

「水素社会構築技術開発事業」

Ⅱ (大規模水素エネルギー利用技術開発)

(中間評価)

(2014年度～2022年度 9年間)

プロジェクトの概要 (公開)

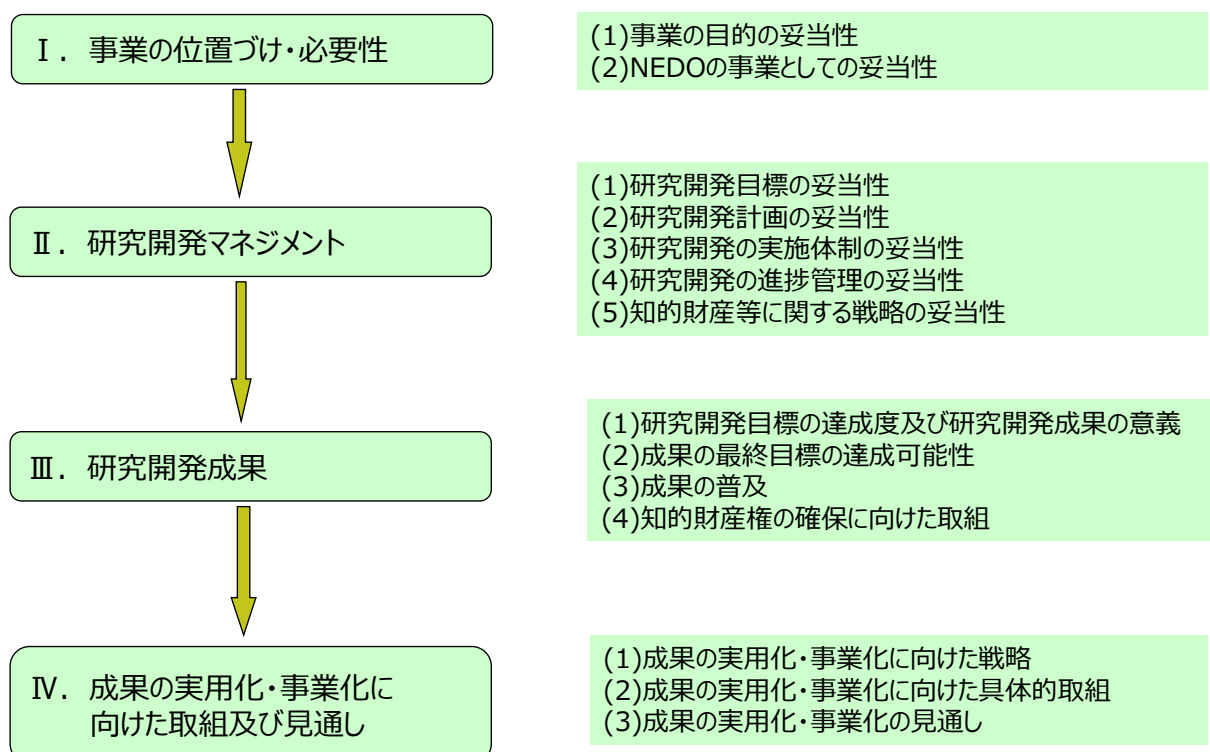
NEDO

次世代電池・水素部

2020年12月4日

0

発表内容

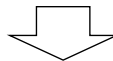


◆事業実施の背景と事業の目的

社会的背景

水素は、使用時に大気汚染物質や温室効果ガスを排出しないクリーンなエネルギーであり、高いエネルギー効率、非常時対応等の効果が期待され、**将来の二次エネルギーの中心的役割**を担うことが期待される。

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



事業の目的

水素の利活用を抜本的に拡大し、**2020年頃に自家発電用水素発電の本格導入を、2030年頃に発電事業用水素発電の本格導入を世界に先駆けて開始することを目指す**。このため、エネルギー供給システムの柔軟性を確立し、エネルギーセキュリティの確保に貢献する。また、水素発電の本格的な導入と大規模な水素サプライチェーンを世界に先駆けて構築することで、**産業競争力の強化とエネルギーセキュリティの向上**に貢献する。

◆政策的位置付け

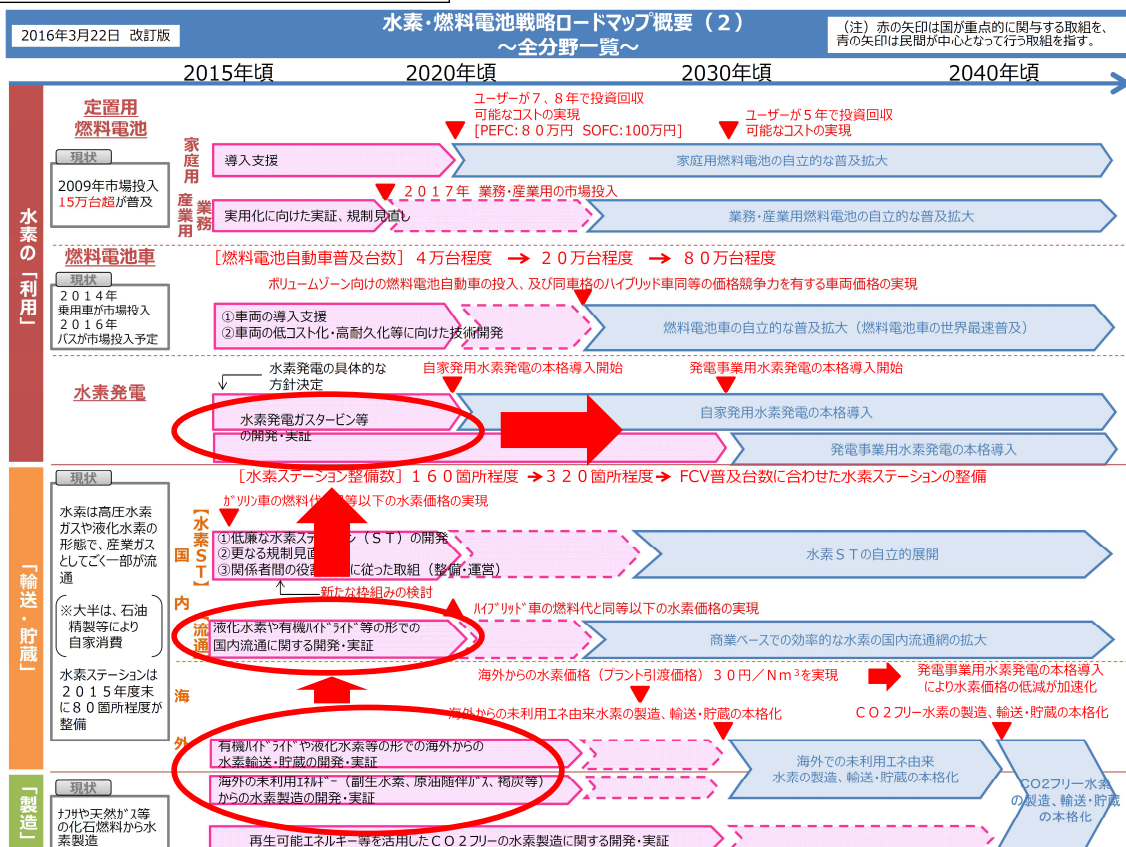
エネルギー基本計画	2014年 4月	水素を本格的に利活用する社会、すなわち“水素社会”を実現していくためには、 水素の製造から貯蔵・輸送、そして利用にいたるサプライチェーン全体を俯瞰した戦略 の下、様々な技術的可能性の中から、安全性、利便性、経済性及び環境性能の高い技術が選抜されていくような 厚みのある多様な技術開発や低コスト化を推進 することが重要である。
水素・燃料電池戦略ロードマップ (経済産業省) 改訂	2016年 3月	水素発電の本格導入／大規模な水素供給システムの確立 <ul style="list-style-type: none"> 2020年頃に自家発電用水素発電の本格導入を、2030年頃に発電事業用水素発電の本格導入を開始することを目指す。 2030年頃に海外からの未利用エネルギー由来の水素の製造、輸送・貯蔵を伴う水素供給のサプライチェーンの本格導入を開始することを目指す。 目標とすべき水素供給コストについては、今後、専門的な検討を行うこととするが、2020年代後半にプラント引渡しコストで30円/Nm³程度、つまり発電コストで17円/kWh程度を下回ることを目指す。 水素の製造については、まずは海外の未利用エネルギーである、副生水素、原油随伴ガス、褐炭等から、安価で、安定的に、環境負荷の少ない形で行うことを基本とする。 水素の輸送・貯蔵については、まずは現在有望と考えられている、有機ハイドライド及び液化水素の形で行うこととする。
日本再興戦略 2016	2016年 6月	水素発電ガスタービン用燃焼器や液化水素運搬船等の水素関連技術の開発・実証を進め、 2030年頃の水素発電の本格導入と大規模な水素サプライチェーンの構築 を目指す。
次世代火力発電技術ロードマップ	2016年 6月	技術的課題への対応としては、水素社会の実現に向けた環境整備に留意しつつ、まずは 比較的技術的ハードルの低い水素混焼発電の技術確立 を目指し、将来的には、 高効率な水素専焼発電の技術確立 を目指す。

◆政策的位置付け

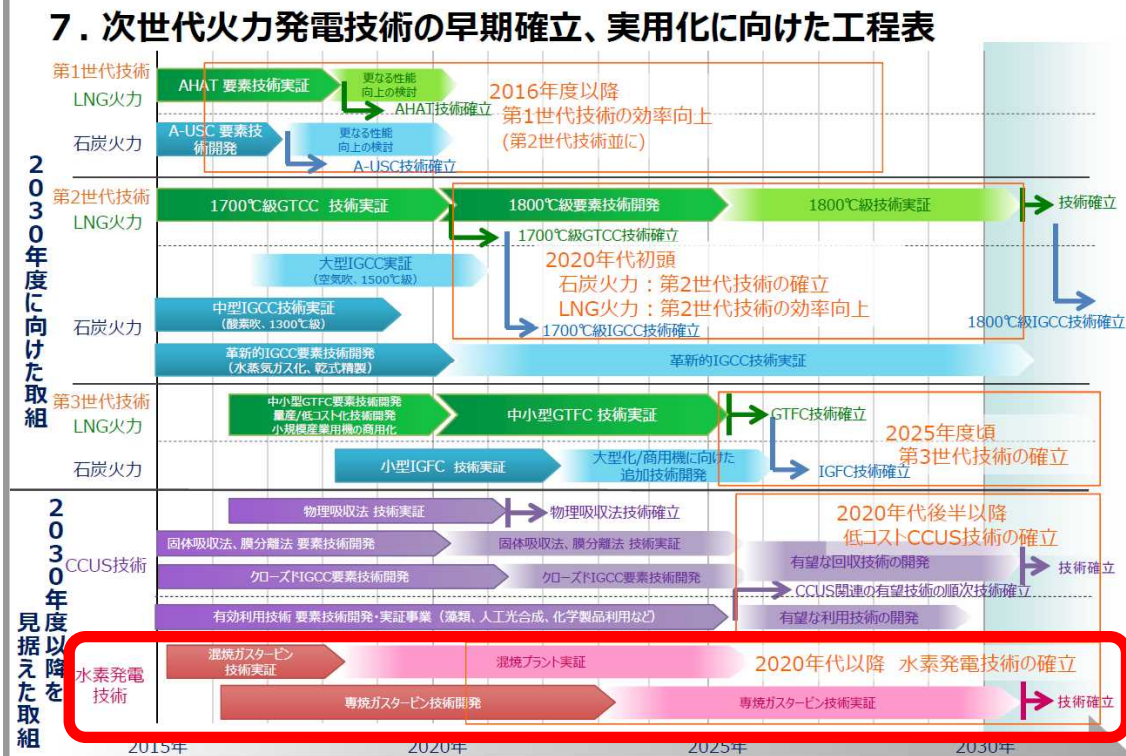
水素基本戦略	2017年 12月	2050年を視野に入れ、将来目指すべき姿や目標として官民が共有する大きな方向性・ビジョンを示す。 国内再生由来水素の利用拡大、国際水素サプライチェーン、モビリティ、電路分野での利用拡大を目指す。
エネルギー基本計画	2018年 7月	水素を日常の生活や産業活動で利活用する社会、水素社会”を実現していくためには、技術面、コスト面、制度面、インフラ面で未だ多くの課題が存在している。このため、2017年12月に策定した水素基本戦略（再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議決定）等に基づき、水素が、本国技術を活かした中長期的なエネルギー安全保障と温暖化対策の切り札となるよう、戦略的に制度やインフラ整備を進めるとともに、多様な技術開発や低コスト化を推進し、実現可能性の高い技術から社会に実装していく。
水素・燃料電池戦略ロードマップ（経済産業省）改訂	2019年 3月	水素閣僚会議（2018年10月）に発表された「Tokyo Statement」の内容を反映するための改定。 水素サプライチェーンの実現及び低コスト化に向けて、必要となる基盤技術開発の継続実施。将来のコスト低減に向けて、サプライチェーンを構成する要素の取り組みの実施。
水素・燃料電池技術開発戦略（経済産業省）	2019年 9月	2019年3月に「水素・燃料電池戦略ロードマップ」の改定を受けて、具体的な技術開発事項を定めたもの。

◆技術戦略上の位置付け

◆水素・燃料電池戦略ロードマップ（2016年3月改訂）



◆技術戦略上の位置付け



出典：経産省 次世代火力発電に係る技術ロードマップ（2016.6）

◆国内外の研究開発の動向と比較

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

【海外】ドイツを中心として、欧米各国でも再生可能エネルギー由来の電力を水素に変換する Power to Gas の取組が積極的に行われている。製造した水素はそのまま貯蔵・利用されたり、天然ガスパイプラインに供給されている。

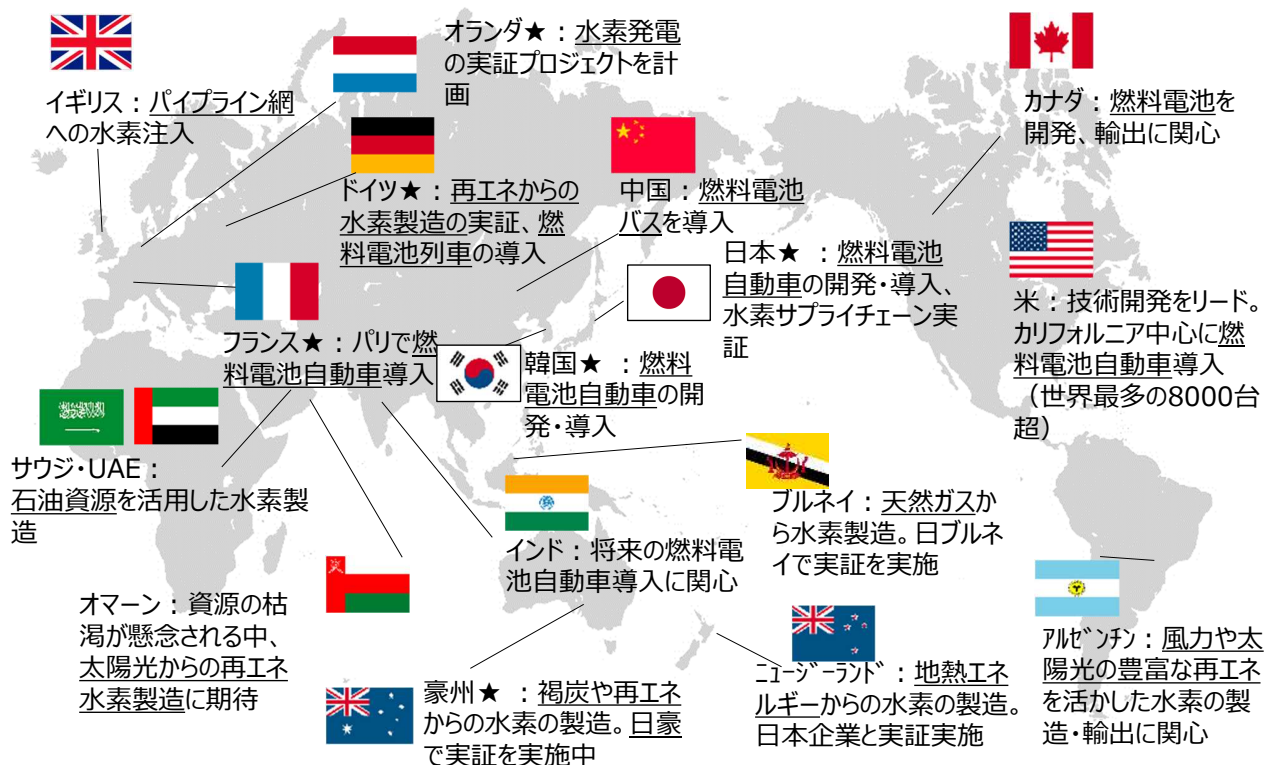
	国内	海外
サプライチェーン	燃料電池に続く水素利用のためのアプリケーションや、サプライチェーンについては、現在研究開発又は実証に着手する段階である。	水素のサプライチェーンを構築する等の取組は現状なされていない。
水素発電	製鉄・化学プラントにおいて、水素を含む副生ガスがボイラーやガスタービンにて燃焼され、自家発電等に利用されている。国内機器メーカーにおいて水素専焼発電技術の開発中。	米国、オランダにおいて、水素発電の計画がされている。主要発電機器メーカーも水素混焼及び水素専焼発電を検討している段階。

◆国内外の研究開発の動向と比較

- 米国 : DOE中心にh2@portなどで開発加速
- 豪州 : 国家水素戦略 2019年11月
- フランス : 水素戦略 2018年6月
- オランダ : クリーン水素戦略 2020年4月
水素発電の計画中
- ドイツ : P-to-G推進ロードマップ (DENA) 2017年6月
- E U : 欧州水素ロードマップ (FCH-JU) 2019年2月
- 韓国 : 水素経済活性化ロードマップ 2019年1月
- 中国 : 「政府工作報告」および
「新エネルギー自動車に関する補助政策改善通知」
(2019年) からFCVシフトが加速

◆国内外の研究開発の動向と比較

★ : 戦略・ロードマップ策定国



◆他事業との関係

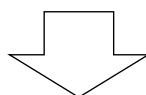
●NEDO 水素利用等先導研究開発事業で得られた基礎的試験、研究開発の成果の一部を本研究開発事業に活用している。

- 1) HySTRA (課題番号Ⅱ-①)
現在水素輸送船に搭載されている船用タンクに利用。
- 2) 川崎重工業 (課題番号Ⅱ-⑧)
水素専焼対応の燃焼器を利用
- 3) 三菱パワー (課題番号Ⅱ-⑩)
水素専焼対応の燃焼器を利用

◆NEDOが関与する意義

2030年頃の大規模な水素サプライチェーンの確立と水素発電の本格導入を目指すための技術開発は、

- エネルギー政策上の重要度が高く、社会的必要性が大きい
- 日本の水素利活用産業の競争力強化、エネルギー・環境分野の国際協調に貢献
- 水素供給サプライチェーン構築、水素発電導入により各事業が連携することで効果的に開発を進めることが可能
- 水素供給サプライチェーン・インフラ整備については、市場構築初期は市場範囲が限定的で、民間単独では開発リスクが大きい



N E D O が も つ こ れ ま で の 知 識 、 実 績 を 活 か し て 推 進 す べ き 事 業

◆実施の効果 (費用対効果)

- ・プロジェクト費用の総額 228億円 (2015～2020年)
 - ・市場規模予測 … 水素・燃料電池戦略ロードマップ (2016年3月改訂)
 - 水素・燃料電池関連市場規模 : 2030年 1兆円 2050年 8兆円
 - 海外水素輸入 : 2030年 90億Nm³
- (新設・リプレースされるLNG火力発電の燃料に50%混合を想定)

◆事業の目標

研究開発項目	中間目標	最終目標
研究開発項目Ⅱ : 「大規模水素エネルギー利用技術開発」	(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築 最終目標となる水素サプライチェーン構築のための要素技術を検証し、システムの全体設計を明確にする。	(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築 2030年頃の安定的かつ大量な水素供給体制確立を目指し、2020年において商用レベルの1/100程度のプロトタイプ規模(数千万Nm ³ 換算)のサプライチェーンを構築しシステムとして技術確立する。システムを構成する技術目標(水素製造効率、輸送効率等)に関しては、水素製造方法や水素キャリア毎の特性に応じ、個別に設定する。
	(ロ) 水素エネルギー利用システム開発 (各プロジェクトで最終目標としている新技術・システムの確立・技術実証、並びにプラントの基本設計の実施に向けて、基本計画を策定し、基本設計および基礎データの取得に着手する。)	(ロ) 水素エネルギー利用システム開発 水素を混焼あるいは専焼で発電する技術に関して既存の燃料と同等の発電効率、耐久性及び環境性を満たす技術確立する。あわせて、水素発電等を組み込んだエネルギーシステムについて、市場化に必要な技術確立する。

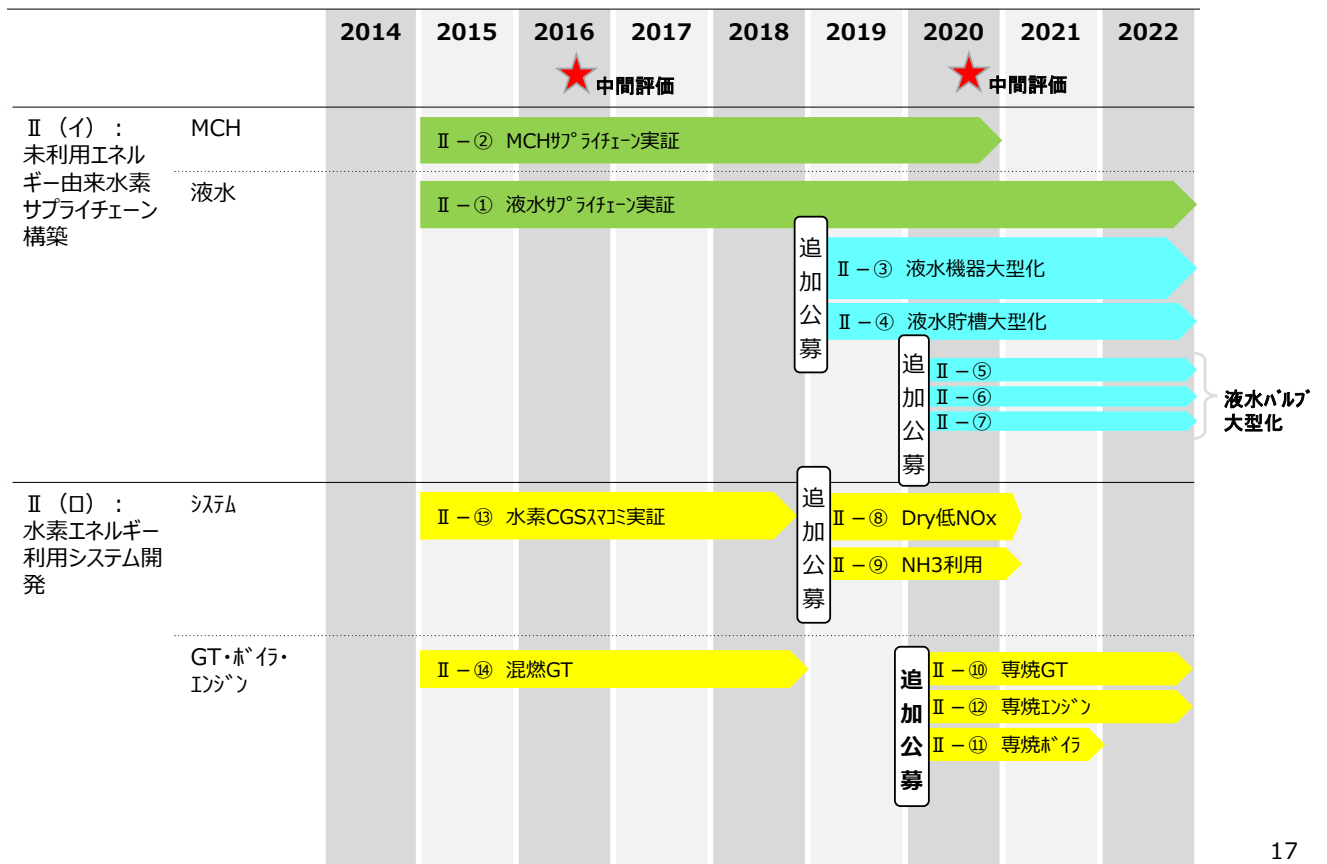
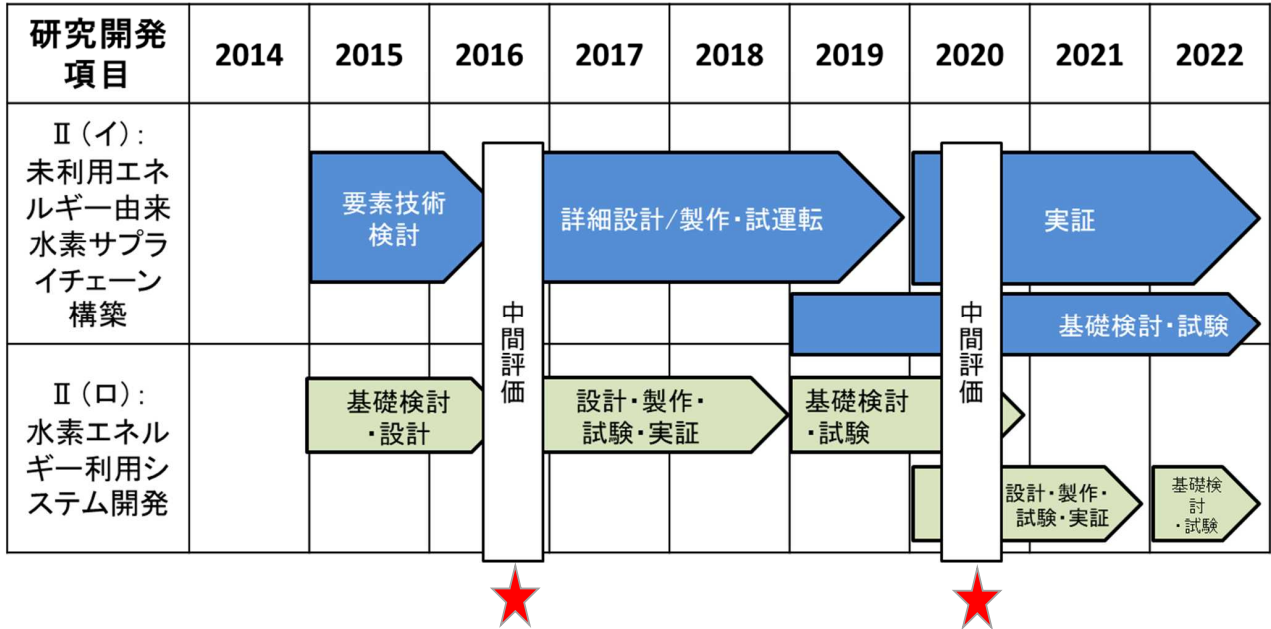
◆ 研究開発目標と根拠

研究開発項目	研究開発目標	根拠
研究開発項目Ⅱ：「大規模水素エネルギー利用技術開発」	<p>(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築 2030年頃の安定的かつ大量な水素供給体制確立を目指し、2020年において商用レベルの1/100程度のプロトタイプ規模（数千万Nm³換算）のサプライチェーンを構築しシステムとして技術を確立する。システムを構成する技術目標（水素製造効率、輸送効率等）に関しては、水素製造方法や水素キャリア毎の特性に応じ、個別に設定する。</p> <p>(ロ) 水素エネルギー利用システム開発 水素を混焼あるいは専焼で発電する技術に関して既存の燃料と同等の発電効率、耐久性及び環境性を満たす技術を確立する。あわせて、水素発電等を組み込んだエネルギーシステムについて、市場化に必要な技術を確立する。</p>	<p>「エネルギー基本計画」（2014年4月、経済産業省） →将来の二次エネルギーでは、電気、熱に加え、水素が中心的役割を担うことが期待されており、“水素社会”の実現のための取り組みを加速していくことが掲げられている。</p> <p>「水素・燃料電池戦略ロードマップ」（2016年3月、経済産業省 改訂） →フェーズ1でのエネファーム・FCVの普及拡大による水素社会の土台作りに続き、フェーズ2として、水素発電の本格導入と大規模な水素供給システムの確立を掲げ、2020年頃に自家発電用水素発電の本格導入を、2030年頃に発電事業用水素発電の本格導入と海外からの未利用エネルギー由来の水素の製造、輸送・貯蔵を伴う水素サプライチェーンの本格導入の開始という目標が設定され、これらを実現するための技術開発に国が重点的に関与することとしている。</p>



◆ 研究開発のスケジュール

水素社会構築技術開発事業 研究開発スケジュール概要



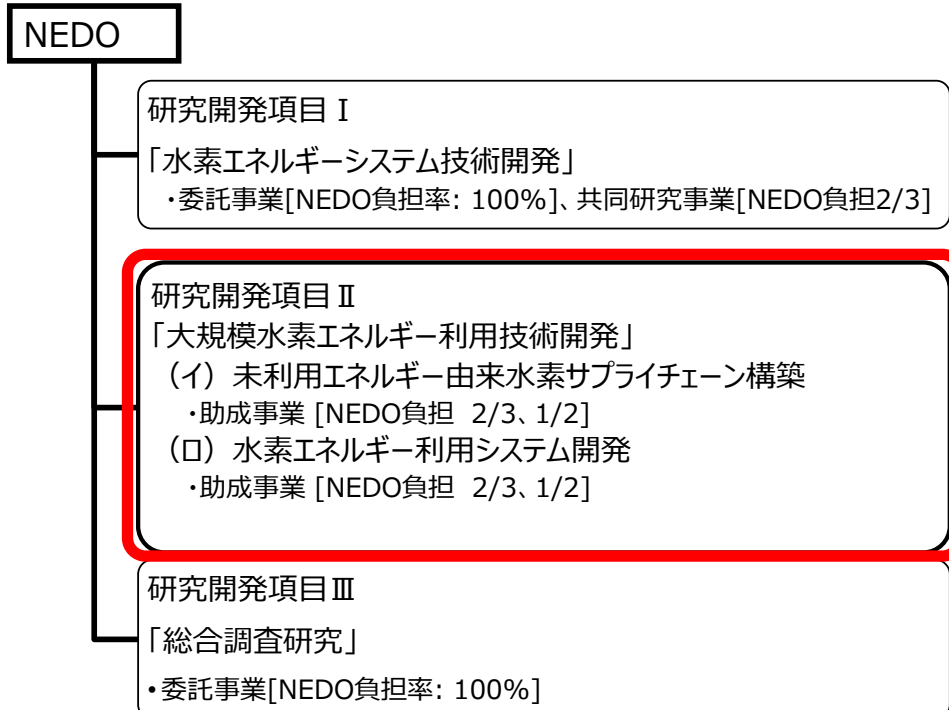
◆プロジェクト費用

◆費用

(単位：百万円) NEDO負担額

研究開発項目	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	合計
(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築	191	1,222	3,894	4,541	6,004	4,510	20,362
(ロ) 水素エネルギー利用システム開発	62	221	1,210	179	143	666	2,481
合計	253	1,443	5,104	4,720	6,147	5,176	22,843

◆研究開発の実施体制



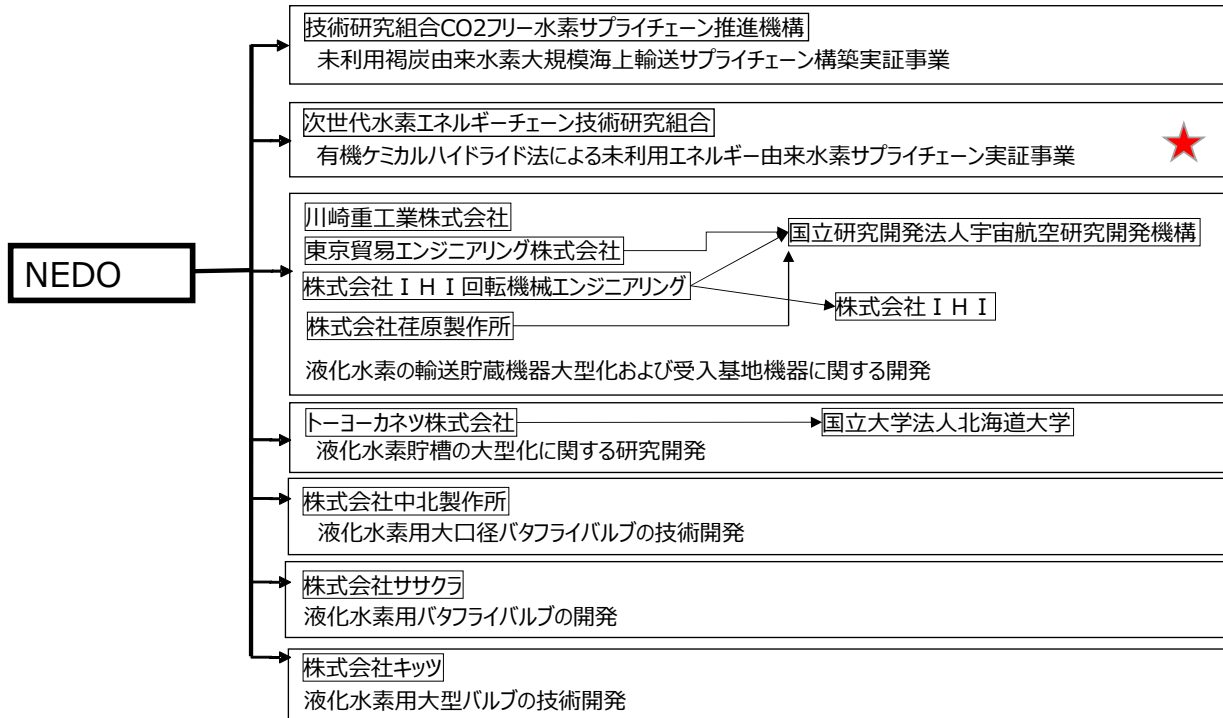
今回の評価対象

◆研究開発の実施体制

研究開発項目Ⅱ「大規模水素エネルギー利用技術開発」

★ 2020年度終了予定

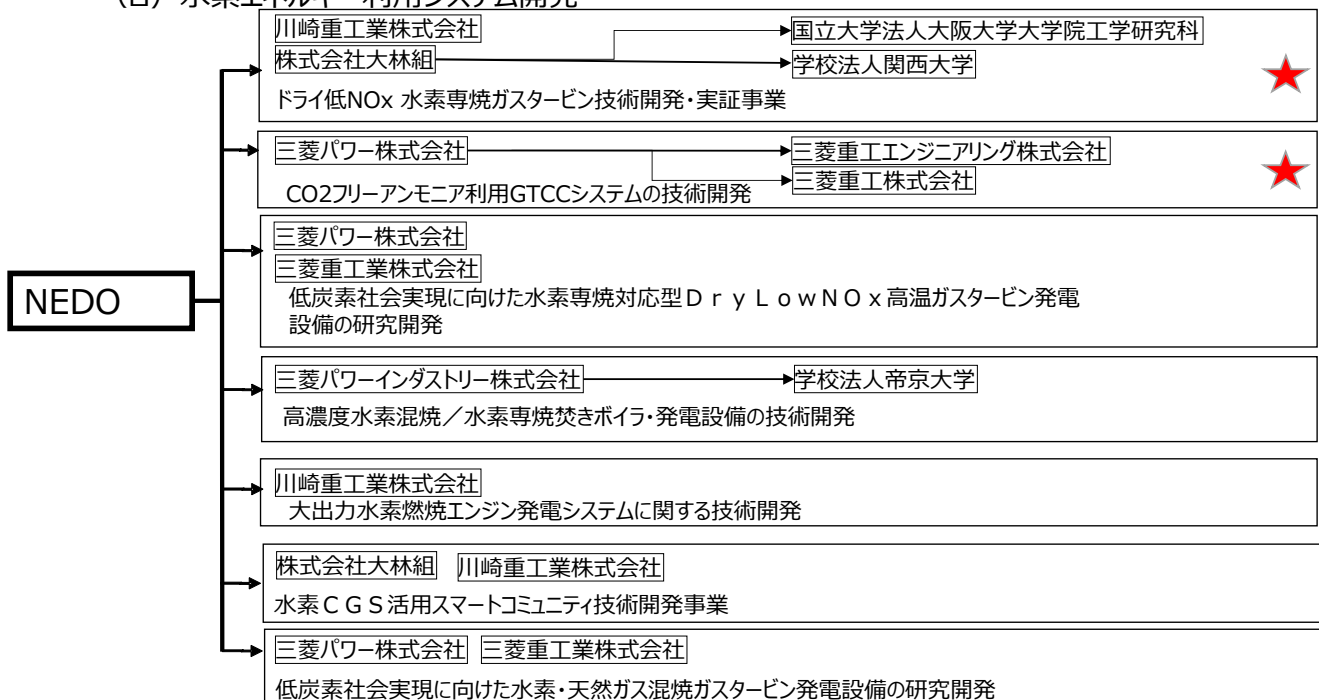
(イ) 未利用エネルギー由来水素サプライチェーン構築



◆研究開発の実施体制

研究開発項目Ⅱ「大規模水素エネルギー利用技術開発」

(ロ) 水素エネルギー利用システム開発



◆中間評価結果への対応

- 中間評価の指摘に対する対応状況は以下のとおり。
- ※テーマ間の関連性が明確でなく、連携体制が機能して実質的な技術開発が効率的に進められているとは言い難い

進捗評価委員会（非公開）を開催

- A)個別事業の開発目標と達成度、進捗報告・確認を実施。計画の見直しなど、外部有識者からのアドバイスを頂き、事業の推進に努めた。（2017年9月、2018年11月、2019年9月、2020年は中間評価のため開催せず）
- B)進捗評価委員会の最後に、進捗評価委員と全事業者による、意見交換の場を持ち、個別事業だけでなく、水素社会構築研究開発全体の課題、事業間の情報共有を図った。



水素・燃料電池プロジェクト評価・課題共有ウィーク（2019）

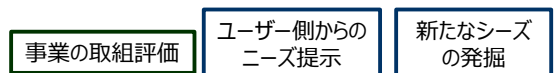
- 世界動向をしっかりと把握しつつ、日本の技術力の更なる向上に向けて、日本の水素関連政策、NEDO事業成果、ユーザー側からのニーズの差分を議論すると共に、新たなシーズを発掘する。
- 産学官の多様なステークホルダーが参加し、今後の水素社会の実現に向けたコミュニティ形成を支援するもの。

プログラム

主催：経済産業省・NEDO 参加者：延べ1,000名程度
発表数：47件（評価対象は22件）

6月17日（月）	6月18日（火）	6月19日（水）	6月20日（木）	6月21日（金）
Plenary 特別講演 IEA Hydrogen Report IEA 60 min. 米田、欧州における水素・燃料電池技術開発動向 NEDO 50 min. 水素・燃料電池戦略RM METI 30 min. NEDOにおける水素・燃料電池技術開発 NEDO 30 min. 水素サプライチェーンプロジェクト評価 HySTRA AHEAD 全体討議 講評	水素開発およびPtGプロジェクト評価 水素・燃料電池戦略RM METI 10 min. 技術開発RMと事業説明 NEDO 10 min. 【水素発電】 バッテンフォール 三菱重工業 川崎重工業 【PtG】 山梨県企業局 東芝エネルギーシステムズ 豊田通商 東北大学 全体討議 講評	水素ステーションプロジェクト評価 水素・燃料電池戦略RM METI 10 min. 技術開発RMと事業説明 NEDO 10 min. JPEC HySUT 九州大学 JXTGエネルギー 加地テック 全体討議 講評	水素・燃料電池プロジェクトの課題提示と評価 水素・燃料電池戦略RM METI 10 min. 技術開発RMと事業説明 NEDO 10 min. トヨタ自動車 本田技研工業 FC-Cubic 同志社大学 山梨大学 千葉大学 東北大学 上智大学 電気通信大学 物質・材料研究機構 全体討議 講評	水素・燃料電池プロジェクトの課題提示と評価 水素・燃料電池戦略RM METI 10 min. 技術開発RMと事業説明 NEDO 10 min. FCCJ 慶応義塾大学 東京工業大学 東京電機大学 首都大学東京 九州大学 産業技術総合研究所 テンソー 東京大学 山梨大学 全体討議 講評 水素・燃料電池技術開発戦略の策定に向けて

評価ウィークのスキーム



産官学全体に渡る活性化



NEDO次世代電池・水素成果報告会

- ▶ 毎年度、2日間にわたり分野ごとに口頭発表とポスター発表を実施。
- ▶ 延べ約1,000人が参加した2019年度の例は以下のとおり。

日時

2019年7月18日（木）から2019年7月19日（金）

場所

東京ビッグサイト 会議棟1階
レセプションホールA・B（口頭発表）
101会議室・102会議室（ポスター発表）



会場の様子（左：口頭、右：ポスター）

1日目：2019年7月18日（木）

時間	分野
午前	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 開会式 ✓ 水素利用等先導研究開発事業 ✓ 超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業
午後	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 先進・革新蓄電池材料評価技術開発 (SOLID-EV) ✓ 革新型蓄電池実用化促進基盤技術開発 (RISING2) ✓ 超高压水素インフラ本格普及技術研究開発事業 ✓ ポスター発表

2日目：2019年7月19日（金）

時間	分野
午前	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発 (SOFC) ✓ 水素社会構築技術開発事業
午後	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 固体高分子形燃料電池利用高度化技術開発事業 (PEFC) ✓ 水素社会構築技術開発事業 ✓ ポスター発表

◆ 動向・情勢の把握と対応

情勢	対応
将来の液化水素のサプライチェーン構築と発電用途に向け必要な機器開発を計画した。	2019年度及び2020年度、大型貯槽、大型船用貯槽、極低温ガス対応の圧縮機、液化水素移送ポンプ、各種バルブの開発の公募を実施し、開発体制を整えた。
水素エネルギー利用のシステム開発として、ガスタービンによる発電に加え、水素エンジン、水素ボイラーなどの有効性の議論が開始されてきたため、機器開発の計画した。	2020年度、水素エンジン、水素ボイラーの開発の公募を実施し、両技術開発の支援を開始した。

◆知的財産権等に関する戦略

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

オープン／クローズ戦略の考え方

	非競争域	競争域
公開	国際規格案など ・例えば船の規格 (IMO) などへの貢献	知財のライセンスなど ・水素製造、水素輸送、水素貯蔵、水素混焼ガスタービンなどの水素サプライチェーン、水素発電システムを構成する設備・運用に係る特許による各社の優位性の確保 ・事業者の技術開発情報、共同研究先の大学による基礎研究成果については、水素利活用社会構築の社会受容性つながる場合は技術情報を開示
非公開		秘匿化 ・水素製造工程、水素混焼ガスタービン製造などノウハウの取得が極めて困難な技術類

◆知的財産管理

- 委託事業・共同研究事業については、「N E D Oプロジェクトにおける知財マネジメント基本方針」に基づき、テーマ毎に「知財の取扱いに関する合意書」を策定。
- 合意書では、知財運営委員会や知財の帰属、秘密の保持等、プロジェクトの出口戦略において重要となる知財ルールを整備。
- 助成事業については、個々の事業者の知財戦略を尊重し、アウトカムの最大化を図る。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

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

助成先：技術研究組合CO2フリー水素サプライチェーン推進機構（HySTRA）

●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
I:液化水素の長距離大量輸送技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 液化水素輸送用タンクの要素技術の開発ならびに液化水素輸送用タンクの開発 商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得 	<ul style="list-style-type: none"> 液化水素輸送用タンクの製作を完了し、船体への艀装を完了。その他水素関連機器の艀装に一部遅れが発生 	△
II:液化水素荷役技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 液化水素荷役技術の開発 ローディングシステム及び安全な運用システムを開発し、商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得 	<ul style="list-style-type: none"> 荷役基地の据付を完了し、基地単独実証試験を開始。 	○
III:ガス化技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 褐炭ガス化炉の開発 商用規模へのスケールアップに必要な知見の取得 	<ul style="list-style-type: none"> 2t/dガス化炉設備の据付工事を完了。10月より水素製造を実施。 	○

28

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

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

助成先：次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合（AHEAD）

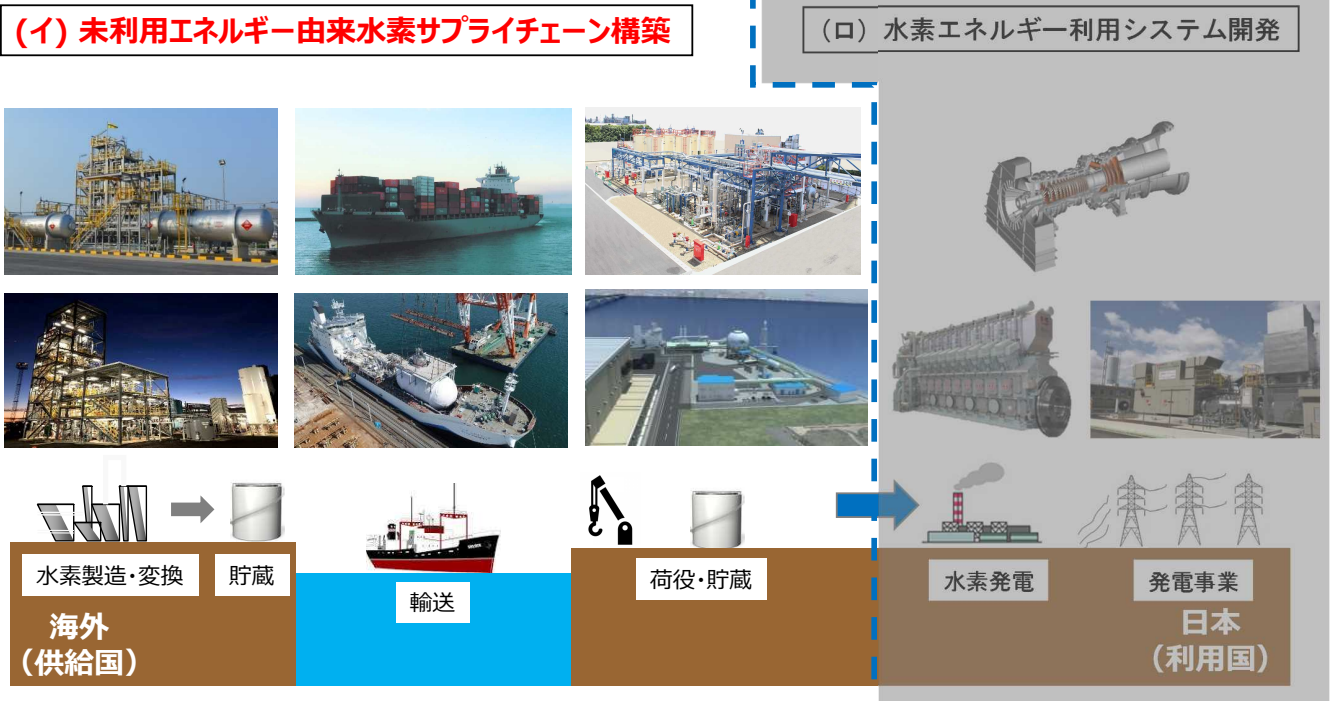
●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
水素化プラント	<ul style="list-style-type: none"> コンピュータシミュレーション/実証運転を通じて、大型反応器設計手法の確立。不純物除去の設備仕様の確定。 	<ul style="list-style-type: none"> 商業規模へのスケールアップが問題ないことを確認できた。 	△
脱水素プラント	<ul style="list-style-type: none"> コンピュータシミュレーション/実証運転を通じて大型反応器設計手法の確立、負荷追従検討、商業用触媒製造工程における主要管理指標の確立。 	<ul style="list-style-type: none"> 商業規模へのスケールアップは可能であることが確認できた。 	△
サプライチェーン運用	<ul style="list-style-type: none"> シミュレーション/実証運転を通じて汎用トルエンの利用可能性検討、負荷変動への対応方法明確化、チェーン全体の信頼性確認、設備構成の確認 	<ul style="list-style-type: none"> 汎用トルエン利用可能性検討は継続中、第2期について運用中、各種データ取得中 	△

29

3. 研究開発成果について

大型機器開発のイメージ



30

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

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

助成先：川崎重工業株式会社

●研究目標

①大型輸送・貯蔵容器の開発

実施項目	目標	成果内容	自己評価
A)大型貯蔵容器	<ul style="list-style-type: none"> a)断熱性能の目処付け b)メムレン形状の解析技術確立 	<ul style="list-style-type: none"> 断熱性能を評価中 メムレン形状の成立性を確認中 	△
B)海上輸送用大型液化水素タンク	<ul style="list-style-type: none"> a)断熱システム方式／構造選定 b)タンク基本構造決定、強度／揺動評価 c)タンク構造材料選定／データ取得 d)配管との接続方法選定／強度評価 e)タンクシステムの検証に向けた試験タンク設計／材料手配 	<ul style="list-style-type: none"> 断熱方式／構造選定中 タンク構造/支持構造選定/評価中 タンク構造材料選定/データ取得中 配管との接続方法選定/データ取得中 試験タンク設計、材料手配中 	△

31

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

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

助成先：東京貿易エンジニアリング株式会社

●研究目標

②商用ローディングアームの開発

実施項目	目標	成果内容	自己評価
a)大口径緊急離脱機構	<ul style="list-style-type: none"> c)鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発 	<ul style="list-style-type: none"> 現状では理論外部流出量は10ℓ以下の見込みで、現在解析を実施しながら、試作機を製作中 	△
b)大口径船陸継手	<ul style="list-style-type: none"> 重量が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 	<ul style="list-style-type: none"> 分離面を平行にし、位置合わせユニットを不要とした構造の採用により重量は約0.5ton以下になる見込みで、現在試作機を製作中 	△
c)鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> メンテナンス頻度が1年に1回程度で済む真空度を確保する試作機の製作 	<ul style="list-style-type: none"> 真空度保持対策として、吸着剤追加、改良型真空測定装置の追加、清浄度の高いベローズの採用、が必要なことが分かり、現在製作中 	△

32

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

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

助成先：IHI回転機械エンジニアリング株式会社

●研究目標

③低温水素ガス圧縮機の開発

実施項目	目標	成果内容	自己評価
a) 液空生成に対し安全性を確保する構造の開発	<ul style="list-style-type: none"> 低温水素ガスを吸入しても、外表面にて液空を発生させない真空容器構造、熱変位を吸収するサポート構造を考案する 	<ul style="list-style-type: none"> 真空容器付きシリンダの伝熱解析が完了 サポート構造の熱応力・振動解析が完了 真空容器シリンダの基本設計が完了 	○
b) シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材の開発	<ul style="list-style-type: none"> 窒素シールガスを中間筒内、ロッド表面で液化させない軸シール構造を考案し、摺動部材の用途を付ける 	<ul style="list-style-type: none"> 新しい軸シール構造の伝熱解析が完了 摺動部材の候補材の絞り込みが完了 軸シール構造・摺動部材の基本設計が完了 	○
c) 商用機の設計技術および性能評価技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 試作機の1D CAEモデルの構築し、試作機の現地試験設備の基本計画を完了し、2021FYの試験の用途を付ける 	<ul style="list-style-type: none"> 試作機の1D CAEモデルの構築が完了 試作機の現地試験設備の基本計画が完了 	○

33

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

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

助成先：株式会社荏原製作所

●研究目標

④液化水素昇圧ポンプの開発

実施項目	目標	成果内容	自己評価
軸スラストバランス機構の検討	・ バランス機構基本構造の設計	・ 基本構造の設計完了	○
ポンプ材料の選定	・ 水素/低温脆化を考慮した材料選定 ・ 材料特性の把握	・ 構造部品用材料の ・ 評価/選定完了	△
ポンプ性能/機能の評価・分析	・ 試作機の設計 ・ 試験設備の製作	・ 試作機基本設計完了 ・ 試験設備製作着手	△

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

34

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

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

助成先：トーヨーカネツ株式会社

●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
真空排気システムの確立	①候補材料のガス放出量の測定 ②ベーキング手法の確立 ③底部断熱構造側板の真空排気用孔径の決定	①大型の平底円筒貯槽に適用可能な材料の見通しを得た。 ②真空排気性を考慮した底部断熱構造設計確立への見通しを得た。	△
内槽底部への入熱量算定手法の確立	・ 断熱性能測定装置の詳細仕様を決定する。	・ 断熱性能測定装置完成への見通しを得た	△
SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立	①液化水素温度であっても十分な破壊靱性を有する溶接施工法を確立する。 ②脆化が最も起こりやすくなると言われている-70℃付近の水素脆化度を確認する。	・ SUS316Lの大型液化水素貯槽への適用を可能とする根拠を得た。	○

35

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

2020年6月
開始事業

(Ⅱ-⑤)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／
液化水素用大口径バタフライバルブの技術開発」

助成先：株式会社中北製作所

(Ⅱ-⑥)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／
液化水素用バタフライバルブの開発」

助成先：株式会社ササクラ

(Ⅱ-⑤)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／
液化水素用大型バルブの技術開発」

助成先：株式会社キッツ

36

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

2020年6月
開始事業

(Ⅱ-⑤)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／
液化水素用大口径バタフライバルブの技術開発」

助成先：株式会社中北製作所

●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
市場調査	<ul style="list-style-type: none"> バルブの要求仕様その他要件、高圧ガス保安法における要求事項を把握 	<ul style="list-style-type: none"> 顧客との定期的な協議を開始 高圧ガス保安法の適用範囲に関する調査に着手 	△
原理開発	<ul style="list-style-type: none"> シール構造及び真空断熱構造の開発 	<ul style="list-style-type: none"> シール構造を検討し構造解析に着手 真空断熱構造の検討を開始 	△
実機開発	<ul style="list-style-type: none"> バルブ実機における実流体試験にて各目標値を達成し、試験結果と実機モデル解析とのギャップ分析を完了することで、液化水素用大口径バタフライバルブの技術を確立 	<ul style="list-style-type: none"> 来年度以降にて実施計画 	—

37

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

2020年6月
開始事業

(II-⑥)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／
液化水素用バタフライバルブの開発」

助成先：株式会社ササクラ

●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
バルブ大型化による性能確保	・ 流路内漏洩量LNG仕様相当	・ 試作バルブの構造検討中 (2021年度LN2にて評価)	2020年度:設計完了 2021年度:試作バルブ完成
液化水素として維持可能な構造	・ バルブ内外の断熱	・ 構造検討、強度計算の実施中	△
水素の外部漏れに対する安全	・ 流路外漏洩量LNG仕様相当	・ グランド部の構造検討実施中	△
使用材料による加工とコスト	・ LNG仕様弁の加工費1.2倍	・ 2020年度に調達完了予定	△
液化水素条件下における性能確保	・ LNG仕様相当の漏洩量	・ JAXA殿と概要の打合せを実施 ・ (2022年度LH2にて評価)	2021年度:試験要領の決定、試験準備

38

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

2020年6月
開始事業

(II-⑤)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／
液化水素用大型バルブの技術開発」

助成先：株式会社キッツ

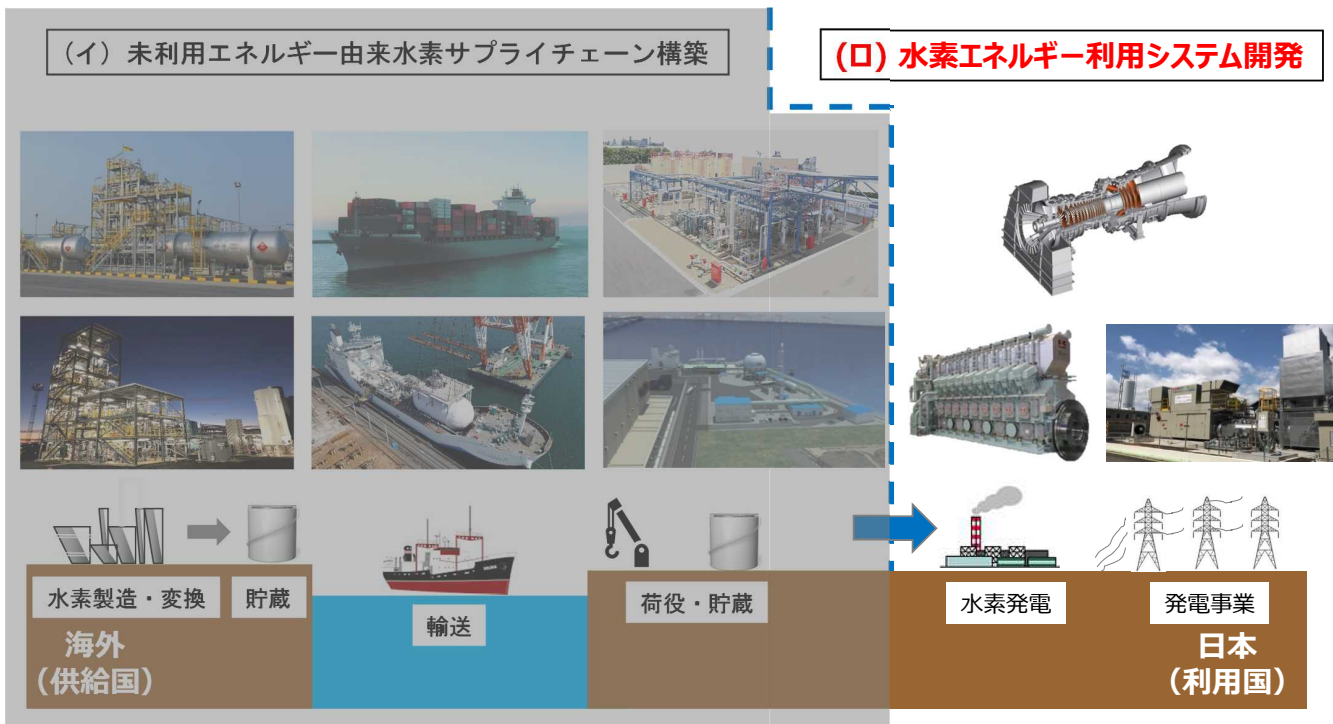
●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
弁種の検討	・ 大口径化実現可能な弁種・構造の選定	・ 遮断弁：ボール弁 ・ 逆止弁：スイング式	○
封止技術の検討	・ 液化水素温度下 (-253℃) における外部・内部封止性能の確立(JAXA共同研究予定)	・ 解析等より、シール位置決定材料、形状を検討中	△
弁の製造方法の検討	・ 大型精密部品の製造方法の決定	・ 一体加工製造は困難 ・ 別体分割構造を検討中	△
真空断熱構造の検討	・ 弁接続を真空配管上部へ配置する構造確立 ・ 断熱性、弁保持方法の決定 (2021年度)	・ 縮小モデルで組立・分解方法の検討実施中	△(2021年度完了予定)
弁試験評価	・ 弁の試作、組立・分解治工具の確立 ・ 弁に要求される性能評価試験を実施 ・ 弁のサイズ展開設計完了 (2022年度)	・ 縮小モデルで組立・分解方法の検討実施中 ・ 2021年度より着手予定	△(2022年度完了予定)

39

3. 研究開発成果について

水素エネルギー利用開発のイメージ



水素サプライチェーン・水素エネルギー利用概念図

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

(II-⑧) 「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／ドライ低NOx水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業」

助成先：川崎重工業株式会社、株式会社大林組

●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
A：ドライ低NOx水素専焼ガスタービンの運転実証	①安定燃焼の達成 ②発電効率27%以上(定格)を達成 ③NOx排出値35ppm以下の達成 ④「混焼運転」対応のための課題抽出	<ul style="list-style-type: none"> 世界初の実用レベルのドライ方式水素専焼ガスタービンによる発電装置の実証を完了し、水素発電所としての実運用を開始 発電端効率27%以上の達成に目途 	○
B：冷熱活用システム検討	①冷熱利用熱交換器の基礎検討 ②蒸発器の着霜防止効果を定量評価 ③空気冷却器着霜発生条件を把握 ④冷熱利用の経済合理性の定量評価	<ul style="list-style-type: none"> 冷熱利用の基礎検討およびシミュレーションモデルの作成が完了。発電出力および効率向上効果の定量評価に目途 	○

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

(Ⅱ-⑨)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／CO2フリーアンモニア利用GTCCシステムの技術開発」

助成先：三菱パワー株式会社

●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
(1) システム構成の検討	<ul style="list-style-type: none"> 他のCO2フリーシステムと比較して経済的に優位(目標：17円/kWh以下(2030年))で運用性に優れたシステム構成/運転条件の検討 	<ul style="list-style-type: none"> 混焼システムの起動要領を検討 NH3燃料の価格と本システムの建設費をパラメータとし、本システムの発電コストを評価 	○
(2) NH3分解装置の検討	<ul style="list-style-type: none"> NH3分解装置の機器構成の決定、分解後の残留NH3濃度0.38%以下 触媒の実使用環境を考慮した寿命や性能評価 	<ul style="list-style-type: none"> 混焼システムのNH3分解反応器の構造も含めた試設計を実施 NH3曝露試験で触媒表面の被毒物質の分析、触媒比表面積変化を計測 	○
(3) 燃焼器の検討	<ul style="list-style-type: none"> NH3分解ガス混焼条件(水素体積割合20%)における実圧燃焼器のNOx性能の検証 	<ul style="list-style-type: none"> 既存実圧燃焼試験装置の燃料系統に微量NH3を供給する系統を計画 	○

42

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

2020年6月
開始事業

(Ⅱ-⑩)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発 低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型DryLowNOx高温ガスタービン発電設備の研究開発」

助成先：三菱パワー株式会社、三菱重工業株式会社

●研究目標

実施項目	目標 (2020年度)	成果内容	自己評価
モデルバーナの設計技術	<ul style="list-style-type: none"> 高温高圧下のモデルバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下 	<ul style="list-style-type: none"> 燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無くターゲット計画条件にてNOx 50ppm(15%O2換算)以下を達成した 	○
シングルセグメントの設計技術	<ul style="list-style-type: none"> 数値解析による概念設計 水素専焼が逆火耐性に与える影響評価を完了 	<ul style="list-style-type: none"> シングルセグメントの数値解析により、バーナ内部の流動を確認した 	△
大型ガスタービン燃焼器設計技術	<ul style="list-style-type: none"> 燃焼器の概念設計の完了 	<ul style="list-style-type: none"> 燃料系統、燃料ステージの計画をもとに、燃焼器全体の計画図を作成した 	△
大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術	<ul style="list-style-type: none"> 水素供給装置を含めた実圧燃焼試験装置の系統図、配置図の完成 	<ul style="list-style-type: none"> 水素供給装置から燃焼セルまでの系統構成を検討し、成立性の目途を得た 	△
高温高圧下での燃焼器燃焼試験(2022年度予定)	<ul style="list-style-type: none"> 計画運転条件において、逆火なく燃焼器出口でNOx50ppm以下 	<ul style="list-style-type: none"> (2022年度予定) 	-

43

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

2020年6月
開始事業

(Ⅱ-⑪)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／高濃度水素混焼/水素専焼焚きボイラ・発電設備の技術開発」

助成先：三菱パワーインダストリー株式会社

●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
水素ガス供給圧力の高圧化	供給圧力：100～990kPa	高圧ガスバーナ実績を水素焚バーナ設計に反映済	△
燃焼振動現象の抑制	I1≤50Pa (*1) *1:共鳴周波数成分の振幅	低振動ガスバーナ実績を水素焚バーナ設計に反映済	△
NOx低減	NOx≤60～100ppm	本事業では5種類の低NOx手法を適用。水素濃度84%燃料にて水噴霧でNOx100ppm以下を実証済	△
逆火現象の防止	逆火・焼損回避条件の明確化	逆火現象評価用の基本解析モデルは作成済	△

44

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

2020年6月
開始事業

(Ⅱ-⑫)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／大出力水素燃焼エンジン発電システムに関する技術開発」

助成先：川崎重工業株式会社

●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価	・ 大出力エンジンにおける水素燃焼の特徴を抽出し、水素燃焼単筒機の要目を定める	・ 水素供給機能整備完了し、試験に着手	△
水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化	・ 多くの量の水素を貯蔵・供給ができる水素燃焼専用試験運転設備を整備する ・ 要素試験結果を反映した水素燃焼専用単筒機を用いて、従来実績を上回る図示平均有効圧力1.6MPaを実現する	・ 強度評価を行う対象部品を抽出 ・ 各種解析手法を比較する準備を整えた ・ 大物部品の設計に着手 ・ 試験設備の基本設計に着手	△
水素燃焼単筒機運用システムの開発	・ 天然ガス燃焼エンジンと同様の安全性にて運用可能な運用・制御システムを確立する	・ 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出に着手	△

45

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

終了事業

(Ⅱ-⑬)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業」

助成先：株式会社大林組、川崎重工業株式会社

●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
統合型EMSの開発	・「電気」「熱」「水素」の統合型EMSの経済的運用モデルと双方向蒸気融通技術の確立	・「電気」「熱」「水素」の統合型EMSの経済的運用モデル確立の完了 ・双方向蒸気融通技術確立の完了	○
水素CGSの開発	・実負荷運転時の水素混焼割合の切替え時の燃焼安定性の検証	・実負荷運転時の水素混焼割合切替え時の燃焼安定性検証の完了	○

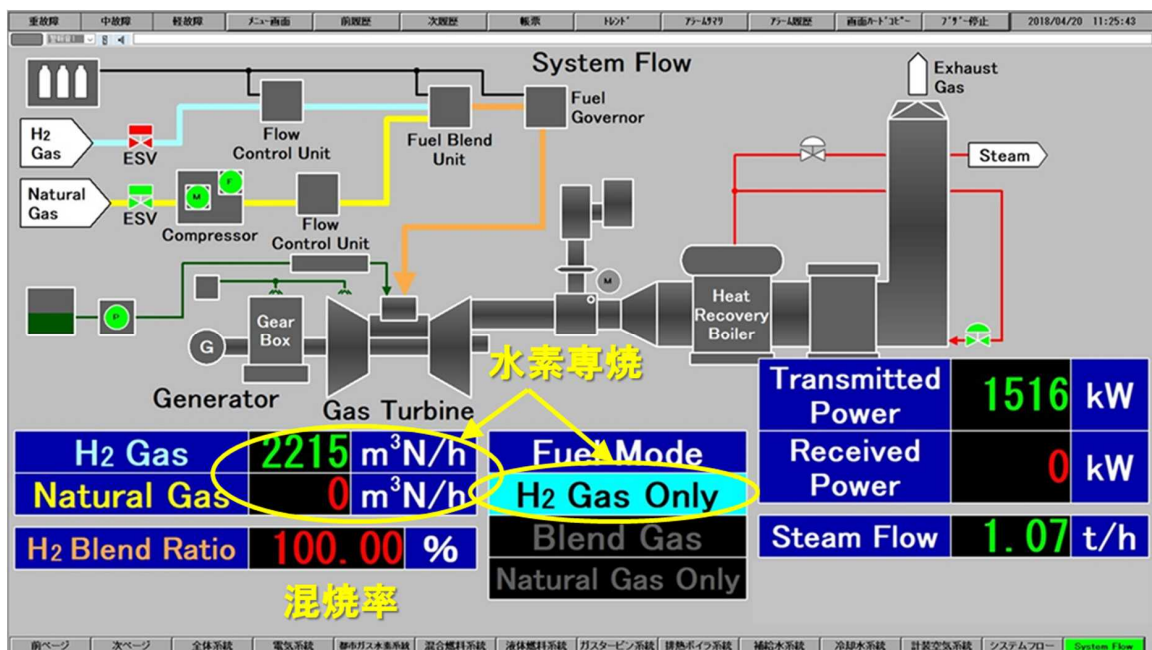
・ 統合型EMSの開発について、双方向蒸気融通技術と統合型EMSを導入し、電気・熱・水素を総合管理し、環境性と事業性を確保するエネルギーマネジメントシステムおよび蒸気ハンマーの発生しない双方向融通廃管網が構築できた。
 ・ 水素CGSの開発について、最終目標である「実負荷運転時の水素混焼割合切替え時の燃焼安定性検証」が完了。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

終了事業

◆プロジェクト全体の成果と意義

<成果> **世界初**となる、市街地におけるガスタービンCGSでの水素専焼(水素100%)による熱電供給を達成
 (NEDO、川崎重工業・大林組と共同で2018/4/20にプレスリリース)



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

終了事業

(Ⅱ-14)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発
低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発」

助成先：三菱パワー株式会社、三菱重工業株式会社

●研究目標

実施項目	目標	成果内容	自己評価
A-1 火炎伝播速度計測	高圧条件において水素混焼割合が燃焼速度に与える影響を明らかにする	高圧条件下の燃焼速度を計測し、層流燃焼速度で無次元化することで変動速度と乱流燃焼速度の関係で整理可能であることを明確化	○
A-2 数値解析の高度化	実燃焼器において燃料中の水素混焼割合の変化影響をシミュレーションにより予測する	燃焼モデルとしてFGMモデルを適用し、解析により低空気量・高燃空比条件の逆火現象再現が可能であることを確認	○
A-3 着火遅れ時間計測	ガスタービン内部での自己着火による損傷リスクを評価する	ガスタービン燃焼器内部と同等条件で着火遅れ時間を計測し、水素混焼運用時の自己着火発生による焼損リスクが低いことを確認	○
B 燃料成分の変化に対する安定運用範囲を拡大する技術	水素混焼割合20%の条件において天然ガス燃焼GTと同等の性能を有する燃焼器を開発する	渦芯フラッシュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発し、水素混合割合30%条件にて安定燃焼が可能なることを実圧燃焼試験で確認	○
C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術	本事業成果の商品化に向けた基本設計(用品パッケージ化)を完了する	水素混焼焚きにおけるプラント基本設計が完了	○

・水素混合割合30%条件(> 事業目標：水素混合割合20%条件)において、安定燃焼が可能なることを実圧燃焼試験により確認した。
 ・実在するプラントをベースに、プラント建設計画を策定し、商品化に向けた基本設計(商品パッケージ化)を完了した。
 ・**インターマウンテン電力向けに、高効率機種であるJAC形発電設備を受注。**
2025年に水素混焼率30%で運転を開始予定。

48

3. 研究開発成果 (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

◆成果と意義

水素サプライチェーン：

水素をエネルギーとして利用するために必要な技術。

水素利用技術：

水素を発電、熱等に利用することで、CO2削減に寄与できる期待が大きい。

⇒環境問題、エネルギー問題の解決に大きく貢献可能

49

◆成果の普及

	2015 年度	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	計
論文	0	0	2	7	2	1	12
研究発表・講演	16	50	86	131	92	32	407
受賞実績	0	0	0	0	0	1	1
新聞・雑誌等への掲載	0	3	53	56	45	28	185
展示会への出展	9	3	11	8	14	3	46

※2020年9月末現在

◆成果の普及

- 製造、輸送、利用の幅広い技術成果を学会、展示会、新聞等で幅広く成果普及
- 基盤研究成果を招待講演等で成果発信
- セミナー・講演、新聞等で成果発信

World Hydrogen Technologies Convention (WHTC) 2019
 第14回再生可能エネルギー世界展示会&フォーラム
 日本社会イノベーションフォーラム2019
 福岡水素エネルギー人材育成センター主催「水素入門コース」
 日本伝熱学会主催「第16回関西伝熱セミナー」
 関西火力発電EXPO技術セミナー
 Regional Workshop on Green and Low Carbon Hydrogen Energy
 第57回 日豪経済合同委員会議
 International Conference on Power Engineering-2019
 大阪産業技術研究所 森之宮センター
 NIRO主催 第3回セミナー・見学会「水素サプライチェーン構築に向けた取り組み」
 日経 社会イノベーションフォーラム
 水素閣僚会議にて展示・発表
 FCEXPO2020 展示
 2020年度/第29回グリーン・コール・デー国際会議
 次世代火力発電EXPO
 など 多数発表

◆成果の普及

- HySTRA：水素輸送船進水式（新聞各社、関西圏テレビ）
- AHEAD：ブルネイの設備オープニング式典（事業者、NEDOのHP）
川崎の設備オープニング式典（新聞各社、関東圏テレビ）
川崎からブルネイハトルエンの輸送開始にてサプライチェーン始動
（事業者、NEDOのHP）
- 大林組、KHI：神戸CGS（混焼設備）オープニング式典、
世界初、市街地でのWet式水素100%運転達成
（事業者、NEDOのHP、新聞各社）
- MHI：天然ガス・水素混焼の30%混焼達成（事業者のHP、新聞各社）
- KHI、大林組：Dry方式水素専焼に成功（事業者、NEDOのHP）

その他多くの新聞報道にて本事業のテーマが取り上げられている。
新聞各社からの問い合わせ多数

◆知的財産権の確保に向けた取組

	2015 年度	2016 年度	2017 年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	計
特許出願 (うち外国出願)	4 (1)	1	10	1	1	3 (1)★	20件 (2)

※2020年9月末現在
★準備中含む

◆本プロジェクトにおける「実用化」の考え方

- 当該研究開発に係る試作品、サービス等の社会的利用(顧客への提供等)が開始されること。
- 当該技術が水素利活用するための将来設備の基本計画の試算等に活用されること。

(1) 実用化に向けた戦略 (2) 具体的取組

Ⅲ 総合調査

可能性調査を実施し、将来の水素利活用を検討している。

地産地消型水素製造・利活用ポテンシャル調査

- 水素に関する世界初の国家戦略である「水素基本戦略(2017年12月決定)」や「水素・燃料電池戦略ロードマップ(2019年3月策定)」の中で、将来的な低炭素水素の利活用拡大のみならず、地域のエネルギー自給率の向上や新たな地域産業創出等に資するものとして地域の未利用資源を活用した水素サプライチェーンの構築の必要性が掲げられている。
- 本調査では、再生可能エネルギーや副生水素等の地域資源を活用した水素製造及び利活用ポテンシャルを分析し、地域での水素サプライチェーン構築(地産地消モデル)の実現可能性を明らかにすることを目的とする。

2019年度	6件
2020年度	5件

◆波及効果

- 神戸CGS（水素発電）はマスコミでも大きく取り上げられ、水素エネルギー利用の可能性を広く示すことが出来た。
（46カ国、2600名以上の視察）
- 水素輸送船の進水式には約4000名の来場者があり、広く水素輸送船を利用したサプライチェーンのPRが出来た。
- 水素・天然ガス混焼ガスタービン発電技術で開発した成果が米国電力向けに納入、2025年運転開始予定。

3. 研究開発成果について (添付資料番号一覧)

テーマ名	資料番号	事業者名
未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン実証	II-①	技術研究組合CO2フリー水素サプライチェーン推進機構
有機ケミカルハイドライド法による未利用エネルギー由来水素サプライチェーン実証	II-②	次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合
液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発	II-③	川崎重工業株式会社 東京貿易エンジニアリング株式会社 株式会社IHI回転機械エンジニアリング 株式会社荏原製作所
液化水素貯槽の大型化に関する研究開発	II-④	トーヨーカネツ株式会社
液化水素用大口径バタフライバルブの技術開発	II-⑤	株式会社中北製作所
液化水素用バタフライバルブの開発	II-⑥	株式会社サクラ
液化水素用大型バルブの技術開発	II-⑦	株式会社キッツ
ドライ低NOx 水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業	II-⑧	川崎重工業株式会社 株式会社大林組
CO2フリーアンモニア利用GTCCシステムの技術開発	II-⑨	三菱パワー株式会社
低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型DryLowNOx高温ガスタービン発電設備の研究開発	II-⑩	三菱パワー株式会社 三菱重工業株式会社
高濃度水素混焼/水素専焼焚きボイラ・発電設備の技術開発	II-⑪	三菱パワーインダストリー株式会社
大出力水素燃焼エンジン発電システムに関する技術開発	II-⑫	川崎重工業株式会社
水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業	II-⑬	株式会社大林組 川崎重工業株式会社
低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発	II-⑭	三菱パワー株式会社 三菱重工業株式会社

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

助成先：技術研究組合
CO2フリー水素サプライチェーン推進機構
(HySTRA)

●成果サマリ (実施期間：2015年度～2022年度終了予定)

・液化水素の長距離大量輸送技術の開発において、液化水素輸送タンクシステムに関し海上輸送を考慮した断熱システム、高真空維持システムの開発及び設計を終了するとともに、タンクシステムの設計・製作を2020年2月に完了し、船体への搭載も完了した。現在、タンクシステム周りの真空二重管の施工及び水素関連機器の搭載を実施中である。年内に海上公試を終了し、年度内の船級取得、日豪航海を目指す。
 ・液化水素荷役技術の開発において、揺動環境下におけるローディングシステム及び液化水素貯蔵タンク等の主要機器の設計、製作、据付を2020年5月に完了し、6月から水素置換を手始めに、基地単独での実証試験を開始した。8月に液化水素貯蔵タンクへの液化水素の充填を完了し、現在、実証試験を実施中である。
 ・ガス化技術の開発において、豪州に2t/dガス化炉設備の設計、製作を実施し、2020年9月に据付工事を完了した。今後、試運転を経て、10月中旬以降より水素の製造を開始する予定である。国内に設置の20t/d若松小型炉試験設備での試験は年明け以降に実施予定である。

●背景/研究内容・目的

2030年頃に商用化を目指す現状のLNGと同規模の水素サプライチェーン(水素製造・液化水素貯蔵・液化水素解除輸送・水素の発電利用)の実現を見通すために、現状のLNG内航船と同規模の輸送用タンクに「1. 液化水素の長距離大量輸送技術」、それに対応する「2. 液化荷役技術」、及び豪州の未利用エネルギーである褐炭を用いた「3. 褐炭ガス化技術」の研究開発を行う。

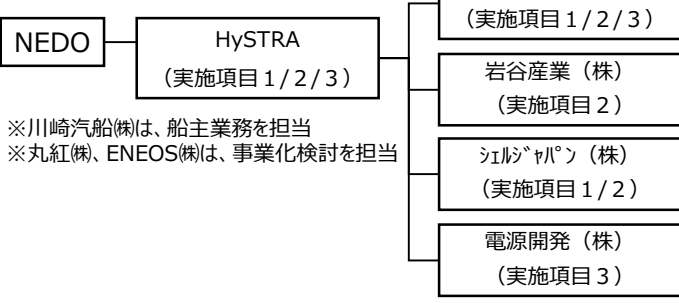
●研究目標

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

●これまでの実施内容／研究成果

実施項目	実施内容／研究成果
1. 液化水素の長距離大量輸送技術の開発	(a) 液化水素海上輸送システムの要素技術の開発 ・真空条件下でタンクへの熱流束が目標値以下となる断熱構成を確認した。 ・揺動に対応したドーム構造と拘束材設計を完成した。 (b) 輸送用タンクシステムの開発 ・真空度の経時劣化の傾向を確認し、これを基に断熱仕様を確定した。 ・使用する素材の破壊靱性試験により、タンク構造の強度を確認した。 ・解析によりガス置換作業が現実的な時間で実施可能であることを確認した。 ・LNGで実績のある既存の液面計が液化水素に対しても適用可能であることを確認した。 (c) 輸送用タンクシステムの設計・製作・検査 ・2016年度までに実施した研究開発項目(a)と(b)により開発された技術を踏まえ、輸送用タンクシステムおよび配管艦装品の基本設計・詳細設計を完了し、船級立会検査のもと、製作をほぼ完了した。 (d) 実証試験の実施 ・輸送用タンクおよび各種配管艦装品を含めたシステム全体の詳細設計内容をFMEAに反映し、実証試験で実施すべき項目を実証試験開始までに洗い出し中。 ・船級(日本海事協会)と実証試験の実施項目を確認中。
2. 液化水素荷役技術の開発	(a) 液化水素の陸上・海上間移送技術実証 ・海上揺動環境下において目標流量及び目標可動範囲を達成できるローディングアームシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領書を作成した。 (b) 荷役基地におけるオペレーション技術の開発 ・目標燃費率以下となる液水貯蔵タンクの製作、設置が完了し、BOR計測要領書の策定も完了したことで、実証試験実施の見通しを得た。 ・カーゴタンク当たり200m ³ /h以上の荷役流量を目標とした陸上・海上間輸送設備及び基地配管の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た。
3. ガス化技術の開発	(a) EAGLE炉への豪州褐炭の適用性検討 ・「2t/dガス化炉」：豪州ラトロップバレー炭鉱での褐炭の特性を反映した設備設計を実施。豪州での試験設備の据付完了。 ・「20t/dガス化炉」：豪州褐炭の試験サンプルを基に運転条件等の事前解析実施(10月より実施)。試験用の褐炭を日本に輸送し、事前乾燥実施。(10月より実施) (b) 化学原料製造向けガス化技術の検討 ・「2t/dガス化炉」でCO ₂ 搬送が、「20t/dガス化炉」でダイレクトクエンチの試験が可能となるよう設計済み。プロセスシミュレーションのモデルを構築中。今後試験結果を踏まえ精度の向上を図る。 (c) 豪州褐炭ガス化運用技術の検討 構築したシミュレーションモデルを用い、大型化時のユーティリティ量の把握等に利用する。

●実施体制及び分担等



●今後の課題

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

●実用化・事業化の見通し

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

●研究成果まとめ (2020年9月末現在)

実施項目	成果内容	自己評価	
1	液化水素輸送用タンクの製作を完了し、船体への艦装を完了した。その他水素関連機器の艦装に一部遅れが発生している。	△ (2020/11)	
2	荷役基地の据付を完了し、基地単独実証試験を開始した。	○	
3	2t/dガス化炉設備の据付工事を完了した。10月より水素製造を実施する。	△ (2021/2)	
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
14	3	286	1

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

(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

技術研究組合CO2フリー水素サプライチェーン推進機構

2020年12月4日

1 / 49

研究開発項目

(Ⅰ) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

(Ⅱ) 液化水素荷役技術の開発



(Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発

2 / 49

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度

「(I) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発」の目標と達成状況

開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
液化水素の長距離大量輸送技術の開発	c) 輸送用タンクの設計・製作・検査 基本設計・詳細設計を元に、タンク製作・検査・船体搭載が着実に成され、配管艦装品を含めたシステム全体が実証試験実施可能な状態になっていること。	2016年度までに実施した研究開発項目「a)液化水素海上輸送システムの要素技術の開発」と「b)輸送用タンクシステムの開発」により開発された要素技術を踏まえ、輸送用タンクシステムおよび配管艦装品の基本設計・詳細設計を完了し、船級立会検査のもと、製作をほぼ完了した。	 最速で 2020年 11月末予定	一部購入機器の不具合が見つかり、対処方法を検討中 2020年10月末には改めて見通しが明確になる見込み
	d)-① 安全対策システムの開発 (実証試験の実施) <ul style="list-style-type: none"> ● 実証設備を用いた試験方案への船級承認が完了し、2020年度中の日豪間輸送の実現が見込める状態であること。 ● 実証試験実施時の危険要因が把握され、それらに対する有識者による安全対策の妥当性検証が完了していること。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 輸送用タンクおよび各種配管艦装品を含めたシステム全体の詳細設計内容をFMEAに反映し、実証試験で実施すべき項目を実証試験開始までに洗い出し中。 ● 船級 (日本海事協会)と実証試験の実施項目を確認中。 	 最速で 2020年 12月末予定	



◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

3/49

3. 研究開発成果について

(2) 成果の意義

「(I) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発」の成果と意義

開発項目	成果	達成度	成果の意義
液化水素の長距離大量輸送技術の開発	c) 輸送用タンクの設計・製作・検査 研究開発項目a)とb)により開発された技術を踏まえ、輸送用タンクシステムおよび配管艦装品の基本設計・詳細設計を完了し、船級立会検査のもと、製作をほぼ完了した。	 最速で 2020年 11月末 予定	船級協会の認める設計・検査内容で以て大容量の輸送タンクが製造出来ることが確認された。
	d)-① 安全対策システムの開発 (実証試験の実施) <ul style="list-style-type: none"> ● 詳細設計内容をFMEAに反映し、実証試験で実施すべき項目を洗い出し中。 ● 船級 (日本海事協会)と実証試験の実施項目を確認中。 	 最速で 2020年 12月末 予定	<ul style="list-style-type: none"> ● 世界水準の安全評価手法に則った設計手法を適用し、将来的に液化水素の大量海上輸送技術として、世界初の輸送実績を伴った設計技術として標準化していく見込みである。 ● また、世界で初めて液化水素の大量輸送を可能にするシステム全体の船級承認を取得と、実際の日豪間運用の実績を得られる見通しである。

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

4/49

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

【開発項目】

c) 輸送用タンク的设计・製作・検査

【目標】

タンク製作・検査・船体搭載が着実に成され、配管艤装品を含めたシステム全体が実証試験実施可能な状態になっていること。

【成果】

✓内槽ドーム組立(溶接)



✓内槽胴体組立(周溶接)



✓内槽鏡組立 (非破壊検査)



✓外槽胴板組立 (長手溶接)



✓外槽鏡板加工完了

5/49

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

【開発項目】

c) 輸送用タンク的设计・製作・検査

【成果 (前頁続き)】

2019年夏頃に内外槽一体化を完了し、真空槽の真空引きを実施。



(2019/5時点)

2020年3月に船体に輸送用タンクを搭載。



現在KHI神戸造船所内にて、貨物配管や各種貨物機器とのインテグレーション作業と試運転作業を実施中。

6/49

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

【開発項目】

d)-① 安全対策システムの開発

【目標】

- 実証設備を用いた試験方案への船級承認が完了し、2020年度中の日豪間輸送の実現が見込める状態であること。
- 実証試験実施時の危険要因が把握され、それらに対する有識者による安全対策の妥当性検証が完了していること。

【成果】

ア) 危険要因の把握

詳細設計内容をFMEAに反映し、実証試験で実施すべき項目を洗い出し中。

船級 (日本海事協会)と実証試験の実施項目を確認中。

研究開発項目

(Ⅰ) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

(Ⅱ) 液化水素荷役技術の開発

(Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度

「(Ⅱ) 液化水素荷役技術の開発」の目標と達成状況

開発項目	中間目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
液化水素荷役技術の開発	a) 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証 ●海上揺動環境下において、極低温(-253℃) 液化水素の陸上-海上間輸送を想定したローディングシステムの稼働範囲を有し、かゴ tank 当り200m ³ /h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること ●海上揺動環境下で使用する荷役設備を想定して可動範囲を持つローディングシステムを製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること	海上揺動環境下において目標流量及び目標可動範囲を達成できるローディングシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領を作成した。	○	特になし。今後は作成した実証試験の要領をもとに、液化水素の陸上-海上間輸送技術実証を行う。
	b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発 極低温液化水素の蒸発特性を踏まえ、配管入熱を仮定して、予冷段階、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備、および、目標蒸発率以下のタンクの製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること	●設定した配管系およびホ ^o レーションを基に蒸発量の算定、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備の製作、設置が完了した ●目標蒸発率以下となるタンクの製作、設置が完了し、BOR計測要領書の策定も完了したことで、実証試験実施の見通しを得た	○	特になし。今後は製作、設置した荷役設備、タンク等を使用し、荷役基地におけるホ ^o レーション技術の実証を行う。
	b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発 貯蔵タンク及び配管類の健全性を確保した予冷システムの設計が完了していること	積荷及び揚荷ホ ^o レーションを設定の上、リスクに基づく安全性評価を行い、貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの設計が完了した。	○	特になし。今後は製作、設置した荷役設備、タンク等を使用し、予冷システムの実証を行う。
	b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証 かゴ tank 当り200m ³ /h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること	かゴ tank 当り200m ³ /h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た	○	特になし。今後は製作、設置した輸送設備を使用し、荷役流量の実証を行う。

