発電 EXPO 専門技術セミナー	低炭素発電および水素発電を実現する川崎重工の技術	川崎重工業(株) 西村元彦
27	2017年5月	第24回燃料電池シンポジウム	CO2フリー水素サプライチェーン実現への川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 西村元彦
28	2017年6月	CCT ワークショップ 2017	水素エネルギーサプライチェーン実現への取り組み	川崎重工業(株) 千代亮
29	2017年6月	東京工業大学グローバル水素エネルギーコンソーシアム	国際液化水素サプライチェーン実現への取り組み	川崎重工業(株) 西村元彦
30	2017年6月	日本計画研究所セミナー	脱炭素社会に向けた世界初となる液化水素サプライチェーン構築における川崎重工業の取組について	川崎重工業(株) 西村元彦

31	2017年7月	THE 7th WORLD HYDROGEN TECHNOLOGY CONVENTION	Low NOx hydrogen combustion technology for gas turbine	川崎重工業(株) 饒雅英
32	2017年7月	日経社会イノベーションフォーラム	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 原田英一
33	2017年8月	福岡水素エネルギー戦略会議	海外の未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築に向けた取組状況	川崎重工業(株) 原田英一
34	2017年9月	国際フロンティア産業メッセ2017	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 原田英一
35	2017年9月	2017 Saudi Aramco-JCCP Symposium on the Global Perspective of the Hydrogen Economy	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 西村元彦
36	2017年9月	平成29年度 空気調和・衛生工学会大会	双方向蒸気融通技術の確立に関する研究(第1報) 実験および数値解析概要	(株)大林組 島潔
37	2017年10月	電気設備学会関西支部「フォーラム関西」講演会「建築電気設備に関する仕事 ―学生と企業の交流会―」	スマートエネルギーシステムと最新技術の紹介	(株)大林組 島潔
38	2017年10月	神戸市・神戸空港講演会「水素で世界に誇れる夢のある街へ」	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 山本滋
39	2017年10月	CEA tech days	Toward Realization of a Hydrogen Energy Supply Chain	川崎重工業(株) 長谷川卓
40	2017年10月	台日水素フォーラム	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 西村元彦

41	2017年10月	よこはま水素エネルギー協議会	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 山本滋
42	2017年11月	経済産業省平成29年度「分散型エネルギー関連政策立案研修」(案)	スマートコミュニティの実績と取り組み	(株)大林組 島潔
43	2017年11月	兵庫県技術士会	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 原田英一
44	2017年11月	Hydrogen Council CEO 会合	Roadmap towards a hydrogen economy	川崎重工業(株)
45	2017年11月	液体水素利用シンポジウム	国際水素サプライチェーン実現への取り組み	川崎重工業(株) 千代亮
46	2017年11月	日本船舶機関士協会講演会	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 山本滋
47	2017年11月	地球温暖化対策シンポジウム	水素エネルギー利用社会実現に向けた川崎重工の取り組み	川崎重工業(株) 西村元彦
48	2017年12月	第37回水素エネルギー協会大会	川崎重工における水素ガスタービンの開発	川崎重工業(株) 堀川敦史
49	2017年12月	神戸の地域エネルギーを未来に繋ぐシンポジウム	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取り組みおよび神戸における実証プロジェクトについて	川崎重工業(株) 原田英一
50	2017年12月	EPOC 低炭素社会分科会 水素フォーラム	大林組スマートシティ化への取り組み	(株)大林組 島潔
51	2017年12月	日本産業機械工業会	川崎重工における水素専焼・混焼タービンの開発状況について	川崎重工業(株) 堀川敦史
52	2018年1月	高温ガス炉プラント研究会	来たるべき水素社会にむけてー国際液化水素サプライチェーン実現への取り組みー	川崎重工業(株) 西村元彦
53	2018年1月	千葉県水素エネルギー関連産業振興プラットフォーム	水素ガスタービン発電最前線	川崎重工業(株) 西村元彦

54	2018年2月	近畿地区ボイラータービン主任者会議	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 長谷川卓
55	2018年2月	第12回イワタニ水素エネルギーフォーラム大阪	未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業への取組	川崎重工業(株) 西村元彦
56	2018年2月	堺市水素エネルギー社会推進協議会	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 山本滋
57	2018年3月	次世代火力発電EXPO	低炭素から脱炭素社会に向けた次世代火力発電システムの最新事例	川崎重工業(株) 西村元彦
58	2018年3月	IEA 先端燃料電池に関する技術協力プログラム	KHI's Activity for International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 吉村健二
59	2018年3月	ALCANTARA and VIU SYMPOSIUM	Hydrogen (Supply Chain)	川崎重工業(株) 千代亮
60	2018年3月	甲南大学シンポジウム	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 山本滋
61	2018年3月	平成29年度 近畿経済産業局 関西スマートエネルギー推進事業自治体×企業 スマエネマッチング会	地域における新たなエネルギービジネスモデル「エネルギーの地産地消」再生可能エネルギーを核とした地域循環経済の構築	(株)大林組 種田裕
62	2018年3月	神戸ラスキン会	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 山本滋
63	2018年3月	兵庫県水素社会戦略研究会	国際水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 山本滋
64	2018年3月	Workshop Hydrogen Economy	KHI's Activity for International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 長谷川卓

65	2018年4月	ドイツ・オランダ セミナー	Hydrogen (Supply Chain)Development of Overseas Energy Carrier with Liquid Hydrogen	川崎重工業(株) 西村元彦
66	2018年4月	Gas Conference	Liquefied Hydrogen Supply Chain and Carrier Ship to Realize Hydrogen Economy	川崎重工業(株) 森本勝哉
67	2018年4月	東京大学 GSI セミ ナー	国際水素サプライチェーンの 実現に向けた川崎重工の取組 み	川崎重工業(株) 千代亮
68	2018年4月	イワタニ水素エネ ルギーフォーラム@ 東京	未利用褐炭由来水素大規模海 上輸送サプライチェーン構築 実証事業への取組	川崎重工業(株) 西村元彦
69	2018年4月	Global Energy Village	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 千代亮
70	2018年4月	Hannover Messe 日独経済フォーラ ム	KHI Activity for Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 長谷川卓
71	2018年5月	The Annual Asia Pacific CCS Forum	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 重清秀雄
72	2018年5月	水素・再エネ社会 の新事業創出フォ ーラム	日豪液化水素サプライチェー ン構築への取組みと技術開発	川崎重工業(株) 西村元彦
73	2018年6月	井之上先生勉強 会：第45回水素研 究会	国際水素サプライチェーンの 実現に向けた川崎重工の取組 み	川崎重工業(株) 千代亮
74	2018年6月	東工大 GHEC エネ ルギーコンソーシ アム	水素ガスタービンのエクセル ギー解析と将来サイクルの展 望	川崎重工業(株) 山下誠二
75	2018年6月	22nd World Hydrogen Energy Conference (WHEC)	Technical development of hydrogen related equipment for realization of 'Hydrogen Economy'	川崎重工業(株) 長谷川卓
76	2018年6月	大阪商工会議所： 環境・エネルギー ビジネス研究会	国際液化水素サプライチェー ン構築への川崎重工の取組み ～ 豪州褐炭由来水素プロジ ェクト・神戸水素発電実証事 業を例に～	川崎重工業(株) 西村元彦

77	2018年6月	スマートグリッド ／スマートコミュニ ティ研究会	川崎重工における水素専焼・ 混焼タービンの開発状況につ いて	川崎重工業(株) 堀川史
78	2018年6月	高圧力技術協会 (HPD)技術セミナー	国際水素サプライチェーン 実現への取組み	川崎重工業(株) 川越 英司
79	2018年7月	日本計画研究所セ ミナー	『国際液化水素サプライチェ ーン構築』 2020年を目指し た国内外連携プロジェクト パイロット実証の進捗と今後 の展開	川崎重工業(株) 西村元彦
80	2018年7月	大阪科学技術セン ター	国際液化水素チェーン実現へ の取組みと水素ガスタービン の開発状況	川崎重工業(株) 西村元彦
81	2018年7月	日経イノベーション ンフォーラム	国際水素サプラ・チェーンの 実現に向けた川崎重工の取組 み	川崎重工業(株) 原田英一
82	2018年7月	大阪大学工業会・ 技術交流会	CO2フリー水素サプライチ ェーンでの水素燃焼技術の開 発	川崎重工業(株) 饒雅英
83	2018年8月	宮城県 水素・燃料 電池関連産業セミ ナー	国際水素サプライチェーンの 実現に向けた川崎重工の取組 み	川崎重工業(株) 山本滋
84	2018年8月	技術情報センター 主催セミナー	水素燃料に対応する燃焼技術 とガスタービン開発状況	川崎重工業(株) 堀川敦史
85	2018年8月	Asian Congress on Gas Turbines 2018	CO2-free Hydrogen chain and Hydrogen combustion technology for gas turbine	川崎重工業(株) 饒雅英
86	2018年8月	西豪州 RE Hydrogen	Hydrogen Supply Chains for a Sustainable Future	川崎重工業(株) 西村元彦
87	2018年9月	JEMA・新エネル ギー講演会	国際液化水素サプライチェ ーン構築への取り組みと水素発 電実証	川崎重工業(株) 西村元彦
88	2018年9月	クリーンコールデ ー国際会議	International Liquefied Hydrogen Supply Chain Utilizing Brown Coal	川崎重工業(株) 原田英一
89	2018年9月	第50回 日本・米 国中西部会 日米合 同会議	About Kawasaki・ Hydrogen Road・	川崎重工業(株) 金花芳則

90	2018年9月	POWER-GEN Asia 2018	Hydrogen Gas Turbine	川崎重工業(株) 明日芳浩
91	2018年9月	関西 FC-EXPO	国際液化水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 山本滋
92	2018年9月	関西スマートネッ ギーWeek2018 専 門技術セミナー	神戸ポートアイランドにお ける水素CGSスマートコミュ ニティ事業	(株)大林組 種田裕
93	2018年10月	NIRO セミナー	国際液化水素サプライチェーンの実現に向けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 山本滋
94	2018年10月	Innovation for Cool Earth(ICEF 2018)	International Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 西村元彦
95	2018年10月	第2回液化水素技 術国際ワークショ ップ	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 西村元彦
96	2018年10月	生産技術振興協会 ハイテクセミナー	神戸市ポートアイランドにお ける水素CGSスマートコミュ ニティ事業	(株)大林組 島潔
97	2018年11月	福岡水素エネルギ ー戦略会議人材育 成セミナー	国際水素サプライチェーン構 築に向けた川崎重工の取組	川崎重工業(株) 千代亮
98	2018年11月	第51回 2018 建 築設備技術会議	水素を軸とした次世代スマー トコミュニティへの挑戦	(株)大林組 島潔
99	2018年11月	水素エネルギーテ クノシンポジウム	水素の製造・貯蔵・輸送・利 用に至る国際サプライチェー ン構築への取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
100	2018年11月	名古屋商工会議所	国際水素サプライチェーン構 築に向けた川崎重工の取組	川崎重工業(株) 西村元彦,
101	2019年1月	生産技術振興協会	水素社会構築に向けた川崎重 工の取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
102	2019年1月	第47回ガスタービ ンセミナー	水素焼きガスタービン開発の 取組み	川崎重工業(株) 柏原 宏行
103	2019年2月	兵庫県電気協会技 術講習会	水素エネルギー社会実現に向 けた川崎重工の取組み	川崎重工業(株) 吉山孝

104	2019年2月	Japan-Norway Hydrogen Seminar 2019	International Hydrogen Supply Chain and Hydrogen Gas Turbine	川崎重工業(株) 森本 勝哉
105	2019年2月	FC EXPO 2019	褐炭由来水素サプライチェーン構築への取組み	川崎重工業(株) 西村元彦
106	2019年3月	Workshop on LIQUID HYDROGEN SAFETY	Large Scale LH2 Supply Chain Project & H2 Gas Turbine Demonstration	川崎重工業(株) 森本勝哉
107	2019年3月	Hydrogen Production, Storage and Refueling Station Technology Forum 2019	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 重清秀雄

—新聞・雑誌等—

No	年月	掲載誌名	タイトル	会社名
1	2018年4月	Frankfurt Allgemeine Zeitung	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株)
2	2018年4月	日本海事新聞	脱炭素社会実現に日本の水素テクノロジー 2050年80%削減へのチャレンジ	川崎重工業(株)
3	2018年5月	時評社鼎談	国際液化水素サプライチェーン実現への取組み	川崎重工業(株)
4	2018年5月	矢野経済研究所	月刊誌「Yano E Plus」 2018年5月号	川崎重工業(株)
5	2018年5月	電気新聞	日豪液化水素サプライチェーンおよび水素発電の実現を目指した取組み	川崎重工業(株)
6	2018年6月	朝日新聞	神戸発 水素発電に熱視線 市街地に供給 世界初 大林組・川重が実証 石油よりも割高 普及の壁	川崎重工業(株)
7	2018年7月	社内報「かわさき」№237	世界初、市街地で水素100%による熱電併給を達成	川崎重工業(株)

8	2018年8月	産経新聞社「月刊 ビジネスアイ エ ネコ」9月号	市街地で100%水素による 熱電供給も...大林組の取り 組み	(株)大林組
9	2018年8月	DIV Gas for Energy Journal	Enhancement of Fuel Flexibility of Industrial Gas Turbines by Development of Innovative Combustion Systems	川崎重工業(株)
10	2018年8月	Kawasaki Report 2018(日本語版)	水素コージェネレーション システムの実証プロジェク ト	川崎重工業(株)
11	2018年8月	日経ビジネス	国際液化水素サプライチェ ーン構築と水素発電実証の 取り組み	川崎重工業(株)
12	2018年8月	Kawasaki News 191号「水素特 集」	実証段階を迎えた “Hydrogen Road”～水素社 会への2nd Step～	川崎重工業(株)
13	2018年8月	日本熱供給事業協 会「熱供給」106 号	地域コミュニティでのエネ ルギーでのエネルギー最適 制御技術の開発と地域熱供 給への期待—世界初・市街地 における水素100%熱電併 給の達成—	(株)大林組
14	2018年9月	PEI(Power Engineering International) Journal	Enhancement of Fuel Flexibility of Industrial Gas Turbines by Development of Innovative Combustion Systems	川崎重工業(株)
15	2018年9月	Kawasaki Report 2018(英語版)	Demonstration Project for Hydrogen Co-Generation System	川崎重工業(株)
16	2018年9月	経産新報	水素エネルギーの社会実装 を目指す水素サプライチェ ーン構想	川崎重工業(株)
17	2018年9月	エネルギージャー ナル	水素エネルギーの社会実装 を目指す水素サプライチェ ーン構想	川崎重工業(株)

18	2018年10月	HEA (Hydrogen Engineering Australia Pty Ltd)	HYDROGEN CONSORTIUM WELCOMES CHIEF SCIENTIST STUDY TOUR TO JAPANESE PROJECT SITES	川崎重工業(株)
19	2018年11月	Kawasaki News 「水素特集」⇒株主通信へ掲載	実証段階を迎えた “Hydrogen Road”～水素社会への2nd Step～	川崎重工業(株)
20	2018年12月	日本工業出版「建築設備と配管工事」12月号	世界初、市街地で水素100%による熱供給について	(株)大林組
21	2019年1月	共同通信社	水素発電および国際水素サプライチェーン構築に向けた取り組み	川崎重工業(株)
22	2019年1月	日刊工業新聞・広告	兵庫・神戸新年特集「新時代に挑む」	川崎重工業(株)
23	2019年1月	経産新報：電力・ガス新ビジネス EXPO 開催記念号	川崎重工 水素エネルギーの社会実装を目指す水素サプライチェーン構想	川崎重工業(株)

ーその他ー

No.	年月	発表先	題目	発表者
1	2018年9月	川崎重工ホームページ	世界の水素関連企業がサンフランシスコに集結。テクノロジー業界のリーダーたちも交え、エネルギー転換へ向けて推進	川崎重工業(株)
2	2018年5月	IPHE 国際会議@神戸	International Liquefied Hydrogen Supply Chain	川崎重工業(株) 西村元彦
3	2018年6月	日経環境技術大賞	水素ガスタービンによる熱電併給スマートコミュニティー	川崎重工業(株) 鳥居敬
4	2018年7月	【経団連】SDGsに資するイノベーション事例調査	CO2フリー水素チェーンの構築	—

5	2018年9月	Hydrogen Council CEO 会合	60 Seconds With...Yoshinori Kanehana Kawasaki Hydrogen Milestone in 2018	川崎重工業(株) 金花芳則 石川主典
6	2018年10月	地球環境大賞(フジ サンケイビジネス アイ)	CO2 フリー水素サプライチ ェーンの実現に向けた水素ガ スタービン実証	
7	2019年1月	日本産業技術大賞 (日刊工業新聞)	水素・天然ガス燃料自在型ガ スタービンの開発	—

II-⑭：「低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発」
三菱パワー(株)／三菱重工業(株)

—特許等—

No.	出願日	出願番号	名称	会社名
1	2016年3月	特願 2016-068018	ガスタービン	三菱重工業(株) 三菱パワー(株)
2	2016年3月	特願 2016-069384	燃焼器、及びガスタービン	三菱重工業(株)
3	2016年3月	特願 2016-067125	燃焼器、及びガスタービン	三菱重工業(株) 三菱パワー(株)
4	2017年4月	特願 2017-090792	燃焼器ノズル、燃焼器および ガスタービン	三菱パワー(株)
5	2017年10月	特願 2017-208504	ガスタービン燃焼器予混合ノ ズル	三菱パワー(株)

—学会発表・講演—

No.	年月	会議名	タイトル	発表者
1	2016年3月	FC EXPO 国際水素・燃料電池 展	—	三菱パワー(株)
2	2017年2月	日本機械学会関西支 部定期講演会	発電用大型ガスタービン燃 焼器における燃料多様化対 応技術	三菱パワー(株) 谷村 聡
3	2018年2月	ガスタービン学会若 手交流会講演	発電用大型ガスタービン燃 焼器における燃料多様化対 応技術	三菱パワー(株) 谷村 聡

4	2018年2月	FC EXPO 国際水素・燃料電池 展	大型水素ガスタービンの実 用化に向けた取組	三菱パワー(株) 谷村 聡
5	2018年3月	日本化学会第98春季 年会	発電用大型ガスタービンに おける水素利用	三菱パワー(株) 谷村 聡
6	2018年4月	4 th EU ENERGY SUMMIT	Hydrogen-firing Gas Turbine	三菱パワー(株) 谷村 聡
7	2018年5月	火力原子力発電技術 協会大学講座	大型ガスタービンの最新開 発動向	三菱パワー(株) 安威 俊重
8	2018年6月	日本工業出版株式会 社 日工技術セミナー	ガスタービン設備	三菱パワー(株) 由里 雅則
9	2018年7月	第91回 大阪大学工 業会機械工学系 技術 交流会	ガスタービンにおける水素 利用	三菱パワー(株) 谷村 聡
10	2018年8月	火力原子力発電技術 協会講習会	ガスタービンにおける水素 利用	三菱パワー(株) 高田 和正
11	2018年9月	火力原子力発電大会	発電用大型ガスタービンに おける水素利用	三菱パワー(株) 川上 朋
12	2018年10月	European Turbine Network 9th International Gas Turbine	Technology Development for a Low Carbon Society	三菱パワー(株) 正田 淳一郎 宮本 健司
13	2019年1月	World Future Energy Summit(WFES) 2019	World Future Energy Summit (WFES) 2019	三菱パワー(株) 谷村 聡
14	2019年1月	火力原子力発電技術 協会大学講座	大型ガスタービンの最新開 発動向	三菱パワー(株) 安威 俊重
15	2018年2月	愛知県 水素エネルギ ー社会形成研究会 第 4回セミナー	発電用大型ガスタービンに おける水素利用	三菱パワー(株) 宮本 健司
16	2019年4月	技術情報センターセ ミナー「低炭素発電 技術と事業動向」講 演	ガスタービンにおける水素 エネルギー利用の取組みと 展望	三菱重工業(株) 斉藤 圭司郎
17	2019年4月	日 EU エネルギービ ジネスセミナー	H2 Gas Turbine for Hydrogen Society	三菱パワー(株) 谷村 聡

18	2019年6月	KEPCO GT Conference 2019	MHPS Gas Turbine Technologies and Strategies for a Low-Carbon Society with Hydrogen-fired Combustion	三菱重工業(株) 斉藤 圭司郎
19	2019年6月	G20 イノベーション展 模型及びパネル展示	水素ガスタービン	三菱パワー(株) 西岡 映二
20	2019年5月	中国 NexTurbine2019	H2 Gas Turbine for Hydrogen Society	三菱パワー(株) 谷村 聡
21	2019年9月	水素関係会議 模型及びパネル展示	水素ガスタービン	三菱パワー(株) 西岡 映二
22	2019年10月	機械学会関西支部秋季技術フォーラム講演	水素ガスタービンの開発について	三菱パワー(株) 谷村 聡
23	2019年12月	COP25 模型及びパネル展示	水素ガスタービン	三菱パワー(株) 西岡 勝樹
24	2019年11月	International Gas Turbine Congress 2019 (IGTC2019) パネル展示	Hydrogen Gas Turbine	三菱パワー(株) 谷村 聡
25	2019年11月	International Gas Turbine Congress 2019(IGTC2019) 講演	H2 Gas Turbine for Low Carbon Society	三菱パワー(株) 谷村 聡
26	2020年1月	第48回ガスタービンセミナー	発電用ガスタービンにおける水素利用	三菱パワー(株) 岸田 宏明
27	2020年2月	Japan-Norway Hydrogen Seminar 2020	MHPS H2 Gas Turbine for Low Carbon Society	三菱パワー(株) Haavard Oevernes
28	2020年2月	火力原子力発電技術協会 東北支部 令和元年度技術講演会	発電用ガスタービンにおける水素利用	三菱パワー(株) 宮本 健司
29	2020年2月	Hydrogen Energy Workshop between Japan and the Netherlands	H2 Gas Turbine for Low Carbon Society	三菱パワー(株) 谷村 聡

30	2020年3月	日本技術士会近畿本部機械システム部会 第81回例会	発電用ガスタービンの燃焼 技術開発	三菱パワー(株) 西田 幸一
31	2020年8月	(株)技術情報センター セミナー:低炭素発電 と燃料供給に関する 技術と事業動向	大型ガスタービンにおける 水素エネルギー利用の取組 み	三菱重工業(株) 斉藤 圭司郎
32	2020年10月	火力原子力発電技術 協会 関東支部 講演 会	発電用大型ガスタービンに おける水素利用	三菱パワー(株) 川上 朋
33	2020年10月	日本ガスタービン学 会 定期講演会先端技術 フォーラム 講演会	大型水素ガスタービンの開 発	三菱パワー(株) 谷村 聡
34	2020年10月	ICCI2020 event in Turkey	MITSUBISHI POWER'S JAC SERIES GAS TURBINES	三菱パワー(株) Bulent Mehmetli
35	2020年10月	発電用大型ガスター ビン における水素利 用	火力原子力発電技術協会 九 州支部 講演会	三菱パワー(株) 西海 高史

—新聞・雑誌等—

No.	年月	掲載誌名	タイトル	会社名
1	2018年5月	雑誌記事(Gas turbine world)	30 per cent hydrogen gas turbine test	三菱パワー(株)
2	2018年10月	三菱重工技報	CO2 フリー社会の実現に向 けた水素燃焼ガスタービン	三菱パワー(株) 野勢 正和
3	2019年2月	日本燃焼学会誌	水素焚きガスタービン燃焼器 の開発	三菱重工業(株) 市川 雄一郎

2. 分科会公開資料

次ページより、プロジェクト推進部署・実施者が、分科会においてプロジェクトを説明する際に使用した資料を示す。

「水素社会構築技術開発事業」

Ⅱ (大規模水素エネルギー利用技術開発)

(中間評価)

(2014年度～2022年度 9年間)

プロジェクトの概要 (公開)

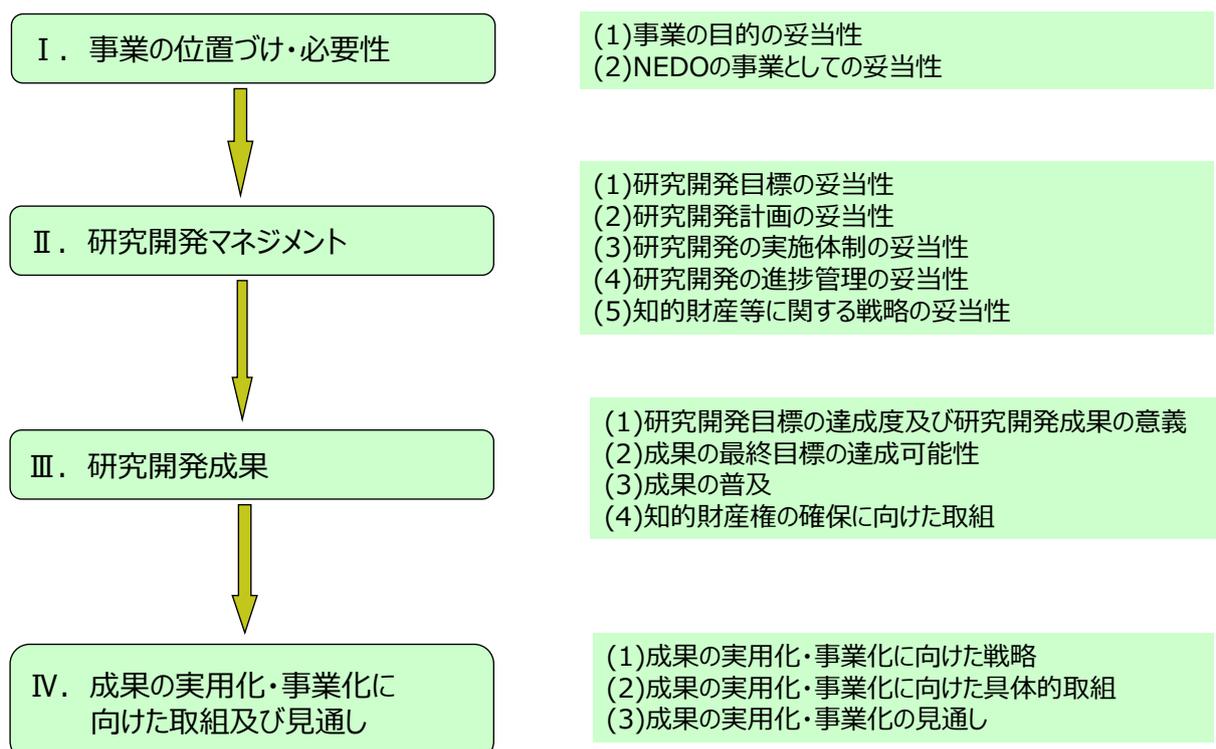
NEDO

次世代電池・水素部

2020年12月4日

0

発表内容

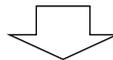


◆事業実施の背景と事業の目的

社会的背景

水素は、使用時に大気汚染物質や温室効果ガスを排出しないクリーンなエネルギーであり、高いエネルギー効率、非常時対応等の効果が期待され、**将来の二次エネルギーの中心的役割**を担うことが期待される。

今後本格的な水素社会の構築に向け水素エネルギー利用を大きく拡大することが求められるが、燃料電池に続く水素利用のためのアプリケーションや、サプライチェーンについては、現在研究開発または実証段階である。



事業の目的

水素の利活用を抜本的に拡大し、**2020年頃に自家発電用水素発電の本格導入を、2030年頃に発電事業用水素発電の本格導入を世界に先駆けて開始することを目指す**。このため、エネルギー供給システムの柔軟性を確立し、エネルギーセキュリティの確保に貢献する。また、水素発電の本格的な導入と大規模な水素サプライチェーンを世界に先駆けて構築することで、**産業競争力の強化とエネルギーセキュリティの向上**に貢献する。

◆政策的位置付け

エネルギー基本計画	2014年 4月	水素を本格的に利活用する社会、すなわち“水素社会”を実現していくためには、 水素の製造から貯蔵・輸送、そして利用にいたるサプライチェーン全体を俯瞰した戦略 の下、様々な技術的可能性の中から、安全性、利便性、経済性及び環境性能の高い技術が選抜されていくような 厚みのある多様な技術開発や低コスト化を推進 することが重要である。
水素・燃料電池戦略 ロードマップ (経済産業省) 改訂	2016年 3月	水素発電の本格導入／大規模な水素供給システムの確立 <ul style="list-style-type: none"> 2020年頃に自家発電用水素発電の本格導入を、2030年頃に発電事業用水素発電の本格導入を開始することを目指す。 2030年頃に海外からの未利用エネルギー由来の水素の製造、輸送・貯蔵を伴う水素供給のサプライチェーンの本格導入を開始することを目指す。 目標とすべき水素供給コストについては、今後、専門的な検討を行うこととするが、2020年代後半にプラント引渡しコストで30円/Nm³程度、つまり発電コストで17円/kWh程度を下回ることを目指す。 水素の製造については、まずは海外の未利用エネルギーである、副生水素、原油随伴ガス、褐炭等から、安価で、安定的に、環境負荷の少ない形で行うことを基本とする。 水素の輸送・貯蔵については、まずは現在有望と考えられている、有機ハイドライド及び液化水素の形で行うこととする。
日本再興戦略 2016	2016年 6月	水素発電ガスタービン用燃焼器や液化水素運搬船等の水素関連技術の開発・実証を進め、 2030年頃の水素発電の本格導入と大規模な水素サプライチェーンの構築 を目指す。
次世代火力発電技術 ロードマップ	2016年 6月	技術的課題への対応としては、水素社会の実現に向けた環境整備に留意しつつ、まずは 比較的技術的ハードルの低い水素混焼発電の技術確立 を目指し、将来的には、 高効率な水素専焼発電の技術確立 を目指す。

◆政策的位置付け

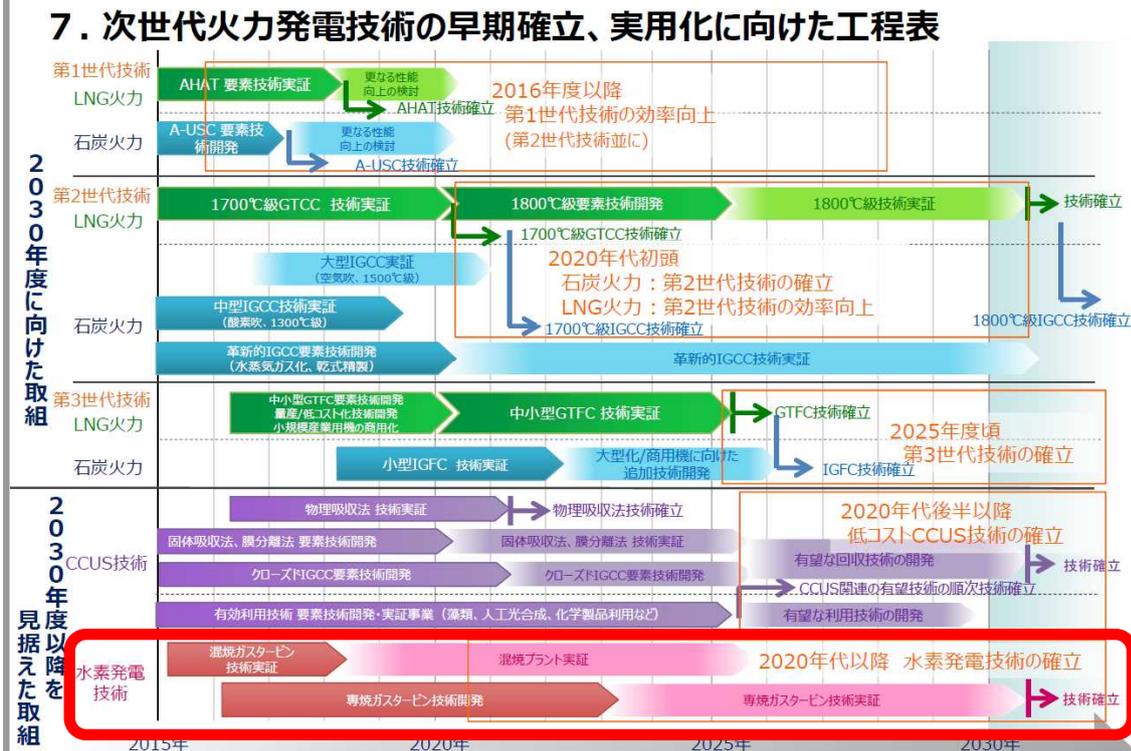
水素基本戦略	2017年12月	2050年を視野に入れ、将来目指すべき姿や目標として官民が共有する大きな方向性・ビジョンを示す。 国内再生由来水素の利用拡大、国際水素サプライチェーン、モビリティ、電路分野での利用拡大を目指す。
エネルギー基本計画	2018年7月	水素を日常生活や産業活動で利活用する社会、水素社会”を実現していくためには、技術面、コスト面、制度面、インフラ面で未だ多くの課題が存在している。このため、2017年12月に策定した水素基本戦略（再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議決定）等に基づき、水素が、本国技術を活かした中長期的なエネルギー安全保障と温暖化対策の切り札となるよう、戦略的に制度やインフラ整備を進めるとともに、多様な技術開発や低コスト化を推進し、実現可能性の高い技術から社会に実装していく。
水素・燃料電池戦略ロードマップ（経済産業省）改訂	2019年3月	水素閣僚会議（2018年10月）に発表された「Tokyo Statement」の内容を反映するための改定。 水素サプライチェーンの実現及び低コスト化に向けて、必要となる基盤技術開発の継続実施。将来のコスト低減に向けて、サプライチェーンを構成する要素の取り組みの実施。
水素・燃料電池技術開発戦略（経済産業省）	2019年9月	2019年3月に「水素・燃料電池戦略ロードマップ」の改定を受けて、具体的な技術開発事項を定めたもの。

◆技術戦略上の位置付け

◆水素・燃料電池戦略ロードマップ（2016年3月改訂）



◆技術戦略上の位置付け



◆国内外の研究開発の動向と比較

【国内】水素エネルギーの利活用について、約30年間の国家プロジェクト等を経て、2009年に家庭用燃料電池の商用化により水素利用技術が市場に導入された。2014年末には燃料電池自動車市場投入され、世界に先駆けてインフラの整備も含めた水素エネルギー利活用に向けた取組が進められている。

【海外】ドイツを中心として、欧米各国でも再生可能エネルギー由来の電力を水素に変換する Power to Gas の取組が積極的に行われている。製造した水素はそのまま貯蔵・利用されたり、天然ガスパイプラインに供給されている。

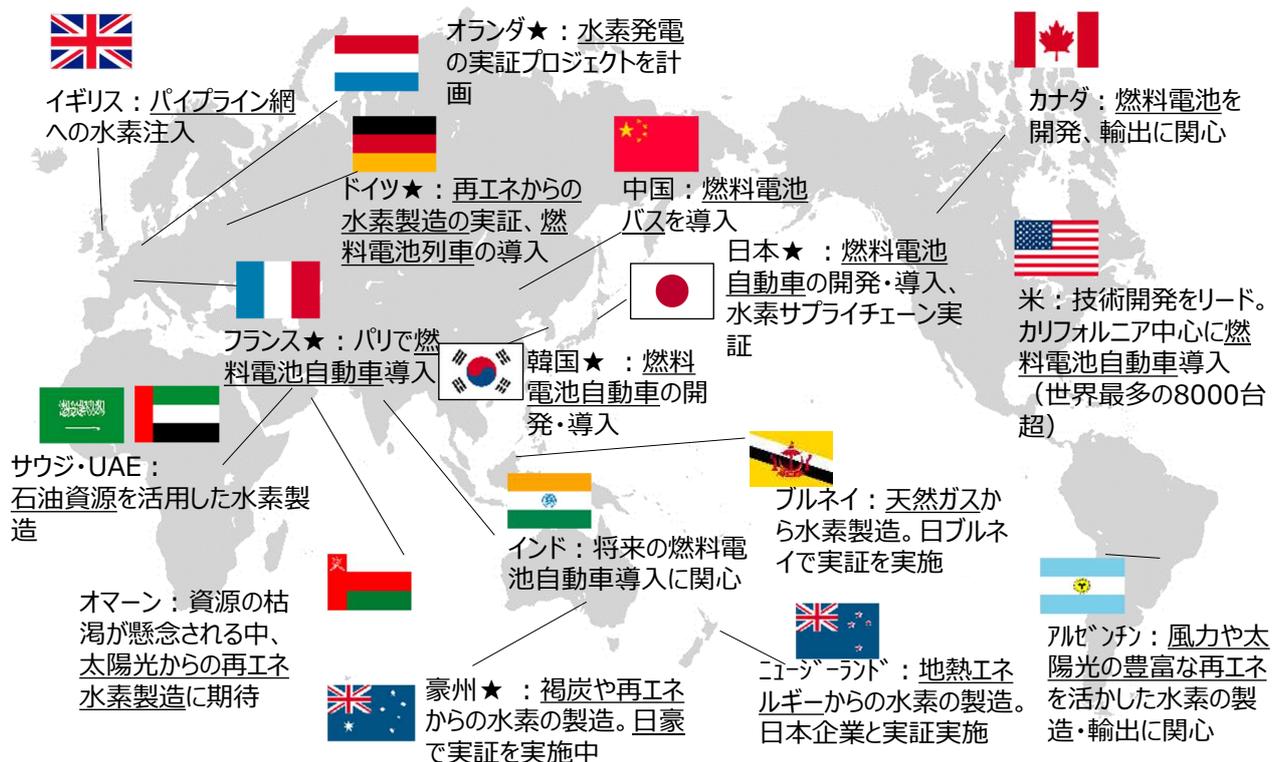
	国内	海外
サプライチェーン	燃料電池に続く水素利用のためのアプリケーションや、サプライチェーンについては、現在研究開発又は実証に着手する段階である。	水素のサプライチェーンを構築する等の取組は現状なされていない。
水素発電	製鉄・化学プラントにおいて、水素を含む副生ガスがボイラーやガスタービンにて燃焼され、自家発電等に利用されている。国内機器メーカーにおいて水素専焼発電技術の開発中。	米国、オランダにおいて、水素発電の計画がされている。主要発電機器メーカーも水素混焼及び水素専焼発電を検討している段階。

◆国内外の研究開発の動向と比較

- 米国 : DOE中心にh2@portなどで開発加速
- 豪州 : 国家水素戦略 2019年11月
- フランス : 水素戦略 2018年6月
- オランダ : クリーン水素戦略 2020年4月
水素発電の計画中
- ドイツ : P-to-G推進ロードマップ (DENA) 2017年6月
- E U : 欧州水素ロードマップ (FCH-JU) 2019年2月
- 韓国 : 水素経済活性化ロードマップ 2019年1月
- 中国 : 「政府工作報告」および
「新エネルギー自動車に関する補助政策改善通知」
(2019年) からFCVシフトが加速

◆国内外の研究開発の動向と比較

★ : 戦略・ロードマップ策定国



◆他事業との関係

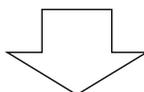
●NEDO 水素利用等先導研究開発事業で得られた基礎的試験、研究開発の成果の一部を本研究開発事業に活用している。

- 1) HySTRA (課題番号Ⅱ-①)
現在水素輸送船に搭載されている船用タンクに利用。
- 2) 川崎重工業 (課題番号Ⅱ-⑧)
水素専焼対応の燃焼器を利用
- 3) 三菱パワー (課題番号Ⅱ-⑩)
水素専焼対応の燃焼器を利用

◆NEDOが関与する意義

2030年頃の大規模な水素サプライチェーンの確立と水素発電の本格導入を目指すための技術開発は、

- エネルギー政策上の重要度が高く、社会的必要性が大きい
- 日本の水素利活用産業の競争力強化、エネルギー・環境分野の国際協調に貢献
- 水素供給サプライチェーン構築、水素発電導入により各事業が連携することで効果的に開発を進めることが可能
- 水素供給サプライチェーン・インフラ整備については、市場構築初期は市場範囲が限定的で、民間単独では開発リスクが大きい



N E D O が も つ こ れ ま で の 知 識 、 実 績 を 活 か し て 推 進 す べ き 事 業

◆実施の効果 (費用対効果)

- ・プロジェクト費用の総額 228億円 (2015~2020年)
 - ・市場規模予測 … 水素・燃料電池戦略ロードマップ (2016年3月改訂)
 - 水素・燃料電池関連市場規模 : 2030年 1兆円 2050年 8兆円
 - 海外水素輸入 : 2030年 90億Nm³
- (新設・リプレースされるLNG火力発電の燃料に50%混合を想定)

◆事業の目標

研究開発項目	中間目標	最終目標
研究開発項目Ⅱ : 「大規模水素エネルギー利用技術開発」	(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築 最終目標となる水素サプライチェーン構築のための要素技術を検証し、システムの全体設計を明確にする。	(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築 2030年頃の安定的かつ大量な水素供給体制確立を目指し、2020年において商用レベルの1/100程度のプロトタイプ規模(数千万Nm ³ 換算)のサプライチェーンを構築しシステムとして技術確立する。システムを構成する技術目標(水素製造効率、輸送効率等)に関しては、水素製造方法や水素キャリア毎の特性に応じ、個別に設定する。
	(ロ) 水素エネルギー利用システム開発 (各プロジェクトで最終目標としている新技術・システムの確立・技術実証、並びにプラントの基本設計の実施に向けて、基本計画を策定し、基本設計および基礎データの取得に着手する。)	(ロ) 水素エネルギー利用システム開発 水素を混焼あるいは専焼で発電する技術に関して既存の燃料と同等の発電効率、耐久性及び環境性を満たす技術確立する。あわせて、水素発電等を組み込んだエネルギーシステムについて、市場化に必要な技術確立する。

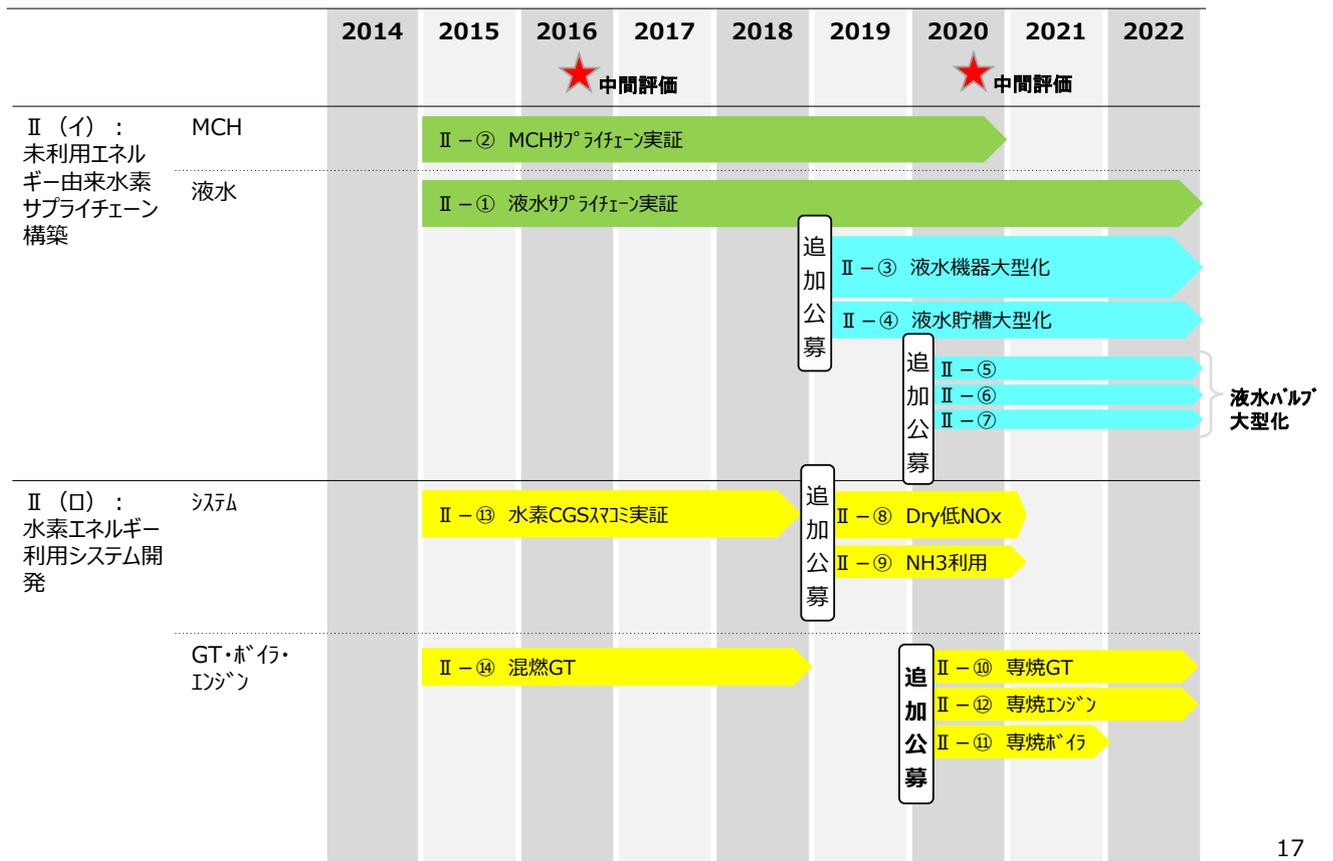
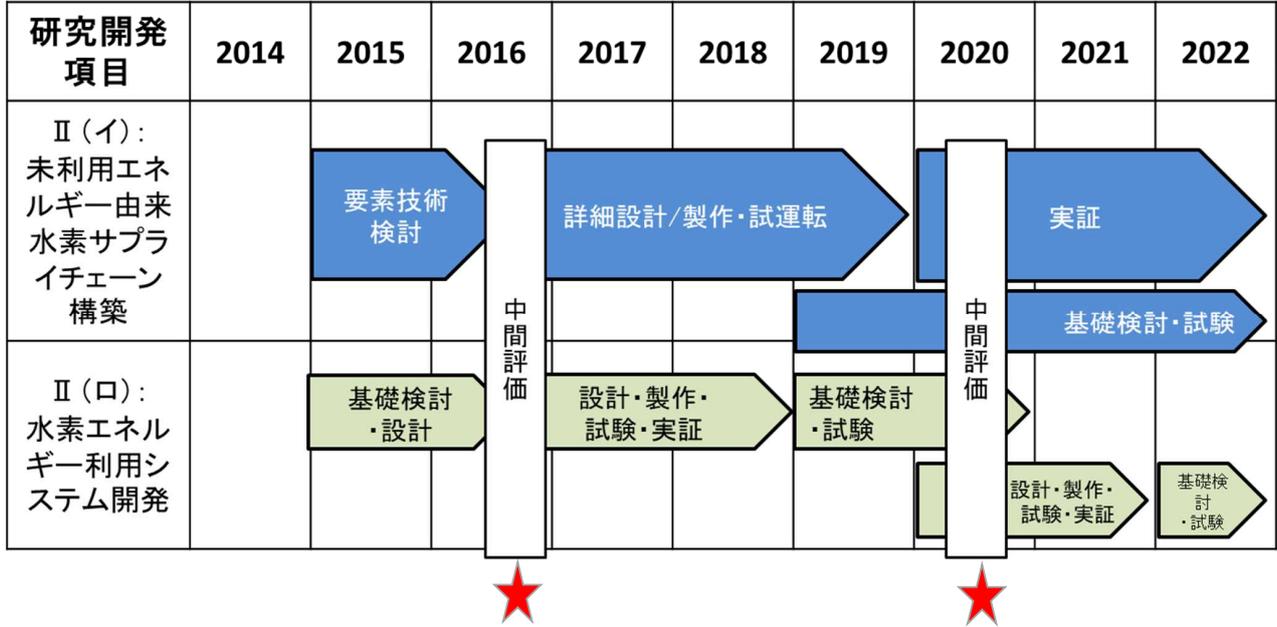
◆ 研究開発目標と根拠

研究開発項目	研究開発目標	根拠
研究開発項目Ⅱ：「大規模水素エネルギー利用技術開発」	<p>(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築 2030年頃の安定的かつ大量な水素供給体制確立を目指し、2020年において商用レベルの1/100程度のプロトタイプ規模（数千万Nm³換算）のサプライチェーンを構築しシステムとして技術を確立する。システムを構成する技術目標（水素製造効率、輸送効率等）に関しては、水素製造方法や水素キャリア毎の特性に応じ、個別に設定する。</p> <p>(ロ) 水素エネルギー利用システム開発 水素を混焼あるいは専焼で発電する技術に関して既存の燃料と同等の発電効率、耐久性及び環境性を満たす技術を確立する。あわせて、水素発電等を組み込んだエネルギーシステムについて、市場化に必要な技術を確立する。</p>	<p>「エネルギー基本計画」（2014年4月、経済産業省） →将来の二次エネルギーでは、電気、熱に加え、水素が中心的役割を担うことが期待されており、“水素社会”の実現のための取り組みを加速していくことが掲げられている。</p> <p>「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（2016年3月、経済産業省 改訂） →フェーズ1でのエネファーム・FCVの普及拡大による水素社会の土台作りに続き、フェーズ2として、水素発電の本格導入と大規模な水素供給システムの確立を掲げ、2020年頃に自家発電用水素発電の本格導入を、2030年頃に発電事業用水素発電の本格導入と海外からの未利用エネルギー由来の水素の製造、輸送・貯蔵を伴う水素サプライチェーンの本格導入の開始という目標が設定され、これらを実現するための技術開発に国が重点的に関与することとしている。</p>



◆ 研究開発のスケジュール

水素社会構築技術開発事業 研究開発スケジュール概要



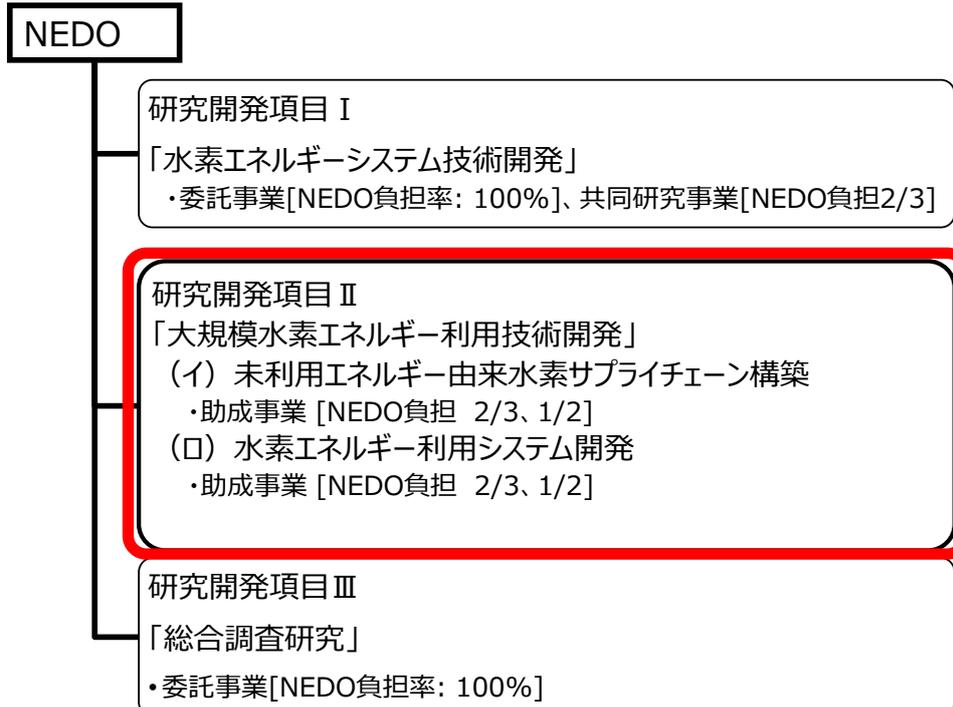
◆プロジェクト費用

◆費用

(単位：百万円) NEDO負担額

研究開発項目	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	合計
(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築	191	1,222	3,894	4,541	6,004	4,510	20,362
(ロ) 水素エネルギー利用システム開発	62	221	1,210	179	143	666	2,481
合計	253	1,443	5,104	4,720	6,147	5,176	22,843

◆研究開発の実施体制



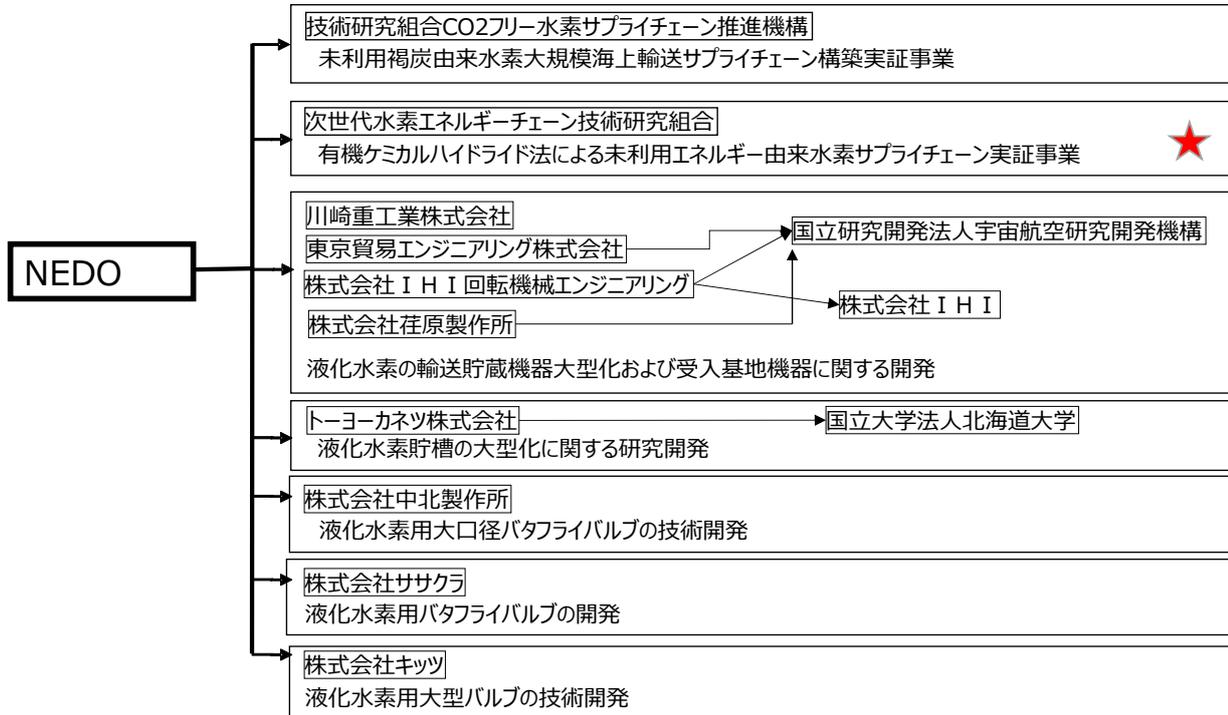
今回の評価対象

◆ 研究開発の実施体制

研究開発項目Ⅱ 「大規模水素エネルギー利用技術開発」

★ 2020年度終了予定

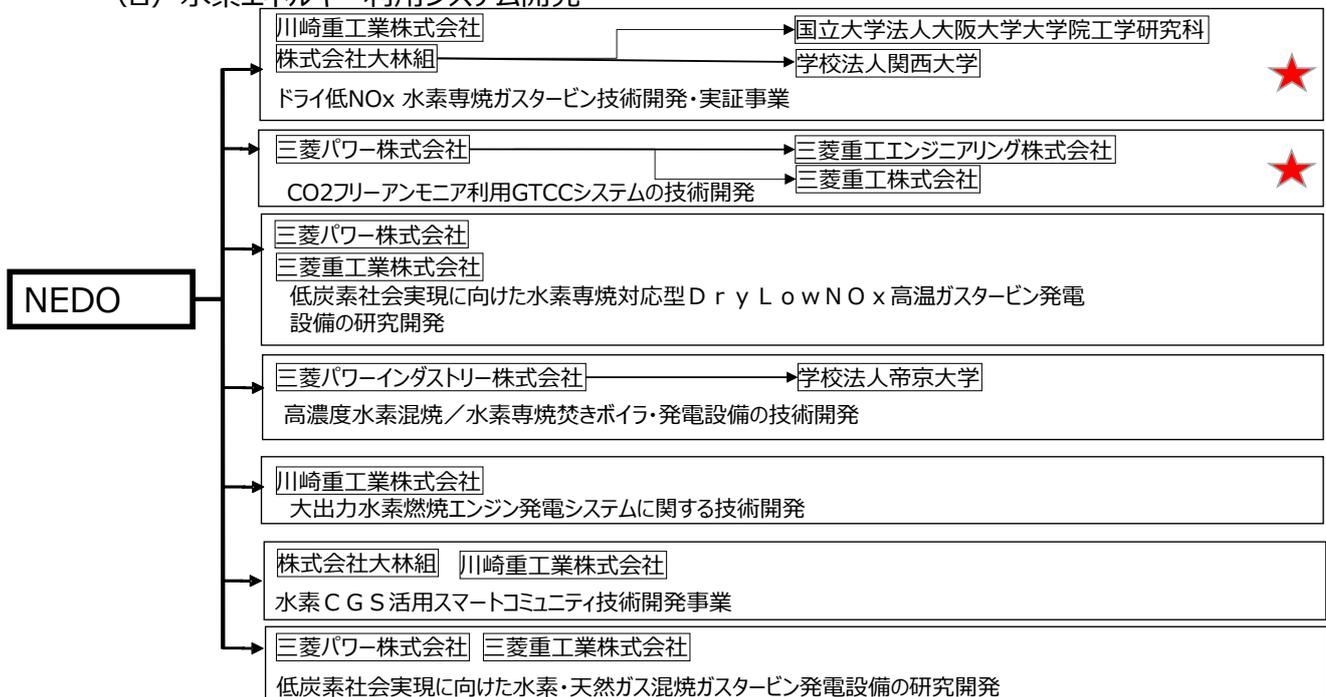
(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築



◆ 研究開発の実施体制

研究開発項目Ⅱ 「大規模水素エネルギー利用技術開発」

(ロ) 水素エネルギー利用システム開発



◆中間評価結果への対応

- 中間評価の指摘に対する対応状況は以下のとおり。
- ※テーマ間の関連性が明確でなく、連携体制が機能して実質的な技術開発が効率的に進められているとは言い難い

進捗評価委員会（非公開）を開催

- A)個別事業の開発目標と達成度、進捗報告・確認を実施。計画の見直しなど、外部有識者からのアドバイスを頂き、事業の推進に努めた。（2017年9月、2018年11月、2019年9月、2020年は中間評価のため開催せず）
- B)進捗評価委員会の最後に、進捗評価委員と全事業者による、意見交換の場を持ち、個別事業だけでなく、水素社会構築研究開発全体の課題、事業間の情報共有を図った。



水素・燃料電池プロジェクト評価・課題共有ウィーク（2019）

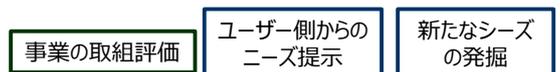
- 世界動向をしっかりと把握しつつ、日本の技術力の更なる向上に向けて、日本の水素関連政策、NEDO事業成果、ユーザー側からのニーズの差分を議論すると共に、新たなシーズを発掘する。
- 産学官の多様なステークホルダーが参加し、今後の水素社会の実現に向けたコミュニティ形成を支援するもの。

プログラム

主催：経済産業省・NEDO 参加者：延べ1,000名程度
発表数：47件（評価対象は22件）

6月17日（月）	6月18日（火）	6月19日（水）	6月20日（木）	6月21日（金）
Plenary 特別講演 IEA Hydrogen Report IEA 60 min. 米田、欧州における水素・燃料電池技術開発動向 NEDO 50 min. 水素・燃料電池戦略RM METI 30 min. NEDOにおける水素・燃料電池技術開発 NEDO 30 min. 水素サプライチェーンプロジェクト評価 HySTRA AHEAD 全体討議 講評	水素開発およびPtGプロジェクト評価 水素・燃料電池戦略RM METI 10 min. 技術開発RMと事業説明 NEDO 10 min. 【水素発電】 バッテンフオール 三菱重工業 川崎重工業 【PtG】 山梨県企業局 東芝エネルギーシステムズ 豊田通商 東北大学 全体討議 講評	水素ステーションプロジェクト評価 水素・燃料電池戦略RM METI 10 min. 技術開発RMと事業説明 NEDO 10 min. JPEC HySUT 九州大学 JXTGエネルギー 加地テック 全体討議 講評	水素・燃料電池プロジェクトの課題提示と評価 水素・燃料電池戦略RM METI 10 min. 技術開発RMと事業説明 NEDO 10 min. トヨタ自動車 本田技研工業 FC-Cubic 同志社大学 山梨大学 千葉大学 東北大学 上智大学 電気通信大学 物質・材料研究機構 全体討議 講評	水素・燃料電池プロジェクトの課題提示と評価 水素・燃料電池戦略RM METI 10 min. 技術開発RMと事業説明 NEDO 10 min. FCCJ 慶応義塾大学 東京工業大学 東京電機大学 首都大学東京 九州大学 産業技術総合研究所 テンソー 東京大学 山梨大学 全体討議 講評 水素・燃料電池技術開発戦略の策定に向けて

評価ウィークのスキーム



産官学全体に渡る活性化



NEDO次世代電池・水素成果報告会

- ▶ 毎年度、2日間にわたり分野ごとに口頭発表とポスター発表を実施。
- ▶ 延べ約1,000人が参加した2019年度の例は以下のとおり。

日時

2019年7月18日(木)から2019年7月19日(金)

場所

東京ビッグサイト 会議棟1階
レセプションホールA・B (口頭発表)
101会議室・102会議室 (ポスター発表)



会場の様子 (左: 口頭、右: ポスター)

1日目: 2019年7月18日(木)

時間	分野
午前	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 開会式 ✓ 水素利用等先導研究開発事業 ✓ 超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業
午後	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 先進・革新蓄電池材料評価技術開発 (SOLID-EV) ✓ 革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発 (RISING2) ✓ 超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 ✓ ポスター発表

2日目: 2019年7月19日(金)

時間	分野
午前	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発 (SOFC) ✓ 水素社会構築技術開発事業
午後	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 固体高分子形燃料電池利用高度化技術開発事業 (PEFC) ✓ 水素社会構築技術開発事業 ✓ ポスター発表

◆ 動向・情勢の把握と対応

情勢	対応
将来の液化水素のサプライチェーン構築と発電用途に向け必要な機器開発を計画した。	2019年度及び2020年度、大型貯槽、大型船用貯槽、極低温ガス対応の圧縮機、液化水素移送ポンプ、各種バルブの開発の公募を実施し、開発体制を整えた。
水素エネルギー利用のシステム開発として、ガスタービンによる発電に加え、水素エンジン、水素ボイラーなどの有効性の議論が開始されてきたため、機器開発の計画した。	2020年度、水素エンジン、水素ボイラーの開発の公募を実施し、両技術開発の支援を開始した。

◆知的財産権等に関する戦略

本事業は助成事業であり、各事業者は、各々の技術開発分野に関する知見・経験を有している。本事業を通じて、競争域における知財情報の公開・秘匿化の適切なコントロールを行い、日本が世界に先駆け水素利活用社会を実現するとともに、技術面での国際競争力を保持することが期待される。

オープン／クローズ戦略の考え方

	非競争域	競争域
公開	国際規格案など ・例えば船の規格 (IMO) などへの貢献	知財のライセンスなど ・水素製造、水素輸送、水素貯蔵、水素混焼ガスタービンなどの水素サプライチェーン、水素発電システムを構成する設備・運用に係る特許による各社の優位性の確保 ・事業者の技術開発情報、共同研究先の大学による基礎研究成果については、水素利活用社会構築の社会受容性つながる場合は技術情報を開示
非公開		秘匿化 ・水素製造工程、水素混焼ガスタービン製造などノウハウの取得が極めて困難な技術類

◆知的財産管理

- 委託事業・共同研究事業については、「N E D Oプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に基づき、テーマ毎に「知財の取扱いに関する合意書」を策定。
- 合意書では、知財運営委員会や知財の帰属、秘密の保持等、プロジェクトの出口戦略において重要となる知財ルールを整備。
- 助成事業については、個々の事業者の知財戦略を尊重し、アウトカムの最大化を図る。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

(II-①)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発 ／未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」

助成先：技術研究組合CO2フリー水素サプライチェーン推進機構（HySTRA）

●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
I:液化水素の長距離大量輸送技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 液化水素輸送用タンクの要素技術の開発ならびに液化水素輸送用タンクの開発 商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得 	<ul style="list-style-type: none"> 液化水素輸送用タンクの製作を完了し、船体への艀装を完了。その他水素関連機器の艀装に一部遅れが発生 	△
II:液化水素荷役技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 液化水素荷役技術の開発 ローディングシステム及び安全な運用システムを開発し、商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得 	<ul style="list-style-type: none"> 荷役基地の据付を完了し、基地単独実証試験を開始。 	○
III:ガス化技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 褐炭ガス化炉の開発 商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得 	<ul style="list-style-type: none"> 2t/dガス化炉設備の据付工事を完了。10月より水素製造を実施。 	○

28

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

(II-②)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発 ／有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証」

助成先：次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合（AHEAD）

●研究目標

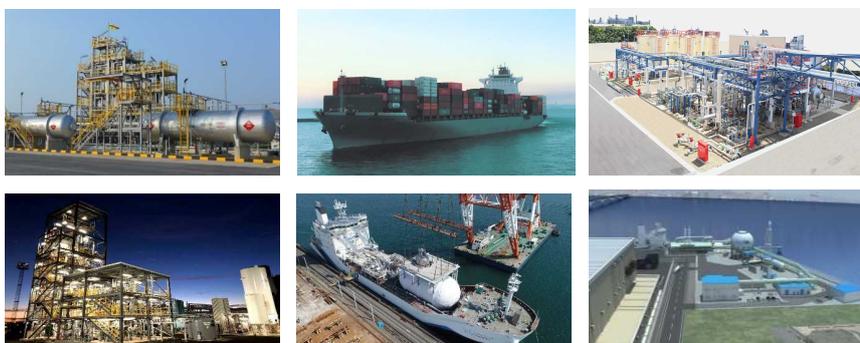
実施項目	目標	成果内容	自己評価
水素化プラント	<ul style="list-style-type: none"> コンピュータシミュレーション/実証運転を通じて、大型反応器設計手法の確立。不純物除去の設備仕様の確定。 	<ul style="list-style-type: none"> 商業規模へのスケールアップが問題ないことを確認できた。 	△
脱水素プラント	<ul style="list-style-type: none"> コンピュータシミュレーション/実証運転を通じて大型反応器設計手法の確立、負荷追従検討、商業用触媒製造工程における主要管理指標の確立。 	<ul style="list-style-type: none"> 商業規模へのスケールアップは可能であることが確認できた。 	△
サプライチェーン運用	<ul style="list-style-type: none"> シミュレーション/実証運転を通じて汎用トルエンの利用可能性検討、負荷変動への対応方法明確化、チェーン全体の信頼性確認、設備構成の確認 	<ul style="list-style-type: none"> 汎用トルエン利用可能性検討は継続中、第2期について運用中、各種データ取得中 	△

29

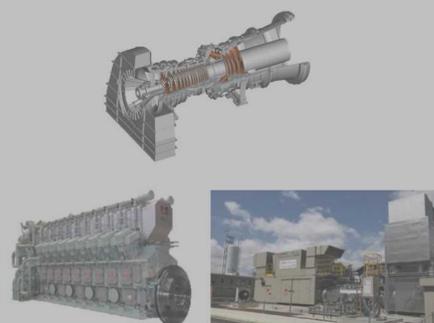
3. 研究開発成果について

大型機器開発のイメージ

(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築



(ロ) 水素エネルギー利用システム開発



30

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

(II-③)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」

助成先：川崎重工業株式会社

●研究目標

①大型輸送・貯蔵容器の開発

実施項目	目標	成果内容	自己評価
A)大型貯蔵容器	<ul style="list-style-type: none"> a)断熱性能の目処付け b)メムレン形状の解析技術確立 	<ul style="list-style-type: none"> 断熱性能を評価中 メムレン形状の成立性を確認中 	△
B)海上輸送用大型液化水素タンク	<ul style="list-style-type: none"> a)断熱システム方式／構造選定 b)タンク基本構造決定、強度／揺動評価 c)タンク構造材料選定／データ取得 d)配管との接続方法選定／強度評価 e)タンクシステムの検証に向けた試験タンク設計／材料手配 	<ul style="list-style-type: none"> 断熱方式／構造選定中 タンク構造/支持構造選定/評価中 タンク構造材料選定/データ取得中 配管との接続方法選定/データ取得中 試験タンク設計、材料手配中 	△

31

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

(Ⅱ-③)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」

助成先：東京貿易エンジニアリング株式会社

●研究目標

②商用ローディングアームの開発

実施項目	目標	成果内容	自己評価
a)大口径緊急離脱機構	<ul style="list-style-type: none"> c)鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発 	<ul style="list-style-type: none"> 現状では理論外部流出量は10ℓ以下の見込みで、現在解析を実施しながら、試作機を製作中 	△
b)大口径船陸継手	<ul style="list-style-type: none"> 重量が1 ton以下で操作容易な船陸継手の開発における試作機の製作 	<ul style="list-style-type: none"> 分離面を平行にし、位置合わせユニットを不要とした構造の採用により重量は約0.5ton以下になる見込みで、現在試作機を製作中 	△
c)鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> メンテナンス頻度が1年に1回程度で済む真空度を確保する試作機の製作 	<ul style="list-style-type: none"> 真空度保持対策として、吸着剤追加、改良型真空測定装置の追加、清浄度の高いベローズの採用、が必要なことが分かり、現在製作中 	△

32

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

(Ⅱ-③)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」

助成先：IHI回転機械エンジニアリング株式会社

●研究目標

③低温水素ガス圧縮機の開発

実施項目	目標	成果内容	自己評価
a) 液空生成に対し安全性を確保する構造の開発	<ul style="list-style-type: none"> 低温水素ガスを吸入しても、外表面にて液空を発生させない真空容器構造、熱変位を吸収するサポート構造を考案する 	<ul style="list-style-type: none"> 真空容器付きシリンダの伝熱解析が完了 サポート構造の熱応力・振動解析が完了 真空容器シリンダの基本設計が完了 	○
b) シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材の開発	<ul style="list-style-type: none"> 窒素シールガスを中間筒内、ロッド表面で液化させない軸シール構造を考案し、摺動部材の用途を付ける 	<ul style="list-style-type: none"> 新しい軸シール構造の伝熱解析が完了 摺動部材の候補材の絞り込みが完了 軸シール構造・摺動部材の基本設計が完了 	○
c) 商用機の設計技術および性能評価技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 試作機の1D CAEモデルの構築し、試作機の現地試験設備の基本計画を完了し、2021FYの試験の用途を付ける 	<ul style="list-style-type: none"> 試作機の1D CAEモデルの構築が完了 試作機の現地試験設備の基本計画が完了 	○

33

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

(Ⅱ-③)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」

助成先：株式会社荏原製作所

●研究目標

④液化水素昇圧ポンプの開発

実施項目	目標	成果内容	自己評価
軸スラストバランス機構の検討	・ バランス機構基本構造の設計	・ 基本構造の設計完了	○
ポンプ材料の選定	・ 水素/低温脆化を考慮した材料選定 ・ 材料特性の把握	・ 構造部品用材料の ・ 評価/選定完了	△
ポンプ性能/機能の評価・分析	・ 試作機の設計 ・ 試験設備の製作	・ 試作機基本設計完了 ・ 試験設備製作着手	△

・液化水素昇圧ポンプ用軸スラストバランス機構基本構造の設計完了。
 ・液化水素昇圧ポンプ用材料の評価、選定が完了。ポンプ設計用材料特性把握のため文献調査、材料試験を実施中。
 ・液化水素昇圧ポンプ小型試作機の基本設計が完了。設計評価を行い、詳細設計を進める。
 ・小型試作機の液化水素運転試験内容を検討し、それを基に液化水素試験設備を設計/製作中

34

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

(Ⅱ-④)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素貯槽の大型化に関する研究」

助成先：トーヨーカネツ株式会社

●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
真空排気システムの確立	①候補材料のガス放出量の測定 ②ベーキング手法の確立 ③底部断熱構造側板の真空排気用孔径の決定	①大型の平底円筒貯槽に適用可能な材料の見通しを得た。 ②真空排気性を考慮した底部断熱構造設計確立への見通しを得た。	△
内槽底部への入熱量算定手法の確立	・ 断熱性能測定装置の詳細仕様を決定する。	・ 断熱性能測定装置完成への見通しを得た	△
SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立	①液化水素温度であっても十分な破壊靱性を有する溶接施工法を確立する。 ②脆化が最も起こりやすくなると言われている-70℃付近の水素脆化度を確認する。	・ SUS316Lの大型液化水素貯槽への適用を可能とする根拠を得た。	○

35

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

2020年6月
開始事業

(Ⅱ-⑤)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／
液化水素用大口径バタフライバルブの技術開発」

助成先：株式会社中北製作所

(Ⅱ-⑥)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／
液化水素用バタフライバルブの開発」

助成先：株式会社ササクラ

(Ⅱ-⑤)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／
液化水素用大型バルブの技術開発」

助成先：株式会社キッツ

36

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

2020年6月
開始事業

(Ⅱ-⑤)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／
液化水素用大口径バタフライバルブの技術開発」

助成先：株式会社中北製作所

●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
市場調査	<ul style="list-style-type: none"> バルブの要求仕様その他要件、高圧ガス保安法における要求事項を把握 	<ul style="list-style-type: none"> 顧客との定期的な協議を開始 高圧ガス保安法の適用範囲に関する調査に着手 	△
原理開発	<ul style="list-style-type: none"> シール構造及び真空断熱構造の開発 	<ul style="list-style-type: none"> シール構造を検討し構造解析に着手 真空断熱構造の検討を開始 	△
実機開発	<ul style="list-style-type: none"> バルブ実機における実流体試験にて各目標値を達成し、試験結果と実機モデル解析とのギャップ分析を完了することで、液化水素用大口径バタフライバルブの技術を確立 	<ul style="list-style-type: none"> 来年度以降にて実施計画 	—

37

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

2020年6月
開始事業

(II-⑥)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／
液化水素用バタフライバルブの開発」

助成先：株式会社ササクラ

●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
バルブ大型化による性能確保	・ 流路内漏洩量LNG仕様相当	・ 試作バルブの構造検討中 (2021年度LN2にて評価)	2020年度:設計完了 2021年度:試作バルブ完成
液化水素として維持可能な構造	・ バルブ内外の断熱	・ 構造検討、強度計算の実施中	△
水素の外部漏れに対する安全	・ 流路外漏洩量LNG仕様相当	・ グランド部の構造検討実施中	△
使用材料による加工とコスト	・ LNG仕様弁の加工費1.2倍	・ 2020年度に調達完了予定	△
液化水素条件下における性能確保	・ LNG仕様相当の漏洩量	・ JAXA殿と概要の打合せを実施 ・ (2022年度LH2にて評価)	2021年度:試験要領の決定、試験準備

38

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

2020年6月
開始事業

(II-⑤)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／
液化水素用大型バルブの技術開発」

助成先：株式会社キッツ

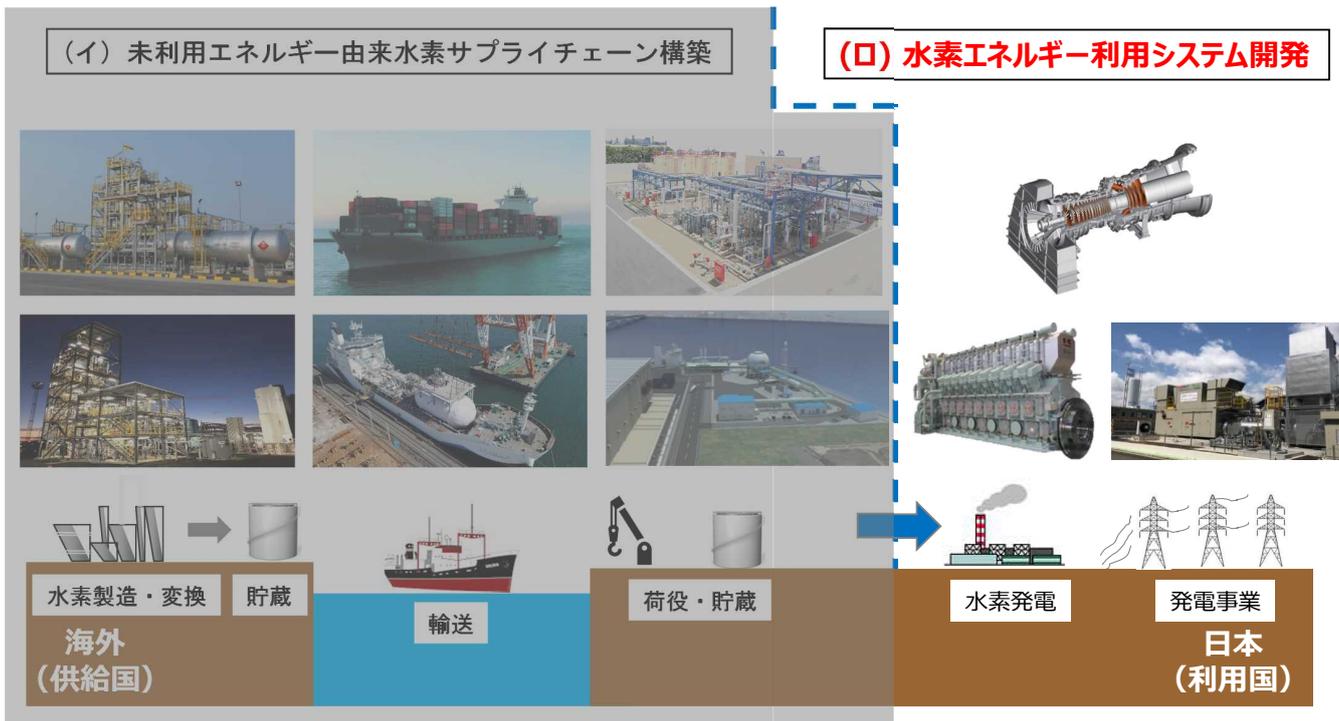
●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
弁種の検討	・ 大口径化実現可能な弁種・構造の選定	・ 遮断弁：ボール弁 ・ 逆止弁：スイング式	○
封止技術の検討	・ 液化水素温度下 (-253℃) における外部・内部封止性能の確立(JAXA共同研究予定)	・ 解析等より、シール位置決定材料、形状を検討中	△
弁の製造方法の検討	・ 大型精密部品の製造方法の決定	・ 一体加工製造は困難 ・ 別体分割構造を検討中	△
真空断熱構造の検討	・ 弁接続を真空配管上部へ配置する構造確立 ・ 断熱性、弁保持方法の決定 (2021年度)	・ 縮小モデルで組立・分解方法の検討実施中	△(2021年度完了予定)
弁試験評価	・ 弁の試作、組立・分解治工具の確立 ・ 弁に要求される性能評価試験を実施 ・ 弁のサイズ展開設計完了 (2022年度)	・ 縮小モデルで組立・分解方法の検討実施中 ・ 2021年度より着手予定	△(2022年度完了予定)

39

3. 研究開発成果について

水素エネルギー利用開発のイメージ



水素サプライチェーン・水素エネルギー利用概念図

40

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

(II-⑧) 「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／ドライ低NOx水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業」

助成先：川崎重工業株式会社、株式会社大林組

●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
A：ドライ低NOx水素専焼ガスタービンの運転実証	①安定燃焼の達成 ②発電効率27%以上(定格)を達成 ③NOx排出値35ppm以下の達成 ④「混焼運転」対応のための課題抽出	<ul style="list-style-type: none"> 世界初の実用レベルのドライ方式水素専焼ガスタービンによる発電装置の実証を完了し、水素発電所としての実運用を開始 発電端効率27%以上の達成に目途 	○
B：冷熱活用システム検討	①冷熱利用熱交換器の基礎検討 ②蒸発器の着霜防止効果を定量評価 ③空気冷却器着霜発生条件を把握 ④冷熱利用の経済合理性の定量評価	<ul style="list-style-type: none"> 冷熱利用の基礎検討およびシミュレーションモデルの作成が完了。発電出力および効率向上効果の定量評価に目途 	○

41

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

(II-⑨)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／CO2フリーアンモニア利用GTCCシステムの技術開発」

助成先：三菱パワー株式会社

●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
(1) システム構成の検討	<ul style="list-style-type: none"> 他のCO2フリーシステムと比較して経済的に優位(目標：17円/kWh以下(2030年))で運用性に優れたシステム構成/運転条件の検討 	<ul style="list-style-type: none"> 混焼システムの起動要領を検討 NH3燃料の価格と本システムの建設費をパラメータとし、本システムの発電コストを評価 	○
(2) NH3分解装置の検討	<ul style="list-style-type: none"> NH3分解装置の機器構成の決定、分解後の残留NH3濃度0.38%以下 触媒の実使用環境を考慮した寿命や性能評価 	<ul style="list-style-type: none"> 混焼システムのNH3分解反応器の構造も含めた試設計を実施 NH3曝露試験で触媒表面の被毒物質の分析、触媒比表面積変化を計測 	○
(3) 燃焼器の検討	<ul style="list-style-type: none"> NH3分解ガス混焼条件(水素体積割合20%)における実圧燃焼器のNOx性能の検証 	<ul style="list-style-type: none"> 既存実圧燃焼試験装置の燃料系統に微量NH3を供給する系統を計画 	○

42

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

2020年6月
開始事業

(II-⑩)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発 低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型DryLowNOx高温ガスタービン発電設備の研究開発」

助成先：三菱パワー株式会社、三菱重工業株式会社

●研究目標

実施項目	目標 (2020年度)	成果内容	自己評価
モデルバーナの設計技術	<ul style="list-style-type: none"> 高温高圧下のモデルバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下 	<ul style="list-style-type: none"> 燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無くターゲット計画条件にてNOx 50ppm(15%O2換算)以下を達成した 	○
シングルセグメントの設計技術	<ul style="list-style-type: none"> 数値解析による概念設計 水素専焼が逆火耐性に与える影響評価を完了 	<ul style="list-style-type: none"> シングルセグメントの数値解析により、バーナ内部の流動を確認した 	△
大型ガスタービン燃焼器設計技術	<ul style="list-style-type: none"> 燃焼器の概念設計の完了 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料系統、燃料ステージの計画をもとに、燃焼器全体の計画図を作成した 	△
大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術	<ul style="list-style-type: none"> 水素供給装置を含めた実圧燃焼試験装置の系統図、配置図の完成 	<ul style="list-style-type: none"> 水素供給装置から燃焼セルまでの系統構成を検討し、成立性の目途を得た 	△
高温高圧下での燃焼器燃焼試験(2022年度予定)	<ul style="list-style-type: none"> 計画運転条件において、逆火なく燃焼器出口でNOx50ppm以下 	<ul style="list-style-type: none"> (2022年度予定) 	-

43

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

2020年6月
開始事業

(Ⅱ-⑪)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／高濃度水素混焼/水素専焼焚きボイラ・発電設備の技術開発」

助成先：三菱パワーインダストリー株式会社

●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
水素ガス供給圧力の高圧化	供給圧力：100～990kPa	高圧ガスバーナ実績を水素焚バーナ設計に反映済	△
燃焼振動現象の抑制	I1≤50Pa (*1) *1:共鳴周波数成分の振幅	低振動ガスバーナ実績を水素焚バーナ設計に反映済	△
NOx低減	NOx≤60～100ppm	本事業では5種類の低NOx手法を適用。水素濃度84%燃料にて水噴霧でNOx100ppm以下を実証済	△
逆火現象の防止	逆火・焼損回避条件の明確化	逆火現象評価用の基本解析モデルは作成済	△

44

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

2020年6月
開始事業

(Ⅱ-⑫)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／大出力水素燃焼エンジン発電システムに関する技術開発」

助成先：川崎重工業株式会社

●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価	・ 大出力エンジンにおける水素燃焼の特徴を抽出し、水素燃焼単筒機の要目を定める	・ 水素供給機能整備完了し、試験に着手	△
水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化	・ 多くの量の水素を貯蔵・供給ができる水素燃焼専用試験運転設備を整備する ・ 要素試験結果を反映した水素燃焼専用単筒機を用いて、従来実績を上回る図示平均有効圧力1.6MPaを実現する	・ 強度評価を行う対象部品を抽出 ・ 各種解析手法を比較する準備を整えた ・ 大物部品の設計に着手 ・ 試験設備の基本設計に着手	△
水素燃焼単筒機運用システムの開発	・ 天然ガス燃焼エンジンと同様の安全性にて運用可能な運用・制御システムを確立する	・ 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出に着手	△

45

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

終了事業

(Ⅱ-⑬)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業」

助成先：株式会社大林組、川崎重工業株式会社

●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
統合型EMSの開発	・「電気」「熱」「水素」の統合型EMSの経済的運用モデルと双方向蒸気融通技術の確立	・「電気」「熱」「水素」の統合型EMSの経済的運用モデル確立の完了 ・双方向蒸気融通技術確立の完了	○
水素CGSの開発	・実負荷運転時の水素混焼割合の切替え時の燃焼安定性の検証	・実負荷運転時の水素混焼割合切替え時の燃焼安定性検証の完了	○

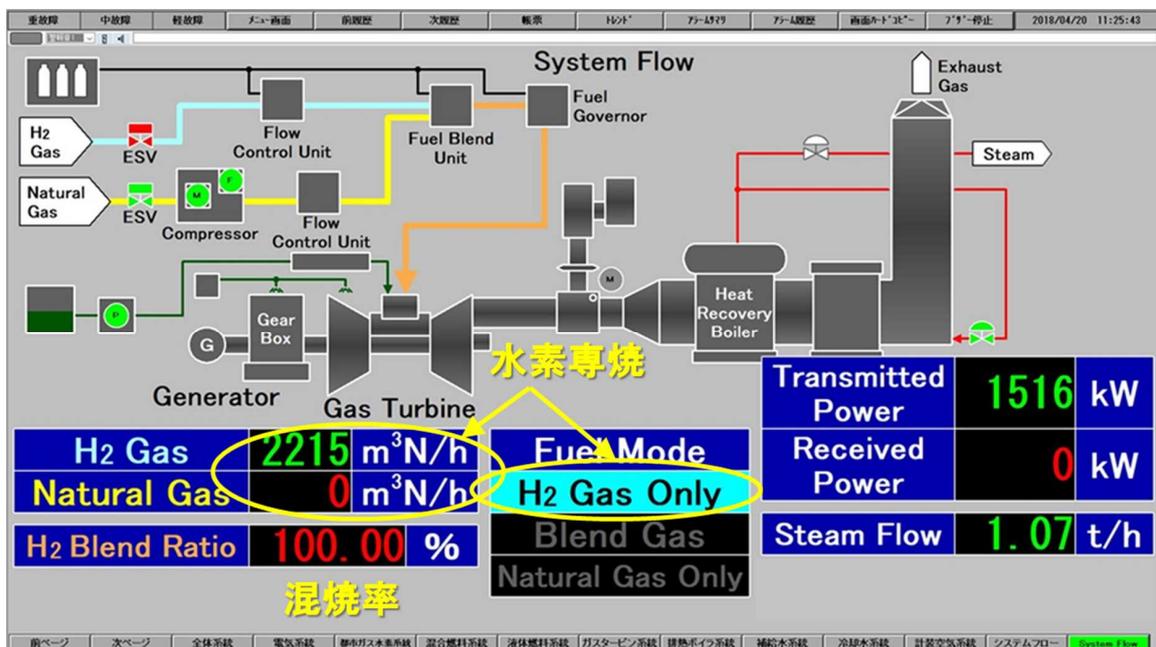
・ 統合型EMSの開発について、双方向蒸気融通技術と統合型EMSを導入し、電気・熱・水素を総合管理し、環境性と事業性を確保するエネルギーマネジメントシステムおよび蒸気ハンマーの発生しない双方向融通廃管網が構築できた。
 ・ 水素CGSの開発について、最終目標である「実負荷運転時の水素混焼割合切替え時の燃焼安定性検証」が完了。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

終了事業

◆プロジェクト全体の成果と意義

<成果> **世界初**となる、市街地におけるガスタービンCGSでの水素専焼(水素100%)による熱電供給を達成
 (NEDO、川崎重工業・大林組と共同で2018/4/20にプレスリリース)



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

終了事業

(Ⅱ-14)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発
低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発」

助成先：三菱パワー株式会社、三菱重工業株式会社

●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
A-1 火炎伝播速度計測	高圧条件において水素混焼割合が燃焼速度に与える影響を明らかにする	高圧条件下の燃焼速度を計測し、層流燃焼速度で無次元化することで変動速度と乱流燃焼速度の関係で整理可能であることを明確化	○
A-2 数値解析の高度化	実燃焼器において燃料中の水素混焼割合の変化影響をシミュレーションにより予測する	燃焼モデルとしてFGMモデルを適用し、解析により低空気量・高燃空比条件の逆火現象再現が可能であることを確認	○
A-3 着火遅れ時間計測	ガスタービン内部での自己着火による損傷リスクを評価する	ガスタービン燃焼器内部と同等条件で着火遅れ時間を計測し、水素混焼運用時の自己着火発生による焼損リスクが低いことを確認	○
B 燃料成分の変化に対する安定運用範囲を拡大する技術	水素混焼割合20%の条件において天然ガス燃焼GTと同等の性能を有する燃焼器を開発する	渦芯フラッシュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発し、水素混合割合30%条件にて安定燃焼が可能なることを実圧燃焼試験で確認	○
C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術	本事業成果の商品化に向けた基本設計(用品パッケージ化)を完了する	水素混焼焚きにおけるプラント基本設計が完了	○

・水素混合割合30%条件(> 事業目標：水素混合割合20%条件)において、安定燃焼が可能なることを実圧燃焼試験により確認した。
 ・実在するプラントをベースに、プラント建設計画を策定し、商品化に向けた基本設計(商品パッケージ化)を完了した。
 ・**インターマウンテン電力向けに、高効率機種であるJAC形発電設備を受注。**
2025年に水素混焼率30%で運転を開始予定。

48

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆成果と意義

水素サプライチェーン：

水素をエネルギーとして利用するために必要な技術。

水素利用技術：

水素を発電、熱等に利用することで、CO2削減に寄与できる期待が大きい。

⇒環境問題、エネルギー問題の解決に大きく貢献可能

49

◆成果の普及

	2015 年度	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	計
論文	0	0	2	7	2	1	12
研究発表・講演	16	50	86	131	92	32	407
受賞実績	0	0	0	0	0	1	1
新聞・雑誌等への掲載	0	3	53	56	45	28	185
展示会への出展	9	3	11	8	14	3	46

※2020年9月末現在

◆成果の普及

- 製造、輸送、利用の幅広い技術成果を学会、展示会、新聞等で幅広く成果普及
- 基盤研究成果を招待講演等で成果発信
- セミナー・講演、新聞等で成果発信

World Hydrogen Technologies Convention (WHTC) 2019
 第14回再生可能エネルギー世界展示会&フォーラム
 日本社会イノベーションフォーラム2019
 福岡水素エネルギー人材育成センター主催「水素入門コース」
 日本伝熱学会主催「第16回関西伝熱セミナー」
 関西火力発電EXPO技術セミナー
 Regional Workshop on Green and Low Carbon Hydrogen Energy
 第57回 日豪経済合同委員会議
 International Conference on Power Engineering-2019
 大阪産業技術研究所 森之宮センター
 NIRO主催 第3回セミナー・見学会「水素サプライチェーン構築に向けた取り組み」
 日経 社会イノベーションフォーラム
 水素閣僚会議にて展示・発表
 FCEXPO2020 展示
 2020年度/第29回グリーン・コール・デー国際会議
 次世代火力発電EXPO
 など 多数発表

◆成果の普及

- HySTRA：水素輸送船進水式（新聞各社、関西圏テレビ）
- AHEAD：ブルネイの設備オープニング式典（事業者、NEDOのHP）
川崎の設備オープニング式典（新聞各社、関東圏テレビ）
川崎からブルネイへトルエンの輸送開始にてサプライチェーン始動（事業者、NEDOのHP）
- 大林組、KHI：神戸CGS（混焼設備）オープニング式典、
世界初、市街地でのWet式水素100%運転達成（事業者、NEDOのHP、新聞各社）
- MHI：天然ガス・水素混焼の30%混焼達成（事業者のHP、新聞各社）
- KHI、大林組：Dry方式水素専焼に成功（事業者、NEDOのHP）

その他多くの新聞報道にて本事業のテーマが取り上げられている。
新聞各社からの問い合わせ多数

◆知的財産権の確保に向けた取組

	2015 年度	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	計
特許出願 (うち外国出願)	4 (1)	1	10	1	1	3 (1)★	20件 (2)

※2020年9月末現在
★準備中含む

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

- 当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されること。
- 当該技術が水素利活用するための将来設備の基本計画の試算等に活用されること。

(1) 実用化に向けた戦略 (2) 具体的取組

Ⅲ 総合調査

可能性調査を実施し、将来の水素利活用を検討している。

地産地消型水素製造・利活用ポテンシャル調査

- 水素に関する世界初の国家戦略である「水素基本戦略(2017年12月決定)」や「水素・燃料電池戦略ロードマップ(2019年3月策定)」の中で、将来的な低炭素水素の利活用拡大のみならず、地域のエネルギー自給率の向上や新たな地域産業創出等に資するものとして地域の未利用資源を活用した水素サプライチェーンの構築の必要性が掲げられている。
- 本調査では、再生可能エネルギーや副生水素等の地域資源を活用した水素製造及び利活用ポテンシャルを分析し、地域での水素サプライチェーン構築(地産地消モデル)の実現可能性を明らかにすることを目的とする。

2019年度	6件
2020年度	5件

◆波及効果

- 神戸CGS（水素発電）はマスコミでも大きく取り上げられ、水素エネルギー利用の可能性を広く示すことが出来た。
（46カ国、2600名以上の視察）
- 水素輸送船の進水式には約4000名の来場者があり、広く水素輸送船を利用したサプライチェーンのPRが出来た。
- 水素・天然ガス混焼ガスタービン発電技術で開発した成果が米国電力向けに納入、2025年運転開始予定。

3. 研究開発成果について (添付資料番号一覧)

テーマ名	資料番号	事業者名
未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン実証	II-①	技術研究組合CO2フリー水素サプライチェーン推進機構
有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証	II-②	次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合
液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発	II-③	川崎重工業株式会社 東京貿易エンジニアリング株式会社 株式会社IHI回転機械エンジニアリング 株式会社荏原製作所
液化水素貯槽の大型化に関する研究開発	II-④	トーヨーカネツ株式会社
液化水素用大口径バタフライバルブの技術開発	II-⑤	株式会社中北製作所
液化水素用バタフライバルブの開発	II-⑥	株式会社サクラ
液化水素用大型バルブの技術開発	II-⑦	株式会社キッツ
ドライ低NOx 水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業	II-⑧	川崎重工業株式会社 株式会社大林組
CO2フリーアンモニア利用GTCCシステムの技術開発	II-⑨	三菱パワー株式会社
低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型DryLowNOx高温ガスタービン発電設備の研究開発	II-⑩	三菱パワー株式会社 三菱重工業株式会社
高濃度水素混焼/水素専焼焚きボイラ・発電設備の技術開発	II-⑪	三菱パワーインダストリー株式会社
大出力水素燃焼エンジン発電システムに関する技術開発	II-⑫	川崎重工業株式会社
水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業	II-⑬	株式会社大林組 川崎重工業株式会社
低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発	II-⑭	三菱パワー株式会社 三菱重工業株式会社

(Ⅱ-①)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発 ／未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業」

助成先：技術研究組合
CO2フリー水素サプライチェーン推進機構
(HySTRA)

●成果サマリ (実施期間：2015年度～2022年度終了予定)

・液化水素の長距離大量輸送技術の開発において、液化水素輸送タンクシステムに関し海上輸送を考慮した断熱システム、高真空維持システムの開発及び設計を終了するとともに、タンクシステムの設計・製作を2020年2月に完了し、船体への搭載も完了した。現在、タンクシステム周りの真空二重管の施工及び水素関連機器の搭載を実施中である。年内に海上公試を終了し、年度内の船級取得、日豪航海を目指す。
 ・液化水素荷役技術の開発において、揺動環境下におけるローディングシステム及び液化水素貯蔵タンク等の主要機器の設計、製作、据付を2020年5月に完了し、6月から水素置換を手始めに、基地単独での実証試験を開始した。8月に液化水素貯蔵タンクへの液化水素の充填を完了し、現在、実証試験を実施中である。
 ・ガス化技術の開発において、豪州に2t/dガス化炉設備の設計、製作を実施し、2020年9月に据付工事を完了した。今後、試運転を経て、10月中旬以降より水素の製造を開始する予定である。国内に設置の20t/d若松小型炉試験設備での試験は年明け以降に実施予定である。

●背景/研究内容・目的

2030年頃に商用化を目指す現状のLNGと同規模の水素サプライチェーン(水素製造・液化水素貯蔵・液化水素解除輸送・水素の発電利用)の実現を見通すために、現状のLNG内航船と同規模の輸送用タンクに「1. 液化水素の長距離大量輸送技術」、それに対応する「2. 液化荷役技術」、及び豪州の未利用エネルギーである褐炭を用いた「3. 褐炭ガス化技術」の研究開発を行う。

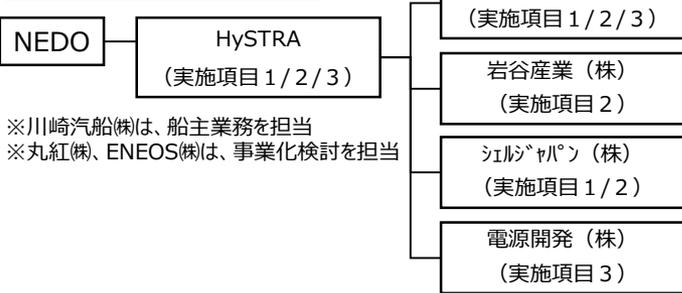
●研究目標

実施項目	目標
1. 液化水素の長距離大量輸送技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 液化水素輸送用タンクの要素技術の開発ならびに液化水素輸送用タンクの開発 商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得
2. 液化水素荷役技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 液化水素荷役技術の開発 ローディングシステム及び安全な運用システムを開発し、商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得
3. ガス化技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 褐炭ガス化炉の開発 商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得

●これまでの実施内容／研究成果

実施項目	実施内容／研究成果
1. 液化水素の長距離大量輸送技術の開発	(a) 液化水素海上輸送システムの要素技術の開発 ・真空条件下でタンクへの熱流束が目標値以下となる断熱構成を確認した。 ・揺動に対応したドーム構造と拘束材設計を完成した。 (b) 輸送用タンクシステムの開発 ・真空度の経時劣化の傾向を確認し、これを基に断熱仕様を確定した。 ・使用する素材の破壊靱性試験により、タンク構造の強度を確認した。 ・解析によりガス置換作業が現実的な時間で実施可能であることを確認した。 ・LNGで実績のある既存の液面計が液化水素に対しても適用可能であることを確認した。 (c) 輸送用タンクシステムの設計・製作・検査 ・2016年度までに実施した研究開発項目(a)と(b)により開発された技術を踏まえ、輸送用タンクシステムおよび配管艦装品の基本設計・詳細設計を完了し、船級立会検査のもと、製作をほぼ完了した。 (d) 実証試験の実施 ・輸送用タンクおよび各種配管艦装品を含めたシステム全体の詳細設計内容をFMEAに反映し、実証試験で実施すべき項目を実証試験開始までに洗い出し中。 ・船級(日本海事協会)と実証試験の実施項目を確認中。
2. 液化水素荷役技術の開発	(a) 液化水素の陸上・海上間移送技術実証 ・海上揺動環境下において目標流量及び目標可動範囲を達成できるローディングアームシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領書を作成した。 (b) 荷役基地におけるオペレーション技術の開発 ・目標燃費率以下となる液水貯蔵タンクの製作、設置が完了し、BOR計測要領書の策定も完了したことで、実証試験実施の見通しを得た。 ・カーゴタンク当たり200m ³ /h以上の荷役流量を目標とした陸上・海上間輸送設備及び基地配管の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た。
3. ガス化技術の開発	(a) EAGLE炉への豪州褐炭の適用性検討 ・「2t/dガス化炉」：豪州マトロブパレー炭鉱での褐炭の特性を反映した設備設計を実施。豪州での試験設備の据付完了。 ・「20t/dガス化炉」：豪州褐炭の試験サンプルを基に運転条件等の事前解析実施(10月より実施)。試験用の褐炭を日本に輸送し、事前乾燥実施。(10月より実施) (b) 化学原料製造向けガス化技術の検討 ・「2t/dガス化炉」でCO ₂ 搬送が、「20t/dガス化炉」でダイレクトクエンチの試験が可能となるよう設計済み。プロセスシミュレーションのモデルを構築中。今後試験結果を踏まえ精度の向上を図る。 (c) 豪州褐炭ガス化運用技術の検討 構築したシミュレーションモデルを用い、大型化時のユーティリティ量の把握等に利用する。

●実施体制及び分担等



●今後の課題

【実施項目1及び2】
 着実に建造を完工し、日豪航海を実施する。日豪航海を複数回実施することにより、液水輸送及び荷役に伴う種々のデータの取得及び検証が実用化には必要である。
 【実施項目3】
 着実に試運転を遂行し、褐炭からの水素の製造を実施し、実用化に向けたデータを取得する。

●実用化・事業化の見通し

水素・燃料電池戦略ロードマップ、地球温暖化対策計画などからニーズの高い技術であり、本事業により、成立性が高いことが認知されるため、事業の可能性は十分に高いと考えられる。

●研究成果まとめ (2020年9月末現在)

実施項目	成果内容	自己評価	
1	液化水素輸送用タンクの製作を完了し、船体への艦装を完了した。その他水素関連機器の艦装に一部遅れが発生している。	△ (2020/11)	
2	荷役基地の据付を完了し、基地単独実証試験を開始した。	○	
3	2t/dガス化炉設備の据付工事を完了した。10月より水素製造を実施する。	△ (2021/2)	
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
14	3	286	1

**「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー
利用技術開発／未利用褐炭由来水素大規模海上輸
送サプライチェーン実証事業」**

(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

技術研究組合CO2フリー水素サプライチェーン推進機構

2020年12月4日

1 / 49

研究開発項目

(Ⅰ) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

(Ⅱ) 液化水素荷役技術の開発

(Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発

2 / 49

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度

「(I) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発」の目標と達成状況

開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
液化水素の長距離大量輸送技術の開発	c) 輸送用タンクの設計・製作・検査 基本設計・詳細設計を元に、タンク製作・検査・船体搭載が着実に成され、配管艦装品を含めたシステム全体が実証試験実施可能な状態になっていること。	2016年度までに実施した研究開発項目「a)液化水素海上輸送システムの要素技術の開発」と「b)輸送用タンクシステムの開発」により開発された要素技術を踏まえ、輸送用タンクシステムおよび配管艦装品の基本設計・詳細設計を完了し、船級立会検査のもと、製作をほぼ完了した。	△ 最速で2020年11月末予定	一部購入機器の不具合が見つかり、対処方法を検討中 2020年10月末には改めて見通しが明確になる見込み
	d)-① 安全対策システムの開発 (実証試験の実施) <ul style="list-style-type: none"> ● 実証設備を用いた試験方案への船級承認が完了し、2020年度中の日豪間輸送の実現が見込める状態であること。 ● 実証試験実施時の危険要因が把握され、それらに対する有識者による安全対策の妥当性検証が完了していること。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 輸送用タンクおよび各種配管艦装品を含めたシステム全体の詳細設計内容をFMEAに反映し、実証試験で実施すべき項目を実証試験開始までに洗い出し中。 ● 船級(日本海事協会)と実証試験の実施項目を確認中。 	△ 最速で2020年12月末予定	

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

3/49

3. 研究開発成果について

(2) 成果の意義

「(I) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発」の成果と意義

開発項目	成果	達成度	成果の意義
液化水素の長距離大量輸送技術の開発	c) 輸送用タンクの設計・製作・検査 研究開発項目a)とb)により開発された技術を踏まえ、輸送用タンクシステムおよび配管艦装品の基本設計・詳細設計を完了し、船級立会検査のもと、製作をほぼ完了した。	△ 最速で2020年11月末予定	船級協会の認める設計・検査内容で以て大容量の輸送タンクが製造出来ることが確認された。
	d)-① 安全対策システムの開発 (実証試験の実施) <ul style="list-style-type: none"> ● 詳細設計内容をFMEAに反映し、実証試験で実施すべき項目を洗い出し中。 ● 船級(日本海事協会)と実証試験の実施項目を確認中。 	△ 最速で2020年12月末予定	<ul style="list-style-type: none"> ● 世界水準の安全評価手法に則った設計手法を適用し、将来的に液化水素の大量海上輸送技術として、世界初の輸送実績を伴った設計技術として標準化していく見込みである。 ● また、世界で初めて液化水素の大量輸送を可能にするシステム全体の船級承認を取得と、実際の日豪間運用の実績を得られる見通しである。

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

4/49

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

【開発項目】

c) 輸送用タンク的设计・製作・検査

【目標】

タンク製作・検査・船体搭載が着実に成され、配管艤装品を含めたシステム全体が実証試験実施可能な状態になっていること。

【成果】

✓内槽ドーム組立(溶接)



✓内槽胴体組立(周溶接)



✓内槽鏡組立 (非破壊検査)



✓外槽胴板組立 (長手溶接)



✓外槽鏡板加工完了

5/49

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

【開発項目】

c) 輸送用タンク的设计・製作・検査

【成果 (前頁続き)】

2019年夏頃に内外槽一体化を完了し、真空槽の真空引きを実施。



(2019/5時点)

2020年3月に船体に輸送用タンクを搭載。



現在KHI神戸造船所内にて、貨物配管や各種貨物機器とのインテグレーション作業と試運転作業を実施中。

6/49

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

【開発項目】

d)-① 安全対策システムの開発

【目標】

- 実証設備を用いた試験方案への船級承認が完了し、2020年度中の日豪間輸送の実現が見込める状態であること。
- 実証試験実施時の危険要因が把握され、それらに対する有識者による安全対策の妥当性検証が完了していること。

【成果】

ア) 危険要因の把握

詳細設計内容をFMEAに反映し、実証試験で実施すべき項目を洗い出し中。

船級 (日本海事協会)と実証試験の実施項目を確認中。

研究開発項目

(Ⅰ) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

(Ⅱ) 液化水素荷役技術の開発

(Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度

「(Ⅱ) 液化水素荷役技術の開発」の目標と達成状況

開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
液化水素荷役技術の開発	a) 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証 ●海上揺動環境下において、極低温(-253℃) 液化水素の陸上-海上間輸送を想定したローディングシステムの稼働範囲を有し、かゴ tank 当り200m ³ /h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること ●海上揺動環境下で使用する荷役設備を想定して可動範囲を持つローディングシステムを製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること	海上揺動環境下において目標流量及び目標可動範囲を達成できるローディングシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領を作成した。	○	特になし。今後は作成した実証試験の要領をもとに、液化水素の陸上-海上間輸送技術実証を行う。
	b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発 極低温液化水素の蒸発特性を踏まえ、配管入熱を仮定して、予冷段階、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備、および、目標蒸発率以下のタンクの製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること	●設定した配管系およびホ ^o レーションを基に蒸発量の算定、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備の製作、設置が完了した ●目標蒸発率以下となるタンクの製作、設置が完了し、BOR計測要領書の策定も完了したことで、実証試験実施の見通しを得た	○	特になし。今後は製作、設置した荷役設備、タンク等を使用し、荷役基地におけるホ ^o レーション技術の実証を行う。
	b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発 貯蔵タンク及び配管類の健全性を確保した予冷システムの設計が完了していること	積荷及び揚荷ホ ^o レーションを設定の上、リスクに基づく安全性評価を行い、貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの設計が完了した。	○	特になし。今後は製作、設置した荷役設備、タンク等を使用し、予冷システムの実証を行う。
	b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証 かゴ tank 当り200m ³ /h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること	かゴ tank 当り200m ³ /h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た	○	特になし。今後は製作、設置した輸送設備を使用し、荷役流量の実証を行う。

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

9/49

3. 研究開発成果について

(2) 成果の意義

「(Ⅱ) 液会水素荷役技術の開発」の成果と意義

開発項目	成果	達成度	成果の意義
液化水素荷役技術の開発	a) 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証 海上揺動環境下において目標流量及び目標可動範囲を達成できるローディングシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領を作成した。	○	●設置完了したローディングシステムにより、海上揺動環境下における液化水素荷役の実現性を検証することができ、世界初となる液化水素の陸上-海上間移送技術を開発することが可能になる。 ●液化水素用ローディングシステムを備えた液化水素荷役技術の試験設備を用いた技術実証により、机上検討との相違を洗い出し、既往のLNG荷役基地との比較を行うことで、商用規模への拡大に向けた解析を進め、商用チェーンに向けて液化水素荷役基地建設の見通しを得ることが可能になる。
	b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発 ●設定した配管系およびホ ^o レーションを基に蒸発量の算定、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備の製作、設置が完了した ●目標蒸発率以下となるタンクの製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た	○	●液化水素荷役基地におけるホ ^o レーション技術の開発にあたっての課題の一つである、液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発が可能になる。 ●正確な蒸発量予測手法により、商用基地での蒸発損失を最小化する設計・ホ ^o レーション技術の獲得が可能になる。
	b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発 積荷及び揚荷ホ ^o レーションを設定の上、リスクに基づく安全性評価を行い、貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの設計が完了した。	○	●液化水素荷役基地におけるオペレーション技術の開発にあたっての課題の一つである、貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発が可能になる。 ●予冷システムが最適化されることで、商用基地での蒸発損失最小化、ホ ^o レーション期間の短縮が可能になる。 ●世界初の液化水素の陸上-海上間移送技術を有する設備であり、商用に向けた安全性評価手法の確立が可能になる。
	b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証 かゴ tank 当り200m ³ /h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た	○	●液化水素荷役基地におけるオペレーション技術の開発にあたっての課題の一つである、液化水素の管内流動状況の検証を行うことが可能になる。 ●管内流動状況を正確に把握することで、蒸発損失、圧力損失等を最適化し、効率的な商用基地の建設が可能になる。

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

10/49

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

【開発項目】

a) 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証

【目標】

- 海上揺動環境下において、極低温(-253℃) 液化水素の陸上-海上間輸送を想定したローディングシステムの稼働範囲を有し、カーゴタンク当たり200m³/h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること
- 海上揺動環境下で使用する荷役設備を想定して可動範囲を持つローディングシステムを製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること

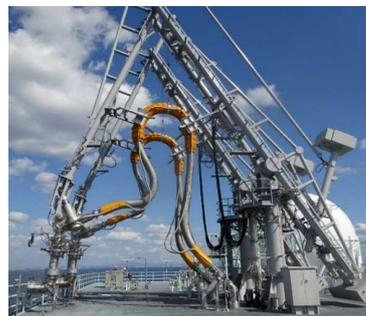
【成果】

海上揺動環境下において下記性能を目標とするローディングシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領を作成

- ✓ 目標性能を満足する管径に基づき、必要設置エリア、アーム間隔等を検討の上、ローディングアームの詳細設計、製作、据付を実施、完了 (2020年3月)
- ✓ 目標性能を満足する管径に基づき、緊急離脱装置 (ERC) およびバリエット継手の設計、製作、検査を実施、完了 (2020年1月)
- ✓ ローディングアームの可動範囲を設定の上、構造解析を行い、設定可動範囲を満足する設計、製作、検査を実施、完了 (2020年1月)



ローディングアームシステム現地据付状況①



ローディングアームシステム現地据付状況②

11 / 49

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

【開発項目】

b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発

【目標】

極低温液化水素の蒸発特性を踏まえ、配管入熱を仮定して、予冷段階、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備、および、目標蒸発率以下のタンクの製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること

【成果】

- 設定した配管系およびパレションを基に蒸発量の算定、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備の製作、設置が完了 (2020年3月)
- 目標蒸発率以下となるタンクの製作、設置が完了 (2020年5月)
 - ✓ 工場製作、現地建設が完了 (2020年5月)
 - ✓ タンクの冷却、初期積荷を実施 (2020年6月～8月)



液化水素貯蔵タンク現地据付状況①



液化水素貯蔵タンク現地据付状況②



液化水素貯蔵タンク現地据付状況③

12 / 49

【開発項目】

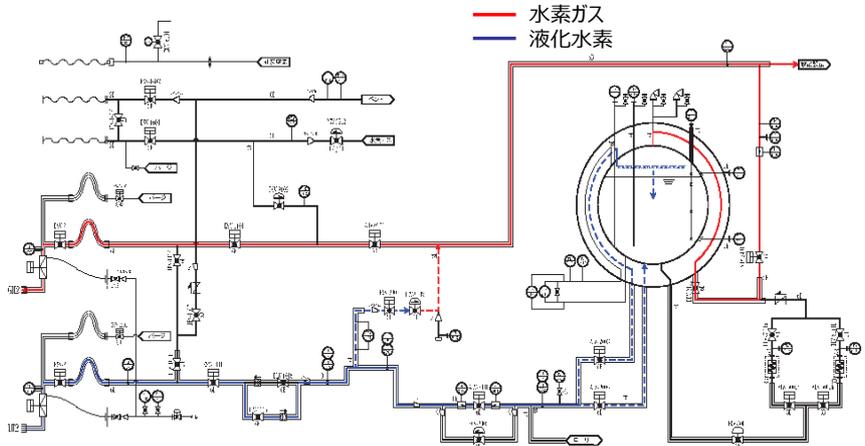
b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発

【目標】

積荷及び揚荷ホレーションを設定の上、安全性評価を行い、貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの設計が完了していること。

【成果】

- ✓ 各ホレーションごとにP&IDを作成し、ホレーションの設定を行うとともに、安全性評価を実施（～2018年6月）



例：揚荷時オペレーションフロー

【開発項目】

b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証

【目標】

極低温液化水素の蒸発特性を踏まえ、配管入熱を仮定して、予冷段階、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備、および、目標蒸発率以下のタンクの製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること

【成果】

カーゴタンク当り200m³/h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了（2020年3月）し、実証試験実施の見通しを得た

ア) 配管口径

- ✓ 流体種類、プロセス用途等により配管を分類し、それぞれに基本的な流速の目安を設定
- ✓ 検討に当たっては、LNG基地での実績をベースに、液化水素とLNGの物性の違い等を考慮



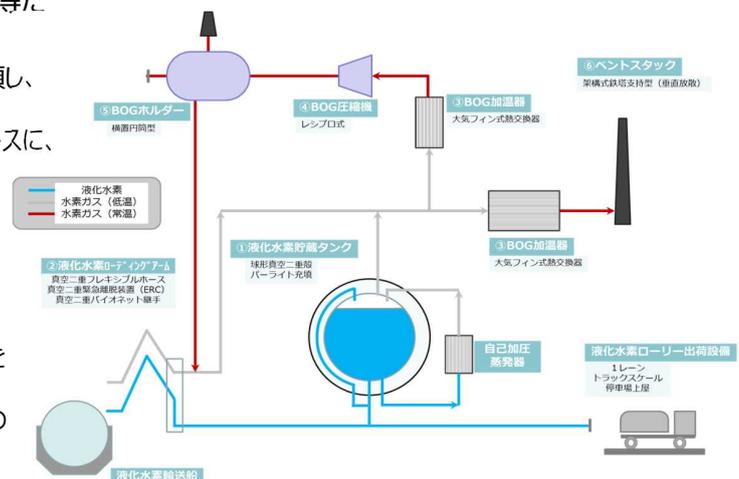
上記を根拠とし、各区分ごとに配管口径を決定

イ) 配管入熱

- ✓ 流体種類、プロセス用途等により配管断熱を設定
- ✓ さらに配管径ごとに分類の上、100mあたりの入熱量を計算



上記をもとに算定した管内の流れの状態、蒸発量等の予測値は、実証試験での管内流動状況検証のベース



【その他の成果】

<現地据付工事>



据付工事全景



ベントスタック据付

<基地単独実証試験>

ア) 基地タンク ガス置換作業実施、完了 (2020年6月)
大型のタンクにおける窒素⇒水素へのガス置換作業が概ね机上検討通りに行えることを確認

イ) 基地タンク 予冷作業実施、完了 (2020年7月)
本構造のタンクにおける予冷に必要な液化水素量等の知見を獲得

ウ) 基地タンク 液化水素充填作業実施、完了 (2020年8月)

エ) 基地タンク満載、静定後に蒸発率を計測し、目標蒸発率以下を達成 (2020年9月)



ガスホルダー据付

研究開発項目

(Ⅰ) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

(Ⅱ) 液化水素荷役技術の開発

(Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

「(Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発」の目標と達成状況

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
褐炭ガス化技術の開発	a) EAGLE炉への豪州褐炭の適用性評価 以下ガス化試験を踏まえ、EAGLE炉での褐炭ガス化技術を確認する。 (2t/d 豪州小型ガス化試験装置) ・複数の褐炭についてガス化試験を行う。 ・1炭種につき複数回ガス化試験を行うことで、きめ細かく評価する。 (20t/d 若松小型炉試験設備) ・2t/dの試験結果を踏まえてガス化試験を行い、褐炭ガス化適用性を評価する。	(2t/d 豪州小型ガス化試験装置) ・豪州ラトローパレーでの褐炭の特性を反映した設備設計を実施。 ・豪州での試験設備の据付完了。 (20t/d 若松小型炉試験設備) ・豪州褐炭の試験サンプルを基に運転条件等の事前解析実施中。(10月より開始) ・褐炭を日本に輸送し、事前乾燥実施中。(10月より開始)	○	(2t/d 豪州小型ガス化試験装置) ・試験データを蓄積し、ガス化特性を評価する。 (20t/d 若松小型炉試験設備) ・豪州褐炭でのガス化試験を行い、EAGLE炉での適用性(スラグの排出色含む)を評価する
	b) 化学原料製造向けガス化技術の検証 ガス化試験にてCO2搬送及びダイレクトクエンチの効果を確認すると共に、シミュレーションにて大型化に向けた見通しを得る。	・2t/dガス化炉でCO2搬送が、20t/dガス化炉でダイレクトクエンチの試験が可能となるような設備とした。 ・プロセスシミュレーションのモデル構築中。今後試験結果を踏まえ精度の向上を図る	○	・実証試験において、特性データを取得し、大型化の見通しに向けた評価を行う。
	c) 豪州褐炭ガス化運用技術の検討 ガス化試験結果を踏まえ、運用方法の検討を行い、大型化に向けた見通しを得る。	・大型化した場合のシミュレーションモデルを構築中。大型化時のユーティリティ量の把握等に利用する。	△ (2021/2)	・大型化の見通しに向けた課題の抽出、評価を行う。

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

「(Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発」の成果と意義

開発項目	成果	達成度	成果の意義
褐炭ガス化技術の開発	a) EAGLE炉への豪州褐炭の適用性評価 (2t/d 豪州小型ガス化試験装置) ・豪州ラトローパレーでの褐炭の特性を反映した設備設計を実施。 ・豪州での試験装置の据付完了。 (20t/d 若松小型炉試験設備) ・豪州褐炭の試験サンプルを基に運転条件等の事前解析実施中。(10月より開始) ・褐炭を日本に輸送し、事前乾燥実施中。(10月より開始)	○	(2t/d 豪州小型ガス化試験装置) これまで経験のない褐炭を使ったガス化プラントの設計を行い、据付を完了。今後本装置を使用して、複数の豪州褐炭によるガス化特性を取得することができる。 試験準備が整ったことで複数の豪州褐炭のガス化特性を評価することができ、課題抽出に向けて前進した。 (20t/d 若松小型炉試験設備) 事前準備作業を着実に進めることで、若松小型炉試験設備での確実な試験運転に繋げる事が可能となった。
	b) 化学原料製造向けガス化技術の検証 ・2t/dガス化炉でCO2搬送が、20t/dガス化炉でダイレクトクエンチの試験が可能となるような設備とした。 ・プロセスシミュレーションのモデル構築中。今後試験結果を踏まえ精度の向上を図る	○	必要な試験が可能となり、実試験データを取得することで、化学原料製造向けガス化技術のプロセス最適化を図ることができる。 シミュレーションモデルを用いることで、大型化への見通しを得ることができる。 コストメリットに資する設備改造が完了し、化学原料製造向けガス化技術のプロセス最適化に向け前進した。またプロセスシミュレーションのモデル構築により、大型化に向けた効率的なプロセス評価が可能となった。
	c) 豪州褐炭ガス化運用技術の検討 ・大型化した場合のシミュレーションモデルを構築中。大型化時のユーティリティ量の把握等に利用する。	△ (2021/2)	シミュレーションモデルを用いることで、ユーティリティ量の把握を含め、運用に関する大型化への課題抽出および評価が可能となった。

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

【開発項目】

a) EAGLE炉への豪州褐炭の適用性検討

【目標】

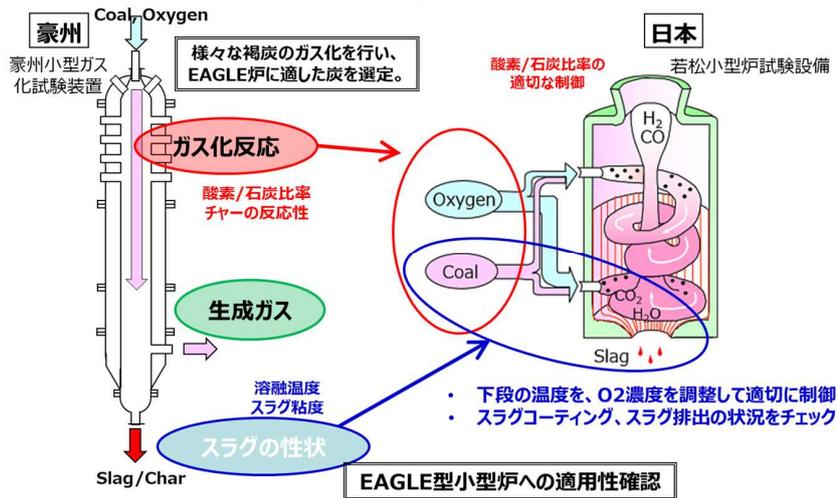
以下ガス化試験を踏まえ、EAGLE炉での褐炭ガス化技術を確立する。

(2t/d 豪州小型ガス化試験装置)

- ・ 複数の褐炭についてガス化試験を行う。
- ・ 1 炭種につき複数回ガス化試験を行うことで、きめ細かく評価する。

(20t/d 若松小型炉試験設備)

- ・ 2t/dの試験結果を踏まえてガス化試験を行い、褐炭ガス化適用性を評価する。



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

褐炭ガス化技術確立を行うことで、
170t-H₂/d 級のガス化炉まで
見通すことができる。

石炭処理量は異なるが、
ガス化圧力を下げて、炉
径を同じとしている。

10 t/d
(20 t/d)
@0.5MPa

若松小型炉試験設備

1 t/d
(2 t/d)

豪州小型ガス化試験装置 (HESC[®] D[®] E[®] T)

50 t/d
@3.0MPa

HYCOL パイロット試験
(1991~1993 / 袖ヶ浦)

0.5 t/d

Process Development Unit
(1981~1985 / 勝田)

1,180 t/d = 170 t-H₂/d

18 t-H₂/d

150 t/d
@2.5MPa

大崎クールジェン実証試験
(2016~ / 大崎)

EAGLE パイロット試験
(2002~2013 / 若松)

**石炭処理量は、
乾燥炭ベース
()内は湿炭ベース

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

【成果】

(2t/d 豪州での小型ガス化試験装置)

- プロセス、仕様の検討
 - ✓ 高水分褐炭に対応した乾燥粉碎技術の仕様決定
 - ✓ 豪州褐炭の性状分析および国内での事前ガス化試験により、豪州小型ガス化試験設備の設計用データ取得、反映
- HAZOPによる安全性評価を実施、設計に反映
- 豪州での設計規格適用、法規制対応
- 機器製作、輸送、据付、試運転
- ガス化運転によるガス化性能データ取得 (10月より開始予定)

(20t/d 若松小型炉試験設備)

- 豪州褐炭のガス化に必要な改造要否検討
- 豪州褐炭の試験サンプルを基に運転条件等の事前解析実施。(10月より開始)
- 褐炭を日本に輸送し、事前乾燥実施。(10月より開始予定)

21/49

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

【成果 (前頁続き)】

豪州小型ガス化試験装置 設備概観 (2020.9 据付完了)



微粉炭機



ガス化炉



プラント全景 (2020.7.29撮影)

22/49

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

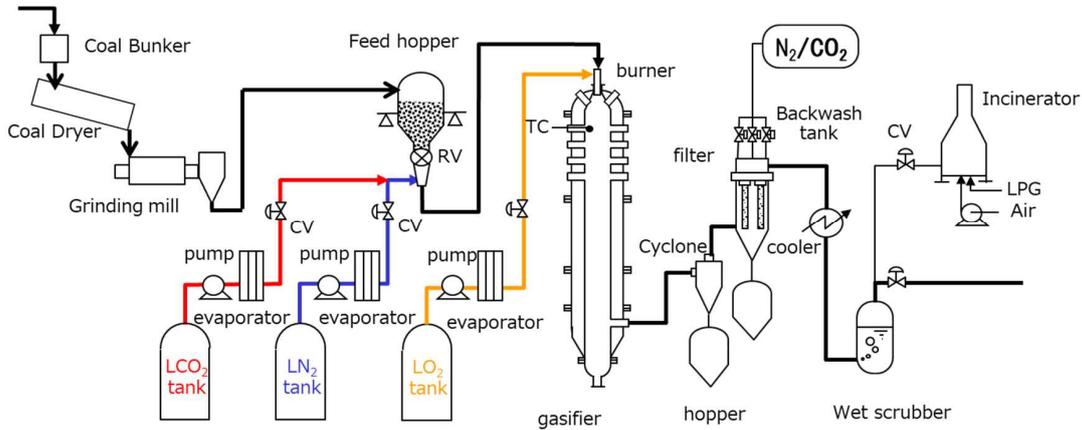
【開発項目】

b) 化学原料製造向けガス化技術の検討

【目標】

- 2t/dガス化炉でCO₂搬送が、20t/dガス化炉でダイレクトクエンチの試験が可能となるような設備とした。
- プロセスシミュレーションのモデル構築。今後試験結果を踏まえ精度の向上を図る

豪州小型ガス化試験装置 (2t/d) プロセスフロー



【成果】

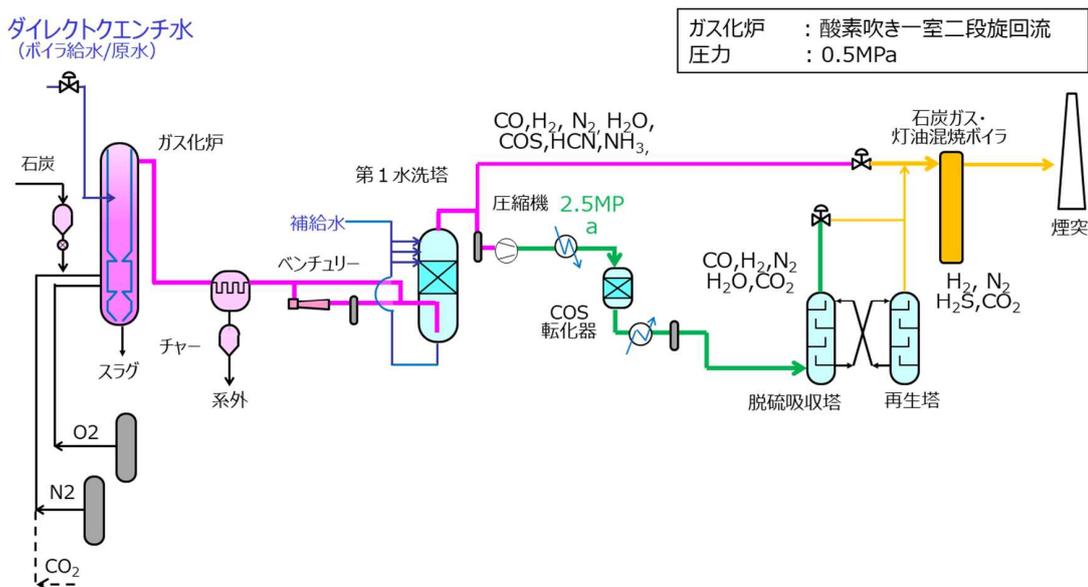
CO₂搬送システムを試験設備の設計に反映

褐炭搬送において、従来はN₂を使用するが、CO₂搬送とすることで、 $CO_2 + C \rightarrow 2CO$ のガス化反応により冷ガス効率の向上が期待される。

23 / 49

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

若松小型炉試験設備 (20t/d) プロセスフロー



【成果】

ガス化炉はダイレクトクエンチの試験が可能な仕様

ダイレクトクエンチ方式とはガス化出口の高温ガスに直接水（蒸気）を噴霧してガス冷却する方式。設備の低コスト化を図ることが可能。

24 / 49

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

●プロジェクト全体としての達成状況

- 研究テーマ毎の中間目標は達成及び達成見込みであり、プロジェクトとしての中間目標は概ね達成の見込みである。

●意義

- 現在までの研究開発活動により、安全かつ十分な性能を発揮する世界初の液化水素用大量海上輸送タンクの試験設備、液化水素荷役基地及び褐炭ガス化設備を製作・据付けすることが可能になった。
- 液化水素を用いた技術実証により、商用規模サプライチェーンの実現に向けて、設計的知見を蓄積できた。今後、実証試験の完遂により安全評価手法及び運用手順へのノウハウを蓄積できる。

25/49

3. 研究開発成果について (3) 知財と標準化 (4) 成果の普及

◆成果発表状況

	2015Fy	2016Fy	2017Fy	2018Fy	2019Fy	2020Fy	計	
論文発表 (査読付き)	0	0	1	1	1	0	3	
受賞実績	0	0	0	0	0	1※2	1	
外部発表	研究発表・講演	16	45	40	55	32	12	200
	新聞・雑誌等への掲載		3	28	19	17	12	79
	展示会への出展		1	2	2	1	(1)※1	6+(1)

※1 FC-EXPO2021に出展予定

2020年9月末現在

※2 ICFE 10 Innovation (2020/10)

26/49

3. 研究開発成果について (3) 知財と標準化 (4) 成果の普及

◆特許出願及び取得状況

	2015Fy	2016Fy	2017Fy	2018Fy	2019Fy	2020Fy	合計
特許出願数 (内；国際出願)	1 (1)	1 (0)	8 (0)	1 (0)	1 (0)	2 (0)	14 (1)

No.	出願日	出願番号	発明名
1	2016/2/12	PCT/JP2016/000750	船用二重殻タンク
2	2017/2/8	2017-021257	断熱構造
3	2017/6/6	2017-111749	ガス放出システム
4	2017/6/6	2017-111750	ガス放出システム
5	2017/6/6	2017-111751	液化ガス輸送船
6	2017/6/6	2017-111752	ガス漏洩検知システム及びガス漏洩検知方法
7	2017/10/16	2017-200327	二重殻タンクの隔壁構造
8	2018/3/2	2018-037207	船舶
9	2018/3/2	2018-037208	二重殻タンク及び液化ガス運搬船
10	2018/3/6	2018-039576	液化水素運搬船及び船体保護方法
11	2018/12/28	2018-247352	船舶
12	2020/3/30	2020-061456	液化ガス貯留船
13	2020/4/1	2020-072352	船舶
14	2020/5/25	2020-090259	ベントマスト
15	出願中		荷役配管のパージ

※2020年9月末現在

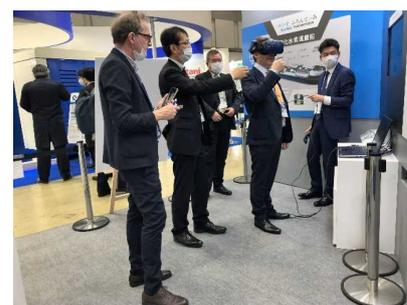
27 / 49

3. 研究開発成果について (4) 成果の普及

◆成果の普及状況



【ポルトガル エネルギー副大臣一行】



【ノルウェー 水素協議会議長一行】

FCEXPO2020 (東京ビックサイト 2020/2/26～2/28)

※COVID19の影響のため、ブース出展のみとし、現地でのプレゼンは見送った。

ただし、事前予約のあった来訪者については現地で技組職員による説明を実施した。

28 / 49

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性

開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(I) 液化水素の 長距離大量 輸送技術の 開発	c) 輸送用タンクの設計・製作・検査	研究開発項目a)とb)により開発された技術を踏まえ、輸送用タンクシステムおよび配管艤装品の基本設計・詳細設計を完了し、船級立会検査のもと、製作をほぼ完了した。	<ul style="list-style-type: none"> ● 日豪航行試験を繰り返し実施することにより様々な積付率及び気象条件での液化水素のBORデータを取得するとともに、真空度劣化や構造設計の妥当性をデータを蓄積する事で検証する。 ● 長期間にわたり使用し液化水素を取り扱った機器（圧縮機、加温機、蒸発器及びGCU等）について内部検査を実施し、健全性の評価を行う。 	2020年度末までに中間目標が達成可能な見通しである。今後、航行試験を継続実施することにより様々な積付率及び航海条件下で「輸送タンクシステムに真空防熱性能」、「タンク状態制御方法」について評価をする。また、「輸送タンクシステム安全機構」及び貨物機器の長期運転後健全性に関して評価を行う。
	d)-① 安全対策システムの開発（実証試験の実施）	<ul style="list-style-type: none"> ● 詳細設計内容をFMEAに反映し、実証試験で実施すべき項目を洗い出し中である。 ● 船級（日本海事協会）と実証試験の実施項目を確認中である。 		

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性

開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(II) 液化水素荷役 技術の開発	a) 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証	海上揺動環境下において目標流量及び目標可動範囲を達成できるローディングシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領を作成した。	大型化に適した鋼製ローディングアームシステムを用いた揺動環境下で使用可能な荷役技術を開発し、液化水素を使用した荷役試験を実施し、成立性を実証する。	2020年度末までに中間目標が達成可能な見通しである。今後、荷役試験を継続することによりデータの蓄積及び検証を行い、「貯蔵タンク及び配管内の蒸発率」、「貯蔵タンク内部状況」及び「荷役流量と配管圧力損失の関係性」について評価を行う。また、鋼製ローディングアームの開発を実施する。
	b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発	<ul style="list-style-type: none"> ● 設定した配管系およびホーレージョンを基に蒸発量の算定、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備の製作、設置が完了した ● 目標蒸発率以下となるタンクの製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た。 	液化水素の荷役試験を繰り返し実施することで貯蔵タンク内及び配管内の液化水素の挙動を把握し、設計条件に反映する。	
	b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発	積荷及び揚荷ホーレージョンを設定の上、安全性評価を行い、貯蔵タンク及び配管類の予冷システム的设计が完了した。		
	b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証	カーゴタンク当り200m ³ /h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た。		

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性

開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(Ⅲ) 褐炭ガス 化技術の 開発	a) EAGLE炉への 豪州褐炭の適用 性検討	(2t/d 豪州小型ガス化試験装置) ・豪州ラトロプバレーでの褐炭の特性を反映 した設備設計を実施。 ・豪州での試験設備の据付完了。 (20t/d 若松小型炉試験設備) ・豪州褐炭の試験サンプルを基に運転条件 等の事前解析実施中。(10月より開始) ・褐炭を日本に輸送し、事前乾燥実施中。 (10月より開始)	豪州に設置した「小型ガス化試験設備」を 用いてバイオマスを褐炭に混ぜた際のガス 化特性を評価する。	2020年度末までに中間目 標が達成可能な見通しで ある。 今後、褐炭-バイオマス混 合体でのガス化試験を継続 することによりデータの蓄積 及び検証を行い、商用化へ 向けた知見を得る。
	b) 化学原料製造 向けガス化技術の 検討	・2t/dガス化炉でCO2搬送が、20t/dガス 化炉でダイレクトクエンチの試験が可能となる ような設備とした。 ・プロセスシミュレーションのモデル構築。今後 試験結果を踏まえ精度の向上を図る。		
	c) 豪州褐炭ガス 化運用技術の検 討	・大型化した場合のシミュレーションモデルを構 築中。大型化時のユーティリティ量の把握等 に利用する。		
(Ⅳ) 液化水 素の利活 用	—	—	日豪輸送後の液化水素を近隣施設に供 給し、利用できることを実証する。	荷役基地の液水貯蔵タンク は、ローリー等に払出せる構 造となっていることから、液化 水素の利活用に使用すること は問題ないと考ええる。

31 / 49

3. 研究開発成果について (6) 2021年度以降の実施内容

開発項目	2021年度～2022年度の主な研究開発実施内容
(Ⅰ) 液化水素 の長距離大量輸 送技術の開発	<p>a) 輸送タンクシステムの真空防熱性能の追加評価 複数回の日豪航行を実施することで、液化水素の積付率及び海象条件（気温、揺動等）をパラメータとして蒸発率（BOR）データを取得し、長期連続運用時の液化水素輸送タンクシステムの真空防熱特性を評価する。</p> <p>b) タンク状態制御方法評価 輸送タンクの揺動及び落圧時間が与える液化水素への温度影響を評価する。</p> <p>c) 代替揚荷手段の開発 船側液化水素移送ポンプが故障した場合の代替揚荷方法として、基地側貯蔵タンクからの圧送による手法を実証する。</p> <p>d) 輸送タンクシステム安全機構の評価 GCU燃焼等の安全機構を使用し、その有効性及び周辺環境に与える影響を評価する。</p> <p>e) 貨物機器の長期運転後健全性評価 長期間にわたり使用し液化水素を取り扱った機器（圧縮機、加温機、蒸発器及びGCU等）について内部検査を実施し、健全性の評価を行う。</p>

32 / 49

3. 研究開発成果について (6) 2021年度以降の実施内容

開発項目	2021年度～2022年度の主な研究開発実施内容
(Ⅱ) 液化水素荷役技術の開発	<p>a) 貯蔵タンク及び配管内の蒸発率評価 貯蔵タンク内の残液量をパラメータとした蒸発率を評価する。また、大口径配管内での蒸発率を評価する。</p> <p>b) 貯蔵タンク内部状況の評価 貯蔵タンク内加圧時の液化水素温度に与える影響を評価する。</p> <p>c) 荷役流量と配管圧力損失の関係性評価 荷役流量増加に伴う配管圧力損失との関係性を評価する。</p> <p>d) 代替揚荷手段の開発 「液化水素の長距離大量輸送技術の開発 c)」と同様</p> <p>e) 液化水素からの水素ガス化製造方法の実証 気化器を用いた水素ガス製造方法を実証する。</p> <p>f) 鋼製LASを使用した荷役技術の開発 鋼製LASを用いた揺動環境下で使用可能な荷役技術を開発する。</p>

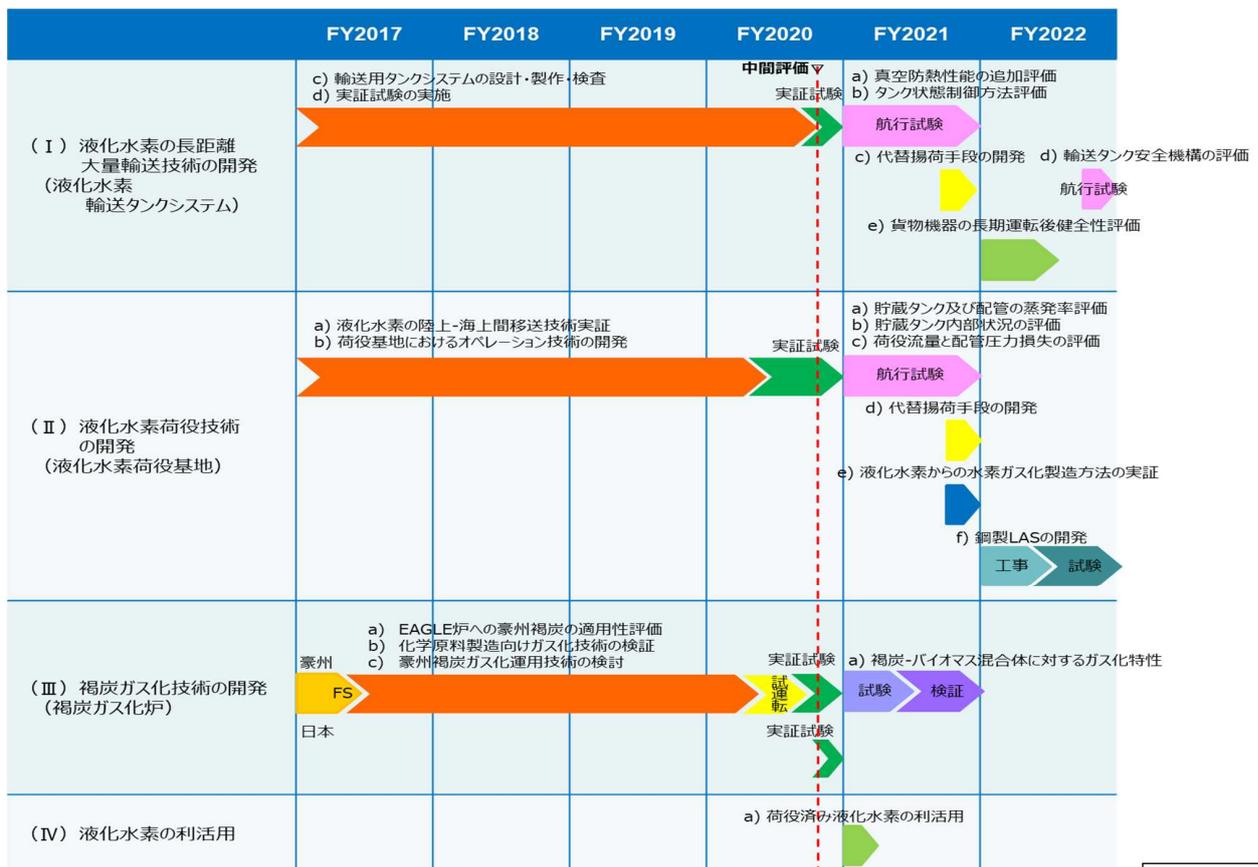
33/49

3. 研究開発成果について (6) 2021年度以降の実施内容

開発項目	2021年度～2022年度の主な研究開発実施内容
(Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発	<p>a) 褐炭-バイオマス混合体に対するガス化特性評価 技術上不可避に発生する未回収CO₂の排出を減少させるため、CO₂ニュートラルであるバイオマス燃料を混焼することで、実質上（ネットとして）更なる低炭素化を目的とし、豪州に設置した「小型ガス化試験設備」を用いてバイオマスを褐炭に混ぜた際のガス化特性を評価する。</p>
(Ⅳ) 液化水素の利活用	<p>a) 荷役済み液化水素の利活用 日豪間輸送し、神戸荷役基地へ荷役貯蔵した液化水素に関して、基地貯蔵タンクから払出し、近隣の施設へ液化水素を燃料として搬送し、利活用を実証する。</p>

34/49

3. 研究開発成果について (7) 2022年度までの試験研究計画(案)



4. 実用化・事業化の見通しについて

◆基本認識

本実証事業は6年計画の最終年度を迎え、要素技術開発等を行い、
 現在、設備製造・据付工事を行い、順次完工、実証試験を開始しつつある。実証試験を通して、最終目標達成の可能性は十分にあると考える。



エネルギー基本計画、水素・燃料電池戦略ロードマップ、次世代火力発電に係る技術ロードマップ等の政策方針やパリ協定の合意、民間事業者におけるCO2削減のための水素活用計画の活発化など、社会ニーズが高まってきており、特に欧州、豪州、中東などの資源国や国内におけるエネルギー企業を含む民間事業者の検討が随所で行われており、事業化の可能性が高まってきている。

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆実用化・事業化の時期

《2015年～2022年》

本プロジェクト（「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン実証事業」）を完遂
※エネルギーのサプライチェーン構築では実績が重視される。

