

「水素社会構築技術開発事業

／大規模水素エネルギー利用技術研究開発

／低炭素社会実現に向けた水素専焼対応型DryLowNOx高温ガスタービン
発電設備の研究開発」(終了時評価)

(2020年度～2022年度 3年間)

プロジェクトの概要 (公開版)

三菱重工業株式会社

2023年12月21日

(1) 事業概要

◆背景・目的・目標

●背景

- ・水素社会の実現には、水素インフラの充実と普及拡大が必要
- ・国内では、水素基本戦略、グリーン成長戦略が策定され、**水素導入量目標を設定**
(2030年：最大300万t/年、2040年：1,200万t/年、2050年：2,000万t/年)
- ・国内の天然ガス焚き発電所の水焚き専焼転換により、目標の達成に大きく寄与

国内外の情勢変化、戦略策定の状況



グリーン成長戦略における量及びコストの目標

□ 年間導入量*：発電・産業・運輸などの分野で幅広く利用

現在(約200万t) → 2030年(最大300万t) → 2050年(2000万t程度)

※水素以外にも直接燃焼を行うアンモニア等の導入量(水素換算)も含む数字。

□ コスト：長期的には化石燃料と同等程度の実現

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

出典：METI 第26回水素・燃料電池戦略会議 (2021年6月)

大型GT水素消費量	
水素率 (vol%)	100%
ton/h	27.2
ton/年	19万*
×31台**	
ton/年	590万

*365日×24h×稼働率80%

**MP 国内納入GTCC (G/J/F形, 効率60%級) 31台試算

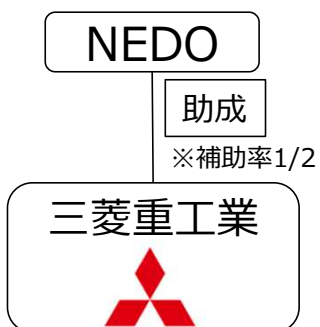
(1) 事業概要

◆背景・目的・目標

●事業目的

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

●体制



●実施期間

・2020～2022年度

●事業額

・26.1億

水素発電技術（混焼、専焼）の実機実証

事業の目的・概要

□ 大規模需要を創出する水素ガスタービン発電技術（混焼（体積混焼比率:30%）、専焼）を2030年までに商用化するべく、複数事業者が既存事業*等で開発された燃焼器等を実際の発電所に実装し、異なる実証運転を行うことで、燃焼安定性等を検証する。その際、各種国際サプライチェーン実証事業と緊密に連携する。 *未利用エネルギーを活用した水素サプライチェーン構築実証事業

実施体制（実証内容）

※太字: 幹事企業

- ① **株式会社JERA**（大型ガスタービンによる水素混焼）
- ② 関西電力株式会社（中型ガスタービンによる水素混焼・専焼）
- ③ ENEOS株式会社（大型ガスタービンによる水素専焼）

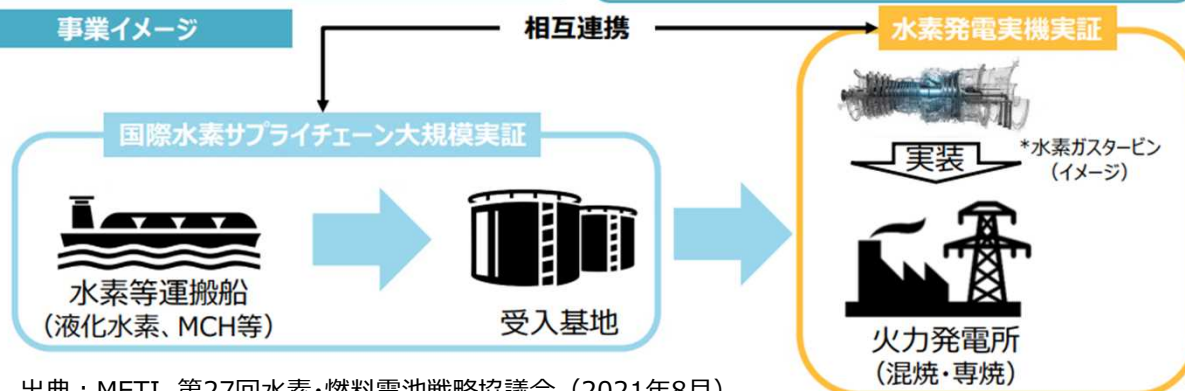
事業期間

- ① 2021年度～25年度（5年間）、② 2021年度～26年度（6年間）、③ 2021年度～30年度（10年間）

事業規模等

- 事業規模
①：約110億円、②：約160億円、③：約240億円
- 支援規模*
①：約70億円、②：約100億円、③：約140億円
*インセンティブ額を含む。今後ステージゲート等で事業進捗等に合わせ合理化見込み
- 補助率等
①～③：1/2（インセンティブ率は10%）

事業イメージ

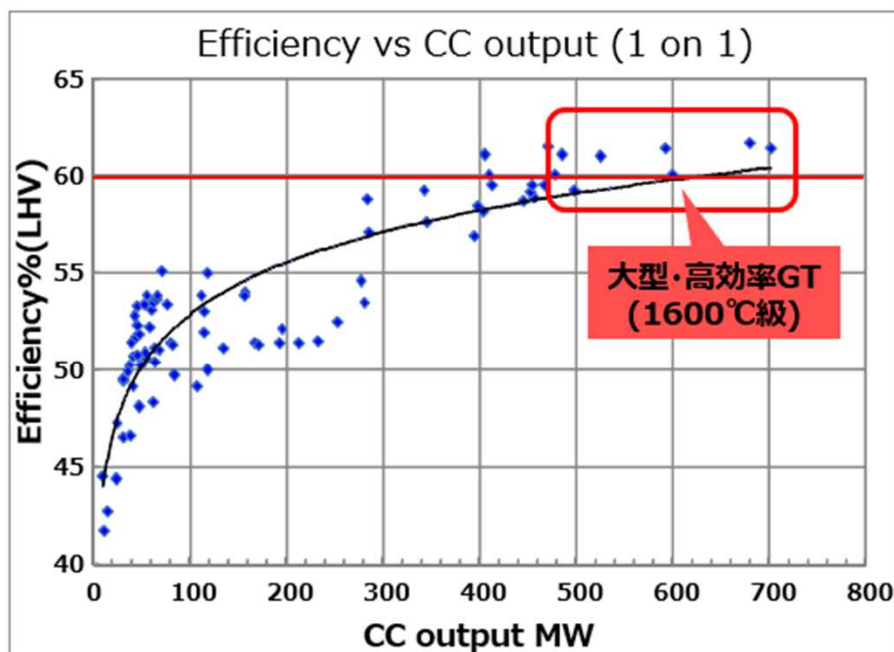


出典：METI 第27回水素・燃料電池戦略協議会（2021年8月）

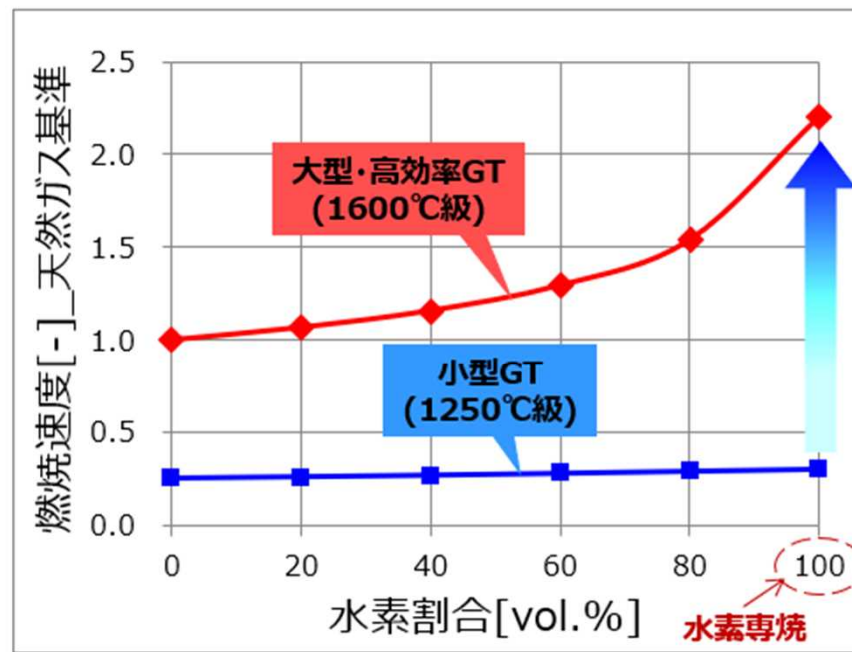
(1) 事業概要

◆背景・目的・目標

- 大型GTに水素焚きを適用し、高効率・低環境負荷発電を実現
- 小型GTに比べて、大型GTは火炎温度が高いため、燃焼速度が増加し、逆火の発生リスクが増加
➔ 大型・高効率GTの水素専焼では、低NOxと逆火防止の両立が技術的課題
- 最終目標：実圧燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx 50ppm※以下を達成
※脱硝効率90%の脱硝設備を有するプラントにて、煙突出口5ppm以下を満足



CC出力と効率の関係



燃焼速度の比較

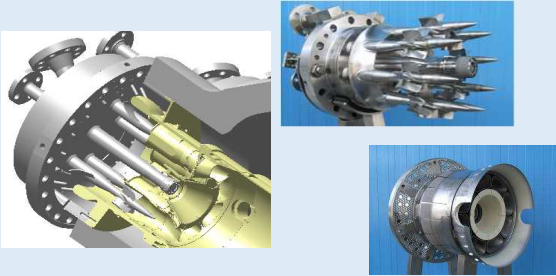
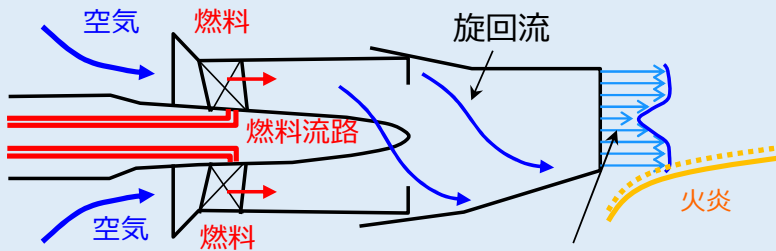
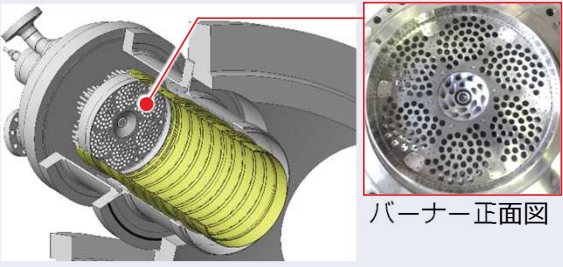
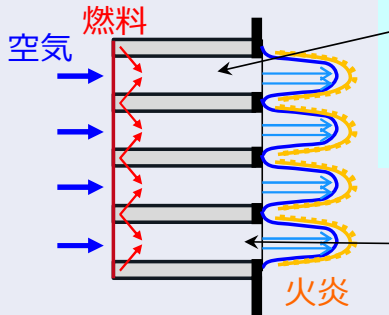
(1) 事業概要

◆水素焚きガスタービン燃焼器

● 逆火リスクの高い水素に対し、高い逆火耐性をもち、かつ低NOx化が可能な多孔噴流燃焼方式（クラスタバーナ）が有効。

クラスタバーナコンセプト

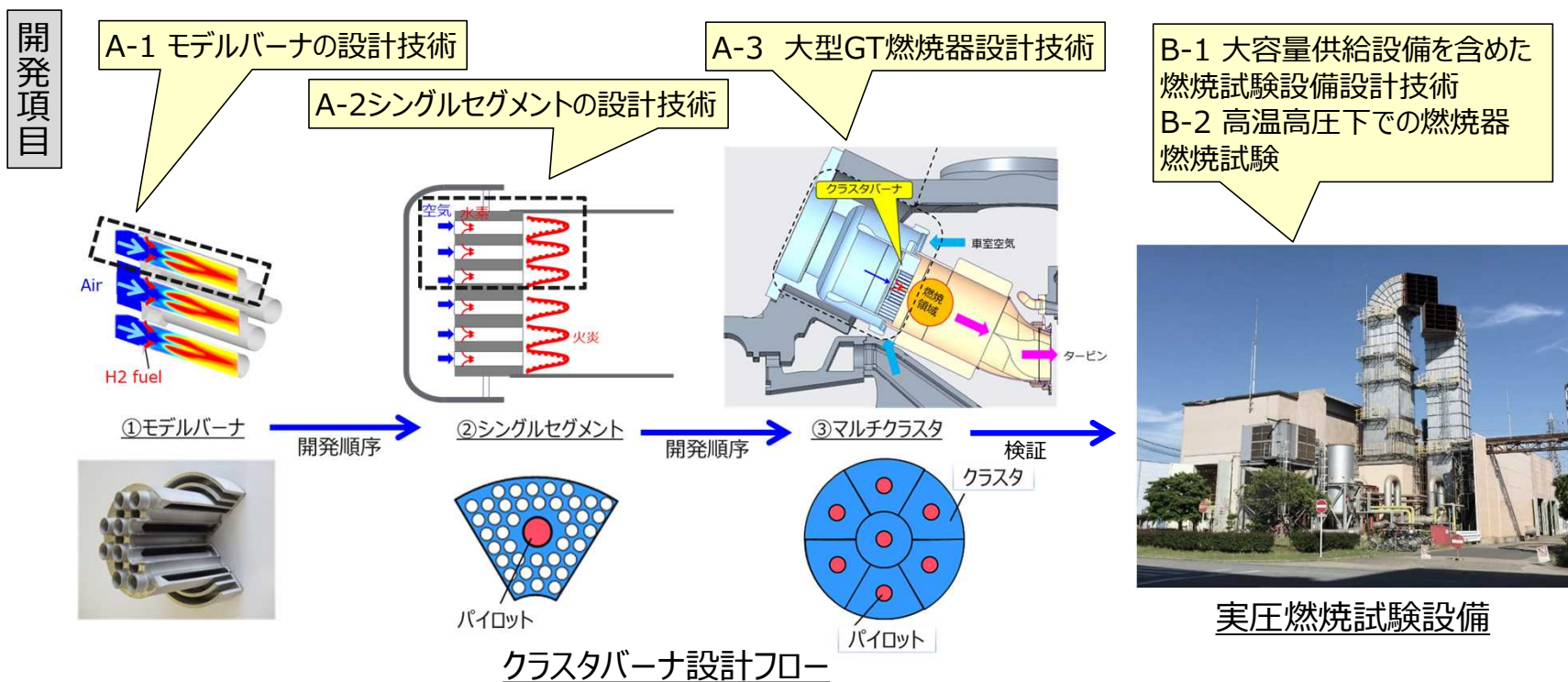
- 1) 旋回流なく、高速流を形成。燃料混合スケールが小さく、混合距離の短縮が可能 → **逆火リスク 低**
- 2) 燃料分散化による空気有効利用 → **低NOx化**

燃焼方式	燃焼器	説明
天然ガス用 予混合燃焼器		 <p>低速域&長い予混合距離→ 逆火リスク高</p>
マルチクラスタ 燃焼器	 <p>バーナー正面図</p>	 <p>旋回流無く、高速流 & 混合スケールが小さく、 混合距離短縮可能 →逆火リスク低</p> <p>燃料分散化による 空気有効利用 →低NOx化</p>

(1) 事業概要

◆ 研究概要

- 高い逆火耐性をもち、かつ 低NOx化が可能なクラスタ燃焼器を、モデルバーナ/シングルセグメント/燃焼器のステップで開発
- 大容量水素供給装置を含む燃焼試験設備を構築し、高温高圧下の燃焼器燃焼試験で性能を検証する

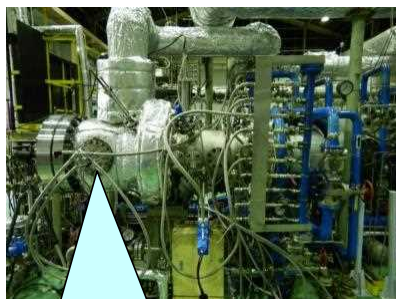


(1) 事業概要

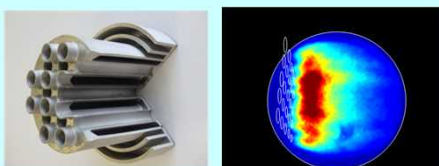
◆ 成果概要

- モデルバーナ、セグメントバーナ体系において、予混合燃焼方式で大型GTターゲット条件での安定燃焼を実現し、目標のNOx50ppm以下を達成した
- 大容量水素供給設備を含む実圧燃焼試験設備を構築し、大型水素燃焼器の性能検証技術を確立した
- 大型燃焼器で高温高圧下での水素専焼を達成し、燃焼器設計の基礎を確立した

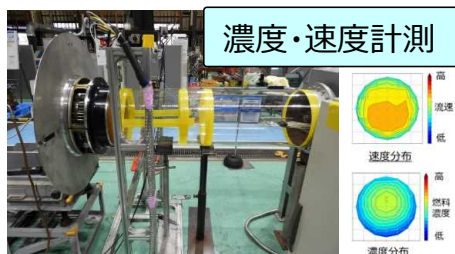
①モデルバーナ、セグメントバーナ設計



ターゲット計画条件でNOx<50ppm達成



②大型燃焼器設計



燃焼器濃度・速度計測設備



※数分間の試験が可能
特定条件の燃焼性能を検証

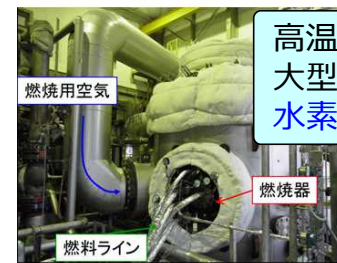
ブローダウン燃焼試験設備

③実圧燃焼試験による燃焼器性能検証



大容量水素供給設備を構築

大容量水素供給設備



高温高圧下において大型燃焼器で水素専焼を達成

実圧燃焼試験設備

(2) 個別研究開発項目の目標と達成状況

◆個別研究開発項目の目標と達成状況

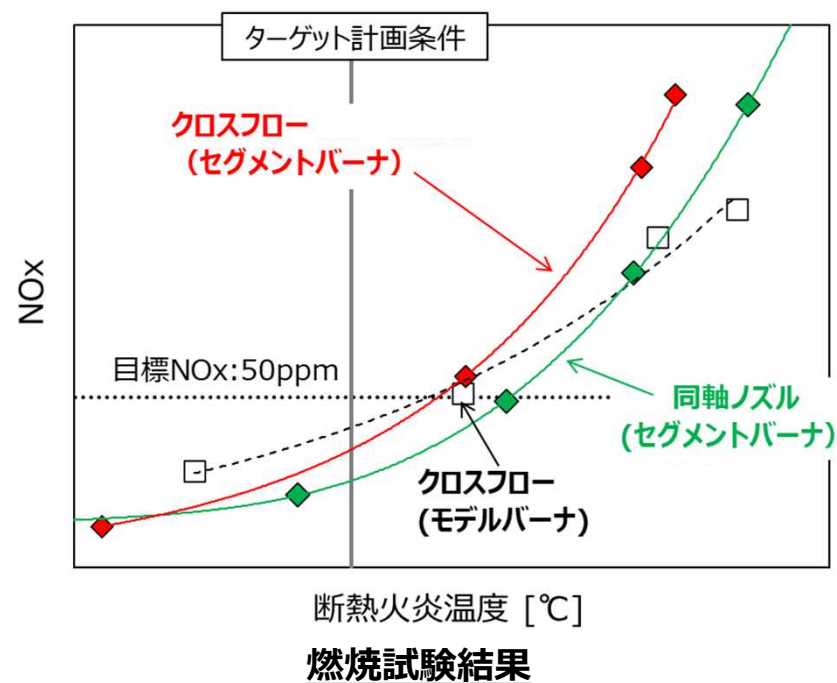
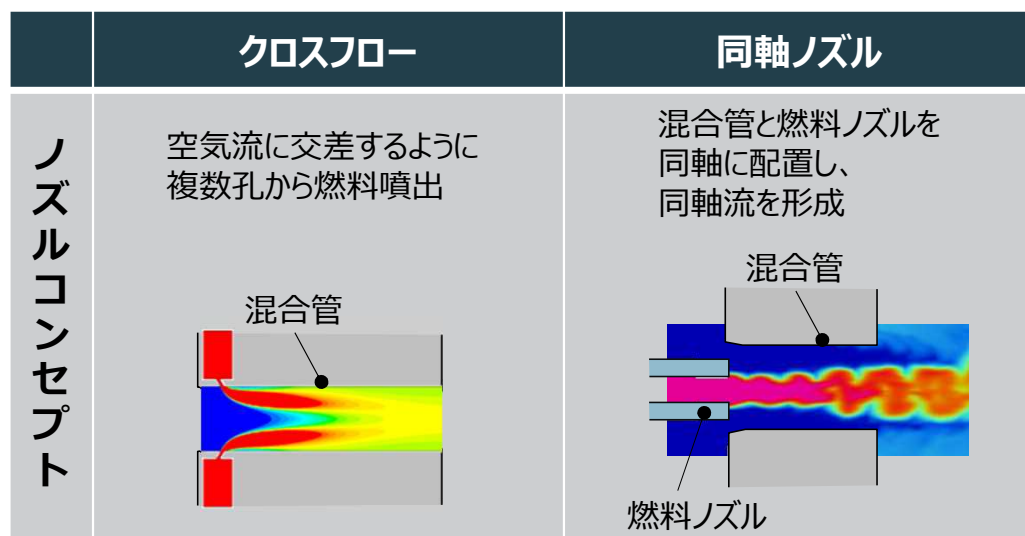
開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
A-1 モデルバーナの設計技術	・高温高圧下のモデルバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口NOx50ppm以下	・燃焼試験により、ターゲット計画条件にてNOx 50ppm(15%O2換算)以下を達成した	○	
A-2シングルセグメントの設計技術	・高温高圧下のセグメントバーナ燃焼試験にて、逆火の発生なく、燃焼器出口NOx50ppm以下	・燃焼試験により、ターゲット計画条件にてNOx 50ppm(15%O2換算)以下を達成した	○	
A-3大型ガスタービン燃焼器設計技術	・クラスタバーナ計画図の完成および燃焼器全体計画図の完成	・燃焼器の詳細設計完了	○	
B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術	・土工工事・水素蓄圧器設置・電気工事・保温工事の完成 ・試運転の完了	・燃焼試験を実施し、設備の検証まで完了	○	
B-2 高温高圧下での燃焼器燃焼試験	・実圧燃焼試験にて、計画運転条件において逆火の発生なく、燃焼器出口でNOx 50ppm以下	・高温高圧下で水素専焼を達成し、実用化に向けた課題を明確にした。 ・目標のNOx50ppm以下は達成できず。	△	・実燃焼器においてもモデルバーナと同等の濃度分布、燃焼性能を実現可能なノズル、燃焼器構造を検討する

◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

(3) 各個別テーマの成果と意義

A-1、2 モデルバーナ、シングルセグメントの設計技術

- 目標：逆火なく安定燃焼し、NOx 50ppm(15%O2換算)以下
- 成果：クロスフロー方式、同軸ノズル方式の二案を検討した。
逆火の発生なく、ターゲット計画条件においてNOx 50ppm以下を達成した。
- 成果の意義：水素専焼燃焼器のバーナ設計のベースとなる。

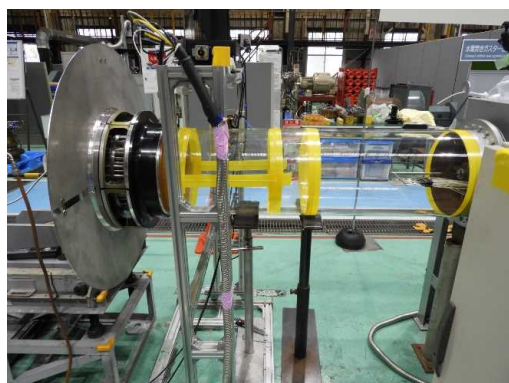


(3) 各個別テーマの成果と意義

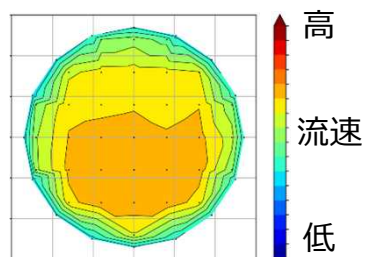
A-3 大型ガスタービン燃焼器設計技術

- 目標：クラスタバーナ、燃焼器の全体計画図の完成
- 成果：燃焼器を対象としたCFD、濃度、流速分布計測により燃焼器構造を検討し、**クラスタ燃焼器を設計した。**
ブローダウン燃焼試験設備において水素専焼クラスタ燃焼器の性能を検証し、**燃焼器の設計・評価技術を構築した。**
- 成果の意義：水素専焼燃焼器の設計・検証手法を構築し、今後の改良設計のベースとなる。

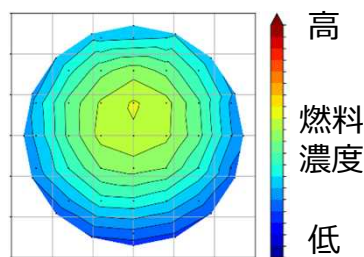
燃焼器混合管流動評価



同軸ノズル型クラスタ燃焼器
気流試験装置

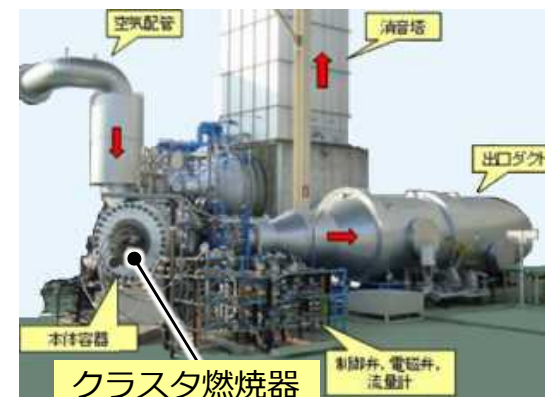


速度分布



濃度分布

燃焼特性評価



クラスタ燃焼器

ブローダウン試験設備※

※空気源として空気タンクに貯めた空気を使用。
貯留空気を燃焼器に供給することで数分間の試験が可能

(3) 各個別テーマの成果と意義

B-1 大容量供給設備を含めた燃焼試験設備設計技術

- 目標：土木工事・水素蓄圧器設置・電気工事・保温工事の完了
試運転による装置検証完了
- 成果：土木工事・水素蓄圧器設置・電気工事・保温工事および**燃焼試験による設備検証まで完了した。**
- 成果の意義：燃焼器検証に必要な設備のベースが完成した。

大容量水素供給設備



水素ボンベ



水素圧縮機

実圧燃焼試験用制御弁ユニット



- 天然ガス 配管(既設)
- 水素ガス 配管(新設)



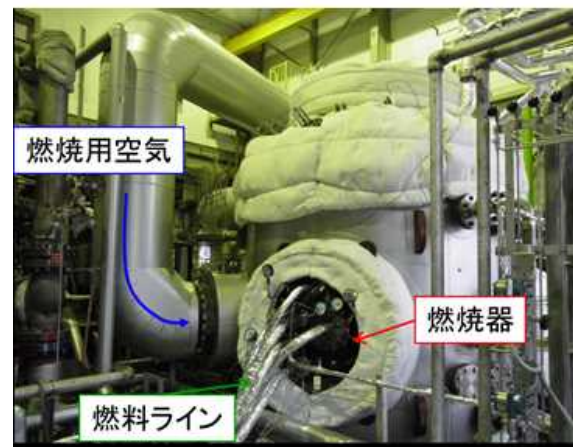
出典：Google Maps 航空写真



(3) 各個別テーマの成果と意義

B-2 高温高圧下での燃焼器燃焼試験

- 目標：高温高圧下の燃焼試験にて計画運転条件の燃焼性能を評価し、逆火なくNOx50ppm以下を達成
- 成果：大容量水素供給設備を用いた高温高圧下の水素専焼燃焼試験を実施し、**大型GT燃焼器で水素専焼を達成。**
燃料比率の調整が最適化できておらず、目標のNOx50ppm以下は達成できず。
- 成果の意義：大容量水素供給設備を用いた試験装置において、予混合燃焼方式の大型燃焼器で水素専焼を達成し、今後の燃焼器開発のベースを確立した。



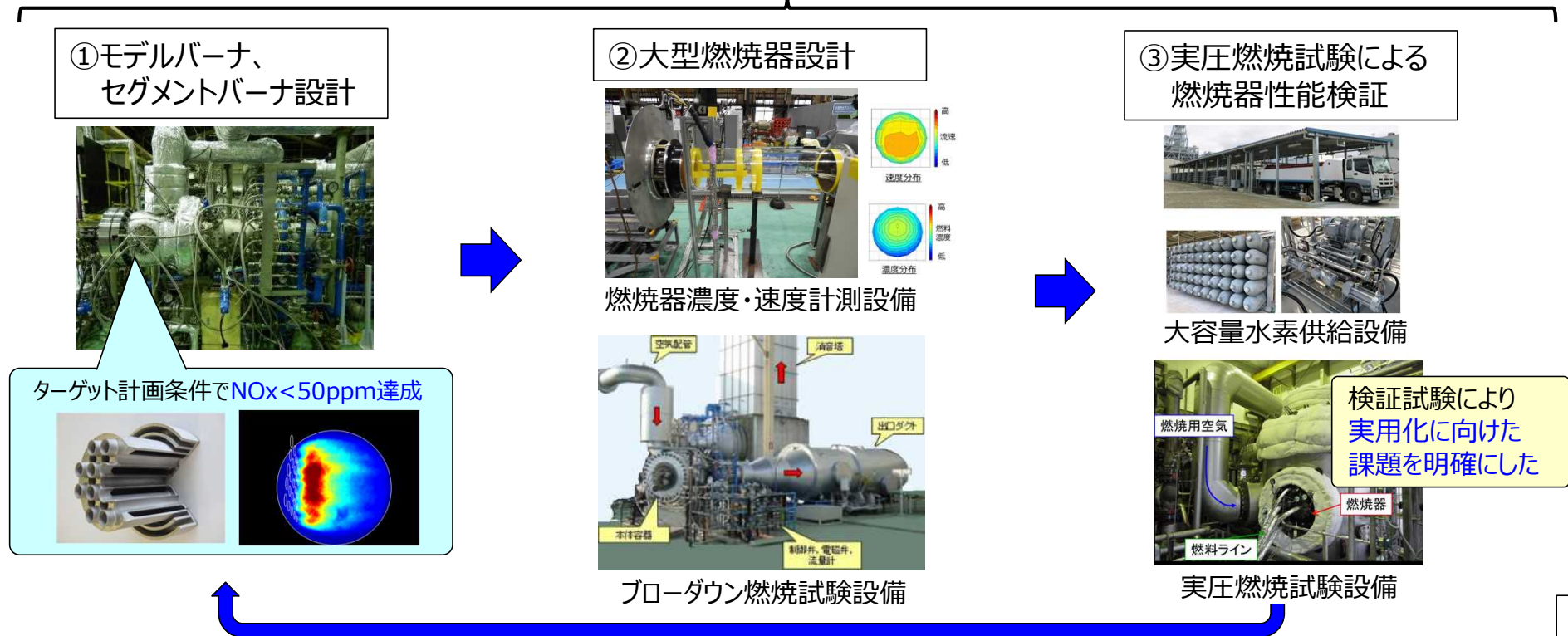
高砂実圧燃焼試験設備

(4) プロジェクト（事業）としての達成状況と成果の意義

◆プロジェクト（事業）としての達成状況と成果の意義

- 本プロジェクトにより、大容量水素供給設備を含む燃焼性能を検証可能な燃焼試験設備を構築し、大型ガスタービン向け水素専焼燃焼器の設計・評価技術を確立した。また、燃焼器燃焼試験により実用化に向けた課題を明確にすることができた。
- 本成果により、水素専焼ガスタービンの実用化に向けた検討が可能となり、早期に社会実装することより市場拡大に貢献する。

大型ガスタービン向けの水素専焼燃焼器の設計・評価技術を確立



(5) 特許出願数

◆ 知的財産権の確保に向けた取り組み

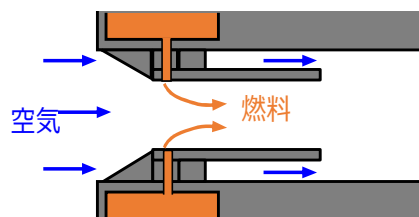
● クラスタバーナは水素専焼のキー技術であり、知的財産権確保に向けて、国内外の特許出願を継続

	2020年度	2021年度	2022年度	計
特許（うち外国出願）	6（1）	6（4）	3（2）	15（7）件

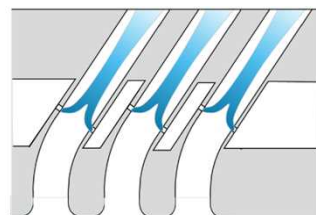
一例

※2023年9月30日現在

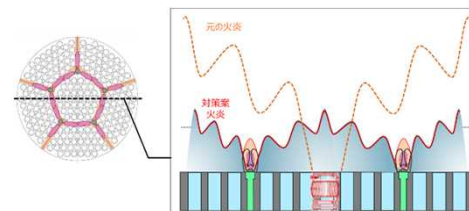
① 混合管にフィルム空気導入
（特願2021-025565）
（PCT/JP2022/043486）



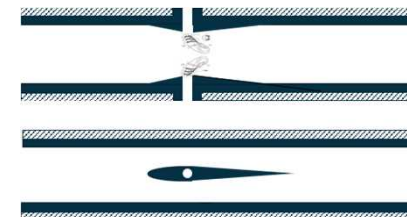
② 旋回クラスタ
（特願2021-062224）
（PCT/JP2022/012462）



③ クラスタ+パイロット
（特願2022-056000）
（PCT/JP2023/005867）



④ 流線形突起からの燃料噴射
（特願2022-056957）
（PCT/JP2023/008733）



(6) 論文等の発表数

	2020年度	2021年度	2022年度	計
研究発表・講演	12	14	16	42件
新聞・雑誌等への掲載	3	6	7	16件
展示会への出展	2	1	1	4件

※2023年7月31日現在

(7) 成果の普及

◆ 成果の普及

● プレスリリースにて、水素ガスタービンの早期商用化に向けた取り組みを発表

PRESS INFORMATION

高砂製作所に水素発電実証設備「高砂水素パーク」を整備へ

自社で“水素製造から発電までの技術を一貫して検証”できる体制を構築

2022-02-14



- ◆ 2025年の水素ガスタービン商用化に向け、既存実証拠点に水素製造・貯蔵設備を追加
- ◆ 自社設備での着実な実証を通じて製品の信頼性を向上、大型のJAC形および中小型のH-25形で検証



三菱重工業は、水素を燃料とする水素ガスタービンの早期商用化に向け、開発・製造拠点を置く高砂製作所（兵庫県高砂市）に水素製造から発電までにわたる技術の世界で初めて一貫して検証できる「高砂水素パーク」を整備します。今後、関連設備を順次拡充し、2025年に大型ガスタービンで30%混焼、中小型では100%専焼の製品を商用化する予定です。

高砂水素パークは、同製作所構内の実証設備複合サイクル発電所（通称：第二T地点）に隣接させて整備します。現在、2023年度の稼働開始に向け、水素製造・貯蔵およびガスタービンでの水素燃焼技術の試験・実証運転に着手できるよう準備を進めています。水素製造設備は、水電解装置の採用に加え、メタンを水素と固体炭素に熱分解することによるターコイズ水素の製造など、次世代水素製造技術の試験・実証を順次行う予定です。

高砂製作所では、開発から実証・検証までの一貫体制を構築しており、水素ガスタービンのキーコンポーネントである燃焼器は、開発拠点（総合研究所）での開発から、設計、製造工場での実機の製作、実証設備において実機レベルで検証するまでの体制を築いています。当社のガスタービン開発は、基本設計の段階で各要素の検証試験を実施し、その結果を詳細設計に反映させ、最終的に実機を用いた実証を行うものです。この開発サイクルを同一工場内で実施することで、より迅速かつ確実な開発・製品化を進めてきました。

第二T地点では、世界で初めてガスタービン入口温度1,650°Cの高温化を達成した次世代高効率大型ガスタービンJAC（J-series Air-Cooled）形の長期実証に向け、地域の電力網に接続された状態で実際の発電所と同じ運用を行いながら、新開発技術の長期的な信頼性検証を実施しています。これは、世界で当社以外に類を見ない設備で、出力56万6,000kWの最新鋭ガスタービン・コンバインドサイクル（GTCC）発電設備として、2020年7月1日に長期実証運転を開始したものです。

2025年の商用化に向け、大型ガスタービンについては第二T地点でJAC形を用いて水素30%混焼発電を検証します。また、中小型ガスタービンでの水素100%専焼も、H-25形ガスタービンでの水素燃焼の実証を行います。

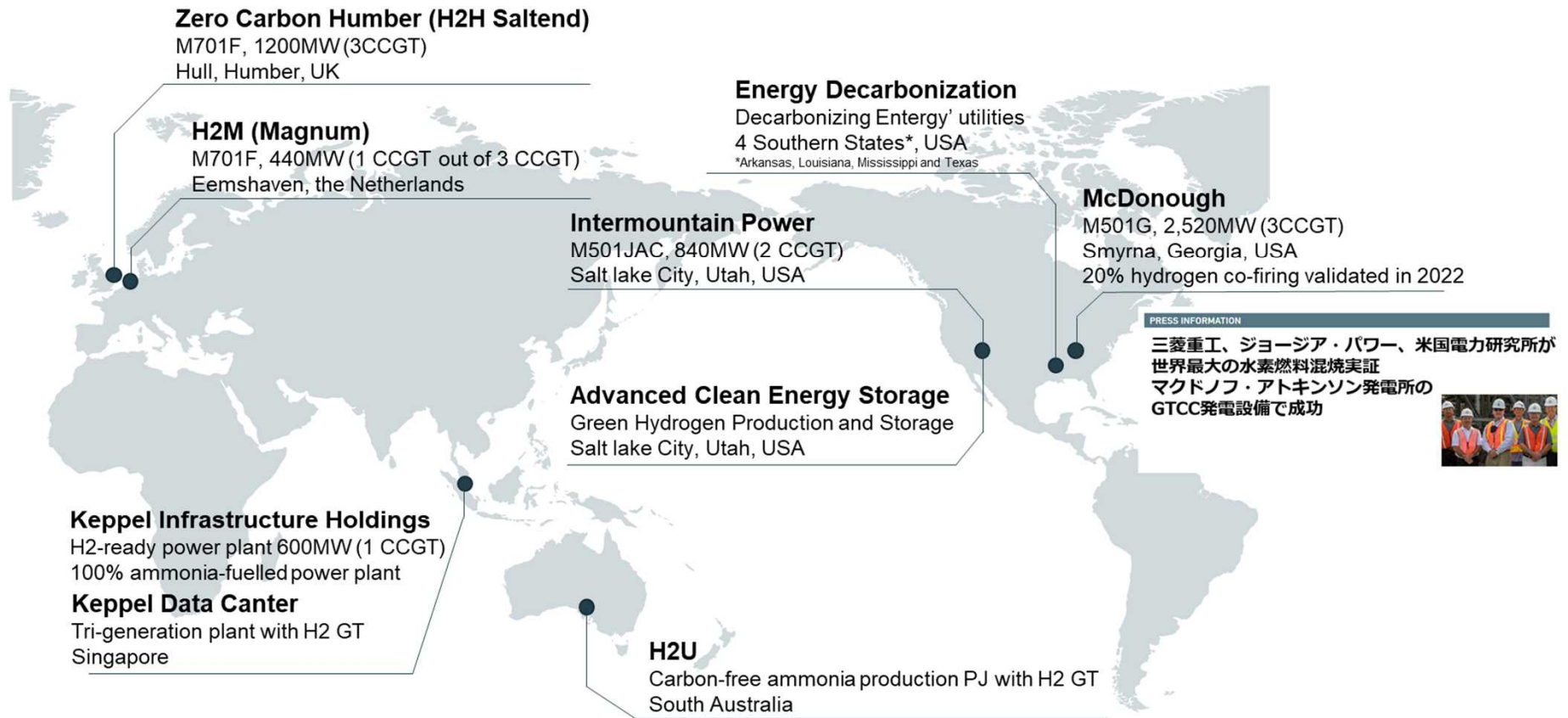
三菱重工業グループは、カーボンニュートラル社会の実現に向け、エナジートランジション戦略を推進しており、その一環として既存のエネルギー・インフラ技術と水素関連技術のさらなる融合・進化を通じ、水素の製造から利用までのバリューチェーン構築に取り組んでいます。このアプローチをさらに発展させ、水素を軸にさまざまな産業を結びつけることで持続可能な社会を形成するための「水素エコシステム」の確立も目指しており、水素パークでの実証を通じて実用化を加速していきます。

※2022年2月14日 当社ホームページ

(8) 本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

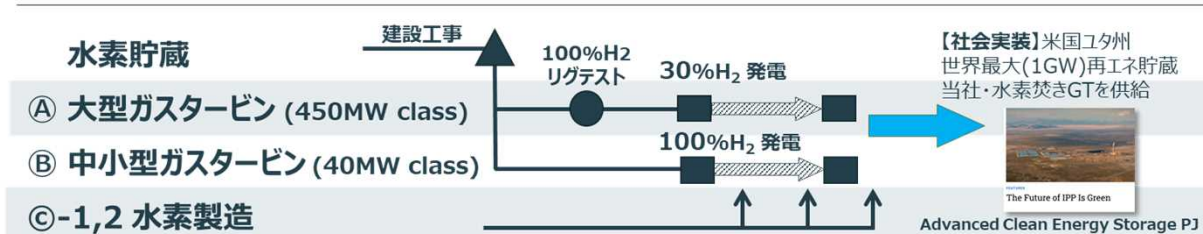
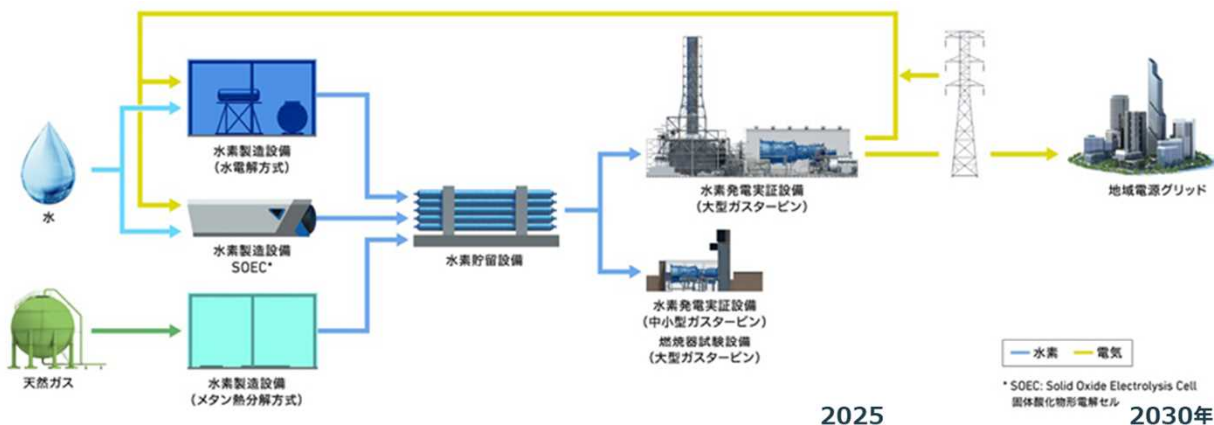
世界各地で水素プロジェクトが進行中。2025年を目途に実圧燃焼試験で単缶燃焼器としての設計を完了させ、実エンジン適用に向けたエンジン設計を進め、実用化を進める。



