

NEDO水素・燃料電池成果報告会2023

発表No.B1-15

水素社会構築技術開発事業/地域水素利活用技術開発/ 水素CGSの地域モデル確立に向けた技術開発・研究

発表者名：川崎重工業(株) 足利貢

団体名：川崎重工業株式会社

株式会社大林組

発表日：2023年7月13日(木)

連絡先：

川崎重工業株式会社 水素戦略本部 山口

e-mail: yamaguchi_masato@khi.co.jp

TEL: 078-921-1615

事業概要

1. 期間

開始 : 2021年7月

終了 : 2023年3月

2. 最終目標

- 標準大気条件におけるNOx濃度35ppm(残存酸素16%換算値)以下の達成
- 水素専焼ドライ燃焼器を天然ガスとの混焼（水素割合：20～90cal%）運転の対応
- ドライ型がウェット型よりも環境性や事業性が優位になることの確認
- 統合型EMSの精度向上

3. 成果・進捗概要

- 全ての運転領域において、目標のNOx濃度35ppm(残存酸素16%換算値)以下を確認済
- 水素専焼（水素100%）だけでなく、天然ガスとの混焼（水素割合：20～90cal%）運転で安定運転を実現し、必要な検査を受検・合格した後、正式な自家用火力発電所として運用を開始
- ドライ型がウェット型よりも環境性や事業性が優位になることを確認済
- 統合型EMSの精度を向上

1. 事業の位置付け・必要性 (1/4)

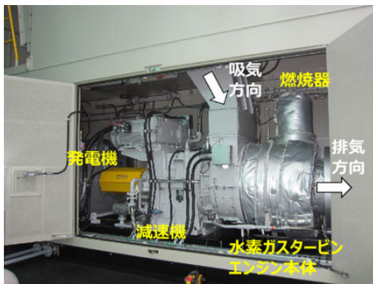
背景、目的

「水素CGSの地域モデル確立に向けた技術開発・研究」

- 「水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発・実証事業」で整備した「水素CGS実証プラント」を活用し、水素CGSを地域モデルとして確立するために必要な技術開発・研究を行う。
- 本技術開発・研究により得られた成果をもとに、電熱需要のある地域へ横展開できる水素CGSの地域モデル確立を目指す。



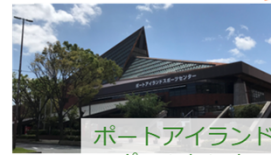
M1A-17 ガスタービン



水素ガスタービン・パッケージ



国際展示場



ポートアイランド
スポーツセンター



水素CGS
エネルギーセンター

エネルギー供給先

(H30年11月時点)

地図出典：国土地理院ウェブサイト
(<https://maps.gsi.go.jp>)



ポートアイランド
処理場



中央市民病院

1. 事業の位置付け・必要性 (2/4)

当事業の位置付け

水素ガスタービンの実用化に向けた基盤技術開発

- ◆ 2015～2018年度「水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発事業」
 - ウェット方式による水素ガスタービン技術の早期実現
- ◆ 2019～2020年度「ドライ低NOx水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業」
 - ドライ方式による効率向上とNOx低減技術の確立による性能向上



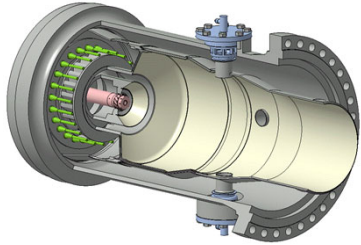
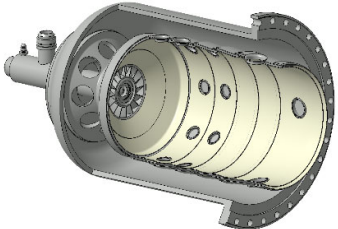
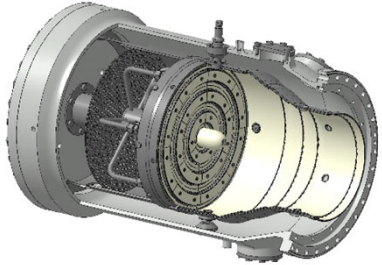
水素ガスタービンによる地域モデルを確立するための技術開発

