

発表No.B1-18

脱炭素化・エネルギー転換に資する我が国技術の 国際実証事業／欧州における水素発電を実現するための 水素ガスタービン発電実証研究（ドイツ）

発表者名 辰巳 康治
団体名 川崎重工業株式会社
発表日 2024年7月18日

連絡先：

川崎重工業株式会社 エネルギーソリューション&マリンカンパニー
池原 威徳(E-mail: ikehara_takenori@global.Kawasaki.com)

1. 事業概要

1. 期間

- 実証前調査 : 2022年2月～2023年10月
実証研究 : 2023年11月～2026年10月（予定）

2. 最終目標

- ▶ 当社製30MW級ガスタービン発電設備「L30A」に、水素焚きに対応した燃焼器および燃料制御システムを搭載した上で、天然ガスと水素を0～100%の任意の割合で混焼・専焼させて運転し、発電装置としての有効性を確認する。
- ▶ 水素混焼および専焼運転時においても、サイトにおける有害物質（NO_x, CO）に対する要求値を満足することを確認する。
- ▶ 水素混焼および専焼運転時においても、安定燃焼かつ部品耐久性に問題ないことを確認する。

3. 成果・進捗概要

- ▶ 2023年11月より実証研究を開始。水素燃焼対応可能な当社製ガスタービン発電設備「L30A」（30MW級）の設計および材料調達、製造を進めている。
- ▶ エンジン部（燃焼器等）の組立は日本国内で行い、2025年の早い段階で現地へ向け出荷予定。ドイツ国内の弊社子会社で周辺機器（パッケージ）の取り付けを行った後に現地へ納入する。
- ▶ 2026年度中に拡散燃焼方式（ウェット方式）による水素と天然ガスの混焼、および水素燃料 100%による発電実証運転を開始し、運転データの収集と運用特性の確認を行う。
- ▶ 現地での設備建設に関する許認可は、相手国企業であるRWE Generation社（ドイツ電力大手）により取得済。

1. 事業概要：水素ガスタービンの欧州戦略

- 水素供給の早い地域を選択
- 水素の普及に合わせ、各ステージで最適なアクションを実施し、水素GTメーカーとしての地位確立、水素GTの拡販を目指す。



水素GT実証（～2026年）
：KHIの水素GTを実証

- ターゲットセグメントは、**中小型水素発電市場**
- **（事業用、ピークカット用、産業用（主にコージェネ））**
- ターゲット市場は、**水素供給の早い欧州（ドイツ）**。
- **水素供給できるパートナーとのタイアップにより、水素発電実証を行い、ユーザーにKHI水素GTの技術実用性を示す。**

水素発電導入期(2026～2040年頃)
：水素GT導入が始まる

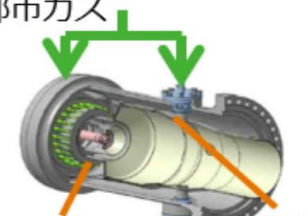
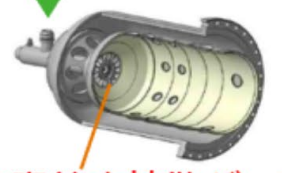
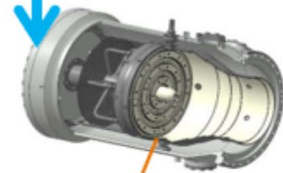
- **水素供給者と共同歩調を取り、欧州水素チェーンの一角となる。**
- **水素のGT導入（グレー水素利用や天然ガス混焼）から、水素専焼ステージまでシームレスに対応する。**
- **ドイツから周辺国へ。**