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

9/49

3. 研究開発成果について

(2) 成果の意義

「(Ⅱ) 液会水素荷役技術の開発」の成果と意義

開発項目	成果	達成度	成果の意義
液化水素荷役技術の開発	a) 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証 海上揺動環境下において目標流量及び目標可動範囲を達成できるローディングシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領を作成した。	○	●設置完了したローディングシステムにより、海上揺動環境下における液化水素荷役の実現性を検証することができ、世界初となる液化水素の陸上-海上間移送技術を開発することが可能になる。 ●液化水素用ローディングシステムを備えた液化水素荷役技術の試験設備を用いた技術実証により、机上検討との相違を洗い出し、既往のLNG荷役基地との比較を行うことで、商用規模への拡大に向けた解析を進め、商用チェーンに向けて液化水素荷役基地建設の見通しを得ることが可能になる。
	b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発 ●設定した配管系およびホ ^o レーションを基に蒸発量の算定、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備の製作、設置が完了した ●目標蒸発率以下となるタンクの製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た	○	●液化水素荷役基地におけるホ ^o レーション技術の開発にあたっての課題の一つである、液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発が可能になる。 ●正確な蒸発量予測手法により、商用基地での蒸発損失を最小化する設計・ホ ^o レーション技術の獲得が可能になる。
	b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発 積荷及び揚荷ホ ^o レーションを設定の上、リスクに基づく安全性評価を行い、貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの設計が完了した。	○	●液化水素荷役基地におけるオペレーション技術の開発にあたっての課題の一つである、貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発が可能になる。 ●予冷システムが最適化されることで、商用基地での蒸発損失最小化、ホ ^o レーション期間の短縮が可能になる。 ●世界初の液化水素の陸上-海上間移送技術を有する設備であり、商用に向けた安全性評価手法の確立が可能になる。
	b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証 かゴ tank 当り200m ³ /h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た	○	●液化水素荷役基地におけるオペレーション技術の開発にあたっての課題の一つである、液化水素の管内流動状況の検証を行うことが可能になる。 ●管内流動状況を正確に把握することで、蒸発損失、圧力損失等を最適化し、効率的な商用基地の建設が可能になる。

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

10/49

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

【開発項目】

a) 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証

【目標】

- 海上揺動環境下において、極低温(-253℃) 液化水素の陸上-海上間輸送を想定したローディングシステムの稼働範囲を有し、カーゴタンク当たり200m³/h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること
- 海上揺動環境下で使用する荷役設備を想定して可動範囲を持つローディングシステムを製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること

【成果】

海上揺動環境下において下記性能を目標とするローディングシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領を作成

- ✓ 目標性能を満足する管径に基づき、必要設置エリア、アーム間隔等を検討の上、ローディングアームの詳細設計、製作、据付を実施、完了 (2020年3月)
- ✓ 目標性能を満足する管径に基づき、緊急離脱装置 (ERC) およびバリエット継手の設計、製作、検査を実施、完了 (2020年1月)
- ✓ ローディングアームの可動範囲を設定の上、構造解析を行い、設定可動範囲を満足する設計、製作、検査を実施、完了 (2020年1月)



ローディングアームシステム現地据付状況①



ローディングアームシステム現地据付状況②

11 / 49

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

【開発項目】

b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発

【目標】

極低温液化水素の蒸発特性を踏まえ、配管入熱を仮定して、予冷段階、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備、および、目標蒸発率以下のタンクの製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること

【成果】

- 設定した配管系およびパレションを基に蒸発量の算定、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備の製作、設置が完了 (2020年3月)
- 目標蒸発率以下となるタンクの製作、設置が完了 (2020年5月)
 - ✓ 工場製作、現地建設が完了 (2020年5月)
 - ✓ タンクの冷却、初期積荷を実施 (2020年6月～8月)



液化水素貯蔵タンク現地据付状況①



液化水素貯蔵タンク現地据付状況②



液化水素貯蔵タンク現地据付状況③

12 / 49

【開発項目】

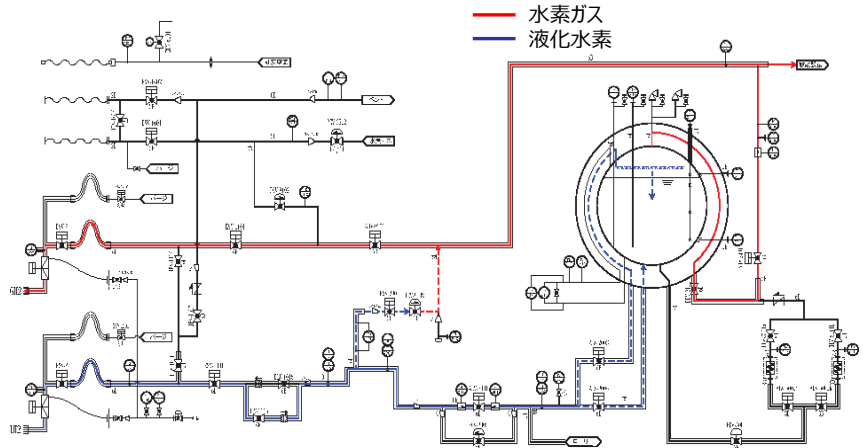
b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発

【目標】

積荷及び揚荷ホレーションを設定の上、安全性評価を行い、貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの設計が完了していること。

【成果】

- ✓ 各ホレーションごとにP&IDを作成し、ホレーションの設定を行うとともに、安全性評価を実施（～2018年6月）



例：揚荷時オペレーションフロー

【開発項目】

b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証

【目標】

極低温液化水素の蒸発特性を踏まえ、配管入熱を仮定して、予冷段階、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備、および、目標蒸発率以下のタンクの製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しが得られていること

【成果】

カーゴタンク当たり200m³/h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了（2020年3月）し、実証試験実施の見通しを得た

ア) 配管口径

- ✓ 流体種類、プロセス用途等により配管を分類し、それぞれに基本的な流速の目安を設定
- ✓ 検討に当たっては、LNG基地での実績をベースに、液化水素とLNGの物性の違い等を考慮



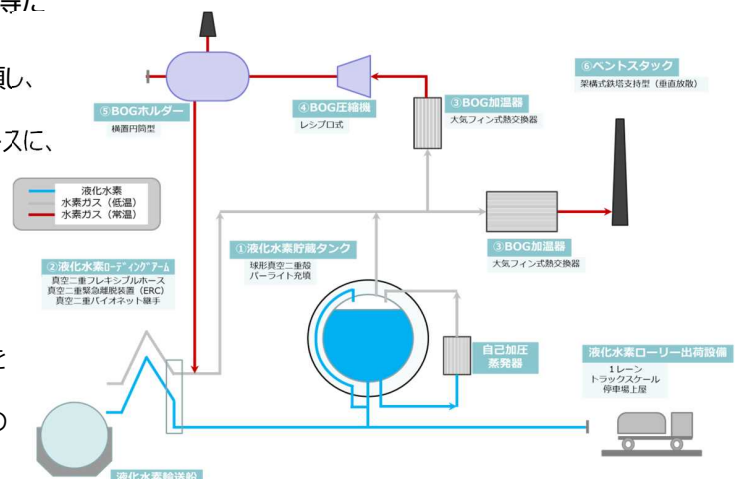
上記を根拠とし、各区分ごとに配管口径を決定

イ) 配管入熱

- ✓ 流体種類、プロセス用途等により配管断熱を設定
- ✓ さらに配管径ごとに分類の上、100mあたりの入熱量を計算



上記をもとに算定した管内の流れの状態、蒸発量等の予測値は、実証試験での管内流動状況検証のベース



【その他の成果】

<現地据付工事>



据付工事全景



ベントスタック据付

<基地単独実証試験>

ア) 基地タンク ガス置換作業実施、完了 (2020年6月)
大型のタンクにおける窒素⇒水素へのガス置換作業が概ね机上検討通りに行えることを確認

イ) 基地タンク 予冷作業実施、完了 (2020年7月)
本構造のタンクにおける予冷に必要な液化水素量等の知見を獲得

ウ) 基地タンク 液化水素充填作業実施、完了 (2020年8月)

エ) 基地タンク満載、静定後に蒸発率を計測し、目標蒸発率以下を達成 (2020年9月)



ガスホルダー据付

研究開発項目

(Ⅰ) 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

(Ⅱ) 液化水素荷役技術の開発

(Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

「(Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発」の目標と達成状況

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
褐炭ガス化技術の開発	a) EAGLE炉への豪州褐炭の適用性評価 以下ガス化試験を踏まえ、EAGLE炉での褐炭ガス化技術を確立する。 (2t/d 豪州小型ガス化試験装置) ・複数の褐炭についてガス化試験を行う。 ・1炭種につき複数回ガス化試験を行うことで、きめ細かく評価する。 (20t/d 若松小型炉試験設備) ・2t/dの試験結果を踏まえてガス化試験を行い、褐炭ガス化適用性を評価する。	(2t/d 豪州小型ガス化試験装置) ・豪州ラトローパレーでの褐炭の特性を反映した設備設計を実施。 ・豪州での試験設備の据付完了。 (20t/d 若松小型炉試験設備) ・豪州褐炭の試験サンプルを基に運転条件等の事前解析実施中。(10月より開始) ・褐炭を日本に輸送し、事前乾燥実施中。(10月より開始)	○	(2t/d 豪州小型ガス化試験装置) ・試験データを蓄積し、ガス化特性を評価する。 (20t/d 若松小型炉試験設備) ・豪州褐炭でのガス化試験を行い、EAGLE炉での適用性(スラグの排出性含む)を評価する
	b) 化学原料製造向けガス化技術の検証 ガス化試験にてCO2搬送及びダイレクトクエンチの効果を確認すると共に、シミュレーションにて大型化に向けた見通しを得る。	・2t/dガス化炉でCO2搬送が、20t/dガス化炉でダイレクトクエンチの試験が可能となるような設備とした。 ・プロセスシミュレーションのモデル構築中。今後試験結果を踏まえ精度の向上を図る	○	・実証試験において、特性データを取得し、大型化の見通しに向けた評価を行う。
	c) 豪州褐炭ガス化運用技術の検討 ガス化試験結果を踏まえ、運用方法の検討を行い、大型化に向けた見通しを得る。	・大型化した場合のシミュレーションモデルを構築中。大型化時のユーティリティ量の把握等に利用する。	△ (2021/2)	・大型化の見通しに向けた課題の抽出、評価を行う。

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

「(Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発」の成果と意義

開発項目	成果	達成度	成果の意義
褐炭ガス化技術の開発	a) EAGLE炉への豪州褐炭の適用性評価 (2t/d 豪州小型ガス化試験装置) ・豪州ラトローパレーでの褐炭の特性を反映した設備設計を実施。 ・豪州での試験装置の据付完了。 (20t/d 若松小型炉試験設備) ・豪州褐炭の試験サンプルを基に運転条件等の事前解析実施中。(10月より開始) ・褐炭を日本に輸送し、事前乾燥実施中。(10月より開始)	○	(2t/d 豪州小型ガス化試験装置) これまで経験のない褐炭を使ったガス化プラントの設計を行い、据付を完了。今後本装置を使用して、複数の豪州褐炭によるガス化特性を取得することができる。 試験準備が整ったことで複数の豪州褐炭のガス化特性を評価することができ、課題抽出に向けて前進した。 (20t/d 若松小型炉試験設備) 事前準備作業を着実に進めることで、若松小型炉試験設備での確実な試験運転に繋げる事が可能となった。
	b) 化学原料製造向けガス化技術の検証 ・2t/dガス化炉でCO2搬送が、20t/dガス化炉でダイレクトクエンチの試験が可能となるような設備とした。 ・プロセスシミュレーションのモデル構築中。今後試験結果を踏まえ精度の向上を図る	○	必要な試験が可能となり、実試験データを取得することで、化学原料製造向けガス化技術のプロセス最適化を図ることができる。 シミュレーションモデルを用いることで、大型化への見通しを得ることができる。 コストメリットに資する設備改造が完了し、化学原料製造向けガス化技術のプロセス最適化に向け前進した。またプロセスシミュレーションのモデル構築により、大型化に向けた効率的なプロセス評価が可能となった。
	c) 豪州褐炭ガス化運用技術の検討 ・大型化した場合のシミュレーションモデルを構築中。大型化時のユーティリティ量の把握等に利用する。	△ (2021/2)	シミュレーションモデルを用いることで、ユーティリティ量の把握を含め、運用に関する大型化への課題抽出および評価が可能となった。

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

【開発項目】

a) EAGLE炉への豪州褐炭の適用性検討

【目標】

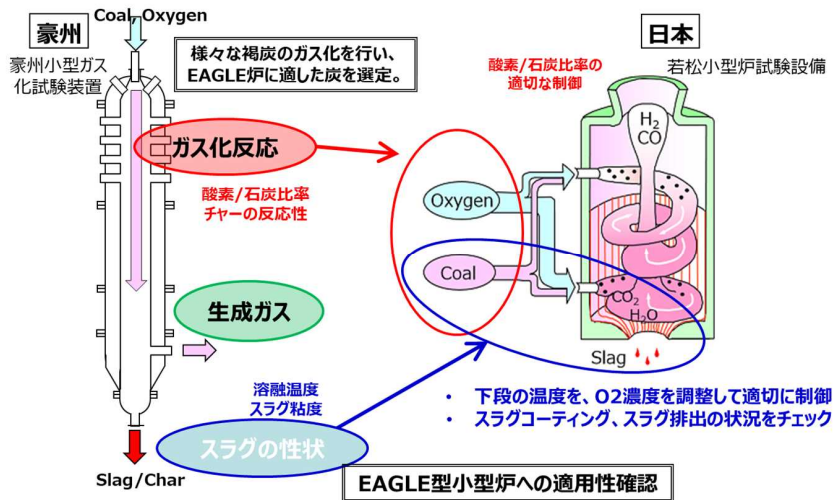
以下ガス化試験を踏まえ、EAGLE炉での褐炭ガス化技術を確立する。

(2t/d 豪州小型ガス化試験装置)

- ・ 複数の褐炭についてガス化試験を行う。
- ・ 1 炭種につき複数回ガス化試験を行うことで、きめ細かく評価する。

(20t/d 若松小型炉試験設備)

- ・ 2t/dの試験結果を踏まえてガス化試験を行い、褐炭ガス化適用性を評価する。



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

褐炭ガス化技術確立を行うことで、
170t-H₂/d 級のガス化炉まで
見通すことができる。

石炭処理量は異なるが、
ガス化圧力を下げて、炉
径を同じとしている。

10 t/d (20 t/d) @0.5MPa
若松小型炉試験設備

1 t/d (2 t/d)
豪州小型ガス化試験装置 (HESC[®] D[®] E[®] T)

50 t/d @3.0MPa
HYCOL パイロット試験 (1991~1993 / 袖ヶ浦)

0.5 t/d
Process Development Unit (1981~1985 / 勝田)

1,180 t/d = 170 t-H₂/d

18 t-H₂/d
150 t/d @2.5MPa

大崎クールジェン実証試験 (2016~ / 大崎)

EAGLE パイロット試験 (2002~2013 / 若松)

**石炭処理量は、
乾燥炭ベース
()内は湿炭ベース

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

【成果】

(2t/d 豪州での小型ガス化試験装置)

- プロセス、仕様の検討
 - ✓ 高水分褐炭に対応した乾燥粉碎技術の仕様決定
 - ✓ 豪州褐炭の性状分析および国内での事前ガス化試験により、豪州小型ガス化試験設備の設計用データ取得、反映
- HAZOPによる安全性評価を実施、設計に反映
- 豪州での設計規格適用、法規制対応
- 機器製作、輸送、据付、試運転
- ガス化運転によるガス化性能データ取得 (10月より開始予定)

(20t/d 若松小型炉試験設備)

- 豪州褐炭のガス化に必要な改造要否検討
- 豪州褐炭の試験サンプルを基に運転条件等の事前解析実施。(10月より開始)
- 褐炭を日本に輸送し、事前乾燥実施。(10月より開始予定)

21 / 49

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

【成果 (前頁続き)】

豪州小型ガス化試験装置 設備概観 (2020.9 据付完了)



微粉炭機



ガス化炉



プラント全景 (2020.7.29撮影)

22 / 49

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

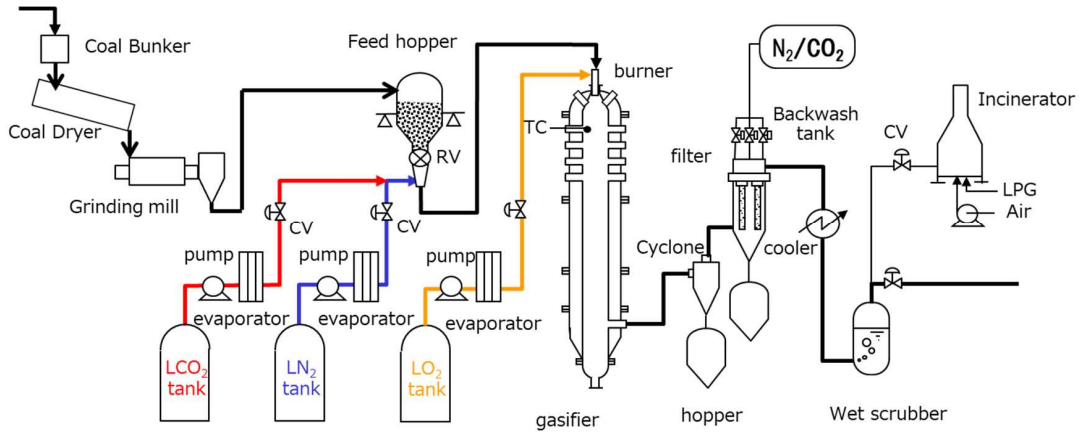
【開発項目】

b) 化学原料製造向けガス化技術の検討

【目標】

- 2t/dガス化炉でCO₂搬送が、20t/dガス化炉でダイレクトクエンチの試験が可能となるような設備とした。
- プロセスシミュレーションのモデル構築。今後試験結果を踏まえ精度の向上を図る

豪州小型ガス化試験装置 (2t/d) プロセスフロー



【成果】

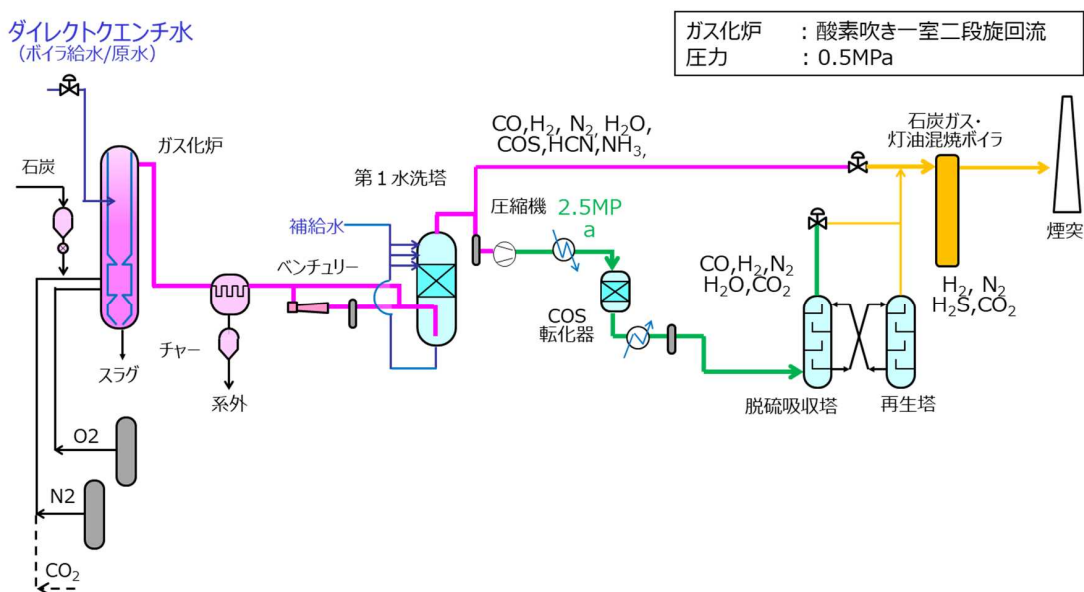
CO₂搬送システムを試験設備の設計に反映

褐炭搬送において、従来はN₂を使用するが、CO₂搬送とすることで、 $CO_2 + C \rightarrow 2CO$ のガス化反応により冷ガス効率の向上が期待される。

23 / 49

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

若松小型炉試験設備 (20t/d) プロセスフロー



【成果】

ガス化炉はダイレクトクエンチの試験が可能な仕様

ダイレクトクエンチ方式とはガス化出口の高温ガスに直接水（蒸気）を噴霧してガス冷却する方式。設備の低コスト化を図ることが可能。

24 / 49

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

●プロジェクト全体としての達成状況

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

●意義

- 現在までの研究開発活動により、安全かつ十分な性能を発揮する世界初の液化水素用大量海上輸送タンクの試験設備、液化水素荷役基地及び褐炭ガス化設備を製作・据付けすることが可能になった。
- 液化水素を用いた技術実証により、商用規模サプライチェーンの実現に向けて、設計的知見を蓄積できた。今後、実証試験の完遂により安全評価手法及び運用手順へのノウハウを蓄積できる。

25/49

3. 研究開発成果について (3) 知財と標準化 (4) 成果の普及

◆成果発表状況

	2015Fy	2016Fy	2017Fy	2018Fy	2019Fy	2020Fy	計	
論文発表 (査読付き)	0	0	1	1	1	0	3	
受賞実績	0	0	0	0	0	1※2	1	
外部発表	研究発表・講演	16	45	40	55	32	12	200
	新聞・雑誌等への掲載		3	28	19	17	12	79
	展示会への出展		1	2	2	1	(1)※1	6+(1)

※1 FC-EXPO2021に出展予定

2020年9月末現在

※2 ICFE 10 Innovation (2020/10)

26/49

3. 研究開発成果について (3) 知財と標準化 (4) 成果の普及

◆特許出願及び取得状況

	2015Fy	2016Fy	2017Fy	2018Fy	2019Fy	2020Fy	合計
特許出願数 (内；国際出願)	1 (1)	1 (0)	8 (0)	1 (0)	1 (0)	2 (0)	14 (1)

No.	出願日	出願番号	発明名
1	2016/2/12	PCT/JP2016/000750	船用二重殻タンク
2	2017/2/8	2017-021257	断熱構造
3	2017/6/6	2017-111749	ガス放出システム
4	2017/6/6	2017-111750	ガス放出システム
5	2017/6/6	2017-111751	液化ガス輸送船
6	2017/6/6	2017-111752	ガス漏洩検知システム及びガス漏洩検知方法
7	2017/10/16	2017-200327	二重殻タンクの隔壁構造
8	2018/3/2	2018-037207	船舶
9	2018/3/2	2018-037208	二重殻タンク及び液化ガス運搬船
10	2018/3/6	2018-039576	液化水素運搬船及び船体保護方法
11	2018/12/28	2018-247352	船舶
12	2020/3/30	2020-061456	液化ガス貯留船
13	2020/4/1	2020-072352	船舶
14	2020/5/25	2020-090259	ベントマスト
15	出願中		荷役配管のパージ

※2020年9月末現在

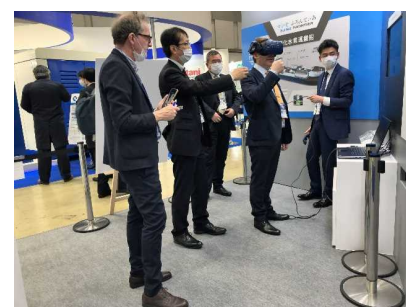
27 / 49

3. 研究開発成果について (4) 成果の普及

◆成果の普及状況



【ポルトガル エネルギー副大臣一行】



【ノルウェー 水素協議会議長一行】

FCEXPO2020 (東京ビックサイト 2020/2/26～2/28)

※COVID19の影響のため、ブース出展のみとし、現地でのプレゼンは見送った。

ただし、事前予約のあった来訪者については現地で技組職員による説明を実施した。

28 / 49

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性

開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(I) 液化水素の 長距離大量 輸送技術の 開発	c) 輸送用タンクの設計・製作・検査	研究開発項目a)とb)により開発された技術を踏まえ、輸送用タンクシステムおよび配管艤装品の基本設計・詳細設計を完了し、船級立会検査のもと、製作をほぼ完了した。	<ul style="list-style-type: none"> ● 日豪航行試験を繰り返し実施することにより様々な積付率及び気象条件での液化水素のBORデータを取得するとともに、真空度劣化や構造設計の妥当性をデータを蓄積する事で検証する。 ● 長期間にわたり使用し液化水素を取り扱った機器（圧縮機、加温機、蒸発器及びGCU等）について内部検査を実施し、健全性の評価を行う。 	2020年度末までに中間目標が達成可能な見通しである。今後、航行試験を継続実施することにより様々な積付率及び航海条件下で「輸送タンクシステムに真空防熱性能」、「タンク状態制御方法」について評価をする。また、「輸送タンクシステム安全機構」及び貨物機器の長期運転後健全性に関して評価を行う。
	d)-① 安全対策システムの開発（実証試験の実施）	<ul style="list-style-type: none"> ● 詳細設計内容をFMEAに反映し、実証試験で実施すべき項目を洗い出し中である。 ● 船級（日本海事協会）と実証試験の実施項目を確認中である。 		

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性

開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(II) 液化水素荷役 技術の開発	a) 揺動環境下における液化水素荷役の実現性検証	海上揺動環境下において目標流量及び目標可動範囲を達成できるローディングシステムの製作、設置が完了し、実証試験の要領を作成した。	大型化に適した鋼製ローディングアームシステムを用いた揺動環境下で使用可能な荷役技術を開発し、液化水素を使用した荷役試験を実施し、成立性を実証する。	2020年度末までに中間目標が達成可能な見通しである。今後、荷役試験を継続することによりデータの蓄積及び検証を行い、「貯蔵タンク及び配管内の蒸発率」、「貯蔵タンク内部状況」及び「荷役流量と配管圧力損失の関係性」について評価を行う。また、鋼製ローディングアームの開発を実施する。
	b)-① 液化水素荷役時の蒸発量予測手法の開発	<ul style="list-style-type: none"> ● 設定した配管系およびホーレージョンを基に蒸発量の算定、管内の流れ状態等を考慮した荷役設備の製作、設置が完了した ● 目標蒸発率以下となるタンクの製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た。 	液化水素の荷役試験を繰り返し実施することで貯蔵タンク内及び配管内の液化水素の挙動を把握し、設計条件に反映する。	
	b)-② 貯蔵タンク及び配管類の予冷システムの開発	積荷及び揚荷ホーレージョンを設定の上、安全性評価を行い、貯蔵タンク及び配管類の予冷システム的设计が完了した。		
	b)-③ 液化水素の管内流動状況の検証	カーゴタンク当り200m ³ /h以上の荷役流量を目標とした陸上-海上間輸送設備の製作、設置が完了し、実証試験実施の見通しを得た。		

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性

開発項目		現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
(Ⅲ) 褐炭ガス 化技術の 開発	a) EAGLE炉への 豪州褐炭の適用 性検討	(2t/d 豪州小型ガス化試験装置) ・豪州ラトロプバレーでの褐炭の特性を反映 した設備設計を実施。 ・豪州での試験設備の据付完了。 (20t/d 若松小型炉試験設備) ・豪州褐炭の試験サンプルを基に運転条件 等の事前解析実施中。(10月より開始) ・褐炭を日本に輸送し、事前乾燥実施中。 (10月より開始)	豪州に設置した「小型ガス化試験設備」を 用いてバイオマスを褐炭に混ぜた際のガス 化特性を評価する。	2020年度末までに中間目 標が達成可能な見通しで ある。 今後、褐炭-バイオマス混 合体でのガス化試験を継続 することによりデータの蓄積 及び検証を行い、商用化へ 向けた知見を得る。
	b) 化学原料製造 向けガス化技術の 検討	・2t/dガス化炉でCO2搬送が、20t/dガス 化炉でダイレクトクエンチの試験が可能となる ような設備とした。 ・プロセスシミュレーションのモデル構築。今後 試験結果を踏まえ精度の向上を図る。		
	c) 豪州褐炭ガス 化運用技術の検 討	・大型化した場合のシミュレーションモデルを構 築中。大型化時のユーティリティ量の把握等 に利用する。		
(Ⅳ) 液化水 素の利活 用	—	—	日豪輸送後の液化水素を近隣施設に供 給し、利用できることを実証する。	荷役基地の液水貯蔵タンク は、ローリー等に払出せる構 造となっていることから、液化 水素の利活用に使用すること は問題ないと考ええる。

31 / 49

3. 研究開発成果について (6) 2021年度以降の実施内容

開発項目	2021年度～2022年度の主な研究開発実施内容
(Ⅰ) 液化水素 の長距離大量輸 送技術の開発	<p>a) 輸送タンクシステムの真空防熱性能の追加評価 複数回の日豪航行を実施することで、液化水素の積付率及び海象条件（気温、揺動等）をパラメータとして蒸発率（BOR）データを取得し、長期連続運用時の液化水素輸送タンクシステムの真空防熱特性を評価する。</p> <p>b) タンク状態制御方法評価 輸送タンクの揺動及び落圧時間が与える液化水素への温度影響を評価する。</p> <p>c) 代替揚荷手段の開発 船側液化水素移送ポンプが故障した場合の代替揚荷方法として、基地側貯蔵タンクからの圧送による手法を実証する。</p> <p>d) 輸送タンクシステム安全機構の評価 GCU燃焼等の安全機構を使用し、その有効性及び周辺環境に与える影響を評価する。</p> <p>e) 貨物機器の長期運転後健全性評価 長期間にわたり使用し液化水素を取り扱った機器（圧縮機、加温機、蒸発器及びGCU等）について内部検査を実施し、健全性の評価を行う。</p>

32 / 49

3. 研究開発成果について (6) 2021年度以降の実施内容

開発項目	2021年度～2022年度の主な研究開発実施内容
(Ⅱ) 液化水素荷役技術の開発	<p>a) 貯蔵タンク及び配管内の蒸発率評価 貯蔵タンク内の残液量をパラメータとした蒸発率を評価する。また、大口径配管内での蒸発率を評価する。</p> <p>b) 貯蔵タンク内部状況の評価 貯蔵タンク内加圧時の液化水素温度に与える影響を評価する。</p> <p>c) 荷役流量と配管圧力損失の関係性評価 荷役流量増加に伴う配管圧力損失との関係性を評価する。</p> <p>d) 代替揚荷手段の開発 「液化水素の長距離大量輸送技術の開発 c)」と同様</p> <p>e) 液化水素からの水素ガス化製造方法の実証 気化器を用いた水素ガス製造方法を実証する。</p> <p>f) 鋼製LASを使用した荷役技術の開発 鋼製LASを用いた揺動環境下で使用可能な荷役技術を開発する。</p>

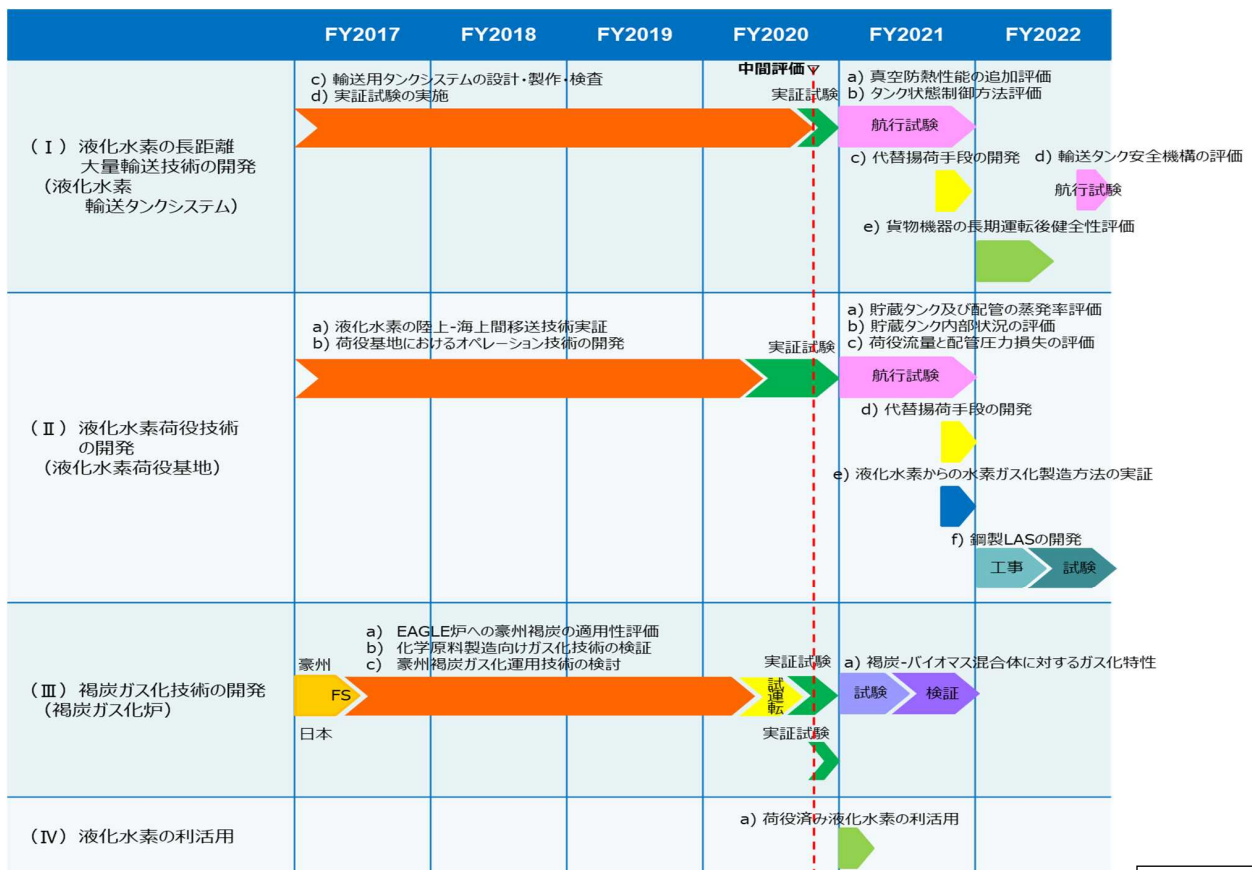
33/49

3. 研究開発成果について (6) 2021年度以降の実施内容

開発項目	2021年度～2022年度の主な研究開発実施内容
(Ⅲ) 褐炭ガス化技術の開発	<p>a) 褐炭-バイオマス混合体に対するガス化特性評価 技術上不可避に発生する未回収CO₂の排出を減少させるため、CO₂ニュートラルであるバイオマス燃料を混焼することで、実質上（ネットとして）更なる低炭素化を目的とし、豪州に設置した「小型ガス化試験設備」を用いてバイオマスを褐炭に混ぜた際のガス化特性を評価する。</p>
(Ⅳ) 液化水素の利活用	<p>a) 荷役済み液化水素の利活用 日豪間輸送し、神戸荷役基地へ荷役貯蔵した液化水素に関して、基地貯蔵タンクから払出し、近隣の施設へ液化水素を燃料として搬送し、利活用を実証する。</p>

34/49

3. 研究開発成果について (7) 2022年度までの試験研究計画(案)



4. 実用化・事業化の見通しについて

◆基本認識

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



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

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆実用化・事業化の時期

《2015年～2022年》

本プロジェクト（「未利用褐炭由来水素大規模海上輸送サプライチェーン実証事業」）を完遂
※エネルギーのサプライチェーン構築では実績が重視される。
・水素の海外からのサプライチェーン構築について社会認知を得る。
・エネルギー事業者への実現性認知を得る。



《2020年代半ば》

商用実証（大型化）を実施する。（技組内協議中）

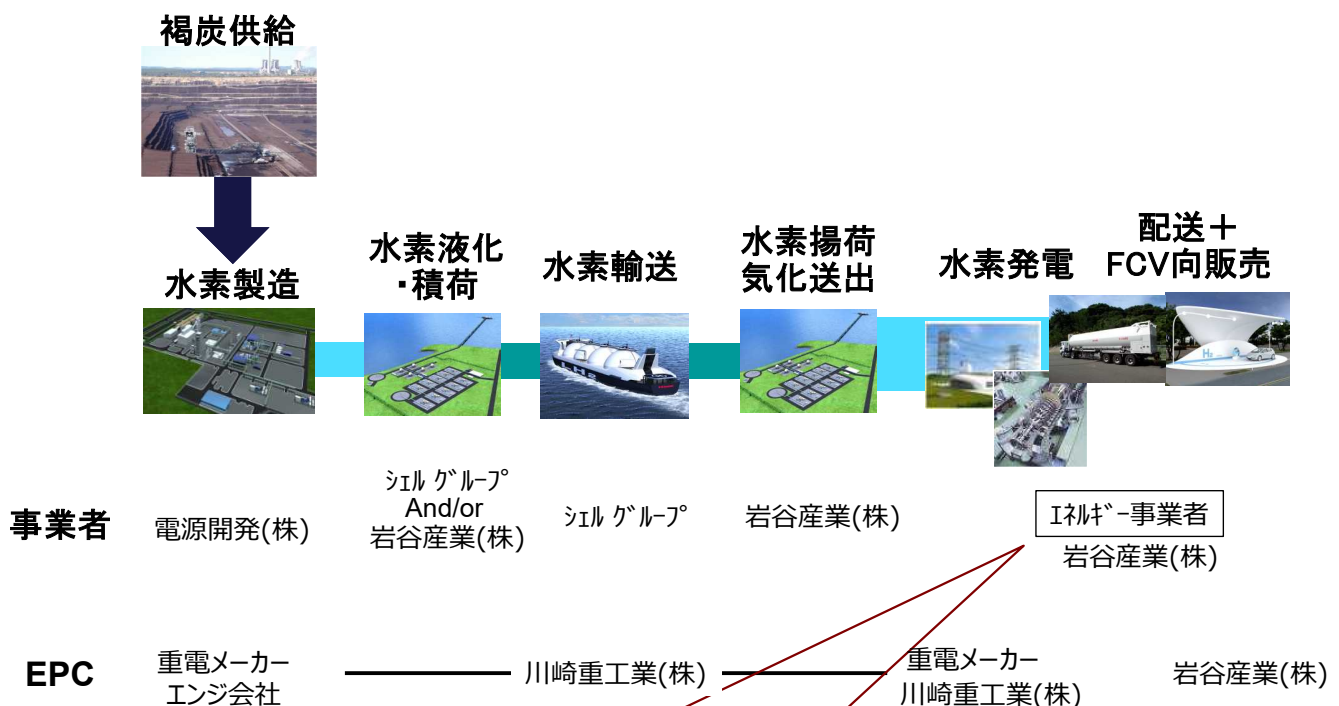
《2030年～》

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

37 / 49

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆想定する事業イメージ



水素発電などの大口需要家となるオフテイカーが重要と認識

38 / 49

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

【グローバル企業の動き（Hydrogen Council）】

- エネルギー・運輸・製造業・商社・銀行等の世界的なリーディングカンパニー92社で構成：ステアリング会員41社、協賛会員44社、金融グループ7社
- 日本企業：トヨタ、ホンダ、川崎重工^注、岩谷産業、JXTGエネルギー、豊田通商、三菱商事、三井物産、丸紅、住友商事、三菱重工、日本特殊陶業、SMBC、伊藤忠、日本郵船
- 水素を利用した新エネルギー移行に向けた共同のビジョンと長期的な目標を提唱するグローバル・イニシアチブ（活動体）
- 水素がエネルギー移行にもたらす役割の認識のもと、政府や主要なステークホルダーと共に、効果的な実行計画を作り出すことを目指す



注：赤字は2017年発足時13社
の中の日本企業

39/49

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

【政治的視点】

- ・ 日本政府の政策動向と合致している。また、豪州政府も連邦首相含めた協力姿勢を示している。

【経済的視点】

- ・ ロードマップ記載のプラント引渡し水素価格 30円/Nm³及び発電コスト 17円/kWhは、水素ST価格100円/Nm³や再生可能エネルギーFIT価格との比較で価格競争力のある価格。

【社会的視点】

- ・ 「トヨタ環境チャレンジ2050」などにみられるとおり、CO₂フリー水素の民間ニーズが顕在化。

【技術的視点】

- ・ 石炭IGCC、ロケット射点設備、液化水素製造、LNG運搬船・荷役設備などの技術蓄積がある。
- ・ 本NEDO事業においてチェーン実現に不可欠で技術開発要素の高い機器システム開発に優先的に取り組み、世界に先駆けて実証が実現できる。

➡ 技術実証によって、「実用化・事業化」が更に高まると考える。

40/49

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆技術実証による、「社会認知」向上の例

2019年12月10日 川崎重工業（株）神戸工場にて約4,000名の来賓、一般市民、近隣幼児などが参加のもと、命名・進水式が行われた。日経、日経産業、産経、フジサンケイビジネスアイ、毎日、読売、朝日、神戸、日刊工業、化学工業日報、電気新聞、海事プレスなど各紙にての報道、NHK、テレビ東京系列などの放送で広く知られる状況となった。



2020年6月12日 神戸空港島 神戸荷役実証ターミナル（愛称：Hytouch神戸）にて安全祈願祭実施後実証試験スタートを HySTRA WEBサイトにて発表。

※コロナ禍において行事は行わず、WEBサイト発表のみとした。

<http://www.hystra.or.jp/news/article.html#news07>



Hytouch神戸（兵庫県神戸市中央区）にて、液化水素を25℃のまま移送する「ローディング・アンスタム」※「液化水素船積システム」の安全確認・開始を完了。実証試験がスタートしました。今後、本邦初の、液化水素運搬船との荷役稼働実証に繋がり込んでいきます。（写真：空撮、安全祈願祭）

41 / 49

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆オフテイク候補

エネルギー事業者を含む民間企業の動向

三大都市圏において、地域で水素を利活用する（ポテンシャル含む）ための協議会が発足し、HySTRA組合員各社、豪州ポーション企業などが参加

エネルギー事業者などオフテイクへの実現性認知・事業創出を得る場として有効

①中部圏水素利用協議会（2020年3月6日設立）

参画企業：出光、岩谷、ENEOS、住商、中電、東邦ガス、トヨタ、エアリキ、DBJ、SMBC、三菱ケミカル、中部国際空港

②神戸・関西圏水素利活用協議会（2020年8月20日設立）

参画企業：岩谷、ENEOS、川汽、川重、シエル、電発、丸紅、大林、関電、三菱パワー、神鋼、オブザーバー：神戸市、NEDO、経産省

③東京湾岸ゼロエミッションイノベーション協議会（2020年6月2日設立）

幹事団体：旭化成、岩谷、ENEOS、鹿島建設、産総研、東ガス、東大、東電、東芝、日産、日鉄、日立、三井不動産
会員：101社



42 / 49

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆外部環境の事実認識

【民間動向】

- ・トヨタはFCV（燃料電池自動車）「MIRAI」新型を近秋にも発売開始と報道されるなど、2020年以降のFCV販売 3万台/年以上を計画している。
- ・併せて水素ステーション整備も進められていく。
- ・トヨタは全工場のCO2排出ゼロを目指す「環境チャレンジ2050」を発表している。
- ・RE100、ESG投資などの高まりから「水素」利活用についての機運が高まっている。

【政府関連】

①日本

- ・第五次エネルギー基本計画において、「水素社会実現に向けた取組の抜本強化」が謳われ、再生可能エネルギーとの組み合わせ、化石燃料の水素への転換を含めた「水素社会」の実現への期待感が増している。
- ・COP21採択をうけ、日本政府（経産省・環境省）は温暖化対策計画を閣議決定。2030年までにCO2排出量26%削減とするため、電力会社に対しCO2フリー電源（原子力と再生可能エネルギー）の電力量に占める比率を44%以上とすることを求めている。
- ・次世代火力発電に係る技術ロードマップに「水素発電」が位置づけられている。

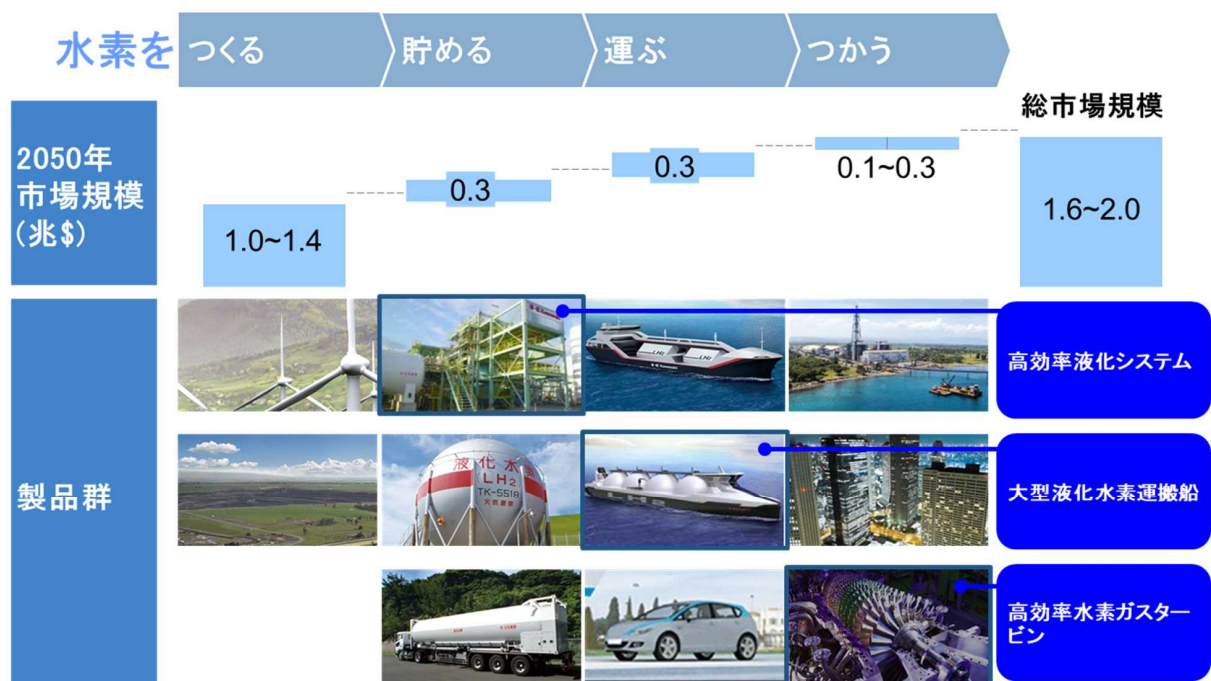
②豪州

2020年7月に安倍首相（当時）・モリソン首相が日豪首脳テレビ会談を行い、コロナ禍においても「ビクトリア州の水素エネルギーサプライチェーン・パイロットプロジェクトを通じたエネルギー転換が、回復に向けた戦略の一部」であることを認識した。

43/49

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆事業化時の市場規模と事業規模

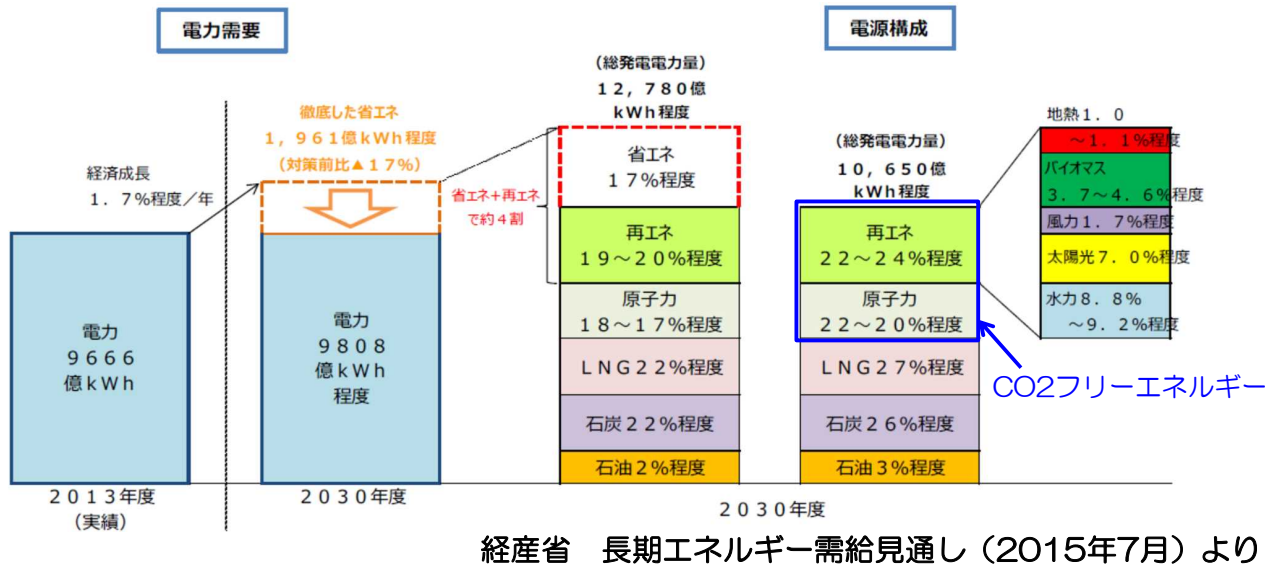


※“Hydrogen scaling up”より

44/49

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方



- ◆ CO2フリーエネルギーとして4,700億kWh/年の市場規模
- ◆ 発電電力量のシェア0.5~1%=約50~100億kWh/年
とすると売上800~1,600億円/年 (電力事業として)

45/49

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆競合技術との優位性

【環境性】

海上長距離輸送を含めてCO2排出なしが可能

【コスト】

発電燃料: CO2フリーエネルギーの中では比較的安価

燃料電池: 高純度で精製不要で供給可能

【セキュリティ】

自主開発エネルギー、既存化石燃料とは異なる供給源

【安全性】

既存燃料と同等

【その他】

冷熱利用で付加価値

利用側で追加エネルギー不要 (空気・水で加温)

46/49

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆ 成果の実用性・事業化の見通し

● 液化水素の長距離大量輸送技術の開発

実証試験により断熱性能、タンク構造が所定の性能をもつことを確認する。

事業化に向けて適正なタンク規模を明確にするとともに、大型タンクの開発を進める。

● 液化水素荷役技術の開発

実証試験により荷役流量、蒸発率及び緊急遮断機構が所定の性能をもつことを確認する。

事業化に向けてより効率的な運用方法を具体化するとともに、より高度なLNGに適用されているローディングアームジョイント手法の適用を進める。

● 褐炭ガス化技術の開発

実証試験により前処理設備を含んだ褐炭ガス化適用性を確認する。

事業化に向け実証試験結果を踏まえた運用方法の検討を行い、大型化に向け検討を進める。

● 規格・基準類の整備

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

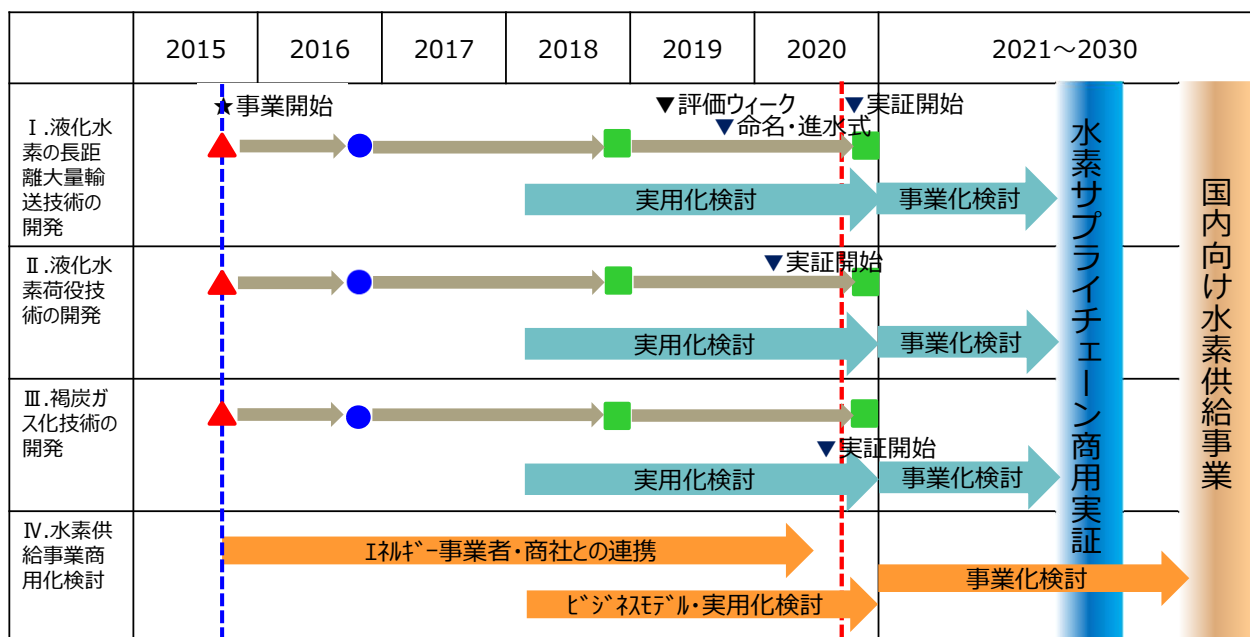
● 商用化検討の推進（今後に向けて）

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

47 / 49

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆ 実用化・事業化に向けた具体的な取り組み



※ ▲ : 要素技術確立、調査、仕様検討、安全検討
● : FS、基本設計
■ : 実証設備製作、技術実証

48 / 49

ご清聴ありがとうございました。

49 / 49

参考資料

1 / 10

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

日本政府及び各国政府の動き

■ 水素エネルギーの社会実装と政策において日本が世界をリード

日本政府

- エネルギー基本計画 : 2014年4月水素盛り込み、2018年7月記載拡大
- 水素・燃料電池戦略ロードマップ : 初版2014年6月、これまでに二度改訂
- 水素基本戦略 : 2017年12月
- 水素閣僚会議 : 第一回2018年10月、第二回2019年9月

各国

- 豪州 : 国家水素戦略 2019年11月
- フランス : 水素戦略 2018年6月
- オランダ : クリーン水素戦略 2020年4月
- ドイツ : P-to-G推進ロードマップ (DENA※1) 2017年6月
- EU : 欧州水素ロードマップ (FCHJU※2) 2019年2月
- 韓国 : 水素経済活性化ロードマップ 2019年1月

※ 1:独エネルギー機構

※ 2:欧州燃料電池水素共同実施機構

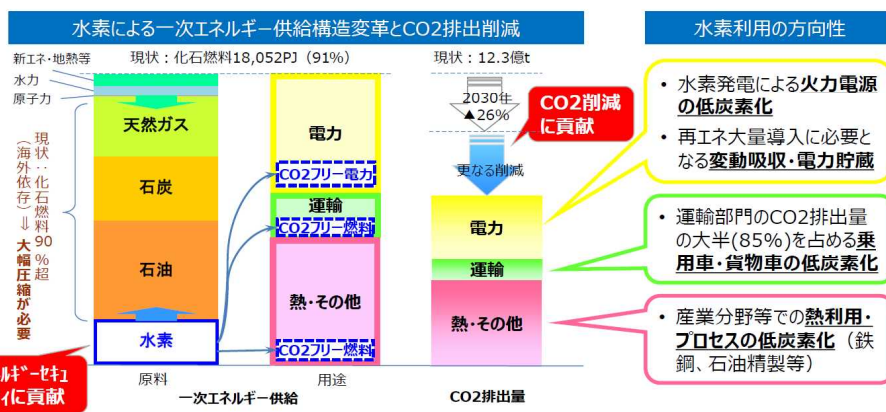
その他、米国・中国（運輸部門は公開済）・ニュージーランドでもロードマップ策定の動き

◆成果の実用化・事業化の見通し 水素への大きな期待

■ 大幅CO₂削減達成にはCO₂フリー水素の導入・普及拡大が不可欠

水素エネルギー利用の意義・エネルギー政策上の位置づけ

- 水素エネルギー利用は、90%以上の一次エネルギーを海外化石燃料に依存する日本のエネルギー供給構造を多様化させ、大幅な低炭素化を実現するポテンシャルを有する手段。
 - ✓ 化石燃料を水素に代替することによるエネルギー源の多様化・エネルギーセキュリティの向上
 - ✓ 水素発電やFCV、産業分野での水素利用（熱、プロセス）によるエネルギー利用の低炭素化



出典：METI 水素・燃料電池戦略協議会資料

初期段階：LNG火力発電に混焼することで排出原単位を削減

※CO₂フリーエネルギーの導入と等価

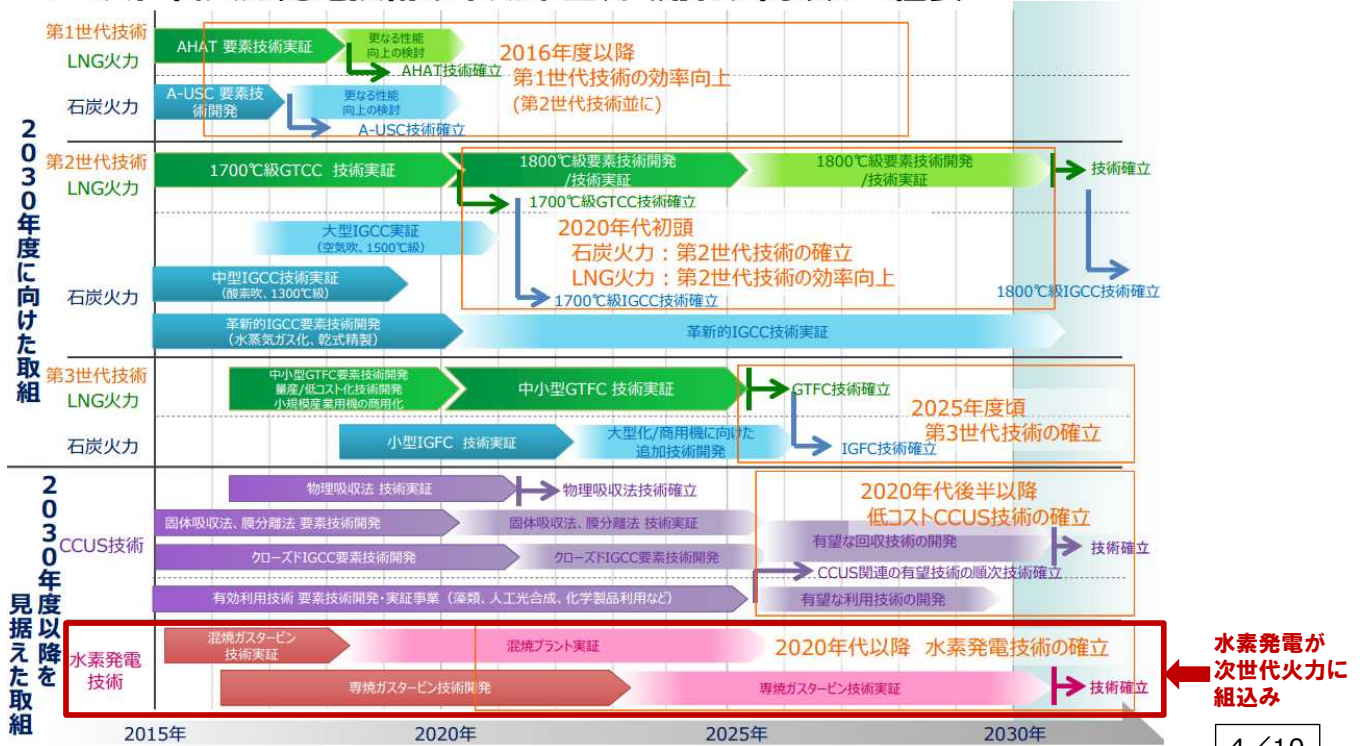
普及段階：水素専焼火力発電によりCO₂フリーエネルギーとして普及

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆成果の実用化・事業化の見通し

7. 次世代火力発電技術の早期確立、実用化に向けた工程表

注：2016年6月公開

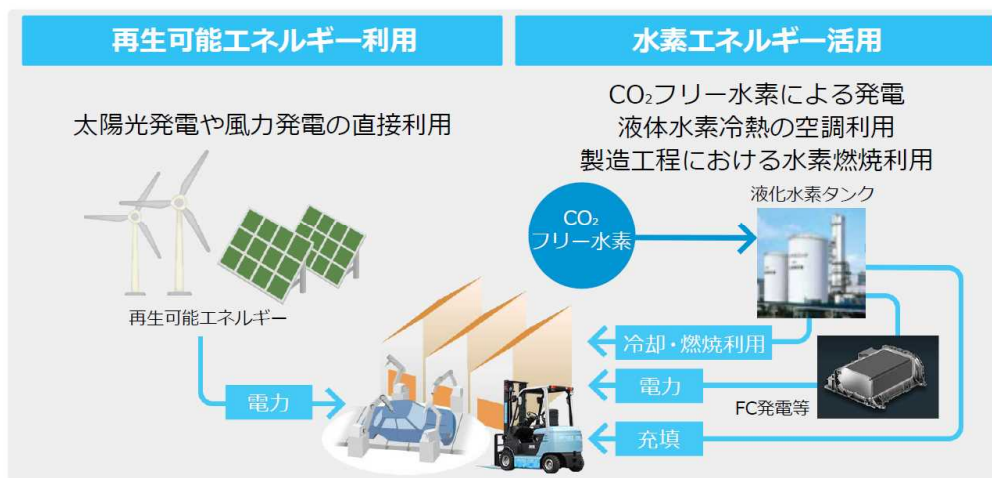


4. 実用化・事業化の見通しについて

◆成果の実用化・事業化の見通し

トヨタが挑戦する再生可能エネルギーと水素エネルギー活用

TOYOTA



4. 実用化・事業化の見通しについて

◆成果の実用化・事業化の見通し

鉄鋼分野における技術開発		2020	2030	2040	2050	2100
COURSE50	所内水素(COG)利用による高炉内の水素還元比率アップ 高炉ガスからのCO2分離		R&D	導入		
Super COURSE50	外部水素利用による高炉によるさらなる水素還元比率アップ (大量の水素供給が可能となる前提)		ステップアップ R&D			
水素還元製鉄	石炭を利用しない水素還元製鉄		ステップアップ R&D		導入	
CCS	副生ガスからのCO2回収		R&D		導入	
CCU	副生ガスからのカーボンリサイクル			R&D		導入

社会共通基盤としての技術開発		2020	2030	2040	2050	2100
カーボンフリー電力	脱炭素電源(原子力、再生可能、化石+CCS) 次世代電力系統、電力貯蔵等		R&D			導入
カーボンフリー水素	低コスト・大量水素の製造・輸送・貯蔵技術開発		R&D		導入	
CCS/CCU	CO2分離貯留・利用技術開発 社会的課題の解決(貯留場所、パブリックアクセプタンス等)		R&D			導入

超革新技術開発に向けたロードマップ

2100年において銑鉄を水素還元で生産する場合に必要な水素量は1兆2千億Nm³と試算され、大量のカーボンフリー水素の安価・安定供給が、実用化に向けた要件となる。

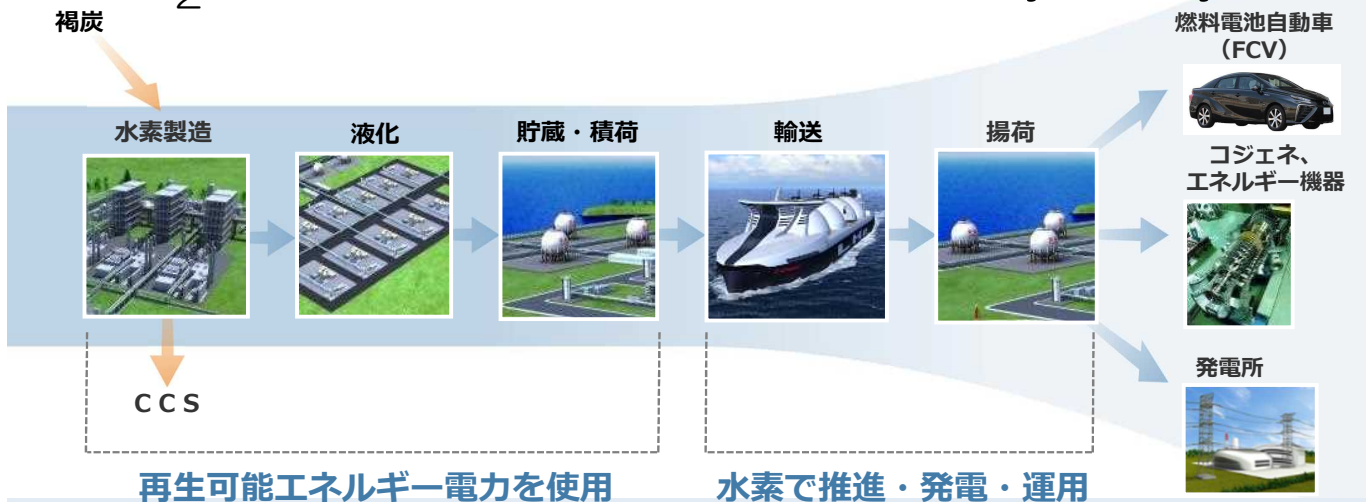
出典：日本鉄鋼連盟長期温暖化対策ビジョン(2018.11)

6/10

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆想定する事業とそのコスト

CO₂フリー水素商用チェーン Feasibility Study



- 水素原料 : 豪州の褐炭
- 副生CO₂処理 : 現地で貯留 ⇒ CO₂フリー
- 水素製造規模(用途) : 770t/day、
FCV 300万台 or 火力発電100万kW の燃料相当

7/10

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆ 想定する事業とそのコスト

【試算例】

将来の水素コスト(試算)は、
2030-2050年において、
※約30-55円/Nm³を想定。

※出典 1, 2

【規模】

FCV 300万台



FCV

または

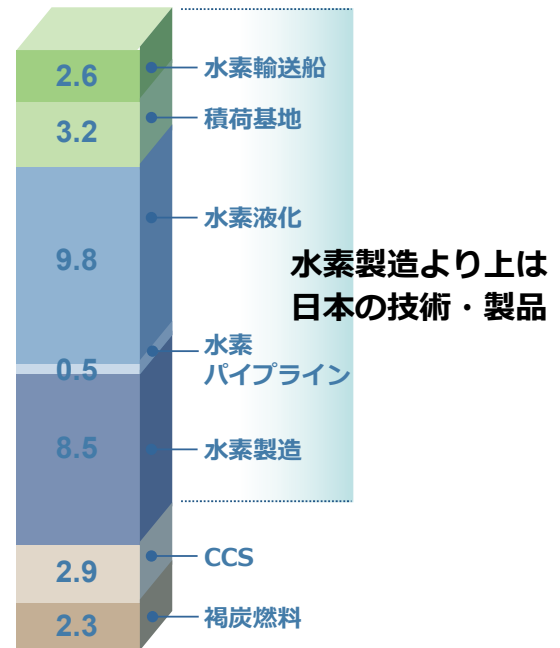
水素発電
100万kW1基 相当



【試算内訳例】

出典1

水素コスト(船上引渡し) 29.8円/Nm³



水素製造より上は
日本の技術・製品

出典1: 「国際連携クリーンコール技術開発プロジェクト 低品位炭起源の炭素フリー燃料による将来エネルギーシステム(水素チェーンモデル)の実現可能性に関する調査研究」、NEDO(委託先:川崎重工業(株))、2012.4 *流動床ガス化炉を前提とした川崎重工業試算例
出典2: 「豪州の低品位炭から水素を製造するバリューチェーンの改善に関する検討」、NEDO(委託先:川崎重工業、電源開発)、2015.2 *EAGEL型炉を前提とした川崎重工業、電源開発 試算例

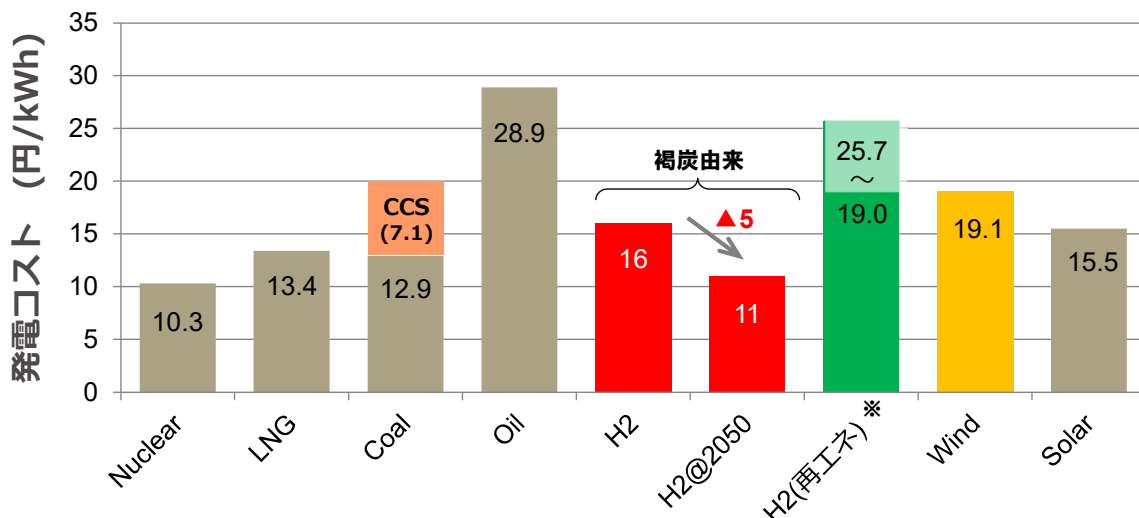
8/10

4. 実用化・事業化の見通しについて

将来への取組み

◆ 事業化の見通し(経済性)

化石燃料発電よりは高いが、CO₂フリーエネルギーの中では、
再生可能エネルギーより安く、かつ安定で大量に利用可能である



※H2(再エネ): 海外の再エネ電力を利用して水素製造(現地の再エネ電気代により変動)

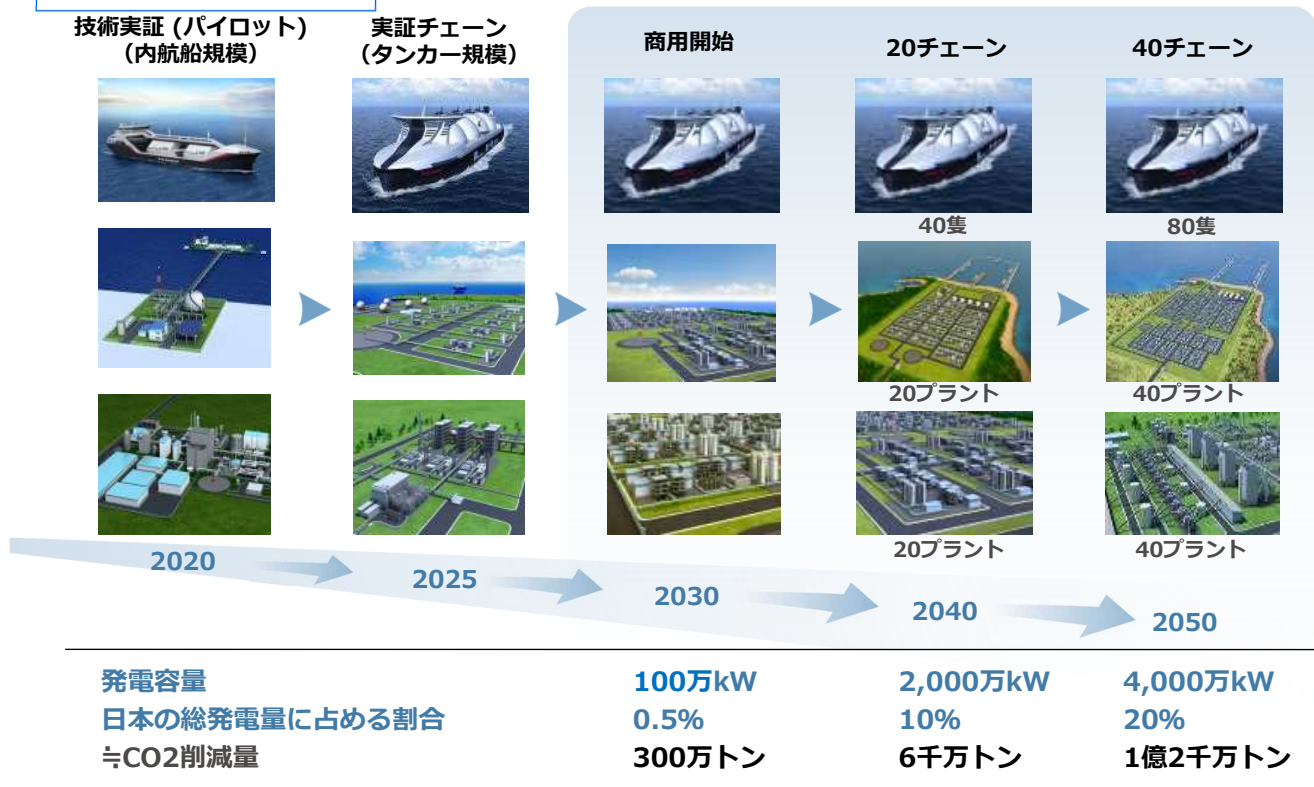
参照:「発電コストWG検証報告書 2030年モデルプラント、平成27年5月」

水素コストに関しては、川崎重工業(株)試算値

9/10

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆事業の将来像



※既設火力（設備利用率57%,CO2排出原単位600g/kWh）のうち、一部が水素発電に置き換わったと想定した試算

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

助成先：次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合

●成果サマリ（実施期間：2015年度～2020年度終了予定）

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

●背景/研究内容・目的

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

●研究目標

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

●実施体制及び分担等



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

●これまでの実施内容／研究成果まとめ

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

●今後の課題

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

●実用化・事業化の見通し

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

（1）信頼性の確立

第2期におけるチェーン運用にて課題抽出と対応策検討を行い、需要家のニーズに適合した信頼性の高い水素サプライチェーンの構築・運用を実現する為の、技術的基盤が確立するものと期待される。

（2）コストの低減

- チェーン形態・規模の適正化によるスケールメリット最大化
- 触媒改良による輸送効率向上・操業費用低減
- 熱インテグレーション・排熱利用等による熱コスト低減

（3）市場環境の醸成

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

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	135	0

2020年10月9日現在

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

プロジェクトの概要 (公開)

次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合

2020年12月4日

1/39

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (1/2)

開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①-1 水素化反応器スケールアップ	商用規模の水素化設備の設計手法の確立。	①反応器スケールアップの設計手法を確立し、実証設備の反応器設計に反映。 ②実証運転にて2回のターンダウン試験を実施。転化率/選択率に大きな変化はなく目標値以内であることを確認。	○	-
①-2 不純物除去設備の仕様	大規模水素チェーン向け不純物除去設備の設備仕様の明確化。	①蒸留設計のパラメータチューニング及び蒸留試験により蒸留設備の設計仕様妥当性を確認。 ②実証運転にて中軽質不純物蓄積挙動を検証中。顕著な蓄積増加は見られない。	△ (2020年度達成予定)	実証運転終了まで蓄積挙動を検証し、トータル増加量が目標値以内であることを確認する。
②-1 脱水素反応器スケールアップ	商用規模の脱水素設備の設計手法の確立。	①反応器スケールアップの設計手法を確立し、実証設備の反応器設計に反映。 ②Shell側構造改善シミュレーション検討実施中。 ③実証運転にて1回目のターンダウン試験を実施。転化率/選択率に大きな変化はなく目標値以内であることを確認。	△ (2020年度達成予定)	①2回目のターンダウン試験を実施し、転化率/選択率が目標値以内であることを確認する。 ②Shell側構造改善シミュレーション検討を完了し、Shell側構造を最適化する。
②-2 負荷追従性向上策検討	想定需要要件における負荷変動への対応方法の明確化。	①商業規模設備のダイナミックシミュレーションによりガスホルダー設置の効果を検証。プラント応答性律速要因を特定。 ②実証設備のダイナミックシミュレーションをモデル化中。 ③実証運転での負荷変動(短時間でのターンダウン/アップ)試験の詳細計画策定。	△ (2020年度達成予定)	①実証運転での負荷変動運転を実施、運転データを収集。負荷変動ケースを増やし追従性の比較実施を予定。 ②ダイナミックシミュレーションで負荷変動試験をトレースし、モデルをブラッシュアップする。
②-3 水素純度向上策	想定需要要件において求められる、水素純度への対応方法の明確化。	想定需要へ対応可能であることをラボ試験により確認。	○	-
②-4 触媒商業生産課題	商業生産設備での触媒製造で所定の性能指標を満たすことの確認。	①商業試作により、小規模製造触媒と概ね同等の性能を持つ大規模触媒製造が可能と確認。 ②実証運転により触媒性能を検証中。小規模製造の触媒概ねと同等。	△ (2020年度達成予定)	実証運転終了まで触媒性能を検証し、転化率が目標値以上であることを確認する。

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

2/39

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆研究開発項目毎の目標と達成状況 (2/2)

開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
③-1 商用トルエン 運転検証	商用トルエンで安定的なチェーンオペレーションが可能である事の検証。	①商業規模で調達/使用可能なトルエンを選定し、調達仕様を策定。 ②商用トルエンを使用した実証運転継続中。触媒性能や劣化速度は商用トルエンを使用した子安デモプラント運転結果と概ね同等。	△ (2020年度達成予定)	実証運転終了まで触媒性能や劣化速度を検証し、デモプラント運転に比した転化率/選択率の差が目標値以内であることを確認する。
③-2 7 th ライン検討	最適な設備構成を検討する手法の確立。	設備構成が供給安定性に与える影響を定量的に評価する基本的な手法が確立。	○	-
③-3 発電燃料供給 チェーンとしての設備 仕様・オペレーション要件	①ガスタービン燃焼機等へのガム状物質付着の定量評価手法の確立。	①飽和炭化水素の含有量管理値を策定。 製品水素が商業規模発電GTに使用可能であることを確認。	○	-
	②脱水プラントと発電タービンの熱インテグレーション効果試算。	②脱水素反応熱をGTCC発電所のHRSGから供給することで、総合効率の改善の可能性があることが示唆された。	○	-
新規 反応器運転モード の最適化	経済性向上に資する運転方法の試行。	実証運転にて、転化率抑制(転化率一定)の運転を継続中。	△ (2020年度)	実証運転終了まで転化率抑制運転を実施し、転化率抑制運転が可能であることを実証する。

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、X未達

3/39

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

①-1:水素化反応器スケールアップ検討

成果

実施内容 ✓商業規模多管式反応器での反応器及びプロセス条件の試設計を実施し、この結果をベースとして水素化反応器の流動解析を実施

流動解析結果例 (定格ロード時の触媒管体積流量偏差)

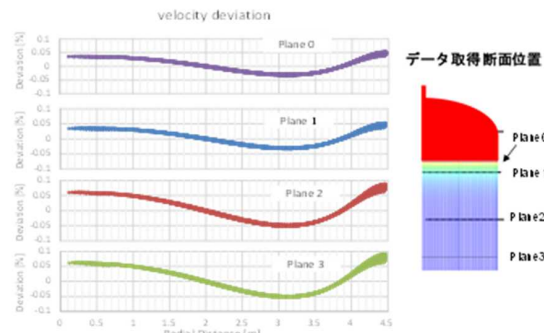


図2 定格ロード時の触媒管水平断面体積流量偏差

ケーススタディの主要な結果

定格ロード時及び低ロード(40%)共に、全触媒管領域での製品体積流量偏差が規定値(±5%)以内に収まることが確認できた。

成果

触媒管で顕著な偏流が生じないことが確認され、現状の水素化反応器スケールアップ手法が妥当であることが確認された。

この手法で子安デモプラント反応器から実証設備の反応器設計にスケールアップすると共に、商業規模水素化反応器へのスケールアップが可能となった。

4/39

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

①-1:水素化反応器スケールアップ検討

今後の課題

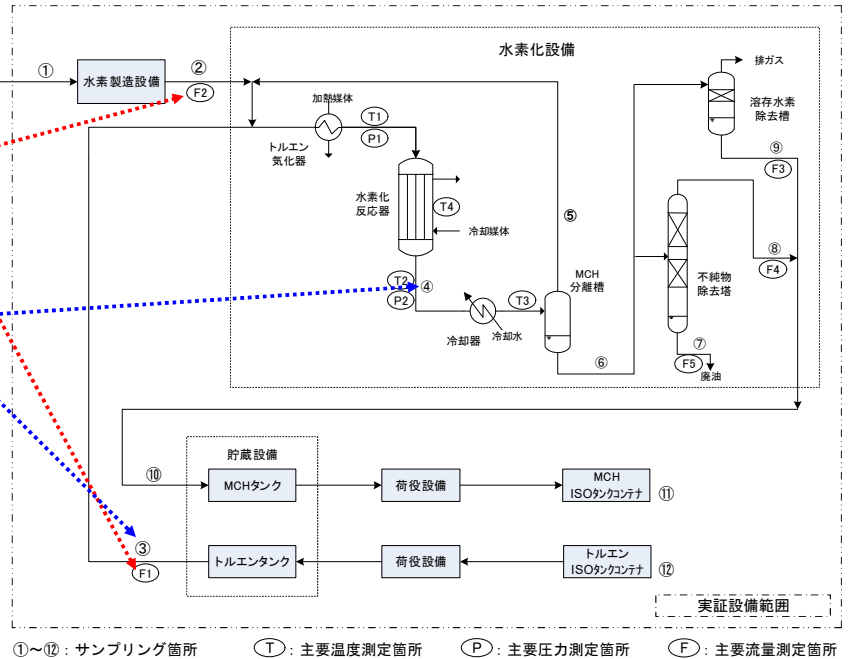
課題 Tube側偏流について、ターンダウン時性能低下有無の検証

実施内容

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

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

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



期待される成果 ターンダウン運転での、水素化反応のトルエン転化率・MCH選択率を確認することにより、Tube側流体の偏流発生及び性能低下有無を検証。ターンダウン時でも性能が低下しないことを実証する。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

①-1:水素化反応器スケールアップ検討

成果

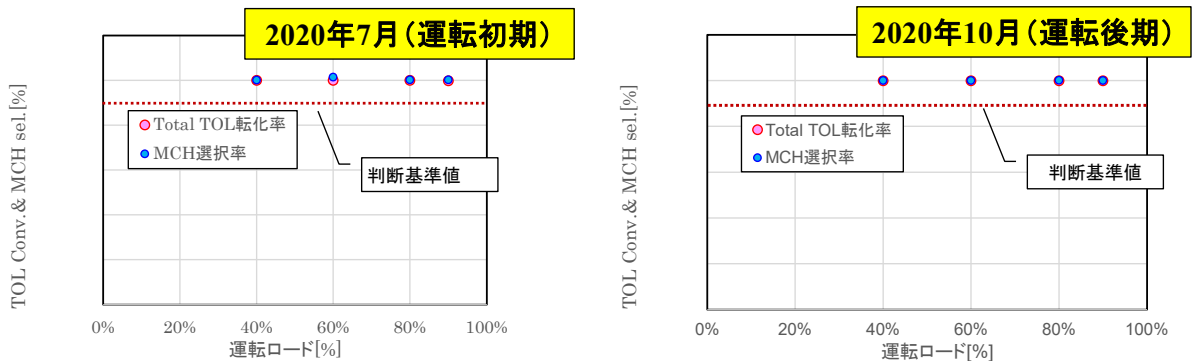
運転データ収集途中経過

実施内容

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

ターンダウン運転結果 (測定負荷 40%、60%、80%)

試験結果



判断基準

ターンダウン運転前後の定格運転時に比べ、転化率/選択性に大きな変化は生じないこと。
 ターンダウン時の性能低下限度目標値：運転前後の定格運転時に比して、転化率/選択率の低下が一定以内 (各ロード整定後に前項のサンプリング箇所から採取した液の分析結果より算出)

成果

運転ロードによらず、転化率、選択率の基準以上の低下は見られないことから、ターンダウン時の性能維持を確認。商業規模への水素化反応器スケールアップの妥当性を確認し、設計手法を確立。

①-2:不純物除去設備の仕様検討

成果

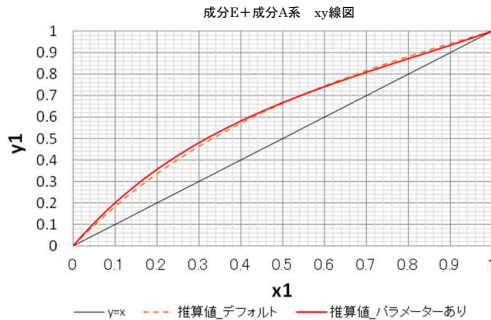
実施内容

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

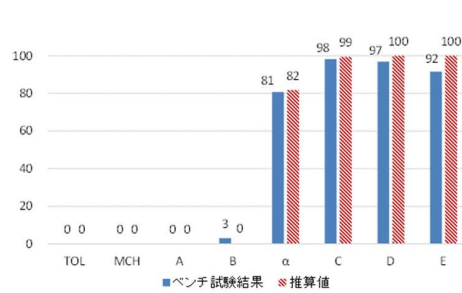
試験/解析結果

- ✓ パラメータチューニング前後（推算パラメータ/気液平衡シミュレーション結果）は図1
- ✓ 蒸留試験結果とパラメータチューニング後のシミュレーション結果との比較例は図2

シミュレーション結果との比較例
(パラメータチューニング前後)



蒸留試験結果とシミュレーション結果比較例



成果

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

①-2:不純物除去設備の仕様検討

今後の課題

課題

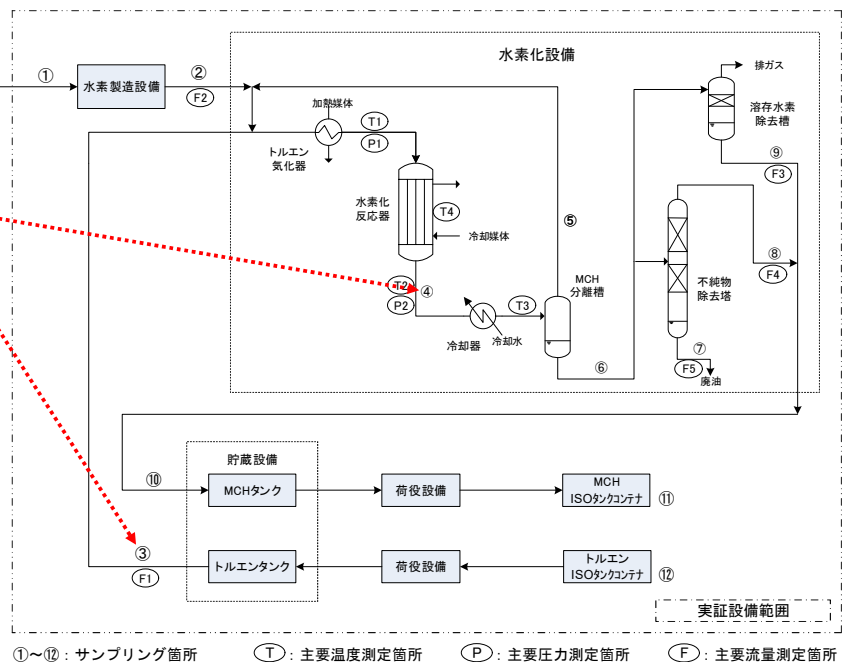
実証運転時のトルエン・MCH中軽質不純物蓄積挙動の検証

実施内容

【水素化プラント】
水素化反応器にフィードするトルエン及び生成MCHをサンプリング（水素化プラントサンプリング箇所③④）し組成を分析、水素化反応による不純物（反応で副生する芳香族/環状炭化水素/触媒劣化に影響する成分/許容濃度を従来のラボ試験で特定済み）生成量を算出。

脱水素プラントにおいても、フィードMCH及び生成トルエンのサンプリング・分析を実施。

軽質不純物蓄積傾向について、運転期間中の変動を確認。



期待される成果

運転期間中のトルエンおよびMCH中の軽質不純物の蓄積速度の変化が得られ、商業設備の軽質不純物除去設備設計及び運転条件に反映できる。これにより設備性能担保のために過剰な設計余裕を取る必要が無くなり、設備コスト、運転コストの最適化が期待できる。

①-2:不純物除去設備の仕様検討

成果

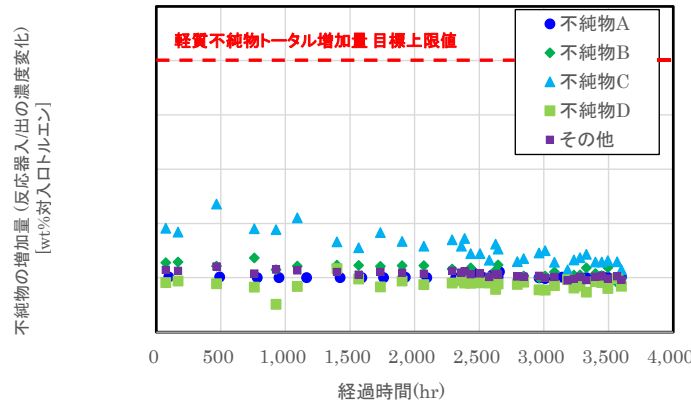
運転データ収集途中経過

実施内容

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

試験結果

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



判断基準

不純物生成速度限度目標値：水素化反応器を一回通過した際の軽質不純物トータル増加量が目標上限値*以内

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

成果

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

9/39

②-1:脱水素反応器スケールアップ検討

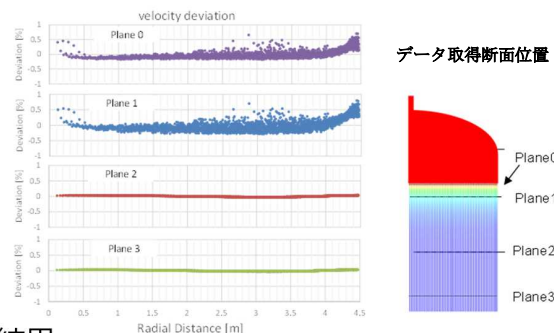
成果

実施内容

✓ 商業規模多管式反応器での反応器及びプロセス条件の試設計を実施し、この結果をベースとして脱水素反応器の流動解析を実施

解析結果

流動解析結果例 (定格ロード時の触媒管体積流量偏差)