- ◆ 2021～2022年度「水素CGSの地域モデル確立に向けた技術開発・研究」
 - ドライ方式混焼対応：混焼範囲の拡大による運用自由度拡大（水素レディ）
 - NOx性能の向上：高規制地域での脱硝装置削減による設備導入コスト低減
 - 統合型EMSによる最適化：事業性・環境性を考慮した最適運用技術の確立

1. 事業の位置付け・必要性 (3/4)

川崎重工の水素ガスタービン用燃焼器のラインナップ

本事業での開発項目

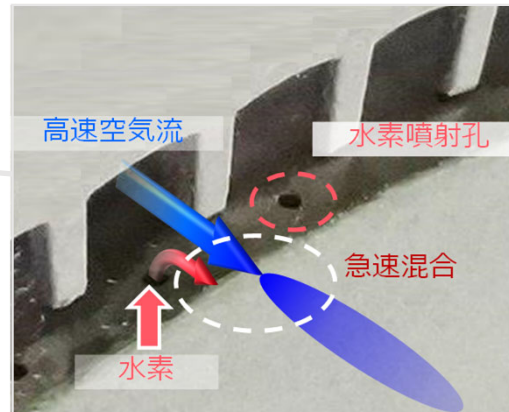
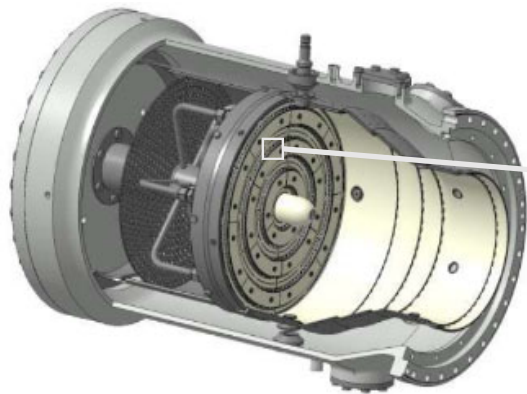
水素燃焼方式	希薄予混合燃焼 追焚き燃焼	拡散燃焼	微小水素火炎 (マイクロミックス:MMX)
NO _x 低減	ドライ	水噴射(ウェット)	ドライ
燃焼器形状			
水素割合	0~20cal%	0~100cal%	100cal%(2020年度) → 20~100cal%
混焼/水素専焼	混焼○/専焼×	混焼○/専焼○	混焼×/専焼○(2020年度) → 混焼○/専焼○
NO _x (O ₂ = 16%)	12.5ppm (目標)	70ppm	70ppm(2020年度) → 35ppm (目標)
開発状況	1MW級 開発済	1MW級 開発済	1MW級 開発中

顧客のニーズに合わせて3種類の機種を商品化予定

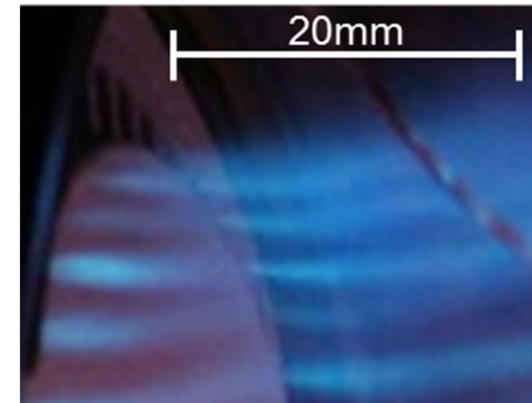
1. 事業の位置付け・必要性 (4/4)

「微小水素火炎(マイクロミックス:MMX)」方式 ドライ燃焼器の特徴

- 水素は燃焼速度が速く、天然ガス焚きドライ低NO_xで用いられる希薄予混合方式では燃料/空気予混合通路への逆火・焼損リスクが高いため、高濃度水素への適用が困難。
- 微小な水素火炎を用いたマイクロミックス(MMX)燃焼方式を開発。
 - ・ サーマルNO_x発生源である火炎の高温部領域を抑制することでNO_xを低減する。
 - ・ 予混合通路を持たないため逆火リスクが低い。



微小な水素火炎を形成



2. 研究開発マネジメントについて (1/4)

目標と実施内容 (川崎重工業)

<目標>

- 標準大気条件(1atm、15°C、相対湿度60%) におけるNO_x濃度35ppm(残存酸素16%換算値)以下を達成する。
- 水素専焼ドライ燃焼器を天然ガスとの混焼に対応できるように改良開発を行い、水素割合：20～90cal%をカバーする