- ・水素の海外からのサプライチェーン構築について社会認知を得る。
- ・エネルギー事業者への実現性認知を得る。



《2020年代半ば》

商用実証（大型化）を実施する。（技組内協議中）

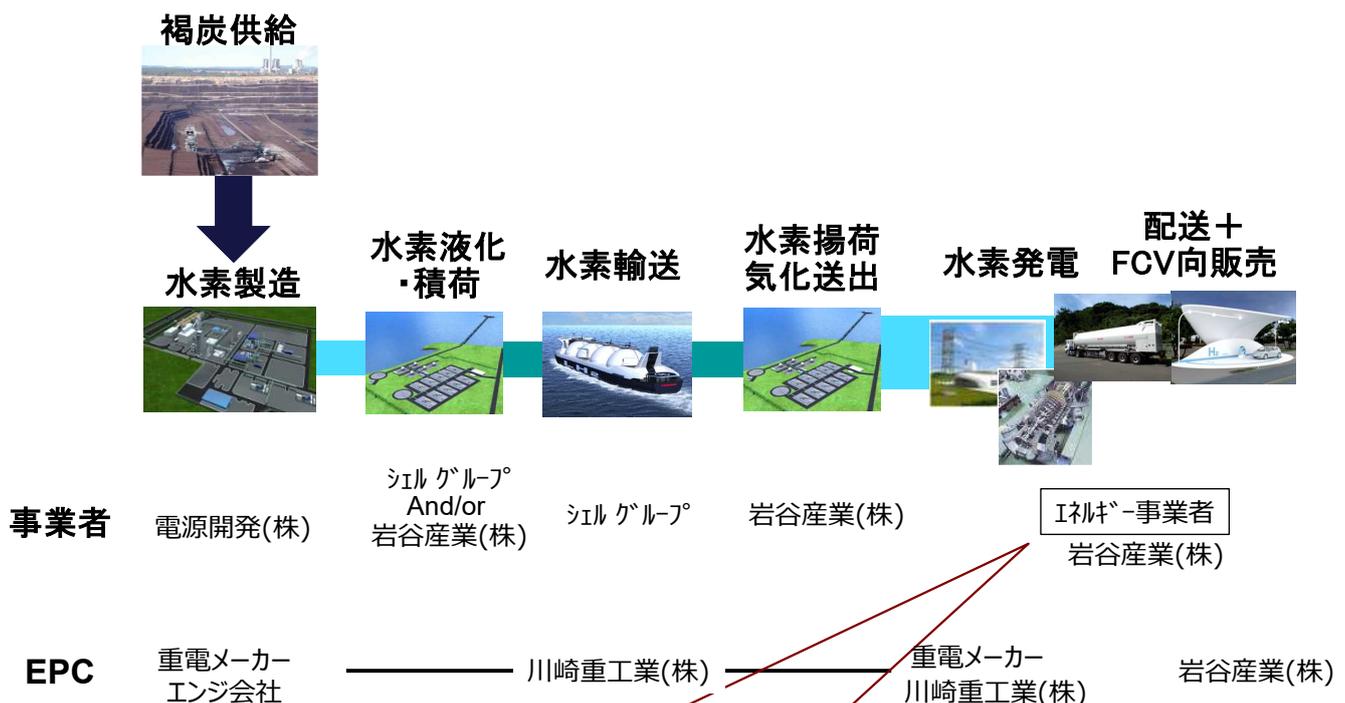
《2030年～》

水素発電等が本格化し、大量低コストが期待される海外からの輸入水素が必要となる。商用サプライチェーンのための、水素製造、液化システム、貯蔵基地および運搬船の技術及び運用をシステム・パッケージ化し、商用化する。

37 / 49

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆想定する事業イメージ



水素発電などの大口需要家となるオフテイカーが重要と認識

38 / 49

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

【グローバル企業の動き (Hydrogen Council)】

- エネルギー・運輸・製造業・商社・銀行等の世界的なリーディングカンパニー92社で構成：ステアリング会員41社、協賛会員44社、金融グループ7社
- 日本企業：トヨタ、ホンダ、川崎重工^注、岩谷産業、JXTGエネルギー、豊田通商、三菱商事、三井物産、丸紅、住友商事、三菱重工、日本特殊陶業、SMBC、伊藤忠、日本郵船
- 水素を利用した新エネルギー移行に向けた共同のビジョンと長期的な目標を提唱するグローバル・イニシアチブ（活動体）
- 水素がエネルギー移行にもたらす役割の認識のもと、政府や主要なステークホルダーと共に、効果的な実行計画を作り出すことを目指す



注：赤字は2017年発足時13社
の中の日本企業

39/49

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

【政治的視点】

- ・ 日本政府の政策動向と合致している。また、豪州政府も連邦首相含めた協力姿勢を示している。

【経済的視点】

- ・ ロードマップ記載のプラント引渡し水素価格 30円/Nm³及び発電コスト 17円/kWhは、水素ST価格100円/Nm³や再生可能エネルギーFIT価格との比較で価格競争力のある価格。

【社会的視点】

- ・ 「トヨタ環境チャレンジ2050」などにみられるとおり、CO₂フリー水素の民間ニーズが顕在化。

【技術的視点】

- ・ 石炭IGCC、ロケット射点設備、液化水素製造、LNG運搬船・荷役設備などの技術蓄積がある。
- ・ 本NEDO事業においてチェーン実現に不可欠で技術開発要素の高い機器システム開発に優先的に取り組み、世界に先駆けて実証が実現できる。

➡ 技術実証によって、「実用化・事業化」が更に高まると考える。

40/49

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆技術実証による、「社会認知」向上の例

2019年12月10日 川崎重工業（株）神戸工場にて約4,000名の来賓、一般市民、近隣幼児などが参加のもと、命名・進水式が行われた。日経、日経産業、産経、フジサンケイビジネスアイ、毎日、読売、朝日、神戸、日刊工業、化学工業日報、電気新聞、海事プレスなど各紙にての報道、NHK、テレビ東京系列などの放送で広く知られる状況となった。



2020年6月12日 神戸空港島 神戸荷役実証ターミナル（愛称：Hytouch神戸）にて安全祈願祭実施後実証試験スタートをHySTRA WEBサイトにて発表。

※コロナ禍において行事は行わず、WEBサイト発表のみとした。

<http://www.hystra.or.jp/news/article.html#news07>



Hytouch神戸（兵庫県神戸市港島にて、液化水素を25℃のまま移送する「ローディングターミナル」※「液化水素船積受タンク」※の稼働・開始を完了。実証試験がスタートしました。今後、本埠頭の、液化水素船積受の荷役稼働実証に繋いでいきます。（写真：空撮、安全祈願祭）

41 / 49

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆オフテイク候補

エネルギー事業者を含む民間企業の動向

三大都市圏において、地域で水素を利活用する（ポテンシャル含む）ための協議会が発足し、HySTRA組合員各社、豪州ポーション企業などが参加

エネルギー事業者などオフテイクへの実現性認知・事業創出を得る場として有効

①中部圏水素利用協議会（2020年3月6日設立）

参画企業：出光、岩谷、ENEOS、住商、中電、東邦ガス、トヨタ、エアリキ、DBJ、SMBC、三菱ケミカル、中部国際空港

②神戸・関西圏水素利活用協議会（2020年8月20日設立）

参画企業：岩谷、ENEOS、川汽、川重、シエル、電発、丸紅、大林、関電、三菱パワー、神鋼、オブザーバー：神戸市、NEDO、経産省

③東京湾岸ゼロエミッションイノベーション協議会（2020年6月2日設立）

幹事団体：旭化成、岩谷、ENEOS、鹿島建設、産総研、東ガス、東大、東電、東芝、日産、日鉄、日立、三井不動産
会員：101社



42 / 49

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆外部環境の事実認識

【民間動向】

- ・トヨタはFCV（燃料電池自動車）「MIRAI」新型を近秋にも発売開始と報道されるなど、2020年以降のFCV販売 3万台/年以上を計画している。
- ・併せて水素ステーション整備も進められていく。
- ・トヨタは全工場のCO2排出ゼロを目指す「環境チャレンジ2050」を発表している。
- ・RE100、ESG投資などの高まりから「水素」利活用についての機運が高まっている。

【政府関連】

①日本

- ・第五次エネルギー基本計画において、「水素社会実現に向けた取組の抜本強化」が謳われ、再生可能エネルギーとの組み合わせ、化石燃料の水素への転換を含めた「水素社会」の実現への期待感が増している。
- ・COP21採択をうけ、日本政府（経産省・環境省）は温暖化対策計画を閣議決定。2030年までにCO2排出量26%削減とするため、電力会社に対しCO2フリー電源（原子力と再生可能エネルギー）の電力量に占める比率を44%以上とすることを求めている。
- ・次世代火力発電に係る技術ロードマップに「水素発電」が位置づけられている。

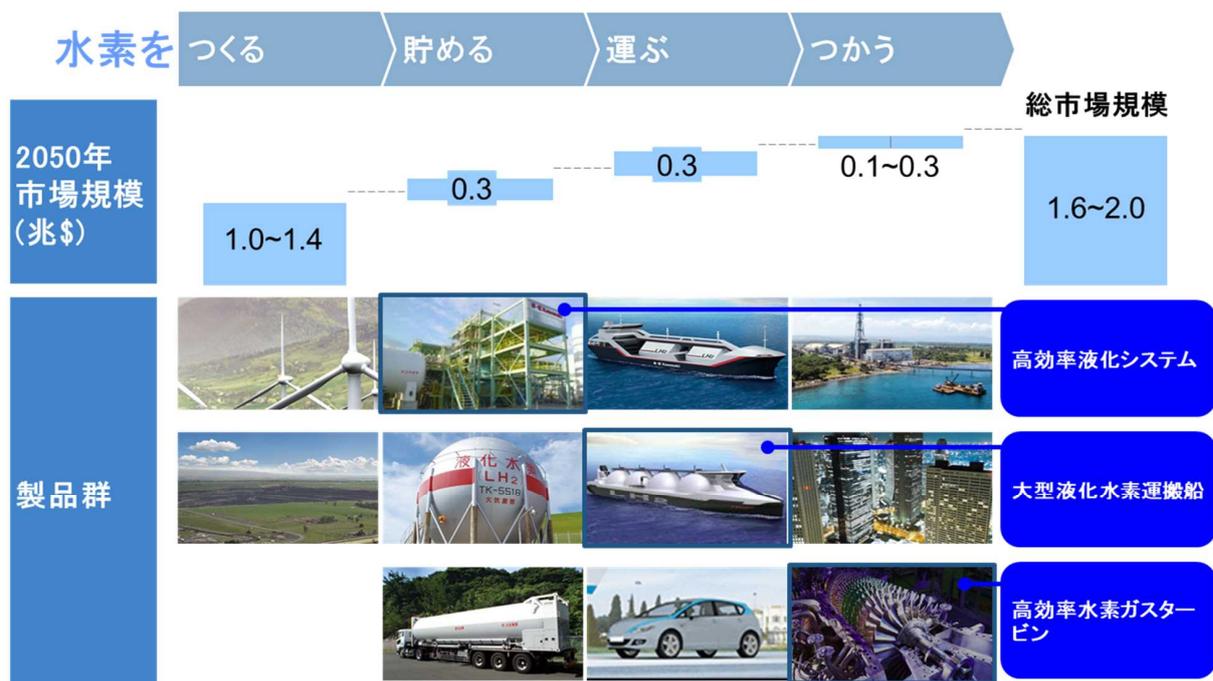
②豪州

2020年7月に安倍首相（当時）・モリソン首相が日豪首脳テレビ会談を行い、コロナ禍においても「ビクトリア州の水素エネルギーサプライチェーン・パイロットプロジェクトを通じたエネルギー転換が、回復に向けた戦略の一部」であることを認識した。

43/49

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆事業化時の市場規模と事業規模

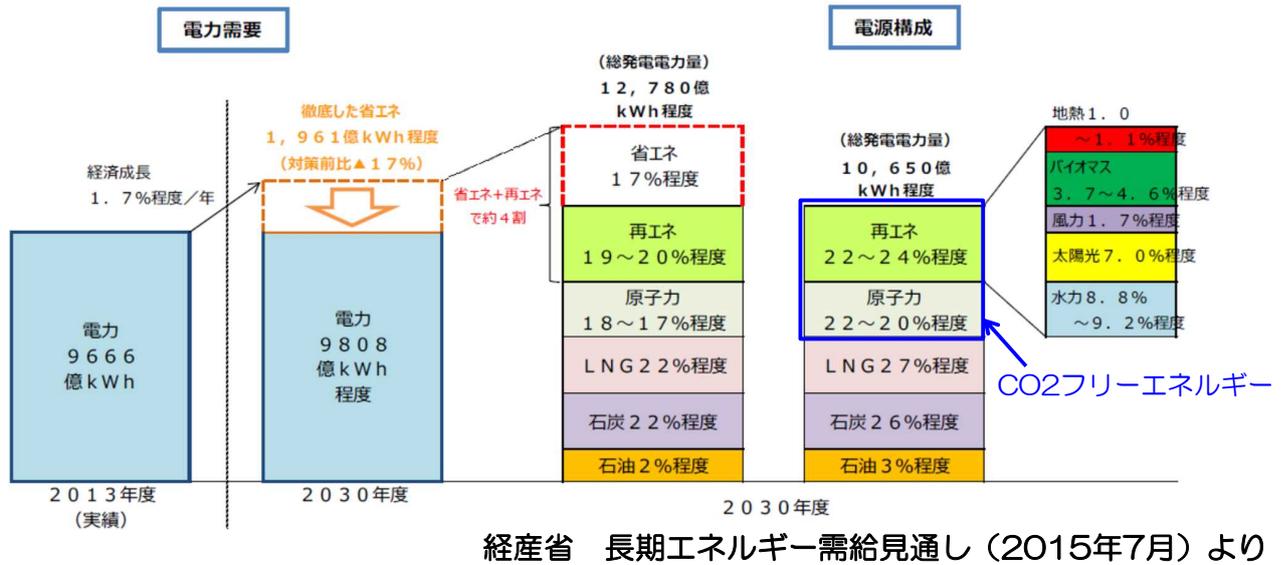


※“Hydrogen scaling up”より

44/49

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方



- ◆ CO2フリーエネルギーとして4,700億kWh/年の市場規模
- ◆ 発電電力量のシェア0.5~1%=約50~100億kWh/年とすると売上800~1,600億円/年 (電力事業として)

45/49

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆競合技術との優位性

【環境性】

海上長距離輸送を含めてCO2排出なしが可能

【コスト】

発電燃料：CO2フリーエネルギーの中では比較的安価

燃料電池：高純度で精製不要で供給可能

【セキュリティ】

自主開発エネルギー、既存化石燃料とは異なる供給源

【安全性】

既存燃料と同等

【その他】

冷熱利用で付加価値

利用側で追加エネルギー不要 (空気・水で加温)

46/49

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆ 成果の実用性・事業化の見通し

● 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

実証試験により断熱性能、タンク構造が所定の性能をもつことを確認する。
事業化に向けて適正なタンク規模を明確にするとともに、大型タンクの開発を進める。

● 液化水素荷役技術の開発

実証試験により荷役流量、蒸発率及び緊急遮断機構が所定の性能をもつことを確認する。
事業化に向けてより効率的な運用方法を具体化するとともに、より高度なLNGに適用されているローディングアームジョイント手法の適用を進める。

● 褐炭ガス化技術の開発

実証試験により前処理設備を含んだ褐炭ガス化適用性を確認する。
事業化に向け実証試験結果を踏まえた運用方法の検討を行い、大型化に向け検討を進める。

● 規格・基準類の整備

液化水素運搬船、荷役基地、ローディングアーム等の規格・基準類の整備に取り組む。

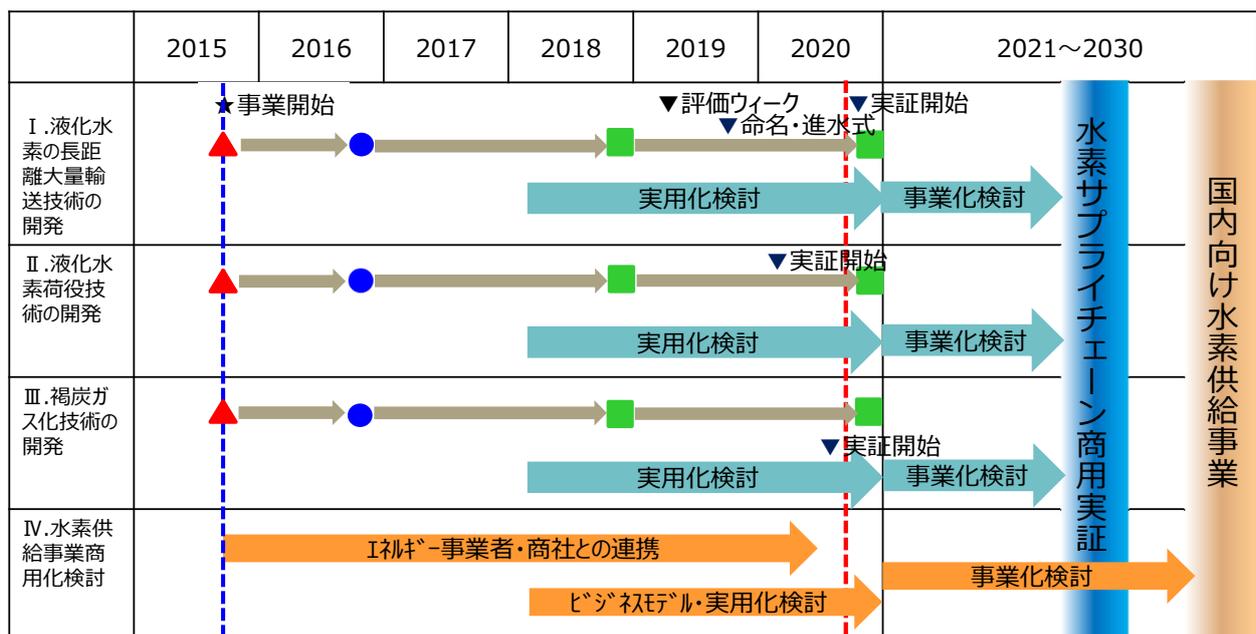
● 商用化検討の推進（今後に向けて）

発電事業者、エネルギー商社などとビジネスモデルの精緻化を図ると共に、産官連携による水素発電事業成立の環境醸成を推進する。

47 / 49

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆ 実用化・事業化に向けた具体的な取り組み



※ ▲ : 要素技術確立、調査、仕様検討、安全検討
● : FS、基本設計
■ : 実証設備製作、技術実証

48 / 49

ご清聴ありがとうございました。

49 / 49

参考資料

1 / 10

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

日本政府及び各国政府の動き

■ 水素エネルギーの社会実装と政策において日本が世界をリード

日本政府

- エネルギー基本計画 : 2014年4月水素盛り込み、2018年7月記載拡大
- 水素・燃料電池戦略ロードマップ : 初版2014年6月、これまでに二度改訂
- 水素基本戦略 : 2017年12月
- 水素閣僚会議 : 第一回2018年10月、第二回2019年9月

各国

- 豪州 : 国家水素戦略 2019年11月
- フランス : 水素戦略 2018年6月
- オランダ : クリーン水素戦略 2020年4月
- ドイツ : P-to-G推進ロードマップ (DENA※1) 2017年6月
- EU : 欧州水素ロードマップ (FCHJU※2) 2019年2月
- 韓国 : 水素経済活性化ロードマップ 2019年1月

※ 1:独エネルギー機構

※ 2:欧州燃料電池水素共同実施機構

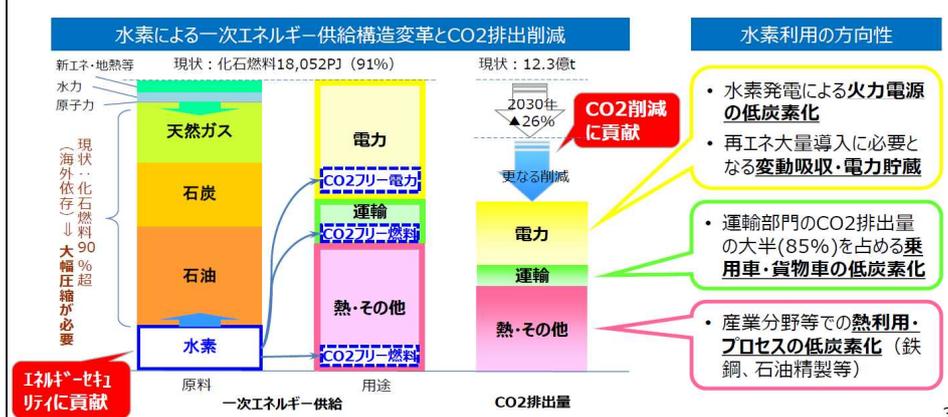
その他、米国・中国（運輸部門は公開済）・ニュージーランドでもロードマップ策定の動き

◆成果の実用化・事業化の見通し 水素への大きな期待

■ 大幅CO₂削減達成にはCO₂フリー水素の導入・普及拡大が不可欠

水素エネルギー利用の意義・エネルギー政策上の位置づけ

- 水素エネルギー利用は、90%以上の一次エネルギーを海外化石燃料に依存する日本のエネルギー供給構造を多様化させ、大幅な低炭素化を実現するポテンシャルを有する手段。
 - ✓ 化石燃料を水素に代替することによるエネルギー源の多様化・エネルギーセキュリティの向上
 - ✓ 水素発電やFCV、産業分野での水素利用（熱、プロセス）によるエネルギー利用の低炭素化



出典：
METI
水素・燃料電池
戦略協議会資料

初期段階：LNG火力発電に混焼することで排出原単位を削減

※CO₂フリーエネルギーの導入と等価

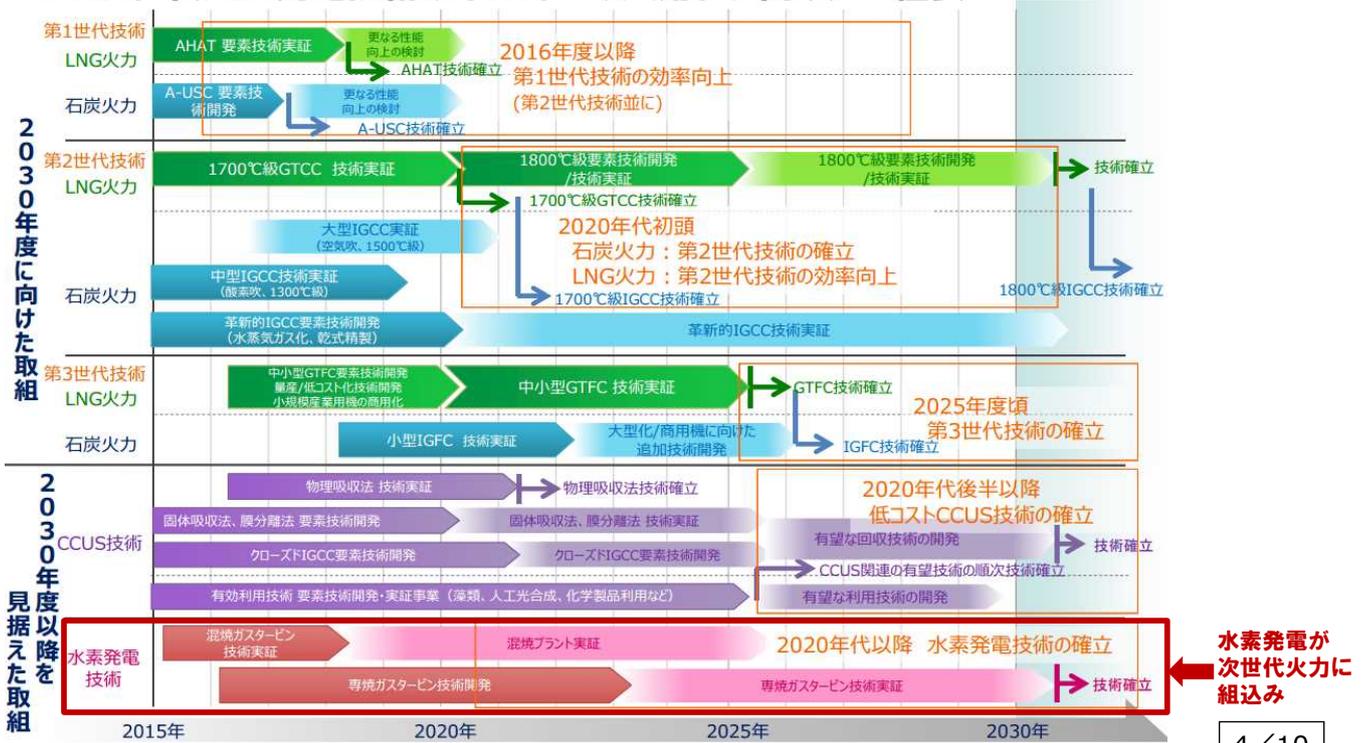
普及段階：水素専焼火力発電によりCO₂フリーエネルギーとして普及

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆成果の実用化・事業化の見通し

7. 次世代火力発電技術の早期確立、実用化に向けた工程表

注：2016年6月公開

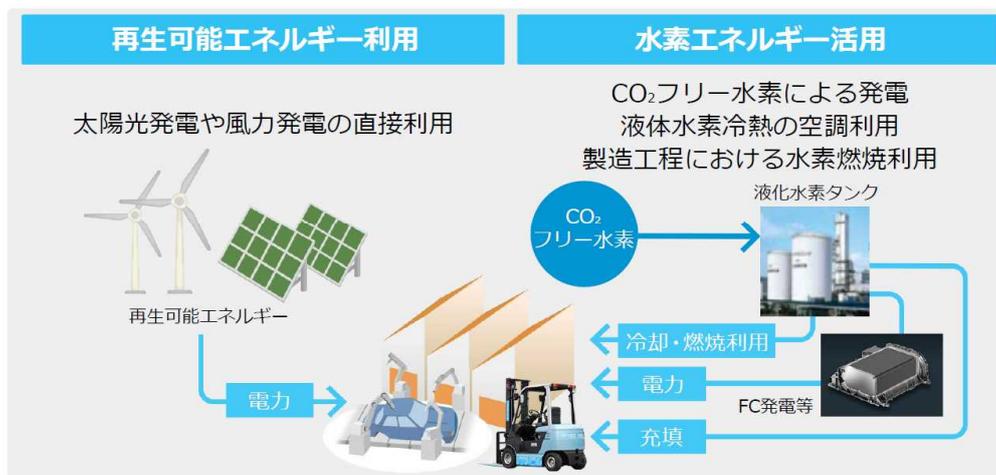


4. 実用化・事業化の見通しについて

◆成果の実用化・事業化の見通し

トヨタが挑戦する再生可能エネルギーと水素エネルギー活用

TOYOTA



4. 実用化・事業化の見通しについて

◆成果の実用化・事業化の見通し

鉄鋼分野における技術開発		2020	2030	2040	2050	2100
COURSE50	所内水素(COG)利用による高炉内の水素還元比率アップ 高炉ガスからのCO2分離		R&D	導入		
Super COURSE50	外部水素利用による高炉によるさらなる水素還元比率アップ (大量の水素供給が可能となる前提)		ステップアップ R&D			
水素還元製鉄	石炭を利用しない水素還元製鉄		ステップアップ R&D		導入	
CCS	副生ガスからのCO2回収		R&D		導入	
CCU	副生ガスからのカーボンリサイクル			R&D		導入

社会共通基盤としての技術開発		2020	2030	2040	2050	2100
カーボンフリー電力	脱炭素電源(原子力、再生可能、化石+CCS) 次世代電力系統、電力貯蔵等		R&D			導入
カーボンフリー水素	低コスト・大量水素の製造・輸送・貯蔵技術開発		R&D		導入	
CCS/CCU	CO2分離貯留・利用技術開発 社会的課題の解決(貯留場所、パブリックアクセプタンス等)		R&D			導入

超革新技術開発に向けたロードマップ

2100年において銑鉄を水素還元で生産する場合に必要な水素量は1兆2千億Nm³と試算され、大量のカーボンフリー水素の安価・安定供給が、実用化に向けた要件となる。

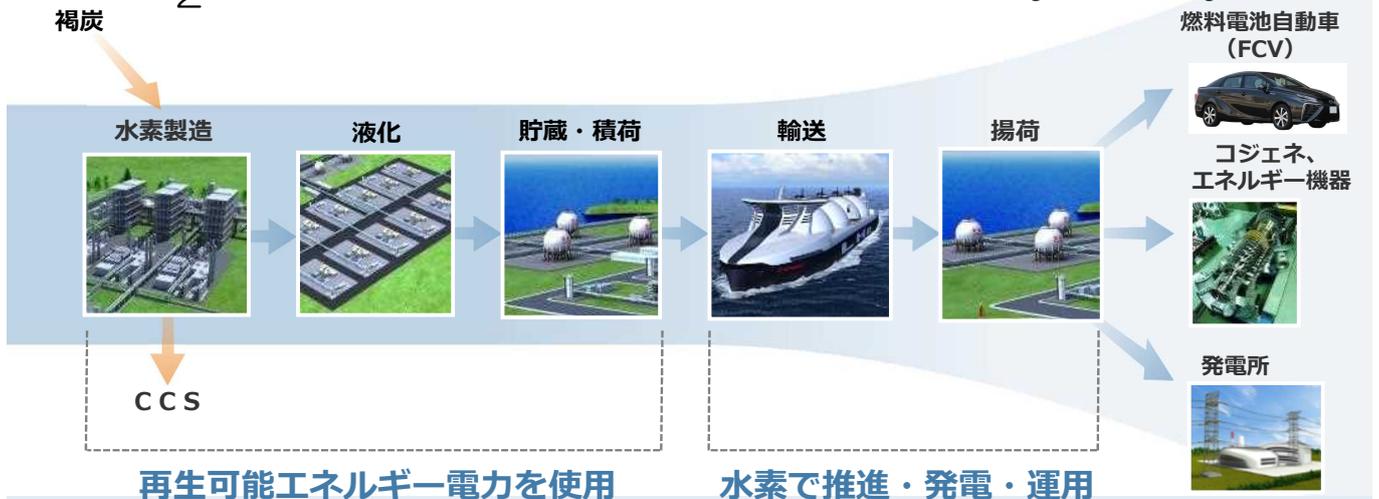
出典：日本鉄鋼連盟長期温暖化対策ビジョン(2018.11)

6/10

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆想定する事業とそのコスト

CO₂フリー水素商用チェーン Feasibility Study



- 水素原料 : 豪州の褐炭
- 副生CO₂処理 : 現地で貯留 ⇒ CO₂フリー
- 水素製造規模(用途) : 770t/day、
FCV 300万台 or 火力発電100万kW の燃料相当

7/10

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆ 想定する事業とそのコスト

【試算例】

将来の水素コスト(試算)は、
2030-2050年において、
※約30-55円/Nm³を想定。

※出典 1, 2

【規模】

FCV 300万台



FCV

または

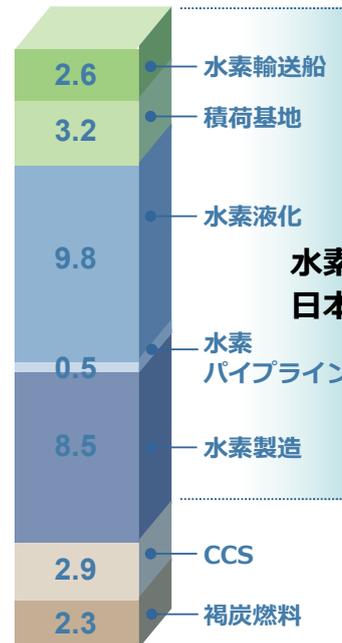
水素発電
100万kW1基 相当



【試算内訳例】

出典1

水素コスト(船上引渡し) 29.8円/Nm³



水素製造より上は
日本の技術・製品

出典1: 「国際連携クリーンコール技術開発プロジェクト 低品位炭起源の炭素フリー燃料による将来エネルギーシステム(水素チェーンモデル)の実現可能性に関する調査研究」、NEDO(委託先:川崎重工業(株))、2012.4 *流動床ガス化炉を前提とした川崎重工業試算例
出典2: 「豪州の低品位炭から水素を製造するバリューチェーンの改善に関する検討」、NEDO(委託先:川崎重工業、電源開発)、2015.2 *EAGEL型炉を前提とした川崎重工業、電源開発 試算例

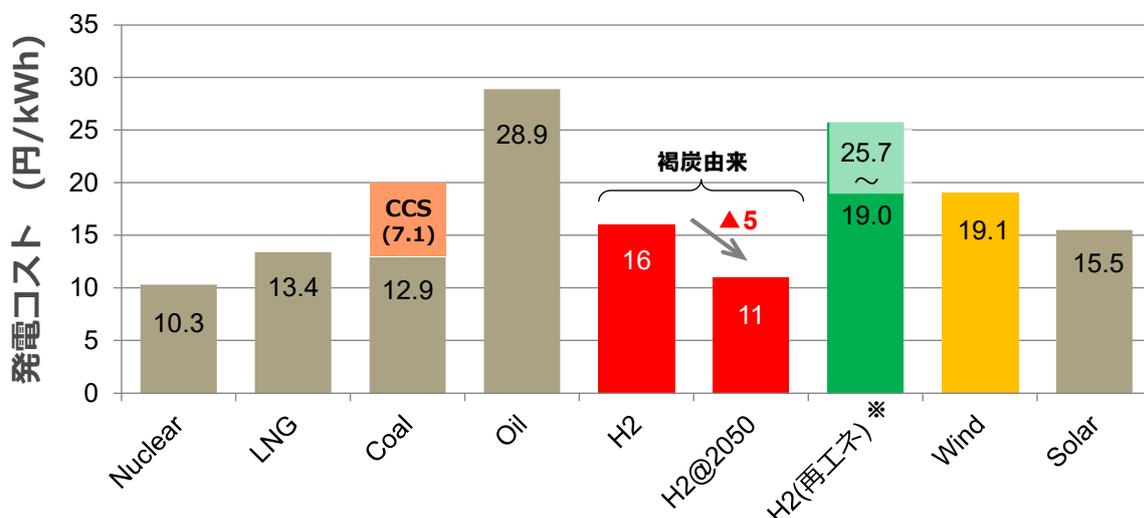
8/10

4. 実用化・事業化の見通しについて

将来への取組み

◆ 事業化の見通し(経済性)

化石燃料発電よりは高いが、CO₂フリーエネルギーの中では、
再生可能エネルギーより安く、かつ安定で大量に利用可能である



※H2(再エネ): 海外の再エネ電力を利用して水素製造(現地の再エネ電気代により変動)

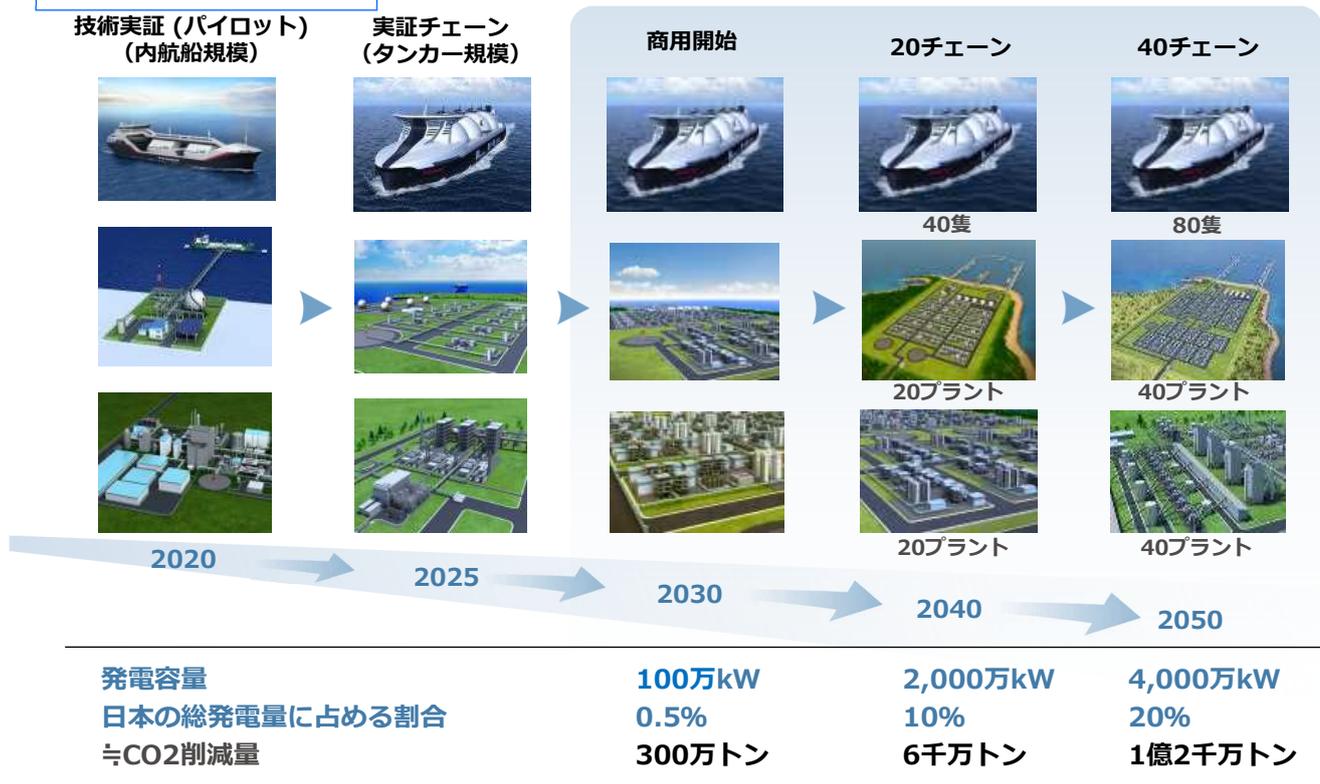
参照:「発電コストWG検証報告書 2030年モデルプラント、平成27年5月」

水素コストに関しては、川崎重工業(株)試算値

9/10

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆事業の将来像



※既設火力（設備利用率57%,CO2排出原単位600g/kWh）のうち、一部が水素発電に置き換わったと想定した試算

(Ⅱ-②)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証」

助成先：次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合

●成果サマリ（実施期間：2015年度～2020年度終了予定）

- ・水素化プラント関連：商業規模へのスケールアップが問題ないことを確認できた。
- ・脱水素プラント関連：商業規模へのスケールアップが問題ないことを確認できた。
- ・サプライチェーン運用関連：第2期については水素源・需要地それぞれプラントを建設、運用開始し、各種データを取得中。

●背景/研究内容・目的

将来の水素需要に対応可能な、海外の未利用資源から製造した水素を有機ケミカルハイドライド法により大量に輸送するサプライチェーンの実証運用を行う。第1期、第2期から構成され、第1期ではサプライチェーンの運用に必要な基盤技術の検証を①水素化プラント、②脱水素プラント、③サプライチェーン全体運用の3つの領域にて進める。合わせて、実証運用チェーンの適切な規模・形態・実施時期について検討する。第2期では第1期の成果を活かして、実証チェーンの運用し、技術・非技術両面での課題抽出と対応策検討を行うことで基盤技術の深耕を目指す。

●研究目標

実施項目	目標
水素化プラント関連	コンピュータシミュレーション/実証運転を通じて、大型反応器設計手法の確立。不純物除去の設備仕様の確定。
脱水素プラント関連	コンピュータシミュレーション/実証運転を通じて大型反応器設計手法の確立、負荷追従検討、商業用触媒製造工程における主要管理指標の確立。
サプライチェーン運用関連	シミュレーション/実証運転を通じて汎用トルエンの利用可能性検討、負荷変動への対応方法明確化、チェーン全体の信頼性確認、設備構成の確認

●実施体制及び分担等



千代田化工建設・三菱商事・三井物産・日本郵船にて次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合を設立し、実証事業の遂行を担う。

●これまでの実施内容／研究成果まとめ

実施項目	実施内容	研究成果	自己評価
水素化プラント関連	コンピュータシミュレーションを用いて反応器内部の温度・流速を解析。シミュレータを用いて不純物除去の設備仕様を検討する。	商業規模へのスケールアップが問題ないことを確認できた。	△ (2021年1月達成予定)
脱水素プラント関連	コンピュータシミュレーションを用いた大型反応器設計手法の確立、動的シミュレーションにて負荷追従検討、商業用触媒製造工程における主要管理指標の確立。	商業規模へのスケールアップは可能であることが確認できた。	△ (2021年1月達成予定)
サプライチェーン運用関連	汎用トルエンの利用可能性検討、シミュレーションによるチェーン全体の信頼性確認、設備構成の確認、第2期の適切な規模・形態・実施時期の検討	汎用トルエン利用可能性検討は継続中、第2期について運用中、各種データ取得中	△ (2021年1月達成予定)

●今後の課題

第1期の成果を活かして第2期では実証チェーンの運用を行い、技術・非技術両面での課題抽出と対応策検討を行うことで基盤技術の深耕を目指しつつ、2ndチェーン以降の事業化に向けた礎を築く。

●実用化・事業化の見通し

第1期の成果により、プロトタイプサプライチェーンの構築については一定の目処が得られたと考えられる。その先のゴールである大規模商業水素サプライチェーンの実現に向けては(1)信頼性の確立、(2)コストの低減、(3)市場環境の醸成の3要件が必要と考える。

(1) 信頼性の確立

第2期におけるチェーン運用にて課題抽出と対応策検討を行い、需要家のニーズに適合した信頼性の高い水素サプライチェーンの構築・運用を実現する為の、技術的基盤が確立するものと期待される。

(2) コストの低減

- チェーン形態・規模の適正化によるスケールメリット最大化
- 触媒改良による輸送効率向上・操業費用低減
- 熱インテグレーション・排熱利用等による熱コスト低減

(3) 市場環境の醸成

実証チェーン運用を通じて、社会に対しての課題提起を関係者とともに継続的に行っていくたい

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	135	0

2020年10月9日現在

「水素社会構築技術開発事業／ 大規模水素エネルギー利用技術開発／ 有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来 水素サプライチェーン実証」(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合

2020年12月4日

1/39

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (1/2)

開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①-1 水素化反応器スケールアップ	商用規模の水素化設備の設計手法の確立。	①反応器スケールアップの設計手法を確立し、実証設備の反応器設計に反映。 ②実証運転にて2回のターニング試験を実施。転化率/選択率に大きな変化はなく目標値以内であることを確認。	○	-
①-2 不純物除去設備の仕様	大規模水素チェーン向け不純物除去設備の設備仕様の明確化。	①蒸留設計のパラメータチューニング及び蒸留試験により蒸留設備の設計仕様妥当性を確認。 ②実証運転にて中軽質不純物蓄積挙動を検証中。顕著な蓄積増加は見られない。	△ (2020年度達成予定)	実証運転終了まで蓄積挙動を検証し、トータル増加量が目標値以内であることを確認する。
②-1 脱水素反応器スケールアップ	商用規模の脱水素設備の設計手法の確立。	①反応器スケールアップの設計手法を確立し、実証設備の反応器設計に反映。 ②Shell側構造改善シミュレーション検討実施中。 ③実証運転にて1回目のターニング試験を実施。転化率/選択率に大きな変化はなく目標値以内であることを確認。	△ (2020年度達成予定)	①2回目のターニング試験を実施し、転化率/選択率が目標値以内であることを確認する。 ②Shell側構造改善シミュレーション検討を完了し、Shell側構造を最適化する。
②-2 負荷追従性向上策検討	想定需要要件における負荷変動への対応方法の明確化。	①商業規模設備のダイナミックシミュレーションによりガスホルダー設置の効果を検証。プラント応答性律速要因を特定。 ②実証設備のダイナミックシミュレーションをモデル化中。 ③実証運転での負荷変動(短時間でのターニングダウン/アップ)試験の詳細計画策定。	△ (2020年度達成予定)	①実証運転での負荷変動運転を実施、運転データを収集。負荷変動ケースを増やし追従性の比較実施を予定。 ②ダイナミックシミュレーションで負荷変動試験をトレースし、モデルをブラッシュアップする。
②-3 水素純度向上策	想定需要要件において求められる、水素純度への対応方法の明確化。	想定需要へ対応可能であることをラボ試験により確認。	○	-
②-4 触媒商業生産課題	商業生産設備での触媒製造で所定の性能指標を満たすことの確認。	①商業試作により、小規模製造触媒と概ね同等の性能を持つ大規模触媒製造が可能と確認。 ②実証運転により触媒性能を検証中。小規模製造の触媒概ねと同等。	△ (2020年度達成予定)	実証運転終了まで触媒性能を検証し、転化率が目標値以上であることを確認する。

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

2/39

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (2/2)

開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
③-1 商用トルエン 運転検証	商用トルエンで安定的なチェーンオペレーションが可能である事の検証。	①商業規模で調達/使用可能なトルエンを選定し、調達仕様を策定。 ②商用トルエンを使用した実証運転継続中。触媒性能や劣化速度は商用トルエンを使用した子安デモプラント運転結果と概ね同等。	△ (2020年度達成予定)	実証運転終了まで触媒性能や劣化速度を検証し、デモプラント運転に比した転化率/選択率の差が目標値以内であることを確認する。
③-2 7 th ライン検討	最適な設備構成を検討する手法の確立。	設備構成が供給安定性に与える影響を定量的に評価する基本的な手法が確立。	○	-
③-3 発電燃料供給 チェーンとしての設 備仕様・オペレー ション要件	①ガスタービン燃焼機等へのガム状物質付着の定量評価手法の確立。	①飽和炭化水素の含有量管理値を策定。 製品水素が商業規模発電GTに使用可能であることを確認。	○	-
	②脱水プラントと発電タービンの熱インテグレーション効果試算。	②脱水素反応熱をGTCC発電所のHRSGから供給することで、総合効率の改善の可能性があることが示唆された。	○	-
新規 反応器運転モード の最適化	経済性向上に資する運転方法の試行。	実証運転にて、転化率抑制(転化率一定)の運転を継続中。	△ (2020年度)	実証運転終了まで転化率抑制運転を実施し、転化率抑制運転が可能であることを実証する。

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、X未達

3/39

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

①-1:水素化反応器スケールアップ検討

成果

実施内容

✓商業規模多管式反応器での反応器及びプロセス条件の試設計を実施し、この結果をベースとして水素化反応器の流動解析を実施

解析結果

流動解析結果例 (定格ロード時の触媒管体積流量偏差)

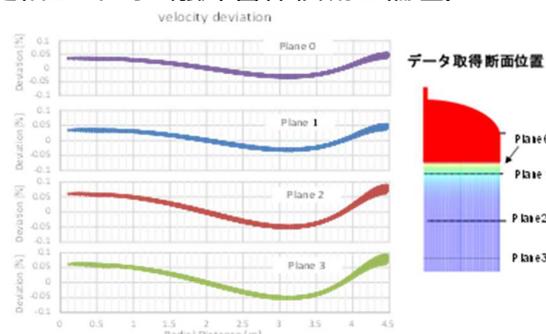


図2 定格ロード時の触媒管水平断面体積流量偏差

ケーススタディの主要な結果

定格ロード時及び低ロード(40%)共に、全触媒管領域での製品体積流量偏差が規定値(±5%)以内に収まることが確認できた。

成果

触媒管で顕著な偏流が生じないことが確認され、現状の水素化反応器スケールアップ手法が妥当であることが確認された。

この手法で子安デモプラント反応器から実証設備の反応器設計にスケールアップすると共に、商業規模水素化反応器へのスケールアップが可能となった。

4/39

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

①-1:水素化反応器スケールアップ検討

今後の課題

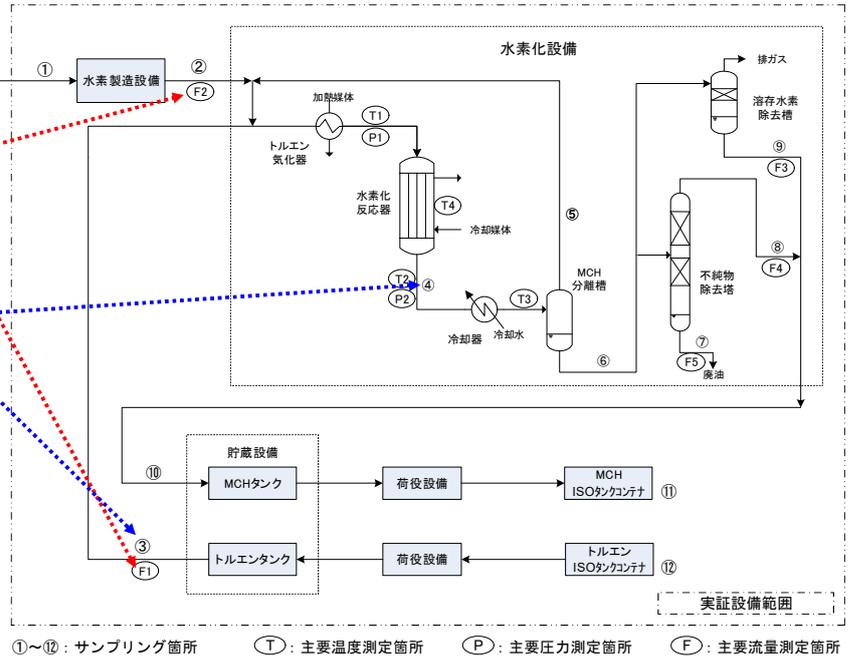
課題 Tube側偏流について、ターンダウン時性能低下有無の検証

実施内容

原料水素流量(F2)及び原料トルエン流量(F1)をターンダウン時の流量に調整。

ターンダウン運転時に水素化反応器入出の流体をサンプリング(サンプリング箇所③④)し、トルエン/MCH濃度を分析

計測・分析結果より水素化反応の転化率/選択率を算出し、実証定格運転時の転化率/選択率と比較。ターンダウン時でも反応器性能が低下しないことを確認。



①~⑫: サンプリング箇所 (T): 主要温度測定箇所 (P): 主要圧力測定箇所 (F): 主要流量測定箇所

期待される成果 ターンダウン運転での、水素化反応のトルエン転化率・MCH選択率を確認することにより、Tube側流体の偏流発生及び性能低下有無を検証。ターンダウン時でも性能が低下しないことを実証する。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

①-1:水素化反応器スケールアップ検討

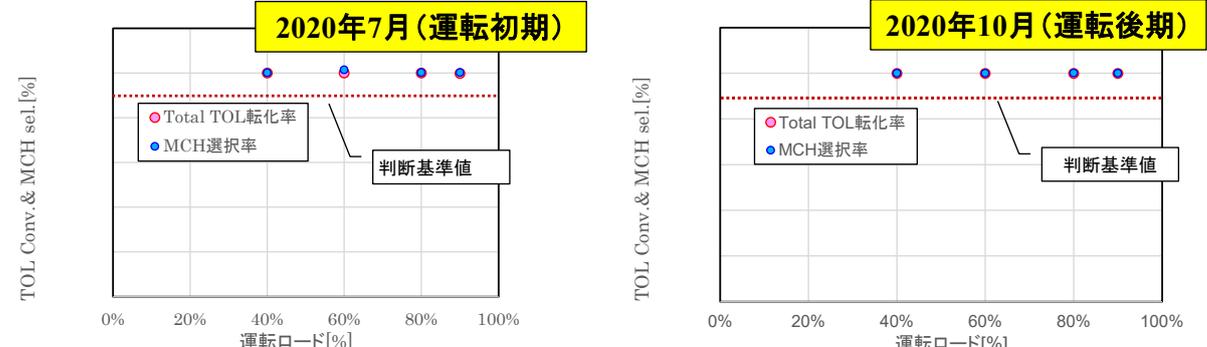
成果

運転データ収集途中経過

実施内容

✓Tube側偏流について、ターンダウン時性能低下有無を検証するために、原料水素流量及び原料トルエン流量をターンダウン時の流量に調整し、水素化反応器入出の流体をサンプリングし、トルエン/MCH濃度を分析

ターンダウン運転結果 (測定負荷 40%、60%、80%)



判断基準

ターンダウン運転前後の定格運転時に比べ、転化率/選択性に大きな変化は生じないこと。
 ターンダウン時の性能低下限度目標値：運転前後の定格運転時に比して、転化率/選択率の低下が一定以内 (各ロード整定後に前項のサンプリング箇所から採取した液の分析結果より算出)

成果

運転ロードによらず、転化率、選択率の基準以上の低下は見られないことから、ターンダウン時の性能維持を確認。商業規模への水素化反応器スケールアップの妥当性を確認し、設計手法を確立。

①-2:不純物除去設備の仕様検討

成果

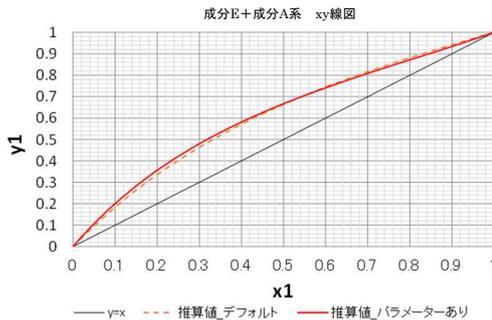
実施内容

- ✓ 蒸留設備設計に影響を与える不純物を特定し、必要な2成分系気液平衡データをラボスケール測定器により測定し、蒸留設計に使用するプロセスシミュレーターの気液平衡推算パラメータをチューニング
- ✓ 技術実証プラントの不純物含有トルエンを用い、商業装置での蒸留設備を模擬した試験を実施。この試験結果を上述のパラメータチューニングを実施したシミュレーターにより解析検証

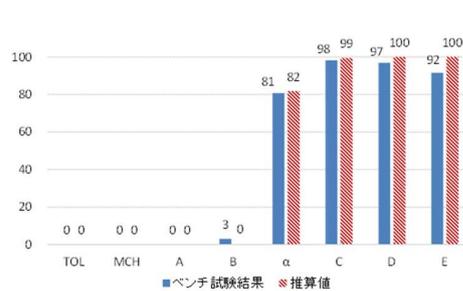
試験/解析結果

- ✓ パラメータチューニング前後（推算パラメータ/気液平衡シミュレーション結果）は図1
- ✓ 蒸留試験結果とパラメータチューニング後のシミュレーション結果との比較例は図2

シミュレーション結果との比較例
(パラメータチューニング前後)



蒸留試験結果とシミュレーション結果比較例



成果

- ✓ パラメータチューニング及び蒸留試験から、蒸留設備の設計手法の精度を向上出来たと共に、現状の蒸留設備の設計仕様が妥当であることが確認され、商用規模での蒸留設計が可能となった。

①-2:不純物除去設備の仕様検討

今後の課題

課題

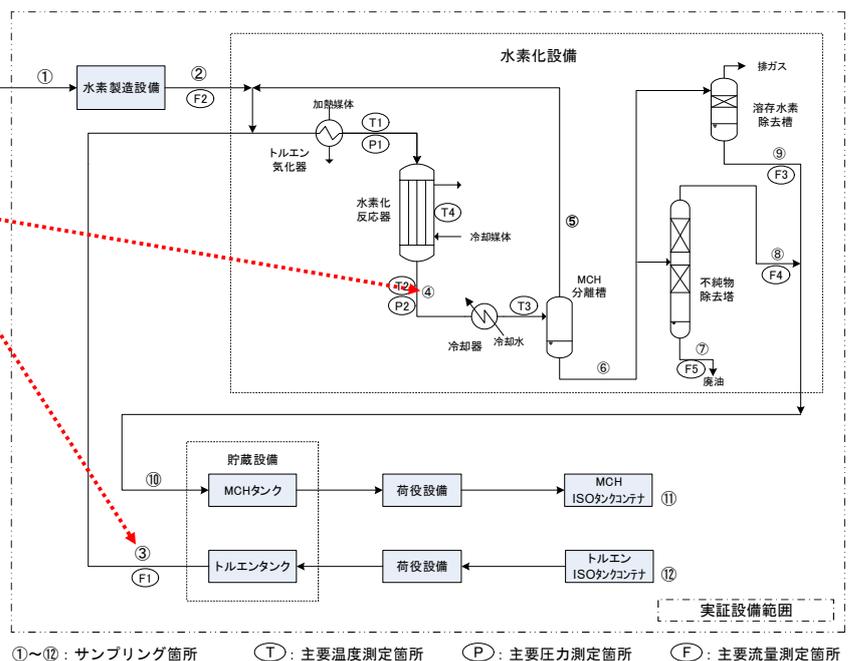
実証運転時のトルエン・MCH中軽質不純物蓄積挙動の検証

実施内容

【水素化プラント】
水素化反応器にフィードするトルエン及び生成MCHをサンプリング（水素化プラントサンプリング箇所③④）し組成を分析、水素化反応による不純物（反応で副生する芳香族/環状炭化水素/触媒劣化に影響する成分/許容濃度を従来のラボ試験で特定済み）生成量を算出。

脱水素プラントにおいても、フィードMCH及び生成トルエンのサンプリング・分析を実施。

軽質不純物蓄積傾向について、運転期間中の変動を確認。



期待される成果

運転期間中のトルエンおよびMCH中の軽質不純物の蓄積速度の変化が得られ、商業設備の軽質不純物除去設備設計及び運転条件に反映できる。これにより設備性能担保のために過剰な設計余裕を取る必要が無くなり、設備コスト、運転コストの最適化が期待できる。

①-2:不純物除去設備の仕様検討

成果

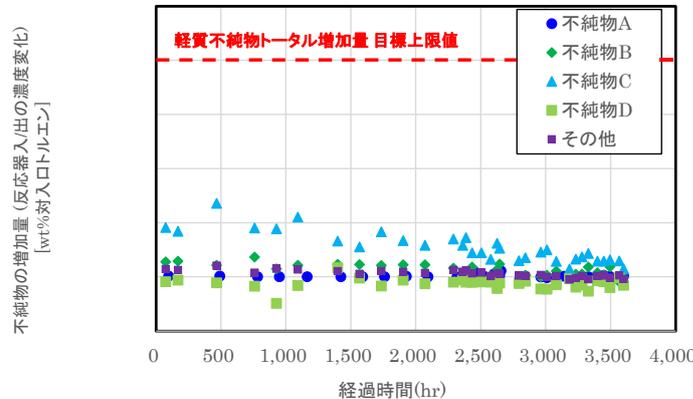
運転データ収集途中経過

実施内容

✓ 実証運転時のトルエン・MCH中軽質不純物蓄積挙動の検証として、水素化反応器にフィードするトルエン及び生成MCHをサンプリングし組成を分析、水素化反応による不純物（反応で副生する芳香族／環状炭化水素／触媒劣化に影響する成分／許容濃度を従来のラボ試験で特定済み）生成量を算出。

試験結果

✓ 不純物の生成量算出結果
(川崎側のトルエン/MCH中の不純物量と比較し、分析結果の妥当性は定量的に確認済み)



判断基準

不純物生成速度限度目標値：水素化反応器を一回通過した際の軽質不純物トータル増加量 が目標上限値* 以内

(*商用トルエン実証運転終了時、約1500時間での軽質不純物のトータル増加量を基準に決定)

成果

✓ 軽質不純物トータル増加量が目標上限値以内を確認。
✓ 運転期間中のトルエンおよびMCH中の軽質不純物の蓄積速度の変化が得られ、これを商業設備の軽質不純物除去設備設計及び運転条件に反映できる。これにより設備性能担保のために過剰な設計余裕を取る必要が無くなり、設備コスト、運転コストの最適化が期待できる。

9/39

②-1:脱水素反応器スケールアップ検討

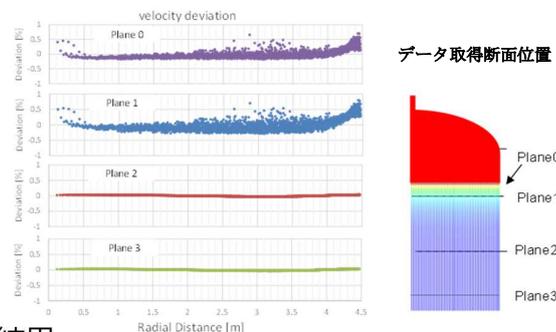
成果

実施内容

✓ 商業規模多管式反応器での反応器及びプロセス条件の試設計を実施し、この結果をベースとして脱水素反応器の流動解析を実施

解析結果

流動解析結果例 (定格ロード時の触媒管体積流量偏差)



ケーススタディの主要な結果

定格ロード時及び低ロード (40%) 共に、全触媒管領域での製品体積流量偏差が規定値以内に収まることが確認できた。

成果

触媒管で顕著な偏流が生じないことが確認され、現状の脱水素反応器スケールアップ手法が妥当であることが確認された。

この手法で子安デモプラント反応器から実証設備の反応器設計にスケールアップすると共に、商業規模脱水素反応器へのスケールアップが可能となった。

10/39

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-1:脱水素反応器スケールアップ検討

今後の課題

課題

Tube側偏流について、ターンダウン時性能低下有無の検証

実施内容

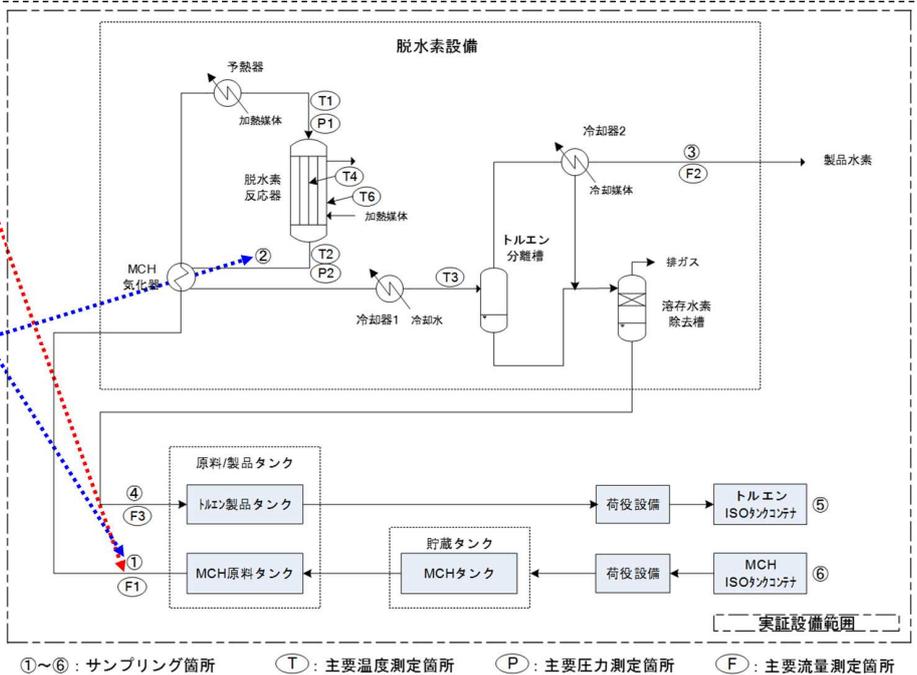
原料MCH流量(F1)をターンダウン時の流量に調整

↓

ターンダウン運転時の脱水素反応器入出の流体をサンプリング(サンプリング箇所①②)し、トルエン/MCH濃度を分析

↓

計測・分析結果より水素化反応の転化率/選択率を算出し、実証定格運転時の転化率/選択率と比較。ターンダウン時でも反応器性能が低下しないことを確認。



期待される成果

ターンダウン運転での、脱水素反応のMCH転化率・トルエン選択率を確認することにより、Tube側流体の偏流発生及び性能低下有無を検証。ターンダウン時でも性能が低下しないことを実証する。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-1:脱水素反応器スケールアップ検討

成果

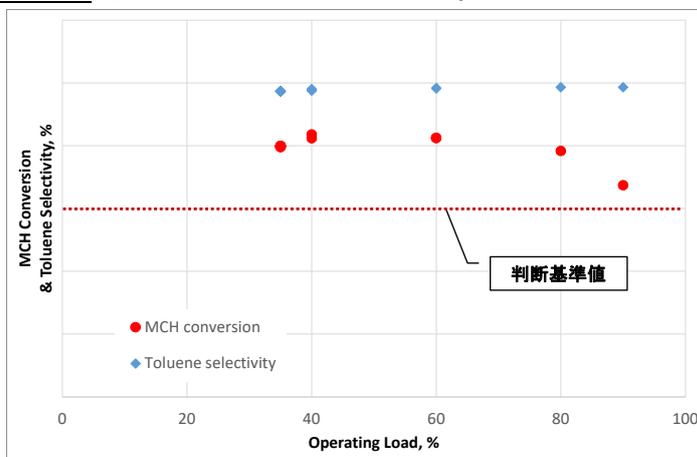
運転データ収集途中経過

実施内容

✓Tube側偏流について、ターンダウン時性能低下有無の検証するために、ターンダウン運転時の脱水素反応器入出の流体をサンプリングし、トルエン/MCH濃度を分析

試験結果

ターンダウン運転結果 (35%、40%、50%、80%)



判断基準

ターンダウン運転前後の定格運転時に比べ、転化率/選択性に大きな変化は生じないこと。
 ターンダウン時の性能低下限度目標値：運転前後の定格運転時に比して、転化率/選択率の低下が一定以内 (各ロード整定後に前項のサンプリング箇所から採取した液の分析結果より算出)

成果

運転ロードによらず、転化率、選択率の基準以上の低下は見られないことから、ターンダウン時の性能維持を確認。商業規模への脱水素反応器スケールアップの妥当性を確認し、設計手法を確立。

②-2:負荷追従性向上策検討

成果

実施内容

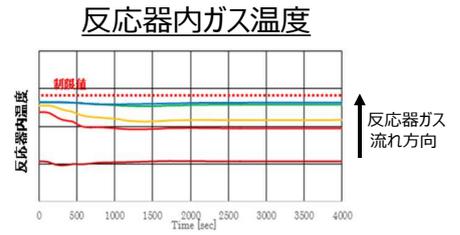
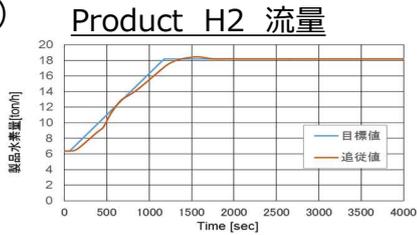
以下の条件にて脱水素設備を試設計し、これをモデル化したダイナミックシミュレーションを実施。脱水素プラントの負荷追従性、これを向上するための設備構成や制御システムについて検討した。
 ✓水素需要としてガスタービン発電を想定し、脱水素設備目標負荷追従速度を3.5%/minと設定
 ✓水素専焼発電を想定し、脱水素設備規模を20万Nm³/h（最大規模反応器2系列）と想定

解析結果

一連のケーススタディの主要な結果

- i. 脱水素設備出口にバッファとなる水素ガスホルダーを設置することにより、目標とした負荷追従性を確保出来る。
- ii. 脱水素設備の内、脱水素反応器を加熱するための熱媒加熱炉の負荷追従性向上により、ガスホルダー容積を大幅に低減することが可能となることを確認

シミュレーション結果例（ロードアップ、加熱炉が目標とした負荷追従性を持ちガスホルダー無しとした場合）



成果

✓水素ガスホルダーを設けることにより、ガスタービン発電の要求負荷変動に追従出来ることを確認
 ✓熱媒加熱炉の負荷追従性向上することにより、必要な水素ガスホルダー容積を大幅に低減することが可能となることを確認。

②-2:負荷追従性向上策検討

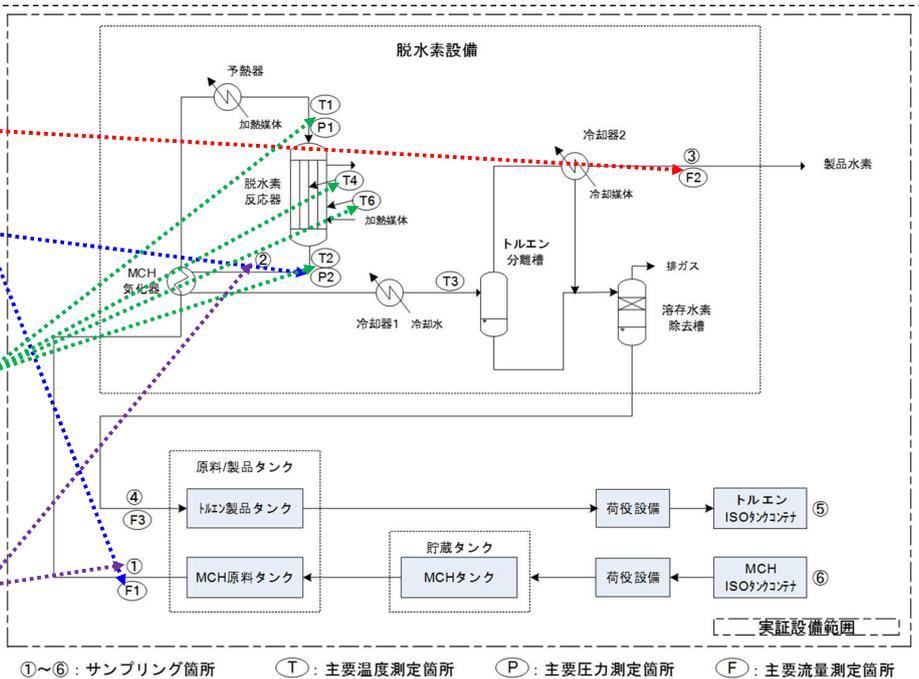
今後の課題

課題

負荷変動（短時間でのターンダウン／ターンアップ）運転の実施、運転データ収集

実施内容

- 製品水素ラインの調節弁の開度を増減し、水素需要量の変動を模擬。
- 反応器出口圧力(P2)の変動を検知し、フィードMCH量(F1)を自動調整。
- 負荷変動時の反応器入口温度・圧力(T1,P1)、反応器出口温度・圧力(T2,P2)、触媒管温度分布(T4)、熱媒温度(T6)の経時変化を測定し、適正範囲内であることを確認。
- 脱水素反応器入出の流体をサンプリング(サンプリング箇所①②)して組成を分析する。脱水素反応のMCH転化率及びトルエン選択率を算出し、定格運転時のデータと比較し負荷変動操作が脱水素反応へ与える影響の有無を確認する。



期待される成果

実証設備での負荷変動追従性の結果を、商業設備の負荷変動に関する制御設備設計に反映できる。これにより負荷変動追従性の更なる向上が期待できる。

②-2:負荷追従性向上策検討

成果

実施内容

負荷変動（短時間でのターンダウン／ターンアップ）運転の実施、運転データ収集
 製品水素ラインの調節弁の開度を増減し、水素需要量の変動を模擬。負荷変動時の反応器入口温度・圧力、
 反応器出口温度・圧力、触媒管温度分布、熱媒温度の経時変化を測定し、適正範囲内であることを確認。
 負荷変動時の反応器入口温度・圧力、反応器出口温度・圧力、触媒管温度分布、熱媒温度の経時変化を測定し、
 適正範囲内であることを確認。

試験結果

負荷変動試験結果

負荷変動試験の条件や操作手順を検討し、詳細な試験計画を策定した。
 これに基づき負荷変動試験を実施し、取得データを整理、分析中。

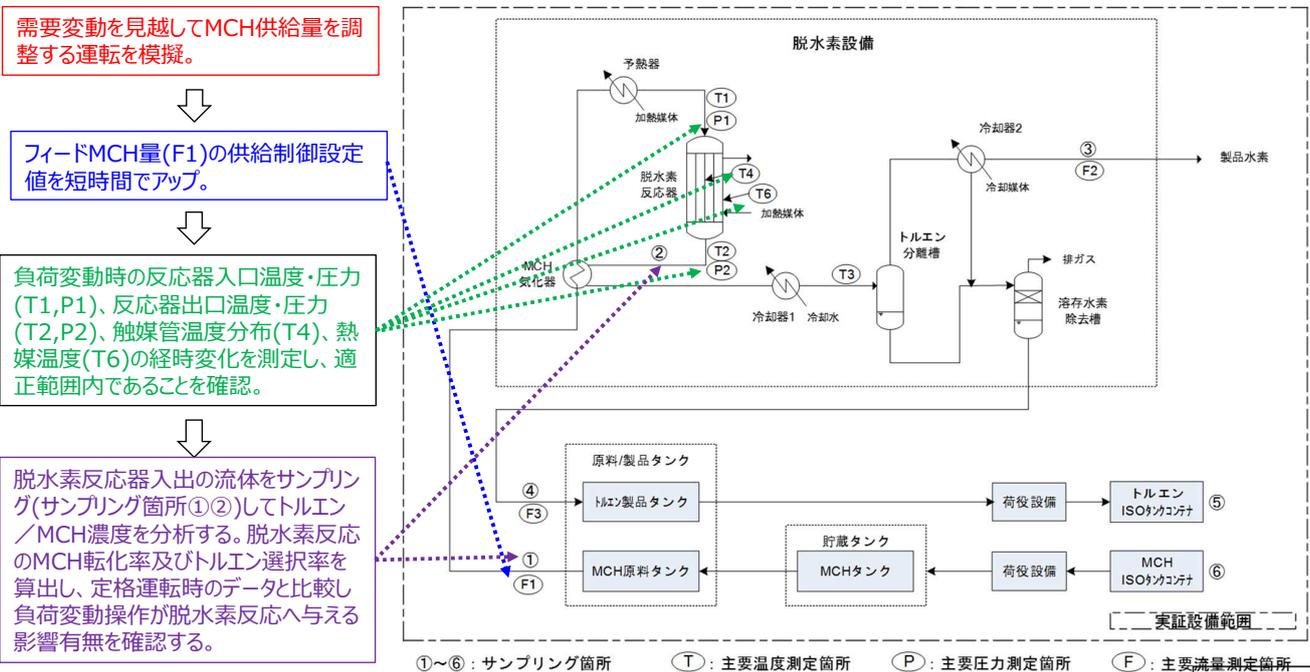
成果

✓期待される成果

負荷変動の試験ケース毎の追従性の結果が得られ、商業設備の負荷変動に関する制御設備設計に反映。これにより負荷変動追従性の更なる向上が期待できる。

②-2:負荷追従性向上策検討

オンタイムの需要側要求の変動を検知したMCH供給量制御方式よりも、需要変動を予め見越したMCH供給量制御方式の方が有利ではないか。この方式での負荷追従試験を実施し、商業運転時の運転ケースの多様化を図りたい。



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-2:負荷追従性向上策検討

今後の課題

課題

負荷変動（短時間でのターンダウン／ターンアップ）運転の実施、運転データ収集

試験結果の反映

負荷追従速度3.5%/minを目標とし、製品水素ライン調整弁の開度増減速度を変えて試験を実施し、各部温度／圧力／流量の変動幅、収束速度のデータを取得する。これにより負荷追従の律速となる制御箇所を特定する。



実証設備ベースのダイナミックシミュレーションモデルを構築し、シミュレーションを実施して上記実測データと比較し、シミュレーションモデルをブラッシュアップする。



シミュレーションモデルを商業設備規模にスケールアップし、ダイナミックシミュレーションのケーススタディを実施する。これにより、必要な水素ガスホルダーの容積を低減し得るプロセス制御系の最適化を検討する。

17 / 39

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-2:負荷追従性向上策検討

成果

実施内容

負荷変動（短時間でのターンダウン／ターンアップ）運転の実施、運転データ収集
需要変動を見越してMCH供給量を調整する運転を模擬。フィードMCH量(F1)の供給制御設定値を短時間でアップ。負荷変動時の反応器入口温度・圧力、反応器出口温度・圧力、触媒管温度分布、熱媒温度の経時変化を測定し、適正範囲内であることを確認。

試験結果

負荷変動試験結果

実証設備のダイナミックシミュレーションのモデルを作成中。
負荷変動試験終了後、この試験をトレースシミュレーションし、実測値と比較することでシミュレーションモデルをブラッシュアップし、以降のダイナミックシミュレーション ケーススタディに供する。
取得データを整理、分析中。

成果

✓期待される成果
負荷変動の試験ケース毎の追従性の結果が得られ、商業設備の負荷変動に関係する制御設備設計に反映。
これにより負荷変動追従性の更なる向上、運転ケースの多様化が期待できる。

18 / 39

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-3:製品水素純度向上策

成果

実施内容

メチルシクロヘキサンの脱水素により製造された粗水素を供給先が要求する水素仕様（グレード B～E）に合わせて精製する必要がある。本粗水素を対象とした精製技術の調査、及び試験設備を用いた検証を実施した。

調査結果
／
検証結果

膜分離法および吸着分離法を対象として調査を実施した。吸着分離法については、ラボスケールにて PSA（Pressure Swing Adsorption）の実験を行い確認した。

PSA 3塔式連続試験

- ・模擬ガス (H₂/CH₄/TOL)供給テスト
CH₄ 1200ppm→ 0.1ppm以下
TOL 8000ppm→ 0.1ppm以下
- ・模擬ガス (H₂/H₂S)供給テスト
H₂S 100ppb→0.1ppb以下

ISO14687-2の規格値をクリア

		ISO 14687-1(1999)		ISO 14987-2(2012)		ISO 14687-3FDIS(2013)		
		Type I		Type I		Grade E		
		Grade A	Grade B	Grade C	Grade D	定置用燃料電池		
		内燃機関、輸送用、住宅用	発電等工業用燃料	宇宙、航空機用地上支援	FCV用	定置用燃料電池		
						Category 1	Category 2	Category 3
H ₂	%	98.0	99.90	99.995	99.97	50	50	99.9
Para-H ₂	%	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Total non-hydrogen gases	μ mol/mol	NC	NC	50	300	50%	50%	0.1%
H ₂ O	μ mol/mol		b	b	5	NC	NC	NC
T-hydrocarbons (Methane basis)	μ mol/mol	100		b	2 (g)	10 (h)	2 (i)	2 (j)
O ₂	μ mol/mol	a	100	b	5	200	200	50
He	μ mol/mol	a		39	300	50%	50%	0.1%
N ₂ +Ar	μ mol/mol	a	400	b	100			
CO ₂	μ mol/mol			d	2	Included in total non-hydrogen gases		2
CO	μ mol/mol	1		d	0.2	10	10	0.2
Total sulfur compounds (H ₂ S basis)	μ mol/mol	2	10		0.004	0.004	0.004	0.004
HCHO	μ mol/mol				0.01	3	0.01	0.01
HCOOH	μ mol/mol				0.2	10	0.2	0.2
NH ₃	μ mol/mol				0.1	0.1	0.1	0.1
Total halogenated compounds	μ mol/mol				0.05	0.05	0.05	0.05
Hg	μ mol/mol		0.004					
Maximum particulates concentration	mg/kg	f	e	e	1	1	1	1

成果

✓脱水素設備から製造した水素は、冷却分離によりトルエン等を除去し、水素純度を99.9%以上とすることが出来ることから、水素発電用燃料（グレードB）に用いることが可能であることを確認。
 ✓PSAにて、水素中の不純物を除去し、グレードD、及びグレードEに規定されている値をクリアすることが出来ることから、FCV用、および定置用燃料電池に用いることができることを確認。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-4:触媒商業生産課題検討

成果

実施内容

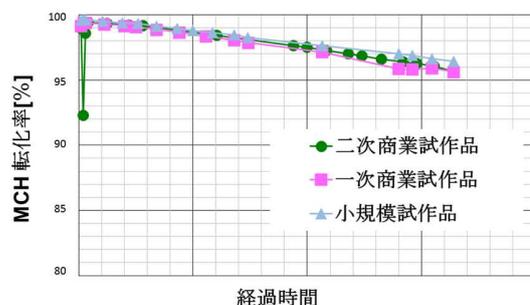
✓小規模設備で製造され脱水素触媒と同様の製造レシピ／仕様にて、商業規模生産設備を用いた数百kg／ロット規模での触媒試験製造を実施。（＝一次商業試作）
 ✓一次試作の評価結果に基づいて、商業規模生産において触媒性能に影響する要因を抽出検証、反映した新たな製造レシピに基づく二次商業試作を実施。

評価結果

試作評価の主要な結果

- 一次試作の触媒は初期活性が若干低い傾向を示したものの、長期的な活性及び性能安定性はほぼ同等。
- 初期活性低下の原因を検証し、二次試作向けに触媒担持調整レシピ、及び設備の仕様の一部を更新した。
- 二次試作の結果、小規模設備での性能と同等の能力を持つことが確認できた。

試作触媒の性能評価結果例



成果

✓試作用小規模設備製造での触媒と概ね同等の性能を持つ大規模触媒製造が可能であることを確認。

②-4:触媒商業生産課題検討

今後の課題

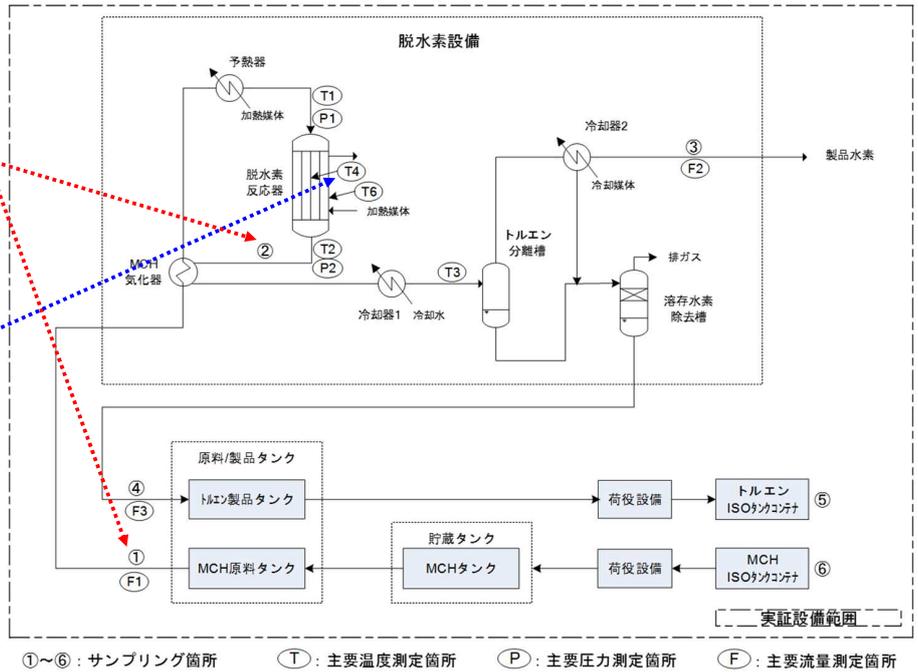
課題 商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用して、脱水素設備の運転の実施、運転データ収集

実施内容

脱水素反応器入出の流体をサンプリング(サンプリング箇所①②)して組成(トルエン、MCH、反応副生芳香族/環状炭化水素濃度)を分析

触媒管の温度分布(温度測定箇所T4)の経時変化を測定し、脱水素触媒の劣化傾向を把握(従来のデモプラント運転により、触媒管温度分布変化と触媒劣化の相関を把握済み)

脱水素反応の転化率/選択率、不純物濃度の経時変化を算出し、触媒性能や劣化速度が小規模試作の触媒と同等であることを確認。



期待される成果 商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用して、所定の触媒性能が得られることを検証。

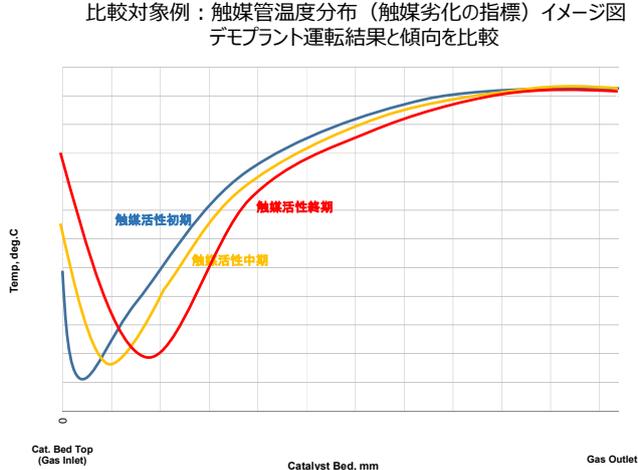
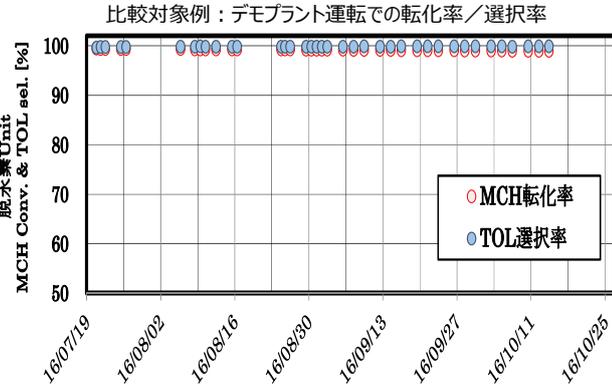
②-4:触媒商業生産課題検討

今後の課題

課題 商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用した脱水素設備の運転の実施、運転データ収集

試験結果判断基準: 触媒性能や劣化速度が小規模試作の触媒を使用したデモプラント運転と同等であること。

触媒性能目標: 運転期間を通じて転化率が目標値以上であること



試験結果の反映 結果 良 : 現状の触媒製造レシピ/調達仕様を商業規模反応器に適用
否 : 原因検討の上、触媒製造レシピ/調達仕様を見直し

②-4:触媒商業生産課題検討 (1/2)

成果

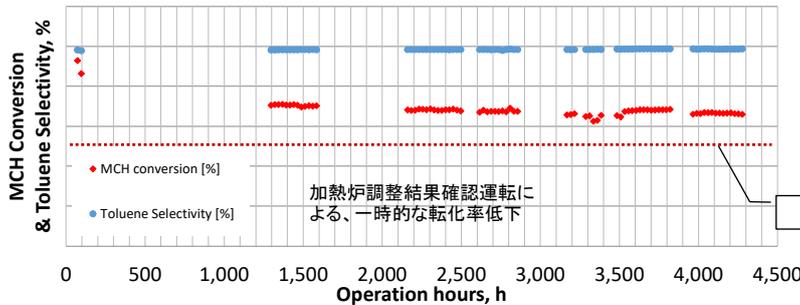
運転データ収集途中経過

実施内容

- ✓ 商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用した脱水素設備の運転の実施、運転データ収集
- ✓ 脱水素反応器入出の流体をサンプリングして組成（トルエン、MCH、反応副生芳香族／環状炭化水素濃度）を分析

試験結果

90%~100%ロードにおける転化率とトルエン選択率



・4,200h以上の運転期間において、転化率は、目標値以上を維持できている。

試験結果

判断基準

触媒性能や劣化速度が小規模試作の触媒を使用したデモプラント運転と同等であること。
 触媒性能目標：運転期間を通じて転化率が目標値以上であること。
 (各ロード整定後に前項のサンプリング個所から採取した液の分析結果より算出)

成果

運転開始以降、転化率と選択率が目標値以上を維持していることから、商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用して、所定の触媒性能が得られることが検証できた。

②-4:触媒商業生産課題検討 (2/2)

成果

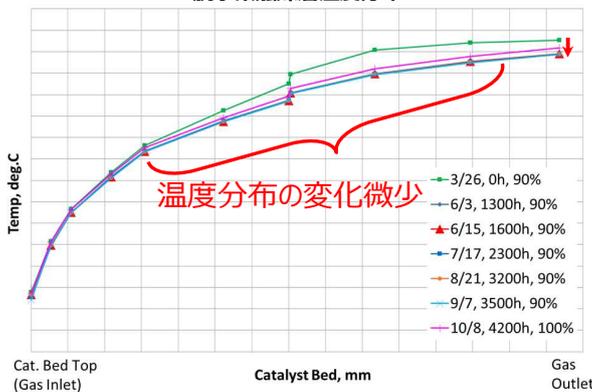
運転データ収集途中経過

実施内容

- ✓ 商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用して、脱水素設備の運転の実施、運転データ収集
- ✓ 触媒管の温度分布の経時変化を測定し、脱水素触媒の劣化傾向を把握（従来のデモプラント運転により、触媒管温度分布変化と触媒劣化の相関を把握済み）

試験結果

脱水素触媒層温度分布



反応温度の調整による転化率管理にて、触媒劣化を抑制しながら、目標値以上のMCH転化率を維持出来た

【反応温度管理】

- ・低ロード運転時は、90%ロード運転時の温度分布に合わせる。
- ・目標MCH転化率を目安に、反応温度を調整する。

・触媒層温度分布の大きな変化（触媒性能の変化）は見られていない。

試験結果

判断基準

触媒性能や劣化速度が小規模試作の触媒を使用したデモプラント運転と同等であること。
 触媒性能目標：運転期間を通じて転化率が目標値以上であること。

成果

運転開始以降、転化率と選択率が目標値以上を維持していることから、商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用して、所定の触媒性能が得られることが検証できた。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-1:商用トルエン運転検証

成果

実施内容

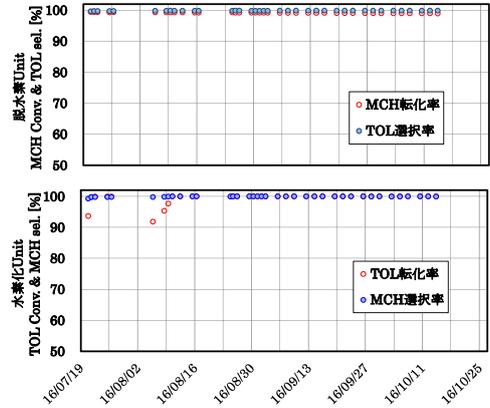
✓国内外のトルエン供給社より6種のサンプルを調達し、ラボ反応試験によるスクリーニング評価を実施
 ✓試験結果及び供給能力を考慮した上で実証チェーンにて使用するトルエンを選定し、千代田化工建設子安デモプラントにて運転検証

評価結果

スクリーニング結果

供給元	起源	生産能力 (万t/年)	サンプル純度 (wt%)	スクリーニング結果		評価
				水素化	脱水素	
A社	COLO	< 5	99.99	○	○	2013年子安デモ実証済み、供給純度サンプルが極めて低い
B社	Reformate	< 5	91.1	X	X	特定物質不純物濃度が高く、不適合
C社 (a工場)	Pygas	5 ~ 10	99.96	○	○	供給純度サンプルが低い
C社 (b工場)	Reformate	> 20	99.96	○	○	第一期検証・子安デモ機での実証に導入予定
D社 (海外)	Reformate & Pygas	> 20	99.98	X	X	サンプルリク方法に起因する特定物質の10%により不適合、再調達・再評価が必要
E社	Reformate	> 20	98.2	X	X	特定物質不純物濃度が高く、不適合

千代田化工子安デモプラント検証運転結果



一連のケーススタディの主要な結果

- i. 反応試験結果及び供給能力の観点から、国内C社B製造所のトルエンを選定
- ii. 不適合サンプルの含有成分の詳細分析や検証試験を実施して不適合要因を定量的に検証。これまでの知見にこの結果を反映して商用トルエンの仕様を策定

成果

✓一連の検証にて、商業規模で調達/使用可能なトルエンを選定することが出来、調達仕様を策定出来た。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-1:商用トルエン運転検証

今後の課題

課題

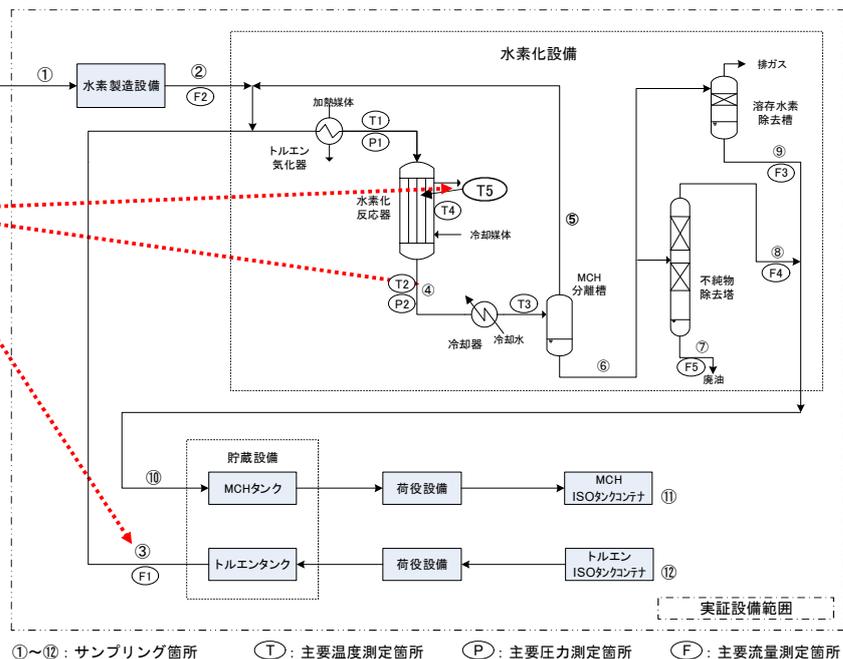
スペック適合品の大規模購入トルエンでの実証運転実施と性能の検証

実施内容

【水素化プラント】
 水素化反応器入出の流体をサンプリング (水素化プラントサンプリング箇所③④) し組成 (トルエン、MCH、反応副生芳香族/環状炭化水素濃度) を分析。触媒管の温度分布 (温度測定箇所T5)の経時変化を測定。

脱水素プラントにおいても、フィードMCH及び生成トルエンのサンプリング・分析、触媒管温度分布測定を実施。

上記により水素化/脱水素反応の転化率/選択率、不純物濃度の経時変化を算出し、触媒性能や劣化速度が商用トルエンを使用したデモプラント運転と同等であることを確認。



①~⑩: サンプリング箇所 (T): 主要温度測定箇所 (P): 主要圧力測定箇所 (F): 主要流量測定箇所

期待される成果

実証チェーン運転に商用トルエンを使用し、取得した運転データにより、チェーンとして所定の性能が得られることを検証。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-1:商用トルエン運転検証

今後の課題

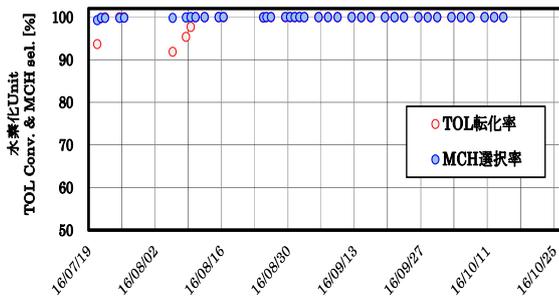
課題

スペック適合品の大規模購入トルエンでの実証運転実施と性能の検証

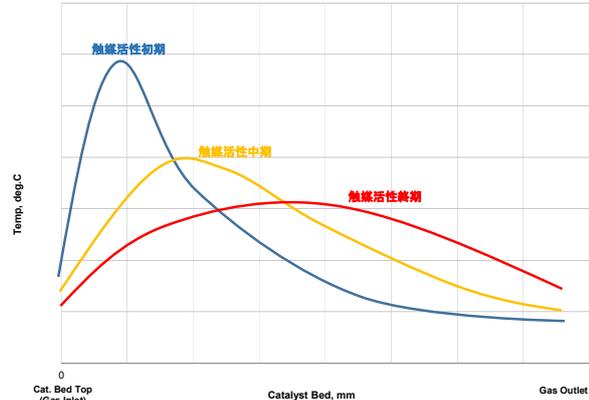
試験結果判断基準： 触媒性能や劣化速度が商用トルエンを使用したデモプラント運転と同等であること。

触媒性能目標：商用トルエンを使用したデモプラント運転に比した転化率/選択率の差が目標値以内

比較対象例：デモプラント運転での転化率/選択率



比較対象例：触媒管温度分布（触媒劣化の指標）イメージ図
デモプラント運転結果と傾向を比較



試験結果の反映

結果 良：現状のトルエン調達仕様を商業規模設備に適用
否：原因検討の上、トルエン調達仕様の見直し、調達トルエン含有不純物除去の検討

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-1:商用トルエン運転検証 (1/2)

成果

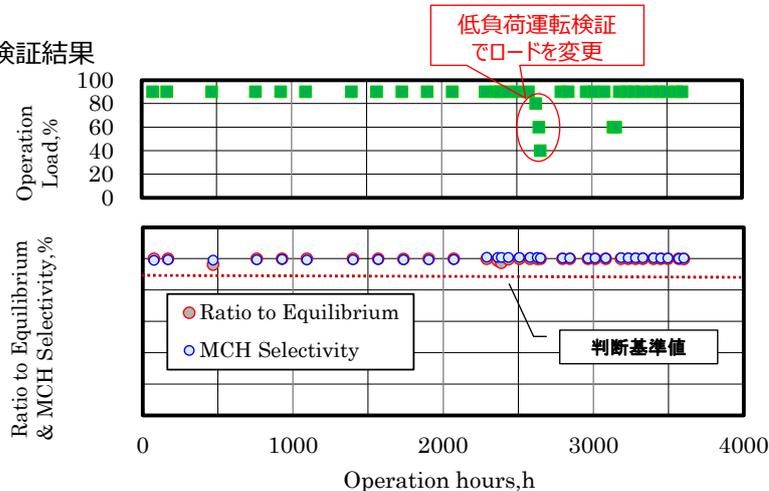
運転データ収集途中経過

実施内容

スペック適合品の大規模購入トルエンでの実証運転実施と性能の検証として、水素化反応器入出の流体をサンプリングし、組成（トルエン、MCH、反応副生芳香族/環状炭化水素濃度）を分析。

試験結果

✓ 反応器性能の検証結果



判断基準

触媒性能や劣化速度が商用トルエンを使用したデモプラント運転と同等であること。
✓ 触媒性能目標：商用トルエンを使用したデモプラント運転に比した転化率/選択率の差が一定以内（各ロード整定後に前項のサンプリング箇所から採取した液の分析結果より算出）

成果

✓ 運転開始以降、転化率、選択率が目標値以上を維持している。
✓ 実証チェーン運転に商用トルエンを使用し、取得した運転データにより、チェーンとして所定の性能が得られることが検証できた。

③-1:商用トルエン運転検証 (2/2)

成果

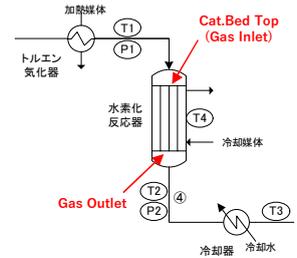
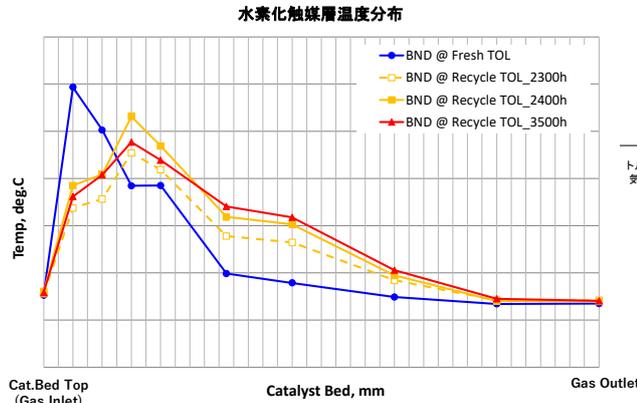
運転データ収集途中経過

実施内容

スペック適合品の大規模購入トルエンでの実証運転実施と性能の検証として、触媒管の温度分布の経時変化を測定。

試験結果

✓ 反応器触媒管の温度分布の経時変化測定結果



判断基準

触媒性能や劣化速度が商用トルエンを使用したデモプラント運転と同等であること。

成果

- ✓ 運転初期から運転中期にかけて想定通り触媒層温度ピークが後半ヘシフトし、前頁に記載した通り所定の性能（転化率/選択率）の維持を確認。(2300hr⇒2400hrにかけての温度上昇は反応条件調整で反応量を変更したことによるもの。)
- ✓ 実証チェーン運転に商用トルエンを使用し、取得した運転データにより、チェーンとして所定の性能が得られることが検証できた。

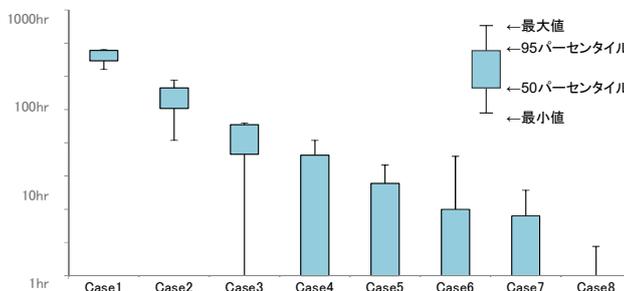
③-2:サプライチェーン検討

成果

実施内容

- ✓ 需要家への水素供給の安定性に影響する事象を分析
- ✓ 水素源から水素需要家までの水素サプライチェーン全体をモデル化、想定される様々な偶発事象の発生に対するチェーン全体としての安定性を検証すると共に、安定性を向上するための各種設備の規模や冗長度を検討

評価結果



- ✓ 水素化・脱水素設備の貯蔵能力と系内のトルエン量を一定の刻み幅で増減させた場合の、サプライチェーン起因の水素供給停止時間の発生確率分布を計算
- ✓ 左図の例では、Case3とCase4の間に変化点があることが見て取れ、上記変化点近傍が信頼性と設備コストのバランスが取れた設備構成と考えられる。

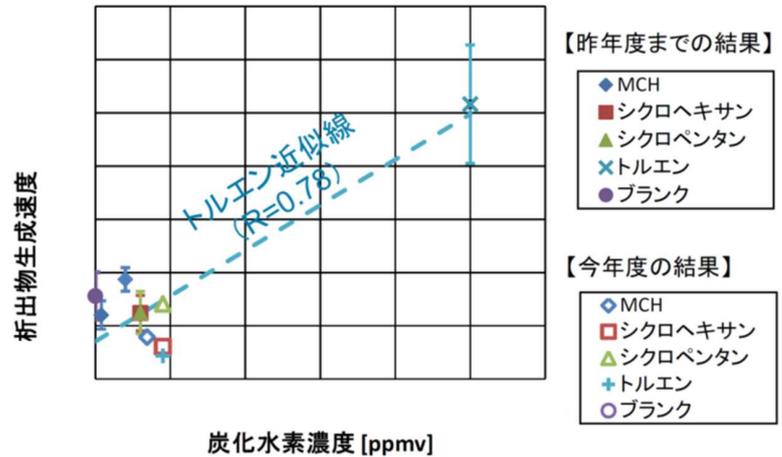
	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7	Case8
貯蔵能力	-4Δ	-3Δ	-2Δ	-1Δ	基準値	+1Δ	+2Δ	+3Δ
最大値	252.34	87.10	19.66	10.90	4.62	6.28	1.93	0.28
95パーセンタイル値	244.67	67.11	18.74	6.48	2.45	1.00	0.80	0.00
中央値	171.66	33.00	6.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
最小値	126.83	10.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
平均値	179.27	35.68	7.13	1.21	0.35	0.27	0.11	0.01

成果

✓ 最適な水素サプライチェーンのシミュレーションが可能なモデルを開発し、設備構成が供給安定性を与える影響を定量的に評価する基本的な手法が確立。

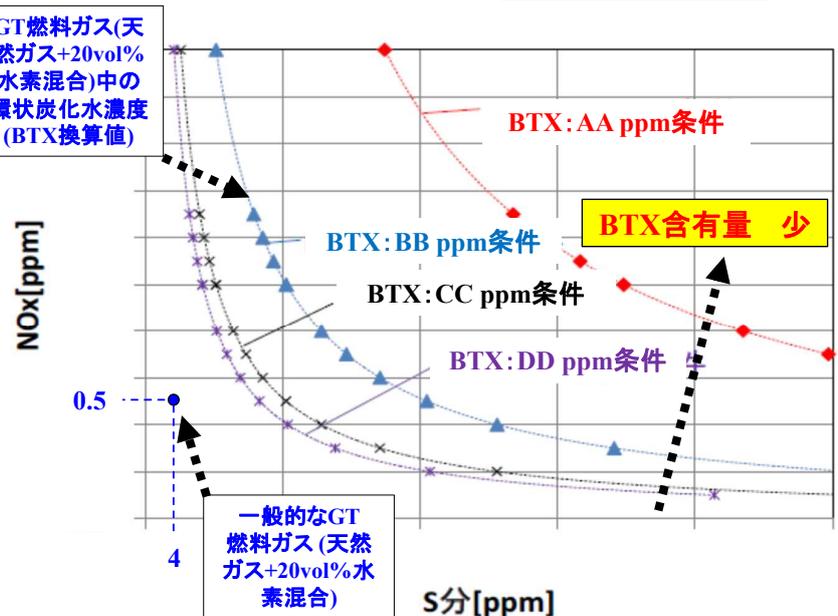
3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-3: 発電燃料供給チェーンとしての設備仕様・オペレーション要件		① 製品水素性状が発電GTに及ぼす影響の検討	成果
実施内容	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 脱水素設備からの製品水素中に含まれる微量の炭化水素（トルエン・MCH）から高温の重合反応により生成されるガム状物質が、商業規模発電GTに及ぼす影響（燃焼器ノズルの閉塞）および混焼する天然ガス中のガム状物質になりうる原因物質や影響物質をラボ試験により把握する。 		
評価結果	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ガム状物質析出特性試験を終了。 ✓ 天然ガスに、20vol%の水素を混合し、ベースガスとした。想定される炭化水素を微量添加し、燃料配管中の析出物生成速度を測定。 ✓ 飽和炭化水素を低濃度にて比較すると、トルエンより析出物生成速度が速く、析出しやすい。 ✓ トルエンベースの含有量制限値(試験委託先機関での従来研究結果に基づく)を使用して、MCH等の飽和環状炭化水素の含有制限値を評価。 		



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-3: 発電燃料供給チェーンとしての設備仕様・オペレーション要件		① 製品水素性状が発電GTに及ぼす影響の検討	成果
評価結果	<p>右図はトルエンベースの含有量制限値</p> <p>メチルシクロヘキサン等の飽和環状炭化水素とトルエンとのガム状物質生成速度を比較し、水素中に含まれる飽和環状炭化水素がトルエン何ppmに相当するかを解析</p> <p>右図を使用して飽和環状炭化水素の含有制限値を評価。 水素20%混焼の場合は、図中の青三角ライン。</p> <p>一般的な天然ガスとの混焼(Nox 0.5ppm、S分4ppm)であればガム状物質生成領域に入らない。</p>		
成果	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 飽和炭化水素の含有量管理値を策定した。 ✓ 現状の脱水素工程にて、製品水素が商業規模発電GTに使用可能であることを確認した。 		



GT燃料ガス中のBTX（ベンゼン/トルエン/キシレン）含有量制限値（試験委託先機関での従来研究結果に基づく）

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-3: 発電燃料供給チェーンとしての設備仕様・オペレーション要件

成果

②脱水素反応熱をGTCC発電所のHRSGから供給する方法の可能性検討

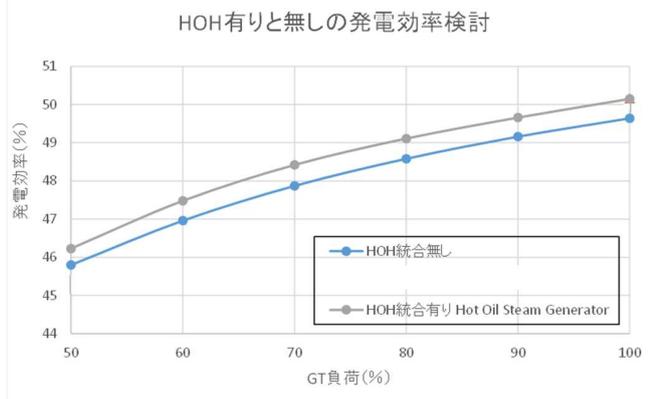
実施内容

- ✓ GTCC (Gas Turbine Combined Cycle) 発電所のHRSG (Heat Recovery Steam Generator、排ガスボイラー) にHOH (Hot Oil Heater)を設置し、熱媒により脱水素反応熱を供給する場合をシミュレーションを実施
- ✓ 検討条件は、①GTCCは450MWクラス予混合燃焼、②天然ガスへの水素混焼率を70 vol%とした。

評価結果

✓ HRSG熱利用についてはシミュレーション検討を終了し、HOHを設置した場合に、部分負荷時も含め発電効率が若干改善されるシステムが確認できた(右図参照)。

✓ ①GT起動時、②外気温変化時、③混焼率変更時など、多彩な運転モードに対応できるシステムは、設定が困難であり実用には、より多くの課題があることも確認された。(設備運転制御が複雑化することなど。)



成果

✓ 脱水素反応熱をGTCC発電所のHRSGから供給することで、総合効率の改善の可能性があることが示唆された。合わせて、その実現に向けた課題の頭出しを行うことができた。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

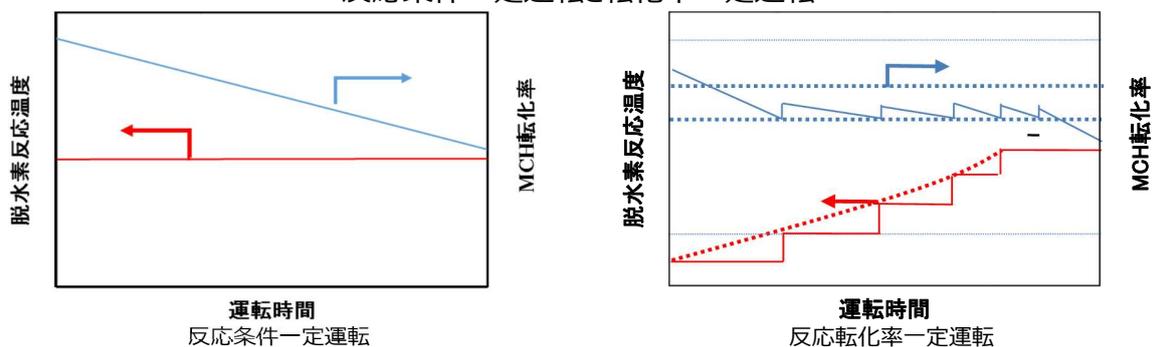
③-4: サプライチェーン効率化

今後の課題

課題

反応転化率を一定にした運転を可能にすることにより、触媒のシビアリティを下げ、触媒の長寿命化を図り、更に水素輸送量を経時的に一定に保つことでチェーン運用を効率化する。

反応条件一定運転と転化率一定運転



デモプラントでは反応条件一定の運転のみ実施

反応条件を調整して反応転化率を一定に維持した運転 (シビアリティ管理) は触媒長寿命化に寄与

商業運転を目指し、実証運転において反応転化率一定運転を検証したい

商業運転時の運転方法への適用検討

③-4: サプライチェーン効率化

成果

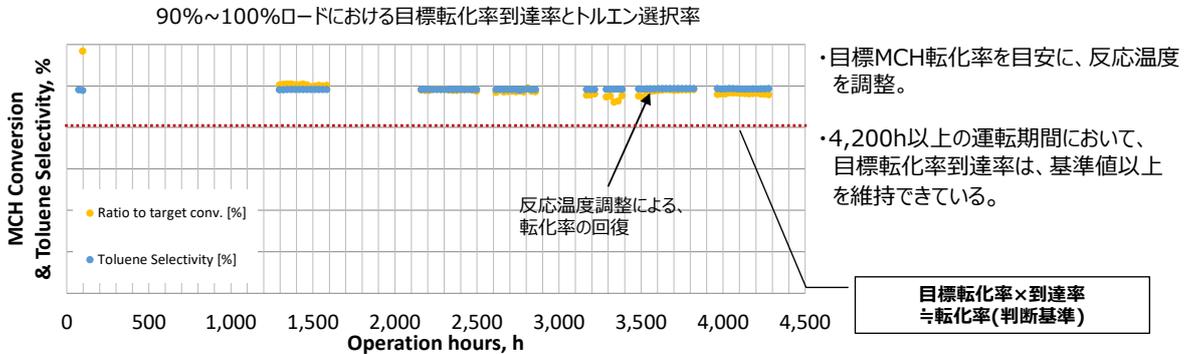
運転データ収集途中経過

実施内容

反応条件を調整して反応転化率を一定に維持した運転（シビアリティ管理）を実施し、触媒管の温度分布の経時変化を測定。

試験結果

✓ 反応器触媒管の温度分布の経時変化測定結果



判断基準

Phase1運転に比べて触媒の長寿命化傾向が観察されること。

成果

✓ 反応転化率一定運転（シビアリティ管理）を検証し、商業運転時の運転方法へ適用可能であることを確認した。

35 / 39

③-4: サプライチェーン効率化

成果

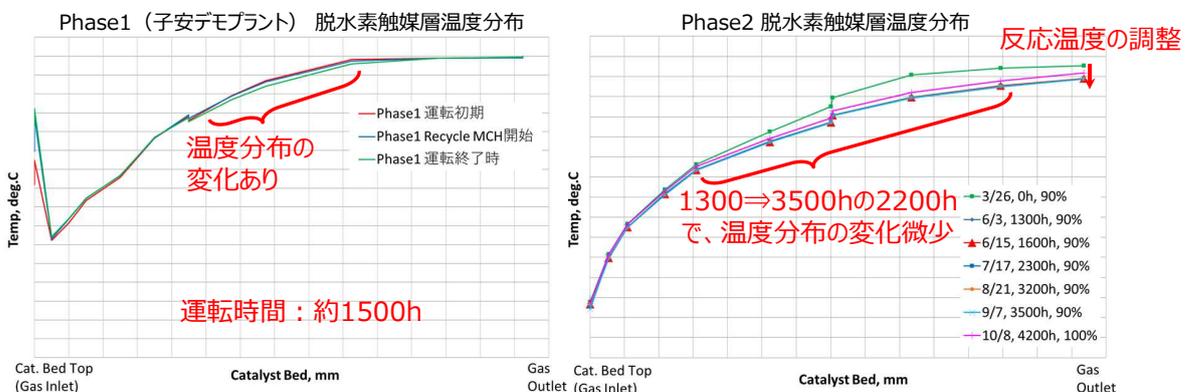
運転データ収集途中経過

実施内容

反応条件を調整して反応転化率を一定に維持した運転（シビアリティ管理）を実施し、触媒管の温度分布の経時変化を測定。

試験結果

✓ 反応器触媒管の温度分布の経時変化測定結果



判断基準

Phase1運転に比べて触媒の長寿命化傾向が観察されること。

・反応温度の調整（シビアリティ管理）により、触媒層温度分布の変化（触媒性能の変化）を抑制している。
 ・9月中旬に転化率が管理範囲以下になり、反応温度を高温側に調整（10/8の温度分布）。

成果

✓ 反応転化率一定運転（シビアリティ管理）を検証し、商業運転時の運転方法へ適用可能であることを確認した。

36 / 39

3. 研究開発成果について (2) 成果の意義まとめ

分類	開発項目	成果		商業フェーンでの活用			
		既に得られた成果	プロジェクト終了までに実現を目指す成果	大規模化	需要適合	経済性	その他
① 水素化プラント	水素化反応器スケールアップ	①反応器スケールアップの設計手法を確立し、実証設備の反応器設計に反映。 ②実証運転にて2回のターンダウン試験を実施。転化率/選択率に大きな変化はなく目標値以内であることを確認。	-	○			
	不純物除去設備の仕様検討	①蒸留設計の「パラメータチューニング」及び蒸留試験により蒸留設備の設計仕様妥当性を確認。 ②実証運転にて中軽質不純物蓄積挙動を検証中。顕著な蓄積増加は見られない。	実証運転終了まで蓄積挙動を検証し、目標のトータル増加量が目標値以内であることを確認する。				○
② 脱水素プラント	脱水素反応器スケールアップ	①反応器スケールアップの設計手法を確立し、実証設備の反応器設計に反映。 ②Shell側構造改善シミュレーション検討実施中。 ③実証運転にて1回目のターンダウン試験を実施。転化率/選択率に大きな変化はなく目標値以内であることを確認。	①2回目のターンダウン試験を実施し、転化率/選択率の低下が目標値以内であることを確認する。 ②Shell側構造改善シミュレーション検討を完了しShell側構造を最適化する。	○			
	負荷追従性向上策	①商業規模設備のダイナミックシミュレーションによりガスホルダー設置の効果を検証。プラント応答性律速要因を特定。 ②実証設備のダイナミックシミュレーションをモデル化中。 ③実証運転での負荷変動（短時間でのターンダウン/アップ）試験の詳細計画策定。	①実証運転での負荷変動運転を実施、運転データを収集。負荷変動ケースを増やし追従性の比較実施を予定。 ②ダイナミックシミュレーションで負荷変動試験をトレースし、モデルをブラッシュアップする。		○ 応答性		
	水素純度向上策	想定需要へ対応可能であることをラボ試験により確認。	-		○ 水素純度 (FCV)		
	触媒商業生産課題	①商業試作により、小規模製造触媒と概ね同等の性能を持つ大規模触媒製造が可能と確認。 ②実証運転により触媒性能を検証中。小規模製造の触媒と概ね同等。	実証運転終了まで触媒性能を検証し、目標の転化率以上であることを確認する。	○			

37 / 39

3. 研究開発成果について (2) 成果の意義まとめ

分類	開発項目	成果		商業フェーンでの活用			
		既に得られた成果	プロジェクト終了までに実現を目指す成果	大規模化	需要適合	経済性	その他
③ サプライフェーン構築・運用	商用トルエン運転検証	①商業規模で調達/使用可能なトルエンを選定し、調達仕様を策定。 ②商用トルエンを使用した実証運転継続中。触媒性能や劣化速度は商用トルエンを使用した子安デモプラント運転結果と概ね同等。	実証運転終了まで触媒性能や劣化速度を検証し、目標であるデモプラント運転に比した転化率/選択率の差が目標値以内であることを確認する。	○			
	サプライフェーン検討	設備構成が供給安定性に与える影響を定量的に評価する基本的な手法が確立。	-			○	
	発電燃料供給フェーンとしての設備仕様・オペレーション要件	①飽和炭化水素の含有量管理値を策定。製品水素が商業規模発電GTに使用可能であることを確認。 ②脱水素反応熱をGTCC発電所のHRSGから供給することで、総合効率の改善の可能性があることが示唆された。	-		○ 水素純度 (発電)		
	反応器運転モードの最適化	実証運転にて、転化率抑制（転化率一定）の運転を継続中。	実証運転終了まで転化率抑制運転を実施し、転化率抑制運転が可能であることを実証する。			○	

38 / 39

◆成果の普及

	2015年度～ 2017年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	計
研究発表・講演	9	26	21	6	62件
新聞・雑誌等への掲載	19	16	13	11	59件
展示会への出展	6	3	5	0	14件

※2020年10月現在

(Ⅱ-③)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」 ①大型輸送・貯蔵容器の開発

助成先：川崎重工業株式会社

●成果概要（実施期間：2019年度～2022年度終了予定）

- ・大型貯蔵容器の断熱性能（極低温、水素ガス中）の目処付け、メンブレン形状に対して解析にて成立性確認
- ・海上輸送用大型液化水素タンクの断熱構造、タンク構造、タンク構造材料、配管との接続方法に関する各種特性試験・解析を実施して、データを取得中
- ・海上輸送用大型液化水素タンクのタンクシステムの検証に向けて、試験タンクを設計し、材料を手配中

●背景/研究内容・目的

<背景>

大量の水素を国際輸送し、エネルギー利用するために重要な機器となる、液化水素の大型貯蔵容器および海上輸送用大型液化水素タンクの開発を実施している。

<研究内容・目的>

貯蔵容器と海上輸送用液化水素タンクの大型化に向けた構造、材料、断熱性能に関わる各種特性データを取得し、基本仕様を確定する。また、試験タンクでの性能検証に向けた準備（タンク設計、材料手配）を実施する。

●研究目標

実施項目	目標
a)大型貯蔵容器	ア)断熱性能の目処付け イ)メンブレン形状の解析技術確立
b)海上輸送用大型液化水素タンク	ア)断熱システム方式／構造選定 イ)タンク基本構造決定、強度／揺動評価 ウ)タンク構造材料選定／データ取得 エ)配管との接続方法選定／強度評価 オ)タンクシステムの検証に向けた試験タンク設計／材料手配

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

- a)大型貯蔵容器
- ア)極低温、水素ガス中で断熱性能を満足
 - イ)考案したメンブレン形状に対して解析にて成立性を確認
- b)海上輸送用大型液化水素タンク
- ア)断熱方式／構造選定済
 - イ)タンク構造の基本構造／支持構造を選定済み、強度評価中
 - ウ)タンク材料を選定済、材料特性データ取得中
 - エ)配管との接続方法を選定済み、強度特性データ取得中
 - オ)タンクシステムの検証に向けて、試験タンク設計中、材料手配中

●今後の課題

- a)大型貯蔵容器
- ・量産性、構造面の課題に対して考案した三重殻構造の成立性を検証
- B)海上輸送用大型液化水素タンク
- ・部材の耐久性確認
 - ・材料特性データ、強度特性データ取得完了後のタンク基本仕様決定

●実用化・事業化の見通し

本開発で得られた設計技術をもとに、商用規模の実証を行い、性能を検証することにより、事業化に結び付ける。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
a)大型貯蔵容器	断熱性能を評価中	△(2021/2)
	メンブレン形状の成立性を確認中	△(2021/2)
b)海上輸送用大型液化水素タンク	断熱方式／構造選定中	△(2021/2)
	タンク構造/支持構造選定/評価中	△(2021/2)
	タンク構造材料選定/データ取得中	△(2021/2)
	配管との接続方法選定/データ取得中	△(2021/2)
	試験タンク設計、材料手配中	△(2021/2)

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	なし	1	なし

(Ⅱ-③)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素の輸送用貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」②商用ローディングアームの開発

助成先：
東京貿易エンジニアリング株式会社

●成果あり（実施期間：2019年度～ 2022年度終了予定）

・2020年9月時点

- 1) 大口径緊急離脱機構：動作手順の変更により、理論外部流出量は10ℓ以下になる見込みで、試作機を製作中。
- 2) 大口径船陸継手：構造の変更により、重量は0.5ton以下になる見込みで、試作機の製作を開始した。
- 3) 鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発：真空度保持対策として、新たな対策を策定し、製作中である。

●背景/研究内容・目的

大量の水素を国際輸送し、エネルギー利用するために重要な機器となる液化水素用ローディングアームが実用化されていないため、コアパーツである大型の緊急離脱機構と船陸継手を開発し、また鋼製ローディングアームについて液化水素を用いた試験を行い、商用ローディングアームの開発に目途をつける。

●研究目標

実施項目	目標
a)大口径緊急離脱機構	理論外部流出量が125ℓ以下の緊急離脱機構の開発における試作機の製作
b)大口径船陸継手	重量が1ton以下で操作容易な船陸継手の開発における試作機の製作
c)鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発	メンテナンス頻度が1年に1回程度で済む真空度を確保する試作機の製作

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

- a)大口径緊急離脱機構：現状では、従来型のクランパーが外れて弁体が閉じる構造から、先に弁体が閉じて、その後にクランパーが外れる構造に変更した為、理論外部流出量は10ℓ以下の見込みを得た。現在熱応力解析を実施するとともに、試作機の製作に着手した。
- b)大口径船陸継手：分離面を平行にし、位置合わせユニットを不要とした構造の採用により重量は約0.5ton以下になる見込み。また、分離後の大気露出面の構造を決定した。
- c)鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発：吸着剤追加、改良型真空測定装置の追加、清浄度の高いベローズの採用を行い製作中。

●今後の課題

- a) 大口径緊急離脱機構：熱応力解析で変位が過大な箇所があるため、ガイド部品を追加し再解析を実施中。2021～2022年にかけてJAXAで試験を行う。
- b) 大口径船陸継手：シール性を確保するために接触面の平行が維持されるか熱応力解析で検証する。
- c) 鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発：2020年度で部品製作、2021年度に真空引実施、2022年度に液化水素による試験を行う。

●実用化・事業化の見通し

現状の開発が予定通りに進捗させることにより、2023年度より商用大口径ローディングアームの事業化を目指し、栈橋条件、タンカー条件の確認を行いながら設計を行い、2025年の設計終了を目指す。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
大口径緊急離脱機構	現状では理論外部流出量は10ℓ以下の見込みで、現在解析を実施しながら、試作機を製作中	△ (2021/2)
大口径船陸継手	分離面を平行にし、位置合わせユニットを不要とした構造の採用により重量は約0.5ton以下になる見込みで、現在試作機を製作中	△ (2021/2)
鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発	真空度保持対策として、吸着剤追加、改良型真空測定装置の追加、清浄度の高いベローズの採用、が必要なことが分かり、現在製作中	△ (2021/2)

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
なし	なし	なし	なし

(Ⅱ-③)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」③低温水素ガス圧縮機の開発

助成先：
株式会社IHI回転機械エンジニアリング

●成果概要（実施期間：2019年度～2022年度終了予定）

- ・液空生成に対し安全性を確保する構造の開発において、伝熱解析にて圧縮機外表面が液空温度以上であることを確認し、基本設計を完了して製作に着手している。
- ・シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材の開発において、伝熱解析にてシールガスの液化がないことを確認、ラボでの摩耗試験から候補材を選定し、基本設計を完了。
- ・商用機的设计技術および性能評価技術の開発において、試作機の1D CAEモデルの構築、現地試験目的に見合った低温水素ガス供給設備・基礎・建屋の基本設計を完了。

●背景/研究内容・目的

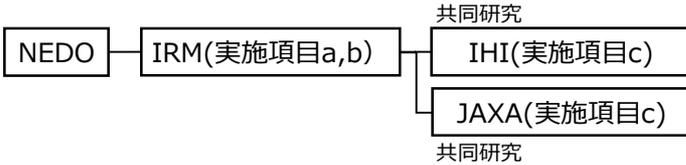
◎背景
LNG基地において貯蔵タンクからの発生ガスを圧縮して発電設備に供給する場合、大容量・高圧で負荷変動に対応できる往復動式圧縮機が主に適用されているが、現状は液化水素の蒸発ガス温度に対応できる当該形式の圧縮機は存在しない。

◎研究内容・目的
本事業では、LNG用BOG圧縮機と同程度の安全性、耐久性、信頼性を有する大容量・高圧の低温水素ガス圧縮機の開発・実用化のために必要となる要素技術、運用技術の開発を行い試作機の実ガス運転にて実証試験を実施する。

●研究目標

実施項目	目標
a) 液空生成に対し安全性を確保する構造の開発	低温水素ガスを吸入しても、外表面にて液空を発生させない真空容器構造、熱変位を吸収するサポート構造を考案する
b) シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材の開発	窒素シールガスを中間筒内、ロッド表面で液化させない軸シール構造を考案し、摺動部材の用途を付ける
c) 商用機的设计技術および性能評価技術の開発	試作機の1D CAEモデルを構築し、試作機の現地試験設備の基本計画を完了し、2021FYの試験の用途を付ける

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

- 液空生成に対し安全性を確保する構造の開発
 - ・ガス入口部にはパイロネット接手を採用し、ガスシール性も改良した形状による伝熱解析にて真空容器表面が液空温度(-183℃)以上であることを確認し、基本設計を完了した。
 - ・熱応力解析および振動解析にてサポートや容器の各部の応力が各部材の疲労限以下であることを確認し、基本設計を完了した。
- シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材の開発
 - ・中間筒・断熱材を追加することで、窒素ガスにて軸シール構造が成立することを伝熱解析にて確認した。
 - ・低温水素ガス雰囲気での摺動部材の摩耗試験を実施し、候補材料を選定した上で、基本構造・構成を決定した。
- 商用機的设计技術および性能評価技術の開発
 - ・試験目的に見合った低温水素ガス供給設備・基礎・建屋の基本設計を完了して施工業者を決定した。
 - ・LNG多段の1D CAEモデルで中間段吐出温度を除き、流量・最終吐出温度誤差は大幅に改善した。
 - ・LNGモデルでの改良と真空容器の断熱効果を反映した上で、試作機の1D CAEモデルを構築した。

●今後の課題

- 2019FYまでに用途を付けた以下要素技術・運用技術の試作機による実証が課題
- ・真空容器付きシリンダの安全性
 - ・サポート構造の健全性
 - ・軸シール構造の妥当性
 - ・摺動部材の摺動特性
 - ・1D CAEモデルによる性能予測技術
 - ・吸入温度制御・性能評価技術

●実用化・事業化の見通し

2020年代半ばまでに液化水素サプライチェーンの商用実証化、2030年頃の商用化に合わせ、低温水素ガス圧縮機も実用化・事業化していく見通し。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
a)	・真空容器付きシリンダの伝熱解析を完了 ・サポート構造の熱応力・振動解析を完了 ・真空容器シリンダの基本設計を完了	○
b)	・新しい軸シール構造の伝熱解析を完了 ・摺動部材の候補材の絞り込みを完了 ・軸シール構造・摺動部材の基本設計を完了	○
c)	・試作機の1D CAEモデルの構築を完了 ・試作機の現地試験設備の基本計画を完了	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
なし	なし	なし	なし

(Ⅱ-③)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」 ④液化水素昇圧ポンプの開発

助成先：株式会社荏原製作所

●成果概要（実施期間：2019年度～2022年度終了予定）

- ・液化水素昇圧ポンプ用軸スラストバランス機構基本構造の設計完了。
- ・液化水素昇圧ポンプ用材料の評価、選定が完了。ポンプ設計用材料特性把握のため文献調査、材料試験を実施中。
- ・液化水素昇圧ポンプ小型試作機の基本設計が完了。設計評価を行い、詳細設計を進める。
- ・小型試作機の液化水素運転試験内容を検討し、それを基に液化水素試験設備を設計/製作中

●背景/研究内容・目的

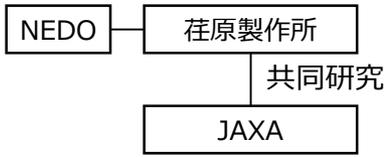
＜背景＞
水素発電設備の一つとして、発電設備に液化水素を昇圧して供給する、大容量液化水素昇圧ポンプの開発が必要である。

＜研究内容・目的＞
大容量高圧ポンプ(商用機)を実現するため、軸スラストバランス機構やポンプ材料選定といった要素技術開発と試作機の設計/製作、液化水素運転試験での評価・分析より液化水素昇圧ポンプの設計技術を確立する。

●研究目標

実施項目	目標
軸スラストバランス機構の検討	バランス機構基本構造の設計
ポンプ材料の選定	・水素/低温脆化を考慮した材料選定 ・材料特性の把握
ポンプ性能/機能の評価・分析	・試作機の設計 ・試験設備の製作

●実施体制及び分担等



液化水素試験設備の設計/製作および運転試験の実施

●これまでの実施内容／研究成果

- a)軸スラストバランス機構の検討
液化水素ポンプ用新型基本構造を設計し、商用機および小型試作機の仕様において、計算上、軸スラスト力がバランスすることを確認した。
- b)ポンプ材料の選定
材料試験により材料特性を評価、ポンプ材料を選定した。
- c)ポンプ性能/機能の評価・分析
・小型試作機の基本設計を完了し、性能/機能を詳細評価している。
・液化水素運転試験内容を計画し、それに基づき、試験設備を設計し、製作を行っている。

●今後の課題

- a)軸スラストバランス機構の検討
試作機運転試験における機能検証
- b)ポンプ材料の選定
・ポンプ設計の為の材料特性の把握
・試作機試験での健全性確認
- c)ポンプ性能/機能の評価・分析
・小型試作機の詳細設計、設計評価
・試験設備の製作
・2021年度以降、試作機製作/試験、評価・分析

以上より、液化水素昇圧ポンプ設計技術を確立する。

●実用化・事業化の見通し

2021年度以降、試作機を製作し、運転試験を行い、性能/機能を評価することで設計技術確立を達成する。2030年頃の水素発電商用チェーンの完成に向けて、水素発電用ポンプの具体的仕様検討と設計を行っていく。

●研究成果まとめ

○達成、△達成見込み(達成時期)

実施項目	成果内容	自己評価
軸スラストバランス機構の検討	基本構造の設計完了	○
ポンプ材料の選定	構造部品用材料の評価/選定完了	△ (2020/12)
ポンプ性能/機能の評価・分析	試作機基本設計完了 試験設備製作着手	△ (2021/2)

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	なし	なし	なし

「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

川崎重工業
東京貿易エンジニアリング
IHI回転機械エンジニアリング
荏原製作所

2020年12月4日

1/57

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

①大型輸送・貯蔵技術の開発 1/2

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
a)大型貯蔵容器の開発	ア) 断熱性能の目途付け イ) メンブレン形状の解析技術確立	<ul style="list-style-type: none"> 極低温、水素ガス中で断熱性能を満足した。 考案したメンブレン形状に対し解析にて成立性を確認。 	△ (2021/2)	量産性、構造面の課題に対し、三重殻構造を考案した。今後、成立性を検証
b)海上輸送用大型液化水素タンクの開発	ア)断熱システム方式 ・断熱システムの基本仕様の確定	<ul style="list-style-type: none"> 断熱方式／構造を選定済 基本仕様検討中 	△ (2021/2)	断熱パネル部材の耐久性が課題、今後試験などで検証
	イ)タンク構造 ・基本構造決定 ・強度/揺動評価	<ul style="list-style-type: none"> 基本構造／支持構造を選定済 強度評価中 	△ (2021/2)	c)材料特性データをもとに最終決定

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

2/57

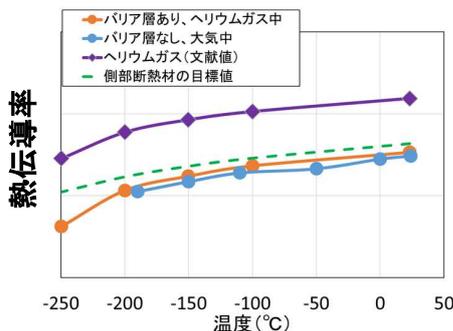
①大型輸送・貯蔵技術の開発 2/2

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
b)海上輸送用大型液化水素タンクの開発	ウ)タンク構造材料 ・ 材料選定/データ取得	・ 材料選定済 ・ 材料特性データ取得中	△ (2021/2)	溶接部の破壊靱性値が許容範囲であるかを試験評価
	エ)配管との接続方法 ・ 方法選定/強度評価	・ 方法選定済 ・ 強度特性データ取得中	△ (2021/2)	強度特性データを確認してから接続方法を最終決定
	オ)タンクシステムの検証 ・ 試験タンク設計/材料手配	・ 試験タンク設計中 ・ 材料手配中	△ (2021/2)	溶接棒の選定は、材料特性データを確認してから決定

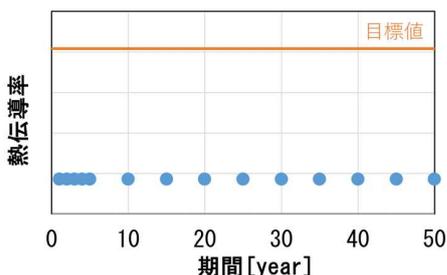
◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

①a) 大型貯蔵容器の開発 1/4

ア) 断熱材の開発



極低温での熱伝導率計測結果



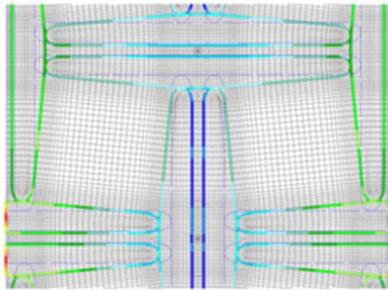
-190°C/水素雰囲気下での熱伝導予測計算結果

- ・ バリア層を設けることで、極低温/水素ガス中でも高断熱性能を維持する断熱材を開発
- ・ ヘリウムガス（水素ガスと透過性や熱伝導率が近い）雰囲気下で目標の熱伝導率を達成できていることを確認した
- ・ 要素試験結果からの予測計算により、長期間の性能維持が可能であることを確認した
- ・ しかし、バリア層の大型化向けの施工性、量産性に課題。

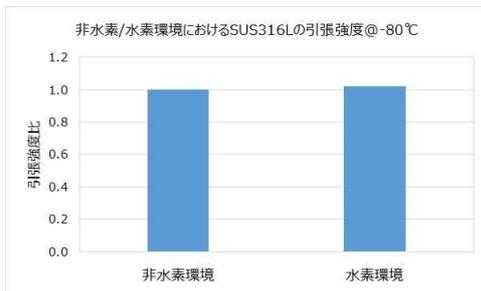
a) 大型貯蔵容器の開発 2/4

イ) メンブレンの開発

一般部のメンブレン構造決定



変位吸収機構の解析結果(変形量)



低温水素ガス雰囲気環境SSRT試験結果

・気密性および変位吸収特性を有する薄板の鋼材(メンブレン)と、圧力荷重を内槽に伝える保冷構造についてFEM解析を実施し、温度変化による熱収縮を吸収できる目途を得た。

・実機相当の予ひずみ加えた候補材：SUS316Lについて、水素の影響を受ける可能性がある-80℃付近にてSSRT試験を実施し、引張強度の顕著な低下が見られないことを確認。

ただし、メンブレンを内槽に固定する場合の、内槽の温度変化による相対変形の予測が困難である。

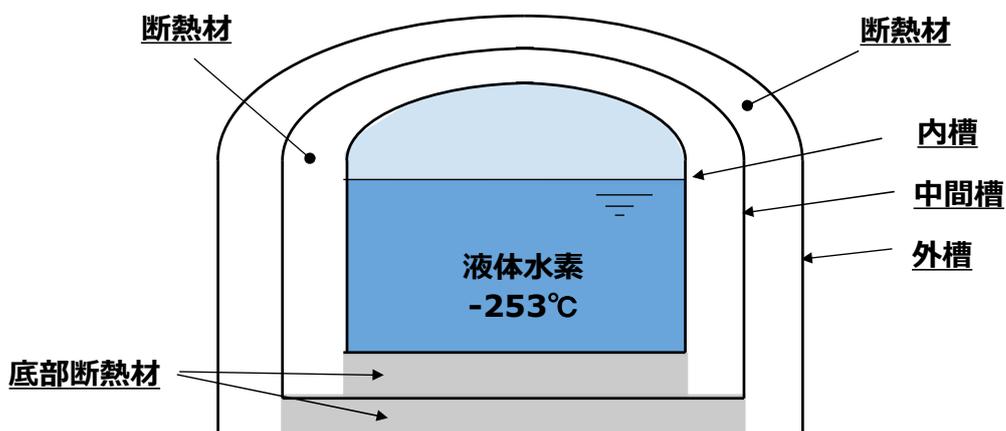
※SSRT試験とはSlow Strain Rate Testing：低ひずみ速度試験を意味する

a) 大型貯蔵容器の開発 3/4

実用化の検討を進めるに当たり、以下の課題が顕在化

- ・断熱材を大型化した際にバリア層を品質良く量産塗工に対応可能なメーカー
- ・メンブレンを内槽(メンブレンの外側の槽)に固定する場合、内槽の温度変化による相対変形の予測

これらの課題に対し解決方法を検討した結果、金属三重殻構造を考案した。



金属三重殻構造イメージ図

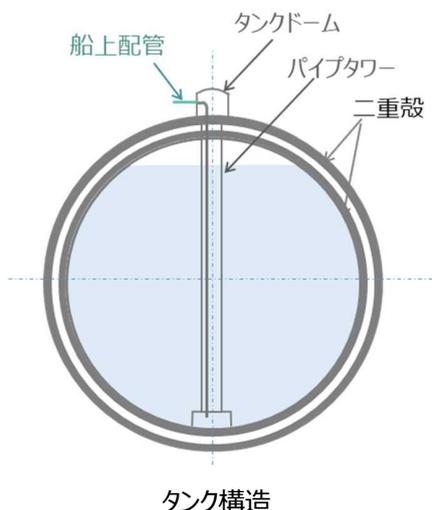
a) 大型貯蔵容器の開発 4/4

金属三重殻構造の課題

課題	内容	状況、予定
耐震性を有する内槽の支持構造	中間槽を介して、内槽を支持するアンカー構造の検討が必要	社内検討の結果、対応できる目途がついた
水素ガス雰囲気下での断熱性能	水素ガス雰囲気下での底部断熱材の性能、および水素ガスの対流の影響が不明	評価に着手。底部断熱材の評価は2020年度、対流の影響評価は2021年度に完了の見込み
中間槽材料	加工及び施工性に優れた9%Ni鋼の水素環境中での適用検討	材料手配に着手。2021年度にスクリーニング、2022年度に特性評価を実施する

b) 海上輸送用大型液化水素タンクの開発 1/2

大型タンク（40,000m³/タンク）の実現に向けて、LNG船で培ったタンク構造／材料、防熱構造の実績を踏襲しつつ、液体水素温度（-253℃）、水素雰囲気での成立を可能とする基本仕様を選定した。

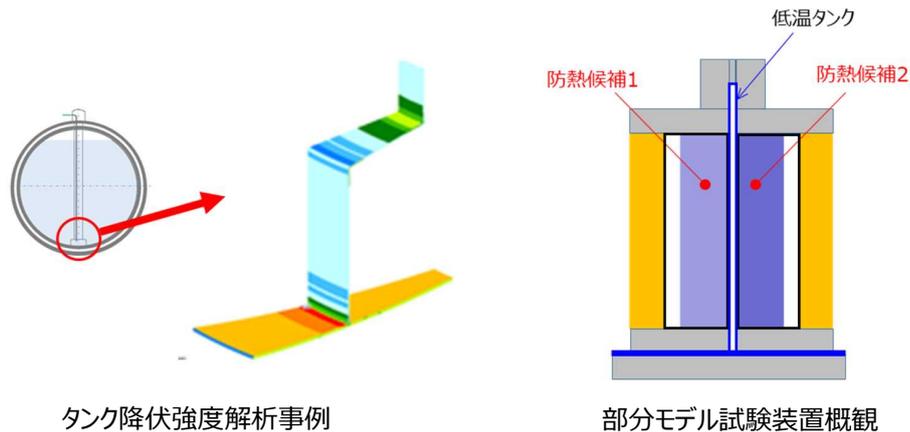


項目	基本仕様	
タンク構造／材質	基本構造	球形二重殻
	ベース材料	アルミニウム合金
	支持構造	スカート *サーマルブレイキ (SUS) を含む
断熱構造	異材接続方法	構造用異材継手STJの利用／溶接
	方式	二重殻防熱方式
配管接続部	船上配管との異材接続方法	配管用異材継手CCJの利用／溶接

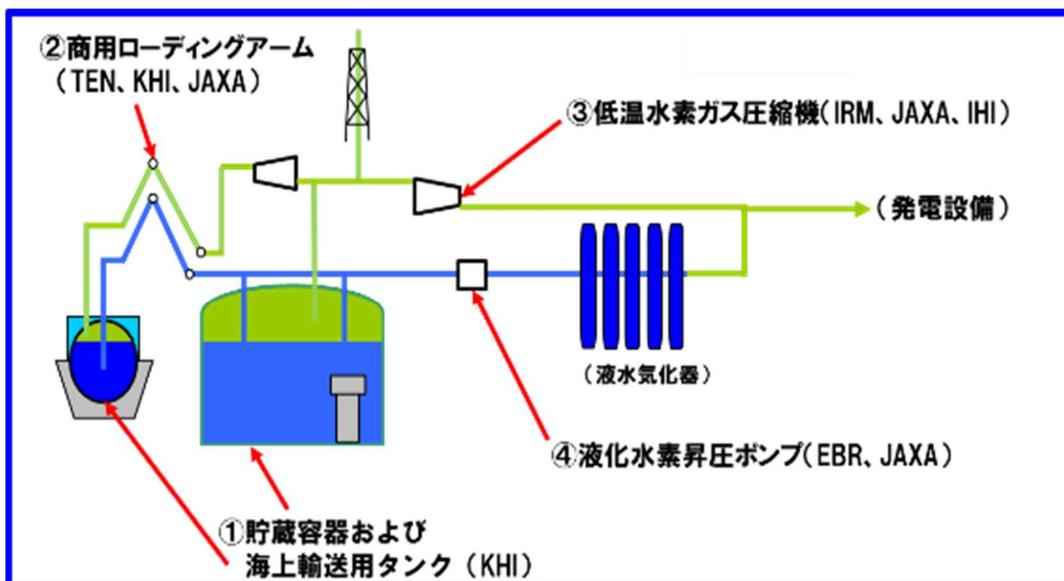
STJ : Structural Transition Joint
CCJ : Cryocoup Joint

b) 海上輸送用大型液化水素タンクの開発 2/2

- 基本仕様を実現するために、材料特性データ、熱物性データなどを試験によって取得
- それらを用いて（未取得データについては、推定）、強度解析（降伏、座屈、破壊、疲労）を実施して、タンク構造の成立性（許容応力以下）を確認
- また、防熱構造を仮決定し、来期予定の部分モデル試験に向けた試験準備を完了予定
- 加えて、タンク製造法、防熱パネル施工法などの検討を進めて、2022年度の低温タンク試験に向けて、試験タンクの設計、材料手配を実施中



各機器の開発により、商用スケールの荷役設備および発電設備への水素供給設備が成立し、水素基本戦略の2030年に発電容量100万kW（火力発電所1基相当）の実現に貢献する。



戦略に沿った具体的取り組み

a) 大型貯蔵容器の開発

- タンクコンセプトや共通技術については特許出願予定
- 施工方法や検査方法はノウハウとして秘匿

	2019年度	2020年度	計
特許出願 (うち外国出願)	0	0	0件

b) 海上輸送用大型液化水素タンクの開発

- 将来のライセンスビジネスを前提に、ライバルへの牽制を意識しつつ、設計および製造のノウハウとなるコア技術を権利化する。
- 本研究開発事業において、アイデアや得られた成果を基に出願を進めた。

	2019年度	2020年度	計
特許出願 (うち外国出願)	0	1	1件

①大型輸送・貯蔵技術の開発

	2019年度	2020年度	計
論文(査読付き)	0	0	0件
研究発表・講演	1	1	2件
受賞実績	0	0	0件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0件
展示会への出展	0	0	0件

Development of Scaling Up on H₂

Pilot ship tank: 1,250m³ Commercial ship tank: 40,000m³
 X 32

Pilot terminal tank: 2,500m³ Commercial terminal tank: 50,000m³
 X 20

Ancillary equipment (ex: Loading arm) are also under development



2020/9
川崎重工技報で取り組みを紹介

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

①大型輸送・貯蔵技術の開発 1/4

開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
a)大型貯蔵容器の開発	ア)断熱材構造、メンブレン形状を決定 イ)三重殻構造を考案し、支持構造の成立を確認	<ul style="list-style-type: none"> BORが0.26%/dayとなる5万m³級の貯蔵容器の基本構造を確立させる 	熱解析モデルを構築して評価することにより、達成の見込み
b)海上輸送用大型液化水素タンクの開発	ア)断熱システム方式 <ul style="list-style-type: none"> 基本構造を選定済 部分モデル試験検討中 	<ul style="list-style-type: none"> 防熱システム方式／構造確定 	部分モデル試験データを取得して達成の見込み
	イ)タンク構造 <ul style="list-style-type: none"> 基本構造／支持構造を選定済 強度評価中 	<ul style="list-style-type: none"> タンク構造とその設計技術確立 	タンク構造強度評価で問題無き事を確認した上で達成の見込み