ケーススタディの主要な結果

定格ロード時及び低ロード（40%）共に、全触媒管領域での製品体積流量偏差が規定値以内に収まることが確認できた。

成果

触媒管で顕著な偏流が生じないことが確認され、現状の脱水素反応器スケールアップ手法が妥当であることが確認された。

この手法で子安デモプラント反応器から実証設備の反応器設計にスケールアップすると共に、商業規模脱水素反応器へのスケールアップが可能となった。

10/39

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-1:脱水素反応器スケールアップ検討

今後の課題

課題

Tube側偏流について、ターンダウン時性能低下有無の検証

実施内容

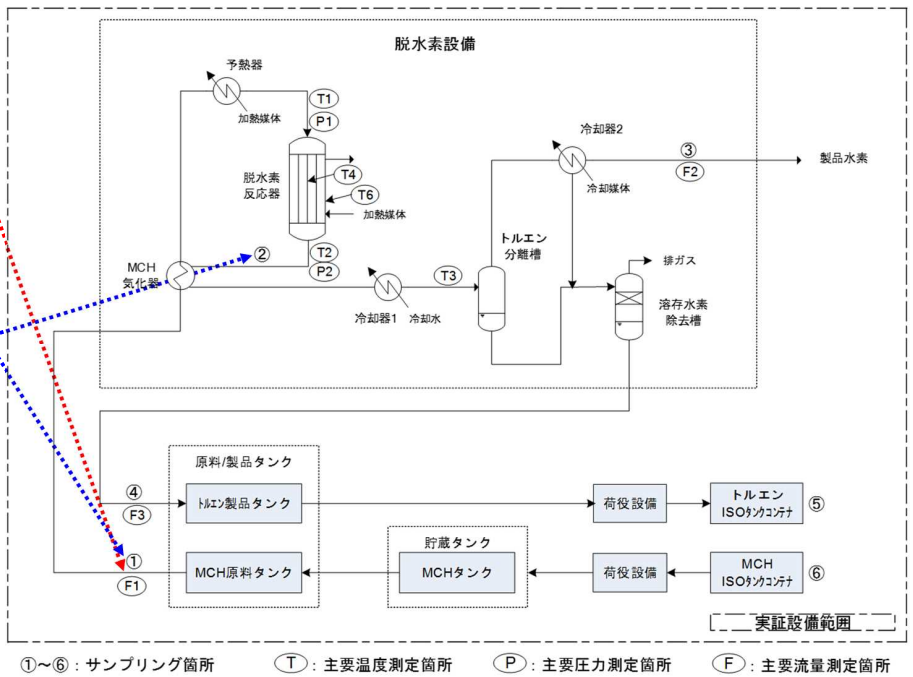
原料MCH流量(F1)をターンダウン時の流量に調整

↓

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

↓

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



期待される成果

ターンダウン運転での、脱水素反応のMCH転化率・トルエン選択率を確認することにより、Tube側流体の偏流発生及び性能低下有無を検証。ターンダウン時でも性能が低下しないことを実証する。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-1:脱水素反応器スケールアップ検討

成果

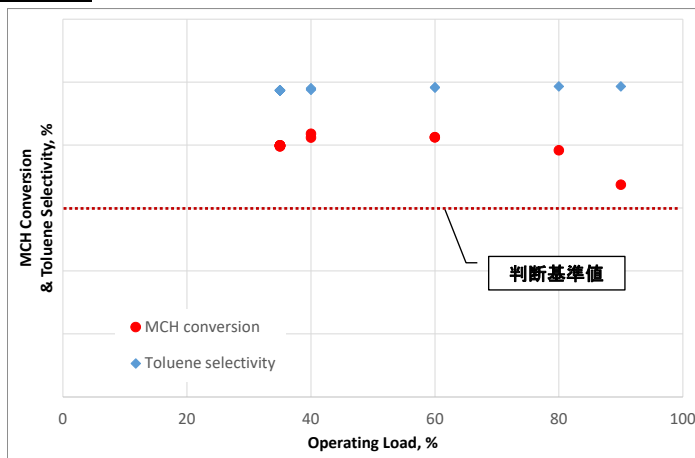
運転データ収集途中経過

実施内容

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

試験結果

ターンダウン運転結果 (35%、40%、50%、80%)



判断基準

ターンダウン運転前後の定格運転時に比べ、転化率/選択性に大きな変化は生じないこと。
 ターンダウン時の性能低下限度目標値：運転前後の定格運転時に比して、転化率/選択率の低下が一定以内 (各ロード整定後に前項のサンプリング箇所から採取した液の分析結果より算出)

成果

運転ロードによらず、転化率、選択率の基準以上の低下は見られないことから、ターンダウン時の性能維持を確認。商業規模への脱水素反応器スケールアップの妥当性を確認し、設計手法を確立。

②-2: 負荷追従性向上策検討

成果

実施内容

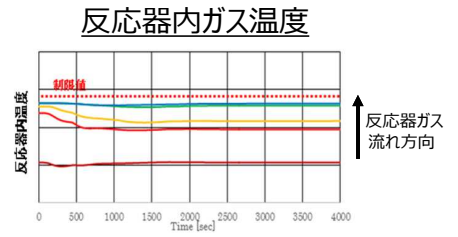
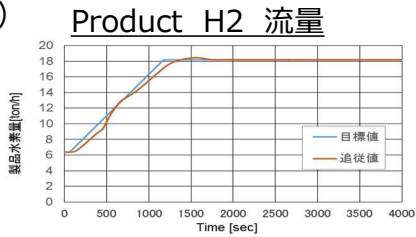
以下の条件にて脱水素設備を試設計し、これをモデル化したダイナミックシミュレーションを実施。脱水素プラントの負荷追従性、これを向上するための設備構成や制御システムについて検討した。
 ✓水素需要としてガスタービン発電を想定し、脱水素設備目標負荷追従速度を3.5%/minと設定
 ✓水素専焼発電を想定し、脱水素設備規模を20万Nm³/h（最大規模反応器2系列）と想定

解析結果

一連のケーススタディの主要な結果

- i. 脱水素設備出口にバッファとなる水素ガスホルダーを設置することにより、目標とした負荷追従性を確保出来る。
- ii. 脱水素設備の内、脱水素反応器を加熱するための熱媒加熱炉の負荷追従性向上により、ガスホルダー容積を大幅に低減することが可能となることを確認

シミュレーション結果例（ロードアップ、加熱炉が目標とした負荷追従性を持ちガスホルダー無しとした場合）



成果

✓水素ガスホルダーを設けることにより、ガスタービン発電の要求負荷変動に追従出来ることを確認
 ✓熱媒加熱炉の負荷追従性向上することにより、必要な水素ガスホルダー容積を大幅に低減することが可能となることを確認。

②-2: 負荷追従性向上策検討

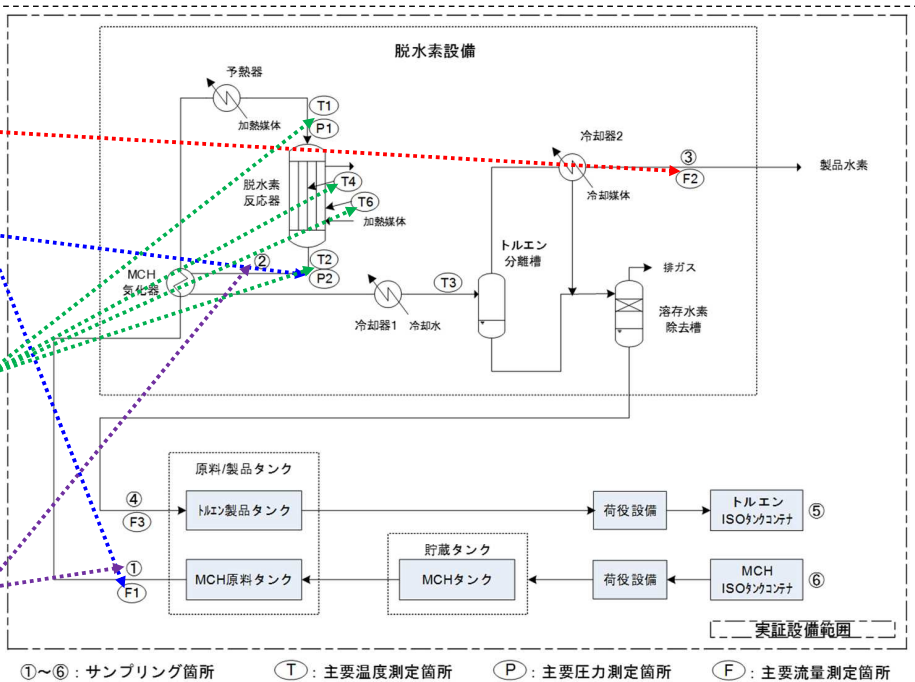
今後の課題

課題

負荷変動（短時間でのターンダウン/ターンアップ）運転の実施、運転データ収集

実施内容

- 製品水素ラインの調節弁の開度を増減し、水素需要量の変動を模擬。
- 反応器出口圧力(P2)の変動を検知し、フィードMCH量(F1)を自動調整。
- 負荷変動時の反応器入口温度・圧力(T1,P1)、反応器出口温度・圧力(T2,P2)、触媒管温度分布(T4)、熱媒温度(T6)の経時変化を測定し、適正範囲内であることを確認。
- 脱水素反応器入出の流体をサンプリング(サンプリング箇所①②)して組成を分析する。脱水素反応のMCH転化率及びトルエン選択率を算出し、定格運転時のデータと比較し負荷変動操作が脱水素反応へ与える影響の有無を確認する。



期待される成果

実証設備での負荷変動追従性の結果を、商業設備の負荷変動に関する制御設備設計に反映できる。これにより負荷変動追従性の更なる向上が期待できる。

②-2:負荷追従性向上策検討

成果

実施内容

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

試験結果

負荷変動試験結果

負荷変動試験の条件や操作手順を検討し、詳細な試験計画を策定した。
 これに基づき負荷変動試験を実施し、取得データを整理、分析中。

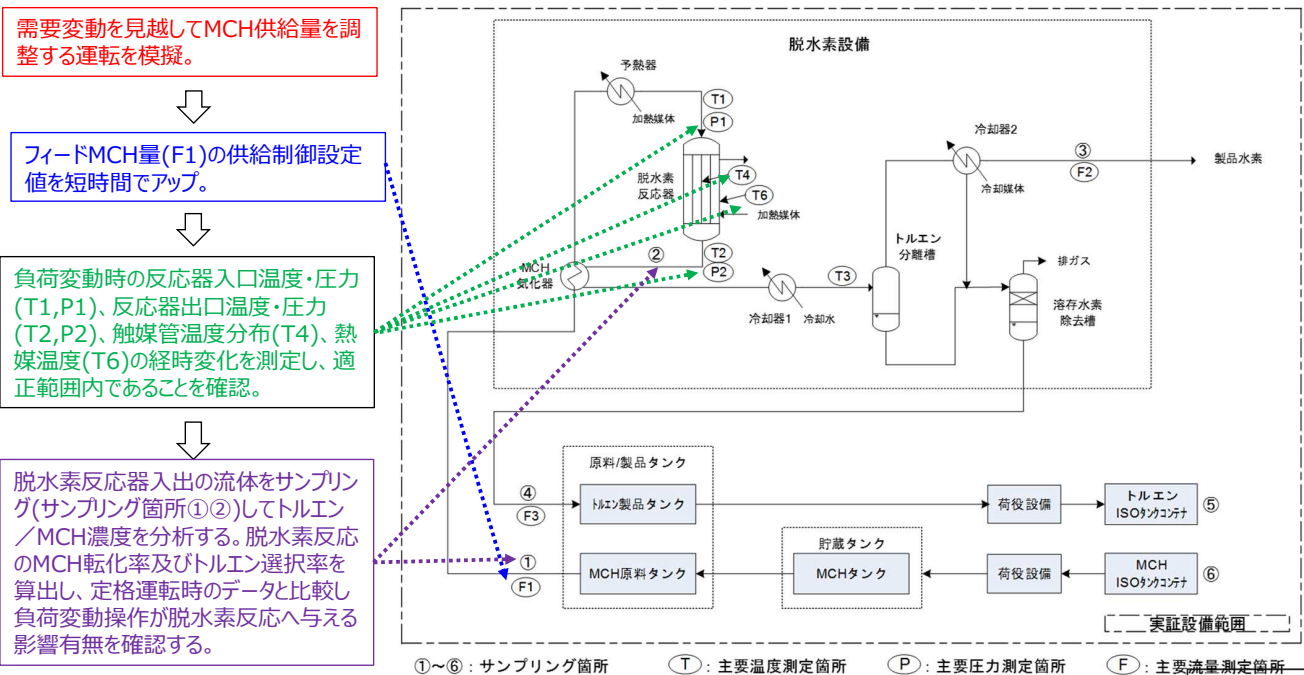
成果

✓期待される成果

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

②-2:負荷追従性向上策検討

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



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-2:負荷追従性向上策検討

今後の課題

課題

負荷変動（短時間でのターンダウン／ターンアップ）運転の実施、運転データ収集

試験結果の反映

負荷追従速度3.5%/minを目標とし、製品水素ライン調整弁の開度増減速度を変えて試験を実施し、各部温度／圧力／流量の変動幅、収束速度のデータを取得する。これにより負荷追従の律速となる制御箇所を特定する。



実証設備ベースのダイナミックシミュレーションモデルを構築し、シミュレーションを実施して上記実測データと比較し、シミュレーションモデルをブラッシュアップする。



シミュレーションモデルを商業設備規模にスケールアップし、ダイナミックシミュレーションのケーススタディを実施する。これにより、必要な水素ガスホルダーの容積を低減し得るプロセス制御系の最適化を検討する。

17 / 39

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-2:負荷追従性向上策検討

成果

実施内容

負荷変動（短時間でのターンダウン／ターンアップ）運転の実施、運転データ収集
需要変動を見越してMCH供給量を調整する運転を模擬。フィードMCH量(F1)の供給制御設定値を短時間でアップ。負荷変動時の反応器入口温度・圧力、反応器出口温度・圧力、触媒管温度分布、熱媒温度の経時変化を測定し、適正範囲内であることを確認。

試験結果

負荷変動試験結果

実証設備のダイナミックシミュレーションのモデルを作成中。
負荷変動試験終了後、この試験をトレースシミュレーションし、実測値と比較することでシミュレーションモデルをブラッシュアップし、以降のダイナミックシミュレーション ケーススタディに供する。
取得データを整理、分析中。

成果

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

18 / 39

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-3:製品水素純度向上策

成果

実施内容

メチルシクロヘキサンの脱水素により製造された粗水素を供給先が要求する水素仕様（グレード B～E）に合わせて精製する必要がある。本粗水素を対象とした精製技術の調査、及び試験設備を用いた検証を実施した。

調査結果
／
検証結果

膜分離法および吸着分離法を対象として調査を実施した。吸着分離法については、ラボスケールにて PSA（Pressure Swing Adsorption）の実験を行い確認した。

PSA 3塔式連続試験

- ・模擬ガス (H₂/CH₄/TOL)供給テスト
CH₄ 1200ppm→ 0.1ppm以下
TOL 8000ppm→ 0.1ppm以下
- ・模擬ガス (H₂/H₂S)供給テスト
H₂S 100ppb→0.1ppb以下

ISO14687-2の規格値をクリア

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

成果

- ✓脱水素設備から製造した水素は、冷却分離によりトルエン等を除去し、水素純度を99.9%以上とすることが出来ることから、水素発電用燃料（グレードB）に用いることが可能であることを確認。
- ✓PSAにて、水素中の不純物を除去し、グレードD、及びグレードEに規定されている値をクリアすることが出来ることから、FCV用、および定置用燃料電池に用いることができることを確認。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

②-4:触媒商業生産課題検討

成果

実施内容

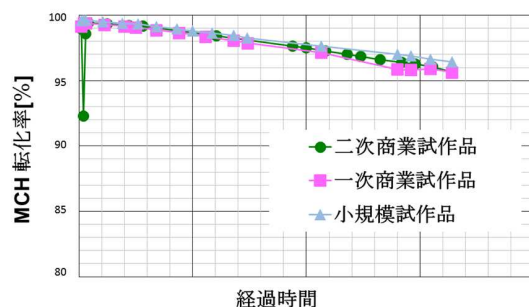
- ✓小規模設備で製造され脱水素触媒と同様の製造レシピ／仕様にて、商業規模生産設備を用いた数百kg／ロット規模での触媒試験製造を実施。（＝一次商業試作）
- ✓一次試作の評価結果に基づいて、商業規模生産において触媒性能に影響する要因を抽出検証、反映した新たな製造レシピに基づく二次商業試作を実施。

評価結果

試作評価の主要な結果

- i. 一次試作の触媒は初期活性が若干低い傾向を示したものの、長期的な活性及び性能安定性はほぼ同等。
- ii. 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。
- iii. 二次試作の結果、小規模設備での性能と同等の能力を持つことが確認できた。

試作触媒の性能評価結果例



成果

- ✓試作用小規模設備製造での触媒と概ね同等の性能を持つ大規模触媒製造が可能であることを確認。

②-4:触媒商業生産課題検討

今後の課題

課題

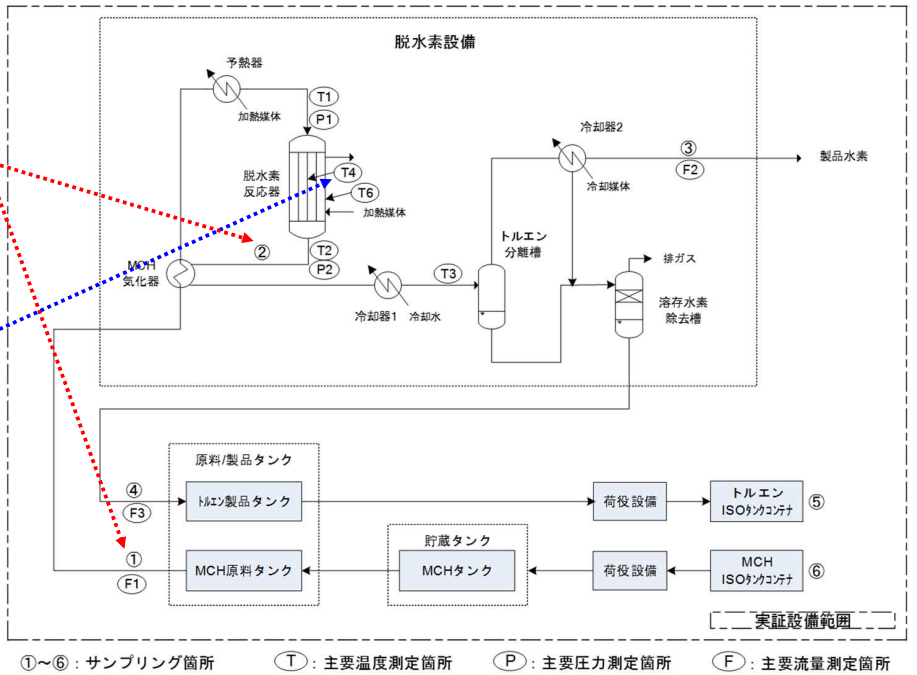
商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用して、脱水素設備の運転の実施、運転データ収集

実施内容

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

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

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



期待される成果

商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用して、所定の触媒性能が得られることを検証。

②-4:触媒商業生産課題検討

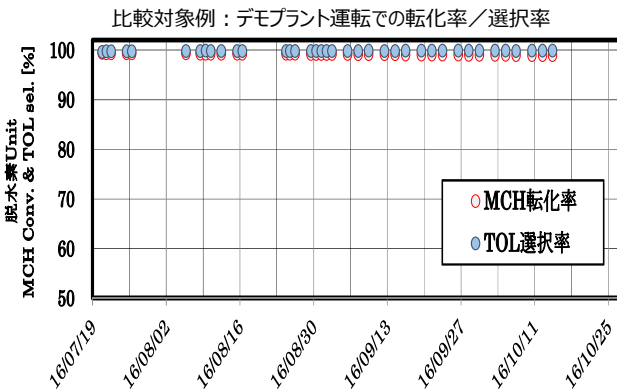
今後の課題

課題

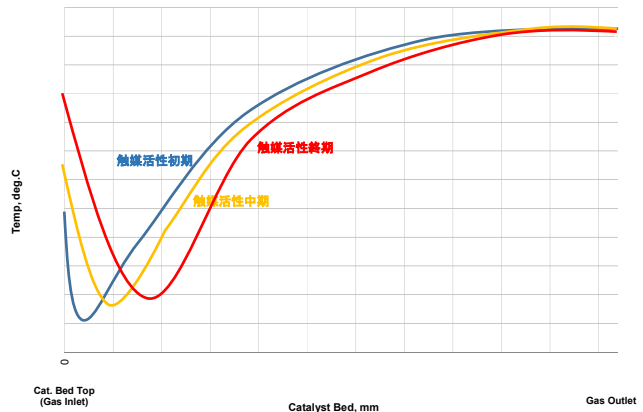
商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用した脱水素設備の運転の実施、運転データ収集

試験結果判断基準: 触媒性能や劣化速度が小規模試作の触媒を使用したデモプラント運転と同等であること。

触媒性能目標: 運転期間を通じて転化率が目標値以上であること



比較対象例: 触媒管温度分布(触媒劣化の指標)イメージ図
デモプラント運転結果と傾向を比較



試験結果の反映

結果 良: 現状の触媒製造レシピ/調達仕様を商業規模反応器に適用
否: 原因検討の上、触媒製造レシピ/調達仕様を見直し

運転データ収集途中経過

②-4:触媒商業生産課題検討 (1/2)

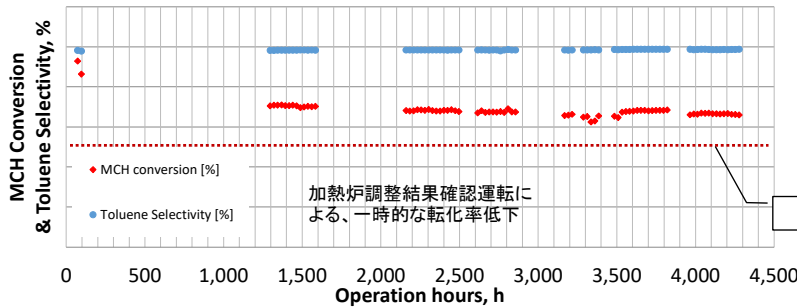
成果

実施内容

- ✓ 商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用した脱水素設備の運転の実施、運転データ収集
- ✓ 脱水素反応器入出の流体をサンプリングして組成（トルエン、MCH、反応副生芳香族／環状炭化水素濃度）を分析

試験結果

90%~100%ロードにおける転化率とトルエン選択率



・4,200h以上の運転期間において、転化率は、目標値以上を維持できている。

試験結果

判断基準

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

成果

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

23 / 39

運転データ収集途中経過

②-4:触媒商業生産課題検討 (2/2)

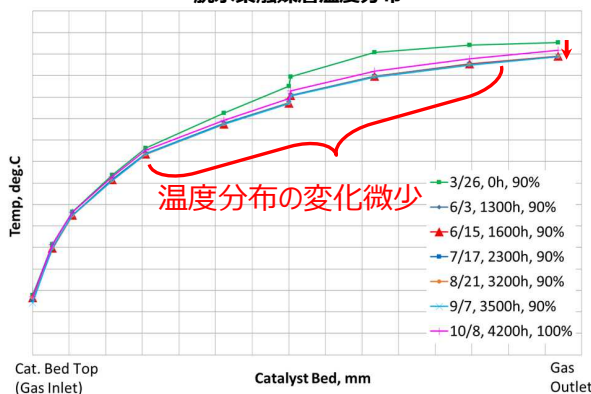
成果

実施内容

- ✓ 商業規模触媒製造仕様で製造した触媒を使用して、脱水素設備の運転の実施、運転データ収集
- ✓ 触媒管の温度分布の経時変化を測定し、脱水素触媒の劣化傾向を把握（従来のデモプラント運転により、触媒管温度分布変化と触媒劣化の相関を把握済み）

試験結果

脱水素触媒層温度分布



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

【反応温度管理】

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

・触媒層温度分布の大きな変化（触媒性能の変化）は見られていない。

試験結果

判断基準

触媒性能や劣化速度が小規模試作の触媒を使用したデモプラント運転と同等であること。
触媒性能目標：運転期間を通じて転化率が目標値以上であること。

成果

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

24 / 39

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-1:商用トルエン運転検証

成果

実施内容

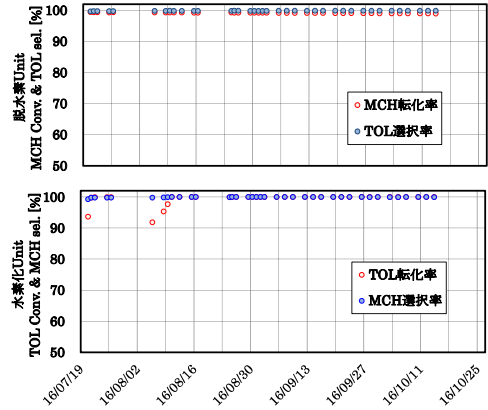
✓国内外のトルエン供給社より6種のサンプルを調達し、ラボ反応試験によるスクリーニング評価を実施
 ✓試験結果及び供給能力を考慮した上で実証チェーンにて使用するトルエンを選定し、千代田化工建設子安デモプラントにて運転検証

評価結果

スクリーニング結果

供給元	起源	生産能力 (万t/年)	サンプル純度 (wt%)	スクリーニング結果		評価
				水素化	脱水素	
A社	COLO	< 5	99.99	○	○	2013年子安デモ実証済み、供給純度サンプルが極めて低い
B社	Reformate	< 5	91.1	X	X	特定物質不純物濃度が高く、不適合
C社 (a工場)	Pygas	5 ~ 10	99.96	○	○	供給純度サンプルが低い
C社 (b工場)	Reformate	> 20	99.96	○	○	第一期検証・子安デモ機での実証に導入予定
D社 (海外)	Reformate & Pygas	> 20	99.98	X	X	サンプルリク方法に起因する特定物質の10%により不適合、再調達・再評価が必要
E社	Reformate	> 20	98.2	X	X	特定物質不純物濃度が高く、不適合

千代田化工子安デモプラント検証運転結果



一連のケーススタディの主要な結果

- i. 反応試験結果及び供給能力の観点から、国内C社B製造所のトルエンを選定
- ii. 不適合サンプルの含有成分の詳細分析や検証試験を実施して不適合要因を定量的に検証。これまでの知見にこの結果を反映して商用トルエンの仕様を策定

成果

✓一連の検証にて、商業規模で調達/使用可能なトルエンを選定することが出来、調達仕様を策定出来た。

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-1:商用トルエン運転検証

今後の課題

課題

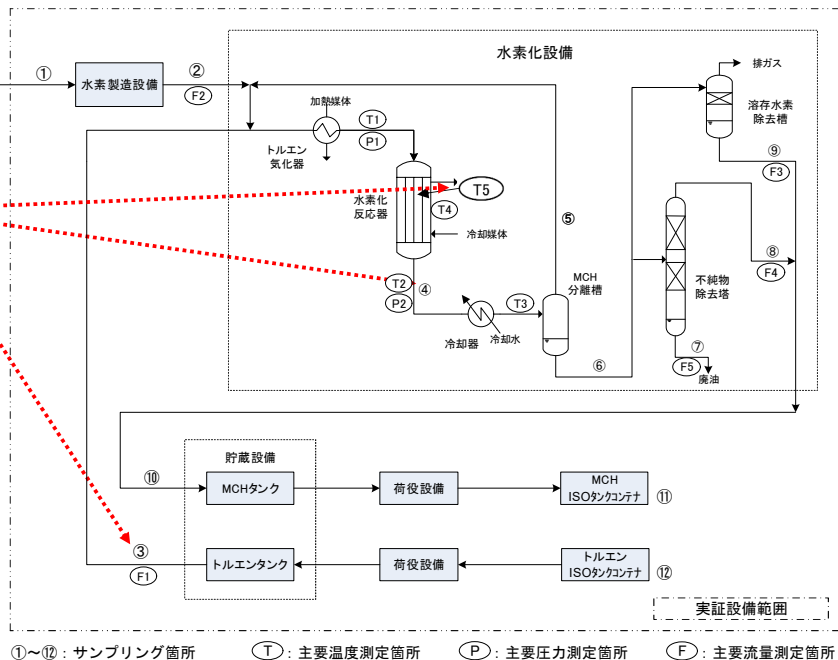
スペック適合品の大規模購入トルエンでの実証運転実施と性能の検証

実施内容

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

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

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



期待される成果

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

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-1:商用トルエン運転検証

今後の課題

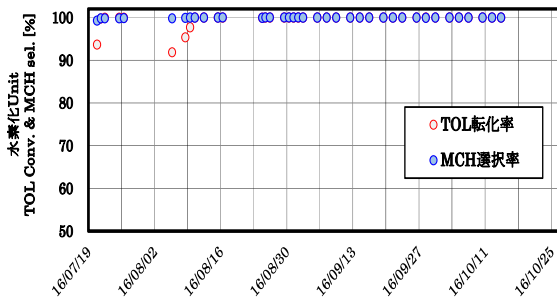
課題

スペック適合品の大規模購入トルエンでの実証運転実施と性能の検証

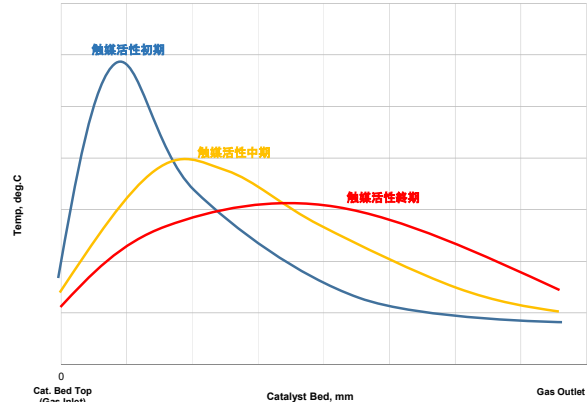
試験結果判断基準： 触媒性能や劣化速度が商用トルエンを使用したデモプラント運転と同等であること。

触媒性能目標：商用トルエンを使用したデモプラント運転に比した転化率/選択率の差が目標値以内

比較対象例：デモプラント運転での転化率/選択率



比較対象例：触媒管温度分布（触媒劣化の指標）イメージ図
デモプラント運転結果と傾向を比較



試験結果の
反映

結果 良：現状のトルエン調達仕様を商業規模設備に適用
否：原因検討の上、トルエン調達仕様の見直し、調達トルエン含有不純物除去の検討

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-1:商用トルエン運転検証 (1/2)

成果

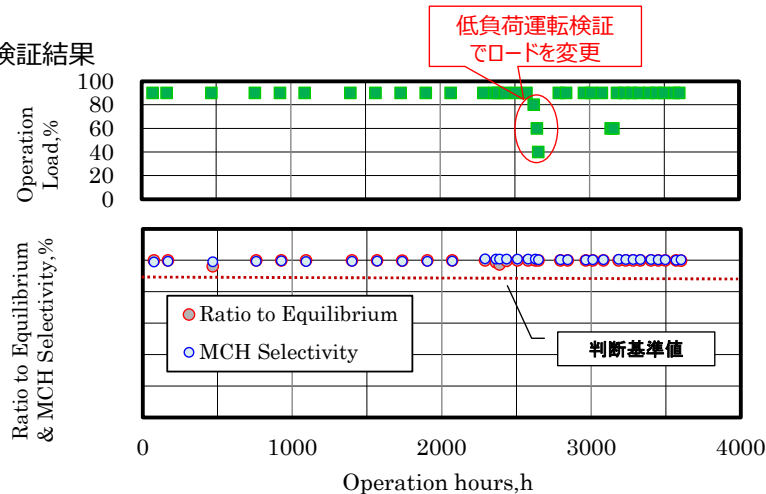
運転データ収集途中経過

実施
内容

スペック適合品の大規模購入トルエンでの実証運転実施と性能の検証として、水素化反応器入出の流体をサンプリングし、組成（トルエン、MCH、反応副生芳香族/環状炭化水素濃度）を分析。

試験
結果

✓ 反応器性能の検証結果



判断基準

触媒性能や劣化速度が商用トルエンを使用したデモプラント運転と同等であること。
✓ 触媒性能目標：商用トルエンを使用したデモプラント運転に比した転化率/選択率の差が一定以内（各ロード整定後に前項のサンプリング箇所から採取した液の分析結果より算出）

成果

✓ 運転開始以降、転化率、選択率が目標値以上を維持している。
✓ 実証チェーン運転に商用トルエンを使用し、取得した運転データにより、チェーンとして所定の性能が得られることが検証できた。

③-1:商用トルエン運転検証 (2/2)

成果

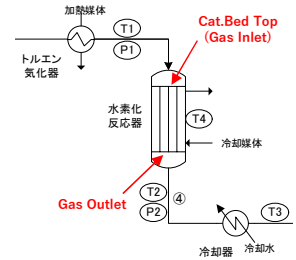
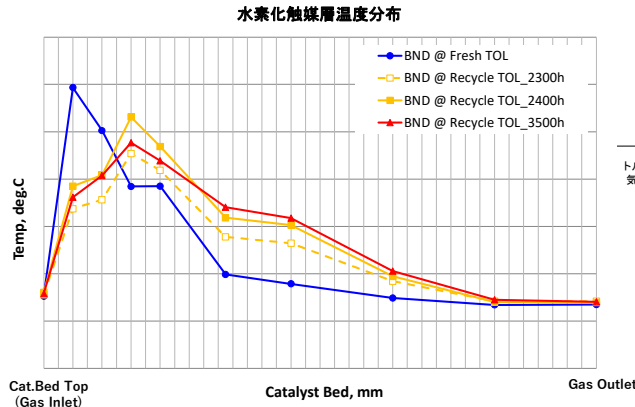
運転データ収集途中経過

実施内容

スペック適合品の大規模購入トルエンでの実証運転実施と性能の検証として、触媒管の温度分布の経時変化を測定。

試験結果

✓ 反応器触媒管の温度分布の経時変化測定結果



判断基準

触媒性能や劣化速度が商用トルエンを使用したデモプラント運転と同等であること。

成果

- ✓ 運転初期から運転中期にかけて想定通り触媒層温度ピークが後半ヘシフトし、前頁に記載した通り所定の性能（転化率/選択率）の維持を確認。(2300hr⇒2400hrにかけての温度上昇は反応条件調整で反応量を変更したことによるもの。)
- ✓ 実証チェーン運転に商用トルエンを使用し、取得した運転データにより、チェーンとして所定の性能が得られることが検証できた。

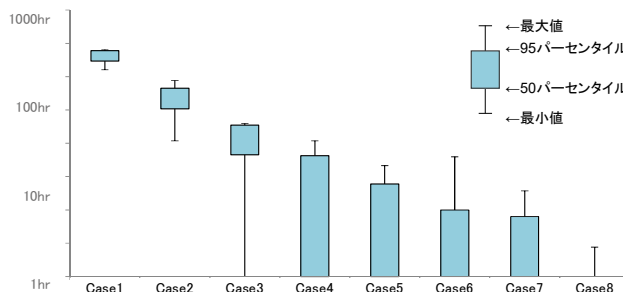
③-2:サプライチェーン検討

成果

実施内容

- ✓ 需要家への水素供給の安定性に影響する事象を分析
- ✓ 水素源から水素需要家までの水素サプライチェーン全体をモデル化、想定される様々な偶発事象の発生に対するチェーン全体としての安定性を検証すると共に、安定性を向上するための各種設備の規模や冗長度を検討

評価結果



- ✓ 水素化・脱水素設備の貯蔵能力と系内のトルエン量を一定の刻み幅で増減させた場合の、サプライチェーン起因の水素供給停止時間の発生確率分布を計算
- ✓ 左図の例では、Case3とCase4の間に変化点があることが見て取れ、上記変化点近傍が信頼性と設備コストのバランスが取れた設備構成と考えられる。

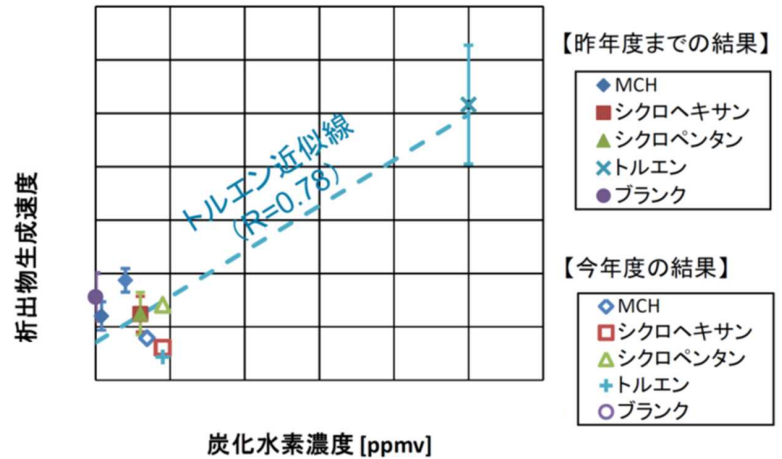
	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6	Case7	Case8
貯蔵能力	-4Δ	-3Δ	-2Δ	-1Δ	基準値	+1Δ	+2Δ	+3Δ
最大値	252.34	87.10	19.66	10.90	4.62	6.28	1.93	0.28
95パーセンタイル値	244.67	67.11	18.74	6.48	2.45	1.00	0.80	0.00
中央値	171.66	33.00	6.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
最小値	126.83	10.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
平均値	179.27	35.68	7.13	1.21	0.35	0.27	0.11	0.01

成果

- ✓ 最適な水素サプライチェーンのシミュレーションが可能なモデルを開発し、設備構成が供給安定性を与える影響を定量的に評価する基本的な手法が確立。

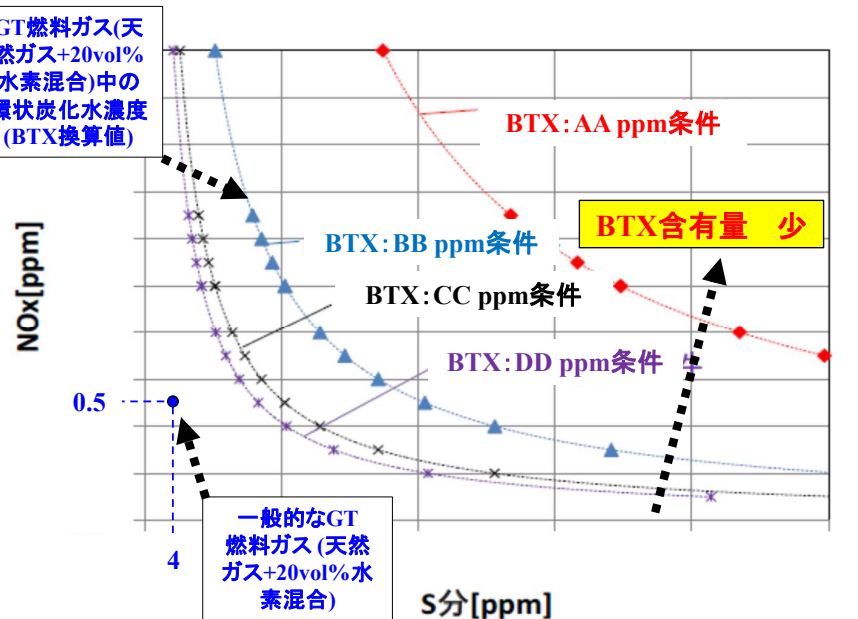
3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-3: 発電燃料供給チェーンとしての設備仕様・オペレーション要件		① 製品水素性状が発電GTに及ぼす影響の検討	成果
実施内容	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 脱水素設備からの製品水素中に含まれる微量の炭化水素（トルエン・MCH）から高温の重合反応により生成されるガム状物質が、商業規模発電GTに及ぼす影響（燃焼器ノズルの閉塞）および混焼する天然ガス中のガム状物質になりうる原因物質や影響物質をラボ試験により把握する。 		
評価結果	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ガム状物質析出特性試験を終了。 ✓ 天然ガスに、20vol%の水素を混合し、ベースガスとした。想定される炭化水素を微量添加し、燃料配管中の析出物生成速度を測定。 ✓ 飽和炭化水素を低濃度にて比較すると、トルエンより析出物生成速度が速く、析出しやすい。 ✓ トルエンベースの含有量制限値(試験委託先機関での従来研究結果に基づく)を使用して、MCH等の飽和環状炭化水素の含有制限値を評価。 		



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-3: 発電燃料供給チェーンとしての設備仕様・オペレーション要件		① 製品水素性状が発電GTに及ぼす影響の検討	成果
評価結果	<p>右図はトルエンベースの含有量制限値</p> <p>メチルシクロヘキサン等の飽和環状炭化水素とトルエンとのガム状物質生成速度を比較し、水素中に含まれる飽和環状炭化水素がトルエン何ppmに相当するかを解析</p> <p>右図を使用して飽和環状炭化水素の含有制限値を評価。 水素20%混焼の場合は、図中の青三角ライン。</p> <p>一般的な天然ガスとの混焼(Nox 0.5ppm、S分4ppm)であればガム状物質生成領域に入らない。</p>		
成果	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 飽和炭化水素の含有量管理値を策定した。 ✓ 現状の脱水素工程にて、製品水素が商業規模発電GTに使用可能であることを確認した。 		



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

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③-3: 発電燃料供給チェーンとしての設備仕様・オペレーション要件

成果

②脱水素反応熱をGTCC発電所のHRSGから供給する方法の可能性検討

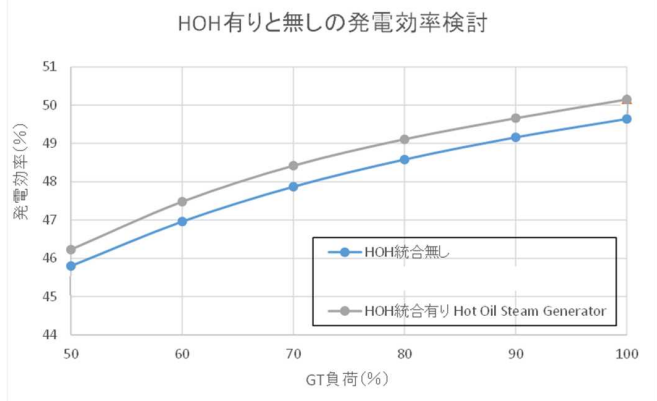
実施内容

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

評価結果

✓ HRSG熱利用についてはシミュレーション検討を終了し、HOHを設置した場合に、部分負荷時も含め発電効率が若干改善されるシステムが確認できた(右図参照)。

✓ ①GT起動時、②外気温変化時、③混焼率変更時など、多彩な運転モードに対応できるシステムは、設定が困難であり実用には、より多くの課題があることも確認された。(設備運転制御が複雑化することなど。)



成果

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

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

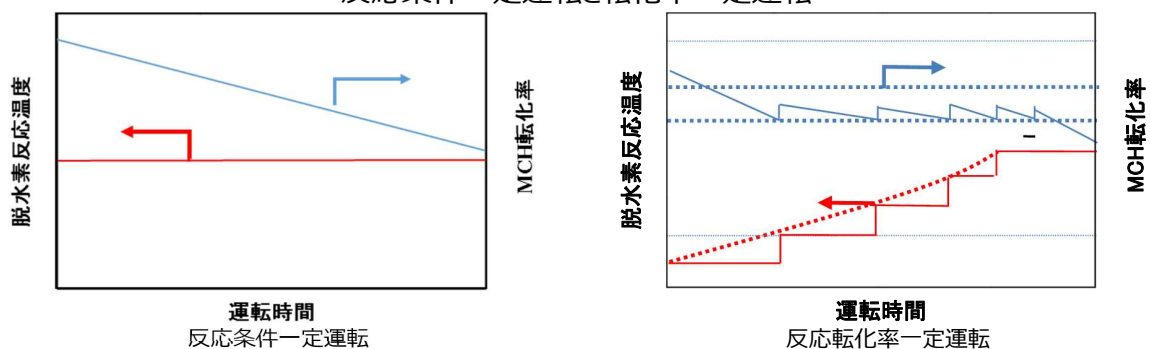
③-4: サプライチェーン効率化

今後の課題

課題

反応転化率を一定にした運転を可能にすることにより、触媒のシビアリティを下げ、触媒の長寿命化を図り、更に水素輸送量を経時的に一定に保つことでチェーン運用を効率化する。

反応条件一定運転と転化率一定運転



デモプラントでは反応条件一定の運転のみ実施

反応条件を調整して反応転化率を一定に維持した運転 (シビアリティ管理) は触媒長寿命化に寄与

商業運転を目指し、実証運転において反応転化率一定運転を検証したい

商業運転時の運転方法への適用検討

③-4: サプライチェーン効率化

成果

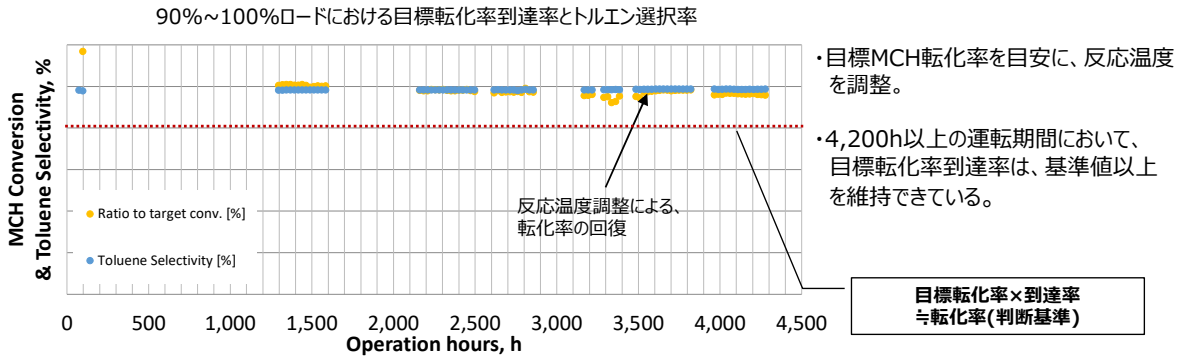
運転データ収集途中経過

実施内容

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

試験結果

✓ 反応器触媒管の温度分布の経時変化測定結果



判断基準

Phase1運転に比べて触媒の長寿命化傾向が観察されること。

成果

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

35 / 39

③-4: サプライチェーン効率化

成果

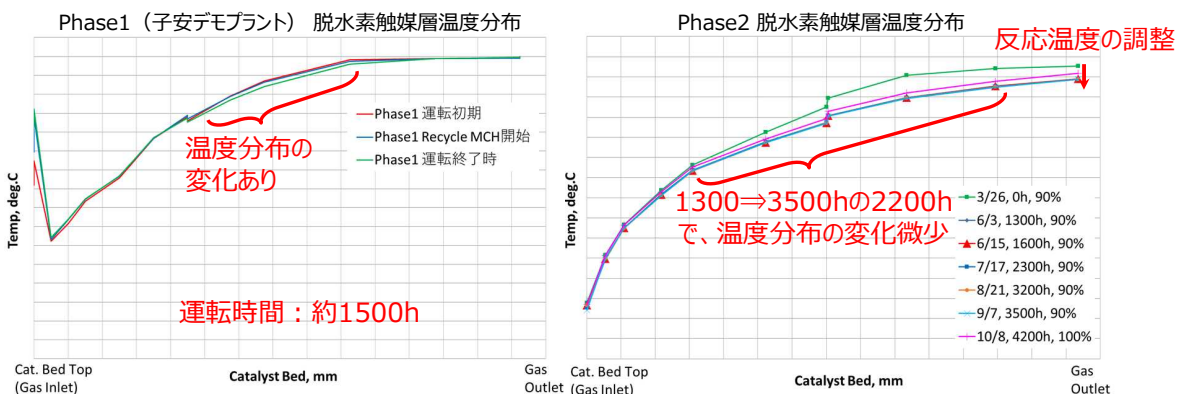
運転データ収集途中経過

実施内容

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

試験結果

✓ 反応器触媒管の温度分布の経時変化測定結果



判断基準

Phase1運転に比べて触媒の長寿命化傾向が観察されること。

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

成果

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

36 / 39

3. 研究開発成果について (2) 成果の意義まとめ

分類	開発項目	成果		商業フェーンでの活用			
		既に得られた成果	プロジェクト終了までに実現を目指す成果	大規模化	需要適合	経済性	その他
① 水素化プラント	水素化反応器スケールアップ	①反応器スケールアップの設計手法を確立し、実証設備の反応器設計に反映。 ②実証運転にて2回のターンダウン試験を実施。転化率/選択率に大きな変化はなく目標値以内であることを確認。	-	○			
	不純物除去設備の仕様検討	①蒸留設計の「パラメータチューニング」及び蒸留試験により蒸留設備の設計仕様妥当性を確認。 ②実証運転にて中軽質不純物蓄積挙動を検証中。顕著な蓄積増加は見られない。	実証運転終了まで蓄積挙動を検証し、目標のトータル増加量が目標値以内であることを確認する。				○
② 脱水素プラント	脱水素反応器スケールアップ	①反応器スケールアップの設計手法を確立し、実証設備の反応器設計に反映。 ②Shell側構造改善シミュレーション検討実施中。 ③実証運転にて1回目のターンダウン試験を実施。転化率/選択率に大きな変化はなく目標値以内であることを確認。	①2回目のターンダウン試験を実施し、転化率/選択率の低下が目標値以内であることを確認する。 ②Shell側構造改善シミュレーション検討を完了しShell側構造を最適化する。	○			
	負荷追従性向上策	①商業規模設備のダイナミックシミュレーションによりガスホルダー設置の効果を検証。プラント応答性律速要因を特定。 ②実証設備のダイナミックシミュレーションをモデル化中。 ③実証運転での負荷変動（短時間でのターンダウン/アップ）試験の詳細計画策定。	①実証運転での負荷変動運転を実施、運転データを収集。負荷変動ケースを増やし追従性の比較実施を予定。 ②ダイナミックシミュレーションで負荷変動試験をトレースし、モデルをブラッシュアップする。		○ 応答性		
	水素純度向上策	想定需要へ対応可能であることをラボ試験により確認。	-		○ 水素純度 (FCV)		
	触媒商業生産課題	①商業試作により、小規模製造触媒と概ね同等の性能を持つ大規模触媒製造が可能と確認。 ②実証運転により触媒性能を検証中。小規模製造の触媒と概ね同等。	実証運転終了まで触媒性能を検証し、目標の転化率以上であることを確認する。	○			

37 / 39

3. 研究開発成果について (2) 成果の意義まとめ

分類	開発項目	成果		商業フェーンでの活用			
		既に得られた成果	プロジェクト終了までに実現を目指す成果	大規模化	需要適合	経済性	その他
③ サプライフェーン構築・運用	商用トルエン運転検証	①商業規模で調達/使用可能なトルエンを選定し、調達仕様を策定。 ②商用トルエンを使用した実証運転継続中。触媒性能や劣化速度は商用トルエンを使用した子安デモプラント運転結果と概ね同等。	実証運転終了まで触媒性能や劣化速度を検証し、目標であるデモプラント運転に比した転化率/選択率の差が目標値以内であることを確認する。	○			
	サプライフェーン検討	設備構成が供給安定性に与える影響を定量的に評価する基本的な手法が確立。	-			○	
	発電燃料供給フェーンとしての設備仕様・オペレーション要件	①飽和炭化水素の含有量管理値を策定。製品水素が商業規模発電GTに使用可能であることを確認。 ②脱水素反応熱をGTCC発電所のHRSGから供給することで、総合効率の改善の可能性があることが示唆された。	-		○ 水素純度 (発電)		
	反応器運転モードの最適化	実証運転にて、転化率抑制（転化率一定）の運転を継続中。	実証運転終了まで転化率抑制運転を実施し、転化率抑制運転が可能であることを実証する。			○	

38 / 39

◆成果の普及

	2015年度～ 2017年度	2018 年度	2019 年度	2020 年度	計
研究発表・講演	9	26	21	6	62件
新聞・雑誌等への掲載	19	16	13	11	59件
展示会への出展	6	3	5	0	14件

※2020年10月現在

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

助成先：川崎重工業株式会社

●成果概り（実施期間：2019年度～2022年度終了予定）

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

●背景/研究内容・目的

<背景>

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

<研究内容・目的>

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

●研究目標

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

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

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

●今後の課題

- a)大型貯蔵容器
- ・量産性、構造面の課題に対して考案した三重殻構造の成立性を検証
- B)海上輸送用大型液化水素タンク
- ・部材の耐久性確認
 - ・材料特性データ、強度特性データ取得完了後のタンク基本仕様決定

●実用化・事業化の見通し

本開発で得られた設計技術をもとに、商用規模の実証を行い、性能を検証することにより、事業化に結び付ける。

●研究成果まとめ

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

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	なし	1	なし

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

助成先：
東京貿易エンジニアリング株式会社

●成果あり（実施期間：2019年度～ 2022年度終了予定）

・2020年9月時点

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

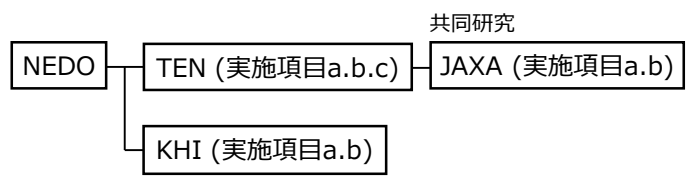
●背景/研究内容・目的

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

●研究目標

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

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

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

●今後の課題

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

●実用化・事業化の見通し

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

●研究成果まとめ

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

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
なし	なし	なし	なし

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

助成先：
株式会社IHI回転機械エンジニアリング

●成果概要（実施期間：2019年度～2022年度終了予定）

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

●背景/研究内容・目的

◎背景

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

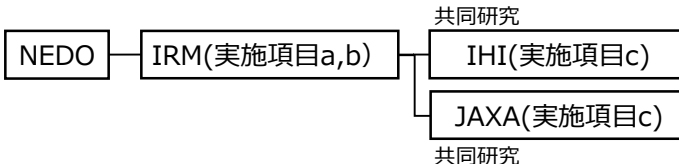
◎研究内容・目的

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

●研究目標

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

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

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

●今後の課題

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

●実用化・事業化の見通し

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

●研究成果まとめ

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

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
なし	なし	なし	なし

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

助成先：株式会社荏原製作所

●成果概要（実施期間：2019年度～2022年度終了予定）

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

●背景/研究内容・目的

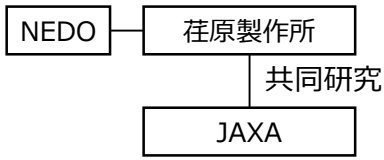
<背景>
水素発電設備の一つとして、発電設備に液化水素を昇圧して供給する、大容量液化水素昇圧ポンプの開発が必要である。

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

●研究目標

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

●実施体制及び分担等



液化水素試験設備の設計/製作および運転試験の実施

●これまでの実施内容／研究成果

- a)軸スラストバランス機構の検討
液化水素ポンプ用新型基本構造を設計し、商用機および小型試作機の仕様において、計算上、軸スラスト力がバランスすることを確認した。
- b)ポンプ材料の選定
材料試験により材料特性を評価、ポンプ材料を選定した。
- c)ポンプ性能/機能の評価・分析
・小型試作機の基本設計を完了し、性能/機能を詳細評価している。
・液化水素運転試験内容を計画し、それに基づき、試験設備を設計し、製作を行っている。

●今後の課題

- a)軸スラストバランス機構の検討
試作機運転試験における機能検証
- b)ポンプ材料の選定
・ポンプ設計の為の材料特性の把握
・試作機試験での健全性確認
- c)ポンプ性能/機能の評価・分析
・小型試作機の詳細設計、設計評価
・試験設備の製作
・2021年度以降、試作機製作/試験、評価・分析

以上より、液化水素昇圧ポンプ設計技術を確立する。

●実用化・事業化の見通し

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

●研究成果まとめ ○達成、△達成見込み(達成時期)

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

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	なし	なし	なし

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

プロジェクトの概要 (公開)

川崎重工業
東京貿易エンジニアリング
IHI回転機械エンジニアリング
荏原製作所

2020年12月4日

1/57

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

①大型輸送・貯蔵技術の開発 1/2

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
a)大型貯蔵容器の開発	ア) 断熱性能の目途付け イ) メンブレン形状の解析技術確立	<ul style="list-style-type: none"> 極低温、水素ガス中で断熱性能を満足した。 考案したメンブレン形状に対し解析にて成立性を確認。 	△ (2021/2)	量産性、構造面の課題に対し、三重殻構造を考案した。今後、成立性を検証
b)海上輸送用大型液化水素タンクの開発	ア)断熱システム方式 ・断熱システムの基本仕様の確定	<ul style="list-style-type: none"> 断熱方式／構造を選定済 基本仕様検討中 	△ (2021/2)	断熱パネル部材の耐久性が課題、今後試験などで検証
	イ)タンク構造 ・基本構造決定 ・強度/揺動評価	<ul style="list-style-type: none"> 基本構造／支持構造を選定済 強度評価中 	△ (2021/2)	c)材料特性データをもとに最終決定

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

2/57

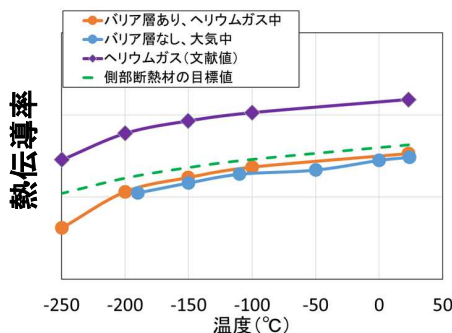
①大型輸送・貯蔵技術の開発 2/2

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
b)海上輸送用大型液化水素タンクの開発	ウ)タンク構造材料 ・ 材料選定/データ取得	・ 材料選定済 ・ 材料特性データ取得中	△ (2021/2)	溶接部の破壊靱性値が許容範囲であるかを試験評価
	エ)配管との接続方法 ・ 方法選定/強度評価	・ 方法選定済 ・ 強度特性データ取得中	△ (2021/2)	強度特性データを確認してから接続方法を最終決定
	オ)タンクシステムの検証 ・ 試験タンク設計/材料手配	・ 試験タンク設計中 ・ 材料手配中	△ (2021/2)	溶接棒の選定は、材料特性データを確認してから決定

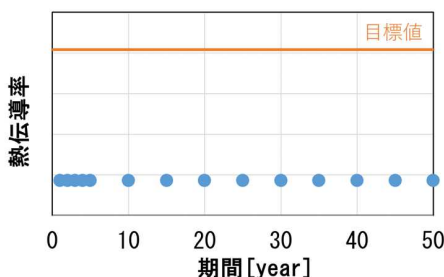
◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

①a) 大型貯蔵容器の開発 1/4

ア) 断熱材の開発



極低温での熱伝導率計測結果



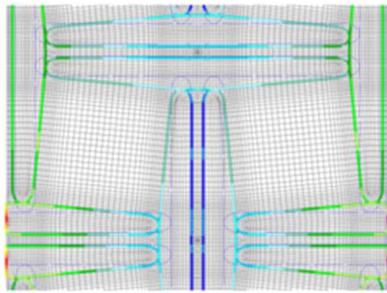
-190°C/水素雰囲気下での熱伝導予測計算結果

- ・ バリア層を設けることで、極低温/水素ガス中でも高断熱性能を維持する断熱材を開発
- ・ ヘリウムガス（水素ガスと透過性や熱伝導率が近い）雰囲気下で目標の熱伝導率を達成できていることを確認した
- ・ 要素試験結果からの予測計算により、長期間の性能維持が可能であることを確認した
- ・ しかし、バリア層の大型化向けの施工性、量産性に課題。

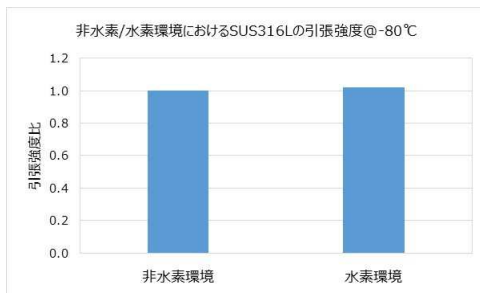
a) 大型貯蔵容器の開発 2/4

イ) メンブレンの開発

一般部のメンブレン構造決定



変位吸収機構の解析結果(変形量)



低温水素ガス雰囲気環境SSRT試験結果

・気密性および変位吸収特性を有する薄板の鋼材(メンブレン)と、圧力荷重を内槽に伝える保冷構造についてFEM解析を実施し、温度変化による熱収縮を吸収できる目途を得た。

・実機相当の予ひずみ加えた候補材：SUS316Lについて、水素の影響を受ける可能性がある-80℃付近にてSSRT試験を実施し、引張強度の顕著な低下が見られないことを確認。

ただし、メンブレンを内槽に固定する場合の、内槽の温度変化による相対変形の予測が困難である。

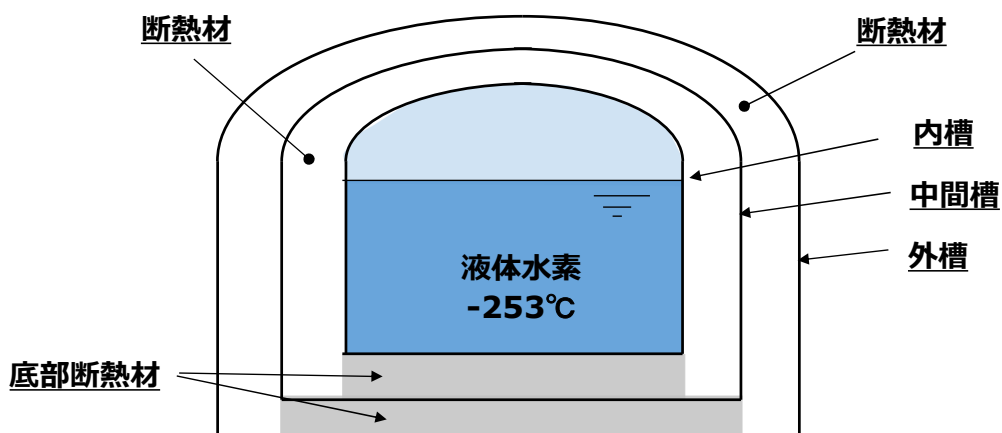
※SSRT試験とはSlow Strain Rate Testing：低ひずみ速度試験を意味する

a) 大型貯蔵容器の開発 3/4

実用化の検討を進めるに当たり、以下の課題が顕在化

- ・断熱材を大型化した際にバリア層を品質良く量産塗工に対応可能なメーカー
- ・メンブレンを内槽(メンブレンの外側の槽)に固定する場合、内槽の温度変化による相対変形の予測

これらの課題に対し解決方法を検討した結果、金属三重殻構造を考案した。



金属三重殻構造イメージ図

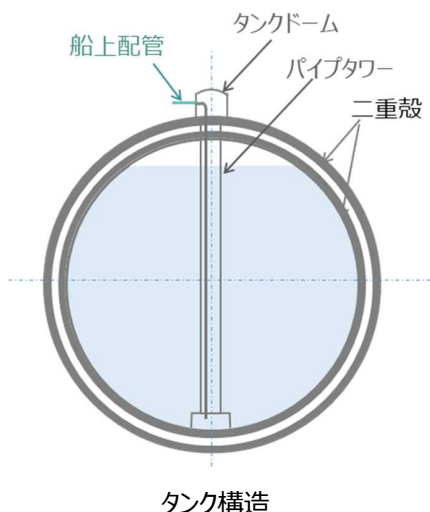
a) 大型貯蔵容器の開発 4/4

金属三重殻構造の課題

課題	内容	状況、予定
耐震性を有する内槽の支持構造	中間槽を介して、内槽を支持するアンカー構造の検討が必要	社内検討の結果、対応できる目途がついた
水素ガス雰囲気下での断熱性能	水素ガス雰囲気下での底部断熱材の性能、および水素ガスの対流の影響が不明	評価に着手。底部断熱材の評価は2020年度、対流の影響評価は2021年度に完了の見込み
中間槽材料	加工及び施工性に優れた9%Ni鋼の水素環境中での適用検討	材料手配に着手。2021年度にスクリーニング、2022年度に特性評価を実施する

b) 海上輸送用大型液化水素タンクの開発 1/2

大型タンク (40,000m³/タンク) の実現に向けて、LNG船で培ったタンク構造/材料、防熱構造の実績を踏襲しつつ、液体水素温度 (-253℃)、水素雰囲気での成立を可能とする基本仕様を選定した。

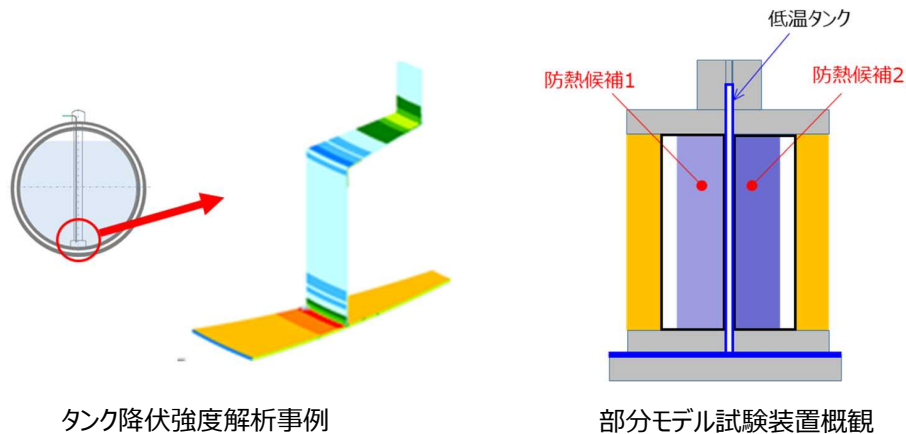


項目	基本仕様	
タンク構造/材質	基本構造	球形二重殻
	ベース材料	アルミニウム合金
	支持構造	スカート *サーマルブレイキ (SUS) を含む
	異材接続方法	構造用異材継手STJの利用/溶接
断熱構造	方式	二重殻防熱方式
配管接続部	船上配管との異材接続方法	配管用異材継手CCJの利用/溶接

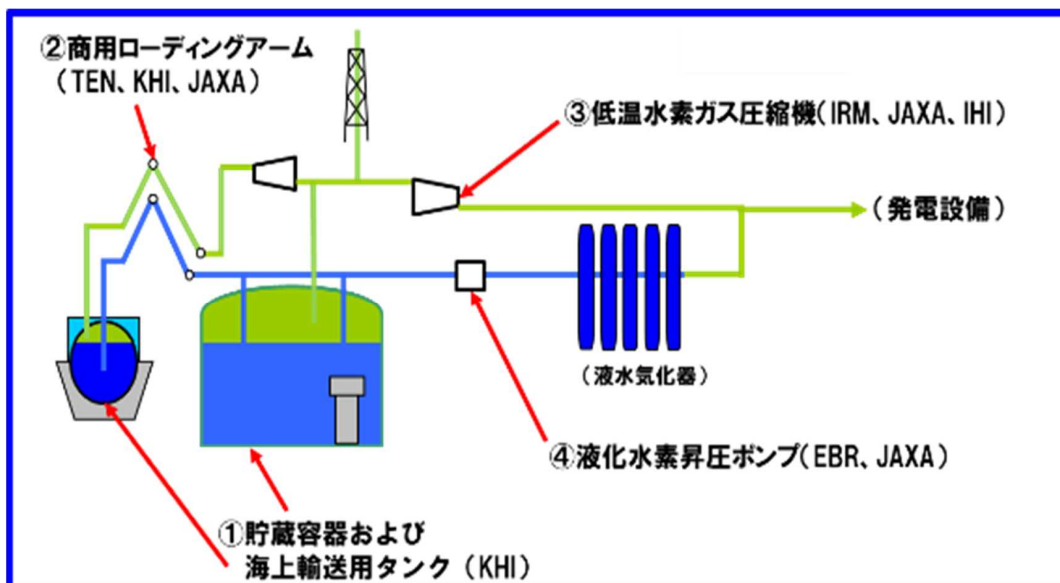
STJ : Structural Transition Joint
CCJ : Cryocoup Joint

b) 海上輸送用大型液化水素タンクの開発 2/2

- 基本仕様を実現するために、材料特性データ、熱物性データなどを試験によって取得
- それらを用いて（未取得データについては、推定）、強度解析（降伏、座屈、破壊、疲労）を実施して、タンク構造の成立性（許容応力以下）を確認
- また、防熱構造を仮決定し、来期予定の部分モデル試験に向けた試験準備を完了予定
- 加えて、タンク製造法、防熱パネル施工法などの検討を進めて、2022年度の低温タンク試験に向けて、試験タンクの設計、材料手配を実施中



各機器の開発により、商用スケールの荷役設備および発電設備への水素供給設備が成立し、水素基本戦略の2030年に発電容量100万kW（火力発電所1基相当）の実現に貢献する。



戦略に沿った具体的取り組み

a) 大型貯蔵容器の開発

- タンクコンセプトや共通技術については特許出願予定
- 施工方法や検査方法はノウハウとして秘匿

	2019年度	2020年度	計
特許出願 (うち外国出願)	0	0	0件

b) 海上輸送用大型液化水素タンクの開発

- 将来のライセンスビジネスを前提に、ライバルへの牽制を意識しつつ、設計および製造のノウハウとなるコア技術を権利化する。
- 本研究開発事業において、アイデアや得られた成果を基に出願を進めた。

	2019年度	2020年度	計
特許出願 (うち外国出願)	0	1	1件

①大型輸送・貯蔵技術の開発

	2019年度	2020年度	計
論文(査読付き)	0	0	0件
研究発表・講演	1	1	2件
受賞実績	0	0	0件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0件
展示会への出展	0	0	0件



2020/9
川崎重工技報で取り組みを紹介

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

①大型輸送・貯蔵技術の開発 1/4

開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
a)大型貯蔵容器の開発	ア)断熱材構造、メンブレン形状を決定 イ)三重殻構造を考案し、支持構造の成立を確認	<ul style="list-style-type: none"> BORが0.26%/dayとなる5万m³級の貯蔵容器の基本構造を確立させる 	熱解析モデルを構築して評価することにより、達成の見込み
b)海上輸送用大型液化水素タンクの開発	ア)断熱システム方式 <ul style="list-style-type: none"> 基本構造を選定済 部分モデル試験検討中 	<ul style="list-style-type: none"> 防熱システム方式／構造確定 	部分モデル試験データを取得して達成の見込み
	イ)タンク構造 <ul style="list-style-type: none"> 基本構造／支持構造を選定済 強度評価中 	<ul style="list-style-type: none"> タンク構造とその設計技術確立 	タンク構造強度評価で問題無き事を確認した上で達成の見込み

BOR : Boil Off Rate (蒸発率)

13 / 57

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

①大型輸送・貯蔵技術の開発 2/4

開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
b)海上輸送用大型液化水素タンクの開発	ウ)タンク構造材料 <ul style="list-style-type: none"> 材料選定済 特性データ取得中 	タンク構造材料確定	タンク構造材料の材料特性データを取得して、タンク構造強度評価で問題無き事を確認した上で達成の見込み
	エ)配管との接続方法 <ul style="list-style-type: none"> ドーム貫通ピース構造検討済 異材継手CCJ強度特性試験中 	<ul style="list-style-type: none"> ドーム貫通ピース構造決定 CCJ利用確定 	異材継手CCJの強度評価で問題無き事を確認した上で達成の見込み
	オ)タンクシステムの検証 <ul style="list-style-type: none"> 試験タンク設計/材料手配中 	<ul style="list-style-type: none"> 大型タンク設計技術取得 	低温タンク試験データ取得と解析モデル構築が出来た段階で達成の見込み

CCJ : Cryocoup Joint (低温用異材継手)

14 / 57

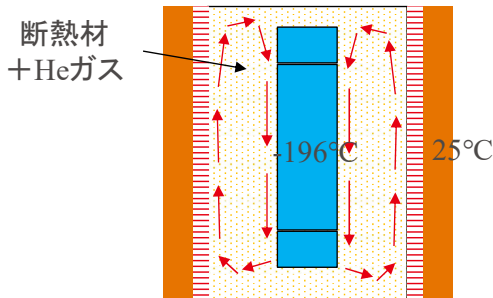
①大型輸送・貯蔵技術の開発 3/4

a) 大型貯蔵容器の開発

ア) 断熱材の開発

目標BOR達成の目途をつけるため、水素ガスの対流が入熱に及ぼす影響を試験により把握し、それをもとに解析モデルを作成して実タンクへの影響を評価する。

試験(検討中)



- ・解析モデル構築 (パラメータの合わせ込み)
- ・実タンクの入熱解析

イ) 中間槽材料評価

加工及び施工性の優れた9%Ni鋼の水素環境中での適用検討のため、低温・水素雰囲気下で溶接部を含めた材料特性試験を実施する。

①大型輸送・貯蔵技術の開発 4/4

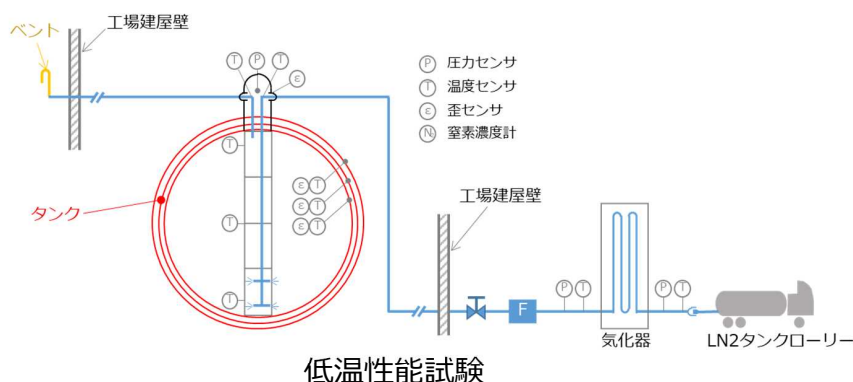
b) 海上輸送用大型液化水素タンクの開発

ア) 断熱構造、イ)タンク構造、ウ)タンク構造材料、エ)配管との接続方法

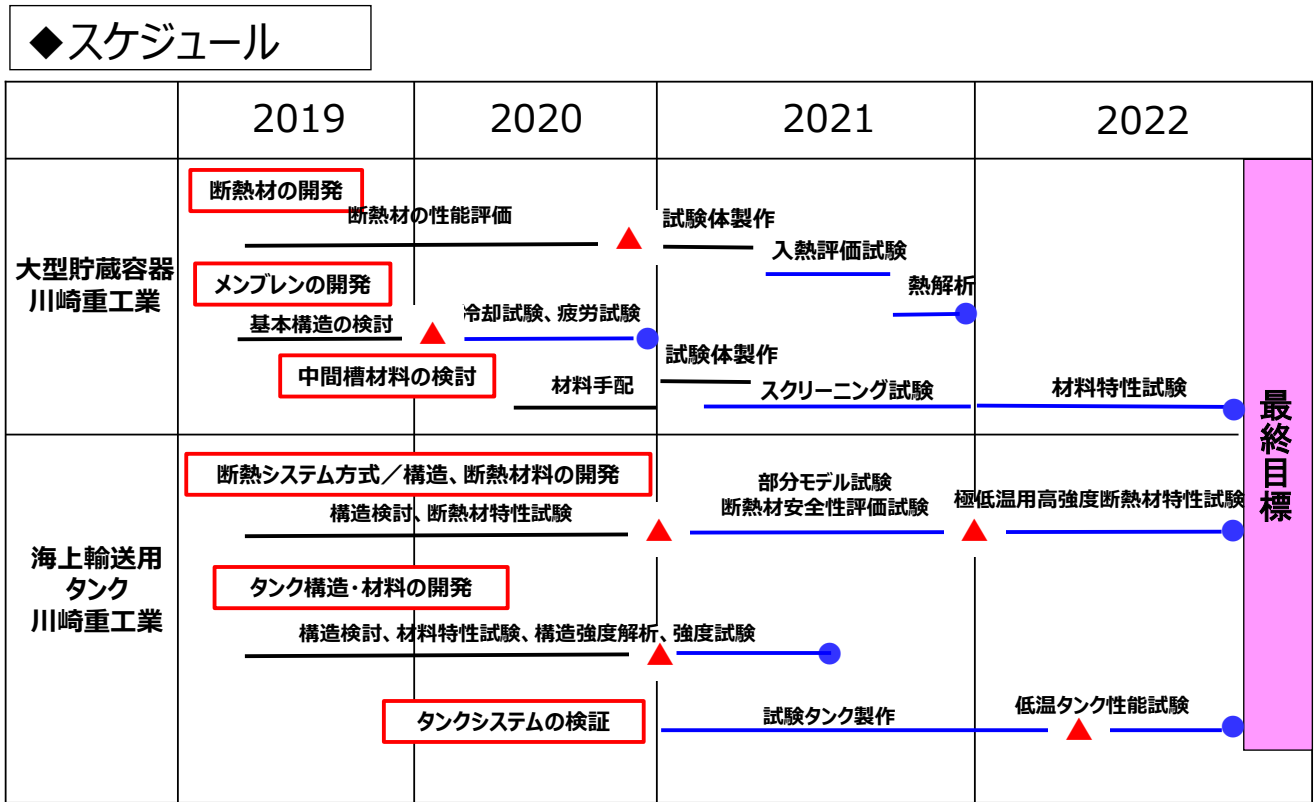
- ・断熱、構造強度、材料、配管との接続方法に関する各種特性データ取得を完了する。
- ・部分モデル試験を実施して、断熱構造の基本仕様を決定する。

オ) タンクシステムの検証

- ・試験タンクを製作し、製作法を確定させる。また、低温性能試験を実施して、強度および断熱性能を検証する。
- ・強度/熱流動解析結果を試験結果と合わせこみを行うことで、解析モデルを構築して、設計技術を取得する。また、大型タンクの詳細仕様を確定する。



3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)



4. 実用化・事業化の見通しについて

- **本プロジェクトの成果により、大量の水素を国際輸送することが可能となり、水素社会において日本の技術が国際競争力を獲得できる。**
- **大規模水素サプライチェーンの成立により、海外で製造した安価な水素を日本に大量輸送し、発電設備への水素供給が可能となり、日本の温暖化ガス削減に貢献する。**



4. 実用化・事業化の見通しについて

年	～2025年	2030年	2040年	2050年
想定フェーズ	実証試験	商用開始	40隻就航	80隻就航
水素輸送量	技術・社会実証	22.5万トン/年	450万トン/年	900万トン/年
発電容量		650MW	13,000MW	26,000MW
日本の総発電量に占める割合		0.5%	10%	20%
CO ₂ 削減量		300万トン	6千万トン	1.2億トン
イメージ			770t/day 水素 	15,400t/day 水素 

19 / 57

4. 実用化・事業化の見通しについて

①大型輸送・貯蔵技術の開発

a)大型貯蔵容器

- 商用規模で要求される、数万m³級の液化水素タンクの開発を行っている企業は、現在のところ確認されていない。
- 本プロジェクトの開発成果と、実証事業で培った液化水素の荷役技術、LNGタンクで培った設計・製造技術を駆使して、競合他社より技術的に優位に立ち、商用規模の実用化を進められる。
- 商用規模の実証により、性能を検証し、事業化に結び付ける。

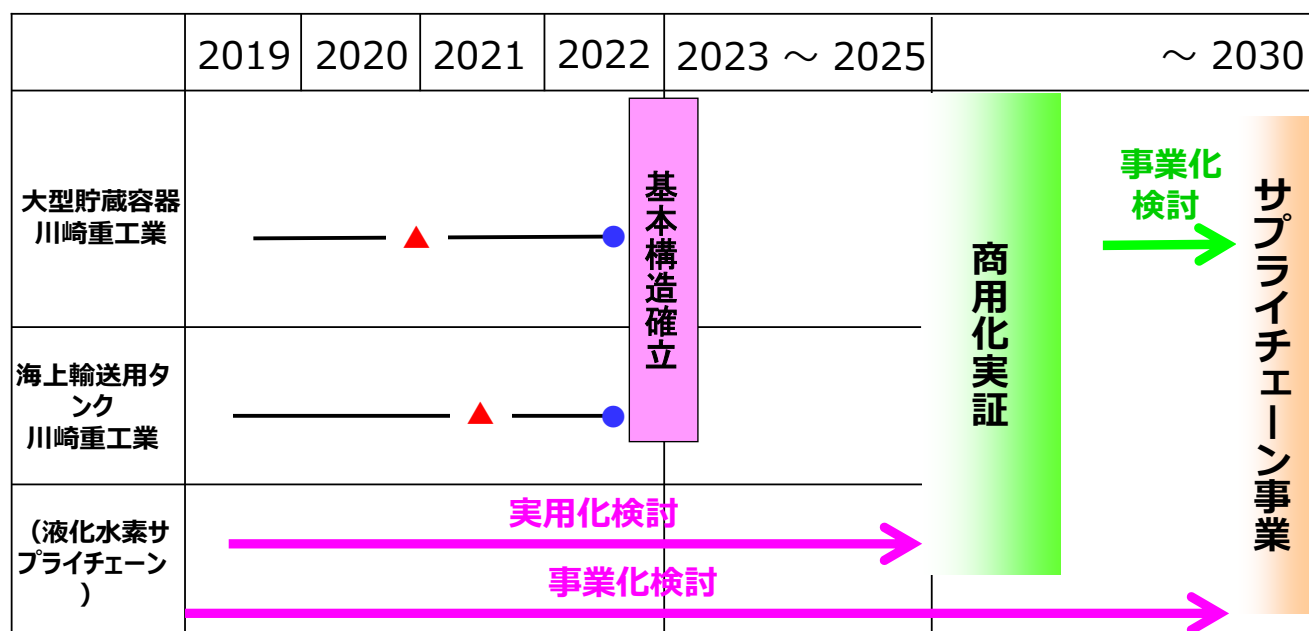
b)海上輸送用大型タンク

- 韓国では、コンセプト船（25,000m³×2タンク）を発表している。
- LNG運搬船と同等の大量輸送を実現する大型液化水素運搬船（160,000m³級）の開発は、日本が先行している。
- 大型液化水素運搬船の安全性に関する国際規則（IGC- Code）に対応するため、国際海事機関（IMO）への対応方針を日本海事協会（NK）、国交省、日本船舶技術研究協会などと連携し、協議を開始している。

20 / 57

4. 実用化・事業化の見通しについて

①大型輸送・貯蔵技術の開発



21 / 57

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

②商用ローディングアームの開発

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
a)大口径緊急離脱機構の開発	理論外部流出量が125ℓ以下の緊急離脱機構の開発における試作機の製作	現状では理論外部流出量は10ℓ以下の見込みで、試作機を製作中	△ (2021/2)	熱応力解析で変位が過大な箇所があるため、ガイド部品を追加し再解析を実施中。 2021~2022年にかけてJAXAで試験を行う
b)大口径船陸継手の開発	重量が1 ton以下で操作容易な船陸継手の開発における試作機の製作	重量は約0.5ton以下になる構造を検討した	△ (2021/2)	シール性を確保するために接触面の平行が維持されるか熱応力解析で検証する
c)鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発	メンテナンス頻度が1年に1回で済む程度の真空度を確保する試作機の製作	以下3点を製作中 ア)吸着剤追加 イ)改良型真空測定装置の追加 ウ)清浄度の高いベローズの採用	△ (2021/2)	2020年度で部品製作、2021年度に真空引実施、2022年度にLH2による試験を行う

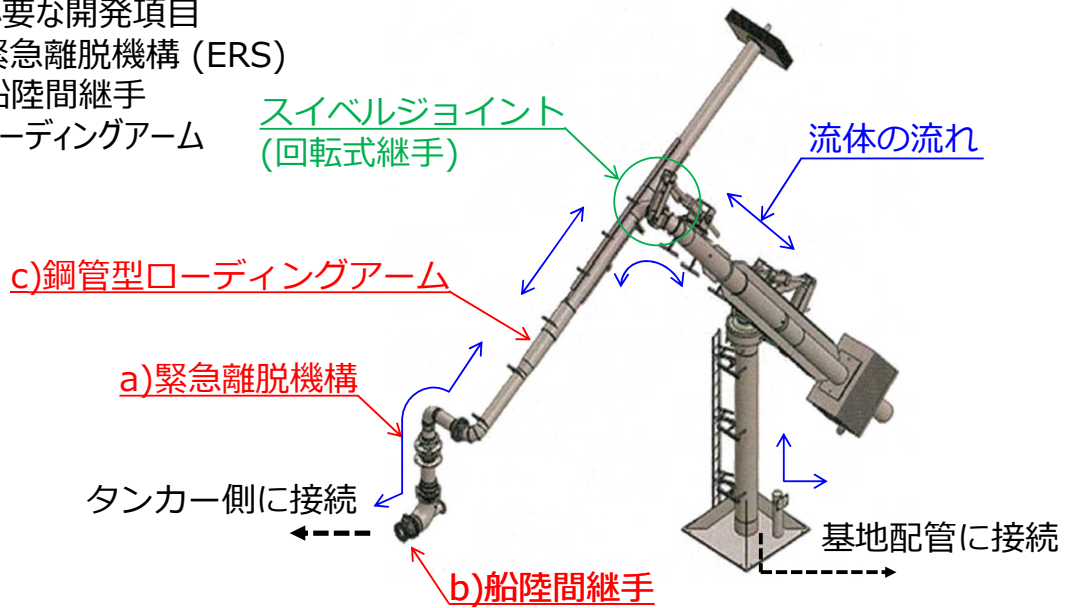
◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

22 / 57

②商用ローディングアームの開発

商用化に必要な開発項目

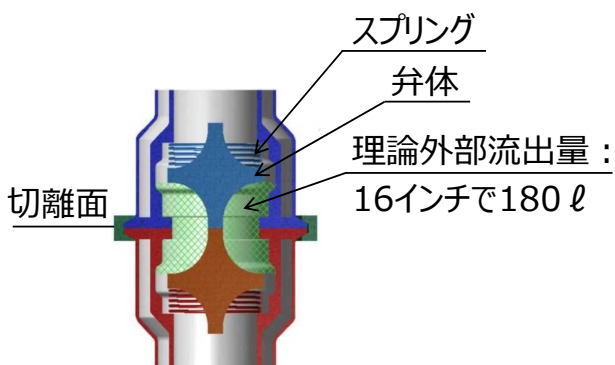
- a) 大口径緊急離脱機構 (ERS)
- b) 大口径船陸間継手
- c) 鋼管型ローディングアーム