<実施内容>

- ① ドライ燃焼器の実機運転では燃焼器単体でのリグ試験の結果よりもNO_x生成量が増加しており、その要因を要素研究・リグ試験により解明
- ② NO_x低減および混焼対応実現の障害となる「燃焼振動」に対し、要素研究・リグ試験により発生抑制方法の検討を実施
- ③ ドライ燃焼器では天然ガスの濃度が高くなると燃焼用空気に対して燃料量が希薄となり、吹き消えによる「失火」が発生することから、保炎のための方策を要素研究・リグ試験により検討
- ④ 上記の改良案に対し燃焼器単体での検証試験を行い、ガスタービン本体への搭載に向けてブラッシュアップを行う
- ⑤ 改良開発した燃焼器をガスタービン本体へ搭載して実証運転を行う

2. 研究開発マネジメントについて (2/4)

目標と実施内容 (大林組)

<目標>

- ▶ ドライ混焼燃焼を用いた水素CGSで電熱供給する場合の補機動力を計測し、**ウェット型よりも環境性や事業性が優位になることを確認**する。
- ▶ 前事業で取得できなかった夏季の補機動力試験を実施し、**統合型EMSの精度向上**を図る。

<実施内容>

[統合型EMS改修]

- ▶ ドライ混焼燃焼器等の補機動力データを統合型EMSで取得できるよう、ドライ混焼燃焼器等に伴う統合型EMSの再設計、改修を行う。

[補機動力試験運転]

- ▶ 前事業でデータ取得できなかった、ドライ専焼燃焼器実装水素CGS (改造前) の高温域の補機動力計測を行うため、夏季補機動力計測試験を実施する。
- ▶ ドライ混焼燃焼器等を実装した水素CGSの補機動力データを取得する。

[統合型EMS試験運転]

- ▶ ドライ混焼燃焼器等を実装した水素CGSから**近隣施設へ電熱を供給し、運転実績データを取得**することで、**ガスタービン及び補機の性能式を修正**する。
- ▶ ドライ混焼燃焼器等実装運転時の**環境性と事業性**を、**ウェット混焼燃焼器の場合と比較評価**する。

2. 研究開発マネジメントについて (3/4)

