

「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」
終了時評価報告書

2024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

2024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 斎藤 保 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 木野 邦器

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」
終了時評価報告書

2024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 |
| 研究評価委員会委員名簿 | 4 |
| | |
| 第1章 評価 | |
| 1. 評価コメント | 1-1 |
| 1. 1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋 | |
| 1. 2 目標及び達成状況 | |
| 1. 3 マネジメント | |
| （参考）分科会委員の評価コメント | 1-3 |
| 2. 評点結果 | 1-9 |
| | |
| 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 |

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」の終了時評価報告書であり、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」(終了時評価)分科会において評価報告書案を策定し、第 76 回研究評価委員会(2024 年 3 月 18 日)に諮り、確定されたものである。

2024 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（2023年12月21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（一部非公開）

非公開セッション

7. 全体を通しての質疑

公開セッション

8. まとめ・講評
9. 今後の予定
10. 閉会

● 第76回研究評価委員会（2024年3月18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」(終了時評価)

分科会委員名簿

(2023年12月現在)

| | 氏名 | 所属、役職 |
|------------|---------------------|---|
| 分科会長 | こうの たつおき 河野 龍興 | 東京大学 先端科学技術研究センター 教授 |
| 分科会長 代理 | たけだ みのる 武田 実 | 神戸大学 水素・未来エネルギー技術研究センター センター長 |
| 委員 | うちもと よしはる 内本 喜晴 | 京都大学 大学院 人間・環境学研究科 教授 |
| | 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 副部長 (シニアストラテジスト) |
| | くどう ゆうき 工藤 祐揮 | 国立研究開発法人産業技術総合研究所 ゼロエミッション国際共同研究センター 副研究センター長 |
| | もりた てつじ 森田 哲司 | 大阪ガス株式会社 エネルギー技術研究所 所長 |
| | わたなべ かずのり 渡辺 和徳 | 一般財団法人電力中央研究所 エネルギートランスフォーメーション研究本部 ・プラントシステム研究部門 研究部門長 研究参事 |

敬称略、五十音順

研究評価委員会委員名簿

(2024年3月現在)

| | 氏 名 | 所属、役職 |
|-----|---------------------|--|
| 委員長 | きのの くにき 木野 邦器 | 早稲田大学 理工学術院 教授 |
| 委員 | あさの ひろし 浅野 浩志 | 岐阜大学 特任教授 一般財団法人電力中央研究所 研究アドバイザー |
| | いなば みのる 稲葉 稔 | 同志社大学 理工学部 教授 |
| | ごないかわ ひろし 五内川 拡史 | 株式会社ユニファイ・リサーチ 代表取締役社長 |
| | すずき じゅん 鈴木 潤 | 政策研究大学院大学 政策研究科 教授 |
| | はらだ ふみよ 原田 文代 | 株式会社日本政策投資銀行 常務執行役員 |
| | まつい としひろ 松井 俊浩 | 東京情報デザイン専門職大学 情報デザイン学部 学部長・教授 |
| | まつもと まゆみ 松本 真由美 | 東京大学 教育学部附属教養教育高度化機構 環境エネルギー科学特別部門 客員准教授 |
| | 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

第 1 章 評価

1. 評価コメント

1. 1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

世界に先駆けた水素発電の実証という明確な方向性に対し、必要となるサプライチェーン構築及び発電技術という観点からの必要な取り組みが適切に行われた10年間に亘る研究開発事業であった。アウトカム達成への道筋においては、外部環境が大きく変化している状況の中で国の目標・戦略が時間軸も踏まえて示されており、ステークホルダーに本事業の情報発信を的確に行いながら、本事業終了後のグリーンイノベーション基金事業など後継事業の実施、あるいは実用化に向けた実施者での継続検討など、自立に向けての取り組みも実施されたことは大いに評価できる。

知的財産、標準化戦略においては、非競争領域については規格化、例えば、液化水素運搬船では国際海事機関と連携するなど国際規則を意識した動き、また、競争領域については、個社の優位性を確保するための特許化や社会受容性につながる場合には技術情報の開示、戦略的に特許化せずノウハウとして個社で蓄積する技術については秘匿化という、分かりやすい戦略を立てた上で事業を実施してきたと判断する。

今後、2050年の水素社会構築のためには、水素サプライチェーンの拡大が必要であることから、産官学が協働して具体的なシナリオを作り始めることが期待される。また、昨今の世界のエネルギー事情から、本事業で培った高い水素の技術を海外で早期に事業化する可能性が高いと推察されることから、更なる強い特許戦略を期待したい。

1. 2 目標及び達成状況

アウトカム目標は、事業の途中で2050年カーボンニュートラル宣言という大きな節目があったが、逐次適切に見直しがなされており、第6次エネルギー基本計画や2023年の水素基本戦略改定に基づく妥当なものであった。本事業を通じて、水素運搬船については、建造、船籍及び船級の取得、並びに実際に液体水素を積んでの航行を実施したほか、発電技術については、商用レベルを見据えて水素の混焼・専焼の試験に成功したことで、アウトカム目標の達成に向けて見通しを得たと評価できる。

アウトプット目標は、革新的な基礎技術開発に続く本事業での要素技術開発及び技術実証のための指標・目標として妥当だったと考える。いずれの目標も世界最先端レベルでありながらも、それぞれ目標を達成しており、特筆に値する。さらにその成果が将来の水素社会における日本の国際競争力強化にもつながると考えられる。また、個別開発事業において一部未達の項目もあるが、原因分析が適切になされ、対策を講じていた。さらに、特許件数（海外出願含む）、論文発表についてもオープン・クローズ戦略に基づいて多数行われており、情報発信や知的財産の確保も高く評価できる。

今後は、本事業開始時よりも、諸外国の水素社会実現に向けた取り組みが加速していることから、本事業の成果をさらに発展させ、諸外国との競争において優位性の維持に留意すべきであり、後継のグリーンイノベーション基金事業などで本事業成果を用いた実証などが行われ、アウトカム目標が達成されることを大いに期待する。

1. 3 マネジメント

実施体制においては、指揮命令系統及び責任体制を明確にして、実施者は技術力を発揮し事業を推進しており、実施者間の連携においてもより実用化を目指した体制であった。例えば、個々の技術仕様を他の実施者と共有し仕様・性能の明確化に努める取り組みや液化水素をコンテナで移送して供給し発電試験する取り組みが密な情報共有の下で組織的に行われていた。また、計4回の公募に対して採択審査委員会において適切な審査基準を設けて審査が行われるなど、採択のプロセスも明確であった。

進捗管理については、担当者が常に個別事業の状況を把握して、遅れに対する適切な対応を行い、研究開発の継続に関する判断を行うプロセスは、妥当であったといえる。中間評価結果で対外的なわかりやすい発信を、という指摘を受けて、YouTubeを使ったPR活動を行ったことなども評価できる。

今後は、事業者が事業を推進し続けられるように適切な制度・仕組みの策定に向けた取り組みが期待される。また、達成度が未達であった項目については、今後の課題、解決方針及びその進捗を、事業終了後もNEDOとしてしっかりとモニターしていただくことを望む。

(参考) 分科会委員の評価コメント

1. 1 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

<肯定的意見>

- ・ 本事業におけるアウトカム（社会実装）までの道筋及び行程の見直しにおいて、事業当初から外部環境が大きく変化している状況をキャッチアップされており、更に社会的影響も考慮して、具体的な取り組みへの展開を逸早く実施されている。
- ・ 2030年頃に未利用エネルギー由来水素のサプライチェーンを整備し、2050年の水素社会構築を目指している。
- ・ 液化水素運搬船に関するIMO暫定勧告を実施した。オープン・クローズ戦略は、妥当であった。
- ・ 水素社会実現のための、水素サプライチェーン構築と水素発電の本格導入のための重要な事業である。着実に成果を上げており、技術開発の成果を日本にとどまらず世界に発信する努力もなされており、我が国のプレゼンスを高めている。また、YouTube等の媒体を有効に活用して、広く成果を公開している。
- ・ 我が国が技術的優位性を有している液化水素関係の技術については国際規格をすすめる、競争領域の技術については180件を超える特許として確保し、外観からは模造できない案件や追跡性の困難な案件は秘匿するなど、オープン・クローズの知財コントロールが適切に行われている。
- ・ 需要（ロ、利用システム開発）と供給（イ、サプライチェーン）がバランスよく一体化しており、2030年アウトカム達成に向けた道筋が明確に描かれている。特に、日本のエネルギー事情や地政学リスクを反映した戦略的な道筋であることも高く評価できる。成果からは今後の大規模実証のための要素技術開発と技術実証は概ね完了したものと評価できる。液水運搬船を各国首脳に複数回披露したことは政府ビジョンの国際理解に役立つものだったと評価できる。
- ・ 競争環境にある水素専焼クラスタバーナや海上輸送大型液水タンクに関して積極的に特許取得したことは競争力確保の点から高く評価できる。他の研究開発についても一定数の特許取得とノウハウ秘匿を組み合わせた戦略的な取り組みが確認できた。
- ・ 世界に先駆けた水素発電の実証という明確な方向性に対し、必要となるサプライチェーン構築、発電技術という観点から必要な取り組みが適切に行われたと判断する。
- ・ 非競争領域については規格化、競争領域については個社の優位性を確保するための特許化と技術情報の開示、ノウハウ取得が困難な技術については秘匿化という、分かりやすい戦略を立てた上で事業を実施してきたと判断する。
- ・ 2017年の水素基本戦略の策定、2020年のCN宣言を受けたグリーン成長戦略等、国内の大きな環境変化の中で、本プロジェクトの情報発信を的確に行いながら、新たに立ち上がったGI基金事業などの実証事業へつなげた事は大いに評価できる。
- ・ 非競争域と競争域にカテゴリーを分けた上でオープン・クローズ戦略を明確にしており、液化水素運搬船では国際海事機関と連携するなど、国際標準化を意識した動

きができており高く評価できる。

- ・ 9年間の長期にわたる研究期間において、将来像の実現に向けた国際標準化や規制見直しへの対応、広報活動等が継続的に実施された。国の目標・戦略の時間軸も踏まえてアウトカム達成への道筋が示されており、本事業終了後のGI基金事業など後継プロジェクトの実施、あるいは実用化に向けた実施者での継続検討など、自立に向けての取り組みも実施された。SNSを利用したYouTube配信による若年層への情報発信は、ターゲットとする年齢層に応じた効果的な手段であり、時代に沿った取り組みが行われた。
- ・ プロジェクト全体として、非競争域に属する内容や競争域でも知財ライセンスや社会受容性に関わる内容はオープン、我が国の優位性を確保するため秘匿化すべき技術情報等はクローズとする戦略がとられており、妥当な考え方である。液化水素運搬船については、将来のコード化を見据えて国際海事機関との緊密な連携の下、海外への渡航により知名度を上げる取り組みもなされた。

<問題点・改善点・今後への提言>

- ・ プロジェクト期間の時間軸を鑑みると、特許戦略、特に海外への出願数がやや不足していると見受けられる。昨今の世界のエネルギー事情から、本事業で培った高い水素の技術を海外で早期に事業化する可能性が高いと推察されることから、更なる強い特許網の構築を期待したい。
- ・ 2050年の水素社会構築のためには、水素サプライチェーンの拡大が必要であり、産官学が協働して具体的なシナリオを作り始めるべきである。
- ・ 液化水素運搬船の建造が遅れ、実証試験期間が短くなったため、蓄積運用データが少ない。
- ・ 革新技術→実証→社会実装という流れで、アウトカム達成に向けてシームレスにかつ効率的に水素関連事業を進めていることを評価する。ただし、ある事業で達成できなかった開発項目を、後継事業に先送りすることがないように、NEDOにはしっかりとマネジメントしていただくことが重要と考える。
- ・ 将来の水素社会実現時に本プロジェクトでの成果が国際競争力強化に役立つことを大いに期待する。
- ・ 本事業の成果が活用される後継のGI基金事業など、2030年頃の実用化を目指した具体的な道筋が決まっている案件については、今後も着実に成果が創出されることを期待する。

1. 2 目標及び達成状況

<肯定的意見>

- ・ 水素に関する外部環境の変化は近年著しく、本事業での開発スピードが今後の市場規模に大きく影響を及ぼすと思われる、アウトカム指標及び目標値が逐次適切に見直しされており、目標達成の見込みはあると思われる。また本事業が掲げている将来

ビジョンに向けて、その達成できる時期が現実レベルで適切に設定されており、日本のみならず世界における競争力を向上させるための明確な目標設定がなされている。

- ・ アウトプット指標及び目標設定において、達成時期が適切に設定されており、本事業内での最終目標は凡そ達成している。また未達の項目に対しては、その原因の解明を詳細に実施されており、今後の解決に向けた明確な見通し及びアプローチを提示されている。また技術的優位性や経済的優位性については著しい成果をあげており、今後の大きな事業展開が見込まれる。
- ・ 第6次エネルギー基本計画や2023年水素基本戦略改定に基づく妥当なものであった。
- ・ 世界初の液化水素運搬船の船籍及び船級の取得、液化水素輸送用タンクシステム及びローディングアームシステムを用いた荷役技術の開発、軸シール構造及び摺動部材の開発、液化水素昇圧ポンプの開発など、最終目標を達成した。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の実証、高温高压の燃焼試験下での水素専焼の達成、産業ボイラ用水素焚バーナの開発、水素燃焼エンジン発電における天然ガス・水素の混焼連続運転の成功など、最終目標を達成した。
- ・ 液化水素の運搬や保存技術については、我が国が技術的に優位であり、本事業はそれを確立するために重要であった。水素発電についても、複数の方式での技術開発がなされており、それぞれ特徴あるタービンやエンジン発電システムの開発が行われた。適切なアウトカム目標が設定され、それに向けて開発が行われていたと評価できる。
- ・ アウトプット目標はほぼ達成している。一部未達の項目もあるが、原因分析が適切になされ、対策を講じている。成果のオープン・クローズ戦略に沿って、国際規格化、特許化、ノウハウとしての秘匿などがなされている。
- ・ 海外製造、海上液水輸送、液水荷役・荷揚、水素専焼発電などに関する研究開発成果はいずれもアウトカム達成に極めて重要なものと確認できる。
- ・ 革新的な基礎技術開発に続く今回の要素技術開発と技術実証のための指標・目標は妥当と考えられる。今後想定される商用化に向けた大規模実証につながる水準であると考えられ、実際に（イ）と（ロ）のいくつかの技術についてはグリーンイノベーション事業に引き継がれていることがこれを証明している。
- ・ 事業の途中で2050年カーボンニュートラル宣言という大きな目標値の変化があったが、電力・非電力分野において水素は日本の将来の低炭素実現において最も重要な役割を果たすことには変わりなく、また世界の水素関連技術をリードする日本のアウトカム目標として妥当であると判断する。
- ・ 国の目標に沿った妥当なアウトプット目標が立てられており、また多くの項目が○であったことから、概ね妥当であると考ええる。開発目標として定性的な成果の書き方しかできない研究開発項目があることはやむを得ないと思うが、評価が難しい側面がある。しかし、その成果についてはNEDOとして現場でしっかりと確認して

いただいているものと判断した。

- ・ 国内外の状況を把握しながら 2030 年頃のアウトカム目標を明確にしており、本プロジェクトにおいて達成した研究開発成果は、アウトカム目標達成を充分見込めるものである。
- ・ アウトプット目標はいずれも世界最先端レベルでありながらも、それぞれ目標を達成しており、特筆に値する。さらにその成果が将来の水素社会における日本の国際競争力強化にもつながると考えられる。また特許件数（海外出願含む）、論文発表もオープン・クローズ戦略に基づいて多数行われており、高く評価できる。
- ・ 脱炭素燃料に対する世の中の動きが速い中、水素サプライチェーン構築、水素エネルギー利用システム開発とも、技術開発の節目に設けられた中間評価で柔軟かつ適切に計画の見直しがなされた。2030 年頃の実用化を目指した目標が設定され、2050 年の市場規模を想定した費用対効果も定量的に示された。本事業を通じて、水素運搬船については建造、船籍および船級の取得、実際に液体水素を積んでの航行を実施したほか、発電技術については、商用レベルを見据えて水素の混焼・専焼の試験に成功し、アウトカム目標の達成に向けて見通しを得た。
- ・ 脱炭素燃料に対する世の中の動きが速い中、水素サプライチェーン構築、水素エネルギー利用システム開発とも、技術開発の節目に設けられた中間評価で柔軟かつ適切に計画の見直しがなされ、着実に成果が創出された。細かく見ると一部未達の開発項目が含まれているものの、後継のプロジェクト等にて解決済みあるいは挽回が可能なレベルとなっており、本プロジェクトの最終目標はほぼ達成された。本事業での成果創出により、将来の国際競争力が強化された他、大量水素輸送の観点からは良好な国際関係が構築された。研究開発項目により差はあるものの、論文発表や特許申請は相当数実施されており、情報発信や知財の確保にも努めた。

<問題点・改善点・今後への提言>

- ・ 本事業開始時よりも、社外国の水素社会実現に向けての取り組みが加速している。本事業の成果を今後さらに発展させ、諸外国との競争において優位性を維持すべく留意すべきである。
- ・ 大出力水素燃焼エンジン発電システムが分散電源として離島などのディーゼル発電システムを置き換えていくシナリオは至極妥当だと考えるが、具体的なニーズが見えなかった点は改善点と言えなくもない。問題は技術ではなくサプライチェーンにあると想像できる。
- ・ 達成度が△であった項目については、今後の課題と解決方針およびその進捗を、事業終了後もNEDOとしてしっかりとモニターしていただくことが重要。「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」の③低温水素ガス圧縮機の開発で、特許の出願状況と論文等の発表の件数がともにゼロである。知財については「本事業前に出願済み」とのことであるが、知財も発表もないと、本事業としての成果が分かりづらいと言わざるを得ない。

- ・ 後継のGI基金事業等で本プロジェクト成果を用いた実証等が行われ、アウトカム目標が達成されることを大いに期待している。

1. 3 マネジメント

<肯定的意見>

- ・ 実施者の技術力は総合的に高いレベルとなっており、指揮命令系統及び責任体制を明確して事業を推進されており、より実用化を目指した体制となっている。またオープン・クローズ戦略に基づいた研究開発データの取り扱いを実施しており、情報開示を含む研究インテグリティの確保に係る取り組みを同時に行っている。
- ・ 本事業でのアウトプットとする目標に対して、多岐にわたる要素技術の開発を実施する事により、開発領域が網羅されている。また各要素技術開発間における連携も構築しており、スケジュールも適切に計画・管理されている。進捗管理についても担当者が常に把握して、遅れに対する適切な対応を行い、研究開発の継続に関する判断のプロセスは、妥当であると思われる。
- ・ 技術研究組合を立ち上げ、密な情報共有の下で組織的に技術開発事業を推進した。半期毎に全体技術委員会を開催して、事業間の情報共有を図った。NEDO が主催する成果報告会、ニュースリリース、YouTube などを通じて、実用化シナリオを含めた事業成果を広く情報発信した。
- ・ 進捗に課題がある場合には、PM が事業の現場を訪問し、問題点のヒアリングと進め方についてのアドバイスを行った。中間評価結果へ対応を適切に行った。
- ・ マネジメントは適切に行われていたと評価する。
- ・ 研究マネジメントは適切であり、目標設定、その達成時期の管理、問題が生じた場合の対応（原因究明と対策）がなされていた。
- ・ いずれも材料開発から始めて構造設計、小規模実証に至る技術開発リスクが高いものばかりであり、実施者は十分に能力を発揮したと考える。
- ・ 2020 年度～2022 年度の 3 年間はまさにコロナ禍によるサプライチェーン分断や戦争の影響による物価高など想定外の問題が発生した期間であり、これを NEDO サポートの下、企業努力によって計画通りに遂行したレジリエンスは高く評価できよう。
- ・ 実施体制としては概ね妥当であると考ええる。
- ・ ほとんどの項目で達成度が○であったこと、また△であった項目についても解決の目処が立っていると判断できることから、評価基準に適合していると思われる。
- ・ 採択のプロセスも明確であり、選ばれた実施者は各個別事業がそれぞれ目標を達成している事からもその技術力をはじめとした能力は適切であったと考えられる。
- ・ 半期毎に全体技術会議が行われると共に、事業間の情報共有が行われている。課題発生時にはプロジェクトマネジャーの事業現場訪問でのアドバイスなども適切に行われており、そのマネジメントが目標達成の大きな要因であり、高く評価できる。
- ・ また、中間評価結果で対外的なわかりやすい発信、という指摘を受けて、ユーチュ

ープを使った PR 活動を行ったことなども評価できる。

- ・ 多岐にわたる研究開発項目に対して、NEDO 推進部署の的確なマネジメントが行われるとともに、実施者は適切な実施体制を構築して持てる力を存分に発揮し、着実に成果を創出した。実用化を目指した連携としては、(イ)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は、バルブやローディングアームなど個々の技術仕様を他の実施者と共有して、仕様・性能の明確化に努める取り組みがあった。また、(ロ)水素エネルギー利用システム開発においては、(イ)未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築の研究開発項目と連携し、近隣施設から液化水素をコンテナで移送して供給することで、発電試験に成功した。個別事業の採択プロセスにおいては、計 4 回の公募に対して採択審査委員会において 6 項目の審査基準を設けて審査が行われ、プロセスの適切化が図られた。
- ・ NEDO と事業者との適時打合せにおいて進捗が確認されており、必要に応じて計画が見直されるなど、適切な管理が行われた。コロナ禍にありながら定期的に全体技術委員会が開催され、事業者間の情報共有が図られた。中間評価時に受けた指摘を踏まえ、目標設定の変更や計画の加速化など、適切な対応が図られた。また、成果報告会やニュースリリース、見学会、SNS による情報発信など積極的な PR 活動を実施し、成果の普及にも努めた。

<問題点・改善点・今後への提言>

- ・ 今後、液化水素を用いた中規模・大規模試験を実施しやすくするために、JAXA 以外の公的試験場を整備することが必要不可欠である。
- ・ PM の仕事は多岐に亘っており、複数体制が望まれる。水素社会構築事業は世界中で進んでおり、常に最新情報が収集できる体制が望まれる。
- ・ 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の 4 社体制は役割分担が明確だったと評価できる一方、シナジーや今後の協力姿勢が確認できなかったことは勿体ないと考える。ただし、シナジー獲得が最初から目的には無かったと考えることもできる。
- ・ 達成度が△であった項目については、今後の課題と解決方針およびその進捗を、事業終了後も NEDO としてしっかりとモニターしていただくことが重要。
- ・ 本事業に限った話ではないが、社会実装に向けて NEDO には以下 2 点についての検討をお願いしたい。輸入に頼り過ぎるとエネルギーセキュリティの脅威は現状と変わらない状況になりかねないことから、国産水素の低コストでの大量製造技術開発にも注力していただきたい。事業者が事業を推進できる（適正な対価による収入を得て事業を持続できる）よう、適切な制度・仕組みの策定に向けた取り組みも並行して進めていただきたい。

2. 評点結果

| 評価項目・評価結果 | 各委員の評価 | | | | | | | 評点 |
|--------------------------|--------|---|---|---|---|---|---|-----|
| 1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋 | | | | | | | | |
| (1)アウトカム達成までの道筋 | A | B | A | A | A | A | A | 2.9 |
| (2)知的財産・標準化戦略 | A | B | A | A | A | A | A | 2.9 |
| 2. 目標及び達成状況 | | | | | | | | |
| (1)アウトカム目標及び達成見込み | A | A | A | A | A | A | A | 3.0 |
| (2)アウトプット目標及び達成状況 | A | A | A | A | B | A | A | 2.9 |
| 3. マネジメント | | | | | | | | |
| (1)実施体制 | A | B | A | A | A | A | A | 2.9 |
| (2)研究開発計画 | A | B | A | A | B | A | A | 2.7 |

《判定基準》

A：評価基準に適合し、非常に優れている。

B：評価基準に適合しているが、より望ましくするための改善点もある。

C：評価基準に一部適合しておらず、改善が必要である。

D：評価基準に適合しておらず、抜本的な改善が必要である。

(注) 評点は A=3、B=2、C=1、D=0 として事務局が数値に換算・平均して算出。

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 スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 |
|-----|--|

—目次—

内容

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| 概 要 | 1 |
| プロジェクト用語集 | 9 |
| 1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋 | 27 |
| 1.1 事業の位置づけ・意義 | 27 |
| 1.2 . アウトカム達成までの道筋 | 29 |
| 1.3 . 知的財産・標準化戦略 | 30 |
| 2. 目標及び達成状況 | 31 |
| 2.1. アウトカム目標及び達成見込み | 31 |
| 2.2. アウトプット目標及び達成状況 | 33 |
| 3. マネジメント | 65 |
| 3.1 実施体制 | 65 |
| 3.2 予算及び受益者負担 | 69 |
| 3.3 研究開発計画 | 69 |
| 4. 目標及び達成状況の詳細 | 71 |
| | |
| 添付資料 | |
| ・プロジェクト基本計画 | 283 |
| ・特許論文等リスト | 291 |

概要

| | | 最終更新日 | 2023年11月22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/ PMgr 及び METI 担当課 | ○担当推進部/PMgr 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) 次世代電池・水素部 大平英二 (2018年4月～2021年7月) スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 大平英二 (2021年8月～2023年9月) ○METI 担当課 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 水素・アンモニア課 | | |
| 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。 <ul 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. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋 | | | |
| 1.1 本事業の位置付け・意義 | <p>本事業では、現在、化学プラントの副生や天然ガス改質で製造されている水素を、より大規模に、より安価に、よりCO₂排出の少ない形に切り替えていき、現在の天然ガスと同程度の価格や規模で流通できるようにしていくことを目指している。具体的には、世界に先駆けて、水素発電の本格的な導入及び大規模な水素サプライチェーンを構築のための技術開発に主として取り組み、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> | | |
| 1.2 アウトカム達成までの道筋 | <p>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。</p> | | |
| 1.3 知的財産・標準化戦略 | <ul style="list-style-type: none"> 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. 目標及び達成状況 | |
| 2.1 アウトカム目標及び達成見込み | <p>目標</p> <p>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。</p> <p>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。</p> |
| | <p>達成度</p> <ul style="list-style-type: none"> ・世界初の液化水素輸送用タンクシステムを搭載した水素運搬船を建造し、船籍及び船級の取得に成功した。 ・日豪間航行試験を実施し、輸送用タンクシステムの構造健全性を確認した。 ・水素を混焼あるいは専焼で発電する技術に関しては、商用レベルを見据えた技術を確立した。 ・本事業の終了後も要素技術の研究開発及び技術実証については「競争的サプライチェーン構築に向けた技術開発事業」により、また大規模化・商用化実証については「GI基金事業」により、継続して取り組んでおり、アウトカム目標達成が大いに期待できる。 |
| 2.2 アウトプット目標及び達成状況 | |
| 研究開発項目Ⅱ (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 | 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 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。（2023年度迄） |
| 達成状況 | ○ |
| 説明 | <p><有機ハイドライド<sup>®</sup>サプライチェーン>（次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合：AHEAD）</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行い、商用化に向けた準備として、各種データを取得出来た。 <p><液化水素サプライチェーン>（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）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・世界初の液化水素輸送用タンクシステムを搭載した水素運搬船を建造し、船籍及び船級の取得に成功した。 ・合計2回の日豪間航行試験を実施し、輸送用タンクシステムの構造健全性及び目標値以下のBORであることを確認した。 ・世界初の液化水素用フレキシブルホース型及び鋼管型ローディングアームシステムを用いた荷役技術を開発した。 ・基地に建設した液化水素貯蔵タンクについて目標値以下のBORであることを確認した。 ・豪州にて世界初の褐炭用ガス化設備を建設し、純度99.999%の液化水素の製造に成功した。また、試験データを使用しシミュレーションモデルを開発した。 ・液化水素を神戸液化水素荷役実証ターミナルから神戸コージェネレーションシステムプラントへコンテナにて輸送し、約3時間の100%水素発電実証を問題無く実施した。 <p><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></p> <ul style="list-style-type: none"> ・商用5万m³クラスの大規模貯蔵容器でBORが0.26%/日を達成する断熱構造を確立した。（川崎重工業） ・BORが0.4%/日となる4万m³級の海上輸送用液化水素タンクの基本構造、設計技術等を確立した。（川崎重工業） ・大口径船陸継手について、操作容易な重量500Kg以下とし、目標（事業目標：1ton以下）を達成した。また、試作機の試験にも合格し、製品化の目途を付けた。（TBグローバルテクノロジーズ） |

| | |
|-----------------------------------|--|
| | <p>・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、試作機の実ガス試験にて、構造の妥当性を確認し、シール性に優れた高寿命の商用摺動部材の目途を付けた。(IHI 回転機械エンジニアリング)</p> <p>・液化水素を用いた小型試作機の運転試験を行い、所定の性能(揚程、動力等)、機能(バランス機構、材料健全性)を満足することを確認し、液化水素昇圧ポンプの設計技術を確認した。(荏原製作所)</p> <p><液化水素貯槽の大型化> (トーヨーカネツ)</p> <p>・大型貯槽に適用可能な真空排気システムを考案し、実験にて所要真空度への到達を実証した。</p> <p>・貯槽底部断熱構造に対して、モデル化手法や断熱材の熱定数を決定し、精度の高い伝熱解析手法を確認した。</p> <p>・破壊靱性、水素脆化、繰返し荷重に関する試験を行い、設計した SUS316L の溶接継手が十分安全であることを確認した。</p> <p><バルブ関連></p> <p>・液化水素用バタフライバルブ(300A)の試作し、LH2 実液試験においてシール性及び真空断熱性を確認し、300A サイズの同バルブの技術を確認した。更に耐久試験(開閉 2,000 回)を実施し、シール構造の耐久性に問題無いことを確認した。(中北製作所)</p> <p>・液化水素用バタフライバルブ(500A)を試作し、LH2 実液試験において耐久試験(開閉 500 回)を実施し、シール性能が確保されていることを確認した。(ササクラ)</p> <p>・液化水素用 500A のボール遮断弁、スイング式逆止弁を試作し、液化水素の実流体にて外部封止、内部封止の性能評価試験を実施し、目標性能を達成した。(キッツ)</p> |
| <p>研究開発項目Ⅱ (ロ)水素エネルギー利用システム開発</p> | |
| <p>最終目標</p> | <p>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。(2022年度迄)</p> |
| <p>達成状況</p> | <p>○</p> |
| <p>説明</p> | <p><水素専焼 GT 発電></p> <p>・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。水素発電所としての実運用を開始し、定格運転において発電端効率 27%以上と、一部の負荷領域において NOx 排出値 35ppm 以下を達成した。(川崎重工業/大林組)</p> <p>・モデルバーナ、セグメントバーナ試験において、高圧条件下で安定燃焼を実現し、ターゲット計画条件にて NOx 50ppm (15%O2 換算)以下を達成し、燃焼器の重要な構成要素であるノズル設計のベースを確認した。(三菱重工業)</p> <p>・大型燃焼器の設計においては、高温高圧下の燃焼試験で水素専焼を達成するとともに、実用化に向けた課題を明らかにし、改良の設計指針を得た。(三菱重工業)</p> <p><高濃度水素混焼/水素専焼焚きボイラ・発電設備> (三菱パワーインダストリー)</p> <p>・産業ボイラ用水素焚きバーナを開発し、水素ガス供給圧力の高圧化(最大 900kPa)、NOx 低減(60ppm 以下)等の最終目標を全て達成した。</p> <p>・ガスタービン用廃熱回収ボイラ付設水素焚きダクトバーナを開発し、水素ガス供給圧力の高圧化(最大 900kPa)、低酸素雰囲気(排ガス酸素濃度 10%以下)での安定した水素燃焼等の最終目標を全て達成した。</p> <p><CO2フリーアンモニア利用GTCC> (三菱パワー)</p> <p>・天然ガスとアンモニア分解ガス模擬燃料の混焼(水素体積割 20%)条件で 1,650℃級燃焼器の 100%負荷から 50%負荷の範囲で燃焼振動やフラッシュバックが発生しないことを確認した。</p> |

| | |
|--|--|
| | <p><水素燃焼エンジン発電> (川崎重工業)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・エンジン仕様の変更及び制御パラメータの最適化により、短時間ながら、平均有効圧 1.85MPa 且つ 95%混焼(事業目標：平均有効圧 1.6MPa 以上且つ 95%以上混焼)の水素燃焼を達成した。 ・水素燃焼単筒試験設備にて天然ガス・水素の混焼条件にて約 4 時間、安定した燃焼状態を維持し、連続運転が出来ることを確認した。 <p><液化水素冷熱の利用を可能とする中間媒体式液化水素気化器> (神戸製鋼所)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・液化天然ガス気化器で実績のある中間媒体式気化器(IFV)の要素技術をベースにして冷熱回収型液化水素気化器の小型実証機を設計・製作し、実際に液化水素を用いて実証試験を行い、目標とした所定の性能(気化ガス量、気化ガス温度、循環水取出し温度等)を安定して達成出来ることを確認した。 ・30,000Nm³/h の中規模 IFV の試設計を行い、機器サイズは従来の LNG 用 IFV の実績の範囲内であり、製作上の問題点は無いことを確認した。 |
|--|--|

3. マネジメント

3.1 実施体制

| | |
|--------------|--|
| 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) 次世代電池・水素部 大平英二 (2018年4月～2021年7月) スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 大平英二 (2021年8月～2023年9月) |
| 助成先 | <p>(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)</p> <p>(1) 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/参加企業 4社：千代田化工建設(株)、三菱商事(株)、三井物産(株)、日本郵船(株))</p> <p>(2) 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/参加企業 4社：川崎重工業(株)、岩谷産業(株)、シェルジャパン(株)、電源開発(株))</p> <p>(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)、T Bグローバルテクノロジーズ(株)、(株)I H I 回転機械エンジニアリング、(株)荏原製作所、(国研)宇宙航空研究開発機構、(株)IHI)</p> <p>(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)、(大)北海道大学)</p> <p>(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、(国研)宇宙航空研究開発機構)</p> <p>(6) 液化水素用バタフライバルブの開発 ((株)サクラ、(国研)宇宙航空研究開発機構)</p> <p>(7) 液化水素用大型バルブの技術開発 ((株)キッツ、(国研)宇宙航空研究開発機構)</p> <p>(ロ) 水素エネルギー利用システム開発 (助成事業)</p> <p>(1) 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、(大)大阪大学、(学)関西大学)</p> <p>(2) 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)、三菱重工業(株)、三菱重工エンジニアリング(株))</p> <p>(3) 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 (三菱重工業(株))</p> |

- (4) 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（三菱重工パワーイングストリー(株)、(学)帝京大学）
- (5) 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)）
- (6) 液化水素冷熱の利用を可能とする中間媒体式液化水蒸気化器の開発（(株)神戸製鋼所）

3.2 受益者負担の考え方

事業費推移(会計・勘定別に NEDO が負担した実績額(単位:百万円))

| 主な実施事項 | 2014 Fy 迄 | 2015 fy | 2016 fy | 2017 fy | 2018 fy | 2019 fy | 2020 fy | 2021 fy | 2022 fy | 2023 fy | |
|------------|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|
| 研究開発項目 (イ) | | → | | | | | | | | | |
| 研究開発項目 (ロ) | | → | | | | | | | | | |
| 会計・勘定 | 2014 Fy 迄 | 2015 fy | 2016 fy | 2017 fy | 2018 fy | 2019 fy | 2020 fy | 2021 fy | 2022 fy | 2023 fy | 総額 |
| 一般会計 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 特別会計（需給） | 0 | 115 | 1,322 | 4,976 | 4,619 | 6,147 | 4,441 | 3,228 | 4,555 | 625 | 30,028 |
| 開発成果促進財源 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 総 NEDO 負担額 | 0 | 115 | 1,322 | 4,976 | 4,619 | 6,147 | 4,441 | 3,228 | 4,555 | 625 | 30,028 |
| 助成率 | 1/2 又は 2/3 | | | | | | | | | | |

3.3 研究開発計画

| | 指摘 | 対応 |
|------------|---|--|
| 中間評価結果への対応 | 【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。 | 【1】外部有識者によるレビューや日々の進捗確認を通じて、個別テーマの目標値及びその達成度について PM が俯瞰的に検討・見直しを行った。具体的には、個別の進捗を見つつ、ローディングアーム、液化水素のバルブ等について、将来求められるよりハイレベルな定量的目標を設定し、実行した。 |
| | 【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。 | 【2】外部有識者によるレビューや日々の進捗確認を通じて、前倒し可能な取組があれば実施計画の見直しを検討した。また、グリーンイノベーション基金事業（大規模水素サプライチェーンの構築）を開始させることによって、さらなる大型化・商用化に向けた加速的な取組みを行った。 |
| | 【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 | 【3】外部有識者によるレビューや日々の進捗確認を通じて、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した。2021 年度より、グリーンイノベーション基金事業が開始されたことにより、個々の研究開発成果が、どのように統合されシステムになり、大型化・商用化につながるのかということについて実プロジェクトを通じてシナリオを示すことができた。さらには、国内だけではなく技術の |

| | | |
|----------|---|---|
| | 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。 | 海外展開のため、海外実証に向けた FS 調査を別事業と連携する形で実施し、先行する海外市場での検討を通じて、実用化への道筋を明らかにした。 |
| | 【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】NEDO が主催する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を広く情報発信した。 |
| 評価に関する事項 | 事前評価 | 2014 年度 実施 |
| | 中間評価 | 2016 年度 中間評価実施 |
| | 中間評価 | 2020 年度 中間評価実施 |
| | 終了時評価 | 2023 年度 終了時評価実施 |

別添

| | | |
|----------------------|---|--|
| 投稿論文 | 26 件、うち査読付き 14 件 | |
| 特 許 | 出願済 182 件（うち国際出願 PCT41 件、海外出願 48 件） | |
| その他の外部発表 （プレス発表等） | 口頭発表 34 件、うち査読付き 13 件 ポスター発表 1 件 講演講師 487 件 メディアでの取り上げ 224 件 | |
| 基本計画に関する 事項 | 作成時期 | 2014 年 9 月 作成 |
| | 変更履歴 | <p>2015 年 3 月 改訂（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（〇）水素利用発電システム等技術開発は、研究開発項目Ⅱ（〇）水素エネルギー利用システム開発に移行。）</p> <p>2016 年 3 月 改訂（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。）</p> <p>2017 年 8 月 改訂（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。）</p> <p>2018 年 4 月 改訂（担当部を新エネルギー部から次世代電池・水素部に変更。）</p> <p>2019 年 2 月 改訂（(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。）</p> <p>2019 年 7 月 改訂（和暦表記を西暦表記に変更。）</p> <p>2020 年 2 月 改訂（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。）</p> <p>2021 年 2 月 改訂（研究開発項目Ⅲ「地域水素利活用技術開発」を追加、研究開発の実施期間を 2025 年度までに延長。）</p> |

| | | |
|--|--|--|
| | | <p>2021年11月 改訂（研究開発項目Ⅳ(イ)の内容に、大規模水素供給インフラ整備に関する技術基準策定に向けた研究を追加。また、部署名及び役職名の変更並びにPMの交代を反映。）</p> <p>2023年2月 改訂（研究開発項目Ⅰの実施期間を2025年度までに延長。あわせて、研究開発項目Ⅰの中間評価時期に2023年度を追加、事後評価時期に2026年度を追加。また、(別紙)研究開発スケジュールを更新。）</p> <p>2023年3月 改訂（研究開発項目Ⅱ(イ)の実施期間を2023年度までに延長し、(別紙)研究開発スケジュールを更新。）</p> |
|--|--|--|

プロジェクト用語集

(イ)未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

(イ) - (1) 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／参加企業4社：千代田化工建設(株)、三菱商事(株)、三井物産(株)、日本郵船(株))

| 読み方 | 用語 | 解説 |
|-----------------|---------------|--|
| GTCC | GTCC | Gas Turbine Combined-Cycle |
| HRSG | HRSG | 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 | 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。 |
| キエキヘイコウ | 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。 |
| キュウチャクブンリホウ | 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。 |
| タカンシキハンノウキ | 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。 |
| ネツインテグレーション | 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。 |
| バツフルプレート | バツフルプレート | 容器の中で、流体の流れ中に設ける流れを制御する板。 |
| マクブンリホウ | 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。 |
| ユウキケミカルハイドライドホウ | 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。 |
| リュウドウカイセキ | 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） |

プロジェクト用語集

(イ)未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

(イ) - (2) 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／参加企業4社：川崎重工業(株)、岩谷産業(株)、シェルジャパン(株)、電源開発(株))

| 読み方 | 用語 | 解説 |
|--------|--------|--|
| BOG | 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。 |
| CCS | CCS | Cargo Containment Systemの略。すなわち、貨物格納設備を意味し、本プロジェクトでは液化水素を格納する蓄圧式タンクシステムのことをいう。 |
| EAGLE | 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 | EPA | 環境保全協定 (Environmental Protection Agreementの略)。 |
| FEM | 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。 |
| GCU | GCU | Gas Combustion Unitの略で余剰ガス燃焼装置のこと。液化水素運搬船の場合、液化水素タンク内で発生する蒸発ガス (Boil Off Gas) によりタンク内の圧力が上昇する。この圧力がタンク安全弁の最大許容圧力に達する前に、Boil Off Gasを本装置で燃やし圧力を下げ、タンク内の圧力を安全な範囲内に収める目的を持つ。Boil Off Gasを燃焼させた燃焼ガスはベントスタックを通じて大気に放出される。 |
| GFRP | 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。 |
| HAZID | 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 | 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。 |
| IMO | IMO | 国際海事機関 (International Maritime Organization) の略称。 国連の下部機構の一つで、各国政府の代表によって構成され、海上における人命、財産の安全に関する事項及び海洋環境の保護を主体に協議する国際機関である。また、その結果は条約や勧告の形で公表されて各国政府の法律に取り入れられる。 |
| IGCコード | IGCコード | 液化ガスのばら積運送のための船舶構造および設備に関する国際規則 (International Code for the Construction and Equipment of Ships Carrying Liquefied Gases in Bulk) のことでIGCコードとも呼ばれる。 |
| MLI | MLI | Multi-Layer Insulationの略。すなわち、積層断熱材。 |
| MHF | MHF | 危険物取扱 (Major Hazard Facilitiesの略)。 |

| | | |
|-------------------|---------------|--|
| アウトガス | 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ごと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。 |
| アゲニ | 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。 |
| アツリヨクソンシツ | 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。 |
| アンゼンリカクキョリ | 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。 |
| エキカスイソポンプ | 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。 |
| エキカスイソチョゾウタンク | 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。 |
| カッタン | 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。 |
| ガスセイセイ | ガス精製 | 生成ガスの純度を高めるプロセス。 |
| キエキソウリュウ | 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、気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。 |
| キュウケイシンクウニジュウカク | 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。 |
| ゲンタン | 原炭 | 原料となる石炭。 |
| コウカンガタローディングアーム | 鋼管型ローディングアーム | 流体やガスを船から陸上のタンク、またはタンクから船に輸送する際に用いる装置。スィベルジョイントを採用することでフレキシブルホース式ローディングアームと比べてシステム全体がコンパクトで有り大型化に有利。 |
| サンソブキセキタンガスカロ | 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。 |
| ジョウハツソンシツ | 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。 |
| ジョウハツリツ | 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。 |
| シンクウソウ | 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。 |
| シンクウド | 真空度 | 極低圧状態の真空の程度のこと。真空度は残存する気体の圧力で表わされる。すなわち、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。 |
| シンクウニジュウフレキシブルホース | 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。 |
| シッタン | 湿炭 | 水分を含んだ石炭。 |
| スイソサブライチェーン | 水素サブライチェーン | 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。 |
| センキウウ | 船級 | 船級協会が船舶などの海上構造物の船体・搭載機器などの設計図面の審査及び承認や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。 |
| タイキフィンシキネツコウカンキ | 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。 |

| | | |
|---------------|-------------|--|
| ダイレクトクエンチホウシキ | 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。 |
| チカン | 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。 |
| チクアツシキタンク | 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。 |
| ツミニ | 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。 |
| ドームコウゾウ | 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。 |
| ニエキ | 荷役 | 揚荷・積荷を合わせたプロセス。 |
| ネツリュウソク | 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。 |
| ハカイジンセイシケン | 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。 |
| ハサイキ | 破碎機 | 対象を目的の大きさまで破碎する機器。 |
| バイオネットツギテ | 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。 |
| バラストコウカイ | バラスト航海 | 貨物を運ばない代わりに、船体内部に海水等を取り入れて船体姿勢を安定させた状態でおこなう航海のこと。取り入れた海水などはバラストとよび、また貨物艙とは別の専用艙を設けてバラストを積みつけることが一般的である。 |
| バースマスター | バースマスター | 荷役基地に入港する船の離着岸や荷役作業の指示監督を行う海技専門家のこと。元はLNG船等の船長経験者が多い。 |
| パーライト | 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。 |
| ビーオージーアッシュクキ | 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圧縮機。本プロジェクトではレシプロ式を採用している。 |
| ビーオージーカシツキ | BOG加温器 | BOG圧縮機、バ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。 |
| ビーオージーホルダー | 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。 |
| フィジビリティスタディ | 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 | ブリケット | 石炭粉などを圧縮・成型して作る燃料のこと。 |
| バントスタック | バントスタック | 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。 |
| マンサイコウカイ | 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。 |
| ミル | ミル | 石炭を微粉状に粉碎する装置。 |
| ヨレイシステム | 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。 |

| | | |
|--------------|------------|---|
| レシプロシキアッシュクキ | 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。 |
| レイガスコウリツ | 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。 |
| ローディングシステム | 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。 |

プロジェクト用語集

(イ)未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

(イ) - (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)、T Bグローバルテクノロジーズ(株)、(株)I H I 回転機械エンジニアリング、(株)荏原製作所、(国研)宇宙航空研究開発機構、(株)IHI)

| 読み方 | 用語 | 解説 |
|----------------|-------------|---|
| 1D CAE | 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 | BOG | Boil Off Gas (蒸発ガス) の略 |
| BOR | 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® | 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 | SSRT | Slow Strain Rate Testingの略。低ひずみ速度試験 |
| STJ® | 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) |
| アンカーストラップ | 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 |
| エキカスイソショウアツポンプ | 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 |
| エキクウ | 液空 | 液体空気。略。圧縮または冷却にて液化した空気 |
| カイテンツギテ | 回転継手 | スィベルジョイントの項を参照願います。 |
| キンキュウリダツキコウ | 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。 |
| サーマルブレーキ | 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 | 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 |
| ジクスラストバランスキコウ | 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。 |
| ジクスラスト | 軸スラスト | 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 | 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。 |
| スイコミセイノウ | 吸込性能 | 必要吸込ヘッドのことで、概略としては、ポンプが揚程低下なく運転できるポンプ入口圧力の最小値。 |
| スィベルジョイント | 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 | 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 |
| ゼイカ | 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。 |
| タイリュウデンネツ | 対流伝熱 | 流体の流れによって熱が伝えられる現象 |
| チュウカントウ | 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。 |

| | | |
|-----------|-----------|---|
| テイククリュリョウ | 定格流量 | ポンプ定格運転時の流量。 |
| ニヤク | 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。 |
| バイヨネット | 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することで入熱量を低減することを目的とした継手 |
| ハネグルマ | 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。 |
| パラスイソ | パラ水素 | 水素分子の核スピンの反対称のもの。水素分子は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 | 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 |
| ペローズ | ペローズ | 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。 |
| メンブレン | 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 |
| ヨウテイ | 揚程 | ポンプの性能を表すのに最も重要な指標で、そのポンプが流体を何mの高さまで持ち上げられる力があるかを示した数値。揚程に流体の密度を乗じた数値が圧力になる。 |
| ライダーリング | 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 | 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 |
| ローディングアーム | 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。 |

プロジェクト用語集

(イ)未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

(イ) - (4) 液化水素貯槽の大型化に関する研究開発

(ト)ヨーカネツ(株)、(大)北海道大学

| 読み方 | 用語 | 解説 |
|---------------------|--------------------|--|
| ASMEキカク | 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。 |
| GFRP | 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 _{1C} シケン | J _{1C} 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。 |
| SSRT | 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 | 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。 |
| ガスハウシュツ | ガス放出 | 真空において物質の表面に吸着していた水や、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。 |
| スイソゼイカ | 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。 |
| シンクウダンネツ | 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、断熱する方法。 |
| ボザイ | 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。 |
| ヨウセツキンゾク | 溶接金属 | 溶接中に溶融して凝固した金属を意味する。 |

プロジェクト用語集

(イ)未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

(イ) - (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、(国研)宇宙航空研究開発機構

| 読み方 | 用語 | 解説 |
|-------------|----------|--|
| Cv | Cv | 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℃(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。 |
| NKセンキュウ | NK船級 | 日本海事協会による船舶の設計や製造、運行に係る国際的な規則が適用されていることを検査し認証する制度。 |
| オオガタシサクヒン | 大型試作品 | 製品の大型化による機能や性能を評価するための試作品。 |
| グローブバルブ | 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。 |
| ゲンリシサクヒン | 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。 |
| コウアツガスホアンホウ | 高圧ガス保安法 | 高圧ガスによる災害を防止するため、高圧ガスの製造や貯蔵、輸送等を規制する法律。 |
| シールメンアツ | シール面圧 | 流体を閉止する部位に発生する応力。 |
| ジツエキシケン | 実液試験 | 実際の使用流体(今回は、液体水素)を用い、機器類の性能を確認する試験。 |
| ジッキシサクヒン | 実機試作品 | 製品の機能や性能を評価する為の試作品。 |
| シンクウジャケット | 真空ジャケット | 機器や管を密閉空間となる様に覆い、内部を負圧状態にすることで熱移動因子であるガスを除去し断熱をする構造。 |
| バタフライバルブ | 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。 |

プロジェクト用語集

(イ)未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

(イ) - (6) 液化水素用バタフライバルブの開発

(株)サクラ、(国研)宇宙航空研究開発機構

| 読み方 | 用語 | 解説 |
|-----------------|----------|--|
| JAXA | JAXA | 宇宙航空研究開発機構 |
| LNG | LNG | 液化天然ガス |
| LN2 | LN2 | 液体窒素 |
| LH2 | LH2 | 液体水素 |
| He | He | ヘリウム |
| グランドブ | グランド部 | 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 |
| シンクウジャケット | 真空ジャケット | バルブ本体、配管等の外側に取付けるジャケット管で、その間を真空にすることで高い断熱性能を発揮する |
| シンセキホウ | 浸漬法 | 冷媒に浸して試験を行う方法 |
| シンレイシケン | 深冷試験 | 冷媒を用いて極低温に冷却して行う試験 |
| スイソゼイセイ | 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 |
| ベンホンタイ (イツタイガタ) | 弁本体(一体型) | 弁箱を一つの部品で製作するもの |
| ベンホンタイ (ブンカツガタ) | 弁本体(分割型) | 弁箱を複数の部品を組み合わせて製作するもの |
| ベンザ | 弁座 | 流体をシールする部分の総称 |
| ベンバコ | 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) |
| リュウロナイフウニュウ | 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 |

プロジェクト用語集

(イ)未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

(イ) - (7) 液化水素用大型バルブの技術開発

(株)キッツ、(国研)宇宙航空研究開発機構

| 読み方 | 用語 | 解説 |
|--------------|----------|--|
| バルブ・ベン | バルブ・弁 | 流体を通したり、止めたり、制御したりするため、流路を開閉することができる可動機構をもつ機器の総称 |
| KHK | KHK | 高圧ガス保安協会の略称 |
| トップエントリー | トップエントリー | 弁上部から主要部品を組み立てる構造 |
| デンシビームヨウセツ | 電子ビーム溶接 | 電子ビームを使い局所的に高温にすることで、周囲への熱影響が少ない溶接が可能な方法 |
| シンクウダンネツ | 真空断熱 | バルブの外観をジャケットで覆い、真空にすることで断熱する方法 水筒の魔法瓶などで利用されている |
| ネツデンドウリツ | 熱伝導率 | 物質ごと固有の熱の伝わりやすさを表す値 |
| ボールベン | ボール弁 | 弁体が球形のボールのような形をした弁 |
| スイングシキギャクシベン | スイング式逆止弁 | 弁体が左右にスイングすることで開閉する逆止弁 |
| 10B | 10B | バルブサイズを表す。Bはインチ呼び。 |
| AXA | JAXA | 宇宙航空研究開発機構の略称 |
| ナイブフウシ | 内部封止 | バルブを閉にし、流路内を封止すること |
| ガイブフウシ | 外部封止 | バルブから外部への漏れを封止すること |

プロジェクト用語集

(□) 水素エネルギー利用システム開発（助成事業）

(□) - (1) 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、(大)大阪大学、(学)関西大学)

| 読み方 | 用語 | 解説 |
|----------------|----------------|--|
| CGS | 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「熱電供給」、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 | 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ネンショウハウシキ | 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 | 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 | GT | ガスタービン（Gas-Turbine）の略号。 |
| MicroMix | MicroMix | 微小火炎燃焼方式 |
| MMX | MMX | MicroMixの略号 |
| Wetネンショウハウシキ | Wet（ウエット）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） |
| コージェネ | コージェネ | 「CGS」参照。 |
| コージェネレーションシステム | コージェネレーションシステム | 「CGS」参照。 |
| ジョウキファンシャハウシキ | 蒸気噴射方式 | Wet（ウエット）燃焼方式を参照。 |
| ミズファンシャハウシキ | 水噴射方式 | Wet（ウエット）燃焼方式を参照。 |

プロジェクト用語集

(ロ) 水素エネルギー利用システム開発（助成事業）

(ロ) - (2) 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)、三菱重工業(株)、三菱重工エンジニアリング(株)）

| 読み方 | 用語 | 解説 |
|------------------|-------------------|---|
| CFD | 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。 |
| Fuel NOx | 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 | 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 | 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しやすくしたもの。 |
| NOx | NOx | Nitrogen Oxides（NOx）。酸化窒素の総称で、環境汚染物質のこと。 |
| Thermal NOx | 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ジゲンソウリュウヨコゴウカエン | 1次元層流予混合火炎カエン | 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。 |
| カエン | 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 | 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。 |
| カセキネンリョウ | 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。 |
| ギャッカ | 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。 |
| キリュウシケン | 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。 |
| ショウサイハンノウメカニズム | 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。 |
| スイソセンショウ | 水素専焼 | 燃料として水素100%で燃焼させること。 |
| タクウファンリュウネンショウホウ | 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。 |
| ダッシュョウ | 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。 |
| チッソサンカブツ | 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）。 |
| チャッカ | 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。 |
| テイイハツネツリョウ | 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） |
| テンネンガス | 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ネンショウキ | 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。 |
| ナイカフSIP | 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)。 |
| ニダンネンショウホウシキ | 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)。 |
| ネンショウシンドウ | 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 |
| ネンショウソクド | 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 | 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。 |
| ハツデンタンコウリツ | 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。 |
| ヒテイジョウネンショウCFDカ | 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。 |
| ヨコゴウネンショウキ | 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。 |

プロジェクト用語集

(ロ) 水素エネルギー利用システム開発（助成事業）

(ロ) - (3) 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 （三菱重工業㈱）

| 読み方 | 用語 | 解説 |
|------------------------|-------------|--|
| Dry Low NOx | Dry Low NOx | 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。 |
| NOx | NOx | 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)。 |
| インフラ | 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 |
| ガスタービン | 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 |
| ギャッカ | 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。 |
| クラスタバーナ | 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 |
| クロスフロー（ノズル） | クロスフロー（ノズル） | 混合管内に直交噴流で燃料を供給するノズル方式 |
| コンゴウカン | 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。 |
| スイソセンショウ | 水素専焼 | 燃料として水素100%で燃焼させること |
| セイギョベン | 制御弁 | 燃料の流量をコントロールするバルブ |
| セグメントバーナ | セグメントバーナ | 燃焼器のバーナの一部分を切り出した要素バーナ |
| テンネンガス | 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。 |
| ドウジクノズル | 同軸ノズル | 燃料と空気を混合させる混合管と、混合管に対し燃料ノズルを同軸上に配置して構成されるノズル方式 |
| ネンショウシェル | 燃焼シェル | 燃焼器を取付け、高圧条件下の試験を可能にするための圧力容器。ガスタービンの燃焼器周りの流れを模擬している |
| ネンショウシンドウ | 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 |
| ネンリョウステーjing | 燃料ステーjing | 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 |
| ノズル | 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 |
| ヒネンショウシケン （キリュウシケン） | 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 | フラッシュバック | 逆火のこと |
| ブローダウンシケンセツビ | ブローダウン試験設備 | 空気源として空気タンクに貯めた空気を使用し、貯留空気を燃焼器に供給することで数分間の燃焼試験が可能な設備。 |
| モデルバーナ | モデルバーナ | 混合管を複数本備えた構造 |

プロジェクト用語集

(ロ) 水素エネルギー利用システム開発 (助成事業)

(ロ) - (4) 高濃度水素混焼/水素専焼茨きボイラ・発電設備の技術開発

(三菱重工パワーインダストリー(株)、(学)帝京大学)

| 読み方 | 用語 | 解説 |
|-----------------|-----------------|--|
| CF型バーナ | CF型バーナ | センターファイアリング (Center Firing) 型バーナの略 |
| I1 | I1 | 燃焼振動レベルを評価するための共鳴周波数成分の振幅 |
| LPG | 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。 |
| MS型バーナ | MS型バーナ | マルチスパッド (Multi Spud) 型バーナの略 |
| R型バーナ | R型バーナ | 矩形(Rectanglar)型バーナの略 |
| TDR | TDR | Turn Down Ratioの略: バーナ最大負荷と最小負荷の比率。 |
| 1次空気 | 1次空気 | 低NOx燃焼を目的として燃焼用空気をバーナ内で分割する場合、バーナ中心部に導入する空気。 |
| 一軸混焼 | 一軸混焼 | 混焼する燃料を予め混合し、1系統のバーナノズルで燃焼させる混焼方法。 |
| 矩形型バーナ | 矩形型バーナ | 旋回燃焼方式ボイラに適用する長方形形状のバーナ。 |
| サーマルNOx | サーマルNOx | 燃焼用空気中の窒素と酸素とが高温状態において反応し、NOとなることで生成するNOxをいう。 |
| 自己排ガス再循環 | 自己排ガス再循環 | 燃焼用空気に燃焼ガスを混合して、NOxを低減する手法として排ガス再循環法があるが、バーナ単体の機構で本再循環を行うこと。 |
| センターファイアリング型バーナ | センターファイアリング型バーナ | バーナ中央部にバーナノズル1本を設置し、その外周に保炎器を配置した壁面燃焼用バーナ。 |
| ダクトバーナ | ダクトバーナ | ガスタービン用排熱回収ボイラに付設する助燃用バーナ。 |
| 低振動高圧ノズル | 低振動高圧ノズル | 高圧(最大900kPaG)の供給圧力条件下で、安定燃焼可能なバーナノズル。 |
| 2次空気 | 2次空気 | 低NOx燃焼を目的として燃焼用空気をバーナ内で分割する場合、バーナ中心部に導入する1次空気の外周側に導入する空気。 |
| 二軸混焼 | 二軸混焼 | 混焼する燃料を個別の系統で供給し、2系統のバーナノズルで燃焼させる混焼方法。 |
| マルチスパッド型バーナ | マルチスパッド型バーナ | 保炎器の外周に複数のバーナノズルを同心円状に配置した壁面燃焼用のバーナ。 |

プロジェクト用語集

(ロ) 水素エネルギー利用システム開発（助成事業）

(ロ) - (5) 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)

| 読み方 | 用語 | 解説 |
|---------------|-----------|---|
| EGR | EGR | 排気ガス再循環（Exhaust Gas Recirculation）。排気ガスの一部を給気側に戻し、燃焼時の最高温度を下げること。 |
| ハイキンユウコウアツリョク | 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。 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。 |
| スイソゼイカ | 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。 |
| タントウキ | 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。 |
| リスクアセスメント | 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。 |

プロジェクト用語集

(〇) 水素エネルギー利用システム開発（助成事業）

(〇) - (6) 液化水素冷熱の利用を可能とする中間媒体式液化水蒸気気化器の開発

(株)神戸製鋼所

| 読み方 | 用語 | 解説 |
|----------------|----------|--|
| チュウカンバイタイシキキカキ | 中間媒体式気化器 | 低温液化ガスと水等の熱源との熱交換を、プロパン等の媒体を介して行うタイプの気化器 |
| リンカイアツリョク | 臨界圧力 | 臨界温度で液化の起こり始める圧力（臨界温度：圧力を加えることによって液化が起こる限界の温度） |
| IFV | IFV | Intermediate Fluid Vaporizerの略称 |

1. 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

1.1 事業の位置づけ・意義

①政策的な重要性

水素は、これを燃料とした場合に二酸化炭素を排出しないという環境特性に加え、エネルギーキャリアとして再生可能エネルギー等を貯蔵、輸送、利用することができる特性（貯蔵性、可搬性、柔軟性）を有する。このため、水素を有効利用することで従来は利用困難であった海外の豊富な再生可能エネルギー資源や未利用エネルギー資源等を活用するとともにCCS適地等を利用することが可能となる。これは水素が、エネルギー資源の乏しい我が国にとってエネルギー安全保障と温暖化対策の切り札となる重要なカギとなることを意味する。

水素を日常の生活や産業活動で利活用する社会、すなわち“水素社会”を世界に先駆けて実現していくためには、水素を再生可能エネルギーと並ぶ新たなエネルギーの選択肢とすべく、環境価値を含め、水素の調達・供給コストを従来エネルギーと遜色のない水準まで低減させていくことが不可欠である。また、近年では水素の利活用が現実味を帯びて議論される中で様々な文脈で水素が語られ、エネルギーとしての利用だけでなく、化学品の原料や製鉄の還元剤等としても期待されている。

2023年6月に改定された『水素基本戦略』（再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議）では、国内外の情勢を踏まえつつ、2050年カーボンニュートラルを達成するために、官民での共通認識として必要なビジョンを示しながら、課題認識と取組方針を明示している。

「水素基本戦略」の改定のポイントについて（案） 資料1-1

水素基本戦略（アンモニア等を含む）を改定し、関係府省庁が一体となって水素社会の実現に向けた取組を加速する。

①2030年の水素等導入目標300万トンに加え、2040年目標を**1200万トン**、2050年目標は2000万トン程度と設定（コスト目標として、現在の100円/Nm³を2030年30円/Nm³、2050年20円/Nm³とする） ②2030年までに国内外における日本関連企業の水電解装置の導入目標を**15GW程度**と設定 ③サプライチェーン構築・供給インフラ整備に向けた支援制度を整備 ④G7で炭素集約度に合意、低炭素水素等への移行

水素産業戦略 ～ 「我が国水素コア技術が国内外の水素ビジネスで活用される社会」実現 ～

①「技術で勝ってビジネスでも勝つ」となるよう、早期の量産化・産業化を図る。
 ②国内市場に限らず、国内外のあらゆる水素ビジネスで、我が国の水素コア技術（燃料電池・水電解・発電・輸送・部素材等）が活用される世界を目指す。
 →脱炭素、エネルギー安定供給、経済成長の「一石三鳥」を狙い、大規模な投資を支援。（官民合わせて**15年間で15兆円**のサプライチェーン投資計画を検討中）

| つくる | はこぶ | つなぐ |
|--|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> □ 水電解装置 □ 電解膜、触媒などの部素材 □ 効率的なアンモニア合成技術 <p>・A社（素材）は、国内外大手と連携、水電解装置による国内外の大規模グリーン水素製造プロジェクトに参画。 ・B社（自動車）は、燃料電池の技術力をベースに多くの共通技術を活かす水電解装置を開発・実装。 ・C社（ハンチャー）は、AI基金を通じアンモニア製造の新技術を開発・実証。</p> | <ul style="list-style-type: none"> □ 海上輸送技術（液化水素、MCH等） <p>・D社（重工）は、世界初の液化水素運搬技術を確立し、G7でも各国閣僚から高い関心。 ・E社（エンジニアリング）は、欧州でのMCHによる輸送プロジェクトの事業化調査に着手。</p> | <ul style="list-style-type: none"> □ 燃料電池技術 □ 水素・アンモニア発電技術 □ 革新技術（水素還元製鉄、CCUS等） <p>・F社（自動車）は、燃料電池の海外での需要をみこして多用途展開を促し、コア技術としての普及を目指す。 ・G社（重工）は、大型水素発電の実証・実装で世界を先行。 ・H社（発電）は、アンモニア混焼の2020年代後半の商用運転開始に向け、実証試験を実施。</p> |

水素保安戦略 ～ 水素の大規模利用に向け、安全の確保を前提としたタイムリーかつ経済的に合理的・適正な環境整備 ～

需給一体の国内市場の創出 **規制・支援一体型の制度を、需給の両面から措置、水素普及の加速化**

| 供給 | 需要 |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> □ 既存燃料との価格差に着目した大規模サプライチェーン構築支援 <ul style="list-style-type: none"> -S+3Eの観点からプロジェクト評価 -ブレンデッド・ファイナンスの活用 □ 効率的な供給インフラ整備支援 -国際競争力ある産業集積を促す拠点を整備 □ 低炭素水素への移行に向けた誘導的規制の検討 □ 保安を含む法令の適用関係を整理・明確化 □ 上流権益への関与や市場ルール形成による安定したサプライチェーンの確保 | <ul style="list-style-type: none"> □ 需要創出に向けた省エネ法の活用 <ul style="list-style-type: none"> -工場、輸送事業者・荷主等の非化石転換を進め、将来的に水素の炭素集約度等に応じて評価。 -トップランナー制度を発展させ、機器メーカーに水素仕様対応等を求めることを検討。 □ 燃料電池ビジネスの産業化（セパレーター等の裾野産業育成） <ul style="list-style-type: none"> -国内外のモビリティ、港湾等の燃料電池の需要を一体で獲得することでコストダウン・普及拡大 □ 港湾等における「塊の需要」や意欲ある物流事業者等による先行取組への重点的支援 □ 地域での水素製造・利活用と自治体連携※、国民理解 ※特に「福島新エネルギー社会構想」の取組加速 |

世界市場の獲得 **拡大する欧米市場で初期需要を獲得、将来のアジア市場を見越し先行投資**

| | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> □ 規模・スピードで負けないよう大胆な民間の設備投資を促す政策支援 □ 大規模サプライチェーン構築支援の有効活用 □ 海外政府・パートナー企業との戦略的連携、トップセールスによる海外大規模プロジェクトへの参画 □ 『アジア・ゼロエミッション共同体（AZEC）』構想等の枠組みを活用したアジア連携 □ 日本の水素ビジネスを支える国際的な知財・標準化の取組（GI基金等も活用） □ 人材育成の強化・革新技術の開発 | <p>米国：インフレ削減法（IRA）により、低炭素水素製造に10年間で最大3ドル/kgの税額控除を実施予定（約50兆円規模 ※水素以外も含む）</p> <p>欧州：グリーンディール産業計画で、グリーン投資基金の設立や水素銀行構想を発表（約5.6兆円規模 ※水素以外も含む）</p> <p>英国：国内低炭素水素製造案件について15年間の価値支援や、拠点整備支援を実施予定（第一弾として約5,400億円規模）</p> |
|---|--|

（出典：再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議（第4回））

図表1 水素基本戦略

②世界の取組状況

水素は脱炭素化に向けたキーテクノロジーとして国際的にも注目を集めており、欧米をはじめとする先進国のみならず、中国等のエネルギー需要の増大が続く新興国においても水素利用に向けた様々な取組が進められている

政策的には、米国は 2022 年 8 月にインフレ抑制法が成立し、水素の生産と投資に長期かつ大規模な税額控除制度を創設した。また、インフラ投資・雇用法(2021 年 11 月成立)に基づき、グリーン水素の地域ハブ構築に 2022~2026 年の 5 年にかけて総額 80 億ドルが投じられることが決まっており、2023 年 10 月に 7 つの水素ハブの選定が発表された。欧州においては、2022 年 3 月に REPowerEU 計画が公表され、2030 年の水素導入量目標として域内製造で 1000 万 t、域外からの輸入で 1000 万 t の合計 2000 万 t を掲げた。また、2023 年 2 月には「グリーンディール産業計画」を発表しており、その政策メニューの一つとして「欧州水素銀行」(EU Hydrogen Bank) を創設した。同銀行においては、再生可能エネルギー由来水素の域内製造を支援するため、10 年間にわたり、製造した再生可能エネルギー由来水素 1 kg あたり固定されたプレミアムを補助するための競争的入札を、2023 年秋に実施することを予定している。ドイツでは、入札を通じて水素の購入・販売を行う「H2Global」を導入し、初回入札を 2022 年 12 月より開始しており、2023 年度予算は 35 億€。中国では、2022 年 3 月に水素エネルギー産業発展中長期規画を策定し、2025 年迄に FCV 5 万台、再生可能エネルギー由来水素製造年間 10~20 万トン、CO2 排出削減量 100~200 万トン/年の実現を目指している。また、2020 年 9 月に FCV の支援について、モデル都市群を選定し、車両・基幹部材のサプライチェーン整備に応じて補助金を拠出する政策を発表しており、現在までに北京、天津、河北省、上海、広東など 5 か所のモデル都市群が選定され、2025 年までに年間最大 17 億元(約 340 億円)を助成する。韓国では、2019 年 1 月に「水素経済活性化ロードマップ」を公表し、水素の供給量とコストとして 2040 年には 526 万トン/年、3,000 ウォン(約 284 円)/kg を目指している。2021 年 10 月に「水素先導国家ビジョン」を公表し、グリーン水素製造量として 2030 年には 100 万トン(グリーン 25 万トン、ブルー 75 万トン)、2050 年には 500 万トン(グリーン 300 万トン、ブルー 200 万トン)という目標を掲げている。また、2022 年 11 月に水素経済政策を発表し、成長戦略である「3up(スケールアップ、ビルドアップ、レベルアップ)戦略」を公表した。2022 年 6 月に水素法改正を行い、グリーン水素の認定・生産・流通・活用に向けた制度を包含した。2023 年 8 月にはグリーン水素発電義務化制度(CHPS)の第 1 回オークションを実施し、715GWh(全体で 1.3TWh のうち半分)相当の 5 事業への投資を決定した。

近年のこれらの政策の動きに呼応して、欧米を始め世界各国において、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 のプロジェクトが多数発表されているほか、水電解技術の開発も活発に行われている。米国では、DOE が新プロジェクト「Hydrogen Shot」を立ち上げ、「今後 10 年で水素製造コストを 1\$/kg とする」という野心的目標に向けて、水電解や化石燃料改質+CCS の他にもあらゆる製造技術の可能性を追求、複数の製造技術の開発を推進する計画である。欧州では Clean Hydrogen Joint Undertaking のプログラムにおいて固体高分子形水電解のほか、近年は固体酸化物型水電解(SOEC)やアニオン交換膜型(AEM)の研究開発も目立ち始めた。また、IEA AFC TCP Task 30 等のワークショップでは、水電解技術に関する情報交換が定期的に行われている。

企業の動向として、水素製造技術に関しては、アルカリ水電解技術において Nel、Thyssenkrupp Nucera 等が大規模開発・実証を推進しており、固体高分子型水電解においては、Siemens、Nel、

Cummins、ITM Power 等が大規模開発・実証を推進している。また、豪州 Hazer 社は、天然ガス及び類似のメタン原料に鉄鉬石触媒を利用して水素及びグラファイトに転換するプロセスを開発している。

水素輸送貯蔵技術に関しては、欧米では 100～200km 規模の水素専用パイプラインが複数整備されており、ノルウェーは水素戦略において、水電解や天然ガス改質等で製造した水素をパイプラインや船舶で輸出する可能性に言及している。

水素利用技術に関しては、例えば、オランダでは 440MW 天然ガス発電所のうちの 1 つを、水素専焼に転換する可能性調査を行っている。米国において G E 社は、米国エネルギー省（DOE）の Advanced Energy Systems /Hydrogen Turbine プログラムに参画し、水素ガスタービンの研究開発を行っている。当該プロジェクトでは 2035 年頃までに 1,700℃級の水素タービンの開発・実証を予定している。

我が国には、こうしたグローバルな動向を適切に把握して世界と協調しつつ、水素社会の実現へ向けて世界をリードしていくことが求められる。

③我が国の状況

化石燃料等の天然資源に恵まれない我が国は、1970 年代の二度の石油危機以来、国民生活と産業活動の血脈であるエネルギーを海外に依存する構造的脆弱性を抱え続けている。加えて、2016 年 11 月のパリ協定の発効を受け、深刻化する地球温暖化問題に対し、我が国としての責任を一層果たしていくことが求められている。一次エネルギーのほぼ全てを海外の化石燃料に依存する我が国においては、エネルギー安全保障の確保と温室効果ガスの排出削減の課題を解決していくことが必要である。

このような課題解決に向けた具体的な我が国の取り組みとして、2021 年 6 月 18 日に「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定され、2050 年に向けて成長が期待される 14 の重点分野を選定し、2 兆円のグリーンイノベーション基金を造成した。本基金は、10 年間で技術開発から実証・社会実装まで一気通貫で支援するもので、水素関連のプロジェクトは 2021 年夏に事業を開始し、カーボンニュートラルの実現において水素は数多くの重点分野にて重要な位置を占めている。また、2023 年に水素基本戦略が改定されたことは前述の通りである。

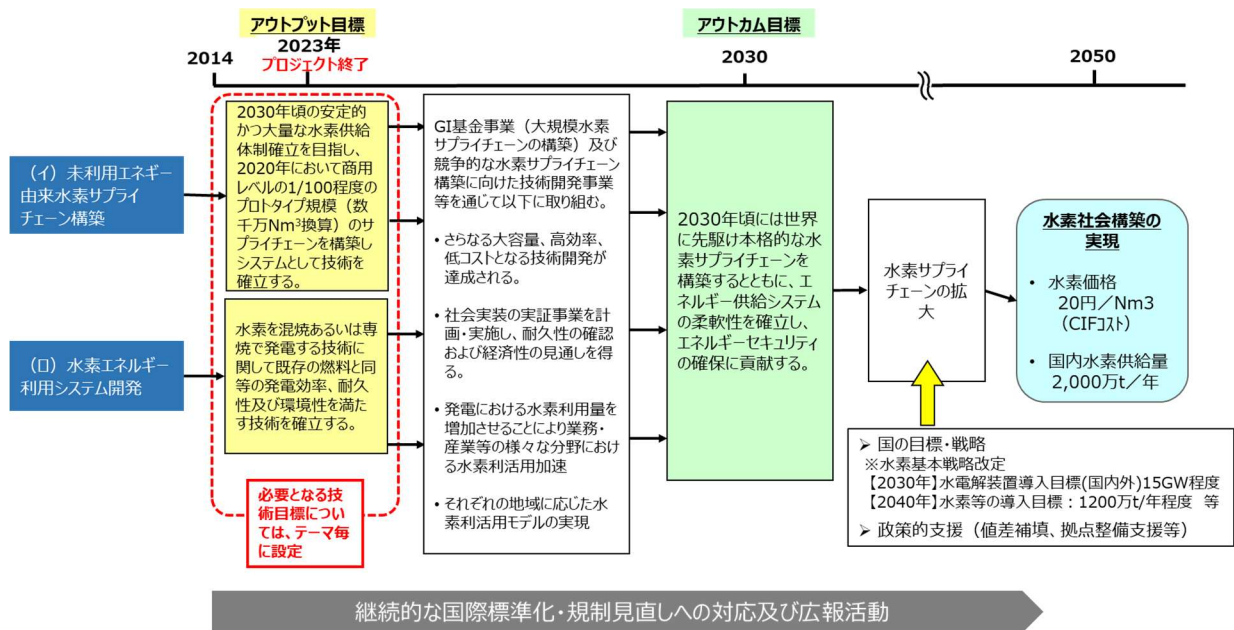
④本事業の目的

本事業では、現在、化学プラントの副生や天然ガス改質で製造されている水素を、より大規模に、より安価に、より CO₂ 排出の少ない形に切り替えていき、現在の天然ガスと同程度の価格や規模で流通できるようにしていくことを目指している。具体的には、世界に先駆けて、水素発電の本格的な導入及び大規模な水素サプライチェーンを構築のための技術開発に主として取り組み、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。

1.2. アウトカム達成までの道筋

発電分野等における水素の利活用が抜本的に拡大し、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というアウトカム目標に対して、GI 基金事業（大規模水素サプライチェーンの構築）及び競争的な水素サプライチェーン構築に向けた技術開発事業等を通じて、次の主な 4 つに取組む。①更なる大容量、高効

率、低コストとなる技術開発の達成、②社会実装の実証事業を計画・実施し、耐久性の確認及び経済性見通しの獲得、③発電における水素利用量を増加させることにより業務・産業等の様々な分野における水素利活用の加速、④それぞれの地域に応じた水素利活用モデルの実現。



1.3. 知的財産・標準化戦略

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。

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. 目標及び達成状況

2.1. アウトカム目標及び達成見込み

(1) アウトカム目標の設定

本事業の基本計画上のアウトカム目標は、「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。」としており、この設定根拠は、第6次エネルギー基本計画、水素基本戦略等である。

第6次エネルギー基本計画の抜粋（2021年10月閣議決定）

5. 2050年を見据えた2030年に向けた政策対応（7）火力発電の今後の在り方

アンモニア・水素等の脱炭素燃料の火力発電への活用については、2030年までに、ガス火力への30%水素混焼や、水素専焼、石炭火力への20%アンモニア混焼の導入・普及を目標に、実機を活用した混焼・専焼の実証の推進、技術の確立、その後の水素の燃焼性に対応した燃焼器やNOxを抑制した混焼バーナーの既設発電所等への実装等を目指す。こうした取組を通じ、2030年時点では国内で水素の年間需要を最大300万t、うちアンモニアについては年間300万t（水素換算で約50万t）の需要を想定する。また、2030年度の電源構成において、水素・アンモニアで1%程度を賄うことを想定する。

水素基本戦略の抜粋（2023年6月6日再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議）

4-2. 水素産業戦略（1）水素供給

B) 水素サプライチェーンの構築

2030年を見据えて大量に水素を輸送することを念頭に置き、輸送設備等の拡充を視野に入れ、国際競争力を強化すべく、国内での生産設備の増強や関連分野の人材育成に力を入れる。また、海外においては、パートナー企業との連携やトップセールスによって欧州をはじめとした市場におけるプレゼンス向上を狙う。また、水素等の品質規格の標準化や、サプライチェーン上の各プロセスの技術・ノウハウのライセンス化などの取組を進め、海外市場の獲得も狙う。

4-2. 水素産業戦略（2）脱炭素型発電

水素発電は既存設備を活かしながら、電力部門の脱炭素化に資する技術である。ガス火力への混焼割合の向上や専焼化に関しては各国、各企業の脱炭素のロードマップに応じて、様々な選択肢を提供することが国際競争力強化の観点からも重要である。既に小型のガスタービンにおいては、混焼から専焼への選択が可能であるが、日本企業がトップシェアを占める大型のガスタービン市場においても、海外の政策動向を注視しながら、柔軟に対応していく。

(2) アウトカム目標の達成見込み

| アウトカム目標 | 現状 | 達成見込み | 達成の根拠／解決方針 |
|---|--|-------|--|
| <p>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。</p> | <ul style="list-style-type: none"> ・世界初の液化水素輸送用タンクシステムを搭載した水素運搬船を建造し、船籍及び船級の取得に成功した。 ・日豪間航行試験を実施し、輸送用タンクシステムの構造健全性を確認した。 ・水素を混焼あるいは専焼で発電する技術に関しては、商用レベルを見据えた技術確立した。 | ○ | <p>本事業の終了後も要素技術の研究開発及び技術実証については、「競争的サプライチェーン構築に向けた技術開発事業」により、また大規模化・商用化実証については、「GI 基金事業」により、継続して取組んでいるおり、アウトカム目標達成が大いに期待できる。</p> |

2.2. アウトプット目標及び達成状況

2. 2. 1 アウトプット目標及び達成状況

| | |
|------------|--|
| 研究開発 項目 | (イ)未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築 |
| 目標 | 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 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。（2023年9月迄） |
| 成果 (実績) | <p><有機ハイドライドサプライチェーン>（次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合：AHEAD）</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認し、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認した。 ・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行い、商用化に向けた準備として、各種データを取得出来た。 <p><液化水素サプライチェーン>（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）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・世界初の液化水素輸送用タンクシステムを搭載した水素運搬船を建造し、船籍及び船級の取得に成功した。 ・合計2回の日豪間航行試験を実施し、輸送用タンクシステムの構造健全性及び目標値以下のBORであることを確認した。 ・世界初の液化水素用フレキシブルホース型及び鋼管型ローディングアームシステムを用いた荷役技術を開発した。 ・基地に建設した液化水素貯蔵タンクについて目標値以下のBORであることを確認した。 ・豪州にて世界初の褐炭用ガス化設備を建設し、純度99.999%の液化水素の製造に成功した。また、試験データを使用しシミュレーションモデルを開発した。 ・液化水素を神戸液化水素荷役実証ターミナルから神戸コージェネレーションシステムプラントへコンテナにて輸送し、約3時間の100%水素発電実証を問題無く実施した。 <p><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></p> <ul style="list-style-type: none"> ・商用5万m³クラスの大型貯蔵容器でBORが0.26%/日を達成する断熱構造を確認した。(川崎重工業) ・BORが0.4%/日となる4万m³級の海上輸送用液化水素タンクの基本構造、設計技術等を確認した。(川崎重工業) |

| | |
|------------|---|
| | <ul style="list-style-type: none"> ・大口径船陸継手について、操作容易な重量 500Kg 以下とし、目標(事業目標：1ton 以下)を達成した。また、試作機の試験にも合格し、製品化の目途を付けた。(TB グローバルテクノロジーズ) ・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、試作機の実ガス試験にて、構造の妥当性を確認し、シール性に優れた高寿命の商用摺動部材の目途を付けた。(IHI 回転機械エンジニアリング) ・液化水素を用いた小型試作機の運転試験を行い、所定の性能(揚程、動力等)、機能(バランス機構、材料健全性)を満足することを確認し、液化水素昇圧ポンプの設計技術を確立した。(荏原製作所) <p><液化水素貯槽の大型化> (トヨーカネツ)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大型貯槽に適用可能な真空排気システムを考案し、実験にて所要真空度への到達を実証した。 ・貯槽底部断熱構造に対して、モデル化手法や断熱材の熱定数を決定し、精度の高い伝熱解析手法を確立した。 ・破壊靱性、水素脆化、繰返し荷重に関する試験を行い、設計した SUS316L の溶接継手が十分安全であることを確認した。 <p><バルブ関連></p> <ul style="list-style-type: none"> ・液化水素用バタフライバルブ(300A)の試作し、LH2 実液試験においてシール性及び真空断熱性を確認し、300A サイズの同バルブの技術を確立した。更に耐久試験(開閉 2,000 回)を実施し、シール構造の耐久性に問題無いことを確認した。(中北製作所) ・液化水素用バタフライバルブ(500A)を試作し、LH2 実液試験において耐久試験(開閉 500 回)を実施し、シール性能が確保されていることを確認した。(ササクラ) ・液化水素用 500A のボール遮断弁、スイング式逆止弁を試作し、液化水素の実流体にて外部封止、内部封止の性能評価試験を実施し、目標性能を達成した。(キッツ) |
| 達成度 | ○ |
| 達成の根拠／解決方針 | — |

| | |
|--------|---|
| 研究開発項目 | (口)水素エネルギー利用システム開発 |
| 目標 | 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立する。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立する。(2023年3月迄) |

| | |
|--------------------|---|
| <p>成果 (実績)</p> | <p><水素専焼 GT 発電></p> <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。水素発電所としての実運用を開始し、定格運転において発電端効率 27%以上と、一部の負荷領域において NOx 排出値 35ppm 以下を達成した。 (川崎重工業/大林組) ・モデルバーナ、セグメントバーナ試験において、高圧条件下で安定燃焼を実現し、ターゲット計画条件にて NOx 50ppm (15%O2 換算)以下を達成し、燃焼器の重要な構成要素であるノズル設計のベースを確立した。(三菱重工業) ・大型燃焼器の設計においては、高温高圧下の燃焼試験で水素専焼を達成するとともに、実用化に向けた課題を明らかにし、改良の設計指針を得た。(三菱重工業) <p><高濃度水素混焼/水素専焼焚きボイラ・発電設備> (三菱パワーインダストリー)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・産業ボイラ用水素焚きバーナを開発し、水素ガス供給圧力の高圧化(最大 900kPa)、NOx 低減(60ppm 以下)等の最終目標を全て達成した。 ・ガスタービン用廃熱回収ボイラ付設水素焚きダクトバーナを開発し、水素ガス供給圧力の高圧化(最大 900kPa)、低酸素雰囲気(排ガス酸素濃度 10%以下)での安定した水素燃焼等の最終目標を全て達成した。 <p><CO₂フリーアンモニア利用GTCC> (三菱パワー)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・天然ガスとアンモニア分解ガス模擬燃料の混焼(水素体積割 20%)条件で 1,650℃級燃焼器の 100%負荷から 50%負荷の範囲で燃焼振動やフラッシュバックが発生しないことを確認した。 <p><水素燃焼エンジン発電> (川崎重工業)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・エンジン仕様の変更及び制御パラメータの最適化により、短時間ながら、平均有効圧 1.85MPa 且つ 95%混焼(事業目標：平均有効圧 1.6MPa 以上且つ 95%以上混焼)の水素燃焼を達成した。 ・水素燃焼単筒試験設備にて天然ガス・水素の混焼条件にて約 4 時間、安定した燃焼状態を維持し、連続運転が出来ることを確認した。 <p><液化水素冷熱の利用を可能とする中間媒体式液化水素気化器> (神戸製鋼所)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・液化天然ガス気化器で実績のある中間媒体式気化器(IFV)の要素技術をベースにして冷熱回収型液化水素気化器の小型実証機を設計・製作し、実際に液化水素を用いて実証試験を行い、目標とした所定の性能(気化ガス量、気化ガス温度、循環水取出し温度等)を安定して達成出来ることを確認した。 ・30,000Nm³/h の中規模 IFV の試設計を行い、機器サイズは従来の LNG 用 IFV の実績の範囲内であり、製作上の問題点は無いことを確認した。 |
| <p>達成度</p> | <p>○</p> |

| | |
|--------------------|---|
| 達成の 根拠/ 解決方針 | — |
|--------------------|---|

2. 2. 2 研究開発項目毎の達成状況

(イ)未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

(イ) - (1) 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)

参加企業 4 社：千代田化工建設(株)、三菱商事(株)、三井物産(株)、日本郵船(株)

実施項目毎の成果と達成度

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|----------------------|--|---|-----|------|
| 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。 | 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 | 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。 | 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 | 第 1 期の成果を踏 まえ、実機を建設、 運用し商用化への 準備が出来た | ○ | |

(イ) - (2) 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)

参加企業 4 社：川崎重工業(株)、岩谷産業(株)、シエルジャパン(株)、電源開発(株)

実施項目毎の成果と達成度

【 I . 液化水素の長距離大量輸送技術の要素技術の開発】

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|-------------------------|-------------------------|---|-----|------|
| a) 液化水素海上輸送システムの要素技術の開発 | ①揺動環境下で適用する断熱材の開発 | ・断熱材性能試験やアウトガス量測定を実施し、 10 ⁻¹ Paの真空条件でタンクへの熱流束が 1W/m ² となる断熱構造を得た。 | ○ | |
| | ②高真空度維持システムの開発 | ・内槽の極低温部の表面積と真空度との関係者を定量的に把握した。タンク構造材を使用した試験結果から放出ガス量を測定し、実サイズでの真空層に残存するガス成分の量を計算した。この結果、所定の真空度を維持することに十分な断熱性能を発揮できること確認した。 | ○ | |
| | ③タンク構造の最適化 | ・輸送用タンクドーム部の拘束機構を検討し、FEM 解析を実施し基本設計を完了した。 | ○ | |
| | ④揺動環境下で適用する内槽支持構造の耐久性評価 | ・内槽支持構造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ることを確認した。 | ○ | |
| b) 輸送用タンクシステムの開発 | ①海上輸送時の液化水素蒸発予測・制御技術の開発 | ・液化水素満載航行試験にて、液化水素の蒸発率は当初の設計値を下回ることを確認した。 | ○ | |
| | ②タンクシステムの構造健全性の検証 | ・液化水素満載航行において航行中に輸送用タンクの真空層に真空度異常等が見られなかったため輸送用タンクの支持構造は健全であると判断した。 | ○ | |
| | ③検査対応ガス置換技術の開発 | ・Hy touch 神戸において重力置換法により輸送用タンク内の窒素ガスを水素ガスに置換したところ 18 時間（計算では 27 時間）で置換が完了し | ○ | |

| | | | | |
|------------------------|--------------------------|---|---|--|
| | | た。このことから、輸送用タンクのガス置換作業は現実的な時間で実施可能であることがわかった。 | | |
| | ④周辺機器・計装品類の健全性の検証 | ・周辺機器・計測品類（液化水素ポンプ、期待水素圧縮機、加温気、蒸発器及び液面計等）が液化水素中でも健全に動作することを確認した。 | ○ | |
| c) 輸送用タンクシステムの設計・製作・検査 | 輸送用タンクシステムの設計・製作・検査 | ・2017年度に基本設計、2019年度に製作、船体への搭載を完了した。2020年度に艤装後の機能確認を行い、2021年度に液化水素の満載試験を実施し、船級及び船籍を取得した。 | ○ | |
| d) 実証試験の実施 | ①安全対策システムの開発 | ・液化水素を使用した荷役操作を通じて各水素取扱い機器の動作確認を行い、すべての機器が問題なく使用できることを確認した。 | ○ | |
| | ②輸送タンクシステムの真空防熱性能の追加評価 | ・合計2回の日豪航行試験を実施した。1回目の航行試験では豪州にて豪州で製造した液化水素を荷役した。 | ○ | |
| | ③タンク状態制御方法の評価 | ・第1回と第2回の日豪航行試験において輸送用タンクは設計蓄圧性能を満足していることを確認した。 | ○ | |
| | ④代替荷揚手段の開発 | ・輸送用タンクの内圧制御にはGCU（貨物ガス燃焼装置）が効果的であることを確認した。 | ○ | |
| | ⑤輸送タンク安全機構の評価 | ・輸送用タンク内のポンプが壊れたことを想定した加圧方式での荷揚について、問題なく実施できることを確認した。 | ○ | |
| e) 液化水素の長距離大量輸送 | G7 札幌気候・エネルギー・環境大臣会合（4月中 | ・GCUに関して連続80時間の運転試験を実施し、長時間問題なく使用できることを確認した。 | ○ | |
| | | ・G7 札幌では、小樽港にて西村経産大臣、米国DOE長官、EU環境大臣等への視察を実施した。 | ○ | |

| | | | | |
|-----------|---|---|---|--|
| 技術開発の成果発信 | 旬開催)、G7 広島サミット(5月下旬開催)、首相中東歴訪(7月中旬実施)などの会場近傍へ液化水素運搬船を廻航し、各国首脳、大臣、要人等へ紹介するとともに、水素利用に対する各国国民の理解と支持の取得 | G7 広島では、廿日市港にてベトナム首相の視察を実施した。 ・中東歴訪では、サウジアラビア、UAE 及びオマーンの3カ国を訪問した。サウジアラビアでは、エネルギー大臣の視察を実施するなどして、海外へ向け広く液化水素サプライチェーン技術の成果を発信した。 | ○ | |
|-----------|---|---|---|--|

【Ⅱ. 液化水素荷役技術の開発】

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|-------------------------|------------------------|---|-----|---|
| a) 液化水素の陸上-海上間移送技術実証 | ①揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証 | ・フレキシブルホース型ローディングアームシステムについては2020年度に設置を終え、数多くの荷役作業を実施し、揺動環境下での荷役作業を問題なく実施できることを実証した。 | ○ | |
| b) 荷役基地におけるオペレーション技術の開発 | ①液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発 | ・荷役基地の液化水素貯蔵タンクでの液化水素の蒸発量は、設計値以下となった。 ・積荷及び揚荷オペレーションでの液化水素の送液量と蒸発量を計測し、送液量に対する蒸発量の割合の知見を得た。 | ○ | |
| | ②貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発 | ・大口径の液化水素配管において、設定した温度管理値内で配管予冷操作を実施することで、予冷及び通液前後において、配管にボウイング現象による損傷や外観上及び運用上の不具合が発生しないことを確認した。 | ○ | ボウイング現象；大口径配管などで断面方向に大きな温度差が発生すると配管上面と仮面で熱膨張差が発生し、弓なりの変形を生じる現象。 |

| | | | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|--|---|--|
| | ③液化水素の管内流動状況の検証 | ・液化水素を移送する際、弁開度調整などの操作によって、計画した流量での液化水素の積荷及び揚荷オペレーションが可能であることを確認した。この知見を活用することにより、過大なサイズの機器選定となることを避けられる。 | ○ | |
| | ④貯蔵タンク及び配管の蒸発率評価 | ・貯蔵タンク液位3パターン（高、中、低）について、タンク内の蒸発量を計測したところ、適切な測定期間を設定してタンク内の蒸発率を計測したところ、いずれの液位においてもタンク断熱性能が目標値を満足していることを確認した。 | ○ | |
| | ⑤貯蔵タンク内部状況の評価 | ・貯蔵タンクを自己加圧した後に、貯蔵タンク内の液化水素を払い出す操作においては、払い出される貯蔵タンク底部の液化水素の状態は自己加圧前後で大きな変化が無いことを確認した。 | ○ | |
| | ⑥荷役流量と配管圧力損失の関係性評価 | ・配管内を流れる液化水素に関しては、流動により極端に大きく配管圧力損失を増大させるような気液二相流は発生していないことを確認した。 | ○ | |
| c) 代替揚荷手段の開発 | 代替荷役手段を実証する。 | ・ I -d)-④で記載済み | ○ | |
| d) 液化水素からの水素ガス製造方法の実証 | 液化水素に使用可能なオープンラック型気化器の設計を行う。 | ・世界初の液化水素用オープンラック型気化器の設計を完了した。 | ○ | (機器仕様) ・寸法：L 2 m × W2m × H8m ・流量：0.15t/h |
| e) 鋼管型ローディングアームシステムの荷役技術の開発 | 揺動環境下での鋼管型ローディングアームシステムによる荷役作業を実施する。 | ・揺動環境下にて一連の荷役作業を実施できることを確認した。 | ○ | |

【Ⅲ. 褐炭ガス化技術の開発】

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|--------------------------|---------------------------------|--|-----|------|
| a)EAGLE 炉への豪州褐炭の適用性評価 | ①褐炭前処理技術の検討 | ・褐炭に含まれる不純物（木質系異物）に適した不純物除去装置を調整できたことにより、全運転期間を通し、問題なく豪州褐炭を粉砕・乾燥できることを確認した。 | ○ | |
| | ②褐炭ガス化評価 | ・豪州小型ガス化炉にて 6 種類の豪州褐炭、3 種類のバイオマスと豪州褐炭混合原料でのガス化特性の取得及び水素製造を実施した。全試験期間での累計ガス化運転時間は 339 時間、約 10 トンの褐炭を処理し、約 1 トンの水素を製造した。 | ○ | |
| | ③EAGLE 炉への適用性評価 | ・若松研究所小型炉試験設備にて豪州褐炭を用いてガス化試験を実施し、EAGLE 炉においても問題無くガス化運転が可能であることを確認した。 | ○ | |
| b)化学原料製造向けガス化技術の検証 | ①CO ₂ による褐炭運搬システムの検討 | ・豪州小型ガス化試験設備にて搬送ガスとして CO ₂ と窒素を使用して試験したところガス化効率に関して大きな差異が生じないことを確認した。 | ○ | |
| | 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 | ・若松研究所の小型炉試験設備にてガス化炉の熱回収部への直接水噴霧「ダイレクトクエンチ」によるガス冷却を行い、生成ガス温度を安定して制御可能であることを確認した。本方法を採用することによりガス化炉ガス冷却器を合理化できる。 | ○ | |
| c)豪州褐炭ガス化運用技術の検討 | 大型炉への課題抽出 | ・豪州小型ガス化試験設備及び若松研究所小型炉試験設備にてガス化試験を実施し、商用設計に考慮すべき項目を明確にした。 | ○ | |
| d)褐炭-バイオマス混合体に対するガス化特性評価 | バイオマスのガス化特性への影響の把握 | ・3 種類のバイオマス（無炭化、半炭化、炭化）と豪州褐炭の混合原料でガス化試験を実施し、問題なくガス化が行われ水素の製造が可能であることを確認した。 | ○ | |

【IV. 液化水素利活用技術の開発】

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|-----------------------|---|--|-----|--|
| a) 日豪間輸送後の液化水素の利活用の実証 | Hy touch 神戸から神戸コージェネレーションシステムプラント（神戸CGS）へ液化水素を共有し、発電試験の実施 | ・Hy touch 神戸から神戸 CGS へ液化水素をコンテナにて輸送・供給し、発電試験が問題なく実施できることを確認した。 | ○ | （試験概要） ・共有液化水素量：約 590kg ・水素専焼運転時間：3 時間 |

達成度は、『◎：大いに上回って達成 ○：達成 △：一部未達 ×：未達』

(イ)-(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)、T Bグローバルテクノロジーズ(株)、(株)I H I 回転機械エンジニアリング、(株)荏原製作所、(国研)宇宙航空研究開発機構、(株)IHI)

実施項目毎の成果と達成度

① 大型輸送・貯蔵技術の開発

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題 |
|---------------------|---|---|-----|-------|
| a)大型貯蔵容器の開発 | 蒸発率 (Boil Off Rate: BOR) が 0.26%/日となる 5 万 m3 級の貯蔵容器の基本構造を確立させる。 | 商用 5 万 m3 クラスの貯蔵容器で断熱性能 0.26%/日を達成する断熱構造を確立した。 | ○ | — |
| | a) 断熱材の開発 ・断熱構造の確立 | ・断熱性能評価済 ・断熱構造選定済 | ○ | — |
| | b) 材料評価 ・適用可能性の目途 | ・材料特性データ取得済 | ○ | — |
| b)海上輸送用大型液化水素タンクの開発 | 蒸発率が 0.4%/日となる 4 万 m3 級タンクの基本構造、設計技術などを確立させる。 | 蒸発率が 0.4%/日となる 4 万 m3 級タンクの基本構造、設計技術などを確立した。 | ○ | — |
| | a)断熱システム方式 ・断熱システムの基本仕様様の確定 | ・断熱方式/構造を選定済 ・基本仕様選定済 | ○ | — |
| | b)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 ・強度評価済 | ○ | — |
| | c)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済 | ○ | — |
| | d)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済 | ○ | — |
| | e)タンクシステムの検証 ・試験タンク製作によるタンク及び断熱構造の製作性・施工性確認 ・低温性能試験を実施し設計データを取得 | ・試験タンク製作によるタンク及び断熱構造の製作性・施工性確認済 ・低温性能試験を実施し設計データを取得済 | ○ | — |

② 商用ローディングアームの開発

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題 |
|----------------------------|---|---|-----|--|
| a)大口径 緊急離脱 機構の開 発 | ・切離時の外部流出量を 125ℓ以下とする。 ・試作機を製作して、所定 の試験に合格する。 | 理論外部流出量は目標値 以下の 5ℓ程度となった。試 作機を製作してテストしたが、 低温強度試験でリークがあっ た為改善が必要となり今後検 討する。 低温切離し試験では、正常 な切離しが行われ切離し性 能が確認された。 製品化に向けては課題が残っ たが、今回の試験を通じて技 術的価値の高い内容が得ら れ、今後の製品開発に大きな 成果となった。 | △ | クランプ能力 向上（対策 実施の上で切 離し性能とシ ール性能は検 証が必要） |
| b)大口径 船陸継手 | 重量が 1ton 以下で 2～ 3 人で操作可能な構造と する。 ・試作機を製作して、所定 の試験に合格する。 | 重量は目標値の 1ton 以下 に対し、500Kg 程度になり目 標を達成した。 試作機を製作してテストを行 い合格し製品化への目途があ った。 | ○ | |

③ 低温水素ガス圧縮機の開発

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題 |
|-------------------------------------|---|--|-----|---|
| 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、熱変位を吸収す るサポート構造の確立 | 低温水素ガスを用いた試作 機の実ガス試験にて圧縮機 外表面に液空が発生すること なく、最低表面温度は-30℃ 以上(解析結果と概ね一致) で、振動は 10μm 程度で損 傷なし | ○ | ・商用大型化 に伴う高荷重 化に対する解 析による健全 性確認 ・組立性・メン テナンス性向 上を図る真空 容器構造の 改良 |

| | | | | |
|----------------------------|--------------------------------|--|---|-----------------------------------|
| 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の確立 | 試作機の実ガス試験にて中間筒内に液化がないこと、およびロッドパッキンの異常摩耗がないことを確認 | ○ | |
| | 高寿命およびシール性に優れた摺動部材の目途付け | ラボ試験から選定した2種類の摺動部材にて実ガス運転を実施し、商用機で使用可能な材料の目途を付けた | ○ | 商用化実証において長時間運転による寿命の確認 |
| c)商用機の設計技術および性能評価技術の開発 | 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 | 試作機の実ガス試験にて吸入ガス温度をパラメータとして変化させ、流量計含む各計測値の妥当性を確認 | ○ | |
| | 1D CAEを用いた商用機の吐出温度・性能予測技術の確立 | 各吸入ガス温度における流量と吐出温度の有効データを取得し、1D CAEにフィードバックし、精度ある解析手法を確立 | ○ | 大型商用機の性能予測と運転データ蓄積による性能予測精度の更なる向上 |

④ 液化水素昇圧ポンプの開発

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題 |
|------------------------|------------------|--|-----|-------|
| a)軸スラストバランス機構の検討 | 軸スラストバランス機構の確立 | 軸スラストバランス機構が機能することを計算及び試験で確認 | ○ | |
| b)ポンプ材料の選定 | ポンプ材料の確立 | ポンプ材料及び構造設計の健全性を試験で確認 | ○ | |
| c)液化水素でのポンプ性能/機能の評価・分析 | 液化水素昇圧ポンプ設計技術の確立 | 小型試作機による液化水素を用いた運転試験を行い、設計の妥当性を確認し、設計技術を確立 | ○ | |

達成度は、『◎：大いに上回って達成 ○：達成 △：一部未達 ×：未達』

(イ)-(4) 液化水素貯槽の大型化に関する研究開発

(トヨーカネツ株、(大)北海道大学)

実施項目毎の成果と達成度

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|---------------------------------|---|---|-----|------|
| I : 真空排気システムの確立 | 大型貯槽に適用可能な真空排気システムを確立する。 | 大型貯槽に適用可能な真空排気システムを考案するとともに、実験により所要真空度に到達することを実証した。 | ○ | |
| II : 内槽底部への入熱量算定手法の確立 | 底部構造の精度良い伝熱解析手法を確立する。 | 実測値と解析値とを比較・分析することにより、底部構造の精度良い伝熱解析手法を確立した。 | ○ | |
| III : SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立 | 液化水素貯槽の使用環境下でも安全な SUS316L の継手となる溶接施工法を確立する。 | 破壊靱性、水素脆化、繰返し荷重に関する試験を行い、当社が設計する SUS316L 溶接継手が十分安全であることを確認した。 | ○ | |

達成度は、『◎ : 大いに上回って達成 ○ : 達成 △ : 一部未達 × : 未達』

(イ)-(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、(国研)宇宙航空研究開発機構

実施項目毎の成果と達成度

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|-----------------|---|---|-----|---|
| 1. 市場調査 | 顧客ニーズ並びに関連法規の適用範囲を把握し、原理設計・実機設計に展開する。 | 受入基地や運搬船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・周期を調査。関連法規の適用範囲を確認。 | ○ | 引き続き大規模実証を進める事業者と協議を重ね、他口径のバルブラインナップ拡充に繋げる。 |
| 2. 原理開発 | 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・解析手法を確立する。 | 原理試作品(300A)を製作し、LH ₂ 実液試験を実施。試験データと解析データを比較検証し、構造・解析手法を確立。 | ○ | |
| 3. 実機開発 | バルブ実機における実液試験にて各目標値を達成し、300A サイズにおける液化水素用大口径バタフライバルブの技術を確立する。 | 実機試作品(300A)を製作し、LH ₂ 実液試験を実施。300A サイズにおける液化水素用大口径バタフライバルブの技術を確立。 | ○ | |
| 4. 大型化検証 | 実機開発で構築した「シール性能」と「真空断熱性能」を800A サイズに展開し、実液試験での目標値を達成する。 | 大型試作品(800A)を製作し、LH ₂ 実液試験を実施。真空断熱性能は目標値を達成したものの、シール性能については逆圧(2次側)で改良の余地を残した。 | △ | 正圧(1次側)に加え逆圧(2次側)も十分に封止できるシール構造の改良を進める。 |

達成度は、『◎：大いに上回って達成 ○：達成 △：一部未達 ×：未達』

(イ)-(6) 液化水素用バタフライバルブの開発

(株)サクラ、(国研)宇宙航空研究開発機構

実施項目毎の成果と達成度

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|------------------|---------------------------------|---|-----|-------------------|
| ①バルブ大型化による性能確保 | 試作バルブの構造検討、浸漬・流路内封入(LN2)による性能確保 | 20Bでの試作バルブ完了 浸漬・流路内封入(LN2)による性能が確保できていることを確認 | ○ | |
| ②液化水素として維持可能な構造 | 真空ジャケット大型化 | 構造検討を行い大型化(試作)することができた | ○ | |
| 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 | 高感度可燃ガス検知器を用い、リーク検知孔から水素の外部漏洩が無いことを確認 | ○ | |
| ④使用材料による加工とコスト | LNG仕様バルブ加工費 1.2倍 | 試作バルブの製作には LNG用途弁の約 1.8倍のコストがかかった | △ | 材料入手・加工などコストダウン検討 |
| ⑤液化水素条件下における性能確保 | JAXA 殿設備において性能確認 | ①の試作バルブで流路内封入(LH2)による性能が確保できていることを確認 | ○ | |

達成度は、『◎：大いに上回って達成 ○：達成 △：一部未達 ×：未達』

(イ)-(7) 液化水素用大型バルブの技術開発

(株)キッツ、(国研)宇宙航空研究開発機構

実施項目毎の成果と達成度

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|---------------|--|---------------------------------------|-----|----------------------|
| ① 弁種の検討 | 大口径化実現可能な弁種、構造の選定 | トップエントリー型ボール弁、スイング式逆止弁を選定 | ○ | 弁種、サイズラインナップ拡大が必要 |
| ② 封止技術開発 | | | | |
| a) 外部封止構造の検討 | 流体温度を考慮した外部封止構造の選定 | 解析により、想定温度を考慮した封止位置とすることで、既存技術の流用が可能 | ○ | |
| b) 内部封止構造の検討 | 流体温度を考慮した内部封止構造の選定 | 低温域で使用実績のある樹脂材を選定し、熱収縮を考慮した構造とした | ○ | 耐久回数の検討が必要 |
| c) 部分試作評価 | 内部封止構造の部分試作評価を実施 | 液化水素での実温評価試験で、目標性能確保を確認 | ○ | |
| ③ 弁製造方法の検討 | | | | |
| a) 大型化精密加工の検討 | 実施可能な製造方法を検討、性能を確立できる構造設計を行う | 分割構造も含めた構造とすることで、大型部品の精密加工を実現 | ○ | 量産工程の確立が必要 |
| b) 分割構造の検討 | 熱影響の少ない溶接施工法で、性能確立できる構造設計を行う | 部分試作評価より、熱影響の少ない電子ビーム溶接で実現可能であることを確認 | ○ | |
| c) 鋳物化の検討 | 鋳物化によるコストダウンを想定し、鋳物へ展開できる目途を立てる | 治具による真空断熱性能確認で、鋳物展開が可能であることが確認できた | ○ | 高圧ガス認定取得のために、事前評価が必要 |
| ④ 真空断熱構造の検討 | | | | |
| a) 組立・分解の検討 | ジャケット外、弁上部から組立・分解できる構造とし、現地メンテナンスを考慮する | トップエントリー、および治具により、実機にて組立・分解可能であることを確認 | ○ | 現地メンテナンスに向けた治具の改良が必要 |

| | | | | |
|--------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---|-------------------------|
| b) 断熱性能検討 | 真空ジャケットによる二重配管構造とし、十分な保冷性能を有する構造とする | 解析より入熱量を想定しジャケット形状を決定 | ○ | 客先要求ごとのジャケット形状検討が必要 |
| c) 弁保持構造の検討 | 入熱を考慮した弁自重を保持する構造を検討する | 熱伝導率、強度等と解析結果からGFRP(強化ガラス繊維)を選定した | ○ | 保持構造を有するジャケット施工方法の調整が必要 |
| ⑤ 弁試作評価 a) 弁の試作 | 確立した要素技術をもとに弁の試作を行う | 中間口径、最大口径ともに弁の試作を行った | ○ | 量産工程、試験設備の確立が必要 |
| b) 治工具の検討 | 組立・分解を可能とする治具、および現地メンテナンス方法の確立 | 縮小モデルから組立治具を考案し、試作品組立にて実現性を確認 | ○ | 現地メンテナンスに向けた治具の改良が必要 |
| c) 性能試験 | 試作品に対して性能試験を実施し、目標性能を満足することを確認する | 中間口径で行った改良設計をもとに、最大口径で目標性能達成を確認 | ○ | 社内試験設備の確立が必要 |
| d) 弁サイズ展開検討 | 市場要求されるサイズから、サイズ展開設計を行う | 顧客要求を調査し、サイズ展開設計を順次進行中 | △ | 顧客要求により、新たな仕様、弁種を検討中 |

達成度は、『◎：大いに上回って達成 ○：達成 △：一部未達 ×：未達』

(□) 水素エネルギー利用システム開発 (助成事業)

(□) - (1) 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、(大)大阪大学、(学)関西大学)

実施項目毎の成果と達成度

| 開発項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|-------------------------------|--|--|-----|------|
| 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] | ○ | 課題なし |

| 開発項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|-------------------------------|---|--|-----|------|
| | | 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（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 | 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 | ○ | 課題なし |

| 開発項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|--------------------------------|---|--|-----|------|
| | 安定性と安全性の確認を完了する。 | 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、「 <u>燃焼振動</u> 」を大幅に抑制するとともに、 <u>効率についても向上させる技術の開発に成功</u> 。 | ○ | 課題なし |
| 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 | 2020年5月12日～10月6日までに実運用で想定される急激な負荷変動/急遮断等の様々な運転パターンを実施 | ○ | 課題なし |

| 開発項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|-------------------|------------------------------------|---|-----|---|
| | 火や逆火が発生しない安定燃焼の達成 | 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 | ○ | 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。） | △ | 目標達成には「 <u>燃焼振動</u> 」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。 ※次期助成事業「水素 CGS の地域モデル確立に向けた技術開発・研究（2021 年 7 月 26 日～2023 年 2 月 28 日）」改良を実施し、全負荷領域において目標達成済。 |
| 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 | 2020 年 11 月、2021 年 1 月に実証運転を実施し、水噴射方式より | ○ | 課題なし 通年のデータが得られていない |

| 開発項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|------------------------------|---|---|-----|---|
| | ることを確認 | もドライ方式の方が環境性や事業性が優位であることの確認を完了。 | | ため事業性検討シミュレーションに搭載しているガスタービンの性能データの乗せ換えは、次年度夏期のデータ取得後に行う。 |
| 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。 |
| 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 | 液化水素の気化冷熱を活用してタービン給気を冷却する場合の効果と課題を抽出し、その解決策を検討する。 | 液化水素の蒸発器は、着霜問題を解決でき、冷熱回収もできる、中間媒体式を採用した。また、冷熱をガスタービン吸気冷却に利用する場合、空気冷却器の着霜を考慮した運用が重要であることを確認した。 | ○ | 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ため、実験を通じた検討が必要である。 |
| 2 蒸発器の着霜防止効果を定量評価 | 蒸発器の着霜防止効果を定量的に確認する。 | 蒸発器は、着霜しない熱交換器である、中間媒体式を採用した。 | ○ | 課題なし 液化水素の冷熱を回収できるため、熱交換 |

| 開発項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|-------------------|--|---|-----|--|
| | | | | 器としての機能も併せ持つ。 |
| 3 空気冷却器の着霜発生条件を把握 | 空気冷却器の着霜発生条件を確認する。 | 着霜実験を行い、空気冷却器での吸気的面風速による熱伝達係数の特性、着霜による圧力損失の特性等を確認した。 | ○ | 課題なし 実験にて求めた熱伝達率、圧力損失をプロセスシミュレーションに組み込むことで着霜時の吸気冷却効果を精度よく予想できた。 |
| 4 冷熱利用の経済合理性の検討 | 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し、経済合理性を検討する。 | 1MW クラスの水素ガスタービンの発電出力向上効果を試算した。さらに、液化水素冷熱活用システムの試設計・工事費見積を行い、発電出力向上効果と合わせて経済合理性を検討した。 | ○ | 課題なし |

達成度は、『◎：大いに上回って達成 ○：達成 △：一部未達 ×：未達』

(ロ) - (2) 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)、三菱重工業(株)、三菱重工エンジニアリング(株))

実施項目毎の成果と達成度

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|---------------|--|--|-----|--|
| 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 | 定格負荷だけでなく、部分負荷においても NH ₃ 分解装置に必要な熱を供給できる NH ₃ 分解ガス混焼システム/専焼システムの構成、運転条件を明らかにした。 | ○ | 実用化への課題として NH ₃ 分解装置と水蒸気源を組み合わせた実証プラントによる検証がある。 |
| ②アンモニア分解装置の検討 | ・NH ₃ 分解装置の機器構成の決定、分解後の残留 NH ₃ 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 | ・アンモニア分解装置全体のシステム構築及び物質収支計算を実施した。 ・NH ₃ 分解触媒の NH ₃ 曝露試験(2,000 時間)を実施し、被毒物質の生成や比表面積の大きな変化は見られなかった。 | ○ | 実用化への課題として、アンモニア分解装置に用いられる材料の耐窒化性の検証がある。 |
| 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 NO _x 性能の検証 | ・天然ガスと NH ₃ 分解ガス模擬燃料の混焼(水素体積割合 20%)条件で 1650℃級燃焼器の 100%~50%負荷の範囲で燃焼振動やフラッシュバックは無しを確認。 ・燃料中の残留 NH ₃ の NO _x 転換率を導出。 | ○ | 実用化への課題として、実証プラントによる検証がある。 |

達成度は、『◎: 大いに上回って達成 ○: 達成 △: 一部未達 ×: 未達』

(ロ) - (3) 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

(三菱重工業(株))

実施項目毎の成果と達成度

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|--------------------------------------|---|---|-----|--|
| 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 | 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 | ・燃焼試験により、高圧、低流速条件で、逆火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 | ○ | |
| A-2 シングルセグメントの設計技術 | 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 | ・燃焼試験により、高圧条件で、逆火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-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および燃焼器全体計画図完成 | ・燃焼器の詳細設計完了 | ○ | |
| 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 | ・土建工事完了 ・水素蓄圧器設置・電気工事・保温工事の完了 ・試運転の完了 | ・土建工事・水素蓄圧器設置・電気工事・保温工事、全て完了し、法定検査合格 ・燃焼試験を実施し、設備の検証まで完了。 | ○ | |
| 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NOx 50ppm以下 | ・高温高圧下の燃焼試験で水素専焼を達成し、実用化に向けた課題を明確にした。 ・目標のNOx 50ppm以下は達成できず。 | △ | ・実燃焼器においてもモデルバーナと同等の濃度分布を実現可能なノズル、燃焼器構造を検討する |

達成度は、『◎：大いに上回って達成 ○：達成 △：一部未達 ×：未達』

(ロ) - (4) 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

(三菱重工パワーインダストリー(株)、(学)帝京大学)

実施項目毎の成果と達成度

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|------------------|---|---|--|--|
| 産業ボイラ用水素焚きバーナの開発 | 1.最大供給圧力 900kPaG 2.I1(*1)≤50Pa 3.NOx≤60ppm 4.逆火現象なし 5.低 O2 運用 6.多種燃料との混焼 | 1.900kPaG での安定燃焼を実証 2.I1≤10Pa (振動なし) 3.NOx≤10ppm 4.逆火現象なし実証 5.排ガス O2 濃度 0.1%での安定燃焼を実証 6.水素/LPG、水素/石炭との良好な混焼特性を実証 | 1. ○ 2. ○ 3. ◎ 4. ○ 5. ○ 6. ○ | 3.水素を高圧供給することで低 NOx 化を実証。 ・各低 NOx 手法単独で 30ppm 以下、組合せることで 10ppm 以下を実証。 ・矩形型バーナ単独で 30ppm 以下を実証。 (今後の課題) ・産業用ボイラへの早期適用 ・本燃焼技術の工業炉等への適用拡大 |
| 水素 焚きダクトバーナの開発 | 1.最大供給圧力 900kPaG 2.排ガス酸素濃度 10%以下 3.TDR(*2) ≤ 1/10 4.NO x 低減 | 1.900 k PaG での安定燃焼を実証 2.排ガス酸素濃度 7.2%での安定燃焼を実証 3.TDR : 1/350 実証 4.ダクトバーナ内での NOx 還元機構実証 | 1. ○ 2. ○ 3. ◎ 4. ◎ | 3.従来型ノズルのプロパンでの TDR は 1/10 に対し、本事業発明ノズルでは 1/20 を実証。 さらに水素では 1/350 を実証 4.これまで、ダクトバーナ内での NOx 還元は未知であった。今回 NOx 還元現象を実証した。 (今後の課題) 排熱回収ボイラへの早期適用 |

| | | | | |
|------|----------------------------|---|------|--|
| 燃焼解析 | 1. 水素の高圧供給による低NOx化のメカニズム解明 | 1.メカニズム解明済 高圧化により噴射半径方向の水素濃度拡散し中心軸近傍の濃度低減 →中心軸近傍の火炎温度減 →NOx低減 | 1. ◎ | 1.水素高圧化の目的は配管小径化等設備コスト低減であった。高圧化による新たなメリットとして低NOx化を明確化した。 |
| | 2. 矩形型バーナ単独で低NOx化するメカニズム解明 | 2.メカニズム解明済 矩形型バーナは1次空気と2次空気の投入位置が離れており、その空間に燃焼排ガスが導入される →排ガスの導入で酸素濃度の低減による緩慢燃焼を促進 →NOx低減 | 2. ◎ | 2.バーナ単独でNOx60ppm以下を達成するのは極めて困難であった。自己排ガス再循環効果により、低NOx燃焼可能とした成果は大きい。 (今後の課題) ダクトバーナのスケールアップ時の性能評価 |

(* 1) I1 : 燃焼振動を評価する共鳴周波数

(* 2) TDR (Turn Down Ratio) : バーナの最大負荷と最低負荷の比率

達成度は、『◎ : 大いに上回って達成 ○ : 達成 △ : 一部未達 × : 未達』

(ロ) - (5) 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))

実施項目毎の成果と達成度

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|---------------------------------------|---|--|-----|----------------|
| ①-1 既存の天然ガス燃焼単筒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 | 水素燃焼における異常燃焼等の発生条件を把握 | ○ | |
| ①-2 排ガス再循環(EGR)等による燃焼速度低減手段の効果確認試験 | 大出力エンジンにおける EGR 等による燃焼速度低減効果を確認し、水素燃焼単筒機の要目・仕様を選定 | 筒内異常燃焼を回避し、平均有効圧力(エンジン出力)向上に寄与する下記成果を獲得 ・EGR による燃焼速度低減(異常燃焼抑制)効果を確認 ・異常燃焼抑制に効果のあるパラメータ(エンジン仕様・制御)を把握 | ○ | |
| ①-3 試験による水素燃焼の最適化検討 | 平均有効圧: 1.6MPa の実現目途付け | エンジン仕様変更、制御パラメータの最適化を組み合わせ、平均有効圧: 1.85MPa を達成(短時間確認) | ◎ | 目標を上回る平均有効圧を達成 |
| 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し、部材を選定 | 低ひずみ引張試験結果および当社の材料研究の知見を用いて、候補部材の水素混合環境下での使用可否を判定し、適用する部材を選定 | ○ | |
| 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 | 水素燃焼エンジンの仕様を検討・選定するための数値解析手法を確立 | ○ | |
| ②-3 水素燃焼単筒機的设计 | 事業①、②-1,2で得た成果を制約なく実証できるエンジンを設計 | エンジン内部で水素滞留の可能性の高い箇所(クランクケースなど)の換気・爆発対策を施したエンジンを設計。また、水素燃焼エンジンに最 | ○ | |

| | | | | |
|-------------------------------|--|--|---|--|
| | | 適な燃焼室（シリンダヘッド、ピストンなど）を設計。 | | |
| ②-4 水素燃焼単筒試験設備の整備 | 水素燃焼試験を効率的に実施できる試験設備を整備 | 開発項目③にて実施したリスクアセスメントの成果を反映した水素燃焼単筒試験設備（エンジン・周辺設備）を設計・整備完了 | ○ | |
| ②-5 試験による水素燃焼の最適化 | 水素を利用した A. 既存単筒機での取得データと B. 水素燃焼単筒機での取得データの 両者を分析し、水素燃焼最適化の 目途を得る | ・本設備の特徴である長時間の水素供給能力を活かし、天然ガス・水素混焼条件にて約4時間の連続運転における燃焼安定性評価を実施した結果、安定した燃焼状態を維持できることを確認 ・既存単筒機とのデータ比較により、水素燃焼単筒試験設備の燃焼は正常であることを確認 | ○ | |
| ③-1 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出 | 水素利用を想定して、単筒エンジン本体だけでなく試験設備全体のリスク要因抽出を実施する事で、試験設備の要求仕様の明確化 | 水素利用を想定したリスクアセスメントによって以下の要求仕様を決定し、基本設計完了 ・エンジン本体を含むハードウェアに実装すべき安全装置の要求仕様を決定 ・防爆エリア設定などの運用システムとして安全を担保するための要求仕様を決定 | ○ | |
| ③-2 水素燃焼エンジン運用システムの構築および評価 | ・水素燃焼エンジンの事業化を見据え、天然ガス燃焼エンジンと同様のリスクレベルにて運用可能な制御システムの確立 ・抽出したリスクへの対策を機器・制御に織り込んだ設備・制御システムの構築 | ・③-1で決定した要求仕様に加え、天然ガスエンジン同等のリスクレベルで運用可能なシステムの確立を目標としたリスクアセスメントを実施し、新たに潜在リスクを抽出し、その安全対策を立案 ・要求仕様及び潜在リスクへの安全対策を設備内の安全設備・制御システムに反映して実装 | ○ | |

達成度は、『◎：大いに上回って達成 ○：達成 △：一部未達 ×：未達』

(ロ) - (6) 液化水素冷熱の利用を可能とする中間媒体式液化水蒸気気化器の開発

(株)神戸製鋼所

実施項目毎の成果と達成度

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|--------------------|---|--|-----|----------------------|
| 実証気化器の設計・製作 | 1,200Nm ³ /h の気化量を有する中間媒体式気化器 (IFV) の設計・製作および試験設備の建設 | 高圧ガス保安法に基づき設計・製作した IFV および液化水素貯槽他、試験に必要な設備を完成させた。 | ○ | |
| 気化性能の確認 | 連続運転でも出口気化ガス温度が低下することなく安定的に液化水素を気化できる | 1 時間以上の連続運転において出口気化ガス温度が低下することなく安定的に気化できることを確認した。 | ○ | 今後、臨界圧以上の運転圧力での検証が課題 |
| 中間媒体 (プロパン) の挙動確認 | 液化水素が伝熱管内を流れても、管外の中間媒体 (プロパン) が氷結しない | サイトグラスからの目視確認および出口ガス温度の確認により、中間媒体 (プロパン) が氷結しないことを確認した。 | ○ | |
| 冷熱利用の可能性確認 | 冷熱利用に向けて安定した冷熱が取り出せる | 入口温度に対して 10℃以上低下した冷水を 1 時間以上連続して取り出せることを確認した。 | ○ | |
| 応力解析結果と実際の発生応力との比較 | 熱応力解析の結果と実運転における応力歪を実測・比較し、解析による寿命評価精度の向上を図る | 解析結果は概ね実温度分布をトレースできており、応力も概ね実測に合った解析になっていることを確認した。ただし一部では実測値と乖離している部分もあり、原因調査して解析精度向上を目指す。 | ○ | |
| 中規模水素利用用気化器の試設計 | 中規模水素利用用の水素発電向け中間媒体式気化器の試設計を行う | 30,000Nm ³ /h の中間媒体式気化器の試設計を行い、従来の LNG 気化器実績範囲内サイズであること確認した | ○ | |

達成度は、『◎：大いに上回って達成 ○：達成 △：一部未達 ×：未達』

3. マネジメント

3.1 実施体制

(1) NEDO が実施する意義

2030年に向けた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、以下の観点から NEDO が持つ知識、実績を活かして推進すべき事業である。

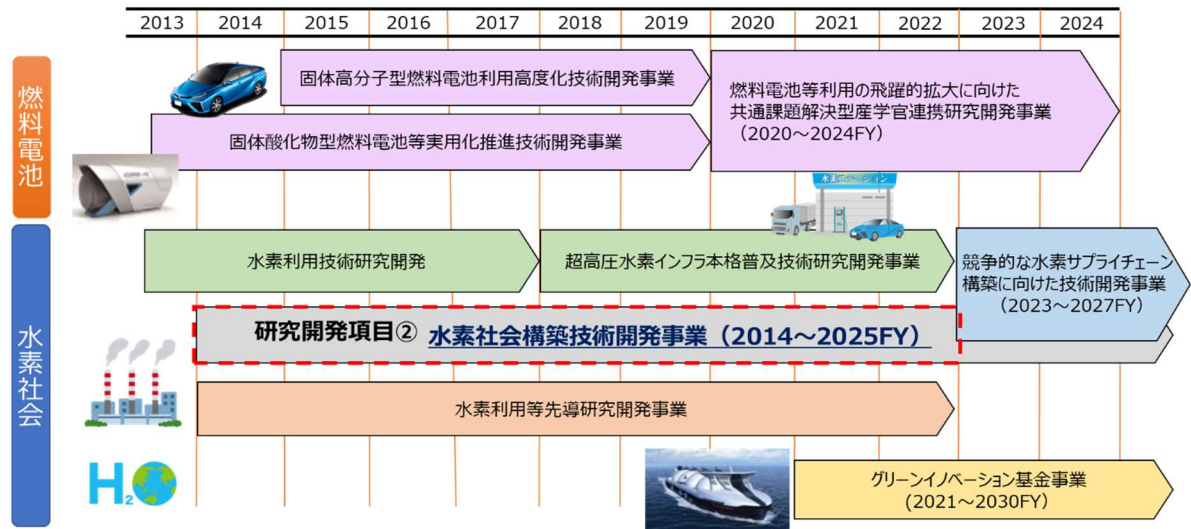
- ・ エネルギー政策上の重要度が高く、社会的必要性が大きい。
- ・ 日本の水素利活用産業の競争力強化、エネルギー・環境分野の国際協調に貢献し得る。
- ・ 水素サプライチェーン構築、水素エネルギー利用システム開発における各事業が連携することで効果的に開発を進めることが可能である。
- ・ 水素サプライチェーン・インフラ整備について、市場構築初期は市場範囲が限定的であることから、民間単独では開発リスクが大きい。

(2) 実施体制

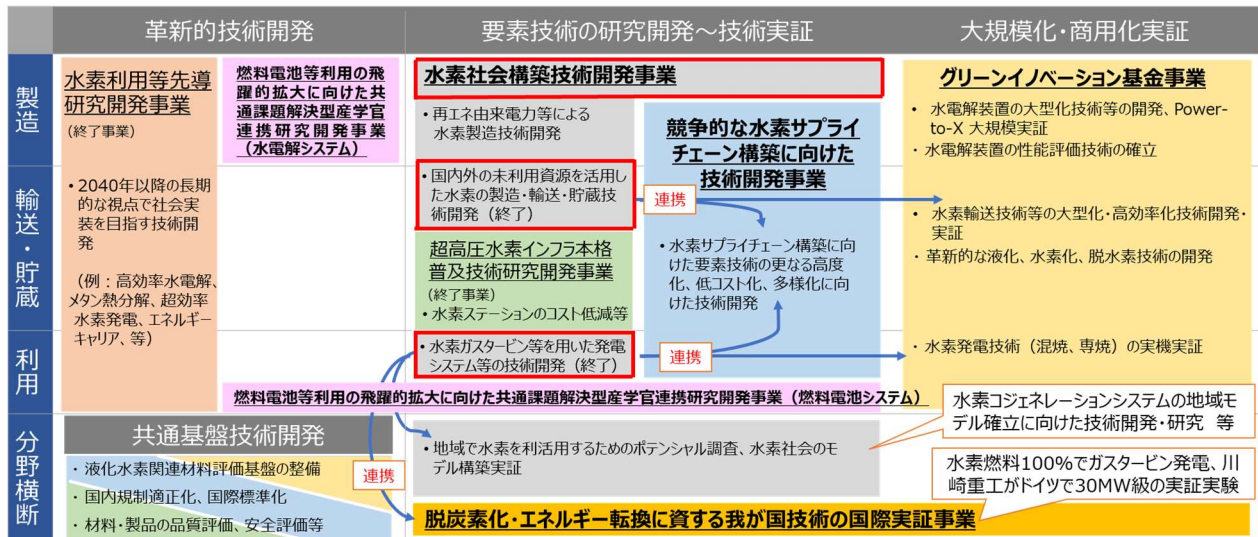
本事業のプロジェクトマネージャー（以下「PMgr」という）に、NEDO スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 大平英二 ストラテジーアーキテクト（燃料電池・水素分野担当）を任命し、プロジェクトの進行全体を企画・管理や、そのプロジェクトに求められる技術的成果及び政策的効果を最大化させた。本研究開発は、本邦の企業、研究組合、公益法人、大学等の研究開発機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。なお、国外企業等（大学、研究機関を含む）の特別な研究開発能力、研究施設等の活用又は国際標準獲得の観点から国外企業等との連携が必要な部分を国外企業等との連携により実施することができる。）から公募により実施者を選定して実施した。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した。

本事業の運営管理においては、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、適切に実施した。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た。

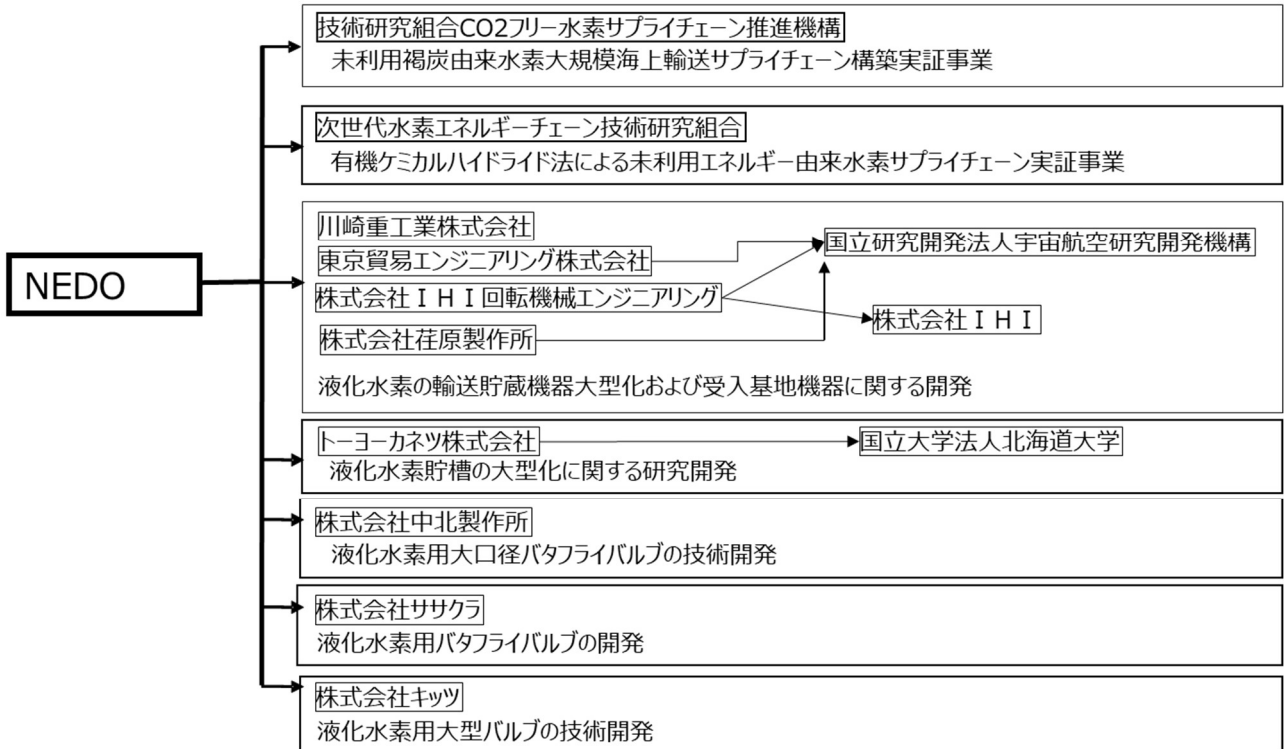
NEDO 他事業との関係 (1)



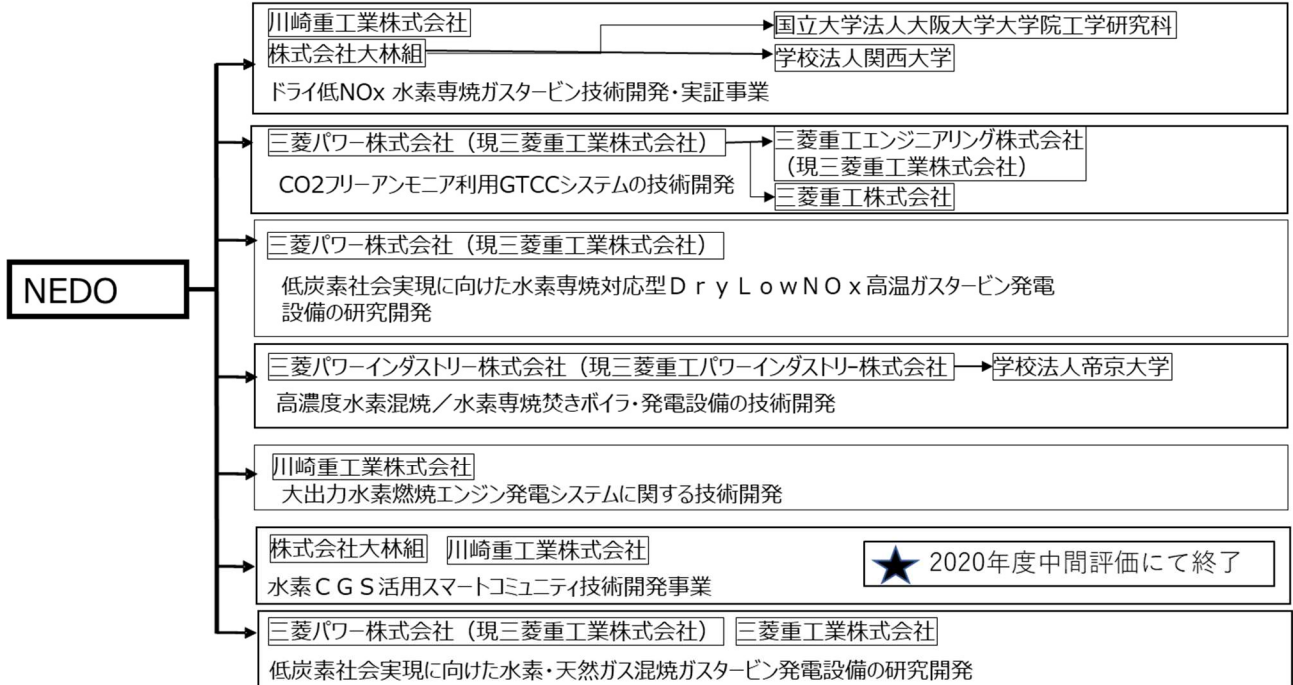
NEDO 他事業との関係 (2)



(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築 (7 事業)



(ロ) 水素エネルギー利用システム開発 (7 事業(内、1 事業は 2020 年中間評価にて終了))



(3) 個別事業の採択プロセス

公募後の採択審査委員会に際しては、以下を採択審査基準として実施した。

- ①【目標設定】：提案・申請内容が本事業の目的、目標に合致しているか。事業意義が明確か。
- ②【技術の新規性】：提案・申請された方法に新規性があり、技術的に優れているか。
- ③【研究計画の妥当性】：提案・申請内容および研究計画に妥当性はあるか。
- ④【計画遂行力】：提案・申請者は本事業を遂行するに足る能力を有するか。
- ⑤【提案の経済性】：提案・申請内容の経済性は優れているか。開発予算は妥当であるか
- ⑥【実用化・経済波及効果】：提案・申請内容における実用化の見込み、企業化計画に妥当性はあるか。また国民生活や経済社会への波及効果は期待できるか

また、各公募や採択数については下表の通り実施した。

公募実施時期と採択数

| | 公募予告 | 公募期間 | 採択数 |
|-------|-----------|-----------------------|-----|
| 第1回公募 | 2015/3/6 | 2015/4/6 ~ 2015/5/7 | 4 |
| 第2回公募 | 2019/1/21 | 2019/2/21 ~ 2019/3/22 | 1 |
| 第3回公募 | 2019/3/12 | 2019/4/12 ~ 2019/5/13 | 3 |
| 第4回公募 | 2020/2/12 | 2020/3/18 ~ 2020/4/17 | 6 |

3.2 予算及び受益者負担

本事業の各年度の予算実績は以下の通り。助成率については、技術の不確実性の高い事業は 2/3、より実用化に近い事業を 1/2 としている。

予算実績一覧

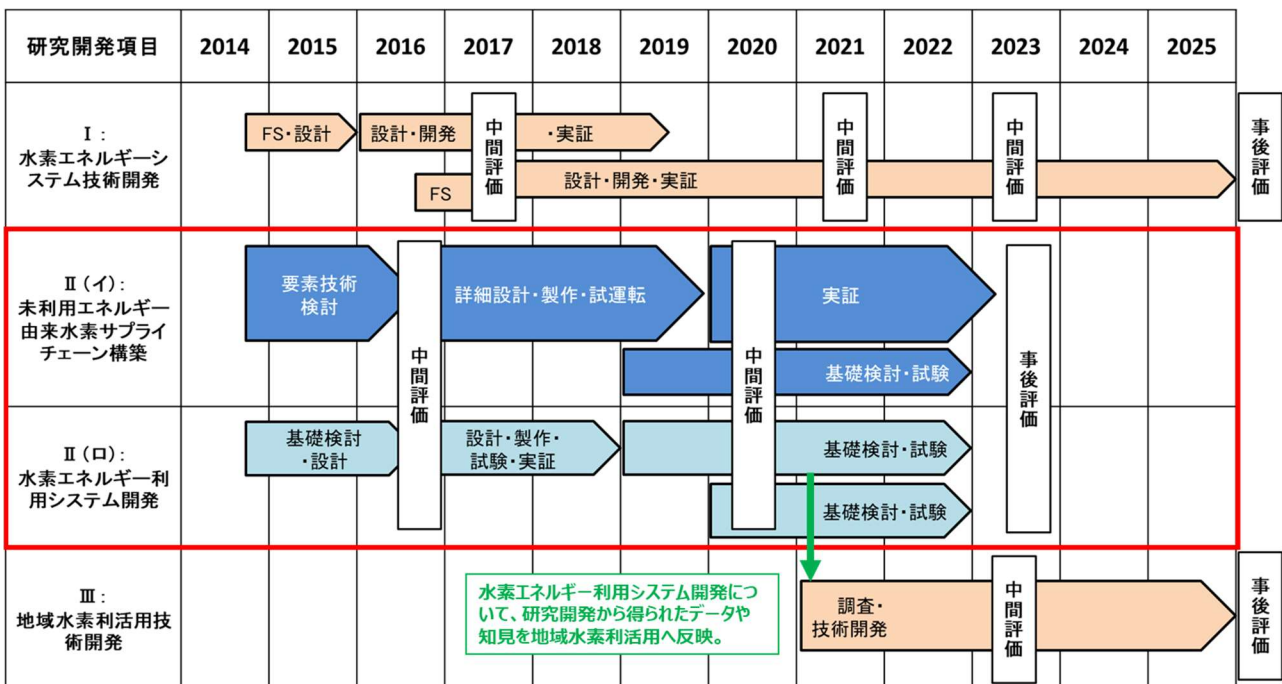
(百万円)

| 契約請求番号 | NEDO 負担率 | 2014 年度 | 2015 年度 | 2016 年度 | 2017 年度 | 2018 年度 | 2019 年度 | 2020 年度 | 2021 年度 | 2022 年度 | 2023 年度 | 総額 | |
|--------------------------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|--------|
| (イ)未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築 | (5事業) | 1/2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 190 | 795 | 917 | 675 | 0 | 2,578 | |
| | (2事業) | 2/3 | 0 | 114 | 1,222 | 3,894 | 4,541 | 5,814 | 3,038 | 1,840 | 1,868 | 625 | 22,956 |
| | (7事業) | 計 | 0 | 114 | 1,222 | 3,894 | 4,541 | 6,004 | 3,833 | 2,757 | 2,543 | 625 | 25,533 |
| (ロ)水素エネルギー利用システム開発 | (4事業) | 1/2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 177 | 471 | 2,012 | 0 | 2,660 | |
| | (3事業) | 2/3 | 0 | 2 | 100 | 1,081 | 79 | 143 | 430 | 0 | 0 | 1,835 | |
| | (7事業) | 計 | 0 | 2 | 100 | 1,081 | 79 | 143 | 607 | 471 | 2,012 | 0 | 4,495 |
| 研究開発項目Ⅱ (14事業) 「大規模水素エネルギー利用技術開発」 | 計 | 0 | 115 | 1,322 | 4,976 | 4,619 | 6,147 | 4,441 | 3,228 | 4,555 | 625 | 30,028 | |

3.3 研究開発計画

3.3.1 研究開発スケジュール

本事業の研究開発スケジュールは以下の通り。



3. 3. 2 進捗管理

(1) 中間評価結果への対応

2020 年度の中間評価における指摘事項への対応状況は以下のとおり。

「研究開発マネジメント」の指摘事項

【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。」

→外部有識者によるレビューや日々の進捗確認を通じて、個別テーマの目標値及びその達成度について PM が俯瞰的に検討・見直しを行った。具体的には、個別の進捗を見つつ、ローディングアーム、液化水素のバルブ等について、将来求められるよりハイレベルな定量的目標を設定し、実行した。

「研究開発成果」の指摘事項

【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。」

→外部有識者によるレビューや日々の進捗確認を通じて、前倒し可能な取組があれば実施計画の見直しを検討した。また、グリーンイノベーション基金事業（大規模水素サプライチェーンの構築）を開始させることによって、さらなる大型化・商用化に向けた加速的な取組みを行った。

「成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し」の指摘事項

【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、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。

→外部有識者によるレビューや日々の進捗確認を通じて、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した。2021 年度より、グリーンイノベーション基金事業が開始されたことにより、個々の研究開発成果が、どのように統合されシステムになり、大型化・商用化につながるのかということについて実プロジェクトを通じてシナリオを示すことができた。さらには、国内だけではなく技術の海外展開のため、海外実証に向けた FS 調査を別事業と連携する形で実施し、先行する海外市場での検討を通じて、実用化への道筋を明らかにした。

【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。

→NEDO が主催する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を広く情報発信した。

4. 目標及び達成状況の詳細

概要

4-1-1 「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／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)