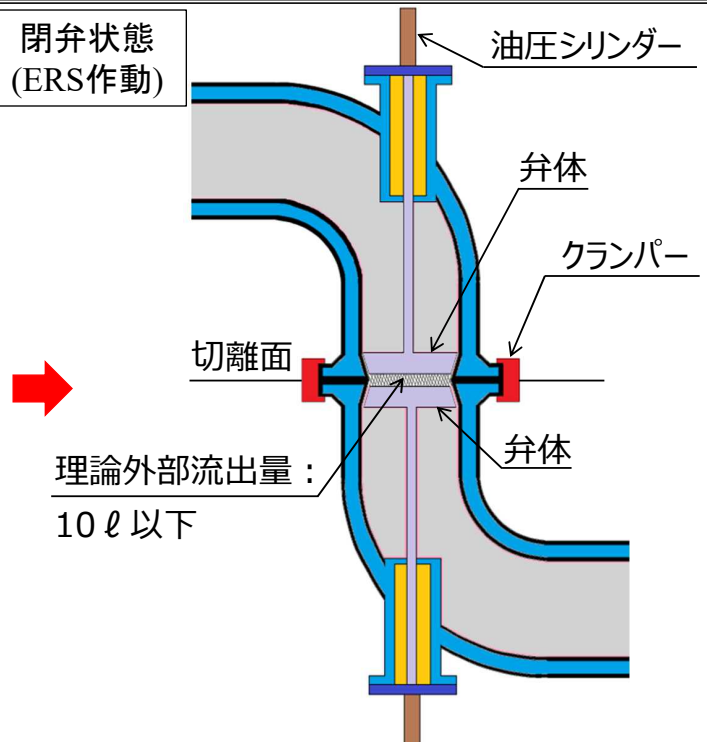
商用ローディングアームの開発により、大規模な液化水素の荷役が実現可能となる。

②商用ローディングアームの開発

a) 大口径緊急離脱機構の開発



口径：6インチ
従来型(スプリング動作式)
クランパーが外れてから弁体が閉じる。



口径：16インチ
大口径緊急離脱機構概要図(油圧動作式)
弁体が閉じてからクランパーが外れる。

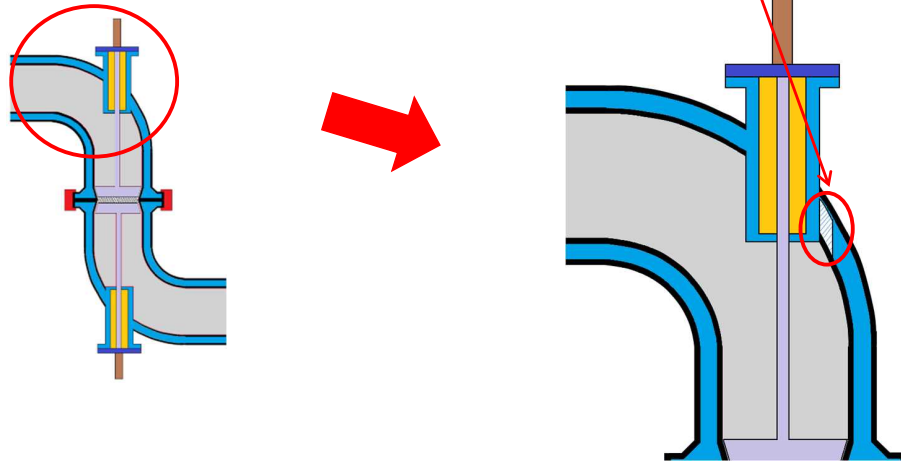
②商用ローディングアームの開発

解析結果について

a)大口径緊急離脱機構の開発

従来構造のラジアルガイドではモーメントに耐えられなかった。

解決策として内圧荷重を受けるためサポートを追加

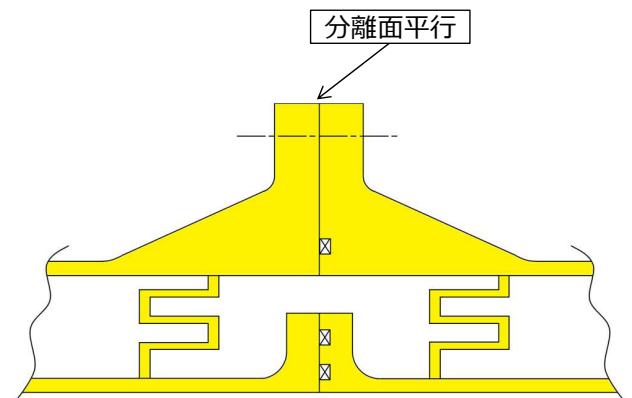
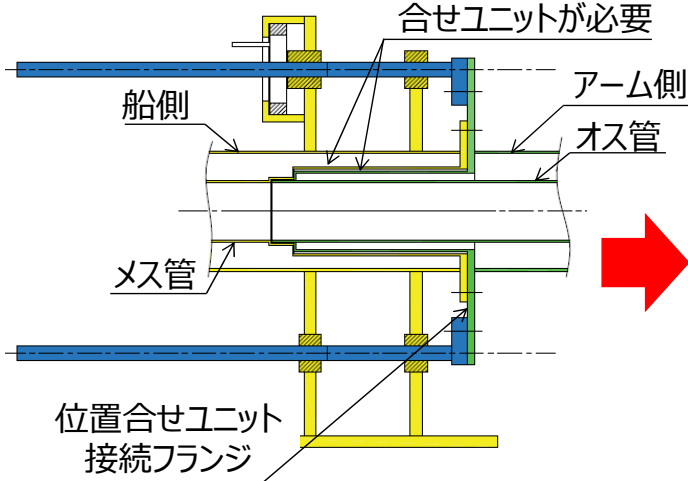


改良案

②商用ローディングアームの開発

b)大口径船陸継手の開発 かん合部がある為位置合せユニットが必要

・接続と分離を容易にする為に接続面をフラットにした。



従来形船陸継手
(16inchで約10ton)

新規開発した船陸継手
(約0.5ton)

位置合せユニットが不要となり、位置合せユニット接続フランジが不要となり、この為重量を約0.5ton以下に抑えることが出来た。

②商用ローディングアームの開発

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

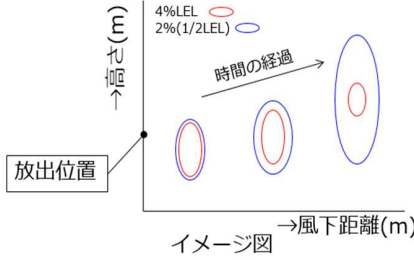
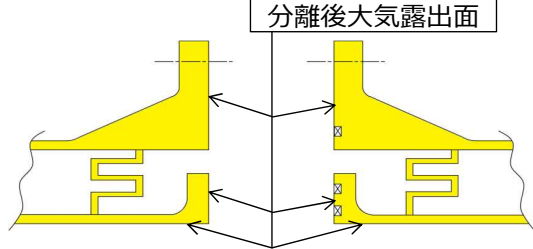
※2020年7月末現在

②商用ローディングアームの開発

開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
a) 大口径緊急離脱機構	試作機製作中	試作機を用いて、JAXAでLH2の試験を行い、切離時の外部水素ガスセンサによる測定値から安全性を確認する	設計、製作が予定とおり進めば達成可能
b)大口径船陸継手	試作機製作中	試作機を用いて、JAXAでLH2の試験を行い、安全に分離が出来る昇温特性を把握する	設計、製作が予定とおり進めば達成可能
c)鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発	真空保持対策を実施中	真空劣化度を測定しながら、現地に据付を行い、LH2での低温実証、真空度保持状態を確認する。	現在予定通り進捗しており、達成可能の見通し

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

②商用ローディングアームの開発

開発項目	2021～2022年度の実施内容	
a) 大口径緊急離脱機構	<p>LH2による切離試験、低温シートリーク量確認試験を行う。</p> <p>切離試験では、緊急離脱機構の周囲に配置した水素ガスセンサで水素ガス濃度を測定し、安全性を確認する。(イメージ図)</p> <p>安全な荷役技術の確立につながる。</p>	
b) 大口径船陸継手	<p>LH2による低温保持後、安全に分離を行う為の昇温特性を定量的に把握することを目的とした試験を行う。(荷役終了からの時間、配管加温ガス流量外気温を変動要因とする)</p>	
c) 鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発	<p>真空引を行い、真空性能を検証する。</p> <p>鋼管ローディングアームを据え付け、液化水素を用いた耐低温実証、表面の着水状況、スィベルジョイントからのリークの状況を確認し、機器の健全性を確認する。</p>	

4. 実用化・事業化の見通しについて

②商用ローディングアームの開発

市場規模 (現状と将来見通し) / 産業創出効果
 市場規模 / 提案者のシェア

2030年度 8基 100%

市場規模算出の根拠：2017年閣議決定された水素基本戦略に記載の「2030年頃の商用化」に向けて、2025年までに商用ローディングアームの設計完了を目指し、ローディングアームは2030年に必要と予想し、市場規模を算出した。

4. 実用化・事業化の見通しについて

②商用ローディングアームの開発

製品イメージ：現状のLNG用ローディングアームと類似構造であり、市場に受け入れられやすい

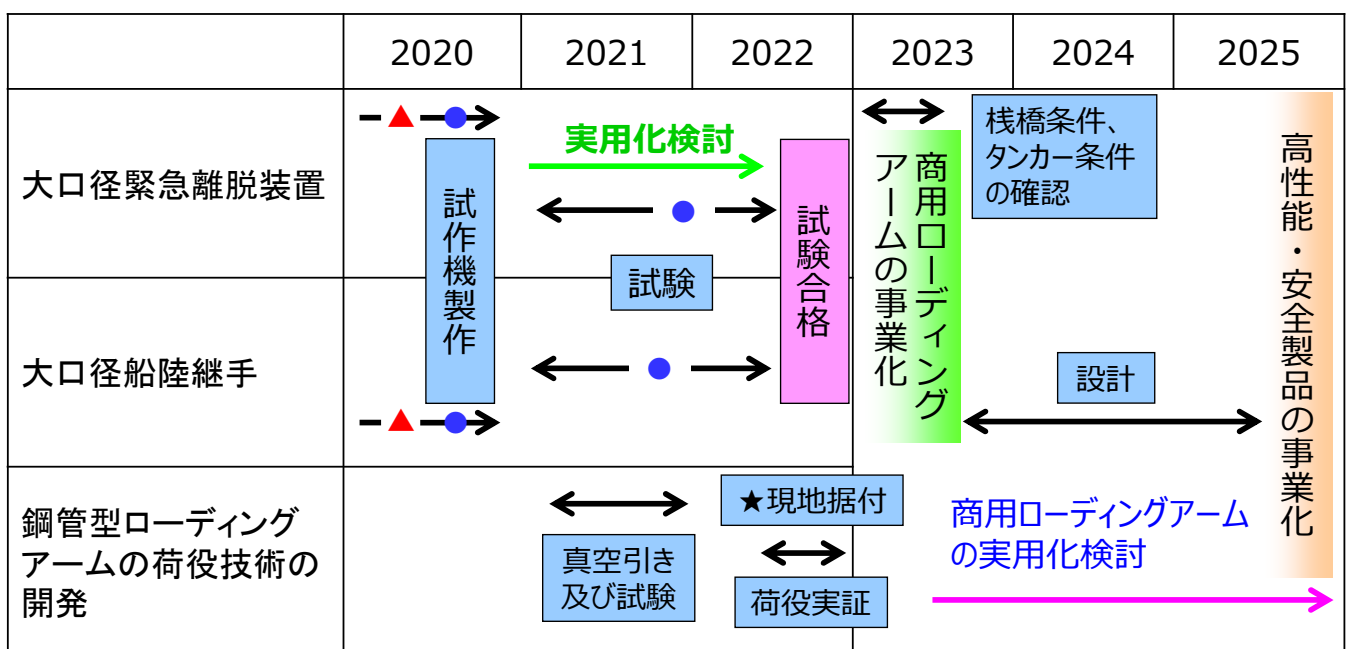
競合技術に対する優位性：競合技術としてはフレキシブルホースがあるが大口径LH2用フレキシブルホースは実用化されておらず、また製品化は困難と思われるため、鋼管型ローディングアームの優位性は高い。

量産化技術確立の見通し：一品生産であるため、量産化技術は不要。

- 実用化に対する課題と今後の方針：
- a)大口径緊急離脱装置・・・ローディングアーム設計時に外部荷重を再チェックする。
 - b)大口径船陸継手・・・ローディングアーム設計時に外部荷重を再チェックする。
 - c)鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発・・・真空性能を検証しながら、液化水素を用いた耐低温実証、表面着氷状況、スバルジョイントからのリーク状況などを確認し、機器の健全性を確認する。

4. 実用化・事業化の見通しについて

②商用ローディングアームの開発



▲：基本原理確認 ●：基本技術確立

4. 実用化・事業化の見通しについて

②商用ローディングアームの開発

全体概略工程

	2019	2020	2021	2022
大口径緊急離脱装置	← 構造検討 →	← 熱応力解析 → ← 試作機製作 →	← 試験及び試験結果による改造 →	← 試験及び試験結果による改造 →
大口径船陸継手	← 構造検討 →	← 熱応力解析 → ← 試作機製作 →	← 試験及び試験結果による改造 →	← 試験及び試験結果による改造 →
鋼管型ローディングアームの荷役技術の開発	← 真空度保持方法検討 →	← 試作機製作 →	← 真空引及び真空度劣化度検証 →	← 据付 → ← 調整試運転 → ← 実証 →

中間目標

最終目標

33 / 57

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

③低温水素ガス圧縮機の開発 1/2

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
a) 液空生成に対し安全性を確保する構造	外表面に液体空気が発生せず、メンテナンス可能な構造の考案	・真空断熱継手等を採用し、解析にて表面が液空温度(-183℃)以上であることを確認。	○	・安全性の実証のため、試作機を製作し、JAXAで実ガス試験を行う。
b) シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材	・窒素シールガスが中間筒内にて液化しない構造を考案する。	・中間筒・断熱材を追加することで、構造成立性を解析にて確認した。	○	・軸シール構造の妥当性の実証のため、JAXAで試作機の実ガス試験を行う。
	・商用での連続使用を考慮した高寿命およびシール性に優れた摺動部材の目途付けを行う。	・低温水素ガス雰囲気での摺動部材の摩耗試験を実施し、候補材料を選定した上で、基本構造・構成を決定した。	○	・実機ベースでの摺動特性の把握のため、JAXAでの試作機の実ガス試験にて摺動特性とガスシール性を確認する。

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

34 / 57

③低温水素ガス圧縮機の開発 2/2

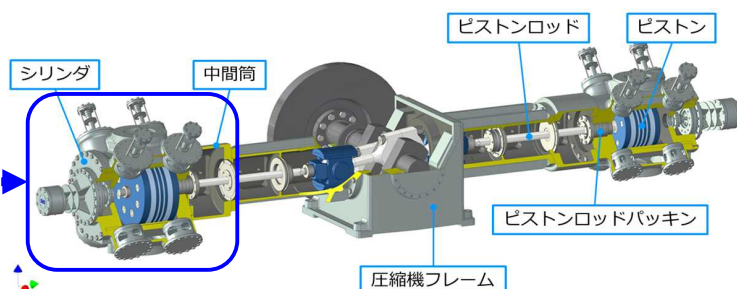
開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
c) 商用機の設計技術および性能評価技術の開発	・試作機の現地試運転の計測・性能評価用の試験装置の基本計画が完了	・試験目的に見合った低温水素ガス供給設備・基礎・建屋の基本設計を完了して施工業者を決定した。	△ (2021/2)	・現地試運転に必要な高圧ガス設備の認可を2020年度中に取得する(JAXA)。
	・商用機の精度ある性能予測のため、1D CAEを用いた低温水素ガス試作機(1段)モデルを構築する。	・LNGモデルでの改良と真空容器の断熱効果を反映した上で、試作機の1D CAEモデルを構築した。	○	・LNG多段ベースでの中間段吐出温度の精度向上と、試作機試験結果で得られた知見を反映し、商用機の設計技術を確立する。

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

③低温水素ガス圧縮機の開発 1/4

- LNG基地において貯蔵タンクからの蒸発ガス(BOG)を圧縮して発電設備に供給する場合、大容量・高圧で負荷変動に対応できる往復動式圧縮機が主に適用されているが、液化水素の蒸発ガス温度(-240℃程度)に対応できる当該形式の圧縮機は現状存在しない。
- プレヒーティングすることなく、液化水素の蒸発ガスを低温のまま、高密度なガスを吸込むことができれば、常温圧縮機よりも圧倒的に消費電力を小さく抑えることが出来る。
- 従って、本事業の実施により、要素技術、運用技術を開発し、その成果を生かして、世界初となる大容量・高圧の低温水素ガス圧縮機を開発することは、液化水素サプライチェーン全体の競争優位性・運用コスト削減に大きく貢献するものとする。

本事業で-240℃程度の低温水素ガスを直接吸入可能とすべくシリンダ廻りの要素技術を開発

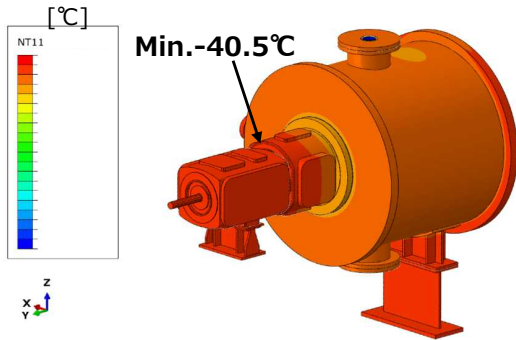


LNG BOG用往復動式圧縮機 全体構造図

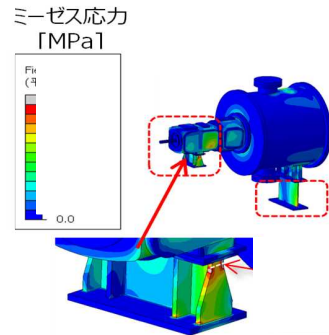
3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

③低温水素ガス圧縮機の開発 2/4

開発項目	成果	成果の意義
a) 液空生成に対し安全性を確保する構造	<ul style="list-style-type: none"> 真空断熱継手等を採用し、ガスシール性も改良した形状による伝熱解析にて真空容器表面が液空温度(-183℃)以上であることを確認し、基本設計を完了した。 熱応力解析および振動解析にてサポートや容器の各部の応力が各部材の疲労限以下であることを確認し、基本設計を完了した。 	<ul style="list-style-type: none"> プレヒーティングすることなく、-240℃程度の低温ガスを吸い込み、圧縮機外部に液空を生成させない安全性の高い、真空容器付きシリンダの実現性の目途を付けた。



真空容器付きシリンダの伝熱解析結果

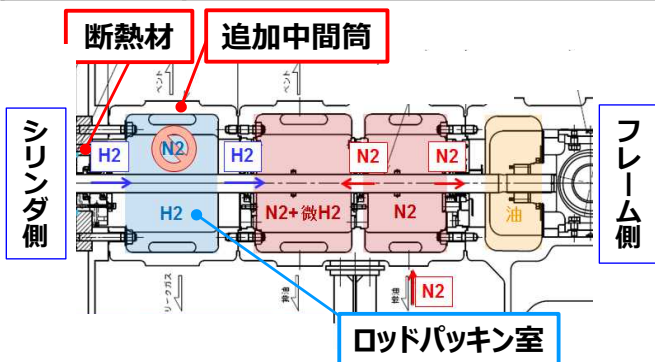


熱応力・振動解析結果

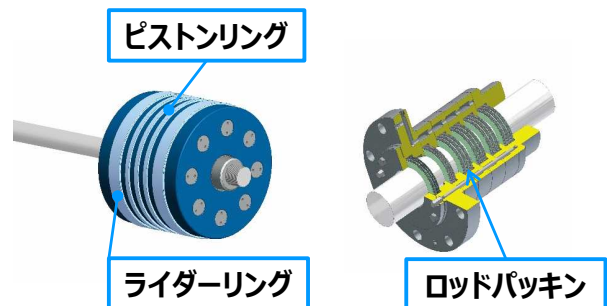
3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

③低温水素ガス圧縮機の開発 3/4

開発項目	成果	成果の意義
b) シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材	<ul style="list-style-type: none"> 中間筒・断熱材を追加することで、窒素ガスにて軸シール構造が成立することを伝熱解析にて確認した。 低温水素ガス雰囲気中で摺動部材の摩耗試験を実施し、候補材料を選定した上で、基本構造・構成を決定した。 	<ul style="list-style-type: none"> 商用ステージにおいて、希少なHeガスを使用することなく、プラント用窒素ガスによる往復動圧縮機のピストンロッド軸シール構造の実現性、および高寿命な摺動部材の候補材の目途を付けた。



低温水素ガス用軸シール構造



往復動摺動部材

③低温水素ガス圧縮機の開発 4/4

開発項目	成果	成果の意義
c) 商用機の設計技術および性能評価技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・試験目的に見合った低温水素ガス供給設備・基礎・建屋の基本設計を完了して施工業者を決定した。 ・LNG多段モデルの改良では中間段吐出温度を除き、流量・最終吐出温度の誤差は大幅に改善した。 ・LNGモデルでの改良と真空容器の断熱効果を反映した上で、試作機の1D CAEモデルを構築した。 	<ul style="list-style-type: none"> ・真空容器構造、軸シール構造の妥当性実証のための試作機用試験設備に目途を付けた。 ・現地試運転結果を設計技術にフィードバックするための性能評価技術、および1D CAEを用いた性能予測技術の確立への目途を付けた。

	2019	2020	計
特許出願 (うち外国出願)	0	0	0件
論文 (査読付き)	0	0	0件
研究発表・講演	0	0	0件
受賞実績	0	0	0件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0件
展示会への出展	0	0	0件

※2020年10月現在

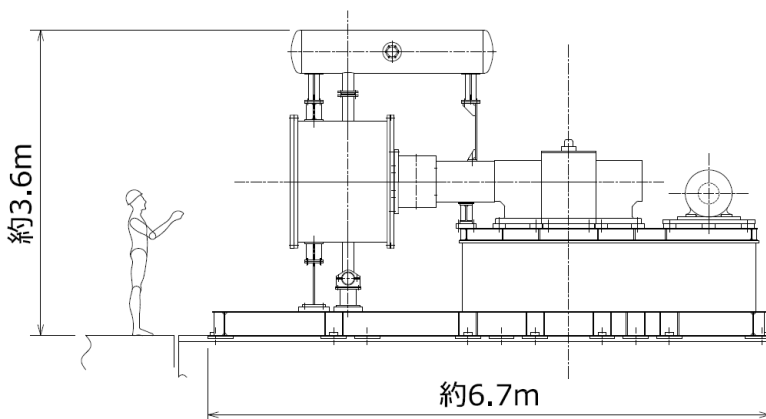
3. 研究開発成果について (4) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
a) 液空生成に対し安全性を確保する構造	<ul style="list-style-type: none"> 解析にて表面が液空温度(-183℃)以上であることを確認。 FEM解析にて疲労限界以下であることを確認。 	<ul style="list-style-type: none"> 試作機の圧縮機外表面上で液空が発生しないこと。 運転中にサポートや容器等の破損等がないこと。 	<ul style="list-style-type: none"> 試作機にて実証することにより、目標達成可能な見通しである。
b) シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材	<ul style="list-style-type: none"> 新しい軸シール構造の成立性を解析にて確認。 摩耗試験結果から摺動部材の候補材を選定した。 	<ul style="list-style-type: none"> 運転中に窒素シールガスの液化がなく、ロッドパッキン等に異常摩耗が無いこと。 商用機を見据えた摺動部材の絞込み完了。 	<ul style="list-style-type: none"> 試作機にて実証することにより、目標達成可能な見通しである。
c) 商用機的设计技術および性能評価技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> 試作機(1段)の1D CAEモデルを構築した。 試験目的に見合った試験設備の基本計画が完了した。 	<ul style="list-style-type: none"> 1D CAEを用いた商用機の吐出温度・性能予測技術の確立。 低温水素ガス温度域での運転データ計測技術・性能評価技術の確立。 	<ul style="list-style-type: none"> CAEモデルの改良、試作機の実ガス運転を通して、目標達成可能な見通しである。

3. 研究開発成果について (4) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

試作機実証試験

- 試作機の実ガス運転を実施し、各開発項目の妥当性を確認する。
- 吸入温度をパラメータとして試作機の運転データを取得・性能評価を実施
- 試作機の実ガス運転結果をフィードバックし、低温水素ガスの1D CAE多段モデルを構築

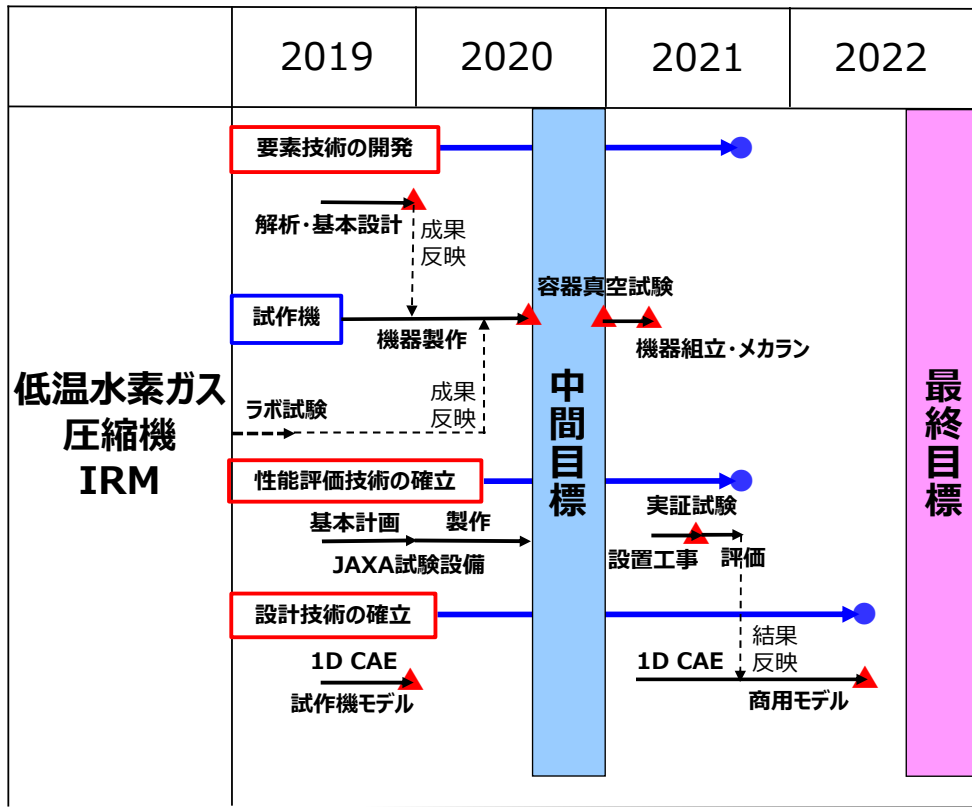


低温水素ガス圧縮機 試作機外形図

運転時確認項目

- ① 外表面での液空発生の有無
- ② 異常な振動、破損がないこと
- ③ 窒素ガスの液化がないこと
- ④ ガスシール性
(ロッドパッキンリーク量計測)
- ⑤ 各部品に破損がないこと
- ⑥ 摺動部材に異常摩耗がないこと

3. 研究開発成果について (4) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)



▲ : PJマイルストーン ● : 基本技術確立

4. 実用化・事業化の見通しについて

(1) 市場ニーズに即した圧縮機開発に目途がついている

低温水素ガス圧縮機に対する市場ニーズ

- ☞ **高い安全性**: 液体酸素発生に対する安全対策が講じられている。
- ☞ **信頼性**: 長期運用に対するガスシール性の確保、適切な摺動部材の採用がなされている。
- ☞ **省エネ・低コスト**: 低温ガスを直接吸入することで、圧縮機の小型化・消費電力抑制が実現出来ること。

- a) 液空生成に対し安全性を確保する構造
- b) シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材
- c) 商用機の設計技術および性能評価技術の開発

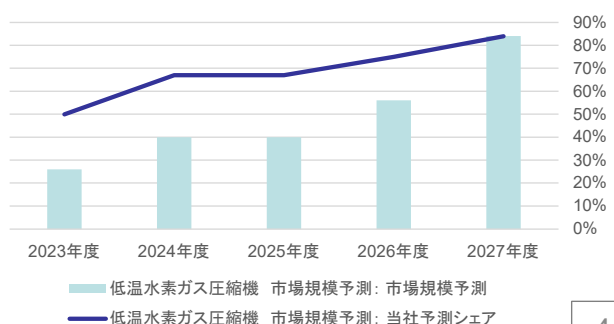
市場ニーズに即した低温水素ガス圧縮機実用化に必要な開発要素に目途

(2) 市場予測/シェア予測

販売先:

- ☞ 液化水素基地の設計・建設を行うEPC企業
- ☞ 液化水素基地を計画する電力・ガス会社

低温水素ガス圧縮機市場規模とシェア予測



4. 実用化・事業化の見通しについて

(3) 競合技術に対する優位性と効果

👉 低温水素ガスを直接吸入する圧縮機は現存せず、本開発による実用化自体が優位性

低温水素ガス圧縮機は現状代替する製品が存在しないが、吸入ガスを0℃までプレヒートし吸入する常温圧縮機を設置することが唯一の脅威となる。

Case	低温吸入	常温吸入
流量	1,500kg/h	1,500kg/h
吸入圧力	10kPaG	10kPaG
吐出圧力	3MPaG	3MPaG
圧縮機吸入温度	-245℃	0℃
主電動機定格比率	1	7

常温吸入の場合は低温吸入と比較すると圧縮機が大型化する。その主電動機出力は7倍程度と想定されるため、ランニングコストも約7倍になる。

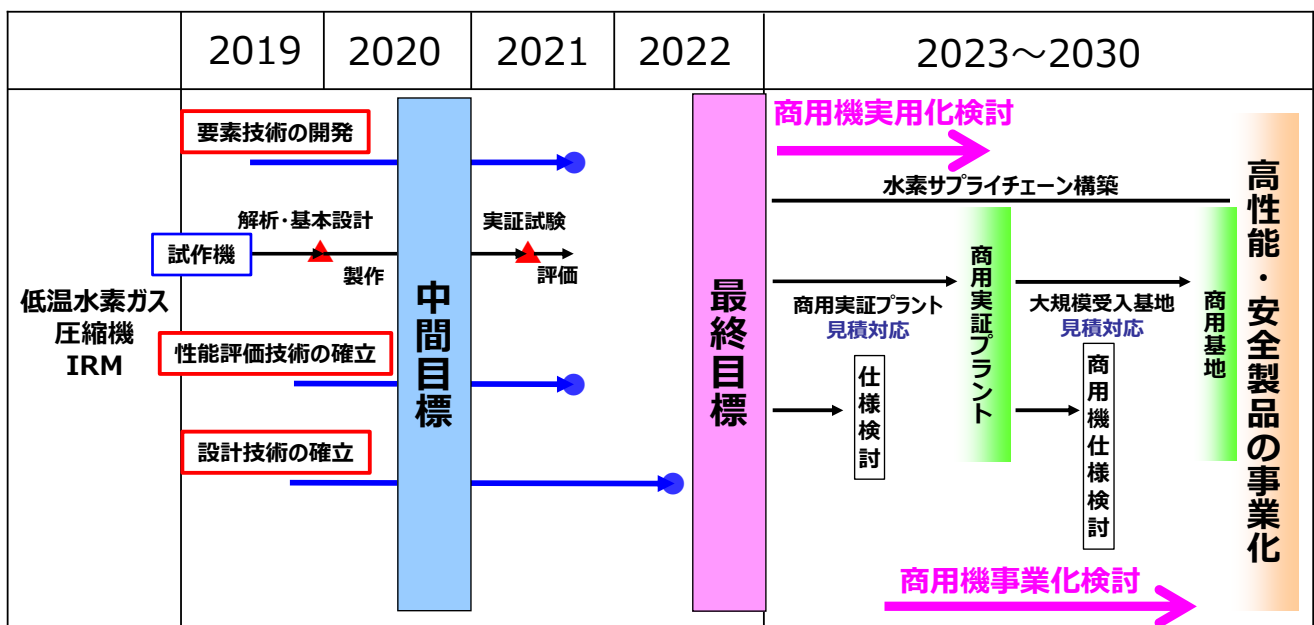
低温水素ガスを直接吸入出来る圧縮機を採用することでランニングコストメリットを得ることが出来る。

👉 常温圧縮機の脅威に対する優位性

45 / 57

4. 実用化・事業化の見通しについて

- 本事業にて、試作機による実証試験を軸に低温水素ガス圧縮機の各種基本技術の確立を図り、2020年代半ばまでに液化水素サプライチェーンの商用実証化、2030年頃の商用化に合わせ、実用化・事業化をしていく見通し。



▲ : PJマイルストーン ● : 基本技術確立

46 / 57

④液化水素昇圧ポンプの開発

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
a) 軸スラストバランス機構の検討	バランス機構 基本構造 の設計	基本構造 設計完了	○	試作機試験での 機能検証 (2022年度予定)
b) ポンプ材料の 選定	・水素/低温脆化を 考慮した材料選定 ・材料特性の把握	構造部品用 材料の 評価/選定完了	△ (2020/12)	ポンプ設計の為の 材料特性の 把握
c) ポンプ性能/機 能の評価・分析	小型試作機の設計	基本設計完了	△ (2021/2)	詳細設計 設計評価
	液化水素試験設備 の製作	製作中	△ (2021/1)	試験設備の製作

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み(達成時期)、×未達

④液化水素昇圧ポンプの開発

a) 軸スラストバランス機構

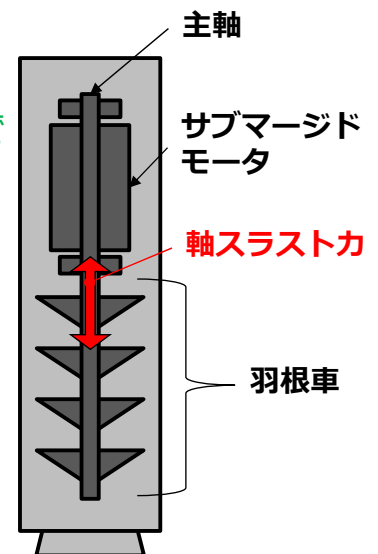
目標 ポンプ定格流量100%に対して、0~120%範囲で
回転体が浮上するバランス機構の基本設計完了

成果 新型基本構造を設計 (特許公開前の為、詳細は割愛)

- ・商用機および小型試作機の仕様において、
計算上、定格流量100%に対し0~120%の範囲で
軸スラスト力がバランス。
- ・本バランス機構は羽根車の昇圧圧力を用いて回転体に
上向き力を発生させるもの。

成果の意義

本バランス機構は液化水素遠心ポンプ全般に適用可能



LH2昇圧ポンプ概念図

ポンプ回転体には、
上下方向に
軸スラスト力が発生
⇒バランスさせる必要がある

④液化水素昇圧ポンプの開発

b) ポンプ材料の選定

目標 液体水素環境下において使用可能な材料を選定する

成果 材料試験により材料特性を評価、ポンプ材料を選定

- ・対象材料：鋳物A、B、C
- ・試験条件：下表

表 試験条件

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

・試験結果：

鋳物A：低温/水素脆化無し ⇒ LH2ポンプに使用可能

鋳物B：低温/水素脆化するが、その脆化量から使用可能と判断※

※商用機と類似仕様の液化ガスポンプの使用実績条件とそのときの材料特性を基準とした

成果の意義 材料試験結果は、**液化水素機器全般の材料選定根拠**となる

今後の予定 ポンプ設計の為の材料特性の把握(文献調査と材料試験)

49 / 57

④液化水素昇圧ポンプの開発

c) 液化水素でのポンプ性能/機能確認

目標 小型試作機の設計および液化水素試験設備の製作

※小型試作機：羽根車径が商用機の約2/3のサイズ

成果

- ・小型試作機の**基本設計完了**、性能/機能詳細評価中
- ・液化水素運転試験内容を計画
- ・運転試験内容に基づき試験設備を設計し、製作中(JAXA)

成果の意義

試作機試験にて性能/機能の評価し、液化水素ポンプ設計技術を確立することで、水素発電用液化水素ポンプの上市が可能となり、**水素普及に寄与**する。

今後の予定

- ・試作機詳細設計と評価 及び 試験設備製作
- ・2021年度以降、試作機製作と運転試験、評価

50 / 57

④液化水素昇圧ポンプの開発

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

※2020年7月末現在

○軸スラストバランス機構に関する特許を出願

	2019	2020	計
特許出願(うち外国出願)	1 (0)	0	1 件

※2020年7月末現在

51 / 57

④液化水素昇圧ポンプの開発

開発項目	現 状	最終目標 (2022年度末)	達成 見通し
a) 軸スラストバランス機構の検討	基本構造設計完了	軸スラストバランス機構の確立	試作機による性能/機能試験による評価を行うことで達成を見込む
b) ポンプ材料の選定	構造部品の評価/選定完了	ポンプ材料の確立	
c) 性能/機能確認	・試作機の基本設計完了 ・試験設備製作中	液化水素昇圧ポンプ設計技術の確立	

52 / 57

④液化水素昇圧ポンプの開発

2021~2022年度の実施事項

a) 軸スラストバランス機構

2022年：小型試作機運転試験によるバランス機構の機能検証
 ⇒ 液化水素ポンプ用軸スラストバランス機構の確立

b) ポンプ材料の選定

2022年：小型試作機運転試験によるポンプ材料の健全性確認
 ⇒ 液化水素ポンプ用材料の確立

c) 液化水素でのポンプ性能/機能確認

2021年：小型試作機の製作
 2022年：小型試作機運転試験によるポンプ性能/機能の評価、分析
 ⇒ 商用機仕様を実現し得る液化水素昇圧ポンプ設計技術の確立

④液化水素昇圧ポンプの開発

開発スケジュール

中項目	2019	2020	2021(参考)	2022(参考)
a) 軸スラストバランス機構の検討	基本構造設計完了			
b) ポンプ材料の選定	構造部品材料の評価/選定完了			
	材料特性把握のため試験中			
c) 液化水素でのポンプ性能の確認	小型試作機設計	小型試作機製作		
	基本設計完了 評価中	詳細設計		
	試験設備設計/製作			小型試作機試験
	試験内容決定	設備設計/製作中		設計技術確立

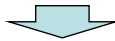
④液化水素昇圧ポンプの開発

◆実用化・事業化の見通し

○技術開発

‘19～‘20年度 要素技術開発、小型試作機的设计

‘21～‘22年度 小型試作機製作、運転試験&評価



液化水素昇圧ポンプの設計技術確立<達成見込み>

○実用化、事業化検討

水素基本戦略の2030年頃の大規模水素発電の商用チェーン完成のために、水素発電用ポンプとしての具体的な仕様検討と設計を行う。

実用化検討：2022年～2025年

事業化検討：2025年～2030年

また、世界的にも水素利用の取組みが加速しているため、継続的に市場調査を実施していく。



2030年 水素発電用昇圧ポンプの 製造・販売・アフターサービスの事業化

55 / 57

④液化水素昇圧ポンプの開発

◆優位性

○潜在的競合先：LNGポンプメーカー

⇒ 調査した限りにおいては、本開発の目標としている昇圧差圧レベルの液化水素用遠心ポンプの開発をしている競合先は見つかっていない。

○優位性

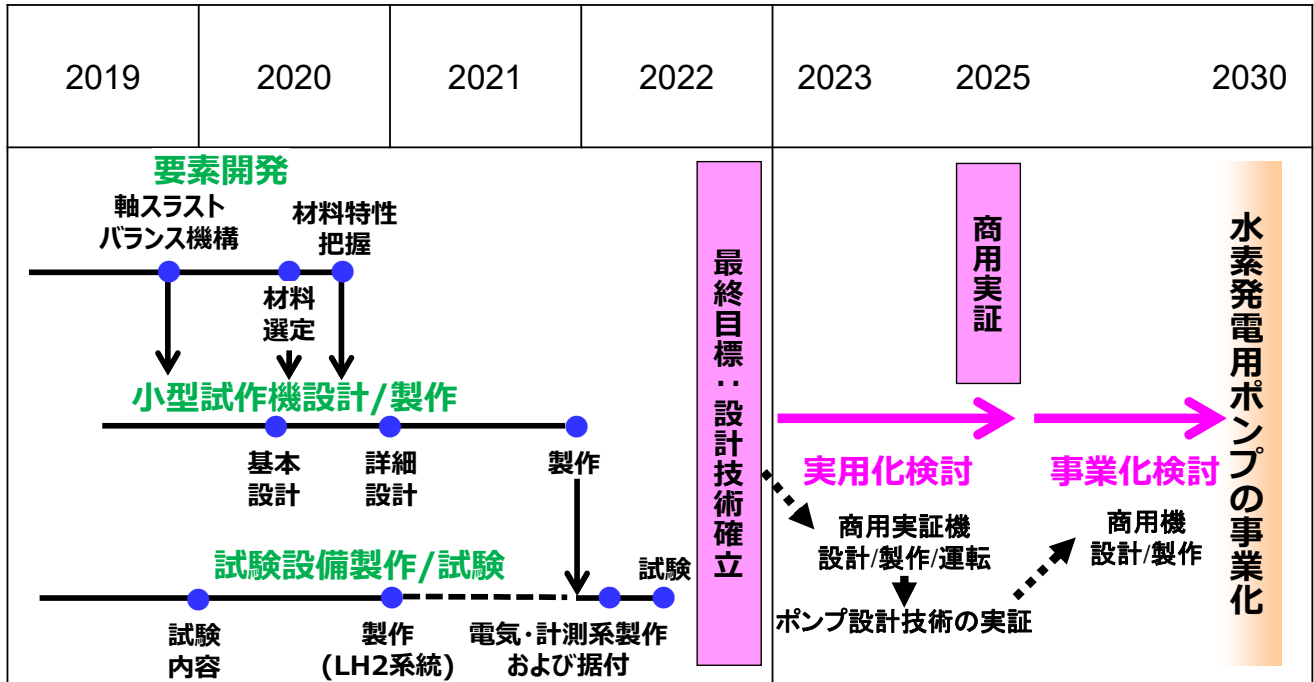
本事業における液化水素昇圧ポンプの設計、運転評価により得られる下記事項が競合に対して優位な点である。

- ・液化水素ポンプ用材料の極低温特性、水素特性および選定技術
- ・液化水素ポンプ用軸スラストバランス機構の設計技術
- ・液化水素昇圧ポンプの設計技術(構造、性能、機能)
- ・液化水素での運転実績と各種試験結果
- ・上記開発過程で得られるノウハウと知的財産

56 / 57

④液化水素昇圧ポンプの開発

◆実用化・事業化に向けた具体的取り組み



● : マイルストーン

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

助成先：トーヨーカネツ(株)

●成果あり（実施期間：2019年7月～2023年2月終了予定）

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

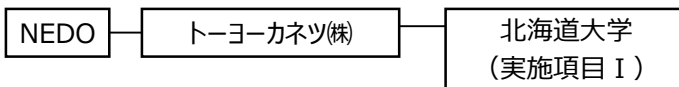
●背景/研究内容・目的

2030年頃の水素発電の商用化に向けた、安定的かつ大量な水素供給体制の構築に資する、大型液化水素貯槽の建設に必要な要素技術の開発を行う。
 これまで当社では、平底円筒型大型貯槽の断熱構造を東京工業大学と開発するとともに、内槽材料特性を研究してきた。実機建設に向けたさらなる課題として、「Ⅰ：真空排気システムの確立」、「Ⅱ：内槽底部への入熱量算定手法の確立」及び「Ⅲ：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立」があるため、本事業においてこれらを解決する。

●研究目標

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

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

実施項目	成果内容
Ⅰ：真空排気システムの確立	①候補材料のガス放出量を測定し、しきい値以下になることを確認した。 ②大型貯槽に適用可能なベーキング手法を決定した。 ③座屈応力解析により、孔径の最大値を決定した。真空排気シミュレーションの基本プログラムを構築するとともに、その検証実験装置の基本仕様を決定した。
Ⅱ：内槽底部への入熱量算定手法の確立	断熱性能測定装置の基本仕様を決定した。
Ⅲ：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立	①破壊靱性試験（J1C試験）を実施して、十分に破壊靱性を有することを確認した。 ②低歪速度引張試験（SSRT試験）を実施して、水素脆化感受性は非常に低いことを確認した。

●今後の課題

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

●実用化・事業化の見通し

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

●研究成果まとめ

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

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
なし	なし	なし	なし

「水素社会構築技術開発事業／大規模水素工 エネルギー利用技術開発／液化水素貯槽の大型 化に関する研究開発」(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

トーヨーカネツ株式会社

2020年12月4日

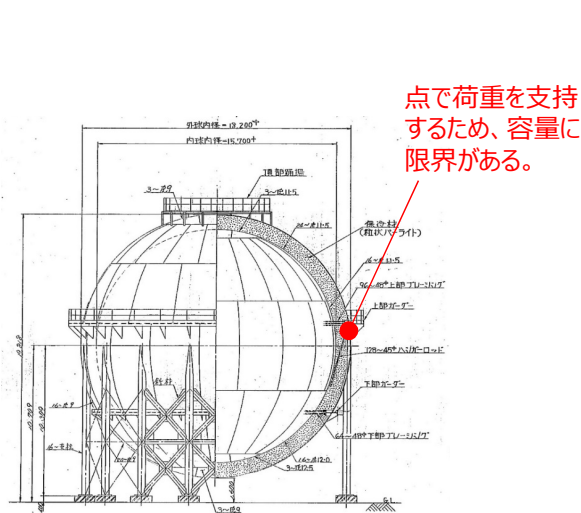
1/16

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

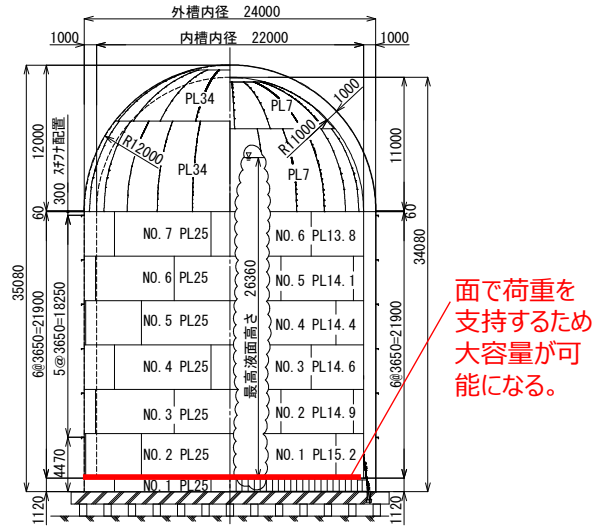
開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
Ⅰ：真空排気システムの確立	①貯槽内材料のガス放出量を把握する。	候補材料のガス放出量を測定し、しきい値以下になることを確認した。	△ (2021/2)	ベーキング時のガス放出量の減少効果を実験により把握する。
	②大型貯槽に適用可能なベーキング手法を確立する。	大型貯槽に適用可能なベーキング手法を決定した。		ヒーター詳細仕様の決定及びコスト算定をする。
	③底部断熱構造側板の真空排気用孔径を決定する。	座屈応力解析により、孔径の最大値を決定した。底部真空排気シミュレーションの基本プログラムを構築するとともに、その検証実験装置の基本仕様を決定した。		底部真空排気シミュレーションに適用するパラメータを詳細解析により取得する。シミュレーション検証実験装置の製作及び実験を実施する。
Ⅱ：内槽底部への入熱量算定手法の確立	断熱性能測定装置の詳細仕様を決定する。	断熱性能測定装置の基本仕様を決定した。	△ (2021/2)	断熱性能測定装置の詳細仕様を決定する。
Ⅲ：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立	①液化水素温度であっても十分な破壊靱性を有する溶接施工法を確立する。	破壊靱性試験(J1C試験)を実施して、十分に破壊靱性を有することを確認した。	○	特になし。
	②脆化が起こりやすくなるといわれている-70℃付近の水素脆化度を確認する。	低歪速度引張試験(SSRT試験)を実施して、水素脆化感受性が非常に低いことを確認した。		当社の溶接施工法によるSUS316Lの継手は、大型液化水素貯槽で適用可能である。

研究開発の目標

- ・ 2030年頃の水素発電の商用化に向けた、安定的かつ大量な水素供給体制の構築に資する、大型（5万m³）液化水素貯槽の建設実現を目標とする。
- ・ 貯槽の大容量化を実現するためには、従来の球形貯槽では構造上の限界があるため、平底円筒形貯槽の開発を実施する。



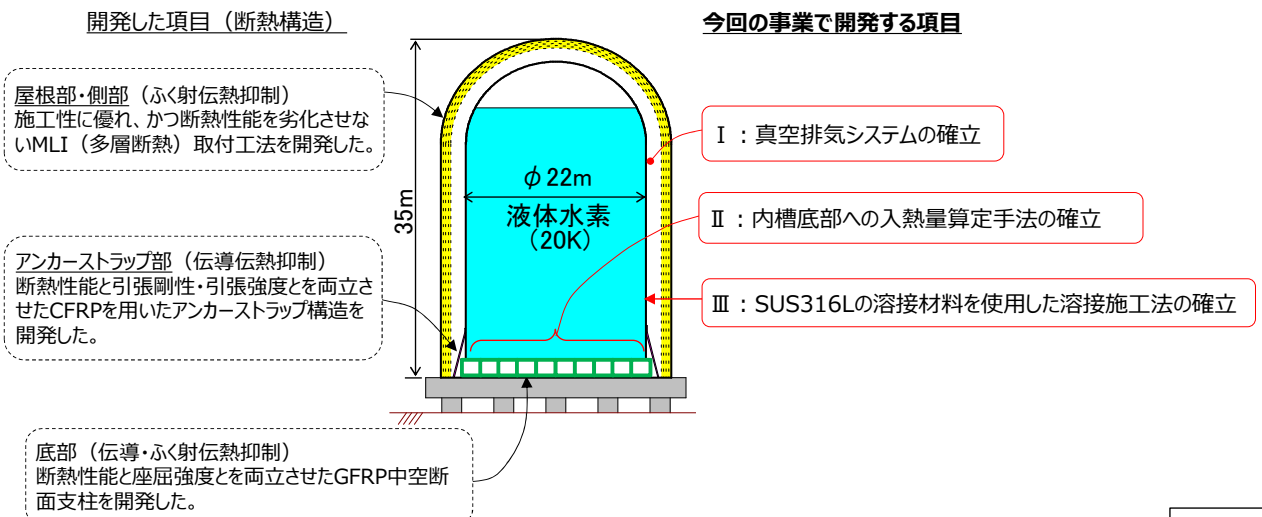
球形貯槽（小容量）



平底円筒形貯槽（大容量）

研究開発の内容

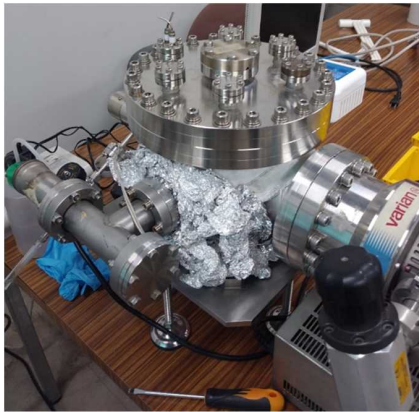
- ・ これまでに平底円筒形1万m³液体水素貯槽の断熱構造を東京工業大学と開発するとともに、内槽材料特性を研究してきた。
- ・ 実機建設に繋がる小型モデルタンクによる実証試験に向けて以下の課題を解決する。
 - I：真空排気システムの確立
 - II：内槽底部への入熱量算定手法の確立
 - III：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立



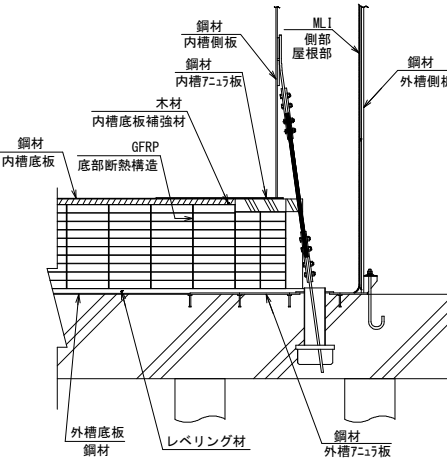
I : 真空排気システムの確立

①貯槽内材料のガス放出量の測定

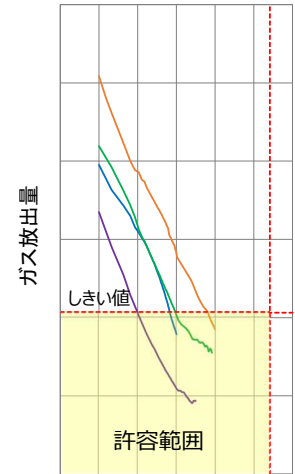
- a. 目標：真空排気時間を算定するため、貯槽内材料のガス放出量を把握する。
- b. 実施内容：鋼材、MLI、FRP、レベリング材、木材のガス放出量を測定する。
- c. 成果：候補材料のガス放出量を測定した結果、しきい値以下になることを確認できたことから、適用可能な材料の見通しを得た。



ガス放出量測定装置



貯槽内材料

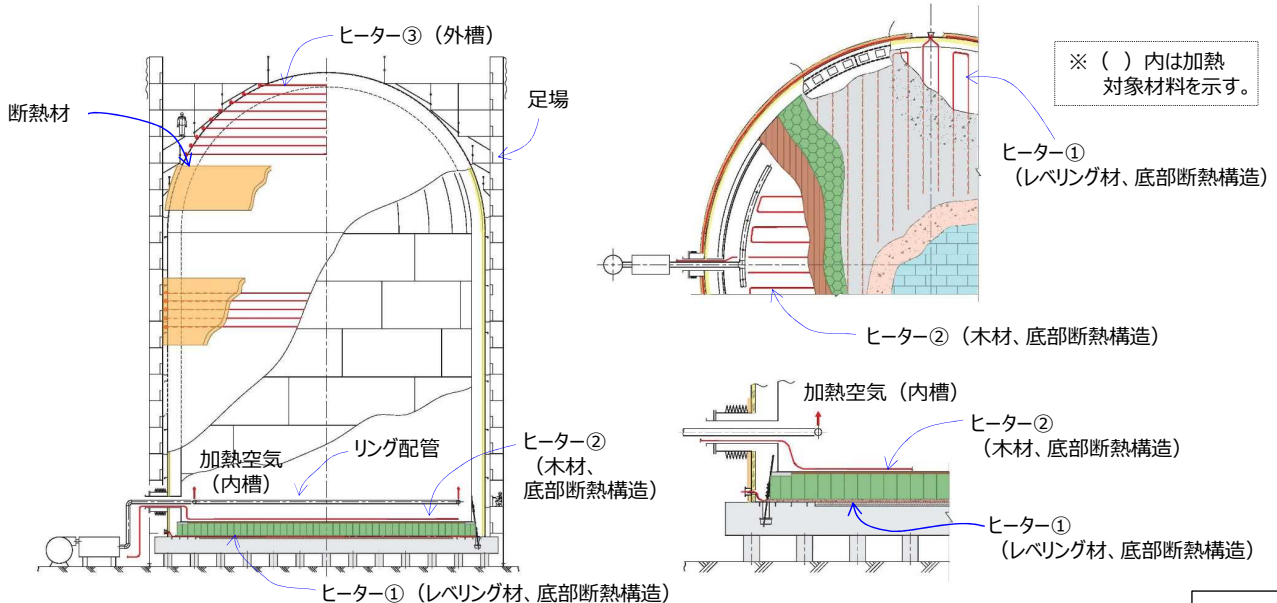


真空排気時間
ガス放出量測定結果例

I : 真空排気システムの確立

②ベーキング手法の確立

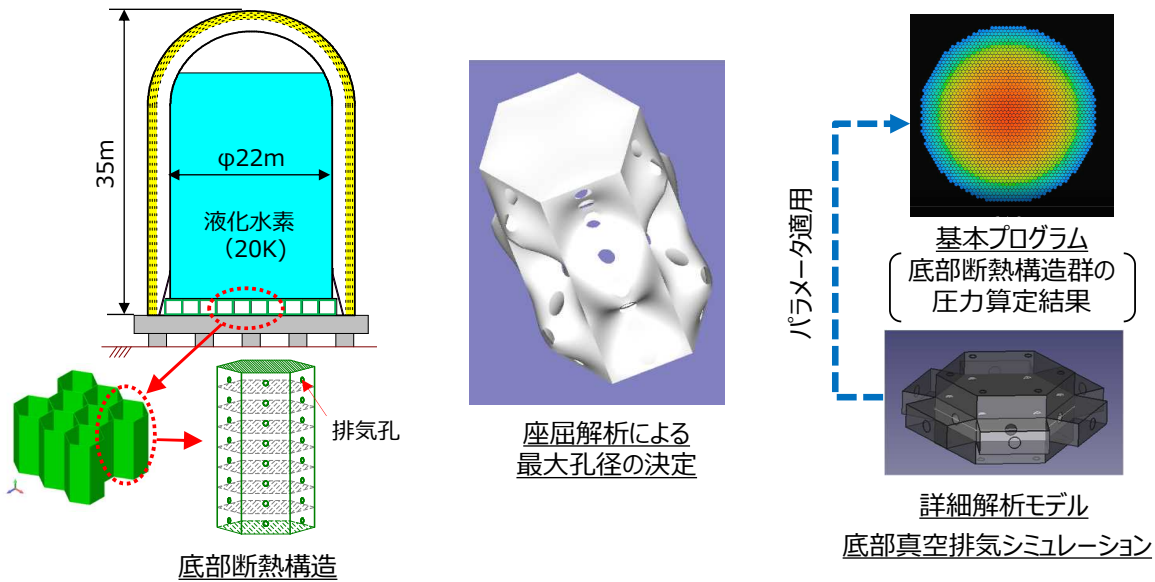
- a. 目標：短時間で目標真空度を得るため、大型貯槽に適用可能なベーキング手法を確立する。
- b. 実施内容：加熱方法の考案。必要温度の決定。ベーキング効果の確認（ガス放出量の測定）。
- c. 成果：大型貯槽に適用可能なベーキング手法を決定し、ヒーター詳細仕様（加熱温度）の決定及びコスト算定への見通しを得た。



I : 真空排気システムの確立

③底部断熱構造側板の真空排気用孔径の決定

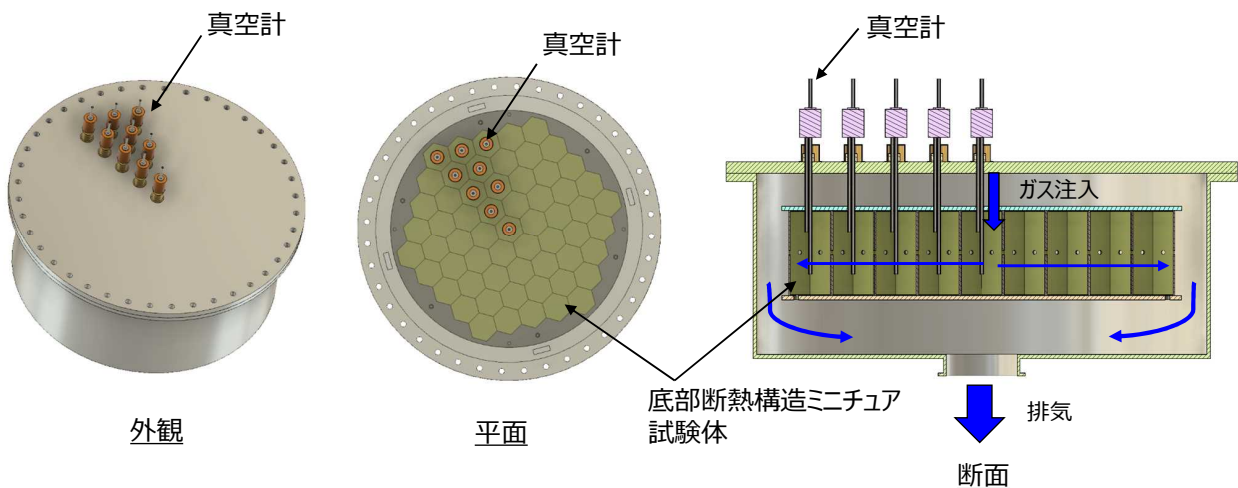
- a. 目標：強度及び断熱性能の低下を最小限にする真空排気用孔径を決定する。
- b. 実施内容：底部真空排気シミュレーションの構築及びその検証実験の実施
- c. 成果：座屈応力解析による最大孔径の決定、及び真空排気シミュレーションの基本プログラムの構築により、真空排気性を考慮した底部断熱構造設計確立への見通しを得た。



I : 真空排気システムの確立

③底部断熱構造側板の真空排気用孔径の決定

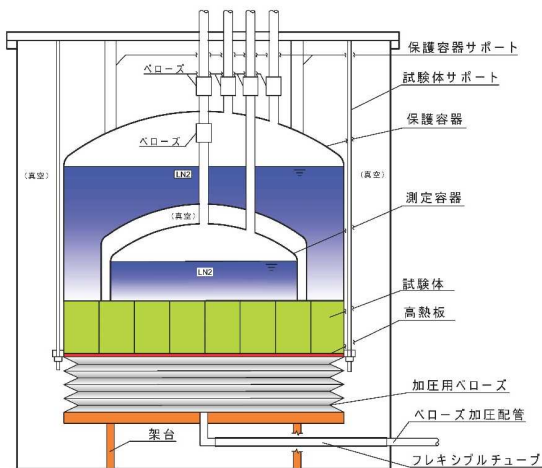
- c. 成果：底部真空排気シミュレーション検証実験装置の基本仕様を決定することで、精度良い底部断熱構造の排気設計確立への見通しを得た。



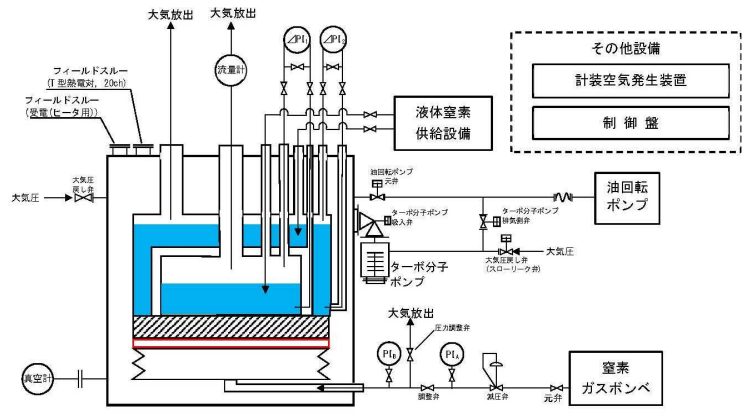
真空排気シミュレーション検証実験装置

II：内槽底部への入熱量算定手法の確立

- a. 目標：実測値に合う伝熱解析手法を考案する。
- b. 実施内容：スケールダウンしたGFRP底部断熱構造の断熱性能をボイルオフカロリーメータで実測し、その測定結果と伝熱解析結果とを比較・分析する。
- c. 成果：断熱性能測定装置の基本仕様の決定により、伝熱解析手法確立への見通しを得た。



試験装置概略



システムフロー概略

III：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立

①破壊靱性試験

- a. 目標：液化水素温度であっても十分な破壊靱性を有する溶接施工法を確立する。
- b. 実施内容： J_{IC} 試験を実施する。破壊靱性値 (K_{IC} 値) のしきい値は、ASMESec.VIII Div.1で要求される $132\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ 以上とし、溶接施工法の妥当性を検証する。
- c. 成果：4K環境でも十分に破壊靱性を有することを確認した。

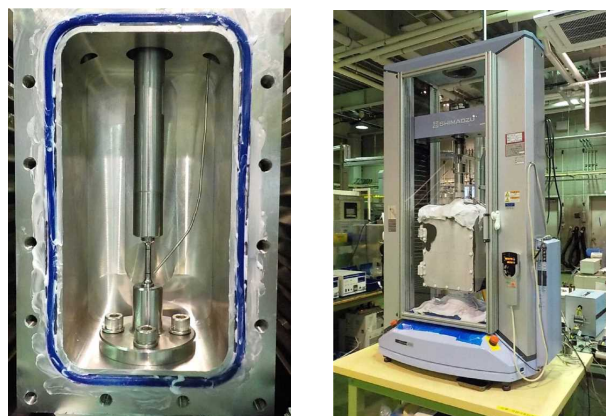


破壊靱性試験 (J_{IC} 試験) 装置

Ⅲ：SUS316Lの溶接材料を使用した溶接施工法の確立

- a. 目標：脆化が最も起こりやすくなると言われている-70℃付近の水素脆化感受性を確認する。
- b. 実施内容：-70℃での低歪速度引張試験（SSRT試験）を実施する。
- c. 成果：水素脆化感受性は非常に低いことを確認した。

※今回実施した2種類の試験結果と過去実施の試験結果より、当社の溶接施工法によるSUS316Lの継手は、大型液化水素貯槽での使用が可能と考えられる。



低歪速度引張試験（SSRT試験）装置

◆成果の普及、知的財産権の確保に向けた取り組み

該当項目無し。

	2019	2020	計
論文(査読付き)	0	0	0件
研究発表・講演	0	0	0件
受賞実績	0	0	0件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0件
展示会への出展	0	0	0件
特許出願(うち外国出願)	0	0	0件

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
I : 真空排気システムの確立	①適用可能な材料の見通しを得た。 ②大型貯槽に適用可能なベーキング手法を決定した。 ③真空排気シミュレーションの基本プログラムの完成及びシミュレーション検証実験装置の基本仕様を決定した。	数ヶ月オーダーで所要真空度が得られる真空排気システムを確立する。	真空排気シミュレーションプログラムの構築、その検証実験、ベーキング時のガス放出量の把握、及びそれらに基づいた真空ポンプの仕様や配置を決定することにより、達成可能である。
II : 内槽底部への入熱量算定手法の確立	断熱性能測定装置の基本仕様を決定した。	実測値に合う伝熱解析手法を考案する。	装置完成後、断熱性能測定結果を評価・分析することにより達成可能である。

13 / 16

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

当該製品は、水素サプライチェーンの上流の供給元での設備、また、下流の需要家での設備の双方に採用される。

顧客は、水素供給者、大口需要家である電力会社、ガス会社、石油会社等エネルギー関連の会社となる。また、液化水素基地の施設全体を建設するゼネラルコントラクター、エンジニアリング会社等、コントラクターを通しての販路もある。

現在のLNGチェーンと同様に、水素利用が世界的な広がりをみせることが予想されるので、グローバル市場への参入を想定している。

14 / 16

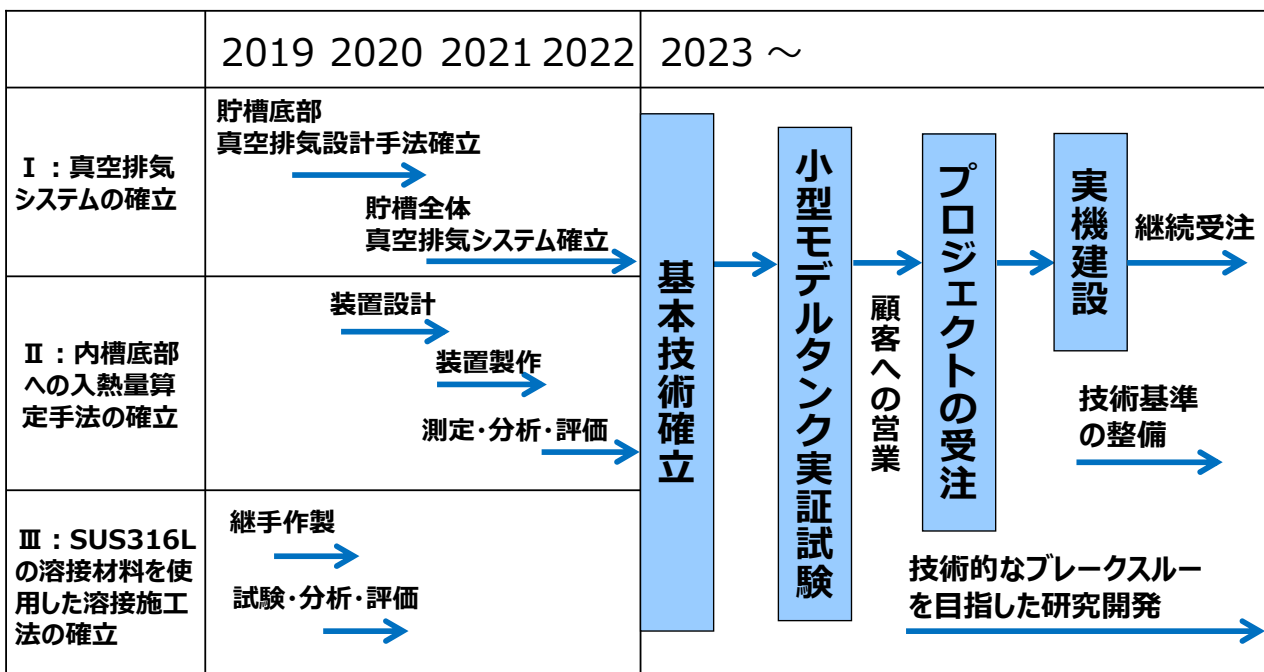
◆成果の実用化・事業化の見通し

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

貯槽専門メーカーである当社は、既存事業の延長という形で参入し、継続した受注により、技術水準、経済性を高め、高い競争力を維持することが可能である。その背景として、

- 既存の貯槽関連事業における人的資源をそのまま転用できる。
- 自前の貯槽製作工場を運営しており、案件が具体化すれば即時に製作を開始できる。
- 国内、海外での建設工事実績から、貯槽工事業者、貯槽専門工を多く擁している。
- LNG貯槽、その他大型貯槽で築いたブランド力があり、顧客への強い訴求力がある。

◆実用化・事業化に向けた具体的取組み



(Ⅱ-⑤)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素用大口径バタフライバルブの技術開発」

助成先：株式会社中北製作所

●成果あり（実施期間：2020年度～2022年度終了予定）

- ・液化水素用大口径バタフライバルブの開発に係る市場調査として、メーカーとの協議においてバルブの要求仕様や仕様条件等の情報を収集。
- ・液化水素用大口径バタフライバルブの原理開発として、新たなシール構造を検討し、要素モデルにおける解析を実施。

●背景/研究内容・目的

◎背景

来るべき水素社会に必要とされる大量の水素需要に対応する為、貯蔵、運搬などのサプライチェーンの構築及び、各種機器のスケールアップが必須である。

今後の受入基地の大型化に対応するための液化水素用バルブには、軽量・省スペース・大口径にも対応できるバタフライバルブでの技術開発が必要である。

◎研究内容・目的

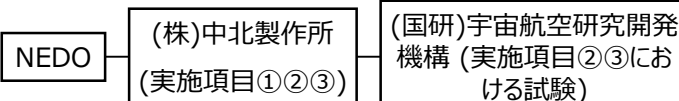
流体を遮断するためのシール面圧制御を構築することが最も重要な研究内容である。また、液化水素を流体制御するバルブ内面と外気に触れるバルブ外面との間には、メンテナンス性を考慮した真空断熱構造が必要となる。

これらの研究内容を達成することで、極低温の液化水素を大容量且つ安全に貯蔵・輸送することのできる大口径バタフライバルブの技術が確立し、水素サプライチェーン構築に不可欠な陸上基地の受け入れ能力の向上に寄与することが可能となる。

●研究目標

実施項目	目標
①：市場調査	顧客ニーズ並びに高圧ガス保安法の適用範囲を把握し、原理設計・実機設計に反映する
②：原理開発	数種類のシール構造による原理試作品の試験結果と解析値から、実機バルブを製作するための構造・解析手法を確立
③：実機開発	バルブ実機における実流体試験にて各目標値を達成し、試験結果と実機モデル解析とのギャップ分析を完了することで、液化水素用大口径バタフライバルブの技術を確立

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

①市場調査

メーカーとの協議により、受け入れ基地等に求められるバルブの要求仕様や使用・環境条件、メンテナンス方法・周期の把握を進めている。また、高圧ガス保安法の適用範囲について、高圧ガス保安協会殿と協議を実施した。

②原理開発

基本設計として、解析に必要な低温物性データの収集を実施し、シール性能と耐久性能を兼ね備えたシール構造の検討を実施した。

検討したシール構造案について、2次元・3次元モデルを作製し、常温における構造解析を実施し、シール面圧を評価した。引き続き、原理試作品における試験結果との比較検証に向けた準備を進める。

●今後の課題

①市場調査

引き続きメーカーとの協議によって、詳細な要求仕様の把握を進めるとともに、高圧ガス保安法の適用範囲・解釈について高圧ガス保安協会殿と協議を重ね、原理開発に展開する。

②原理開発

解析評価結果を反映し、数種類のシート構造を組み込んだ原理試作品の開発を行い、試験結果値と解析値の比較検証を実施する。

③実機開発

原理試作品をもとに、バタフライバルブ実機の開発を行い、実流体試験にて各目標値を達成する。試験結果と実機モデル解析とのギャップ分析を完了することで、液化水素用大口径バタフライバルブの技術を確立する。

●実用化・事業化の見通し

水素サプライチェーン構築にはタンク等を始めとした各種輸送・貯蔵機器のスケールアップが必須で、大規模輸送・貯蔵に対応可能な液化水素用大口径バタフライバルブのニーズは確実にあると考える。本事業で技術確立することで、他口径のバタフライバルブへ展開し、2025年以降の、大容量貯蔵が可能な陸上受け入れ基地等への提供が可能なラインナップ拡充を目指す。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
①：市場調査	メーカーとの協議において、バルブの要求仕様や仕様条件等の情報を収集。	△ 予定通り進捗
②：原理開発	解析評価に必要な低温物性データを収集。新たなシール構造を検討し、要素モデルにおける解析を実施。	△ 予定通り進捗
③：実機開発	2021年度以降着手。	- (未着手)

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
なし	なし	なし	なし

「水素社会構築技術開発事業 / 大規模水素エネルギー利用技術開発 / 液化水素用大口徑バタフライバルブの技術開発」(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

株式会社中北製作所

2020年12月4日

1 / 13

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題
① 市場調査	バルブの要求仕様 その他要件、高圧 ガス保安法におけ る要求事項を把握	顧客との定期的 な協議を開始	△ (2020/11)	複数の顧客との協議によ り、幅広くニーズを獲得
		高圧ガス保安法 の適用範囲に関 する調査に着手		
② 原理 開発	シール構造及び真 空断熱構造の開発	シール構造を検 討し構造解析に 着手	△ (2021/9)	新たなシール構造及びメ ンテナンス性を考慮した 真空断熱構造について 原理試作品の解析及び 試験評価
		真空断熱構造の 検討を開始		

①市場調査

①- (1) 顧客のニーズ調査

【成果】顧客との定期的な協議を開始

【意義】バルブの要求仕様に加え、バルブの使用条件、環境条件、メンテナンス方法・周期を把握し、原理試作品・実機試作品に反映する

①- (2) 市場調査

【成果】今後の受け入れ基地の建設情報と設備のラインスペックの情報収集を開始

【意義】実用化・事業化におけるラインナップ拡充に反映する

①- (3) 高圧ガス保安法の適合調査

【成果】高圧ガス保安協会殿と適用規格について協議を実施

【意義】高圧ガス保安法に基づく構造設計、素材の調達を含む製造、検査を原理試作品・実機試作品に反映する

3 / 13

②原理開発

②- (1) 基本設計

【成果】シール構造とメンテナンス性を考慮した真空断熱構造の検討を開始

【意義】シール性能と耐久性能を兼ね備えたシール構造と、極低温域の断熱性とメンテナンス性を兼ね備えた断熱構造の基本設計を行うことで、原理試作品の開発に反映する

②- (2) 特定要素の解析

【成果】取得した各材質の低温物性データを基に、シール部の構造解析を実施

【意義】解析結果から原理試作品のシール部形状や駆動力等の最適化に繋げる

4 / 13

②原理開発 (2021年度以降実施)

②- (3) 原理試作品の開発

【成果】数種類のシール構造を組み込んだ原理試作品を開発し、社内試験(LN₂)及び外部試験(LH₂)を実施する

【意義】開発した原理試作品で、社内試験(LN₂)及び外部試験(LH₂)を実施し、実機試作品のシール面圧制御方式・真空断熱方式の選定の指針とする

②- (4) 試験結果と解析結果の比較

【成果】原理試作品の試験結果と解析結果の比較検証を実施する

【意義】実機試作品を製作するための解析手法を確立する

5 / 13

③実機開発 (2021年度以降実施)

③- (1) 実機試作品開発

【成果】原理試作品を基に実機試作品を開発、製造する

【意義】製造工程、検査方法を確立し、製品ベースと同等の工程管理を行い、製造することで、バタフライバルブの実用化に繋げることが可能

③- (2) 社内試験

【成果】社内にて液体窒素での評価試験を実施

【意義】-196℃における性能評価に加え、実流体試験に向けた各種データの取得手順を確立する

③- (3) 実流体試験

【成果】LH₂を用いたシール性・耐久性・真空断熱性に関する性能試験を実施

【意義】シール性・耐久性・真空断熱性に関する目標値並びにメンテナンス性を加えた、バタフライバルブ実機での総合的な評価をする

③- (4) 解析のモデル化

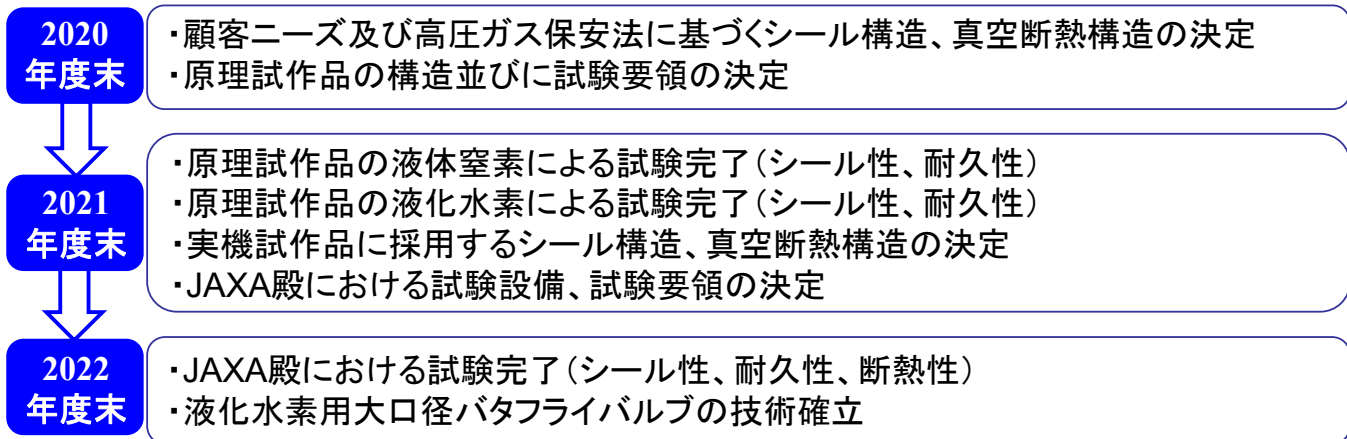
【成果】試験結果と解析結果とのギャップ分析を実施

【意義】シール性、真空断熱性に関する構造の確立並びに、解析モデルを確立することで、液化水素用大口徑バタフライバルブの技術を確立する

6 / 13

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

業務項目(実施計画書)	2020年度			2021年度(参考)				2022年度(参考)			
	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
	7~9月	10~12月	1~3月	4~6月	7~9月	10~12月	1~3月	4~6月	7~9月	10~12月	1~3月
①市場調査	→										
②原理開発	→										
③実機開発					→						



3. 研究開発成果について (3) 成果の最終目標の達成可能性

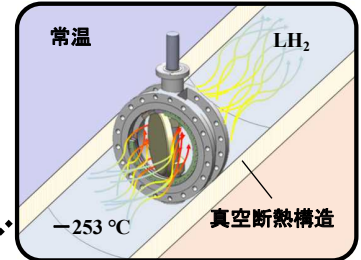
開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
①市場調査	顧客と定期的に打合せを実施	顧客ニーズ並びに高圧ガス保安法の適用範囲に基づき、原理開発・実機開発に反映	複数顧客との打ち合せにより要求仕様の確認を行い、高圧ガス保安協会殿との協議を実施することで、確実に目標達成が可能
②原理開発	新たなシール構造及び真空断熱構造について検討中	原理試作品の試験結果と解析値から、実機試作品を製作するための解析手法を確立	検討した新構造について、解析評価結果と極低温での社内試験結果を基に体系的な分析を実施することで達成可能
③実機開発	2021年度より着手する計画	実流体試験にて各目標値を達成し、試験結果と実機における解析評価とのギャップ分析を完了	原理開発で確立した解析手法を実機設計へ反映し、実流体試験を実施することで達成可能

実用化

実機モデル解析評価結果と、液化水素を用いた実流体試験結果による比較検証を完了し、シール性、真空断熱性に関する技術の確立及び、解析モデルを確立

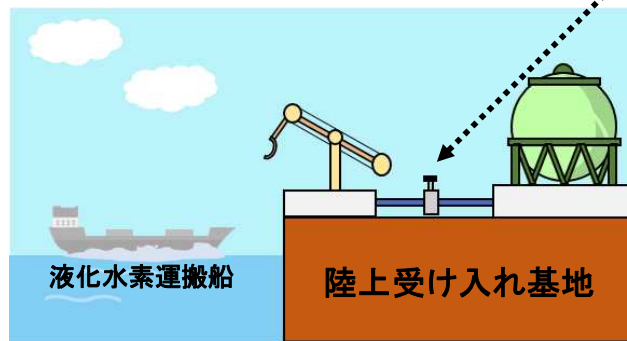
事業化

発電分野での水素需要増大により、2025年以降の、大容量貯蔵が可能な陸上受け入れ基地等への提供が可能なラインナップを確立



豪州

未利用褐炭
由来水素
製造・液化



日本

水素混焼・
専焼GT等
大規模利用



本事業で構築する「シール面圧制御技術」と「真空断熱構造」による、世界初の液化水素用大口徑バタフライバルブは、陸上受け入れ基地のみならず、液化水素運搬船の荷役ラインにも転用が可能

**液化水素受入基地用
大口徑バタフライバルブ**

(2030年予測)

販売予定先	プラントメーカー
推定貯蔵容量	225,000Nm ³ ／基地
法規	高圧ガス保安法

成果

極低温環境におけるシール面圧制御技術
メンテナンス性を考慮した真空断熱構造技術

**液化水素運搬船用
大口徑バタフライバルブ**

(2030年予測)

販売予定先	造船メーカー
推定輸送容量	160,000Nm ³ ／隻
法規	日本海事協会 (NK船級)

市場ニーズ

- 水素サプライチェーン構築には運搬船、貯蔵機器のスケールアップが必須
- 大規模輸送、貯蔵に対応可能な極低温バルブが必要

既存技術に対する優位性

- 液化水素に対応可能な既存技術としてのグローブバルブに対して、バタフライバルブとすることでサイズ及び重量を大幅に削減できる
- バタフライバルブは、グローブバルブよりも容量係数（Cv値）を高めることができ、輸送効率を高くできる

11 / 13

実用化・事業化に対する課題と今後の方針

シール性・耐久性・断熱性の技術確立

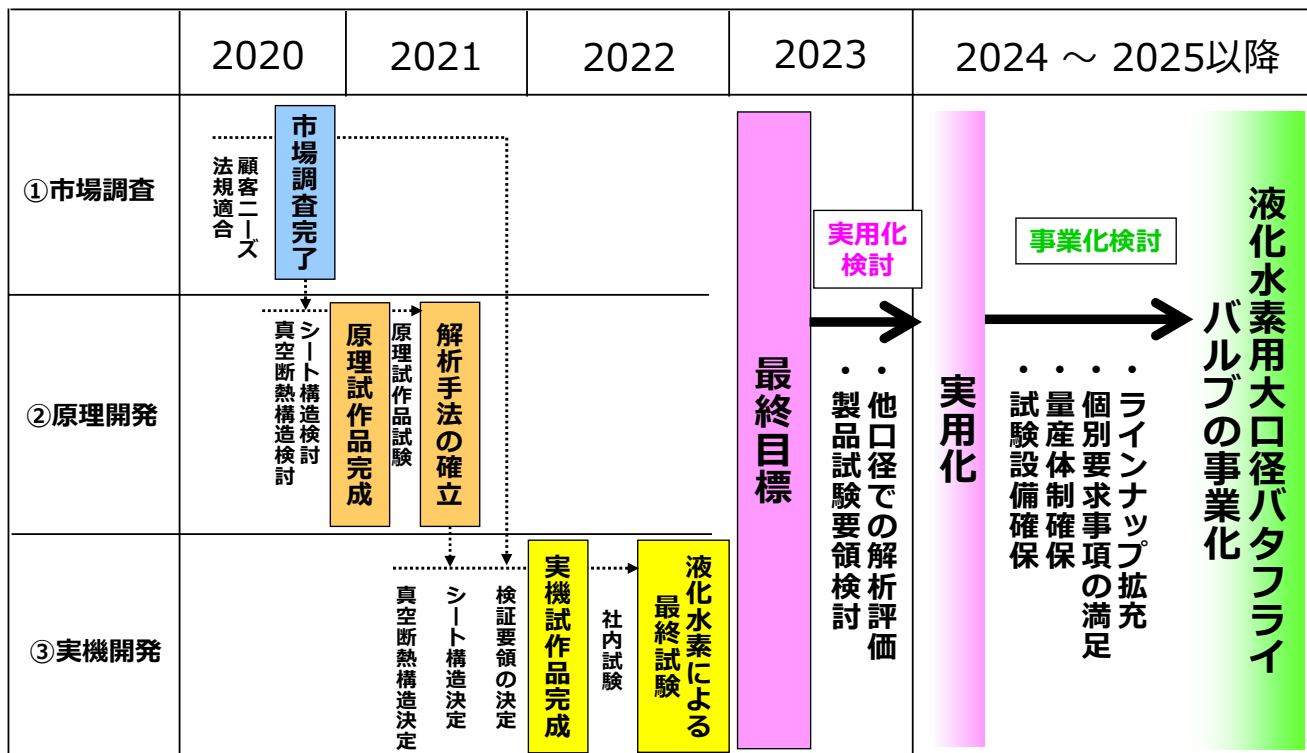
液化水素を用いた実流体試験において目標値を満足し、試験結果と実機試作品での解析評価を比較検証することで、液化水素用大口徑バタフライバルブの技術を確立する

事業化を踏まえたラインナップ拡充

本事業で解析手法を確立することで、他口径の液化水素用大口徑バタフライバルブへ展開し、ラインナップ拡充を図る

12 / 13

4. 実用化・事業化の見通しについて



(Ⅱ-⑥)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素用バタフライバルブの開発」

助成先：株式会社ササクラ

●成果あり（実施期間：2020年度～2022年度予定）

- ・2020年度は試作バルブ製作にむけて、構造、加工方法を検討および製作準備。
- ・2021年度に試作バルブを製作完了、2022年度に性能評価を完了させる。

●背景/研究内容・目的

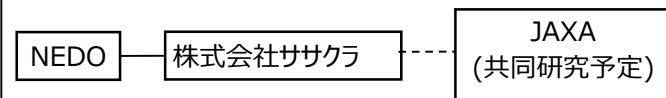
政府計画による2050年度に総エネルギー量の20%を水素とする水素社会実現に向けて、現在様々な分野で技術開発が進んでいるが、超低温流体への対応としてその大半はLNGの関連技術から発展させるものが多い。また基地においてはLNG同様に受入やタンク周辺のパイプラインには流量調整に適しているバルブとしてバタフライバルブが不可欠であるが、現在のところ水素用のバタフライバルブの技術開発は確立していない。

●当社はこれまで(1972年以降)初の国内メーカーとして約50箇所のLNG基地に高いシール性を誇るバタフライバルブを5,000台以上納入してきた。また、JAXA殿の基地にもロケット燃料系パイプラインに水素用のバルブも納めており、この技術を発展させて液化水素用途で使用できるバタフライバルブを開発して水素社会確立のためにインフラ基盤を支える役割を担うことを目的とする。

●研究目標

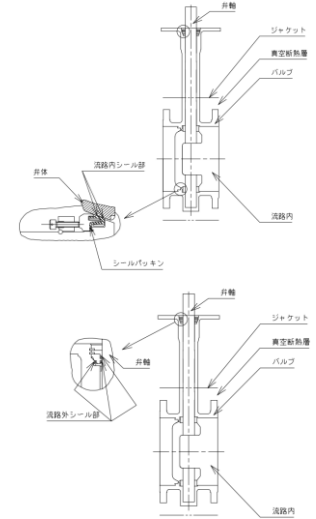
実施項目	目標
①バルブ大型化による性能確保	流路内漏洩量 LNG仕様相当
②液化水素として維持可能な構造	バルブ内外の断熱
③水素の外部漏れに対する安全	流路外漏洩量 LNG仕様相当
④使用材料による加工とコスト	LNG仕様バルブの 加工費1.2倍
⑤液化水素条件下における性能確保	LNG仕様相当の漏洩量