水素発電普及期（2040年頃～）
：水素GTの普及

- **ターゲット市場（欧州）から他の地域へ展開。**






1. 事業概要：水素焚き燃烧器の開発

- 水素供給体制に適した各種の水素燃烧器を、シームレスに提供
- 燃烧器のレトロフィットも考慮

ガスタービン	天然ガス焚き 予混合DLE (既存DLE物件約200台)	水素混焼 予混合DLE/拡散	水素専焼 拡散/MMX
	予混合DLE燃烧器	拡散燃烧器	マイクロミックス燃烧器
燃烧器 混焼率	水素/都市ガス  水素混焼 0~30% 天然ガスと任意の割合可	水素/天然ガス  水素混焼/専焼 0~100% 天然ガスと任意の割合可	水素  水素専焼 (50~100%) (開発中)
燃烧方式	希薄予混合燃烧追焚き燃烧：ドライ方式	水噴射：ウェット方式	微小拡散火炎：ドライ方式
長所/短所	長所) 天然ガス焚き発電装置と同じ燃烧器 既設設備の有効活用して水素使用が可能。 短所) 水素混焼率は30%に制限される為 CO2削減量が小さい。	長所) 水素・天然ガスを任意に混焼可能 経済性・環境性の両立可能なフレキシブルなシステム 短所) NOx低減に水が必要 で、発電効率・排ガス特性は ドライ方式に劣る	長所) 開発中。 本格的に水素社会における主流 になりうる 短所) 現時点で、天然ガス専焼が困難 と予測している。

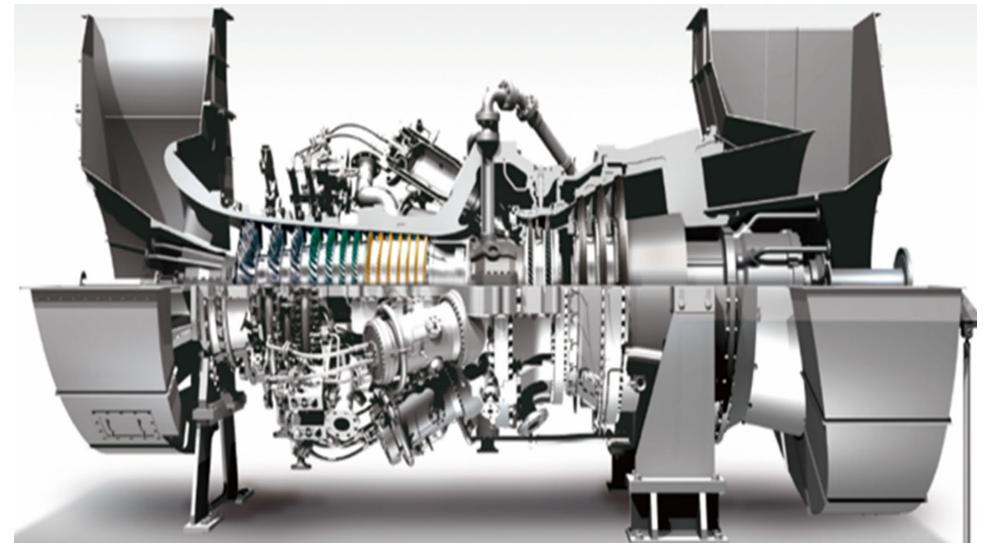
1. 事業概要：製品化の進捗状況

- GT全モデルの水素30%混焼 予混合DLE燃焼器開発を完了し、市場投入済
- 本実証試験を通じて、拡散燃焼器を搭載したL30A水素発電装置の有効性を実証
- 引き続き、マイクロミックス燃焼器の早期商品化を目指す

ガスタービン 名称 (出力)		M1A	M5A	M7A	L20A	L30A	
		1.8MW 	4.7MW 	7.8MW 	18.4MW 	34.4MW 	
開発 状況	予混合DLE 燃焼器	★	★ <small>(20%混焼：23年度30%到達予定)</small>	★	★	★	
	拡散燃焼器	★ 神戸スミコムで実証	◎	◎	◎	◎ (23年度燃焼器開発) (26年度発電実証)	
	マイクロミックス 燃焼器	★ 神戸スミコムで実証	○	○	○	◎	
水素 混焼率	予混合DLE 燃焼器	0～30%					★：開発済 ◎：開発中 ○：計画中 ()：開発目標値
	拡散燃焼器	0～100%					
	マイクロミックス 燃焼器	(50～100%)					

2. 事業の位置付け、必要性：事業の目的

- 当社製30MW級ガスタービン発電設備「L30A」に、水素焚きに対応した燃烧器および燃料制御システムを搭載した上で、天然ガスと水素を0～100%の任意の割合で混焼・専焼させて運転し、発電装置としての有効性を確認する。
- 水素混焼および専焼運転時においても、サイトにおける有害物質（NO_x, CO）に対する要求値を満足することを確認する。
- 水素混焼および専焼運転時においても、安定燃焼かつ部品耐久性に問題ないことを確認する。
- 実証期間中は「拡散燃焼器」（ウェット方式）を用いて水素専焼発電・任意の割合での水素混焼発電を行う。