●成果サマリ（実施期間：平成26年度～令和2年度）

- ・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1期の成果を踏まえ第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、各種データを取得し、商用化への準備が出来た。

●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した。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した。

●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。 | 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 | 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。 | ○ |
| 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 | 第1期の成果を踏まえ、実機を建設、運用し商用化への準備が出来た | ○ |

●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、実用化・事業化の見通しでも記載したコスト低減を目指す。

●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、社会に対する課題提起を関係者とともに継続的に行っていききたい

| 特許出願 | 論文発表 | 外部発表 | 受賞等 |
|------|------|------|-----|
| 0 | 0 | 138 | 0 |

4-1-2 「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 ／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～2023年度終了）

- 世界初となる液化水素運搬船“すいそ ふろんていあ”を建造し、船籍、船級を取得できたとともに、世界初となる液化水素用ローディングアームシステム（フレキシブルホース型及び鋼管型）を設置した神戸液化水素荷役実証ターミナル“Hy touch神戸”を建設した。また、世界初となる褐炭ガス化設備を豪州に建設した。
- これらの設備を使用し液化水素を陸船間で荷役するとともに、2回の日豪航行試験を実施した。特に、1回目の航行試験では、褐炭由来水素を含む豪州産液化水素の輸送実証に成功し、サプライチェーンが構築できることを実証した。また、神戸へ輸送した液化水素を近隣水素利用施設である“神戸コージェネレーションシステムプラント”に供給し、問題無く発電試験ができることを確認した。

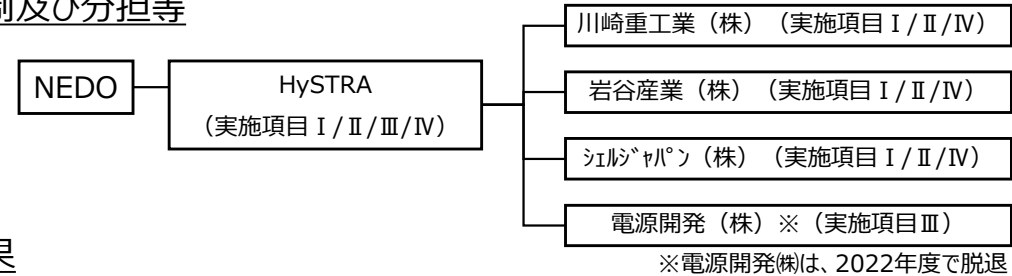
●背景/研究内容・目的

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・液化水素海上輸送・水素の発電利用）の実現を見通すために、豪州での褐炭ガス化/水素製造、液化水素の長距離大量海上輸送及び液化水素の船陸間荷役及び貯蔵に関するそれぞれの技術を開発し、サプライチェーンが構築できることを確認する。

●研究目標

| 実施項目 | 目標 |
|----------------------|--|
| I. 液化水素の長距離大量輸送技術の開発 | <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 |
| 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 ローディングアーム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. ガス化技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> 褐炭ガス化設備の開発 商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得 |
| IV. 液化水素利活用技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> 豪州から輸送した褐炭由来を含む液化水素に関して、近隣水素設備への供給・利用の実証 |

●実施体制及び分担等



●研究成果

| 実施項目 | 成果概要 |
|---------------------|--|
| I：液化水素の長距離大量輸送技術の開発 | 輸送用タンクシステムを搭載した世界初の液化水素運搬船“すいそ ふろんていあ”を建造し、船籍及び船級を取得した。その後、二回の日豪間航行及び神戸液化水素荷役実証ターミナル（Hy touch神戸）での複数回の船陸間荷役作業を通じ、輸送タンクを含む関連機器が健全に機能することを確認した。また、荷役作業の最適化に向けた落圧データ・操作の確認、非常時を想定した代替揚荷手法の確立、輸送用タンク安全装置の長時間の運転確認を通じ、液化水素運搬船の高い信頼性、安全性を実証した。さらに、G7及び中東に“すいそ ふろんていあ”を派遣し、日本の液化水素関連技術を広く世界に発信した。 |
| II：液化水素荷役技術の開発 | 世界初の液化水素用フレキシブルホース型及び鋼管型ローディングアームシステムにて液化水素運搬船と揺動環境下で問題なく接続でき、健全に荷役作業が可能であることを実証した。 |
| III：褐炭ガス化技術の開発 | 6種類の豪州褐炭及び3種類のバイオマスと豪州褐炭との混合原料のガス化特性の取得及び水素製造の実証に成功した。また得られたガス化特性データからシミュレーションモデルを構築し、大型商用機設計に向けたプロセス計算が可能となった。 |
| IV：液化水素利活用技術の開発 | 液化水素の利活用として近隣施設である神戸コージェネレーションシステムプラント（神戸CGS）へ液化水素をHy touch神戸からコンテナで移送し、無事に供給及び発電試験が実施できることを確認した。また、他のNEDO助成事業との連携実証を無事に完遂した。 |

4-1-2 「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 ／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)

●今後の課題

【実施項目Ⅰ及びⅡ】

IGCコード改正を目指した更なる航行・荷役試験を実施し、各種データの取得を継続して実施する。

【実施項目Ⅲ及びⅣ】

特になし

●実用化・事業化の見通し

液化水素運搬船及び液化水素荷役ターミナルに対する規格・基準類の整備に取り組む。

●研究成果まとめ

| 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 | <ul style="list-style-type: none"> 世界初の液化水素輸送用タンクシステムを搭載した水素運搬船“すいそ ふうんていあ”を建造し、船籍及び船級の取得に成功した。 合計2回の日豪間航行試験を実施し、輸送用タンクシステムの構造健全性及び目標値以下のBORであることを確認した。 G7関連行事及び首相外遊に合わせた中東地域に“すいそ ふうんていあ”を派遣し、各国の要人に液化水素関連技術の開発状況と実現性を発信した。 | ○ |
| II：液化水素荷役技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> 世界初の液化水素用フレキシブルホース型及び鋼管型ローディングアームシステムを用いた荷役技術を開発した。 基地に建設した液化水素貯蔵タンクについて目標値以下のBORであることを確認した。 | ○ |
| III：褐炭ガス化技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> 豪州にて世界初の褐炭用ガス化設備を建設し、純度99.999%の液化水素の製造に成功した。また、試験データを使用しシミュレーションモデルを開発した。 | ○ |
| IV：液化水素利活用技術の開発 | <ul style="list-style-type: none"> Hy touch神戸から液化水素を神戸CGSへコンテナにて輸送し、約3時間の100%水素発電実証を問題無く実施した。 | ○ |

| 特許出願 | 論文発表 | 外部発表 | 受賞等 |
|------|------|------|-----|
| 34 | 9 | 371 | 4 |

4-1-3 「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

●成果サリ（実施期間：2019年7月～2023年3月）

- ・商用5万m³クラスの大型貯蔵容器で断熱性能0.26%/日を達成する断熱構造を確立した。
- ・蒸発率が0.4%/日となる4万m³級の海上輸送用液化水素タンクの基本構造、設計技術などを確立した。

●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。

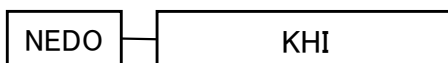
<研究内容・目的>

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、目標断熱性能を満足する基本構造を確立する。

●研究目標

| 実施項目 | 目標 |
|----------------------|---|
| A)大型貯蔵容器 | a) 断熱構造の確立 b) 材料適用可能性の目途づけ |
| B) 海上輸送用大型液化水素タンクの開発 | a) 断熱システムの基本仕様の確定 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) 試験タンク製作によるタンク及び断熱構造の製作性・施工性確認/低温性能試験による設計データを取得 |

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

A)大型貯蔵容器

- a)断熱性能を評価し、断熱構造を選定済み
- b)構造材料の極低温、水素ガス雰囲気での材料特性データを取得済み

B)海上輸送用大型液化水素タンクの開発

- a)断熱方式／構造を選定し、基本仕様選定
- b)タンク構造の基本構造／支持構造を選定し、強度評価を完了
- c)タンク材料を選定し、材料特性データ取得済み
- d)配管との接続方法を選定し、強度特性データ取得済み
- e) 試験タンク製作によるタンク及び断熱構造の製作性・施工性を確認。低温性能試験を実施し設計データを取得済み

●今後の課題

なし

●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 | a) 断熱構造の確立 | ○ |
| | b) 材料適用可能性の目途づけ | ○ |
| B)海上輸送用大型液化水素タンク | a) 断熱システムの基本仕様の確定 | ○ |
| | 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) 試験タンク製作によるタンク及び断熱構造の製作性・施工性確認/低温性能試験による設計データを取得 | ○ |

| 特許出願 | 論文発表 | 外部発表 | 受賞等 |
|------|------|------|-----|
| 68 | 1 | 18 | 0 |

4-1-3 「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：
TBグローバルテクノロジーズ株式会社

●成果サリ（実施期間：2019年7月～2023年3月）

- ・大口径緊急離脱機構の開発：切離時の外部流出量は目標値を達成した。試作機の試験で課題は残ったが、今後の製品開発に大きな成果を得た。
- ・大口径船陸継手の開発：重量については目標値を達成し、試作機の試験にも合格し製品化の目途が立った。

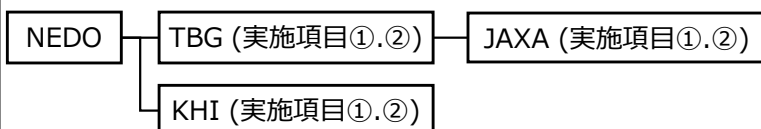
●背景/研究内容・目的

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、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 |
|------------|---|
| ①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、並びに所定の試験合格 |
| ②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、並びに所定の試験合格 |

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

①大口径緊急離脱機構

- ・切離時の外部流出量は、アーム側弁体と船側弁体が切離前にCLOSEする構造にした為、5ℓとなり目標値を達成した。
- ・低温切離試験では、切離は設計時間内に正常に動作して、切離性能が確認された。
- ・低温強度試験において、切離面からリークが発生し、今後改造を検討する。

②大口径船陸継手

- ・重量は500Kg以下となり、目標を達成した。
- ・試作機を製作して試験を実施した。
- ・低温強度テストにおいて、1次シール及び2次シールからのリークはなく、合格した。

●今後の課題

- ①大口径緊急離脱機構：クランプ能力向上（対策実施の上で切離し性能とシール性能は検証が必要）
- ②大口径船陸継手：製品化に向けた機能向上（プロテクター設置, ストレーナー取付）

●実用化・事業化の見通し

本開発により、大型液化水素用ローディングアームのコアパーツの製品化の目途が立ち、大型液化水素用ローディングアームの製品化が促進された。

| 特許出願 | 論文発表 | 外部発表 | 受賞等 |
|------|------|------|-----|
| 2 | 0 | 0 | 0 |

●研究成果まとめ

| 実施項目 | 成果内容 | 自己評価 |
|------------|--|------|
| ①大口径緊急離脱機構 | 理論外部流出量は目標値以下の5ℓ程度となった。試作機を製作してテストしたが、低温強度試験でリークがあった為改善が必要となり今後検討する。低温切離し試験では、正常な切離しが行われ切離し性能が確認された。製品化に向けては課題が残ったが、今回の試験を通じて技術的価値の高い内容が得られ、今後の製品開発に大きな成果となった。 | △ |
| ②大口径船陸継手 | 重量は目標値の1ton以下に対し、500Kg程度になり目標を達成した。試作機を製作してテストを行い合格し製品化への目途がついた。 | ○ |

4-1-3 「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

●成果サリ（実施期間：2019年7月～2023年3月）

- ・液空生成に対し安全性を確保する構造の開発において、試作機の実ガス運転にて圧縮機外表面に液空発生はなく、伝熱解析結果以上の表面温度であることを確認した。
- ・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において、試作機の実ガス運転にてシールガスの液化がないことを確認し、また、商用の摺動部材の目途を付けた。
- ・商用機的设计技術および性能評価技術の開発において、吸入ガス温度をパラメータとして有効データを取得、1D CAEにフィードバックし、精度ある性能予測技術を確立した。

●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。

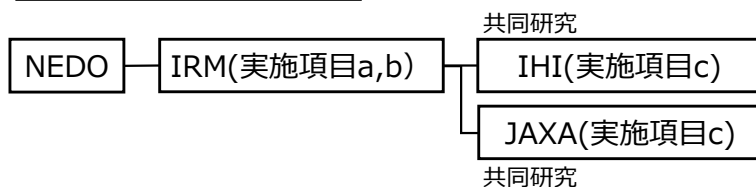
◎研究内容・目的

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確立する |
| 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確立し、商用の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 | 低温水素ガス温度域にて有効データを取得し、1D CAEを用いた商用機の吐出温度・性能予測技術を確立する |

●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。
 - ・試作機の実ガス運転にて、上記解析の妥当性および圧縮機の健全性を実証した。
- 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・断熱材の追加により、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にて摺動部材の摩耗試験を実施し、候補材料を選定し、構造・構成を決定した。
 - ・試作機の実ガス運転にて、上記解析の妥当性を実証し、また、商用の摺動部材の目途を付けた。
- 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を構築、流量計型式変更により計測精度を向上した。
 - ・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。
 - ・2022FYにシリンダを早期に冷却する改善策と内部漏れ低減の改良を実施した上で、各吸入ガス温度における流量と吐出温度の有効データを取得、1D CAEにフィードバックし、精度ある解析手法を確立した。

●今後の課題

- ・商用大型化に伴う高荷重化に対する解析による健全性確認
- ・組立性・メンテナンス性向上を図る真空容器構造の改良
- ・商用化実証における摺動部材の長時間運転による寿命の確認
- ・大型商用機の性能予測と運転データ蓄積による性能予測精度の更なる向上

●実用化・事業化の見通し

2020年代半ばからの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、国内外問わず、低温水素ガス圧縮機を実用化・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) | ・低温水素ガスを用いた試作機の実ガス試験にて圧縮機外表面に液空が発生することなく、振動は10μm程度で損傷ないことを確認した | ○ |
| b) | ・試作機の実ガス試験にて中間筒内に液化がないこと、各摺動部材の異常摩耗がないことを確認し、商用の摺動部材の目途を付けた | ○ |
| c) | 試作機の実ガス運転にて各吸入ガス温度における流量と吐出温度の有効データを取得、1D CAEにフィードバックし、精度ある解析手法を確立した | ○ |

| 特許出願 | 論文発表 | 外部発表 | 受賞等 |
|------|------|------|-----|
| 0 | 0 | 0 | 0 |

4-1-3 「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

●成果サマリ（実施期間：2019年度～2022年度終了）

- ・液化水素昇圧ポンプ用軸スラストバランス機構の設計を実施し、実液試験にて機能することを確認。
- ・材料試験にて選定した液化水素昇圧ポンプ用材料を用いたポンプの構造健全性を確認。
- ・小型試作機を用いた液化水素運転試験によりポンプ性能/機能の評価・分析が完了。
- ・上記より、液化水素昇圧ポンプの設計技術を確立。

●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。

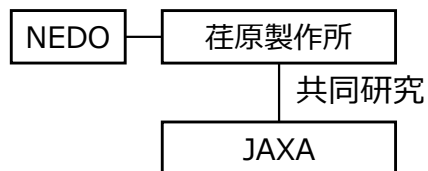
<研究内容・目的>

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 | 軸スラストバランス機構の確立 |
| ポンプ材料の選定 | ポンプ材料の確立 |
| ポンプ性能/機能の評価・分析 | 液化水素昇圧ポンプ設計技術の確立 |

●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

- ・上記のバランス機構、材料を反映した小型試作機を製作。
- ・小型試作機の小型試作機を用いた液化水素運転試験を行い、ポンプの性能/機能の評価。⇒所定の性能（揚程、動力等）、機能(バランス機構、材料健全性)を満足することを確認した。
- ・上記結果より液化水素昇圧ポンプの設計技術を確立した。

●今後の課題

- ・商用実証水素発電向けポンプの設計/製作及び実証運転
- ・商用水素発電向けポンプの具体的仕様検討及び設計。

●研究成果まとめ

◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

| 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 | 軸スラストバランス機構が機能することを計算及び試験で確認 | ○ |
| ポンプ材料の選定 | ポンプ材料及び構造設計の健全性を試験で確認 | ○ |
| ポンプ性能/機能の評価・分析 | 小型試作機による液化水素を用いた運転試験を行い、設計の妥当性を確認し、設計技術を確立 | ○ |

●実用化・事業化の見通し

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。

| 特許出願 | 論文発表 | 外部発表 | 受賞等 |
|------|------|------|-----|
| 2 | 0 | 12 | 0 |

4-1-4 「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

●成果サマリ（実施期間：2019年7月～2023年3月終了）

- ・大型貯槽に適用可能な真空排気システムを考案するとともに、実験により所要真空度に到達することを実証した。
- ・実測値と解析値とを比較・分析することにより、底部断熱構造の精度良い伝熱解析手法を確立した。
- ・破壊靱性、水素脆化、繰返し荷重に関する試験を行い、当社が設計するSUS316Lの溶接継手が十分安全であることを確認した。

●背景/研究内容・目的

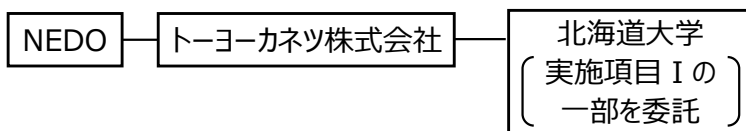
2030年頃の水素発電の商用化に向けた、安定的かつ大量の水素供給体制の構築に資する、大型液化水素貯槽の建設に必要な要素技術の開発を行う。

本事業着手以前は、平底円筒型の大規模貯槽の真空断熱構造を東京工業大学と開発した。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 | 大型貯槽に適用可能な真空排気システムを確立する。 |
| Ⅱ：内槽底部への入熱量算定手法の確立 | 底部構造の精度良い伝熱解析手法を確立する。 |
| Ⅲ：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立 | 液化水素貯槽の使用環境下でも安全なSUS316Lの継手となる溶接施工法を確立する。 |

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

Ⅰ：真空排気システムの確立

①大型液化水素貯槽に適用可能な真空排気方法として、まず、第1段階として真空ポンプで所要の真空度になるまで排気した後、第2段階の液化窒素等、第3段階の液化水素による内槽の冷却過程において、ポンプによる排気を継続しながら、内槽外側の冷却面にガスを固体化させることで、断熱層内のガス量を減少させて、所要の真空度を達成する手法を開発した。

②第1段階の真空ポンプによる効率的な排気を実現するためには、底部断熱構造を形成するブロック（以下、真空断熱ブロック）側面に排気用孔を設ける必要があり、その必要孔径を決定するため、孔径に応じた底部全体の真空度分布を計算するシミュレーションソフトを開発した。また、実物大の1/3スケールの真空断熱ブロック試験体の集合体の排気実験を行い、シミュレーションソフトが実際の真空度分布を計算できていることを確認した。

③第2、第3段階の内槽の冷却過程により、所要の真空度になることを確認するため、実物大の真空断熱ブロックの試験体を用いた冷凍真空装置を製作し、冷却面に真空断熱ブロック内のガスを固体化させることで、ブロック内の真空度が目標値以下に到達することを確認した。

④真空断熱ブロックが、貯蔵される液化水素の重量荷重に耐えられる強度を有することを確認するため、実物大真空断熱ブロック試験体を複数作製し、鉛直方向の強度確認試験を行い、十分な強度を有することを確認した。

Ⅱ：内槽底部への入熱量算定手法の確立

内槽底部への入熱量を算定する熱解析の精度向上を図るため、実物大の1/3スケールの真空断熱ブロック試験体の集合体の断熱性能を実測し、得られた実測データと解析値とを比較分析し、モデル化手法や断熱材の熱定数を決定した。

Ⅲ：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立

破壊靱性試験（JIC試験）、水素脆化度の確認試験（SSRT試験）、疲労試験、疲労き裂進展試験を実施し、当社が設計するSUS316L溶接継手が十分安全であることを確認した。

●今後の課題

・これまでに確立した要素技術をシステム化したベンチスケールタンクにより、性能確認のための実証実験を行い、将来の実機建設に向けた技術的実証と技術課題の抽出を行う。

●実用化・事業化の見通し

・2030年頃からの水素発電の本格的な導入が実現すれば、サプライチェーン構築に必須の製品であることから、事業拡大が期待できる。

●研究成果まとめ

| 実施項目 | 成果内容 | 自己評価 |
|------|--|------|
| Ⅰ | 大型貯槽に適用可能な真空排気システムを考案するとともに、実験により所要真空度に到達することを実証した。 | ○ |
| Ⅱ | 実測値と解析値とを比較・分析することにより、底部構造の精度良い伝熱解析手法を確立した。 | ○ |
| Ⅲ | 破壊靱性、水素脆化、繰返し荷重に関する試験を行い、当社が設計するSUS316Lの溶接継手が十分安全であることを確認した。 | ○ |

| 特許出願 | 論文発表 | 学会発表・講演 | 新聞・雑誌への掲載 |
|------|------|---------|-----------|
| 1 | 1 | 1 | 1 |

4-1-5 「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

●成果概要（実施期間：2020年7月～2023年3月）

- ・液化水素用大口径バタフライバルブの実機試作品を2サイズ(300A, 800A)製作し、-253℃の液体水素を用いた実液試験を実施
- ・シール性能においては、正圧(1次側)は目標値を達成、逆圧(2次側)は800Aにおいて改良の余地を残した
- ・真空断熱性能は、メンテナンス性を考慮した構造で目標値を達成

●背景/研究内容・目的

◎背景

水素社会の実装に際し、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り、今後の受入基地や運搬船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

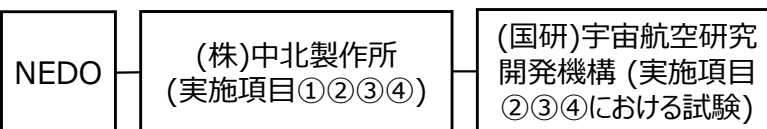
-253℃の液体水素を封止するための「シール性能」と、メンテナンス性を考慮した構造で液体酸素の生成を防止する「真空断熱性能」の確立が開発課題である。

これら2点の開発課題を達成することで、極低温の液体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受入基地や運搬船の貯蔵・運搬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 | 顧客ニーズ並びに関連法規の適用範囲を把握し、原理設計・実機設計に展開する |
| ②：原理開発 | 複数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・解析手法を確立する |
| ③：実機開発 | バルブ実機における実液試験にて各目標値を達成し、300Aサイズにおける液化水素用大口径バタフライバルブの技術を確立する |
| ④：大型化検証 | 実機開発で構築した「シール性能」と「真空断熱性能」を800Aサイズに展開し、実液試験での目標値を達成する |

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

①市場調査

液化水素キャリアにおけるサプライチェーン構築の大規模実証を進める事業者との協議により、受入基地や運搬船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・周期を把握。また、関連法規の適用範囲について、高圧ガス保安協会殿や日本海事協会殿にヒアリングを実施した。

②原理開発

解析に必要な低温物性データの収集を実施し、封止性能と耐久性能を兼ね備えたシール構造を設計検討し、解析を実施した。外部からの入熱を極力少なくした検証設備、並びに、シール性能を重点的に評価可能な原理試作品(300A)を製作し、JAXA能代ロケット実験場にてLH₂実液試験を実施。試験データと解析データを比較検証し、実機試作品を製作するための構造・解析手法を確立した。

③実機開発

「シール性能」と「真空断熱性能」が評価可能な実機試作品(300A)を製作し、JAXA能代ロケット実験場にてLH₂実液試験を実施。300Aサイズにおける液化水素用大口径バタフライバルブの技術を確立した。

④大型化検証

実機開発にて構築した「シール性能」と「真空断熱性能」を大規模実証で必要とされる最大サイズに展開し、大型試作品(800A)を製作。JAXA能代ロケット実験場にてLH₂実液試験を実施した。

シール性能においては正圧(1次側)は目標値を達成、逆圧(2次側)は改良の余地を残した。真空断熱性能は、300Aと同様にメンテナンス性を考慮した構造で目標値を達成した。

●研究成果まとめ

| 実施項目 | 成果内容 | 自己評価 |
|---------|-------------------------------------|------|
| ①：市場調査 | 顧客ニーズ、関連法規の適用範囲を把握。 | ○ |
| ②：原理開発 | 原理試作品(300A)で実液試験を実施。 | ○ |
| ③：実機開発 | 実機試作品(300A)で実液試験を実施。シール性及び真空断熱性を確認。 | ○ |
| ④：大型化検証 | 大型試作品(800A)で実液試験を実施。シール性能に課題が残った。 | △ |

●今後の課題

-253℃の液体水素を封止するシール性能については、正圧(1次側)に加え逆圧(2次側)も十分に封止できる構造のブラッシュアップが必要。

●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高まっている。本事業で構築した技術を他口径のバタフライバルブに展開することで、2025年以降の大容量貯蔵が可能な陸上受入基地や運搬船への供給が可能なラインナップ拡充を目指す。

| 特許出願 | 論文発表 | 外部発表 | 受賞等 |
|------|------|------|-----|
| 2 | 0 | 3 | 0 |

4-1-6 「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

●成果サリ（実施期間：2020年度～2022年度）

- ・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を行った。
- ・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し、性能が目標値内であることを確認した。

●背景/研究内容・目的

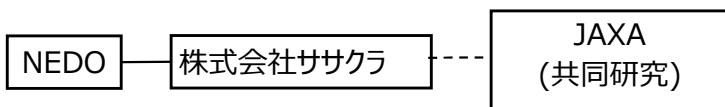
政府計画による2050年度に総エネルギー量の20%を水素とする水素社会実現に向けて、現在様々な分野で技術開発が進んでいるが、超低温流体への対応としてその大半はLNGの関連技術から発展させるものが多い。また基地においてはLNG同様に受入やタンク周辺のパイプラインには流量調整に適しているバルブとしてバタフライバルブが不可欠であるが、現在のところ水素用のバタフライバルブの技術開発は確立していない。

●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 | 流路外漏洩量：0cc/min 正流5cc/min/inch 逆流10cc/min/inch |
| ②液化水素として維持可能な構造 | 真空ジャケットの大型化 |
| ③水素の外部漏れに対する安全 | 流路外漏洩量：0cc/min |
| 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 | 正流5cc/min/inch 逆流10cc/min/inch (耐久試験：開閉500回) |

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

①バルブ大型化による性能確保

まず、LNG用途弁と同様に試作バルブを浸漬法（LN2）で漏洩確認を行い、漏洩量が目標内であったことが確認できた。続いて試作バルブにLN2を封入して漏洩確認を行い、これも漏洩量が目標内であったことが確認できた。

このことにより、試作バルブに液化水素を封入して行う試験に移行が可能となった。

②液化水素として維持可能な構造

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った。

③水素の外部漏れに対する安全

“①バルブ大型化による性能確保”において、グランド部からの水素ガスの漏洩確認を高感度可燃性ガス検知器を用いて確認を行った

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）検討を行い、コスト調査を行った。LNG用途弁を基準として約1.8倍のコストがかかった。

特にバルブ本体は鍛造材の削り出しをするため、予想以上に加工に時間を要した。

⑤試作バルブに液体水素を封入し漏洩量の確認を行い、目標内であったことが確認できた。

●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 | 20Bでの試作バルブ完了 LN2において性能が確保できていることを確認 | ○ |
| 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 | ○ |
| ③水素の外部漏れに対する安全 | グランド部の構造検討 | ○ |
| ④使用材料による加工とコスト | 2020年度に調達 | △ |
| ⑤液化水素条件下における性能確保 | ①の試作バルブによる、LH2での性能が確保できていることを確認 | ○ |

●実用化・事業化の見通し

2025年に販売開始予定

| 特許出願 | 論文発表 | 外部発表 | 受賞等 |
|------|------|------|-----|
| 2 | 0 | 0 | 0 |

4-1-7 「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

助成先：株式会社キッツ

●効果サマリ（実施期間：2020年7月～2023年3月）

- ・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）
- ・真空断熱ジャケットによる十分な断熱性能を持つ構造の検討
- ・中間口径、最大口径での試作弁設計、製作、性能評価試験の実施

●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】

中間口径の代表サイズでのプロトタイプ弁の試作を実施し、実流体を用いて性能評価を実施する。

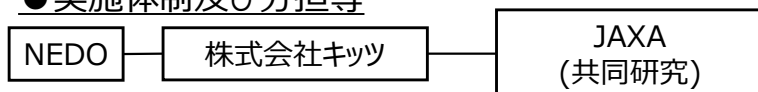
【2022年度】

実運用上、想定される最大口径サイズのプロトタイプ弁試作を実施し、実流体を用いて性能評価を実施する。

●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 |
| 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 |
| 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 |

●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 | ・熱解析による外部封止構造の検討 ・内部封止構造、使用可能樹脂の検討 ・部分試作品製作、性能評価を実施 | ・計算・解析等を用いて外部封止位置の決定、既存技術流用可能と判断。 ・解析により内部封止構造、使用樹脂材料の決定。 ・実温試験評価により、目標性能達成を確認。 |
| 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、部分施策による評価実施 ・鋳物化検討として、治具による真空試験を実施 | ・熱影響の少ない溶接工法を使用した部分試作評価を実施し、別体分割構造でも精密加工部分を損なわないことを確認。 ・鋼材、鋳物治具の真空試験を実施し、表面の違いによる性能差がわずかである確認。 |
| 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 ・解析による入熱計算から、弁保持方法を検討 | ・トップエントリー型を選定したが、組立・分解が可能であることを確認。 ・入熱解析より、真空断熱ジャケットの形状、弁保持構造、保持材料を決定。 |
| ⑤ 弁試作評価 | ・中間口径、最大口径の弁試作を実施 ・液化水素を用いた試験で性能評価を実施 | ・④で検討した組立・分解治具を用いて想定通りの組立ができた。 ・中間口径では、チャッキ弁は目標性能達成したが、ボール弁で性能未達であったため、分解調査より原因特定し、改良設計を実施。 ・上記改良設計をもとに、最大口径の弁試作を行い、ボール弁、チャッキ弁ともに目標性能を達成。 |

●今後の課題

- ・弁自動化の検討
- ・代表サイズの設計をもとに、サイズ展開設計を行い、フルラインナップを目指す
- ・鋳物使用を可能にし、コストダウンを行うことで市場性を上げる。
- ・社内での生産工程を確立させ、販売体制を整える。
- ・ジャケット形状、真空断熱性能など、客先要求に柔軟に対応するべく、現状設計のモディファイや、新たな弁種の検討を行う。

●実用化・事業化の見通し

- ・2025年大型商用実証プラントへ採用されるために、社内製造、販売体制の構築を行い、実証実現へ寄与する。
- ・実証プラント後は、商用実証プラントの建設が見込まれるため、社内事業の本格化、中枢事業として確立する。
- ・水素インフラ拡大の実現に向けてバルブメーカーとして貢献する。

●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 | 解析より、シール位置、材料決定 部分試作評価を実施 | ○ |
| ③ | 弁の製造方法の検討 | 別体分割構造を部分試作で評価 鋳物の真空性能評価を実施 | ○ |
| ④ | 真空断熱構造の検討 | 縮小モデルより組立分解方法を検討 入熱解析よりジャケット形状、弁保持構造、弁保持材料を決定 | ○ |
| ⑤ | 弁試作評価 | ボール弁、チャッキ弁での中間口径、最大口径の弁試作、評価を実施 | ○ |

| 特許出願 | 論文発表 | 外部発表 | 受賞等 |
|------|------|------|-----|
| 18 | 0 | 2 | 0 |

4-2-1 「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／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)、(株)大林組

●成果サリ（実施期間：2019年5月～2021年2月）

- ・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。
- ・事業目標である発電端効率27%以上（定格）と、一部の負荷領域においてNOx排出値35ppm以下を達成。
- ・冷熱利用について、熱交換器の基礎検討、蒸発器の着霜防止効果の定量評価、空気冷却器着霜発生条件の把握、冷熱利用の経済合理性の定量評価を完了。

●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。

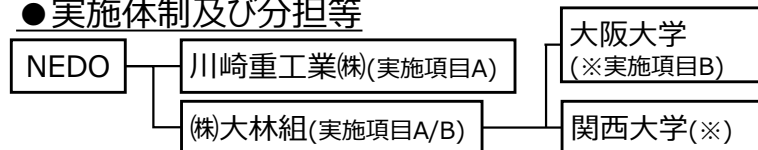
◎研究内容・目的

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 ④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 一部の負荷領域でNOx排出値35ppm（残存酸素濃度16%換算）以下を達成した。全負荷領域での達成に向けた課題抽出と課題解決のための方策の検討を完了した。
- 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 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、その解決策の検討を完了した。
- ② 冷熱利用による蒸発器の着霜防止効果の定量的な確認を完了した。
- 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条件の確認を完了した。
- ④ 冷熱利用によるガスタービンの発電出力向上効果の定量的な確認を完了した。

●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以下の達成と、混焼運転対応に向けた改良開発の実装が必要。

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 |
| 0 | 1 | 106 | 0 |

4-2-2 「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／CO2フリーアンモニア利用GTCCシステムの技術開発」

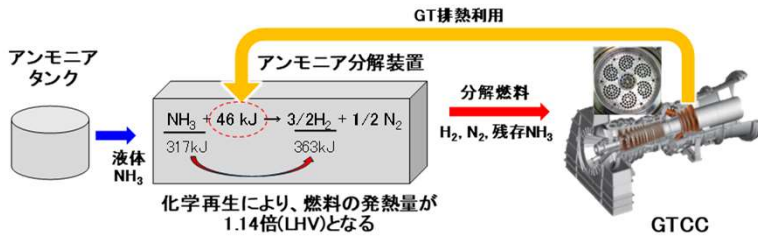
助成先：三菱パワー
委託先：三菱重工、三菱重工エンジニアリング

●成果サリ（実施期間：2019年8月～2021年2月）

- (1) NH3分解ガス混焼システム/専焼システムの構成、起動要領を検討するとともに、本システムの建設費を仮定した場合の発電コストを評価した。
- (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、2000時間の曝露試験によりNH3分解触媒表面の被毒物質等を分析した。
- (3) 天然ガスとNH3分解ガス模擬燃料の混焼(水素体積割合20%)条件で1650℃級燃焼器の単缶試験を実施し、燃焼振動やフラッシュバックが無いことを確認した。

●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。

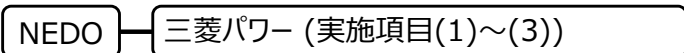


●研究目標

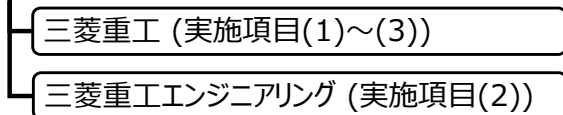
| 実施項目 | 目標 |
|----------------|--|
| (1) システム構成の検討 | 他のCO2フリーシステムと比較して経済的に優位(目標：17 円/kWh以下(2030年))で運用性に優れたシステム構成/運転条件の検討 |
| (2) NH3分解装置の検討 | <ul style="list-style-type: none"> NH3分解装置の機器構成の決定、分解後の残留NH3濃度0.38%以下 触媒の実使用環境を考慮した寿命や性能評価 |
| (3) 燃焼器の検討 | NH3分解ガス混焼条件(水素体積割合20%)における実圧燃焼器のNOx性能の検証 |

●実施体制及び分担等

【助成】

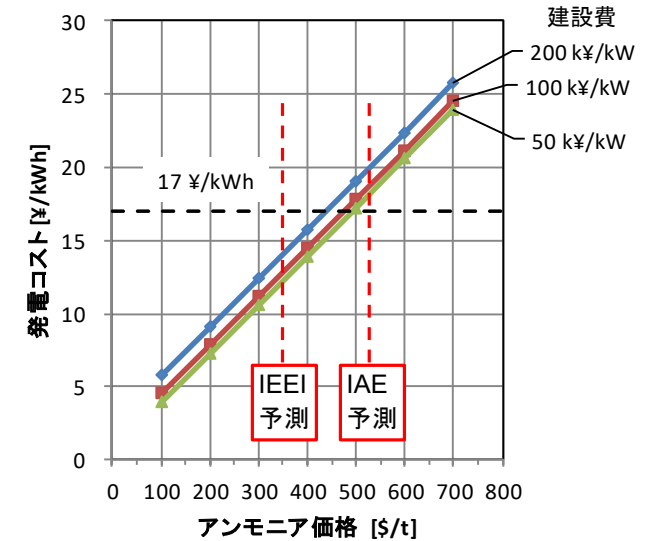


【委託】



●これまでの実施内容／研究成果

- (1) システム構成の検討
 - 50%～100%負荷においてNH3分解装置に必要な熱を供給できるNH3分解ガス専焼システムの機器構成、運転条件を明らかにした。
 - NH3分解ガス専焼システムの起動時の燃料切換え負荷を検討し、起動停止手順を検討した。
 - 発電コストの目標値である17 円/kWh以下となる本システムの建設費とアンモニアの調達コストの範囲を明らかにした。



IEEI：国際環境経済研究所
IAE：エネ総工研

図 アンモニア価格と本システムの建設費を仮定した場合の発電コストの試算 (2030年度運開想定)

- (2) NH3分解装置の検討
 - アンモニア分解反応器の試設計を行い、反応器の概略仕様及び構造を明らかにした。
 - アンモニア分解装置全体の概略必要配置エリアの大きさを明らかにした。
 - アンモニア分解装置で用いる分解触媒および材料に関してアンモニア曝露試験 (2,000時間) を実施し、触媒に関しては被毒物質の生成は確認されず比表面積の大きな変化は見られなかった。

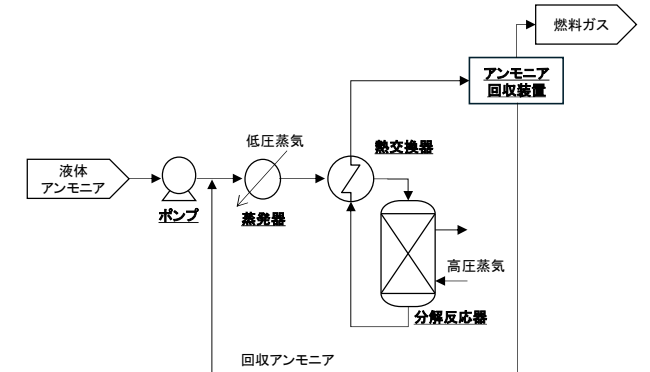


図 アンモニア分解装置の概略プロセスフロー

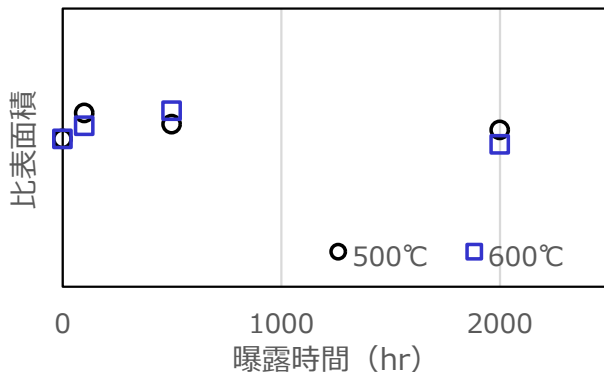


図 非貴金属系触媒の比表面積変化

(3) 燃焼器の検討

- 既存の実圧燃焼試験スタンドに接続して燃料中の残留アンモニアを模擬可能とする設備を設計、製作した。
- 天然ガスとアンモニア分解ガス模擬燃料の混焼(水素体積割合20%)条件で1650℃級燃焼器の100%負荷から50%負荷の範囲で燃焼振動やフラッシュバックは発生しないことを確認した。
- 燃料中の残留アンモニアのNOx転換率を明らかにした。

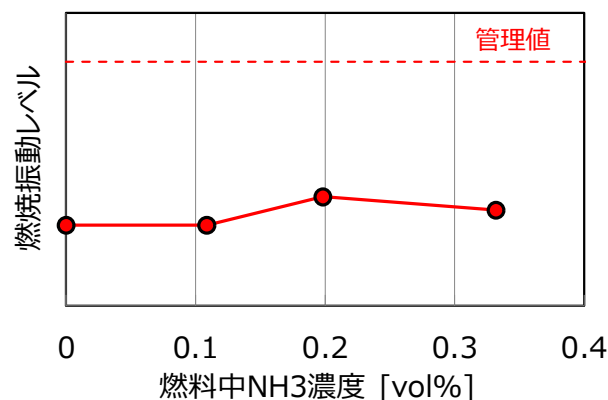


図 定格負荷条件(タービン入口ガス温度:1650℃)での燃焼振動の圧力レベル

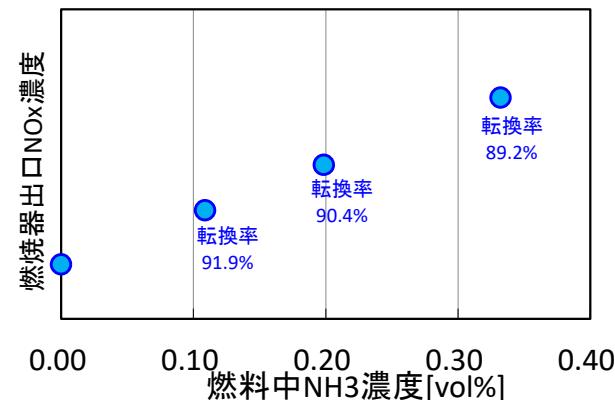


図 定格負荷条件(タービン入口ガス温度:1650℃)でのアンモニアのNOxへの転換率の測定値

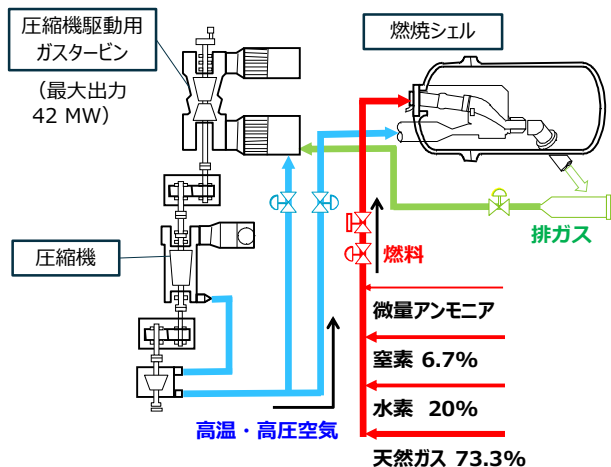


図 実圧燃焼試験の概略系統図

●今後の課題

- NH3分解装置と水蒸気源を組み合わせた実証プラントによる検証
- アンモニア分解装置に用いられる材料の耐窒化性の検証
- 実証プラントによる燃焼器の検証

●実用化・事業化の見通し

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。

●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 | 定格負荷だけでなく、部分負荷においてもNH3分解装置に必要な熱を供給できるNH3分解ガス混焼システム/専焼システムの構成、運転条件を明らかにした。 | 達成 |
| (2) NH3分解装置の検討 | ・アンモニア分解装置全体のシステム構築及び物質収支計算を実施した。 ・NH3分解触媒のNH3曝露試験(2,000時間)を実施し、被毒物質の生成や比表面積の大きな変化は見られなかった。 | 達成 |
| (3) 燃焼器の検討 | ・天然ガスとNH3分解ガス模擬燃料の混焼(水素体積割合20%)条件で1650℃級燃焼器の100%~50%負荷の範囲で燃焼振動やフラッシュバックは無しを確認。 ・燃料中の残留NH3のNOx転換率を導出。 | 達成 |

| 特許出願 | 論文発表 | 外部発表 | 受賞等 |
|------|------|------|-----|
| 1 | 10 | 10 | 1 |

●成果サリ（実施期間：2020年7月～2023年3月）

- ・モデルバーナ、セグメントバーナ試験において、高圧条件下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。
- ・高温高圧下の燃焼器燃焼試験が可能な大容量水素供給装置を含む燃焼試験設備を構築し、燃焼器性能を評価可能な設備、試験手法を確立した。
- ・大容量水素供給設備から水素を供給して大型燃焼器一缶の燃焼試験を実施し、高温高圧下で水素専焼を達成したが、NOx低減には課題が残る。

●背景/研究内容・目的

- ・地球温暖化の課題に対して、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
- ・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 |
|-------------------------|-----------------------|--|
| 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 | ・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 | ・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 |
| 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および燃焼器全体計画図完成 |
| 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 | ・土工工事・水素蓄圧器設置・電気工事・保温工事の完了 ・試運転の完了 |
| B-2 | 高温高圧下での燃焼器燃焼試験 | ・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

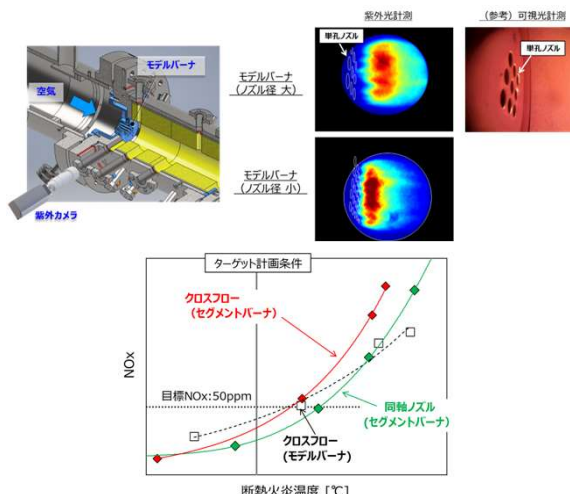
NEDO

三菱重工業株式会社

●実施内容/研究成果

A. 燃焼器安定運転を可能にする燃焼器設計技術

- ・モデルバーナ、セグメントバーナ試験において、ターゲット計画条件にてNOx50ppm以下を達成した。



B. 燃焼器安定運転範囲検証技術

- ・大容量水素供給装置を含む燃焼試験設備を構築した。



- ・大型燃焼器の燃焼試験を実施し、高温高圧下で水素専焼を達成し、実用化に向けた課題を明らかにした。



●今後の課題

- ・実燃焼器においてもモデルバーナと同等の濃度分布、燃焼性能を実現可能なノズル、燃焼器構造の検討
- ・燃焼振動の抑制技術の開発
- ・実用化・商用化に向けた燃焼器設計や安定運転・制御方法の構築

●実用化・事業化の見通し

- ・本研究で明らかになった課題に対し、自社費用にて継続的に開発を進め、本研究で構築した水素燃焼試験設備を用いて燃焼器の性能検証、改良し、2025年頃を目途に国内外の水素焚き火力発電所への適用が可能な燃焼器を開発する。

●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、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 | ・燃焼試験により、ターゲット計画条件にてNOx 50ppm(15%O2換算)以下を達成した | ○ |
| 大型ガスタービン燃焼器設計技術 | ・燃焼器の詳細設計完了 | ○ |
| 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術 | ・燃焼試験を実施し、設備の検証まで完了 | ○ |
| 高温高圧下での燃焼器燃焼試験 | ・高温高圧下で水素専焼を達成した。目標のNOx50ppm以下は達成できず | △ |

| 特許出願 | 論文発表 | 外部発表 | 受賞等 |
|------|------|------|-----|
| 30 | 0 | 58 | 0 |

4-2-4 「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 ／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：三菱重工パワーインダストリー(株)

●成果サリ（実施期間：2020年7月～2023年3月）

- ・産業用ボイラ並びにガスタービン用排熱回収ボイラを対象とし、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した。
- ・水素のバーナ入口供給圧力は従来実績が現状100kPa以下であるが、最大900kPaGとする水素焚きバーナを開発した。
- ・水素焚きボイラ燃焼時の発生NOx60ppm以下の目標を達成する低NOx燃焼技術を確立した。

●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）並びにガスタービン用排熱回収ボイラを対象とする。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。

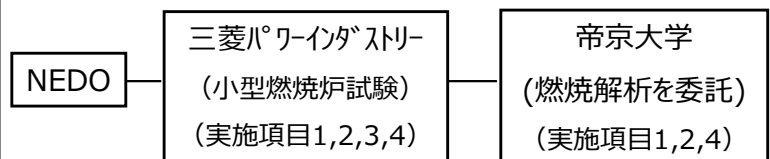
なお、本事業で確立した技術は事業用のガス焚きボイラ並びに工業炉・加熱炉にも適用可能である。

●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：～900kPa |
| 2. 燃焼振動現象の抑制 | $I1 \leq 50Pa$ (*1) |
| 3. NOx低減 | $NOx \leq 60ppm$ |
| 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、2020年7月に交付決定通知書を受け、産業ボイラ並びにガスタービン用排熱回収ボイラ用の水素専焼/混焼焚きバーナの開発を2023年3月に完遂させた。

(1)産業ボイラ用水素焚きバーナの開発（壁面燃焼用バーナ2種及び旋回燃焼用バーナ1種）

- ①開発した水素焚きバーナを適用した燃焼試験により、以下の開発課題は全て目標を達成。
 - a.供給圧力の高圧化、b.NOx低減、c.燃焼振動抑制、d.逆火現象防止
- ②高圧化(900kPaG)を実証したことで、設備の小型化が可能となりコスト面での改善が可能。
- ③各種低NOx化対策単独でNOx60ppm以下を実証、組合せで10ppm以下を実証済。
- ④矩形型バーナを適用することで、バーナ単独で30ppmを実証し、解析でメカニズム解明済。
- ⑤バーナ最低負荷が最大負荷の約1/100で燃焼可能なことを実証済。
- ⑥火炉出口酸素濃度0.1%においても安定燃焼可能で、ファン動力低減可能なことを実証済。
- ⑦水素と多種燃料（ガス、微粉炭）との良好な混焼特性を実証済。

(2)ガスタービン用排熱回収ボイラ付設水素焚きダクトバーナの開発

- ①高温・低酸素雰囲気での燃焼排ガス中に設置されるダクトバーナで安定した水素燃焼を実証。
- ②水素を使用することで、ダクトバーナ部での高温還元反応によって、NOx低減が可能であるとの新たな知見を習得。
- ③LPG燃焼においては、開発ノズルの適用で、従来ノズルに比較して安定燃焼可能な範囲（低温・低酸素雰囲気）が大幅に広がることを実証。

●今後の課題

- ・本事業成果である水素燃焼技術を産業用ボイラ並びにガスタービン用排熱ボイラで早期実証する。
- ・本燃焼技術を点火トーチ並びに工業炉・加熱炉に適用拡大する。

●実用化・事業化の見通し

- ・現在、海外より既設ボイラの水素焚き燃料転換改造の案件がある
- ・国内石油会社より、水素を30%含有する副生ガス焚き新設排熱回収ボイラ用ダクトバーナの引き合いがあり、受注対応中である。

●研究成果まとめ

| 実施項目 | 成果内容 | 自己評価 |
|------|---|-------|
| 1 | 水素供給圧力900kPaGでの低NOx安定燃焼を実証済 | 10/10 |
| 2 | 低振動ガスバーナの水素での振動抑制効果を実証済 | 10/10 |
| 3 | 3種類の低NOx手法でNOx60ppm以下を実証済 矩形型バーナ単独でのNOx60ppm以下を実証済 | 10/10 |
| 4 | 拡散燃焼方式適用による逆火現象防止を実証済 | 10/10 |

| 登録特許 | 論文発表 | 外部発表 | 受賞等 |
|------|------|------|-----|
| 20 | 4 | 14 | 1 |

4-2-5 「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／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

●成果サリ（実施期間：2020年8月～2023年3月）

- ・目標（平均有効圧力1.6MPaかつ水素混焼率95%）を上回る、平均有効圧力1.85MPaかつ95%混焼の水素燃焼が出来ることを確認した。
- ・天然ガス燃焼エンジンと同様のリスクレベルにて運用可能な水素燃焼単筒試験設備（エンジン・周辺設備）を設計・整備した。
- ・水素燃焼単筒試験設備の特徴である長時間の水素供給能力を生かし、天然ガス・水素の混焼条件にて4時間程度、安定して連続運転が出来ることを確認した。

●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及び最適化目途付け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、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および最適化目途付け | <ul style="list-style-type: none"> ・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 ・水素燃焼試験を行い、従来実績を上回る図示平均有効圧力1.6MPaの達成目途付けを実施 |
| 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 ・水素を利用したA.既存単筒機での取得データとB.水素燃焼単筒機での取得データの両者を分析し、水素燃焼最適化の目途を得る |
| 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：水素ガスエンジンに最適な燃焼室設計、EGR（排気ガス再循環）適用による燃焼制御の最適化により、目標（平均有効圧力1.6MPaかつ水素混焼率95%）を上回る、平均有効圧力1.85MPaかつ95%混焼の水素燃焼が出来ることを確認
- ②：
 - ・エンジンに用いる部材について、主要部材の水素脆化評価を実施し選定
 - ・エンジン内部で水素滞留の可能性の高い箇所（クランクケースなど）の換気・爆発対策を施したエンジンを設計。また、水素燃焼エンジンに最適な燃焼室（シリンダヘッド、ピストンなど）を設計
 - ・③のリスクアセスメント成果を反映した水素燃焼単筒試験設備（エンジン・周辺設備）を設計・整備
 - ・同設備の特徴である長時間の水素供給能力を活かし、天然ガス・水素混焼条件にて約4時間の連続運転における燃焼安定性評価を実施し、安定した燃焼状態を維持できることを確認
- ③：水素燃焼エンジンの事業化を見据え、天然ガス燃焼エンジンと同様のリスクレベルにて運用可能なシステムを確立することを目標としたリスクアセスメントを実施し、安全設備・制御システムに反映して実装

●研究成果まとめ

| 実施項目 | 成果内容 | 自己評価 |
|------|---|------|
| ① | 目標を上回る、平均有効圧1.85MPaかつ95%混焼の水素燃焼が出来ることを確認 | ◎ |
| ② | <ul style="list-style-type: none"> ・主要部材の水素脆化評価、水素燃焼に対応できる冷却強化を施した燃焼室の設計、③のリスクアセスメント成果等を反映した水素燃焼単筒試験設備を設計・整備 ・水素燃焼単筒試験設備にて天然ガス・水素の混焼条件にて4時間程度、安定して連続運転が出来ることを確認 | ○ |
| ③ | 天然ガス燃焼エンジンと同様のリスクレベルにて運用可能な水素燃焼エンジンとなるようリスクアセスメントを実施し、安全設備・制御システムに反映して実装 | ○ |

●今後の課題

水素燃焼単筒試験機にて、①で短時間運転を達成した平均有効圧力1.85MPaかつ95%混焼の水素燃焼につき、長時間（数時間）の安定運転ができることを確認する。

●実用化・事業化の見通し

再生可能エネルギーの余剰電力で製造する水素利用を想定し、離島発電用の実証エンジンを開発する計画。
 直近では、GI基金にて船用向けの水素燃焼エンジンの実証開発も進めている。

| 特許出願 | 論文発表 | 外部発表 | 受賞等 |
|------|------|------|-----|
| 2 | 0 | 1 | 0 |

4-2-6 「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／液化水素冷熱の利用を可能とする中間媒体式液化水素気化器の開発」

助成先：株式会社神戸製鋼所

●成果サリ（実施期間：2022年3月～2023年3月）

- ・高圧ガス保安法に基づき設計・製作した中間媒体式液化水素気化器（IFV）および液化水素貯槽他、実証試験に必要な設備の建設を約1年で完了した。
- ・中間媒体式液化水素気化器（IFV）による液化水素の気化実証を行い、目標とした所定の性能を安定して達成出来る事を確認した。
- ・実証結果を基に30,000Nm³/hのIFVの試設計を行い、従来のLNG気化器実績範囲内サイズであり機器製作面での懸念は無いこと確認した。

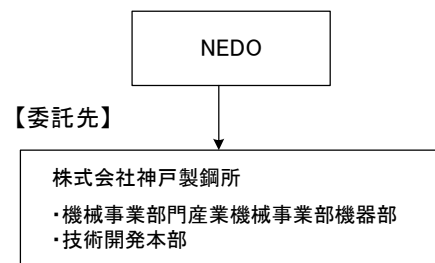
●背景/研究内容・目的

2030年の水素発電商用化に向けて、ガスタービンの水素混焼・専焼実証が計画されており、これに伴い大型の液化水素気化器も必要となる。そこで、液化天然ガス気化器で実績のある中間媒体式気化器（IFV）の要素技術をベースにして冷熱回収型液化水素気化器の小型実証機を試作し、実際に液化水素を用いた実証試験を行うことで液化水素気化器の伝熱性能や機械的データを取得し、大型化に向けた基盤開発を行う。また、得られた成果をもとに10,000Nm³/hr級の中規模の液化水素気化器の試設計を行うことで、大規模水素エネルギー利用に向けた気化器の課題を明確にしていく。

●研究目標

| 実施項目 | 目標 |
|----------|--|
| 気化器設計・製作 | LNG用気化器の実績をベースに液化水素気化器を設計・製作する。性能確認に必要な実証設備も適用法令に基づき設計・建設する。 |
| 実証試験 | 目標とした所定の性能（気化ガス量、気化ガス温度、循環水取出し温度等）を安定して達成出来る事を確認する。 |
| 試設計 | 10,000Nm ³ /hr級の中規模の液化水素気化器の試設計を行い、課題を明確にする。 |

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

(1) 液化水素用中間媒体式気化器（IFV）の設計・製作、実証設備の建設
LNG用IFVをベースに実証機を設計・製作し、運転に必要な実証設備を完成させた。

(2) 実証試験

液化水素が伝熱管内を流れても管外の間媒体（プロパン）が氷結しないこと、連続運転において出口気化ガス温度が低下することなく安定的に液化水素を気化できることを確認した。
また冷熱回収については、入口温度に対して10℃以上低下した冷水を1時間以上連続して取り出せることを確認した。応力解析は概ね実温度分布をトレースできており、応力も実測に合った解析になっていることを確認したが、一部では実測値と乖離している部分もあり、原因調査して解析精度向上を目指す。

(3) 中規模（10,000Nm³/hrクラス）用気化器の試設計

30,000Nm³/hrの中規模IFVの試設計を行い、機器サイズは従来のLNG用IFVの実績の範囲内であり、製作上の問題点は無いことを確認した。

●今後の課題

本研究開発では得られなかった臨界圧以上における運転データの把握により、中・大規模の水素発電商用機用の液化水素気化器の最適設計を目指す。

●実用化・事業化の見通し

大規模水素エネルギー利用先の1つである水素発電においては、水素供給圧力を臨界圧以上にする必要がある。そこでNEDO水素社会構築技術開発事業／地域水素利活用技術開発「水素CGSの地域モデルにおける水素燃料供給システムの効率化・高度化に向けた技術開発(2023-2024)」において、臨界圧以上の液化水素の気化実証を行い、2025年度以降に実証が予定されている水素発電の実証での気化器に中間媒体式液化水素気化器が採用されることを目指し、事業化につなげる

●研究成果まとめ

| 実施項目 | 成果内容 | 自己評価 |
|----------|-----------------------------|------|
| 気化器設計・製作 | 適用法令・規則に従い設計・製作し、設備建設を完了した。 | ○ |
| 実証試験 | 目標とした所定の性能を安定して達成出来る事を確認した。 | ○ |
| 試設計 | 中規模水素利用の水素発電向けIFVの試設計を完了した。 | ○ |

| 特許出願 | 論文発表 | 外部発表 | 受賞等 |
|------|------|------|-----|
| 0 | 0 | 11 | 0 |

4. 1 「未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築（7事業）」

4. 1. 1 「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」

○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。

(1) 実施者名、実施体制 次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合

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。

(2) 期間 2015年7月～2021年3月

(3) 予算

| 和暦 | 西暦 | 発生費用合計 | 助成対象費用 | 助成対象のうち 助成金 | 助成対象のうち 組合負担 |
|--------|--------|---------------|---------------|----------------|-----------------|
| 平成27年度 | 2015年度 | 171,629,414 | 170,485,400 | 113,656,000 | 56,829,400 |
| 平成28年度 | 2016年度 | 399,029,126 | 351,752,000 | 234,500,000 | 117,252,000 |
| 平成29年度 | 2017年度 | 1,691,055,696 | 1,687,003,401 | 1,124,667,000 | 562,336,401 |
| 平成30年度 | 2018年度 | 2,534,197,391 | 2,482,321,400 | 1,654,880,000 | 827,441,400 |
| 令和元年度 | 2019年度 | 2,172,180,997 | 2,147,065,000 | 1,431,375,000 | 715,690,000 |
| 令和2年度 | 2020年度 | 745,480,882 | 745,480,882 | 496,987,254 | 248,493,628 |
| | 合計 | 7,713,573,506 | 7,584,108,083 | 5,056,065,254 | 2,528,042,829 |

(4) 実用化・事業化への道筋

「○まとめおよび課題、事業化までのシナリオ」参照

(5) 最終目標に対する成果と達成状況（概要より引用）

| 実施項目 | 最終目標 | 実施内容 | 研究成果 | 達成度 |
|--------------|--|---|---------------------------------|-----|
| 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。 | 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。 | 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 | 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。 | 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。 | ○ |
| 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 | 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 | 第1期の成果を踏まえ、実機を建設、運用し商用化への準備が出来た | ○ |

○研究開発目標

(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) 水素化プラントに関する研究目標（テーマ①群）

(2)-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、バッ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)-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。 |

(3) 脱水素プラントに関する研究目標（テーマ②群）

(3)-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、バッ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。

(3)-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。 |

(4) サプライチェーン全体運用に関する目標 (テーマ③群)

(4)-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、所定の性能指標を発揮し、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切な設備構成（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。 ✓ 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。

(4)-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。 |
| 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。 |

(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。

○研究開発成果

(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)-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、水素反応器の最大可能規模を反応器内径9mと想定した。この水素処理量として約9万Nm³/hであり、千代田化工のデモプラントの約1,800倍に相当する。水素化反応概要を図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。したケーススタディ項目を表6に示す。

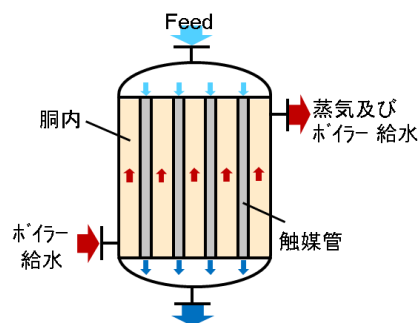


図1 水素化反応器概念図

化反
れは
子安
器の
し、こ
実施

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。

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 | ● | |

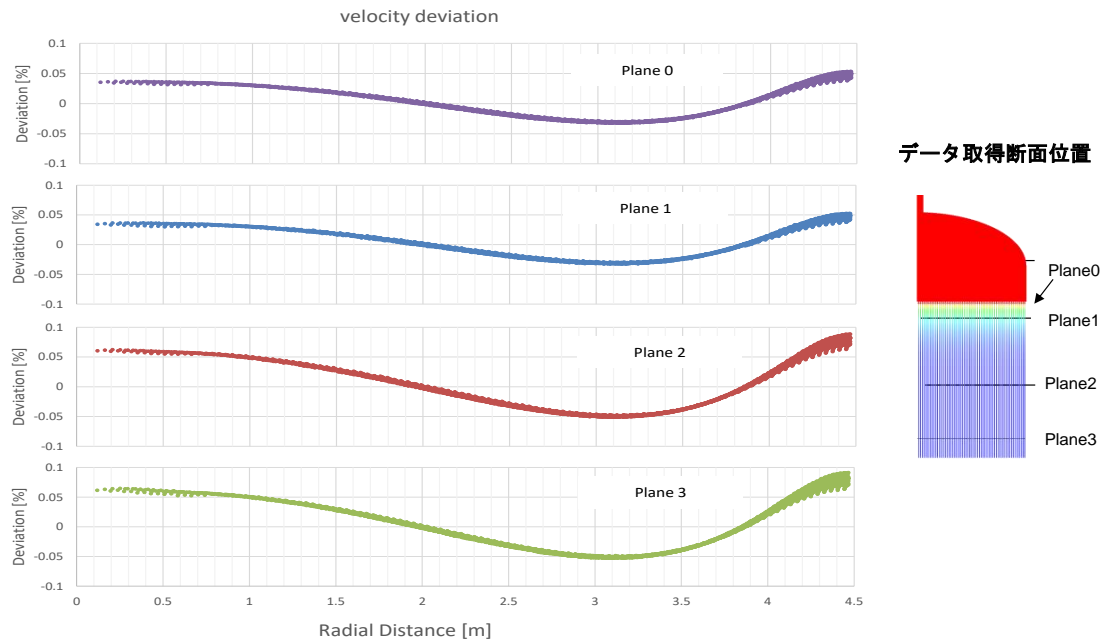


図 2 定格ロード時の触媒管水平断面体積流量偏差

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。

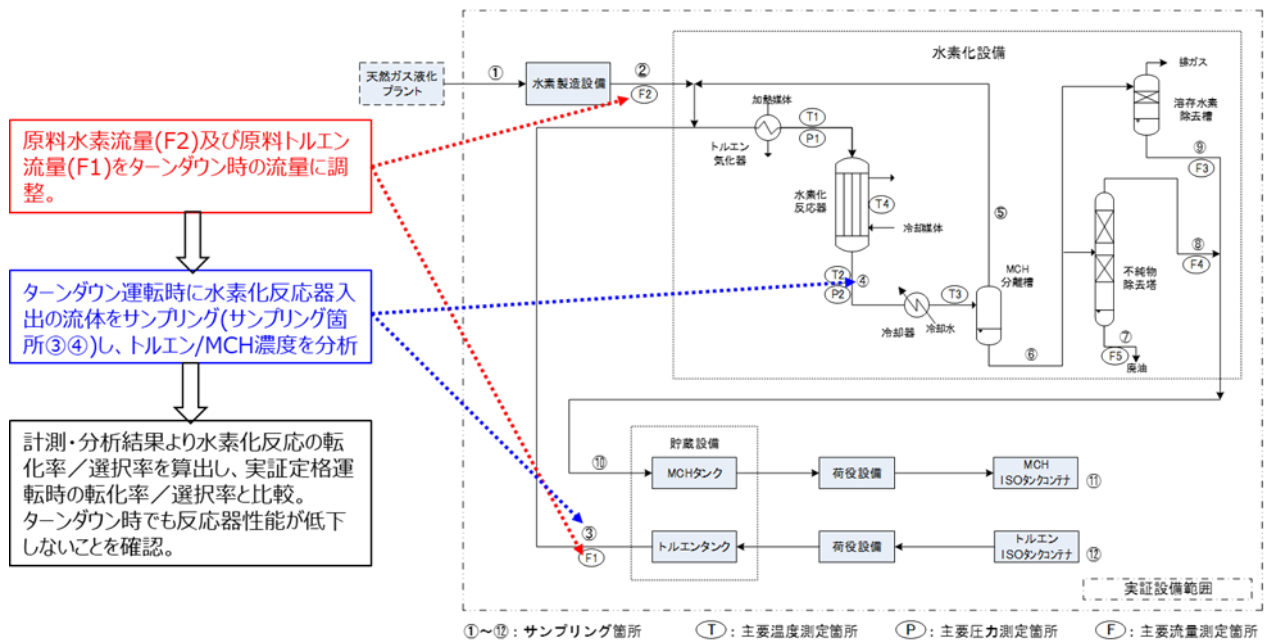
c. 成果及び達成度

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

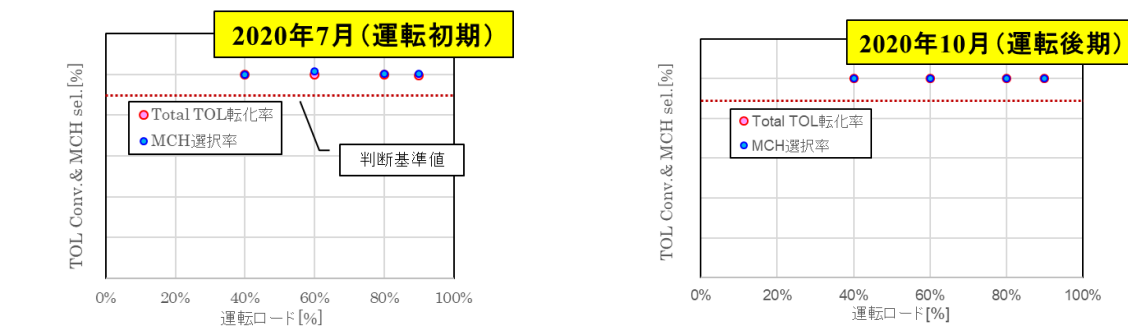
a. 実施内容

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。



b. 試験結果

ターンドウン運転結果 (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、ターンド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。

(1)-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。

更に、過去に子安デモプラントでの実証運転にて取

表7 気液平衡データ取得状況

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

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。

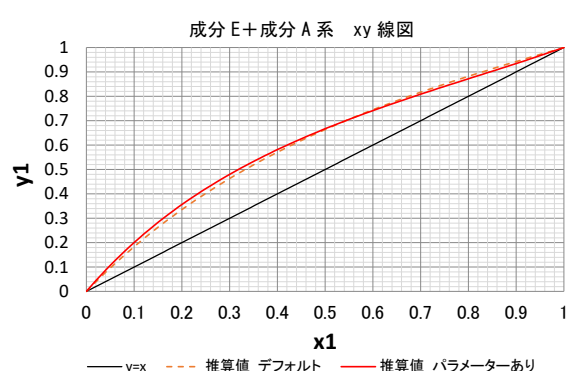


図 3 蒸留シミュレーターへの気液平衡データ反映例

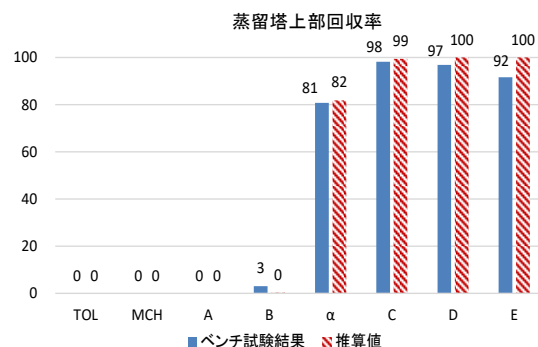


図 4 蒸留試験結果とシミュレーション結果の比較例

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

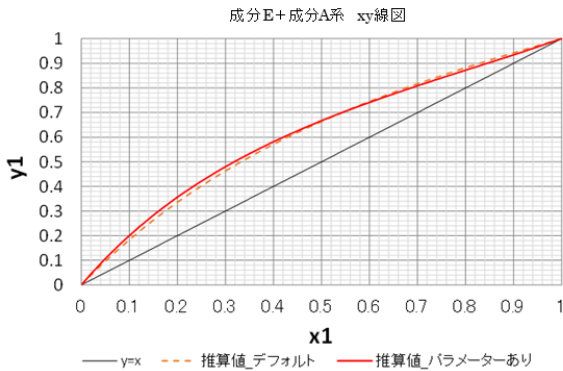
a-1. 実施内容

- 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。

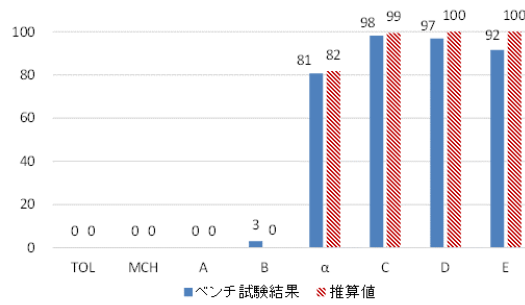
a-2. 試験・解析結果

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



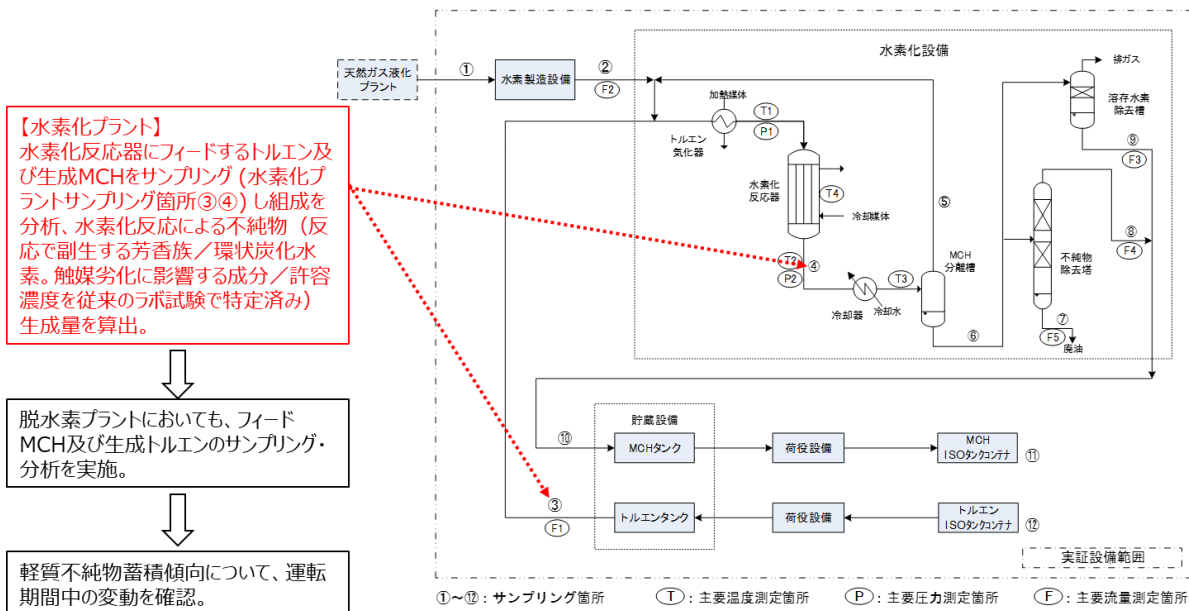
a-3. 成果

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

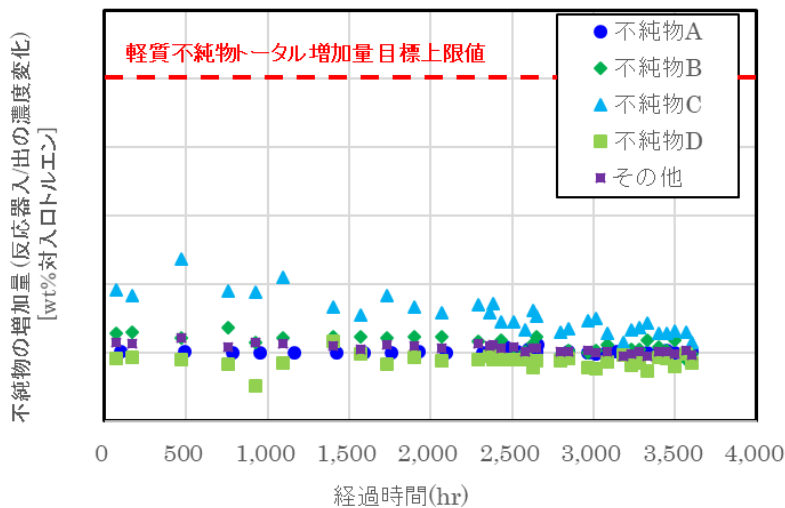
b-1. 実施内容

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。



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無くなり、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。

(1)-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。

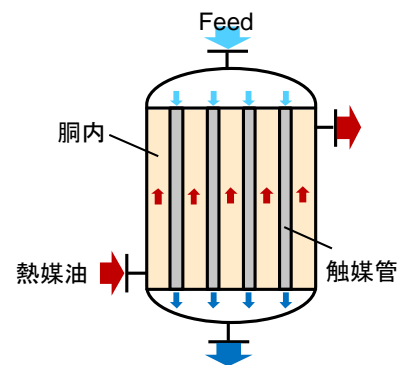


図 7 脱水素反応器概念図

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。

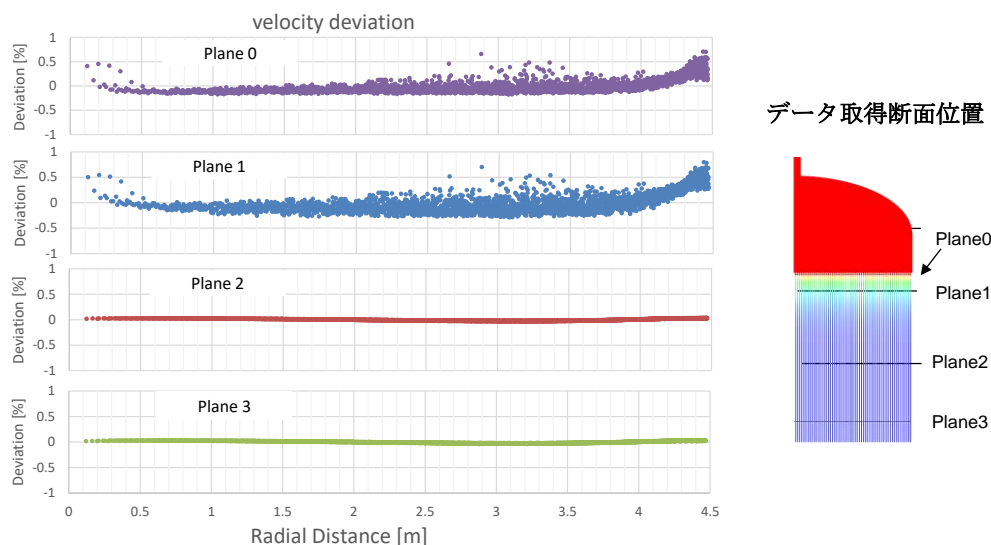


図 8 定格ロード時の触媒管水平断面体積流量偏差

流動解析ケーススタディの主要な結果を以下に示す。

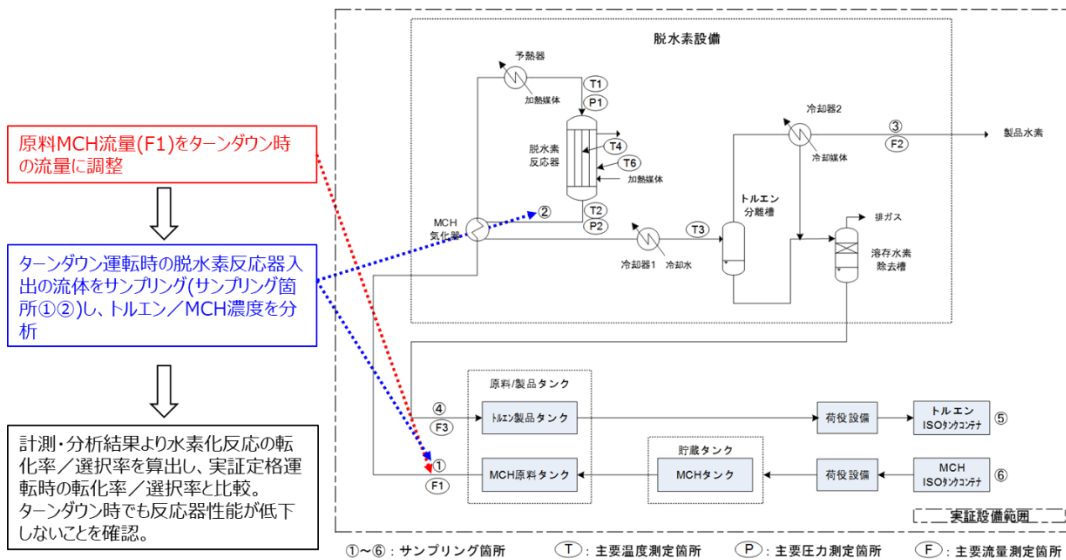
- ・定格ロード時及び低ロード（40%）共に、全触媒管領域での製品体積流量偏差は±1%以下となった。
- ・触媒充填時の充填バラつきにより触媒管差圧に現状想定内の偏差が生じた場合でも、製品体積流量偏差は±6%以下となった。
- ・触媒管とバツフルプレートとの隙間を熱媒油の一部が短絡流れする影響により、胴側上部に加熱不十分になる領域が生ずる可能性が示された。

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 of 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ある加熱不十分については、バツ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。



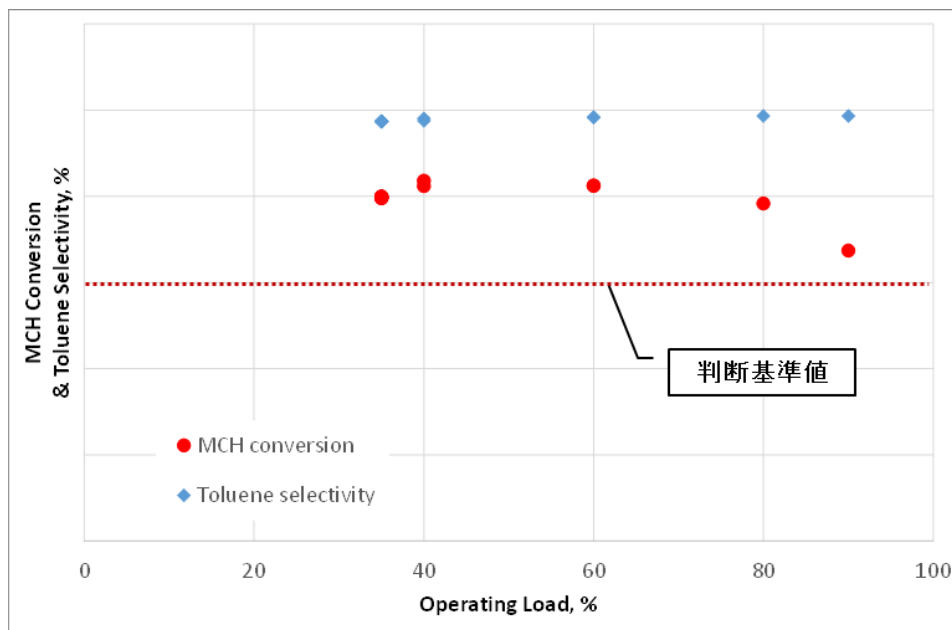
原料MCH流量(F1)をターンダウン時の流量に調整

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%)



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。

(1)-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。

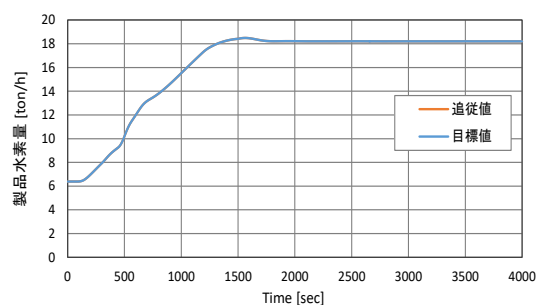


図 9 解析結果例 製品水素流量

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。

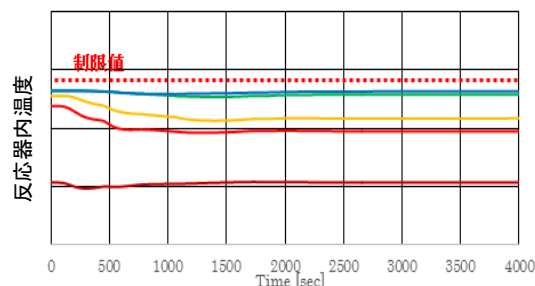


図 10 解析結果例 反応器内温度

②第 2 期

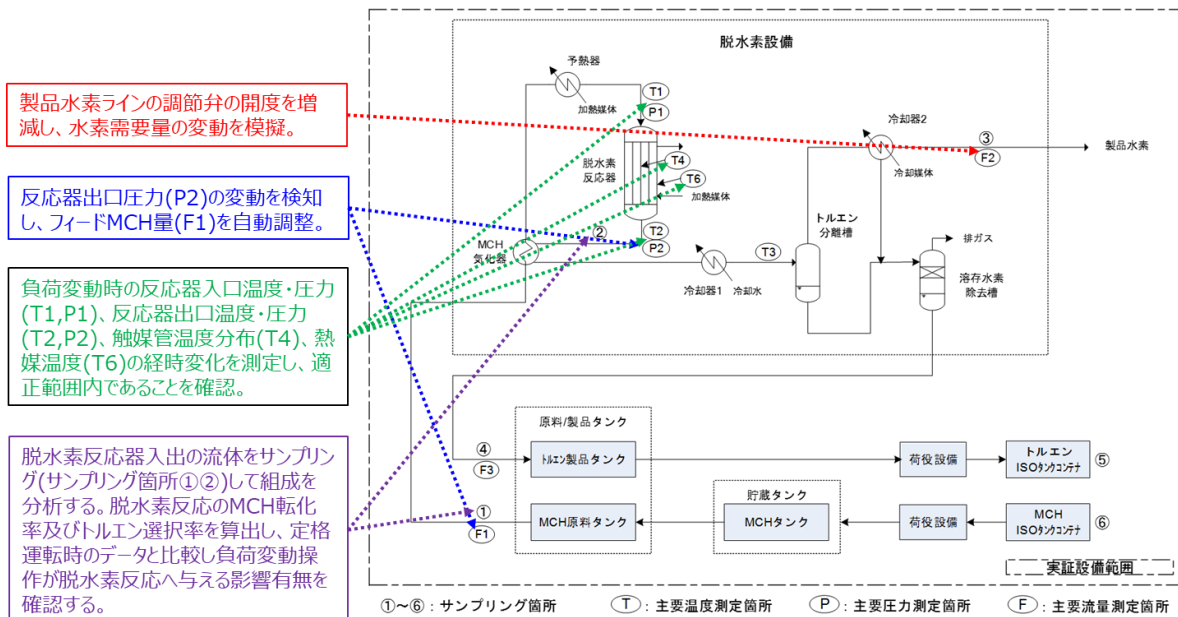
a.実施内容

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。

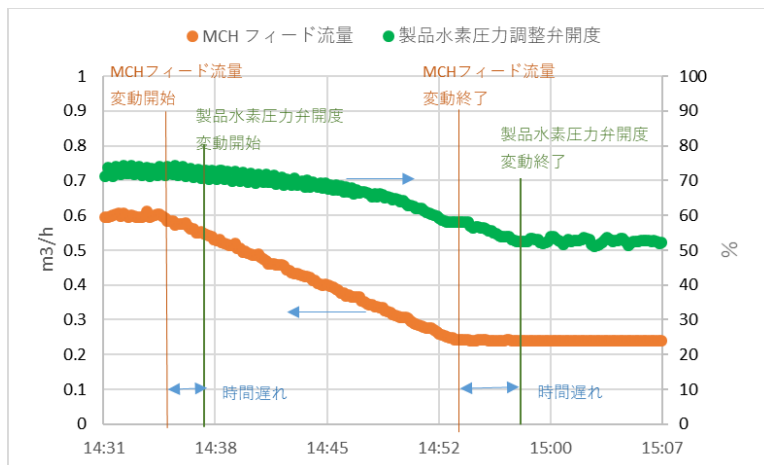
また、負荷変動時の反応器入口温度・圧力、反応器出口温度・圧力、触媒管温度分布、熱媒温度の経時変化を測定し、適正範囲内であることを確認する。

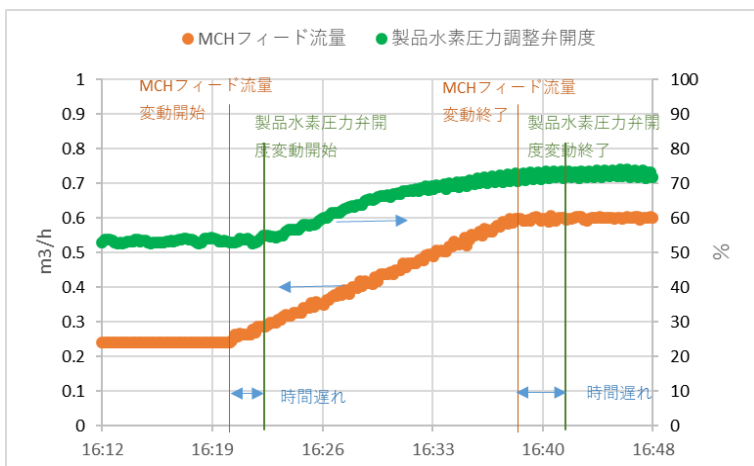
オンタイムの需要側要求の変動を検知した MCH 供給量制御方式よりも、需要変動を予め見越した MCH 供給量制御方式の方が有利ではないかとの仮説の上、この方式での負荷追従試験を実施し、商業運転時の運転ケースの多様化を図る。



b.実施結果

まず、水素需要変動を見越して脱水素設備への MCH 供給量を先行して調整する運転の模擬検討試験を実施した。MCH 供給を短時間でターンダウン、ターンアップする運転を実施した結果、下図に示す通り目標とする負荷追従速度 3.5%/min を達成し、主要温度・圧力の大きな変動は無く運転継続可能であることが確認された。





一方、製品水素ラインの調整弁の開度を増減し、水素需要量の増減を模擬した検討試験では、短時間でターンダウン、ターンアップを行うと制御系の発散が生じ、安定した運転を継続することが出来なかった。この運転についてダイナミックシミュレーションによるトレースシミュレーションを実施して改善策を検討した結果、MCH 気化器の負荷追従性向上または製品水素ライン容量の増加を図ることで負荷追従が可能となることが判明した。

c. 成果及び達成度

一連の負荷追従運転試験およびトレースシミュレーションを実施した結果、MCH 供給量を先行調整した運転では目標とした負荷追従速度を達成可能であることを確認出来、また、製品水素量を調整した運転においても負荷追従が可能となる設備構成案を確認し、目標を達成した。

(1)-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。

(1)-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/仕様にて、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。

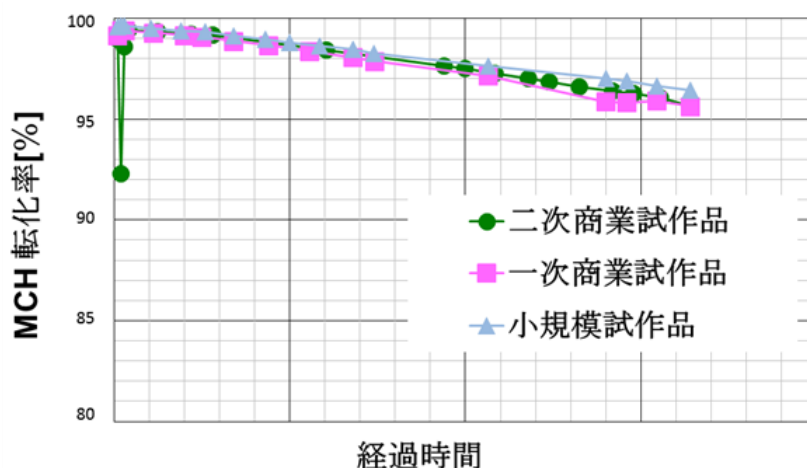


図 11 商業生産触媒ラボ評価例

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

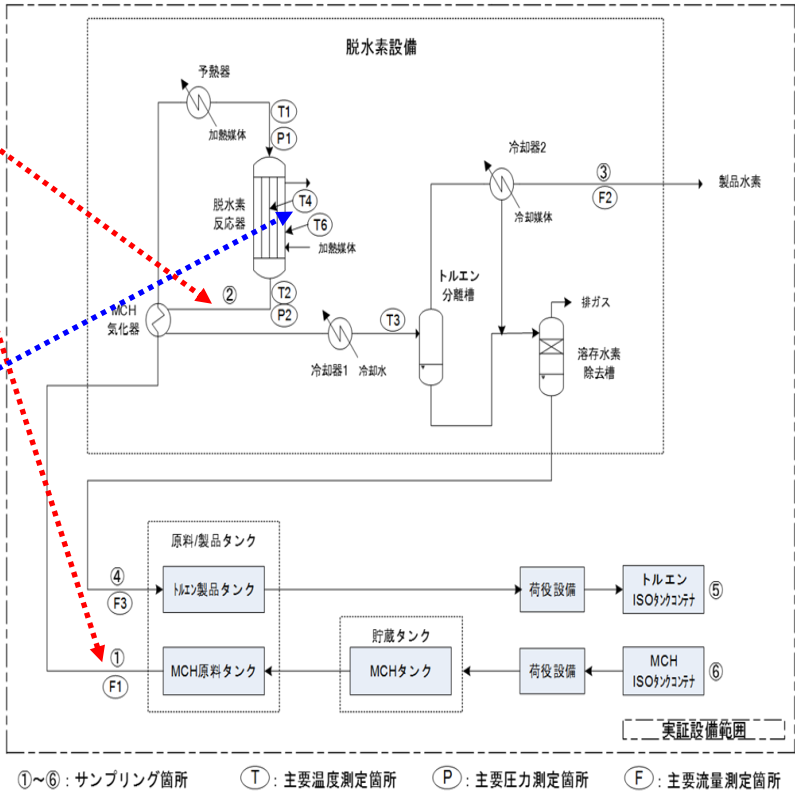
商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用し、脱水素設備を運転、運転データの収集をする。脱水素反応器入出の液体をサンプリングして組成（トルエン、MCH、反応副生芳香族/環状炭化水素濃度）を分析する。

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）

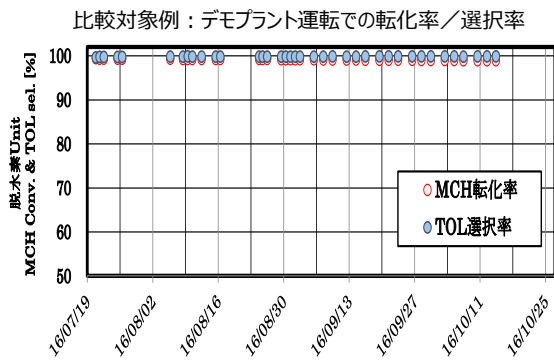
脱水素反応の転化率／選択率、不純物濃度の経時変化を算出し、触媒性能や劣化速度が小規模試作の触媒と同等であることを確認。



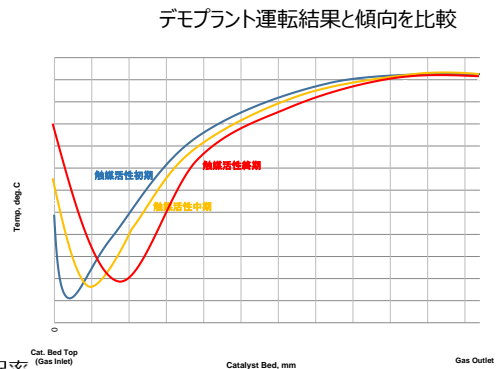
b. 実施結果

試験結果判断基準は、

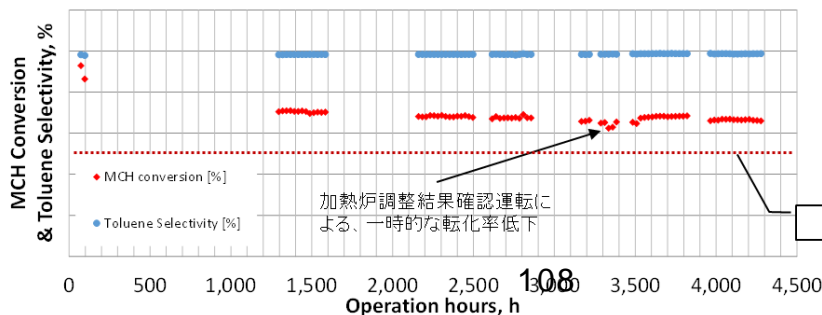
- ・触媒性能（運転期間を通じて転化率が目標値以上であること）や劣化速度が小規模試作の触媒を使用したデモプラント運転と同等であること（各ロード調整後に前項のサンプリング箇所から採取した液の分析結果より算出）とする。



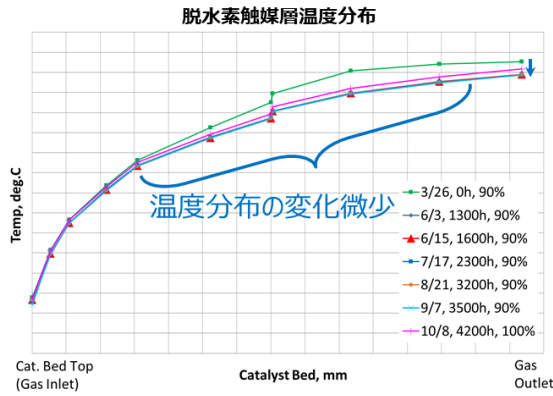
比較対象例：触媒管温度分布（触媒劣化の指標）イメージ図



90%~100%ロードにおける転化率とトルエン選択率



・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。



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。

(1)-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 | 起量* | 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 | Reformat | < 5 | 91.20 | 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 | ○ | ○ | 供給ポテンシャルが低い |
| C社(b工場) | Reformat | > 20 | 99.96 | ○ | ○ | 第一期検証・子安デモ機での実証に導入 |
| D社(海外) | Reformat & Pygas | > 20 | 99.98 | X | X | サンプリング方法に起因する特定物質のコンタにより不適合、再調達・再評価が必要 |
| E社 | Reformat | > 20 | 98.18 | | | 追加試験予定 |

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

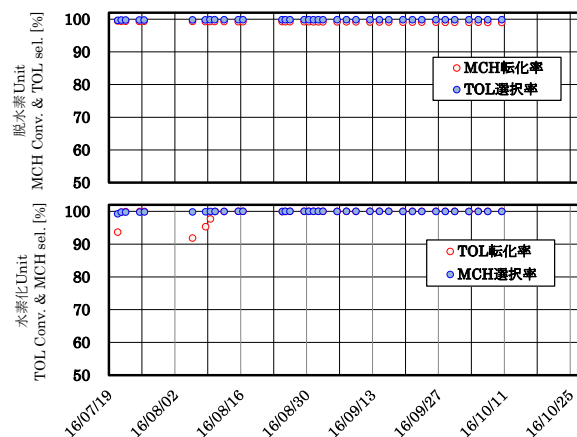


図12 子安デモプラント検証運転状況

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に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。

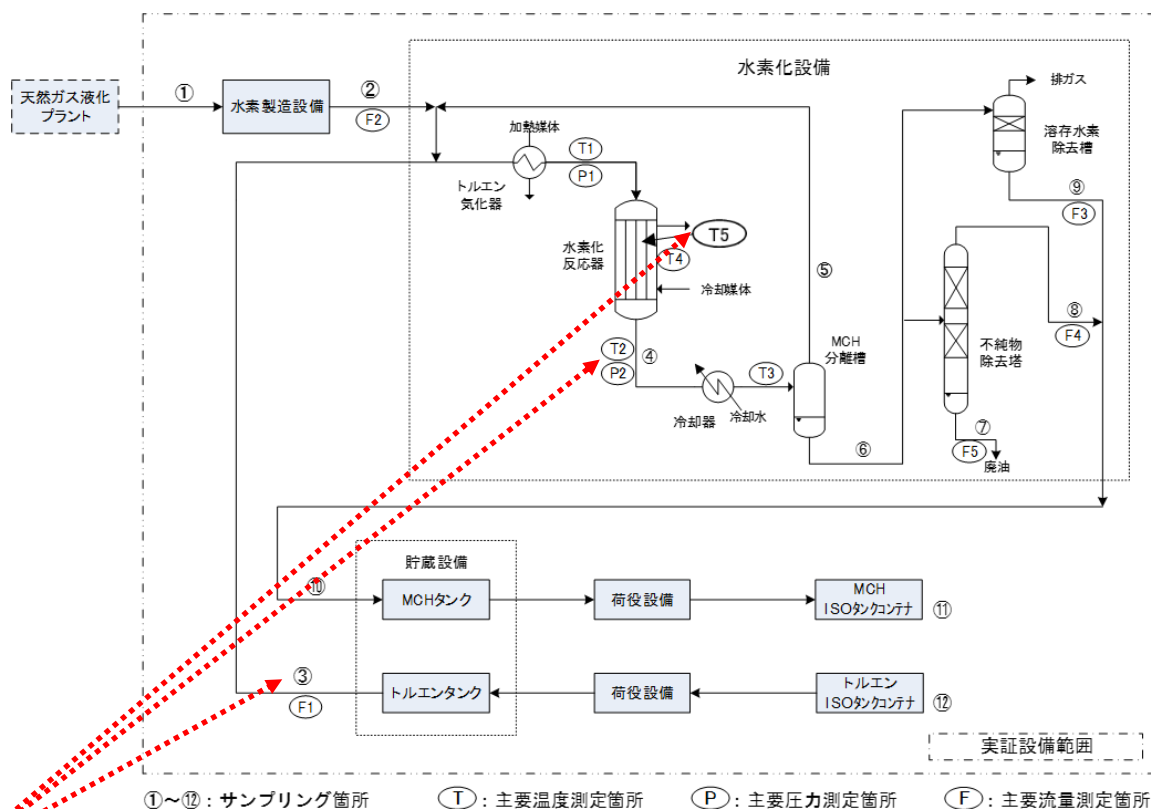
d. 第 1 期完了までの取組

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】

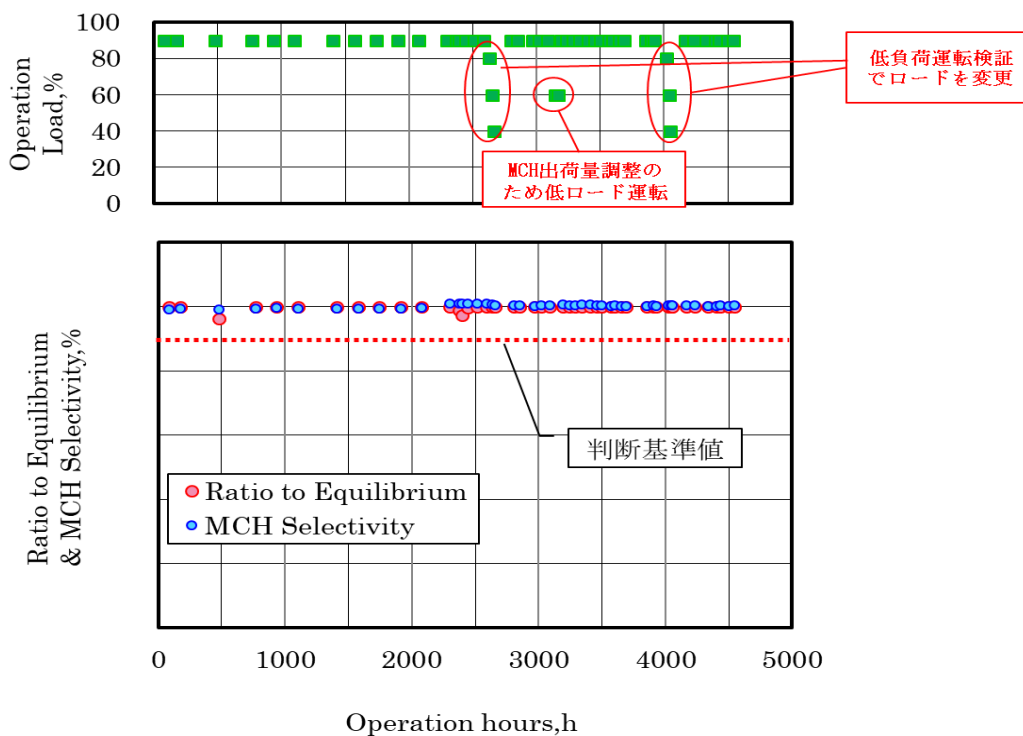
水素化反応器入出の流体をサンプリング（水素化プラントサンプリング箇所③④）し組成（トルエン、MCH、反応副生芳香族／環状炭化水素濃度）を分析。触媒管の温度分布（温度測定箇所 T5）の経時変化を測定。

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

大規模購入トルエンを使用した実証設備運転を実施した結果、以下の通り長期間に渡り転化率、選択率は目標値以上を維持し、安定した運転が可能であった。



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確認して目標を達成した。

(1)-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。供給停止時間分布の中央値に注

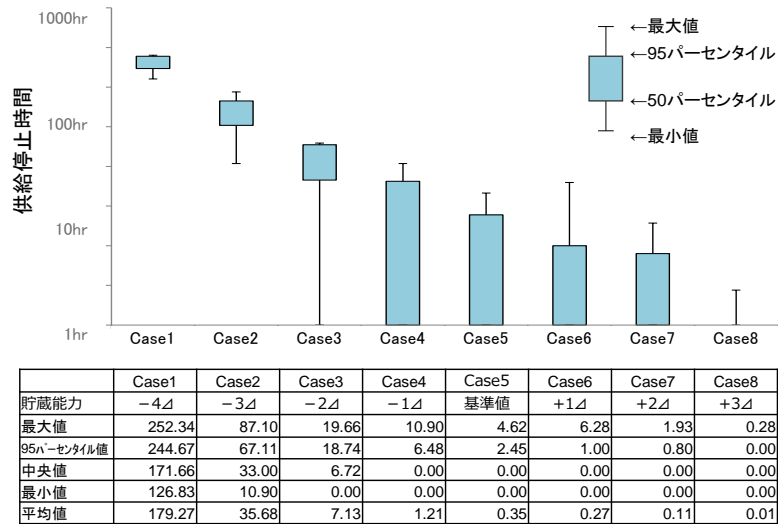


図 13 シミュレーション結果の一例

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。

③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。

④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。

(1)-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。

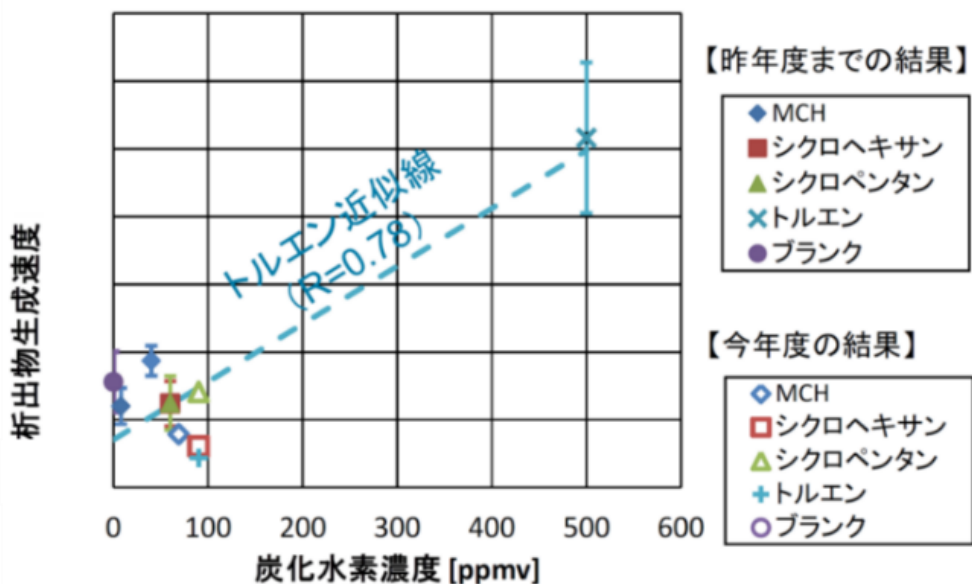
2016 年度、ガム状物質析出特性試験 (図 12 参照) を実施して、予混合燃焼 GT への 20 vol% 水素混焼時の影響評価を行う。

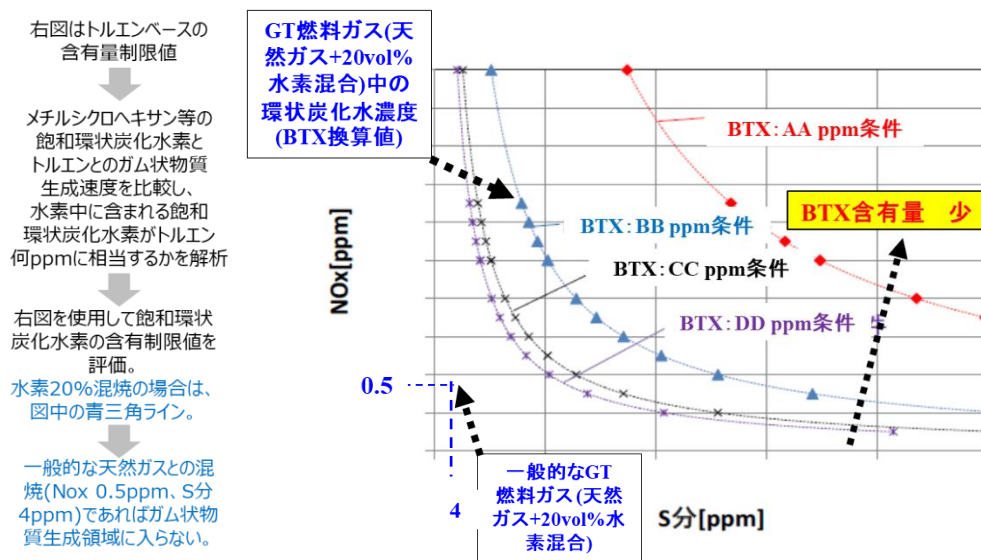
c. 成果及び達成度

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。)

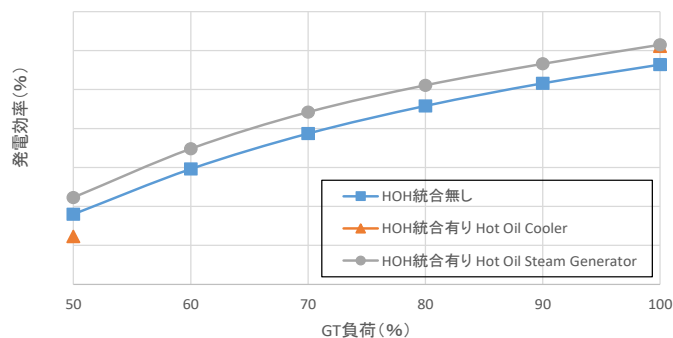


図14 HOHの有無による発電効率比較

- ✓ 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、その実現に向けた課題の頭出しを行うことができた。

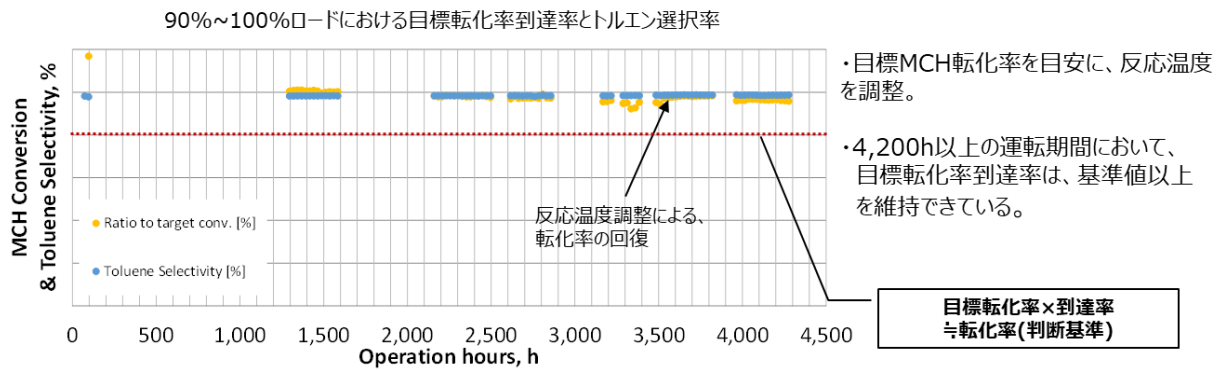
(1)-10 サプライチェーン効率化 (③-4)

① 実施内容

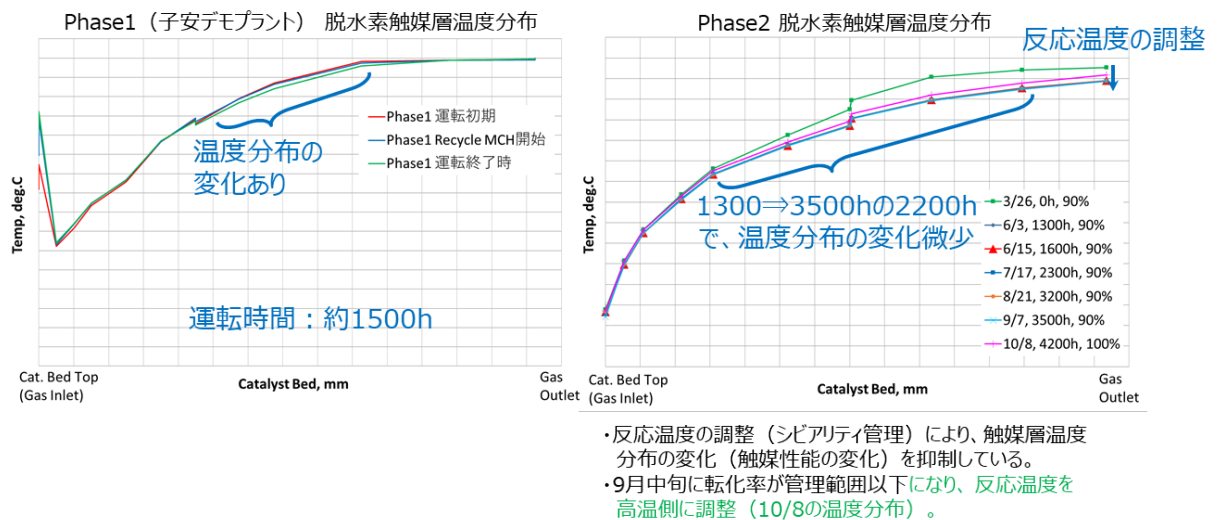
反応条件を調整して反応転化率を一定に維持した運転（シビアリティ管理）を実施し、触媒管の温度分布の経時変化を測定する。

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



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)-11 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 Nm^3/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 Nm^3/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 Nm^3/h クラスの水素源としても期待できるが、 CO_2 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 Nm^3/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、圧力維持の為に圧入ガスとして CO_2 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。

④ 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。

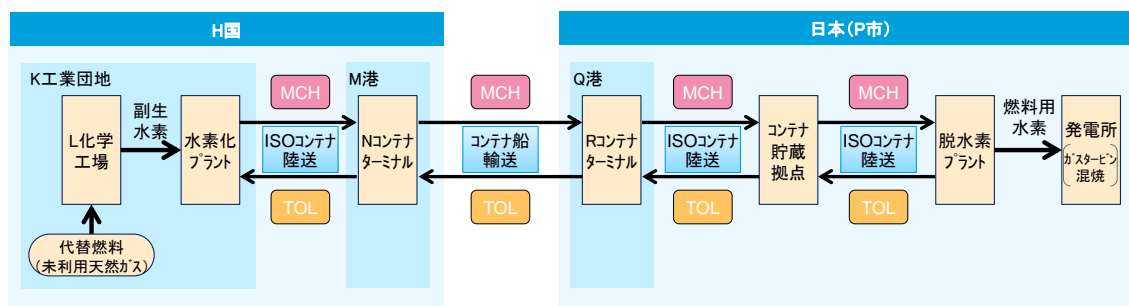


図 15 実証チェーン概略フロー

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。

(2) 成果の意義

(2)-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)-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 | |

(2)-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) 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。

(3)-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。

(3)-2 運用準備

本実証においては、従来に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)-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。

(3)-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。

○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たい。

○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ト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 | ジェットセンサー (取材) | ブルネイ国－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－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－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－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－ | 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プルネイ紹介 | 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り組み | 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 | 2019/9/1 | 三菱商事会社案内パンフレ ット | 三菱商事 | 三菱商事 |
| 45 | 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 |
| 46 | 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) |
| 47 | 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 |
| 48 | 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 |
| 49 | 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 |
| 50 | 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 |
| 51 | 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 |
| 52 | 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 |
| 53 | 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 |
| 54 | 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 |
| 55 | 2020/05/25 | HP | 輸入水素の発電利用開始 | 川崎市 |
| 56 | 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 |
| 57 | 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 |

| | | | | |
|----|------------|--------------|--|------------------|
| 58 | 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循環に成功、水素社会の実現を目指す～ | 日本郵船 |
| 59 | 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り組み」 | AHEAD 森本理事長 |
| 60 | 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 遠藤英樹 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り組み | 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り組み | 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り組み | 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り組み | 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り組み | 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り組み | 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 Hydrogen 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 | 2019/06/01 | Chiyoda in Brief (会社紹介定型プレゼン資料) | Hydrogen Supply Chain | 千代田化工建設 |
| 37 | 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 |
| 38 | 2019/6/19 | Credit Suisse Hydrogen Seminar | Overview of the Hydrogen Market Energy of the Future? | 千代田化工建設 |

| | | | | |
|----|--------------------------|--|---|-------------------------|
| 39 | 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 |
| 40 | 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 |
| 41 | 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 |
| 42 | 2019/06/19 | Credit Suisse Hydrogen Seminar | Overview of the Hydrogen Market Energy of the Future? | Chiyoda Oceania Pty Ltd |
| 43 | 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 - 有機ケミカルハイドライド法 - | 千代田化工建設 長井部長 |
| 44 | 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 |
| 45 | 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 |
| 46 | 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 |
| 47 | 2019/09/25 | Hydrogen Energy Ministerial Meeting 2019 | Demonstration Project "AHEAD" | 三菱商事 |
| 48 | 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 |
| 49 | 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 |
| 50 | 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 |

| | | | | |
|----|------------|---|---|------------------|
| 51 | 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り組みについて | 三菱商事 |
| 52 | 2019/11/13 | Department of Energy Hydrogen Carrier Workshop | Advances in chemical Carriers for hydrogen | 千代田化工建設 |
| 53 | 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 |
| 54 | 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 |
| 55 | 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 |
| 56 | 2020/02/12 | Stanford University Explore Course ERE205 Hydrogen Economy | MCH LOHC System | 千代田化工建設 |
| 58 | 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 |
| 59 | 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 |
| 60 | 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 |
| 61 | 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 |
| 62 | 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 |

| | | | | |
|----|------------|-----------------------------|--|-----------------|
| 63 | 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 |
| 64 | 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 | 千代田化工建設 |
| 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 |
| 15 | 2020/03/01 | 東亜石油殿株主向け資料 (2回/年発行) | 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 |

—特許等—
該当なし。

4. 1. 2 「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」

○ 実施者名、実施体制

- ・実施者名：CO2フリー水素サプライチェーン推進機構（HySTRA）
- ・実施体制：

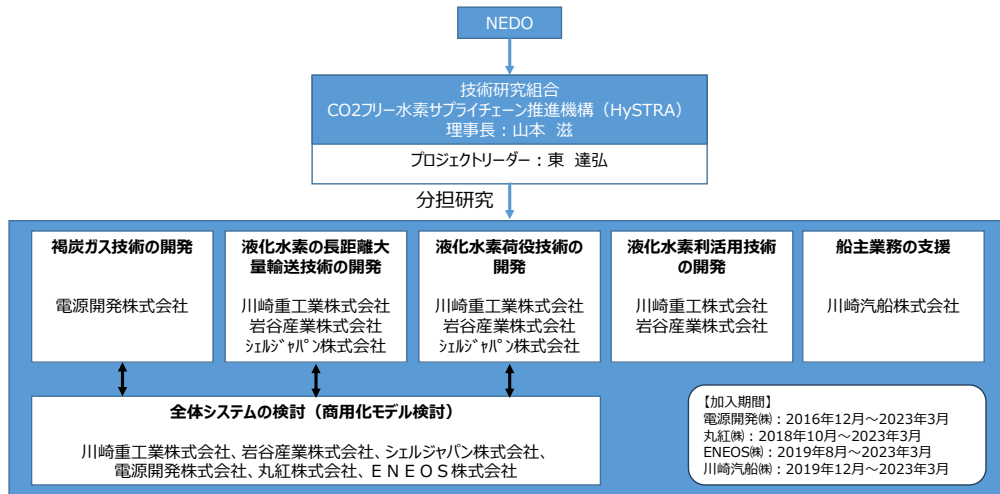


図1 HySTRA 実施体制図

○ 期間、予算

- ・期間：2015年12月～2023年9月
- ・予算：プロジェクト全体 272億円（助成費用 181億円）

○ 実用化・事業化への筋道

事業内容として液化水素の輸送事業への進出は考えず、今後とも液化水素運搬船の国際規格の取得を目指し、可能な限り液化水素の航行運転を実施し、様々航行条件でのデータを取得することを事業の主体と考えている。

図2に示すように、2030年度頃のIGC（International Gas Carrier）コードの改訂を目指し、GI基金で建造される大型液化水素運搬船の建造に資するパイロット実証船“すいそ ふろんていあ”でのデータの蓄積及びIMOへの報告を進め、一日も早いIGCコードの改定の実現を目指す。

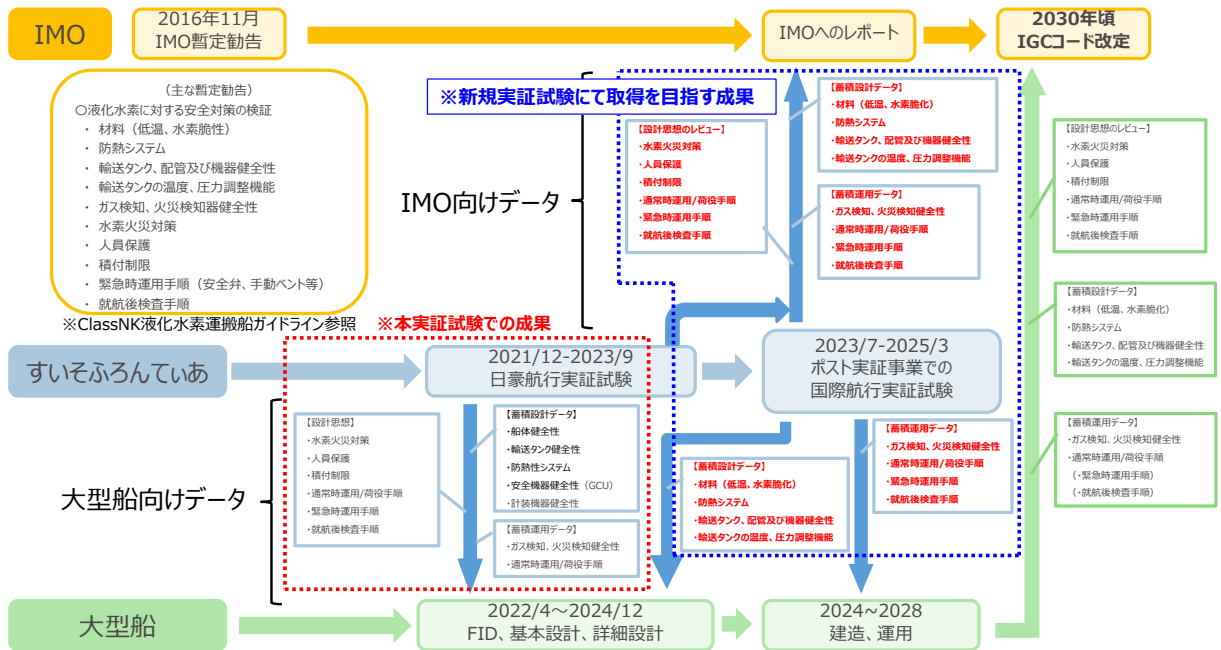


図2 IMO IGC (International Gas Carrier) コードの改定のスキームイメージ

○ 最終目標に対する成果と達成状況

【I. 液化水素の長距離大量輸送技術の要素技術の開発】

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|-------------------------|--------------------|---|-----|------|
| a) 液化水素海上輸送システムの要素技術の開発 | ① 揺動環境下で適用する断熱材の開発 | ・断熱材性能試験やアウトガス量測定を実施し、 10^{-1} Paの真空条件でタンクへの熱流束が $1W/m^2$ となる断熱構造を得た。 | ○ | |
| | ② 高真空度維持システムの開発 | ・内槽の極低温部の表面積と真空度との関係者を定量的に把握した。タンク構造材を使用した試験結果から放出ガス量を測定し、実サイズでの真空層に残存するガス成分の量を計算した。この結果、所定の真空度を維持することに十分な断熱性能を発揮できること確認した。 | ○ | |
| | ③ タンク構造の最適化 | ・輸送用タンクドーム部の拘束機構を検討し、FEM解析を実施し基本設計を完了した。 | ○ | |

| | | | | |
|------------------------|-------------------------|---|---|--|
| b) 輸送用タンクシステムの開発 | ④揺動環境下で適用する内槽支持構造の耐久性評価 | ・内槽支持構造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ることを確認した。 | ○ | |
| | ①海上輸送時の液化水素蒸発予測・制御技術の開発 | ・液化水素満載航行試験にて、液化水素の蒸発率は当初の設計値を下回ることを確認した。 | ○ | |
| | ②タンクシステムの構造健全性の検証 | ・液化水素満載航行において航行中に輸送用タンクの真空層に真空度異常等が見られなかったため輸送用タンクの支持構造は健全であると判断した。 | ○ | |
| | ③検査対応ガス置換技術の開発 | ・Hy touch 神戸において重力置換法により輸送用タンク内の窒素ガスを水素ガスに置換したところ 18 時間（計算では 27 時間）で置換が完了した。このことから、輸送用タンクのガス置換作業は現実的な時間で実施可能であることがわかった。 | ○ | |
| c) 輸送用タンクシステムの設計・製作・検査 | ④周辺機器・計装品類の健全性の検証 | ・周辺機器・計測品類（液化水素ポンプ、期待水素圧縮機、加温気、蒸発器及び液面計等）が液化水素中でも健全に動作することを確認した。 | ○ | |
| | 輸送用タンクシステムの設計・製作・検査 | ・2017 年度に基本設計、2019 年度に製作、船体への搭載を完了した。2020 年度に艤装後の機能確認を行い、2021 年度に液化水素の満載試験を実施し、船級及び船籍を取得した。 | ○ | |
| d) 実証試験 | ①安全対策システムの開発 | ・液化水素を使用した荷役操作を通じて各水素取扱 | ○ | |

| | | | | |
|--|---|--|--|--|
| <p>の実施</p> <p>e) 液化水素の長距離大量輸送技術開発の成果発信</p> | <p>②輸送タンクシステムの真空防熱性能の追加評価</p> <p>③タンク状態制御方法の評価</p> <p>④代替荷揚手段の開発</p> <p>⑤輸送タンク安全機構の評価</p> <p>G7 札幌気候・エネルギー・環境大臣会合（4月中旬開催）、G7 広島サミット（5月下旬開催）、首相中東歴訪（7月中旬実施）などの会場近傍へ液化水素運搬船を廻航し、各国首脳、大臣、要人等へ紹介するとともに、水素利用に対</p> | <p>い機器の動作確認を行い、すべての機器が問題なく使用できることを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・合計 2 回の日豪航行試験を実施した。1 回目の航行試験では豪州にて豪州で製造した液化水素を荷役した。 ・第 1 回と第 2 回の日豪航行試験において輸送用タンクは設計蓄圧性能を満足していることを確認した。 ・輸送用タンクの内圧制御には GCU（貨物ガス燃焼装置）が効果的であることを確認した。 ・輸送用タンク内のポンプが壊れたことを想定した加圧方式での荷揚について、問題なく実施できることを確認した。 ・GCU に関して連続 80 時間の運転試験を実施し、長時間問題なく使用できること確認した。 ・G7 札幌では、小樽港にて西村経産大臣、米国 DOE 長官、EU 環境大臣等への視察を実施した。G7 広島では、廿日市港にてベトナム首相の視察を実施した。 ・中東歴訪では、サウジアラビア、UAE 及びオマーンの 3 カ国を訪問した。サウジアラビアでは、エネルギー大臣の視察を実施するなどして、海外へ向け広く液化水素 | <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> <p>○</p> | |
|--|---|--|--|--|

| | | | | |
|--|-----------------|---------------------|--|--|
| | する各国国民の理解と支持の取得 | サプライチェーン技術の成果を発信した。 | | |
|--|-----------------|---------------------|--|--|

【Ⅱ．液化水素荷役技術の開発】

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|-------------------------|------------------------|---|--------|---|
| a) 液化水素の陸上-海上間移送技術実証 | ①揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証 | ・フレキシブルホース型ローディングアームシステムについては2020年度に設置を終え、数多くの荷役作業を実施し、揺動環境下にて一連の荷役作業を実施できることを確認した。 | ○ | |
| b) 荷役基地におけるオペレーション技術の開発 | ①液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発 | ・荷役基地の液化水素貯蔵タンクでの液化水素の蒸発量は、設計値以下となった。 ・積荷及び揚荷オペレーションでの液化水素の送液量と蒸発量を計測し、送液量に対する蒸発量の割合の知見を得た。 | ○ ○ | |
| | ②貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発 | ・大口径の液化水素配管において、設定した温度管理値内で配管予冷操作を実施することで、予冷及び通液前後において、配管にボウイング現象による損傷や外観上及び運用上の不具合が発生しないことを確認した。 | ○ | ボウイング現象；大口径配管などで断面方向に大きな温度差が発生すると配管上面と仮面で熱膨張差が発生し、弓なりの変形を生じる現象。 |
| | ③液化水素の管内流動状況の検証 | ・液化水素を移送する際、弁開度調整などの操作によって、計画した流量での液化水素の積荷及び揚荷オペレーションが可能であることを確認した。この知見を活用することにより、過大なサ | ○ | |

| | | | | |
|-----------------------------|--------------------------------------|--|---|---|
| | ④貯蔵タンク及び配管の蒸発率評価 | <p>イズの機器選定となることを避けられる。</p> <p>・貯蔵タンク液位3パターン（高、中、低）について、タンク内の蒸発量を計測したところ、適切な測定期間を設定してタンク内の蒸発率を計測したところ、いずれの液位においてもタンク断熱性能が目標値を満足していることを確認した。</p> | ○ | |
| | ⑤貯蔵タンク内部状況の評価 | <p>・貯蔵タンクを自己加圧した後に、貯蔵タンク内の液化水素を払い出す操作においては、払い出される貯蔵タンク底部の液化水素の状態は自己加圧前後で大きな変化が無いことを確認した。</p> | ○ | |
| | ⑥荷役流量と配管圧力損失の関係性評価 | <p>・配管内を流れる液化水素に関しては、流動により極端に大きく配管圧力損失を増大させるような気液二相流は発生していないことを確認した。</p> | ○ | |
| c) 代替揚荷手段の開発 | 代替荷役手段を実証する。 | <p>・ I -d)-④で記載済み</p> | ○ | |
| d) 液化水素からの水素ガス製造方法の実証 | 液化水素に使用可能なオープンラック型気化器の設計を行う。 | <p>・世界初の液化水素用オープンラック型気化器の設計を完了した。</p> | ○ | <p>(機器仕様)</p> <p>・寸法：L2m×W2m×H8m</p> <p>・流量：0.15t/h</p> |
| e) 鋼管型ローディングアームシステムの荷役技術の開発 | 揺動環境下での鋼管型ローディングアームシステムによる荷役作業を実施する。 | <p>・揺動環境下にて一連の荷役作業を実施できることを確認した。</p> | ○ | |

【Ⅲ. 褐炭ガス化技術の開発】

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|-----------------------|---------------------------------|---|-----|------|
| a)EAGLE 炉への豪州褐炭の適用性評価 | ①褐炭前処理技術の検討 | ・褐炭に含まれる不純物（木質系異物）に適した不純物除去装置を調整できたことにより、全運転期間を通し、問題なく豪州褐炭を粉碎・乾燥できることを確認した。 | ○ | |
| | ②褐炭ガス化評価 | ・豪州小型ガス化炉にて6種類の豪州褐炭、3種類のバイオマスと豪州褐炭混合原料でのガス化特性の取得及び水素製造を実施した。全試験期間での累計ガス化運転時間は339時間、約10トンの褐炭を処理し、約1トンの水素を製造した。 | ○ | |
| | ③EAGLE 炉への適用性評価 | ・若松研究所小型炉試験設備にて豪州褐炭を用いてガス化試験を実施し、EAGLE 炉においても問題無くガス化運転が可能であることを確認した。 | ○ | |
| b)化学原料製造向けガス化技術の検証 | ①CO ₂ による褐炭運搬システムの検討 | ・豪州小型ガス化試験設備にて搬送ガスとしてCO ₂ と窒素を使用して試験したところガス化効率に関して大きな差異が生じないことを確認した。 | ○ | |
| | 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 | ・若松研究所の小型炉試験設備にてガス化炉の熱回収部への直接水噴霧「ダイレクトクエンチ」によるガス冷却を行い、生成ガス温度を安定して制御可能であることを確認した。本方法を採用することによりガス化炉が | ○ | |

| | | | | |
|---------------------------|--------------------|---|---|--|
| c) 豪州褐炭ガス化運用技術の検討 | 大型炉への課題抽出 | ス冷却器を合理化できる。 ・豪州小型ガス化試験設備及び若松研究所小型炉試験設備にてガス化試験を実施し、商用設計に考慮すべき項目を明確にした。 | ○ | |
| d) 褐炭-バイオマス混合体に対するガス化特性評価 | バイオマスのガス化特性への影響の把握 | ・3種類のバイオマス（無炭化、半炭化、炭化）と豪州褐炭の混合原料でガス化試験を実施し、問題なくガス化が行われ水素の製造が可能であることを確認した。 | ○ | |

【IV. 液化水素利活用技術の開発】

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|-----------------------|---|--|-----|--|
| a) 日豪間輸送後の液化水素の利活用の実証 | Hy touch 神戸から神戸コージェネレーションシステムプラント（神戸CGS）へ液化水素を共有し、発電試験の実施 | ・Hy touch 神戸から神戸CGSへ液化水素をコンテナにて輸送・供給し、発電試験が問題なく実施できることを確認した。 | ○ | （試験概要） ・共有液化水素量：約 590kg ・水素専焼運転時間：3 時間 |

○ 成果の意義

パイロット規模ながらも褐炭ガス化設備、液化水素運搬船及びローディングアームシステムを含む液化水素荷役基地を建造、建設し、日豪航行を実証した。このように、液化水素を実際に「つくる」、「はこぶ」、「ためる」、「つかう」の一連のサプライチェーンの実証に世界で初めて成功したことは、技術開発の見地から今後の商用化を目指す上で非常に大きな意義があるものと考えられる。また、本実証事業により今後の商用実証事業の大型船開発に向け設計方針や安全方針等の妥当性が確認できた。

また、G7 関連行事や中東へ“すいそ ふろんていあ”を実際に派遣し、日本の液化水素関連技術の進捗状況と実現性を発信できたが、現地の認知度としては、これまで我々が国内で発信していた情報が海外へはほとんど伝わっていないことが明らかとなった。このことから、実際に現地で成果を発信できたことは非常に大きな意義があったものと考えられるが、今後は、海外を意識した情報発信が急務であることを認識した。

○ 特許出願、論文発表、学会発表・講演等の数

(1) 特許出願の数

助成期間における特許取得状況を表 1 に示す。

表 1 助成期間での特許取得状況

| | 2015Fy | 2016Fy | 2017Fy | 2018Fy | 2019Fy | 2020Fy | 2021Fy | 2022Fy | 2023Fy | 合計 |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|
| 特許出願数 (内；国際出願) | 1 (1) | 1 (0) | 7 (0) | 2 (1) | 1 (0) | 11 (0) | 7 (1) | 4 (1) | 0 (0) | 34 (4) |

※2023年9月末現在

(2) 論文発表、学会発表・講演等の数

助成期間における論文、発表、講演の状況を表 2 に示す。

表 2 助成期間での論文、発表、講演等の状況

| | 2015Fy | 2016Fy | 2017Fy | 2018Fy | 2019Fy | 2020Fy | 2021Fy | 2022Fy | 2023Fy | 合計 | |
|-------------|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|-----|
| 論文発表 (査読付き) | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 3 | |
| 受賞実績 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 0 | 4 | |
| 外部 発表 | 研究発表・講演 | 16 | 45 | 40 | 55 | 32 | 50 | 64 | 43 | 5 | 350 |
| | 新聞・雑誌等への掲載 | 0 | 3 | 28 | 19 | 17 | 20 | 13 | 42 | 0 | 142 |
| | 展示会への出展 | 0 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 0 | 8 |

※2023年9月末現在

(3) 成果の普及活動

成果の普及活動として、毎年 3 月に開催される「H2 & FC EXPO」に出展し、エネルギー業界に限らず広く一般に向け成果を普及する活動を継続してきた。以下にこれまでの出展状況を表 1 に示す。

表 3 H2 & FC EXPO 来場者状況

| | 2018 年 | 2019 年 | 2022 年 | 2023 年 |
|------------------|----------|----------|----------|----------|
| ブース内カタログ配布部数 | 4,100 部 | 4,400 部 | 2,600 部 | 3,800 部 |
| ブース内プレゼン聴講者数 | 462 名 | 844 名 | 749 名 | 1,271 名 |
| (参考) 展示会総来場者数 | 64,399 名 | 66,579 名 | 41,751 名 | 65,563 名 |

※Covid19 の影響のため、2020 年は展示のみ、2021 年は出展中止とした。

○ 研究開発成果の詳細

(1) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

① 液化水素海上輸送システムの要素技術の開発

a) 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、 10^{-1}Pa の真空条件下でタンクへの熱流束が $1\text{W}/\text{m}^2$ 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3)。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3 支持材断熱性能試験装置

試験体
(GFRP製支持材)

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 $1\text{W}/\text{m}^2$ 以下とすることができた。

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°C 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。

③ タンク構造の最適化

<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。（図 4）

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。

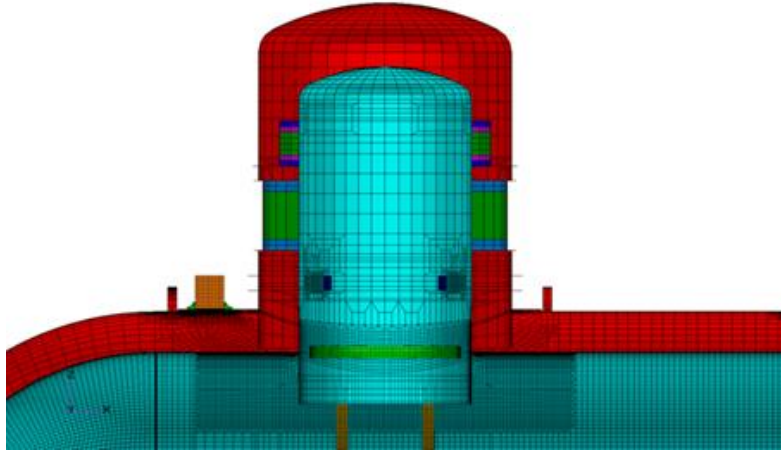


図 4 貨物タンク構造 F E M強度解析モデル（ドーム部）

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ることを確認した。

b) 輸送用タンクシステムの開発

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。（図 5）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。

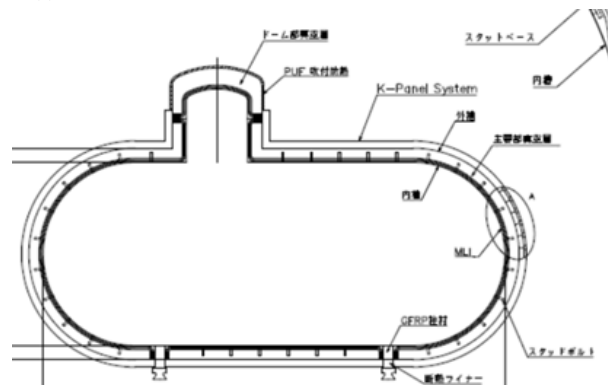


図 5 貨物タンク防熱全体配置図

<2020 年度の研究開発成果>

“海上輸送時の液化水素蒸発予測・制御技術の開発”については、Covid-19 等の影響による工程遅延により 2020 年度は未実施、2021 年度に繰り越して実施する。

<2021 年度の研究開発成果>

液化水素運搬船に液化水素を満載とし、輸送タンク内の液化水素の蒸発率を計測した。その結果、液化水素の蒸発率は当初の設計値を下回っていることを確認した。

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 6）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.)