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

- ②液化水素として維持可能な構造
 - (1)実績と同様の構造で、ジャケットの支持部（部材、溶接）の強度に問題がないか確認を行う。耐震含めて検討中。
 - (2)実績のある小型バルブ同等の断熱効果が見込める最小の構造を決定することで試験バルブに採用して効果・確認ができる。
- ③水素の外部漏れに対する安全
 - (1)グランド部からLH2の漏洩を考慮した構造を検討中。
 - (2)“①バルブ大型化による性能確保”と合わせて、LNG仕様相当の性能が確保されることが確認されることにより、“⑤液化水素条件下における性能確保”の項目に移行可能となる。
- ④使用材料による加工とコスト
 - (1)バルブ本体の構造（一体型、分割型）について、コスト調査、比較検討中。
 - (2)コスト低減、製作技術力が確認されることにより、実用化・事業化に移行が可能となる。



●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
①バルブ大型化による性能確保	試作バルブの構造検討中 (2021年度LN2にて評価)	△2022年度完了予定
②液化水素として維持可能な構造	構造検討、強度計算の実施中	△2020年度完了予定
③水素の外部漏れに対する安全	グランド部の構造検討実施中	△2020年度完了予定
④使用材料による加工とコスト	2020年度に調達完了予定	△2020年度完了予定
⑤液化水素条件下における性能確保	JAXA殿と概要の打合せを実施 (2022年度LH2にて評価)	△2022年度完了予定

●今後の課題

2021年度に試作バルブ製作
2022年度に試作バルブ性能評価

●実用化・事業化の見通し

2022年度開発完了
2025年に販売開始予定

「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素用バタフライバルブの開発」(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

株式会社サクラ

2020年12月4日

1/7

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

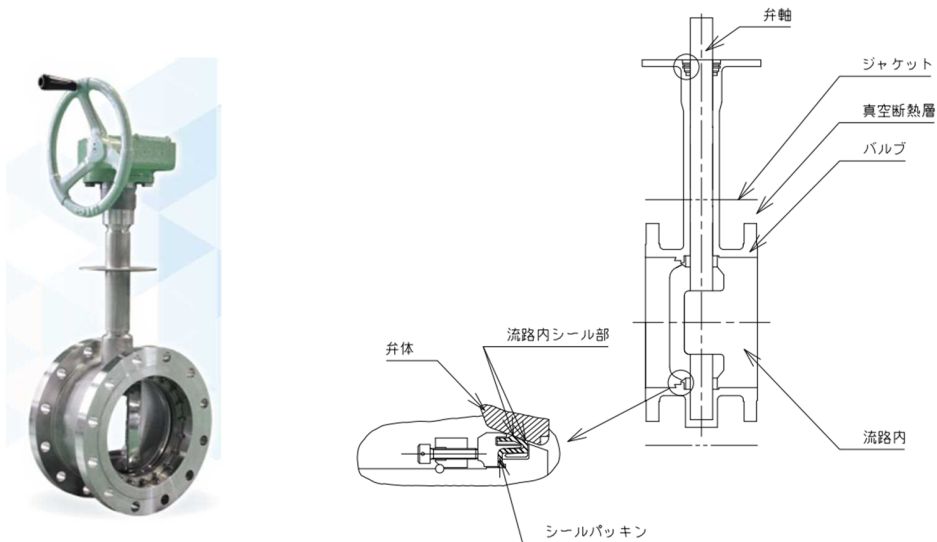
開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
②液化水素として維持可能な構造	バルブ内外の断熱	構造検討、強度計算の実施中	△ (2020年度末)	断熱の機構と構造の小型化
③水素の外部漏れに対する安全	流路外漏洩量 LNG仕様相当	グランド部の構造検討実施中	△ (2020年度末)	採用した構造で性能の確認
④使用材料による加工とコスト	LNG仕様バルブの加工費1.2倍	2020年度に調達完了予定	△ (2020年度末)	2021年度の製作完了を考慮してコスト検討

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

2/7

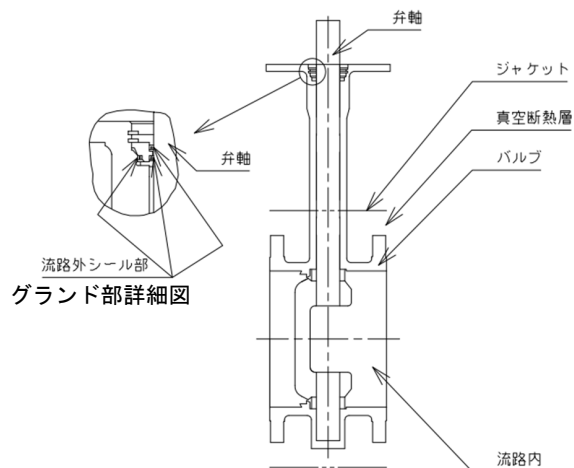
②液化水素として維持可能な構造

- (1) LNGバタフライバルブと同様の構造で、ジャケットの支持部（部材、溶接）の強度に問題がないか確認を行う。耐震含めて検討中。
- (2) 実績のある液化水素向け小型バルブ同等の断熱効果が見込める最小の構造を決定することで試験バルブに採用して効果・確認ができる。



③水素の外部漏れに対する安全

- (1) グランド部からLH2の漏洩を考慮した構造を検討中。
- (2) “①バルブ大型化による性能確保”と合わせて、LNG仕様相当の性能が確保されることが確認されることにより、“⑤液化水素条件下における性能確保”の項目に移行可能となる。



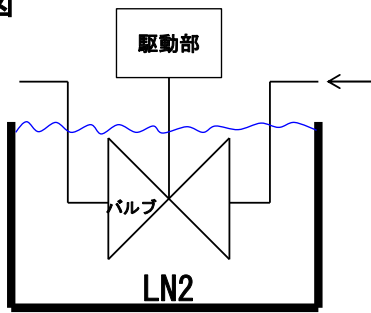
④使用材料による加工とコスト

- (1) バルブ本体の構造（一体型、分割型）について、コスト調査、比較検討中。
- (2) コスト低減、製作技術力が確認されることにより、実用化・事業化に移行が可能となる。

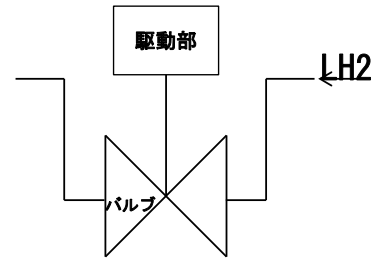
3. 研究開発成果について (3) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

開発項目	現状	最終目標	達成見通し
①バルブ大型化による性能確保	試作バルブの構造検討中	流路内漏洩量LNG仕様相当 (2021年度LN2にて評価)	2020年度:設計完了 2021年度:試作バルブ完成
⑤液化水素条件下における性能確保	JAXA殿と概要の打合せを実施	LNG仕様相当の漏洩量 (2022年度LH2にて評価)	2021年度:試験要領の決定、試験準備

試験概念図



①バルブ大型化による性能確保
試験概念図 (LN2浸漬法)
実施時期: 2021年度
実施場所: 弊社工場
実施内容: LN2にて流路内外の漏洩確認



⑤液化水素条件下における性能確保
試験概念図 (LH2流路内封入)
実施時期: 2022年度
実施場所: JAXA殿設備
実施内容: LH2にて流路内外の漏洩確認

3. 研究開発成果について (3) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

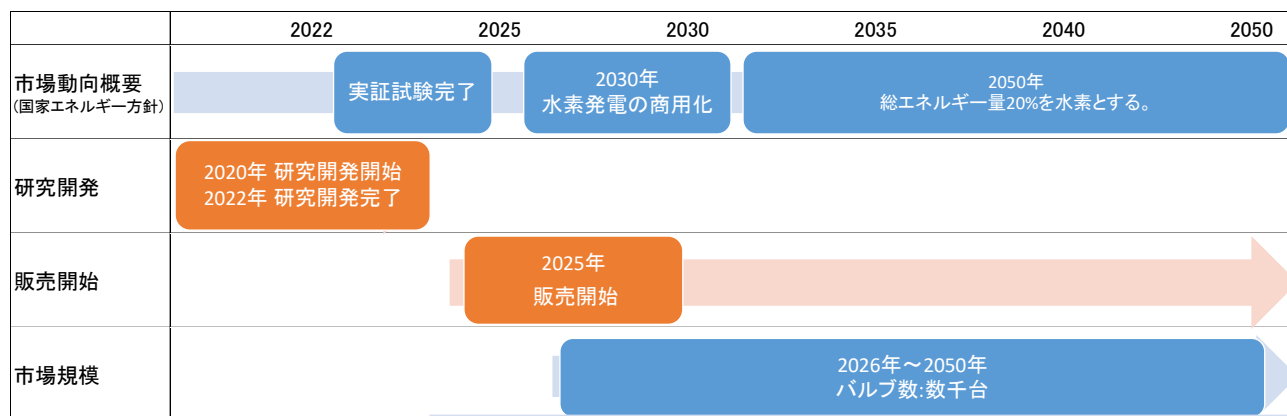
課題	項目	2020年度				2021年度				2022年度			
		第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期	第1 四半期	第2 四半期	第3 四半期	第4 四半期
①バルブ大型化による性能確保	LN2深冷試験 (浸漬法)						→						
	LN2深冷試験 (流路内封入)							→					
②液化水素として維持可能な構造	構造検討		→										
③水素の外部漏れに対する安全	構造検討		→										
④使用材料による加工とコスト	詳細設計			→									
	製作		→		→	→							
⑤液化水素条件下における性能確保	LH2深冷試験 (流路内封入)									→		→	

● 事業化のスケジュール

2022年度研究開発完了、2023年から販売価格・販売計画を策定し2025年度から販売開始を予定します。

● 市場動向・市場規模

政府計画による2050年度に総エネルギー量の20%が水素となる。(政府計画による。)



●成果サマリ (実施期間：2020年度～2022年度予定)

- ・大口径化実現可能な弁種・構造の決定 (遮断弁：ボール弁、逆止弁：スイング式逆止弁)
- ・要素技術 (封止技術) に関する設計検討および部分試作評価 (シール位置・材料・構造・封止性能)

●背景/研究内容・目的

液化水素の輸送貯蔵機器および受入基地機器の大型化に伴い、配管口径も大型化となることが必要である。本事業では、現在存在しない大口径の液化水素用遮断弁、逆止弁を開発する。

【2020年度】

バルブの弁種・構造を決定し、重要部位となる内部封止性能、外部封止性能に関する要素技術開発を実施する。

【2021年度(参考)】

代表サイズのバルブプロトタイプを試作を実施し、実流体を用いて性能評価を実施する。

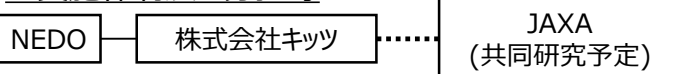
【2022年度(参考)】

実運用上、想定される大口径サイズのバルブ試作を実施し、実流体を用いて性能評価を実施する。また、実運用上必要と考えられるサイズについて、設計を行い、妥当性の評価を行う。

●研究目標

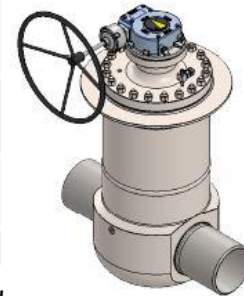
実施項目	目標
① 弁種の検討	大口径化実現可能な弁種・構造の選定
② 封止技術開発	液化水素温度下 (-253℃) における外部・内部封止性能の確立(JAXA共同研究予定)
③ 弁の製造方法の検討	大型精密部品の製造方法の決定
④ 真空断熱構造の検討	弁接続を真空配管上部へ配置する構造確立 断熱性、弁保持方法の決定 (2021年度)
⑤ 弁試作評価	弁の試作、組立・分解治工具の確立 弁に要求される性能評価試験を実施 弁のサイズ展開設計完了 (2022年度)

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

項目	実施内容	研究成果
① 弁種の検討	大口径化実現可能な弁種、構造の決定	遮断弁：ボール弁 逆止弁：スイング式逆止弁
② 封止技術開発	・解析等を用いた熱解析による温度分布の検討 ・使用可能樹脂、シール構造の検討 ・試作品を製作し、評価を実施中	・計算・解析等を用いてシール位置の決定 ・解析により材料・構造の検討中
③ 弁の製造方法の検討	・精密加工可能な製造方法の検討 ・精密加工部分を生かした溶接等の別体分割構造の検討中	熱影響の少ない溶接工法を試作し、精密加工部分を損なわないことを確認
④ 真空断熱構造の検討	・縮小モデルの製作により組立・分解のシミュレーションを実施中 ・解析等を用いて入熱計算を実施中	研究成果は2021年度に得られる予定
⑤ 弁試作評価	2021年度より実施予定	研究成果は2022年度に得られる予定



●今後の課題

【封止技術開発】

・②～③を進め、実流体評価を実施
解析と実流体との関係性を把握し、実流体による封止性能を確立することが必要
⇒液化水素による実流体評価試験を実施し、封止性能の確認を実施予定(JAXA共同研究予定)

【弁の製造方法検討】

・一体部品における大型化精密加工は難しいと判断
・溶接等を用いた別体構造の検討が必要
⇒大口径化に伴う溶接可否の検討及び試作品における溶接歪み等の確認中

【真空断熱構造の検討】

・ジャケットを施した状態で分解・組立を可能とする検証が必要
⇒試作品にて治具等を用いて検証予定
・バルブ保持方法を確定させ、保持部を考慮した断熱性能の確認が必要
⇒解析等を実施し、保持部を含めた入熱の検討を実施予定

【弁試作評価】

・プロトタイプの性能が目標値を満足すること
⇒①～④にて実証後、評価を実施予定。

●実用化・事業化の見通し

- ・フィールド試験等にて実使用における製品の性能、耐久、経年評価を実施
- ・小口径の市場要求を把握する。開発必要と判断した場合、市場要求仕様、導入時期を調査し、開発へ着手する
- ・今後の市場発展に合わせられる生産体制の構築が必要

バルブの性能確保、液化水素市場の持続的発展に伴い、事業の柱へと成長させる。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
① 弁種の検討	遮断弁：ボール弁 逆止弁：スイング式	○
② 封止技術開発	解析等より、シール位置決定 材料、形状を検討中	△(2020年度完了予定)
③ 弁の製造方法の検討	一体加工製造は困難 別体分割構造を検討中	△(2020年度完了予定)
④ 真空断熱構造の検討	縮小モデルで組立・分解方法の検討実施中	△(2021年度完了予定)
⑤ 弁試作評価	2021年度より着手予定	△(2022年度完了予定)

「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素用大型バルブの技術開発」(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

株式会社キッツ

2020年12月4日

1 / 11

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
① 弁種の検討	大口径化実現可能な弁種、構造の選定	遮断弁：ボール弁 逆止弁：スイング式逆止弁	○	-
② 封止技術開発 a) 外部封止構造の検討	液化水素流通における外部封止性能の確保	計算・解析等を用いてシール位置の決定	○	-
② 封止技術開発 b) 内部封止構造の検討	使用可能樹脂、シール構造の検討	解析により材料・構造の検討実施中	△ (2020年度)	液体窒素との封止性能を比較確認するため、液化水素において評価試験を実施(JAXA共同研究予定)
② 封止技術開発 c) 部分試作評価	②a)b)について試作品を製作し、評価を実施する	部分試作品にて液化窒素レベルでの封止性能確認中	△ (2020年度)	液体窒素との封止性能を比較確認するため、液化水素において評価試験を実施(JAXA共同研究予定)
③ 弁の製造方法の検討 a) 大型化精密加工検討	精密加工可能な製造方法の確立	構想設計段階において一体加工は難しいとの判断	△ (2020年度)	一体部品における大型化精密加工は難しいと判断。③b)の検討を進める
③ 弁の製造方法の検討 b) 分割構造の検討	溶接等の別体分割構造の確立	熱影響の少ない溶接方法にて試作し、精密加工部分を損なわないことを確認中	△ (2020年度)	大口径化に伴う溶接可否の検討及び試作品における溶接歪みの確認

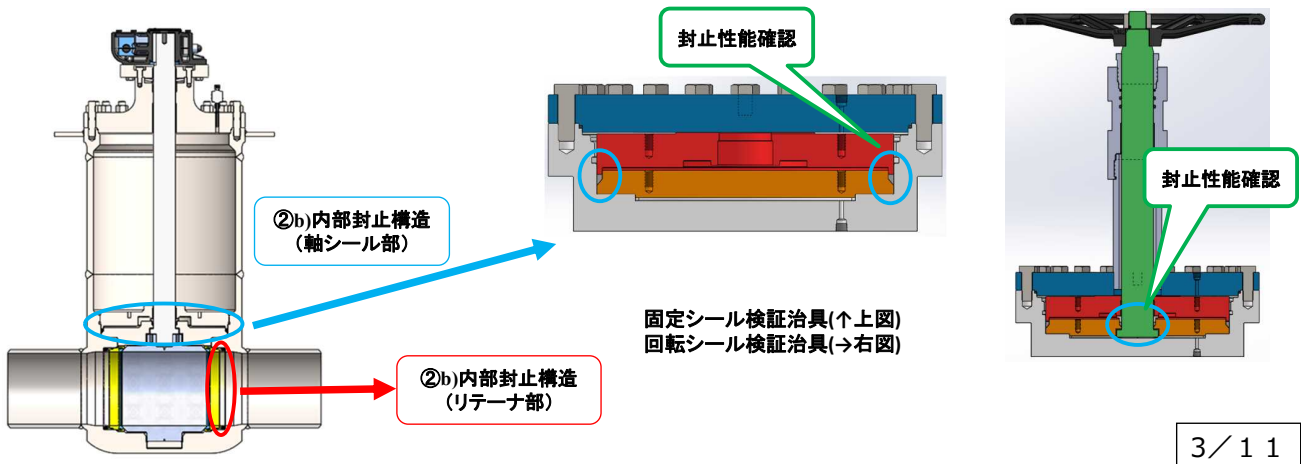
◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

2 / 11

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

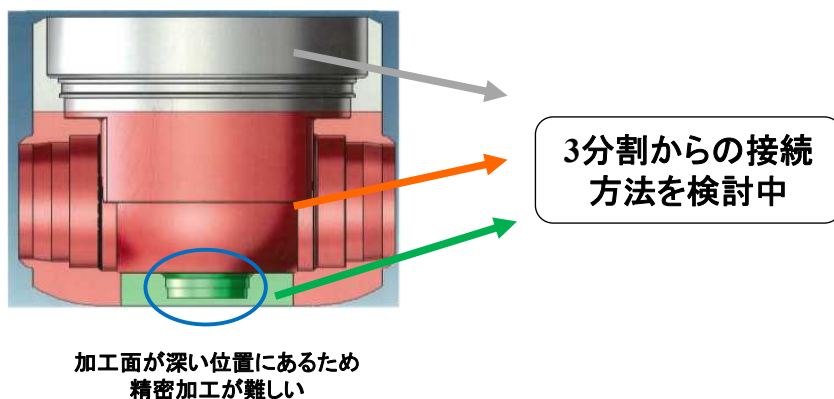
項目	目標	達成状況	成果の意義
① 弁種の検討	大口径化実現可能な弁種、構造の選定	遮断弁：ボール弁 逆止弁：スイング式逆止弁	遮断弁：ボール弁とすることで、大流量輸送が可能 逆止弁：スイング式とすることで、大口径化が可能
② 封止技術開発 a) 外部封止構造の検討	液化水素流通における外部封止性能の確保	計算・解析等を用いてシール位置の決定	解析等により、外部封止位置が決定。既存のシール技術の流用により、安定的な外部封止性能を確保できる
② 封止技術開発 b) 内部封止構造の検討	使用可能樹脂、シール構造の検討	解析により材料・構造の検討実施中	内部封止に関するシール部材、構造が決定することでボール弁としての実現可能性の目途がたつ
② 封止技術開発 c) 部分試作評価	②a)b)について試作品を製作し、評価を実施する	部分試作品にて液化窒素レベルでの封止性能確認中	部分試作品で評価試験を実施することで、バルブで起こりえる課題の先取り、先行性能確認が可能となる



3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

項目	目標	達成状況	成果の意義
③ 弁の製造方法の検討 a) 大型化精密加工検討	精密加工可能な製造方法の確立	構想設計段階において一体加工は難しいとの判断	大型化精密加工における一体加工の限界確認と別法案へのシフトが可能となる
③ 弁の製造方法の検討 b) 分割構造の検討	溶接等の別体分割構造の確立	熱影響の少ない溶接方法にて試作し、精密加工部分を損なわないことを確認中	大型化精密加工における別法案として可能な法案（溶接工法）を見出すことで、加工の実現性の目途がたつ



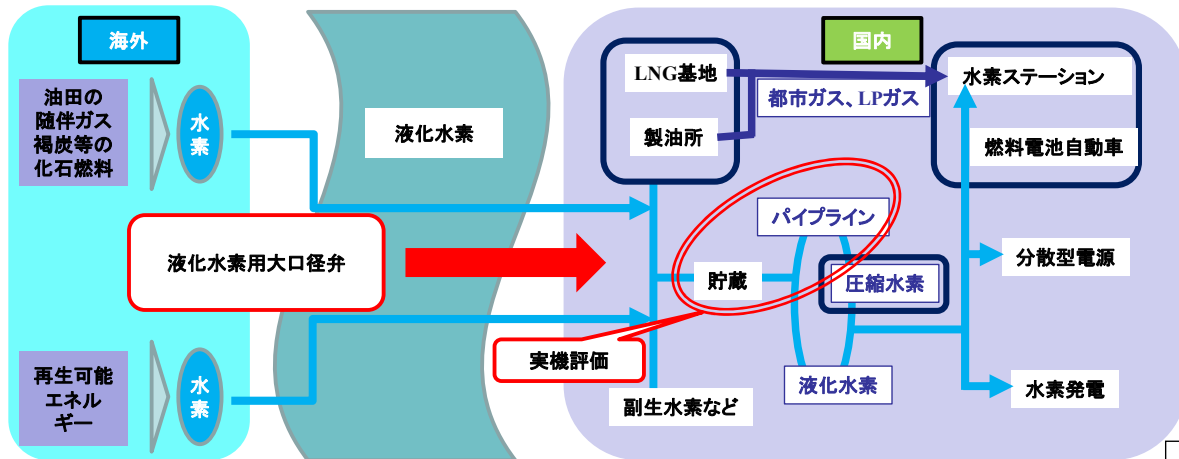
プロジェクトの成果と差別化

プロジェクトの達成状況	成果の意義	差別化
弁種の検討を実施し、遮断弁はトラニオンマウンテッド型ボール弁構造、逆止弁はスイング式インターナルヒンジピン構造を第一候補とした	遮断弁はボール弁構造を採用することで大流量且つ、コンパクト化が見込まれる。大型プラントにおける大流量輸送が可能となり、弁を含む配管全体のコンパクト化に寄与する	液化水素用ボール弁は現在、存在しない。大流量輸送、操作の容易性、コンパクト化等、優位性が挙げられるが、仕様に対する制限、(真空ジャケットを使用するため、トップエントリー構造が必要となること、流体圧によるセルフシール等)、技術的に非常に困難であることが挙げられる

開発項目	現状	最終目標 (2021年度)	達成見通し
④ 真空断熱構造の検討 a) 組立・分解の検討	3Dプリンター等による縮小モデルの製作により組立・分解のシミュレーションを実施中	弁上部より、分解・組立が可能であること。現地でのメンテナンスの目途がたつこと	シミュレーションより、実現可能と判断。試作品で治具等を用いて、組立・分解を実施する。
④ 真空断熱構造の検討 b) 断熱性能検討	解析等を用いて入熱計算を実施し、ジャケットの形状を決定予定	バルブと真空ジャケットとの寸法、距離が設定され、入熱量等が規定値以内であること	想定したジャケット寸法より、実流体や解析等により、入熱量の確認を実施する
④ 真空断熱構造の検討 c) 弁保持方法の検討	弁 - ジャケット間で保持する材質・構造の検討実施予定	弁 - ジャケット間で弁を確実に保持し、さらに保持部からの入熱量が規定値以内であること	④b)の解析結果等を用いて、保持部を含めた入熱量の確認を実施する。
開発項目	現状	最終目標 (2022年度)	達成見通し
⑤ 弁試作評価 a) 弁の試作	計画に従い、2021年度より開発着手	①～③で確立した要素技術を基に弁の試作を実施する	①～③を計画通り確実に進めることで達成可能となる。
⑤ 弁試作評価 b) 治工具類の検討	計画に従い、2021年度より開発着手	組立・分解を可能とする治具、および現地でのメンテナンスを考慮した方法を確立する	④a)より、確立した組立・分解方法を基に場所を選ばない治工具類への展開を実施する。
⑤ 弁試作評価 c) 性能試験	計画に従い、2021年度より開発着手	⑤a)の試作品について、各種性能試験を実施し、性能が目標値を満足すること	①～③及び⑤a),b)を計画通り確実に進めることで達成可能となる。

4. 実用化・事業化の見通しについて

- ①本研究開発により、液化水素用大口径弁の要素技術確立が可能となり、史上初の液化水素用大口径弁として市場へ導入できる。液化水素受入基地、輸送船等における主要弁類として使用いただくことで大量輸送・貯蔵が可能となり、大規模水素エネルギー利用技術の確立に寄与することができる。
- ②次世代エネルギーキャリアである液化水素における機器の性能を確立することで、水素社会実現における先駆け企業として、事業化に向けた舵を切ることが可能となる。本プロジェクトを通じて実機評価を実施いただくことで、実用化の確証を得ることができる。



4. 実用化・事業化の見通しについて

～2050年まで	液化水素プラント	液化水素運搬船	液化水素受入基地	水素発電容量	水素発電割合
売上げ見込み (～2030年)	40億円	48億円	40億円	—	—
2030年	3プラント	3隻	3プラント	100万kW	0.5%
2040年	20プラント	40隻	20プラント	2,000万kW	10%
2050年	40プラント	80隻	40プラント	4,000万kW	20%

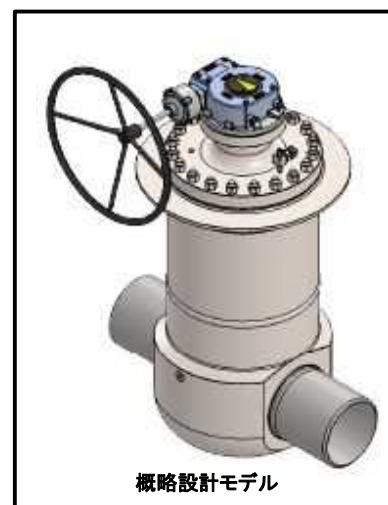
弁の優位性	液化水素	LNG
遮断弁	ボール弁	ゲート弁
操作性	90°回転で短時間操作	ハンドル回転で長時間操作

2050年までに、LNGの代替エネルギーとなる規模へ成長



製品イメージ・競合優位性

コンセプト	<ul style="list-style-type: none"> 世界初の大口径液化水素用ボール弁
優位性	<ul style="list-style-type: none"> 大流量輸送が可能であるボール弁を市場へ導入 大流量輸送が可能であるため他弁種に比べて小口径化が可能となり、プラント全体の建設コスト低減が可能
性能	<ul style="list-style-type: none"> LNG向けバルブと同等の性能を確立することで、LNG基準でバルブを使用いただける
製造技術	<ul style="list-style-type: none"> 大型精密加工の確立と量産技術を確立し、安定した品質で市場へ導入する



実用化に対する課題と今後の方針

内容	信頼性	サイズ展開	生産体制
課題	初期評価のみでは性能の信頼性を十分に得ることが難しい	大口径（10～20インチ）をメインターゲットとして、開発を進めているため、小口径（2～8インチ）の対応が遅れている	経済原理に基づき、液化水素市場が展開された場合、現在の生産体制では要求仕様通りの納期で製品を納入することが困難と考えられる
今後の方針	フィールド試験等、実施し、実使用における製品の性能、耐久、経年評価を実施	小口径について市場での要求を把握し、開発判断を実施。必要と判断した場合、市場要求仕様、導入時期を検討し、開発へ着手する	今後の市場発展に合わせられる生産体制が必要

4. 実用化・事業化の見通しについて

実用化・事業化までのビジョン

項目	開発期間			実用化		事業化
	2020年	2021年	2022年	2023年	2024年	2025年
要素技術	→ ☆ サイズ展開					
弁試作		→ ☆	→ ☆	☆ 実流体試験(JAXA共同研究予定)		
性能評価		→		実用化検討		
フィールド試験					→ ☆ 信頼性評価	
認証取得				→		
製造設備					→	事業化検討

(Ⅱ-⑧)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／ドライ低NOx水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業」

助成先：川崎重工業(株)、(株)大林組

●成果あり（実施期間：2019年度～2020年度終了）

・ドライ低NOx水素専焼燃焼器を実際的气タービン発電装置に搭載し、実運用で想定される様々な運転条件において、失火や逆火が発生しない安定燃焼を達成。

●背景/研究内容・目的

◎背景

2017年12月策定の「水素基本戦略」には、「将来的に水素専焼発電を実現するためには、NOx値の低減、高い発電効率、高濃度な水素混焼などを同時に達成可能とする新たな燃焼技術の早期の実用化を目指す」と謳われており、「水素・燃料電池戦略ロードマップ」には2020年頃にNOx排出値35ppm(残存酸素16%換算値)以下および発電端効率27%以上の達成を目標として掲げられている。

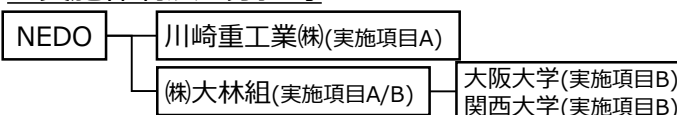
◎研究内容・目的

ガスタービン発電において、水素専焼運転による更なる高効率化とNOx排出量の低減の達成を目指した、水を使用しないドライ方式の低NOx水素専焼ガスタービンの運転実証を実施する。また、液化水素の冷熱利用によるガスタービンの発電出力、発電効率向上効果を定量的に確認することで、水素発電の普及に向けた水素専焼運転での更なる高効率化、低コスト化運用に向けた研究を行う。

●研究目標

実施項目	目標
A：「ドライ低NOx水素専焼ガスタービンの運転実証」	①安定燃焼の達成 ②発電効率27%以上(定格)を達成 ③NOx排出値35ppm以下の達成 ④「混焼運転」対応のための課題抽出
B：「冷熱活用システム検討」	①冷熱利用熱交換器の基礎検討 ②蒸発器の着霜防止効果を定量評価 ③空気冷却器着霜発生条件を把握 ③冷熱利用の経済合理性の定量評価

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

A.ドライ低NOx水素専焼ガスタービンの運転実証

- ① 前事業で整備した水素ガスタービン発電実証試験設備において、新開発のドライ低NOx水素専焼燃焼器を適用して、ガスタービン発電装置の実運用で想定される各種運転パターンで、失火や逆火が発生しない燃焼安定性の確認を完了し、2020年10月には「世界初」となるドライ方式燃焼器を適用した「水素ガスタービン発電所」として運用を開始することにより、実用レベルのドライ方式水素ガスタービン発電装置の運転実証を完了した。
- ② 定格運転条件において発電端効率27%以上を達成した。
- ③ NOx排出値35ppm(残存酸素濃度16%換算)以下については、負荷領域によって部分的に見達成の部分がおり、全負荷領域での達成に向けた方策を検討中。
- ④ ドライ低NOx燃焼器での水素／天然ガスの「混焼運転」対応のための課題抽出を完了した。

B.冷熱活用システム検討

- ①熱利用熱交換器(液化水素/ブライン)の基礎検討を行い、液化水素の気化冷熱を活用し空気を冷却する場合の課題を抽出し、その解決策を検討した。
- ②冷熱利用による蒸発器の着霜防止効果を定量的に確認する。
- ③空気冷却器の模型着霜実験を行い、空気冷却器における着霜発生境界条件を確認する。
- ④冷熱利用によるガスタービンの発電出力向上効果を定量的に確認する。

●今後の課題

- A. ドライ低NOx水素専焼ガスタービン開発全負荷領域において、NOx排出値35ppm以下の達成に向けた改良開発の実施が必要。
- B. 冷熱活用システム検討タービン吸気冷却を行った場合のタービン側の課題を抽出してゆくことが必要

●実用化・事業化の見通し

水素の市場価格推移、副生水素の発電利用ニーズを注視しつつ、2020年代初頭には水素発電の需要が顕在化し、本格的な事業化に至ると考えられる。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価	
A：「ドライ低NOx水素専焼ガスタービンの運転実証」	・世界初の実用レベルのドライ方式水素専焼ガスタービンによる発電装置の実証を完了し、水素発電所としての実運用を開始 ・発電端効率27%以上を達成	○	
B：「冷熱活用システム検討」	・冷熱利用の基礎検討およびシミュレーションモデルの作成が完了。発電出力および効率向上効果の定量評価に目途	○	
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1件(予定)	1件	66件	なし

「水素社会構築技術開発事業／
大規模水素エネルギー利用技術開発／
ドライ低NOx水素専焼ガスタービン技術開発・
実証事業」(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

川崎重工業株式会社

株式会社大林組

2020年12月4日

1/45

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆研究目的

第5次エネルギー基本計画 (2018年7月)

水素基本戦略 (2018年12月26日)

水素・燃料電池戦略ロードマップ^o (2019年3月12日)

- 将来の二次エネルギーでは水素が中心的役割を担うことを期待
- 水素はエネルギー安全保障と温暖化対策の切り札
- 水素を安定的かつ大量に消費する水素発電は、国際的なサプライチェーンの構築とセットで進めるべき最重要のアプリケーション



【研究目的】将来の本格的な「水素発電」の実現に向けた競争力向上 (高効率化、環境性向上、付加価値向上)

【実施内容】①ドライ低NOx水素専焼ガスタービンの運転実証
②冷熱活用システムの検討

2/45

A.ドライ低NOx水素専焼ガスタービンの運転実証

3/45

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆研究課題

水素ガスタービン発電での水噴射方式[※]の位置付け

※水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業で実証完了

- ▶ 自家用発電規模を対象に水素発電の導入促進（水素・燃料電池戦略ロードマップのフェーズ1に対応）⇒ 早期に水素専焼発電を実現するための技術を確立

高効率化・環境性向上における課題

- ▶ 高温燃焼により発生するサーマルNOxを水噴射により抑制
⇒ 発電効率の向上が困難
- ▶ 水噴射量を増やせばNOxは低下するが、効率が更に低下し燃焼が不安定化
⇒ 効率とNOx性能の両立が困難
- ▶ GT大型化にともない水噴射用の設備が大型化し、イニシャルコスト／ランニングコストと設備設置面積の増大 ⇒ 大型化に不利

ドライ方式に取り組む意義

- ▶ 効率と環境性能の両立：ドライ方式は、水素専焼における効率の向上と高い環境性能（NOx）を同時に達成できる画期的な技術。水素専焼での環境性能は世界最高レベル。ドライ方式での水素専焼は世界初の取り組み。
- ▶ 将来的な大型化への対応：ドライ方式では、水噴射用の設備が不要になるため、イニシャルコスト、ランニングコストを抑えながら大型化へ対応可能

4/45

◆実施内容

- ▶ 「水素利用等先導研究開発事業／大規模水素利用技術の研究開発／水素ガスタービン燃焼技術の研究開発」で要素開発に目途がついた「水素専焼ドライ低NOx燃焼器」を「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業」で整備した実証設備に実装し、水素専焼運転での水素ガスタービン・コージェネレーションシステム（水素CGS）のフィールド実証を行う。
- ▶ 「水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業」で開発実証した統合型エネルギーマネージメントシステム（統合型EMS）についても、ドライ方式に合わせた再設計・改修を行い、ドライ方式水素CGSの環境性、事業性を評価する。



微小火炎型ドライ方式燃焼器試作品と
燃焼器単体試験風景

フィールド実証試験設備全景

5 / 45

◆開発目標

【川崎重工業株式会社】

- ① 50%負荷から定格100%負荷運転において、NOx濃度35ppm(残存酸素16%換算値)以下※を達成する。
- ② 起動時の回転数上昇およびアイドル運転において、水素燃焼での失火や逆火が発生しない安定燃焼を達成する。
- ③ ガスタービンの実運用で想定される急激な負荷変動に対応すべく、燃料の急遮断等の条件において、水素燃焼での失火や逆火が発生しない安定燃焼を達成する。
- ④ 15℃/1気圧の標準大気条件、発電負荷100%におけるガスタービン発電装置単体での発電端効率27%以上※を達成する（冷熱利用は加味しない）。

※水素・燃料電池戦略ロードマップ（2019年3月12日）に記載された数値目標

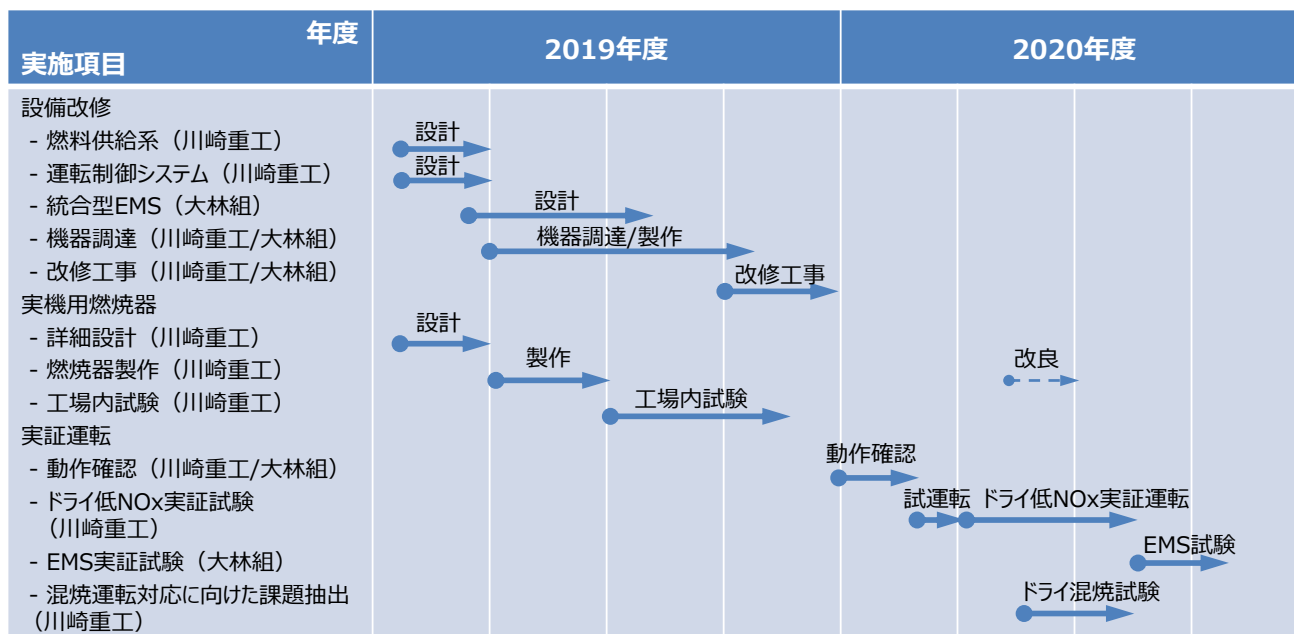
【株式会社大林組】

- ①水噴射方式よりもドライ方式水素ガスタービン・コージェネレーションシステムで電熱を供給した場合の方が環境性や事業性が優位であることを確認する。

6 / 45

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆実施内容とスケジュール



7/45

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆個別研究開発項目の目標と達成状況

開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
1. 設備改修				
1-1 燃料供給系の改修設計 (川崎重工)	燃料供給系の改修設計を完了し、設備改修に必要な機器および工事の発注を完了する。	2019年10月までに、燃料供給系の改修設計を完了し、設備改修に必要な機器および工事の発注を完了。	○	課題なし
1-2 運転制御システムの改修設計 (川崎重工)	運転制御システムの改修設計を完了し、設備改修に必要な工事の発注を完了する。	2019年12月までに、運転制御システムの改修設計を完了し、設備改修に必要な工事の発注を完了。	○	課題なし
1-3 統合型EMSの改修設計(大林組)	統合型EMSの改修設計を完了し、設備改修に必要な工事の発注を完了する。	川崎重工業の監視制御項目のうち、ウェット方式燃焼器からドライ方式燃焼器への改造に伴い変更(確定)となる項目を確認・調整し、EMS改造計画をまとめた。	○	課題なし
1-4 機器調達・製作 (川崎重工)	設備改修に必要な機器の調達・製作を完了する。	2020年4月までに、設備改修に必要な機器の調達・製作を完了。	○	課題なし
1-5 改修工事の実施 (川崎重工/大林組)	設備の改修工事を完了し、運転試験実施のための設備動作確認に移行する。[川崎重工]	2020年4月までに設備の改修工事を完了し、運転試験実施のための設備動作確認に移行。[川崎重工] 現地(エネルギーセンター)でEMS装置のソフトウェアの設定変更作業、および、クラウドの設定変更作業を行った。[大林組]	○	課題なし

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

8/45

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
2. 実機搭載用燃焼器の製作				
2-1 詳細設計 (川崎重工)	実証試験に使用する実機搭載用燃焼器の設計を完了する。	2019年10月/12月/2020年1月までに、実機搭載用燃焼器3基（供試体①/②/③）の設計を順次完了。	○	課題なし
2-2 製作 (川崎重工)	実機搭載用燃焼器の製作を完了する。	2020年1月/3月/5月までに、実機搭載用燃焼器3基（供試体①/②/③）の製作を順次完了。	○	課題なし
2-3 工場内試験 -燃焼器単体 (川崎重工)	工場内の燃焼器試験設備において、実機搭載用燃焼器の水素による燃焼試験を実施し、燃焼器単体での性能と健全性の確認を完了する。	2020年2月/4月/6月までに、実機搭載用燃焼器3基（供試体①/②/③）の水素による燃焼試験を実施し、燃焼器単体での性能と健全性の確認を順次完了。	○	課題なし
2-4 工場内試験 -始動性確認 (川崎重工)	工場内のガスタービン試験設備において、実機搭載用燃焼器の天然ガスによる始動試験を実施し、始動安定性と安全性の確認を完了する。	2020年2月/4月/6月までに、実機搭載用燃焼器3基（供試体①/②/③）の天然ガスによる始動試験を実施し、始動安定性と安全性の確認を順次完了。	○	課題なし
2-5 改良 (川崎重工)	実証試験の結果をうけて、要すれば燃焼器の改良を実施する。	2020年5月より開始した実機に搭載しての実証運転試験の結果、安定運転に障害となる「燃焼振動」が発生したことから、燃焼器の改良を実施し、「燃焼振動」を大幅に抑制するとともに、効率についても向上させる技術の開発に成功。	○	課題なし

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

9/45

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
3. 実証運転				
3-1 動作確認 (川崎重工/ 大林組)	設備の改修部分について、機器および制御システムの動作確認を実施し、ドライ燃焼器による運転が可能であることの確認を完了する。	2020年4月末までに、機器および制御システムの動作確認を完了し、ドライ燃焼器による運転が可能であることの確認を完了。	○	課題なし
3-2 ドライ低 NOx実証 試験 (川崎重工)	起動時およびアイドル運転時において、水素燃焼での失火や逆火が発生しない安定燃焼の達成	2020年5月12日～10月6日までに起動/アイドルを58回実施し、全く問題なし。安定燃焼を達成。	○	課題なし
	ガスタービンの実運用で想定される急激な負荷変動、燃料の急遮断等の条件において、水素燃焼での失火や逆火が発生しない安定燃焼の達成	2020年5月12日～10月6日までに実運用で想定される急負荷変動/急遮断等の様々な運転パターンを実施し、全く問題なし。安定燃焼を達成。	○	課題なし
	標準大気条件/発電負荷100%における発電端効率27%以上の達成	2020年10月現在、負荷100%で発電端効率27.0%以上を達成	○	課題なし
	NOx濃度35ppm(残存酸素16%換算値)以下の達成	2020年10月現在、低負荷領域では35ppm以下を達成。ただし、高負荷領域において目標のNOx値35ppm以下が未達成（法律上の制限値[70ppm]は十分クリアしている。）	△ (本事業後)	目標達成には「燃焼振動」の発生抑制が必要。「燃焼振動」の抑制には燃焼器の形状の見直しが必要だが、燃焼器を改良することにより目標達成できると見込んでいる。

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

10/45

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
3. 実証運転				
3-3 EMS実証試験 (大林組)	水噴射方式よりもドライ方式の方が環境性や事業性が優位であることを確認	2020年11月に実証運転を実施予定。	△ (2020/11)	
3-4 混焼運転対応に向けた課題抽出 (川崎重工)	ドライ燃焼器において、水素/天然ガスの「混焼運転」対応のための課題の抽出が完了している。	2020年7月から課題抽出のための混焼運転を開始し、安定運転に支障となる「燃焼振動」の発生領域と、天然割合が増加時の保炎可能領域を特定し、「混焼運転」実現のための課題の特定が完了した。	○	本事業で課題として抽出された、「燃焼振動」の更なる抑制と天然ガス割合が高い時の保炎性の確保に向けた要素開発を進める必要がある。

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

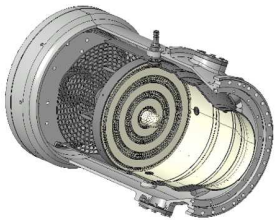
11/45

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度 (2) 成果の意義

◆ 個別テーマの成果と意義

2-2 実機搭載用燃焼器の製作

➤ 下表の3種類の燃焼器を製作し、NOx/発電効率/安定性の比較を実施。

供試体① 水素噴出孔径：0.8mm	供試体② 水素噴出孔径：0.55mm	供試体③ 水素噴出孔径：0.8mm
		
		
内部の水素供給は配管 + 摩擦継手による供給	内部の水素供給は配管 + 摩擦継手による供給	内部の水素供給は削り出しブロックによる供給 (量産時の組立性および耐久性の向上を評価)

12/45

◆個別テーマの成果と意義

2-5 実機搭載用燃焼器の改良 (1/2)

- 実証運転開始当初は、ある特定の発電負荷領域で非常に強い「燃焼振動」が発生し、安定運転の妨げとなった。

燃焼振動とは

燃焼時に高周波の圧力振動波が発生する現象。
古くから現象としては確認されているが、発生メカニズムについては諸説あり研究が進められている。

激しい騒音を生じるとともに、圧力波により高周波で繰り返し荷重が発生するため、燃焼器部品やタービン翼に疲労破壊等を引き起こすことがあり、非常に危険な現象。

- 今回の実証運転により、「燃焼振動」と「低NOx」は背反の関係（NOx生成量を下げようとすると「燃焼振動」が発生し、「燃焼振動」を抑制するとNOx発生量が多くなる。）ことが明らかになった。
- 当初の計測データによる試算では、定格条件での予想発電効率は26.8%程度であり、目標の27.0%以上は達成困難と予想。



「燃焼振動」抑制と低NOxの両立、および発電効率向上のための改良を実施

◆個別テーマの成果と意義

2-5 実機搭載用燃焼器の改良 (2/2)

■ 供試体による性能比較 ○：他と比較して「良」、△：他と比較して「やや良」、×：他と比較して「不良」

	「燃焼振動」	NOx性能	効率	備考
供試体①	△	×	○	
供試体②	×	○	×	
供試体③	△	×	○	量産を視野にいた設計

■ 改良による効果比較 ◎：「効果大」、○：効果あり、△：やや効果あり、×：効果なし/悪化

	「燃焼振動」抑制効果	NOx低減効果	効率向上効果	備考
改良①	△	×	×	
改良②	◎	○	◎	
改良③	◎	○	◎	起動安定性やや不良
改良④ (模擬)	△	◎※	△	※本適用には燃焼器の新規製作が必要のため、「模擬」的に実施し、本適用した場合の性能を推定。
改良② + ④ (模擬)	◎	◎※	◎	

- 発電所としての落成検査には「供試体③」+「改良②」を採用
- 「燃焼振動」を大幅に抑制し、かつ効率も向上する新技術の開発に成功

◆個別テーマの成果と意義

3-2 ドライ低NOx実証試験 (1/2)

- 2020年9月15日～9月18日に、「電気・熱」の供給試験の実施に向けた発電所落成検査受検のための燃焼器形態（「供試体③」+「改良②」）において、常用ガスタービン発電装置向けに設定された社内基準による運転検査を実施。
 - ・冷態始動／停止試験 ⇒ 合格
 - ・負荷追従試験 ⇒ 合格
 - ・急負荷遮断試験 ⇒ 合格
 - ・非常停止試験 ⇒ 合格
 - ・NOx性能確認 ⇒ 合格（※法律上の規制値：70ppm以下[16%O₂換算]での評価）
 - ・温態始動試験 ⇒ 合格
 - ・急負荷投入試験 ⇒ 合格
 - ・急負荷変動試験 ⇒ 合格
 - ・燃費性能確認 ⇒ 合格
- 2020年9月29日～10月6日に、同上の燃焼器形態において、法定で定められた運転検査および最終性能検査を実施。
 - ・冷態始動／停止試験 ⇒ 合格
 - ・急負荷遮断試験 ⇒ 合格
 - ・総合インターロック試験 ⇒ 合格
 - ・連続最大負荷運転試験 ⇒ 合格
 - ・環境性能試験（NOx/振動/騒音）⇒ 合格



顧客へ納入する製品と同等の社内／法定検査に全て合格し、**世界初**となる**ドライ方式燃焼器を適用した「水素専焼ガスタービン発電所」**として**落成**を完了し、**実運用を開始**

15 / 45

◆個別テーマの成果と意義

3-2 ドライ低NOx実証試験 (2/2)

- 2020年10月19日に実施した実運用運転試験で取得したデータにおいて、定格負荷条件での**発電端効率27.0%以上を達成**
- 定格負荷条件でのNOx値は、大気汚染防止法における規制値の70ppm以下は十分マージンを持ってクリアしているものの、事業目標である35ppmは高負荷領域において未達成。



- 設計予想値である26.8%を大幅に超える、**チャレンジングな目標値である発電端効率27.0%以上を達成（ウェット方式より約0.9%向上）**
- NOxについては法律上の制限値（70ppm以下-16%O₂換算）は十分クリアしているものの、達成目標である35ppmは部分的に未達
⇒ **達成には更なる改良研究が必要**



- 今後、耐久性評価のために運転時間を増やす必要あり。
⇒ **事業期間終了まで、極力、実運用による運転を継続する予定**

16 / 45

◆個別テーマの実施内容

1-3 統合型EMSの改修 (大林組)

・基本計画

川崎重工業の監視制御項目のうち、ウェット方式燃焼器からドライ方式燃焼器への改造に伴い変更予定となる項目を確認・調整し、EMS改造概要をまとめた。

・基本設計

川崎重工業の監視制御項目のうち、ウェット方式燃焼器からドライ方式燃焼器への改造に伴い変更（確定）となる項目を確認・調整し、EMS改造計画をまとめた。

・改造作業

現地（エネルギーセンター）でEMS装置のソフトウェアの設定変更作業、および、クラウドの設定変更作業を行った。

・既設設備の維持保守

既設設備の機能維持のため、日常点検、定期点検を実施した。川崎重工業 ガスタービン維持保守運転に合わせてガスタービン補機動力の運転実績データの計測や、需要家の電力・熱需要データの計測を継続して行っている。

17/45

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

プロジェクトとしての達成状況

- NOx値については一部目標未達の状態にあるが実用レベルの範囲であり、高効率化および安定燃焼の実現といった、発電装置として必要な目標については全て達成が確認されている。

成果の意義

- 世界初となるドライ方式を適用した水素専焼ガスタービン発電所が落成したことは、高効率なドライ方式燃焼器が実用レベルの完成度であることを証明したこと他にない。
- 高効率化の達成は、将来の本格的な水素発電におけるランニングコスト低減に大きく寄与し、水素社会の実現に大きく貢献するものとする。

18/45

◆ 成果の普及

	2019年度	2020年度	計
論文(査読付き)	1	0	1件
研究発表・講演	21	8	29件
新聞・雑誌等への掲載	14	4	18件
プレスリリース	0	5	5件
展示会への出展	4	0	4件
その他 (パンフレット、動画、HP、報告書等)	6	4	10件
現地視察	111	18	129件

- 2019年5月～2020年9月末までの成果公表実績は上表の通り。
- 国内外より多数の視察者を受入れ。
(設備完成後の2018年2月からの累計で延べ263回・46ヶ国・2,500人以上)
- 国内外で新聞・雑誌の記事として多数掲載された。
- 水素エネルギー活用の普及啓発、社会受容性の向上に向けて積極的に発信・展開した。

19/45

◆ 知的財産権の確保に向けた取り組み

戦略に沿った具体的取組

- 本事業において開発した「燃焼振動」の抑制および「発電効率」の向上に係る技術に関して特許出願を準備中。

	2019年度	2020年度	計
特許出願(うち外国出願)	0	(1)※	(1件)

※出願準備中

【補足】 ベースとなる特許出願（本事業開始前の特許出願）

燃焼器構造について：特許 2017-515291, 特許 2016-523566 ガスタービンエンジンの燃焼装置
 実機ガスタービン運転時の燃料操作について：特願2017-096984 ガスタービン燃焼器および運転方法
 燃焼装置について：特願2018-247952 燃焼装置

20/45

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

- 本プロジェクトの完遂により、ドライ方式水素ガスタービンは実用化に大きく近づくと考えられる。実証で明らかになった課題が有れば、実用化に向けた課題の解決に取り組む。実用化技術を確立した後は、水素の流通価格の低減の推移、および副生水素の発電利用のニーズも見つつ、2020年代には水素発電の需要が顕在化し、本格的な事業化に至ると考えられる。

◆成果の実用化・事業化の見通し（概要・取組）

- 研究開発を行う製品・サービス等の概要
 - (1) 内容
工場やビル等の商業施設において、水素を燃料としたガスタービンコージェネレーションシステム(水素CGS)の販売およびアフターサービス。
 - (2) 用途（販売予定先）
自社工場やビルを所有する民間の事業者。
水素を燃料として使用した発電を行う発電事業者。
- 研究開発への取組
 - (1) 研究開発を考えるに至った経緯（動機）
今後のエネルギーの方向性の1つとして、CO₂削減に効果の大きい水素による発電が提唱されており、政府方針でも水素発電は取り上げられている。
 - (2) 事業として成功すると考えた理由
今後、事業者がCO₂削減を考える際に、水素発電は最も効果的な手段として大きな需要が見込まれ、効率の高いドライ燃焼方式はランニングコストの面で事業者にメリットがあるため。

◆成果の実用化・事業化の見通し（市場の動向・競争力）

● 市場の動向・競争力

(1) 市場規模（現状と将来見通し）／産業創出効果

CO₂排出量削減の機運を受け、国内外において、今後は自家用や研究機関向けを中心に水素ガスタービン発電の**需要が徐々に拡大**するものと思われる。

(2) 競合が想定される他社の開発動向とそれに対する優位性の根拠

日立製作所（現 三菱パワー）、GE社他においても水素ガスでのドライ燃焼技術の開発が進められているが、今回の開発では**競合他社に先駆けて実用レベルのドライ低NOx水素専焼ガスタービンの完成**を目指している。

(3) 価格競争力

ドライ低NOx水素専焼ガスタービンは、需要先のニーズに適う製品として、**高い付加価値**を有する。

◆成果の実用化・事業化の見通し（売上見通し）

● 売上見通し

(1) 売上見通し

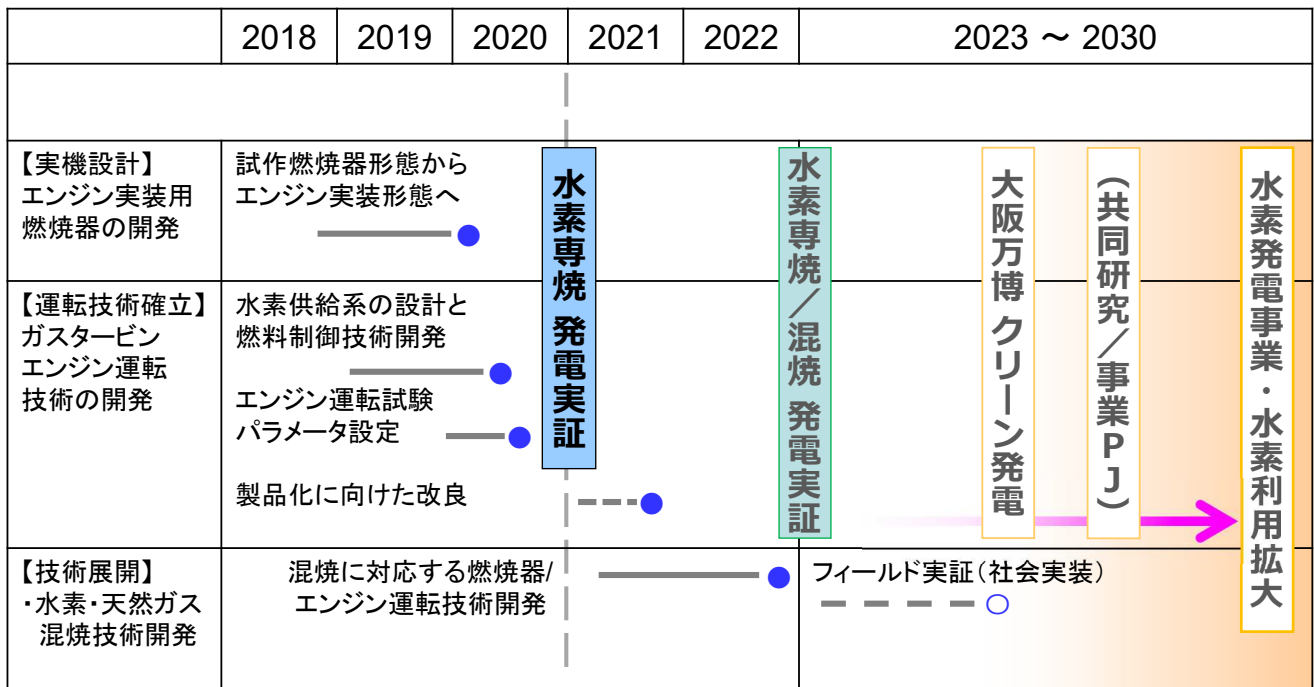
水素CGSの売上が急速に伸び始めるのは**2020年代と想定**している。売上については水素の流通価格の他に様々な要因が影響するために、一概に現時点で見通しを立てるのは難しいものの、自家用向け水素発電の需要拡大見通しを背景として、**水素ガスタービンは大きな売り上げ見込み**が期待できる。

(2) 売上見通し設定の考え方

政府方針（水素・燃料電池戦略ロードマップ）においては、2020年代には**海外からの大規模な水素導入**が始まり、自家用向けに**水素発電の普及が進む**と示されている。

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取り組み



● : 基本技術確立

25 / 45

4. 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みについて

◆ 波及効果

- 本プロジェクトにて技術開発を行う1 MW級水素ガスタービンの年間の水素消費量は、販売されている燃料電池自動車（FCV）の約2万台分に相当することから、水素社会の実現に向けた新たな水素需要の創出に大きく貢献するものである。

26 / 45

B. 冷熱活用システムの検討

27 / 45

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆背景・目的

- わが国では、温暖化対策として2030年を目標にCO2フリーの液体水素の導入を目指しているが、LNGに比べ、経済的に厳しい面がある。しかし、液体水素は大気圧における沸点が約-250℃とLNGの約-160℃より低く、化学エクセルギーに対する低温物理エクセルギーの比率（同一質量流量にて）は、LNGの1.8%に対して12.5%ある。こうした背景から、水素の大量導入による冷熱利用により、ガスタービン複合発電の高効率化（目標効率2ポイントアップ）、高稼働率化システム（外気温度に影響を受けない）を提案する。

28 / 45

◆技術開発の目標

水素の大量導入による冷熱利用により、ガスタービン複合発電の高効率化（目標効率2ポイントアップ）、高稼働率化システム（外気温度に影響を受けない）を提案し、将来の本格的な水素発電の普及に向けた水素専焼運転での更なる高効率化、低コスト化運用に向けた研究を行う。

◆個別研究開発項目の目標と達成状況

開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①冷熱利用熱交換器の基礎検討	熱利用熱交換器の基礎検討を行い、液化水素の気化冷熱を活用し空気を冷却する場合の課題を抽出し、その解決策を検討	<ul style="list-style-type: none"> ・基礎検討完了 ・課題抽出、対応策検討完了 ・熱交換器試設計完了 	○	課題なし
②蒸発器の着霜防止効果を定量評価	冷熱利用による蒸発器の着霜防止効果を定量的に確認	<ul style="list-style-type: none"> ・シミュレーションによる評価完了 ・実験装置による評価を実施予定 	△	シミュレーションと実験結果比較によるシミュレーション精度向上
③空気冷却器着霜発生条件を把握	空気冷却器の模型着霜実験を行い、空気冷却器における着霜発生境界条件を確認	着霜実験結果を踏まえ評価予定	△	実験結果により課題を抽出予定
④冷熱利用の経済合理性の定量評価	冷熱利用によるガスタービンの発電出力向上効果を定量的に確認	<ul style="list-style-type: none"> ・定量評価シミュレーション完成 ・試設計および工事費の算出完了 ・着霜実験結果を踏まえ評価予定 	△	実験結果により課題を抽出予定

◆ 個別テーマの実施内容

B. 冷熱活用システムの研究

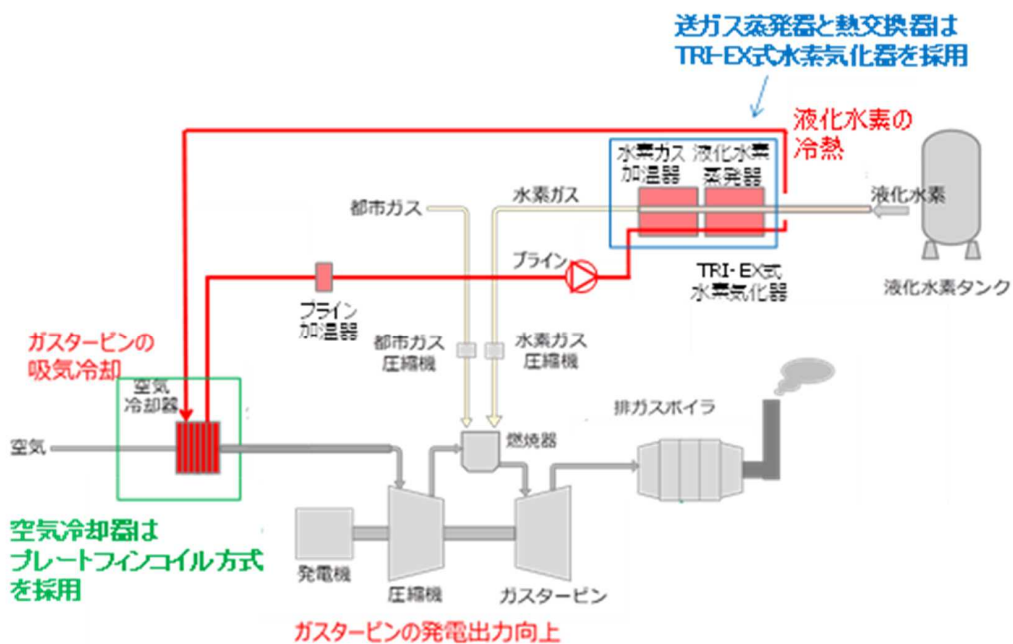
・研究方針

液化水素の冷熱をガスタービンの吸気冷却に活用するシステムについて検討するため、液化水素の蒸発器を液温式（液体/液体）とし、既存のLNG気化器の構造にならい水素用気化器を試設計し、その性能を研究することとした。また、冷熱を用いてタービン給気を冷却するための空気冷却器は、シンプルなシステム構成、運転制御・運用保守のし易さ、導入実績を鑑み、プレートフィンコイル方式を採用した。研究は、プロセスシミュレーションでこのモデルを構築し、発電出力向上効果（概算）を確認することで行った。

・システム構成

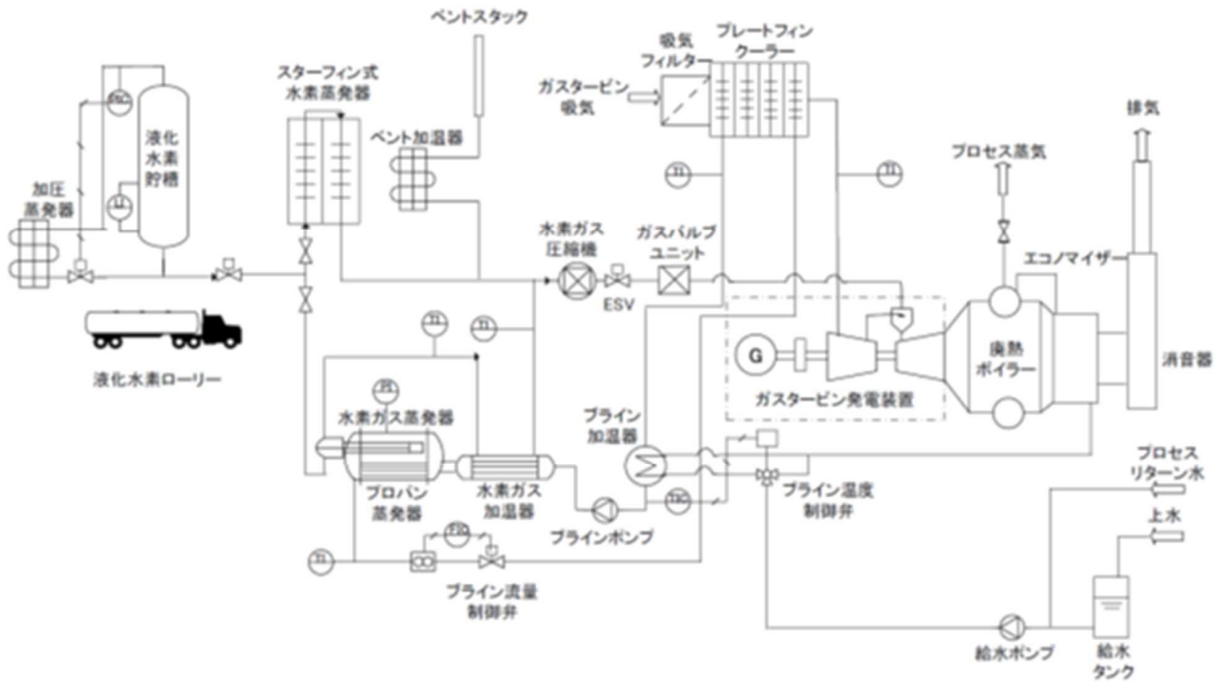
液化水素冷熱を直接冷却媒体と熱交換させると、媒体の凍結や着霜の問題が生ずるため、プロパン等を中間媒体とし、タービン給気を冷却のためにブラインを介して取得した熱でプロパン蒸気を気化させ、気化したプロパン蒸気を水素冷熱で冷却するというシステム構成とした。なお、中間媒体やブラインは各種比較検討し、本実証に最適な材料を選定した。

◆ 個別テーマの実施内容



システム構成イメージ

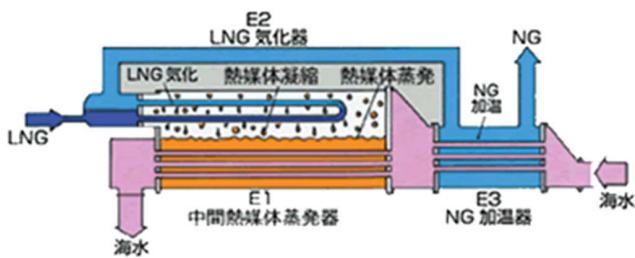
◆個別テーマの実施内容



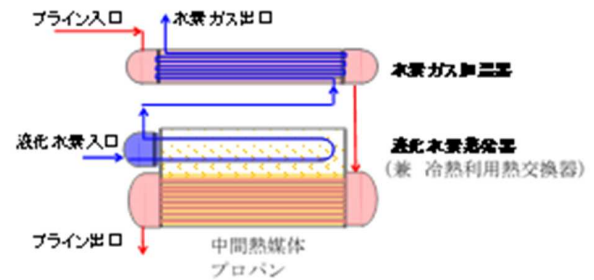
シミュレーション対象としたシステム構成イメージ

◆個別テーマの実施内容

液化水素冷熱を直接冷却媒体と熱交換させると、媒体の凍結や着霜の問題が生ずるため、プロパン等を中間媒体とし、タービン給気を冷却のためにブラインを介して取得した熱でプロパン蒸気を気化させ、気化したプロパン蒸気を水素冷熱で冷却するというシステム構成とした。なお、中間媒体やブラインは各種比較検討し、本実証に最適な材料を選定した。



LNG気化器の構成

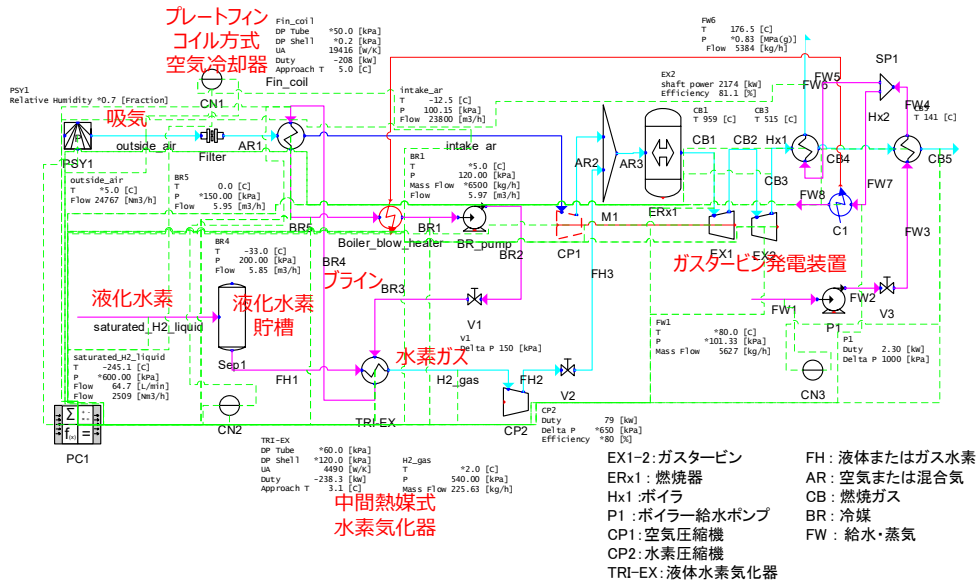


水素用気化器の構成

◆ 個別テーマの実施内容

・シミュレーションモデルの構築

中間熱媒式 水素気化器を組み込んだシミュレーションモデルを構築し、液化水素冷熱でガスタービンの吸気を冷却した場合の発電出力・効率を評価した。



シミュレーションモデル

◆ 個別テーマの実施内容

・シミュレーションモデルの結果の一例

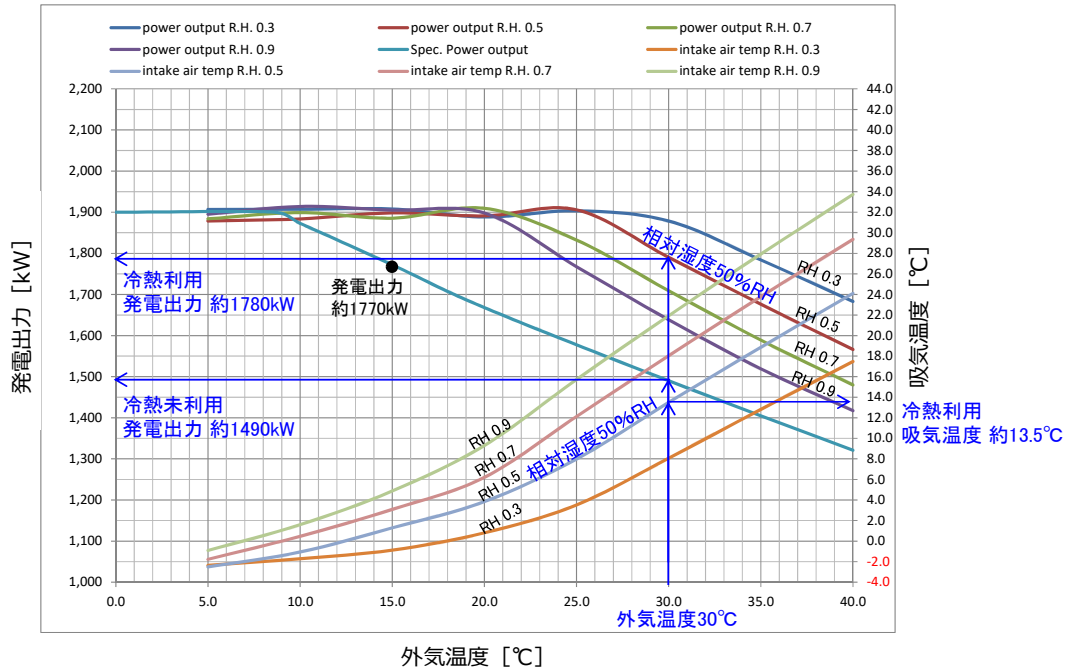
吸気冷却ガスタービンシステムの発電出力を予想するため、カタログデータのメタン燃料の総合熱効率、発電出力、ヒートレート（発電効率）、出口排ガス温度に合わせて、発電機/減速機の効率を一定として、吸気温度に応じた定格負荷の吸気容積、タービン入口燃焼ガス温度、断熱熱効率、燃料及び空気流量（空燃比）、蒸気発生量、排ガス流量・温度を評価した。1MW級ガスタービンにおける発電出力、発電量、発電効率の向上効果を試算した。1MW級ガスタービンの場合では、

- 発電出力 およそ年間平均 130kW 増加 (8%増加)
- 発電量 およそ年間あたり 1200MWh/年 増加 (8%増加)
- 発電効率 およそ年間平均 0.8ポイント 向上

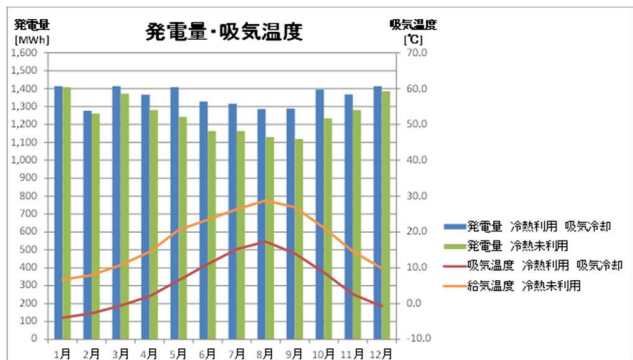
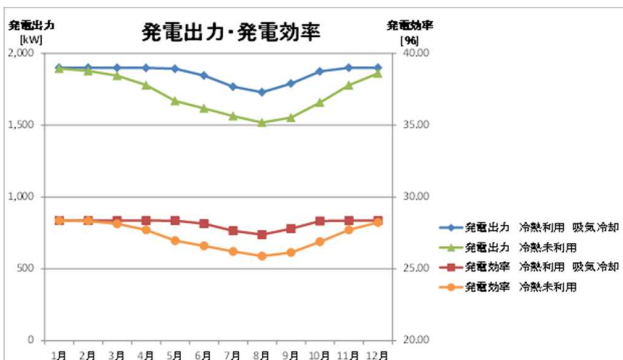
が得られることが確認できた。

◆ 個別テーマの実施内容

外気温度・相対湿度と発電出力の関係
外気温度・相対湿度と吸気温度の関係

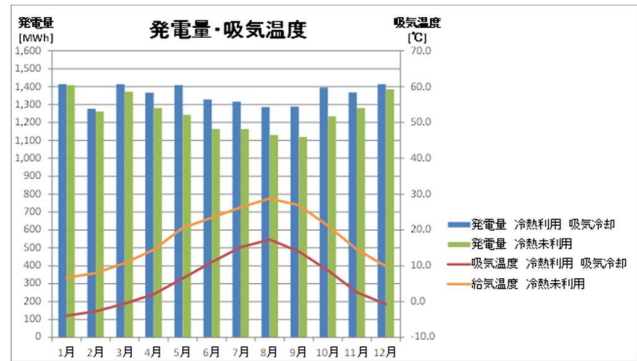
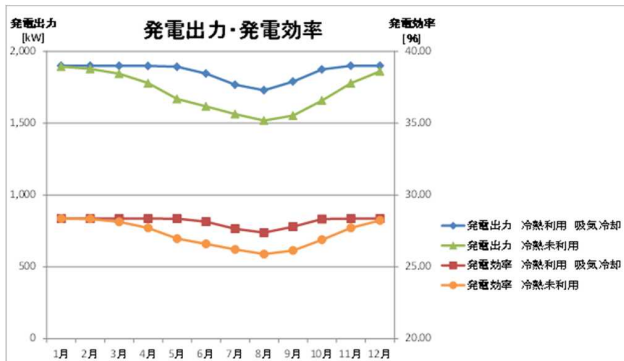


◆ 個別テーマの実施内容



各月ごとの冷熱利用効果

◆ 個別テーマの実施内容



各月ごとの冷熱利用効果

◆ 個別テーマの実施内容

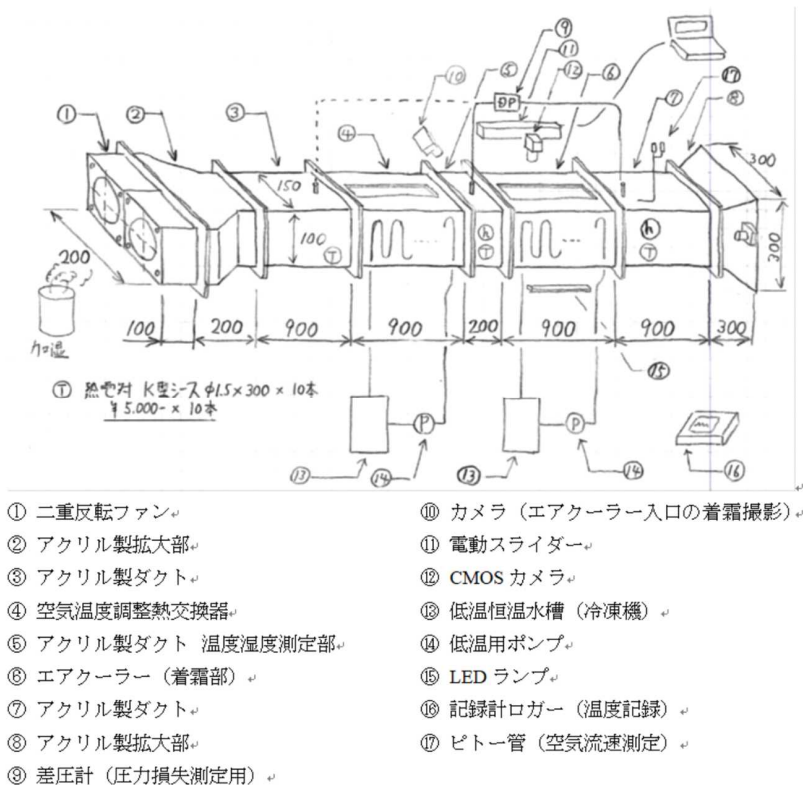
・タービン給気冷却における課題

本研究により液化水素気化時の着霜は解決するものの、得られた冷熱をガスタービン吸気冷却に利用する場合、空気冷却器においても外気条件、空気冷却温度によってはコイル表面が着霜する。着霜した場合、空気冷却器での熱交換効率低下に伴い空気冷却効果が低下し（空気温度が下がらず）、発電出力向上効果の低下が懸念される。また、着霜による圧力損失増加に伴い吸気量が低下し、発電出力の低下が懸念される。冷熱を最大限活用するためには、着霜を抑制した運用が鍵となる。

・課題への対策

霜の形成過程は複雑で、これまで具体的な知見は見受けられない。そのため、着霜発生の条件、あるいは、着霜しない限界の条件について実験を通して探り、その結果をシミュレーションに反映させ、計算精度を高めることとした。そこで、空気冷却器の着霜評価実験（模擬実験）を行うこととし、10月から実験開始を予定している。

◆ 個別テーマの実施内容



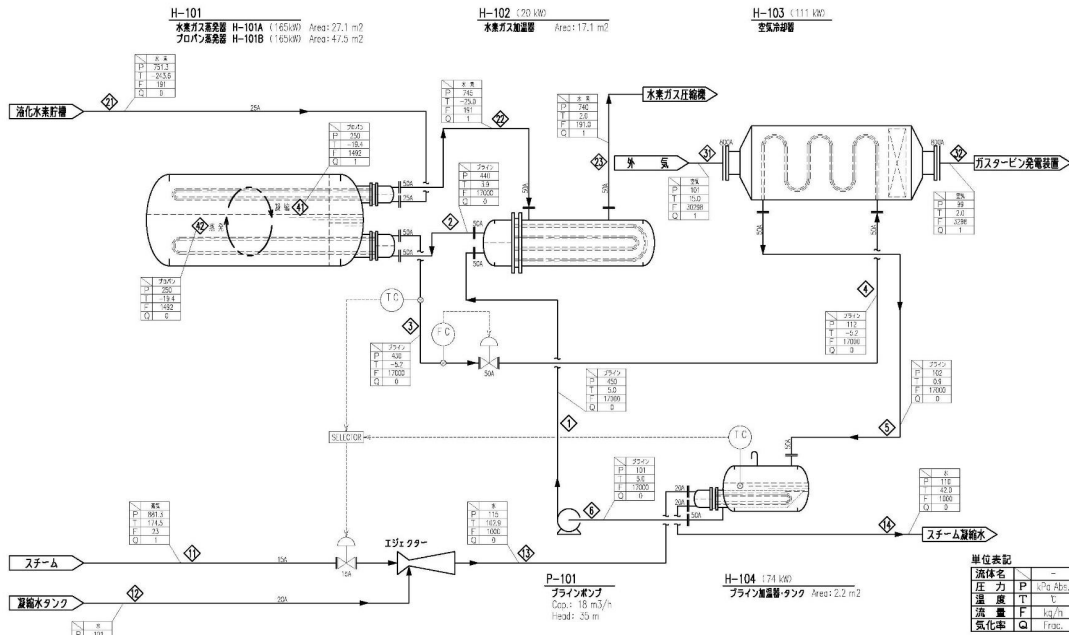
◆ 個別テーマの実施内容

・冷熱活用システムの経済合理性評価

冷熱活用システムの経済性を確認するため、1メガワットの水素ガスタービン向けの液化冷熱システムの試設計（主要機器選定、配管系統図、配置図、配管フロー図作成および工事費の概算見積もり）を実施した。先の着霜実験の結果を踏まえた液化冷熱利用効果と合わせて、システム全体の経済合理性を評価する予定である。

◆ 個別テーマの実施内容

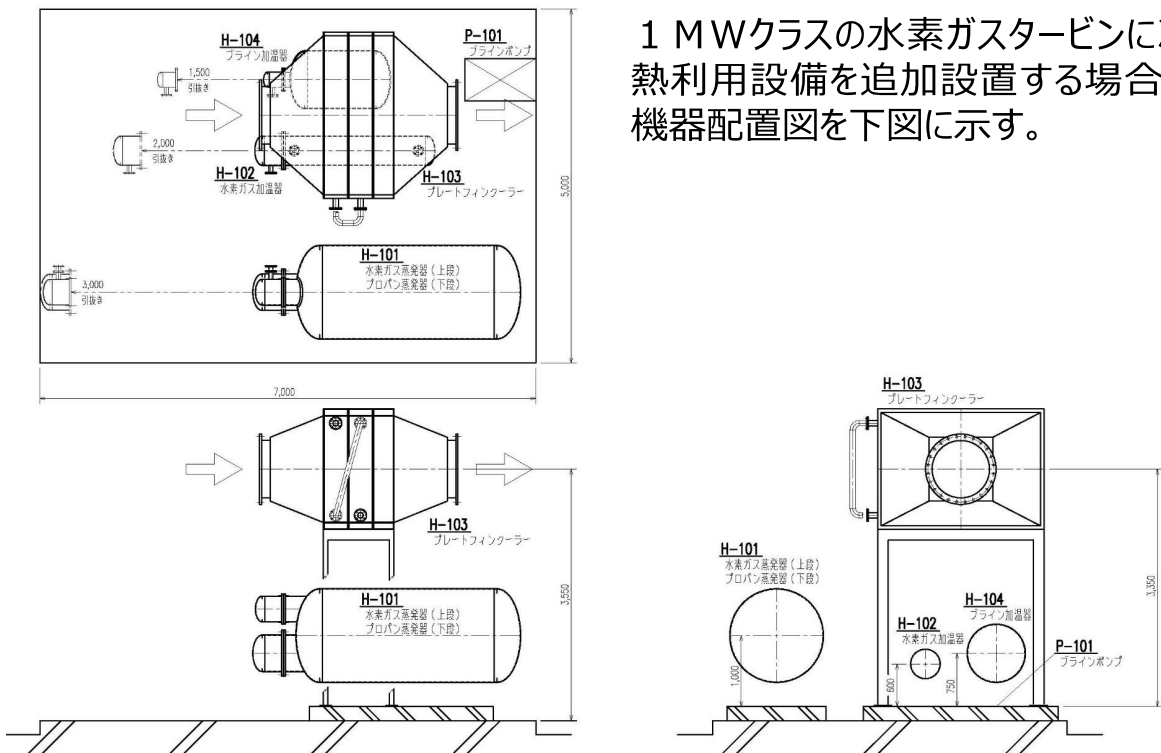
1 MWクラスの水素ガスタービンに冷熱利用設備を追加設置する場合の基本設計を行った。そのプロセスフローダイアグラムを下図に示す。



プロセスフローダイアグラム

◆ 個別テーマの実施内容

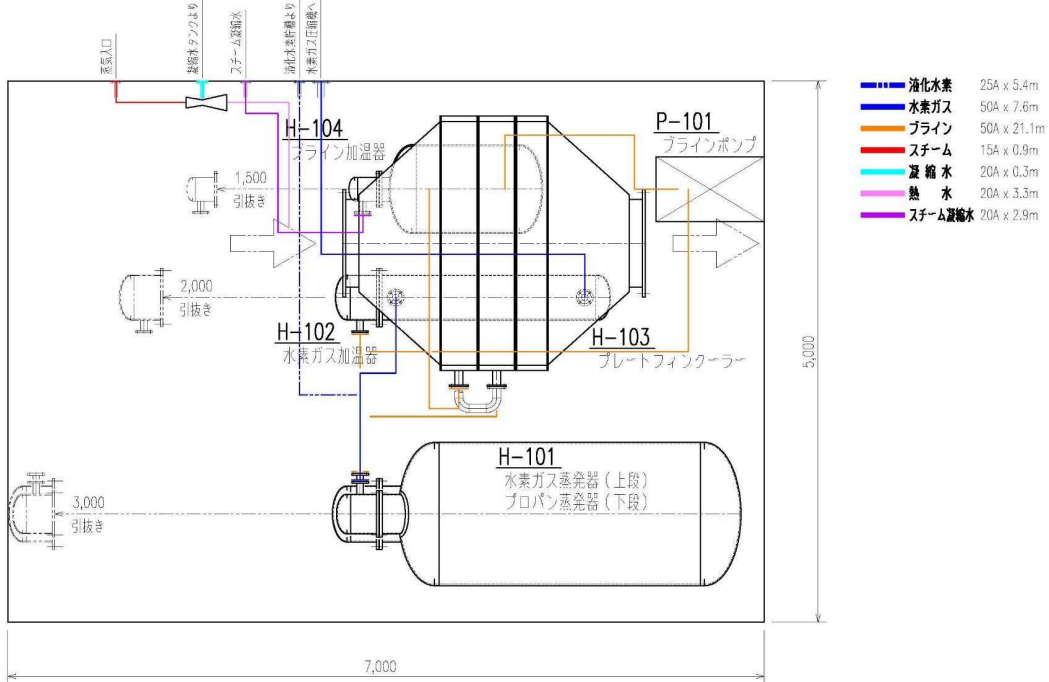
1 MWクラスの水素ガスタービンに冷熱利用設備を追加設置する場合の機器配置図を下図に示す。