2. 事業の位置付け、必要性：現地サイトの状況

- パートナーであるRWE社のエムスランド発電所にL30A水素発電装置を設置
- 水素は再エネ電力による電解水素を利用



エムスランド発電所
ドイツ北西部 Lingen近郊に位置するRWE発電所。既設にCCPP(876MWe)、(2×418kWe)等を有する

GPB300発電装置(L30A)

電解装置(100MW×2)

„H2GT Lingen“
54 MW Kawasaki H2-Gasturbine

„H2-Pilot Plant Lingen“
Electrolyser Test Facility
Under Construction 2022/23

電解装置(14MW)

Get H2 Nukleus (Phase 3 Extension)
1x 100MW-Anlage
Construction 2025/26

GET H2 Nukleus (Phase 1 & 2)
2x 100MW-Anlagen

New Substation DCAC Converter
(2x 900 MW)
Construction 2024 - 2029

„Hydrogen Park“
Giga-Facility in early development
Construction Start 2027

Color Code
green = FID done
orange = upcoming FID/Development
Associated Projects

GET H2 TransHyDE
Electrolyser Test Facility
Under Construction 2022, Demonstration until bis 2025

„Hydrogen Campus“
Office Space with H2-Infestation,
H2 Forschungs- und Testanlagen
(Concept Phase)

Battery
Triton+ 45 MW
Under Construction 2021/22

DRI-Test Facility
„Green Steel“ Test Facility Lingen
Construction 2022, Test Operation until 2024

【水素ガスタービン発電実証研究 H2GT】

【実証研究概要】

グリーン水素を燃料とする30MW級の当社製ガスタービン「L30A」を運転し、運転データの収集と運用特性の確認などを行う。

【実証サイト候補】

RWE社の水素プロジェクト構想予定地である、ドイツ・ニーダーザクセン州リンゲン

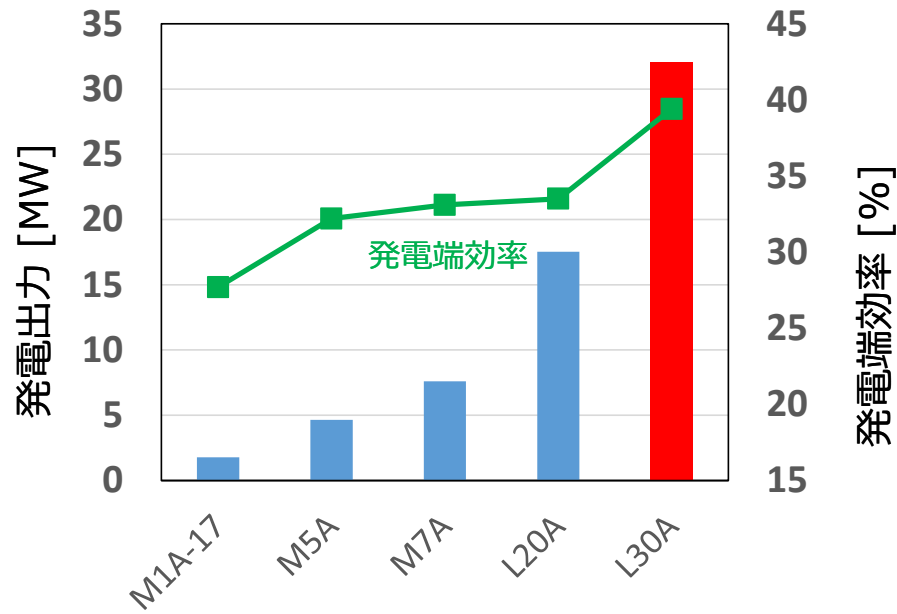
【Lingen水素プロジェクト：Get-H2 Nukleus】

RWE社のプロジェクト。風力余剰電力で水電解装置(100MW×3台)からグリーン水素を製造し、製油所間を結ぶ既存の水素パイプラインへ接続する計画。ガスタービンは、この水素を利用する。