「神戸水素CGS実証プラント」概要



排熱ボイラ設備

ボイラ形式	水管式
ボイラ伝熱面積	150m ²
最大蒸気発生能力	5 ton/h
定格蒸気圧力	0.95MPaG

ガスタービン発電設備

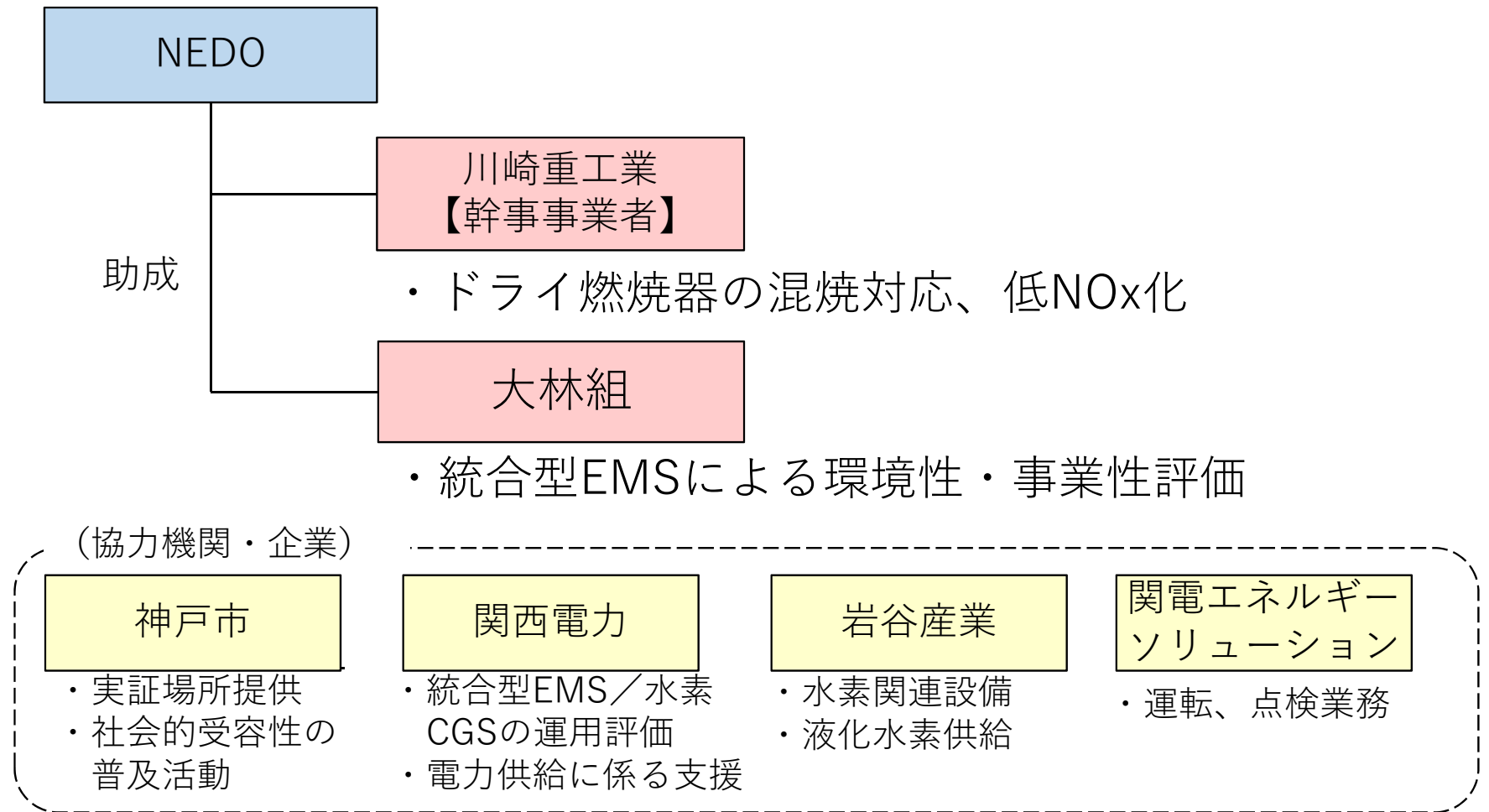
使用ガスタービン	M1A-17
最大発電能力	1,800kW
発電電圧	6,600V
最大水素ガス消費量	2,300N ^m ³ /h (200kg/h)

液化水素貯蔵供給設備

液水タンク容量	24m ³
水素貯蔵量[有効]	800kg
水素ガス最大供給能力	2,500N ^m ³ /h (225kg/h)
水素ガス供給圧力	1.75MPaG

2. 研究開発マネジメントについて (4/4)

実施体制 (事業全体)



3. 研究開発成果について (1/8)

低NO_xにおける課題：燃焼振動

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。

NO_x値 ⇔ 燃焼振動 は背反の関係 ⇒ NO_x値を下げようとするとも燃焼振動が増大し、燃焼振動を抑えようとするともNO_x値が上昇

混焼対応における課題：燃焼振動・失火

「燃焼振動」の発生（混焼率が中間領域）
「失火」の発生（水素流量が少の領域）



「燃焼振動」の抑制と
「保炎性（失火防止）」向上

3. 研究開発成果について (2/8)