BOR : Boil Off Rate (蒸発率)

13 / 57

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

①大型輸送・貯蔵技術の開発 2/4

開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
b)海上輸送用大型液化水素タンクの開発	ウ)タンク構造材料 <ul style="list-style-type: none"> 材料選定済 特性データ取得中 	タンク構造材料確定	タンク構造材料の材料特性データを取得して、タンク構造強度評価で問題無き事を確認した上で達成の見込み
	エ)配管との接続方法 <ul style="list-style-type: none"> ドーム貫通ピース構造検討済 異材継手CCJ強度特性試験中 	<ul style="list-style-type: none"> ドーム貫通ピース構造決定 CCJ利用確定 	異材継手CCJの強度評価で問題無き事を確認した上で達成の見込み
	オ)タンクシステムの検証 <ul style="list-style-type: none"> 試験タンク設計/材料手配中 	<ul style="list-style-type: none"> 大型タンク設計技術取得 	低温タンク試験データ取得と解析モデル構築が出来た段階で達成の見込み

CCJ : Cryocoup Joint (低温用異材継手)

14 / 57

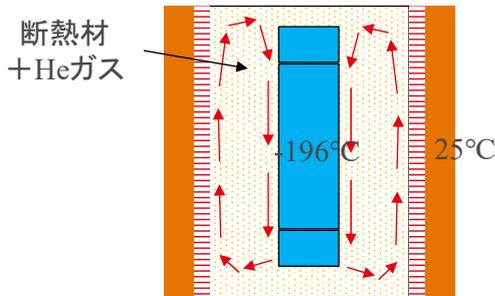
①大型輸送・貯蔵技術の開発 3/4

a) 大型貯蔵容器の開発

ア) 断熱材の開発

目標BOR達成の目途をつけるため、水素ガスの対流が入熱に及ぼす影響を試験により把握し、それをもとに解析モデルを作成して実タンクへの影響を評価する。

試験(検討中)



- ・解析モデル構築 (パラメータの合わせ込み)
- ・実タンクの入熱解析

イ) 中間槽材料評価

加工及び施工性の優れた9%Ni鋼の水素環境中での適用検討のため、低温・水素雰囲気下で溶接部を含めた材料特性試験を実施する。

①大型輸送・貯蔵技術の開発 4/4

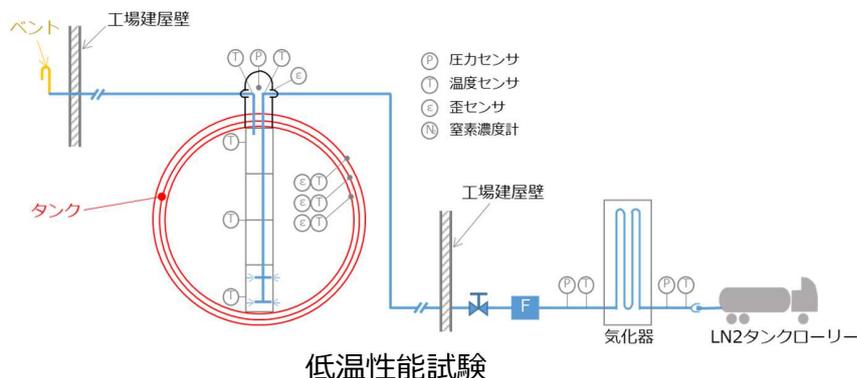
b) 海上輸送用大型液化水素タンクの開発

ア) 断熱構造、イ)タンク構造、ウ)タンク構造材料、エ)配管との接続方法

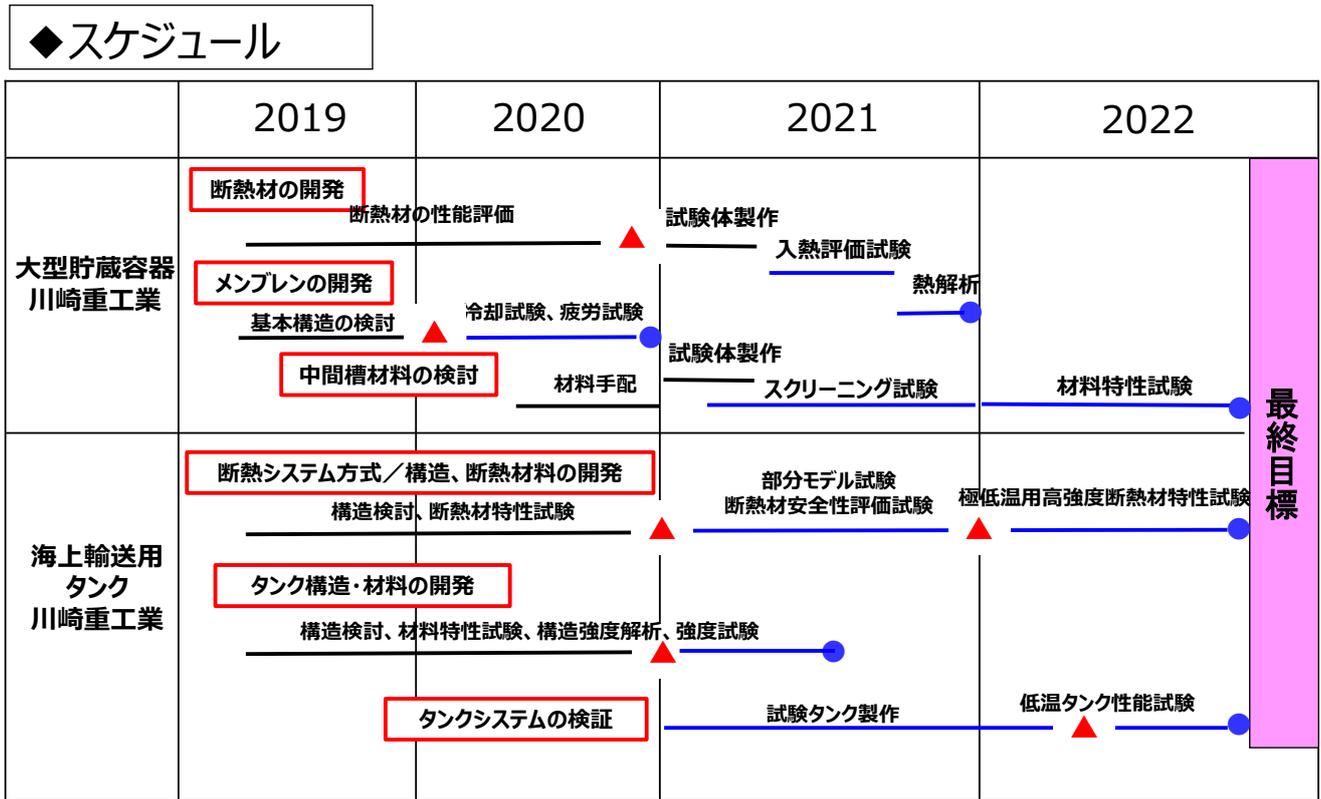
- ・断熱、構造強度、材料、配管との接続方法に関する各種特性データ取得を完了する。
- ・部分モデル試験を実施して、断熱構造の基本仕様を決定する。

オ) タンクシステムの検証

- ・試験タンクを製作し、製作法を確定させる。また、低温性能試験を実施して、強度および断熱性能を検証する。
- ・強度/熱流動解析結果を試験結果と合わせこみを行うことで、解析モデルを構築して、設計技術を取得する。また、大型タンクの詳細仕様を確定する。



3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

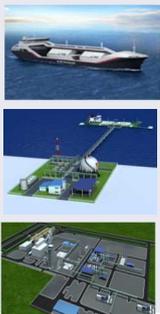


4. 実用化・事業化の見通しについて

- **本プロジェクトの成果により、大量の水素を国際輸送することが可能となり、水素社会において日本の技術が国際競争力を獲得できる。**
- **大規模水素サプライチェーンの成立により、海外で製造した安価な水素を日本に大量輸送し、発電設備への水素供給が可能となり、日本の温暖化ガス削減に貢献する。**



4. 実用化・事業化の見通しについて

年	～2025年	2030年	2040年	2050年
想定フェーズ	実証試験	商用開始	40隻就航	80隻就航
水素輸送量		22.5万吨/年	450万吨/年	900万吨/年
発電容量		650MW	13,000MW	26,000MW
日本の総発電量に占める割合	技術・社会実証	0.5%	10%	20%
CO ₂ 削減量		300万吨	6千万トン	1.2億トン
イメージ		770t/day 水素 	15,400t/day 水素 	30,800t/day 水素 

19 / 57

4. 実用化・事業化の見通しについて

①大型輸送・貯蔵技術の開発

a)大型貯蔵容器

- 商用規模で要求される、数万m³級の液化水素タンクの開発を行っている企業は、現在のところ確認されていない。
- 本プロジェクトの開発成果と、実証事業で培った液化水素の荷役技術、LNGタンクで培った設計・製造技術を駆使して、競合他社より技術的に優位に立ち、商用規模の実用化を進められる。
- 商用規模の実証により、性能を検証し、事業化に結び付ける。

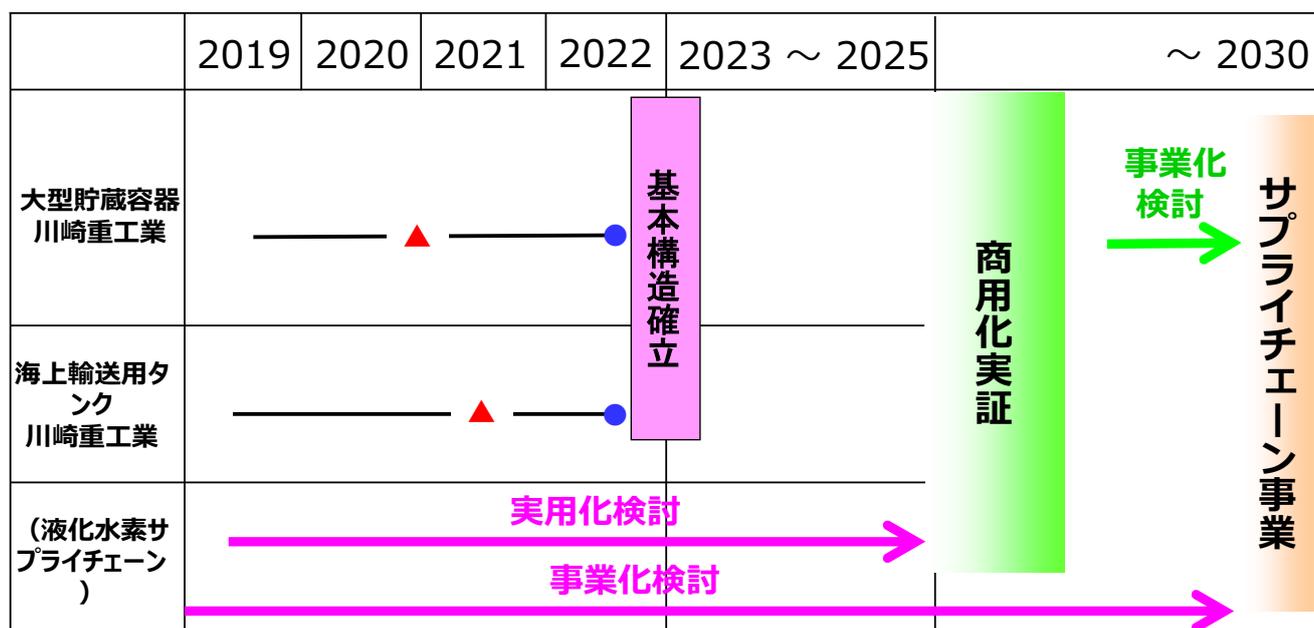
b)海上輸送用大型タンク

- 韓国では、コンセプト船（25,000m³×2タンク）を発表している。
- LNG運搬船と同等の大量輸送を実現する大型液化水素運搬船（160,000m³級）の開発は、日本が先行している。
- 大型液化水素運搬船の安全性に関する国際規則（IGC- Code）に対応するため、国際海事機関（IMO）への対応方針を日本海事協会（NK）、国交省、日本船舶技術研究協会などと連携し、協議を開始している。

20 / 57

4. 実用化・事業化の見通しについて

①大型輸送・貯蔵技術の開発



21 / 57

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

②商用ローディングアームの開発

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
a)大口径緊急離脱機構の開発	理論外部流出量が125ℓ以下の緊急離脱機構の開発における試作機の製作	現状では理論外部流出量は10ℓ以下の見込みで、試作機を製作中	△ (2021/2)	熱応力解析で変位が過大な箇所があるため、ガイド部品を追加し再解析を実施中。 2021~2022年にかけてJAXAで試験を行う
b)大口径船陸継手の開発	重量が1ton以下で操作容易な船陸継手の開発における試作機の製作	重量は約0.5ton以下になる構造を検討した	△ (2021/2)	シール性を確保するために接触面の平行が維持されるか熱応力解析で検証する
c)鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発	メンテナンス頻度が1年に1回で済む程度の真空度を確保する試作機の製作	以下3点を製作中 ア)吸着剤追加 イ)改良型真空測定装置の追加 ウ)清浄度の高いベローズの採用	△ (2021/2)	2020年度で部品製作、2021年度に真空引実施、2022年度にLH2による試験を行う

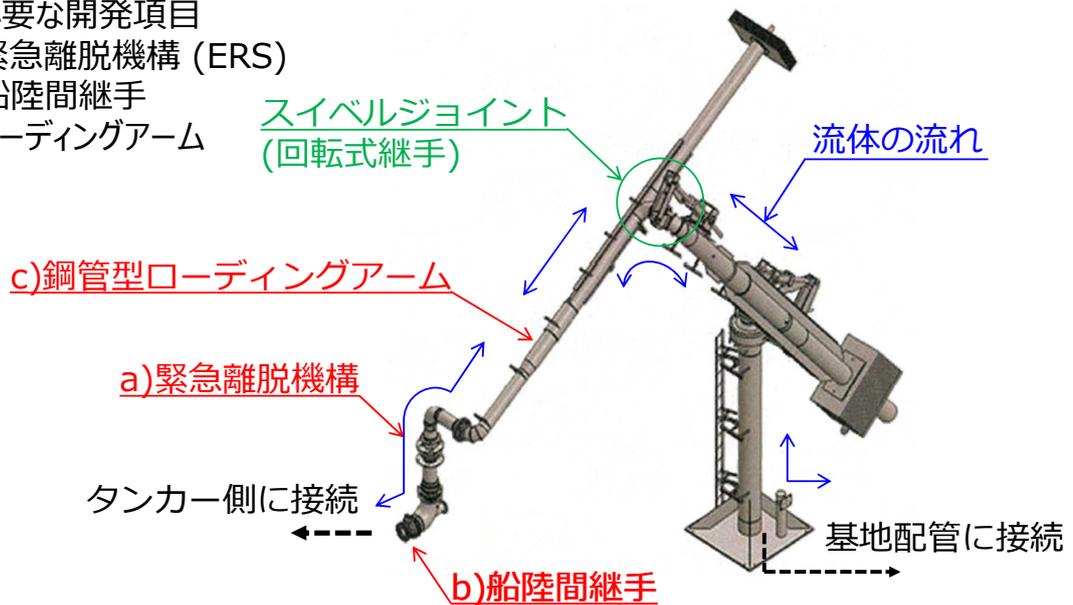
◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

22 / 57

②商用ローディングアームの開発

商用化に必要な開発項目

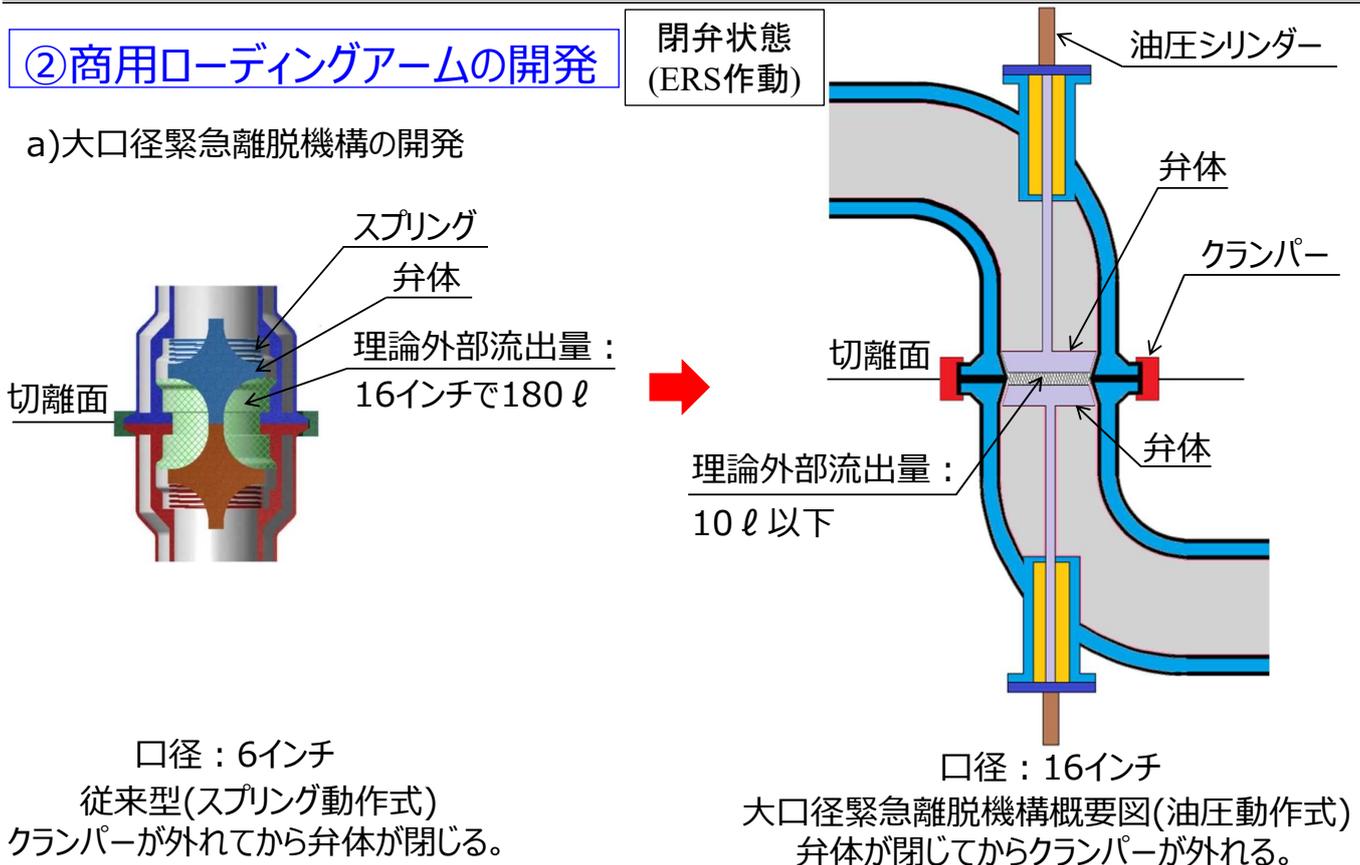
- a) 大口径緊急離脱機構 (ERS)
- b) 大口径船陸間継手
- c) 鋼管型ローディングアーム



商用ローディングアームの開発により、大規模な液化水素の荷役が実現可能となる。

②商用ローディングアームの開発

a) 大口径緊急離脱機構の開発



口径：6インチ

従来型(スプリング動作式)

クランパーが外れてから弁体が閉じる。

口径：16インチ

大口徑緊急離脱機構概要図(油圧動作式)
弁体が閉じてからクランパーが外れる。

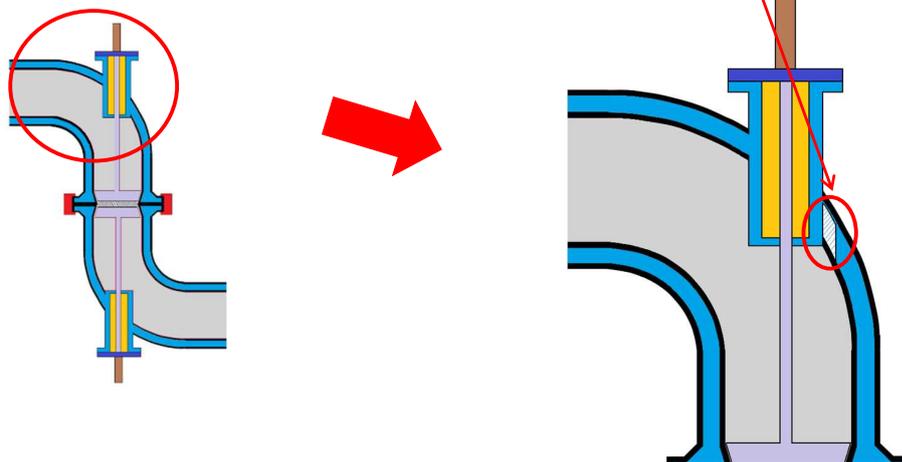
②商用ローディングアームの開発

解析結果について

a)大口径緊急離脱機構の開発

従来構造のラジアルガイドではモーメントに耐えられなかった。

解決策として内圧荷重を受けるためサポートを追加



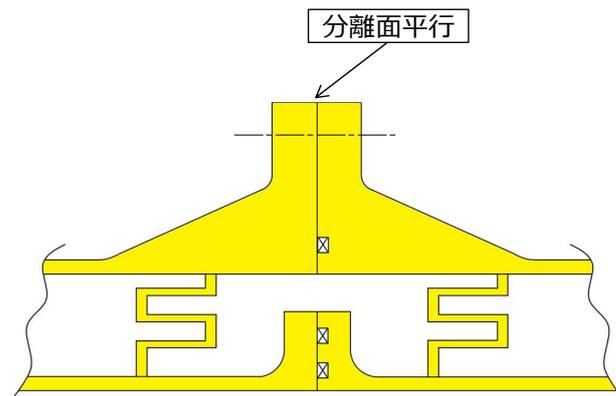
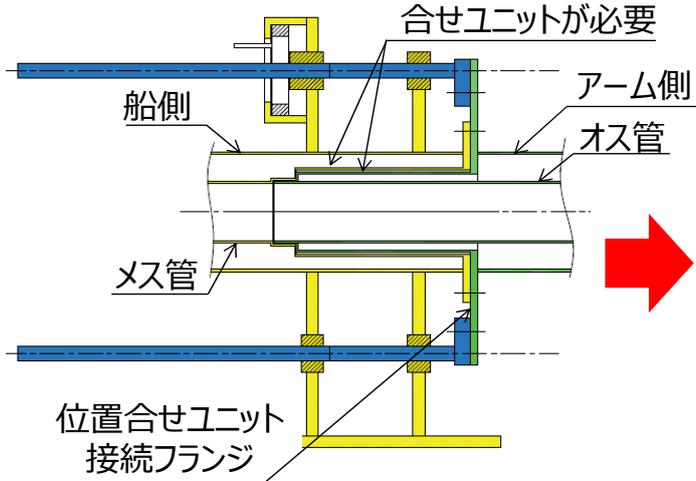
改良案

②商用ローディングアームの開発

b)大口径船陸継手の開発

かん合部がある為位置合せユニットが必要

・接続と分離を容易にする為に接続面をフラットにした。



従来形船陸継手
(16inchで約10ton)

新規開発した船陸継手
(約0.5ton)

位置合せユニットが不要となり、位置合せユニット接続フランジが不要となり、この為重量を約0.5ton以下に抑えることが出来た。

②商用ローディングアームの開発

	2019年度	2020年度	計
論文(査読付き)	0	0	0件
研究発表・講演	0	0	0件
受賞実績	0	0	0件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0件
展示会への出展	0	0	0件
特許出願	0	0	0件

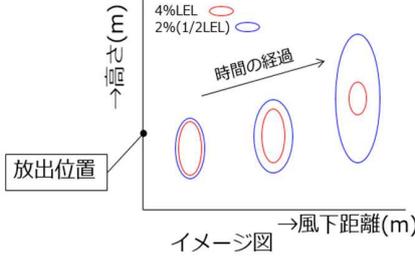
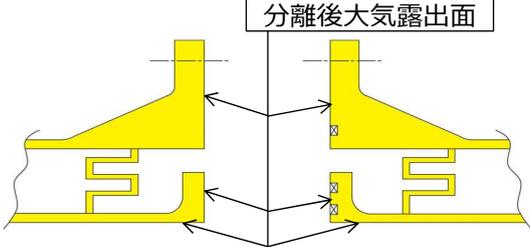
※2020年7月末現在

②商用ローディングアームの開発

開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
a) 大口径緊急離脱機構	試作機製作中	試作機を用いて、JAXAでLH2の試験を行い、切離時の外部水素ガスセンサによる測定値から安全性を確認する	設計、製作が予定とおり進めば達成可能
b)大口径船陸継手	試作機製作中	試作機を用いて、JAXAでLH2の試験を行い、安全に分離が出来る昇温特性を把握する	設計、製作が予定とおり進めば達成可能
c)鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発	真空保持対策を実施中	真空劣化度を測定しながら、現地に据付を行い、LH2での低温実証、真空度保持状態を確認する。	現在予定通り進捗しており、達成可能の見通し

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

②商用ローディングアームの開発

開発項目	2021～2022年度の実施内容	
a) 大口径緊急離脱機構	<p>LH2による切離試験、低温シートリーク量確認試験を行う。</p> <p>切離試験では、緊急離脱機構の周囲に配置した水素ガスセンサで水素ガス濃度を測定し、安全性を確認する。(イメージ図)</p> <p>安全な荷役技術の確立につながる。</p>	
b)大口径船陸継手	<p>LH2による低温保持後、安全に分離を行う為の昇温特性を定量的に把握することを目的とした試験を行う。(荷役終了からの時間、配管加温ガス流量外気温を変動要因とする)</p>	
c)鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発	<p>真空引を行い、真空性能を検証する。</p> <p>鋼管ローディングアームを据え付け、液化水素を用いた耐低温実証、表面の着水状況、スィベルジョイントからのリークの状況を確認し、機器の健全性を確認する。</p>	

4. 実用化・事業化の見通しについて

②商用ローディングアームの開発

市場規模 (現状と将来見通し) / 産業創出効果
 市場規模 / 提案者のシェア

2030年度 8基 100%

市場規模算出の根拠：2017年閣議決定された水素基本戦略に記載の「2030年頃の商用化」に向けて、2025年までに商用ローディングアームの設計完了を目指し、ローディングアームは2030年に必要と予想し、市場規模を算出した。

4. 実用化・事業化の見通しについて

②商用ローディングアームの開発

製品イメージ：現状のLNG用ローディングアームと類似構造であり、市場に受け入れられやすい

競合技術に対する優位性：競合技術としてはフレキシブルホースがあるが大口径LH2用フレキシブルホースは実用化されておらず、また製品化は困難と思われるため、鋼管型ローディングアームの優位性は高い。

量産化技術確立の見通し：一品生産であるため、量産化技術は不要。

- 実用化に対する課題と今後の方針：
- a)大口径緊急離脱装置・・・ローディングアーム設計時に外部荷重を再チェックする。
 - b)大口径船陸継手・・・ローディングアーム設計時に外部荷重を再チェックする。
 - c)鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発・・・真空性能を検証しながら、液化水素を用いた耐低温実証、表面着氷状況、スバルジョイントからのリーク状況などを確認し、機器の健全性を確認する。

4. 実用化・事業化の見通しについて

②商用ローディングアームの開発

	2020	2021	2022	2023	2024	2025
大口径緊急離脱装置						
大口径船陸継手						
鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発						

▲：基本原理確認 ●：基本技術確立

4. 実用化・事業化の見通しについて

②商用ローディングアームの開発

全体概略工程

	2019	2020	2021	2022
大口径緊急離脱装置	← 構造検討 →	← 熱応力解析 → ← 試作機製作 →	← 試験及び試験結果による改造 →	← 試験及び試験結果による改造 →
大口径船陸継手	← 構造検討 →	← 熱応力解析 → ← 試作機製作 →	← 試験及び試験結果による改造 →	← 試験及び試験結果による改造 →
鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発	← 真空度保持方法検討 →	← 試作機製作 →	← 真空引及び真空度劣化度検証 →	← 据付 → ← 調整試運転 → ← 実証 →

中間目標

最終目標

33 / 57

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

③低温水素ガス圧縮機の開発 1/2

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
a) 液空生成に対し安全性を確保する構造	外表面に液体空気が発生せず、メンテナンス可能な構造の考案	・真空断熱継手等を採用し、解析にて表面が液空温度(-183℃)以上であることを確認。	○	・安全性の実証のため、試作機を製作し、JAXAで実ガス試験を行う。
b) シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材	・窒素シールガスが中間筒内にて液化しない構造を考案する。	・中間筒・断熱材を追加することで、構造成立性を解析にて確認した。	○	・軸シール構造の妥当性の実証のため、JAXAで試作機の実ガス試験を行う。
	・商用での連続使用を考慮した高寿命およびシール性に優れた摺動部材の目途付けを行う。	・低温水素ガス雰囲気での摺動部材の摩耗試験を実施し、候補材料を選定した上で、基本構造・構成を決定した。	○	・実機ベースでの摺動特性の把握のため、JAXAでの試作機の実ガス試験にて摺動特性とガスシール性を確認する。

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

34 / 57

③低温水素ガス圧縮機の開発 2/2

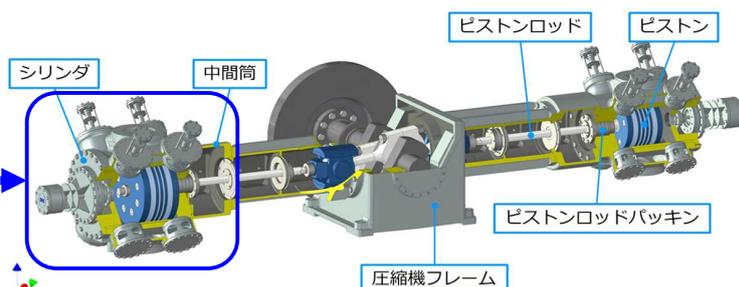
開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
c) 商用機の設計技術および性能評価技術の開発	・試作機の現地試運転の計測・性能評価用の試験装置の基本計画が完了	・試験目的に見合った低温水素ガス供給設備・基礎・建屋の基本設計を完了して施工業者を決定した。	△ (2021/2)	・現地試運転に必要な高圧ガス設備の認可を2020年度中に取得する(JAXA)。
	・商用機の精度ある性能予測のため、1D CAEを用いた低温水素ガス試作機(1段)モデルを構築する。	・LNGモデルでの改良と真空容器の断熱効果を反映した上で、試作機の1D CAEモデルを構築した。	○	・LNG多段ベースでの中間段吐出温度の精度向上と、試作機試験結果で得られた知見を反映し、商用機の設計技術を確立する。

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

③低温水素ガス圧縮機の開発 1/4

- LNG基地において貯蔵タンクからの蒸発ガス(BOG)を圧縮して発電設備に供給する場合、大容量・高圧で負荷変動に対応できる往復動式圧縮機が主に適用されているが、液化水素の蒸発ガス温度(-240℃程度)に対応できる当該形式の圧縮機は現状存在しない。
- プレヒーティングすることなく、液化水素の蒸発ガスを低温のまま、高密度なガスを吸込むことができれば、常温圧縮機よりも圧倒的に消費電力を小さく抑えることが出来る。
- 従って、本事業の実施により、要素技術、運用技術を開発し、その成果を生かして、世界初となる大容量・高圧の低温水素ガス圧縮機を開発することは、液化水素サプライチェーン全体の競争優位性・運用コスト削減に大きく貢献するものとする。

本事業で-240℃程度の低温水素ガスを直接吸入可能とすべくシリンダ廻りの要素技術を開発

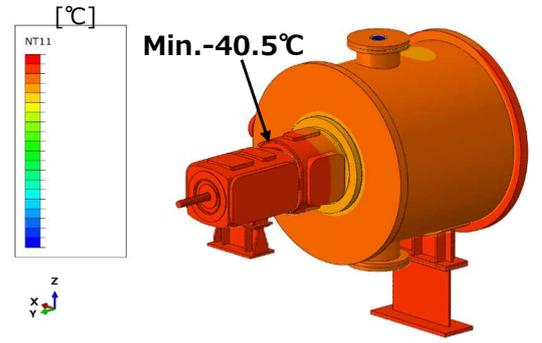


LNG BOG用往復動式圧縮機 全体構造図

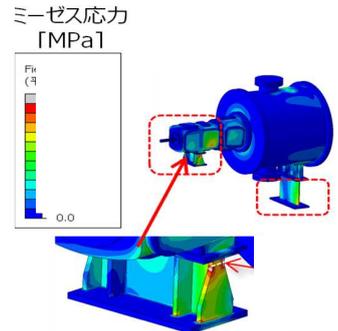
3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

③低温水素ガス圧縮機の開発 2/4

開発項目	成果	成果の意義
a) 液空生成に対し安全性を確保する構造	<ul style="list-style-type: none"> ・真空断熱継手等を採用し、ガスシール性も改良した形状による伝熱解析にて真空容器表面が液空温度(-183℃)以上であることを確認し、基本設計を完了した。 ・熱応力解析および振動解析にてサポートや容器の各部の応力が各部材の疲労限以下であることを確認し、基本設計を完了した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・プレヒーティングすることなく、-240℃程度の低温ガスを吸い込み、圧縮機外部に液空を生成させない安全性の高い、真空容器付きシリンダの実現性の目途を付けた。



真空容器付きシリンダの伝熱解析結果

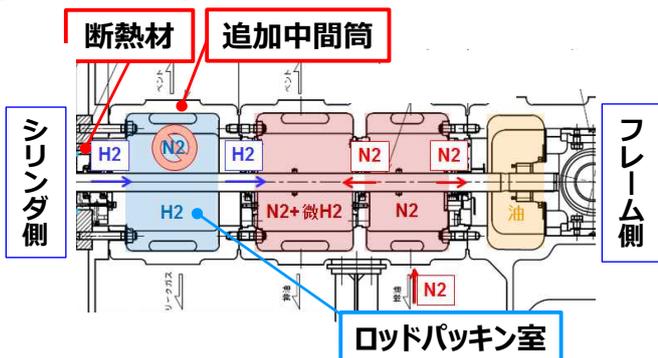


熱応力・振動解析結果

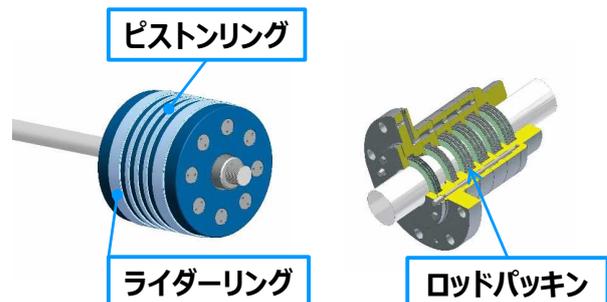
3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③低温水素ガス圧縮機の開発 3/4

開発項目	成果	成果の意義
b) シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材	<ul style="list-style-type: none"> ・中間筒・断熱材を追加することで、窒素ガスにて軸シール構造が成立することを伝熱解析にて確認した。 ・低温水素ガス雰囲気中で摺動部材の摩耗試験を実施し、候補材料を選定した上で、基本構造・構成を決定した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・商用ステージにおいて、希少なHeガスを使用することなく、プラント用窒素ガスによる往復動圧縮機のピストンロッド軸シール構造の実現性、および高寿命な摺動部材の候補材の目途を付けた。



低温水素ガス用軸シール構造



往復動摺動部材

③低温水素ガス圧縮機の開発 4/4

開発項目	成果	成果の意義
c) 商用機の設計技術および性能評価技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・試験目的に見合った低温水素ガス供給設備・基礎・建屋の基本設計を完了して施工業者を決定した。 ・LNG多段モデルの改良では中間段吐出温度を除き、流量・最終吐出温度の誤差は大幅に改善した。 ・LNGモデルでの改良と真空容器の断熱効果を反映した上で、試作機の1D CAEモデルを構築した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・真空容器構造、軸シール構造の妥当性実証のための試作機用試験設備に目途を付けた。 ・現地試運転結果を設計技術にフィードバックするための性能評価技術、および1D CAEを用いた性能予測技術の確立への目途を付けた。

	2019	2020	計
特許出願 (うち外国出願)	0	0	0件
論文 (査読付き)	0	0	0件
研究発表・講演	0	0	0件
受賞実績	0	0	0件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0件
展示会への出展	0	0	0件

※2020年10月現在

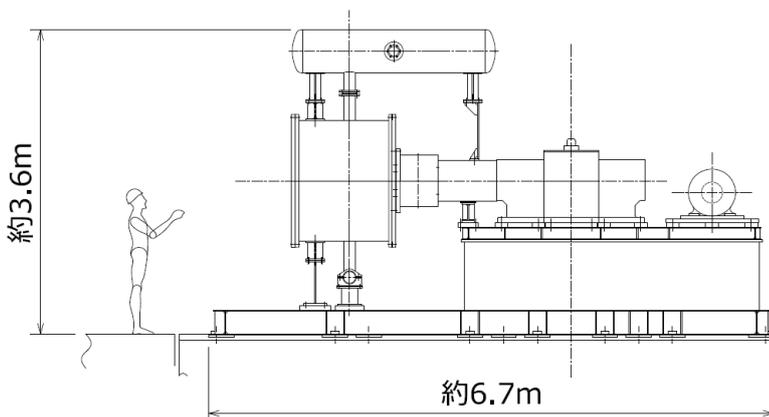
3. 研究開発成果について (4) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
a) 液空生成に対し安全性を確保する構造	<ul style="list-style-type: none"> 解析にて表面が液空温度(-183℃)以上であることを確認。 FEM解析にて疲労限以下であることを確認。 	<ul style="list-style-type: none"> 試作機の圧縮機外表面にて液空が発生しないこと。 運転中にサポートや容器等の破損等がないこと。 	<ul style="list-style-type: none"> 試作機にて実証することにより、目標達成可能な見通しである。
b) シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材	<ul style="list-style-type: none"> 新しい軸シール構造の成立性を解析にて確認。 摩耗試験結果から摺動部材の候補材を選定した。 	<ul style="list-style-type: none"> 運転中に窒素シールガスの液化がなく、ロッドパッキン等に異常摩耗が無いこと。 商用機を見据えた摺動部材の絞込み完了。 	<ul style="list-style-type: none"> 試作機にて実証することにより、目標達成可能な見通しである。
c) 商用機的设计技術および性能評価技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 試作機(1段)の1D CAEモデルを構築した。 試験目的に見合った試験設備の基本計画が完了した。 	<ul style="list-style-type: none"> 1D CAEを用いた商用機の吐出温度・性能予測技術の確立。 低温水素ガス温度域での運転データ計測技術・性能評価技術の確立。 	<ul style="list-style-type: none"> CAEモデルの改良、試作機の実ガス運転を通して、目標達成可能な見通しである。

3. 研究開発成果について (4) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

試作機実証試験

- 試作機の実ガス運転を実施し、各開発項目の妥当性を確認する。
- 吸入温度をパラメータとして試作機の運転データを取得・性能評価を実施
- 試作機の実ガス運転結果をフィードバックし、低温水素ガスの1D CAE多段モデルを構築

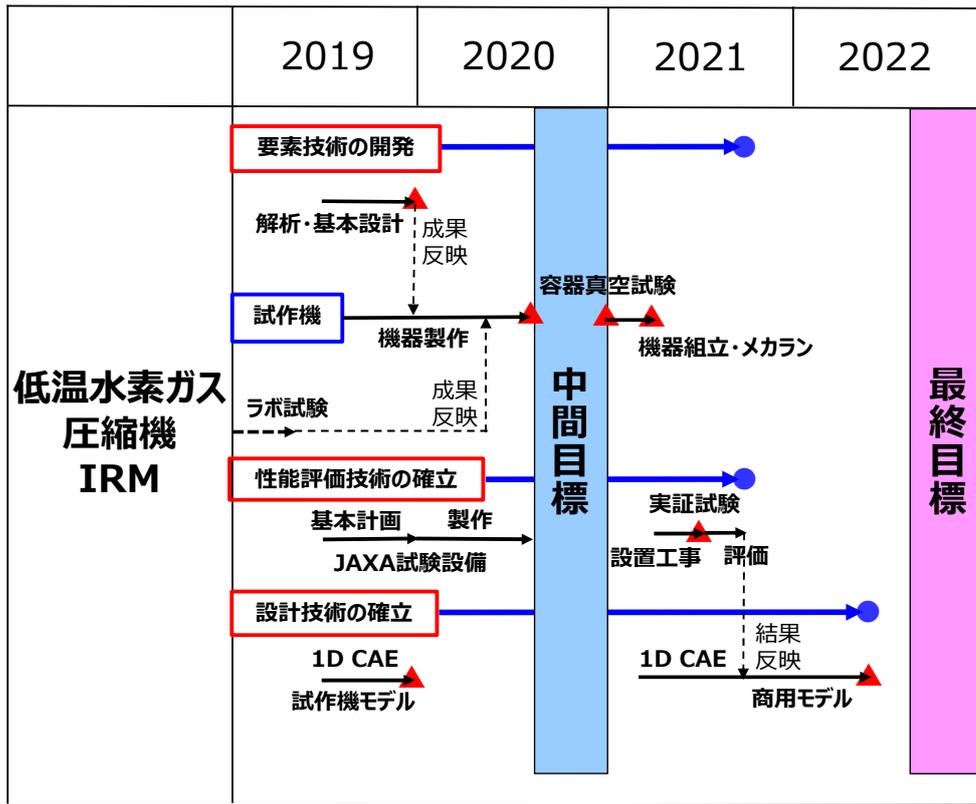


低温水素ガス圧縮機 試作機外形図

運転時確認項目

- ① 外表面での液空発生の有無
- ② 異常な振動、破損がないこと
- ③ 窒素ガスの液化がないこと
- ④ ガスシール性
(ロッドパッキンリーク量計測)
- ⑤ 各部品に破損がないこと
- ⑥ 摺動部材に異常摩耗がないこと

3. 研究開発成果について (4) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)



4. 実用化・事業化の見通しについて

(1) 市場ニーズに即した圧縮機開発に目途がついている

低温水素ガス圧縮機に対する市場ニーズ

- ☞ **高い安全性**: 液体酸素発生に対する安全対策が講じられている。
- ☞ **信頼性**: 長期運用に対するガスシール性の確保、適切な摺動部材の採用がなされている。
- ☞ **省エネ・低コスト**: 低温ガスを直接吸入することで、圧縮機の小型化・消費電力抑制が実現出来ること。

- a) 液空生成に対し安全性を確保する構造
- b) シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材
- c) 商用機の設計技術および性能評価技術の開発

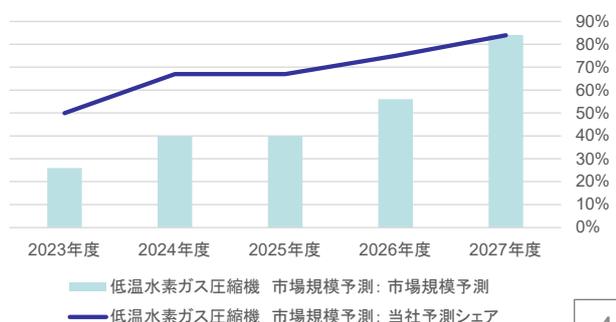
市場ニーズに即した低温水素ガス圧縮機
実用化に必要な開発要素に目途

(2) 市場予測/シェア予測

販売先:

- ☞ 液化水素基地の設計・建設を行うEPC企業
- ☞ 液化水素基地を計画する電力・ガス会社

低温水素ガス圧縮機市場規模とシェア予測



4. 実用化・事業化の見通しについて

(3) 競合技術に対する優位性と効果

👉 低温水素ガスを直接吸入する圧縮機は現存せず、本開発による実用化自体が優位性

低温水素ガス圧縮機は現状代替する製品が存在しないが、吸入ガスを0℃までプレヒートし吸入する常温圧縮機を設置することが唯一の脅威となる。

Case	低温吸入	常温吸入
流量	1,500kg/h	1,500kg/h
吸入圧力	10kPaG	10kPaG
吐出圧力	3MPaG	3MPaG
圧縮機吸入温度	-245℃	0℃
主電動機定格比率	1	7

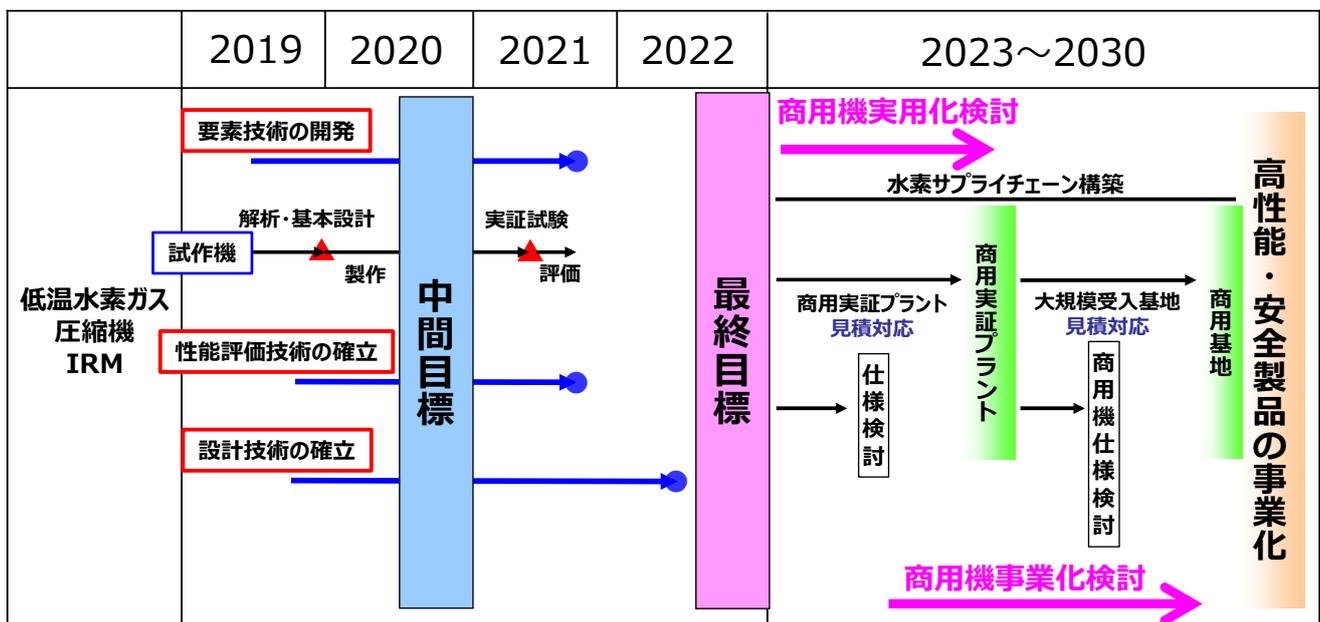
常温吸入の場合は低温吸入と比較すると圧縮機が大型化する。その主電動機出力は7倍程度と想定されるため、ランニングコストも約7倍になる。

低温水素ガスを直接吸入出来る圧縮機を採用することでランニングコストメリットを得ることが出来る。

👉 常温圧縮機の脅威に対する優位性

4. 実用化・事業化の見通しについて

- 本事業にて、試作機による実証試験を軸に低温水素ガス圧縮機の各種基本技術の確立を図り、2020年代半ばまでに液化水素サプライチェーンの商用実証化、2030年頃の商用化に合わせ、実用化・事業化をしていく見通し。



▲ : PJマイルストーン ● : 基本技術確立

④液化水素昇圧ポンプの開発

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
a) 軸スラストバランス機構の検討	バランス機構 基本構造 の設計	基本構造 設計完了	○	試作機試験での 機能検証 (2022年度予定)
b) ポンプ材料の 選定	・水素/低温脆化を 考慮した材料選定 ・材料特性の把握	構造部品用 材料の 評価/選定完了	△ (2020/12)	ポンプ設計の為の 材料特性の 把握
c) ポンプ性能/機 能の評価・分析	小型試作機の設計	基本設計完了	△ (2021/2)	詳細設計 設計評価
	液化水素試験設備 の製作	製作中	△ (2021/1)	試験設備の製作

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み(達成時期)、×未達

④液化水素昇圧ポンプの開発

a) 軸スラストバランス機構

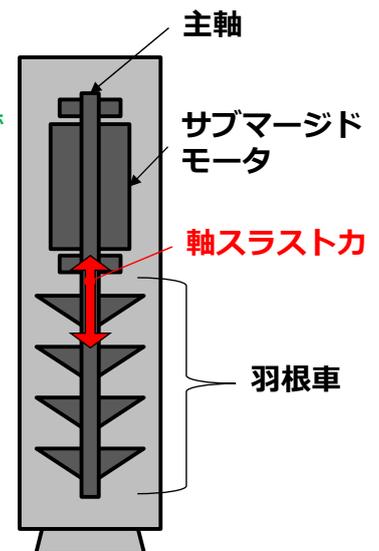
目標 ポンプ定格流量100%に対して、0~120%範囲で
回転体が浮上するバランス機構の基本設計完了

成果 新型基本構造を設計 (特許公開前の為、詳細は割愛)

- ・商用機および小型試作機の仕様において、
計算上、定格流量100%に対し0~120%の範囲で
軸スラスト力がバランス。
- ・本バランス機構は羽根車の昇圧圧力を用いて回転体に
上向き力を発生させるもの。

成果の意義

本バランス機構は液化水素遠心ポンプ全般に適用可能



LH2昇圧ポンプ概念図

ポンプ回転体には、
上下方向に
軸スラスト力が発生
⇒バランスさせる必要がある

④液化水素昇圧ポンプの開発

b) ポンプ材料の選定

目標 液体水素環境下において使用可能な材料を選定する

成果 材料試験により材料特性を評価、ポンプ材料を選定

- ・対象材料：鋳物A、B、C
- ・試験条件：下表

表 試験条件

	試験環境 温度/雰囲気	水素脆化の評価	
		水素チャージ	
低温脆化 の評価	室温 / 大気 (RT)	無	有
	77K / 液体窒素	無	有
	4K / 液体ヘリウム	無	有

- ・試験結果：
 - 鋳物A：低温/水素脆化無し ⇒ LH2ポンプに使用可能
 - 鋳物B：低温/水素脆化するが、その脆化量から使用可能と判断※
- ※商用機と類似仕様の液化ガスポンプの使用実績条件とそのときの材料特性を基準とした

成果の意義 材料試験結果は、**液化水素機器全般の材料選定根拠**となる

今後の予定 ポンプ設計の為の材料特性の把握(文献調査と材料試験)

49 / 57

④液化水素昇圧ポンプの開発

c) 液化水素でのポンプ性能/機能確認

目標 小型試作機の設計および液化水素試験設備の製作

※小型試作機：羽根車径が商用機の約2/3のサイズ

成果

- ・小型試作機の**基本設計完了**、性能/機能詳細評価中
- ・液化水素運転試験内容を計画
- ・運転試験内容に基づき試験設備を設計し、製作中(JAXA)

成果の意義

試作機試験にて性能/機能の評価し、液化水素ポンプ設計技術を確立することで、水素発電用液化水素ポンプの上市が可能となり、**水素普及に寄与**する。

今後の予定

- ・試作機詳細設計と評価 及び 試験設備製作
- ・2021年度以降、試作機製作と運転試験、評価

50 / 57

④液化水素昇圧ポンプの開発

	2019	2020	計
論文(査読付き)	0	0	0件
研究発表・講演	0	0	0件
受賞実績	0	0	0件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0件
展示会への出展	0	0	0件

※2020年7月末現在

○軸スラストバランス機構に関する特許を出願

	2019	2020	計
特許出願(うち外国出願)	1 (0)	0	1 件

※2020年7月末現在

51 / 57

④液化水素昇圧ポンプの開発

開発項目	現 状	最終目標 (2022年度末)	達成 見通し
a) 軸スラストバランス機構の検討	基本構造設計完了	軸スラストバランス機構の確立	試作機による性能/機能試験による評価を行うことで達成を見込む
b) ポンプ材料の選定	構造部品の評価/選定完了	ポンプ材料の確立	
c) 性能/機能確認	・試作機の基本設計完了 ・試験設備製作中	液化水素昇圧ポンプ設計技術の確立	

52 / 57

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

④液化水素昇圧ポンプの開発

2021~2022年度の実施事項

a) 軸スラストバランス機構

2022年：小型試作機運転試験によるバランス機構の機能検証
 ⇒ 液化水素ポンプ用軸スラストバランス機構の確立

b) ポンプ材料の選定

2022年：小型試作機運転試験によるポンプ材料の健全性確認
 ⇒ 液化水素ポンプ用材料の確立

c) 液化水素でのポンプ性能/機能確認

2021年：小型試作機の製作
 2022年：小型試作機運転試験によるポンプ性能/機能の評価、分析
 ⇒ 商用機仕様を実現し得る液化水素昇圧ポンプ設計技術の確立

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

④液化水素昇圧ポンプの開発

開発スケジュール

中項目	2019	2020	2021(参考)	2022(参考)
a) 軸スラストバランス機構の検討	基本構造設計完了			
b) ポンプ材料の選定	構造部品材料の評価/選定完了			
		材料特性把握のため試験中		
c) 液化水素でのポンプ性能の確認	小型試作機設計		小型試作機製作	
	基本設計完了 評価中	詳細設計		小型試作機試験
	試験設備設計/製作			
	試験内容決定	設備設計/製作中		設計技術確立

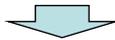
④液化水素昇圧ポンプの開発

◆実用化・事業化の見通し

○技術開発

‘19～‘20年度 要素技術開発、小型試作機的设计

‘21～‘22年度 小型試作機製作、運転試験&評価



液化水素昇圧ポンプの設計技術確立<達成見込み>

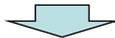
○実用化、事業化検討

水素基本戦略の2030年頃の大規模水素発電の商用チェーン完成のために、水素発電用ポンプとしての具体的な仕様検討と設計を行う。

実用化検討：2022年～2025年

事業化検討：2025年～2030年

また、世界的にも水素利用の取組みが加速しているため、継続的に市場調査を実施していく。



2030年 水素発電用昇圧ポンプの 製造・販売・アフターサービスの事業化

55 / 57

④液化水素昇圧ポンプの開発

◆優位性

○潜在的競合先：LNGポンプメーカー

⇒ 調査した限りにおいては、本開発の目標としている昇圧差圧レベルの液化水素用遠心ポンプの開発をしている競合先は見つかっていない。

○優位性

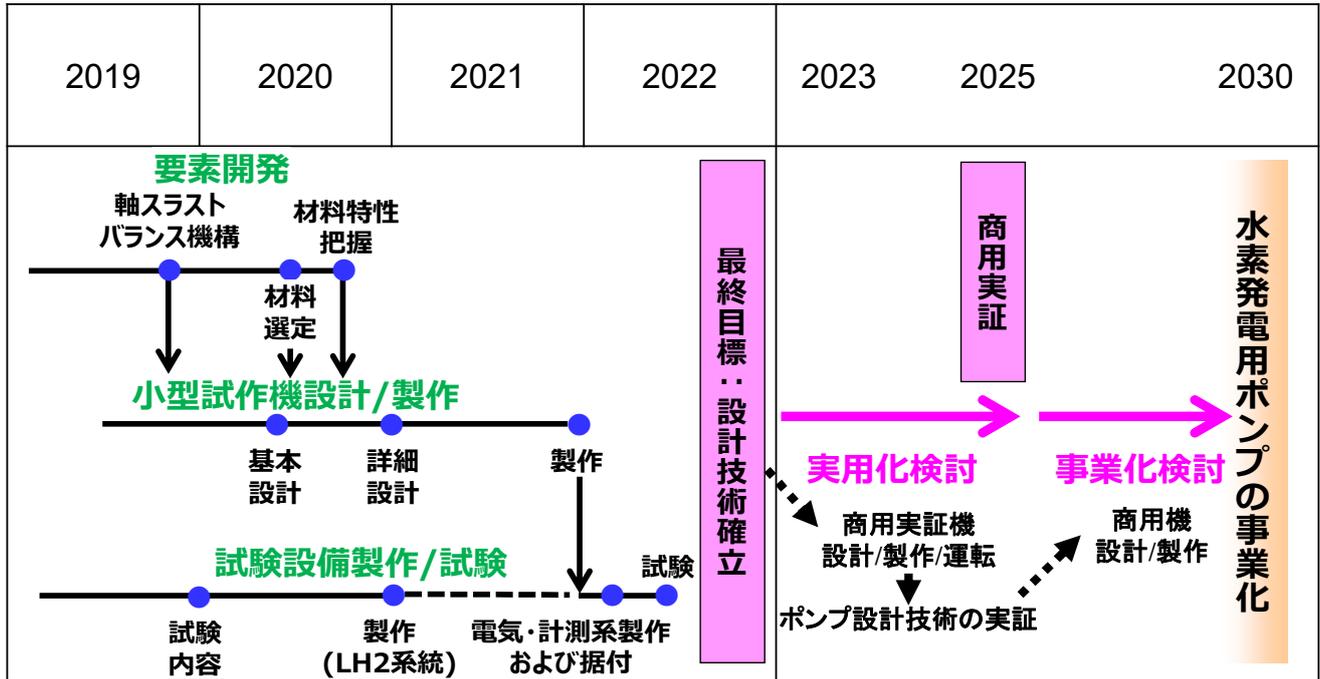
本事業における液化水素昇圧ポンプの設計、運転評価により得られる下記事項が競合に対して優位な点である。

- ・液化水素ポンプ用材料の極低温特性、水素特性および選定技術
- ・液化水素ポンプ用軸スラストバランス機構の設計技術
- ・液化水素昇圧ポンプの設計技術(構造、性能、機能)
- ・液化水素での運転実績と各種試験結果
- ・上記開発過程で得られるノウハウと知的財産

56 / 57

④ 液化水素昇圧ポンプの開発

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取り組み



● : マイルストーン

(Ⅱ-④)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素貯槽の大型化に関する研究」

助成先：トーヨーカネツ(株)

●成果あり（実施期間：2019年7月～2023年2月終了予定）

- ・真空排気システムの確立において、大型貯槽に適用可能な材料及びベーキング手法の見通しを得るとともに、真空排気シミュレーションの基本プログラムの構築及びその検証実験装置の基本仕様を決定した。
- ・内槽底部への入熱量算定手法の確立において、断熱性能測定装置の基本仕様を決定した。
- ・SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立において、十分は破壊靱性を有することを確認するとともに、水素脆化感受性は非常に低いことを確認した。

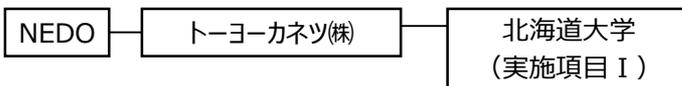
●背景/研究内容・目的

2030年頃の水素発電の商用化に向けた、安定的かつ大量な水素供給体制の構築に資する、大型液化水素貯槽の建設に必要な要素技術の開発を行う。
 これまで当社では、平底円筒型の大規模貯槽の断熱構造を東京工業大学と開発するとともに、内槽材料特性を研究してきた。実機建設に向けたさらなる課題として、「Ⅰ：真空排気システムの確立」、「Ⅱ：内槽底部への入熱量算定手法の確立」及び「Ⅲ：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立」があるため、本事業においてこれらを解決する。

●研究目標

実施項目	目標
Ⅰ：真空排気システムの確立	①候補材料のガス放出量の測定 ②ベーキング手法の確立 ③底部断熱構造側板の真空排気用孔径の決定
Ⅱ：内槽底部への入熱量算定手法の確立	断熱性能測定装置の詳細仕様を決定する。
Ⅲ：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立	①液化水素温度であっても十分な破壊靱性を有する溶接施工法を確立する。 ②脆化が最も起こりやすくなると言われている-70℃付近の水素脆化度を確認する。

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

実施項目	成果内容
Ⅰ：真空排気システムの確立	①候補材料のガス放出量を測定し、しきい値以下になることを確認した。 ②大型貯槽に適用可能なベーキング手法を決定した。 ③座屈応力解析により、孔径の最大値を決定した。真空排気シミュレーションの基本プログラムを構築するとともに、その検証実験装置の基本仕様を決定した。
Ⅱ：内槽底部への入熱量算定手法の確立	断熱性能測定装置の基本仕様を決定した。
Ⅲ：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立	①破壊靱性試験（J1C試験）を実施して、十分に破壊靱性を有することを確認した。 ②低歪速度引張試験（SSRT試験）を実施して、水素脆化感受性は非常に低いことを確認した。

●今後の課題

真空排気システムの確立において、ベーキング時のガス放出量の把握、ヒーター詳細仕様の決定、及びコスト算定を実施する。また、真空排気シミュレーションに適用するパラメータの詳細解析による取得、及びシミュレーション検証実験装置の製作・実験を実施する。

●実用化・事業化の見通し

当該製品は、水素・燃料電池戦略ロードマップにおけるターゲット『2030年頃の水素発電の商用化』に向け必須の製品であり、概ね技術的課題解決への道筋が見えていることから、事業化の可能性は十分に高いものと考えられる。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
Ⅰ	①大型の平底円筒貯槽に適用可能な材料の見通しを得た。 ②真空排気性を考慮した底部断熱構造設計確立への見通しを得た。	2021.2 達成予定
Ⅱ	断熱性能測定装置完成への見通しを得た	2021.2 達成予定
Ⅲ	SUS316Lの大型液化水素貯槽への適用を可能とする根拠を得た。	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
なし	なし	なし	なし

「水素社会構築技術開発事業／大規模水素工 エネルギー利用技術開発／液化水素貯槽の大型 化に関する研究開発」(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

トーヨーカネツ株式会社

2020年12月4日

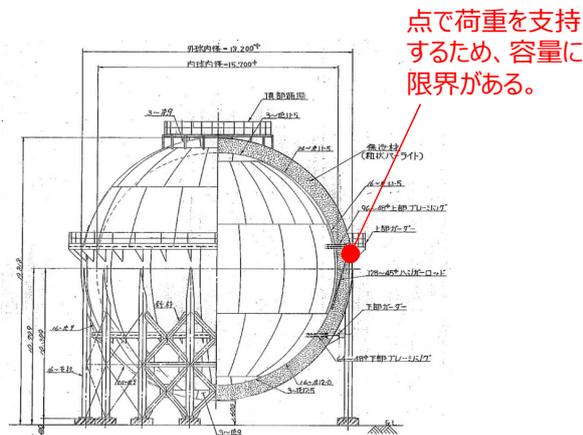
1/16

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

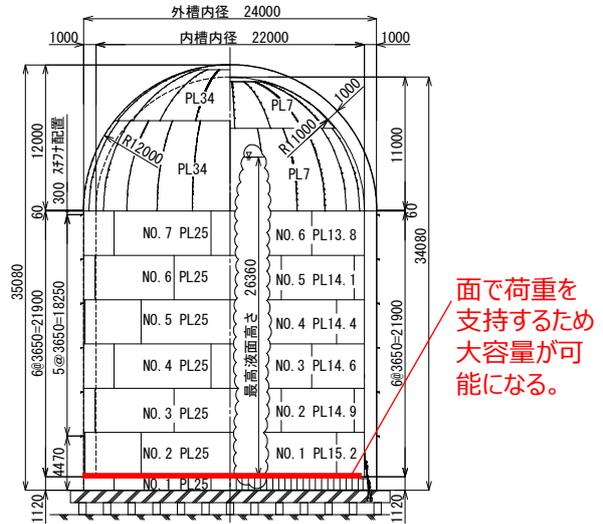
開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
Ⅰ：真空排気システムの確立	①貯槽内材料のガス放出量を把握する。	候補材料のガス放出量を測定し、しきい値以下になることを確認した。	△ (2021/2)	ベーキング時のガス放出量の減少効果を実験により把握する。
	②大型貯槽に適用可能なベーキング手法を確立する。	大型貯槽に適用可能なベーキング手法を決定した。		ヒーター詳細仕様の決定及びコスト算定をする。
	③底部断熱構造側板の真空排気用孔径を決定する。	座屈応力解析により、孔径の最大値を決定した。底部真空排気シミュレーションの基本プログラムを構築するとともに、その検証実験装置の基本仕様を決定した。		底部真空排気シミュレーションに適用するパラメータを詳細解析により取得する。シミュレーション検証実験装置の製作及び実験を実施する。
Ⅱ：内槽底部への入熱量算定手法の確立	断熱性能測定装置の詳細仕様を決定する。	断熱性能測定装置の基本仕様を決定した。	△ (2021/2)	断熱性能測定装置の詳細仕様を決定する。
Ⅲ：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立	①液化水素温度であっても十分な破壊靱性を有する溶接施工法を確立する。	破壊靱性試験(J1C試験)を実施して、十分に破壊靱性を有することを確認した。	○	特になし。
	②脆化が起こりやすくなるといわれている-70℃付近の水素脆化度を確認する。	低歪速度引張試験(SSRT試験)を実施して、水素脆化感受性が非常に低いことを確認した。		当社の溶接施工法によるSUS316Lの継手は、大型液化水素貯槽で適用可能である。

研究開発の目標

- ・ 2030年頃の水素発電の商用化に向けた、安定的かつ大量な水素供給体制の構築に資する、大型（5万m³）液化水素貯槽の建設実現を目標とする。
- ・ 貯槽の大容量化を実現するためには、従来の球形貯槽では構造上の限界があるため、平底円筒形貯槽の開発を実施する。



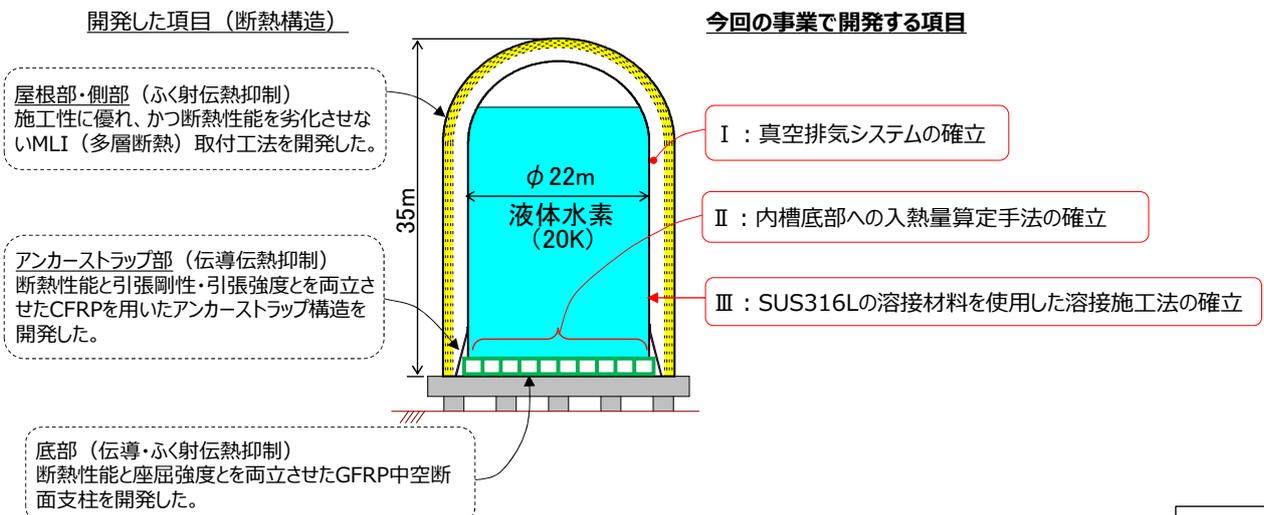
球形貯槽（小容量）



平底円筒形貯槽（大容量）

研究開発の内容

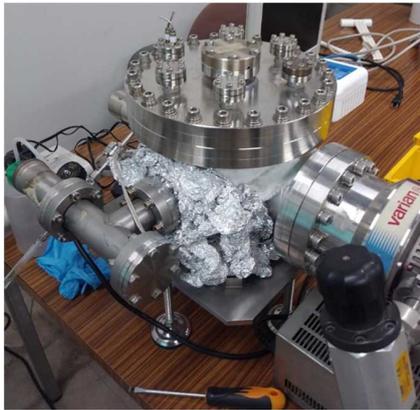
- ・ これまでに平底円筒形1万m³液体水素貯槽の断熱構造を東京工業大学と開発するとともに、内槽材料特性を研究してきた。
- ・ 実機建設に繋がる小型モデルタンクによる実証試験に向けて以下の課題を解決する。
 - I : 真空排気システムの確立
 - II : 内槽底部への入熱量算定手法の確立
 - III : SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立



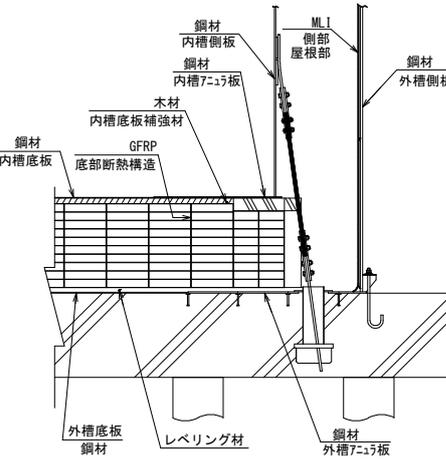
I : 真空排気システムの確立

①貯槽内材料のガス放出量の測定

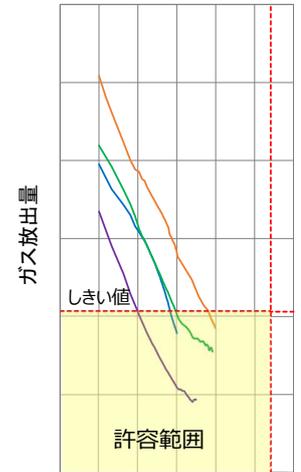
- a. 目標：真空排気時間を算定するため、貯槽内材料のガス放出量を把握する。
- b. 実施内容：鋼材、MLI、FRP、レベリング材、木材のガス放出量を測定する。
- c. 成果：候補材料のガス放出量を測定した結果、しきい値以下になることを確認できたことから、適用可能な材料の見通しを得た。



ガス放出量測定装置



貯槽内材料

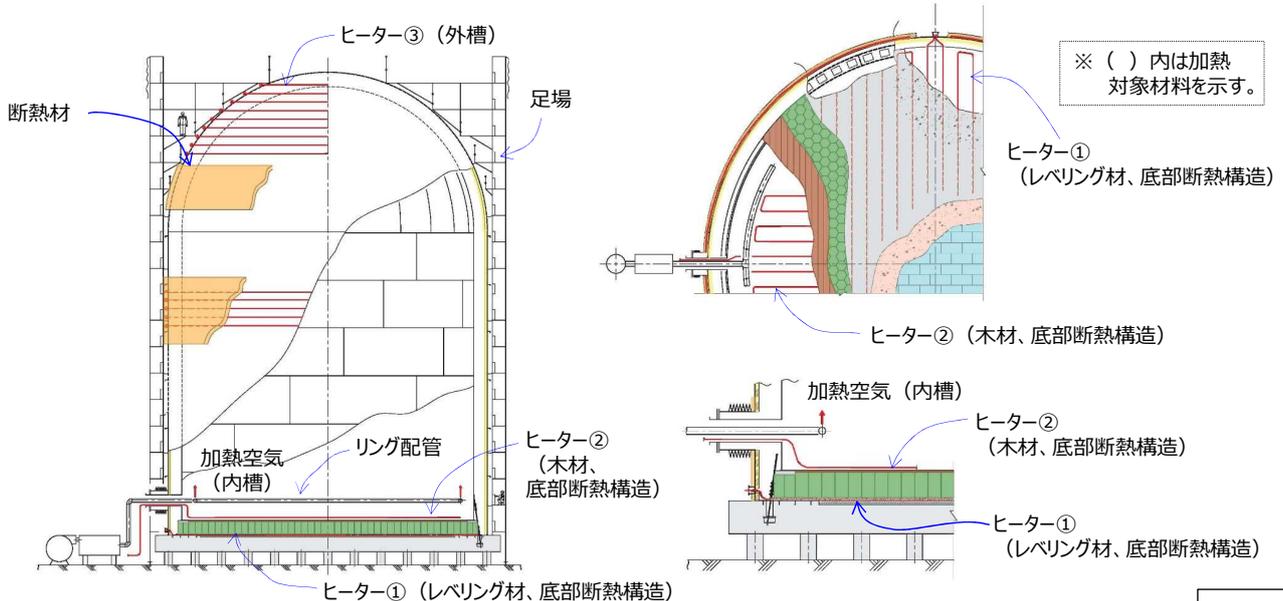


真空排気時間
ガス放出量測定結果例

I : 真空排気システムの確立

②ベーキング手法の確立

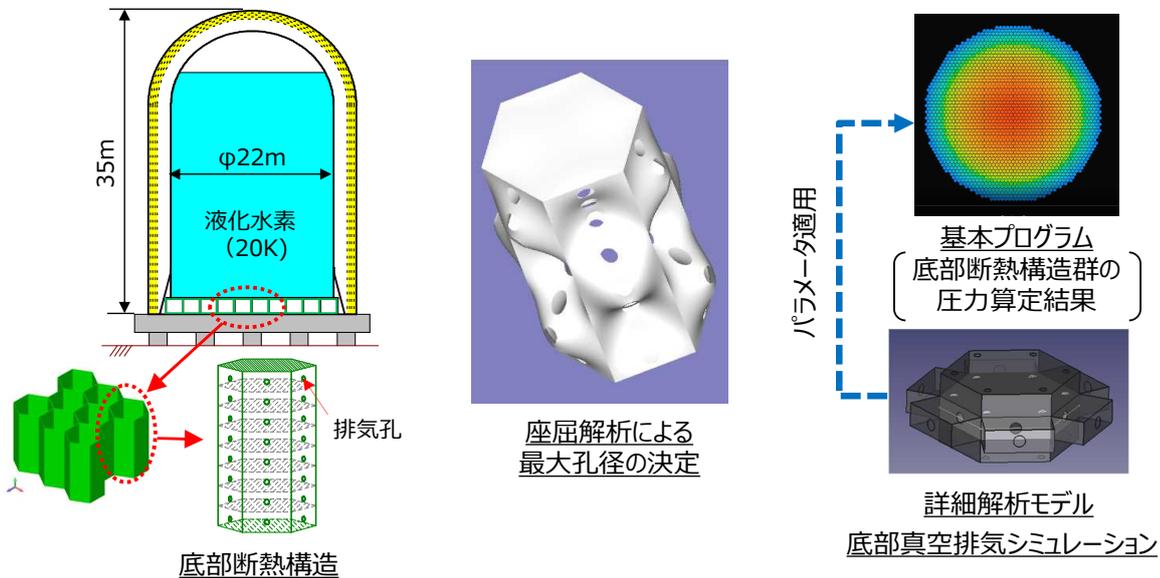
- a. 目標：短時間で目標真空度を得るため、大型貯槽に適用可能なベーキング手法を確立する。
- b. 実施内容：加熱方法の考案。必要温度の決定。ベーキング効果の確認（ガス放出量の測定）。
- c. 成果：大型貯槽に適用可能なベーキング手法を決定し、ヒーター詳細仕様（加熱温度）の決定及びコスト算定への見通しを得た。



I : 真空排気システムの確立

③底部断熱構造側板の真空排気用孔径の決定

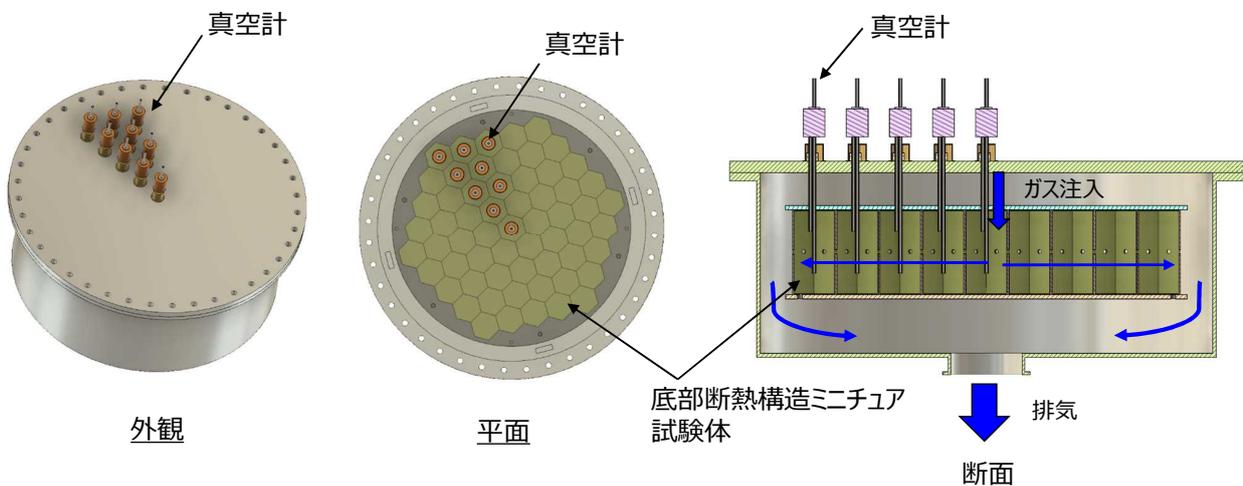
- a. 目標：強度及び断熱性能の低下を最小限にする真空排気用孔径を決定する。
- b. 実施内容：底部真空排気シミュレーションの構築及びその検証実験の実施
- c. 成果：座屈応力解析による最大孔径の決定、及び真空排気シミュレーションの基本プログラムの構築により、真空排気性を考慮した底部断熱構造設計確立への見通しを得た。



I : 真空排気システムの確立

③底部断熱構造側板の真空排気用孔径の決定

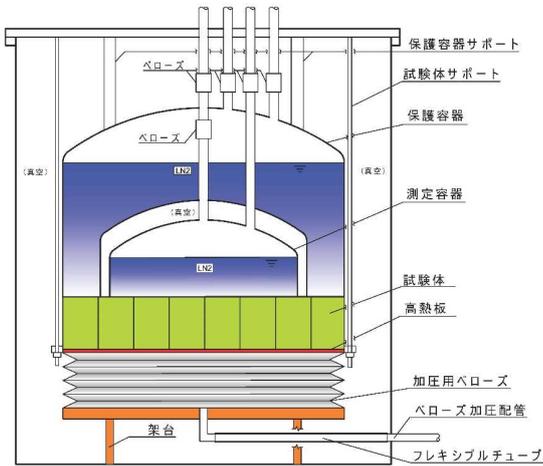
- c. 成果：底部真空排気シミュレーション検証実験装置の基本仕様を決定することで、精度良い底部断熱構造の排気設計確立への見通しを得た。



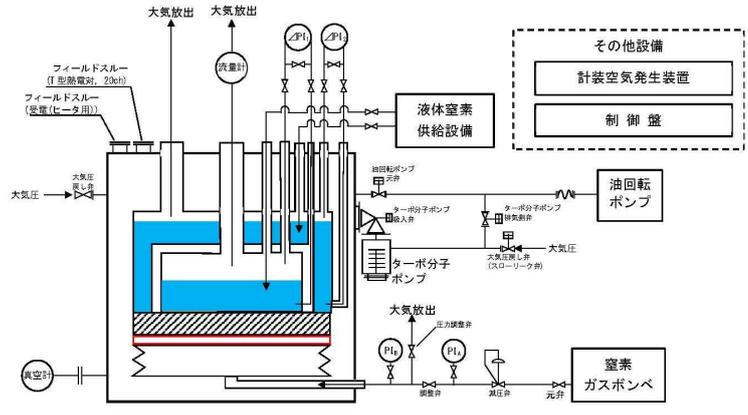
真空排気シミュレーション検証実験装置

II：内槽底部への入熱量算定手法の確立

- a. 目標：実測値に合う伝熱解析手法を考案する。
- b. 実施内容：スケールダウンしたGFRP底部断熱構造の断熱性能をボイルオフカロリーメータで実測し、その測定結果と伝熱解析結果とを比較・分析する。
- c. 成果：断熱性能測定装置の基本仕様の決定により、伝熱解析手法確立への見通しを得た。



試験装置概略



システムフロー概略

III：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立

①破壊靱性試験

- a. 目標：液化水素温度であっても十分な破壊靱性を有する溶接施工法を確立する。
- b. 実施内容： J_{IC} 試験を実施する。破壊靱性値 (K_{IC} 値) のしきい値は、ASMESec.VIII Div.1で要求される $132\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ 以上とし、溶接施工法の妥当性を検証する。
- c. 成果：4K環境でも十分に破壊靱性を有することを確認した。



破壊靱性試験 (J_{IC} 試験) 装置

Ⅲ：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立

- a. 目標：脆化が最も起こりやすくなると言われている-70℃付近の水素脆化感受性を確認する。
- b. 実施内容：-70℃での低歪速度引張試験（SSRT試験）を実施する。
- c. 成果：水素脆化感受性は非常に低いことを確認した。

※今回実施した2種類の試験結果と過去実施の試験結果より、当社の溶接施工法によるSUS316Lの継手は、大型液化水素貯槽での使用が可能と考えられる。



低歪速度引張試験（SSRT試験）装置

◆成果の普及、知的財産権の確保に向けた取り組み

該当項目無し。

	2019	2020	計
論文(査読付き)	0	0	0件
研究発表・講演	0	0	0件
受賞実績	0	0	0件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0件
展示会への出展	0	0	0件
特許出願(うち外国出願)	0	0	0件

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
I : 真空排気システムの確立	①適用可能な材料の見通しを得た。 ②大型貯槽に適用可能なベーキング手法を決定した。 ③真空排気シミュレーションの基本プログラムの完成及びシミュレーション検証実験装置の基本仕様を決定した。	数ヶ月オーダーで所要真空度が得られる真空排気システムを確立する。	真空排気シミュレーションプログラムの構築、その検証実験、ベーキング時のガス放出量の把握、及びそれらに基づいた真空ポンプの仕様や配置を決定することにより、達成可能である。
II : 内槽底部への入熱量算定手法の確立	断熱性能測定装置の基本仕様を決定した。	実測値に合う伝熱解析手法を考案する。	装置完成後、断熱性能測定結果を評価・分析することにより達成可能である。

13 / 16

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

当該製品は、水素サプライチェーンの上流の供給元での設備、また、下流の需要家での設備の双方に採用される。

顧客は、水素供給者、大口需要家である電力会社、ガス会社、石油会社等エネルギー関連の会社となる。また、液化水素基地の施設全体を建設するゼネラルコントラクター、エンジニアリング会社等、コントラクターを通しての販路もある。

現在のLNGチェーンと同様に、水素利用が世界的な広がりをみせることが予想されるので、グローバル市場への参入を想定している。

14 / 16

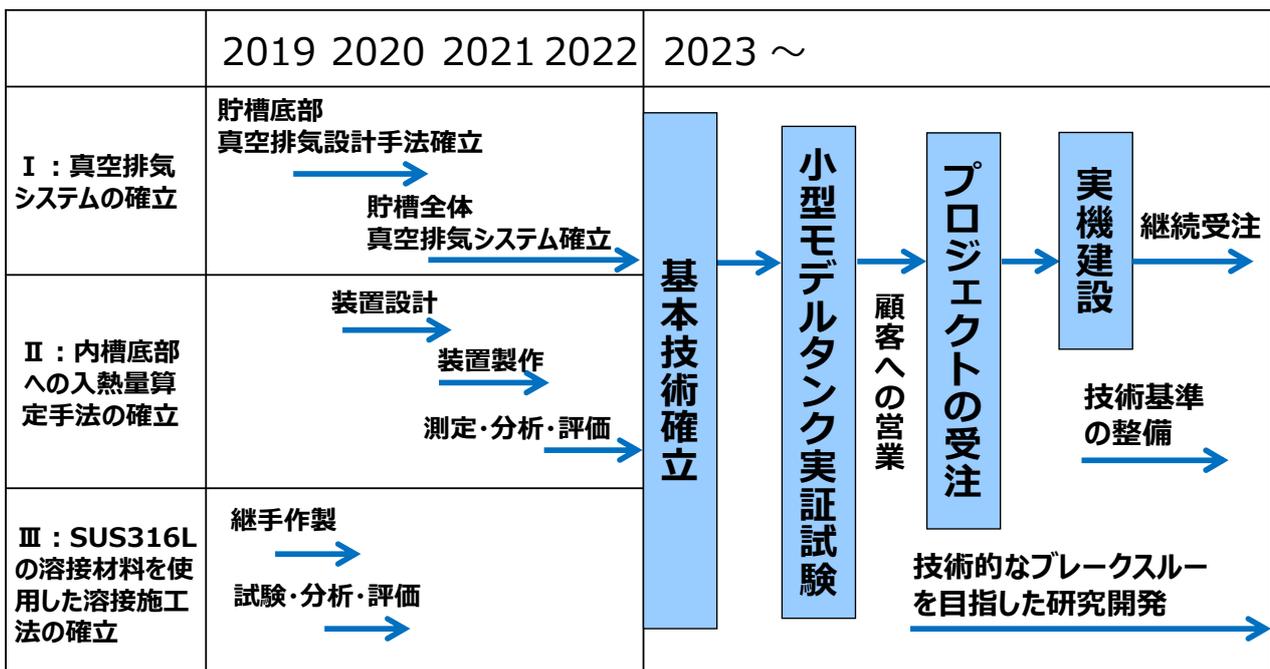
◆成果の実用化・事業化の見通し

当該製品は、水素・燃料電池戦略ロードマップにおけるターゲット『2030年頃の水素発電の商用化』に向け必須の製品であり、概ね技術的課題解決への道筋が見えていることから、事業化の可能性は十分に高いものとする。

貯槽専門メーカーである当社は、既存事業の延長という形で参入し、継続した受注により、技術水準、経済性を高め、高い競争力を維持することが可能である。その背景として、

- 既存の貯槽関連事業における人的資源をそのまま転用できる。
- 自前の貯槽製作工場を運営しており、案件が具体化すれば即時に製作を開始できる。
- 国内、海外での建設工事実績から、貯槽工事業者、貯槽専門工を多く擁している。
- LNG貯槽、その他大型貯槽で築いたブランド力があり、顧客への強い訴求力がある。

◆実用化・事業化に向けた具体的取組み



(Ⅱ－⑤)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素用大口径バタフライバルブの技術開発」

助成先：株式会社中北製作所

●成果あり（実施期間：2020年度～2022年度終了予定）

- ・液化水素用大口径バタフライバルブの開発に係る市場調査として、メーカーとの協議においてバルブの要求仕様や仕様条件等の情報を収集。
- ・液化水素用大口径バタフライバルブの原理開発として、新たなシール構造を検討し、要素モデルにおける解析を実施。

●背景/研究内容・目的

◎背景

来るべき水素社会に必要とされる大量の水素需要に対応する為、貯蔵、運搬などのサプライチェーンの構築及び、各種機器のスケールアップが必須である。

今後の受入基地の大型化に対応するための液化水素用バルブには、軽量・省スペース・大口径にも対応できるバタフライバルブでの技術開発が必要である。

◎研究内容・目的

流体を遮断するためのシール面圧制御を構築することが最も重要な研究内容である。また、液化水素を流体制御するバルブ内面と外気に触れるバルブ外面との間には、メンテナンス性を考慮した真空断熱構造が必要となる。

これらの研究内容を達成することで、極低温の液化水素を大容量且つ安全に貯蔵・輸送することのできる大口径バタフライバルブの技術が確立し、水素サプライチェーン構築に不可欠な陸上基地の受け入れ能力の向上に寄与することが可能となる。

●研究目標

実施項目	目標
①：市場調査	顧客ニーズ並びに高圧ガス保安法の適用範囲を把握し、原理設計・実機設計に反映する
②：原理開発	数種類のシール構造による原理試作品の試験結果と解析値から、実機バルブを製作するための構造・解析手法を確立
③：実機開発	バルブ実機における実流体試験にて各目標値を達成し、試験結果と実機モデル解析とのギャップ分析を完了することで、液化水素用大口径バタフライバルブの技術を確立

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

①市場調査

メーカーとの協議により、受け入れ基地等に求められるバルブの要求仕様や使用・環境条件、メンテナンス方法・周期の把握を進めている。また、高圧ガス保安法の適用範囲について、高圧ガス保安協会殿と協議を実施した。

②原理開発

基本設計として、解析に必要な低温物性データの収集を実施し、シール性能と耐久性能を兼ね備えたシール構造の検討を実施した。

検討したシール構造案について、2次元・3次元モデルを作製し、常温における構造解析を実施し、シール面圧を評価した。引き続き、原理試作品における試験結果との比較検証に向けた準備を進める。

●今後の課題

①市場調査

引き続きメーカーとの協議によって、詳細な要求仕様の把握を進めるとともに、高圧ガス保安法の適用範囲・解釈について高圧ガス保安協会殿と協議を重ね、原理開発に展開する。

②原理開発

解析評価結果を反映し、数種類のシート構造を組み込んだ原理試作品の開発を行い、試験結果値と解析値の比較検証を実施する。

③実機開発

原理試作品をもとに、バタフライバルブ実機の開発を行い、実流体試験にて各目標値を達成する。試験結果と実機モデル解析とのギャップ分析を完了することで、液化水素用大口径バタフライバルブの技術を確立する。

●実用化・事業化の見通し

水素サプライチェーン構築にはタンク等を始めとした各種輸送・貯蔵機器のスケールアップが必須で、大規模輸送・貯蔵に対応可能な液化水素用大口径バタフライバルブのニーズは確実にあると考える。本事業で技術確立することで、他口径のバタフライバルブへ展開し、2025年以降の、大容量貯蔵が可能な陸上受け入れ基地等への提供が可能なラインナップ拡充を目指す。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価	
①：市場調査	メーカーとの協議において、バルブの要求仕様や仕様条件等の情報を収集。	△ 予定通り進捗	
②：原理開発	解析評価に必要な低温物性データを収集。新たなシール構造を検討し、要素モデルにおける解析を実施。	△ 予定通り進捗	
③：実機開発	2021年度以降着手。	- (未着手)	
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
なし	なし	なし	なし

「水素社会構築技術開発事業 / 大規模水素エネルギー利用技術開発 / 液化水素用大口徑バタフライバルブの技術開発」(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

株式会社中北製作所

2020年12月4日

1 / 13

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題
① 市場調査	バルブの要求仕様 その他要件、高圧 ガス保安法における 要求事項を把握	顧客との定期的 な協議を開始	△ (2020/11)	複数の顧客との協議によ り、幅広くニーズを獲得
		高圧ガス保安法 の適用範囲に関 する調査に着手		
② 原理 開発	シール構造及び真 空断熱構造の開発	シール構造を検 討し構造解析に 着手	△ (2021/9)	新たなシール構造及びメ ンテナンス性を考慮した 真空断熱構造について 原理試作品の解析及び 試験評価
		真空断熱構造の 検討を開始		

①市場調査

①- (1) 顧客のニーズ調査

【成果】顧客との定期的な協議を開始

【意義】バルブの要求仕様に加え、バルブの使用条件、環境条件、メンテナンス方法・周期を把握し、原理試作品・実機試作品に反映する

①- (2) 市場調査

【成果】今後の受け入れ基地の建設情報と設備のラインスペックの情報収集を開始

【意義】実用化・事業化におけるラインナップ拡充に反映する

①- (3) 高圧ガス保安法の適合調査

【成果】高圧ガス保安協会殿と適用規格について協議を実施

【意義】高圧ガス保安法に基づく構造設計、素材の調達を含む製造、検査を原理試作品・実機試作品に反映する

3 / 13

②原理開発

②- (1) 基本設計

【成果】シール構造とメンテナンス性を考慮した真空断熱構造の検討を開始

【意義】シール性能と耐久性能を兼ね備えたシール構造と、極低温域の断熱性とメンテナンス性を兼ね備えた断熱構造の基本設計を行うことで、原理試作品の開発に反映する

②- (2) 特定要素の解析

【成果】取得した各材質の低温物性データを基に、シール部の構造解析を実施

【意義】解析結果から原理試作品のシール部形状や駆動力等の最適化に繋げる

4 / 13

②原理開発 (2021年度以降実施)

②- (3) 原理試作品の開発

【成果】数種類のシール構造を組み込んだ原理試作品を開発し、社内試験(LN₂)及び外部試験(LH₂)を実施する

【意義】開発した原理試作品で、社内試験(LN₂)及び外部試験(LH₂)を実施し、実機試作品のシール面圧制御方式・真空断熱方式の選定の指針とする

②- (4) 試験結果と解析結果の比較

【成果】原理試作品の試験結果と解析結果の比較検証を実施する

【意義】実機試作品を製作するための解析手法を確立する

5 / 13

③実機開発 (2021年度以降実施)

③- (1) 実機試作品開発

【成果】原理試作品を基に実機試作品を開発、製造する

【意義】製造工程、検査方法を確立し、製品ベースと同等の工程管理を行い、製造することで、バタフライバルブの実用化に繋げることが可能

③- (2) 社内試験

【成果】社内にて液体窒素での評価試験を実施

【意義】-196℃における性能評価に加え、実流体試験に向けた各種データの取得手順を確立する

③- (3) 実流体試験

【成果】LH₂を用いたシール性・耐久性・真空断熱性に関する性能試験を実施

【意義】シール性・耐久性・真空断熱性に関する目標値並びにメンテナンス性を加えた、バタフライバルブ実機での総合的な評価をする

③- (4) 解析のモデル化

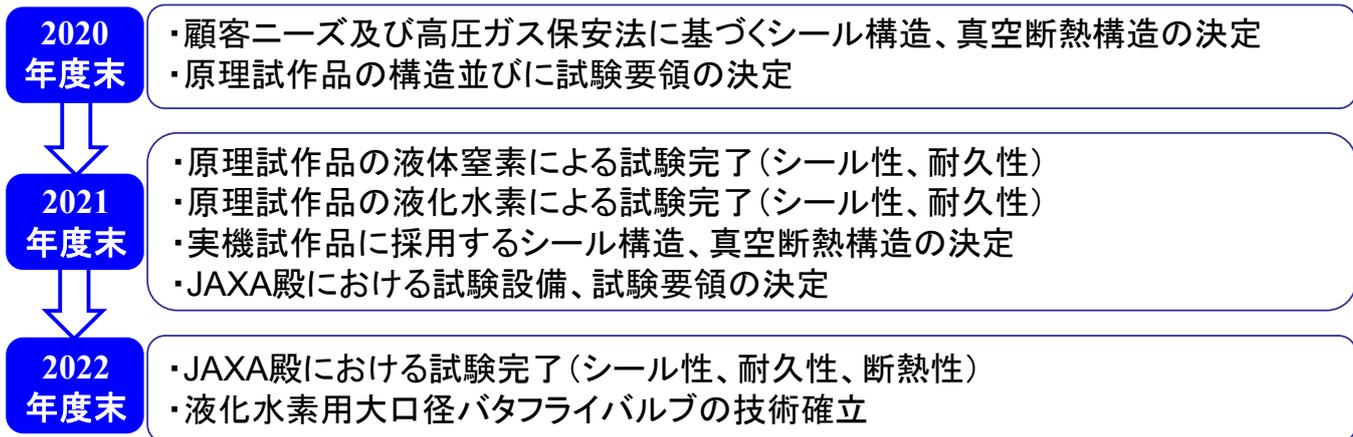
【成果】試験結果と解析結果とのギャップ分析を実施

【意義】シール性、真空断熱性に関する構造の確立並びに、解析モデルを確立することで、液化水素用大口徑バタフライバルブの技術を確立する

6 / 13

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

業務項目(実施計画書)	2020年度			2021年度(参考)				2022年度(参考)			
	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
	7~9月	10~12月	1~3月	4~6月	7~9月	10~12月	1~3月	4~6月	7~9月	10~12月	1~3月
①市場調査	→										
②原理開発	→										
③実機開発					→						



3. 研究開発成果について (3) 成果の最終目標の達成可能性

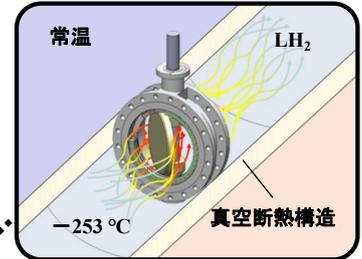
開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
①市場調査	顧客と定期的に打合せを実施	顧客ニーズ並びに高圧ガス保安法の適用範囲に基づき、原理開発・実機開発に反映	複数顧客との打ち合せにより要求仕様の確認を行い、高圧ガス保安協会殿との協議を実施することで、確実に目標達成が可能
②原理開発	新たなシール構造及び真空断熱構造について検討中	原理試作品の試験結果と解析値から、実機試作品を製作するための解析手法を確立	検討した新構造について、解析評価結果と極低温での社内試験結果を基に体系的な分析を実施することで達成可能
③実機開発	2021年度より着手する計画	実流体試験にて各目標値を達成し、試験結果と実機における解析評価とのギャップ分析を完了	原理開発で確立した解析手法を実機設計へ反映し、実流体試験を実施することで達成可能

実用化

実機モデル解析評価結果と、液化水素を用いた実流体試験結果による比較検証を完了し、シール性、真空断熱性に関する技術の確立及び、解析モデルを確立

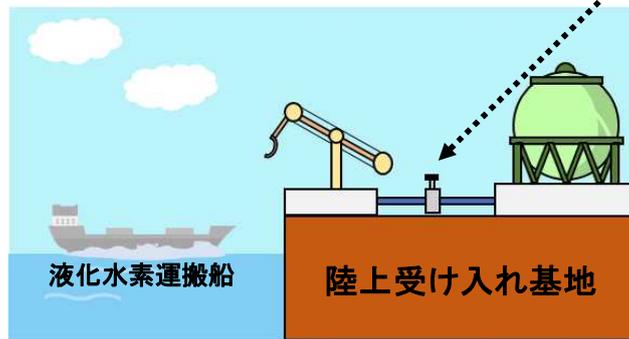
事業化

発電分野での水素需要増大により、2025年以降の、大容量貯蔵が可能な陸上受け入れ基地等への提供が可能なラインナップを確立



豪州

未利用褐炭
由来水素
製造・液化



日本

水素混焼・
専焼GT等
大規模利用

本事業で構築する「シール面圧制御技術」と「真空断熱構造」による、世界初の液化水素用大口徑バタフライバルブは、陸上受け入れ基地のみならず、液化水素運搬船の荷役ラインにも転用が可能

**液化水素受入基地用
大口徑バタフライバルブ**

(2030年予測)

販売予定先	プラントメーカー
推定貯蔵容量	225,000Nm ³ ／基地
法規	高圧ガス保安法

成果

極低温環境におけるシール面圧制御技術
メンテナンス性を考慮した真空断熱構造技術

**液化水素運搬船用
大口徑バタフライバルブ**

(2030年予測)

販売予定先	造船メーカー
推定輸送容量	160,000Nm ³ ／隻
法規	日本海事協会 (NK船級)

市場ニーズ

- 水素サプライチェーン構築には運搬船、貯蔵機器のスケールアップが必須
- 大規模輸送、貯蔵に対応可能な極低温バルブが必要

既存技術に対する優位性

- 液化水素に対応可能な既存技術としてのグローブバルブに対して、バタフライバルブとすることでサイズ及び重量を大幅に削減できる
- バタフライバルブは、グローブバルブよりも容量係数（Cv値）を高めることができ、輸送効率を高くできる

11 / 13

実用化・事業化に対する課題と今後の方針

シール性・耐久性・断熱性の技術確立

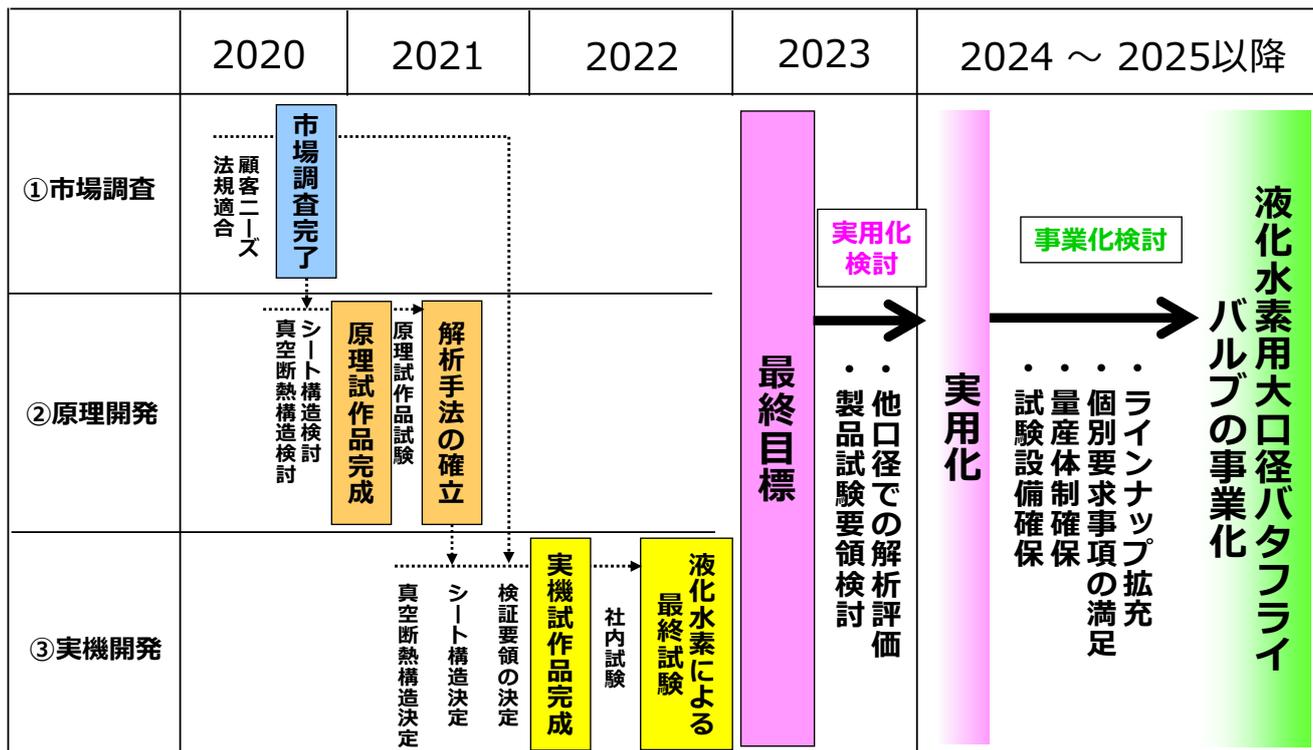
液化水素を用いた実流体試験において目標値を満足し、試験結果と実機試作品での解析評価を比較検証することで、液化水素用大口徑バタフライバルブの技術を確立する

事業化を踏まえたラインナップ拡充

本事業で解析手法を確立することで、他口径の液化水素用大口徑バタフライバルブへ展開し、ラインナップ拡充を図る

12 / 13

4. 実用化・事業化の見通しについて



(Ⅱ-⑥)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素用バタフライバルブの開発」

助成先：株式会社ササクラ

●成果あり（実施期間：2020年度～2022年度予定）

- ・2020年度は試作バルブ製作にむけて、構造、加工方法を検討および製作準備。
- ・2021年度に試作バルブを製作完了、2022年度に性能評価を完了させる。

●背景/研究内容・目的

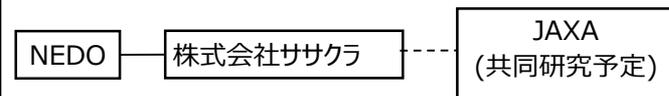
政府計画による2050年度に総エネルギー量の20%を水素とする水素社会実現に向けて、現在様々な分野で技術開発が進んでいるが、超低温流体への対応としてその大半はLNGの関連技術から発展させるものが多い。また基地においてはLNG同様に受入やタンク周辺のパイプラインには流量調整に適しているバルブとしてバタフライバルブが不可欠であるが、現在のところ水素用のバタフライバルブの技術開発は確立していない。

●当社はこれまで(1972年以降)初の国内メーカーとして約50箇所のLNG基地に高いシール性を誇るバタフライバルブを5,000台以上納入してきた。また、JAXA殿の基地にもロケット燃料系パイプラインに水素用のバルブも納めており、この技術を発展させて液化水素用途で使用できるバタフライバルブを開発して水素社会確立のためにインフラ基盤を支える役割を担うことを目的とする。

●研究目標

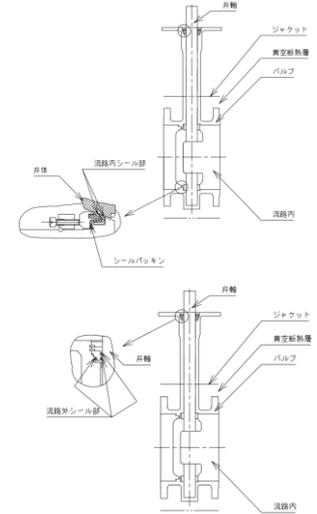
実施項目	目標
①バルブ大型化による性能確保	流路内漏洩量 LNG仕様相当
②液化水素として維持可能な構造	バルブ内外の断熱
③水素の外部漏れに対する安全	流路外漏洩量 LNG仕様相当
④使用材料による加工とコスト	LNG仕様バルブの 加工費1.2倍
⑤液化水素条件下における性能確保	LNG仕様相当の漏洩量

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

- ②液化水素として維持可能な構造
 - (1)実績と同様の構造で、ジャケットの支持部（部材、溶接）の強度に問題がないか確認を行う。耐震含めて検討中。
 - (2)実績のある小型バルブ同等の断熱効果が見込める最小の構造を決定することで試験バルブに採用して効果・確認ができる。
- ③水素の外部漏れに対する安全
 - (1)グランド部からLH2の漏洩を考慮した構造を検討中。
 - (2)“①バルブ大型化による性能確保”と合わせて、LNG仕様相当の性能が確保されることが確認されることにより、“⑤液化水素条件下における性能確保”の項目に移行可能となる。
- ④使用材料による加工とコスト
 - (1)バルブ本体の構造（一体型、分割型）について、コスト調査、比較検討中。
 - (2)コスト低減、製作技術力が確認されることにより、実用化・事業化に移行が可能となる。



●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
①バルブ大型化による性能確保	試作バルブの構造検討中 (2021年度LN2にて評価)	△2022年度完了予定
②液化水素として維持可能な構造	構造検討、強度計算の実施中	△2020年度完了予定
③水素の外部漏れに対する安全	グランド部の構造検討実施中	△2020年度完了予定
④使用材料による加工とコスト	2020年度に調達完了予定	△2020年度完了予定
⑤液化水素条件下における性能確保	JAXA殿と概要の打合せを実施 (2022年度LH2にて評価)	△2022年度完了予定

●今後の課題

- 2021年度に試作バルブ製作
- 2022年度に試作バルブ性能評価

●実用化・事業化の見通し

- 2022年度開発完了
- 2025年に販売開始予定

「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素用バタフライバルブの開発」(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

株式会社サクラ

2020年12月4日

1/7

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

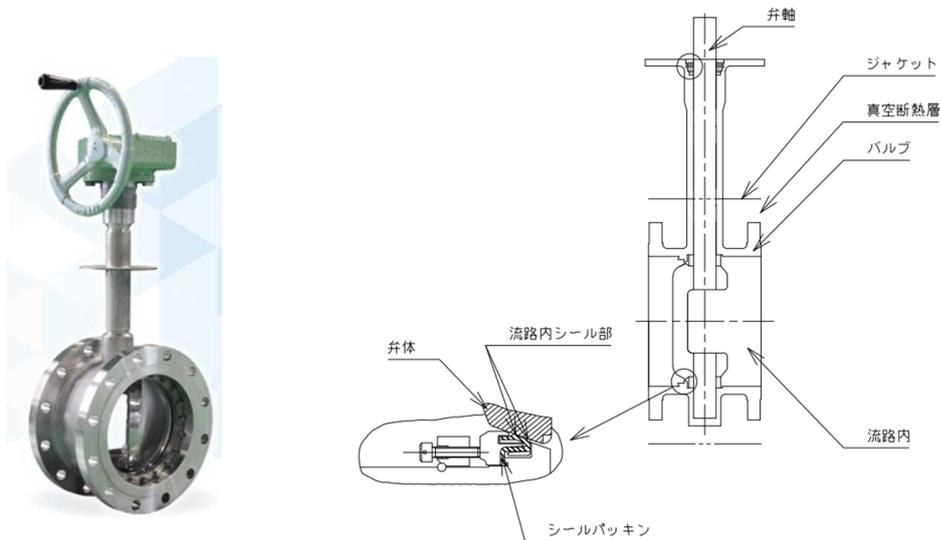
開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
②液化水素として維持可能な構造	バルブ内外の断熱	構造検討、強度計算の実施中	△ (2020年度末)	断熱の機構と構造の小型化
③水素の外部漏れに対する安全	流路外漏洩量 LNG仕様相当	グランド部の構造検討実施中	△ (2020年度末)	採用した構造で性能の確認
④使用材料による加工とコスト	LNG仕様バルブの加工費1.2倍	2020年度に調達完了予定	△ (2020年度末)	2021年度の製作完了を考慮してコスト検討

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

2/7

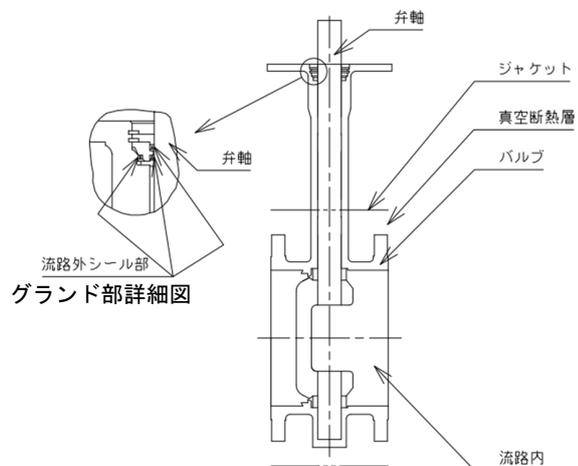
②液化水素として維持可能な構造

- (1) LNGバタフライバルブと同様の構造で、ジャケットの支持部（部材、溶接）の強度に問題がないか確認を行う。耐震含めて検討中。
- (2) 実績のある液化水素向け小型バルブ同等の断熱効果が見込める最小の構造を決定することで試験バルブに採用して効果・確認ができる。



③水素の外部漏れに対する安全

- (1) グランド部からLH2の漏洩を考慮した構造を検討中。
- (2) “①バルブ大型化による性能確保”と合わせて、LNG仕様相当の性能が確保されることが確認されることにより、“⑤液化水素条件下における性能確保”の項目に移行可能となる。



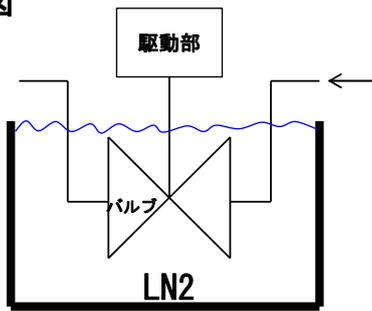
④使用材料による加工とコスト

- (1) バルブ本体の構造（一体型、分割型）について、コスト調査、比較検討中。
- (2) コスト低減、製作技術力が確認されることにより、実用化・事業化に移行が可能となる。

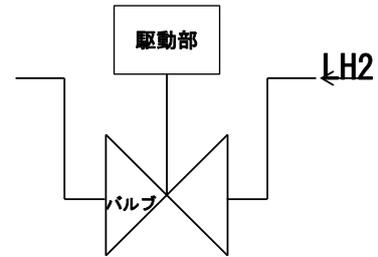
3. 研究開発成果について (3) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

開発項目	現状	最終目標	達成見通し
①バルブ大型化による性能確保	試作バルブの構造検討中	流路内漏洩量LNG仕様相当 (2021年度LN2にて評価)	2020年度:設計完了 2021年度:試作バルブ完成
⑤液化水素条件下における性能確保	JAXA殿と概要の打合せを実施	LNG仕様相当の漏洩量 (2022年度LH2にて評価)	2021年度:試験要領の決定、試験準備

試験概念図



①バルブ大型化による性能確保
試験概念図 (LN2浸漬法)
実施時期: 2021年度
実施場所: 弊社工場
実施内容: LN2にて流路内外の漏洩確認



⑤液化水素条件下における性能確保
試験概念図 (LH2流路内封入)
実施時期: 2022年度
実施場所: JAXA殿設備
実施内容: LH2にて流路内外の漏洩確認

3. 研究開発成果について (3) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

課題	項目	2020年度				2021年度				2022年度			
		第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
①バルブ大型化による性能確保	LN2深冷試験 (浸漬法)						→						
	LN2深冷試験 (流路内封入)								→				
②液化水素として維持可能な構造	構造検討		→										
③水素の外部漏れに対する安全	構造検討		→										
④使用材料による加工とコスト	詳細設計			→									
	製作		→		→	→							
⑤液化水素条件下における性能確保	LH2深冷試験 (流路内封入)									→		→	

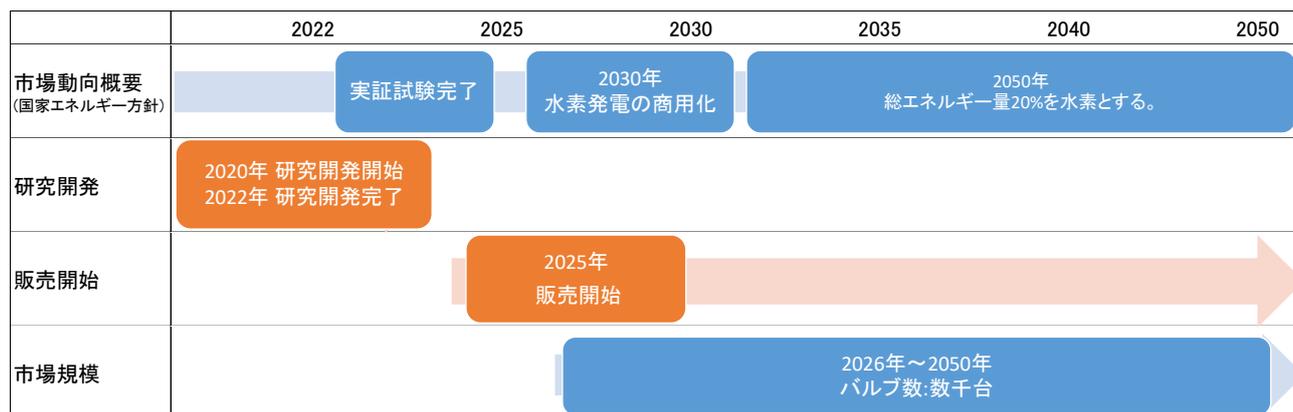
4. 実用化・事業化の見通しについて

● 事業化のスケジュール

2022年度研究開発完了、2023年から販売価格・販売計画を策定し2025年度から販売開始を予定します。

● 市場動向・市場規模

政府計画による2050年度に総エネルギー量の20%が水素となる。(政府計画による。)



●成果サマリ (実施期間：2020年度～2022年度予定)

- ・大口径化実現可能な弁種・構造の決定 (遮断弁：ボール弁、逆止弁：スイング式逆止弁)
- ・要素技術 (封止技術) に関する設計検討および部分試作評価 (シール位置・材料・構造・封止性能)

●背景/研究内容・目的

液化水素の輸送貯蔵機器および受入基地機器の大型化に伴い、配管口径も大型化となることが必要である。本事業では、現在存在しない大口径の液化水素用遮断弁、逆止弁を開発する。

【2020年度】

バルブの弁種・構造を決定し、重要部位となる内部封止性能、外部封止性能に関する要素技術開発を実施する。

【2021年度(参考)】

代表サイズのバルブプロトタイプを試作を実施し、実流体を用いて性能評価を実施する。

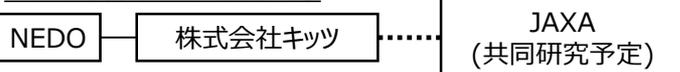
【2022年度(参考)】

実運用上、想定される大口径サイズのバルブ試作を実施し、実流体を用いて性能評価を実施する。また、実運用上必要と考えられるサイズについて、設計を行い、妥当性の評価を行う。

●研究目標

実施項目	目標
① 弁種の検討	大口径化実現可能な弁種・構造の選定
② 封止技術開発	液化水素温度下 (-253℃) における外部・内部封止性能の確立(JAXA共同研究予定)
③ 弁の製造方法の検討	大型精密部品の製造方法の決定
④ 真空断熱構造の検討	弁接続を真空配管上部へ配置する構造確立 断熱性、弁保持方法の決定 (2021年度)
⑤ 弁試作評価	弁の試作、組立・分解治工具の確立 弁に要求される性能評価試験を実施 弁のサイズ展開設計完了 (2022年度)

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

項目	実施内容	研究成果
① 弁種の検討	大口径化実現可能な弁種、構造の決定	遮断弁：ボール弁 逆止弁：スイング式逆止弁
② 封止技術開発	・解析等を用いた熱解析による温度分布の検討 ・使用可能樹脂、シール構造の検討 ・試作品を製作し、評価を実施中	・計算・解析等を用いてシール位置の決定 ・解析により材料・構造の検討中
③ 弁の製造方法の検討	・精密加工可能な製造方法の検討 ・精密加工部分を生かした溶接等の別体分割構造の検討中	熱影響の少ない溶接工法を試作し、精密加工部分を損なわないことを確認
④ 真空断熱構造の検討	・縮小モデルの製作により組立・分解のシミュレーションを実施中 ・解析等を用いて入熱計算を実施中	研究成果は2021年度に得られる予定
⑤ 弁試作評価	2021年度より実施予定	研究成果は2022年度に得られる予定



●今後の課題

【封止技術開発】

・②～③を進め、実流体評価を実施
解析と実流体との関係性を把握し、実流体による封止性能を確立することが必要
⇒液化水素による実流体評価試験を実施し、封止性能の確認を実施予定(JAXA共同研究予定)

【弁の製造方法検討】

・一体部品における大型化精密加工は難しいと判断
・溶接等を用いた別体構造の検討が必要
⇒大口径化に伴う溶接可否の検討及び試作品における溶接歪み等の確認中

【真空断熱構造の検討】

・ジャケットを施した状態で分解・組立を可能とする検証が必要
⇒試作品にて治具等を用いて検証予定
・バルブ保持方法を確定させ、保持部を考慮した断熱性能の確認が必要
⇒解析等を実施し、保持部を含めた入熱の検討を実施予定

【弁試作評価】

・プロトタイプの性能が目標値を満足すること
⇒①～④にて実証後、評価を実施予定。

●実用化・事業化の見通し

- ・フィールド試験等にて実使用における製品の性能、耐久、経年評価を実施
- ・小口径の市場要求を把握する。開発必要と判断した場合、市場要求仕様、導入時期を調査し、開発へ着手する
- ・今後の市場発展に合わせられる生産体制の構築が必要

バルブの性能確保、液化水素市場の持続的発展に伴い、事業の柱へと成長させる。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
① 弁種の検討	遮断弁：ボール弁 逆止弁：スイング式	○
② 封止技術開発	解析等より、シール位置決定 材料、形状を検討中	△(2020年度完了予定)
③ 弁の製造方法の検討	一体加工製造は困難 別体分割構造を検討中	△(2020年度完了予定)
④ 真空断熱構造の検討	縮小モデルで組立・分解方法の検討実施中	△(2021年度完了予定)
⑤ 弁試作評価	2021年度より着手予定	△(2022年度完了予定)

「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素用大型バルブの技術開発」(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

株式会社キッツ

2020年12月4日

1 / 11

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
① 弁種の検討	大口径化実現可能な弁種、構造の選定	遮断弁：ボール弁 逆止弁：スイング式逆止弁	○	-
② 封止技術開発 a) 外部封止構造の検討	液化水素流通における外部封止性能の確保	計算・解析等を用いてシール位置の決定	○	-
② 封止技術開発 b) 内部封止構造の検討	使用可能樹脂、シール構造の検討	解析により材料・構造の検討実施中	△ (2020年度)	液体窒素との封止性能を比較確認するため、液化水素において評価試験を実施(JAXA共同研究予定)
② 封止技術開発 c) 部分試作評価	②a)b)について試作品を製作し、評価を実施する	部分試作品にて液化窒素レベルでの封止性能確認中	△ (2020年度)	液体窒素との封止性能を比較確認するため、液化水素において評価試験を実施(JAXA共同研究予定)
③ 弁の製造方法の検討 a) 大型化精密加工検討	精密加工可能な製造方法の確立	構想設計段階において一体加工は難しいとの判断	△ (2020年度)	一体部品における大型化精密加工は難しいと判断。③b)の検討を進める
③ 弁の製造方法の検討 b) 分割構造の検討	溶接等の別体分割構造の確立	熱影響の少ない溶接方法にて試作し、精密加工部分を損なわないことを確認中	△ (2020年度)	大口径化に伴う溶接可否の検討及び試作品における溶接歪みの確認

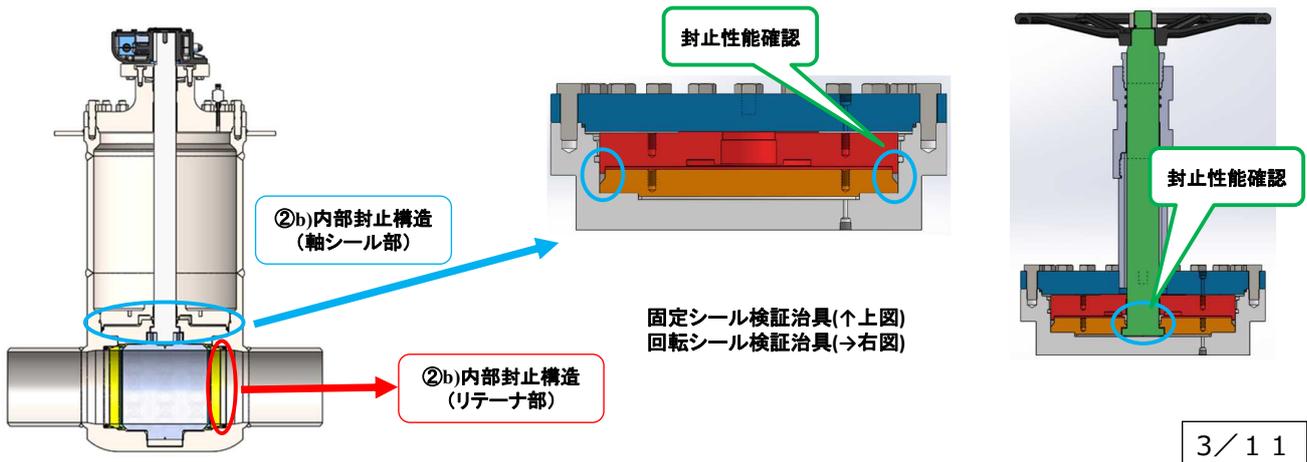
◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

2 / 11

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

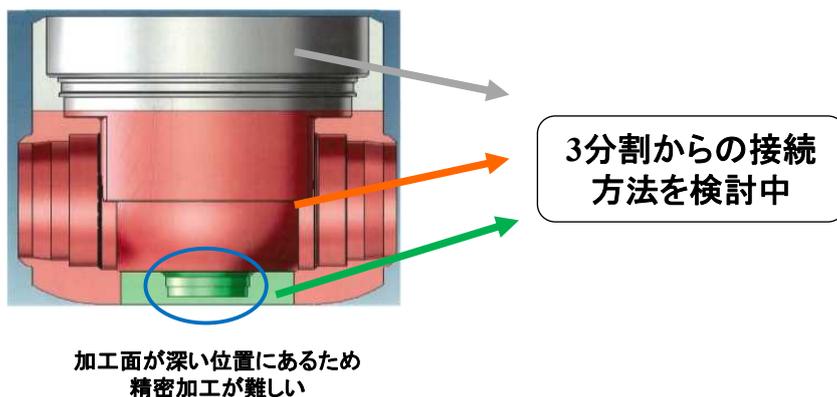
項目	目標	達成状況	成果の意義
① 弁種の検討	大口径化実現可能な弁種、構造の選定	遮断弁：ボール弁 逆止弁：スイング式逆止弁	遮断弁：ボール弁とすることで、大流量輸送が可能 逆止弁：スイング式とすることで、大口径化が可能
② 封止技術開発 a) 外部封止構造の検討	液化水素流通における外部封止性能の確保	計算・解析等を用いてシール位置の決定	解析等により、外部封止位置が決定。既存のシール技術の流用により、安定的な外部封止性能を確保できる
② 封止技術開発 b) 内部封止構造の検討	使用可能樹脂、シール構造の検討	解析により材料・構造の検討実施中	内部封止に関するシール部材、構造が決定することでボール弁としての実現可能性の目途がたつ
② 封止技術開発 c) 部分試作評価	②a)b)について試作品を製作し、評価を実施する	部分試作品にて液化窒素レベルでの封止性能確認中	部分試作品で評価試験を実施することで、バルブで起こりえる課題の先取り、先行性能確認が可能となる



3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

項目	目標	達成状況	成果の意義
③ 弁の製造方法の検討 a) 大型化精密加工検討	精密加工可能な製造方法の確立	構想設計段階において一体加工は難しいとの判断	大型化精密加工における一体加工の限界確認と別法案へのシフトが可能となる
③ 弁の製造方法の検討 b) 分割構造の検討	溶接等の別体分割構造の確立	熱影響の少ない溶接方法にて試作し、精密加工部分を損なわないことを確認中	大型化精密加工における別法案として可能な法案（溶接工法）を見出すことで、加工の実現性の目途がたつ



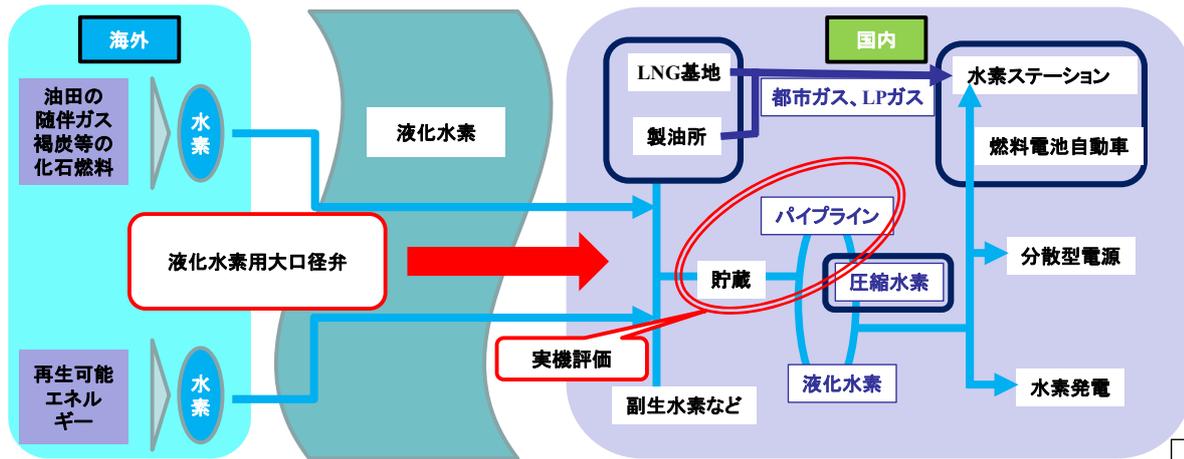
プロジェクトの成果と差別化

プロジェクトの達成状況	成果の意義	差別化
弁種の検討を実施し、遮断弁はトラニオンマウンテッド型ボール弁構造、逆止弁はスイング式インターナルヒンジピン構造を第一候補とした	遮断弁はボール弁構造を採用することで大流量且つ、コンパクト化が見込まれる。大型プラントにおける大流量輸送が可能となり、弁を含む配管全体のコンパクト化に寄与する	液化水素用ボール弁は現在、存在しない。大流量輸送、操作の容易性、コンパクト化等、優位性が挙げられるが、仕様に対する制限、(真空ジャケットを使用するため、トップエントリー構造が必要となること、流体圧によるセルフシール等)、技術的に非常に困難であることが挙げられる

開発項目	現状	最終目標 (2021年度)	達成見通し
④ 真空断熱構造の検討 a) 組立・分解の検討	3Dプリンター等による縮小モデルの製作により組立・分解のシミュレーションを実施中	弁上部より、分解・組立が可能であること。現地でのメンテナンスの目途がたつこと	シミュレーションより、実現可能と判断。試作品で治具等を用いて、組立・分解を実施する。
④ 真空断熱構造の検討 b) 断熱性能検討	解析等を用いて入熱計算を実施し、ジャケットの形状を決定予定	バルブと真空ジャケットとの寸法、距離が設定され、入熱量等が規定値以内であること	想定したジャケット寸法より、実流体や解析等により、入熱量の確認を実施する
④ 真空断熱構造の検討 c) 弁保持方法の検討	弁 - ジャケット間で保持する材質・構造の検討実施予定	弁 - ジャケット間で弁を確実に保持し、さらに保持部からの入熱量が規定値以内であること	④b)の解析結果等を用いて、保持部を含めた入熱量の確認を実施する。
開発項目	現状	最終目標 (2022年度)	達成見通し
⑤ 弁試作評価 a) 弁の試作	計画に従い、2021年度より開発着手	①～③で確立した要素技術を基に弁の試作を実施する	①～③を計画通り確実に進めることで達成可能となる。
⑤ 弁試作評価 b) 治工具類の検討	計画に従い、2021年度より開発着手	組立・分解を可能とする治具、および現地でのメンテナンスを考慮した方法を確立する	④a)より、確立した組立・分解方法を基に場所を選ばない治工具類への展開を実施する。
⑤ 弁試作評価 c) 性能試験	計画に従い、2021年度より開発着手	⑤a)の試作品について、各種性能試験を実施し、性能が目標値を満足すること	①～③及び⑤a),b)を計画通り確実に進めることで達成可能となる。

4. 実用化・事業化の見通しについて

- ①本研究開発により、液化水素用大口径弁の要素技術確立が可能となり、史上初の液化水素用大口径弁として市場へ導入できる。液化水素受入基地、輸送船等における主要弁類として使用いただくことで大量輸送・貯蔵が可能となり、大規模水素エネルギー利用技術の確立に寄与することができる。
- ②次世代エネルギーキャリアである液化水素における機器の性能を確立することで、水素社会実現における先駆け企業として、事業化に向けた舵を切ることが可能となる。本プロジェクトを通じて実機評価を実施いただくことで、実用化の確証を得ることができる。



4. 実用化・事業化の見通しについて

～2050年まで	液化水素プラント	液化水素運搬船	液化水素受入基地	水素発電容量	水素発電割合
売上げ見込み (～2030年)	40億円	48億円	40億円	—	—
2030年	3プラント	3隻	3プラント	100万kW	0.5%
2040年	20プラント	40隻	20プラント	2,000万kW	10%
2050年	40プラント	80隻	40プラント	4,000万kW	20%

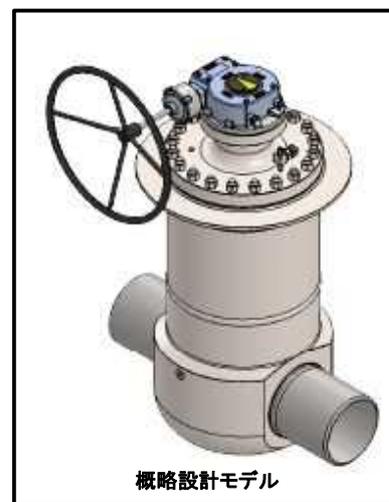
弁の優位性	液化水素	LNG
遮断弁	ボール弁	ゲート弁
操作性	90°回転で短時間操作	ハンドル回転で長時間操作

2050年までに、LNGの代替エネルギーとなる規模へ成長



製品イメージ・競合優位性

コンセプト	<ul style="list-style-type: none"> 世界初の大口径液化水素用ボール弁
優位性	<ul style="list-style-type: none"> 大流量輸送が可能であるボール弁を市場へ導入 大流量輸送が可能であるため他弁種に比べて小口径化が可能となり、プラント全体の建設コスト低減が可能
性能	<ul style="list-style-type: none"> LNG向けバルブと同等の性能を確立することで、LNG基準でバルブを使用いただける
製造技術	<ul style="list-style-type: none"> 大型精密加工の確立と量産技術を確立し、安定した品質で市場へ導入する



概略設計モデル

実用化に対する課題と今後の方針

内容	信頼性	サイズ展開	生産体制
課題	初期評価のみでは性能の信頼性を十分に得ることが難しい	大口径（10～20インチ）をメインターゲットとして、開発を進めているため、小口径（2～8インチ）の対応が遅れている	経済原理に基づき、液化水素市場が展開された場合、現在の生産体制では要求仕様通りの納期で製品を納入することが困難と考えられる
今後の方針	フィールド試験等、実施し、実使用における製品の性能、耐久、経年評価を実施	小口径について市場での要求を把握し、開発判断を実施。必要と判断した場合、市場要求仕様、導入時期を検討し、開発へ着手する	今後の市場発展に合わせられる生産体制が必要

4. 実用化・事業化の見通しについて

実用化・事業化までのビジョン

項目	開発期間			実用化		事業化
	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年
要素技術	→ ☆ サイズ展開					
弁試作		→ ☆	→ ☆	☆ 実流体試験(JAXA共同研究予定)		
性能評価		→		実用化検討		
フィールド試験					→ ☆ 信頼性評価	
認証取得				→		
製造設備					→	事業化検討

●成果概要（実施期間：2019年度～2020年度終了）

・ドライ低NOx水素専焼燃焼器を実際的气タービン発電装置に搭載し、実運用で想定される様々な運転条件において、失火や逆火が発生しない安定燃焼を達成。

●背景/研究内容・目的

◎背景

2017年12月策定の「水素基本戦略」には、「将来的に水素専焼発電を実現するためには、NOx 値の低減、高い発電効率、高濃度な水素混焼などを同時に達成可能とする新たな燃焼技術の早期の実用化を目指す」ことが謳われており、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」には2020年頃にNOx排出値35ppm(残存酸素16%換算値)以下および発電端効率27%以上の達成を目標として掲げられている。

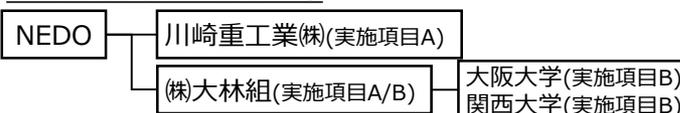
◎研究内容・目的

ガスタービン発電において、水素専焼運転による更なる高効率化とNOx排出量の低減の達成を目指した、水を使用しないドライ方式の低NOx水素専焼ガスタービンの運転実証を実施する。また、液化水素の冷熱利用によるガスタービンの発電出力、発電効率向上効果を定量的に確認することで、水素発電の普及に向けた水素専焼運転での更なる高効率化、低コスト化運用に向けた研究を行う。

●研究目標

実施項目	目標
A：「ドライ低NOx水素専焼ガスタービンの運転実証」	①安定燃焼の達成 ②発電効率27%以上(定格)を達成 ③NOx排出値35ppm以下の達成 ④「混焼運転」対応のための課題抽出
B：「冷熱活用システム検討」	①冷熱利用熱交換器の基礎検討 ②蒸発器の着霜防止効果を定量評価 ③空気冷却器着霜発生条件を把握 ③冷熱利用の経済合理性の定量評価

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

A.ドライ低NOx水素専焼ガスタービンの運転実証

- ① 前事業で整備した水素ガスタービン発電実証試験設備において、新開発のドライ低NOx水素専焼燃焼器を適用して、ガスタービン発電装置の実運用で想定される各種運転パターンで、失火や逆火が発生しない燃焼安定性の確認を完了し、2020年10月には「世界初」となるドライ方式燃焼器を適用した「水素ガスタービン発電所」として運用を開始することにより、実用レベルのドライ方式水素ガスタービン発電装置の運転実証を完了した。
- ② 定格運転条件において発電端効率27%以上を達成した。
- ③ NOx排出値35ppm(残存酸素濃度16%換算)以下については、負荷領域によって部分的に見達成の部分が有り、全負荷領域での達成に向けた方策を検討中。
- ④ ドライ低NOx燃焼器での水素／天然ガスの「混焼運転」対応のための課題抽出を完了した。

B.冷熱活用システム検討

- ①熱利用熱交換器(液化水素/ブライン)の基礎検討を行い、液化水素の気化冷熱を活用し空気を冷却する場合の課題を抽出し、その解決策を検討した。
- ②冷熱利用による蒸発器の着霜防止効果を定量的に確認する。
- ③空気冷却器の模型着霜実験を行い、空気冷却器における着霜発生境界条件を確認する。
- ④冷熱利用によるガスタービンの発電出力向上効果を定量的に確認する。

●今後の課題

- A. ドライ低NOx水素専焼ガスタービン開発
全負荷領域において、NOx排出値35ppm以下の達成に向けた改良開発の実施が必要。
- B. 冷熱活用システム検討
タービン吸気冷却を行った場合のタービン側の課題を抽出してゆくことが必要

●実用化・事業化の見通し

水素の市場価格推移、副生水素の発電利用ニーズを注視しつつ、2020年代初頭には水素発電の需要が顕在化し、本格的な事業化に至ると考えられる。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価	
A：「ドライ低NOx水素専焼ガスタービンの運転実証」	・世界初の実用レベルのドライ方式水素専焼ガスタービンによる発電装置の実証を完了し、水素発電所としての実運用を開始 ・発電端効率27%以上を達成	○	
B：「冷熱活用システム検討」	・冷熱利用の基礎検討およびシミュレーションモデルの作成が完了。発電出力および効率向上効果の定量評価に目途	○	
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1件(予定)	1件	66件	なし

「水素社会構築技術開発事業／
大規模水素エネルギー利用技術開発／
ドライ低NOx水素専焼ガスタービン技術開発・
実証事業」(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

川崎重工業株式会社

株式会社大林組

2020年12月4日

1/45

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆研究目的

第5次エネルギー基本計画 (2018年7月)

水素基本戦略 (2018年12月26日)

水素・燃料電池戦略ロードマップ^o (2019年3月12日)

- 将来の二次エネルギーでは水素が中心的役割を担うことを期待
- 水素はエネルギー安全保障と温暖化対策の切り札
- 水素を安定的かつ大量に消費する水素発電は、国際的なサプライチェーンの構築とセットで進めるべき最重要のアプリケーション



【研究目的】将来の本格的な「水素発電」の実現に向けた競争力向上 (高効率化、環境性向上、付加価値向上)

【実施内容】①ドライ低NOx水素専焼ガスタービンの運転実証
②冷熱活用システムの検討

2/45

A.ドライ低NOx水素専焼ガスタービンの運転実証

3/45

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆研究課題

水素ガスタービン発電での水噴射方式[※]の位置付け

※水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業で実証完了

- 自家用発電規模を対象に水素発電の導入促進（水素・燃料電池戦略ロードマップのフェーズ1に対応）⇒ 早期に水素専焼発電を実現するための技術を確立

高効率化・環境性向上における課題

- 高温燃焼により発生するサーマルNOxを水噴射により抑制
⇒ 発電効率の向上が困難
- 水噴射量を増やせばNOxは低下するが、効率が更に低下し燃焼が不安定化
⇒ 効率とNOx性能の両立が困難
- GT大型化にともない水噴射用の設備が大型化し、イニシャルコスト／ランニングコストと設備設置面積の増大 ⇒ 大型化に不利

ドライ方式に取り組む意義

- 効率と環境性能の両立：ドライ方式は、水素専焼における効率の向上と高い環境性能（NOx）を同時に達成できる画期的な技術。水素専焼での環境性能は世界最高レベル。ドライ方式での水素専焼は世界初の取り組み。
- 将来的な大型化への対応：ドライ方式では、水噴射用の設備が不要になるため、イニシャルコスト、ランニングコストを抑えながら大型化へ対応可能

4/45

◆実施内容

- ▶ 「水素利用等先導研究開発事業／大規模水素利用技術の研究開発／水素ガスタービン燃焼技術の研究開発」で要素開発に目途がついた「水素専焼ドライ低NOx燃焼器」を「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業」で整備した実証設備に実装し、水素専焼運転での水素ガスタービン・コージェネレーションシステム（水素CGS）のフィールド実証を行う。
- ▶ 「水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業」で開発実証した統合型エネルギーマネージメントシステム（統合型EMS）についても、ドライ方式に合わせた再設計・改修を行い、ドライ方式水素CGSの環境性、事業性を評価する。



微小火炎型ドライ方式燃焼器試作品と
燃焼器単体試験風景

フィールド実証試験設備全景

5/45

◆開発目標

【川崎重工業株式会社】

- ① 50%負荷から定格100%負荷運転において、NOx濃度35ppm(残存酸素16%換算値)以下※を達成する。
- ② 起動時の回転数上昇およびアイドル運転において、水素燃焼での失火や逆火が発生しない安定燃焼を達成する。
- ③ ガスタービンの実運用で想定される急激な負荷変動に対応すべく、燃料の急遮断等の条件において、水素燃焼での失火や逆火が発生しない安定燃焼を達成する。
- ④ 15℃/1気圧の標準大気条件、発電負荷100%におけるガスタービン発電装置単体での発電端効率27%以上※を達成する（冷熱利用は加味しない）。

※水素・燃料電池戦略ロードマップ（2019年3月12日）に記載された数値目標

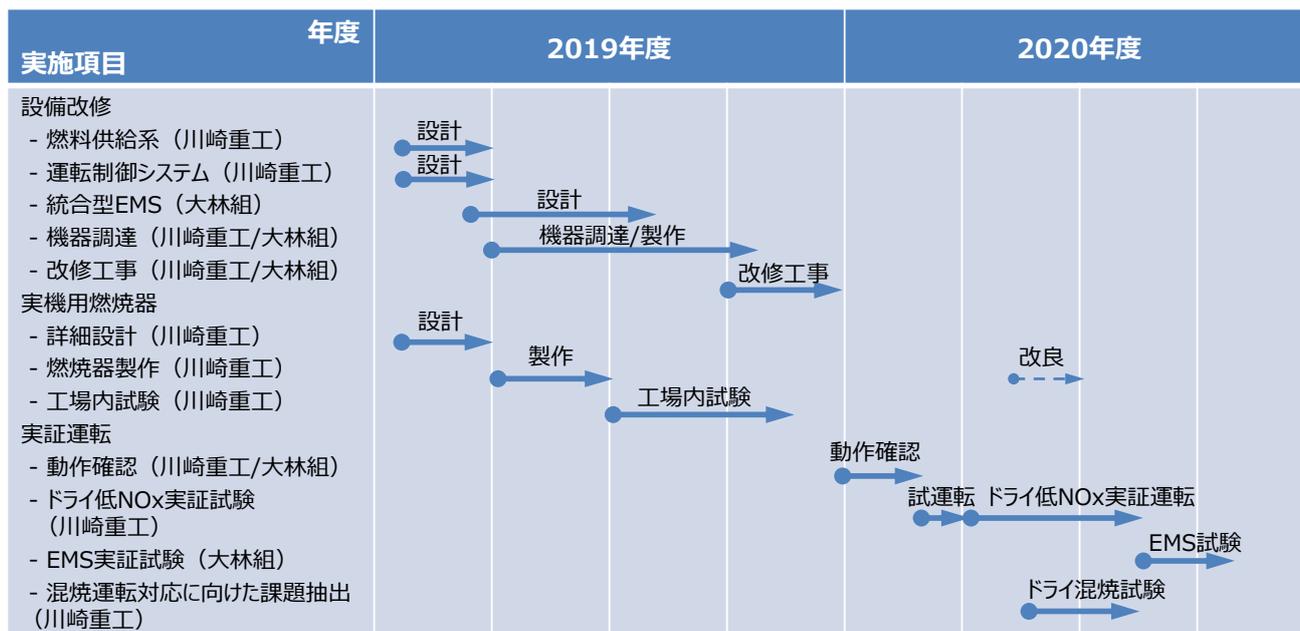
【株式会社大林組】

- ①水噴射方式よりもドライ方式水素ガスタービン・コージェネレーションシステムで電熱を供給した場合の方が環境性や事業性が優位であることを確認する。

6/45

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆実施内容とスケジュール



7/45

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆個別研究開発項目の目標と達成状況

開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
1. 設備改修				
1-1 燃料供給系の改修設計 (川崎重工)	燃料供給系の改修設計を完了し、設備改修に必要な機器および工事の発注を完了する。	2019年10月までに、燃料供給系の改修設計を完了し、設備改修に必要な機器および工事の発注を完了。	○	課題なし
1-2 運転制御システムの改修設計 (川崎重工)	運転制御システムの改修設計を完了し、設備改修に必要な工事の発注を完了する。	2019年12月までに、運転制御システムの改修設計を完了し、設備改修に必要な工事の発注を完了。	○	課題なし
1-3 統合型EMSの改修設計(大林組)	統合型EMSの改修設計を完了し、設備改修に必要な工事の発注を完了する。	川崎重工業の監視制御項目のうち、ウェット方式燃焼器からドライ方式燃焼器への改造に伴い変更(確定)となる項目を確認・調整し、EMS改造計画をまとめた。	○	課題なし
1-4 機器調達・製作 (川崎重工)	設備改修に必要な機器の調達・製作を完了する。	2020年4月までに、設備改修に必要な機器の調達・製作を完了。	○	課題なし
1-5 改修工事の実施 (川崎重工/大林組)	設備の改修工事を完了し、運転試験実施のための設備動作確認に移行する。[川崎重工]	2020年4月までに設備の改修工事を完了し、運転試験実施のための設備動作確認に移行。[川崎重工] 現地(エネルギーセンター)でEMS装置のソフトウェアの設定変更作業、および、クラウドの設定変更作業を行った。[大林組]	○	課題なし