(9) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

◆ 成果の実用化・事業化に向けた戦略

- 水素ガスタービンの早期商用化に向け、開発・製造拠点を置く高砂製作所に水素製造から発電までにわたる技術を世界で初めて一貫して検証できる「高砂水素パーク」を整備
- 中小型ガスタービンでの水素専焼の実証も予定しており、大型水素ガスタービンの開発に知見をフィードバックする



(10) 実用化・事業化に向けたスケジュールと課題

◆ 実用化・事業化に向けたスケジュールと課題

欧州のCO2排出規制に対し、大型GT向けは水素50%混焼を先行して実用化し、2030年までに水素専焼を実用化する

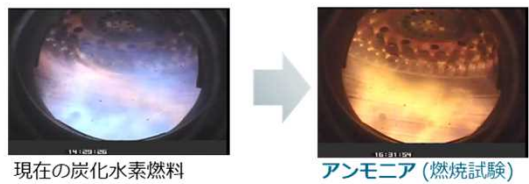
1. EUタクソミーを達成する50%水素混焼技術
大型ガスタービン向けの燃焼試験を成功(2022年)



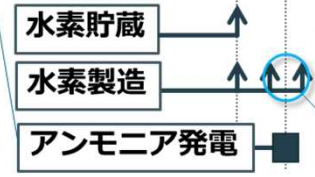
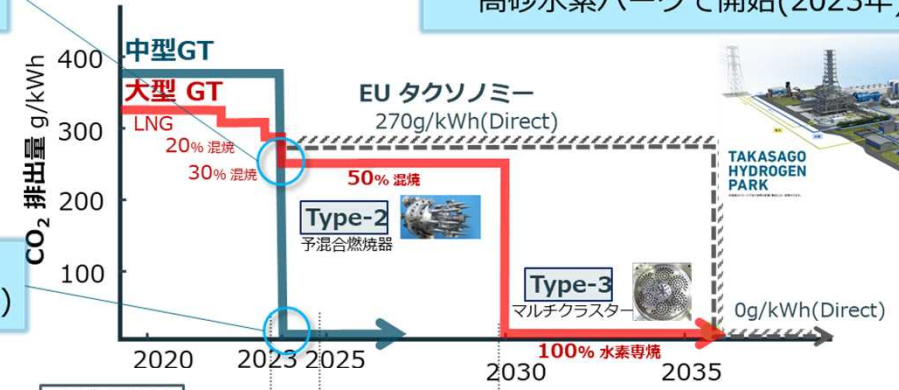
2. CO₂排出ゼロの水素専焼技術
中小型ガスタービン向けの燃焼試験を成功(2022年)



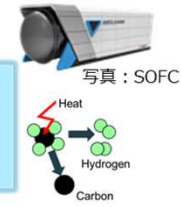
3. CO₂排出ゼロのアンモニア専焼技術
中小型ガスタービン向けの燃焼試験を成功(2022年)



4. 実際の大容量発電設備にて実証
高砂水素パークで開始(2023年)



5. 水素製造
SOECとメタン熱分解による水素製造技術検証開始(2023年~)





三菱重工 | MISSION NET ZERO

「水素社会構築技術開発事業

／大規模水素エネルギー利用技術開発

／大出力水素燃焼エンジン発電システムに関する技術開発」(終了時評価)

(2020年度～2022年度 3年間)
プロジェクトの概要 (公開版)

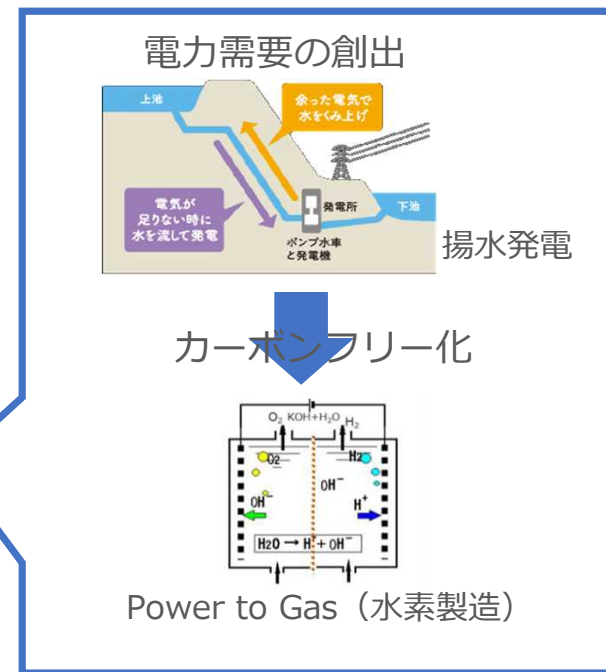
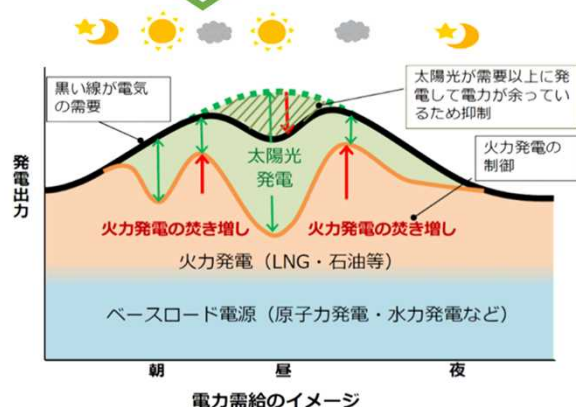
(川崎重工業株式会社)

2023年12月21日

(1) 事業概要

◆ 事業概要

背景



- ✓ 水素燃焼エンジン (+水電解水素製造) により、①～③を同時に達成し、カーボンフリーでの電源システムの安定化に貢献
 - ① 大量の供給過剰電力発生への対処
 - ② 調整電源による変動吸収
 - ③ 再生可能エネルギー不足時に備えたバックアップ電源の確保

(1) 事業概要

◆事業概要

本事業の取り組み概要

	開発内容	実施内容
①	既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価、及び水素燃焼の最適化目途付け	<ul style="list-style-type: none">水素利用に伴う異常燃焼を回避すべく、EGR（排ガス再循環）等を用いた燃焼速度低減効果の定量化と制御システムの確立水素燃焼試験を行い、平均有効圧力：1.6MPaの達成目途付けを実施
②	水素燃焼単筒機の開発、及び水素燃焼の最適化	<ul style="list-style-type: none">水素燃焼エンジンの開発を円滑にし、さらに性能及び耐久性等を的確に把握するための運転継続能力を持ち、事業①で得られた知見の有用性を安全に確認できる試験設備を整備水素を利用したA.既存単筒機での取得データとB.水素燃焼単筒機での取得データの両者を分析し、水素燃焼最適化の目途を得る
③	水素燃焼単筒機運用システムの開発	<ul style="list-style-type: none">水素利用におけるリスクアセスメントにて抽出したリスクを定量化し、運用方案に反映水素燃焼エンジンの安全対策を考慮した制御システムの確立

(1) 事業概要

◆事業概要

実施体制

NEDO

川崎重工業株式会社

期間

2020年8月～2023年3月

予算 (うち1/2が助成)

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

(1) 事業概要

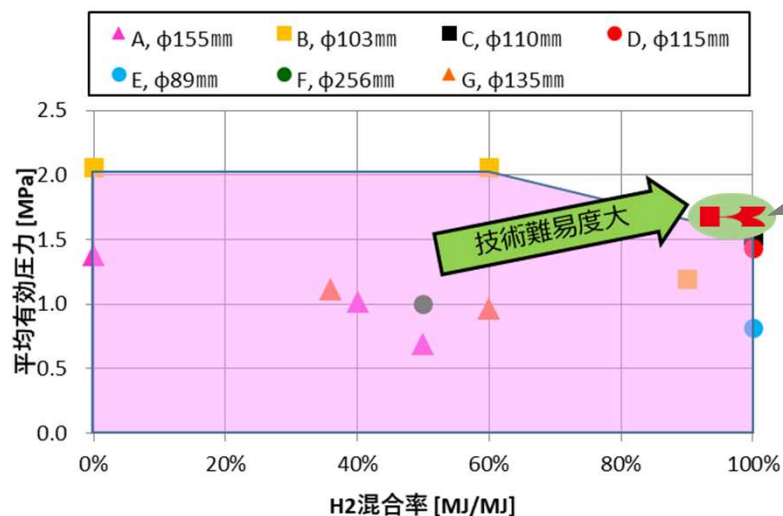
◆ 事業概要

開発目標

- 既発表の水素燃料エンジンは、主にシリンダボア径100mm級・低出力
- 水素の速い燃焼速度に起因する最大燃焼圧力上昇、異常燃焼等が発生

➔ 水素燃料エンジンは高出力化が困難

H2混合率と平均有効圧力の関係



本事業にて開発する水素燃焼エンジン

要目

シリンダボア径

300mm級

燃焼形態

2元燃料
水素+重油

目標性能

水素混焼率

95%以上

平均有効圧力

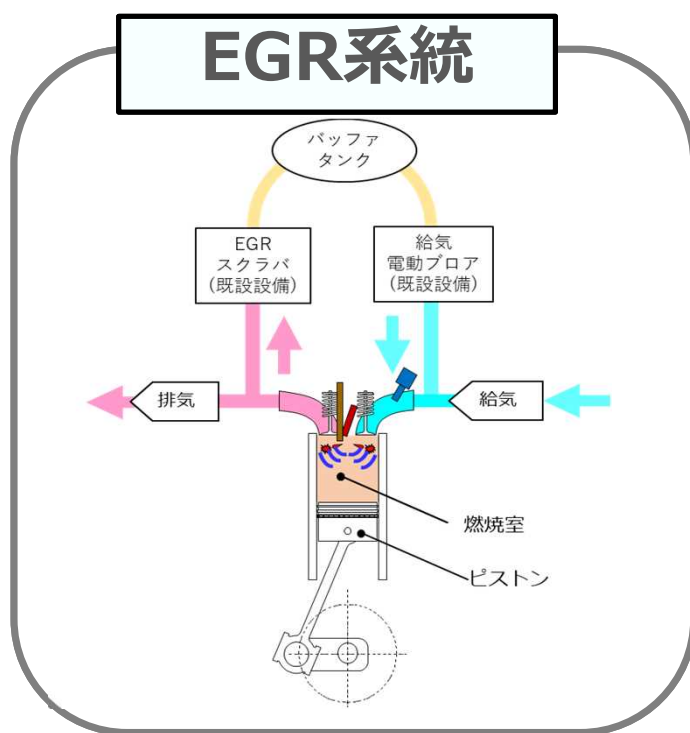
1.6MPa以上

- ✓ 前例の無いシリンダボア径300mm級・高出力の水素エンジンを実現する技術開発に取り組む
- ✓ 水素専用の単筒機を建造し、右上表の要目かつ目標性能を達成する

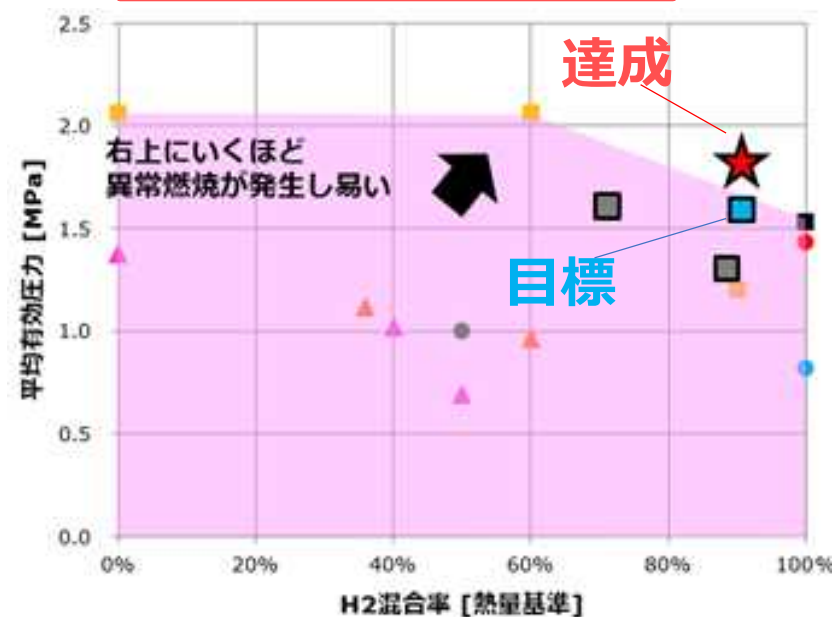
(1) 事業概要

◆ 事業概要

成果概要① 水素燃焼の最適化目途付け



目標よりも高い出力達成



- ✓ エンジン仕様変更 (カムタイミング等)、制御パラメータ (給気圧、水素噴射タイミング等) の最適化を組み合わせ、目標の平均有効圧力1.6MPaを超える成果を達成

(1) 事業概要

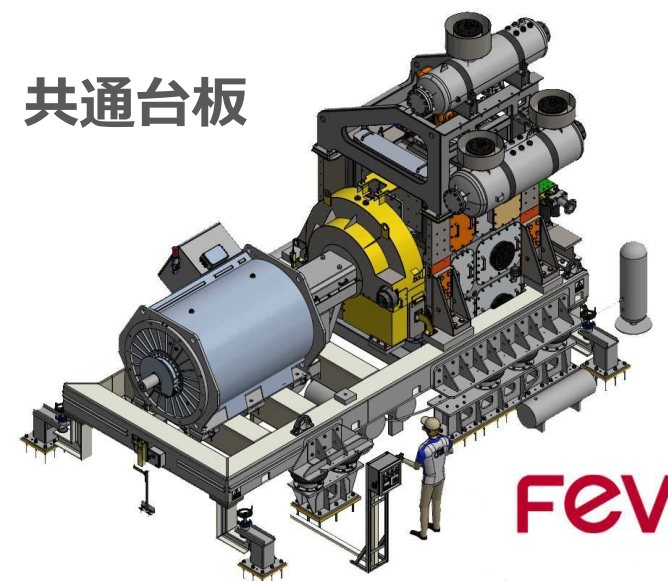
◆事業概要

成果概要②水素燃焼単筒機の開発、建造



動力計

共通台板



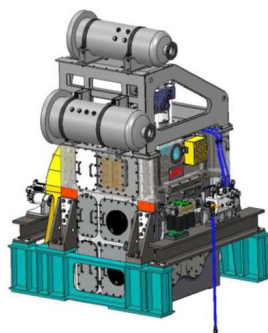
- ✓ リスクアセスメント結果を反映し、水素を用いた長時間連続運転が可能な試験機が完成
- ✓ 水素・天然ガス混焼にて約4時間の連続安定運転を初確認

(1) 事業概要

◆事業概要

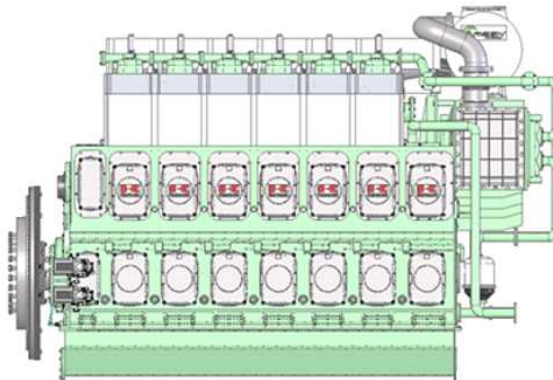
社会実装、実用化、事業化に向けた今後の取組み概要

- ① 単筒機を用いた研究
(本研究内容)



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

- ② 多筒機を用いた実証研究



単筒機での成果を適用した多気筒エンジンを設計・製造し、実証試験を行う。

- ③ 上市



実証研究にて洗い出された課題について対策を施し、製品として上市する。

(2) 個別研究開発項目の目標と達成状況

◆個別研究開発項目の目標と達成状況

開発項目①既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価及び水素燃焼の最適化目途付け

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①-1 既存の天然ガス燃焼単筒機での水素燃焼試験	大出力エンジンにおける水素燃焼の特徴を抽出	水素燃焼における異常燃焼等の発生条件を把握	○	
①-2 排ガス再循環（EGR）等による燃焼速度低減手段の効果確認試験	大出力エンジンにおけるEGR等による燃焼速度低減効果を確認し、水素燃焼単筒機の要目・仕様を選定	異常燃焼を回避し、平均有効圧力（エンジン出力）向上に寄与する下記成果を獲得 <ul style="list-style-type: none"> • EGRによる燃焼速度低減（異常燃焼抑制）効果を確認 • 異常燃焼抑制に効果のあるパラメータ（エンジン仕様・制御）を把握 	○	
①-3 試験による水素燃焼の最適化検討	平均有効圧：1.6MPaの実現目途付け	エンジン仕様変更、制御パラメータの最適化を組み合わせ、平均有効圧：1.85MPaを達成（短時間確認）	◎	

◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

(2) 個別研究開発項目の目標と達成状況

◆個別研究開発項目の目標と達成状況

開発項目② 水素燃焼単筒機の開発、及び水素燃焼の最適化

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と 解決方針
②-1 適用材料の水素環境下での強度試験	燃焼室周縁部に適用する材料の水素脆化を考慮した強度特性を把握し、部材を選定	低ひずみ引張試験結果および当社の材料研究の知見を用いて、候補部材の水素環境下での使用可否を判定し、適用する部材を選定	○	
②-2 燃焼室状態の数値解析	給気経路や燃焼室及び燃料供給手段の仕様を検討・選定するための数値解析手法を確立	水素燃焼エンジンの仕様を検討・選定するための数値解析手法を確立	○	
②-3 水素燃焼単筒機的设计	事業①、②-1,2で得た成果を制約なく実証できるエンジンを設計	エンジン内部で水素滞留の可能性の高い箇所（クランクケースなど）の換気・爆発対策を施したエンジンを設計。また、水素燃焼エンジンに最適な燃焼室（シリンダヘッド、ピストンなど）を設計。	○	

◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

(2) 個別研究開発項目の目標と達成状況

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
②-4 水素燃焼単筒試験設備の整備	水素燃焼試験を効率的に実施できる試験設備を整備	開発項目③にて実施したリスクアセスメントの成果を反映した水素燃焼単筒試験設備（エンジン・周辺設備）を設計・整備完了	○	
②-5 試験による水素燃焼の最適化	水素を利用した A.既存単筒機での取得データと B.水素燃焼単筒機での取得データの 両者を分析し、水素燃焼最適化の目途を得る	<ul style="list-style-type: none"> 本設備の特徴である長時間の水素供給能力を活かし、天然ガス・水素混焼条件にて約4時間の連続運転における燃焼安定性評価を実施した結果、安定した燃焼状態を維持できることを確認 既存単筒機とのデータ比較により、水素燃焼単筒試験設備の燃焼は正常であることを確認 	○	①で開発した水素・重油の二元燃料のエンジン仕様での、水素燃焼単筒機を用いた長時間の安定運転を確認する

◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

(2) 個別研究開発項目の目標と達成状況

開発項目③ 水素燃焼単筒機運用システムの開発

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
③-1 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出	水素利用を想定して、単筒エンジン本体だけでなく試験設備全体のリスク要因抽出を実施する事で、試験設備の要求仕様の明確化	水素利用を想定したリスクアセスメントによって以下の要求仕様を決定し、基本設計完了 • エンジン本体を含むハードウェアに実装すべき安全装置の要求仕様を決定 • 防爆エリア設定などの運用システムとして安全を担保するための要求仕様を決定	○	

◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

(2) 個別研究開発項目の目標と達成状況

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
<p>③-2 水素燃焼エンジン運用システムの構築および評価</p>	<ul style="list-style-type: none"> 水素燃焼エンジンの事業化を見据え、天然ガス燃焼エンジンと同様のリスクレベルにて運用可能な制御システムの確立 抽出したリスクへの対策を機器・制御に織り込んだ設備・制御システムの構築 	<ul style="list-style-type: none"> ③-1で決定した要求仕様に加え、天然ガスエンジン同等のリスクレベルで運用可能なシステムの確立を目標としたリスクアセスメントを実施し、新たに潜在リスクを抽出し、その安全対策を立案 要求仕様及び潜在リスクへの安全対策を設備内の安全設備・制御システムに反映して実装 	<p>○</p>	<p>試験設備の長期運用にて、水素燃焼エンジンの事業化に対する運用システムの妥当性を評価していく</p>

◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

(3) 各個別テーマの成果と意義

① 既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価及び水素燃焼の最適化目途付け

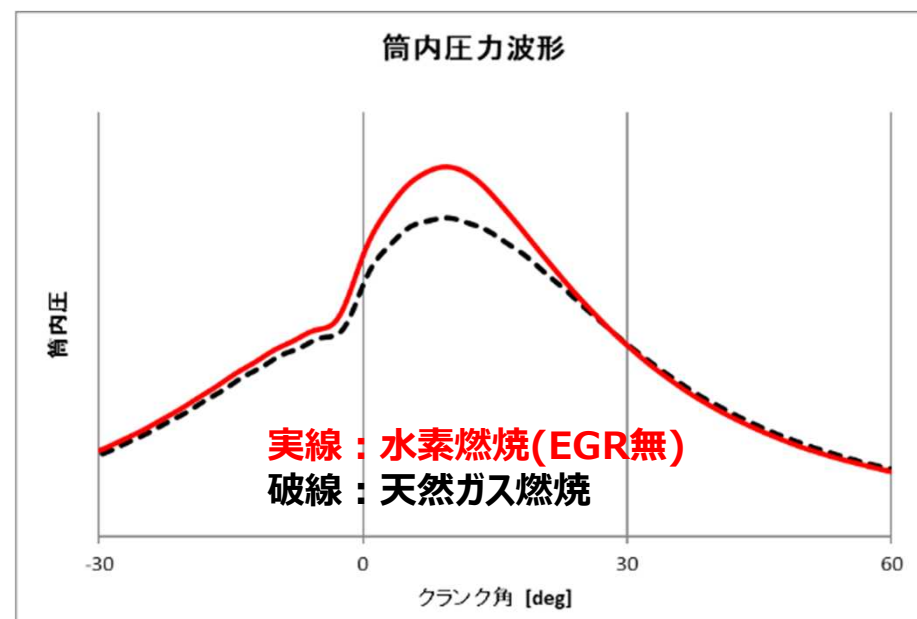
①-1 既存の天然ガス燃焼単筒機での水素燃焼試験

【成果】

- 大出力エンジンを想定した燃焼室サイズの単筒機にて、天然ガス燃焼と水素燃焼を比較し、水素燃焼の異常燃焼等の発生条件を把握した。

【意義】

- 天然ガスと比べ低い平均有効圧力で異常燃焼が発生することを確認し、異常燃焼の抑制対策が今後の主な課題であることが明確となった。
- 異常燃焼の種類（バックファイア、過早着火、ノッキング）は想定通りであった。



筒内圧力波形例

(3) 各個別テーマの成果と意義

① 既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価及び水素燃焼の最適化目途付け

①-2 排ガス再循環 (EGR) 等による燃焼速度低減手段の効果確認試験

【成果】

- EGRによる燃焼速度低減 (異常燃焼抑制) 効果を確認した。
- 筒内異常燃焼抑制に効果のあるパラメータ (エンジン仕様・制御) を把握した。

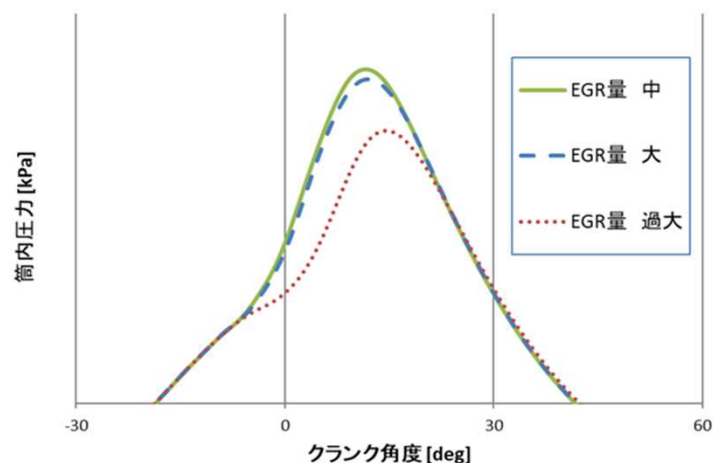
【意義】

- 水素利用に伴う筒内異常燃焼回避手段とその寄与度合いを把握できた。

例)

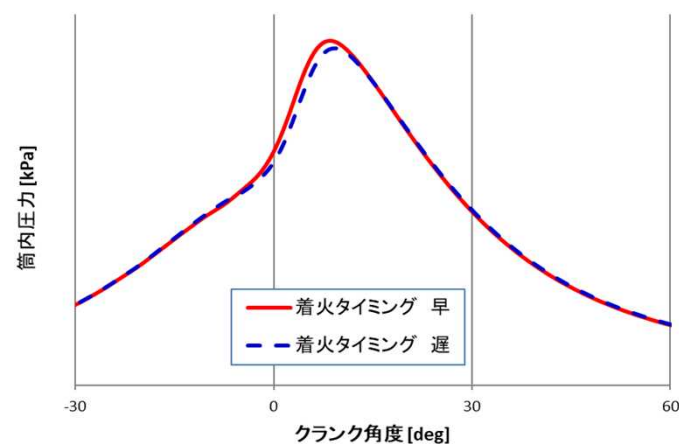
EGR量変更

EGRによって燃焼速度と異常燃焼抑制



着火タイミング変更

着火タイミング最適化により燃焼圧を向上



(3) 各個別テーマの成果と意義

① 既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価及び水素燃焼の最適化目途付け

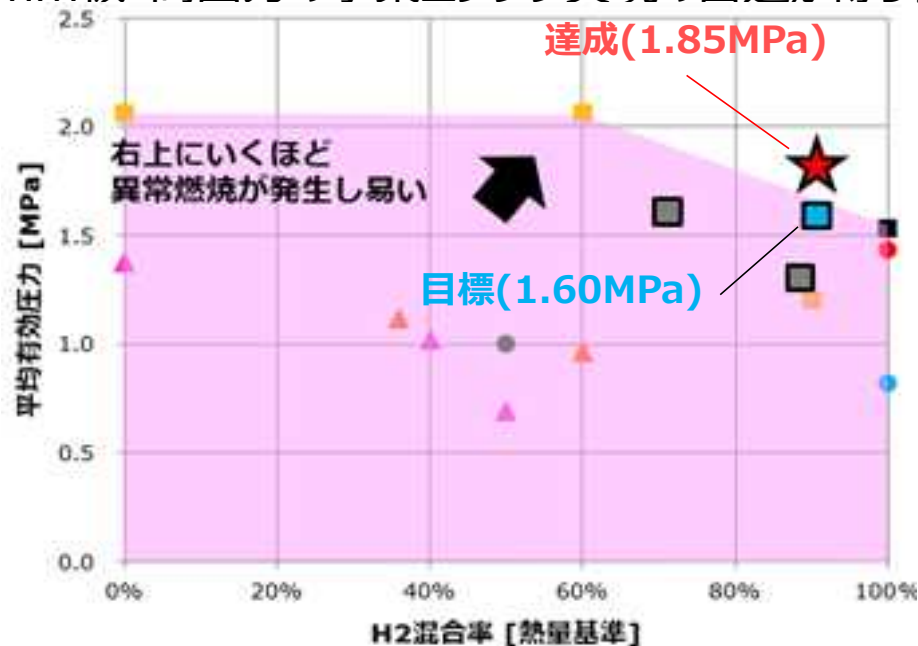
①-3 試験による水素燃焼の最適化検討

【成果】

- EGRとエンジン仕様変更、制御パラメータの最適化を組み合わせ、目標の平均有効圧力：1.60MPaを超える平均有効圧：1.85MPaを達成（短時間確認）した。

【意義】

- 前例の無いシリンダボア径300mm級・高出力の水素エンジン実現の目途が得られた。



(3) 各個別テーマの成果と意義

② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

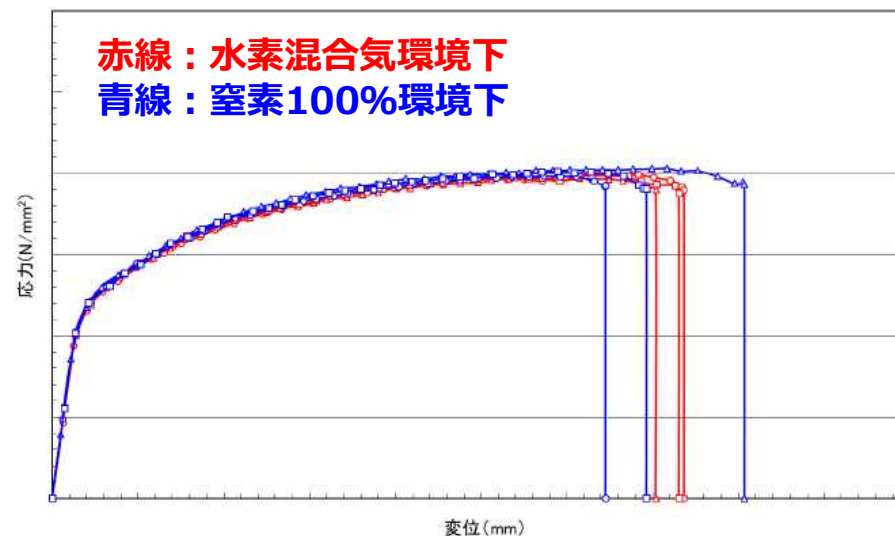
②-1 適用材料の水素環境下での強度試験

【成果】

- 金属材料の水素影響評価で一般的に用いられる、低ひずみ引張試験(SSRT試験)を実施した。
- SSRT試験結果および当社の材料研究の知見を用いて、候補部材の水素混合気環境下での使用可否を判定し、水素燃焼エンジンに適用する部材を選定した。

【意義】

- 天然ガスやディーゼルエンジンと同等の耐久性を確保した水素燃焼エンジンの設計検討が実施できるようになった。



低ひずみ引張試験結果の一例

(3) 各個別テーマの成果と意義

② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

②-2 燃焼室状態の数値解析

【成果】

水素燃焼エンジンの仕様を検討・選定するための数値解析手法を確立。

➡複数の水素の解析モデルの妥当性検討を行った結果、下表より、

モデルAもしくはモデルCが本テーマに適用する解析に適していると判断。解析の目的によって使い分ける。

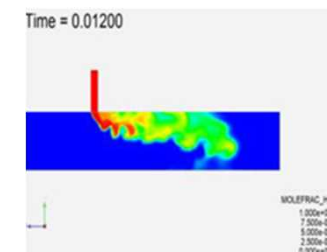
【意義】

- ②-3「水素燃焼単筒機的设计」における仕様検討で本結果による数値解析を活用。
- 今後の改良設計や新開発でも、数値解析による効率化・精度向上が期待できる。

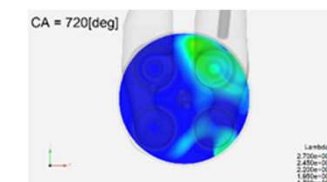
表：解析モデル妥当性検討結果

	解析モデルA	解析モデルB	解析モデルC
手法	RANS法	LES法	Parcel法
流体計算	オイラー		ラグランジュ
利点	水素以外のCFDで使用実績多数		複雑な拡散挙動表現
精度（確からしさ）	△	◎	○
計算時間	○	×	○
計算実行の難易度	○	×	△

管路流れ解析例



エンジン筒内流れ解析例



(3) 各個別テーマの成果と意義

② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

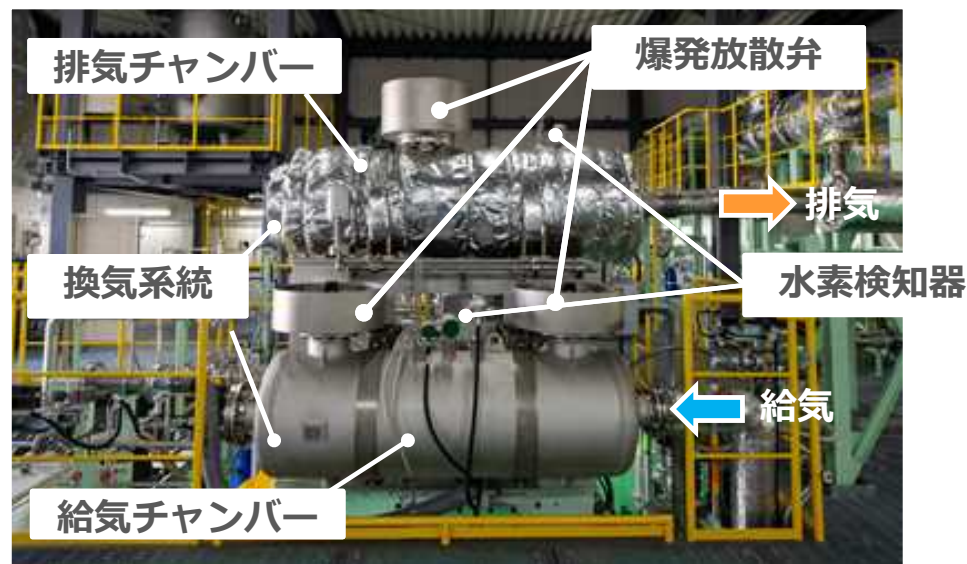
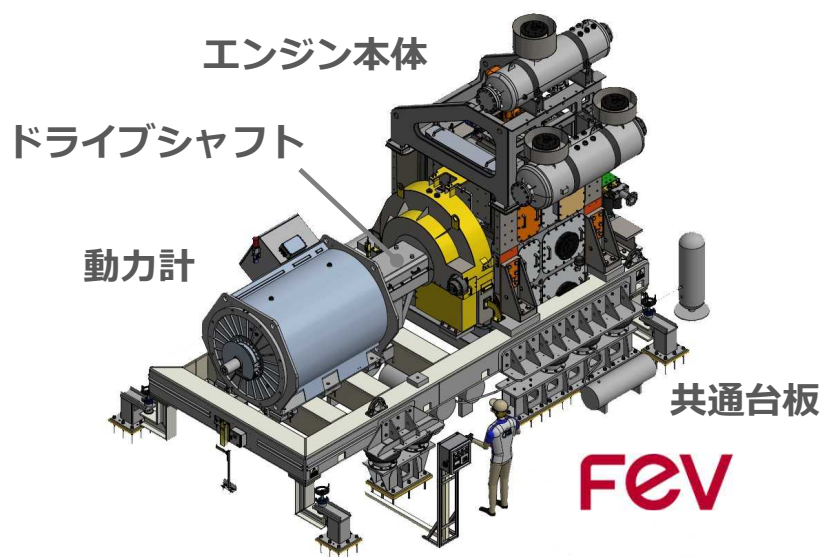
②-3 水素燃焼単筒機的设计

【成果】

- 水素滞留の可能性の高い箇所（給排気チャンバー、クランクケース）の換気・爆発対策を施したエンジンを設計。
- 水素燃焼エンジンに最適な燃焼室（シリンダヘッド、ピストンなど）を設計。

【意義】

- 水素燃焼エンジンにおける水素脆化の影響や水素爆発によるリスクを回避する設計ノウハウを獲得。



水素燃焼単筒機

(3) 各個別テーマの成果と意義

② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

②-4 水素燃焼単筒試験設備の整備

【成果】

- 開発項目③にて実施したリスクアセスメント※の成果を反映した水素燃焼単筒試験設備（エンジン・周辺設備）を設計・整備完了。

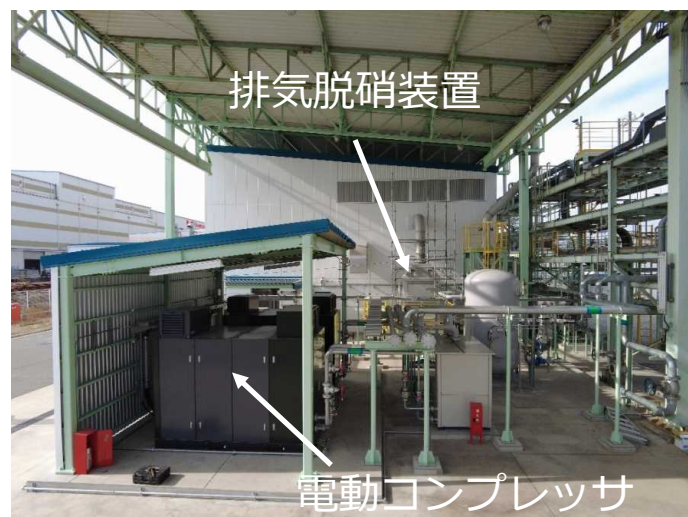
※水素燃焼エンジンの事業化を見据え、“天然ガスエンジン同等のリスクレベルで運用可能なシステム構築”を目的としたリスクアセスメント

【意義】

- 安全かつ長時間の連続運転を想定した設備が構築できたことにより、今後の水素燃焼エンジン開発に不可欠な長時間の燃焼安定性評価を可能とする試験環境を実現。



エンジンエンクロージャ内部



屋外補機関連設備



水素トレーラー駐機場

(3) 各個別テーマの成果と意義

② 水素燃焼単筒機の開発及び水素燃焼の最適化

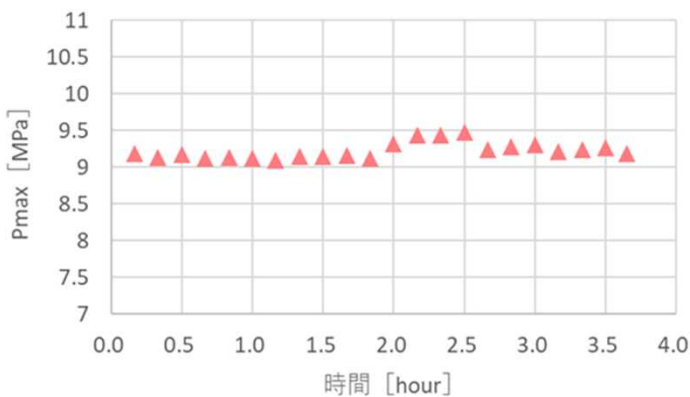
②-5 試験による水素燃焼の最適化

【成果】

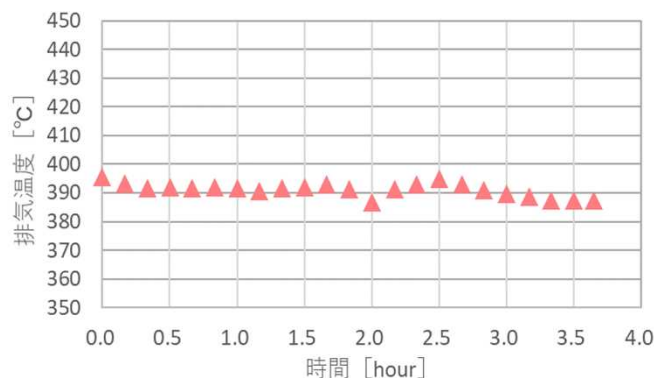
- 本設備の特徴である長時間の水素供給能力を活かし、天然ガス・水素混焼条件にて約4時間の連続運転における燃焼安定性評価を実施した結果、安定した燃焼状態を維持できることを確認。
- 既存単筒機とのデータ比較により、水素燃焼単筒試験設備の燃焼は正常であることを確認。

【意義】

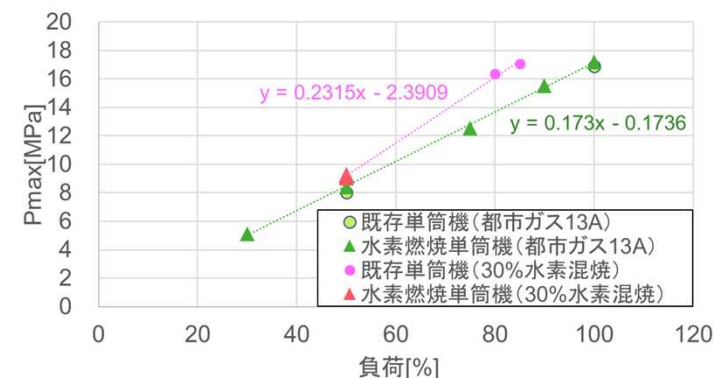
- 当社で計画されている水素燃焼エンジンで市場投入が最も早い天然ガス・水素混焼（水素混合比30vol%）エンジンにおける長時間安定運転の目途が得られた。
- 構築した設備が長時間安定稼働可能であることを確認。



Pmax（筒内最大圧力）の時系列データ



排気温度の時系列データ



Pmaxの既存単筒機と水素燃焼単筒機の比較

(3) 各個別テーマの成果と意義

③ 水素燃焼単筒機運用システムの開発

③-1 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因の抽出

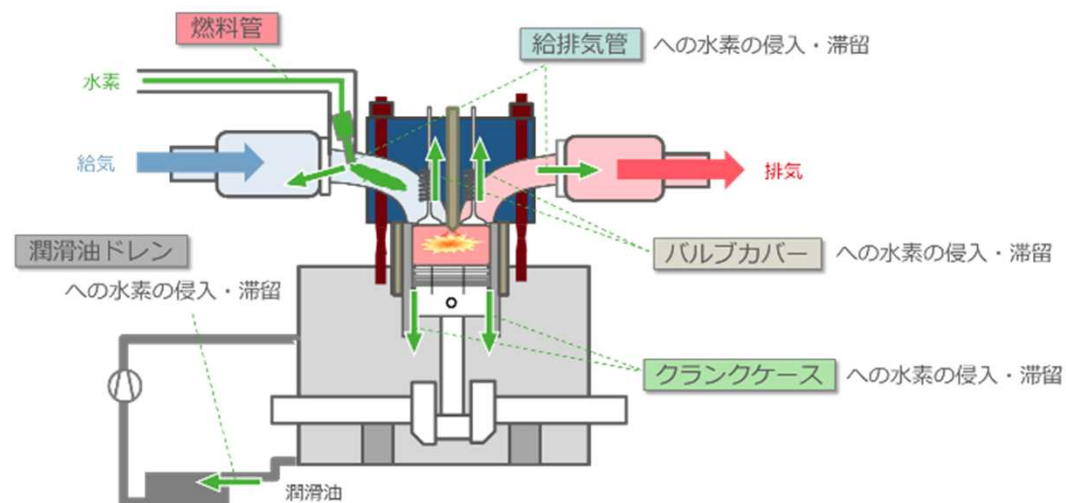
【成果】

水素利用を想定したリスクアセスメントによって以下の要求仕様を決定し、基本設計完了。

- エンジン本体を含むハードウェアに実装すべき安全装置の要求仕様を決定。
- 防爆エリア設定などの運用システムとして安全を担保するための要求仕様を決定。

【意義】

- 水素燃焼エンジンにおけるリスク要因発生から重大リスクに至る過程や、その対処手法や運用手順を明確化。



エンジン本体へのリスクアセスメント例

(3) 各個別テーマの成果と意義

③ 水素燃焼単筒機運用システムの開発

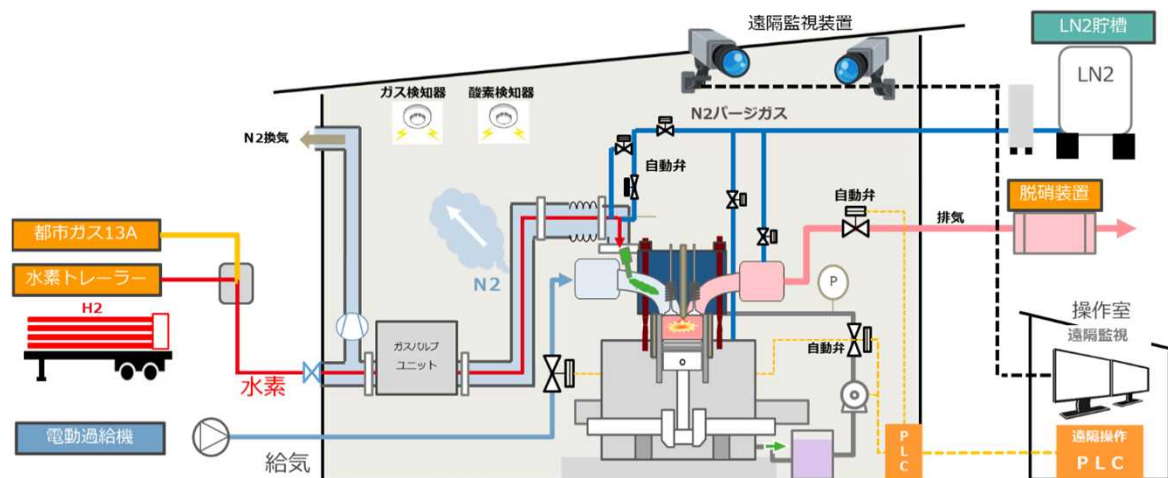
③-2 水素燃焼エンジン運用システムの構築および評価

【成果】

- ③-1で決定した要求仕様に加え、天然ガスエンジン同等のリスクレベルで運用可能なシステムの確立を目標としたリスクアセスメントを実施し、新たに潜在リスクを抽出し、その安全対策を立案。
- 要求仕様及び潜在リスクへの安全対策を設備内の安全設備・制御システムに反映して実装。