機器配置図

◆ 個別テーマの実施内容

1 MWクラスの水素ガスタービンに冷熱利用設備を追加設置する場合の基本設計を行った。その配管平面図を下図に示す。



配管平面図

(Ⅱ-⑨)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／CO2フリーアンモニア利用GTCCシステムの技術開発」

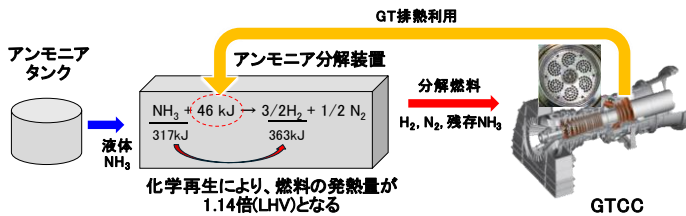
助成先：三菱パワー
委託先：三菱重工業、三菱重工エンジニアリング

●成果サマリ（実施期間：2019年度～2020年度終了予定）

- (1) NH3分解水素ガスと天然ガスの混焼システムの起動要領を検討するとともに、本システムの発電コストを評価した。2020年度は専焼システムの検討を実施中。
- (2) 混焼システムのNH3分解反応器の構造も含めた試設計を実施、NH3分解触媒表面の被毒物質等を分析した。2020年度は材料、触媒の試験を実施中。
- (3) 燃焼器の検討は、既存実圧燃焼試験装置の燃料系統に微量NH3を供給する系統を計画し、2020年12月に試験実施予定。

●背景/研究内容・目的

- 水素キャリアとして有望なアンモニア(NH3)を熱分解により再水素化し、水素燃焼ガスタービンで発電するシステム(下図)を対象とする。
- 経済性、運用性を考慮した改良システム構成の検討、NH3分解装置の大型化、分解触媒性能の評価、実圧燃焼試験によるNOx転換特性の検討を実施し、本システムの実用化に必要な技術を開発することを目的とする。



●研究目標

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

●実施体制及び分担等

【助成】

NEDO — 三菱パワー (実施項目(1)～(3))

【委託】

三菱重工業 (実施項目(1)～(3))

三菱重工エンジニアリング (実施項目(2))

●これまでの実施内容／研究成果

- (1) NH3分解水素専焼システムの系統構成、部分負荷ヒートバランス、起動停止手順を検討した。
NH3燃料の価格と本システムの建設費をパラメータとし、本システムの発電コストを評価した。
- (2) NH3分解装置に関して、分解反応器の試設計を実施した。
高温かつ高濃度のNH3の条件下で使用されるNH3分解反応器の材料、触媒について、材料の耐窒化性の観点、触媒の被毒、比表面積の観点から試験及び検討を実施中。
- (3) NH3分解ガス混焼条件(水素20 vol%)における実圧燃焼器のNOx性能を検証する準備を進めており、2020年末に実圧燃焼試験を実施。
分解ガス中の残留NH3がFuel NOxに転換される割合を解析評価中。

●今後の課題

- (1) 専焼システムの場合にガスタービン排ガス側から分解装置側へ熱を伝える手段、部分負荷での運用。
- (2) 触媒、材料試験に関し、より長時間での被毒、熱劣化を評価する。
- (3) 2020年末に計画通りに実圧燃焼試験を実施する。

●実用化・事業化の見通し

2021年度以降、本システムの改良検討、概念設計、事業性検討を経て、実証試験、実用化に繋げる。

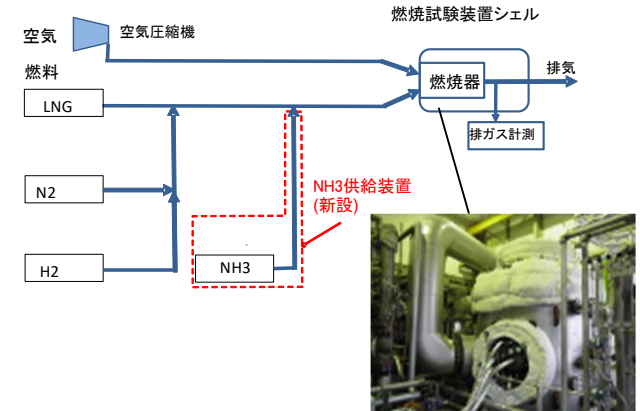


図 実圧燃焼試験装置の微量NH3供給系統

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価	
(1) システム構成の検討	<ul style="list-style-type: none"> 混焼システムの起動要領を検討 NH3燃料の価格と本システムの建設費をパラメータとし、本システムの発電コストを評価 	達成	
(2) NH3分解装置の検討	<ul style="list-style-type: none"> 混焼システムのNH3分解反応器の構造も含めた試設計を実施 NH3曝露試験で触媒表面の被毒物質の分析、触媒比表面積変化を計測 	達成	
(3) 燃焼器の検討	既存実圧燃焼試験装置の燃料系統に微量NH3を供給する系統を計画	達成	
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	0	7	0

「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／CO₂フリーアンモニア利用GTCCシステムの技術開発」(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

助成先：三菱パワー

2020年12月4日

1/19

3. 研究開発成果について

◆背景・目的

●背景

2017年12月に策定された水素基本戦略では、2030年に水素のコストを30円/Nm³、発電コストを17円/kWhにする目標が示された。水素の運搬・貯蔵手段として、液化水素だけでなく、アンモニアや有機ハイドライド等の水素キャリアを活用することが示された。

●目的

水素キャリアとして有望なアンモニアを熱分解により再水素化し、水素燃焼ガスタービンで発電するシステムに関し、経済性、運用性を考慮した改良システム構成の検討、アンモニア分解装置の大型化、分解触媒の寿命や被毒物質等に関する調査、実圧燃焼試験によるNO_x転換特性の検討を実施し、本システムの実用化に必要な技術を開発することを目的とする。

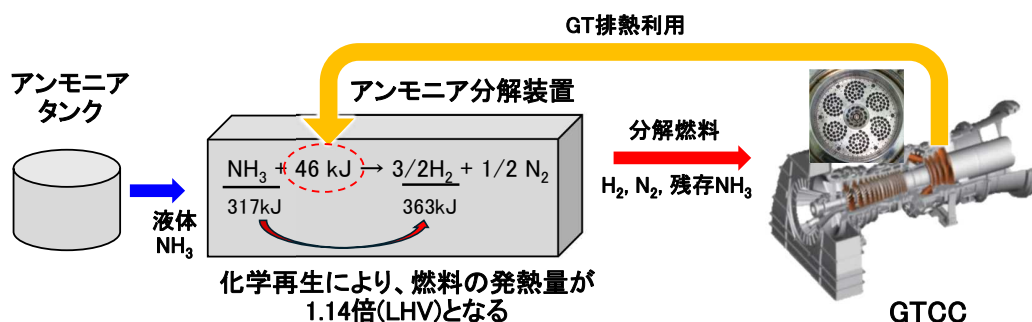


図 CO₂フリーアンモニア利用GTCCシステム概念図

2/19

3. 研究開発成果について 概要と特徴 (1/2)

- アンモニアを大型ガスタービン(GT)で直接利用するには、燃焼器のサイズ、NOxの問題がある。
- 本システムは熱利用の工夫により、アンモニアを水素と窒素に分解し、水素燃焼GTにより発電。
- GT排熱を利用してアンモニアを熱分解(またはアンモニアの自己熱分解)させるため、再水素化に伴うエネルギー損失が少なく高効率化のポテンシャルがある。

表 アンモニア燃焼の特徴と大型GTの制約

アンモニア燃焼の特徴	大型ガスタービンにおける制約
燃焼速度が遅い (メタンの約1/5)	<ul style="list-style-type: none"> ・燃焼完了に必要な時間を確保するため、燃焼器サイズが大 ・大型ガスタービンは多缶式燃焼器のため燃焼器のサイズ拡大に制約
燃料中窒素を含有する	<ul style="list-style-type: none"> ・Fuel NOxの発生; 大型GTはThermal NOxの許容範囲で燃焼ガス温度を高温化しており、Fuel NOx増加を許容する余地が少ない。 ・二段燃焼等低NOx化は、燃焼器の大型化や複雑化など技術課題が多い。

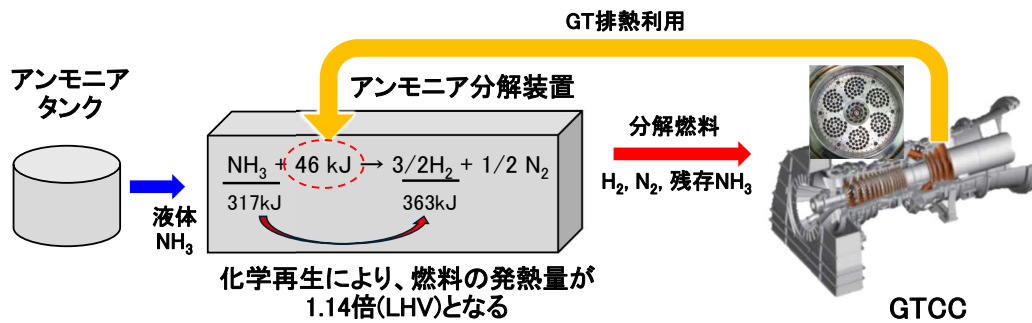




図 CO₂フリーアンモニア利用GTCCシステム概念図

3/19

3. 研究開発成果について 概要と特徴 (2/2)

- 技術開発の進捗、燃料インフラの整備状況に応じて (a)天然ガスとの混焼、(b)分解ガス専焼システムが考えられる。
- NEDO開発中の「水素専焼対応型燃焼器」と組合せ、500MW級GTCCで年間110万tのCO₂削減、年間18万t相当の水素利用が可能。(専焼システム、稼働率70%想定)

システム	(a) 混焼システム(出力約430MW)	(b) 専焼システム(出力約530MW)
燃料組成	天然ガス(主成分: CH ₄)に、NH ₃ 分解ガス(H ₂ =75 vol%, N ₂ =25 vol%)混合	NH ₃ 分解ガス(H ₂ =75 vol%, N ₂ =25 vol%)
NH ₃ の発熱量割合	約6.5% (水素体積割合20%の場合)	100%
必要な機器	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的小さなNH₃分解装置(約10 t/h) ・水素混焼(体積割合約20%)燃焼器  <p>図 予混合 Dry Low NOx 燃焼器</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的大きなNH₃分解装置(約170 t/h) ・水素専焼燃焼器  <p>図 マルチクラスタ燃焼器 (NEDO事業「水素専焼対応型 Dry Low NOx高温ガスタービンの研究開発」より)</p>
CO ₂ 削減量*	3万t/年/台	110万t/年/台
水素利用相当量	1万t/年/台	18万t/年/台
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・既存システムの改造(レトロフィット)も可能 ・専焼システムよりも開発要素小 	CO ₂ 削減効果大

*: 同一GTの天然ガス焼き時に対する削減量

4/19

開発項目	中間目標 (中間評価時点)	成果	達成度	今後の課題と 解決方針
① システム構成の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・混焼システムの起動停止手順、経済性の検討 ・専焼システム改良案の構成検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・混焼システムの起動要領を検討 ・NH3燃料の価格と本システムの建設費をパラメータとし、本システムの発電コストを評価 ・分解ガス専焼システムについて、改良案を評価 	○	専焼システムの改良案に対して起動停止手順の検討/経済性の評価
②アンモニア分解装置の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・NH3分解装置の基本試設計(混焼) ・触媒性能被毒物質調査 	<ul style="list-style-type: none"> ・H2濃度20%混焼のNH3分解装置全体のシステム構築と熱物質収支を検討し、NH3分解反応器の構造も含めた試設計を実施 ・NH3曝露試験(100時間、500時間)で触媒表面の被毒物質の分析、触媒比表面積変化を計測 ・分解装置材料のスクリーニング試験を実施 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・NH3分解装置の詳細試設計(混焼) ・触媒劣化性能評価
③燃焼器の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・実圧燃焼試験装置にNH3供給システムを追設計画 ・一次元解析によるガスタービン燃焼器のNOx排出量予測 	<ul style="list-style-type: none"> ・天然ガスとNH3分解ガスの混焼試験のため、既存実圧燃焼試験装置の燃料系統に微量NH3を供給する装置と系統を計画 ・燃焼器の基礎燃焼特性を詳細化学反応計算、気流試験による燃料濃度分布計測、CFD解析にて実施 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・実圧燃焼試験及び結果検討 ・燃焼解析によるNOx評価

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

① システム構成の検討

成果: NH3分解ガス混焼システムの系統構成、起動要領を検討

意義: 定格出力だけでなく、部分負荷においてもヒートマスバランスが成立するNH3分解ガス混焼システムの構築を進めることができた

課題と対応: より排熱利用量が多いNH3分解ガス専焼システムに対して、系統構成、起動手順を検討する

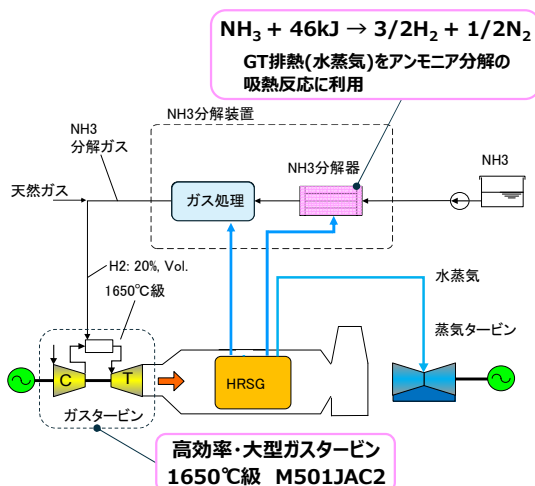


図 天然ガスとアンモニア分解ガスの混焼ガスタービンシステム(燃焼器入口水素濃度20体積%)

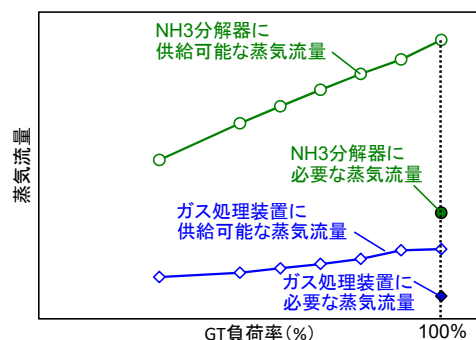
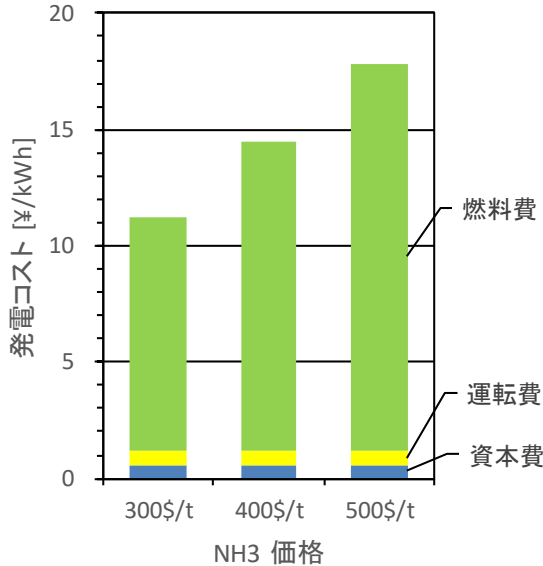


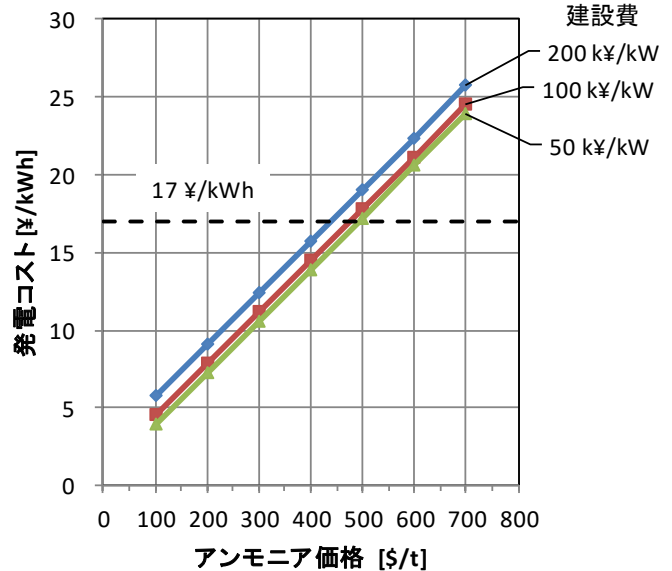
図 NH3分解器およびガス処理装置に必要な蒸気流量とボトムングから供給可能な蒸気流量(混焼システム)

① システム構成の検討

成果: NH₃燃料の価格と本システムの建設費をパラメータとし発電コストを評価
 意義: 本システムの発電コストは燃料費が支配的であり、システム設計の指針を得た
 課題と対応: 将来のCO₂フリーNH₃燃料のコスト見通しを調査し経済性評価する



プラント全体建設費=100 k¥/kWの場合の
 発電コスト内訳 (分解ガス専焼、2030年度運開)



アンモニア価格と発電コスト
 (分解ガス専焼、2030年度運開)

②アンモニア分解装置の検討

成果: H₂濃度20%混焼のNH₃分解装置全体のシステム構築と熱物質収支計算によりNH₃分解反応器の構造も含めた試設計を実施

意義: 開発項目①のGTCCシステム全体の熱収支評価や起動手順の評価を可能とした
 課題と対応: 開発項目①の検討から得られた知見を反映し、NH₃分解装置の詳細試設計を実施する

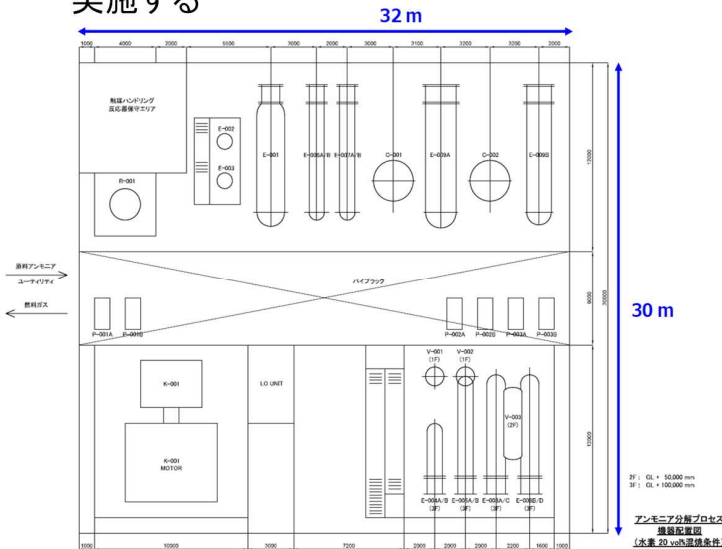


図 NH₃分解装置の概略機器配置 検討結果例
 (燃焼器入口水素濃度20体積%ケース)

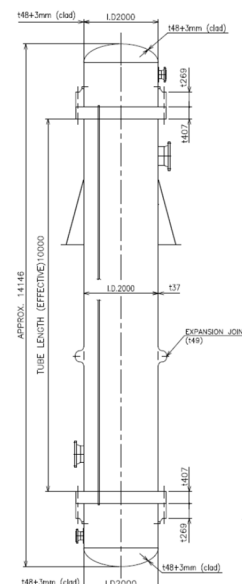


図 NH₃分解反応器の試設計結果例

②アンモニア分解装置の検討

成果: NH₃曝露試験(100 h、500 h)で触媒表面の被毒物質の分析、触媒比表面積変化を計測。また、分解装置材料のスクリーニング試験を実施

意義: NH₃分解反応器の運転条件、適用材料などを絞り込み可能とした

課題と対応: 窒化を考慮した材料の選定とNH₃分解装置の運転条件の選定

表 アンモニア曝露試験(100 h、500 h)における触媒比表面積 (単位: m²/g) の変化

Run No.	Run1-1,1-2	Run2-1,2-2	Run1-1,1-2	Run2-1,2-2
触媒	非貴金属系触媒		貴金属系触媒	
温度	500 °C	600 °C	500 °C	600 °C
試験前	96.03	96.03	138.56	138.56
(H ₂ 還元処理後)	70.33	70.33	108.42	108.42
100 h曝露後	74.86	69.28	110.91	108.56
500 h曝露後	70.11	75.92	108.19	108.28

アンモニア曝露(100 h、500 h)も、試験開始時(H₂還元処理後)と比表面積の値に変化なし。また、表面分析の結果でも、堆積物は検出されず。したがって、アンモニアおよび加熱による触媒の変化は認められない。引き続き2,000 hまで試験実施予定。

②アンモニア分解装置の検討

分解反応管を構成する材料は、高温高圧のNH₃と接するため、耐窒化(脆化)材料を使用する必要がある。

温度、NH₃濃度などを変化させた材料スクリーニング試験を実施中、2,000 hまで実施予定。

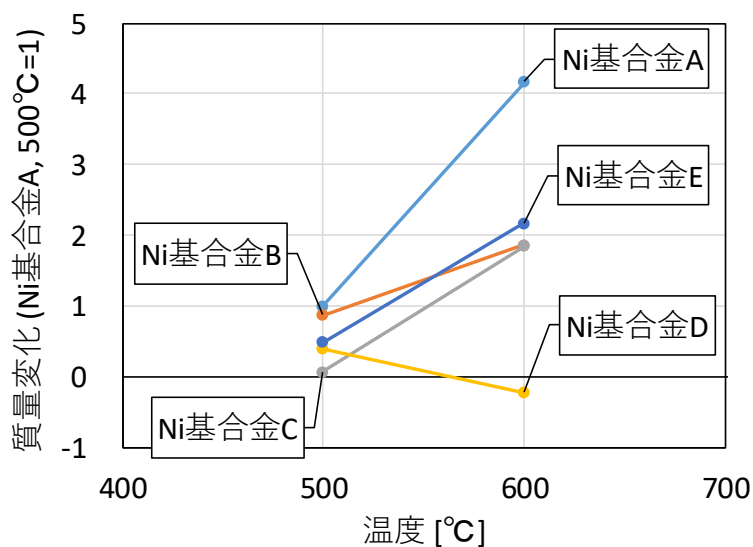


図 アンモニア曝露試験における材料の質量変化(500 h曝露後)

③ 燃焼器の検討

成果:天然ガスとNH3分解ガスの混焼試験のため、既存実圧燃焼試験装置の燃料系統に微量NH3を供給する装置、系統を計画

意義:2020年末に予定している実圧燃焼試験に必要な燃料供給系の手配を可能とした
課題と対応:実圧燃焼試験及び結果検討

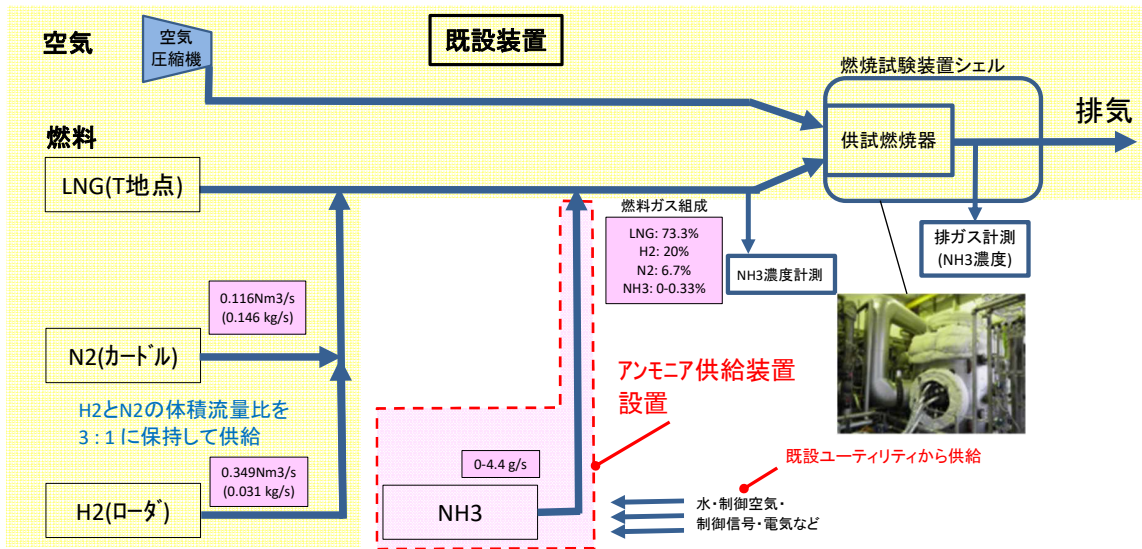


図 実圧燃焼試験装置の燃料系統 検討結果

③ 燃焼器の検討

成果:燃焼器の基礎燃焼特性を詳細化学反応計算、気流試験による燃料濃度分布計測、CFD解析にて実施

意義:2020年度に実施予定の実圧燃焼試験の供試燃焼器の燃料ノズル仕様、計測機器の仕様等を明らかにし試験装置の準備を可能とした

課題と対応:実圧燃焼試験の結果分析と燃焼解析による実機のNOx予測評価

表 予混合ノズル出口燃料濃度分布およびNOx濃度予測(CFD結果)

燃料種類	天然ガス	アンモニア分解ガス混焼	
燃料温度	320℃	320℃	150℃
燃料分布			
最高温度 (燃料分布より)	ベース	-67℃	-3℃
NOx濃度比較 (CFD結果)	ベース	+18%	+23%

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

- 本事業の目的は本システムの実用化に必要な技術を開発することであり、① システム構成の検討、②アンモニア分解装置の検討、③燃焼器の検討を当初計画どおりに実施しており、目的を達成しつつある。
- 本事業による検討の結果、従来実績のない機器構成/運転条件となる部分が明らかになりつつあり、本事業終了後にその部分の要素実証をおこなうことにより、本システムの実用化へ結びつけることが可能となる。
- 本システムが実用化されれば、NEDO開発中の「水素専焼対応型燃焼器」と組合せ、500MW級GTCCで年間110万tのCO2削減、年間18万t相当の水素利用が可能となる。(専焼システム、稼働率70%想定)

13/19

◆成果の普及

- 2019年度は水素燃焼ガスタービンの研究発表で、水素燃料の供給手段の一つとして本システムの紹介を6回実施した。
- 2020年度は本事業単独で実施内容の紹介を1回実施。

	2019 年度	2020 年度	計
研究発表・講演	6	1	7件

※2020年10月末現在

14/19

◆ 知的財産権の確保に向けた取り組み

- 本システムの基本的な特許は本事業の開始前に出願済である。
- 本事業開始後は、2021/1頃に1件の出願を予定している。

	2019 年度	2020 年度	計
特許出願(うち外国出願)	0	1 (1)	1件 (1件)

※ 2020年10月末現在

15 / 19

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

開発項目	現状	最終目標(2020年度末)	達成見通し
① システム構成の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・専焼システムの燃料切替負荷検討完了 ・NH3分解装置との熱の授受のモデル構築中 	他のCO2フリーシステムと比較して経済的に優位(目標: 17 円/kWh以下(2030年))で運用性に優れたシステム構成/運転条件の検討	NH3分解装置の詳細設計を反映し、専焼システムの起動停止手順の検討/経済性の評価を完遂の見込み
②アンモニア分解装置の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・H2濃度20%混焼のNH3分解装置全体の詳細試設計を実施中 ・材料および触媒のNH3曝露試験(2,000 h)の実施中 	<ul style="list-style-type: none"> ・NH3分解装置の機器構成の決定、分解後の残留NH3濃度0.38%以下 ・触媒の実使用環境を考慮した寿命や性能評価 	開発項目①の検討から得られた知見を反映し、NH3分解装置の詳細設計を完遂の見込み ・2,000 hの触媒および材料の曝露試験を完遂見込み
③燃焼器の検討	<ul style="list-style-type: none"> ・LNGとNH3分解ガスの混焼試験のため、燃料系統に微量NH3を供給する装置と系統を計画 ・燃焼器の基礎燃焼特性を詳細化学反応計算、気流試験、CFD解析にて実施 	NH3分解ガス混焼条件(水素体積割合20%)における実圧燃焼器のNOx性能の検証	2020年末に実圧燃焼試験を実施し、分解ガス中の残留アンモニアがFuel NOxに転換される割合を確認する見通し



16 / 19

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

- 「実用化・事業化」の考え方は、当事業で開発したアンモニア分解装置が組み込まれたガスタービンシステムが上市され、他のCO2フリーシステムを超える効率や経済性等、高い競争力により受注を得ることである。

◆成果の実用化・事業化の見通し

- 技術開発の進捗、燃料インフラの整備状況に応じて (a)天然ガスとの混焼、(b)分解ガス専焼システムが考えられる。
- NEDO開発中の「水素専焼対応型燃焼器」と組合せ、500MW級GTCCで年間110万tのCO2削減、年間18万t相当の水素利用が可能。(専焼システム、稼働率70%想定)

システム	(a) 混焼システム(出力約430MW)	(b) 専焼システム(出力約530MW)
燃料組成	天然ガス(主成分:CH4)に、NH3分解ガス(H2=75 vol%, N2=25 vol%)混合	NH3分解ガス(H2=75 vol%, N2=25 vol%)
NH3の発熱量割合	約6.5% (水素体積割合20%の場合)	100%
必要な機器	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的小さなNH3分解装置(約10 t/h) ・水素混焼(体積割合約20%)燃焼器  <p>図 予混合 Dry Low NOx 燃焼器</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・比較的大きなNH3分解装置(約170 t/h) ・水素専焼燃焼器  <p>図 マルチクラスタ燃焼器 (NEDO事業「水素専焼対応型 Dry Low NOx高温ガスタービンの研究開発」より)</p>
CO2削減量*	3万t/年/台	110万t/年/台
水素利用相当量	1万t/年/台	18万t/年/台
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・既存システムの改造(レトロフィット)も可能 ・専焼システムよりも開発要素小 	CO2削減効果大

4. 実用化・事業化の見通しについて

- NEDO事業は2020年度で終了する。
- 2021年度以降、本システムの改良検討、概念設計、事業性検討を経て、実証試験、実用化に繋げる

大項目	中項目	2019	2020	2021~
技術開発	システム構成の検討 (三菱パワー)	システム構成の検討 運用性・経済性	システム熱物質収支検討	
	アンモニア分解装置 (三菱重工エンジ)	NH3分解装置の要求仕様	NH3分解装置の構造検討	改良検討 概念設計 事業性検討
	燃焼器の検討 (三菱パワー)	実圧燃焼試験装置 設計・製作	実圧燃焼試験 試験準備・評価	
実証機 I (現行燃焼器、 水素: 20vol% ≒ NH3: 6.5cal%)	実証機 (ユーザー)			▼運開 設計・製作 実証試験
実証機 II (水素燃焼器、 NH3: 100%利用)	実証機 (ユーザー)			燃焼試験、改良 ▼運開 設計・製作 実証試験

(Ⅱ-⑩)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型DryLowNOx高温ガスタービン発電設備の研究開発」

助成先：三菱パワー株式会社
三菱重工業株式会社

●成果サマリ (実施期間：2020年7月～2021年2月終了予定)

- ・数値解析によりフラッシュバック耐性を改善したノズル構造を設計し、気流試験によりその改善効果を確認した。
- ・燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無くターゲット計画条件にてNOx 50ppm(15%O2換算)以下を達成した。
- ・燃料系統、燃料ステージングの計画をもとに、燃焼器の全体計画図案を設計した。
- ・水素供給装置から燃焼シェルまでの系統構成を検討し、成立性の目途を得た。

●背景/研究内容・目的

- ・地球温暖化、化石燃料の枯渇の課題に対して、水素を本格的に活用する水素社会の実現が求められており、水素インフラの充実と普及拡大が必要
- ・水素専焼大型ガスタービンの導入は、水素需要を大幅に拡大し、将来の水素消費量の目標達成が可能
- ・水素は燃焼速度が速く逆火リスクが高いため、高い逆火耐性をもつ多孔噴流燃焼方式(クラスタバーナ)が有効
- ・大型ガスタービンに適用可能な水素専焼ドライ低NOx燃焼器(クラスタバーナ採用)の設計に必要な研究開発を実施し、安定運用と低NOx性の両立に必要な課題の抽出、その解決に向けた研究開発を実施
- ・大容量水素供給装置を含む燃焼試験設備を構築し、燃焼器燃焼試験で燃焼器性能を検証する

●研究目標

	実施項目	目標 (2020年度)
A-1	モデルバーナの設計技術	・高温高圧下のモデルバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下
A-2	シングルセグメントの設計技術	・数値解析による概念設計 ・水素専焼が逆火耐性に与える影響評価を完了
A-3	大型ガスタービン燃焼器設計技術	・燃焼器の概念設計の完了
B-1	大容量供給装置を含めた燃焼試験設備設計技術	・水素供給装置を含めた実圧燃焼試験装置の系統図、配置図の完成
B-2	高温高圧下での燃焼器燃焼試験(2022年度予定)	・計画運転条件において、逆火なく燃焼器出口でNOx50ppm以下

●実施体制及び分担等

NEDO	三菱パワー株式会社 (実施項目A-1～3、B-1、2)
	三菱重工業株式会社 (実施項目A-1～3、B-1、2)

●実施内容/研究成果

<p>A-1 モデルバーナの設計技術</p> <p>モデルバーナ火炎観察 NOx計測結果 燃料系統</p>	<p>A-2 シングルセグメントの設計技術</p> <p>シングルセグメント流動解析</p>
<p>A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術</p> <p>燃焼器全体計画図 燃料系統</p>	<p>B-1 大容量供給装置を含めた燃焼試験設備設計技術</p> <p>大容量水素供給設備 燃料ステージング用分配設備</p>

●今後の課題

- ・設計裕度範囲拡大のためのノズル構造改良
- ・シングルセグメント/燃焼器/燃料系統/燃料ステージングの詳細設計
- ・大容量水素供給装置および燃焼試験装置の詳細設計
- ・燃焼器燃焼試験による性能検証

●実用化・事業化の見通し

- ・大型GTに適用可能な水素専焼燃焼器の実用化に向け、バーナ改良、フルスケール燃焼器の詳細設計、性能検証を順次進めるとともに、燃焼器性能を検証可能な実圧燃焼試験装置を構築し、2022年度に高温高圧下で燃焼器の性能を実証する。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価	
モデルバーナの設計技術	・燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無くターゲット計画条件にてNOx 50ppm(15%O2換算)以下を達成した	○	
シングルセグメントの設計技術	・シングルセグメントの数値解析により、バーナ内部の流動を確認した	△	
大型ガスタービン燃焼器設計技術	・燃料系統、燃料ステージングの計画をもとに、燃焼器全体の計画図を作成した	△	
大容量供給装置を含めた燃焼試験設備設計技術	・水素供給装置から燃焼シェルまでの系統構成を検討し、成立性の目途を得た	△	
特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
1	0	5	0

「水素社会構築技術開発事業」 大規模水素エネルギー利用技術研究開発 低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型DryLowNOx 高温ガスタービン発電設備の研究開発【中間評価】

プロジェクトの概要 (公開)

三菱パワー株式会社

三菱重工業株式会社

2020年12月4日

1/21

3. 研究開発成果について (0) はじめに

◆背景・目的・概要

●背景

- 水素社会の実現には、水素インフラの充実と普及拡大が必要
(水素・燃料電池ロードマップの水素消費量目標→2030年：30万t/年、将来：500～1000万t/年)
- 水素専焼大型ガスタービンの導入により、水素需要を大幅に拡大し、将来の水素消費量の目標達成が可能

●目的

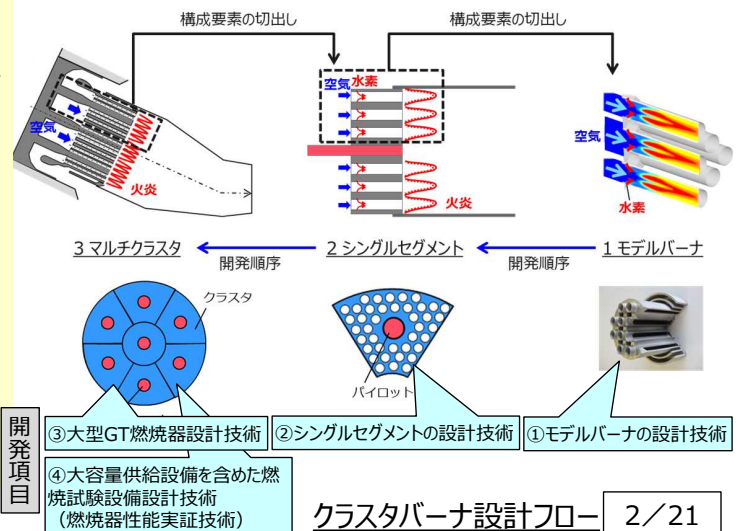
- 水素専焼ドライ低NOx燃焼方式(クラスタバーナ採用)を用いたガスタービン発電設備の設計に必要な研究開発を実施し、安定運用と低NOx性の両立に必要な課題の抽出とその解決に向けた研究開発

●概要

- 逆火リスクの高い水素に対し、高い逆火耐性をもち、かつ低NOx化が可能な多孔噴流燃焼方式(クラスタバーナ)が有効。
- モデルバーナ、シングルセグメント、燃焼器のステップで開発
- 大容量水素供給装置を含む燃焼試験設備を構築し、高温高圧下の燃焼器燃焼試験で性能検証

【開発項目】

- A-1 モデルバーナの設計技術
- A-2 シングルセグメントの設計技術
- A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術
- B-1 大容量供給装置を含めた燃焼試験設備設計技術
- B-2 高温高圧化での燃焼器燃焼試験 (2022年予定)



3. 研究開発成果について (0) はじめに

◆背景・目的・概要

水素・燃料電池ロードマップにおいて水素消費量は2030年時点**30万t/年**、将来的には**500~1000万t/年**の水素発電利用が示されているが、国内の天然ガス焼き発電所の水素焼き混焼転換により2030年時点の水素消費量目標を、更に水素サプライチェーンの構築に応じて専焼に転換していくことで将来目標の達成が可能

アクションプランのポイント③<その他水素利用・グローバルな水素社会実現> **赤字は新規目標等**
 水素利用先の拡大のため、市場の開拓・深掘り/グローバルな水素社会実現のため、日本リードの国際連携

目指すべきターゲット	ターゲット達成に向けた取組
<ul style="list-style-type: none"> 2030年頃の水素発電の商用化に向けた技術の確立 既設火力発電での水素混焼発電の導入条件明確化 2020年までに水素専焼発電での発電効率向上 (26%→27%) 	<ul style="list-style-type: none"> 限界混焼率、事業性等に関するFS調査の実施 高効率な燃焼器等の開発
<ul style="list-style-type: none"> 将来的なCO2フリー水素の活用 経済合理性の見通しが得られたプロセスから順次CO2フリー水素の利用を検討 	<ul style="list-style-type: none"> 各産業プロセスにおけるCO2フリー水素の活用・供給ポテンシャル調査の実施 カーボンリサイクル技術の実用化に向けた検討

【水素基本戦略における記載(抄)】

- 実際の社会実装に当たっては、水素は天然ガス火力での混焼も可能であることから、導入初期は既設の天然ガス火力における混焼発電を中心に、小規模なコージェネレーションシステム等における水素混焼も含め、導入拡大を図っていく。
- また、特に水素の燃焼特性に応じた燃焼器の開発が不可欠である。拡散燃焼方式や予混合燃焼方式など、従来の火力発電で実績のある燃焼器を水素混焼発電に転用するための研究開発や技術実証については、既に一定の取組が進められている一方、NOxの低減や発電効率の向上といった技術課題に対応していく。更に、将来的に水素専焼発電を実現するためには、NOx値の低減、高い発電効率、高濃度な水素混焼などを同時に達成可能とする新たな燃焼技術の早期の実用化を目指す
- 水素発電については、国際的な水素サプライチェーンとともに **2030年頃の商用化を実現し**、その段階で **17円/kWh** のコストを目指す。そのために必要となる水素調達量として、**年間30万t程度**を目安とする(発電容量で1GW程度に相当)。更に、将来的には環境価値も含め、既存のLNG火力発電と同等のコスト競争力の実現を目指す。そのために必要となる水素調達量として、**年間500万~1,000万t程度**を目安とする(発電容量で15~30GW程度に相当)。
- 水素発電の導入に当たっては、電力システム改革が進展する中での経済性確立に向けた制度設計等の検討を進める。また、水素発電が有する環境価値を顕在化し、評価・認定、取引可能にすることが重要であり、他の制度設計に係る議論を注視しつつ、省エネ法における水素利用の位置づけを明確化する、あるいは高度化法における非化石電源として水素発電を位置づけることといったことを含め、実態も踏まえながら検討を進める。



	水素率 (vol%)	ton/h	ton/年	ton/年
水素消費量	20%	1.7	12,000	370,000 ≒2030年時点目標
	100%	27.2	191,000	5,900,000 ≒将来目標

×31台*

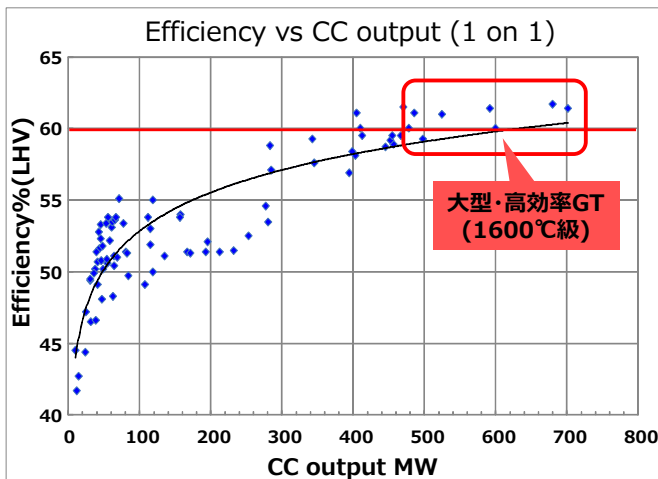
*MHPS 国内納入GTCC (G/J/F型, 効率60%級) 31台試算

出典：経済産業省、水素・燃料電池ロードマップ、2019年3月

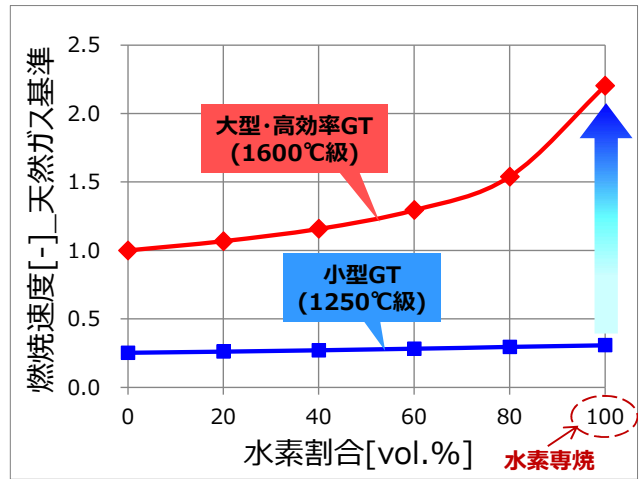
3. 研究開発成果について (0) はじめに

◆大型ガスタービン水素専焼の技術課題

- 大型GTに水素焼きを適用し、高効率・低環境負荷発電を実現
- 小型GTに比べて、大型・高効率GTは火炎温度が高いため、燃焼速度が増加し、フラッシュバックの発生リスクが増加
- ➡大型・高効率GTの水素専焼では、低NOxとフラッシュバック防止の両立は技術的ハードルが非常に高い



CC出力と効率の関係



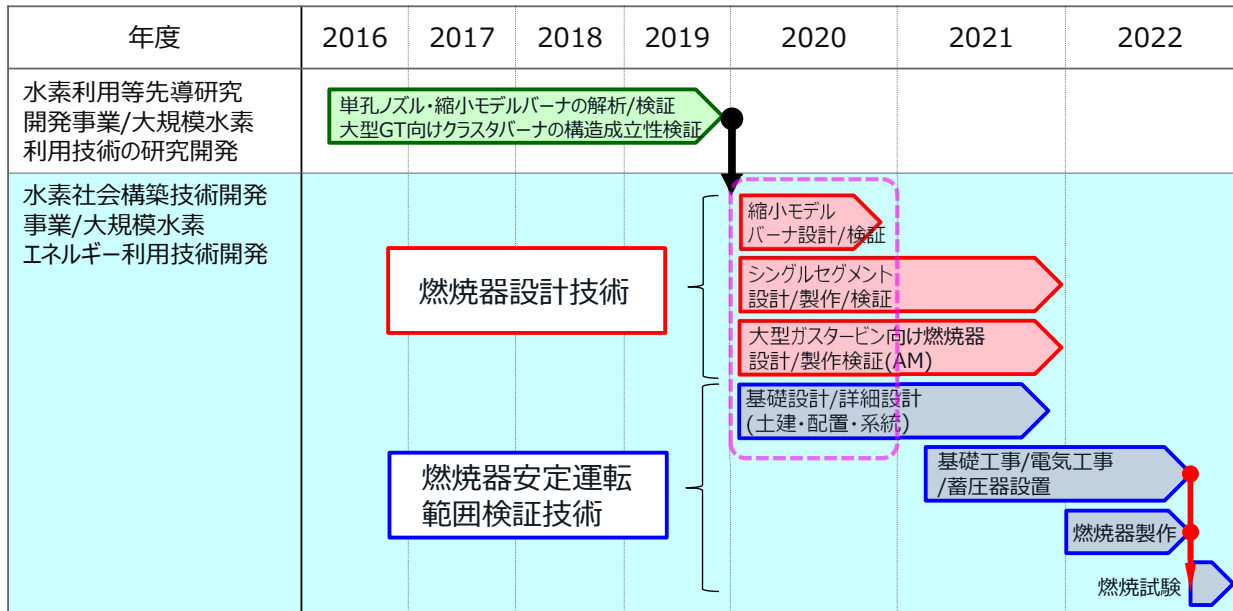
燃焼速度の比較

出典：GTW 2014 Gas Turbine Handbookデータから作成

3. 研究開発成果について (0) はじめに

◆大型ガスタービン水素専焼の開発スケジュール

- 2016～2019年度：水素専焼大型ガスタービン向けクラスタバーナの開発・検証
- 2020年度～：実用化に向けた設計技術開発、大容量水素供給装置を含む燃焼器検証設備の構築と燃焼器燃焼試験による性能検証



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び成果の意義

開発項目	目標 (2020年度)	成果	達成度	今後の課題と 解決方針
A-1 モデルバーナの設計技術	・高温高圧下のモデルバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下	・燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無くターゲット計画条件にてNOx 50ppm (15%O2換算)以下を達成した	○	設計裕度範囲をさらに拡大させるための単孔ノズル構造の改良
A-2 シングルセグメントの設計技術	・数値解析による概念設計と、水素専焼が逆火耐性に与える影響評価 ・非燃焼試験装置の検討および構築	・シングルセグメントの数値解析により、バーナ内部の流動を確認した	△ (2021/2)	水素専焼において逆火耐性を有する流動場の設計。燃焼器設計に向けて取り組みを継続
A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術	・燃焼器の概念設計の完了	・燃料系統、燃料ステージングの計画をもとに、燃焼器全体の計画図を作成した	△ (2021/2)	着火・起動から定格負荷まで安定運転を可能とする燃焼器を設計 ①-1、2で構築した設計技術を適用
B-1 大容量供給装置を含めた燃焼試験設備設計技術	・水素供給装置を含めた実圧燃焼試験装置の系統図、配置図の完成	・水素供給装置から燃焼シェルまでの系統構成を検討し、成立性に目途を得た ・系統図及び配置図を作成中	△ (2021/2)	水素は天然ガスに比べ体積流量が大きくなる。設備をコンパクト化する為、詳細設計中
B-2 高温高圧下での燃焼器燃焼試験 (2022年度予定)	・実圧燃焼試験にて、計画運転条件において逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx 50ppm以下(2022年度)	-	-	-

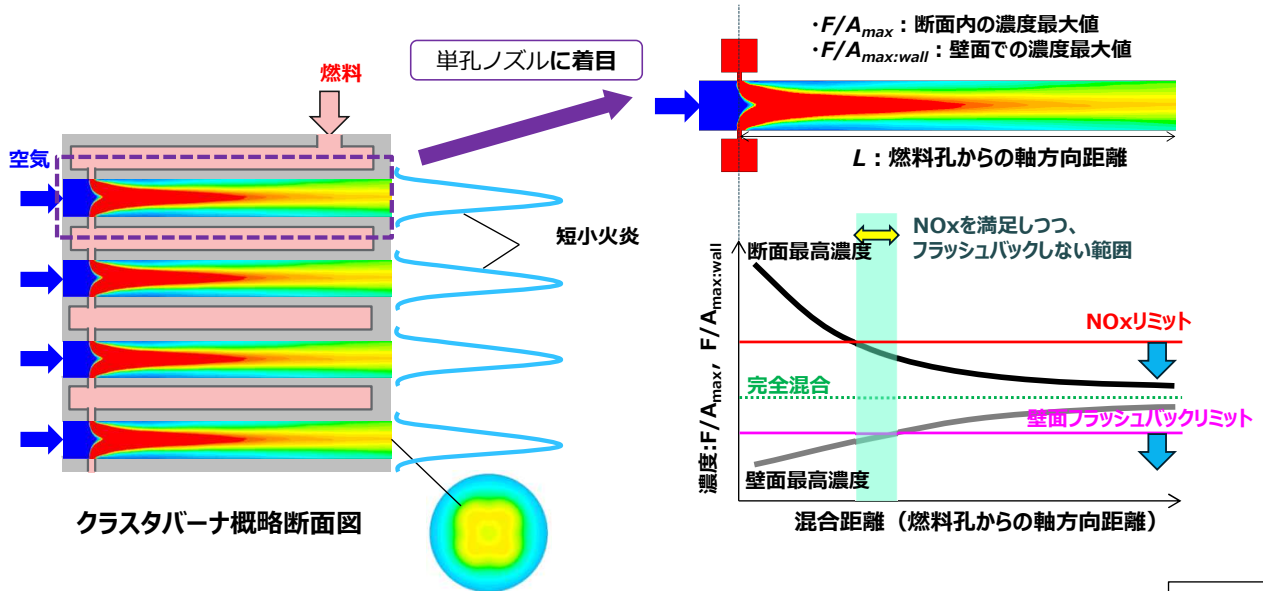
◎大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

A-1 モデルバーナの設計技術

(クラスタバーナコンセプト)

●クラスタバーナコンセプト

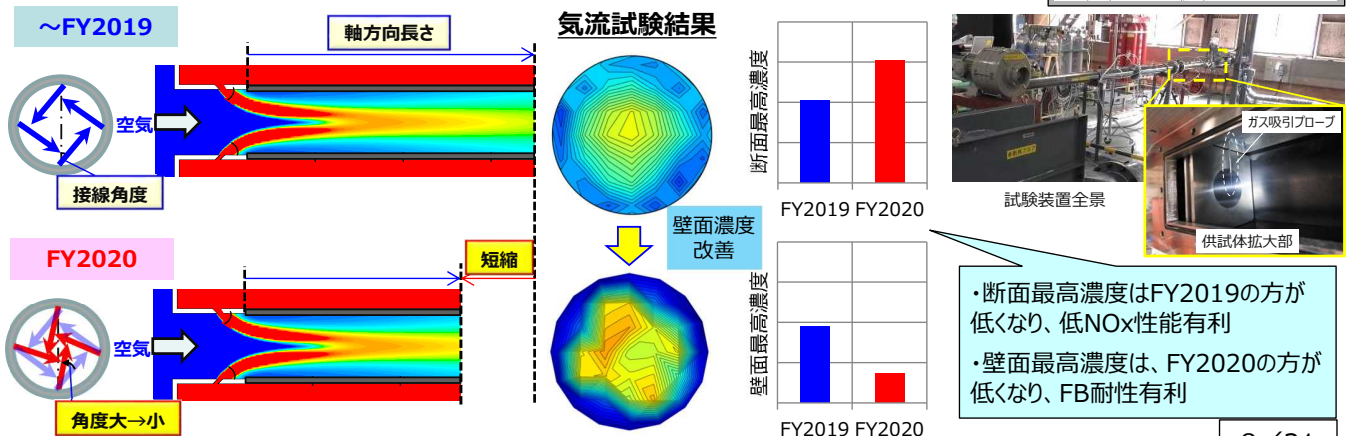
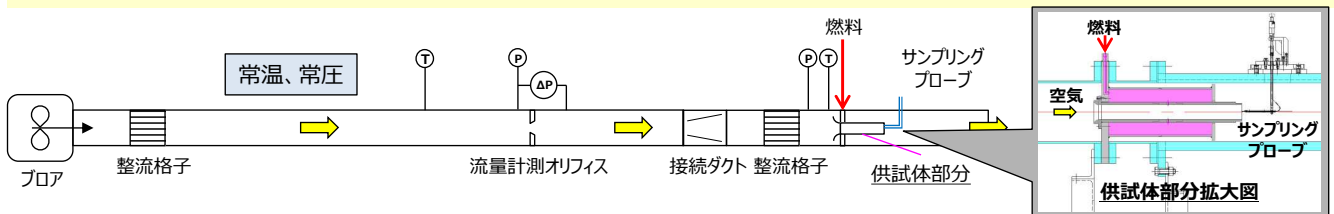
- ・低NO_x性能と逆火(フラッシュバック/FB)耐性の両立が必要。水素燃料濃度分布に対し次の指標で評価
 低NO_x性能・・・断面内濃度の最大値
 壁面FB耐性・・・壁面濃度の最大値



A-1 モデルバーナの設計技術

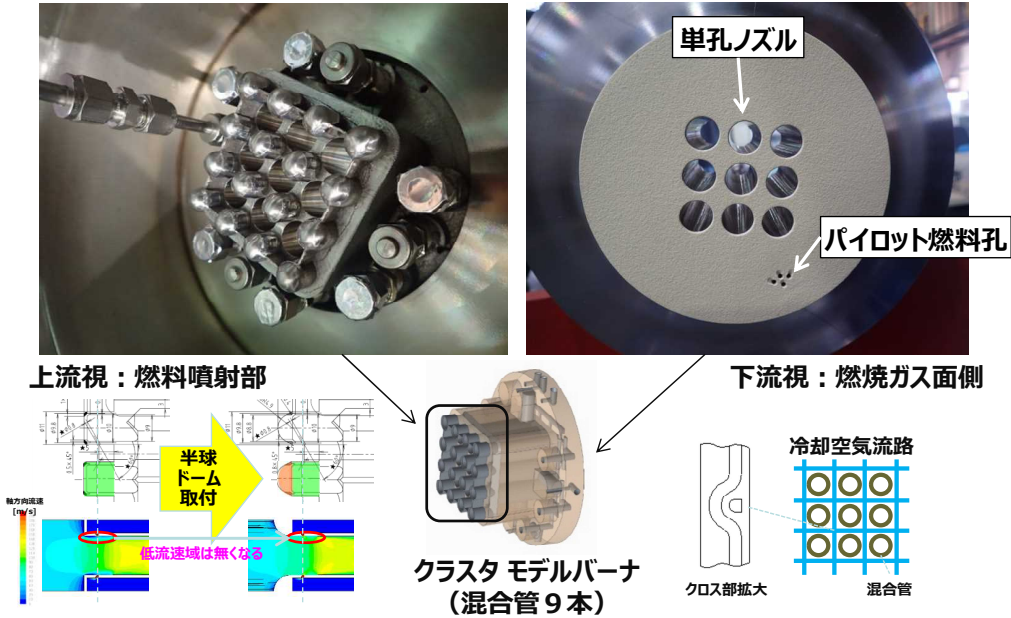
(数値解析、単孔ノズル気流試験)

- 目標：水素専焼の逆火耐性への影響評価、燃料濃度分布が許容範囲にあることの検証
- 成果：気流試験により、壁面濃度の低減による逆火耐性の改善を確認
- 成果の意義：今後の実機燃焼器適用に向けたノズル設計のベースとなる
- 今後の課題：設計裕度範囲をさらに拡大させるための単孔ノズル構造の改良



A-1 モデルバーナの設計技術 (縮小モデルバーナ)

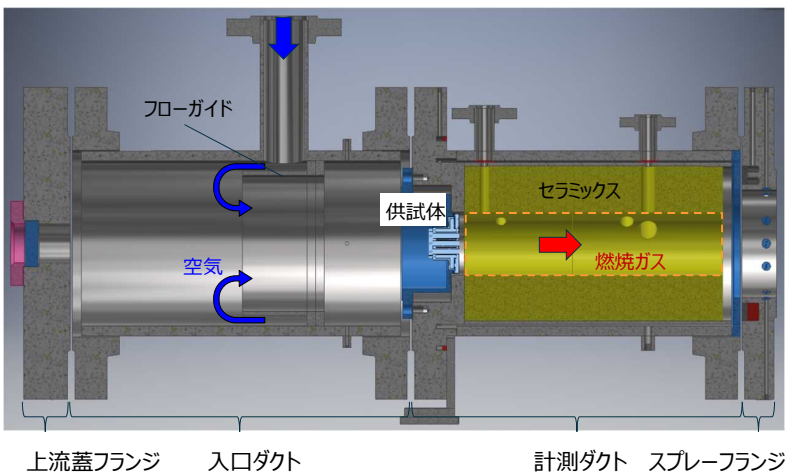
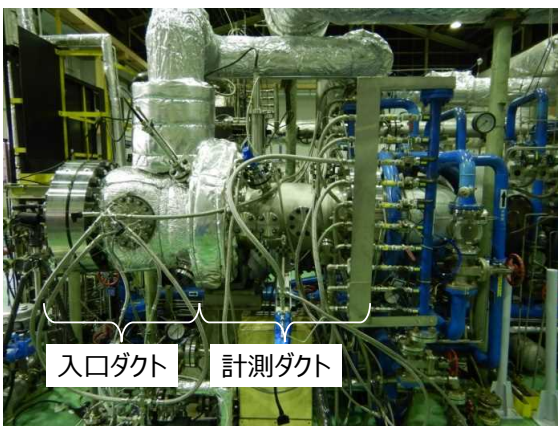
- 目標：NOx 50ppm(15%O2換算)以下、パーミアウト耐性の確認
- 縮小モデルバーナ
 - ・単孔ノズル9本配置の構成、着火・火炎安定化のためパイロット燃料孔を設置
 - ・バーナ上流には、混合管への流入空気の整流化のための半球ドームを設置
 - ・燃焼ガス側のバーナ面内部には冷却のためMTフィンを設置



A-1 モデルバーナの設計技術 (モデルバーナ燃焼試験装置)

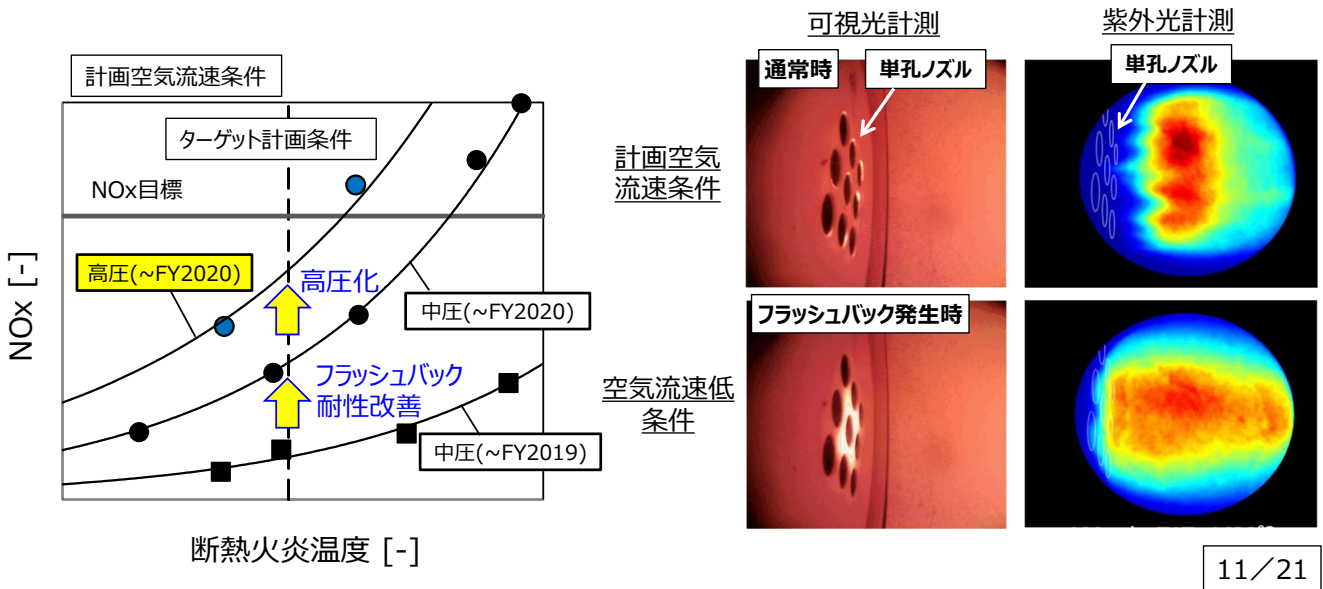
- 装置概略概要
 - ・空気圧力：2.5MPaG
 - ・空気温度：485℃
 - ・燃焼温度：1800℃

- 試験計測項目
 - ・燃焼ガス温度：着火、失火確認
 - ・排ガス性状：NOx(NO,NO2)、CO、CO2、O2
 - ・可視化：火炎形状
 - ・内圧変動：燃焼振動の発生有無の確認



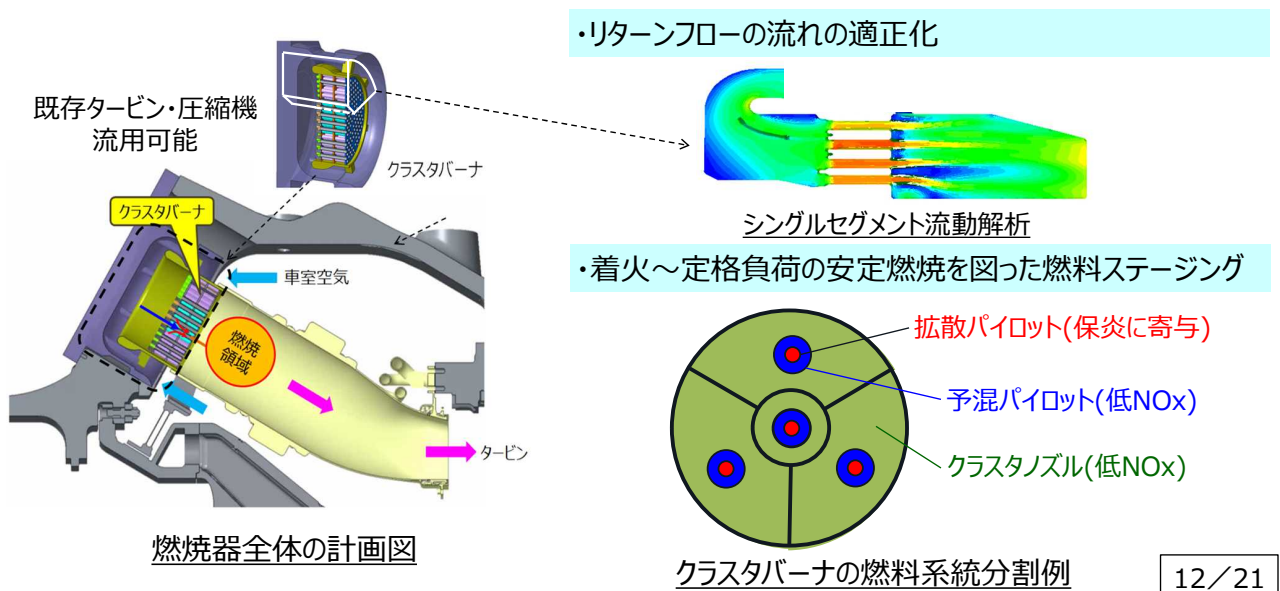
A-1 モデルバーナの設計技術 (モデルバーナ燃焼試験結果)

- 目標：NOx 50ppm(15%O2換算)以下
- 成果：燃焼試験により、高圧条件で、フラッシュバックの発生無くターゲット計画条件にてNOx 50ppm(15%O2換算)以下を達成した
- 成果の意義：今後のバーナ改良のためのベースで、実用化に向け取組を継続し、研究開発を加速
- 今後の課題：実機適用に向けたフラッシュバック耐性向上



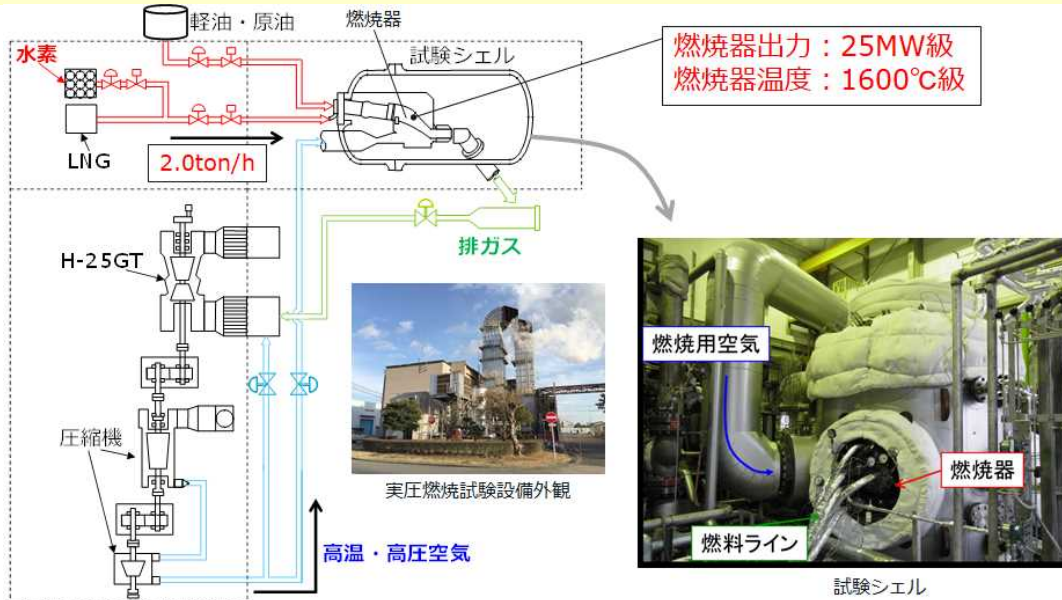
A-2、3 シングルセグメント、大型ガスタービン燃焼器設計技術

- 目標：シングルセグメント、燃焼器の概念設計完了
- 成果：燃料系統、燃料ステーキングの計画をもとに、燃焼器の全体計画図案を作成した
- 成果の意義：燃焼器の全体計画図、燃料系統・ステーキングは今後の詳細設計のベース
- 今後の課題：リターンフローの流れの適正化、燃料系統・燃料ステーキングの詳細設計、燃焼器全体設計



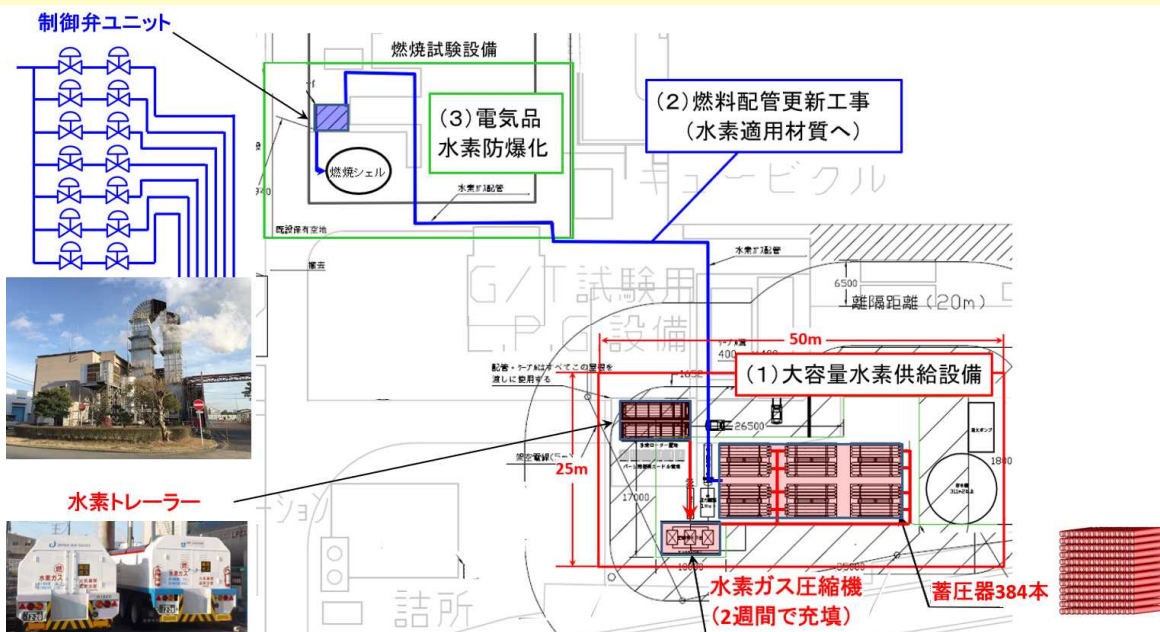
B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術

- 目標：水素供給装置を含めた実圧燃焼試験装置の系統図・配置図の完成
- 成果：水素供給装置から燃焼シェルまでの系統構成を検討し、成立性の目途を得た
- 成果の意義：燃焼器検証に必要な系統構成のベースが完成
- 今後の課題：水素は天然ガスに比べ体積流量が大きくなる為、設備を巨大化させない為、配管流速制限等、詳細設計中



B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術

- 目標：水素供給装置を含めた実圧燃焼試験装置の系統図・配置図の完成
- 成果：水素供給装置から燃焼シェルまでの系統構成を検討し、成立性の目途を得た
- 成果の意義：燃焼器検証に必要な系統構成のベースが完成
- 今後の課題：水素は天然ガスに比べ体積流量が大きくなる為、設備を巨大化させない為、配管流速制限等、詳細設計中



◆成果の普及

- 成果について定期的に発信(2020/7～10で5件)

	2020年度	計
論文	0	0
研究発表・講演	5	5
雑誌・図書等への掲載	0	0
展示会へ出展	0	0
総計	5	5

※2020年10月末現在

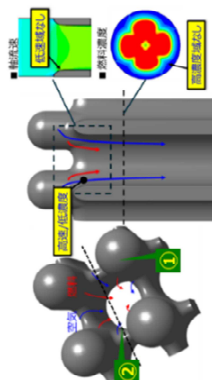
15/21

◆知的財産権の確保に向けた取り組み

- 本研究で開発したクラスタバーナは水素専焼のキー技術であり、知的財産権確保に向けて、クラスタバーナ構造に関する特許出願を継続

	2020年度	計
特許出願 (うち外国出願)	0 (1)	1

⑤混合管入口逆流防止形状
(PCT/JP2020/027016)



※2020年10月末現在

16/21

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

- 最終目標： 燃焼器の実圧燃焼試験にて、逆火の発生なく燃焼器出口NOx<50ppmを達成 (2022年)
- 達成の可能性： 設計の基礎となるモデルバーナの設計技術は、構築済み。

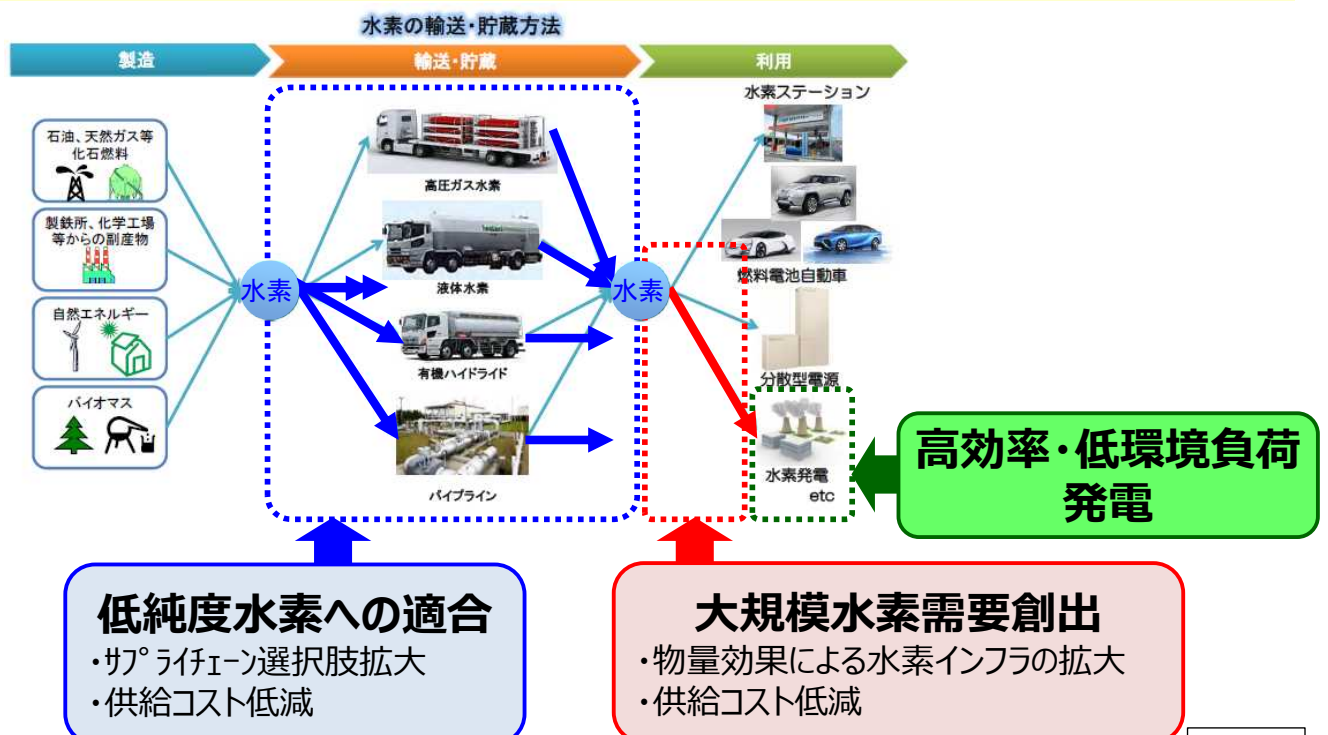
開発項目	現状	最終目標	達成見通し
A-2 シングルセグメントの設計技術	・数値解析にてセグメントの流動場を評価中	・高温高圧下のセグメントバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下 (2021年)	・①-1の成果を反映することで達成可能
A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術	・クラスタバーナの計画図を作成中	・クラスタバーナ計画図の完成(2021年) ・燃焼器全体計画図の完成(2021年)	・中容量向けクラスタ燃焼器の設計技術を展開し、①-1、2の結果を設計に反映することで達成可能
B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術	・系統構成の成立性に目途。系統図及び配置図を作成中	・実圧燃焼試験装置の系統図・配置図の完成(2020年) ・土建工事計画図・配管図の完成(2021年)	・計画通り進行中であり、達成の未通し
B-2 高温高圧下での燃焼器燃焼試験	・2022年度から実施	・実圧燃焼試験にて、計画運転条件において逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx50ppm以下(2022年)	①-1~3、②-1の目標を達成することで、達成可能

17/21

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆成果の実用化・事業化の見通し

- 水素焚きガスタービンの実現により、水素利用基盤拡大への貢献が可能

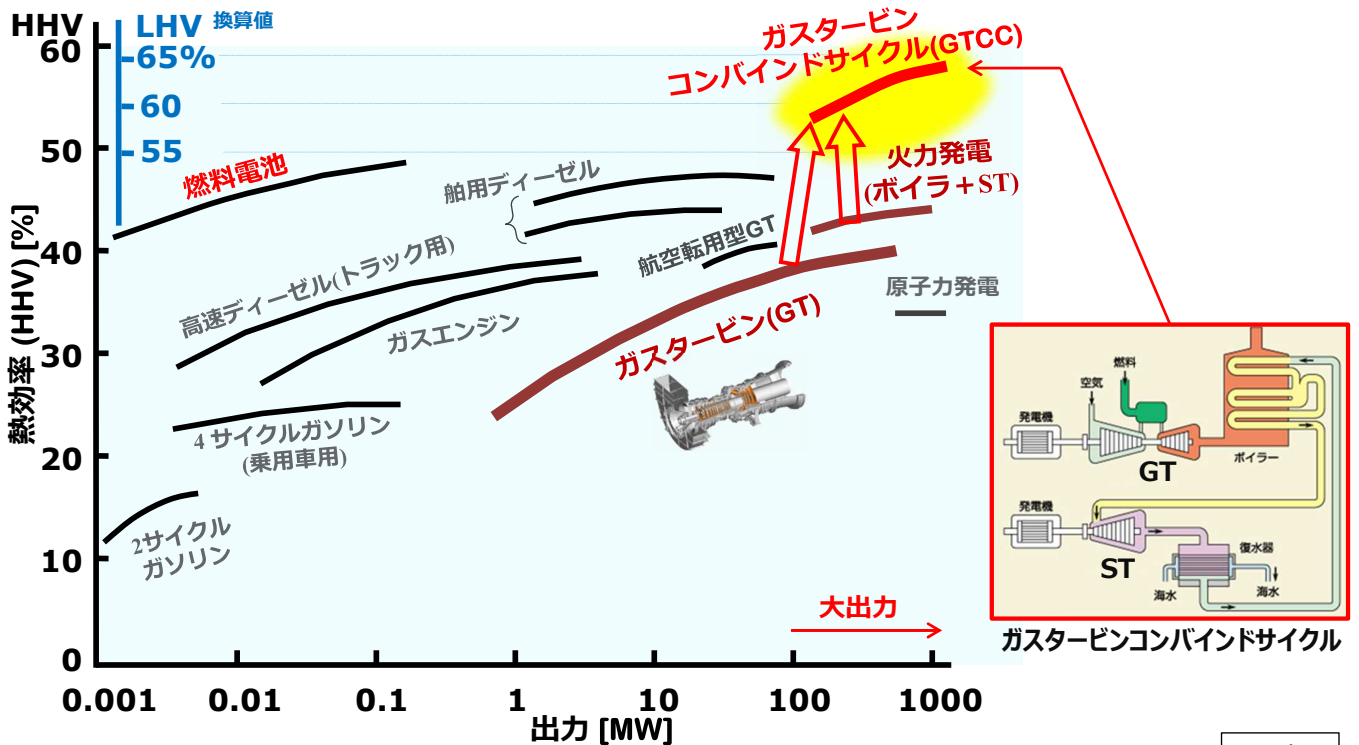


18/21

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆成果の実用化・事業化の見通し

コンバインドサイクル（ガスタービン+蒸気タービン）で発電するため、効率が高く、大型化するほど高効率

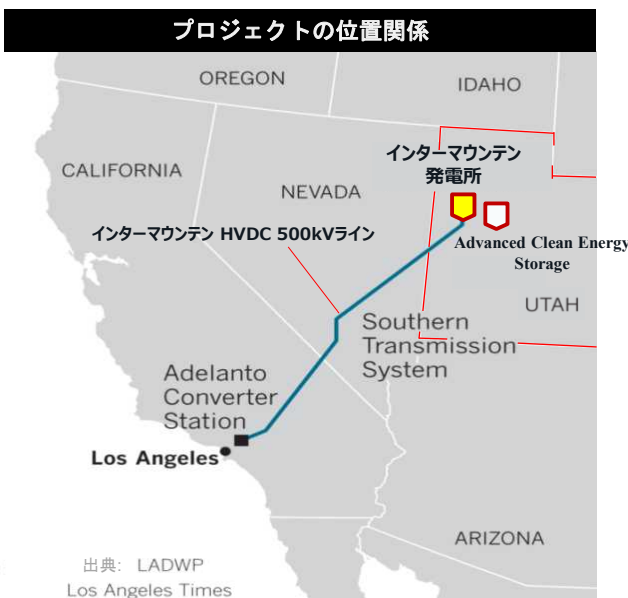


19/21

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆成果の実用化・事業化の見通し

- インターマウンテン電力向け水素焼きJAC形設備を初受注。
2025年に水素混焼率30%で運転を開始、2045年までに水素100%での運転を目指す。
- 今後も水素100%実現に向けて、水素専焼の技術開発を加速させる。



ガスタービン機種	M501JAC
出力 (CC)	840 MW (2 GTCC)
所在地	米国 (ユタ州)

当プロジェクトは、石炭火力発電所の設備更新により建設。水素混焼 (30vol.%) GTCCへの更新により、最大で年間約460万トンのCO₂排出量削減に寄与します。

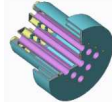
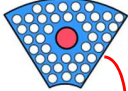

発電電力は、ロッキー山脈をまたいでカリフォルニア州及びユタ州に幅広く供給される運びです。

20/21

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取り組み

● 水素インフラ成熟期での実用化を目指して、水素専焼ガスタービン発電設備の研究開発中。水素専焼の燃焼器設計に加え、大容量水素供給装置を含む燃焼器単缶燃焼設備の構築、およびそれを用いた性能検証を実施する。

		2020年度	(2021年度)	(2022年度)
燃焼器安定 運転を可能に する 燃焼器設計 技術	①-1 モデルバーナの設計技術 (MHI/MP*)	縮小モデル バーナ設計/検証	フィードバックによる 改良	
	①-2 シングルセグメント設計技術 (MHI/MP*)	シングルセグメント 設計/製作/検証	フィードバックによる 改良	
	①-3 大型ガスタービン燃焼器 設計技術(MP*/MHI)	大型ガスタービン向け燃焼器 設計/製作検証(AM)		
燃焼器安定 運転範囲 検証技術	②-1 大容量供給設備を含めた燃焼 試験設備設計技術(MP*/MHI)	基礎設計/詳細設計(土建・配置・系統)	基礎工事/電気工事/蓄圧器設置	
	②-2 高温高圧下での燃焼器 燃焼試験(MP*/MHI)		燃焼器製作	燃焼 試験

*MP：三菱パワー株式会社（2020年9月1日にMHPSから社名を変更） 21 / 21

(Ⅱ-⑪)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／高濃度水素混焼/水素専焼焚きボイラ・発電設備の技術開発」

助成先：三菱パワーインダストリー(株)

●成果サマリ (実施期間：2020年度～2021年度終了予定)

- ・産業用ボイラを対象とし、安全、低NOx、低コストで水素を混焼または専焼する技術を確認する。
- ・水素のバーナ入口供給圧力は従来実績が現状80kPa以下であるが、最大100～990kPaとする水素焚きバーナを開発する。
- ・逆火現象の定量評価を行い、逆火現象の防止策を確認する。

●背景/研究内容・目的

製鉄所、ソーダ工場、化学プラント等では副生ガスとして低濃度から100%濃度までの水素が発生しており、産業用ボイラにおいて、60～100%の高濃度の水素燃料の燃焼ニーズが高まっている。

本事業は、産業用ボイラ（ユーティリティまたは発電用）を対象とする。そして、安全、低NOx、低コストで水素を混焼または専焼する技術を確認し、ボイラ排ガス中のCO₂排出量の低減またはゼロエミッション化を図る。

これにより、SDGsの持続可能な循環社会の構築に向けて、低炭素化さらには脱炭素化に寄与できる。

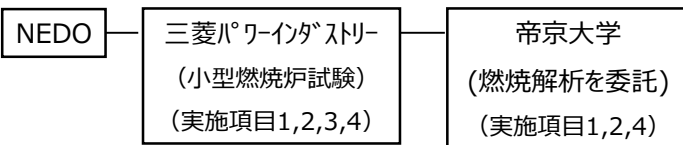
なお、本事業で確認した技術は事業用のガス焚きボイラにも適用可能である。

●研究目標

実施項目	目標
1. 水素ガス供給圧力の高圧化	供給圧力：100～990kPa
2. 燃焼振動現象の抑制	I1≤50Pa (*1)
3. NOx低減	NOx≤60～100ppm
4. 逆火現象の防止	逆火・焼損回避条件の明確化

*1:共鳴周波数成分の振幅

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

本事業は、今年7月22日に交付決定通知書を受け、現在、研究開発目標を達成するための試験設備の計画をほぼ完了し、11月末の設備完成を目指して安全対策、水素供給設備設計・手配、バーナ設計・製作等を鋭意推進中である。実施項目1～4を検証するためのバーナ設計を完了済で、現在製作中である。また、試験を安全に推進するために、消防署への相談を含め、関係者で数度に渡る検討を重ね、水素供給設備の設計に反映済である。

一方、燃焼解析は、今年度、ガスバーナの基本構成となる単孔ノズルを用いた燃焼解析を委託先である帝京大学が実施予定である。本件も計画段階であるが、基本モデルは構築済である。本事業に関連する、着手前の成果実績を以下に記述する。

①当社はLPGおよびLNGで確認した「バーナ基部の保炎強化」のコンセプトを適用した燃料高圧供給条件での低振動・低NOx燃焼技術（特許化済）を保有している。本技術を適用したガスバーナは、産業用小～大のガス焚きボイラ・発電設備に適用済（計14缶）である。～300kPaのバーナ入口ガス圧条件で、低振動・低NOxを実証済である。この特許化済の技術を本事業に適用し、研究開発を推進する。

②当社は、水素濃度84%の高濃度水素燃料にて、バーナ型式は異なるが、蒸発量100t/hの中型ボイラで、ガス供給圧力55kPa、燃焼振動なし、NOx≤100ppm、逆火現象無し（ガスノズル焼損無し）の良好な実績を有している。上記①及び②の成果を本事業に反映する。

●今後の課題

現適用案件の問題として、高濃度水素の供給圧力が5～7kPaと低く、安定燃焼させるために高圧化が課題。本事業の成果に基づき、供給圧力をブースアップする。

●実用化・事業化の見通し

現在、某製鉄会社から濃度90%レベルの高濃度水素を燃焼可能な蒸発量10t/hクラスの新設ボイラの引き合いがきている。上記の今後の課題に記述した内容を反映する。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
1	高圧ガスバーナ実績を水素焚きバーナ設計に反映済	5/10
2	低振動ガスバーナ実績を水素焚きバーナ設計に反映済	5/10
3	本事業では5種類の低NOx手法を適用。水素濃度84%燃料にて水噴霧でNOx100ppm以下を実証済	6/10
4	逆火現象評価用の基本解析モデルは作成済	5/10

登録特許	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	0	0

「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術
開発／高濃度水素混焼/水素専焼焚きボイラ・発電設備の技術
開発」(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

三菱パワーインダストリー(株)

2020年12月4日

1/23

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

(1)-1 小型燃焼炉試験

表1に今年度目標に向けた、小型燃焼炉による燃焼試験計画工程を示す。

- a. 小型燃焼炉は設置後、約40年経過しており、水素燃焼試験への適用性可否を確認するため、非燃焼及び燃焼条件(既設LPG適用)下で試運転を実施。結果適用性を確認した(①、②)
- b. 本試験は高圧設備対象外であるが、水素燃焼試験の安全性を確保する観点から、消防局に事前相談を実施。消防及び会社の安全審査会のコメントを水素供給設備他に反映した(④、⑤)
- c. 各開発項目を評価・検証するための、水素燃焼試験用のバーナ設計及び製作手配を完了した(⑧、⑨)
- d. 小型燃焼炉に適用する安全を考慮した、水素供給設備の設計及び製作手配を完了した(⑩、⑪)
- e. 新規設備を適用した水素燃焼試験を今年12月に実施予定(⑮～⑲)

2/23

表1 小型燃焼炉による燃焼試験計画（2020年度）

No.	実施項目	2020年						2021年		
		7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
①	点検確認(非燃焼)	▼								
②	現状設備での燃焼確認	▼								
③	貸借契約書		■							
④	安全計画(消防)	■								
⑤	改造計画事前相談(MHPS安全、人事)		■							
⑥	既設設備の補修内容総括・手配		■							
⑦	既設設備関係手配(FLD、GM流量計)				■					
⑧	バーナ設計		■							
⑨	バーナ製作手配				■					
⑩	水素供給設備(安全対策含)計画		■							
⑪	水素供給設備(安全対策含)手配				■					
⑫	設備改造・追設前の安全審査					▼				
⑬	設備改造・追設				■					
⑭	設備改造・追設後の安全審査						▼			
⑮	LPG専焼(80kPa)						■			
⑯	LPG/H ₂ 混焼試験(80kPa)--2軸混焼						■			
⑰	LPG/H ₂ 混焼試験(80kPa)--同軸混焼						■			
⑱	H ₂ 専焼試験(80、300、500、900kPa)						■			
⑲	水管群設置試験(低NO _x 化味見試験)						■			
⑳	試験結果評価・2021年度試験計画							■		