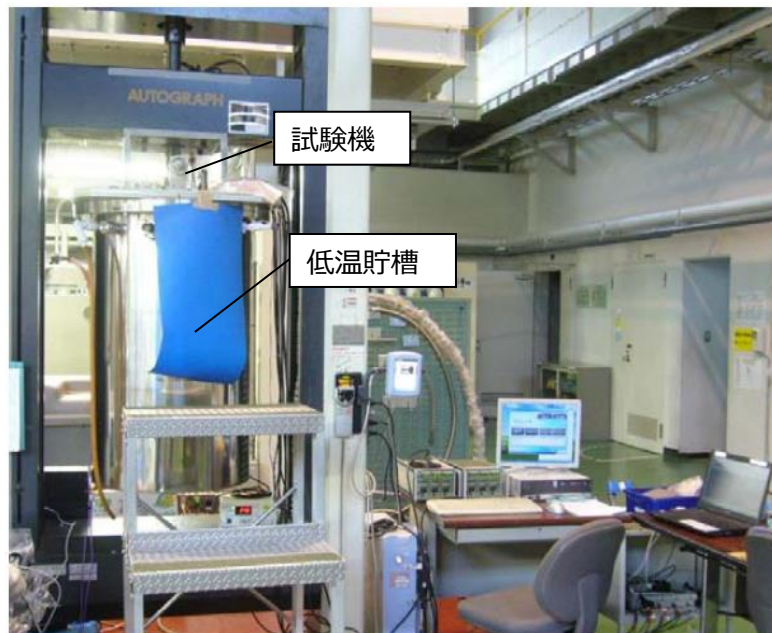


図 6 破壊靱性試験、試験状況

<2020 年度の研究開発成果>

“タンクシステムの構造健全性の検証”については、Covid-19 等の影響による工程遅延により 2020 年度は未実施、2021 年度に繰り越して実施する。

<2021 年度の研究開発成果>

輸送タンクを満載状態にした上で日本近海において液化水素運搬船の航行試験を実施した。同試験中に輸送タンクの真空層に真空度異常等が見られなかった為、輸送タンクの支持構造は健全であると判断した。

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。

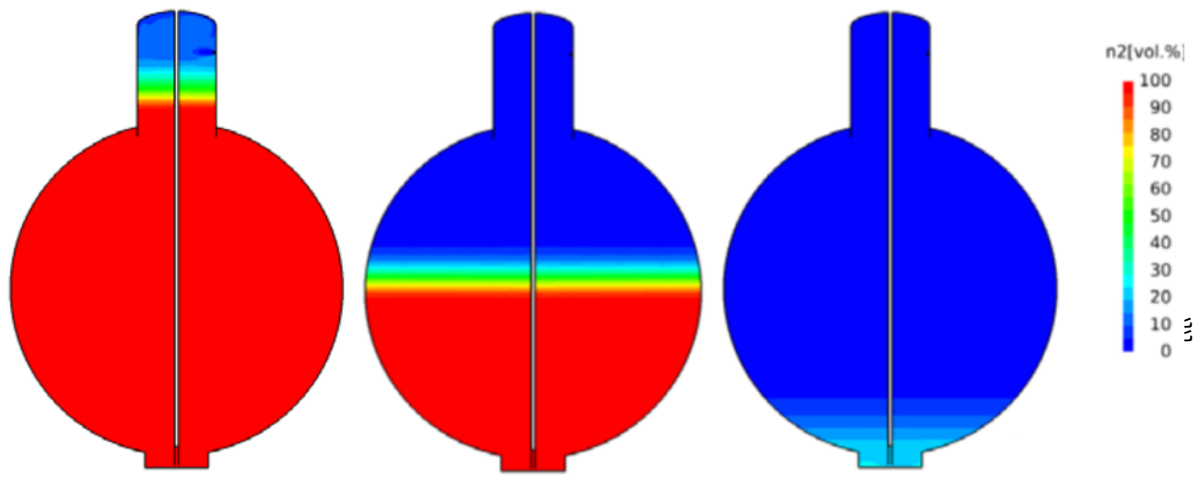


図 7 貨物タンクガス置換 数値解析モデル計算結果例

<2020 年度の研究開発成果>

“検査対応ガス置換技術の開発”については、Covid-19 等の影響による工程遅延により 2020 年度は未実施、2021 年度に繰り越して実施する。

<2021 年度の研究開発成果>

神戸荷役基地において重力置換法により輸送タンク内の窒素ガスを水素ガスに置換した。置換に要した時間は 18 時間であったため、輸送タンク内のガス置換が現実的な時間で実施できることを確認した。

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 8、図 9)



図 8 液面計試験装置 (左: ディスプレーサ式、右: 静電容量式)

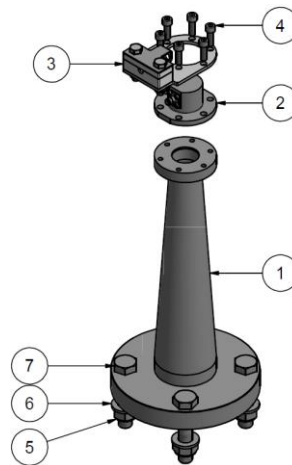


図 9 試験用レーザー式液面計

<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。

<2020 年度の研究開発成果>

“周辺機器・計装品類の健全性の検証”については、Covid-19 等の影響による工程遅延により 2020 年度は未実施、2021 年度に繰り越して実施する。

<2021 年度の研究開発成果>

液化水素を用いて、各種機器（液化水素ポンプ、気体水素圧縮機、加温器、蒸発器、液面計など）の動作試験を実施し、健全に動作することを確認した。

運転状態の気体水素圧縮機の写真を図 10 に示す。



図 10 運転状態の気体水素圧縮機

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 11、外槽を図 12 に示す。



図 11 内槽製作状況



図 12 外槽製作状況

＜2019年度の研究開発成果＞

本年度は、液化水素タンクシステムの製作作業を継続実施した。7月までに内筒及び外筒の一体化作業を終え、10月から内筒-外筒間の真空引きを実施した。真空引き終了後外筒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、艀装作業を開始した。図 13 に内筒及び外筒一体化後液化水素タンクシステム、図 14 に進水式、図 15 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 13 内筒・外筒一体化後のタンクシステムの様子



図 14 「すいそ ふろんていあ」進水式



図 15 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>

輸送タンクシステムを搭載した液化水素運搬船の艀装作業がほぼ完了し、2020 年 10 月に海上公試を終え、船の航行性能を確認すると共に、液化水素非搭載状態ではあるが、輸送タンクシステムに実際の洋上揺動環境を経験させ、支持構造の健全性が維持されることを確認した。また、同年 12 月には輸送タンクシステムで低温窒素ガスによる冷却試験を実施し、液化窒素温度域までであれば配管系統およびタンクシステムが健全であることを検証した。

また、船級（日本海事協会）と共に輸送タンクシステムおよび水素取扱機器のリスクアセスメントを行い、これを踏まえた実証試験実施方案・要領書の作成を継続中である。

海上公試の様子を図 16 に示す。



図 16 液化水素運搬船 海上公試の様子

<2021年度の研究開発成果>

輸送用タンクシステムおよび水素取扱機器のリスクアセスメントが完了し、これを踏まえた実証試験実施
方案・要領書に対して船級(日本海事協会)の承認を得た。

d) 実証試験の実施

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。

- i. 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。
- ii. 揚荷時に貨物を沸騰させない適切な落圧速度とする
- iii. 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

<2020 年度の研究開発成果>

“安全対策システムの開発”については、Covid-19 等の影響による工程遅延により 2020 年度は未実
施、2021 年度に繰り越して実施する。

<2021 年度の研究開発成果>

実際に液化水素を用いた荷役操作を通じて各水素取扱機器の動作確認試験を行った。機器単体の動
作や、荷役基地の貯蔵タンクから液化水素運搬船の輸送タンク、輸送タンクから貯蔵タンクへの荷役作業が
問題なく行えることを確認し、2021 年 12 月 3 日に液化水素運搬船全体の船級登録が完了した。

同年 12 月 24 日に豪州に向けて出航し、翌 2022 年 1 月 20 日に豪州ヘイスティングス港に到着した。同港栈橋設備にて、豪州褐炭由来の液化水素を輸送タンクに積み込み、1 月 28 日に出港した。2 月 25 日には神戸荷役基地に着岸し、問題なく日豪間の航行試験を完了した。ヘイスティングス港着岸中の荷役作業の様子を図 17 に示す。



図 17 液化水素運搬船 豪州での荷役作業

<2022 年度の研究開発成果>

2022 年 4 月 10 日に日本を出港し、豪州ヘイスティングス港の着岸を経て無事に日本に帰港し順調に繰り返し航行を行った(図 18)。また、繰り返し航行においても、貨物タンク性能に異常がないこと確認した。



図 18 液化水素運搬船 豪州から日本への航路

② 輸送タンクシステムの真空防熱性能の追加評価

<2021 年度の研究開発成果>

②に記載の日豪間航行中、液化水素を搭載した輸送タンクの内圧変動を記録し、外洋の揺動環境による影響を検証した。その結果、輸送タンクは設計蓄圧性能を満足していることを確認した。

2022 年度は異なるタンク条件下でのタンク内圧変動を確認し、2021 年度のデータと比較検証を行う。

<2022 年度の研究開発成果>

液化水素の搭載量の変化が輸送タンクの内圧に与える影響については、2023 年度以降に繰り返し検証することとする。

③ タンク状態制御方法の評価

<2021 年度の研究開発成果>

輸送タンク内液化水素に対してミキシング操作を行い、タンク内圧に与える影響を検証した。しかし、同操作が効果的にタンク内圧低下に寄与するとの結果とはならなかった。一方、輸送タンク内圧制御には GCU（貨物ガス燃焼装置）が効果的であることを確認した。

また、荷役作業時のタンク内圧制御にあたる落圧操作については、国内での満載航行試験後に一度実施したものの、荷役時間最適化を目的に、引き続き 2022 年度にも試験を行う。

<2022 年度の研究開発成果>

輸送タンク満載状態からの落圧操作を行い、目標の落圧レートにおいて貨物の異常な沸騰などが生じないことを確認した。これにより、目標時間内に輸送タンクの圧力操作が可能となり落圧時間の最適化を行うことができた。

④ 代替荷揚手段の開発

<2022 年度の研究開発成果>

基地側設備から輸送タンクへ水素供給を行ない、輸送用タンクを加圧する手順を策定し、同手順で揚荷を行なえるか確認した。その結果、問題なく揚荷を行なえることが分かり、貨物ポンプに異常が発生した非常時において、安全に貨物の陸揚げが可能であることを確認した。

⑤ 輸送タンク安全機構の評価

<2022 年度の研究開発成果>

航行試験中に GCU による輸送タンク内部の圧力制御を実施した。連続 80 時間弱の運転を行ない、洋上環境下においても GCU が長時間問題なく動作し、安全に輸送タンク内部の圧力制御が可能であることを確認した。(図 19)

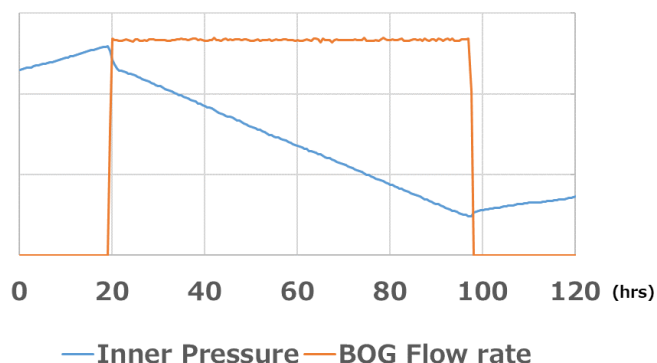


図 19 輸送タンク内圧と GCU へ送る BOG 流量の時系列変化

e) 液化水素の長距離大量輸送技術開発の成果発信

<2023 年度の研究開発成果>

(1) G7 関連行事対応

G7 札幌 気候・エネルギー・環境大臣会合（2023/4/15-4/16）では小樽港、G7 広島サミット（2023/5/19-5/21）では、廿日市港に“すいそ ふろんていあ”を派遣し、各国大臣及び要人に乗船視察していただき、液化水素サプライチェーン技術の成果を発信した。図 20 に G7 札幌での米国GRAMホルム DOE 長官視察時、図 21 に西村経済産業大臣、シムソン欧州委員、英国シャプスエネルギー・安全保障大臣視察時の様子を示す。また、図 22 には、G7 広島でのベトナム ファム・ミン・チン首相の視察時の様子を示す。



図 20 GRAMホルム DOE 長官視察時



図 21 西村経産大臣、シャプス大臣（英）、シムソン委員（EU）視察時



図 22 ファム・ミン・チン ベトナム首相視察時

(2) 中東対応

6月20日～8月31日にかけて岸田首相の中東訪問に合わせ、“すいそ ふろんていあ”をサウジアラビア、UAE 及びオマーンの3カ国に派遣し、各国の要人に乗船視察を実施した。サウジアラビアでの視察時の様子を図 23 に示す。



図 23 アブドゥルアジーズ エネルギー大臣視察時

(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

① 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証

<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 23）を決定した。設定した横方向可動範囲（送液時 1.5m、接続時 2.7m）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（図 24、25）。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、良好な結果を得たるとともに、ERS (emergency release system; 緊急離脱機構)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。

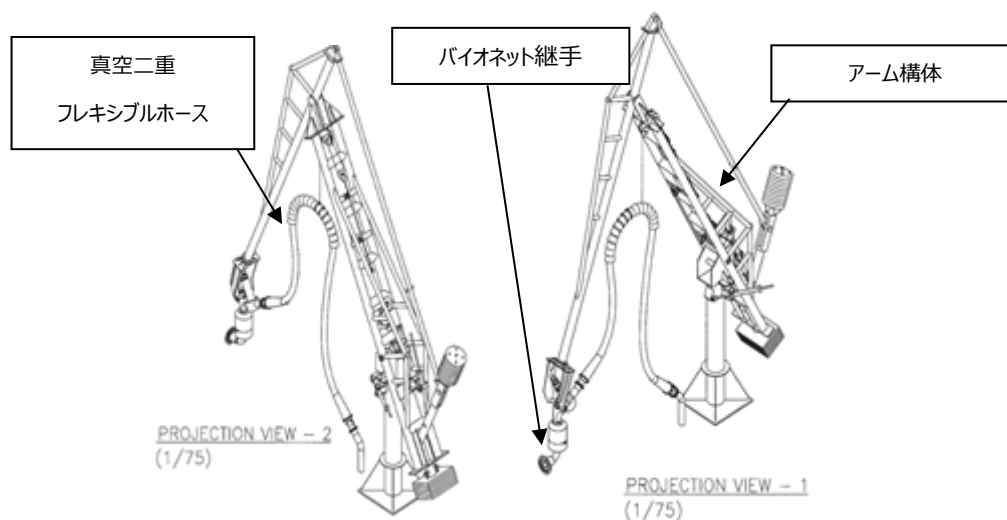


図 23 ローディングシステム外形図

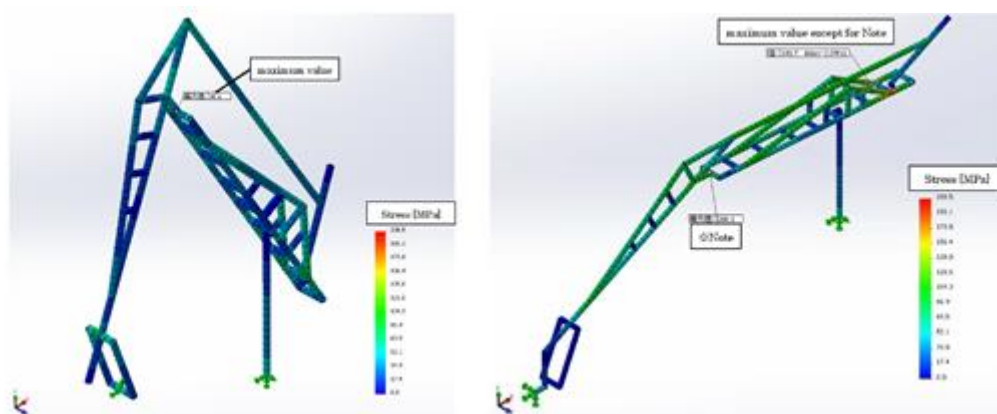


図 24 アーム部の各状態における構造解析



図 25 接続部構造解析

<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する予定である。

<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、荷役基地へ輸送した。現在、現地で据付工事中である。今後、2020 年 4 月中に一部パーツを除き高圧ガスの完成検査を受検する予定である。最終的な高圧ガスの完成検査は 8 月に受検した。図 26 にローディングアーム現地据付時の様子を示す。



図 26 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本体の据付工事が 2020 年 4 月に完了した。ERS については 2020 年 9 月に現地設置が完了している。“揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証”については Covid-19 等の影響による工程遅延により 2020 年度は未実施、2021 年度に繰り越して実施する。図 27 に据付完了後のローディングアームの様子を示す。



図 27 ローディングアーム全景（据付完了後）

<2021 年度の研究開発成果>

ローディングアームで荷役基地と液化水素運搬船とを接続し、液化水素の船陸荷役試験を実施した。液化水素の荷役に先立ち、ローディングアーム内の窒素置換、水素置換を順に実施した。ローディングアームの水素置換完了後に貯蔵タンクから輸送タンクへ、輸送タンク当たり 200m³/h の流量で液化水素の荷役を実施した。図 28 に荷役時の貯蔵タンクと輸送タンクの液位の経時変化を示す。荷役後にローディングアーム内の窒素置換を実施し、ローディングアームと液化水素運搬船接続部の切離しを行った。

以上から、ローディングアームの接続、船陸間の荷役、ローディングアームの切り離しまでの一連の荷役操作が揺動環境下においても問題なく実施できることを確認した。

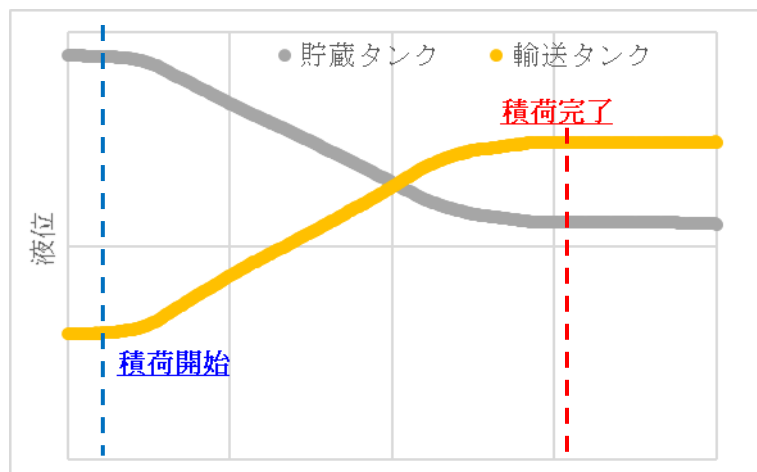


図 28 液化水素積荷時の貯蔵タンク/輸送タンク液位の経時変化

<2022 年度の研究開発成果>

フレキシブルホース型ローディングアームにて代替揚荷等の荷役実績を得た。また、鋼管型ローディングアームを新規に設置し、荷役試験を実施した。詳細は e) 鋼製型ローディングアームの荷役技術の開発にて示す。

- b) 荷役基地におけるオペレーション技術の開発
 - 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 4 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 0.1wt%/日を達成する目処を付けることができた。（図 29）

<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、材料手配等を開始した。

表 4 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 | 着栈 |
| 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 | 液化水素積荷 |
| 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 | 出航 |

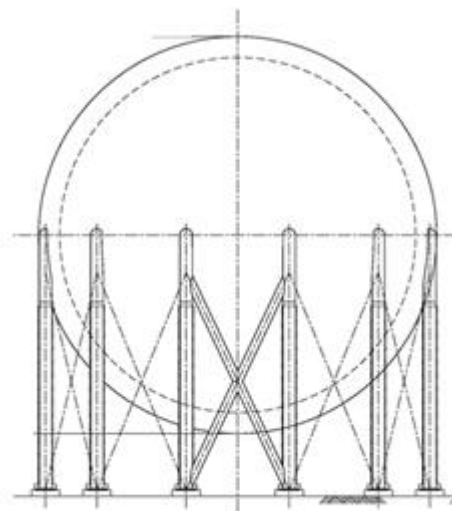


図 29 液化水素貯蔵タンク外形図

<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に関しては現在現地に於て建設中である。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 30 に建設状況を示す。（2019 年 3 月）



図 30 荷役基地建設状況（2019年3月現在）

<2019年度の研究開発成果>

本年度は、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、現在、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。図 31、図 32 に建設中の様子を示す。



(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ホルダー

図 31 荷役基地建設状況（2019年4月）



(a) 液化水素貯蔵タンク



(b) ベントスタック

図 32 荷役基地建設状況（2019年8月）

<2020年度の研究開発成果>

2020年5月にローディングシステムの一部を除き現地工事が完了し、貯蔵タンクの予冷、液化水素の充填を実施した。貯蔵タンクの目標蒸発率を達成している。“液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発”については Covid-19 等の影響による工程遅延により 2020 年度は未実施、2021 年度に繰り越して実施する。図 33 に設置完了後の液化水素貯蔵タンクを示す。



図 33 貯蔵タンク全景（設置完了後）

<2021年度の研究開発成果>

積荷及び揚荷オペレーションにおいて、液化水素の送液量及び蒸発量を計測し、送液量に対する蒸発量の割合を確認した。実測値を計算値と比較・評価することで設備設計の妥当性を確認している。本成果によって、商用規模チェーンを設計する際に、積荷及び揚荷オペレーションでの蒸発量をより正確に予測することが可能となる。

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、材料手配等を開始した。

<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在現地に建設中である。また、真空二重管に関しては材料の調達は完了し、現在プレハブ製作中である。

<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、現在、真空引きを実施した。

<2020 年度の研究開発成果>

2020 年 5 月にローディングシステムの一部を除き現地工事が完了し、貯蔵タンクの予冷、液化水素の充填を実施した。貯蔵タンクの予冷は基本設計通りに試験を行い、計画以下の液化水素使用量で実施できている。Covid-19 等の影響による工程遅延により 2021 年度に繰り越して実施する積荷及び揚荷オペレーションにより配管類含めた予冷システムの開発を行う。

<2021 年度の研究開発成果>

大口径の液化水素配管において、予冷及び通液の際、配管内での過度な上下温度差による不具合（ポウイング現象等）が発生しないこと、および予冷に要する時間が過大にならないことを両立するように、荷役操作時の温度管理値を予め設定した。

この温度管理値内で配管予冷操作を実施することで、予冷及び通液前後において、配管にポウイング現象による損傷や、外観上および運用上の不具合が発生しないことを確認した。（参考：図 34 予冷時の温度変化）

本成果によって、より大口径の液化水素用真空二重配管が求められる商用規模チェーンを検討する際にも、本成果と同様の手法を用いた温度管理値の設定と、それによる安全かつ効率的な荷役作業が可能となる。

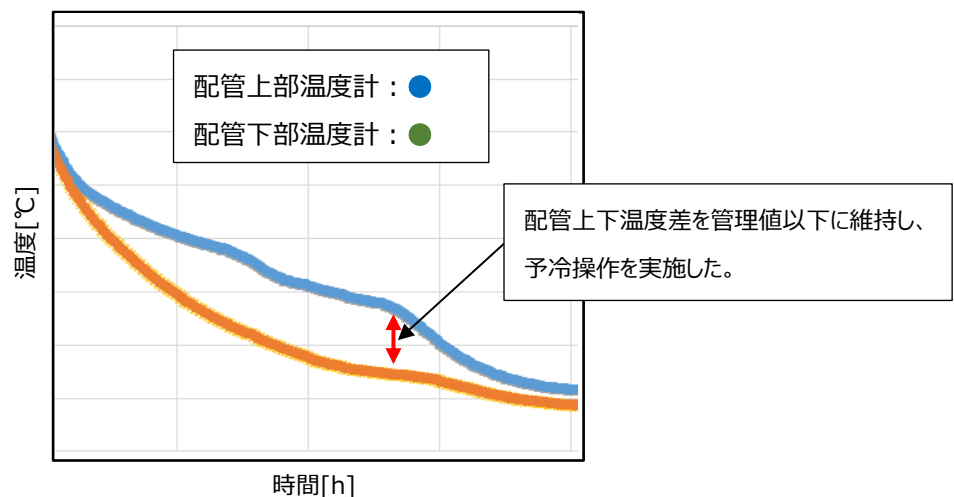


図 34 配管上部・下部温度の時間変化

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 200m³/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 5 構成設備概要、図 35 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、材料手配等を開始した。

<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、現在プレハブ製作中である。

<2019 年度の研究開発成果>

b)-②と同様である。

表 5 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 | |

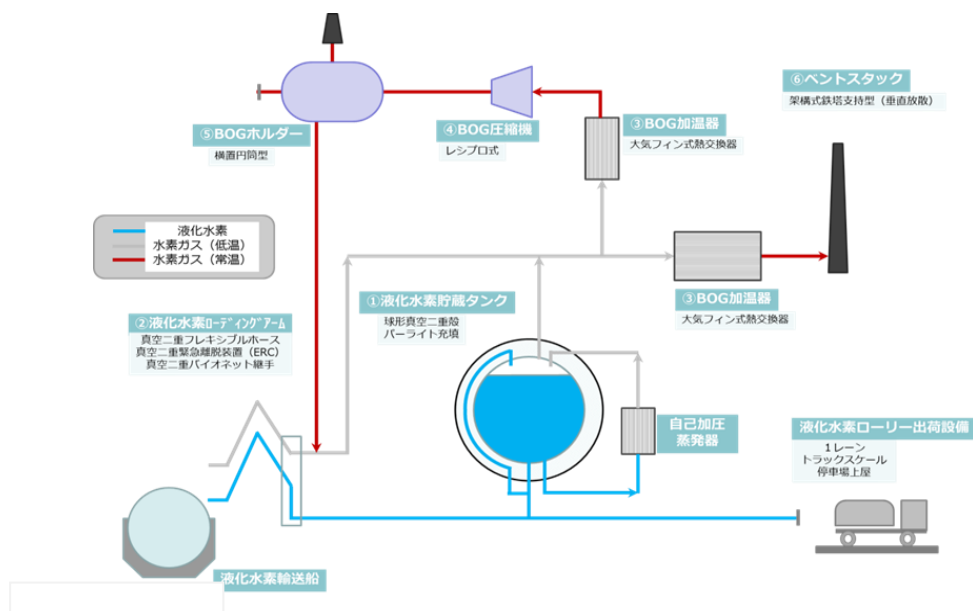


図 35 荷役基地 概略フロー

<2020 年度の研究開発成果>

ローディングアームシステム本体の据付工事が 2020 年 4 月に完了した。ERS については 2020 年 9 月に現地設置が完了している。“液化水素の管内流動状況の検証”については Covid-19 等の影響による工程遅延により 2020 年度は未実施、2021 年度に繰り越して実施する。

<2021 年度の研究開発成果>

液化水素を移送する際、弁開度調整等の操作によって、計画した流量での液化水素の積荷及び揚荷オペレーションが可能であることを確認した。

本成果により、商用規模チェーンを検討する際、積荷及び揚荷オペレーション時の流量や吐出圧力の設定にあたって、過大なサイズの機器選定が不要となり、適切な設備設計が可能になる。

④ 貯蔵タンク及び配管の蒸発率評価

<2021 年度の研究開発成果>

配管内の液化水素の蒸発量計測に関しては、配管内の液張り後、配管内の蒸発量を仮設流量計で計測した。

貯蔵タンク内の液化水素の蒸発量計測に関しては、タンク液位 3 パターン（高液位、中液位、低液位）について、それぞれ一定期間の静定の上、蒸発量計測を実施した。また、各液位について、貯蔵タンク内外槽間の真空度計測を実施している。（参考 図 36 貯蔵タンク周辺）

再現性確認のためのタンク高液位での追加試験、及び本試験の計測結果の詳細な検証・評価は、2022 年度に実施する。



図 36 貯蔵タンク周辺

<2022 年度の研究開発成果>

貯蔵タンク液位 3 パターン（高液位、中液位、低液位）について、貯蔵タンク内の液化水素の蒸発量を計測した。適切な測定期間を設定することで、いずれの液位においても、タンク断熱性能が目標値を満足していることを確認した。また、液水が貯蔵された状態での貯蔵タンク内外槽間の真空度計測をすることにより、断熱性能を十分に維持可能な真空度であることを確認した。

⑤ 貯蔵タンク内部状況の評価

<2021 年度の研究開発成果>

タンク液位 3 パターン（高液位、中液位、低液位）について、それぞれ一定期間の加圧状態を維持し、加圧中および落圧中の貯蔵タンク内液化水素の液位・圧力・温度の変化を計測した。

再現性確認のためのタンク高液位での追加試験、及び本試験の計測結果の詳細な検証・評価は、2022 年度に実施する。

<2022 年度の研究開発成果>

タンク液位 3 パターン（高液位、中液位、低液位）について、計画通り、それぞれ一定期間の加圧状態を維持し、加圧中および落圧中の貯蔵タンク内液化水素の液位・圧力・温度の変化を計測した。その結果、加圧後に長期間静置した後も、タンク底部の温度は殆ど上昇しない傾向が観察された。したがって、貯蔵タンクを自己加圧した後に、貯蔵タンク内の液化水素を払い出す操作においては、払い出される貯蔵タンク底部の液化水素の状態は自己加圧前後で大きな変化が無いことを確認した。

⑥ 荷役流量と配管圧力損失の関係性評価

<2022 年度の研究開発成果>

基地の貯蔵タンクと船の輸送タンクへ荷役した際の荷役流量とある区間での配管圧力損失のデータを取得し、関係性を評価した。

結果として、流量を増加させる際、段階的に流量を上げ、一定時間維持する操作を実施して流量を変化させた際には、弁開度変更操作の影響で一時的な圧力損失にバラツキがみられた。一方、各流量（25%、50%、75%、定格流量）を維持した後の配管圧力損失は、流量増加と共に追従する形で配管圧力損失が上昇していることを確認した。このことから、配管内を流れる液体水素に関しては、極端に大きく配管圧力損失を増大させるような気液二相流は発生していないと考えられる。

c) 代替揚荷手段の開発

<2022 年度の研究開発成果>

4-1 d)-④にて示した。

d) 液化水素からの水素ガス製造方法の実証

<2021 年度の研究開発成果>

気化器追設に伴う基地設備の設計変更内容を検討中。

<2022 年度の研究開発成果>

将来の商用基地において、液化水素は発電に用いられることを想定しており、効率的に気化する技術が必要である。現在、LNG 基地で最も多く用いられるオープンラック型の気化器については、市場に機器が存在していないため、気化器及び周辺機器に関する設計を行った。

図 37 に今回設計したオープンラック型液化水素気化器の 3D モデル、表 6 に概略仕様を示す。

表 6 液化水素気化器 概略仕様

| 項目 | 仕様 |
|----------|--------------------------|
| 寸法 | L約2000mm×W約2000mm×H約8000 |
| 液化水素気化能力 | 0.15 t/h |
| 出口圧力 | 約2.5 MPaG |
| 設計圧力 | 4.0 MPaG |

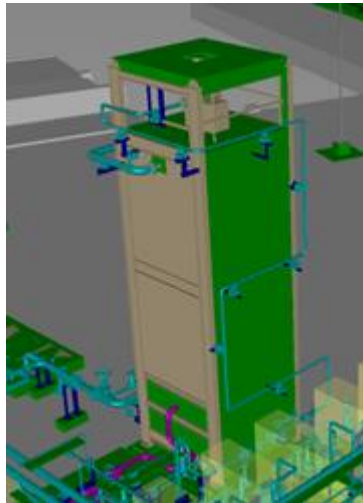


図 37 液化水素気化器 3D モデル

e) 鋼製型ローディングアームの荷役技術の開発

<2021 年度の研究開発成果>

鋼製型ローディングアーム及び周辺配管等の詳細設計、製作、各種検査を実施した。

これらの現地据付工事・試運転、および実証試験は、2022 年度に実施する。(参考：図 38 鋼管型ローディングアーム(メーカー工場))



図 38 鋼管型ローディングアーム(メーカー工場)

<2022 年度の研究開発成果>

鋼管型ローディングアームの現地据付工事及び動作試験を 2023 年 1 月に完了した。図 39 に据付完了後の、鋼管型ローディングアームの様子を示す。



図 39 鋼管型ローディングアーム（据付完了時）

2023年1月からは、鋼管型ローディングアームで荷役基地と液化水素運搬船とを接続し、液化水素の船陸荷役試験を実施した。図40に船陸接続時の、鋼管型ローディングアームの様子を示す。

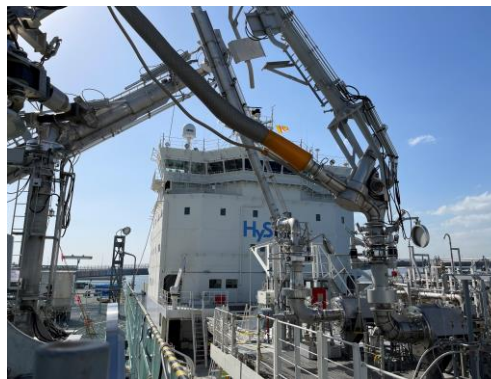


図 40 鋼管型ローディングアーム(船陸接続時)

液化水素の荷役に先立ち、鋼管型ローディングアーム内の窒素置換、水素置換を順に実施した。鋼管型ローディングアームの水素置換完了後に基地の貯蔵タンクから船の輸送タンクへ、輸送タンク当たり200m³/hの流量で液化水素の荷役を実施した。荷役後に鋼管型ローディングアーム内の窒素置換を実施し、鋼管型ローディングアームと液化水素運搬船接続部の切離しを行った。

これらから、鋼管型ローディングアームの接続、船陸間の荷役、鋼管型ローディングアームの切り離しまでの一連の荷役操作が揺動環境下においても問題なく実施できることを確認した。

(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利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 41 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 41 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 42 に豪州に建設する小型ガス化試験設備のイメージ図、表 7 に主な仕様を示す。

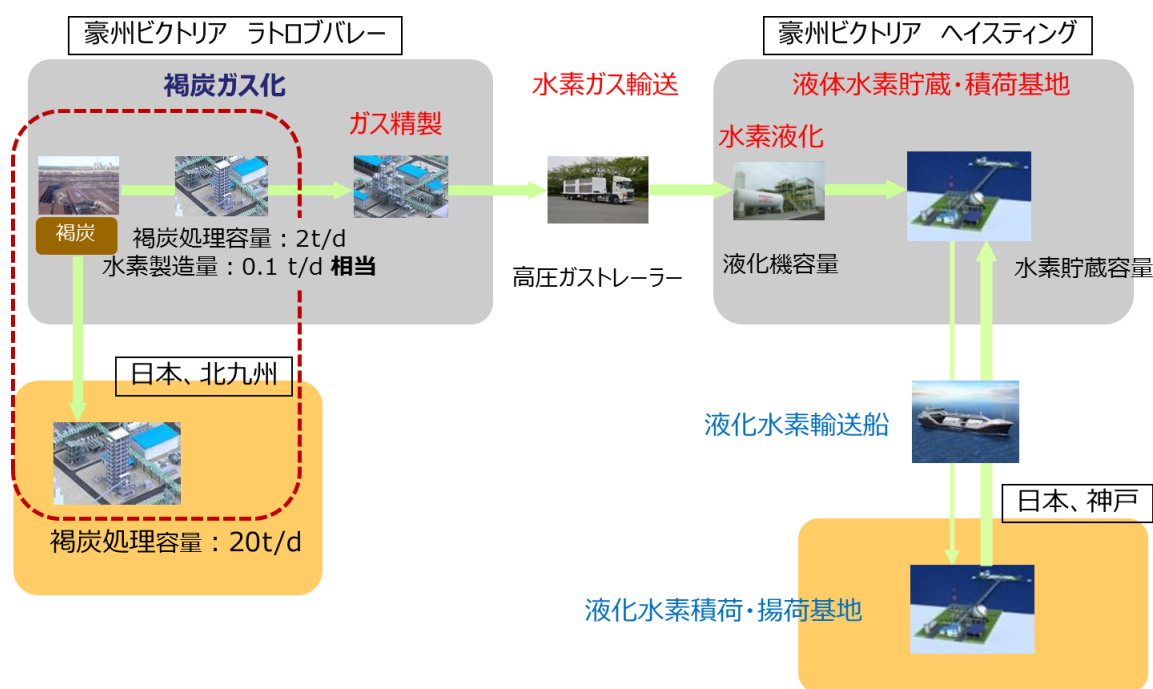


図 41 サプライチェーンにおける褐炭ガス化プロジェクトの概要



図 42 小型ガス化試験設備（豪州設置）完成予想 CG

表 7 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 | 100 Nm ³ /h |

a) EAGLE 炉への豪州褐炭の適用性評価

① 褐炭炭前処理技術の検討

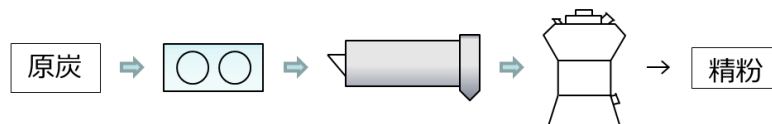
<2016 年度（中間評価）までの研究開発成果>

豪州褐炭を EAGLE 炉へ適用するに当たり、褐炭を乾燥、粉碎状態にする必要がある。そのため図 43 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、粉碎性、安定性の観点から、② 破碎機→乾燥機→縦型ミル 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 破碎機→縦型ミル→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縦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・粉碎効率及び経済性を検証できるようにした。

① 破碎機 ⇒ 縦型ミル ⇒ 乾燥機



② 破碎機 ⇒ 乾燥機 ⇒ 縦型ミル



③ 破碎機 ⇒ 乾燥機 ⇒ ボールミル



図 43 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、一般炭向け縦型ミルと比べ、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縦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。

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。図 44 に褐炭前処理技術の最終プロセスフローを示す。

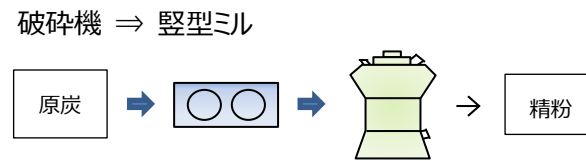


図 44 褐炭前処理技術の最終プロセスフロー

<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した。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>

前年度に引き続き建設工事を実施した。Covid-19の影響を受け、工場の操業停止・物流の停滞の発生、また試運転指導員が新型コロナウイルスの影響のために、豪州入りするタイミングが遅れることとなり、試運転開始の時期が大幅に遅延することが顕在化した。褐炭前処理設備の据付工事の遅れはガス化炉試運転の開始時期へ直接影響することから、Latrobe Valleyにて豪州褐炭由来の微粉炭を別途調達し、代替微粉炭供給設備（仮設備）からガス化設備へ供給することでガス化炉試運転を並行して進める試運転工程とした。

ガス化設備据付完了後は、代替微粉炭供給設備（仮設備）を使用して、ガス化試運転を開始。その後試運転指導員豪州入国に伴い褐炭前処理設備の試運転を進め、その完了後は、本設備で製造した褐炭微粉を使用しガス化試運転を実施した。

当初は豪州褐炭に含まれる不純物（木質系の異物）が想定以上に多く、後流側設備での詰まりを経験したが、不純物除去装置の調整等を完了し、11月以降より豪州褐炭微粉をガス化炉へ搬送を開始、ガス化試運転を本格的に開始した。2021年度にかけて試験を行っていく。

<2021 年度の研究開発成果>

2020年度に引き続き、図 44 に示すプロセスフローにて、豪州褐炭微粉の製造を行い、全運転期間を通し、問題なく豪州褐炭を粉砕・乾燥できることを確認した。

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した。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 45～図 47 に建設経過を示す。



(a) ガス化炉



(b) 褐炭前処理装置

図 45 小型ガス化試験設備 建設状況（2019 年 12 月）



図 46 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 47 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 Covid-19 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、軽微な残工事を除き、9 月中旬に据付工事を完了した。図 48 に据付工事完成後の様子を示す。



(a) ガス化炉、褐炭前処理装置



(b) プラント全景

図 48 小型ガス化試験設備

11 月より豪州褐炭の微粉をガス化炉へ投入し、ガス化試運転を本格開始。試運転諸調整を進めた。シンガス発生確認後、ガス精製設備通ガス・試運転調整を実施。その後 PSA への通ガス、試運転調整を実施し水素純度の向上を図り、1 月末には高純度の水素をチューブトレーラへ積み込みことに成功した。2 月下旬には、PSA 出口において 99.999%純度の水素製造を確認した。現在プラント安定運転手法の確立に向けた最終調整実施中である。2021 年度にかけて複数の豪州褐炭における試験、およびバイオマスと混合した豪州褐炭での試験を行う。

<2021 年度の研究開発成果>

豪州小型ガス化試験設備での実証試験を通し、6 種類の豪州褐炭及び 3 種類のバイオマスと豪州褐炭の混合原料でのガス化特性の取得および水素製造の実証を行った。製造された水素は 2021 年 6 月に

液化設備へ輸送され、液化水素が製造された。なお全試験期間における累計ガス化運転時間は 339 時間、褐炭供給量(微粉炭ベース)は約 10 トン(水素発生量約 1 トン)である。

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、改造の可否を確認するため、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、従来の亜瀝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た。プレ乾燥を完了し、現在保管中である。プレ乾燥を行った豪州褐炭を用いて、若松研究所の小型炉試験設備でガス化試験を実施する予定である。3 月にはプレ乾燥を実施した豪州褐炭 2 種類のうち、1 種類についてガス化試験を実施済み。来年度にはもう一種類のガス化試験を実施する計画。

<2021 年度の研究開発成果>

2021 年 4 月には、プレ乾燥処理済みの保管されていた別の種類の褐炭を用い、若松研究所小型炉試験設備にてガス化試験を行った。本褐炭ガス化試験にて、過去実施した炭種と比較しても、ガス化炉壁面を含めた設備の影響、スラグ排出状況に関して問題なくガス化運転可能であることを確認した。

b) 化学原料製造向けガス化技術の検証

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 年度の研究開発成果>

CO₂ 搬送が可能な詳細設計を完了し、機器等の製作を開始した。

<2020 年度の研究開発成果>

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来年度に比較評価を行う。

<2021 年度の研究開発成果>

CO₂ 搬送褐炭ガス化の特性把握を目的に、豪州小型ガス化試験設備にて CO₂ 搬送ガス化試験を実施した。CO₂ は N₂ に比べて熱容量が大きく、生成ガスの冷却作用が大きいためガス化反応場の温度が

低くなりガス化効率が低下する方向の作用と、CO₂ そのものがガス化剤として働くことでガス化効率が向上する方向の作用が相殺することで、豪州小型ガス化試験設備では、ガス化効率に CO₂ 搬送時と N₂ 搬送時で大きな差異が確認されなかった。本ガス化試験結果を用い、CO₂ 搬送時における EAGLE の褐炭ガス化特性及び性能を予測することが可能となった。

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 年度の研究開発成果>

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に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来年度に実施する計画である。

<2021 年度の研究開発成果>

本プロジェクトとは別に若松研究所小型炉試験設備にて、熱回収部への直接水噴霧“ダイレクトクエンチ”によるガス冷却を行い、生成ガス温度を安定して制御可能であることが確認できた。

またダイレクトクエンチ型ガス化炉では SGC を縮減し、建設コスト低減が見込めるため、ダイレクトクエンチ型ガス化炉を想定した場合のプロセスシミュレーションモデルを構築し、全体プロセスの検討を行った。

c) 豪州褐炭ガス化運用技術の検討

<2020 年度の研究開発成果>

上記 a), b) の結果を踏まえるとともに、構築中の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来年度に行う。

<2021 年度の研究開発成果>

豪州小型ガス化試験設備及び若松研究所小型炉試験設備にてガス化試験、実証試験を実施することで、商用機設計に考慮すべき内容が明確となった。以下にその項目の一部を挙げる。

【商用機設計時、考慮すべき事項】

- ・褐炭中の木質粒子
- ・チャー物性（かさ密度他）
- ・バイオマス混炭時の灰溶融温度の変化
- ・シンガス組成を考慮したガス精製設備設計時の留意事項
：豪州褐炭特徴(塩素高、硫黄低)のガス精製設備への影響など

また、将来の商用水素製造プラントを検討するに当たり、プロセスシミュレーションモデルを構築した。本モデルではプラント起動時には N₂ 搬送ガスを用い、40% 負荷にて脱炭酸プロセスから CO₂ を回収し搬送ガスに利用、その後 100% まで負荷上昇する運用を想定した。

ダイレクトクエンチ方式プロセスについて、SGC 方式(シンガスクーラによる冷却)と比較すると、SGC 削減により設備費が抑えられるというメリットがある一方で、褐炭性状によってはサワーシフト触媒の活性に必要な S 分を賄うため、S 添加量の調整を行うといった運用を行う必要がある。

d) 褐炭-バイオマス混合体に対するガス化特性評価

<2021 年度の研究開発成果>

既存の CO₂ 分離回収技術では CO₂ の 100% 回収は困難であることから、カーボンニュートラルの燃料であるバイオマスと褐炭を混合させた燃料を用いることは、カーボンニュートラルもしくはカーボンネガティブの水素

を製造するための有望なオプションの一つである。しかし、これまで豪州褐炭にバイオマスを混合してガス化運転を実施した実績がないことから、バイオマスのガス化特性への影響の把握を目的として、3種類のバイオマス（無炭化、半炭化、炭化）と豪州褐炭の混合原料でガス化試験を実施した。本試験にて問題なくガス化が行われ水素の製造が可能であることを確認し、またガス化特性に関する基礎データを取得した。

(4) 液化水素利活用技術の開発

a) 日豪間輸送後の液化水素の利活用の実証

<2022年度の研究開発成果>

液化水素の利活用として Hy touch 神戸の近隣施設である神戸コージェネレーションシステムプラント（以下、神戸 CGS）へ液化水素を Hy touch 神戸からコンテナで移送し、無事に供給及び発電試験が実施できることを確認した。

神戸 CGS は、NEDO 事業「水素社会構築技術開発事業／水素 CGS 活用スマートコミュニティー技術開発事業」の一環として川崎重工業殿、大林組殿にて建設、運営されている。本設備は、水素を燃料として作り出した電力と熱を周辺施設へ供給する試みを市街地で実施する世界初のプロジェクトである。2018年4月に水素燃料100%での運転に成功し、電力及び熱の供給を達成した。

利活用試験は、6月に実施した。図49に液化水素の供給の様子を示す。また、以下に試験概要を記す。

（試験概要）

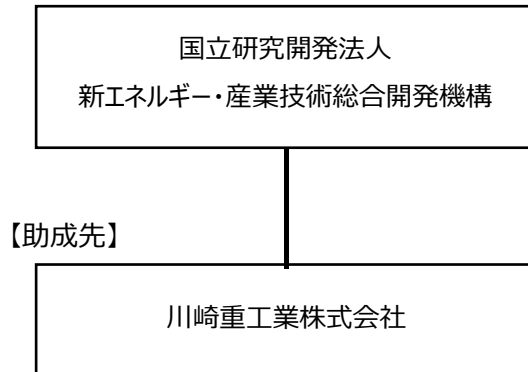
- ・移送得液化水素量：約 590 kg
- ・水素専焼での発電時間：約 3 時間
- ・総発電電力量：5,520kWh



図 49 神戸 CGS への液化水素供給の様子

4. 1. 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

○実施者名、実施体制



○期間、予算

期間 : 2019年7月~2022年3月

予算 : 下表の通り

| | 助成事業に要する費用 (円) | 助成対象費用 (円) | 助成金 (円) |
|--------|-------------------|---------------|-------------|
| 2019年度 | 209,326,316 | 209,326,316 | 104,663,158 |
| 2020年度 | 731,817,878 | 731,817,878 | 365,908,939 |
| 2021年度 | 1,132,947,232 | 1,132,947,232 | 566,473,000 |
| 2022年度 | 730,173,034 | 730,173,034 | 365,086,000 |

○実用化・事業化への道筋

A)大型貯蔵容器

現在建造中の世界最大の液体水素タンクは4732m³のタンクであり、将来的に水素発電に必要となる数万m³級の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、商用規模の実証を進められる。

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

国際航海の実績がある液化水素運搬船は、世界で「すいそ ふろんていあ」のみ。

本開発成果は、すいそ ふろんていあ に搭載されるタンク（1250m³）から4万 m³ へのスケールアップに寄与するものであり、将来の水素社会で予想される大幅な需要の増加に対応できるものである。

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、協議を行っている。

○最終目標に対する成果と達成状況

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|-------------------------------|---|---|-----|------|
| ①大型輸送・貯蔵技術の開発 a) 大型貯蔵容器の開発 | 蒸発率（Boil Off Rate: BOR）が 0.26%/日となる 5 万 m ³ 級の貯蔵容器の基本構造を確立させる。 | 商用 5 万 m ³ クラスの貯蔵容器で断熱性能 0.26%/d を達成する断熱構造を確立した。 | ○ | — |
| | a) 断熱材の開発 ・断熱構造の確立 | ・断熱性能評価済 ・断熱構造選定済 | ○ | — |
| | b) 材料評価 ・適用可能性の目途 | ・材料特性データ取得済 | ○ | — |
| b) 海上輸送用大型液化水素タンクの開発 | 蒸発率が 0.4%/日となる 4 万 m ³ 級タンクの基本構造、設計技術などを確立させる。 | 蒸発率が 0.4%/日となる 4 万 m ³ 級タンクの基本構造、設計技術などを確立した。 | ○ | — |
| | a)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 ・基本仕様選定済 | ○ | — |
| | b)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 ・強度評価済 | ○ | — |
| | c)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済 | ○ | — |
| | d)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済 | ○ | — |
| | e)タンクシステムの検証 ・試験タンク製作によるタンク及び断熱構造の製作性・施工性確認 ・低温性能試験を実施し設計データを取得 | ・試験タンク製作によるタンク及び断熱構造の製作性・施工性確認済 ・低温性能試験を実施し設計データを取得済 | ○ | — |

○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。

○特許出願、論文発表、学会発表・講演等の数

| | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 | 計 |
|------------|--------|--------|--------|--------|----|
| 特許出願 | 0 | 9 | 11 | 16 | 36 |
| 論文（査読付き） | | | | | 0 |
| 研究発表・講演 | | | | 4 | 4 |
| 受賞実績 | | | | | |
| 新聞・雑誌等への掲載 | | 1 | 1 | 2 | 4 |
| 展示会への出展 | | | | | 0 |

○研究開発成果の詳細

(1) ①大型輸送・貯蔵技術の開発

A) 大型貯蔵容器の開発：

断熱材について、熱伝導率計測および断熱層のガスの対流の影響を考慮した入熱量の評価を実施した。水素ガス雰囲気下で使用する断熱材の熱伝導率は、ヘリウムガス雰囲気下での熱伝導率計測（図 1-A-1）を行い、その結果から算出した。

断熱層のガスの対流の影響について、断熱性能の評価試験機を製作し、各断熱材の対流込みの入熱量の評価を実施し、試験結果からパラメータの合わせ込みを行うことで、貯蔵容器全体の解析モデルを構築した。

構築した解析モデルと水素ガス雰囲気下での熱伝導率から、表 1-A-1 に示す条件で貯蔵容量 5 万 m³ 級の液化水素タンクの BOR を試算した結果、BOR 目標値である 0.26%/day を達することを確認した。

また、構造材料について、TIG 溶接品の熱影響部および溶接金属部の液体ヘリウム環境、および液体窒素環境、大気環境における衝撃試験を実施した。熱影響部に比べて溶接金属部は、やや低い吸収エネルギーを示したが、極低温域での顕著な靱性低下は確認されなかった（図 1-A-3）。

上記材料の-150℃、-80℃、-40℃、室温における水素/非水素環境での低歪み速度試験（SSRT）を実施した。いずれの条件においても、水素環境での引張強度や絞りの顕著な低下は確認されなかった（図 1-A-4）。

表 1-A-1 BOR の算出条件

| | |
|-------|---|
| 貯蔵量 | 50,000m ³ |
| 入熱面積 | 屋根部：約 2,400m ² 、側部：約 4,000m ² 、底部：約 2,000m ² |
| 断熱層 | 窒素ガス雰囲気と水素ガス雰囲気の 2 層 |
| 平均熱流束 | 屋根部：約 7W/m ² 、側部：約 3W/m ² 、底部：約 9W/m ² |

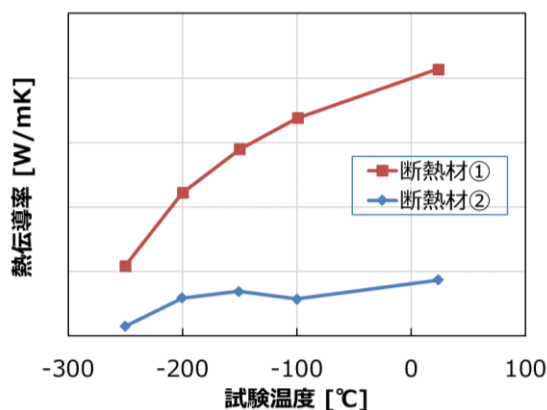


図 1-A-1 熱伝導率の計測結果
ヘリウムガス雰囲気下

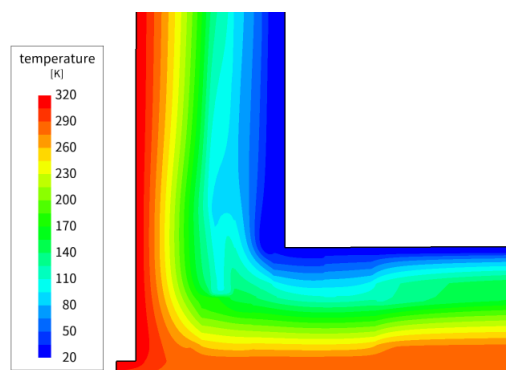


図 1-A-2 計測結果をもとに実施した伝熱解析

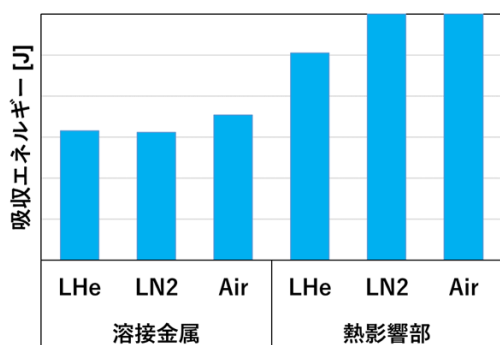


図 1-A-3 構造材料の極低温衝撃試験結果

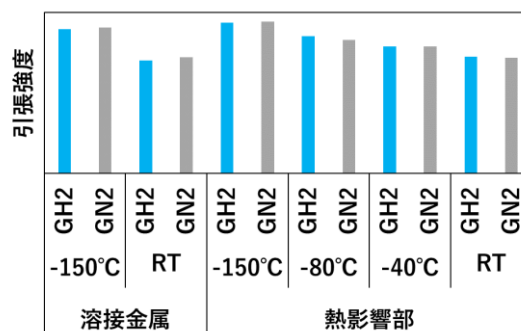


図 1-A-4 構造材料の各ガス雰囲気の
SSRT*試験結果

*Slow Strain Rate Test(低歪み速度試験)

B) 海上輸送用大型液化水素タンクの開発：

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（図 1-B-1、図 1-B-2）した。それらを用いて、強度解析を実施して、タンク構造の成立性（許容応力以下）を確認した。断熱構造に関しては、部分モデル試験を実施（図 1-B-3）し、基本設計データを取得した。

試験タンクを製作・完成させて、タンクの製作性・施工性を確認（図 1-B-4）した。タンクシステムのオペレーションを実証して、オペレーション手法、および、構造解析技術（図 1-B-5）、熱流動解析技術（図 1-B-6）、オペレーション予測技術（図 1-B-7）、を構築した。これらの設計技術を用いて、0.4%/日となる 4 万 m³ 級タンクの基本構造、設計技術などを確立した。

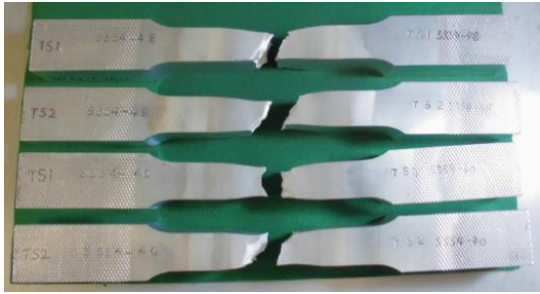


図 1-B-1 部分モデル試験

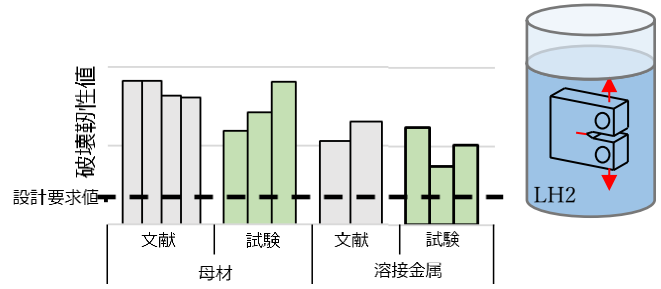


図 1-B-2 破壊じん性試験

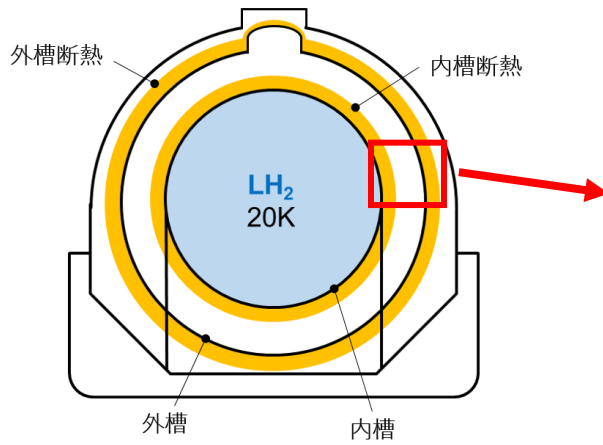


図 1-B-3 部分モデル試験



図 1-B-4 タンク製造技術

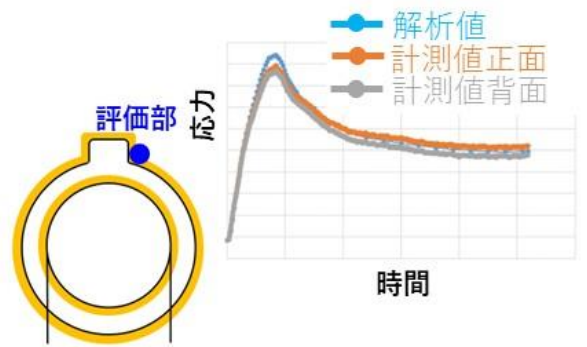


図 1-B-5 構造解析技術

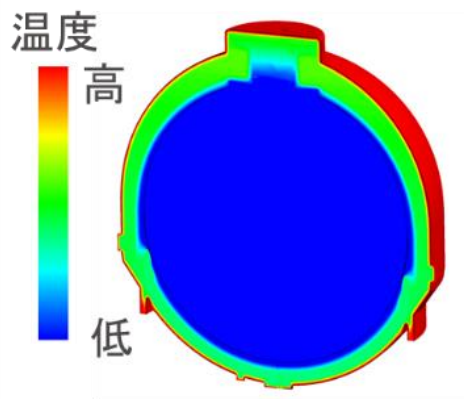


図 1-B-6 熱流動解析技術

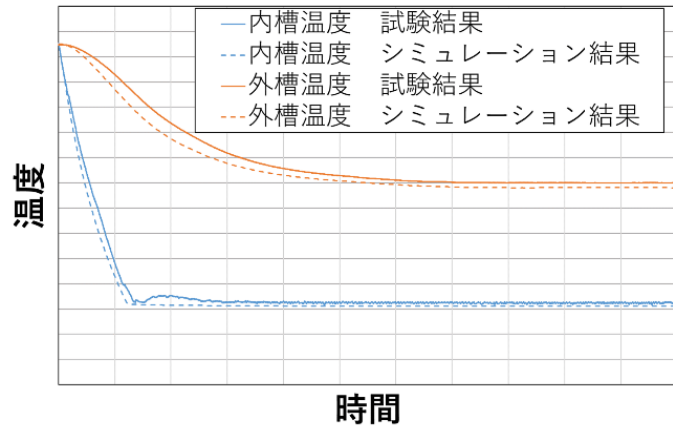
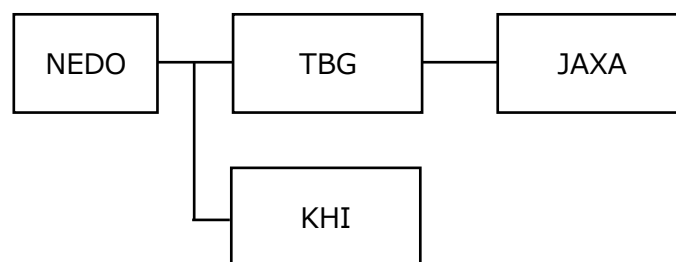


図 1-B-7 オペレーション予測技術

4. 1. 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」②

○実施者名、実施体制



NEDO：新エネルギー・産業技術総合開発機構

KHI：川崎重工業株式会社

JAXA：宇宙航空研究開発機構

TBG：TB グローバルテクノロジーズ株式会社

○期間、予算

期間：2019年7月～2023年3月

予算：下記表を参照

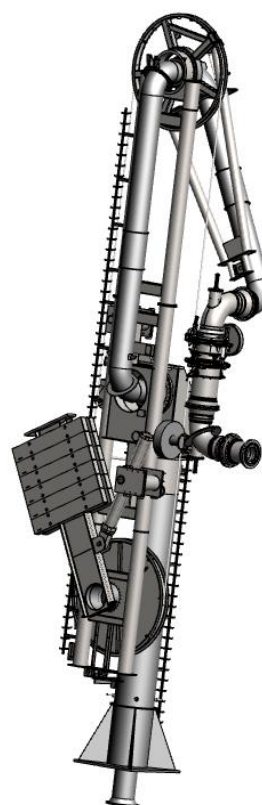
| | | 助成対象費用 | 助成金の額 |
|--------|---------|--------------|-------------|
| 2019年度 | 助成先 | 54,333,496 | 27,166,748 |
| | うち共同研究先 | (6,691,548) | |
| 2020年度 | 助成先 | 325,121,009 | 162,559,252 |
| | うち共同研究先 | (28,330,387) | |
| 2021年度 | 助成先 | 189,978,050 | 94,989,000 |
| | うち共同研究先 | (23,444,850) | |
| 2022年度 | 助成先 | 50,741,367 | 25,370,000 |
| | うち共同研究先 | (25,378,367) | |
| 合計 | | 620,173,922 | 310,085,000 |

○実用化・事業化への道筋

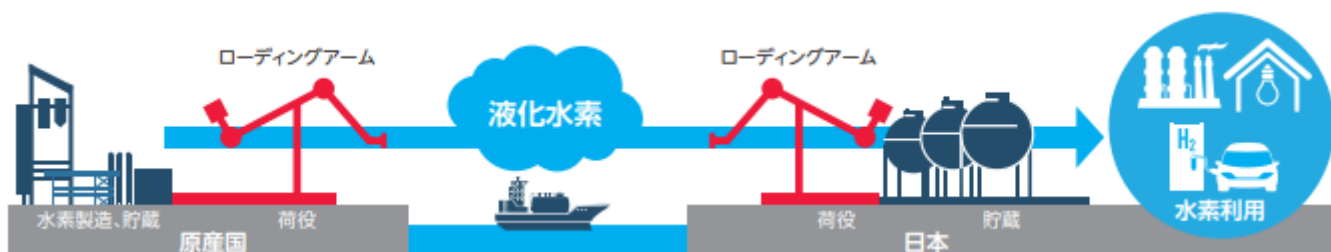
・商用ローディングアームの開発の「実用化・事業化」の考え方

当該研究開発に係る成果及び技術をもとに、商用液化水素ローディングアームの製品化が実現され、さらにその製品が液化水素受入基地及び出荷基地での利用により、液化水素サプライチェーンが成立とともに、企業活動に貢献することをいう。

【当該研究開発】



【実用化・事業化】



※液化水素サプライチェーン 参考イメージ

・商用ローディングアームの開発の成果の実用化・事業化に向けた戦略

当該研究開発に係る成果及び技術をもとに国際規格 ISO/FDIS 24132 等に適合した製品を供給することで、ユーザー及び社会のニーズである“液化水素の安全な荷役”を実現する。

また液化水素用の荷役機械としては同様な開発及び成果を得ている競合の存在はないと認識しており、当該製品化に向けては世界的にも競合優位性を確保できている。

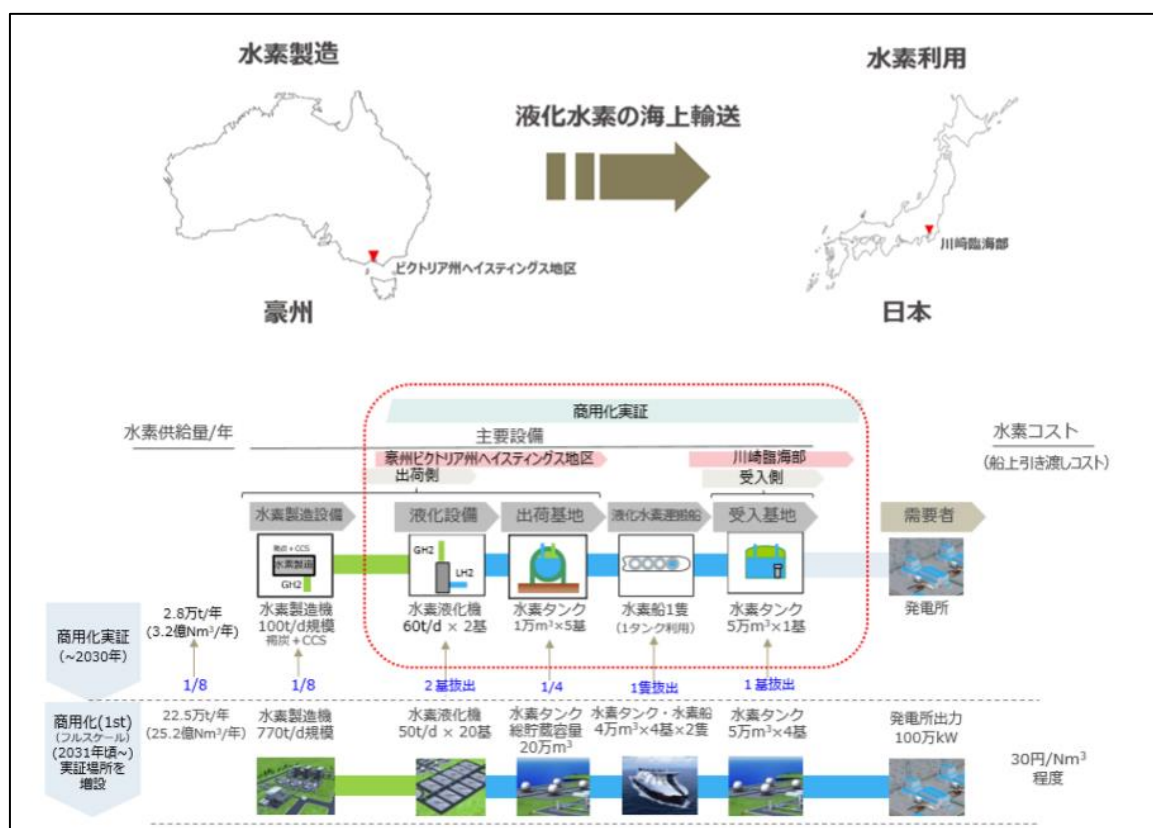
当該製品化による大規模な液体水素サプライチェーンの実現により、水素コスト低減が図れ、水素発電事業を中心とした水素の利用及び水素社会の促進と拡大に資する。



・商用ローディングアームの開発の実用化・事業化に向けたスケジュールと課題

| No | 項目 | 内容 |
|----|----------------------------|--|
| 1 | 商用実証品 対象プロジェクト | 液化水素サプライチェーン商用化実証 (事業期間：2021～2030 年度) |
| 2 | スケジュール | 商用化実証プロジェクトへの 設計・製作スケジュールを計画 |
| 3 | 課題 | <ul style="list-style-type: none"> ・ERS クランプ能力向上対策及び再検証 ・スィベルジョイントの開発設計と試験 ・ローディングアーム全体の開発設計 ・製作体制の確保と実行 |
| 4 | 特記 | 上記開発（課題解決含）には時間を要すが、商用化実証プロジェクトへ 商用実証品の納入に向けて努力する。 |
| 5 | 次期フェーズ のプロジェクト への考え方 | 上記プロジェクトにて、当該技術及び商用実証品の運用により商用製品 化の確立を目指す。 その商用製品を以降の国内・海外のプロジェクトへ投入する。 |

【液化水素サプライチェーンの商用化実証】



引用元：NEDO ホームページ（ニュースリリース）

液化水素サプライチェーンの商用化実証の出荷と受け入れ地について

○最終目標に対する成果と達成状況

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|---------------|---|---|-----|--|
| 大口径緊急 離脱機構 | <ul style="list-style-type: none"> ・切離時の外部流出量を125ℓ以下とする。 ・試作機を製作して、所定の試験に合格する。 | <p>理論外部流出量は目標値以下の5ℓ程度となった。試作機を製作してテストしたが、低温強度試験でリークがあった為改善が必要となり今後検討する。</p> <p>低温切離し試験では、正常な切離しが行われ切離し性能が確認された。</p> <p>製品化に向けては課題が残ったが、今回の試験を通じて技術的価値の高い内容が得られ、今後の製品開発に大きな成果となった。</p> | △ | クランプ能力向上 (対策実施の上で切離し性能とシール性能は検証が必要) |
| 大口径 船陸継手 | <ul style="list-style-type: none"> 重量が1ton以下で2～3人で操作可能な構造とする。 ・試作機を製作して、所定の試験に合格する。 | <p>重量は目標値の1ton以下に対し、500Kg程度になり目標を達成した。</p> <p>試作機を製作してテストを行い合格し製品化への目途がついた。</p> | ○ | |

○成果の意義

当該研究開発に係る成果及び技術をもとに、商用液化水素ローディングアームの製品化が実現され、さらにその製品が液化水素受入基地及び出荷基地での利用により、液化水素サプライチェーンが成立するとともに、企業活動に貢献する。

○特許出願、論文発表、学会発表・講演等の数

・特許出願の現状

| | 2020 年度 | 2021 年度 | 2022 年度 | 計 |
|-----------|---------|---------|---------|--------|
| 大口径緊急離脱機構 | 0 | 1(0) | 0 | 1(0) 件 |
| 大口径船陸継手 | 0 | 0 | 0 | 0 件 |

※2023 年 9 月 30 日現在

・論文等の発表の現状

| | 2019 年度 | 2020 年度 | 2021 年度 | 2022 年度 | 計 |
|------------|---------|---------|---------|---------|-----|
| 論文（査読付き） | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 件 |
| 研究発表・講演 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 件 |
| 受賞実績 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 件 |
| 新聞・雑誌等への掲載 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 件 |
| 展示会への出展 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 件 |

※2023 年 7 月 31 日現在

○研究開発成果の詳細

(1) 実施項目 1 : 大口径緊急離脱機構

・研究開発の成果と意義

切離時の外部流出量は、アーム側弁体と船側弁体が切離前に CLOSE する構造にした為、5 l となり目標値を達成した。構造設計においては複数案を出したうえで熱応力解析を行い評価した（図 1-1）。機械的な動作に問題のない動作とすることに加え、切離時の外部流出量を抑え、かつ熱応力を抑える点においては、各部品構成等を含め様々な工夫を要した。その結果、今回の目標値を達成する構造を確立することができた。

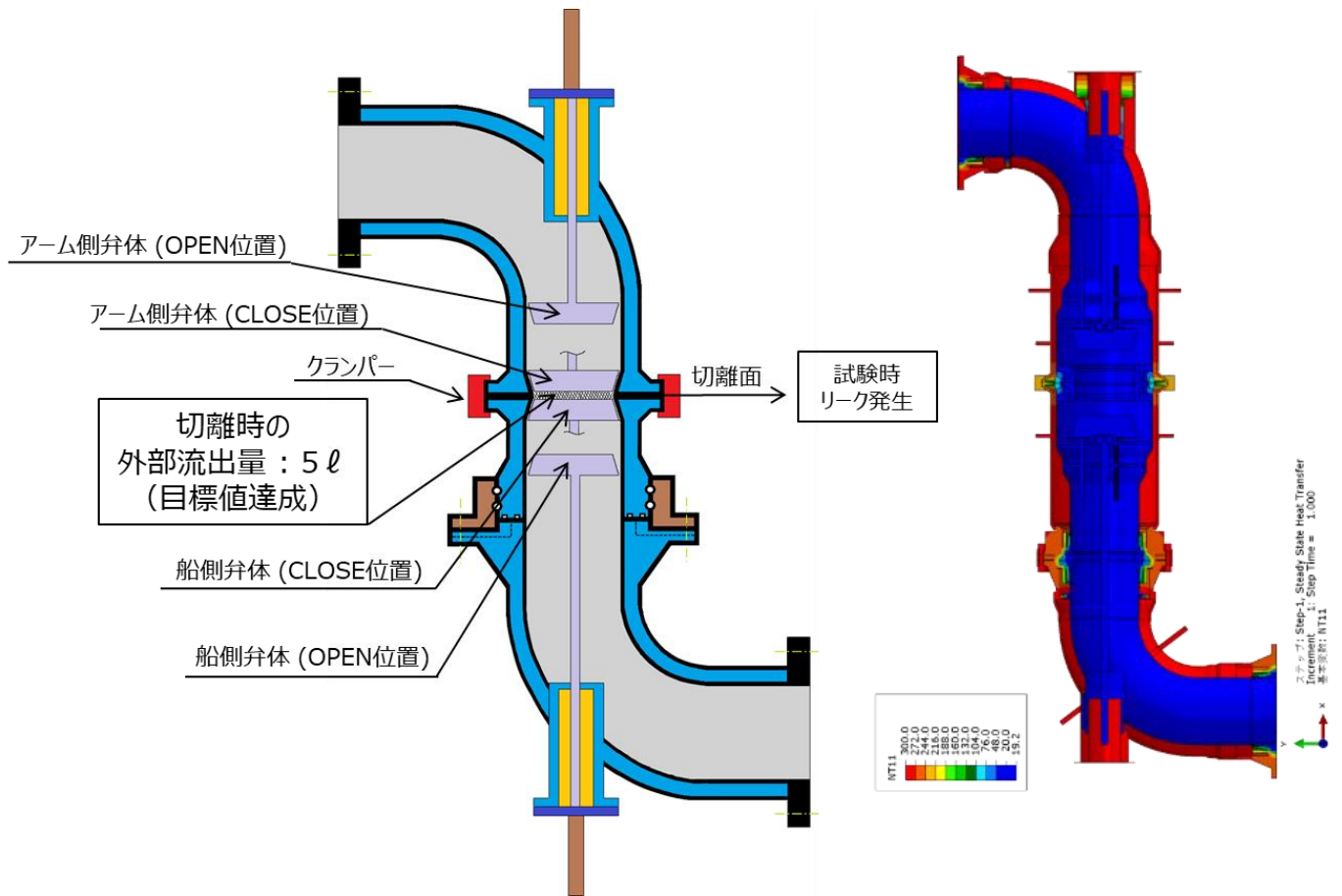


図 1-1 大口径緊急離脱機構 概略図と熱応力解析（一例）

・低温切離試験結果

低温切離試験では、切離は設計時間内に正常に動作して、切離性能が確認された（図 1-2）。
弁体・クランパー（切離面）・ドリップパンの作動設定やそれぞれの干渉回避のための位置決め等に工夫をした。

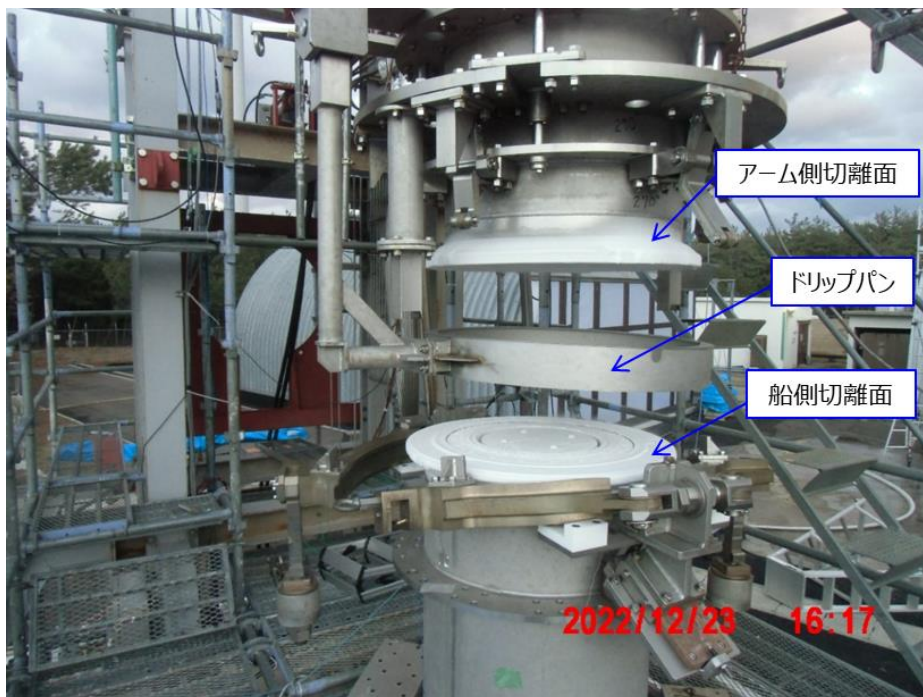


図 1-2 大口径緊急離脱機構 液化水素実液切離試験状況

・低温強度試験検討

低温強度試験において、切離面からリークが発生したので、今後改造を検討する（図 1-3）。

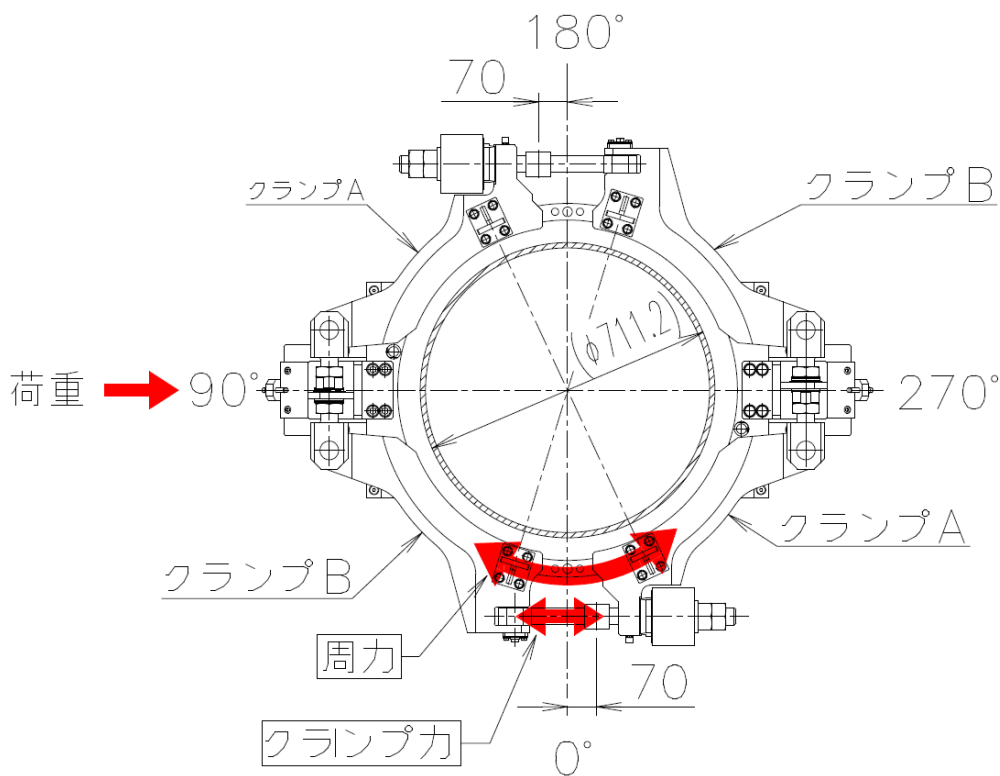


図 1-3 大口径緊急離脱機構 クランプ能力向上検討図（参考）

(2) 実施項目 2 : 大口径船陸継手

・研究開発の成果の意義

重量は 500Kg 以下となり、目標を達成した。

試作機を製作して試験を実施した (図 2-1)。

低温強度テストにおいて、1 次シール及び 2 次シールからのリークはなく、合格した。(図 2-2)



図 2-1 大口径船陸継手 液化水素実液試験状況

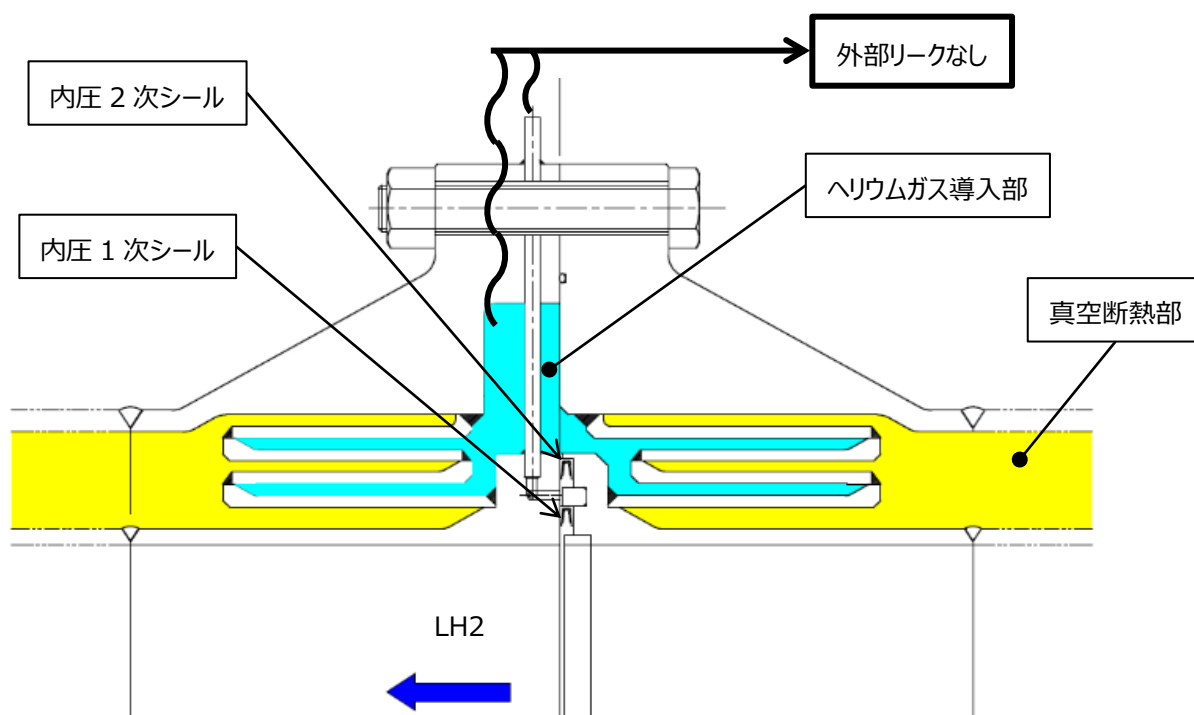
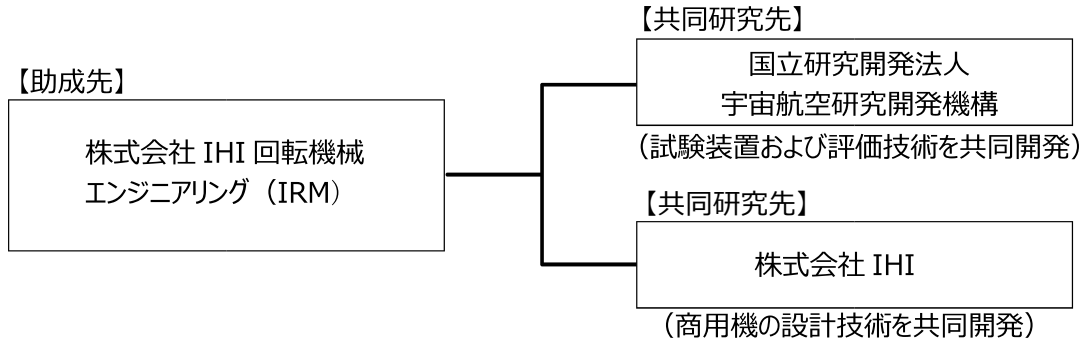


図 2-2 大口径船陸継手 概略図と試験結果

4. 1. 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」③

○実施者名、実施体制



○期間、予算

期間：2019年7月～2023年3月

予算：下表による。

| | | 助成対象費用 | 助成金の額 |
|--------|---------|--------------|-------------|
| 2019年度 | 助成先 | 29,472,137 | 14,736,068 |
| | うち共同研究先 | (2,154,701) | |
| 2020年度 | 助成先 | 194,371,737 | 97,184,932 |
| | うち共同研究先 | (96,734,484) | |
| 2021年度 | 助成先 | 58,990,109 | 29,495,000 |
| | うち共同研究先 | (29,908,484) | |
| 2022年度 | 助成先 | 64,278,313 | 32,139,000 |
| | うち共同研究先 | (29,327,629) | |
| 合計 | | 347,112,296 | 173,555,000 |

○実用化・事業化への道筋

2020年代半ばからの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、商用化実証のステージ或いは、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化実証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。

○最終目標に対する成果と達成状況

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題 |
|----------------------------|---------------------------------|--|-----|---|
| 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、熱変位を吸収するサポート構造の確立 | 低温水素ガスを用いた試作機の実ガス試験にて圧縮機外表面に液空が発生することなく、最低表面温度は-30℃以上(解析結果と概ね一致)で、振動は10μm程度で損傷なし | ○ | ・商用大型化に伴う高荷重化に対する解析による健全性確認 ・組立性・メンテナンス性向上を図る真空容器構造の改良 |
| 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の確立 | 試作機の実ガス試験にて中間筒内に液化がないこと、およびロッドパッキンの異常摩耗がないことを確認 | ○ | |
| | 高寿命およびシール性に優れた摺動部材の目途付け | ラボ試験から選定した2種類の摺動部材にて実ガス運転を実施し、商用機で使用可能な材料の目途を付けた | ○ | 商用化実証において長時間運転による寿命の確認 |
| c)商用機の設計技術および性能評価技術の開発 | 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 | 試作機の実ガス試験にて吸入ガス温度をパラメータとして変化させ、流量計含む各計測値の妥当性を確認 | ○ | |
| | 1D CAEを用いた商用機の吐出温度・性能予測技術の確立 | 各吸入ガス温度における流量と吐出温度の有効データを取得し、1D CAEにフィードバックし、精度ある解析手法を確立 | ○ | 大型商用機の性能予測と運転データ蓄積による性能予測精度の更なる向上 |

○成果の意義

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。

本事業にて小型試作機を製作し、実ガス試験にて液化水素の蒸発ガスと同程度の温度の低温水素ガスを直接吸入・圧縮する往復動圧縮機の安全性・健全性が実証された。また、有効な性能データ取得により、液化水素の蒸発ガスを低温のまま、高密度なガスを吸入することで、プレヒーティングされた水素ガスを吸入・圧縮する常温圧縮機よりも、圧倒的に消費電力を小さく抑えることが出来ることが実証された。

本事業の成果に基づき、液化水素の蒸発ガスを直接吸入可能とする往復動圧縮機の実用化は、液化水

素サプライチェーンの構築に不可欠なコンポーネントの提供だけでなく、チェーン全体の競争優位性・基地運用コスト削減に大きく貢献するものとする。

○特許出願、論文発表、学会発表・講演等の数
なし

○成果の普及

- ・2022.11 MANSEI フェア 2022 セミナーにて、KHI 殿により現状の開発状況を紹介。
- ・2023.2 商用化実証のオーナー・EPC に現状の開発状況および今後の取組みを説明。
- ・2023.6 2030 年頃の商用液化水素払出基地のオーナー・EPC に現状の開発状況および今後の取組みを説明。
- ・2023.7 2030 年頃の商用液化水素受入基地のオーナー・EPC に現状の開発状況および今後の取組みを説明。

○研究開発成果の詳細

(1) 実施項目：a) 液化空気の生成に対し安全性を確保する構造の開発

目標：低温水素ガス圧縮機では極低温となるシリンダを空气中にそのまま設置すると、シリンダ周囲の空気が液化する「液空現象」が発生することが懸念される。さらに、往復動圧縮機の場合、往復動不釣り合い慣性力、偶力、およびガス圧縮によるシリンダ軸系の伸縮によりシリンダは振動する。そこで、シリンダ周辺の極低温部分を真空容器で覆って周辺の空気とシリンダの直接の接触を避け、且つ、各部に発生する熱応力と往復動圧縮機特有の振動による繰返し応力に耐え得る構造を開発する。

実施内容：ガス入口部にはバイonet 接手を採用し、断熱性を考慮したシリンダ・真空容器の FEM モデルを作成し、図 1 に示す通り、伝熱解析にて真空容器表面が液空温度（ -183°C ）以上であることを確認した。また、伝熱解析により得られた温度分布に基づき、熱応力解析および振動解析を実施して、図 2 に示す通り、運転中における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た。

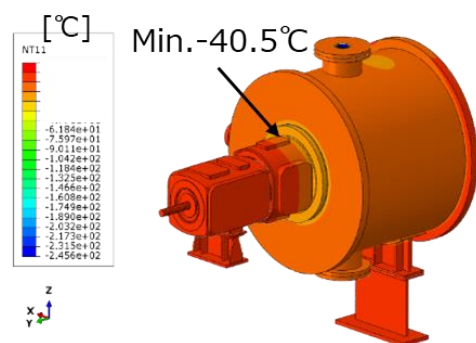


図 1 .伝熱解析結果

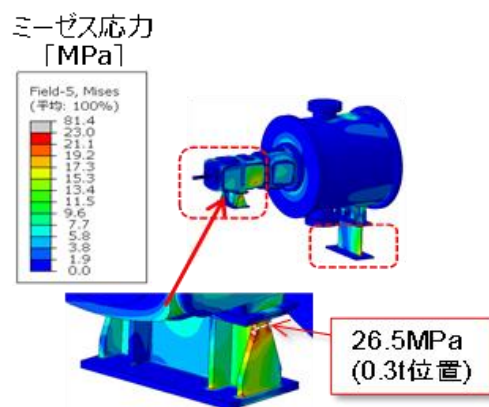


図 2 .熱応力・振動解析結果

前述の解析にて妥当性が確認された形状に基づき、小型の試作機を製作し、JAXA 能代実験場にて低温水素ガスを用いた実ガス試験を実施した結果、圧縮機外表面に液空が発生することなく、最低表面温度は -30°C 以上（解析結果と概ね一致）で、振動は $10\mu\text{m}$ 程度と小さく、各部に損傷がないことを確認した。図 3 に現地試験時の圧縮機全景を、図 4 に最低表面温度部の写真を示す。なお、当該部への着霜は想定内である。



図3.現地試験時の圧縮機全景

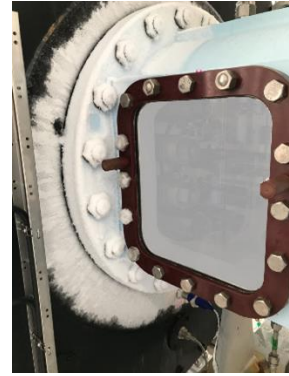


図4.最低表面温度部

成果の達成状況：達成

成果の意義：貯蔵タンクからの蒸発ガスをプレヒーティングすることなく、低温のまま吸入可能な安全性を有するシリンダ／真空容器構造を確立した。

(2) 実施項目：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

目標：天然ガス用ではシールガスに窒素ガスを使用しているが、 -240°C 程度の低温水素ガスをシールするロッドパッキンの室内で窒素ガスが冷却されると、窒素ガスは -196°C で液化するため、ピストンロッドに液分付着ないし固着して、パッキンの異常摩耗を起こすか、著しくシール性を低下させる恐れがある。また、消耗品である摺動部材の選定は主にその寿命に影響するが、これらの構造・構成は圧縮機性能にも影響を与える。ピストンリング（図5参照）はシリンダ内のガスシール性能へ影響し、ピストンロッドパッキン（図6参照）はシリンダ外部への漏れ（商用機では吸入側へ戻る）量へ影響し、いずれも圧縮機の性能に影響する要素である。そこで、窒素シールガスの液化を防ぐ軸シール構造を開発すると共に、低温水素ガスに適した各摺動部の材質およびその構造を新たに開発する。

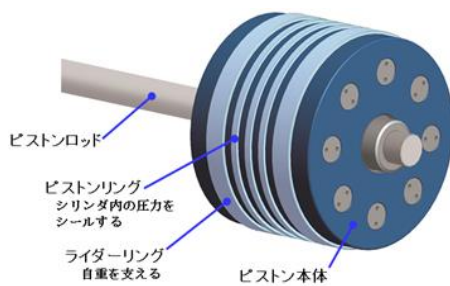


図5.ピストン摺動部材

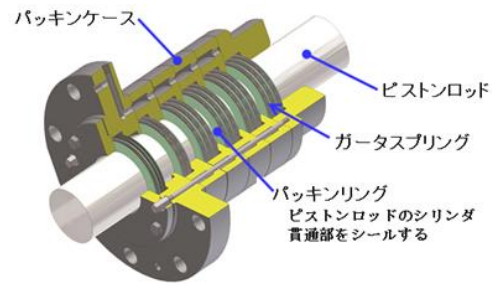


図6.ロッドパッキン

実施内容：軸シール構造に関しては、シリンダと同様に FEM モデルを作成し、伝熱解析を実施して、図7に示す通り、中間筒・断熱材を追加することにより窒素ガスを用いた軸シール構造が成立することを確認した。

試作機の実ガス試験にて中間筒内に液化がないこと、およびロッドパッキンの異常摩耗がないことを確認した。

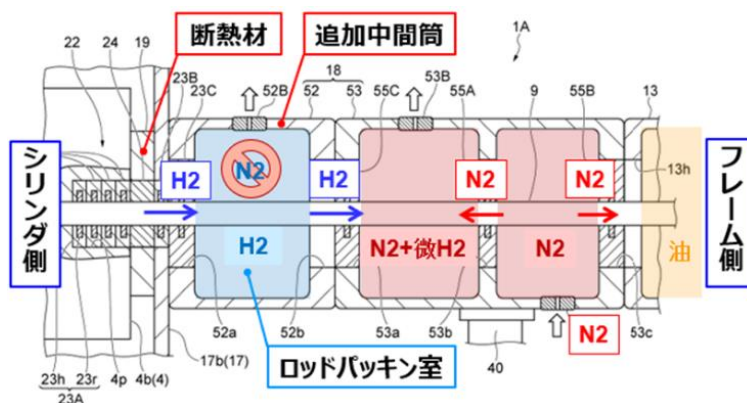


図 7. 低温水素ガス用軸シール構造

また、摺動部材に関しては、外部研究機関にて低温水素ガス雰囲気での摩耗試験（図 8 参照）を予め実施して、4 候補材から 2 候補材に絞り込んだ摺動部材を試作機に組み込み、実ガス試験にてその摺動特性を確認した。2 種類の摺動部材の摩耗状況には表 1 に示す通り明らかな差がみられ、良好であった摺動部材の摩耗量は少なく、商用機で使用可能な材料の目途を付けた。

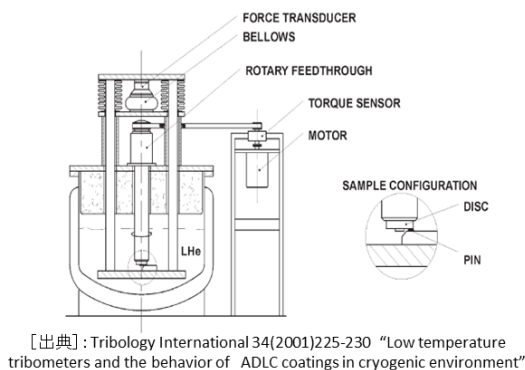


図 8. 低温水素ガス雰囲気での摩耗試験

| 状態 | 既存材 (PTFEベース) | 新素材 (PTFEベース) |
|---------------|------------------|------------------|
| 運転前隙間 [mm] | 3.75 | 3.70 |
| 運転後隙間 [mm] | 3.70 | 2.65 |

表 1. 2 種類のリング材でのピストン下部スキマ
(運転前後の変化量がライダリングの摩耗量を意味する)

成果の達成状況：達成

成果の意義：商用機においても、シールガスにヘリウム等の希少ガスを用いることなく、信頼性のある長時間連続運転が期待できる。

(3) 実施項目：c) 商用機的设计技術および性能評価技術の開発

目標：ガスを圧縮する際の理論断熱圧縮吐出温度の算出式はあるが、外部からの入熱等の影響が大きい低温往復動圧縮機の場合、実際の吐出温度は理論吐出温度とは大きな誤差がある。吐出温度の誤差は後段の吸入ガス量の誤差を生み、最終的には圧縮機性能の誤差に繋がる。また、吐出温度の大きな誤差は周囲のプロセス機器への悪影響を与える。但し、低温水素ガス圧縮機の運転実績データがないため、精度ある予測が出来ない。そこで、試作機の 1D CAE モデルを構築し、実ガス試験にて有効データを取得し、それを解析モデルにフィードバックすることで商用機の精度ある性能予測技術を確立する。

実施内容：低温水素ガス圧縮機の運転で正確な実測データを採取するには、液体水素貯槽から 20K 付近の低温水素ガスを圧縮機へ安定供給する必要があり、振動的になりがちな気液 2 相水素の流量、温度、圧力を適切に制御する低温ガス発生装置を JAXA にて構築した。

また、保有する解析技術を用いて、まずは多数の実測データがあるLNG BOG圧縮機をベースに1D CAEモデルを作成し評価解析を可能とした上で、図9に示すような低温水素ガス圧縮機の試作機の1D CAEモデルを構築した。

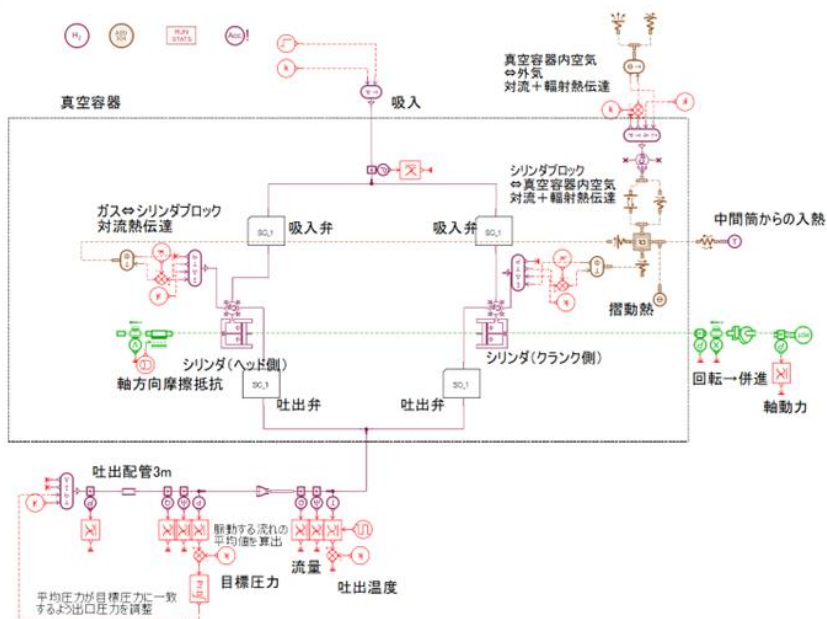


図9. 低温水素ガス圧縮機 試作機の1D CAEモデル

2021FY の試作機の実ガス試験では、圧縮機流量が予想を大きく下回る結果となり、その結果として有効な性能データを取得できなかったが、2022FY はシリンダを早期に冷却する改善策と内部漏れ低減の改良を実施した上で、各吸入ガス温度における流量と吐出温度の有効データを取得した。最終的な低温水素ガス圧縮機の試作機的主要仕様を表2に示す。

実ガス試験にて取得した有効データを解析にフィードバックし、各吸入温度にて1D CAEモデルの精度検証(表3参照)を行い、1段の試作機に対して目標精度以内で流量・温度を予測できるモデルを構築でき、ベースとなる解析手法を確立した。

| 項目 | 単位 | 仕様 |
|---------|-------|------------------------|
| 圧縮機型式 | - | 1段1筒往復動圧縮機 |
| ストローク | mm | 200 |
| シリンダ径 | mm | 155⇒175(2022FY) |
| 回転数 | rpm | 360 |
| モータ定格出力 | kW | 55 |
| 定格流量 | Nm3/h | 550 |
| 吸入圧力 | MPa | 0.05 |
| 吸入温度 | ℃ | -240, -220, -200, -180 |
| 吐出圧力 | MPa | 0.55 |
| 予想吐出温度 | ℃ | -200~-140 |

表2. 試作機的主要仕様

| 吸入温度 | 単位 | 実測値との誤差 |
|-------|--------|---------|
| -240℃ | 流量 | -3.5 % |
| | 吐出ガス温度 | -5.2 ℃ |
| -220℃ | 流量 | 1.9 % |
| | 吐出ガス温度 | -2.8 ℃ |
| -200℃ | 流量 | 1.2 % |
| | 吐出ガス温度 | 0.5 ℃ |

表3. 1段 1D CAEモデルの精度検証

成果の達成状況：達成

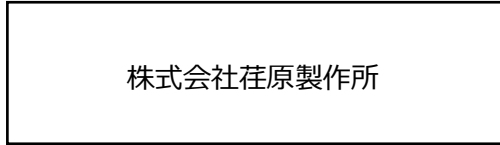
成果の意義：直接吸入・圧縮する圧縮機の性能面での優位性が実証され、最も重要な性能(流量、1段吐出温度)に関し、精度ある商用機の性能予測が可能になった。

4. 1. 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」④

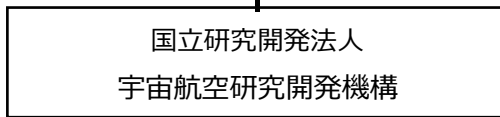
○実施者名、実施体制

④株式会社荏原製作所：液化水素昇圧ポンプ

【助成先】



【共同研究先】



(液化水素を用いた小型試作機の
性能・機能試験を共同研究にて実施)

○期間、予算

④荏原製作所：液化水素昇圧ポンプの開発

期間：2019年7月～2023年3月

予算：下表の通り

| | 助成事業に要する費用 (円) | 助成対象費用 (円) | 助成金 (円) |
|--------|-------------------|---------------|------------|
| 2019年度 | 16,717,154 | 16,717,154 | 8,357,000 |
| 2020年度 | 75,773,688 | 75,773,688 | 37,886,000 |
| 2021年度 | 21,830,859 | 21,830,859 | 10,915,000 |
| 2022年度 | 144,796,654 | 144,796,654 | 72,398,000 |

○実用化・事業化への道筋

④荏原製作所：液化水素昇圧ポンプの開発

水素基本戦略にある2030年頃の大規模水素発電の商用チェーン完成のために、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、製作及び実証運転を行い、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、水素発電の市場要求に合致した商用機を設計、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。

○最終目標に対する成果と達成状況

④荏原製作所：液化水素昇圧ポンプの開発

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|------------------------|------------------|--|-----|------|
| a)軸スラストバランス機構の検討 | 軸スラストバランス機構の確立 | 軸スラストバランス機構が機能することを計算及び試験で確認 | ○ | |
| b)ポンプ材料の選定 | ポンプ材料の確立 | ポンプ材料及び構造設計の健全性を試験で確認 | ○ | |
| c)液化水素でのポンプ性能/機能の評価・分析 | 液化水素昇圧ポンプ設計技術の確立 | 小型試作機による液化水素を用いた運転試験を行い、設計の妥当性を確認し、設計技術を確立 | ○ | |

○成果の意義

④荏原製作所：液化水素昇圧ポンプの開発

本事業で得られた各成果により、商用クラスの水素発電用液化水素昇圧ポンプの上市が可能となり、水素社会の実現に必要な不可欠な水素発電を含む水素サプライチェーンの確立及び普及に寄与する。

○特許出願、論文発表、学会発表・講演等の数

特許出願件数

| No. | 出願日 | 出願番号 | 状態 | 発明の名称 | 会社名 |
|-----|-----------|-------------------|------|-------|-------|
| 1 | 2020/3/26 | 2020-056701 | 取り下げ | ポンプ装置 | 荏原製作所 |
| 2 | 2021/3/24 | PCT/JP2021/012310 | 取り下げ | ポンプ装置 | 荏原製作所 |
| 3 | 2022/6/17 | 2022-098295 | 出願 | ポンプ装置 | 荏原製作所 |
| 4 | 2023/6/15 | PCT/JP2023/022219 | 出願 | ポンプ装置 | 荏原製作所 |

対外発表件数

| No. | 公表日 | 発表先 | 題目 | 会社名 |
|-----|------------|---|--|-------|
| 1 | 2022/8/29 | 荏原製作所ウェブサイト | 液体水素昇圧ポンプ | 荏原製作所 |
| 2 | 2022/8/31 | 第2回 FC EXPO【秋】 -【国際】水素・燃料電池展- | 液体水素昇圧ポンプ | 荏原製作所 |
| 3 | 2022/9/5 | Gastech Exhibition & Conference 2022 | Liquid Hydrogen Booster Pump | 荏原製作所 |
| 4 | 2022/9/13 | Oil & Gas Asia(OGA) 2022 | Liquid Hydrogen Booster Pump | 荏原製作所 |
| 5 | 2022/9/13 | Turbomachinery & Pump Symposium 2022 | Liquid Hydrogen Booster Pump | 荏原製作所 |
| 6 | 2022/9/27 | WETEX and Dubai Solar Show 2022 | Liquid Hydrogen Booster Pump | 荏原製作所 |
| 7 | 2022/10/31 | ADIPEC 2022 | Liquid Hydrogen Booster Pump | 荏原製作所 |
| 8 | 2023/2/24 | 荏原製作所ウェブサイト | 世界初の液体水素昇圧 ポンプの開発に成功 | 荏原製作所 |
| 9 | 2023/3/1 | 環境ビジネスオンライン | 水素社会の点と点をつなぎ、 世界の水素サプライチェーン を担う荏原製作所 | 荏原製作所 |
| 10 | 2023/3/7 | The 11th China International Fluid Machinery Exhibition | Liquid Hydrogen Booster Pump | 荏原製作所 |
| 11 | 2023/3/15 | 第19回 FC EXPO【春】-【国 際】水素・燃料電池展- | 液体水素昇圧ポンプ | 荏原製作所 |
| 12 | 2023/7/1 | ターボ機械協会月刊「ターボ機械」 (第51巻7号) | 水素・アンモニア発電に 用いられるポンプとその技術 | 荏原製作所 |

○研究開発成果の詳細

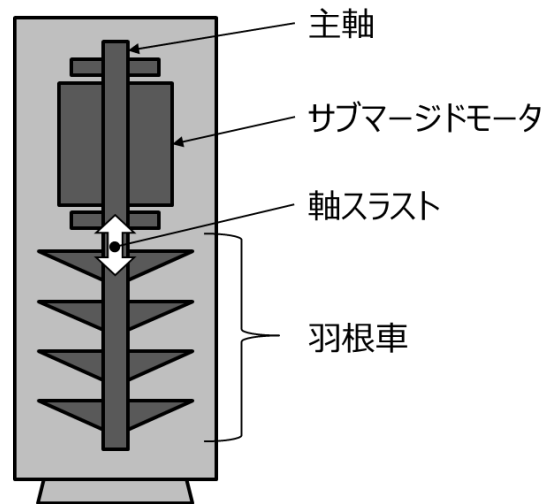
④ 荏原製作所：液化水素昇圧ポンプの開発

a) 軸スラストバランス機構の検討

図④-1 に液化水素昇圧ポンプの構造概念図を示す。本ポンプは遠心式で羽根車を複数有する多段構造の立型サブマージドモータポンプであり、回転体には自重や羽根車に生じる流体力により軸スラストが発生する。そのため、軸受保護の観点から軸受に軸スラストを負荷させない軸スラストバランス機構が必要となる。

本開発では、新型バランス機構を考案し、商用機及び小型試作機（羽根車径が商用機の約 2/3 のサイズ）の仕様において、ポンプの運転流量範囲で軸スラストがバランスすることを計算にて確認した。さらに、液化水素を用いた小型試作機試験にて新型バランス機構が正常に機能することを確認した。これより、液化水素昇圧ポンプの軸スラストバランス機構の設計技術が確立できたと考える。

なお、本バランス機構は羽根車の昇圧圧力を用いて上向き軸スラストを発生させ、回転体を浮上させるものであり（特許公開前の為、詳細は割愛）、液化水素遠心ポンプ全般に適用可能である。



図④-1 液化水素昇圧ポンプの構造概念図

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④-1 に試験条件を、図④-2 に使用した試験装置を示す。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④-1 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 |



図④-2 極低温試験装置の外観（写真提供；（株）コベルコ科研）

試験結果より、鋳物 A は低温及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、低温及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。

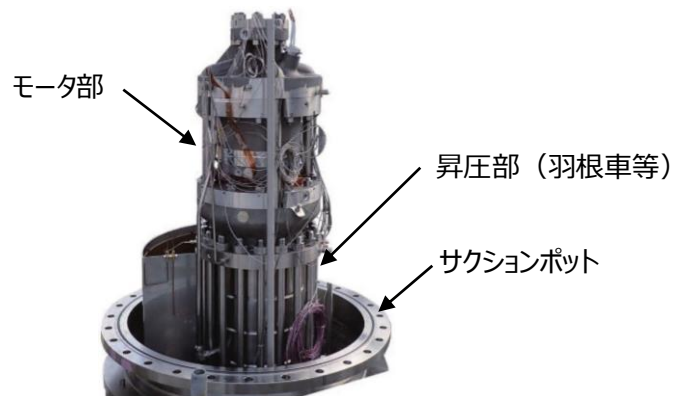
これらの材料を用いた小型試作機の液化水素運転試験にて、ポンプを正常に運転できることを確認し、また試験後の分解点検においても異常は認められなかった。

以上より、液化水素昇圧ポンプに用いる材料の選定方法、選定した材料及びその強度特性に基づく設計方法が確立できたと考える。なお、本事業で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。

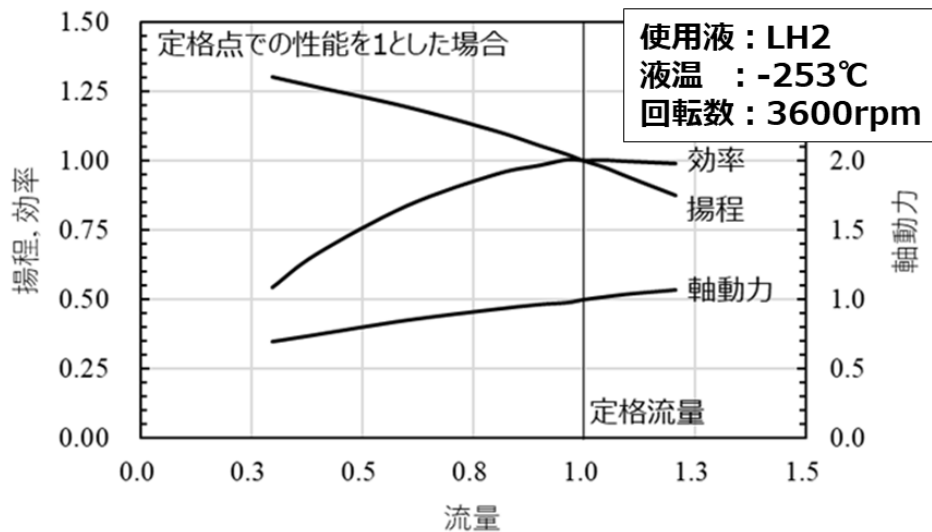
c) 液化水素でのポンプ性能/機能の評価・分析

上記の軸スラストバランス機構及び材料を適用した小型試作機を設計・製作し、液化水素を用いた運転試験を実施し、ポンプの性能・機能を評価した。なお、液化水素試験設備の構築及び運転試験は JAXA との共同研究にて実施した。

図④-3 に JAXA 能代ロケット実験場の液化水素試験設備に小型試作機を据え付けている様子を示す。試験結果として、図④-4 にポンプの主要性能である流量に対する揚程、軸動力および効率を示す。試験結果より、ポンプの揚程、動力、効率や吸込性能といった主要性能が所定の値を満足することを確認した。また、新型スラストバランス機構が正常に機能することや試験後の分解検査で材料・構造の健全性が確認できた。



図④-3 小型試作機



図④-4 小型試作機の液化水素性能

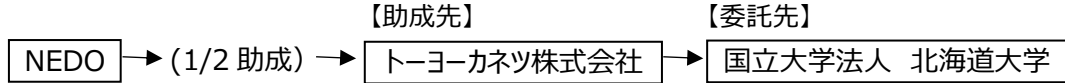
以上より、液化水素昇圧ポンプの性能設計や軸スラストバランス機構設計、ポンプ構造設計といった設計技術が確立できたと考える。また、液体水素の取扱いや液体水素昇圧ポンプの運転方法や性能評価に関する多くの知見やノウハウを得ることができた。この設計技術や知見、ノウハウを活用することで商用クラスの水素発電用液化水素昇圧ポンプの上市が可能となり、水素社会の実現に必要な不可欠な水素発電を含む水素サプライチェーンの確立及び普及に寄与する。

4. 1. 4 「液化水素貯槽の大型化に関する研究開発」

○実施者名、実施体制

(1)実施者名：トヨーカネツ株式会社

(2)実施体制



「課題1. 真空排気システムの確立」の一部を委託
期間：2019年11月25日～2022年3月31日

○期間、予算

期間：2019年7月～2023年3月

予算：(単位：円)

| 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 |
|------------|-------------|-------------|------------|
| 70,183,680 | 208,304,590 | 223,123,873 | 66,661,000 |

○実用化・事業化への道筋

2030年頃からの水素発電の本格的な導入が実現すれば、サプライチェーン構築に必須の製品であることから、事業拡大が期待できる。

○最終目標に対する成果と達成状況

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|-------------------------------|---|--|-----|------|
| I:真空排気システムの確立 | 大型貯槽に適用可能な真空排気システムを確立する。 | 大型貯槽に適用可能な真空排気システムを考案するとともに、実験により所要真空度に到達することを実証した。 | ○ | |
| II:内槽底部への入熱量算定手法の確立 | 底部構造の精度良い伝熱解析手法を確立する。 | 実測値と解析値とを比較・分析することにより、底部構造の精度良い伝熱解析手法を確立した。 | ○ | |
| III:SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立 | 液化水素貯槽の使用環境下でも安全なSUS316Lの継手となる溶接施工法を確立する。 | 破壊靱性、水素脆化、繰返し荷重に関する試験を行い、当社が設計するSUS316Lの溶接継手が十分安全であることを確認した。 | ○ | |

○成果の意義

本事業の課題解決により、大型液化水素貯槽の基本技術が確立した状況になり、実用化に向けた次の段階である、要素技術をシステム化したベンチスケールタンクによる性能確認のための実証実験に進むことが可能になった。

- 特許出願、論文発表、学会発表・講演等の数
- 研究開発成果の詳細

| | 2019 年度 | 2020 年度 | 2021 年度 | 2022 年度 |
|------------|---------|---------|---------|---------|
| 特許出願 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 論文発表 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 学会発表・講演 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 新聞・雑誌等への掲載 | 0 | 0 | 0 | 1 |

(1) 真空排気システムの確立

① 大型液化水素貯槽に適用可能な真空排気方法として、まず、第一段階としてポンプで所要の真空度になるまで排気した後、第2段階として冷却窒素ガス及び液化窒素、さらに、第3段階として液化水素、それぞれによる内槽の冷却過程において、ポンプによる排気を継続しながら、内槽外側の冷却面に内外槽間及び底部のガスを固体化させることで、空間内のガス量を減少させて、所要の真空度を達成する手法を開発した。

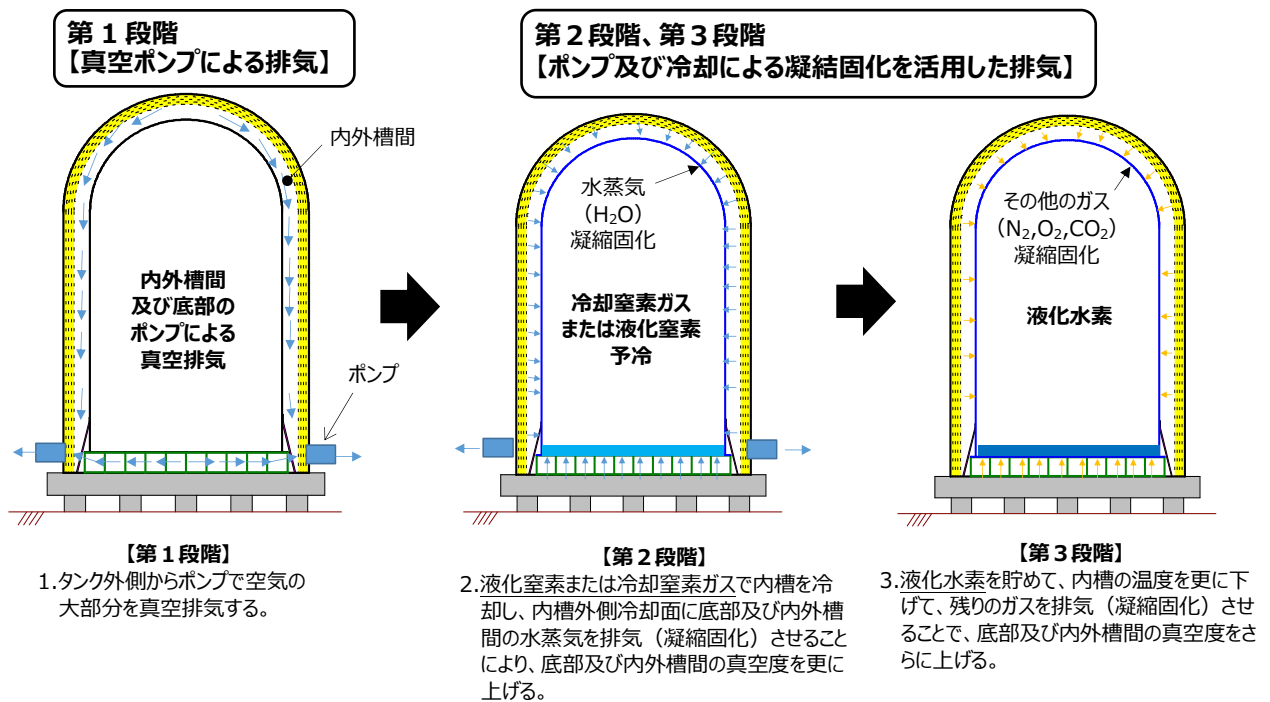


図 1 真空排気方法

② 上記、真空排気方法の第1段階である、「真空ポンプによる排気時」は、図2に示す底部断熱構造を形成するブロック（以下、真空断熱ブロック）の側板に排気用の孔を設け効率的に排気する必要がある。この必要孔径を決定するため、孔径に応じた底部全体の真空度分布を計算できるシミュレーションソフトを開発した（図3）。真空度分布を計算する際には、入力情報として、別途測定した真空断熱ブロック内材料からのガス放出量測定値を加味した。また、真空断熱ブロックを実物大の1/3スケールとした試験体の集合体による排気実験を行い、上記の開発したシミュレーションソフトが実際の真空度分布を計算できていることを確認した（図4）。

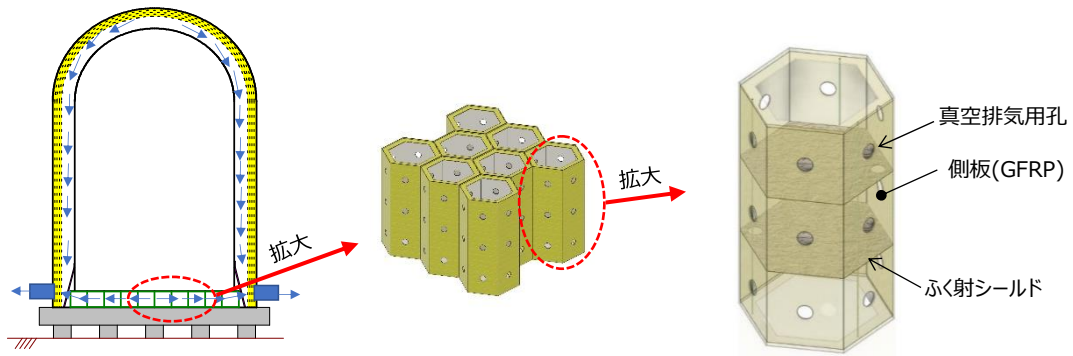


図2 底部断熱構造を形成するブロック（真空断熱ブロック）

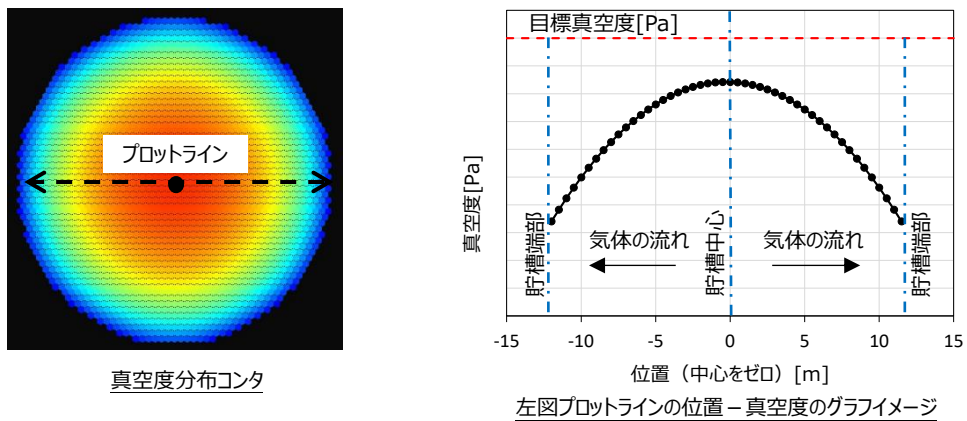


図3 真空断熱ブロック集合体のシミュレーション結果（真空度分布）

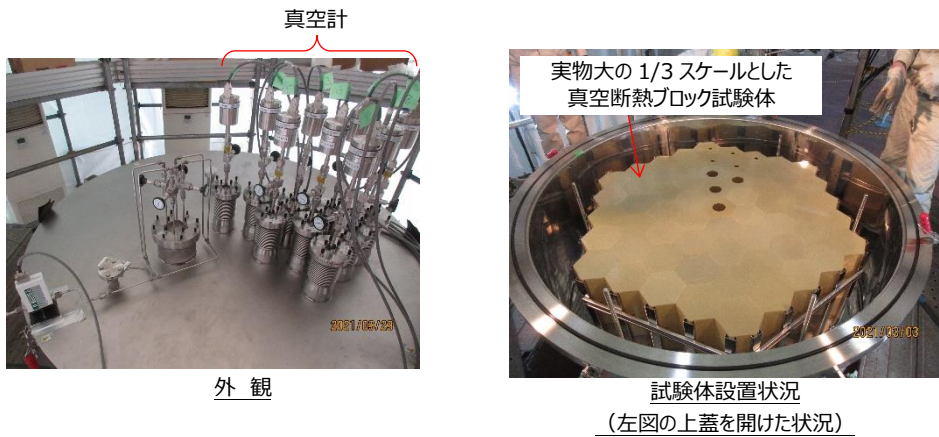


図4 シミュレーション検証実験装置

③さらに真空排気方法の第一段階として実施した真空ポンプによる排気後、第2段階、第3段階として、冷却窒素ガス、液化窒素及び液化水素による内槽の冷却過程において、ポンプによる排気を継続しながら、その冷却面にガスを固体化させることで貯槽底部が所要の真空度になることを確認するため、実物大の真空断熱ブロックの試験体を用いた冷凍真空装置を製作し、実証実験を行った（図5）。この装置においては、液化水素を内槽に貯蔵した時の内槽温度である -253°C は、本装置に具備する冷凍機により実現し、その冷却面に真空断熱ブロック内のガスを固体化させることで、真空断熱ブロック内の真空度が目標値以下に到達することを確認した。

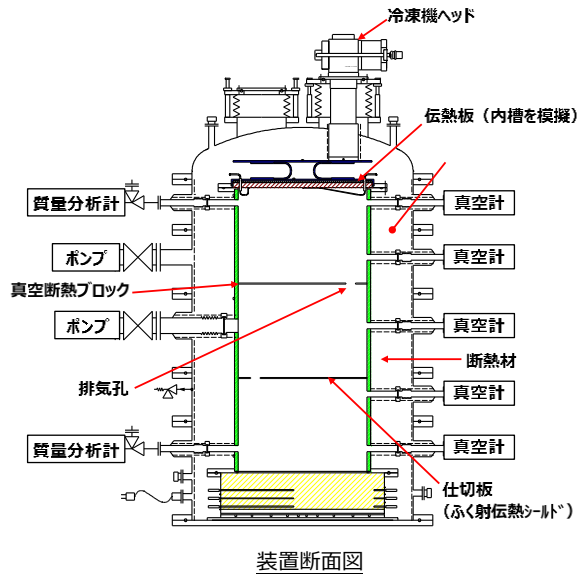


図 5 底部真空排気実証実験装置

④ 図 1 に示す通り、底部断熱構造を構成する真空断熱ブロックは、貯蔵される液化水素の重量荷重に耐えられる強度を有する必要がある。そのため、実物大の真空断熱ブロックを試験体として複数作製し、鉛直方向の強度確認試験を行い（図 6）、鉛直方向において十分な強度を有することを確認した。

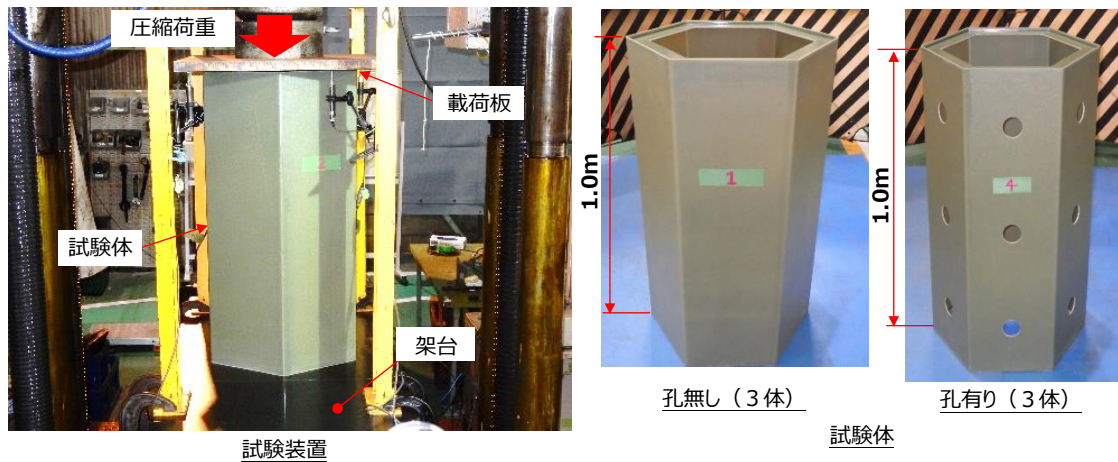


図 6 鉛直方向強度確認試験

(2) 内槽底部への入熱量算定手法の確立

- ① 真空断熱ブロックを実物大の 1/3 スケールとした試験体の集合体の断熱性能を実測する試験装置の製作を行った（図 7）。試験体を通して熱量は、測定容器内の液化窒素の蒸発質量流量と液化窒素の蒸発潜熱から算出する。
- ② 実測結果と熱解析結果とを比較・分析し、熱解析モデル化手法や真空断熱ブロック内部に設置する断熱材の熱定数を決定することで、精度良い熱解析手法を確立した。

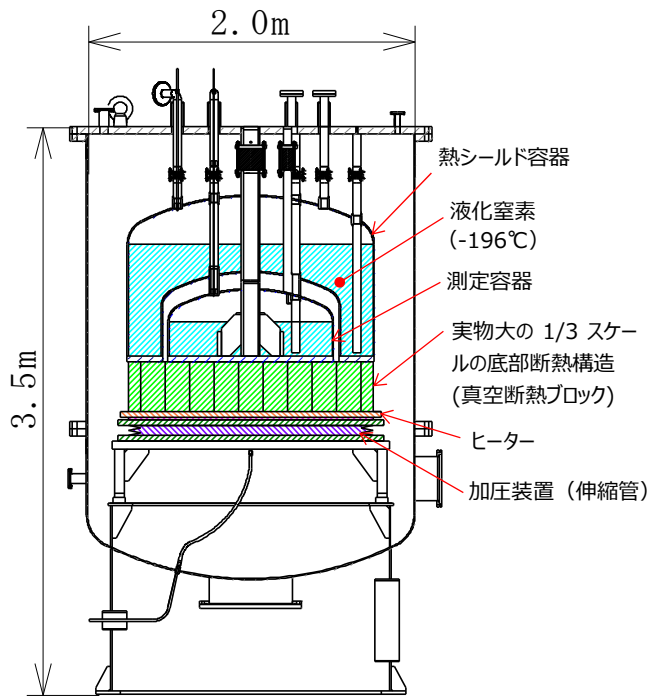


図 7 断熱性能測定装置

(3) SUS316L の溶接材料を使用した溶接施工法の確立

①破壊靱性試験（JIC 試験）（図 8）

-269℃環境で JIC 試験を実施した結果、溶接金属部及び Fusion Line 部共に、ASME や JIS B 8267 で要求される破壊靱性値（KIC 値）132 MPa $\cdot\sqrt{m}$ を上回っており、十分な破壊靱性を有していることを確認した。

②水素脆化度の確認（SSRT 試験）（図 9）

-70℃での低歪速度引張試験（SSRT 試験）を実施した結果、水素チャージした場合であっても、十分な絞りが得られたこと、また、相対絞りは、水素チャージの有無に関わらず、低下しなかったことから、水素感受性は非常に低く、水素脆化による問題は生じないことを確認した。

③疲労試験（図 10）

試験結果と ASME BPVC Section VIII Division2 に示される S-N 曲線とを比較した結果、繰り返し荷重耐性に問題ないことを確認した。また、1 万 m³ 液化水素貯槽を対象に累積疲労損傷の評価を行った結果、疲労強度は十分であることを確認した。

④疲労き裂進展試験（図 11）

試験によりパリス則の材料定数を求めた。これを用いて、1 万 m³ 液化水素貯槽を対象とした想定欠陥の進展拡大を求め、必要靱性値を算出し、これと、破壊靱性試験から得られた靱性値と比較した結果、十分な疲労耐性があることを確認した。

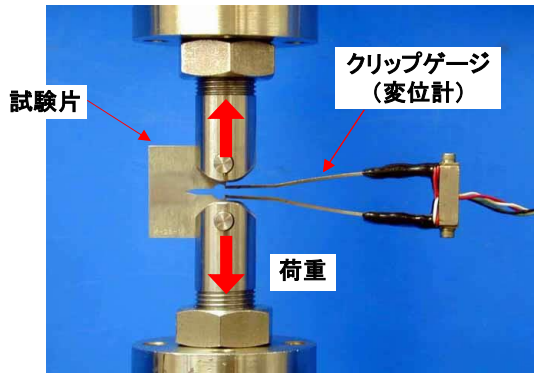


図 8 JIC 試験装置



図 9 SSRT 試験装置

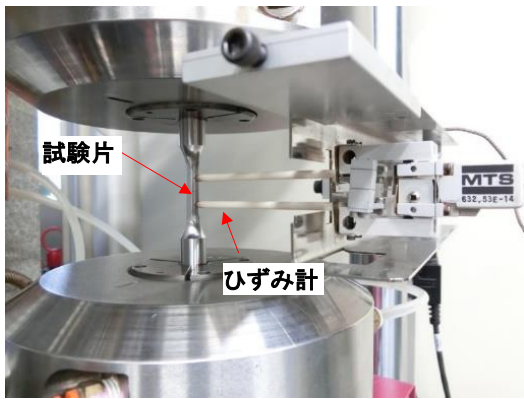


図 10 疲労試験装置

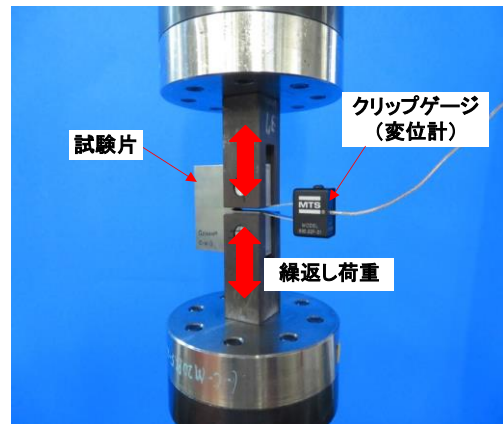
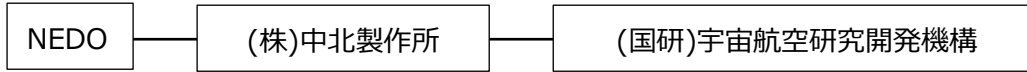


図 11 疲労き裂進展試験装置

4. 1. 5 「液化水素用大口径バタフライバルブの技術開発」

○実施者名、実施体制



委託期間：2021年4月～2023年3月

○期間、予算

期間：2020年7月～2023年3月

予算：2020年度 18,113,000円

2021年度 56,638,000円

2022年度 88,630,000円

○実用化・事業化への道筋

本事業で構築した液化水素用大口径バタフライバルブの技術を他口径に展開し、液化水素キャリアにおけるサプライチェーン構築の大規模実証に実装可能なラインナップの拡充を進める。重要な技術課題である「シール性能」については、正圧(1次側)だけでなく逆圧(2次側)においても封止性を確保できる様に改良することで、両流れといったプラント運用のニーズに対応する。2025年以降では、小口径から大口径までのフルラインナップが量産可能な製造体制・検査設備を確保する。また、これら液化水素用大口径バタフライバルブを操作する駆動部においても、プラント運用のニーズに対応する為に、手動式、空気式、油圧式、電動式のラインナップの拡充を進める。関連法規への適用は、高圧ガス保安法については、設備試験(型式試験)受験の為に要件準備、並びに日本海事協会の船級規則については、液化水素運搬船ガイドラインに基づく型式承認取得の為に要件準備を進める事でサプライチェーン構築の大規模実証をターゲットとした事業化を達成する見込みである。

○最終目標に対する成果と達成状況

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|---------|---|---|-----|---|
| 1. 市場調査 | 顧客ニーズ並びに関連法規の適用範囲を把握し、原理設計・実機設計に展開する。 | 受入基地や運搬船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・周期を調査。関連法規の適用範囲を確認。 | ○ | 引き続き大規模実証を進める事業者と協議を重ね、他口径のバルブラインナップ拡充に繋げる。 |
| 2. 原理開発 | 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・解析手法を確立する。 | 原理試作品(300A)を製作し、LH ₂ 実液試験を実施。試験データと解析データを比較検証し、構造・解析手法を確立。 | ○ | |

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|----------|---|---|-----|---|
| 3. 実機開発 | バルブ実機における実液試験にて各目標値を達成し、300A サイズにおける液化水素用大口径バタフライバルブの技術を確立する。 | 実機試作品(300A)を製作し、LH ₂ 実液試験を実施。300A サイズにおける液化水素用大口径バタフライバルブの技術を確立。 | ○ | |
| 4. 大型化検証 | 実機開発で構築した「シール性能」と「真空断熱性能」を800A サイズに展開し、実液試験での目標値を達成する。 | 大型試作品(800A)を製作し、LH ₂ 実液試験を実施。真空断熱性能は目標値を達成したものの、シール性能については逆圧(2次側)で改良の余地を残した。 | △ | 正圧(1次側)に加え逆圧(2次側)も十分に封止できるシール構造の改良を進める。 |

○成果の意義

液化水素用大口径バタフライバルブの技術開発で培った「シール性能」と「真空断熱性能」をラインナップ拡充等の製品開発に展開することで、液化水素キャリアにおけるサプライチェーン構築の大規模実証に、荷役等を担うバルブとして実装可能なバタフライバルブの事業化が可能となる。液化水素用大口径バタフライバルブが事業化した場合、従来のグローブバルブよりも容量係数(Cv 値)が高く輸送効率が良いことから、受入基地や運搬船における貯蔵・運搬量の向上に寄与することができる。

○特許出願、論文発表、学会発表・講演等の数

特許出願 : 2021 年度 2 件
外部発表 : 2021 年度 2 件
2022 年度 1 件

○研究開発成果の詳細

(1) 実施項目 1 : 市場調査において、液化水素キャリアにおけるサプライチェーン構築の大規模実証を実施する事業者と協議を重ね、出荷・受入基地や運搬船に求められるバタフライバルブの要求仕様や使用・環境条件、メンテナンス方法・周期を把握した。併せて、液化水素バタフライバルブに係る法規として、高圧ガス保安法や NK 船級の適合性を調査した。

当該実施項目は 2020 年度に完了し、原理開発及び実機開発に展開したものの、継続的に大規模実証の関係者と協議を実施し、事業終了後の事業化に向けた情報収集を続けた。

(2) 実施項目 2 : 原理開発において、基本設計として低温物性データの収集並びにシート構造の設計検討を実施し、重要な技術課題である「シール性能」に係るシール面圧制御に必要な応力・歪み・接触圧力・摩擦等の構造解析並びに、「真空断熱性能」に係る輻射・熱伝導等の熱解析を実施した。

基本設計で得た知見を基に、300A サイズでシート部の評価に特化した原理試作品を開発し製作し

た。外部入熱の影響を可能な限り排除すべく大型の真空チャンバーに 300A サイズの原理試作品を組み込み、JAXA 能代ロケット実験場での LH₂ 実液試験(図 1)を 2021 年 6 月に実施した(図 2)。外部からの入熱の影響を極力少なくした試験設備にて、シール性能を確認し、-253℃の液体水素を用いた試験の実施方案を確立した。

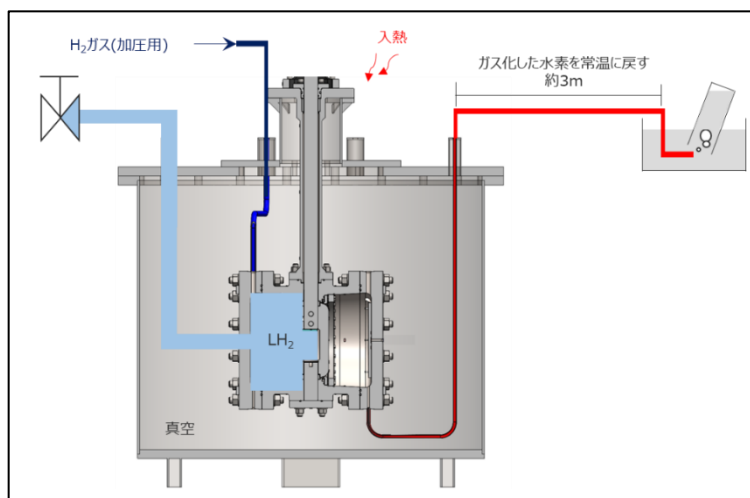


図 1. 原理試作品による LH₂ 実液試験の概略



図 2. 原理試作品による LH₂ 実液試験の様子

(3) 実施項目 3 : 実機開発において、原理試作品での試験結果や解析評価結果を展開し、300A サイズの真空ジャケット付き実機試作品(液化水素用バタフライバルブ)を開発し製作した。JAXA 能代ロケット実験場から供給される液体水素を適切な圧力で試作品に通液可能な装置を製作し、LH₂ 実液試験を 2022 年 3 月に実施した(図 3)。実機試作品による実液試験結果及び解析評価結果を展開し、内部部品を改良した実機試作品で LH₂ 実液試験を 2022 年 10 月に実施し、300A サイズにおける「シール性能」と「真空断熱性能」を主とする液化水素用バタフライバルブの技術を構築した。

また、実機試作品の検証試験においては、液体水素を弁箱内部に充填して、2,000 回の耐久試験を実施し、シール構造の耐久性に問題無い事も確認できた。



図 3. 実機試作品による LH₂ 実液試験の様子

(4) 実施項目 4：大型化検証において、市場調査で入手した大規模実証におけるスペック情報から最大口径である 800A サイズの真空ジャケット付き大型試作品(液化水素用大口徑バタフライバルブ)を開発し製作した。実機開発で培った「シール性能」と「真空断熱性能」を 800A サイズに展開した大型試作品で LH₂ 実液試験(図 4)を 2023 年 3 月に実施した(図 5)。

真空断熱性能においては、メンテナンス性を十分に考慮した構造で断熱性を確保した。シール性能においては、正圧(1 次側)からの漏れ量は目標値を達成したものの、逆圧(2 次側)からの漏れについては未達となり、シール構造の改良の余地を残した。

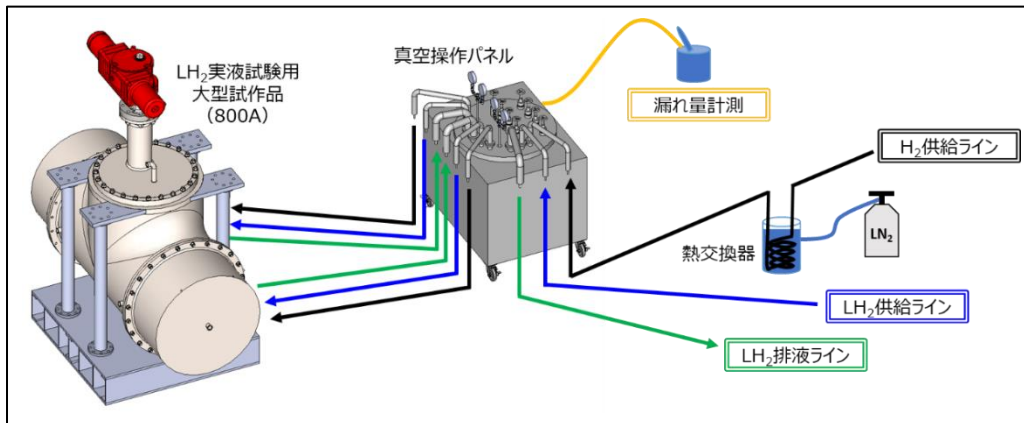


図 4. 大型試作品による LH₂ 実液試験の概略



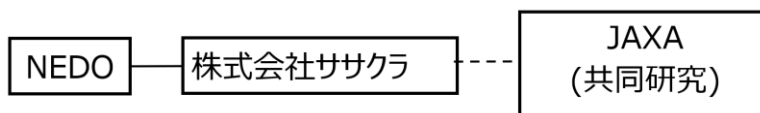
図 5. 大型試作品による LH₂ 実液試験の様子

4. 1. 6 「液化水素用バタフライバルブの開発」

○実施者名、実施体制

実施者名：株式会社ササクラ

実施体制：



○期間、予算

期間：2020年7月～2021年3月

予算：12,197,493円

期間：2021年4月～2022年3月

予算：28,346,040円

期間：2022年4月～2023年3月

予算：42,808,230円

○実用化・事業化への道筋

普及させるためには量産化体制と安価で提供できる事が重要であり、そのためのカギとなる使用材料の開発が必要となる。

○最終目標に対する成果と達成状況

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|------------------|---------------------------------|---|-----|-------------------|
| ①バルブ大型化による性能確保 | 試作バルブの構造検討、浸漬・流路内封入(LN2)による性能確保 | 20Bでの試作バルブ完了 浸漬・流路内封入(LN2)による性能が確保できていることを確認 | ○ | |
| ②液化水素として維持可能な構造 | 真空ジャケット大型化 | 構造検討を行い大型化(試作)することができた | ○ | |
| 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 | 高感度可燃ガス検知器を用い、リーク検知孔から水素の外部漏洩が無いことを確認 | ○ | |
| ④使用材料による加工とコスト | LNG仕様バルブ 加工費1.2倍 | 試作バルブの製作にはLNG用途弁の約1.8倍のコストがかかった | △ | 材料入手・加工などコストダウン検討 |
| ⑤液化水素条件下における性能確保 | JAXA 殿設備において性能確認 | ①の試作バルブで流路内封入(LH2)による性能が確保できていることを確認 | ○ | |

○成果の意義

液体水素のインフラ整備にはLNGと同様に深冷バタフライ弁が必須であり、普及させて初めて水素社会が確立できる。

○特許出願、論文発表、学会発表・講演等の数

- 2020年度：0件
- 2021年度：2件
- 2022年度：0件

○研究開発成果の詳細

(1) 課題①：バルブ大型化による性能確保

(1) LN2 深冷試験(浸漬法)

LN2 にバルブを浸漬する試験を実施した結果を下表に示す。グラウンド部からの外部漏洩については、水上置換法を用いて計測を行い漏れがないことを確認した。

LN2 深冷試験(浸漬法)による弁座漏洩試験結果は下表による。

表 1. LN2 深冷試験(浸漬法)による弁座漏洩試験結果

| 計測方向 | 正流 | 逆流 |
|----------------|------------|------------|
| 許容漏洩量 | 100 cc/min | 200 cc/min |
| 試験圧力 | 2 MPa | 1 MPa |
| LN2浸漬状態 漏洩量 | 漏洩なし | |

(2) LN2 深冷試験(流路内封入)

流路内に LN2 を封入する試験を実施した結果、許容漏洩範囲を超える漏洩は確認されなかった。グラウンド部からの外部漏洩については、水上置換法を用いて計測を行い漏れがないことを確認した。

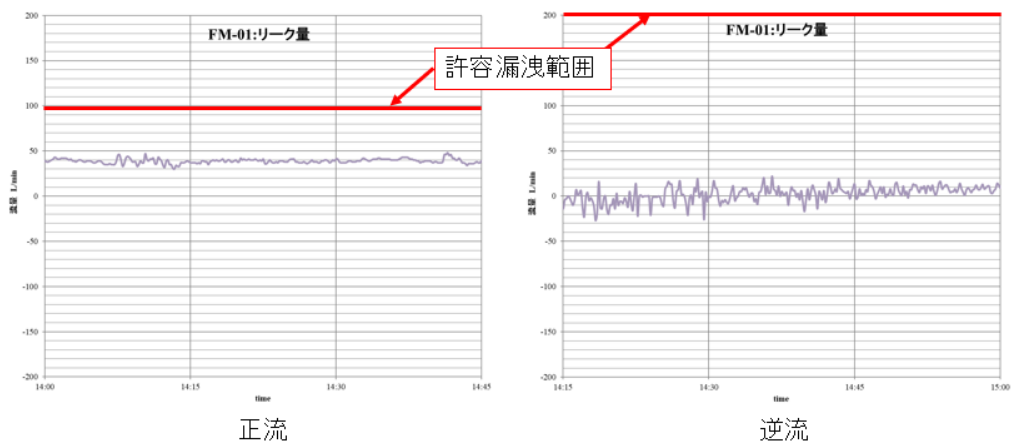


図 1 .LN2 深冷試験(流路内封入)による弁座漏洩試験結果

(2) 課題②：液化水素として維持可能な構造

構造検討を行い、荷重がかかっていると思われる部位の強度計算を行った結果、各部位における強度に問題ないことが確認できた。

(3) 課題③：水素の外部漏れに対する安全

従来(LNG 用途)のグランド部リーク検知用に使用しているキリ穴を、ねじ加工に変更してホース・配管などを取り付けて水上置換法または流量計で計測できるように検討を行った。

“課題①バルブ大型化による性能確保”において、グランド部からの漏洩量の確認を水上置換法または流量計で行う予定であったが困難だったため高感度可燃性ガス検知器（水素）を用いて計測を行い漏洩していないことを確認した。