2. 事業の位置付け、必要性：30MW級の選定理由

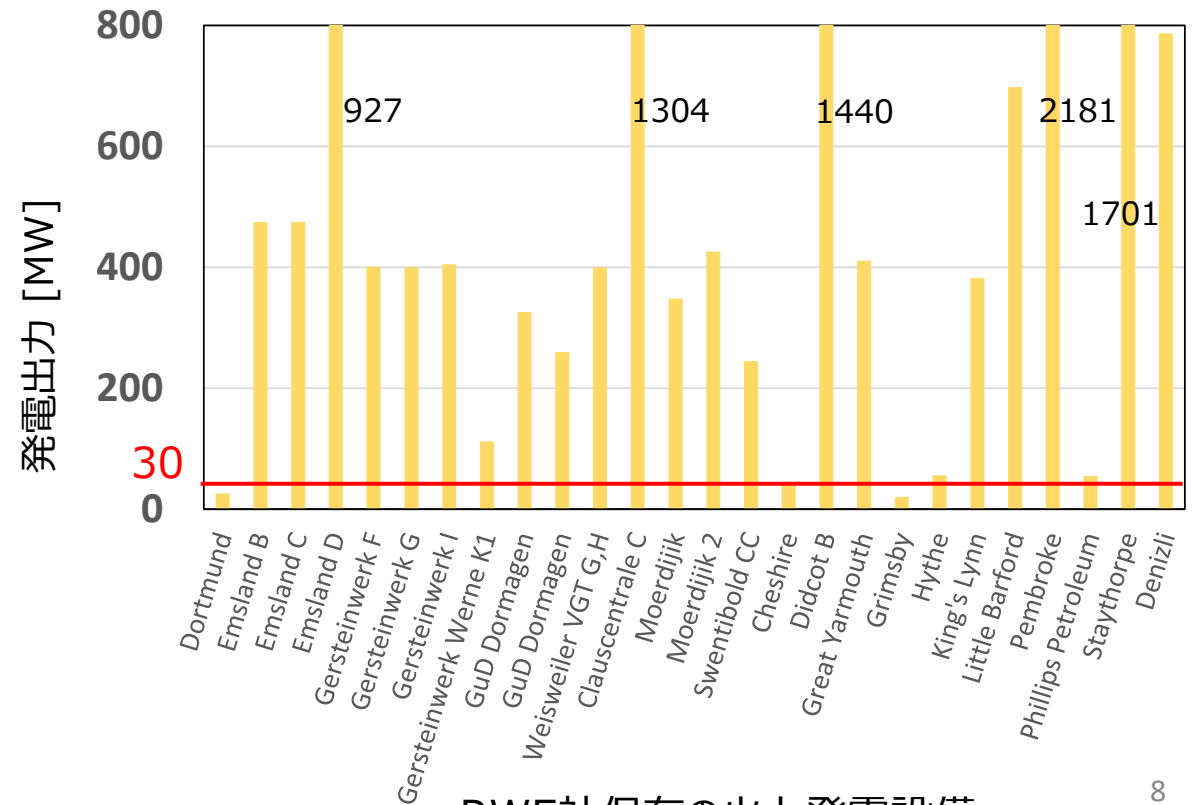
以下の理由から、30MWクラスガスタービン(L30A)を選定。

- 当社ガスタービン機種の中で30MWクラスが最も効率がよく、**事業発電・コジェネのいずれにも使用可能。**
- RWEが火力発電設備として経験を持つ最小出力帯であったが、近年、大型火力は廃止し、小型分散化が進められている。
- 再生可能エネルギーの増加につれ、数100MW級のバックアップ電源を送電網の各所に分散配置する必要性が高まっている。バックアップ電源は30～60MW級の中型GT複数台で構成されると推定。



カワサキガスタービンのラインナップ
(参考：都市ガス13Aガス焼き)