【意義】

- 水素燃焼エンジンの事業化を見据えたレベルで必要とされる安全対策を明確化できたことで、設備や制御システムの設計ノウハウを獲得。



試験設備への安全機器・システム追加(概念図)



(4) プロジェクト（事業）としての達成状況と成果の意義

◆プロジェクト（事業）としての達成状況と成果の意義

事業全体としての達成状況

■ 目標に対する達成状況

- 水素燃焼エンジンの目標出力を上回る平均有効圧力1.85MPa※を達成
※目標1.6MPa
- 水素燃焼エンジンの開発に必要な要件を満たす試験設備が完成（目標達成）

■ 意義

- 前例の無いシリンダボア径300mm級・高出力の水素エンジン実現の目途が得られた
- 今後の水素燃焼エンジン開発に不可欠な試験環境が実現した

(4) プロジェクト（事業）としての達成状況と成果の意義

◆プロジェクト（事業）としての達成状況と成果の意義

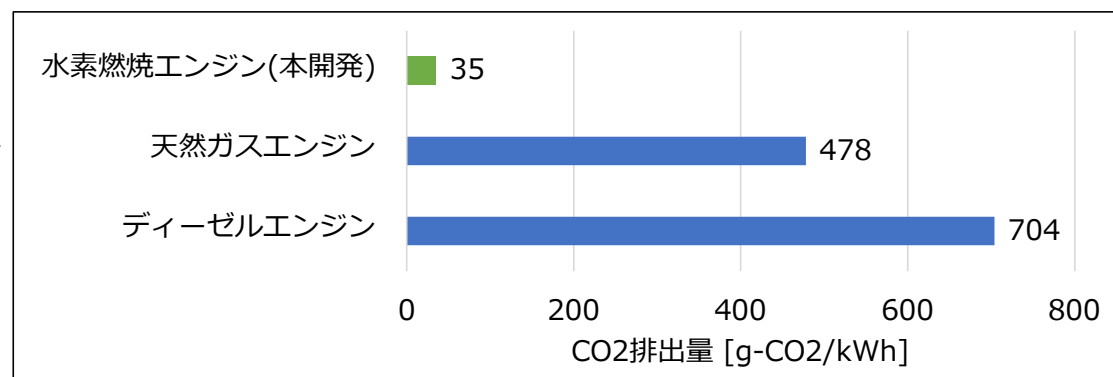
■ 事業成果の基本計画目標※への貢献

水素混焼率95%（水素+重油）という水素専焼に近いエンジン仕様にて、目標を上回るエンジン出力の到達を確認でき、市場競争力のある燃焼技術を確認した。また、材料強度試験による材料選定や、水素・天然ガス混焼における長時間の安定運転確認にて、製品化を見据えた技術の獲得が出来た。

※NEDO基本計画の最終目標「水素を混焼あるいは専焼で発電する技術に関して商用レベルも見据えて既存の燃料と同等の発電効率、耐久性及び環境性を満たす技術を確認する。あわせて、様々な水素キャリアを利用した水素発電等を組み込んだエネルギーシステムについて、市場化に必要な技術を確認する。」

■ 市場に対する成果の意義等

本開発成果を適用した水素燃焼エンジンを市場投入し、ディーゼルエンジンから置き換えることで、CO2排出量を大幅に低減することが出来る。



(5) 特許出願数

◆ 知的財産権の確保に向けた取り組み

戦略に沿った具体的取り組み

水素燃焼エンジンに対する安全対策に関する特許出願を実施。
試験設備のみならずエンジン事業化にも関わる内容のため、出願。

	2020 年度	2021 年度	2022 年度	計
特許出願(うち外国出願)	0	0	2	2件

※2023年9月30日現在

(6) 論文等の発表数

	2020年度	2021年度	2022年度	計
論文(査読付き)	0	0	0	0件
研究発表・講演	0	0	1	1件
受賞実績	0	0	0	0件
新聞・雑誌等への掲載	0	0	0	0件
展示会への出展	0	0	0	0件

※2023年7月31日現在

(7) 成果の普及

◆成果の普及

2023年8月23日

(株) 技術情報センター セミナー「ガスエンジン/コージェネの技術開発動向・取組み」にて、
水素燃焼単筒試験設備の整備状況を紹介。

(資料非公開のため、表紙のみ掲載)

HGEГ-148-027-R05

カワる、
サキへ。
Changing forward


(株)技術情報センター様 セミナー
ガスエンジン/コージェネの技術開発動向・取組み

**発電効率51%を達成した大型ガスエンジンと
将来の脱炭素に向けた取組み**

2023. 8. 23

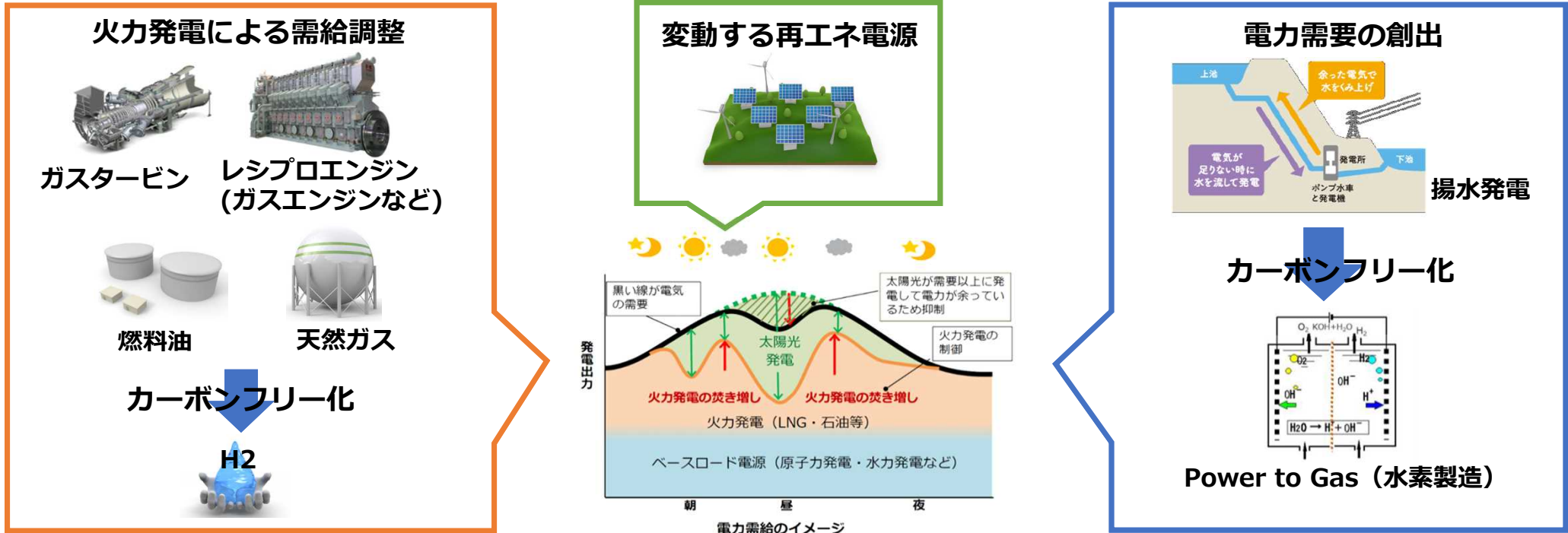
川崎重工業株式会社
技術開発本部 技術研究所 エネルギーシステム研究部
宮本 世界

※本資料の無断転載はお控えください

 **Kawasaki**
Powering your potential

(8) 本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方



✓ 水素燃焼エンジン (+水電解水素製造) により、①～③を同時に達成し、カーボンフリーでの電源システムの安定化に貢献する。

- ① 大量の供給過剰電力発生への対処
- ② 調整電源による変動吸収
- ③ 再生可能エネルギー不足時に備えたバックアップ電源の確保

(9) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

◆成果の実用化・事業化に向けた戦略



離島における発電利用

※出典：資源エネルギー庁,令和3年2月16日「分散型リソースの導入加速に向けて」資料2より

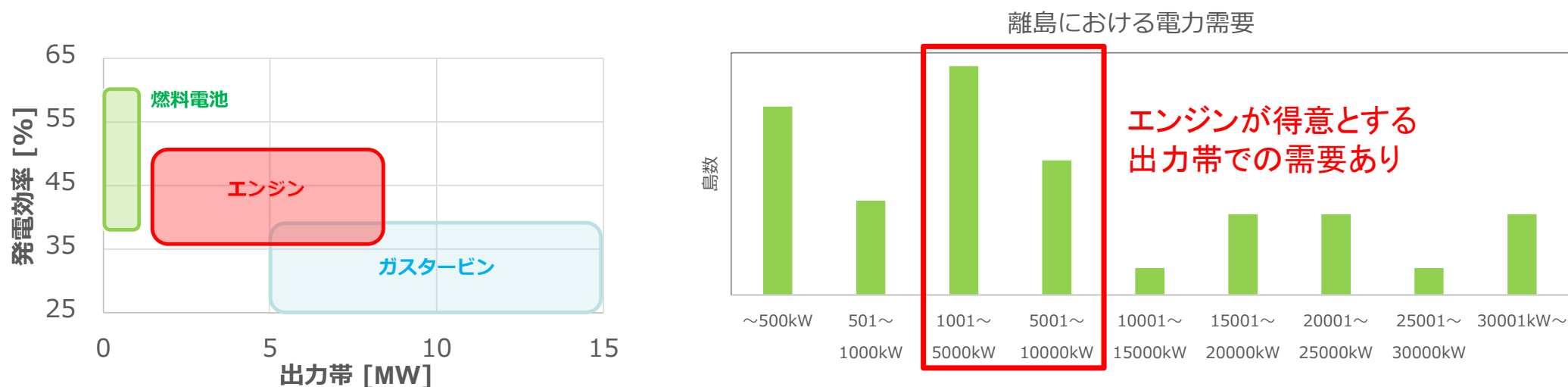


地域マイクログリッドでの利用

- ✓ 従来に無い大出力(2~8MW級)の水素を主燃料とする2元燃料ガスエンジン(水素燃焼エンジン)の製品開発を行い、事業化。
- ✓ 開発したエンジンを発電用途に用いることで、離島や地域マイクログリッドなどからの温室効果ガス排出を低減、余剰再生可能エネルギー由来の水素を活用し、電力供給システムの安定化に寄与。
- ✓ 事業化当初は、再生可能エネルギーの余剰電力吸収と電力安定化が喫急の課題である離島での事業用発電に供することを想定。
- ✓ その後、水素サプライチェーンの伸展に合わせ国内の電力関連に対し事業拡大。

(9) 成果の実用化・事業化に向けた戦略

◆成果の実用化・事業化に向けた戦略



- ✓ 水素消費発電設備には、「燃料電池」「エンジン」「ガスタービン」があり、それぞれ出力帯と効率が異なる。
- ✓ 離島の要求電力量は、エンジンが得意とする出力帯の需要があり、現在はディーゼルエンジンで電力を賄っている。これを水素燃焼エンジンに置き換えることが可能。
- ✓ 5MW以上の領域ではガスタービンと競合するが、発電効率でエンジンが優位と考える。

(10) 実用化・事業化に向けたスケジュールと課題

◆実用化・事業化に向けたスケジュールと課題

【スケジュール】

- 開発成果を適用した水素エンジンを開発し、実証試験を経て、2030年頃の上市を計画（陸上発電用・船舶用）

項目	'24	'25	'26	'27	'28	'29	'30	'31	'32	'33	'34	'35
1. 水素混焼エンジン開発・上市	→		▲									
			上市予定									
2. 水素ガスエンジン開発・上市	→								上市			
4. 価格競争力の強化、水素GEの高効率化	→											
(船用向け水素エンジンの開発(GI基金))	→			▲	船級承認取得	→		実船実証→上市予定	▲			

【課題】

- 水素普及初期は十分な水素供給量が確保できない。
→まずは水素混焼エンジンにて市場を拡大してく。
- ディーゼルエンジンや天然ガスエンジンに対し、価格や出力密度がやや劣る。
→今後の普及に向け、価格低減や、出力密度向上に向けた開発を継続的に取り組む。
- 他の燃料との値差 →値差保証が望まれる。

◆波及効果

- 水素燃焼エンジンが普及することで、発電における水素需要が創出され、水素サプライチェーンの進展を需要側から促す効果があると考えます。また、水素需要増大による水素価格低減に寄与すると考えます。水素の普及に貢献できる。
- 世界に先駆けて大出力の水素燃焼エンジンを開発することで、大型水素燃焼エンジンにおける国際的な標準化（安全対策など）による市場先導が出来る。
- 本開発は世界最先端の技術開発であり、開発に従事した若手開発者の技術力向上に寄与した。

「水素社会構築技術開発事業／大規模水素エネルギー利用技術開発／液化水素の輸送貯蔵機器大型化および受入基地機器に関する開発」(終了時評価)
(2019年度～2022年度 4年間)

プロジェクトの概要 (公開版)

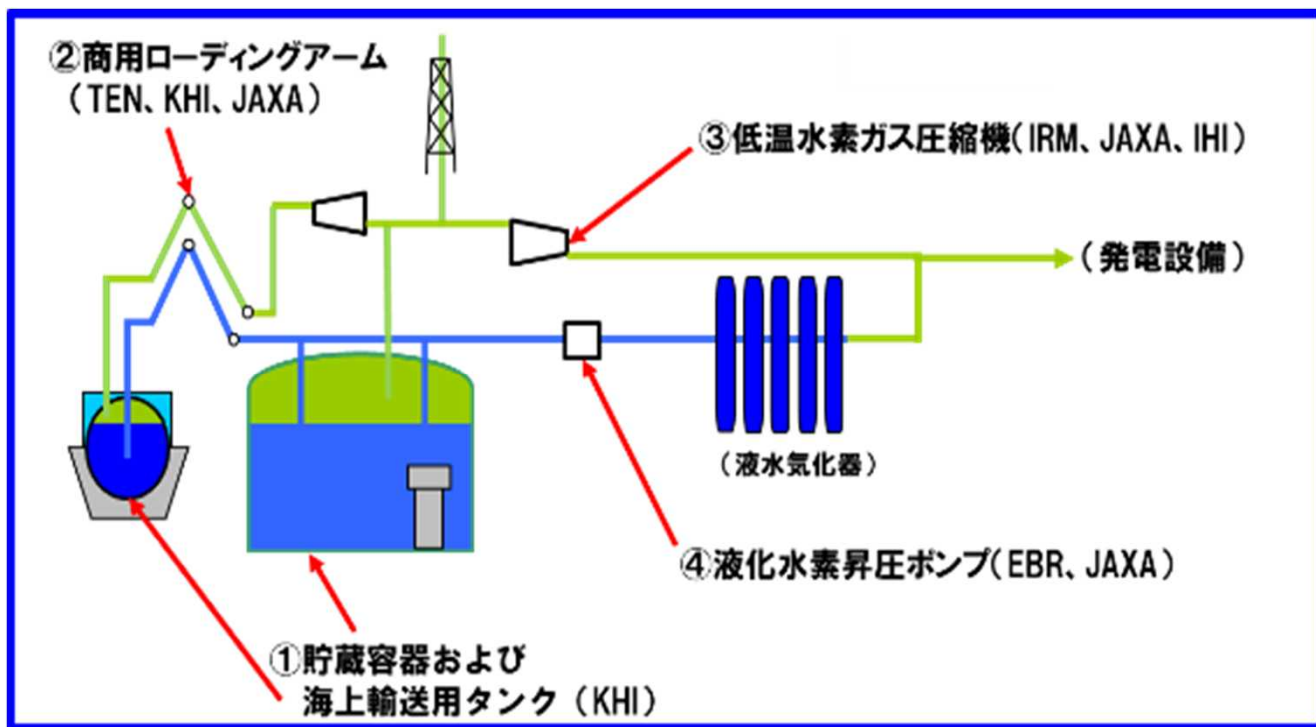
**川崎重工業
東京貿易エンジニアリング
IHI回転機械エンジニアリング
荏原製作所**

2023年12月21日

(1) 事業概要

期間 開始:2019年7月
終了:2023年3月

全体像・成果の意義



液化水素の輸送、受入基地に必要な各機器の開発により、水素基本戦略の目標である、2030年の発電容量100万kW（火力発電所1基相当）の実現に貢献する。

2. 最終目標

①大型輸送・貯蔵技術の開発

A) 大型貯蔵容器の開発

- ・蒸発率(Boil Off Rate: BOR)が0.26%/日となる5万m³級の貯蔵容器の基本構造を確立
- B) 海上輸送用大型液化水素タンクの開発
 - ・蒸発率が0.4%/日となる4万m³級タンクの基本構造、設計技術などを確立させる。

②商用ローディングアームの開発

- ・大口徑緊急離脱機構、大口徑船陸継手について試作機を製作して液化水素での試験を行い、それぞれ切り離し時の安全性、安全に分離できる昇温特性を把握する。

③低温水素ガス圧縮機の開発

- ・試作機を製作し、圧縮機表面に液化空気が発生しないこと、関連部品の破損や異常摩耗がないことを確認する。

- ・商用機の性能予測技術の確立

④液化水素昇圧ポンプの開発

- ・軸スラストバランス機構、ポンプ材料の確立
- ・ポンプ設計技術の確立

①大型輸送・貯蔵技術の開発

川崎重工業

◆個別研究開発項目の目標と達成状況

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①大型輸送・貯蔵技術の開発 a) 大型貯蔵容器の開発	蒸発率 (Boil Off Rate: BOR) が 0.26%/日となる5万m ³ 級の貯蔵容器の基本構造を確立させる。	商用5万m ³ クラスの貯蔵容器で断熱性能0.26%/日を達成する断熱構造を確立した。	○	—
	a) 断熱材の開発 ・断熱構造の確立	・断熱性能評価済 ・断熱構造選定済	○	—
	b) 材料評価 ・適用可能性の目途	・材料特性データ取得済	○	—

◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

◆個別研究開発項目の目標と達成状況

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
b)海上輸送用大型液化水素タンクの開発	蒸発率が0.4%/日となる4万m ³ 級タンクの基本構造、設計技術などを確立させる。	・蒸発率が0.4%/日となる4万m ³ 級タンクの基本構造、設計技術などを確立した。	○	—
	a)断熱システム方式 ・断熱システムの基本仕様の確定	・断熱方式／構造を選定済 ・基本仕様選定済	○	—
	b)タンク構造 ・基本構造決定 ・強度/揺動評価	・基本構造／支持構造を選定済 ・強度評価済	○	—
	c)タンク構造材料 ・材料選定/データ取得	・材料選定済 ・材料特性データ取得済	○	—

◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

◆個別研究開発項目の目標と達成状況

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
b)海上輸送用大型液化水素タンクの開発	d)配管との接続方法 ・方法選定/強度評価	・方法選定済 ・強度特性データ取得済	○	—
	e)タンクシステムの検証 ・試験タンク製作によるタンク及び断熱構造の製作性・施工性確認 ・低温性能試験を実施し設計データを取得	・試験タンク製作によるタンク及び断熱構造の製作性・施工性確認済 ・低温性能試験を実施し設計データを取得済	○	—

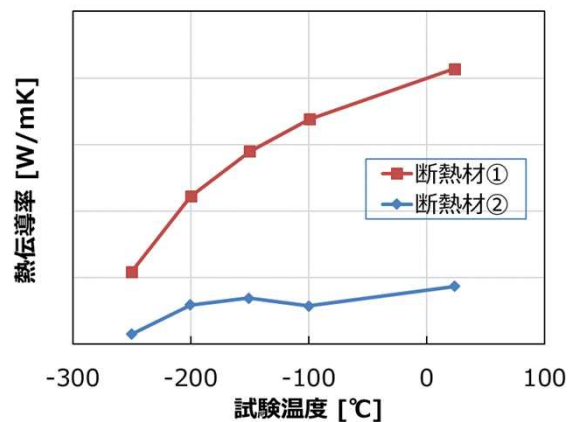
◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