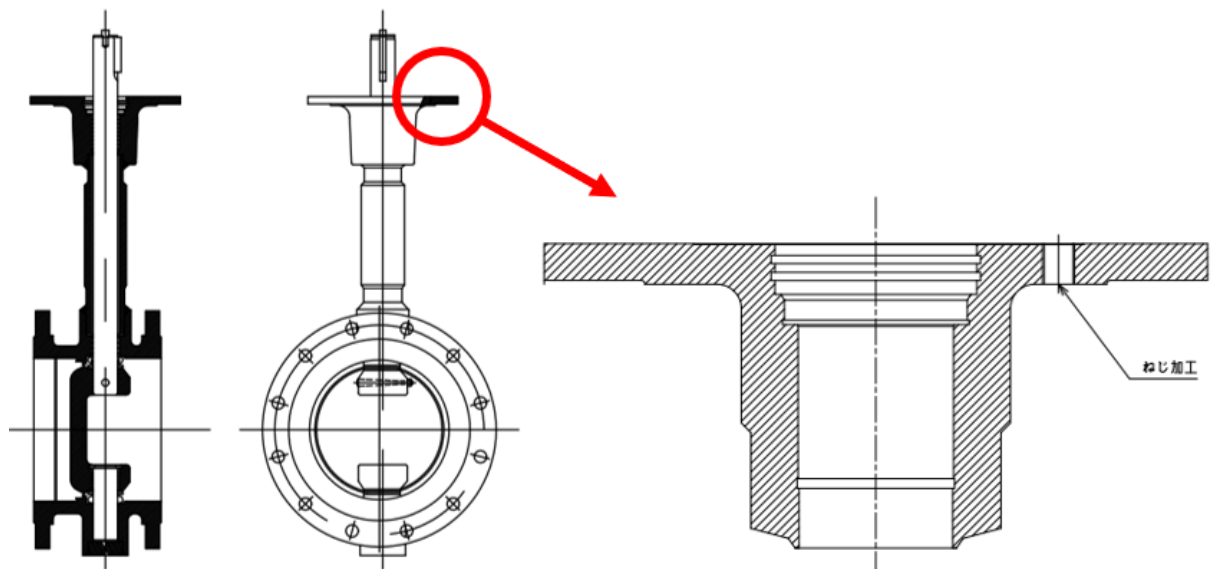


図2.漏洩検知穴

(4) 課題⑤：使用材料による加工とコスト

試作品の製作には LNG 用途弁の価格と比べて約 1.8 倍のコストがかかった。鍛造材を削り出しすることで加工に時間を要している。現時点では、試作品の一部素材（弁体）を荒加工状態で入手した場合、約 1.6 倍までコストダウンが可能であると考えられる。

(5) 課題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)の結果

LH2 封入側（1 次側）を加圧して、漏洩量計測側（2 次側）に漏れ出てきたガス量の計測を行った。※冷却時には 2 次側も水素雰囲気になっている。

試験圧力とガスの計測流量のグラフの一例を下図に示す。

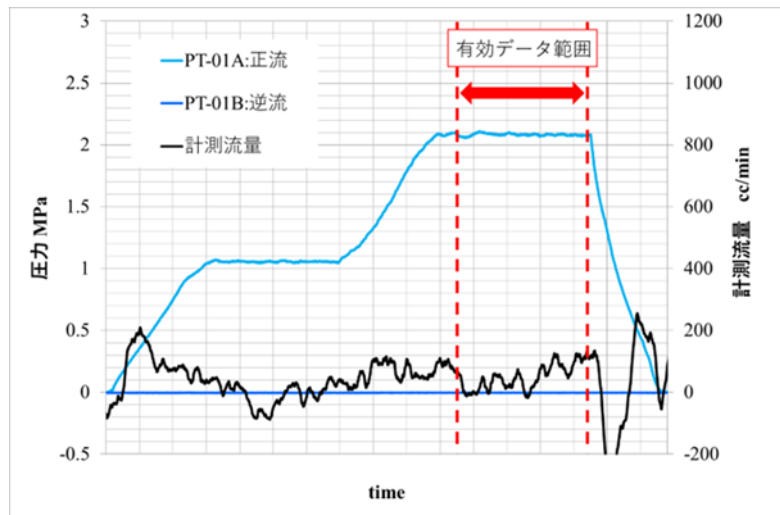


図 3 .LH2 深冷試験(流路内封入)による弁座漏洩試験結果

加圧時や減圧時に計測流量が変化するのは、弁体が僅かながら動くからである。

500 回開閉耐久試験は、シール交換を行い計 3 回行った。その結果を下表に示す。

表 2. LH2 深冷試験(流路内封入)による
500 回開閉耐久試験後の弁座漏洩試験結果

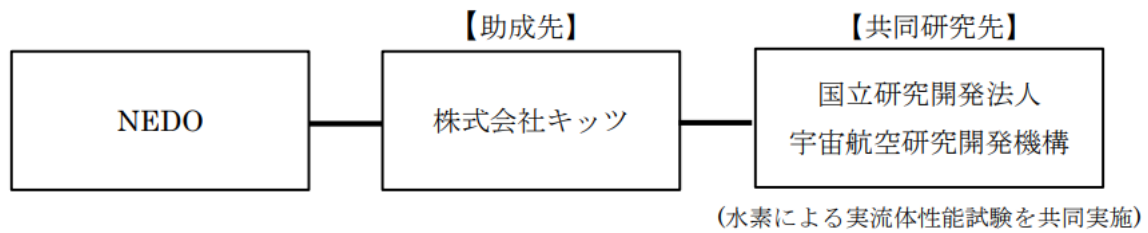
| | 計測方向 | 正流 | 逆流 |
|-----|---------------|------------|------------|
| | 許容漏洩量 | 100 cc/min | 200 cc/min |
| | 試験圧力 | 2 MPa | 1 MPa |
| 1回目 | 耐久試験後 計測流量 | 許容漏洩量以下 | |
| 2回目 | | | |
| 3回目 | | | |

有効データ範囲で平均した計測流量はいずれも許容漏洩量以下となった。グランド部からの外部漏洩については、高感度可燃性ガス検知器（水素）を用いて計測を行い漏れがないことを確認した。

以上

4. 1. 7 「液化水素用大型バルブの技術開発」

○実施者名、実施体制



- ・キッツ バルブの設計、試作、評価概要検討
- ・JAXA 評価技術の開発、評価試験、評価試験結果検討及び評価方法の最適化検討

○期間、予算

期間 : 2020年7月~2023年3月

予算 :

(単位:円)

| 助成先名 | 委託先名・共同研究先名 | 事業期間全体 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 |
|-----------|--------------------|--------------|------------|--------------|--------------|
| 1.株式会社キッツ | | 162,935,220 | 22,633,000 | 65,741,425 | 74,560,795 |
| うち共同研究 | 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構 | (24,636,220) | (0) | (13,908,425) | (10,727,795) |
| 合計 | | 162,935,220 | 22,633,000 | 65,741,425 | 74,560,795 |
| *助成金の額 | | 81,466,000 | 11,316,000 | 32,870,000 | 37,280,000 |

<*補助率1/2>

○実用化・事業化への道筋

2025年大型商用化実証プラントへのバルブ採用に向けて、サイズ展開設計、生産体制の構築を検討中。2024年夏ごろに、実用化(社内上市工程完了)を目標としている。

課題は、コストダウンを兼ねた鋳物の使用で、KHKの事前評価にて使用の認可の取得を検討中

○最終目標に対する成果と達成状況

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|--------------|--------------------|--------------------------------------|-----|-------------------|
| ① 弁種の検討 | 大口徑化実現可能な弁種、構造の選定 | トップエントリー型ボール弁、スイング式逆止弁を選定 | ○ | 弁種、サイズラインナップ拡大が必要 |
| ② 封止技術開発 | | | | |
| a) 外部封止構造の検討 | 流体温度を考慮した外部封止構造の選定 | 解析により、想定温度を考慮した封止位置とすることで、既存技術の流用が可能 | ○ | |
| b) 内部封止構造の検討 | 流体温度を考慮した内部封止構造の選定 | 低温域で使用実績のある樹脂材を選定し、熱収縮を考慮した構造とした | ○ | 耐久回数の検討が必要 |
| c) 部分試作評価 | 内部封止構造の部分 | 液化水素での実温評 | ○ | |

| | 試作評価を実施 | 価試験で、目標性能確保を確認 | | |
|-----------------------------|--|---------------------------------------|---|-------------------------|
| ③ 弁製造方法の検討 a) 大型化精密加工の検討 | 実施可能な製造方法を検討、性能を確立できる構造設計を行う | 分割構造も含めた構造とすることで、大型部品の精密加工を実現 | ○ | 量産工程の確立が必要 |
| b) 分割構造の検討 | 熱影響の少ない溶接施工法で、性能確立できる構造設計を行う | 部分試作評価より、熱影響の少ない電子ビーム溶接で実現可能であることを確認 | ○ | |
| c) 鋳物化の検討 | 鋳物化によるコストダウンを想定し、鋳物へ展開できる目途を立てる | 治具による真空断熱性能確認で、鋳物展開が可能であることが確認できた | ○ | 高圧ガス認定取得のために、事前評価が必要 |
| ④ 真空断熱構造の検討 a) 組立・分解の検討 | ジャケット外、弁上部から組立・分解できる構造とし、現地メンテナンスを考慮する | トップエントリー、および治具により、実機にて組立・分解可能であることを確認 | ○ | 現地メンテナンスに向けた治具の改良が必要 |
| b) 断熱性能検討 | 真空ジャケットによる二重配管構造とし、十分な保冷性能を有する構造とする | 解析より入熱量を想定しジャケット形状を決定 | ○ | 客先要求ごとのジャケット形状検討が必要 |
| c) 弁保持構造の検討 | 入熱を考慮した弁自重を保持する構造を検討する | 熱伝導率、強度等と解析結果からGFRP(強化ガラス繊維)を選定した | ○ | 保持構造を有するジャケット施工方法の調整が必要 |
| ⑤ 弁試作評価 a) 弁の試作 | 確立した要素技術をもとに弁の試作を行う | 中間口径、最大口径ともに弁の試作を行った | ○ | 量産工程、試験設備の確立が必要 |
| b) 治工具の検討 | 組立・分解を可能とする治具、および現地メンテナンス方法の確立 | 縮小モデルから組立治具を考案し、試作品組立にて実現性を確認 | ○ | 現地メンテナンスに向けた治具の改良が必要 |
| c) 性能試験 | 試作品に対して性能試験を実施し、目標性能を満足することを確認する | 中間口径で行った改良設計をもとに、最大口径で目標性能達成を確認 | ○ | 社内試験設備の確立が必要 |
| d) 弁サイズ展開 | 市場要求されるサイズか | 顧客要求を調査し、サ | △ | 顧客要求によ |

| | | | | |
|----|--------------|--------------|--|----------------|
| 検討 | ら、サイズ展開設計を行う | イズ展開設計を順次進行中 | | り、新たな仕様、弁種を検討中 |
|----|--------------|--------------|--|----------------|

○成果の意義

液化水素用大口径弁の確立によって、液化水素受け入れ基地の大型化に寄与することが可能となり、水素をエネルギーとして活用するための供給設備の拡充へとつながっていくと考えられる。

また、今回開発したボール弁は流量特性に優れた弁であり、大量輸送、大量貯蔵に非常に適した弁種である。ボール弁以外の弁種も含めたラインナップを拡充することで、顧客要求に柔軟に対応することができ、現在のLNG基地と同規模の液化水素基地の実現につながると考えられる。

○特許出願、論文発表、学会発表・講演等の数

| 特許出願 | 論文発表 | 外部発表 | 受賞等 |
|------|------|------|-----|
| 18 | 0 | 0 | 0 |

※特許出願は、国内、外国出願を含む

○研究開発成果の詳細

(1) 実施項目①：弁種の検討

弁の要求仕様から溶接による配管据付後、メンテナンスを可能にするためトップエントリー構造とする必要がある。手動弁、遮断弁においては、大流量化可能にすることで、プラント全体のコストメリットを得られることを狙いとし、ボール弁を選定した。逆止弁は、トップエントリー対応可能なスイング式逆止弁を選定した。

(図1：概略設計モデル)

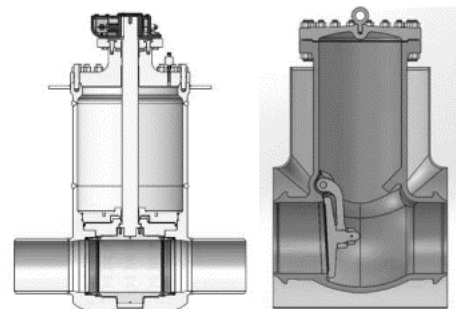


図1 ボール弁(左)、逆止弁(右)

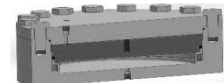
(2) 実施項目②：封止技術開発

a) 外部封止構造の検討

液化水素流通を想定した解析により、温度分布の把握を実施した。推定温度分布より、既存の封止技術が流用できる外部封止位置を想定した。

b) 内部封止構造の検討

低温(液化窒素)で実績のある樹脂材として UHMW-PE (超高分子量ポリエチレン) を選定した。低温下での温度収縮を考慮した構造とすることで、封止可能であることを確認した。



c) 部分試作評価

封止技術に関わる治具の設計・製作を実施し、社内低温試験(液化窒素)にて封止可能であることを確認した。

また、JAXA 能代実験場にて液化水素による実温試験を実施し、ボール弁治具については、封止可能であることを確認した。チャッキ弁治具は目標未達であったが、改良設計を実施し、社内でも再確認を行った。



図2 ボール弁リテーナ治具(上)と試験の様子(下)

(3) 実施項目③：弁製造方法の検討

a) 大型化精密加工の検討

弁の主要耐圧部は、大型かつ複雑で精密な加工を要求されるため、一体加工での製造が困難であることが分かった。そのため、一体加工とは別に分割構造での製作検討が必要であることが分かった。

b) 分割構造の検討

分割構造については、分割して製作した部品を溶接接合にて一体化し完成品とする方法を検討したが、溶接による熱影響によって変形してしまうことが課題であった。そのため、熱影響が限りなく少ない溶接方法の電子ビーム溶接を使用し、図3のような部分試作にて評価を行った。結果、溶接の熱影響による寸法変化はごくわずかであることが確認できた。

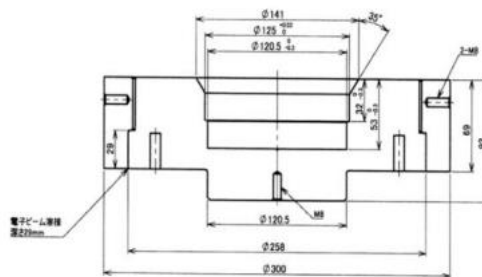


図3 分割構造部分試作組図

c) 鋳物化の検討

コストダウンにおける鋳物化を想定し、懸念される真空性能の確認のため、治具製作し真空引き試験を行った(図4)。その結果、鋼材に比べ鋳物の真空性能が劣ることが分かったが、その差はごくわずかであることが確認できた。

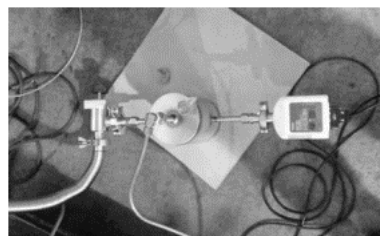


図4 真空引き治具外観写真

今後は、極低温下での鋳物材料使用、水素脆化の適合性を確認し、KHKの事前承認を経て使用認可を取得することを目標とする。

(4) 実施項目④：真空断熱構造の検討

a) 組立・分解の検討

弁全体をジャケットで覆い、かつ真空を破壊することなくメンテナンス可能な構造とするためにトップエントリー構造を採用したため、ロングネックの上部から組立・分解を行う必要がある。3Dプリンターにて、縮小モデル(図5)を作成し、主要部品の組立・分解方法の検討を行い、治具の設計を実施した(図6)。

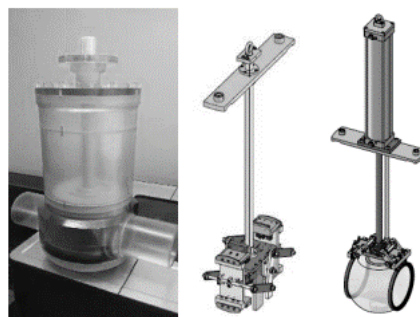


図5 縮小モデル 図6 治具モデル

b) 断熱性能検討

設計モデルを利用し、解析を用いて入熱量の計算を行った。解析結果をもとに、真空断熱ジャケットの構造を決定した。真空ジャケットをロングネック上部まで取り付けることで、内部への入熱をより抑えることができることがわかった。

c) 弁保持構造の検討

弁の大口径化に伴い、真空断熱ジャケットと弁の間で弁の自重を保持する構造をジャケット内に有する必要がある、その構造は熱伝導率が低く、かつ強度が高いものが必要となる。解析も行い検討した結果、GFRP(強化ガラス繊維樹脂)を選定し、弁保持構造を構築することとした。

(5) 実施項目⑤：弁試作評価

a) 弁の試作

中間口径では 10B(図 7)、最大口径では 20B(図 8)のボール弁、逆止弁の試作弁製作を行った。



図 7 10B ボール弁(左) 逆止弁(右)

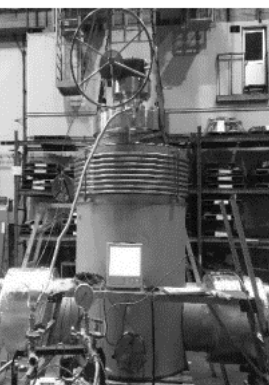


図 8 20B ボール弁(左) 逆止弁(右)

b) 治工具の検討

実施項目④ - a)にて検討した組立・分解治具の製作を行い(図 9、図 10)、実際に弁試作時の組立・分解を行い、治具の妥当性を確認した。中間口径 10B、最大口径 20B それぞれにおいて、問題なく組立・分解ができることを確認した。

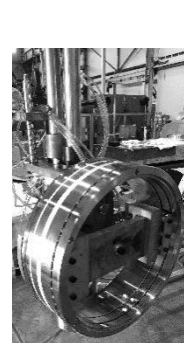
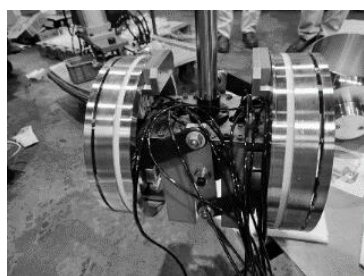
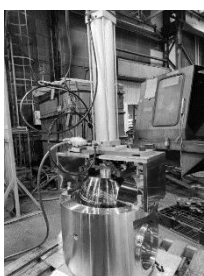


図 9 10B 組立・分解治具

図 10 20B 組立・分解治具

c) 性能試験

実施項目⑤ - a)で製作した試作弁の性能評価試験を社内(液化窒素)、JAXA(液化水素)にて実施した。

10B では、逆止弁については目標性能を達成したが、ボール弁については内部封止にて目標未達であった。ボール弁は、社内に持ち帰ったのち、分解調査を行い、原因を推定し改良を行った。また、試験方法が、社内試験と JAXA 試験で相違があったため、JAXA 試験方法と同様の試験ができるように、社内での試験方法を改良した。その後、社内試験(液化窒素)ではあるが、目標性能達成を確認した。



図 11 10B ボール弁 JAXA 試験の様子

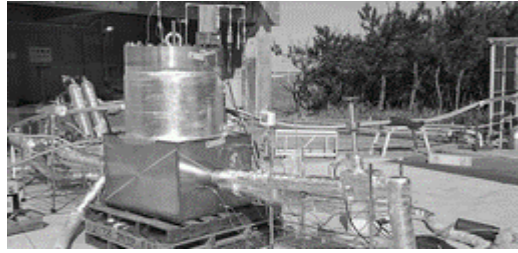


図 12 10B 逆止弁 JAXA 試験の様子

| 項目 | | 試験圧力 | 試験結果 |
|---------------|------------|--------------------------------------|-----------------------|
| 社内検査 (LN2) | 外部封止 | 4.6MPa | 0.1~4.6MPaで漏れ0 |
| | 内部封止 シート封止 | 0.1, 0.6, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 4.6MPa | 0.1~4.6MPaで漏れ0 |
| JAXA実流体 (LH2) | 外部封止 | 4.6MPa | 0.1~4.6MPaで漏れ0 |
| | 内部封止 シート封止 | 0.1, 0.6, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 4.6MPa | 0.03~0.2MPaで多量漏れ、試験中断 |

表 1 10B ボール弁 JAXA 試験結果

| 項目 | | 試験圧力 | 試験結果 |
|---------------|-----------------|--------------------------------------|--|
| 社内検査 (LN2) | 外部封止 | 4.6MPa | 0.1~4.6MPaで漏れ0 |
| | 内部封止 シート封止 | 0.1, 0.6, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 4.6MPa | 0.1~4.6MPaで漏れ0 |
| JAXA実流体 (LH2) | 外部封止 | 4.6MPa | 0.1~4.6MPaで漏れ0 |
| | 内部封止 シート封止(低→高) | 0.1, 0.6, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 4.6MPa | 0.1:300ml/min, 4.6:10ml/min 許容漏れ量:500ml/min 合格 |

表 2 10B 逆止弁 JAXA 試験結果

20B では、特にボール弁においては、10B の改良設計を参照し、設計を踏襲した試作弁について性能評価を行った。ボール弁、逆止弁とも、社内試験、JAXA 試験それぞれにおいて目標性能を達成していることを確認した。

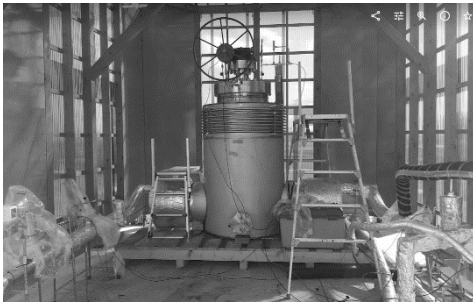


図 13 20B ボール弁 JAXA 試験の様子

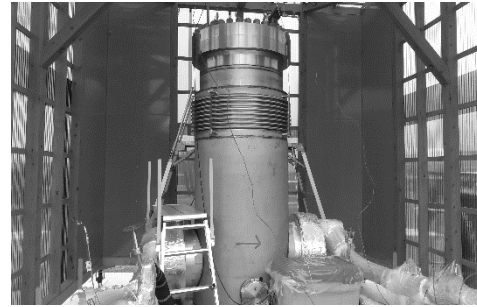


図 14 20B 逆止弁 JAXA 試験の様子

| 項目 | | 試験圧力 | 試験結果 |
|--------------|-----------------------|---------------------------------|---|
| 社内試験 (LN2) | 外部封止 | 4.2MPa | 漏れ0 |
| | 内部封止 シート漏れ キャビティ漏れ | 0.1, 0.6, 1.0, 2.0, 3.0, 4.2MPa | 0.1~4.2で許容漏れ量200ml/min以下 0.1~4.2で漏れ0 |
| JAXA試験 (LH2) | 外部封止 | 4.2MPa | 漏れ0 |
| | 内部封止 シート漏れ キャビティ漏れ | 0.1, 0.6, 1.0, 2.0, 3.0, 4.2MPa | 0.1~4.2で許容漏れ量200ml/min以下 0.1~4.2で漏れ0 |

表 3 20B ボール弁 JAXA 試験結果

| 項目 | | 試験圧力 | 試験結果 |
|--------------|-----------------------|---------------------------------|---|
| 社内試験 (LN2) | 外部封止 | 4.2MPa | 漏れ0 |
| | 内部封止 シート漏れ キャビティ漏れ | 0.1, 0.6, 1.0, 2.0, 3.0, 4.2MPa | 0.1~4.2で漏れ0 |
| JAXA試験 (LH2) | 外部封止 | 4.2MPa | 漏れ0 |
| | 内部封止 シート漏れ キャビティ漏れ | 0.1, 0.6, 1.0, 2.0, 3.0, 4.2MPa | 0.6~4.2で漏れ0 0.1で480ml/min 0.1~4.2で漏れ0 |

表 4 20B 逆止弁 JAXA 試験結果

d) 弁サイズ展開検討

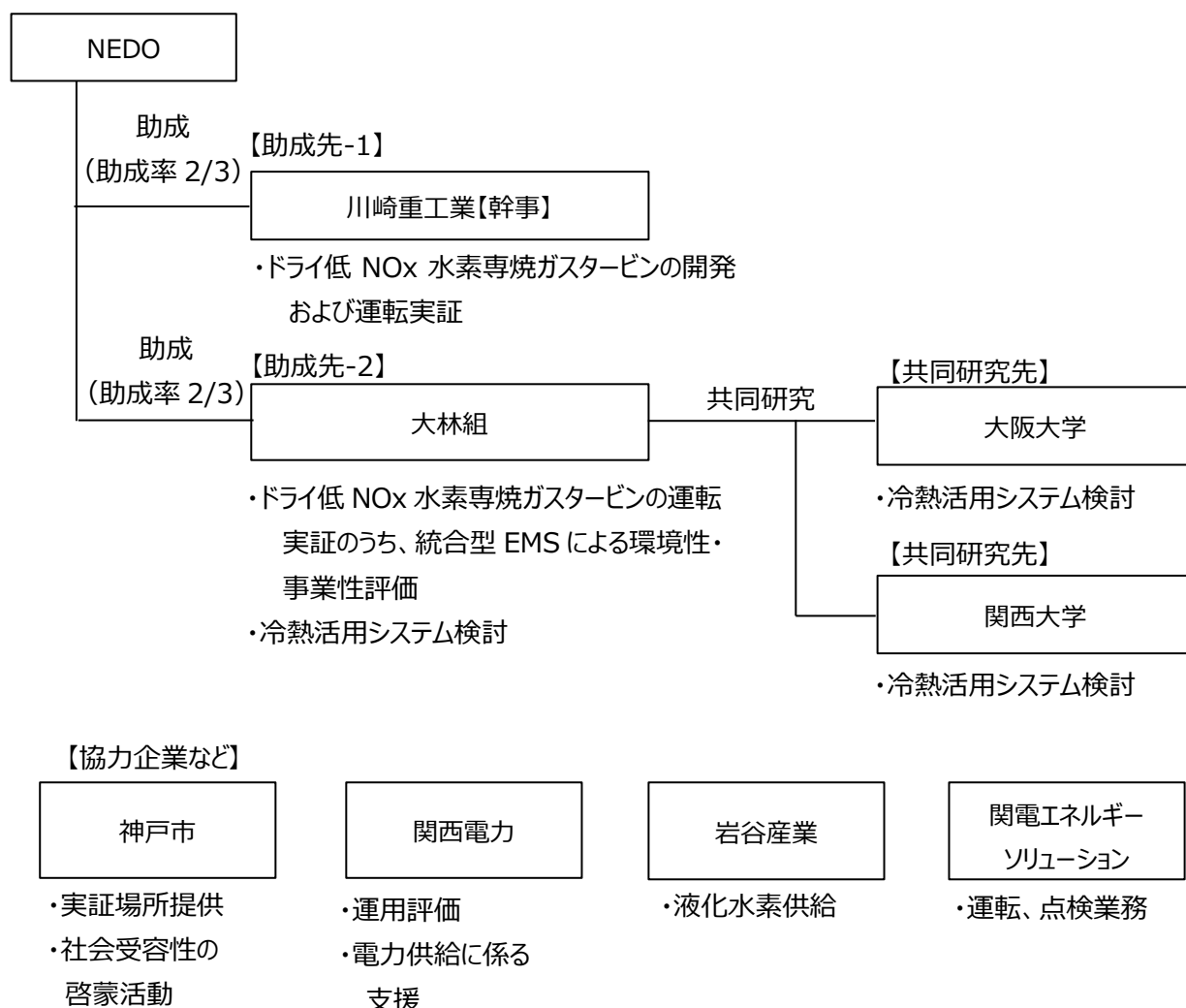
サイズ展開については、当初 20B が最大口径と認識していたが、その後の調査によってさらに大口徑の要求があることが分かった。また、用途によっては、ボール弁、逆止弁だけでなく、ゲート弁やグローブ弁の要求もあり、弁種、サイズそれぞれでの拡充が求められていることが分かった。

大型商用実証プラントの実現に向けて、可能な限り顧客ニーズに応えるべく、各種設計・サイズ展開を進めており、2024年の事業化を目標としている。

4. 2 「水素エネルギー利用システム開発（6事業）」

4. 2. 1 「ドライ低NOx 水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業」

○実施者名、実施体制



○期間、予算

期間 : 2019年5月~2021年2月
 予算 : 2019年度 117,388,000
 2020年度 261,358,000

○実用化・事業化への道筋

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、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。

○最終目標に対する成果と達成状況

| 開発項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|-----------------------------|--|---|-----|------|
| 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。 | ○ | 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 |

| 開発項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|-------------------------------|--|--|-----|------|
| 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 | ○ | 課題なし |

| 開発項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|--------------------------------|---|--|-----|---|
| | | <u>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。</u> | | |
| 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激な負荷変動/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 「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 |
| | 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 | △ | 目標達成には「 <u>燃焼振動</u> 」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 |

| 開発項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|--------------------------|---|---|-----|---|
| | | [70ppm]は十分クリアしている。) | | できると見込んでいる。 ※次期助成事業「水素 CGS の地域モデル確立に向けた技術開発・研究（2021 年 7 月 26 日～2023 年 2 月 28 日）」において改良を実施し、全負荷領域において目標達成済。 |
| 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、2021 年 1 月に実証運転を実施し、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の確認を完了。 | ○ | 課題なし 通年のデータが得られていないため事業性検討シミュレーションに搭載しているガスタービンの性能データの乗せ換えは、次年度夏期のデータ取得後に行う。 |
| 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。 |
| 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 | 液化水素の気化冷熱を活用してタービン給気を冷却する場合の効果と課題を抽出し、その解決策を検討する。 | 液化水素の蒸発器は、着霜問題を解決でき、冷熱回収もできる、中間媒体式を採用した。また、冷熱をガスタービン吸気冷却に利用する場合、空気冷却器の | ○ | 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ため、実験を通じた検討が必要である。 |

| 開発項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|-------------------|--|---|-----|--|
| | | 着霜を考慮した運用が重要であることを確認した。 | | |
| 2 蒸発器の着霜防止効果を定量評価 | 蒸発器の着霜防止効果を定量的に確認する。 | 蒸発器は、着霜しない熱交換器である、中間媒体式を採用した。 | ○ | 課題なし 液化水素の冷熱を回収できるため、熱交換器としての機能も併せ持つ。 |
| 3 空気冷却器の着霜発生条件を把握 | 空気冷却器の着霜発生条件を確認する。 | 着霜実験を行い、空気冷却器での吸気的面風速による熱伝達係数の特性、着霜による圧力損失の特性等を確認した。 | ○ | 課題なし 実験にて求めた熱伝達率、圧力損失をプロセスシミュレーションに組み込むことで着霜時の吸気冷却効果を精度よく予想できた。 |
| 4 冷熱利用の経済合理性の検討 | 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し、経済合理性を検討する。 | 1MW クラスの水素ガスタービンの発電出力向上効果を試算した。さらに、液化水素冷熱活用システムの試設計・工事費見積を行い、発電出力向上効果と合わせて経済合理性を検討した。 | ○ | 課題なし |

○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考えられる。

B. 冷熱活用システム検討

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。

○特許出願、論文発表、学会発表・講演等の数

| | 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 |

○研究開発成果の詳細

A. ドライ低 NOx 水素専焼ガスタービンの運転実証

(1) 実施項目 1：設備改修

1-1 燃料供給系の改修設計(川崎重工)

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した。

1-2 運転制御システムの改修設計(川崎重工)

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した。

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。

1-3-2 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。

1-4 機器調達・製作(川崎重工)

2020 年 4 月までに、設備改修に必要な機器の調達・製作を完了した。

1-5 改修工事の実施

1-5-1 改修工事の実施（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した。

1-5-2 改造作業（大林組）

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。

1-5-3 既設設備の維持保守（大林組）

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行った。

(2) 実施項目2：実機搭載用燃焼器の製作

2-1 詳細設計(川崎重工)

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）の設計を順次完了した。

2-2 製作(川崎重工)

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）の製作を順次完了した。

2-3 工場内試験－燃焼器単体(川崎重工)

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した。

2-4 工場内試験－始動性確認(川崎重工)

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完了した。

2-5 改良(川崎重工)

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した。

(3) 実施項目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した。

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。

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。安定燃焼を達成した。

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。

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。安定燃焼を達成した。

「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。

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。

負荷 100%で発電端効率 27.0%以上を達成した。

3-2-4 NO_x 濃度 35ppm(残存酸素 16%換算値)以下の達成。

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 NO_x 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。

3-3 EMS 実証試験 (大林組)

2020年11月、2021年1月に実証運転を実施し、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)

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. 冷熱活用システム検討

(1) 実施項目 1 : 冷熱利用熱交換器の基礎検討

1 冷熱利用熱交換器の基礎検討(大林組)

液化水素の蒸発器は、着霜問題を解決でき、冷熱回収もできる、中間媒体式を採用した。また、冷熱をガスタービン吸気冷却に利用する場合、空気冷却器の着霜を考慮した運用が重要であることを確認した。

(2) 実施項目 2 : 蒸発器の着霜防止効果を確認

2 蒸発器の着霜防止効果を確認(大林組)

蒸発器は、着霜しない熱交換器である中間媒体式を採用した。液化水素の冷熱を回収できるため、熱交換器としての機能も併せ持つ。

(3) 実施項目 3 : 空気冷却器の着霜発生条件を把握

3 空気冷却器の着霜発生条件の確認(大林組)

着霜実験を行い、空気冷却器での吸気の面風速による熱伝達係数の特性、着霜による圧力損失の特性等を確認した。

(4) 実施項目 4 : 冷熱利用の経済合理性の検討

4 冷熱利用の経済合理性の検討(大林組)

1MW クラスの水素ガスタービンの発電出力向上効果を試算した。さらに液化水素冷熱活用システム部分（水素供給システム部分およびガスタービンまわり改造は含んでいない）の試設計・工事費概算見積を行い、冷熱利用の経済合理性を検討した。

- ・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の試算結果

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

- ・冷熱活用システムの経済合理性評価

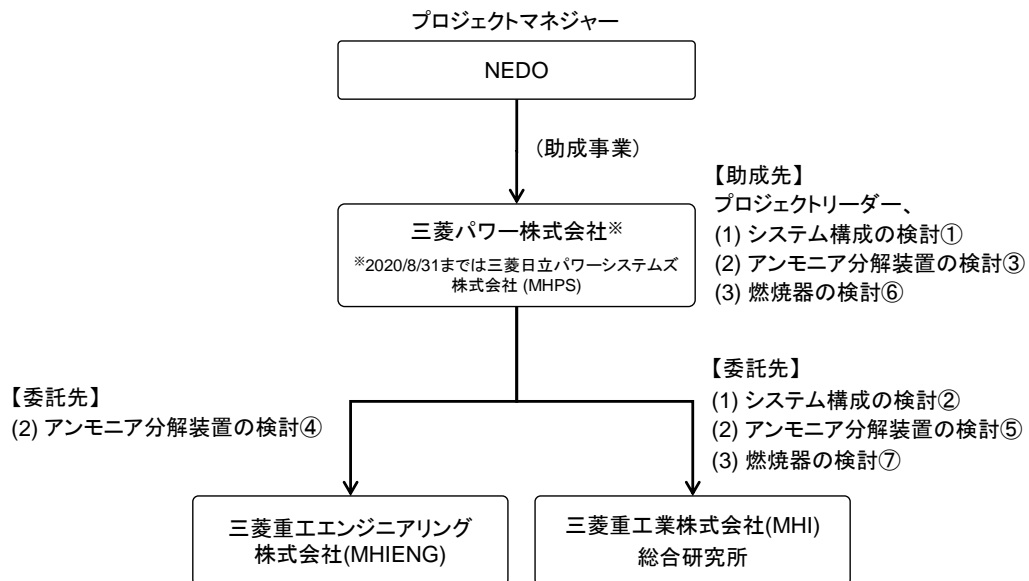
単純償却年数 8 年

冷熱活用システム部分のみの評価なので、水素発電プラント全体としての評価が今後必要となる。

4. 2. 2 「CO2フリーアンモニア利用GTCCシステムの技術開発」

○実施者名、実施体制

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



○期間、予算

期間 : 2019年8月~2021年2月

予算 : 2019年度 助成金額 39,160,000円、助成対象費用 58,740,300円
2020年度 助成金額 169,046,000円、助成対象費用 253,569,300円

○実用化・事業化への道筋

大量のアンモニアを熱分解可能なアンモニア分解装置を過去に製造/運転した実績がないことから、次のステップとしてアンモニア分解装置の実証をパイロットプラント規模で行うことが必要である。このためまずはアンモニア分解装置の改良検討、システムの概念設計、事業性の検討を行う必要がある。

アンモニア分解装置のパイロット実証試験によりプラント規模での成立性を確認した後、ガスタービン発電設備とアンモニア分解装置の組み合わせにより、天然ガスとアンモニア分解ガスを混焼した場合のシステムの信頼性、経済性を確認する。

混焼タイプの実証機の運転を通じて、水素燃焼器や分解装置の性能/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、最終ゴールとしてアンモニア分解ガス 100%のシステムの商用化を目指すことにする。

○最終目標に対する成果と達成状況

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|---------------|--|--|-----|--|
| 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 | 定格負荷だけでなく、部分負荷においても NH3 分解装置に必要な熱を供給できる NH3 分解ガス混焼システム/専焼システムの構成、運転条件を明らかにした。 | ○ | 実用化への課題として NH3 分解装置と水蒸気源を組み合わせた実証プラントによる検証がある。 |
| ②アンモニア分解装置の検討 | ・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 | ・アンモニア分解装置全体のシステム構築及び物質収支計算を実施した。 ・NH3 分解触媒の NH3 曝露試験(2,000 時間)を実施し、被毒物質の生成や比表面積の大きな変化は見られなかった。 | ○ | 実用化への課題として、アンモニア分解装置に用いられる材料の耐窒化性の検証がある。 |
| 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 | 天然ガスと NH3 分解ガス模擬燃料の混焼(水素体積割合 20%)条件で 1650℃ 級燃焼器の 100%～50%負荷の範囲で燃焼振動やフラッシュバックは無しを確認。 ・燃料中の残留 NH3 の NOx 転換率を導出。 | ○ | 実用化への課題として、実証プラントによる検証がある。 |

○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目的を達成した。

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、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 1 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 | <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 | <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 |
| 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 |

○特許出願、論文発表、学会発表・講演等の数

2019 年度 学会発表・講演：4 件

2020 年度 特許出願数：1 件 学会発表・講演：2 件

2021 年度 論文：4 件、学会発表・講演：2 件

2022 年度 論文：5 件

2023 年度 論文：1 件、学会発表・講演：1 件

○研究開発成果の詳細

(1) 実施項目 1：システム構成の検討

目標は、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で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。

システムの運転条件に関しては、アンモニア分解装置とガスタービンの排熱回収ボイラ(HRSG)の連携が重要で、アンモニアの分解温度と分解圧力が発電効率に大きな影響を及ぼすことが判っている。アンモニアの分解温度が低い場合、アンモニア分解反応器出口の残留アンモニア濃度が高くなり、アンモニア回収塔から原料アンモニア側へリサイクルする量が増加するため、アンモニア回収塔やアンモニア分解反応器で消費する蒸気量が増加し、発電用の蒸気タービンの出力が低下する(図 1)。アンモニアの分解圧力が低い場合、アンモニアの分解反応は促進されるが、ガスタービンに分解ガスを供給する際の圧縮動力が増加してシステムとしての効率は低下する側面がある。

表 2 に示すように、2018 年度に検討した 600℃、5.1 MPaG の分解条件に対し、2020 年度は温度、圧力とも低い 500℃、3.0 MPaG の分解条件を検討した結果、発電端効率は相対値で 5.7%、送電端効率は相対値で 12.6%低下することが判った。分解条件が高温高圧の方が高効率となるが、分解触媒の耐久性、反応器材料の窒化なども考慮する必要があり、テーマ(2)で実施している触媒の耐久性試験、分解反応器材料の窒化試験等の結果を総合的に考慮して最適な条件を決定すべきと考える。

システムの機器構成に関しては、2019 年度に本システムでアンモニア分解ガス専焼とする場合の課題を検討した結果、ガスタービンの排熱回収ボイラで生成した蒸気をアンモニア分解装置へ供給する手段が難しいことが判ったため、2020 年度は課題を解決する手段を検討した(図 2)。蒸気をアンモニア分解装置へ供給する手段として、当初は同図左のように水蒸気ブローアによって高温高圧の水蒸気を循環させることを想定していた。しかし高温高圧で動作する大容量の水蒸気ブローアの実現性、閉ループの水蒸気の水質維持などの課題があった。そこで同図右のように排熱回収ボイラとアンモニア分解装置を直列に複数回ループさせる方式を考案し、実現性を検討した。同方式では、水蒸気ブローアが不要となるとともに水質の維持は蒸発器のドラム水のプロードダウンにより可能となる。配管を直列に接続することにより蒸気の圧力損失はループ回数に比例して大きくなるが、熱的に成立する圧力条件などの試算を実施した。

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、アンモニア分解ガス専焼システム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(図 3)。ガスタービンの起動時にはアンモニア分解装置が起動しておらず、プラント全体の起動

用の燃料として天然ガスを利用することを想定し、天然ガス燃料の場合の特性値も併せて評価した(同図)。これをもとに特定の出力で燃料切換えを実施した場合の特性の変化が把握でき、燃焼器の燃焼安定性の観点から、始めに天然ガス燃料でガスタービンを起動し、50%負荷でアンモニア分解ガス燃料専焼に切換える手順が望ましいことが判った(図 4、表 3)。停止時の手順は起動時とは概略反対の手順となるが、停止時は排ガスダクトのパージ運転、蒸気タービンの通気条件確立や蒸気タービンの暖機運転は不要となる。

経済性に関しては、2019 年度に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とし、本システムの発電コストを評価した(図 5、表 4)。2020 年度は、現在実際に流通しているグレーアンモニア、将来の CO2 フリーアンモニア燃料の調達コストについて文献調査を実施した。まず、現在流通している CO2 フリーではないグレーアンモニアの我が国への輸入価格実績値を調査し、2020 年 5 月時点では 307 \$/t 程度であることが判った(図 6)。これは CIF 輸入価格であり発電所で使用するには国内の貯蔵、輸送費が上乗せされるためもう少し高価になるが、仮に現在のグレーアンモニア並みの価格で 2030 年に CO2 フリーアンモニアが手に入れば、発電コストの目標とした 17 ¥/kWh よりも十分に安価に発電可能であると考えられる。

次に、将来の CO2 フリーアンモニア燃料の調達コストについて文献調査をしたところ 350 \$/t, 523 \$/t(表 5)という評価値があった。これらの評価対象は、化石燃料である天然ガスを水蒸気改質して水素を生成し、水素からアンモニアを合成する方法であり、その過程で生成した CO2 を回収するためブルーアンモニアと呼ばれる。本システムの目標発電コスト(17 ¥/kWh)の達成可否は、建設費よりも、ブルーアンモニアの価格に大きく影響されることが判る(図 5)。従ってアンモニア利用 GTCC システムが他の CO2 フリーシステムに対して優位性を示すには発電効率が高いことが最優先であり、さらなる高効率化のための検討が重要である。

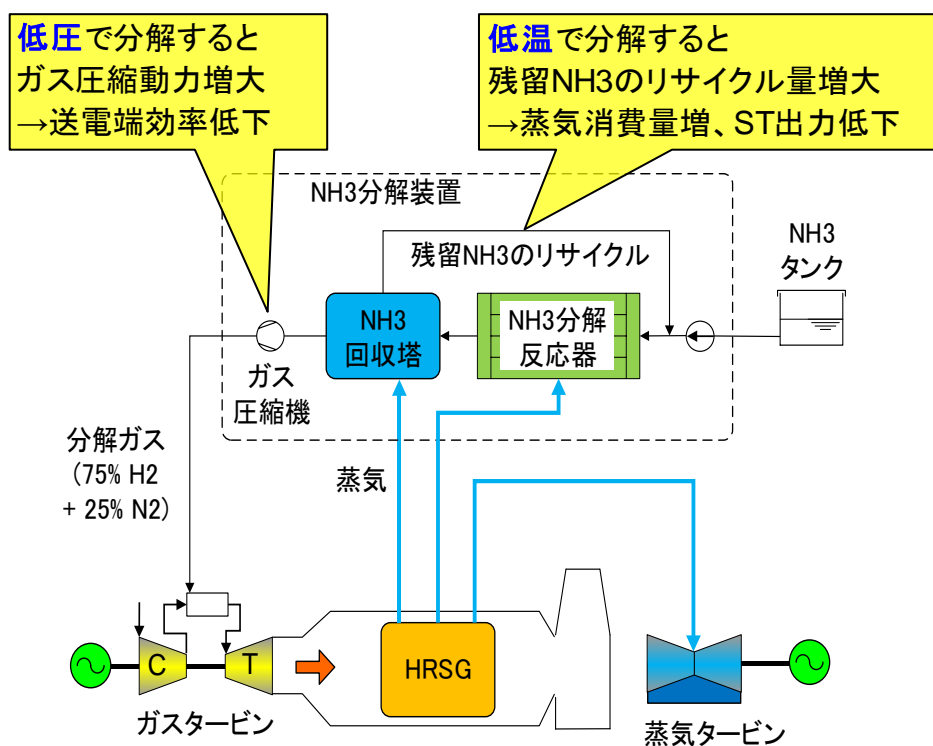


図 1 アンモニア分解利用 GTCC のシステム構成と効率に影響する因子

表 2 アンモニア分解利用 GTCC(専焼システム)の発電効率

| 項目 | 単位 | 天然ガス 焚き GTCC | アンモニア分解 GTCC | | 備考 |
|-----------------|------|--------------------|-----------------|-------|-------------------------------------|
| | | | 500 | 600 | |
| アンモニア分解温度 | °C | - | 500 | 600 | |
| アンモニア分解圧力 | MPaG | - | 3.0 | 5.1 | |
| NH3分解前発熱量 | 相対値 | 100 | 93.6 | | |
| NH3分解後発熱量 | 相対値 | 100 | 107.1 | | 化学再生により発熱量が 1.14倍に |
| 分解反応吸熱量 | MW | - | 185 | 172 | 分解温度が低いとNH3回 収塔によるリサイクル流 量が増大 |
| NH3回収塔吸熱量 | MW | - | 68 | 56 | |
| GT出力 | MW | 381 | 448 | | 燃焼ガス体積流量の増加 による |
| ST出力 | MW | 176 | 57 | 86 | STの高圧蒸気流量減少 による |
| 発電端出力 | MW | 557 | 505 | 534 | |
| 発電端効率 | 相対値 | 100 | 96.7 | 102.4 | NH3分解装置の補機動力 は未考慮 |
| NH3分解装置 補機動力 | MW | - | 35.4 | 3.4 | 分解温度500°Cはガス圧 縮機必要 |
| 送電端出力 | MW | 546 | 460 | 520 | |
| 送電端効率 | 相対値 | 100 | 89.1 | 101.7 | |

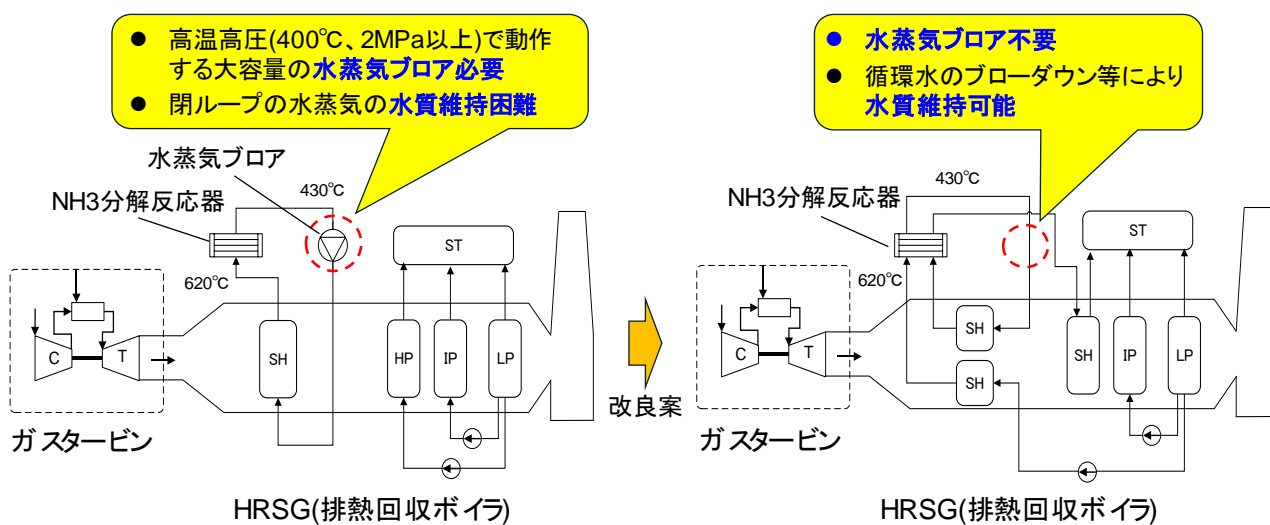
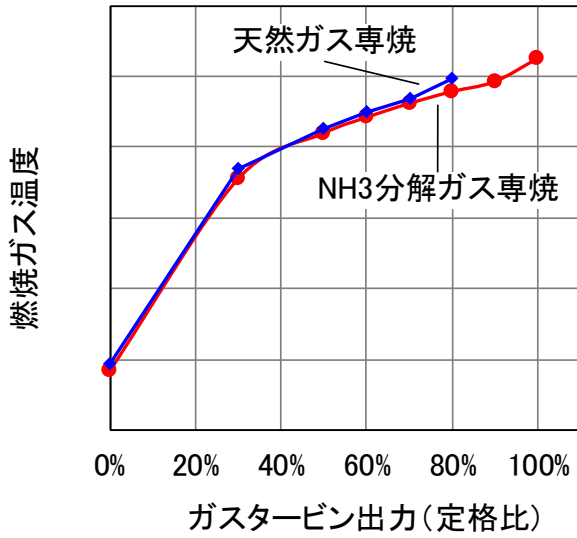
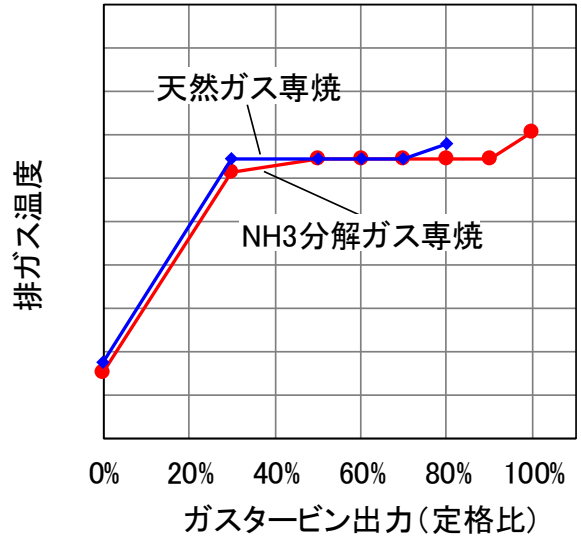


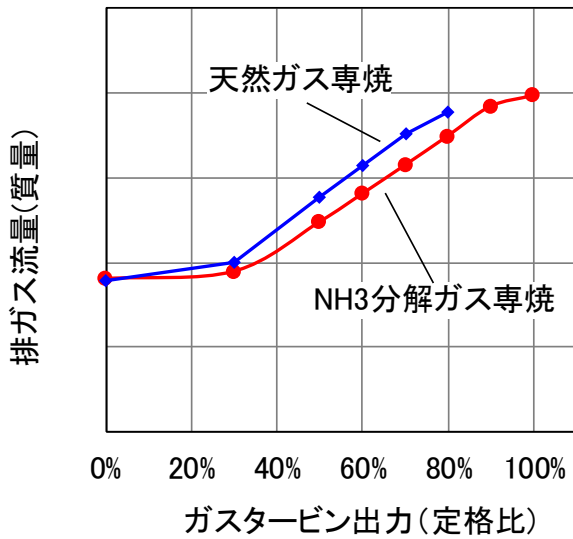
図 2 システム構成の改良検討結果



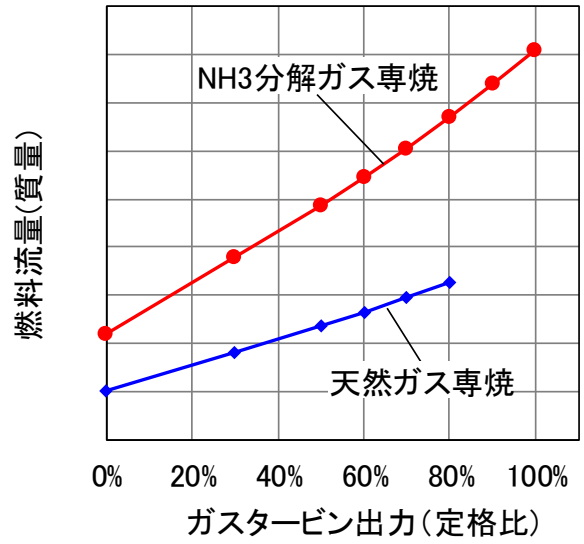
(a) ガスタービン燃焼ガス温度



(b) ガスタービン排ガス温度



(c) ガスタービン排ガス流量



(d) ガスタービン燃料流量

図 3 アンモニア分解ガスおよび天然ガス焚きの場合のガスタービン本体の部分負荷特性評価結果(無負荷～100%負荷)

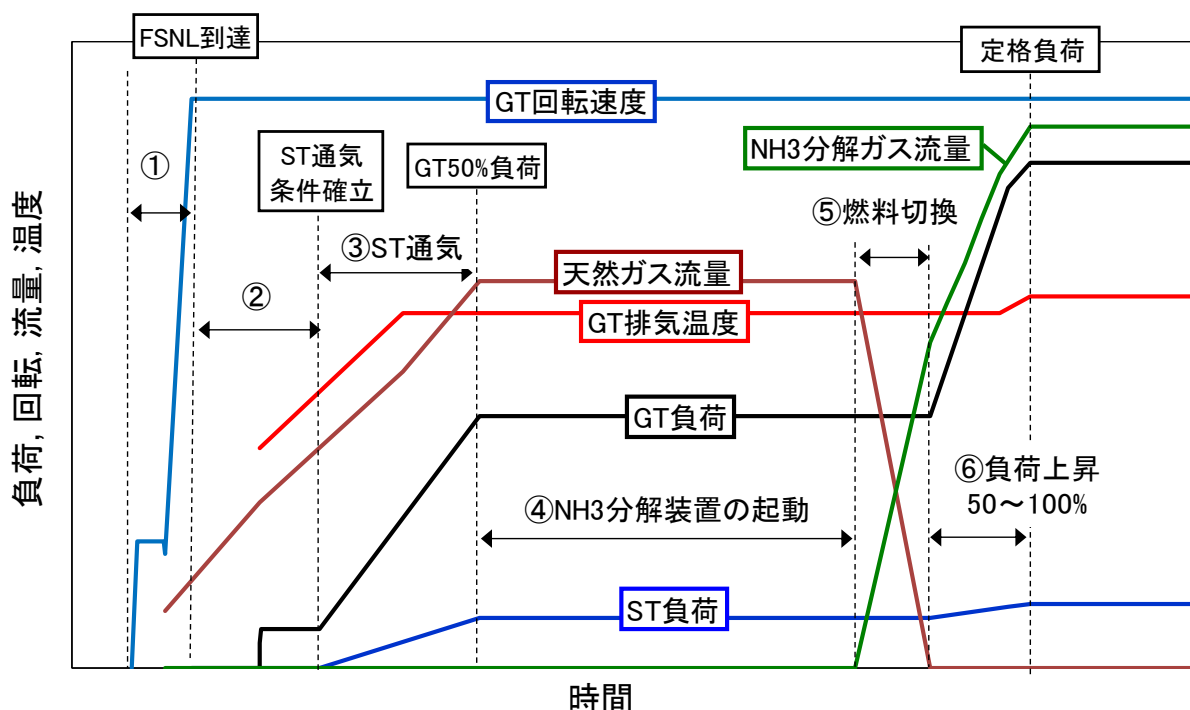


図 4 アンモニア分解ガスの専焼システムの起動手順の検討結果

表 3 アンモニア分解ガスの専焼システムの起動手順の検討結果

| No. | 手順 | 手順内容 |
|-----|------------------|--|
| ① | 起 動 ~ FSNL | 起動装置によりガスタービン(GT)の回転を開始し、排ガスダクト内のパージ運転、燃焼器への着火により定格回転速度(FSNL: Full Speed No Load)に到達させる。 |
| ② | FSNL~ST 通気前 | 脱硝装置の起動、発電機出力の系統への同期(並列)を経て GT 出力 10%以下程度の出力で保持する。排熱回収ボイラ(HRSG)からの蒸気が蒸気タービン(ST)へ供給可能な温度条件になるまで、タービンバイパス系により復水器へ排出する。 |
| ③ | ST 通気 ~ GT50% 負荷 | 蒸気条件が ST へ通気可能な温度条件となったら ST への通気を開始する。ST への通気は既定のレートで徐々に増加させ ST ローターの暖機を行いながら GT の出力を 50%負荷まで上昇させる。 |
| ④ | アンモニア分解装置の起動 | GT の出力は 50%負荷に保持したまま、HRSG の蒸気をアンモニア分解装置へ導き、アンモニア分解工程を起動させる。 |
| ⑤ | アンモニア分解燃料への切替え | GT 出力を 50%に維持したまま、燃焼器に供給する天然ガスの流量を減らしつつアンモニア分解ガスの流量を増加させる。 |
| ⑥ | 定格負荷への上昇 | 燃料の切替え完了後、アンモニア分解装置の負荷変化率の許容値に合わせてガスタービンの出力を増加させる。 |

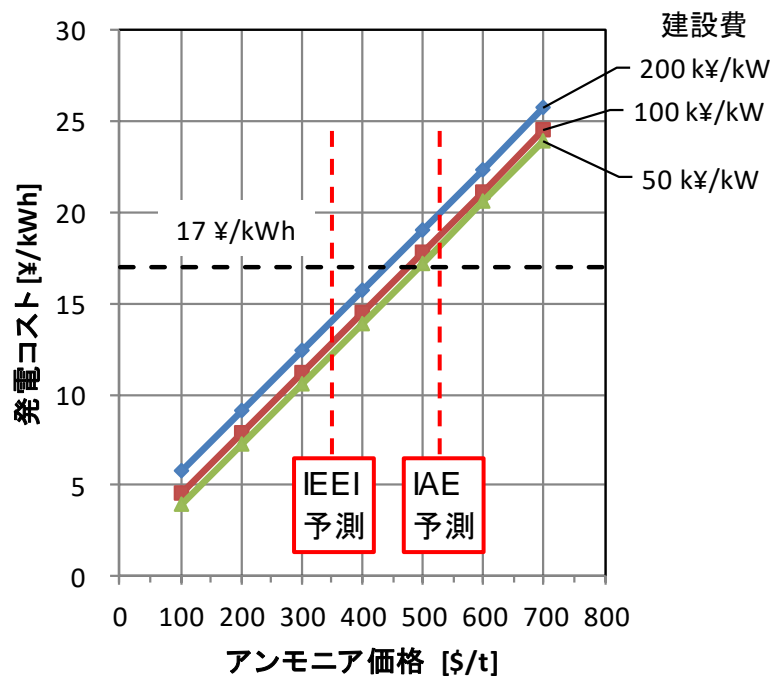


図 5 アンモニア価格と本システムの発電コストの評価結果 (2030 年度運開)

表 4 発電コスト試算の主要な仮定条件

| 分類 | 条件 | 単位 | 値 |
|-----------------|-------|------|------|
| 一般条件 | 設備利用率 | % | 90 |
| | 割引率 | % | 2 |
| | 稼働年数 | 年 | 30 |
| | 為替レート | ¥/\$ | 110 |
| 性能仮定 | 発電端出力 | MW | 534 |
| | 発電端効率 | %HHV | 54 |
| 運転維持費 (年経費率) | 人件費 | % | 0.45 |
| | 修繕費 | % | 2.0 |
| | 諸費 | % | 1.9 |
| | 業務分担費 | % | 14.6 |

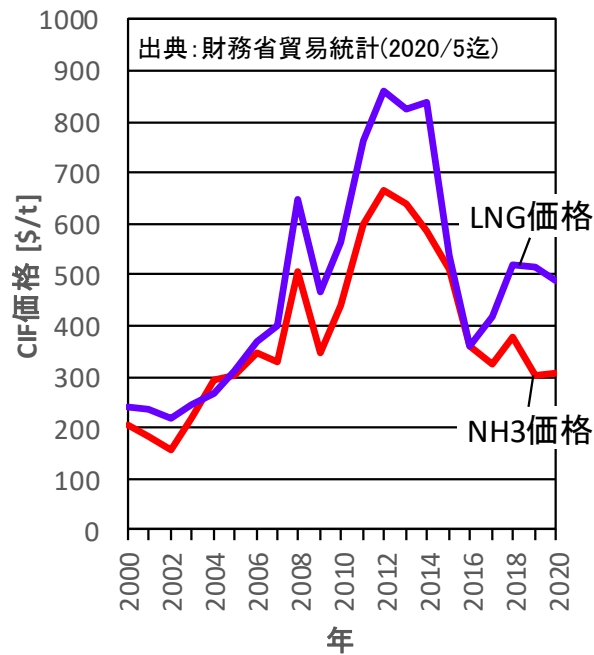


図 6 アンモニア(NH3)および液化天然ガス(LNG)輸入実績価格 (CIF)の変遷 (2020/5 まで)

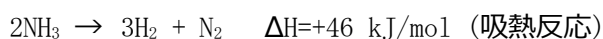
表 5 ブルーNH3 予測価格

| 機関 | 出典 | 予測価格 [\$/t] |
|------------------|---|-------------|
| 国際環境経済研究所 (IEEI) | CO2フリー燃料、水素エネルギーキャリアとしてのアンモニアの可能性(その6) (2020/3) | 350 |
| エネ総工研 (IAE) | SIP報告書、アンモニア合成・貯蔵・輸送システムに関する調査 (2019/4) | 523 |

(2) 実施項目 2 : アンモニア分解装置の検討

目標は、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。

アンモニア分解装置は、GTCC システムから供給される高圧過熱蒸気を熱源として、触媒の存在下でアンモニアを下記の反応により水素と窒素に分解し、この水素リッチの分解ガスをガスタービンの燃料として供給する為の装置である。



アンモニア分解反応は吸熱かつモル数が増大する反応である為、ルシャトリエの原理より、より高温かつ低圧である程、反応平衡は上式において右側(分解側)に移行し、分解反応は進行する。一方、GTCC システムの効率向上の観点からは、極力低温の熱源を使用し、かつガスタービンへの供給燃料として分解反応ガスをその

ままダイレクトに供給可能な高圧条件下で反応させる方が有利と考えられる。従って、この相反する条件をバランスさせた最適な反応条件設定が必要である。

また、本装置は高温かつ高濃度アンモニアの条件下で使用される為、材料の窒化による機械的損傷が懸念される。一般的に、窒化現象は高温及び高濃度アンモニアの条件下である程早く進行する事が知られており、窒化現象を緩和する為には、極力低温及び低濃度アンモニア条件下で反応させる方が有利である。しかしながら、これは分解反応にとっては不利な条件となる為、材料の耐窒化性の観点からもバランスの取れた反応条件の設定が求められる。

本実施項目では、文献調査や材料メーカーからのヒアリングに基づき耐窒化性の観点から有望と思われるアンモニア分解反応器の適用材料を想定し、上記の各要因を考慮した反応条件を設定(表 6)する事により、混焼システム(燃焼器入口水素濃度 20 体積%)についてアンモニア分解装置全体のシステム構築と熱物質収支計算を行い、アンモニア分解反応器について構造も含めた試設計を行った。また、周辺の関連機器も併せて、アンモニア分解装置全体として必要な概略配置エリアの大きさについて検討した。

表 6 アンモニア分解装置の試設計の条件

| 条件 | 項目 | 内容 |
|---|------------------|--|
| ガスタービンとの取 合点における分 解ガス供給条件 | 分解ガス流量 | 11.2 t/h (500 MW級、燃焼器入口水素濃度 20 体積%混焼システム) |
| | 分解ガス圧力 | 5.2 MPaG |
| | 分解ガス温度 | 極力高温が望ましい |
| アンモニア分解装 置の試設計にお ける設定条件 ^{※1} | 触媒 | 非貴金属系触媒の適用を想定 |
| | 反応器材料 | アンモニア分解反応器のプロセスガスに接する部分の適用材料は一般的に高い耐窒化性が期待される高Ni合金鋼の適用を想定 ^{※1} |
| | 反応温度及び 熱源蒸気条件 | 反応温度は、文献調査やメーカーヒアリングの結果から、材料の窒化を実用レベルで許容可能な程度に抑える観点からMax.500℃ ^{※1} 、反応に必要なGTCCからの熱源蒸気の温度は540℃ ^{※1} と想定 |
| | 反応圧力 | 上記の反応温度設定に対する非貴金属系触媒の反応活性データや、GTCCシステムの性能とのバランス等を考慮して、反応器入口のプロセスガスの圧力は3.0 MPaGと設定 |

※1：本試設計における想定条件であり、製品向けには使用材料や温度条件など実証が必要である

この条件を基に、アンモニア分解装置全体のプロセスシステムを構築した。システムの全体概略フローを、図 7 に示す。原料の液体アンモニアはポンプにより昇圧され、プロセスからの熱回収により予熱後、低圧蒸気によりアンモニア蒸発器で気化され、3.0 MPaG、360℃の条件でアンモニア分解反応器に供給される。

アンモニア分解反応器は壱型の熱交換器型反応器であり、多本数配列された反応管の中に触媒が充填された構造となっている。触媒が充填された反応管の中を原料アンモニアガスが下向きに流れる一方、GTCC システムの排熱回収セクションから供給される約 540℃高温過熱蒸気により反応管の外部からアンモニア分解反応に必要な反応熱が供給され、反応管中で原料アンモニアガスは H₂ 及び N₂ に分解される。反応熱供給後の蒸気は約 360℃で GTCC システム側へ返送される。

アンモニア分解反応器出口では、理想的には原料アンモニアガスを 100%分解する事が望ましいが、スタディ

の結果、窒化を考慮した本試設計での反応条件設定の下では、反応器出口で原料アンモニアガスを100%分解する事は困難である事が判った。従って、反応器出口ではアンモニア残留を許容する事とし、残留アンモニアは後流のシステムで分離・回収する事とした。

分解ガスは分解ガス圧縮機で昇圧された後、冷却水及びターボ冷凍機等により生成されるチルド水により2段で冷却され、反応器出口で残留するアンモニアのうち一部は液化・分離されて原料アンモニアとしてリサイクルされる。

上記の冷却のみでは回収出来ない残留アンモニアを含んだ分解ガスは、さらにアンモニア回収装置 (Ammonia Recovery Unit : ARU) に送られ、残留アンモニア濃度はガスタービン燃料としての許容値以下まで低減される。

アンモニア回収装置は、主にアンモニア吸収塔とアンモニア回収塔より構成される。アンモニア吸収塔では、分解ガス中の残留アンモニアは水により吸収除去され、吸収後のアンモニア含有水はアンモニア回収塔に送られる。アンモニア回収塔では、蒸留操作により塔頂からアンモニアが液として回収され、原料アンモニアとしてリサイクルされる。塔底から回収される水は循環水として吸収塔で再利用される。

アンモニア吸収塔を出た分解ガスは、反応器出口分解ガスからの排熱回収により約240℃まで昇温され、5.2MPaGの圧力でガスタービン燃料として供給される。分解ガスの組成は、H₂:約75mol%、N₂:約25%である。

概略プロセスフロー (燃焼器入口水素濃度20体積%ケース)

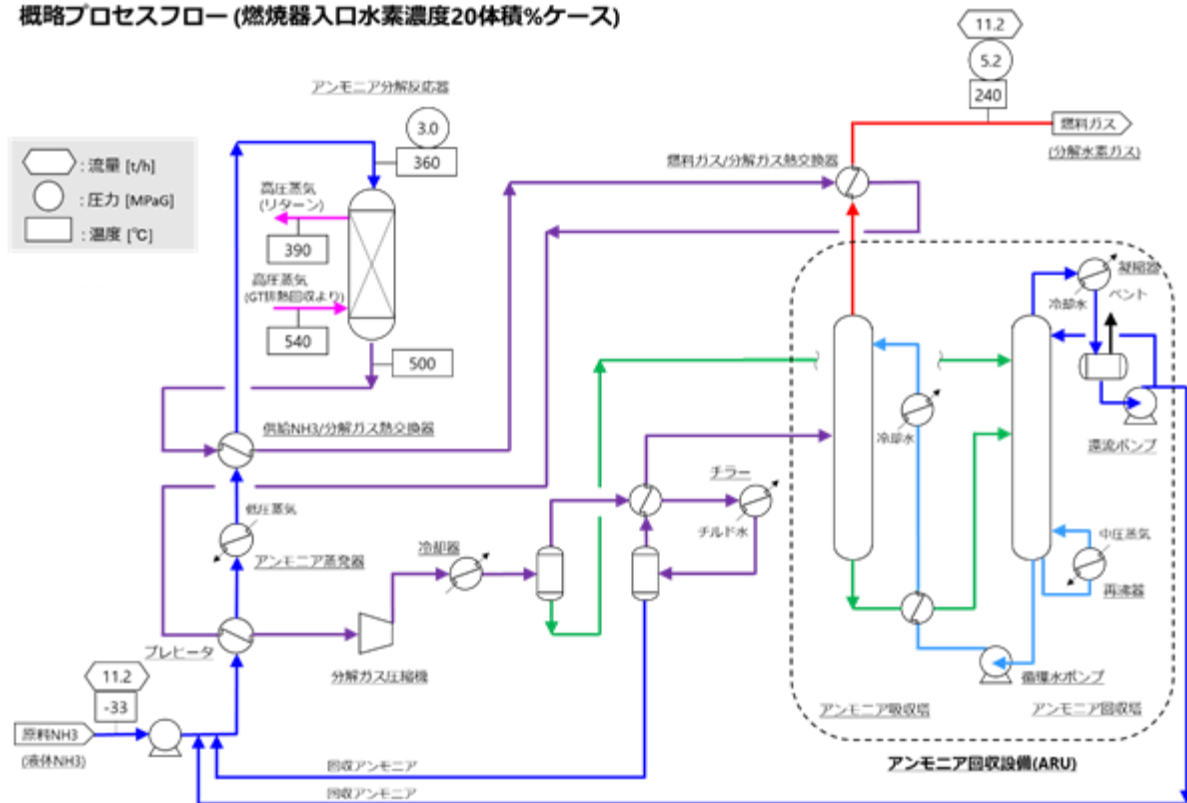


図 7 システム全体の概略フロー (燃焼器入口水素濃度 20 体積%ケース)

この分解装置全体のシステム構築結果に基づき、アンモニア分解反応器の試設計を行った(表 7)。

表 7 アンモニア分解反応器の主要諸元

| 項目 | 仕様 | |
|-------|--------------|------------------------------|
| 形式 | 縦型固定管板、熱交換器型 | |
| 基数 | 1 基 | |
| 胴内径 | 約 2 m | |
| 高さ | 約 14 m | |
| 反応管長さ | 約 10 m | |
| 反応管本数 | 約 1,900 本 | |
| 材質 | 反応管 | 高Ni合金鋼 |
| | プロセス流体側 | 2.25Cr + 1Mo 鋼 + 高 Ni 合金クラッド |
| | 蒸気側 | 2.25Cr + 1Mo鋼 |

アンモニア分解反応器の概略外形図を図 8 に示す。原料アンモニアガスは反応器上部のチャンネル部から供給され、触媒が充填された反応管の中を下向きに流れる。反応管外部には下側から約 540℃の高温過熱蒸気が供給され、アンモニア分解反応に必要な反応熱が供給される。反応管中で分解されたガスは反応器下部チャンネルから出て後流のアンモニア回収工程に送られる一方、反応熱を与えた後の蒸気は約 390℃で反応管外部の上から出て GTCC 側へ返送される。反応器のシェル側には、シェルと反応管の熱伸び差の違いにより発生する応力を吸収する為のエキスパンションジョイントを設ける必要がある。

アンモニア分解反応器以外の各機器についても概略設計を行い、アンモニア分解装置全体としての必要な概略配置エリアの大きさについて検討を行った。アンモニア分解装置の概略全体配置を図 9 に示す。

このように、アンモニア分解反応器は、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縦型固定管板の熱交換器型を採用する事とし、全体システム構築及び熱物質収支計算を基に試設計した結果、500MW クラス・分解水素 20%混焼ケースにおいて、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。また、反応器出口の残留アンモニアを回収する為のアンモニア回収装置等、周辺の関連機器も併せて、アンモニア分解装置全体の構成と必要な概略配置エリアの大きさを明らかに出来た。

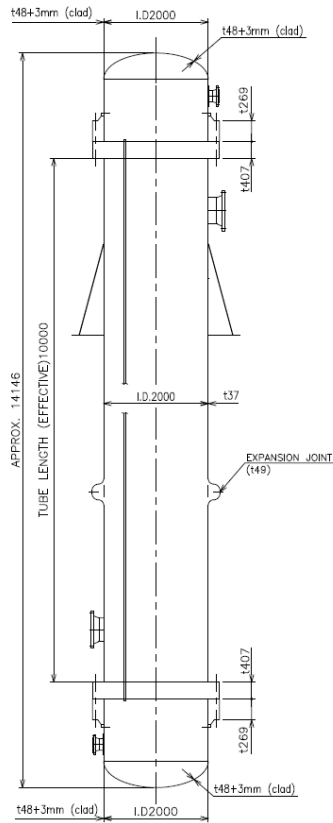


図 8 アンモニア分解反応器概略外形図(燃烧器入口水素濃度 20 体積%ケース)

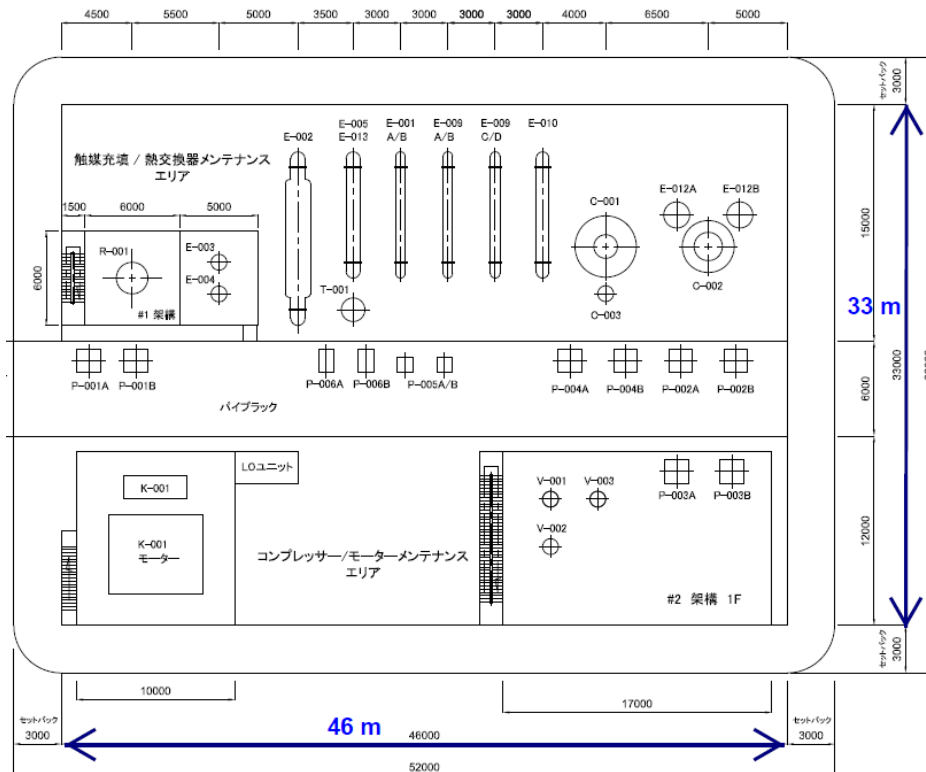


図 9 アンモニア分解装置の概略機器配置図(燃烧器入口水素濃度 20 体積%ケース)

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（2,000 時間）を実施した。アンモニア曝露試験に用いた試験装置を図 10 に示す。供給するガス中のアンモニア濃度は 40 体積%、残りは水素ガスで設定した。このガスを流量 0.5NL/min で装置内に供給した。

触媒は昨年の試験でも用いた非貴金属系および貴金属系の 2 種類の触媒について曝露試験を行い、曝露後の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。触媒表面における被毒物質の分析した結果、2,000 時間経過時点で被毒物質の生成は確認されなかった。図 11 に示すように触媒比表面積については、非貴金属系触媒、貴金属系触媒いずれも、特に大きな変化は認められなかった。

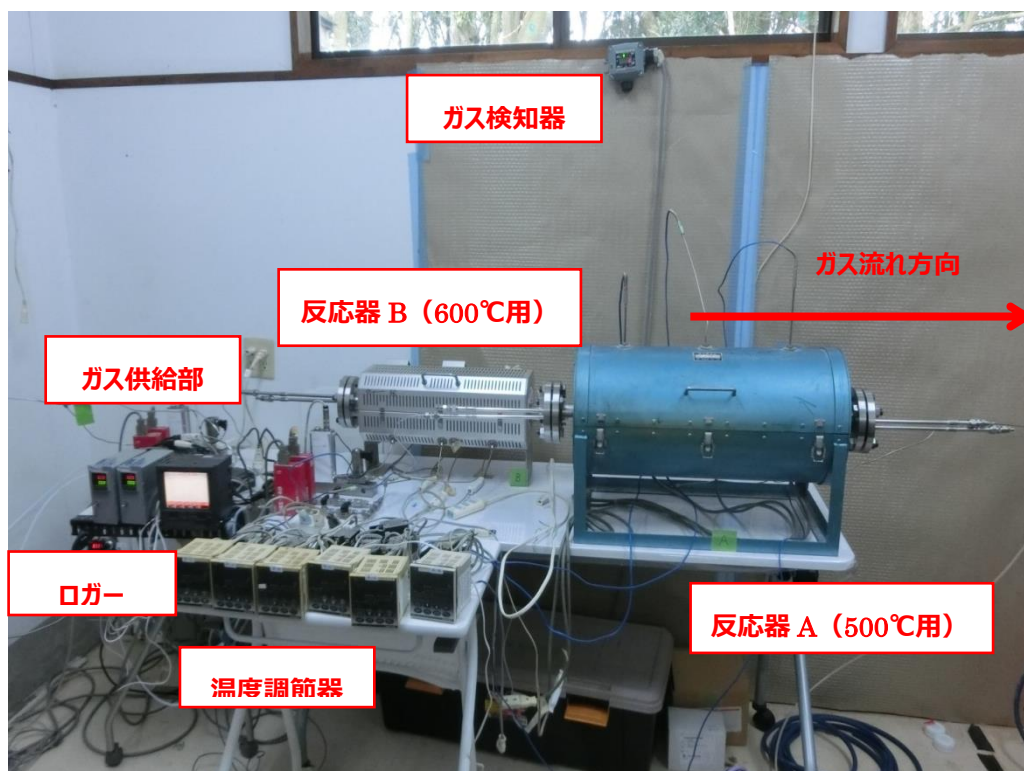


図 10 アンモニア曝露試験に用いた試験装置

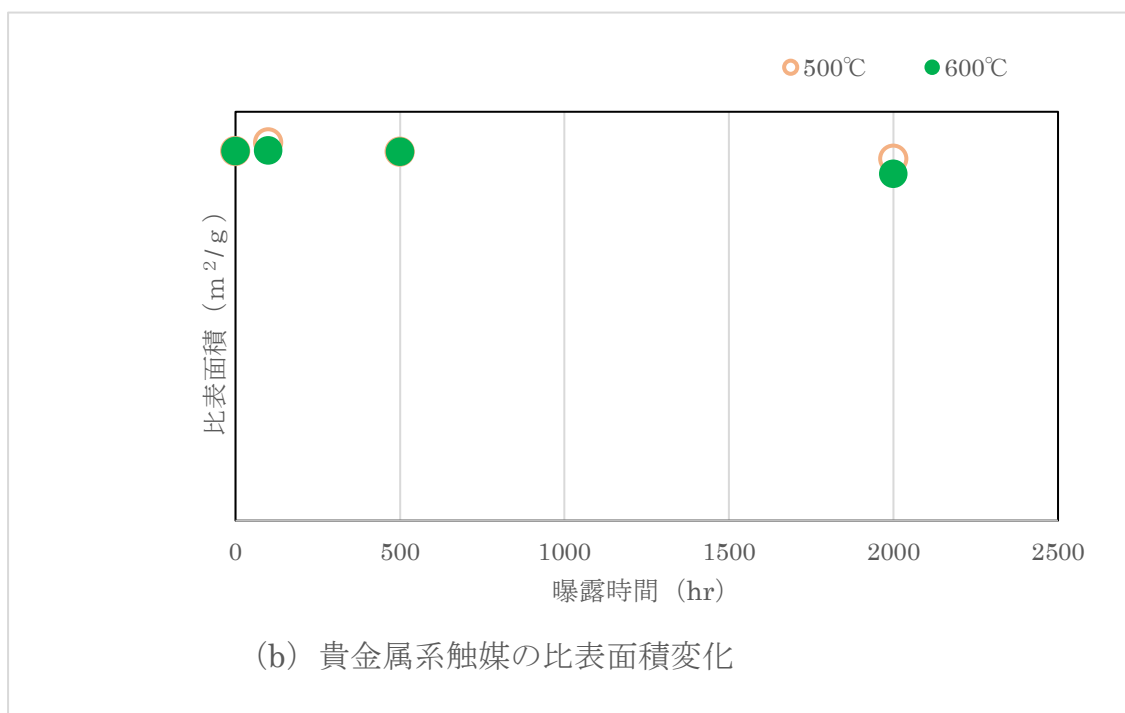
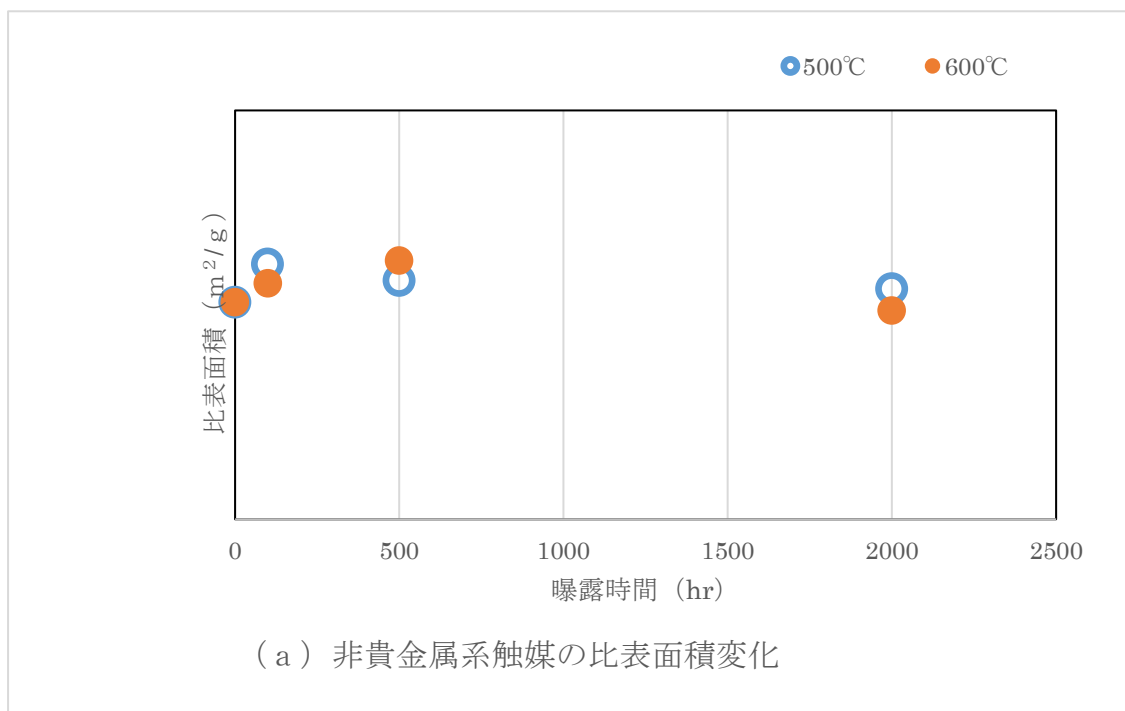


図 11 アンモニア曝露試験における触媒の比表面積変化

(3) 実施項目 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 NO_x 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 NO_x 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 NO_x 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。

① 燃料供給系

1650℃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設計、製作を進めた。燃焼試験において燃料中の残留アンモニア量と NO_x 排出量の関係を取得する目的で、1650℃級ガスタービンの定格負荷の試験条件において燃料中のアンモニア濃度を 0%~0.33%の範囲で変化させるアンモニアを供給できる装置計画とした。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燃焼試験で確認し、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。

三菱パワー高砂工場の実圧燃焼試験設備にアンモニア供給系統を接続した概略系統図を図 12 に示す。LNG(液化天然ガス)を気化させたものに N₂、H₂ を混合した燃料ガスを燃料加熱器で加熱し、その下流側配管でアンモニアを注入する。アンモニア注入部の混合方式として、燃料ガス中に液体で混合させる案と、混合前に加熱して気化させ混合させる案があるが、混合前に気化させる方式は注入部上流の配管に加熱ヒータを設置する必要があり、配置上防爆設備とする必要があったため、本用途ではアンモニアを液体のまま混合させる方式を選定した。

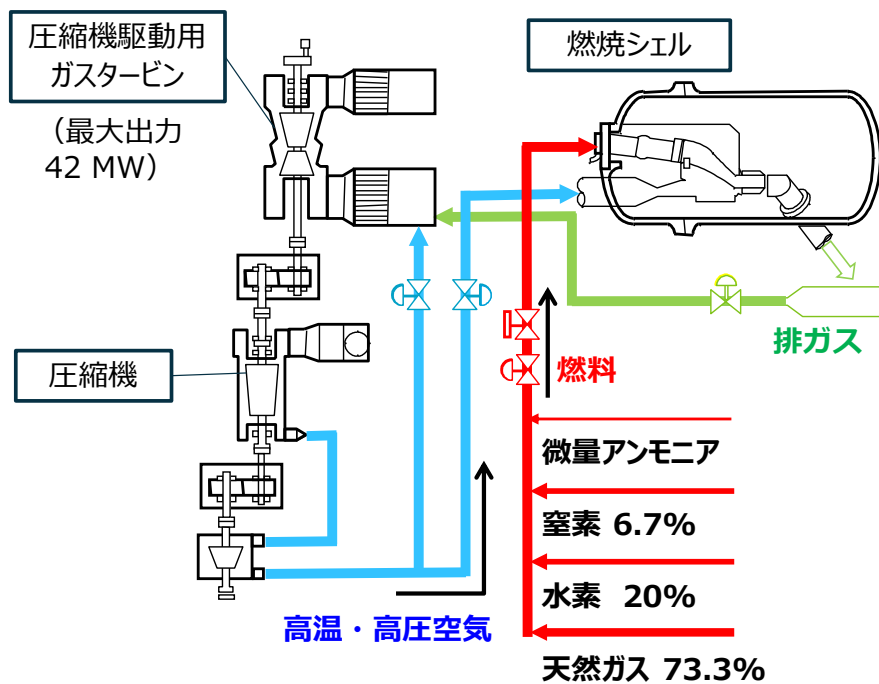


図 12 実圧燃焼試験装置の燃料系統

液体アンモニアを注入するノズルの方式については、液体の圧力によるもの＝スプレインズル、気流によるもの＝ガスブラストの案を検討した。スプレインズル方式は最小通過孔径が小さいためノズルが閉塞するリスクがある。ガスブラスト方式は閉塞や沸騰のリスクは小さいが液滴の微粒化がキーポイントとなる。そこで想定されるアンモニア流量、総燃料量、燃料ガス温度の組み合わせに対し、生成される液滴の初期液滴径、飛翔時間、飛翔距離などを予測式を用いて評価した結果、ガスブラスト方式により生成される液滴径は十分に小さく、燃料配管の内壁面に衝突する前に完全蒸発すると評価され、ガスブラスト方式を採用することとした。ガスブラスト方式ノズル部の外観写真を示す(図 13)。また製作したアンモニア供給装置の外観写真を図 14 に示す。



図 13 ガスブラスト方式ノズル部の外観写真



図 14 アンモニア供給装置の外観写真

②試験に使用する燃焼器について

試験に使用する燃焼器の燃料ノズルについて、水素 20vol%相当の混合燃料ガスインデックス、ノズル差圧を天然ガス専焼の場合と比較し、燃料ガスの温度を調整することでこれらの特性値が天然ガス焚きと同等になることがわかった。(図 15)。アンモニア分解ガスと天然ガス混焼の実圧試験では、燃料ガス温度を調整し、既存の 1650℃級ガスタービン燃焼器を試験供試体として使用することとした。

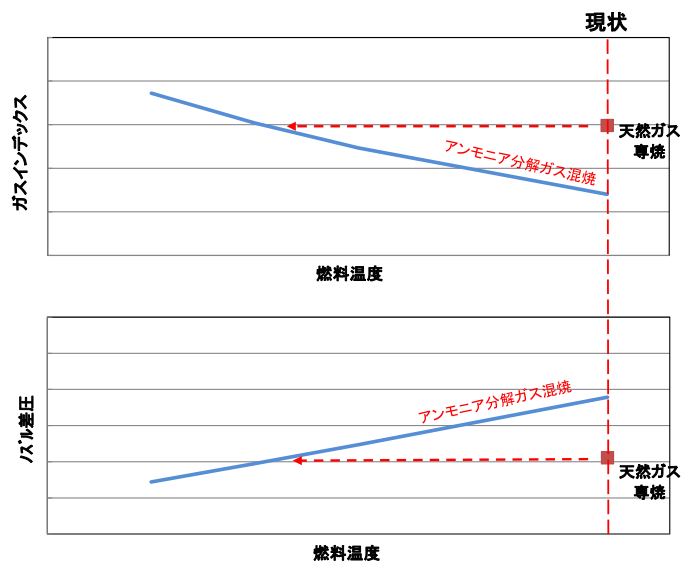


図 15 燃料温度に対する燃料ノズルガスインデックス(GI)とノズル差圧

③ 燃焼試験

アンモニア分解ガスと天然ガスの混焼試験を当社高砂製作所のガスタービン要素試験設備（通称：実圧燃焼試験設備）にて実施した。燃焼試験時は、出力 25MW のガスタービンにて空気源圧縮機とブースター圧縮機を駆動することにより、燃焼用空気を燃焼試験シェル（燃焼器 1 缶を収める圧力容器）に送気する。また、燃焼用燃料（天然ガス、水素、窒素、アンモニア）は供給設備から燃焼試験シェルに供給される。これらを燃焼試験シェル内に設置された供試体燃焼器にて混合し、実機と同等の運転条件（空気圧力、温度、風量、燃焼温度）にて燃焼させる。燃焼状態（温度、圧力、燃焼振動、排ガス性状等）は、設備および供試体燃焼器に設置された各種計測器にて

モニタリングされる。

試験は、1650℃級ガスタービンの実機定格負荷（タービン入口温度 1650℃相当）の運転条件（空気圧力・温度・風量、燃料流量、燃焼温度を実機と同等に設定された試験条件）にて実施した。アンモニア分解ガスと天然ガスの混焼燃料の組成(体積%)は、水素 20%、窒素 6.7%、天然ガス 73.3%をベースとしている、これにアンモニアを定格負荷条件では最大 0.33vol%まで添加した。

④ アンモニア分解ガスと天然ガス混焼時の燃焼特性

アンモニア分解ガスと天然ガス混焼時において、燃料中のアンモニア添加量に対する燃焼特性を確認した。定格負荷(タービン入口温度 1650℃)における燃料中のアンモニア濃度に対する、燃焼振動の圧力レベル、燃焼器温度を図 16 に示す。アンモニアを 0%から 0.33%まで添加しても、燃焼振動の圧力レベル、ガス温度に大きな変化はなく、管理値に対して十分な裕度を有することを確認した。アンモニア分解ガスと天然ガスの混合燃料(水素 20%、窒素 6.7%、天然ガス 63.3%、微量アンモニア)において、燃焼振動の発生やフラッシュバックの発生は確認されず、問題ないことを確認した。

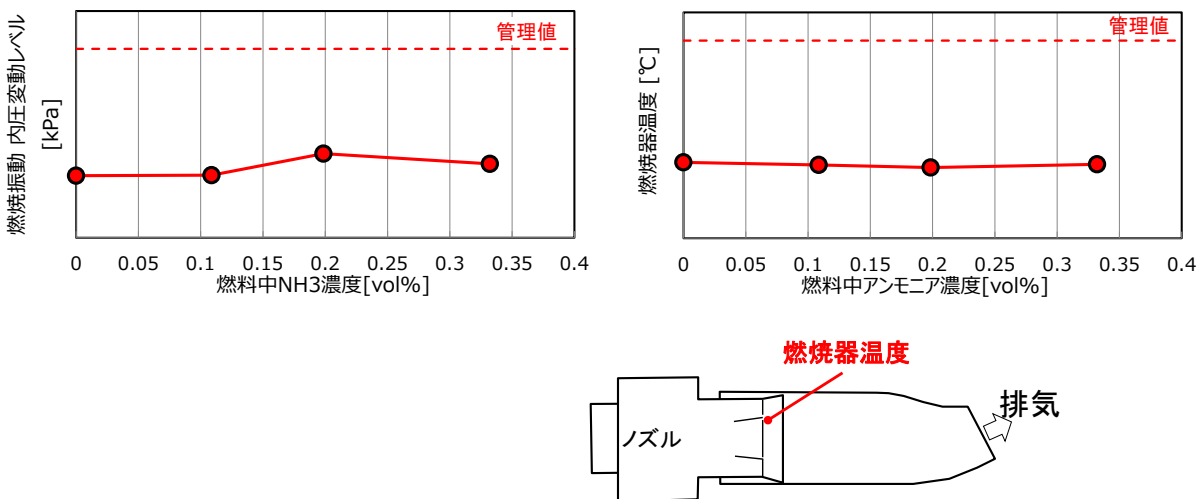


図 16 燃料中のアンモニア濃度に対する燃焼振動の圧力レベルと燃焼器内部のガス温度
(定格負荷条件：タービン入口温度 1650℃)

⑤ 燃料中のアンモニア濃度と NO_x 排出量の関係

定格負荷(タービン入口温度 1650℃)における燃料中のアンモニア濃度と排ガス中の NO_x 濃度の関係を図 17 に示す。燃料中のアンモニア濃度が増加すると共に NO 濃度が線形で増加する結果となった（図中○印）。なお、NO_x への転換率は 90%程度であった。

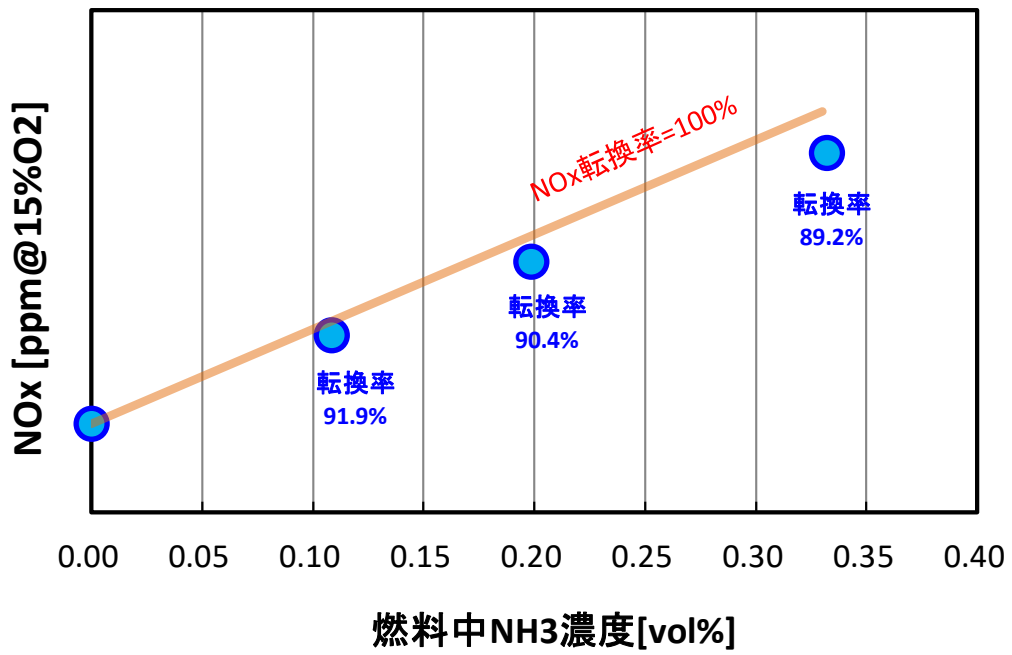
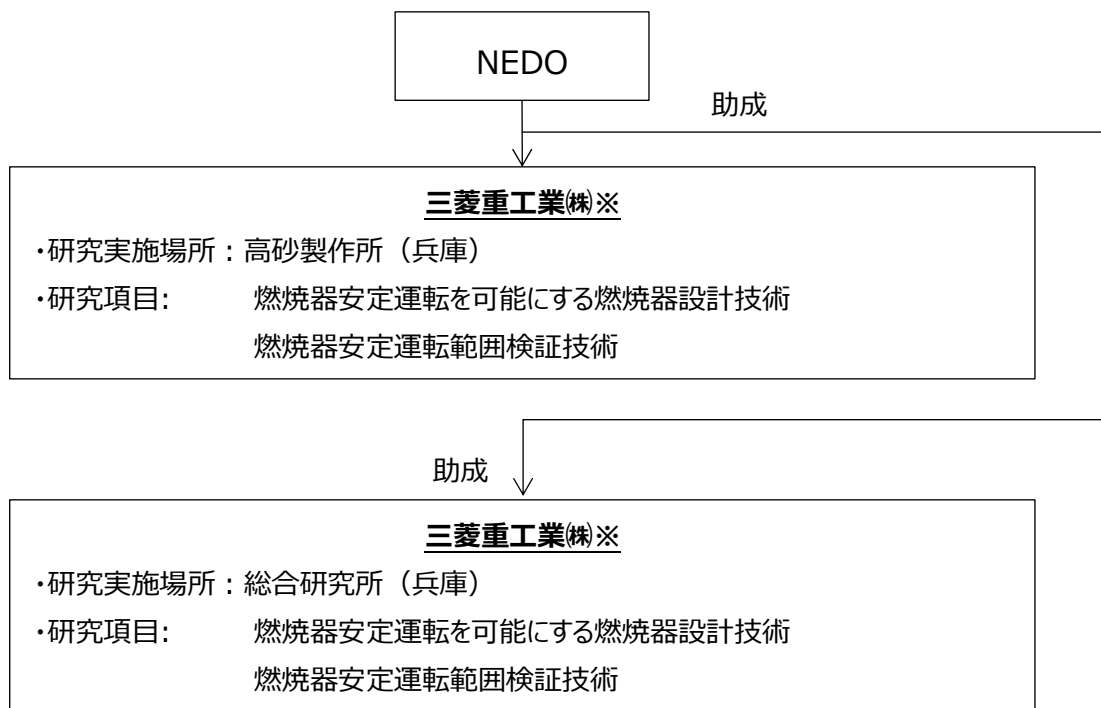


図 17 燃料中のアンモニア濃度と排ガス中の NOx 濃度の関係
 (定格負荷条件：タービン入口温度 1650℃)

4. 2. 3 「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」

(1) 実施者名、実施体制



※プロジェクト開始時は、三菱パワー（株）と三菱重工業（株）の2社体制であったが、2021年10月に三菱パワーを三菱重工に統合し、1社体制に変更。

(2) 期間、予算

期間 : 2020年7月~2023年7月

予算 : 2020年度 138,800,000円
2021年度 610,007,700円
2022年度 1,865,206,850円

(3) 実用化・事業化への道筋

本研究開発において、大型燃焼器一缶の燃焼試験で水素専焼を達成し、実用化に向けた燃焼器設計における課題を明らかにした。本プロジェクト完了後も、本研究開発で構築した大容量水素供給設備を含む実圧燃焼試験設備を活用し、自社費用にて継続的に燃焼器設計技術の開発を進める。また、水素ガスタービンの早期商用化に向けて、開発・製造拠点を置く高砂製作所に水素製造から発電までにわたる技術を世界で初めて一貫して検証できる「高砂水素パーク」（図1）を整備し、本格稼働させている。中小型ガスタービンでの水素専焼の実証試験も予定しており、試験で得られた知見を大型水素ガスタービンの開発にフィードバックさせ、2025年頃を目途に国内外の水素焚き火力発電所への適用が可能な大型燃焼器を開発する。

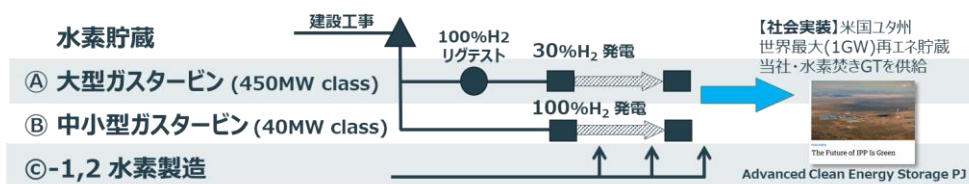
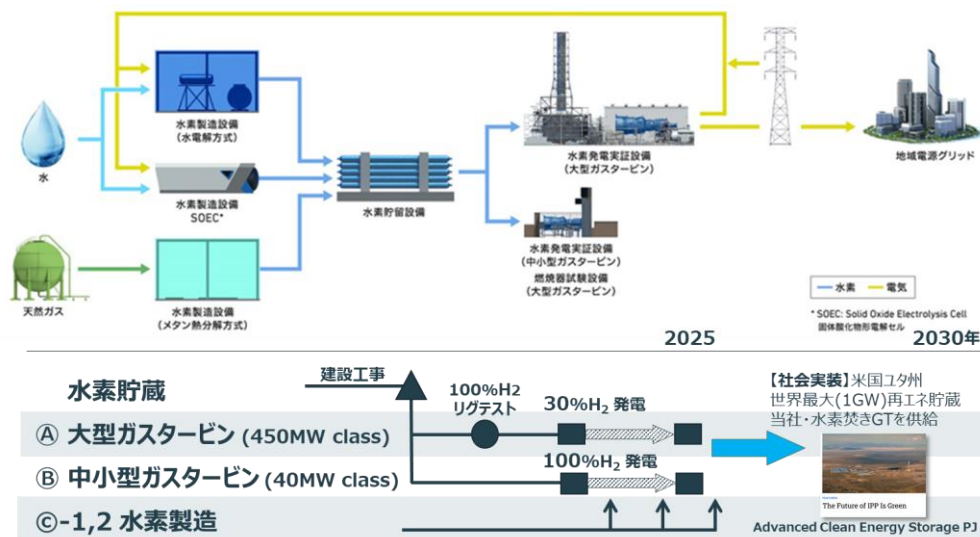


図 1 高砂水素パーク

(4) 最終目標に対する成果と達成状況

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|--------------------------------|---|---|-----|------|
| 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 | 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 NOx 50ppm 以下を達成 | ・燃焼試験により、高圧、低流速条件で、逆火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 | ○ | |
| A-2 シングルセグメントの設計技術 | 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 NOx 50ppm 以下を達成 | ・燃焼試験により、高圧条件で、逆火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-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 図の完成および燃焼 器全体計画図完成 | ・燃焼器の詳細設計完了 | ○ | |
| 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 | ・土建工事完了 ・水素蓄圧器設置・ 電気工事・保温工 事の完了 ・試運転の完了 | ・土建工事・水素蓄圧器 設置・電気工事・保温工 事、全て完了し、法定検 査合格 ・燃焼試験を実施し、設 備の検証まで完了。 | ○ | |
| 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 NOx 50ppm 以下 | ・高温高圧下の燃焼試験 で水素専焼を達成し、実 用化に向けた課題を明確 にした。 ・目標の NOx 50ppm 以 下は達成できず。 | △ | ・実燃焼器においても モデルバーナと同等の 濃度分布を実現可能 なノズル、燃焼器構造 を検討する |

(5) 成果の意義

モデルバーナ、セグメント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、燃焼器の重要な構成要素であるノズル設計のベースを確立した。大型燃焼器の設計においては、高温高圧下で水素専焼を達成するとともに、燃焼器設計における課題を明らかにし、改良に向けた設計指針を得た。また、本研究開発において、水素燃焼器の濃度・速度計測が可能な気流試験装置や大容量水素供給設備を含む燃焼試験設備を構築し、大型水素燃焼器の設計、性能検証の基礎技術を確立し、実用化に向けた燃焼器の改良設計、性能検証が可能となった。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ものとする。

(6) 特許出願、論文発表、学会発表・講演等の数

| | 2020 年度 | 2021 年度 | 2022 年度 | 計 |
|------------|---------|---------|---------|----------|
| 特許（うち外国出願） | 6 (1) | 6 (4) | 3 (2) | 15 (7) 件 |
| 研究発表・講演 | 12 | 14 | 16 | 42 件 |
| 新聞・雑誌等への掲載 | 3 | 6 | 7 | 16 件 |
| 展示会への出展 | 2 | 1 | 1 | 4 件 |

(7) 研究開発成果の詳細

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試験にて、逆火なく安定燃焼を実現し、NOx50ppm 以下を達成することを目標に、数値解析やモデルバーナを対象とした非燃焼試験（気流試験）によりクラスターバーナの混合管出口の濃度分布を評価し、狙いとする濃度分布になるノズル形状を設計した。ノズル形状は、クロスフロー方式と同軸ノズル方式の二案（図 2）を検討し、モデルバーナ燃焼試験で燃焼特性を評価した。クロスフロー方式のモデルバーナにおいて、ターゲット計画条件かつ低流速条件で逆火の発生なく目標の NOx50ppm 以下を達成し（図 3）、水素専焼燃焼器のノズル設計のベースを構築した。

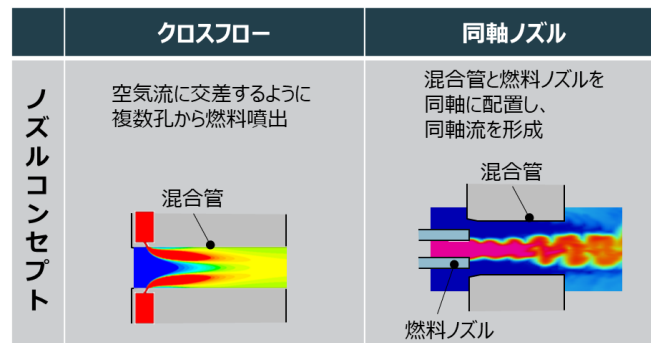


図 2 ノズルコンセプト

A-2.セグメントバーナの設計技術：実機燃焼器の配置を考慮したセグメントバーナ構造を検討し、高温高圧下のセグメントバーナ試験にて、逆火なく安定燃焼を実現し、NOx50ppm 以下を達成することを目標に、セグメントバーナ構造の検討を実施した。実燃焼器のノズル配置を考慮したセグメントバーナは、A-1 で試験したモデルバーナに対しノズルの間隔を広くしており、間隔を広げることで NOx 排出量が増加することを確認した。また、クロスフロー方式と同軸ノズル方式の比較を実施し、両方式でターゲット計画条件において目標の NOx50ppm 以下を達成し（図 3）、水素専焼燃焼器のセグメント構造設計のベースを構築した。

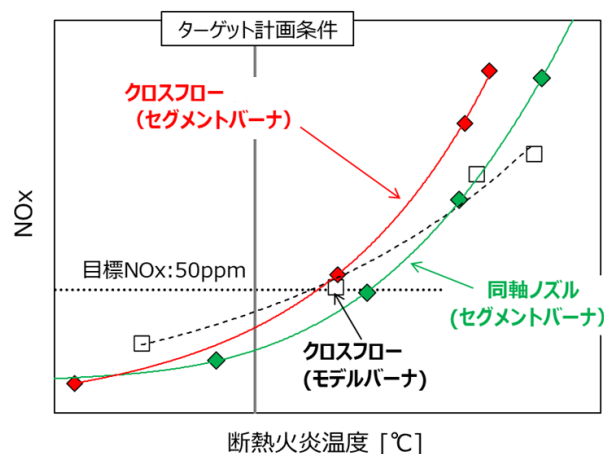


図 3 モデルバーナ、セグメントバーナ燃焼試験結果

A-3.大型ガスタービン燃焼器設計技術：本開発項目は、クラスタバーナおよび燃焼器全体の計画図の作成までを目標としている。実機燃焼器体系におけるノズルの濃度、速度分布を設計、評価するため、非燃焼の気流試験装置（図 4）を構築し、数値解析と合わせて燃焼器内部の流動を評価して、均一な分布が得られる燃焼器構造を設計した。また、ブローダウン試験設備を用いて燃焼器の燃焼性能を検証し、水素専焼燃焼器の設計・評価技術を確立した。ブローダウン試験設備（図 5）は、空気タンクに貯めた空気を空気源としており、数分間の試験が可能な設備である。これらの設備を用いた燃焼器設計・性能検証は、水素専焼燃焼器の開発の基盤となり、これらの技術をもとに実用化に向けた改良設計を進める。

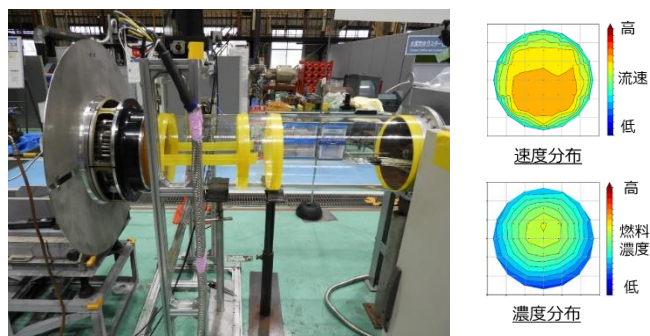


図 4 気流試験装置およびノズル出口計測結果

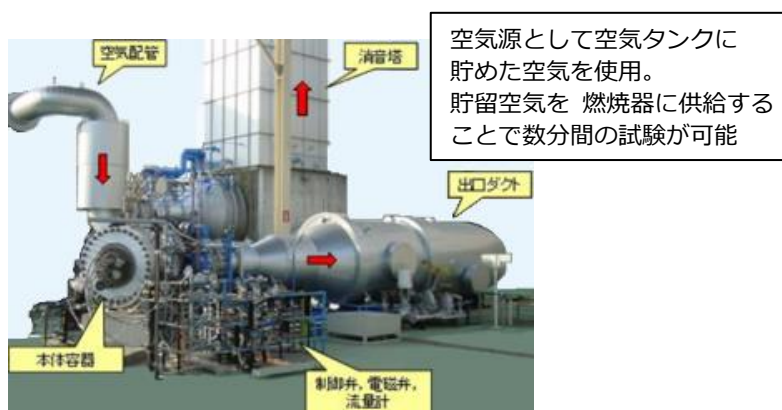


図 5 ブローダウン試験設備

B-1.大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術：本開発項目は、A-1～3 で開発、設計した燃焼器の NOx 性能、安定運転可能範囲の評価のため、大型燃焼器一缶の水素専焼試験が可能となる大容量水素供給設備を含めた燃焼試験設備（図 6）を構築することを目指す。本設備を構築するにあたり、大容量水素供給設備の計画、燃焼器の燃料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を構築し、法定検査の合格、燃焼試験による設備検証まで完了した。これにより、今後の実用化に向けた水素専焼燃焼器の性能検証に必要な設備のベースが完成した。

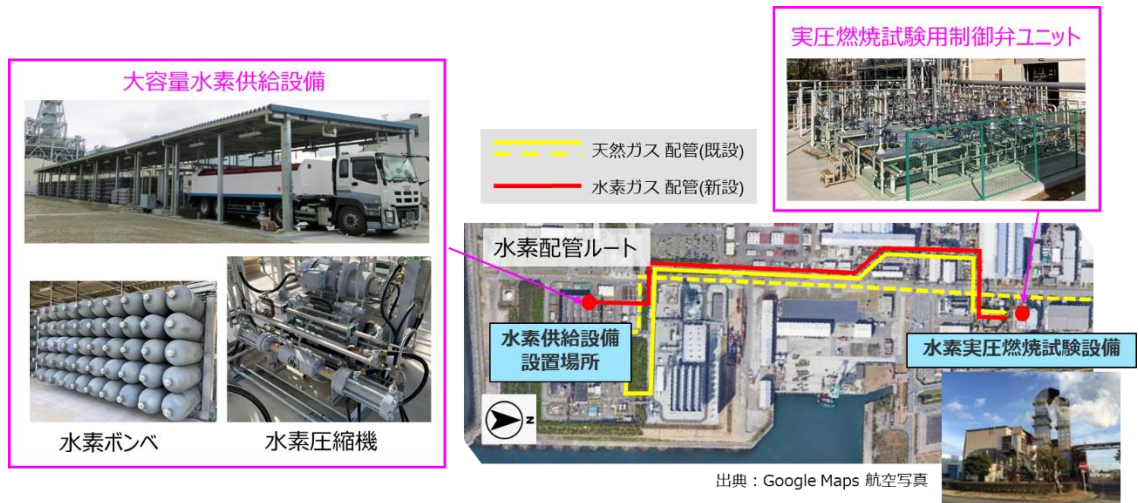


図 6 大容量水素供給設備および実圧燃焼試験設備

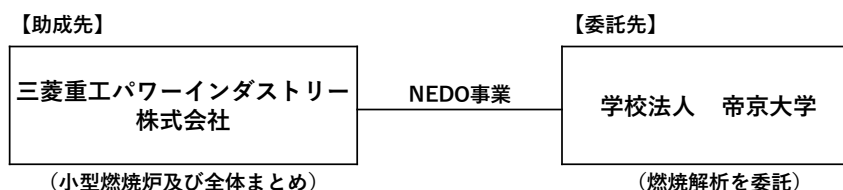
B-2.高温高圧下での燃焼器燃焼試験：燃焼器一缶の実圧燃焼試験にて、計画運転条件において逆火の発生なく、燃焼器出口で NO_x 50ppm 以下を達成することを目標に、B-1 で構築した燃焼試験設備（図 6、7）に A-3 で設計した燃焼器を組み込み、燃焼試験を実施した。天然ガスで所定の圧力、燃焼温度に到達後、大容量水素供給設備から水素を供給して水素混焼率を増加させ、高圧高温条件下で安定な水素専焼に成功した。また、一部の条件において、燃焼振動やバーナのメタル温度上昇が発生し、 NO_x 排出量が増加したため、目標の NO_x 50ppm 以下に対し未達となったが、本試験により水素専焼燃焼器の実用化に向けた技術課題が明確になった。今後、本プロジェクトで構築した燃焼器設計、性能評価・検証技術をもとに改良設計を進め、2025 年頃を目途に国内外の水素焼き火力発電所への適用が可能な燃焼器設計技術を開発し、実用化に向けた検討を継続していく。



図 7 実圧燃焼試験設備および燃焼セル

4. 2. 4 「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) 実施者名、実施体制



(2) 期間、予算

- ①期間 : 2020年7月～2023年3月
- ②予算 : 2020年度：¥44,954,838
2021年度：¥27,451,700
2022年度：¥82,609,000

(3) 実用化・事業化への道筋

①産業ボイラ用水素焚きバーナ

- a. 本事業成果である水素燃焼技術は、天然ガスとの混焼、天然ガス専焼にも適用可能である。従って、水素インフラが整備されるまでの対応として、現時点では天然ガス専焼で運用、将来的に天然ガス/水素混焼、水素専焼を可能とする設備等を提案推進中である。
- b. 現在、海外既設ボイラの水素焚き燃料転換改造案件があり、引き合い対応中である。

②水素焚きダクトバーナ（ガスタービン用排熱回収ボイラに付設）

- a. ダクトバーナについても上記①aと同じ方針で受注に向けた設備提案を推進中である。
- b. 国内石油会社より、水素を30%含有する副生ガス焚き新設排熱回収ボイラ用ダクトバーナの引き合いがあり、受注対応中である。

(4) 最終目標に対する成果と達成状況

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|------------------|-----------------------|---------------------------------------|------|--|
| 産業ボイラ用水素焚きバーナの開発 | 1.最大供給圧力 900kPaG | 1.900kPaGでの安定燃焼を実証 | 1. ○ | 3.水素を高圧供給することで低NOx化を実証。 ・各低NOx手法単独で30ppm以下、組合せることで10ppm以下を実証。 ・矩形型バーナ(R型)単独で30ppm以下を実証。 (今後の課題) |
| | 2. I1(*1) ≤ 50Pa | 2. I1 ≤ 10Pa(振動無) | 2. ○ | |
| | 3. NOx ≤ 60ppm | 3. NOx ≤ 10ppm | 3. ◎ | |
| | 4. 逆火現象なし | 4. 逆火現象なし実証 | 4. ○ | |
| | 5. 低O ₂ 運用 | 5. 排ガスO ₂ 濃度 0.2%での安定燃焼を実証 | 5. ○ | |
| | 6. 多種燃料との混焼 | 6. 水素/LPG、水素/石炭との良好な混焼特性を実証 | 6. ○ | |

| | | | | |
|---------------|--|---|------------------------------|--|
| | | | | ・産業用ボイラでの早期実機実証 ・本燃焼技術の工業炉等への適用拡大 |
| 水素焚きダクトバーナの開発 | 1.最大供給圧力 900kPaG 2.排ガス酸素濃度 10%以下 3.TDR(*2) $\leq 1/10$ 4.NO _x 入口 NO _x と同等以下 | 1.900 k PaG での安定燃焼を実証 2.排ガス酸素濃度 7.2%での安定燃焼を実証 3.TDR : 1/350 実証 4.ダクトバーナ内での NO _x 還元機構実証 | 1. ○ 2. ○ 3. ◎ 4. ◎ | 3.従来型ノズルのプロパンでの TDR は 1/10 に対し、本事業発明ノズルでは 1/20 を実証。さらに水素では 1/350 を実証 4.これまで、ダクトバーナ内での NO _x 還元は未知であった。今回 NO _x 還元現象を実証した。 (今後の課題) 排熱回収ボイラでの早期実機実証 |
| 燃焼解析 | 1.水素の高圧供給による低 NO _x 化のメカニズム解明 2.矩形型バーナ単独で低 NO _x 化するメカニズム解明 | 1.メカニズム解明済 高圧化により噴射後、半径方向への水素の拡散が促進し、中心軸近傍の水素濃度低減 →中心軸近傍の火炎温度が低減 →NO _x 濃度が低減 2.メカニズム解明済 矩形型バーナは 1 次空気と 2 次空気の投入位置が独立して離れており、その空間に燃焼排ガスが導入される →排ガスの導入で酸素濃度の低減による緩慢燃焼を促進 →NO _x 濃度が低減 | 1. ◎ 2. ◎ | 1.水素高圧化の目的は配管小径化等設備コスト低減であった。高圧化による新たなメリットとして低 NO _x 化を明確化した。 2.バーナ単独で NO _x 60ppm 以下を達成するのは極めて困難であった。 自己排ガス再循環効果により、低 NO _x 燃焼可能とした成果は大きい。 (今後の課題) ダクトバーナのスケールアップ時の性能評価 |

I1(*1) : 共鳴周波数成分の振幅 TDR(*2) : バーナの最大負荷と最小負荷の比率

達成度 : ◎ : 大いに上回って達成 ○ : 達成 △ : 一部未達 × : 未達

(5) 成果の意義

①産業ボイラ用水素焚きバーナ

a. 水素最大供給圧力 : 900kPaG

水素供給圧力の高圧化（100kPaG→900kPaG）により、単位体積当たりの発熱量が低く、供給量の増加（配管の大径化）が必要な水素を、既設配管等を流用して適用可能。

b. 水素の低 NOx 燃焼

矩形型バーナ（R 型）の適用により、低 NOx 手法を適用せず、バーナ単体での NOx30ppm 以下を実証し、シンプル構成かつ低コストでの低 NOx を達成可能。

c. 低 O₂ 運用

火炉出口 O₂ 濃度低減（1~2%→0.2%）により、燃焼用空気導入用ファン動力の低減が可能。

d. 多種燃料との混焼

水素のインフラが整備されるまでの現時点から近い将来にむけて、化石燃料専焼→化石燃料/水素混焼→水素専焼の低炭素・脱炭素化ステップを最低限の改造コストで提案可能。

②水素焼きダクトバーナ

a. 低排ガス O₂ 濃度での安定燃焼

排ガス O₂ 濃度(LPG:9.2%、水素：7.2%)での安定燃焼を実証したことにより、ガスタービンの運用範囲が拡大され、高効率運用化が可能。

b. TDR（バーナ最大負荷と最低負荷の割合）の拡大

良好な TDR（LPG：1/10→1/20、水素：1/350）を実証し、ダクトバーナの運用範囲を拡大可能。

c. NOx 還元特性

ダクトバーナ内での NOx 還元に関連した文献類は調査範囲内では見当たらない。本事業で排ガス温度と排ガス中 O₂ 濃度をパラメータとした、LPG 及び水素燃焼時の NOx 還元特性の評価結果は、ダクトバーナの出口 NOx 予想に適用可能。

(6) 特許出願、論文発表、学会発表・講演等の数

| 年度 | 特許出願数 | 論文発表数 | 学会・講演発表 | 雑誌掲載数 | プレスリリース数 |
|------|-------|-------|---------|-------|----------|
| 2018 | - | - | 1 | - | - |
| 2019 | - | 1 | - | - | - |
| 2020 | - | 1 | - | - | - |
| 2021 | 11 | - | 2 | - | - |
| 2022 | 3 | 1 | 4 | 1 | 1 |
| 2023 | 6 | 1 | 3 | 1 | - |
| 合計 | 20 | 4 | 10 | 2 | 1 |

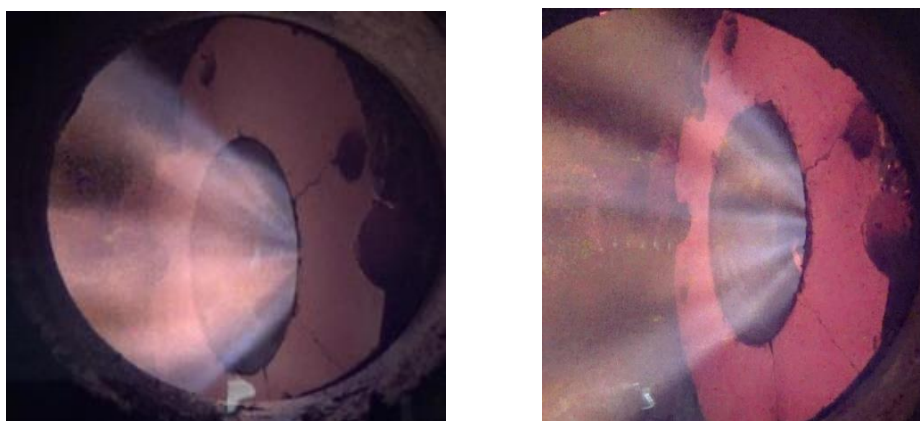
(7) 研究開発成果の詳細

① 実施項目 1：産業ボイラ用水素焼きバーナの開発

a. 水素最大供給圧力：900kPaG

ガス焼きボイラでは、これまで燃焼振動の観点からガスの供給圧力は 100kPaG が上限であったが、本事業の成果として 900kPaG で燃焼振動のない安定燃焼を実証した。図 1 に水素供給圧力 80kPaG 及び 900kPaG での燃焼状況を示す。水素の供給圧力に関わらず、バーナ基部より安定した火炎が形成されると共に、火炎形状もほぼ同等であることを実証した。

図 2 に供給水素圧力による発熱量の変化と設備重量比の関係を示す。単位体積当たりの発熱量が、天然ガスの約 1/4 の水素を同一入熱導入する場合、4 倍の流量を流す必要があり、配管径が大径化し、設備重量は増加する。開発ノズルの適用により、水素を 600kPaG 以上の圧力で供給すれば、既存の設備を流用可能となる。



①水素供給圧力 80kPaG (CF 型バーナ) ②水素供給圧力 900kPaG (CF 型バーナ)

図 1 水素供給圧力 80kPaG 及び 900kPaG での燃焼状況

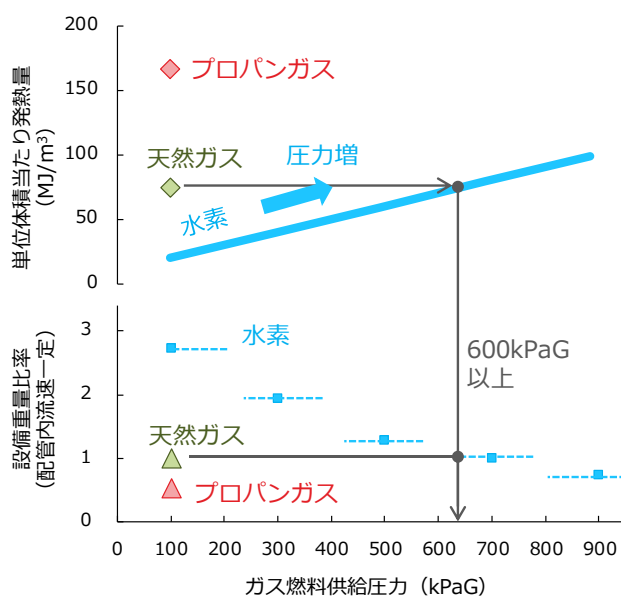


図 2 供給水素圧力による発熱量の変化と設備重量比

b. 水素の低 NOx

燃焼

- ・水素燃焼時には図 3 に示すように、従来炭化水素燃料 (LPG) と比較して 2.3 倍の NOx が発生。
- ・水素燃焼時、供給圧力の高圧化 (80kPaG→900kPaG) により NOx が約 30%低減。

- NOx 低減手法の適用により、目標値(60ppm)以下に NOx 低減、組合せで極低 NOx を実証。
- センターファイアリング型バーナ (CF 型) に比較し、マルチスパッド型バーナ (MS 型) の NOx が約 25%、矩形型バーナ (R 型) の NOx が CF 型に比較して約 80%低減することを実証。

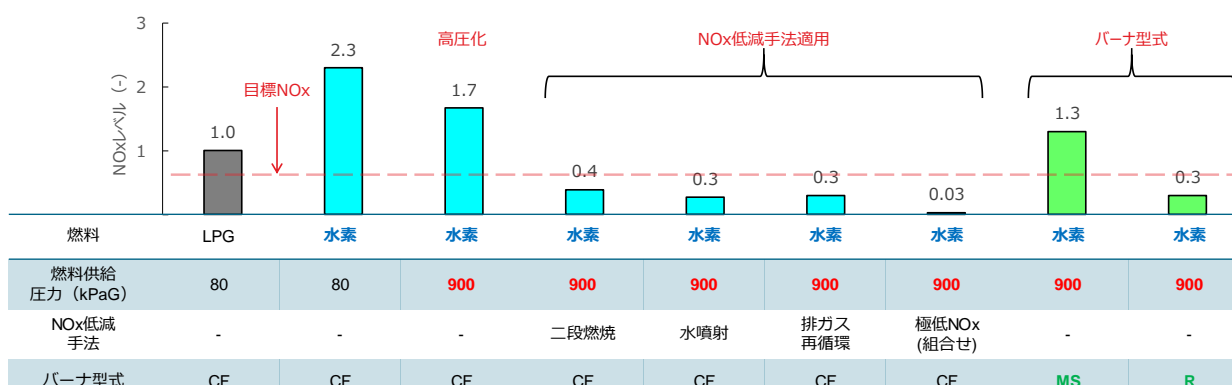


図 3 NOx 特性の総合評価

c. 低O₂運用

図 4 に試験炉出口 O₂ と NOx との関係を示す。ガス焼きボイラでの火炉出口 O₂ の設定範囲は 1~2% であるが、開発ノズルを水素に適用した場合、O₂ 濃度を 0.2% にしても排ガス中のリーク水素はなく安定燃焼可能なことを実証。火炉出口 O₂ 濃度低減 (1~2% → 0.2%) により、燃焼用空気導入用の押し込み通風機や誘引通風機のファン動力の低減が可能。

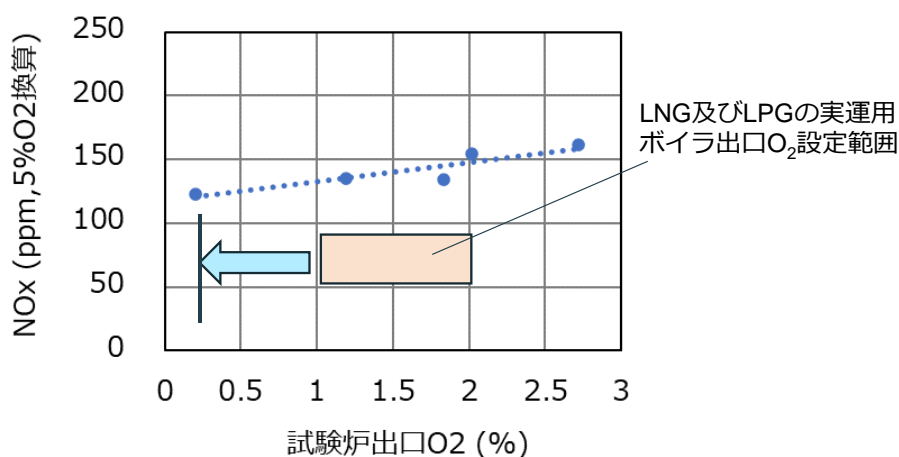


図 4 試験炉出口 O₂ 濃度低減特性

d. 多種燃料との混焼

図 5 に水素と LPG との混焼特性を示す。混焼率に関わらず良好な混焼特性を示した。また、混焼率変化に伴う NOx 特性は、燃料を個別に導入する二軸混焼と、混合燃料を導入する一軸混焼で

ほぼ同等となることを実証した。

図 6 に水素と石炭との 50 : 50cal%混焼時の燃焼状況を示す。石炭専焼時に比較して、火炎輝度は向上すると共に安定した混焼特性を実証した。バーナ空気比を調整することで、NOx 及び未燃分特性も、石炭専焼時と同等となることを実証した。

水素のインフラが整備されるまでの、現時点から近い将来にむけて、化石燃料専焼→化石燃料/水素混焼→水素専焼の低炭素・脱炭素化ステップを最低限の改造コストでの提案が可能となる。

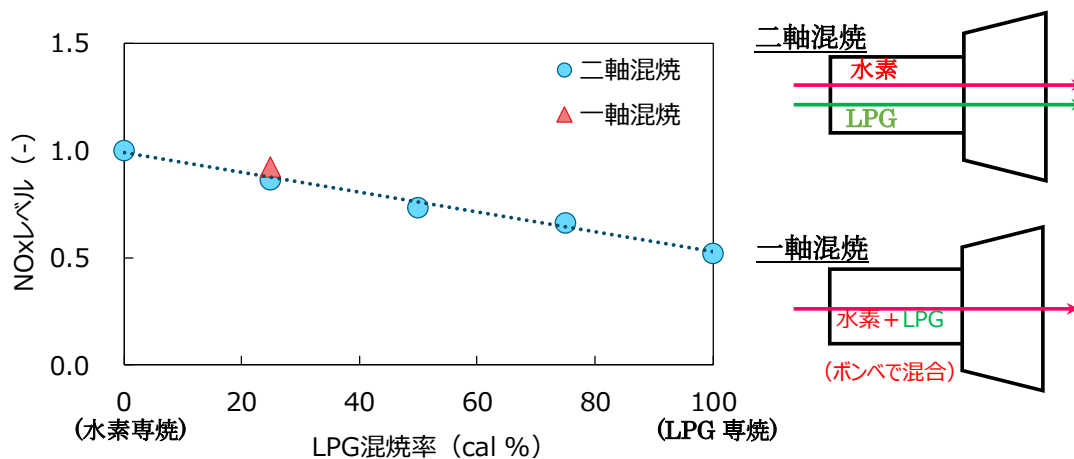


図 5 水素と LPG との混焼特性評価結果



炭種：ハンターバレー炭
混焼率：水素 50 : 石炭 50

図 6 水素と石炭との混焼状況

② 実施項目 2 : 水素焚きダクトバーナの開発

a. 低排ガス O₂ 濃度での安定燃焼

図 7 に LPG 燃焼時、図 8 に水素燃焼時の安定燃焼限界を、ダクトバーナ入口 O₂ 濃度とダクトバ

バーナ入口ガス温度で評価した結果を示す。従来型ノズルに比較して、開発ノズルの安定燃焼範囲がLPG、水素共に広いことを実証。

排ガス O₂ 濃度(LPG:9.2%、水素 : 7.2%)での安定燃焼を実証したことにより、ガスタービンの運用範囲が拡大され、高効率運用化が可能。

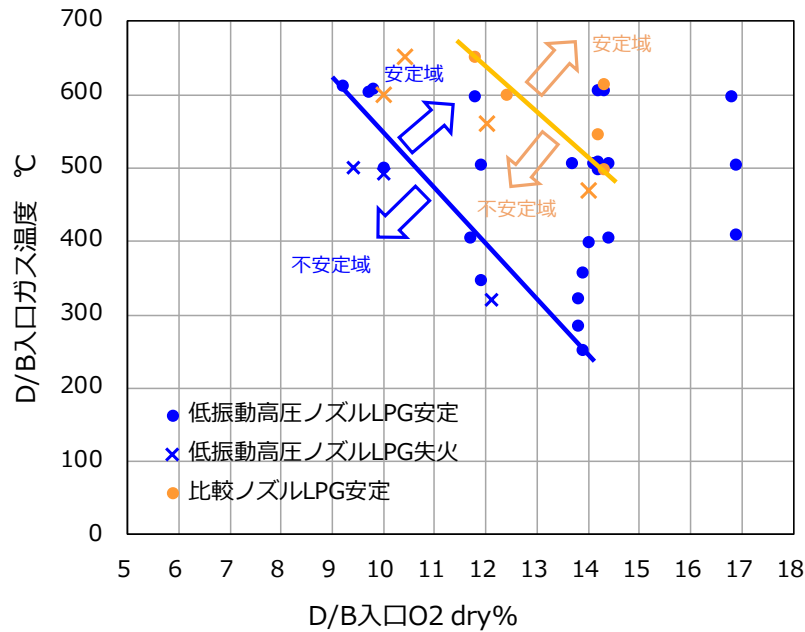


図 7 LPG 燃焼時の燃焼安定特性

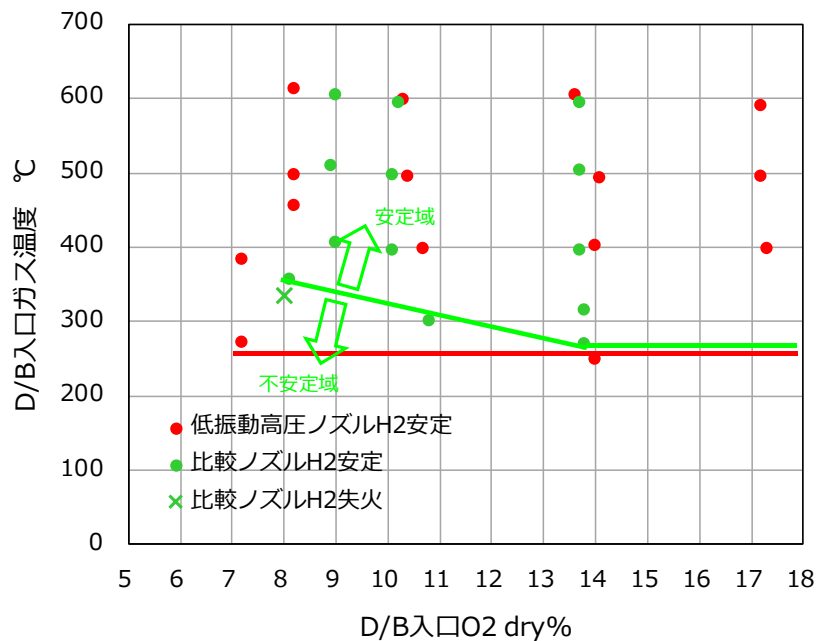


図 8 水素燃焼時の燃焼安定特性

b. TDR (バーナ最大負荷と最低負荷の割合) の拡大

図 9 に LPG 及び水素燃焼時のバーナ最大負荷と最低負荷の比率である TDR 特性評価結果を

示す。LPG 燃焼において、従来型ノズルでは TDR が 1/10 であったのに対して、開発ノズルでは 1/20 の良好な TDR 特性を実証した。また、水素燃焼時は、1/350 という驚異的な TDR 特性を実証した。これは、水素の燃焼性と開発ノズルの良好な保炎性の相乗評価と評価できる。

上記結果より、ダクトバーナの運用範囲を拡大可能となる。

| | | | | | |
|-----|---------------------------------|-----------------------|-----|------------------------|--------------|
| H2 | 試験番号 H2-034 | 35Nm ³ /h | →→→ | 0.1Nm ³ /h* | TDR 1:350 |
| | D/B入口ガス温度 600℃ | | | | |
| | D/B入口O ₂ 14%(dry) | | | | |
| | 900kPa 主孔40° 低振動高圧ノズル | | | | |
| | 保炎器 ベース | | | | |
| LPG | 試験番号 LPG-22 | 4.0Nm ³ /h | →→→ | 0.2Nm ³ /h | TDR 1:20 |
| | D/B入口ガス温度 600℃ | | | | |
| | D/B入口O ₂ 14%(dry) | | | | |
| | 80kPa 主孔40° 低振動高圧ノズル | | | | |
| | 保炎器 ベース | | | | |

図9 開発ノズルによるダクトバーナの TDR 特性

c. NO_x 還元特性

図10にダクトバーナ入口の排ガス温度とO₂濃度をパラメータにした、ダクトバーナ内でのNO_x還元・酸化特性を示す。LPGは排ガス温度600℃、O₂濃度14%の条件では、NO_xが増加（酸化）と減少（還元）が混在しているが、排ガス温度の低下またはO₂濃度低下でNO_xの還元量増加。

一方、水素は今回の条件範囲において、ダクトバーナ内で全てNO_xが還元することを実証した。

今回のNO_x還元特性の評価結果は、ダクトバーナの出口NO_x予想に適用可能である。

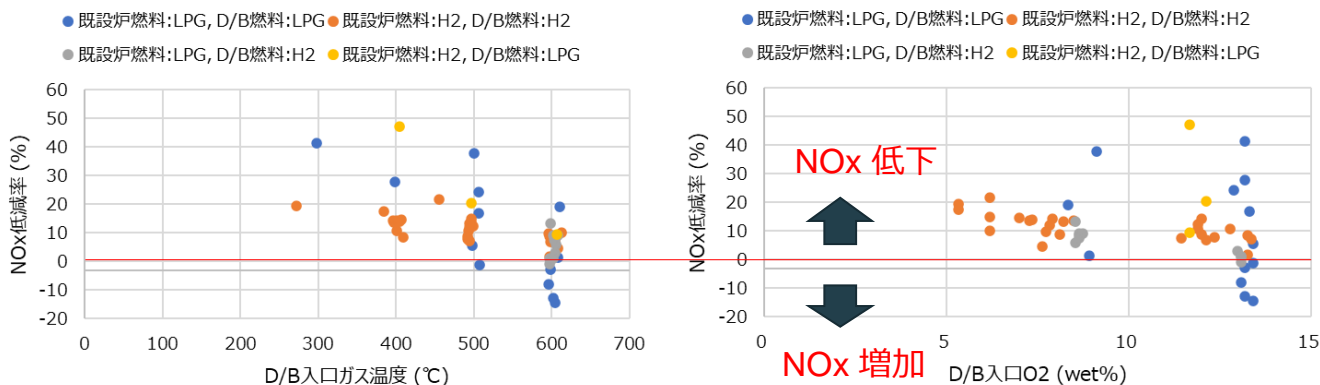


図10 ダクトバーナ内でのNO_x還元特性

③ 実施項目3：燃焼解析

a. 水素の高圧供給による低NO_x化のメカニズム解明

図 11、12 に水素高圧供給により NOx が低減するメカニズムの燃焼解析結果を示す。高圧化により噴射後、半径方向への水素の拡散が促進し、中心軸近傍の水素濃度低減。水素濃度の低減により、中心軸近傍の火炎温度が低減し、結果として NOx 濃度が低減することが明確化できた。

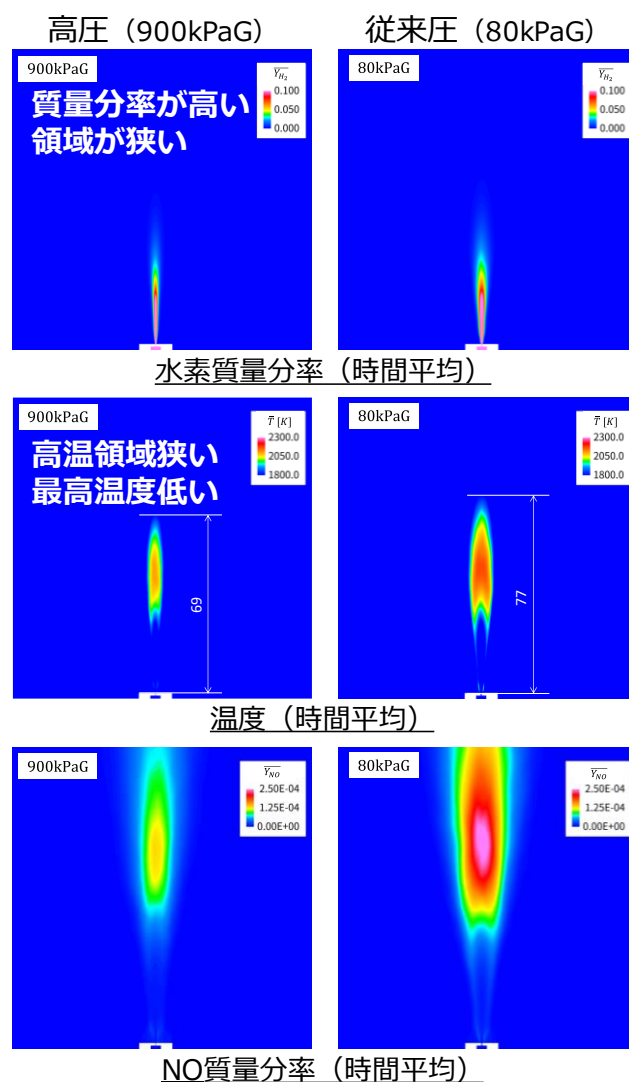


図 11 水素高圧化による NOx 低減メカニズム(1)