課題解決の具体的方策

課題 解決策

具体的解決策の例

「燃焼振動」対策

燃焼振動の発生を抑制する技術の開発

「追い焚きバーナ」設置

追い焚きバーナ：
MMXバーナの燃焼量を「燃焼振動」発生領域以下に抑制し、燃焼量の不足分を「追い焚きバーナー」で燃焼

燃焼振動の圧力変動レベルを低減する技術の開発

「減衰装置（レゾネータ）」設置

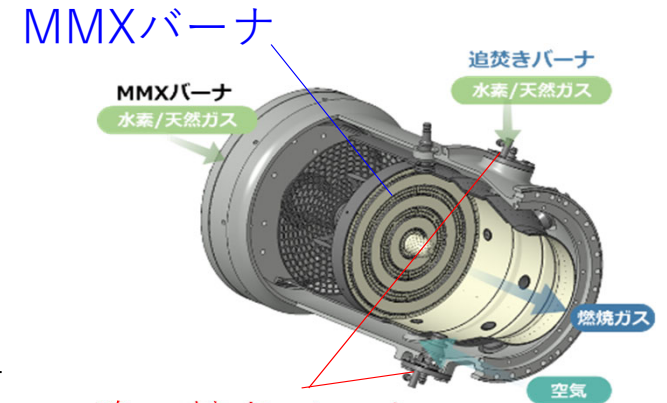
レゾネータ：
ヘルムホルツ共鳴を利用して、圧力波を低減する装置

「失火」対策

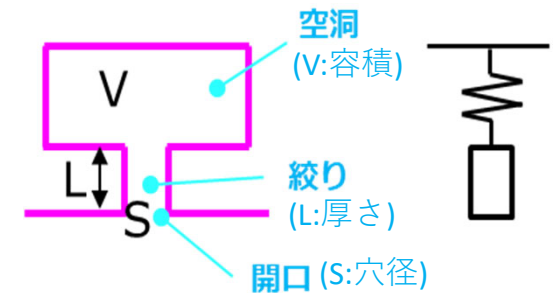
保炎性向上技術の開発

トライアングル・ステップ

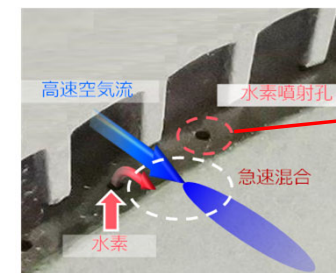
トライアングルステップ：
噴射孔周辺の形状を工夫し、下流で保炎渦を形成



追い焚きバーナ



「レゾネータ」の作動原理



トライアングル・ステップ

微小な水素火炎を形成

3. 研究開発成果について (3/8)

実機試験結果

- 2021年12月～改修した既存燃焼器および新製作の改良試作燃焼器による実機試験を実施

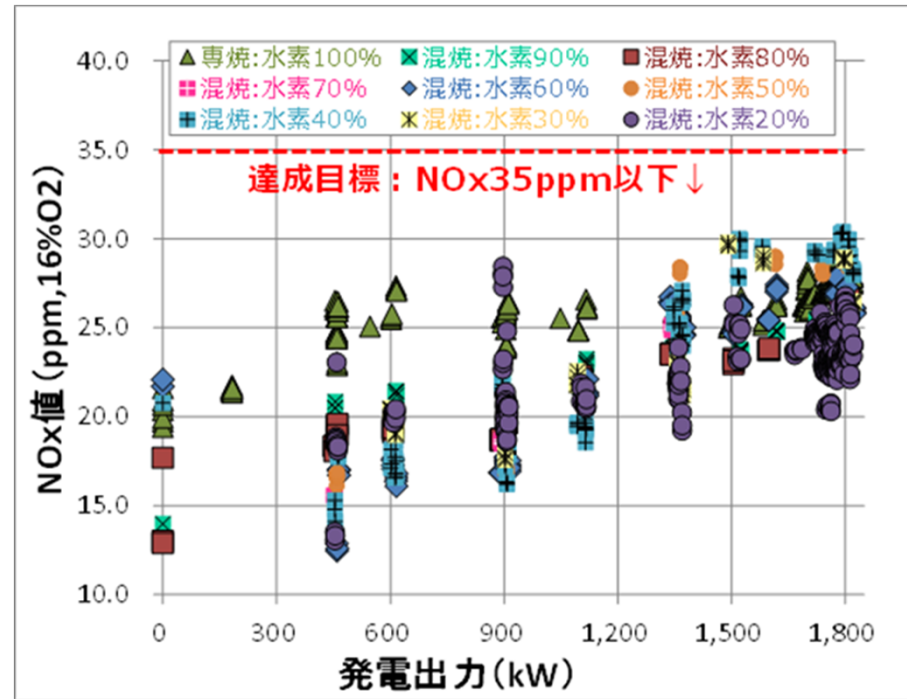


追い焚きバーナ

「追い焚きバーナ」付き
MMX燃焼器の搭載状況

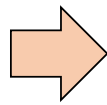
新製作の改良燃焼器 (追い焚きバーナ付き)

NO_x性能値 (標準大気条件: 外気温:15°C、1気圧、相対湿度60%)



※データ点数: 全1,309点 (5分間平均値)

全ての運転領域でNO_x値35ppm以下の達成を確認
水素割合: 20~90cal%の混焼運転の達成を確認
全ての運転領域で「燃焼振動」「失火」発生なし



3. 研究開発成果について (4/8)

運転実績

実証期間 (2023年1月～3月)

運転回数：30回

総発電電力量：194 MWh

総運転時間：174時間 (連続運転相当時間：469時間)