• 研究開発の成果と意義

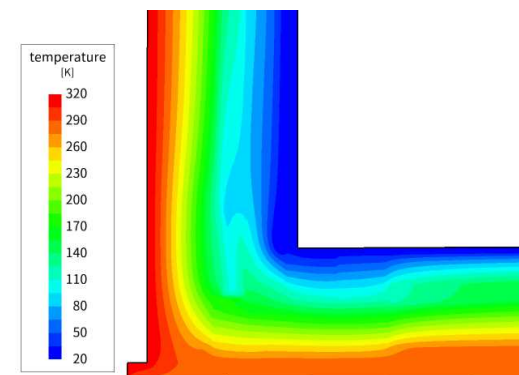
- 断熱材のヘリウムガス（水素ガスと透過性や熱伝導率が近い）雰囲気での熱伝導率を計測し、水素ガス雰囲気での熱伝導率を算出
- ガスの対流の影響に関するの要素試験と上記の熱伝導率から解析モデルを構築し、商用5万m³クラスの貯蔵容器で断熱性能を試算し、0.26%/日を達成することを確認した



平底円筒容器 概念図



断熱材の極低温試験結果

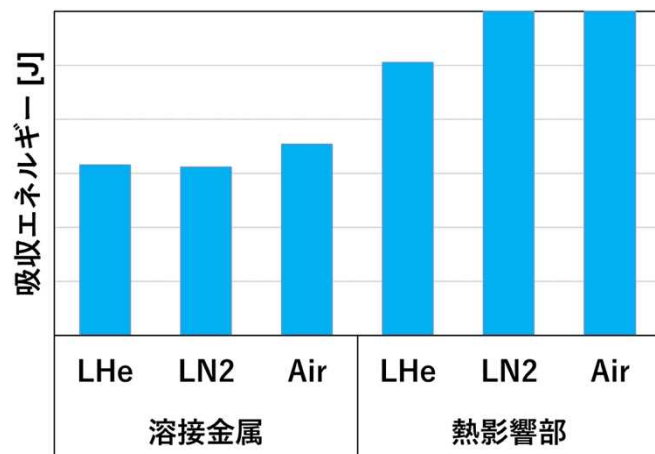


計測結果をもとに実施した伝熱解析

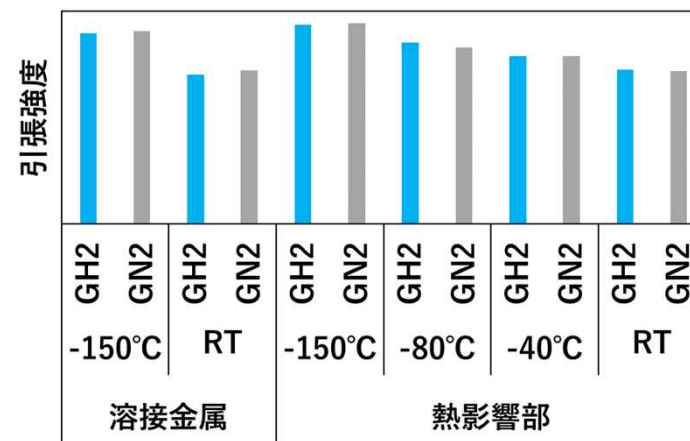
• 研究開発の成果と意義

- 構造材料の低温靱性を確認するために、液体ヘリウム温度を含む極低温での衝撃試験を実施し、顕著な靱性低下がないことを確認
- また、-150℃～室温における水素/非水素環境でのSSRT* を実施し、水素環境での引張強度の顕著な低下がないことを確認した。
- 以上より、構造材料の極低温、水素ガス雰囲気での適用可能性の目途を得た。

*Slow Strain Rate Test(低歪み速度試験)



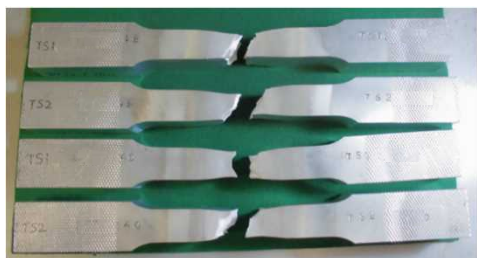
構造材料の極低温衝撃試験結果



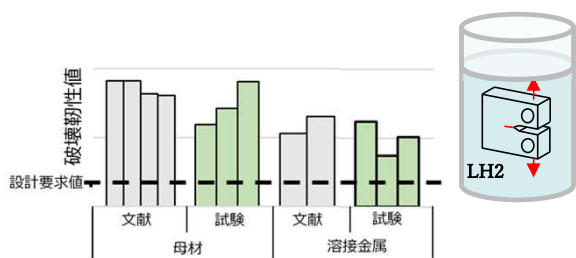
構造材料の各ガス雰囲気でのSSRT試験結果

研究開発の成果と意義

- 材料特性試験・強度解析、断熱構造の部分モデル試験・検証解析を実施して、基本設計データを取得

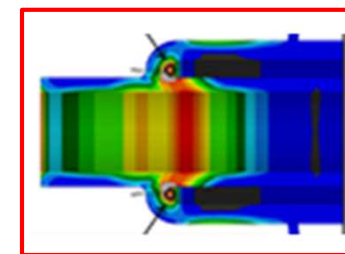


溶接継手引張試験

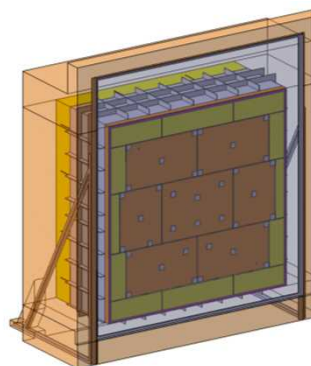
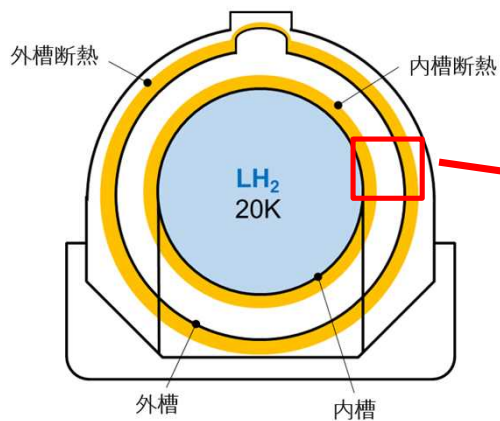


破壊靱性試験

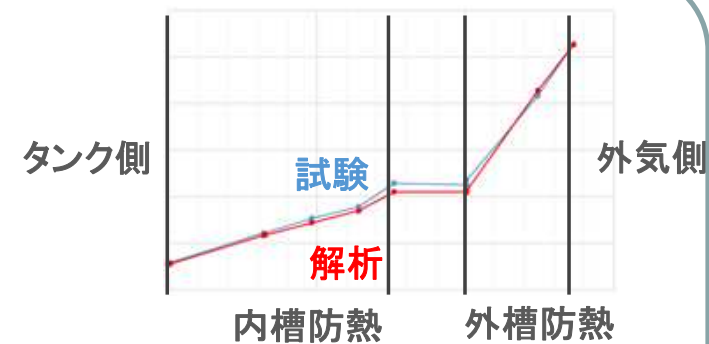
材料特性試験、強度解析



配管接続部の強度解析



部分モデル試験



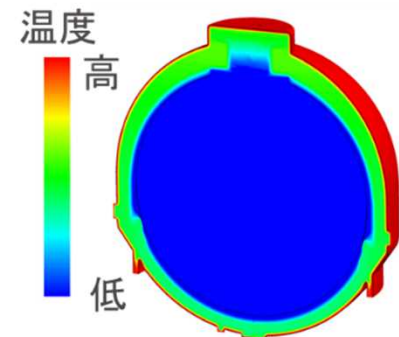
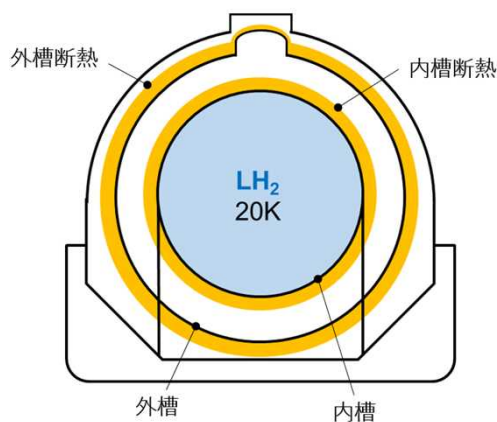
断熱構造の温度の比較例

研究開発の成果と意義

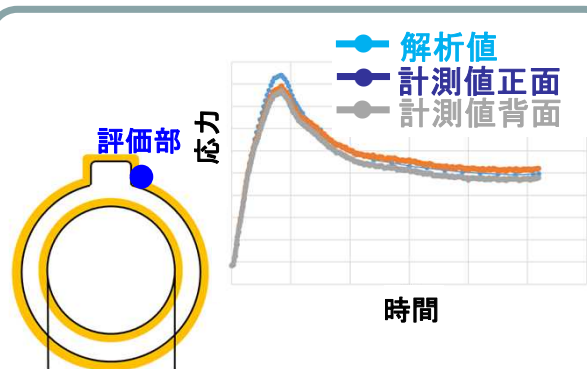
蒸発率が0.4%/日となる4万m³級タンクの基本構造、設計技術などを確立した。



タンクの製造技術構築



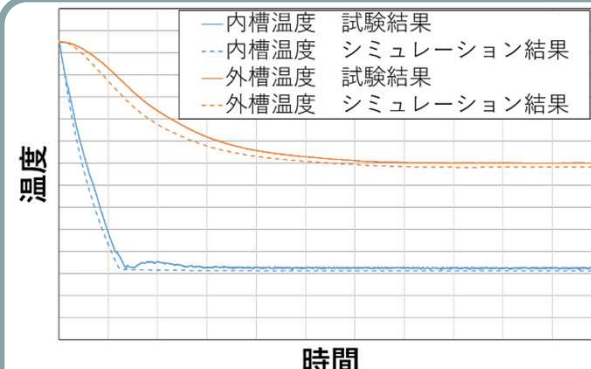
熱流動解析技術構築



構造解析技術構築



試験タンク



オペレーション予測技術構築

◆プロジェクト（事業）としての達成状況と成果の意義

大型貯蔵容器については5万m³クラスで0.26%/日の断熱性能を達成する見通しが得られた。
また、海上輸送用大型タンクについては、4万m³クラスで0.4%/日の断熱性能を達成する見通しが得られた。
この結果により、商用フェーズで必要となる液化水素タンクの大型化の目途が得られた。

◆知的財産権の確保に向けた取り組み

a) 大型貯蔵容器の開発

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

	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	計
特許出願（うち外国出願）	0	2(2)	0	1	3件

b) 海上輸送用大型液化水素タンクの開発

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

	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	計
特許出願（うち外国出願）	0	7(7)	11(11)	15(15)	33件

※2023年9月30日現在

① - (6) 論文等の発表数

①大型輸送・貯蔵技術の開発

	(2019年度)	(2020年度)	2021年度	2022年度	計
論文(査読付き)					0件
研究発表・講演				4	4件
受賞実績					0件
新聞・雑誌等への掲載		1	1	2	4件
展示会への出展					0件

※2023年7月31日現在

◆成果の普及

2020/9
川崎重工技報で紹介

2021年4月日本海事協会から貨物格納設備（CCS）の設計基本承認（AiP）を取得
2022年4月日本海事協会から160,000m³型液化水素運搬船のAiPを取得



◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

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



◆成果の実用化・事業化に向けた戦略

A)大型貯蔵容器

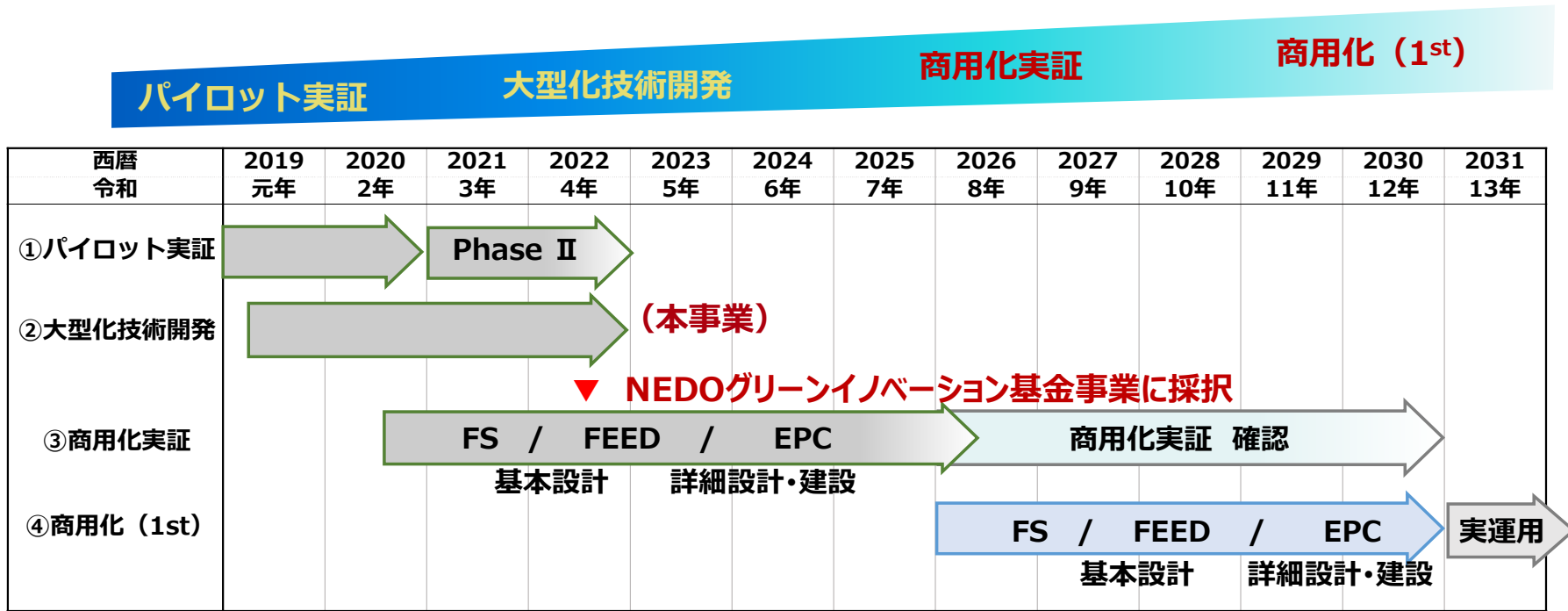
- 現在建造中の世界最大の液体水素タンクは4732m³のタンクであり、将来的に水素発電に必要となる数万m³級のスケールの液化水素を輸送・貯蔵する技術は、現在のところ確認されていない。
- 本プロジェクトの開発成果と、実証事業で培った液化水素の荷役技術、LNGタンクで培った設計・製造技術を駆使して、競合他社より技術的に優位に立ち、商用規模の実証を進められる。
- 商用規模の実証により、性能を検証し、事業化に結び付ける。

B)海上輸送用大型タンク

- 国際航海の実績がある液化水素運搬船は、世界で「すいそ ふろんていあ」のみ。
- 本開発成果は、すいそ ふろんていあ に搭載されるタンク（1250m³）から4万m³へのスケールアップに寄与するものであり、将来の水素社会で予想される大幅な需要の増加に対応できるものである。
- 大型液化水素運搬船の安全性に関する国際規則（IGC- Code）に対応するため、国際海事機関（IMO）への対応方針を日本海事協会（NK）、国交省、日本船舶技術研究協会などと連携し、協議を行っている。

◆実用化・事業化に向けたスケジュールと課題

■本事業の成果から、2030年頃の商用化実証/商用化での実証/実運用を目指す。



FS : Feasibility Study
 FEED : Front End Engineering and Design
 EPC : Engineering・Procurement・Construction

②商用ローディングアームの開発

東京貿易エンジニアリング

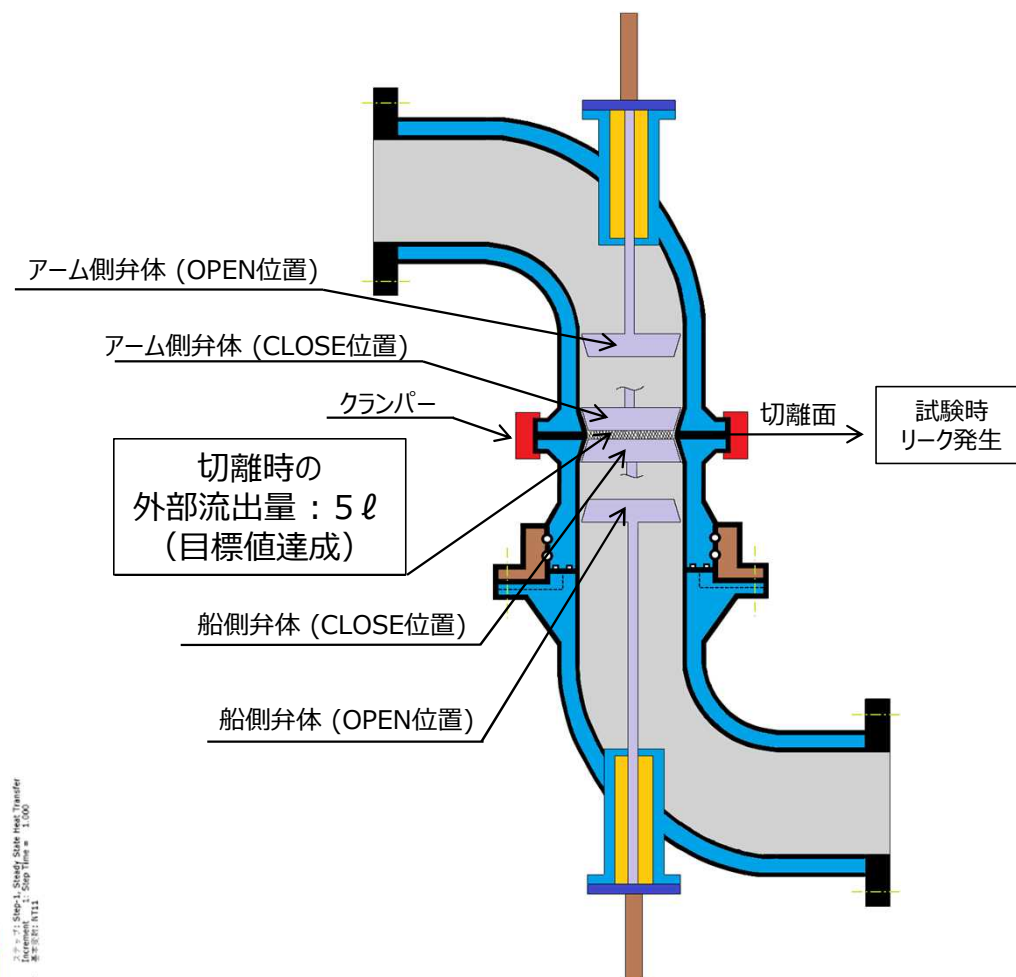
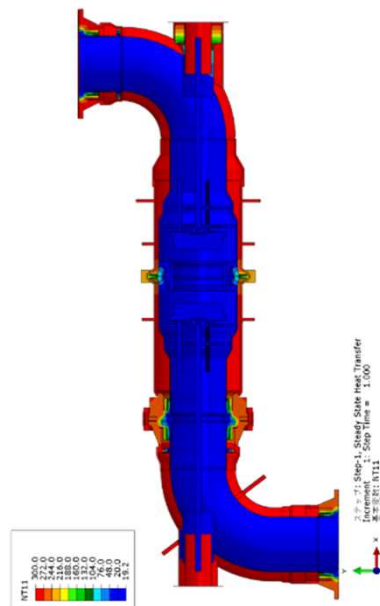
開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
①大口径緊急離脱機構	<ul style="list-style-type: none"> 切離時の外部流出量を125ℓ以下とする。 試作機を製作して、所定の試験に合格する。 	理論外部流出量は目標値以下の5ℓ程度となった。試作機を製作してテストしたが、低温強度試験でリークがあった為改善が必要となり今後検討する。低温切離し試験では、正常な切離しが行われ切離し性能が確認された。製品化に向けては課題が残ったが、今回の試験を通じて技術的価値の高い内容が得られ、今後の製品開発に大きな成果となった。	△	クランプ能力向上 (対策実施の上で切離し性能とシ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

◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

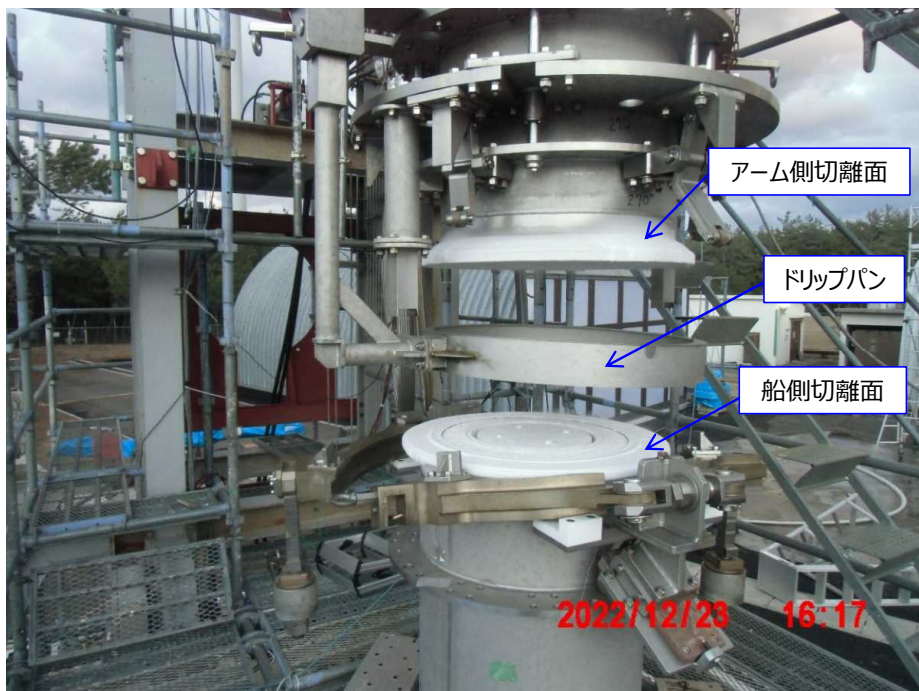
①大口径緊急離脱機構(1/2)