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

8/45

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
2. 実機搭載用燃焼器の製作				
2-1 詳細設計 (川崎重工)	実証試験に使用する実機搭載用燃焼器の設計を完了する。	2019年10月/12月/2020年1月までに、実機搭載用燃焼器3基（供試体①/②/③）の設計を順次完了。	○	課題なし
2-2 製作 (川崎重工)	実機搭載用燃焼器の製作を完了する。	2020年1月/3月/5月までに、実機搭載用燃焼器3基（供試体①/②/③）の製作を順次完了。	○	課題なし
2-3 工場内試験 -燃焼器単体 (川崎重工)	工場内の燃焼器試験設備において、実機搭載用燃焼器の水素による燃焼試験を実施し、燃焼器単体での性能と健全性の確認を完了する。	2020年2月/4月/6月までに、実機搭載用燃焼器3基（供試体①/②/③）の水素による燃焼試験を実施し、燃焼器単体での性能と健全性の確認を順次完了。	○	課題なし
2-4 工場内試験 -始動性確認 (川崎重工)	工場内のガスタービン試験設備において、実機搭載用燃焼器の天然ガスによる始動試験を実施し、始動安定性と安全性の確認を完了する。	2020年2月/4月/6月までに、実機搭載用燃焼器3基（供試体①/②/③）の天然ガスによる始動試験を実施し、始動安定性と安全性の確認を順次完了。	○	課題なし
2-5 改良 (川崎重工)	実証試験の結果をうけて、要すれば燃焼器の改良を実施する。	2020年5月より開始した実機に搭載しての実証運転試験の結果、安定運転に障害となる「燃焼振動」が発生したことから、燃焼器の改良を実施し、「燃焼振動」を大幅に抑制するとともに、効率についても向上させる技術の開発に成功。	○	課題なし

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

9/45

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
3. 実証運転				
3-1 動作確認 (川崎重工/ 大林組)	設備の改修部分について、機器および制御システムの動作確認を実施し、ドライ燃焼器による運転が可能であることの確認を完了する。	2020年4月末までに、機器および制御システムの動作確認を完了し、ドライ燃焼器による運転が可能であることの確認を完了。	○	課題なし
3-2 ドライ低 NOx実証 試験 (川崎重工)	起動時およびアイドル運転時において、水素燃焼での失火や逆火が発生しない安定燃焼の達成	2020年5月12日～10月6日までに起動/アイドルを58回実施し、全く問題なし。安定燃焼を達成。	○	課題なし
	ガスタービンの実運用で想定される急激な負荷変動、燃料の急遮断等の条件において、水素燃焼での失火や逆火が発生しない安定燃焼の達成	2020年5月12日～10月6日までに実運用で想定される急負荷変動/急遮断等の様々な運転パターンを実施し、全く問題なし。安定燃焼を達成。	○	課題なし
	標準大気条件/発電負荷100%における発電端効率27%以上の達成	2020年10月現在、負荷100%で発電端効率27.0%以上を達成	○	課題なし
	NOx濃度35ppm(残存酸素16%換算値)以下の達成	2020年10月現在、低負荷領域では35ppm以下を達成。ただし、高負荷領域において目標のNOx値35ppm以下が未達成（法律上の制限値[70ppm]は十分クリアしている。）	△ (本事業後)	目標達成には「燃焼振動」の発生抑制が必要。「燃焼振動」の抑制には燃焼器の形状の見直しが必要だが、燃焼器を改良することにより目標達成できると見込んでいる。

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

10/45

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
3. 実証運転				
3-3 EMS実証試験 (大林組)	水噴射方式よりもドライ方式の方が環境性や事業性が優位であることを確認	2020年11月に実証運転を実施予定。	△ (2020/11)	
3-4 混焼運転対応に向けた課題抽出 (川崎重工)	ドライ燃焼器において、水素/天然ガスの「混焼運転」対応のための課題の抽出が完了している。	2020年7月から課題抽出のための混焼運転を開始し、安定運転に支障となる「燃焼振動」の発生領域と、天然割合が増加時の保炎可能領域を特定し、「混焼運転」実現のための課題の特定が完了した。	○	本事業で課題として抽出された、「燃焼振動」の更なる抑制と天然ガス割合が高い時の保炎性の確保に向けた要素開発を進める必要がある。

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

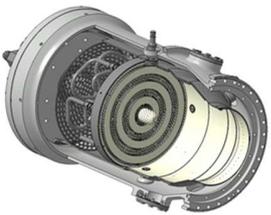
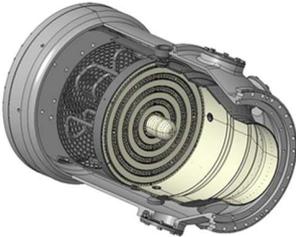
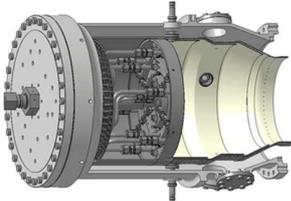
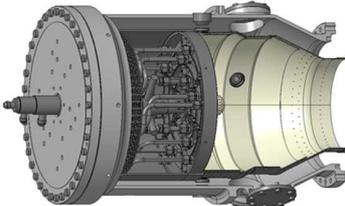
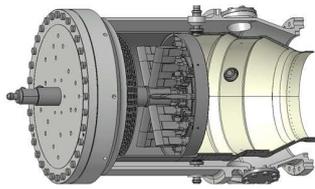
11/45

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆ 個別テーマの成果と意義

2-2 実機搭載用燃焼器の製作

➤ 下表の3種類の燃焼器を製作し、NOx/発電効率/安定性の比較を実施。

供試体① 水素噴出孔径：0.8mm	供試体② 水素噴出孔径：0.55mm	供試体③ 水素噴出孔径：0.8mm
		
		
内部の水素供給は配管 + 摩擦継手による供給	内部の水素供給は配管 + 摩擦継手による供給	内部の水素供給は削り出しブロックによる供給 (量産時の組立性および耐久性の向上を評価)

12/45

◆個別テーマの成果と意義

2-5 実機搭載用燃焼器の改良 (1/2)

- 実証運転開始当初は、ある特定の発電負荷領域で非常に強い「燃焼振動」が発生し、安定運転の妨げとなった。

燃焼振動とは

燃焼時に高周波の圧力振動波が発生する現象。
古くから現象としては確認されているが、発生メカニズムについては諸説あり研究が進められている。

激しい騒音を生じるとともに、圧力波により高周波で繰り返し荷重が発生するため、燃焼器部品やタービン翼に疲労破壊等を引き起こすことがあり、非常に危険な現象。

- 今回の実証運転により、「燃焼振動」と「低NOx」は背反の関係（NOx生成量を下げようとすると「燃焼振動」が発生し、「燃焼振動」を抑制するとNOx発生量が多くなる。）ことが明らかになった。
- 当初の計測データによる試算では、定格条件での予想発電効率は26.8%程度であり、目標の27.0%以上は達成困難と予想。



「燃焼振動」抑制と低NOxの両立、および発電効率向上のための改良を実施

◆個別テーマの成果と意義

2-5 実機搭載用燃焼器の改良 (2/2)

■ 供試体による性能比較 ○：他と比較して「良」、△：他と比較して「やや良」、×：他と比較して「不良」

	「燃焼振動」	NOx性能	効率	備考
供試体①	△	×	○	
供試体②	×	○	×	
供試体③	△	×	○	量産を視野にいた設計

■ 改良による効果比較 ◎：「効果大」、○：効果あり、△：やや効果あり、×：効果なし/悪化

	「燃焼振動」抑制効果	NOx低減効果	効率向上効果	備考
改良①	△	×	×	
改良②	◎	○	◎	
改良③	◎	○	◎	起動安定性やや不良
改良④ (模擬)	△	◎※	△	※本適用には燃焼器の新規製作が必要のため、「模擬」的に実施し、本適用した場合の性能を推定。
改良② + ④ (模擬)	◎	◎※	◎	

- 発電所としての落成検査には「供試体③」+「改良②」を採用
- 「燃焼振動」を大幅に抑制し、かつ効率も向上する新技術の開発に成功

◆個別テーマの成果と意義

3-2 ドライ低NOx実証試験 (1/2)

- 2020年9月15日～9月18日に、「電気・熱」の供給試験の実施に向けた発電所落成検査受検のための燃焼器形態（「供試体③」+「改良②」）において、常用ガスタービン発電装置向けに設定された社内基準による運転検査を実施。
 - ・冷態始動/停止試験 ⇒ 合格
 - ・負荷追従試験 ⇒ 合格
 - ・急負荷遮断試験 ⇒ 合格
 - ・非常停止試験 ⇒ 合格
 - ・NOx性能確認 ⇒ 合格（※法律上の規制値：70ppm以下[16%O₂換算]での評価）
 - ・温態始動試験 ⇒ 合格
 - ・急負荷投入試験 ⇒ 合格
 - ・急負荷変動試験 ⇒ 合格
 - ・燃費性能確認 ⇒ 合格
- 2020年9月29日～10月6日に、同上の燃焼器形態において、法定で定められた運転検査および最終性能検査を実施。
 - ・冷態始動/停止試験 ⇒ 合格
 - ・急負荷遮断試験 ⇒ 合格
 - ・総合インターロック試験 ⇒ 合格
 - ・連続最大負荷運転試験 ⇒ 合格
 - ・環境性能試験（NOx/振動/騒音）⇒ 合格



顧客へ納入する製品と同等の社内/法定検査に全て合格し、**世界初**となる**ドライ方式燃焼器を適用した「水素専焼ガスタービン発電所」**として**落成**を完了し、**実運用を開始**

◆個別テーマの成果と意義

3-2 ドライ低NOx実証試験 (2/2)

- 2020年10月19日に実施した実運用運転試験で取得したデータにおいて、定格負荷条件での**発電端効率27.0%以上を達成**
- 定格負荷条件でのNOx値は、大気汚染防止法における規制値の70ppm以下は十分マージンを持ってクリアしているものの、事業目標である35ppmは高負荷領域において未達成。



- 設計予想値である26.8%を大幅に超える、**チャレンジングな目標値である発電端効率27.0%以上を達成（ウェット方式より約0.9%向上）**
- NOxについては法律上の制限値（70ppm以下-16%O₂換算）は十分クリアしているものの、達成目標である35ppmは部分的に未達
⇒ **達成には更なる改良研究が必要**



- 今後、耐久性評価のために運転時間を増やす必要あり。
⇒ **事業期間終了まで、極力、実運用による運転を継続する予定**

◆個別テーマの実施内容

1-3 統合型EMSの改修 (大林組)

・基本計画

川崎重工業の監視制御項目のうち、ウェット方式燃焼器からドライ方式燃焼器への改造に伴い変更予定となる項目を確認・調整し、EMS改造概要をまとめた。

・基本設計

川崎重工業の監視制御項目のうち、ウェット方式燃焼器からドライ方式燃焼器への改造に伴い変更（確定）となる項目を確認・調整し、EMS改造計画をまとめた。

・改造作業

現地（エネルギーセンター）でEMS装置のソフトウェアの設定変更作業、および、クラウドの設定変更作業を行った。

・既設設備の維持保守

既設設備の機能維持のため、日常点検、定期点検を実施した。川崎重工業 ガスタービン維持保守運転に合わせてガスタービン補機動力の運転実績データの計測や、需要家の電力・熱需要データの計測を継続して行っている。

17/45

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

プロジェクトとしての達成状況

- NOx値については一部目標未達の状態にあるが実用レベルの範囲であり、高効率化および安定燃焼の実現といった、発電装置として必要な目標については全て達成が確認されている。

成果の意義

- 世界初となるドライ方式を適用した水素専焼ガスタービン発電所が落成したことは、高効率なドライ方式燃焼器が実用レベルの完成度であることを証明したこと他にない。
- 高効率化の達成は、将来の本格的な水素発電におけるランニングコスト低減に大きく寄与し、水素社会の実現に大きく貢献するものと考えられる。

18/45

◆ 成果の普及

	2019年度	2020年度	計
論文(査読付き)	1	0	1件
研究発表・講演	21	8	29件
新聞・雑誌等への掲載	14	4	18件
プレスリリース	0	5	5件
展示会への出展	4	0	4件
その他 (パンフレット、動画、HP、報告書等)	6	4	10件
現地視察	111	18	129件

- 2019年5月～2020年9月末までの成果公表実績は上表の通り。
- 国内外より多数の視察者を受入れ。
(設備完成後の2018年2月からの累計で延べ263回・46ヶ国・2,500人以上)
- 国内外で新聞・雑誌の記事として多数掲載された。
- 水素エネルギー活用の普及啓発、社会受容性の向上に向けて積極的に発信・展開した。

19/45

◆ 知的財産権の確保に向けた取り組み

戦略に沿った具体的取組

- 本事業において開発した「燃焼振動」の抑制および「発電効率」の向上に係る技術に関して特許出願を準備中。

	2019年度	2020年度	計
特許出願(うち外国出願)	0	(1)※	(1件)

※出願準備中

【補足】 ベースとなる特許出願（本事業開始前の特許出願）

燃焼器構造について：特許 2017-515291, 特許 2016-523566 ガスタービンエンジンの燃焼装置
 実機ガスタービン運転時の燃料操作について：特願2017-096984 ガスタービン燃焼器および運転方法
 燃焼装置について：特願2018-247952 燃焼装置

20/45

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

- 本プロジェクトの完遂により、ドライ方式水素ガスタービンは実用化に大きく近づくと考えられる。実証で明らかになった課題が有れば、実用化に向けた課題の解決に取り組む。実用化技術を確立した後は、水素の流通価格の低減の推移、および副生水素の発電利用のニーズも見つつ、2020年代には水素発電の需要が顕在化し、本格的な事業化に至ると考えられる。

◆成果の実用化・事業化の見通し（概要・取組）

- 研究開発を行う製品・サービス等の概要
 - (1) 内容
工場やビル等の商業施設において、水素を燃料としたガスタービンコージェネレーションシステム(水素CGS)の販売およびアフターサービス。
 - (2) 用途（販売予定先）
自社工場やビルを所有する民間の事業者。
水素を燃料として使用した発電を行う発電事業者。
- 研究開発への取組
 - (1) 研究開発を考えるに至った経緯（動機）
今後のエネルギーの方向性の1つとして、CO₂削減に効果の大きい水素による発電が提唱されており、政府方針でも水素発電は取り上げられている。
 - (2) 事業として成功すると考えた理由
今後、事業者がCO₂削減を考える際に、水素発電は最も効果的な手段として大きな需要が見込まれ、効率の高いドライ燃焼方式はランニングコストの面で事業者にメリットがあるため。

◆成果の実用化・事業化の見通し（市場の動向・競争力）

● 市場の動向・競争力

(1) 市場規模（現状と将来見通し）／産業創出効果

CO₂排出量削減の機運を受け、国内外において、今後は自家用や研究機関向けを中心に水素ガスタービン発電の需要が徐々に拡大するものと思われる。

(2) 競合が想定される他社の開発動向とそれに対する優位性の根拠

日立製作所（現 三菱パワー）、GE社他においても水素ガスでのドライ燃焼技術の開発が進められているが、今回の開発では競合他社に先駆けて実用レベルのドライ低NOx水素専焼ガスタービンの完成を目指している。

(3) 価格競争力

ドライ低NOx水素専焼ガスタービンは、需要先のニーズに適う製品として、高い付加価値を有する。

◆成果の実用化・事業化の見通し（売上見通し）

● 売上見通し

(1) 売上見通し

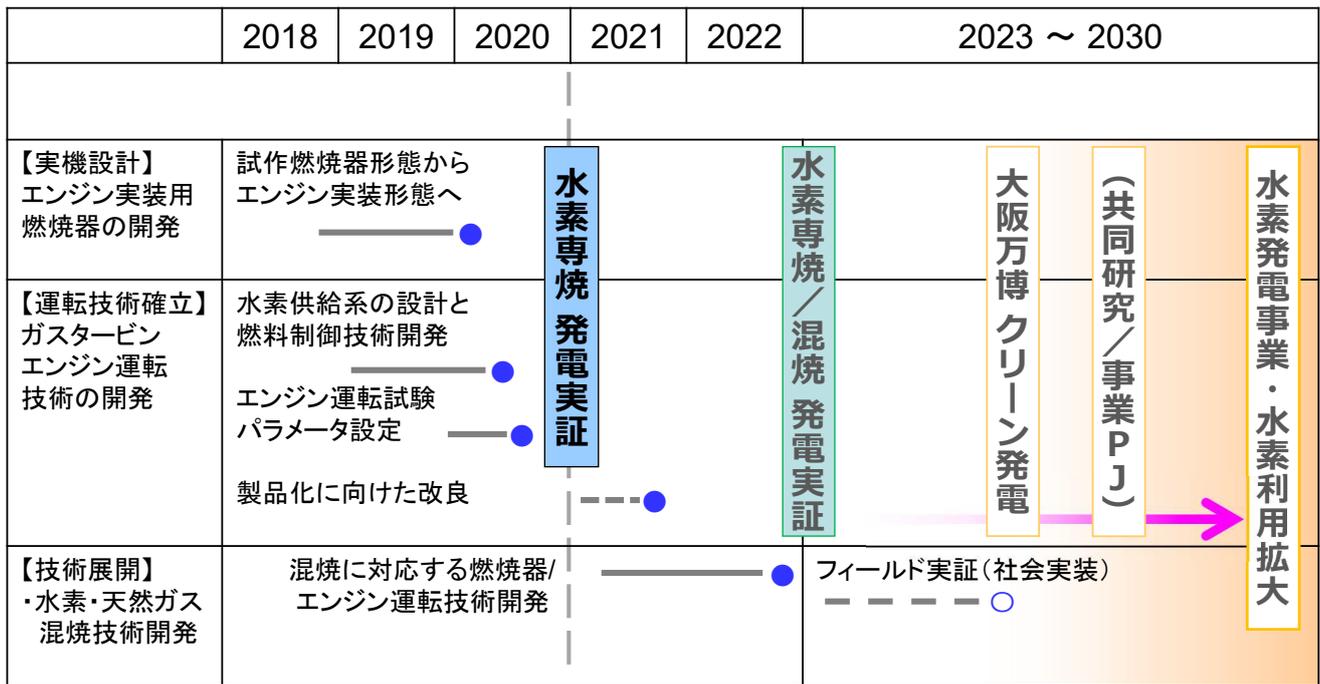
水素CGSの売上が急速に伸び始めるのは2020年代と想定している。売上については水素の流通価格の他に様々な要因が影響するために、一概に現時点で見通しを立てるのは難しいものの、自家用向け水素発電の需要拡大見通しを背景として、水素ガスタービンは大きな売り上げ見込みが期待できる。

(2) 売上見通し設定の考え方

政府方針（水素・燃料電池戦略ロードマップ）においては、2020年代には海外からの大規模な水素導入が始まり、自家用向けに水素発電の普及が進むと示されている。

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取り組み



● : 基本技術確立

4. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

◆ 波及効果

- 本プロジェクトにて技術開発を行う 1 MW級水素ガスタービンの年間の水素消費量は、販売されている燃料電池自動車（FCV）の約2万台分に相当することから、水素社会の実現に向けた新たな水素需要の創出に大きく貢献するものである。

B. 冷熱活用システムの検討

27 / 45

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆背景・目的

- わが国では、温暖化対策として2030年を目標にCO2フリーの液体水素の導入を目指しているが、LNGに比べ、経済的に厳しい面がある。しかし、液体水素は大気圧における沸点が約-250℃とLNGの約-160℃より低く、化学エクセルギーに対する低温物理エクセルギーの比率（同一質量流量にて）は、LNGの1.8%に対して12.5%ある。こうした背景から、水素の大量導入による冷熱利用により、ガスタービン複合発電の高効率化（目標効率2ポイントアップ）、高稼働率化システム（外気温度に影響を受けない）を提案する。

28 / 45

◆技術開発の目標

水素の大量導入による冷熱利用により、ガスタービン複合発電の高効率化（目標効率2ポイントアップ）、高稼働率化システム（外気温度に影響を受けない）を提案し、将来の本格的な水素発電の普及に向けた水素専焼運転での更なる高効率化、低コスト化運用に向けた研究を行う。

◆個別研究開発項目の目標と達成状況

開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①冷熱利用熱交換器の基礎検討	熱利用熱交換器の基礎検討を行い、液化水素の気化冷熱を活用し空気を冷却する場合の課題を抽出し、その解決策を検討	<ul style="list-style-type: none"> ・基礎検討完了 ・課題抽出、対応策検討完了 ・熱交換器試設計完了 	○	課題なし
②蒸発器の着霜防止効果を定量評価	冷熱利用による蒸発器の着霜防止効果を定量的に確認	<ul style="list-style-type: none"> ・シミュレーションによる評価完了 ・実験装置による評価を実施予定 	△	シミュレーションと実験結果比較によるシミュレーション精度向上
③空気冷却器着霜発生条件を把握	空気冷却器の模型着霜実験を行い、空気冷却器における着霜発生境界条件を確認	着霜実験結果を踏まえ評価予定	△	実験結果により課題を抽出予定
④冷熱利用の経済合理性の定量評価	冷熱利用によるガスタービンの発電出力向上効果を定量的に確認	<ul style="list-style-type: none"> ・定量評価シミュレーション完成 ・試設計および工事費の算出完了 ・着霜実験結果を踏まえ評価予定 	△	実験結果により課題を抽出予定

◆ 個別テーマの実施内容

B. 冷熱活用システムの研究

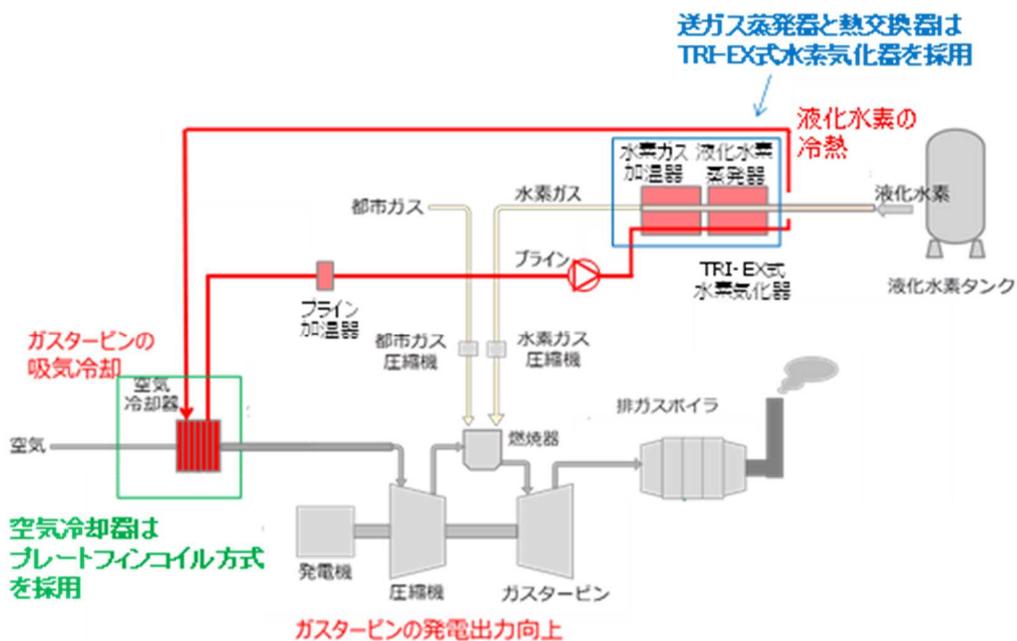
・研究方針

液化水素の冷熱をガスタービンの吸気冷却に活用するシステムについて検討するため、液化水素の蒸発器を液温式（液体/液体）とし、既存のLNG気化器の構造にならい水素用気化器を試設計し、その性能を研究することとした。また、冷熱を用いてタービン給気を冷却するための空気冷却器は、シンプルなシステム構成、運転制御・運用保守のし易さ、導入実績を鑑み、プレートフィンコイル方式を採用した。研究は、プロセスシミュレーションでこのモデルを構築し、発電出力向上効果（概算）を確認することで行った。

・システム構成

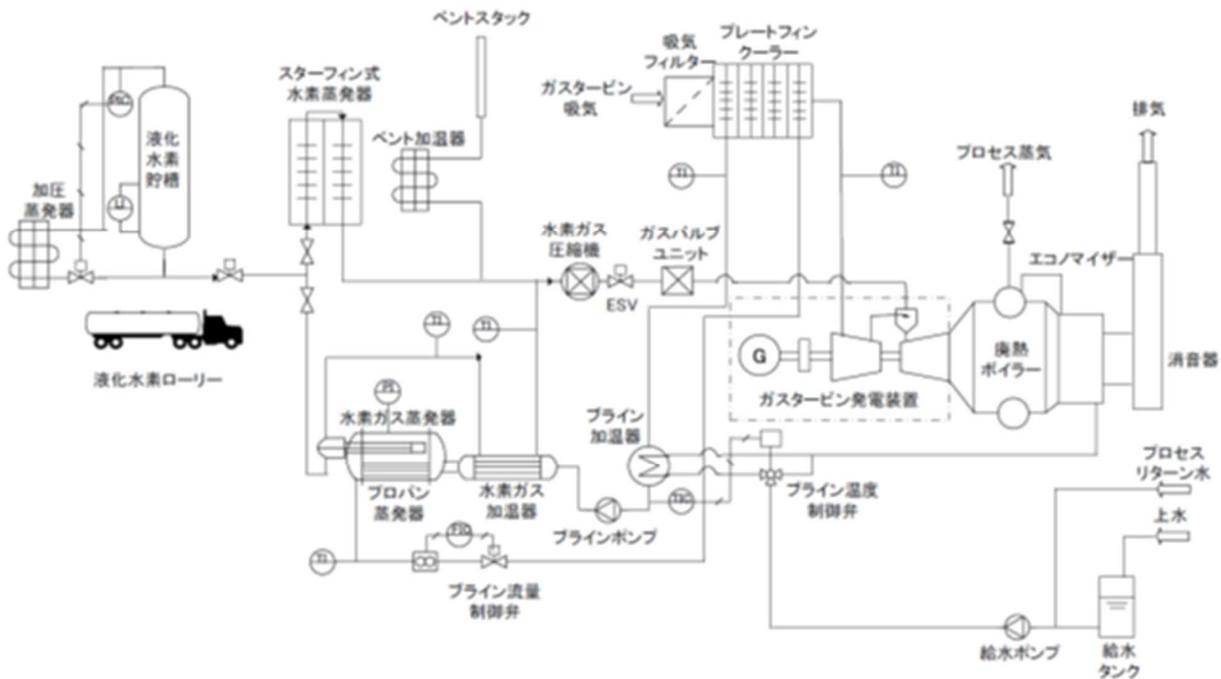
液化水素冷熱を直接冷却媒体と熱交換させると、媒体の凍結や着霜の問題が生ずるため、プロパン等を中間媒体とし、タービン給気を冷却のためにブラインを介して取得した熱でプロパン蒸気を気化させ、気化したプロパン蒸気を水素冷熱で冷却するというシステム構成とした。なお、中間媒体やブラインは各種比較検討し、本実証に最適な材料を選定した。

◆ 個別テーマの実施内容



システム構成イメージ

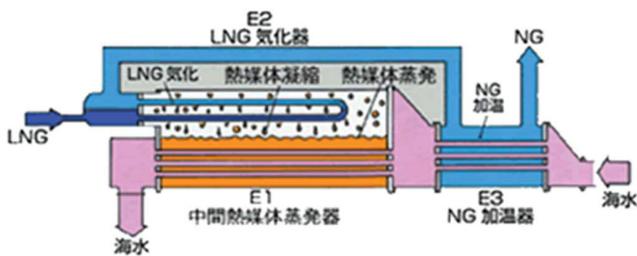
◆個別テーマの実施内容



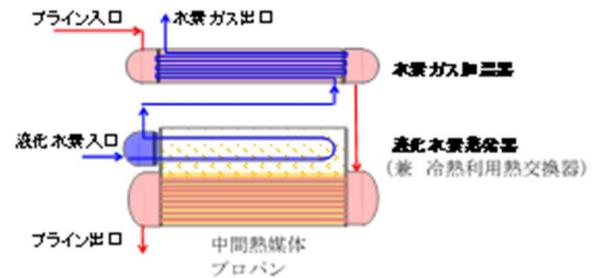
シミュレーション対象としたシステム構成イメージ

◆個別テーマの実施内容

液化水素冷熱を直接冷却媒体と熱交換させると、媒体の凍結や着霜の問題が生ずるため、プロパン等を中間媒体とし、タービン給気を冷却のためにブラインを介して取得した熱でプロパン蒸気を気化させ、気化したプロパン蒸気を水素冷熱で冷却するというシステム構成とした。なお、中間媒体やブラインは各種比較検討し、本実証に最適な材料を選定した。



LNG気化器の構成

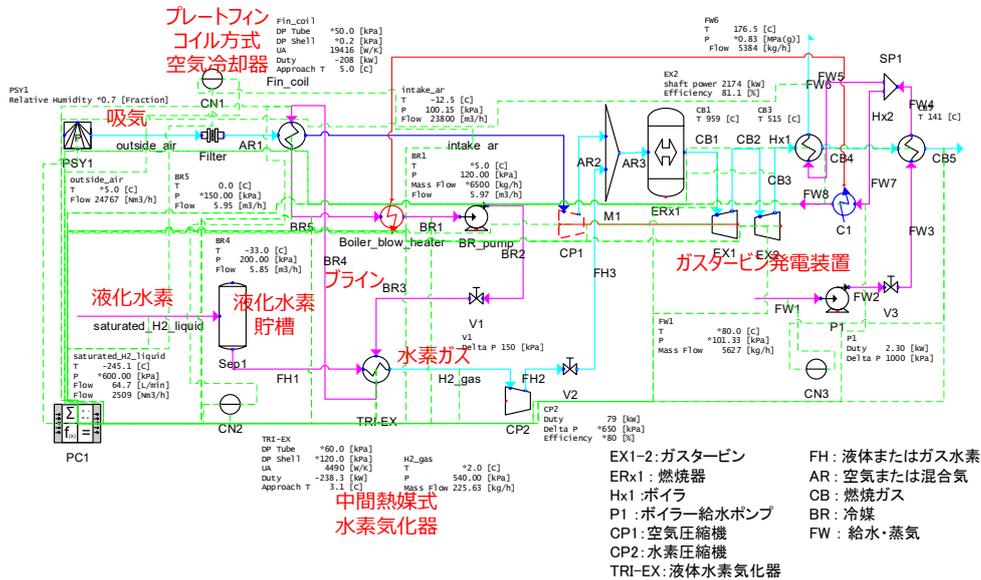


水素用気化器の構成

◆ 個別テーマの実施内容

・シミュレーションモデルの構築

中間熱媒式 水素気化器を組み込んだシミュレーションモデルを構築し、液化水素冷熱でガスタービンの吸気を冷却した場合の発電出力・効率を評価した。



◆ 個別テーマの実施内容

・シミュレーションモデルの結果の一例

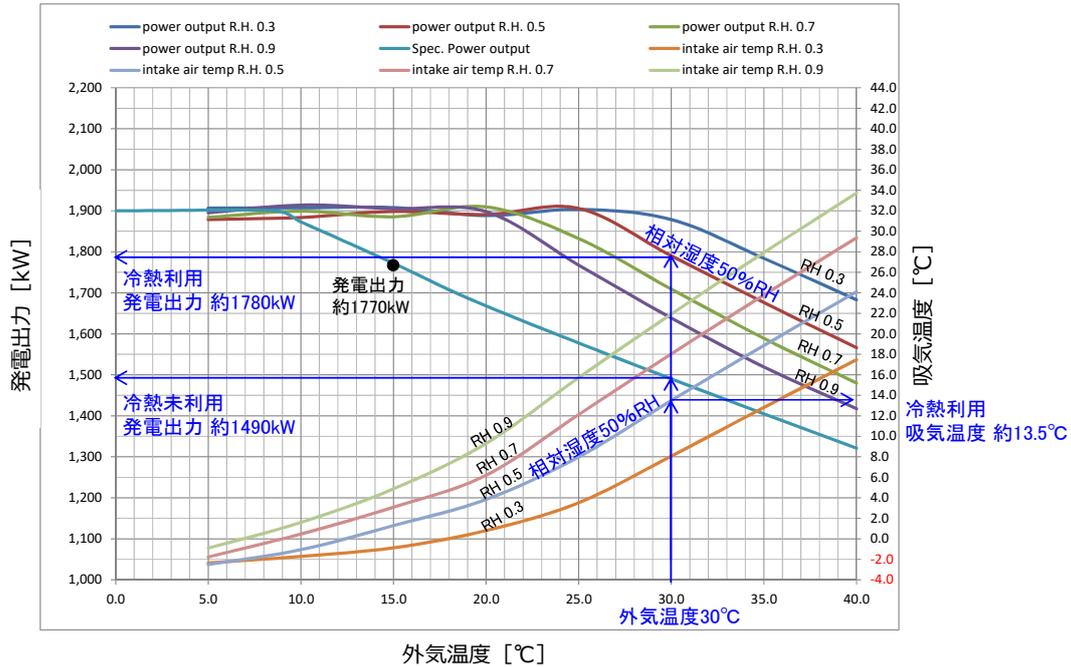
吸気冷却ガスタービンシステムの発電出力を予想するため、カタログデータのメタン燃料の総合熱効率、発電出力、ヒートレート（発電効率）、出口排ガス温度に合わせて、発電機/減速機の効率を一定として、吸気温度に応じた定格負荷の吸気容積、タービン入口燃焼ガス温度、断熱熱効率、燃料及び空気流量（空燃比）、蒸気発生量、排ガス流量・温度を評価した。1MW級ガスタービンにおける発電出力、発電量、発電効率の向上効果を試算した。1MW級ガスタービンの場合では、

- 発電出力 およそ年間平均 130kW 増加 (8%増加)
- 発電量 およそ年間あたり 1200MWh/年 増加 (8%増加)
- 発電効率 およそ年間平均 0.8ポイント 向上

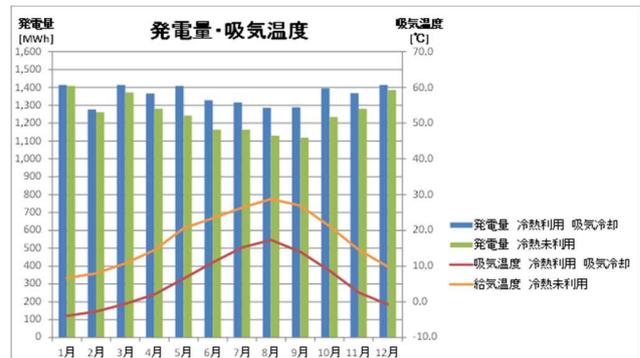
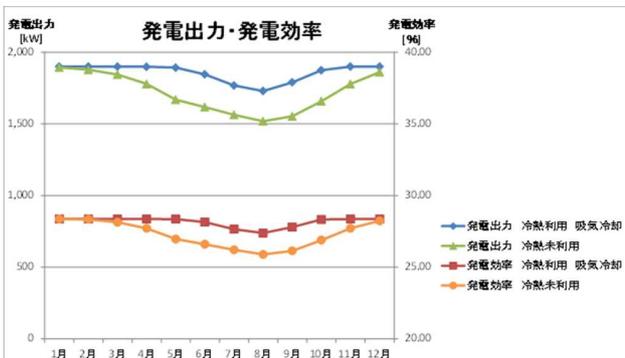
が得られることが確認できた。

◆ 個別テーマの実施内容

外気温度・相対湿度と発電出力の関係
外気温度・相対湿度と吸気温度の関係

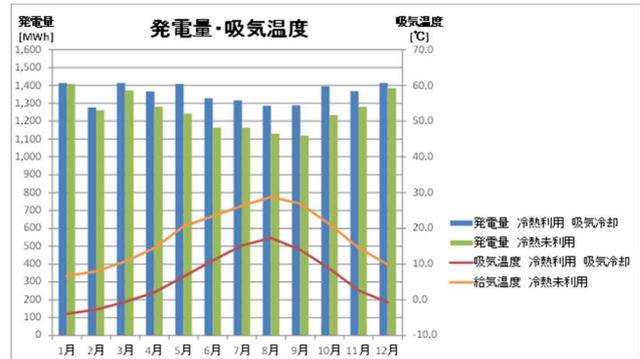
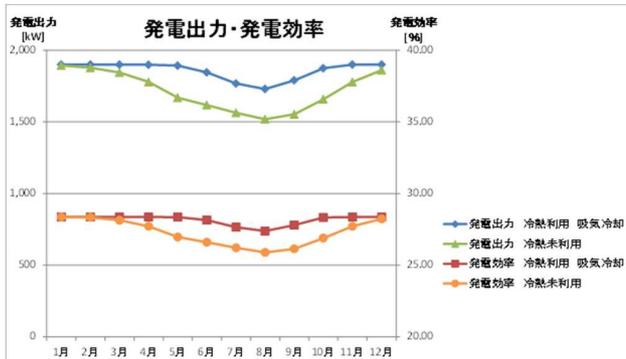


◆ 個別テーマの実施内容



各月ごとの冷熱利用効果

◆ 個別テーマの実施内容



各月ごとの冷熱利用効果

◆ 個別テーマの実施内容

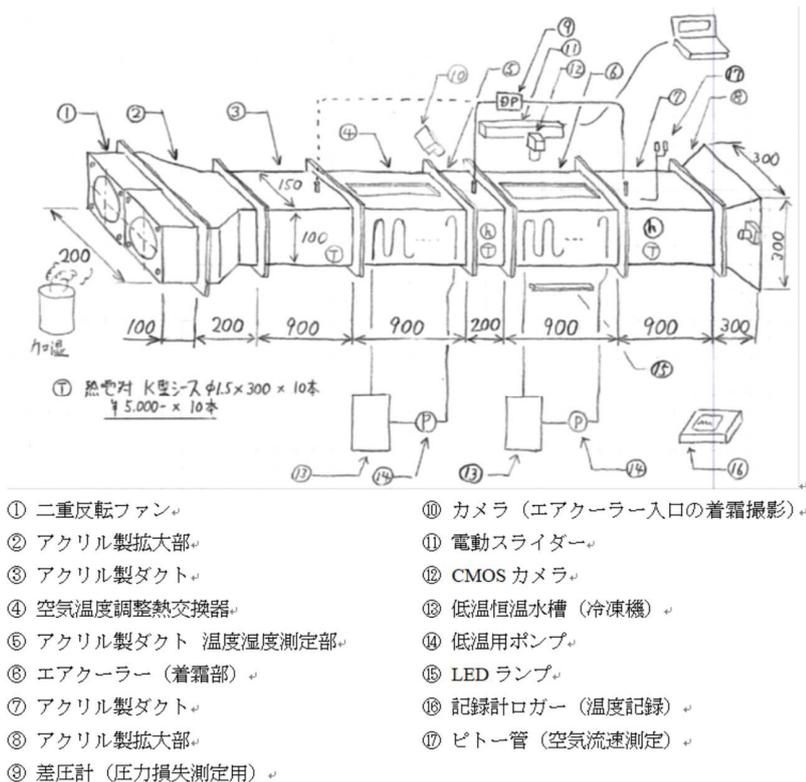
・タービン給気冷却における課題

本研究により液化水素気化時の着霜は解決するものの、得られた冷熱をガスタービン吸気冷却に利用する場合、空気冷却器においても外気条件、空気冷却温度によってはコイル表面が着霜する。着霜した場合、空気冷却器での熱交換効率低下に伴い空気冷却効果が低下し（空気温度が下がらず）、発電出力向上効果の低下が懸念される。また、着霜による圧力損失増加に伴い吸気量が低下し、発電出力の低下が懸念される。冷熱を最大限活用するためには、着霜を抑制した運用が鍵となる。

・課題への対策

霜の形成過程は複雑で、これまで具体的な知見は見受けられない。そのため、着霜発生の条件、あるいは、着霜しない限界の条件について実験を通して探り、その結果をシミュレーションに反映させ、計算精度を高めることとした。そこで、空気冷却器の着霜評価実験（模擬実験）を行うこととし、10月から実験開始を予定している。

◆ 個別テーマの実施内容



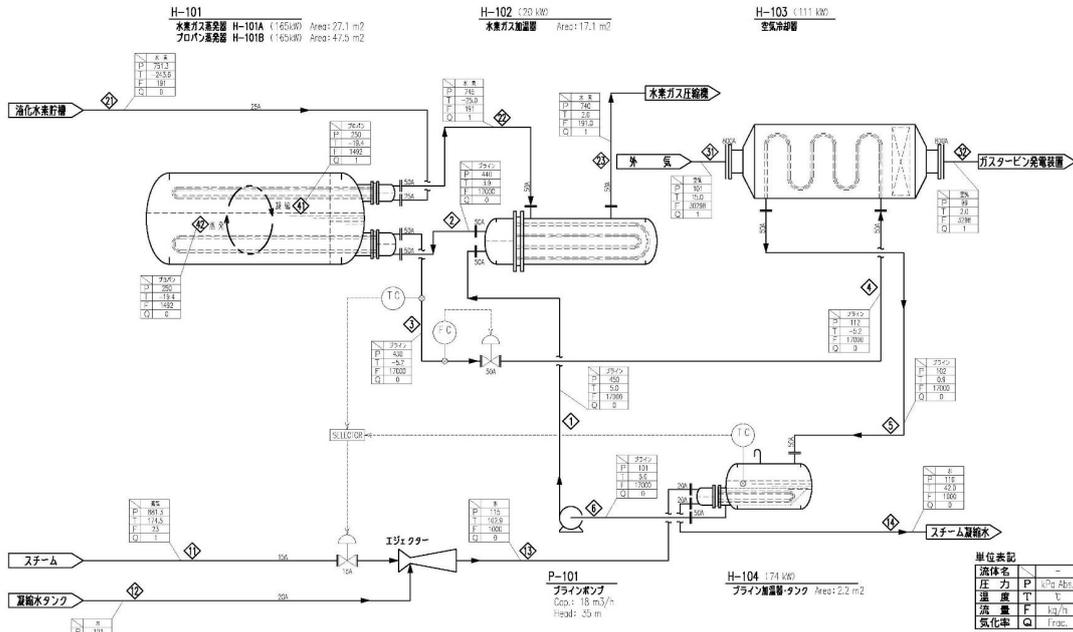
◆ 個別テーマの実施内容

・冷熱活用システムの経済合理性評価

冷熱活用システムの経済性を確認するため、1メガワットの水素ガスタービン向けの液化冷熱システムの試設計（主要機器選定、配管系統図、配置図、配管フロー図作成および工事費の概算見積もり）を実施した。先の着霜実験の結果を踏まえた液化冷熱利用効果と合わせて、システム全体の経済合理性を評価する予定である。

◆ 個別テーマの実施内容

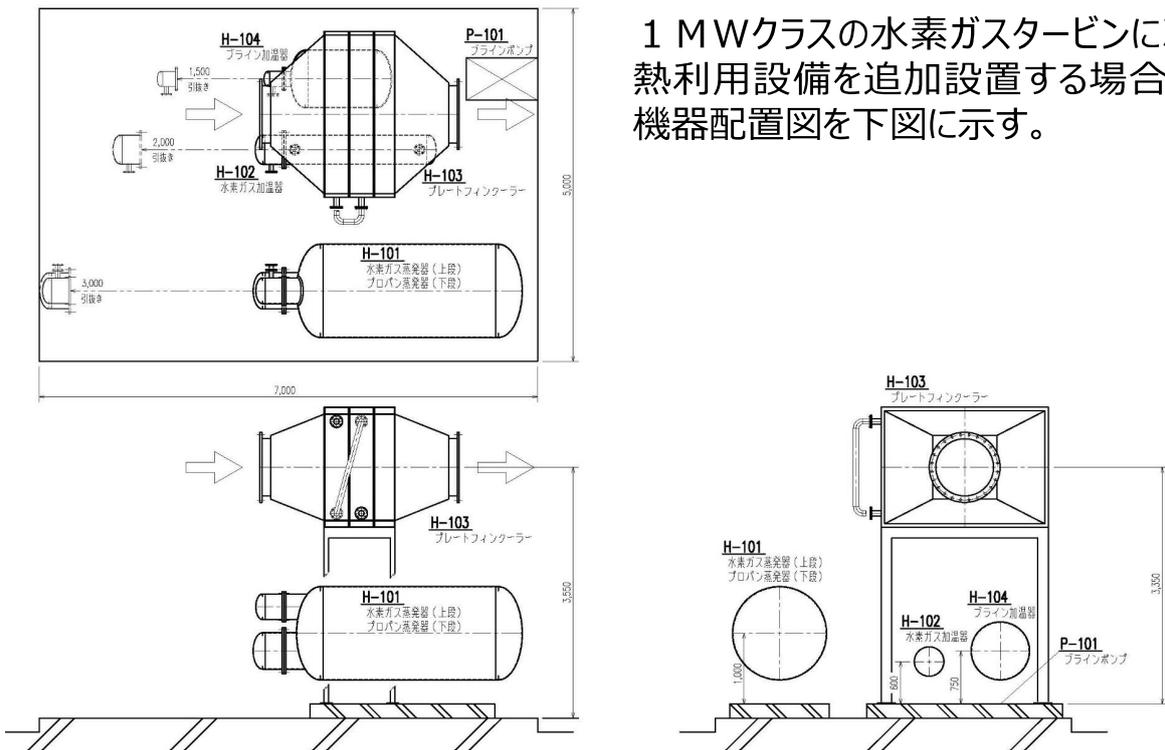
1 MWクラスの水素ガスタービンに冷熱利用設備を追加設置する場合の基本設計を行った。そのプロセスフローダイヤグラムを下図に示す。



プロセスフローダイヤグラム

◆ 個別テーマの実施内容

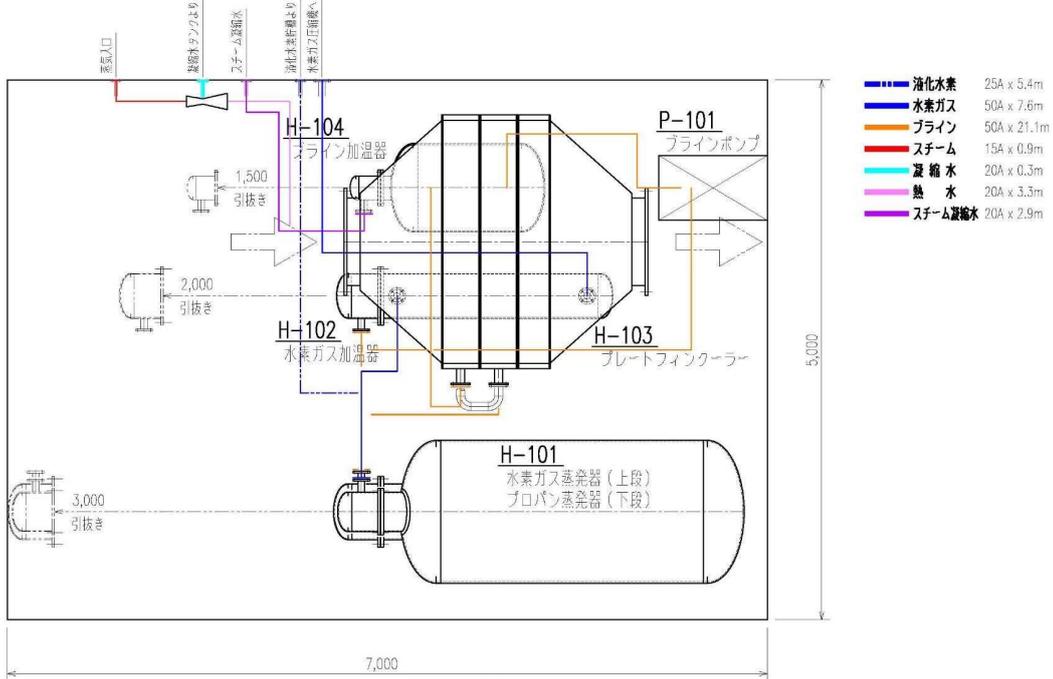
1 MWクラスの水素ガスタービンに冷熱利用設備を追加設置する場合の機器配置図を下図に示す。



機器配置図

◆ 個別テーマの実施内容

1 MWクラスの水素ガスタービンに冷熱利用設備を追加設置する場合の基本設計を行った。その配管平面図を下図に示す。



配管平面図

(Ⅱ-⑨)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／CO2フリーアンモニア利用GTCCシステムの技術開発」

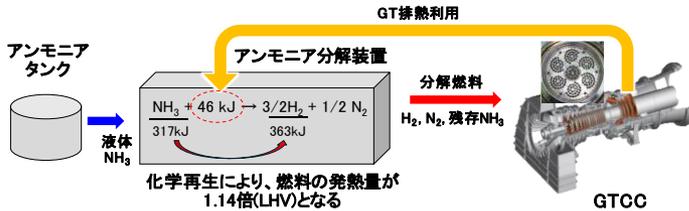
助成先：三菱パワー
委託先：三菱重工業、三菱重工エンジニアリング

●成果サマリ（実施期間：2019年度～2020年度終了予定）

- (1) NH3分解水素ガスと天然ガスの混焼システムの起動要領を検討するとともに、本システムの発電コストを評価した。2020年度は専焼システムの検討を実施中。
- (2) 混焼システムのNH3分解反応器の構造も含めた試設計を実施、NH3分解触媒表面の被毒物質等を分析した。2020年度は材料、触媒の試験を実施中。
- (3) 燃焼器の検討は、既存実圧燃焼試験装置の燃料系統に微量NH3を供給する系統を計画し、2020年12月に試験実施予定。

●背景/研究内容・目的

- 水素キャリアとして有望なアンモニア(NH3)を熱分解により再水素化し、水素燃焼ガスタービンで発電するシステム(下図)を対象とする。
- 経済性、運用性を考慮した改良システム構成の検討、NH3分解装置の大型化、分解触媒性能の評価、実圧燃焼試験によるNOx転換特性の検討を実施し、本システムの実用化に必要な技術を開発することを目的とする。



●研究目標

実施項目	目標
(1) システム構成の検討	他のCO2フリーシステムと比較して経済的に優位(目標：17 円/kWh以下(2030年))で運用性に優れたシステム構成/運転条件の検討
(2) NH3分解装置の検討	<ul style="list-style-type: none"> NH3分解装置の機器構成の決定、分解後の残留NH3濃度0.38%以下 触媒の実使用環境を考慮した寿命や性能評価
(3) 燃焼器の検討	NH3分解ガス混焼条件(水素体積割合20%)における実圧燃焼器のNOx性能の検証

●実施体制及び分担等

【助成】

NEDO — 三菱パワー (実施項目(1)～(3))

【委託】

三菱重工業 (実施項目(1)～(3))

三菱重工エンジニアリング (実施項目(2))

●これまでの実施内容／研究成果

- (1) NH3分解水素専焼システムの系統構成、部分負荷ヒートバランス、起動停止手順を検討した。
NH3燃料の価格と本システムの建設費をパラメータとし、本システムの発電コストを評価した。
- (2) NH3分解装置に関して、分解反応器の試設計を実施した。
高温かつ高濃度のNH3の条件下で使用されるNH3分解反応器の材料、触媒について、材料の耐窒化性の観点、触媒の被毒、比表面積の観点から試験及び検討を実施中。
- (3) NH3分解ガス混焼条件(水素20 vol%)における実圧燃焼器のNOx性能を検証する準備を進めており、2020年末に実圧燃焼試験を実施。
分解ガス中の残留NH3がFuel NOxに転換される割合を解析評価中。

●今後の課題

- (1) 専焼システムの場合にガスタービン排ガス側から分解装置側へ熱を伝える手段、部分負荷での運用。
- (2) 触媒、材料試験に関し、より長時間での被毒、熱劣化を評価する。
- (3) 2020年末に計画通りに実圧燃焼試験を実施する。

●実用化・事業化の見通し

2021年度以降、本システムの改良検討、概念設計、事業性検討を経て、実証試験、実用化に繋げる。

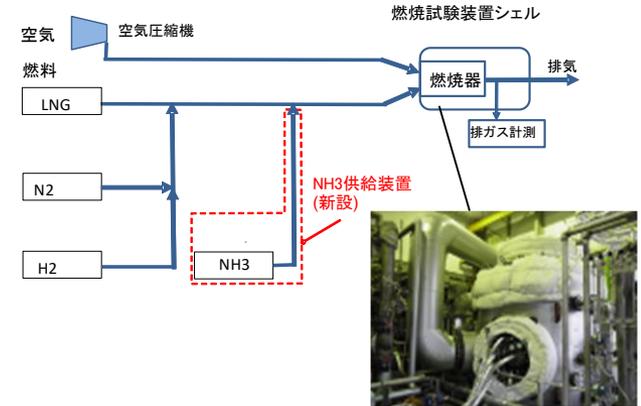


図 実圧燃焼試験装置の微量NH3供給系統

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
(1) システム構成の検討	<ul style="list-style-type: none"> 混焼システムの起動要領を検討 NH3燃料の価格と本システムの建設費をパラメータとし、本システムの発電コストを評価 	達成
(2) NH3分解装置の検討	<ul style="list-style-type: none"> 混焼システムのNH3分解反応器の構造も含めた試設計を実施 NH3曝露試験で触媒表面の被毒物質の分析、触媒比表面積変化を計測 	達成
(3) 燃焼器の検討	既存実圧燃焼試験装置の燃料系統に微量NH3を供給する系統を計画	達成

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	0	7	0

「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／CO₂フリーアンモニア利用GTCCシステムの技術開発」(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

助成先：三菱パワー

2020年12月4日

1/19

3. 研究開発成果について

◆背景・目的

●背景

2017年12月に策定された水素基本戦略では、2030年に水素のコストを30円/Nm³、発電コストを17円/kWhにする目標が示された。水素の運搬・貯蔵手段として、液化水素だけでなく、アンモニアや有機ハイドライド等の水素キャリアを活用することが示された。

●目的

水素キャリアとして有望なアンモニアを熱分解により再水素化し、水素燃焼ガスタービンで発電するシステムに関し、経済性、運用性を考慮した改良システム構成の検討、アンモニア分解装置の大型化、分解触媒の寿命や被毒物質等に関する調査、実圧燃焼試験によるNO_x転換特性の検討を実施し、本システムの実用化に必要な技術を開発することを目的とする。

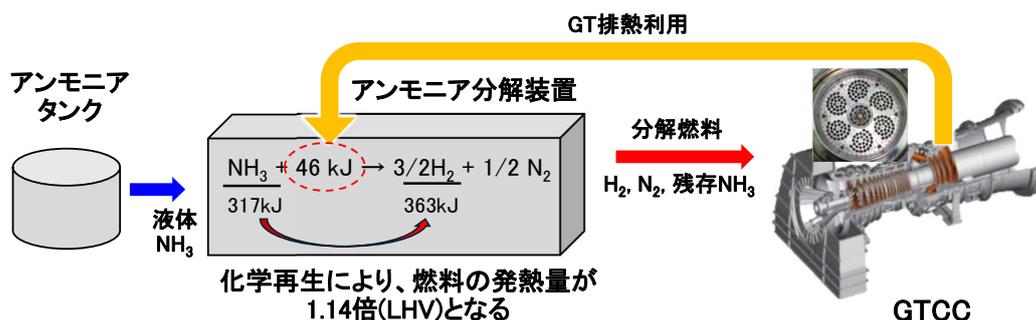


図 CO₂フリーアンモニア利用GTCCシステム概念図

2/19

3. 研究開発成果について 概要と特徴 (1/2)

- アンモニアを大型ガスタービン(GT)で直接利用するには、燃焼器のサイズ、NOxの問題がある。
- 本システムは熱利用の工夫により、アンモニアを水素と窒素に分解し、水素燃焼GTにより発電。
- GT排熱を利用してアンモニアを熱分解(またはアンモニアの自己熱分解)させるため、再水素化に伴うエネルギー損失が少なく高効率化のポテンシャルがある。

表 アンモニア燃焼の特徴と大型GTの制約

アンモニア燃焼の特徴	大型ガスタービンにおける制約
燃焼速度が遅い (メタンの約1/5)	<ul style="list-style-type: none"> ・燃焼完了に必要な時間を確保するため、燃焼器サイズが大 ・大型ガスタービンは多缶式燃焼器のため燃焼器のサイズ拡大に制約
燃料中窒素を含有する	<ul style="list-style-type: none"> ・Fuel NOxの発生; 大型GTはThermal NOxの許容範囲で燃焼ガス温度を高温化しており、Fuel NOx増加を許容する余地が少ない。 ・二段燃焼等低NOx化は、燃焼器の大型化や複雑化など技術課題が多い。

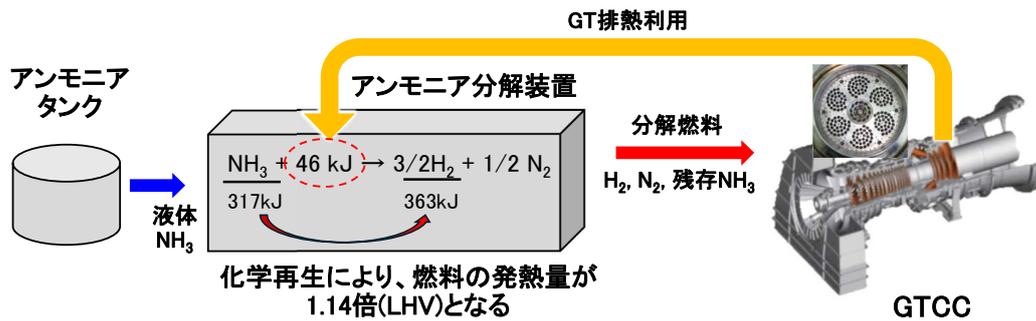


図 CO₂フリーアンモニア利用GTCCシステム概念図

3 / 19

3. 研究開発成果について 概要と特徴 (2/2)

- 技術開発の進捗、燃料インフラの整備状況に応じて (a)天然ガスとの混焼、(b)分解ガス専焼システムが考えられる。
- NEDO開発中の「水素専焼対応型燃焼器」と組合せ、500MW級GTCCで年間110万tのCO₂削減、年間18万t相当の水素利用が可能。(専焼システム、稼働率70%想定)

システム	(a) 混焼システム(出力約430MW)	(b) 専焼システム(出力約530MW)
燃料組成	天然ガス(主成分: CH ₄)に、NH ₃ 分解ガス(H ₂ =75 vol%, N ₂ =25 vol%)混合	NH ₃ 分解ガス(H ₂ =75 vol%, N ₂ =25 vol%)
NH ₃ の発熱量割合	約6.5% (水素体積割合20%の場合)	100%
必要な機器	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的小さなNH₃分解装置(約10 t/h) ・水素混焼(体積割合約20%)燃焼器  <p>図 予混合 Dry Low NOx 燃焼器</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的大きなNH₃分解装置(約170 t/h) ・水素専焼燃焼器  <p>図 マルチクラスター燃焼器 (NEDO事業「水素専焼対応型 Dry Low NOx高温ガスタービンの研究開発」より)</p>
CO ₂ 削減量*	3万t/年/台	110万t/年/台
水素利用相当量	1万t/年/台	18万t/年/台
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・既存システムの改造(レトロフィット)も可能 ・専焼システムよりも開発要素小 	CO ₂ 削減効果大

*: 同一GTの天然ガス焼き時に対する削減量

4 / 19

開発項目	中間目標 (中間評価時点)	成果	達成度	今後の課題と 解決方針
① システム構成の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・混焼システムの起動停止手順、経済性の検討 ・専焼システム改良案の構成検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・混焼システムの起動要領を検討 ・NH3燃料の価格と本システムの建設費をパラメータとし、本システムの発電コストを評価 ・分解ガス専焼システムについて、改良案を評価 	○	専焼システムの改良案に対して起動停止手順の検討/経済性の評価
②アンモニア分解装置の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・NH3分解装置の基本試設計(混焼) ・触媒性能被毒物質調査 	<ul style="list-style-type: none"> ・H2濃度20%混焼のNH3分解装置全体のシステム構築と熱物質収支を検討し、NH3分解反応器の構造も含めた試設計を実施 ・NH3曝露試験(100時間、500時間)で触媒表面の被毒物質の分析、触媒比表面積変化を計測 ・分解装置材料のスクリーニング試験を実施 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・NH3分解装置の詳細試設計(混焼) ・触媒劣化性能評価
③燃焼器の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・実圧燃焼試験装置にNH3供給システムを追設計画 ・一次元解析によるガスタービン燃焼器のNOx排出量予測 	<ul style="list-style-type: none"> ・天然ガスとNH3分解ガスの混焼試験のため、既存実圧燃焼試験装置の燃料系統に微量NH3を供給する装置と系統を計画 ・燃焼器の基礎燃焼特性を詳細化学反応計算、気流試験による燃料濃度分布計測、CFD解析にて実施 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・実圧燃焼試験及び結果検討 ・燃焼解析によるNOx評価

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

① システム構成の検討

成果: NH3分解ガス混焼システムの系統構成、起動要領を検討

意義: 定格出力だけでなく、部分負荷においてもヒートマスバランスが成立するNH3分解ガス混焼システムの構築を進めることができた

課題と対応: より排熱利用量が多いNH3分解ガス専焼システムに対して、系統構成、起動手順を検討する

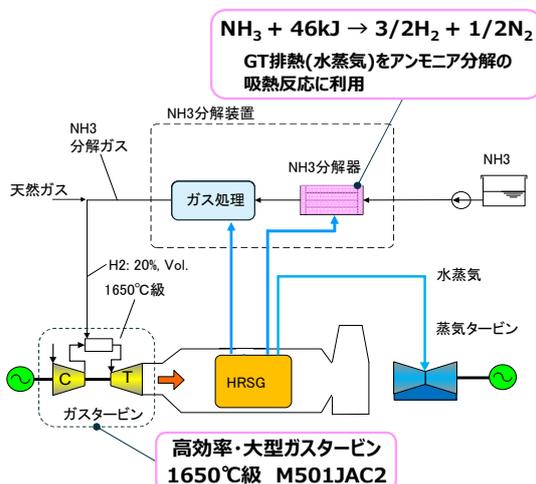


図 天然ガスとアンモニア分解ガスの混焼ガスタービンシステム(燃焼器入口水素濃度20体積%)

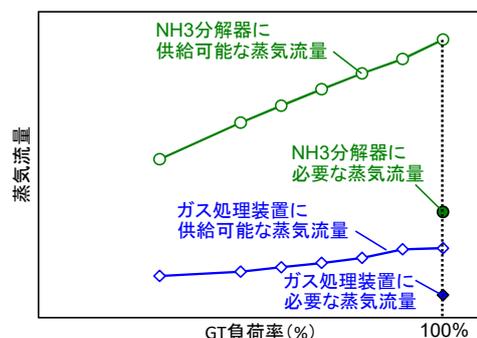
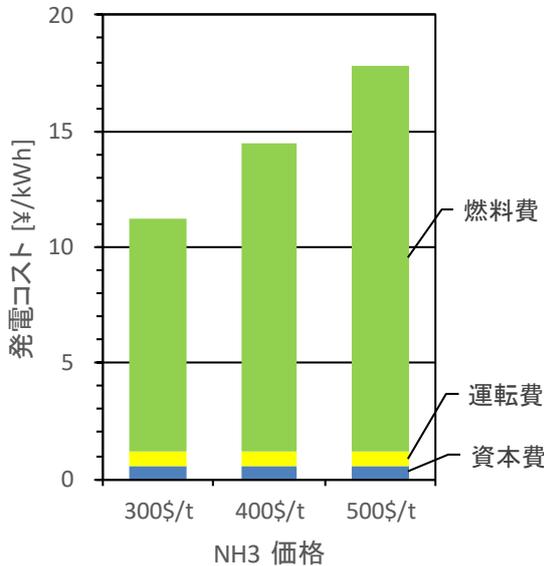


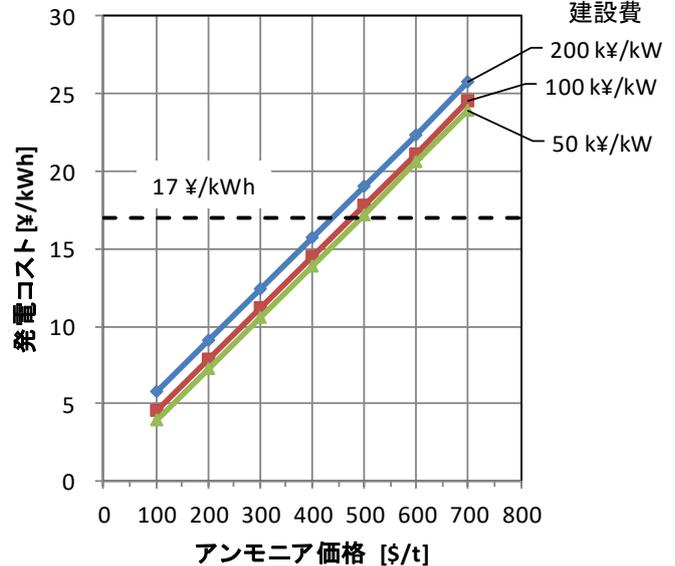
図 NH3分解器およびガス処理装置に必要な蒸気流量とボトムングから供給可能な蒸気流量(混焼システム)

① システム構成の検討

成果: NH₃燃料の価格と本システムの建設費をパラメータとし発電コストを評価
 意義: 本システムの発電コストは燃料費が支配的であり、システム設計の指針を得た
 課題と対応: 将来のCO₂フリーNH₃燃料のコスト見通しを調査し経済性評価する



プラント全体建設費=100 k¥/kWの場合の
 発電コスト内訳 (分解ガス専焼、2030年度運開)



アンモニア価格と発電コスト
 (分解ガス専焼、2030年度運開)

② アンモニア分解装置の検討

成果: H₂濃度20%混焼のNH₃分解装置全体のシステム構築と熱物質収支計算によりNH₃分解反応器の構造も含めた試設計を実施

意義: 開発項目①のGTCCシステム全体の熱収支評価や起動手順の評価を可能とした
 課題と対応: 開発項目①の検討から得られた知見を反映し、NH₃分解装置の詳細試設計を実施する

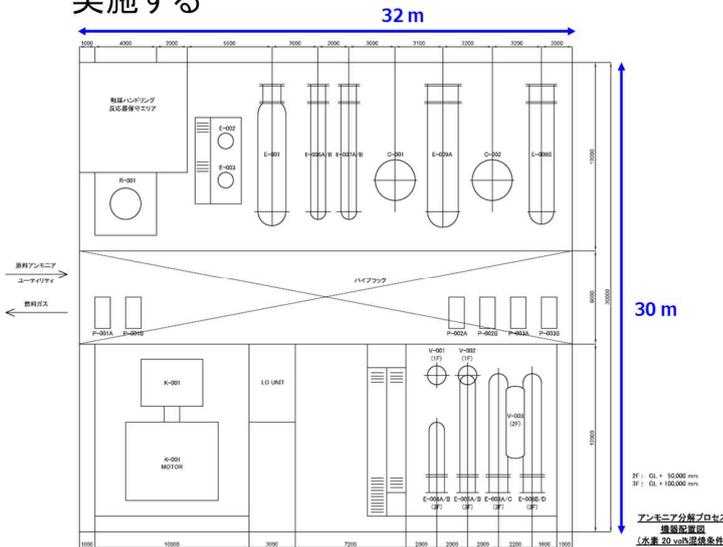


図 NH₃分解装置の概略機器配置 検討結果例
 (燃焼器入口水素濃度20体積%ケース)

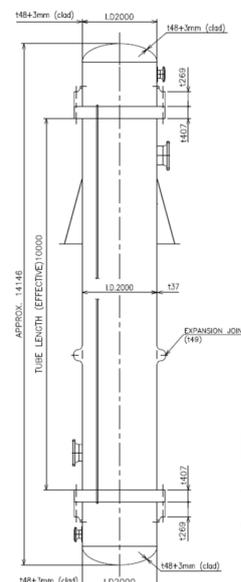


図 NH₃分解反応器の試設計結果例

②アンモニア分解装置の検討

成果: NH₃曝露試験(100 h、500 h)で触媒表面の被毒物質の分析、触媒比表面積変化を計測。また、分解装置材料のスクリーニング試験を実施

意義: NH₃分解反応器の運転条件、適用材料などを絞り込み可能とした

課題と対応: 窒化を考慮した材料の選定とNH₃分解装置の運転条件の選定

表 アンモニア曝露試験(100 h、500 h)における触媒比表面積 (単位: m²/g) の変化

Run No.	Run1-1,1-2	Run2-1,2-2	Run1-1,1-2	Run2-1,2-2
触媒	非貴金属系触媒		貴金属系触媒	
温度	500 °C	600 °C	500 °C	600 °C
試験前	96.03	96.03	138.56	138.56
(H ₂ 還元処理後)	70.33	70.33	108.42	108.42
100 h曝露後	74.86	69.28	110.91	108.56
500 h曝露後	70.11	75.92	108.19	108.28

アンモニア曝露(100 h、500 h)も、試験開始時(H₂還元処理後)と比表面積の値に変化なし。また、表面分析の結果でも、堆積物は検出されず。したがって、アンモニアおよび加熱による触媒の変化は認められない。引き続き2,000 hまで試験実施予定。

②アンモニア分解装置の検討

分解反応管を構成する材料は、高温高圧のNH₃と接するため、耐窒化(脆化)材料を使用する必要がある。

温度、NH₃濃度などを変化させた材料スクリーニング試験を実施中、2,000 hまで実施予定。

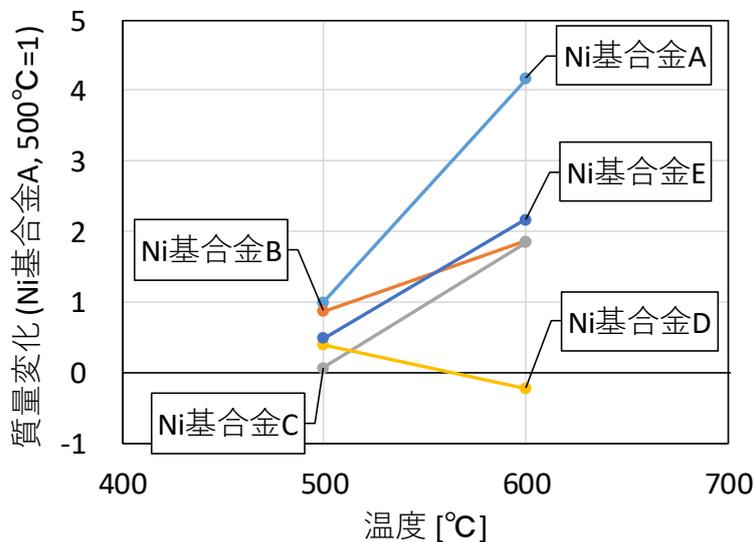


図 アンモニア曝露試験における材料の質量変化(500 h曝露後)

③ 燃焼器の検討

成果: 天然ガスとNH₃分解ガスの混焼試験のため、既存実圧燃焼試験装置の燃料系統に微量NH₃を供給する装置、系統を計画

意義: 2020年末に予定している実圧燃焼試験に必要な燃料供給系の手配を可能とした
課題と対応: 実圧燃焼試験及び結果検討

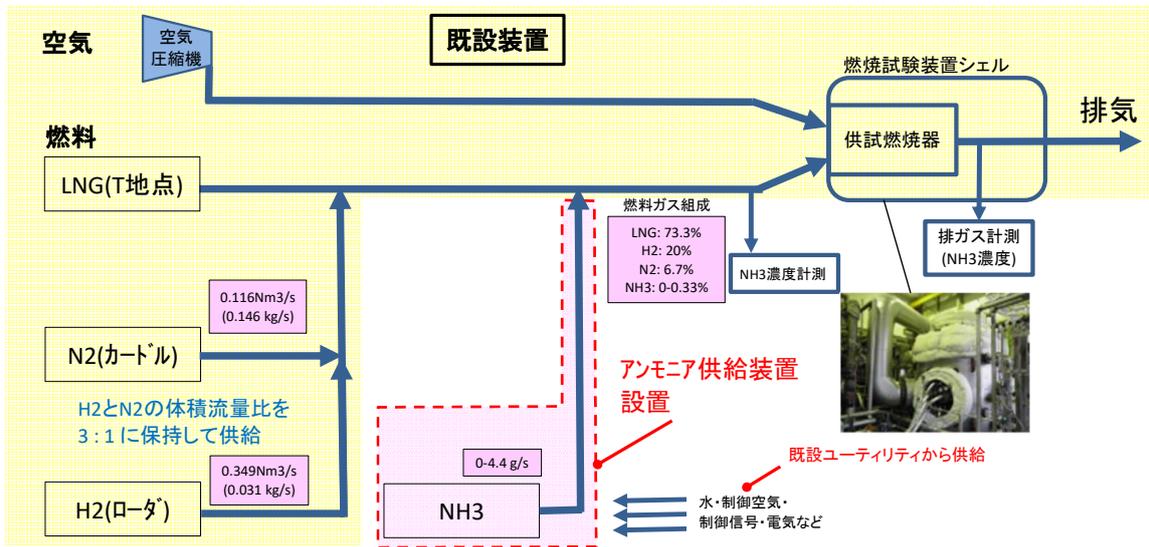


図 実圧燃焼試験装置の燃料系統 検討結果

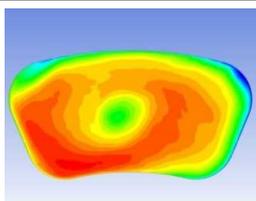
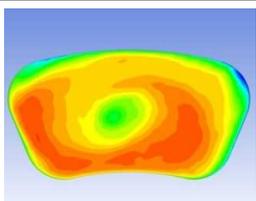
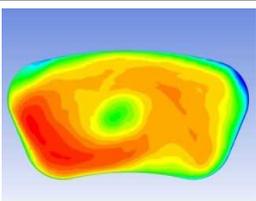
③ 燃焼器の検討

成果: 燃焼器の基礎燃焼特性を詳細化学反応計算、気流試験による燃料濃度分布計測、CFD解析にて実施

意義: 2020年度に実施予定の実圧燃焼試験の供試燃焼器の燃料ノズル仕様、計測機器の仕様等を明らかにし試験装置の準備を可能とした

課題と対応: 実圧燃焼試験の結果分析と燃焼解析による実機のNO_x予測評価

表 予混合ノズル出口燃料濃度分布およびNO_x濃度予測(CFD結果)

燃料種類	天然ガス	アンモニア分解ガス混焼	
燃料温度	320°C	320°C	150°C
燃料分布			
最高温度 (燃料分布より)	ベース	-67°C	-3°C
NO _x 濃度比較 (CFD結果)	ベース	+18%	+23%

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

- 本事業の目的は本システムの実用化に必要な技術を開発することであり、① システム構成の検討、②アンモニア分解装置の検討、③燃焼器の検討を当初計画どおりに実施しており、目的を達成しつつある。
- 本事業による検討の結果、従来実績のない機器構成/運転条件となる部分が明らかになりつつあり、本事業終了後にその部分の要素実証をおこなうことにより、本システムの実用化へ結びつけることが可能となる。
- 本システムが実用化されれば、NEDO開発中の「水素専焼対応型燃焼器」と組合せ、500MW級GTCCで年間110万tのCO2削減、年間18万t相当の水素利用が可能となる。(専焼システム、稼働率70%想定)

13/19

◆成果の普及

- 2019年度は水素燃焼ガスタービンの研究発表で、水素燃料の供給手段の一つとして本システムの紹介を6回実施した。
- 2020年度は本事業単独で実施内容の紹介を1回実施。

	2019 年度	2020 年度	計
研究発表・講演	6	1	7件

※2020年10月末現在

14/19

◆ 知的財産権の確保に向けた取り組み

- 本システムの基本的な特許は本事業の開始前に出願済である。
- 本事業開始後は、2021/1頃に1件の出願を予定している。

	2019 年度	2020 年度	計
特許出願(うち外国出願)	0	1 (1)	1件 (1件)

※ 2020年10月末現在

15 / 19

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

開発項目	現状	最終目標(2020年度末)	達成見通し
① システム構成の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・専焼システムの燃料切替負荷検討完了 ・NH3分解装置との熱の授受のモデル構築中 	他のCO2フリーシステムと比較して経済的に優位(目標: 17 円/kWh以下(2030年))で運用性に優れたシステム構成/運転条件の検討	NH3分解装置の詳細設計を反映し、専焼システムの起動停止手順の検討/経済性の評価を完遂の見込み
②アンモニア分解装置の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・H2濃度20%混焼のNH3分解装置全体の詳細設計を実施中 ・材料および触媒のNH3曝露試験(2,000 h)の実施中 	<ul style="list-style-type: none"> ・NH3分解装置の機器構成の決定、分解後の残留NH3濃度0.38%以下 ・触媒の実使用環境を考慮した寿命や性能評価 	開発項目①の検討から得られた知見を反映し、NH3分解装置の詳細設計を完遂の見込み ・2,000 hの触媒および材料の曝露試験を完遂見込み
③燃焼器の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・LNGとNH3分解ガスの混焼試験のため、燃料系統に微量NH3を供給する装置と系統を計画 ・燃焼器の基礎燃焼特性を詳細化学反応計算、気流試験、CFD解析にて実施 	NH3分解ガス混焼条件(水素体積割合20%)における実圧燃焼器のNOx性能の検証	2020年末に実圧燃焼試験を実施し、分解ガス中の残留アンモニアがFuel NOxに転換される割合を確認する見通し

16 / 19

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

- 「実用化・事業化」の考え方は、当事業で開発したアンモニア分解装置が組み込まれたガスタービンシステムが上市され、他のCO2フリーシステムを超える効率や経済性等、高い競争力により受注を得ることである。

◆成果の実用化・事業化の見通し

- 技術開発の進捗、燃料インフラの整備状況に応じて (a)天然ガスとの混焼、(b)分解ガス専焼システムが考えられる。
- NEDO開発中の「水素専焼対応型燃焼器」と組合せ、500MW級GTCCで年間110万tのCO2削減、年間18万t相当の水素利用が可能。(専焼システム、稼働率70%想定)

システム	(a) 混焼システム(出力約430MW)	(b) 専焼システム(出力約530MW)
燃料組成	天然ガス(主成分:CH4)に、NH3分解ガス(H2=75 vol%, N2=25 vol%)混合	NH3分解ガス(H2=75 vol%, N2=25 vol%)
NH3の発熱量割合	約6.5% (水素体積割合20%の場合)	100%
必要な機器	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的小さなNH3分解装置(約10 t/h) ・水素混焼(体積割合約20%)燃焼器  <p>図 予混合 Dry Low NOx 燃焼器</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的大きなNH3分解装置(約170 t/h) ・水素専焼燃焼器  <p>図 マルチクラスター燃焼器 (NEDO事業「水素専焼対応型 Dry Low NOx高温ガスタービンの研究開発」より)</p>
CO2削減量*	3万t/年/台	110万t/年/台
水素利用相当量	1万t/年/台	18万t/年/台
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・既存システムの改造(レトロフィット)も可能 ・専焼システムよりも開発要素小 	CO2削減効果大

4. 実用化・事業化の見通しについて

- NEDO事業は2020年度で終了する。
- 2021年度以降、本システムの改良検討、概念設計、事業性検討を経て、実証試験、実用化に繋げる

大項目	中項目	2019	2020	2021~
技術開発	システム構成の検討 (三菱パワー)	システム構成の検討 運用性・経済性	システム熱物質収支検討	
	アンモニア分解装置 (三菱重工エンジ)	NH3分解装置の要求仕様	NH3分解装置の構造検討	改良検討 概念設計 事業性検討
	燃焼器の検討 (三菱パワー)	触媒性能、熱物質収支検討	実圧燃焼試験装置 実圧燃焼試験 NOx評価	試験準備・評価
実証機 I (現行燃焼器、 水素: 20vol% ≒ NH3: 6.5cal%)	実証機 (ユーザー)			▼運開 設計・製作 実証試験
実証機 II (水素燃焼器、 NH3: 100%利用)	実証機 (ユーザー)			燃焼試験、改良 ▼運開 設計・製作 実証試験

(Ⅱ-⑩)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型DryLowNOx高温ガスタービン発電設備の研究開発」

助成先：三菱パワー株式会社
三菱重工業株式会社

●成果サマリ (実施期間：2020年7月～2021年2月終了予定)

- ・数値解析によりフラッシュバック耐性を改善したノズル構造を設計し、気流試験によりその改善効果を確認した。
- ・燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無くターゲット計画条件にてNOx 50ppm(15%O2換算)以下を達成した。
- ・燃料系統、燃料ステージングの計画をもとに、燃焼器の全体計画図案を設計した。
- ・水素供給装置から燃焼シェルまでの系統構成を検討し、成立性の目途を得た。

●背景/研究内容・目的

- ・地球温暖化、化石燃料の枯渇の課題に対して、水素を本格的に活用する水素社会の実現が求められており、水素インフラの充実と普及拡大が必要
- ・水素専焼大型ガスタービンの導入は、水素需要を大幅に拡大し、将来の水素消費量の目標達成が可能
- ・水素は燃焼速度が速く逆火リスクが高いため、高い逆火耐性をもつ多孔噴流燃焼方式(クラスタバーナ)が有効
- ・大型ガスタービンに適用可能な水素専焼ドライ低NOx燃焼器(クラスタバーナ採用)の設計に必要な研究開発を実施し、安定運用と低NOx性の両立に必要な課題の抽出、その解決に向けた研究開発を実施
- ・大容量水素供給装置を含む燃焼試験設備を構築し、燃焼器燃焼試験で燃焼器性能を検証する

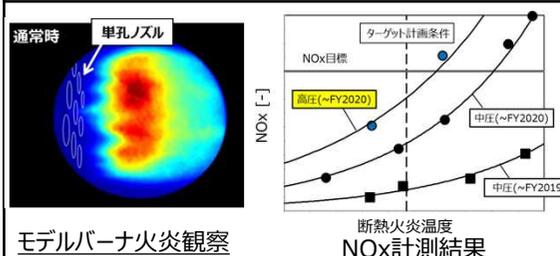
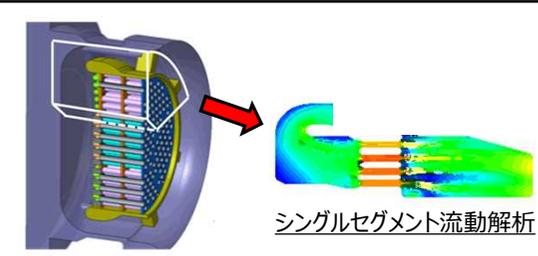
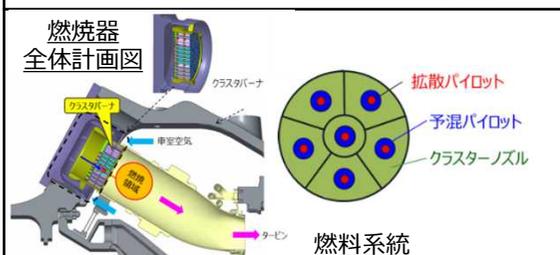
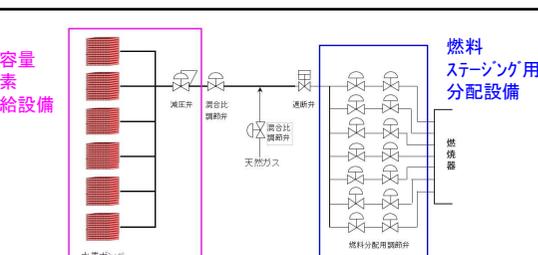
●研究目標

	実施項目	目標 (2020年度)
A-1	モデルバーナの設計技術	・高温高圧下のモデルバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下
A-2	シングルセグメントの設計技術	・数値解析による概念設計 ・水素専焼が逆火耐性に与える影響評価を完了
A-3	大型ガスタービン燃焼器設計技術	・燃焼器の概念設計の完了
B-1	大容量供給装置を含めた燃焼試験設備設計技術	・水素供給装置を含めた実圧燃焼試験装置の系統図、配置図の完成
B-2	高温高圧下での燃焼器燃焼試験(2022年度予定)	・計画運転条件において、逆火なく燃焼器出口でNOx50ppm以下

●実施体制及び分担等

NEDO	三菱パワー株式会社 (実施項目A-1～3、B-1、2)
	三菱重工業株式会社 (実施項目A-1～3、B-1、2)

●実施内容/研究成果

A-1 モデルバーナの設計技術  <p>モデルバーナ火炎観察 NOx計測結果</p>	A-2 シングルセグメントの設計技術  <p>シングルセグメント流動解析</p>
A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術  <p>燃焼器全体計画図 燃料系統</p>	B-1 大容量供給装置を含めた燃焼試験設備設計技術  <p>大容量水素供給設備 燃料ステージング用分配設備</p>

●今後の課題

- ・設計裕度範囲拡大のためのノズル構造改良
- ・シングルセグメント/燃焼器/燃料系統/燃料ステージングの詳細設計
- ・大容量水素供給装置および燃焼試験装置の詳細設計
- ・燃焼器燃焼試験による性能検証

●実用化・事業化の見通し

- ・大型GTに適用可能な水素専焼燃焼器の実用化に向け、バーナ改良、フルスケール燃焼器の詳細設計、性能検証を順次進めるとともに、燃焼器性能を検証可能な実圧燃焼試験装置を構築し、2022年度に高温高圧下で燃焼器の性能を実証する。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価	
モデルバーナの設計技術	・燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無くターゲット計画条件にてNOx 50ppm(15%O2換算)以下を達成した	○	
シングルセグメントの設計技術	・シングルセグメントの数値解析により、バーナ内部の流動を確認した	△	
大型ガスタービン燃焼器設計技術	・燃料系統、燃料ステージングの計画をもとに、燃焼器全体の計画図を作成した	△	
大容量供給装置を含めた燃焼試験設備設計技術	・水素供給装置から燃焼シェルまでの系統構成を検討し、成立性の目途を得た	△	
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	0	5	0

「水素社会構築技術開発事業」 大規模水素エネルギー利用技術研究開発 低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型DryLowNOx 高温ガスタービン発電設備の研究開発【中間評価】

プロジェクトの概要 (公開)

三菱パワー株式会社

三菱重工業株式会社

2020年12月4日

1/21

3. 研究開発成果について (0) はじめに

◆背景・目的・概要

●背景

- 水素社会の実現には、水素インフラの充実と普及拡大が必要
(水素・燃料電池ロードマップの水素消費量目標→2030年：30万t/年、将来：500～1000万t/年)
- 水素専焼大型ガスタービンの導入により、水素需要を大幅に拡大し、将来の水素消費量の目標達成が可能

●目的

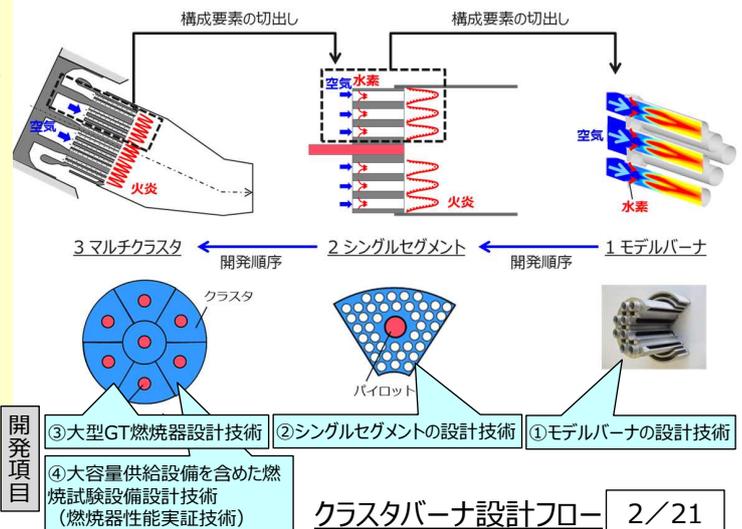
- 水素専焼ドライ低NOx燃焼方式(クラスタバーナ採用)を用いたガスタービン発電設備の設計に必要な研究開発を実施し、安定運用と低NOx性の両立に必要な課題の抽出とその解決に向けた研究開発

●概要

- 逆火リスクの高い水素に対し、高い逆火耐性をもち、かつ低NOx化が可能な多孔噴流燃焼方式(クラスタバーナ)が有効。
- モデルバーナ、シングルセグメント、燃焼器のステップで開発
- 大容量水素供給装置を含む燃焼試験設備を構築し、高温高圧下の燃焼器燃焼試験で性能検証

【開発項目】

- A-1 モデルバーナの設計技術
- A-2 シングルセグメントの設計技術
- A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術
- B-1 大容量供給装置を含めた燃焼試験設備設計技術
- B-2 高温高圧化での燃焼器燃焼試験 (2022年予定)



3. 研究開発成果について (0) はじめに

◆背景・目的・概要

水素・燃料電池ロードマップにおいて水素消費量は2030年時点**30万t/年**、将来的には**500~1000万t/年**の水素発電利用が示されているが、国内の天然ガス焼き発電所の水素焼き混焼転換により2030年時点の水素消費量目標を、更に水素サプライチェーンの構築に応じて専焼に転換していくことで将来目標の達成が可能

アクションプランのポイント③<その他水素利用・グローバルな水素社会実現> **赤字は新規目標等**
 水素利用先の拡大のため、市場の開拓・深掘り/グローバルな水素社会実現のため、日本リードの国際連携

目指すべきターゲット	ターゲット達成に向けた取組
<ul style="list-style-type: none"> 2030年頃の水素発電の商用化に向けた技術の確立 既設火力発電での水素混焼発電の導入条件明確化 2020年までに水素専焼発電での発電効率向上 (26%→27%) 	<ul style="list-style-type: none"> 限界混焼率、事業性等に関するFS調査の実施 高効率な燃焼器等の開発
<ul style="list-style-type: none"> 将来的なCO2フリー水素の活用 経済合理性の見通しが得られたプロセスから順次CO2フリー水素の利用を検討 	<ul style="list-style-type: none"> 各産業プロセスにおけるCO2フリー水素の活用・供給ポテンシャル調査の実施 カーボンリサイクル技術の実用化に向けた検討

【水素基本戦略における記載(抄)】

- 実際の社会実装に当たっては、水素は天然ガス火力での混焼も可能であることから、導入初期は既設の天然ガス火力における混焼発電を中心に、小規模なコージェネレーションシステム等における水素混焼も含め、導入拡大を図っていく。
- また、特に水素の燃焼特性に応じた燃焼器の開発が不可欠である。拡散燃焼方式や予混合燃焼方式など、従来の火力発電で実績のある燃焼器を水素混焼発電に転用するための研究開発や技術実証については、既に一定の取組が進められている一方、NOxの低減や発電効率の向上といった技術課題に対応していく。更に、将来的に水素専焼発電を実現するためには、NOx値の低減、高い発電効率、高濃度な水素混焼などを同時に達成可能とする新たな燃焼技術の早期の実用化を目指す
- 水素発電については、国際的な水素サプライチェーンとともに **2030年頃の商用化を実現し**、その段階で **17円/kWh** のコストを目指す。そのために必要となる水素調達量として、**年間30万t程度**を目安とする(発電容量で1GW程度に相当)。更に、将来的には環境価値も含め、既存のLNG火力発電と同等のコスト競争力の実現を目指す。そのために必要となる水素調達量として、**年間500万~1,000万t程度**を目安とする(発電容量で15~30GW程度に相当)。
- 水素発電の導入に当たっては、電力システム改革が進展する中での経済性確立に向けた制度設計等の検討を進める。また、水素発電が有する環境価値を顕在化し、評価・認定、取引可能にすることが重要であり、他の制度設計に係る議論を注視しつつ、省エネ法における水素利用の位置づけを明確化する、あるいは高度化法における非化石電源として水素発電を位置づけることといったことを含め、実態も踏まえながら検討を進める。



	水素率 (vol%)	ton/h	ton/年	ton/年
水素消費量	20%	1.7	12,000	370,000 ≒2030年時点目標
	100%	27.2	191,000	5,900,000 ≒将来目標



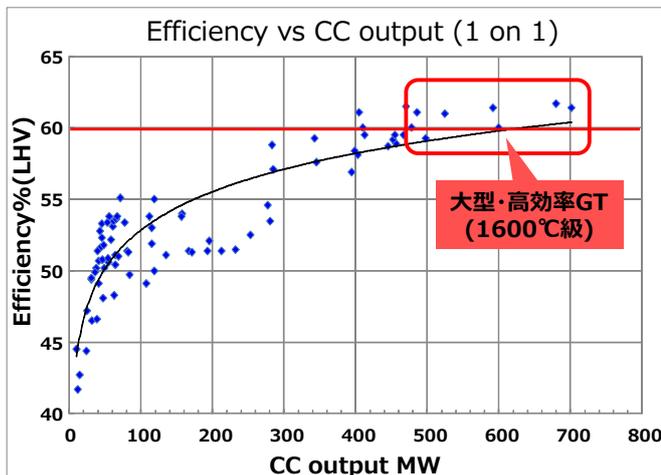
×31台*
*MHPS 国内納入GTCC (G/J/F型, 効率60%級) 31台試算

出典：経済産業省、水素・燃料電池ロードマップ、2019年3月

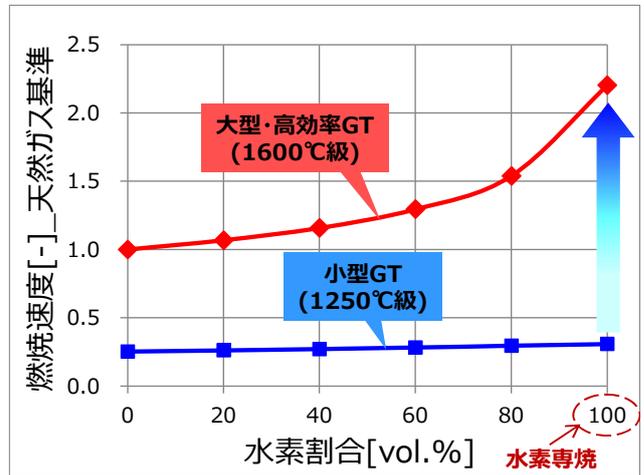
3. 研究開発成果について (0) はじめに

◆大型ガスタービン水素専焼の技術課題

- 大型GTに水素焼きを適用し、高効率・低環境負荷発電を実現
- 小型GTに比べて、大型・高効率GTは火炎温度が高いため、燃焼速度が増加し、フラッシュバックの発生リスクが増加
- ➡大型・高効率GTの水素専焼では、低NOxとフラッシュバック防止の両立は技術的ハードルが非常に高い



CC出力と効率の関係



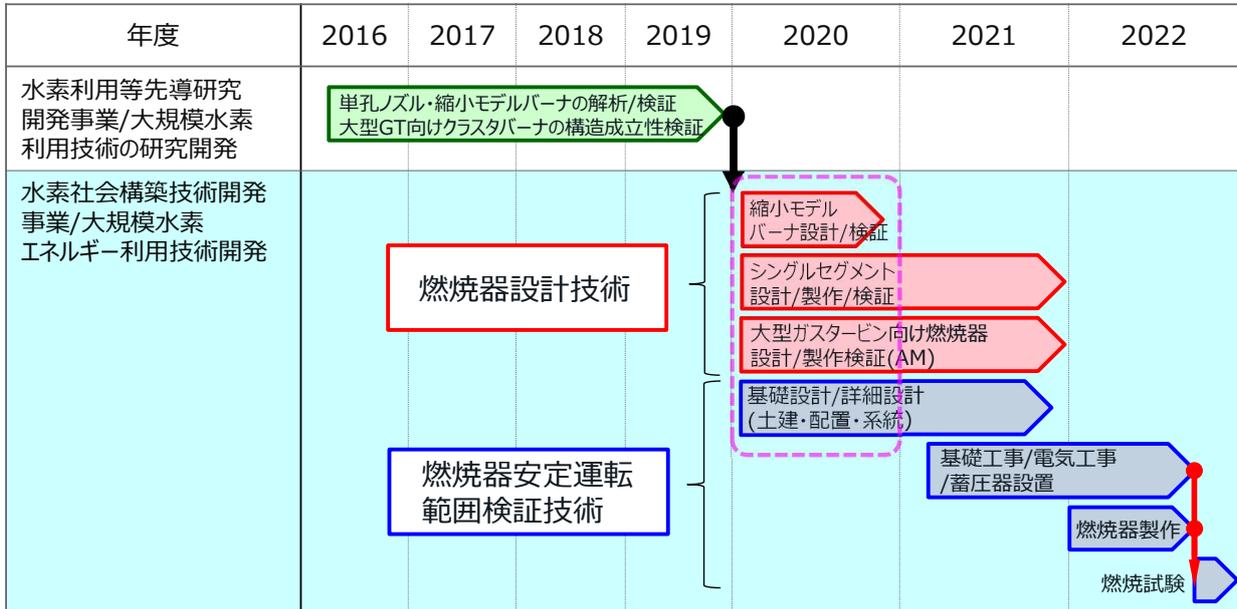
燃焼速度の比較

出典：GTW 2014 Gas Turbine Handbookデータから作成

3. 研究開発成果について (0) はじめに

◆大型ガスタービン水素専焼の開発スケジュール

- 2016～2019年度：水素専焼大型ガスタービン向けクラスタバーナの開発・検証
- 2020年度～：実用化に向けた設計技術開発、大容量水素供給装置を含む燃焼器検証設備の構築と燃焼器燃焼試験による性能検証



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び成果の意義

開発項目	目標 (2020年度)	成果	達成度	今後の課題と 解決方針
A-1 モデルバーナの設計技術	・高温高圧下のモデルバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下	・燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無くターゲット計画条件にてNOx 50ppm (15%O2換算)以下を達成した	○	設計裕度範囲をさらに拡大させるための単孔ノズル構造の改良
A-2 シングルセグメントの設計技術	・数値解析による概念設計と、水素専焼が逆火耐性に与える影響評価 ・非燃焼試験装置の検討および構築	・シングルセグメントの数値解析により、バーナ内部の流動を確認した	△ (2021/2)	水素専焼において逆火耐性を有する流動場の設計。燃焼器設計に向けて取り組みを継続
A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術	・燃焼器の概念設計の完了	・燃料系統、燃料ステージングの計画をもとに、燃焼器全体の計画図を作成した	△ (2021/2)	着火・起動から定格負荷まで安定運転を可能とする燃焼器を設計 ①-1、2で構築した設計技術を適用
B-1 大容量供給装置を含めた燃焼試験設備設計技術	・水素供給装置を含めた実圧燃焼試験装置の系統図、配置図の完成	・水素供給装置から燃焼シェルまでの系統構成を検討し、成立性に目途を得た ・系統図及び配置図を作成中	△ (2021/2)	水素は天然ガスに比べ体積流量が大きくなる。設備をコンパクト化する為、詳細設計中
B-2 高温高圧下での燃焼器燃焼試験 (2022年度予定)	・実圧燃焼試験にて、計画運転条件において逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx 50ppm以下(2022年度)	-	-	-

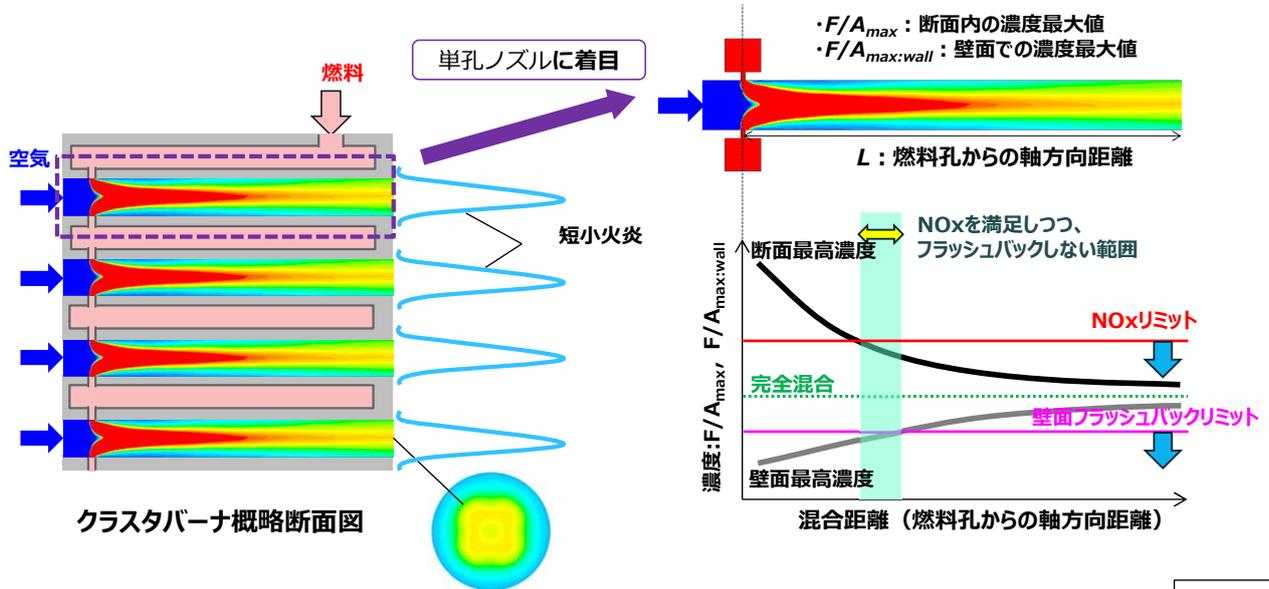
◎大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

A-1 モデルバーナの設計技術

(クラスタバーナコンセプト)

●クラスタバーナコンセプト

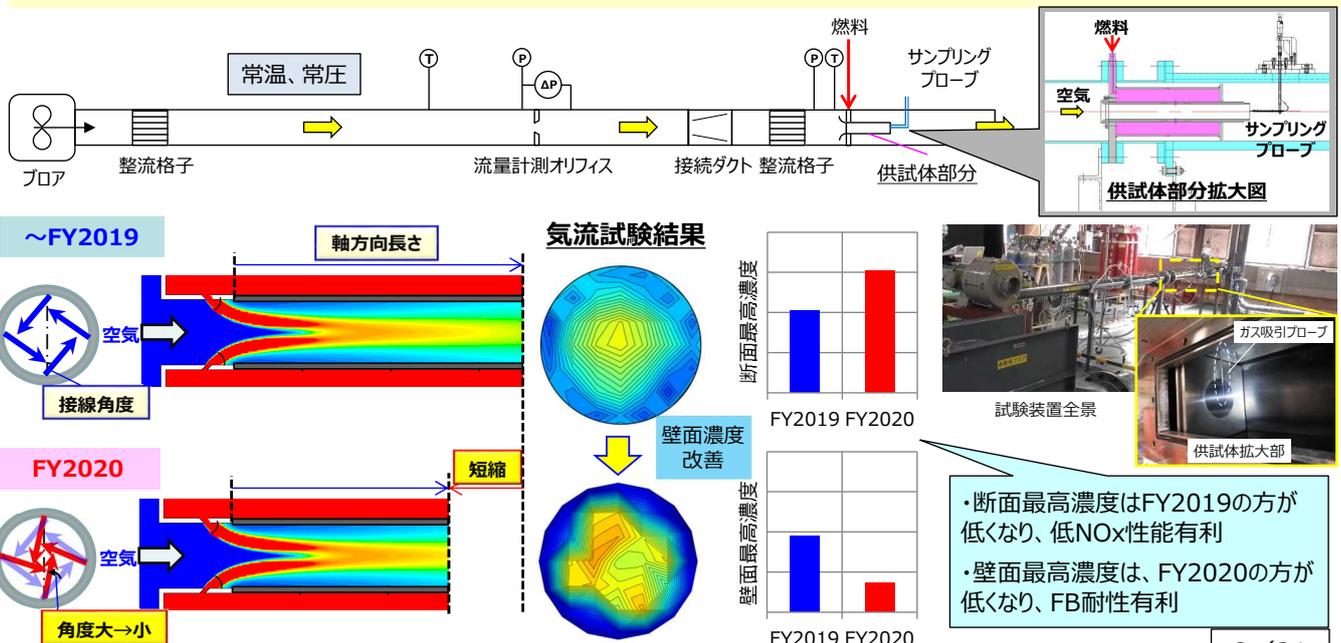
- ・低NO_x性能と逆火(フラッシュバック/FB)耐性の両立が必要。水素燃料濃度分布に対し次の指標で評価
 低NO_x性能・・・断面内濃度の最大値
 壁面FB耐性・・・壁面濃度の最大値



A-1 モデルバーナの設計技術

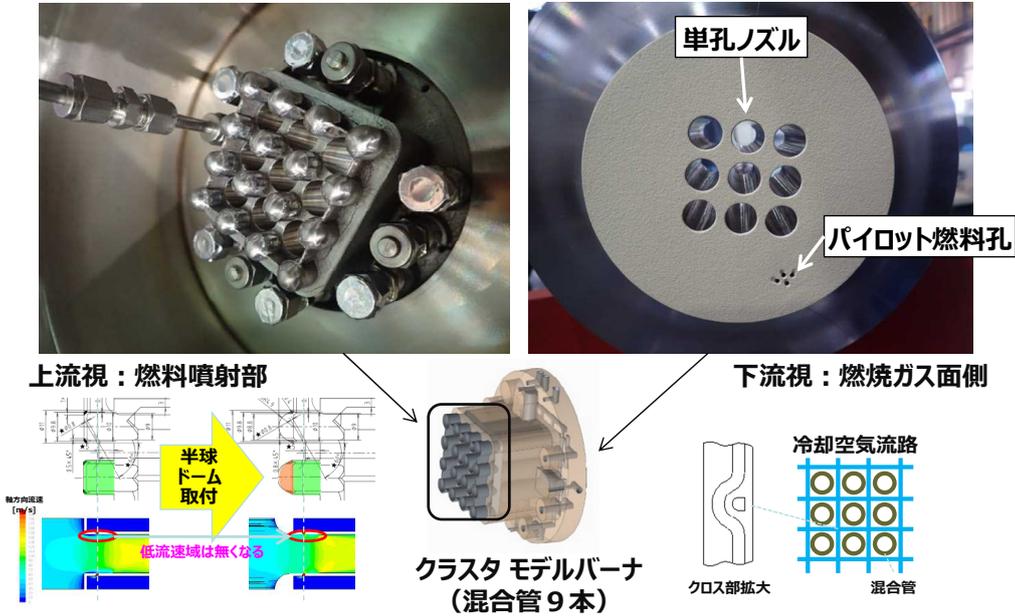
(数値解析、単孔ノズル気流試験)

- 目標：水素専焼の逆火耐性への影響評価、燃料濃度分布が許容範囲にあることの検証
- 成果：気流試験により、壁面濃度の低減による逆火耐性の改善を確認
- 成果の意義：今後の実機燃焼器適用に向けたノズル設計のベースとなる
- 今後の課題：設計裕度範囲をさらに拡大させるための単孔ノズル構造の改良



A-1 モデルバーナの設計技術 (縮小モデルバーナ)

- 目標：NOx 50ppm(15%O2換算)以下、パーミアウト耐性の確認
- 縮小モデルバーナ
 - ・単孔ノズル9本配置の構成、着火・火炎安定化のためパイロット燃料孔を設置
 - ・バーナ上流には、混合管への流入空気の整流化のための半球ドームを設置
 - ・燃焼ガス側のバーナ面内部には冷却のためMTフィンを設置



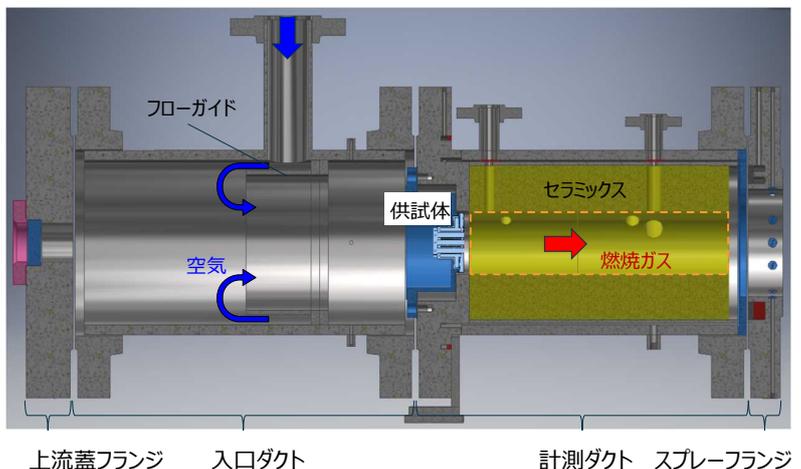
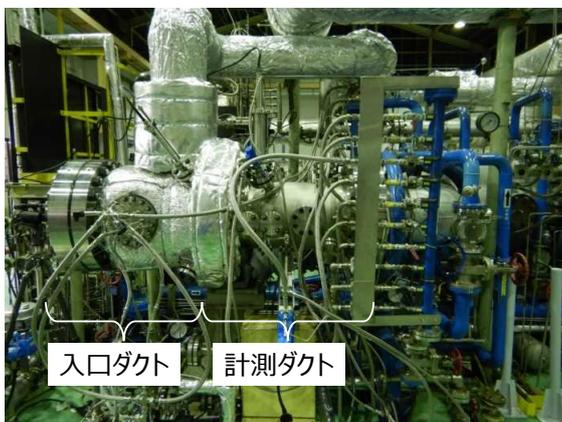
A-1 モデルバーナの設計技術 (モデルバーナ燃焼試験装置)

● 装置概略概要

- ・空気圧力：2.5MPaG
- ・空気温度：485℃
- ・燃焼温度：1800℃

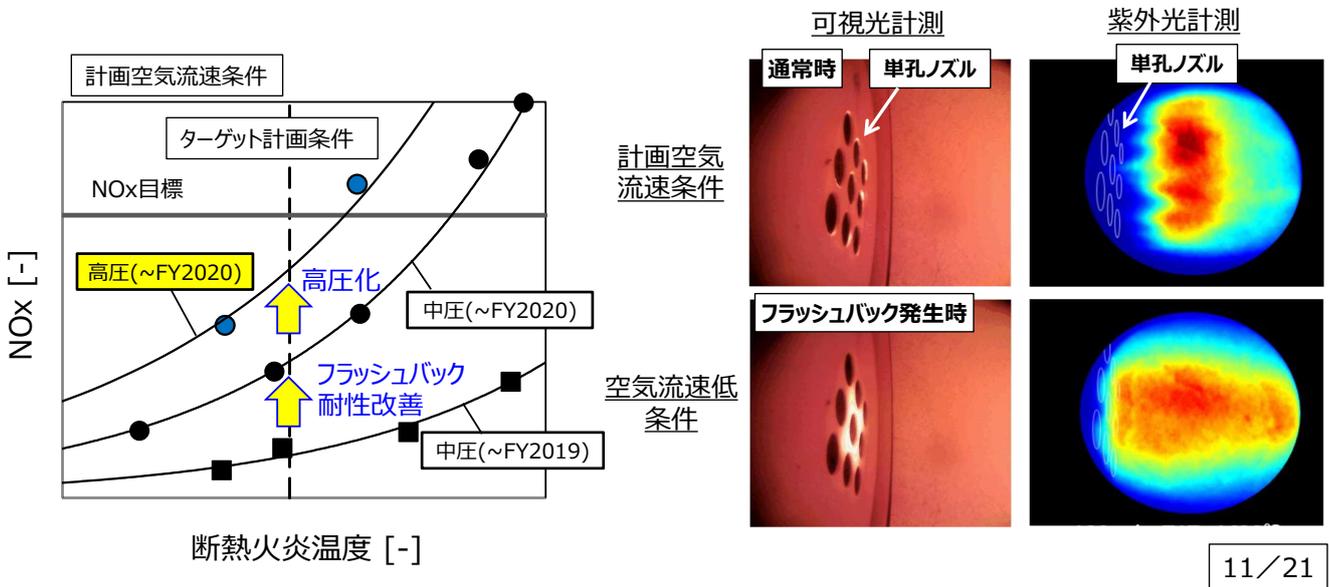
● 試験計測項目

- ・燃焼ガス温度：着火、失火確認
- ・排ガス性状：NOx(NO,NO2)、CO、CO2、O2
- ・可視化：火炎形状
- ・内圧変動：燃焼振動の発生有無の確認



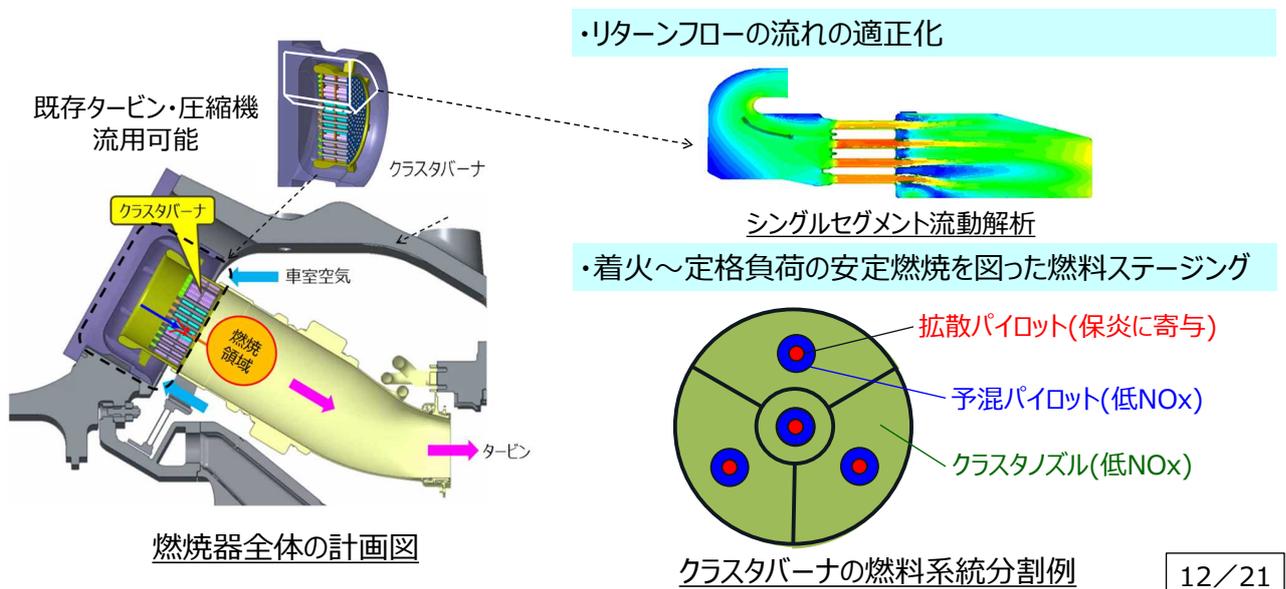
A-1 モデルバーナの設計技術 (モデルバーナ燃焼試験結果)

- 目標：NOx 50ppm(15%O2換算)以下
- 成果：燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無くターゲット計画条件にてNOx 50ppm(15%O2換算)以下を達成した
- 成果の意義：今後のバーナ改良のためのベースで、実用化に向け取組を継続し、研究開発を加速
- 今後の課題：実機適用に向けたフラッシュバック耐性向上



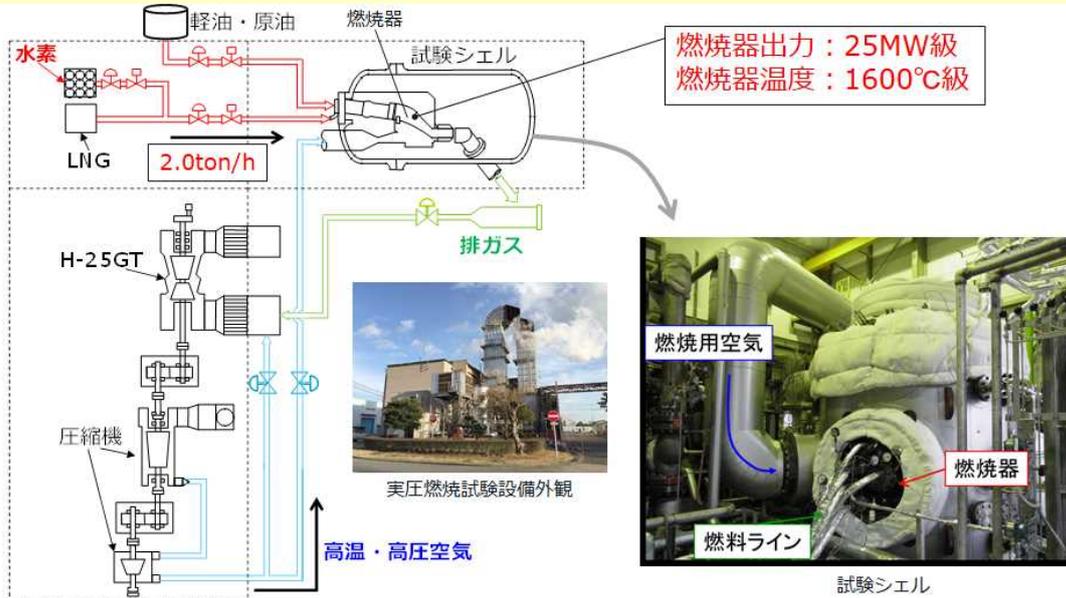
A-2、3 シングルセグメント、大型ガスタービン燃焼器設計技術

- 目標：シングルセグメント、燃焼器の概念設計完了
- 成果：燃料系統、燃料ステーキングの計画をもとに、燃焼器の全体計画図案を作成した
- 成果の意義：燃焼器の全体計画図、燃料系統・ステーキングは今後の詳細設計のベース
- 今後の課題：リターンフローの流れの適正化、燃料系統・燃料ステーキングの詳細設計、燃焼器全体設計



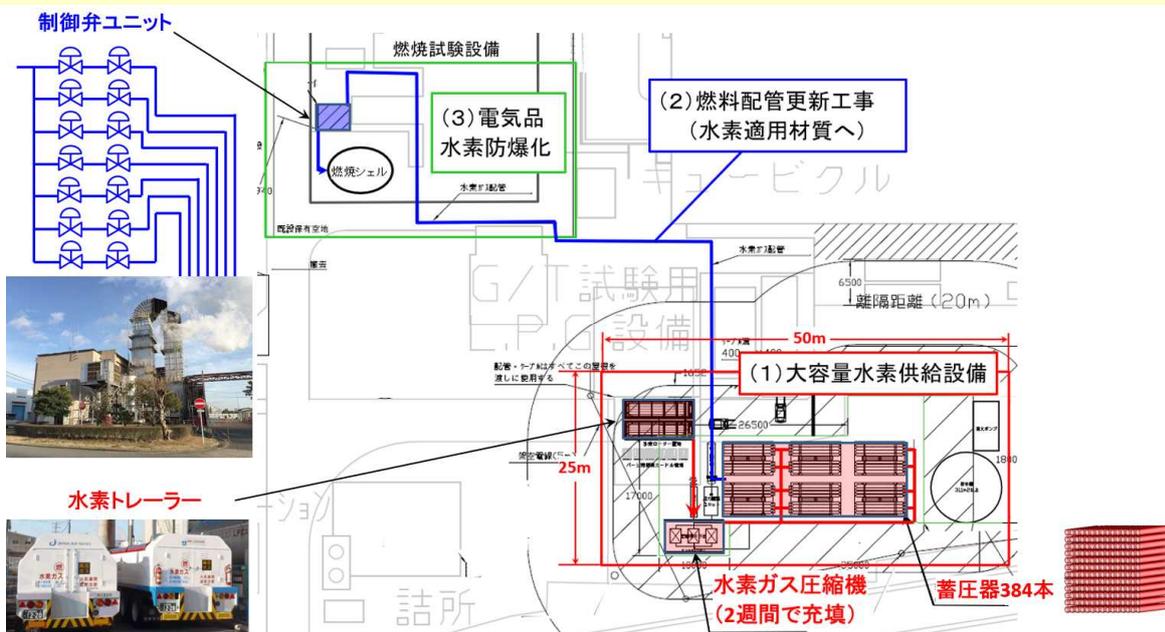
B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術

- 目標：水素供給装置を含めた実圧燃焼試験装置の系統図・配置図の完成
- 成果：水素供給装置から燃焼シェルまでの系統構成を検討し、成立性の目途を得た
- 成果の意義：燃焼器検証に必要な系統構成のベースが完成
- 今後の課題：水素は天然ガスに比べ体積流量が大きくなる為、設備を巨大化させない為、配管流速制限等、詳細設計中



B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術

- 目標：水素供給装置を含めた実圧燃焼試験装置の系統図・配置図の完成
- 成果：水素供給装置から燃焼シェルまでの系統構成を検討し、成立性の目途を得た
- 成果の意義：燃焼器検証に必要な系統構成のベースが完成
- 今後の課題：水素は天然ガスに比べ体積流量が大きくなる為、設備を巨大化させない為、配管流速制限等、詳細設計中



◆成果の普及

- 成果について定期的に発信(2020/7～10で5件)

	2020年度	計
論文	0	0
研究発表・講演	5	5
雑誌・図書等への掲載	0	0
展示会へ出展	0	0
総計	5	5

※2020年10月末現在

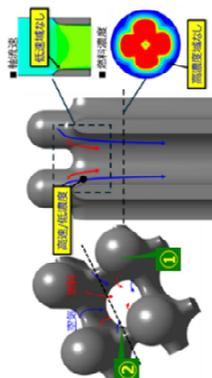
15/21

◆知的財産権の確保に向けた取り組み

- 本研究で開発したクラスタバーナは水素専焼のキー技術であり、知的財産権確保に向けて、クラスタバーナ構造に関する特許出願を継続

	2020年度	計
特許出願 (うち外国出願)	0 (1)	1

⑤混合管入口逆流防止形状
(PCT/JP2020/027016)



※2020年10月末現在

16/21

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

- 最終目標： 燃焼器の実圧燃焼試験にて、逆火の発生なく燃焼器出口NOx<50ppmを達成 (2022年)
- 達成の可能性： 設計の基礎となるモデルバーナの設計技術は、構築済み。

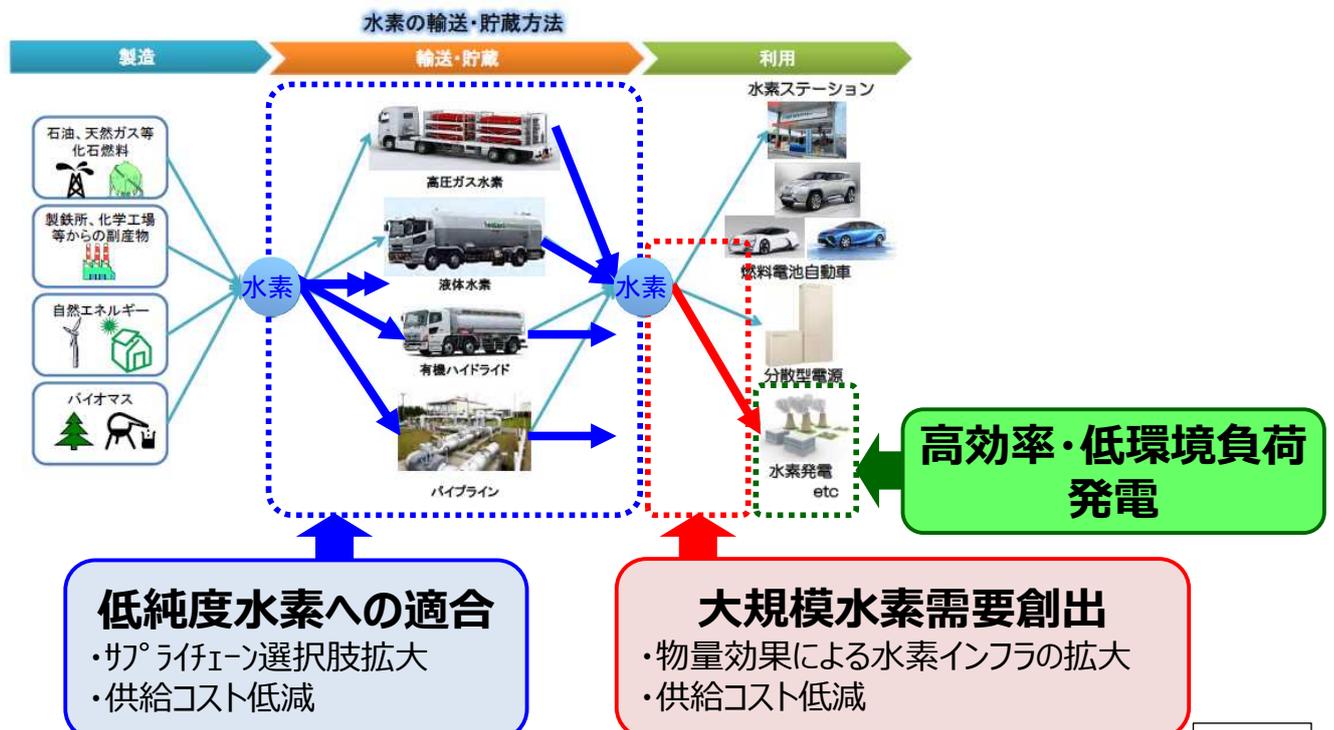
開発項目	現状	最終目標	達成見通し
A-2 シングルセグメントの設計技術	・数値解析にてセグメントの流動場を評価中	・高温高圧下のセグメントバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下 (2021年)	・①-1の成果を反映することで達成可能
A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術	・クラスタバーナの計画図を作成中	・クラスタバーナ計画図の完成(2021年) ・燃焼器全体計画図の完成(2021年)	・中容量向けクラスタ燃焼器の設計技術を展開し、①-1、2の結果を設計に反映することで達成可能
B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術	・系統構成の成立性に目途。系統図及び配置図を作成中	・実圧燃焼試験装置の系統図・配置図の完成(2020年) ・土建工事計画図・配管図の完成(2021年)	・計画通り進行中であり、達成の未通し
B-2 高温高圧下での燃焼器燃焼試験	・2022年度から実施	・実圧燃焼試験にて、計画運転条件において逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下(2022年)	①-1~3、②-1の目標を達成することで、達成可能

17/21

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆成果の実用化・事業化の見通し

- 水素焚きガスタービンの実現により、水素利用基盤拡大への貢献が可能

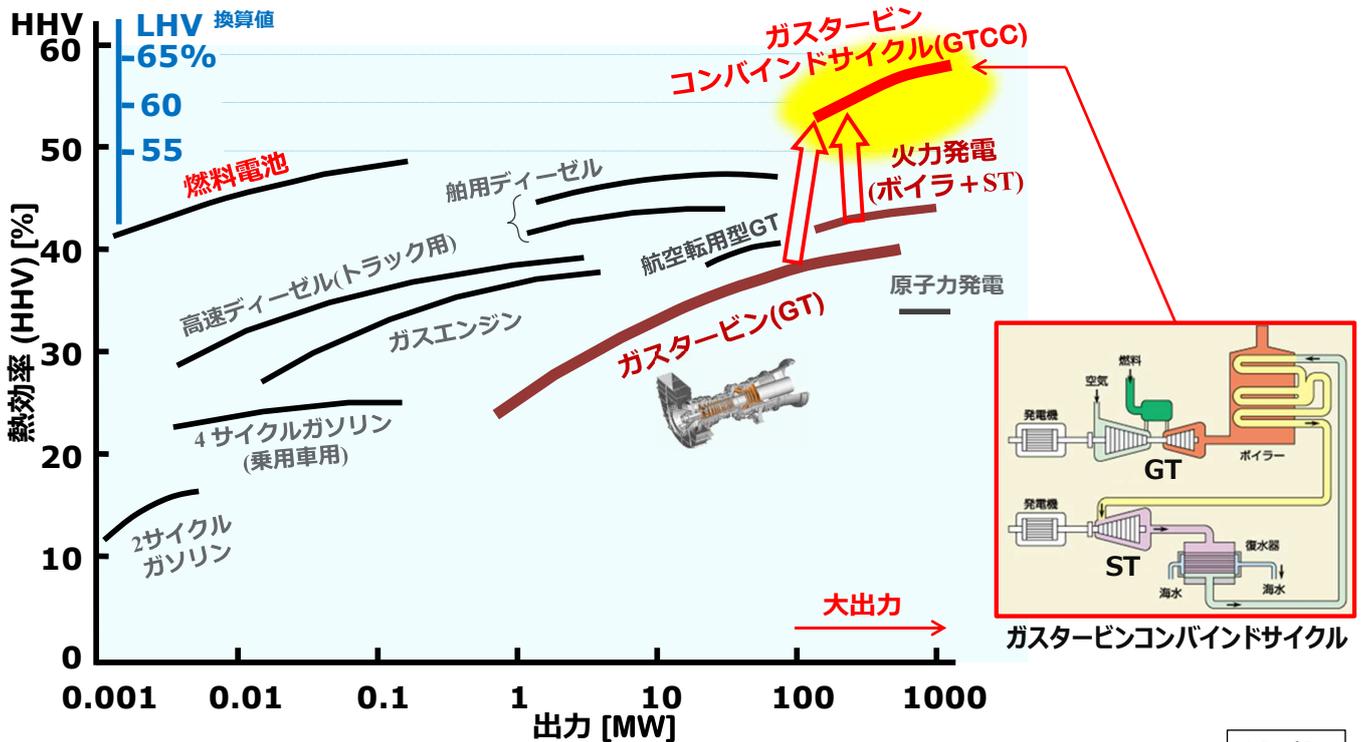


18/21

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆成果の実用化・事業化の見通し

コンバインドサイクル（ガスタービン+蒸気タービン）で発電するため、効率が高く、大型化するほど高効率



19/21

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆成果の実用化・事業化の見通し

- インターマウンテン電力向け水素焼きJAC形設備を初受注。
2025年に水素混焼率30%で運転を開始、2045年までに水素100%での運転を目指す。
- 今後も水素100%実現に向けて、水素専焼の技術開発を加速させる。



ガスタービン機種	M501JAC
出力 (CC)	840 MW (2 GTCC)
所在地	米国 (ユタ州)

当プロジェクトは、石炭火力発電所の設備更新により建設。水素混焼 (30vol.%) GTCCへの更新により、最大で年間約460万トンのCO₂排出量削減に寄与します。

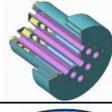
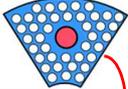
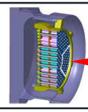
発電電力は、ロッキー山脈をまたいでカリフォルニア州及びユタ州に幅広く供給される運びです。

20/21

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取り組み

● 水素インフラ成熟期での実用化を目指して、水素専焼ガスタービン発電設備の研究開発中。水素専焼の燃焼器設計に加え、大容量水素供給装置を含む燃焼器単缶燃焼設備の構築、およびそれを用いた性能検証を実施する。

		2020年度	(2021年度)	(2022年度)
燃焼器安定 運転を可能に する 燃焼器設計 技術	①-1 モデルバーナの設計技術 (MHI/MP*)	縮小モデル バーナ設計/検証	フィードバックによる 改良	
	①-2 シングルセグメント設計技術 (MHI/MP*)	シングルセグメント 設計/製作/検証	フィードバックによる 改良	
	①-3 大型ガスタービン燃焼器 設計技術(MP*/MHI)	大型ガスタービン向け燃焼器 設計/製作検証(AM)		
燃焼器安定 運転範囲 検証技術	②-1 大容量供給設備を含めた燃焼 試験設備設計技術(MP*/MHI)	基礎設計/詳細設計(土建・配置・系統)	基礎工事/電気工事/蓄圧器設置	
	②-2 高温高圧下での燃焼器 燃焼試験(MP*/MHI)		燃焼器製作	燃焼 試験

*MP：三菱パワー株式会社（2020年9月1日にMHPSから社名を変更） 21 / 21

(Ⅱ-⑪)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／高濃度水素混焼/水素専焼焚きボイラ・発電設備の技術開発」

助成先：三菱パワーインダストリー(株)

●成果サマリ (実施期間：2020年度～2021年度終了予定)

- ・産業用ボイラを対象とし、安全、低NOx、低コストで水素を混焼または専焼する技術を確認する。
- ・水素のバーナ入口供給圧力は従来実績が現状80kPa以下であるが、最大100～990kPaとする水素焚きバーナを開発する。
- ・逆火現象の定量評価を行い、逆火現象の防止策を確認する。

●背景/研究内容・目的

製鉄所、ソーダ工場、化学プラント等では副生ガスとして低濃度から100%濃度までの水素が発生しており、産業用ボイラにおいて、60～100%の高濃度の水素燃料の燃焼ニーズが高まっている。

本事業は、産業用ボイラ（ユーティリティまたは発電用）を対象とする。そして、安全、低NOx、低コストで水素を混焼または専焼する技術を確認し、ボイラ排ガス中のCO₂排出量の低減またはゼロエミッション化を図る。

これにより、SDGsの持続可能な循環社会の構築に向けて、低炭素化さらには脱炭素化に寄与できる。

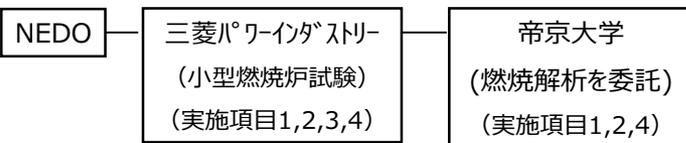
なお、本事業で確認した技術は事業用のガス焚きボイラにも適用可能である。

●研究目標

実施項目	目標
1. 水素ガス供給圧力の高圧化	供給圧力：100～990kPa
2. 燃焼振動現象の抑制	I1≤50Pa (*1)
3. NOx低減	NOx≤60～100ppm
4. 逆火現象の防止	逆火・焼損回避条件の明確化

*1:共鳴周波数成分の振幅

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

本事業は、今年7月22日に交付決定通知書を受け、現在、研究開発目標を達成するための試験設備の計画をほぼ完了し、11月末の設備完成を目指して安全対策、水素供給設備設計・手配、バーナ設計・製作等を鋭意推進中である。実施項目1～4を検証するためのバーナ設計を完了済で、現在製作中である。また、試験を安全に推進するために、消防署への相談を含め、関係者で数度に渡る検討を重ね、水素供給設備の設計に反映済である。

一方、燃焼解析は、今年度、ガスバーナの基本構成となる単孔ノズルを用いた燃焼解析を委託先である帝京大学が実施予定である。本件も計画段階であるが、基本モデルは構築済である。本事業に関連する、着手前の成果実績を以下に記述する。

①当社はLPGおよびLNGで確認した「バーナ基部の保炎強化」のコンセプトを適用した燃料高圧供給条件での低振動・低NOx燃焼技術（特許化済）を保有している。本技術を適用したガスバーナは、産業用小～大のガス焚きボイラ・発電設備に適用済（計14缶）である。～300kPaのバーナ入口ガス圧条件で、低振動・低NOxを実証済である。この特許化済の技術を本事業に適用し、研究開発を推進する。

②当社は、水素濃度84%の高濃度水素燃料にて、バーナ型式は異なるが、蒸発量100t/hの中型ボイラで、ガス供給圧力55kPa、燃焼振動なし、NOx≤100ppm、逆火現象無し（ガスノズル焼損無し）の良好な実績を有している。上記①及び②の成果を本事業に反映する。

●今後の課題

現適用案件の問題として、高濃度水素の供給圧力が5～7kPaと低く、安定燃焼させるために高圧化が課題。本事業の成果に基づき、供給圧力をブースアップする。

●実用化・事業化の見通し

現在、某製鉄会社から濃度90%レベルの高濃度水素を燃焼可能な蒸発量10t/hクラスの新設ボイラの引き合いがきている。上記の今後の課題に記述した内容を反映する。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
1	高圧ガスバーナ実績を水素焚きバーナ設計に反映済	5/10
2	低振動ガスバーナ実績を水素焚きバーナ設計に反映済	5/10
3	本事業では5種類の低NOx手法を適用。水素濃度84%燃料にて水噴霧でNOx100ppm以下を実証済	6/10
4	逆火現象評価用の基本解析モデルは作成済	5/10

登録特許	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	0	0

「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術
開発／高濃度水素混焼/水素専焼焚きボイラ・発電設備の技術
開発」(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

三菱パワーインダストリー(株)

2020年12月4日

1/23

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

(1)-1 小型燃焼炉試験

表1に今年度目標に向けた、小型燃焼炉による燃焼試験計画工程を示す。

- a. 小型燃焼炉は設置後、約40年経過しており、水素燃焼試験への適用性可否を確認するため、非燃焼及び燃焼条件(既設LPG適用)下で試運転を実施。結果適用性を確認した(①、②)
- b. 本試験は高圧設備対象外であるが、水素燃焼試験の安全性を確保する観点から、消防局に事前相談を実施。消防及び会社の安全審査会のコメントを水素供給設備他に反映した(④、⑤)
- c. 各開発項目を評価・検証するための、水素燃焼試験用のバーナ設計及び製作手配を完了した(⑧、⑨)
- d. 小型燃焼炉に適用する安全を考慮した、水素供給設備の設計及び製作手配を完了した(⑩、⑪)
- e. 新規設備を適用した水素燃焼試験を今年12月に実施予定(⑮～⑲)

2/23

表1 小型燃焼炉による燃焼試験計画（2020年度）

No.	実施項目	2020年						2021年		
		7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
①	点検確認(非燃焼)	▼								
②	現状設備での燃焼確認	▼								
③	貸借契約書		■							
④	安全計画(消防)	■								
⑤	改造計画事前相談(MHPS安全、人事)		■							
⑥	既設設備の補修内容総括・手配		■							
⑦	既設設備関係手配(FLD、GM流量計)				■					
⑧	バーナ設計		■							
⑨	バーナ製作手配				■					
⑩	水素供給設備(安全対策含)計画		■							
⑪	水素供給設備(安全対策含)手配				■					
⑫	設備改造・追設前の安全審査					▼				
⑬	設備改造・追設				■					
⑭	設備改造・追設後の安全審査						▼			
⑮	LPG専焼(80kPa)						■			
⑯	LPG/H ₂ 混焼試験(80kPa)--2軸混焼						■			
⑰	LPG/H ₂ 混焼試験(80kPa)--同軸混焼						■			
⑱	H ₂ 専焼試験(80、300、500、900kPa)						■			
⑲	水管群設置試験(低NO _x 化味見試験)						■			
⑳	試験結果評価・2021年度試験計画							■		

(1)-2 燃焼解析

燃焼解析は、Ansys/Fluent 16.2を用いた定常解析により、ガスノズル近傍の燃焼状態を評価する。計算用コンピュータは、スーパーコンピュータを適用する。本解析により、水素の混合比率、バーナ供給圧力を変化させた場合の燃焼振動ポテンシャル、火炎温度及び逆火現象の防止を目的としたノズル先端温度評価などを実施する。今年度は、水素バーナノズル構成の基本となる単孔ノズルを対象として、燃焼解析を実施する。

本助成事業とは別に、弊社と横浜国立大学との共同研究で実施する逆火現象の基礎研究により、逆火並びに逆火に伴うノズル焼損などの回避条件を明確化し、弊社の知見として、本助成事業のシステムに反映する。具体的には、ノズルを焼損させない噴き出し流速の下限値等を設定する。

表2 燃焼解析実施計画（2020年度）

実施項目	2020年度							2021年度
	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
単孔ノズルモデル								
①解析モデル作成		■						
②解析			■	■				
③解析結果纏め			■					
④進捗状況報告			▼					
⑤最終報告						▼		
試験バーナモデル								
①解析モデル作成					■			
②解析							■	
③解析結果纏め							■	
④進捗状況報告							■	
⑤最終報告							■	

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

表3に個別研究開発項目の目標と達成状況を示す。

表3 個別研究開発項目の目標と達成状況

No.	開発項目	目標	成果	達成度*	今後の課題と解決方針
①	水素ガス供給圧力の高圧化	最大100~990kPa (現状の最大 \leq 80kPa)	今後検証へ	Δ (2020/12)	水素燃焼試験及び燃焼解析で検証
②	燃焼振動現象の抑制	$I1 \leq 50\text{Pa}$ (I1:共鳴周波数成分の振幅)	今後検証へ	Δ (2020/12)	水素燃焼試験及び燃焼解析で検証
③	NOxの低減	NOx \leq 60~100ppm	今後検証へ	Δ (2020/12)	水素燃焼試験で検証
④	逆火現象の防止	逆火・焼損回避条件の明確化	今後検証へ	Δ (2020/12)	水素燃焼試験及び燃焼解析で検証
⑤	試験用水素燃焼バーナ設計・製作	上記①~④の評価、目標達成が可能なバーナ設計	設計完成	Δ (2020/11)	バーナ製作完了後、試運転にて検証
⑥	水素供給設備の設計・製作	上記①~④の評価及び安全運用が可能な設備設計	設計完成	Δ (2020/11)	水素供給設備完成後、試運転にて検証

◎ 大幅達成、○達成、 Δ 達成見込み、 \times 未達

3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

(2) - ① 水素ガス供給圧力の高圧化

図1に小型燃焼炉に設置する低NOxガスバーナの概略構造を示す。

本ガスバーナ（HT-LHバーナ）は、1次空気スリーブの先端に所定角度の傾斜を設けることで、1次空気と2次空気の分離による低NOx燃焼をシンプルな構造で達成可能な低NOxバーナ（特許第5736583号）である。

本バーナを適用した燃焼試験で、LPGにて最大 500kPaにおいても安定燃焼可能であることを燃焼解析及び燃焼試験（図2参照）で検証済である。

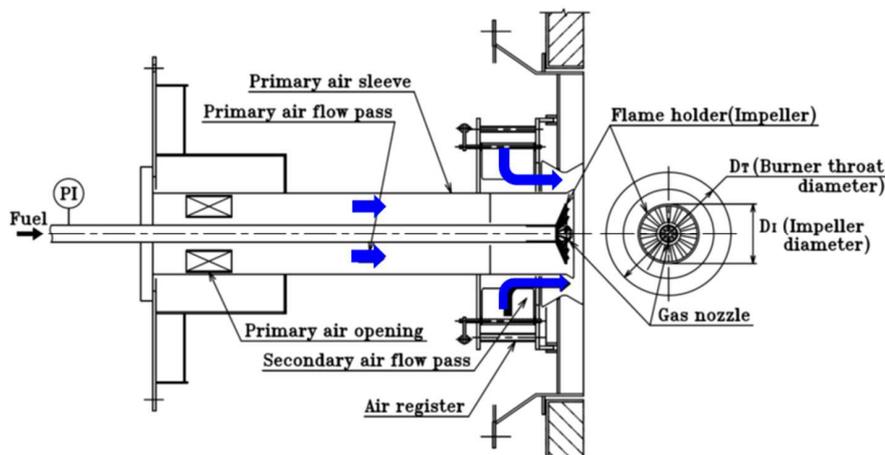
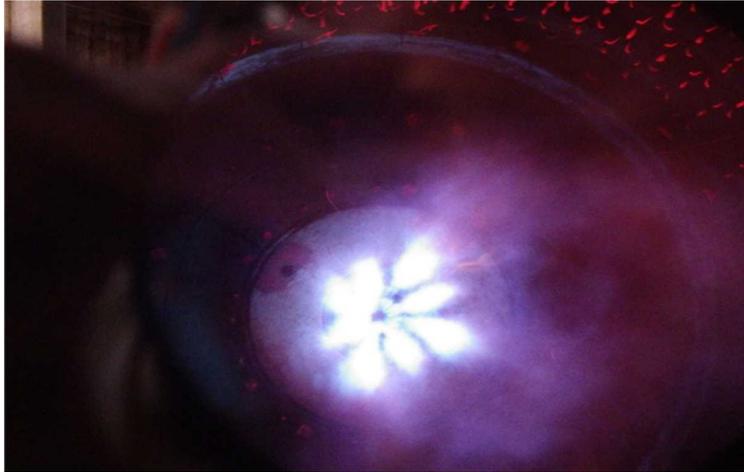


図1 低NOxガスバーナの概略構造



燃焼条件

- ・燃料種：LPG
- ・バーナ入口ガス供給圧力：
500kPa(G)
- ・ガスバーナ：HT-LHバーナ
- ・ガスノズル：低振動型ガスノズル

図2 LPGのバーナ入口供給圧500kPa(G)での燃焼状況

バーナ入口供給圧500kPa(G)の高圧条件においても、燃焼振動現象はなく、バーナ根元から安定した火炎が形成されていることを確認した。



本事業に適用を計画

(2) - ② 燃焼振動現象の抑制

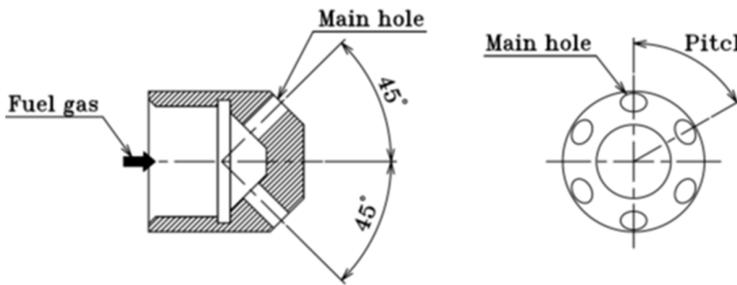


図4 a 従来型ガスノズル

従来型ガスノズル

- ・ 同径の6個の主孔を同心円状に均等に配置
- ・ 噴射角度は全て45°設定

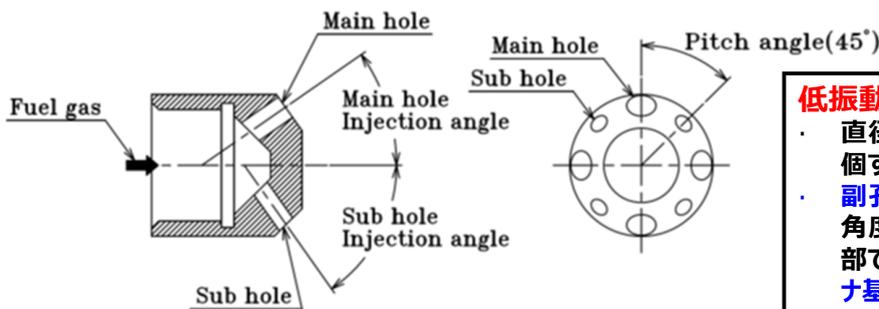


図4 b 低振動型ガスノズル
(本助成事業に適用)