水素専焼：63時間

混焼運転：111時間

混焼率20～25cal%：38時間

混焼率26～50cal%：29時間

混焼率51～75cal%：26時間

混焼率76～90cal%：18時間

全事業期間 (2021年7月～2023年3月)

運転回数：109回

総発電電力量：602 MWh

総運転時間：555時間 (連続運転相当時間：1,636時間)

水素専焼：290時間

混焼運転：265時間

混焼率20～25cal%：83時間

混焼率26～50cal%：72時間

混焼率51～75cal%：66時間

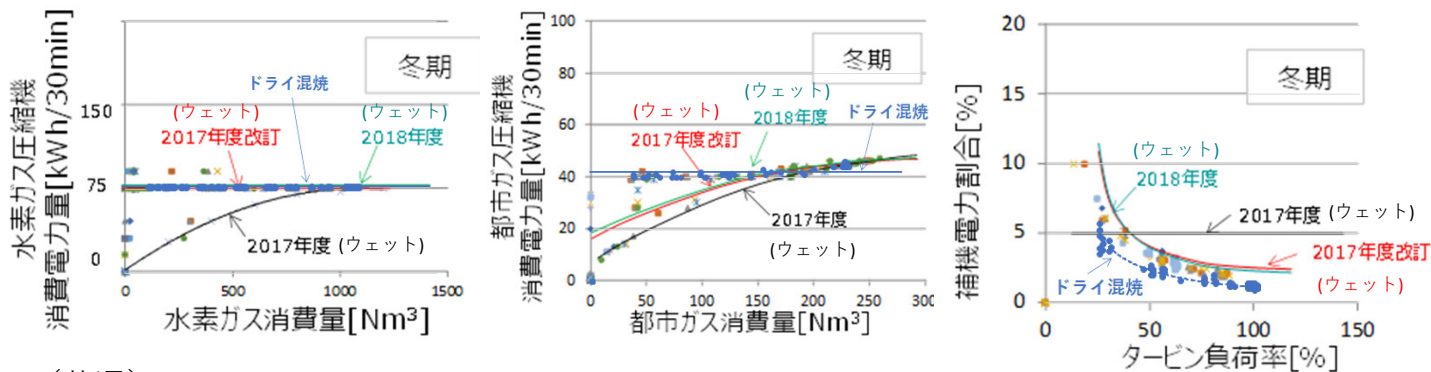
混焼率76～90cal%：44時間

3. 研究開発成果について (5/8)

補機動力試験結果、統合型EMS試験結果

- 補機動力計測のための実証試験を行った。ウェット方式とドライ方式の性能比較を行い、ドライ方式の優位性を確認した。
- 統合型EMSに内蔵している事業性シミュレーションのガスタービン及び補機の性能式を更新し、ドライ方式がウェット方式より事業性、環境性が優位になることを確認した。

補機動力実測データ



(共通)

ウェット方式：2018年度が最終

ドライ方式：今回実測データ

補機電力割合 = ガス圧縮機以外の補機の電力量 ÷ 発電量
(冷却水ポンプ、冷却塔、水噴霧ポンプ等)

事業性・環境性の比較

燃焼器	EMS計算値	
	ウェット方式	ドライ方式
送電量	17,260kWh	
送熱量	6,507kWh	
光熱水費 [千円]	869	836
	基準	▲4%
CO ₂ 排出量 [t-CO ₂]	12.8	12.3
	基準	▲4%

(計算条件)

EMS試験データ (負荷率100%、水素混焼率20cal%、
運転時間 12時間)

水素ガス100円/Nm³、都市ガス60円/Nm³、上下水道 600円/m³
都市ガスCO₂排出係数 2.29kg-CO₂/Nm³

3. 研究開発成果について (6/8)

成果の普及 (1/3)

種別	件数
論文 (査読付き)	1件
研究発表・講演	79件
新聞・雑誌等への掲載	6件
プレスリリース	11件
展示会への出展	0件
受賞	3件
現地視察	316件 (延べ2,500名以上)

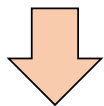
	件数
特許出願 (うち外国出願)	3件 (1)

- 事業期間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約640回・51ヶ国・5,500名以上)
- 「日本燃焼学会」「日本ガスタービン学会」技術賞、ドイツ・ガス産業イノベーション・アワードを受賞。
- 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。