(1)-2 燃焼解析

燃焼解析は、Ansys/Fluent 16.2を用いた定常解析により、ガスノズル近傍の燃焼状態を評価する。計算用コンピュータは、スーパーコンピュータを適用する。本解析により、水素の混合比率、バーナ供給圧力を変化させた場合の燃焼振動ポテンシャル、火炎温度及び逆火現象の防止を目的としたノズル先端温度評価などを実施する。今年度は、水素バーナノズル構成の基本となる単孔ノズルを対象として、燃焼解析を実施する。

本助成事業とは別に、弊社と横浜国立大学との共同研究で実施する逆火現象の基礎研究により、逆火並びに逆火に伴うノズル焼損などの回避条件を明確化し、弊社の知見として、本助成事業のシステムに反映する。具体的には、ノズルを焼損させない噴き出し流速の下限値等を設定する。

表2 燃焼解析実施計画（2020年度）

実施項目	2020年度							2021年度
	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	
単孔ノズルモデル								
①解析モデル作成		■						
②解析			■	■				
③解析結果纏め			■					
④進捗状況報告			▼					
⑤最終報告						▼		
試験バーナモデル								
①解析モデル作成					■			
②解析							■	
③解析結果纏め							■	
④進捗状況報告							■	
⑤最終報告							■	

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

表3に個別研究開発項目の目標と達成状況を示す。

表3 個別研究開発項目の目標と達成状況

No.	開発項目	目標	成果	達成度*	今後の課題と解決方針
①	水素ガス供給圧力の高圧化	最大100~990kPa (現状の最大 \leq 80kPa)	今後検証へ	Δ (2020/12)	水素燃焼試験及び燃焼解析で検証
②	燃焼振動現象の抑制	$I1 \leq 50\text{Pa}$ (I1:共鳴周波数成分の振幅)	今後検証へ	Δ (2020/12)	水素燃焼試験及び燃焼解析で検証
③	NOxの低減	NOx \leq 60~100ppm	今後検証へ	Δ (2020/12)	水素燃焼試験で検証
④	逆火現象の防止	逆火・焼損回避条件の明確化	今後検証へ	Δ (2020/12)	水素燃焼試験及び燃焼解析で検証
⑤	試験用水素燃焼バーナ設計・製作	上記①~④の評価、目標達成が可能なバーナ設計	設計完成	Δ (2020/11)	バーナ製作完了後、試運転にて検証
⑥	水素供給設備の設計・製作	上記①~④の評価及び安全運用が可能な設備設計	設計完成	Δ (2020/11)	水素供給設備完成後、試運転にて検証

◎ 大幅達成、○達成、 Δ 達成見込み、 \times 未達

3. 研究開発成果について (2) 成果の意義

(2) - ① 水素ガス供給圧力の高圧化

図1に小型燃焼炉に設置する低NOxガスバーナの概略構造を示す。

本ガスバーナ（HT-LHバーナ）は、1次空気スリーブの先端に所定角度の傾斜を設けることで、1次空気と2次空気の分離による低NOx燃焼をシンプルな構造で達成可能な低NOxバーナ（特許第5736583号）である。

本バーナを適用した燃焼試験で、LPGにて最大 500kPaにおいても安定燃焼可能であることを燃焼解析及び燃焼試験（図2参照）で検証済である。

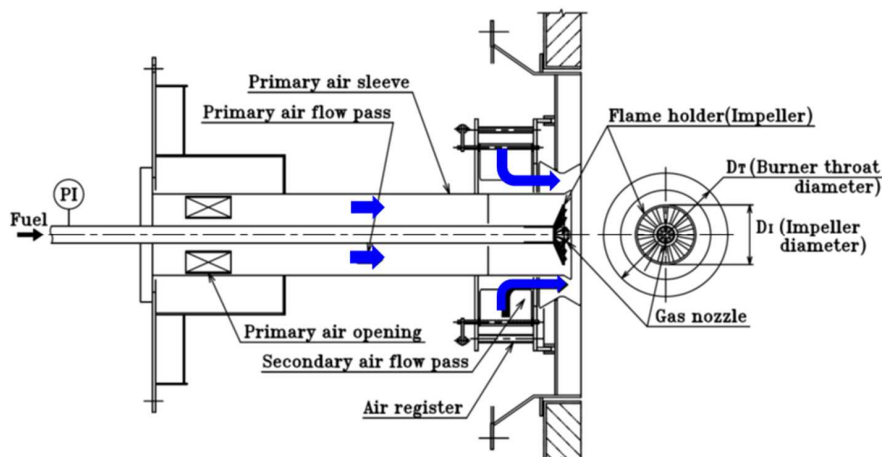
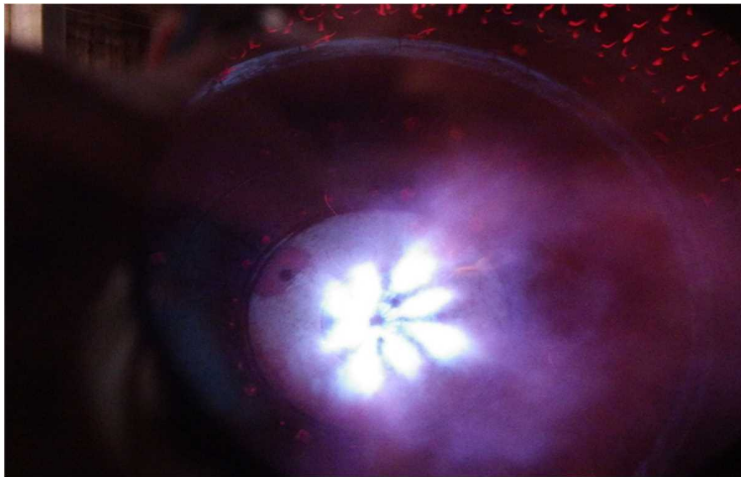


図1 低NOxガスバーナの概略構造



- 燃焼条件**
- ・燃料種：LPG
 - ・バーナ入口ガス供給圧力：
500kPa(G)
 - ・ガスバーナ：HT-LHバーナ
 - ・ガスノズル：低振動型ガスノズル

図2 LPGのバーナ入口供給圧500kPa(G)での燃焼状況

バーナ入口供給圧500kPa(G)の高圧条件においても、燃焼振動現象はなく、バーナ根元から安定した火炎が形成されていることを確認した。



本事業に適用を計画

(2) - ② 燃焼振動現象の抑制

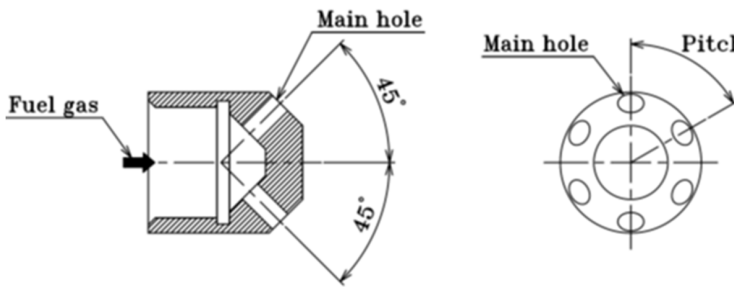


図4 a 従来型ガスノズル

- 従来型ガスノズル**
- ・ 同径の6個の主孔を同心円状に均等に配置
 - ・ 噴射角度は全て45°設定

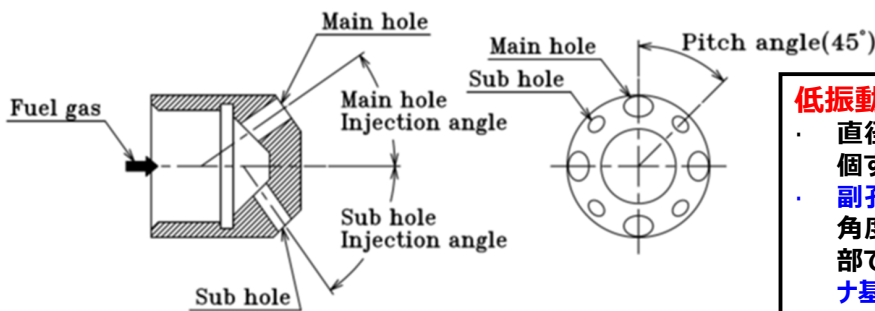


図4 b 低振動型ガスノズル
(本助成事業に適用)

- 低振動型ガスノズル (特許第460085号)**
- ・ 直径の大きい主孔と直径の小さい副孔を4個ずつ交互に配置
 - ・ 副孔は孔の断面積を小さくすると共に噴射角度を広角(45°)とすることで、孔出口部での燃料と空気との混合促進により、バーナ基部の火炎の揺らぎ抑制を目的とする
 - ・ 主孔は噴射角度を狭角(40°)とすることで長炎化によるガス燃焼の緩慢化を目的とする

・次頁に従来型ガスノズルと低振動型ガスノズルとの性能比較評価結果を示す。

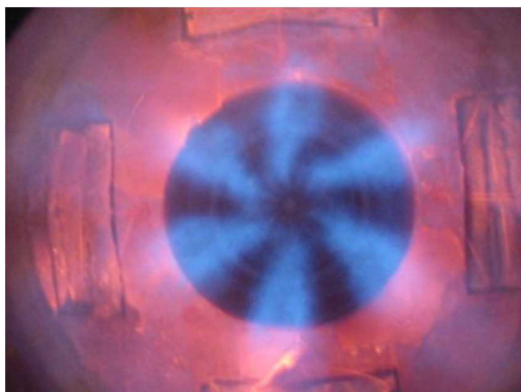


図5a 従来型ガスノズルの都市ガス燃焼状況
($I1^{*1} = 102 \text{ Pa}$: 燃焼振動の兆候有)



図5b 低振動型ガスノズルの都市ガス燃焼状況
($I1 = 16 \text{ Pa}$: 燃焼振動の兆候無)



(本事業に適用)

- * 1 $I1$: 共鳴周波数成分の振幅 (燃焼振動と強い相関有 : 目標基準値 $\leq 50 \text{ Pa}$)
なお、 $I1$ は炉内の圧力特性の計測結果により評価実施

・低振動ガスノズルは“バーナ火炎基部の保炎”が火炎基部全体で達成されている。

(2) - ①、②まとめ

本事業に、本HT-LHバーナと低振動ガスノズルを適用することで、これまでボイラでのガス供給圧力実績が80kPa以下の水素燃焼に於いても、100kPa (～990kPa) の水素高圧供給条件下で、燃焼振動のない安定燃焼を実現可能と評価している。

また、水素を高圧条件で供給可能となれば、単位発熱量当たりの体積量が大きい水素を、小径配管・小径機器で搬送可能となり、バーナ近傍もコンパクト化可能となるため、システムコスト面及びメンテナンス面での成果の意義は大きいと評価できる。

(2) - ③ NOxの低減

水素は燃焼時の火炎が高温となるため、サーマルNOxが高く、通常250ppmレベルとなる。NOxレベルを60～100ppm以下とすることを目標に以下a～eの低NOx化対策試験を行う。

- a. 低NOxバーナの採用：燃焼用空気の分割投入による低NOx化
- b. 水噴霧（W I）：火炎温度の低減による低NOx化
- c. 二段燃焼：還元燃焼による低NOx化
- d. 排ガス混合：燃焼用空気に排ガスを混合し、酸素分圧の低減による低NOx化
- e. 水管群設置：水管群に火炎を接触させ、火炎冷却による低NOx化

(2) - ③ 成果の意義まとめ

上記a～eの各手法によるNOx低減効果及びコストを定量的に評価し、ターゲット NOx に応じた最適な手法（組合せ含む）を選定する。

上記一連の低NOx化対策試験結果に基づき、最適手法の選定により、水素燃焼に於ける低NOx化対策を、最小の設備・コストで計画可能となり、その成果の意義は 大きいと評価できる。

(2) - ④ 逆火現象の防止

水素は燃焼速度が速く、逆火ポテンシャルが高い。そこで、本事業では、燃焼方式を空気とプリミックスさせる予混合燃焼方式ではなく、逆火防止の観点から、ノズルから水素を噴出させた後に、水素と燃焼用空気とを混合させる拡散燃焼方式を採用する。但し、拡散燃焼方式に於いても、水素の噴出流速が遅いとノズル先端が高温化し、焼損する可能性がある。

本事業では、今年度、水素バーナノズル構成の基本となる単孔ノズルを対象として燃焼解析で火炎温度及び逆火現象の防止を目的とした、ノズル先端温度評価などを帝京大学にて実施する。

上記燃焼解析及び横浜国立大学との共同研究で実施する逆火現象の基礎実験により、ノズルを焼損させない噴き出し流速の下限値等を設定する。

(2) - ④ 成果の意義まとめ

上記の一連の燃焼解析並びに基礎実験により、水素を安全に燃焼させる条件を明確化することが可能となる。水素の安全運用及び事故撲滅の観点から、その成果の意義は大きいと評価できる。

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

個別研究開発項目の達成状況

- a. プロジェクト（事業）全体としての最終目標は、高濃度水素/水素専焼焚きの中・大型産業用ボイラによる発電システムの開発である。本目標を達成することにより、SDGsの持続可能な循環社会構築に向けて、ボイラ排ガスの低炭素化さらには脱炭素化が可能となり、その成果の意義は大きい。
- b. 上記最終目標を達成するための開発項目として、前述した①水素ガス供給圧力の高圧化、②燃焼振動現象の抑制、③NOxの低減、④逆火現象の防止の、4項目がある。本事業では、都市ガス及びLPGにて、500Mpaの高圧ガス供給条件下で、燃焼振動のない安定燃焼かつ低NOxを達成・実証しており、特許取得済みのガスノズル及びガスバーナを適用する計画である。一連のステップを踏んで推進予定であるが、開発目標を達成する見込みである。
- c. なお、本事業で確立した技術は、水素混焼・専焼の事例のない事業用のガス焚きボイラ・発電システムの特に既設改造案件にも適用できるため、成果の水平展開並びに拡大が可能となる。

- a. 表4に、本事業関連の知的財産権を示す。本特許を適用したガスノズル及びガスバーナにおいて、都市ガス及びLPG等のガス燃料を高圧ガス供給条件下で、安定燃焼、低振動及び低NOxの達成を実機実証済である。
- b. 本事業では、特許化済みのガスノズル及びガスバーナを適用して高濃度水素混焼/水素専焼の燃焼試験を実施する計画である。
- c. また、燃焼試験の中で水素燃焼特有の事象に対する新たな知見は、逐次特許化に向けて対応する方針とする。

表4 本事業関連の知的財産権

No.	特許登録日	特許番号	発明の名称	会社名
1	2010/10/8	第4600850号	ガスバーナ	三菱パワー インダストリー(株)
2	2015/5/1	第5736583号	バーナ装置	三菱パワー インダストリー(株)

※2020年7月末現在

表5 本事業関連の論文・研究発表の状況

項目	2017	2018	2019	2020	計
論文（査読付き）	-	-	-	0	0
研究発表・講演	-	-	-	0	0

※2020年7月末現在

表6 成果の最終目標の達成可能性

No.	開発項目	現状	最終目標	達成見通し
①	水素ガス供給圧力の 高圧化	最大100～990kPa達成 に向けた設計 (現状の最大 \leq 80kPa)	・水素焚きバーナの最適化 ・水素供給ガス圧の高圧化 によるシステムコストの低減 及びメンテナンス性改善	一連の燃焼試験及び燃焼解析 により達成見込み
②	燃焼振動現象の 抑制	I1 \leq 50Pa達成に向けた設 計 (I1:共鳴周波数成分の振幅)		
③	NOxの低減	NOx \leq 60～100ppm達 成に向けた設計	低NOx化対策の最適化及 び設備コスト低減	5種類のNOx低減手法を適用し た試験で達成見込み
④	逆火現象の防止	逆火・焼損回避条件の 明確化	水素の安全運用及び 事故撲滅	燃焼解析（本事業）と基礎実 験（共研）により達成見込み
⑤	試験用水素燃焼 バーナ設計・製作	上記①～④の評価、目標 達成が可能なバーナ設計	水素焚きバーナ最適設計条 件の確立	一連の燃焼試験及び燃焼解析 により達成見込み
⑥	水素供給設備の 設計・製作	上記①～④の評価及び安 全運用が可能な設備設計	安全な水素供給設備設計 の完成	一連の燃焼試験で実証

- a. 現状、当社はLPGおよびLNGで確立した「バーナ基部の防災強化」のコンセプトを適用した燃料高圧供給条件での低振動・低NOx燃焼技術（特許化済）を保有している。本技術を適用したガスバーナは、産業用小～大のガス焚きボイラ・発電設備に適用済（計14缶）であり、～300kPaのバーナ入口ガス圧条件で、低振動・低NOxを実証済である。
- b. 現状、当社は、水素濃度84%の高濃度水素燃料にて、バーナ型式は異なるが、蒸発量100t/hの中型ボイラで、①ガス供給圧力55kPa、②燃焼振動なし、③NOx \leq 100ppm、④逆火現象無し（ガスノズル焼損無し）の良好な実績を有している。

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

(1) 製作・実施等の制約

当社は産業用ボイラ・中小型火力発電設備の新規設計、製作並びに納入後のアフターサービスを行っている。本助成事業の対象となる高濃度水素混焼/水素専焼焚きボイラ・発電設備は、既存の製作設備範囲内で対応可能であり、製作・実施上の制約はないと判断する。

(2) 用途（販売予定先）

副生水素を生成する各工場の顧客殿との取引は、当社営業または商社を介して引き合い対応が可能である。従って、当社が、水素混焼/専焼のボイラ・発電設備に対して、新設あるいは既設改造の提案を実施し、受注・製作・工事・納入の一連の対応を完結させることは可能である。

また、将来的に、水素が再生可能エネルギー等により水電解他で安価に生成できるようになれば、本事業の成果は、大容量の事業用ガス焚きボイラ・発電設備にも適用可能となり、その場合は当社の親会社（三菱パワー）にて販売対応が可能となる。

◆成果の実用化・事業化の見通し

(1) 最近、製鉄所等で生成する多量かつ高濃度の副生水素をボイラにて低コストで燃焼したいという顧客ニーズが高まっている。

(2) 当社として、小型ボイラの競争相手は多いが、中・大型ボイラの競争力は強く、また、バーナ入口ガス圧を高圧化できるのは、当社オリジナル(特許化済)であり、新規性、独創性、競争力の面で、有利であると判断できる。

(3) 本事業の成果は、産業用小・中・大型の水素混焼/専焼焚きボイラ・発電設備に順次適用予定。

(4) 当面は、副生水素が多量に発生する製鉄所及び石油化学系の工場用ボイラを対象とする。

(5) 本事業の成果を反映できるボイラ・発電設備数は、製鉄所関係で15缶、石油化学関係で20缶程度と推定できる。まずは、2022年度に、10t/hクラスの高濃度水素混焼焚きボイラを製鉄所に適用する計画である。

(6) 上記ボイラを納入し、問題ないことを検証後の2024年（4年目）より、高濃度水素混焼/専焼焚きの産業用小・中・大型ボイラを年間2缶目標に拡販を計画する。

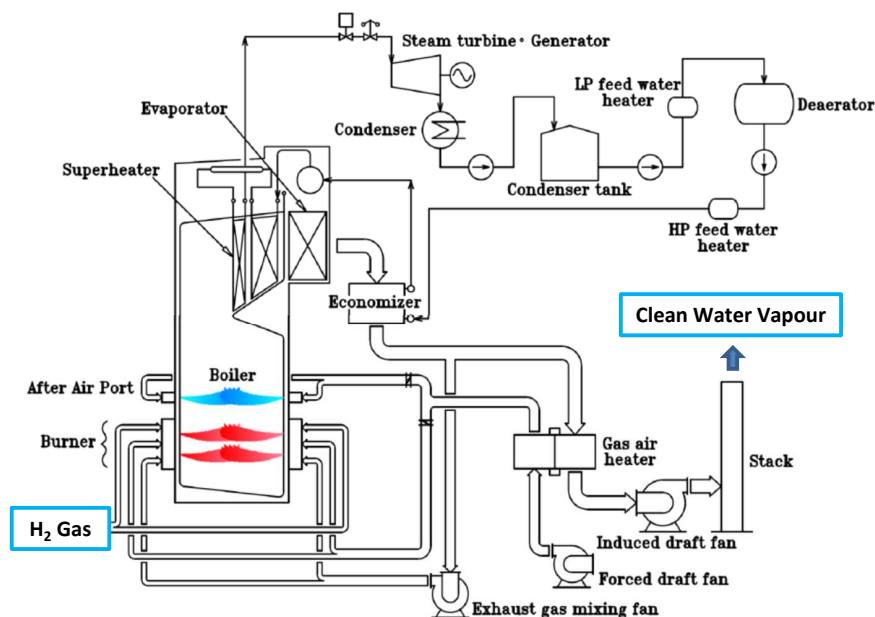


図6 水素焼きボイラ・発電システムの例

市場の動向・競争力

市場規模（現状と将来見通し）／産業創出効果

本事業の成果を反映できるボイラ・発電設備数は、前述したように、製鉄所関係で15缶、石油化学関係で20缶程度と推定できる。まずは、2022年度（2年目）に10t/hクラスの高濃度水素混焼ボイラを製鉄所に適用する計画である。上記ボイラ納入し、問題ないことを検証後の2024年（4年目）より、高濃度水素混焼/専焼ボイラの産業用中・大型ボイラを年間2缶目標に拡販を計画する。

	市場規模	当社のシェア
(2022年度)	1,000百万円	100%
(2024年度)	2,000百万円	100%
(2025年度)以降	2,000百万円/年	70~100%

市場規模算出の根拠：2022年度は10t/hクラスのボイラ1缶を対象、

2025年以降は10~100t/hのボイラ・発電設備を年間2缶考慮

シェア見通しの根拠：現状、中・大型ボイラで高濃度水素の混焼・専焼事例がなく、当初は独占可能と判断する。

なお、2025年度程度から、同業他社も参入することを想定

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆実用化に対する課題と今後の方針

現在、某社から90%レベルの高濃度水素が燃焼可能な10t/hクラスの新設ボイラの引き合いがきている。現計画では、本助成事業の成果を踏まえて、詳細に検討・評価を行い、試設計を行った上で、上記ボイラ・バーナ設計に反映し、試運転で実機検証する予定である。

但し、この実機実証試験が本助成事業の完了（2021年度）以降となることから、顧客殿の同意が得られれば、この実機実証試験に向けた一連の総合評価・試設計（燃焼システム、ボイラ、性能評価）を、本助成事業のSTEP2として、2022年度に実施することも検討する。

（現計画の課題）

高濃度水素の供給圧力が5～7kPaと極端に低いため、燃焼性、安全性及びシステムコスト大（配管径大、設置機器コスト大、バーナコスト大）の問題がある。

（今後の方針）

- ① 高濃度水素の供給圧力5～7kPaをブーストアップする。
- ② ブーストアップする圧力は本事業の成果に基づき決定する。
(5～7kPa → 100kPa or 300kPa or ≥500kPa)

（予想効果）

- ③ 燃料供給圧力の適正化、脈動回避に伴う燃焼安定性、安全性の確保。
- ④ 供給圧力の高圧化に伴う燃料供給配管、燃料調整弁、遮断弁等の小径化及びシステムコストの低減。
- ⑤ 缶前の簡素化に伴うメンテナンス性の改善。

21/23

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆実用化・事業化に向けた具体的取り組み

表7 事業化のスケジュール

年度	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度
助成事業STEP2 実機システム試設計		■			
受注		▲		▲ ▲ ▲	▲ ▲
設計		■		■	■
製作		■	■	■	■
据付工事・試運転			■	■	
拡販			◆	■ 続行/中断を判断	
収益性				■	■

22/23

◆波及効果

(1)技術的波及効果

ボイラにおける水素燃焼での供給圧力の現状実績は、燃焼振動等の制約から80kPa以下である。本事業の成果を適用することで、ボイラにおける水素燃焼を高圧条件で適用可能となれば、供給配管、配管機器設備の小径化、缶前の配置が簡素化可能となる。

(2)経済的波及効果

上記(1)の小径化に伴うシステム全体の低コスト化が達成できる。

(3)社会的波及効果

SDGsの持続可能な循環社会の構築の一環として、ボイラ排ガス中CO₂量の低減・ゼロエミッション化に伴う低炭素化、さらには脱炭素化に貢献できる

(4)人材育成等

本事業の成果は地球環境負荷の低減に寄与できる技術であり、技術論文等で世の中に広報することで、教育資料として有効活用可能と考えられる。

(Ⅱ-⑫)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／大出力水素燃焼エンジン発電システムに関する技術開発」

助成先：川崎重工業株式会社

●成果サマリ (実施期間：2020年度～2022年度(予定))

・①既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価②水素燃焼単筒機の開発及び③水素燃焼の最適化の各研究開発に着手した。

●背景/研究内容・目的

水素を主燃料とする従来に無い大出力(2～8MW級)の水素燃焼エンジン発電システムを実現させるための燃焼技術開発を行い、2022年度末までに終了させる。具体的には、①既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価②水素燃焼単筒機の開発及び③水素燃焼の最適化、の3項目の実施により燃焼技術を構築する。

●研究目標

実施項目	目標
① 既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価	大出力エンジンにおける水素燃焼の特徴を抽出し、水素燃焼単筒機の要目を定める
② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化	<ul style="list-style-type: none"> 多くの量の水素を貯蔵・供給ができる水素燃焼専用試験運転設備を整備する 要素試験結果を反映した水素燃焼専用単筒機を用いて、従来実績を上回る図示平均有効圧力1.6MPaを実現する
③ 水素燃焼単筒機運用システムの開発	天然ガス燃焼エンジンと同様の安全性にて運用可能な運用・制御システムを確立する

●実施体制及び分担等

NEDO — 川崎重工業株式会社

●これまでの実施内容／研究成果

- ①：水素供給機能の整備を完了し、試験に着手した。
- ②：
- 水素脆化を考慮して強度評価を行う対象材料の抽出、評価試験方法・条件の検討を完了し、評価試験に着手した
 - 給気経路や燃焼室及び燃料供給手段の仕様を検討・選定するための数値解析手法を確立すべく計画した複数の水素の解析モデル構築を完了し、各種解析手法を比較する準備を整えた
 - 水素燃焼エンジン単筒機の燃焼室周辺部品などの大物部品の設計に着手した
 - 試験運転設備の基本設計（設備全体のフロー図、潤滑油ポンプ等の補機仕様書等の作成）に着手した
- ③：水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出に着手した。

●今後の課題

①既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価②水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化③水素燃焼単筒機運用システムの開発を行い、水素を主燃料として従来実績を上回る図示平均有効圧力1.6MPaを実現する。

●実用化・事業化の見通し

本プロジェクト終了後に製品化開発（エンジンの多気筒化）を実施し、客先サイト等での実証試験を実施する計画である。実証試験において、一定の信頼性を確認した後上市する。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
①	水素供給機能整備完了し、試験に着手	△ 達成見込み
②	<ul style="list-style-type: none"> 強度評価を行う対象部品を抽出 各種解析手法を比較する準備を整えた 大物部品の設計に着手 試験設備の基本設計に着手 	△ 達成見込み
③	水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出に着手	△ 達成見込み

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
0	0	0	0

「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／大出力水素燃烧エンジン発電システムに関する技術開発」(中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

川崎重工業株式会社

2020年12月4日

1/25

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

開発項目① 既存の天然ガス燃烧単筒機を用いた水素燃烧評価

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①-1 既存の天然ガス 燃烧単筒機での 水素燃烧試験	空燃比等の運転パラメータによる特性変化の確認	水素供給機能整備完了し、試験に着手した	△ (2021/2)	空燃比・水素混焼率・エンジン出力を変更した試験を実施する

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

2/25

開発項目② 水素燃焼単筒機の開発、及び水素燃焼の最適化

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
②-1 適用材料の水素環境下での強度試験	燃焼室周縁部に適用する材料の水素脆化を考慮した強度特性を把握	対象とする材料を選定した試験方法を検討し、強度試験に着手した	△ (2021/2)	選定した材料の強度試験結果より、水素脆化の影響を確認する
②-2 燃焼室状態の数値解析	給気経路や燃焼室及び燃料供給手段の仕様を検討・選定するための数値解析手法を確立	メタンと水素で空気との混合挙動を解くための解析モデル構築を完了し、複数のモデル化手法を比較する準備を整えた	△ (2021/2)	複数のモデル化手法を用いてパラメータ調整や精度検証を実施し、比較することにより、最適な数値解析手法を選定する

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
②-3 水素燃焼単筒機的设计	燃焼室周辺部品などの大物部品の設計・検討完了	大物部品の設計に着手	△ (2021/2)	燃焼室周辺の基本構造を決定する
②-4 水素燃焼単筒試験設備の整備	試験設備の基本設計完了	試験設備の基本設計に着手	△ (2021/2)	基本設計完了（設備全体のフロー図、潤滑油ポンプ等の補機仕様書の完成）および、単筒機製造に着手する

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

②-1 適用材料の水素環境下での強度試験

【成果】

- 水素脆化を考慮して強度評価を行う対象部品を抽出した

【意義】

- 本開発エンジンは、従来研究実績より燃焼圧力および温度が高く、水素脆化の影響が大きくなることが予想される。大出力エンジンに適用される材料の水素脆化に関する研究は数少なく、燃焼室を模擬した評価は世界初となる



7/25

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

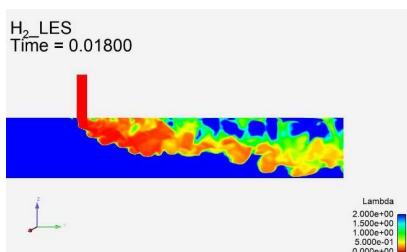
②-2 燃焼室状態の数値解析

【成果】

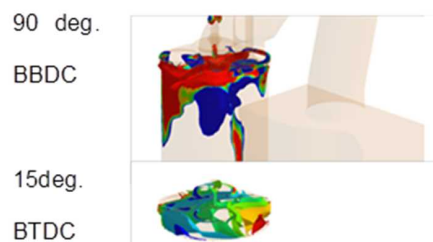
- メタンと水素で空気との混合挙動を解くための解析モデル構築を完了し、複数のモデル化手法を比較する準備を整えた
- 天然ガス燃焼エンジンの解析で用いていた数値解析手法を元に、水素の取り扱い方を変えた複数のモデル化手法を用いてパラメータ調整や精度検証を実施し、比較することにより、最適な数値解析手法を選定する計画を立てた

【意義】

- 2021年度以降に給気経路や燃焼室及び燃料供給手段の仕様検討で数値解析を活用できる



簡易筒内燃料噴射モデル



エンジン筒内燃料濃度分布シミュレーションのイメージ

8/25

② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

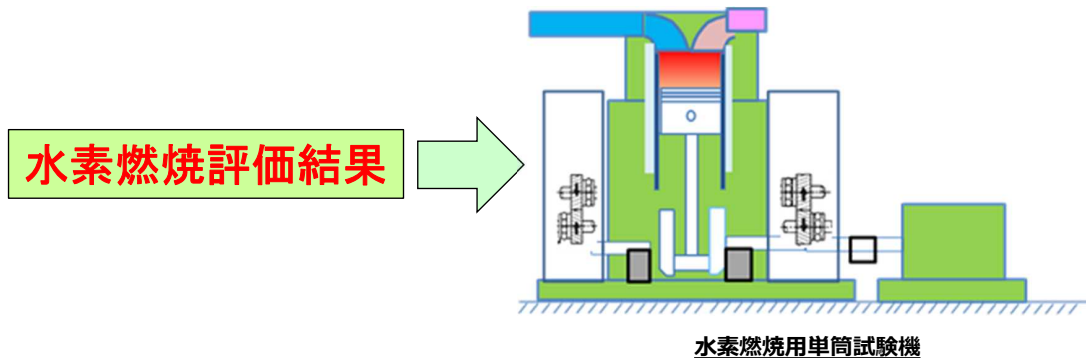
②-3 水素燃焼単筒機的设计

【成果】

- 燃焼室周辺部品などの大物部品の設計に着手した

【意義】

- 既存の天然ガス燃焼単筒試験機は設計変更の余地が少ない一方で、天然ガスと水素とは燃焼特性の差異が大きいため、設計変更点が多岐にわたるが、開発項目①で得た成果を反映することで水素燃焼専用単筒機を製造し試験を行うことができる



② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

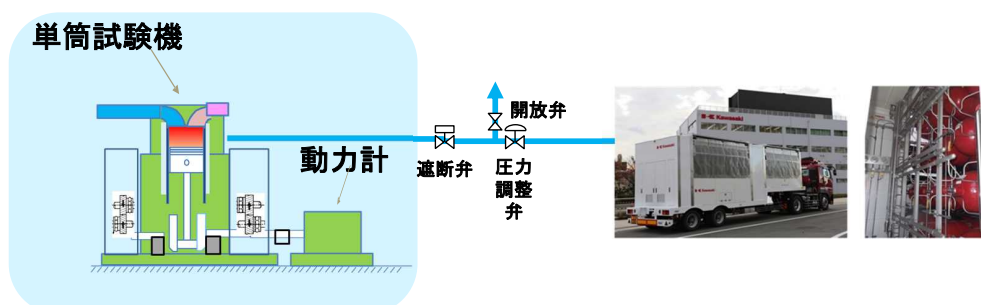
②-4 水素燃焼単筒試験設備の整備

【成果】

- 試験設備の基本設計（設備全体のフロー図、潤滑油ポンプ等の補機仕様書等の作成）に着手した

【意義】

- 建造する試験設備により、十分な量の水素を貯蔵・供給でき、水素燃焼時の性能及び耐久性等を的確に把握するために重要な連続10時間程度の運転継続を実現し、水素燃焼エンジン開発を加速できる



③ 水素燃焼単筒機運用システムの開発

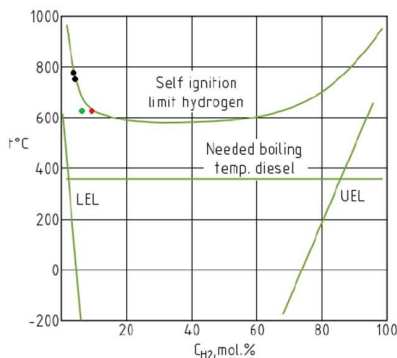
③-1 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出

【成果】

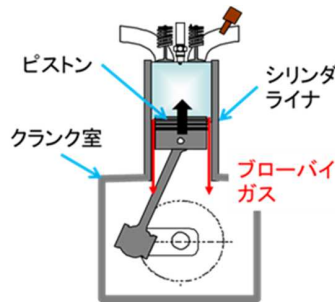
- 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因抽出に着手した
- メタンと水素の物性を比較することで、同等の安全性を実現するための差異を抽出し、安全確保に必要な要件を固めることにより、高リスク部位、部品を見極め、リスクアセスメント方針を決定する計画を立てた

【意義】

- 本成果は天然ガス燃焼エンジンと同様の安全性にて運用可能な設備・制御システムを確立するためのリスクアセスメントの基礎データになる

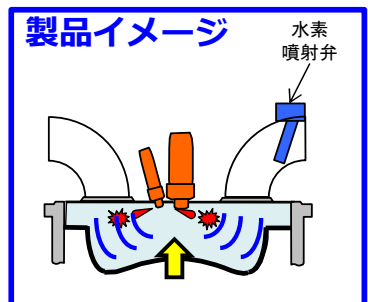
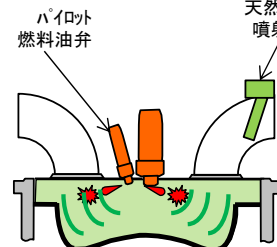
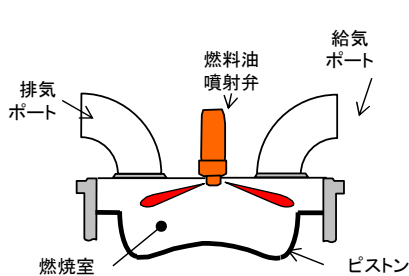


出典：CIMAC CONGRESS19 2019 | 362
ABC's Dual-Fuel Engines Running on Renewable Fuels like Methanol and Hydrogen



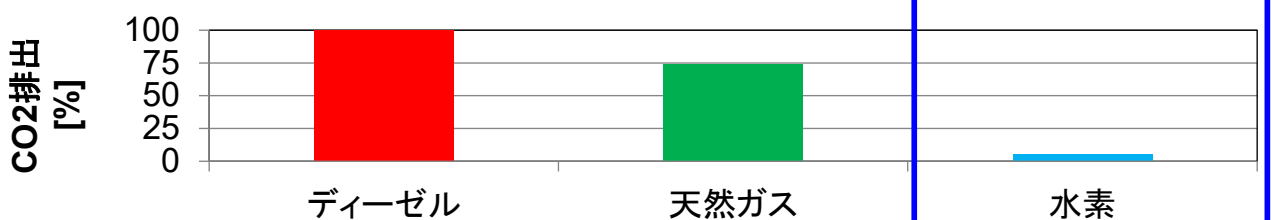
絞り込みリスクの例
ブローバイガスによるクランクケース内雰囲気

水素は当量比=0.5でも、約15%volの濃度であり、ブローバイガスによってクランクケース内が可燃範囲に入るリスクがある



製品イメージ

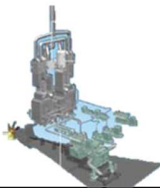


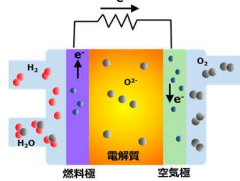
	ディーゼルエンジン	天然ガスエンジン	水素エンジン
主燃料	燃料油	天然ガス	水素
着火用燃料	—	燃料油(約2%)	燃料油(約5%)
CO2削減率	—(基準)	20-23%	約95%



従来の燃料に比べ大幅に温室効果ガス排出を削減可能

3. 研究開発成果について

(1) 研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義

	水素ボイラ	水素ガスタービン	水素エンジン	燃料電池 (SOFC)
				
単体効率			○	◎
熱利用	○	○		○
排気ガス (NO _x)				◎
起動・停止の制限			◎	
許容水素純度範囲	◎	◎	◎	
要求水素供給圧力	◎		○	
2元燃料対応	◎	◎	◎	
起動速度		◎	○	
耐久性	○	○	○	
コスト/kW		○	○	

水素エンジンは産業用原動機に求められる多くの要求を高いレベルで満たす

13/25

3. 研究開発成果について

(5) 成果の最終目標の達成可能性

事業項目	2020年度	2021年度 (予定)	2022年度 (予定)
①. 既存の天然ガス燃焼用単筒試験機を用いた水素燃焼評価			
①-1 既存の天然ガス燃焼用単筒試験機での水素燃焼試験	燃焼特性把握	燃費向上パラメータの把握	
②. 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化			
②-1 適用材料の水素環境下での強度試験	使用材料の決定		
②-2 燃焼室状態の数値解析	設計への適用		
②-3 水素燃焼単筒機的设计	大物部品の出図	中小物部品の出図	計測部品等の出図
②-4 水素燃焼試験設備の整備	基本設計図出図	詳細施工図出図	設備試運転完了 計測部品製造完了
②-5 水素燃焼の最適化			出力目標達成
③. 水素燃焼単筒機運用システムの開発			
③-1 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出		高リスク部位、部品の見極め リスクアセス方針決定	
③-2 水素燃焼エンジン運用システムの構築および評価		(HAZOP等)によるリスク定量評価 詳細設計への反映	机上動作確認 設計書出図 実機搭載

14/25

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性

開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
①-1 既存の天然ガス 燃焼単筒機での 水素燃焼試験	水素燃料供給機能を整備し、試験に着手した	大出力エンジンにおける水素燃焼の特徴を抽出し、水素燃焼単筒機の要目を定める	空燃比、水素混焼率、エンジン出力変更による特性変化を把握し、試験にて最適な仕様を抽出する

15/25

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性

開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
②-3 水素燃焼単筒 機の設計	燃焼室周辺部品などの大物部品の検討に着手	水素燃焼に適した単筒試験機を設計・製造し、試験に供用する	2021年度初めに大物部品の設計を完了し、基本構造が決まり次第、併行して中小物部品の設計を進めることで2021年度中に出図を完了する見通し

16/25

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性

開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
②-4 水素燃焼単筒 試験設備の整備	試験設備の基本設計に 着手	連続10時間程度の運転継 続能力を持ち、開発項目① で得られた知見の有用性を 確認できるエンジン試験設備 を整備	今年度中に単筒機製造に 着手、2021年度第3Qに 設備建造に着手し、2022 年度第2Qに単筒機および 試験設備が完工する見通 し
②-5 試験による水素 燃焼の最適化 (予定)	2022年度より着手する 計画	図示平均有効圧力 1.6MPaの実現	他研究機関では、小型試 験機にて図示平均有効圧 力1.4MPa相当の実績があ る。本試験機は設計強度が 大きく、高い給気圧で運転 できるため、潜在能力が高 い。また①-1で抽出した最 適仕様を反映した設計とす ることで、目標を達成する見 込み

17/25

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性

開発項目	現状	最終目標 (2022年度末)	達成見通し
③-2 水素燃焼エンジ ン運用システムの 構築および評価 (予定)	2021年度より着手する 計画	天然ガス燃焼エンジンと同様 の安全性にて運用可能な制 御システムを確立する	開発項目③-1で抽出したリ スクに対して、HAZOP等 によるリスク定量評価を行い、 詳細設計へ反映することで、 天然ガス燃焼エンジンと同 様の安全性にて運用可能 な水素燃焼エンジン運用シ ステムを構築する

18/25

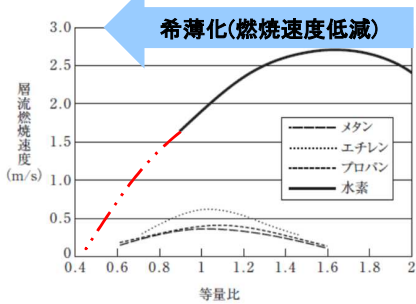
3. 研究開発成果について (6) 成果の最終目標の達成意義

① 既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価

①-1 既存の天然ガス燃焼単筒機での水素燃焼試験

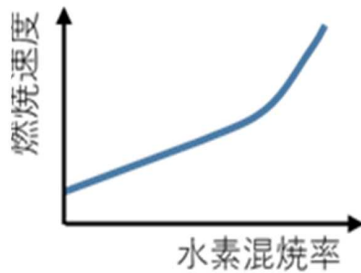
【アクション・意義】

- 水素混焼率5～95vol%での燃焼速度、熱発生率、最大燃焼圧力等、燃焼特性を把握する
- 空燃比、出力などの運転パラメータを変更した燃焼特性の変化の把握する。
- 得られた試験結果を評価して水素燃焼に最適な仕様を別途付けし、②-3の設計に反映する

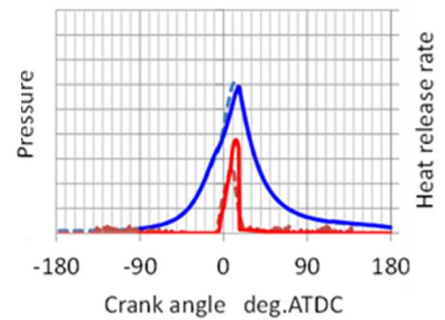


当量比と燃焼速度の関係※
(赤線部当社推定)

※出典：電気設備学会誌 2016年4月
特集 水素社会11 水素の安全利用



燃焼特性把握試験のイメージ



燃焼評価のイメージ

19/25

3. 研究開発成果について (6) 成果の最終目標の達成意義

② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

②-3 水素燃焼単筒機的设计

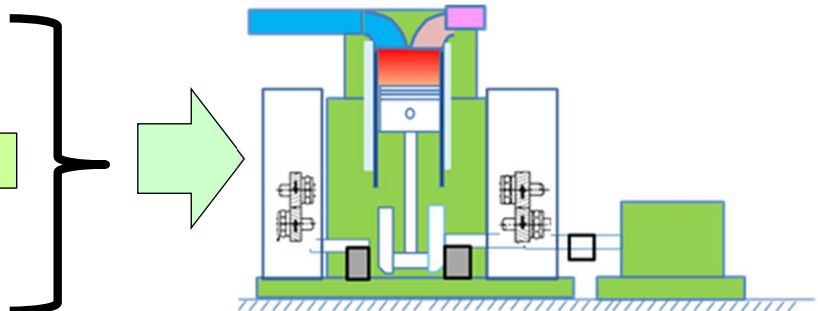
【アクション・意義】

- 開発項目①-1で評価した水素燃焼に最適な仕様を反映する
- 開発項目②-1で把握した適用材料の水素環境下での強度を反映する
- 開発項目②-2で確立した燃焼室状態の数値解析を用いて、最適な燃焼室内の燃料濃度分布となる仕様とする

水素燃焼評価結果

適用材料の水素脆化の影響

燃焼室の数値解析



水素燃焼用単筒試験機

20/25

3. 研究開発成果について (6) 成果の最終目標の達成意義

② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

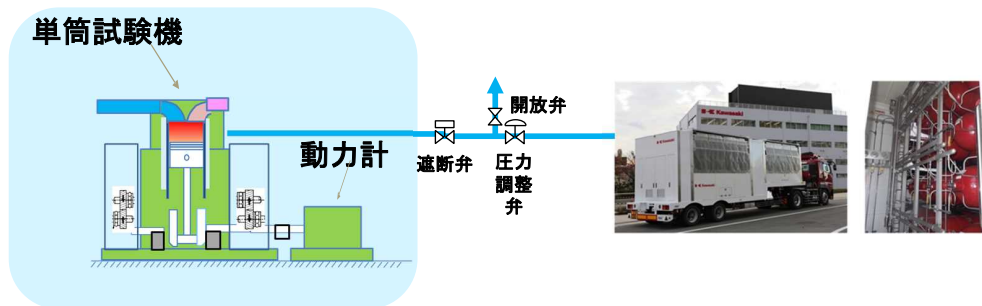
②-4 水素燃焼単筒試験設備の整備

【アクション・意義】

- 開発項目②-3で設計した水素燃焼単筒機、および計測部品等を製造する
- 2020年度に実施した試験設備の基本設計（設備全体のフロー図、潤滑油ポンプ等の補機仕様書）に基づき、詳細設計となる配管施工図、計装図等の作成後、試験設備を製造する

これらアクションの結果、

十分な量の水素を貯蔵・供給できることにより、連続10時間程度の運転継続が出来、水素燃焼エンジン開発を加速できる



21 / 25

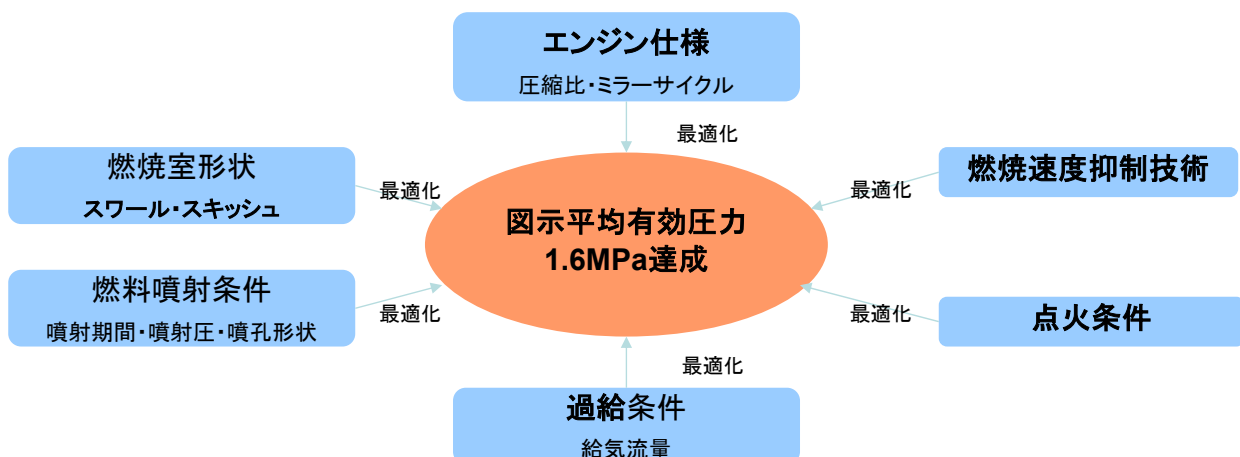
3. 研究開発成果について (6) 成果の最終目標の達成意義

② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

②-5 試験による水素燃焼試験の最適化

【アクション・意義】

- 開発項目②-4で製造した水素燃焼専用単筒機を用いる
- 開発項目①-1で抽出したパラメータの範囲において詳細な調整を行い、異常燃焼を抑制しつつ図示平均有効圧1.6MPaを実現する



22 / 25

③ 水素燃焼単筒機運用システムの開発

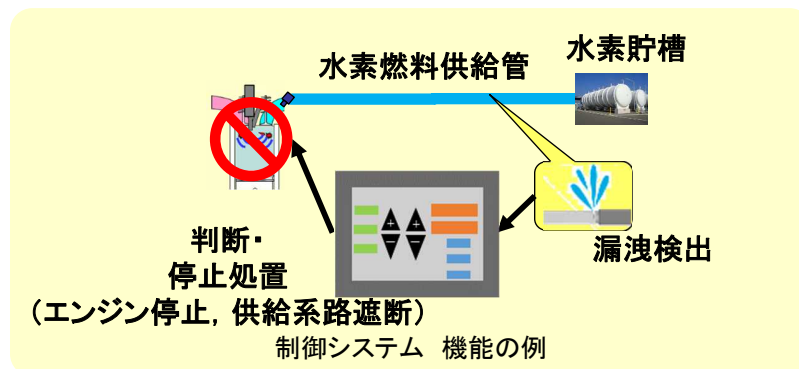
③-2 水素燃焼エンジン運用システムの構築および評価

【アクション・意義】

- 開発項目③-1で抽出したリスクをHAZOP等のリスクアセスメント手法を用いて評価する
- 上記リスク評価基準を反映したエンジン運用システムを構築し机上動作確認後、試験機に搭載し、運用を通して評価する

これらアクションの結果、

天然ガス燃焼エンジンと同様の安全性にて運用可能な水素燃焼エンジン運用システムが構築される



4. 実用化・事業化の見通しについて

本プロジェクト終了後に製品化開発（エンジンの多気筒化）を実施し、客先サイト等での実証試験を実施する計画。

実証試験において、一定の信頼性を確認した後に上市する。

4. 実用化・事業化の見通しについて



実用化の対象として、以下のアプリケーションを想定している。

- 分散発電・電力変動調整用発電エンジン
- 液化水素運搬船・水素燃料船用発電エンジン
- 水素発電バージ, など

(Ⅱ-⑬)「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業」

助成先：(株)大林組、川崎重工業(株)

●成果概要（実施期間：2015年度～2018年度終了）

- ・統合型EMSの開発について、双方向蒸気融通技術と統合型EMSを導入し、電気・熱・水素を総管理し、環境性と事業性を確保するエネルギー・マネジメントシステムおよび蒸気ハンマーの発生しない双方向融通配管網が構築できた。
- ・水素CGSの開発について、最終目標である「実負荷運転時の水素混焼割合切替え時の燃焼安定性検証」が完了。

●背景/研究内容・目的

◎背景

2014年4月策定の「エネルギー基本計画」では、エネルギー・マネジメントシステム(EMS)はスマートコミュニティにおけるエネルギー使用の合理化や低炭素化などを達成するための重要なシステムとして位置付けられており、「電気」「熱」「水素」を最適にマネジメントし経済性に優れた統合型EMSの将来導入ニーズは相当規模存在すると思われる。

また、2014年6月策定の「水素・燃料電池戦略ロードマップ」、2016年3月策定の「水素・燃料電池戦略ロードマップ改訂版」では、水素発電の本格導入を目指しており、水素混焼・専焼可能なガスタービンコージェネ(CGS)の開発が求められている。

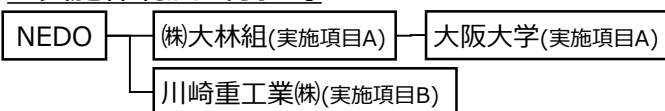
◎研究内容・目的

水素を燃料とする1MW級ガスタービンを有する発電設備(水素CGS)を用いて、地域レベルでの「電気」「熱」のエネルギー効率利用を目指す新エネルギーシステム(統合型EMS)の技術開発・実証を行い、水素・天然ガス混焼ガスタービンの燃焼安定性の検証、双方向蒸気融通技術の確立、統合型EMSの経済的運用モデルの確立に取り組むことで、統合型EMSおよび水素CGSの事業化を推進する。

●研究目標

実施項目	目標
A: 「統合型EMSの開発」	「電気」「熱」「水素」の統合型EMSの経済的運用モデルと双方向蒸気融通技術の確立
B: 「水素CGSの開発」	実負荷運転時の水素混焼割合の切替え時の燃焼安定性の検証

●実施体制及び分担等



●これまでの実施内容／研究成果

A. 統合型EMSの開発

① 計画、設計、施工

電気・熱・水素を総管理し、環境性と事業性を確保する統合型エネルギー・マネジメントシステムおよび双方向蒸気融通配管網を計画、設計、施工し、現地に実装した。

② 性能検証

季節ごと(外気温度、需要の変化)の実負荷運転を行い、運転実績値をもとにEMSの改訂を行うことで、需要予測や最適運転計画の精度向上を図り、±10%以内の精度を発揮できた。また、実証運転により蒸気を双方向に融通させてもハンマーが発生しないことが確認できた。

B. 水素CGSの開発

① 実負荷運転時の水素混焼割合切替え時の燃焼安定性検証の完了

本事業で整備した実証試験設備を使用して、ガスタービン発電装置の運用で想定される各種パターンでの運転試験により、出力/回転数/温度/圧力などの各種データを取得し、水素専焼および水素・天然ガスの混焼での運転の安定性、また水素専焼と混焼、天然ガス専焼と混焼、混焼での水素混合率の変更での運転安定性とNOxの排出規制値(大気汚染防止法：70ppm以下、残存酸素濃度16%換算)を満足すること、燃焼器部品の焼損等がないことを確認した。

2018年6月には、純水素および水素/天然ガスの任意混合率での混焼運転が可能な「ガスタービン発電所」として認可を取得し、「世界初」となる実用レベルの水素ガスタービン発電装置の開発を完了した。

●今後の課題

A. 統合型EMSの開発

今回のフィールドに即したシステムは構築できたため、システムとしての課題はないものの、さらなる精度向上に努めてゆく。

B. 水素CGSの開発

今後は、水素発電の他燃料発電との競争力強化および受容性向上のため、水素ガスタービンの発電効率の向上や周辺機器のエネルギー損失の低減等に取り組んでゆく必要がある。

●実用化・事業化の見通し

水素の市場価格推移、副生水素の発電利用ニーズを注視しつつ、2020年代初頭には水素発電の需要が顕在化し、本格的な事業化に至ると考えられる。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A: 「統合型EMSの開発」	・「電気」「熱」「水素」の統合型EMSの経済的運用モデル確立の完了 ・双方向蒸気融通技術確立の完了	○
B: 「水素CGSの開発」	・実負荷運転時の水素混焼割合切替え時の燃焼安定性検証の完了	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
なし	4件	131件	なし

「水素社会構築技術開発事業」 大規模水素エネルギー利用技術開発 水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業」 (中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

株式会社大林組

川崎重工業株式会社

2020年12月4日

1/42

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

◆背景・目的

- エネルギー基本計画(H26/4)に、『水素社会の実現』、『熱利用：コージェネレーションの利用促進』及び『総合的なエネルギー需給管理を行うスマートコミュニティの実現』が示された。
- 水素・燃料電池戦略ロードマップ改訂版(H28/3)には、『水素発電の本格導入』が示された。
- 現在 1 MWクラスの分散型水素CGSは実用化されておらず、また、水素をエネルギーの中心として捉え、「電気」・「熱」・「水素」の三位一体でマネジメントするという取り組みは行われていない。

※EMS (=Energy Management System)
CGS (=Co-Generation System)

本事業では、国内に点在する様々な水素源の有効活用、更に将来の水素サプライチェーンの実現も見据え、自家発電やコミュニティレベルでの水素活用ニーズに向け

- 1 MW級の水素ガスタービンを用いた**水素CGS**
- 電気／熱／水素の最適マネジメントを目指す**統合型EMS**

の技術開発・実証を行う。

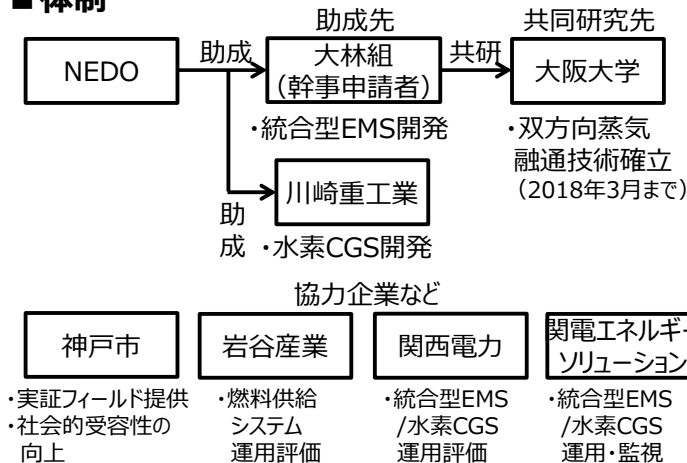
ガスタービンによる純水素の大量利用を市街地で実施する点、近隣の複数の公共施設へCO₂ゼロエミッションの熱電供給を行う点で、世界初の取り組みとなり、技術および社会実証の両面で大きな意義を持つ。

2/42

◆技術開発の個別テーマと目標

テーマ	目標	NEDO「基本計画」最終目標	意義
A. 統合型EMSの開発	<ul style="list-style-type: none"> 電気・熱・水素を総合管理し、環境性を事業性を確保する統合型EMSの確立 双方向蒸気融通技術の確立 	水素発電等を組み込んだエネルギーシステムについて、市場化に必要な技術を確立する	水素需要の創出・利用拡大
B. 水素CGSの開発	<ul style="list-style-type: none"> 実負荷運転における水素混焼割合切替え時の燃焼安定性の検証 	水素を混焼あるいは専焼で発電する技術に関して既存の燃料と同等の発電効率、環境性を満たす技術を確立する	水素社会の実現

■体制



■全体スケジュール

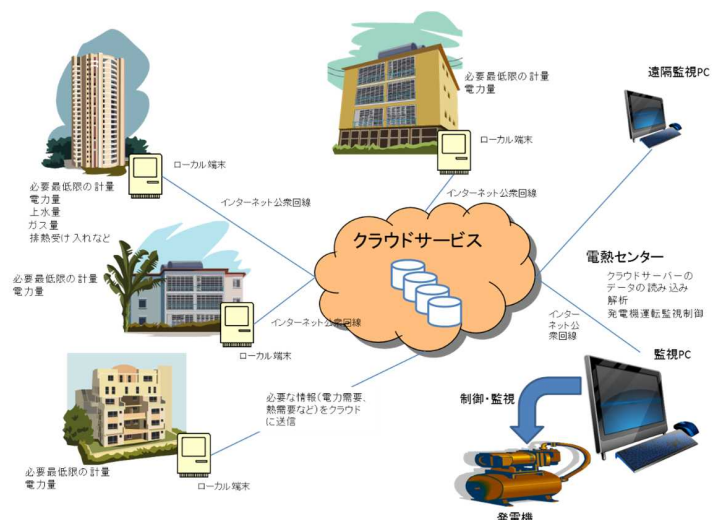
	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度
統合型EMSの開発	計画	設計	工事	実証運転 ・四季を通じた実証運転 ・EMSの精度向上
水素CGSの開発		設計	製作・据付	実証運転 ・四季を通じた性能検証 ・一定時間運転後の健全性評価

◆個別テーマの実施内容

A. 統合型EMSの開発

「電気」「熱」「水素」の統合型EMSの経済的運用モデルの確立

- 電力・熱・水素を総合管理し、更に既存熱源設備やクラウドを活用することで、既存システムと同等以上の効率性、経済性、環境性を確保したエネルギーマネジメントシステム技術を確立する。
- クラウドにより地域全体の需要量を把握し、運用モデルシミュレーションにより、水素由来の環境性と経済性を両立させる最適な運転パターンを見出すための制御ロジックを構築する。
- 需要実績とともに、需要量に影響する様々なファクターから需要予測を立て、水素CGSのより最適な運用を目指す。

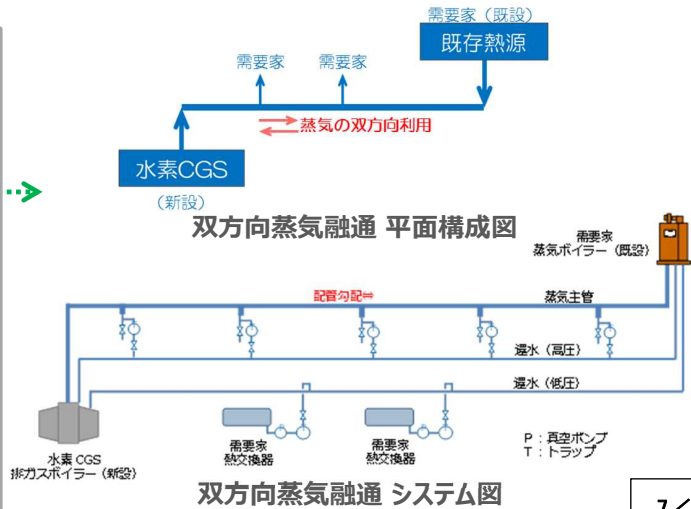
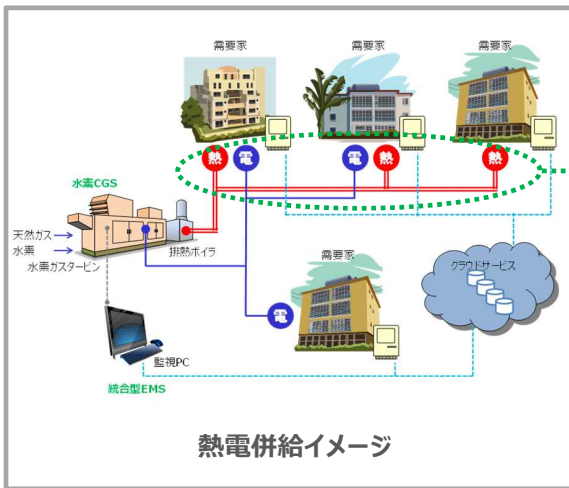


◆ 個別テーマの実施内容

A. 統合型EMSの開発

双方向蒸気融通技術の確立

- 蒸気配管（熱導管）について、単管で蒸気を双方向に利用する技術を確立する。
- 従来の一方向利用ではなく、双方向利用による技術的課題（ドレン還水処理など）を解決し、設計手法を確立する。
- 双方向蒸気融通に対応した配管構成のあり方（配管サイズ、勾配、トラップの配置など）を研究する。

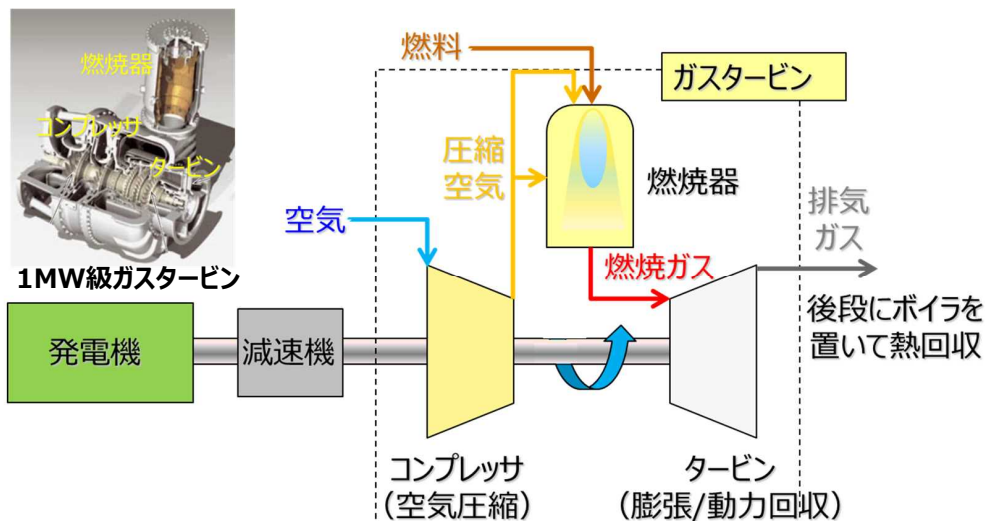


◆ 個別テーマの実施内容

B. 水素CGSの開発

実負荷運転時の水素混焼割合の切替え時の燃焼安定性の検証

- 水素専焼(100%)及び水素と天然ガスの任意割合の混焼において、安定した燃焼を実現する技術を確立する。
- 水素と天然ガスの燃焼が可能な1MW級のガスタービンを設置し、運転試験により回転数・排気温度および圧力などの各種データより、燃焼安定性を確認する。



◆ 個別テーマの実施内容

B.水素CGSの開発

◎水素ガスタービン燃焼器開発の難しさ (技術課題)

水素は天然ガスと比較して『**燃焼速度が速く**』、『**火炎温度が高い**』

燃焼速度が速い ⇒ 逆火・焼損

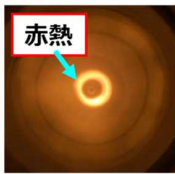
火炎温度が高い ⇒ NOx発生増

燃焼器の**焼損防止**と**NOx抑制**の両立がポイント

※NOx：窒素酸化物

※逆火：燃料ノズルに火炎が逆流する現象

現行ノズル



既存の天然ガス用燃料噴射ノズル

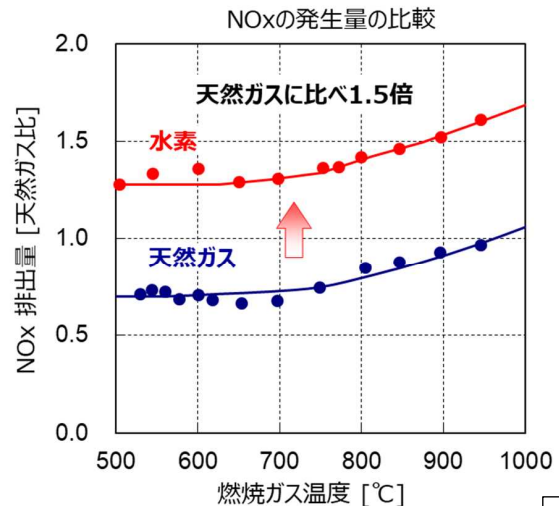
新型ノズル



適量に調整された水噴射有り



水素/天然ガス用燃料噴射ノズル



◆ 個別テーマの実施内容

B.水素CGSの開発

◎本プロジェクトで採用する水素ガスタービン燃焼器

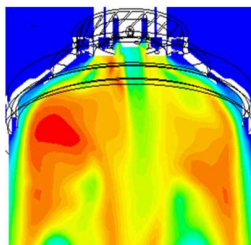
ウェット方式の“**水噴射燃焼器**”を採用 (水噴射によりNOxを抑制)

保炎力の強い火炎は安定燃焼が可能だが、高温部分でNOxが発生

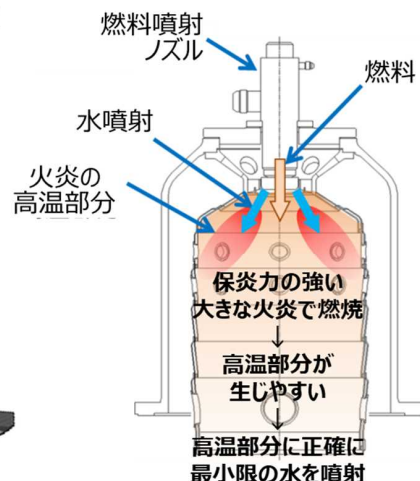
高温部分に最小限の水を噴射して温度を下げ、NOxの発生を抑制



水素/天然ガス用燃料噴射ノズル



コンピューターシミュレーションによる温度分布予測



◆個別テーマの実施内容

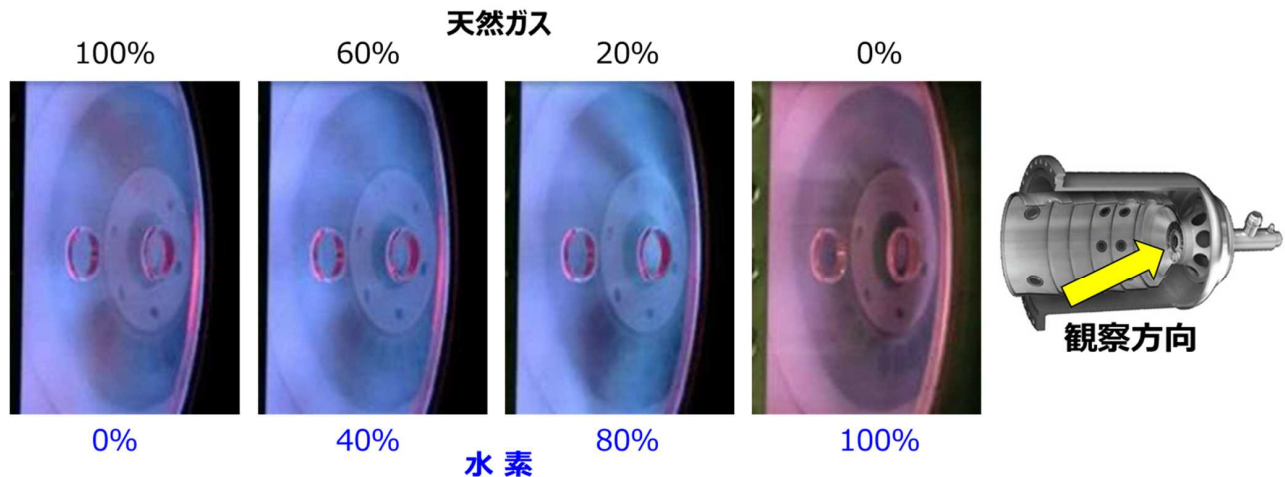
B.水素CGSの開発

◎水素ガスタービン燃焼器の水素・天然ガス切替運転

ウェット方式の水噴射燃焼器は水素と天然ガスを自在の混合率で運転可能

(水素100%専焼 ⇔ 水素・天然ガス混焼 ⇔ 天然ガス100%)

水素普及の初期段階から天然ガス混焼を併用することで水素運用が可能



燃焼器単体試験時の内部火炎可視化計測

◆個別テーマの目標と達成状況

- 2018年度までの実証運転を以て、開発目標は全て達成

<水素CGSの開発実証>

- ・ 実負荷運転における水素専焼／混焼運転時、および水素混焼割合切替え時の燃焼安定性の検証
- ⇒ コジエネ分野で普及が期待される1MW級水素CGSに使用する、水素専焼/混焼対応ガスタービン(水噴射方式)について開発を完了

<統合型EMSの開発実証>

- ・ 電気・熱・水素を総合管理し、事業性と環境性を確保する統合型EMSの構築
- ・ 双方向蒸気融通システムの構築
- ⇒ 水素CGSの「環境性と事業性を確保した運用に欠かせない技術」として統合型EMSおよび双方向蒸気融通技術の開発を完了

- 『NEDO「水素社会構築技術開発事業」基本計画』の最終目標と意義に応じた成果を得た

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

テーマ	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
A. 統合型 EMSの開発	A-1) 双方向蒸気融通技術の確立			
	A-1-1) 現地調査 > 基本計画に必要な現地調査が完了していること > 基礎構造形式の検討に必要な地質調査が完了していること	> 基本計画に必要な条件として、水素CGS設置場所の現地状況、需要家施設の設定概要や現地状況、水素CGS設置場所から需要家施設までの公道の状況の把握・整理が完了した。 > 基礎構造形式の検討に必要な条件として、地質の把握・整理が完了した。	○	課題なし
	A-1-2) 基本計画・基本設計・詳細設計 > 基本設計のための基本計画が完了していること > 詳細設計のための基本設計が完了し、建設のための詳細設計図面が完成していること	> 測量・現地調査結果をもとに基本計画および基本設計が完了した。 > 基本設計や試掘調査結果をもとに詳細設計（実施設計）が完了した。	○	課題なし
	A-1-3) 機器製作・現地工事 > 建設のための機器の製作と納入が完了していること > エネルギーセンター工事（インフラ、運転管理室）、需要家への電力・蒸気供給工事、需要家受入れ改修工事が完了していること	> A-1-2詳細設計の完了後、H29年4月より製作を開始し、現地工事が完了した。 エネルギーセンター、供給先の改修工事、公道の熱導管工事が完了した。	○	課題なし
	A-1-4) 単体試運転 > エネルギーセンター工事（インフラ、運転管理室）、需要家への電力・蒸気供給工事、需要家受入れ改修工事における各設備の試運転が完了していること	> 工事が完了したのから順次、単体試運転を行い、2018年2月に完了した。	○	課題なし

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

13/42

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

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

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

14/42

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

テーマ	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
A. 統合型 EMSの開発	A-2) 統合型EMSの確立			
	A-2-3) 単体試運転 > エネルギーセンター設備（水素CGS・水素供給設備、その他設備）、需要家への電力・蒸気供給設備、需要家受入れ設備における各EMSの試運転が完了していること	> A-2-2現地工事の完了後、H30年1月より開始し、2018年2月に試運転が完了した。	○	課題なし
	A-3) 現地実証による性能確認試験			
	A-3-1) 実証運転 > 水素CGSで発電した電力と熱（蒸気）を地域需要家へ供給する実証運転が完了していること > 統合型EMSにより運転制御された水素CGSの実証運転が完了していること > 双方向蒸気融通技術を取り入れた蒸気供給設備による熱（蒸気）供給の実証運転が完了していること	> A-1-5全体試運転の完了後、H30年3月より開始予定	○	課題なし
	A-3-2) 評価 > 統合型EMSによる需給制御の確認・検証(水素CGS・需要家・既存熱源の連携を確認)が完了していること > 「電気・熱・水素の統合型EMSの経済的運用技術の確立」の達成度を確認すること > 双方向蒸気融通の挙動確認・検証が完了していること > 「双方向蒸気融通技術の確立」の達成度を確認すること	> 春、夏、秋、冬 実証試験を実施し、光熱水費、CO2排出量を計測した。 > 実験や数値解析により、ハンマー現象の発生条件、圧力変動等の挙動を明らかにした > ハンマー対策を施した上で送気試験をしたところ、ハンマーが発生しないことが確認できた。 > 実験や数値解析により、ハンマー現象の発生条件、圧力変動、その回避方法を明らかにできた。	○	今回のフィールドに即したシステムは構築できたため、システムとしての課題はないものの、さらなる精度向上に努めてゆく。

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

15/42

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

テーマ	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
B. 水素CGSの 開発	B-1) 水素CGSシステムの開発			
	B-1-1) 設計着手前のシステム及び機器構成の基本検討 > 現地の設計上の制約条件についての詳細項目の洗い出しが完了していること	> 運用条件、システム構成、電気/制御、環境条件、設置条件、設計条件、工事所掌、試験時の実負荷使用、ユーティリティ条件の洗い出しが完了	○	課題なし
	B-1-2) 基本設計・詳細設計 > 機器発注のための機種選定が完了していること > 設備のフロー図や電気回路図等が完成していること > 設備の配置図が完成していること > 主要機器の図面が完成していること	> 長納期機器に関して機種選定および仕様確定を完了 > 設備のフロー図および電気回路図、配置図等の基本設計図書の作成を完了し、詳細設計へ移行 > 主要機器および詳細設計の図面作成を2017年9月末に完了	○	課題なし
	B-1-3) 機器製作・機器発注 > 水素CGS設備および水素供給設備に使用する機器の製作と納入が完了していること	> 水素CGS設備および水素供給設備に使用する全ての機器の発注・製作着手を完了 > 水素CGS設備および水素供給設備に使用する全ての機器の完成・納入が2017年9月末に完了	○	課題なし
	B-1-4) 現地工事 > 水素CGS設備および水素供給設備の設置工事が完了していること	> 2017年9月22日に現地工事に向けた仮設事務所等の整備を完了 > 2017年9月25日より機器据付工事を開始 > 2017年12月9日に全ての機器設置工事を完了	○	課題なし

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

16/42

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

テーマ	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
B. 水素CGS の開発	B-1) 水素CGSシステムの開発			
	B-1-5) 単体試運転 > 水素CGSおよび水素供給設備の各構成機器の単体運転が完了していること > 各設備の単独運転での動作確認が完了していること	> 2017年12月4日より水素CGSの各構成機器の単体試運転を開始し、2017年12月28日に動作確認を完了 > 水素供給設備については2017年12月より試運転を開始する予定だったが、追加安全対策工事が必要となり、2018年1月11日より構成機器の単体試運転を開始し、2018年3月17日に動作確認を完了	○	課題なし
	B-1-6) 全体試運転 > システム全体による連携運転で、発電による系統連系システムおよび蒸気供給システムの動作確認が完了していること > 水素CGS設備としての発電量、蒸気発生圧力の確認が完了していること	> 2018年1月10日より都市ガスによる水素CGS設備について、水素設備との連携を除いた他システムとの全体試運転を開始 > 2018年1月16日に系統連系（発電電力の送電）を、2018年1月22日に蒸気システムとの連携（蒸気の送気）確認を完了 > 2018年1月22日に都市ガス運転による設備性能確認を実施し、設計性能を満足していることを確認	○	課題なし
	B-2) 現地実証による性能確認試験			
	B-2-1) 実証運転 > 実負荷運転時の水素混焼割合の切替え時の燃焼安定性の検証が完了していること	> 2018年3月26日～4月7日にかけて水素ガスを使用した、始動・停止試験、燃焼調整試験、負荷遮断試験を実施し、各種運転が安定して実施できることを確認	○	課題なし
B-2-2) 評価 > 1MW級の水素混焼コジェネレーションを開発・実証運転が完了していること > 水素専焼（水素100%）の運転の確認が完了していること	> 2018年4月9日に水素ガスによる連続負荷試験を、2018年5月22日～6月1日、7月20日～8月3日、11月5日～11月16日、2019年1月14日～1月25日に運転試験を実施し、全運転時間において目標値をクリアしていることを確認 > 2018年11月26日～11月30日に、燃焼器／燃料ノズルの取り外しによる詳細確認と、ポアスコープによるガスタービン本体の内部点検を実施し、有害な損傷等の異常がないことを確認	○	今後は、水素発電の他燃料発電との競争力強化および受容性向上のため、水素ガスタービンの発電効率の向上や周辺機器のエネルギー損失の低減等に取組んでゆく必要がある。	

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

17/42

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度

開発項目	最終目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
B. 水素CGSの 開発	B-3) 適用法令の確認			
	B-3-1) 適用法令の予備検討・適用法令の決定・その他のCGS設置関連法令の整理 > GT発電設備について、主となる適用法令の確認ができていないこと > 水素CGS設置に関連する法令の洗い出しが完了していること > 監督官庁および行政の関連部門への説明準備が完了していること	> 発電用GTは電気事業法を適用することとし、液体水素の貯留・供給部分は高圧ガス保安法を適用することとした。 > 水素CGS設置に関連する法令の詳細の洗い出しを完了した。 > 監督官庁および行政の関連部門への説明準備が完了した。	○	課題なし
	B-3-2) 官庁申請 > 水素CGS設置に関連する法令全てに関して、監督官庁および行政の関連部門との事前調整が完了していること > 水素CGS設置に必要な申請・届出が監督官庁および行政の関連部門へ提出・受理され、現地工事の着工許可を得ていること	> 監督官庁および行政の関連部門への事前協議が完了 > 現地工事の着工に必要な申請を全て完了 > 現地工事の着工許可を受領済 > 設備の設置および運用に必要な法令、届出・申請を2017年12月21日まで全て提出／承認／受理を完了 > 現在の法令内でも水素発電所の建設が対応可能であることを証明	○	課題なし

◎ 大幅達成、○達成、△達成見込み、×未達

18/42

◆プロジェクト全体の成果と意義

<成果> 実証試験設備の建設が完了し、運用を開始



◆プロジェクト全体の成果と意義

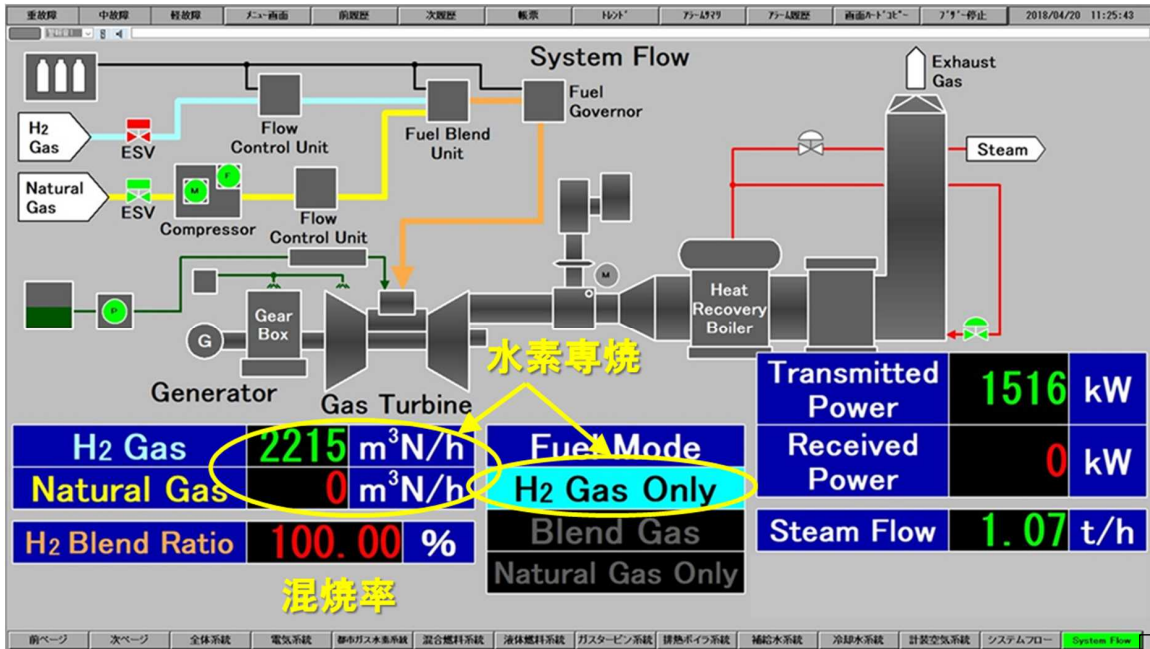
<成果> 2017年12月に設備の設置工事が完了、同年12/10に内覧会を開催



<エネ庁・日下部長官ご挨拶>

◆プロジェクト全体の成果と意義

<成果> **世界初**となる、市街地における**ガスタービンCGSでの水素専焼**
(水素100%)による**熱電供給を達成**
 (NEDO、大林組と共同で2018/4/20にプレスリリース)

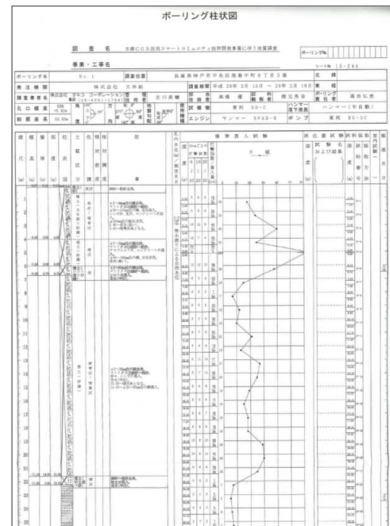
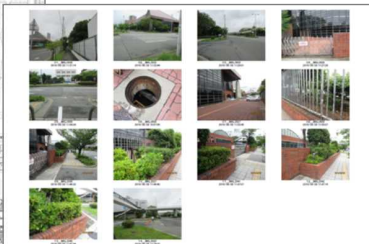
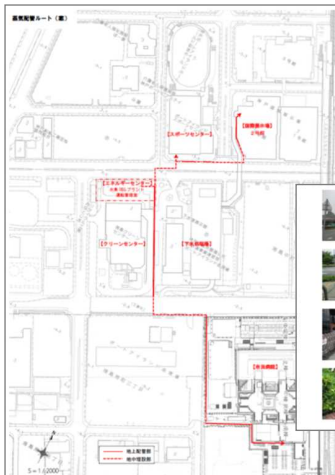


◆個別開発の成果と意義 (中間目標)

A-1) 双方向蒸気融通技術の確立
 A-1-1) 現地調査

<成果> **基本計画に必要な条件**として、水素CGS設置場所の**現地状況**、需要家施設の**設備概要**や**現地状況**、水素CGS設置場所から需要家施設までの**公道の状況**の**把握・整理が完了した**。
 基礎構造形式の検討に必要な条件として、**地質の把握・整理が完了した**。

- ✓ 現地調査結果資料、地質調査結果資料を作成



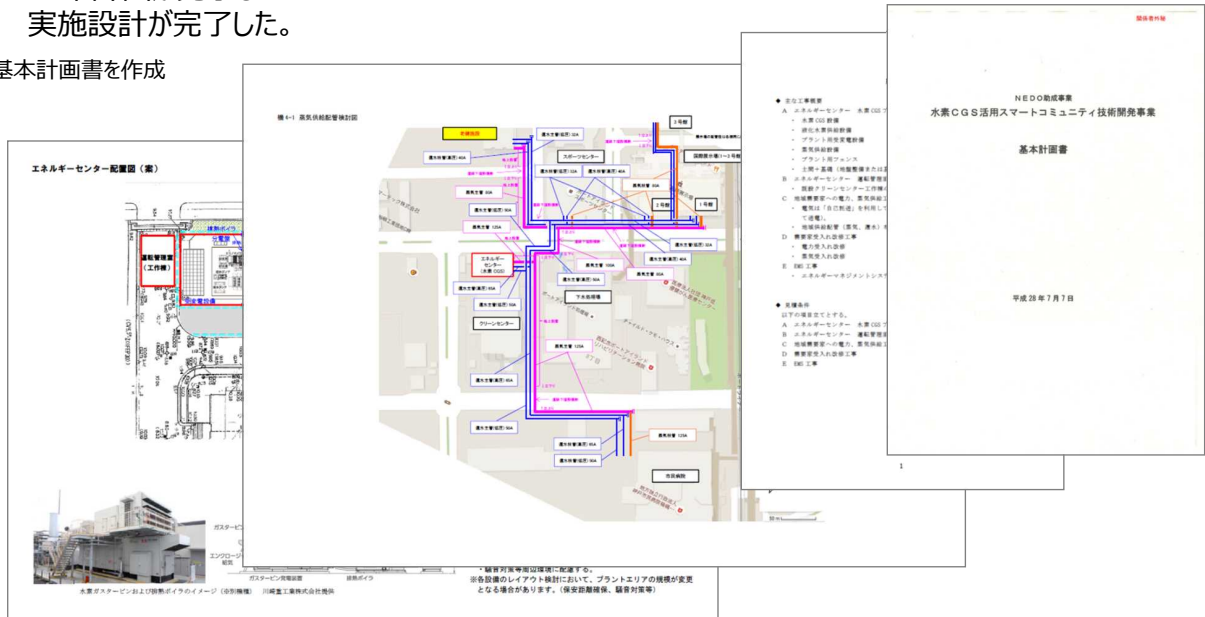
<意義> 水素CGS設置場所の**現地状況**、需要家施設の**設備概要**や**現地状況**、水素CGS設置場所から需要家施設までの**公道の状況**等を把握することにより、**本計画地域に適したエネルギー供給設備の基本計画を作成**することが可能となる。