・研究開発の成果と意義

切離時の外部流出量は、アーム側弁体と船側弁体が切離前にCLOSEする構造にした為、5ℓとなり目標値を達成した。



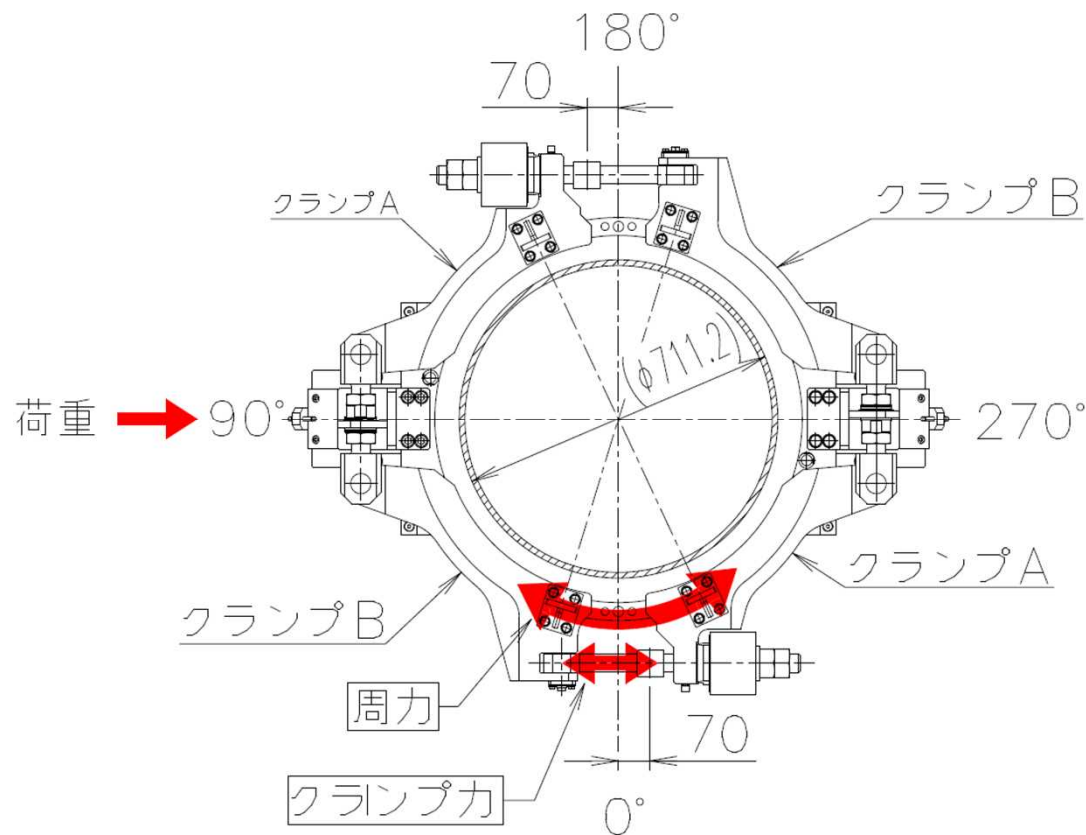
①大口径緊急離脱機構(2/2)



切離後の状況
CIMG0079

低温切離試験では、切離は設計時間内に正常に動作して、切離性能が確認された。

低温切離試験結果



低温強度試験において、切離面からリークが発生し、今後改造を検討する。

低温強度試験検討

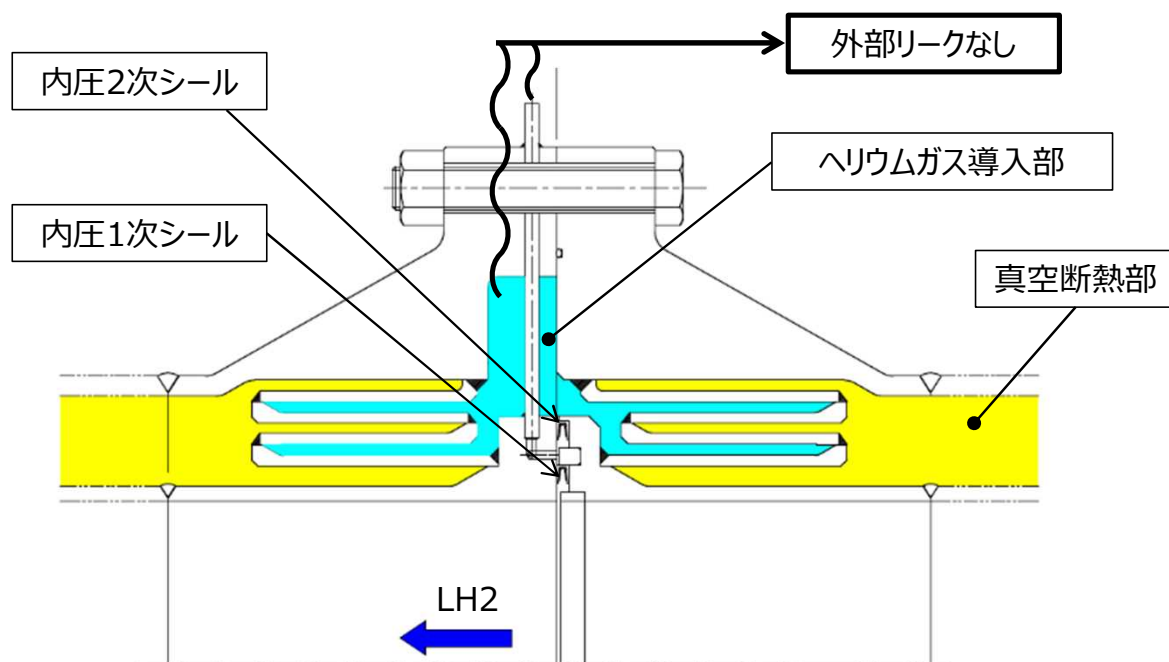
②大口径船陸継手

・研究開発の成果の意義

重量は500Kg以下となり、目標を達成した。

試作機を製作して試験を実施した。

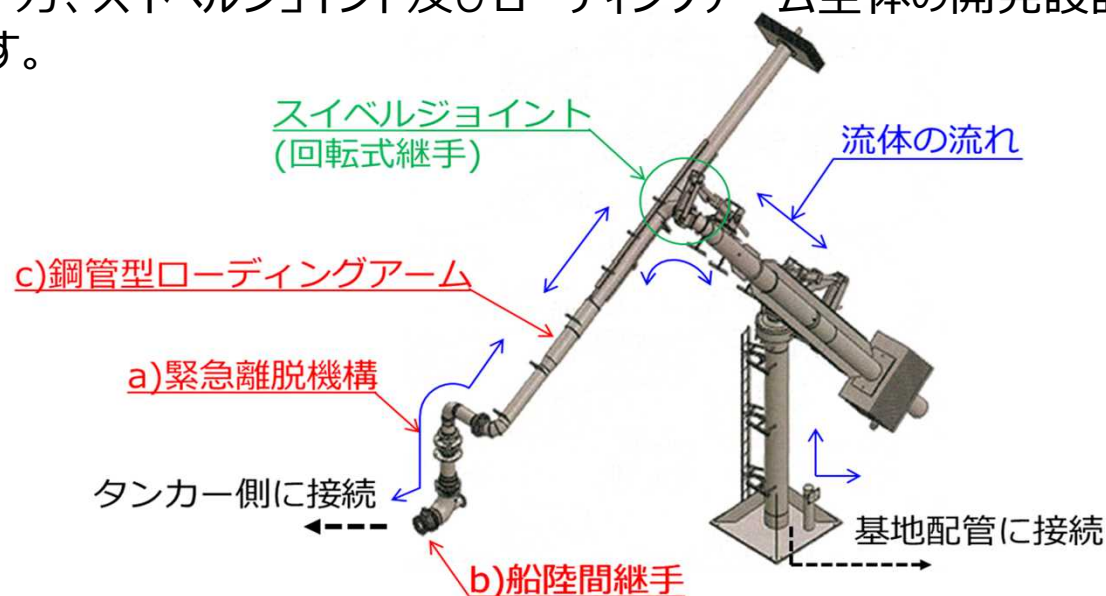
低温強度テストにおいて、1次シール及び2次シールからのリークはなく、合格した。



低温テスト状況

IMG0188

- 1) 大口径緊急離脱機構に課題は残ったものの、大型液化水素用ローディングアームのコアパーツである、前記機器と大口径船陸継手の製品化の目途が立ち、大きな前進を得た。
- 2) 大口径緊急離脱機構では、本開発により構造を小口径品から変更することにより切離し時の理論外部流出量を5 l程度に抑えることができ、安全性が確立された。また大口径船陸継手では、本開発により重量を500Kg程度におさえることができ、大型液化水素用ローディングアーム全体の重量低減に貢献した。
- 3) 上記成果により、商用大口径液化水素用ローディングアームの製品化が促進され、大型液化水素受入基地実現を加速した。一方、スイベルジョイント及びローディングアーム全体の開発設計を行う必要があり、製品化までは時間を要す。



・特許出願の現状

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

※2023年9月30日現在

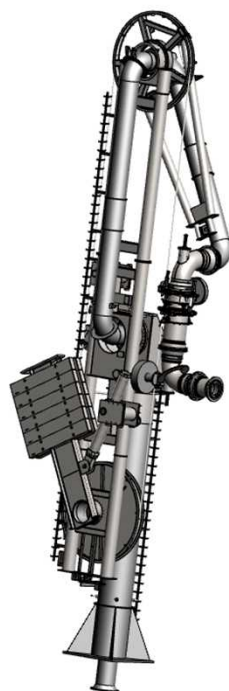
・論文等の発表の現状

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

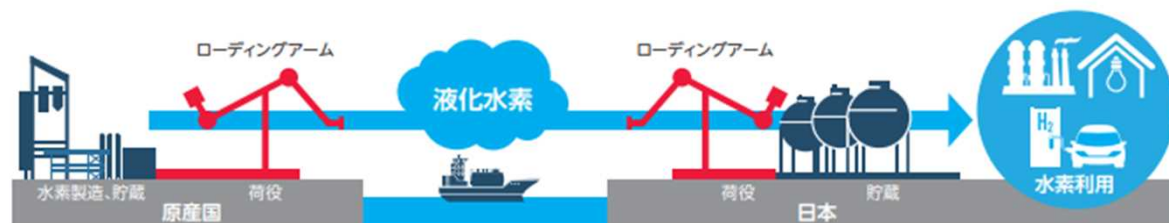
※2023年7月31日現在

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

【当該研究開発】



【実用化・事業化】



※液化水素サプライチェーン 参考イメージ

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

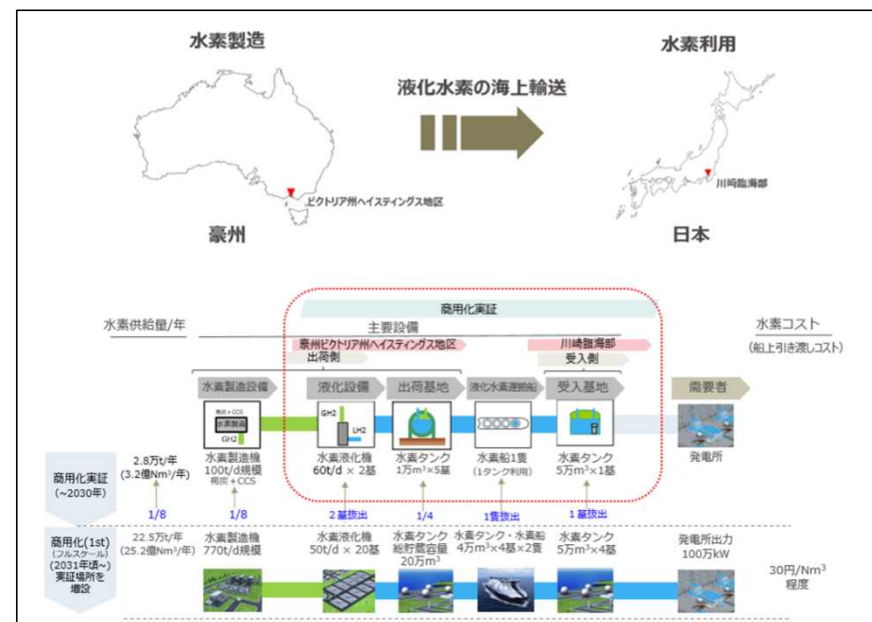
また液化水素用の荷役機械としては同様な開発及び成果を得ている競合の存在はないと認識しており、当該製品化に向けては世界的にも競合優位性を確保できている。

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



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

【液化水素サプライチェーンの商用化実証】



引用元：NEDOホームページ（ニュースリリース）
液化水素サプライチェーンの商用化実証の出荷と受け入れ地について

- ・液化水素サプライチェーン確立による水素コスト低減が図れ、水素発電事業を中心とした水素の利用及び水素社会の促進と拡大
- ・商用製品確立及び以降の製品投入による企業活動に貢献

③低温水素ガス圧縮機の開発

IHI回転機械エンジニアリング

◆個別研究開発項目の目標と達成状況

③低温水素ガス圧縮機の開発

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
a) 液空生成に対し安全性を確保する構造	・外表面に液体空気が発生せず、熱変位を吸収するサポート構造の確立	・低温水素ガスを用いた試作機の実ガス試験にて圧縮機外表面に液空が発生することなく、最低表面温度は-30℃以上(解析結果と概ね一致)で、振動は10μm程度で損傷なし	○	・商用大型化に伴う高荷重化に対する解析による健全性確認 ・組立性・メンテナンス性向上を図る真空容器構造の改良
b) シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材	・窒素シールガスが中間筒内にて液化しない構造の確立	・試作機の実ガス試験にて中間筒内に液化がないこと、およびロッドパッキンの異常摩耗がないことを確認	○	
	・高寿命およびシール性に優れた摺動部材の目途付け	・ラボ試験から選定した2種類の摺動部材にて実ガス運転を実施し、商用機で使用可能な材料の目途を付けた	○	・商用化実証において長時間運転による寿命の確認

◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

◆個別研究開発項目の目標と達成状況

③低温水素ガス圧縮機の開発

開発項目	目標	成果	達成度	今後の課題と解決方針
c) 商用機的设计技術および性能評価技術の開発	・低温水素ガス温度域での運転データ計測技術・性能評価技術の確立	・試作機の実ガス運転にて吸入ガス温度をパラメータとして変化させ、流量計含む各計測値の妥当性を確認	○	
	・1D CAEを用いた商用機の吐出温度・性能予測技術の確立	・2022FYにシリンダを早期に冷却する改善策と内部漏れ低減の改良を実施した上で、各吸入ガス温度における流量と吐出温度の有効データを取得し、1D CAEにフィードバックし、精度ある解析手法を確立	○	・大型商用機の性能予測と運転データ蓄積による性能予測精度の更なる向上

◎ 大いに上回って達成、○達成、△一部未達、×未達

◆各個別テーマの成果と意義

③低温水素ガス圧縮機の開発

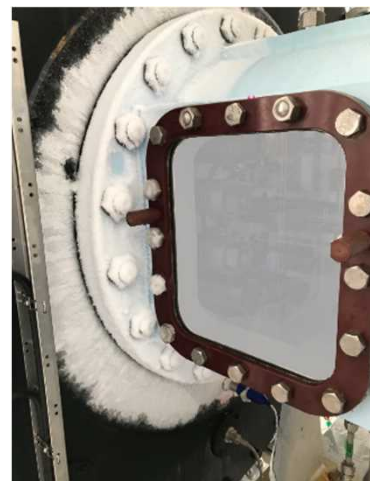
開発項目	成果	成果の意義
a) 液空生成に対し安全性を確保する構造	<ul style="list-style-type: none"> 低温水素ガスを用いた試作機の実ガス試験にて圧縮機外表面に液空が発生することなく、最低表面温度は-30℃以上(解析結果と概ね一致)で、振動は10μm程度で損傷なし 	<ul style="list-style-type: none"> 貯蔵タンクからの蒸発ガスをプレヒーティングすることなく、低温のまま吸入可能な安全性を有するシリンダ/真空容器構造を確立した



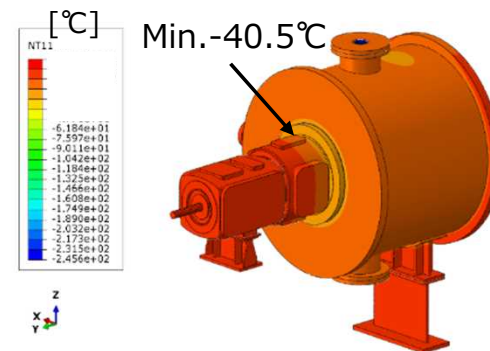
試作機外観 (真空容器側)



試作機外観 (圧縮機フレーム側)



最低表面温度部 (着霜は想定内)

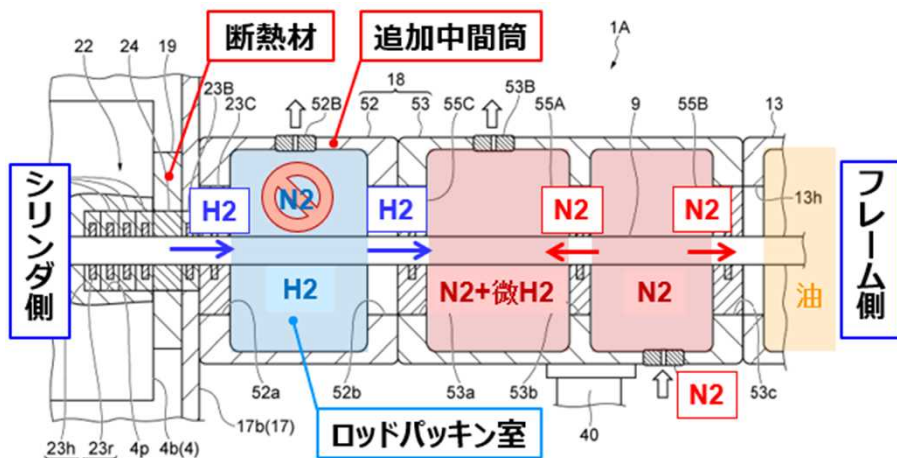


伝熱解析による予測温度

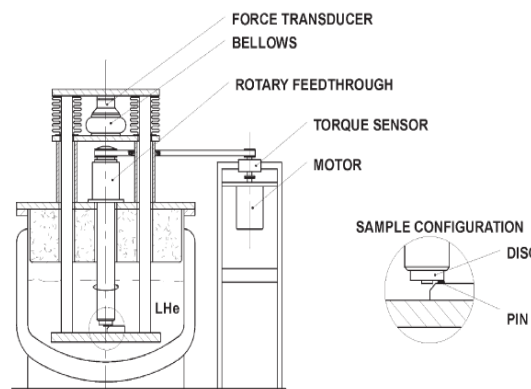
◆各個別テーマの成果と意義

③低温水素ガス圧縮機の開発

開発項目	成果	成果の意義
b) シールガスの液化を防ぐ軸シール構造および摺動部材	<ul style="list-style-type: none"> ・試作機の実ガス試験にて中間筒内に液化がないこと、およびロッドパッキンの異常摩耗がないことを確認 ・ラボ試験から選定した2種類の摺動部材にて実ガス運転を実施し、商用機で使用可能な材料の目途を付けた 	<ul style="list-style-type: none"> ・商用機においても信頼性のある長時間連続運転が期待できる

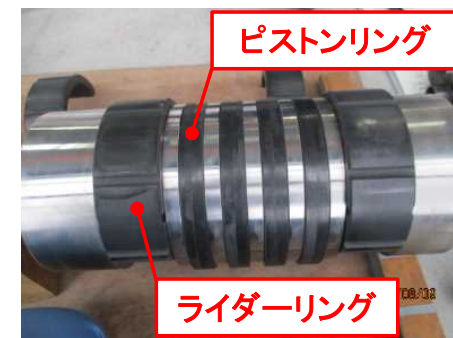


低温水素ガス用軸シール構造



[出典]: Tribology International 34(2001)225-230 "Low temperature tribometers and the behavior of ADLC coatings in cryogenic environment"

低温水素ガス雰囲気での摩耗試験



ピストンと摺動部材

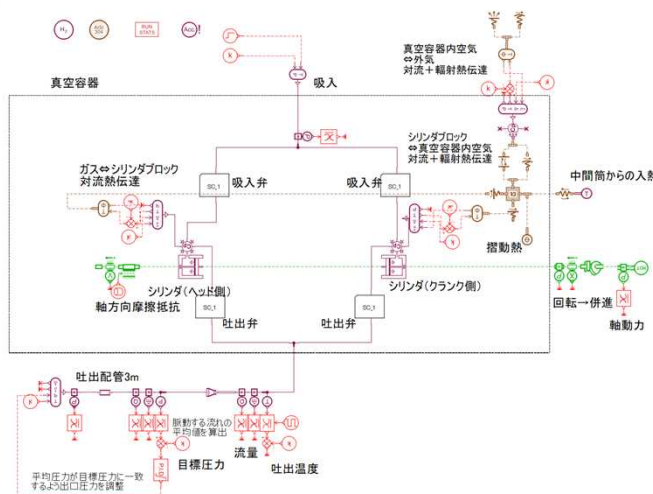
◆各個別テーマの成果と意義

③低温水素ガス圧縮機の開発

開発項目	成果	成果の意義
c) 商用機的设计技術および性能評価技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・試作機の実ガス運転にて吸入ガス温度をパラメータとして変化させ、流量計含む各計測値の妥当性を確認 ・各吸入ガス温度における流量と吐出温度の有効データを取得し、1D CAEにフィードバックし、精度ある解析手法を確立 	<ul style="list-style-type: none"> ・直接吸入・圧縮する圧縮機の性能面での優位性が実証され、最も重要な性能(流量、1段吐出温度)に関し、精度ある商用機の性能予測が可能になった