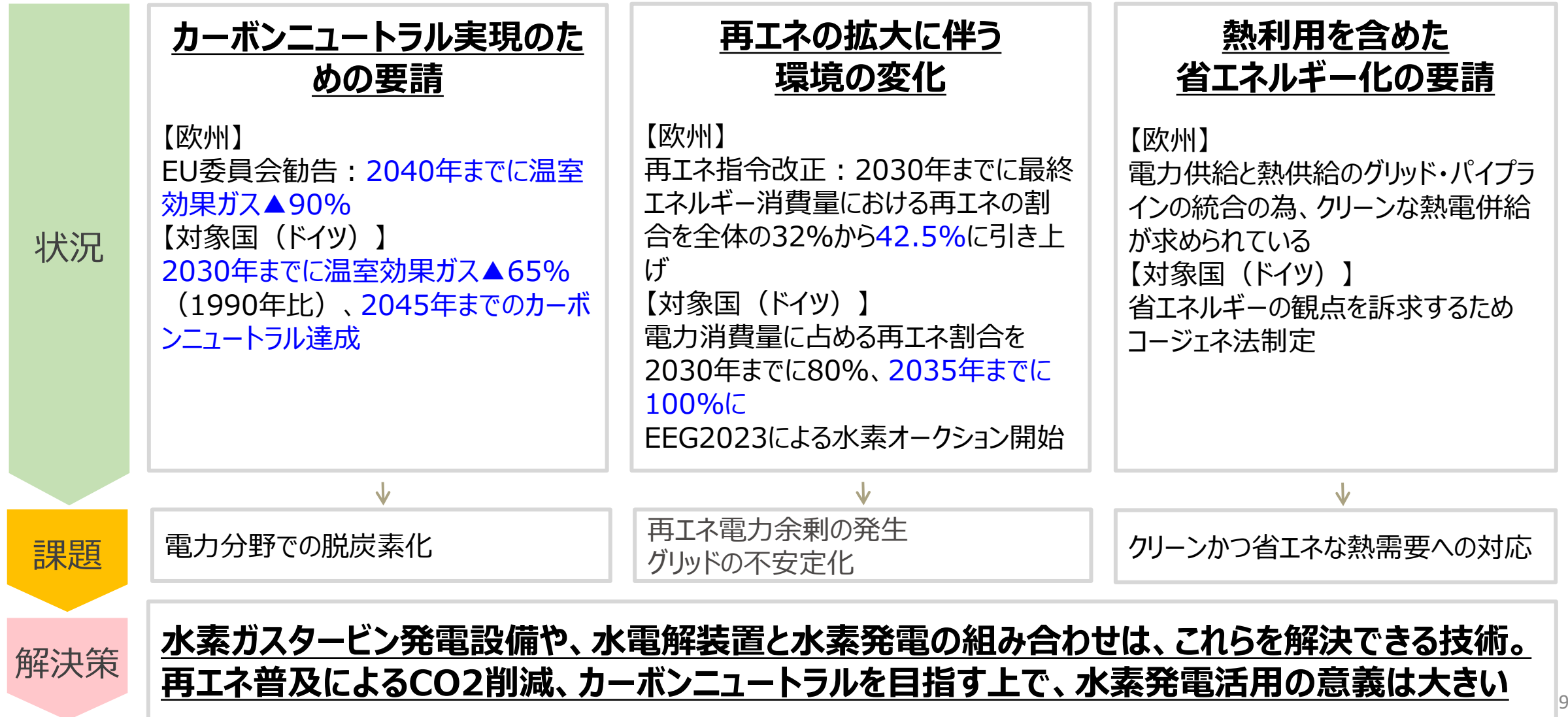
出典：RWE Factbook2021



RWE社保有の火力発電設備

2. 事業の位置付け・必要性：本事業の位置付け（1/2）

➤ 欧州のカーボンニュートラル実現・再エネ拡大に向けての課題に対する本事業の位置付け



2. 事業の位置付け・必要性：本事業の位置付け（2/2）

- 日本のカーボンニュートラル実現・再エネ拡大に向けての戦略、本事業の意義・必要性

我が国の水素戦略

2023年6月に改訂された我が国の「水素基本戦略」では、水素需要面での取り組みとして発電分野が挙げられており、「エネルギーの安定供給を確保しつつ、火力発電からのCO2排出量を削減していくなど、カーボンニュートラルに向けたトランジションと脱炭素社会を支える役割が期待される」と位置付けられている。さらに、水素基本戦略に記載のある「水素産業戦略」において、市場の立ち上がりが相対的に早く、市場規模も大きいと考えられる分野、日本企業が技術的優位性を持っていると考えられる分野という二つの観点から選ばれた9分野の一つに脱炭素型発電が挙げられており、重点的に取り組むべき分野とされている