◆個別開発の成果と意義（中間目標）

A-1) 双方向蒸気融通技術の確立
A-1-2) 基本計画・基本設計・
詳細設計

<成果>基本計画が完了した。
実施設計が完了した。

✓ 基本計画書を作成



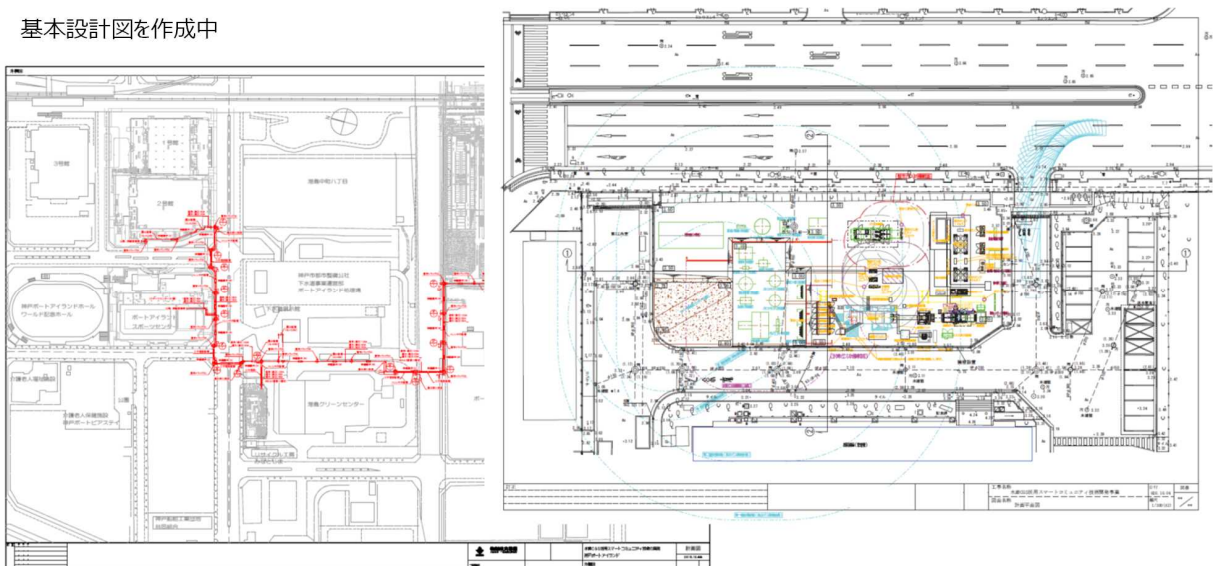
<意義>基本計画は、設計・工事のための根幹となる資料であり、これらの資料に基づいて設計が行われた。

◆個別開発の成果と意義（中間目標）

A-1) 双方向蒸気融通技術の確立
A-1-2) 基本計画・基本設計・
詳細設計

<成果>基本計画が完了した。
実施設計が完了した。

✓ 基本設計図を作成中



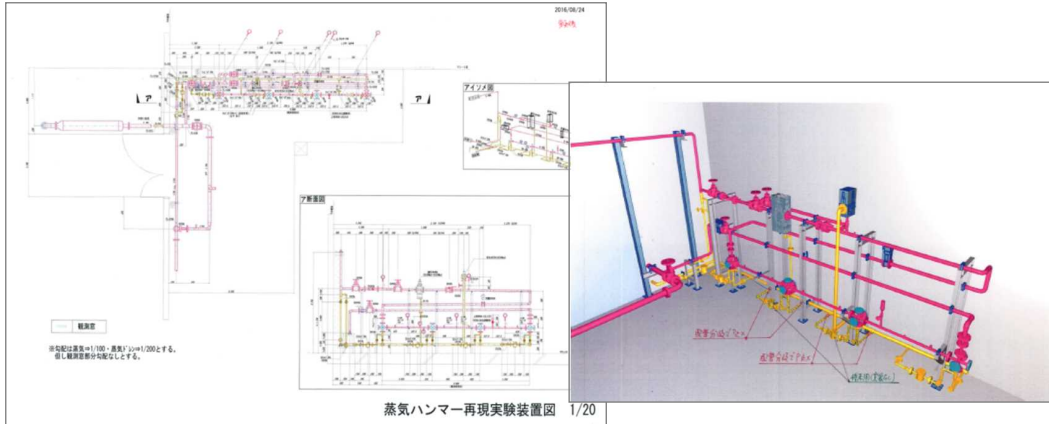
<意義>基本計画は、設計・工事のための根幹となる資料であり、これらの資料に基づいて設計が行われた。

◆個別開発の成果と意義 (中間目標)

A-1) 双方向蒸気融通技術の確立
A-1-6) 大阪大学共同研究
シミュレーション・実験

<成果>実験、シミュレーションが完了した。

✓ 実験装置を計画中



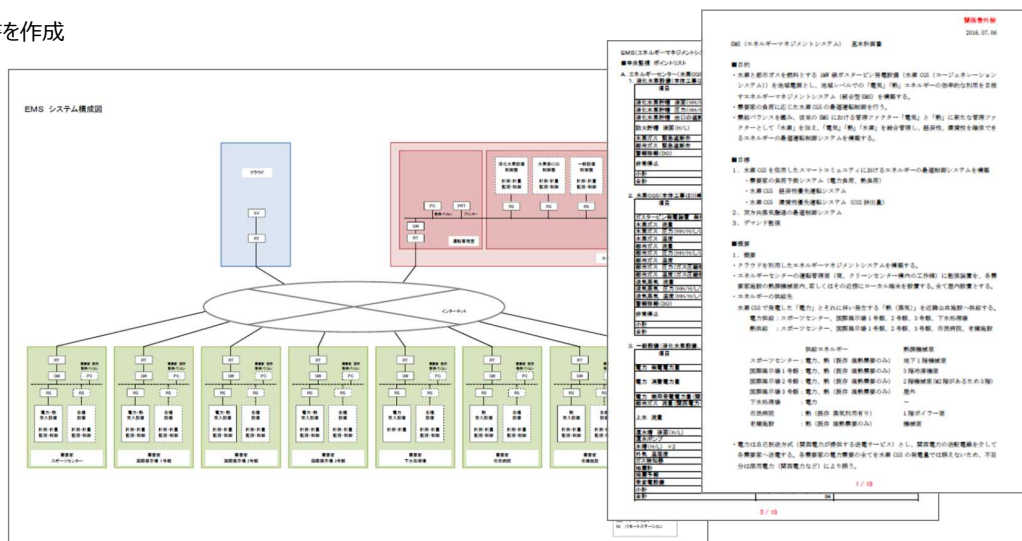
<意義>蒸気管を双方向で利用した場合も不具合のない条件を整理し、**双方向蒸気融通技術の設計基準を確立するための研究**であり、この研究結果を踏まえて、本計画における蒸気管の構成を決定し実証運転を行った。

◆個別開発の成果と意義 (中間目標)

A-2) 統合型EMSの確立
A-2-1) 基本計画・基本設計・
詳細設計

<成果>基本計画が完了した。
実施設計が完了した。

✓ 基本計画書を作成



<意義>**基本計画は、設計・工事のための根幹となる資料**であり、これらの資料に基づいて設計が行われた。

◆個別テーマの成果と意義

B) 水素CGSシステムの開発

- <成果>
- ・ 各種試験での回転数・排気温度・圧力などの各種データから、開発目標である、水素専焼(水素100%)及び水素と天然ガスの任意割合の混焼運転、またその切替時における安定燃焼を確認
 - ・ 水素専焼(水素100%)の運転確認が完了
 - ・ 1MW級ガスタービンの運転試験により、データの蓄積と安定性の確認を通して技術を実証し、**水素発電の実用化に目途**



M1A-17 ガスタービン



水素ガスタービン・パッケージ

◆個別テーマの成果と意義

B) 水素CGSシステムの開発

<成果>

- 平成30年5月18日、電気事業法での発電所開設に関する最終審査である「使用前安全管理審査」を受検・合格
- 平成30年6月29日付で評定通知書(20180622産保近第12号)を受領



日本初の
「100%水素で運転可能な
発電所」として認可を取得

20180622 産保近第 12 号
平成 30 年 6 月 29 日

神戸市長 久元 喜造 殿

中部近畿産業保安監督部長 磯部 隆

使用前安全管理審査の審査結果及び評定結果の通知について

平成 30 年 5 月 25 日付け 2017 大安使第 13 号をもって一般財団法人発電設備技術検査協会から通知があった上記の件について、電気事業法第 5 1 条第 7 項の規定に基づき、下記のとおり通知します。

記

- 審査を受けた組織の名称
神戸市 神戸水素CGSエネルギーセンター発電所
ガスタービン 1,800kW 発電機 2,250 kVA
- 審査基準
使用前・定期安全管理審査実施要領(内規)
(平成 24 年 9 月 19 日付け 20120919 商局第 67 号)
- 審査結果

審査項目種別	審査項目	審査結果
法定審査 6 項目	法定事業者検査の実施に係る組織	良
	検査の方法	良
	工程管理	良
	検査において協力した事業者がある場合には、当該事業者の管理に関する事項	—
	検査記録の管理に関する事項	良
	検査に係る教育訓練に関する事項	良
インセンティブ関連項目	継続的な検査実施体制	—
	保安力の水準	—
- 溶接事業者検査の実施状況及びその結果の確認結果
該当なし
- 評定結果
当該審査を受けた組織は、使用前自主検査の実施につき体制がとられている。
- 次回の使用前安全管理審査の受審時期
電気事業法施行規則第 7 3 条の 6 第 3 号の規定に基づき受審すること。

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

A. 統合型EMSの開発

- **水素需要の拡大**
従来の「電気」「熱」に新たに「水素」を加えた統合型EMSの構築は、水素CGSの最適制御に必要な運用システムとして普及し、水素需要の拡大に貢献できる。
- **スマートコミュニティの普及**
既存熱源設備を有効活用できる双方向蒸気融通技術の確立は、熱融通網構築時の初期投資額抑制に繋がり、蒸気エネルギーインフラの整備、普及に貢献できる。また、クラウド方式でのEMS構築は、EMS構築時の初期投資額抑制に繋がり、EMSの導入促進に貢献できる。これらによって、エネルギー利活用の最適化、低炭素化の実現に向けたスマートコミュニティの普及に貢献できる。

◆プロジェクトとしての達成状況と成果の意義

B) 水素CGSの開発

- **CO2排出量削減**
CO2削減効果の高い分散電源の導入は、国内のCO2 排出量削減に大きく貢献できる。
- **水素需要の創出**
1MW級水素CGSの年間水素消費量は、燃料電池自動 (FCV) の約2万台分に相当することから、水素CGSの開発は水素社会の実現に向けた新たな水素需要の創出に大きく貢献できる。

◆ 成果の普及

	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	計
論文	0件	0件	1件	3件	4件
研究発表・講演	2件	4件	39件	43件	88件
受賞実績	0件	0件	0件	0件	0件
新聞・雑誌等への掲載	0件	0件	0件	23件	23件
展示会への出展	8件	2件	6件	5件	21件
その他(表彰への応募等)	0件	0件	0件	7件	7件
視察	0件	0件	5件	167件	172件

- 事業期間内（2019年2月末まで）の成果公表実績は上表の通り。
- 国内外より多数の視察者を受入れ（20ヶ国以上・累計1,200人以上）。
- 国内外で新聞・雑誌の記事として多数掲載された。
- 水素エネルギー活用の普及啓発、社会受容性の向上に向けて積極的に発信・展開した。

31 / 42

4. 実用化・事業化の見通しについて

◆ 本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

● 統合型EMS

- 本プロジェクトの完遂により、双方向蒸気融通技術、統合型EMSは実用化に大きく近づくと考えられる。実証で明らかになった課題については、実用化に向けた取り組みの中で解決してゆく。実用化技術を確立した後は、水素の流通価格の低減の推移、および副生水素の発電利用のニーズも見つつ、2020年代には水素発電の需要が顕在化し、**水素CGSの需要拡大を背景として、それをマネジメントする統合型EMSや双方向蒸気融通技術は本格的な事業化に至ると考えられる。**

● 水素CGS

- 本プロジェクトの完遂により、1 MW級水素CGSは実用化に大きく近づくと考えられる。実証で明らかになった課題については、実用化に向けた取り組みの中で解決してゆく。実用化技術を確立した後は、**水素の流通価格の低減の推移**、および**副生水素の発電利用のニーズ**も見つつ、**2020年代には水素発電の需要が顕在化し、本格的な事業化に至ると考えられる。**

32 / 42

◆成果の実用化・事業化の見通し（研究開発の概要・取組）

● 統合型EMS

- 研究開発を行う製品・サービス等の概要
 - (1)内容
統合型EMSの経済的運用モデルの確立及び双方向蒸気熱融通技術の確立
 - (2)用途（販売予定先）
自社工場やビルを所有する民間の事業者。
水素/天然ガスを燃料として使用した発電および熱供給を行う事業者。
- 研究開発への取組
 - (1)研究開発を考えるに至った経緯（動機）
今後のエネルギーの方向性の一つとして、**CO2削減に効果の大きい水素による発電**が提唱されており、政府方針でも水素発電は取り上げられている。
 - (2)事業として成功すると考えた理由
今後、事業者がCO2削減を考える際に、水素発電は最も効果的な手段として大きな需要が見込まれ、「電気」「熱」を統合的に供給する設備では「水素」の環境性能を維持しつつ経済性を確保するために**最適な運用モデルと熱融通技術が不可欠**であると考えたため。

◆成果の実用化・事業化の見通し（研究開発の概要・取組）

● 水素CGS

- 研究開発を行う製品・サービス等の概要
 - (1)内容
工場やビル等の商業施設において、水素/天然ガスを燃料としたガスタービンコージェネレーションシステム(水素CGS)の販売およびアフターサービス。
 - (2)用途（販売予定先）
自社工場やビルを所有する民間の事業者。
水素/天然ガスを燃料として使用した発電を行う発電事業者。
- 研究開発への取組
 - (1)研究開発を考えるに至った経緯（動機）
今後のエネルギーの方向性の1つとして、**CO2削減に効果の大きい水素による発電**が提唱されており、政府方針でも水素発電は取り上げられている。
 - (2)事業として成功すると考えた理由
今後、事業者がCO2削減を考える際に、**水素発電は最も効果的な手段**として大きな需要が見込まれるため。

◆成果の実用化・事業化の見通し（市場の動向・競争力）

● 統合型EMS

- 市場の動向・競争力
 - (1)市場規模（現状と将来見通し）／産業創出効果
水素CGSの需要拡大を背景として、それを**マネジメントする統合型EMS**や**双方向蒸気融通技術も飛躍的に需要が拡大**するものと思われる。
 - (2)競合が想定される他社の開発動向とそれに対する優位性の根拠
地域熱供給に代表される分散型エネルギー供給事業においては、**電力と熱の最適な供給が経済性の鍵**となる。高砂熱学工業などの空調工事会社では地域冷暖房設備においてEMSを利用した運用を行っている。本プロジェクトでは「**水素**」という環境に優しいエネルギー源の要素を加えつつ、**熱融通により電熱供給事業を経済的に事業化**することができ、今後の**市場に強くアピールできる**と考える。
 - (3)価格競争力
「水素」の環境性能を維持しつつ、電熱供給を経済的に事業化することで一定の水素混焼が可能と想定され、商用発電と同等の環境性能が維持できると考えられる。熱を有効に利用することで**環境性能及び経済性もより向上させることが可能**である。

35 / 42

◆成果の実用化・事業化の見通し（市場の動向・競争力）

● 水素CGS

- 市場の動向・競争力
 - (1)市場規模（現状と将来見通し）／産業創出効果
国内における総発電電力量に占めるコージェネレーションの割合は、2010年時点で3%に留まり(出展：コージェネ財団HP)、10%程度の主要先進国と比較して少ないのが現状である。**エネルギー利用率が高いコージェネレーションシステム**は、今後国内でも**飛躍的に需要が拡大**するものと思われる。
 - (2)競合が想定される他社の開発動向とそれに対する優位性の根拠
日立製作所（現 三菱パワー）、GE社他においても水素ガスを含む燃料ガスに対する出願が見られる。今回の開発では、**水素と天然ガスの混焼割合を自在に設定可能な水素CGS**を開発することで、**需要先の様々な状況と要望に適應する製品**が供給可能になる。
 - (3)価格競争力
水素と天然ガスの混焼割合を自在に変化させられる水素CGSは、需要先の様々な状況に**適應可能な製品**として、**高い付加価値**を有する。

36 / 42

◆成果の実用化・事業化の見通し（売上見通し）

● 統合型EMS

● 売上見通し

(1) 売上見通し（単位：百万円）

水素CGSの売上が急速に伸び始めるのは**2020年代と想定**している。売上については水素の流通価格の他に様々な要因が影響するために、一概に現時点で見通しを立てるのは難しいものの、上述のコージェネレーションシステムの需要拡大見通しを背景として、水素CGSは大きな売り上げ見込みが期待できる。電熱供給事業についても**水素CGSを基盤として拡大**していくことが期待できる。

(2) 売上見通し設定の考え方

政府方針（水素・燃料電池戦略ロードマップ）においては、2020年代には**海外からの大規模な水素導入**が始まり、自家発電用向けに水素発電の普及が進むと示されている。面的熱融通についても都市圏において効率的な分散エネルギー源の活用手法として注目されており、**水素発電の普及に伴い拡大**すると考えられる。

◆成果の実用化・事業化の見通し（売上見通し）

● 水素CGS

● 売上見通し

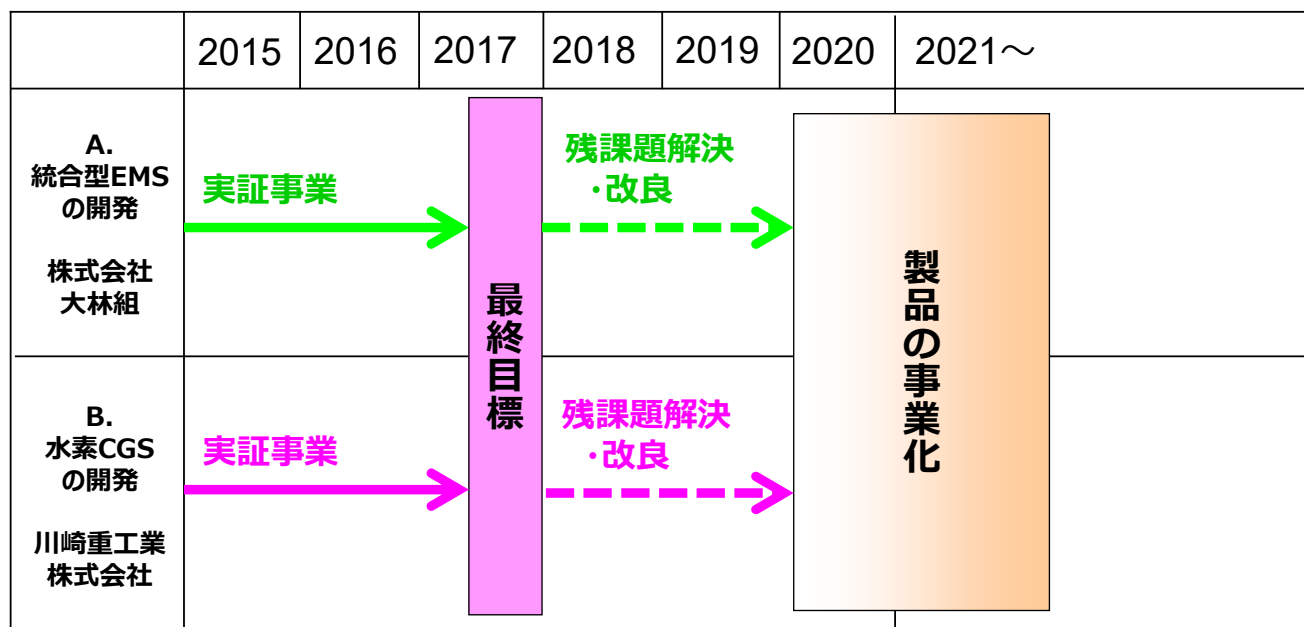
(1) 売上見通し

水素CGSの売上が急速に伸び始めるのは**2020年代と想定**している。売上については水素の流通価格の他に様々な要因が影響するために、一概に現時点で見通しを立てるのは難しいものの、上述のコージェネレーションシステムの需要拡大見通しを背景として、**水素CGSは大きな売り上げ見込み**が期待できる。

(2) 売上見通し設定の考え方

政府方針（水素・燃料電池戦略ロードマップ）においては、2020年代には**海外からの大規模な水素導入**が始まり、自家発電用向けに**水素発電の普及が進む**と示されている。

◆ 実用化・事業化に向けた具体的取り組み



◆ 波及効果

● 統合型EMS

- 統合型EMS
 水素エネルギーを組み込んだ地域EMS技術が確立されれば、燃料の選択肢が広がり、多様化され、**エネルギーセキュリティの強化**につながる。また、既存熱源設備も組み込んだ地域EMS技術が確立されれば、既存休止設備の有効活用につながり、**BCPの強化**につながる。さらに、クラウドを利用した地域EMS技術が確立されれば、設備投資を抑えて地域EMSを導入することが可能となり、地域レベルでの効率的な**電熱融通システムの普及**につながることを期待される。
- 双方向蒸気融通技術
 電力不足対策や災害に強い街づくりを担う「自立したエネルギーインフラ」は、今後ますますその重要性を増して行くと思われる。自立したエネルギーインフラの基幹電源の排熱有効利用先として、蒸気を媒体とした地域熱融通供給網は今後重要性を増してゆくと思われる。蒸気の双方向利用を確実に実現するための知見が得られれば、複数の熱源に対して蒸気主配管を単管で利用することができるため、熱供給網の経済性を向上させることができ、**エネルギーインフラの普及**に貢献することができる。

◆波及効果

● 水素CGS

- 本プロジェクトにて技術開発を行う1 MW級水素CGSの**年間の水素消費量**は、先般販売が開始された**燃料電池自動車（FCV）**の約2万台分に相当することから、水素CGSの開発は水素社会の実現に向けた新たな**水素需要の創出に大きく貢献**するものである。

まとめ

◆まとめ

- プロジェクトの最終目標は達成した。

最終目標

水素を燃料とする1 MW級ガスタービンをもつ発電設備（水素CGS）を用いて、地域レベルでの「電気」「熱」のエネルギー効率利用を目指す新たなエネルギーマネジメントシステム（統合型EMS）の技術開発・実証を行う。

①統合型EMS：(株)大林組

- ・統合型EMSの経済的運用モデルの確立
- ・双方向蒸気融通技術の確立

②水素CGS：川崎重工業(株)

- ・水素燃焼安定性を満たす技術の確立

(Ⅱ - ⑭) 「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発
低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン発電設備の研究開発」

助成先：三菱パワー株式会社
三菱重工業株式会社

●成果サマリ (実施期間：2015年8月～2019年3月終了)

- 水素が燃焼器内部温度分布に与える影響を精度よく予測するために、基礎データ取得とシミュレーションの高度化を行い、設計ツールとして活用可能にした。
- フラッシュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発し、水素混合割合30%条件(> 事業目標：水素混合割合20%条件)において、安定燃焼が可能なることを実圧燃焼試験により確認した。
- 実在するプラントをベースに、プラント建設計画を策定し、本事業成果の商品化に向けた基本設計(商品パッケージ化)を完了した。
- インターマウンテン電力向けに、当社高効率機種であるJAC形発電設備を受注。2025年に水素混焼率30%で運転を開始予定。

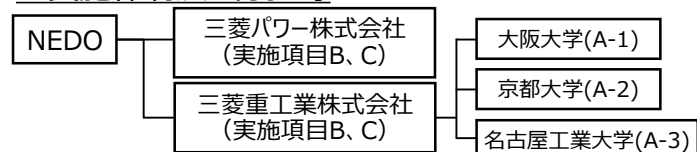
●背景/研究内容・目的

- 地球温暖化、化石燃料の枯渇の課題に対して、水素を本格的に活用する水素社会の実現が求められており、水素インフラの充実と普及拡大が必要
- 本事業では水素インフラ導入期での早期実用化を目指して、水素と天然ガスの混焼による予混合燃焼方式のガスタービン発電設備の開発を行う。
- 天然ガス中に体積割合20%水素を含有した燃料を前提とし、天然ガス燃焼ガスタービンと同様の安定性と低NOx性を両立したガスタービンを実現する上での課題の抽出、解決に向けた研究を行い、プラント建設・運用に向けた具体的計画を策定する。

●研究目標

	実施項目	目標(2018年度)
A-1	火災伝播速度計測(大阪大学)	高压条件において水素混焼割合が燃焼速度に与える影響を明らかにする
A-2	燃焼器内部温度分布を予測する技術(京都大学)	実燃焼器において燃料中の水素混焼割合の変化影響をシミュレーションにより予測する
A-3	着火遅れ時間計測(名古屋工業大学)	ガスタービン内部での自己着火による損傷リスクを評価する
B	燃料成分の変化に対する安定運用範囲を拡大する技術	水素混焼割合20%の条件において天然ガス燃焼GTと同等の性能を有する燃焼器を開発する
C	水素・天然ガス混焼プラントの設計技術	本事業成果の商品化に向けた基本設計(用品パッケージ化)を完了する

●実施体制及び分担等



●実施内容／研究成果

A 燃焼器内部温度分布を予測する技術

B 燃料成分の変化に対する安定運用範囲を拡大する技術

・水素混焼割合30%条件での安定燃焼を実圧燃焼試験で確認

C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

・水素混焼燃焼におけるプラントの基本設計が完了

●今後の課題

- 2025年度末までの水素混焼実証運転に向けて、実現性の高い事業計画の構築
- 水素混焼発電設備の実検証に向けて、実プラントの合わせた詳細プラント設計

●実用化・事業化の見通し

- NEDO「我が国における水素発電導入可能性に関する調査」に代表されるように、国内の電力会社における検討が開始された。
- 海外においても水素発電利用は再生可能エネルギーの利用拡大に伴うエネルギー貯蔵ニーズとして関心が高まっており、複数の発電所で検討が開始された。

●研究成果まとめ

実施項目	成果内容	自己評価
A-1 火災伝播速度計測	高压条件下の燃焼速度を計測し、層流燃焼速度で無次元化することで変動速度と乱流燃焼速度の関係で整理可能であることを明確化	○
A-2 数値解析の高度化	燃焼モデルとしてFGMモデルを適用し、解析により低空気量・高燃空比条件の逆火現象再現が可能であることを確認	○
A-3 着火遅れ時間計測	ガスタービン燃焼器内部と同等条件で着火遅れ時間を計測し、水素混焼運用時の自己着火発生による焼損リスクが低いことを確認	○
B 燃料成分の変化に対する安定運用範囲を拡大する技術	渦芯フラッシュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発し、水素混合割合30%条件にて安定燃焼が可能なることを実圧燃焼試験で確認	○
C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術	水素混焼燃焼におけるプラント基本設計が完了	○

特許出願	論文発表	外部発表	受賞等
5	4	28	-

「水素社会構築技術開発事業」 大規模水素エネルギー利用技術研究開発 低炭素社会実現に向けた水素・天然ガス混焼ガスタービン 発電設備の研究開発」 (中間評価)

プロジェクトの概要 (公開)

三菱パワー株式会社

三菱重工業株式会社

2020年12月4日

1/27

3. 研究開発成果について (0) はじめに

◆背景・目的・概要

●背景

- 水素社会の実現には、水素インフラの充実と普及拡大が必要
(水素・燃料電池ロードマップの水素消費量目標→2030年：30万t/年、将来：500～1000万t/年)

●目的

- 本事業では水素インフラ導入期での早期実用化を目指して、水素と天然ガスの混焼による予混合燃焼方式のガスタービン発電設備の開発を行う

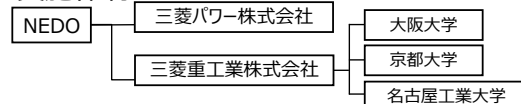
●概要

- 水素が燃焼器内部温度分布に与える影響を精度よく予測するために、基礎データ取得とシミュレーションの高度化を行い、設計ツールとして活用可能にした。
- フラッシュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発し、水素混合率30%(> 事業目標：20%)において、安定燃焼が可能なることを実圧燃焼試験により確認した。
- 実在するプラントをベースに、プラント建設計画を策定し、本事業成果の商品化に向けた基本設計(商品パッケージ化)を完了した。
- インターマウンテン電力向けに、JAC形発電設備を受注。2025年に水素混焼率30%で運転を開始予定。

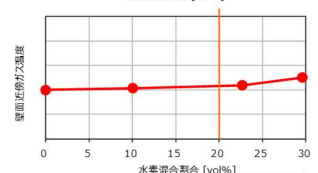
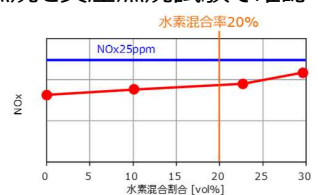
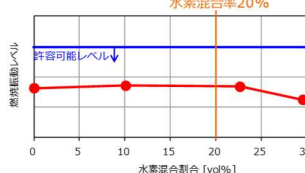
【開発項目】

- 燃焼器内部温度分布を予測する技術
- 燃料成分の変化に対する安定運転範囲を拡大する技術
- 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

・実施体制

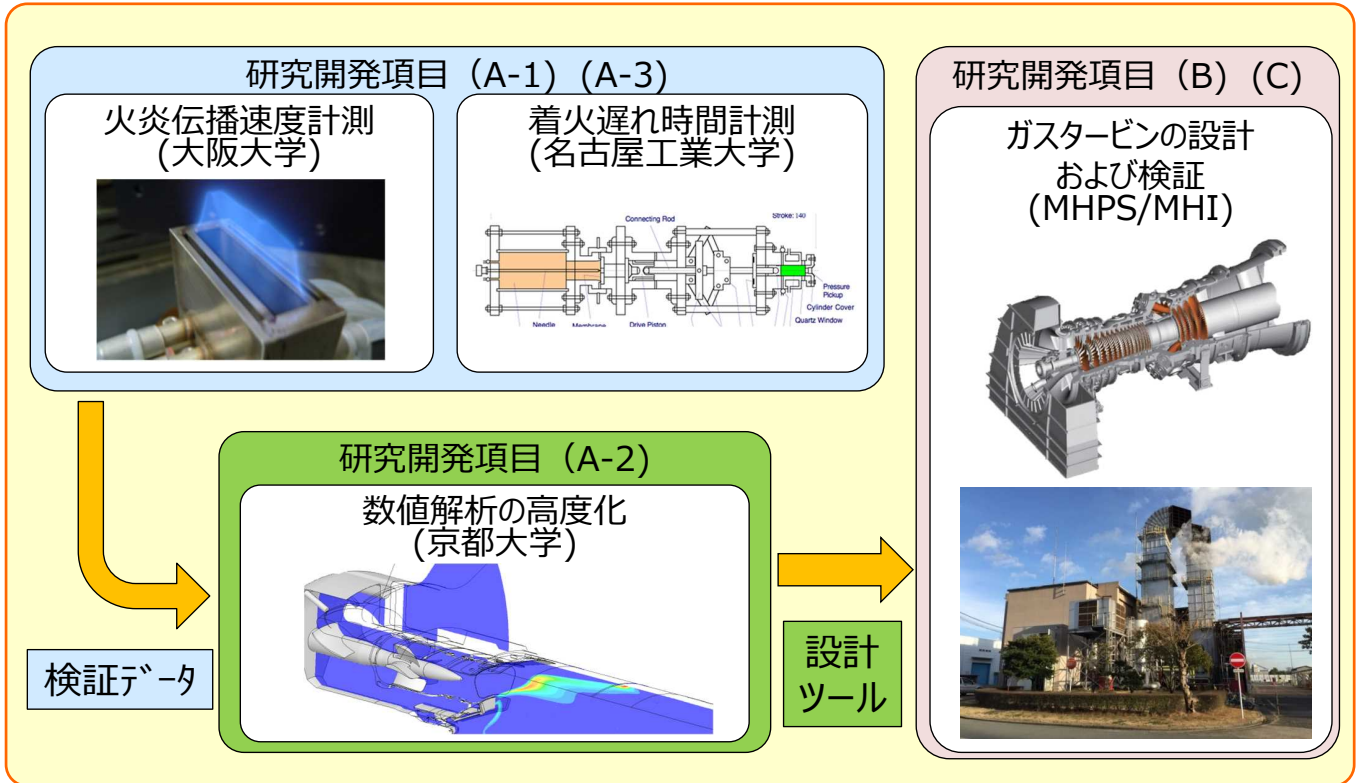


・水素混焼率30%での安定燃焼を実圧燃焼試験で確認



2/27

◆研究開発の実施体制



◆水素・燃料電池ロードマップ

水素・燃料電池ロードマップでは2030年時点30万t/年、将来的には500~1000万t/年の水素を発電利用する戦略が示されている。

アクションプランのポイント③<その他水素利用・グローバルな水素社会実現> 赤字は新規目標等

水素利用先の拡大のため、市場の開拓・深掘り/グローバルな水素社会実現のため、日本リードの国際連携

	目指すべきターゲット	ターゲット達成に向けた取組
水素利用	発電 <ul style="list-style-type: none"> 2030年頃の水素発電の商用化に向けた技術の確立 既設火力発電での水素混焼発電の導入条件明確化 2020年までに水素専焼発電での発電効率向上 (26%→27%) 	<ul style="list-style-type: none"> 限界混焼率、事業性等に関するFS調査の実施 高効率な燃焼器等の開発
	産業 <ul style="list-style-type: none"> 将来的なCO2フリー水素の活用 経済合理性の見通しが得られたプロセスから順次CO2フリー水素の利用を検討 	<ul style="list-style-type: none"> 各産業プロセスにおけるCO2フリー水素の活用・供給ポテンシャル調査の実施 カーボンサイクル技術の実用化に向けた検討
水素利用	定置用燃料電池 <ul style="list-style-type: none"> エネファーム <ul style="list-style-type: none"> 2020年頃の自立化、2030年までに530万台 2020年頃までにPEFC型80万円、SOFC型100万円を実現 2030年頃までに投資回収年数を5年とする 業務・産業用燃料電池 <ul style="list-style-type: none"> 2025年頃に排熱利用も含めたグランドリリティの実現 (低圧：機器50万円/kW、発電コスト25円/kWh) (高圧：機器30万円/kW、発電コスト17円/kWh) 発電効率、耐久性の向上 (2025年頃に55%超→将来的には65%超 (9万時間→2025年頃に13万時間)) 	<ul style="list-style-type: none"> 既築・集合住宅などの市場の開拓 電気工事の簡素化に向けた規格整備の検討 セルスタックの高効率化・高出力密度化等の技術開発 セルスタック等の劣化原因の解消に向けた技術開発
	グローバルな水素社会実現 <ul style="list-style-type: none"> 水素国際会議で発表した東京宣言の実現を図る 基準や規制の標準化/ハーモナイゼーションの促進 国際的な共同研究開発の推進 水素利用のポテンシャル調査 水素受容性向上のための教育・広報活動の推進 	<ul style="list-style-type: none"> 米・独・仏等との規制の比較、事故情報の共有 日本のサプライチェーン実証の成果共有による資源国の巻き込み 2020年オリパラ、2025年大阪万博等のあらゆる機会を捉え、最先端水素技術を発信 革新的な技術開発の実施

【水素基本戦略における記載(抄)】

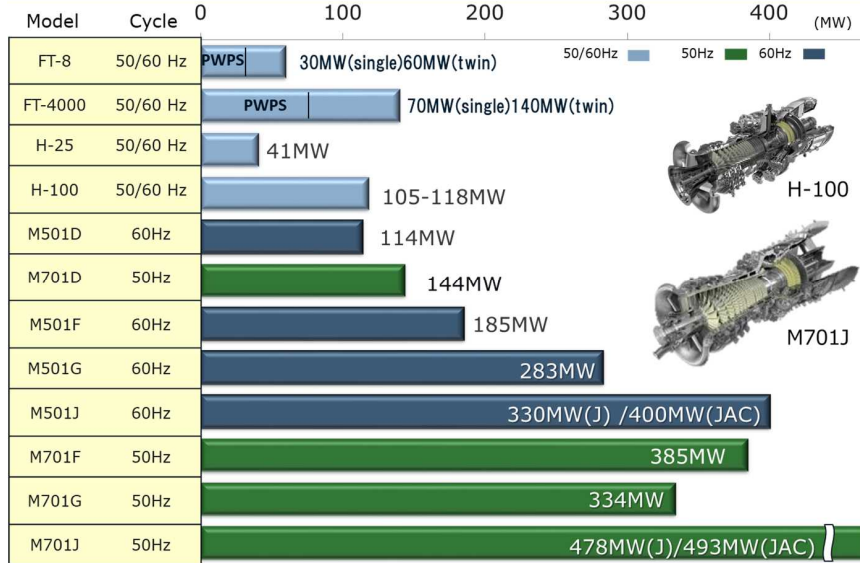
- 実際の社会実装に当たっては、水素は天然ガス火力での混焼も可能であることから、導入初期は既設の天然ガス火力における混焼発電を中心に、小規模なコージェネレーションシステム等における水素混焼も含め、導入拡大を図っていく。
- また、特に水素の燃焼特性に応じた燃焼器の開発が不可欠である。拡散燃焼方式や予混合燃焼方式など、従来の火力発電で実績のある燃焼器を水素混焼発電に転用するための研究開発や技術実証については、既に一定の取組が進められている一方、NOxの低減や発電効率の向上といった技術課題に対応していく。更に、将来的に水素専焼発電を実現するためには、NOx値の低減、高い発電効率、高濃度な水素混焼などを同時に達成可能とする新たな燃焼技術の早期の実用化を目指す
- 水素発電については、国際的な水素サプライチェーンとともに **2030年頃の商用化を実現し**、その段階で17円/kWhのコストを目指す。そのために必要となる水素調達量として、**年間30万t程度を目安とする(発電容量で1GW程度に相当)**。更に、**将来的には環境価値も含め、既存のLNG火力発電と同等のコスト競争力の実現を目指す**。そのために必要となる水素調達量として、**年間500万~1,000万t程度を目安とする(発電容量で15~30GW程度に相当)**。
- 水素発電の導入に当たっては、電力システム改革が進展する中での経済性確立に向けた制度設計等の検討を進める。また、水素発電が有する環境価値を顕在化し、評価・認定、取引可能にすることが重要であり、他の制度設計に係る議論を注視しつつ、省エネ法における水素利用の位置づけを明確化する、あるいは高度化法における非化石電源として水素発電を位置づけるといったことを含め、実態も踏まえながら検討を進める。

3. 研究開発成果について (0) はじめに

◆事業の目的

国内の天然ガス焼き発電所の水素焼き混焼転換により、2030年時点の水素消費量目標を、更に水素サプライチェーンの構築に応じて専焼に転換していくことで将来目標の達成が可能。

MHPSガスタービン ラインナップ



M501J型 (60Hz) GTCC 580MW級の水素消費量での試算

水素20vol.%混焼	1.4t/時間	11,900t/年	×31台*	37万t/年	≒2030年時点目標
水素100vol.%専焼	21.7t/時間	190,400t/年		590万t/年	≒将来目標

*MHPS 国内納入GTCC (G/J/F型, 効率60%級) 31台試算 5/27

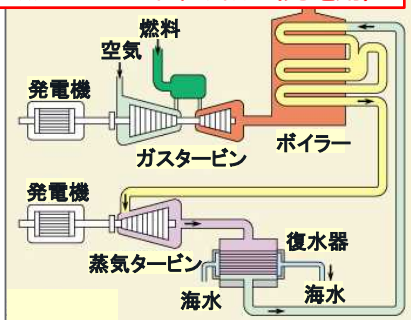
3. 研究開発成果について (0) はじめに

◆水素発電の利点

①. 高効率・大量利用 (需要喚起)

-大型GTCCは水素を効率よく発電利用することが可能。大容量の需要を喚起することで、インフラ構築に貢献

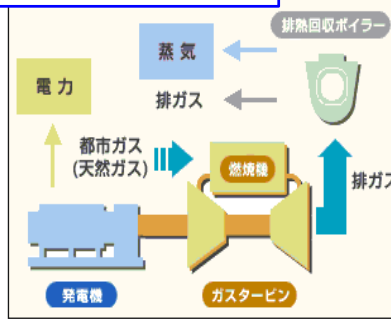
ガスタービンコバインドサイクル (発電用)



[GT]
・燃焼温度
1600℃級主流
・出力
500MWクラス

燃料エネルギーの
60%を電気に変換

J-Eシステム (熱併給)



[GT]
・燃焼温度
1200℃級主流
・出力
1~20MWクラス

燃料エネルギーの
30%を電気に変換
(+50%を蒸気利用)

②. 低純度水素への適合

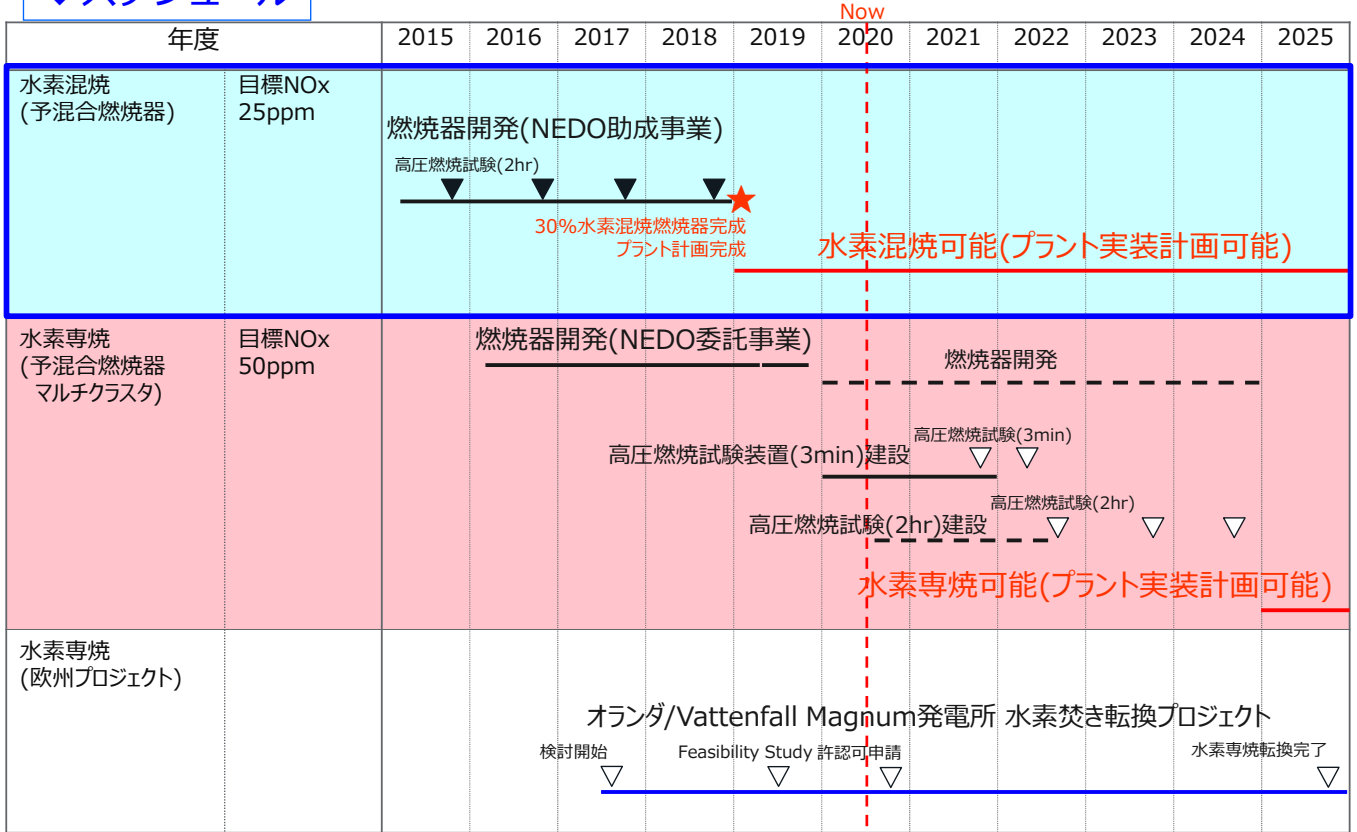
- GTは燃料電池車と比べ、低純度な水素 (不純物) への適合性が高く燃料コスト低減に貢献可能

	当社GT燃料標準規格	水素燃料規格 (ISO-14687-2より)
総HC	上限なし	2ppm
二酸化炭素	4%(40,000ppm)	2ppm
硫黄化合物	0.5%(5,000ppm)	0.004ppm
ホルムアルデヒド	規定なし ※	0.01ppm
ギ酸	規定なし ※	0.2ppm
アンモニア	規定なし ※	0.1ppm

※規定ないが燃焼する成分である為、運用可能

3. 研究開発成果について (0) はじめに

◆スケジュール



7/27

3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び成果の意義

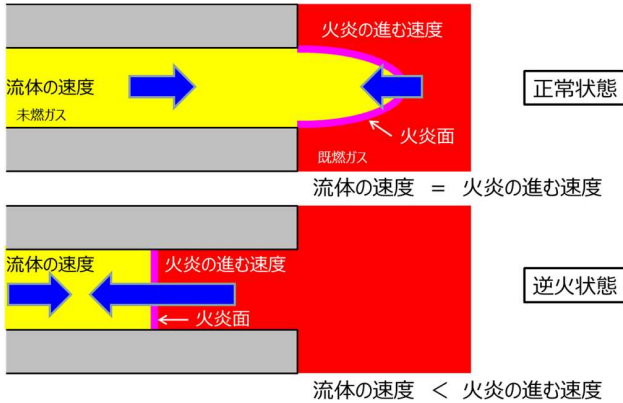
開発項目	最終目標	成果	達成度	
A. 燃焼器内部温度分布を予測する技術	A-1 水素・天然ガス混焼火炎の燃焼速度データベースの構築 (大阪大学)	高圧条件において水素混合割合が、燃焼速度に与える影響を明らかにする	高圧条件下の燃焼速度を計測し、水素混焼の有無に係らず、層流燃焼速度で無次元化することで変動速度と乱流燃焼速度の関係を整理可能を明確化(完了)	○
	A-2 燃焼シミュレーションの高度化 (京都大学)	実燃焼器において、燃料中の水素混合割合の変化影響をシミュレーションにより予測可能とする	燃焼モデルとしてFGMモデルを適用し、解析により低空気量、高燃空比条件の逆火現象の再現可能を確認(完了)	○
	A-3 水素・天然ガス混合気体の着火遅れ時間データベースの構築 (名古屋工業大学)	高圧条件において水素混合割合が、着火遅れ時間に与える影響を明らかにし、ガスタービン内部での自己着火による焼損リスクを評価	ガスタービン燃焼器内部と同等条件で着火遅れ時間を計測し、水素混焼運用時の自己着火発生による焼損のリスクが極めて低いことを確認(完了)	○
B. 燃料成分の変化に対する安定運転範囲を拡大する技術	水素混焼割合20%の条件において、最新鋭の天然ガス焚ガスタービンと同等の性能を有する燃焼器を開発	・渦芯フラッシュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発。水素混合割合30%条件にて、安定燃焼が可能なることを実圧燃焼試験で確認(完了) ・メインフィルム構造、上流ノズル構造を改良し、従来燃焼器の構造に対し、高いバーミアウト耐性を有していることを確認(完了)	○	
C. 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術	本事業成果の商品化にむけた基本設計(商品パッケージ化)を完了	・水素混焼焚きにおけるプラントの基本設計が完了(完了) ・混合器等の追加設備は不要で、既存の発電設備への水素系統の追加で対応可能を確認(完了)	○	

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

8/27

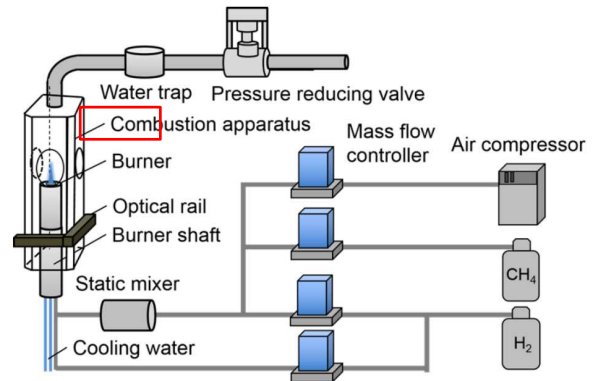
A-1 火炎伝播速度計測(大阪大学)

- 水素は天然ガス(メタンが主成分)と比較して燃焼速度が高い為、逆火の発生リスクが高くなる。
- 一方で、ガスタービンのような高圧条件では、水素・天然ガス混焼に関するデータは公表されていない。
- 2017年度に製作した試験装置を用いて、高圧条件での燃焼速度計測を実施した。**



流体の速度 < 火炎の進む速度(燃焼速度)では火炎が流体中を遡上する ⇒ 逆火(フラッシュバック)現象の発生

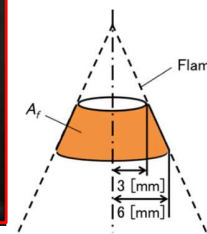
図：逆火発生メカニズム



図：試験装置概要



図：バーナ



乱流燃焼速度

$$S_T = \frac{V_u}{A_f}$$

V_u : 体積流量
 A_f : 火炎面積

A-1 火炎伝播速度計測(大阪大学)

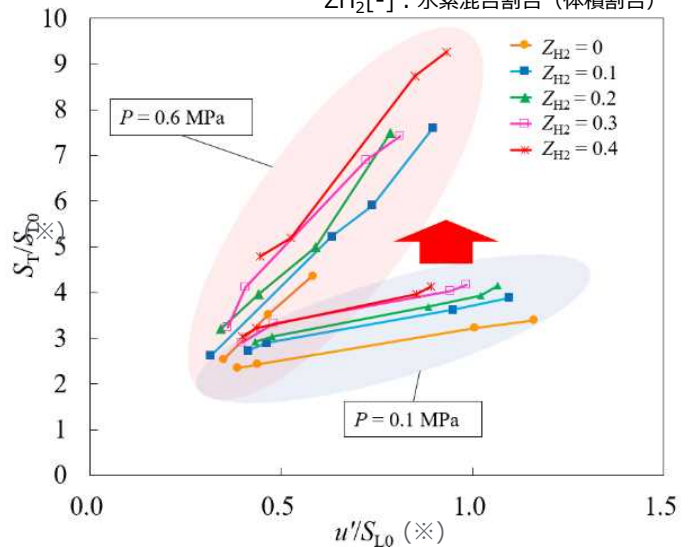
- 流れの速度変動(u')が大きくなると、乱流燃焼速度が増加(火炎表面の皺状構造が細分化)
- 乱流燃焼速度と速度変動成分をともに層流燃焼速度で正規化すると、水素混合割合の違いにかかわらず、同じ圧力条件では概ね同様の傾向が見れる。

表：火炎形状(瞬時画像)の比較
 $Z_{H_2} = 0.2$, 当量比=1.0の結果

速度変動：小	速度変動：大

S_T : 乱流燃焼速度, S_{L0} : 層流燃焼速度, u' : 速度変動

$Z_{H_2}[-]$: 水素混合割合 (体積割合)

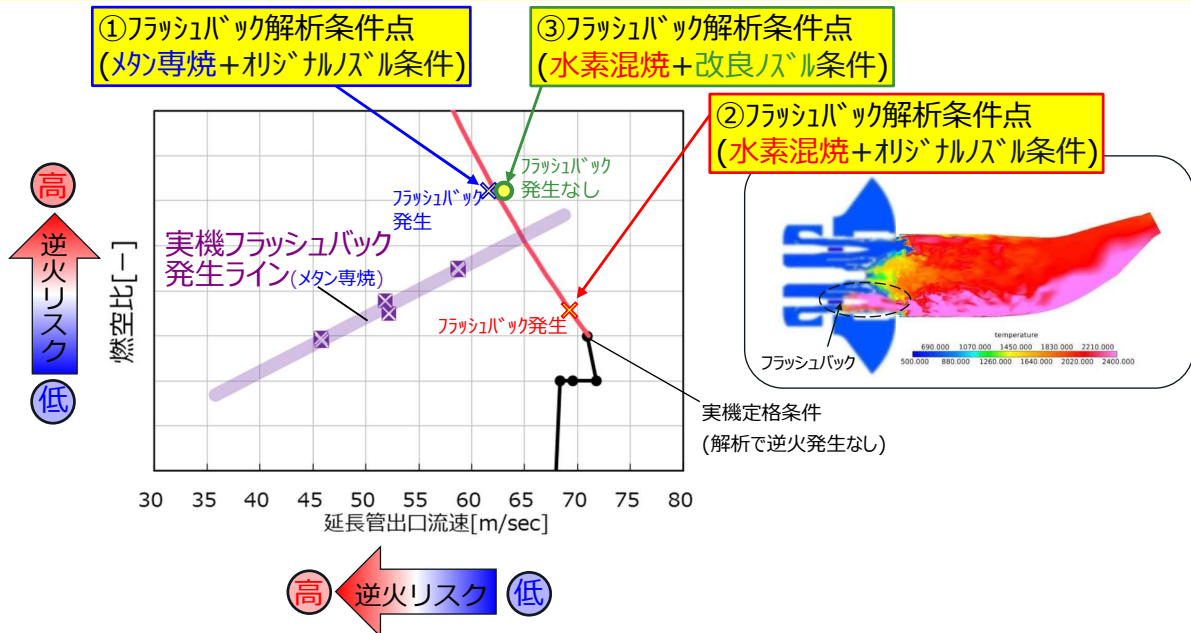


図：計測結果(層流燃焼速度による正規化)

※層流燃焼速度 S_{L0} はGRI3.0を適用した計算結果

A-2 数値解析の高度化(京都大学)

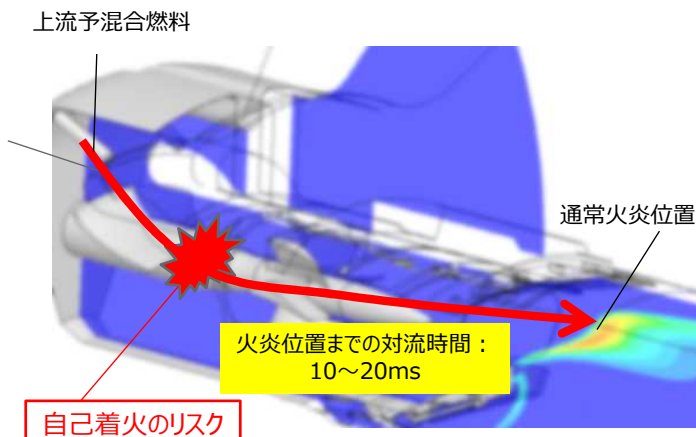
- 「水素混焼条件は、メタン専焼条件よりも逆火し易い」という水素の特性を解析でも再現できた(①→②)。
- 「改良ノズルによる逆火耐性向上」を確認した(②→③)。



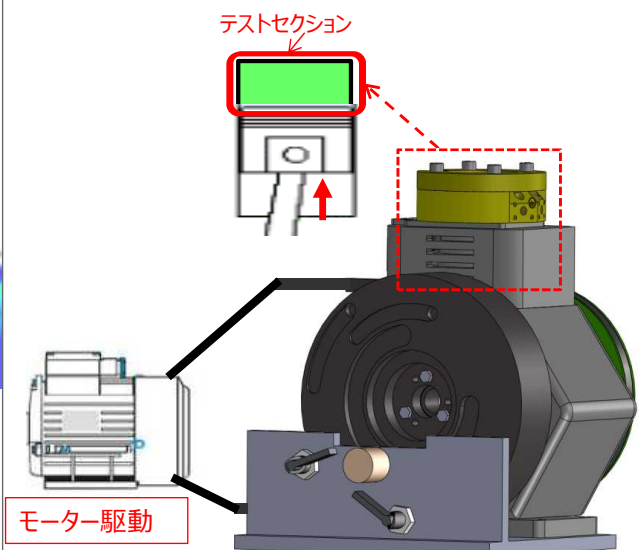
A-3 着火遅れ時間計測(名古屋工業大学)

- 水素は天然ガスに比べて着火遅れ時間が短いことが知られており、自己着火のリスクが増加する。
- 2017年度に製作した急速圧縮装置の適用により、実際のガスタービン燃焼器内部と同等の圧力条件において、着火遅れ時間の計測が可能となった。

■ 自己着火のリスク

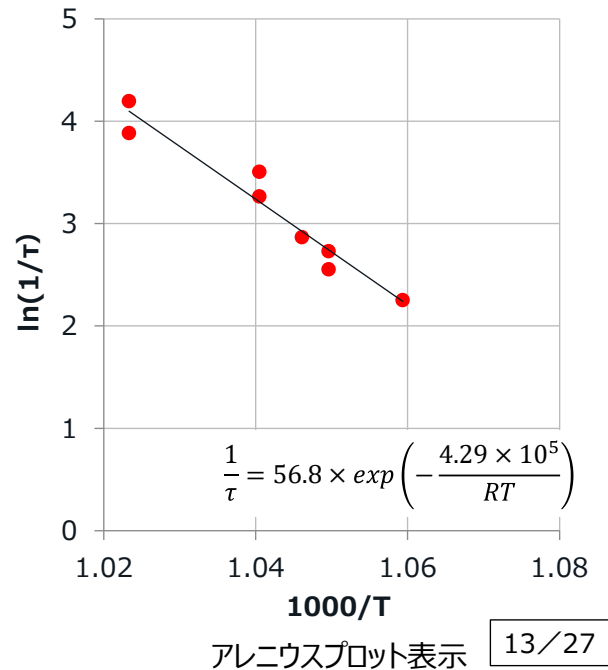
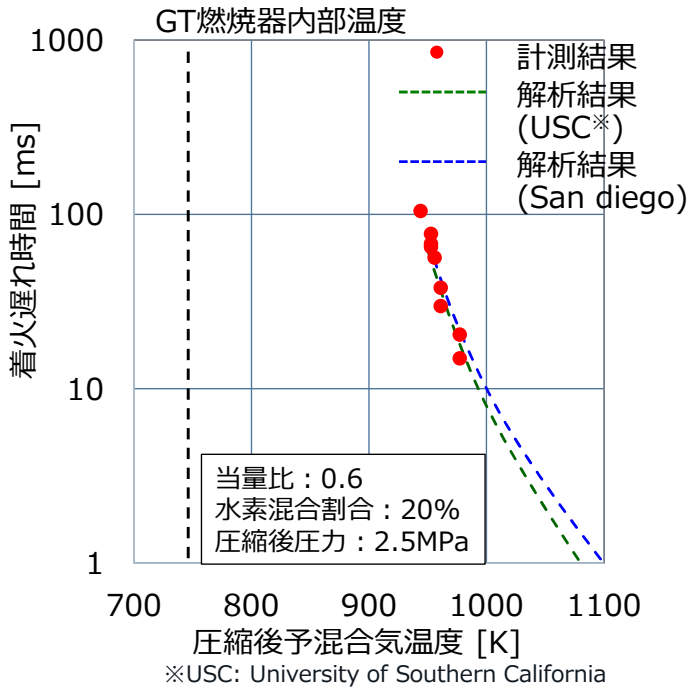


モータリング機関をモータ駆動に改造して、高圧の急速圧縮装置を製作。燃焼室内圧は最大で2MPa以上を達成する事が可能。



A-3 着火遅れ時間計測(名古屋工業大学)

- ガスタービン燃焼器内部と同等の条件（圧力2.5MPa、当量比0.6、温度750K）の条件において、水素混合割合を20%とした場合、着火遅れ時間は数百～数千msecと推定される。
- これは燃焼器内部の滞留時間(10～20ms)に対して十分に長い時間である為、自己着火発生によるトラブルを生じる可能性は殆ど無いと考えられる。

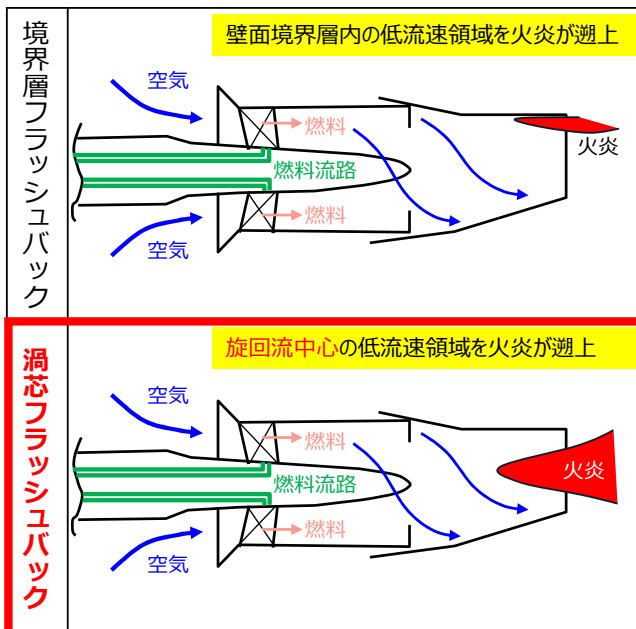


B 水素混焼ガスタービン燃焼器の設計および検証

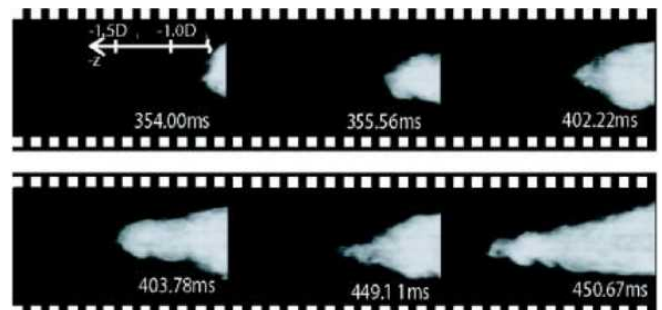
～水素混焼用改良ノズル～

- 旋回流(燃料混合に利用)を伴う燃焼における、逆火発生メカニズムについて文献および自社試験データにより調査・検討を実施。
- 旋回中心を火炎が遡上する“渦芯フラッシュバック”の発生が最も高リスクである事を確認した。

フラッシュバックの分類



モデルバーナによる渦芯フラッシュバックの様子

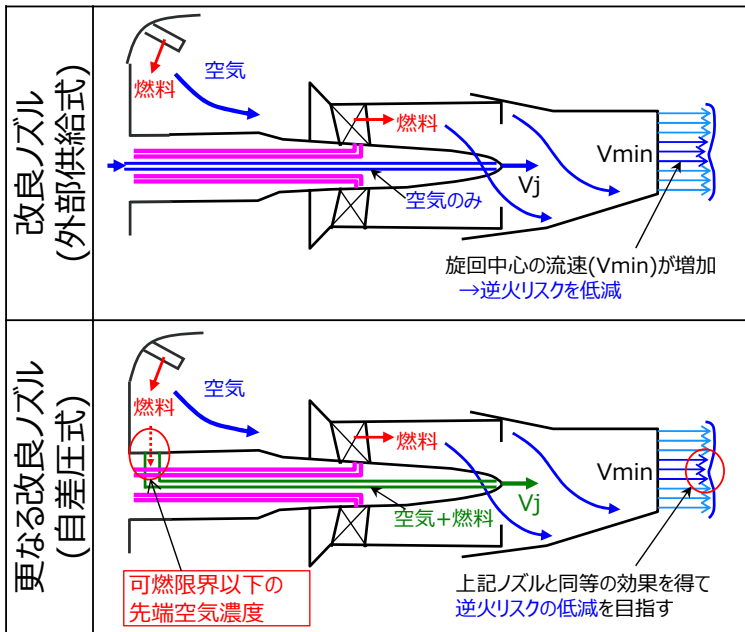


参考文献
Analysis of Combustion Induced Vortex Breakdown Driven Flame Flashback in a Premix Burner With Cylindrical Mixing Zone
F. Kiesewetter, M. Konle and T. Sattelmayer
J. Eng. Gas Turbines Power 129(4) (Apr 03, 2007)

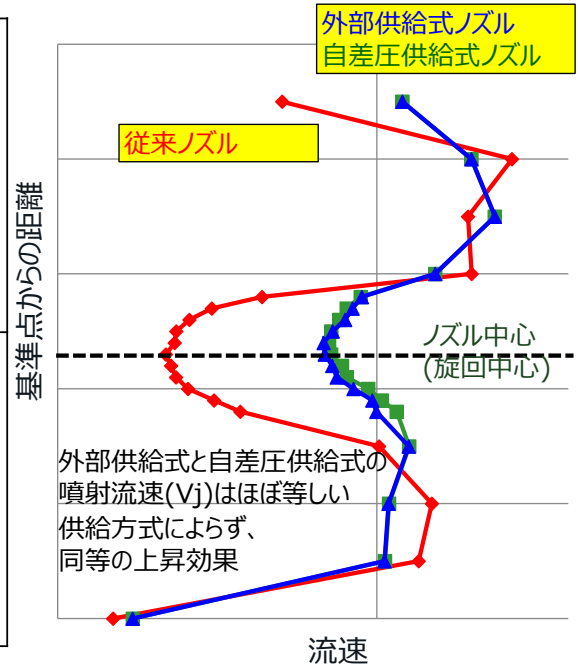
B 水素混焼ガスタービン燃焼器の設計および検証

～水素混焼用改良ノズル～

- 噴射空気供給系統を削除することで、燃焼器ノズル改造だけで適用可能なノズル構造を検討した。
- 本構造を採用する事により、大幅なコストの削減が可能。
- 気流試験により、自差圧構造に変更しても旋回中心の流速上昇に十分な効果があることが確認された。



図：2017年度のノズル改良内容



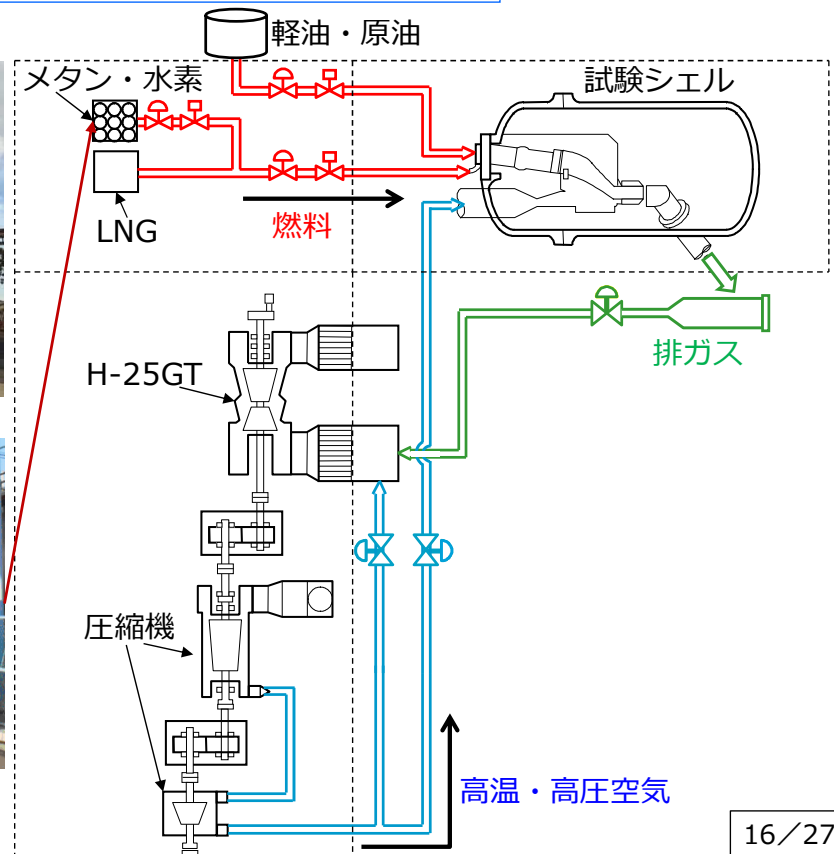
図：旋回流中心近傍の流速分布 15/27

B 水素混焼ガスタービン燃焼器の設計および検証

～実圧燃焼試験設備～



水素ローダ

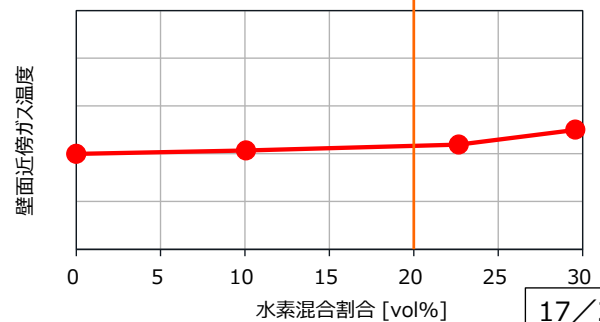
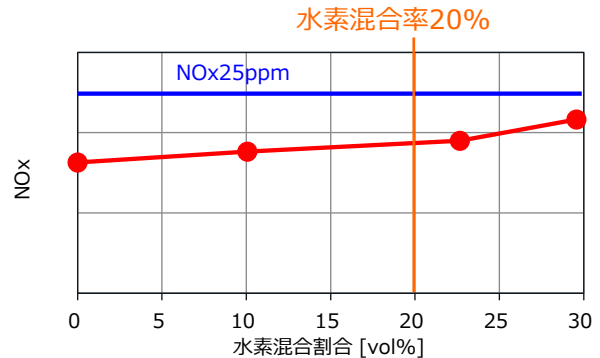
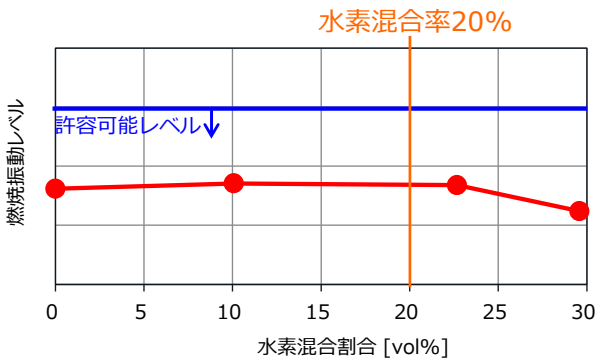


3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び成果の意義

B 水素混焼ガスタービン燃焼器の設計および検証

～実圧燃焼試験結果～

- 実圧燃焼試験により、自差圧方式の渦芯逆火防止ノズルに関する燃焼特性を検証した。
- 水素混合割合30%条件において、フラッシュバック発生の兆候無く、安定運用が可能な事を確認※した。
- NOx、燃焼振動は共に運用が可能な範囲にあることが確認した。 ※T1T1600℃運転



3. 研究開発成果について (1) 研究開発目標の達成度及び成果の意義

C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

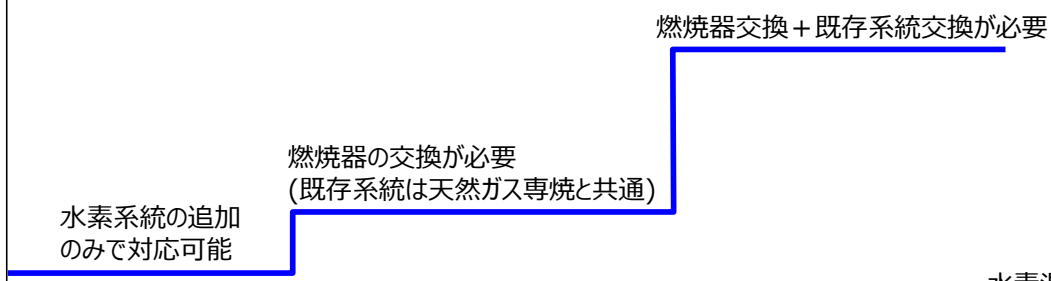
～プラント基本設計～

- お客様の希望する水素混合割合に応じたプラント改造計画を提案可能なように、基本設計の完成を目指す。

No.	検討課題	項目	内容
①	従来システム範囲	1. 各機器の体格検討	制御弁, 熱交換器の水素混合による体格見直し
②	水素混焼に伴う新規追加システム	1. 水素影響範囲	水素ガスの影響範囲の明確化
		2. 水素・天然ガスの混合	水素と天然ガスの均一混合のための系統構成検討
		3. 水素ガス供給条件安定化	想定される供給元の水素供給条件の確認と必要システムの確認
		4. 水素ガス供給量制御方針	ガスタービン (GT)制御とマッチングした水素供給量 (混合率) の検討

コスト

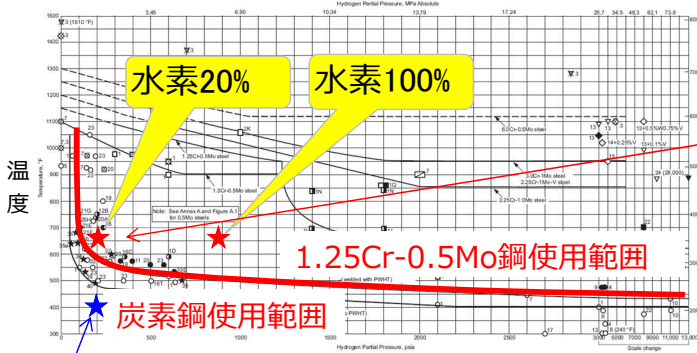
対象とする水素混焼割合に応じたプラントの改造内容を明確化し、コスト評価を含んでお客様に提案可能な状態に纏める。(下図はイメージ)



C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

～水素混焼燃料系統の材質検討～

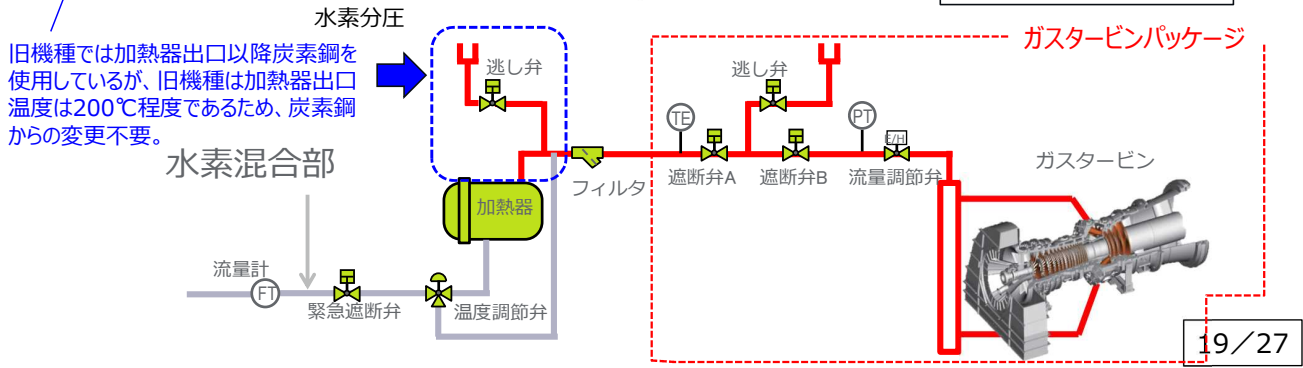
- API RP 941 8th Edition(2016)に従うと、1.25Cr-0.5Mo鋼以上もしくはSUSを選定する必要あり。
- ガスタービンパッケージ内は標準設計でSUS材を使用しているため、標準設計からの変更なし。
- ガスタービンパッケージ外は最新機種では高温部でSUS材を使用しているため標準設計からの変更なし。



API RP 941 8th Edition(2016)ネルソンカーブ

最新機種は過熱器出口温度は300℃程度

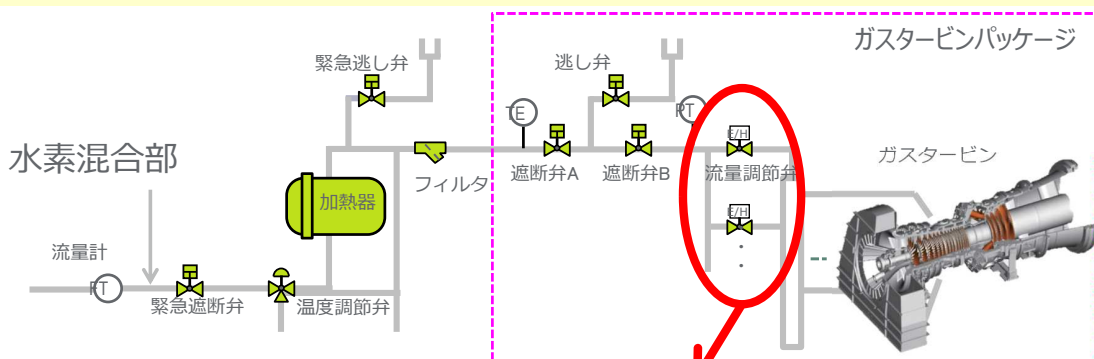
炭素鋼範囲 : —
SUS範囲 : —



C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

～燃料流量調節弁～

- 既存の設備で水素20%混合ガスを投入した場合でも各設備の容量の拡張をせずに運用可能。



弁名称	定格容量 Cg値	水素20%混合必要Cg値	流用可否
パイロットA流量調節弁	680	510	○
パイロットB流量調節弁	680	280	○
トップハット流量調節弁	2500	2280	○
メインA流量調節弁(親弁)	2500	1610 (親+子)	○
メインA流量調節弁(小弁)	680		
メインB流量調節弁(親弁)	2500	2740 (親+子)	○
メインB流量調節弁(子弁)	680		

Cg値：弁容量

定格容量に対して余裕あり

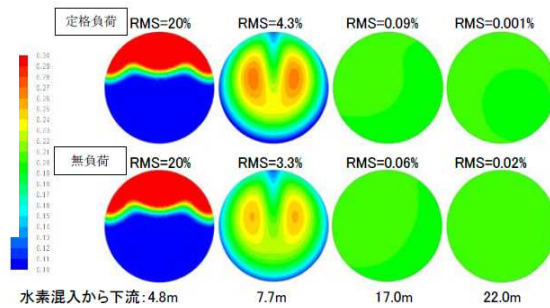
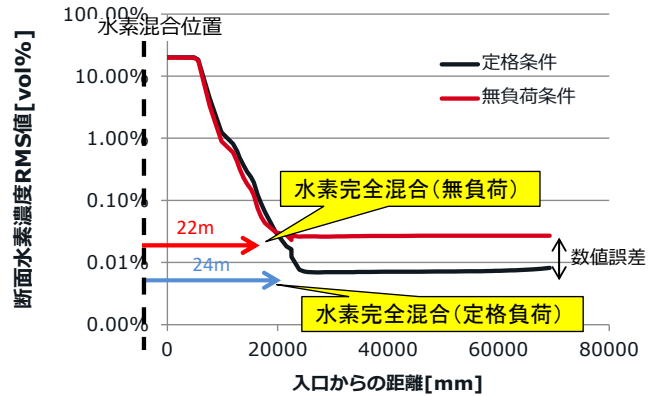
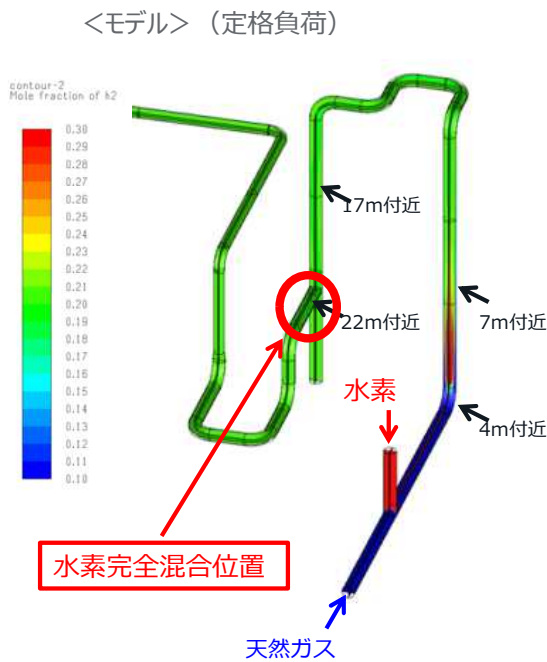


設備変更不要

C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

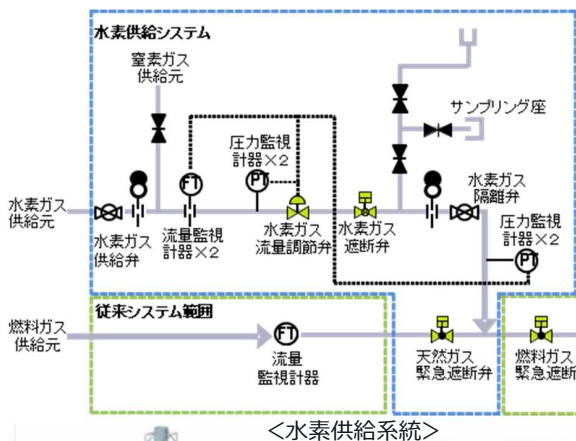
～天然ガス・水素の混合配管～

- 混合器を設置しない場合に配管の曲りのみで天然ガスと水素が混合するかCFDを実施し、水素混合部から24m下流で完全混合となることを確認できた。
- 通常Unitでは24m以上確保されており、問題なし(万一確保できない場合は混合器を設置)。



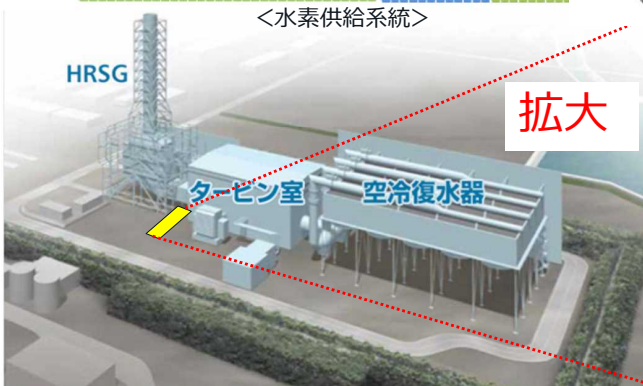
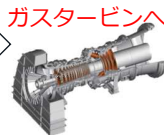
C 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術

～水素混焼プラント設計～



<まとめ>

- 水素供給システムを含め、水素混焼焚きにおけるプラントの基本設計を完了した。
 - 発電設備敷地内で水素混合させる場合においても混合器等の追加設備は不要であること確認した。
 - 水素濃度20%においては既存の発電設備に水素システムを追加することで対応できることを確認した。
 - 燃料ガス管についてはガスタービンパッケージ内はSUSを使用しているため、標準設計を採用できることを確認した。
- ・弊社実証設備へ水素システムを付加するシミュレーションを実施している。



<水素混焼焚き発電プラント>



<配管計画>

◆ 知的財産権の確保に向けた取り組み

	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	計
論文	0	0	1	3	0	0	4
研究発表・講演	0	1	3	10	9	5	28
雑誌・図書等への掲載	0	0	6	1	3	0	10
展示会へ出展	1	0	0	0	4	0	5
総計	1	1	10	14	16	5	47

※ 2020年10月末現在

	出願日	出願番号	発明の名称	出願人
①	2016年3月30日	特願2016-068018	ガスタービン	三菱重工業株式会社 三菱日立パワーシステムズ株式会社
②	2016年3月30日	特願2016-069384	燃焼器、及びガスタービン	三菱重工業株式会社 三菱日立パワーシステムズ株式会社
③	2016年3月30日	特願2016-067125	燃焼器、及びガスタービン	三菱重工業株式会社 三菱日立パワーシステムズ株式会社
④	2017年4月28日	特願2017-090792	燃焼器ノズル、燃焼器およびガスタービン	三菱日立パワーシステムズ株式会社
⑤	2017年10月27日	特願2017-208504	ガスタービン燃焼器予混合ノズル	三菱日立パワーシステムズ株式会社

23/27

◆ 成果の普及



<https://www.mhps.com/jp/news/20180119.html>

大型高効率ガスタービンで水素30%混焼試験に成功 発電時のCO₂排出削減に貢献

- ◆ 従来の天然ガス火力発電所に比べてCO₂排出量を10%低減
- ◆ NEDO助成事業により開発した燃焼器などで安定的な燃焼およびNO_x低減を実現

2018年1月19日発行 第190号

三菱日立パワーシステムズ（MHPS）は、発電用大型ガスタービンの開発において30%の水素混焼試験（注1）に成功しました。水素燃焼用に新たに開発した燃焼器（バーナー）などにより、天然ガスに水素を混ぜた場合でも安定的に燃焼できることを確認したもので、水素30%混焼により従来の天然ガス火力発電と比べて発電時のCO₂排出量を10%低減することが可能となります。

24/27

3. 研究開発成果について (5) 成果の最終目標の達成可能性 (中間評価のみ設定)

◆成果の最終目標の達成可能性

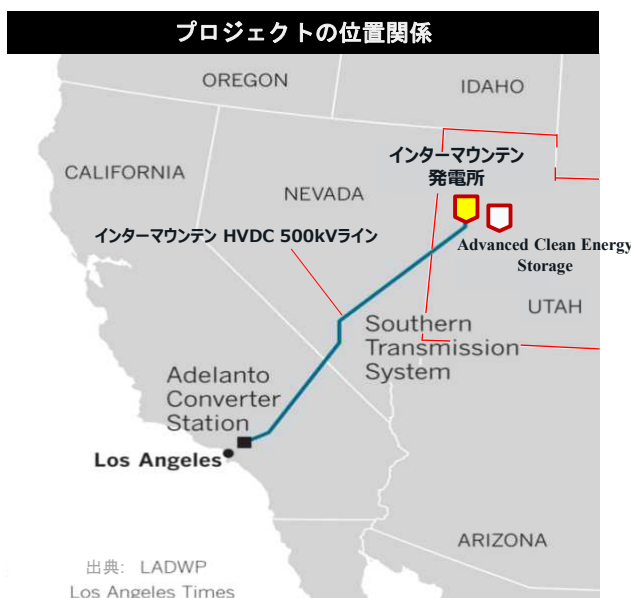
開発項目		最終目標	成果	達成度
A. 燃焼器内部温度分布を予測する技術	A-1 水素・天然ガス混焼火炎の燃焼速度データベースの構築 (大阪大学)	高圧条件において水素混合割合が、燃焼速度に与える影響を明らかにする	高圧条件下の燃焼速度を計測し、水素混焼の有無に係らず、層流燃焼速度で無次元化することで変動速度と乱流燃焼速度の関係を整理可能を明確化(完了)	○
	A-2 燃焼シミュレーションの高度化 (京都大学)	実燃焼器において、燃料中の水素混合割合の変化影響をシミュレーションにより予測可能とする	燃焼モデルとしてFGMモデルを適用し、解析により低空気量、高燃空比条件の逆火現象の再現可能を確認(完了)	○
	A-3 水素・天然ガス混合気体の着火遅れ時間データベースの構築 (名古屋工業大学)	高圧条件において水素混合割合が、着火遅れ時間に与える影響を明らかにし、ガスタービン内部での自己着火による焼損リスクを評価	ガスタービン燃焼器内部と同等条件で着火遅れ時間を計測し、水素混焼運用時の自己着火発生による焼損のリスクが極めて低いことを確認(完了)	○
B. 燃料成分の変化に対する安定運転範囲を拡大する技術		水素混焼割合20%の条件において、最新鋭の天然ガス燃焼ガスタービンと同等の性能を有する燃焼器を開発	・渦芯フラッシュバックに対し高い耐性を有する改良燃焼器を開発。水素混合割合30%条件にて、安定燃焼が可能なることを実圧燃焼試験で確認(完了) ・メインフィルム構造、上流ノズル構造を改良し、従来燃焼器の構造に対し、高いパーミアット耐性を有していることを確認(完了)	○
C. 水素・天然ガス混焼プラントの設計技術		本事業成果の商品化にむけた基本設計(商品パッケージ化)を完了	・水素混焼焚きにおけるプラントの基本設計が完了(完了) ・混合器等の追加設備は不要で、既存の発電設備への水素系統の追加で対応可能を確認(完了)	○

◎ 大幅達成、○ 達成、△ 達成見込み、× 未達

25/27

4. 実用化・事業化の見通しについて

- ・ インターマウンテン電力向け水素焚きJAC形設備を初受注。
2025年に水素混焼率30%で運転を開始、2045年までに水素100%での運転を目指す。



ガスタービン機種	M501JAC
出力 (CC)	840 MW (2 GTCC)
所在地	米国 (ユタ州)

当プロジェクトは、石炭火力発電所の設備更新により建設。水素混焼 (30vol.%) GTCCへの更新により、最大で年間約460万トンのCO2排出量削減に寄与します。

発電電力は、ロッキー山脈をまたいでカリフォルニア州及びユタ州に幅広く供給される運びです。

26/27

4. 実用化・事業化の見通しについて

- ・ NEDO「我が国における水素発電導入可能性に関する調査」に代表されるように、国内の電力会社における検討が開始されています。
- ・ 海外においても水素の発電利用は再生可能エネルギーの利用拡大に伴うエネルギー貯蔵ニーズとして関心が高まっており、複数の発電所で検討が開始されています。



**三菱パワーは
水素の発電利用を目指す世界各国のお客様と
プロジェクトを開発・推進して参ります。**