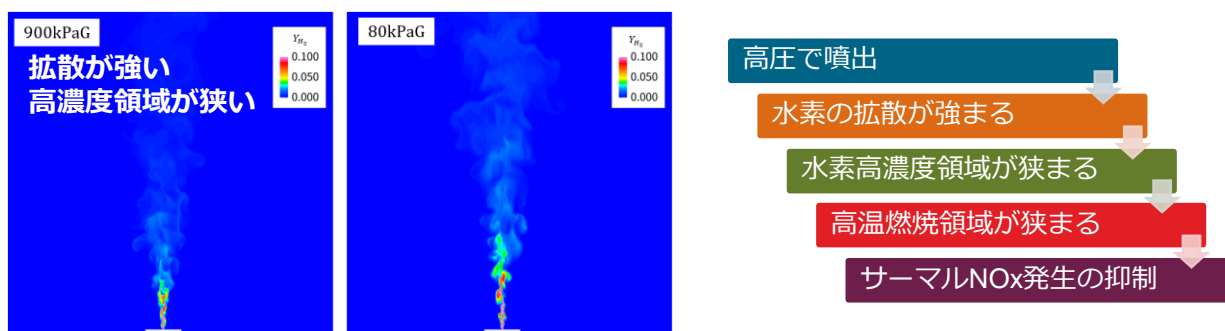


図 12 水素高圧化による NOx 低減メカニズム(2)

b. 矩形型バーナー
メカニズム解明

単独で低 NOx 化する

図 13、14 にセンターファイアリング型バーナ（CF 型バーナ）と矩形型バーナ（R 型バーナ）におけるバーナ近傍及び火炉内での燃焼解析結果及び各関連要素の比較を示す。

CF 型バーナは 1 次空気と 2 次空気が隙間なく連続して導入されることから、バーナ近傍の酸素濃度が高い。一方、R 型バーナは 1 次空気と 2 次空気の投入位置が独立して離れており、その空間に燃焼排ガスが導入され、酸素濃度の低い領域が形成される。その結果、R 型は CF 型に比較し、サーマル NO_x の生成が増加する 2000K 以上の高温領域が狭く、NO_x が低減することを明確化できた。

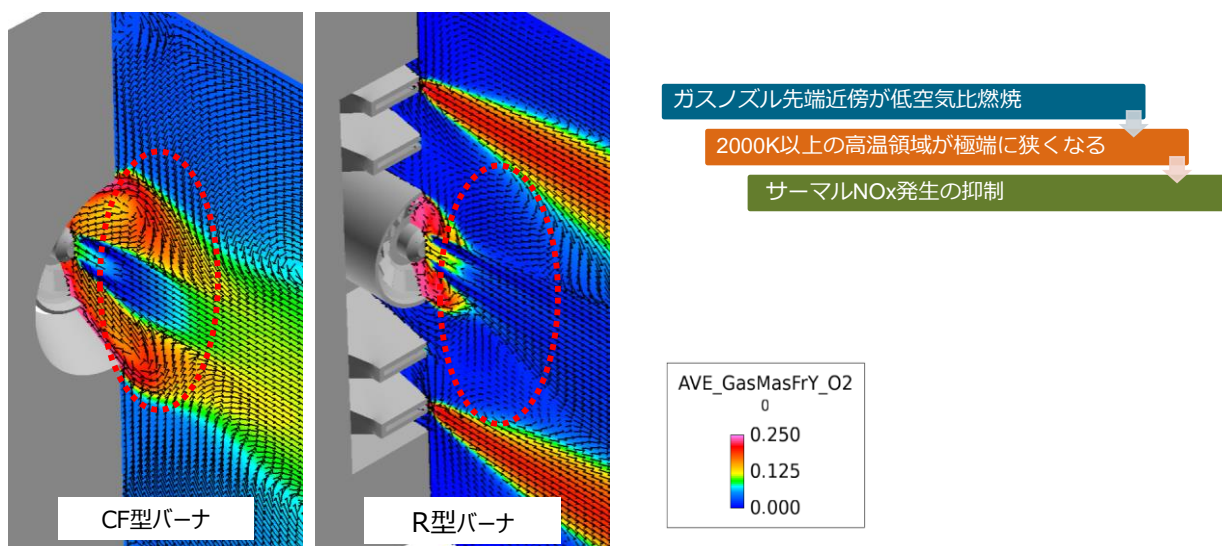


図 13 CF 型及び R 型のバーナ部近傍燃焼解析結果

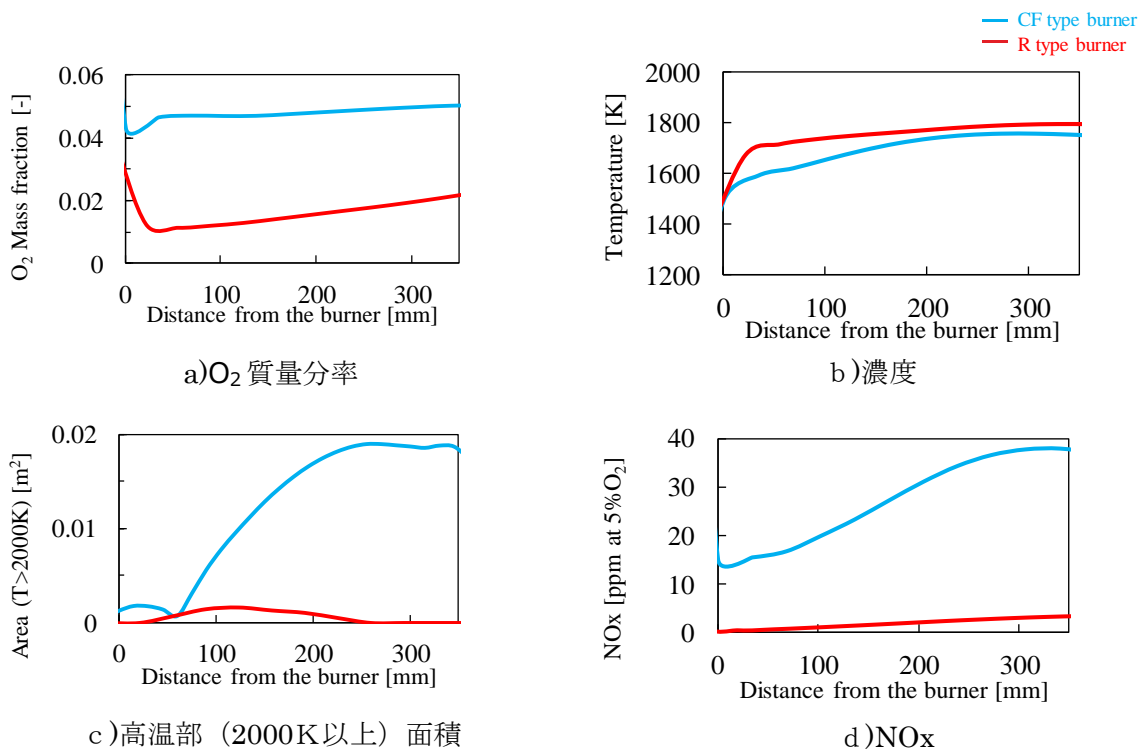


図 14 CF 型及び R 型の関連要素の比較結果

4. 2. 5 「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」

○実施者名、実施体制

川崎重工業株式会社

川崎重工業(株)

エネルギー・
環境プラントカンパニー

- ・ 開発全体とりまとめ
- ・ 水素燃焼用単筒機的设计
- ・ 水素燃焼用単筒試験機の製造
- ・ 水素燃焼制御システムの開発

技術開発本部

- ・ 水素燃焼試験とりまとめ (数値解析・評価含む)
- ・ 水素燃焼試験設備の整備
- ・ 安全性評価材料強度評価
- ・ 水素燃焼供給システムの開発

○期間、予算

期間 : 2020年8月~2023年3月

予算 :

| 年度 | 2020 | 2021 | 2022 |
|--------------------|------|------|------|
| 事業費 (各年度) (百万円) | 174 | 302 | 1574 |
| 事業費 (通期) | 2050 | | |

○実用化・事業化への道筋

■ 単筒機を用いた研究(本研究内容)

- ✓ 実機を想定した燃焼室サイズでの燃焼試験を行い、性能確認およびエンジン仕様の目途付けを行う。

■ 多気筒機を用いた研究

- ✓ 単筒機での成果を適用した多気筒エンジンを設計・製造し、実証試験を行う。実運用を模擬した環境にて実証することで、不具合などの洗い出しを行う。

■ 上市

- ✓ 実証研究にて洗い出された課題について対策を施し、安全性を担保したうえで製品として上市する。

○最終目標に対する成果と達成状況

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|---|---|--|-----|----------------|
| ①-1 既存の天然ガス 燃焼単筒機での 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 | 水素燃焼における異常燃焼等の発生条件を把握 | ○ | |
| ①-2 排ガス再循環 (EGR)等による 燃焼速度低減手段の 効果確認試験 | 大出力エンジンにおける EGR 等による燃焼速度低減効果を確認し、水素燃焼単筒機の要目・仕様を選定 | 筒内異常燃焼を回避し、平均有効圧力(エンジン出力)向上に寄与する下記成果を獲得 ・ EGR による燃焼速度低減(異常燃焼抑制)効果を確認 ・ 異常燃焼抑制に効果のあるパラメータ(エンジン仕様・制御)を把握 | ○ | |
| ①-3 試験による水素 燃焼の最適化検討 | 平均有効圧: 1.6MPa の実現目途付け | エンジン仕様変更、制御パラメータの最適化を組み合わせ、平均有効圧:1.85MPa を達成(短時間確認) | ◎ | 目標を上回る平均有効圧を達成 |
| 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し、部材を選定 | 低ひずみ引張試験結果および当社の材料研究の知見を用いて、候補部材の水素混合環境下での使用可否を判定し、適用する部材を選定 | ○ | |
| 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 | 水素燃焼エンジンの仕様を検討・選定するための数値解析手法を確立 | ○ | |
| ②-3 水素燃焼単筒機 の設計 | 事業①、②-1,2で得た成果を制約なく実証できるエンジンを設計 | エンジン内部で水素滞留の可能性の高い箇所(クランクケースなど)の換気・爆発対策を施したエンジンを設計。また、水素燃焼エンジンに最適な燃焼室(シリンダヘッド、 | ○ | |

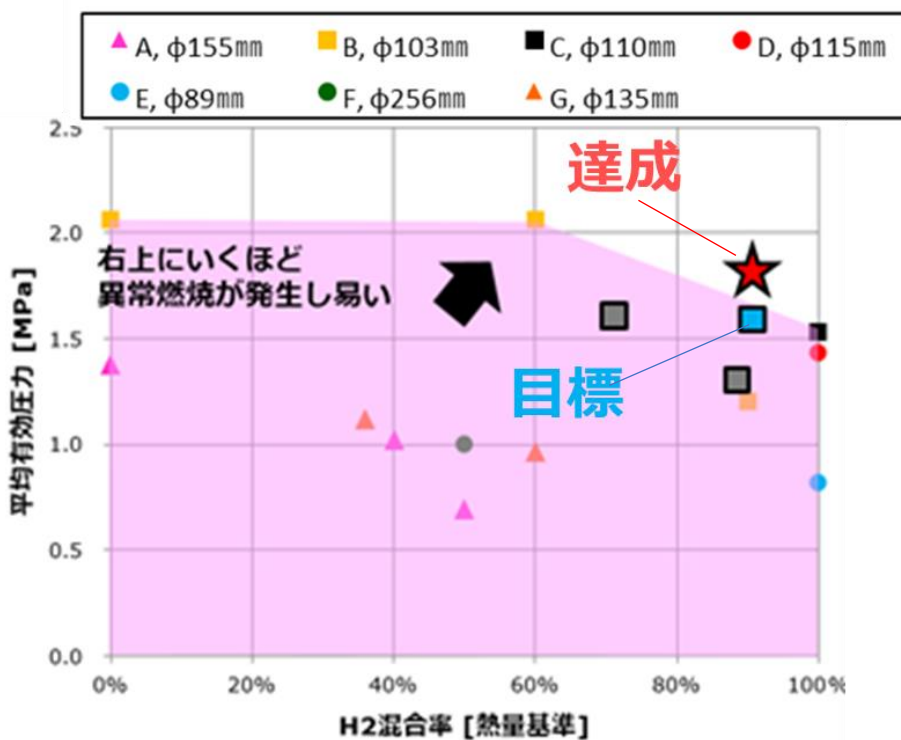
| | | | | |
|-----------------------------|---|--|---|--|
| | | ピストンなど)を設計。 | | |
| ②-4 水素燃焼単筒試験設備の整備 | 水素燃焼試験を効率的に実施できる試験設備を整備 | 開発項目③にて実施したリスクアセスメントの結果を反映した水素燃焼単筒試験設備(エンジン・周辺設備)を設計・整備完了 | ○ | |
| ②-5 試験による水素燃焼の最適化 | 水素を利用した A.既存単筒機での取得データと B.水素燃焼単筒機での取得データの両者を分析し、水素燃焼最適化の目途を得る | <ul style="list-style-type: none"> 本設備の特徴である長時間の水素供給能力を活かし、天然ガス・水素混焼条件にて約4時間の連続運転における燃焼安定性評価を実施した結果、安定した燃焼状態を維持できることを確認 既存単筒機とのデータ比較により、水素燃焼単筒試験設備の燃焼は正常であることを確認 | ○ | |
| ③-1 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出 | 水素利用を想定して、単筒エンジン本体だけでなく試験設備全体のリスク要因抽出を実施する事で、試験設備の要求仕様の明確化 | <p>水素利用を想定したリスクアセスメントによって以下の要求仕様を決定し、基本設計完了</p> <ul style="list-style-type: none"> エンジン本体を含むハードウェアに実装すべき安全装置の要求仕様を決定 防爆エリア設定などの運用システムとして安全を担保するための要求仕様を決定 | ○ | |
| ③-2 水素燃焼エンジ | <ul style="list-style-type: none"> 水素燃焼エンジンの事業化 | <ul style="list-style-type: none"> ③-1 で決定した要求仕様に加え、天 | ○ | |

| | | | | |
|----------------------------------|--|---|--|--|
| <p>ン運用システム の構築および評 価</p> | <p>を見据え、天 然ガス燃焼エ ンジンと同様 のリスクレベ ルにて運用可 能な制御シス テムの確立 抽出したリスクへの 対策を機器・制御に 織り込んだ設備・制 御システムの構築</p> | <p>然ガスエンジン同等 のリスクレベルで運 用可能なシステム の確立を目標とした リスクアセスメントを 実施し、新たに潜在 リスクを抽出し、そ の安全対策を立案 要求仕様及び潜在 リスクへの安全対 策を設備内の安全 設備・制御システム に反映して実装</p> | | |
|----------------------------------|--|---|--|--|

○成果の意義

水素混焼率 95%（水素+重油）という水素専焼に近いエンジン仕様にて、目標を上回るエンジン出力の到達を確認でき、前例の無いシリンダボア径 300mm 級・高出力の水素エンジン（下図）実現の目途が得られ、市場化に必要な燃焼技術を確認した。

また、当社で計画されている水素燃焼エンジンで市場投入が最も早い天然ガス・水素混焼（水素混合比 30vol%）エンジンにおける長時間安定運転の目途が得られた。

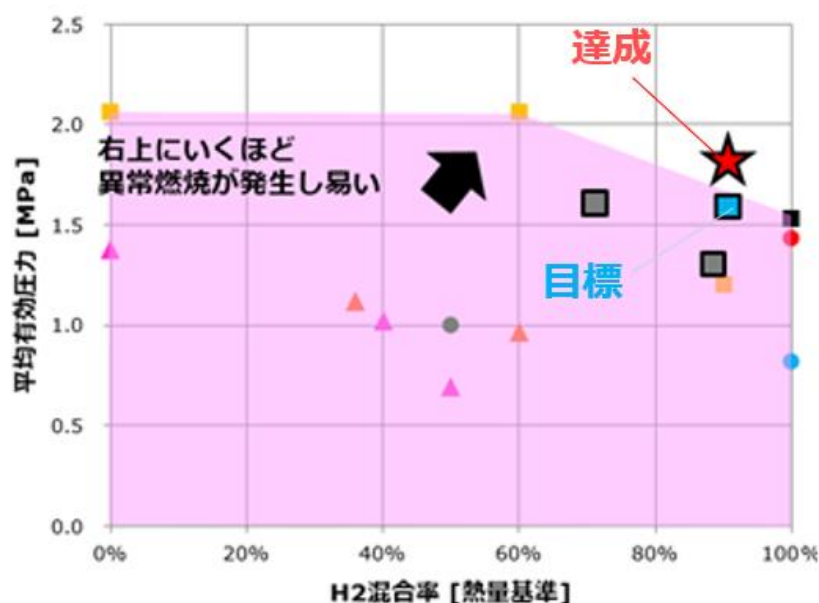


○特許出願、論文発表、学会発表・講演等の数

| | 2020 年度 | 2021 年度 | 2022 年度 | 計 |
|----------|---------|---------|---------|-----|
| 特許出願 | 0 | 0 | 2 | 2 件 |
| 論文発表 | 0 | 0 | 0 | 0 件 |
| 学会発表・講演等 | 0 | 0 | 1 | 1 件 |

○研究開発成果の詳細

(1) 実施項目 1：既存の天然ガス燃焼単筒機を改造し、水素燃焼試験を行い、従来実績を上回る図示平均有効圧力 1.6MPa の達成を目途付けすることが目標であった。初めに、水素燃焼における異常燃焼等の発生条件を把握すべく、水素混焼率や平均有効圧を徐々に増やししながら、試験を進めたところ、異常燃焼の発生は天然ガスより低い平均有効圧力で発生し、異常燃焼の抑制が今後の主な課題であることが明確となった。次に、異常燃焼抑制効果が期待できる EGR（排ガス再循環）の燃焼速度低減効果を確認できた。EGR 投入だけでは目標出力達成は出来ないため、実施項目 2 にて新設計した冷却強化型の燃焼室部品の投入やエンジン仕様（圧縮比など）変更、制御パラメータの最適化を組み合わせ、目標出力を上回る平均有効圧:1.85MPa を達成（短時間確認）した。前例の無いシリンダボア径 300mm 級・高出力の水素エンジン実現の目途が得られた。



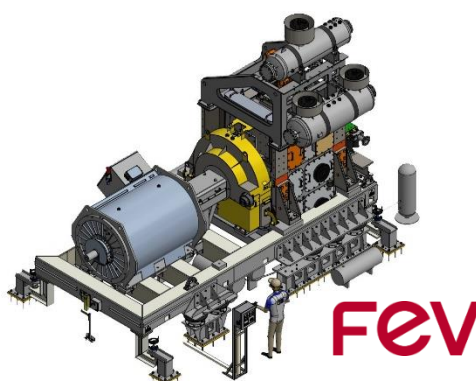
(2) 実施項目 2：水素の長期間供給能力を有する、水素燃焼試験に適した水素燃焼単筒試験設備を完成させるべく、水素燃焼エンジンの設計に必要な部材評価の強度評価、エンジン仕様を選定するための数値解析手法の構築、実施項目 3 にて実施したリスクアセスメントを経て、水素燃焼単筒試験設備（エンジン・周辺設備）を設計・整備した。また、水素・天然ガス混焼の長時間運転を行い、水素・天然ガス混焼の長期安定運転の目途付けが出来た。さらに、既存単筒機とのデータ比較も併せて、設備が正常に完成していることを確認した。安全かつ長時間の連続運転を想定した設備が構築できたこと

により、今後の水素燃焼エンジン開発に不可欠な長時間の燃焼安定性評価を可能とする試験環境を実現した。

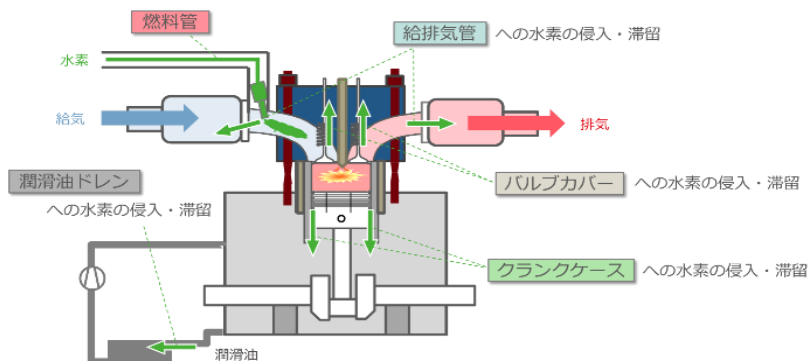


動力計

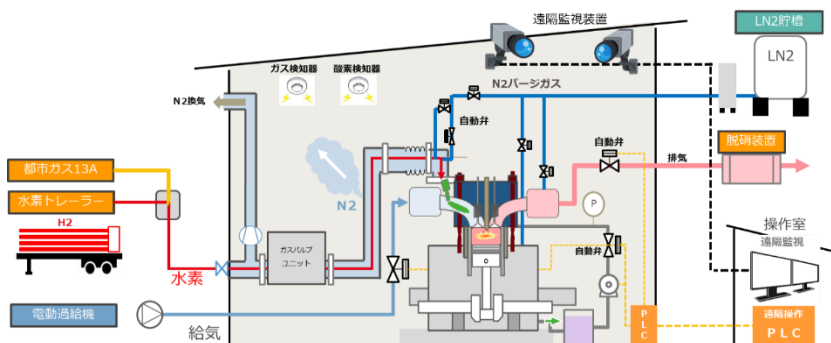
共通台板



(3) 実施項目 3 : 実施項目 2 で建造した水素燃焼単筒試験設備に必要な安全性確保のために、水素燃焼エンジンの事業化を見据え、天然ガスエンジン同等のリスクレベルで運用可能なシステムの確立を目標としたリスクアセスメントを実施した。さらに、安全対策を設備内の安全設備・制御システムに反映して実装した。そのことにより、水素燃焼エンジンにおけるリスク要因発生から重大リスクに至る過程や、その対処手法や運用手順を明確できた。さらに、設備や制御システムの設計ノウハウを獲得できた。



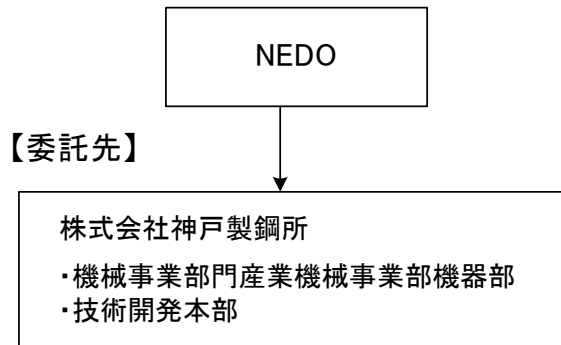
エンジン本体へのリスクアセスメント例



試験設備への安全機器・システム追加(概念図)

4. 2. 6 「液化水素冷熱の利用を可能とする中間媒体式液化水素気化器の開発」

○実施者名、実施体制



○期間、予算

期間 : 2021年3月~2023年3月
予算 : 2021年度 : 1,907,000円
2022年度 : 503,188,100円

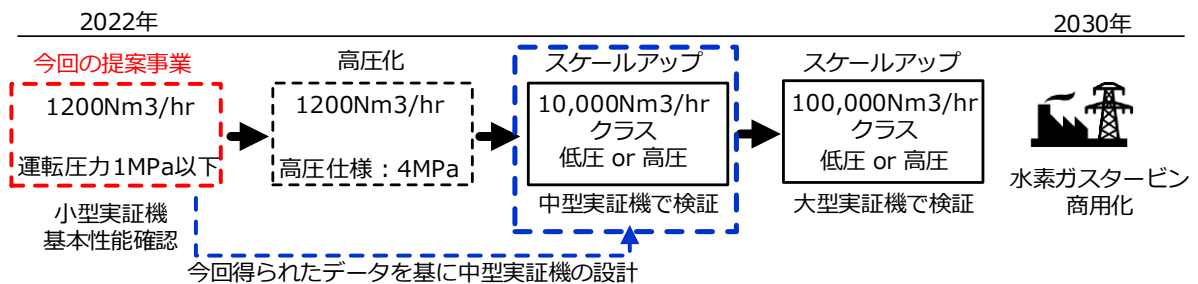
○実用化・事業化への道筋

本事業においては、水素の臨界圧以下における液化水素気化器の実証を行った。

ボイラー・工業炉への水素ガス供給においては、要求される水素供給圧が低く、臨界圧以下での運転で十分である。今回、中間媒体式液化水素気化器の基本性能を確認できたため、今後はボイラー・工業炉への水素ガス供給を行い、供給先の負荷変動がある場合でも安定して気化性能を出せることを確認する。

一方で、大規模水素エネルギー利用先として期待される水素発電においては、液水を臨界圧以上へ昇圧してから気化させることにより、気化水素ガスを圧縮するのと比較し大幅な発電効率向上が見込める。そのためには臨界圧以上で作動可能な気化器が必須である。

そこで、NEDO 水素社会構築技術開発事業／地域水素利活用技術開発「水素 CGS の地域モデルにおける水素燃料供給システムの効率化・高度化に向けた技術開発（2023-2024年度）」において、臨界圧以上の液化水素の気化実証を行い、2025年度以降に実証が予定されている水素発電で冷熱利用可能な中間媒体式液化水素気化器の採用を目指し、事業化につなげる。



○最終目標に対する成果と達成状況

| 実施項目 | 最終目標 | 成果 | 達成度 | 補足説明 |
|--------------------|--|--|-----|----------------------|
| 実証気化器の設計・製作 | 1,200Nm ³ /h の気化能力を有する中間媒体式気化器 (IFV) の設計・製作および試験設備の建設 | 高圧ガス保安法に基づき設計・製作した IFV および液化水素貯槽他、試験に必要な設備を完成させた。 | ○ | |
| 気化性能の確認 | 連続運転でも出口気化ガス温度が低下することなく安定的に液化水素を気化できる | 1 時間以上の連続運転において出口気化ガス温度が低下することなく安定的に気化できることを確認した。 | ○ | 今後、臨界圧以上の運転圧力での検証が課題 |
| 中間媒体 (プロパン) の挙動確認 | 液化水素が伝熱管内を流れても、管外の中間媒体 (プロパン) が氷結しない | サイトグラスからの目視確認および出口ガス温度の確認により、中間媒体 (プロパン) が氷結しないことを確認した。 | ○ | |
| 冷熱利用の可能性確認 | 冷熱利用に向けて安定した冷熱が取り出せる | 入口温度に対して 10℃以上低下した冷水を 1 時間以上連続して取り出せることを確認した。 | ○ | |
| 応力解析結果と実際の発生応力との比較 | 熱応力解析の結果と実運転における応力歪を実測・比較し、解析による寿命評価精度の向上を図る | 解析結果は概ね実温度分布をトレースできており、応力も概ね実測に合った解析になっていることを確認した。ただし一部では実測値と乖離している部分もあり、原因調査して解析精度向上を目指す。 | ○ | |
| 中規模水素利用用気化器の試設計 | 中規模水素利用用の水素発電向け中間媒体式気化器の試設計を行う | 30,000Nm ³ /h の中間媒体式気化器の試設計を行い、従来の LNG 気化器実績範囲内サイズであること確認した | ○ | |

○成果の意義

本成果により、中規模、更には大規模水素利用が期待される水素発電向けに、所定の気化性能を有し、かつ冷熱利用が可能な液化水素気化器を設計・製作出来る事を実証により明らかにした。
これにより、大規模水素エネルギー利用のためには欠かせない液化水素気化器を市場へ投入できる目途が得られたことになり、水素サプライチェーン構築の一助となったと考える。

○特許出願、論文発表、学会発表・講演等の数

1 研究発表・講演（口頭発表も含む）

| 発表者 | 所属 | タイトル | 雑誌名・学会名・イベント名等 | 発表年月 |
|--------|---------------|--|--|---------|
| 野一色 公二 | 株式会社 神戸製鋼所 | 神戸製鋼所高砂製作所 における工場の 脱炭素化に向けた水素利 活用の取組み | 第14回神戸ものづくり中小企 業展示商談会 | 2022.6 |
| 野一色 公二 | 株式会社 神戸製鋼所 | Hydrogen utilization activity for decarbonization of plants | LATIN America-J apan Hydrogen Workshop 2022 | 2022.8 |
| 野一色 公二 | 株式会社 神戸製鋼所 | 工場の脱炭素化に向けた 水素利活用の取組み | 未来社会にむかう理研放射光セ ンター・産業界連携シンポジウム 第1回カーボンニュートラルにむけ た水素利用など | 2022.8 |
| 野一色 公二 | 株式会社 神戸製鋼所 | 工場の脱炭素化に向けた 水素利活用の取組み | 第10回JH2A会員セミナー | 2022.8 |
| 野一色 公二 | 株式会社 神戸製鋼所 | 工場の脱炭素化に向けた 水素利活用の取組み | 第2回GXスタジオ | 2022.9 |
| 野一色 公二 | 株式会社 神戸製鋼所 | 工場の脱炭素化に向けた 水素利活用の取組み | 第2回 水素産業ニーズ・ウォン ツ発表会（近畿経済産業局） ～中業企業の参入に向けたマッ チング～ | 2022.10 |
| 野一色 公二 | 株式会社 神戸製鋼所 | Hydrogen utilization activity for decarbonization of plants | 神戸市 国際課の依頼でシアト ル訪問団への講演 | 2022.11 |
| 野一色 公二 | 株式会社 神戸製鋼所 | 高砂製作所における脱炭 素化に向けた工場の 水素利活用の取組み | 高砂商工会議所依頼のSDG' s 脱炭素セミナー | 2022.11 |
| 竹内 正道 | 株式会社 神戸製鋼所 | 工場における水素利活用 の取組み（熱利用など） | 兵庫県主催の「ひょうご水素社 会推進シンポジウム」 | 2023.1 |
| 野一色 公二 | 株式会社 神戸製鋼所 | Hydrogen utilization activity for decarbonization of plants | 神戸市の依頼でドイツWEBセ ミナー（Mirori5） | 2023.2 |
| 小林 祐之輔 | 株式会社 神戸製鋼所 | 水素利活用の取組紹介 | 第3回 水素産業ニーズ・ウォン ツ発表会（近畿経済産業局） ～中業企業の参入に向けたマッ チング～ | 2023.2 |

3 論文：なし

4 特許等：なし

5 受賞実績：なし

6 成果の普及活動

| 発表者 | 所属 | タイトル | 雑誌名・学会名・イベント名等 | 発表年月 |
|---------------|----|---|-----------------------|--------|
| 株式会社 神戸製鋼所 | | NEDO entrusts Kobe Steel with development of intermediate fluid vaporizer for liquid hydrogen that enables use of liquid hydrogen cold energy | 神戸製鋼所 H P | 2022.5 |
| 株式会社 神戸製鋼所 | | N E D O「水素社会構築技術開発事業」に採択 ～「液化水素冷熱の利用を可能とする中間媒体式液体水素気化器の開発」～ | 神戸製鋼所 H P | 2022.5 |
| 株式会社 神戸製鋼所 | | カーボンニュートラルへの挑戦 ハイブリッド型水素ガス供給システム | 国際フロンティア産業メッセ (神戸) | 2022.9 |
| 株式会社 神戸製鋼所 | | カーボンニュートラルへの挑戦 ハイブリッド型水素ガス供給システム | F C E X P O (東京) | 2023.3 |

○研究開発成果の詳細

(1) 実施項目 1：気化器の設計・製作

液化水素気化器としての伝熱性能が確認出来る最小サイズ（1,200Nm³/h（108kg/h））の中間媒体式気化器（IFV）の設計・製作を行った。また、詳細な伝熱挙動を確認する目的で、液体水素気化部伝熱管外表面に熱電対を取付けると共に、中間媒体（プロパン）の挙動を確認する目的で、中間媒体蒸発器胴体にサイトグラスを設置した。更に液化水素気化部チャンネル外面側には、応力計測のために歪ゲージおよび熱電対を取付けた。

当該気化器は高圧ガス保安法/特定設備検査規則に基づいた設計を行い、高圧ガス保安協会殿の設計検査の合格を得た後に製作を開始、所定の検査を実施し特定設備検査合格証を受領した。



(2) 実施項目 2：実証設備の建設

実際に液化水素を用いて1時間以上の気化運転を行うため、液化水素貯槽や気化に用いる上水の循環タンクなどの設備を神戸製鋼所/高砂製作所内に建設した。

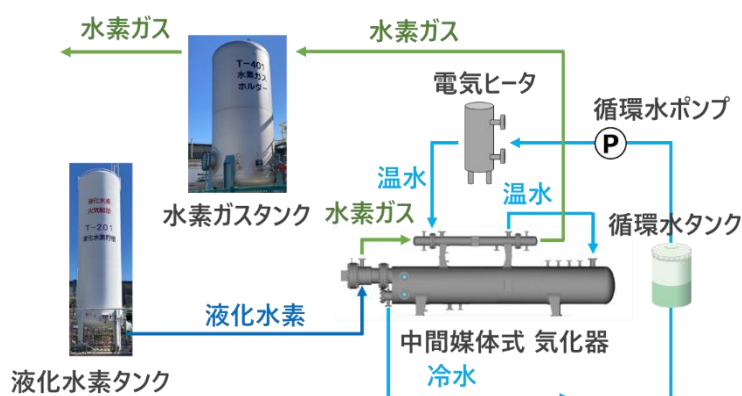


図 1 液化水素気化器の試験設備概要



(3) 実施項目 3：実証試験

a. 気化性能の確認

1,200Nm³/h（108kg/h）の気化量での1時間以上の連続運転において、循環水入口温度と出口気化ガス温度との差が10℃以内で、低下することなく安定的に気化できることが確認された。

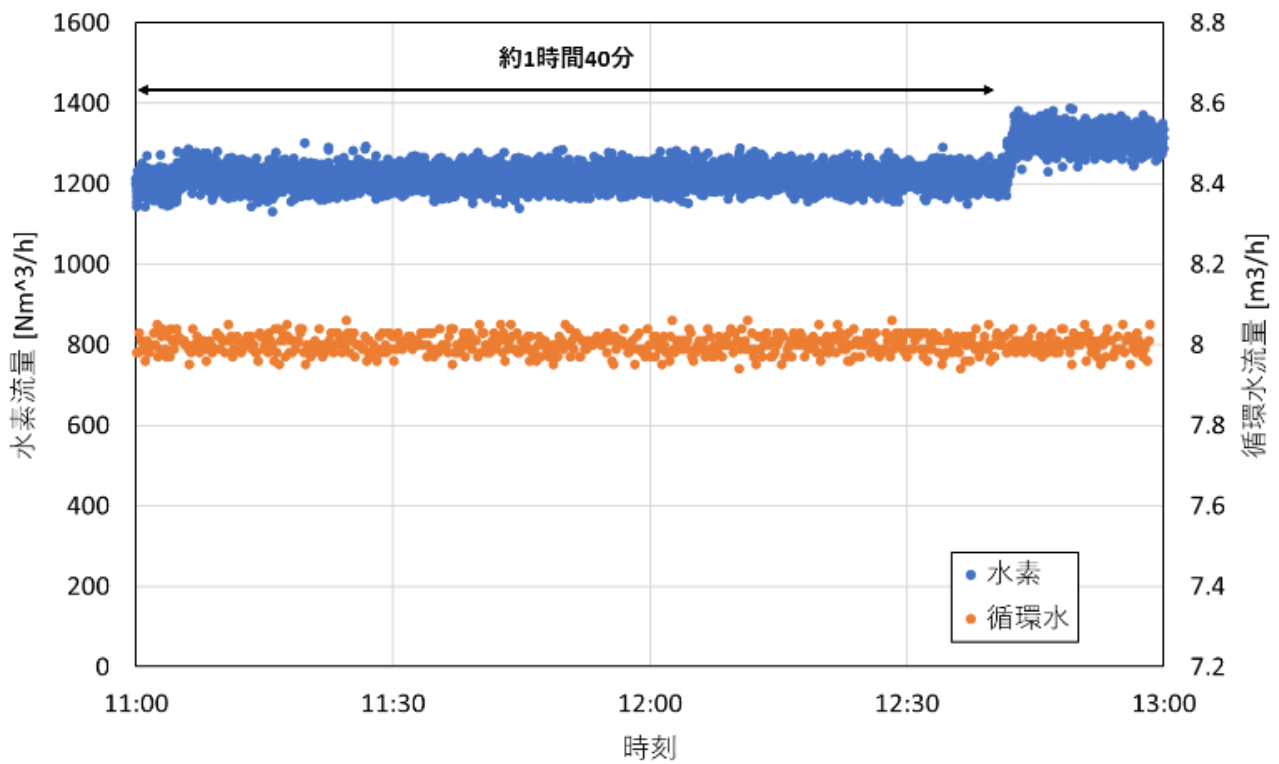


図2 気化性能安定性の確認（気化量）

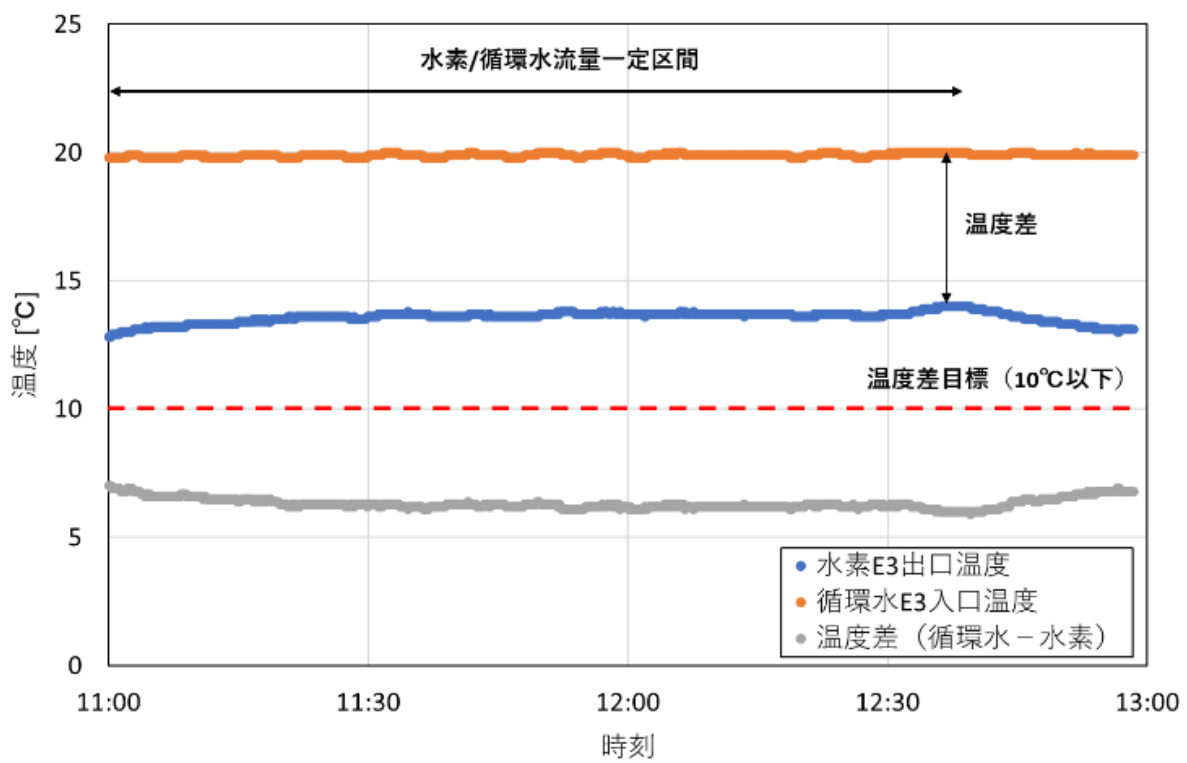


図3 気化性能安定性の確認（温度）

b. 中間媒体（プロパン）の挙動確認

IFV シェル側面に取り付けたサイトグラスを通じ、中間媒体プロパンが凍結していないことを目視確認出来た。また、循環水 E1 出口温度と中間媒体プロパンとの温度差が 15℃以内で、1 時間以上の連続運転が可能な事が確認され、運転データからも中間媒体プロパンが凍結していないことが確認された。



図 4 プロパンの凝縮の様子



図 5 プロパンの沸騰の様子

c. 応力解析結果と実際の発生応力との比較

汎用有限要素法プログラムである ABAQUS を用いて、FEM による熱応力解析を事前に行い、定格運転時における温度および発生応力との結果とを比較するため、気化器のチャンネルシェルに熱電対、歪みゲージと取り付け実測した。その結果、解析結果は概ね実温度分布をトレースできていることが確認され、応力に関しても、概ね解析値に近い結果となっていることが確認された。

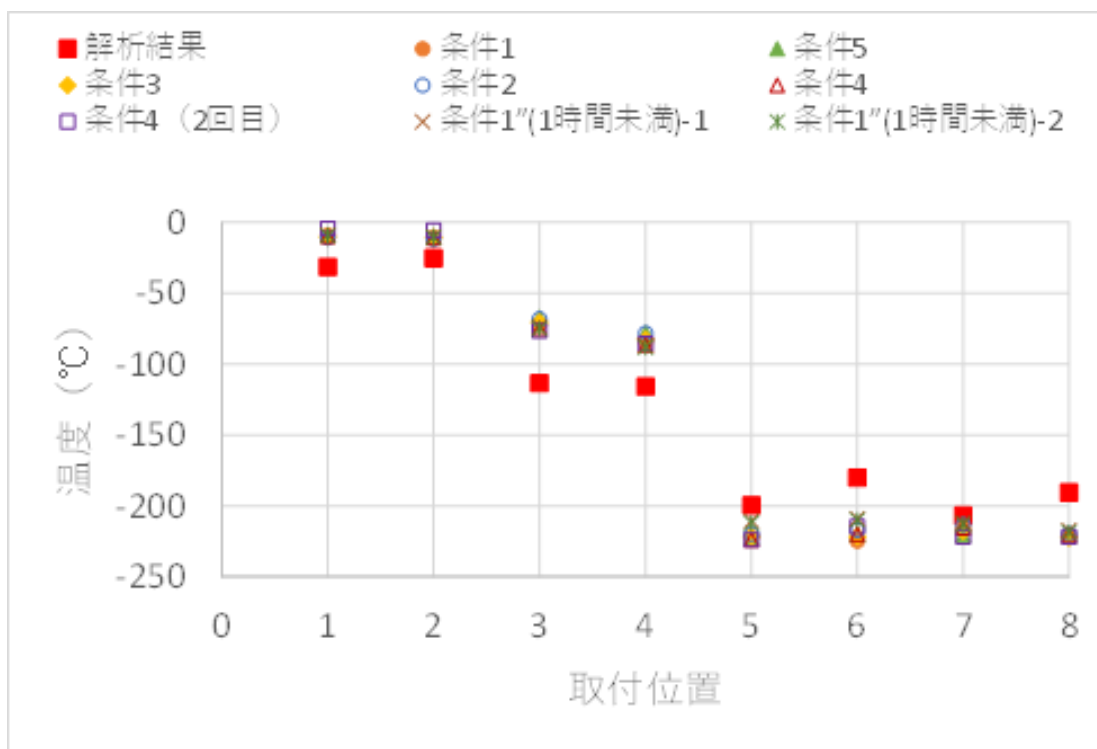


図 6 解析結果と実測値の比較（温度）

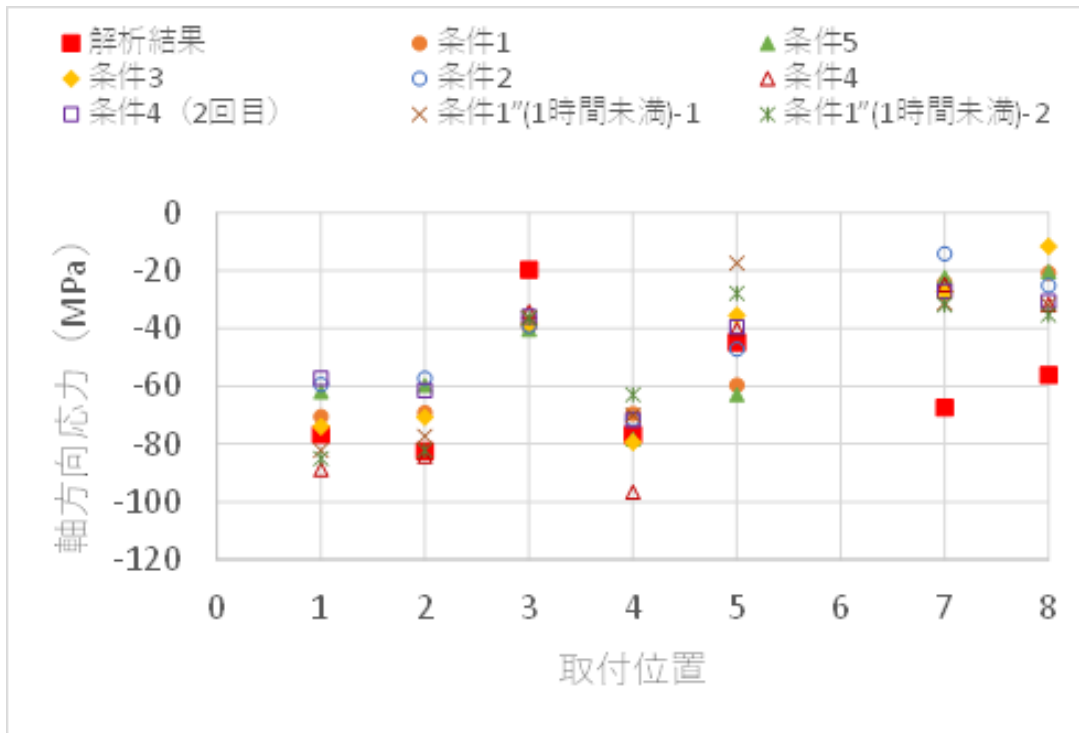


図7 解析結果と実測値の比較（応力）

d. 冷熱利用の可能性確認

目標とした、循環水 E3 入口温度に対して 10℃以上低下した冷水が 1 時間以上安定的に取り出せることを確認した。また、水素流量を変動させた場合においても、安定して冷水を取り出せることを確認した。

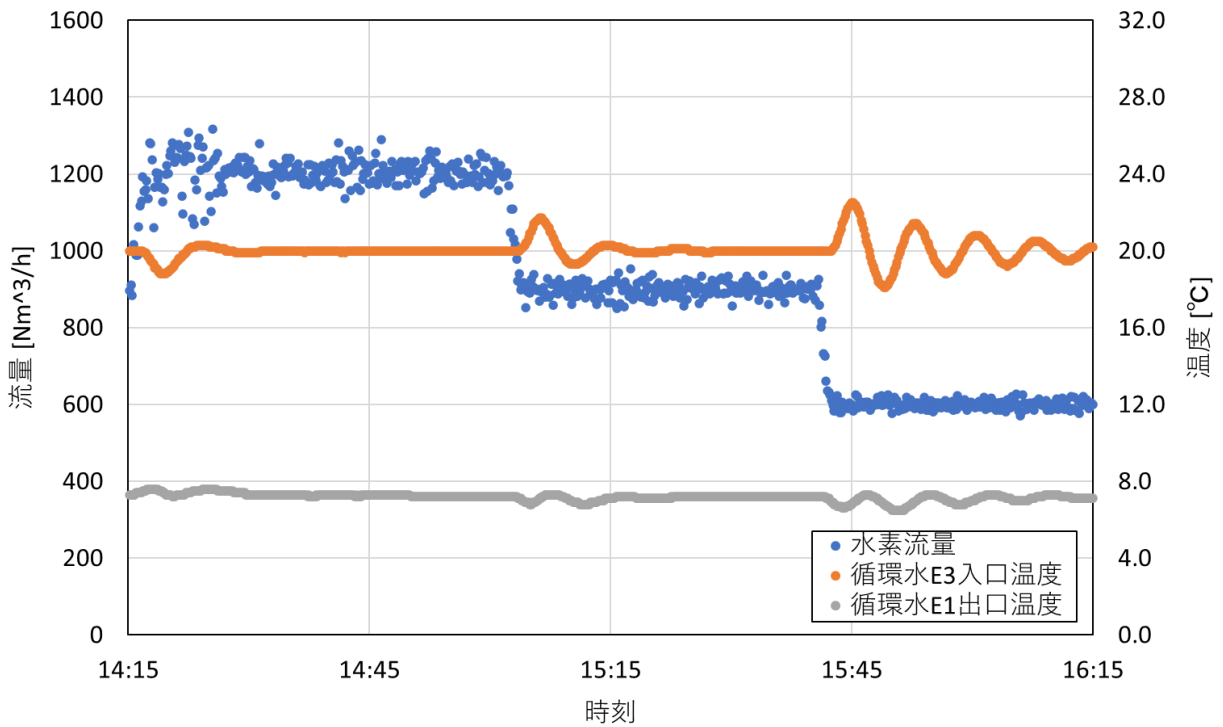


図8 冷熱回収温度安定性確認

(4) 実施項目 4 : 中規模水素利用の 10,000Nm³/hr クラス用気化器の試設計

本事業で得られた結果に基づき、2025 年頃実証が計画されている 4 万 kW クラスの水素ガスタービンへの供給量 30,000Nm³/h (約 2.7ton/h) を必要気化能力と設定し、気化器運転圧力は今回の実証試験における運転圧力である 0.7MPaG と、水素ガスタービン側で必要となる臨界圧以上の圧力である 5.0MPaG との 2 ケースで試設計し検討を行った。

両ケース共に機器サイズは従来の LNG 気化器としての中間媒体式気化器の実績の範囲内であり、製作上の問題点は無いことを確認した。

「水素社会構築技術開発事業」基本計画

スマートコミュニティ・エネルギーシステム部

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。

さらに、2017年には世界で初めての府省横断での取組をまとめた世界で初めての水素戦略である「水素基本戦略」を閣議決定され、水素社会のシナリオが示されており、現在、化学プラントの副生や天然ガス改質で製造されている水素を、より大規模に、より安価に、よりCO₂排出の少ない形に切り替えていき、現在の天然ガスと同程度の価格や規模で流通できるようにしていくことを目指している。

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』（2025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』（2023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。

『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立する。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立する。

研究開発項目Ⅲ：「地域水素利活用技術開発」

『最終目標』（2025年度）

将来の自立した水素社会実現に向けて、水素の利活用拡大のみならず、新たな地域産業創出等に資するものとして、産業等の様々な分野において水素を地域で統合的に利活用する技術を確立する。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。

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：「地域水素利活用技術開発」

(委託事業、助成事業 [助成率 2/3以内])

再生可能エネルギーから製造した水素、海外産水素や副生水素等を地域で利活用するモデルについて、将来の経済性や温室効果ガス削減効果等のポテンシャルを調査、技術開発を行うことで水素社会のモデルを構築する。

研究開発項目Ⅳ：「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・研究を行う。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。また、大型水素貯蔵設備や配管による水素供給など将来の大規模水素供給インフラの構築に必要な設備設置に関する技術基準策定を見据えた調査・研究を行う。

(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「PMgr」という）に、NEDO スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 大平英二 ストラテジーアーキテクト

(燃料電池・水素分野担当)に任命し、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、研究開発項目Ⅰが2014年度～2025年度の12年間、研究開発項目Ⅱが2014年度～2023年度の10年間、研究開発項目Ⅲが2021年度～2025年度の5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及びⅢ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、2021年度、2023年度、事後評価を2023年度、2026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。研究開発項目Ⅲは中間評価を2023年度、事後評価を2026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条第一号二及び第三号並びに第九号に基づき実施する。

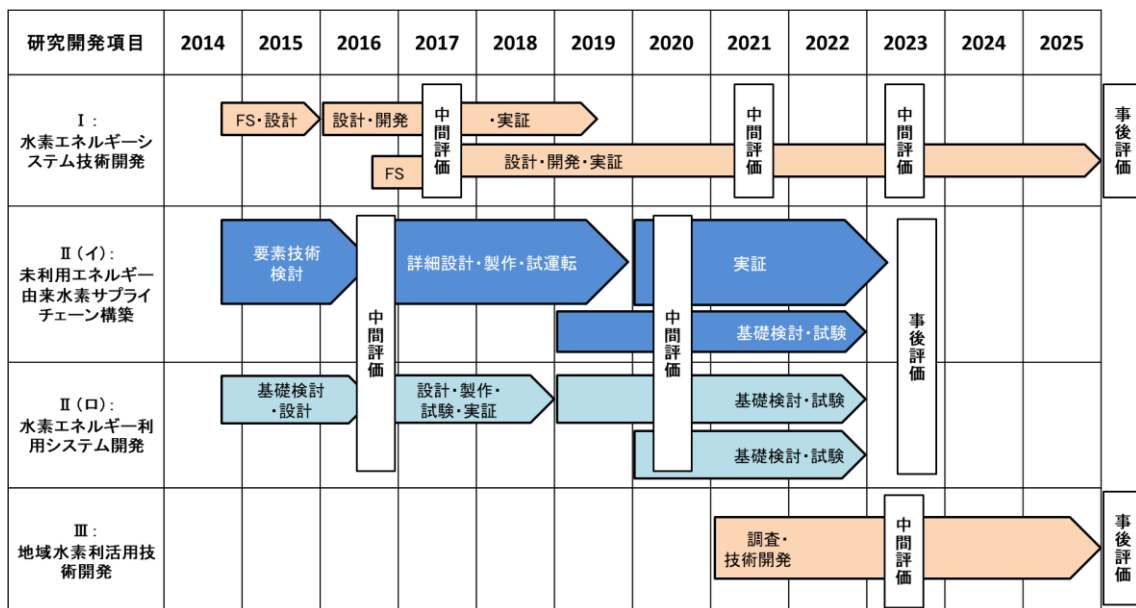
6. 基本計画の改訂履歴

- (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。
- (9) 2021年2月、研究開発項目Ⅲ「地域水素利活用技術開発」を追加、研究開発の実施期間を2025年度までに延長。
- (10) 2021年11月、研究開発項目Ⅳ（イ）の内容に、大規模水素供給インフラ整備に関する技術基準策定に向けた研究を追加。また、部署名及び役職名の変更並びにPMの交代を反映。
- (11) 2023年2月、研究開発項目Ⅰの実施期間を2025年度までに延長。あわせて、研究開発項目Ⅰの中間評価時期に2023年度を追加、事後評価時期に2026年度を追加。また、(別紙) 研究開発スケジュールを更新。
- (12) 2023年3月、研究開発項目Ⅱ（イ）の実施期間を2023年度までに延長し、(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



特許論文等リスト

【特許】2023年10月31日時点で、「公開」もしくは「登録」として、事業者が集計したもののみを記載。

(イ) - (2) 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

| 番号 | 枝番 | 国・地域 コード | 出願番号 | 出願日 | 状態 | 発明の名称 | 発明者 | 共同 出願人 |
|----|----|-------------|-------------------|------------|----|-----------------------------|----------|-----------|
| 1 | | PCT | PCT/JP2016/000750 | 2016/2/12 | 登録 | 船用二重殻タンク | 川崎重工業（株） | なし |
| 2 | | 国内 | 2017-021257 | 2017/2/8 | 登録 | 断熱構造 | 川崎重工業（株） | なし |
| 3 | | 国内 | 2017-111749 | 2017/6/6 | 登録 | ガス放出システム | 川崎重工業（株） | なし |
| 4 | | 国内 | 2017-111750 | 2017/6/6 | 登録 | ガス放出システム | 川崎重工業（株） | なし |
| 5 | | 国内 | 2017-111751 | 2017/6/6 | 登録 | 液化ガス運搬船 | 川崎重工業（株） | なし |
| 6 | | 国内 | 2017-111752 | 2017/6/6 | 登録 | 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） | なし |
| 7 | | 国内 | 2018-037207 | 2018/3/2 | 登録 | 船舶 | 川崎重工業（株） | なし |
| 8 | | 国内 | 2018-037208 | 2018/3/2 | 登録 | 二重殻タンク及び液化ガス運搬船 | 川崎重工業（株） | なし |
| 9 | | 国内 | 2018-039576 | 2018/3/6 | 登録 | 液化水素運搬船及び船体保護方法 | 川崎重工業（株） | なし |
| 10 | | PCT | PCT/JP2018/037525 | 2018/10/9 | 登録 | 二重殻タンクおよび船舶 | 川崎重工業（株） | なし |
| 11 | | 国内 | 2018-247352 | 2018/12/28 | 登録 | 船舶 | 川崎重工業（株） | なし |
| 12 | | 国内 | 2020-065714 | 2020/4/1 | 公開 | 船舶 | 川崎重工業（株） | なし |
| 13 | | 国内 | 2020-090259 | 2020/5/25 | 公開 | ベントマスト | 川崎重工業（株） | なし |
| 14 | | 国内 | 2020-218651 | 2020/12/28 | 公開 | 極低温液体用配管構造及びそれを備えた船舶 | 川崎重工業（株） | なし |
| 15 | | 国内 | 2020-218810 | 2020/12/28 | 公開 | 極低温液体用配管構造及びそれを備えた船舶 | 川崎重工業（株） | なし |
| 16 | | 国内 | 2020-218811 | 2020/12/28 | 公開 | 極低温液体用配管構造及びそれを備えた船舶 | 川崎重工業（株） | なし |
| 17 | | 国内 | 2020-219014 | 2020/12/28 | 公開 | 船用液化ガスタンクの状態推定システムおよび状態推定方法 | 川崎重工業（株） | なし |
| 18 | | 国内 | 2021-097543 | 2021/6/10 | 公開 | 真空排気装置 | 川崎重工業（株） | なし |
| 19 | | 国内 | 2021-199956 | 2021/12/9 | 公開 | 貯蔵タンク | 川崎重工業（株） | なし |
| 20 | | 国内 | 2021-204431 | 2021/12/16 | 公開 | 配管システム | 川崎重工業（株） | なし |
| 21 | | 国内 | 2021-200721 | 2021/12/10 | 公開 | 液化ガスの荷役方法および液化ガスの荷役システム | 川崎重工業（株） | なし |
| 22 | | PCT | PCT/JP2022/006775 | 2022/2/18 | 公開 | 浮体構造物、変位量取得方法、および支持状態判定方法 | 川崎重工業（株） | なし |

(イ) - (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

| 番号 | 枝番 | 国・地域コード | 出願番号 | 出願日 | 状態 | 発明の名称 | 発明者 | 共同出願人 |
|----|-------|-------------------|-------------|-----------|---------------------|---|--|-------|
| 1 | | その他 | 1.1E+08 | 2022/3/7 | 登録 | 三重殻タンク | 江上武史、林尚一郎、山口貴裕、菊川隼輔 | |
| | 2 | 国内 | 2022-532229 | 2020/6/26 | 登録 | 二重殻タンク及び船舶 | 下田太一郎、富永晴彦、持田邦彦、高橋常夫、今井達也、高田広崇、中土洋輝、高梨直人 | |
| 3 | 1 国内 | 特願 2021-107608 | 2021/6/29 | 公開 | 液体荷役装置の緊急離脱機構 | 高瀬智教、猪股昭彦、河合務、吉原由真 | TBグローバルテクノロジーズ | |
| | 2 PCT | PCT/JP2022/004855 | 2022/2/8 | 公開 | 液体荷役装置の緊急離脱機構 | 高瀬智教、猪股昭彦、河合務、吉原由真 | TBグローバルテクノロジーズ | |
| 4 | 1 国内 | 特願 2021-062167 | 2021/3/31 | 公開 | 多重殻タンク、船舶およびガス圧調整方法 | 下田太一郎、富永晴彦、三橋麻子、黒田和宏、高田広崇、岩崎英和、中土洋輝 | | |
| | 2 PCT | PCT/JP2022/016849 | 2022/3/31 | 公開 | 多重殻タンク、船舶およびガス圧調整方法 | 下田太一郎、富永晴彦、三橋麻子、黒田和宏、高田広崇、岩崎英和、中土洋輝 | | |
| 5 | 1 国内 | 特願 2021-062168 | 2021/3/31 | 公開 | ガス処理システムおよび船舶 | 下田太一郎、富永晴彦、松尾真志、樋渡翔、高田広崇、中土洋輝 | | |
| | 2 PCT | PCT/JP2022/016850 | 2022/3/31 | 公開 | ガス処理システムおよび船舶 | 下田太一郎、富永晴彦、松尾真志、樋渡翔、高田広崇、中土洋輝 | | |
| 6 | 1 国内 | 特願 2021-062169 | 2021/3/31 | 公開 | 多重殻タンク、船舶およびガス圧調整方法 | 下田太一郎、富永晴彦、黒田和宏、松尾真志、高田広崇、中土洋輝 | | |
| | 2 PCT | PCT/JP2022/016851 | 2022/3/31 | 公開 | 多重殻タンク、船舶およびガス圧調整方法 | 下田太一郎、富永晴彦、黒田和宏、松尾真志、高田広崇、中土洋輝 | | |
| 7 | 1 国内 | 特願 2021-061365 | 2021/3/31 | 公開 | 多重殻タンク及び船舶 | 下田太一郎、富永晴彦、持田邦彦、田中森、細野隆道、猪原正義 | | |
| 8 | 1 国内 | 特願 2021-061366 | 2021/3/31 | 公開 | 二重殻タンク及び船舶 | 下田太一郎、富永晴彦、持田邦彦、田中森、今井達也、猪原正義 | | |
| | 2 PCT | PCT/JP2022/015826 | 2022/3/30 | 公開 | 二重殻タンク及び船舶 | 下田太一郎、富永晴彦、持田邦彦、田中森、今井達也、猪原正義 | | |
| 9 | 1 国内 | 特願 2021-111724 | 2021/7/5 | 公開 | 船舶及び液化水素タンク | 下田太一郎、富永晴彦、高橋常夫、横山元気、田中森、神崎大輔、加野大地、細野隆道 | | |
| | 2 PCT | PCT/JP2022/025642 | 2022/6/28 | 公開 | 船舶及び液化水素タンク | 下田太一郎、富永晴彦、高橋常夫、横山元気、田中森、神崎大輔、加野大地、細野隆道 | | |
| 10 | 1 国内 | 特願 2021-144154 | 2021/9/3 | 公開 | 液化水素タンク及びその設計方法 | 下田太一郎、富永晴彦、持田邦彦、加野大地、猪原正義 | | |
| | 2 PCT | PCT/JP2022/030428 | 2022/8/9 | 公開 | 液化水素タンク及びその設計方法 | 下田太一郎、富永晴彦、持田邦彦、加野大地、猪原正義 | | |

| 番号 | 枝番 | 国・地域コード | 出願番号 | 出願日 | 状態 | 発明の名称 | 発明者 | 共同出願人 |
|----|----|---------|---------------------------|-----------|----|-------------|--|-------|
| 11 | 1 | 国内 | 特願 2021- 180940 | 2021/11/5 | 公開 | 船舶用液化水素貯留方法 | 濱野哲也、武田宏之、下田太一郎、富永晴彦、細野隆道、三橋麻子、池島章司、持田邦彦、樋渡翔 | |
| | 2 | PCT | PCT/JP20 22/04130 7 | 2022/11/7 | 公開 | 船舶用液化水素貯留方法 | 濱野哲也、武田宏之、下田太一郎、富永晴彦、細野隆道、三橋麻子、池島章司、持田邦彦、樋渡翔 | |

(イ) - (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

②商用ローディングアームの開発

| 番号 | 枝番 | 国・地域コード | 出願番号 | 出願日 | 状態 | 発明の名称 | 発明者 | 共同出願人 |
|----|----|---------|-------------------|-----------|----|---------------|----------|----------|
| 1 | | 国内 | 特願2021- 107608 | 2021/6/29 | 公開 | 流体荷役装置の緊急離脱機構 | 河合務、吉原由真 | 川崎重工業（株） |

(イ) - (6) 液化水素用バタフライバルブの開発

| 番号 | 枝番 | 国・地域コード | 出願番号 | 出願日 | 状態 | 発明の名称 | 発明者 | 共同出願人 |
|----|----|---------|-------------------|----------|----|-------------------|------|-------|
| 1 | | 国内 | 特願2021- 80164 | R3年5月11日 | 登録 | 真空二重配管と流体機器との接続構造 | 山田裕介 | - |
| 2 | | 国内 | 特願2021- 102914 | R3年6月22日 | 登録 | バルブの漏洩検知装置および方法 | 山田裕介 | - |

(イ) - (7) 液化水素用大型バルブの技術開発

| 番号 | 枝番 | 国・地域 コード | 出願番号 | 出願日 | 状態 | 発明の名称 | 発明者 | 共同 出願人 |
|----|----|-------------|----------------|------------|----|--|--------------------|-----------|
| 1 | | 国内 | 2022-503711 | 2021/2/25 | 登録 | バルブ | 船渡正澄 | |
| 1 | 1 | EP | 21760986.6 | 2021/2/25 | 公開 | Valve | Masazumi Funato | |
| 1 | 2 | US | 17/801748 | 2022/8/23 | 公開 | Valve | Masazumi Funato | |
| 1 | 3 | CN | 202180016516 | 2021/2/25 | 公開 | バルブ | 船渡正澄 | |
| 1 | 4 | その他 | 2021228453 | 2021/2/25 | 公開 | Valve | Masazumi Funato | |
| 2 | | 国内 | 2020-219484 | 2020/12/28 | 公開 | バルブ | 船渡正澄 | |
| 2 | 1 | US | 18/269845 | 2023/6/27 | 公開 | Valve | Masazumi Funato | |
| 2 | 2 | EP | 21915321 | 2020/12/28 | 公開 | Valve | Masazumi Funato | |
| 2 | 3 | CN | 20218087309 | 2020/12/28 | 公開 | バルブ | 船渡正澄 | |
| 2 | 4 | その他 | 2021411869 | 2020/12/28 | 公開 | Valve | Masazumi Funato | |
| 3 | | 国内 | 2020-219489 | 2020/12/28 | 公開 | シール部材、シール機構、バルブ 及びシール方法 | 船渡正澄 | |
| 3 | 1 | US | 18/269,843 | 2023/6/27 | 公開 | Sealing Member, Sealing Mechanism, Valve, and Sealing Method | Masazumi Funato | |
| 3 | 2 | EP | 21915325.1 | 2020/12/28 | 公開 | Sealing Member, Sealing Mechanism, Valve, and Sealing Method | Masazumi Funato | |
| 3 | 3 | CN | 202180087313.3 | 2020/12/28 | 公開 | シール部材、シール機構、バルブ 及びシール方法 | 船渡正澄 | |
| 3 | 4 | その他 | 2021411870 | 2020/12/28 | 公開 | Sealing Member, Sealing Mechanism, Valve, and Sealing Method | Masazumi Funato | |

【論文リスト】

(イ) - (2) 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

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 発表雑誌名 | 査読の有無 |
|----|-------------------------------|-----------------------------|--|--|-------|
| 1 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 国際液化水素サプライチェーンの技術構築の現状 | エネルギー・資源学会誌 (39巻3号) (2018年5月) | 無 |
| 2 | 孝岡 祐吉 | 川崎重工業(株) | Clarification of Hazardous Areas Applied to Newly Developed Liquefied Hydrogen Carrier | The International Society of Offshore and Polar Engineers2018 (ISOPE) (2018年6月10日～15日) | 有 |
| 3 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 日豪水素サプライチェーン構築への取り | 溶接学会誌 (2019年1月号) | 無 |
| 4 | 孝岡 祐吉、Ahmer Saeed、西藤 浩一、神戸 勝啓 | HySTRA、シエル、ClassNK、川崎重工業(株) | Design and Operation of the First LH2 Carrier | Gastech2019 (2019年9月17～19日) | 有 |
| 5 | 東 達弘、黒木 貴士、橋本 成樹 | HySTRA、電源開発(株)、川崎重工業(株) | 未利用褐炭由来液化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 | 日本動力協会「エネルギーと動力(2020年春号)」 | 無 |
| 6 | 西村 元彦 | HySTRA | 日豪水素サプライチェーンの構築 | 電気学会誌 (2020年8月号) | 無 |
| 7 | 足利 貢 | 川崎重工業(株) | 国際水素サプライチェーンの構築とガスタービン発電での水素利活用 | 日本ガスタービン学会誌第 49巻 2号 (2021年3月号) | 無 |
| 8 | 稲津 晶平 | 川崎重工業(株) | 液化水素運搬船の開発と実用化に向けて | 精密工学会誌 87巻 06号(2021年06月05日発行) | 無 |
| 9 | 東 達弘 | HySTRA | 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 | 石油技術協会誌 2022年87巻1号 P79-85 | 有 |

(イ) - (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

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 発表雑誌名 | 巻、号、ページ、年 | 査読の有無 |
|----|-------|-------|--------------------|--------|-----------------------|-------|
| 1 | 稲津 晶平 | 川崎重工業 | 液化水素運搬船の開発と実用化に向けて | 精密工学会誌 | 87巻,06号,509～512,2021年 | 無 |

(イ) - (4) 液化水素貯槽の大型化に関する研究開発

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 発表雑誌名 | 巻、号、ページ、年 | 査読の有無 |
|----|-------|-------------|------------------------|----------|------------------------------|-------|
| 1 | 大江 知也 | トーヨーカネツ株式会社 | 大型液化水素タンクにおけるFRP構造開発事例 | 強化プラスチック | Vol.68,NO.6,pp 196-201,2022年 | 有 |

(ロ) - (1) ドライ低NOx 水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 発表雑誌名 | 査読の有無 |
|----|-------|-----------------------|--|--|-------|
| 1 | 堀川 敦史 | 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部 | 技術論文 2MW級ガスタービン用水素専焼ドライ低NOx燃焼器の開発とエンジン実証試験 | 日本ガスタービン学会誌 Vol. 49 No. 4 (2021), pp. 70-79. | 有 |

(ロ) - (2) CO2フリーアンモニア利用GTCCシステムの技術開発

| 発表者 | 所属 | タイトル | 発表雑誌名 | 巻、号、ページ、年 | 査読の有無 |
|-------|-------|--|----------------|---------------------|-------|
| 石井 弘実 | 三菱パワー | アンモニア分解利用GTCCシステムと実圧燃焼試験 | 日本ガスタービン学会誌 | 49巻、3号、172ページ、2021年 | 有 |
| 野勢 正和 | 三菱パワー | 脱炭素社会に向けた水素・アンモニア焼きガスタービンの開発 | 三菱重工技報 | 58巻、3号、2021年 | 有 |
| 林 明典 | 三菱パワー | アンモニア利用ガスタービン発電システム | 溶接学会誌 | 91巻、1号、58ページ、2022年 | 無 |
| 野勢 正和 | 三菱重工業 | アンモニア利用ガスタービン発電システム | 配管技術2022年3月号 | 3月号、2022年 | 無 |
| 野勢 正和 | 三菱重工業 | 脱炭素社会に向けたアンモニア利用ガスタービン発電システム | 日本石油学会誌 ペトロテック | 45巻、8号、489ページ、2022年 | 無 |
| 松本 照弘 | 三菱重工業 | カーボンニュートラルに貢献する水素・アンモニア焼きガスタービンの開発状況 | 三菱重工技報 | 59巻、4号、2022年 | 有 |
| 野勢 正和 | 三菱重工業 | 脱炭素社会を目指した水素・アンモニアガスタービンの開発について | 日本ガスタービン学会誌 | 50巻、6号、414ページ、2022年 | 有 |
| 藤原 直人 | 三菱重工業 | カーボンニュートラル達成に向けた水素・アンモニア焼きガスタービンの取り組み | 会誌「エネルギー・資源」 | 44巻、4号、26ページ、2023年 | |
| 江川 拓 | 三菱重工業 | カーボンニュートラルの達成に向けた水素・アンモニア焼きガスタービンの取り組み | 三菱重工技報 | 60巻、3号、2023年 | 有 |
| 野勢 正和 | 三菱重工業 | 脱炭素社会に向けたアンモニア利用ガスタービン発電システム | 日本石油学会誌 ペトロテック | 46巻、10号、643ページ、 | 無 |

(ロ) - (4) 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

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 発表雑誌名 | 巻、号、ページ、年 | 査読の有無 |
|----|------|-------------------|---|---------|---------------------------------|-------|
| 1 | 津村俊一 | 三菱重工パワーインダストリー(株) | 多孔燃料ノズルを用いた産業用ボイラにおける燃焼振動抑制方法に関する研究 | 日本機械学会誌 | Vol.85, No.871:1-14 (2019) | 有 |
| 2 | 津村俊一 | 三菱重工パワーインダストリー(株) | 低振動センターファイアリング型ガスバーナの安燃焼に与える噴射圧力の影響 | 日本燃焼学会誌 | Vol.62, No.200 : 161-168 (2020) | 有 |
| 3 | 高嶋洋平 | 三菱重工パワーインダストリー(株) | Development of a low-NOx hydrogen burner using high pressure injection nozzles. | 日本機械学会誌 | Vol.9, No.4:1-14 : 1-11 (2022) | 有 |
| 4 | 高嶋洋平 | 三菱重工パワーインダストリー(株) | 水素の超低NOx拡散燃焼技術の開発 | 日本燃焼学会誌 | Vol.65, No.213 : 170-177 (2023) | 有 |

【外部発表】(A)学会発表・講演

(イ) - (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

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 学会 | 査読の有無 | 開催地 | 発表日 |
|----|-------|-------|----------------------------------|--------------------------|-------|-----|----------|
| 1 | 森本 勝哉 | 川崎重工業 | 国際サプライチェーン構築へ向けた液化水素輸送・貯蔵技術の開発動向 | 第18回 FC-EXPO | 無 | 東京 | 2022年3月 |
| 2 | 稲津 晶平 | 川崎重工業 | 液化水素運搬船の実用化への取り組み | 日本船舶海洋工学会 東部支部ワークショップ | 無 | Web | 2022年3月 |
| 3 | 稲津 晶平 | 川崎重工業 | 液化水素運搬船の実用化への取り組み | 溶接学会 春季全国大会 フォーラム | 無 | Web | 2022年4月 |
| 4 | 村岸 治 | 川崎重工業 | 国際水素サプライチェーン構築に向けた取り組み | 日本船舶海洋工学会 秋季講演会 | 無 | 神戸 | 2022年11月 |

(ロ) - (1) ドライ低NOx 水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 学会 | 査読の有無 | 開催地 | 発表日 |
|----|-----------------|-----------------------|---|---------------------------------|-------|--------|---------------------------|
| 1 | 堀川 敦史 | 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部 | Application of Low NOx Micro-Mix Hydrogen Combustion to 2MW Class Industrial Gas Turbine | 国際ガスタービン会議 IGTC2019 東京 | 有 | 東京 | 2019年11月20日 |
| 2 | 堀川 敦史 | 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部 | 2MW級ガスタービン用水素専焼ドライ低NOx燃焼器の開発とエンジン試験の速報 | 第48回日本ガスタービン学会 定期講演会 (オンライン) | 無 | オンライン | 2020年10月14日 |
| 3 | 堀川 敦史 | 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部 | COMBUSTOR DEVELOPMENT AND ENGINE DEMONSTRATION OF MICRO-MIX HYDROGEN COMBUSTION APPLIED TO M1A-17 GAS TURBINE | ASME Turbo Expo2021(オンライン方式) | 有 | オンライン | 2021年6月7日～ 2021年6月11日 |
| 4 | 堀川 敦史 | 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部 | 水素専焼ドライ低NOx燃焼技術を用いた熱電供給実証 | 第49回日本ガスタービン学会 定期講演会 (オンライン) | 無 | オンライン | 2021年10月13日 |
| 5 | Daniel Kroniger | 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部 | Experimental validation of a numerical model for atmospheric H ₂ /CH ₄ fueled micromix flames | 第49回日本ガスタービン学会 定期講演会 (オンライン) | 無 | オンライン | 2021年10月13日 |
| 6 | 神谷 浩武 | 技術開発本部 技術研究所 強度研究部 | 水素・天然ガス混焼時のMicro-mix燃焼器の燃焼振動について | 第49回日本ガスタービン学会 定期講演会 (オンライン) | 無 | オンライン | 2021年10月13日 |
| 7 | 堀川 敦史 | 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部 | 100% hydrogen dry low NOx combustor developments for 2MW class gas turbine | ICOPE-2021(オンライン方式) | 無 | オンライン | 2021年10月18日 |
| 8 | 堀川 敦史 | 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部 | COMBINED HEAT AND POWER SUPPLY DEMONSTRATION OF MICRO-MIX HYDROGEN COMBUSTION APPLIED TO M1A-17 GAS TURBINE | ASME Turbo Expo2022 ロッテルダム | 有 | ロッテルダム | 2022年6月13日 ～2021年6月17日 |
| 9 | Daniel Kroniger | 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部 | Novel Fuel Injector Geometry for Enhancing the Fuel Flexibility of a Dry Low NOx MicroMix Flame | ASME Turbo Expo2022 ロッテルダム | 有 | ロッテルダム | 2022年6月13日 ～2021年6月17日 |
| 10 | Daniel Kroniger | 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部 | Combustion Instability Analysis for Dry Low NOx Micromix Hydrogen Flames | 第50回日本ガスタービン学会 定期講演会 福岡 | 無 | 福岡 | 2022年10月12日 |
| 11 | 堀川 敦史 | 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部 | COMBINED HEAT AND POWER SUPPLY DEMONSTRATION OF MICRO-MIX HYDROGEN COMBUSTION APPLIED TO M1A-17 GAS TURBINE | ICOPE-2023 京都 | 無 | 京都 | 2023年5月23日 |
| 12 | Daniel Kroniger | 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部 | Unsteady CFD analysis of the flame dynamic of hydrogen micromix combustion | ICOPE-2023 京都 | 無 | 京都 | 2023年5月24日 |
| 13 | Daniel Kroniger | 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部 | Effect of fuel injection and composition on thermoacoustic instability of a micromix flame | 第51回日本ガスタービン学会 定期講演会 福井 | 無 | 福井 | 2023年10月4日 |
| 14 | 岡田邦夫 | 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部 | ドライ水素燃焼器のNOx排出量低減と混焼範囲拡大 | 第51回日本ガスタービン学会 定期講演会 福岡 | 無 | 福井 | 2023年10月4日 |

(ロ) - (2) CO2フリーアンモニア利用GTCCシステムの技術開発

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 学会 | 査読の有無 | 開催地 | 発表日 |
|----|------------------|-------|--|--|-------|-------|--------|
| 1 | 谷村 聡 | MHPS | 水素ガスタービンの開発について | 第20回 機械学会関西支部秋季技術フォーラム | | 大阪 | Oct-19 |
| 2 | 谷村 聡 | MHPS | H2 Gas Turbine for Low Carbon Society | International Gas Turbine Congress 2019(IGTC2019) 講演 | 有 | 東京 | Nov-19 |
| 3 | 岸田 宏明 | MHPS | 発電用ガスタービンにおける水素利用 | 第48回ガスタービンセミナー | 有 | 東京 | Jan-20 |
| 4 | Haavard Oevernes | MHPS | MHPS H2 Gas Turbine for Low Carbon Society | Japan-Norway Hydrogen Seminar 2020 | | 東京 | Feb-20 |
| 5 | 宮本 健司 | MHPS | 発電用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 東北支部令和元年度技術講演会 | | 仙台 | Feb-20 |
| 6 | 石井 弘実 | 三菱パワー | セッション③技術開発 | 第2回GAC国際シンポジウム パネルディスカッション | | | Oct-20 |
| 7 | 高田 和正 | 三菱パワー | CO2排出ゼロに向けての三菱パワーの取り組み | 日本伝熱学会関西支部 第28期第1回講演討論会 | | オンライン | Apr-21 |
| 8 | 谷村 聡 | 三菱重工業 | 水素・アンモニアガスタービンの開発 | 日本ガスタービン学会 第49回定期講演会先端技術フォーラム | 有 | オンライン | Oct-21 |
| 9 | 野勢 正和 | 三菱重工業 | 脱炭素社会に向けたアンモニア利用大型ガスタービン複合発電システムの開発 | 日本石油学会 第65回年会(第71回研究発表会) | | 東京 | May-23 |

(ロ) - (3) 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

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 学会 | 査読の有無 | 開催地 | 発表日 |
|----|------|-------|---|--|-------|-------------|-------------|
| 1 | 福場信一 | 三菱重工業 | DEVELOPMENT OF HYDROGEN-FIRED GAS TURBINE COMBUSTOR | Gas turbines in a carbon-neutral society 10th International Gas Turbine Conference | 無 | ベルギー、ブリュッセル | 2021年10月11日 |

(ロ) - (4) 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

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 学会 | 査読の有無 | 開催地 | 発表日 |
|----|------|-------------------|---|------------------------------|-------|-----|------------|
| 1 | 津村俊一 | 三菱重工パワーインダストリー(株) | 実機ボイラにおける燃焼振動抑制法に関する研究 | 日本燃焼学会(第56回燃焼シンポジウム) | 有 | 大阪 | 2018.11.14 |
| 2 | 高嶋洋平 | 三菱重工パワーインダストリー(株) | Development of burner for hydrogen firing boiler | 日本燃焼学会(ICOPE2021) | 有 | 横浜 | 2021.10.18 |
| 3 | 高嶋洋平 | 三菱重工パワーインダストリー(株) | 高圧型水素燃焼バーナの実機ボイラへの適用性向上 | 日本燃焼学会(第26回動力・エネルギー技術シンポジウム) | 有 | 佐賀 | 2022.7.14 |
| 4 | 高嶋洋平 | 三菱重工パワーインダストリー(株) | 水素バーナの低NOx技術開発 | 日本燃焼学会(第60回燃焼シンポジウム) | 有 | 東京 | 2022.11.24 |
| 5 | 上妻富明 | 三菱重工パワーインダストリー(株) | Development of Low NOx Combustion Technology for Hydrogen | 日本燃焼学会(ICOPE2023) | 有 | 京都 | 2023.5.23 |
| 6 | 上妻富明 | 三菱重工パワーインダストリー(株) | 高温・低酸素濃度雰囲気における水素の拡散燃焼技術開発と追い焚きダクトバーナによる実証 | 日本燃焼学会(第61回燃焼シンポジウム) | 有 | 秋田 | 2023.11.15 |

【外部発表】(B)学会ポスター発表

(口) - (2) CO₂フリーアンモニア利用GTCCシステムの技術開発

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 学会名称 | 査読の有無 | 開催地 | 発表日 |
|----|------|------|----------------------|--|-------|-----|--------|
| 1 | 谷村 聡 | MHPS | Hydrogen Gas Turbine | International Gas Turbine Congress 2019 (IGTC2019) パネル展示 | 無 | 東京 | Nov-19 |

【外部発表】(C)講演等

(イ) - (1) 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

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|----|------------|----------------|---|---|-----|------------|
| 1 | 高野 宗一郎 | | Hydrogen Storage and Transportation using SPERA Hydrogen Process for realizing Low-Carbon Society | The 7th World Hydrogen Technologies Convention | | 2017/7/12 |
| 2 | 遠藤英樹GM | 千代田化工建設 | 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 | JPI カンファレンス | | 2017/9/26 |
| 3 | 黒崎大輔GL | 千代田化工建設 | 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 | 川崎市水素ネットワーク協議会 | | 2017/10/13 |
| 4 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | 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 | INCHEM TOKYO | | 2017/11/20 |
| 5 | 三菱商事 | 三菱商事 | Establishing a Hydrogen Supply Chain to Japan | APEC Energy Working Group 54 EV and Hydrogen Technology Policy Workshop | | 2017/11/21 |
| 6 | AHEAD | AHEAD | 水素事業全般 | 在ブルネイ日本大使館レセプション | | 2017/11/28 |
| 7 | 三菱商事 | 三菱商事 | 水素エネルギー事業構築に向けた取り組み | 敦賀商工会議所向け講演 | | 2018/2/7 |
| 8 | 三菱商事 | 三菱商事 | 水素エネルギー事業構築に向けた取り組み | 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 | | 2018/3/15 |
| 9 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | SPERA水素 千代田の水素供給事業 | 川崎国際環境技術展 | | 2018/2/1 |
| 10 | AHEAD 成毛理事 | 千代田化工建設 /AHEAD | SPERA水素 千代田の水素供給事業 (プレゼンおよび映像) | 東京都水素エネルギー推進セミナー | | 2018/2/1 |
| 11 | 岡田技師長 | 千代田化工建設 | 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 | ハグミュージアム | | 2018/2/20 |
| 12 | 川崎市 | 川崎市 | 水素サプライチェーン構築モデル | FC Expo | | 2018/2/28 |
| 13 | 三菱商事 | 三菱商事 | ブルネイに於ける三菱商事の取り組み | 駐日ブルネイ大使館 | | 2018/2/26 |
| 14 | 成毛理事 | AHEAD | 有機ハイドライド法および水素サプライチェーン実証 | Palace Hotel | | 2018/3/1 |
| 15 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | Chiyoda in PNG | Kumul Petroleum (パプア国営石油会社) 主催 Energy Summit | | 2018/3/19 |
| 16 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | Large-scale hydrogen storage and transportation technology | HANNOVER MESSE/第12回日独経済フォーラム | | 2018/4/25 |
| 17 | 岡田技師長 | 千代田化工建設 | 『創る・運ぶ』水素製造・運搬・利用技術 | 日本溶接学会シンポジウム | | 2018/4/24 |
| 18 | 三菱商事 | 三菱商事 | 水素エネルギー事業について | 第31回日智経済委員会 | | 2018/5/23 |
| 19 | 岡田技師長 | 千代田化工建設 | SPERA水素システムの開発状況と展望 | 第3回 水素再エネ社会の新事業創出フォーラム | | 2018/5/30 |
| 20 | 河合 | 千代田化工建設 | 有機ハイドライド法を用いた水素の大量貯蔵輸送技術 | (一社)日本高圧力技術協会 技術セミナー | | 2018/6/28 |
| 21 | 岡田技師長 | 千代田化工建設 | Large-Scale Hydrogen Storage and Transportation System -"SPERA Hydrogen TM" System- | World Hydrogen Energy Conference 2018 | | 2018/6/19 |
| 22 | 福田市長 | 川崎市 | 川崎市リーディングプロジェクト一覧 | 日経社会イノベーションフォーラム | | 2018/7/24 |
| 23 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | 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 | 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 | | 2018/7/12 |
| 24 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | SPERA水素 千代田の水素供給事業 | smart engineering tokyo2018 | | 2018/7/18 |
| 25 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | 国際間水素サプライチェーン実証紹介 | ブルネイ大学 | | 2018/9/4 |
| 26 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | Large-Scale Hydrogen Storage and Transportation System | Green Hydrogen for the Chilean Energy Transition | | 2018/9/4 |
| 27 | AHEAD | AHEAD | Introduction of Liquid Organic Hydrogen Carrier and the Global Hydrogen Supply Chain Project | International Hydrogen Infrastructure Workshop | | 2018/9/12 |
| 28 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | 有機ハイドライド法を用いた水素の大量貯蔵輸送技術 | 化学工学会 第50回秋季大会 | | 2018/9/20 |
| 29 | AHEAD | AHEAD | The world's first SPERA hydrogen supply chain starts in 2020 | ブルネイ 天皇誕生日祝賀会 | | 2018/12/3 |
| 30 | 清水専務 | 千代田化工建設 | SPERA Hydrogen Hydrogen Supply Chain by LOHC System | 水素閣僚会議 | | 2018/10/23 |
| 31 | 山東社長 | 千代田化工建設 | 水素社会実現に向けた 千代田化工建設の取り組み | 第12回日中省エネルギー・環境総合フォーラム | | 2018/11/25 |

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|----|-------------------------|---------|---|--|-----|------------|
| 32 | 岡田技師長 | 千代田化工建設 | Development of SPERA Hydrogen system and its prospects | The 4th Korea-Japan Joint Symposium on Hydrogen in Materials | | 2018/11/16 |
| 33 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | 水素社会に向けた水素の大規模貯蔵輸送技術による取り組み | 第11回『よこはま水素エネルギー協議会』セミナー | | 2018/12/7 |
| 34 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | 2018 California Hydrogen and Fuel Cell Summit | California Hydrogen Business Council | | 2018/12/10 |
| 35 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | 「SPERA Hydrogen The global hydrogen supply chain demo project」「Introduction of Hydrogen Supply Chain」 | WFES 2019 - World Future Energy Summit | | 2019/1/14 |
| 36 | 東亜石油 | 東亜石油 | 水素サプライチェーン実証事業への協力 | エコビジネスフォーラム | | 2019/2/7 |
| 37 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | SPERA水素 千代田の水素供給事業 | 第11回 川崎国際環境技術展 | | 2019/2/7 |
| 38 | 河合 | 千代田化工建設 | 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) | 日本計装工業会 講演会 | | 2019/2/22 |
| 39 | 長井部長 | 千代田化工建設 | SPERA水素 国際間水素サプライチェーン実証プロジェクト | FC-EXPO 第15回水素・燃料電池展 | | 2019/2/27 |
| 40 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | Chiyoda Hydrogen Supply Chain Vision | 第5回集光型太陽熱技術研究会 | | 2019/3/1 |
| 41 | 岡田技師長 | 千代田化工建設 | 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 | 第84回 化学工学会年会 | | 2019/3/14 |
| 42 | 岡田技師長 | 千代田化工建設 | Liquid Organic Hydrogen Carrier Technology for Hydrogen Storage and Transportation in Large-Scale | Stanford 大学 Htdrogen Workshop | | 2019/3/25 |
| 43 | 東亜石油 | 東亜石油 | 脱水素プラント建設工事起工式等 | 株主通信およびCSRレポート | | 2019/3/27 |
| 44 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | Hydrogen Supply Chain | Chiyoda in Brief (会社紹介定型プレゼン資料) | | 2019/6/1 |
| 45 | 岡田技師長 | 千代田化工建設 | Development of SPERA Hydrogen™ System using LOHC | World Hydrogen Technology Convention 2019 | | 2019/6/3 |
| 46 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | Overview of the Hydrogen Market Energy of the Future? | Credit Suisse Hydrogen Seminar | | 2019/6/19 |
| 47 | 長井部長 | 千代田化工建設 | 水素大量導入時代に向け | 日刊工業新聞、エネ総工研web「エネルギーの新潮流」2019/7/1・2019/8/1 | | 2019/7/1 |
| 48 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | 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 | G20大阪サミット、国際メディアセンター内での展示 | | 2019/6/27 |
| 49 | 岡田技師長 | 千代田化工建設 | 大規模水素貯蔵輸送技術によるPower to Gas実現への展望 | 技術情報センター Power to Gasセミナー | | 2019/6/28 |
| 50 | Chiyoda Oceania Pty Ltd | 千代田化工建設 | Overview of the Hydrogen Market Energy of the Future? | Credit Suisse Hydrogen Seminar | | 2019/6/19 |
| 51 | 長井部長 | 千代田化工建設 | 再生可能エネルギー由来の水素供給事業 - 有機ケミカルハイドライド法 - | 第14回再生可能エネルギー世界展示会&フォーラム | | 2019/7/10 |
| 52 | 福田市長 | 川崎市 | 水素エネルギー社会の実装とグローバル連携 | 日経イノベーションフォーラム | | 2019/7/24 |
| 53 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | 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 | 第49回 石油・石油化学討論会 | | 2019/10/31 |
| 54 | 岡田技師長 | 千代田化工建設 | 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 - | JPIセミナー | | 2019/9/18 |
| 55 | 三菱商事 | 三菱商事 | Demonstration Project "AHEAD" | Hydrogen Energy Ministerial Meeting 2019 | | 2019/9/25 |
| 56 | 岡田技師長 | 千代田化工建設 | SPERA Hydrogen System - H2 Storage and Transportation in Large-scale - | RD20(Research and Development 20 for clean energy technologies) | | 2019/10/11 |
| 57 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | 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) | Japan-Myanmar Resource, Trade & Investment EXPO 2019 映像放映 | | 2019/10/19 |
| 58 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | 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) | TOKYO MOTOR SHOW 2019 × COUNTDOWN SHOWCASE FUTURE EXPO | | 2019/10/23 |
| 59 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | Advances in Chemical Carriers for Hydrogen | 2019 Fuel Cell Seminar & Energy Exposition, Long Beach, California | | 2019/11/5 |
| 60 | 三菱商事 | 三菱商事 | 蓄電池や水素を活用した脱炭素化への取組みについて | 東工大AESセンターシンポジウム | | 2019/11/7 |

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|----|---------|---------|--|---|-----|------------|
| 61 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | Advances in chemical Carriers for hydrogen | Department of Energy Hydrogen Carrier Workshop | | 2019/11/13 |
| 62 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | 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) | 第12回川崎国際環境技術展 | | 2019/11/13 |
| 63 | AHEAD | AHEAD | 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) | ブルネイオープニングセレモニー 展示 | | 2019/11/27 |
| 64 | 岡田技師長 | 千代田化工建設 | Development of SPERA Hydrogen TM System using LOHC | Kuwait Symposium on Blue Hydrogen(JCCP/Kuwait Foundation共催) | | 2019/12/12 |
| 65 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | The World's First Global Hydrogen Supply Chain Demonstration Project Update | ERIA Annex Office, Jakarta, Indonesia | | 2019/12/16 |
| 66 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | 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) | 水素エネルギーイベント@MEGAWEB 映像放映・パンフ配布 | | 2019/12/21 |
| 67 | 岡田技師長 | 千代田化工建設 | 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- | 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 | | 2020/1/30 |
| 68 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | MCH_LOHC_System | Stanford University Explore Course ERE205 Hydrogen Economy | | 2020/2/12 |
| 69 | AHEAD | AHEAD | "The World's First Global Hydrogen Supply Chain starts in 2020 " by SPERA Hydrogen® between Brunei Darussalam and Kawasaki, Japan. | 天皇誕生日式典展示@ブルネイ | | 2020/2/18 |
| 70 | 長井部長 | 千代田化工建設 | 大規模水素供給チェーンに向けた歩みく SPERA水素> | 川崎水素戦略シンポジウム | | 2020/2/19 |
| 71 | Hysut | Hysut | 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) | FC-EXPO2020 映像放映 | | 2020/2/26 |
| 72 | 東亜石油 | 東亜石油 | 水素サプライチェーン事業 脱水素プラント完成 | 東亜石油殿株主向け資料(2回/年発行) | | 2020/3/1 |
| 73 | AHEAD | AHEAD | 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】 | 令和2年第1回 川崎臨海部水素ネットワーク協議会 | | 2020/7/31 |
| 74 | 岡田技師長 | 千代田化工建設 | 「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」 | 日本計画研究所(JPI)セミナー | | 2020/8/6 |
| 75 | 山東社長 | 千代田化工建設 | SPERA Hydrogen for the Future | 水素閣僚会議2020 | | 2020/10/14 |
| 76 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | Shipping of Hydrogen from Brunei to Japan – Building a Global Hydrogen Network through “SPERA Hydrogen ®”- | The 5th International Conference on Maritime Hydrogen and Marine Energy | | 2020/10/15 |
| 77 | 千代田化工建設 | 千代田化工建設 | 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～ | CSJ化学フェスタ | | 2020/10/20 |
| 78 | 長井部長 | 千代田化工建設 | SPERA水素ビジネス紹介 | 2020中国(太原)国際エネルギー産業博覧会 | | 2020/10/20 |

(イ) - (2) 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

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|----|--------|----------|---|---|-----|------------|
| 1 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | CO2フリー水素導入構想への取り組み | 環境委員会主催講演会 | | 2015/12/3 |
| 2 | 千代 亮 | 川崎重工業(株) | 水素社会の実現に向けた取り組み | 千葉市 地球環境保全セミナー | 千葉市 | 2015/12/17 |
| 3 | 原田 栄一 | 川崎重工業(株) | 水素エネルギーサプライチェーン実現への取り組み | 神戸市議会 | 神戸市 | 2015/12/17 |
| 4 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | CO2フリー水素導入構想と技術開発 | 国土交通省 海事局 環境政策課 | | 2016/1/8 |
| 5 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 水素チェーン構想と安全への取り組み | 近畿地区7高専連携シンポジウム | | 2016/1/17 |
| 6 | 洲河 誠一 | 川崎重工業(株) | CO2フリー水素導入構想と技術開発 | 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~ | | 2016/1/19 |
| 7 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 水素エネルギーサプライチェーン 実現への取り組み | 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 | 兵庫県 | 2016/1/26 |
| 8 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | Kawasaki Hydrogen Road | 水素先端世界フォーラム2016 | | 2016/2/3 |
| 9 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | IMPORT of LOW-CARBON HYDROGEN from OVERSEAS | I2CNER International Workshop | | 2016/2/6 |
| 10 | 山崎 徹 | 川崎重工業(株) | 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 | 第10回 イワタニ水素エネルギーフォーラム 大阪 | 大阪府 | 2016/2/9 |
| 11 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 川崎重工業の水素社会への取り組み | 第199回 F K T 会 | | 2016/2/10 |
| 12 | 洲河 誠一 | 川崎重工業(株) | Hydrogen Supply Chain with Long Distance Transport | 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 | | 2016/2/12 |
| 13 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 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 | 日本計画研究所 (J P I) エグゼクティブセミナー | | 2016/2/18 |
| 14 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 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 | 「次世代エネルギー社会の行方」 | | 2016/3/1 |
| 15 | 原田 栄一 | 川崎重工業(株) | 水素エネルギーサプライチェーン 実現への取り組み | FC EXPO 基調講演 | | 2016/3/2 |
| 16 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 「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~」 | 神戸商工会議所 ビジネスマッチングフェア 2016 | | 2016/3/9 |
| 17 | 洲河 誠一 | 川崎重工業(株) | How Japan is Building its Green (Hydrogen) Value Chain | Global Energy Village | | 2016/4/11 |
| 18 | 千代 亮 | 川崎重工業(株) | 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 | FEE活動説明会 | | 2016/4/21 |
| 19 | 洲河 誠一 | 川崎重工業(株) | 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 | かがわエネルギーフォーラム | | 2016/5/23 |
| 20 | 山本 滋 | 川崎重工業(株) | 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 | 東海圏開発プロジェクト分科会 | | 2016/5/23 |
| 21 | 千代 亮 | 川崎重工業(株) | Kawasaki Heavy Industries activity for realizing the hydrogen society | Tekna's Small Scale LNG conference, Norway | | 2016/5/31 |
| 22 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 「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~ | 神戸市・水素エネルギー講演会 | 神戸市 | 2016/6/3 |
| 23 | 吉村 健二 | 川崎重工業(株) | CO2フリー水素サプライチェーン実現に向けた取り組み | 中部地区ボイラー・タービン主任技術者会 | | 2016/6/3 |
| 24 | 洲河 誠一 | 川崎重工業(株) | 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 | 第8回 神戸ものづくり中小企業展示商談会 | 神戸市 | 2016/6/17 |
| 25 | 牧村 実 | NIRO | 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~ | 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 | 兵庫県 | 2016/6/29 |
| 26 | 原田 栄一 | 川崎重工業(株) | CO2フリー水素サプライチェーン構想実現への取り組み | 日経イノベーションフォーラム | | 2016/7/12 |
| 27 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | グ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 | 「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 | | 2016/7/19 |
| 28 | 洲河 誠一 | 川崎重工業(株) | 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 | CCTワークショップ2016 | | 2016/7/20 |
| 29 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 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！ - 2020年~パイロット実証開始 - | 第132回「全国経営者セミナー」 | | 2016/7/21 |
| 30 | 千代 亮 | 川崎重工業(株) | 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 | FCCJ : CO2フリー水素セミナー | | 2016/7/29 |
| 31 | 松本 俊一 | 川崎重工業(株) | 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 | 東京都次世代イノベーション2020 | 東京都 | 2016/8/3 |
| 32 | 洲河 誠一 | 川崎重工業(株) | Toward Realization of a Hydrogen Energy Supply Chain | 160804 マテリアルズ・テラリング研究会 | | 2016/8/4 |
| 33 | 松本 俊一 | 川崎重工業(株) | 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 | 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 | | 2016/8/25 |
| 34 | 加賀谷 博昭 | 川崎重工業(株) | Safety Measures in Design of Liquefied Hydrogen Carriers | IMO CCC3 Work Shop | | 2016/9/2 |
| 35 | 牧村 実 | NIRO | 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 | 兵庫県次世代産業雇用創造プロジェクト | 兵庫県 | 2016/9/14 |
| 36 | 孝岡 祐吉 | 川崎重工業(株) | 液化水素運搬船について | 日本船舶海洋工学会(関西船舶海洋流体力学研究会) | | 2016/9/29 |
| 37 | 千代 亮 | 川崎重工業(株) | CO2-Free Hydrogen Supply Chain | 炭素隔離リーダシップフォーラム (CSLF) 年次会合 | | 2016/10/5 |

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|----|--------------------------|---------------------------|---|---|--------|---------------|
| 38 | 千代 亮 | 川崎重工業(株) | 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 | 高分子学会/水素・燃料電池材料研究会 | | 2016/10/14 |
| 39 | 千代 亮 | 川崎重工業(株) | Import to Low-Carbon Hydrogen from Oversea | The 11th National Conference on Hydrogen Energy and Fuel Cells in National Taipei University of Technology, Taiwan. | 台湾 | 2016/10/17 |
| 40 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 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 | 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 | | 2016/10/28 |
| 41 | 原田 栄一 | 川崎重工業(株) | 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 | 全国空港ビル協会技術研修会 | | 2016/11/10 |
| 42 | 山本 滋 | 川崎重工業(株) | 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 | イワタニ水素エネルギーフォーラム周南 | | 2016/11/11 |
| 43 | 加賀谷 博昭、孝岡 祐吉、Ahmer Saeed | 川崎重工業(株)、Shell Japan Ltd. | Safety Considerations for Design of Pilot Liquefied Hydrogen Carriers | SIGTTO Japan Regional Forum | | 2016/11/15 |
| 44 | 千代 亮 | 川崎重工業(株) | 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 | 神戸市企業立地セミナー | 神戸市 | 2016/11/15 |
| 45 | 洲河 誠一 | 川崎重工業(株) | 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 | 化学工学会関西支部/水素社会を目前にして | | 2016/11/16 |
| 46 | 山本 滋 | 川崎重工業(株) | 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 | 神戸地域ビジョン | 神戸市 | 2016/11/21 |
| 47 | 洲河 誠一 | 川崎重工業(株) | 水素サプライチェーンの実現に向けた取組みについて | 兵庫県試験・分析技術研究会 | | 2016/11/21 |
| 48 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 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 | 神戸エネルギーフォーラム | 神戸市 | 2016/11/22 |
| 49 | 山本 滋 | 川崎重工業(株) | 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の取組み | 神戸市産業振興財団・水素クラスター勉強会 | 神戸市 | 2016/11/22 |
| 50 | 洲河 誠一 | 川崎重工業(株) | 水素エネルギーサプライチェーン実現に向けた取組み | 触媒学会 水素の利用と製造のための触媒技術研究会 | | 2016/11/25 |
| 51 | 長谷川 卓 | 川崎重工業(株) | Toward Realization of a Hydrogen Energy Supply Chain | 第1回日豪炭素資源有効利用シンポジウム | | 2016/11/28 |
| 52 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 水素エネルギーサプライチェーン実現への取組み | 自動車技術会 関東支部講演・講習会 | | 2016/12/9 |
| 53 | 原田 栄一 | 川崎重工業(株) | 水素をつくる・はこぶ・ためる・つかう | 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 | | 2016/12/9 |
| 54 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 海外からの液化水素サプライチェーン構築への取組み | 日本エネルギー学会 第3回水素エネルギー講演会 | | 2016/12/16 |
| 55 | 牧村 実 | NIRO | 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 | 神戸生産技術研究会 | | 2017/1/19 |
| 56 | 洲河 誠一 | 川崎重工業(株) | 液化水素サプライチェーン実現に向けた取組み | 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 | | 2017/1/23 |
| 57 | 孝岡 祐吉 | 川崎重工業(株) | 液化水素運搬船について | Ship-COREセミナー | | 2017/1/26 |
| 58 | 千代 亮 | 川崎重工業(株) | 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 | 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 | 山形県 | 2017/1/27 |
| 59 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 液化水素サプライチェーン実現に向けた取組み | 日本科学未来館サイエンティスト・トーク | | 2017/1/29 |
| 60 | 洲河 誠一 | 川崎重工業(株) | 水素エネルギー利用社会の実現に向けた取組み | 神戸の地域エネルギーを未来に繋ぐ懇談会 | | 2017/2/17 |
| 61 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | Long distance transportation of LH2 | ルウエーセミナー | | 2017/2/28 |
| 62 | 神谷 祥二 | 川崎重工業(株) | 液化水素による水素の大量輸送技術 | 日本化学会春季年会 | | 2017/3/17 |
| 63 | 松本 俊一 | 川崎重工業(株) | 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 | RITE無機膜研究センター産業化 | | 2017/3/31 |
| 64 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 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 | 第24回燃料電池シンポジウム | 東京都 | 2017/5/26 |
| 65 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 国際液化水素サプライチェーン実現への取組み | 東京工業大学GHEC/第6回ワークショップ | 東京都 | 2017/6/26 |
| 66 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 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 | 日本計画研究セミナー | 東京都 | 2017/6/28 |
| 67 | 千代 亮 | 川崎重工業(株) | 水素エネルギーサプライチェーン実現への取組み | CCTワークショップ | 東京都 | 2017/6/21 |
| 68 | 長谷川 卓 | 川崎重工業(株) | Introduction of Liquefied Hydrogen Energy Supply Chain Pilot Project in Japan | 5th International Workshop on Hydrogen | ベルリン | 2017/5/17 |
| 69 | 産業技術総合研究所 | | Research and development of temperature sensor for an ocean-going liquid hydrogen carrier | World Hydrogen Technology Convention 2017 | ブラハ | 2017/7/9~7/12 |
| 70 | 大畑 博資 | 電源開発(株) | 水素サプライチェーン構築に向けた取組みについて | 電事連第3回水素技術検討会 | | 2017/8/3 |
| 71 | 谷澤 克治 | 海上技術安全研究所 | The Role of NMRI to the Japanese Shipbuilding Industries | The 2017 INTERNATIONAL PYMPOSIUM on Hydrodynamics Testing Facility for Supporting Indonesia Maritime Industry | インドネシア | 2017/9/5 |

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|-----|------------------|----------|--|--|---------|----------------|
| 72 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | International Liquefied Hydrogen Supply Chain | 2017 Saudi Aramco-JCCP Symposium on the Global Perspective of the hydrogen | 東京都 | 2017/9/13 |
| 73 | 原田 栄一 | 川崎重工業(株) | 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 | 国際フロンティア産業メッセ2017 | 神戸市 | 2017/9/8 |
| 74 | 洲河 誠一 | 川崎重工業(株) | 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 | 化学工業学会 第49回秋季大会環境部会シンポジウム | 名古屋市 | 2017/9/21 |
| 75 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 水素サプライチェーンの実現に向けた取組み | NEDOフォーラム2017in兵庫 | 兵庫県 | 2017/9/26 |
| 76 | 山本 滋 | 川崎重工業(株) | 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 | 神戸空港ターミナル講演会 | 神戸市 | 2017/10/7 |
| 77 | 山本 滋 | 川崎重工業(株) | 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 | 第9回よこはま水素エネルギー協議会セミナー | 横浜市 | 2017/10/25 |
| 78 | 原田 栄一 | 川崎重工業(株) | 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 | 第17回九州低炭素システム研究会 | 北九州市 | 2017/10/11 |
| 79 | 長谷川 卓 | 川崎重工業(株) | Toward Realization of a Hydrogen Energy Supply Chain | CEA TECH DAYS | 東京都 | 2017/10/12 |
| 80 | Hydrogen Council | | Roadmap toward a hydrogen economy | Hydrogen Council Annual CEO Meeting | | 2017/11/13 |
| 81 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | International Liquefied Hydrogen Supply Chain | 台日水素フォーラム | 台湾 | 2017/10/19 |
| 82 | 千代 亮 | 川崎重工業(株) | 国際水素サプライチェーン実現への取組み | JST/JAXA/ISAS水素シンポジウム | 東京都 | 2017/11/14 |
| 83 | 山本 滋 | 川崎重工業(株) | 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 | 日本船舶機関士協会 技術講演会 | 東京都 | 2017/11/22 |
| 84 | 金花 芳則 | 川崎重工業(株) | Production of CO2-free H2, transcontinental LH2 transport, H2-based power generation | Hydrogen Council Annual Meeting | ドイツ | 2017/11/13 |
| 85 | 原田 栄一 | 川崎重工業(株) | 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 | 神戸の地域エネルギーを未来につなぐシンポジウム | 神戸市 | 2017/12/10 |
| 86 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 来るべき水素社会へ向けて | 高温ガス炉プラント研究会 第12回定期講演会 | 東京都 | 2018/1/25 |
| 87 | 山下 誠二 | 川崎重工業(株) | 水素液化貯蔵システムの開発 | 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 | 東京都 | 2018/1/25 |
| 88 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 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 | 水素エネルギー推進セミナー | 東京都 | 2018/2/1 |
| 89 | 稲津 晶平 | 川崎重工業(株) | 水素で拓く海事産業の未来 | 平成29年度中小造船所・船用工業経営技術セミナー | 東京都 | 2018/2/7 |
| 90 | 長谷川 卓 | 川崎重工業(株) | 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 | 近畿地区自治体ボイラーターピン主任技術者会議 | 神戸市 | 2018/2/9 |
| 91 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 未利用褐炭由来大規模海上輸送サプライチェーン構築時s/層事業への取組み | 第12回イワタニ水素エネルギーフォーラム | 大阪、東京 | 2018/2/13、4/17 |
| 92 | 山本 滋 | 川崎重工業(株) | 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 | 堺市水素エネルギー社会推進協議会セミナー | 大阪府 | 2018/2/20 |
| 93 | 山本 滋 | 川崎重工業(株) | International Liquefied Hydrogen Supply Chain | 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 | 東京都 | 2018/3/1 |
| 94 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 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 | 第2回次世代火力展 | 東京都 | 2018/3/1 |
| 95 | 吉村 健二 | 川崎重工業(株) | KHI's Activity for International Liquefied Hydrogen Supply Chain | IEA先端燃料に関する技術協力プログラム運営会議 | 東京都 | 2018/3/1 |
| 96 | 山本 滋 | 川崎重工業(株) | 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 | 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 | 神戸市 | 2018/3/2 |
| 97 | 千代 亮 | 川崎重工業(株) | Development of Overseas Energy Carrier with Liquid Hydrogen | Global Warming and Decarbonization 4th International Symposium | ベニス | 2018/3/2 |
| 98 | 稲津 晶平 | 川崎重工業(株) | 国際水素サプライチェーンの構築について | 第51回神戸ラスキン会 | 神戸市 | 2018/3/9 |
| 99 | 長谷川 卓 | 川崎重工業(株) | KHI's Activity for International Liquefied Hydrogen Supply Chain | Workshop Hydrogen Economy March 23 | 東京都 | 2018/3/23 |
| 100 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | International Liquefied Hydrogen Supply Chain | 神戸市、ハンブルグ市、フーニンゲン州 環境・エネルギーセミナー | 神戸市 | 2018/4/3 |
| 101 | 森本 勝哉 | 川崎重工業(株) | Liquefied Hydrogen Supply Chain and Carrie Ship to Realize Hydrogen | 第27回 Gas Conference | ノルウェー | 2018/4/10 |
| 102 | 千代 亮 | 川崎重工業(株) | 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 | 第6回GS+I公開セミナー | 東京都 | 2018/4/10 |
| 103 | 千代 亮 | 川崎重工業(株) | International Liquefied Hydrogen Supply chain | 18th Annual Global Energy Village | バルセロナ | 2018/4/18 |
| 104 | 原田 栄一 | 川崎重工業(株) | KHI's portion in the Pilot Hydrogen Energy Supply Chain Project | 豪州プロジェクト開始記念ミーティング | 豪ピクテリア州 | 2018/4/19 |
| 105 | 長谷川 卓 | 川崎重工業(株) | KHI Activity for Hydrogen Supply Chain | 第12回日独経済フォーラム | ドイツ | 2018/4/25 |
| 106 | 重清 秀雄 | 川崎重工業(株) | International Liquefied Hydrogen Supply Chain | The Annual Asia Pacific CCS Forum | 中国 | 2018/5/9 |
| 107 | 原田 栄一、西村 元彦 | 川崎重工業(株) | — | 水素エネルギー政策国際会議(IPHE) | 神戸市 | 2018/5/10 |
| 108 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 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 | 水素・再生エネルギー社会の新事業創出フォーラム | 東京都 | 2018/5/30 |

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|-----|-------------|------------------|--|---|---------|------------|
| 109 | 千代 亮 | 川崎重工業(株) | 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 | 第45回水素研究会 | 東京都 | 2018/6/4 |
| 110 | 長谷川 卓 | 川崎重工業(株) | KHI Activity for Hydrogen Supply Chain | 22th World Hydrogen Energy Supply Chain | ブラジル | 2018/6/20 |
| 111 | 小俣 浩次 | 電源開発(株) | 豪州褐炭からの水素製造技術 | グリーンコールテクノロジーワークショップ2018 | | 2018/6/20 |
| 112 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 「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～」 | 環境・エネルギービジネス研究会 | 大阪府 | 2018/6/22 |
| 113 | 山本 滋 | 川崎重工業(株) | 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 | 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 | 大阪府 | 2018/6/26 |
| 114 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 『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 バイロット実証の進捗と今後の展開 | 日本計画研究所セミナー | 東京都 | 2018/7/11 |
| 115 | 山本 滋 | 川崎重工業(株) | International Liquefied Hydrogen Supply Chain | 中国訪問団神戸スモコム見学講演 | 神戸市 | 2018/7/12 |
| 116 | 原田 栄一 | 川崎重工業(株) | — | 日経社会イノベーションフォーラム | 東京都 | 2018/7/24 |
| 117 | 宮崎 淳 | 岩谷産業(株) | — | 日経社会イノベーションフォーラム | 東京都 | 2018/7/24 |
| 118 | 山本 滋 | 川崎重工業(株) | 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 | 第1回水素・燃料電池関連産業セミナー | 仙台市 | 2018/8/9 |
| 119 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 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 | JEMA第96回新エネルギー講演会 | 東京都 | 2018/9/6 |
| 120 | 猪俣 昭彦 | 川崎重工業(株) | Standardization of transfer arms for marine transportation of liquefied hydrogen | 37th ISO TC8 Plenary | 神戸市 | 2018/9/18 |
| 121 | 中土 洋輝 | 川崎重工業(株) | Toward development of the large scale liquefied hydrogen transportation and storage technology | 3th Workshop on Hydrogen Cryogenics 2018 | 神戸市 | 2018/9/21 |
| 122 | 山本 滋 | 川崎重工業(株) | 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 | 関西 水素・燃料電池展 特別講演 | 大阪府 | 2018/9/26 |
| 123 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | International Hydrogen Supply Chain | International for Cool Earth Forum(ICEF) | 東京都 | 2018/10/10 |
| 124 | 西村 元彦 | HySTRA | International Liquefied Hydrogen Supply Chain | 第2回液化水素技術国際ワークショップ | 神戸市 | 2018/10/24 |
| 125 | 吉野 泰 | 川崎重工業(株) | Hydrogen from brown coal with CCS Australia / Japan collaboration | Carbon Sequestration Leadership Forum (CSLF) | メルボルン | 2018/10/19 |
| 126 | 本江 誠治 | 電源開発(株) | Osaki Coolgen Project update and Hydrogen Energy Supply Chain Project Overview | IEA GHG 54th Executive Committee | メルボルン | 2018/10/19 |
| 127 | 原田 栄一 | 川崎重工業(株) | Hydrogen Energy Supply Chain Project in Collaboration with CarbonNet Project | IEA GHGT-14 | メルボルン | 2018/10/25 |
| 128 | 金花 芳則 | 川崎重工業(株) | 川崎重工業が目指す未来、ものづくり企業の可能性 | 北陸技術交流テクノフェア2018 | 福井県 | 2018/10/25 |
| 129 | 金花 芳則 | 川崎重工業(株) | 液化水素運搬船の国際安全基準の策定 | HESS第157回定例研究会 | 東京都 | 2018/11/5 |
| 130 | 千代 亮 | 川崎重工業(株) | 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 | H30福岡水素エネルギー戦略会議人材育成セミナー | 福岡県 | 2018/11/6 |
| 131 | Ahmer Saeed | Shell Japan Ltd. | Safety Consideration for Operation of Pilot LH2 Shore Loading Arm System | SIGTTO Asia Pacific Regional Forum | 東京都 | 2018/11/7 |
| 132 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 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 | 第1回水素エネルギーテクノシナジウム | 大阪市 | 2018/11/17 |
| 133 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 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 | 第3回脱炭素社会における水素・FCVの可能性 | 名古屋市 | 2018/11/19 |
| 134 | 東 達弘 | HySTRA | 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への取組み | いばらき水素利用シンポジウム | 水戸市 | 2018/11/28 |
| 135 | 西山 五郎 | 川崎重工業(株) | 造船業界の現状と今後の展望 | 海事産業説明会2018 | 大阪府 | 2018/12/8 |
| 136 | 足利 貢 | 川崎重工業(株) | 水素サプライチェーン構築実証事業 | エネルギーに関するワークショップ | 神戸市 | 2018/1/19 |
| 137 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 水素社会構築に向けた川崎重工の取組み | 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 | 大阪府 | 2019/1/24 |
| 138 | 繁森 敦 | 岩谷産業(株) | — | 堺市水素エネルギー社会推進協議会セミナー | 大阪市 | 2019/1/25 |
| 139 | 大畑 博資 | 電源開発(株) | Power Generation Decarbonization Efforts with CO2 Free Hydrogen and Ammonia | Workshop on Carbon-Free Hydrogen and Ammonia with CCS | サウジアラビア | 2019/1/28 |
| 140 | 繁森 敦 | 岩谷産業(株) | 豪州褐炭由来水素サプライチェーンパイロット実証 | 九州水素・燃料電池フォーラム | 福岡市 | 2019/1/29 |
| 141 | 吉山 孝 | 川崎重工業(株) | 水素エネルギー社会実現に向けた川崎重工の取組み | 兵庫県電気協会姫路支部第5回技術講習会 | 姫路市 | 2019/2/15 |
| 142 | 森本 勝哉 | 川崎重工業(株) | International Hydrogen Supply Chain and Hydrogen Gas Turbine | Japan-Norway Hydrogen Seminar 2019 | 東京都 | 2019/2/26 |
| 143 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 褐炭由来水素サプライチェーン構築への取組み | 第15回国際水素・燃料電池展専門技術セミナー | 東京都 | 2019/2/28 |

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|-----|-------------------|---------------------------|---|---|---------|------------|
| 144 | 森本 勝哉 | 川崎重工業(株) | Large Scale LH2 Chain Project & Gas Turbine Demonstration | Liquid Hydrogen Workshop | ルウエー | 2019/3/6 |
| 145 | 重清 秀雄 | 川崎重工業(株) | International Liquefied Hydrogen Supply Chain | Hydrogen Production, Storage and Refueling Station Technology Forum 2019 | 武漢 | 2019/3/6 |
| 146 | 石川 勝也 | 川崎重工業(株) | 水素社会構築に向けた川崎重工の取組み | 2018年度日本台湾技術交流会 | 台北市 | 2019/3/21 |
| 147 | 石川 勝也 | 川崎重工業(株) | International Liquefied Hydrogen Supply Chain and Related Cryogenic Technology | Stanford Hydrogen Economy Workshop | スタンフォード | 2019/3/25 |
| 148 | 山本 滋 | 川崎重工業(株) | 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 | 第8回フレンドシップサロン | 大阪府 | 2019/3/26 |
| 149 | 本江 誠治、川副 洋史 | 電源開発(株)、川崎重工業(株) | The Hydrogen Energy Supply Chain (HESC) - Project Overview - | Hydrogen Energy Summit | メルボルン | 2019/3/26 |
| 150 | 吉野 泰 | 川崎重工業(株) | The Hydrogen Energy Supply Chain Project | The APAC CCS Forum 6th 2019 | ブリスベン | 2019/5/31 |
| 151 | 石川 勝也 | 川崎重工業(株) | Standardization of Transfer Arms for Marine Transportation of Liquefied Hydrogen | ISO TC8/SC2 年次総会 | 京都府 | 2019/5/31 |
| 152 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | International Liquefied Hydrogen Supply Chain and Hydrogen Gas Turbine | WHTC 2019 | 東京都 | 2019/6/4 |
| 153 | 千代 亮 | 川崎重工業(株) | 国際水素サプライチェーン構築への取組み | 第14回再生利用エネルギー世界展来会&フォーラム | 横浜市 | 2019/7/22 |
| 154 | 石川 勝也 | 川崎重工業(株) | 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 | エコマテリアル・フォーラム 年会シンポジウム | 東京都 | 2019/7/22 |
| 155 | 原田 栄一 | 川崎重工業(株) | 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 | 日経社会イノベーションフォーラム | 東京都 | 2019/7/24 |
| 156 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 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 | 第3回水素エネルギー産業勉強会 | 福井県 | 2019/8/7 |
| 157 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 「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 | 日本計画研究所セミナー | 東京都 | 2019/8/20 |
| 158 | 石川 勝也 | 川崎重工業(株) | Hydrogen Energy Supply Chain, from Australia to Japan | 2019 Carbon Capture, Utilization, Storage, and Oil & Gas technology Integrated Review Meeting | ビッツバーグ | 2019/8/29 |
| 159 | 小村 淳 | 川崎重工業(株) | 液化水素運搬船について | 第160回年齢制限のない若手勉強会 | | 2019/9/10 |
| 160 | 坂梨特別参与 | 電源開発(株) | Technology Innovation for Coal Evolution | グリーンコールド2019 | | 2019/9/10 |
| 161 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 水素ガスタービン発電の実現に向けた取組み | 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 | 福岡市 | 2019/9/11 |
| 162 | 山口 正人 | 川崎重工業(株) | 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 | 第16回関西西伝熱セミナー | 赤穂市 | 2019/9/14 |
| 163 | 金花 芳則 | 川崎重工業(株) | KHI's Activity for International Liquefied Hydrogen Supply Chain | 第2回水素閣僚会議 | 東京都 | 2019/9/25 |
| 164 | 北村会長 | 電源開発(株) | Hydrogen Production by Coal Gasification | 第2回水素閣僚会議 | 東京都 | 2019/9/25 |
| 165 | 神谷 祥二 | 川崎重工業(株) | Development of the Large Scale Liquid Hydrogen value chain | Hydrogen Liquefaction & Storage Symposium, Perth | 豪パース市 | 2019/9/27 |
| 166 | 金花 芳則 | 川崎重工業(株) | New Partnership for the Future | 第57回日豪経済合同委員会 | 大阪市 | 2019/10/8 |
| 167 | 孝岡 祐吉、Ahmer Saeed | 川崎重工業(株)、Shell Japan Ltd. | Opportunities and Challenges for Maritime Transport of Liquefied Hydrogen in Bulk | トリバタイトミーティング(船級/船主/造船)の三団体の会合 | 東京都 | 2019/10/17 |
| 168 | 鈴木 啓真 | 川崎重工業(株) | International Conference on Power Engineering-2019 | ICOPE-2019 | 中国 | 2019/10/21 |
| 169 | 稲津 晶平 | 川崎重工業(株) | 次世代エネルギー-水素を運ぶ | 海洋教育フォーラム | 大阪府 | 2019/11/16 |
| 170 | 大畑 博資 | 電源開発(株) | The Hydrogen Energy Supply Chain - Project overview - | Workshop on Hydrogen Production with CCS | | 2019/11/18 |
| 171 | 村山 滋 | 川崎重工業(株) | Kawasaki's cooperation with China in maritime industry and Kawasaki Hydrogen Road | Marintec China 2019 Senior Maritime Forum | 上海 | 2019/12/3 |
| 172 | 吉山 孝 | 川崎重工業(株) | 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 | 大阪工研特別セミナー | 大阪府 | 2019/12/2 |
| 173 | 神谷 祥二 | 川崎重工業(株) | Development of a large scale liquid hydrogen energy value chain | 10th ACASC / 2nd Asian ICMC / CSSJ joint conference | 沖縄県 | 2020/1/7 |
| 174 | 千代 亮 | 川崎重工業(株) | International Liquefied Hydrogen Supply Chain | Energy Workshop ADNOC & JCCME | アブダビ | 2020/1/15 |
| 175 | 新道 憲二郎 | 川崎重工業(株) | 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 | 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 | 兵庫県 | 2020/1/29 |
| 176 | 森本 勝哉 | 川崎重工業(株) | Status of the Hydrogen Energy Supply Chain Project | Japan-Norway Hydrogen Seminar 2020 | 東京都 | 2020/2/25 |

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|-----|--------|-----------|---|---|--------|------------|
| 177 | 吉野 泰 | 川崎重工業 (株) | Update on the Brown Coal Hydrogen Energy Supply Chain Project between Japan and Australia | Hydrogen Energy Between Japan and Netherland | 東京都 | 2020/2/25 |
| 178 | 稲津 晶平 | 川崎重工業 (株) | 液化水素運搬船の技術 | 日船工第2回GHGゼロエミッションワークショップ | 東京都 | 2020/3/2 |
| 179 | 稲津 晶平 | 川崎重工業 (株) | 液化水素運搬船の技術 | 日本マリンエンジニアリング学会 第64回特別記念講演 | 神戸市 | 2020/3/6 |
| 180 | 笹津 浩司 | 電源開発 (株) | Jパワーにおける水素の取組み | 日経SDGsフェス講演会 | 東京都 | 2020/5/15 |
| 181 | 原田 栄一 | 川崎重工業 (株) | 国際水素サプライチェーンの実現に向けた取組み | 日経社会イノベーションフォーラム | 東京都 | 2020/5/15 |
| 182 | 稲津 晶平 | 川崎重工業 (株) | 水素社会実現に向けたサプライチェーンの構築と展望 | 日本海運集会所主催 水素社会実現に向けたサプライチェーンの構築と展望 | 東京都 | 2020/6/30 |
| 183 | 重清 秀雄 | 川崎重工業 (株) | 国際水素サプライチェーンの実現に向けた取組み | 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 | WEB | 2020/7/9 |
| 184 | 井上 健司 | 川崎重工業 (株) | 国際水素サプライチェーン構築への取組み | 日本冷凍空調学会 年次大会 | | 2020/9/9 |
| 185 | 村山 均 | 電源開発 (株) | Technology Development for Energy Transitions | グリーンコールドイ | WEB | 2020/9/9 |
| 186 | 原田 英一 | 川崎重工業 (株) | International Liquefied Hydrogen Supply Chain Utilizing Brown Coal | グリーンコールドイ | WEB | 2020/9/9 |
| 187 | 井上 健司 | 川崎重工業 (株) | 国際水素サプライチェーン構築への取組み | 日本伝熱学会関西支部 第27期第1回特別講演 | 大阪府 | 2020/9/30 |
| 188 | 森本 勝哉 | 川崎重工業 (株) | 「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 | 日計画研究所セミナー | | 2020/10/6 |
| 189 | 金花 芳則 | 川崎重工業 (株) | Way to Decarbonization Kawasaki Hydrogen Road | Tokyo Back-to-Business Program Series 2020 | WEB | 2020/10/7 |
| 190 | 橋本 康彦 | 川崎重工業 (株) | KHI's Activity for International Liquefied Hydrogen Supply Chain | 第3回水素閣僚会議 | WEB | 2020/10/14 |
| 191 | 千代 亮 | 川崎重工業 (株) | Our activity for establish of International Liquefied Hydrogen Supply Chain | SETA2020 | WEB | 2020/10/14 |
| 192 | 重清 秀雄 | 川崎重工業 (株) | International Liquefied Hydrogen Energy Supply Chain | NETHERLANDS HYDROGEN MISSION TO JAPAN 12-23 October | WEB | 2020/10/15 |
| 193 | 松田 吉洋 | 川崎重工業 (株) | 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 | 第36回日エネルギー学会関西セミナー | 大阪府 | 2020/10/16 |
| 194 | 西村 元彦 | 川崎重工業 (株) | Suiso Frontier, the First LH2 Carrier - Construction to Operational Readiness - | IPHE Research Priorities Workshop maritime session | WEB | 2020/10/26 |
| 195 | 玉村 琢之 | 電源開発 (株) | JPOWERにおける水素への取組みについて | 火力原子力発電技術協会講演会「水素エネルギー～今後の利用と展開」 | | 2020/10/29 |
| 196 | 新道 憲二郎 | 川崎重工業 (株) | 国際水素サプライチェーン構築に向けた取組み | 令和二年度 技術講演会 @日本船舶機関士協会 | WEB | 2020/11/11 |
| 197 | 新道 憲二郎 | 川崎重工業 (株) | 国際水素サプライチェーン構築に向けた取組み | 第404回月例研究会 @エネルギー総合工学研究所 | WEB | 2020/11/13 |
| 198 | 千代 亮 | 川崎重工業 (株) | 国際水素サプライチェーン構築に向けた取組み | 電力エネルギー-未来技術シンポジウム | WEB | 2020/12/14 |
| 199 | 佐久間 俊輔 | 川崎重工業 (株) | 国際水素サプライチェーン構築に向けた取組み | 第14 回日中省エネルギー・環境総合フォーラム 主催者：一般財団法人 日中経済協会 | WEB | 2020/12/20 |
| 200 | 重清 秀雄 | 川崎重工業 (株) | International Liquefied hydrogen supply chain and Low carbon gas turbine technology | 2020年度新エネ人材育成事業 インドネシア対象再エネ導入専門家派遣研修 主催：日本エネルギー-経済研究所 (IEEJ) | インドネシア | 2021/1/13 |
| 201 | 稲津 晶平 | 川崎重工業 (株) | 次世代エネルギー水素を運ぶー世界初の液化水素運搬船の開発ー | 近未来の造船技術とその周辺 (シンポジウム) | WEB | 2021/1/20 |
| 202 | 重清 秀雄 | 川崎重工業 (株) | International Liquefied hydrogen supply chain and Low carbon gas turbine technology | IEEJ2020年度新エネ人材育成事業 中国対象再エネ導入専門家派遣研修 主催：日本エネルギー-経済研究所 (IEEJ) | WEB | 2021/1/28 |
| 203 | 足利 貢 | 川崎重工業 (株) | 国際水素サプライチェーンの構築とガスタービン発電での水素利活用 | 第49回ガスタービンセミナー | WEB | 2021/1/29 |
| 204 | 石川 勝也 | 川崎重工業 (株) | 次世代エネルギーとしての液化水素国際サプライチェーンに関する国際規格(ISO 24132)の作成状況及び今後の展望 | 第14回船用品標準化推進協議会/標準化セミナー | WEB | 2021/2/8 |
| 205 | 笹津 浩司 | 電源開発 (株) | 2050年カーボンニュートラル実現に向けた石炭の役割 | 一般財団法人新エネルギー財団主催「石炭エネルギー-講演会」 | WEB | 2021/2/8 |
| 206 | 笹津 浩司 | 電源開発 (株) | The Role of Coal for Carbon Neutrality 2050 | 2020年度NEDO先進火力発電技術等の導入普及事業 第2回東南アジア・リージョナルHELEセミナー | WEB | 2021/3/3 |
| 207 | 重清 秀雄 | 川崎重工業 (株) | International Liquefied hydrogen supply chain and Low carbon gas turbine technology | IEEJ2020年度新エネ人材育成事業 中南米(アルゼンチン・チリ・ブラジル) 対象再エネ導入専門家派遣研修 主催者：日本エネルギー-経済研究所 (IEEJ) | WEB | 2021/3/4 |

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|-----|-------------------|---------------------------|--|---|-----|------------|
| 208 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 『Way to Decarbonization Kawasaki Hydrogen Road』 | GHGT-15 (The Greenhouse Gas Control Technologies) | UAE | 2021/3/17 |
| 209 | 孝岡 祐吉、Ahmer Saeed | 川崎重工業(株)、Shell Japan Ltd. | Suiso Frontier, the First LH2 Carrier - Journey from Construction to Operational Readiness - | SIGTTO Virtual panel meeting | | 2021/4/15 |
| 210 | 足利 貢 | 川崎重工業(株) | 国際水素サプライチェーンの構築とガスタービン発電での水素利活用 | 低炭素発電と燃料供給に関する技術・事業セミナー | WEB | 2021/4/22 |
| 211 | 原田 英一 | 川崎重工業(株) | 国際水素サプライチェーンの構築とガスタービン発電での水素利活用 | 日経社会イノベーションフォーラム「カーボンニュートラル実現のための水素実装 グローバル連携での水素バリューチェーン」 | 東京都 | 2021/5/11 |
| 212 | 角田 俊也 | 川崎重工業(株) | 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 | 徳島商工会議所 エネルギー部会 セミナー | WEB | 2021/6/8 |
| 213 | 東 誠 | 川崎重工業(株) | 水素サプライチェーン構築に向けた取り組みと材料技術 | 日本鉄鋼協会自主フォーラム「カーボンニュートラル実現に向けた耐熱金属材料課題の理解と明確化」第一回研究会 | WEB | 2021/6/18 |
| 214 | 森本 勝哉 | 川崎重工業(株) | Hydrogen Energy Supply Chain for Decarbonization | CONNECTING POWERFUL HUBS | WEB | 2021/6/23 |
| 215 | — | 川崎重工業(株) | Toward the Realization of a Hydrogen Society | 第3回日仏新エネルギー・システムワーキンググループ | WEB | 2021/7/6 |
| 216 | 森本 勝哉 | 川崎重工業(株) | 国際CO2フリー水素サプライチェーンの実現に向けた取り組み | 第61回電気化学セミナー会告 | WEB | 2021/7/12 |
| 217 | 重清 秀雄 | 川崎重工業(株) | Hydrogen transport cost and its Perspective | Introductory Workshop on Hydrogen Potential Study of both Demand and Supply Sides | WEB | 2021/7/29 |
| 218 | 千代 亮 | 川崎重工業(株) | Way to Decarbonization Kawasaki Hydrogen Road | APECの貿易関連協議会 議題：Trade-related Policies to Promote Trade in Environmental Products and Technologies including Regulatory Issues, Contributing to Global Carbon Neutrality | | 2021/9/9 |
| 219 | 原田 英一 | 川崎重工業(株) | International Liquefied Hydrogen Supply Chain Utilizing Brown Coal | 第30回グリーン・コール・デー国際会議 | WEB | 2021/9/22 |
| 220 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 国際水素サプライチェーン構築に向けた取り組み | FC EXPO水素・燃料電池展 基調講演 | 東京都 | 2021/9/30 |
| 221 | 木下 康裕 | 川崎重工業(株) | 時代のニーズと航空機用エンジンの技術開発～カーボンニュートラルに向けた水素航空機～ | 日本ガスタービン学会 ガスタービン市民フォーラム2021 | | 2021/10/12 |
| 222 | 藪本 晃 | 電源開発(株) | J-POWER's Efforts and Plan on Hydrogen | 日本国際水素会議2021 | | 2021/10/12 |
| 223 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | International Hydrogen Supply Chain and Gas Turbine Demonstrations | 第15回動力エネルギー国際会議(ICOPE-2021) | | 2021/10/19 |
| 224 | 川口 潤 | 川崎重工業(株) | 国際CO2フリー水素サプライチェーンの実現に向けた取り組み | 低温工学・超電導学会 材料研究会/超電導応用研究会 イベント：2021年度シンポジウム・応用物理学学会超伝導分科会 第63回研究会 MgB2発見20周年記念合同シンポジウム | | 2021/10/21 |
| 225 | 森本 勝哉 | 川崎重工業(株) | 脱炭素社会へ向けた国際水素サプライチェーン構築の現状、課題と今後の展開について | 日本計画研究所主催セミナー | | 2021/10/22 |
| 226 | 立野 賢二 | 電源開発(株) | 褐炭ガス化によるCO2フリー水素製造への取り組み | 第58回石炭科学会議 | | 2021/10/27 |
| 227 | 立野 賢二 | 電源開発(株) | 褐炭ガス化によるCO2フリー水素製造への取り組み | 令和3年度火力原子力発電大会 | | 2021/11/1 |
| 228 | 原田 英一 | 川崎重工業(株) | 国際水素サプライチェーン構築に向けた取り組み | JASIS 2021 | | 2021/11/10 |
| 229 | 森本 勝哉 | 川崎重工業(株) | 国際水素サプライチェーンの実現に向けた取り組み | 2021年度第3回 特殊材料溶接研究委員会本委員会 | | 2021/11/17 |
| 230 | 原田 英一 | 川崎重工業(株) | 国際水素サプライチェーン構築に向けた取り組み | INCHEM TOKYO 2021 特別講演 | | 2021/11/19 |
| 231 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | International Hydrogen Supply Chain and Gas Turbine Demonstrations | IEA / IAE 協賛国際シンポジウム Hydrogen in the Energy System Decarbonization | WEB | 2021/11/24 |
| 232 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | 国際水素サプライチェーン構築への取組 | 日経ビジネスオンラインセミナー ゼロカーボニクスを勝ち抜く経営ビジョン ～日本企業はどよう取り組むべきか～ | | 2021/11/25 |
| 233 | 下川原 翔太 | 電源開発(株) | 褐炭ガス化によるCO2フリー水素製造への取り組み | 第41回水素エネルギー協会大会 | | 2021/11/30 |
| 234 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | International Hydrogen Supply Chain Demonstrations | Techno-Ocean 2021 Carbon Neutral from Ocean | | 2021/12/9 |
| 235 | 稲津 晶平 | 川崎重工業(株) | 水素で拓く海事産業の未来 II - 実証段階から商用段階に向けて - | 造船業・船用工業経営技術セミナー 国土交通省 近畿運輸局/神戸運輸監理部主催 | | 2021/12/15 |
| 236 | 千代 亮 | 川崎重工業(株) | International Liquefied Hydrogen Supply Chain pilot demonstration project | The First Symposium on Carbon Ultimate Utilization Technologies for the Global Environment (CUUTE-1) | | 2021/12/16 |

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|-----|--------|-------------------------------------|---|---|-----|------------|
| 237 | 足利 貢 | 川崎重工業(株) | 国際水素サプライチェーンの構築とガスタービン発電での水素利活用 | 第5回 ガス燃料エンジン部門委員会 | WEB | 2021/12/22 |
| 238 | 山口 正人 | 川崎重工業(株) | 国際水素サプライチェーン構築と中小型水素ガスタービン開発の現況と展望 | 技術情報センターセミナー「低・脱炭素発電に関する技術開発および燃料供給・調達と事業展望」 | | 2021/12/23 |
| 239 | 飯屋 大祐 | 川崎重工業(株) | 水素社会実現に向けて川崎重工の取り組み | 大学共同利用機関法人 自然科学研究機構 核融合科学研究所「脱液体ヘリウム冷却技術に関する研究会」 | WEB | 2022/3/1 |
| 240 | 柏原 宏行 | 川崎重工業(株) | 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 | 自動車技術会 関西支部 2021年度 技術者交流会 | WEB | 2022/3/4 |
| 241 | 森本 勝哉 | 川崎重工業(株) | 国際水素サプライチェーンの構築～液化水素運搬船と荷役基地～ | 高圧ガス保安協会主催 KHK水素セミナー | WEB | 2022/3/7 |
| 242 | 森本 勝哉 | 川崎重工業(株) | 国際水素サプライチェーンの構築に関する取り組み | 公益社団法人化学工学会 第87年会 特別シンポジウム SP-1 「2050年カーボンニュートラルへの道」 | WEB | 2022/3/15 |
| 243 | 森本 勝哉 | 川崎重工業(株) | 国際サプライチェーン構築へ向けた液化水素輸送・貯蔵技術の開発動向 | 水素・燃料電池展 専門技術セミナー | 東京都 | 2022/3/16 |
| 244 | 稲津 晶平 | 川崎重工業(株) | 液化水素運搬船の実用化への取り組み | 海事産業における水素利活用の動き - 水素燃料と水素輸送について 主催：公益社団法人日本船舶海洋工学会東部支部 | WEB | 2022/3/22 |
| 245 | 森本 勝哉 | 川崎重工業(株) | 国際水素サプライチェーン構築に向けた取り組み | 電気学会全国大会 シンポジウム | WEB | 2022/3/23 |
| 246 | 森本 勝哉 | 川崎重工業(株) | 国際水素サプライチェーン構築に向けた取り組み | 海洋技術フォーラム | | 2022/4/5 |
| 247 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | International Hydrogen Supply Chain and Hydrogen Fueled Gas Turbine Demonstrations | Hydrogen Council Power Hour | WEB | 2022/4/5 |
| 248 | 稲津 晶平 | 川崎重工業(株) | 液化水素運搬船の実用化への取り組み | 溶接学会 春季全国大会「フォーラム」 ーグリーン社会の実現に向けた溶接構造物の新設計ー | WEB | 2022/4/14 |
| 249 | 谷口 達也 | 川崎重工業(株) | International Liquefied Hydrogen Supply Chain | 環境省、世界銀行共同主催WEBセミナー 「GREEN HYDROGEN IN SMALL ISLAND DEVELOPING STATES (SIDS) AND OTHER DEVELOPING COUNTRIES」 | WEB | 2022/4/1 |
| 250 | 富永 晴彦 | 川崎重工業(株) | 次世代エネルギー水素を運ぶ-液化水素運搬船の開発 | Sea Japan202船舶海洋技術セミナー | 東京都 | 2022/4/22 |
| 251 | 森本 勝哉 | 川崎重工業(株) | International Liquefied Hydrogen Supply Chain | Energy Transition Summit 2022 | WEB | 2022/5/3 |
| 252 | 原田 英一 | 川崎重工業(株) | カーボンニュートラルに向けたKawasakiの挑戦 | 日経社会イノベーションフォーラム 水素シンポジウム | 東京都 | 2022/5/11 |
| 253 | 緒方 正裕 | Kawasaki Gas Turbine Europe | Hydrogen Energy Supply Chain for Decarbonization | JETRO (日本貿易振興機構) 主催セミナー 「水素分野をリードする 日独ベストプラクティスの共有 - 日本の先進地域とドイツNRW州・エッセンの事例から-」 | WEB | 2022/5/17 |
| 254 | 佐藤 亮太 | 電源開発(株) | 日豪水素サプライチェーン実証プロジェクト～豪州褐炭ガス化による水素製造～ | 石炭・炭素資源有効利用研究会第6回研究会 | WEB | 2022/5/27 |
| 255 | 恵美 雄一 | 川崎重工業(株) | 国際水素サプライチェーンの実現に向けた液化水素運搬船"すいそふるんていあ"による実証試験の状況 | 燃料電池・FCH部会 第277 回定例研究会 | 大阪府 | 2022/6/6 |
| 256 | 柏 慎一郎 | Kawasaki Heavy Industries(UK), Ltd. | Carriage of Next-generation Energy, "Hydrogen" -Development of Liquefied Hydrogen Carrier - | 展示会Posidonia2022における日本船舶輸出組合 (JSEA)セミナー | アテネ | 2022/6/7 |
| 257 | 橋本 康彦 | 川崎重工業(株) | 川崎重工グループの水素サプライチェーン構築の取り組み | 電子機器トータルソリューション展 2022 基調講演 | 東京都 | 2022/6/17 |
| 258 | 久保田 百年 | 電源開発(株) | J-POWERグループのカーボンニュートラルと水素社会実現に向けた取り組み | 第8回JH2A会員セミナー | WEB | 2022/6/27 |
| 259 | 森本 勝哉 | 川崎重工業(株) | 国際水素サプライチェーンに向けた取り組み | 日本学術振興会製鉄第54委員会 令和4年度6月期本委員会(第200回)プログラム | 京都府 | 2022/6/30 |
| 260 | 森本 勝哉 | 川崎重工業(株) | International Liquefied Hydrogen Supply Chain | 第75回 IHW2022年次大会・国際会議 | | 2022/7/18 |
| 261 | 本井 達哉 | 川崎重工業(株) | Carriage of Next-generation Energy, "Hydrogen" -Development of Liquefied Hydrogen Carrier - | Capital Link社主催 Decarbonization in Shipping Forum | WEB | 2022/7/21 |
| 262 | 森本 勝哉 | 川崎重工業(株) | International Liquefied Hydrogen Supply Chain | Asian Congress on Gas Turbines 2022 (ACGT 2022) | WEB | 2022/8/24 |
| 263 | 山本 滋 | 川崎重工業(株) | 国際水素サプライチェーン構築への取り組み | 第2回 FC EXPO【秋】水素・燃料電池展 基調講演 | 東京都 | 2022/9/1 |
| 264 | 西村 元彦 | 川崎重工業(株) | Kawasaki's Challenge toward Carbon Neutrality -Progress of International Liquefied Hydrogen Supply Chain Development- | ICEF2022のサイドイベント | | 2022/10/6 |