3. 研究開発成果について (7/8)

成果の普及 (2/3)

- 神戸ポートアイランドの実証プラントにドライ方式燃焼器を実装
- ドライ方式での水素専焼（水素100%）運転に世界で初めて成功 [2020年5月]



- 「日本燃焼学会 技術賞」を受賞 (2021年11月)
- 「日本ガスタービン学会 技術賞」を受賞 (2022年4月)

「日本燃焼学会 技術賞」を受賞

2021年11月29日



川崎重工は、一般社団法人日本燃焼学会が主催する第59回燃焼シンポジウムにおいて、2021年度「日本燃焼学会 技術賞」を受賞しました。本賞は、燃焼応用技術の研究・開発に顕著な功績をあげた個人またはグループに与えられるものです。

今回の受賞は、当社が進めてきたNEDO*1の助成事業「ドライ低NOx 水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業」において、新規開発したマイクロミックス燃焼技術を採用したドライ方式水素専焼ガスタービンの運転ならびに地域社会への電気と熱の同時供給に世界で初めて成功したことが評価されました。

世界中で脱炭素社会の実現に向けたさまざまな取り組みが進む中、当社は環境に優しいエネルギー機器の普及、発展に向けて研究開発を進めていきます。



*1 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)

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

https://www.khi.co.jp/news/detail/20211129_2.html

「日本ガスタービン学会 技術賞」を受賞

2022年05月31日



4月15日、川崎重工は、公益社団法人 日本ガスタービン学会 学会賞授与式において、「日本ガスタービン学会 技術賞」を受賞しました。本賞は、ガスタービンおよびエネルギー関連技術に関連した優れた研究、技術に対し与えられるものです。

今回の受賞は、当社が進めてきたNEDO*1の助成事業「ドライ低NOx 水素専焼ガスタービン技術開発・実証事業」において、新規開発したマイクロミックス燃焼技術を採用したドライ方式水素専焼ガスタービンの運転ならびに地域社会への電気と熱の同時供給に世界で初めて成功したことが評価されました。

世界中で脱炭素社会の実現に向けた様々な取り組みが進む中、当社の環境に優しいエネルギー機器の普及、発展に向け研究開発を進めていきます。



水素発電所のガスタービン発電装置

micro-mix燃焼器とmicro-mix燃焼技術

*1 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)

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

https://www.khi.co.jp/news/detail/20220531_2.html

3. 研究開発成果について (8/8)

成果の普及 (3/3)

▶ ドイツ・ガス産業イノベーション・アワード

「Innovationspreis Der Deutschen Gaswirtschaft」を受賞 (2022年10月)

ドイツ・ガス産業イノベーション・アワードはBDEW (Der Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft: 連邦エネルギー・産業協会) が主催し、DVGW (Verein des Gas- und Wasserfachs: ドイツガス・下水道協会)、Zukunft Gas、ASUE (いずれもガス業界団体) の協賛・パートナーシップの下で、汎用性の高いエネルギー源であるガスを利用した、トレンドの先端を行くエネルギー・アプリケーションや革新的なコンセプトのショーケースを提示することを目的に2年毎に以下の技術に授与される権威ある賞であり、今年は第22回目となります。

https://innovationspreis.gas.info/home/gewinner/?_ga=2.56320747.1749541613.1667170047-1788359821.1661763197