項目	単位	仕様
圧縮機型式	-	1段1筒往復動圧縮機
ストローク	mm	200
シリンダ径	mm	155⇒175(2022FY)
回転数	rpm	360
モータ定格出力	kW	55
定格流量	Nm ³ /h	550
吸入圧力	MPa	0.05
吸入温度	℃	-240, -220, -200, -180
吐出圧力	MPa	0.55
予想吐出温度	℃	-200~-140

低温水素ガス圧縮機 試作機的主要仕様



試作機の1D CAEモデル

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

1段 1D CAEモデルの精度検証

◆プロジェクト（事業）としての達成状況と成果の意義

③低温水素ガス圧縮機の開発

事業全体としての達成状況

- (1) LNG基地において貯蔵タンクからの蒸発ガスを圧縮して発電設備に供給する場合、大容量・高圧で負荷変動に対応できる往復動式圧縮機が主に適用されているが、液化水素の蒸発ガス温度(-240℃程度)に対応できる当該形式の圧縮機は現状存在しない。
- (2) 本事業にて小型試作機を製作し、実ガス運転にて液化水素の蒸発ガスと同程度の温度の低温水素ガスを直接吸込・圧縮する往復動圧縮機の安全性・健全性が実証された。
- (3) 有効な性能データ取得により、液化水素の蒸発ガスを低温のまま、高密度なガスを吸込むことで、プレヒーティングされた水素ガスを吸込・圧縮する常温圧縮機よりも、圧倒的に消費電力を小さく抑えることが出来ることが実証された。
- (4) 本事業の成果に基づく、世界初となる液化水素の蒸発ガスを直接吸込可能とする往復動圧縮機の実用化は、液化水素サプライチェーンの構築に不可欠なコンポーネントの提供だけでなく、チェーン全体の競争優位性・基地運用コスト削減に大きく貢献するものと考えられる。

◆知的財産権の確保に向けた取り組み

③低温水素ガス圧縮機の開発

戦略に沿った具体的取り組み

- 2020年代半ばから2030年までに予定されている液化水素サプライチェーンの商用実証化、2030年頃の商用化に合わせ、国内外問わず、実用化・事業化していく見通しである。
- 本事業開始前に出願済みのため、下表にはカウントしていないが、低温水素ガス圧縮機の要となるシリンダ/真空容器構造を軸とした特許を国内は取得済み、また、海外においても競合生産国/資源国/消費国/ライセンス国を中心に出願済みである。

	2019 年度	2020 年度	2021 年度	2022 年度	計
特許出願(うち外国出願)	0	0	0	0	0件

※2023年9月30日現在

③低温水素ガス圧縮機の開発

・論文等の発表の現状

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

※2023年7月31日現在

◆成果の普及

③低温水素ガス圧縮機の開発

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

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

③低温水素ガス圧縮機の開発

- 2020年代半ばからの液化水素サプライチェーンの商用実証化、2030年頃の商用化に合わせ、実用化・事業化をしていく見通しである。
- そのためには、実用化・事業化に伴う大型化に際して想定される課題(材質、構造等)を抽出し、商用実証化のステージ或いは、必要に応じて、その前段階にて要素技術開発を行い、商用化の目途を付ける。
- 更に商用化に伴い、期待される摺動部材の寿命の達成可否を商用実証化のステージにて検証し、必要に応じて摺動部材の更なる改良を継続していく予定である。

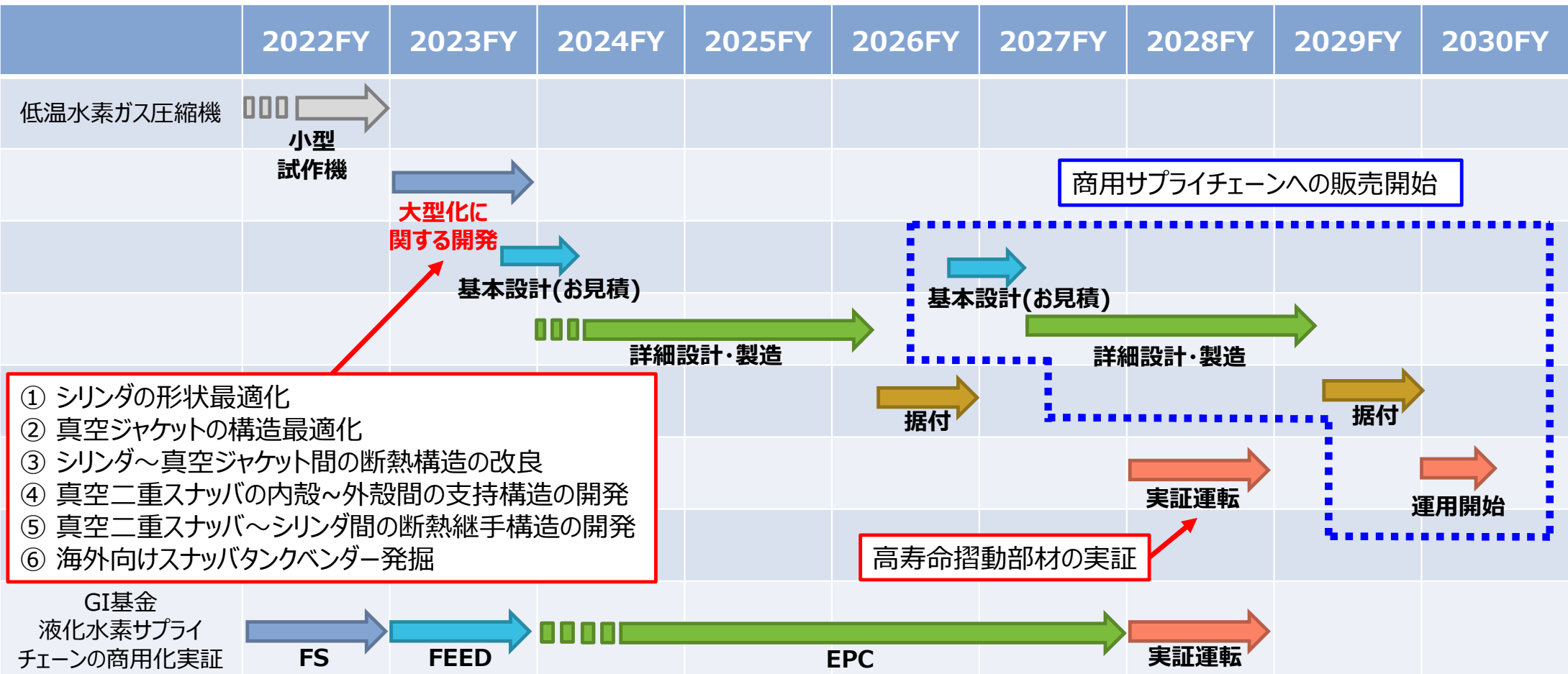
◆成果の実用化・事業化に向けた戦略

③低温水素ガス圧縮機の開発

- 2030年からは2プラント/年の商用液化水素受入基地が建設されるものと予想。
- 液化水素受入基地には、貯蔵タンクから蒸発する低温水素ガスを処理するBOG圧縮機がLNG受入れ基地同様に必要不可欠なコンポーネントであると判断する。
- 予備機含め、1プラント当たり平均 2～3台のBOG圧縮機を想定する。
- 販売先はプラント建設を担うEPCまたはオーナー(電力・ガス会社等)。
- 代替技術としては常温までプレヒートした常温圧縮機が想定されるが、蒸発ガスを低温のまま直接吸入する場合に対し、約3倍の軸動力(消費電力)となり、運用コストで低温ガス圧縮機に圧倒的優位性がある。(仮に1000kWの電力差で年間連続運転した場合、 $1000 \text{ [kW]} \times 8800 \text{ [h]} \times @23 \text{ [円/kWh]} \div 2 \text{ [億円]}$)
- 技術面においては、唯一試作機により実証済みである信頼性と特許による模造品の抑制により、2040年頃までは8割以上のシェアを確保し、売上に貢献するものとする。

◆実用化・事業化に向けたスケジュールと課題

③低温水素ガス圧縮機の開発



④液化水素昇圧ポンプの開発

荏原製作所

◆ 個別研究開発項目の目標と達成状況

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

◎ 大いに上回って達成、○ 達成、△ 一部未達、× 未達

◆各個別テーマの成果と意義

① 軸スラストバランス機構

目標 軸スラストバランス機構の確立

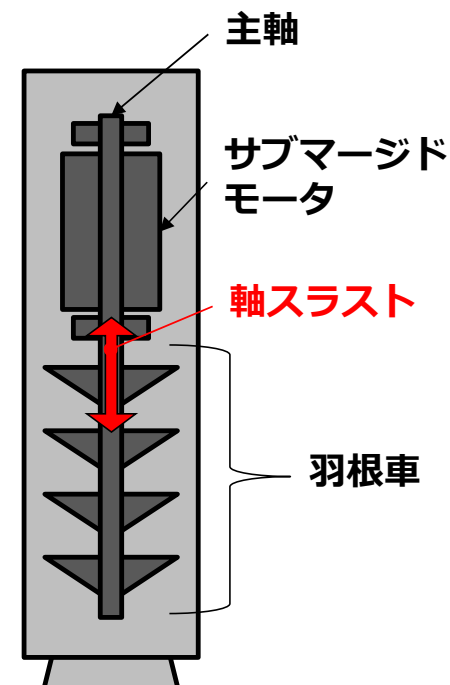
成果 新型バランス機構を設計し、実液試験にて機能することを確認

(特許公開前の為、詳細は割愛)

- ・商用機および小型試作機の仕様において、
計算上、運転流量範囲で軸スラストがバランスすることを確認した。
- ・液化水素を用いた小型試作機試験にて新型バランス機構が
正常に機能することを確認した。
- ・本バランス機構は羽根車の昇圧圧力を用いて回転体に
上向き力を発生させるもの。

成果の意義

本バランス機構は液化水素遠心ポンプ全般に適用可能



LH2昇圧ポンプ概念図

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

◆各個別テーマの成果と意義

② ポンプ材料の選定

目標 液体水素環境下において使用可能な材料を選定する

成果 材料試験により材料特性を評価、ポンプ材料を選定

小型試作機試験による実液運転試験にて健全性を確認

・対象材料：鋳物A、B、C

・試験条件：下表

表 試験条件

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

・試験結果：

鋳物A：低温/水素脆化無し ⇒ LH2ポンプに使用可能

鋳物B：低温/水素脆化するが、その脆化量から使用可能と判断※

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

成果の意義 材料試験結果は、**液化水素機器全般の材料選定根拠**となる。



Fig. 極低温(4K)試験装置の外観

(写真提供；(株)コベルコ科研)

◆各個別テーマの成果と意義

③ 液化水素でのポンプ性能/機能の評価・分析

目標 液化水素昇圧ポンプの設計技術確立

成果① 小型試作機の液化水素運転試験による
ポンプ性能/機能の評価、分析を完了

- ・小型試作機を設計・製作し、液化水素を用いた運転試験を実施し、ポンプの性能・機能の評価。
- ・液化水素試験設備はJAXAとの共同研究にて、JAXA能代ロケット実験場に構築。
- ・ポンプの揚程、動力、効率や吸込性能といった主要性能が所定の値を満足する良好な結果が得られた(右図)。
- ・新型スラストバランス機構が正常に機能することや試験後の分解検査で材料・構造の健全性が確認できた。



Fig. 据付中の小型試作機

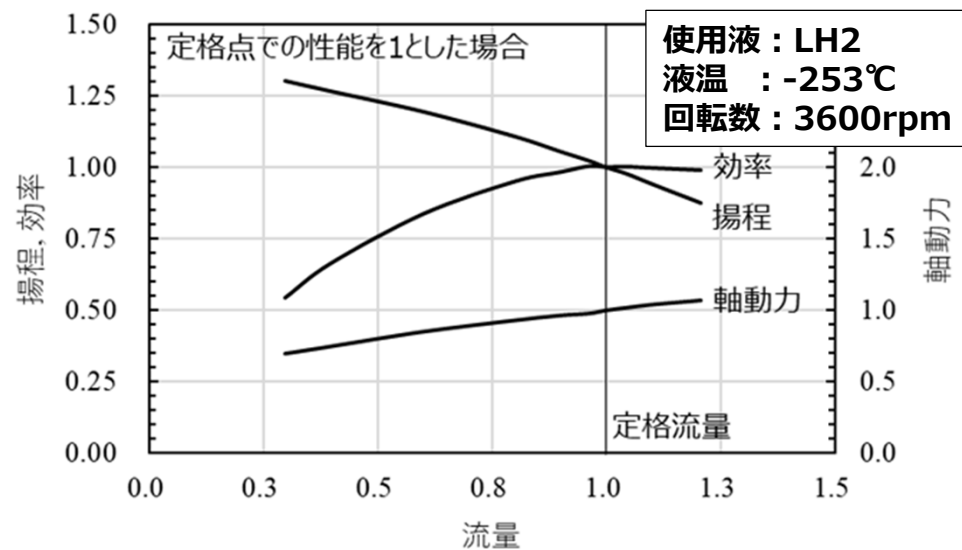


Fig. 小型試作機の液化水素性能

◆各個別テーマの成果と意義

③ 液化水素でのポンプ性能/機能の評価・分析

目標 液化水素昇圧ポンプの設計技術確立

成果② 液化水素昇圧ポンプの設計技術の確立

- ・小型試作機の液化水素試験結果から液化水素ポンプの性能設計方法が妥当であることが確認できた。
- ・軸スラストバランス機構も正常に機能したことから、当該部の設計方法の妥当性が確認できた。
- ・以上より、液化水素昇圧ポンプの設計技術が確立できた。
- ・さらに、液化水素での貴重なポンプ運転実績と そのノウハウを蓄積できた。

成果の意義

小型試作機試験にて性能/機能の評価し、液化水素ポンプ設計技術を確立したことで、水素発電用液化水素昇圧ポンプの上市が可能となり、水素社会の実現に必要な**水素発電の普及に寄与**する。

◆プロジェクト（事業）としての達成状況と成果の意義

達成状況

前述の各個別テーマを通して、商用クラスの仕様を見通せる液化水素昇圧ポンプに係る技術開発を完了した。

成果の意義

本プロジェクトで得られた技術を用いて、水素サプライチェーンの一部である水素発電に必要不可欠な液化水素昇圧ポンプを上市することが可能である。

◆ 知的財産権の確保に向けた取り組み

○ ポンプの差別化を図るべく軸スラストバランス機構に関する特許を出願

※ 2019年度に1件出願後、内容修正のために取下げ実施。2022年度に改めて出願。

	(2019年度)	(2020年度)	2021年度	2022年度	計
特許出願(うち外国出願)	1(0)	0(0)	0(0)	1(0)	2件

※2023年9月30日現在

論文、学会発表、広報等の取組みとして、对外発表は下表の通り

	(2019年度)	(2020年度)	2021年度	2022年度 事業終了後含む	計
論文(査読付き)					0件
研究発表・講演					0件
受賞実績					0件
新聞・雑誌等への掲載				4	4件
展示会への出展				8	8件

※2023年7月31日現在

◆ 成果の普及

成果の活用・実用化の担い手・ユーザー等に対する成果の普及、一般に向けた情報発信

※ 展示会への出展や雑誌、協会誌への掲載

液体水素昇圧ポンプ

一 構造



一 特長

ポットイン多段型
真空断熱式ポット使用
極低温対応: 20K(-253℃)

NEDOの水素社会構築技術開発事業に参画(*1)、
液化水素昇圧ポンプを開発中



(*1) この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の助成事業 (JPNP14026) の結果得られたものです。

一 液体水素による運転試験



JAXAで液体水素試験実施予定

一 アプリケーション例



発電

液体水素受入基地
※上記写真はイメージです。

No.	年	月	雑誌名・学会名・イベント名等
1	2022	10	ADIPEC 2022
2	2022	8	FC-EXPO
3	2022	8	当社ウェブサイト
4	2022	9	Gastech
5	2022	9	Oil & Gas Asia(OGA)
6	2022	9	Turbomachinery & Pump Symposium 2022
7	2022	9	WETEX & Dubai Solar Show
8	2023	3	2023年 FC-EXPO 春展
9	2023	3	The 11th China International Fluid Machinery Exhibition
10	2023	3	環境ビジネスオンライン
11	2023	3	当社ウェブサイト
12	2023	7	ターボ機械協会協会誌 月刊「ターボ機械」

<https://www.ebara.co.jp/startup/hydrogen/transport/index.html>

※ 当社の水素関連特設サイトにて取組みを紹介

※2023年7月31日現在

◆本プロジェクトにおける「実用化・事業化」の考え方

<実用化>

- ・本プロジェクトにて得られた「液化水素昇圧ポンプの設計技術」を用いて、水素発電向けポンプとしての具体的な仕様検討と設計を行い、製作し、実証運転を行う。

<事業化>

本プロジェクト及び上記実証運転で得られた技術や知見、ノウハウを基に、商用水素発電向けポンプのニーズに合致した製品を上市し、アフターサービスも含めた事業として成立させる。

◆ 成果の実用化・事業化に向けた戦略

○ 実用化、事業化に向けた取組み

水素基本戦略にある2030年頃の大規模水素発電の商用チェーン完成のために、市場要求に合致した水素発電用ポンプとしての具体的な仕様検討と設計を行う。

実用化検討（商用水素発電の実証向け）： ～2020年代半ば

事業化検討（商用水素発電向け）： ～2030年

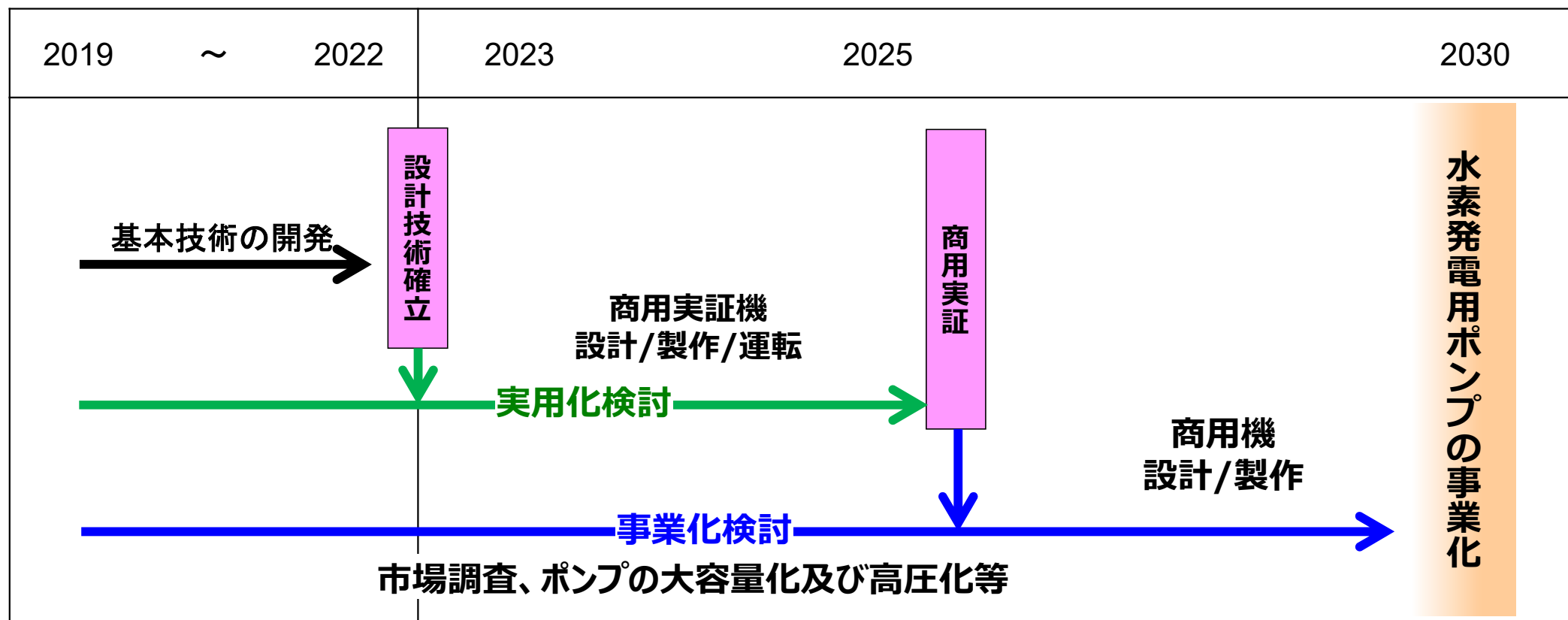
⇒ **2030年 水素発電用昇圧ポンプの製造・販売・アフターサービスの事業化**

○ 優位性

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

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

◆ 実用化・事業化に向けたスケジュールと課題



◆波及効果

- 液化水素昇圧ポンプを上市することは、水素ガスタービン発電の実現と普及に寄与する。
そして、水素ガスタービン発電が普及すれば、大規模な水素需要を創出し、水素社会の実現につながる。
- 本開発を通じて、極低温ガスや液体水素の回転機械エンジニアの育成と多くはないものの新たな雇用の創出につながった。