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|-----|----------------|-------------------------------------|--|--|-----|------------|
| 265 | 吉山 孝 | 川崎重工業 (株) | International Hydrogen Supply Chain | The 26th Small Powertrains and Energy Systems Technology Conference : SETC2022 | | 2022/11/2 |
| 266 | 森本 勝哉 | 川崎重工業 (株) | 水素サプライチェーン構築、商用化に向けた取組み、課題と今後の展開 | 日本計画研究所セミナー | | 2022/11/30 |
| 267 | 千葉 洋 | 電源開発 (株) | 日豪水素サプライチェーン実証プロジェクト～豪州褐炭ガス化による水素製造～ | 素材プロセシング第69委員会12月5日研究会 | | 2022/12/5 |
| 268 | 森本 勝哉 | 川崎重工業 (株) | 国際水素サプライチェーン構築に向けた取組み | 化学工学会プラントオペレーション分科会 | | 2022/12/6 |
| 269 | 青木 篤人 | 川崎重工業 (株) | 国際水素サプライチェーン構築に向けた取組み - 液化水素タンクの溶接技術開発 - | 一般社団法人 日本溶接協会 溶接・接合プロセス研究委員会 (第8回 溶接・接合プロセス研究委員会主催シンポジウム) カーボンニュートラルに貢献する溶接技術 | | 2022/12/9 |
| 270 | 高橋 奈津子 | 川崎重工業 (株) | 水素社会実現に向けた川崎重工の取組み | 一般社団法人 都市環境エネルギー協会主催 都市環境エネルギー技術研修会 | WEB | 2022/12/13 |
| 271 | 長谷川 卓 | 川崎重工業 (株) | Demonstrating the Liquefied Hydrogen Seaborne Supply Chain to Japan and Development of Future Commercialization | 主催：日本船舶海洋工業会 World NAOE Forum 2022 | | 2022/12/13 |
| 272 | 青木 篤人 | 川崎重工業 (株) | 国際水素サプライチェーン構築に向けた取組み - 液化水素タンクの溶接技術開発 - | (独)日本学術振興会 プラズマ材料科学 第153委員会 第160回研究会 『脱炭素社会に向けたプラズマの役割を考える』 | | 2022/12/15 |
| 273 | 森本 勝哉 | 川崎重工業 (株) | Kawasaki Hydrogen Road International Liquefied Hydrogen Supply Chain | STACY2022 1st. International Symposium | 神戸市 | 2022/12/15 |
| 274 | 森本 勝哉 | 川崎重工業 (株) | 国際水素サプライチェーン構築に向けた取組みと水素事業展開 | 燃料電池・FCH部会 2022年度公開シンポジウム | | 2023/1/26 |
| 275 | 柏原 宏行 | 川崎重工業 (株) | カーボンニュートラル実現に向けた川崎重工の取組み | 第7回サステナブル・ブランド国際会議 2023 | | 2023/2/14 |
| 276 | 森本 勝哉 | 川崎重工業 (株) | 液化水素サプライチェーンの現状と商用へ向けた取組み | FC Expo. セミナー | | 2023/3/16 |
| 277 | 孝岡 祐吉 | HySTRA | Suiso Frontier, the First LH2 Carrier - Demonstration of Technologies and into Operational Phase | 33rd International Ocean and Polar Engineering Conference | | 2023/6/19 |
| 278 | 山本 滋 | 川崎重工業 (株) | Liquefied Hydrogen Supply Chain Project | JP Morgan Hydrogen Week 2023 | WEB | 2023/5/16 |
| 279 | 青木 篤人 | 川崎重工業 (株) | 国際水素サプライチェーン構築に向けた取組み - 液化水素タンクの溶接技術開発 - | 第120回 日本溶接協会 機械部会 | | 2023/5/26 |
| 280 | Luis Quadrante | Kawaski Heavy Industries.,LTD. (UK) | Challenge to Carbon Neutral - Kawasaki Liquefied Hydrogen Carrier - | Nor-Shipping 2023 | | 2023/6/7 |
| 281 | 青木 篤人 | 川崎重工業 (株) | 国際水素サプライチェーン構築に向けた取組み - 液化水素タンクのMIG溶接技術開発 - | 第305回 日本溶接協会 化学機械溶接研究委員会 | | 2023/6/20 |
| 282 | 亀野 雄一 | 川崎重工業 (株) | 国際水素サプライチェーン実現に向けた川崎重工の取組み | 日刊工業新聞主催 グリーンフォーラム | | 2023/7/6 |
| 283 | 重清 秀雄 | 川崎重工業 (株) | 新たな水素ビジネスのはじまり (国際液化水素サプライチェーンの構築を目指して) | 福岡県水素グリーン成長戦略会議 部品研究会 | 福岡県 | 2023/7/7 |
| 284 | 長瀬 弘樹 | 電源開発 (株) | 水素社会実現に向けた取組みの基礎 | 一般財団法人カーボンフロンティア機構 (JCOAL) 主催 「石炭基礎講座」 | WEB | 2023/7/12 |
| 285 | 山口 正人 | 川崎重工業 (株) | 国際液化水素サプライチェーンと中小型水素ガスタービン発電装置の開発動向 | 技術情報センターセミナー「水素発電・混焼など燃料利用と燃料供給に関する技術開発/事業動向」 | 東京都 | 2023/8/24 |
| 286 | 青木 篤人 | 川崎重工業 (株) | 国際水素サプライチェーン構築に向けた取組み - 液化水素タンクの溶接技術開発 - | 溶接学会 東海支部 第104回溶接研究会 | | 2023/9/19 |
| 287 | 柏原 宏行 | 川崎重工業 (株) | カーボンニュートラル実現にむけた取組 | 令和5年度とやま成長産業創造プロジェクト推進事業 「水素・燃料アンモニア関連産業研究会」 第3回技術セミナー | WEB | 2023/9/21 |
| 288 | 仮屋 大祐 | 川崎重工業 (株) | 国際液化水素サプライチェーンの将来展望と川崎重工の取組み | ターボ機械協会創立50周年 記念講演会 | 東京都 | 2023/9/22 |
| 289 | 山本 滋 | 川崎重工業 (株) | Recent Activity toward realization of carbon neutrality (Aiming to build an international liquefied hydrogen supply) | 水素輸入への専門家ワークショップ - 日独エネルギーパートナーシップ - | | 2023/9/27 |
| 290 | 小林 高行 | 川崎重工業 (株) | 水素社会実現とカーボンニュートラルに向けた取組み | 地球温暖化対策技術会 | | 2023/9/29 |
| 291 | 長谷川 卓 | 川崎重工業 (株) | 国際水素サプライチェーンと液化水素技術 (ver.1) | 研究会「核融合と水素エネルギー利用社会のあるべき姿」 主催者：核融合研究所、九州大学 | | 2023/10/4 |
| 292 | 大西 慎太郎 | 川崎重工業 (株) | Towards the Realization of International Liquefied Hydrogen Supply Chain | APECシンポジウム | 神戸市 | 2023/10/11 |

(イ) - (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

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|----|------------|-------|--|---|--------|----------|
| 1 | 稲津 晶平 | 川崎重工業 | 次世代エネルギー水素を運ぶ | 九州大学 Ship-COREセミナー | Web | 2021年7月 |
| 2 | 稲津 晶平 | 川崎重工業 | 水素で拓く海事産業の未来Ⅱ | 近畿運輸局・神戸運輸監視部 造船業・船用工業経営技術セミナー | 大阪 | 2021年12月 |
| 3 | 大橋 徹也 | 川崎重工業 | Development of new liquefied hydrogen carrier | IMO (International Maritime Organization) Webinar | Web | 2022年3月 |
| 4 | 富永 晴彦 | 川崎重工業 | Carriage of Next-generation Energy, "Hydrogen" | SeaJapan 2022 船舶海洋技術セミナー | 東京 | 2022年4月 |
| 5 | 稲津 晶平 | 川崎重工業 | 液化水素運搬船の開発と実用化への取り組み | 日本船用工業会 GHGゼロエミッション新燃料ワークショップ | Web | 2022年9月 |
| 6 | 稲津 晶平 | 川崎重工業 | 液化水素運搬船の開発と実用化への取り組み | 日本埋立浚渫協会 講演会 | Web | 2022年10月 |
| 7 | ルイス クアドランテ | 川崎重工業 | Kawasaki's technology to establish hydrogen supply chain | Gastech 2023 | シンガポール | 2023年9月 |
| 8 | 稲津 晶平 | 川崎重工業 | 水素社会実現に向けたサプライチェーンの構築と展望 | 日本海運集会所 セミナー | 東京 | 2023年9月 |
| 9 | 稲津 晶平 | 川崎重工業 | 水素社会実現に向けたサプライチェーンの構築と展望 | 近畿高エネルギー加工技術研究所 研究開発パートナーシップ構築セミナー | 尼崎 | 2023年9月 |
| 10 | 稲津 晶平 | 川崎重工業 | 液化水素運搬船について | 海上交通システム研究会 | 神戸 | 2023年9月 |

(イ) - (4) 液化水素貯槽の大型化に関する研究開発

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|----|-------|-------------|--------------|---|-------|-------------|
| 1 | 大江 知也 | トーヨーカネツ株式会社 | 大型液化水素タンクの開発 | (一社) 日本高圧力技術協会 オンライン技術セミナー エネルギー貯槽技術の最新動向 | オンライン | 2021年11月18日 |

(イ) - (5) 液化水素用大口径バタフライバルブの技術開発

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|----|------|------------|----------------------------|---|-------|-----------|
| 1 | 小野賢二 | 株式会社 中北製作所 | 液化水素用大口径バタフライバルブの技術開発の取り組み | 近畿経済産業局「水素エネルギー広域連携推進セミナー」 | 大阪 | 2022/3/14 |
| 2 | 秋山善克 | 株式会社 中北製作所 | 数値解析を活用した液体水素用バタフライバルブの開発 | IDAJ「Solution Seminar Vol.106 SIMULIA Abaqus事例紹介セミナー」 | オンライン | 2022/9/14 |
| 3 | 秋山善克 | 株式会社 中北製作所 | 数値解析を活用した液体水素用バタフライバルブの開発 | IDAJ「Solution Seminar Vol.106 SIMULIA Abaqus事例紹介セミナー」 | オンライン | 2022/11/8 |

(ロ) - (1) ドライ低NOx 水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|----|------------------------|--|---|---|--------------------------|-------------|
| 1 | 堀川 敦史 | 技術開発本部 技術研究所 熱 システム研究部 | 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 | 2019年4月24日 |
| 2 | 緒方 正裕 | Kawasaki Gas Turbine Europe | Kawasaki's Activity for Hydrogen Supply Chain and Hydrogen Gas Turbine | Parlamentarischer Abend des Bundesverband Bioenergie e.V. und der Botschaft von Japan in Deutschland | Deutsc hland | 2019年5月15日 |
| 3 | 足利 貢 山口 正人 小浜 範芳 | 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 | Development and Evaluation of a Combined Heat and Power Supply System using a Hydrogen Gas Turbine | World Hydrogen Technologies Convention (WHTC) 2019 (東京国際フォーラム) | | 2019年6月5日 |
| 4 | 西村 元彦 | 技術開発本部 水素チェーン開 発センター | International Liquefied Hydrogen Supply Chain and Hydrogen Gas Turbine | World Hydrogen Technologies Convention (WHTC) 2019 (東京国際フォーラム) | | 2019年6月4日 |
| 5 | 千代 亮 | 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 | 国際水素サプライチェーン構築への取 組 | 第14回再生可能エネルギー世界展示会 & フォーラム | | 2019年7月10日 |
| 6 | 原田 英一 | 技術開発本部 | 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 | 日本社会イノベーションフォーラム2019 | | 2019年7月24日 |
| 7 | 西村 元彦 | 技術開発本部 水素チェーン開 発センター | 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 | 敦賀商工会議所主催「第3回 "水素エネル ギー産業"勉強会」 | | 2019年8月7日 |
| 8 | 西村 元彦 | 技術開発本部 水素チェーン開 発センター | 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 | 日本計画研究所主催セミナー | | 2019年8月20日 |
| 9 | 吉山 孝 | 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 | 水素ガスタービン発電の実現に向け た取組み | 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」 | | 2019年9月11日 |
| 10 | 山口 正人 | 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 | 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 | 日本伝熱学会主催「第16回関西伝熱セミ ナー」 | | 2019年9月13日 |
| 11 | 吉山 孝 | 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 | 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 | 関西火力発電EXPO技術セミナー | | 2019年9月27日 |
| 12 | 緒方 正裕 | Kawasaki Gas Turbine Europe GmbH | The actions of Kawasaki - Hydrogen Technologies in Japan and Germany | 日独産業協会主催「Asa No Kai 朝の会」 | | 2019年9月12日 |
| 13 | 吉野 泰 | 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 | Hydrogen Energy Supply Chain Project | Regional Workshop on Green and Low Carbon Hydrogen Energy | | 2019年9月27日 |
| 14 | 金花 芳則 | 本社 | New Partnership for the Future | 第57回 日豪経済合同委員会議 | | 2019年10月8日 |
| 15 | 鈴木 啓真 | 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 | International Liquefied Hydrogen Supply Chain | International Conference on Power Engineering-2019 | | 2019年10月25日 |
| 16 | 吉山 孝 | 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 | 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 | 大阪産業技術研究所 森之宮センター | | 2019年12月12日 |

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|----|-------------------|--|--|---|-----|------------------|
| 17 | 西村 元彦 | 技術開発本部 水素チェーン開 発センター | 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 | JXTG・NHKインタープライズ社主催シンポジ ウム | | 2019年12月 |
| 18 | 千代 亮 | 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 | International Liquefied Hydrogen Supply Chain | Energy Workshp ADNOC&JCCME | | 2020年1月15日 |
| 19 | 新道 憲二 郎 | 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 | 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 | 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」 | | 2020年1月29日 |
| 20 | 足利 貢 | 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 | Demonstration Project of Smart Community using Hydrogen Co-generation System | Hydrogen Safety Conference Osaka 2020 | | 2020年3月16日 |
| 21 | 森本 勝哉 | 技術開発本部 水素チェーン開 発センター | Status of the Hydrogen Energy Supply Chain Project | Japan-Norway Hydrogen Seminar 2020 "Innovative Hydrogen End- Use in Global Supply Chains" | | 2020年2月25日 |
| 22 | 足利 貢 | 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 | 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 | 第27回 燃料電池シンポジウム | | 2020年5月中旬 |
| 23 | 原田 英一 | 技術開発本部 | 水素エネルギー社会の実装とグロー バル連携 | 日経 社会イノベーションフォーラム | | 2020年5月15日 |
| 24 | 川副 洋史 | Hydrogen Engineering Australia Pty Ltd (HEA) | Hydrogen Energy Supply Chain (HESC) | メルボルン大学教員、学生向けセミナーでのラ イブ中継 | | 2020年6月10日 |
| 25 | Nurettin Tekin | Kawasaki Gas Turbine Europe | DEVELOPMENT OF INNOVATIVE HYDROGEN COMBUSTION SYSTEMS FOR INDUSTRIAL GAS TURBINES | 23rd World Hydrogen Energy Conference | | 2020年7月5日～ 9日 |
| 26 | 重清 秀雄 | 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 | 国際水素サプライチェーンの実現に向 けた取り組み | 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 | | 2020年7月9日 |
| 27 | 堀川 敦史 | 技術開発本部 技術研究所 熱 システム研究部 | 水素燃料に対応する燃焼技術とガス タービン開発状況 | (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 | | 2020年8月19日 |
| 28 | 原田 英一 | 技術開発本部 | International Liquefied Hydrogen Supply Chain Utilizing Brown Coal | 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) | | 2020年9月10日 |
| 29 | 水素インフ 研究会 | 一般財団法人 エンジニアリング 協会 | ENAA研究成果発表会2020 F- 2:「水素インフ研究会」活動報告 | ENAA研究成果発表会2020 | | 2020年9月4日 |
| 30 | 森本 勝哉 | 技術開発本部 水素チェーン開 発センター | 「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 | (株)日本計画研究所主催のセミナー | | 2020年10月6日 |
| 31 | 金花 芳則 | 本社 | Way to Decarbonization Kawasaki Hydrogen Road | White&Case主催 Tokyo Back-to-Business Program Series 2020(Webinar方式) | | 2020年10月7日 |
| 32 | 金花 芳則 | 本社 | KHI's Activity for International Liquefied Hydrogen Supply Chain | NEDO、経済産業省主催 水素閣僚会議 2020(オンラインでの動画配信) | | 2020年10月14日 |
| 33 | 足利 貢 | 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 | 国際水素サプライチェーンの構築とガ スタービン発電での水素利活用 | 第48回日本ガスタービン学会定期講演会 先端技術フォーラム「脱炭素社会実現に向 けた水素利用技術の動向」 | | 2020年10月15日 |
| 34 | 新道 憲二 郎 | 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 | 国際水素サプライチェーン構築に向け た取り組み | エネルギー総合工学研究所主催 第404回 月例研究会(Web会議方式) | | 2020年11月13日 |

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|----|--------|---|--|--|-----|----------------------|
| 35 | 新道 憲二郎 | 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 | 国際水素サプライチェーン構築に向け た取り組み | 日本船舶機関士協会主催 京浜地区技術 講演会(Microsoft TeamsでのWeb会議 方式) | | 2020年11月11日 |
| 36 | 角田 俊也 | 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 | KHI's Activity for International Liquefied Hydrogen Supply Chain | 東海大学-デンマーク工科大学「エネルギーセ ミナー」(Web会議方式) | | 2020年12月10日 |
| 37 | 足利 貢 | 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 | 国際水素サプライチェーンの構築とガ スタービン発電での水素利活用 | 日本ガスタービン学会主催 第49回ガスター ビンセミナー-(ZoomによるWebinar+予稿集 集) | | 2021年1月29日 |
| 38 | 久保 博史 | エネルギー・環境 プラントカンパニー エネルギーデビ ジョン エネルギー システム総括部 ガスタービン開発 部 第二開発課 | 高効率ガスタービンコージェネレーショ ン開発への取り組み | (公社)日本ガスタービン学会主催 ガスタービ ン学生フォーラム2021 (Zoomでのオンラ イン方式にて実施(Youtube限定配信も予 定)) | | 2021年1月28日 |
| 39 | 柏原 宏行 | 技術開発本部 技術研究所 熱 システム研究部 | 国際水素サプライチェーンの構築とガ スタービン発電での水素利活用 | 東京都市大学主催 総研セミナー | | 2021年2月19日 |
| 40 | 小浜 範芳 | 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 | International Liquefied Hydrogen Supply Chain | 大阪ガス本社、Zoomでシンガポールの Keppel Corporation Limitedに接続 | | 2021年2月4日 |
| 41 | 角田 俊也 | 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 | 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 | 水素・次世代エネルギー研究会主催 水素・ 次世代エネルギー研究会セミナー2020 Vol.2(Web会議方式) | | 2021年3月17日 |
| 42 | - | 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 | Kawasaki Hydrogen Road | World Hydrogen Technologies Convention (WHTC) 2019 (東京国際フォーラム) | | 2019年6月4日 ～ 6月5日 |
| 43 | 井本 有太郎 | 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 | 次世代火力ボイラ/CGSコージェネ レーションシステム | 次世代火力発電EXPO | | 2020年2月26日 ～2月28日 |
| 44 | 井本 有太郎 | 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 | 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 | 次世代火力発電EXPO | | 2020年2月26日 ～2月28日 |
| 45 | 井本 有太郎 | 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 | CGSコージェネレーションシステム THE NEXT 火力発電 | 次世代火力発電EXPO | | 2020年2月26日 ～2月28日 |

(ロ) - (3) 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

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|----|-----------------|-------|--|--|-----------------|-------------|
| 1 | 齊藤 圭司郎 | 三菱重工業 | 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 | (株)技術情報センターセミナー | 東京 | 2020年8月19日 |
| 2 | 六山 亮昌 | 三菱パワー | Hydrogen FUTURE STREAM | 水素閣僚会議 | 東京 | 2020年10月14日 |
| 3 | 谷村 聡 | 三菱パワー | 大型水素ガスタービンの開発 | 日本ガスタービン学会 定期講演会先端技術フォーラム | オンライン | 2020年10月15日 |
| 4 | Bulent Mehmetli | 三菱パワー | MITSUBISHI POWER'S JAC SERIES GAS TURBINES | ICCI2020 | オンライン | 2020年10月16日 |
| 5 | 西海 高史 | 三菱パワー | 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 | 福岡 | 2020年10月26日 |
| 6 | 川上 朋 | 三菱パワー | 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 関東支部講演会 | 東京 | 2020年10月29日 |
| 7 | 谷村 聡 | 三菱パワー | 水素焚きガスタービンの開発状況について | 日本機械学会 動力エネルギーシステム部門 | オンライン | 2020年11月6日 |
| 8 | 谷村 聡 | 三菱パワー | 水素焚きガスタービンの開発 | 第3回水素エネルギーテクノシンポジウム | 滋賀 | 2020年11月27日 |
| 9 | 川上 朋 | 三菱パワー | 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大学講座 | 東京 | 2021年1月16日 |
| 10 | 西岡映二他 | 三菱パワー | カーボンニュートラルに向けたエネルギー変換技術 | 環境省「ヴァーチャル・ジャパン・パビリオン」 | 東京 | 2021年3月 |
| 11 | 谷村 聡 | 三菱パワー | 大型水素ガスタービンの最新開発状況 | スマートエネルギーWeek2021セミナー | 東京 | 2021年3月4日 |
| 12 | 松田順一郎 | 三菱パワー | 持続可能社会実現に向けた先進発電技術の取組み | 次世代火力Expoセミナー | 東京 | 2021年3月5日 |
| 13 | 谷村 聡 | 三菱重工 | Hydrogen・Power Generation towards “Beyond Zero Society” | NEDO講演会「東南アジアにおける水素エネルギーの将来展望」 | 東京 | 2021年4月21日 |
| 14 | 谷村 聡 | 三菱重工 | Mitsubishi H2 Gas Turbine | ERIA (Economic Research Institute for ASEAN and East Asia) 第2回水素WG会合にてプレゼン | 東京 | 2021年6月 |
| 15 | 谷村 聡 | 三菱重工 | Mitsubishi H2 Gas Turbine | 日EUオンラインワークショップ | 東京 | 2021年9月9日 |
| 16 | 正田淳一郎 | 三菱重工 | Hydrogen Power Generation towards “Beyond Zero Society” | 水素閣僚会議2021公式サイトへの講演動画掲載 | 東京 | 2021年10月4日 |
| 17 | 西岡映二他 | 三菱重工 | Hydrogen Gas Turbine Technologies Paving the way towards carbon neutral society. | COP26ジャパンパビリオン | グラスゴー | 2021年10月31日 |
| 18 | 岡崎輝幸 | 三菱重工業 | 脱炭素社会に向けた発電分野における水素燃焼技術の開発 | 日本燃焼学会 第59回燃焼シンポジウム | オンライン | 2021年11月23日 |
| 19 | 西岡映二 | 三菱重工 | Hydrogen Power Generation towards “Beyond Zero Society” | IEEJ 中南米水素WS | 東京 | 2021年12月10日 |
| 20 | 中村 聡 | 三菱重工業 | 水素およびアンモニア焚きガスタービンの開発 | 発電エネルギー未来技術シンポジウム | 宮城 | 2021年12月13日 |
| 21 | 谷村 聡 | 三菱重工 | ゼロエミッション社会に向けた水素発電の取組み | 日中省エネルギー・環境総合フォーラム | 東京 | 2021年12月26日 |
| 22 | 喜田英之他 | 三菱重工 | | World Future Energy Summit 2022 | UAEアブダビ | 2022年1月17日 |
| 23 | 喜田英之他 | 三菱重工 | | iktva 2022 Forum & Exhibition | サウジアラビア Dam mam | 2022年1月24日 |
| 24 | 谷村 聡 | 三菱重工 | ゼロエミッション社会に向けた水素発電の取組み | 川崎臨海部水素ネットワーク協議会 | 東京 | 2022年2月24日 |

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|----|-------|-------|---|--------------------------------------|-------------------------|-------------|
| 25 | 正田淳一郎 | 三菱重工 | 火力発電の脱炭素化 -水素技術実証の進捗と展望 | 第6回ゼロエミッション 火力EXPO 基調講演 | | 2022年3月16日 |
| 26 | 正田淳一郎 | 三菱重工 | MHI's approach to zero emissions | 日ASEANビジネスウィークパネルディスカッション | 東京 | 2022年6月1日 |
| 27 | 川上 朋 | 三菱重工業 | 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 | (株)技術情報センターセミナー | 東京 | 2022年8月26日 |
| 28 | 谷村 聡 | 三菱重工 | MHI H2/NH3 Gas Turbine | IEEJ主催南米水素ワークショップ | 東京 | 2022年8月31日 |
| 29 | 辻川 寛 | 三菱重工 | MHI H2/NH3 Gas Turbine | IEEJ主催ASEAN水素ワークショップ | 東京 | 2022年10月31日 |
| 30 | 西岡映二他 | 三菱重工 | Hydrogen Gas Turbine | COP27ジャパンパビリオン | エジプト Sharm El-Sheikh | 2022年11月7日 |
| 31 | 小山 敦史 | 三菱重工業 | 水素焚きガスタービンの開発 | 日本材料学会 X線材料強度 部門委員会 | 茨城 | 2022年11月14日 |
| 32 | 道免 昌平 | 三菱重工業 | 発電用ガスタービンにおける水素利用について | 火力原子力発電技術協会 九州支部 沖縄地区講演会 | オンライン | 2022年11月17日 |
| 33 | 飯尾 剛範 | 三菱重工業 | アンモニア焚きガスタービンの技術開発 | 火力原子力発電技術協会 九州支部 福岡地区講演会 | 福岡 | 2022年11月28日 |
| 34 | 谷口 健太 | 三菱重工業 | 発電用大型ガスタービンにおける水素利用の取組み | 素材プロセス第69委員会 第3分科会 研究会 | 東京 | 2022年12月5日 |
| 35 | 谷村 聡 | 三菱重工 | MHI Hydrogen Gas Turbine | QUAD水素ワークショップ | 京都 | 2022年12月9日 |
| 36 | 長橋 裕明 | 三菱重工業 | 発電用ガスタービンにおける水素利用について | 2022年度火力原子力発電技術協会 大学講座 | 東京 | 2022年12月17日 |
| 37 | 安部 直樹 | 三菱重工業 | アンモニア焚きガスタービンの技術開発 | 九州産業保管監督部「令和4年度ボイラー・タービン主任技術者会議(九州)」 | オンライン | 2023年2月14日 |
| 38 | 和田 康弘 | 三菱重工業 | Technology Development of Hydrogen and Ammonia Power Generation | 公益財団法人北九州国際技術協力協会「水素エネルギー利用の推進」研修 | 東京 | 2023年2月21日 |
| 39 | 三谷 真規 | 三菱重工業 | アンモニア焚きガスタービンの技術開発 | 火力原子力発電技術協会 関西支部 講習会 | 大阪 | 2023年3月8日 |
| 40 | 正田淳一郎 | 三菱重工 | 水素製造発電一貫システムによる・ゼロエミッション火力開発と・実証への取組み | ゼロエミッション火力EXPO | 東京 | 2023年3月17日 |
| 41 | 寺内方志 | 三菱重工 | 水素ガスタービンへの取組み状況 | 第29回水素・燃料電池戦略協議会 | 東京 | 2023年3月24日 |

(ロ) - (4) 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

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|----|------|-------------------|------------------------------|---------------------|-----|------------|
| 1 | 津村俊一 | 三菱重工パワーインダストリー(株) | 産業ボイラ用水素焚きガスバーナの開発 | 日本技術士会（機械部会）例会で講演 | 東京 | 2021.12.10 |
| 2 | 津村俊一 | 三菱重工パワーインダストリー(株) | 産業ボイラ用水素焚きガスバーナの開発 | 室蘭脱炭素社会創造協議会 | 東京 | 2022.7.20 |
| 3 | 上妻富明 | 三菱重工パワーインダストリー(株) | 産業ボイラ向け高性能水素バーナの開発 | 日本ボイラ協会（全日本ボイラ大会） | 広島 | 2022.11.24 |
| 4 | 津村俊一 | 三菱重工パワーインダストリー(株) | 産業ボイラ用水素焚きガスバーナの開発 | 一般企業向けウェビナー | 横浜 | 2023.2.8 |
| 5 | 高嶋洋平 | 三菱重工パワーインダストリー(株) | 水素の拡散燃焼バーナにおける燃焼技術開発とボイラへの適用 | 技術情報センター | 東京 | 2023.8.24 |

(ロ) - (5) 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

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|----|-------|--------|-------------------------------------|---|-----|-----------|
| 1 | 宮本 世界 | 技術開発本部 | 発電効率51%を達成した大型ガスエンジンと・将来の脱炭素に向けた取組み | (株) 技術情報センター 「ガスエンジン/コージェネの技術開発動向・取組み」 | 東京 | 2023/8/23 |

(ロ) - (6) 液化水素冷熱の利用を可能とする中間媒体式液化水蒸気気化器の開発

| 番号 | 発表者 | 所属 | タイトル | 講演会・講習会・カンファレンス等の名称 | 開催地 | 発表日 |
|----|--------|---------|---|--|-------|--------|
| 1 | 竹内 正道 | 株)神戸製鋼所 | 工場における水素利活用の取組み(熱利用など) | 兵庫県主催の「ひょうご水素社会推進シンポジウム」 | 兵庫 | 2023.1 |
| 2 | 野一色 公二 | 株)神戸製鋼所 | 工場の脱炭素化に向けた水素利活用の取組み | 第2回「水素産業ニース」フロンティア社会(近畿経済産業局) ～中業企業の参入に向けたマッチング | オンライン | 2022.1 |
| 3 | 野一色 公二 | 株)神戸製鋼所 | Hydrogen utilization activity for decarbonization of plants | 神戸市 国際課の依頼でシアトル訪問団への講演 | 兵庫 | 2022.1 |
| 4 | 野一色 公二 | 株)神戸製鋼所 | 高砂製作所における脱炭素化に向けた工場の水素利活用の取組み | 高砂商工会議所依頼のSDG's 脱炭素セミナー | 兵庫 | 2022.1 |
| 5 | 野一色 公二 | 株)神戸製鋼所 | Hydrogen utilization activity for decarbonization of plants | 神戸市の依頼でドイツWEBセミナー(Mirori5) | 兵庫 | 2023.2 |
| 6 | 小林 祐之輔 | 株)神戸製鋼所 | 水素利活用の取組紹介 | 第3回「水素産業ニース」フロンティア社会(近畿経済産業局) ～中業企業の参入に向けたマッチング | オンライン | 2023.2 |
| 7 | 野一色 公二 | 株)神戸製鋼所 | 神戸製鋼所高砂製作所における工場の脱炭素化に向けた水素利活用の取組み | 第14回神戸ものづくり中小企業展示商談会 | 兵庫 | 2022.6 |
| 8 | 野一色 公二 | 株)神戸製鋼所 | Hydrogen utilization activity for decarbonization of plants | Latin America - Japan Hydrogen Workshop 2022 | 東京 | 2022.8 |
| 9 | 野一色 公二 | 株)神戸製鋼所 | 工場の脱炭素化に向けた水素利活用の取組み | 未来社会にむかう理研放射光センター・産業界連携シンポジウム 第1回カーボンニュートラルにむけた水素利用など | 兵庫 | 2022.8 |
| 10 | 野一色 公二 | 株)神戸製鋼所 | 工場の脱炭素化に向けた水素利活用の取組み | 第10回JH2A会員セミナー | オンライン | 2022.8 |
| 11 | 野一色 公二 | 株)神戸製鋼所 | 工場の脱炭素化に向けた水素利活用の取組み | 第2回GXスタジオ | オンライン | 2022.9 |

【外部発表】(D)メディアでの取上げ

(イ) - (1) 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

| 番号 | タイトル | 媒体 | 公表日時 |
|----|--|---|------------|
| 1 | 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 | 日本工業新聞社「月刊ビジネスアイ エネコ」雑誌とweb（取材） | 2017/6/1 |
| 2 | 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 | 各種メディア（プレスリリース） | 2017/7/27 |
| 3 | 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 | 化学工業日報 | 2017/8/21 |
| 4 | 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 | 化学工業日報 | 2017/8/23 |
| 5 | 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 | ガスレビュー | 2017/9/1 |
| 6 | 水素社会、実現迫る | 日経ヴェリタス | 2017/9/3 |
| 7 | 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 | 化学工業日報 | 2017/9/5 |
| 8 | 水素のサプライチェーンに関する特集記事 | ガスエネルギー新聞 | 2017/9/18 |
| 9 | ブルネイ国－川崎 世界に先駆けて国際間水素サプライチェーン実証 | ジェトロセンサー（取材） | 2017/10/1 |
| 10 | 弊社ウェブサイトの改訂 | 千代田化工建設HP | 2017/10/5 |
| 11 | ブルネイ国－川崎 世界に先駆けて国際間水素サプライチェーン実証 | エネルギージャーナル | 2017/10/15 |
| 12 | ブルネイ国－川崎 世界に先駆けて国際間水素サプライチェーン実証 | エネルギーの新潮流、およびエネルギー総工研web | 2017/11/1 |
| 13 | 世界に先駆けて、国際間水素サプライチェーン構築へ | 投資経済 | 2017/11/10 |
| 14 | 水素社会を支え、世界のサステナビリティに貢献！ | 川崎市環境技術紹介パンフ「エコテックウォーカー」 | 2018/2/1 |
| 15 | 技術研究組合の設立と取り組み－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－ | 月刊クリーンエネルギー | 2018/1/30 |
| 16 | 世界に先駆けた国際実証を通じて水素の大量輸送・供給技術確立 | 日本海運集会所 KAIUN | 2018/2/5 |
| 17 | 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 | 株式会社ガスレビュー発行 ハイドリズム8 | 2018/2/1 |
| 18 | 水素サプライチェーン実証 | WEBおよび小冊子（CSR） | 2018/2/1 |
| 19 | 水素事業全般 | 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 | 2018/1/23 |
| 20 | INVESTOR'S BRIEF 2018 | 機関投資家向けIR資料 | 2018/5/1 |
| 21 | NEDO助成事業での圧縮機の受注 | 加地テックWEB | 2018/4/10 |
| 22 | 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 | 決算発表 | 2018/5/11 |
| 23 | 次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合について | 京浜臨海部ニュース8月号 | 2018/7/12 |
| 24 | 川崎市と取り組む脱炭素社会への貢献 | 2018サステナビリティレポート | 2018/9/1 |
| 25 | 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 | 月刊ビジネスアイ エネコ | 2018/8/28 |
| 26 | SPERA水素 千代田の水素供給事業 | 電気新聞 | 2018/8/7 |
| 27 | Development of Novel Dehydrogenation Catalyst for Hydrogen Carrier | 8th Tokyo Conference on Advanced Catalytic Science and Technology | 2018/8/9 |
| 28 | 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 | NHK | 2018/9/1 |
| 29 | 千代田の水素供給事業 | 日刊工業新聞、エネルギージャーナル、エネ総工研web (2018/11/1・11/15・2019/1/30) | 2018/11/1 |
| 30 | 国際間水素サプライチェーン実証事業の起工式 | HP | 2018/11/1 |
| 31 | 千代田の水素供給事業 | 日経産業新聞コラム「グリーン技術」 | 2018/11/27 |
| 32 | 東亜石油殿（川崎京浜製油所内）にて起工式典を開催 | 社内報 | 2019/1/30 |
| 33 | 脱水素プラント建設工事起工式 | 社内報 | 2019/1/7 |
| 34 | 千代田の水素供給事業 | 読売新聞神奈川版 | 2018/1/10 |

| 番号 | タイトル | 媒体 | 公表日時 |
|----|---|---------------------------------------|------------|
| 35 | 水素社会に向けた日本の取組み | ソウル経済新聞 | 2019/2/25 |
| 36 | Hydrogen Supply Business | Investor's Brief 2019 | 2019/5/1 |
| 37 | 「水素って何？」 | 市民向けパンフレット | 2019/7/1 |
| 38 | 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 | 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 | 2019/6/4 |
| 39 | Hydrogen Supply Chain | Chiyoda in Brief | 2019/6/1 |
| 40 | 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 | G20軽井沢大臣会合、屋外展示会場での展示 | 2019/6/14 |
| 41 | 中国でも注目しているSPERA水素技術 | 朝日新聞電子版 | 2019/7/4 |
| 42 | 千代田化工建設の水素の取組み | 化学工業日報 | 2019/7/22 |
| 43 | 有機ハイドライド法水素貯蔵輸送技術と将来の展望 | 「火力原子力発電」2019年10月号 | 2019/8/19 |
| 44 | 三菱商事 | 三菱商事会社案内パンフレット | 2019/9/1 |
| 45 | 水素サプライチェーン事業 脱水素プラント完成 | 株主向け資料 | 2019/3/1 |
| 46 | 水素サプライチェーンへの協力 | サステナビリティレポート | 2020/1/30 |
| 47 | 水素サプライチェーン実証 水素輸送の開始 | 日経産業新聞 | 2020/2/20 |
| 48 | 水素サプライチェーン実証 水素輸送の開始 | 電気新聞 | 2020/2/20 |
| 49 | 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 | 電気新聞 | 2020/3/16 |
| 50 | 水素サプライチェーン実証 | 月刊誌「KAIUN」5月号 | 2020/5/1 |
| 51 | 水素は、“ごく普通のタンクローリー”で輸送できる？！ | 日経ビジネス電子版 | 2020/4/1 |
| 52 | 水素サプライチェーン実証稼働開始 | 「海事プレス」 | 2020/4/28 |
| 53 | 水素サプライチェーン実証稼働開始 | 「日本海事新聞」 | 2020/4/28 |
| 54 | SPERA Hydrogen / The World's First Global Supply Chain Transportation Project | Investor's Brief 2020 | 2020/5/29 |
| 55 | 輸入水素の発電利用開始 | HP | 2020/5/25 |
| 56 | 【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 | HP | 2020/5/26 |
| 57 | 水素サプライチェーン実証概要説明 | 報道関係者様向けプラント見学会、HP | 2020/6/25 |
| 58 | 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～ | HP | 2020/6/25 |
| 59 | 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」 | 情報誌「港湾10月号」 | 2020/10/15 |
| 60 | 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- | 配管技術 11月号 | 2020/11/1 |

(イ) - (2) 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

| 番号 | 機関名 | タイトル | 媒体 | 公表日時 |
|----|---------------------------|--|----------|------------|
| 1 | 日本海事協会 | Guidelines for a hydrogen-powered future | 雑誌 | 2017/5 |
| 2 | 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 | 雑誌 | 2017/6 |
| 3 | 日刊工業新聞 | — | 紙面 | 2017/7/3 |
| 4 | 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メディア | 2017/7/26 |
| 5 | 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 | 紙面等 | 2017/8/30 |
| 6 | ガスエネルギー新聞 | クローズアップ | 紙面 | 2017/9/18 |
| 7 | 投資経済社 | 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 | 雑誌 | 2017/11 |
| 8 | 毎日経済エコノミー (韓国) | 水素エネルギー最前線を行く | 雑誌 | 2018/1 |
| 9 | 電気評論社 | 豪州褐炭水素プロジェクトの取り組み | 雑誌 | 2018/1 |
| 10 | 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 | 雑誌 | 2018/2 |
| 11 | ガスレビュー | 褐炭由来水素は、水素社会のキックスターター | 雑誌 | 2018/2 |
| 12 | 東洋経済 | 水素が世界を変える日 | 雑誌 | 2018/2 |
| 13 | 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 | 紙面等 | 2018/2/14 |
| 14 | Wedge | 胎動するCO2フリー水素サプライチェーン | 雑誌 | 2018/3 |
| 15 | 日本海事新聞 | 水素に関する川重の取り組みと液化水素運搬船の開発 | 紙面 | 2018/3/27 |
| 16 | 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 | 紙面 | 2018/4/9 |
| 17 | 日経ビジネス | — | 雑誌 | 2018年6～7月 |
| 18 | エヌ・ティー・エス | 水素利用技術集成 vol.5 – 施設の安全性と国際規格 – | 書籍 | 2018/10 |
| 19 | 電気新聞 | — | 紙面 | 2018/9/5 |
| 20 | 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 | 紙面 | 2018/9/5 |
| 21 | ガスエネルギー新聞 | — | 紙面 | 2019/4 |
| 22 | 日本経済新聞 | — | 紙面 | 2019/5 |
| 23 | 日刊工業新聞 | 「深層断面」 | 紙面 | 2019/8 |
| 24 | ガスエネルギー新聞 | — | 紙面 | 2019/8/26 |
| 25 | 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 | 紙面 | 2019/9/5 |
| 26 | NHK、日本経済新聞社、日刊工業新聞社、読売新聞等 | — (液水運搬船進水式に関する合同取材) | | 2019/11/14 |
| 27 | HySTRA | 世界初、液化水素運搬船「すいそ ふろんていあ」が進水 | ニュースリリース | 2019/12/11 |
| 28 | HySTRA | 世界初の液化水素運搬船向け「海上輸送用液化水素タンク」の搭載が完了 | ニュースリリース | 2020/3/9 |
| 29 | 川崎重工業 (株) | 世界初の液化水素運搬船向け「海上輸送用液化水素タンク」の搭載が完了 | プレスリリース | 2020/3/9 |
| 30 | HySTRA | 液化水素荷役実証ターミナル (愛称「Hy touch 神戸」) 実証試験開始 | ニュースリリース | 2020/6/12 |
| 31 | 海事プレス | — (「COMPASS7月号」(隔月誌)) | 雑誌 | 2020/6/25 |

| 番号 | 機関名 | タイトル | 媒体 | 公表日時 |
|----|-----------------------------------|---|----------|------------|
| 32 | 時評社 | ◆海運GHGゼロエミッション政策最前線 液化水素運搬船でサプライチェーンを担う | 雑誌 | 2020/8 |
| 33 | 日本経済新聞 | 脱CO2へ水素で貢献 エネルギー新時代を導く | WEB | 2020/8/21 |
| 34 | 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 | 紙面 | 2020/9/28 |
| 35 | ガスレビュー | | 雑誌 | 2020/10/30 |
| 36 | ガスエネルギー新聞 | — | 紙面 | 2020/11/16 |
| 37 | 川崎重工業（株） | 世界初の液化水素荷役実証ターミナル「Hytouch 神戸」を納入 | プレスリリース | 2020/12/3 |
| 38 | 川崎重工業（株） | 世界最大級の「11,200m ³ 球形液化水素貯蔵タンク」の設計技術を確立 | プレスリリース | 2020/12/24 |
| 39 | 電源開発（株） | 日豪水素サプライチェーン褐炭ガス化・水素精製設備における水素製造開始について | プレスリリース | 2021/1 |
| 40 | JCOAL | CO2フリー水素製造に向けた日本の取組 | 雑誌 | 2021/2/26 |
| 41 | HySTRA | 豪州褐炭ガス化・水素精製実証設備において水素純度99.999%（目標値）を達成 | ニュースリリース | 2021/4/28 |
| 42 | クリーンエネルギー | 国際水素サプライチェーンの構築とガスタービン発電での水素利活用 | 雑誌 | 2021/6 |
| 43 | 笹川平和財団 海洋政策研究所「Ocean Newsletter」 | 液化水素運搬船が開く脱炭素社会 | 雑誌 | 2021/6 |
| 44 | The Scientist | Australia-Japan hydrogen supply chain establishment pilot project | WEB雑誌 | 2021/6 |
| 45 | 日刊工業新聞 | 「電力新時代」Jパワー特集第1回「水素発電に向けての取り組み」 | 紙面 | 2021/6/22 |
| 46 | 日経ESG | 「ブルーミッション2050」について | 雑誌 | 2021/7/8 |
| 47 | 火力原子力発電技術協会 | 国際水素サプライチェーンと実証試験の状況 | 雑誌 | 2021/10 |
| 48 | HySTRA | 液化水素運搬船「すいそ ふろんていあ」国内満載試験航海の完了 | ニュースリリース | 2021/10/13 |
| 49 | HySTRA | 液化水素運搬船「すいそ ふろんていあ」が日本海事協会から船級取得 | ニュースリリース | 2021/12/3 |
| 50 | 川崎重工業（株） | 液化水素運搬船「すいそ ふろんていあ」が日本海事協会から船級を取得 | プレスリリース | 2021/12/3 |
| 51 | HySTRA | 世界初、液化水素の大量かつ長距離海上輸送実証試験を開始 ～「すいそ ふろんていあ」が豪州へ向けて出港～ | ニュースリリース | 2021/12/24 |
| 52 | 日本港湾協会「港湾」 | 国際水素サプライチェーン構築に向けた取り組み | 雑誌 | 2022/1 |
| 53 | ガスエネルギー新聞 | — | 紙面 | 2022/1/10 |
| 54 | 日本船舶技術研究協会「Shipbuilding in Japan」 | Hydrogen Transportation Begins | 雑誌 | 2022/2 |
| 55 | HySTRA | 豪州褐炭由来液化水素を積載した「すいそ ふろんていあ」が神戸に帰港 | ニュースリリース | 2022/2/25 |
| 56 | 月刊ニューメディア | — | 雑誌 | 2022/3/1 |
| 57 | 産経新聞 | —（日豪サプライチェーン完遂イベント関連） | 紙面 | 2022/3/9 |
| 58 | 日刊工業新聞 | —（日豪サプライチェーン完遂イベント関連） | 新聞 | 2022/3/9 |
| 59 | 日本経済新聞社 | —（日豪サプライチェーン完遂イベント関連） | 紙面 | 2022/3/10 |
| 60 | 川崎重工業、岩谷産業、電源開発、シエルジャパン | 世界初、褐炭から製造した水素を液化水素運搬船で海上輸送・荷役する実証試験の完遂式典を開催 | プレスリリース | 2022/4/9 |

| 番号 | 機関名 | タイトル | 媒体 | 公表日時 |
|----|---------------------------|---|----------|-----------|
| 61 | HySTRA | 日豪サプライチェーン完遂記念式典の開催について | ニュースリリース | 2022/4/9 |
| 62 | 日刊工業新聞 | — | 紙面 | 2022/5 |
| 63 | 日本経済新聞 | 水素サプライチェーン参入企業について | WEB | 2022/6 |
| 64 | HySTRA、川崎重工業、大林組、関西電力、神戸市 | 水素発電にオーストラリアから輸送した水素を使用～水素を「つくる」「はこぶ」「ためる」「つかう」がひとつなぎの道になる～ | プレスリリース | 2022/6/23 |
| 65 | 燃料電池開発情報センター | 水素社会実現に向けた川崎重工業の取組 | 雑誌 | 2023/1 |
| 66 | 日経BP | 川崎重工「すいそ ふろんていあ」開発物語 | WEB | 2023/2/21 |
| 67 | 日本港湾協会 | 液化水素サプライチェーンの構築 | 雑誌 | 2023/3/15 |
| 68 | 水素エネルギー協会 | 国際水素サプライチェーンの構築に向けた川崎重工業の取り組みについて | 雑誌 | 2023/3 |
| 69 | 都市環境エネルギー協会 | — | 雑誌 | 2023/3 |
| 70 | ショット日本（株） | 世界初の液化水素運搬船にショットの封止構造ガラスEternaloc?フィードスルーを採用 | プレスリリース | 2023/3 |
| 71 | HySTRA | 「世界初、液化水素用鋼管型ローディングアームによる船陸間荷役実証試験に成功 | ニュースリリース | 2023/4/18 |
| 72 | 東京貿易ホールディングス（株） | TBグローバルテクノロジーズ株式会社 世界初！ 液化水素用鋼管型ローディングアーム実証荷役に成功！ | プレスリリース | 2023/4 |
| 73 | EURONEWS内番組「SPOTLIGHT」 | — | WEBテレビ | 2023/5/16 |
| 74 | 火力原子力発電技術協会 | 国際水素サプライチェーン実証事業における豪州褐炭ガス化・水素製造について | 雑誌 | 2023/7 |
| 75 | 神戸市「KOBECOCO」 | — | 雑誌 | 2023/8/1 |
| 76 | TOKYO MX番組「ももいろインフラーZ」 | — | テレビ | 2023/8/6 |
| 77 | 産経ニュース | '石炭'が創る水素社会の未来 「石炭の日」に想う復権までのロードマップ | WEB | 2023/8/30 |
| 78 | 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 | 紙面 | 2023/9/5 |
| 79 | テレビ朝日 | — | テレビ | 2023/9 |

(イ) - (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

| 番号 | 機関名 | タイトル | 媒体 | 公表日時 |
|----|-------|---|------------|---------|
| 1 | 川崎重工業 | 水素をためる～液化水素基地の開発～ | 川崎重工技報182号 | 2020年8月 |
| 2 | 川崎重工業 | 世界最大容積の大型液化水素運搬船用貨物格納設備を開発～日本海事協会より設計基本承認を取得～ | 川崎重工業（株）HP | 2021年5月 |
| 3 | 川崎重工業 | 160,000m ³ 型液化水素運搬船の基本設計承認を取得 | 川崎重工業（株）HP | 2022年4月 |
| 4 | 川崎重工業 | 大型液化水素運搬船用貨物タンクの技術開発を完了 | 川崎重工業（株）HP | 2023年6月 |

(イ) - (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**④ 液化水素昇圧ポンプの開発**

| 番号 | 機関名 | タイトル | 媒体 | 公表日時 |
|----|---|------------------------------------|-----------|------------|
| 1 | 荏原製作所ウェブサイト | 液体水素昇圧ポンプ | WEB | 2022/8/29 |
| 2 | 第2回 FC EXPO【秋】-【国際】水素・燃料電池展- | 液体水素昇圧ポンプ | 展示会 | 2022/8/31 |
| 3 | Gastech Exhibition & Conference 2022 | Liquid Hydrogen Booster Pump | 展示会 | 2022/9/5 |
| 4 | Oil & Gas Asia(OGA) 2022 | Liquid Hydrogen Booster Pump | 展示会 | 2022/9/13 |
| 5 | Turbomachinery & Pump Symposium 2022 | Liquid Hydrogen Booster Pump | 展示会 | 2022/9/13 |
| 6 | WETEX and Dubai Solar Show 2022 | Liquid Hydrogen Booster Pump | 展示会 | 2022/9/27 |
| 7 | ADIPEC 2022 | Liquid Hydrogen Booster Pump | 展示会 | 2022/10/31 |
| 8 | 荏原製作所ウェブサイト | 世界初の液体水素昇圧ポンプの開発に成功 | WEB | 2023/2/24 |
| 9 | 環境ビジネスオンライン | 水素社会の点と点をつなぎ、世界の水素サプライチェーンを担う荏原製作所 | WEB 雑誌 | 2023/3/1 |
| 10 | The 11th China International Fluid Machinery Exhibition | Liquid Hydrogen Booster Pump | 展示会 | 2023/3/7 |
| 11 | 第19回 FC EXPO【春】-【国際】水素・燃料電池展- | 液体水素昇圧ポンプ | 展示会 | 2023/3/15 |
| 12 | ターボ機械協会月刊「ターボ機械」(第51巻7号) | 水素・アンモニア発電に用いられるポンプとその技術 | 協会誌 | 2023/7/1 |

(イ) - (4) 液化水素貯槽の大型化に関する研究開発

| 番号 | 機関名 | タイトル | 媒体 | 公表日時 |
|----|------|-------------------|-------------|-----------|
| 1 | 産報出版 | 液化水素貯蔵タンクの実用化研究進む | 新聞 (溶接ニュース) | 2022年8月2日 |

(イ) - (7) 液化水素用大型バルブの技術開発

| 番号 | 機関名 | タイトル | 媒体 | 公表日時 |
|----|--------|-------------|----|-----------|
| 1 | 信濃毎日新聞 | 液化水素向けバルブ参入 | 新聞 | 2023/3/31 |
| 2 | 日刊工業新聞 | 液化水素向けバルブ | 新聞 | 2023/7/26 |

(ロ) - (1) ドライ低NOx 水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業

| 番号 | 機関名 | タイトル | 掲載誌名 | 媒体 | 公表日時 |
|----|--|--|---|-----|-------------|
| 1 | 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 | 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 | 日本動力協会「エネルギーと動力」第292号 | 機関紙 | 2019年5月15日 |
| 2 | 本社 総務本部 CSR部 CSR企画課 | 川崎重工業株式会社におけるSDGsへの取り組み | 一般社団法人 日本電気工業会 機関紙「電機」 | 機関紙 | 2019年6月1日 |
| 3 | 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 | 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～ | (公) 日本港湾協会「港湾」6月号 「港の現場最前線」 | 機関紙 | 2019年6月中旬 |
| 4 | 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 | 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 | 省エネルギーセンター「月刊省エネルギー誌7月号」 | 機関紙 | 2019年7月1日 |
| 5 | 技術開発本部 水素チェーン開発センター | 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 | エネルギー総合工学研究所「エネルギーの新潮流9月号」 | 機関紙 | 2019年8月1日 |
| 6 | 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 | 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 | 日本機械学会「ニューズレター第62号」 | 機関紙 | 2019年9月 |
| 7 | 技術開発本部 水素チェーン開発センター | 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 | 経済産業新報2019年9月9日号 | 新聞 | 2019年9月9日 |
| 8 | 技術開発本部 水素チェーン開発センター | International Liquefied Hydrogen Supply Chain | Financial Times社出版物 | 新聞 | 2019年9月 |
| 9 | 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 | 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 | 日本機械学会動力エネルギーシステム部門 ニューズレター第62号 | 機関紙 | 2019年9月 |
| 10 | 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部 | 川崎重工における水素焚きガスタービンの開発状況 | 火力原子力発電技術協会「火力原子力発電10月号」 | 機関紙 | 2019年10月20日 |
| 11 | 技術開発本部 水素チェーン開発センター | HYDROGEN ENERGY SUPPLY CHAIN FOR DECARBONIZATION | ASME「Mechanical Engineering 3月号」 | 機関紙 | 2020年3月 |
| 12 | 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 | 変わりゆく万博 3 | 読売新聞 | 新聞 | 2020年3月28日 |
| 13 | エネルギー・環境プラントカンパニー エネルギーデバイス エネルギーシステム統括部 ガスタービン技術部 | 水素ガスタービンについて | ENN-エンジニアリングネットワーク | 機関紙 | 2020年7月25日 |
| 14 | 技術開発本部 水素チェーン開発センター | 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 | エネルギー総合工学研究所「エネルギーの新潮流9月号」 | 機関紙 | 2020年9月 |
| 15 | 株式会社大林組 | 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 | 日本動力協会『エネルギーと動力』 | 機関紙 | 2019年4月18日 |
| 16 | 株式会社大林組 | 水素CGS活用スマートコミュニティ実証事業 | 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」 (Hydrogen Energy Systems Society of Japan) 協会誌「水素エネルギーシステム」 Vol.44, No.2(2019) | 機関紙 | 2019年6月1日 |
| 17 | 一般財団法人 エンジニアリング協会 | ENAA研究成果発表会2020 F-2:「水素インフラ研究会」活動報告 | ENAA研究成果発表会2020 | 機関紙 | 2020年8月1日 |
| 18 | 技術開発本部 技術企画推進センター 知的財産部 | カワる、サキへ。 Changing Forward | 日本知的財産協会(JIPA)「季刊じば2020年秋号」 | 機関紙 | 2020年10月15日 |
| 19 | 技術開発本部 水素チェーン開発センター | JPIがセミナーを開催「水素専焼GT発電」で脱炭素へ | (一社)日本内燃力発電設備協会「内発協ニュース11月号」 | 機関紙 | 2020年11月17日 |
| 20 | 技術開発本部 技術研究所 熱システム研究部 研究一課 | 水素利用技術の紹介 ガスタービンを用いた水素発電(仮題) | 日本船舶海洋工学会「KANRIN 95号」 | 機関紙 | 2021年3月 |

| 番号 | 機関名 | タイトル | 掲載誌名 | 媒体 | 公表日時 |
|----|---|---|--|------|--|
| 21 | 株式会社大林組 | 水素でエネルギー危機に備える | 新建築社 ja 118号 | 機関紙 | 2020年11月1日 |
| 22 | 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 | 高効率5 MW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 | 省エネルギーセンター「月刊省エネルギー誌7月号」 | 機関紙 | 2020年10月上旬 |
| 23 | 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 | 国際水素サプライチェーン構築に向けた取組み | 国土交通省地方整備局主催 神戸港 カーボンニュートラルポート(CNP)検討会(オンライン方式にて実施) | 機関紙 | 2021年1月28日 |
| 24 | 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 | 国際水素サプライチェーンの構築とガスタービン発電での水素利活用 | 日本ガスタービン学会「日本ガスタービン学会誌3月号(第49巻2号)」(会員向けHPにも掲載) | 機関紙 | 2021年3月 |
| 25 | 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総括部 ガスタービン技術部 燃焼器技術課 | 水素焚きガスタービン発電装置の紹介 | 電気設備学会「電気設備学会誌2021年5月号」(会員向けHPにも掲載) | 機関紙 | 2021年5月 |
| 26 | 技術開発本部 水素チェーン開発センター | 国際水素サプライチェーン構築に向けた取組み | TBSテレビの以下のニュース番組にて放映(予定) 11/24 or 11/25 JNNニュース、Nスタ(尺:1~1分半)、12月初旬 News23(尺:2分) | テレビ | 2020年11月24日 or 2020年11月25日 2020年12月初旬 |
| 27 | 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 | 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~ | HP掲載 (マスコミへのメール配信有り) | 電子 | 2020年7月21日 |
| 28 | 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 | 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 | HP掲載 | 電子 | 2020年8月17日 |
| 29 | 株式会社大林組 | 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~ | 大林組ホームページ | 電子 | 2020年7月21日 |
| 30 | 株式会社大林組 | World's First Successful Technology Verification of 100% Hydrogen-fueled Gas Turbine Operation with Dry Low NOx Combustion Technology | 大林組ホームページ | 電子 | 2020年7月21日 |
| 31 | 株式会社大林組 | 神戸・関西圏水素利活用協議会の設立と参画について | 大林組ホームページ | 電子 | 2020年9月4日 |
| 32 | 本社 コーポレートコミュニケーション部 | 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 | 当社ホームページ | 電子 | 2019年5月10日 |
| 33 | 本社 コーポレートコミュニケーション部 | 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 | インターネット動画サイト YouTube | 電子 | 2019年5月10日 |
| 34 | 総務本部 CSR部 | Kawasaki Report (統合報告書) 2019 | 当社冊子、当社ホームページ | 電子 | 2019年9月、12月 |
| 35 | コーポレートコミュニケーション部 メディア・ブランド課 | 焦点: 日本の水素戦略で鍵握る川重、供給網構築へ 運搬船で実証試験 | ロイター通信社のHP | 電子 | 2021年1月26日 |
| 36 | コーポレートコミュニケーション部 メディア・ブランド課 | 水素を大量に輸入せよ~CO2削減への挑戦 | 日テレNEWS24のHP | 電子 | 2021年2月7日 |
| 37 | 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 | カワサキガスタービン コージェネレーションシステム | 当社カタログ | カタログ | 2019年11月 |
| 38 | 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 | Development of Smart Community Technology by utilization of Hydrogen CGS | WFES2019 | カタログ | 2020年1月13日~1月16日 |

| 番号 | 機関名 | タイトル | 掲載誌名 | 媒体 | 公表日時 |
|----|--|---|---|------|---------------|
| 39 | 株式会社大林組 | 世界初、市街地で水素100%による熱電供給を達成 | 大林組 大阪本店 営業用パンフレット | カタログ | 2020年3月1日 |
| 40 | 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 | 水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業 | エネルギーの創造 | カタログ | 2020年3月末 |
| 41 | 企画本部 | 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 | カタログ | 2020年4月1日 |
| 42 | 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 | Smart community technology development project utilizing Hydrogen Cogeneration Systems | HYDROGEN ENERGY-RELATED FACILITIES (for Transformation, Storage, and Utilization) | カタログ | 2020年4月28日 |
| 43 | 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 | 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- | 川崎重工技報 182号 | カタログ | 2020年8月 |
| 44 | 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 | Kawasaki Hydrogen Road | 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 | カタログ | 2020年8月 |
| 45 | サステナビリティ推進本部 CSR部 | Kawasaki Hydrogen Road | Kawasaki Report 2020 | カタログ | 2020年10月末～11月 |
| 46 | サステナビリティ推進本部 CSR部 | Kawasaki Hydrogen Road | Kawasaki Report 2020 | カタログ | 2020年11月 |
| 47 | 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 | ①Development and Demonstration toward Hydrogen Energy Introduction Essential for Establishing a Decarbonized Society ②Activities for Realization of International Liquefied Hydrogen Energy Supply Chain ③Hydrogen Utilization - Development of Hydrogen Fueled Power Generation Technologies | 川崎重工技報 182号 | カタログ | 2021年2月 |

(ロ) - (3) 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

| 番号 | 機関名 | タイトル | 媒体 | 公表日時 |
|----|------------------------|---|------------------------------|-------------|
| 1 | 東京湾岸ゼロエミッションイノベーション協議会 | 水素GT | 東京湾岸ゼロエミッションイノベーション協議会ホームページ | 2020年11月 |
| 2 | 三菱重工業 | 世界初となるアンモニア焼き4万kW級ガスタービンシステムの開発に着手 カーボンフリー発電のラインアップを拡充、 2025年以降の実用化を目指す | 当社ホームページ | 2021年3月1日 |
| 3 | Nature | Turbines driven purely by hydrogen in the pipeline | Nature | 2021年3月24日 |
| 4 | 三菱重工業 | 2020年度決算説明及び2021事業計画 推進状況 | 説明資料 | 2021年5月10日 |
| 5 | 三菱重工業 | 水素技術バーチャル工場見学説明会 | 説明資料 | 2021年6月14日 |
| 6 | 火力原子力発電技術協会 | 発電用大型ガスタービンにおける水素利用 | 会誌「火力原子力発電6月号」 | 2021年6月18日 |
| 7 | 火力原子力発電技術協会 | ガスタービンの特徴と構造 | 会誌「火力原子力発電6月号」 | 2021年6月18日 |
| 8 | 三菱重工業 | 脱炭素社会に向けた水素・アンモニア焼き ガスタービンの開発 | 三菱重工技報 Vol.58 NO.3 | 2021年7月29日 |
| 9 | 日刊工業出版 | アンモニア利用ガスタービン発電システム | 雑誌「配管技術」 | 2022年3月1日 |
| 10 | 火力原子力発電技術協会 | 発電用大型ガスタービンにおける水素利用 | 会誌「火力原子力発電5月号」 | 2022年5月18日 |
| 11 | 石油学会 | 脱炭素社会に向けたアンモニア利用ガスタービン発電システム | 情報誌「ペトロテック」2022年8月号 | 2022年8月1日 |
| 12 | 内閣府 | HYDROGEN POWER GENERATION FOR A ZERO-CARBON WORLD | 内閣府広報室機関紙 KIZUNA | 2022年8月29日 |
| 13 | 関西電力 | 製造から発電までの技術一貫して検証する「高砂水素パーク」 | 関西電力機関紙YOU'S 5巻 | 2022年9月30日 |
| 14 | 三菱重工業 | カーボンニュートラルに貢献する水素/アンモニア焼きガスタービンの開発状況 | 三菱重工技報 Vol.59 NO.4 | 2022年10月31日 |
| 15 | 日本ガスタービン学会 | 脱炭素社会を目指した水素・アンモニアガスタービンの開発について | 会誌50巻6号 | 2022年11月1日 |
| 16 | 日本ガスタービン学会 | 発電用ガスタービンの高温・高効率化の進展と将来展望 | 会誌51巻1号 | 2023年1月1日 |

(ロ) - (4) 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

| 番号 | 機関名 | タイトル | 媒体 | 公表日時 |
|----|-------------|--|---------------|-----------|
| 1 | 三菱重工プレスリリース | 産業用ボイラ向け水素焼きバーナー技術の実用化にめど | プレスリリース | 2022.2.28 |
| 2 | ガスレビュー誌 | 産業用ボイラのCO2排出削減できる水素バーナー開発 | インタビュー & 雑誌掲載 | 2022.5.1 |
| 3 | ボイラ研究 | 産業ボイラ向け高性能水素バーナーの開発 →日本ボイラ協会より今年度の技術高度化奨励賞を授与 | 論文掲載 | 2023.4.15 |

2. 分科会公開資料

次ページより、推進部署・実施者が、分科会において事業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」
研究開発項目Ⅱ(大規模水素エネルギー利用技術開発)
(終了時評価)
2014年度～2023年度 10年間
プロジェクトの概要(公開版)**

「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)



プロジェクトの概要

「水素社会構築技術開発事業」では、“水素社会”の実現に向けた取組を加速するため、水素発電の本格導入といった水素需要の拡大や、水素サプライチェーン構築の一体的な取組を推進している。

(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、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、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。



国際間の大規模水素サプライチェーン実証
(左) 液水運搬船、(右) MCHタンクコンテナ



ドライ低NOx水素専焼ガスタービンの技術実証

既存プロジェクトとの関係

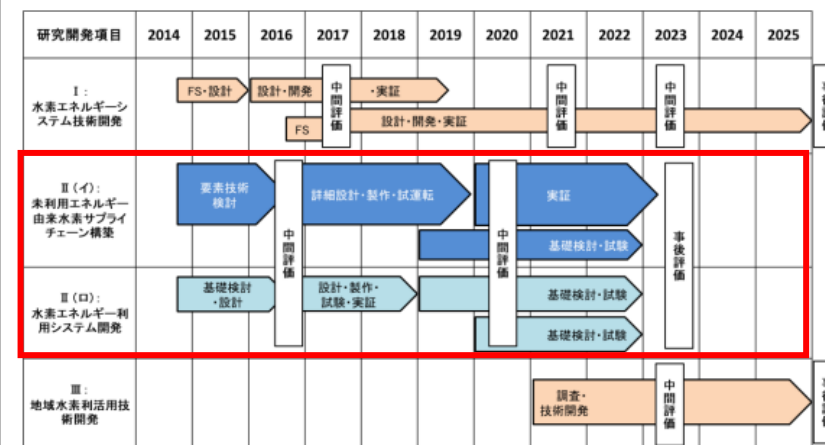
本事業は、技術のシステム化により社会への実装を図るものであり、構成する要素技術については、NEDOの他事業「水素利用等先導研究開発事業」等の進捗状況について把握しつつ、必要に応じて成果の活用を図る。具体的には、「水素利用等先導研究開発事業」において要素開発に目途がたった「水素専焼ドライ低NOx燃焼器」を実証設備に実装し、水素専焼運転での水素CGSのフィールド実証を実施。後継として「競争的な水素サプライチェーン構築に向けた技術開発事業」等を実施していく。

事業計画

期間：2014～2023年度（10年間）

総事業費：約300億円（事業全体）

<研究開発スケジュール・評価時期・想定する予算規模>



想定する出口イメージ等

| | |
|--------------|---|
| アウトプット目標 | Ⅱ (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 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。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。 Ⅱ (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、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。 |
| 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。 |
| 出口戦略(実用化見込み) | 技術開発段階から電力事業者の協力を得つつ、必要な規制見直しについても並行して実施。初期は環境問題に対して先進的な自治体との連携が重要。 ・国際標準化提案：無 ・第三者提供データ：無 |
| グローバルポジション | ・プロジェクト開始時：DH → プロジェクト終了時：LD |

ページ構成

1. 意義・アウトカム(社会実装)達成までの道筋

- (※)本事業の位置づけ・意義
- (1)アウトカム達成までの道筋
- (2)知的財産・標準化戦略

- 事業の背景・目的・将来像
- 政策・施策における位置づけ
- 技術戦略上の位置づけ
- 国内外の動向と比較
- 他事業との関係
- アウトカム達成までの道筋
- 非連続ナショプロに該当する根拠
- 知的財産・標準化戦略
- 知的財産管理

2. 目標及び達成状況(概要)

- (1)アウトカム目標と達成見込み
- (2)アウトプット目標と達成状況

- アウトカム目標の設定及び根拠
- 波及効果
- 本事業における「実用化・事業化」の考え方及び見込み
- 費用対効果
- アウトプット(研究開発成果)のイメージ
- アウトプット目標の設定及び根拠
- アウトプット目標の達成状況
- 研究開発成果の意義
- 副次的成果及び波及効果
- 特許出願及び論文発表

3. マネジメント

- (1)実施体制
- (※)受益者負担の考え方
- (2)研究開発計画

- (※) 評価対象外
事前・中間評価時の資料ページは残す

- NEDOが実施する意義
- 実施体制
- 個別事業の採択プロセス
- 予算及び受益者負担
- アウトプット(研究開発成果)のイメージ(再掲)
- 目標達成に必要な要素技術
- 研究開発のスケジュール
- 進捗管理
- 進捗管理: 中間評価結果への対応
- 進捗管理: 動向・情勢変化への対応
- 進捗管理: 開発促進財源投入実績
- モティベーションを高める仕組み(該当事業のみ)

＜評価項目 1＞ 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

(※)本事業の位置づけ・意義 * 終了時評価においては対象外

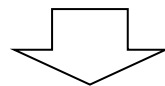
(1)アウトカム達成までの道筋

(2)知的財産・標準化戦略

事業の背景・目的・将来像

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、**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・施策における位置づけ

内閣・各省庁

- 2050年を見据えたビジョン（水素をエネルギーの選択肢の1つとする）と、2030年までの導入目標値を提示

水素基本戦略
グリーン成長戦略 等

METI

- 技術のスペックやコスト内訳について、様々な目標値を設定するとともに、取り組み内容を記述

水素・燃料電池戦略ロードマップ

NEDO

- 国の目標達成に向けた技術課題を設定
- 技術課題克服へ向けた研究開発、実証プロジェクトを展開

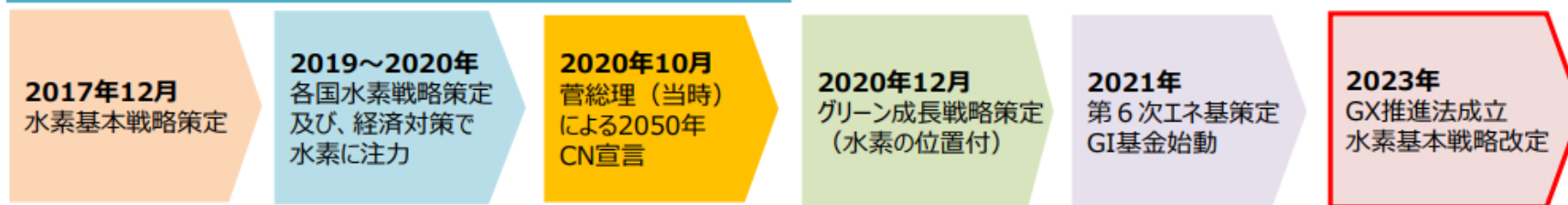
NEDO燃料電池・水素技術開発ロードマップ
研究開発、実証プロジェクト

政策・施策における位置づけ

水素分野における戦略等の策定状況・各種目標について

- 日本は世界で初めての水素基本戦略を2017年12月に策定したが、EU、ドイツ、アメリカなど各国も、水素戦略を策定するなど、水素関連の取組を強化。環境の変化に対応した戦略とするため本年6月に水素基本戦略を改定。
- 2020年10月の菅総理(当時)のCN宣言を受け、グリーン成長戦略でも重点分野の一つに位置づけ。2021年第6次エネルギー基本計画にて、2030年の電源構成で水素・アンモニア1%を目指すこととしている。

国内外の情勢変化、戦略策定の状況



水素導入量及びコストの目標

□ 年間導入量* : 発電・産業・運輸などの分野で幅広く利用

現在(約200万t) → 2030年(最大300万t) → 2040年(1,200万t) → 2050年(2,000万t程度)

※水素以外にも直接燃焼を行うアンモニア等の導入量(水素換算)も含む数字。

□ コスト : 長期的には化石燃料と同等程度の水準を実現

現在(100円/Nm³*) → 2030年(30円/Nm³) → 2050年(20円/Nm³以下)

※ 1Nm³=0.0899kg

第6次エネルギー基本計画において設定した新たな定量目標

2030年の電源構成のうち、1%程度を水素・アンモニアとすることを旨とする。

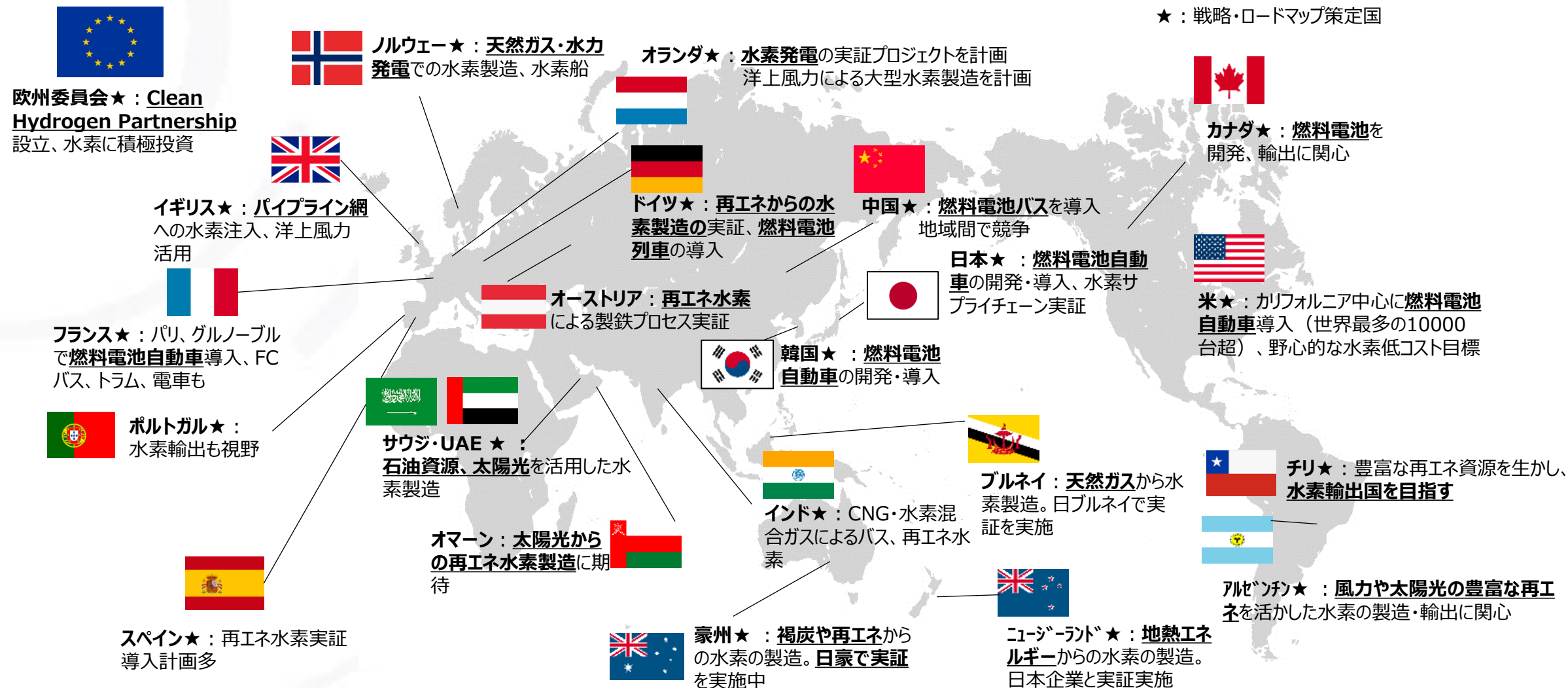
政策・施策における位置づけ

水素分野のグリーン成長戦略ロードマップ

出典：2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略（令和3年6月18日）

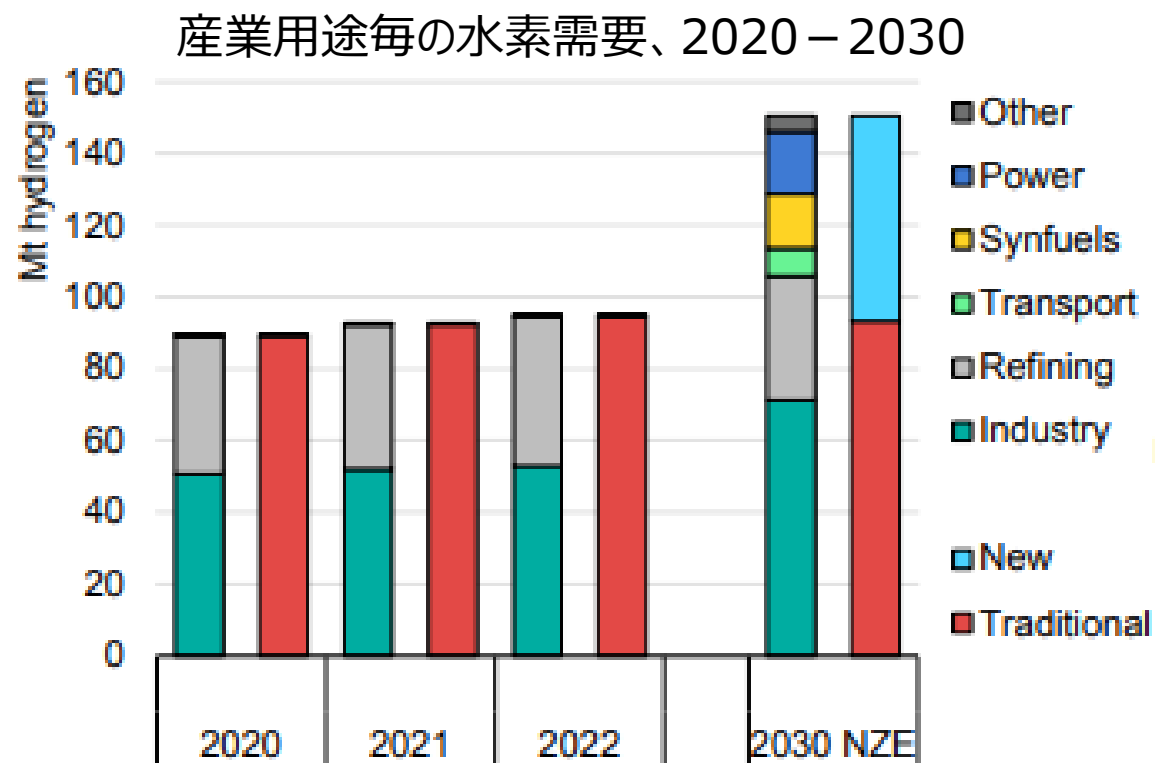
| ●地域 | 2021年 | 2022年 | 2023年 | 2024年 | 2025年 | ～2030年 | ～2040年 | ～2050年 |
|--------|--|-------|-------|-------|-------|---|--------|--|
| ●利用 | | | | | | ★目標(2030年時) コスト:30円/Nm ³ 量:最大300万t | | ★目標(2050年時) コスト:20円/Nm ³ 以下、 量:2000万t程度 |
| ●輸送 | 自動車、船舶、航空機及び、物流・人流・土木インフラ（鉄道）産業の実行計画を参照 | | | | | | | |
| ●発電 | 大型専焼発電の技術開発 水素発電の実機実証（燃料電池、タービンにおける混焼・専焼） エネルギー供給構造高度化法等による社会実装促進 国内外展開支援（燃料電池、小型・大型タービン） | | | | | | | |
| ●製鉄 | COURSE50（水素活用等でCO ₂ ▲30%）の大規模実証 導入支援 脱炭素水準として設定 | | | | | | | |
| ●化学 | 水素還元製鉄の技術開発 技術確立 導入支援 | | | | | | | |
| ●燃料電池 | 革新的燃料電池の技術開発 革新的燃料電池の導入支援 多用途展開、生産設備の投資支援、導入支援 | | | | | | | |
| ●輸送等 | 国際輸送の大型化に向けた技術開発 大規模実証、輸送技術の国際標準化、 港湾において輸入・貯蔵等が可能となるよう技術基準の見直し等 商用化・国際展開支援 商用単用の大型水素ステーションの開発・実証 水素ステーションへの規制改革等によるコスト削減・導入支援 | | | | | | | |
| ●製造 | 水電解装置等の大型化等支援・性能評価環境整備 海外展開支援（先行する海外市場の獲得） 余剰再エネ活用のための国内市場環境整備（上げDR等）等を通じた社会実装促進 卒FIT再エネの活用等を通じた普及拡大 | | | | | | | |
| ●革新的技術 | 革新的技術（光触媒、固体酸化物形水電解、高温ガス炉等の高温熱源を用いた水素製造等）の研究開発・実証 導入支援 | | | | | | | |
| ●分野横断 | 福島や発電所等を含む港湾・臨海部、空港等における、水素利活用実証 再エネ等の地域資源を活用した自立分散型エネルギーシステムの実証・移行支援・普及 クリーン水素の定義等の国際標準化に向けた国際連携 資源国との関係強化、需要国の積極的な開拓を通じた国際水素市場の確立 インフラ等の整備に伴う全国への利活用拡大 洋上風力、カーボンリサイクル・マテリアル及び、ライフスタイル関連産業の実行計画と連携 | | | | | | | |

国内外の動向と比較

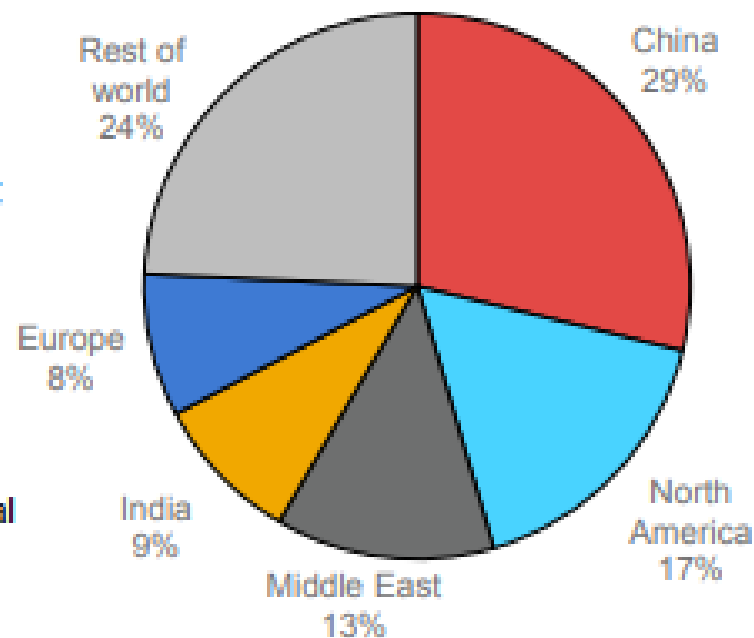


国内外の動向と比較

水素需要は、全体的に増加傾向であるが、現時点では、産業分野や石油精製といった伝統的な用途に集中している。2030年には、新たな用途として、発電、合成燃料、交通など約40%需要を占めることが見込まれている。地域毎の需要面では、現状では中国がトップで、その後に、北米や中東が続いている。



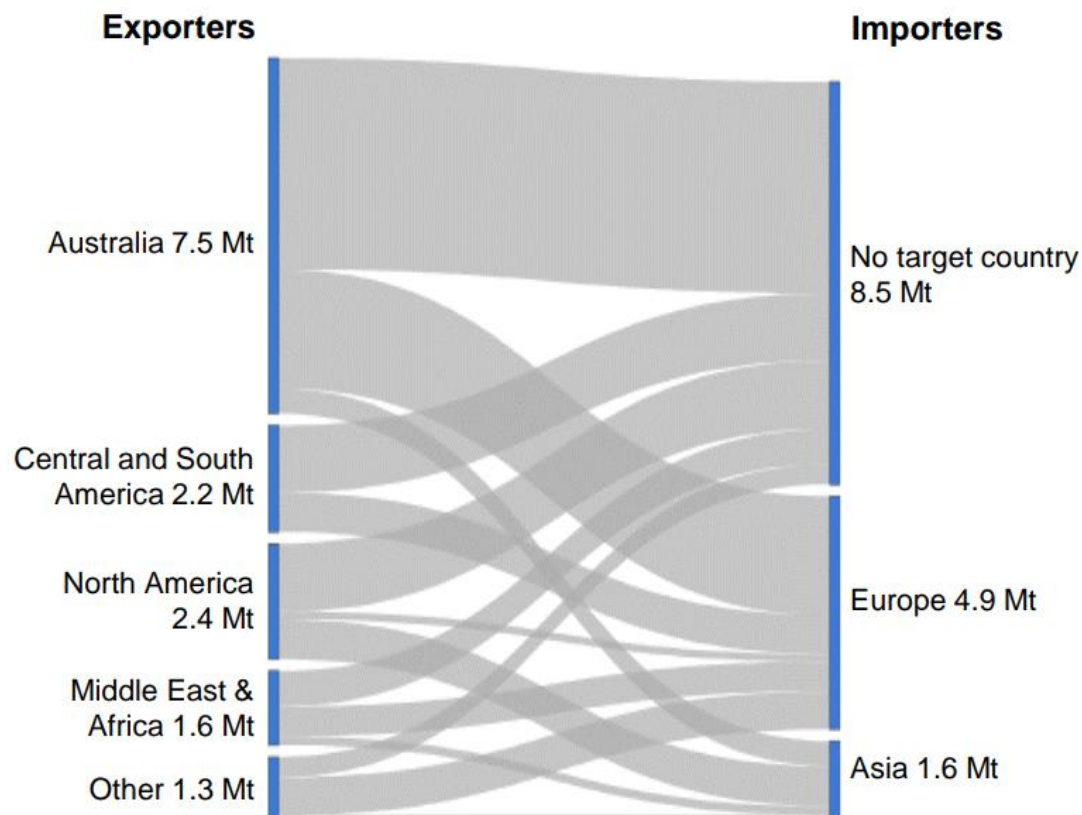
地域毎の水素需要、2022



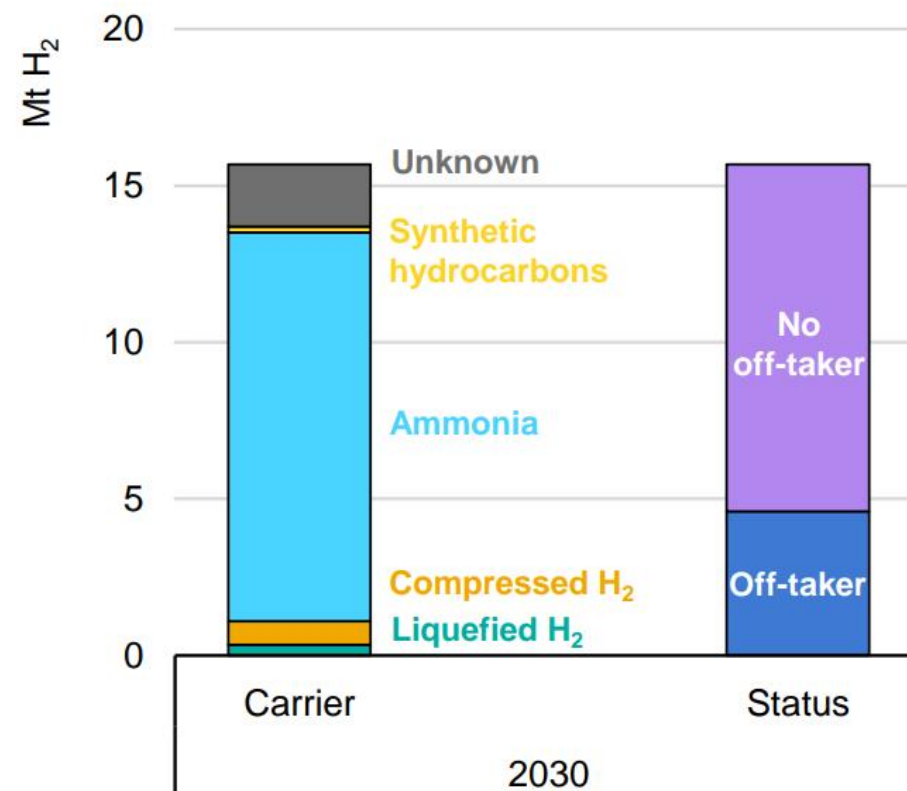
国内外の動向と比較

現状では、2030年に世界で1600万トン輸出されると予想されており、2040年には2500万トンに増加すると見込まれている（水素換算）。将来的には、オーストラリア、中南米、北米、中東・アフリカが主要な輸出国となり、オランダ・ドイツを中心とする欧州、日本・韓国・シンガポールを中心としたアジア地域への輸出が見込まれる。主要な水素キャリアとしてはアンモニアだが、液化水素、圧縮水素、有機ハイドライドも見込まれている。

2030年の低炭素水素の貿易フロー



低炭素水素貿易に関するキャリア割合



国内外の動向と比較

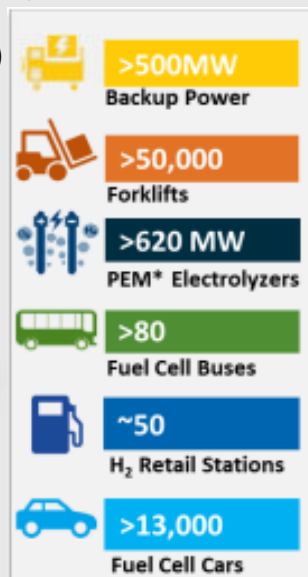


米国

- 2022年9月に、国家グリーン水素戦略とロードマップのドラフトを公表。
- 2022年8月には**インフレ抑制法が成立**し、水素の生産と投資に長期かつ大規模な税額控除制度を創設。
- **グリーン水素ハブ構想（インフラ投資・雇用法）**：グリーン水素の生産・加工・輸送・貯蔵・利用を一体的に実証するための**グリーン水素地域ハブの構築に総額80億ドルを助成**。

2023年10月、**7つの水素ハブの選定**を発表。【水素・燃料電池技術の普及状況】
 (年間300万トン以上のグリーン水素生産に相当)

- **【現状】**
 水素は主にメキシコ湾岸で製造され、総計1,600マイルに及ぶ水素パイプラインで、製油所やアンモニア・メタノール製造工場に供給。
PEM型の電解装置は、2022年5月時点で620MWが稼働中または建設中。
- **【見通し】**
 DOEは、水素価格が各分野の支払意思額まで低下した場合の**想定需要量を積み上げると、少なくとも2030年に1,000万トン、2040年に2,000万トン、2050年に5,000万トンと試算。**



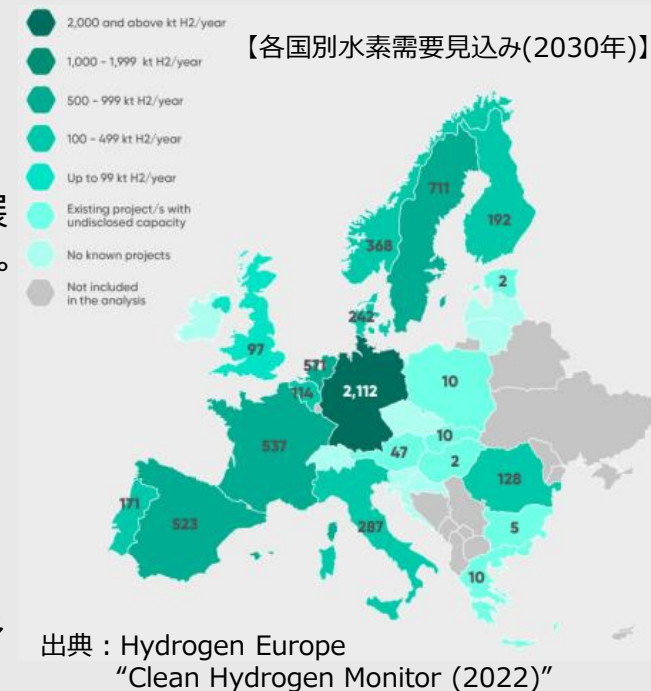
出典：DOE National Clean Hydrogen Strategy and Roadmap (Draft)



欧州

- 2022年**「REPowerEU計画」の公表**
 「水素加速化計画」により、**2030年に2,000万トン導入**（域内1,000万+輸入1,000万）
- 2023年**「グリーンディール産業計画」の公表**
 「ネットゼロ産業法案」により、規制環境整備、許認可を迅速化。電解槽技術を含むネットゼロ戦略分野においては、**2030年までに域内供給比率40%を目指す。**

- 各国の政策（代表例）
 - ・【ドイツ】
 欧州域外からの水素輸入サポートメカニズムH2Globalを展開、2023年度予算は35億€。
 - ・【ポルトガル】
 ガスパイプラインに混入する水素調達を目的とした入札制度導入、合計3,000t/年を10年契約にて調達。
 - ・【欧州委員会】
 イギリスでのCfD制度導入検討に続き、「水素銀行構想(予算規模:8億€)」を検討。



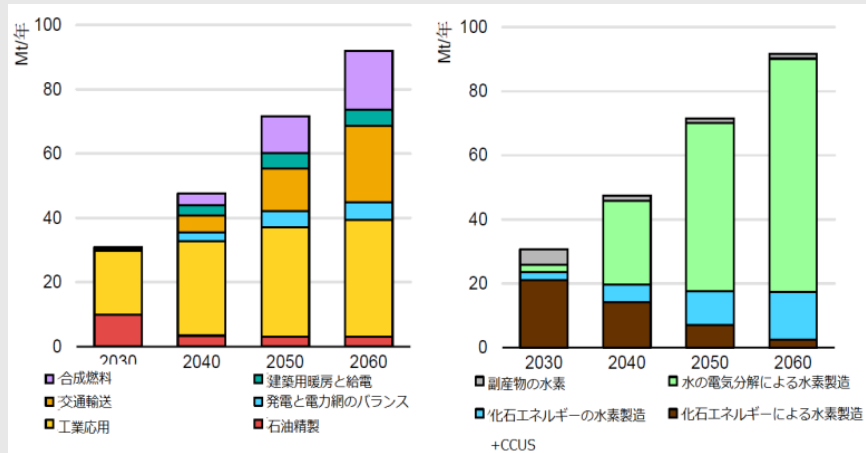
出典：Hydrogen Europe “Clean Hydrogen Monitor (2022)”

国内外の動向と比較

中国

- 中国の水素需要は、年間約3300万トン（世界総需要の約3割）。水素生産は2060年に約9000万トンに拡大予想。
- 2022年3月、国家発展改革委員会及び国家能源局は、「水素エネルギー産業発展の中長期計画」を公表。2025年までに、燃料電池車5万台、グリーン水素製造年間10～20万トン等の数値目標を設定。
- 2020年9月、燃料電池自動車の支援について、モデル都市群を選定し、車両・基幹部材のサプライチェーン整備に応じて補助金を拠出する政策を発表。現在までに、北京、天津、河北省、上海、広東など5か所のモデル都市群が選定。2025年までに年間最大17億元（約340億円）を助成。

IEAの発表シナリオにおける中国の水素需要量（左）と生産量（右）の展望（2030-2060年）



出典：
第31回 水素・燃料電池戦略協議会資料6より抜粋



韓国

- 2019年1月、「水素経済活性化ロードマップ」を公表。水素の供給量とコストとして2040年には526万トン/年、3,000ウォン(約284円)/kgを目指す。
- 2021年10月、「水素先導国家ビジョン」を公表。グリーン水素製造量として2030年には100万トン（グリーン25万トン、ブルー75万トン）、2050年には500万トン（グリーン300万トン、ブルー200万トン）という目標を掲げている。
- 2022年11月、水素経済政策を発表し、成長戦略である「3up戦略」※を公表（※ スケールアップ、ビルドアップ、レベルアップ）。
- 2022年6月、水素法改正により、グリーン水素の認定・生産・流通・活用に向けた制度を包含。
- 2023年8月、グリーン水素発電義務化制度（CHPS）の第1回オークションを実施。715GWh（全体で1.3TWhのうち半分）相当の5事業への投資が決定された。

出典：水素基本戦略（再生可能エネルギー・水素等閣僚会議 2023年6月6日改訂）より抜粋
各国の水素基本方針 韓国の取組み（環境省HP）より抜粋
IPHE(International Partnership for Hydrogen and Fuel Cells in the Economy) 第40回運営委員会資料より抜粋

他事業との関係

燃料電池

水素社会

| 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|



固体高分子型燃料電池利用高度化技術開発事業

固体酸化物型燃料電池等実用化推進技術開発事業

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
(2020~2024FY)



水素利用技術研究開発

超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業



競争的な水素サプライチェーン
構築に向けた技術開発事業
(2023~2027FY)

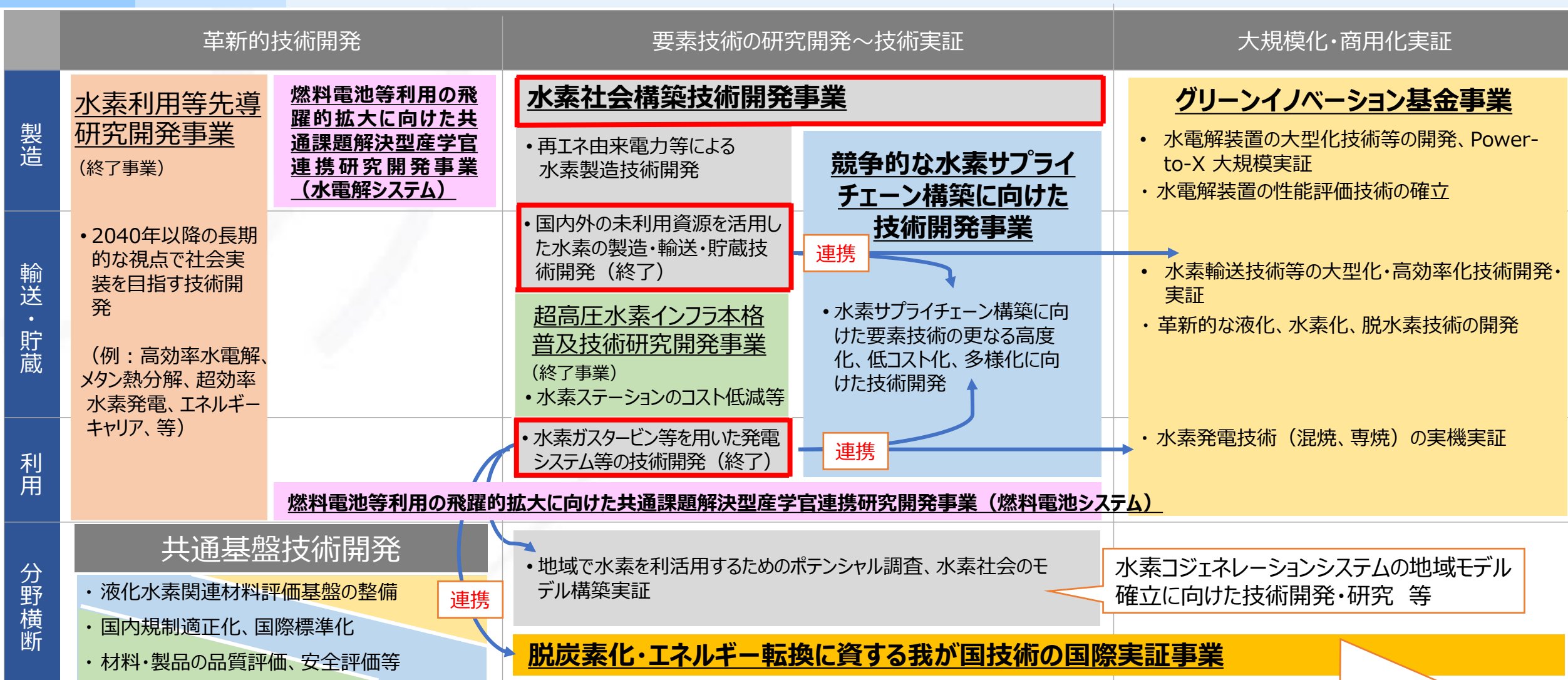
研究開発項目② 水素社会構築技術開発事業 (2014~2025FY)

水素利用等先導研究開発事業

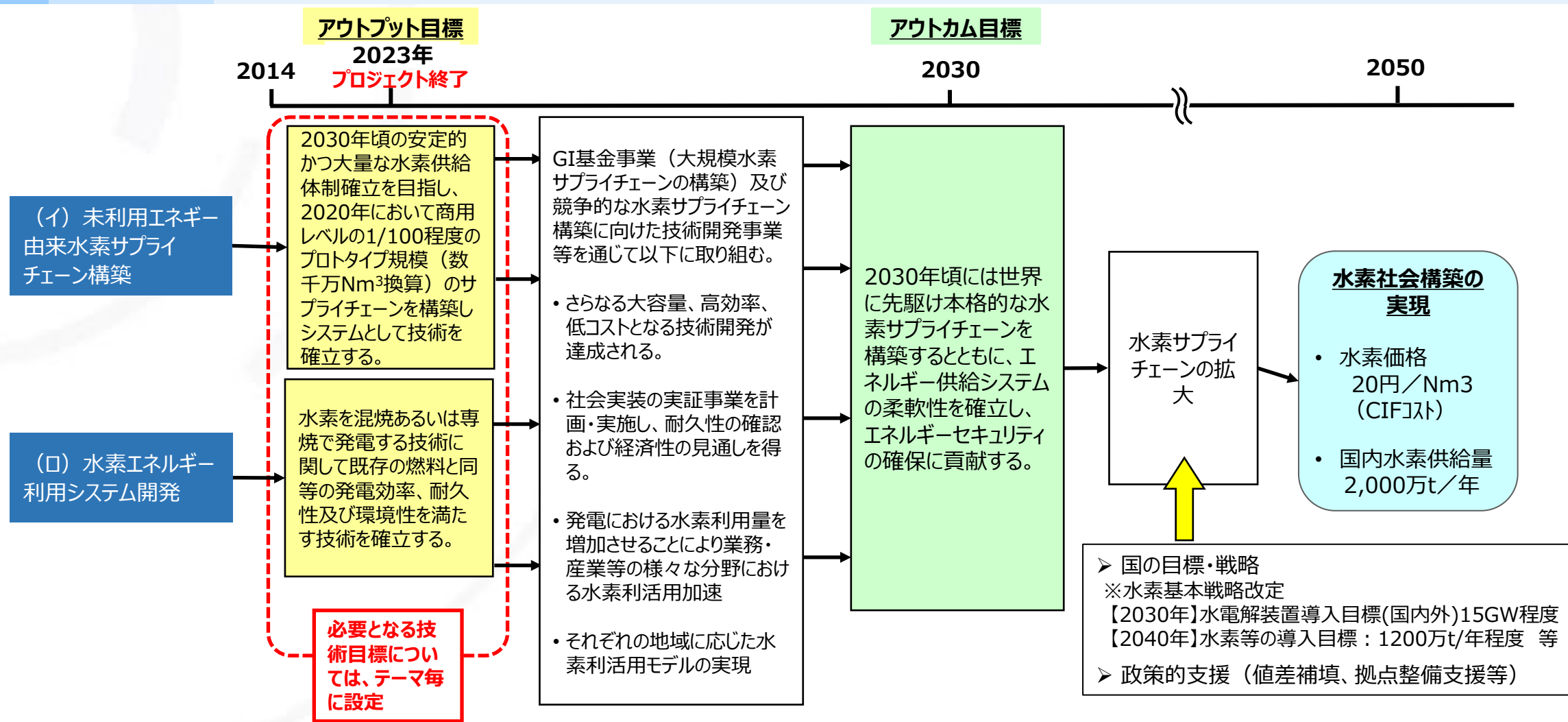


グリーンイノベーション基金事業
(2021~2030FY)

他事業との関係



アウトカム達成までの道筋



継続的な国際標準化・規制見直しへの対応及び広報活動

知的財産・標準化戦略

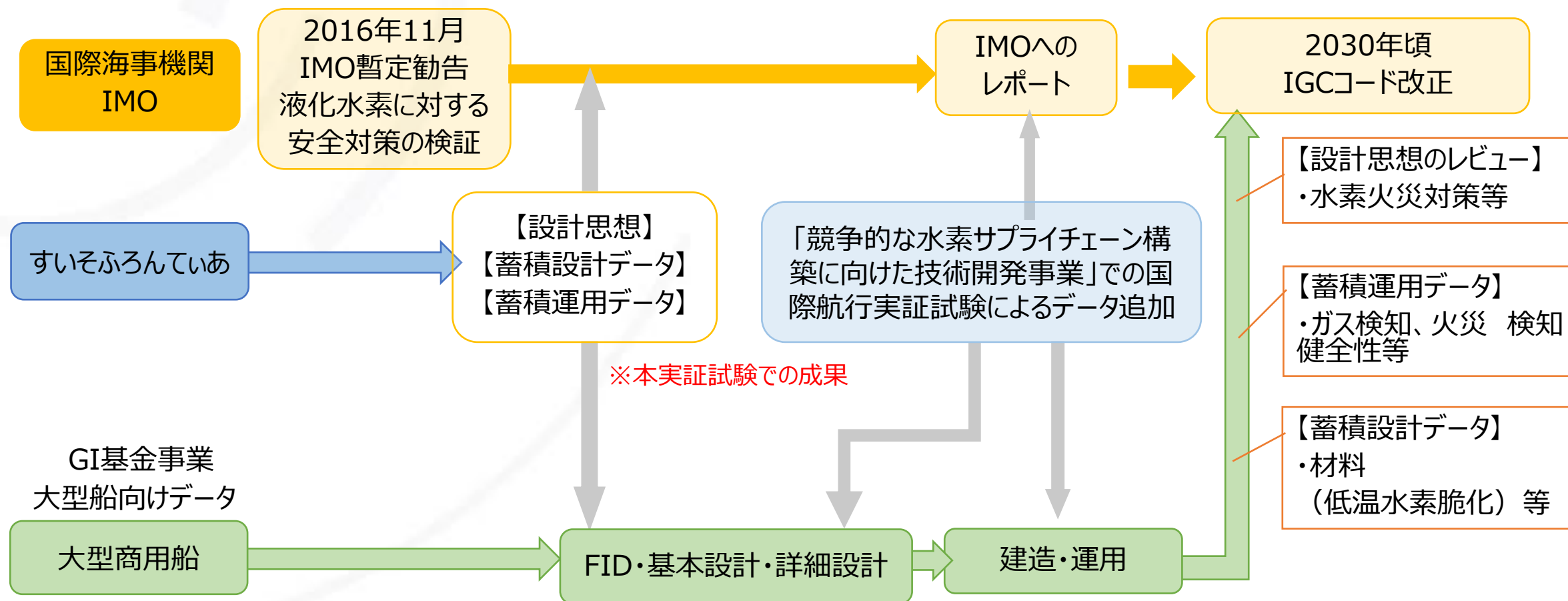
本事業は助成事業であり、各事業者は、各々の技術開発分野に関する知見・経験を有している。本事業を通じて、競争域における知財情報の公開・秘匿化の適切なコントロールを行い、日本が世界に先駆け水素利活用社会を実現するとともに、技術面での国際競争力を保持することが期待される。

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 ・国際社会の中で日本の液化水素のステータスを確たるものにすべく 液化水素運搬船の規格 (IMO)などへの貢献 | 知財のライセンスなど ・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り各社の優位性を確保する（水素製造、水素輸送、水素貯蔵、水素混焼ガスタービンなど） ・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する（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など） |
| 非公開 | | 秘匿化 ・液化水素関連技術、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→外観等から模造できない案件はあえて秘匿化し日本の優位性を確保する |

知的財産・標準化戦略（非競争領域）：液化水素運搬船

液化水素運搬船にて得たデータ等を国際海事機関（IMO）と共有し、IMOの協力・指導を得ながら水素運搬船の安全及び日本の技術的優位性を担保すべく将来のIGCコード化を進める。また、海外への運航により各国の液化水素認知度向上に貢献する。



IGCコード：国際ガスキャリアコード、FID：最終投資判断

知的財産管理

- 委託事業・共同研究事業については、「NEDO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。

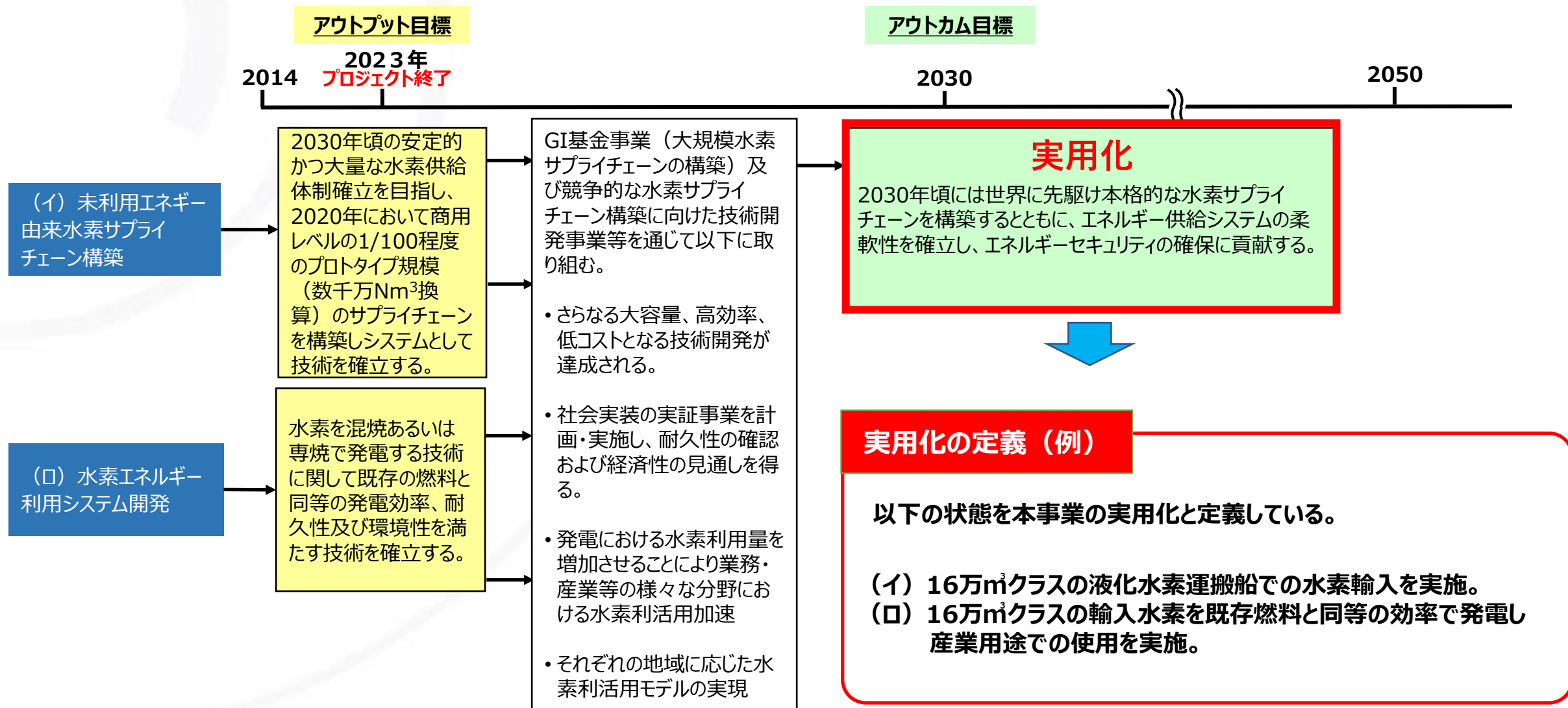
＜評価項目 2＞ 目標及び達成状況

- (1)アウトカム目標及び達成見込み
- (2)アウトプット目標及び達成状況

アウトカム目標の設定及び根拠

| アウトカム目標 | 根拠 | |
|---|------------------------|--|
| <p>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。</p> | <p>水素サプライチェーン構築</p> | <p>➤ 水素基本戦略（2023年6月6日 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議） 4-2. 水素産業戦略（1）水素供給 B) 水素サプライチェーンの構築 2030年を見据えて大量に水素を輸送することを念頭に置き、輸送設備等の拡充を視野に入れ、国際競争力を強化すべく、国内での生産設備の増強や関連分野の人材育成に力を入れる。また、海外においては、パートナー企業との連携やトップセールスによって欧州をはじめとした市場におけるプレゼンス向上を狙う。また、水素等の品質規格の標準化や、サプライチェーン上の各プロセスの技術・ノウハウのライセンス化などの取組を進め、海外市場の獲得も狙う。</p> |
| | <p>水素エネルギー利用システム開発</p> | <p>➤ 水素基本戦略（2023年6月6日 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議） 4-2. 水素産業戦略（2）脱炭素型発電 水素発電は既存設備を活かしながら、電力部門の脱炭素化に資する技術である。ガス火力への混焼割合の向上や専焼化に関しては各国、各企業の脱炭素のロードマップに応じて、様々な選択肢を提供することが国際競争力強化の観点からも重要である。既に小型のガスタービンにおいては、混焼から専焼への選択が可能であるが、日本企業がトップシェアを占める大型のガスタービン市場においても、海外の政策動向を注視しながら、柔軟に対応していく。</p> <p>➤ 第6次エネルギー基本計画（2021年10月 閣議決定） 5. 2050年を見据えた2030年に向けた政策対応（7）火力発電の今後の在り方 アンモニア・水素等の脱炭素燃料の火力発電への活用については、2030年までに、ガス火力への30%水素混焼や、水素専焼、石炭火力への20%アンモニア混焼の導入・普及を目標に、実機を活用した混焼・専焼の実証の推進、技術の確立、その後の水素の燃焼性に対応した燃焼器やNOxを抑制した混焼バーナーの既設発電所等への実装等を目指す。こうした取組を通じ、2030年時点では国内で水素の年間需要を最大300万t、うちアンモニアについては年間300万t（水素換算で約50万t）の需要を想定する。また、2030年度の電源構成において、水素・アンモニアで1%程度を賄うことを想定する。</p> |

本事業における「実用化」の考え方



アウトカム目標の達成見込み、波及効果

【アウトカム目標の達成見込み】

- 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。



- 世界初の液化水素輸送用タンクシステムを搭載した水素運搬船を建造し、船籍及び船級の取得に成功。
- 日豪間航行試験を実施し、輸送用タンクシステムの構造健全性を確認。
- 水素を混焼あるいは専焼で発電する技術に関しては、商用レベルを見据えた技術を確立した。

【波及効果】

- 本件で得た知見を活用し将来の水素社会における、日本の**国際競争力を強化**
- 水素需要・供給の状況も踏まえた上で、大量水素の輸送等を活用した良好な**国際関係の構築**

費用対効果（定性的効果）

水素社会構築事業（2014年度～2023年度）

効果＝アウトプット目標

費用：300億円（研究開発項目Ⅱ）

効果：①プロトタイプ規模（数千万Nm³換算）の水素サプライチェーンを構築しシステムとしての技術を確立。
②水素混焼/専焼発電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。

競争的サプライチェーン構築事業（2014年度～2023年度）

費用：約400億円

効果：①水素サプライチェーンシステムの高度化。
②大規模水素取り扱いに関する社会的受容性獲得及び国内法規制等の見直し。

GI基金事業（2021年度～2030年度）

費用：約3100億円

効果：水素サプライチェーン及び水素発電について、商用化規模へ大型化し実証と社会実装を実施。

商用運用開始（2030年度～）

効果＝アウトカム目標

費用：約5000億円（民間企業による追加投資試算額。GI基金事業エネルギー構造転換分野WG報告資料より。）

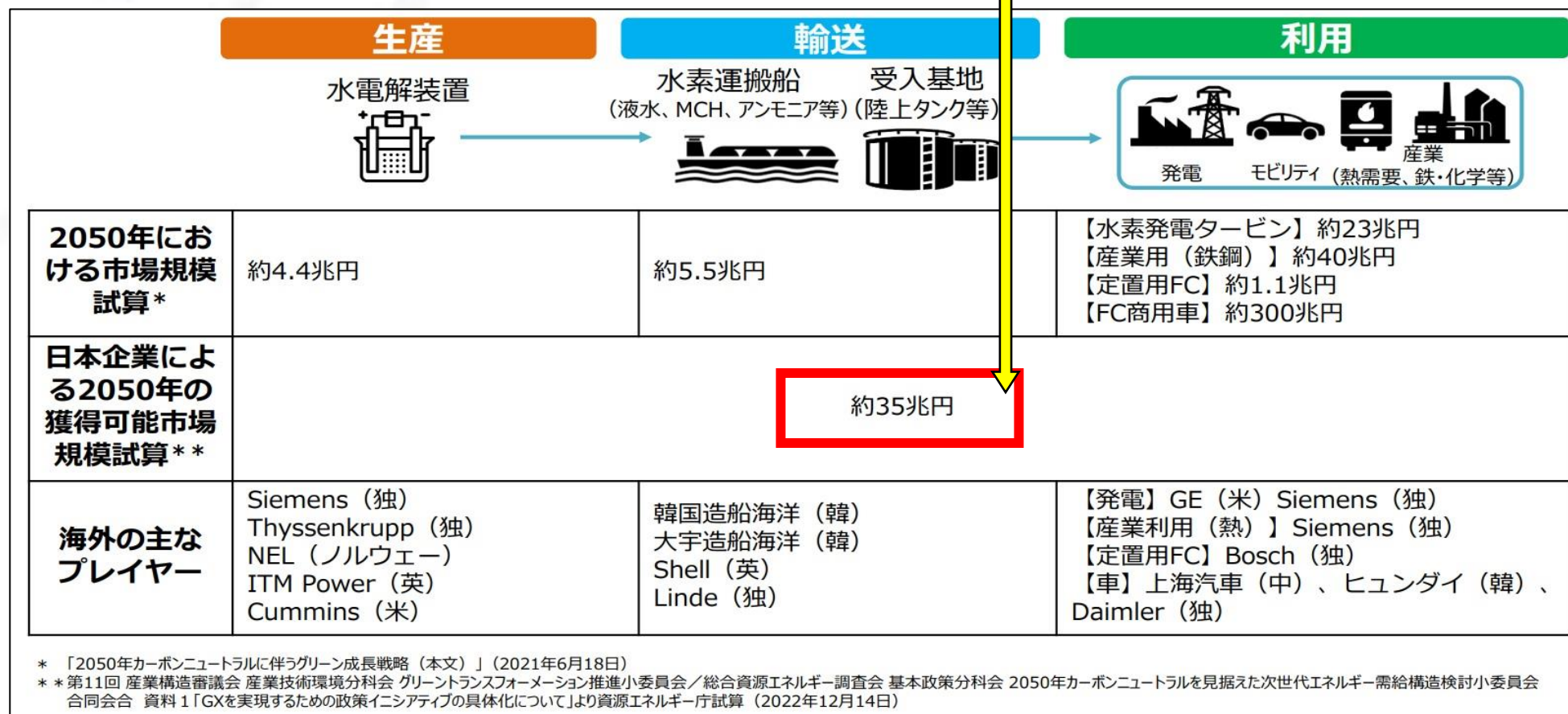
効果：水素サプライチェーン及び水素発電を実用化しエネルギーセキュリティの確保に貢献。

費用対効果 (定量的効果)

プロジェクト費用の総額

300.28億円 = 255.34億円 (水素サプライチェーン構築) + 44.95億円 (水素エネルギー利用システム)

この事業で培った水素輸送及び水素発電の基礎技術を商用レベルに発展させ、拡大する水素市場を獲得する。



* 「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略(本文)」(2021年6月18日)

** 第11回 産業構造審議会 産業技術環境分科会 グリーン・トランスフォーメーション推進小委員会 / 総合資源エネルギー調査会 基本政策分科会 2050年カーボンニュートラルを見据えた次世代エネルギー需給構造検討小委員会 合同会合 資料1「GXを実現するための政策イニシアティブの具体化について」より資源エネルギー庁試算 (2022年12月14日)

アウトプット（研究開発成果）のイメージ

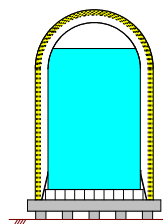
国内外において、水素利活用モデルを複数構築する。個別テーマごと、将来の水素の本格普及に向けた技術的・制度的な課題を検討し、必要な技術開発を実施する。また、机上検討を進めて、実際に水素利活用システムを構築することにより、広く一般に使われるインフラの一部として活用し、水素社会のショーケースとして水素利活用に関する社会認知向上にも寄与する。

【具体的な水素利活用モデルの例】

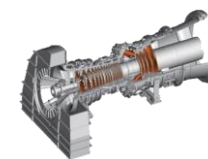
液水サプライチェーン



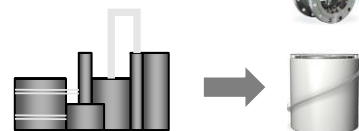
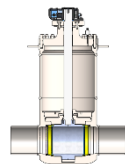
液水基地大型化



水素GT・ボイラ・エンジン



液水バルブ
大型化



水素製造・変換

貯蔵

海外
(供給国)



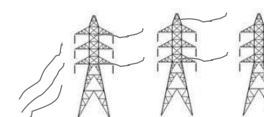
輸送



荷役・貯蔵



水素発電



発電事業

日本
(利用国)

将来の水素社会の実現に向け液水の大量輸送・貯蔵や水素発電等において必要とされる要素技術を明確にし、その開発を支援する。

アウトプット目標の達成状況

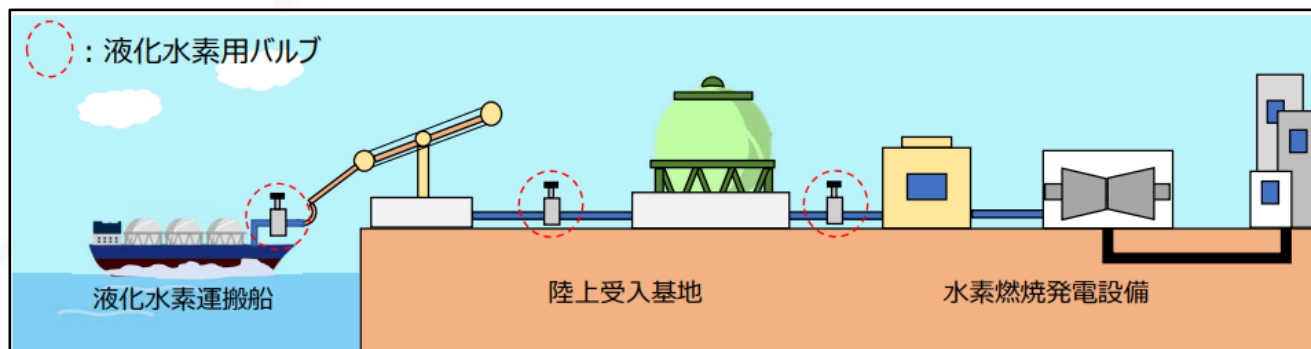
| 研究開発項目 | 目標 | 成果（実績） | 達成度 | 達成の根拠／解決方針 |
|---------------------------|--|--|-----|------------|
| (イ)未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築 | <p>2030年頃の安定的かつ大量な水素供給体制確立を目指し、2020年において商用レベルの1/100程度のプロトタイプ規模（数千万Nm³規模）のサプライチェーンを構築しシステムとして技術確立する。システムを構成する技術目標（水素製造効率、輸送効率等）に関しては、水素製造方法や水素キャリア毎の特性に応じ、個別に設定する。（2023年9月迄）</p> | <p><有機ハイドライドサプライチェーン>（次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合：AHEAD）</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行い、商用化に向けた準備として、各種データを取得出来た。 <p><液化水素サプライチェーン>（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）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・世界初の液化水素輸送用タンクシステムを搭載した水素運搬船を建造し、船籍及び船級の取得に成功した。 ・合計2回の日豪間航行試験を実施し、輸送用タンクシステムの構造健全性及び目標値以下のBORであることを確認した。 ・世界初の液化水素用フレキシブルホース型及び鋼管型ローディングアームシステムを用いた荷役技術を開発した。 ・基地に建設した液化水素貯蔵タンクについて目標値以下のBORであることを確認した。 ・豪州にて世界初の褐炭用ガス化設備を建設し、純度99.999%の液化水素の製造に成功した。また、試験データを使用しシミュレーションモデルを開発した。 ・液化水素を神戸液化水素荷役実証ターミナルから神戸コージェネレーションシステムプラントへコンテナにて輸送し、約3時間の100%水素発電実証を問題無く実施した。 <p><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></p> <ul style="list-style-type: none"> ・商用5万m³クラスの大型貯蔵容器でBORが0.26%/日を達成する断熱構造を確立した。（川崎重工業） ・BORが0.4%/日となる4万m³級の海上輸送用液化水素タンクの基本構造、設計技術等を確立した。（川崎重工業） ・大口径船陸継手について、操作容易な重量500Kg以下とし、目標（事業目標：1ton以下）を達成した。また、試作機の試験にも合格し、製品化の目途を付けた。（TBグローバルテクノロジーズ） ・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、試作機の実ガス試験にて、構造の妥当性を確認し、シール性に優れた高寿命の商用摺動部材の目途を付けた。（IHI回転機械エンジニアリング） ・液化水素を用いた小型試作機の運転試験を行い、所定の性能（揚程、動力等）、機能（バランス機構、材料健全性）を満足することを確認し、液化水素昇圧ポンプの設計技術を確立した。（荏原製作所） | ○ | |

◎大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

アウトプット目標の達成状況

| 研究開発項目 | 目標 | 成果（実績） | 達成度 | 達成の根拠／解決方針 |
|---------------------------|---|--|-----|------------|
| (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 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。 （2023年9月迄） | <p><液化水素貯槽の大型化>（トーヨーカネツ）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・大型貯槽に適用可能な真空排気システムを考案し、実験にて所要真空度への到達を実証した。 ・貯槽底部断熱構造に対して、モデル化手法や断熱材の熱定数を決定し、精度の高い伝熱解析手法を確立した。 ・破壊靱性、水素脆化、繰返し荷重に関する試験を行い、設計したSUS316Lの溶接継手が十分安全であることを確認した。 <p><バルブ関連></p> <ul style="list-style-type: none"> ・液化水素用バタフライバルブ(300A)の試作し、LH2実液試験においてシール性及び真空断熱性を確認し、300Aサイズと同バルブの技術確立した。更に耐久試験(開閉2,000回)を実施し、シール構造の耐久性に問題無いことを確認した。 (中北製作所) ・液化水素用バタフライバルブ(500A)を試作し、LH2実液試験において耐久試験(開閉500回)を実施し、シール性能が確保されていることを確認した。(ササクラ) ・液化水素用500Aのボール遮断弁、スイング式逆止弁を試作し、液化水素の実流体にて外部封止、内部封止の性能評価試験を実施し、目標性能を達成した。(キッツ) | ○ | |

◎大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達



提供：中北製作所

アウトプット目標の達成状況

| 研究開発項目 | 目標 | 成果（実績） | 達成度 | 達成の根拠／解決方針 |
|--------------------|---|---|-----|------------|
| (口)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立する。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立する。 (2023年3月迄) | <p><水素専焼GT発電></p> <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。水素発電所としての実運用を開始し、定格運転において発電端効率27%以上と、一部の負荷領域においてNOx排出値35ppm以下を達成した。(川崎重工業／大林組) ・モデルバーナ、セグメントバーナ試験において、高圧条件下で安定燃焼を実現し、ターゲット計画条件にてNOx 50ppm (15%O2換算)以下を達成し、燃焼器の重要な構成要素であるノズル設計のベースを確立した。(三菱重工業) ・大型燃焼器の設計においては、高温高圧下の燃焼試験で水素専焼を達成するとともに、実用化に向けた課題を明らかにし、改良の設計指針を得た。(三菱重工業) <p><高濃度水素混焼／水素専焼焚きボイラ・発電設備> (三菱パワーインダストリー)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・産業ボイラ用水素焚きバーナを開発し、水素ガス供給圧力の高圧化(最大900kPa)、NOx低減(60ppm以下)等の最終目標を全て達成した。 ・ガスタービン用廃熱回収ボイラ付設水素焚きダクトバーナを開発し、水素ガス供給圧力の高圧化(最大900kPa)、低酸素雰囲気(排ガス酸素濃度10%以下)での安定した水素燃焼等の最終目標を全て達成した。 <p><CO2フリーアンモニア利用GTCC> (三菱パワー)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・天然ガスとアンモニア分解ガス模擬燃料の混焼(水素体積割20%)条件で1,650℃級燃焼器の100%負荷から50%負荷の範囲で燃焼振動やフラッシュバックが発生しないことを確認した。 <p><水素燃焼エンジン発電> (川崎重工業)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・エンジン仕様の変更及び制御パラメータの最適化により、短時間ながら、平均有効圧1.85MPa且つ95%混焼(事業目標：平均有効圧1.6MPa以上且つ95%以上混焼)の水素燃焼を達成した。 ・水素燃焼単筒試験設備にて天然ガス・水素の混焼条件にて約4時間、安定した燃焼状態を維持し、連続運転が出来ることを確認した。 | ○ | |

◎大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

アウトプット目標の達成状況

| 研究開発項目 | 目標 | 成果（実績） | 達成度 | 達成の根拠／解決方針 |
|--------------------|---|--|-----|------------|
| (□)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立する。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立する。 (2023年3月迄) | <p><液化水素冷熱の利用を可能とする中間媒体式液化水素気化器>（神戸製鋼所）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・液化天然ガス気化器で実績のある中間媒体式気化器(IFV)の要素技術をベースにして冷熱回収型液化水素気化器の小型実証機を設計・製作し、実際に液化水素を用いて実証試験を行い、目標とした所定の性能(気化ガス量、気化ガス温度、循環水取出し温度等)を安定して達成出来ることを確認した。 ・30,000Nm³/hの中規模IFVの試設計を行い、機器サイズは従来のLNG用IFVの実績の範囲内であり、製作上の問題点は無いことを確認した。 | ○ | |

◎大きく上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

具体的な取り組み：発電用水素ガスエンジン、水素ガスタービン



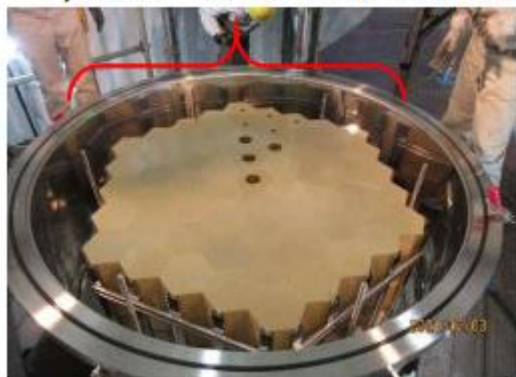
写真：川崎重工業



写真：三菱重工業

具体的な取り組み：液化水素貯槽、バルブ、ローディングアーム

1/3スケール真空断熱ブロック



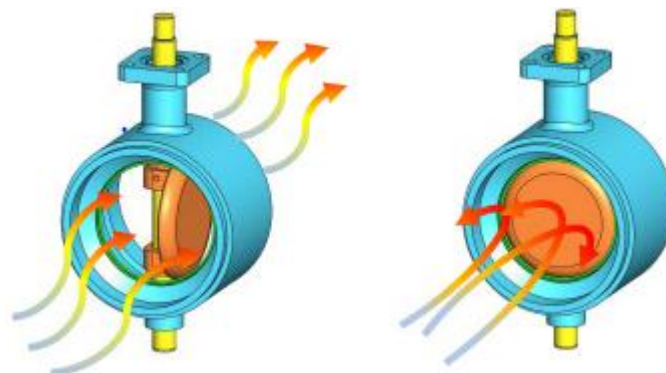
装置写真 (内部構造)



装置写真 (上面視)

真空排気シミュレーション検証実験装置

写真提供：トーヨーカネツ



(バタフライバルブの仕組み)



液化水素試験用大型バルブ試作品

写真提供：中北製作所



液化水素用ローディングアーム

写真提供：HySTRA、TBグローバル

具体的な取り組み：世界初の液化水素運搬船の開発



神戸液化水素荷役実証ターミナル (Hy touch 神戸)



豪州ヘイスティングス港での液化水素荷役 (第1回航行)



日豪サプライチェーン完遂記念式典 (Hy touch神戸)

写真提供：HySTRA

特許出願及び論文発表

| | 2015 年度 | 2016 年度 | 2017 年度 | 2018 年度 | 2019 年度 | 2020 年度 | 2021 年度 | 2022 年度 | 2023 年度 | 合計 |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----|
| 論文 | 0 | 0 | 2 | 7 | 2 | 1 | 4 | 8 | 4 | 28 |
| 研究発表・講演 | 16 | 50 | 86 | 131 | 92 | 32 | 73 | 72 | 28 | 580 |
| 新聞・雑誌等への掲載 | 0 | 3 | 53 | 56 | 45 | 28 | 27 | 24 | 12 | 248 |
| 展示会委への出展 | 9 | 3 | 11 | 8 | 14 | 3 | 2 | 3 | 1 | 54 |
| 特許 | 1(1) | 1 | 7 | 2(1) | 1 | 57(21) | 46(37) | 41(8) | 26(5) | 182 |

特許欄の () 内は外国特許数

※2023年9月末時点

特許事例

本事業を通じて、出願された特許は合計182件であるが、その中でも代表的な特許は下記の通り。

(イ)未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築

○液化水素輸送用タンクシステム → 日豪間航行試験により構造健全性確認、BOR目標値クリア

- ・舶用二重殻タンク（公開番号 WO2017/138044）
- ・船舶（公開番号 特開2019-151191）
- ・二重殻タンク及び船舶（公開番号 WO2019/078048）

上記3つの特許の出願人は川崎重工業

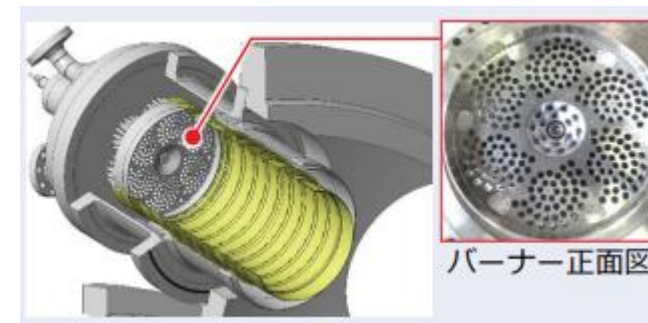


(ロ)水素エネルギー利用システム開発

○多孔噴流燃烧バーナ（クラスタバーナ） → 逆火リスク低、且つ低NOx化を実現し、水素専焼GT燃烧器に有効

- ・予混合燃烧バーナー、燃料噴射装置及びガスタービン（公開番号WO/2022/176302）
- ・燃烧器及びガスタービン（公開番号WO/2022/209993）
- ・燃烧器及びガスタービン（公開番号 特開2023-148129）

上記3つの特許の出願人は三菱重工業



受賞実績

【受賞実績】

| 件名 | 受賞者 | 内容 |
|--------------------------------|----------------------------|---|
| 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 | 液化水素運搬船“すいそふろんていあ” ・第19回ステンレス協会賞 優秀賞 (2022年3月受賞) ・日本産業技術大賞 (日刊工業新聞)にて最高位である内閣総理大臣賞受賞 (2022年4月) ・シップ オブ ザ イヤー-2021受賞 (日本船舶海洋工学会) ・2022年エネルギー学会進歩賞 (技術分野) (2022年7月) |
| 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 | 「マイクロミックス燃焼器による世界初のドライ実証」がドイツガス協会の高効率エネルギー機器分野のイノベーション賞 (右写真) を2022年10月に受賞。「ドライ低NOx水素専焼ガスタービン技術開発・実証」の取組みが評価され、日本ガスタービン学会の技術賞 (2022年4月)および日本燃焼学会の技術賞 (2021年11月) を受賞 |



写真：日本船舶海洋工学会HPより



写真：川崎重工業 2022/10/12ニュース記事より

研究開発成果の実用化

「ドライ低NOx 水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業(2019～2020年度)」における研究開発成果等を基に※1、世界初となるドライ方式で水素専焼が可能な燃焼器を搭載した1.8MW 級ガスタービンコージェネレーションシステム「PUC17MMX」の販売が2023年9月より開始。この燃焼器では、安定的な水素燃焼を実現することで、大気汚染防止法のNOx規制値を超えない低NOx運用が可能。また、水素と天然ガスの混焼運転にも対応しており、水素を体積比で50%から100%までの任意の割合で利用可能。なお、2023年度のコージェネ大賞理事長賞（技術開発部門）を受賞（一般財団法人コージェネレーション・エネルギー高度利用センター）。



神戸ポートアイランドに設置した実証プラント



※1：その他、水素社会構築技術開発事業 研究開発項目Ⅲ 地域水素利活用技術開発「水素CGSの地域モデル確立に向けた技術開発・研究」（2021年度～2022年度）における成果も活用。

＜評価項目3＞マネジメント

(1)実施体制

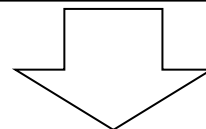
(※) 受益者負担の考え方 * 終了時評価においては対象外

(2)研究開発計画

NEDOが実施する意義

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、

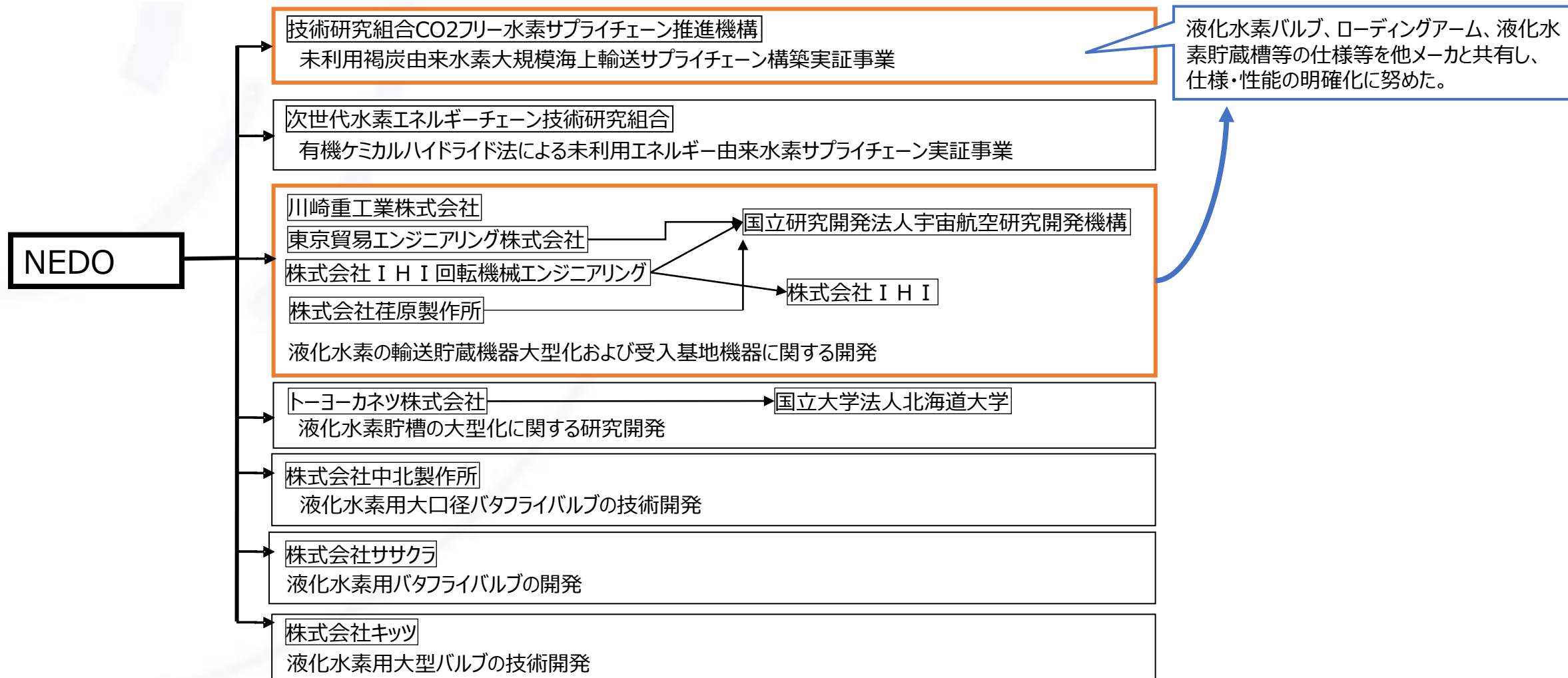
- エネルギー政策上の重要度が高く、社会的必要性が大きい
- 日本の水素利活用産業の競争力強化、エネルギー・環境分野の国際協調に貢献
- 水素供給サプライチェーン構築、水素発電導入により各事業が連携することで効果的に開発を進めることが可能
- 水素供給サプライチェーン・インフラ整備については、市場構築初期は市場範囲が限定的で、民間単独では開発リスクが大きい



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

実施体制

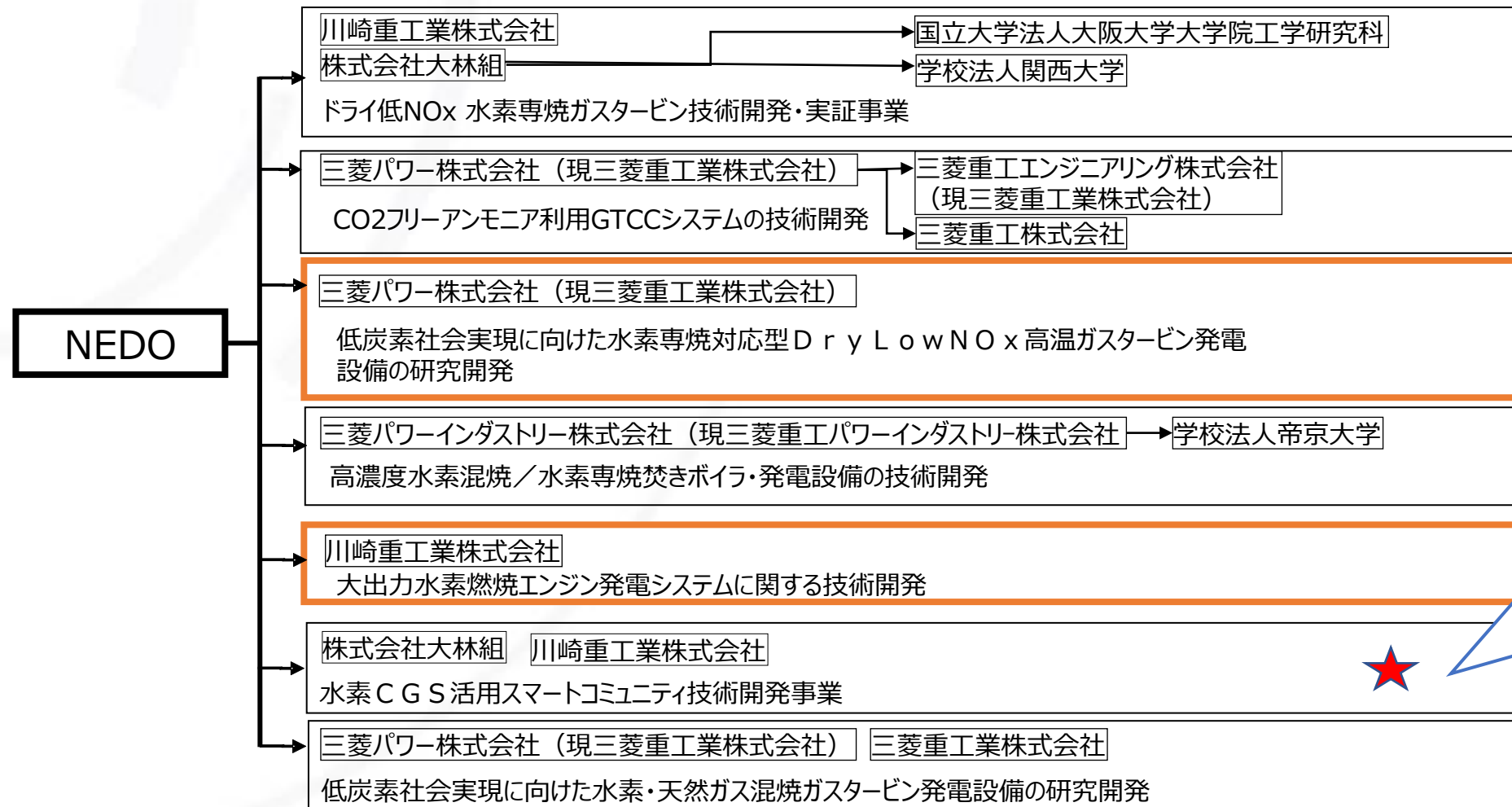
(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築