低振動型ガスノズル (特許第460085号)

- ・ 直径の大きい主孔と直径の小さい副孔を4個ずつ交互に配置
- ・ 副孔は孔の断面積を小さくすると共に噴射角度を広角(45°)とすることで、孔出口部での燃料と空気との混合促進により、バーナ基部の火炎の揺らぎ抑制を目的とする
- ・ 主孔は噴射角度を狭角(40°)とすることで長炎化によるガス燃焼の緩慢化を目的とする

・次頁に従来型ガスノズルと低振動型ガスノズルとの性能比較評価結果を示す。

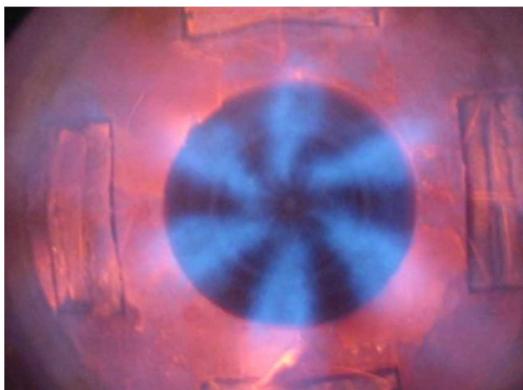


図5a 従来型ガスノズルの都市ガス燃焼状況
($I1^{*1} = 102 \text{ Pa}$: 燃焼振動の兆候有)

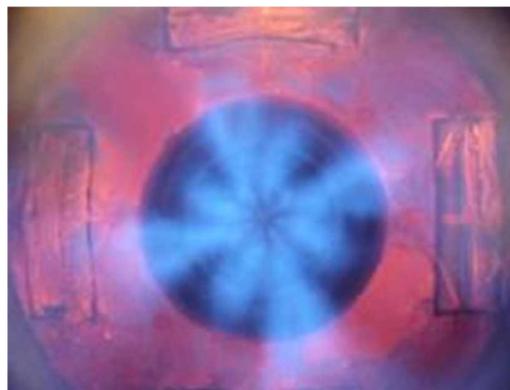


図5b 低振動型ガスノズルの都市ガス燃焼状況
($I1 = 16 \text{ Pa}$: 燃焼振動の兆候無)



(本事業に適用)

- * 1 $I1$: 共鳴周波数成分の振幅 (燃焼振動と強い相関有 : 目標基準値 $\leq 50 \text{ Pa}$)
なお、 $I1$ は炉内の圧力特性の計測結果により評価実施

・低振動ガスノズルは“バーナ火炎基部の保炎”が火炎基部全体で達成されている。

(2) - ①、②まとめ

本事業に、本HT-LHバーナと低振動ガスノズルを適用することで、これまでボイラでのガス供給圧力実績が80kPa以下の水素燃焼に於いても、100kPa (～990kPa) の水素高圧供給条件下で、燃焼振動のない安定燃焼を実現可能と評価している。

また、水素を高圧条件で供給可能となれば、単位発熱量当たりの体積量が大きい水素を、小径配管・小径機器で搬送可能となり、バーナ近傍もコンパクト化可能となるため、システムコスト面及びメンテナンス面での成果の意義は大きいと評価できる。

(2) - ③ NOxの低減

水素は燃焼時の火炎が高温となるため、サーマルNOxが高く、通常250ppmレベルとなる。NOxレベルを60～100ppm以下とすることを目標に以下a～eの低NOx化対策試験を行う。

- a. 低NOxバーナの採用：燃焼用空気の分割投入による低NOx化
- b. 水噴霧（W I）：火炎温度の低減による低NOx化
- c. 二段燃焼：還元燃焼による低NOx化
- d. 排ガス混合：燃焼用空気に排ガスを混合し、酸素分圧の低減による低NOx化
- e. 水管群設置：水管群に火炎を接触させ、火炎冷却による低NOx化

(2) - ③ 成果の意義まとめ

上記a～eの各手法によるNOx低減効果及びコストを定量的に評価し、ターゲット NOx に応じた最適な手法（組合せ含む）を選定する。

上記一連の低NOx化対策試験結果に基づき、最適手法の選定により、水素燃焼に於ける低NOx化対策を、最小の設備・コストで計画可能となり、その成果の意義は 大きいと評価できる。

(2) - ④ 逆火現象の防止

水素は燃焼速度が速く、逆火ポテンシャルが高い。そこで、本事業では、燃焼方式を空気とプリミックスさせる予混合燃焼方式ではなく、逆火防止の観点から、ノズルから水素を噴出させた後に、水素と燃焼用空気とを混合させる拡散燃焼方式を採用する。但し、拡散燃焼方式に於いても、水素の噴出流速が遅いとノズル先端が高温化し、焼損する可能性がある。

本事業では、今年度、水素バーナノズル構成の基本となる単孔ノズルを対象として燃焼解析で火炎温度及び逆火現象の防止を目的とした、ノズル先端温度評価などを帝京大学にて実施する。

上記燃焼解析及び横浜国立大学との共同研究で実施する逆火現象の基礎実験により、ノズルを焼損させない噴き出し流速の下限値等を設定する。

(2) - ④ 成果の意義まとめ

上記の一連の燃焼解析並びに基礎実験により、水素を安全に燃焼させる条件を明確化することが可能となる。水素の安全運用及び事故撲滅の観点から、その成果の意義は大きいと評価できる。

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

個別研究開発項目の達成状況

- a. プロジェクト（事業）全体としての最終目標は、高濃度水素/水素専焼焚きの中・大型産業用ボイラによる発電システムの開発である。本目標を達成することにより、SDGsの持続可能な循環社会構築に向けて、ボイラ排ガスの低炭素化さらには脱炭素化が可能となり、その成果の意義は大きい。
- b. 上記最終目標を達成するための開発項目として、前述した①水素ガス供給圧力の高圧化、②燃焼振動現象の抑制、③NOxの低減、④逆火現象の防止の、4項目がある。本事業では、都市ガス及びLPGにて、500Mpaの高圧ガス供給条件下で、燃焼振動のない安定燃焼かつ低NOxを達成・実証しており、特許取得済みのガスノズル及びガスバーナを適用する計画である。一連のステップを踏んで推進予定であるが、開発目標を達成する見込みである。
- c. なお、本事業で確立した技術は、水素混焼・専焼の事例のない事業用のガス焚きボイラ・発電システムの特に既設改造案件にも適用できるため、成果の水平展開並びに拡大が可能となる。

- a. 表4に、本事業関連の知的財産権を示す。本特許を適用したガスノズル及びガスバーナにおいて、都市ガス及びLPG等のガス燃料を高圧ガス供給条件下で、安定燃焼、低振動及び低NOxの達成を実機実証済である。
- b. 本事業では、特許化済みのガスノズル及びガスバーナを適用して高濃度水素混焼/水素専焼の燃焼試験を実施する計画である。
- c. また、燃焼試験の中で水素燃焼特有の事象に対する新たな知見は、逐次特許化に向けて対応する方針とする。

表4 本事業関連の知的財産権

No.	特許登録日	特許番号	発明の名称	会社名
1	2010/10/8	第4600850号	ガスバーナ	三菱パワーインダストリー(株)
2	2015/5/1	第5736583号	バーナ装置	三菱パワーインダストリー(株)

※2020年7月末現在

表5 本事業関連の論文・研究発表の状況

項目	2017	2018	2019	2020	計
論文（査読付き）	-	-	-	0	0
研究発表・講演	-	-	-	0	0

※2020年7月末現在

表6 成果の最終目標の達成可能性

No.	開発項目	現状	最終目標	達成見通し
①	水素ガス供給圧力の 高圧化	最大100～990kPa達成 に向けた設計 (現状の最大 \leq 80kPa)	・水素焚きバーナの最適化 ・水素供給ガス圧の高圧化 によるシステムコストの低減 及びメンテナンス性改善	一連の燃焼試験及び燃焼解析 により達成見込み
②	燃焼振動現象の 抑制	I1 \leq 50Pa達成に向けた設 計 (I1:共鳴周波数成分の振幅)		
③	NOxの低減	NOx \leq 60～100ppm達 成に向けた設計	低NOx化対策の最適化及 び設備コスト低減	5種類のNOx低減手法を適用し た試験で達成見込み
④	逆火現象の防止	逆火・焼損回避条件の 明確化	水素の安全運用及び 事故撲滅	燃焼解析（本事業）と基礎実 験（共研）により達成見込み
⑤	試験用水素燃焼 バーナ設計・製作	上記①～④の評価、目標 達成が可能なバーナ設計	水素焚きバーナ最適設計条 件の確立	一連の燃焼試験及び燃焼解析 により達成見込み
⑥	水素供給設備の 設計・製作	上記①～④の評価及び安 全運用が可能な設備設計	安全な水素供給設備設計 の完成	一連の燃焼試験で実証

- a. 現状、当社はLPGおよびLNGで確立した「バーナ基部の保炎強化」のコンセプトを適用した燃料高圧供給条件での低振動・低NOx燃焼技術（特許化済）を保有している。本技術を適用したガスバーナは、産業用小～大のガス焚きボイラ・発電設備に適用済（計14缶）であり、～300kPaのバーナ入口ガス圧条件で、低振動・低NOxを実証済である。
- b. 現状、当社は、水素濃度84%の高濃度水素燃料にて、バーナ型式は異なるが、蒸発量100t/hの中型ボイラで、①ガス供給圧力55kPa、②燃焼振動なし、③NOx \leq 100ppm、④逆火現象無し（ガスノズル焼損無し）の良好な実績を有している。

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

(1) 製作・実施等の制約

当社は産業用ボイラ・中小型火力発電設備の新規設計、製作並びに納入後のアフターサービスを行っている。本助成事業の対象となる高濃度水素混焼/水素専焼焚きボイラ・発電設備は、既存の製作設備範囲内で対応可能であり、製作・実施上の制約はないと判断する。

(2) 用途（販売予定先）

副生水素を生成する各工場の顧客殿との取引は、当社営業または商社を介して引き合い対応が可能である。従って、当社が、水素混焼/専焼のボイラ・発電設備に対して、新設あるいは既設改造の提案を実施し、受注・製作・工事・納入の一連の対応を完結させることは可能である。

また、将来的に、水素が再生可能エネルギー等により水電解他で安価に生成できるようになれば、本事業の成果は、大容量の事業用ガス焚きボイラ・発電設備にも適用可能となり、その場合は当社の親会社（三菱パワー）にて販売対応が可能となる。

◆成果の実用化・事業化の見通し

(1) 最近、製鉄所等で生成する多量かつ高濃度の副生水素をボイラにて低コストで燃焼したいという顧客ニーズが高まっている。

(2) 当社として、小型ボイラの競争相手は多いが、中・大型ボイラの競争力は強く、また、バーナ入口ガス圧を高圧化できるのは、当社オリジナル(特許化済)であり、新規性、独創性、競争力の面で、有利であると判断できる。

(3) 本事業の成果は、産業用小・中・大型の水素混焼/専焼焚きボイラ・発電設備に順次適用予定。

(4) 当面は、副生水素が多量に発生する製鉄所及び石油化学系の工場用ボイラを対象とする。

(5) 本事業の成果を反映できるボイラ・発電設備数は、製鉄所関係で15缶、石油化学関係で20缶程度と推定できる。まずは、2022年度に、10t/hクラスの高濃度水素混焼焚きボイラを製鉄所に適用する計画である。

(6) 上記ボイラを納入し、問題ないことを検証後の2024年（4年目）より、高濃度水素混焼/専焼焚きの産業用小・中・大型ボイラを年間2缶目標に拡販を計画する。

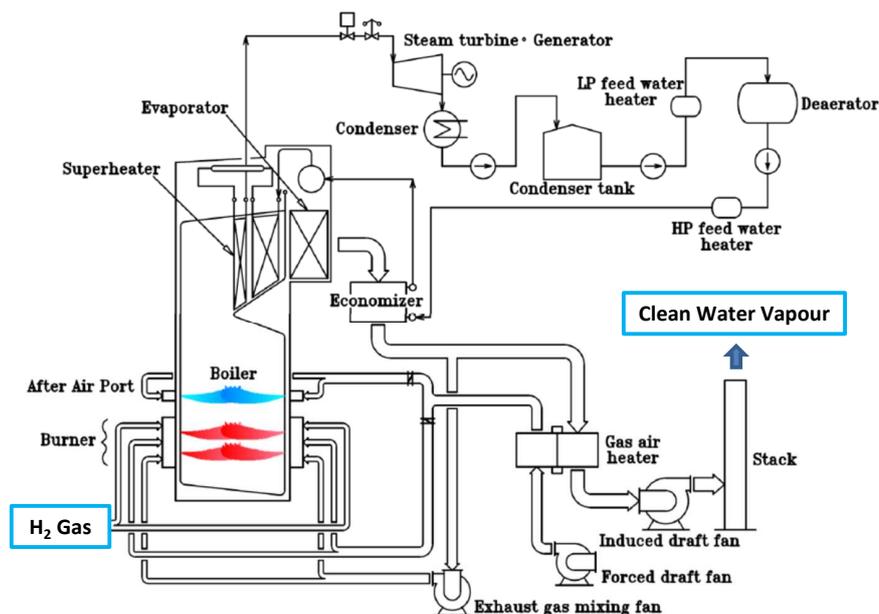


図6 水素焼きボイラ・発電システムの例

市場の動向・競争力

市場規模（現状と将来見通し）／産業創出効果

本事業の成果を反映できるボイラ・発電設備数は、前述したように、製鉄所関係で15缶、石油化学関係で20缶程度と推定できる。まずは、2022年度（2年目）に10t/hクラスの高濃度水素混焼ボイラを製鉄所に適用する計画である。上記ボイラ納入し、問題ないことを検証後の2024年（4年目）より、高濃度水素混焼/専焼ボイラの産業用中・大型ボイラを年間2缶目標に拡販を計画する。

	市場規模	当社のシェア
(2022年度)	1,000百万円	100%
(2024年度)	2,000百万円	100%
(2025年度)以降	2,000百万円/年	70~100%

市場規模算出の根拠：2022年度は10t/hクラスボイラ1缶を対象、

2025年以降は10~100t/hのボイラ・発電設備を年間2缶考慮

シェア見通しの根拠：現状、中・大型ボイラで高濃度水素の混焼・専焼事例がなく、当初は独占可能と判断する。

なお、2025年度程度から、同業他社も参入することを想定

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆実用化に対する課題と今後の方針

現在、某社から90%レベルの高濃度水素が燃焼可能な10t/hクラスの新設ボイラの引き合いがきている。現計画では、本助成事業の成果を踏まえて、詳細に検討・評価を行い、試設計を行った上で、上記ボイラ・バーナ設計に反映し、試運転で実機検証する予定である。

但し、この実機実証試験が本助成事業の完了（2021年度）以降となることから、顧客殿の同意が得られれば、この実機実証試験に向けた一連の総合評価・試設計（燃焼システム、ボイラ、性能評価）を、本助成事業のSTEP2として、2022年度に実施することも検討する。

（現計画の課題）

高濃度水素の供給圧力が5～7kPaと極端に低いため、燃焼性、安全性及びシステムコスト大（配管径大、設置機器コスト大、バーナコスト大）の問題がある。

（今後の方針）

- ① 高濃度水素の供給圧力5～7kPaをブーストアップする。
- ② ブーストアップする圧力は本事業の成果に基づき決定する。
(5～7kPa → 100kPa or 300kPa or ≥500kPa)

（予想効果）

- ③ 燃料供給圧力の適正化、脈動回避に伴う燃焼安定性、安全性の確保。
- ④ 供給圧力の高圧化に伴う燃料供給配管、燃料調整弁、遮断弁等の小径化及びシステムコストの低減。
- ⑤ 缶前の簡素化に伴うメンテナンス性の改善。

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆実用化・事業化に向けた具体的取り組み

表7 事業化のスケジュール

年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度
助成事業STEP2 実機システム試設計		■			
受注		▲		▲ ▲ ▲	▲ ▲
設計		■		■	■
製作		■	■	■	■
据付工事・試運転			■	■	
拡販			◆	■ 続行/中断を判断	
収益性				■	■

◆波及効果

(1)技術的波及効果

ボイラにおける水素燃焼での供給圧力の現状実績は、燃焼振動等の制約から80kPa以下である。本事業の成果を適用することで、ボイラにおける水素燃焼を高圧条件で適用可能となれば、供給配管、配管機器設備の小径化、缶前の配置が簡素化可能となる。

(2)経済的波及効果

上記(1)の小径化に伴うシステム全体の低コスト化が達成できる。

(3)社会的波及効果

SDGsの持続可能な循環社会の構築の一環として、ボイラ排ガス中CO₂量の低減・ゼロエミッション化に伴う低炭素化、さらには脱炭素化に貢献できる

(4)人材育成等

本事業の成果は地球環境負荷の低減に寄与できる技術であり、技術論文等で世の中に広報することで、教育資料として有効活用可能と考えられる。

(Ⅱ-⑫)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／大出力水素燃焼エンジン発電システムに関する技術開発」

助成先：川崎重工業株式会社

●成果サマリ (実施期間：2020年度～2022年度(予定))

・①既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価②水素燃焼単筒機の開発及び③水素燃焼の最適化の各研究開発に着手した。

●背景/研究内容・目的

水素を主燃料とする従来に無い大出力(2～8MW級)の水素燃焼エンジン発電システムを実現させるための燃焼技術開発を行い、2022年度末までに終了させる。具体的には、①既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価②水素燃焼単筒機の開発及び③水素燃焼の最適化、の3項目の実施により燃焼技術を構築する。

●研究目標

実施項目	目標
① 既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価	大出力エンジンにおける水素燃焼の特徴を抽出し、水素燃焼単筒機の要目を定める
② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化	<ul style="list-style-type: none"> 多くの量の水素を貯蔵・供給ができる水素燃焼専用試験運転設備を整備する 要素試験結果を反映した水素燃焼専用単筒機を用いて、従来実績を上回る図示平均有効圧力1.6MPaを実現する
③ 水素燃焼単筒機運用システムの開発	天然ガス燃焼エンジンと同様の安全性にて運用可能な運用・制御システムを確立する

●実施体制及び分担等

NEDO — 川崎重工業株式会社

●これまでの実施内容／研究成果

- ①：水素供給機能の整備を完了し、試験に着手した。
- ②：
- 水素脆化を考慮して強度評価を行う対象材料の抽出、評価試験方法・条件の検討を完了し、評価試験に着手した
 - 給気経路や燃焼室及び燃料供給手段の仕様を検討・選定するための数値解析手法を確立すべく計画した複数の水素の解析モデル構築を完了し、各種解析手法を比較する準備を整えた
 - 水素燃焼エンジン単筒機の燃焼室周辺部品などの大物部品の設計に着手した
 - 試験運転設備の基本設計（設備全体のフロー図、潤滑油ポンプ等の補機仕様書等の作成）に着手した
- ③：水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出に着手した。

●今後の課題

①既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価②水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化③水素燃焼単筒機運用システムの開発を行い、水素を主燃料として従来実績を上回る図示平均有効圧力1.6MPaを実現する。

●実用化・事業化の見通し

本プロジェクト終了後に製品化開発（エンジンの多気筒化）を実施し、客先サイト等での実証試験を実施する計画である。実証試験において、一定の信頼性を確認した後上市する。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
①	水素供給機能整備完了し、試験に着手	△ 達成見込み
②	<ul style="list-style-type: none"> 強度評価を行う対象部品を抽出 各種解析手法を比較する準備を整えた 大物部品の設計に着手 試験設備の基本設計に着手 	△ 達成見込み
③	水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出に着手	△ 達成見込み

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	0	0

「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／大出力水素燃烧エンジン発電システムに関する技術開発」(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

川崎重工業株式会社

2020年12月4日

1/25

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

開発項目① 既存の天然ガス燃烧単筒機を用いた水素燃烧評価

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①-1 既存の天然ガス 燃烧単筒機での 水素燃烧試験	空燃比等の運転パラメータによる特性変化の確認	水素供給機能整備完了し、試験に着手した	△ (2021/2)	空燃比・水素混焼率・エンジン出力を変更した試験を実施する

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

2/25

開発項目② 水素燃焼単筒機の開発、及び水素燃焼の最適化

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
②-1 適用材料の水素環境下での強度試験	燃焼室周縁部に適用する材料の水素脆化を考慮した強度特性を把握	対象とする材料を選定した試験方法を検討し、強度試験に着手した	△ (2021/2)	選定した材料の強度試験結果より、水素脆化の影響を確認する
②-2 燃焼室状態の数値解析	給気経路や燃焼室及び燃料供給手段の仕様を検討・選定するための数値解析手法を確立	メタンと水素で空気との混合挙動を解くための解析モデル構築を完了し、複数のモデル化手法を比較する準備を整えた	△ (2021/2)	複数のモデル化手法を用いてパラメータ調整や精度検証を実施し、比較することにより、最適な数値解析手法を選定する

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

3/25

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
②-3 水素燃焼単筒機的设计	燃焼室周辺部品などの大物部品の設計・検討完了	大物部品の設計に着手	△ (2021/2)	燃焼室周辺の基本構造を決定する
②-4 水素燃焼単筒試験設備の整備	試験設備の基本設計完了	試験設備の基本設計に着手	△ (2021/2)	基本設計完了（設備全体のフロー図、潤滑油ポンプ等の補機仕様書の完成）および、単筒機製造に着手する

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

4/25

開発項目③ 水素燃烧エンジン制御システムの開発

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
③-1 水素燃烧エンジンにおけるリスク要因の抽出	高リスク部位、部品の見極め リスクアセスメント方針決定	水素燃烧エンジンにおけるリスク要因抽出に着手	△ (2021/2)	メタンと水素の物性を比較することで、同等の安全性を実現するための差異を抽出する

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

① 既存の天然ガス燃烧単筒機を用いた水素燃烧評価

①-1 既存の天然ガス燃烧単筒機での水素燃烧試験

【成果】

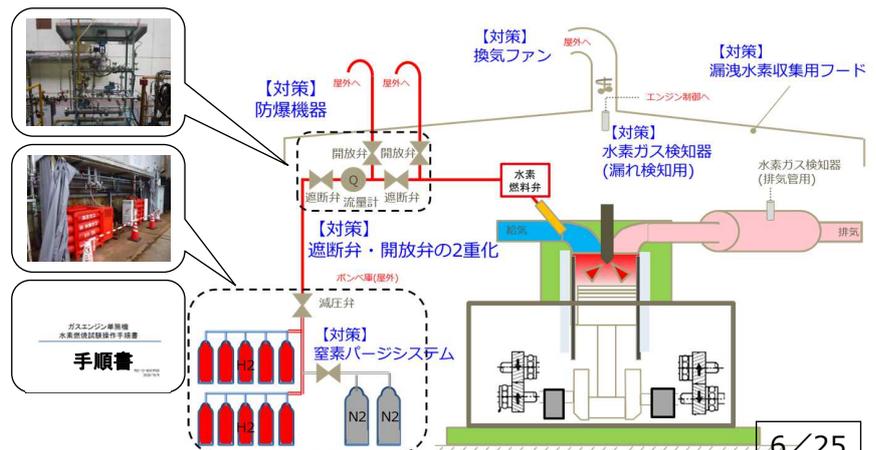
- ・ボンベから試験エンジンへ水素を供給する機能を整備した
- ・万が一の水素漏洩の際にも、確実に検知し供給を停止する安全対策を施した
- ・手順書を整備し、試験運転を開始した。準備した機器の正常動作を確認した

【意義】

・従来研究実績では小型試験機による試験結果しかなく、想定する製品サイズと同等の試験機にて、水素燃烧の課題や出力を制限する要因を抽出する



既存の天然ガス燃烧用単筒試験機



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

②-1 適用材料の水素環境下での強度試験

【成果】

- 水素脆化を考慮して強度評価を行う対象部品を抽出した

【意義】

- 本開発エンジンは、従来研究実績より燃焼圧力および温度が高く、水素脆化の影響が大きくなることが予想される。大出力エンジンに適用される材料の水素脆化に関する研究は数少なく、燃焼室を模擬した評価は世界初となる



7/25

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

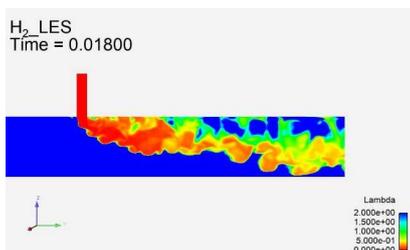
②-2 燃焼室状態の数値解析

【成果】

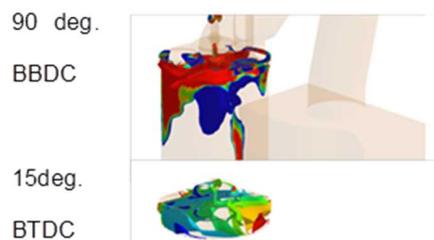
- メタンと水素で空気との混合挙動を解くための解析モデル構築を完了し、複数のモデル化手法を比較する準備を整えた
- 天然ガス燃焼エンジンの解析で用いていた数値解析手法を元に、水素の取り扱い方を変えた複数のモデル化手法を用いてパラメータ調整や精度検証を実施し、比較することにより、最適な数値解析手法を選定する計画を立てた

【意義】

- 2021年度以降に給気経路や燃焼室及び燃料供給手段の仕様検討で数値解析を活用できる



簡易筒内燃料噴射モデル



エンジン筒内燃料濃度分布シミュレーションのイメージ

8/25

② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

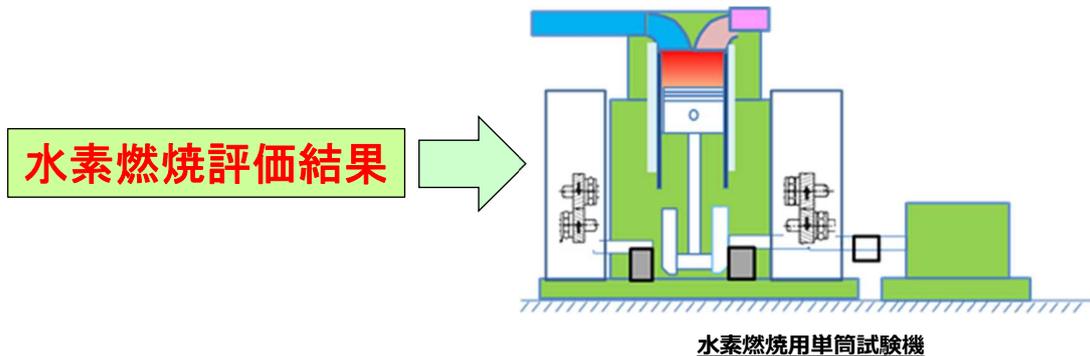
②-3 水素燃焼単筒機的设计

【成果】

- 燃焼室周辺部品などの大物部品の設計に着手した

【意義】

- 既存の天然ガス燃焼単筒試験機は設計変更の余地が少ない一方で、天然ガスと水素とは燃焼特性の差異が大きいため、設計変更点が多岐にわたるが、開発項目①で得た成果を反映することで水素燃焼専用単筒機を製造し試験を行うことができる



② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

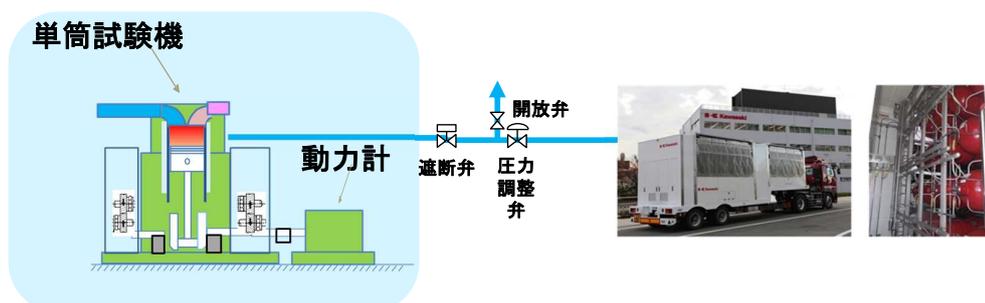
②-4 水素燃焼単筒試験設備の整備

【成果】

- 試験設備の基本設計（設備全体のフロー図、潤滑油ポンプ等の補機仕様書等の作成）に着手した

【意義】

- 建造する試験設備により、十分な量の水素を貯蔵・供給でき、水素燃焼時の性能及び耐久性等を的確に把握するために重要な連続10時間程度の運転継続を実現し、水素燃焼エンジン開発を加速できる



③ 水素燃焼単筒機運用システムの開発

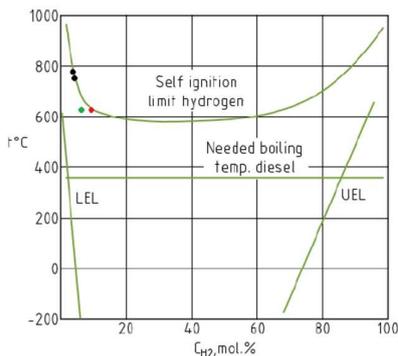
③-1 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出

【成果】

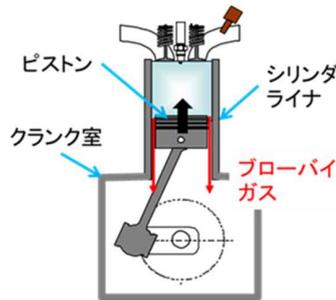
- 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因抽出に着手した
- メタンと水素の物性を比較することで、同等の安全性を実現するための差異を抽出し、安全確保に必要な要件を固めることにより、高リスク部位、部品を見極め、リスクアセスメント方針を決定する計画を立てた

【意義】

- 本成果は天然ガス燃焼エンジンと同様の安全性にて運用可能な設備・制御システムを確立するためのリスクアセスメントの基礎データになる

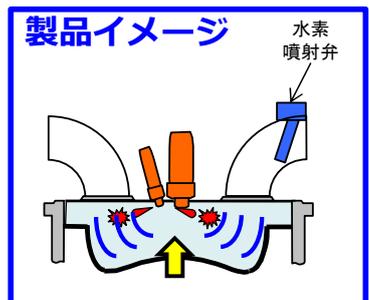
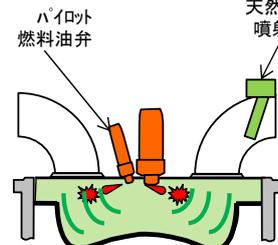
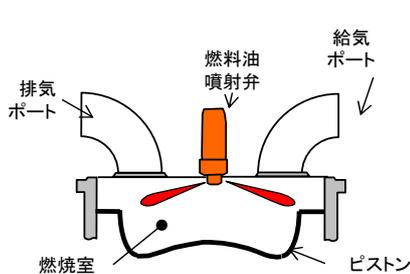


出典：CIMAC CONGRESS19 2019 | 362
ABC's Dual-Fuel Engines Running on Renewable Fuels like Methanol and Hydrogen

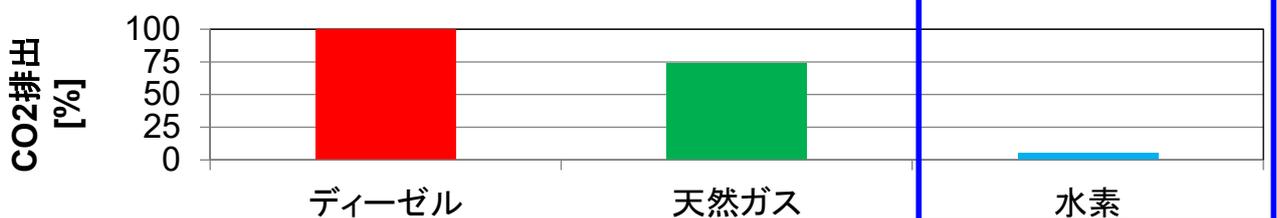


絞り込みリスクの例) ブローバイガスによるクランクケース内雰囲気

水素は当量比=0.5でも、約15%volの濃度であり、ブローバイガスによってクランクケース内が可燃範囲に入るリスクがある



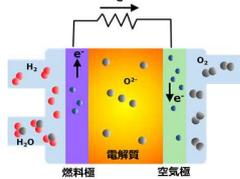
	ディーゼルエンジン	天然ガスエンジン	水素エンジン
主燃料	燃料油	天然ガス	水素
着火用燃料	—	燃料油(約2%)	燃料油(約5%)
CO2削減率	—(基準)	20-23%	約95%



従来の燃料に比べ大幅に温室効果ガス排出を削減可能

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

	水素ボイラ	水素ガスタービン	水素エンジン	燃料電池 (SOFC)
				
単体効率			○	◎
熱利用	○	○		○
排気ガス (NO _x)				◎
起動・停止の制限			◎	
許容水素純度範囲	◎	◎	◎	
要求水素供給圧力	◎		○	
2元燃料対応	◎	◎	◎	
起動速度		◎	○	
耐久性	○	○	○	
コスト/kW		○	○	

水素エンジンは産業用原動機に求められる多くの要求を高いレベルで満たす

13/25

3. 研究開発成果について

(5) 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	2020年度	2021年度 (予定)	2022年度 (予定)
①. 既存の天然ガス燃焼用単筒試験機を用いた水素燃焼評価			
①-1 既存の天然ガス燃焼用単筒試験機での水素燃焼試験	燃焼特性把握	燃費向上パラメータの把握	
②. 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化			
②-1 適用材料の水素環境下での強度試験	使用材料の決定		
②-2 燃焼室状態の数値解析	設計への適用		
②-3 水素燃焼単筒機的设计	大物部品の出図	中小物部品の出図	計測部品等の出図
②-4 水素燃焼試験設備の整備	基本設計図出図	詳細施工図出図	設備試運転完了 計測部品製造完了
②-5 水素燃焼の最適化			出力目標達成
③. 水素燃焼単筒機運用システムの開発			
③-1 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出		高リスク部位、部品の見極め リスクアセス方針決定	
③-2 水素燃焼エンジン運用システムの構築および評価		(HAZOP等)によるリスク定量評価 詳細設計への反映	机上動作確認 設計書出図 実機搭載

14/25

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性

開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
①-1 既存の天然ガス 燃焼単筒機での 水素燃焼試験	水素燃料供給機能を整備し、試験に着手した	大出力エンジンにおける水素燃焼の特徴を抽出し、水素燃焼単筒機の要目を定める	空燃比、水素混焼率、エンジン出力変更による特性変化を把握し、試験にて最適な仕様を抽出する

15/25

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性

開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
②-3 水素燃焼単筒 機の設計	燃焼室周辺部品などの大物部品の検討に着手	水素燃焼に適した単筒試験機を設計・製造し、試験に供用する	2021年度初めに大物部品の設計を完了し、基本構造が決まり次第、併行して中小物部品の設計を進めることで2021年度中に出図を完了する見通し

16/25

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性

開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
②-4 水素燃焼単筒 試験設備の整備	試験設備の基本設計に 着手	連続10時間程度の運転継 続能力を持ち、開発項目① で得られた知見の有用性を 確認できるエンジン試験設 備を整備	今年度中に単筒機製造に 着手、2021年度第3Qに 設備建造に着手し、2022 年度第2Qに単筒機および 試験設備が完工する見通 し
②-5 試験による水素 燃焼の最適化 (予定)	2022年度より着手する 計画	図示平均有効圧力 1.6MPaの実現	他研究機関では、小型試 験機にて図示平均有効圧 力1.4MPa相当の実績があ る。本試験機は設計強度が 大きく、高い給気圧で運転 できるため、潜在能力が高 い。また①-1で抽出した最 適仕様を反映した設計とす ることで、目標を達成する見 込み

17/25

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性

開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
③-2 水素燃焼エンジ ン運用システムの 構築および評価 (予定)	2021年度より着手する 計画	天然ガス燃焼エンジンと同様 の安全性にて運用可能な制 御システムを確立する	開発項目③-1で抽出したリ スクに対して、HAZOP等 によるリスク定量評価を行い、 詳細設計へ反映することで、 天然ガス燃焼エンジンと同 様の安全性にて運用可能 な水素燃焼エンジン運用シ ステムを構築する

18/25

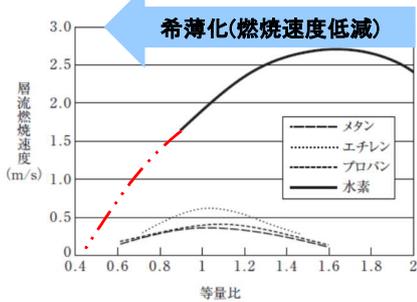
3. 研究開発成果について (6) 成果の最終目標の達成意義

① 既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価

①-1 既存の天然ガス燃焼単筒機での水素燃焼試験

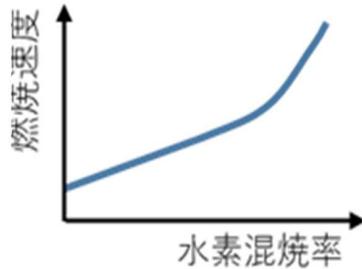
【アクション・意義】

- 水素混焼率5～95vol%での燃焼速度、熱発生率、最大燃焼圧力等、燃焼特性を把握する
- 空燃比、出力などの運転パラメータを変更した燃焼特性の変化の把握する。
- 得られた試験結果を評価して水素燃焼に最適な仕様を別途付けし、②-3の設計に反映する

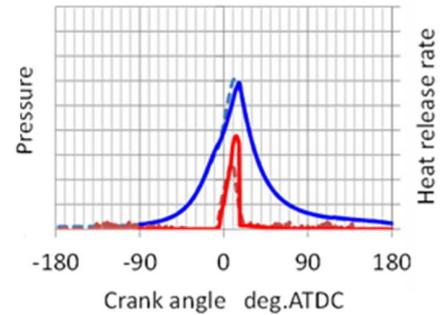


当量比と燃焼速度の関係※
(赤線部当社推定)

※出典：電気設備学会誌 2016年4月
特集 水素社会11 水素の安全利用



燃焼特性把握試験のイメージ



燃焼評価のイメージ

3. 研究開発成果について (6) 成果の最終目標の達成意義

② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

②-3 水素燃焼単筒機的设计

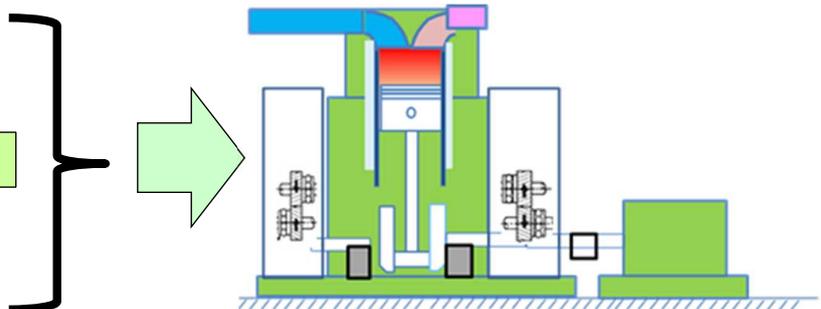
【アクション・意義】

- 開発項目①-1で評価した水素燃焼に最適な仕様を反映する
- 開発項目②-1で把握した適用材料の水素環境下での強度を反映する
- 開発項目②-2で確立した燃焼室状態の数値解析を用いて、最適な燃焼室内の燃料濃度分布となる仕様とする

水素燃焼評価結果

適用材料の水素脆化の影響

燃焼室の数値解析



水素燃焼用単筒試験機

3. 研究開発成果について (6) 成果の最終目標の達成意義

② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

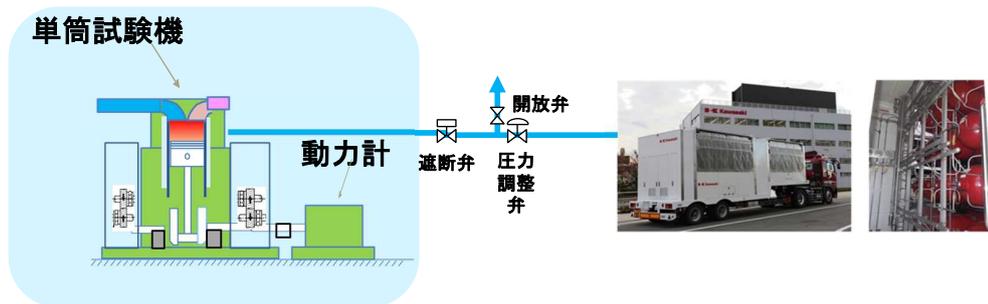
②-4 水素燃焼単筒試験設備の整備

【アクション・意義】

- 開発項目②-3で設計した水素燃焼単筒機、および計測部品等を製造する
- 2020年度に実施した試験設備の基本設計（設備全体のフロー図、潤滑油ポンプ等の補機仕様書）に基づき、詳細設計となる配管施工図、計装図等の作成後、試験設備を製造する

これらアクションの結果、

十分な量の水素を貯蔵・供給できることにより、連続10時間程度の運転継続が出来、水素燃焼エンジン開発を加速できる



21 / 25

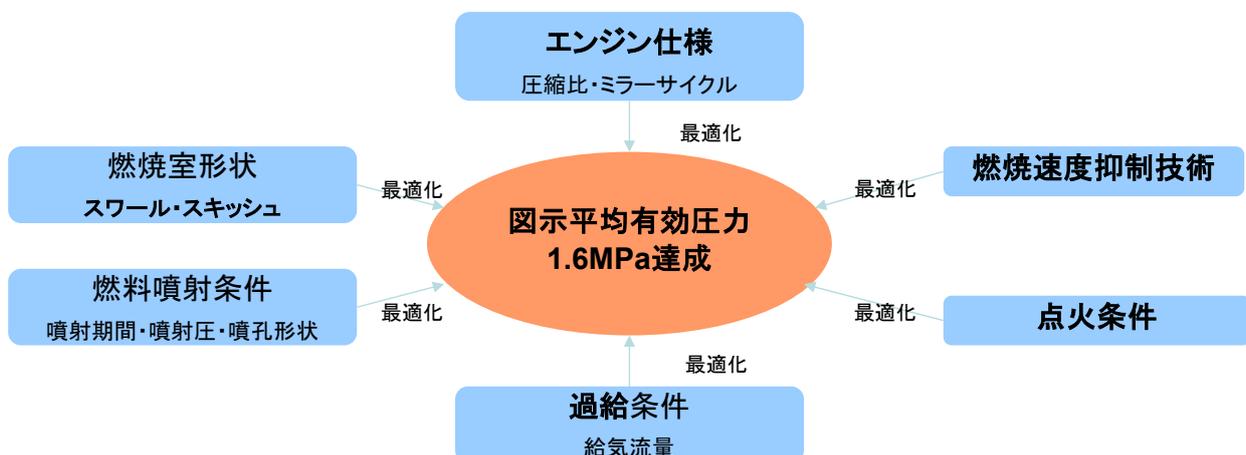
3. 研究開発成果について (6) 成果の最終目標の達成意義

② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

②-5 試験による水素燃焼試験の最適化

【アクション・意義】

- 開発項目②-4で製造した水素燃焼専用単筒機を用いる
- 開発項目①-1で抽出したパラメータの範囲において詳細な調整を行い、異常燃焼を抑制しつつ図示平均有効圧1.6MPaを実現する



22 / 25

③ 水素燃焼単筒機運用システムの開発

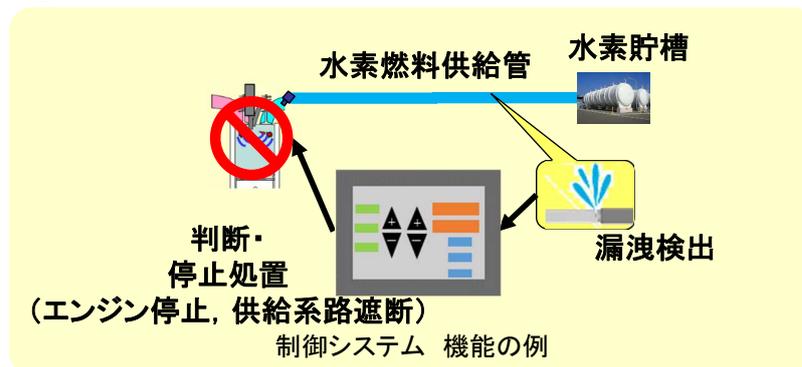
③-2 水素燃焼エンジン運用システムの構築および評価

【アクション・意義】

- 開発項目③-1で抽出したリスクをHAZOP等のリスクアセスメント手法を用いて評価する
- 上記リスク評価基準を反映したエンジン運用システムを構築し机上動作確認後、試験機に搭載し、運用を通して評価する

これらアクションの結果、

天然ガス燃焼エンジンと同様の安全性にて運用可能な水素燃焼エンジン運用システムが構築される



4. 実用化・事業化の見通しについて

本プロジェクト終了後に製品化開発（エンジンの多気筒化）を実施し、客先サイト等での実証試験を実施する計画。

実証試験において、一定の信頼性を確認した後に上市する。

4. 実用化・事業化の見通しについて



実用化の対象として、以下のアプリケーションを想定している。

- 分散発電・電力変動調整用発電エンジン
- 液化水素運搬船・水素燃料船用発電エンジン
- 水素発電バージ, など

(Ⅱ-⑬)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業」

助成先：(株)大林組、川崎重工業(株)

●成果概要（実施期間：2015年度～2018年度終了）

- ・統合型EMSの開発について、双方向蒸気融通技術と統合型EMSを導入し、電気・熱・水素を総管理し、環境性と事業性を確保するエネルギー・マネジメントシステムおよび蒸気ハンマーの発生しない双方向融通配管網が構築できた。
- ・水素CGSの開発について、最終目標である「実負荷運転時の水素混焼割合切替え時の燃焼安定性検証」が完了。

●背景/研究内容・目的

◎背景

2014年4月策定の「エネルギー基本計画」では、エネルギー・マネジメントシステム(EMS)はスマートコミュニティにおけるエネルギー使用の合理化や低炭素化などを達成するための重要なシステムとして位置付けられており、「電気」「熱」「水素」を最適にマネジメントし経済性に優れた統合型EMSの将来導入ニーズは相当規模存在すると思われる。

また、2014年6月策定の「水素・燃料電池戦略ロードマップ」、2016年3月策定の「水素・燃料電池戦略ロードマップ改訂版」では、水素発電の本格導入を目指しており、水素混焼・専焼可能なガスタービンコージェネ(CGS)の開発が求められている。

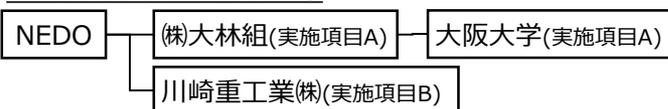
◎研究内容・目的

水素を燃料とする1MW級ガスタービンを有する発電設備(水素CGS)を用いて、地域レベルでの「電気」「熱」のエネルギー効率利用を目指す新エネルギーシステム(統合型EMS)の技術開発・実証を行い、水素・天然ガス混焼ガスタービンの燃焼安定性の検証、双方向蒸気融通技術の確立、統合型EMSの経済的運用モデルの確立に取り組むことで、統合型EMSおよび水素CGSの事業化を推進する。

●研究目標

実施項目	目標
A: 「統合型EMSの開発」	「電気」「熱」「水素」の統合型EMSの経済的運用モデルと双方向蒸気融通技術の確立
B: 「水素CGSの開発」	実負荷運転時の水素混焼割合の切替え時の燃焼安定性の検証

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

A. 統合型EMSの開発

① 計画、設計、施工

電気・熱・水素を総管理し、環境性と事業性を確保する統合型エネルギー・マネジメントシステムおよび双方向蒸気融通配管網を計画、設計、施工し、現地に実装した。

② 性能検証

季節ごと(外気温度、需要の変化)の実負荷運転を行い、運転実績値をもとにEMSの改訂を行うことで、需要予測や最適運転計画の精度向上を図り、±10%以内の精度を発揮できた。また、実証運転により蒸気を双方向に融通させてもハンマーが発生しないことが確認できた。

B. 水素CGSの開発

① 実負荷運転時の水素混焼割合切替え時の燃焼安定性検証の完了

本事業で整備した実証試験設備を使用して、ガスタービン発電装置の運用で想定される各種パターンでの運転試験により、出力/回転数/温度/圧力などの各種データを取得し、水素専焼および水素・天然ガスの混焼での運転の安定性、また水素専焼と混焼、天然ガス専焼と混焼、混焼での水素混合率の変更での運転安定性とNOxの排出規制値(大気汚染防止法：70ppm以下、残存酸素濃度16%換算)を満足すること、燃焼器部品の焼損等がないことを確認した。

2018年6月には、純水素および水素/天然ガスの任意混合率での混焼運転が可能な「ガスタービン発電所」として認可を取得し、「世界初」となる実用レベルの水素ガスタービン発電装置の開発を完了した。

●今後の課題

A. 統合型EMSの開発

今回のフィールドに即したシステムは構築できたため、システムとしての課題はないものの、さらなる精度向上に努めてゆく。

B. 水素CGSの開発

今後は、水素発電の他燃料発電との競争力強化および受容性向上のため、水素ガスタービンの発電効率の向上や周辺機器のエネルギー損失の低減等に取り組んでゆく必要がある。

●実用化・事業化の見通し

水素の市場価格推移、副生水素の発電利用ニーズを注視しつつ、2020年代初頭には水素発電の需要が顕在化し、本格的な事業化に至ると考えられる。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A: 「統合型EMSの開発」	・「電気」「熱」「水素」の統合型EMSの経済的運用モデル確立の完了 ・双方向蒸気融通技術確立の完了	○
B: 「水素CGSの開発」	・実負荷運転時の水素混焼割合切替え時の燃焼安定性検証の完了	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
なし	4件	131件	なし

「水素社会構築技術開発事業」 大規模水素エネルギー利用技術開発 水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業」 (中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

株式会社大林組

川崎重工業株式会社

2020年12月4日

1/42

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆背景・目的

- エネルギー基本計画(H26/4)に、『水素社会の実現』、『熱利用：コージェネレーションの利用促進』及び『総合的なエネルギー需給管理を行うスマートコミュニティの実現』が示された。
- 水素・燃料電池戦略ロードマップ改訂版(H28/3)には、『水素発電の本格導入』が示された。
- 現在 1 MWクラスの分散型水素CGSは実用化されておらず、また、水素をエネルギーの中心として捉え、「電気」・「熱」・「水素」の三位一体でマネジメントするという取り組みは行われていない。

※EMS (=Energy Management System)
CGS (=Co-Generation System)

本事業では、国内に点在する様々な水素源の有効活用、更に将来の水素サプライチェーンの実現も見据え、自家発電やコミュニティレベルでの水素活用ニーズに向け

- ・ 1 MW級の水素ガスタービンを用いた**水素CGS**
- ・ 電気／熱／水素の最適マネジメントを目指す**統合型EMS**

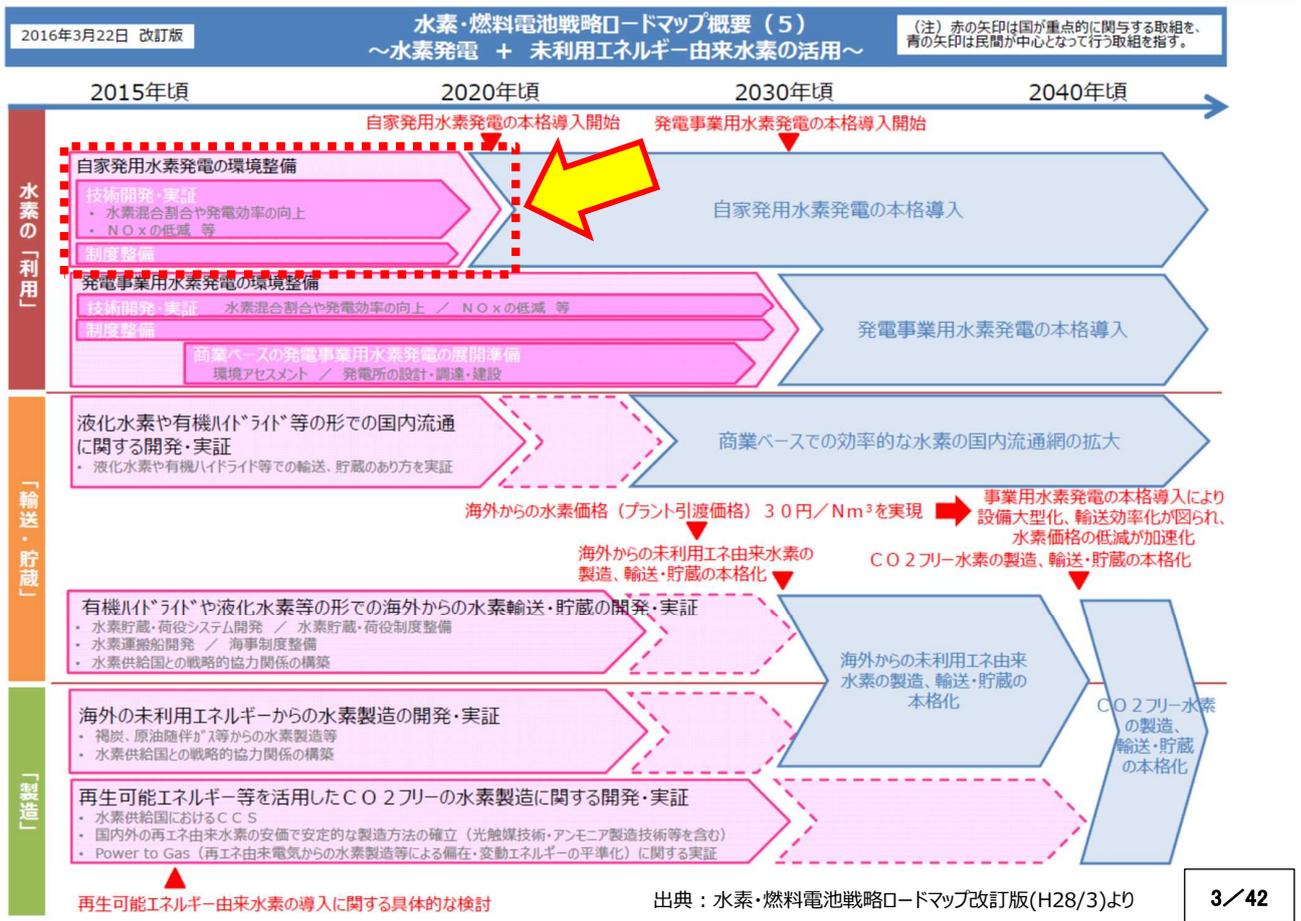
の技術開発・実証を行う。

ガスタービンによる純水素の大量利用を市街地で実施する点、近隣の複数の公共施設へCO₂ゼロエミッションの熱電供給を行う点で、世界初の取り組みとなり、技術および社会実証の両面で大きな意義を持つ。

2/42

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度



3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度

◆技術開発の目標

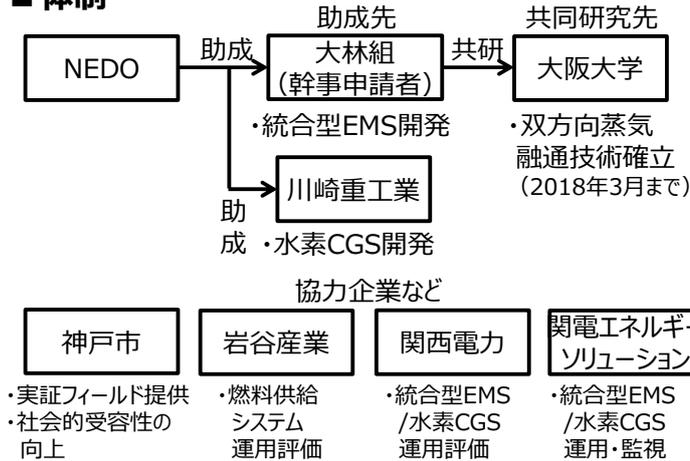
神戸市ポートアイランドに水素と天然ガスを燃料とする1 MW級水素コージェネレーションシステム(水素CGS)を設置し、近隣の複数施設に水素由来の電気・熱を供給する。水素CGSの実証、及び、コミュニティレベルでの「電気」「熱」「水素」の効率的な利用を目指す統合型エネルギーマネジメントシステム(統合型EMS)の実証を行う。



◆技術開発の個別テーマと目標

テーマ	目標	NEDO「基本計画」最終目標	意義
A. 統合型EMSの開発	<ul style="list-style-type: none"> 電気・熱・水素を総合管理し、環境性を事業性を確保する統合型EMSの確立 双方向蒸気融通技術の確立 	水素発電等を組み込んだエネルギーシステムについて、市場化に必要な技術を確立する	水素需要の創出・利用拡大
B. 水素CGSの開発	<ul style="list-style-type: none"> 実負荷運転における水素混焼割合切替え時の燃焼安定性の検証 	水素を混焼あるいは専焼で発電する技術に関して既存の燃料と同等の発電効率、環境性を満たす技術を確立する	水素社会の実現

■体制



■全体スケジュール

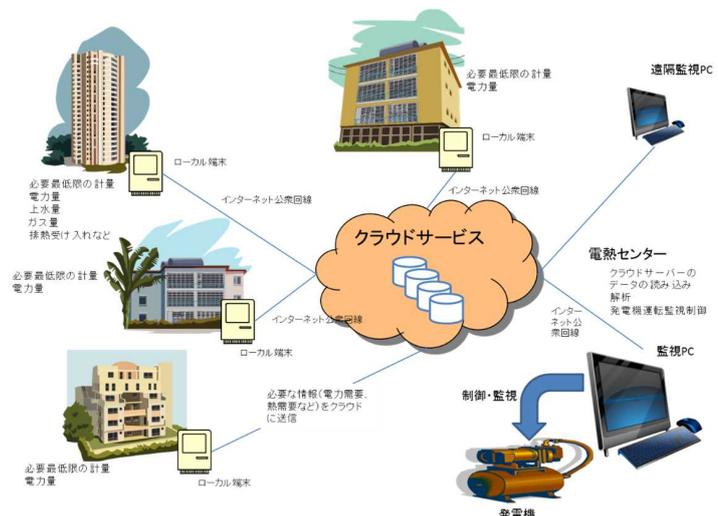
	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度
統合型EMSの開発	計画	設計	工事	実証運転 ・四季を通じた実証運転 ・EMSの精度向上
水素CGSの開発		設計	製作・据付	実証運転 ・四季を通じた性能検証 ・一定時間運転後の健全性評価

◆個別テーマの実施内容

A. 統合型EMSの開発

「電気」「熱」「水素」の統合型EMSの経済的運用モデルの確立

- 電力・熱・水素を総合管理し、更に既存熱源設備やクラウドを活用することで、既存システムと同等以上の効率性、経済性、環境性を確保したエネルギーマネジメントシステム技術を確立する。
- クラウドにより地域全体の需要量を把握し、運用モデルシミュレーションにより、水素由来の環境性と経済性を両立させる最適な運転パターンを見出すための制御ロジックを構築する。
- 需要実績とともに、需要量に影響する様々なファクターから需要予測を立て、水素CGSのより最適な運用を目指す。

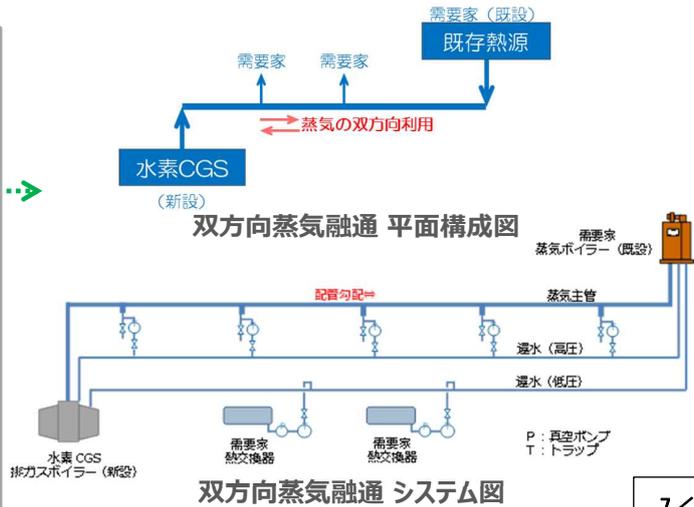
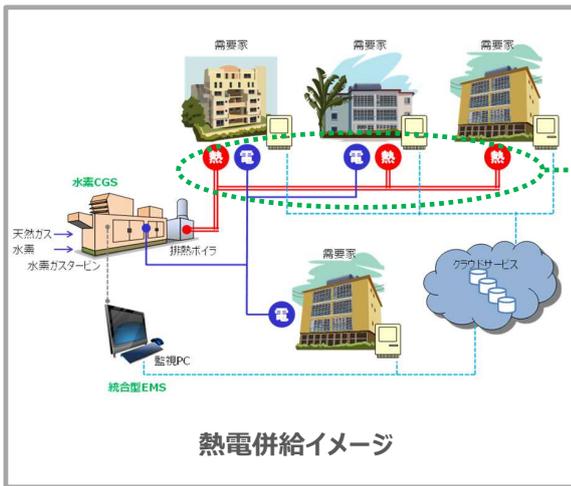


◆ 個別テーマの実施内容

A. 統合型EMSの開発

双方向蒸気融通技術の確立

- 蒸気配管（熱導管）について、単管で蒸気を双方向に利用する技術を確立する。
- 従来の一方向利用ではなく、双方向利用による技術的課題（ドレン還水処理など）を解決し、設計手法を確立する。
- 双方向蒸気融通に対応した配管構成のあり方（配管サイズ、勾配、トラップの配置など）を研究する。

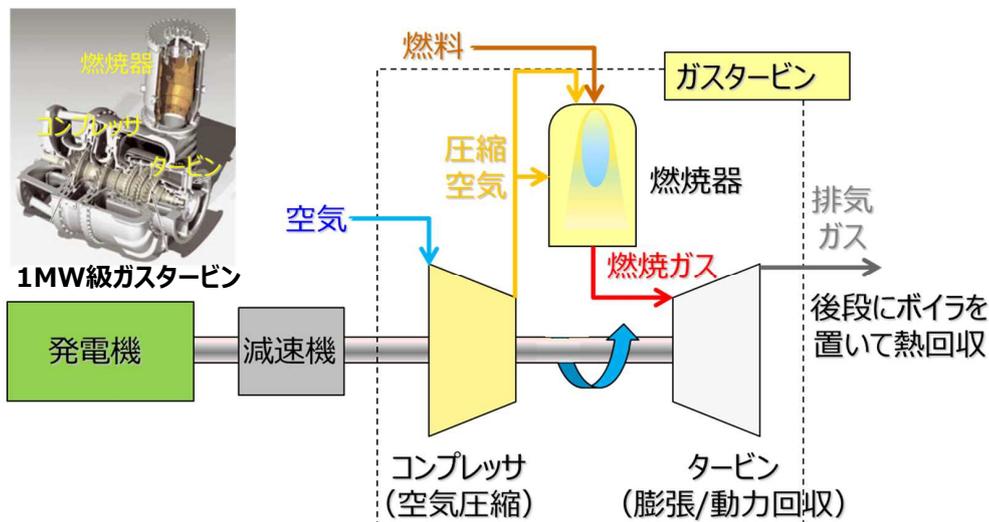


◆ 個別テーマの実施内容

B. 水素CGSの開発

実負荷運転時の水素混焼割合の切替え時の燃焼安定性の検証

- 水素専焼(100%)及び水素と天然ガスの任意割合の混焼において、安定した燃焼を実現する技術を確立する。
- 水素と天然ガスの燃焼が可能な1MW級のガスタービンを設置し、運転試験により回転数・排気温度および圧力などの各種データより、燃焼安定性を確認する。



◆ 個別テーマの実施内容

B.水素CGSの開発

◎水素ガスタービン燃焼器開発の難しさ (技術課題)

水素は天然ガスと比較して『**燃焼速度が速く**』、『**火炎温度が高い**』

燃焼速度が速い ⇒ 逆火・焼損
 火炎温度が高い ⇒ NOx発生増 } 燃焼器の**焼損防止**と**NOx抑制**の両立がポイント

※NOx：窒素酸化物

※逆火：燃料ノズルに火炎が逆流する現象

現行ノズル



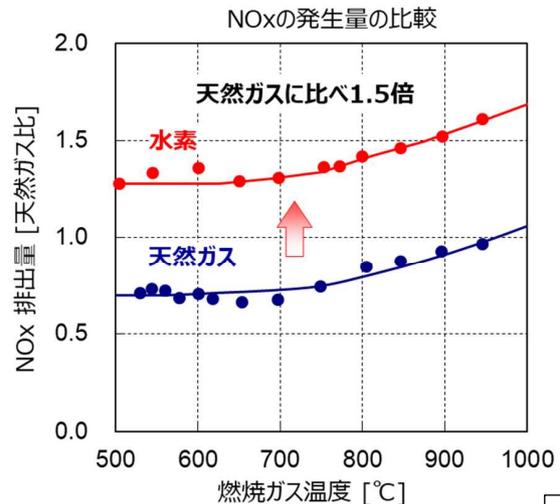
既存の天然ガス用燃料噴射ノズル

新型ノズル



適量に調整された水噴射有り

水素/天然ガス用燃料噴射ノズル



◆ 個別テーマの実施内容

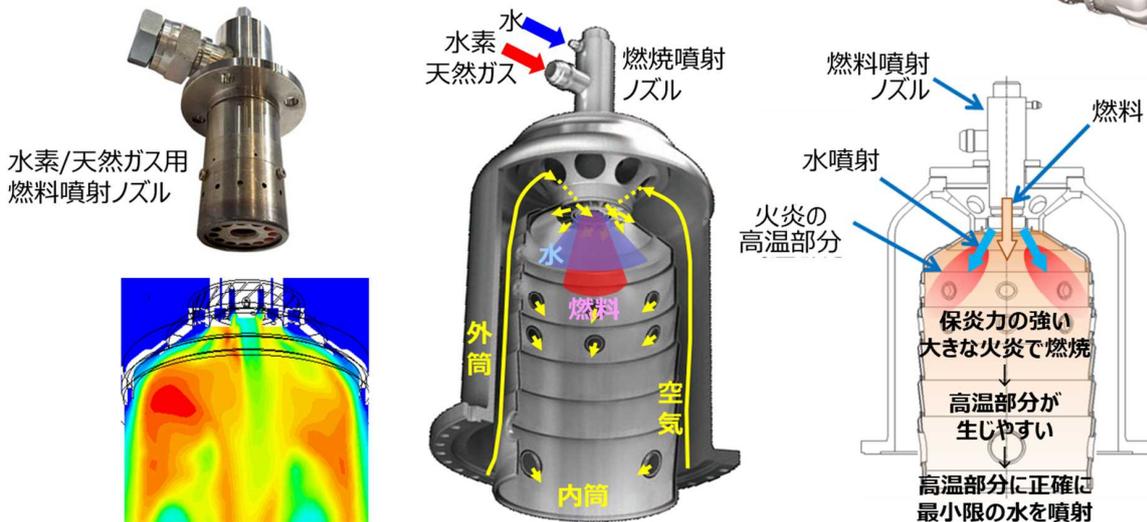
B.水素CGSの開発

◎本プロジェクトで採用する水素ガスタービン燃焼器

ウェット方式の“**水噴射燃焼器**”を採用 (水噴射によりNOxを抑制)

保炎力の強い火炎は安定燃焼が可能だが、高温部分でNOxが発生

高温部分に最小限の水を噴射して温度を下げ、NOxの発生を抑制



コンピューターシミュレーションによる温度分布予測

◆個別テーマの実施内容

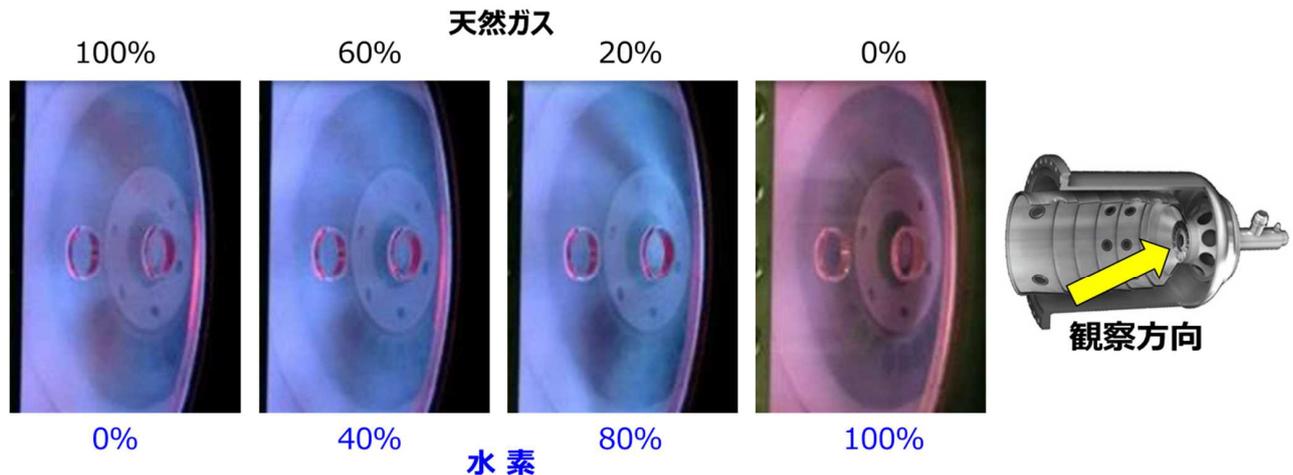
B.水素CGSの開発

◎水素ガスタービン燃焼器の水素・天然ガス切替運転

ウェット方式の水噴射燃焼器は水素と天然ガスを自在の混合率で運転可能

(水素100%専焼 ⇔ 水素・天然ガス混焼 ⇔ 天然ガス100%)

水素普及の初期段階から天然ガス混焼を併用することで水素運用が可能



燃焼器単体試験時の内部火炎可視化計測

◆個別テーマの目標と達成状況

- 2018年度までの実証運転を以て、開発目標は全て達成

<水素CGSの開発実証>

- ・ 実負荷運転における水素専焼／混焼運転時、および水素混焼割合切替え時の燃焼安定性の検証
- ⇒ コジエネ分野で普及が期待される1MW級水素CGSに使用する、水素専焼/混焼対応ガスタービン(水噴射方式)について開発を完了

<統合型EMSの開発実証>

- ・ 電気・熱・水素を総合管理し、事業性と環境性を確保する統合型EMSの構築
- ・ 双方向蒸気融通システムの構築
- ⇒ 水素CGSの「環境性と事業性を確保した運用に欠かせない技術」として統合型EMSおよび双方向蒸気融通技術の開発を完了

- 『NEDO「水素社会構築技術開発事業」基本計画』の最終目標と意義に応じた成果を得た

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

テーマ	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
A. 統合型 EMSの開発	A-1) 双方向蒸気融通技術の確立			
	A-1-1) 現地調査 > 基本計画に必要な現地調査が完了していること > 基礎構造形式の検討に必要な地質調査が完了していること	> 基本計画に必要な条件として、水素CGS設置場所の現地状況、需要家施設の設定概要や現地状況、水素CGS設置場所から需要家施設までの公道の状況の把握・整理が完了した。 > 基礎構造形式の検討に必要な条件として、地質の把握・整理が完了した。	○	課題なし
	A-1-2) 基本計画・基本設計・詳細設計 > 基本設計のための基本計画が完了していること > 詳細設計のための基本設計が完了し、建設のための詳細設計図面が完成していること	> 測量・現地調査結果をもとに基本計画および基本設計が完了した。 > 基本設計や試掘調査結果をもとに詳細設計（実施設計）が完了した。	○	課題なし
	A-1-3) 機器製作・現地工事 > 建設のための機器の製作と納入が完了していること > エネルギーセンター工事（インフラ、運転管理室）、需要家への電力・蒸気供給工事、需要家受入れ改修工事が完了していること	> A-1-2詳細設計の完了後、H29年4月より製作を開始し、現地工事が完了した。 エネルギーセンター、供給先の改修工事、公道の熱導管工事が完了した。	○	課題なし
	A-1-4) 単体試運転 > エネルギーセンター工事（インフラ、運転管理室）、需要家への電力・蒸気供給工事、需要家受入れ改修工事における各設備の試運転が完了していること	> 工事が完了したのから順次、単体試運転を行い、2018年2月に完了した。	○	課題なし

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

13/42

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

テーマ	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
A. 統合型 EMSの開発	A-1) 双方向蒸気融通技術の確立			
	A-1-5) 全体試運転 > システム全体による連携運転で、発電による系統連系システムおよび蒸気供給システムの動作確認、EMSによる動作確認が完了していること	> 工事が完了したのから順次、全体試運転を行い、2018年2月に完了した。	○	課題なし
	A-1-6) 大阪大学共同研究 シミュレーション・実験 > 実験やシミュレーション結果を踏まえ、蒸気管を双方向で利用した場合も不具合のない条件を検証・評価し、双方向蒸気融通技術の設計基準を確立すること	> 実験や数値解析により、ハンマー現象の発生条件、圧力変動等を明らかにした（ハンマー現象は、凝縮起因が主要因であること、また、その発生原因、発生条件及び回避方法などを明らかにした。ハンマー対策を施し送気試験をしたところ、ハンマーが発生しないことが確認できた。	○	課題なし
	A-2) 統合型EMSの確立			
	A-2-1) 基本計画・基本設計・詳細設計 > 基本設計のための基本計画が完了していること > 詳細設計のための基本設計が完了し、建設のための詳細設計図面が完成していること	> 基本計画が完了した。 > 基本設計が完了した。	○	課題なし
A-2-2) 機器製作・現地工事 > 運転監視システムのプログラム製作が完了していること。 > 建設のための機器の製作と納入が完了していること > エネルギーセンター設備（水素CGS・水素供給設備、その他設備）、需要家への電力・蒸気供給設備、需要家受入れ設備におけるEMS工事が完了していること	> プログラム製作が完了した。 > 統合型EMSの機器製作と現地への設置が完了した。 > エネルギーセンター、供給先の改修工事、公道の熱導管工事が完了した。	○	課題なし	

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

14/42

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

テーマ	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
A. 統合型 EMSの開発	A-2) 統合型EMSの確立			
	A-2-3) 単体試運転 > エネルギーセンター設備（水素CGS・水素供給設備、その他設備）、需要家への電力・蒸気供給設備、需要家受入れ設備における各EMSの試運転が完了していること	> A-2-2現地工事の完了後、H30年1月より開始し、2018年2月に試運転が完了した。	○	課題なし
	A-3) 現地実証による性能確認試験			
	A-3-1) 実証運転 > 水素CGSで発電した電力と熱（蒸気）を地域需要家へ供給する実証運転が完了していること > 統合型EMSにより運転制御された水素CGSの実証運転が完了していること > 双方向蒸気融通技術を取り入れた蒸気供給設備による熱（蒸気）供給の実証運転が完了していること	> A-1-5全体試運転の完了後、H30年3月より開始予定	○	課題なし
	A-3-2) 評価 > 統合型EMSによる需給制御の確認・検証(水素CGS・需要家・既存熱源の連携を確認)が完了していること > 「電気・熱・水素の統合型EMSの経済的運用技術の確立」の達成度を確認すること > 双方向蒸気融通の挙動確認・検証が完了していること > 「双方向蒸気融通技術の確立」の達成度を確認すること	> 春、夏、秋、冬 実証試験を実施し、光熱水費、CO2排出量を計測した。 > 実験や数値解析により、ハンマー現象の発生条件、圧力変動等の挙動を明らかにした > ハンマー対策を施した上で送気試験をしたところ、ハンマーが発生しないことが確認できた。 > 実験や数値解析により、ハンマー現象の発生条件、圧力変動、その回避方法を明らかにできた。	○	今回のフィールドに即したシステムは構築できたため、システムとしての課題はないものの、さらなる精度向上に努めてゆく。

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

15/42

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

テーマ	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
B. 水素CGSの 開発	B-1) 水素CGSシステムの開発			
	B-1-1) 設計着手前のシステム及び機器構成の基本検討 > 現地の設計上の制約条件についての詳細項目の洗い出しが完了していること	> 運用条件、システム構成、電気/制御、環境条件、設置条件、設計条件、工事所掌、試験時の実負荷使用、ユーティリティ条件の洗い出しが完了	○	課題なし
	B-1-2) 基本設計・詳細設計 > 機器発注のための機種選定が完了していること > 設備のフロー図や電気回路図等が完成していること > 設備の配置図が完成していること > 主要機器の図面が完成していること	> 長納期機器に関して機種選定および仕様確定を完了 > 設備のフロー図および電気回路図、配置図等の基本設計図書の作成を完了し、詳細設計へ移行 > 主要機器および詳細設計の図面作成を2017年9月末に完了	○	課題なし
	B-1-3) 機器製作・機器発注 > 水素CGS設備および水素供給設備に使用する機器の製作と納入が完了していること	> 水素CGS設備および水素供給設備に使用する全ての機器の発注・製作着手を完了 > 水素CGS設備および水素供給設備に使用する全ての機器の完成・納入が2017年9月末に完了	○	課題なし
	B-1-4) 現地工事 > 水素CGS設備および水素供給設備の設置工事が完了していること	> 2017年9月22日に現地工事に向けた仮設事務所等の整備を完了 > 2017年9月25日より機器据付工事を開始 > 2017年12月9日に全ての機器設置工事を完了	○	課題なし

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

16/42

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

テーマ	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
B. 水素CGSの 開発	B-1) 水素CGSシステムの開発			
	B-1-5) 単体試運転 > 水素CGSおよび水素供給設備の各構成機器の単体運転が完了していること > 各設備の単独運転での動作確認が完了していること	> 2017年12月4日より水素CGSの各構成機器の単体試運転を開始し、2017年12月28日に動作確認を完了 > 水素供給設備については2017年12月より試運転を開始する予定だったが、追加安全対策工事が必要となり、2018年1月11日より構成機器の単体試運転を開始し、2018年3月17日に動作確認を完了	○	課題なし
	B-1-6) 全体試運転 > システム全体による連携運転で、発電による系統連系システムおよび蒸気供給システムの動作確認が完了していること > 水素CGS設備としての発電量、蒸気発生圧力の確認が完了していること	> 2018年1月10日より都市ガスによる水素CGS設備について、水素設備との連携を除いた他システムとの全体試運転を開始 > 2018年1月16日に系統連系（発電電力の送電）を、2018年1月22日に蒸気システムとの連携（蒸気の送気）確認を完了 > 2018年1月22日に都市ガス運転による設備性能確認を実施し、設計性能を満足していることを確認	○	課題なし
	B-2) 現地実証による性能確認試験			
	B-2-1) 実証運転 > 実負荷運転時の水素混焼割合の切替え時の燃焼安定性の検証が完了していること	> 2018年3月26日～4月7日にかけて水素ガスを使用した、始動・停止試験、燃焼調整試験、負荷遮断試験を実施し、各種運転が安定して実施できることを確認	○	課題なし
B-2-2) 評価 > 1MW級の水素混焼コジェネレーションを開発・実証運転が完了していること > 水素専焼（水素100%）の運転の確認が完了していること	> 2018年4月9日に水素ガスによる連続負荷試験を、2018年5月22日～6月1日、7月20日～8月3日、11月5日～11月16日、2019年1月14日～1月25日に運転試験を実施し、全運転時間において目標値をクリアしていることを確認 > 2018年11月26日～11月30日に、燃焼器／燃料ノズルの取り外しによる詳細確認と、ポアスコープによるガスタービン本体の内部点検を実施し、有害な損傷等の異常がないことを確認	○	今後は、水素発電の他燃料発電との競争力強化および受容性向上のため、水素ガスタービンの発電効率の向上や周辺機器のエネルギー損失の低減等に取組んでゆく必要がある。	

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

17/42

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
B. 水素CGSの 開発	B-3) 適用法令の確認			
	B-3-1) 適用法令の予備検討・適用法令の決定・その他のCGS設置関連法令の整理 > GT発電設備について、主となる適用法令の確認ができていないこと > 水素CGS設置に関連する法令の洗い出しが完了していること > 監督官庁および行政の関連部門への説明準備が完了していること	> 発電用GTは電気事業法を適用することとし、液体水素の貯留・供給部分は高圧ガス保安法を適用することとした。 > 水素CGS設置に関連する法令の詳細の洗い出しを完了した。 > 監督官庁および行政の関連部門への説明準備が完了した。	○	課題なし
	B-3-2) 官庁申請 > 水素CGS設置に関連する法令全てに関して、監督官庁および行政の関連部門との事前調整が完了していること > 水素CGS設置に必要な申請・届出が監督官庁および行政の関連部門へ提出・受理され、現地工事の着工許可を得ていること	> 監督官庁および行政の関連部門への事前協議が完了 > 現地工事の着工に必要な申請を全て完了 > 現地工事の着工許可を受領済 > 設備の設置および運用に必要な法令、届出・申請を2017年12月21日まで全て提出／承認／受理を完了 > 現在の法令内でも水素発電所の建設が対応可能であることを証明	○	課題なし

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

18/42

◆プロジェクト全体の成果と意義

<成果> 実証試験設備の建設が完了し、運用を開始



◆プロジェクト全体の成果と意義

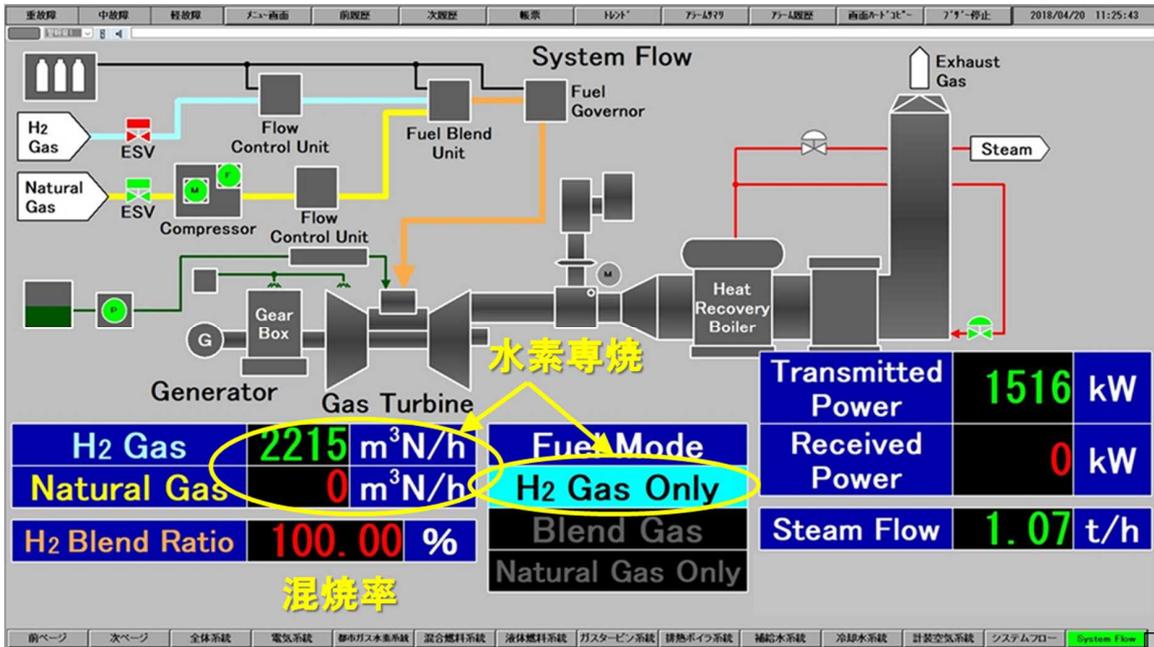
<成果> 2017年12月に設備の設置工事が完了、同年12/10に内覧会を開催



<エネ庁・日下部長官ご挨拶>

◆プロジェクト全体の成果と意義

<成果> **世界初**となる、市街地における**ガスタービンCGSでの水素専焼**
(水素100%)による**熱電供給を達成**
 (NEDO、大林組と共同で2018/4/20にプレスリリース)

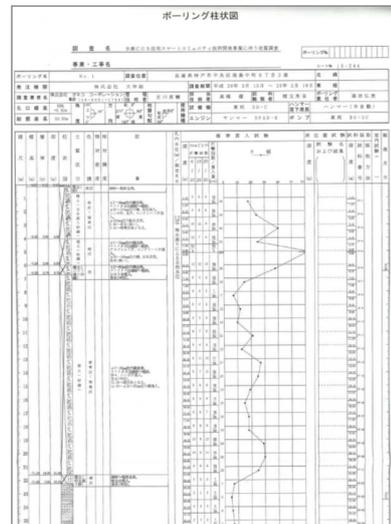
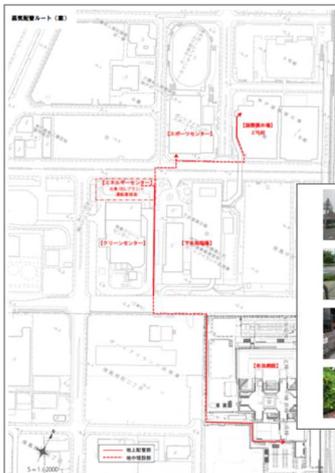


◆個別開発の成果と意義 (中間目標)

A-1) 双方向蒸気融通技術の確立
 A-1-1) 現地調査

<成果> **基本計画に必要な条件**として、水素CGS設置場所の**現地状況**、需要家施設の**設備概要**や**現地状況**、水素CGS設置場所から需要家施設までの**公道の状況**の**把握・整理が完了した**。
 基礎構造形式の検討に必要な条件として、**地質の把握・整理が完了した**。

✓ 現地調査結果資料、地質調査結果資料を作成



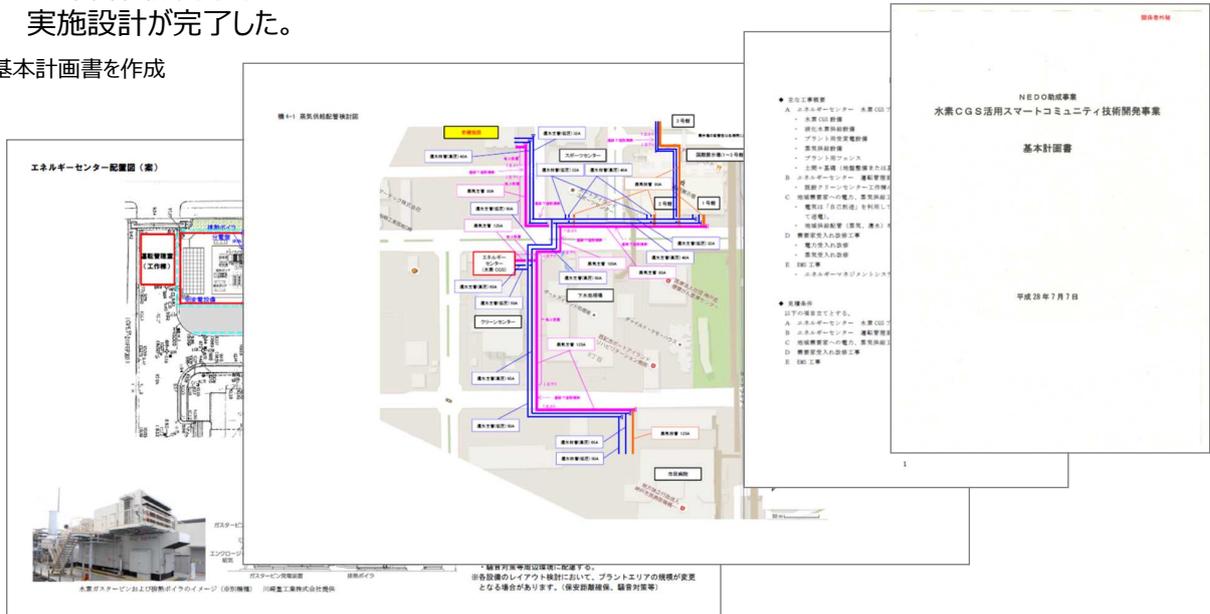
<意義> 水素CGS設置場所の**現地状況**、需要家施設の**設備概要**や**現地状況**、水素CGS設置場所から需要家施設までの**公道の状況**等を把握することにより、**本計画地域に適したエネルギー供給設備の基本計画を作成**することが可能となる。

◆個別開発の成果と意義（中間目標）

A-1) 双方向蒸気融通技術の確立
A-1-2) 基本計画・基本設計・
詳細設計

<成果>基本計画が完了した。
実施設計が完了した。

✓ 基本計画書を作成



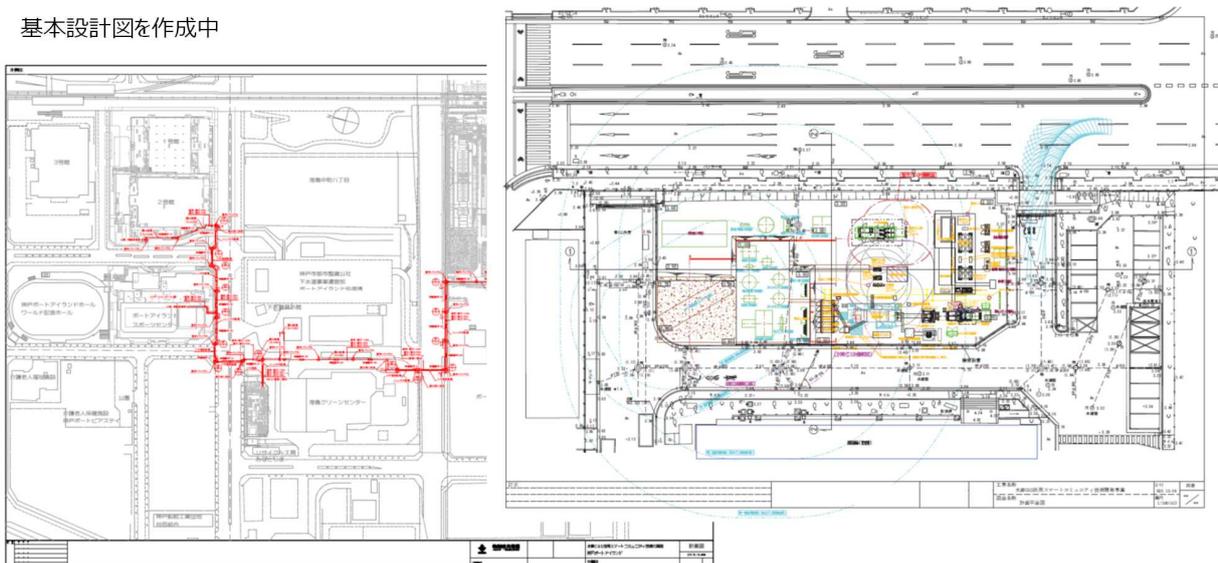
<意義>基本計画は、設計・工事のための根幹となる資料であり、これらの資料に基づいて設計が行われた。

◆個別開発の成果と意義（中間目標）

A-1) 双方向蒸気融通技術の確立
A-1-2) 基本計画・基本設計・
詳細設計

<成果>基本計画が完了した。
実施設計が完了した。

✓ 基本設計図を作成中



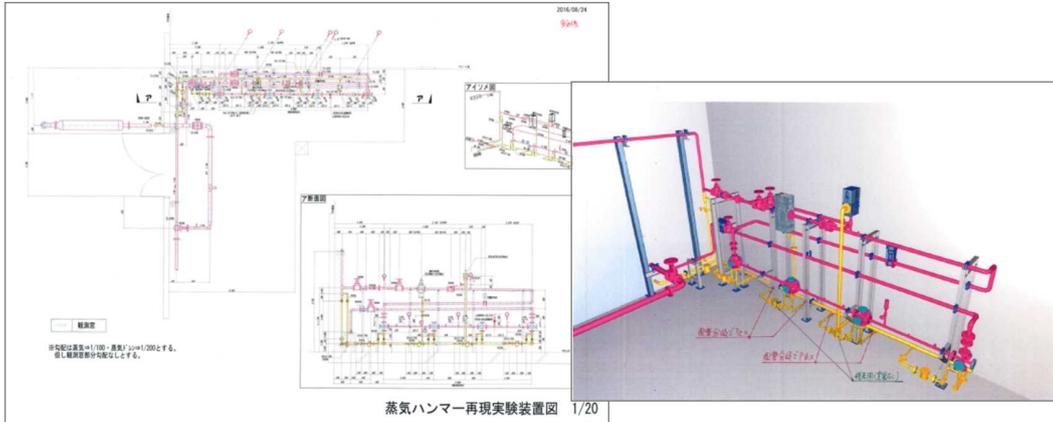
<意義>基本計画は、設計・工事のための根幹となる資料であり、これらの資料に基づいて設計が行われた。

◆個別開発の成果と意義 (中間目標)

A-1) 双方向蒸気融通技術の確立
A-1-6) 大阪大学共同研究
シミュレーション・実験

<成果>実験、シミュレーションが完了した。

✓ 実験装置を計画中



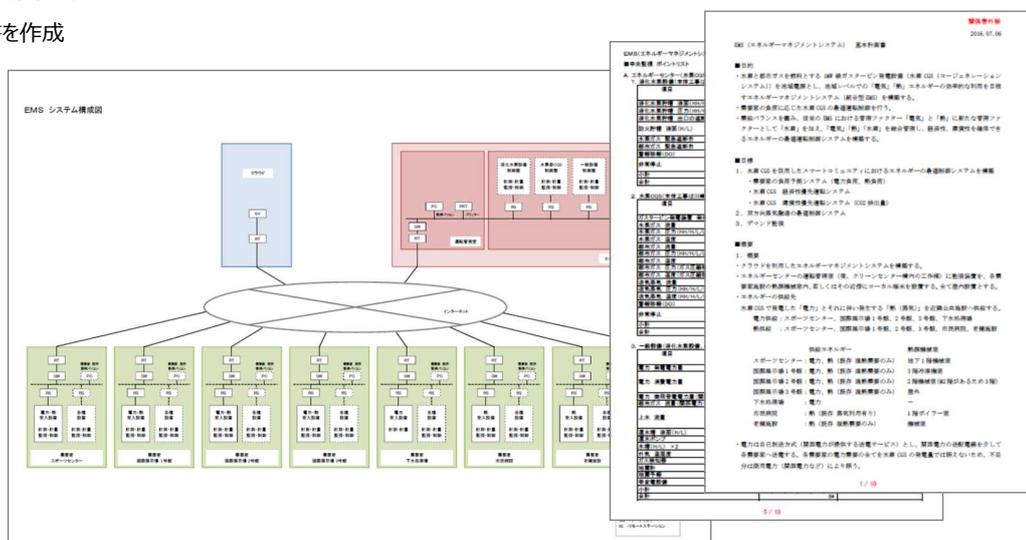
<意義>蒸気管を双方向で利用した場合も不具合のない条件を整理し、**双方向蒸気融通技術の設計基準を確立するための研究**であり、この研究結果を踏まえて、本計画における蒸気管の構成を決定し実証運転を行った。

◆個別開発の成果と意義 (中間目標)

A-2) 統合型EMSの確立
A-2-1) 基本計画・基本設計・
詳細設計

<成果>基本計画が完了した。
実施設計が完了した。

✓ 基本計画書を作成



<意義>**基本計画は、設計・工事のための根幹となる資料**であり、これらの資料に基づいて設計が行われた。

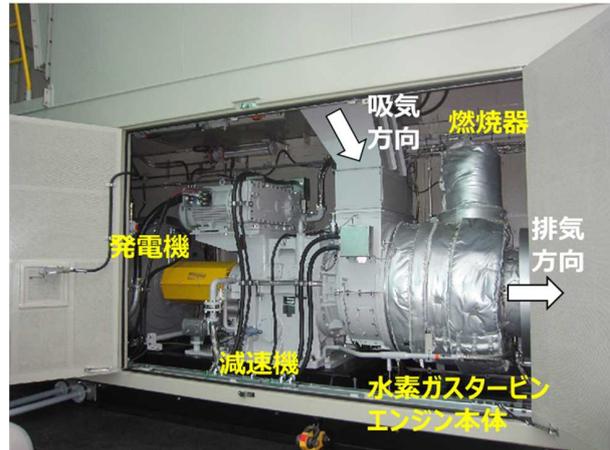
◆個別テーマの成果と意義

B) 水素CGSシステムの開発

- <成果>
- ・ 各種試験での回転数・排気温度・圧力などの各種データから、開発目標である、水素専焼(水素100%)及び水素と天然ガスの任意割合の混焼運転、またその切替時における安定燃焼を確認
 - ・ 水素専焼(水素100%)の運転確認が完了
 - ・ 1MW級ガスタービンの運転試験により、データの蓄積と安定性の確認を通して技術を実証し、**水素発電の実用化に目途**



M1A-17 ガスタービン



水素ガスタービン・パッケージ

◆個別テーマの成果と意義

B) 水素CGSシステムの開発

<成果>

- 平成30年5月18日、電気事業法での発電所開設に関する最終審査である「使用前安全管理審査」を受検・合格
- 平成30年6月29日付で評定通知書(20180622産保近第12号)を受領



日本初の
「100%水素で運転可能な
発電所」として認可を取得

20180622 産保近第 12 号
平成 30 年 6 月 29 日

神戸市長 久元 喜造 殿

中部近畿産業保安監督部長 磯部 隆

使用前安全管理審査の審査結果及び評定結果の通知について

平成 30 年 5 月 25 日付け 2017 大安使第 13 号をもって一般財団法人発電設備技術検査協会から通知があった上記の件について、電気事業法第 5 1 条第 7 項の規定に基づき、下記のとおり通知します。

記

- 審査を受けた組織の名称
神戸市 神戸水素CGSエネルギーセンター発電所
ガスタービン 1,800kW 発電機 2,250 kVA
- 審査基準
使用前・定期安全管理審査実施要領(内規)
(平成 24 年 9 月 19 日付け 20120919 商局第 67 号)
- 審査結果

審査項目種別	審査項目	審査結果
法定審査6項目	法定事業者検査の実施に係る組織	良
	検査の方法	良
	工程管理	良
	検査において協力した事業者がある場合には、当該事業者の管理に関する事項	—
	検査記録の管理に関する事項	良
	検査に係る教育訓練に関する事項	良
インセンティブ関連項目	継続的な検査実施体制	—
	保安力の水準	—
- 溶接事業者検査の実施状況及びその結果の確認結果
該当なし
- 評定結果
当該審査を受けた組織は、使用前自主検査の実施につき体制がとられている。
- 次回の使用前安全管理審査の受審時期
電気事業法施行規則第 7 3 条の 6 第 3 号の規定に基づき受審すること。

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

A. 統合型EMSの開発

- **水素需要の拡大**
従来の「電気」「熱」に新たに「水素」を加えた統合型EMSの構築は、水素CGSの最適制御に必要な運用システムとして普及し、水素需要の拡大に貢献できる。
- **スマートコミュニティの普及**
既存熱源設備を有効活用できる双方向蒸気融通技術の確立は、熱融通網構築時の初期投資額抑制に繋がり、蒸気エネルギーインフラの整備、普及に貢献できる。また、クラウド方式でのEMS構築は、EMS構築時の初期投資額抑制に繋がり、EMSの導入促進に貢献できる。これらによって、エネルギー利活用の最適化、低炭素化の実現に向けたスマートコミュニティの普及に貢献できる。

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

B) 水素CGSの開発

- **CO2排出量削減**
CO2削減効果の高い分散電源の導入は、国内のCO2 排出量削減に大きく貢献できる。
- **水素需要の創出**
1MW級水素CGSの年間水素消費量は、燃料電池自動 (FCV) の約2万台分に相当することから、水素CGSの開発は水素社会の実現に向けた新たな水素需要の創出に大きく貢献できる。

◆ 成果の普及

	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	計
論文	0件	0件	1件	3件	4件
研究発表・講演	2件	4件	39件	43件	88件
受賞実績	0件	0件	0件	0件	0件
新聞・雑誌等への掲載	0件	0件	0件	23件	23件
展示会への出展	8件	2件	6件	5件	21件
その他(表彰への応募等)	0件	0件	0件	7件	7件
視察	0件	0件	5件	167件	172件

- ・ 事業期間内（2019年2月末まで）の成果公表実績は上表の通り。
- ・ 国内外より多数の視察者を受入れ（20ヶ国以上・累計1,200人以上）。
- ・ 国内外で新聞・雑誌の記事として多数掲載された。
- ・ 水素エネルギー活用の普及啓発、社会受容性の向上に向けて積極的に発信・展開した。

31 / 42

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆ 本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

● 統合型EMS

- 本プロジェクトの完遂により、双方向蒸気融通技術、統合型EMSは実用化に大きく近づくと考えられる。実証で明らかになった課題については、実用化に向けた取り組みの中で解決してゆく。実用化技術を確立した後は、水素の流通価格の低減の推移、および副生水素の発電利用のニーズも見つつ、2020年代には水素発電の需要が顕在化し、**水素CGSの需要拡大を背景として、それをマネジメントする統合型EMSや双方向蒸気融通技術は本格的な事業化に至ると考えられる。**

● 水素CGS

- 本プロジェクトの完遂により、1 MW級水素CGSは実用化に大きく近づくと考えられる。実証で明らかになった課題については、実用化に向けた取り組みの中で解決してゆく。実用化技術を確立した後は、**水素の流通価格の低減の推移**、および**副生水素の発電利用のニーズ**も見つつ、**2020年代には水素発電の需要が顕在化し、本格的な事業化に至ると考えられる。**

32 / 42

◆成果の実用化・事業化の見通し（研究開発の概要・取組）

● 統合型EMS

- 研究開発を行う製品・サービス等の概要
 - (1)内容
統合型EMSの経済的運用モデルの確立及び双方向蒸気熱融通技術の確立
 - (2)用途（販売予定先）
自社工場やビルを所有する民間の事業者。
水素/天然ガスを燃料として使用した発電および熱供給を行う事業者。
- 研究開発への取組
 - (1)研究開発を考えるに至った経緯（動機）
今後のエネルギーの方向性の一つとして、**CO2削減に効果の大きい水素による発電**が提唱されており、政府方針でも水素発電は取り上げられている。
 - (2)事業として成功すると考えた理由
今後、事業者がCO2削減を考える際に、水素発電は最も効果的な手段として大きな需要が見込まれ、「電気」「熱」を統合的に供給する設備では「水素」の環境性能を維持しつつ経済性を確保するために**最適な運用モデルと熱融通技術が不可欠**であると考えたため。

◆成果の実用化・事業化の見通し（研究開発の概要・取組）

● 水素CGS

- 研究開発を行う製品・サービス等の概要
 - (1)内容
工場やビル等の商業施設において、水素/天然ガスを燃料としたガスタービンコージェネレーションシステム(水素CGS)の販売およびアフターサービス。
 - (2)用途（販売予定先）
自社工場やビルを所有する民間の事業者。
水素/天然ガスを燃料として使用した発電を行う発電事業者。
- 研究開発への取組
 - (1)研究開発を考えるに至った経緯（動機）
今後のエネルギーの方向性の1つとして、**CO2削減に効果の大きい水素による発電**が提唱されており、政府方針でも水素発電は取り上げられている。
 - (2)事業として成功すると考えた理由
今後、事業者がCO2削減を考える際に、**水素発電は最も効果的な手段**として大きな需要が見込まれるため。

◆成果の実用化・事業化の見通し（市場の動向・競争力）

● 統合型EMS

● 市場の動向・競争力

(1)市場規模（現状と将来見通し）／産業創出効果

水素CGSの需要拡大を背景として、それを**マネジメントする統合型EMS**や**双方向蒸気融通技術も飛躍的に需要が拡大**するものと思われる。

(2)競合が想定される他社の開発動向とそれに対する優位性の根拠

地域熱供給に代表される分散型エネルギー供給事業においては、**電力と熱の最適な供給が経済性の鍵**となる。高砂熱学工業などの空調工事会社では地域冷暖房設備においてEMSを利用した運用を行っている。本プロジェクトでは「**水素**」という環境に優しいエネルギー源の要素を加えつつ、**熱融通により電熱供給事業を経済的に事業化**することができ、今後の**市場に強くアピールできる**と考える。

(3)価格競争力

「水素」の環境性能を維持しつつ、電熱供給を経済的に事業化することで一定の水素混焼が可能と想定され、商用発電と同等の環境性能が維持できると考えられる。熱を有効に利用することで**環境性能及び経済性もより向上させることが可能**である。

◆成果の実用化・事業化の見通し（市場の動向・競争力）

● 水素CGS

● 市場の動向・競争力

(1)市場規模（現状と将来見通し）／産業創出効果

国内における総発電電力量に占めるコージェネレーションの割合は、2010年時点で3%に留まり(出展：コージェネ財団HP)、10%程度の主要先進国と比較して少ないのが現状である。**エネルギー利用率が高いコージェネレーションシステム**は、今後国内でも**飛躍的に需要が拡大**するものと思われる。

(2)競合が想定される他社の開発動向とそれに対する優位性の根拠

日立製作所（現 三菱パワー）、GE社他においても水素ガスを含む燃料ガスに対する出願が見られる。今回の開発では、**水素と天然ガスの混焼割合を自在に設定可能な水素CGS**を開発することで、**需要先の様々な状況と要望に適應する製品**が供給可能になる。

(3)価格競争力

水素と天然ガスの混焼割合を自在に変化させられる水素CGSは、需要先の様々な状況に**適應可能な製品**として、**高い付加価値**を有する。

◆成果の実用化・事業化の見通し（売上見通し）

● 統合型EMS

● 売上見通し

(1) 売上見通し（単位：百万円）

水素CGSの売上が急速に伸び始めるのは**2020年代と想定**している。売上については水素の流通価格の他に様々な要因が影響するために、一概に現時点で見通しを立てるのは難しいものの、上述のコージェネレーションシステムの需要拡大見通しを背景として、水素CGSは大きな売り上げ見込みが期待できる。電熱供給事業についても**水素CGSを基盤として拡大**していくことが期待できる。

(2) 売上見通し設定の考え方

政府方針（水素・燃料電池戦略ロードマップ）においては、2020年代には**海外からの大規模な水素導入**が始まり、自家発電用向けに水素発電の普及が進むと示されている。面的熱融通についても都市圏において効率的な分散エネルギー源の活用手法として注目されており、**水素発電の普及に伴い拡大**すると考えられる。

◆成果の実用化・事業化の見通し（売上見通し）

● 水素CGS

● 売上見通し

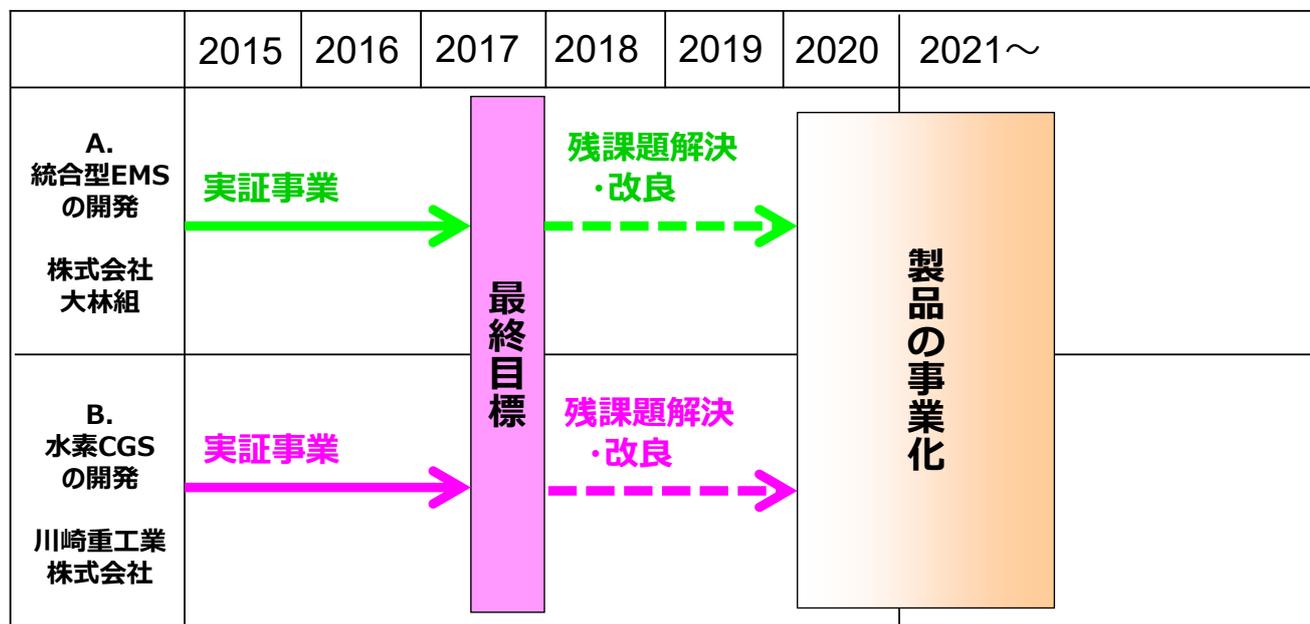
(1) 売上見通し

水素CGSの売上が急速に伸び始めるのは**2020年代と想定**している。売上については水素の流通価格の他に様々な要因が影響するために、一概に現時点で見通しを立てるのは難しいものの、上述のコージェネレーションシステムの需要拡大見通しを背景として、**水素CGSは大きな売り上げ見込み**が期待できる。

(2) 売上見通し設定の考え方

政府方針（水素・燃料電池戦略ロードマップ）においては、2020年代には**海外からの大規模な水素導入**が始まり、自家発電用向けに**水素発電の普及が進む**と示されている。

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取り組み



◆ 波及効果

● 統合型EMS

- 統合型EMS
 水素エネルギーを組み込んだ地域EMS技術が確立されれば、燃料の選択肢が広がり、多様化され、**エネルギーセキュリティの強化**につながる。また、既存熱源設備も組み込んだ地域EMS技術が確立されれば、既存休止設備の有効活用につながり、**BCPの強化**につながる。さらに、クラウドを利用した地域EMS技術が確立されれば、設備投資を抑えて地域EMSを導入することが可能となり、地域レベルでの効率的な**電熱融通システムの普及**につながることを期待される。
- 双方向蒸気融通技術
 電力不足対策や災害に強い街づくりを担う「自立したエネルギーインフラ」は、今後ますますその重要性を増して行くと思われる。自立したエネルギーインフラの基幹電源の排熱有効利用先として、蒸気を媒体とした地域熱融通供給網は今後重要性を増してゆくと思われる。蒸気の双方向利用を確実に実現するための知見が得られれば、複数の熱源に対して蒸気主配管を単管で利用することができるため、熱供給網の経済性を向上させることができ、**エネルギーインフラの普及**に貢献することができる。

◆波及効果

● 水素CGS

- 本プロジェクトにて技術開発を行う1 MW級水素CGSの**年間の水素消費量**は、先般販売が開始された**燃料電池自動車（FCV）**の約2万台分に相当することから、水素CGSの開発は水素社会の実現に向けた新たな**水素需要の創出に大きく貢献**するものである。

まとめ

◆まとめ

- プロジェクトの最終目標は達成した。

最終目標

水素を燃料とする1 MW級ガスタービンをも有する発電設備（水素CGS）を用いて、地域レベルでの「電気」「熱」のエネルギー効率利用を目指す新たなエネルギーマネジメントシステム（統合型EMS）の技術開発・実証を行う。

- ① 統合型EMS：(株)大林組
 - ・統合型EMSの経済的運用モデルの確立
 - ・双方向蒸気融通技術の確立
- ② 水素CGS：川崎重工業(株)
 - ・水素燃焼安定性を満たす技術の確立

(Ⅱ - ⑭) 「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発
低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発」

助成先：三菱パワー株式会社
三菱重工業株式会社

●成果サマリ (実施期間：2015年8月～2019年3月終了)

- ・水素が燃焼器内部温度分布に与える影響を精度よく予測するために、基礎データ取得とシミュレーションの高度化を行い、設計ツールとして活用可能にした。
- ・フラッシュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発し、水素混合割合30%条件(> 事業目標：水素混合割合20%条件)において、安定燃焼が可能なることを実圧燃焼試験により確認した。
- ・実在するプラントをベースに、プラント建設計画を策定し、本事業成果の商品化に向けた基本設計(商品パッケージ化)を完了した。
- ・インターマウンテン電力向けに、当社高効率機種であるJAC形発電設備を受注。2025年に水素混焼率30%で運転を開始予定。

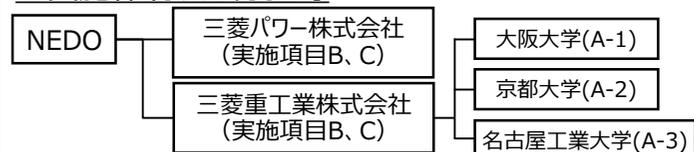
●背景/研究内容・目的

- ・地球温暖化、化石燃料の枯渇の課題に対して、水素を本格的に活用する水素社会の実現が求められており、水素インフラの充実と普及拡大が必要
- ・本事業では水素インフラ導入期での早期実用化を目指して、水素と天然ガスの混焼による予混合燃焼方式のガスタービン発電設備の開発を行う。
- ・天然ガス中に体積割合20%水素を含有した燃料を前提とし、天然ガス燃焼ガスタービンと同様の安定性と低NOx性を両立したガスタービンを実現する上での課題の抽出、解決に向けた研究を行い、プラント建設・運用に向けた具体的計画を策定する。

●研究目標

	実施項目	目標(2018年度)
A-1	火災伝播速度計測(大阪大学)	高压条件において水素混焼割合が燃焼速度に与える影響を明らかにする
A-2	燃焼器内部温度分布を予測する技術	数値解析の高度化(京都大学)
A-3	着火遅れ時間計測(名古屋工業大学)	ガスタービン内部での自己着火による損傷リスクを評価する
B	燃料成分の変化に対する安定運用範囲を拡大する技術	水素混焼割合20%の条件において天然ガス燃焼GTと同等の性能を有する燃焼器を開発する
C	水素・天然ガス混焼プラントの設計技術	本事業成果の商品化に向けた基本設計(用品パッケージ化)を完了する

●実施体制及び分担等



●実施内容／研究成果

A 燃焼器内部温度分布を予測する技術

B 燃料成分の変化に対する安定運用範囲を拡大する技術

・水素混焼割合30%条件での安定燃焼を実圧燃焼試験で確認

C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

・水素混焼燃焼におけるプラントの基本設計が完了

●今後の課題

- ・2025年度末までの水素混焼実証運転に向けて、実現性の高い事業計画の構築
- ・水素混焼発電設備の実検証に向けて、実プラントの合わせた詳細プラント設計

●実用化・事業化の見通し

- ・NEDO「我が国における水素発電導入可能性に関する調査」に代表されるように、国内の電力会社における検討が開始された。
- ・海外においても水素発電利用は再生可能エネルギーの利用拡大に伴うエネルギー貯蔵ニーズとして関心が高まっており、複数の発電所で検討が開始された。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A-1 火災伝播速度計測	高压条件下の燃焼速度を計測し、層流燃焼速度で無次元化することで変動速度と乱流燃焼速度の関係で整理可能であることを明確化	○
A-2 数値解析の高度化	燃焼モデルとしてFGMモデルを適用し、解析により低空気量・高燃空比条件の逆火現象再現が可能であることを確認	○
A-3 着火遅れ時間計測	ガスタービン燃焼器内部と同等条件で着火遅れ時間を計測し、水素混焼運用時の自己着火発生による焼損リスクが低いことを確認	○
B 燃料成分の変化に対する安定運用範囲を拡大する技術	渦芯フラッシュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発し、水素混合割合30%条件にて安定燃焼が可能なることを実圧燃焼試験で確認	○
C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術	水素混焼燃焼におけるプラント基本設計が完了	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
5	4	28	-

「水素社会構築技術開発事業」 大規模水素エネルギー利用技術研究開発 低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン 発電設備の研究開発」 (中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

三菱パワー株式会社

三菱重工業株式会社

2020年12月4日

1/27

3. 研究開発成果について (0) はじめに

◆背景・目的・概要

●背景

- 水素社会の実現には、水素インフラの充実と普及拡大が必要
(水素・燃料電池ロードマップの水素消費量目標→2030年：30万t/年、将来：500～1000万t/年)

●目的

- 本事業では水素インフラ導入期での早期実用化を目指して、水素と天然ガスの混焼による予混合燃焼方式のガスタービン発電設備の開発を行う

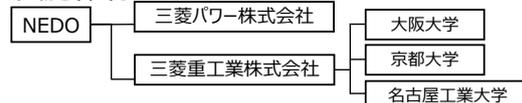
●概要

- 水素が燃焼器内部温度分布に与える影響を精度よく予測するために、基礎データ取得とシミュレーションの高度化を行い、設計ツールとして活用可能にした。
- フラッシュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発し、水素混合率30%(> 事業目標：20%)において、安定燃焼が可能なることを実圧燃焼試験により確認した。
- 実在するプラントをベースに、プラント建設計画を策定し、本事業成果の商品化に向けた基本設計(商品パッケージ化)を完了した。
- インターマウンテン電力向けに、JAC形発電設備を受注。2025年に水素混焼率30%で運転を開始予定。

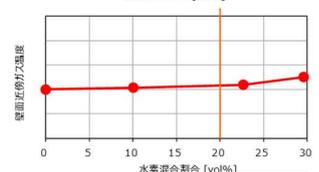
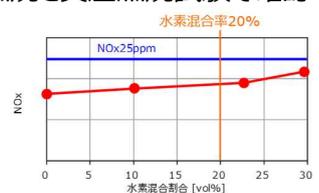
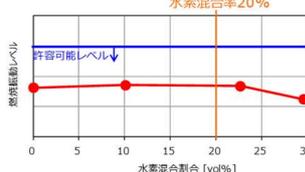
【開発項目】

- 燃焼器内部温度分布を予測する技術
- 燃料成分の変化に対する安定運転範囲を拡大する技術
- 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

・実施体制

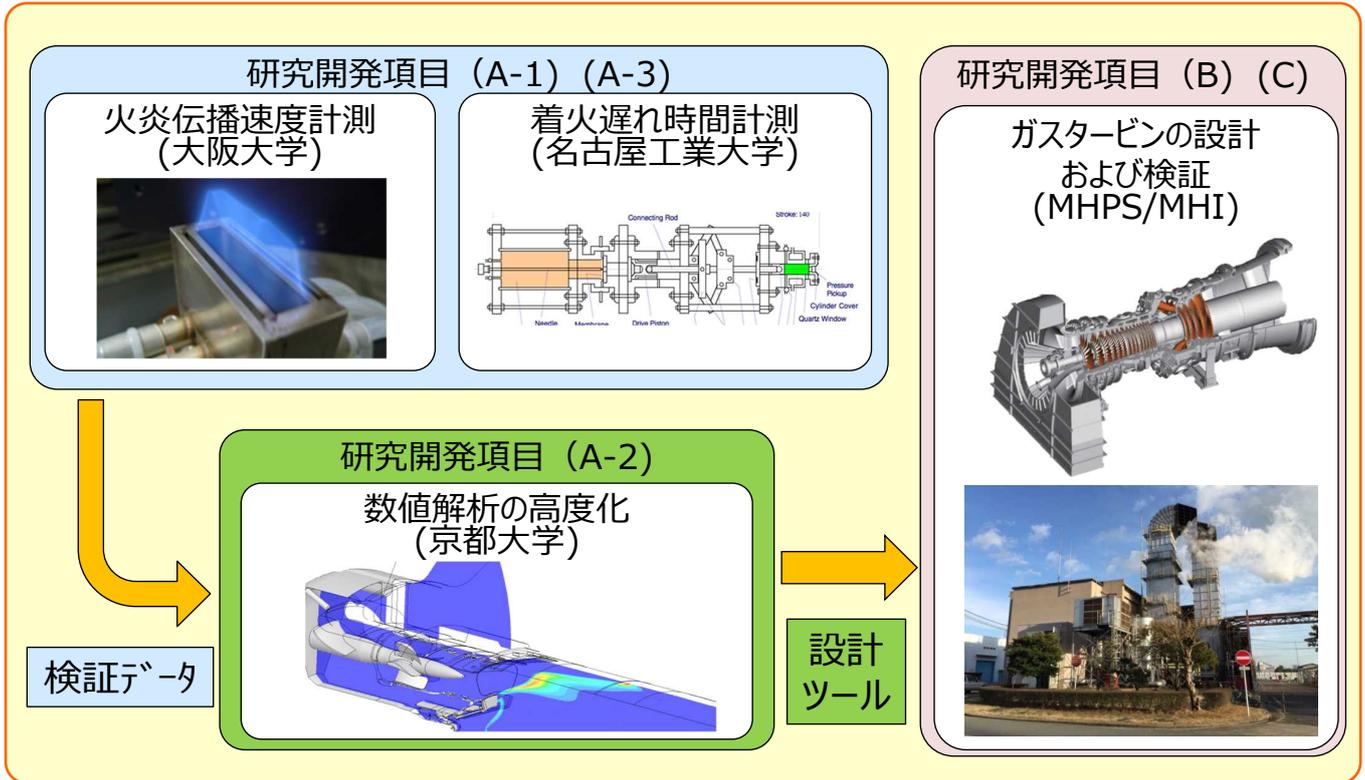


・水素混焼率30%での安定燃焼を実圧燃焼試験で確認



2/27

◆研究開発の実施体制



◆水素・燃料電池ロードマップ

水素・燃料電池ロードマップでは2030年時点30万t/年、将来的には500~1000万t/年の水素を発電利用する戦略が示されている。

アクションプランのポイント③<その他水素利用・グローバルな水素社会実現> 赤字は新規目標等

水素利用先の拡大のため、市場の開拓・深掘り/グローバルな水素社会実現のため、日本リードの国際連携

	目指すべきターゲット	ターゲット達成に向けた取組
水素利用	発電 <ul style="list-style-type: none"> 2030年頃の水素発電の商用化に向けた技術の確立 既設火力発電での水素混焼発電の導入条件明確化 2020年までに水素専焼発電での発電効率向上 (26%→27%) 	<ul style="list-style-type: none"> 限界混焼率、事業性等に関するFS調査の実施 高効率な燃焼器等の開発
	産業 <ul style="list-style-type: none"> 将来的なCO2フリー水素の活用 経済合理性の見通しが得られたプロセスから順次CO2フリー水素の利用を検討 	<ul style="list-style-type: none"> 各産業プロセスにおけるCO2フリー水素の活用・供給ポテンシャル調査の実施 カーボンサイクル技術の実用化に向けた検討
水素利用	定置用燃料電池 <ul style="list-style-type: none"> エネファーム <ul style="list-style-type: none"> 2020年頃の自立化、2030年までに530万台 2020年頃までにPEFC型80万円、SOFC型100万円を実現 2030年頃までに投資回収年数を5年とする 業務・産業用燃料電池 <ul style="list-style-type: none"> 2025年頃に排熱利用も含めたグランドリリティの実現 (低圧：機器50万円/kW、発電コスト25円/kWh) (高圧：機器30万円/kW、発電コスト17円/kWh) 発電効率、耐久性の向上 (2025年頃に55%超→将来的には65%超 (9万時間→2025年頃に13万時間)) 	<ul style="list-style-type: none"> 既築・集合住宅などの市場の開拓 電気工事の簡素化に向けた規格整備の検討 セルスタックの高効率化・高出力密度化等の技術開発 セルスタック等の劣化原因の解消に向けた技術開発
	グローバルな水素社会実現 <ul style="list-style-type: none"> 水素関係会議で発表した東京宣言の実現を図る 基準や規制の標準化/ハーモナイゼーションの促進 国際的な共同研究開発の推進 水素利用のポテンシャル調査 水素受容性向上のための教育・広報活動の推進 	<ul style="list-style-type: none"> 米・独・仏等との規制の比較、事故情報の共有 日本のサプライチェーン実証の成果共有による資源国の巻き込み 2020年オリパラ、2025年大阪万博等のあらゆる機会を捉え、最先端水素技術を発信 革新的な技術開発の実施

【水素基本戦略における記載(抄)】

- 実際の社会実装に当たっては、水素は天然ガス火力での混焼も可能であることから、導入初期は既設の天然ガス火力における混焼発電を中心に、小規模なコージェネレーションシステム等における水素混焼も含め、導入拡大を図っていく。
- また、特に水素の燃焼特性に応じた燃焼器の開発が不可欠である。拡散燃焼方式や予混合燃焼方式など、従来の火力発電で実績のある燃焼器を水素混焼発電に転用するための研究開発や技術実証については、既に一定の取組が進められている一方、NOxの低減や発電効率の向上といった技術課題に対応していく。更に、将来的に水素専焼発電を実現するためには、NOx値の低減、高い発電効率、高濃度な水素混焼などを同時に達成可能とする新たな燃焼技術の早期の実用化を目指す
- 水素発電については、国際的な水素サプライチェーンとともに **2030年頃の商用化を実現し**、その段階で17円/kWhのコストを目指す。そのために必要となる水素調達量として、**年間30万t程度を目安とする(発電容量で1GW程度に相当)**。更に、**将来的には環境価値も含め、既存のLNG火力発電と同等のコスト競争力の実現を目指す**。そのために必要となる水素調達量として、**年間500万~1,000万t程度を目安とする(発電容量で15~30GW程度に相当)**。
- 水素発電の導入に当たっては、電力システム改革が進展する中での経済性確立に向けた制度設計等の検討を進める。また、水素発電が有する環境価値を顕在化し、評価・認定、取引可能にいくことが重要であり、他の制度設計に係る議論を注視しつつ、省エネ法における水素利用の位置づけを明確化する、あるいは高度化法における非化石電源として水素発電を位置づけるといったことを含め、実態も踏まえながら検討を進める。

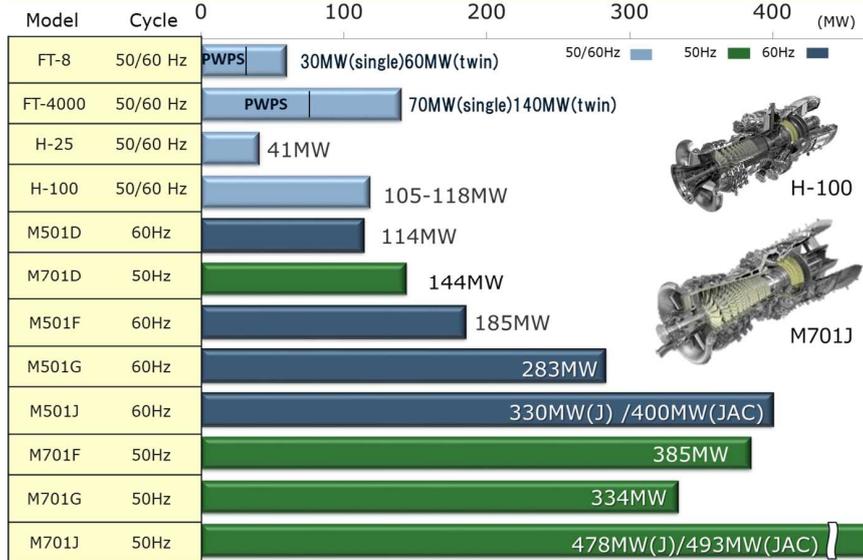
出典：経済産業省、水素・燃料電池ロードマップ、2019年3月

3. 研究開発成果について (0) はじめに

◆事業の目的

国内の天然ガス焼き発電所の水素焼き混焼転換により、2030年時点の水素消費量目標を、更に水素サプライチェーンの構築に応じて専焼に転換していくことで将来目標の達成が可能。

MHPSガスタービン ラインナップ



M501J型 (60Hz) GTCC 580MW級の水素消費量での試算

水素20vol.%混焼	1.4t/時間	11,900t/年	×31台*	37万t/年	≒2030年時点目標
水素100vol.%専焼	21.7t/時間	190,400t/年		590万t/年	≒将来目標

*MHPS 国内納入GTCC (G/J/F型, 効率60%級) 31台試算 5/27

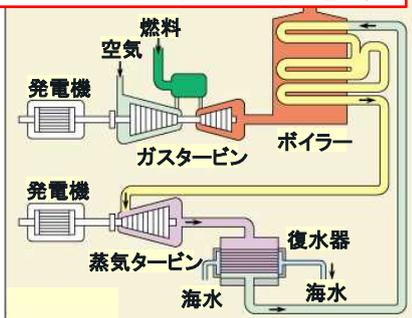
3. 研究開発成果について (0) はじめに

◆水素発電の利点

①. 高効率・大量利用 (需要喚起)

-大型GTCCは水素を効率よく発電利用することが可能。大容量の需要を喚起することで、インフラ構築に貢献

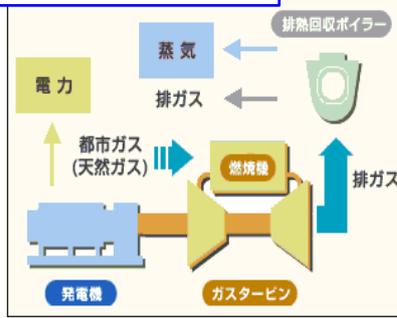
ガスタービンコバインドサイクル (発電用)



[GT]
・燃焼温度
1600℃級主流
・出力
500MWクラス

燃料エネルギーの
60%を電気に変換

J-Eシステム (熱併給)



[GT]
・燃焼温度
1200℃級主流
・出力
1~20MWクラス

燃料エネルギーの
30%を電気に変換
(+50%を蒸気利用)

②. 低純度水素への適合

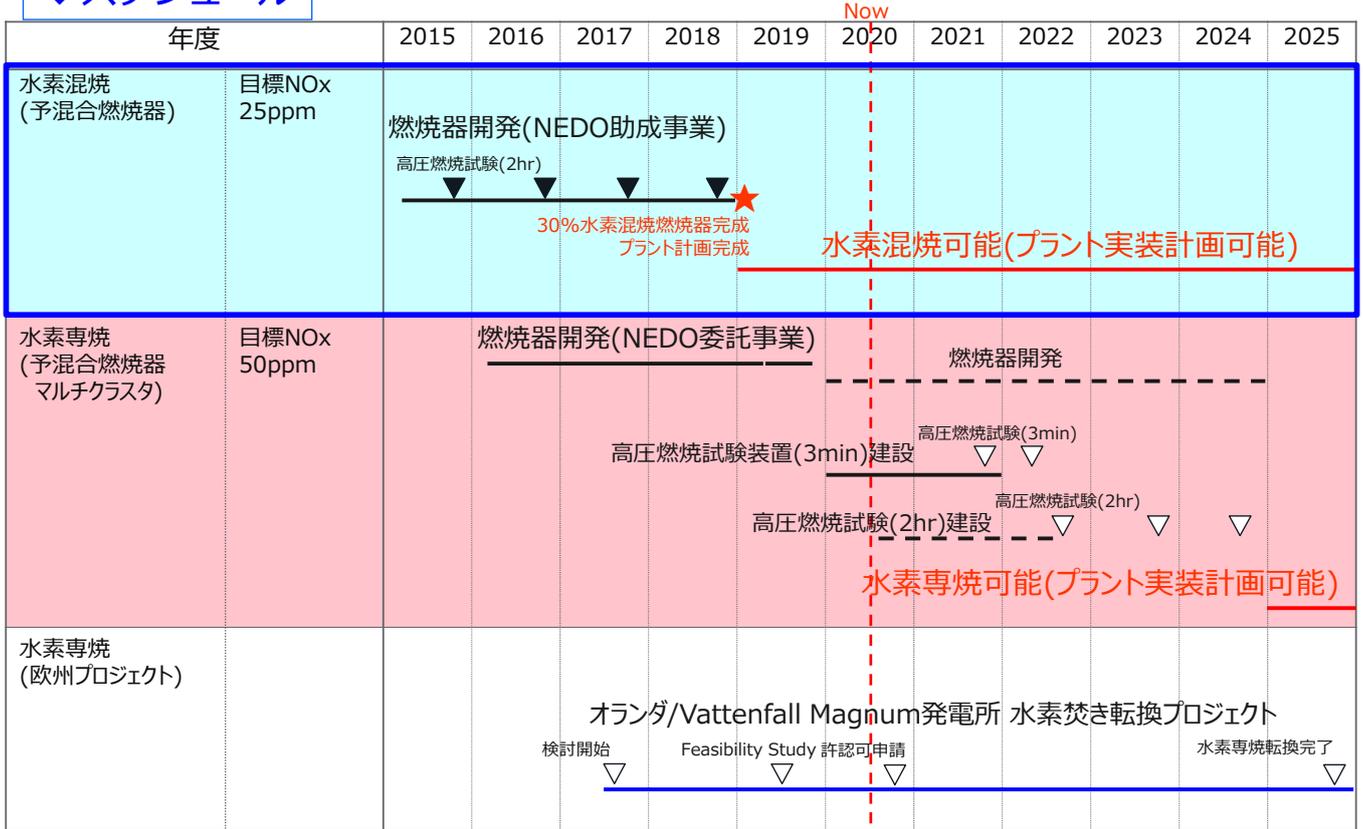
- GTは燃料電池車と比べ、低純度な水素 (不純物) への適合性が高く燃料コスト低減に貢献可能

	当社GT燃料標準規格	水素燃料規格 (ISO-14687-2より)
総HC	上限なし	2ppm
二酸化炭素	4%(40,000ppm)	2ppm
硫黄化合物	0.5%(5,000ppm)	0.004ppm
ホルムアルデヒド	規定なし ※	0.01ppm
ギ酸	規定なし ※	0.2ppm
アンモニア	規定なし ※	0.1ppm

※規定ないが燃焼する成分である為、運用可能

3. 研究開発成果について (0) はじめに

◆スケジュール



7/27

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び成果の意義

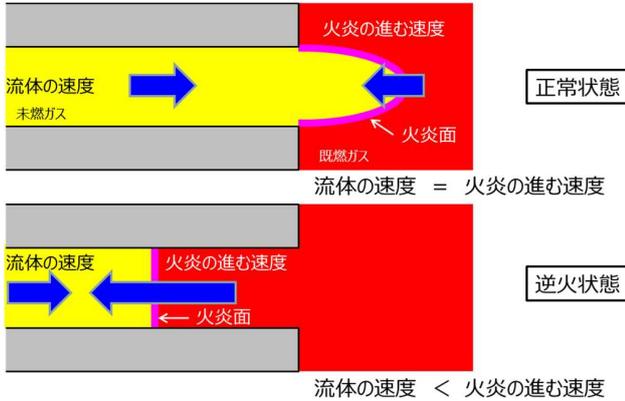
開発項目	最終目標	成果	達成度	
A. 燃焼器内部温度分布を予測する技術	A-1 水素・天然ガス混焼火炎の燃焼速度データベースの構築 (大阪大学)	高圧条件において水素混合割合が、燃焼速度に与える影響を明らかにする	高圧条件下の燃焼速度を計測し、水素混焼の有無に係らず、層流燃焼速度で無次元化することで変動速度と乱流燃焼速度の関係を整理可能を明確化(完了)	○
	A-2 燃焼シミュレーションの高度化 (京都大学)	実燃焼器において、燃料中の水素混合割合の変化影響をシミュレーションにより予測可能とする	燃焼モデルとしてFGMモデルを適用し、解析により低空気量、高燃空比条件の逆火現象の再現可能を確認(完了)	○
	A-3 水素・天然ガス混合気体の着火遅れ時間データベースの構築 (名古屋工業大学)	高圧条件において水素混合割合が、着火遅れ時間に与える影響を明らかにし、ガスタービン内部での自己着火による焼損リスクを評価	ガスタービン燃焼器内部と同等条件で着火遅れ時間を計測し、水素混焼運用時の自己着火発生による焼損のリスクが極めて低いことを確認(完了)	○
B. 燃料成分の変化に対する安定運転範囲を拡大する技術	水素混焼割合20%の条件において、最新鋭の天然ガス燃焼ガスタービンと同等の性能を有する燃焼器を開発	・渦芯フラッシュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発。水素混合割合30%条件にて、安定燃焼が可能なることを実圧燃焼試験で確認(完了) ・メインフィルム構造、上流ノズル構造を改良し、従来燃焼器の構造に対し、高いバーニア耐性を有していることを確認(完了)	○	
C. 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術	本事業成果の商品化にむけた基本設計(商品パッケージ化)を完了	・水素混焼燃焼におけるプラントの基本設計が完了(完了) ・混合器等の追加設備は不要で、既存の発電設備への水素系統の追加で対応可能を確認(完了)	○	

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

8/27

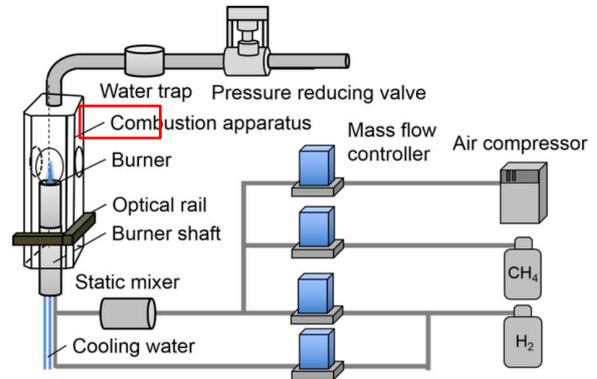
A-1 火炎伝播速度計測(大阪大学)

- 水素は天然ガス(メタンが主成分)と比較して燃焼速度が高い為、逆火の発生リスクが高くなる。
- 一方で、ガスタービンのような高圧条件では、水素・天然ガス混焼に関するデータは公表されていない。
- 2017年度に製作した試験装置を用いて、高圧条件での燃焼速度計測を実施した。**



流体の速度 < 火炎の進む速度(燃焼速度)では火炎が流体中を遡上する ⇒ 逆火(フラッシュバック)現象の発生

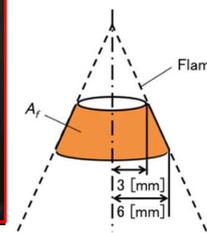
図：逆火発生メカニズム



図：試験装置概要



図：バーナ



乱流燃焼速度

$$S_T = \frac{V_u}{A_f}$$

V_u : 体積流量
 A_f : 火炎面積

A-1 火炎伝播速度計測(大阪大学)

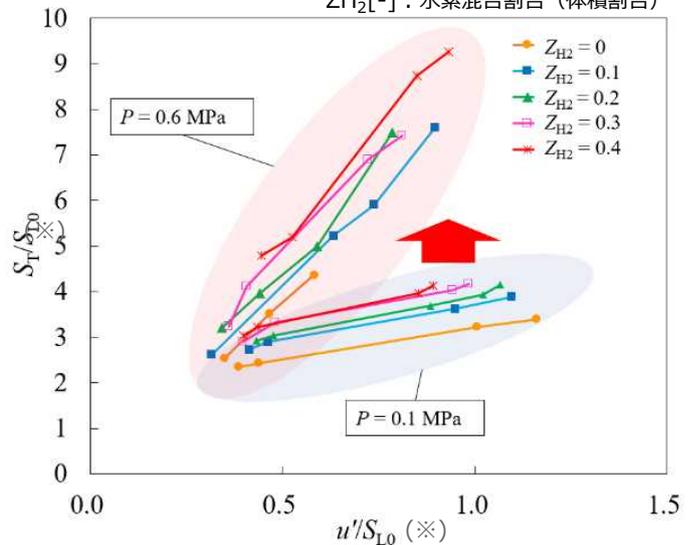
- 流れの速度変動(u')が大きくなると、乱流燃焼速度が増加(火炎表面の皺状構造が細分化)
- 乱流燃焼速度と速度変動成分をともに層流燃焼速度で正規化すると、水素混合割合の違いにかかわらず、同じ圧力条件では概ね同様の傾向が見れる。

表：火炎形状(瞬時画像)の比較
 $Z_{H_2} = 0.2$, 当量比=1.0の結果

速度変動：小	速度変動：大

S_T : 乱流燃焼速度, S_{L0} : 層流燃焼速度, u' : 速度変動

$Z_{H_2}[-]$: 水素混合割合 (体積割合)

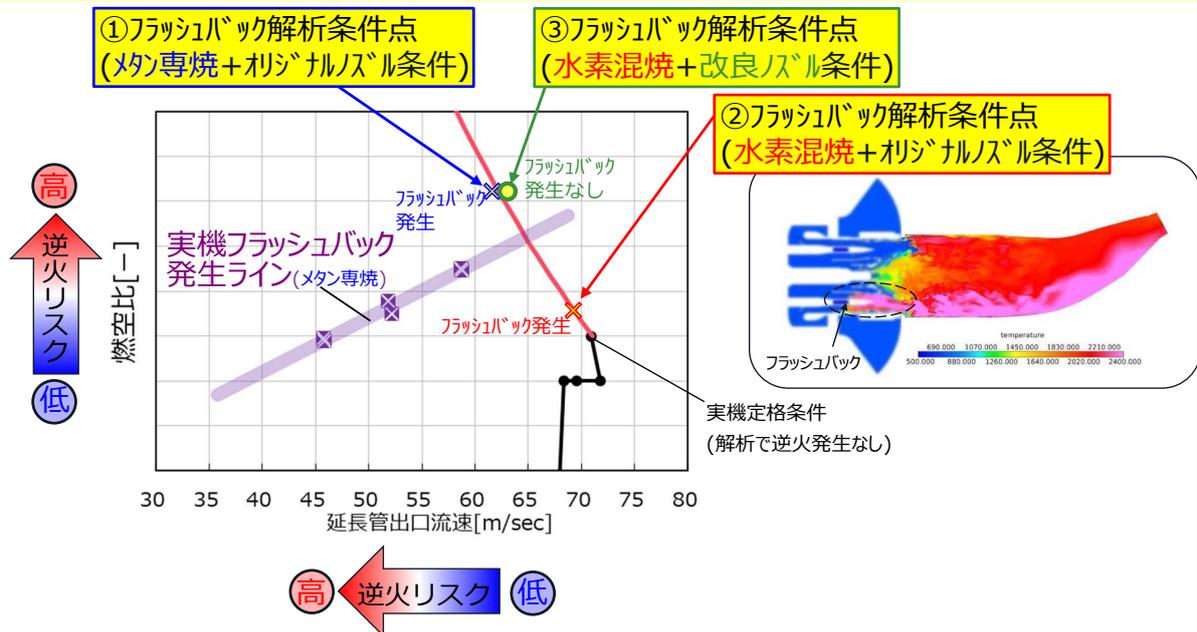


図：計測結果(層流燃焼速度による正規化)

※層流燃焼速度 S_{L0} はGRI3.0を適用した計算結果

A-2 数値解析の高度化(京都大学)

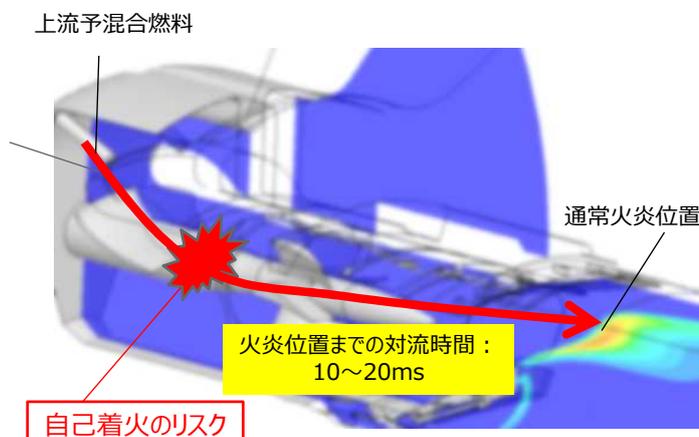
- 「水素混焼条件は、メタン専焼条件よりも逆火し易い」という水素の特性を解析でも再現できた(①→②)。
- 「改良ノズルによる逆火耐性向上」を確認した(②→③)。



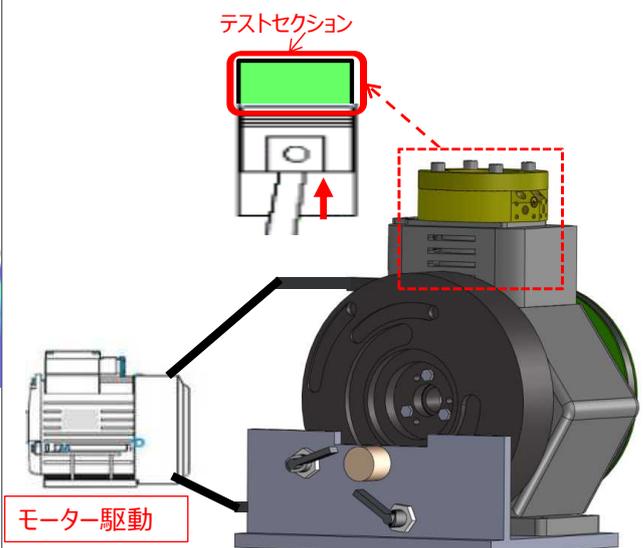
A-3 着火遅れ時間計測(名古屋工業大学)

- 水素は天然ガスに比べて着火遅れ時間が短いことが知られており、自己着火のリスクが増加する。
- 2017年度に製作した急速圧縮装置の適用により、実際のガスタービン燃焼器内部と同等の圧力条件において、着火遅れ時間の計測が可能となった。