<https://www.kawasaki-gasturbine.de/en/company/press>



表彰授与式の様子



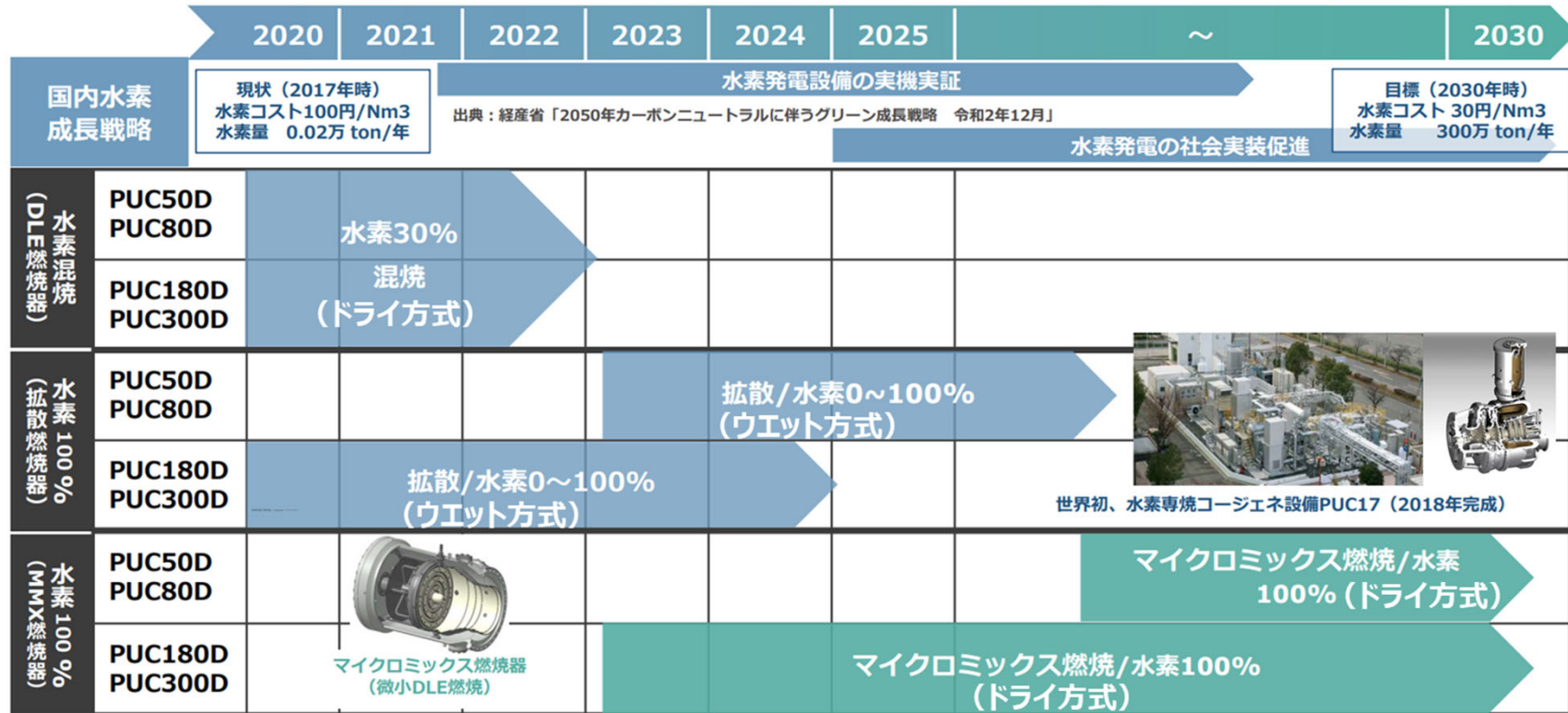
トロフィー



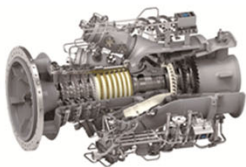
プレート

4. 今後の見通しについて (1/2)

川崎重工の水素ガスタービン 大型機への展開



PUC50D : 5MW級



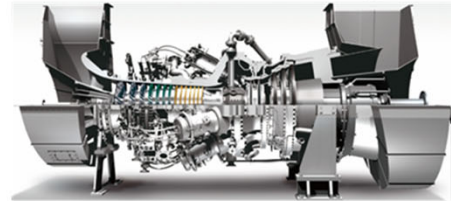
PUC80D : 8MW級



PUC180D : 18MW級



PUC300D : 30MW級

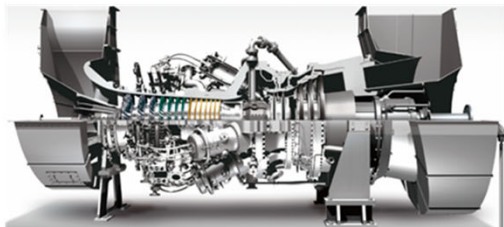


4. 今後の見通しについて (2/2)

欧州での水素発電実証プロジェクト



実施予定場所：ドイツ ニーダーザクセン州リンゲン



30MW級ガスタービン

発電出力30MW級
(水素専焼100%/混焼)

独・大手電力会社RWEと
水素燃料100%の発電実証運転開始に
向けた協議を開始
(2020年代中頃の運転開始を計画)

本案件ではPtoGの水素を利用予定



ご清聴ありがとうございました