状況

本事業の実証研究や普及の実現は、以下に挙げる社会的意義を持つ。

意義・
必要性

- ① 実証研究を行うことで、水素ガスタービンの国内実装に向けて技術的ノウハウが蓄積され、民間事業者の事業体制が強化される
- ② 本事業の実証研究から普及への展開によって、我が国事業者の海外における事業機会が拡張され、大きな裨益効果を見込むことができる

3. 研究開発マネジメントについて：研究開発の目標

➤ 研究開発の目標

安定運用

天然ガスと燃焼特性が大きく異なる水素燃焼においても安定運用を実現すること

- 定格発電電力が計画値以上であること
- 定格発電電力における燃料消費量が計画値×1.05以下であること
- 水素混焼率0, 25, 50, 75, 100（体積割合）での運用において、出力変動等なく安定していること

環境要求への適合

水素は燃焼温度が天然ガスに比べ高く窒素酸化物排出量が増加する傾向にあるが、サイトの環境要求に適合すること

- 窒素酸化物(NO_x)排出量、および一酸化炭素(CO)排出量について、現地当局が定める規制値以下を満足すること

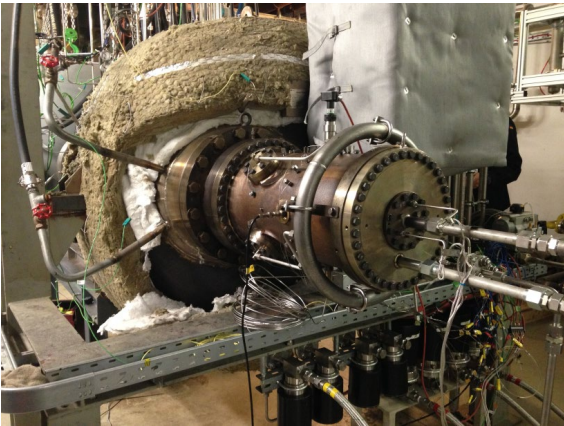
耐久性

水素は燃焼速度が天然ガスに比べて速いため部品温度上昇や異常燃焼等が発生しやすいが、水素特性に対応設計した部品が適正な耐久性を有すること

- 燃焼器部品温度、燃焼振動が当社基準以下であること
- 実証運用後のガスタービン内部部品状態が当社基準を満足すること(目視点検)

3. 研究開発マネジメントについて：燃焼器単体試験の事前実施

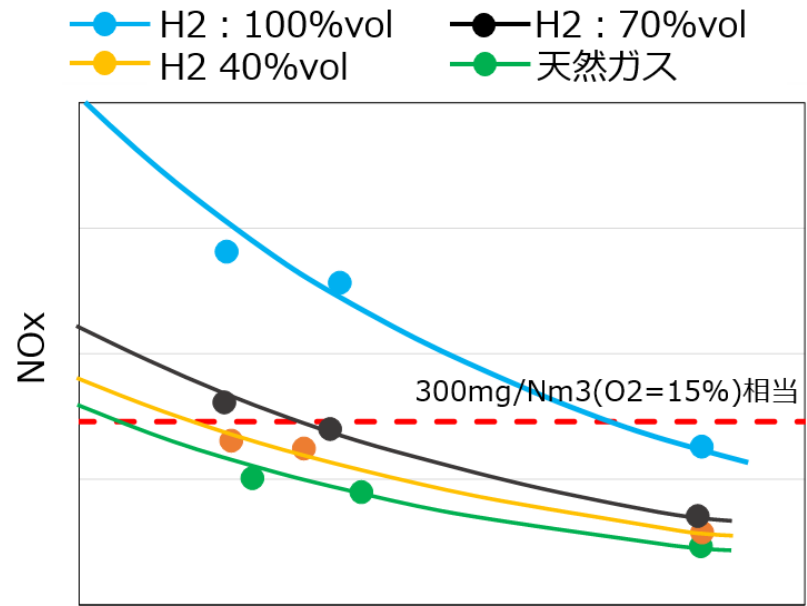
- 本プロジェクトでは水素0～100%の幅広い運転が可能である拡散燃焼器を採用。
- 水素GTGは神戸スマコミ（M1A-17）で実証運転実績があるが、今回対象となるL30Aはより厳しい燃焼条件となる。
- この為、事前に高圧燃焼試験を実施。単体試験にて、水素焚き燃焼器の性能に問題ないことは検証済。