■ 自己着火のリスク

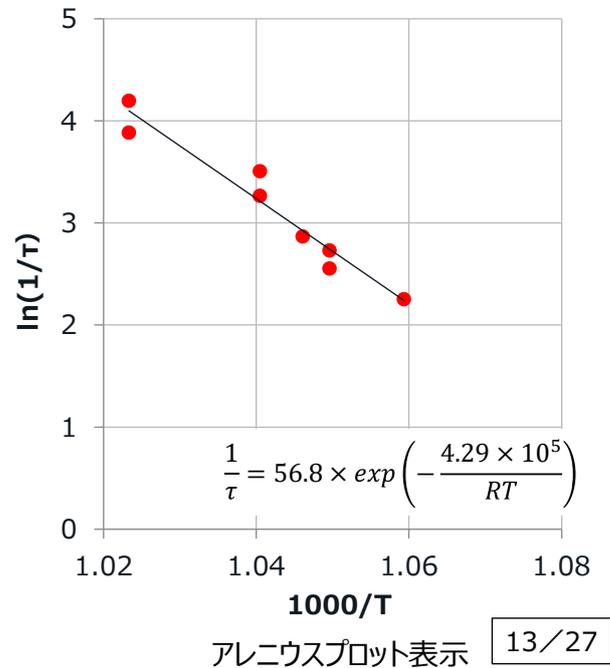
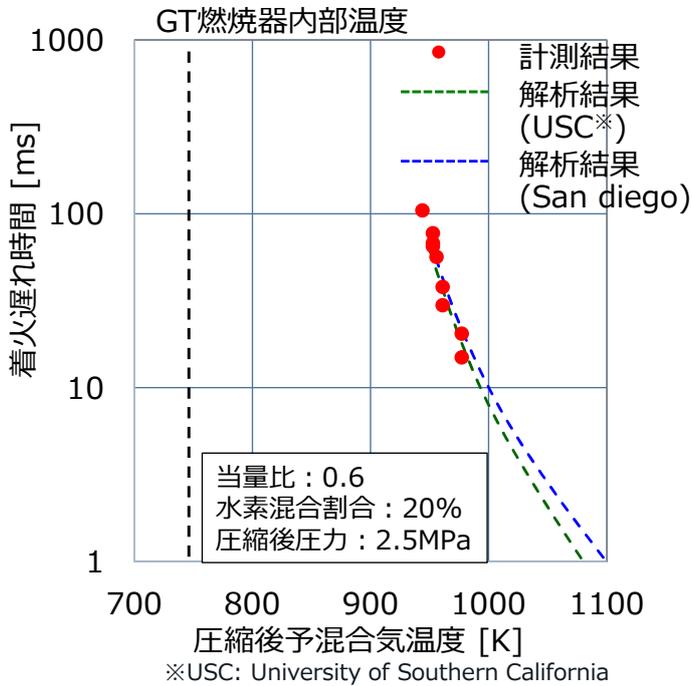


モータリング機関をモータ駆動に改造して、高圧の急速圧縮装置を製作。燃焼室内圧は最大で2MPa以上を達成する事が可能。



A-3 着火遅れ時間計測(名古屋工業大学)

- ガスタービン燃焼器内部と同等の条件 (圧力2.5MPa、当量比0.6、温度750K) の条件において、水素混合割合を20%とした場合、着火遅れ時間は数百～数千msecと推定される。
- これは燃焼器内部の滞留時間(10～20ms)に対して十分に長い時間である為、自己着火発生によるトラブルを生じる可能性は殆ど無いと考えられる。

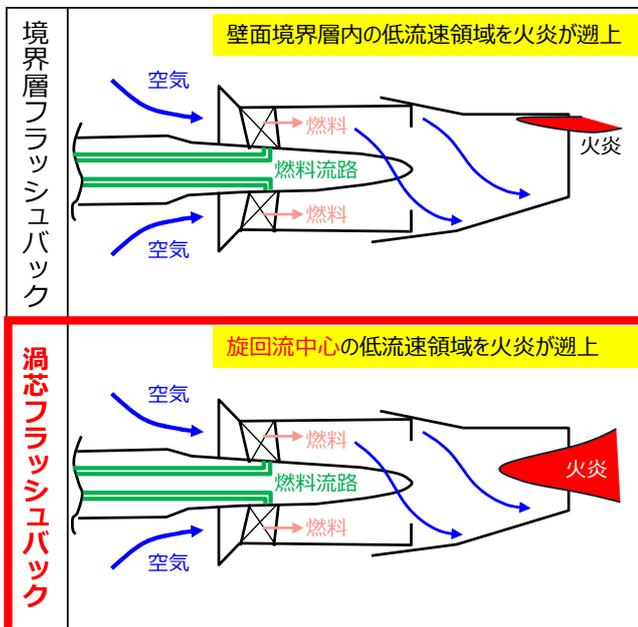


B 水素混焼ガスタービン燃焼器の設計および検証

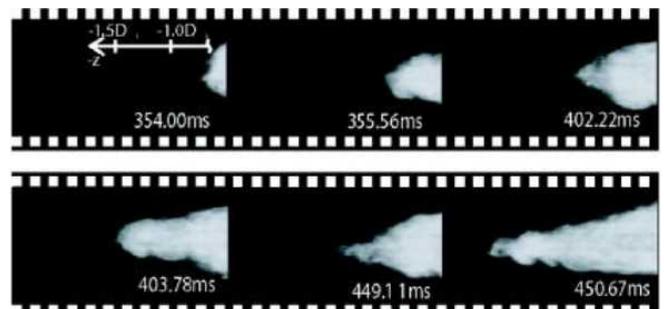
～水素混焼用改良ノズル～

- 旋回流(燃料混合に利用)を伴う燃焼における、逆火発生メカニズムについて文献および自社試験データにより調査・検討を実施。
- 旋回中心を火炎が遡上する“渦芯フラッシュバック”の発生が最も高リスクである事を確認した。

フラッシュバックの分類



モデルバーナによる渦芯フラッシュバックの様子

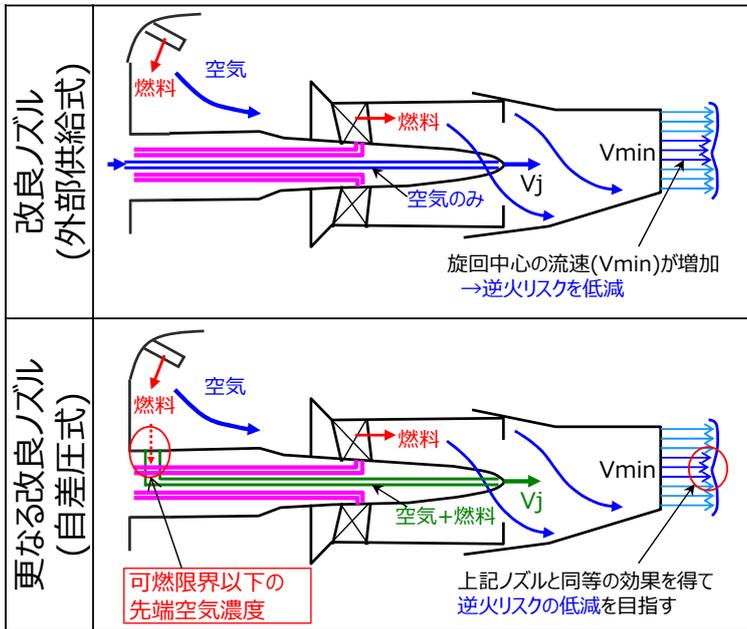


参考文献
Analysis of Combustion Induced Vortex Breakdown Driven Flame Flashback in a Premix Burner With Cylindrical Mixing Zone
F. Kiesewetter, M. Konle and T. Sattelmayer
J. Eng. Gas Turbines Power 129(4) (Apr 03, 2007)

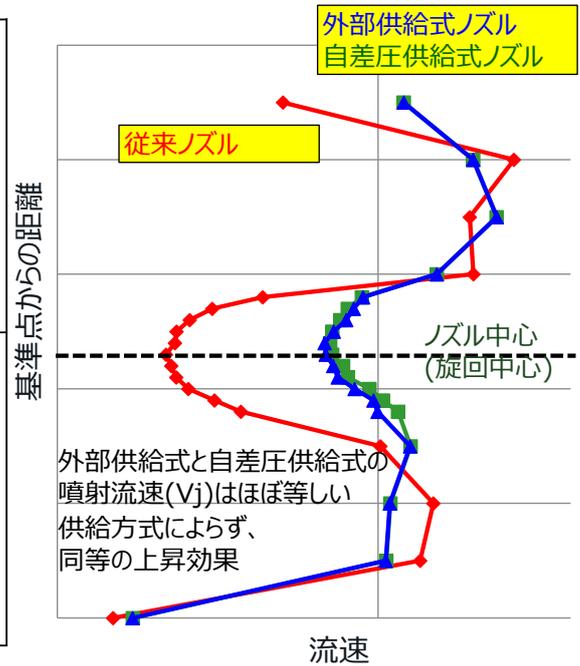
B 水素混焼ガスタービン燃焼器の設計および検証

～水素混焼用改良ノズル～

- 噴射空気供給系統を削除することで、燃焼器ノズル改造だけで適用可能なノズル構造を検討した。
- 本構造を採用する事により、大幅なコストの削減が可能。
- 気流試験により、自差圧構造に変更しても旋回中心の流速上昇に十分な効果があることが確認された。



図：2017年度のノズル改良内容



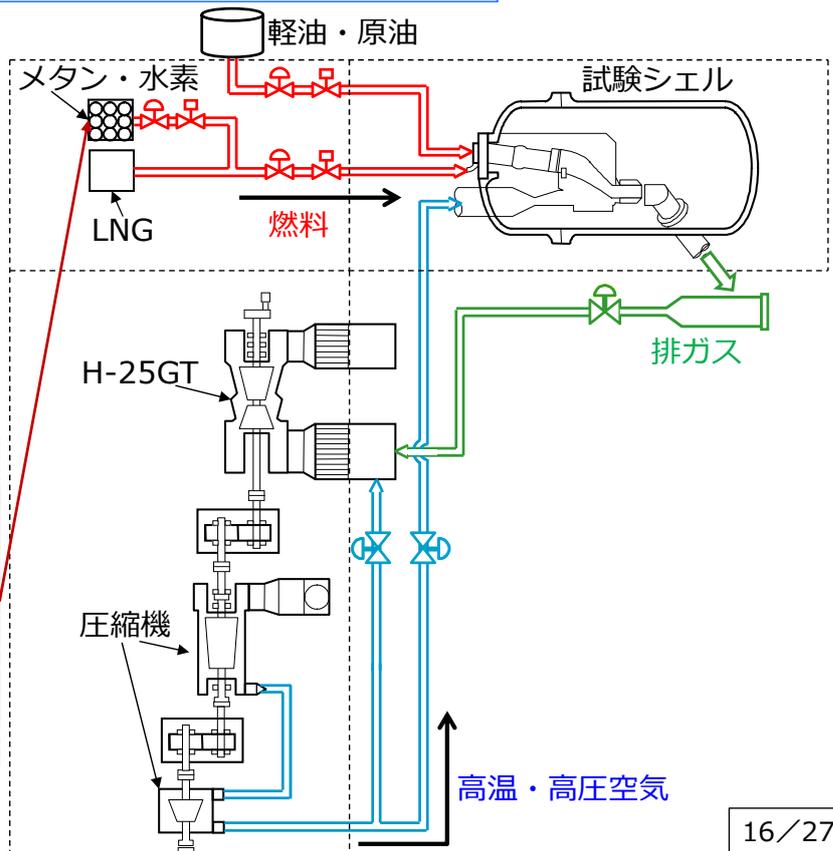
図：旋回流中心近傍の流速分布 15/27

B 水素混焼ガスタービン燃焼器の設計および検証

～実圧燃焼試験設備～



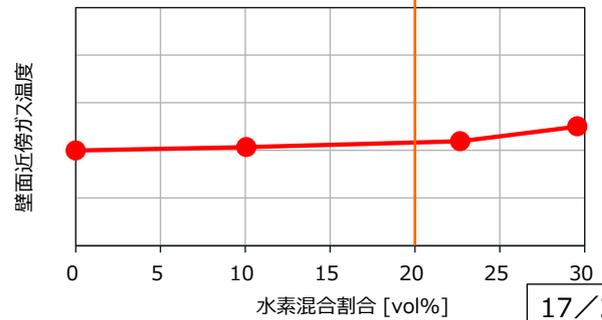
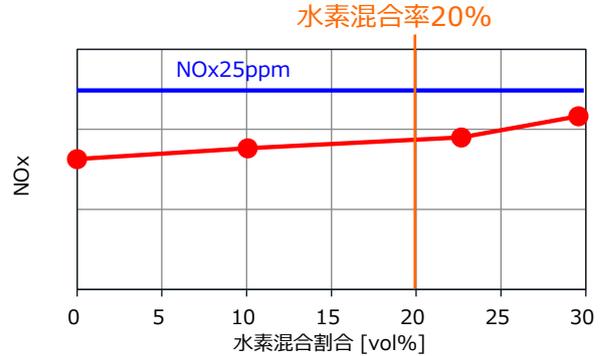
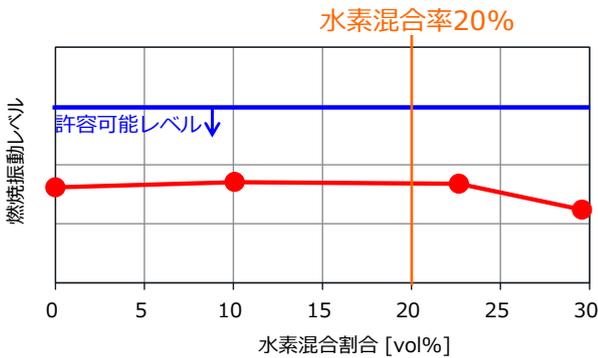
水素ローダ



B 水素混焼ガスタービン燃焼器の設計および検証

～実圧燃焼試験結果～

- 実圧燃焼試験により、自差圧方式の渦芯逆火防止ノズルに関する燃焼特性を検証した。
- 水素混合割合30%条件において、フラッシュバック発生の兆候無く、安定運用が可能な事を確認※した。
- NOx、燃焼振動は共に運用が可能な範囲にあることが確認した。 ※T1T1600℃運転



C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

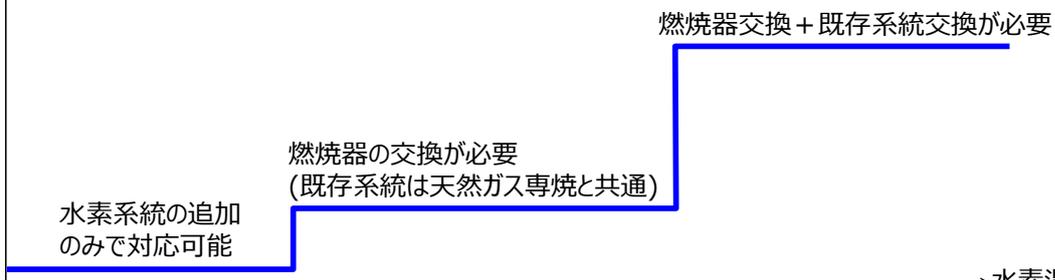
～プラント基本設計～

- お客様の希望する水素混合割合に応じたプラント改造計画を提案可能なように、基本設計の完成を目指す。

No.	検討課題	項目	内容
①	従来システム範囲	1. 各機器の体格検討	制御弁, 熱交換器の水素混合による体格見直し
②	水素混焼に伴う新規追加システム	1. 水素影響範囲	水素ガスの影響範囲の明確化
		2. 水素・天然ガスの混合	水素と天然ガスの均一混合のための系統構成検討
		3. 水素ガス供給条件安定化	想定される供給元の水素供給条件の確認と必要システムの確認
		4. 水素ガス供給量制御方針	ガスタービン (GT)制御とマッチングした水素供給量 (混合率) の検討

コスト

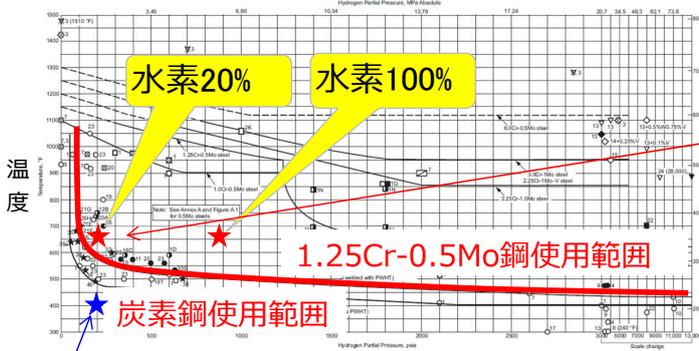
対象とする水素混焼割合に応じたプラントの改造内容を明確化し、コスト評価を含んでお客様に提案可能な状態に纏める。(下図はイメージ)



C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

～水素混焼燃料系統の材質検討～

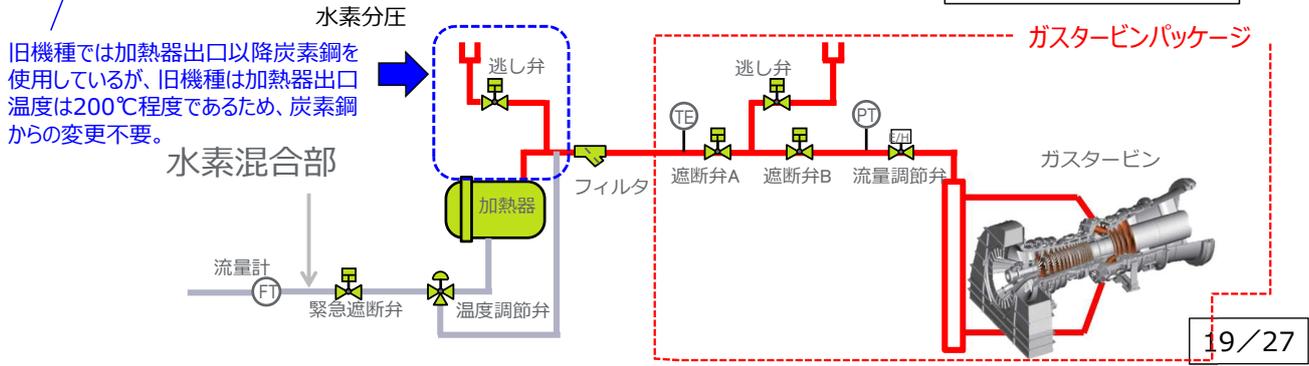
- API RP 941 8th Edition(2016)に従うと、1.25Cr-0.5Mo鋼以上もしくはSUSを選定する必要あり。
- ガスタービンパッケージ内は標準設計でSUS材を使用しているため、標準設計からの変更なし。
- ガスタービンパッケージ外は最新機種では高温部でSUS材を使用しているため標準設計からの変更なし。



API RP 941 8th Edition(2016)ネルソンカーブ

最新機種は過熱器出口温度は300℃程度

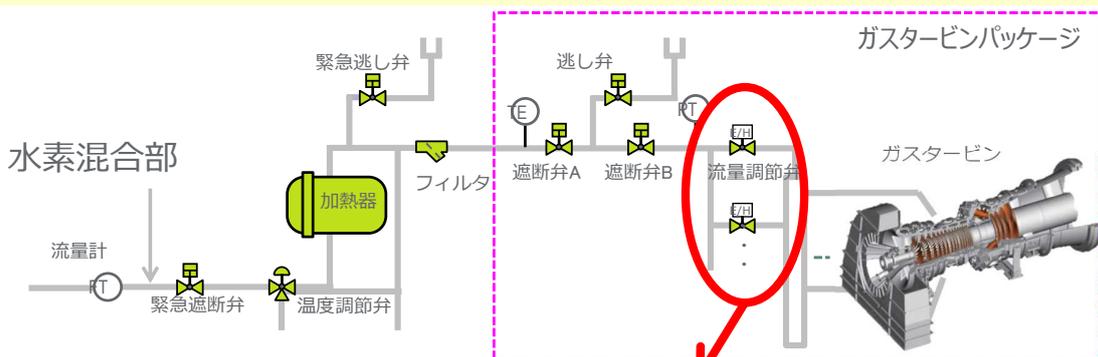
炭素鋼範囲 : —
SUS範囲 : —



C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

～燃料流量調節弁～

- 既存の設備で水素20%混合ガスを投入した場合でも各設備の容量の拡張をせずに運用可能。



弁名称	定格容量 Cg値	水素20%混合必要Cg値	流用可否
パイロットA流量調節弁	680	510	○
パイロットB流量調節弁	680	280	○
トップハット流量調節弁	2500	2280	○
メインA流量調節弁(親弁)	2500	1610 (親+子)	○
メインA流量調節弁(小弁)	680		
メインB流量調節弁(親弁)	2500	2740 (親+子)	○
メインB流量調節弁(子弁)	680		

Cg値：弁容量

定格容量に対して余裕あり

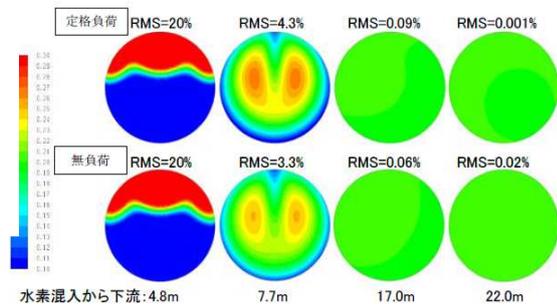
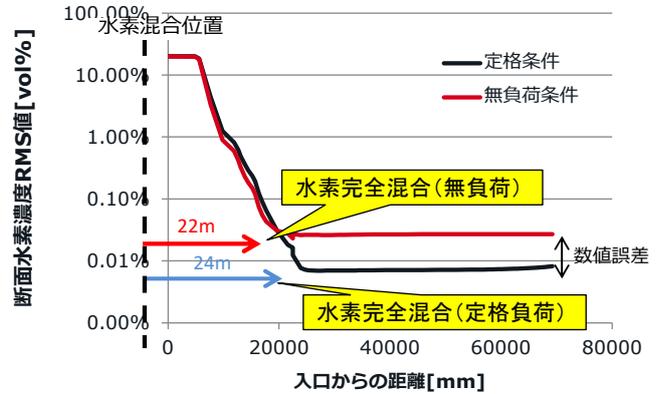
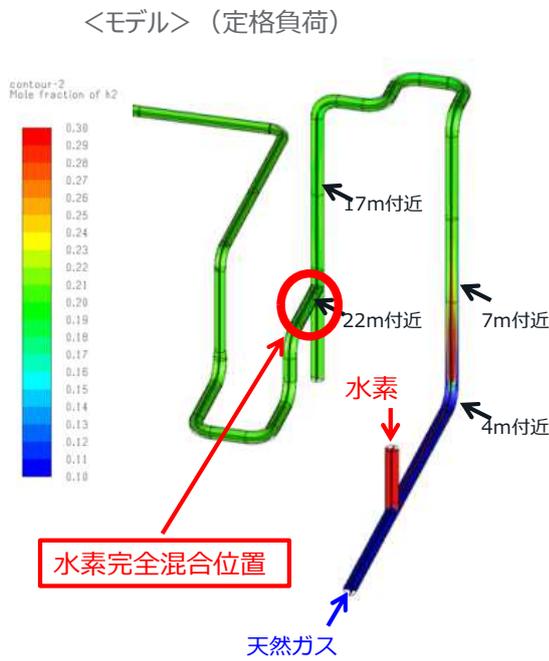


設備変更不要

C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

～天然ガス・水素の混合配管～

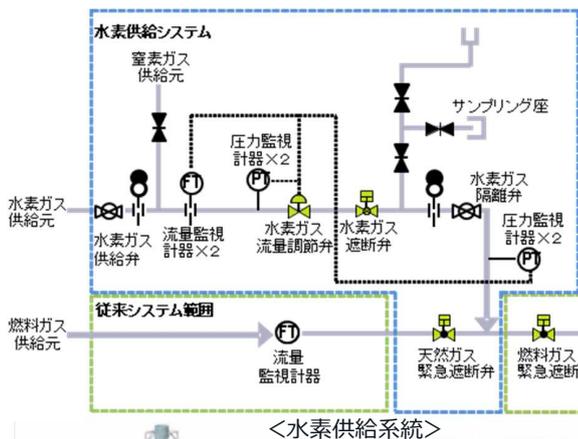
- 混合器を設置しない場合に配管の曲りのみで天然ガスと水素が混合するかCFDを実施し、水素混合部から24m下流で完全混合となることを確認できた。
- 通常Unitでは24m以上確保されており、問題なし(万一確保できない場合は混合器を設置)。



1/27

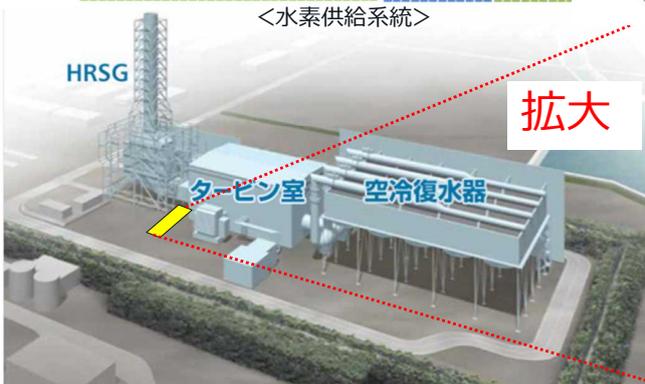
C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

～水素混焼プラント設計～



＜まとめ＞

- 水素供給システムを含め、水素混焼焚きにおけるプラントの基本設計を完了した。
- 発電設備敷地内で水素混合させる場合においても混合器等の追加設備は不要であること確認した。
- 水素濃度20%においては既存の発電設備に水素システムを追加することで対応できることを確認した。
- 燃料ガス管についてはガスタービンパッケージ内はSUSを使用しているため、標準設計を採用できることを確認した。
- 弊社実証設備へ水素システムを付加するシミュレーションを実施している。



＜水素混焼焚き発電プラント＞



＜配管計画＞

◆ 知的財産権の確保に向けた取り組み

	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	計
論文	0	0	1	3	0	0	4
研究発表・講演	0	1	3	10	9	5	28
雑誌・図書等への掲載	0	0	6	1	3	0	10
展示会へ出展	1	0	0	0	4	0	5
総計	1	1	10	14	16	5	47

※ 2020年10月末現在

	出願日	出願番号	発明の名称	出願人
①	2016年3月30日	特願2016-068018	ガスタービン	三菱重工業株式会社 三菱日立パワーシステムズ株式会社
②	2016年3月30日	特願2016-069384	燃焼器、及びガスタービン	三菱重工業株式会社 三菱日立パワーシステムズ株式会社
③	2016年3月30日	特願2016-067125	燃焼器、及びガスタービン	三菱重工業株式会社 三菱日立パワーシステムズ株式会社
④	2017年4月28日	特願2017-090792	燃焼器ノズル、燃焼器およびガスタービン	三菱日立パワーシステムズ株式会社
⑤	2017年10月27日	特願2017-208504	ガスタービン燃焼器予混合ノズル	三菱日立パワーシステムズ株式会社

23/27

◆ 成果の普及



<https://www.mhps.com/jp/news/20180119.html>

大型高効率ガスタービンで水素30%混焼試験に成功 発電時のCO₂排出削減に貢献

- ◆ 従来の天然ガス火力発電所に比べてCO₂排出量を10%低減
- ◆ NEDO助成事業により開発した燃焼器などで安定的な燃焼およびNO_x低減を実現

2018年1月19日発行 第190号

三菱日立パワーシステムズ（MHPS）は、発電用大型ガスタービンの開発において30%の水素混焼試験（注1）に成功しました。水素燃焼用に新たに開発した燃焼器（バーナー）などにより、天然ガスに水素を混ぜた場合でも安定的に燃焼できることを確認したもので、水素30%混焼により従来の天然ガス火力発電と比べて発電時のCO₂排出量を10%低減することが可能となります。

24/27

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

◆成果の最終目標の達成可能性

開発項目		最終目標	成果	達成度
A. 燃焼器内部温度分布を予測する技術	A-1 水素・天然ガス混焼火炎の燃焼速度データベースの構築 (大阪大学)	高圧条件において水素混合割合が、燃焼速度に与える影響を明らかにする	高圧条件下の燃焼速度を計測し、水素混焼の有無に係らず、層流燃焼速度で無次元化することで変動速度と乱流燃焼速度の関係を整理可能を明確化(完了)	○
	A-2 燃焼シミュレーションの高度化 (京都大学)	実燃焼器において、燃料中の水素混合割合の変化影響をシミュレーションにより予測可能とする	燃焼モデルとしてFGMモデルを適用し、解析により低空気量、高燃空比条件の逆火現象の再現可能を確認(完了)	○
	A-3 水素・天然ガス混合気体の着火遅れ時間データベースの構築 (名古屋工業大学)	高圧条件において水素混合割合が、着火遅れ時間に与える影響を明らかにし、ガスタービン内部での自己着火による焼損リスクを評価	ガスタービン燃焼器内部と同等条件で着火遅れ時間を計測し、水素混焼運用時の自己着火発生による焼損のリスクが極めて低いことを確認(完了)	○
B. 燃料成分の変化に対する安定運転範囲を拡大する技術		水素混焼割合20%の条件において、最新鋭の天然ガス燃焼ガスタービンと同等の性能を有する燃焼器を開発	・渦芯フラッシュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発。水素混合割合30%条件にて、安定燃焼が可能なることを実圧燃焼試験で確認(完了) ・メインフィルム構造、上流ノズル構造を改良し、従来燃焼器の構造に対し、高いパーミアット耐性を有していることを確認(完了)	○
C. 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術		本事業成果の商品化にむけた基本設計(商品パッケージ化)を完了	・水素混焼焚きにおけるプラントの基本設計が完了(完了) ・混合器等の追加設備は不要で、既存の発電設備への水素系統の追加で対応可能を確認(完了)	○

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

25/27

4. 実用化・事業化の見通しについて

- ・ インターマウンテン電力向け水素焚きJAC形設備を初受注。
2025年に水素混焼率30%で運転を開始、2045年までに水素100%での運転を目指す。



ガスタービン機種	M501JAC
出力 (CC)	840 MW (2 GTCC)
所在地	米国 (ユタ州)

当プロジェクトは、石炭火力発電所の設備更新により建設。水素混焼 (30vol.%) GTCCへの更新により、最大で年間約460万トンのCO2排出量削減に寄与します。

発電電力は、ロッキー山脈をまたいでカリフォルニア州及びユタ州に幅広く供給される運びです。

26/27

4. 実用化・事業化の見通しについて

- ・ NEDO「我が国における水素発電導入可能性に関する調査」に代表されるように、国内の電力会社における検討が開始されています。
- ・ 海外においても水素の発電利用は再生可能エネルギーの利用拡大に伴うエネルギー貯蔵ニーズとして関心が高まっており、複数の発電所で検討が開始されています。



**三菱パワーは
水素の発電利用を目指す世界各国のお客様と
プロジェクトを開発・推進して参ります。**

水素社会構築技術開発事業

大規模水素エネルギー利用技術開発

未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業

事業進捗状況の説明

技術研究組合CO2フリー水素サプライチェーン推進機構
(HySTRA)

2020年12月4日

HySTRA 1/58

事業概要

1. 期間

開始 : 2015年12月
終了 : 2023年2月 (予定)

2. 目標

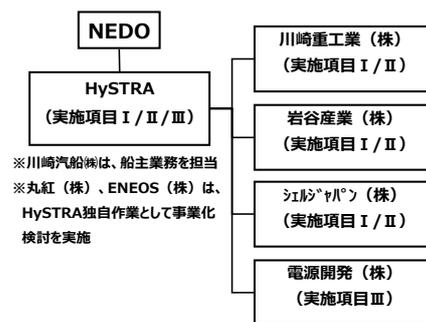
実施項目	目標
I : 液化水素の長距離 大量輸送技術の開発	・液化水素輸送用タンクの要素技術の開発ならびに液化水素輸送用タンクの開発 ・商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得
II : 液化水素荷役技術の開発	・液化水素荷役技術の開発 ・ローディングシステム及び安全な運用システムを開発し、 商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得
III : 褐炭ガス化技術の開発	・褐炭ガス化技術の開発 ・商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得

3. 成果・進捗概要 (～2020年度)

実施項目	成果内容	自己評価
I : 液化水素の長距離 大量輸送技術の開発	<p>[c] 輸送用タンクの設計・製作・検査</p> <ul style="list-style-type: none"> 2016年度までに実施した研究開発項目a)とb)により開発された技術を踏まえ、輸送用タンクシステムおよび配管艦装品の基本設計・詳細設計を完了し、船級立会検査のもと、製作をほぼ完了した。 <p>[d] 実証試験の実施</p> <ul style="list-style-type: none"> 輸送用タンクシステムおよび各種配管艦装品を含めたシステム全体の詳細設計内容をFMEAに反映し、実証試験で実施すべき項目を実証試験開始までに洗い出し中である。 船級 (日本海事協会) と実証試験の実施項目を確認中である。 	△ (2020/11)
II : 液化水素荷役技術の開発	<p>[a] 液化水素の陸上～海上間移送技術実証</p> <ul style="list-style-type: none"> 海上揺動環境下において目標流量および目標可動範囲を達成できるローディングアームシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領を作成した。 <p>[b] 荷役基地におけるオペレーション技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> 設定した配管系およびオペレーションを基に蒸発量の算定、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備の製作、設置が完了した。 <ul style="list-style-type: none"> 目標蒸発量以下となる貯蔵タンクの製作、設置が完了し、BOR計測要領書の策定も完了したことで、実証試験実施の見通しを得た。 積荷および揚荷オペレーションを設定の上、リスクに基づく安全性評価を行い、貯蔵タンクおよび配管類の予冷システムの設計が完了した。 船の輸送タンク当り200m³/h以上の荷役流量も目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た。 	○
III : 褐炭ガス化技術の開発	<p>[a] EAGLE炉への豪州褐炭の適用性検討 (2t/d 豪州小型ガス化試験設備)</p> <ul style="list-style-type: none"> 豪州ラトロップバレーでの褐炭の特性を反映した設備設計を実施し、豪州での据付を完了した。 (20t/d 若松小型炉試験設備) <p>[b] 化学原料製造向けガス化技術の検証</p> <ul style="list-style-type: none"> 2t/dガス化炉でCO₂搬送が、20t/dガス化炉でダイレクトクエンチの試験が可能となる設備とし、現在、プロセスシミュレーションのモデルを構築中である。 <p>[c] 豪州褐炭ガス化運用技術の検討</p> <ul style="list-style-type: none"> 大型化した場合のシミュレーションモデルを構築中である。 <ul style="list-style-type: none"> 豪州褐炭の試験サンプルを基に運転条件等の事前解析を実施中である。また、褐炭を日本に輸送し、事前乾燥を実施中である。 	△ (2021/2)

※ ◎ : 大幅達成、○ : 達成、△ : 一部達成、× : 未達

4. 実施体制及び分担等



1. 事業の位置付け・必要性 (1) 事業の目的の妥当性

社会的背景

- 2014年4月に閣議決定された「エネルギー基本計画」にて水素利用が初めて大きく掲載される。
- 2014年6月、経済産業省は水素・燃料電池戦略ロードマップを策定し、「未利用褐炭からの水素製造」、「水素発電」が明記された。
- 2016年3月さらに2019年3月に経済産業省は水素・燃料電池戦略ロードマップを改定し、水素ステーション普及の目標明確化及び水素発電の取組の具体化などが図られた。



事業の目的

- 2030年頃に商用化を目指す現状のLNGと同規模の水素サプライチェーン（水素製造・液化水素貯蔵・液化水素海上輸送・水素の発電利用）の実現を見通すために、現状のLNG内航船と同規模の輸送用タンクによる①**液化水素の長距離大量輸送技術**、それに対応する②**液化荷役技術**、及び豪州の未利用エネルギーである褐炭を用いた③**褐炭ガス化技術**の研究開発を行う。

1. 事業の位置付け・必要性 (2) 国が支援する妥当性

CO2フリー水素サプライチェーン構築実証は、

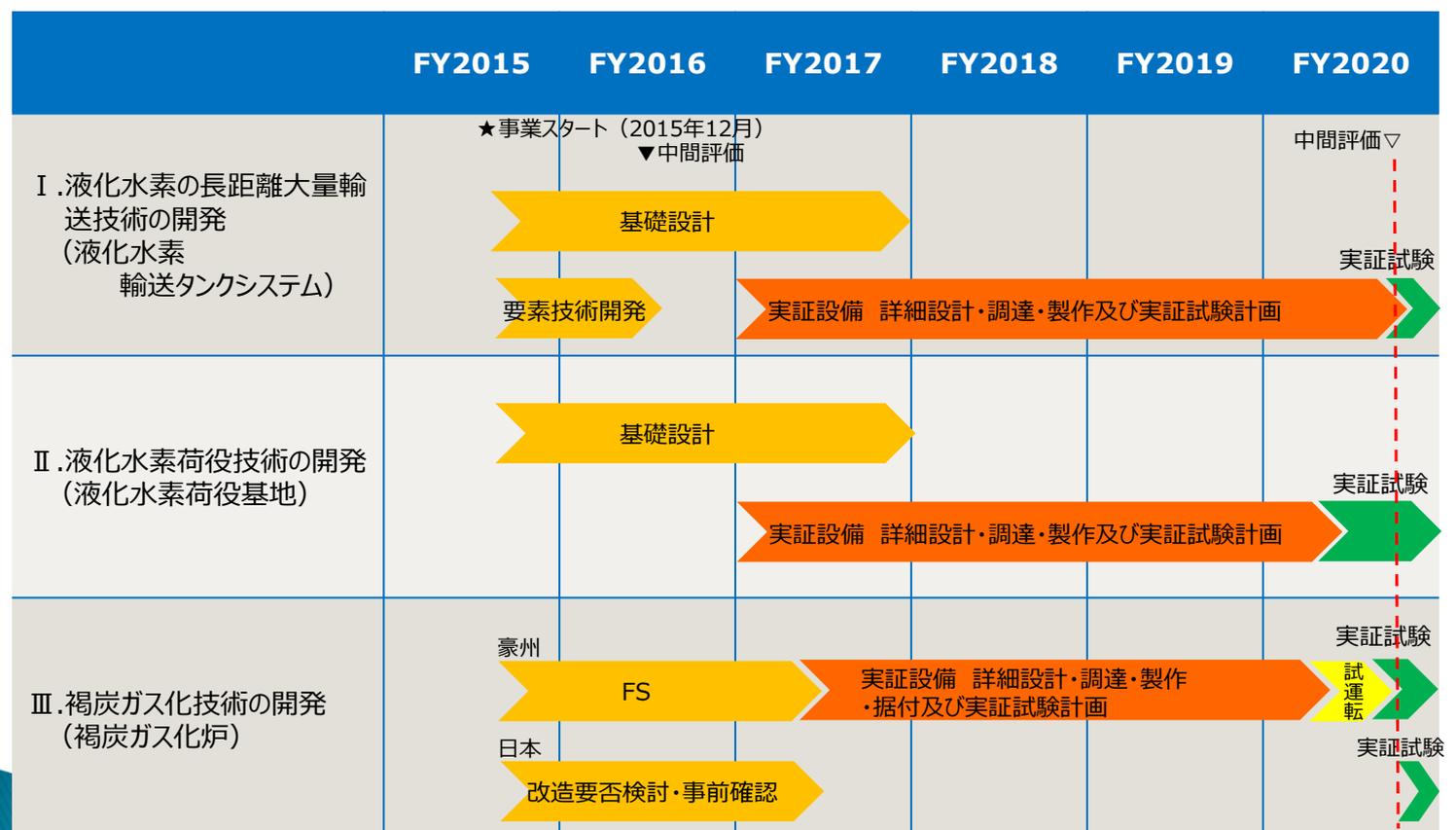
- エネルギー政策上の重要度が高く、社会的必要性が高い
- CO2フリー水素サプライチェーン構築実証は、設備投資が大きく、事業化するまで時間を要することから民間単独では開発リスクが大きい

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

◆ 研究開発目標と根拠

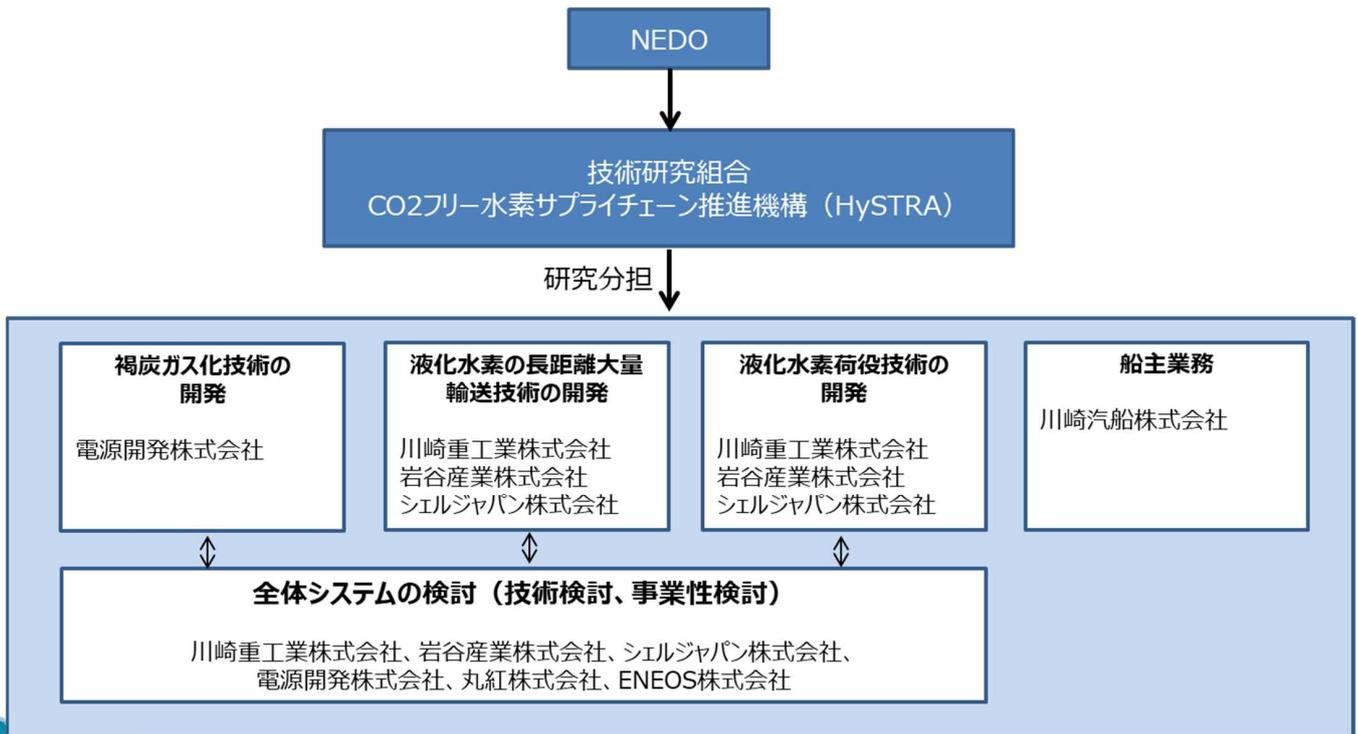
研究開発項目	研究開発目標	根拠
I : 液化水素の長距離大量輸送技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・液化水素輸送用タンクの要素技術の開発ならびに液化水素輸送用タンクシステムの開発 ・商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得 	<p>川崎重工業(株)は、LNG運搬船の製造技術及び国内最大の液化水素貯蔵タンクの納入実績を有する。さらに液化水素海上輸送技術の開発を進めており、既に日本海事協会より世界初の基本承認を取得済みである。</p> <p>川崎重工業(株)はLNGの内航船の製造企業であり、同等サイズの液化水素用輸送タンクを製造することを目標に設定した。</p>
II : 液化水素荷役技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・液化水素荷役技術の開発 ・ローディングシステム及び安全な運用システムを開発し、商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得 	<p>川崎重工業(株)は国内最大の液化水素貯蔵設備（JAXA殿 540m3×3基）の納入実績を有するほか、国内の液化水素貯蔵設備に大型タンク（300m3）及び輸送設備（40ftコンテナ）の納入実績を有する。</p> <p>岩谷産業(株)は、現在日本国内で液化水素の製造設備として3工場を運営しており、液化水素製造・貯蔵設備に関して運用実績のある会社である。</p> <p>また、川崎重工業(株)は、液化水素用ローディングシステムに関しても、概念検討を行っている。</p> <p>これらの実績を用いて、より大規模な海上輸送用の荷役技術を開発することを目標として設定した。</p>
III : 褐炭ガス化技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・褐炭ガス化技術の開発 ・商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得 	<p>電源開発(株)は石炭ガス化EAGLEプロジェクトをNEDOと共同で実施しており、これまでに高い冷ガス効率を持ち幅広い炭種に適用可能な酸素吹石炭ガス化炉(以下、「EAGLE炉」)を開発すると共に、ガス化運転技術の確立を行ってきている。現在、中国電力(株)とともに大崎クールジェンプロジェクトを実施中であり、EAGLE炉の約8倍スケールアップしたガス化炉の実証を行っていくこととしている。</p> <p>これらの実績を踏まえて、褐炭ガス化技術を確立することを目標として設定した。</p>

2. 研究開発マネジメントについて (2) 研究開発計画の妥当性



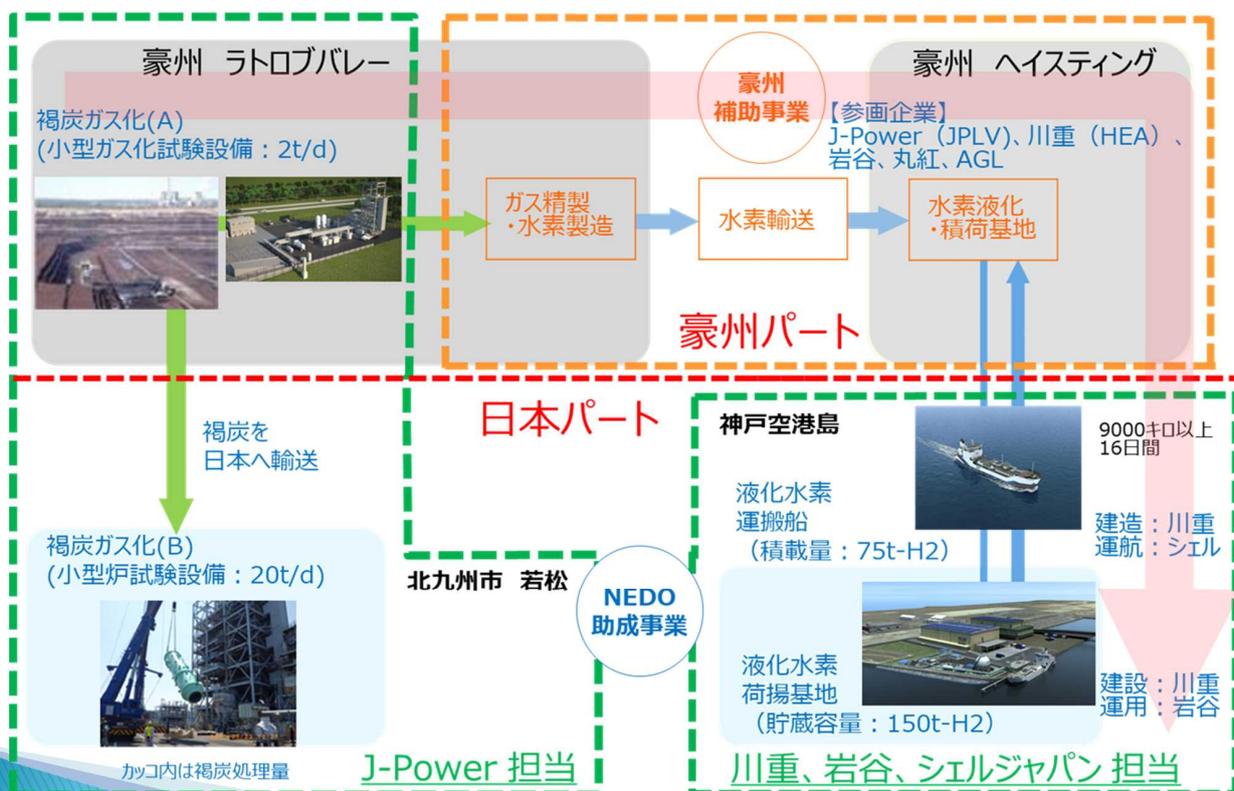
2. 研究開発マネジメントについて (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆ 研究開発の実施体制



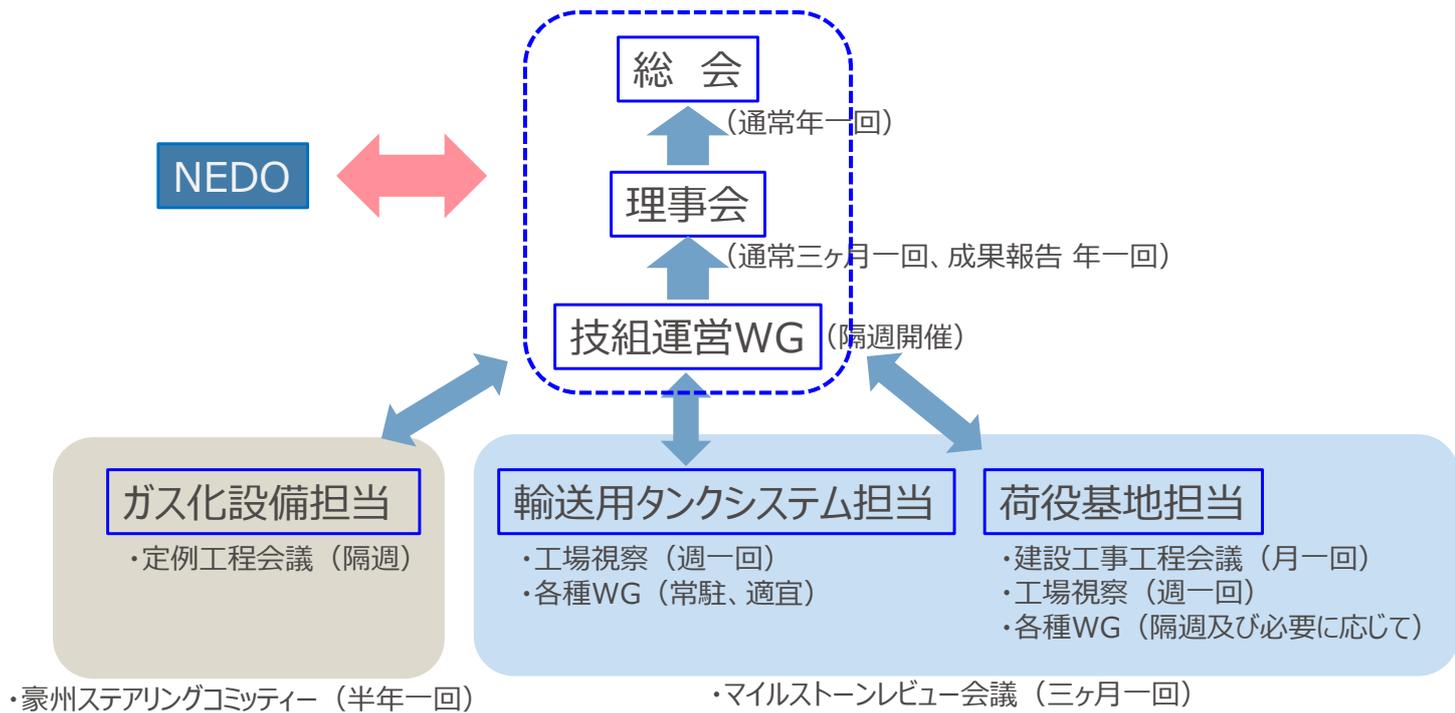
2. 研究開発マネジメントについて (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

◆ 研究開発の全体構成



2. 研究開発マネジメントについて (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

◆ 研究開発の進捗管理



2. 研究開発マネジメントについて (5) 知財権に関する戦略の妥当性

◆ 知的財産権等に関する戦略

実施項目	知的財産権等に関する戦略
I : 液化水素の長距離 大量輸送技術の開発	川崎重工業(株)の保有する小規模貯蔵用タンクの製作技術や特許、および液化ガス運搬船の製作技術や特許を活用し、他社が建造した実績のない液化水素向け長距離海上輸送用タンクを開発する。
II : 液化水素荷役技術の開発	川崎重工業(株)の保有する種子島宇宙センターの液化水素貯蔵基地の建設技術、液化水素設備の運用の蓄積を活用し、輸送用タンクとの荷役を可能とする液化水素荷役技術の開発を行う。
III : 褐炭ガス化技術の開発	電源開発(株)がこれまでEAGLEプロジェクト及び大崎クールジェンプロジェクトを通じて蓄積した石炭ガス化に関する特許・技術ノウハウを活用し、豪州褐炭に対応したガス化技術の開発を行う。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目的の達成度

研究開発項目

(I) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

(II) 液化水素荷役技術の開発

(III) 褐炭ガス化技術の開発

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

「(I) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発」の目標と達成状況

開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
液化水素の長距離大量輸送技術の開発	c) 輸送用タンクの設計・製作・検査 基本設計・詳細設計を元に、タンク製作・検査・船体搭載が着実に成され、配管艙装品を含めたシステム全体が実証試験実施可能な状態になっていること。	2016年度までに実施した研究開発項目「a)液化水素海上輸送システムの要素技術の開発」と「b)輸送用タンクシステムの開発」により開発された要素技術を踏まえ、輸送用タンクシステムおよび配管艙装品の基本設計・詳細設計を完了し、船級立会検査のもと、製作をほぼ完了した。	△ 最速で 2020年 11月末予定	一部購入機器の不具合が見つかり、対処方法を検討中 2020年10月末には改めて見通しが明確になる見込み
	d)-① 安全対策システムの開発 (実証試験の実施) ● 実証設備を用いた試験方案への船級承認が完了し、2020年度中の日豪間輸送の実現が見込める状態であること。 ● 実証試験実施時の危険要因が把握され、それらに対する有識者による安全対策の妥当性検証が完了していること。	<ul style="list-style-type: none"> 輸送用タンクおよび各種配管艙装品を含めたシステム全体の詳細設計内容をFMEAに反映し、実証試験で実施すべき項目を実証試験開始までに洗い出し中。 船級 (日本海事協会) と実証試験の実施項目を確認中。 	△ 最速で 2020年 12月末予定	

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

「(I) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発」の成果と意義

開発項目	成果	達成度	成果の意義
液化水素の長距離大量輸送技術の開発	c) 輸送用タンクの設計・製作・検査 研究開発項目a)とb)により開発された技術を踏まえ、輸送用タンクシステムおよび配管艤装品の基本設計・詳細設計を完了し、船級立会検査のもと、製作をほぼ完了した。	△ 最速で2020年11月末予定	船級協会の認める設計・検査内容で以て大容量の輸送タンクが製造出来ることが確認された。
	d)-① 安全対策システムの開発 (実証試験の実施) <ul style="list-style-type: none"> ● 詳細設計内容をFMEAに反映し、実証試験で実施すべき項目を洗い出し中。 ● 船級 (日本海事協会)と実証試験の実施項目を確認中。 	△ 最速で2020年12月末予定	<ul style="list-style-type: none"> ● 世界水準の安全評価手法に則った設計手法を適用し、将来的に液化水素の大量海上輸送技術として、世界初の輸送実績を伴った設計技術として標準化していく見込みである。 ● また、世界で初めて液化水素の大量輸送を可能にするシステム全体の船級承認を取得と、実際の日豪間運用の実績を得られる見通しである。

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

【開発項目】

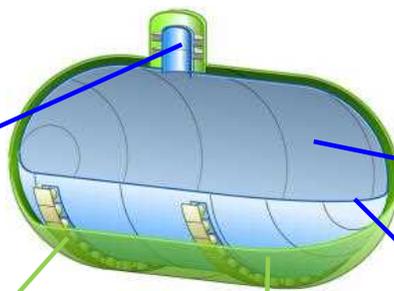
c) 輸送用タンクの設計・製作・検査

【目標】

タンク製作・検査・船体搭載が着実に成され、配管艤装品を含めたシステム全体が実証試験実施可能な状態になっていること。

【成果】

✓内槽ドーム組立(溶接)



✓内槽胴体組立(周溶接)



✓内槽鏡組立 (非破壊検査)



✓外槽胴板組立 (長手溶接)



✓外槽鏡板加工完了

3. 研究開発成果について（2）成果の意義

【開発項目】

c) 輸送用タンク的设计・製作・検査

【成果（前頁続き）】

2019年夏頃に内外槽一体化を完了し、真空槽の真空引きを実施。



(2019/5時点)

2020年3月に船体に輸送用タンクを搭載。



現在KHI神戸造船所内にて、貨物配管や各種貨物機器とのインテグレーション作業と試運転作業を実施中。

3. 研究開発成果について（2）成果の意義

【開発項目】

d)-① 安全対策システムの開発

【目標】

- 実証設備を用いた試験方案への船級承認が完了し、2020年度中の日豪間輸送の実現が見込める状態であること。
- 実証試験実施時の危険要因が把握され、それらに対する有識者による安全対策の妥当性検証が完了していること。

【成果】

ア) 危険要因の把握

詳細設計内容をFMEAに反映し、実証試験で実施すべき項目を洗い出し中。

船級（日本海事協会）と実証試験の実施項目を確認中。

研究開発項目

(Ⅰ) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

(Ⅱ) 液化水素荷役技術の開発

(Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度

「(Ⅱ) 液化水素荷役技術の開発」の目標と達成状況

開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
液化水素荷役技術の開発	a) 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証 ●海上揺動環境下において、極低温(-253℃)液化水素の陸上-海上間輸送を想定したローディングシステムの稼働範囲を有し、カーゴタンク当り200m ³ /h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること ●海上揺動環境下で使用する荷役設備を想定して可動範囲を持つローディングシステムを製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること	海上揺動環境下において目標流量及び目標可動範囲を達成できるローディングシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領を作成した。	○	特になし。今後は作成した実証試験の要領をもとに、液化水素の陸上-海上間輸送技術実証を行う。
	b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発 極低温液化水素の蒸発特性を踏まえ、配管入熱を仮定して、予冷段階、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備、および、目標蒸発率以下のタンクの製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること	●設定した配管系およびホレージョンを基に蒸発量の算定、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備の製作、設置が完了した ●目標蒸発率以下となるタンクの製作、設置が完了し、BOR計測要領書の策定も完了したことで、実証試験実施の見通しを得た	○	特になし。今後は製作、設置した荷役設備、タンク等を使用し、荷役基地におけるホレージョン技術の実証を行う。
	b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発 貯蔵タンク及び配管類の健全性を確保した予冷システムの設計が完了していること	積荷及び揚荷ホレージョンを設定の上、リスクに基づく安全性評価を行い、貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの設計が完了した。	○	特になし。今後は製作、設置した荷役設備、タンク等を使用し、予冷システムの実証を行う。
	b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証 カーゴタンク当り200m ³ /h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること	カーゴタンク当り200m ³ /h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た	○	特になし。今後は製作、設置した輸送設備を使用し、荷役流量の実証を行う。

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

「(II) 液会水素荷役技術の開発」の成果と意義

開発項目	成果	達成度	成果の意義
液化水素荷役技術の開発	a) 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証 海上揺動環境下において目標流量及び目標可動範囲を達成できるローディングシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領を作成した。	○	<ul style="list-style-type: none"> ● 設置完了したローディングシステムにより、海上揺動環境下における液化水素荷役の実現性を検証することができ、世界初となる液化水素の陸上-海上間移送技術を開発することが可能になる。 ● 液化水素用ローディングシステムを備えた液化水素荷役技術の試験設備を用いた技術実証により、机上検討との相違を洗い出し、既往のLNG荷役基地との比較を行うことで、商用規模への拡大に向けた解析を進め、商用チェーンに向けて液化水素荷役基地建設の見通しを得ることが可能になる。
	b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発 <ul style="list-style-type: none"> ● 設定した配管系およびホーレションを基に蒸発量の算定、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備の製作、設置が完了した ● 目標蒸発率以下となるタンクの製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た 	○	<ul style="list-style-type: none"> ● 液化水素荷役基地におけるオペレーション技術の開発にあたっての課題の一つである、液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発が可能になる。 ● 正確な蒸発量予測手法により、商用基地での蒸発損失を最小化する設計・オペレーション技術の獲得が可能になる。
	b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発 積荷及び揚荷ホーレションを設定の上、リスクに基づく安全性評価を行い、貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの設計が完了した。	○	<ul style="list-style-type: none"> ● 液化水素荷役基地におけるオペレーション技術の開発にあたっての課題の一つである、貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発が可能になる。 ● 予冷システムが最適化されることで、商用基地での蒸発損失最小化、ホーレション期間の短縮が可能になる。 ● 世界初の液化水素の陸上-海上間移送技術を有する設備であり、商用に向けた安全性評価手法の確立が可能になる。
	b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証 カーゴタンク当り200m ³ /h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た	○	<ul style="list-style-type: none"> ● 液化水素荷役基地におけるオペレーション技術の開発にあたっての課題の一つである、液化水素の管内流動状況の検証を行うことが可能になる。 ● 管内流動状況を正確に把握することで、蒸発損失、圧力損失等を最適化し、効率的な商用基地の建設が可能になる。

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

【開発項目】

a) 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証

【目標】

- 海上揺動環境下において、極低温(-253℃) 液化水素の陸上-海上間輸送を想定したローディングシステムの稼働範囲を有し、カーゴタンク当り200m³/h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること
- 海上揺動環境下で使用する荷役設備を想定して可動範囲を持つローディングシステムを製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること

【成果】

海上揺動環境下において下記性能を目標とするローディングシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領を作成

- ✓ 目標性能を満足する管径に基づき、必要設置エリア、アーム間隔等を検討の上、ローディングアームの詳細設計、製作、据付を実施、完了 (2020年3月)
- ✓ 目標性能を満足する管径に基づき、緊急離脱装置 (ERC) およびハイネット継手の設計、製作、検査を実施、完了 (2020年1月)
- ✓ ローディングアームの可動範囲を設定の上、構造解析を行い、設定可動範囲を満足する設計、製作、検査を実施、完了 (2020年1月)



ローディングアームシステム現地据付状況①



ローディングアームシステム現地据付状況②

3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

【開発項目】

b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発

【目標】

極低温液化水素の蒸発特性を踏まえ、配管入熱を仮定して、予冷段階、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備、および、目標蒸発率以下のタンクの製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること

【成果】

- 設定した配管系およびハレーションを基に蒸発量の算定、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備の製作、設置が完了（2020年3月）
- 目標蒸発率以下となるタンクの製作、設置が完了（2020年5月）
 - ✓ 工場製作、現地建設が完了（2020年5月）
 - ✓ タンクの冷却、初期積荷を実施（2020年6月～8月）



液化水素貯蔵タンク現地据付状況①



液化水素貯蔵タンク現地据付状況②



液化水素貯蔵タンク現地据付状況③

3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

【開発項目】

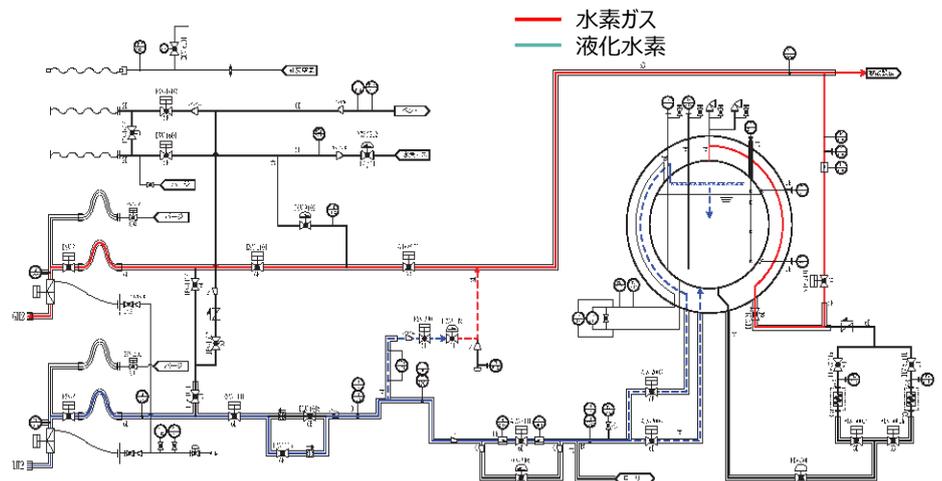
b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発

【目標】

積荷及び揚荷ハレーションを設定の上、安全性評価を行い、貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの設計が完了していること。

【成果】

- ✓ 各ハレーションごとにP&IDを作成し、ハレーションの設定を行うとともに、安全性評価を実施（～2018年6月）



例：揚荷時オペレーションフロー

3. 研究開発成果について

2) 成果の意義

【開発項目】

b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証

【目標】

極低温液化水素の蒸発特性を踏まえ、配管入熱を仮定して、予冷段階、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備、および、目標蒸発率以下のタンクの製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること

【成果】

カーゴタンク当り200m³/h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了（2020年3月）し、実証試験実施の見通しを得た

ア) 配管口径

- ✓ 流体種類、プロセス用途等により配管を分類し、それぞれに基本的な流速の目安を設定
- ✓ 検討に当たっては、LNG基地での実績をベースに、液化水素とLNGの物性の違い等を考慮



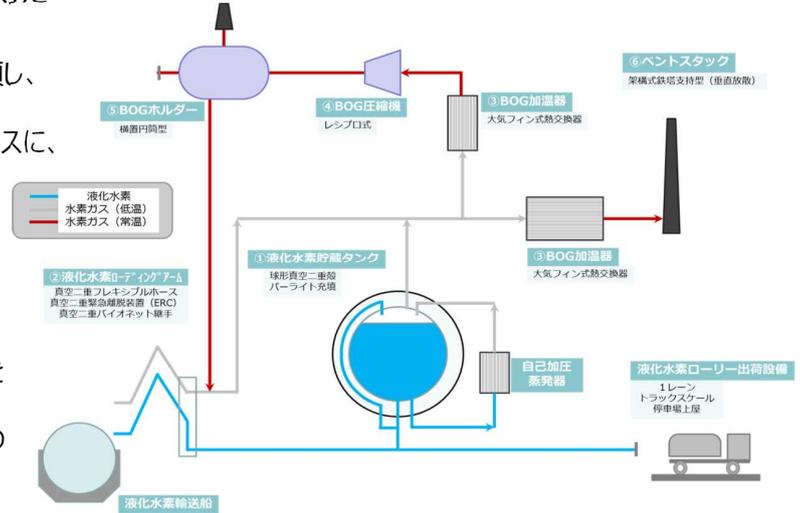
上記を根拠とし、各区分ごとに配管口径を決定

イ) 配管入熱

- ✓ 流体種類、プロセス用途等により配管断熱を設定
- ✓ さらに配管径ごとに分類の上、100mあたりの入熱量を計算



上記をもとに算定した管内の流れの状態、蒸発量等の予測値は、実証試験での管内流動状況検証のベース



3. 研究開発成果について

(2) 成果の意義

<現地据付工事>



据付工事全景



ベントスタック据付

<基地単独実証試験>

ア) 基地タンク ガス置換作業実施、完了（2020年6月）
大型のタンクにおける窒素⇒水素へのガス置換作業が概ね机上検討通りに行えることを確認

イ) 基地タンク 予冷作業実施、完了（2020年7月）
本構造のタンクにおける予冷に必要な液化水素量等の知見を獲得

ウ) 基地タンク 液化水素充填作業実施、完了（2020年8月）

エ) 基地タンク満載、静定後に蒸発率を計測し、目標蒸発率以下を達成（2020年9月）



ガスホルダー据付

研究開発項目

(Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

「(Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発」の目標と達成状況

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
褐炭ガス化技術の開発	a) EAGLE炉への豪州褐炭の適用性評価 以下ガス化試験を踏まえ、EAGLE炉での褐炭ガス化技術を確認する。 (2t/d 豪州小型ガス化試験装置) ・複数の褐炭についてガス化試験を行う。 ・1炭種につき複数回ガス化試験を行うことで、きめ細かく評価する。 (20t/d 若松小型炉試験設備) ・2t/dの試験結果を踏まえてガス化試験を行い、褐炭ガス化適用性を評価する。	(2t/d 豪州小型ガス化試験装置) ・豪州ヲトロパレーでの褐炭の特性を反映した設備設計を実施。 ・豪州での試験設備の据付完了。 (20t/d 若松小型炉試験設備) ・豪州褐炭の試験サンプルを基に運転条件等の事前解析実施中。(10月より開始) ・褐炭を日本に輸送し、事前乾燥実施中。(10月より開始)	○	(2t/d 豪州小型ガス化試験装置) ・試験データを蓄積し、ガス化特性を評価する。 (20t/d 若松小型炉試験設備) ・豪州褐炭でのガス化試験を行い、EAGLE炉での適用性(スラッグの排出性含む)を評価する
	b) 化学原料製造向けガス化技術の検証 ガス化試験にてCO2搬送及びダイレクトクエンチの効果を確認すると共に、シミュレーションにて大型化に向けた見通しを得る。	・2t/dガス化炉でCO2搬送が、20t/dガス化炉でダイレクトクエンチの試験が可能となるような設備とした。 ・プロセスシミュレーションのモデル構築中。今後試験結果を踏まえ精度の向上を図る	○	・実証試験において、特性データを取得し、大型化の見通しに向けた評価を行う。
	c) 豪州褐炭ガス化運用技術の検討 ガス化試験結果を踏まえ、運用方法の検討を行い、大型化に向けた見通しを得る。	・大型化した場合のシミュレーションモデルを構築中。大型化時のユーティリティ量の把握等に利用する。	△ 最速で 2021年 2月末予定	・大型化の見通しに向けた課題の抽出、評価を行う。

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

「(Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発」の成果と意義

開発項目	成果	達成度	成果の意義
褐炭ガス化技術の開発	a) EAGLE炉への豪州褐炭の適用性評価 (2t/d 豪州小型ガス化試験装置) ・豪州ラトロプバレーでの褐炭の特性を反映した設備設計を実施。 ・豪州での試験装置の据付完了。 (20t/d 若松小型炉試験設備) ・豪州褐炭の試験サンプルを基に運転条件等の事前解析実施中。(10月より開始) ・褐炭を日本に輸送し、事前乾燥実施中。(10月より開始)	○	(2t/d 豪州小型ガス化試験装置) これまで経験のない褐炭を使ったガス化プラントの設計を行い、据付を完了。今後本装置を使用して、複数の豪州褐炭によるガス化特性を取得することができる。 試験準備が整ったことで複数の豪州褐炭のガス化特性を評価することができ、課題抽出に向けて前進した。 (20t/d 若松小型炉試験設備) 事前準備作業を着実に進めることで、若松小型炉試験設備での確実な試験運転に繋げる事が可能となった。
	b) 化学原料製造向けガス化技術の検証 ・2t/dガス化炉でCO2搬送が、20t/dガス化炉でダイレクトクエンチの試験が可能となるような設備とした。 ・プロセスシミュレーションのモデル構築中。今後試験結果を踏まえ精度の向上を図る	○	必要な試験が可能となり、実試験データを取得することで、化学原料製造向けガス化技術のプロセス最適化を図ることができる。 シミュレーションモデルを用いることで、大型化への見通しを得ることができる。 コストメリットに資する設備改造が完了し、化学原料製造向けガス化技術のプロセス最適化に向け前進した。またプロセスシミュレーションのモデル構築により、大型化に向けた効率的なプロセス評価が可能となった。
	c) 豪州褐炭ガス化運用技術の検討 ・大型化した場合のシミュレーションモデルを構築中。大型化時のユーティリティ量の把握等に利用する。	△	シミュレーションモデルを用いることで、ユーティリティ量の把握を含め、運用に関する大型化への課題抽出および評価が可能となった。

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

【開発項目】

a) EAGLE炉への豪州褐炭の適用性検討

【目標】

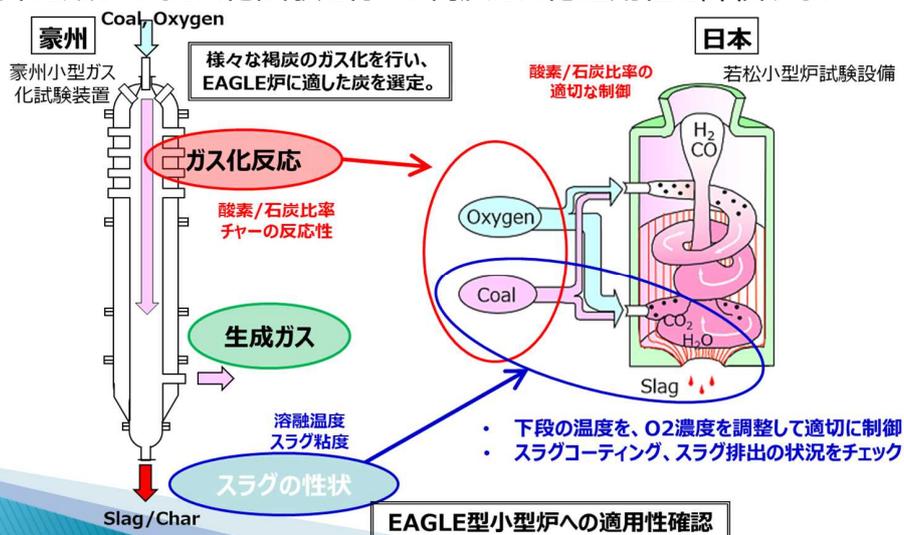
以下ガス化試験を踏まえ、EAGLE炉での褐炭ガス化技術を確立する。

(2t/d 豪州小型ガス化試験装置)

- ・複数の褐炭についてガス化試験を行う。
- ・1炭種につき複数回ガス化試験を行うことで、きめ細かく評価する。

(20t/d 若松小型炉試験設備)

- ・2t/dの試験結果を踏まえてガス化試験を行い、褐炭ガス化適用性を評価する。



3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

褐炭ガス化技術確立を行うことで、
170t-H₂/d 級のガス化炉まで
見通すことができる。

石炭処理量は異なるが、
ガス化圧力を下げて、炉
径を同じとしている。

10 t/d
(20 t/d)
@0.5MPa

若松小型炉試験設備

1 t/d
(2 t/d)

豪州小型ガス化試験
装置 (HESCプロジェクト)

50 t/d
@3.0MPa

HYCOL パイロット試験
(1991~1993 / 袖ヶ浦)

0.5 t/d

Process Development Unit
(1981~1985 / 勝田)

18 t-H₂/d

150 t/d
@2.5MPa



大崎クールジェン実証試験
(2016~ / 大崎)

EAGLE パイロット試験
(2002~2013 / 若松)

**石炭処理量は、
乾燥炭ベース
()内は湿炭ベース

1,180 t/d = 170 t-H₂/d

3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

【成果】

(2t/d 豪州での小型ガス化試験装置)

- プロセス、仕様の検討
 - ✓ 高水分褐炭に対応した乾燥粉碎技術の仕様決定
 - ✓ 豪州褐炭の性状分析および国内での事前ガス化試験により、豪州小型ガス化試験設備の設計用データ取得、反映
- HAZOPによる安全性評価を実施、設計に反映
- 豪州での設計規格適用、法規制対応
- 機器製作、輸送、据付、試運転
- ガス化運転によるガス化性能データ取得 (10月より開始予定)

(20t/d 若松小型炉試験設備)

- 豪州褐炭のガス化に必要な改造要否検討
- 豪州褐炭の試験サンプルを基に運転条件等の事前解析実施。(10月より開始)
- 褐炭を日本に輸送し、事前乾燥実施。(10月より開始予定)

3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

【成果 (前頁続き)】

豪州小型ガス化試験装置 設備概観 (2020.9 据付完了)



微粉炭機



ガス化炉



プラント全景 (2020.7.29撮影)

3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

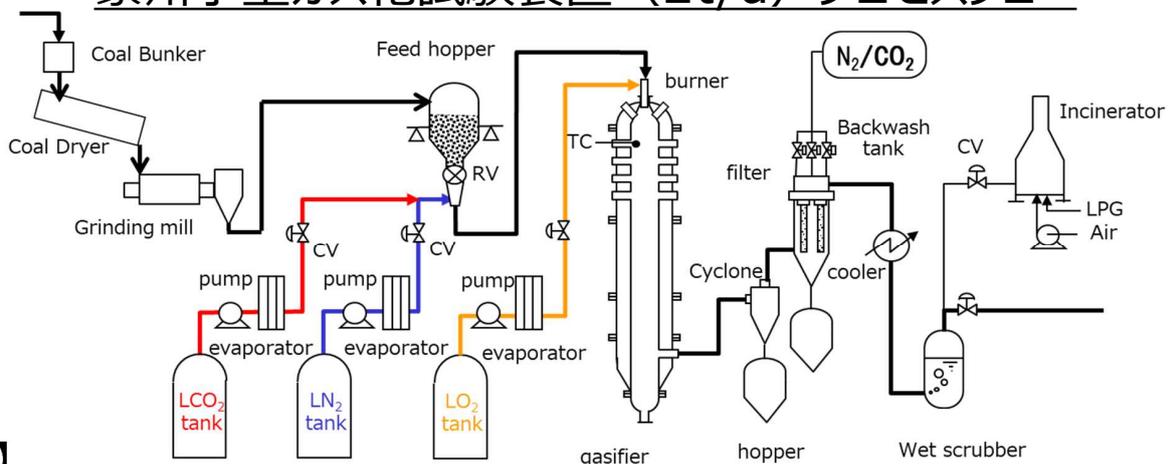
【開発項目】

b) 化学原料製造向けガス化技術の検討

【目標】

- 2t/dガス化炉でCO₂搬送が、20t/dガス化炉でダイレクトクエンチの試験が可能となるような設備とした。
- プロセスシミュレーションのモデル構築。今後試験結果を踏まえ精度の向上を図る

豪州小型ガス化試験装置 (2t/d) プロセスフロー



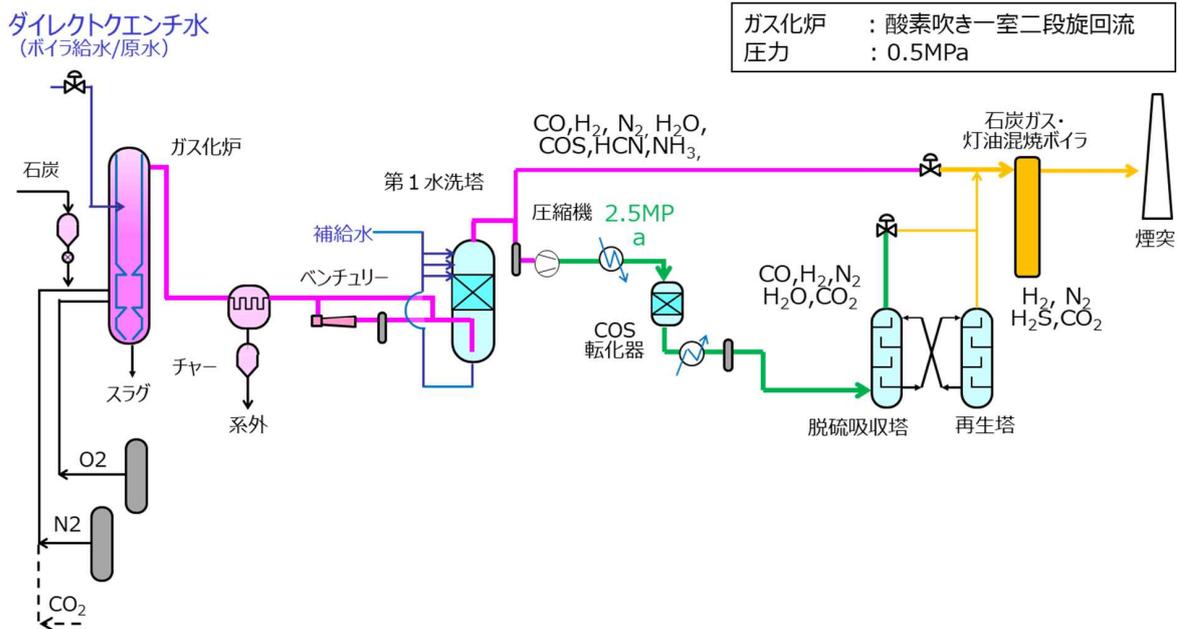
【成果】

CO₂搬送システムを試験設備の設計に反映

褐炭搬送において、従来はN₂を使用するが、CO₂搬送とすることで、
 $CO_2 + C \rightarrow 2CO$ のガス化反応により冷ガス効率の向上が期待される。

3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

若松小型炉試験設備 (20t/d) プロセスフロー



【成果】

ガス化炉はダイレクトクエンチの試験が可能な仕様

ダイレクトクエンチ方式とはガス化出口の高温ガスに直接水（蒸気）を噴霧してガス冷却する方式。設備の低コスト化を図ることが可能。

3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

●プロジェクト全体としての達成状況

- 研究テーマ毎の中間目標は達成及び達成見込みであり、プロジェクトとしての中間目標は概ね達成の見込みである。

●意義

- 現在までの研究開発活動により、安全かつ十分な性能を発揮する世界初の液化水素用大量海上輸送タンクの試験設備、液化水素荷役基地及び褐炭ガス化設備を製作・据付けすることが可能になった。
- 液化水素を用いた技術実証により、商用規模サプライチェーンの実現に向けて、設計的知見を蓄積できた。今後、実証試験の完遂により安全評価手法及び運用手順へのノウハウを蓄積できる。

3. 研究開発成果について (3) 知財と標準化 (4) 成果の普及

◆ 成果発表状況

		2015Fy	2016Fy	2017Fy	2018Fy	2019Fy	2020Fy	計
論文発表 (査読付き)		0	0	1	1	1	0	3
受賞実績		0	0	0	0	0	1※2	1
外部発表	研究発表・講演	16	45	40	55	32	12	200
	新聞・雑誌等への掲載		3	28	19	17	12	79
	展示会への出展		1	2	2	1	(1)※1	6+(1)

※1 FC-EXPO2021に出展予定

2020年9月末現在

※2 ICFE 10 Innovation (2020/10)

3. 研究開発成果について (3) 知財と標準化 (4) 成果の普及

◆ 特許出願及び取得状況

	2015Fy	2016Fy	2017Fy	2018Fy	2019Fy	2020Fy	合計
特許出願数 (内; 国際出願)	1 (1)	1 (0)	8 (0)	1 (0)	1 (0)	2 (0)	14 (1)

No.	出願日	出願番号	発明名
1	2016/2/12	PCT/JP2016/000750	船用二重殻タンク
2	2017/2/8	2017-021257	断熱構造
3	2017/6/6	2017-111749	ガス放出システム
4	2017/6/6	2017-111750	ガス放出システム
5	2017/6/6	2017-111751	液化ガス輸送船
6	2017/6/6	2017-111752	ガス漏洩検知システム及びガス漏洩検知方法
7	2017/10/16	2017-200327	二重殻タンクの隔壁構造
8	2018/3/2	2018-037207	船舶
9	2018/3/2	2018-037208	二重殻タンク及び液化ガス運搬船
10	2018/3/6	2018-039576	液化水素運搬船及び船体保護方法
11	2018/12/28	2018-247352	船舶
12	2020/3/30	2020-061456	液化ガス貯留船
13	2020/4/1	2020-072352	船舶
14	2020/5/25	2020-090259	ハントマスト
15	出願中		荷役配管のパージ

※2020年9月末現在

3. 研究開発成果について (4) 成果の普及

◆ 成果の普及状況



【ポルトガル エネルギー副大臣一行】



【ノルウェー 水素協議会議長一行】

FCEXPO2020 (東京ビックサイト 2020/2/26~2/28)

※COVID19の影響のため、ブース出展のみとし、現地でのプレゼンは見送った。

ただし、事前予約のあった来訪者については現地にて技組職員による説明を実施した。

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性

開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(I) 液化水素の 長距離大量 輸送技術の 開発	c) 輸送用タンクの設計・製作・検査	研究開発項目a)とb)により開発された技術を踏まえ、輸送用タンクシステムおよび配管臓装品の基本設計・詳細設計を完了し、船級立会検査のもと、製作をほぼ完了した。	<ul style="list-style-type: none"> 日豪航行試験を繰り返し実施することにより様々な積付率及び気象条件での液化水素のBORデータを取得するとともに、真空度劣化や構造設計の妥当性をデータを蓄積する事で検証する。 長期間にわたり使用し液化水素を取り扱った機器（圧縮機、加温機、蒸発器及びGCU等）について内部検査を実施し、健全性の評価を行う。 	2020年度末までに中間目標が達成可能な見通しである。今後、航行試験を継続実施することにより様々な積付率及び航海条件下で「輸送タンクシステムに真空防熱性能」、「タンク状態制御方法」について評価をする。また、「輸送タンクシステム安全機構」及び貨物機器の長期運転後健全性」に関して評価を行う。
	d)-① 安全対策システムの開発 (実証試験の実施)	<ul style="list-style-type: none"> 詳細設計内容をFMEAに反映し、実証試験で実施すべき項目を洗い出し中である。 船級（日本海事協会）と実証試験の実施項目を確認中である。 		

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性

開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(Ⅱ) 液化水素荷役技術の開発	a) 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証	海上揺動環境下において目標流量及び目標可動範囲を達成できるローディングシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領を作成した。	大型化に適した鋼製ローディングアームシステムを用いた揺動環境下で使用可能な荷役技術を開発し、液化水素を使用した荷役試験を実施し、成立性を実証する。	2020年度末までに中間目標が達成可能な見通しである。 今後、荷役試験を継続することによりデータの蓄積及び検証を行い、「貯蔵タンク及び配管内の蒸発率」、「貯蔵タンク内部状況」及び「荷役流量と配管圧力損失の関係性」について評価を行う。また、鋼製ローディングアームの開発を実施する。
	b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発	<ul style="list-style-type: none"> ● 設定した配管系およびホレージョンを基に蒸発量の算定、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備の製作、設置が完了した ● 目標蒸発率以下となるタンクの製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た。 	液化水素の荷役試験を繰り返し実施することで貯蔵タンク内及び配管内の液化水素の挙動を把握し、設計条件に反映する。	
	b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発	積荷及び揚荷ホレージョンを設定の上、安全性評価を行い、貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの設計が完了した。		
	b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証	カーゴタンク当り200m ³ /h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た。		

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性

開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発	a) EAGLE炉への豪州褐炭の適用性検討	<p>(2t/d 豪州小型ガス化試験装置)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 豪州ラトロバレーでの褐炭の特性を反映した設備設計を実施。 ・ 豪州での試験設備の据付完了。 <p>(20t/d 若松小型炉試験設備)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 豪州褐炭の試験サンプルを基に運転条件等の事前解析実施中。(10月より開始) ・ 褐炭を日本に輸送し、事前乾燥実施中。(10月より開始) 	豪州に設置した「小型ガス化試験設備」を用いてバイオマスを褐炭に混ぜた際のガス化特性を評価する。	2020年度末までに中間目標が達成可能な見通しである。 今後、褐炭-バイオマス混合体でのガス化試験を継続することによりデータの蓄積及び検証を行い、商用化へ向けた知見を得る。
	b) 化学原料製造向けガス化技術の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2t/dガス化炉でCO₂搬送が、20t/dガス化炉でダイレクトクエンチの試験が可能となるような設備とした。 ・ プロセスシミュレーションのモデル構築。今後試験結果を踏まえ精度の向上を図る。 		
	c) 豪州褐炭ガス化運用技術の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・ 大型化した場合のシミュレーションモデルを構築中。大型化時のユーティリティ量の把握等に利用する。 		
(Ⅳ) 液化水素の利活用	—	—	日豪輸送後の液化水素を近隣施設に供給し、利用できることを実証する。	荷役基地の液水貯蔵タンクは、ローリー等に払出せる構造となっていることから、液化水素の利活用に使用することは問題ないと考える。

3. 研究開発成果について (6) 2021年度以降の実施内容

開発項目	2021年度～2022年度の主な研究開発実施内容
(I) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発	<p>a) 輸送タンクシステムの真空防熱性能の追加評価 複数回の日豪航行を実施することで、液化水素の積付率及び海象条件（気温、揺動等）をパラメータとして蒸発率（BOR）データを取得し、長期連続運用時の液化水素輸送タンクシステムの真空防熱特性を評価する。</p> <p>b) タンク状態制御方法評価 輸送タンクの揺動及び落圧時間が与える液化水素への温度影響を評価する。</p> <p>c) 代替揚荷手段の開発 船側液化水素移送ポンプが故障した場合の代替揚荷方法として、基地側貯蔵タンクからの圧送による手法を実証する。</p> <p>d) 輸送タンクシステム安全機構の評価 GCU燃焼等の安全機構を使用し、その有効性及び周辺環境に与える影響を評価する。</p> <p>e) 貨物機器の長期運転後健全性評価 長期間にわたり使用し液化水素を取り扱った機器（圧縮機、加温機、蒸発器及びGCU等）について内部検査を実施し、健全性の評価を行う。</p>

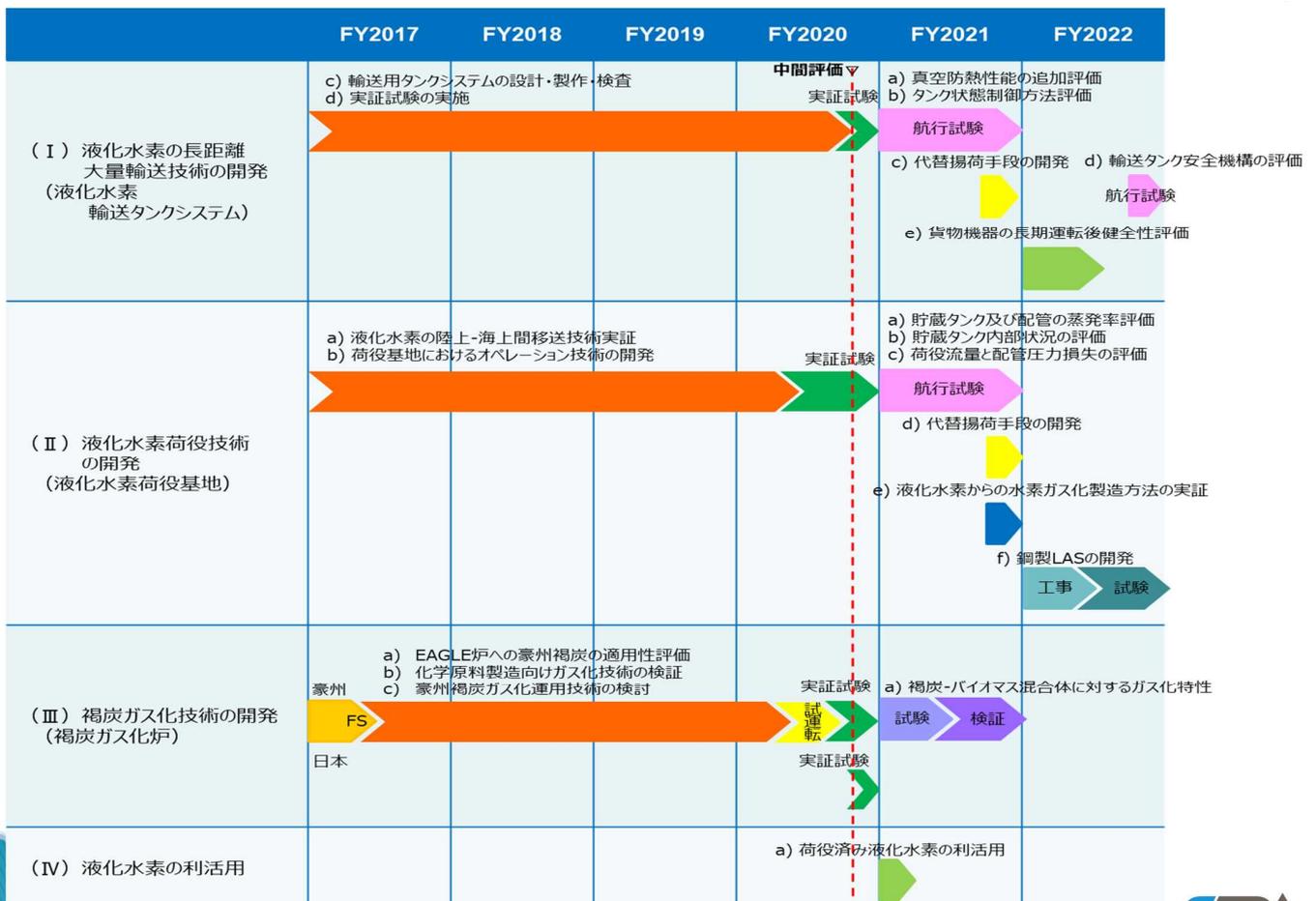
3. 研究開発成果について (6) 2021年度以降の実施内容

開発項目	2021年度～2022年度の主な研究開発実施内容
(II) 液化水素荷役技術の開発	<p>a) 貯蔵タンク及び配管内の蒸発率評価 貯蔵タンク内の残液量をパラメータとした蒸発率を評価する。また、大口径配管内での蒸発率を評価する。</p> <p>b) 貯蔵タンク内部状況の評価 貯蔵タンク内加圧時の液化水素温度に与える影響を評価する。</p> <p>c) 荷役流量と配管圧力損失の関係性評価 荷役流量増加に伴う配管圧力損失との関係性を評価する。</p> <p>d) 代替揚荷手段の開発 「液化水素の長距離大量輸送技術の開発 c)」と同様</p> <p>e) 液化水素からの水素ガス化製造方法の実証 気化器を用いた水素ガス製造方法を実証する。</p> <p>f) 鋼製LASを使用した荷役技術の開発 鋼製LASを用いた揺動環境下で使用可能な荷役技術を開発する。</p>

3. 研究開発成果について (6) 2021年度以降の実施内容

開発項目	2021年度～2022年度の主な研究開発実施内容
(Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発	a) 褐炭-バイオマス混合体に対するガス化特性評価 技術上不可避に発生する未回収CO ₂ の排出を減少させるため、CO ₂ ニュートラルであるバイオマス燃料を混焼することで、実質上（ネットとして）更なる低炭素化を目的とし、豪州に設置した「小型ガス化試験設備」を用いてバイオマスを褐炭に混ぜた際のガス化特性を評価する。
(Ⅳ) 液化水素の利活用	a) 荷役済み液化水素の利活用 日豪間輸送し、神戸荷役基地へ荷役貯蔵した液化水素に関して、基地貯蔵タンクから払出し、近隣の施設へ液化水素を燃料として搬送し、利活用を実証する。

3. 研究開発成果について (7) 2022年度までの試験研究計画(案)



4. 実用化・事業化の見通しについて

◆基本認識

本実証事業は6年計画の最終年度を迎え、要素技術開発等を行い、現在、設備製造・据付工事を行い、順次完工、実証試験を開始しつつある。実証試験を通して、最終目標達成の可能性は十分にあると考える。



エネルギー基本計画、水素・燃料電池戦略ロードマップ、次世代火力発電に係る技術ロードマップ等の政策方針やパリ協定の合意、民間事業者におけるCO2削減のための水素活用計画の活発化など、社会ニーズが高まってきており、特に欧州、豪州、中東などの資源国や国内におけるエネルギー企業を含む民間事業者の検討が随所で行われており、事業化の可能性が高まってきている。

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆実用化・事業化の時期

《2015年～2022年》

本プロジェクト（「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン実証事業」）を完遂
※エネルギーのサプライチェーン構築では実績が重視される。

- ・水素の海外からのサプライチェーン構築について社会認知を得る。
- ・エネルギー事業者への実現性認知を得る。



《2020年代半ば》

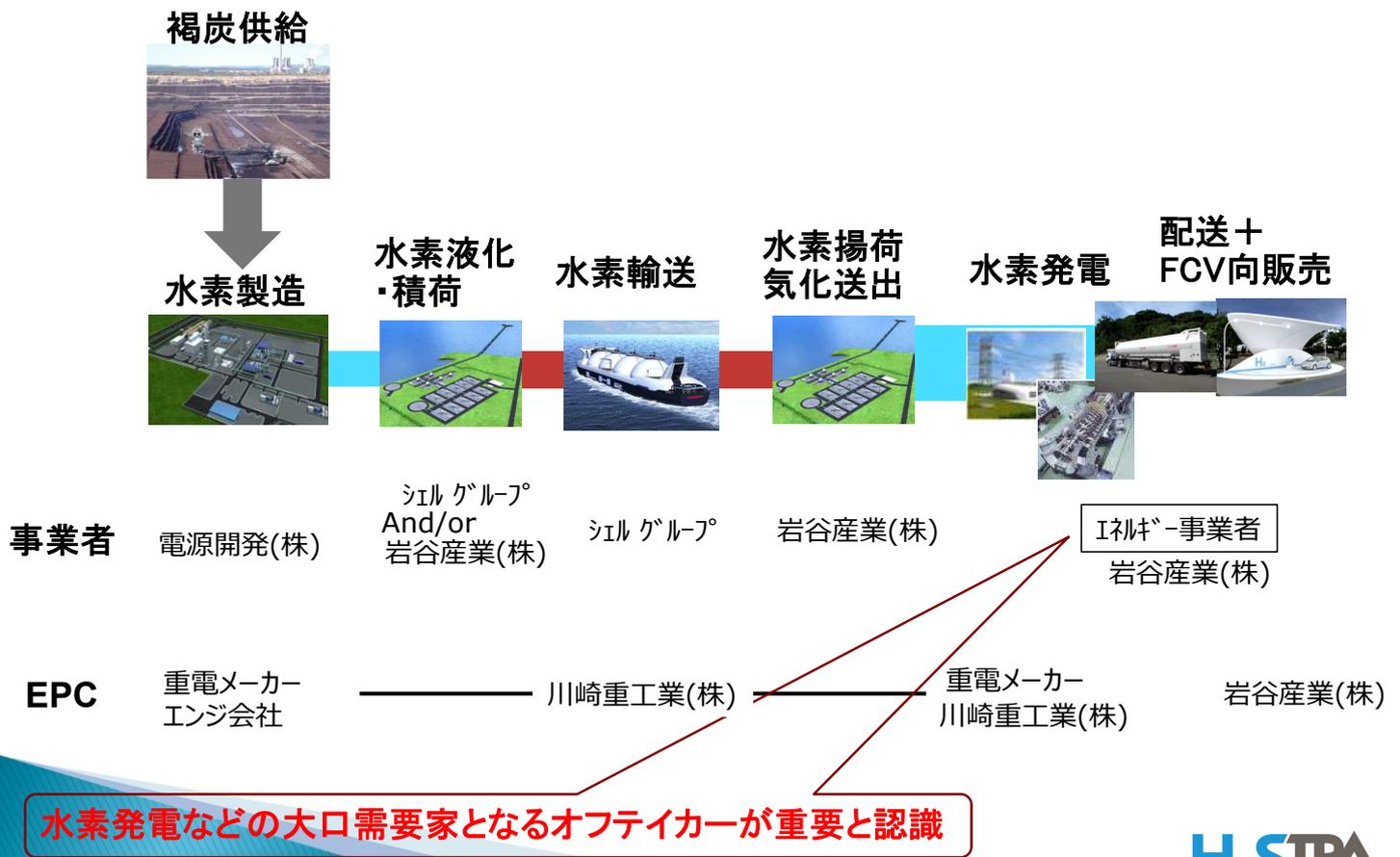
商用実証（大型化）を実施する。（技組内協議中）

《2030年～》

水素発電等が本格化し、大量低コストが期待される海外からの輸入水素が必要となる。商用サプライチェーンのための、水素製造、液化システム、貯蔵基地および運搬船の技術及び運用をシステム・パッケージ化し、商用化する。

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆想定する事業イメージ



4. 実用化・事業化の見通しについて

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

【グローバル企業の動き (Hydrogen Council)】

- エネルギー・運輸・製造業・商社・銀行等の世界的なリーディングカンパニー92社で構成：ステアリング会員41社、協賛会員44社、金融グループ7社
- 日本企業：トヨタ、ホンダ、川崎重工^注、岩谷産業、JXTGエネルギー、豊田通商、三菱商事、三井物産、丸紅、住友商事、三菱重工、日本特殊陶業、SMBC、伊藤忠、日本郵船
- 水素を利用した新エネルギー移行に向けた共同のビジョンと長期的な目標を 提唱するグローバル・イニシアチブ (活動体)
- 水素がエネルギー移行にもたらす役割の認識のもと、政府や主要なステークホルダーと共に、効果的な実行計画を作り出すことを目指す

注：赤字は2017年発足時13社の中の日本企業



4. 実用化・事業化の見通しについて

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

【政治的視点】

- ・ 日本政府の政策動向と合致している。また、豪州政府も連邦首相含めた協力姿勢を示している。

【経済的視点】

- ・ ロードマップ記載のプラント引渡し水素価格 30円/Nm³及び発電コスト 17円/kWhは、水素ST価格100円/Nm³や再生可能エネルギーFIT価格との比較で価格競争力のある価格。

【社会的視点】

- ・ 「トヨタ環境チャレンジ2050」などにみられるとおり、CO₂フリー水素の民間ニーズが顕在化。

【技術的視点】

- ・ 石炭IGCC、ロケット射点設備、液化水素製造、LNG運搬船・荷役設備などの技術蓄積がある。
- ・ 本NEDO事業においてチェーン実現に不可欠で技術開発要素の高い機器システム開発に優先的に取り組み、世界に先駆けて実証が実現できる。

➡ 技術実証によって、「実用化・事業化」が更に高まると考える。

HySTRA 49/58

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆技術実証による、「社会認知」向上の例

2019年12月10日 川崎重工業（株）神戸工場にて約4,000名の来賓、一般市民、近隣幼児などが参加のもと、命名・進水式が行われた。日経、日経産業、産経、フジサンケイビジネスアイ、毎日、読売、朝日、神戸、日刊工業、化学工業日報、電気新聞、海事プレスなど各紙にての報道、NHK、テレビ東京系列などの放送で広く知られる状況となった。



2020年6月12日 神戸空港島 神戸荷役実証ターミナル（愛称：Hytouch神戸）にて安全祈願祭実施後実証試験スタートを HySTRA WEBサイトにて発表。

※コロナ禍において行事は行わず、WEBサイト発表のみとした。

<http://www.hystra.or.jp/news/article.html#news07>



「Hytouch 神戸」(兵庫県 神戸空港島)にて、液化水素を-253℃のまま移送する「ローディングームシステム」や「液化水素貯蔵タンク」などの製造・搬付を完了し、実証試験がスタートしました。今後、世界初の、液化水素運搬船への荷役技術実証に取り組みます。(写真：実証、安全祈願祭)

STRA 50/58

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆ オフテイク候補

エネルギー事業者を含む民間企業の動向
三大都市圏において、地域で水素を利活用する（ポテンシャル含む）ための協議会が発足し、HySTRA組合員各社、豪州ポーション企業などが参加
エネルギー事業者などオフテイクへの実現性認知・事業創出を得る場として有効

① 中部圏水素利用協議会（2020年3月6日設立）

参画企業：出光、岩谷、ENEOS、住商、中電、
東邦ガス、トヨタ、エアリキ、DBJ、SMBC、
三菱ケミカル、中部国際空港

② 神戸・関西圏水素利活用協議会（2020年8月20日設立）

参画企業：岩谷、ENEOS、川汽、川重、シエル、電発、
丸紅、大林、関電、三菱パワー、神鋼、
オブザーバー：神戸市、NEDO、経産省

③ 東京湾岸ゼロエミッションイノベーション協議会（2020年6月2日設立）

幹事団体：旭化成、岩谷、ENEOS、鹿島建設、産総研、東ガス、
東大、東電、東芝、日産、日鉄、日立、三井不動産
会員：101社



4. 実用化・事業化の見通しについて

◆ 外部環境の事実認識

【民間動向】

- ・トヨタはFCV（燃料電池自動車）「MIRAI」新型を近秋にも発売開始と報道されるなど、2020年以降のFCV販売 3万台/年以上を計画している。
- ・併せて水素ステーション整備も進められていく。
- ・トヨタは全工場のCO2排出ゼロを目指す「環境チャレンジ2050」を発表している。
- ・RE100、ESG投資などの高まりから「水素」利活用についての機運が高まっている。

【政府関連】

① 日本

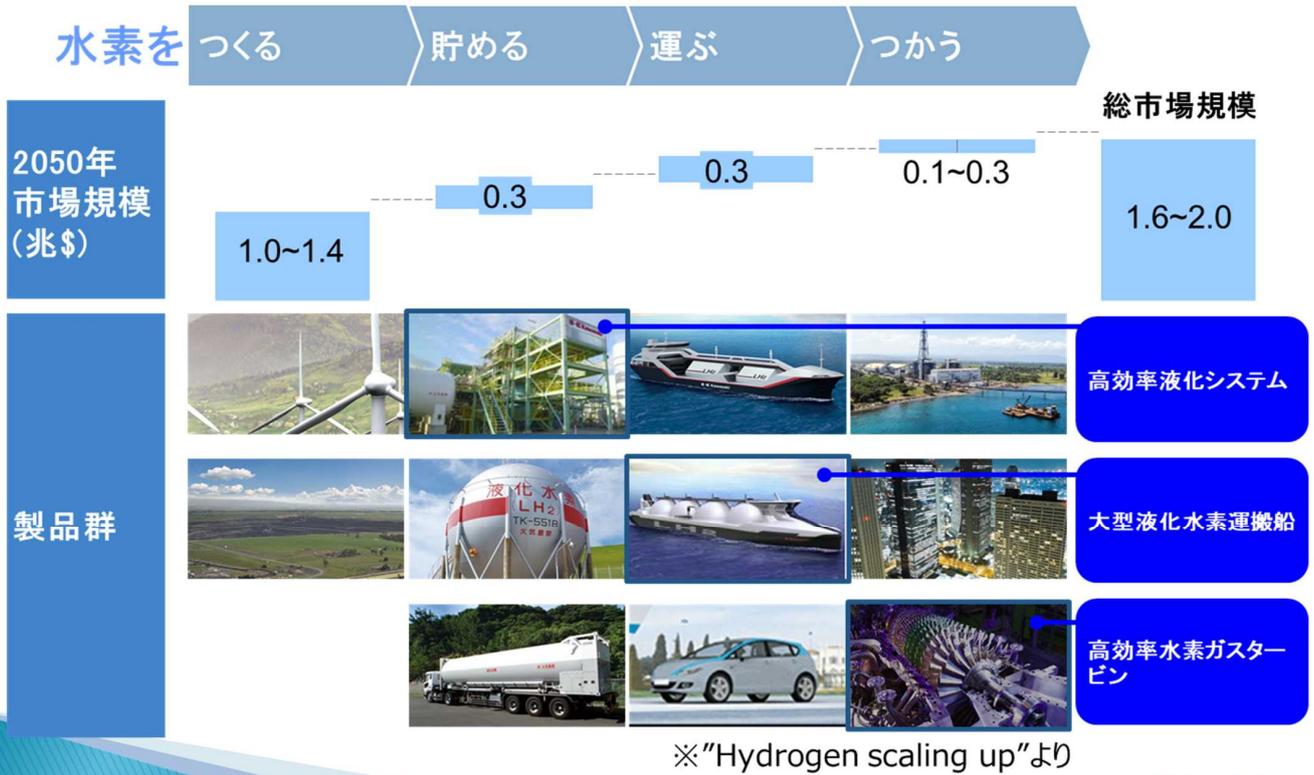
- ・第五次エネルギー基本計画において、「水素社会実現に向けた取組の抜本強化」が謳われ、再生可能エネルギーとの組み合わせ、化石燃料の水素への転換を含めた「水素社会」の実現への期待感が増している。
- ・COP21採択をうけ、日本政府（経産省・環境省）は温暖化対策計画を閣議決定。2030年までにCO2排出量26%削減とするため、電力会社に対しCO2フリー電源（原子力と再生可能エネルギー）の電力量に占める比率を44%以上とすることを求めている。
- ・次世代火力発電に係る技術ロードマップに「水素発電」が位置づけられている。

② 豪州

2020年7月に安倍首相（当時）・モリソン首相が日豪首脳テレビ会談を行い、コロナ禍においても「ビクトリア州の水素エネルギーサプライチェーン・パイロットプロジェクトを通じたエネルギー転換が、回復に向けた戦略の一部」であることを認識した。

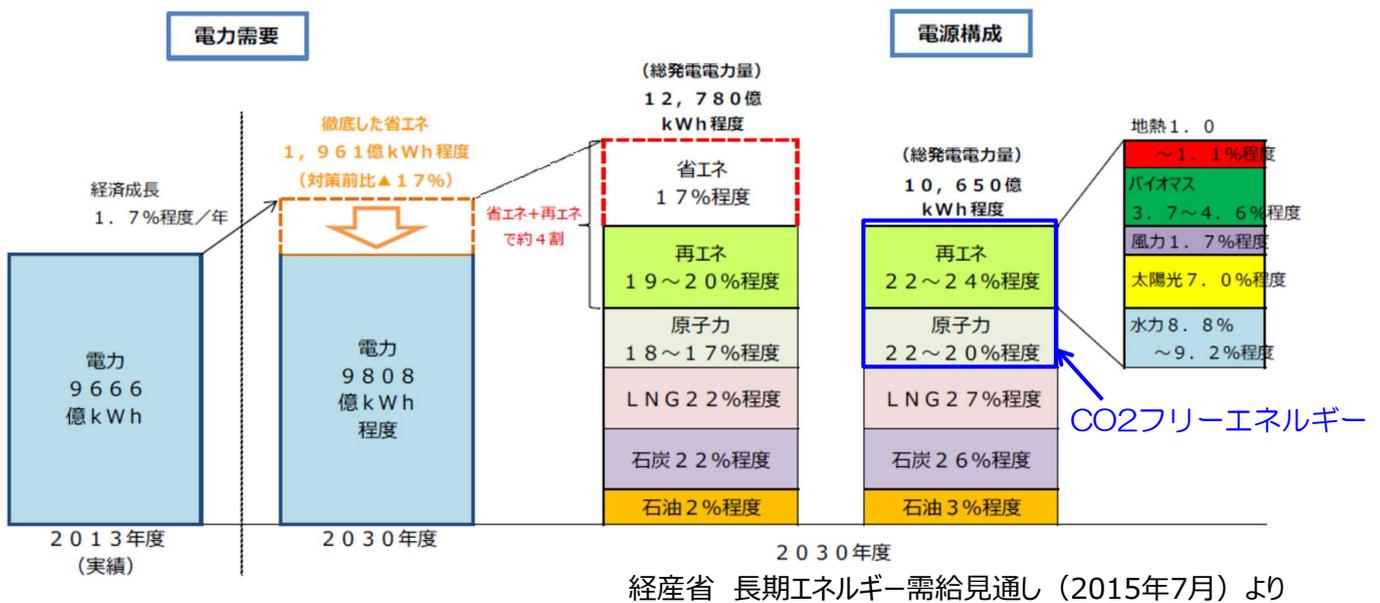
4. 実用化・事業化の見通しについて

◆事業化時の市場規模と事業規模



4. 実用化・事業化の見通しについて

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方



- ◆ CO2フリーエネルギーとして4,700億kWh/年の市場規模
- ◆ 発電電力量のシェア0.5~1%=約50~100億kWh/年とすると売上800~1,600億円/年 (電力事業として)

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆ 競合技術との優位性

【環境性】

海上長距離輸送を含めてCO2排出なしが可能

【コスト】

発電燃料：CO2フリーエネルギーの中では比較的安価

燃料電池：高純度で精製不要で供給可能

【セキュリティー】

自主開発エネルギー、既存化石燃料とは異なる供給源

【安全性】

既存燃料と同等

【その他】

冷熱利用で付加価値

利用側で追加エネルギー不要（空気・水で加温）

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆ 成果の実用性・事業化の見通し

● 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

実証試験により断熱性能、タンク構造が所定の性能をもつことを確認する。

事業化に向けて適正なタンク規模を明確にするとともに、大型タンクの開発を進める。

● 液化水素荷役技術の開発

実証試験により荷役流量、蒸発率及び緊急遮断機構が所定の性能をもつことを確認する。

事業化に向けてより効率的な運用方法を具体化するとともに、より高度なLNGに適用されているローディングアームジョイント手法の適用を進める。

● 褐炭ガス化技術の開発

実証試験により前処理設備を含んだ褐炭ガス化適用性を確認する。

事業化に向け実証試験結果を踏まえた運用方法の検討を行い、大型化に向け検討を進める。

● 規格・基準類の整備

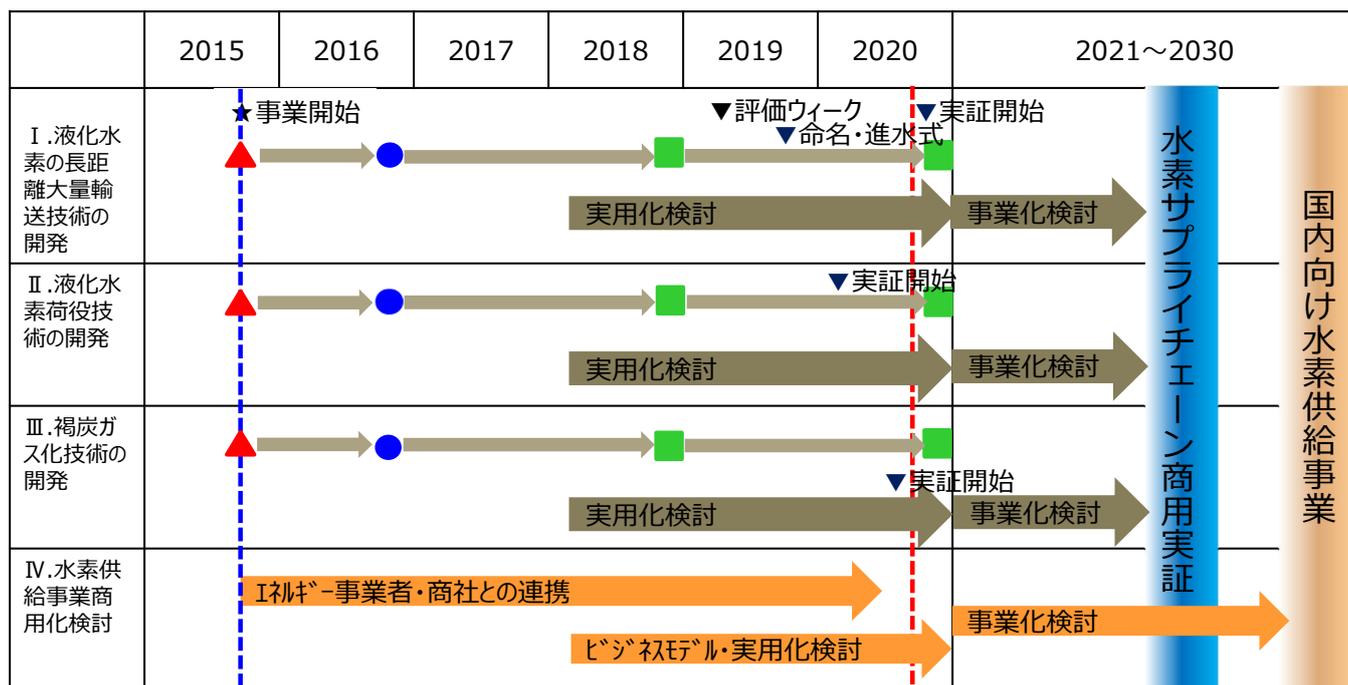
液化水素運搬船、荷役基地、ローディングアーム等の規格・基準類の整備に取り組む。

● 商用化検討の推進（今後に向けて）

発電事業者、エネルギー商社などとビジネスモデルの精緻化を図ると共に、産官連携による水素発電事業成立の環境醸成を推進する。

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆ 実用化・事業化に向けた具体的な取り組み



- ※ ▲ : 要素技術確立、調査、仕様検討、安全検討
 ● : FS、基本設計
 ■ : 実証設備製作、技術実証

ご清聴ありがとうございました

クリーンで持続可能なエネルギーを開拓する

「水素社会構築技術開発事業」 大規模水素エネルギー利用技術開発 有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来 水素サプライチェーン実証」(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合

2020年12月4日

1/56

事業概要

1. 期間

開始 : 2015年7月

終了(予定) : 2021年3月

●実施体制および分担等

NEDO

AHEAD

2. 最終目標

実施項目	最終目標(2020年度)
①水素化プラント	✓ 商業規模プラントにおいても、良好な収率を得つつ長期安定運転を可能とする基盤技術の開発 ✓ 上記検証結果を反映したプラントを設計・施工、実機での性能検証 ✓ 商業プラントに適用する際の課題抽出・対応策検討
②脱水素プラント	✓ 商業規模プラントにおいても、良好な収率を得つつ長期安定運転を可能とする基盤技術の開発 ✓ 上記検証結果を反映したプラントを設計・施工、実機での性能検証 ✓ 商業プラントに適用する際の課題抽出・対応策検討
③サプライチェーン	✓ 水素サプライチェーンの商業運用を可能とする基盤技術の開発 ✓ 構築された水素サプライチェーンの性能検証 ✓ 商業サプライチェーンを設計・構築・運用するためのノウハウ・知見の蓄積

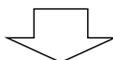
3. 成果・進捗概要

実施項目	成果内容	自己評価 (2020.10末時点)
①	水素化反応器スケールアップ、不純物除去設備仕様の項目について、シミュレーション・実験により商業規模プラントでの設計手法もしくは技術基盤を確立。	△ (2021.3に達成予定)
②	脱水素反応器スケールアップ、負荷追従性、水素純度、触媒商業生産の項目について、シミュレーション・実験により商業規模プラントでの設計手法もしくは技術基盤を確立。	△ (2021.3に達成予定)
③	商用トルエン運転、サプライチェーン検討、発電燃料供給仕様の項目において、シミュレーション・実験により実用性・信頼性を備えたサプライチェーン構築に資する技術基盤を確立。	△ (2021.3に達成予定)

2/56

社会的背景

水素は、クリーンなエネルギーであり、無尽蔵に存在する水や多様な一次エネルギー源から様々な方法で製造することができる。また、様々な形態で輸送・貯蔵が可能であり、利用方法次第では高いエネルギー効率、非常時対応等の効果が期待され、将来の二次エネルギーの中心的役割を担うことが期待される。以上のことから、水素は環境的観点、エネルギーセキュリティの観点からも大いに寄与できると考えられ、大量消費を可能とする大量貯蔵・大量輸送技術が求められている。



事業の目的

水素発電の導入時の水素需要に対応可能な、安定的な大規模水素供給システムの確立を最終ゴールとし、海外の未利用資源から製造した水素を、有機ケミカルハイドライド法により消費地まで輸送するサプライチェーンの実証運用を行う。

⇒商業ベースの大規模水素チェーン構築に備えた技術基盤の確立

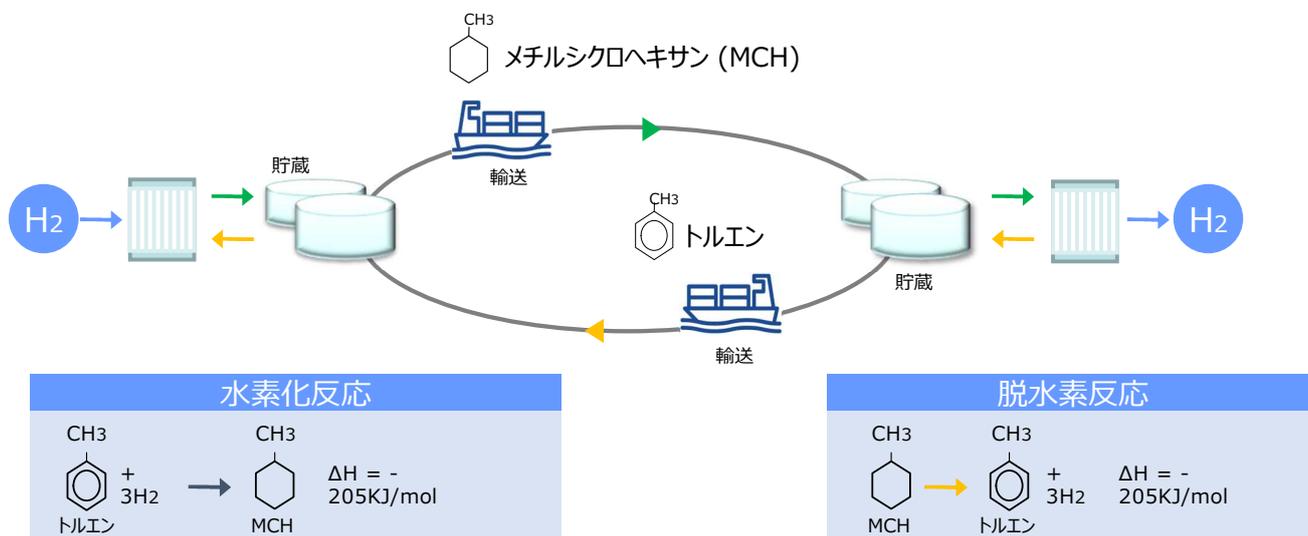
有機ケミカルハイドライド法による水素サプライチェーン構築は

- 水素の長距離大量輸送・長期間貯蔵を可能とし、水素エネルギーの利用拡大への貢献が期待でき、社会的必要性が大きい
- 水素の長距離大量輸送・長期間貯蔵により、エネルギー輸入ソースの多様化が実現、エネルギーセキュリティの向上につながる
- 国境を跨ぐ新しいエネルギーインフラ構築を進めるために、官民の協働が必要不可欠
- 2次エネルギーの長距離・大量輸送という、市場が成立していない事業に向けた技術開発であり 民間単独では開発リスクが大きい
- 石油・石化製品の流通インフラの転用が可能で、わが国の産業ストックの有効活用・高度利用につながる

1. 事業の位置付け・必要性 ～ 参考資料 (有機ケミカルハイドライド法)

水素をトルエンに化学的に結合させ、メチルシクロヘキサン (MCH) を生成し、常温常圧の状態
で輸送・貯蔵

- 水素供給地にてトルエンに水素を化学的に結合 (水素化反応)
 - 水素を需要地にてMCHより取り出し供給 (脱水素反応)
- ⇒ 常温常圧で液体のためハンドリングが容易、また、石油・石化製品の輸送に
使用される既存インフラ(ケミカルタンカー、タンク等)の利用が可能



1. 事業の位置付け・必要性 ～ 参考資料 (実証チェーン概要)

設備能力210トン/年 (燃料電池自動車フル充填 約4万台相当) の水素サプライ
チェーンを2020年3月～12月にわたり実証運用

設備能力	フル稼働時 210 トン/年
チェーン 運用期間	2020年3月 - 12月
水素 供給源	LNGプラントのプロセス発生ガスから 水蒸気改質により水素製造 (ブルネイ・ダルサラーム国)
水素 供給先	火力発電設備の燃料用途等 (川崎臨海部)
輸送方法	ISO タンクコンテナ (定期コンテナ船 / トレーラー輸送)



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

◆研究開発目標と根拠		
研究開発項目	研究開発目標	根拠
① 水素化プラント	<ul style="list-style-type: none"> 商業規模プラントにおいても、良好な収率を得つつ長期安定運転を可能とする基盤技術の開発 上記検証結果を反映したプラントを設計・施工、実機での性能検証 商業プラントに適用する際の課題抽出・対応策検討 個別テーマ例⇒ 商用規模の水素化設備の設計手法の確立 不純物除去設備の設備仕様の明確化等	以下の最終ゴールの実現に向けて、水素サプライチェーン構築に必要な3要素（水素化プラント、脱水素プラント、サプライチェーン）について、それぞれ商業化が可能な技術基盤の確立・検証が必要 最終ゴール 「水素発電の導入時の水素需要に対応可能な、安定的な大規模水素供給システムの確立」
② 脱水素プラント	<ul style="list-style-type: none"> 商業規模プラントにおいても、良好な収率を得つつ長期安定運転を可能とする基盤技術の開発 上記検証結果を反映したプラントを設計・施工、実機での性能検証 商業プラントに適用する際の課題抽出・対応策検討 個別テーマ例⇒ 商用規模の水素化設備の設計手法の確立 需要変動への対応方法の明確化等	
③ サプライチェーン	<ul style="list-style-type: none"> 水素サプライチェーンの商業運用を可能とする基盤技術の開発 構築された水素サプライチェーンの性能検証 商業サプライチェーンを設計・構築・運用するためのノウハウ・知見の蓄積 個別テーマ例⇒ 商用トルエンによるチェーンオペレーションの検討 最適な設備構成を検討する手法の確立等	

7/56

2. 研究開発マネジメントについて（2）研究開発計画の妥当性

◆研究開発のスケジュール						
作業	1期		2期			
	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年
水素化プラント	基盤技術検証	反応器スケールアップ検証 不純物除去設備の仕様検討				
	プラント設計、設計検証		水素化プラント設計・設計検証			
	水素化プラント個別運転検証		機器資材調達	工事	試験計画立案	試験運転
脱水素プラント	基盤技術検証	反応器スケールアップ検証 脱水素触媒の商業規模生産課題抽出 /脱水素プラントの負荷追従性向上 等				
	プラント設計、設計検証		脱水素プラント設計・設計検証			
	脱水素プラント個別運転検証		機器資材調達	工事	試験計画立案	試験運転
サプライチェーン	基盤技術検証	商用トルエンを用いたデモプラント運転検証 発電燃料としての仕様明確化 等	発電燃料としての仕様明確化（追加分）			
	サプライチェーン運用設計			サプライチェーン設計（実証）		
	総合実証運用		トルエン調達、輸送・保管設備手配	試験計画立案		チェーン実証運用
				運転・運用データ分析、成果・知見取り纏め		

8/56

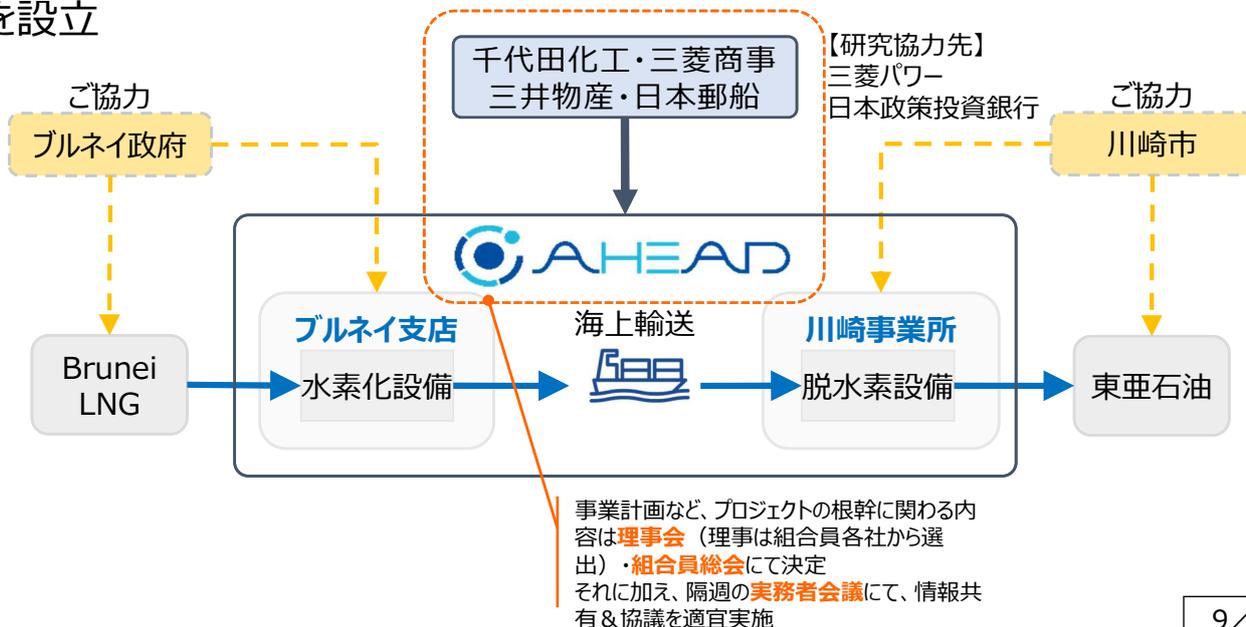
2. 研究開発マネジメントについて (3) 研究開発の実施体制の妥当性

◆ 研究開発の実施体制

2017年8月 千代田化工建設、三菱商事、三井物産、日本郵船にて、
「次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合」

(**AHEAD** : **A**dvanced **H**ydrogen **E**nergy Chain **A**ssociation for Technology **D**evelopment)

を設立



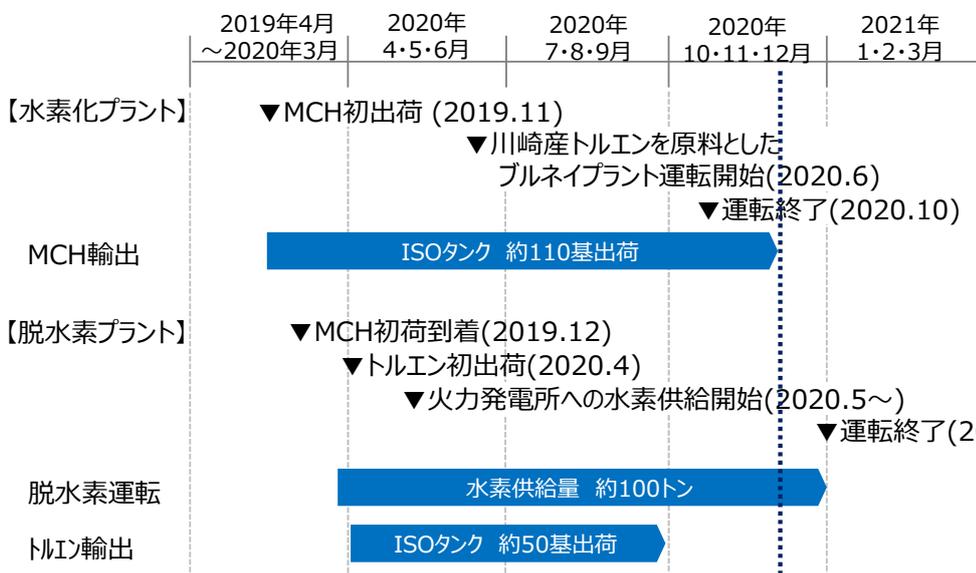
9/56

2. 研究開発マネジメントについて (4) 研究開発の進捗管理の妥当性

◆ 研究開発の進捗管理

水素化プラント : 2019年10月～2020年10月まで水素化運転でMCHを生産

脱水素プラント : 2020年 3月～2020年12月まで脱水素運転し水素ガスを供給



ブルネイ水素化プラント



川崎脱水素プラント

10/56

◆ 知的財産権等に関する戦略

- ✓ 有機ケミカルハイドライド法の基本特許は取得済
- ✓ 本実証事業では、実用化に向けたノウハウの蓄積に注力
- ✓ 上記状況より、実証事業においては知財の取得は一義的な目的とは位置づけていないが、研究を通じて新規性のある知見が得られた場合には適宜知財化をはかる

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆ 研究開発項目毎の目標と達成状況 (1/2)

開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①-1 水素化反応器 スケールアップ	商用規模の水素化設備の設計手法の確立。	①反応器スケールアップの設計手法を確立し、実証設備の反応器設計に反映。 ②実証運転にて2回のターンダウン試験を実施。転化率/選択率に大きな変化はなく目標値以内であることを確認。	○	-
①-2 不純物除去設備の 仕様	大規模水素チェーン向け不純物除去設備の設備仕様の明確化。	①蒸留設計のパラメーターチューニング及び蒸留試験により蒸留設備の設計仕様妥当性を確認。 ②実証運転にて中軽質不純物蓄積挙動を検証中。顕著な蓄積増加は見られない。	△ (2020年度達成予定)	実証運転終了まで蓄積挙動を検証し、トータル増加量が目標値以内であることを確認する。
②-1 脱水素反応器 スケールアップ	商用規模の脱水素設備の設計手法の確立。	①反応器スケールアップの設計手法を確立し、実証設備の反応器設計に反映。 ②Shell側構造改善シミュレーション検討実施中。 ③実証運転にて1回目のターンダウン試験を実施。転化率/選択率に大きな変化はなく目標値以内であることを確認。	△ (2020年度達成予定)	①2回目のターンダウン試験を実施し、転化率/選択率が目標値以内であることを確認する。 ②Shell側構造改善シミュレーション検討を完了し、Shell側構造を最適化する。
②-2 負荷追従性 向上策検討	想定需要要件における負荷変動への対応方法の明確化。	①商業規模設備のダイナミックシミュレーションによりガスホルダー設置の効果を検証。プラント応答性律速要因を特定。 ②実証設備のダイナミックシミュレーションをモデル化中。 ③実証運転での負荷変動（短時間でのターンダウン/アップ）試験の詳細計画策定。	△ (2020年度達成予定)	①実証運転での負荷変動運転を実施。運転データを収集。負荷変動ケースを増やし追従性の比較実施を予定。 ②ダイナミックシミュレーションで負荷変動試験をトレースし、モデルをブラッシュアップする。
②-3 水素純度向上策	想定需要要件において求められる、水素純度への対応方法の明確化。	想定需要へ対応可能であることをラボ試験により確認。	○	-
②-4 触媒商業生産 課題	商業生産設備での触媒製造で所定の性能指標を満たすことの確認。	①商業試作により、小規模製造触媒と概ね同等の性能を持つ大規模触媒製造が可能と確認。 ②実証運転により触媒性能を検証中。小規模製造の触媒概ねと同等。	△ (2020年度達成予定)	実証運転終了まで触媒性能を検証し、転化率が目標値以上であることを確認する。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (2/2)

開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
③-1 商用トルエン運転 検証	商用トルエンで安定的なチェーンオペレーションが可能である事の検証。	①商業規模で調達/使用可能なトルエンを選定し、調達仕様を策定。 ②商用トルエンを使用した実証運転継続中。触媒性能や劣化速度は商用トルエンを使用した子安デモプラント運転結果と概ね同等。	△ (2020年度達成予定)	実証運転終了まで触媒性能や劣化速度を検証し、デモプラント運転に比した転化率/選択率の差が目標値以内であることを確認する。
③-2 サブライチェーン 検討	最適な設備構成を検討する手法の確立。	設備構成が供給安定性に与える影響を定量的に評価する基本的な手法が確立。	○	-
③-3 発電燃料供給 チェーンとしての 設備仕様・オペレ- ーション要件	①ガスタービン燃焼機等へのガム状物質付着の定量評価手法の確立。	①飽和炭化水素の含有量管理値を策定。 製品水素が商業規模発電GTに使用可能であることを確認。	○	-
	②脱水プラントと発電タービンの熱インテグレーション効果試算。	②脱水素反応熱をGTCC発電所のHRSGから供給することで、総合効率の改善の可能性があることが示唆された。	○	-
新規 反応器運転モード の最適化	経済性向上に資する運転方法の試行。	実証運転にて、転化率抑制(転化率一定)の運転を継続中。	△ (2020年度達成予定)	実証運転終了まで転化率抑制運転を実施し、転化率抑制運転が可能であることを実証する。

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、X未達

13/56

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

①-1:水素化反応器スケールアップ検討

成果

実施 内容

✓商業規模多管式反応器での反応器及びプロセス条件の試設計を実施し、この結果をベースとして水素化反応器の流動解析を実施

解析 結果

流動解析結果例 (定格ロード時の触媒管体積流量偏差)

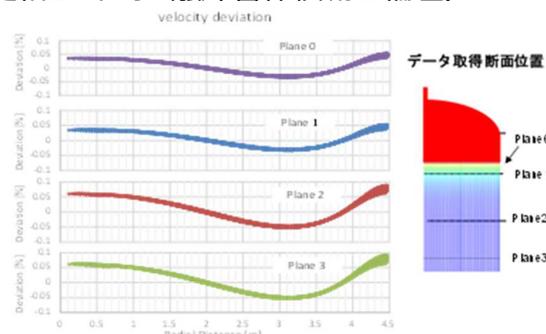


図2 定格ロード時の触媒管水平断面体積流量偏差

ケーススタディの主要な結果

定格ロード時及び低ロード(40%)共に、全触媒管領域での製品体積流量偏差が規定値(±5%)以内に収まることが確認できた。

成果

触媒管で顕著な偏流が生じないことが確認され、現状の水素化反応器スケールアップ手法が妥当であることが確認された。

この手法で子安デモプラント反応器から実証設備の反応器設計にスケールアップすると共に、商業規模水素化反応器へのスケールアップが可能となった。

14/56

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

①-1:水素化反応器スケールアップ検討

今後の課題

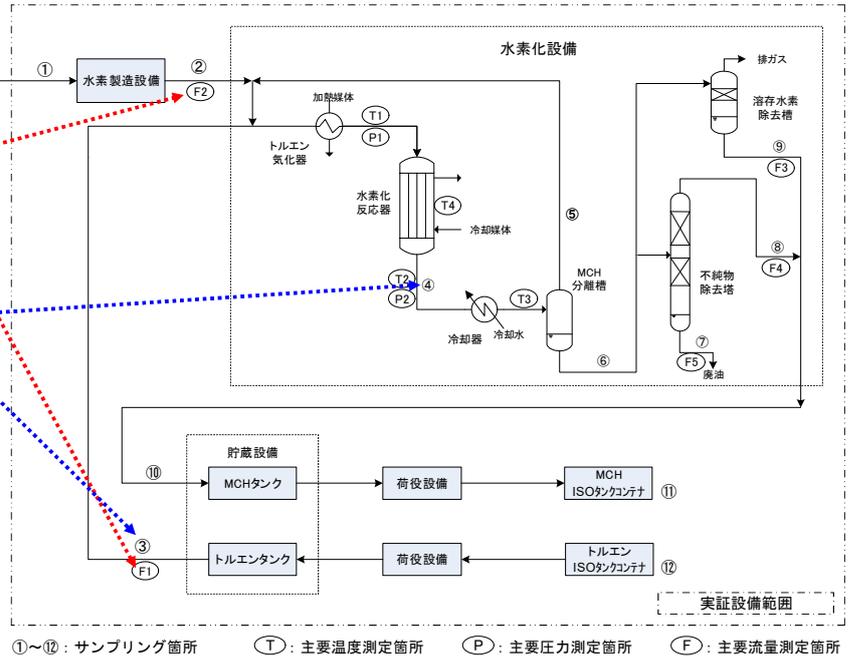
課題 Tube側偏流について、ターンダウン時性能低下有無の検証

実施内容

原料水素流量(F2)及び原料トルエン流量(F1)をターンダウン時の流量に調整。

ターンダウン運転時に水素化反応器入出の流体をサンプリング(サンプリング箇所③④)し、トルエン/MCH濃度を分析

計測・分析結果より水素化反応の転化率/選択率を算出し、実証定格運転時の転化率/選択率と比較。ターンダウン時でも反応器性能が低下しないことを確認。



期待される成果 ターンダウン運転での、水素化反応のトルエン転化率・MCH選択率を確認することにより、Tube側流体の偏流発生及び性能低下有無を検証。ターンダウン時でも性能が低下しないことを実証する。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

①-1:水素化反応器スケールアップ検討

成果

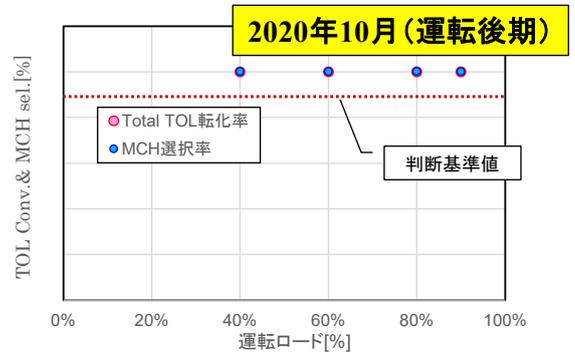
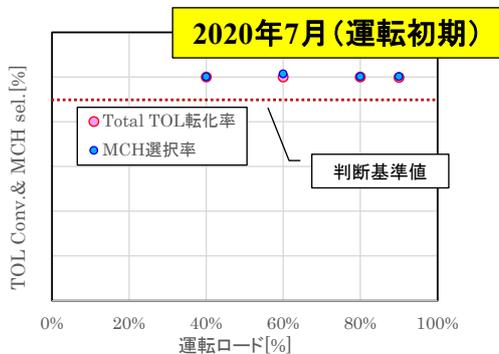
運転データ収集途中経過

実施内容

✓Tube側偏流について、ターンダウン時性能低下有無を検証するために、原料水素流量及び原料トルエン流量をターンダウン時の流量に調整し、水素化反応器入出の流体をサンプリングし、トルエン/MCH濃度を分析

ターンダウン運転結果 (測定負荷 40%、60%、80%)

試験結果



判断基準

ターンダウン運転前後の定格運転時に比べ、転化率/選択性に大きな変化は生じないこと。
 ターンダウン時の性能低下限度目標値：運転前後の定格運転時に比して、転化率/選択率の低下が一定以内 (各ロード整定後に前項のサンプリング箇所から採取した液の分析結果より算出)

成果

運転ロードによらず、転化率、選択率の基準以上の低下は見られないことから、ターンダウン時の性能維持を確認。商業規模への水素化反応器スケールアップの妥当性を確認し、設計手法を確立。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

①-2:不純物除去設備の仕様検討

成果

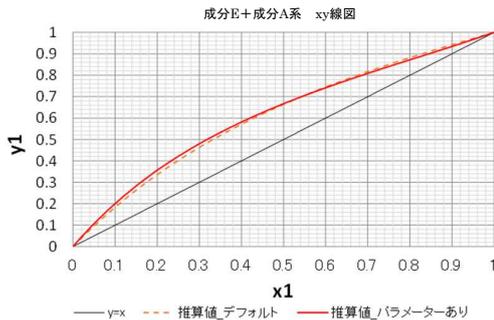
実施内容

- ✓ 蒸留設備設計に影響を与える不純物を特定し、必要な2成分系気液平衡データをラボスケール測定器により測定し、蒸留設計に使用するプロセスシミュレーターの気液平衡推算パラメータをチューニング
- ✓ 技術実証プラントの不純物含有トルエンを用い、商業装置での蒸留設備を模擬した試験を実施。この試験結果を上述のパラメータチューニングを実施したシミュレーターにより解析検証

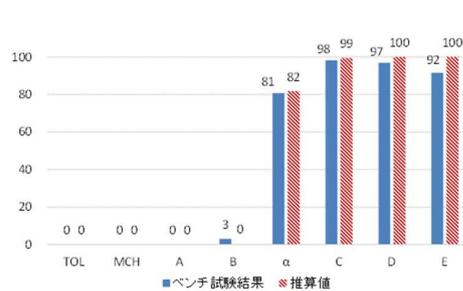
試験/解析結果

- ✓ パラメータチューニング前後（推算パラメータ/気液平衡シミュレーション結果）は図1
- ✓ 蒸留試験結果とパラメータチューニング後のシミュレーション結果との比較例は図2

シミュレーション結果との比較例 (パラメータチューニング前後)



蒸留試験結果とシミュレーション結果比較例



成果

- ✓ パラメータチューニング及び蒸留試験から、蒸留設備の設計手法の精度を向上出来たと共に、現状の蒸留設備の設計仕様が妥当であることが確認され、商用規模での蒸留設計が可能となった。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

①-2:不純物除去設備の仕様検討

今後の課題

課題

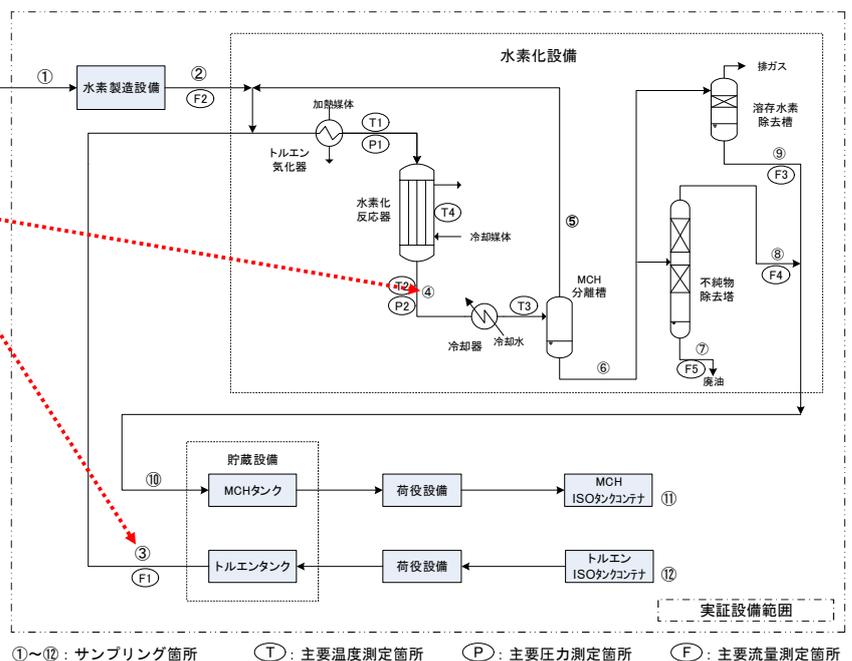
実証運転時のトルエン・MCH中軽質不純物蓄積挙動の検証

実施内容

【水素化プラント】
水素化反応器にフィードするトルエン及び生成MCHをサンプリング（水素化プラントサンプリング箇所③④）し組成を分析、水素化反応による不純物（反応で副生する芳香族/環状炭化水素/触媒劣化に影響する成分/許容濃度を従来のラボ試験で特定済み）生成量を算出。