実施体制

(ロ) 水素エネルギー利用システム開発

★ 2020年度中間評価にて終了



(イ) 「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」と連携し、近隣施設であるHy touch神戸から神戸コージェネレーションシステムプラントへ液化水素をコンテナで移送し、無事に供給及び発電試験を実施。

予算及び受益者負担

プロジェクト費用

助成2/3 : 5件、助成1/2 : 9件 (単位 : 百万円)

| 研究開発項目 | 助成率 | 2015 年度 | 2016 年度 | 2017 年度 | 2018 年度 | 2019 年度 | 2020 年度 | 2021 年度 | 2022 年度 | 2023 年度 | 合計 |
|------------------------|-----|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|--------|
| (イ) 液化水素サプライチェーンの商用化実証 | 2/3 | 114 | 1,222 | 3,894 | 4,541 | 5,814 | 3,038 | 1,840 | 1,868 | 625 | 22,956 |
| | 1/2 | | | | | 190 | 795 | 917 | 675 | | 2,578 |
| (ロ) 水素エネルギー利用システム開発 | 2/3 | 2 | 100 | 1,081 | 79 | 143 | 430 | | | | 1,835 |
| | 1/2 | | | | | | 177 | 471 | 2,012 | | 2,660 |
| 合計 | - | 115 | 1,322 | 4,976 | 4,619 | 6,147 | 4,441 | 3,228 | 4,555 | 625 | 30,028 |

助成率の考え方 :

2 / 3 : 技術的な難易度が高く、製品化には時間がかかるもの。

1 / 2 : 製品開発が個社で概ね完結し、より製品化に近いもの。

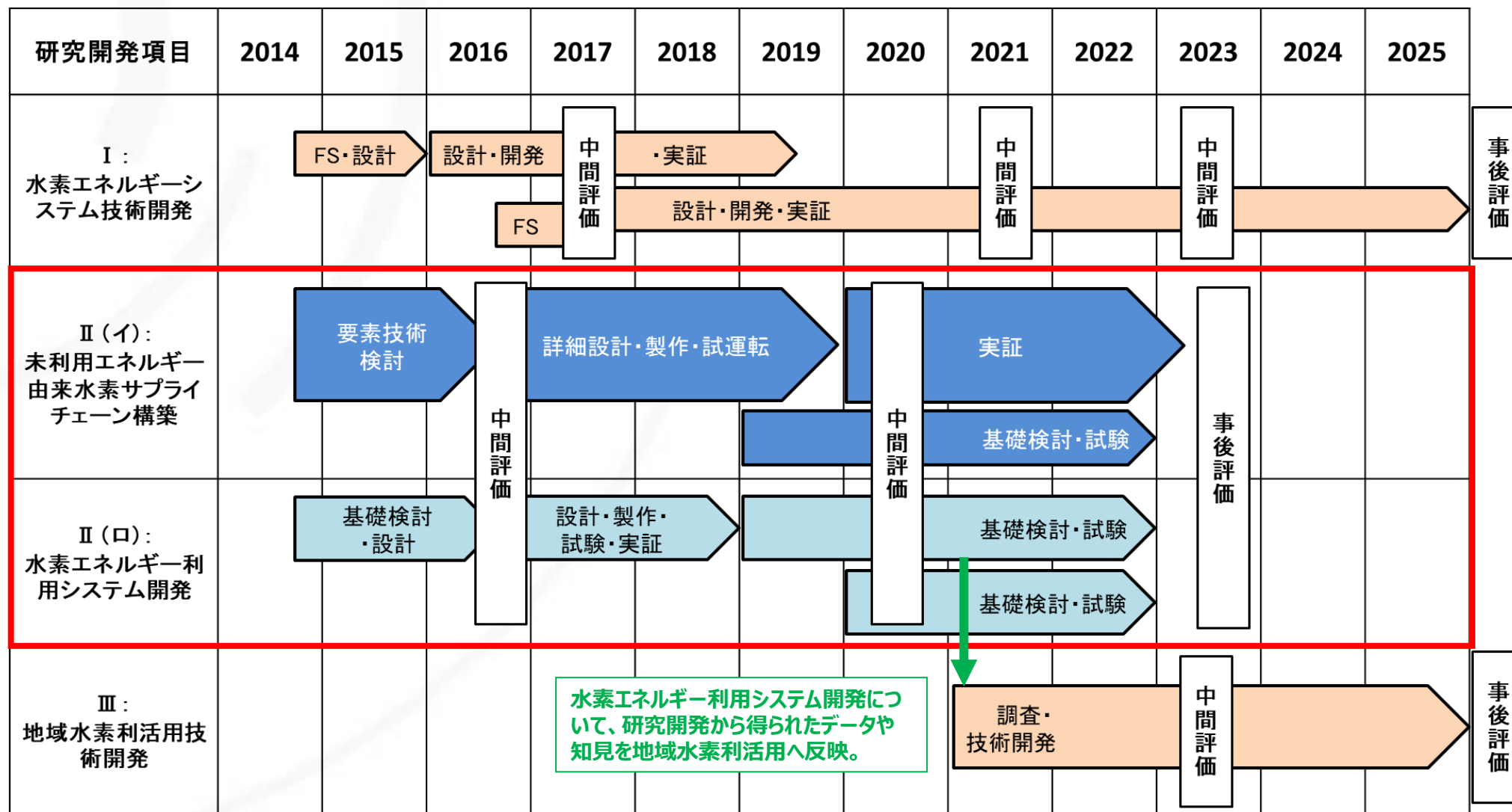
個別事業の採択プロセス

| | 公募予告 | 公募期間 | 採択数 |
|-------|-----------|-----------------------|-----|
| 第1回公募 | 2015/3/6 | 2015/4/6 ~ 2015/5/7 | 4 |
| 第2回公募 | 2019/1/21 | 2019/2/21 ~ 2019/3/22 | 1 |
| 第3回公募 | 2019/3/12 | 2019/4/12 ~ 2019/5/13 | 3 |
| 第4回公募 | 2020/2/12 | 2020/3/18 ~ 2020/4/17 | 6 |

採択条件；採択審査委員会では、以下を採択審査基準として実施した。

- ①【目標設定】：提案・申請内容が本事業の目的、目標に合致しているか。事業意義が明確か。
- ②【技術の新規性】：提案・申請された方法に新規性があり、技術的に優れているか。
- ③【研究計画の妥当性】：提案・申請内容および研究計画に妥当性はあるか。
- ④【計画遂行力】：提案・申請者は本事業を遂行するに足る能力を有するか。
- ⑤【提案の経済性】：提案・申請内容の経済性は優れているか。開発予算は妥当であるか
- ⑥【実用化・経済波及効果】：提案・申請内容における実用化の見込み、企業化計画に妥当性はあるか。また国民生活や経済社会への波及効果は期待できるか

研究開発のスケジュール



進捗管理

- 適時事業者と打ち合わせを実施し、開発目標と達成度、進捗確認、計画を見直しを実施。
- 半期毎に全体技術委員会を開催し、事業間の情報共有を図る。
実績：
 - 2015年度～2017年度各1回
 - 2018年度2回
 - 2019年度1回（2回目：METIとの共催の公開評価WEEK）
（成果報告レビュー）にて代替、3回目：コロナの影響で中止）
 - 2020年度中間評価で代替。
 - 2021～2022年度はコロナの影響で中止。2021年度は、成果報告会にて外部有識者によるレビューを実施。
- 追加公募分時には新規参加検討事業者及び既存事業においては進捗に課題ある場合には、PM（プロジェクトマネージャー）が事業の現場を訪問し、問題点のヒアリングと進め方についてのアドバイスを行った。

進捗管理：中間評価結果への対応

| | 指摘 | 対応 |
|-------------------------|---|---|
| 研究開発マネジメント | <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>【1】外部有識者によるレビューや日々の進捗確認を通じて、個別テーマの目標値及びその達成度についてPMが俯瞰的に検討・見直しを行った。具体的には、個別の進捗を見つつ、液化水素のバルブ等について、将来求められるよりハイレベルな定量的目標を設定し、実行した。</p> |
| 研究開発成果 | <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>【2】外部有識者によるレビューや日々の進捗確認を通じて、前倒し可能な取組があれば実施計画の見直しを検討した。また、グリーンイノベーション基金事業（大規模水素サプライチェーンの構築）を開始させることによって、さらなる大型化・商用化に向けた加速的な取組を行った。</p> |
| 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通し | <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>【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。</p> | <p>【3】【4】外部有識者によるレビューや日々の進捗確認を通じて、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した。2021年度より、グリーンイノベーション基金事業が開始されたことにより、個々の研究開発成果が、どのように統合されシステムになり、大型化・商用化につながるのかという点を実プロジェクトを通じてシナリオを示すことができた。さらには、国内だけではなく技術の海外展開のため、海外実証に向けたFS調査を別事業と連携する形で実施し、先行する海外市場での検討を通じて、実用化への道筋を明らかにした。また、NEDOが主催する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を広く情報発信した。</p> |

進捗管理：開発促進財源投入実績

| 件名 | 年度 | 金額 (百万円) | 目的 | 成果・効果 |
|--------------------------------|--------|-------------|---|--|
| 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 | 2019年度 | 124 | IMOによるIGCコード化（国際標準）に向け安全設計追加の設計作業が増加及び機器仕様の変更に伴い製作費用が増加したため。 | 安全に対するリスクを確実に回避する設計仕様とすることができた。 |
| | 2023年度 | 231 | 液化水素運搬船を、首相の中東各国歴訪に合わせて廻航し、各国 首脳、大臣、要人等へ紹介し、日本の液化水素関連技術を広く世界に発信するとともに、水素利用 に対する各国国民の理解と支持を得る活動につなげるため。 | 廻航先での各国要人等への展示を通じて、日本の液化水素関連技術の発信と、各国での水素利用 にかかる我が国との協力関係の構築に向けた活動の後押しに資することができた。 |
| 液化水素用大口径バタフライバルブの技術開発 | 2022年度 | 58 | グリーンイノベーション基金「液化水素サプライチェーンの大規模実証」におけるLH2大型出荷/受入基地 及びLH2大型運搬船は、2025～2027年頃の竣工を見込んでおり、当該基地・船に搭載される最大800Aの大口径荷役用バルブの技術確立が早期に必要となる。大規模実証に間に合わせるべく、当初の事業計画を加速させ2022年度の事業期間内に800Aサイズの大口径化検証を実施した。 | 大型化検証において、実機開発で得た知見を展開し、液化水素出荷/受入基地で最大口径となる800A サイズの真空ジャケット付き大型試作品（液化水素用大口径バタフライバルブ）を開発し製作した。800A サイズの大型試作品を供試弁として、JAXA 能代ロケット実験場で実液試験を実施した。 |

NEDOによる水素のPR活動・成果普及① 成果報告会

NEDO水素・燃料電池成果報告会

毎年度、2日～3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。2021年度は、外部有識者による評価が行われ、プロジェクトの課題が抽出されるとともに、さらなる改善につながる評価コメントがフィードバックがされた。新型コロナの影響でオンライン開催もあったが、来場者の満足度が非常に高く（95%以上）、新たなシーズ発掘や共同開発等のためのマッチング機会の場を提供することができた。

日時：2021年6月30日（水）～7月2日（金）

会場：オンライン開催

外部有識者による評価が行われ、プロジェクトの課題が抽出されるとともに、さらなる改善につながる評価コメントをフィードバック。口頭発表セッション後はポスターセッションを開催し、すべてのプロジェクト・研究テーマのポスターを展示した上で一般参加者との交流の場を設けた。

日時：2022年7月27日（水）～29日（金）

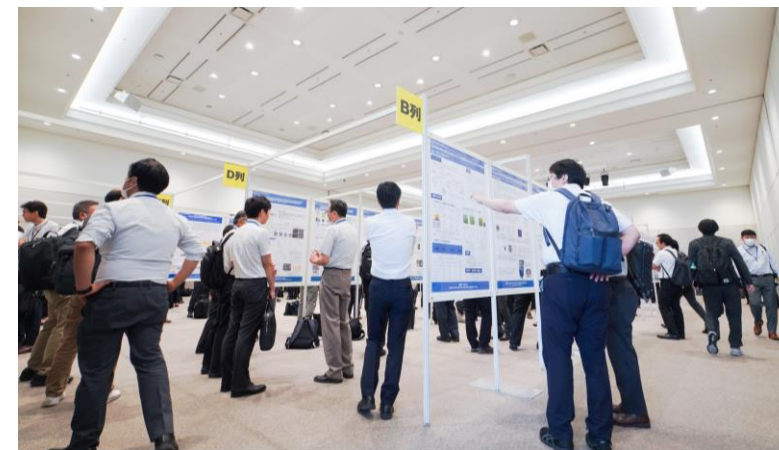
会場：オンライン開催

合計155テーマのNEDOプロジェクトの成果及び今後の見通し等について各実施者により発表が行われ、2,000名を超える聴講者が出席。各セッションでは、活発な質疑応答が行われ、最新の技術成果を広く共有。

日時：2023年7月13日（木）～14日（金）

場所：パシフィコ横浜 アネックスホール／ハイブリッド・動画配信あり

口頭発表（62件）とポスターセッション（180件）を行い、プロジェクトの実施状況、成果等を広く一般に公開。4年ぶりの対面開催で、多数の事業者、聴講者が会場に一同に集まり、プロジェクトの進捗や課題に関して活発な意見交換がなされた。来場者約1,100人、口頭発表の様子はオンラインでも公開し動画再生約5100回。



NEDOによる水素のPR活動・成果普及② 液化水素運搬船

液化水素運搬船「すいそふろんていあ」の航行試験に関して、諸外国の閣僚、政府高官、報道関係者等の現地見学会を実施（豪州、中東、シンガポール、日本G7サミット等）。液化水素の現状、将来性に関する理解を深め、水素社会構築に向け推進した。将来の有望な水素運搬方式として、各国の注目を集めている。



ファム・ミン・チン ベトナム首相（G7広島サミット）



シムソン委員（EU）、シャップス大臣（英）、西村経産大臣
（G7札幌 気候・エネルギー・環境大臣会合）



サウジアラビア エネルギー大臣の視察



豪州ヘイスティングス港での液化水素荷役（第1回航行）

NEDOによる水素のPR活動・成果普及③

● 人気YouTuberとのコラボ動画

特に若年層をターゲットとして、人気YouTuber（QuizKnock、はなおでんがん）とコラボした動画企画を展開。2023年11月17日時点で計124万回達成。



動画リンク : <https://youtu.be/9e1lcW3Gdw4>



動画リンク : <https://youtu.be/Qz3iz62djDM>

NEDOによる水素のPR活動・成果普及④

➤ 高校生向け教育プログラムの他にも、2050年カーボンニュートラル社会の担い手となる小中高生向けの情報発信活動として、出張授業や施設見学会を実施。

● TOYOTA GAZOO Racingほかとのコラボ授業

福島県立松川小学校にて授業を実施。NEDOによる講義に加え、水素エンジンGRヤリスの同乗走行などを体験。

https://twitter.com/TOYOTA_GR/status/1649360407013003264



● 環境省次世代ツアー

環境省主催の「福島、その先の環境へ。ツアー」の一環として、中高大学生がFH2Rを見学。

<https://kankyosaisei.env.go.jp/next/sonosakitours/report/05.html>



● サイエンススプリング社会科見学

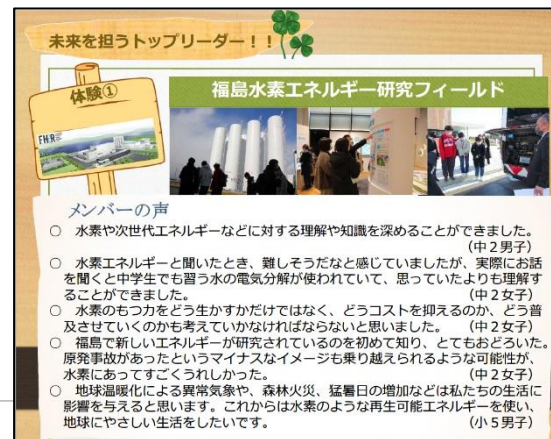
仙台市と南相馬市の中高生を対象にした「水素」がテーマのワークショップ・社会科見学の一環として、FH2R施設見学会を実施。

QuizKnockのメンバーと水素社会実現に向けた取組を楽しく学習。

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構



関連動画リンク：<https://www.youtube.com/watch?v=jk7sY4D1sb4>



● 理系コンクール表彰者向け見学会

福島県算数数学ジュニアオリンピック等の理系コンクールで表彰された小中学生向けのFH2R見学会を県教育委員会と連携して実施。

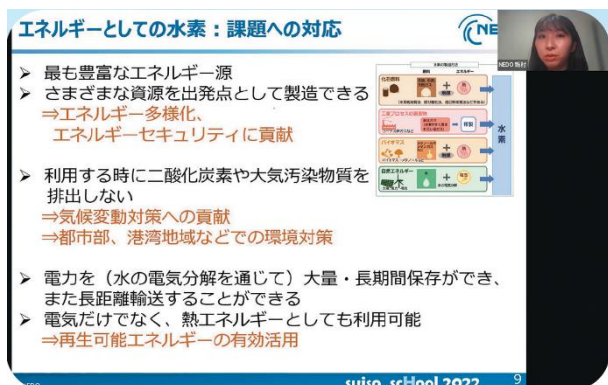
<https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/550321.pdf>

NEDOによる水素のPR活動・成果普及⑤

- 「水素社会構築技術開発事業／総合調査研究／水素社会実現に向けた情報発信に関する調査研究」では、日本教育新聞社の企画協力のもと、スーパーサイエンススクール指定校の高校生を対象に、水素について深く学んでもらうプログラムを実施。
- 2050年カーボンニュートラル社会の担い手となる世代に、百聞は一見に如かずのとおり、実際に技術に触れ知的好奇心を高める機会を創出。

オンライン講義

- 「水素の今、未来」をテーマに、水素の性質や安全性、水素エネルギーの仕組みについて講義。
- つくる、ためる・はこぶ、つかうの要素別に関連技術を紹介。



NEDOによる講義の様子

実験・講義

- オンライン講義で学習した内容を踏まえ、施設見学会当日の前半には実験・講義を受講。水素エネルギーのメカニズム・働きについて理解を深める。



水素車を走らせる実験

施設見学



FH2R × 安積高校



トヨタ自動車本社工場 × 豊田西高校



Hy touch 神戸/神戸CGS × 長田高校



九州大学 × 香住丘高校

プログラム参加者（高校生）のコメント抜粋

- 自国に必要なエネルギーを供給できる、本当に夢のある次世代エネルギーだなと感じています。東日本大震災の被害に遭った浪江町でこうした新しいエネルギーの取り組みが行われていることにも感動しました。将来は研究職に就きたいと思っており、水素関連のことも研究できたら面白いなと思いました。

「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」(終了時評価)

(2020年度～2022年度 3年間)

プロジェクトの概要 (公開版)

三菱重工業株式会社

2023年12月21日

(1) 事業概要

◆背景・目的・目標

●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
- ・国内では、水素基本戦略、グリーン成長戦略が策定され、**水素導入量目標を設定**
(2030年：最大300万t/年、2040年：1,200万t/年、2050年：2,000万t/年)
- ・国内の天然ガス焚き発電所の水焚き専焼転換により、目標の達成に大きく寄与

国内外の情勢変化、戦略策定の状況



グリーン成長戦略における量及びコストの目標

□ 年間導入量*：発電・産業・運輸などの分野で幅広く利用

現在(約200万t) → 2030年(最大300万t) → 2050年(2000万t程度)

※水素以外にも直接燃焼を行うアンモニア等の導入量(水素換算)も含む数字。

□ コスト：長期的には化石燃料と同等程度の実現

現在(100円/Nm3) → 2030年(30円/Nm3) → 2050年(20円/Nm3以下)

出典：METI 第26回水素・燃料電池戦略会議 (2021年6月)

| 大型GT水素消費量 | |
|------------|------|
| 水素率 (vol%) | 100% |
| ton/h | 27.2 |
| ton/年 | 19万* |
| ×31台** | |
| ton/年 | 590万 |

*365日×24h×稼働率80%

**MP 国内納入GTCC (G/J/F形, 効率60%級) 31台試算

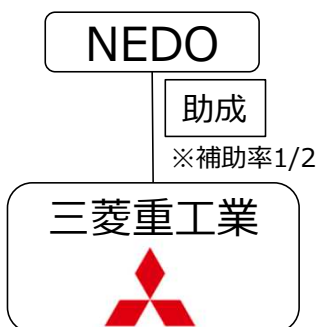
(1) 事業概要

◆背景・目的・目標

●事業目的

・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設計技術を構築

●体制



●実施期間

・2020～2022年度

●事業額

・26.1億

水素発電技術（混焼、専焼）の実機実証

事業の目的・概要

□ 大規模需要を創出する水素ガスタービン発電技術（混焼（体積混焼比率:30%）、専焼）を2030年までに商用化するべく、複数事業者が既存事業*等で開発された燃焼器等を実際の発電所に実装し、異なる実証運転を行うことで、燃焼安定性等を検証する。その際、各種国際サプライチェーン実証事業と緊密に連携する。 *未利用エネルギーを活用した水素サプライチェーン構築実証事業

実施体制（実証内容）

※太字: 幹事企業

- ① **株式会社JERA**（大型ガスタービンによる水素混焼）
- ② 関西電力株式会社（中型ガスタービンによる水素混焼・専焼）
- ③ ENEOS株式会社（大型ガスタービンによる水素専焼）

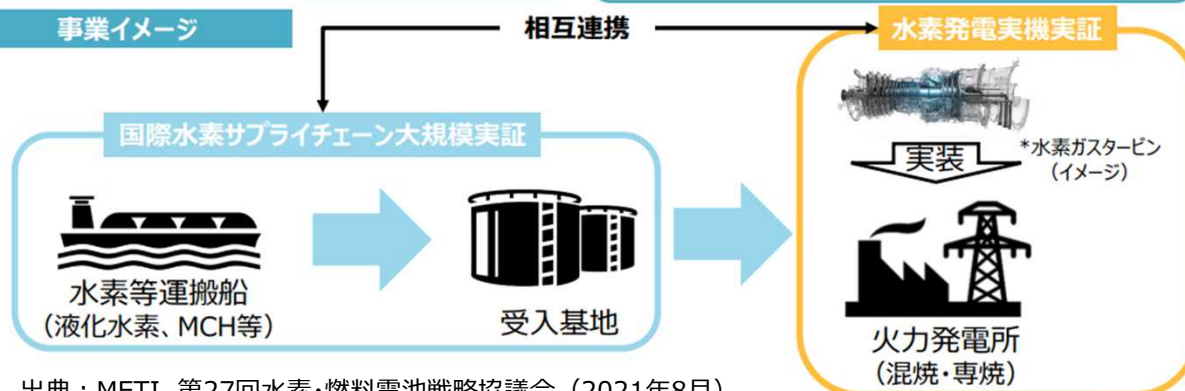
事業期間

- ① 2021年度～25年度（5年間）、② 2021年度～26年度（6年間）、③ 2021年度～30年度（10年間）

事業規模等

- 事業規模
①：約110億円、②：約160億円、③：約240億円
- 支援規模*
①：約70億円、②：約100億円、③：約140億円
*インセンティブ額を含む。今後ステージゲート等で事業進捗等に合わせ合理化見込み
- 補助率等
①～③：1/2（インセンティブ率は10%）

事業イメージ

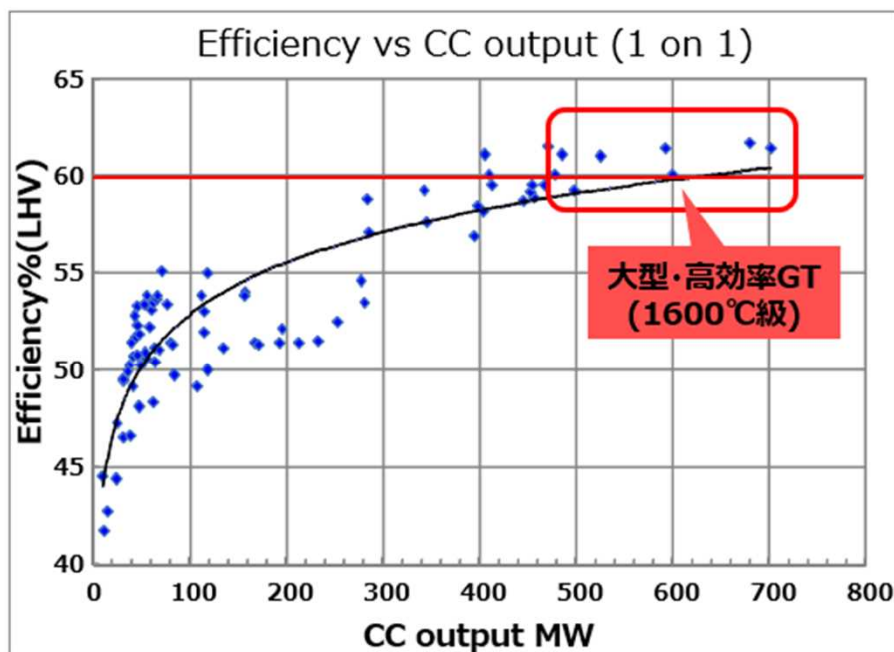


出典：METI 第27回水素・燃料電池戦略協議会（2021年8月）

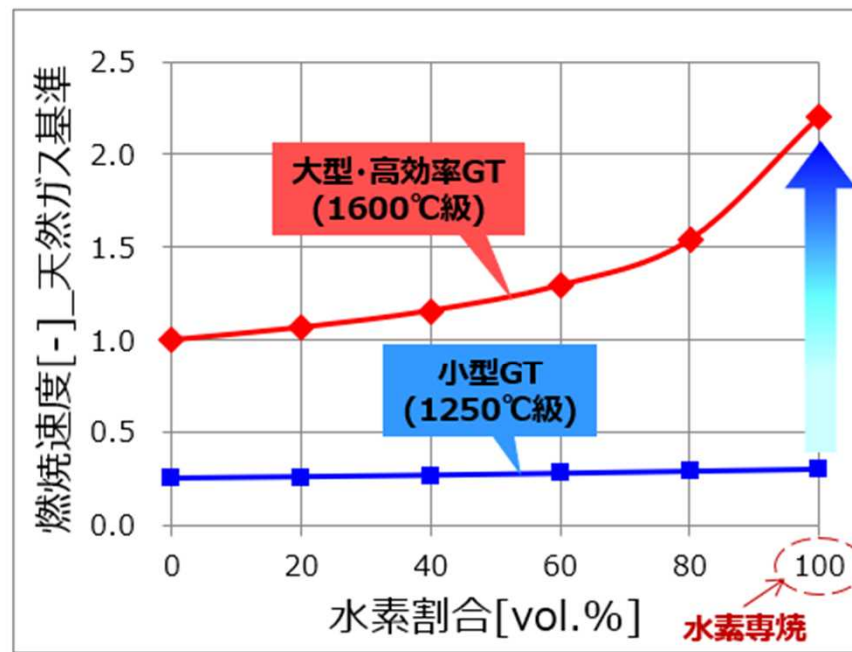
(1) 事業概要

◆背景・目的・目標

- 大型GTに水素焚きを適用し、高効率・低環境負荷発電を実現
- 小型GTに比べて、大型GTは火炎温度が高いため、燃焼速度が増加し、逆火の発生リスクが増加
➔ 大型・高効率GTの水素専焼では、低NOxと逆火防止の両立が技術的課題
- 最終目標：実圧燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx 50ppm※以下を達成
※脱硝効率90%の脱硝設備を有するプラントにて、煙突出口5ppm以下を満足



CC出力と効率の関係



燃焼速度の比較

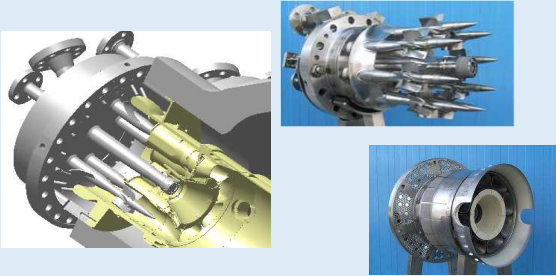
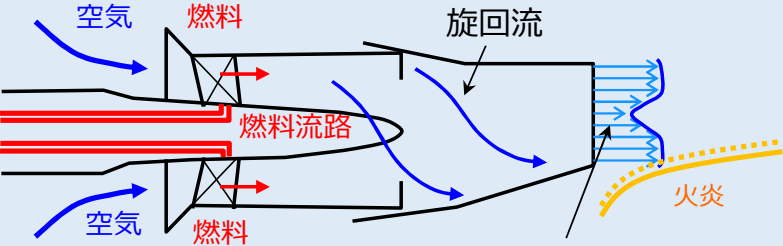
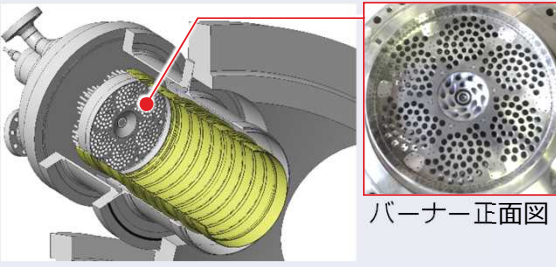
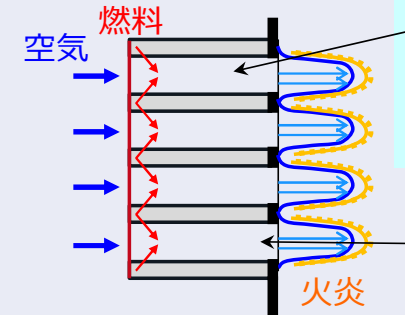
(1) 事業概要

◆水素焚きガスタービン燃焼器

● 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NO_x化が可能な多孔噴流燃焼方式（クラスタバーナ）が有効。

クラスタバーナコンセプト

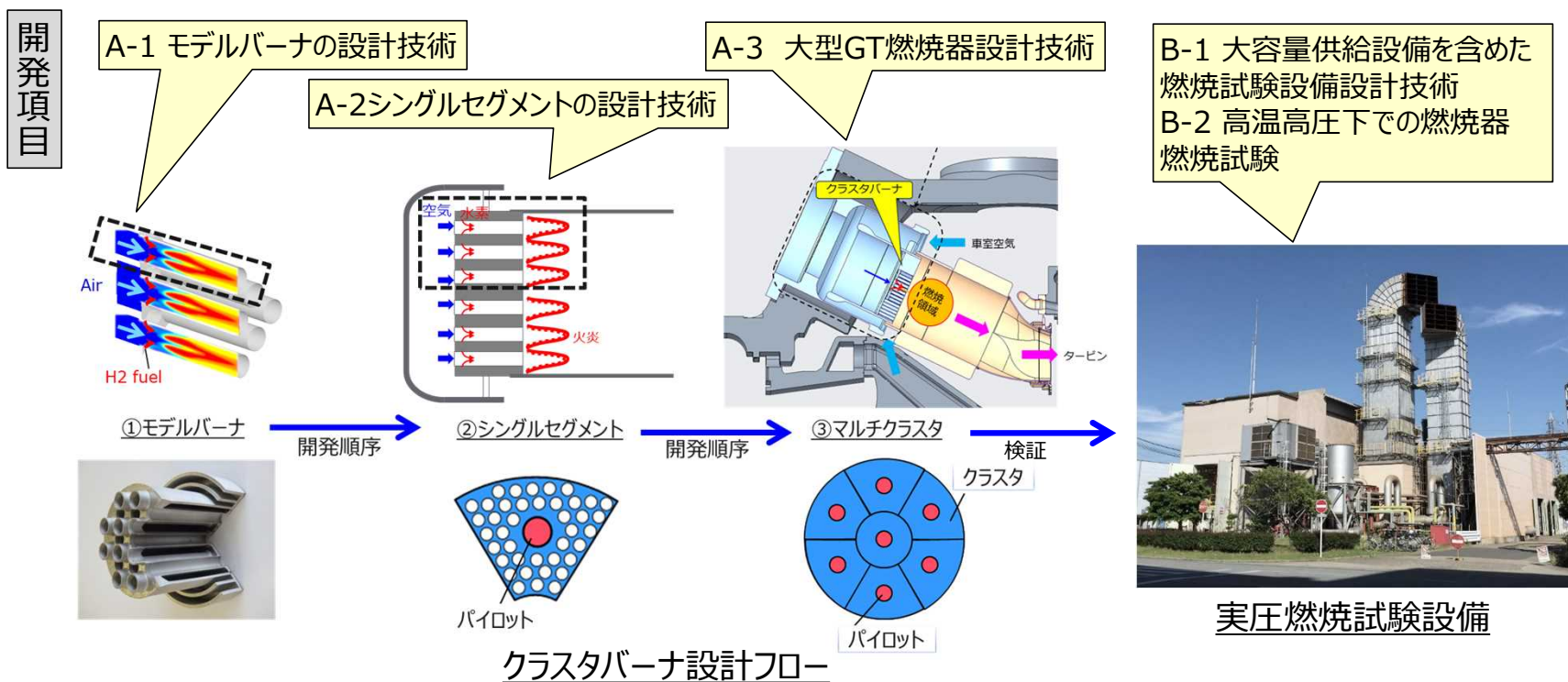
- 1) 旋回流なく、高速流を形成。燃料混合スケールが小さく、混合距離の短縮が可能 → **逆火リスク 低**
- 2) 燃料分散化による空気有効利用 → **低NO_x化**

| 燃焼方式 | 燃焼器 | 説明 |
|-----------------|---|---|
| 天然ガス用 予混合燃焼器 |  |  <p>低速域&長い予混合距離→ 逆火リスク高</p> |
| マルチクラスタ 燃焼器 |  <p>バーナー正面図</p> |  <p>旋回流無く、高速流 &混合スケールが小さく、 混合距離短縮可能 →逆火リスク低</p> <p>燃料分散化による 空気有効利用 →低NO_x化</p> |

(1) 事業概要

◆研究概要

- 高い逆火耐性をもち、かつ 低NOx化が可能なクラスタ燃焼器を、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を検証する

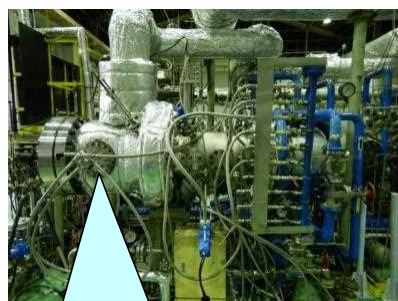


(1) 事業概要

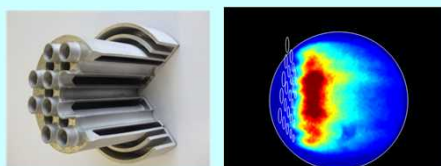
◆ 成果概要

- モデルバーナ、セグメントバーナ体系において、予混合燃焼方式で大型GTターゲット条件での安定燃焼を実現し、目標のNOx50ppm以下を達成した
- 大容量水素供給設備を含む実圧燃焼試験設備を構築し、大型水素燃焼器の性能検証技術を確立した
- 大型燃焼器で高温高圧下での水素専焼を達成し、燃焼器設計の基礎を確立した

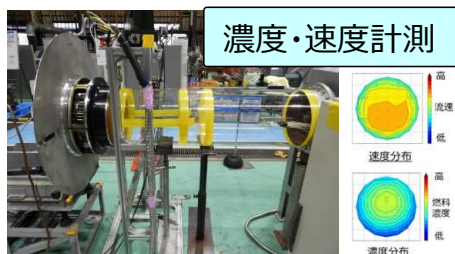
①モデルバーナ、セグメントバーナ設計



ターゲット計画条件でNOx<50ppm達成



②大型燃焼器設計



燃焼器濃度・速度計測設備



※数分間の試験が可能
特定条件の燃焼性能を検証

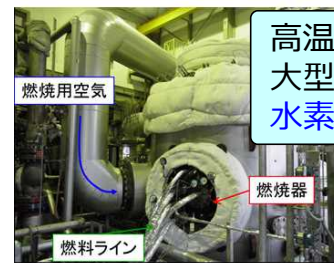
ブローダウン燃焼試験設備

③実圧燃焼試験による燃焼器性能検証



大容量水素供給設備を構築

大容量水素供給設備



高温高圧下において大型燃焼器で水素専焼を達成

実圧燃焼試験設備

(2) 個別研究開発項目の目標と達成状況

◆個別研究開発項目の目標と達成状況

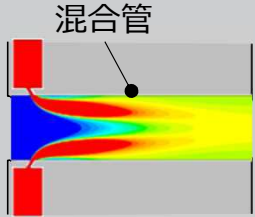
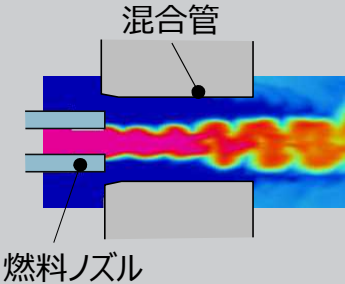
| 開発項目 | 目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
|---------------------------|---|---|-----|---|
| A-1 モデルバーナの設計技術 | ・高温高圧下のモデルバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口NOx50ppm以下 | ・燃焼試験により、ターゲット計画条件にてNOx 50ppm(15%O2換算)以下を達成した | ○ | |
| A-2シングルセグメントの設計技術 | ・高温高圧下のセグメントバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口NOx50ppm以下 | ・燃焼試験により、ターゲット計画条件にてNOx 50ppm(15%O2換算)以下を達成した | ○ | |
| A-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および燃焼器全体計画図の完成 | ・燃焼器の詳細設計完了 | ○ | |
| B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術 | ・土工工事・水素蓄圧器設置・電気工事・保温工事の完成 ・試運転の完了 | ・燃焼試験を実施し、設備の検証まで完了 | ○ | |
| 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NOx 50ppm以下 | ・高温高圧下で水素専焼を達成し、実用化に向けた課題を明確にした。 ・目標のNOx50ppm以下は達成できず。 | △ | ・実燃焼器においてもモデルバーナと同等の濃度分布、燃焼性能を実現可能なノズル、燃焼器構造を検討する |

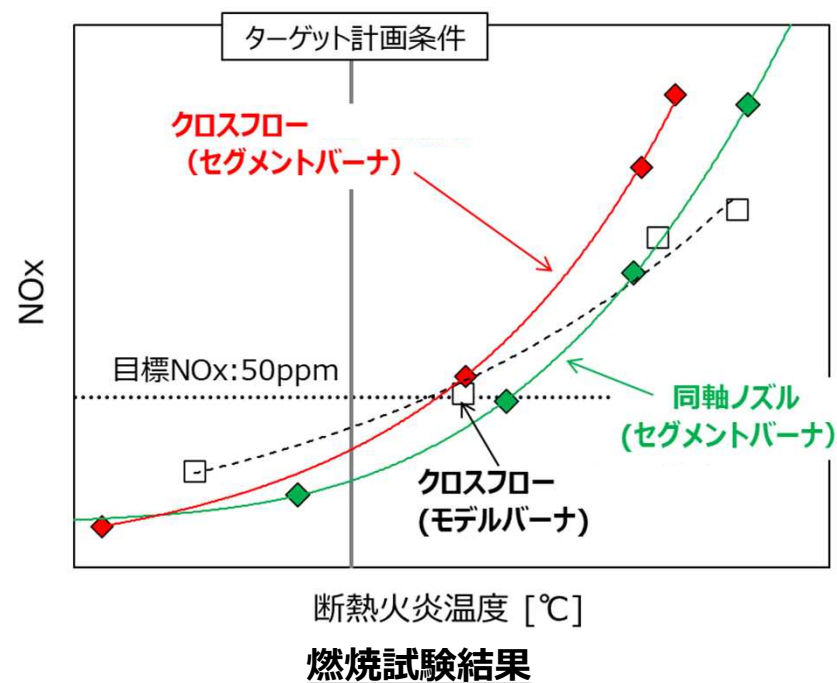
◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

(3) 各個別テーマの成果と意義

A-1、2 モデルバーナ、シングルセグメントの設計技術

- 目標：逆火なく安定燃焼し、NOx 50ppm(15%O2換算)以下
- 成果：クロスフロー方式、同軸ノズル方式の二案を検討した。
逆火の発生なく、ターゲット計画条件においてNOx 50ppm以下を達成した。
- 成果の意義：水素専焼燃焼器のバーナ設計のベースとなる。

| | クロスフロー | 同軸ノズル |
|----------|--|--|
| ノズルコンセプト | <p>空気流に交差するように複数孔から燃料噴出</p>  | <p>混合管と燃料ノズルを同軸に配置し、同軸流を形成</p>  |

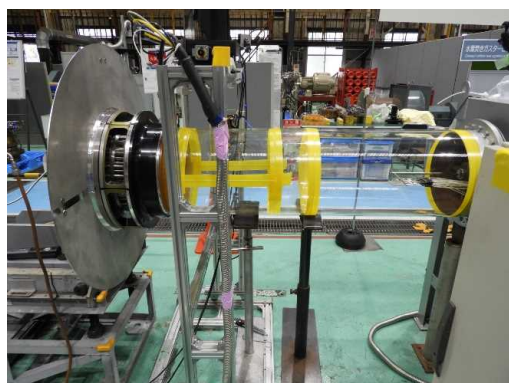


(3) 各個別テーマの成果と意義

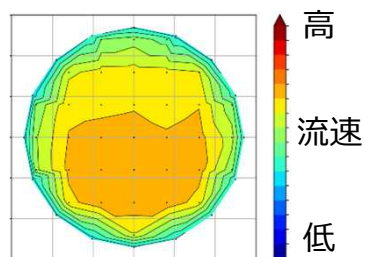
A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術

- 目標：クラスタバーナ、燃焼器の全体計画図の完成
- 成果：燃焼器を対象としたCFD、濃度、流速分布計測により燃焼器構造を検討し、**クラスタ燃焼器を設計した。**
ブローダウン燃焼試験設備において水素専焼クラスタ燃焼器の性能を検証し、**燃焼器の設計・評価技術を構築した。**
- 成果の意義：水素専焼燃焼器の設計・検証手法を構築し、今後の改良設計のベースとなる。

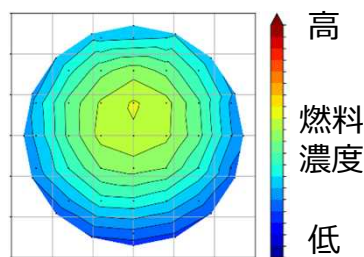
燃焼器混合管流動評価



同軸ノズル型クラスタ燃焼器
気流試験装置



速度分布



濃度分布

燃焼特性評価



ブローダウン試験設備※

※空気源として空気タンクに貯めた空気を使用。
貯留空気を燃焼器に供給することで数分間の試験が可能

(3) 各個別テーマの成果と意義

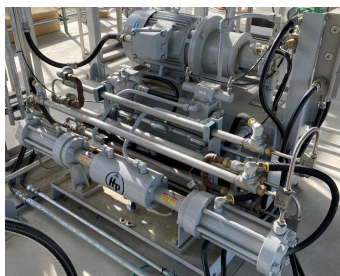
B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術

- 目標：土木工事・水素蓄圧器設置・電気工事・保温工事の完了
試運転による装置検証完了
- 成果：土木工事・水素蓄圧器設置・電気工事・保温工事および**燃焼試験による設備検証まで完了した。**
- 成果の意義：燃焼器検証に必要な設備のベースが完成した。

大容量水素供給設備



水素ボンベ



水素圧縮機

実圧燃焼試験用制御弁ユニット



- 天然ガス 配管(既設)
- 水素ガス 配管(新設)



水素配管ルート

水素供給設備
設置場所

水素実圧燃焼試験設備

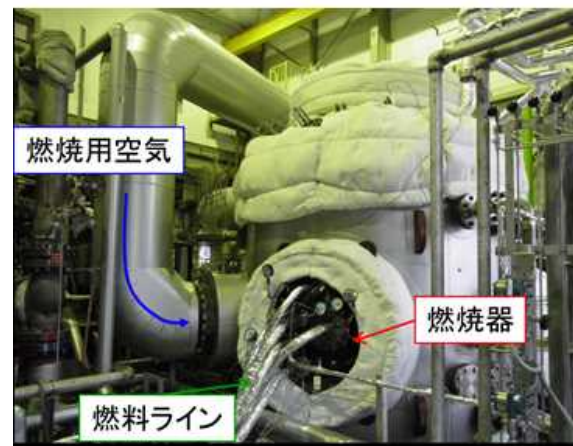
出典：Google Maps 航空写真



(3) 各個別テーマの成果と意義

B-2 高温高圧下での燃焼器燃焼試験

- 目標：高温高圧下の燃焼試験にて計画運転条件の燃焼性能を評価し、逆火なくNOx50ppm以下を達成
- 成果：大容量水素供給設備を用いた高温高圧下の水素専焼燃焼試験を実施し、**大型GT燃焼器で水素専焼を達成。**
燃料比率の調整が最適化できておらず、目標のNOx50ppm以下は達成できず。
- 成果の意義：大容量水素供給設備を用いた試験装置において、予混合燃焼方式の大型燃焼器で水素専焼を達成し、今後の燃焼器開発のベースを確立した。



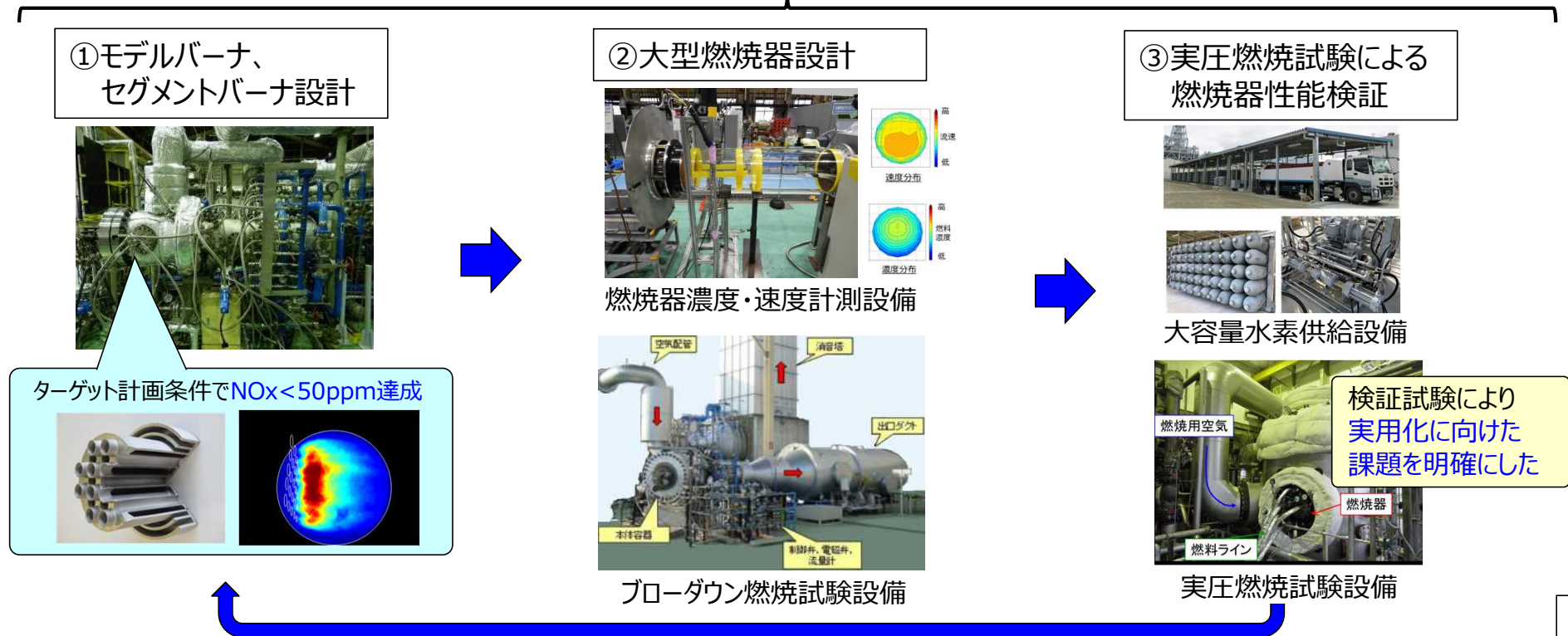
高砂実圧燃焼試験設備

(4) プロジェクト（事業）としての達成状況と成果の意義

◆プロジェクト（事業）としての達成状況と成果の意義

- 本プロジェクトにより、大容量水素供給設備を含む燃焼性能を検証可能な燃焼試験設備を構築し、大型ガスタービン向け水素専焼燃焼器の設計・評価技術を確立した。また、燃焼器燃焼試験により実用化に向けた課題を明確にすることができた。
- 本成果により、水素専焼ガスタービンの実用化に向けた検討が可能となり、早期に社会実装することより市場拡大に貢献する。

大型ガスタービン向けの水素専焼燃焼器の設計・評価技術を確立



(5) 特許出願数

◆ 知的財産権の確保に向けた取り組み

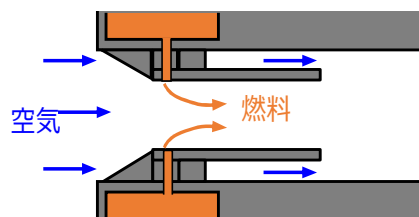
● クラスタバーナは水素専焼のキー技術であり、知的財産権確保に向けて、国内外の特許出願を継続

| | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 | 計 |
|------------|--------|--------|--------|--------|
| 特許（うち外国出願） | 6（1） | 6（4） | 3（2） | 15（7）件 |

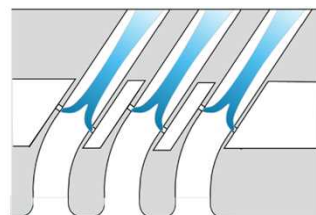
一例

※2023年9月30日現在

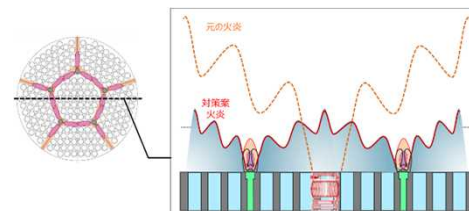
① 混合管にフィルム空気導入
（特願2021-025565）
（PCT/JP2022/043486）



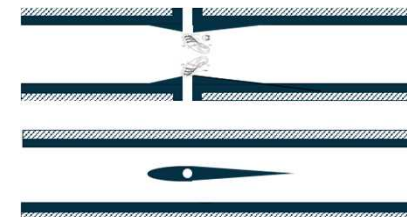
② 旋回クラスタ
（特願2021-062224）
（PCT/JP2022/012462）



③ クラスタ+パイロット
（特願2022-056000）
（PCT/JP2023/005867）



④ 流線形突起からの燃料噴射
（特願2022-056957）
（PCT/JP2023/008733）



(6) 論文等の発表数

| | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 | 計 |
|------------|--------|--------|--------|-----|
| 研究発表・講演 | 12 | 14 | 16 | 42件 |
| 新聞・雑誌等への掲載 | 3 | 6 | 7 | 16件 |
| 展示会への出展 | 2 | 1 | 1 | 4件 |

※2023年7月31日現在

(7) 成果の普及

◆ 成果の普及

● プレスリリースにて、水素ガスタービンの早期商用化に向けた取り組みを発表

PRESS INFORMATION

高砂製作所に水素発電実証設備「高砂水素パーク」を整備へ

自社で“水素製造から発電までの技術を一貫して検証”できる体制を構築

2022-02-14



- ◆ 2025年の水素ガスタービン商用化に向け、既存実証拠点に水素製造・貯蔵設備を追加
- ◆ 自社設備での着実な実証を通じて製品の信頼性を向上、大型のJAC形および中小型のH-25形で検証



三菱重工業は、水素を燃料とする水素ガスタービンの早期商用化に向け、開発・製造拠点を置く高砂製作所（兵庫県高砂市）に水素製造から発電までにわたる技術を世界で初めて一貫して検証できる「高砂水素パーク」を整備します。今後、関連設備を順次拡充し、2025年に大型ガスタービンで30%混焼、中小型では100%専焼の製品を商用化する予定です。

高砂水素パークは、同製作所構内の実証設備複合サイクル発電所（通称：第二T地点）に隣接させて整備します。現在、2023年度の稼働開始に向け、水素製造・貯蔵およびガスタービンでの水素燃焼技術の試験・実証運転に着手できるよう準備を進めています。水素製造設備は、水電解装置の採用に加え、メタンを水素と固体炭素に熱分解することによるターコイズ水素の製造など、次世代水素製造技術の試験・実証を順次行う予定です。

高砂製作所では、開発から実証・検証までの一貫体制を構築しており、水素ガスタービンのキーコンポーネントである燃焼器は、開発拠点（総合研究所）での開発から、設計、製造工場での実機の製作、実証設備において実機レベルで検証するまでの体制を築いています。当社のガスタービン開発は、基本設計の段階で各要素の検証試験を実施し、その結果を詳細設計に反映させ、最終的に実機を用いた実証を行うものです。この開発サイクルを同一工場内で実施することで、より迅速かつ確実な開発・製品化を進めてきました。

第二T地点では、世界で初めてガスタービン入口温度1,650°Cの高温化を達成した次世代高効率大型ガスタービンJAC（J-series Air-Cooled）形の長期実証に向け、地域の電力網に接続された状態で実際の発電所と同じ運用を行いながら、新開発技術の長期的な信頼性検証を実施しています。これは、世界で当社以外に類を見ない設備で、出力56万6,000kWの最新鋭ガスタービン・コンバインドサイクル（GTCC）発電設備として、2020年7月1日に長期実証運転を開始したものです。

2025年の商用化に向け、大型ガスタービンについては第二T地点でJAC形を用いて水素30%混焼発電を検証します。また、中小型ガスタービンでの水素100%専焼も、H-25形ガスタービンでの水素燃焼の実証を行います。

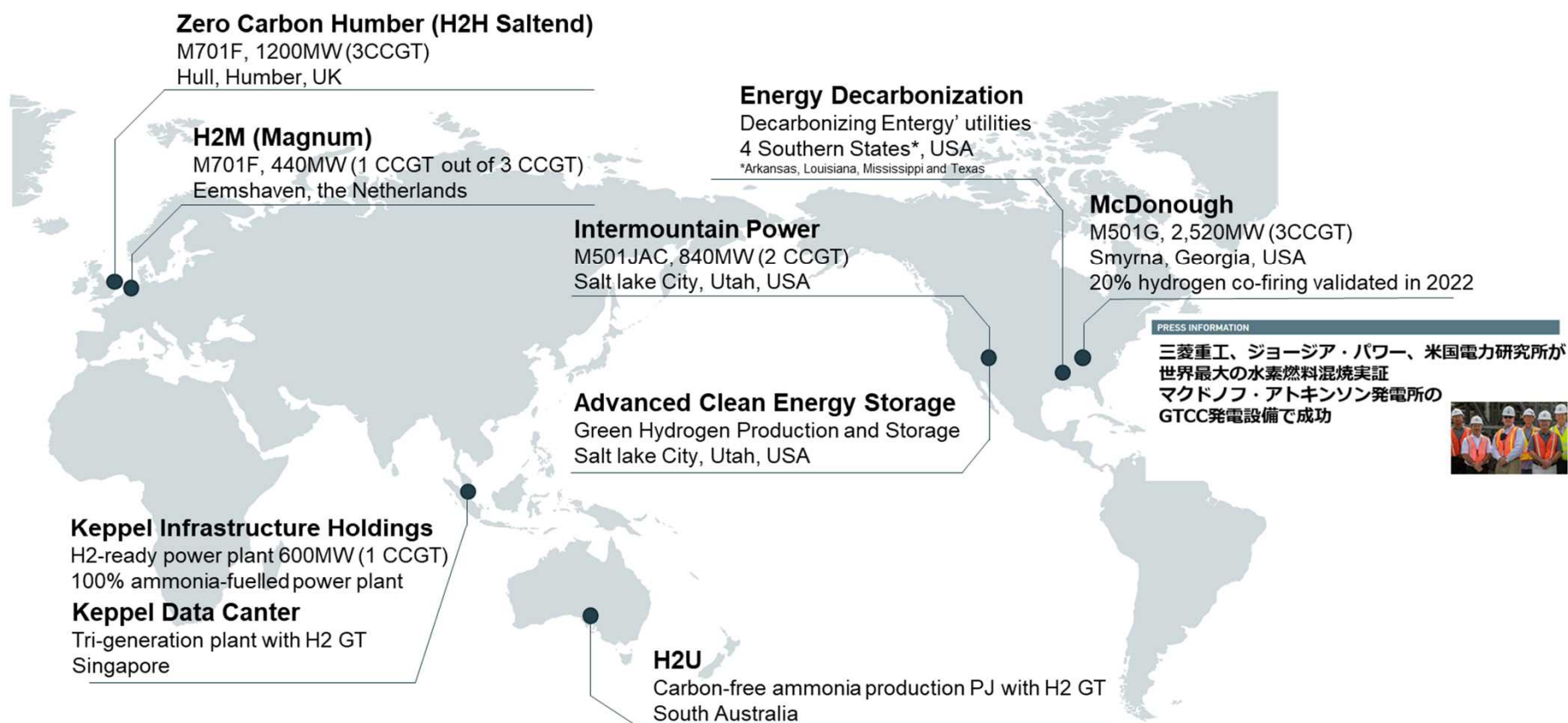
三菱重工業グループは、カーボンニュートラル社会の実現に向け、エナジートランジション戦略を推進しており、その一環として既存のエネルギー・インフラ技術と水素関連技術のさらなる融合・進化を通じ、水素の製造から利用までのバリューチェーン構築に取り組んでいます。このアプローチをさらに発展させ、水素を軸にさまざまな産業を結びつけることで持続可能な社会を形成するための「水素エコシステム」の確立も目指しており、水素パークでの実証を通じて実用化を加速していきます。

※2022年2月14日 当社ホームページ

(8) 本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

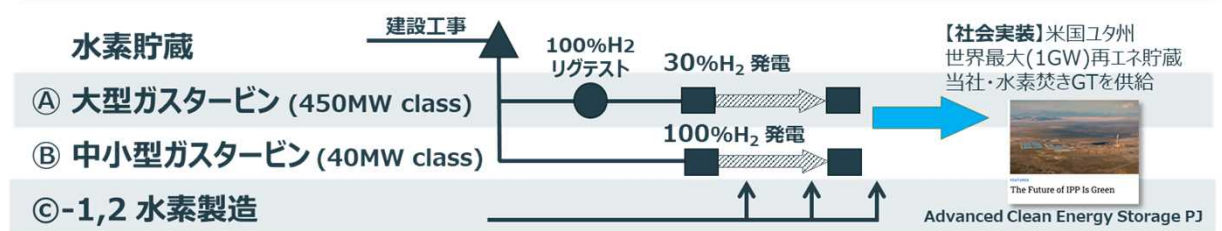
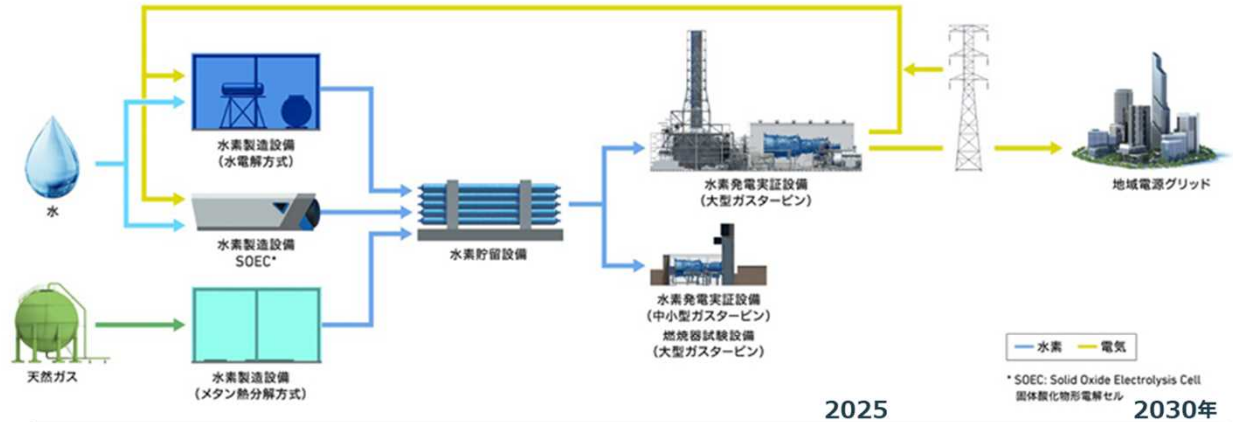
世界各地で水素プロジェクトが進行中。2025年を目途に実圧燃焼試験で単缶燃焼器としての設計を完了させ、実エンジン適用に向けたエンジン設計を進め、実用化を進める。



(9) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

◆ 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- 水素ガスタービンの早期商用化に向け、開発・製造拠点を置く高砂製作所に水素製造から発電までにわたる技術を世界で初めて一貫して検証できる「高砂水素パーク」を整備
- 中小型ガスタービンでの水素専焼の実証も予定しており、大型水素ガスタービンの開発に知見をフィードバックする



(10) 実用化・事業化に向けたスケジュールと課題

◆ 実用化・事業化に向けたスケジュールと課題

欧州のCO2排出規制に対し、大型GT向けは水素50%混焼を先行して実用化し、2030年までに水素専焼を実用化する

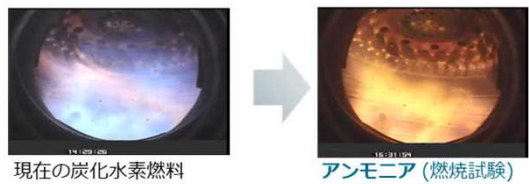
1. EUタクソミーを達成する50%水素混焼技術
大型ガスタービン向けの燃焼試験を成功(2022年)



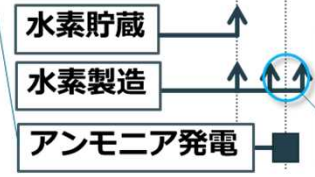
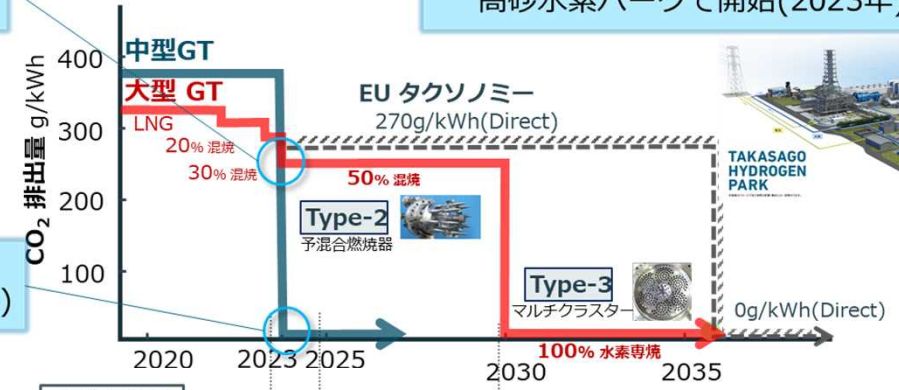
2. CO₂排出ゼロの水素専焼技術
中小型ガスタービン向けの燃焼試験を成功(2022年)



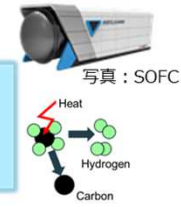
3. CO₂排出ゼロのアンモニア専焼技術
中小型ガスタービン向けの燃焼試験を成功(2022年)



4. 実際の大容量発電設備にて実証
高砂水素パークで開始(2023年)



5. 水素製造
SOECとメタン熱分解による水素製造技術検証開始(2023年~)





三菱重工 | MISSION NET ZERO

「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」(終了時評価)

(2020年度～2022年度 3年間)
プロジェクトの概要 (公開版)

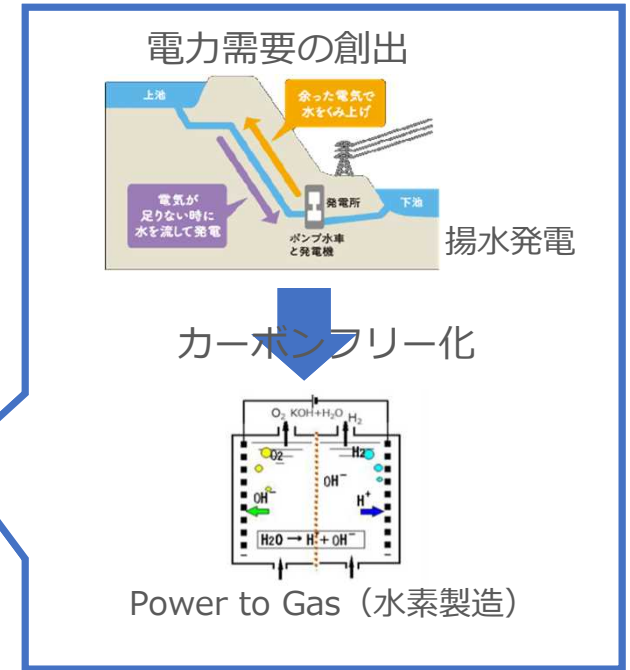
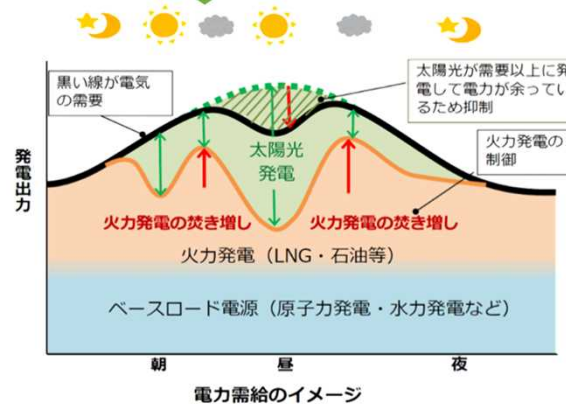
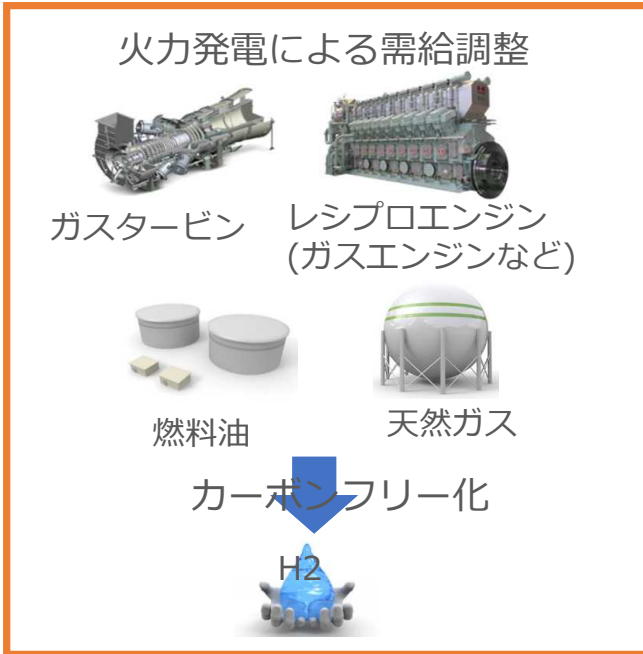
(川崎重工業株式会社)

2023年12月21日

(1) 事業概要

◆ 事業概要

背景



- ✓ 水素燃焼エンジン (+水電解水素製造) により、①～③を同時に達成し、カーボンフリーでの電源系統の安定化に貢献
- ① 大量の供給過剰電力発生への対処
 - ② 調整電源による変動吸収
 - ③ 再生可能エネルギー不足時に備えたバックアップ電源の確保

(1) 事業概要

◆事業概要

本事業の取り組み概要

| | 開発内容 | 実施内容 |
|---|---------------------------------------|---|
| ① | 既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価、及び水素燃焼の最適化目途付け | <ul style="list-style-type: none">水素利用に伴う異常燃焼を回避すべく、EGR（排ガス再循環）等を用いた燃焼速度低減効果の定量化と制御システムの確立水素燃焼試験を行い、平均有効圧力：1.6MPaの達成目途付けを実施 |
| 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">水素燃焼エンジンの開発を円滑にし、さらに性能及び耐久性等を的確に把握するための運転継続能力を持ち、事業①で得られた知見の有用性を安全に確認できる試験設備を整備水素を利用したA.既存単筒機での取得データとB.水素燃焼単筒機での取得データの両者を分析し、水素燃焼最適化の目途を得る |
| ③ | 水素燃焼単筒機運用システムの開発 | <ul style="list-style-type: none">水素利用におけるリスクアセスメントにて抽出したリスクを定量化し、運用方案に反映水素燃焼エンジンの安全対策を考慮した制御システムの確立 |

(1) 事業概要

◆事業概要

実施体制

NEDO

川崎重工業株式会社

期間

2020年8月～2023年3月

予算 (うち1/2が助成)

| FY | 2020 | 2021 | 2022 |
|--------------------|------|------|------|
| 事業費 (各年度) (百万円) | 174 | 302 | 1574 |
| 事業費 (通期) | 2050 | | |

(1) 事業概要

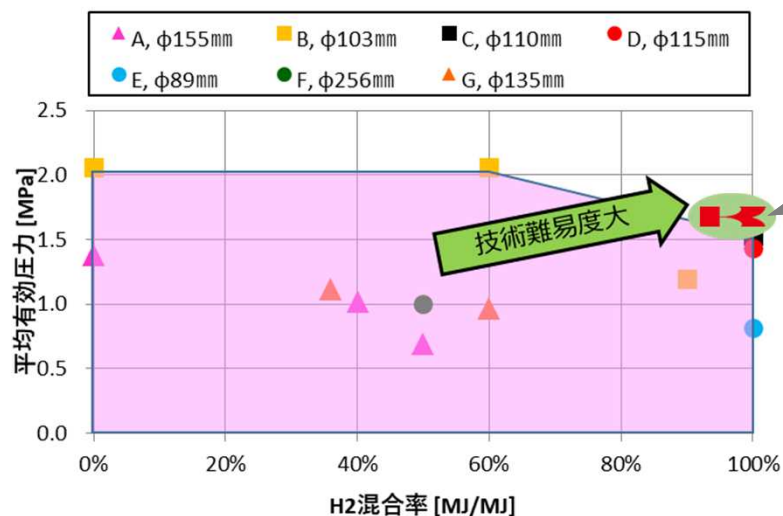
◆ 事業概要

開発目標

- 既発表の水素燃料エンジンは、主にシリンダボア径100mm級・低出力
- 水素の速い燃焼速度に起因する最大燃焼圧力上昇、異常燃焼等が発生

➔ 水素燃料エンジンは高出力化が困難

H2混合率と平均有効圧力の関係



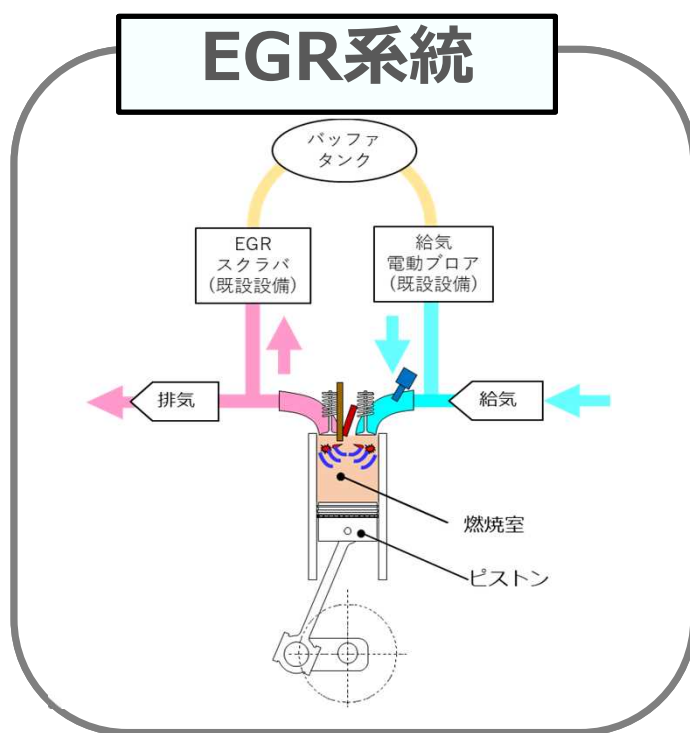
| 本事業にて開発する水素燃焼エンジン | | |
|-------------------|---------|---------------|
| 要目 | シリンダボア径 | 300mm級 |
| | 燃焼形態 | 2元燃料 水素+重油 |
| 目標性能 | 水素混焼率 | 95%以上 |
| | 平均有効圧力 | 1.6MPa以上 |

- ✓ 前例の無いシリンダボア径300mm級・高出力の水素エンジンを実現する技術開発に取り組む
- ✓ 水素専用の単筒機を建造し、右上表の要目かつ目標性能を達成する

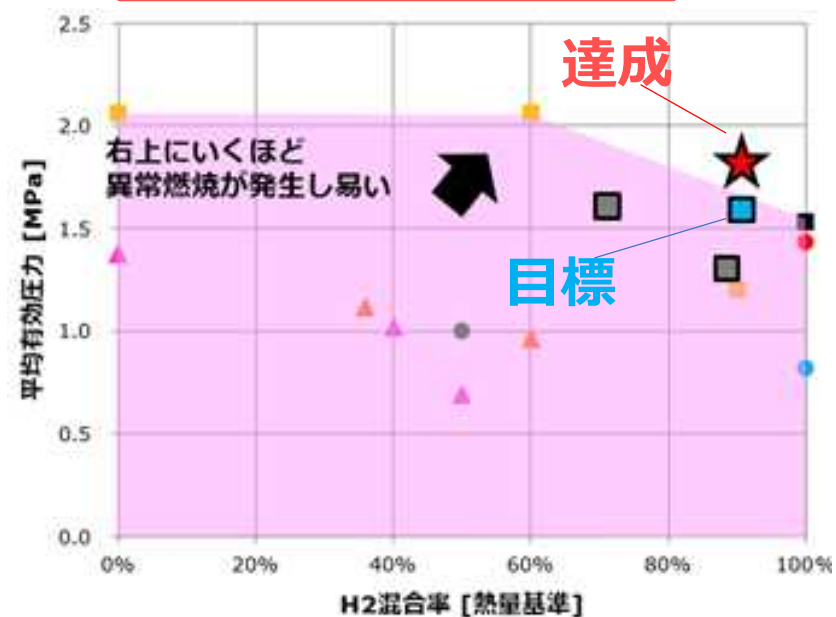
(1) 事業概要

◆ 事業概要

成果概要① 水素燃焼の最適化目途付け



目標よりも高い出力達成

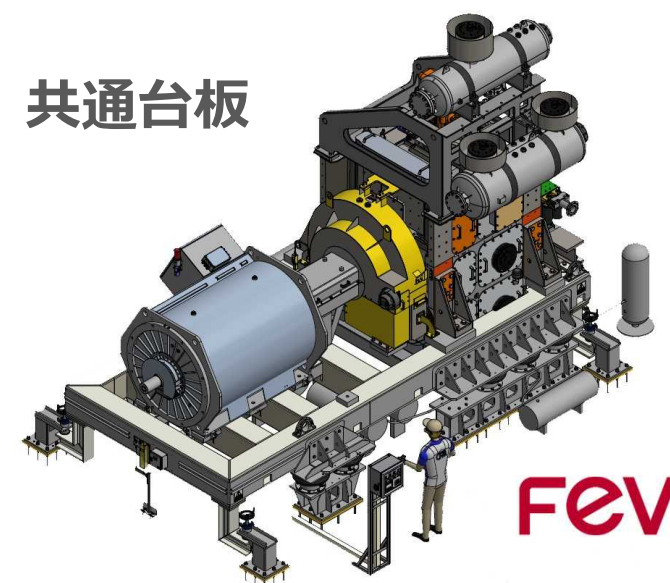


- ✓ エンジン仕様変更 (カムタイミング等)、制御パラメータ (給気圧、水素噴射タイミング等) の最適化を組み合わせ、目標の平均有効圧力1.6MPaを超える成果を達成

(1) 事業概要

◆事業概要

成果概要②水素燃烧単筒機の開発、建造

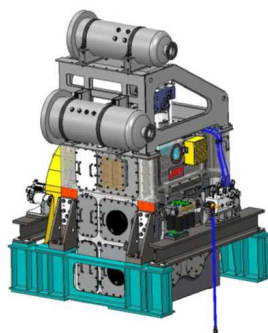


- ✓ リスクアセスメント結果を反映し、水素を用いた長時間連続運転が可能な試験機が完成
- ✓ 水素・天然ガス混焼にて約4時間の連続安定運転を初確認

(1) 事業概要

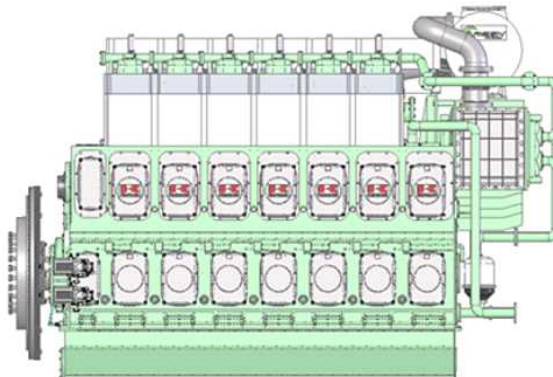
◆事業概要 社会実装、実用化、事業化に向けた今後の取組み概要

- ① 単筒機を用いた研究
(本研究内容)



実機を想定した燃焼室サイズでの燃焼試験を行い、性能確認およびエンジン仕様の目途付けを行う。

- ② 多筒機を用いた実証研究



単筒機での成果を適用した多気筒エンジンを設計・製造し、実証試験を行う。

- ③ 上市



実証研究にて洗い出された課題について対策を施し、製品として上市する。

(2) 個別研究開発項目の目標と達成状況

◆個別研究開発項目の目標と達成状況

開発項目①既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価及び水素燃焼の最適化目途付け

| 開発項目 | 目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
|---------------------------------------|---|---|-----|------------|
| ①-1 既存の天然ガス燃焼単筒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 | 水素燃焼における異常燃焼等の発生条件を把握 | ○ | |
| ①-2 排ガス再循環（EGR）等による燃焼速度低減手段の効果確認試験 | 大出力エンジンにおけるEGR等による燃焼速度低減効果を確認し、水素燃焼単筒機の要目・仕様を選定 | 異常燃焼を回避し、平均有効圧力（エンジン出力）向上に寄与する下記成果を獲得 <ul style="list-style-type: none"> • EGRによる燃焼速度低減（異常燃焼抑制）効果を確認 • 異常燃焼抑制に効果のあるパラメータ（エンジン仕様・制御）を把握 | ○ | |
| ①-3 試験による水素燃焼の最適化検討 | 平均有効圧：1.6MPaの実現目途付け | エンジン仕様変更、制御パラメータの最適化を組み合わせ、平均有効圧：1.85MPaを達成（短時間確認） | ◎ | |

◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

(2) 個別研究開発項目の目標と達成状況

◆個別研究開発項目の目標と達成状況

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し、部材を選定 | 低ひずみ引張試験結果および当社の材料研究の知見を用いて、候補部材の水素環境下での使用可否を判定し、適用する部材を選定 | ○ | |
| 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 | 水素燃焼エンジンの仕様を検討・選定するための数値解析手法を確立 | ○ | |
| ②-3 水素燃焼単筒機的设计 | 事業①、②-1,2で得た成果を制約なく実証できるエンジンを設計 | エンジン内部で水素滞留の可能性の高い箇所（クランクケースなど）の換気・爆発対策を施したエンジンを設計。また、水素燃焼エンジンに最適な燃焼室（シリンダヘッド、ピストンなど）を設計。 | ○ | |

◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

(2) 個別研究開発項目の目標と達成状況

| 開発項目 | 目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
|----------------------|---|--|-----|--|
| ②-4 水素燃焼単筒試験設備の整備 | 水素燃焼試験を効率的に実施できる試験設備を整備 | 開発項目③にて実施したリスクアセスメントの成果を反映した水素燃焼単筒試験設備（エンジン・周辺設備）を設計・整備完了 | ○ | |
| ②-5 試験による水素燃焼の最適化 | 水素を利用した A.既存単筒機での取得データと B.水素燃焼単筒機での取得データの 両者を分析し、水素燃焼最適化の目途を得る | <ul style="list-style-type: none"> 本設備の特徴である長時間の水素供給能力を活かし、天然ガス・水素混焼条件にて約4時間の連続運転における燃焼安定性評価を実施した結果、安定した燃焼状態を維持できることを確認 既存単筒機とのデータ比較により、水素燃焼単筒試験設備の燃焼は正常であることを確認 | ○ | ①で開発した水素・重油の二元燃料のエンジン仕様での、水素燃焼単筒機を用いた長時間の安定運転を確認する |

◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

(2) 個別研究開発項目の目標と達成状況

開発項目③ 水素燃焼単筒機運用システムの開発

| 開発項目 | 目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
|-----------------------------|--|---|-----|------------|
| ③-1 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出 | 水素利用を想定して、単筒エンジン本体だけでなく試験設備全体のリスク要因抽出を実施する事で、試験設備の要求仕様の明確化 | 水素利用を想定したリスクアセスメントによって以下の要求仕様を決定し、基本設計完了 • エンジン本体を含むハードウェアに実装すべき安全装置の要求仕様を決定 • 防爆エリア設定などの運用システムとして安全を担保するための要求仕様を決定 | ○ | |

◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

(2) 個別研究開発項目の目標と達成状況

| 開発項目 | 目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
|---------------------------------------|--|--|-----|--|
| <p>③-2 水素燃焼エンジン運用システムの構築および評価</p> | <ul style="list-style-type: none"> 水素燃焼エンジンの事業化を見据え、天然ガス燃焼エンジンと同様のリスクレベルにて運用可能な制御システムの確立 抽出したリスクへの対策を機器・制御に織り込んだ設備・制御システムの構築 | <ul style="list-style-type: none"> ③-1で決定した要求仕様に加え、天然ガスエンジン同等のリスクレベルで運用可能なシステムの確立を目標としたリスクアセスメントを実施し、新たに潜在リスクを抽出し、その安全対策を立案 要求仕様及び潜在リスクへの安全対策を設備内の安全設備・制御システムに反映して実装 | ○ | <p>試験設備の長期運用にて、水素燃焼エンジンの事業化に対する運用システムの妥当性を評価していく</p> |

◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

(3) 各個別テーマの成果と意義

① 既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価及び水素燃焼の最適化目途付け

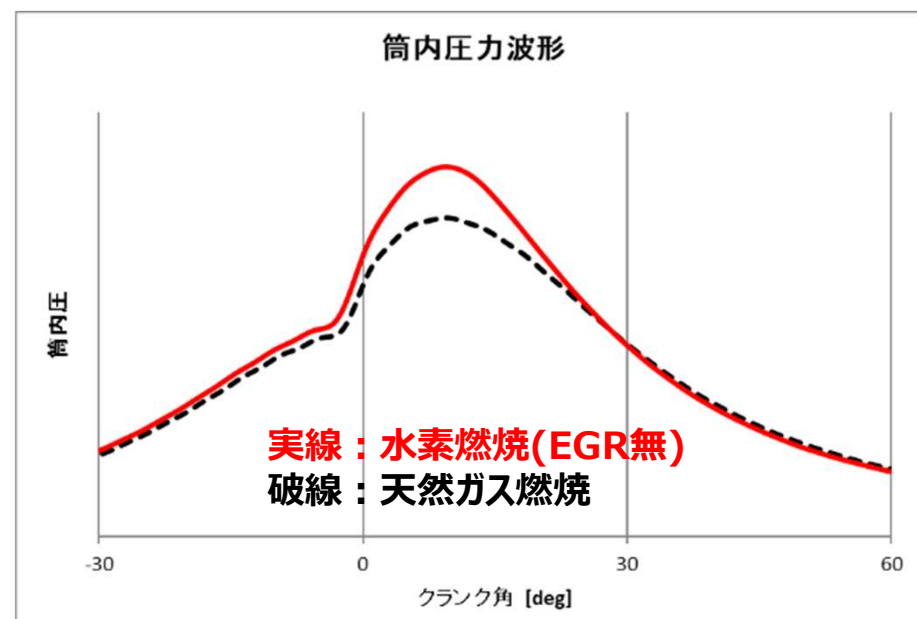
①-1 既存の天然ガス燃焼単筒機での水素燃焼試験

【成果】

- 大出力エンジンを想定した燃焼室サイズの単筒機にて、天然ガス燃焼と水素燃焼を比較し、水素燃焼の異常燃焼等の発生条件を把握した。

【意義】

- 天然ガスと比べ低い平均有効圧力で異常燃焼が発生することを確認し、異常燃焼の抑制対策が今後の主な課題であることが明確となった。
- 異常燃焼の種類（バックファイア、過早着火、ノッキング）は想定通りであった。



筒内圧力波形例

(3) 各個別テーマの成果と意義

① 既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価及び水素燃焼の最適化目途付け

①-2 排ガス再循環 (EGR) 等による燃焼速度低減手段の効果確認試験

【成果】

- EGRによる燃焼速度低減 (異常燃焼抑制) 効果を確認した。
- 筒内異常燃焼抑制に効果のあるパラメータ (エンジン仕様・制御) を把握した。

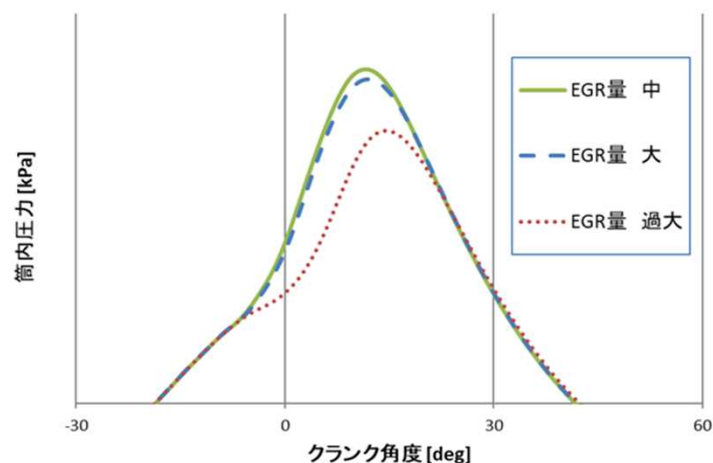
【意義】

- 水素利用に伴う筒内異常燃焼回避手段とその寄与度合いを把握できた。

例)

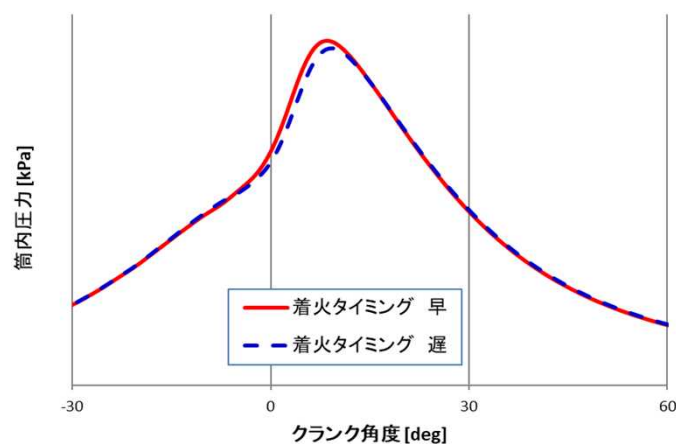
EGR量変更

EGRによって燃焼速度と異常燃焼抑制



着火タイミング変更

着火タイミング最適化により燃焼圧を向上



(3) 各個別テーマの成果と意義

① 既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価及び水素燃焼の最適化目途付け

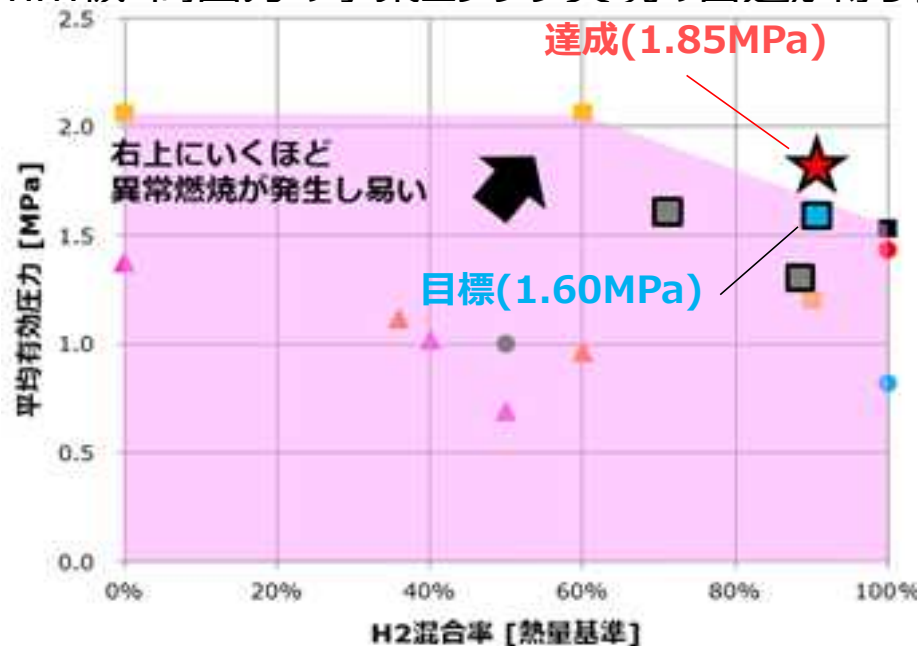
①-3 試験による水素燃焼の最適化検討

【成果】

- EGRとエンジン仕様変更、制御パラメータの最適化を組み合わせ、目標の平均有効圧力：1.60MPaを超える平均有効圧：1.85MPaを達成（短時間確認）した。

【意義】

- 前例の無いシリンダボア径300mm級・高出力の水素エンジン実現の目途が得られた。



(3) 各個別テーマの成果と意義

② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

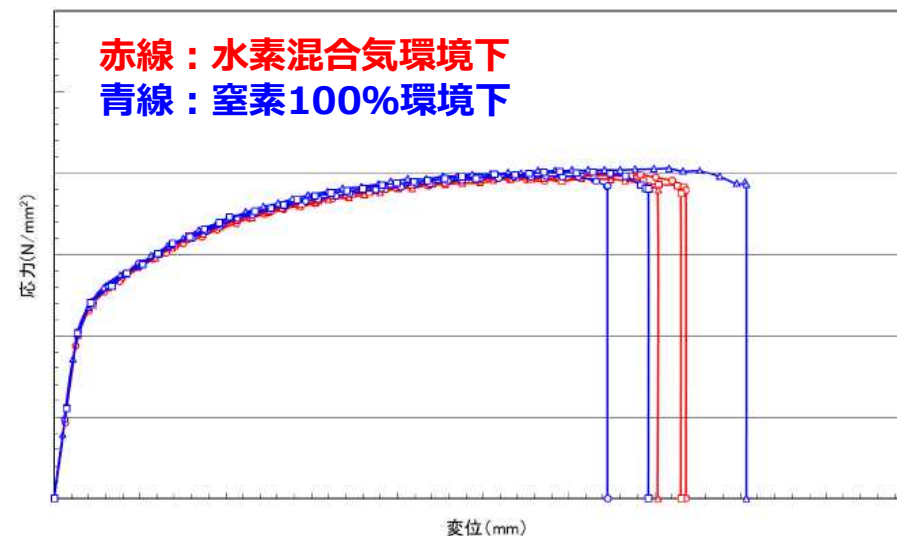
②-1 適用材料の水素環境下での強度試験

【成果】

- 金属材料の水素影響評価で一般的に用いられる、低ひずみ引張試験(SSRT試験)を実施した。
- SSRT試験結果および当社の材料研究の知見を用いて、候補部材の水素混合気環境下での使用可否を判定し、水素燃焼エンジンに適用する部材を選定した。

【意義】

- 天然ガスやディーゼルエンジンと同等の耐久性を確保した水素燃焼エンジンの設計検討が実施できるようになった。



低ひずみ引張試験結果の一例

(3) 各個別テーマの成果と意義

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】

水素燃焼エンジンの仕様を検討・選定するための数値解析手法を確立。

➡複数の水素の解析モデルの妥当性検討を行った結果、下表より、

モデルAもしくはモデルCが本テーマに適用する解析に適していると判断。解析の目的によって使い分ける。

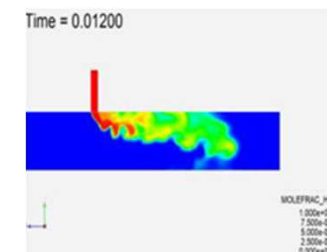
【意義】

- ②-3「水素燃焼単筒機的设计」における仕様検討で本結果による数値解析を活用。
- 今後の改良設計や新開発でも、数値解析による効率化・精度向上が期待できる。

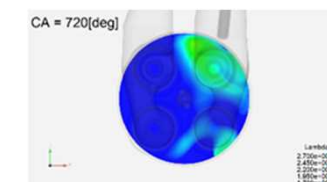
表：解析モデル妥当性検討結果

| | 解析モデルA | 解析モデルB | 解析モデルC |
|-----------|-----------------|--------|-----------|
| 手法 | RANS法 | LES法 | Parcel法 |
| 流体計算 | オイラー | | ラグランジュ |
| 利点 | 水素以外のCFDで使用実績多数 | | 複雑な拡散挙動表現 |
| 精度（確からしさ） | △ | ◎ | ○ |
| 計算時間 | ○ | × | ○ |
| 計算実行の難易度 | ○ | × | △ |

管路流れ解析例



エンジン筒内流れ解析例



(3) 各個別テーマの成果と意義

② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

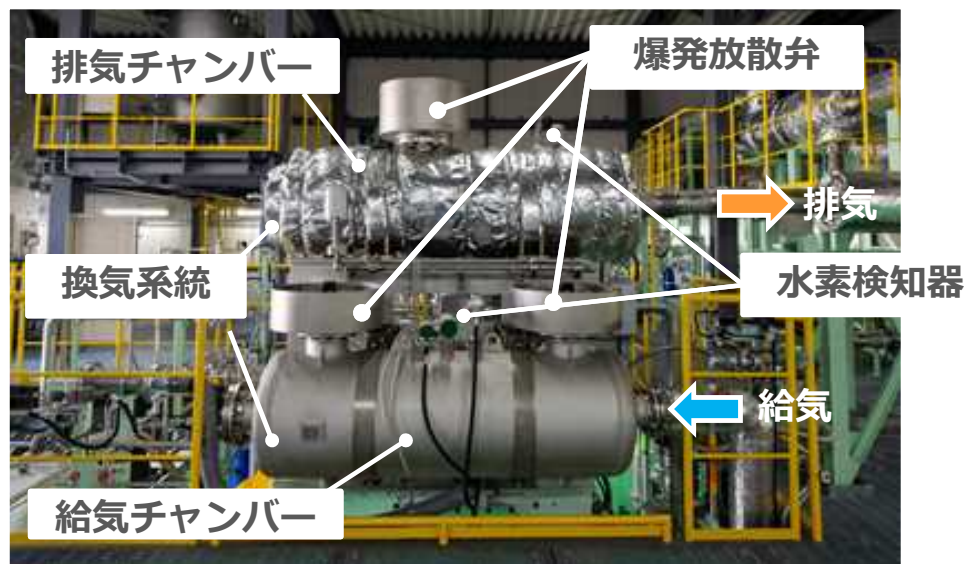
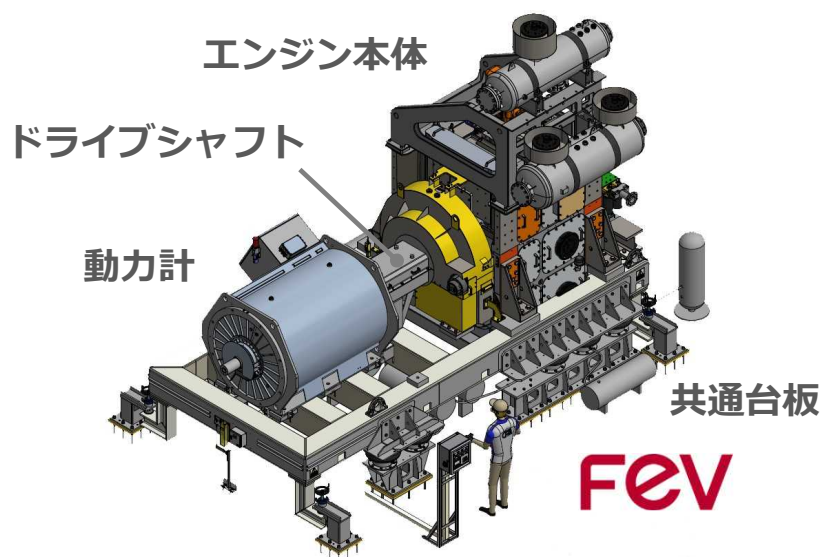
②-3 水素燃焼単筒機的设计

【成果】

- 水素滞留の可能性の高い箇所（給排気チャンバー、クランクケース）の換気・爆発対策を施したエンジンを設計。
- 水素燃焼エンジンに最適な燃焼室（シリンダヘッド、ピストンなど）を設計。

【意義】

- 水素燃焼エンジンにおける水素脆化の影響や水素爆発によるリスクを回避する設計ノウハウを獲得。



水素燃焼単筒機

(3) 各個別テーマの成果と意義

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

【成果】

- 開発項目③にて実施したリスクアセスメント※の成果を反映した水素燃焼単筒試験設備（エンジン・周辺設備）を設計・整備完了。

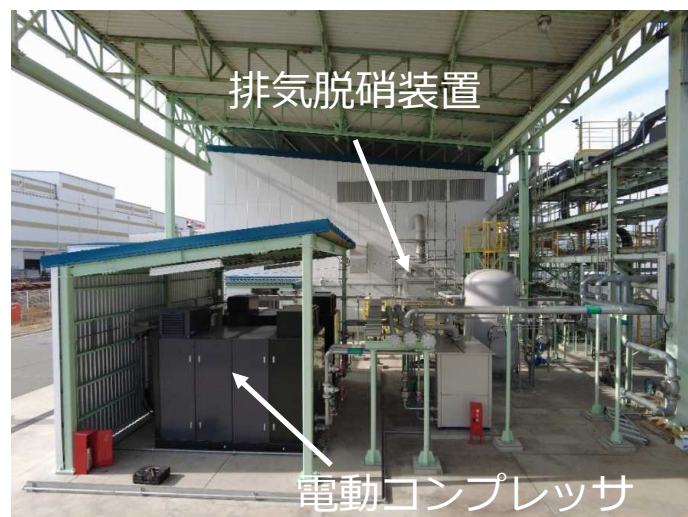
※水素燃焼エンジンの事業化を見据え、“天然ガスエンジン同等のリスクレベルで運用可能なシステム構築”を目的としたリスクアセスメント

【意義】

- 安全かつ長時間の連続運転を想定した設備が構築できたことにより、今後の水素燃焼エンジン開発に不可欠な長時間の燃焼安定性評価を可能とする試験環境を実現。



エンジンエンクロージャ内部



屋外補機関連設備



水素トレーラー駐機場

(3) 各個別テーマの成果と意義

② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

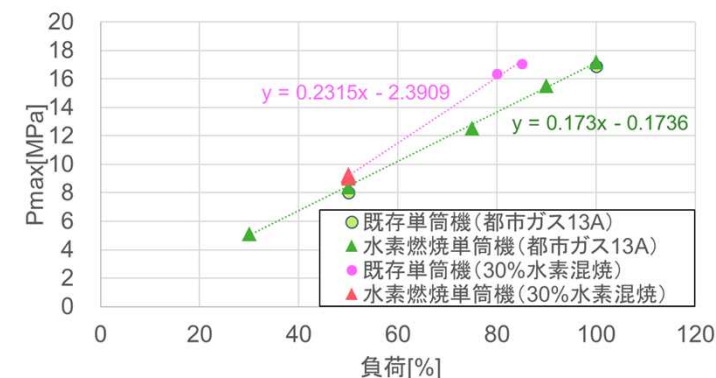
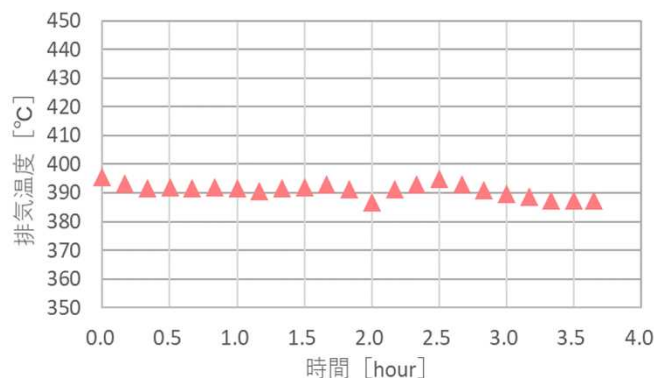
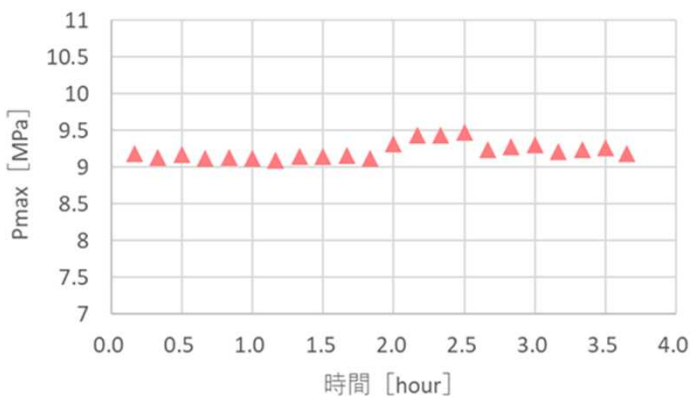
②-5 試験による水素燃焼の最適化

【成果】

- 本設備の特徴である長時間の水素供給能力を活かし、天然ガス・水素混焼条件にて約4時間の連続運転における燃焼安定性評価を実施した結果、安定した燃焼状態を維持できることを確認。
- 既存単筒機とのデータ比較により、水素燃焼単筒試験設備の燃焼は正常であることを確認。

【意義】

- 当社で計画されている水素燃焼エンジンで市場投入が最も早い天然ガス・水素混焼（水素混合比30vol%）エンジンにおける長時間安定運転の目途が得られた。
- 構築した設備が長時間安定稼働可能であることを確認。



Pmax (筒内最大圧力) の時系列データ

排気温度の時系列データ

Pmaxの既存単筒機と水素燃焼単筒機の比較

(3) 各個別テーマの成果と意義

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

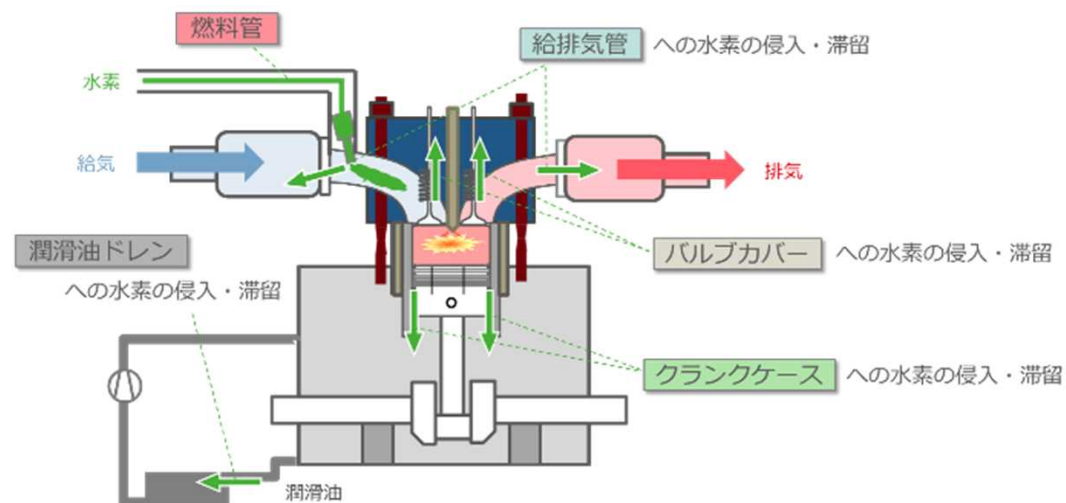
【成果】

水素利用を想定したリスクアセスメントによって以下の要求仕様を決定し、基本設計完了。

- エンジン本体を含むハードウェアに実装すべき安全装置の要求仕様を決定。
- 防爆エリア設定などの運用システムとして安全を担保するための要求仕様を決定。

【意義】

- 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因発生から重大リスクに至る過程や、その対処手法や運用手順を明確化。



エンジン本体へのリスクアセスメント例

(3) 各個別テーマの成果と意義

③ 水素燃焼単筒機運用システムの開発

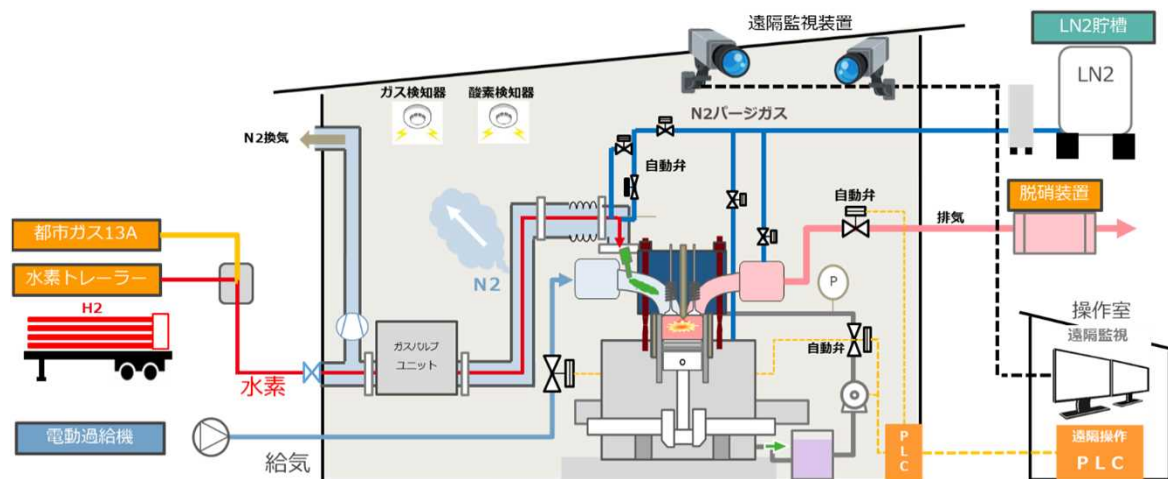
③-2 水素燃焼エンジン運用システムの構築および評価

【成果】

- ③-1で決定した要求仕様に加え、天然ガスエンジン同等のリスクレベルで運用可能なシステムの確立を目標としたリスクアセスメントを実施し、新たに潜在リスクを抽出し、その安全対策を立案。
- 要求仕様及び潜在リスクへの安全対策を設備内の安全設備・制御システムに反映して実装。

【意義】

- 水素燃焼エンジンの事業化を見据えたレベルで必要とされる安全対策を明確化できたことで、設備や制御システムの設計ノウハウを獲得。



試験設備への安全機器・システム追加(概念図)



(4) プロジェクト（事業）としての達成状況と成果の意義

◆プロジェクト（事業）としての達成状況と成果の意義

事業全体としての達成状況

■ 目標に対する達成状況

- 水素燃焼エンジンの目標出力を上回る平均有効圧力1.85MPa※を達成
※目標1.6MPa
- 水素燃焼エンジンの開発に必要な要件を満たす試験設備が完成（目標達成）

■ 意義

- 前例の無いシリンダボア径300mm級・高出力の水素エンジン実現の目途が得られた
- 今後の水素燃焼エンジン開発に不可欠な試験環境が実現した

(4) プロジェクト（事業）としての達成状況と成果の意義

◆プロジェクト（事業）としての達成状況と成果の意義

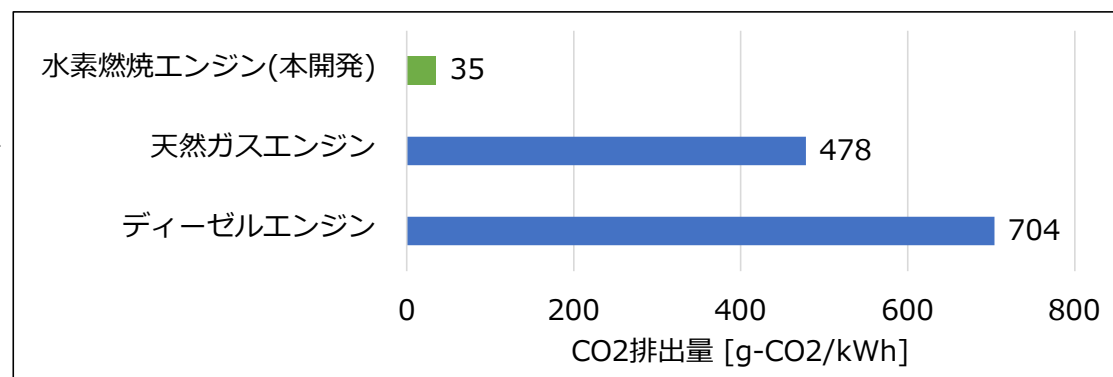
■ 事業成果の基本計画目標※への貢献

水素混焼率95%（水素+重油）という水素専焼に近いエンジン仕様にて、目標を上回るエンジン出力の到達を確認でき、市場競争力のある燃焼技術を確認した。また、材料強度試験による材料選定や、水素・天然ガス混焼における長時間の安定運転確認にて、製品化を見据えた技術の獲得が出来た。

※NEDO基本計画の最終目標「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。」

■ 市場に対する成果の意義等

本開発成果を適用した水素燃焼エンジンを市場投入し、ディーゼルエンジンから置き換えることで、CO2排出量を大幅に低減することが出来る。



(5) 特許出願数

◆ 知的財産権の確保に向けた取り組み

戦略に沿った具体的取り組み

水素燃焼エンジンに対する安全対策に関する特許出願を実施。
試験設備のみならずエンジン事業化にも関わる内容のため、出願。

| | 2020 年度 | 2021 年度 | 2022 年度 | 計 |
|--------------|------------|------------|------------|----|
| 特許出願(うち外国出願) | 0 | 0 | 2 | 2件 |

※2023年9月30日現在

(6) 論文等の発表数

| | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 | 計 |
|------------|--------|--------|--------|----|
| 論文(査読付き) | 0 | 0 | 0 | 0件 |
| 研究発表・講演 | 0 | 0 | 1 | 1件 |
| 受賞実績 | 0 | 0 | 0 | 0件 |
| 新聞・雑誌等への掲載 | 0 | 0 | 0 | 0件 |
| 展示会への出展 | 0 | 0 | 0 | 0件 |

※2023年7月31日現在

(7) 成果の普及

◆成果の普及

2023年8月23日

(株) 技術情報センター セミナー「ガスエンジン/コージェネの技術開発動向・取組み」にて、
水素燃焼単筒試験設備の整備状況を紹介。

(資料非公開のため、表紙のみ掲載)

HGEG-148-027-R05

カワる、サキへ。
Changing forward


(株)技術情報センター様 セミナー
ガスエンジン/コージェネの技術開発動向・取組み

**発電効率51%を達成した大型ガスエンジンと
将来の脱炭素に向けた取組み**

2023. 8. 23

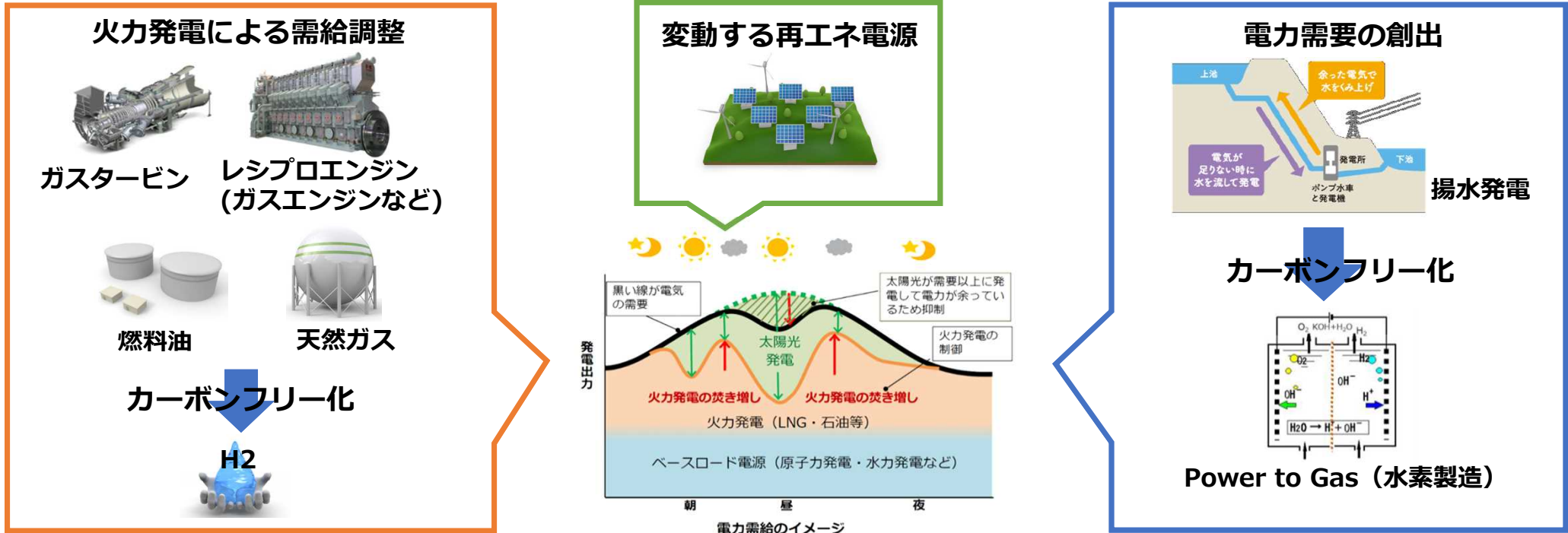
川崎重工業株式会社
技術開発本部 技術研究所 エネルギーシステム研究部
宮本 世界

※本資料の無断転載はお控えください

 **Kawasaki**
Powering your potential

(8) 本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方



✓ 水素燃焼エンジン (+水電解水素製造) により、①～③を同時に達成し、カーボンフリーでの電源システムの安定化に貢献する。

- ① 大量の供給過剰電力発生への対処
- ② 調整電源による変動吸収
- ③ 再生可能エネルギー不足時に備えたバックアップ電源の確保

(9) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

◆成果の実用化・事業化に向けた戦略



離島における発電利用

※出典：資源エネルギー庁,令和3年2月16日「分散型リソースの導入加速に向けて」資料2より

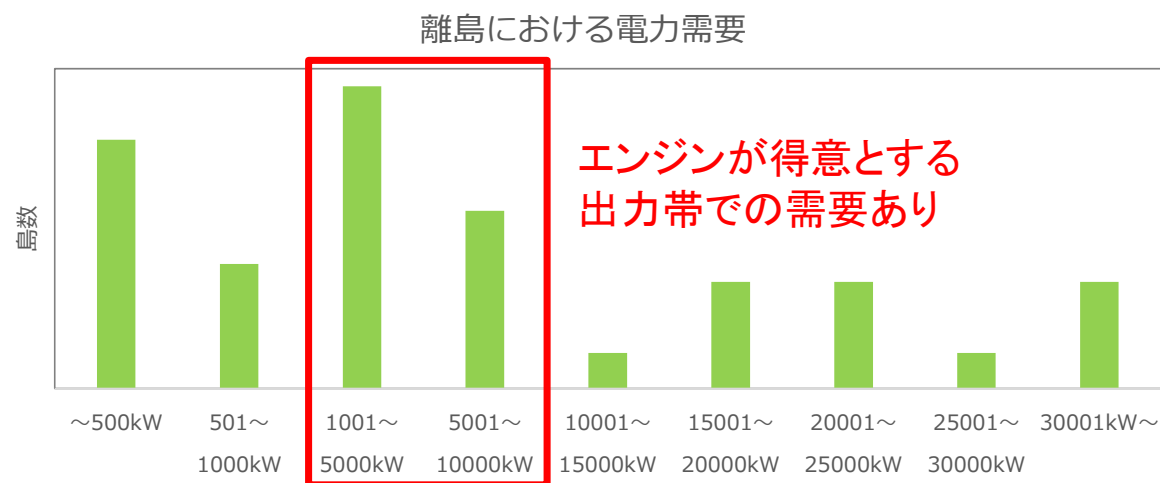
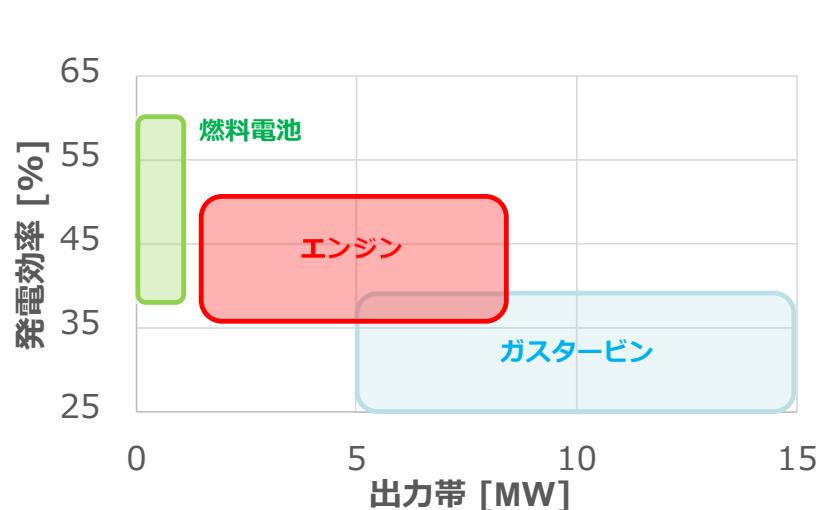


地域マイクログリッドでの利用

- ✓ 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）の製品開発を行い、事業化。
- ✓ 開発したエンジンを発電用途に用いることで、離島や地域マイクログリッドなどからの温室効果ガス排出を低減、余剰再生可能エネルギー由来の水素を活用し、電力供給システムの安定化に寄与。
- ✓ 事業化当初は、再生可能エネルギーの余剰電力吸収と電力安定化が喫急の課題である離島での事業用発電に供することを想定。
- ✓ その後、水素サプライチェーンの伸展に合わせ国内の電力関連に対し事業拡大。

(9) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

◆成果の実用化・事業化に向けた戦略



- ✓ 水素消費発電設備には、「燃料電池」「エンジン」「ガスタービン」があり、それぞれ出力帯と効率が異なる。
- ✓ 離島の要求電力量は、エンジンが得意とする出力帯の需要があり、現在はディーゼルエンジンで電力を賄っている。これを水素燃焼エンジンに置き換えることが可能。
- ✓ 5MW以上の領域ではガスタービンと競合するが、発電効率でエンジンが優位と考える。

(10) 実用化・事業化に向けたスケジュールと課題

◆ 実用化・事業化に向けたスケジュールと課題

【スケジュール】

- 開発成果を適用した水素エンジンを開発し、実証試験を経て、2030年頃の上市を計画（陸上発電用・船舶用）

| 項目 | '24 | '25 | '26 | '27 | '28 | '29 | '30 | '31 | '32 | '33 | '34 | '35 |
|-----------------------|-----|-----|------|-----|--------|-----|-----|-----------|-----|-----|-----|-----|
| 1. 水素混焼エンジン開発・上市 | → | | ▲ | | | | | | | | | |
| | | | 上市予定 | | | | | | | | | |
| 2. 水素ガスエンジン開発・上市 | → | | | | | | | | 上市 | | | |
| 4. 価格競争力の強化、水素GEの高効率化 | → | | | | | | | | | | | |
| (船用向け水素エンジンの開発(GI基金)) | → | | | ▲ | 船級承認取得 | → | | 実船実証→上市予定 | ▲ | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

【課題】

- 水素普及初期は十分な水素供給量が確保できない。
→まずは水素混焼エンジンにて市場を拡大してく。
- ディーゼルエンジンや天然ガスエンジンに対し、価格や出力密度がやや劣る。
→今後の普及に向け、価格低減や、出力密度向上に向けた開発を継続的に取り組む。
- 他の燃料との値差 →値差保証が望まれる。

◆波及効果

- 水素燃焼エンジンが普及することで、発電における水素需要が創出され、水素サプライチェーンの進展を需要側から促す効果があると考えます。また、水素需要増大による水素価格低減に寄与すると考えます。水素の普及に貢献できる。
- 世界に先駆けて大出力の水素燃焼エンジンを開発することで、大型水素燃焼エンジンにおける国際的な標準化（安全対策など）による市場先導が出来る。
- 本開発は世界最先端の技術開発であり、開発に従事した若手開発者の技術力向上に寄与した。

「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」(終了時評価)
(2019年度～2022年度 4年間)

プロジェクトの概要 (公開版)

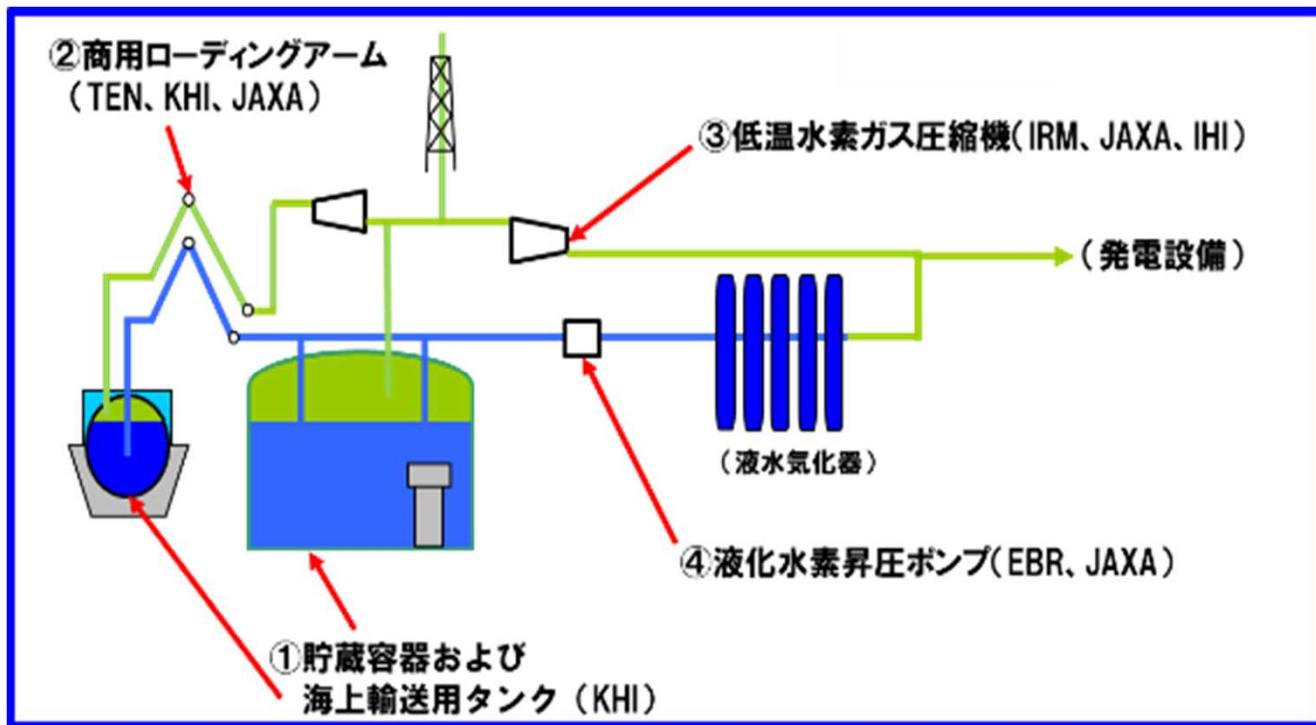
**川崎重工業
東京貿易エンジニアリング
IHI回転機械エンジニアリング
荏原製作所**

2023年12月21日

(1) 事業概要

期間 開始:2019年7月
終了:2023年3月

全体像・成果の意義



液化水素の輸送、受入基地に必要な各機器の開発により、水素基本戦略の目標である、2030年の発電容量100万kW（火力発電所1基相当）の実現に貢献する。

2. 最終目標

①大型輸送・貯蔵技術の開発

A) 大型貯蔵容器の開発

- ・蒸発率(Boil Off Rate: BOR)が0.26%/日となる5万m³級の貯蔵容器の基本構造を確立
- B) 海上輸送用大型液化水素タンクの開発
 - ・蒸発率が0.4%/日となる4万m³級タンクの基本構造、設計技術などを確立させる。

②商用ローディングアームの開発

- ・大口徑緊急離脱機構、大口徑船陸継手について試作機を製作して液化水素での試験を行い、それぞれ切り離し時の安全性、安全に分離できる昇温特性を把握する。

③低温水素ガス圧縮機の開発

- ・試作機を製作し、圧縮機表面に液化空気が発生しないこと、関連部品の破損や異常摩耗がないことを確認する。

- ・商用機の性能予測技術の確立

④液化水素昇圧ポンプの開発

- ・軸スラストバランス機構、ポンプ材料の確立
- ・ポンプ設計技術の確立

①大型輸送・貯蔵技術の開発

川崎重工業

◆個別研究開発項目の目標と達成状況

| 開発項目 | 目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
|-------------------------------|--|--|-----|------------|
| ①大型輸送・貯蔵技術の開発 a) 大型貯蔵容器の開発 | 蒸発率 (Boil Off Rate: BOR) が 0.26%/日となる5万m ³ 級の貯蔵容器の基本構造を確立させる。 | 商用5万m ³ クラスの貯蔵容器で断熱性能0.26%/日を達成する断熱構造を確立した。 | ○ | — |
| | a) 断熱材の開発 ・断熱構造の確立 | ・断熱性能評価済 ・断熱構造選定済 | ○ | — |
| | b) 材料評価 ・適用可能性の目途 | ・材料特性データ取得済 | ○ | — |

◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

◆個別研究開発項目の目標と達成状況

| 開発項目 | 目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
|---------------------|---|---|-----|------------|
| b)海上輸送用大型液化水素タンクの開発 | 蒸発率が0.4%/日となる4万m ³ 級タンクの基本構造、設計技術などを確立させる。 | ・蒸発率が0.4%/日となる4万m ³ 級タンクの基本構造、設計技術などを確立した。 | ○ | — |
| | a)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 ・基本仕様選定済 | ○ | — |
| | b)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 ・強度評価済 | ○ | — |
| | c)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済 | ○ | — |

◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

◆個別研究開発項目の目標と達成状況

| 開発項目 | 目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
|---------------------|---|---|-----|------------|
| b)海上輸送用大型液化水素タンクの開発 | d)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済 | ○ | — |
| | e)タンクシステムの検証 ・試験タンク製作によるタンク及び断熱構造の製作性・施工性確認 ・低温性能試験を実施し設計データを取得 | ・試験タンク製作によるタンク及び断熱構造の製作性・施工性確認済 ・低温性能試験を実施し設計データを取得済 | ○ | — |

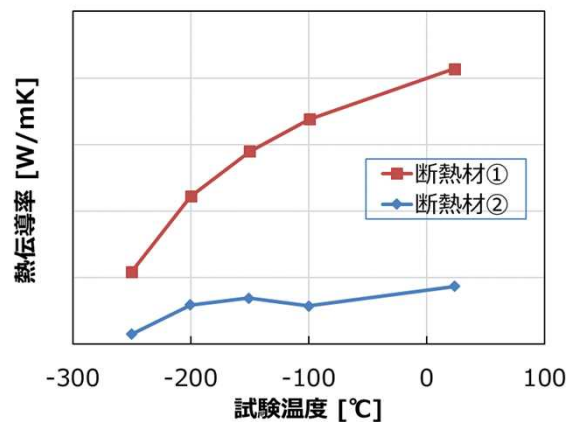
◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

- 研究開発の成果と意義

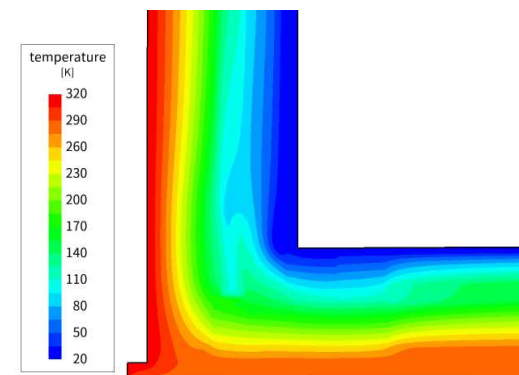
- 断熱材のヘリウムガス（水素ガスと透過性や熱伝導率が近い）雰囲気での熱伝導率を計測し、水素ガス雰囲気での熱伝導率を算出
- ガスの対流の影響に関するの要素試験と上記の熱伝導率から解析モデルを構築し、商用5万m³クラスの貯蔵容器で断熱性能を試算し、0.26%/日を達成することを確認した



平底円筒容器 概念図



断熱材の極低温試験結果

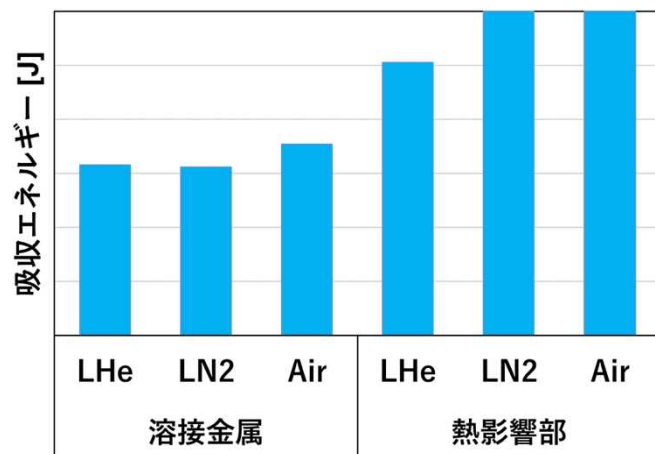


計測結果をもとに実施した伝熱解析

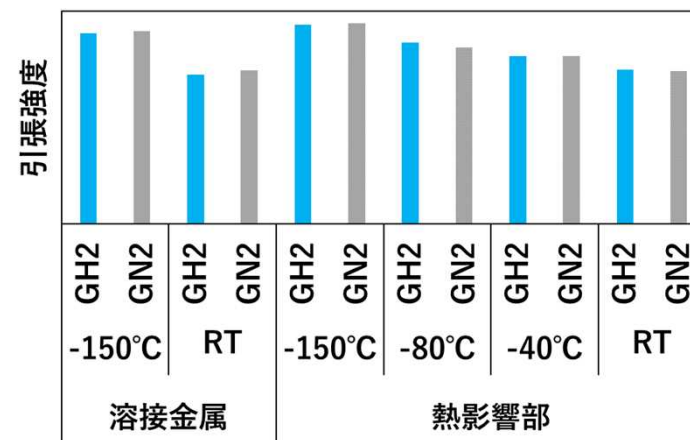
- 研究開発の成果と意義

- 構造材料の低温靱性を確認するために、液体ヘリウム温度を含む極低温での衝撃試験を実施し、顕著な靱性低下がないことを確認
- また、 -150°C ～室温における水素/非水素環境でのSSRT* を実施し、水素環境での引張強度の顕著な低下がないことを確認した。
- 以上より、構造材料の極低温、水素ガス雰囲気での適用可能性の目途を得た。

*Slow Strain Rate Test(低歪み速度試験)



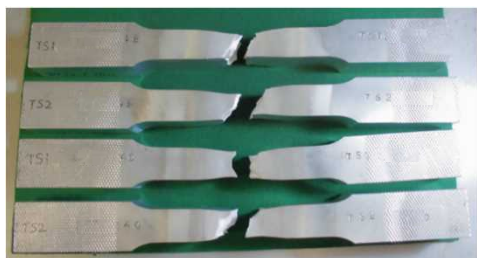
構造材料の極低温衝撃試験結果



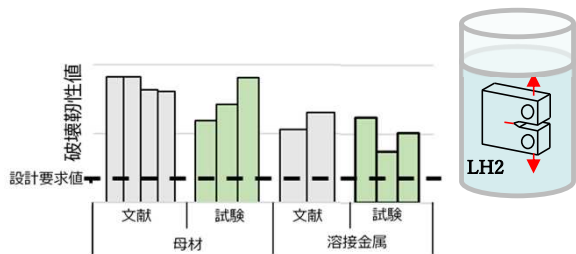
構造材料の各ガス雰囲気でのSSRT試験結果

研究開発の成果と意義

- 材料特性試験・強度解析、断熱構造の部分モデル試験・検証解析を実施して、基本設計データを取得

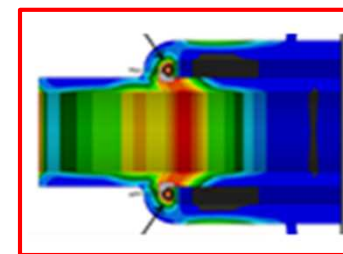


溶接継手引張試験

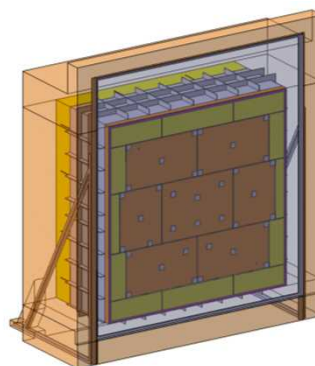
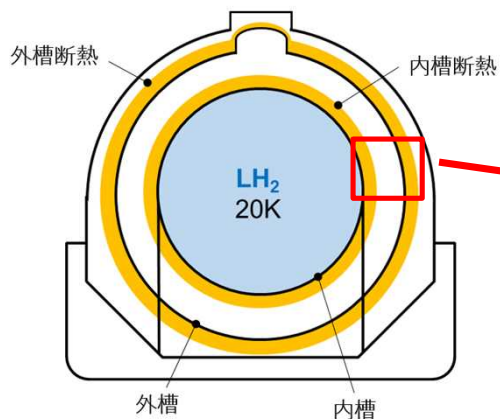


破壊靱性試験

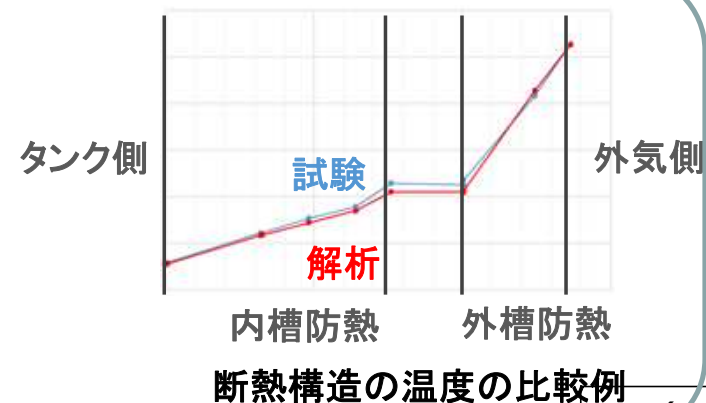
材料特性試験、強度解析



配管接続部の強度解析



部分モデル試験



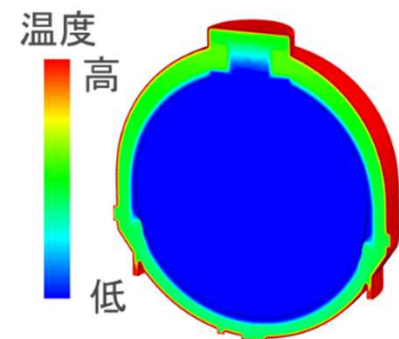
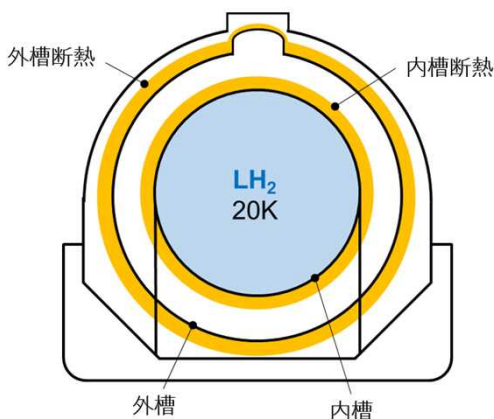
断熱構造の温度の比較例

研究開発の成果と意義

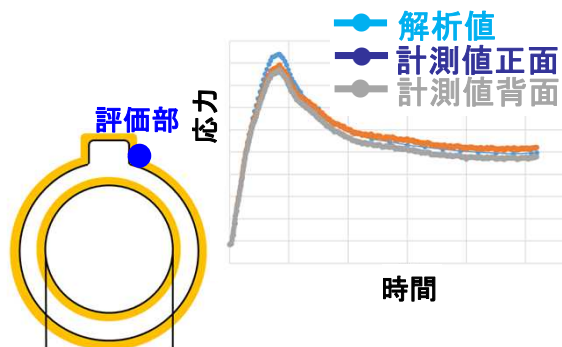
蒸発率が0.4%/日となる4万m³級タンクの基本構造、設計技術などを確立した。



タンクの製造技術構築



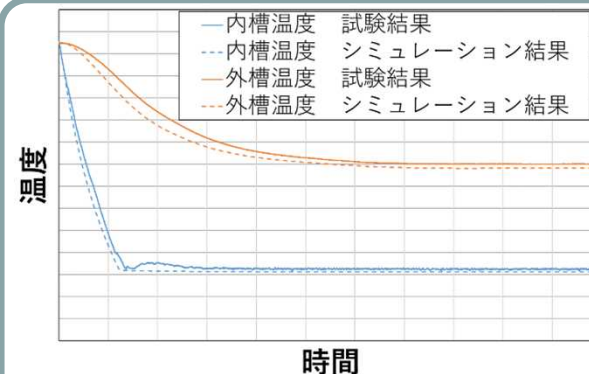
熱流動解析技術構築



構造解析技術構築



試験タンク



オペレーション予測技術構築

◆プロジェクト（事業）としての達成状況と成果の意義

大型貯蔵容器については5万m³クラスで0.26%/日の断熱性能を達成する見通しが得られた。
また、海上輸送用大型タンクについては、4万m³クラスで0.4%/日の断熱性能を達成する見通しが得られた。
この結果により、商用フェーズで必要となる液化水素タンクの大型化の目途が得られた。

◆知的財産権の確保に向けた取り組み

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
- 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 | 2021 年度 | 2022 年度 | 計 |
|--------------|------------|------------|------------|------------|----|
| 特許出願（うち外国出願） | 0 | 2(2) | 0 | 1 | 3件 |

b) 海上輸送用大型液化水素タンクの開発

- タンクコンセプトや共通技術については特許出願
- 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 | 2021 年度 | 2022 年度 | 計 |
|--------------|------------|------------|------------|------------|-----|
| 特許出願（うち外国出願） | 0 | 7(7) | 11(11) | 15(15) | 33件 |

※2023年9月30日現在

① - (6) 論文等の発表数

①大型輸送・貯蔵技術の開発

| | (2019年度) | (2020年度) | 2021年度 | 2022年度 | 計 |
|------------|----------|----------|--------|--------|----|
| 論文(査読付き) | | | | | 0件 |
| 研究発表・講演 | | | | 4 | 4件 |
| 受賞実績 | | | | | 0件 |
| 新聞・雑誌等への掲載 | | 1 | 1 | 2 | 4件 |
| 展示会への出展 | | | | | 0件 |

※2023年7月31日現在

◆成果の普及

2020/9
川崎重工技報で紹介

2021年4月日本海事協会から貨物格納設備（CCS）の設計基本承認（AiP）を取得
2022年4月日本海事協会から160,000m³型液化水素運搬船のAiPを取得



◆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。



◆成果の実用化・事業化に向けた戦略

A)大型貯蔵容器

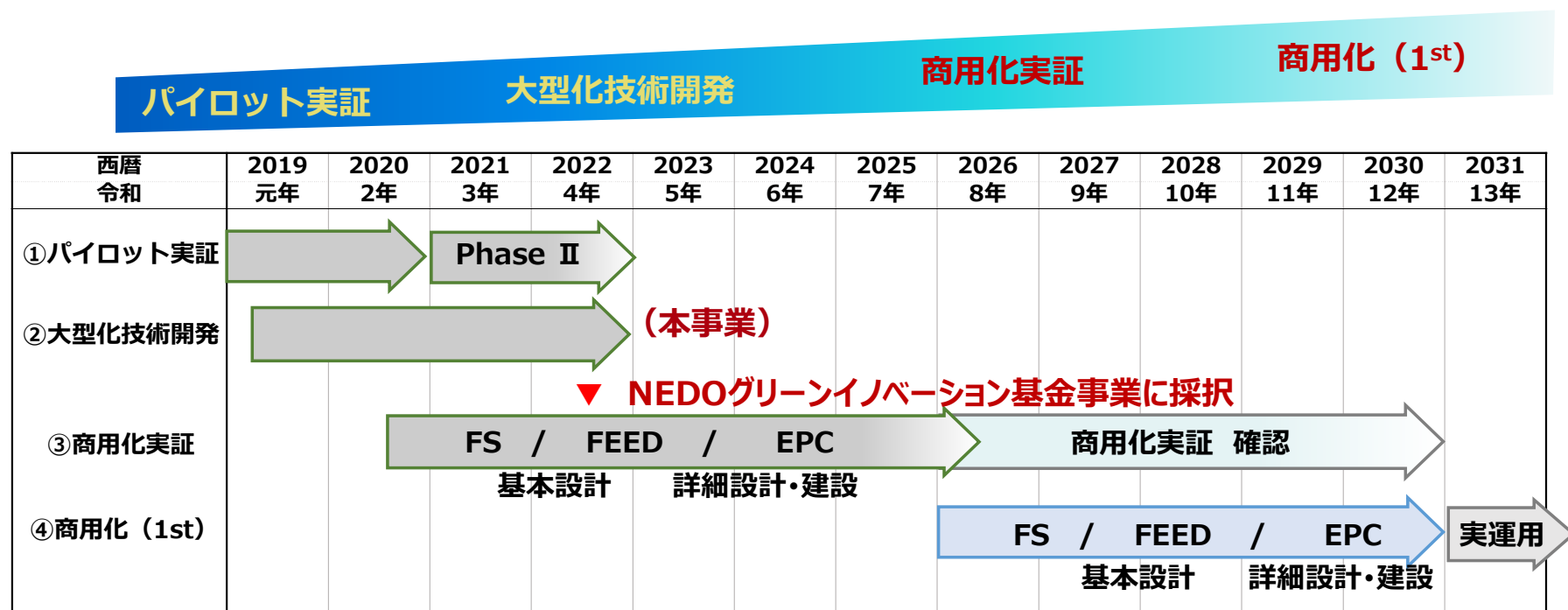
- 現在建造中の世界最大の液体水素タンクは4732m³のタンクであり、将来的に水素発電に必要となる数万m³級のスケールの液化水素を輸送・貯蔵する技術は、現在のところ確認されていない。
- 本プロジェクトの開発成果と、実証事業で培った液化水素の荷役技術、LNGタンクで培った設計・製造技術を駆使して、競合他社より技術的に優位に立ち、商用規模の実証を進められる。
- 商用規模の実証により、性能を検証し、事業化に結び付ける。

