

令和6年度ボイラー・タービン主任技術者会議

水素ガスタービンの開発・実証の状況と 今後の普及に向けた課題と対応について

2025年2月28日

川崎重工業株式会社
水素戦略本部



【目次】

1. カーボンニュートラルにおける水素の役割
2. 水素サプライチェーン構築に向けた取組み
3. 水素利活用に向けた水素ガスタービン開発
4. 水素ガスタービンによる熱電供給実証
5. 将来の社会実装に向けて

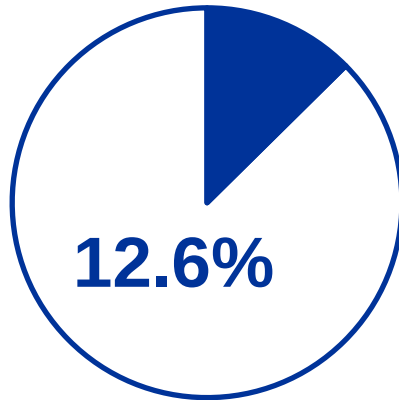
【目次】

1. カーボンニュートラルにおける水素の役割
2. 水素サプライチェーン構築に向けた取組み
3. 水素利活用に向けた水素ガスタービン開発
4. 水素ガスタービンによる熱電供給実証
5. 将来の社会実装に向けて

日本のエネルギー需給を巡る構造的課題

低いエネルギー自給率

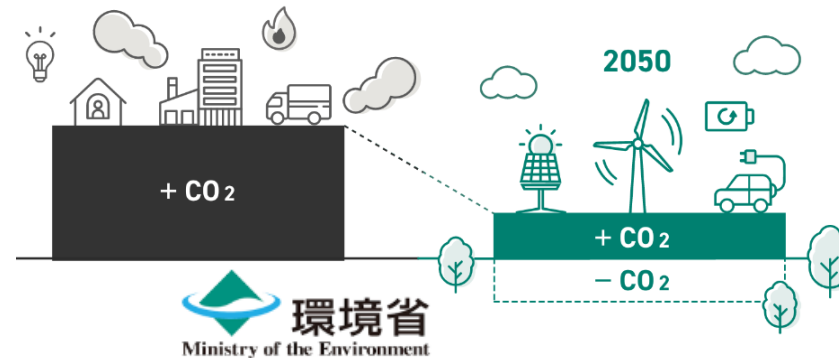
日本のエネルギー自給率



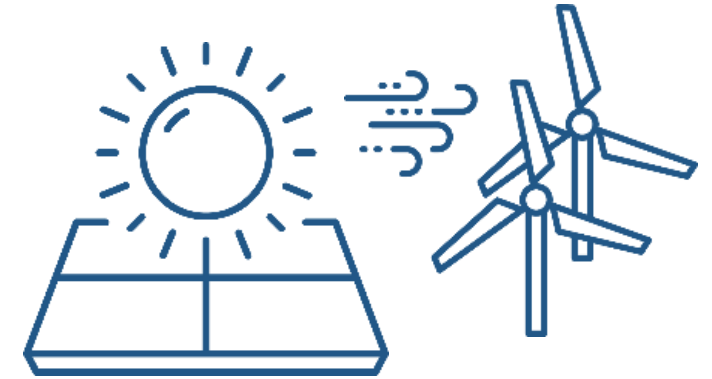
出典: 経済産業省 2022年度エネルギー
需給実績(速報) 23/11/29発表

CO₂排出制約

2050年までに温室効果ガス排出
全体としてゼロ



再エネ電力の安定化



エネルギー需給における水素の特徴

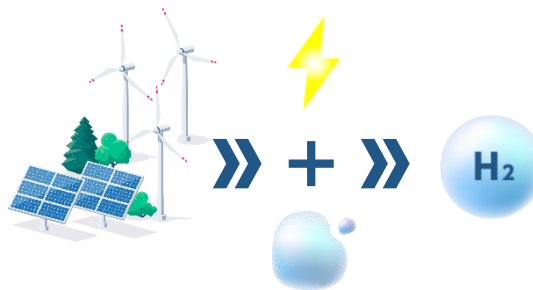
➤ 水素は、カーボンニュートラルとエネルギー安全保障の両立に貢献



地球上で最も軽く 豊富
無色・無臭・無毒な気体



CO₂を排出せず
環境負荷を低減できる



世界中の再エネなどから
製造・輸送できる



安定的なエネルギーに
変換・貯蔵できる

日本のエネルギー政策の基本方針と水素



水素の安全性について

水素は最も軽い気体であり、拡散速度が速い一方で、燃焼速度は速く燃え広がる範囲も狭いのが特徴です。水素は漏れやすく燃えやすいという特性はありますが、**“漏らさない”、“漏れても溜めない”、“着火源を近づけない”という安全管理で事故は防げます**。電気やガソリンなど、すべてのエネルギーは使い方次第では危険なものになり得ますので、特性を理解した上で運用すれば安全に利用可能です。