脱水素プラントにおいても、フィードMCH及び生成トルエンのサンプリング・分析を実施。

軽質不純物蓄積傾向について、運転期間中の変動を確認。



期待される成果

運転期間中のトルエンおよびMCH中の軽質不純物の蓄積速度の変化が得られ、商業設備の軽質不純物除去設備設計及び運転条件に反映できる。これにより設備性能担保のために過剰な設計余裕を取る必要が無くなり、設備コスト、運転コストの最適化が期待できる。

①-2:不純物除去設備の仕様検討

成果

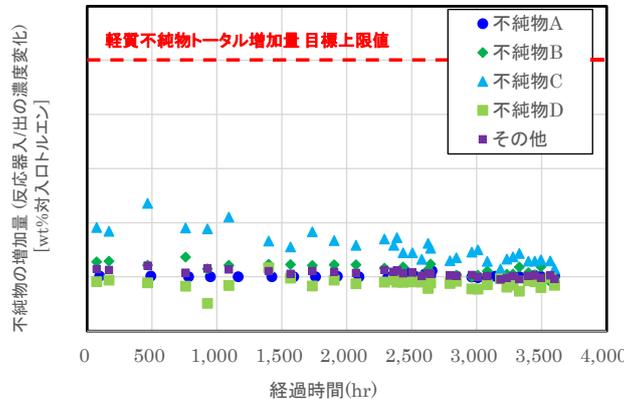
運転データ収集途中経過

実施内容

✓ 実証運転時のトルエン・MCH中軽質不純物蓄積挙動の検証として、水素化反応器にフィードするトルエン及び生成MCHをサンプリングし組成を分析、水素化反応による不純物（反応で副生する芳香族/環状炭化水素。触媒劣化に影響する成分/許容濃度を従来のラボ試験で特定済み）生成量を算出。

試験結果

✓ 不純物の生成量算出結果
(川崎側のトルエン/MCH中の不純物量と比較し、分析結果の妥当性は定量的に確認済み)



判断基準

不純物生成速度限度目標値：水素化反応器を一回通過した際の軽質不純物トータル増加量が目標上限値*以内

(*商用トルエン実証運転終了時、約1500時間での軽質不純物のトータル増加量を基準に決定)

成果

✓ 軽質不純物トータル増加量が目標上限値以内を確認。
✓ 運転期間中のトルエンおよびMCH中の軽質不純物の蓄積速度の変化が得られ、これを商業設備の軽質不純物除去設備設計及び運転条件に反映できる。これにより設備性能担保のために過剰な設計余裕を取る必要が無くなり、設備コスト、運転コストの最適化が期待できる

19/56

②-1:脱水素反応器スケールアップ検討

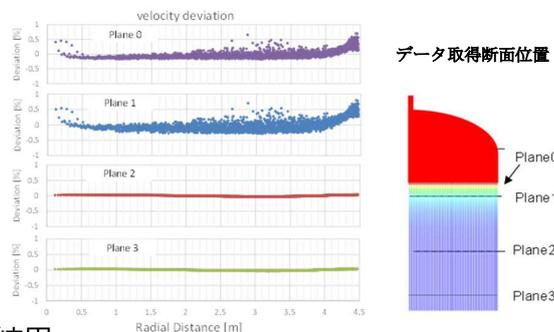
成果

実施内容

✓ 商業規模多管式反応器での反応器及びプロセス条件の試設計を実施し、この結果をベースとして脱水素反応器の流動解析を実施

解析結果

流動解析結果例（定格ロード時の触媒管体積流量偏差）



ケーススタディの主要な結果

定格ロード時及び低ロード（40%）共に、全触媒管領域での製品体積流量偏差が規定値以内に収まることが確認できた。

成果

触媒管で顕著な偏流が生じないことが確認され、現状の脱水素反応器スケールアップ手法が妥当であることが確認された。

この手法で子安デモプラント反応器から実証設備の反応器設計にスケールアップすると共に、商業規模脱水素反応器へのスケールアップが可能となった。

20/56

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-1:脱水素反応器スケールアップ検討

今後の課題

課題

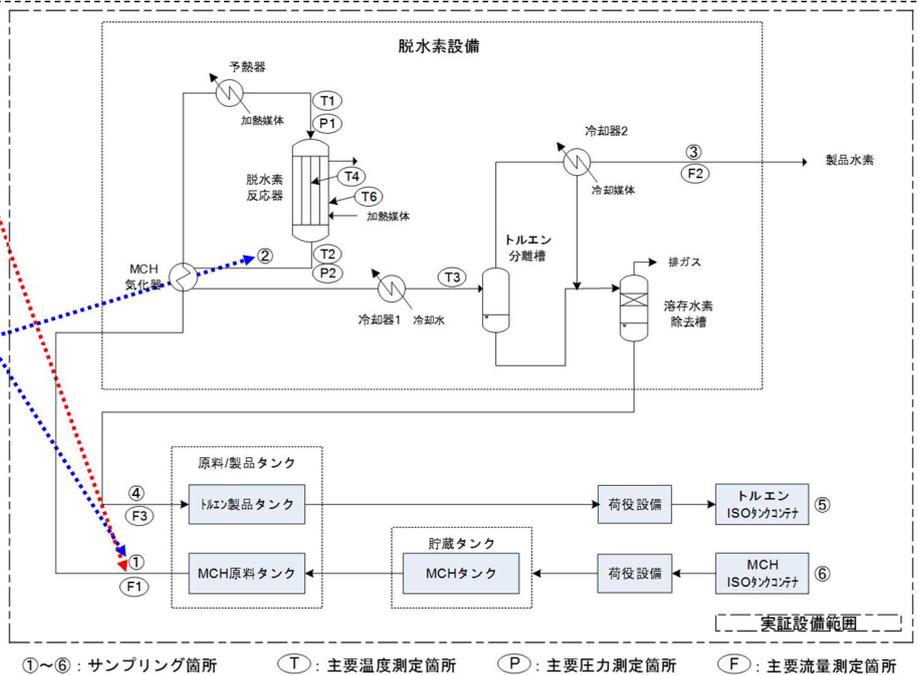
Tube側偏流について、ターンダウン時性能低下有無の検証

実施内容

原料MCH流量(F1)をターンダウン時の流量に調整

ターンダウン運転時の脱水素反応器入出の流体をサンプリング(サンプリング箇所①②)し、トルエン/MCH濃度を分析

計測・分析結果より水素化反応の転化率/選択率を算出し、実証定格運転時の転化率/選択率と比較。ターンダウン時でも反応器性能が低下しないことを確認。



期待される成果

ターンダウン運転での、脱水素反応のMCH転化率・トルエン選択率を確認することにより、Tube側流体の偏流発生及び性能低下有無を検証。ターンダウン時でも性能が低下しないことを実証する。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-1:脱水素反応器スケールアップ検討

成果

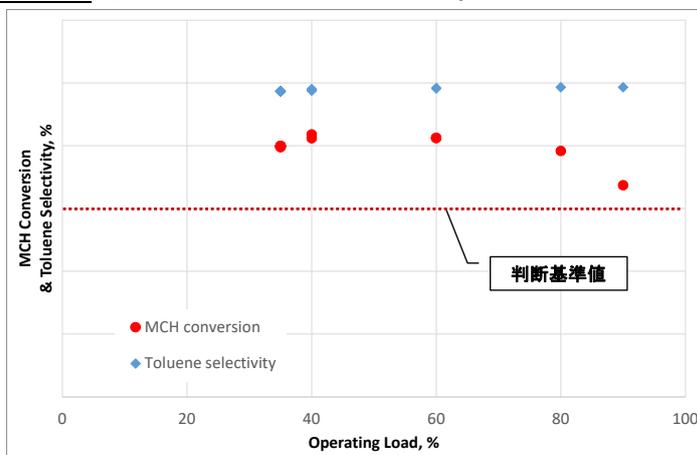
運転データ収集途中経過

実施内容

✓Tube側偏流について、ターンダウン時性能低下有無の検証するために、ターンダウン運転時の脱水素反応器入出の流体をサンプリングし、トルエン/MCH濃度を分析

試験結果

ターンダウン運転結果 (35%、40%、50%、80%)



判断基準

ターンダウン運転前後の定格運転時に比べ、転化率/選択性に大きな変化は生じないこと。
 ターンダウン時の性能低下限度目標値：運転前後の定格運転時に比して、転化率/選択率の低下が一定以内 (各ロード整定後に前項のサンプリング箇所から採取した液の分析結果より算出)

成果

運転ロードによらず、転化率、選択率の基準以上の低下は見られないことから、ターンダウン時の性能維持を確認。商業規模への脱水素反応器スケールアップの妥当性を確認し、設計手法を確立。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-2: 負荷追従性向上策検討

成果

実施内容

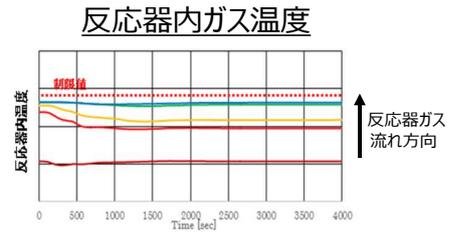
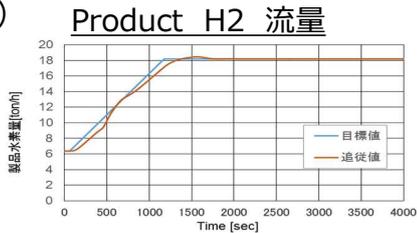
以下の条件にて脱水素設備を試設計し、これをモデル化したダイナミックシミュレーションを実施。脱水素プラントの負荷追従性、これを向上するための設備構成や制御システムについて検討した。
 ✓水素需要としてガスタービン発電を想定し、脱水素設備目標負荷追従速度を3.5%/minと設定
 ✓水素専焼発電を想定し、脱水素設備規模を20万Nm³/h（最大規模反応器2系列）と想定

解析結果

一連のケーススタディの主要な結果

- i. 脱水素設備出口にバッファとなる水素ガスホルダーを設置することにより、目標とした負荷追従性を確保出来る。
- ii. 脱水素設備の内、脱水素反応器を加熱するための熱媒加熱炉の負荷追従性向上により、ガスホルダー容積を大幅に低減することが可能となることを確認

シミュレーション結果例（ロードアップ、加熱炉が目標とした負荷追従性を持ちガスホルダー無しとした場合）



成果

✓水素ガスホルダーを設けることにより、ガスタービン発電の要求負荷変動に追従出来ることを確認
 ✓熱媒加熱炉の負荷追従性向上することにより、必要な水素ガスホルダー容積を大幅に低減することが可能となることを確認

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-2: 負荷追従性向上策検討

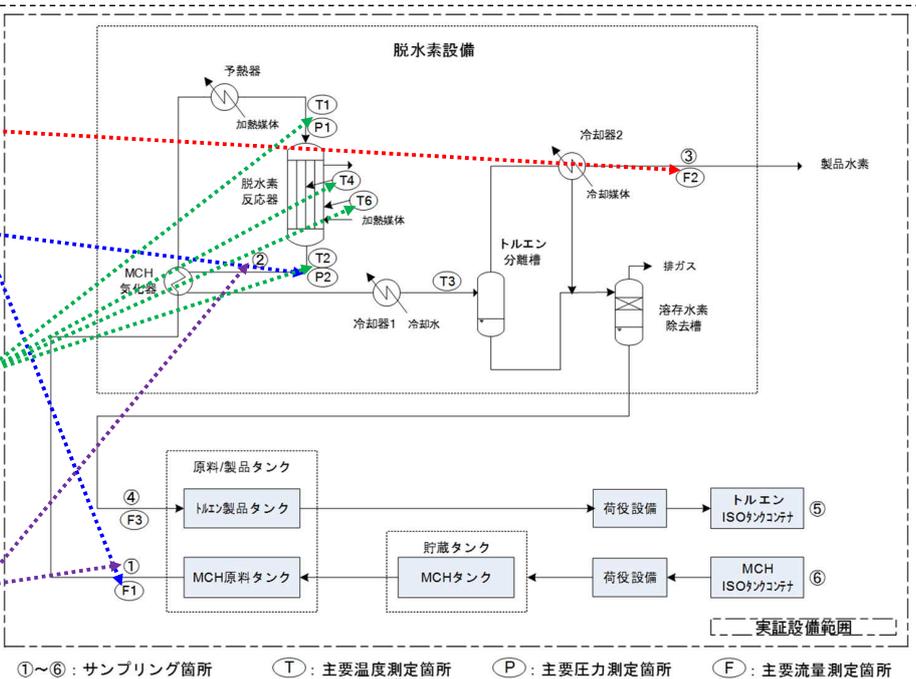
今後の課題

課題

負荷変動（短時間でのターンダウン/ターンアップ）運転の実施、運転データ収集

実施内容

- 製品水素ラインの調節弁の開度を増減し、水素需要量の変動を模擬。
- 反応器出口圧力(P2)の変動を検知し、フィードMCH量(F1)を自動調整。
- 負荷変動時の反応器入口温度・圧力(T1,P1)、反応器出口温度・圧力(T2,P2)、触媒管温度分布(T4)、熱媒温度(T6)の経時変化を測定し、適正範囲内であることを確認。
- 脱水素反応器入出の流体をサンプリング(サンプリング箇所①②)して組成を分析する。脱水素反応のMCH転化率及びトルエン選択率を算出し、定格運転時のデータと比較し負荷変動操作が脱水素反応へ与える影響の有無を確認する。



期待される成果

実証設備での負荷変動追従性の結果を、商業設備の負荷変動に関する制御設備設計に反映できる。これにより負荷変動追従性の更なる向上が期待できる。

②-2: 負荷追従性向上策検討

成果

実施内容

負荷変動（短時間でのターンダウン／ターンアップ）運転の実施、運転データ収集
 製品水素ラインの調節弁の開度を増減し、水素需要量の変動を模擬。負荷変動時の反応器入口温度・圧力、
 反応器出口温度・圧力、触媒管温度分布、熱媒温度の経時変化を測定し、適正範囲内であることを確認。
 負荷変動時の反応器入口温度・圧力、反応器出口温度・圧力、触媒管温度分布、熱媒温度の経時変化を測定し、
 適正範囲内であることを確認。

試験結果

負荷変動試験結果

負荷変動試験の条件や操作手順を検討し、詳細な試験計画を策定した。
 これに基づき負荷変動試験を実施し、取得データを整理、分析中。

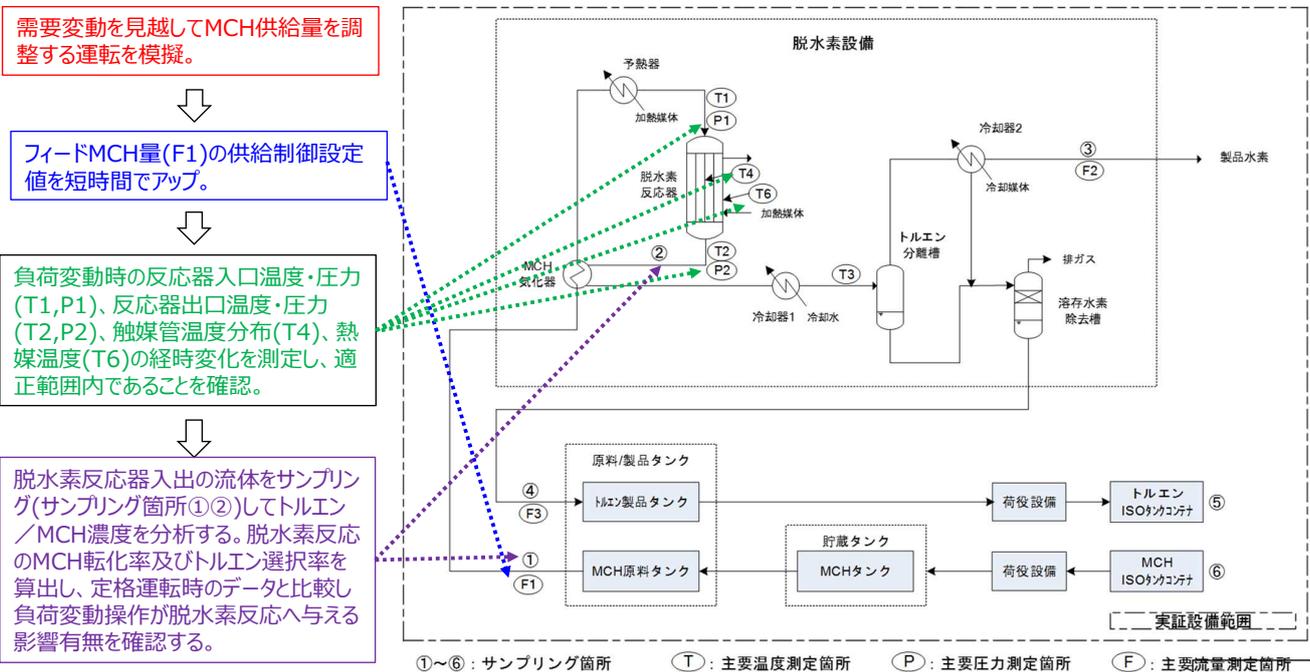
成果

✓期待される成果

負荷変動の試験ケース毎の追従性の結果が得られ、商業設備の負荷変動に関する制御設備設計に反映。これにより負荷変動追従性の更なる向上が期待できる。

②-2: 負荷追従性向上策検討

オンタイムの需要側要求の変動を検知したMCH供給量制御方式よりも、需要変動を予め見越したMCH供給量制御方式の方が有利ではないか。この方式での負荷追従試験を実施し、商業運転時の運転ケースの多様化を図りたい。



①～⑥：サンプリング箇所 (T)：主要温度測定箇所 (P)：主要圧力測定箇所 (F)：主要流量測定箇所

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-2:負荷追従性向上策検討

今後の課題

課題

負荷変動（短時間でのターンダウン／ターンアップ）運転の実施、運転データ収集

試験結果の反映

負荷追従速度3.5%/minを目標とし、製品水素ライン調整弁の開度増減速度を変えて試験を実施し、各部温度／圧力／流量の変動幅、収束速度のデータを取得する。これにより負荷追従の律速となる制御箇所を特定する。



実証設備ベースのダイナミックシミュレーションモデルを構築し、シミュレーションを実施して上記実測データと比較し、シミュレーションモデルをブラッシュアップする。



シミュレーションモデルを商業設備規模にスケールアップし、ダイナミックシミュレーションのケーススタディを実施する。これにより、必要な水素ガスホルダーの容積を低減し得るプロセス制御系の最適化を検討する。

27 / 56

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-2:負荷追従性向上策検討

成果

実施内容

負荷変動（短時間でのターンダウン／ターンアップ）運転の実施、運転データ収集
需要変動を見越してMCH供給量を調整する運転を模擬。フィードMCH量(F1)の供給制御設定値を短時間でアップ。負荷変動時の反応器入口温度・圧力、反応器出口温度・圧力、触媒管温度分布、熱媒温度の経時変化を測定し、適正範囲内であることを確認。

試験結果

負荷変動試験結果

実証設備のダイナミックシミュレーションのモデルを作成中。
負荷変動試験終了後、この試験をトレースシミュレーションし、実測値と比較することでシミュレーションモデルをブラッシュアップし、以降のダイナミックシミュレーション ケーススタディに供する。
取得データを整理、分析中。

成果

✓期待される成果
負荷変動の試験ケース毎の追従性の結果が得られ、商業設備の負荷変動に関する制御設備設計に反映。これにより負荷変動追従性の更なる向上、運転ケースの多様化が期待できる。

28 / 56

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-3:製品水素純度向上策

成果

実施内容

メチルシクロヘキサンの脱水素により製造された粗水素を供給先が要求する水素仕様（グレード B～E）に合わせて精製する必要がある。本粗水素を対象とした精製技術の調査、及び試験設備を用いた検証を実施した。

調査結果
／
検証結果

膜分離法および吸着分離法を対象として調査を実施した。吸着分離法については、ラボスケールにて PSA（Pressure Swing Adsorption）の実験を行い確認した。

PSA 3塔式連続試験

- ・模擬ガス (H₂/CH₄/TOL)供給テスト
CH₄ 1200ppm→ 0.1ppm以下
TOL 8000ppm→ 0.1ppm以下
- ・模擬ガス (H₂/H₂S)供給テスト
H₂S 100ppb→0.1ppb以下

ISO14687-2の規格値をクリア

		ISO 14687-1(1999)		ISO 14987-2(2012)		ISO 14687-3FDIS(2013)		
		Type I		Type I		Grade E		
		Grade A 内燃機関、 輸送用、住 宅用	Grade B 発電等工業 用燃料	Grade C 宇宙、航空 機用地上支 援	Grade D FCV用	定置用燃料電池		
					Category 1	Category 2	Category 3	
H ₂	%	98.0	99.90	99.995	99.97	50	50	99.9
Para-H ₂	%	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Total non-hydrogen gases	μ mol/mol	NC	NC	50	300	50%	50%	0.1%
H ₂ O	μ mol/mol		b	b	5	NC	NC	NC
T-hydrocarbons (Methane basis)	μ mol/mol	100		b	2(g)	10(h)	2(i)	2(j)
O ₂	μ mol/mol	a	100	b	5	200	200	50
He	μ mol/mol	a		39	300	50%	50%	0.1%
N ₂ +Ar	μ mol/mol	a	400	b	100			
CO ₂	μ mol/mol			d	2	Included in total non-hydrogen gases		2
CO	μ mol/mol	1		d	0.2	10	10	0.2
Total sulfur compounds (H ₂ S basis)	μ mol/mol	2	10		0.004	0.004	0.004	0.004
HCHO	μ mol/mol				0.01	3	0.01	0.01
HCOOH	μ mol/mol				0.2	10	0.2	0.2
NH ₃	μ mol/mol				0.1	0.1	0.1	0.1
Total halogenated compounds	μ mol/mol				0.05	0.05	0.05	0.05
Hg	μ mol/mol		0.004					
Maximum particulates concentration	mg/kg	f	e	e	1	1	1	1

成果

✓脱水素設備から製造した水素は、冷却分離によりトルエン等を除去し、水素純度を99.9%以上とすることが出来ることから、水素発電用燃料（グレードB）に用いることが可能であることを確認。
 ✓PSAにて、水素中の不純物を除去し、グレードD、及びグレードEに規定されている値をクリアすることが出来ることから、FCV用、および定置用燃料電池に用いることができることを確認。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-4:触媒商業生産課題検討

成果

実施内容

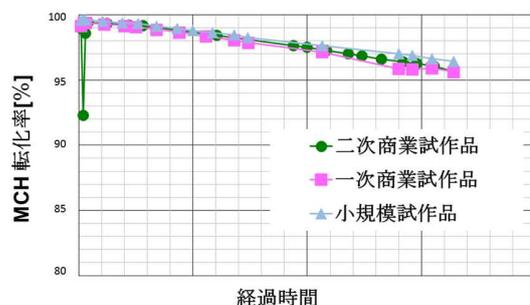
✓小規模設備で製造され脱水素触媒と同様の製造レシピ／仕様にて、商業規模生産設備を用いた数百kg／ロット規模での触媒試験製造を実施。（＝一次商業試作）
 ✓一次試作の評価結果に基づいて、商業規模生産において触媒性能に影響する要因を抽出検証、反映した新たな製造レシピに基づく二次商業試作を実施。

評価結果

試作評価の主要な結果

- 一次試作の触媒は初期活性が若干低い傾向を示したものの、長期的な活性及び性能安定性はほぼ同等。
- 初期活性低下の原因を検証し、二次試作向けに触媒担持調整レシピ、及び設備の仕様の一部を更新した。
- 二次試作の結果、小規模設備での性能と同等の能力を持つことが確認できた。

試作触媒の性能評価結果例



成果

✓試作用小規模設備製造での触媒と概ね同等の性能を持つ大規模触媒製造が可能であることを確認。

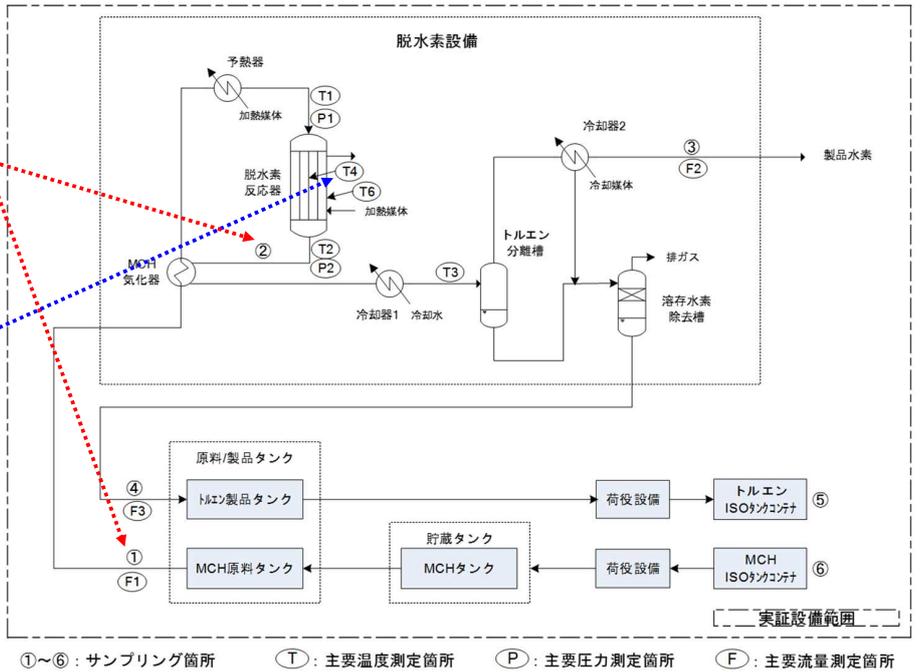
②-4:触媒商業生産課題検討

今後の課題

課題 商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用した脱水素設備の運転の実施、運転データ収集

実施内容

- 脱水素反応器入出の流体をサンプリング(サンプリング箇所①②)して組成(トルエン、MCH、反応副生芳香族/環状炭化水素濃度)を分析
- 触媒管の温度分布(温度測定箇所T4)の経時変化を測定し、脱水素触媒の劣化傾向を把握(従来のデモプラント運転により、触媒管温度分布変化と触媒劣化の相関を把握済み)
- 脱水素反応の転化率/選択率、不純物濃度の経時変化を算出し、触媒性能や劣化速度が小規模試作の触媒と同等であることを確認。



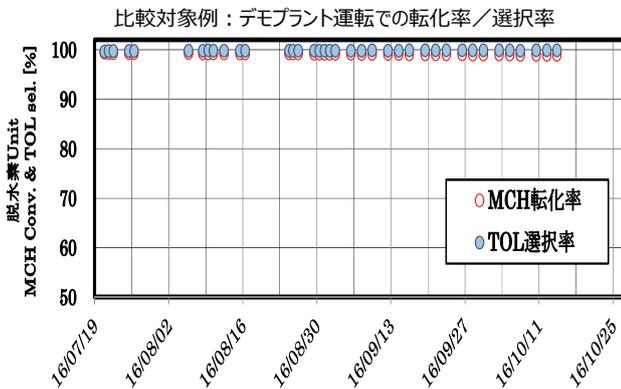
期待される成果 商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用して、所定の触媒性能が得られることを検証。

②-4:触媒商業生産課題検討

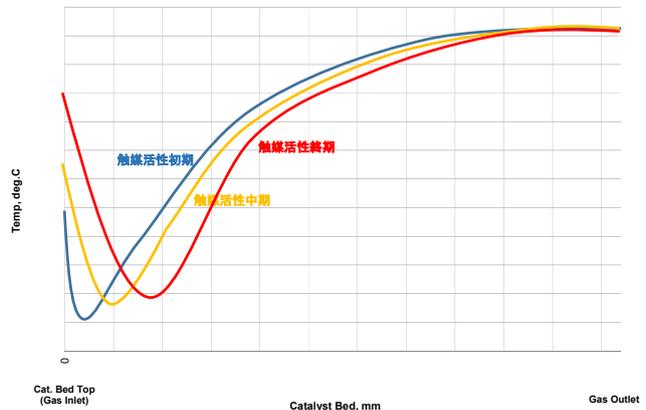
今後の課題

課題 商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用した脱水素設備の運転の実施、運転データ収集

試験結果判断基準: 触媒性能や劣化速度が小規模試作の触媒を使用したデモプラント運転と同等であること。
触媒性能目標: 運転期間を通じて転化率が目標値以上であること



比較対象例: 触媒管温度分布(触媒劣化の指標)イメージ図
デモプラント運転結果と傾向を比較



試験結果の反映 結果 良 : 現状の触媒製造レシピ/調達仕様を商業規模反応器に適用
否 : 原因検討の上、触媒製造レシピ/調達仕様を見直し

②-4:触媒商業生産課題検討 (1/2)

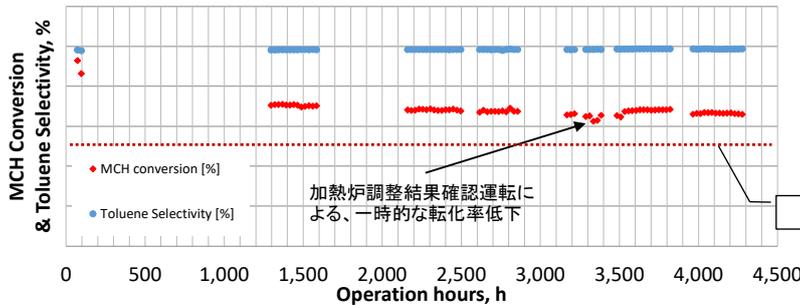
成果

実施内容

- ✓ 商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用した脱水素設備の運転の実施、運転データ収集
- ✓ 脱水素反応器入出の流体をサンプリングして組成（トルエン、MCH、反応副生芳香族／環状炭化水素濃度）を分析

試験結果

90%~100%ロードにおける転化率とトルエン選択率



・4,200h以上の運転期間において、転化率は、目標値以上を維持できている。

試験結果

判断基準

触媒性能や劣化速度が小規模試作の触媒を使用したデモプラント運転と同等であること。
 触媒性能目標：運転期間を通じて転化率が目標値以上であること。
 (各ロード整定後に前項のサンプリング個所から採取した液の分析結果より算出)

成果

運転開始以降、転化率と選択率が目標値以上を維持していることから、商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用して、所定の触媒性能が得られることが検証できた。

②-4:触媒商業生産課題検討 (2/2)

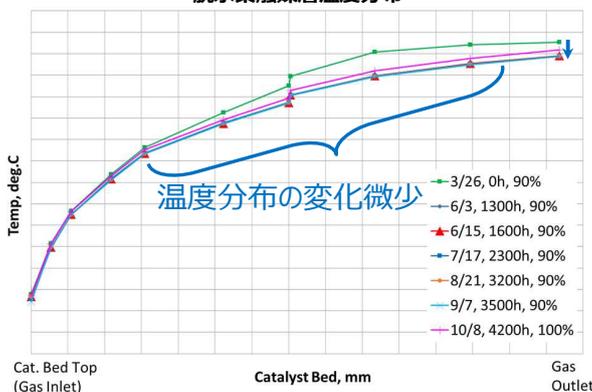
成果

実施内容

- ✓ 商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用した脱水素設備の運転の実施、運転データ収集
- ✓ 触媒管の温度分布の経時変化を測定し、脱水素触媒の劣化傾向を把握（従来のデモプラント運転により、触媒管温度分布変化と触媒劣化の相関を把握済み）

試験結果

脱水素触媒層温度分布



反応温度の調整による転化率管理にて、触媒劣化を抑制しながら、目標値以上のMCH転化率を維持する事が出来た

【反応温度管理】

- ・低ロード運転時は、90%ロード運転時の温度分布に合わせる。
- ・目標MCH転化率を目安に、反応温度を調整する。

・触媒層温度分布の大きな変化（触媒性能の変化）は見られていない。

試験結果

判断基準

触媒性能や劣化速度が小規模試作の触媒を使用したデモプラント運転と同等であること。
 触媒性能目標：運転期間を通じて転化率が目標値以上であること。

成果

運転開始以降、転化率と選択率が目標値以上を維持していることから、商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用して、所定の触媒性能が得られることが検証できた。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-1:商用トルエン運転検証

成果

実施内容

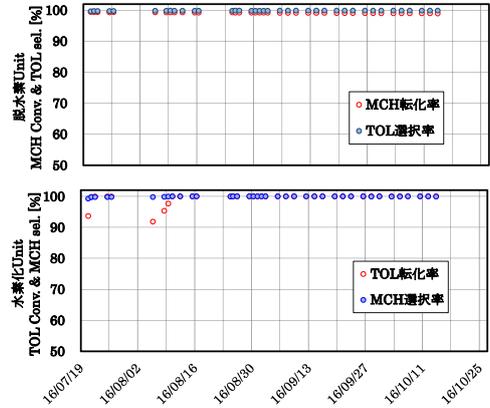
✓国内外のトルエン供給社より6種のサンプルを調達し、ラボ反応試験によるスクリーニング評価を実施
 ✓試験結果及び供給能力を考慮した上で実証チェーンにて使用するトルエンを選定し、千代田化工建設子安デモプラントにて運転検証

評価結果

スクリーニング結果

供給元	起源	生産能力 (万t/年)	サンプル純度 (wt%)	スクリーニング結果		評価
				水素化	脱水素	
A社	COLO	< 5	99.99	○	○	2013年子安デモ実証済み、供給純度サンプルが極めて低い
B社	Reformate	< 5	91.1	X	X	特定物質不純物濃度が高く、不適合
C社 (a工場)	Pygas	5 ~ 10	99.96	○	○	供給純度サンプルが低い
C社 (b工場)	Reformate	> 20	99.96	○	○	第一期検証・子安デモ機での実証に導入予定
D社 (海外)	Reformate & Pygas	> 20	99.98	X	X	サンプルリク方法に起因する特定物質の10%により不適合、再調達・再評価が必要
E社	Reformate	> 20	98.2	X	X	特定物質不純物濃度が高く、不適合

千代田化工子安デモプラント検証運転結果



一連のケーススタディの主要な結果

- i. 反応試験結果及び供給能力の観点から、国内C社B製造所のトルエンを選定
- ii. 不適合サンプルの含有成分の詳細分析や検証試験を実施して不適合要因を定量的に検証。これまでの知見にこの結果を反映して商用トルエンの仕様を策定

成果

✓一連の検証にて、商業規模で調達/使用可能なトルエンを選定することが出来、調達仕様を策定出来た。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-1:商用トルエン運転検証

今後の課題

課題

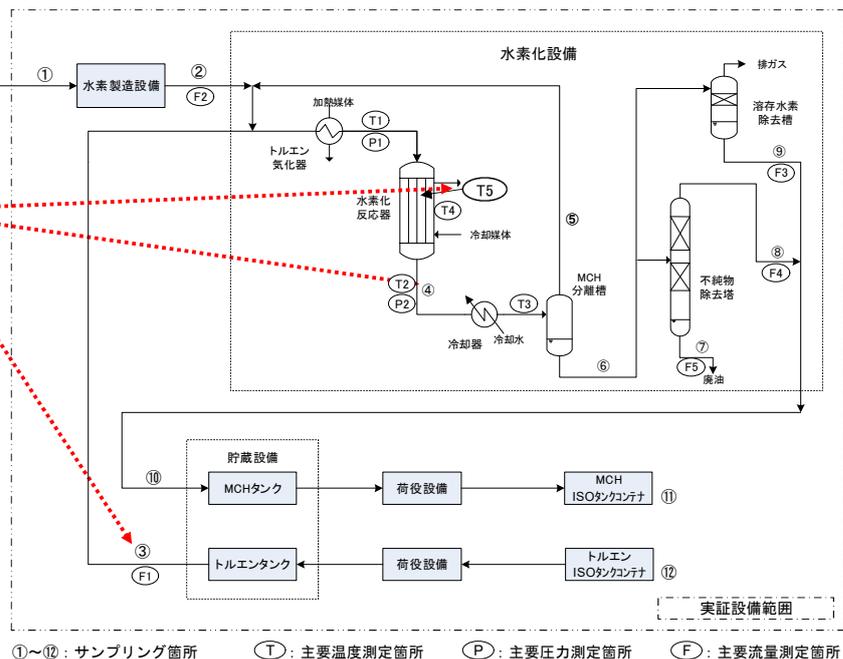
スペック適合品の大規模購入トルエンでの実証運転実施と性能の検証

実施内容

【水素化プラント】
 水素化反応器入出の流体をサンプリング (水素化プラントサンプリング箇所③④) し組成 (トルエン、MCH、反応副生芳香族/環状炭化水素濃度) を分析。触媒管の温度分布 (温度測定箇所T5)の経時変化を測定。

脱水素プラントにおいても、フィードMCH及び生成トルエンのサンプリング・分析、触媒管温度分布測定を実施。

上記により水素化/脱水素反応の転化率/選択率、不純物濃度の経時変化を算出し、触媒性能や劣化速度が商用トルエンを使用したデモプラント運転と同等であることを確認。



①~⑩: サンプリング箇所 (T): 主要温度測定箇所 (P): 主要圧力測定箇所 (F): 主要流量測定箇所

期待される成果

実証チェーン運転に商用トルエンを使用し、取得した運転データにより、チェーンとして所定の性能が得られることを検証

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-1:商用トルエン運転検証

今後の課題

課題

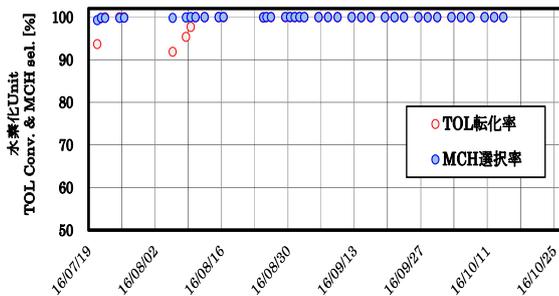
スペック適合品の大規模購入トルエンでの実証運転実施と性能の検証

試験結果判断基準:

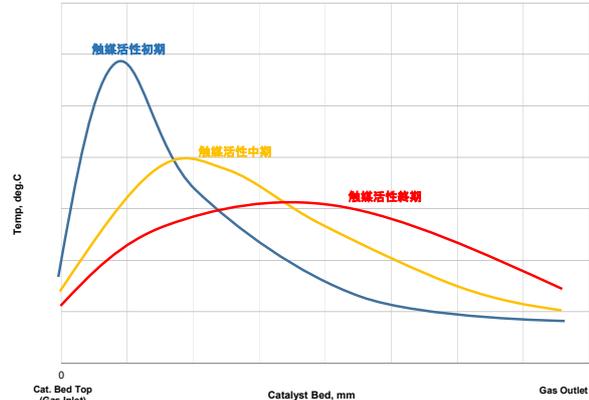
触媒性能や劣化速度が商用トルエンを使用したデモプラント運転と同等であること。

触媒性能目標: 商用トルエンを使用したデモプラント運転に比した転化率/選択率の差が目標値以内

比較対象例: デモプラント運転での転化率/選択率



比較対象例: 触媒管温度分布 (触媒劣化の指標) イメージ図
デモプラント運転結果と傾向を比較



試験結果の反映

結果 良 : 現状のトルエン調達仕様を商業規模設備に適用
否 : 原因検討の上、トルエン調達仕様の見直し、調達トルエン含有不純物除去の検討

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-1:商用トルエン運転検証 (1/2)

成果

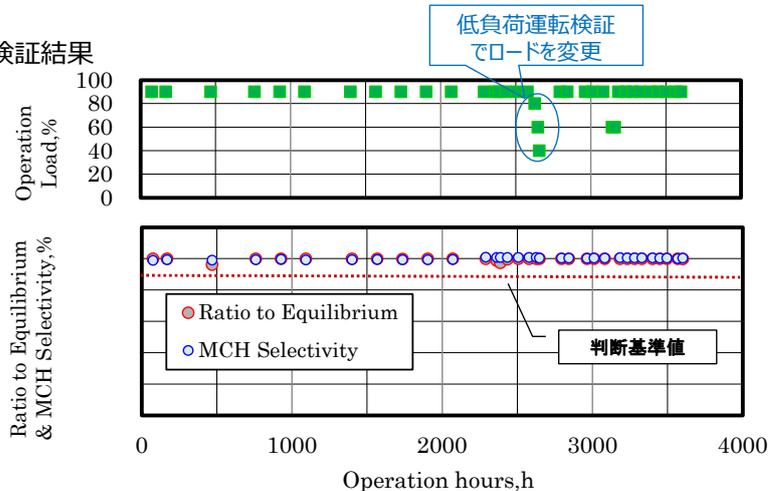
運転データ収集途中経過

実施内容

スペック適合品の大規模購入トルエンでの実証運転実施と性能の検証として、水素化反応器入出の流体をサンプリングし、組成 (トルエン、MCH、反応副生芳香族/環状炭化水素濃度) を分析。

試験結果

✓ 反応器性能の検証結果



判断基準

触媒性能や劣化速度が商用トルエンを使用したデモプラント運転と同等であること。
✓ 触媒性能目標: 商用トルエンを使用したデモプラント運転に比した転化率/選択率の差が一定以内 (各ロード整定後に前項のサンプリング箇所から採取した液の分析結果より算出)

成果

✓ 運転開始以降、転化率、選択率が目標値以上を維持している。
✓ 実証チェーン運転に商用トルエンを使用し、取得した運転データにより、チェーンとして所定の性能が得られることが検証できた。

③-1:商用トルエン運転検証 (2/2)

成果

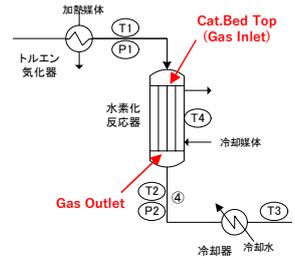
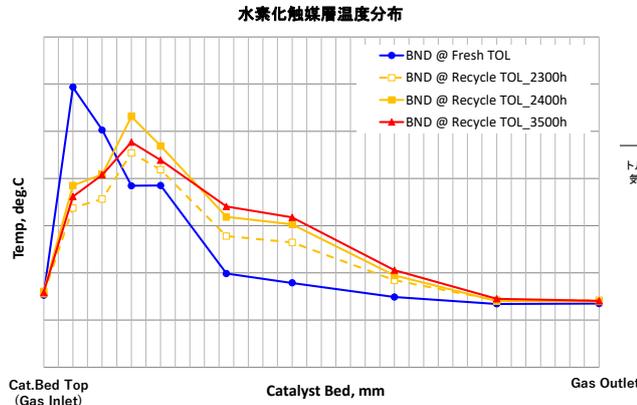
運転データ収集途中経過

実施内容

スペック適合品の大規模購入トルエンでの実証運転実施と性能の検証として、触媒管の温度分布の経時変化を測定。

試験結果

✓ 反応器触媒管の温度分布の経時変化測定結果



判断基準

触媒性能や劣化速度が商用トルエンを使用したデモプラント運転と同等であること。

成果

- ✓ 運転初期から運転中期にかけて想定通り触媒層温度ピークが後半ヘシフトし、前頁に記載した通り所定の性能（転化率/選択率）の維持を確認。(2300hr⇒2400hrにかけての温度上昇は反応条件調整で反応量を変更したことによるもの。)
- ✓ 実証チェーン運転に商用トルエンを使用し、取得した運転データにより、チェーンとして所定の性能が得られることが検証できた。

39 / 56

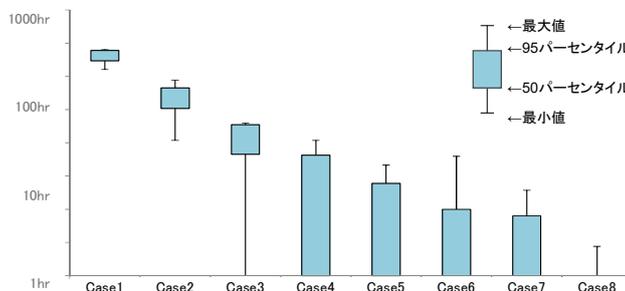
③-2:サプライチェーン検討

成果

実施内容

- ✓ 需要家への水素供給の安定性に影響する事象を分析
- ✓ 水素源から水素需要家までの水素サプライチェーン全体をモデル化、想定される様々な偶発事象の発生に対するチェーン全体としての安定性を検証すると共に、安定性を向上するための各種設備の規模や冗長度を検討

評価結果



- ✓ 水素化・脱水素設備の貯蔵能力と系内のトルエン量を一定の刻み幅で増減させた場合の、サプライチェーン起因の水素供給停止時間の発生確率分布を計算
- ✓ 左図の例では、Case3とCase4の間に変化点があることが見て取れ、上記変化点近傍が信頼性と設備コストのバランスが取れた設備構成と考えられる。

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7	Case8
貯蔵能力	-4Δ	-3Δ	-2Δ	-1Δ	基準値	+1Δ	+2Δ	+3Δ
最大値	252.34	87.10	19.66	10.90	4.62	6.28	1.93	0.28
95パーセンタイル値	244.67	67.11	18.74	6.48	2.45	1.00	0.80	0.00
中央値	171.66	33.00	6.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
最小値	126.83	10.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
平均値	179.27	35.68	7.13	1.21	0.35	0.27	0.11	0.01

成果

- ✓ 最適な水素サプライチェーンのシミュレーションが可能なモデルを開発し、設備構成が供給安定性に与える影響を定量的に評価する基本的な手法が確立

40 / 56

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-3: 発電燃料供給チェーンとしての設備仕様・オペレーション要件

① 製品水素性状が発電GTに及ぼす影響の検討

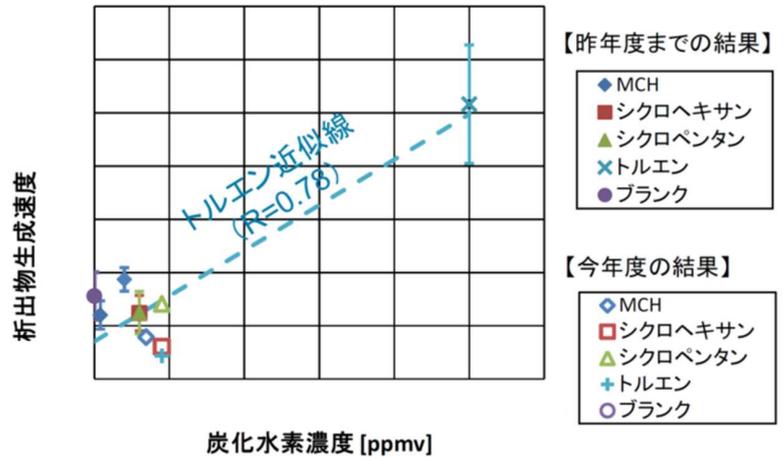
成果

実施内容

- ✓ 脱水素設備からの製品水素中に含まれる微量の炭化水素（トルエン・MCH）から高温の重合反応により生成されるガム状物質が、商業規模発電GTに及ぼす影響（燃焼器ノズルの閉塞）および混焼する天然ガス中のガム状物質になりうる原因物質や影響物質をラボ試験により把握する。

評価結果

- ✓ ガム状物質析出特性試験を終了。
- ✓ 天然ガスに、20vol%の水素を混合し、ベースガスとした。想定される炭化水素を微量添加し、燃料配管中の析出物生成速度を測定。
- ✓ 飽和炭化水素を低濃度にて比較すると、トルエンより析出物生成速度が速く、析出しやすい。
- ✓ トルエンベースの含有量制限値(試験委託先機関での従来研究結果に基づく)を使用して、MCH等の飽和環状炭化水素の含有制限値を評価。



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-3: 発電燃料供給チェーンとしての設備仕様・オペレーション要件

① 製品水素性状が発電GTに及ぼす影響の検討

成果

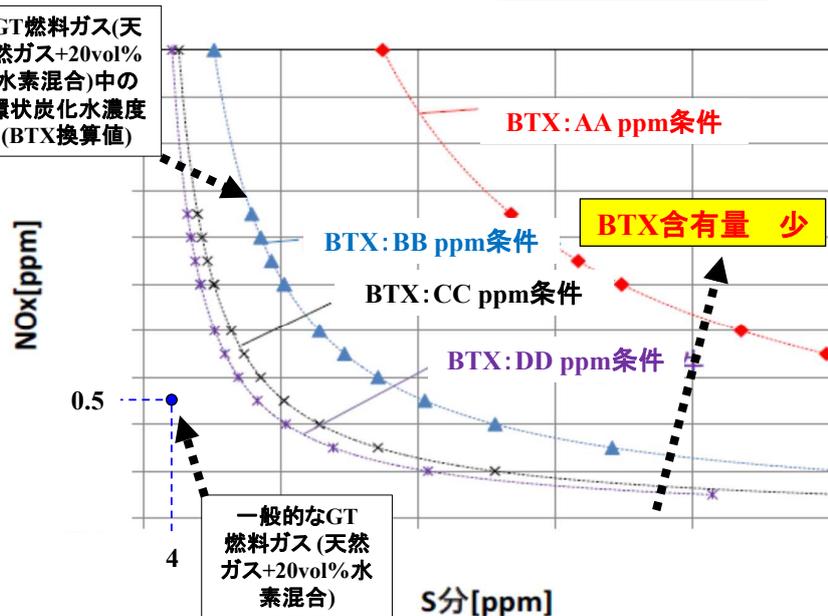
評価結果

右図はトルエンベースの含有量制限値

メチルシクロヘキサン等の飽和環状炭化水素とトルエンとのガム状物質生成速度を比較し、水素中に含まれる飽和環状炭化水素がトルエン何ppmに相当するかを解析

右図を使用して飽和環状炭化水素の含有制限値を評価。水素20%混焼の場合は、図中の青三角ライン。

一般的な天然ガスとの混焼(Nox 0.5ppm、S分4ppm)であればガム状物質生成領域に入らない。



GT燃料ガス中のBTX（ベンゼン/トルエン/キシレン）含有量制限値（試験委託先機関での従来研究結果に基づく）

成果

- ✓ 飽和炭化水素の含有量管理値を策定した。
- ✓ 現状の脱水素工程にて、製品水素が商業規模発電GTに使用可能であることを確認した。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-3: 発電燃料供給チェーンとしての設備仕様・オペレーション要件

成果

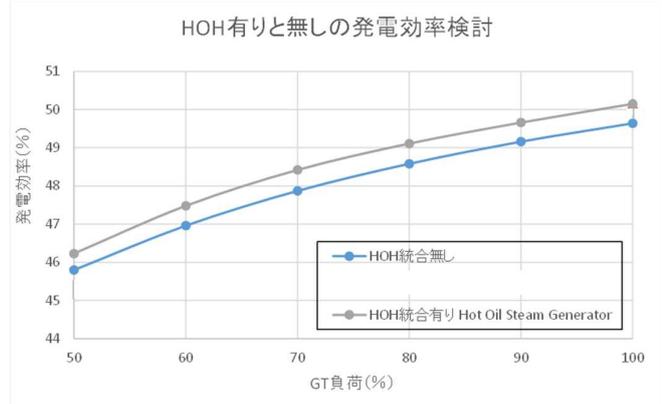
②脱水素反応熱をGTCC発電所のHRSGから供給する方法の可能性検討

実施内容

- ✓ GTCC (Gas Turbine Combined Cycle) 発電所のHRSG (Heat Recovery Steam Generator、排ガスボイラー) にHOH (Hot Oil Heater) を設置し、熱媒により脱水素反応熱を供給する場合をシミュレーションを実施
- ✓ 検討条件は、①GTCCは450MWクラス予混合燃焼、②天然ガスへの水素混焼率を70 vol%とした。

評価結果

- ✓ HRSG熱利用についてはシミュレーション検討を終了し、HOHを設置した場合に、部分負荷時も含め発電効率が若干改善されるシステムが確認できた (右図参照)。
- ✓ ①GT起動時、②外気温変化時、③混焼率変更時など、多彩な運転モードに対応できるシステムは、設定が困難であり実用には、より多くの課題があることも確認された。(設備運転制御が複雑化することなど。)



成果

- ✓ 脱水素反応熱をGTCC発電所のHRSGから供給することで、総合効率の改善の可能性があることが示唆された。合わせて、その実現にむけた課題の頭出しを行うことができた。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

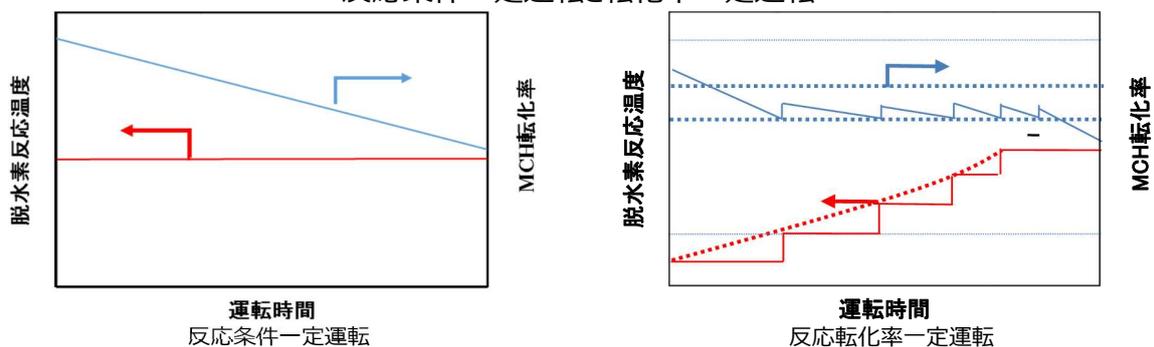
③-4: サプライチェーン効率化

今後の課題

課題

反応転化率を一定にした運転を可能にすることにより、触媒のシビアリティを下げ、触媒の長寿命化を図り、更に水素輸送量を経時的に一定に保つことでチェーン運用を効率化する。

反応条件一定運転と転化率一定運転



デモプラントでは反応条件一定の運転のみ実施

反応条件を調整して反応転化率を一定に維持した運転 (シビアリティ管理) は触媒長寿命化に寄与

商業運転を目指し、実証運転において反応転化率一定運転を検証したい

商業運転時の運転方法への適用検討

③-4: サプライチェーン効率化

成果

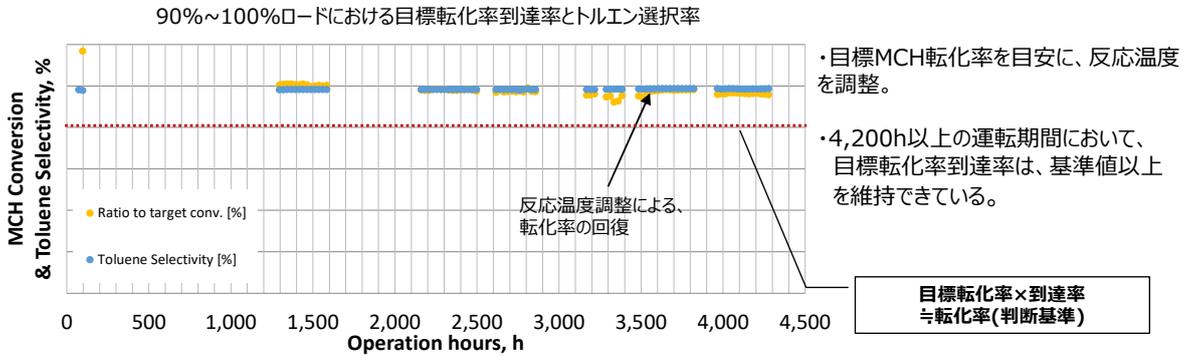
運転データ収集途中経過

実施内容

反応条件を調整して反応転化率を一定に維持した運転（シビアリティ管理）を実施し、触媒管の温度分布の経時変化を測定。

試験結果

✓ 反応器触媒管の温度分布の経時変化測定結果



判断基準

Phase1運転に比べて触媒の長寿命化傾向が観察されること。

成果

✓ 反応転化率一定運転（シビアリティ管理）を検証し、商業運転時の運転方法へ適用可能であることを確認した。

45 / 56

③-4: サプライチェーン効率化

成果

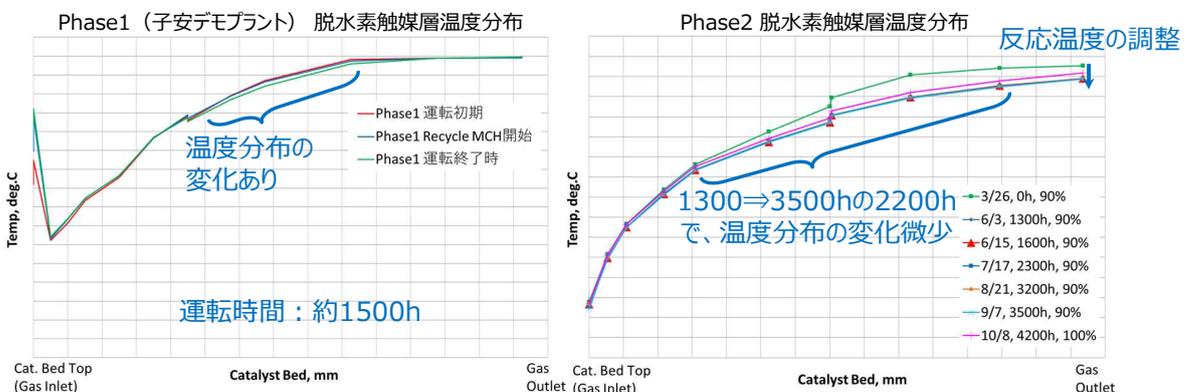
運転データ収集途中経過

実施内容

反応条件を調整して反応転化率を一定に維持した運転（シビアリティ管理）を実施し、触媒管の温度分布の経時変化を測定。

試験結果

✓ 反応器触媒管の温度分布の経時変化測定結果



判断基準

Phase1運転に比べて触媒の長寿命化傾向が観察されること。

・反応温度の調整（シビアリティ管理）により、触媒層温度分布の変化（触媒性能の変化）を抑制している。
 ・9月中旬に転化率が管理範囲以下になり、反応温度を高温側に調整（10/8の温度分布）。

成果

✓ 反応転化率一定運転（シビアリティ管理）を検証し、商業運転時の運転方法へ適用可能であることを確認した。

46 / 56

3. 研究開発成果について (2) 成果の意義まとめ

分類	開発項目	成果		商業チェーンでの活用			
		既に得られた成果	プロジェクト終了までに実現を目指す成果	大規模化	需要適合	経済性	その他
① 水素化プラント	水素化反応器スケールアップ	①反応器スケールアップの設計手法を確立し、実証設備の反応器設計に反映。 ②実証運転にて2回のターンダウン試験を実施。転化率/選択率に大きな変化はなく目標以内である事を確認。	-	○			
	不純物除去設備の仕様検討	①蒸留設計のパラメーターチューニング及び蒸留試験により蒸留設備の設計仕様妥当性を確認。 ②実証運転にて中軽質不純物蓄積挙動を検証中。顕著な蓄積増加は見られない。	実証運転終了まで蓄積挙動を検証し、トータル増加量が目標値以内であることを確認する。				○
② 脱水素プラント	脱水素反応器スケールアップ	①反応器スケールアップの設計手法を確立し、実証設備の反応器設計に反映。 ②Shell側構造改善シミュレーション検討実施中。 ③実証運転にて1回目のターンダウン試験を実施。転化率/選択率に大きな変化はなく目標値以内であることを確認。	①2回目のターンダウン試験を実施し、転化率/選択率の低下が目標値以内であることを確認する。 ②Shell側構造改善シミュレーション検討を完了しShell側構造を最適化する。	○			
	負荷追従性向上策	①商業規模設備のダイナミックシミュレーションによりガスホルダー設置の効果を検証。プラント応答性律速要因を特定。 ②実証設備のダイナミックシミュレーションをモデル化中。 ③実証運転での負荷変動（短時間でのターンダウン/アップ）試験の詳細計画策定。	①実証運転での負荷変動運転を実施、運転データを収集。負荷変動ケースを増やし追従性の比較実施を予定。 ②ダイナミックシミュレーションで負荷変動試験をトレースし、モデルをブラッシュアップする。		○ 応答性		
	水素純度向上策	想定需要へ対応可能であることをラボ試験により確認。	-		○ 水素純度 (FCV)		
	触媒商業生産課題	①商業試作により、小規模製造触媒と概ね同等の性能を持つ大規模触媒製造が可能と確認。 ②実証運転により触媒性能を検証中。小規模製造の触媒と概ね同等。	実証運転終了まで触媒性能を検証し、目標の転化率以上であることを確認する。	○			

3. 研究開発成果について (2) 成果の意義まとめ

分類	開発項目	成果		商業チェーンでの活用			
		既に得られた成果	プロジェクト終了までに実現を目指す成果	大規模化	需要適合	経済性	その他
③ サプライチェーン	商用トルエン運転検証	①商業規模で調達/使用可能なトルエンを選定し、調達仕様を策定。 ②商用トルエンを使用した実証運転継続中。触媒性能や劣化速度は商用トルエンを使用した子安デモプラント運転結果と概ね同等。	実証運転終了まで触媒性能や劣化速度を検証し、目標であるデモプラント運転に比した転化率/選択率の差が目標値以内であることを確認する。	○			
	サプライチェーン検討	設備構成が供給安定性に与える影響を定量的に評価する基本的な手法が確立。	-			○	
	発電燃料供給チェーンとしての設備仕様・オペレーション要件	①飽和炭化水素の含有量管理値を策定。製品水素が商業規模発電GTに使用可能であることを確認。	-		○ 水素純度 (発電)		
		②脱水素反応熱をGTCC発電所のHRSGから供給することで、総合効率の改善の可能性があることが示唆された。	-			○	
反応器運転モードの最適化	実証運転にて、転化率抑制（転化率一定）の運転を継続中。	実証運転終了まで転化率抑制運転を実施し、転化率抑制運転が可能であることを実証する。			○		

◆成果の普及

	2015年度～ 2017年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	計
研究発表・講演	9	26	21	6	62件
新聞・雑誌等への掲載	19	16	13	11	59件
展示会への出展	6	3	5	0	14件

※2020年10月現在

49 / 56

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

- 実用化とは本実証プロジェクトの長期運転を通して、有機ケミカルハイドライド法を用いた水素の製造、国際輸送、貯蔵、発電燃料への利用を実施し、大規模化を前提としたエネルギー・サプライチェーンとしての運用技術を確立する事である。
- 事業化とは海外での未利用エネルギー由来の水素を、大規模製造・供給によるスケールメリット最大化、プラント設計の最適化並びに既設石油・石化製品の流通インフラを活用する事により供給コストの低減を実現し、水素が高効率発電を目的とする発電用燃料として本格導入され、水素市場の拡大に貢献する事をいう。また、水素の用途は、発電のみならず燃料電池自動車、産業利用およびエネルギー貯蔵など幅広い分野を対象とする。

50 / 56

4. 実用化・事業化の見通しについて

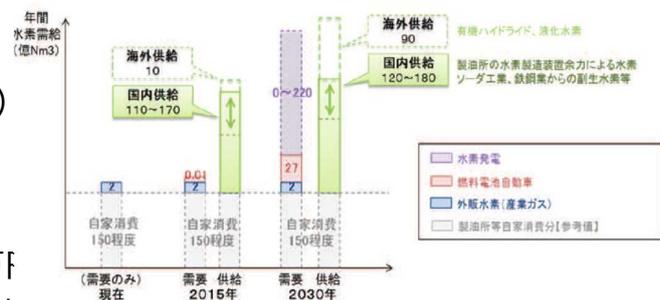
◆成果の実用化・事業化の見通し

- 水素を社会に導入することの意義（市場のニーズ）は、「我が国の一次エネルギー供給構造を多様化させ、大幅な低炭素化を実現するポテンシャルを有する手段である。」（「水素基本戦略(2017/12)」3項）
- 水素の国内需要は、2030年までに新設・リプレイスされるLNG火力発電に50%の水素が混合されると、当該用途での水素需要が最大で年間220億Nm³まで増加するという試算がある。その場合、水素需要全体が年間約400億Nm³程度まで増加すると見込まれる（下記図表ご参照）。
- 売上の目標は、1GWクラスの水素専焼発電所に向けた水素サプライチェーンが構築され、年間30万トンの水素が消費されるケースとして、次のとおり。

2030年：
30万トン × 30円/Nm³（33万円/トン）
= 年間約1000億円

2050年：
最大1000万トン × 20円/Nm³（22万円/トン） = 22,000億円（シェア100%の場合）

図表 水素需給ポテンシャル（試算の一例）



4. 実用化・事業化の見通しについて

◆成果の実用化・事業化の見通し

有機ケミカルハイドライド法を活用した、MCHによる水素の輸送・供給には以下の優位性がある。

- 今回の実証プロジェクトを完遂する事で水素化・脱水素の大型化の設計と、国際間輸送・水素サプライチェーンの運用技術の基礎は確立される。
- 体積が気体水素の約1/500となること、並びに常温常圧で液体であることから取り扱いが容易で長距離・大規模輸送に適している。
- 水素の潜在的なリスクをガソリンの貯蔵輸送のレベル迄原理的に低減できる。本法ではガソリンや軽油に含まれる成分で常温・常圧の液体状態のMCHの分子内に水素を取り込んで貯蔵輸送を行う為、既存安全管理手法をそのまま展開できる（トルエン、MCH共にガソリンと同じ危険物 第4類第1石油類に分類される）。
- 既存の石油・石化製品のタンカー、タンクなどの貯蔵・流通インフラやノウハウを生かせる。また、それらを有効活用する事で新規投資コストを低減出来る。
- 長期貯蔵が可能。将来水素が発電燃料として使用される際、現在の石油備蓄の様に水素燃料の備蓄に適している。トルエンやMCHは長期間大容量を貯蔵しても化学的に変化することなく、長期貯蔵に対してエネルギーロスも伴わない。
- 水素キャリアであるトルエンはガソリン、工業溶剤に多く使用されている汎用品の為、大量調達も容易。

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆成果の実用化・事業化の見通し

実用化・事業化に対する課題と今後の方針は、下記のとおり。

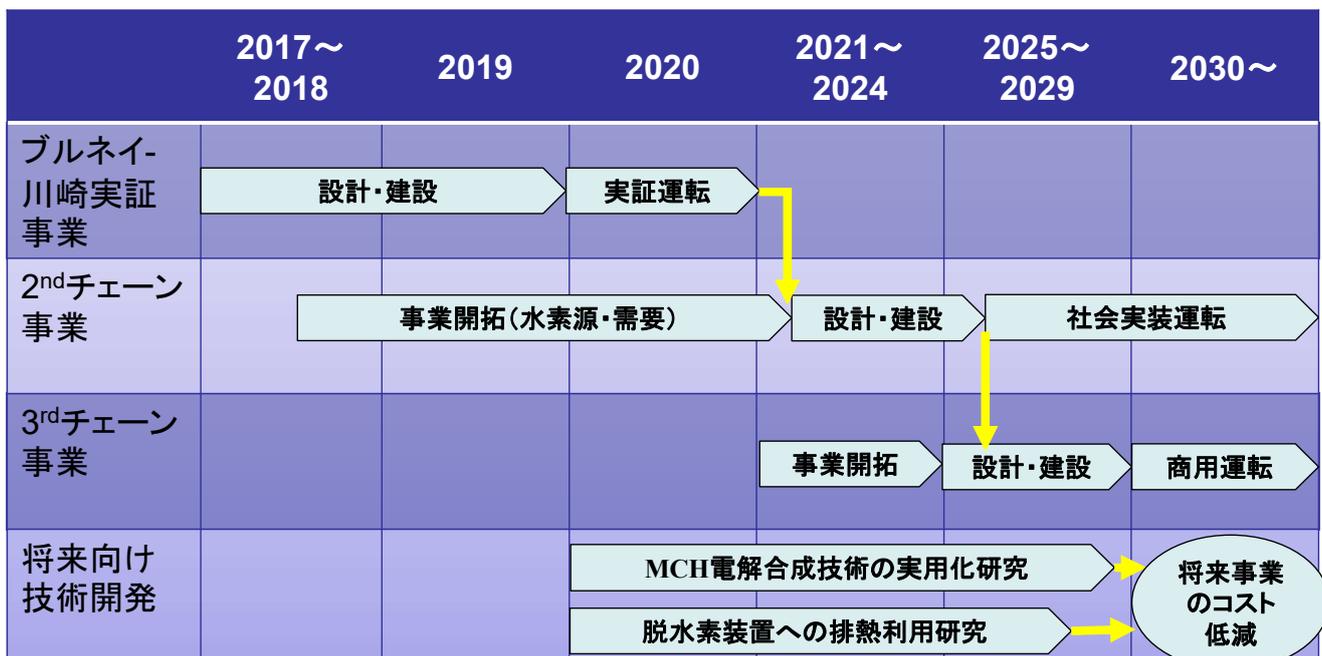
(本NEDO実証事業の範囲を超えた課題)

- 触媒の商業規模生産
本格商用チェーン実施時には、効率的な製造のために、大規模装置の適用と、それに伴う技術仕様の研究を行う。(現行製造設備でも、期間を掛ければ製造可能。)
- 商用トルエンの適合性検証
本格商用チェーン実施時には、選択肢拡大のために、海外品の探索、トルエン前処理などの対応策研究を行う。(現行調達先でも、期間を掛ければ調達可能。)
- GT発電向け水素品質
水素専焼GT燃焼器が開発された段階で、新型燃焼器の仕様に適合する製品水素中の許容不純物量を研究する。
- 発電排熱を利用した脱水素熱供給の研究
GT排熱やSOFC排熱を脱水素熱に利用することについて、社外関係団体と研究するよう計画する。
- MCH直接電解合成
MCH直接電解合成の技術はラボサイズで検証されており、実用化(商用サイズ)に向けた研究を計画する。

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆実用化・事業化に向けた具体的取り組み

2ndチェーン(社会実装プロジェクト)と事業化に向けたアクション工程



4. 実用化・事業化の見通しについて

◆実用化・事業化に向けた具体的取り組み

2ndチェーン（社会実装プロジェクト）と事業化に向けたアクション工程

- 本事業における実証運転により、有機ケミカルハイドライド法水素サプライチェーンの技術基盤は確立する。
- 「水素基本戦略(2017/12)」4.1項に従い、2030年頃に年間30万トン程度の商用規模水素サプライチェーンを目指す。
- 上記の2030年頃の大規模商用化チェーンの前に、2025年頃に国内水素需要に応じた有機ケミカルハイドライド法水素サプライチェーンの構築を目指す。（「水素基本戦略(2017/12)」4.2 (b)項）
- 2025年頃の水素チェーンにおいても、経済性向上のために、一定規模の水素需要を開拓する。対象となる需要は、発電所を中心に、複数の水素ステーションや産業利用の需要が集中した地域にて需要を取りまとめるケースも検討する。

55 / 56

4. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

◆波及効果

有機ケミカルハイドライド法による、水素輸送・貯蔵は、海外からの大量水素輸送・貯蔵に適しており、水素輸入を実現することで、下記のような波及効果が期待できる。

- 海外のCO₂フリー（もしくは低CO₂）エネルギーを水素の形で輸入することにより、CO₂排出係数の低減に寄与する。
- 水素は、再生可能エネルギーを含め多種多様なエネルギー源から製造し、貯蔵・運搬することができるため、日本のエネルギー調達・供給リスクの低減を期待できる。
- 既存の石油関連インフラを転用できるため、余剰となる石油インフラの有効活用が期待できる。

56 / 56

**「水素社会構築技術開発事業/大規模水素エネルギー利用技術開発/
低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発」
(水素混焼)**

**「水素社会構築技術開発事業/大規模水素エネルギー利用技術開発/
低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型DryLowNOx高温ガスタービン発電設備
の研究開発」
(水素専焼)**

三菱パワー株式会社

三菱重工業株式会社

2020年12月4日

1

事業概要

名称	低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発(水素混焼事業)	低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型DryLowNOx高温ガスタービン発電設備の研究開発(水素専焼事業)
期間	2015.8~2019.3	2020.7~
体制	三菱パワー、三菱重工業 大阪大学、京都大学、名古屋工業大学	三菱パワー、三菱重工業
成果・進捗	<p>水素が燃焼器内部温度分布に与える影響を精度よく予測するために、基礎データ取得とシミュレーションの高度化を行い、設計ツールとして活用可能にした</p> <p>フラッシュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発し、水素混合率30%(> 事業目標：20%)において安定燃焼が可能なることを実圧燃焼試験により確認した。実在するプラントをベースに、プラント建設計画を策定し、本事業成果の商品化に向けた基本設計(商品パッケージ化)を完了した</p> <p>インターマウンテン電力向けに、JAC形発電設備を受注。2025年に水素混焼率30%で運転を開始予定</p>	<p>水素専焼(100%)燃焼器の開発を目的に、開発・検証を実施中</p> <p>逆火リスクの高い水素に対し、高い逆火耐性をもち、かつ低NOx化が可能な多孔噴流燃焼方式(クラスタバーナ)が有効である</p> <p>モデルバーナ、シングルセグメント、燃焼器1缶のステップで開発。燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無くターゲット計画条件にてNOx 50ppm(15%O2換算)以下を達成した</p> <p>大容量水素供給装置を含む燃焼試験設備の系統構成を検討し、成立性目途を得た</p>

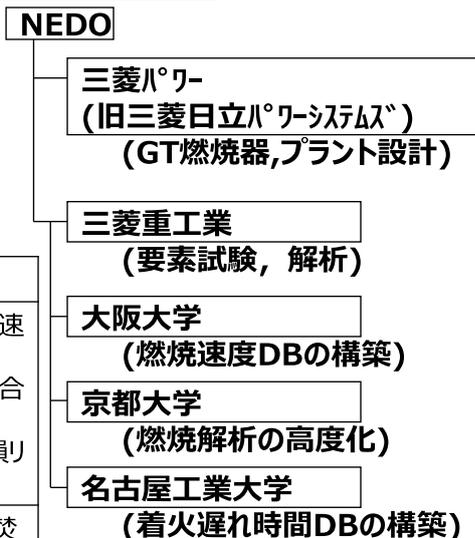
2

1. 期間

開始 : 2015年8月

終了 : 2019年3月

●実施体制および分担等



2. 最終目標

実施項目	最終目標
A. 燃焼器内部温度分布を予測する技術	A-1 高圧条件において水素混合割合が燃焼速度に与える影響を明らかにする。 A-2 実燃焼器において燃料中の水素混合割合の変化影響をシミュレーションにより予測する。 A-3 ガスタービン内部での自己着火による焼損リスクを評価する。
B. 燃料成分の変化に対する安定運用範囲を拡大する技術	水素混焼割合20%の条件において天然ガス焚GTと同等の性能を有する燃焼器を開発する。
C. 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術	本事業成果の商品化にむけた基本設計(商品パッケージ化)を完了する。

3. 成果・進捗概要

実施項目	成果内容	達成度 (2019.3末時点)
A	A-1 高圧条件下での燃焼速度計測を実施し、水素混焼の有無に係らず、層流燃焼速度で無次元化することで変動速度と乱流燃焼速度の関係を整理可能であることを明らかにした。 B-2 燃焼モデルとしてFGMモデルを適用し、低空気量、高燃空比条件での逆火現象を解析により再現可能であることを確認した。 C-3 ガスタービン燃焼器内部と同等の条件で着火遅れ時間の計測を実施し、水素混焼運用時の自己着火発生による焼損のリスクが極めて低い事を明らかにした。	○
B	渦芯フラッシュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発し、水素混合割合30%条件において、安定燃焼が可能なることを実圧燃焼試験により確認した。またメインフィルム構造、上流ノズル構造の改良を実施し、従来燃焼器の構造に対し、高いパーミアット耐性を有している事を確認した。	○
C	水素供給システムを含め、水素混焼焚きにおけるプラントの基本設計を完了した。発電設備敷地内で水素混合させる場合においても混合器等の追加設備は不要であり、既存の発電設備に水素システムを追加することで対応できることを確認した。	○

◎ : 大幅達成、○ : 達成、△ : 一部達成、× : 未達

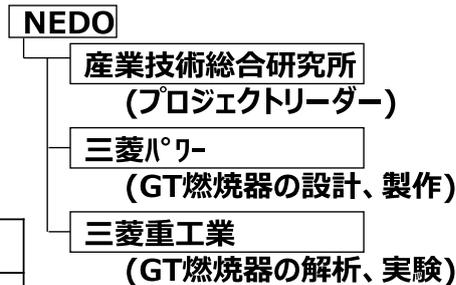
1. 期間

開始 : 2020年7月

終了 (予定) : 2022年2月

2. 最終目標

●実施体制および分担等



開発項目	最終目標(～2022年度)
A-1 モデルバーナの設計技術	・高温高圧下のモデルバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下 (2020年)
A-2 シングルセグメントの設計技術	・高温高圧下のセグメントバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下 (2021年)
A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術	・クラスタバーナ計画図の完成(2021年) ・燃焼器全体計画図の完成(2021年)
B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術	・実圧燃焼試験装置の系統図・配置図の完成(2020年) ・土工工事計画図・配管図の完成(2021年)
B-2 高温高圧下での燃焼器燃焼試験	・実圧燃焼試験にて、計画運転条件において逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下(2022年)

3.成果・進捗概要

開発項目	成果内容	達成度	今後の課題と解決方針
A-1 モデルバーナの設計技術	・燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無くターゲット計画条件にてNOx 50ppm (15%O2換算)以下を達成した	○	設計裕度範囲をさらに拡大させるための単孔ノズル構造の改良
A-2シングルセグメントの設計技術	・シングルセグメントの数値解析により、バーナ内部の流動を確認した	△ (R3年2月達成予定)	水素専焼において逆火耐性を有する流動場の設計。燃焼器設計に向けて取り組みを継続
A-3大型ガスタービン燃焼器設計技術	・燃料系統、燃料ステーシングの計画をもとに、燃焼器全体の計画図を作成した	△ (R3年2月達成予定)	着火・起動から定格負荷まで安定運転を可能とする燃焼器を設計 ①-1、2で構築した設計技術を適用
B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術	・水素供給装置から燃焼シェルまでの系統構成を検討し、成立性に目途を得た ・系統図及び配置図を作成中	△ (R3年2月達成予定)	水素は天然ガスに比べ体積流量が大きくなる。設備をコンパクト化する為、詳細設計中
B-2 高温高圧下での燃焼器燃焼試験 (2022年度予定)	-	-	-

◎ : 大幅達成、○ : 達成、△ : 一部達成、× : 未達

1. 事業の位置付け・必要性 事業の目的の妥当性／国が支援する妥当性

水素・燃料電池ロードマップにおいて水素消費量は2030年時点**30万t/年**、将来的には**500~1000万t/年**の水素発電利用が示されているが、国内の天然ガス焼き発電所の水素焼き混焼転換により2030年時点の水素消費量目標を、更に水素サプライチェーンの構築に応じて専焼に転換していくことで将来目標の達成が可能

アクションプランのポイント③ <その他水素利用・グローバルな水素社会実現> 赤字は新規目標等

水素利用先の拡大のため、市場の開拓・深掘り／グローバルな水素社会実現のため、日本リードの国際連携

目指すべきターゲット ターゲット達成に向けた取組

- 2030年頃の水素発電の商用化に向けた技術の確立
 - 既設火力発電での水素混焼発電の導入条件明確化
 - 2020年までに水素専焼発電での発電効率向上 (26%→27%)
- 将来的なCO2フリー水素の活用
 - 経済合理性の見通しが得られたプロセスから順次CO2フリー水素の利用を検討

【水素基本戦略における記載(抄)】

- 実際の社会実装に当たっては、水素は天然ガス火力での混焼も可能であることから、導入初期は既設の天然ガス火力における混焼発電を中心に、小規模なコージェネレーションシステム等における水素混焼も含め、導入拡大を図っていく。
- また、特に水素の燃焼特性に応じた燃焼器の開発が不可欠である。拡散燃焼方式や予混合燃焼方式など、従来の火力発電で実績のある燃焼器を水素混焼発電に転用するための研究開発や技術実証については、既に一定の取組が進められている一方、NOxの低減や発電効率の向上といった技術課題に対応していく。更に、将来的に水素専焼発電を実現するためには、NOx値の低減、高い発電効率、高濃度な水素混焼などを同時に達成可能とする新たな燃焼技術の早期の実用化を目指す
- 水素発電については、国際的な水素サプライチェーンとともに **2030年頃の商用化を実現し**、その段階で **17円/kWhのコストを目指す**。そのために必要となる水素調達量として、**年間30万t程度を目安とする(発電容量で1GW程度に相当)**。更に、将来的には環境価値も含め、既存のLNG火力発電と同等のコスト競争力の実現を目指す。そのために必要となる水素調達量として、**年間500万~1,000万t程度を目安とする(発電容量で15~30GW程度に相当)**。
- 水素発電の導入に当たっては、電力システム改革が進展中での経済性確立に向けた制度設計等の検討を進める。また、水素発電が有する環境価値を顕在化し、評価・認定、取引可能にすることが重要であり、他の制度設計に係る議論を注視しつつ、省エネ法における水素利用の位置づけを明確化する、あるいは高度化法における非化石電源として水素発電を位置づけるといったことを含め、実態も踏まえながら検討を進める。



	水素率 (vol%)	ton/h	ton/年	ton/年
水素消費量	20%	1.7	12,000	370,000 ≒2030年時点目標
	100%	27.2	191,000	5,900,000 ≒将来目標

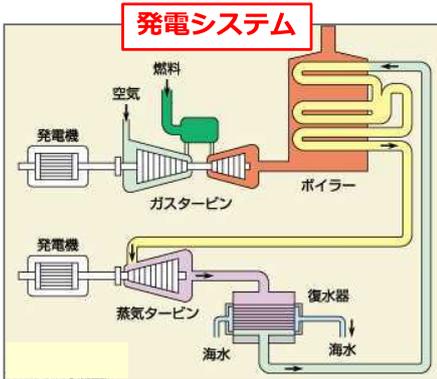
×31台*
*MHPS 国内納入GTCC (G/J/F型, 効率60%級) 31台試算

出典：経済産業省、水素・燃料電池ロードマップ、2019年3月

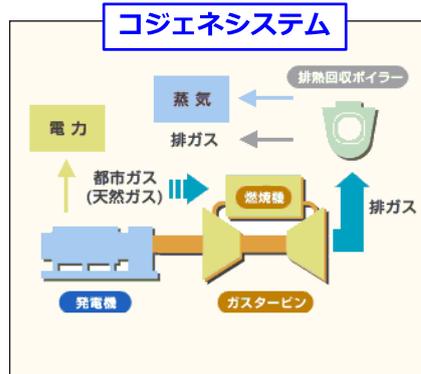
1. 事業の位置付け・必要性 事業の目的の妥当性／国が支援する妥当性

①. 高効率・大量利用 (需要喚起)

- 大型GTCCは水素を効率よく発電利用することが可能
- 大容量の需要を喚起することで、インフラ構築に貢献



燃料エネルギーの
60%を電気に変換



燃料エネルギーの
30%を電気に変換
(+50%を蒸気利用)

②. 低純度水素への適合

- ガスタービンは燃料電池車と比して、低純度な水素 (不純物) への適合性が高く燃料コストの低減に貢献することが可能

	当社GT燃料標準規格	水素燃料規格(ISO-14687-2より)
総HC	上限なし	2ppm
二酸化炭素	4%(40,000ppm)	2ppm
硫黄化合物	0.5%(5,000ppm)	0.004ppm
ホルムアルデヒド	規定なし ※	0.01ppm
ギ酸	規定なし ※	0.2ppm
アンモニア	規定なし ※ ※規定ないが燃焼する成分である為、運用可能	0.1ppm



2. 研究開発マネジメントについて 研究開発の進捗管理および知的財産権の戦略(混焼)

◆研究開発の進捗管理

	2015年度		2016年度		2017年度		2018年度	
	完了数	設定件数	完了数	設定件数	完了数	設定件数	完了見込数	設定件数
年度課題数	8	8	7	8	7	7	6	5
累計課題数	8	8	15	16	22	23	28	28
完了率(年度)(%)	100%		88%		100%		120%	
完了率(累計)(%)	100%		94%		96%		100%	

◆知的財産権の戦略

	出願日	出願番号	発明の名称	出願人
①	2016年3月30日	特願2016-068018	ガスタービン	三菱重工業株式会社 三菱日立パワーシステムズ株式会社
②	2016年3月30日	特願2016-069384	燃焼器、及びガスタービン	三菱重工業株式会社 三菱日立パワーシステムズ株式会社
③	2016年3月30日	特願2016-067125	燃焼器、及びガスタービン	三菱重工業株式会社 三菱日立パワーシステムズ株式会社
④	2017年4月28日	特願2017-090792	燃焼器ノズル、燃焼器およびガスタービン	三菱日立パワーシステムズ株式会社
⑤	2017年10月27日	特願2017-208504	ガスタービン燃焼器予混合ノズル	三菱日立パワーシステムズ株式会社

9

2. 研究開発マネジメントについて 研究開発の進捗管理および知的財産権の戦略(専焼)

◆研究開発の進捗管理

	2020年度(10月時点)		2021年度		2022年度	
	完了数	設定件数	完了数	設定件数	完了数	設定件数
年度課題数	3	7	-	6	-	2
累計課題数	3	7	-	13	-	15
完了率(年度)(%)	43%		-		-	
完了率(累計)(%)	43%		-		-	

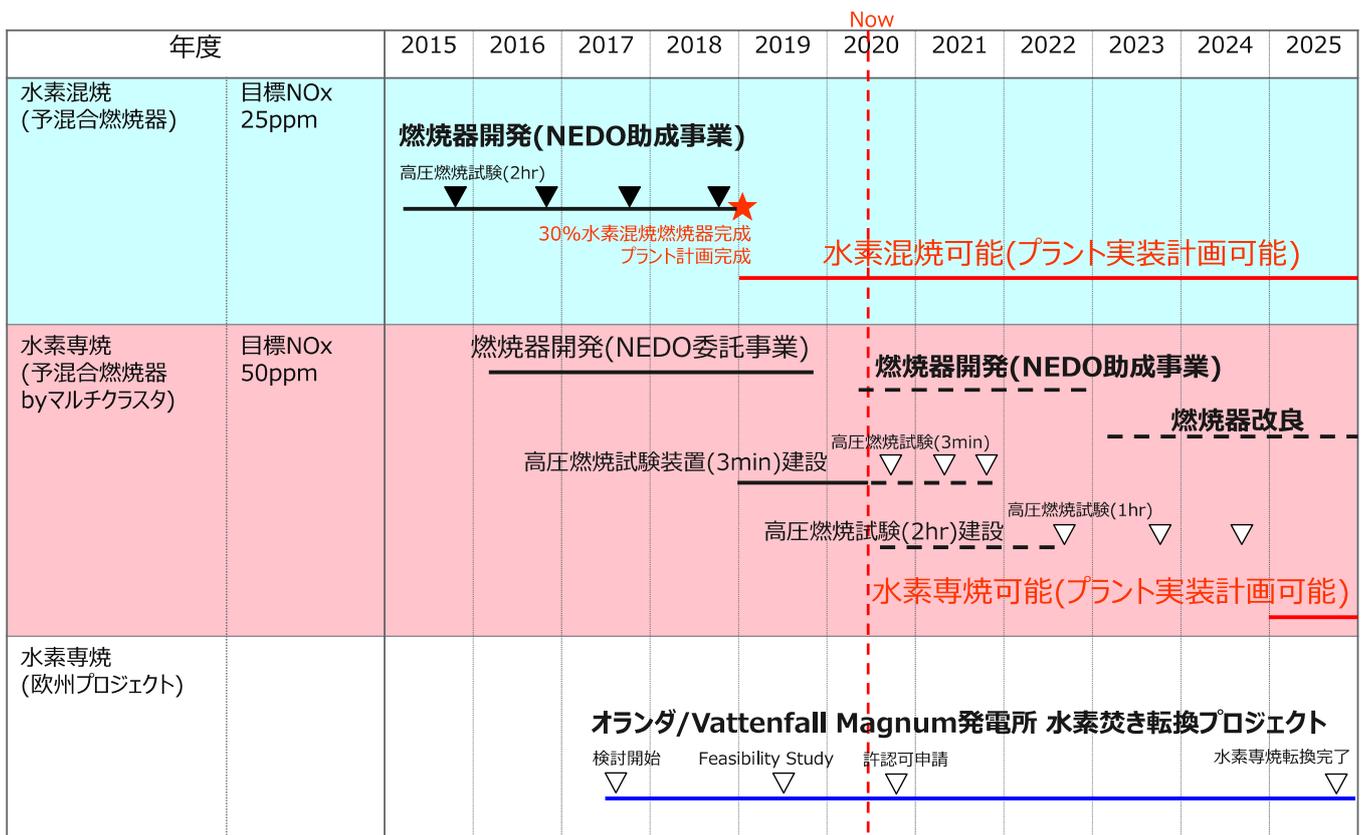
◆知的財産権の戦略

	出願日	出願番号	発明の名称	出願人
①	2020年7月10日	PCT/JP2020/027016	バーナー集合体、ガスタービン燃焼器及びガスタービン	三菱日立パワーシステムズ株式会社

※今年度は別途、3件を出願予定。

10

2. 研究開発マネジメントについて スケジュール



11

3. 研究開発成果について 研究開発目標の達成度及び成果の意義(水素混焼)

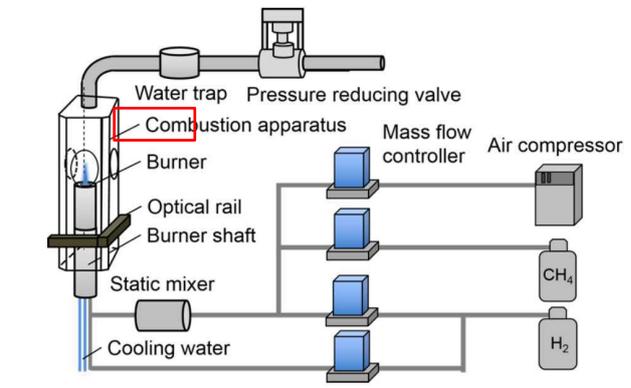
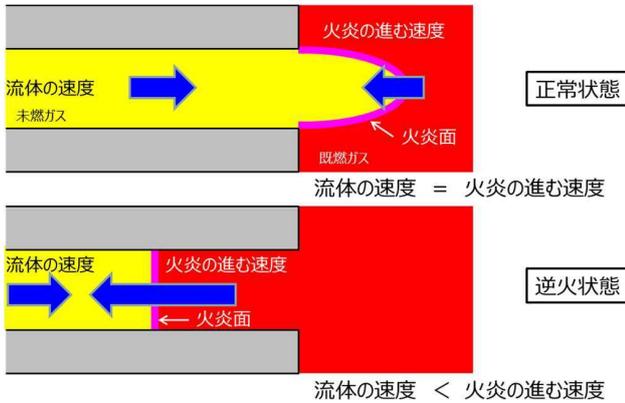
開発項目		目標	成果	達成度
A. 燃焼器内部温度分布を予測する技術	A-1 水素・天然ガス混焼火炎の燃焼速度データベースの構築(大阪大学)	高圧条件において水素混合割合が、燃焼速度に与える影響を明らかにする	高圧条件下の燃焼速度を計測し、水素混焼の有無に係らず、層流燃焼速度で無次元化することで変動速度と乱流燃焼速度の関係を整理可能を明確化(完了)	○
	A-2 燃焼シミュレーションの高度化(京都大学)	実燃焼器において、燃料中の水素混合割合の変化影響をシミュレーションにより予測可能とする	燃焼モデルとしてFGMモデルを適用し、解析により低空気量、高燃空比条件の逆火現象の再現可能を確認(完了)	○
	A-3 水素・天然ガス混合気体の着火遅れ時間データベースの構築(名古屋工業大学)	高圧条件において水素混合割合が、着火遅れ時間に与える影響を明らかにし、ガスタービン内部での自己着火による焼損リスクを評価	ガスタービン燃焼器内部と同等条件で着火遅れ時間を計測し、水素混焼運用時の自己着火発生による焼損のリスクが極めて低いことを確認(完了)	○
B. 燃料成分の変化に対する安定運転範囲を拡大する技術	水素混焼割合20%の条件において、最新鋭の天然ガス焚ガスタービンと同等の性能を有する燃焼器を開発	・渦芯フラッシュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発。水素混合割合30%条件にて、安定燃焼が可能であることを実圧燃焼試験で確認(完了) ・メインフィルム構造、上流ノズル構造を改良し、従来燃焼器の構造に対し、高いバースアウト耐性を有していることを確認(完了)	○	
C. 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術	本事業成果の商品化にむけた基本設計(商品パッケージ化)を完了	・水素混焼焚きにおけるプラントの基本設計が完了(完了) ・混合器等の追加設備は不要で、既存の発電設備への水素系統の追加で対応可能を確認(完了)	○	

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

12

A-1 火炎伝播速度計測(大阪大学)

- 水素は天然ガス(メタンが主成分)と比較して燃焼速度が高い為、逆火の発生リスクが高くなる。
- 一方で、ガスタービンのような高圧条件では、水素・天然ガス混焼に関するデータは公表されていない。
- 2017年度に製作した試験装置を用いて、高圧条件での燃焼速度計測を実施した。**



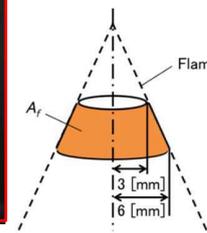
図：試験装置概要

流体の速度 < 火炎の進む速度(燃焼速度)では火炎が流体中を遡上する ⇒逆火(フラッシュバック)現象の発生

図：逆火発生メカニズム



図：バーナ



$$S_T = \frac{V_u}{A_f}$$

V_u : 体積流量
A_f : 火炎面積

A-1 火炎伝播速度計測(大阪大学)

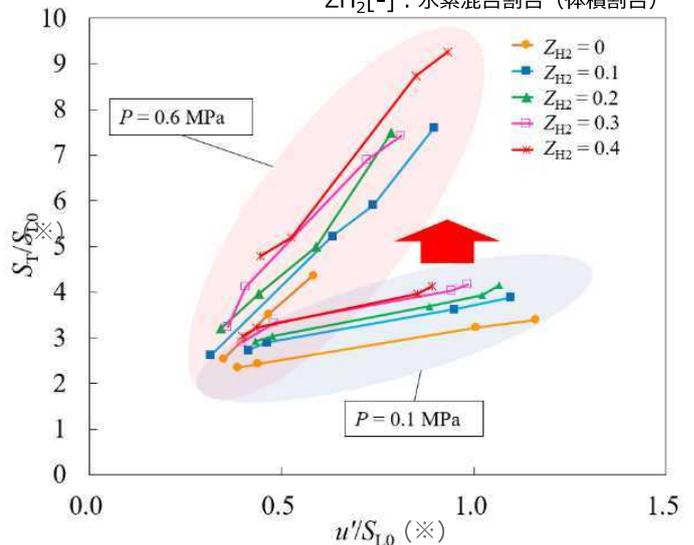
- 流れの速度変動(u')が大きくなると、乱流燃焼速度が増加(火炎表面の皺状構造が細分化)
- 乱流燃焼速度と速度変動成分をともに層流燃焼速度で正規化すると、水素混合割合の違いにかかわらず、同じ圧力条件では概ね同様の傾向が見れる。

表：火炎形状(瞬時画像)の比較
Z_{H2} = 0.2, 当量比=1.0の結果

速度変動：小	速度変動：大

S_T : 乱流燃焼速度, S_{L0} : 層流燃焼速度, u' : 速度変動

Z_{H2} [-] : 水素混合割合 (体積割合)

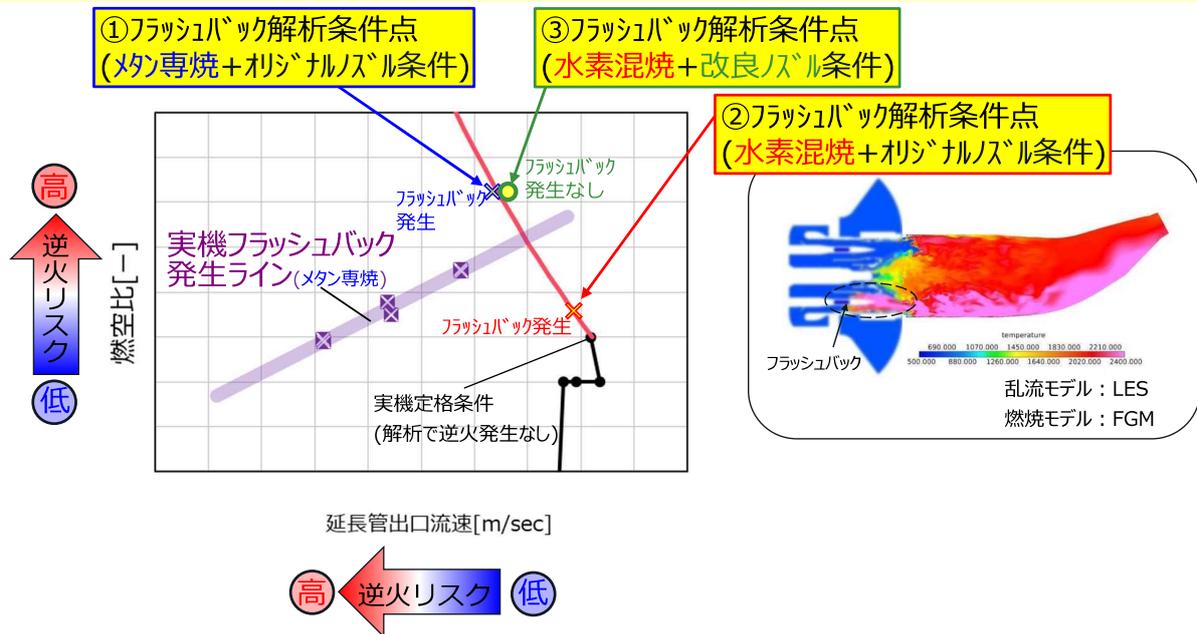


図：計測結果(層流燃焼速度による正規化)

※層流燃焼速度S_{L0}はGRI3.0を適用した計算結果

A-2 数値解析の高度化(京都大学)

- 「水素混焼条件は、メタン専焼条件よりも逆火し易い」という水素の特性を解析でも再現できた(①→②)。
- 「改良ノズルによる逆火耐性向上」を確認した(②→③)。



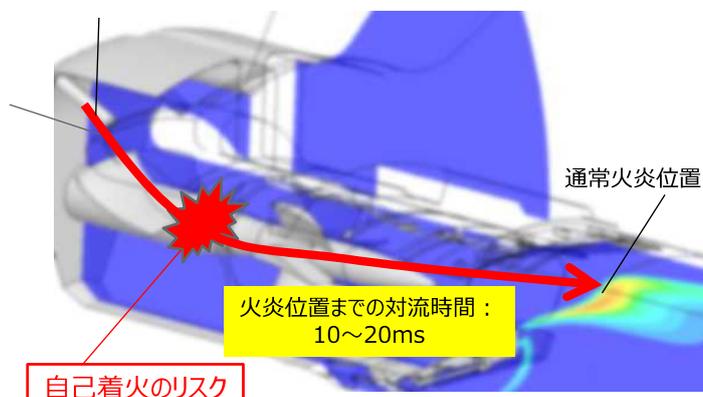
15

A-3 着火遅れ時間計測(名古屋工業大学)

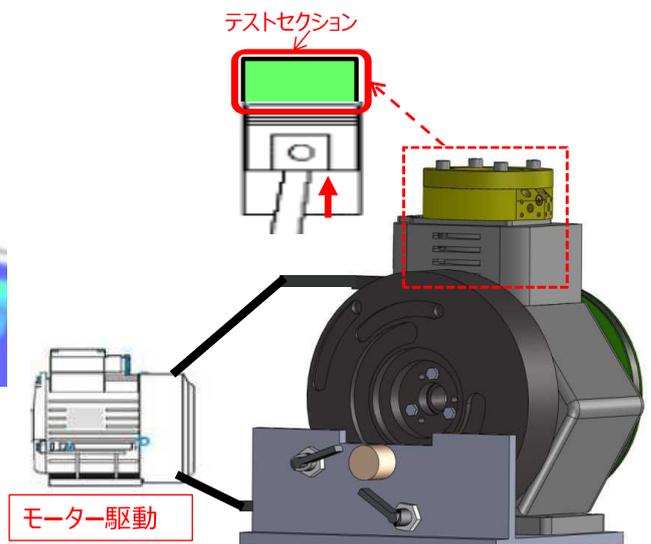
- 水素は天然ガスに比べて着火遅れ時間が短いことが知られており、自己着火のリスクが増加する。
- 2017年度に製作した急速圧縮装置の適用により、実際のガスタービン燃焼器内部と同等の圧力条件において、着火遅れ時間の計測が可能となった。

■自己着火のリスク

上流予混合燃料



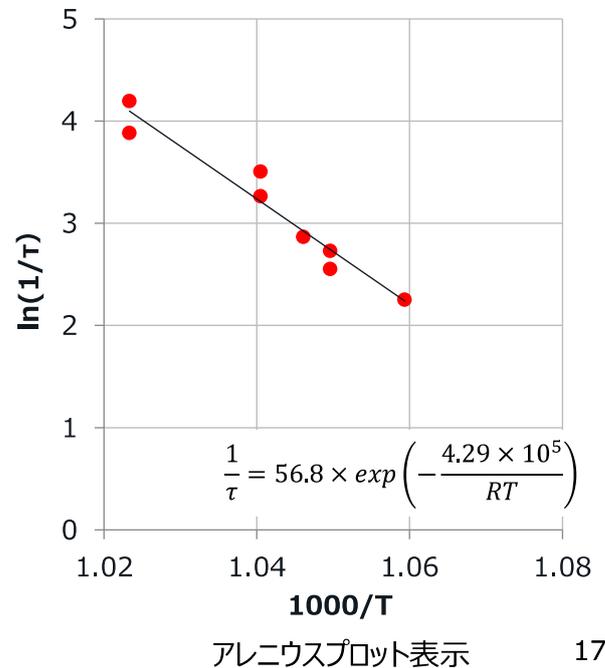
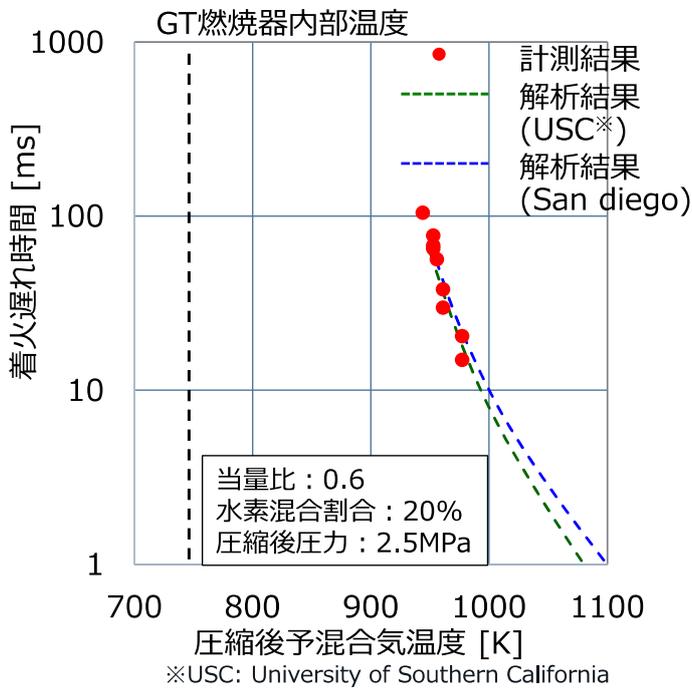
モータリング機関をモータ駆動に改造して、高圧の急速圧縮装置を製作。燃焼室内圧は最大で2MPa以上を達成する事が可能。



16

A-3 着火遅れ時間計測(名古屋工業大学)

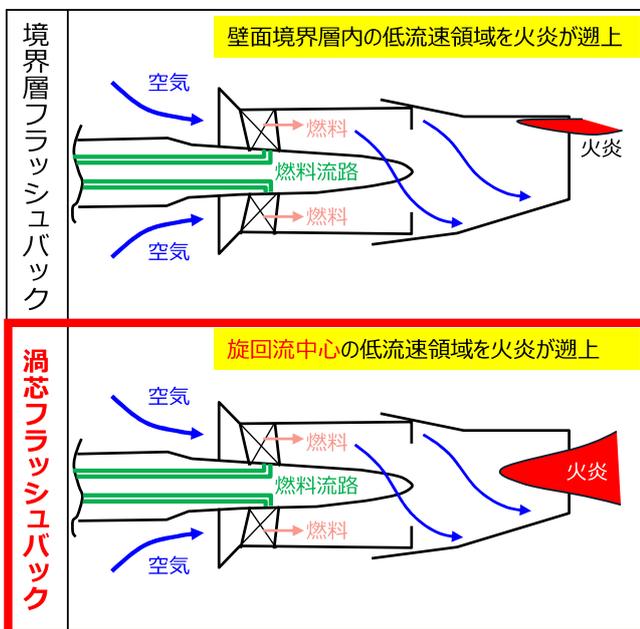
- ガスタービン燃焼器内部と同等の条件（圧力2.5MPa、当量比0.6、温度750K）の条件において、水素混合割合を20%とした場合、着火遅れ時間は数百～数千msecと推定される。
- これは燃焼器内部の滞留時間(10～20ms)に対して十分に長い時間である為、自己着火発生によるトラブルを生じる可能性は殆ど無いと考えられる。



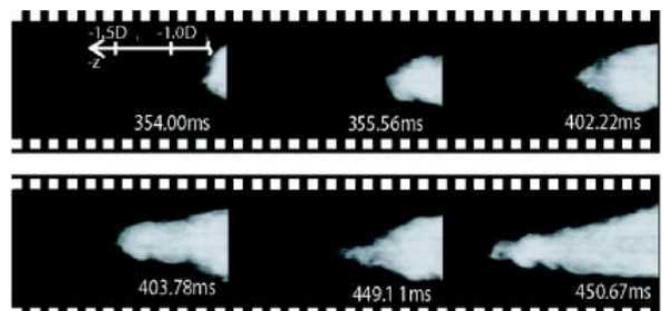
B 水素混焼ガスタービン燃焼器の設計および検証

- 旋回流(燃料混合に利用)を伴う燃焼における、逆火発生メカニズムについて文献および自社試験データにより調査・検討を実施。
- 旋回中心を火炎が遡上する“渦芯フラッシュバック”の発生が最も高リスクである事を確認した。

フラッシュバックの分類



モデルバーナによる渦芯フラッシュバックの様子

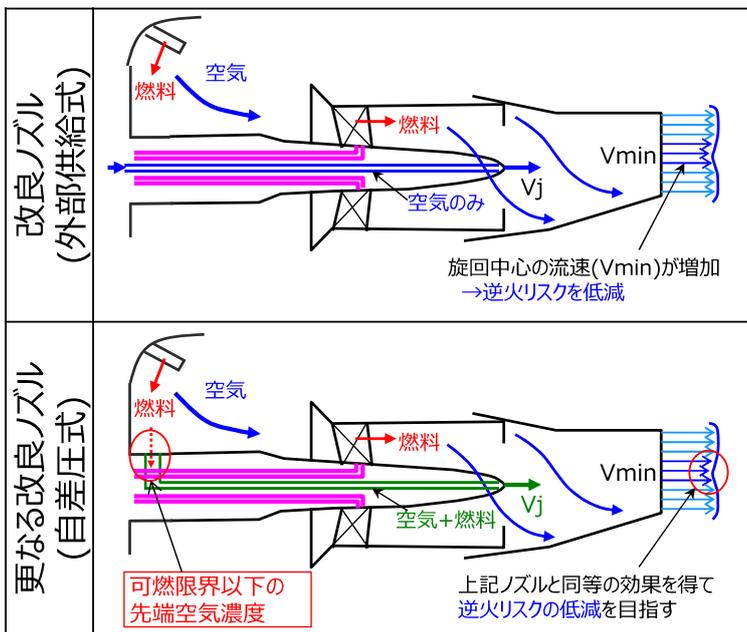


参考文献

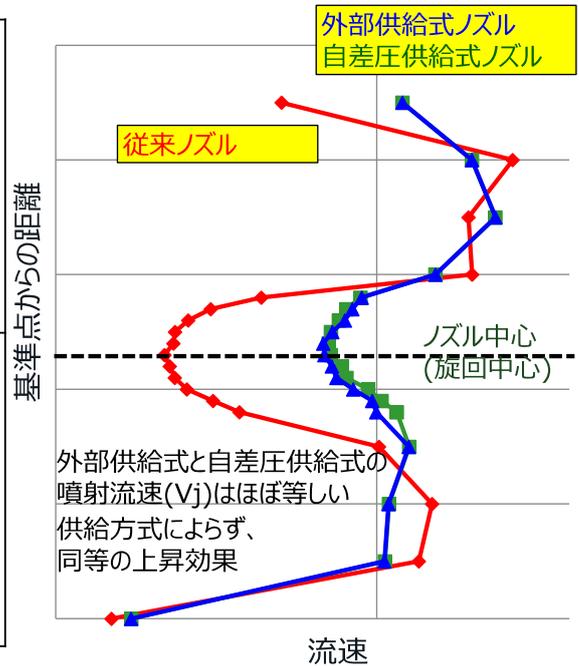
Analysis of Combustion Induced Vortex Breakdown Driven Flame Flashback in a Premix Burner With Cylindrical Mixing Zone
F. Kiesewetter, M. Konle and T. Sattelmayer
J. Eng. Gas Turbines Power 129(4) (Apr 03, 2007)

B 水素混焼ガスタービン燃焼器の設計および検証

- 噴射空気供給システムを削除することで、燃焼器ノズル改造だけで適用可能なノズル構造を検討した。
- 本構造を採用する事により、大幅なコストの削減が可能。
- 気流試験により、自差圧構造に変更しても旋回中心の流速上昇に十分な効果があることが確認された。



図：2017年度のノズル改良内容



図：旋回流中心近傍の流速分布

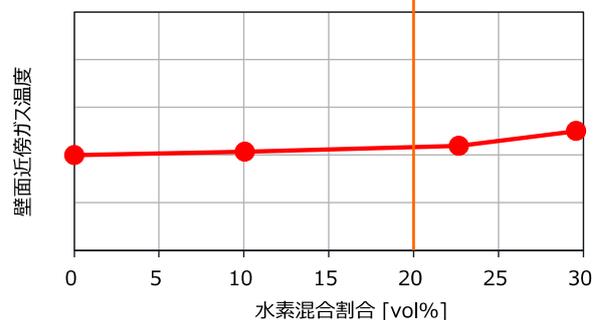
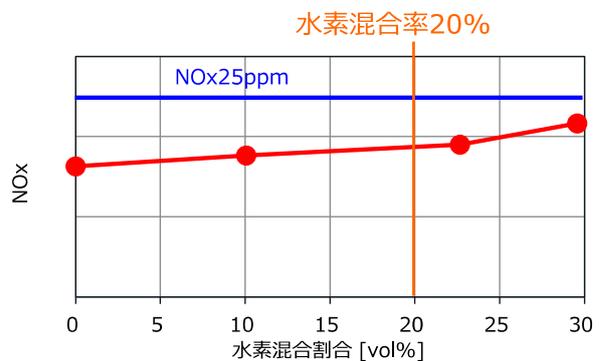
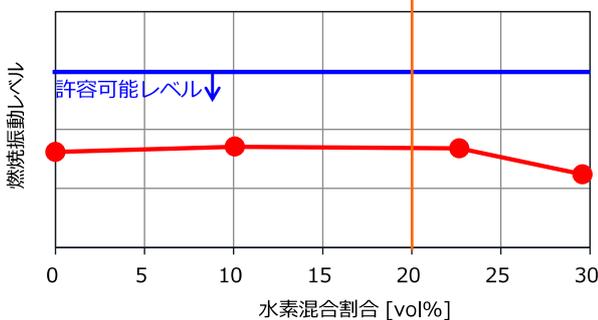
B 水素混焼ガスタービン燃焼器の設計および検証

- 実圧燃焼試験により、自差圧方式の渦芯逆火防止ノズルに関する燃焼特性を検証した。
- 水素混合割合30%条件において、フラッシュバック発生の兆候無く、安定運用が可能な事を確認※した。
- NOx、燃焼振動は共に運用が可能な範囲にあることが確認した。

※T1T1600℃運転



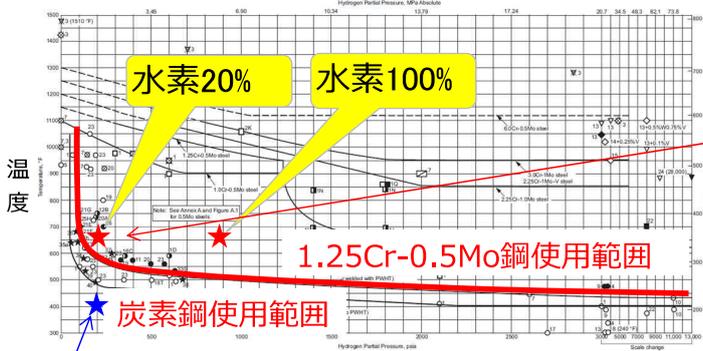
水素混合率20%



3. 研究開発成果について 研究開発目標の達成度及び成果の意義(水素混焼)

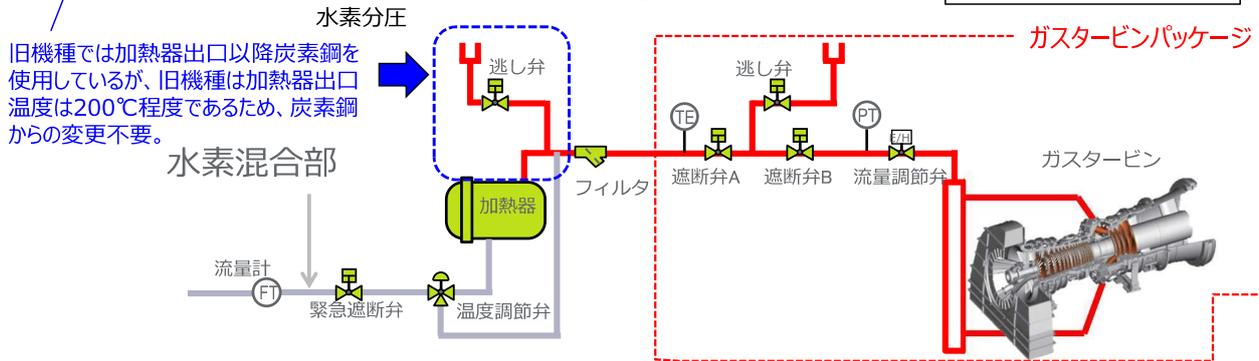
C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術 ~水素混焼燃料系統の材質検討~

- API RP 941 8th Edition(2016)に従うと、1.25Cr-0.5Mo鋼以上もしくはSUSを選定する必要あり。
- ガスタービンパッケージ内は標準設計でSUS材を使用しているため、標準設計からの変更なし。
- ガスタービンパッケージ外は最新機種では高温部でSUS材を使用しているため標準設計からの変更なし。



API RP 941 8th Edition(2016)ネルソンカーブ
最新機種は過熱器出口温度は300℃程度

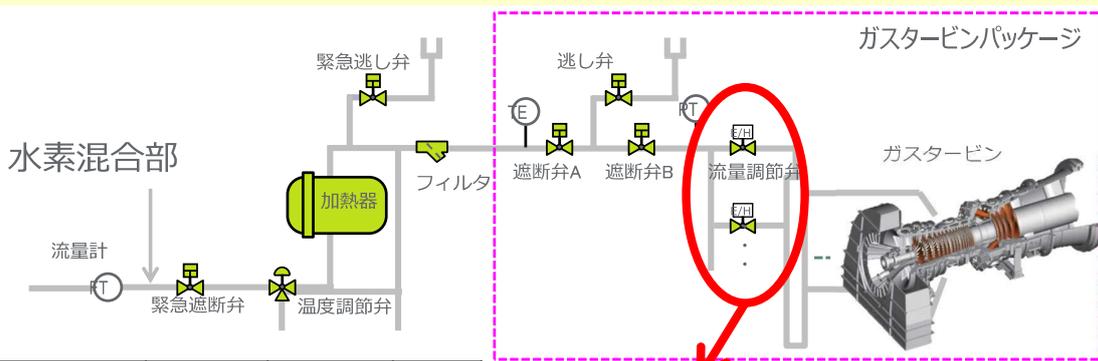
炭素鋼範囲 : —
SUS範囲 : —



3. 研究開発成果について 研究開発目標の達成度及び成果の意義(水素混焼)

C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術 ~燃料流量調節弁~

- 既存の設備で水素20%混合ガスを投入した場合でも各設備の容量の拡張をせずに運用可能。



弁名称	定格容量 Cg値	水素20%混合必要Cg値	流用可否
パイロットA流量調節弁	680	510	○
パイロットB流量調節弁	680	280	○
トップハット流量調節弁	2500	2280	○
メインA流量調節弁(親弁)	2500	1610 (親+子)	○
メインA流量調節弁(小弁)	680		
メインB流量調節弁(親弁)	2500	2740 (親+子)	○
メインB流量調節弁(子弁)	680		

Cg値：弁容量

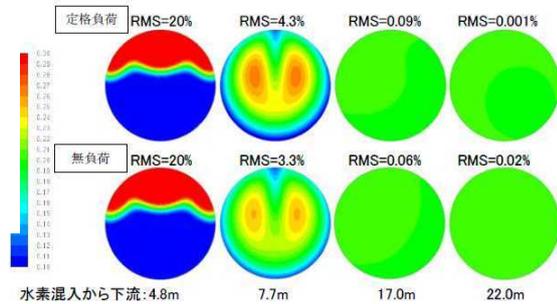
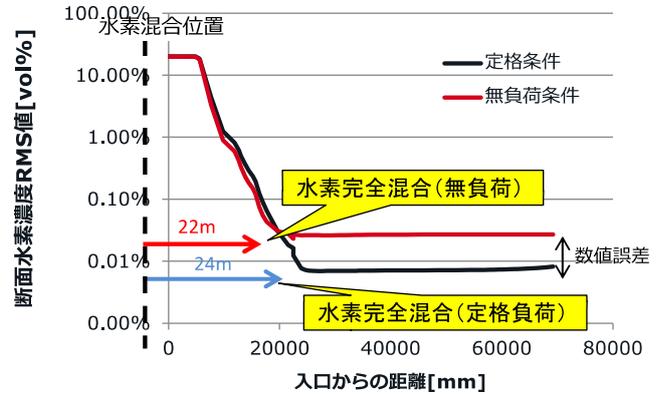
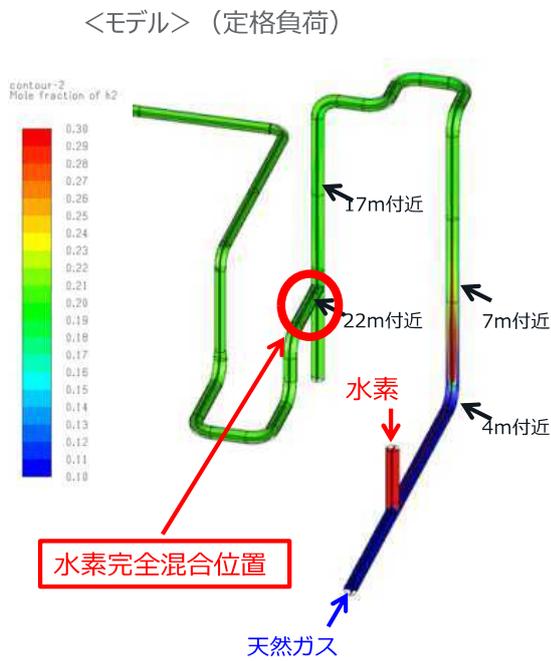
定格容量に対して余裕あり

設備変更不要

C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

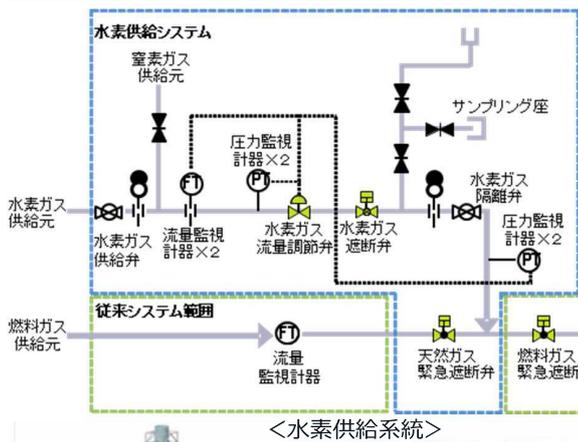
～天然ガス・水素の混合配管～

- 混合器を設置しない場合に配管の曲りのみで天然ガスと水素が混合するかCFDを実施し、水素混合部から24m下流で完全混合となることを確認できた。
- 通常Unitでは24m以上確保されており、問題なし(万一確保できない場合は混合器を設置)。



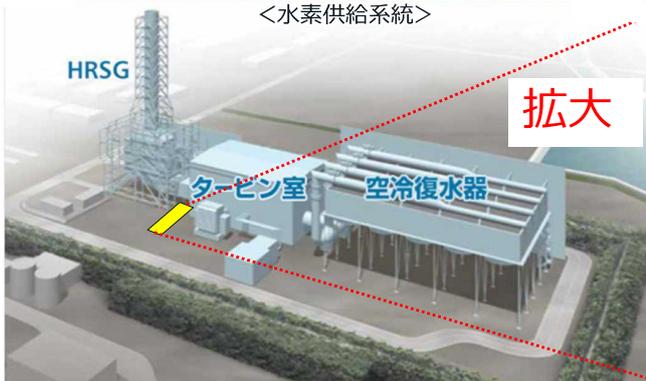
C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

～水素混焼プラント設計～



＜まとめ＞

- 水素供給システムを含め、水素混焼焚きにおけるプラントの基本設計を完了した。
 - 発電設備敷地内で水素混合させる場合においても混合器等の追加設備は不要であることを確認した。
 - 水素濃度20%においては既存の発電設備に水素システムを追加することで対応できることを確認した。
 - 燃料ガス管についてはガスタービンパッケージ内はSUSを使用しているため、標準設計を採用できることを確認した。
- ガスタービンへ
- 弊社実証設備へ水素システムを付加するシミュレーションを実施している。



＜水素混焼焚き発電プラント＞



＜配管計画＞

◆成果の普及



<https://www.mhps.com/jp/news/20180119.html>

大型高効率ガスタービンで水素30%混焼試験に成功 発電時のCO₂排出削減に貢献

- ◆ 従来の天然ガス火力発電所に比べてCO₂排出量を10%低減
- ◆ NEDO助成事業により開発した燃焼器などで安定的な燃焼およびNOx低減を実現

2018年1月19日発行 第190号

三菱日立パワーシステムズ（MHPS）は、発電用大型ガスタービンの開発において30%の水素混焼試験（注1）に成功しました。水素燃焼用に新たに開発した燃焼器（バーナー）などにより、天然ガスに水素を混ぜた場合でも安定的に燃焼できることを確認したもので、水素30%混焼により従来の天然ガス火力発電と比べて発電時のCO₂排出量を10%低減することが可能となります。

◆成果の普及

- 水素閣僚会議(2019/9月)、COP25(2019/12月)など主要な国際会議で成果をアピール
- 事業終了後の2019年度以降も、成果の普及を継続

	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	計
論文	0	0	1	3	0	0	4
研究発表・講演	0	1	3	10	9	5	28
雑誌・図書等への掲載	0	0	6	1	3	0	10
展示会へ出展	1	0	0	0	4	0	5
総計	1	1	10	14	16	5	47

※2020年10月末現在

水素閣僚会議
COP25

3. 研究開発成果について 研究開発目標の達成度及び成果の意義(水素専焼)

開発項目	成果内容	達成度	今後の課題と解決方針
A-1 モデルバーナの設計技術	・燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無くターゲット計画条件にてNOx 50ppm (15%O2換算)以下を達成した	○	設計裕度範囲をさらに拡大させるための単孔ノズル構造の改良
A-2 シングルセグメントの設計技術	・シングルセグメントの数値解析により、バーナ内部の流動を確認した	△ (R3年2月達成予定)	水素専焼において逆火耐性を有する流動場の設計。燃焼器設計に向けて取り組みを継続
A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術	・燃料系統、燃料ステージの計画をもとに、燃焼器全体の計画図を作成した	△ (R3年2月達成予定)	着火・起動から定格負荷まで安定運転を可能とする燃焼器を設計 ①-1、2で構築した設計技術を適用
B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術	・水素供給装置から燃焼シェルまでの系統構成を検討し、成立性に目途を得た ・系統図及び配置図を作成中	△ (R3年2月達成予定)	水素は天然ガスに比べ体積流量が大きくなる。設備をコンパクト化する為、詳細設計中
B-2 高温高圧下での燃焼器燃焼試験 (2022年度予定)	-	-	-

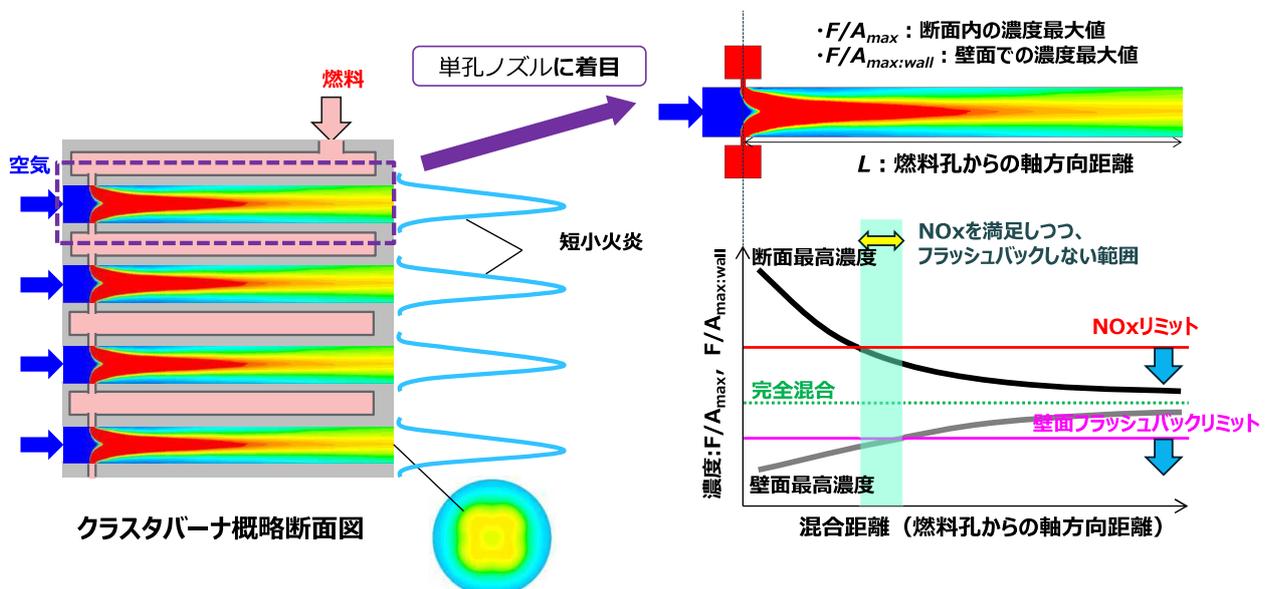
◎：大幅達成、○：達成、△：一部達成、×：未達

3. 研究開発成果について 研究開発目標の達成度及び成果の意義(水素専焼)

A-1 モデルバーナの設計技術 (クラスタバーナコンセプト)

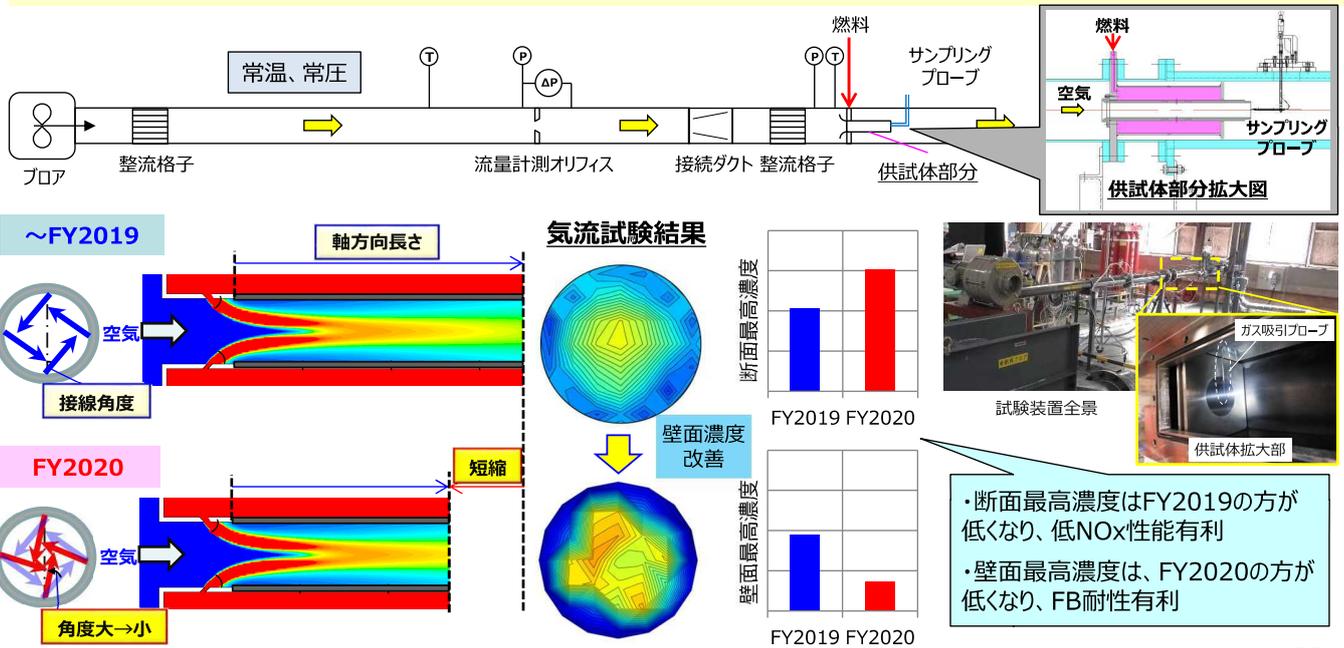
●クラスタバーナコンセプト

- ・低NOx性能と逆火(フラッシュバック/FB)耐性の両立が必要。水素燃料濃度分布に対し次の指標で評価
低NOx性能・・・断面内濃度の最大値
壁面FB耐性・・・壁面濃度の最大値



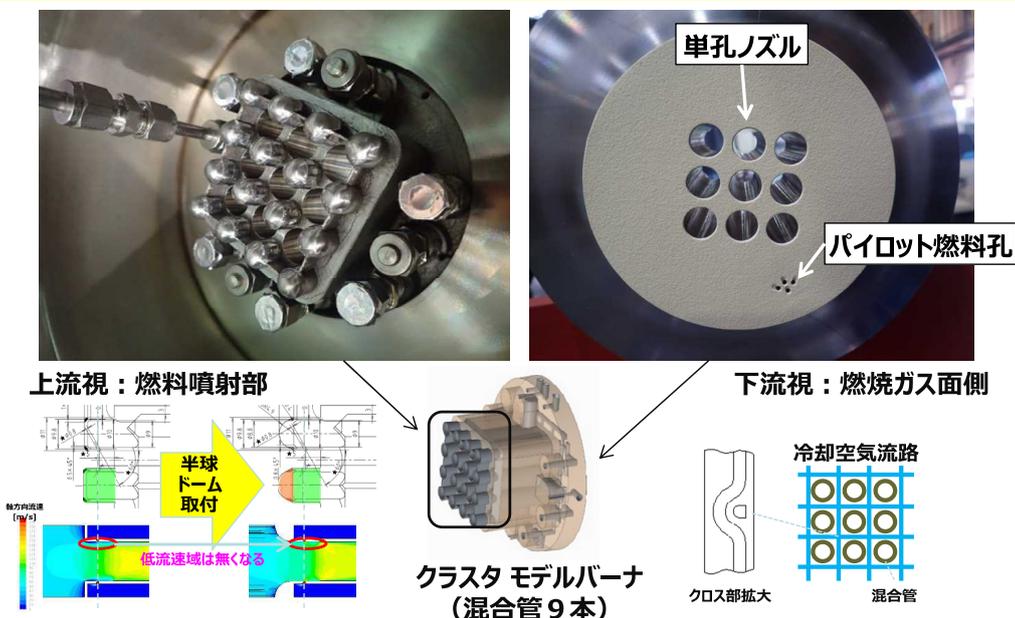
A-1 モデルバーナの設計技術 (数値解析、単孔ノズル気流試験)

- 目標：水素専焼の逆火耐性への影響評価、燃料濃度分布が許容範囲にあることの検証
- 成果：気流試験により、壁面濃度の低減による逆火耐性の改善を確認
- 成果の意義：今後の実機燃焼器適用に向けたノズル設計のベースとなる
- 今後の課題：設計裕度範囲をさらに拡大させるための単孔ノズル構造の改良



A-1 モデルバーナの設計技術 (縮小モデルバーナ)

- 目標：NOx 50ppm(15%O2換算)以下、パーミアウト耐性の確認
- 縮小モデルバーナ
 - ・単孔ノズル9本配置の構成、着火・火炎安定化のためパイロット燃料孔を設置
 - ・バーナ上流には、混合管への流入空気の整流化のための半球ドームを設置
 - ・燃焼ガス側のバーナ面内部には冷却のためMTフィンを設置



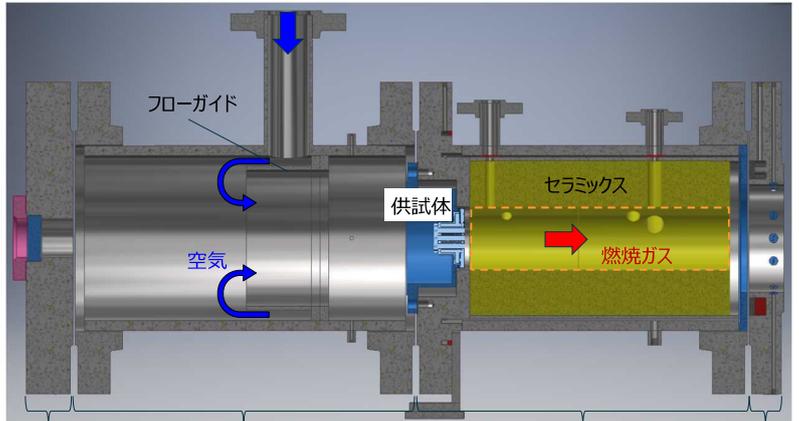
A-1 モデルバーナの設計技術 (モデルバーナ燃焼試験装置)

● 装置概略概要

- ・空気圧力：2.5MPaG
- ・空気温度：485℃
- ・燃焼温度：1800℃

● 試験計測項目

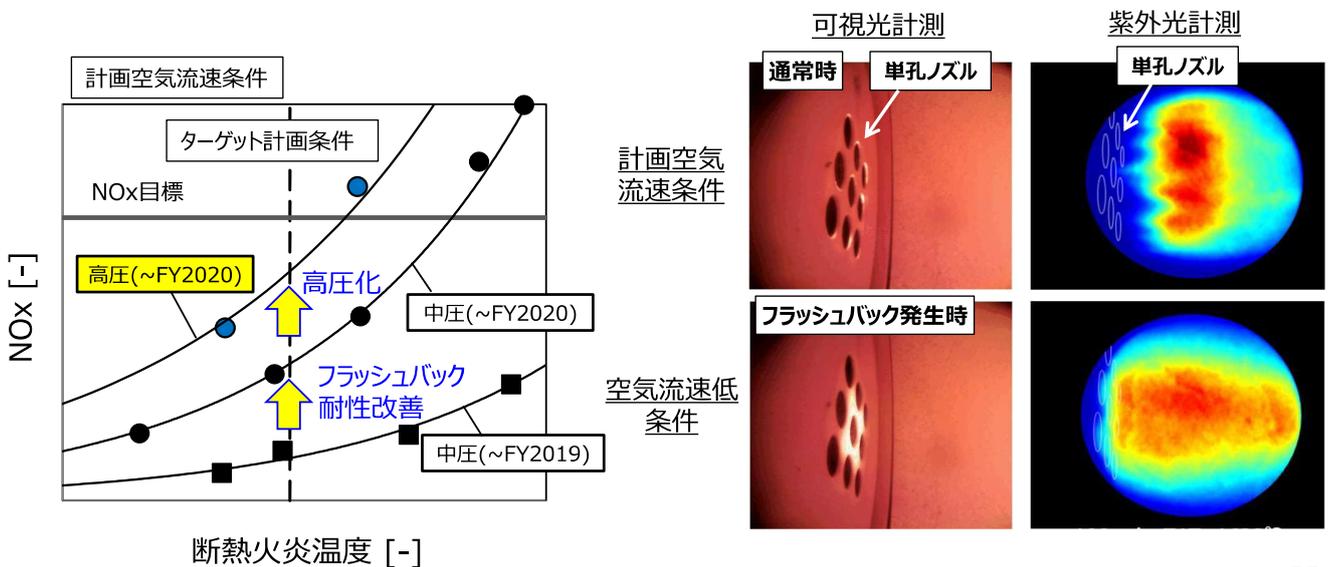
- ・燃焼ガス温度：着火、失火確認
- ・排ガス性状：NOx(NO,NO2)、CO、CO2、O2
- ・可視化：火炎形状
- ・内圧変動：燃焼振動の発生有無の確認



上流蓋フランジ 入口ダクト 計測ダクト スプレーフランジ

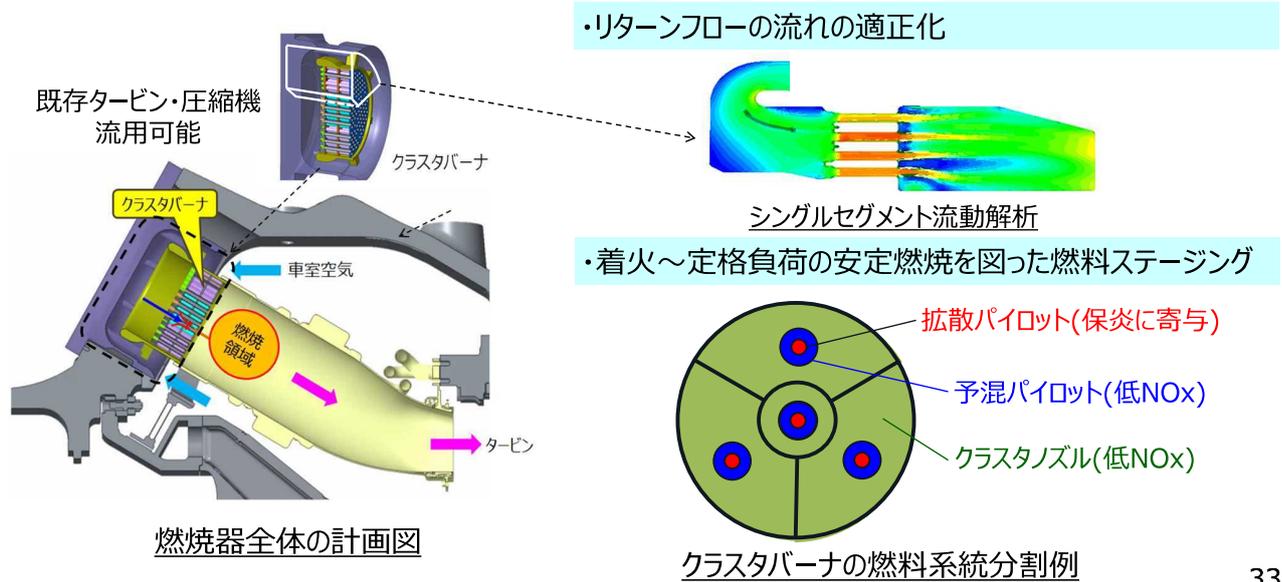
A-1 モデルバーナの設計技術 (モデルバーナ燃焼試験結果)

- 目標：NOx 50ppm(15%O2換算)以下
- 成果：燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無くターゲット計画条件にて NOx 50ppm(15%O2換算)以下を達成した
- 成果の意義：今後のバーナ改良のためのベースで、実用化に向け取組を継続し、研究開発を加速
- 今後の課題：実機適用に向けたフラッシュバック耐性向上



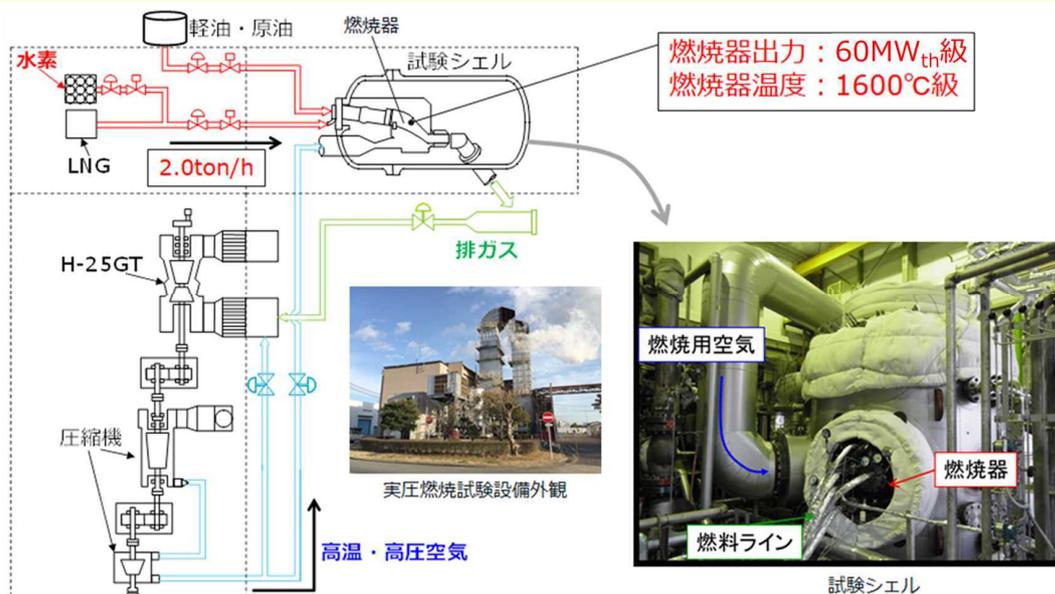
A-2、3 シングルセグメント、大型ガスタービン燃焼器設計技術

- 目標：シングルセグメント、燃焼器の概念設計完了
- 成果：燃料系統、燃料ステーキングの計画をもとに、燃焼器の全体計画図案を作成した
- 成果の意義：燃焼器の全体計画図、燃料系統・ステーキングは今後の詳細設計のベース
- 今後の課題：リターンフローの流れの適正化、燃料系統・燃料ステーキングの詳細設計、燃焼器全体設計



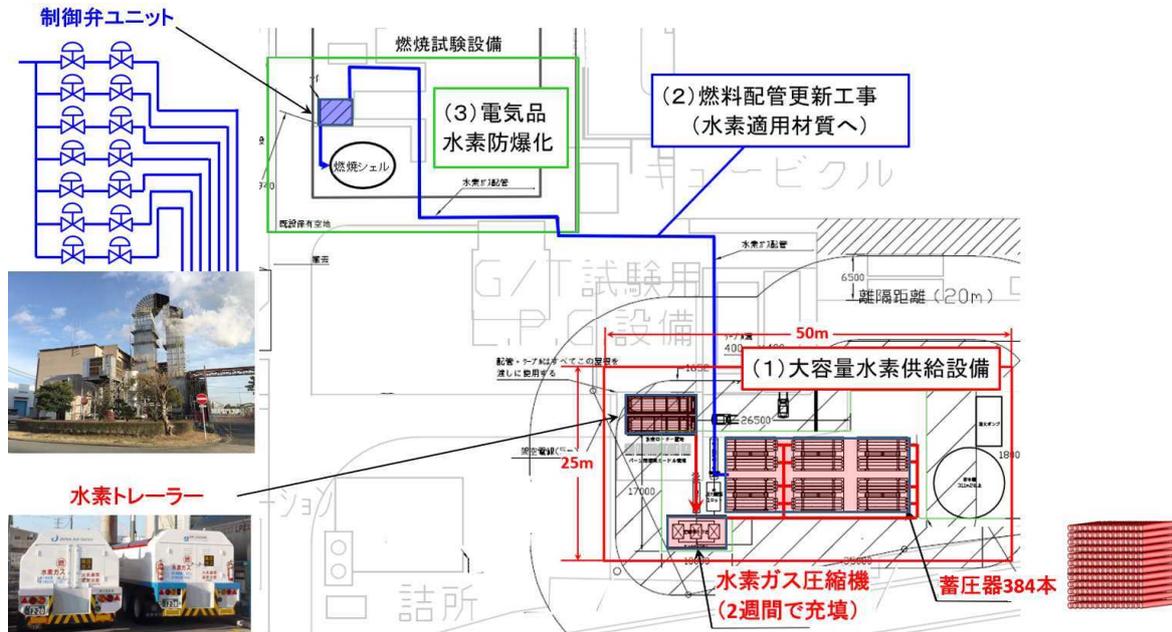
B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術

- 目標：水素供給装置を含めた実圧燃焼試験装置の系統図・配置図の完成
- 成果：水素供給装置から燃焼セルまでの系統構成を検討し、成立性の目途を得た
- 成果の意義：燃焼器検証に必要な系統構成のベースが完成
- 今後の課題：水素は天然ガスに比べ体積流量が大きくなる為、設備を巨大化させない為、配管流速制限等、詳細設計中



B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術

- 目標：水素供給装置を含めた実圧燃焼試験装置の系統図・配置図の完成
- 成果：水素供給装置から燃焼シェルまでの系統構成を検討し、成立性の目途を得た
- 成果の意義：燃焼器検証に必要な系統構成のベースが完成
- 今後の課題：水素は天然ガスに比べ体積流量が大きくなる為、設備を巨大化させない為、配管流速制限等、詳細設計中