B)海上輸送用大型タンク

- 国際航海の実績がある液化水素運搬船は、世界で「すいそ ふろんていあ」のみ。
- 本開発成果は、すいそ ふろんていあ に搭載されるタンク（1250m³）から4万m³へのスケールアップに寄与するものであり、将来の水素社会で予想される大幅な需要の増加に対応できるものである。
- 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、協議を行っている。

◆実用化・事業化に向けたスケジュールと課題

■本事業の成果から、2030年頃の商用化実証/商用化での実証/実運用を目指す。



FS : Feasibility Study
 FEED : Front End Engineering and Design
 EPC : Engineering・Procurement・Construction

②商用ローディングアームの開発

東京貿易エンジニアリング

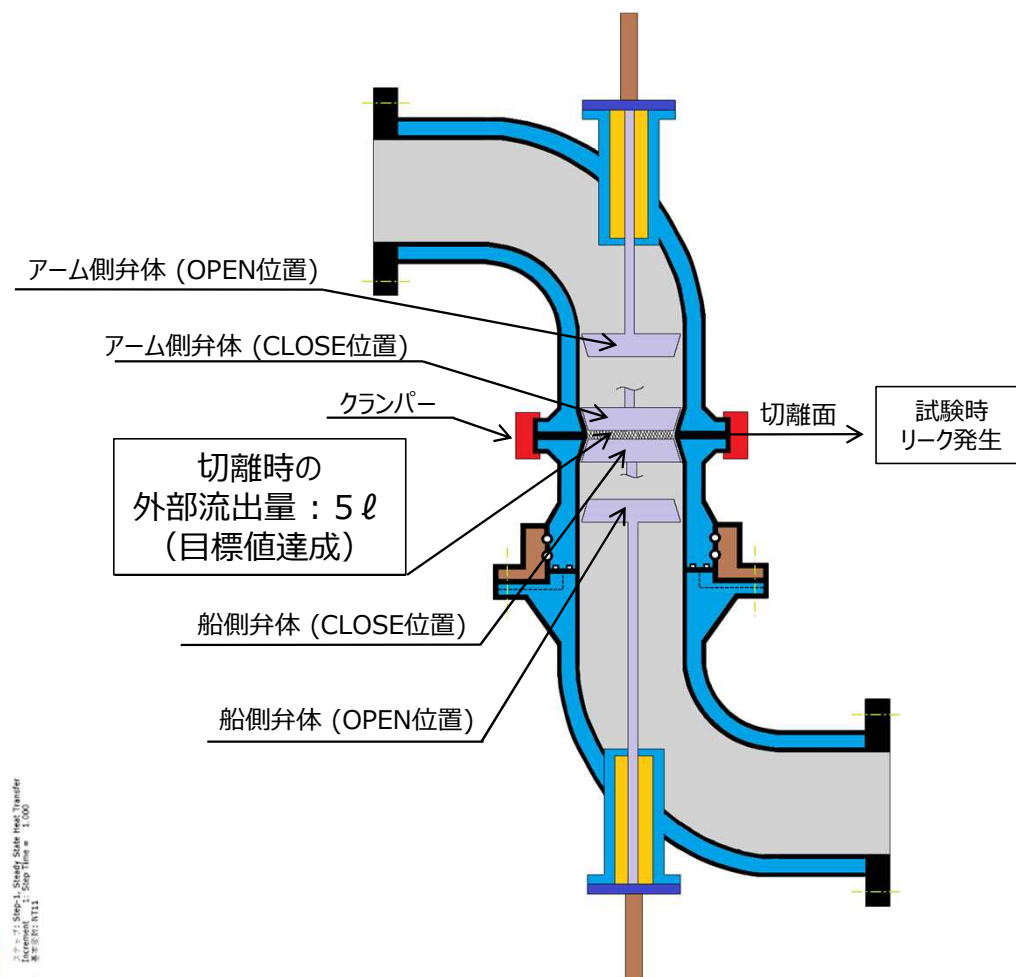
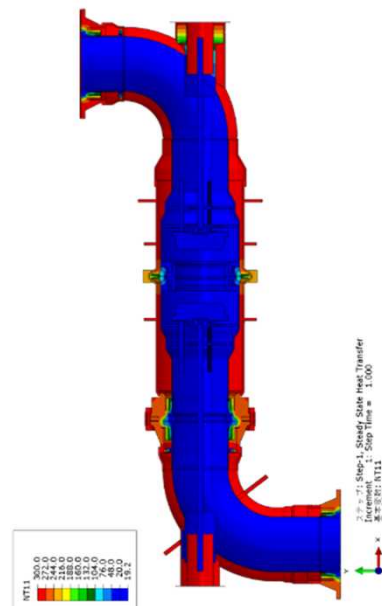
| 開発項目 | 目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
|------------|--|--|-----|--|
| ①大口径緊急離脱機構 | <ul style="list-style-type: none"> ・切離時の外部流出量を125ℓ以下とする。 ・試作機を製作して、所定の試験に合格する。 | 理論外部流出量は目標値以下の5ℓ程度となった。試作機を製作してテストしたが、低温強度試験でリークがあった為改善が必要となり今後検討する。低温切離し試験では、正常な切離しが行われ切離し性能が確認された。製品化に向けては課題が残ったが、今回の試験を通じて技術的価値の高い内容が得られ、今後の製品開発に大きな成果となった。 | △ | クランプ能力向上 (対策実施の上で切離し性能とシール性能は検証が必要) |
| ②大口径船陸継手 | <ul style="list-style-type: none"> ・重量が1ton以下で2～3人で操作可能な構造とする。 ・試作機を製作して、所定の試験に合格する。 | 重量は目標値の1ton以下に対し、500Kg程度になり目標を達成した。試作機を製作してテストを行い合格し製品化への目途がついた。 | ○ | |

◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

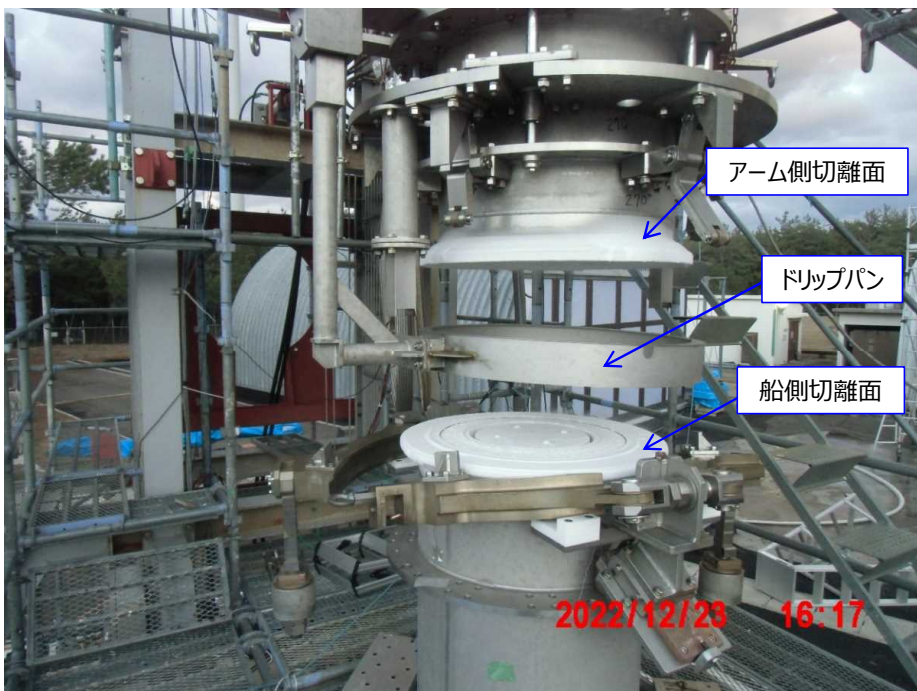
①大口径緊急離脱機構(1/2)

・研究開発の成果と意義

切離時の外部流出量は、アーム側弁体と船側弁体が切離前にCLOSEする構造にした為、5ℓとなり目標値を達成した。



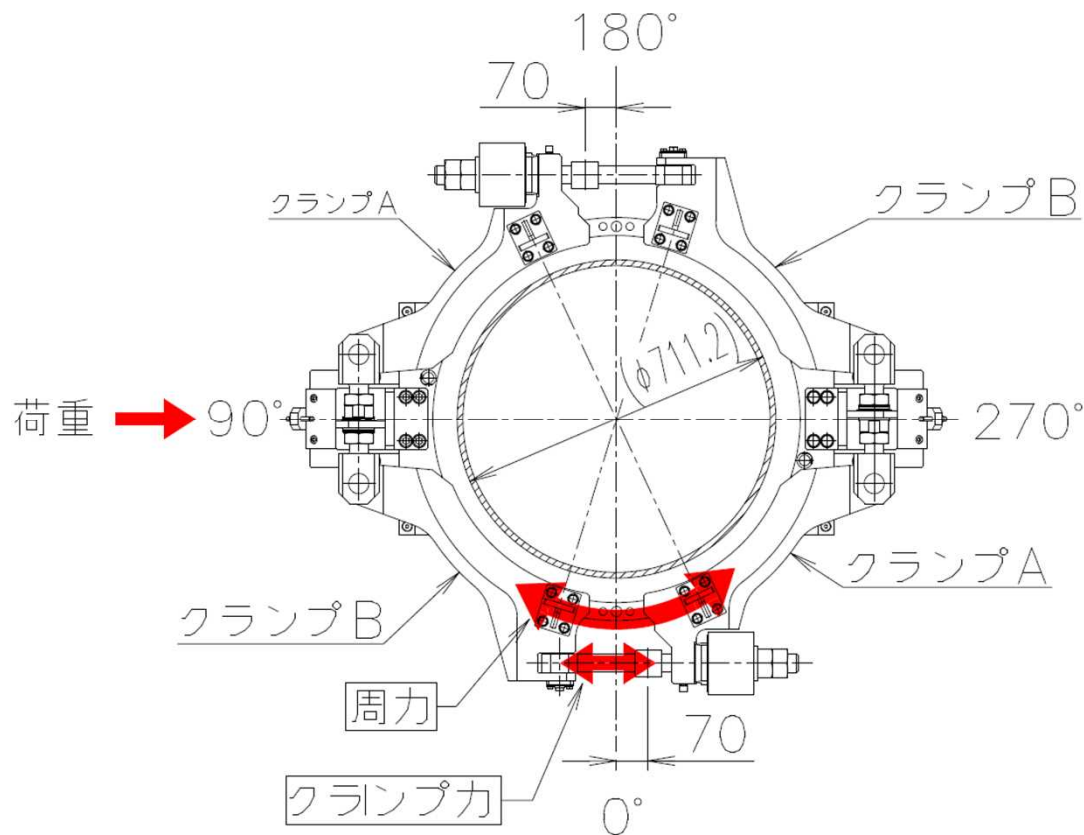
①大口径緊急離脱機構(2/2)



切離後の状況
CIMG0079

低温切離試験では、切離は設計時間内に正常に動作して、切離性能が確認された。

低温切離試験結果



低温強度試験において、切離面からリークが発生し、今後改造を検討する。

低温強度試験検討

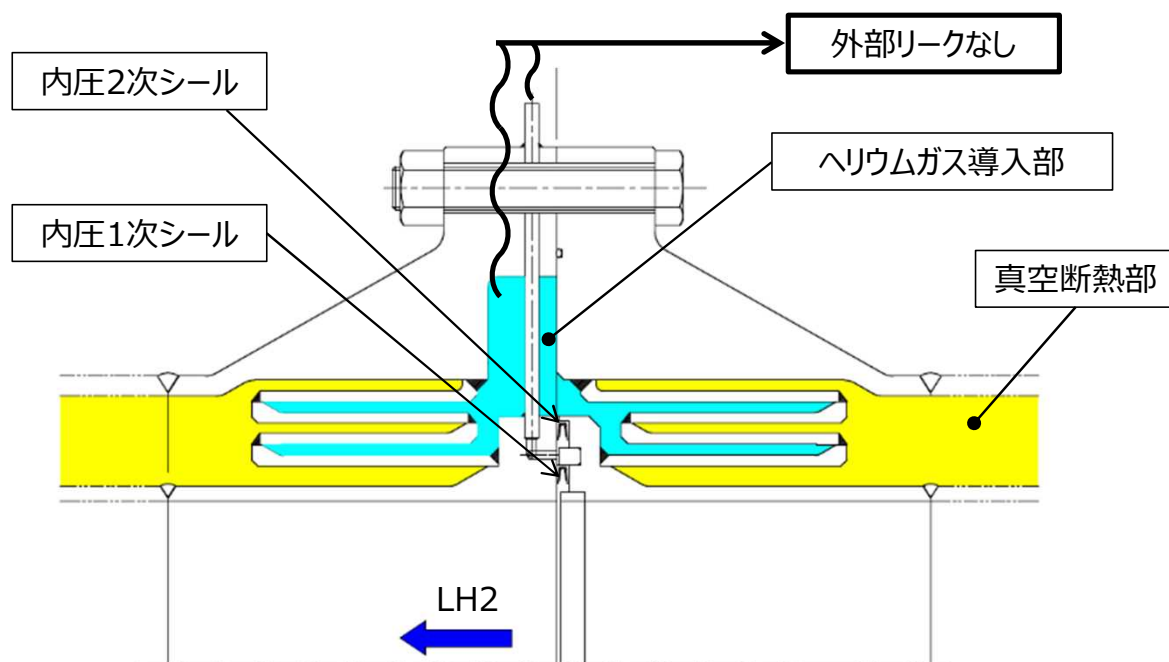
②大口径船陸継手

・研究開発の成果の意義

重量は500Kg以下となり、目標を達成した。

試作機を製作して試験を実施した。

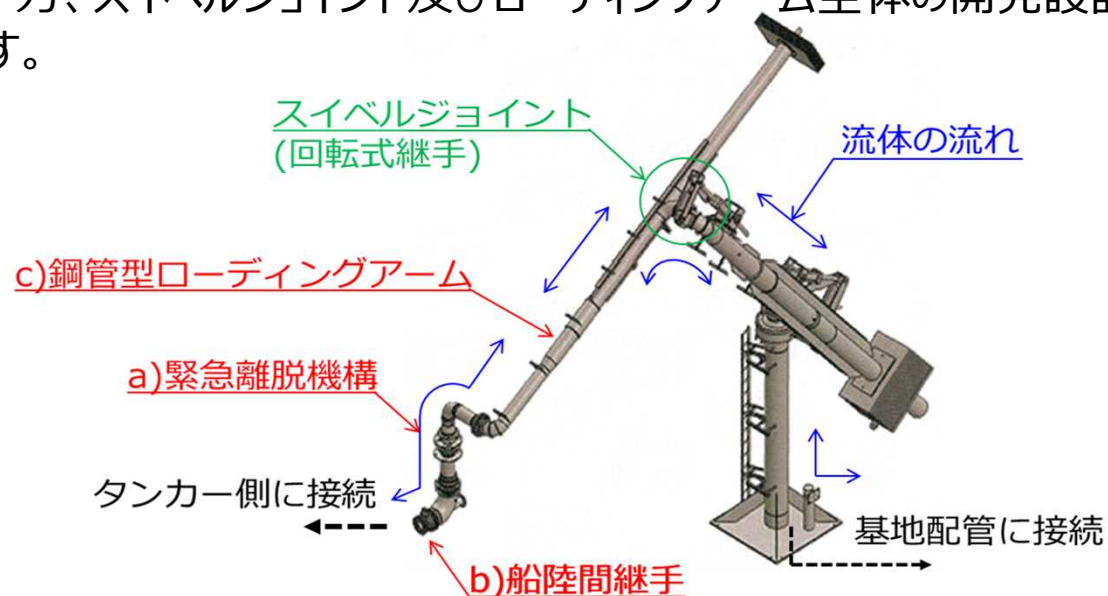
低温強度テストにおいて、1次シール及び2次シールからのリークはなく、合格した。



低温テスト状況

IMG0188

- 1) 大口径緊急離脱機構に課題は残ったものの、大型液化水素用ローディングアームのコアパーツである、前記機器と大口径船陸継手の製品化の目途が立ち、大きな前進を得た。
- 2) 大口径緊急離脱機構では、本開発により構造を小口径品から変更することにより切離し時の理論外部流出量を5 l程度に抑えることができ、安全性が確立された。また大口径船陸継手では、本開発により重量を500Kg程度におさえることができ、大型液化水素用ローディングアーム全体の重量低減に貢献した。
- 3) 上記成果により、商用大口径化水素用ローディングアームの製品化が促進され、大型液化水素受入基地実現を加速した。一方、スイベルジョイント及びローディングアーム全体の開発設計を行う必要があり、製品化までは時間を要す。



・特許出願の現状

| | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 | 計 |
|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 大口径緊急離脱機構 | 0 | 1(0) | 0 | 1(0) 件 |
| 大口径船陸継手 | 0 | 0 | 0 | 0 件 |

※2023年9月30日現在

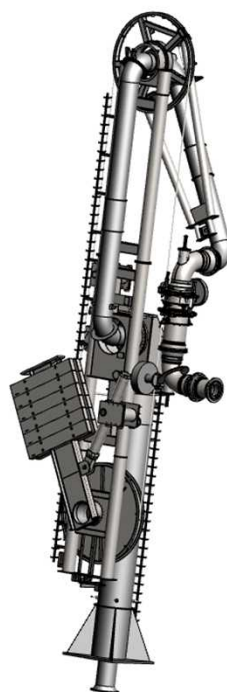
・論文等の発表の現状

| | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 | 計 |
|------------|--------|--------|--------|--------|----|
| 論文（査読付き） | 0 | 0 | 0 | 0 | 0件 |
| 研究発表・講演 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0件 |
| 受賞実績 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0件 |
| 新聞・雑誌等への掲載 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0件 |
| 展示会への出展 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0件 |

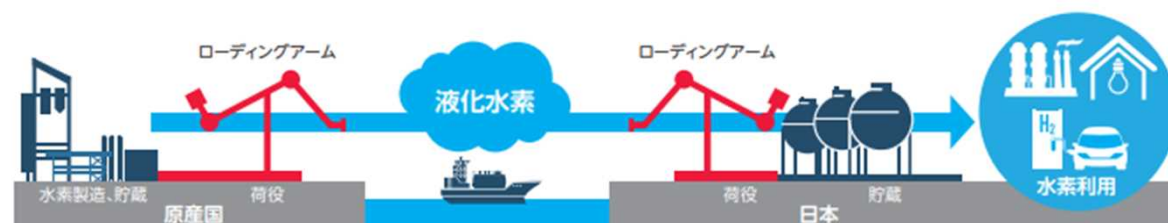
※2023年7月31日現在

当該研究開発に係る成果及び技術をもとに、商用液化水素ローディングアームの製品化が実現され、さらにその製品が液化水素受入基地及び出荷基地での利用により、液化水素サプライチェーンが成立とともに、企業活動に貢献することをいう。

【当該研究開発】



【実用化・事業化】



※液化水素サプライチェーン 参考イメージ

当該研究開発に係る成果及び技術をもとに国際規格ISO/FDIS 24132等に適合した製品を供給することで、ユーザー及び社会のニーズである“液化水素の安全な荷役”を実現する。

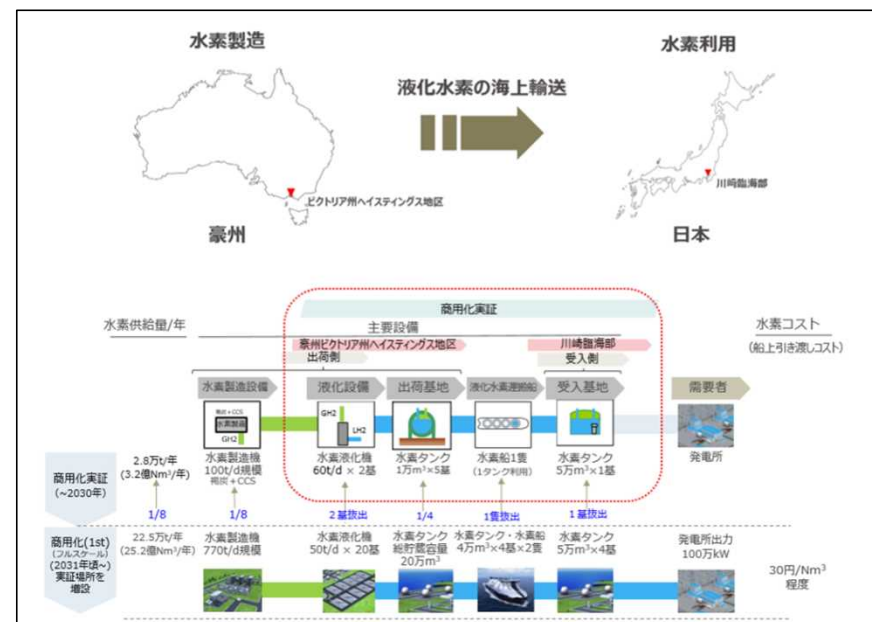
また液化水素用の荷役機械としては同様な開発及び成果を得ている競合の存在はないと認識しており、当該製品化に向けては世界的にも競合優位性を確保できている。

当該製品化による大規模な液体水素サプライチェーンの実現により、水素コスト低減が図れ、水素発電事業を中心とした水素の利用及び水素社会の促進と拡大に資する。



| No | 項目 | 内容 |
|----|----------------------------|--|
| 1 | 商用実証品 対象プロジェクト | 液化水素サプライチェーン商用化実証 (事業期間：2021～2030年度) |
| 2 | スケジュール | 商用化実証プロジェクトへの 設計・製作スケジュールを計画 |
| 3 | 課題 | <ul style="list-style-type: none"> ・ERS クランプ能力向上対策及び再検証 ・スィベルジョイントの開発設計と試験 ・ローディングアーム全体の開発設計 ・製作体制の確保と実行 |
| 4 | 特記 | 上記開発（課題解決含）には時間を要すが、 商用化実証プロジェクトへ商用実証品の納入に向けて努力する。 |
| 5 | 次期フェーズ のプロジェクト への考え方 | 上記プロジェクトにて、当該技術及び商用実証品の 運用により商用製品化の確立を目指す。 その商用製品を以降の国内・海外のプロジェクトへ 投入する。 |

【液化水素サプライチェーンの商用化実証】



引用元：NEDOホームページ（ニュースリリース）
液化水素サプライチェーンの商用化実証の出荷と受け入れ地について

- ・液化水素サプライチェーン確立による水素コスト低減が図れ、水素発電事業を中心とした水素の利用及び水素社会の促進と拡大
- ・商用製品確立及び以降の製品投入による企業活動に貢献

③低温水素ガス圧縮機の開発

IHI回転機械エンジニアリング

◆個別研究開発項目の目標と達成状況

③低温水素ガス圧縮機の開発

| 開発項目 | 目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と解決方針 |
|-----------------------------|----------------------------------|---|-----|---|
| a) 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、熱変位を吸収するサポート構造の確立 | ・低温水素ガスを用いた試作機の実ガス試験にて圧縮機外表面に液空が発生することなく、最低表面温度は-30℃以上(解析結果と概ね一致)で、振動は10μm程度で損傷なし | ○ | ・商用大型化に伴う高荷重化に対する解析による健全性確認 ・組立性・メンテナンス性向上を図る真空容器構造の改良 |
| 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の確立 | ・試作機の実ガス試験にて中間筒内に液化がないこと、およびロッドパッキンの異常摩耗がないことを確認 | ○ | |
| | ・高寿命およびシール性に優れた摺動部材の目途付け | ・ラボ試験から選定した2種類の摺動部材にて実ガス運転を実施し、商用機で使用可能な材料の目途を付けた | ○ | ・商用化実証において長時間運転による寿命の確認 |

◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

◆個別研究開発項目の目標と達成状況

③低温水素ガス圧縮機の開発

| 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 | ・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 | ・試作機の実ガス運転にて吸入ガス温度をパラメータとして変化させ、流量計含む各計測値の妥当性を確認 | ○ | |
| | ・1D CAEを用いた商用機の吐出温度・性能予測技術の確立 | ・2022FYにシリンダを早期に冷却する改善策と内部漏れ低減の改良を実施した上で、各吸入ガス温度における流量と吐出温度の有効データを取得し、1D CAEにフィードバックし、精度ある解析手法を確立 | ○ | ・大型商用機の性能予測と運転データ蓄積による性能予測精度の更なる向上 |

◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

◆各個別テーマの成果と意義

③低温水素ガス圧縮機の開発

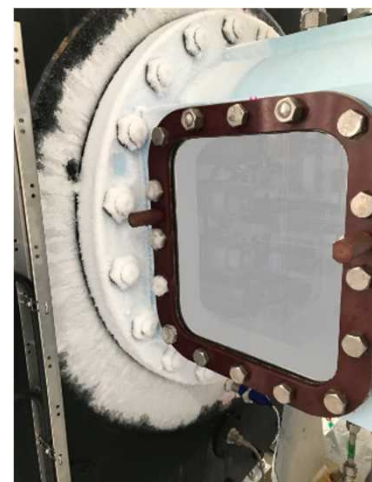
| 開発項目 | 成果 | 成果の意義 |
|----------------------|--|---|
| a) 液空生成に対し安全性を確保する構造 | <ul style="list-style-type: none"> 低温水素ガスを用いた試作機の実ガス試験にて圧縮機外表面に液空が発生することなく、最低表面温度は-30℃以上(解析結果と概ね一致)で、振動は10μm程度で損傷なし | <ul style="list-style-type: none"> 貯蔵タンクからの蒸発ガスをプレヒーティングすることなく、低温のまま吸入可能な安全性を有するシリンダ／真空容器構造を確立した |



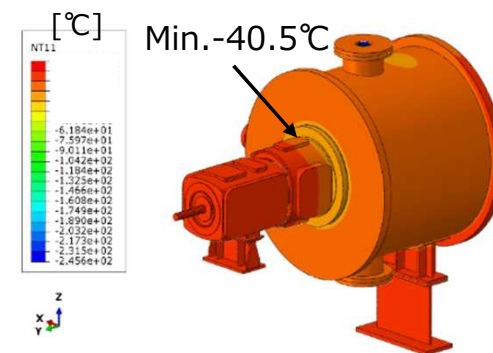
試作機外観（真空容器側）



試作機外観（圧縮機フレーム側）



最低表面温度部（着霜は想定内）

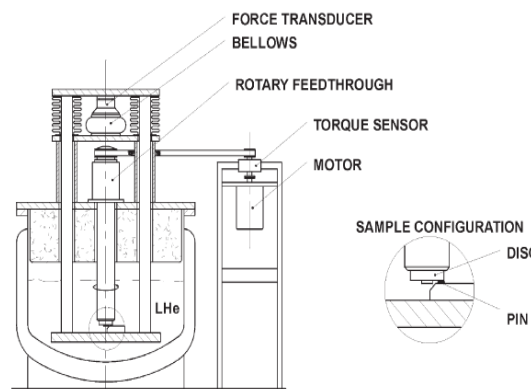
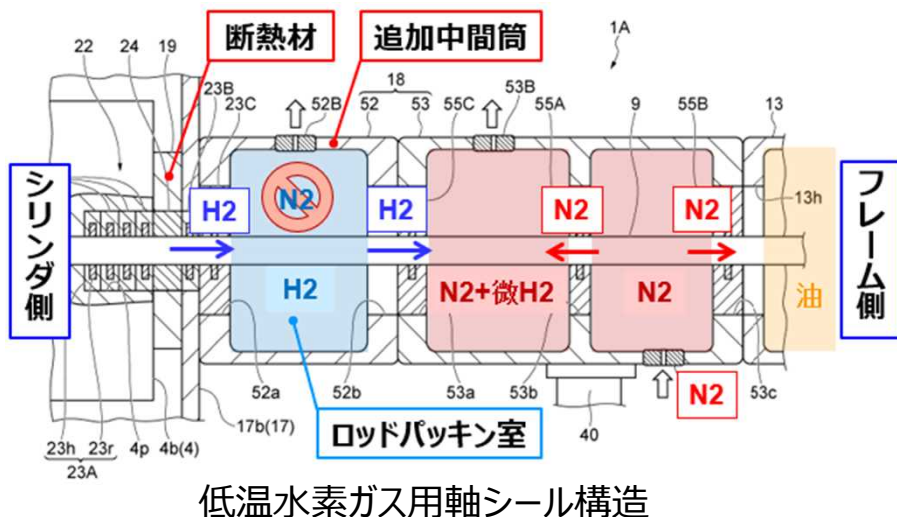


伝熱解析による予測温度

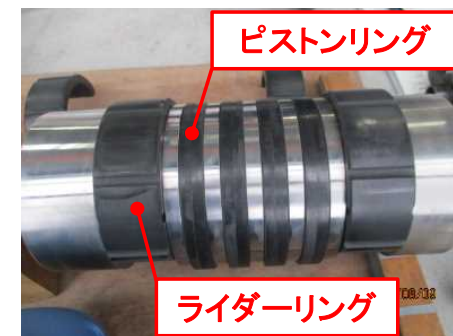
◆各個別テーマの成果と意義

③低温水素ガス圧縮機の開発

| 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"> ・試作機の実ガス試験にて中間筒内に液化がないこと、およびロッドパッキンの異常摩耗がないことを確認 ・ラボ試験から選定した2種類の摺動部材にて実ガス運転を実施し、商用機で使用可能な材料の目途を付けた | <ul style="list-style-type: none"> ・商用機においても信頼性のある長時間連続運転が期待できる |



[出典]: Tribology International 34(2001)225-230 "Low temperature tribometers and the behavior of ADLC coatings in cryogenic environment"



◆プロジェクト（事業）としての達成状況と成果の意義

③低温水素ガス圧縮機の開発

事業全体としての達成状況

- (1) 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。
- (2) 本事業にて小型試作機を製作し、実ガス運転にて液化水素の蒸発ガスと同程度の温度の低温水素ガスを直接吸込・圧縮する往復動圧縮機の安全性・健全性が実証された。
- (3) 有効な性能データ取得により、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で、プレヒーティングされた水素ガスを吸込・圧縮する常温圧縮機よりも、圧倒的に消費電力を小さく抑えることが出来ることが実証された。
- (4) 本事業の成果に基づく、世界初となる液化水素の蒸発ガスを直接吸込可能とする往復動圧縮機の実用化は、液化水素サプライチェーンの構築に不可欠なコンポーネントの提供だけでなく、チェーン全体の競争優位性・基地運用コスト削減に大きく貢献するものと考えられる。

◆知的財産権の確保に向けた取り組み

③低温水素ガス圧縮機の開発

戦略に沿った具体的取り組み

- 2020年代半ばから2030年までに予定されている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、国内外問わず、実用化・事業化していく見通しである。
- 本事業開始前に出願済みのため、下表にはカウントしていないが、低温水素ガス圧縮機の要となるシリンダ/真空容器構造を軸とした特許を国内は取得済み、また、海外においても競合生産国/資源国/消費国/ライセンサー国を中心に出願済みである。

| | 2019 年度 | 2020 年度 | 2021 年度 | 2022 年度 | 計 |
|--------------|------------|------------|------------|------------|----|
| 特許出願(うち外国出願) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0件 |

※2023年9月30日現在

③低温水素ガス圧縮機の開発

・論文等の発表の現状

| | 2019年度 | 2020年度 | 2021年度 | 2022年度 | 計 |
|------------|--------|--------|--------|--------|----|
| 論文（査読付き） | 0 | 0 | 0 | 0 | 0件 |
| 研究発表・講演 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0件 |
| 受賞実績 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0件 |
| 新聞・雑誌等への掲載 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0件 |
| 展示会への出展 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0件 |

※2023年7月31日現在

◆成果の普及

③低温水素ガス圧縮機の開発

- 2022.11 MANSEIフェア2022 セミナーにて、KHI殿により現状の開発状況を紹介。
- 2023.2 商用化実証のオーナー・EPCに現状の開発状況および今後の取組みを説明。
- 2023.6 2030年頃の商用液化水素払出基地のオーナー・EPCに現状の開発状況および今後の取組みを説明。
- 2023.7 2030年頃の商用液化水素受入基地のオーナー・EPCに現状の開発状況および今後の取組みを説明。

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

③低温水素ガス圧縮機の開発

- 2020年代半ばからの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。

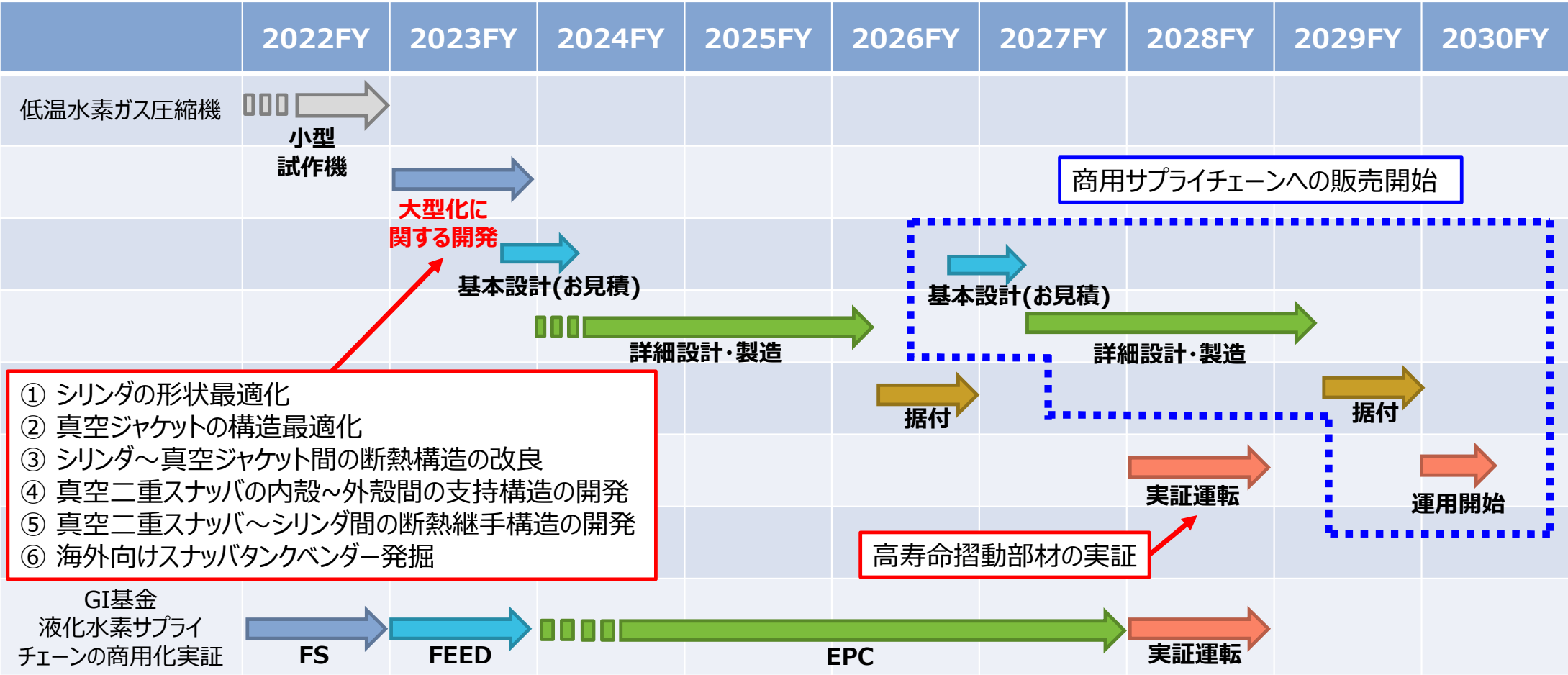
◆成果の実用化・事業化に向けた戦略

③低温水素ガス圧縮機の開発

- 2030年からは2プラント/年の商用液化水素受入基地が建設されるものと予想。
- 液化水素受入基地には、貯蔵タンクから蒸発する低温水素ガスを処理するBOG圧縮機がLNG受入れ基地同様に必要不可欠なコンポーネントであると判断する。
- 予備機含め、1プラント当たり平均 2～3台のBOG圧縮機を想定する。
- 販売先はプラント建設を担うEPCまたはオーナー(電力・ガス会社等)。
- 代替技術としては常温までプレヒートした常温圧縮機が想定されるが、蒸発ガスを低温のまま直接吸入する場合に対し、約3倍の軸動力(消費電力)となり、運用コストで低温ガス圧縮機に圧倒的優位性がある。(仮に1000kWの電力差で年間連続運転した場合、 $1000 \text{ [kW]} \times 8800 \text{ [h]} \times @23 \text{ [円/kWh]} \div 2 \text{ [億円]}$)
- 技術面においては、唯一試作機により実証済みである信頼性と特許による模造品の抑制により、2040年頃までは8割以上のシェアを確保し、売上に貢献するものとする。

◆実用化・事業化に向けたスケジュールと課題

③低温水素ガス圧縮機の開発



④液化水素昇圧ポンプの開発

荏原製作所

◆ 個別研究開発項目の目標と達成状況

| 開発項目 | 目標 | 成果 | 達成度 | 今後の課題と 解決方針 |
|------------------------------|----------------------|--|-----|----------------|
| 軸スラストバランス機構の 検討 | 軸スラストバランス 機構の確立 | 軸スラストバランス機構が 機能することを 計算及び試験で確認 | ○ | |
| ポンプ材料の選定 | ポンプ材料の確立 | ポンプ材料及び構造設計の健 全性を試験で確認 | ○ | |
| 液化水素での ポンプ性能/機能の 評価・分析 | 液化水素昇圧ポンプ 設計技術の確立 | 小型試作機による液化水素を 用いた運転試験を行い、 設計の妥当性を確認し、 設計技術を確立 | ○ | |

◎ 大いに上回って達成、○ 達成、△ 一部未達、× 未達

◆各個別テーマの成果と意義

① 軸スラストバランス機構

目標 軸スラストバランス機構の確立

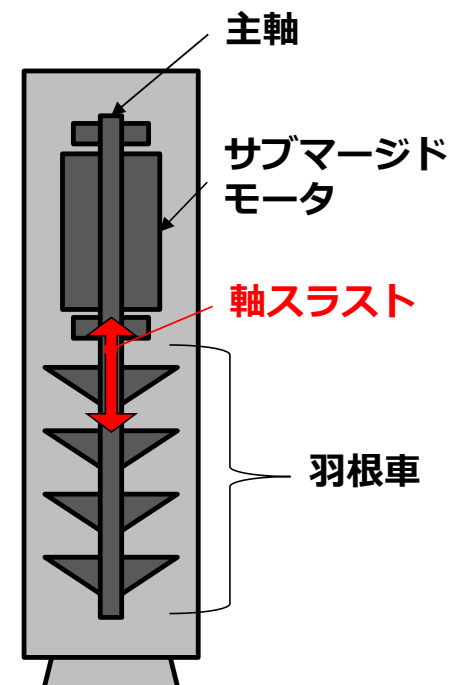
成果 新型バランス機構を設計し、実液試験にて機能することを確認

(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、運転流量範囲で軸スラストがバランスすることを確認した。
- ・液化水素を用いた小型試作機試験にて新型バランス機構が
正常に機能することを確認した。
- ・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。

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
軸スラストが発生
⇒バランスさせる必要がある

◆各個別テーマの成果と意義

② 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

小型試作機試験による実液運転試験にて健全性を確認

・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 | |
|-------------|----------------|---------|---|
| | | 無 | 有 |
| 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。



Fig. 極低温(4K)試験装置の外観

(写真提供；(株)コベルコ科研)

◆各個別テーマの成果と意義

③ 液化水素でのポンプ性能/機能の評価・分析

目標 液化水素昇圧ポンプの設計技術確立

成果① 小型試作機の液化水素運転試験による
ポンプ性能/機能の評価、分析を完了

- ・小型試作機を設計・製作し、液化水素を用いた運転試験を実施し、ポンプの性能・機能の評価。
- ・液化水素試験設備はJAXAとの共同研究にて、JAXA能代ロケット実験場に構築。
- ・ポンプの揚程、動力、効率や吸込性能といった主要性能が所定の値を満足する良好な結果が得られた(右図)。
- ・新型スラストバランス機構が正常に機能することや試験後の分解検査で材料・構造の健全性が確認できた。



Fig. 据付中の小型試作機

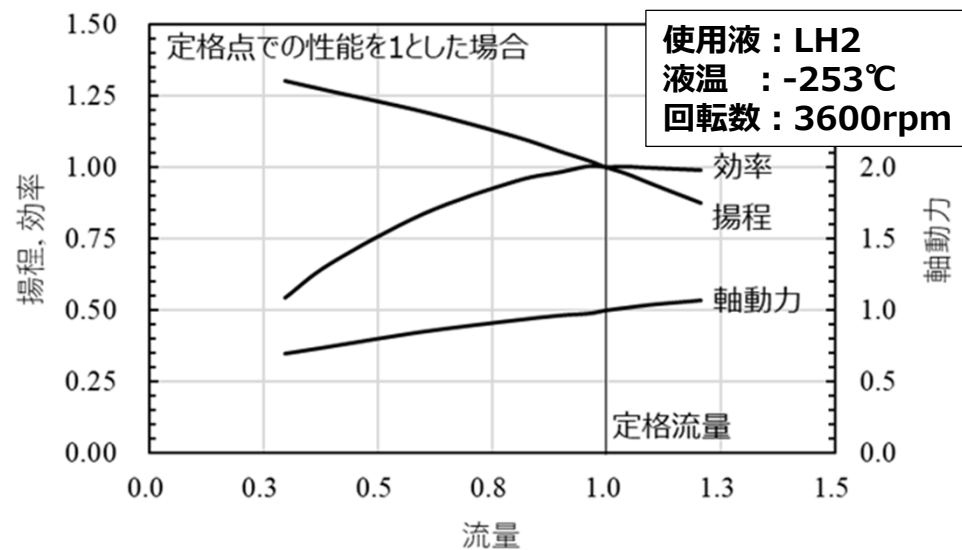


Fig. 小型試作機の液化水素性能

◆各個別テーマの成果と意義

③ 液化水素でのポンプ性能/機能の評価・分析

目標 液化水素昇圧ポンプの設計技術確立

成果② 液化水素昇圧ポンプの設計技術の確立

- ・小型試作機の液化水素試験結果から液化水素ポンプの性能設計方法が妥当であることが確認できた。
- ・軸スラストバランス機構も正常に機能したことから、当該部の設計方法の妥当性が確認できた。
- ・以上より、液化水素昇圧ポンプの設計技術が確立できた。
- ・さらに、液化水素での貴重なポンプ運転実績と そのノウハウを蓄積できた。

成果の意義

小型試作機試験にて性能/機能を評価し、液化水素ポンプ設計技術を確立したことで、水素発電用液化水素昇圧ポンプの上市が可能となり、水素社会の実現に必要な**水素発電の普及に寄与**する。

◆プロジェクト（事業）としての達成状況と成果の意義

達成状況

前述の各個別テーマを通して、商用クラスの仕様を見通せる液化水素昇圧ポンプに係る技術開発を完了した。

成果の意義

本プロジェクトで得られた技術を用いて、水素サプライチェーンの一部である水素発電に必要不可欠な液化水素昇圧ポンプを上市することが可能である。

◆ 知的財産権の確保に向けた取り組み

○ ポンプの差別化を図るべく軸スラストバランス機構に関する特許を出願

※ 2019年度に1件出願後、内容修正のために取下げ実施。2022年度に改めて出願。

| | (2019年度) | (2020年度) | 2021年度 | 2022年度 | 計 |
|--------------|----------|----------|--------|--------|----|
| 特許出願(うち外国出願) | 1(0) | 0(0) | 0(0) | 1(0) | 2件 |

※2023年9月30日現在

論文、学会発表、広報等の取組みとして、对外発表は下表の通り

| | (2019年度) | (2020年度) | 2021年度 | 2022年度 事業終了後含む | 計 |
|------------|----------|----------|--------|-------------------|----|
| 論文(査読付き) | | | | | 0件 |
| 研究発表・講演 | | | | | 0件 |
| 受賞実績 | | | | | 0件 |
| 新聞・雑誌等への掲載 | | | | 4 | 4件 |
| 展示会への出展 | | | | 8 | 8件 |

※2023年7月31日現在

◆ 成果の普及

成果の活用・実用化の担い手・ユーザー等に対する成果の普及、一般に向けた情報発信

※ 展示会への出展や雑誌、協会誌への掲載

液体水素昇圧ポンプ

一 構造



一 特長

ポットイン多段型
真空断熱式ポット使用
極低温対応: 20K(-253℃)

NEDOの水素社会構築技術開発事業に参画(*1)、
液化水素昇圧ポンプを開発中



(*1) この成果は、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) の助成事業 (JPNP14026) の結果得られたものです。

一 液体水素による運転試験



JAXAで液体水素試験実施予定

一 アプリケーション例



発電



液体水素受入基地
※上記写真はイメージです。

| No. | 年 | 月 | 雑誌名・学会名・イベント名等 |
|-----|------|----|---|
| 1 | 2022 | 10 | ADIPEC 2022 |
| 2 | 2022 | 8 | FC-EXPO |
| 3 | 2022 | 8 | 当社ウェブサイト |
| 4 | 2022 | 9 | Gastech |
| 5 | 2022 | 9 | Oil & Gas Asia(OGA) |
| 6 | 2022 | 9 | Turbomachinery & Pump Symposium 2022 |
| 7 | 2022 | 9 | WETEX & Dubai Solar Show |
| 8 | 2023 | 3 | 2023年 FC-EXPO 春展 |
| 9 | 2023 | 3 | The 11th China International Fluid Machinery Exhibition |
| 10 | 2023 | 3 | 環境ビジネスオンライン |
| 11 | 2023 | 3 | 当社ウェブサイト |
| 12 | 2023 | 7 | ターボ機械協会協会誌 月刊「ターボ機械」 |

<https://www.ebara.co.jp/startup/hydrogen/transport/index.html>

※ 当社の水素関連特設サイトにて取組みを紹介

※2023年7月31日現在

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

<実用化>

- ・本プロジェクトにて得られた「液化水素昇圧ポンプの設計技術」を用いて、水素発電向けポンプとしての具体的な仕様検討と設計を行い、製作し、実証運転を行う。

<事業化>

本プロジェクト及び上記実証運転で得られた技術や知見、ノウハウを基に、商用水素発電向けポンプのニーズに合致した製品を上市し、アフターサービスも含めた事業として成立させる。

◆ 成果の実用化・事業化に向けた戦略

○ 実用化、事業化に向けた取組み

水素基本戦略にある2030年頃の大規模水素発電の商用チェーン完成のために、市場要求に合致した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（商用水素発電の実証向け）： ～2020年代半ば

事業化検討（商用水素発電向け）： ～2030年

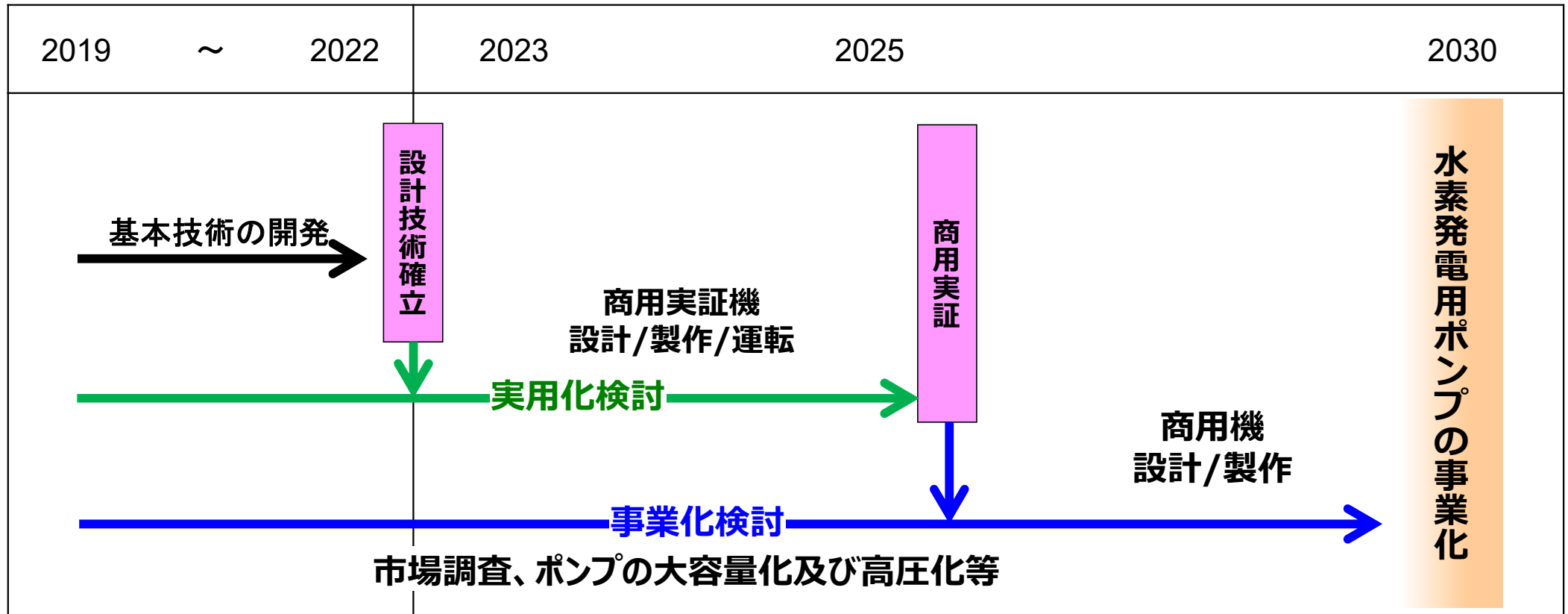
⇒ **2030年 水素発電用昇圧ポンプの製造・販売・アフターサービスの事業化**

○ 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

◆ 実用化・事業化に向けたスケジュールと課題



◆ 波及効果

- 液化水素昇圧ポンプを上市することは、水素ガスタービン発電の実現と普及に寄与する。
そして、水素ガスタービン発電が普及すれば、大規模な水素需要を創出し、水素社会の実現につながる。
- 本開発を通じて、極低温ガスや液体水素の回転機械エンジニアの育成と多くはないものの新たな雇用の創出につながった。

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」

(終了時評価) 分科会

議事録及び書面による質疑応答

日 時 : 2023 年 12 月 21 日 (木) 10 : 00 ~ 16 : 45

場 所 : NEDO 川崎本部 2301、2302、2303 会議室 (オンラインあり)

出席者 (敬称略、順不同)

<分科会委員>

| | | | | |
|--------|-------|----------|-----------------------|------------------|
| 分科会長 | 河野 龍興 | 東京大学 | 先端科学技術研究センター | 教授 |
| 分科会長代理 | 武田 実 | 神戸大学 | 水素・未来エネルギー技術研究センター | センター長 |
| 委員 | 内本 喜晴 | 京都大学 | 大学院 人間・環境学研究科 | 教授 |
| 委員 | 大澤 秀一 | 大和証券株式会社 | エクイティ調査部 | 副部長 (シニアストラテジスト) |
| 委員 | 工藤 祐揮 | 国立研究開発法人 | 産業技術総合研究所 | |
| | | | ゼロエミッション国際共同研究センター | 副研究センター長 |
| 委員 | 森田 哲司 | 大阪ガス株式会社 | エネルギー技術研究所 | 所長 |
| 委員 | 渡辺 和徳 | 一般財団法人 | 電力中央研究所 | |
| | | | エネルギートランスフォーメーション研究本部 | |
| | | | ・プラントシステム研究部門 | 研究部門長 研究参事 |

<推進部署>

| | | | |
|-------------|------|-----------------------|----|
| 大平 英二(PMgr) | NEDO | スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 | SA |
| 坂 秀憲 | NEDO | スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 | 室長 |
| 坂田 世紀 | NEDO | スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 | 主査 |
| 岩元 健 | NEDO | スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 | 主査 |
| 余島 哲志 | NEDO | スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 | 主査 |
| 菖蒲 一步 | NEDO | スマートコミュニティ・エネルギーシステム部 | 主任 |

<実施者※メインテーブル着席者のみ>

| | |
|--------|---|
| 斉藤 圭司郎 | 三菱重工株式会社 総合研究所 燃焼研究部 次長 |
| 江川 拓 | 三菱重工株式会社 GTCC 事業部 ガスタービン技術部 ガスタービン燃焼器グループ 上席主任 |
| 猪股 昭彦 | 川崎重工業株式会社 PM |
| 東 誠 | 川崎重工業株式会社 部長 |
| 戸部 浩幸 | TB グローバルテクノロジーズ株式会社 室長 |
| 鶴飼 幸治 | 株式会社 IHI 回転機械エンジニアリング 主査 |
| 池田 隼人 | 株式会社荏原製作所 CP 水素関連事業 PJT 技術開発ユニット水素技術（回転機器）グループ |
| 仲井 雅人 | 川崎重工業株式会社 エネルギーソリューション&マリンカンパニー エネルギーディビジョン レシプロエンジン技術部 開発・試験課 基幹職 |
| 宮本 世界 | 川崎重工業株式会社 技術開発本部 技術研究所 エネルギーシステム研究部 研究三課 基幹職 |
| 中島 洋平 | 川崎重工業株式会社 技術開発本部 技術研究所 エネルギーシステム研究部 基幹職 |
| 森 亮二 | 技術研究組 CO ₂ フリー水素サプライチェーン推進機構 事務局長 |
| 東 達弘 | 技術研究組 CO ₂ フリー水素サプライチェーン推進機構 技術開発部長 |
| 笹川 崇志 | 岩谷産業（株）水素本部水素ステーション建設部 兼 水素技術開発部 部長 |
| 吉山 孝 | 川崎重工業（株）水素戦略本部 プロジェクト総括部 パイロット推進部 部長 |
| 平井 宏宜 | シェルジャパン（株）エメージング・エネルギー・ソリューションズ ハイドロジェン・インポート・エクスポート マネージャー |
| 玉村 琢之 | 電源開発（株）技術開発部 研究推進室 総括マネージャー |

<オブザーバー>

| | |
|-------|--|
| 板倉 悠輝 | 経済産業省 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 水素・アンモニア課 係長 |
| 友村 有沙 | 経済産業省 資源エネルギー庁 省エネルギー・新エネルギー部 水素・アンモニア課 係長 |
| 大隅 一聡 | 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 研究開発課長 |
| 亀山 孝広 | 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 課長補佐 |
| 中山 文博 | 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 長補佐 |
| 植松 黎 | 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 課長補佐 |
| 村中 祥子 | 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 課長補佐 |
| 浅野 常一 | 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 技術評価係長 |
| 小澤 一仁 | 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 係長 |
| 上村 祐也 | 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 係員 |
| 木村 貴之 | 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 |
| 木村 隆 | 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 研究開発専門職 |
| 島 周子 | 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 研究開発専門職 |
| 中島 港人 | 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 研究開発専門職 |
| 二井内 学 | 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 研究開発専門職 |
| 柴尾 優一 | 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 技術評価専門職員 |
| 渡辺 智 | 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 技術評価専門職員 |

<評価事務局>

| | |
|---------|----------------|
| 三代川 洋一郎 | NEDO 評価部 部長 |
| 山本 佳子 | NEDO 評価部 主幹 |
| 佐倉 浩平 | NEDO 評価部 専門調査員 |
| 宮代 貴章 | NEDO 評価部 専門調査員 |

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 意義・アウトカム (社会実装) 達成までの道筋
 - 5.2 目標及び達成状況
 - 5.3 マネジメント
 - 5.4 質疑応答
6. プロジェクトの詳細説明
 - 6.1 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
 - 6.2 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
 - 6.3 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

(非公開セッション)

- 6.4 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
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、資料の確認

- ・開会宣言 (評価事務局)
- ・配布資料確認 (評価事務局)

2. 分科会の設置について

- ・研究評価委員会分科会の設置について、資料1に基づき事務局より説明。
- ・出席者の紹介 (評価委員、評価事務局、推進部署)

【河野分科会長】 分科会長を仰せつかりました東京大学の河野でございます。専門は水素エネルギー関係であり、水素の製造、貯蔵、利用、燃料電池を主としております。今日はよろしくお願ひします。

【武田分科会長代理】 神戸大学水素・未来エネルギー技術研究センターの武田と申します。また、大学院の海事科学研究科を兼務しておりますが、このセンターは11月1日付で設置された新しいセンターになります。再生可能エネルギー、水素エネルギー、マルチエネルギーという3つの部門がございますが、その中の水素エネルギー部門に配属されております。専門は低温工学であり、超電導の応用等の研究を行ってまいりましたが、2004年ほどから液体水素を使った実験研究、計算研究に携わっております。今日は、どうぞよろしくお願ひいたします。

【内本委員】 京都大学の内本です。私の研究分野は電気化学であり、主に燃料電池、水電解の評価解析、高度解析といった分野をやっております。どうぞよろしくお願ひします。

【大澤委員】 大和証券の大澤でございます。普段は企業調査のアナリスト部隊の一員として環境エネルギー分野の投資戦略を機関投資家向けに提供しております。10年前には、資本市場でこういった水素技術の話題というのはほとんど話題にならなかったのですが、ここ2、3年急にテーマとして取り上げられまして、その成果を本日伺えることを楽しみにしております。どうぞよろしくお願ひします。

【工藤委員】 産業技術総合研究所の工藤でございます。本日はオンラインで失礼いたします。専門は、エネルギーシステム分析とライフサイクルアセスメントをやっておりまして、水素に関しても最近いろいろと従事させていただいております。どうぞよろしくお願ひいたします。

【森田委員】 大阪ガスエネルギー技術研究所、所長の森田でございます。会社のほうでは、メタネーションをはじめとしたカーボンニュートラル関係の研究開発、技術開発を担務しております。本日はどうぞよろしくお願ひ申し上げます。

【渡辺委員】 電力中央研究所の渡辺と申します。私は、電中研に入所以来、主にガスタービンを中心とした火力発電分野の研究に従事してまいりました。専門は伝熱流動、機械系になります。今日はよろしくお願ひいたします。

3. 分科会の公開について

評価事務局より資料2及び3に基づき説明し、議題6.4「プロジェクトの詳細説明」及び議題7.「全体を通しての質疑」を非公開とした。

4. 評価の実施方法について

評価の手順を評価事務局より資料4-1～4-5に基づき説明した。

5. プロジェクトの概要説明

- (1) 意義・社会実装までの道筋、目標及び達成度、マネジメント

推進部署より資料5に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

【河野分科会長】 ご説明ありがとうございました。

それでは質問をお受けいたします。内本委員よろしく申し上げます。

【内本委員】 京都大学の内本です。非常に詳細なご説明ありがとうございます。一般的な質問になりますが、17 ページの知的財産・標準化戦略のところを伺います。我が国の優位性を持っている液化水素の分野においては、いち早く国際規格を取られ、研究成果に関しては 180 件を超える特許を取られている。また、外観等から構造を模倣できないもの、あるいは追跡性の難しい技術は秘匿するといった非常に見事にオープン・クローズをやられていると思うのですが、今回、水素のサプライチェーンの構築と燃焼による水素エネルギーシステムというのは結構リンクしている技術を各プロジェクトで行われていると思います。全体としてのオープン・クローズのマネジメントをどのようにされているのか、追加でご説明いただきたいです。

【坂室長】 ご質問ありがとうございます。オープン・クローズ戦略に関して、助成事業の場合は各企業が主体的に実施しているところですので、各企業の考え方を尊重しながら実施し、複数の企業で実施しているようなものに関しては、各企業間で話し合いながら進めていくといったところで、必要に応じて NEDO が関わっていくようなところを考えております。

【内本委員】 どうもありがとうございます。では、全体技術委員会みたいなところで議論をされるわけではないのですね。

【坂室長】 この事業に関しては実施していませんが、後継事業においてはそういった知財戦略であるとか、ここは取得したほうがよいであるとか、そういったところは積極的にやっていきたいと思っており、検討しているところでございます。

【内本委員】 どうもありがとうございます。

【河野分科会長】 ほかにございますか。大澤委員、お願いします。

【大澤委員】 丁寧なご説明をありがとうございました。マネジメントに関して少し伺います。15 ページに他事業との関係がございまして、これは以前から指摘があったことをきちんとまとめていただいたということで、とても評価しやすい絵になっていると思います。先ほど、坂室長から「縦軸がつくる・運ぶ・使う」であるといった説明がありまして、このマッピングを見ると、抜けなく埋められていると感じますし、10 年前に設定したマトリクスというのは正しかったものと認識をしています。

一方、11 ページのところに、右側の IEA が出されている「Global Hydrogen Review 2023」のところで、これは確か 10 月の GX ウィークの水素閣僚会議の中でも、水素ファイナンスのところで問題になっており、この投資決定できない理由が「オフテイカーがないからだ」というようなことで、金融機関側が、「つくった以上は売れるような買い手を見つけないと始まりません」といった指摘をされていましたが、私の印象ですと、これは多分海外の話であって、つくったら使うということを想定してやっている日本の戦略については、あまり当てはまらないのではないかと思っております。特に発電に使うと決めている以上、つくれば買うのだと、もちろんコスト的な政策支援はある程度必要と思うものの、15 ページのマトリクスを見ると、11 ページの日本のオフテイカーがないというのは、少しピンと外れな指摘ではないかと思うのですが、NEDO としてはどうお考えでしょうか。

【坂室長】 ご指摘ありがとうございます。まさに日本と海外で状況は違うと思います。今年行われた水素閣僚会議においても、IEA から、いろいろ水電解だとかそういった事業は世界中で乱立しているけれども、FID に進んでいるのは数パーセントであり、なかなか需要が見込まれていない。ですから、つくるだけでなく、使うほうをしっかりとそこもやっていかなくてはいけないといったご指摘がございました。日本においては、発電という使うところが明確にあって、川崎重工様も含め、そこは実際に液化水素を持ってくるだけではなく発電をするというところの体制も含めて、川崎地域でしっかりと検討しておりますので、日本において需要と供給のバランスが大幅に崩れていくというところは、私とし

ではそれほど大きな問題になっていないと考えます。ここの横断分野に書いてある地域で水素を利活用するためのポテンシャル調査、「地域モデル」と通称言っておりますが、ほかに採択審査委員もしていただいているところでございますけれども、地域それぞれの水素の利活用の全体的なモデルといったところのしっかりとした需要、供給を含めて検討しているという状況ですので、まだまだ量としては少ないかもしれませんが、バランスの観点では取られていると思っております。

【大澤委員】 ほぼ私の認識と一致していますので、安心しました。ありがとうございます。

【坂室長】 ありがとうございます。

【河野分科会長】 それでは、森田委員よろしく申し上げます。

【森田委員】 ご説明ありがとうございます。約10年間にわたるこのような大きなプロジェクトにおいて、2ページのところでは1テーマのみ6か月遅れたという話がありましたが、ほかは予定どおりだったというご説明でありました。この10年間でいくと、コロナがあり、最近では物価高騰があり、また途中では半導体等々の物が入らないというこれまででは考えられなかったことがありました。そのような中で、ほぼ予定どおり進まれたところについて、プロジェクトマネージャーの方がしっかりフォローをされていたといったご説明がございましたけれども、工夫されたところ、苦勞をされたところがいろいろあったと思います。ここまで成功に導かれたところに関して補足するものがあれば、ぜひご紹介いただきたいと思います。よろしく願いいたします。

【坂室長】 ご指摘ありがとうございます。まず、冒頭ご指摘ございました6か月の延長に関しては、液化水素の運搬船を海外に開港させるというPRも含めて行いましたけれども、そこに要する期間を延長させていただいて、中東であるとか、またG7といったところにしっかりとアピールするための延長ということで、非常に有効に成果をアピールできたものと思っております。また、ご指摘のとおり、事業期間中は新型コロナの影響であるとか、物価高騰、そして半導体がないというような状況に直面いたしました。特に物価高騰に関しては、液水だとか、ヘリウムだとかそういったものも含めて非常に高騰し、なかなか当初予定していた予算にはまらないというところで、そこはNEDOの予算も限界がございますから、助成事業に関しては企業の中で何とか工面をしていただくとか、NEDOが少し出せる部分に関しては成果を最大化させるという認識の下で追加的に加速したというところもございます。そのあたりは個別に不公平なくしっかりと見ながらできていると思っております。

【森田委員】 ありがとうございます。追加の質問になりますが、今、これまでの話を質問させていただいたのですけれども、これからのいろいろな課題がある状況ではないかと思っております。24ページですと、民間のほうでも「5,000億円の投資」といったご発言がありました。そのあたりも踏まえまして、これから取り組んでいくにあたって捉えられている課題について、そして、それをどのように解決していくのかといったところで概要的なコメントで結構でございますのでご回答いただければと思います。よろしく願いいたします。

【坂室長】 ご指摘ありがとうございます。一言で言うのはなかなか難しいのですが、先ほどご紹介させていただいたとおり、この事業には後継事業がございまして、その中でも継続して海外から水素を持ってくるところ、そして国内のサプライチェーンであるとか、大規模に発電していくというところで、まだまだ実際に使っていくところに関しては課題があると認識しております。そういったところはしっかりと課題を克服すべく後継事業で実施しているという状況でございます。また、補足的な観点では、水素のキャリアの部分に関しては、今回、液化水素、そして有機ハイドライドのMCHを使わせていただきましたけれども、やはりアンモニアを無視できないと思っております。アンモニアを大量に持ってきて、それをクラッキングし、水素として発電に使っていくであるとか、そういった後継事業の中ではオートサーマル式のアンモニア分解の触媒技術開発であるとか、加熱式のアンモニア分解の水素製造技術の研究開発であるとか、そういった新たな視点でのサプライチェーンの構築も企業様を中心に

取り組んでいただいているところです。我々として、これで十分というわけではなく、しっかりと課題を認識しながら進めていくことを認識しております。

【森田委員】 ありがとうございます。以上です。

【河野分科会長】 それでは、渡辺委員よろしくお願ひします。

【渡辺委員】 ご説明ありがとうございました。今のご質問に関連する部分もありますが、10年間という長い期間の研究を継続されてきており、途中のご説明にもありましたが、本当に世の中の動きの早い中で、10年前にこのプロジェクトを組成して狙っていたところは、当然ながら社会状況も大きく変わり、計画の見直しをはじめ、方向を少し変えられたところもあったのではないかと思ひながら聞いておりました。資料46ページでのご説明において、中間評価のときに「加速化」というキーワードの下で、一部そういった形で対応をされたという話でしたが、それというのはプロジェクトを早めに進めて短期間で終わらせたという意味なのか、もっと先に考えていたことをもう少し盛り込んで進めていくようにしたのかとか、そのあたりのところを具体的にお話いただければ幸いです。

【坂室長】 ご指摘ありがとうございます。政策の部分として、当初2014年から始まったところで、最初は水電解が始まり、研究開発項目2として、大型のサプライチェーンということを実施してきている状況でございます。実際に2013年、2014年に比べまして、現在交付金の事業としては予算が3倍ぐらいになっており、水素燃料電池だけでも年間220億円ぐらいになります。当時は70億円ぐらいだったと認識しておりますが、かなり政策的な後押しというものが非常に多いといったところでございます。その中で、2017年に水素基本戦略が出され、さらに取組が加速されていく。やはり一番大きな部分としては、我々は要素技術をしっかりと研究開発し、インテグレーションをして大規模、商用化していくというのを、通常の事業ですと民間企業に委ねる部分はあるところでございます。ただ、水素という非常に難しい技術ですので、そこにグリーンイノベーション基金事業というものが2兆円、そのうち水素関連だと8,000億円といった非常に大きな予算が投じられていく中で、我々の要素技術というものがこの事業の中でインテグレーションされ、これは基本的に助成事業で3分の2であるとか、2分の1の助成率でやっておりますので、民間の投資の部分を引き出しながらできたということは我々としては非常に後押ししていただいた重要な動きだったものと思っております。

【渡辺委員】 どうもありがとうございました。

【河野分科会長】 工藤委員、よろしくお願ひします。

【工藤委員】 説明のありました後継事業との関係というところで、線表を整理していただき非常に分かりやすくなったと思っております。その上で、私からの質問は、事前の質問票とも絡む内容となりますが、一部今回の事業で達成できなかった項目というのが、後継事業の中で行われているということで、水素の技術開発をしていく上で、シームレスに行っている点で非常に重要だと思うものの、一方、これまで行ってきた事業の課題が、次の後継のプロジェクトの中でも、見方によっては継続して行われている。つまり未達だったものが、解決の先送りのために後継事業のほうで行われているといったところの懸念、そのあたりはNEDO様のほうでのマネジメントとしてどのように見られているのかをお聞かせいただければと思ひます。よろしくお願ひいたします。

【坂室長】 ご指摘ありがとうございます。この事業の中で一部三角の部分もあるというのは、ご指摘どおりでございます。その点に関しては、基本的には民間企業の努力によって克服していくところがあると思ひますけれども、後継事業の中で、一部できるというようなところは対応していけることだと思っております。それは個別に企業と連携しながらしっかりとやっていきたいと思っております。ただ、その企業だけに重点的ということではなく、新たな課題の中で一部対応していくこともあるといった考えでございます。

【工藤委員】 分かりました。ご説明どうもありがとうございました。以上でございます。

【河野分科会長】 ありがとうございます。それでは、私のほうから質問をさせていただきます。46ページの「中間評価結果への対応」に関して2点お伺いします。1点目が、研究開発の成果について、冒頭でもお話がありました海外の水素の取組、10年前は日本が非常に先進的で、先に走っていたようなイメージがあったのですが、ここに来て海外の動きが非常に早くなっております。そうした中で、グリーンイノベーションでいろいろと進めるというものにプラスして、不足しているような取組あるいは手段がもしありましたら、ご説明していただきたいと思っております。

【坂室長】 ご指摘ありがとうございます。基本的な考え方といたしましては、海外の動向も含め、この事業でできなかったものについては後継の事業で実施していくところを認識しております。その意味では、非常に難しいご質問になるのですが、我々は、まず国内全体のサプライチェーンを構築していくということで、技術は当然足りないところは補っていく。やはり規制の部分であるとか、海外との国際標準化の中で連携していくようなところであるとか、また昨今、炭素集約度の話もございまして、G7でもご指摘あったとおり、海外から水素を持っていくときは、そういった共通のルールの中でしっかりと品質を定めていく、性状を明らかにしていくといった点が非常に重要になっていきます。後継の事業の中では、ISOのTC197の中のサブコミッティの中で、炭素集約度や大規模な水素サプライチェーンの中の国際標準の話をしっかりに対応していきたいと思っております。

【河野分科会長】 ありがとうございます。もう一点は、下の欄の「成果の実用化・事業化に向けた取組及び見直し」になりますが、「2030年までの実用化に至るシナリオを明確にしていく必要がある」というコメントに対して、「実プロジェクトを通じてシナリオを示すことができた」とのご説明があったかと思っておりますが、もう少し詳しくご説明いただければと思います。

【坂室長】 ご指摘ありがとうございます。グリーンイノベーション基金の水素のサプライチェーンにおいては、液化水素の大規模化ということで、水素フロンティアは非常に小さいものでございますけれども、その128倍、合計16万 m^3 の大型の商用船を造っていくというところで、具体的に実際の商用船としての技術のインテグレーションとして提示することができました。そして、有機ハイドライドに関しても、MCHを用いてグリーンイノベーション基金の中で、より大規模化し、国際サプライチェーンを構築していくという事業も立ち上がっております。そういった実際に要素技術のものが、よりスケールアップし、実際のサプライチェーン、具体的な国、そして相手国の企業であるとか、政府といったところが見える形で水素を日本に持ってくることを示すことができた点では、導入シナリオを明確に絵姿に示すことができたのではないかと思っております。

【河野分科会長】 ありがとうございます。細かい話になりますが、22ページに今お話のあった16万 m^3 クラス、128倍というものが2つありまして、この絶対値の規模感、つまりこの値を設定された理由と、これができることによる商用化へのつながりについてご説明いただければと思います。

【坂室長】 この点に関しては、午後に事業者様からご説明がある中で、なぜ16万 m^3 なのかといったところをお聞きいただきたいのですが、恐らく普通にLNG等を使われている船の大きさから16万 m^3 を最初の商用船と選定されたと思います。そうした実用化に向けた点に関しては、午後のセッションでぜひ改めてご質問いただければと思います。

【河野分科会長】 分かりました。そのほか、ご質問ございますか。渡辺委員よろしく申し上げます。

【渡辺委員】 もう一点教えてください。29ページ目にアウトプット目標の達成状況として項目がいろいろありまして、それぞれどうだったかが表にまとめられているのですが、水素エネルギー利用システム開発というところで、今日の午後、個社様から水素のガスタービンに関しては後継のGI基金事業であるとか、いろいろ流れが大きく見える部分があるのですけれども、例えば水素焚きボイラーとかCO₂フリーアンモニア利用GTCCであるとか、このあたりについては、要素的などところの開発がこのプロジェクトの中で出来上がっていて、あとはメーカー様がどう商売するかといったところまで持ってい

けたという理解でよろしいでしょうか。

【坂室長】 ご指摘ありがとうございます。詳細に関しては、卓上にございます事業原簿を含めご覧いただければと思いますけれども、ボイラーに関しては、三菱パワーインダストリー様だけでなく、実際にこれを導入する利用者側の状況もございますので、現時点では非常によい技術が出来上がっておりますけれども、なかなかその実際に導入したい、実際に石炭と混焼をしたときに、石炭がこれからどうなっていくのかといった話であるとか、実際にミックスさせるような化石燃料の将来性も含め、どのようにしていくのかというのは検討しなければいけない点ですので、継続してやっていくものと認識しております。また、CO₂フリーアンモニアに関して、クラッキングの技術を使ってということになりますが、こういったところは継続して企業の中で取り組まれているものと認識しております。

【渡辺委員】 ありがとうございます。継続というのは、NEDO プロではないのですか。

【坂室長】 NEDO プロではございません。

【渡辺委員】 分かりました。ありがとうございます。

【河野分科会長】 ありがとうございます。私からもう一点、NEDOによる水素のPR活動、成果普及に関して非常に面白い取組をされており、YouTubeでも配信をされて非常にカウントが上がっているという話です。他にも様々イベントをされておられますが、皆様の感触というのはどのような感じですか。また、他の取組をもし考えておられましたら、ご紹介いただきたいです。

【坂室長】 ありがとうございます。こういった取組は継続して実施していきたいと思っておりますけれども、代表的なものとしては、我々、福島県浪江町FH2Rで企業の方や大学の先生も受け入れておりますし、海外の方もそうなのですが、若者も来てご説明することがあります。実際に担当した職員から、非常に目がきらきらして心が洗われたというようなことも伺っております。非常によいと思えますし、実際に私も現場に立ち会いたいと感じました。やはり学生はすごく純粋で、こんなことが実際に起こるのか、今まで将来のCNに向けて、水素が実際エネルギーとして使えるのかと。中学では中2で水の電気分解を習うらしいのですが、それぐらいのお子さんが、これでしっかりと二酸化炭素がなくなる、そういったことが実際目の前で起こっているということで目を輝かせながら、そして非常に鋭い質問もされながら、我々人材育成を現場で体験しているというようなところを実感しております。また成果普及、PRに関しては、先日、ジャパンモビリティショーが東京ビッグサイトで行われましたけれども、東京フューチャーツアーというものをイベントの中で、実際水素をエネルギーとして使っていく、そういったところを訴求していくための展示だとか、講演という形で協力させていただきました。モビリティという車という枠組みだけではなく、水素という形でしっかりとPRするようなこともやってきました。また、既に報道ベースで出ておりますが、「HySE (ハイス)」という小型の水素エンジンの技術組合が設立され、その水素エンジンバギーが1月にダカール・ラリーに出ます。そういったところもNEDOとしてもサポートしていく。そういった水素の企業の取組もしっかりとサポートさせていただきながら、国民に対し、世界に対して発信していきたいと考えております。

【河野分科会長】 ありがとうございます。それでは、予定の時間が参りましたので、以上で議題5を終了いたします。

6. プロジェクトの詳細説明

6.1 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 実施者より資料6.1に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

【河野分科会長】 ご発表ありがとうございます。

それでは、質問をお受けいたします。内本委員よろしく申し上げます。

【内本委員】 非常に興味深いバーナーのお話をいただきましてありがとうございます。大出力化を目指されて高効率化を達成され、ただ、その場合には温度が高くなるため、うまく混合させなければいけないということで、マルチクラスター、多孔型の燃焼機を設計されて非常に多チャンネルのフローを精密に制御されているというすばらしいご研究だと思いました。

質問は、9ページに各ノズルのコンセプトで、クロスフローと同軸ノズルをご説明されていて、クロスフローは混合がよくなる。同軸ノズルは、これを見ると混合は逆火を抑える効果があるといった理解でよろしいでしょうか。

【斉藤次長】 基本的にはそうなります。

【内本委員】 その場合に、右側のところで同じ断熱火炎温度のところで、クロスフローのほうがよりNOx濃度が多いような結果なのですけれども、ここのところをあまり理解し切れておらず、補足をいただくとありがたいです。また、結局は同軸ノズル型でいかれるのか、クロスフロー型でいかれるのかという最終的なところの設計について、もし可能であればどういった形を今後考えていられるのかも含めて教えていただければと思います。

【斉藤次長】 まず1点目のご質問ですが、先ほどの私の説明と右側のグラフが一致していないのではないかといたところですが、このクロスフローと同軸フローは、噴射をしてから燃焼領域に出るまでの場所をコントロールすることによって、濃度は結構自在に変えられるのです。同軸ノズル、クロスフローのコンセプトは先ほど申し上げたとおりなのですが、その噴射位置によってNOxが非常に影響されまして、その影響を拾ってしまっているのが右のグラフになります。

それから、最終的にどの形でいくかというお話ですが、来年度実施する中小型のフルエンジンテストのほうでは、基本的には同軸ノズルタイプでいこうと考えておりますが、その後の大型GTに関しましてどちらの方式でいくのかは、今後検討の課題としてまだ捨てていないという状況でございます。

【内本委員】 よく分かりました。ありがとうございます。

【河野分科会長】 武田会長代理、よろしく申し上げます。

【武田分科会長代理】 すばらしい成果発表をありがとうございました。2つ質問をさせていただきます。1つ目は、5ページのところにマルチクラスター燃焼機の図がありまして、これが非常によい形だということとで特許を取られていると思うのですが、14ページのところでは具体的にどれになるのでしょうか。

【斉藤次長】 今のところ、この特許に関しては、設計自由度の確保ということで、まだこの中のうちの全部を使っているわけではなく、ここに書いてあるものは、今試験をしようとしているものの中にはまだ含まれておりません。ただ、今後の試験状況によってはこの特許を使うような状況が大いにございますし、一部コンセプトとしては導入しているものがございます。

【武田分科会長代理】 ありがとうございます。2つ目の質問ですが、16ページ目と18ページ目になります。まず16ページ目で「高砂水素パーク」の説明がありまして、18ページでも同じような説明がありましたけれども、基本的に「高砂水素パーク」というのは啓蒙活動にも使うと思うのですが、先ほど紹介した中小型タービンの実証試験の場としても使うという理解でよろしいでしょうか。

【斉藤次長】 そうなります。左上に5番と書いてあるところ「H-25 (40MW)」のほうで今回の事業成果のフルエンジンテストを来年実施しようと計画しております。

【武田分科会長代理】 基本的にこれは皆様に公開されるのでしょうか。

【斉藤次長】 成果に関しての発表に関する基本方針はまだ特にございませんが、実施ということに関しましては、実施するといったことをお話しするつもりでございます。

【武田分科会長代理】 ありがとうございます。

【河野分科会長】 森田委員、お願いします。

【森田委員】 ご発表ありがとうございました。また、すばらしい成果を挙げられており、敬意を表したいと思

います。2点質問をいたしますが、1点目は12ページのところでNO_xの目標が達成できなかったということでしたが、こちらについて今後当然この目標に対してアプローチをされるものと考えます。チューニングレベルでいける話になっていくのか、あるいはバーナーのところを大幅に改良をしなければならない課題なのか、そのあたりはどのように捉えられているのでしょうか。

それから、2点目は5ページのところで、非常に工夫されたバーナーになっており、これで逆火をしないように抑えているということでしたが、製品にする場合、当然逆火しない設計が第一ですけれども、逆火したときの安全対策を今後は考えなければならないように思います。そのあたり、今後製品化をイメージしたときに、どのような対策を考えていかれるのか、お話しできる範囲でコメントをいただければと思います。以上、2点よろしくお願ひいたします。

【斉藤次長】 まず1点目、チューニングレベルか大改造が必要かといった点ですが、これは設定する燃焼ガス温度によると思います。現在、中小型のほうの比較的温度の低い条件ですと、チューニングレベルで十分可能だと思っています。また、より高温になってまいりますと、チューニングレベルでいければよいのですが、今後のエンジンテストであるとか、その状況を踏まえて、可能性としては大きく変更をすることもあるかもしれませんが、このクラスター型燃焼機の採用といった基本コンセプトを変えるつもりはございません。また、「改造」と言いましても、本当の大改造といえますか、全く違う上のノズルを使うであるとか、そういったことまでは検討をしていませんので、広い意味ではチューニングレベルで対応可能と思っています。

もう一つのフラッシュバックに対する安全性の担保をどうするかといった点ですが、人的被害をこうむるような危険なことではないのですけれども、発電所を止めてしまうということがございますので、このフラッシュバック発生をいかに発生させないか、基本的には絶対発生させないような構造をしっかりつくといいことが条件になります。その上で、万が一発生してしまった場合にどうやって検知して安全にプラントを止めるかが重要となりますので、燃焼機のところに随所に熱電対をつけて、しっかりモニターをして、フラッシュバックをした瞬間に瞬時にトリップさせる、もしくはランバックという負荷を下げるような処置をする。そういう安全機構を設けるとか、もしくは、ガスタービンの後ろに温度計をつけて排ガス温度をモニターしながらフラッシュバックしたことをちゃんと検知する。そういった検知技術の開発は今後のフルエンジンテストを踏まえて研究開発をしていく必要のある要素と認識しております。

【森田委員】 引き続きの開発に期待しております。どうもありがとうございました。

【河野分科会長】 渡辺委員、お願いします。

【渡辺委員】 ご説明ありがとうございました。幾つか教えてください。私が聞き漏らしておりましたら申し訳ございません。12ページ目の実圧燃焼試験を行われた燃焼器の大きさについて、最初に大型燃焼器はFクラス以上の大きさというお話でしたが、この試験自体はF・G・Jでどれぐらいなのか。あと、長時間試験の長時間というのは大体何時間ぐらいやられたのかを教えてくださいませんか。

【斉藤次長】 燃焼器のサイズは中小型ですと200ミリオーダーでございまして、大型のほうですとF・G・Jで大体燃焼器の直径は同じですが、300から400の間の燃焼器直径となります。本実圧燃焼試験は大型GTで実施していました。もう一つのご質問の時間ですが、先ほどの約4万m³の水素で約1時間弱ぐらいの燃焼試験になっております。

【渡辺委員】 これは専焼の燃焼器ですので、着火から全部水素だけでいけるという理解でよろしいですか。

【斉藤次長】 そこは少し技術的のチョイスになります。基本的には、現在の試験では天然ガスで着火して、Fuelチェンジオーバーをして水素に切り替えるという手を打っておりますけれども、そこは最初から水素で着火というのも技術的にチョイスとしてはございますので、今後のお客様の燃料の供給性能であるとか、供給において2つ燃料を有するというのもございますので、そのあたりに依存してくる

ところはございます。

【渡辺委員】 分かりました。もう一点よろしいでしょうか。17 ページ目に海外プロジェクトの関わりというところで、ご説明の中では今アメリカのプロジェクトのほうを 2040 年というようなお話がありましたが、もっと早いところで、オランダのマグナムプロジェクトというものが確か水素専焼で 2025 年であったか、一番最初がそれぐらいのスケジュール感というようなことが示されていて、それが遅れているというお話は聞いているのですけれども、こちらとの関わり、今回の成果の反映であるとか、そういったところを分かる範囲で教えていただければと思います。

【斉藤次長】 この点はお客様の都合がございまして、我々のアンコントロールのところもございまして、申し訳ございませんが、どうかご容赦願います。

【渡辺委員】 専焼ですから、この成果が反映されそうだという感じではあるのでしょうか。

【斉藤次長】 技術的にはそのつもりでございます。

【渡辺委員】 分かりました。ありがとうございます。

【斉藤次長】 それから、先ほどのアメリカ「2040 年に」といったところは、「2040 年代」と幅を持たせたものでございます。

【渡辺委員】 ありがとうございます。

【河野分科会長】 大澤委員、よろしくお願いします。

【大澤委員】 ご説明ありがとうございました。こういった先端技術が世界全体の排出削減に寄与していくのだろうと非常に期待を持てる成果だと思います。また、今、海外の話がありましたが、17 ページのところで見ると、どうも実用化は海外が先行しそうであり、その理由として、例えばタクソノミーがあるとか、水素が多分きれいに安くつくるといったほかの条件がそろっているのだと思いますが、せっかくの技術なので、日本の排出削減にも貢献してほしいと思うわけです。例えば今から 10 年後に発電事業者が特定事業者負担金といったものが始まるというようなことは一つのきっかけになるのではないかと思います。ただ、この専焼が大型の場合は 2030 年レディーということで、ぎりぎり時間軸でいうと間に合うような気もするのですが、日本の発電事業者に対するマーケティングであるとか、日本の排出削減に寄与するタイミングであるとか、そういった見通しがあればご説明いただきたいです。

【斉藤次長】 皆様、よくご存じだと思うのですが、水素供給の量が莫大ですので、そこをどれだけ準備できますかといったお客様側のご事情がございまして、我々としたしましては、技術的にはまずレディーにしておくというのが必要条件となっております。CO₂ 削減という観点では、最初に水素混焼化、ここに書いてございます 50%を先に実用化し、そこで少しでも CO₂を削減していきまして、そこで水素の供給インフラが徐々に整っていきまして水素 100%でも供給できるという状況が整ってからの適用と思っていますので、我々としたしましては、まず 50%混焼、プラスアルファということもあるかもしれませんが、そこをまず早く整備し、水素のサプライチェーン構築を加速したい。そういった戦略であります。

【大澤委員】 分かりました。外部環境に依存するということですが、技術のポートフォリオとしてそろえておくということは非常に価値があるものだと思っております。ありがとうございます。

【河野分科会長】 それでは、私から 1 点だけ伺います。17 ページの海外展開のところですが、燃焼器のところは日本で造られて向こうに持っていかれるのか、あるいは向こうで造られるかといったところではどのようにお考えでしょうか。

【斉藤次長】 ガスタービンの製品ということでしょうか。

【河野分科会長】 燃焼器の知的財産の話をしたかたのですが、海外で造るといった場合、特許の数が少ないように感じたのですが、その点はいかがですか。

【斉藤次長】 基本的に、燃焼器など高温部品に関しては、最初は国内で造っていく形になると思います。その後、米国にも工場がございますので、そこで製造という選択肢としてはありますけれども、知財と絡めた製造拠点に関しては申し訳ございません。今のところまだはっきりお答えできるような回答を持っておりません。

【河野分科会長】 分かりました。それでは、予定の時間が来ましたので、議場で議題 6.1 を終了といたします。

6.2 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

実施者より資料6.2に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

【河野分科会長】 ご発表ありがとうございました。

それでは、質問をお受けいたします。森田委員よろしくお願います。

【森田委員】 ご発表ありがとうございます。世界最先端の成果が得られているということですので素晴らしいと思いました。質問は2点ございます。まず1つ目は、15 ページで EGR 量の変更で「過大に入れると非常に効果が大きい」といった話がありましたが、過大といったところのイメージが分からず、そのレベル感及び理由をお聞かせいただきたいです。

それから2つ目は、21 ページで「4 時間の運転で」といった話がありましたが、この4時間がどういう意味を示すのかといったところのコメントをいただければと思います。よろしくお願いたします。

【仲井基幹職】 まず1つ目の EGR 量に関する問合せについて回答いたします。通常ですと、EGR というのはエミッションを改善するために投入するものというのが一般的ですが、今回の場合は利用目的が異なっており、エンジンの異常燃焼抑制を目的に EGR をするというところは新しい試みだと考えております。通常のディーゼルエンジンのエミッション低減という使い方ですと、EGR 率で言えば 20%、30%といったオーダーになります。今回、異常燃焼抑制の具体的な数字というのは控えさせていただきたいのですが、この数字をさらに上回る今までのエンジンにはないような EGR 率になっているところで「過大」と表現させていただきました。

【宮本基幹職】 ご質問ありがとうございます。2点目の4時間の意味ですが、本事業内で整備したエンジンで少し運用上の理由がありまして、朝にエンジンを起動しまして暖機を行い、その後、実際にパラメータ調整を行って連続運転を行っていくと、日中の間でできる時間が4時間ということで今回4時間とさせていただきます。一方で、その後、種々運転を行っておりまして、4時間以上の連続運転というのも当然データを取っております。ここの4時間は、そういった理由になります。

【森田委員】 分かりました。ありがとうございます。

【河野分科会長】 ありがとうございます。すみません、ちょっと私から2点あるのですが、31 ページの左側の図の出力帯は kW ではなく、MW でしょうか。

【仲井基幹職】 申し訳ございません。誤記になります。正しくは MW です。

【河野分科会長】 そうですよ、KW ですと全然違いますので、この資料のほうを直していただけたらと思います。

【仲井基幹職】 承知いたしました。

【河野分科会長】 それから資料全般ですが、事業化される場合は単気筒でしょうか。それとも、多気筒にされてさらに大型化されるのか。このあたりは、どのようにお考えでしょうか。

【仲井基幹職】 単気筒というのは燃焼試験用の試験機で用いるものと考えております。したがって、製品となる場合はシリンダを横にたくさん並べた多気筒のエンジンになると考えていますので、あとは

シリンダの数で出力を変えていくというようなバリエーションになると考えています。

【河野分科会長】 その場合の技術的なハードルは、単純に並べるだけなのでしょうか。それとも難しいハードルがあるのですか。

【仲井基幹職】 様々な問題はあるのですが、単筒試験機の場合ですと、いろいろな燃焼条件を再現するために強制的に吸気の圧力をコントロールするなど、自由自在にコントロールできるような仕様になっております。一方、多気筒の場合ですと、過給機を載せて吸気と排気のエネルギーのバランスで吸気圧力が決まりますので、このあたりをきちんと効率よくバランスを取ることや、横にシリンダをたくさん並べますと、気筒間のばらつきが生じてしまいますので、これをいかに抑えるかというところもポイントになっていきます。また、最終的に製品化を目指すには多気筒での耐久性を見るというのも課題の一つになっていると考えています。

【河野分科会長】 ご説明ありがとうございます。それでは、工藤委員よろしくお願ひします。

【工藤委員】 ご説明ありがとうございました。3点確認をさせていただきます。まず1つ目は、24ページのところで、今回シリンダボア径が300ミリ級ということで「高出力」と書いてあるのですが、具体的に出力としてどれだけ出るのかという情報を教えていただければと思います。

2つ目は、25ページ目になります。水素燃焼エンジンが今回開発で35g-CO₂/kWhと出ていますけれども、具体的に何を含んだ数字として35なのかを教えていただければと思います。

3点目は、今回の3つの開発項目の中で①と②のほうに名前の中に「水素燃焼の最適化」とことが書かれておりますが、私の分野で言いますと、最適化をするといったときには、何か関数を最小化するのか、最大化するのかということいろいろ考えてしまうのですが、今回の事業の中で、「水素燃焼の最適化」といった場合、何を最適化されているのかというところを、すみませんが専門外であるため、教えていただければと思います。よろしくお願ひいたします。

【仲井基幹職】 ご質問ありがとうございます。まず1点目ですが、今回の開発エンジンの出力というところで、冒頭のほうで説明させていただきましたが、多気筒にした場合にシリンダ数にもよるのですが、2メガから8メガワット級のエンジンサイズになる想定で考えております。回答になりますでしょうか。

【工藤委員】 ありがとうございます。

【仲井基幹職】 続いて2点目の今回開発エンジンのCO₂排出量の計算根拠というところですが、今回、水素混焼率95%ということで、5%は重油を使用しております。この5%の重油から排出されるCO₂の量が35gということで計算しております。ですので、700gに対しておおよそ5%になっているような計算です。

【工藤委員】 この重油というのは、重油のスコープ3の部分が入っていないという理解でよろしいでしょうか。

【仲井基幹職】 こちらはA重油相当で考えております。

【工藤委員】 直接燃焼分だけでしょうか。

【仲井基幹職】 そうです。

【工藤委員】 承知いたしました。ありがとうございます。

【仲井基幹職】 それから3点目ですが、今回の最適化というのは、エンジンにおけるパラメータが種々あるのですが、そのパラメータを振って一番よいところを見つけるという意味で「最適化」と書かせていただいております。例えば、EGRで言いますと、EGR率の一番よいところはどこかといったところであるとか、右側の着火タイミングですと、一番よい着火タイミングはどこかといったように各パラメータ、数字が振れる要素があるのですが、その中から最適なものを見つけていくということで「最適化」という言い方をさせていただいております。

- 【工藤委員】 つまり、それぞれのものによって今おっしゃった EGR 率等といったものが、それぞれのパラメータが組み合わされて一つの何かしらの評価対象のものがあって、そこで EGR 化率の場合はそれが最大になるとか、そういったことになりますか。
- 【仲井基幹職】 ここでは「過大」と書かせていただいておりますが、EGR 率をさらにどんどん上げることは物理的には可能です。最終的には 100% というのも可能ですが、振り過ぎると今度は酸素がなくなってエンジンが燃焼できなくなるというような問題がありますので、やはり最適なポイントがあるということで、この最適なポイントを見つけていくというような作業になります。
- 【工藤委員】 その見つけるポイントというのは何をもちいて判断するのかというのを、そこが知りたいです。
- 【仲井基幹職】 最終的な目標は水素混焼率 95% で、いかに平均有効圧力というのを上げられるかを指しておりましたので、最も平均有効圧力を上げられる仕様を最適化していくという考え方になります。
- 【工藤委員】 ご説明いただきましてありがとうございます。よく分かりました。
- 【河野分科会長】 武田会長代理、よろしくお願ひします。
- 【武田分科会長代理】 水素燃焼エンジンに関する最先端の研究に敬意を払いたと思います。質問は 2 つありまして、1 つ目が 30 ページの成果の実用化・事業化に向けた戦略において、離島における発電利用を想定されているということですが、具体的にどこかイメージされているところはあるのでしょうか。
- 【仲井基幹職】 すみません、具体的にここだというのは持ち合わせていないのですが、一般的に離島ではディーゼルエンジン等が使われていると認識しております。ですので、水素普及の当初はディーゼルと水素ガスのどちらでも運転できるものが必要であろうと考えておまして、今回のような水素とディーゼルのどちらでも運転できるようなエンジンの開発を進めてまいりました。
- 【武田分科会長代理】 ありがとうございます。2 つ目は、32 ページの実用化・事業化に向けたスケジュールと課題において、一番下に「船用向け水素エンジンの開発 (GI 基金)」と書いてあるのですが、これは、いわゆる船舶用の水素エンジンの開発だと思います。今ダブルフューエルというエンジンが開発されておりますが、そういったものと似たようなイメージのダブルフューエルを狙って最終的に水素専焼のエンジンを開発するというイメージでしょうか。
- 【仲井基幹職】 陸上発電用途向けには、先ほどご説明したとおり、離島向けにディーゼルと水素の両方で運転できるもの、船用に関しましても同様に、冗長化というものが求められますので、水素で運転できるのはもちろんですが、ディーゼルでの冗長性というのも求められるところから、こちらにおいても水素とディーゼルの混焼が開発するエンジンとしては最適と考えています。
- 【武田分科会長代理】 この場合、パワーはどれくらいを想定されるのでしょうか。
- 【仲井基幹職】 エンジンの出力は、先ほど申し上げたとおり、2 メガから 8 メガワット級のエンジンというところで考えています。
- 【武田分科会長代理】 分かりました。ありがとうございます。
- 【河野分科会長】 渡辺委員、よろしくお願ひします。
- 【渡辺委員】 ご説明ありがとうございます。幾つか教えていただきたいのですが、18 ページ目の数値解析のところは、燃焼反応とか温度解析とか全部を含めて CFD という理解でよろしいですか。
- 【宮本基幹職】 本事業内では、燃焼のところにはまだ踏み込んでおらず、水素と燃料の混合状態の評価にフォーカスを当てております。
- 【渡辺委員】 分かりました。モデル A の RANS、C の Parcel を選定されたという説明でしたが、精度で言えば絶対 LES なのですけれども、実際、今回検討をするにあたっては計算時間が一番重要であり、ほかのところはそこそこのレベルに達しているため、計算時間を最優先したという理解でよろしいですか。

【宮本基幹職】 おっしゃるとおりです。

【渡辺委員】 分かりました。それと、30 ページ目あたりの事業化といったところで、実際にこれを離島などで活用となったときに、もう既に入っているものがあると思うのですが、今回技術開発をした技術というものが既設のもの改造で対応できるのか、それともエンジン自体は新しいものという考え方になるのか、どういうイメージでしょうか。

【仲井基幹職】 我々、製品としてディーゼルエンジンというのは船用の MAN のツーサイクルエンジンしか持ち合わせておりませんので、今回ガスエンジンベースとなります。今申したとおり、離島ではディーゼルと水素の混焼と考えていますので、我々川重としましては新エンジンということで考えております。

【渡辺委員】 分かりました。あと、船用のエンジンというところで、32 ページ目で GI 基金の中で技術開発をされているといったことですが、船用のエンジンと発電用のエンジンで何か大きな違いとかは出るのでしょうか。

【仲井基幹職】 基本的な技術については同じものであると考えていますが、船用の場合は船級ルール規則にのっとる必要があるというところで、少し特殊な対応は必要になると思っています。ベースは同じ技術でいけると考えております。

【渡辺委員】 分かりました。ありがとうございました。

【河野分科会長】 ありがとうございました。それでは予定の時間が参りましたので、以上で議題 6.2 を終了いたします。

6.3 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

実施者より資料6.3に基づき説明が行われ、その内容に対し質疑応答が行われた。

【河野分科会長】 ご発表ありがとうございました。

それでは、質問を受け付けます。内本委員よろしく申し上げます。

【内本委員】 最初の大型輸送・貯蔵技術についてご質問いたします。液体水素のサプライチェーンの実現のために非常に重要な世界初の大型の貯蔵容器について材料を選定され、構造も緻密に設計されて、また接続部分等の実際の工学的な問題も考えられて、蒸発率の非常に小さな材料容器を開発されたという素晴らしい成果だと思っています。その上で、ちょっと分野が違うので教えていただきたいのですが、11 ページにプロジェクトの達成状況が書いてありまして、海上輸送の場合 4 万 m³ で 0.4%/日、大型の場合に 5 万 m³ で 0.26%/日というこの違いというのは比表面積だけの問題なのか、そもそも海上輸送と地上での大型の貯蔵で全く設計の何か思想が違うのか、そこを教えていただきたいです。

あと、液体水素のサプライチェーンを実現するために、さらにもう一段蒸発率というのを向上させなければいけないのか、現時点でも十分商用に耐えられるレベルなのかという 2 点について教えていただけますか。

【猪股 PM】 川崎重工の猪股からお答えいたします。最初の質問の蒸発率については、おっしゃるとおり、船のタンクと基地のタンクで構造は異なってまいります。また、目標の考え方についてもそれぞれ考え方が違っており、輸送用のタンクにつきましては海上での燃料として蒸発したガスを使うということから、燃料として使う機関の水素の使用量に基づいて蒸発量を算出しているということになります。一方、基地のほうは、基本的に水素は調整電源で使うと思われまして、夜間についてはなるべく蒸発ガスをため置きをしておくという考え方で、その場合でもタンクの設計圧が設計圧以上にならないということを考えて蒸発率を設定しております。

そういった背景から、2つ目の質問につきましては、今のところこの蒸発率で商用化としても成立していくと思いますけれども、船の機関の効率がよくなれば蒸発率はもう少し低くしても機能していくということになってまいります。

【内本委員】 非常によく分かりました。初歩的な質問に対しましてありがとうございます。

【河野分科会長】 それでは、武田会長代理をお願いします。

【武田分科会長代理】 非常に大型の研究開発をされてご苦労されたと思います。質問は、最初の大型タンクのところと、ローディングアームの質問を続けてさせていただきたいと思います。初めに大型タンクの質問ですが、先ほどのご質問にも似たものになるかもしれませんけれども、陸上用の大型のタンクが7ページに書いてありますが、いわゆる平底の円筒容器で、それに対し、海上輸送用のタンクが10ページに書いてありまして、これは球形タンクで形状も違いますし断熱構造も違うと思うのですが、基本的に海上輸送用のタンクは断熱真空槽を用意していると理解してよろしいのでしょうか。また、それに対して、平底用の円筒容器はそうではなく、断熱材を封入している。低圧の水素ガスで断熱をされていると理解してよろしかったでしょうか。

【猪股PM】 まず陸上タンクについてお答えしますと、陸上タンクは、おっしゃるとおり真空ではなくガスの雰囲気化での断熱材を使用するという構造になっております。平底円筒にしている理由としましては、設置面積に対する容積効率がいいということが理由になっております。対して船のほうは揺動や強度的な要求というのもございますので、今のところ球形を第一に考えております。断熱構造について東のほうから回答いたします。

【東部長】 大型船の断熱構造に関しましては、真空断熱ではございません。常圧断熱を使用しております。

【武田分科会長代理】 常圧一気圧という意味でしょうか。

【東部長】 はい。

【武田分科会長代理】 分かりました。続けて2番目の商用ローディングアームに関する質問をさせていただきますが、19ページ、20ページにシール性能の検証が必要だということで、試験時にリークが発生したということでしたが、これはシール材を取り替えることによってリークはクリアできると考えてよろしかったでしょうか。

【戸部室長】 TB グローバルテクノロジーズの戸部でございます。ご質問ありがとうございます。まず緊急離脱装置は、ローディングアーム、海の船舶と陸側をつなぐ機械です。有事の際に荷役を停止し、この緊急離脱装置が働きます。その中で、今回JAXA様の試験場で試験した弁座リーク試験というのが別にご覧いただけます。ここで、このスライドの上側と下側に2つの弁体がありまして、これを閉止してリークがないかといった試験は合格しております。私の説明がちょっと不足していたのですが、リークがあったというのは強度試験、つまり、この弁体を閉止した状態で内圧をかけて、また外部の荷重をかけて、所定の時間数漏れないかという強度試験を行いました。弁体は、先の試験で漏れないことが確認できておりますが、漏洩してしまったのは弁体間の残液のところの部分でございます。原因として推察しておりますのが、「クランパー」と赤色で書いてある箇所の締めつけ力が不足していたという検証結果でございます。クランパーから水色の部分、ボディ側に伝わる力が皿ばねを通してしっかりと伝えるよう設計していたのですが、それが設計値どおり締めつけ力が伝わっていなかったという結論をしておりまして、その設計の変更を行い、今後のプロジェクトに投入していきたいと考えております。

【武田分科会長代理】 分かりました。ありがとうございます。

【河野分科会長】 大澤委員、よろしく願いいたします。

【大澤委員】 ご説明ありがとうございます。2ページのところで、質問の対象はどなたでも構わないのですが、この4社が図のとおりつながっているということで、今後商用化に向けて何かチームみたいなものをつくって市場を取りに行くような、要はシナジー効果が今回の事業で生まれそうなのかという

ところをお聞きしたいと思います。

【猪股 PM】 ご質問ありがとうございます。川崎重工の猪股です。各社がタッグを組んでというよりは、結果的にはこういった各社の機器が次のフェーズである商用化実証において活用することで、また商用へのめどがついてくるといったようになっていければと考えております。商用化実証というのは経済性も含めた検証ということになってまいりますので、そういったところを含め、各社の機器を使って検証していければと思っております。ただ、商用化実証につきましては、我々自身が事業者というわけではないので、なかなかそのあたりをコントロールというのは我々だけでは難しいところではあるのですが、そのように考えております。

【大澤委員】 分かりました。ありがとうございました。

【河野分科会長】 渡辺委員、よろしく申し上げます。

【渡辺委員】 ご説明ありがとうございます。実は私も今のところが気になって聞きたかったところになります。要は2ページ目で図になっていますけれども、①から④までそれぞれ分担を持った構成の全体像になっている。これを今回進めていく中で、それぞれの事業者間での何か情報共有、連携みたいなところが個別にありながら進んでいるような場面があったのかとか、あるいはNEDO様がこのあたり全体をうまく連携させるようなアクションがあったのかとか、その辺のところはどうだったのか興味がありまして、教えていただければと思います。

【猪股 PM】 ありがとうございます。質問の意図を先ほども少し履き違えていたかもしれないのですが、恐らく商用化につながるまでの機器の開発に沿った今回の開発ですかということかと思うのですが、そういったことでよろしいですか。

【渡辺委員】 それぞれやられていたことは商用に沿ったことをやられていたと思うのですが、それに当たって事業者間連携みたいなところで必要な情報の共有等そういった部分を持ちながら進めている話なのか、それとも、今回のフェーズはまだそこまでではなくて、自分のところだけしっかり頑張ればよかったのかといった点です。

【猪股 PM】 我々の間では商用の実用化に向けて、そこでどういうものが必要で、それに際してはこういったそれぞれの機器が必要になる、そのための開発というものを各社で行っていくということで、将来の絵姿というのは同じものを持った上で、各社の中で連携して行っているということですので、最初の時点でもそうですし、開発中も都度情報交換を行って、出来上がったものが使えないというようなそういうことはないようにということで一緒に開発なり情報交換を行ってまいりました。

【渡辺委員】 ありがとうございます。全く独立でばらばらでということではないということでも理解しました。

【河野分科会長】 森田委員、よろしく願いいたします。

【森田委員】 ご発表ありがとうございます。私からは、液化水素昇圧ポンプの開発のところで1つだけ質問させていただきます。事前質問でも質問させていただいたのですが、46ページの水素脆化のところで、鋳物Aと鋳物Bで、Bのほうは脆化するが使用可能と判断したとなっております、事前質問のところでも両方の物性の違い、Bのほうが優れているところもあるといったようなコメントがあったかと思いますが、もう少しこの部分についてコメントをいただければと思っております。どうぞよろしく願いいたします。

【池田様】 ご質問ありがとうございます。鋳物A、B、Cと試験を行いまして、Cについては鋳物Bよりも水素脆化量が多く、スライドの下のほうに書かせていただいておりますけれども、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といったものを基準としてBとCの両方を見たときにCは基準に満たなかったためBを採用しようと考えております。よろしいでしょうか。

【森田委員】 C といいますか、A と B の判断のところで、A を使えばよいのではないかと思ったのです。そちら側のほうもコメントをいただければと思います。

【池田様】 大変失礼いたしました。ポンプの材料と言いましても、この A、B は構造材料で、各部品において求められる機能が異なるので、適材適所ということで、圧力であるとか、線膨張係数といった物性を踏まえて使い分けていこうと考えております。あるポンプにおいては鋳物 A だけで成り立つものもあれば、A と B の両方を使わないと成り立たないポンプもあるので、A、B 両方を採用しようと考えております。

【森田委員】 分かりました。ありがとうございます。一番下に書いてある「材料の選定根拠となる」という意味でのデータとしては非常に重要なデータだと思います。以後もいろいろ評価されると思っていますが、今回の成果が今後活かされることを期待しております。どうもありがとうございました。

【池田様】 ありがとうございます。

【河野分科会長】 武田会長代理、よろしくをお願いします。

【武田分科会長代理】 最後の液化水素昇圧ポンプについて質問させていただきます。55 ページに実用化・事業化に向けたスケジュールと課題が書いてありまして、商用実証が 2025 年、その後の 2030 年に水素発電用ポンプの事業化となっているのですが、これの対象としているのは小型液化水素昇圧ポンプだけと認識してよろしいでしょうか。それとも、さらに大型化したり高圧化したりするということが想定されているのでしょうか。

【池田様】 商用実証また商用化、商用向けのポンプともに大型化が必要なところと考えておりますので、今回得られた基本技術を使って取り組んでいこうと考えております。

【武田分科会長代理】 関連して 47 ページに性能のデータがあるのですが、単位がないのはあえて抜かしているということでしょうか。

【池田様】 こちらにつきましては、申し訳ございませんが、非公開とさせていただいております。

【武田分科会長代理】 分かりました。ありがとうございます。

【池田様】 ありがとうございます。

【河野分科会長】 それでは私から伺います。まず冒頭でご質問した 16 万 m³ について、ご回答をいただきありがとうございました。それに関して、素人で申し訳ございませんが、2 ページ目に関連しまして、定置用が 5 万 m³ で、それを今後複数台いっぱい広げていかれるのか、それとも、もっとこれより大型化したタンクを造られるのかというのは、どのようにお考えでしょうか。

【猪股 PM】 将来的には大型化を考えております。LNG タンクの場合でも、やはりどんどん大型化していつて、今は 20 万 m³ クラスのものになっておりますので、液化水素タンクにつきましても、今 5 万 m³ ですが、将来的には大きいものを。ただ、今回の設計思想を基にして、これで設計を変えていけば 20 万 m³ といったところまでの開発はできたものと考えております。

【河野分科会長】 LNG だと 20 万 m³ ぐらいですので、船は 16 万 m³ ぐらいで設定されているのだろうかと思いつながら質問をしていたのですが、その場合のスケールアップでの一番のハードルというのは、どのあたりになるのですか。

【猪股 PM】 基本的には、断熱構造であるとか、材料というものは同じものになってまいりますので、あとは設計的なところとっております。そういったところにつきましては、LNG タンクの平底円筒の経験を弊社は持っておりますので、そういったところのノウハウを使って大型化ができると考えております。

【河野分科会長】 分かりました。ありがとうございます。それでは予定の時間が参りましたので、以上で議題 6.3 を終了といたします。

(非公開セッション)

6. プロジェクトの詳細説明

6.4 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

省略

7. 全体を通しての質疑

省略

(公開セッション)

8. まとめ・講評

【渡辺委員】 電中研の渡辺でございます。本日はNEDOの皆様、それから実施者の皆様、丁寧にご説明いただきまして誠にありがとうございました。この10年の研究推進として、しっかりしたマネジメントの下、また実施者の強い熱意の下で着実に成果が創出されたものと思ひ、敬意を表したいと思ひます。また、2050年のカーボンニュートラルに向けた国の目標も設定され、社会実装につながるという意味でのGI基金事業に進んでいる状況になっております。そういったところに本日の成果が着実につながることを期待しています。それから、発電利用について私の立場から言いますと、発電側は「脱炭素」にプラスして「電力系統安定」というキーワードも別にありまして、そうなりますと、利用技術として発電側の調整力、発電機器、火力機器というのは系統の安定に貢献する技術という部分がありますので、今までの技術開発としては着実に運転できるということになります。この先は「水素も利用した調整力」がキーワードになってくると確信しておりますので、そういった方向性もぜひ頭に入れた開発が進むことを期待したいと思ひます。あと個人的には、普及に向けて一番重要なことは適正な価格で大量に水素が入手できることが大前提だと思ひますので、関連する技術開発と、インフラをしっかりと整備され、今後の水素社会に向かっていけるようお願いしたいと思ひます。本日はありがとうございました。

【河野分科会長】 ありがとうございました。次に、森田委員よろしくお願ひします。

【森田委員】 大阪ガスの森田でございます。製造、輸送、利用それぞれのサプライチェーンの中で研究開発・技術開発が長きにわたってここまで取り組まれたということ、そして本日聞かせていただきましたけれども、それぞれ成功に至っているということで、これはNEDOのマネジメントによるところが大きいと思ひます。さらに各企業様、関係者の皆様それぞれが尽力されたことによると思ひます。それらに敬意を表します。本当にありがとうございました。これからまたグリーンイノベーション基金等々で実証あるいは実装のほうにステージが移ることになると思ひます。この10年間もコロナや物価高騰など予想外の出来事があつて、それを苦しみながらも乗り越えてきたと思ひます。これからのいろいろなことが起こってくるかもしれませんが、皆様の情熱と力を合わせて乗り越えていただきたい。そこには技術者の力が必要不可欠だと思ひます。これからはますますのご活躍、ご尽力に期待しております。本日はどうもありがとうございました。

【河野分科会長】 ありがとうございました。次に、工藤委員よろしくお願ひします。

【工藤委員】 産総研の工藤でございます。本日ご説明いただきました事業者の皆様、またご準備いただきましたNEDOの関係者の皆様、本当にありがとうございました。非常に私自身も勉強させていただきました。私は、午前中のセッションで申し上げたとおり、水素関連の事業というのが、いろいろな事業がシームレスに続いてきているというのが非常によいことだと思ひます。特にその中で、この事業の10年については、最後の5年間でコロナであるとか、あとは価格高騰もありながらも、当初の目

的を達成していただいた事業者の皆様にご敬意を表したいと思います。その一方、ちょっと積み残しとは言いませんが、まだ今回の事業で完全に達成し切れなかったものを次の事業に活かすということもありますので、その部分は、NEDOの皆様におかれましては、しっかりその部分がGI基金事業のほうに活かされますようマネジメントをよろしくお願ひしたいです。あと、私自身、最近この1年ほど炭素集約度の議論などをいろいろやっております、その中でいろいろ話しておりますと、水素関係は日本がリードをしている状況だと思いますので、こういった技術開発も含め、世界に負けないような形で水素社会の先頭を日本が走っていけるように、私も微力ながら貢献したいと思っておりますけれども、本日ご説明いただいた事業者の皆様、またNEDOの皆様におかれましても、引き続き元気な日本に持っていけますようご尽力いただければと思っております。よろしくお願ひいたします。本日はどうもありがとうございました。

【河野分科会長】 ありがとうございます。次に、大澤委員よろしくお願ひします。

【大澤委員】 大和証券の大澤です。本日は推進部の方及び実施の方におかれましては、お疲れさまでございました。この10年のプロジェクトが始まる前に、ある学者さんの「新しいエネルギーというのは三世代ぐらい構造転換をするのにかかるのです。だから、私は人づくりから始めます」といった言葉がございまして、それを少し思い出していました。一世代が10年ぐらいだとすると、今回のNEDO事業はまさに一世代きちんとやり切ったという評価ができるのではないかと思います。これは、ひとえにNEDOのマネジメントと、それから実施者の努力のたまものになってくるわけですが、これからは二世代、三世代と、こういった研究開発、投資、それから実用化につなげていくことによって、2040年、2050年ぐらいまでは本格的な水素社会というのができてくるという見通しを私は今回きちんと見ることができたように感じます。一方、普段私は資本市場で働いているのですが、今年一番のメインのトピックスとしては、GX経済移行債が発行されます。来年2月に国債として発行されるということで、これは債権ですけども、それによって20兆円が調達され、その一部がGXとして水素に使われるということで、私の目から見ると資金面ではもう不安はなくなったというところではあります。あとはNEDO様と実施者の方向性と目利き、努力にかかっているものだと思います。これからは期待していますので、ぜひこの事業を継続して、より大きなものにしていただきたいと思います。本日はありがとうございました。

【河野分科会長】 ありがとうございます。次に、内本委員よろしくお願ひします。

【内本委員】 京都大学の内本です。今日は1日ありがとうございました。水素社会実現のための水素のサプライチェーンの構築と、水素発電の本格導入のために非常に重要な事業だということがよく分かりました。10年弱に及ぶ非常に長期のプロジェクトにおいて、素晴らしいNEDO様のマネジメントの下、実施者の方々の非常に大きな努力、この10年間では様々なことがありましたが、コロナ、半導体不足等々、本当にご苦労されたものと思いますけれども、水素の輸送に関する各種技術の確立、またタービンやエンジンのシステム開発に関する技術開発について新しい技術を次々と開発されました。これは、まさにこれからの日本の水素社会実現のための基盤になるようなものだと思います。関係各社の皆様方に敬意を払います。また、本事業は技術開発の成果を日本にとどまらず世界に発信されております。我が国のプレゼンスを高めるといってもありますし、国内においても非常にうまくユーチューブ等を使って発信され、水素社会実現に向けての情報発信を非常に活発に行われているという点も素晴らしいと感じました。この事業の成果は、水素のサプライチェーンとか、あるいはグリーンイノベーション基金にも引き継がれていくということでございますけれども、先ほど来お話にあったように、計画ベースの世界の水素製造の事業規模がこのプロジェクトが始まる時に比べると格段に増加しているという現状があります。せっかくこれだけの成果が得られたわけですから、この研究開発を加速するということが必要だと思いますし、そのような環境が今後も与えられるところが非常に大

事であると考えています。本日はどうもありがとうございました。

【河野分科会長】 ありがとうございます。次に、武田会長代理よろしく願いいたします。

【武田分科会長代理】 本日は、「水素社会構築技術開発事業/研究開発項目Ⅱ」について、終了時評価ということで10年間の得られた結果についてプロジェクトの詳細を聞かさせていただきました。成功裏に終了したということで、今後の課題も見つかったわけですが、今後の新しい展開へとつながっていくということで、プロジェクト事業担当者の皆様、NEDOのマネジメントをされた皆様には敬意を表したいと思います。この事業について、私は中間評価にも携わっておりました。そのときにも少しお話をしたことがあるのですが、専門が低温工学をやっており、液体水素の技術については特に興味があります。この液体水素の研究開発をするには実液を使った研究が必要なのですが、それができる場所というのが日本では限られております。JAXA様、岩谷産業様、我々のところも大学で小規模ながら実験はできるものの、非常に限られております。それで、私のところにも「こんな実験はできませんか」というような照会が来ることもあったのですが、聞くところによるとなかなか液体水素の実験がやりにくかった、できなかったというところも聞いておりますので、そういうことができるような場所を何とかつくっていただけないかというのが希望です。特に経済産業省様とか高压ガス保安協会様が管轄されている部分をもう少し規制緩和をしていただくと、そういった実験がやりやすくなるのではないかと考えております。そのあたりの今後の展開も含め、特に極低温の液体水素を使った研究開発、評価システムがうまくできるような場所をつくることに注力していただければ非常にありがたいと思います。以上です。今日はどうもありがとうございました。

【河野分科会長】 ありがとうございます。それでは最後に東京大学の河野からコメントをさせていただきます。まずはこの10年大変お疲れ様でした。素晴らしいNEDO様のマネジメント力の賜物だと思います。昔話で恐縮ですが、当時私も参画しておりました1993年のWE-NETから30年、当時は「海外から液体水素を持ってきて発電に使う」という構想をしていて、夢物語と思いながら実験をしていて、更に「2050年を見据えて水素サプライチェーンをつくりましょう」という話をしておりました。このプロジェクトで2030年に水素サプライチェーンできるとなれば、20年前倒しということになります。自分が生きている間に実現はないと思っていたので、私は非常に嬉しく思っております。2002年であるプロジェクトは終わってしまいましたが、こういったことを繋げていくということが非常に重要ですので、さらなる飛躍をお願いしたいと思っております。特にアプリケーション側の開発が非常に重要で、特に水素発電の大型化のアプローチというものが非常に個人的には重要とされていて、更に是非推進していただければと思います。私からは以上です。

【宮代専門調査員】 委員の皆様、ありがとうございました。それでは、続きまして、スマートコミュニティー・エネルギーシステム部、大平ストラテジーアーキテクトより一言お願いいたします。

【大平 PMgr】 本日は、長時間にわたりご評価をいただきまして誠にありがとうございます。まずは御礼を申し上げます。今のお話にもありましたように、本年はWE-NETが始まって30年であり、来年になりますと、サンシャイン計画が始まって50年、ちょうど半世紀になります。サンシャイン計画の中にも、「再エネから水素をつくろう」という、これは水電解だったわけですが、そういう概念がようやく今この形になりつつあるところでございます。このプロジェクト10年近くやってございますが、今でこそ水素をやること、カーボンニュートラルに対して水素が大きな役割を果たすということは、もちろん各論では様々な議論はありますが、大きな世界的なコンセンサスになっているのは間違いないと思います。この事業が始まった頃は、必ずしもそういう状況ではありませんでした。国のほうから予算をつけていただいた中でも、この事業というのは全てが委託事業ではなく、補助事業も相当入っております。将来のビジネスが全く見えない、市場が見えない中で自己負担をしながら、この事業の技術開発に参画していただいたということに、改めて私のほうから、実施者の皆様方にそのお礼

を申し上げたいと思っております。WE-NET で描いた世界を実現するにおいては、様々な状況や環境はそろってきてございますけれども、まだまだ道半ばでございます。ただ、これをいかに加速させていくのか、この成果を次にどうつなげていくのか、これは我々の責務と認識しております。実際に GI 事業として次の事業として形になってございますけれども、より緊密な連携を取りながら、さらには世界を見ながら進めてまいりたいと思っております。本日プロジェクトの評価は終了時評価となりますが、ここにとどまることなく様々な場面で技術的な面、もしくは将来像の面につきまして、ご指摘、ご鞭撻をいただければ幸いです。本日は誠にありがとうございました。

【河野分科会長】 ありがとうございます。それでは、以上で議題8を終了いたします。

9. 今後の予定

10. 閉会

配布資料

| | |
|----------|--------------------------------------|
| 資料 1 | 研究評価委員会分科会の設置について |
| 資料 2 | 研究評価委員会分科会の公開について |
| 資料 3 | 研究評価委員会分科会における秘密情報の守秘と非公開資料の取り扱いについて |
| 資料 4-1 | NEDO における技術評価について |
| 資料 4-2 | 評価項目・評価基準 |
| 資料 4-3 | 評点法の実施について |
| 資料 4-4 | 評価コメント及び評点票 |
| 資料 4-5 | 評価報告書の構成について |
| 資料 5 | プロジェクトの概要説明資料（公開） |
| 資料 6.1-3 | プロジェクトの詳細説明資料（公開） |
| 資料 6.4 | プロジェクトの詳細説明資料（非公開） |
| 資料 7 | 事業原簿（公開） |
| 資料 8 | 評価スケジュール |
| 番号無し | 質問票（公開 及び 非公開） |

以上

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」（終了時評価）分科会

ご質問への回答（公開分）

| 資料番号・ ご質問箇所 | ご質問の内容 | 委員名 | 回答 |
|--------------------------|--|------------|--|
| | | | 説明 |
| その他 HySTRA 豪 州褐炭関係 | HySTRA の事業ですが、ガス化後の CO ₂ の回収・処理は 1)現時点でどうしておられるのでしょうか？ 2)今後の予定はどうなっているのでしょうか？ | 河野 分科会長 | 「HySTRA の事業に関して、ガス化後の CO ₂ の回収・処理の対応は以下のとおりです。 1)ビクトリア州では、CCUS（二酸化炭素回収・利用・貯留技術）として CarboNet というプロジェクトが進められていますが、HySTRA の実証プロジェクトでは、CCUS 側の開発スケジュールとマッチしなかったため、ガス化により発生した二酸化炭素ガスはそのまま大気放出いたしました。 2)パイロット設備は今後使用予定はなく、そのため CO ₂ は発生しません。なお、将来のプロジェクトでは CCS を検討しており、豪州政府含めて連携していくことを想定しております。 |
| 資料 5 P49-51 | 若年層への PR の取り組みを実施されていますが、手応えは感じられましたか？ | 渡辺委員 | ・水素社会実現は長期的な取り組みであり、2050 年を見通した技術開発・社会実装の担い手確保の必要性であるため、若年層へのアプローチは非常に重要です。また、燃料電池や水電解の中心となる工業化学系、化学系の大学生全体に占める割合は 1%程度かつ減少傾向であることから、どのようにこの分野への関心を引くかが重要です。 ・今回、イベントに参加した中高生からは、「自国で必要なエネルギーを供給できる、本当に夢のある次世代エネルギーだ |

| 資料番号・ ご質問箇所 | ご質問の内容 | 委員名 | 回答 |
|--------------------|---|------|--|
| | | | 説明 |
| | | | <p>など感じています。」「東日本大震災の被害に遭った浪江町でこうした新しいエネルギーの取り組みが行われていることにも感動しました。将来は研究職に就きたいと思っており、水素関連のことも研究できたら面白いなと思いました。」という好意的な感想も寄せられており、手応えを感じています。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・また、2022年度のYouTubeでの動画配信においては、これまでNEDOの広報ツールではなかなか手の届かなかった若年層からコメント欄等に多数の反応が寄せられており、12月時点の閲覧数が合計127万回達しています。 ・今後も同様な活動を可能な限り継続していく予定です。 |
| 資料 6.2 2/33 ページ | 2/33 ページの下の箱の②で水素エンジンの調整力電源と利用について書かれていますが、本事業の実施項目①～③に調整力電源を想定した項目やリスクアセスメントは実施されているでしょうか。 | 工藤委員 | <p>本事業は単筒機を用いた水素燃焼エンジンの燃焼技術開発であり、実施内容に調整電源を想定した項目やリスクアセスメントは含んでおりません。</p> <p>今後の実機開発において実施する計画です。</p> |
| 資料 6.2 P17、P19 | 水素脆化に対して、材料の選定、リスク回避の設計ノウハウを獲得されていますが、実用化に向けた耐久試験など、今後どのような確認項目を考えておられますか？ | 森田委員 | <p>実用化を想定した多気筒エンジンを設計・製造し、長期実証運転にて問題が無いことを確認する計画です。(GI 基金事業)</p> |
| 資料 6.2 P25 | 水素混焼率 95%で計画以上の成果を達成したのは素晴らしいことだと思います。今後水素専焼実現の見込みとその課題について教えていただけないでしょうか？ | 森田委員 | <p>終了した助成事業では、重油を着火源としておりましたが、水素専焼となると、重油は用いず、点火プラグにより着火することになります。着火源の形態が変わるため、燃焼挙動が異なることが予想され、点火プラグ着火に合わせた燃焼最適化が課題になります。</p> |

| 資料番号・ ご質問箇所 | ご質問の内容 | 委員名 | 回答 |
|-------------------|--|------|---|
| | | | 説明 |
| 資料 6.3 P19 | 実施項目②- (2) -①の一部未達の項目については、今後の実証・社会実装に向けて、どのように遅れを挽回することになりますか？ | 渡辺委員 | 原因調査・検証等にて原因はほぼ特定済みです。対策に基づき最終的な確認試験を 2026 年度の実施することで、今後の実証・社会実装に向けての納入を計画して参ります。 |
| 資料 6.3 19/56 | 今後の課題と解決方針に書かれている事項は、いつまでに解決予定でしょうか。また本事業の成果は GI 基金事業にも活かされると理解していますが、この課題がそれが GI 基金事業の目標達成にどのような影響を与えるかについても教えて下さい。 | 工藤委員 | 解決の目途は立ちましたが、最終的な確認試験としては 2026 年度を予定しております。 GI 基金事業には、今回確認できた課題とその対策を活かし改良した設計内容での納入を計画できるものと考えております。 |
| 資料 6.3 P19、P21 | 低温強度試験において切離面からリークがあったとのことですが、その程度と今後の対策案について教えていただけないでしょうか？ | 森田委員 | 切離面からリークの程度は、今回試験では測定ができかねたため把握しておりません。 その後の原因調査・検証等にて原因はほぼ特定でき、切離し面を締め付けるクランプの力が設計値とおりにかけられていなかったことによるものと考えております。 その対策の目途もたっております。 |
| 資料 6.3 P46 | 鋳物 B には水素脆化が見られるにも関わらず使用するのはなぜでしょうか？（鋳物 A を使用すればいいのではないかとのことです） また鋳物 C の結果について教えていただけないでしょうか？ | 森田委員 | 鋳物 B は鋳物 A より材料強度が優れていることから、部品によって鋳物 A と鋳物 B の両方を使い分けることとしております。（鋳物 A、B の物性値の違い：水素脆化の程度、強度、および線膨張係数など） また、鋳物 C の結果は次の通りです。 鋳物 C：低温/水素脆化量が大きく使用不可能と判断※ ※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。 |

参考資料 2 評価の実施方法

NEDOにおける技術評価について

1. NEDOにおける技術評価の位置付けについて

NEDOの研究開発の評価は、事業の実施時期毎に事前評価、中間評価、終了時評価及び追跡評価が行われ、研究開発のマネジメントにおけるPDCAサイクル（図1）の一角と位置づけられています。さらに情勢変化の激しい今日においては、OODAループを構築し、評価結果を計画や資源配分へ適時反映させることが必要です。

評価結果は、被評価事業等の資源配分、事業計画等に適切に反映させることにより、事業の加速化、縮小、中止、見直し等を的確に実施し、技術開発内容やマネジメント等の改善、見直しを的確に行っていきます。

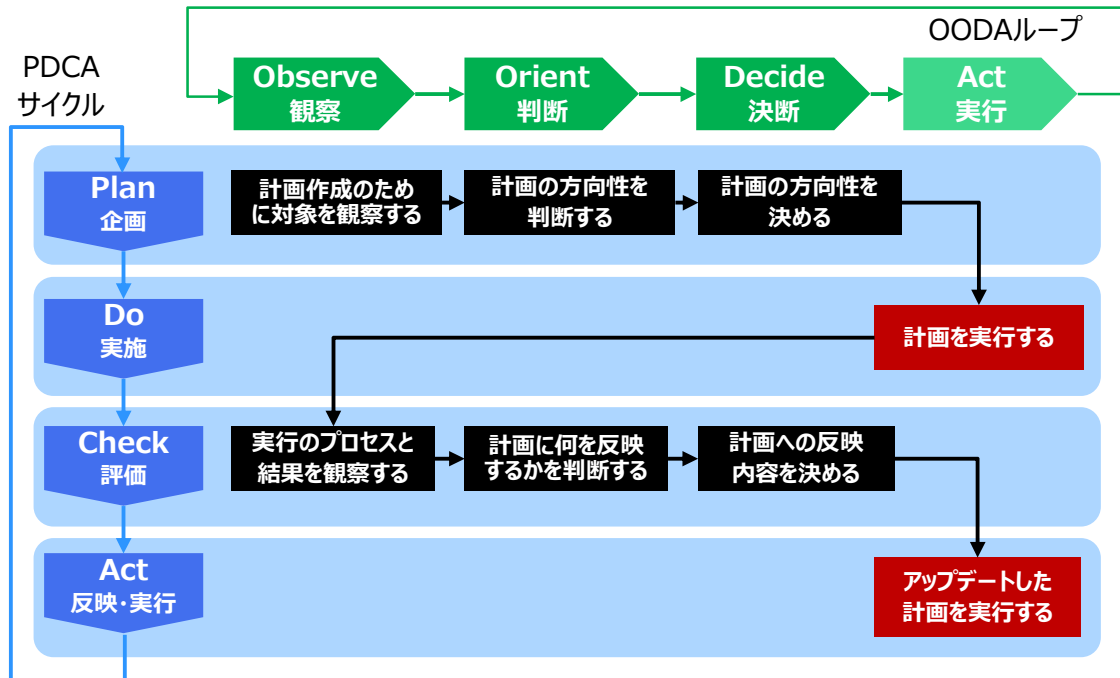


図1 研究開発マネジメント PDCA サイクルと OODA ループ組み合わせ例

2. 技術評価の目的

NEDOでは、次の3つの目的のために技術評価を実施しています。

- (1) 業務の高度化等の自己改革を促進する。
- (2) 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。
- (3) 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。

3. 技術評価の共通原則

技術評価の実施に当たっては、次の5つの共通原則に従って行います。

- (1) 評価の透明性を確保するため、評価結果のみならず評価方法及び評価結果の反映状況を可能な限り被評価者及び社会に公表する。なお、評価結果については可能な限り計量的な指標で示すものとする。
- (2) 評価の明示性を確保するため、可能な限り被評価者と評価者の討議を奨励する。
- (3) 評価の実効性を確保するため、資源配分及び自己改革に反映しやすい評価方法を採用する。
- (4) 評価の中立性を確保するため、可能な限り外部評価又は第三者評価のいずれかによって行う。
- (5) 評価の効率性を確保するため、研究開発等の必要な書類の整備及び不必要な評価作業の重複の排除等に務める。

4. プロジェクト評価の実施体制

プロジェクト評価については、図2に示す実施体制で評価を実施しています。

- (1) 研究開発プロジェクトの技術評価を統括する研究評価委員会をNEDO内に設置。
- (2) 評価対象プロジェクト毎に当該技術の外部の専門家、有識者等を委員とした分科会を研究評価委員会の下に設置。
- (3) 同分科会にて評価対象プロジェクトの技術評価を行い、評価報告書（案）を取りまとめた上、研究評価委員会に諮る。
- (4) 研究評価委員会の審議を経て評価報告書が確定され、理事長に報告。

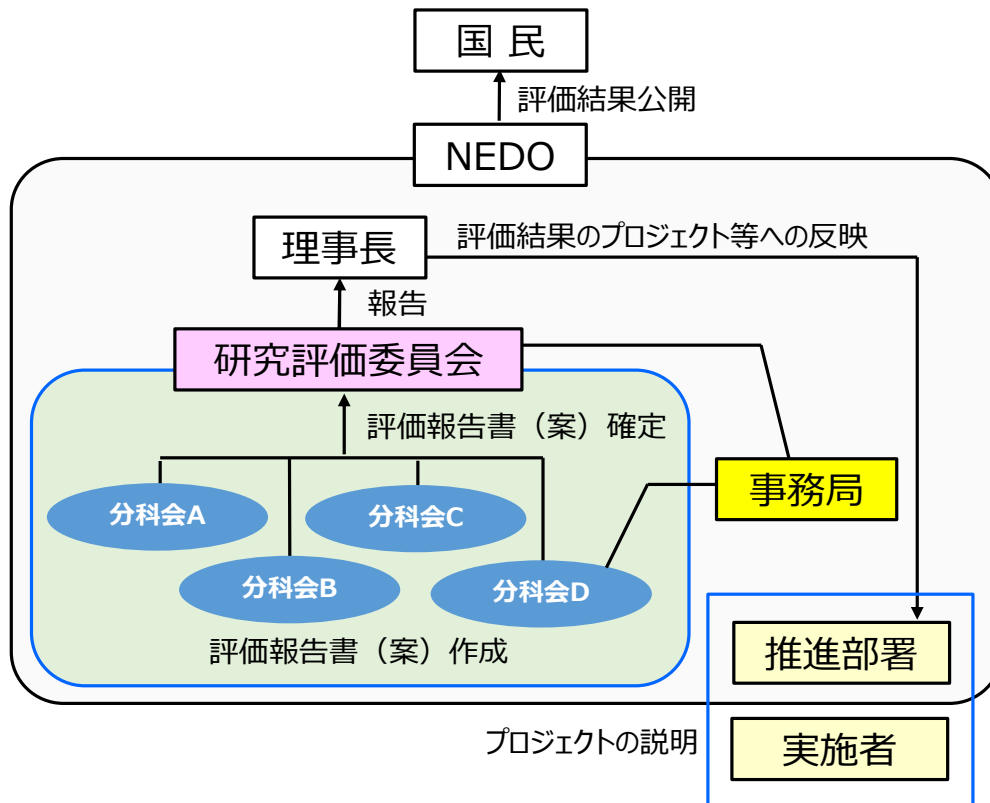


図2 評価の実施体制

5. 分科会委員

分科会は、研究開発成果の技術的、経済的、社会的意義について評価できる NEDO 外部の専門家、有識者で構成する。

6. 評価手順

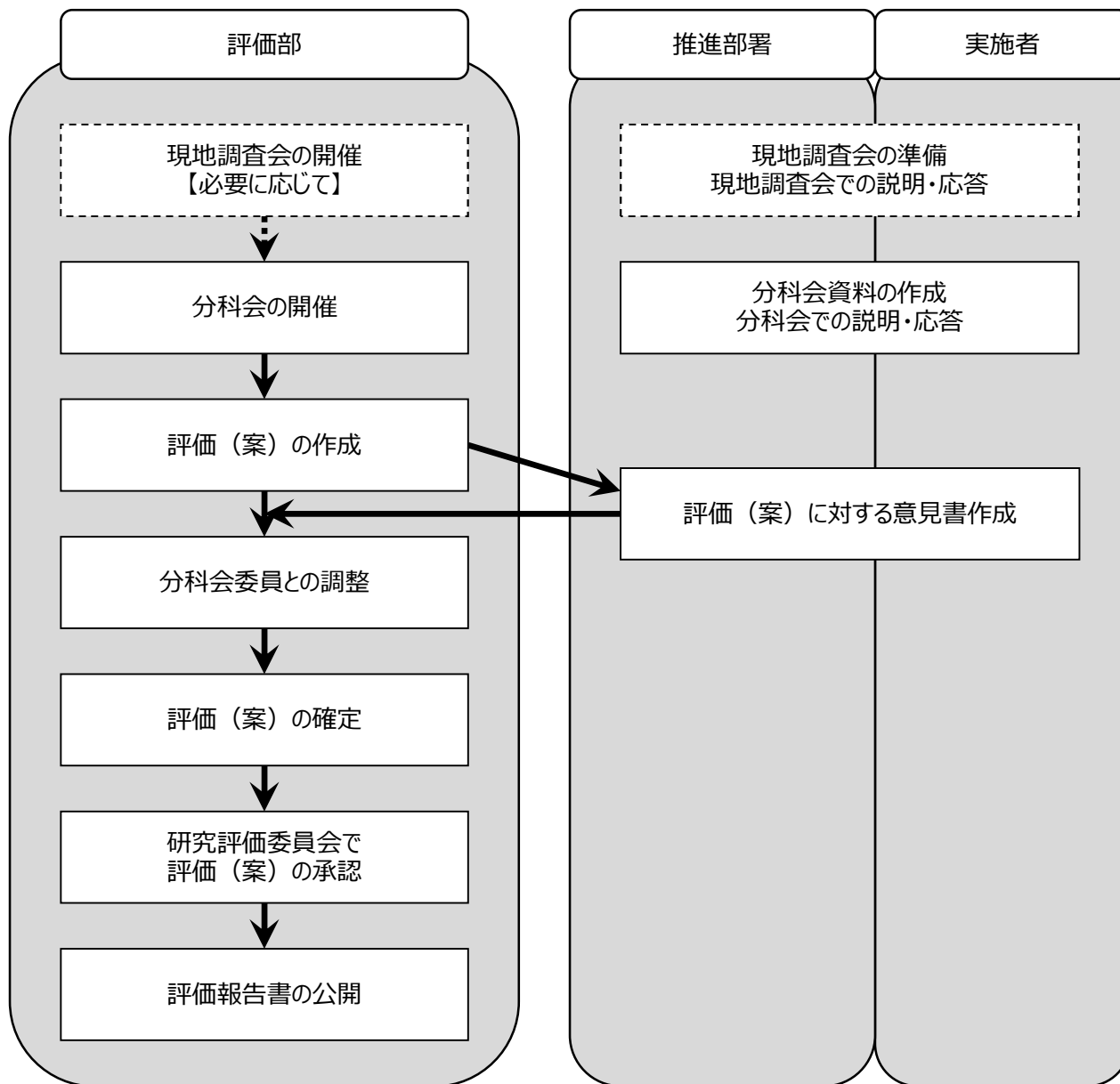


図 3 評価作業フロー

「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」(終了時評価) 分科会に係る
評価項目・評価基準

1. 意義・アウトカム(社会実装)達成までの道筋

(1) アウトカム達成までの道筋

- ・「アウトカム達成までの道筋」*の見直しの工程において、外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を考慮したか。

※ 「アウトカム達成までの道筋」を示す上で考慮すべき事項

- ・将来像(ビジョン・目標)の実現に向けて、安全性基準の作成、規制緩和、実証、標準化、規制の認証・承認、国際連携、広報など、必要な取組が網羅されていること。
- ・官民の役割分担を含め、誰が何をどのように実施するのか、時間軸も含めて明確であること。
- ・本事業終了後の自立化を見据えていること。
- ・幅広いステークホルダーに情報発信するための具体的な取組が行われていること。

(2) 知的財産・標準化戦略

- ・オープン・クローズ戦略は、実用化・事業化を見据えた上で、研究データも含めた上で、クローズ領域とオープン領域が適切に設定されており、外部環境の変化等を踏まえてもなお、妥当であったか。
- ・本事業の参加者間での知的財産の取扱い(知的財産の帰属及び実施許諾、体制変更への対応、事業終了後の権利・義務等)や市場展開が見込まれる国での権利化の考え方は、オープン・クローズ戦略及び標準化戦略に整合し、研究開発成果の事業化に資する適切なものであったか。
- ・標準化戦略は、事業化段階や外部環境の変化に応じて、最適な手法・視点(デジュール、フォーラム、デファクト)で取り組んでいたか。

2. 目標及び達成状況

(1) アウトカム目標及び達成見込み

- ・外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を踏まえてアウトカム指標・目標値を適切に*見直していたか。
- ・アウトカム目標の達成の見込みはあったか(見込めない場合は原因と今後の見通しは妥当であったか)。

※ アウトカム目標を設定する上で考慮すべき事項

- ・本事業が目指す将来像（ビジョン・目標）と関係のあるアウトカム指標・目標値（市場規模・シェア、エネルギー・CO₂削減量など）及びその達成時期が適切に設定されていること。
- ・アウトカムが実現した場合の日本経済や国際競争力、問題解決に与える効果が優れていること。
- ・アウトカム目標の設定根拠は明確かつ妥当であること。
- ・達成状況の計測が可能な指標が設定されていること。

(2) アウトプット目標及び達成状況

- ・外部環境の変化及び当該研究開発により見込まれる社会的影響等を踏まえてアウトプット指標・目標値を適切に*見直していたか。
- ・最終目標は達成しているか。未達成の場合の根本原因分析や今後の見通しの説明は適切だったか。
- ・副次的成果や波及効果等の成果で評価できるものがあつたか。
- ・オープン・クローズ戦略や実用化・事業化の計画を踏まえて、必要な論文発表、特許出願等が行われていたか。

※ アウトプット目標を設定する上で考慮すべき事項

- ・アウトカム達成のために必要なアウトプット指標・目標値及びその達成時期が設定されていること。
- ・技術的優位性、経済的優位性を確保できるアウトプット指標・目標値が設定されていること。
- ・アウトプット指標・目標値の設定根拠が明確かつ妥当であること。
- ・達成状況の計測が可能な指標（技術スペックとTRL*の併用）により設定されていること。

※TRL：技術成熟度レベル（Technology Readiness Levels）の略。

3. マネジメント

(1) 実施体制

- ・実施者は技術力及び実用化・事業化能力を発揮したか。
- ・指揮命令系統及び責任体制は明確であり、かつ機能していたか。
- ・実施者間での連携、成果のユーザーによる関与など、実用化を目指した体制となっていたか。
- ・個別事業の採択プロセス（公募の周知方法、交付条件・対象者、採択審査の体制等）は適切であったか。

- ・本事業として、研究開発データの利活用・提供方針等は、オープン・クローズ戦略等に沿った適切なものであったか。また、研究者による適切な情報開示やその所属機関における管理体制整備といった研究の健全性・公平性（研究インテグリティ）の確保に係る取組をしたか。

(2) 研究開発計画

- ・アウトプット目標達成に必要な要素技術の開発は網羅され、要素技術間で連携が取れており、スケジュールは適切に計画されていたか。
- ・研究開発の進捗を管理する手法は適切であったか（WBS^{※1}等）。進捗状況を常に関係者が把握し、遅れが生じた場合、適切に対応していたか。

※1 WBS：作業分解構造(Work Breakdown Structure)の略。

- ・研究開発の継続又は中止を判断するための要件・指標、ステージゲート方式による個別事業の絞り込みの考え方・通過数などの競争を促す仕組みの運用は妥当だったか。

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 三代川 洋一郎

担当 宮代 貴章

* 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