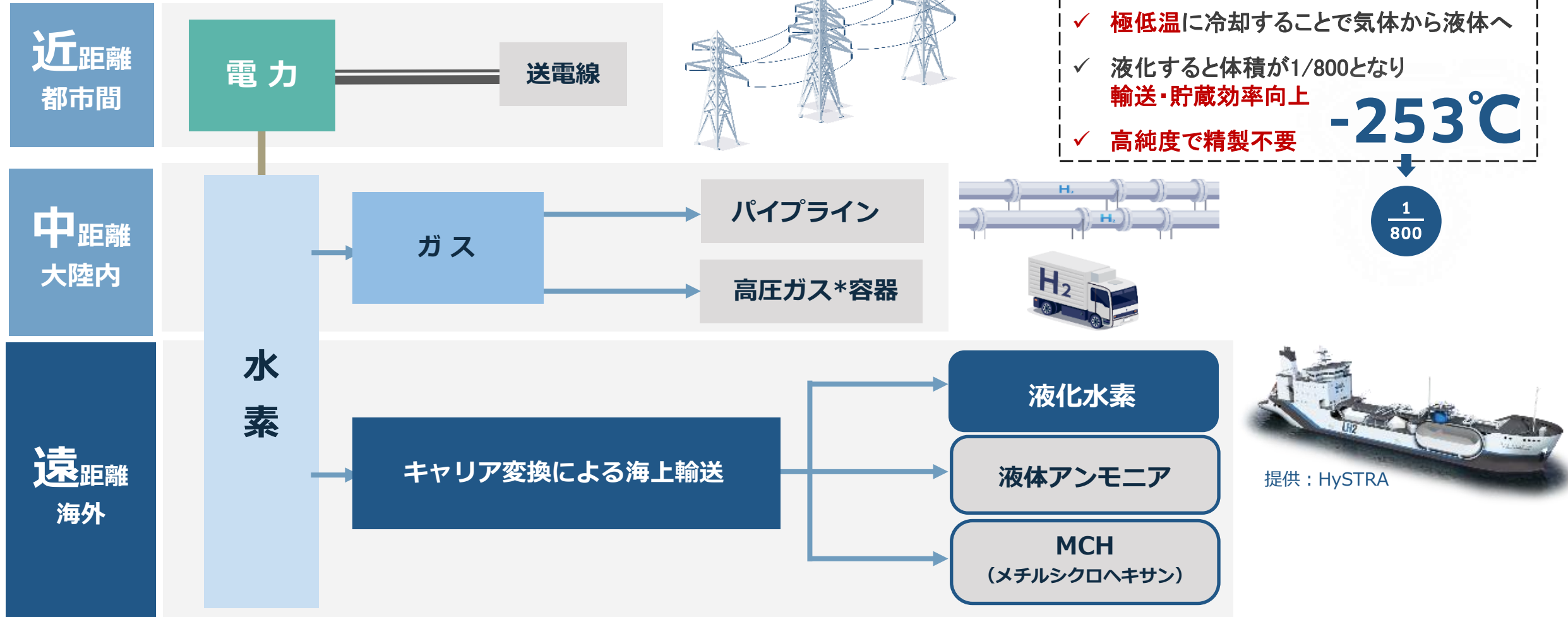
＜水素安全性評価(液化ガス漏洩試験)＞

- ・ 万一液化ガスが漏洩した場合、液化水素は瞬時に蒸発して上方拡散するが、液化窒素、液化天然ガスは、下方に滞留後、蒸発する性質がある。
- ・ よって、液化水素は液化窒素、液化天然ガスと比べて漏洩箇所付近に人が居ても蒸発ガスに晒される時間が短い。



エネルギーの輸送における水素の位置づけ

➤ エネルギーの輸送には、さまざまな方法がある



*注：高圧ガスとは、高圧ガス保安法により「常用の温度で圧力が1MPa（メガパスカル、約10気圧）以上になるもの」と定義

【目次】

1. カーボンニュートラルにおける水素の役割
2. 水素サプライチェーン構築に向けた取組み
3. 水素利活用に向けた水素ガスタービン開発
4. 水素ガスタービンによる熱電供給実証
5. 将来の社会実装に向けて