◆ 成果の普及

- 成果について定期的に発信(2020/7~10で5件)

	2020年度	計
論文	0	0
研究発表・講演	5	5
雑誌・図書等への掲載	0	0
展示会へ出展	0	0
総計	5	5

3. 研究開発成果について 成果の最終目標の達成可能性（水素専焼）

◆成果の最終目標の達成可能性

- 最終目標： 燃焼器の実圧燃焼試験にて、逆火の発生なく燃焼器出口NOx<50ppmを達成（2022年）
- 達成の可能性： 設計の基礎となるモデルバーナの設計技術は、構築済み。

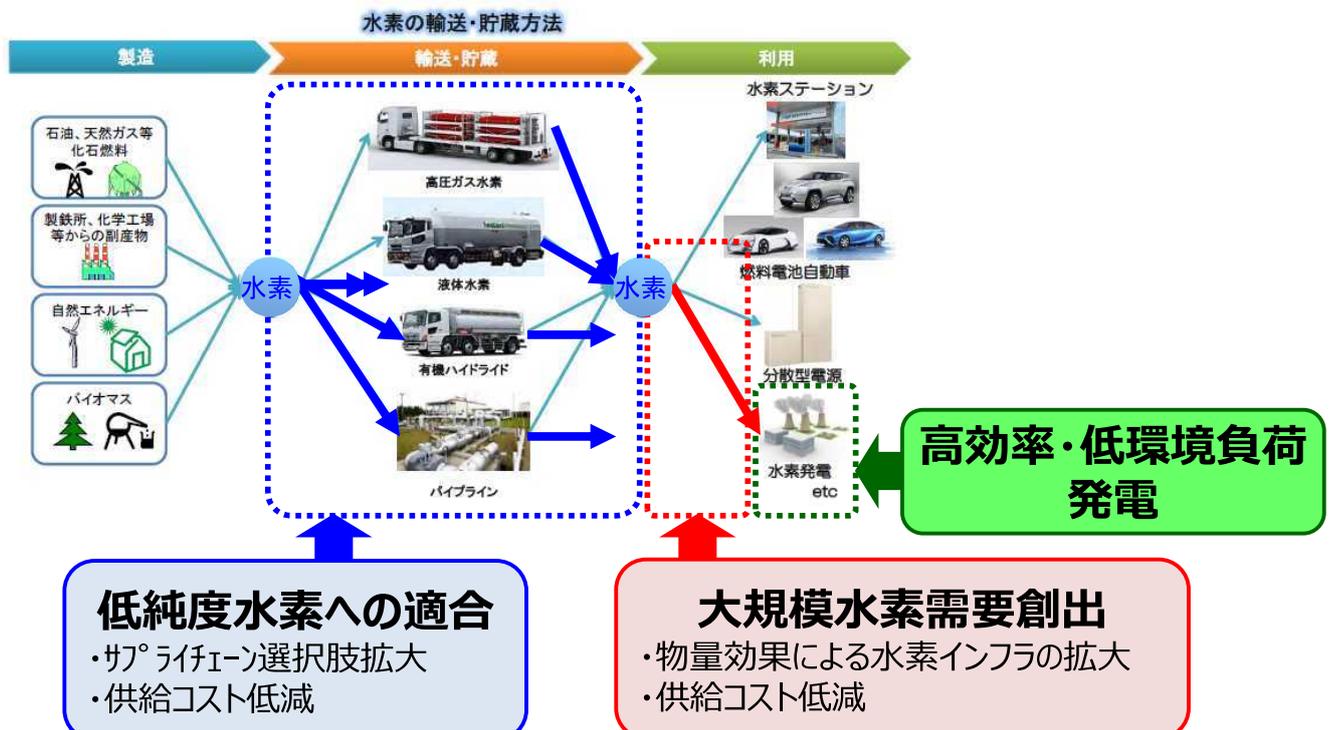
開発項目	現状	最終目標	達成見通し
A-1 モデルバーナの設計技術	・高温高圧下の燃焼試験でNOx50ppm以下を達成	・高温高圧下のモデルバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下（2020年）	・目標達成済み ・さらなる性能裕度を確保するため、改良検討を継続
A-2 シングルセグメントの設計技術	・数値解析にてセグメントの流動場を評価中	・高温高圧下のセグメントバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下（2021年）	・①-1の成果を反映することで達成可能
A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術	・クラスタバーナの計画図を作成中	・クラスタバーナ計画図の完成(2021年) ・燃焼器全体計画図の完成(2021年)	・中容量向けクラスタ燃焼器の設計技術を展開し、①-1、2の結果を設計に反映することで達成可能
B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術	・系統構成の成立性に目途。系統図及び配置図を作成中	・実圧燃焼試験装置の系統図・配置図の完成(2020年) ・土建工事計画図・配管図の完成(2021年)	・計画通り進行中であり、達成の未通し
B-2 高温高圧下での燃焼器燃焼試験	・2022年度から実施	・実圧燃焼試験にて、計画運転条件において逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下(2022年)	①-1～3、②-1の目標を達成することで、達成可能

37

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆成果の実用化・事業化の見通し

- 水素焚きガスタービンの実現により、水素利用基盤拡大への貢献が可能



38

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆成果の実用化・事業化の見通し

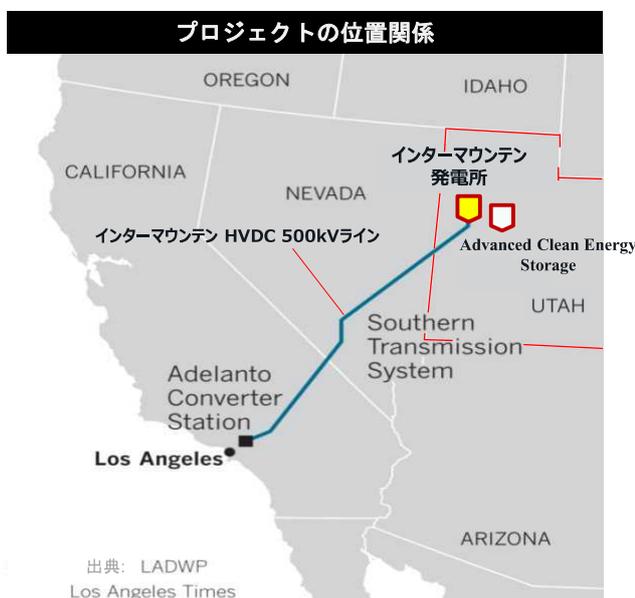
Global	Japan	Europe
<p>Hydrogen Council</p> <p>三菱重工名義で2018年9月に Support memberとして加盟</p>	<p>THE GREEN AMMONIA CONSORTIUM 一般社団法人 グリーンアンモニアコンソーシアム</p> <p>三菱重工および三菱パワー名義で 2017年7月に加盟</p>	<p>ALIGN_{CCUS}</p> <p>三菱パワー ヨーロッパ（ドイツ）名義で DME（ジメチルエーテル）合成技術の研究グループに参加</p>
<p>GLOBAL CCS INSTITUTE</p> <p>三菱重工名義で2019年3月に加盟</p>	<p>CCR研究会</p> <p>三菱パワー名義で2019年に加盟</p>	
	<p>AHEAD</p> <p>三菱重工および三菱パワー名義で 一部技術検討に貢献</p>	
	<p>HySTRA</p> <p>三菱パワーの石炭ガス化設備を供給</p>	
	<p>神戸・関西水素利活用協議会</p> <p>2020年9月に設立</p>	

39

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆成果の実用化・事業化の見通し

- ・ インターマウンテン電力向け水素焼きJAC形設備を初受注。
2025年に水素混焼率30%で運転を開始、2045年までに水素100%での運転を目指す。



ガスタービン機種	M501JAC
出力 (CC)	840 MW (2 GTCC)
所在地	米国 (ユタ州)

当プロジェクトは、石炭火力発電所の設備更新により建設。水素混焼（30vol.%）GTCCへの更新により、最大で年間約460万トンのCO₂排出量削減に寄与します。

発電電力は、ロッキー山脈をまたいでカリフォルニア州及びユタ州に幅広く供給される運びです。

40

◆成果の実用化・事業化の見通し

- ・ NEDO「我が国における水素発電導入可能性に関する調査」に代表されるように、国内の電力会社における検討が開始されています。
- ・ 海外においても水素の発電利用は再生可能エネルギーの利用拡大に伴うエネルギー貯蔵ニーズとして関心が高まっており、複数の発電所で検討が開始されています。



**三菱パワーは
水素の発電利用を目指す世界各国のお客様と
プロジェクトを開発・推進して参ります。**

参考資料 1 分科会議事録及び書面による質疑応答

研究評価委員会
**「水素社会構築技術開発事業/
研究開発項目Ⅱ（大規模水素エネルギー利用技術開発）」（中間評価）分科会**
議事録及び書面による質疑応答

日 時：2020年12月4日（金）13：00～17：35

場 所：NEDO 2301・2302・2303 会議室（リモートあり）

出席者（敬称略、順不同）

<分科会委員>

分科会長	里川 重夫	学校法人成蹊学園 成蹊大学 理工学部 物質生命理工学科 教授
分科会長代理	野田 英智	中部電力株式会社 事業創造本部 執行役員 副本部長
委員	大澤 秀一	大和証券株式会社 エクイティ調査部 シニアアナリスト
委員	河野 龍興	東北大学 金属材料研究所 特任教授 東京大学 先端科学技術研究センター 特任教授
委員	中島 良	テクノ2050 中島技術士事務所 代表
委員	森田 哲司	大阪ガスマーケティング（株） 商品技術開発部 取締役 商品技術開発部長

<推進部署>

古川 善規	NEDO 次世代電池・水素部 部長
横本 克巳(PM)	NEDO 次世代電池・水素部 主任研究員
宇佐美 孝忠	NEDO 次世代電池・水素部 主査
大原 尚己	NEDO 次世代電池・水素部 主査
鈴木 敦之	NEDO 次世代電池・水素部 主任

<実施者>

西村 元彦	技術研究組合CO ₂ フリー水素サプライチェーン推進機構(HySTRA)
東 達弘	技術研究組合CO ₂ フリー水素サプライチェーン推進機構(HySTRA)
鍛冶 尚弘	次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合(AHEAD)
五十嵐 亮	次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合(AHEAD)
谷村 聡	三菱パワー株式会社
川上 朋	三菱パワー株式会社
足利 貢	川崎重工業株式会社

山口 正人	川崎重工業株式会社
小野島 一	株式会社大林組
梶木 盛也	株式会社大林組
島 潔	株式会社大林組
猪股 昭彦	川崎重工業株式会社
岩崎 英和	川崎重工業株式会社
河合 務	東京貿易エンジニアリング株式会社
鵜飼 幸治	株式会社I H I 回転機械エンジニアリング
松原 洋輔	株式会社I H I 回転機械エンジニアリング
本田 修一郎	株式会社荏原製作所
池田 隼人	株式会社荏原製作所
大江 知也	トーヨーカネツ株式会社
藤極 之徳	トーヨーカネツ株式会社
石井 弘実	三菱パワー株式会社
荒木 秀文	三菱パワー株式会社
西田 源央	株式会社中北製作所
渡邊 哲弥	株式会社キッツ
津村 俊一	三菱パワーインダストリー株式会社
高嶋 洋平	三菱パワーインダストリー株式会社
野中 洋輔	川崎重工業株式会社
中島 洋平	川崎重工業株式会社
中島 宏美	川崎重工業株式会社
玉村 琢之	電発開発株式会社
新井 祐介	岩谷産業株式会社
塩飽 崇	三菱商事
得能 翼	三井物産
寄藤 薫	日本郵船

<オブザーバー>

渡邊 幸太	経産省 水素・燃料電池戦略室
-------	----------------

<評価事務局>

森嶋 誠治	NEDO 評価部 部長
塩入 さやか	NEDO 評価部 主査

議事次第

(公開セッション)

1. 開会、資料の確認
2. 分科会の設置について
3. 分科会の公開について
4. 評価の実施方法について
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント
 - 5.2 研究開発成果、成果の実用化に向けた取組及び見通し
 - 5.3 質疑応答

(公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明
 - 6.1 (イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築
 - ①未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業
 - 6.2 (イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築
 - ②有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証
 - 6.3 (ロ) 水素エネルギー利用システム開発
 - ③低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発
 - ④低炭素社会実現に向けた水素専焼対応 DryLowNOx 高温ガスタービン発電設備の研究開発
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
10. 閉会

議事内容

(公開セッション)

1. 開会、資料、議事進行の確認
 - ・開会宣言（評価事務局）
 - ・配布資料確認（評価事務局）
 - ・議事進行に関わる説明（評価事務局）
2. 分科会の設置について
 - ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき評価事務局より説明。
 - ・出席者の紹介（評価委員、推進部、事務局）
3. 分科会の公開について
評価事務局からの紙媒体と動画資料を用いた事前説明、質疑応答をもって行われたこととした。
4. 評価の実施方法について
まとめ、講評時に関する説明のほか、評価事務局からの紙媒体と動画資料を用いた事前説明、質疑応答をもって行われたこととした。
5. プロジェクトの概要説明
 - 5.1 事業の位置付け・必要性、研究開発マネジメント
事前の配布資料に加えて推進部より補足説明が行われた。
 - 5.2 研究開発成果、成果の実用化に向けた取組及び見通し
引き続き、事前の配布資料に加えて推進部より補足説明が行われた。
 - 5.3 質疑応答
推進部からの5.1及び5.2の説明に対し、以下の質疑応答が行われた。

【里川分科会長】 ありがとうございます。

事前にやり取りをした質疑応答や、今ありました補足説明も踏まえて、プロジェクトの概要についてご意見ご質問があればお願いしたいと思います。

【里川分科会長】 今回、大変大きなプロジェクトで、オーストラリアで褐炭から水素を取り出すという形、それから CCS をして CO₂ は貯留、ブルー水素という形で液体水素にして日本に運んで来るプロジェクト、あとは有機ハイドライドにして日本に運んで来る。こういった内容がプロジェクトに盛り込まれているのですが、やはり褐炭から水素を取り出すというところが、それから運ぶというところが一つ大きな技術開発でもあり、また国際的な取組の大事な部分だと思うのですが、プロジェクトの中を拝見すると、ガス化炉と、あとは液体水素の輸送ということが中心に書かれているのですが、それ以外の部分、CO₂、水素の分離とか、水素から液水をつくる場所も特に入っていなかったと思うのですけれども、あと CCS の部分、こういった部分はこういった取組になっているのかというのを伺いたしたいと思います。

【NEDO_横本 PM】 ありがとうございます。

豪州からの液化水素のプロジェクトにつきましては、NEDO の所掌範囲としましては褐炭のガス化、それと日本に運んで来る船、神戸に建設した受入れの基地というところが大きなプロジェクトになっております。

ガスの精製、液化、豪州側での出荷基地というところにつきましては、豪州側で予算をつけていただきまして、一つのサプライチェーンとして、我々の事業と豪州のプロジェクトの事業として回っているものでございます。

お話にありました CCS につきましては、私ども直接関与はしておりませんが、豪州側のプロジェクトの中で、カーボンネットという取組がございまして、市民の皆様への CCS 含めたご理解をいただくことや、経済性の成立性があるのかと、そういう調査も含めて豪州側のプロジェクトとして進めておられるものでございます。

【里川分科会長】 そこら辺のオーストラリア側の情報というのはどれぐらい把握されているのか、進捗状況ですとか、あと将来見通しとか、そこら辺についてはいかがでしょうか。

【NEDO_横本 PM】 このプロジェクトを開始した当初から、年に2回、ステアリングコミティという形で、私ども NEDO を含めた経済省、あとは実施者の皆様と豪州側の政府関係者含めたコミュニケーションを取っております。

それ以外にも、豪州側に川重、電源開発含めて人が張りついておりまして、ほぼ月に1回程度で情報交換をしながら進捗を確認していっているという状況でございます。

【里川分科会長】 ありがとうございます。

【中島委員】 質問よろしいでしょうか、中島です。

【中島委員】 資料5のスライド14ページになりますが、研究開発目標が(イ)(ロ)ということで示されてございまして、事前にご質問もしたのですけれども、ご回答が少し私の意図したものと違うので、ご質問をさせていただきたいと思っております。

質問は、ここにあります未利用エネルギー由来水素サプライチェーンの(イ)の後半下の、今、映していただいたスライドでいうと真ん中辺りですが、システムを構成する技術目標の水素製造効率や輸送効率等に関しては個別に設定するというので、これを具体的にどういう目標を定められているのかということをお聞きしました。しかし個別に回答をしていただいたのは、必ずしも効率に関するご回答になっておりませんでした。NEDO さんとしては、この効率についてどのように考えていらっしゃるのか。NEDO さんの立場としてどういうふうにご設定しようとしているのか、ちょっとご質問させていただきたいと思っております。

【NEDO_横本 PM】 効率につきましては、例えば液化水素でいきますと褐炭の乾燥、製造を含めて、そこの辺りの効率も目標、技術ターゲットとしては入れております。

あとはMCHにつきましては、例えば変換効率であったり、触媒の耐久性であったり

といったことも含めまして、個別の目標を設定したということが現状でございます。

【中島委員】 ありがとうございます。

効率の技術目標設定は大事な位置づけだと思います。例えば輸送効率という言葉を一般的に受け止めると、どれだけのエネルギーを海外から日本に持って来るのどのぐらいのエネルギーを投入したのか、要するにインプットとアウトプットの関係、分母分子で効率を算出するということは工学的にはごく一般的な考え方なのかと思います。今回は、非常に大きなプロジェクトで、数多くのテーマに個別に分かれていて、それぞれにいろいろな目標が設定されているのは理解できるのですけれども、一つプロジェクト全体の大きな目標値として、今、申し上げたような効率、これが要するに将来的にはコストに直結して関わってくる数字になるのではないのかと思うので、こういう目標値というのを定められているものと考えていました。しかし、非公開情報とかいろいろ探してもこの数字が見当たらなかったものですから、あらためて質問をさせていただきました。

今の私が申し上げたような、大きな意味でのインプット、アウトプットのエネルギー投入に対して得られるエネルギーの割合を効率と定義することについてはどうお考えになりますでしょうか。

【NEDO_横本 PM】 現状、輸送効率のところにつきましては、理論値を考えて計算するというところで事業者の方とお話をしております。

実際に、今、例えば液化水素船を造らせていただきましたけれども、規模としては国内で走るような内航船に近いようなものですし、タンクも小さいということもございます。基本的にはそういうことがございますので、現状としては今ある技術でいかに断熱を高めていって水素を効率よく運べる、例えば断熱構造の変更であったりとか開発であったりとか、断熱目標を設けるとか、そういうことでさせていただいているものでございます。

それと MCH につきましても同様でございます。現状は ISO コンテナで輸送をしてきております。将来的には、ケミカルタンカーという形での輸送ということになりますと、輸送効率もしくは言われたコストに直結するという形で、大型化を含めた形でのコスト試算ということで、2030 年から 2035 年、その以降に 30 円/Nm³ とか、そういう形の試算をしているところになっています。

【中島委員】 ありがとうございます。現状の考え方については理解いたしました。

【里川分科会長】 これは、具体的な数字が今あるわけではないというふうに考えていいのですか。

【NEDO_横本 PM】 そうですね。いわゆる輸送効率で幾ら運んで来て、幾ら荷量にかかっているといったところにつきましては、具体的にはまだ試算が十分できていないということでございます。

【里川分科会長】 この事業が終わったときにはそういうのは出てくるのですかね。

今いろいろやられていますよね、機器の効率だとかいろいろ出てきて、まとまった最終形としてこういう効率になるとか、そういった数字が出てくるといいかなと思うのですけれども、先ほどのカウンターパートのオーストラリア側の話もありますから、何かそれを全体で試算ができると、次に、例えばこれを実体として動かすときにすごく有効な数字になるのではないかなと思うのですけれども、いかがでしょう。

【NEDO_横本 PM】 液化水素のほうにちょっと話がいききましたけれども、豪州側のプロジェクトを含めた上で、この後 HySTRA の西村様からご紹介あると思いますけれども、全体としてはいかに効率を上げていくかということは議論されております。

ただ、今、具体的にどういう目標値でということについては、まだ十分に実施しきれていない部分があるのではないかなと思います。

その辺り、西村様、もしコメントがあれば。

【HySTRA_西村】 西村です。

まず、輸送効率ですけれども、今のパイロットと商用ではちょっと考え方が異なりまして、商用船になったときには、LNG 船と同じようにボイルオフガスを消費して推進機関のエネルギーとします。

ですから水素のボイルオフガスですから、輸送中も CO₂ を出さないということなのですが、その輸送用のコストが水素 30 円/Nm³ に占める割合でどれぐらいかといいますと 2.6 円です。そんな大きなポーションではありません。大きな負荷にはならないというのが 1 点目。

それから、ボイルオフガスの出る量、小さい量です。タンクの断熱性能で決まるボイルオフガス量が主機の消費量とバランスするように設計開発して無駄はないようにします。従って、主機の機関効率をいかに上げるかが重要になります。

ですから、最初の段階では我々、ボイラータービン推進機関を考えておりますが、部分負荷性能がボイラータービンですとあまりよくないものですから、将来ガスエンジンが出来ましたら、こちらを使って推進する、こうしますと効率もかなりよくなります。そういったところを攻めていくと、将来は輸送効率がさらに上がるということになります。

いずれにしましても、30 円のうちの 10%に満たないようなポーションが輸送のコストということになりまして、エネルギーの観点からもそれほど大きなロスにはならないというところがございます。

【NEDO_横本 PM】 AHEAD さんも参加されておりますので、MCH のほうで輸送に対する、コメントあればお願いいたします。

【AHEAD_鍛冶】 今回、AHEAD の取組は実証事業ということで、今、横本様からもお話しありましたとおり、今回は ISO コンテナを利用するということで、輸送効率というよりは輸送する量に合わせたものでのデバイスを使ってということになります。

今後の展開、今後の将来向けには当然タンカーを使用した形になりますので、輸送効率というところは関わってくるかと思えます。

輸送そのものというのは、そもそも何を運んでいるかという話ですが、これはトルエン、MCHをそこで運ぶということになりますので、運ぶもののロスがどうなるかというところに、我々としてはいろいろな関心を持ちながら今、進めています。輸送効率そのものというよりは、トルエン、MCHのロスを軽減できるかというところに着眼しながら、今後、大型化という話を進めていこうかと考えております。

ちょっとこの段階では数字のお話しはなくて、こういった方向性だけのご説明いたします。

【里川分科会長】 ほかに委員の先生からいかがでしょう。

【森田委員】 資料7の概要の3ページの一番下のところなのですが、前回、中間評価結果への対応ということで、各テーマ下の関連性が明確でない云々の指摘があったように書いております。

確かにこれだけ幅広い多くのテーマがあると、非常に関連が深い、でもなかなか関連性が表現しにくいと、そういうことへの指摘だったのかなというふうに思います。

2017年以降、進捗評価委員会というのが年1回開催されて、NEDOさんのほうで情報共有、検討というのを実施者さんとされたというふうに書かれております。すばらしい試みだとは思いますが、具体的にどのような共有内容があったのかとか、その中でどんなことが成果として出たのか、そういうようなことがあれば教えていただければというふうに思います。よろしく願いいたします。

【NEDO_横本 PM】

これは、前回の中間評価の中で、テーマが多岐にわたるということと非公開の委員会が多くて、皆様が社会構築事業全体を本当に進む方向が同じなのかということでご指摘があったというふうに記憶をしております。

その後で、私どもとしましては、毎年1年ごとの技術の進展を、まず進捗評価委員会の先生方に評価をいただくいたしました。その中で、ここは遅れているのではないかと、ここはこういうふうなことをしたらいいのではないかとアドバイスをいただきながら、それぞれの毎年の事業の確認をやってまいりました。

その中で、情報共有という形でございますけれども、これは具体的にやった方法としましては、事業毎でポスターを作成し、みんなでポスターを見て、それについて意見交換し、進んでいる事業で困っていること、ここはうまくいっていることというようなものを情報共有しながら進めたというのが、進捗評価委員会後の皆さんとの意見交換の場という形になっております。

【森田委員】 分かりました。ありがとうございます。

【里川分科会長】 ほかにいかがでしょう。

【大澤委員】 シェールの話ではないのですが、エネ基が来年変わりますと。それに

伴って水素基本戦略も変わりますと。ロードマップも当然変えていこうという話になると思うのですけれども、今回の評価というのはあくまでも、直接関係ないのかもしれませんが、例えば今回の評価の見通しなんかを評価する場合に、目標が前倒しになる可能性があることを含めるということは、それはあまりやらないほうがいいということですか。

もちろん決まっていけないことは何も言えないのですけれども、例えばギリギリ目標達成、もしくは少し遅れているようなプロジェクトに対して、将来目標が前倒しになる可能性があるのをより一層加速するようなことが求められる、みたいなコメントというのはやらないほうが良いですか。

【NEDO_古川】 NEDO 電水部の古川と申します。

今のご指摘の点については、現状まだ検討中でございますので、今の評価の中には持ち込んでいただかないほうがいいのかと思っております。

成果の進捗を見て、目標通り、もしくは目標よりもっと前倒しで達成ができるのではないかと、この部分がより力を入れて推進していったほうがいいのかとか、そういった前向きなコメントはいただきたいと思うのですが、まだエネ基も含めてどのような数字になるか、水素の扱いがどうなるか、エネ基につきましても現行の第5次エネルギー基本計画の成果を見て、第6次改定の必要があるかなとか、そこをまずは整理している段階ですので、まだ何とも言えない。

そこを持ち込んでしまうと評価の軸がぶれてしまいますので、現時点で定まっているものの評価でお願いしたいと思います。以上です。

【里川分科会長】 それでは、中部電力の野田様お願いいたします。

【野田分科会長代理】 今回、資料を読ませていただいて、これはコメントになりますが、非常に全体像が分かりにくいと思っております。何をどうパイプライン管理して、何がどこまで出来上がっていて、AとBとか組み合わせるとこのバリューチェーンとか、サプライチェーンのここが出来上がるのだ、というような全体像が見えないと、実は何が足りなくて、何が足りていてというのが非常に分かりにくい。

当然、オーストラリア側でやられているというのもあるので、それをどう表現するかというのが難しいのかとも思いますが、これをずっと進めていって、社会実装の段階で、実はこのパーツが足りなかったとか、こういうことが何か出てくるのではないかと危惧もしました。今回の評価は、今回の箇所の評価、ということなのだと思うのですが、NEDO のマネジメントとして、そういうところをされたほうが、多分、最後の仕上がりが、より有意義なものというか、ここで世の中に出していくよ、といったときに、こんなことが足りなかった、といって事業者を探すようなことにならなくて済むのではないのか、というコメントでございます。

【NEDO_横本 PM】 ご指摘ありがとうございます。

言われたとおりで、この春からも新たな追加公募として、例えば液化水素のプラン

トに関わる技術開発につきましては何が不足しているのかということをお客様さんとヒアリングをして、新たにバルブの開発でありますとか、ローディングアームに関しての、そういうことを資金投入してきております。

現状でいきますと、恐らく電力会社さんを含めていろいろな方と、どういう技術があって、今どこが足りないという話をしておりますので、今後、社会実装という形で実際のくだけになる前に、もう少し足りないところを補えるような調査を含めてやっていきたいと思っております。ありがとうございます。

【里川分科会長】 いろいろ先生方から今、ご意見出てきました。

私も最後の野田様の意見と同じなので、最初にオーストラリアの状況をお伺いしたのですが、確かに新しく加わった事業がかなり個別機器で、心配される機器、いろいろ社会実装するときに技術開発が必要な課題が積み上がってきているので、その部分は非常に社会実装を目指した開発になっているというふうに感じるのですが、オーストラリア側の状況についても、全体像として、やはり最終的な報告のときには現状を取りまとめていただかないと、多分、今、大澤様からのご意見もあったとおり、前倒しということが、これから社会実装が逆に早まる可能性が出てくる状況だと思うのですね。

そういったときに、それからこれがない、あれがないではなくて、今回のプロジェクトではここができていて、我々のプロジェクトではないのだけれども、カウンターパートの仕事はここまでできているとか、あと例えば、何年 R&D をやれば本当にこれが実現できるかとか、そういったものが見通せるような最終的な報告になってくれるといいのかなと思っております。

【NEDO_古川】 私からよろしいでしょうか。電水部の古川でございます。

ご指摘の点、もっともだと思いますので、進捗を併せながら全体像をなるべく明らかにしていきたいと思っております。

ただ他方、やはりいろいろなエレメントというものが一步步現実に向かっていかないと、その課題に対してチャレンジしていただく事業者の方というのは踏み込めないところがございますので、そういう意味では、まず液体水素であるとか MCH、こういったもので水素を持って来るといったところの技術が着実に進み、この分野での事業性が何となく思われるというところで、バルブメーカーさんですとか、様々なところがこの分野に参入して、研究開発に携わることができるということもございますので、非常にそのエネルギーの話で長いスパンの開発が必要となりますので、着実に一步步進めながら、足りない部分は明らかとしつつ、そこに事業性を見いだしていただける状況になったところで、適宜、技術開発を進めて、全体像をフィクスしていくという形で進めていきたいと思っております。

その試みとして、先ほど横本が申し上げましたとおり、バルブですとかローディングアーム等の開発も適宜この事業の中に追加をして、実施者さんを見つけ、研究を推

進んでいるという形になってございます。

【里川分科会長】 ありがとうございます。

では、全体のほうを終わらしまして、次のプロジェクトの詳細説明、議題6に移りません。

(公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明

6.1 (イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

①未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン構築実証事業

資料6-1-1に基づき、事業概要、研究開発マネジメント、研究開発成果について説明が行われた。

<質疑応答>

推進部署からの6.1の説明に対し、以下の質疑応答が行われた。

【里川分科会長】 ただいまの説明に対して、ご意見ご質問がありましたら、お願いしたいと思えます。オンラインの方からでも結構です。委員の先生方からございますか。

【中島委員】 西村様ご説明どうもありがとうございます。着実にこの素晴らしいプロジェクトを進めてらっしゃることに本当に敬服いたしております。一方、先ほど絶対大丈夫かと委員の先生方から少しコメントが出ましたように、私自身も今回この膨大な資料を事前にいただいたときに、全体像が見えづらいついとか、個別にはいろんな非常に進捗しているものがありながら、少しわかりづらいついなど思ったのが正直なところでした。一例として、今回の実証は将来の商業化時点のおよそ100分の1スケールぐらいの規模で実施をすると大目標のところに書かれていますが、追加で質問させていただいた通りで、なかなか個別の資料を調べても、今回の実証のそれぞれの、例えば各種のタンクや輸送量とかにしても、定量的な数値があまり明快に書かれていませんでした。これらは一体どういう関係になっているのだろうと質問させていただきましたところ、例えばタンク、液化水素のタンク等は32分の1スケールと追加で回答いただいております。ここで質問に移りますが、100分の1のスケールの実証が着実に進んでいるのは理解できるのですが、将来2030年に30万トンを目指すという、今回の実証の100倍スケールですけれど、今後商用化を進めていくとき、どの位のステップを踏んでいかなければいけないのか。例えば今から5年後までに10倍にスケールアップするなど、いろんなステップの踏み方があるのだと思えます。今もまだ協議中で検討段階とは思いますが、この先の30円/Nmに向かってはどのぐらいのステップが必要だとお考えになっているのかお教えいただければありがたいと思えます。

【HySTRA_西村】 船の輸送規模が大体100分の1とこういうことになっております。今の

船が 1250m³、商用船は LNG 船と同じで、4 タンクで 16 万 m³、1 タンク 4 万 m³です。ですからタンクの容量で言いますと 32 倍、これがご質問の回答に出た数字でございます。32 倍というのは体積で 30 倍ですから、スケールでいうと今のタンク直径が 10m、商用のタンクは 40m、ということになります。陸上のタンクにつきましては、今回の空港島のタンク世界最大規模 2500 m³の球形です。商用の時は、5 万 m³、その後最終的には LNG と同じように 20 万 m³まで拡大できるように大型化開発にて進めています。商用 LH2 タンクは円筒平底の形状に今の球形から変わります。こちらも現行、着々と進めております。加えて、BOG 水素コンプレッサー、それから液化水素の搬送ポンプを大型化研究の共同実施企業さんと取り組んでいます。大型化の研究開発は 2022 年度まで実施しまして、その中で技術を確立して、わかりやすく言うと見積りが出せるような状態に持っていく予定です。

2020 年代半ばの商用化実証へ取り組めるようなペースで開発を進めていきたい、というふうに考えております。若干、HySTRA 組合の枠を超えた内容になっておりますがご了承願います。

【中島委員】 そうしますと、タンクの例がわかりやすかったのですが、今現在だいたい 10 m ぐらいの直径で、商用化では 40m ですけど、中間で例えば 20m だとかを作らなくても、今後の検討で次に本当に実施する時には、いきなり直径 40m でタンクを作ってしまうということに理解しました、それでよろしいでしょうか？

【HySTRA_西村】 はいその通りです。それから、ガス化炉の話はしなかったですけども J パワー殿が大崎クールジェンで研究を進めておられ、玉村さんの説明にもあった通りスケール的には十分可能な話です。

【中島委員】 はい、ありがとうございます。

【里川分科会長】 はい、ありがとうございます。今回の事業の次はある程度大規模にできそうだというようなことで、大変心強いコメントだったと思います。河野先生、お願いします。

【河野委員】 はい、河野です。ご説明ありがとうございます。2 点教えていただきたいのですが、一つはページ 8 のところです。冒頭お話があったかと思いますが、豪州側と日本パートとの取り合いが少しよくわからないのですが、この輸送用タンクを作られたということなのですが、液体水素をチャージするところの部分は、もう、豪州側に完全に任せてしまって、豪州側から出るときは先ほどの輸送タンクに液水がフィルアップしている状態から、日本側というイメージなのでしょうか。下ろすときは逆に 23 ページで検討されておられますけど、おろす側は日本でやるという形なのか、その辺が曖昧でわからなかった、というのが一点。もう一点は、ガス化のところ、豪州褐炭が使われるのですが、豪州褐炭特有の問題点というものがあるのかどうかということと、将来的には、バイオマスを混ぜるという話になりますけれども、その場合はバイオマスの選定との関係性というのは、どのように考えておられるか、その

2点を教えて下さい。

【HySTRA_西村】 この水素輸送船に75tの液化水素が載ります。それだけの液化水素を作る設備は豪州側にはありませんので、まずは日本国内において液化水素を搭載し安全運航できるかを検証し、確認されたのち日豪の航海で実証しないといけません。ので、国内で75tの水素を満載した状態で船が豪州の方に行きます。ガス化精製した水素はラトロフバレーから港近くの液化基地まで約100キロの距離を水素トレーラーで輸送します。

港近くにあり液化基地で水素を液化して、コンテナトレーラーに溜め、コンテナトレーラーをいっぱいした状態で栈橋まで引っ張っていきます。栈橋ではトレーラーから自己加圧という方法で、輸送船に積み込みをします。こういう運用になります。

【河野委員】 はい。よくわかりました。ありがとうございます。

【JP_玉村】 ご質問ありがとうございます。最初、に褐炭の特有性ということですが、まず一番大きいのが水分で、水分が非常に多いというのがあります。豪州の褐炭の分析をしていますが、だいたい60%程度の水分が含まれておりまして、これまで我々実績ある亜瀝青炭でも一番多いのが30%です。これが大きなポイントと思っております。いかに水分を取り除くかというところがポイントになってくるとなっております。

さらに豪州褐炭の特徴としまして灰分が少ない、あるいは灰の成分が変動する、灰溶融点が高いとそういった特徴を持っております。EAGLE炉につきましては、特にガス化性能の高いガス化炉を開発しておりますけれども、逆にスラグを流下させるところが難しいと考えています。この辺りの灰の成分につきましてきちんと確認した上で、きちんとスラグが排出できるというところを、メインの目的としましてガス化試験を行っていきたいというふうに考えております。

それから、2つ目のご質問いただきましたバイオマスとの関係ですが、CO₂の分離回収設備では約90%程度までCO₂を回収することができますが、先日の菅首相からの2050年のゼロエミッションというご発言、もしくは豪州政府とも1年ほど前に話した時に、90%では足りないといったご発言もありましたので、CO₂をきちんと100%近くまで取り除いていくといった努力をするべきだと考えております。どのようなバイオマスを使うのかということにつきましては、現時点では木質系のものを使おうと思っておりますが、その場合、豪州での調達性についても、現在調査を進めているところでございます。

【河野委員】 はい。どうもありがとうございます。

【里川分科会長】 はいありがとうございます。野田先生お願いいたします。

【野田分科会長代理】 野田でございます。ありがとうございました。非常に勉強になりましたし、今回100分の1スケールと言いながら一気通貫で国内まで戻ってくるとい

うことに関しての意義というのを非常に感じております。一方で、先ほどからお話が
あった通り、大型化をしていこうとすると、さらにやらなければならないことがあり、
それをご認識されていると思っています。

ローディングアームスイベルジョイントの話もされておりましたし、底が平らの
タンクを大型化していかなければならず、その場合に、耐震上の設計のことも考えると、
多分球形のタンクが置けるとは限られてくるかと思えます。そういうことを
やっていかないといけないとすると、実は他にも、もっと大型化のために、今の規模
の技術でそのまま流用できるものと、やはりそれなりに手を加えないといけないもの
というのが、ずいぶん見えてこられていうのではないかと思います。評価する上で
そこを見せていただくと、評価がしやすい。何がどこまで進んでいて、また、この
進んでいる状態が適正な状態なのかが把握できると、今回は間に合わないのかもしれ
ませんが、次回、きちんと見せていただきたい。進捗状況がどうで、技術的な見解
がどうだということがわかれば、このスピードで行ってもいいのか、多分、NEDO さ
んからすると、もう少しお金をつぎ込んでもスピードアップしなくてはならないと
か、マネジメントにも繋がると思うので、そういう方向でやっていただくと非常に
いいのではないかと思います。

一方で、研究開発の全体構成が書いてある図がありました。豪州パートのところ
が少し気になっていて、コンテナトレーラーで運んで行きますという話があったので
すが、現実にはそれをすごく大量に輸入する、例えば資料5の12ページに輸入量が90
億 Nm³ って書いてあるのですが、この規模でもってこようとすると、コンテナトレー
ラーで行ったり来たり、何台で運搬するのかを考えると、何かパイプライン輸送みた
いなことを考えないといけないかもしれない。とすると、そこに入る技術は根本的に
違ってくるかと思えます。その変について、見解を教えてくださいとありがたいで
す。

それからもう一つ。褐炭のガス化の部分で、多分灰溶融点が高くてという話があっ
て、多分ガス化炉からすると、この溶融スラグをいかにうまく取り出すかが非常に重
要な技術だと思っています。その灰溶融点が高いというのは、多分ガス化炉には非常
に不利なので、形状を変えないといけないといったことが起こりうるのかどうか。
特にスラグの排出部分のパーツの形状を変えないといけないようなレベルなの
か、質問させていただきたい。また、褐炭の湿分が高いという話でしたけれども、そ
もそも褐炭は乾燥すると表面積が非常に大きな炭で、水分がなくなってくると発火
性が上がってくるということもあるので、基本的には貯炭をどうされるのか、他の瀝
青炭、亜瀝青炭等と取り扱いが違うのではないかと思います。この辺りをどうさ
れたいと考えているのか、多分あのスケールアップするときに、こういった問題が出
てくるはずで、答えていただきたいと思っています。

【HySTRA_西村】 大型が球形から円筒タンクに替えて耐震等にも対応しなければならない

ことについては、今回の日豪パイロットの実証事業の枠組みとは別のところでやっております。これは川崎重工、IHI 回転機械エンジニアリング、荏原製作所、東京貿易エンジニアリングで共同実施しておりまして、そちらの方からご回答していただくのが適切かと思えます。水素の輸送については、パイロット実証では水素の量が少ないということで、今回に限ってコンテナトレーラーでやっております。大量の水素を扱うには日本の基地にありますような、ローディングアームを介するなどとなり、この実証は日本で実施しています。それから豪州側でコストダウンをする狙いもありますが、コンテナトレーラーにて運用できると、地産地消水素を集めてまた配るといふ時に、便利になりますので、その実証も兼ねてコンテナトレーラーを使っております。商用化の時は、パイプラインを敷いてラトロフバレーから港まで水素を圧送搬送して、港で液化して出荷するという計画です。

【野田分科会長代理】 はい、結構ですありがとうございます。

【JP_玉村】 一つ目のご質問にありました高灰溶融炭灰の溶融点のところは、まさにご指摘いただいた通りガス化炉に取りましては、その高灰溶融炭の場合にはそれだけ酸素を多く投入しまして、溶かして下からスラグとして排出という必要がありますので、高灰溶融炭の排出性についてより難しくなっております。これにつきまして、先ほど高灰溶融炭が多いという話をさせていただいたのですが、高灰溶融だけではなくて、もちろん低灰溶融のものもございます。ですので、低灰溶融炭に近いものをより積極的に使っていく、もしくは混炭することによって、灰融点を下げていく。もしくはフラックス（融点降下剤）を添加し、化学的に灰溶融温度を下げるということも検討してございます。

それから 2 つ目にありました取り扱いについて、難しいのではないかとのご質問です。特にやはり褐炭ですので発火しやすいという特徴がございます。これにつきましては、昇温するまでに使い切るという意味から、褐炭が賦存する炭鉱の直近にガス化炉を置いて水素を製造することが、一番基本ではないかと考えております。遠方に輸送することは、発熱のリスクが増すことに加えて、水分の多い褐炭を輸送するには輸送代がかかり、経済的にも合理的ではないと考えております。また乾燥の技術につきましても、世界の褐炭乾燥技術を調査しており、その技術も入れて、商用機として使われている既存技術も入れて、安全性については確保していきたいというふうに考えております。

【野田分科会長代理】 はい。ありがとうございました。

【NEDO_横本 PM】 大型化のところ補足という形でもよろしいでしょうか。西村様の方からも紹介がありましたけども、NEDO の中でこの夏から、大型化機器開発行っております。ご紹介した通り、大型化の平底円筒タンクが川崎重工業、トーヨーカネツ、大型化のバルブにつきましては中北製作所、ササクラ、キッツというところでございます。お話あったように配管径を 500 mm とか大きなものにするるとシールも含めて難しいとこ

ろを取り組んでおります。また、今足りないところとして圧縮機、ポンプ、バルブというところを取り組んでいるところです。

【里川分科会長】 はい、ありがとうございます。いろいろ今ご説明いただき理解できてきたのですが、今出ているスライドのですね、全体のこの流れの中で、既存の技術でできるものは、特にある意味、現時点では準備する必要がないから、例えば、水素の液化だとか、CO₂ の分離だとか何とかそういったことは、他事業ではやってないっていうふうな理解でいいですか、それともこのオーストラリアパートの方も川重さん初め、Jパワーさん等が参加されているプロジェクトが、補助事業というのがあるようですが、この中で何か取り組まれ、てるという理解ですか。そこら辺とかちょっと整理して、教えていただければと思います。

【HySTRA_西村】 西村です。ご質問ありがとうございます。おっしゃる通り、豪州パート、この中でいいますとオレンジの枠組みの中で、参加企業さんが取り組まれております。ガス化炉およびガス精製のところは、Jパワーさんがまとめておられます。輸送関連を、川崎重工さんの 100%子会社のハイドロジェンエンジニアリングオーストラリア (HEA) それから港の基地ですね。これも HEA にてして実施おまして、液化機は小型のものですから既存技術、コンテナトレーラーを既存のガス事業用のトレーラーを豪州仕様にして、現地に向けて使うというようなことでしっかりできるようにしております。申し上げた通り豪州の方は既存技術を使っているのですが、現地での液化水素自体の大量利用、基地で液化水素を積み込んだりする運用、近隣住民の方のご理解の促進、そのソーシャルライセンスを得ることを視野に、やらせていただいております。豪州パーションでの参画企業は、Jパワー、岩谷産業、川崎重工、丸紅、住友商事です。あと現地企業で、褐炭の炭田の採掘権を所有し、発電所を持っておられる会社であるオーストラリアンガスライト社 (AGL) が、土地、水、電気などユーティリティーを無償で供給という形で参加をしておられます。

【里川分科会長】 はい。よくわかりました。実際に大型実証する際にはそういうところも作っていかなきゃいけないということですね、要するにね。

【HySTRA_西村】 はい。おっしゃる通りで、特に水素の液化技術は、世界的にも未成熟で、現存する一番大きなものが 30t/day です。天然ガスでは何 100t/day という大型なものもありますので、水素については今後大型化に向けて、液化技術は重要になります。

【里川分科会長】 はい、ありがとうございました。では大澤委員、お願いします。

【大澤委員】 大澤です。ちょっと聞き逃したので確認したいのですが、2030 年、政府目標だと、30 円/Nm³ と、輸送にかかるコストは、たいしたことはないというお話だったのですが、非常に安価な褐炭を加工はするものの、30 円を達成する見込みはどの程度考えていらっしゃるでしょうか。国際比較することはあまり意味がないとは思っていますが、欧州はこれよりもっと低い価格を目標にしています。

このプロセスが順風満帆にいった場合に、2030 年に 30 円をもしかしたら切る見込

みがあれば教えていただきたいんですけど。

【HySTRA_西村】 ありがとうございます。コストの見通しですけど、これは2012年、2015年にもJパワー、川重がNEDOの委託事業でコストスタディーをやっています。

先ほど言った数字はこれらの数値反映・転用していきまして、褐炭由来水素の日本の港に着いた時のCIFが29.7円/Nm³になっておりまして、運搬船の輸送費が2.6円となっております。ちなみに褐炭燃料費は2.3円と非常に安く、例えばLNGの場合は、井戸元で7割から8割のお金が落ちていきます。この褐炭水素の場合は、だいたい日本と豪州半々ぐらいの割合でお金が落ちます。2030年の見通しについては29.7円/Nm³。今組合の中でも更に新しい知見を入れて、これらの数字を今一度見直す、検討もしております。

【里川分科会長】 はいありがとうございます。ではもう予定の時間も参りましたし、いろいろ意見も尽きたと思いますのでこれで終了したいと思います。

6.2 (イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

②有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証

上記テーマに対する事業概要、研究開発マネジメント、研究開発成果プロジェクト等の説明が行われた。

<質疑応答>

実施者からのプロジェクト説明に対し、以下の質疑応答が行われた。

【里川分科会長】 ありがとうございます。

それでは、ただいまの説明に対して、ご意見ご質問等がありましたらお願いしたいと思います。

【森田委員】 森田でございます。ご説明ありがとうございました。

利用技術との絡みについてご質問させていただきたいのですが、今の説明の23ページ24ページで、負荷追従性向上策の絡みで水素専焼タービンを意識してされたということが記載されていたかと思えます。

この辺り、しっかり連携されて動かれているということで、混焼側とはどうなのだろう、恐らく専焼のほうが負荷追従という意味で言えばしんどいので専焼側の評価ということになったのかなというふうに理解しています。

一方で、説明の中では少し飛ばされたかと思えますが、42ページ43ページのところで、ガム状物質の影響の話が、資料には載っていて、ここは混焼の話で記載がされているのかと思えます。専焼のほうはどうなのだろうと思っていたのですが、53ページで、今後その辺りを強化するというようなのは、このところで行われているというふうな理解でよろしいでしょうか。全体として利用技術側、タービンの混焼並びに

専焼、こういったところとの連携状態についてコメントいただければと思います。

【AHEAD_鍛冶】 ご質問ありがとうございます。

少し AHEAD の組織のところの話を飛ばしたのですが、今回この組織編成は三菱商事、日本郵政、三井物産、千代田化工という 4 社になります。また、研究共同先に三菱パワーも含めております。その辺りと話をしながら、どういった実用性があるかというところは密に連絡を取りながら、勉強をしながらやっております。

まずは、近い将来というのは混焼が先に来るだろうということで、今、我々が考えているのは、混焼の場合は、特にそれはタービンの燃焼器の改造が必要ないという混焼率、10%から 20%ぐらいですけれども、その領域に関しては現状のままの成分で投入ができるという話も確認できています。

将来的には専焼に向かっていきますので、大型化についての検討は主には専焼をチョイスしてやっているというのは、今の成果のお話です。

ガム状物質、不純物のところも、これは課題になっていまして、ラボ試験を三菱パワーさんとやりながら、我々の水素に含まれているトルエン、NCH 等はどういう影響があるかというところを確認して、十分に今の施設でも混焼として対応できるという基礎データを得て 42 ページ辺りの結果はそういうことになっております。

これは、どういう不純物が、どれぐらいのトルエン、NCH が含まれていても問題がないかということを目指して測っておりまして、十分に混焼としては問題ないというような結果でございました。

将来的に専焼になった場合というのは、規模感もそうですけれども、やはり負荷追従性がどこまでいけるかということがないと非常に難しいということで、ただ最近では、一方で負荷追従性だけではなくて、もしかしたら水素を使った発電がベースケースになるという、そういう将来像も考えられるので、その場合はあまり負荷追従という話がなくて、むしろ安定電源を使うというようなところもありますので、ちょっとどこまで将来的には追従性を求めるかというところは、まだ議論の余地があるかと思います。どちらも中期的な混焼、それから将来的な専焼と、どちらにも対応ができる設備や技術というアプローチの仕方でもここまで進んできているということもございます。

【森田委員】 よく分かりました。ありがとうございました。

【中島委員】 ご説明どうもありがとうございました。

私自身たしか 6 年ぐらい前に千代田化工さんの子安の実験設備を拝見してから、よくぞここまでと言うと失礼かもしれませんが、ご関係者のご苦労大変だったと思います。本当に素晴らしいプロジェクトを進められているなど敬意を表します。

それで、事業化のところも結構ご丁寧に説明いただいたのですが、先ほどの HySTRA さん同様、このプロジェクトは基本的には海外から経産省が言われるところの準 1 次エネルギー的に水素をエネルギーとして日本に持って来るプロジェクトだ

と思うので、エネルギーということはNm³あたり30円とか、結局値段でもって勝負がついてしまうというところだと思います。

それで、以前、別の場でご説明をいただいたのですが、この技術の肝になる水素化ですとか脱水素のところの触媒反応、これについては基本的には一個一個のサイズ自体がもう既に商用化レベルのスケールアップで大きなものになっていて、基本的には大容量化するというのは、本数をずらっと並べることなので、先ほどの液体水素を、例えばタンクのサイズをいきなり4倍にしなければいけないとか、そういうような技術的なハードルはないのですよというふうにお伺いした記憶があります。まず一つはそれが正しいですかということと、そうだとすると、本当に商用化するときにいうのは、もちろん量産効果というのはあると思うのですが、コストの見積りというの是非常にやりやすくなるのかなど。そういう意味で言うと、先ほど今後2ステップ、全部で3つの段階を経て本格的商用化を迎えられるとされたときに、コストの見込みについては、今回のご発表では言及がなかったものですから、スケールアップに際しての見込みやご見解をいただけるとありがたいと思います。

【AHEAD_鍛冶】 ご質問ありがとうございます。

我々の取組は、そういった非常にご苦労されたというふうに声がけいただけるのは非常にありがたいお話です。

実際、海外から水素を持って来てそれを供給すると、言ってしまえば簡単なのですが、それは意外に世界初ということでもございますので、多くの困難があり、一応ここまで来ているということ、私も少し自負している部分ではございます。

スケールアップの考え方は、当時、子安でご説明したものと今も変わっておりません。基本的には水素化、脱水素どちらも熱交換タイプの反応器ですので、スケールアップというのはそこに本数を増やしながら触媒を詰めるというところは変わりませんので、特に化学プラントのスケールアップであれば、いわゆる1,000倍、2,000倍というスケールアップの手法が取れますので、大型化に向けての技術的な困難性というのはいずれ大きくないとは思っています。

ただ、少し今日の結果でもご紹介したのですが、ターンダウンがついてきたとき、同じスケールアップをした場合に、どれぐらい性能が振れるかというのは気にしなくてはいけなくて、この実証機レベルでターンダウンのデータを取ったということでもございますけれども、手法としては同じでございます。

コストの部分ですけれども、今、我々このステップを踏みながら商用に向かっていくというふうなお話をしましたけれども、必ずしもコストの見合いとか、技術の革新を見ないでこのステップを踏みたいということではなくて、どちらかというところまで水素の需要が増えていくのかということを見込みながら年表を考えております。

多分、この5年後、数年後、今から仕込んでいながらも5年後であれば、そんなに

急に大規模に水素を使うというユーザーが出てくるとは思いませんので、そこはステップを踏むことのほうが実現性高いという中で、商用の前にそういった実装というものも出ております。

やはりスケールアップしたほうがコストは優位性があるので、そこを、では実装と言っている部分ですね、セカンドチェーンと言っているところがコストの見込みがどうかという意味でいけば、2030年に30円というターゲットを持っておりまして、その途中に挟む実装に関してはもうちょっと費用かかるのだろうと見込んでおります。

ただ、この水素の位置づけが必ずしも、いわゆる電力の中で、安い電力という中でいけば戦い方が変わってくるのですけれども、そこに水素を使う付加価値をつけるとか、そういう考え方がだんだん今、世の中に出てきていますので、必ずしもコストが安くはないと使われないというところは、これまでよりはちょっとハードルは下がっているのかなというふうに、いろいろなユーザーさんと話をして、各国の政策などを見ているとそういう感じです。

結論を言いますと、実装レベル、セカンドチェーンでいけば30円では非常に多分、難しいというふうには思っておりますけれども、30円に向けた30円という意味では十分に達成できるという見込みで今、進めております。回答になりましたでしょうか。

【中島委員】 多分、世間の皆さんも将来コストが幾らになるかというところに水素推進派の人も、懐疑派の人も非常に着目をされていると思うので、ぜひうまく発信をしていただければいいかなというふうに思いました。どうもありがとうございました。

【大澤委員】 大澤です。ご説明ありがとうございます。

私も子安の設備見学、何年も前にさせてもらって、そこから今年度で事業が終わるということで一定のめどがつけられたのかなと思ひまして、敬意を表したいと思ひます。

今の質問の続きなのですが、事前質問でも、コストのことを質問させていただいたのですが、あまり明確な回答は得られていません。いろいろ事情はあるのだと思うのですが、今年度でこの事業が終わってしまうので、何らかの形でコストの進捗であるとか、可能な限りコスト構造がどうなっているかということ世の中に対してアピールする義務はあるのではないかなと私は感じています。

先ほど、環境価値という話もあったのですが、残念ながら環境価値を経済価値で顕在化させるという動きも日本ではなかなかはっきりしていない中で、コストだけが判断材料ではないのですというのは、ちょっと説得力に欠けるので、今回は仕方ないとは思ひますが、今後やっぱり国民に対してとか、もしくは需要化に対してとか、もしくは投資家に対して AHEAD というのがいかに国益に資するものであるかということの理解を進めるためには、正面からコストに関して答えていく必要があるのだと思ひます。

【AHEAD_鍛冶】 どうもありがとうございました。

コストの話も避けて通れないということは重々承知しております。当然、エンドユーザーさんと話をした場合には、幾らなのかということが真っ先に問われますので、特にそれを公表しないという意味ではありません。当然そういったユーザーさん向けに対して話をする場合、どういうコスト構造になっているかということをお話しながら、どうやったら下げられるかという、そこをお互い検討しながら話をするということを進めています。社会性を考えながらコストのことができていくかという意味では、十分にはできていないというふうには自分も思っていますので、そこは今回のコメントを受けて、前向きに考えていきたいと思えます。

ただ、我々もコストが今の価格が適正だよというふうには思っていないので、先ほどちょっと幾つかご紹介しましたが、コストダウンにつながるような技術改良というのはずっと継続しながら、より話をしやすいような力をつけていきたいというふうには思っております。ご助言どうもありがとうございました。

【大澤委員】 ちょっとコメントが失礼になったかもしれませんが、ご了解ください。

【里川分科会長】 ちょっとコストの話なので、一つお伺いしたいのですが、この事業は海外の水素をそのままキャリアに乗っけて運んで来ることですから、コストとなると海外水素がいくらになるかというのがかなり効いてくると思うのですけれども、そういう意味で、海外水素がいくらで、運ぶのがいくらで、エンドユーザーにいくらで出せるとか、何かそういうふうな理解かなと思ったのですけれども、それはありますか。

【AHEAD_鍛冶】 まさにおっしゃるとおり、これはチェーンで考えていますので、どのように水素を持って来るか、買って来るかというところで、どう輸送してどうやって配るかということになりますので、いかに安い水素を探すとか見つけるか、つくるかというところが非常に効いてくるというのは間違いないかと思えます。

今回、いわゆる未利用の天然ガスを利用してつくっておりますけれども、将来的には再生可能エネルギー由来の水素ということになりますので、そこを安くつくられる国が大きな候補になるかなというふうには思っています。

ご認識どおりだと思います。

【里川分科会長】 海外ではかなりリニューアブルの電力も随分安い値段が出ていますし、多分、そこに大規模な水素製造機なんかが入れば、水素がもしかすると結構安く出てくる可能性というのはやっぱり海外には秘めていると思うので、それに輸送のエネルギーを足してコストをはじめていただけたらいいのかなと思うのでよろしく願いいたします。

【河野委員】 ご発表ありがとうございました。

技術的などところで2点質問と、一つコメントをしたいと思います。

質問なのですが、1つ目が33ページのところで、転化率を示しておられま

すけれども 95%から 97%ということですが、残りの 3%とか 5%は分解してしまうというようなことなのでしょう。

2つ目の質問が、34 ページですけれども、反応温度のところですね。温度のところが絶対値がクローズされているのですけれども、これは非公開ということでしょうかというところでは。

一つコメントですけれども、このシステムが一番の肝がやっぱり熱源をどうされるのかということがやっぱり一番の肝だというふうに思いますので、GT の排熱とか SOFC の排熱とかというのを検討されるということで、ぜひプロジェクトが終わるまでにそういう利用のモデルというところまで構築していただいて実用化につなげていくというふうなプロセスを踏んでいただければなというふうに思います。よろしくをお願いします。

【AHEAD_鍛冶】 ご質問ありがとうございます。

簡単などころからいきますと、34 ページの温度プロファイルの温度が出ていませんと質問ですが、脱水素熱これは文献等にも載っているのですけれども、反応としての温度としては 350°C クラスになりますので、その前後のグラフだというふうに思っただけだと思います。細かい数字は非公開になりますので、ご了承ください。

それから排熱利用の件、これもおっしゃるとおり、いかに熱をどこから持って来るといふところ、自前で調達していたら定量性がありませんので、そこを何かしらシステムの中に統合していくといふところは課題となっていますので、そこは継続しながら、これはコストにもつながっていきますので、このまま継続研究をしたいと思えます。

それから、転化率と反応のところですが、97 から 99 というお話をしていましたけれども、残りは何だということですが、残りはどういうふうにかと、技術的な者から回答させますので。

【AHEAD_カワイ】 千代田化工建設、カワイです。

本日の資料には数字は載せてはいないのですけれども、基本的に転化率、例えば 95 だとか 97 に対して選択率のほうは 99.9% 近くいっていますので、ほかのものができている量というのは不純物として僅かにはできますが、大部分、残りの部分というのは MCH のまま残るといふのがほとんどになります。

【河野委員】 分かりました。ありがとうございます。

【里川分科会長】 里川ですけれども、これは平衡転化率でしょう。

平衡になっているから未反応があつてリサイクルでもされているのかなと思つたのですけれども、要するに副生物ができなければいいということですよ。違ひますかね。

【AHEAD_カワイ】 我々もそのように考えておまして、なるべく不純物が少なくなるよう

な運転等そういった点を今まで突き詰めてきているというところになります。

【里川分科会長】 ありがとうございます。

【野田分科会長代理】 野田でございます。ご説明ありがとうございました。

まず技術的な話ではないのですけれども、先ほど水力のたくさんあるところの電力を使って水素をつかって運ぶと、これは完全に CO2 を発生させないプロセスになるので、そういう使い方というのがあるだろうなと思いつつながら、例えばカナダから運ぶというと結構長距離輸送になるので、ちょっと大変だなと思つていたりもしながら、今回たまたまブルネイの LNG プラントの副生ガスというか、これを改質して持って来られているという話なのですけれども、こういうガス田とかで出てくるような、もしくはガスの精製プラントみたいなところで出てくるような副生水素みたいなもの、実際のカーボン・オフセットみたいな概念で言うと、ゼロエミッションと言えるようなところが、どこか今までの調べた中でこういうところだったら天然ガスの採掘のガス田の近くでやっても CCS が出来るのか何が出来るのか分かりませんが、カーボン・オフセットだよなと言えるようないいサイトみたいなというのは今まで調べられた中でありますかという、技術的ではない話を聞いて申し訳ないのですけれども、まずこれが1点でございます。

それから、これ非常に割と触媒、MCH をつくるのもトルエンに戻すのも触媒の反応なので、そこの部分の技術的なことは、もうこれでほぼできて、あとはスケールアップをするのは、言い方が悪いですが化学プラントでいうと、結構どんがら系のスケールアップなので、十分にノウハウ技術をお持ちなのだろうなという具合に思っています。これエネルギー収支的に見てロスがどれくらい本当はあるのだろうか、というようなところは排熱使えば減りますとか、何を使えば減りますとか、こういうのがあるのでしょうかけれども、そもそもエネルギー収支的にどうなのだろうみたいな部分をどこかの物差しで物事を見ていかないと、何か水素をつくらせているけれども、実は熱をいっぱい入れていてエネルギー収支がものすごく悪いのだよねというのだったら、何か使い方、やり方を変えなければいけないと思つてしまったりもして、何かそういうエネルギー収支的なものの評価はされているのか、2つちょっとご質問です。

【AHEAD_鍛冶】 ご質問どうもありがとうございました。

1つ目のカーボン・オフセットというところで、トータル的にいかに CO2 を削減するかということがテーマになりますので、これまでいろいろと調べている中で、ご発言いただきましたところ、やっぱり水力はなかなか魅力がありまして、ちょうどお話しにも出たカナダでも一応そういった水力から水素で持って来るといった話や、ロシアとか、それから東南アジアなんかでも水素源を水力のところを考えるとというのは検討では結構進めてやっていますので、これは実現性が結構あるのではないかとこのように思います。

油田のそばのいわゆる CCUS とかという世界、EOR も含めてですけれども、当然、話はあるのですけれども、どうしてもそこはちょっと机上空論で計算はできますけれども、本当にサイクルとしてそれができるかというところが、まだそこまで定まっているところがないというのがこれまでの調べでございます。

2つ目のご質問ですけれども、やはりエネルギーの考えで行けば、そういった効率を、数字を出していかないとなかなか実用性とか現実性としてはどうかというところのご指摘はおっしゃるとおりかと思えます。

今、ケミカルハイドライド法を使った場合のエネルギー効率を我々も当然計算をしております。なかなかいろいろなキャリアの比較の中で、どれが優位性あるかとか一律条件ではできないのですけれども、我々が今、自分たちの唯一の見立てとしてはエネルギー効率大体 60%ぐらいというのが、今、聞かれた場合に答えしているような回答になります。特別悪いものでもないし、特別いいということでもありませんけれども、十分に実用性はあるのではないかというふうに考えております。

【野田分科会長代理】 ありがとうございます。よく分かりました。

【里川分科会長】 今 60%ぐらいと、結構高いと思います。なかなか、やっぱり水素を運んで来るのは大変だと思うのです。

ちょっともう一つだけ、さっきもちょっと話は出てきたのですが、脱水素工程で、これ日本側では吸熱反応で熱を入れなくてははいけなくて、実用化、事業化の見通しというところにガスタービン排熱、SOFC 排熱とあり、確かにそのとおりです。ただこの用途になると、発電する、もちろん発電のための水素でもあるわけで、こういった排熱を使って脱水素をしたとき、その水素量がうまく発電に使えるかどうかとか、そのバランスというのは熱不足になるのか、それとも水素不足になるのか、どちらかなと思ったのですけれども、そういった試算はされておりますでしょうか。

【AHEAD_川上】 AHEAD の川上です。

ご指摘の件、一応、例えば GT 発電の排熱を回収した場合について、脱水素に必要な熱がどれぐらい取れるかとか、その点の検討については併せて進めております。

具体的に言いますと、水素を専焼ではなくて、水素を混焼の場合であればガスタービン GTCC の排熱回収から基本的に脱水素の熱は全て回収することができると。トータルでの発電効率もエネルギー的には若干プラスのほうに動くというのが今回の第 1 期に実施したシミュレーション検討結果からも出ております。

一方、水素専焼になってくると若干回収する熱量が下がってくる、あるいはコンバインドサイクルの発電が難しくなる部分が一部出てくるのですけれども、それも若干、熱を加えてやればできるというふうに考えております。

それから、SOFC の排熱回収についても大分前になりますけれども、具体的にヒートバランス等を取りまして、熱がどれだけ回収できるかということの検討も併せて行ったことがございまして、おおむね現実的にどこまでいけるかというのは別の問

題として、机上検討としてはほぼ熱回収は可能だというふうな結果を得ております。

【里川分科会長】 ありがとうございます。

そうしたら、今後に向けてかなり準備も着々と進んでいるというふうな理解かなと思います。

ほかによろしいですか。それでは、予定の時間がまいりましたので、これで今の議題は終わりにしたいと思います。

皆さんどうもありがとうございました。

6.3 (ロ) 水素エネルギー利用システム開発

③低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発

④低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型 DryLowNOx 高温ガスタービン発電設備の研究開発

最後に、推進部署より資料 6-1-3 に基づいて説明が行われた。

<質疑応答>

推進部署からの 6.3 の説明に対し、以下の質疑応答が行われた。

【里川分科会長】 それではただいまの説明に対してご意見ご質問等があればお願いいたします。いかがでしょう。

【中島委員】 中島です。

どうもご説明ありがとうございました。大変進捗している状況がよくわかって、理解が深まりました。NEDO の目標とは少し話がずれてしまうかもしれませんが、全体像をつかむためにぜひ教えていただきたいのは、今回の混焼率がまずは 30%ということで、それから最終目標はもちろん 100%なのですが、以前にセミナー等で聞いた話ですけれども、混焼率 30%程度では CO₂ の削減が 10%ぐらいにしかならず、例えば CO₂ を 50%ぐらい削減するためには混焼率を 70~80%ぐらいまで上げなければいけないとのことでした。混焼率を 70%~80%ぐらいまで上げるというのは、今後 NEDO の中には目標には設定されていないのですが、事業の中ではそういう目標を設定されるような取り組みはないのでしょうかというのが一つ目です。それから 2 番目は環境性の目標設定の中で NO_x が 50ppm と設定されており、非常にハードルが高い目標であると思うのですが、一方でご説明にあったように、世界水準では 25ppm というところが多いということや、日本の場合でも大気汚染防止法では 70ppm ですが、例えば首都圏の中で使おうとすると、地方自治体ごと条例で上乗せ規制があり、もっと厳しい数字になっていることがあります。この 50ppm という値を設定された理由は何なのかということ。あと最後に、技術的な質問ですが、混焼の場合に燃焼振動でご苦労されているという点で、これまでの様々なご経験をもとに開発を進められていると

思うのですが、LES で解析をされていますけども、燃焼振動を抑え込むためにこの LES の解析は、設計上役立っているのかどうか、要するに解析でもって燃焼振動を追い込めるのかどうか、以上 3 点を教えていただければと思います。よろしくお願いいたします。

【MP_谷村】 はい、ありがとうございます。混焼率ですが、技術的に言いますと水素濃度が高くなればなるほど、難しいと思っています。まず 1 番難しい 100%をやっつけたと思っています。その後は、技術的には間を埋めていけるとしています。ただ、天然ガスと水素でずいぶんボリュームの方が違いますので、この全部を valuable に使うには、なかなか燃料の供給傾向として難しくなりまして、そこにはもう少しいろんな考え方や切り替え方式だとか、あるいはゾーンで使い分けるとか、何か考え方が必要になるのではないかとしています。30 を切っているのは、先ほどありましたように、今のバルブやパイプが使えます、というところの限界は 20 とか 30 になっています。そこから上になりますと大改造になるため、ついでだから 100 までいっちゃうという考え方でやっております。

【中島委員】 よくわかりました。ありがとうございます。

【MP_谷村】 50ppm の根拠ですが、今の大型ガスタービンの発電で世界標準は 25ppm ですが、25 ppm で許されることはほとんどなく、アメリカでも日本でもヨーロッパでもだいたい一桁、5ppm とかを QP 表示にしないといけません。どのように低下させているかと言いますと、排ガスの排熱回収ボイラーの中に脱硝装置を入れてあります。NOx を除去する装置で SCR と言いますけれども、これを入れております。この性能がだいたい 90%から 95%の NOx が取れるっていうのが今の世界標準になっております。50ppm から 90%脱硝で 5ppm となり、そのリーズナブルなサイズの脱硝装置で扱えることから、ここを目標としております。

【中島委員】 はい。よくわかりました。ありがとうございます。

【MP_谷村】 燃焼振動の解析ですが、これは我々も今頑張っているという言い方が良いのか、のたうちまわっているという言い方が良いのか、非常に大変なところです。解析をやろうと努力しています。LES を使って、しかも圧縮性の LES まで使って大規模な計算をしてやろうとはしていますが、なかなか LES で細かくすればするほど、あの上流下流のバウンダリーまで長く解かないといけないので大変です。しかもそれに音響のバウンダリーまで入れる必要がありますんで、結構大変ですので、それは基礎的なところでは使いながら、我々としては燃焼振動を吸収してしまうような装置、音響装置、こういったところで、とりあえず吸収してしまうようなものを作って、燃焼振動多少出てもまあ言ったらマフラーつけるようなもの。そう言った形でとりあえずしのごうというようにところもやっていますし、後はコントロールですね。出てしまったときに出ない条件に持っていくますよ、というコントロール。まあこの二面を合わせて実際には進めているということになります。

【中島委員】 どうもありがとうございます。さすが三菱の底力だなと今つくづく思いました。

【里川分科会長】 はいありがとうございます。他にいかがでしょうか？

【森田委員】 森田でございます。どうもご説明ありがとうございました。大学とも連携しながらシミュレーションを使いながら本当に素晴らしい技術開発をされていると思います。そこで質問ですが、混焼で、混合気と空気の温度の影響については問題がないと言ったようなコメントがあったかと思います。一方で実用化する場合、混合気が十分に混ざらないと行った課題はないのでしょうか？また事前質問させていただいた時に、水素脆性の話がコメントで出ておりました。やはりいろんな先端金属に対するデータに対してはもっと慎重にやらなければならないと思いますが、その辺りもコメントいただければと思います。よろしく願いいたします。

【MP_谷村】 ありがとうございます。混焼の方で実用化するときの課題っていうところだと思うのですが、先生おっしゃられたように、混ぜてしまったら十分混ざるといのはわかっているのですけれども、混ざっている割合が変わるかもしれないというところが問題になってくると思います。実際に供給するとき、これはこの天然ガスパイプラインで均一に混ざってくるような状態だったら良いのですが、発電所の直近で混ぜている場合は、水素の供給量と天然ガスの供給量が一斉に、一緒に変わってもらわないと困ります。その制御や同期が取れてないとおかしなことになりますので、そういったところは、今からはそれほど難しいとは思ってないのですが、課題としてきちんとやっていく必要がありますし、あとリアルタイムで混合濃度を測って、そこからフィードバックをかけていくことも必要になると思います。それが一つ目の質問に対する回答になります。

もう一つは、水素燃焼ですけれども、混焼の方で話したのは燃料供給方法の話で、混焼の時でも専焼の時でも使用条件はそう変わらないので、そう問題ないと思っております。一つ問題があるとすると、マルチノズルの部品を3Dプリンターで製作していますが、案外3Dプリンターの材料に関して水素脆化のデータがないです。そこは少し気をつけてみていく必要があると思っています。ただ、この3Dプリンターの材料のベースがニッケル材なので、ニッケル基合金、ガスタービンの羽で使っているような材料ですので、基本的に非常に水素脆化に強い材料となっています。ですので、そうは心配してないっていう回答にはなりません。

【森田委員】 はい、わかりました。ありがとうございます。引き続き取り組んでいただければと思います。

【里川分科会長】 それでは野田先生からどうぞお願いします。

【野田分科会長代理】 すいません。野田でございます。MHIさんというか、今MPSさんMHIさんの組み合わせだと思いますけども、この手のお仕事されるときちゃんと成果を出されるなっていうのはやり始めた頃から若干お話を聞いておりましたので、期待通

りのお仕事をされているなど感心しております。多分燃焼器の部分がメインになってくるとは思うのですが、実はあの燃焼した後のガスボリュームが、例えば天然ガスとかとはボリュームも違ってくるでしょうし、温度は同じなのかもしれませんが、経年で、例えばタービンブレード側に何か影響が出てくるような可能性や、ロングランで動かしているものが今のところありませんが、可能性として何か思い当たるようなところがあるのでしょうか？よろしく願いいたします。

【MP_谷村】 燃焼したガスの組成は確かに多少変わります。水分が増えます。CO₂ がなくなって H₂O が増えるという割合になります。ですので、特に腐食成分が増えるとかそういうわけではないので、直接的な影響、高温部品に対する影響はないと思っています。おっしゃられるようにボリュームが増えるということになるのですが、もともとガスタービンの燃焼というのはリーンバーンでやっていますので、燃料は空気に対し 3%ぐらいしか入っていませんので、天然ガスから燃焼ガスのボリュームフローが大きく変わるとは思っていません。ただですね、CO₂ と水素比を比べたときに比熱が変わっていますので、とりだせる仕事として大きくなります。それから熱伝達率も上がります。そこら辺を考慮する必要ございまして、具体的に言いますと、我々これ実は注意深くこの計画書を書いておりまして、タービン入口温度を一緒にするかどうかはちゃんと決めていません。同じ出力と性能が出れば良いと思っていますので、水が多い分だけ出力と性能出ますので、その分はタービン入口温度を落として高温部品を可愛がって寿命は同じように全うしようと思っています。

【野田分科会長代理】 ありがとうございます。非常によくわかりました。

【河野委員】 河野です。どうもご説明ありがとうございます。ちょっと事前の質問でもお聞きしていたのですが、オランダのマグナムのプロジェクトに参画されておられるということで、FS では水素の専焼を検討されておられますが、水素 30%混焼向け燃焼器も検討されるということなのですが、2025 年に水素専焼転換完了という目標だとすると、混焼向け燃焼器を立ち上げているとして大体何年ぐらいに導入されることを想定されていますでしょうか？

【MP_谷村】 はい。ありがとうございます。オランダのプロジェクトの進め方ですが、まずこの専焼で進んでいます。ですので、2025 年と言いますと、この本事業で開発中のマルチクラスターは間に合わないので、まずは拡散燃焼器をと言いました。我々の場合は、旧三菱の IGCC で使っている燃焼器になるのですが、そういった拡散燃焼器を持って行って使うつもりでいます。それが最初のところになります。ここは実はガスタービン 3 台あり、1 台はそうのように始まるのですが、水素が供給され始めますと、残りの 2 台を混焼してはどうですか、といった提案をする感じで始まります。それが 2 段階目になります。それで 3 段階目ですね、今の事業でやっているものが 2025 年から 2 年遅れか 3 年遅れぐらいで入れることができるかと考えています。このときは、これユーザーさんとのご相談になりますが、もう一回燃焼器入れ替えないといけ

ないことから、少し投資が発生します。そこら辺のところの投資のタイミングとか見ながら相談ということになると思います。

【河野委員】 はい、ありがとうございます。EU で非常に注目されていまして、すごく期待されているプロジェクトですのでぜひ頑張ってやっていただければというふうに思います。よろしくお願いします。

【大澤委員】 大澤です。技術的なことじゃなくて申し訳ないのですが、実用化あるいは事業化に向けた見通しについてお伺いします。水素専焼とか混焼っていうのは2050年カーボンニュートラルのソリューションになり得るとすれば、当然ライバルのGEやシーメンスが同じようなことをやってくるのではないかと思うのですが、国際競争力の見通しについて何か我々がその評価する上で参考になるような情報があればお願いします。

【MP_谷村】 そうですね、難しい質問なのですが、まずGEに関して言いますと、アメリカでは2000年代の後半から石炭ガス系の水素を使うDOEのプロジェクトがありまして、そこで水素焚きの燃焼機器は開発されております。実用化まではいかなかったのですが、途中で政権代わって頓挫してしまっています。一応そういう技術を、彼らは持っているというふうに理解しております。シーメンスも、そこに参加していたので、やっているはずなのですが、全くアナウンスがなくて情報がわからなくてかつ、ヨーロッパであれだけ水素が盛り上がっているのに水素ガスタービン、なかなか大型では出てこないという状況です。GEはやっぱりアメリカの中で我々といつも競合しますので、我々が水素30%可能ですと言ったら同じように30%いきますよということで、今、商談で勝負しているという状況です。これからのガスタービンですが水素だけが競争力じゃなくてやっぱり全体のガスタービンの性能とかそういったところです。コストとかそういったところがポイントになりますが、今完全にGEと当社とは互角になっています。水素のところもほぼ互角で勝負していると言った感じです。アメリカの商談のうちの60-70%必ず水素の話がついています。そこも競合しているところです。

【大澤委員】 ありがとうございます。最初競合というのはお互いに協力し合って、マーケットを開拓していくというステージに多分なるのだと思います。2030年40年あたりまでというのを懸念はしていません。むしろその水素専焼、水素混焼のその位置づけがどうなるかわかりませんが、ですから私の今の印象だと、本格的な競争はもうまだまだ先なのかなという印象で、今回の事業っていうのがきちんとマーケットで評価される可能性は高いのだろうというふうに感じる事ができました。ありがとうございます。

【MP_谷村】 はい。補足しますと、今売ったガスタービンが50年運用で20年目の途中で水素に変わる時ですね、そこはやっぱり納めたメーカーの方が強くなりますので、今はちゃんと売っておかないと将来危ないっていうところで頑張っているっていうと

ころです。

【里川分科会長】 大変優れた技術を作られていて、それから GE とも今競争関係にあるということで、ぜひ三菱のパワーで頑張っていたいただきたいと思うのですが、これは多くはアメリカなのでしょうね。多分これから政権が変わって、大きなインフラ投資をするようなことを言われているのですが、燃焼器は専焼混焼も含めて、水素を使うとなると大規模な水素供給ってというのが、付随してくると思います。わかっている範囲で良いので、特にアメリカは、どういうふうに水素を大量に調達するっていう考えか、もしご存知でしたら教えていただきたいと思うのですがいかがでしょう。

【MP_谷村】 はい。2 系統ございまして、リニューアブルの多い、アメリカでも真ん中より西側ですね、太陽光、風車、地熱があるところはもうリニューアブルでやりましようというところがございます。これは私どもも事業に参画しているのですが、リニューアブルで作った水素を地下 1000m ぐらいから 2000m ぐらいかけて岩塩層に穴を掘って、200 気圧から 300 気圧で水素貯めるというやり方で水素を貯蔵して、リニューアブルが稼働しない時、あるいは夜間とかに水素で発電し、電力需要を補う、こういうプロジェクトが数多く出始めております。西側はそういう形です。あとテキサスとかそちらの方は天然ガスいろいろありますので、ここから改質して、CCS をやるというプロジェクトがいくつか進んでいます。ですので、ブルーとグリーンという言い方ですがアメリカはもともと天然ガスの安いですし、それから CCS 先として排廃油ガス田、廃油田ですね。こういったところはたくさんありますので、両方で進んでいるというふうに聞いております。

【里川分科会長】 はい、ありがとうございます。もうまさにこれからアメリカがまずリニューアブルの先頭に立っていくのではないかと思います。だいたい質問はこれでついたような感じだと思いますので、ちょっと予定の時間よりは早いのですが、これで終了したいと思います。どうもありがとうございました。

7. 全体を通しての質疑

以下のように全体を通しての質疑が行われた。

【里川分科会長】 議題の 6 を終えまして、議題の 7 に移りたいと思います。全体を通しての質疑についてです。事務局の方から進め方について説明をお願いします。

【事務局】 はい、プロジェクトの概要説明での説明か詳細説明の説明かは問わないで、ご質問いただいて推進部および実施者の皆様は、回答できる限りにおいて回答いただければと思います。

【里川分科会長】 はい。それでは全体ということについてですので、どこからでも結構ですので委員の先生方からもし補足というか改めてというか、質問があればお願いし

たいと思います。いかがでしょう。

【中島委員】 中島です。よろしいでしょうか？

【里川分科会長】 はい。お願いいたします。

【中島委員】 今日はどうもありがとうございました。個別の細かい話は時間の関係もあると思うので、どちらかというと推進側の方へのお願いということになるかもしれませんが、前半のところでもういくつか目標設定の定量性がよくわからないようなコメントが私以外にもほかの委員の方から出ていたと思います。個別テーマを拝見しますと、目標設定で定量的な目標値が明示されていないものが結構あるなという印象を受けておりました。このまま進んでしまいますと、最終的にこのプロジェクトを終えたときに本当にこの個別のテーマが達成されたのかされていないのかということ、かなり定性的に判断せざるを得ないことになってしまいます。そこで、お願いとしてNEDOの推進サイドの方には是非目標の定量性についてですね、もう少し意識して設定いただけないか、と思いました。追加の質問でもお伺いしましたが、ターゲットの開発する物の大きさが明示されておらず、出来上がった時にどんな物ができるのか全く想像がつかないようなテーマも実はありました。そういうのはぜひNEDOさんの方で目標設定を見直していただけたらいいなと思いコメントさせいただきました。以上です。

【NEDO_横本 PM】 横本でございます。始まったばかりの事業もでございますので、個別の目標設定につきましては継続して、事業者さんともやりとりはしております。技術開発している途中でございますので最終的にターゲットと今から一部決めるものがございますのでそれにつきましては、あと2年半ございますので、プロジェクトが終わるときにきちんとできたという形で表現できるように考えていきたいと思っております。ありがとうございます。

【中島委員】 はい。是非よろしくお願いいたします。

【里川分科会長】 私の方からも少しお伺いしたいんですが、事業をスタートするときに、何か目標設定って数字があったと思うんですけど、ちょっと今日の説明の中になかっただけなのかなと思ってたのですが、必ずあのNEDOで事業をやるときには数値目標をあげなさいっていうのが、いつも合言葉のようになっていたと思うのですが、ちょっとその点もおわかりになる範囲で教えていただければと思います。

【NEDO_横本 PM】 はい、一部公開していない部分がございますけれども、採択審査委員会の中でも、目標を立てた上で実施計画を作るということで指摘を受けておりますので、きちんと目標を立てております。中島委員からも、わかりにくいとのことですので、最終的に明確な目標を提示する方向を考えたいと思っております。ご指摘の通り、数値目標もしくは明確な目標というのは常に我々も意識してやっております。

【里川分科会長】 はい。ありがとうございます。この分科会が中間評価ということですので、今からでも遅くはないという理解で考えています。他に委員の先生がたからござ

いますでしょうか？

【NEDO_横本 PM】 私から非公開の部分がありますということでお話をしました。委員の方々には資料 6-2 という形で赤いファイルを皆様にお渡ししている公開されている目標値と非公開中間目標値、一部数字が入ってない部分がちょっとご指摘ある通りでございますけども、こういう形で各個別の事業につきましては細分化した目標値を設けてやっております。先ほど話したようにこれを最後どうやって表現するかにつきましては改めて事業者の皆さんと相談していきたいと思っています。ご理解いただければと思います。よろしくお願いたします。

【里川分科会長】 はい、ありがとうございます。

いろいろ資料もたくさんあったので、もう 1 回そういう目でしっかり非公開の資料に目を通させていただければと思います。

はい。特に全体を通しての質疑他にないようでしたら、これで議題の 7 を終わりたいと思います。よろしいでしょうか？はい、ありがとうございました。

(公開セッション)

8. まとめ・講評

【里川分科会長】 それでは、議題の 8 番まとめと講評です。

では最初に、森田先生お願いします。

【森田委員】 大阪ガスマーケティングの森田でございます。本日はありがとうございました。

将来の水素社会の構築のために非常に重要なテーマ、またスケールの大きなテーマを費用と時間をかけながら実施していただいているということが改めてよく分かりました。NEDO さんをはじめとして開発に携わっておられる関係の皆様方に改めて敬意を表したいというふうに思います。

一つ一つのテーマは着実に進んでいるということは、もう間違いないなというふうに思いました。

全体については、皆様方からもコメントありましたように、全体自体を把握、ちょっと私もいろいろ資料を見たのですが、やはりなかなかこれだけ大きなスケールになっていると把握しにくいなということを感じました。さすがにやむなしかなというふうには思いましたけれども、今回いろいろお話を聞かせていただいて理解が進んだところもありますし、横の連携もしっかり工夫してやられているということも感じました。

以後、その辺りを意識して、さらに強化していただければ、よりよいプロジェクトになるのではないかなというふうに感じました。

また、脱炭素社会の実現に向けて、今、日本の中でも動きが活発化して加速するというような話もありましたけれども、今後については、しっかり加速するところと技術をしっかり積み上げていくところを切り分けて取り組んでいければというふうに感じました。

今回の技術の確実な積上げという意味でいきますと、しっかり要素技術や基礎研究をやられて課題解決に至ったもの、また新たな発見で課題が見つかったというのいろいろあったかと思います。今後さらに実証ステージに入るテーマもあるかと思えますけれども、そこにも新たな課題というのは出てくるかと思えます。これまでの研究テーマでの成果をしっかり反映させて、一つ一つ課題を解決して、プロジェクトの完遂を目指していただければというふうに思います。

本プロジェクトが将来の水素社会の構築に大きく貢献することを期待しております。

私からのコメントは以上でございます。本日は誠にありがとうございました。

【里川分科会長】 では、続いて中島先生のほうからお願いできればと思います。

【中島委員】 中島でございます。本日は長時間にわたり、ご丁寧なご説明をありがとうございました。大変理解が進みました。

もともとこのプロジェクトは、世界的にも注目されているプロジェクトでございましたし、ある意味もう世界の先端をいっているビッグプロジェクトだと思うので、NEDOをはじめご関係の皆様方のご苦労は大変なものとは存じます。着実に進んでいること、特に今年新型コロナウイルスというような大変な外乱がありながらも、あまり大きな後れがなく着実に進められていることには本当に心から敬意を表したいと思っております。

そうは言いながらも、途中でいろいろコメントさせていただきましたように、また、ほかの委員の先生方からもございましたように、やはりこれだけ大きなビッグプロジェクトですので、全て漏れなく抜かりなくというのはなかなか大変なことだと思います。ぜひ可視化して成果が皆さんの目に分かるようにいろいろな意味でマネジメントをより一層強化していただけたら、さらに水素社会推進に向けていいのかなというふうに思いました。

今日のご説明でありましたように、各事業者の皆様からすごく膨大な数の社外発表とかプレス発表をされているということで、大いに発信されていることはよく承知しております。テレビのニュースなどでも大型の水素船の進水式とか非常にインパクトのあるご発表だとは思いますが、一方で、やはりこの事業はエネルギーの話ですから、結局最後は経済性だけで、結果メガジュールあたり幾らなのかという話になってしまう。

そこで、推進派の人はいいのですけれども、水素ネガティブな人というのも当然世の中には大勢いるわけで、私自身はもともとエネルギーシステムの電機メーカーに

長年おりましたので、もちろん水素を強力に推進したい一人ではあるのですけれども、エネルギーというのは何か一つだけではなくて、ベストミックスという言葉に代表されるように、お互いがその利点を協調し合いながらやるべきだというふうにもともと思っております。

そういう中で、今日幾つかコメントを申し上げたのは、なるべく定量的に水素の利点というのを皆さんに理解していただけるための努力というのを、やっぱりこの水素に関わる人間として、皆さんやっぱりせっかく汗をかいている中ですから、世間一般にご理解を広めるためにはもうひと踏ん張りして、理解を進めていただくのが重要なと思います。

ということで、Nm³あたり30円という大きな目標に向かって個別のいろいろなテーマが、それぞれどういう位置づけにあって、どういう根拠にあって、その大きなテーマからドリルダウンして個別のテーマの目標が設定されている、こういったことをより分かりやすく発信していただけることを期待して私のコメントとさせていただきます。

今日は本当にどうもありがとうございました。

【里川分科会長】 それでは、こちらの会場のほうにいらしている委員の方で、河野先生からお願いしたいと思います。

【河野委員】 東北大学の河野でございます。本日は、長時間にわたりまして本当にお疲れさまでした。ありがとうございました。

全てのプロジェクトが着実に進んでおられるかと思えます。ちょっと個別に少しだけコメントですけれども、6.1は輸送用タンクの設計あるいは制作、ローディングあるいはガス化ということで、もう着実に進められているというふうに印象を受けました。

お願いは、やはり豪州側との連携を密にさせていただいて、特に取り合いのところもあると思えますけれども、そこの部分をしっかり議論させていただいて、ワンスルーでこの事業が進むようなことにつなげていただければというふうに思います。

6.2は、やっぱりMCHというのは非常に魅力的で、水素密度が非常に高いいいキャリアの一つですので、ちょっと質問としても申しましたけれども、エネルギーバランスを見て熱源をうまく利用するモデルの早期、モデルでいいと思えますけれども、早期立ち上げをお願いしたいなというふうに思います。

6.3は、やはり世界的にも非常に注目されている水素を大量に利用するというキラーアプリケーションだというふうに思います。オランダですとか米国ですとかというところにも実際に入れて進められるということですので、残りプロジェクトがまだあと数年あると思えますので、よりよい結果を出していただければというふうに期待しております。

以上、私からです。どうもお疲れさまでした。

【里川分科会長】 それでは、引き続き大澤先生のほうからお願いします。

【大澤委員】 大澤です。実施者の皆様どうもお疲れさまでした。

水素に関しては自分なりに勉強してきたつもりなのですが、やっぱり改めて実施者の方から詳細説明いただくと、より理解が深まって、さらに今回のように様々な幅広の技術を一度に紹介していただくと頭の整理も随分と進んだように思います。

全体の事業の位置づけとか必要性については、皆様、感じていらっしゃる通り、いろいろな識者なりの方が言っているかもしれませんが、やっぱり 2050 年にゼロを目指そうと思うと、もうこの 10 年が勝負だと。特にコロナで経済が落ち込んでいる状態で、楽な投資をするよりも、むしろ将来に向かって正しい投資をするということによって 2050 年にゼロを目指すというためにも、まさに実施者の皆様が今、苦勞していらっしゃるのを国として支援するという形は至極もつともな形だと改めて感じました。

水素社会をやっぱり実現するためには、つくる、運ぶ、貯める、使うというのが三位一体になって同時にバランスよく進んでいく必要があるのですが、今回はつくと、使うという代表的なプロジェクトを見た上で、非常に順調に進んでいるなということを思いました。特に、非資源国の日本ではやっぱりエネルギーをつくるというところに非常に困難が伴うわけですが、海外からブルー水素を輸入すると、そうすることによってコスト問題を解決していくということは現時点ではベストソリューションのかなという感じはしますので、さらにその 2 つパイプラインを持っていますので、豪州とブルネイというところでお互い競争をしながら、将来的にはどっちとも強固なサプライチェーンを下支えするようなプロジェクトに発展していただければと思います。

研究開発成果の技術的な KPI に関しては、いろいろ議論があるとは思いますが、私からはそうではなくて、成果の実用化についての KPI についてコメントをさせていただきたいと思います。

成果の実用化を外部に伝えるためには、やっぱり経済的、社会的、環境的な見通しについて何らかの開示をする必要があるのだと思います。日本企業が欧米企業に比べてよく下手だと言われているのは、本当はいい技術を持っているのだけれども言わないとか、本当はここまで進んでいるのに出し惜しみするから結構誤解されて低い評価を得られるということがあると思うのですが、やっぱり情報開示しないというのは、我々が評価をしようと思っても結局情報開示をしてくれないとゼロ評価しかできないので、そこがやっぱり少し改善の余地はあるのかなということを今日また改めて感じました。

ですので、いろいろご事情はあると思うのですが、技術的な KPI というのは非公開情報でなければ開示するのが当たり前だと思うのですが、もう一步

進んで、実用化に向けた見通しについてもできるだけ開示していただけると我々としても評価する材料ができますので、そこは今後も工夫を続けていていただきたいと思います。

以上でございます。

【里川分科会長】 それでは、野田先生お願いします。

【野田分科会長代理】 私からの講評でございますけれども、今回やられていることというのは、私が所属している会社の業態から言いますと、非常に大きな燃種の転換、燃料種の転換をやっているという具合に思っています、そもそも電気を起こすのに水力から始まり、一時期は石炭にメインが移り、その後、石炭がかなり廃れて石油に代わり、そこから LNG にというような流れの中で、次は水素にと、こういう話なのだという具合に思っています、燃種の転換をしていくごとに、私どもの業界も非常に苦勞しましたし、それなりのひずみも持ちながらやってきたと。それを乗り越えてやっていかなければいけないということで参加企業さん、NEDO さんのマネジメントも含めて非常にご苦勞されながらここまでやってこられたのかなという具合に評価をしております。

そういう意味では、全体を通じてかなり成果が出ている中間段階ですけれども、かなり成果が出ているというのが、これが今回お話を聞かせていただいた総合的な評価かなという具合に思っておりますし、一部は実用化されて、もう採用が決まっているものもあるというのはすばらしいことだなという具合に思っております。

これは総論でございますけれども、各論については、皆さんがいろいろ言われて、KPI をどうやっていくかというのはいろいろあると思いますけれども、一つは NEDO さんが KPI の数字をきちんと持たれて、審査する側には見える化としてその数字を青なのか黄色なのか赤なのかという、ちょっと一段抽象化したような形でタイトルをつけていただいて、その KPI が赤なのか黄色なのか青なのか、そこが分かるようにして見える化していただくだけでも、実は評価は結構しやすくなるのではないかなという具合に思います。

逆に言うと、細かい数字を全部明らかにすると、各企業さんのノウハウとかそういうところに引っかかってしまうかもしれないので、そういう形で工夫していただければ審査はしやすいかなという具合に思いました。

それから、常々私のほうから先ほどもちょっとお話をさせていただきましたけれども、実は何か足りないのではないのかなというのをどうやってチェックしていくかという仕組みはちょっと要るかなという具合に思っています、先ほど言いましたように、燃種の転換をやるということは結構一大事業だという具合に思っています、実は必要な技術とかパーツとか、そういうのは結構いっぱい要るのだなという具合に正直思っています、それを今の技術でいいのか、新たに開発しなければいけないのか、今の技術をだましまし使ってしばらく生き延びるのかみたいなやり方

を選択していく上で、全体をよく分かるように、チェックしやすいようにやっていただけると足らず前が埋まっていったいいマネジメントができるのではないかなと、NEDO さんに対するお願いばかりで誠に申し訳ないのですが、そういうちょっと工夫をするだけでも随分変わるかなと思っていますので、そういうことを期待して最終的にこの事業がうまく成果が出せるようにしていただければいいかなと思っています。

【里川分科会長】 ありがとうございます。分科会長の里川です。

委員の先生方から多くのコメントをいただきましたので、付け加えることなんてほとんどないとは思いますが、今回、実施者の方々はかなり丁寧にご説明いただきまして、また私たちのほうからいろいろ無理な質問もさせていただいたのですが、丁寧にご回答いただきましてありがとうございます。それから、NEDO 推進部の皆様も丁寧にこういった事業を推進されて、本当にありがとうございます。

私は水素に関わって約 20 年とちょっとで、まだこの委員のメンバーの中では、日が浅いほうなのですが、水素を始めた頃は、本当に水素になるのかと思っていました。二酸化炭素を減らすために水素を使うというと、確かに燃やすときに出ないよねというだけで、でも実は水素をつくっているときに出ているのではないかと、なかなか理解をしていただくのが難しい技術です。かつて WE-NET 事業でカナダから水力由来の水素を日本に持って来るといった大きなプロジェクトがあったのですが、結局、油が安くなったとか、オイルショックが終わったら忘れちゃったとかということで、何か水素の波というのは過去に 2 回ぐらい来ているのですがしぼんでいました。燃料電池開発による 3 回目の波のときも、私も以前勤めていた会社の中では、上司から、お前、水素なんかやるのかと、そんな世の中にはならないぞとさんざん言われてきました。ちょっと感想ですみません。

今回は、本格的というか、もう気候変動が待たなしになってきて、多分、欧米も大量に、最後は三菱さんのお話によると、もうアメリカでそういった水素タービンを入れるという形になっていますし、ヨーロッパもそうですね。こうなってくると本格的に、資源のない日本というのはまた不利な立場になってくると思います。それを先取りする形で海外から水素を調達するという、最初の 2 つのプロジェクトでは、かなり物も出来て、最初の頃は本当に液体水素で効率よく運ぶなんてことはできるのかと、すごく不安に感じていたのですが、今回お話をお伺いして心強くなったというか、日本のやはり技術人の底力というか、そういったものを強く感じました。

多分、今、野田先生からも話があったように、燃料の転換ということは大きな社会構造の変換になるわけですね。そのためには、やはり技術開発ももちろんなのですが、その先に政策誘導があり、さらに日本の場合は、海外から今までも燃料を調達していたわけですから、国際協調というのがものすごく大事だと思います。実施者の方も含めてなのですが、技術を進化させるとともに、いわゆる社会の認知度、水素の認知度

というのを上げていただいて、日本はこうあるべきだという形でいろいろ発信していただけると、また国民の後押しもあると思います。コロナ後にはコロナ前には戻らないと、よくこれ海外の研究者たちが言っているのですよね。

今はコロナでCO₂の発生量が大幅に減っているのですよね、今。その減ったCO₂をまた元に戻すな、これイコールもう水素をどんどんインストールするぞというような決意だと思うので、日本もその流れについていく形がやっぱり正しい進む道なのではないかなと思っています。

ちょっと講評というか感想なのですが、以上が私のコメントになります。

それでは、今、委員の方々の講評が全て終わったのですが、その講評を受けまして、NEDO推進部のほうからコメントをいただければと思います。

横本主研からお願いします。

【NEDO_横本 PM】 本日は、委員の先生方、事業者の皆様ありがとうございました。

水素のエネルギーインフラというのが非常に大事だというふうに感じております。それをどうつくっていくかというのは、この事業の一つでございますので、いろいろご意見ありましたとおり、燃料転換、どうやってアピールしていくのか、その成果をどう皆様に還元できるのかということを考えながら引き続きやっていきたいと思えます。

先生方のご意見、コメントを含めて、これからまた事業者の皆様と定量的な表現も含めて進め、2年半後、2022年度の終わりには、ここまでできましたというふうに成果を公表できるようにしていきたいと思えます。

引き続きよろしく申し上げます。どうもありがとうございました。

【里川分科会長】 それでは、古川部長よろしく申し上げます。

【NEDO_古川】 NEDO推進部、電水部の古川と申します。非常に内容の濃い、多岐にわたる事業をご評価いただきましてありがとうございました。

細かく見ていくと、分かりにくいことは分かりにくいのですが、大づかみで見ると、やっていることは、私は比較的シンプルかなと思っています。達成度を見て今どのフェーズにあるのかというのをきちっと示すということは非常に重要だと思っていますので、その辺は説明の仕方、明示の仕方、評価をしていくときによりガイドラインができるような形に改善をさせていただきたいと思っております。

それから、全てのバリューチェーンというか、サプライチェーン全体を見て抜けがないようにということは、まさしくご指摘のとおりだと思います。我々も別にやっていないわけではなく、時期を見ながら大型設備のほうの技術とかも適宜やってはいるのですが、なかなかそれが分かりにくいですし、きちっとお示しできるものがあれば、逆に委員の先生からも、ここ抜けているのではないかとということ議論いただく一つの資料にもなってくると思いますので、その辺は整理の仕方、見せ方、またこの

場だけではなくて広く、税金を使っているということもございますので、説明責任という意味でもきっちりと整理をしていきたいというふうに考えております。

あと、コロナの影響もありまして、思いのほか水素に対する流れというか加速されているというふうに感じておりますので、日本だけで閉じこもらずに世界とも協調しつつ、その中でも日本の技術が差し込めるものに関してはいち早く差し込んでいって、エネルギーのインフラをつくるということとともにビジネスの場所を取っていくということも、またこれ必要なことだと思っております。

今日、お話の中にありましたとおり、ガスタービン関係の技術につきましては既に展開が進んでおりますし、今回、ご評価いただいておりますサプライチェーン、これ必ずしもブルーだけではなくて、世界にあるグリーンの水素についても等しく適用ができる輸送技術でございますので、こういったものも併せながら世界に貢献しつつ、日本にも貢献しながらビジネスチャンスも生かしていくという形で成果の実用化には邁進してまいりたいと思います。

引き続き大所高所から、また評価だけではなくて、いろいろなところで先生たちからご意見をいただきながら、よりよいプロジェクトにしていきたいと思っておりますので、引き続きのご指導ご支援のほどをお願いいたします。

本日はどうもありがとうございました。

【里川分科会長】 ありがとうございました。

それでは、議題8についてを終了します。

9. 今後の予定

10. 閉会

以下、分科会前に実施した書面による公開情報に関する質疑応答について記載する。

「水素社会構築技術開発事業/研究開発項目Ⅱ(大規模水素エネルギー利用技術開発)」 (中間評価) 評価分科会

質問票

資料番号 ・ご質問箇所	ご質問の内容	回答	委員氏名
P 2 5	水素分離方法は何でしょうか？ その効率は何の程度でしょうか？	水素分離には PSA (Pressure. Swing Adsorption) を用いています。 分離効率は、約 90% 程度の計画です。	河野委員
	ガス化の後の CO2 の分離・回収は想定されているのでしょうか？またそのプロセス・技術は何を利用されるのでしょうか？	本試験設備では CO2 の分離・回収設備を設置しておりません。 商用機においては、プラントの諸条件に応じて適切なプロセスを選択することになります。	河野委員
Ⅱ-② 表紙	特許及び論文の予定を教えてください。 (現時点で共に 0 ですが)	今回の実証試験は事業実証の要素が強いため、特許及び論文の予定はございません。	河野委員
P 2 3	触媒性能目標とする運転期間は 4 5 0 0 時間でしょうか？	グラフには 10 月までのデータを記載しています。触媒性能目標とする運転期間は 12 月末運転終了で、5,000 時間以上となる予定です。 各種研究結果は、第一期 (Pre-study) において実施した子安試験機での結果との比較を行っております。第一期の運転時間は約 1,500 時間で、運転時間としては十分と考えます。一方で不純物生成量については、サイクル回数 (トルエンの繰り返し使用回数) での評価も行いますため、2 回以上のサイクル回数を確保するように計画しております。	河野委員
P 2 5	本検証試験に適合するトルエンの仕様はハードルが高いのでしょうか？ (表だけ見ると、市場の 50% が不適合となるのですが)	スクリーニング件数からは 50% 適合となりますが、今回選定したトルエンは国内大手メーカーのトルエンであり、供給能力は十分であると認識しています。海外メーカー品の不適合はサンプリング時の不純物混入によるものであり、輸送・貯蔵の仕様を的確にすれば、海外からの調達も可能と考えています。更に、JIS 規格などの汎用規格に適合したトルエンであれば使用できるように、研究開発を進めています。 因みに、プレゼン資料 p.25 に示した B 社と E 社のトルエンは、トルエン純度が JIS 1 号を満たしていません。このため、JIS 規格を満たし、且つ	河野委員

		使用不可と判断されたトルエンは、サンプリングに起因する不純物が混入されたD社のみです。JIS規格を満たしたトルエンのうち、3/4は使用可能であったこととなります。	
II-③ 表紙	論文の予定を教えてください。 (現時点で0ですが)	海上輸送用大型液化水素タンクに関しては、海外勢、とりわけLNG船で世界を席卷する韓国造船所の動向を警戒しつつ、日本が水素船でトップランナーとの国際的な評価を受けることを念頭に、研究成果を基本設計承認(AIP)と国際特許の取得に反映することを優先しており、学会発表や論文投稿は来年度以降に実施する予定。	河野委員
	特許及び論文の予定を教えてください。 (現時点で共に0ですが)	特許については、今後2件程度の出願を予定しています。論文や発表についてはKHIと内容を協議して行うよう検討いたします。	河野委員
	特許及び論文の予定を教えてください。 (現時点で共に0ですが)	低温水素ガス圧縮機の開発は、試作機による実証試験を基本軸としており、実証試験による検証が完了すれば、外部発表等も前向きに検討していきたいと考えております。特許については、助成期間外のためカウントには含めていませんが、助成事業開始前に関連特許を1件出願済みです。	河野委員
	論文の予定を教えてください。 (現時点で0ですが)	開発完了後に、自社の技術情報誌等で外部に発表することを検討しています。	河野委員
II-④ 表紙	特許及び論文の予定を教えてください。 (現時点で共に0ですが)	「真空排気システムの確立」における、貯槽底部構造やベーキング工法について、特許と論文をそれぞれ2件程度出す予定です。	河野委員
II-⑤ 表紙	特許及び論文の予定を教えてください。 (現時点で共に0ですが)	特許：1件、論文：1件を予定しております。	河野委員
II-⑧ P16	達成目標35ppmをクリアーできる改良方法の方向性は具体的に何でしょうか？	技術的な詳細は開示することはできませんが、今回開発した燃焼技術と、当社が保有する既存の他の燃焼技術を組み合わせることで達成できるものと考えており、現在、確認のための予備試験の実施に向け準備中です。	河野委員
II-⑨ 表紙	論文の予定を教えてください。 (現時点で0ですが)	<ul style="list-style-type: none"> ・本事業開始前のSIP(エネルギーキャリア)の成果である燃焼学会誌の論文(2019/11)を英文化して2021/1頃に寄稿予定です。 ・本プロジェクトの概要と、2021/1に終了予定の実圧燃焼試験の結果については日本ガスタービン学会誌2021/5月号に寄稿予定です。 	河野委員
P7	CO2フリーアンモニアの定義は何でしょうか？	<p>大別して以下の(a)(b)二つを想定しています。</p> <p>(a) 水を再生可能エネルギーで電気分解してCO2フリーの水素を製造し、そのグリーン水素を原料として製造したグリーンアンモニア。</p> <p>(b) 天然ガスの改質によりCO2を回収しつつ水素を製造し、そのブルー水</p>	河野委員

		素を原料として製造したブルーアンモニア。	
Ⅱ-⑫ 表紙	特許及び論文の予定を教えてください。 (現時点で共に0ですが)	開発に着手したばかりで具体的な計画はまだございません。特許は年間3件以上の出願を目標としております。論文は2022年以降の投稿を目標としております。	河野委員
Ⅱ-⑬ 表紙	特許の予定を教えてください。 (現時点で0ですが)	本プロジェクトにおいては、技術の秘匿性等の観点から特許の出願予定はありません。	河野委員
P30	国内のCO2排出削減量を具体的にどの程度削減することができるかと予測されているのでしょうか？	資源エネルギー庁の「長期的エネルギー需給見通し」によると、2030年の国内の総発電量に対するコージェネレーションシステム(CGS)の割合を8~15%、エネルギー起源の年間CO2排出量を約9.27億t-CO2と予測しており、全て化石燃料ベースとして考えた場合、単純にこの割合を当てはめるとCGSによる年間CO2排出量は約0.74~1.39億tとなります。 国内のCGSにおけるガスタービンの発電容量ベースでの割合を47%(コージェネ財団統計資料による)とすると、2030年におけるガスタービンCGSによる年間CO2排出量は約0.35~0.65億tと予想されます。 2030年の時点でガスタービンの燃料が化石燃料から全て水素に置き換わっていれば、これらの約0.35~0.65億tのCO2排出量を0にすることが可能です。 現実的には2030年の段階では、一部しか水素に置き換わっていないと考えられますので、本数値に、ガスタービンCGSでの水素使用の割合(発電量ベース)を乗算したものが、CO2排出削減量となると見込まれます。	河野委員
資料 6-1-3 P11	オランダのPJに参画されていますが、本PJで開発された技術をどう利用されておられるのでしょうか？	当社はガスタービンOEMとしてガスタービンの改造を計画しています。同Feasibility Studyでは拡散燃焼器による水素専焼を前提としておりますが、想定される水素供給量と実水素供給量のギャップが生じた場合、本PJで開発した天然ガス-水素30%vol混焼燃焼器を搭載し、まずは混焼からスタートさせ、水素インフラ成熟期に水素専焼へと転換していくことも視野にいれています。	河野委員
資料7 成 果詳細25 6 2行目	天然ガスと水素を混焼させた場合、燃料成分の変化により、と記載されていますが、どれぐらいの変化を想定されていますか？	水素30%volを天然ガスに混焼させた場合、燃焼速度は1.1倍になると推定され、実圧燃焼試験(1600℃級)においてNOxが1.3倍になることを確認しています。これは、燃焼速度が上昇することで火炎が上流に移動し、空気と燃料の混合が不十分な位置で燃焼したためであると考えております。	森田委員

資料 7 成果詳細 2 0 6	水素専焼が故の耐久的な課題はありますか？その場合の課題解決に向けてのシナリオはどのように考えられていますか？	水素は燃焼速度が速く、天然ガスに比べて火炎がバーナに接近するため、バーナ表面温度が高くなる課題があります。その対策として、バーナ表面へのTBC (Thermal Barrier Coating) の施工や、バーナ端面に冷却空気の流路を設け、強制的に冷却する方式を採用する計画です。モデルバーナ燃焼試験のバーナでもTBC、強制冷却方式を採用し、効果を確認しております。 この他に水素脆化（水素原子が金属に吸蔵され、金属素材の靱性が低下する現象）の問題があります。様々な金属材料を対象に水素脆化の感受性が評価されており、これらのデータをもとに材料を選定しておりますが、AM(Additive Manufacturing)で製造された金属素材に対しては十分な情報が得られていないため、調査を進めております。	森田委員
資料 7 成果詳細 1 9	褐炭前処理技術の設備費および運転費が増大する、と記載されていますが、どれぐらいのアップになるのでしょうか？それは商用機での課題として解決できる見込みのあるレベルでしょうか？	高水分の褐炭を乾燥するために、通常の微粉炭機に加えて、乾燥機などの設備を追設することとなり、また乾燥のための熱源も必要になると想定しております。したがって、設備費および運転費が増大しますが、一方で燃料費（褐炭）は大きく低減する見込みであり、商用規模における最適化設計を実施することで見通しを得る計画です。 また商用化規模における褐炭前処理設備に関する技術について、国内外のメーカーについて調査を進めております。	森田委員
資料 7 成果詳細 2 2 中段	プレ乾燥として30%程度以下にまで水分を取り除く計画、と記載されていますが、30%とした根拠を教えてください、	過去にガス化実績のある石炭の最大水分が約30%程度であったことから、プレ乾燥後の褐炭を既存技術にて問題なく処理できるように設定しています。	森田委員
資料 7 成果詳細 6 4 中段あたり	第1期の結果について、ガスホルダーを大幅に低減することが可能、記載されていますが、図9、図10以外にその根拠となるデータを教えてください。	その後実施した実証設備での脱水素設備負荷変動試験の結果、原料MCHを目標とした3.5%/minの速度でロードアップ/ロードダウンしても安定した運転が可能であることが実証されました。 但し、原料MCH流量の変動に対して、製品水素量が数分遅れて追従することが判明しました。 この応答遅れに対応すべく、必要最小限のガスホルダーを設けるか、あるいは制御系を最適化することにより、ガスホルダーを大幅に低減できると考えています。	森田委員
資料 II - ①、A4 横	豪州ラトロプバレー炭鉱の権益状況を知りたい。	豪州小型ガス化試験装置での試験は、ラトロプバレーの中のロイヤン炭鉱から採取した褐炭を用いて試験を行います。ロイヤン炭鉱の権益に関しては、他社殿の経営情報であり、詳しくは把握しておりませんがAGL社が保	大澤委員

		有しているものと聞いています。 AGL社はロイヤン炭鉱に褐炭発電所を保有しており、HESCプロジェクトのパートナーでもあります。	
資料Ⅱ－ ①、A4横	シェルジャパンの具体的な役割は何か。技術開発でどういった役割を担うのか、あるいは国際的なステークホルダーとの調整役を担うのかなどについて知りたい。	シェルジャパン単体としての役割はグローバルシエルの日本の窓口としての役割が第一義的なものです。シエルの日本国内での活動についてはほぼすべてに関与しています。また、シェルジャパンが単独で何かの役割を果たすことはなく、グローバルシエルの中に組み込まれて活動し、課された役割を果たしています。本プロジェクトでは、グローバルシエルの作業内容を日本のステークホルダーに連絡するとともに、またその逆も行っています。	大澤委員
資料Ⅱ－ ①、7/49 ページ	日豪間輸送は2020年度に1度ということか。2021年度と2022年度はそれぞれ何回計画しているのか。合計何回を目標としているのか。	2020年度は1航海を予定しています。また、2021年度～2022年度では、最大10航海を予定し、トータルで10航海程度の航行試験を予定しています。	大澤委員
資料Ⅱ－ ①、19/49 ページ	EAGLE炉から排出されるスラグの規模と処理についてコメントが欲しい。再資源化や最終処分の見通しがいつているのか。	褐炭中の灰分に依存しますが、褐炭微粉重量ベースで約0.5%～3%程度のスラグが排出される見込みです。豪州小型ガス化試験装置の場合、1t/日の褐炭微粉から約5kg～30kg/日のスラグが発生する見込みとなります。大崎クールジェンから排出されるスラグは、石炭灰と同様にセメント原料として有効利用されています。また、路盤材やコンクリート用骨材としての利用も可能であり、今年度10月には「コンクリート用石炭ガス化スラグ骨材」のJIS規格が制定され、また土木・建築学会において、コンクリートの設計施工指針の策定が進められるなど、実際の利用に向けた取組が進められています。	大澤委員
資料Ⅱ－ ①、34/49 ページ	水素の低炭素化の指標は何か。バイオマス混合体の起源は具体的に何か、また、持続可能な資源なのか。	生成されるガスからCO ₂ を分離回収する場合、回収率は約90%程度となる見込みです。さらにCO ₂ 排出量を低減するために、バイオマス混合を検討しています。 現在検討しているバイオマスは、豪州国内で発生する林業用木材、製粉廃棄物、廃棄物の樹皮、回収廃材などを起源としており、持続可能な資源であると考えています。	大澤委員
資料Ⅱ－ ①、7/10 ページ	参考までに副生CO ₂ 処理の貯留を経済的（試算例だと2.9円/Nm ³ ）に行えるのか確認したい。豪州政府のプロジェクトは順調	8/10ページにCCSと記載していますが、この2.9円/Nm ³ はCarbonNetへの所定条件でのCO ₂ 引渡しコストとお考え下さい。CO ₂ 分離コストなどは水素製造に必要なコストとして「水素製造」に含まれます。CarbonNetは	大澤委員

	なのか、課題はどこにあるのか。	処理場所を特定して本年1月に評価井の試掘を完了し、CO2貯留量など技術評価中ですが、良好な結果を得て、次ステップに向けて資金などを準備中です。課題は、事業化のスタートアップを官が担うか民間で着手するかで協議中です。	
資料Ⅱ－①、10/10ページ	例えば2050年に40チェーンで80隻とは、日豪間を何隻で何回、合計何万トン輸送することになるのか。	2030年商用時22.5万ton-H ₂ /年を1チェーンとして40倍(900万ton-H ₂ /年)輸送することで考えています。11回/隻・年を想定しています。	大澤委員
資料Ⅱ－②、A4横	有機ケミカルハイドライド法のCO2削減貢献量を知りたいが、指標や試算例はあるのか。	CO2削減効果量については弊社なりに試算を試みっていますが、CO2カウンターの境界をどこに置くかなど、試算手法が未だ一般化されていないこともあり、公表出来る段階に至っておりません。産総研など第三者機関が公表している試算例については、都度ヒアリング・意見交換を実施しています。	大澤委員
資料Ⅱ－②、A4横	経済性を評価する材料が見当たらないので、水素コスト目標とその内訳について試算値(前提条件も付けて)だけでも開示してもらいたい。	水素コスト目標として、2030年に30円/Nm ³ 、その先で20円/Nm ³ 以下をターゲットに取り組みを進めておりますが、コスト削減においては、技術開発に伴うシステム効率化に加え、需要規模拡大によるスケールメリットも大きな要素となります。規模、場所、輸送距離、水素供給条件、為替など、様々な要素によりコストは変動するため、個別に評価していく必要があります。	大澤委員
資料Ⅱ－③、A4横①、②、③、④	特許出願は2件(①と④)でそれぞれ1件あるが、論文と発表がゼロは意外。要素技術とは言え、外部発表などのアウトリーチ活動は必要ではないか。今後の予定などはあるのか。	<p>(①) 海上輸送用大型液化水素タンクに関しては、海外勢、とりわけLNG船で世界を席巻する韓国造船所の動向を警戒しつつ、日本が水素船でトップランナーとの国際的な評価を受けることを念頭に、研究成果を基本設計承認(AIP)と国際特許の取得に反映することを優先しており、学会発表や論文投稿は来年度以降に実施する予定。</p> <p>(②) 特許については、今後2件程度の出願を予定しています。論文や発表についてはKHIと内容を協議して行うよう検討いたします。</p> <p>(③) 低温水素ガス圧縮機の開発は、試作機による実証試験を基本軸としており、実証試験による検証が完了すれば、外部発表等も前向きに検討していきたいと考えております。特許については、助成期間外のためカウントには含めていませんが、助成事業開始前に関連特許を1件出願済みです。</p> <p>(④) 開発完了後に、自社の技術情報誌等で外部に発表することを検討しています。</p>	大澤委員

資料Ⅱ－ ③、25/57	従来構造のラジアルガイドは LNG 用のことか。水素用がモーメントに耐えられなかった最大の理由は何か。黒丸で示した鋭角部分を無くすことで強度を高めることができたと理解してよいか。	液化水素用配管は断熱のため真空二重構造になっており、内管の熱収縮吸収のためにベローズが内管に装備されておりますが、ベローズは剛性が無いので内圧による軸方向荷重を受けることができません。そのため、他の部位でこの荷重を受ける必要がありますが、最初の部位(ラジアルガイド)は荷重中心から距離があり荷重を受けきれませんでした。従いラジアルガイドの位置を変更して荷重中心に配置するように変更致しました。LNG 配管は真空二重構造になっていないため該当の構造はありません。	大澤委員
資料Ⅱ－ ⑤、A4 横	バルブのそもそもの機能と、バタフライバルブ弁種・構造が液化水素の封止および断熱に優れている理由を簡便に示してください。	バタフライバルブの機能として本体部に直通流路を持つ事で大流量を流すこと(流路抵抗が小さい)が出来ます。また、板状の弁体を 90 度開閉する事で、これら流体を流す・遮断する事が可能となります。バタフライバルブで液体水素を封止(流体の遮断)するシール構造は、今回のプロジェクト課題として解決する工夫が必要となりますが、断熱につきましては、比較的大流量を流すことが出来るバタフライバルブ以外の弁種(ゲートバルブ、グローブバルブ、ボールバルブ)と比較し、弁箱自体が軽量・コンパクトに設計できる事より、断熱の不確定性を少なくする事で、断熱性能の向上が図れます。	大澤委員
資料Ⅱ－ ⑥、A4 横	バルブのそもそもの機能と、バタフライバルブ弁種・構造が液化水素の封止および断熱に優れている理由を簡便に示してください。	<p>① バルブのそもそもの機能 主に配管などの内部を通す気体・液体などの流体が通る空間の開閉や、流量制御などができます。</p> <p>② バタフライバルブ弁種・構造が優れている理由</p> <p>(1)他弁種と比べ、バタフライバルブは</p> <ul style="list-style-type: none"> ・前述のとおり流量制御に適しております。 ・弁体の作動が外部漏洩しやすい上下作動ではなく回転作動(90° 回転)です。 ・弁体が小さく面間も薄く製作でき重量も軽くなります。 <p>(2)弊社バルブは、低温になるほど高いシール性を発揮する構造です。</p> <p>(3)断熱について、真空ジャケット構造とすることで断熱性を発揮します。</p>	大澤委員
資料Ⅱ－ ⑥、7/7	2025 年度は、誰に、どれくらい販売する計画なのか。水素の本格消費が始まる 2030 年の国内市場規模と貴社のシェア見通しはどの程度か。	2025 年度の販売は LNG サテライト基地同様の小規模基地を想定しており、バルブ台数 10 台の販売を想定しています。販売先は液化水素基地・タンク類を手掛ける水素関連プラントメーカーを想定しています。2026 年～2035 年の市場規模をバルブ台数は約 300 台と想定しています。その時の当社シェアは 70%を見込んでおります。	大澤委員

資料Ⅱ－⑧、13/45	ロードマップの目標値 NOx35ppm(O2-16%換算)の環境科学的な根拠は何か。燃焼振動と低 NOx の背反関係を解決する努力は必要だと思う一方、適法であれば目標値をやみくもに(経済性を犠牲にして)追及する必要はないのではないかと感じる。	NOx35ppmは、一部の地方自治体の定める条例での上乗せ規制値(例:東京都、神奈川県、愛知県、等)に対応したものです。これらの地域でも追加の脱硝装置を設置することなく、ご使用いただくことが可能となり、設置コスト/運用コストの面で使用者に大きなメリットがあります。また、千葉県、埼玉県、大阪市、名古屋市、等の一部の自治体については35ppmを下回る規制値(最も厳しい規制値で20ppm)を定めており、これらの地域では追加の脱硝装置の設置が必要となりますが、脱硝装置でのNOx低減幅が縮小することから、装置の脱硝能力および脱硝剤(尿素等)を削減でき、設置/運用コストの面でメリットが出てきます。	大澤委員
資料Ⅱ－⑧、24/45	販売予定のCGSの発電出力はどれくらいか。また、2020年代に水素CGSの需要が拡大する理由を簡便に説明して欲しい。水素コストは2020年代に下がる可能性があるが、それだけが需要拡大のドライバーになるとは思えない。	当社の製品ラインナップでは2~30MWの自家用発電向けのクラスとなります。2020年代は安い水素が大量に流通する段階ではないと考えられますが、化学メーカー等の「副生水素」をお持ちのお客様への自家用発電/熱供給用途の水素CGSの需要が拡大するものと考えています。	大澤委員
資料Ⅱ－⑨、18/19	プロジェクトの目的は達成されていると認識しているが、経済性の見通しはどうか。例えば、2030年の発電コスト(目標:17円/kWh以下)を達成するための条件等について考えがあれば教えて欲しい。	本プロジェクトによりプロセス検討を進めており、現時点で建設費を議論できる状況にはないため、まず発電コストが17¥/kWh以下になるための建設費の条件をサーベイしました。同資料の7/19右側のグラフより、本システムの建設費が(a)10万円/kWの場合、NH3価格が456\$/t、(b)20万円/kWの場合、NH3価格が438\$/t以下であれば発電コストは17¥/kWh以下となります。このように発電コストは建設費よりもCO2フリーアンモニアの入手価格が支配的です。現状のグレーアンモニアの市場価格が300\$/t台であること。アンモニアは水素に比べて輸送しやすく熱量等価で水素よりも安価で、将来のCO2フリーアンモニア価格が440\$/t程度以下が見込めることなどから、システム建設費が現状のGTCCの市場価格10万円/kWの略2倍の20万円/kWとしても17¥/kWhは十分に視野に入ると考えています。	大澤委員
資料Ⅱ－⑩、19/21	水素発電は需要拡大の本命に位置付けられているが、太陽光や風力発電が主力電源化する時代の生き残り策は何か。調整電源として現在の大型ガス火力を代替する限りの役割しか持たないのか見通しを教えて欲しい。	ガスタービン、太陽光や風力発電の発電量の変動に対するグリッド調整役の他に、エネルギーキャリアとしての水素の大量消費先としての役割があると考えております。太陽光や風力発電が主力電源化した時代では、余剰の電力が大量に発生しますので、その電力を有効利用する方策の一つとして、貯蔵と輸送が可能な水素に転換し、エネルギーキャリアとして水素	大澤委員

	い。	を利用することがあげられます。	
資料Ⅱ－ ⑫、13/25	コスト/kW は単体効率の高さによるものと推測できるが、化石燃料エンジンと同等の経済性を持つための条件は何か。	現状は水素燃料の調達コストが高価なため、化石燃料と同等のコストとなる必要があると考えます。また、異常燃焼によるエンジンの出力制限をなるべく減らすようにすること、水素脆性による劣化が無いように耐久性を担保することで、水素燃焼エンジンのイニシャルコスト、メンテナンス等ランニングコストを下げるのが条件だと考えます。	大澤委員
資料Ⅱ－ ⑫、A4 横、 25/25	実証試験を行う予定の客先サイトのアプリケーションは何か。水素エンジンの特徴は起動・停止の制限がないことだが、動力源として活用する計画はまったくないのか。	大型液化水素運搬船の発電機用エンジンを想定して実証試験を計画しております。現在、単位熱量当たりの水素価格は天然ガスの約10倍であり、運転の経済性が成立しにくいですが、相応のボイルオフ水素が生じることが見込まれる大型液化水素運搬船においては、追加コストを最小限にすることができると考えております。 動力源として適用するためには、エンジンの回転数と出力を同時に変化させる必要があるため技術課題が多く、難易度が高いと考えております。発電用途の開発後に着手する予定です。	大澤委員
資料Ⅱ－ ⑭、A4 横	水素混合割合の事業目標 20%を超える30%条件を確認したとあるが、目標を変更した理由を知りたい。目標値がそもそも低すぎたということか。	水素混焼割合の事業目標は、2030年水素インフラ導入期において、既存発電所の小改造で水素転換を可能にすること、および2030年時点での水素供給能力を考慮して設定しています。 水素 20%vol であれば、既存発電所の水素転換において、燃焼器交換は伴うもののガスタービン周り燃料配管や制御弁は継続使用可能であり、小改造での対応が可能となります。更に水素 20%vol 混焼の場合、例えば当社納入の国内高効率GTを水素混焼転換するだけで、水素基本戦略の2030年導入目標をクリアし、インフラ構築に貢献できます。 30%条件は目標設定を変更したのではなく、水素供給が不安定な場合、例えば一時的に水素混焼率が20%volを超えることなどを想定し、安定運用のために水素30%vol程度のマージンが必要であると考えています。	大澤委員
資料Ⅱ－ ⑭、26/27	水素混合割合を2025年に30%で始め、2045年に100%を目指すというところか、混合割合を徐々に高めるということか、あるいは100%専焼設備(燃焼器のみ?)に入れ替えるまでは30%で運転するというところか。	水素含有割合は、以下に示す段階を踏んで開発していく予定です。 水素 30%vol 混焼⇒開発済み 水素 100%⇒開発中 水素 30%vol-100%⇒開発予定 (様々な水素含有量にFlexibleに対応可能な燃焼器を開発する) 2025年にはまず水素30%混焼でスタートさせますが、様々な水素含有量に	大澤委員

		対応できる燃焼器を完成させ、水素供給量に合わせて対応できるようにしていく予定です。	
資料 5 の p14 および資料 6-1-1	「未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築」の2020年の目標として、商用レベルの1/100規模（数千万Nm ³ 換算）のサプライチェーンを構築することが挙げられています。ケミカルハイドライド法は資料6-1-2のp6に設備能力が記載されていますが、未利用褐炭についての資料6-1-1では規模が明示されていないように思えます。全体としての水素供給設備能力がいくらかご教示ください。また、実証期間における水素輸送量の目標があれば併せてご教示ください。	<p>【水素輸送量】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実証期間中の水素輸送量には目標を設定しておらず、1,250m³タンク（満載75ton）での日豪間航行ができれば、サプライチェーン構築のパイロット実証として適切であると考えています。 ・商用時の2011年NEDO委託事業によるFSおよび現在実施中の大型化開発の液化水素運搬船は4万m³×4基のタンクを設けており、パイロット実証の液化水素運搬船のタンク容積1,250m³は1/32規模です。荷役ターミナルの貯蔵タンクについても商用時5万m³のタンクに対して、2,500m³の容積で1/20規模です。※HySTRAの範囲外ではあるが、液化機について商用時の50ton/日までは既存技術（30~35ton/日実績あり）で対応可能。 <p>【水素製造能力】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・豪州小型ガス化試験装置は商用規模の約1/1000ですが、弊社若松研究所のEAGLE炉（約1/100規模）での試験も合わせて実施していきます。 ・豪州褐炭のガス化特性を踏まえ、瀝青・亜瀝青炭で用いたスケールアップ設計手法を用いて大型化設計を実施していく計画です。 ・豪州小型ガス化試験装置の水素供給設備の能力は約40m³N/hです。 	中島委員
資料 5 の p14	「未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築」ではシステムごとに水素製造効率や輸送効率等を個別に設定することが目標とされていますが、未利用褐炭およびケミカルハイドライド法それぞれについて、システム全体での水素製造効率、輸送効率の目標値と現状値、達成見込みについてご教示ください。	<p>【Ⅱ-①】</p> <p>【水素製造効率】</p> <p>水素純度 99.999%以上を目標としております。まだ現時点では水素製造にまで至っておりませんので現状値はありませんが、達成に向けて鋭意準備を進めております。</p> <p>【輸送効率】</p> <p>液化水素運搬船タンク容積 1,250m³（液水換算 88.5ton）に対して実効積載量は 75 トン-H₂ となっています。</p> <p>タンクとしての輸送効率は 85%となります。実効積載量については今後確認していきます。</p>	中島委員
		<p>【Ⅱ-②】 今回の実証運転においては、水素化設備でのMCH転化率は99%以上、脱水素設備でのトルエン転化率は平均97%以上を示しているため、十分な効率を持っていると考えています。</p> <p>更に触媒改良の研究開発を継続しており、不純物生成抑制によるトルエン</p>	

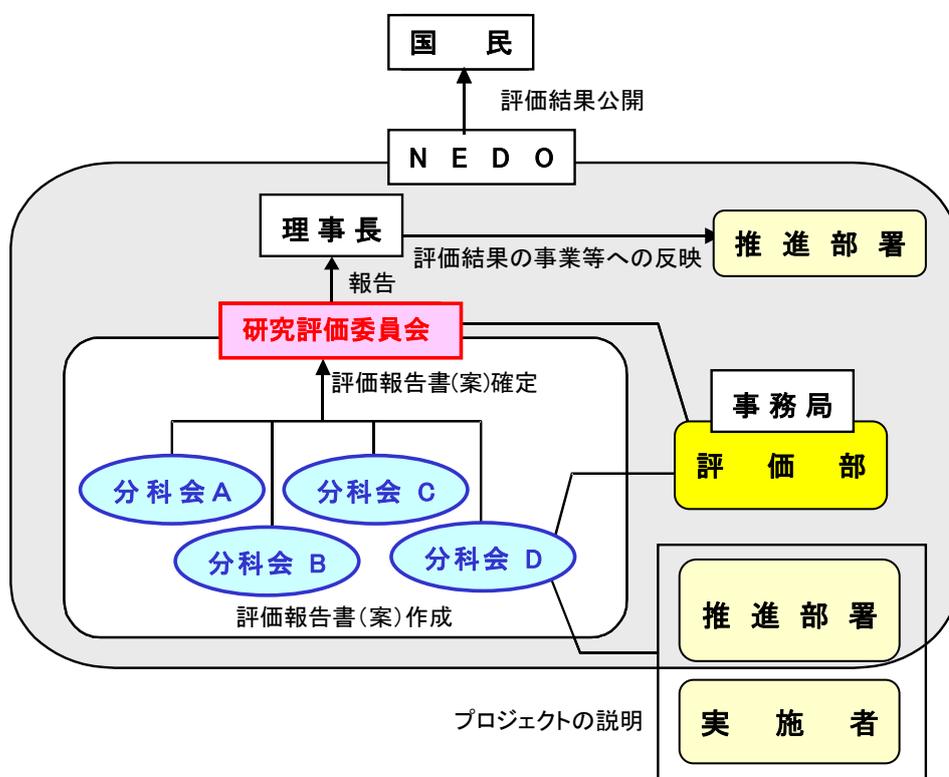
		精製設備からのトルエンロス量の低減、触媒の長寿命化による設備効率の向上等により、より一層の効率化を目指しています。	
資料 5 の p14 及び資料 6-1-3	「水素エネルギー利用システム開発」では、混焼及び専焼水素発電の「発電効率」「耐久性」「環境性」を満たす技術の確立が目標とされています。資料 6-1-3 の成果報告では、水素の混焼率や NOx 等でよい成果を得られたことがわかりますが、発電効率、耐久性についても目標値と現状、将来の見込みについてご教示ください。	水素焚き発電効率は、天然ガス専焼と同等の効率を維持することを目標としています。水素焚き時は燃焼ガスの組成の違いにより、発電効率が上昇するため、達成見込みと考えています。 耐久性についても発電効率同様、天然ガス耐久性を維持することを目標としています。ここでの耐久性とは、主に熱疲労・酸化減肉等に対する信頼性を指していると思いますが、燃焼試験において燃焼器メタル温度や燃焼器振動応力計測を行うことで予測は可能と考えており、水素混焼については燃焼試験結果から達成見込みを得ています。最終的には、実機検証にて確認致します。	中島委員
資料 5 の資料 II - ② 開発項目③-1、P25 (資料 6-1-2 の p35)	商用トルエンの調達先によって、本システムへの適・不適があることを明確化されましたが、将来的に各社のトルエン製造プロセスが一定不変である保証はないと推測されます。今後トルエンを調達する際に、今回策定された本システムに適した調達仕様により、コスト増にならず水素サプライチェーン構築に必要な量を確保できる見通しについてご教示ください。	今回策定した調達仕様を緩め、JIS 規格などの汎用規格に適合したトルエンであれば使用できるように、研究開発を進めています。 具体的には、触媒被毒となる特定成分の吸着除去処理を検討しており、大きなコスト増にはならないと認識しています。	中島委員

参考資料 2 評価の実施方法

本評価は、「技術評価実施規程」（平成 15 年 10 月制定）に基づいて実施する。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)における研究評価では、以下のように被評価プロジェクトごとに分科会を設置し、同分科会にて研究評価を行い、評価報告書（案）を策定の上、研究評価委員会において確定している。

- 「NEDO 技術委員・技術委員会等規程」に基づき研究評価委員会を設置
- 研究評価委員会はその下に分科会を設置



1. 評価の目的

評価の目的は「技術評価実施規程」において

- 業務の高度化等の自己改革を促進する
 - 社会に対する説明責任を履行するとともに、経済・社会ニーズを取り込む
 - 評価結果を資源配分に反映させ、資源の重点化及び業務の効率化を促進する
- としている。

本評価においては、この趣旨を踏まえ、本事業の意義、研究開発目標・計画の妥当性、計画を比較した達成度、成果の意義、成果の実用化の可能性等について検討・評価した。

2. 評価者

技術評価実施規程に基づき、事業の目的や態様に即した外部の専門家、有識者からなる委員会方式により評価を行う。分科会委員は、以下のような観点から選定する。

- 科学技術全般に知見のある専門家、有識者
- 当該研究開発の分野の知見を有する専門家
- 研究開発マネジメントの専門家、経済学、環境問題、国際標準、その他社会的ニーズ関連の専門家、有識者
- 産業界の専門家、有識者

また、評価に対する中立性確保の観点から事業の推進側関係者を選任対象から除外し、また、事前評価の妥当性を判断するとの側面にかんがみ、事前評価に関与していない者を主体とする。

これらに基づき、委員を分科会委員名簿の通り選任した。

なお、本分科会の事務局については、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構評価部が担当した。

3. 評価対象

「水素社会構築技術開発事業/研究開発項目Ⅱ（大規模水素エネルギー利用技術開発）」を評価対象とした。

なお、分科会においては、当該事業の推進部署から提出された事業原簿、プロジェクトの内容、成果に関する資料をもって評価した。

4. 評価方法

分科会においては、当該事業の推進部署及び実施者からのヒアリング及び実施者側等との議論を行った。それを踏まえた分科会委員による評価コメント作成、評点法による評価により評価作業を進めた。

なお、評価の透明性確保の観点から、知的財産保護の上で支障が生じると認められる場合等を除き、原則として分科会は公開とし、実施者と意見を交換する形で審議を行うこととした。

5. 評価項目・評価基準

分科会においては、次に掲げる「評価項目・評価基準」で評価を行った。これは、NEDOが定める「標準的評価項目・評価基準」をもとに、当該事業の特性を踏まえ、評価事務局がカスタマイズしたものである。

評価対象プロジェクトについて、主に事業の目的、計画、運営、達成度、成果の意義、実用化に向けての取組や見通し等を評価した。

「水素社会構築技術開発事業/研究開発項目Ⅱ(大規模水素エネルギー利用技術開発)」に係る評価項目・評価基準

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業目的の妥当性

- ・ 内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・ 上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDOの事業としての妥当性

- ・ 民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDOの関与が必要とされる事業か。
- ・ 当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・ 内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・ 達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(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及び研究開発費（研究開発項目の配分を含む）となっているか。
- ・ 目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・ 計画における要素技術間の関係、順序は適切か。

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・ 技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・ 指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・ 成果の実用化の戦略に基づき、実用化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・ 目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・ 技術の取捨選択や技術の融合、必要な実施体制の見直し等を柔軟に図っているか。
- ・ 研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・ 社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・ 知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・ 知的財産や研究開発データに関する取扱についてのルールを整備し、かつ適切に運用しているか。

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・ 成果は、中間目標を達成しているか。
- ・ 中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・ 成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・ 世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・ 設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・ 最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・ 最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・ 論文等の対外的な発表を、実用化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・ 一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・ 知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化の戦略に沿って国内外で適切に行っているか。

- ・ 「実用化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化」の考え方

- ・ 当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用（顧客への提供等）が開始されること。
- ・ 当該技術が水素利活用するための将来設備の基本計画の試算等に活用されること。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・ 成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・ 実用化に向けて、課題及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・ 想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等の把握は進んでいるか。
- ・ 顕著な波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）を期待できる場合、積極的に評価する。

「プロジェクト」の中間評価に係る標準的評価項目・基準

※「プロジェクト」の特徴に応じて、評価基準を見直すことができる。

「実用化・事業化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることであり、さらに、当該研究開発に係る商品、製品、サービス等の販売や利用により、企業活動(売り上げ等)に貢献することをいう。

なお、「プロジェクト」が基礎的・基盤的研究開発に該当する場合は、以下のとおりとする。

- ・「実用化・事業化」を「実用化」に変更する。
- ・「4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて」は該当するものを選択する。
- ・「実用化」の定義を「プロジェクト」毎に定める。以下に例示する。

「実用化」の考え方

当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されることをいう。

1. 事業の位置付け・必要性について

(1) 事業の目的の妥当性

- ・内外の技術動向、国際競争力の状況、エネルギー需給動向、市場動向、政策動向、国際貢献可能性等の観点から、事業の目的は妥当か。
- ・上位の施策・制度の目標達成のために寄与しているか。

(2) NEDO の事業としての妥当性

- ・民間活動のみでは改善できないものであること又は公共性が高いことにより、NEDO の関与が必要とされる事業か。
- ・当該事業を実施することによりもたらされると期待される効果は、投じた研究開発費との比較において十分であるか。

2. 研究開発マネジメントについて

(1) 研究開発目標の妥当性

- ・内外の技術動向、市場動向等を踏まえて、戦略的な目標を設定しているか。
- ・達成度を判定できる明確な目標を設定しているか。

(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及び研究開発費(研究開発項目の配分を含む)となっているか。
- ・目標達成に必要な要素技術の開発は網羅されているか。
- ・計画における要素技術間の関係、順序は適切か。
- ・継続または長期の「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で活用を図っている

か。【該当しない場合、この条項を削除】

(3) 研究開発の実施体制の妥当性

- ・技術力及び事業化能力を有する実施者を選定しているか。
- ・指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能しているか。
- ・成果の実用化・事業化の戦略に基づき、実用化・事業化の担い手又はユーザーが関与する体制を構築しているか。
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の連携が必要な場合、実施者間の連携関係は明確であり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・目標達成及び効率的実施のために実施者間の競争が必要な場合、競争の仕組みがあり、かつ機能しているか。【該当しない場合、この条項を削除】
- ・大学または公的研究機関が企業の開発を支援する体制となっている場合、その体制は企業の取組に貢献しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

(4) 研究開発の進捗管理の妥当性

- ・研究開発の進捗状況を常に把握し、遅れが生じた場合に適切に対応しているか。
- ・社会・経済の情勢変化、政策・技術の動向等を常に把握し、それらの影響を検討し、必要に応じて適切に対応しているか。

(5) 知的財産等に関する戦略の妥当性

- ・知的財産に関する戦略は、明確かつ妥当か。
- ・知的財産に関する取扱(実施者間の情報管理、秘密保持及び出願・活用ルールを含む)を整備し、かつ適切に運用しているか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その戦略及び計画は妥当か。【該当しない場合、この条項を削除】

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

- ・成果は、中間目標を達成しているか。
- ・中間目標未達成の場合、達成できなかった原因を明らかにして、解決の方針を明確にしているか。
- ・成果は、競合技術と比較して優位性があるか。
- ・世界初、世界最高水準、新たな技術領域の開拓、汎用性等の顕著な成果がある場合、積極的に評価する。
- ・設定された目標以外の技術成果がある場合、積極的に評価する。

(2) 成果の最終目標の達成可能性

- ・最終目標を達成できる見通しはあるか。
- ・最終目標に向けて、課題とその解決の道筋は明確かつ妥当か。

(3) 成果の普及

- ・論文等の対外的な発表を、実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。
- ・成果の活用・実用化の担い手・ユーザーに向けて、成果を普及させる取組を実用化・事業化の戦略に沿って適切に行っているか。

- ・一般に向けて、情報を発信しているか。

(4) 知的財産権等の確保に向けた取組

- ・知的財産権の出願・審査請求・登録等を、実用化・事業化の戦略に沿って国内外に適切に行っているか。
- ・国際標準化に関する事項を計画している場合、その計画は順調に進捗しているか。【該当しない場合、この条項を削除】

4. 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合を除く】

(1) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- ・成果の実用化・事業化の戦略は、明確かつ妥当か。
- ・想定する市場の規模・成長性等から、経済効果等を期待できるか。

(2) 成果の実用化・事業化に向けた具体的取組

- ・実用化・事業化に取り組む者について検討は進んでいるか。
- ・実用化・事業化の計画及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化・事業化の見通し

- ・実用化・事業化に向けての課題とその解決方針は明確か。
- ・想定する製品・サービス等は、市場ニーズ・ユーザーニーズに合致する見通しがあるか。
- ・競合する製品・サービス等と比較して性能面・コスト面等で優位を確保する見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

4. 成果の実用化に向けた取組及び見通しについて 【基礎的・基盤的研究開発の場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・成果の実用化の戦略は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・実用化に向けて、課題及びマイルストーンの検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・想定する製品・サービス等に基づき、市場・技術動向等の把握は進んでいるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

【基礎的・基盤的研究開発の場合のうち、知的基盤・標準整備等を目標としている場合】

(1) 成果の実用化に向けた戦略

- ・知的基盤・標準の整備及び活用の計画は、明確かつ妥当か。

(2) 成果の実用化に向けた具体的取組

- ・知的基盤・標準を供給・維持するための体制の検討は進んでいるか。

(3) 成果の実用化の見通し

- ・整備する知的基盤・標準について、利用の見通しはあるか。
- ・顕著な波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)を期待できる場合、積極的に評価する。

参考資料 3 評価結果の反映について

「水素社会構築技術開発事業/研究開発項目Ⅱ（大規模水素エネルギー利用技術開発）」（中間評価）の評価結果の反映について

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
<p>① 個別設定された目標については定性的目標設定が多く、また、個別のテーマがプロジェクト全体として初期の目標へどう結びついているのかが少し判りにくい。全体目標からブレイクダウンして個別目標を設定することで、個別テーマの目標値として、根拠を明確にしていくとともに、競争上秘匿が必要なものを除き、極力目標値を明確にしていくことが望ましい。</p> <p>② NEDO のプロジェクトは、海外に先行して着実に進められてきたと思われるが、昨今の海外の水素への取組が大規模化し、加速してきている状況から、可能な限り前倒しなどが図られることを期待する。</p> <p>③ 目標とする経済性（水素コスト）を達成するために何が必要であるのかが判りづらく、実証が終了した後に、すぐ実用化につながる規模での事業展開は難しいと思われるため、今回の実証と実用化時点での達成すべき技術的課題、経済的課題、諸条件等をできるだけ合理的な根拠に基づいて定量化して示しつつ、2030 年までの実用化に至る導入シナリオを明確にしていくことが望まれる。</p>	<p>① 定期的に技術委員会を開催し、個別テーマの目標値及びその達成度について俯瞰的に検討・見直しを行う。</p> <p>② 定期的に技術委員会を開催し、前倒し可能な取組があれば実施計画の見直しを行う。</p> <p>③ 定期的に技術委員会を開催し、実用化を想定した各種課題の洗い出しを行い、導入シナリオを検討する。</p>

評価のポイント	反映（対処方針）のポイント
④ また、その本実証後の実用化に向けたシナリオ、スケールアップの定量的な手段が、対外的に判りやすく発信されることも期待する。	④ 成果報告会やニュースリリースなどを通じて、実用化シナリオを含めた本事業成果の情報発信を行う。

本研究評価委員会報告は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）評価部が委員会の事務局として編集しています。

NEDO 評価部
部長 森嶋 誠治
担当 塩入 さやか

* 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。

(https://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
ミューザ川崎セントラルタワー20F
TEL 044-520-5160 FAX 044-520-5162