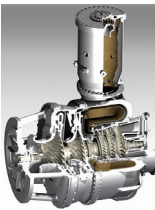

高圧燃焼試験装置

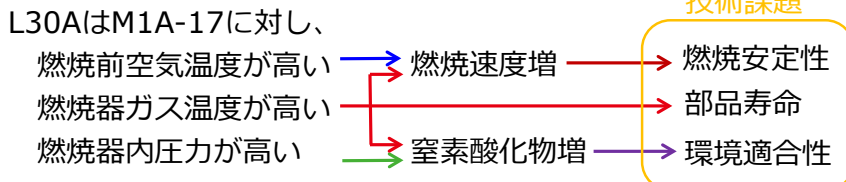


水素焚き燃料ノズル



少 ← NOx低減水噴射量 → 多
高圧燃焼試験結果例

GTモデル	M1A-17	L30A
実証プロジェクト	神戸水素CGS	RWE(計画)
出力	1.7 MW	32 MW
発電端効率	27.7 %	39.1 %
構造図		
燃焼器缶数	1	8
水素使用量	2,135 Nm ³ /h	27,490 Nm ³ /h



技術課題

3. 研究開発マネジメントについて：運転計画（予定）

- 天然ガスと水素を0～100%の任意の割合で、所定の運転が可能であることを確認する。
- 実証運転では、主に高水素濃度（水素75～100%）、高負荷（100%負荷）での試験を行う。

項目	試運転			実証運用	
	調整運転	定格性能評価	負荷変動試験	運用	内部点検
運転パターン(例)	<p>(負荷率：%)</p>	<p>(負荷率：%)</p>	<p>(負荷率：%)</p>	<p>(負荷率：%)</p>	
水素混焼率	0%(天然ガス), 100%(水素) 25%, 50%, 75%	0%(天然ガス), 100%(水素)	0%(天然ガス), 100%(水素) 50%	0%(天然ガス), 100%(水素) 75%	-
実施内容	<ul style="list-style-type: none"> ・NOx低減水噴射量調整 (NOx, CO計測) ・燃焼器部品温度計測 ・燃焼振動計測 ・出力安定確認 ・各計測項目評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・定格発電電力におけるヒートラン ・定格発電電力量計測 ・燃料消費量計測 ・性能評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・想定運用における負荷変動確認試験 ・負荷変化中に出力変動等ないことを確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・RWE社による運用 ・運転データ監視 ・実証運用データ評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・内部部品点検実施 ・当社基準に基づく状態判定

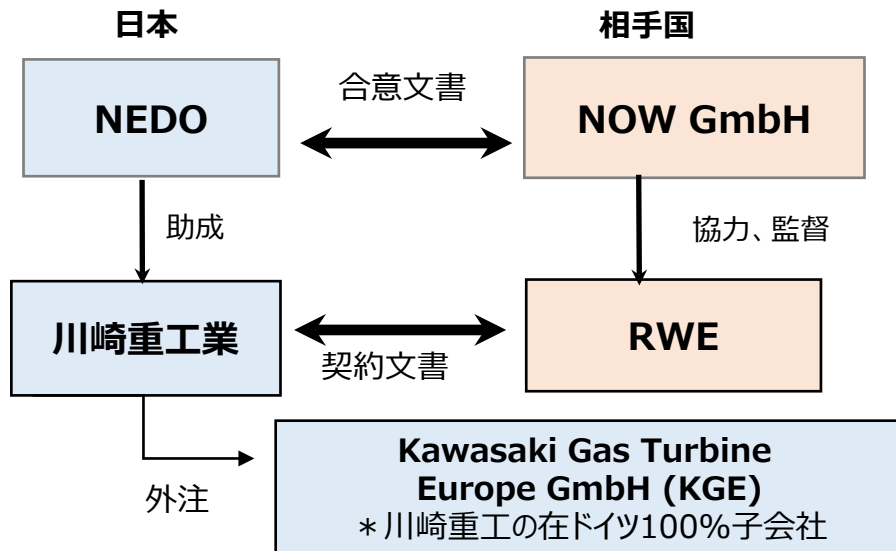
* 現時点での計画であり、今後のRWE社との詳細協議において工程等が変更になる可能性があります

3 . 研究開発マネジメントについて：スケジュール & 実施体制

実証研究のスケジュール

	FY2023	FY2024			FY2025			FY2026		
全体工程	実証研究 開始 ☆									実証試験
エンジン製作（国内）				☆出荷						
発電装置製作（ドイツ）						☆出荷				
据付工事										
試運転										

実施体制



【業務所掌】

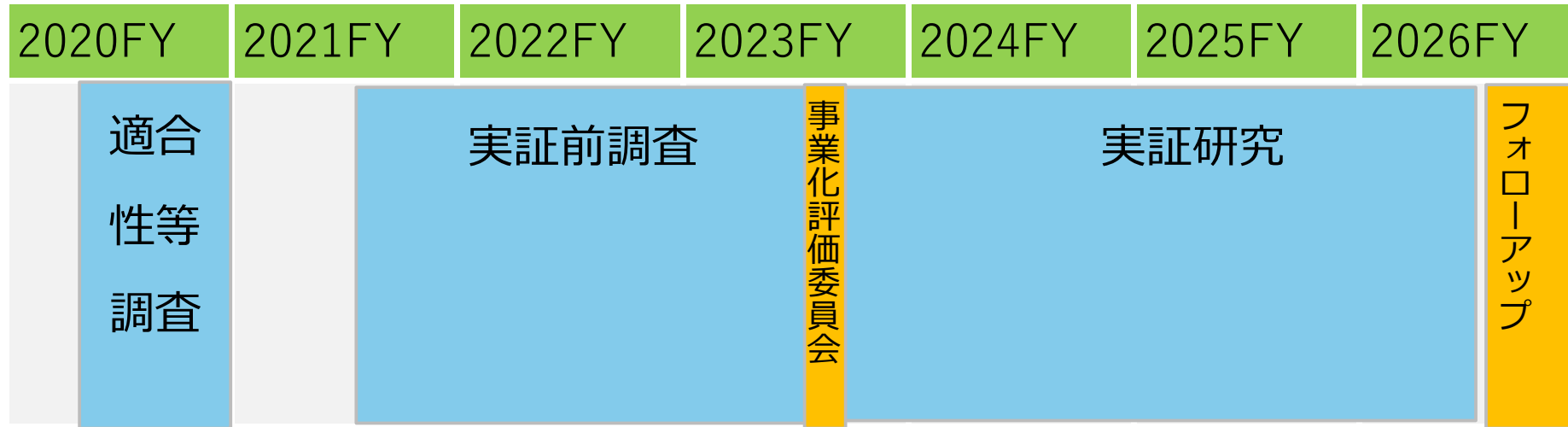
川崎重工業：水素ガスタービン本体及び発電装置の全体計画・とりまとめ、設計、製造、現地輸送、フォローアップ事業の実施等

RWE：水素ガスタービン発電所の全体計画、設計、土木、据付工事等

KGE：水素ガスタービン周辺機器及び発電装置のパッケージ製作、現地輸送等

4. 研究開発成果について：これまでの成果・進捗状況

- 20年度に適合性等調査、21年度～23年度にかけ実証前調査を実施。事業化評価委員会の審査、承認を経て、実証研究を開始した。
- 現在、30MW級ガスタービン発電設備の設計、材料調達、製造を進めている。エンジン部分の組立は日本国内で行い、ドイツの当社子会社で発電装置に組み込んで現地に搬入、設置する。
- 現地での設備建設に関する許認可は、相手国企業であるRWE Generation社（ドイツ電力大手）により取得済。



5. 今後の見通し

- 本実証研究での実績を梃に、ドイツ、さらには欧州での30MW級水素焼きガスタービン普及を目指し、CNが求められているエネルギー市場を開拓する。
- 水素供給者・電力事業者と共同歩調を取り、水素G T普及を計画する
- 水素社会に至るまでの過渡期は、水素の供給量、価格が不安定な期間が予想される。水素混合量を任意に変えられる設備である事を実証し、過渡期における水素供給不安を払拭。水素発電の早期事業化に事業化に結び付ける。
- 実証期間終了後に、予混合DLE燃焼器に転換しての水素混焼検証、およびマイクロミックス燃焼器を用いた水素専焼・混焼検証を行うことを計画中。