液化水素に関する川崎重工の取り組み

LNG : -162℃

-162℃のLNG運搬船と大型化の実績

1978

液化水素ロケットエンジン燃焼試験設備
(秋田・能代) に液化水素タンク納入

国産初のLNG運搬船

1981



大量輸送により
コストを低減してきた歴史
LNG運搬船：45隻の実績
LNGタンク：58基の実績



1987

JAXA 種子島宇宙センターに
600m³ 液化水素貯蔵タンクを建設

2010

「中計 2010」Kawasaki事業ビジョン2020で
水素のエネルギー利用を目指すと発表

2020

世界初 液化水素運搬船
「すいそ ふろんていあ」竣工

2022

日豪間輸送完遂

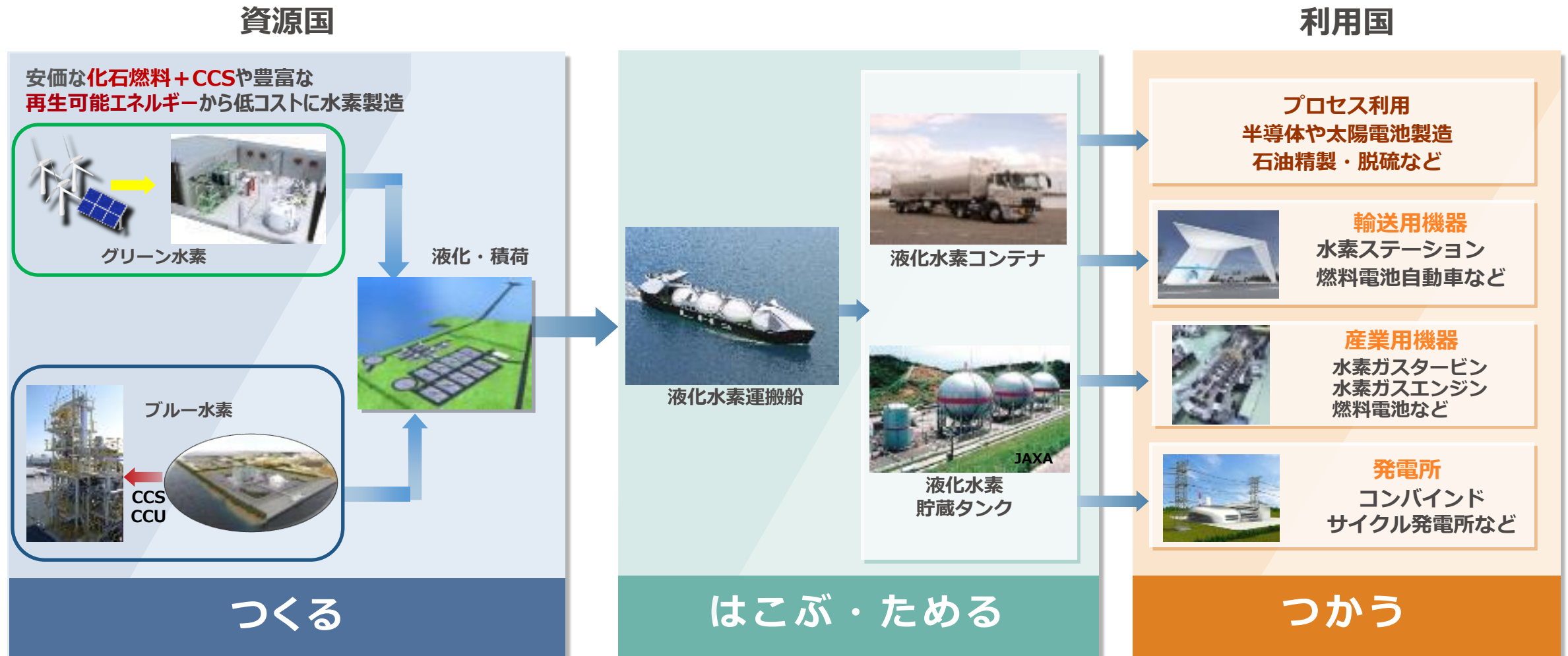
大型液化水素運搬船によるコストダウンへの挑戦

液化水素を「はこぶ・ためる」40年の実績



水素サプライチェーンの基本コンセプト

CO₂排出を抑えながらエネルギーの安定供給を実現



商用化に向けたロードマップ

2022年

パイロット実証※

日豪間パイロットチェーンの構築



提供：HySTRA

液化水素タンク
(1,250m³/基)



液化水素タンク
(2,500m³/基)



**水素製造と長距離海上輸送の成立性を実証
(商用レベルの約1/100の規模)**

～2030年

GI基金
事業

商用化実証※

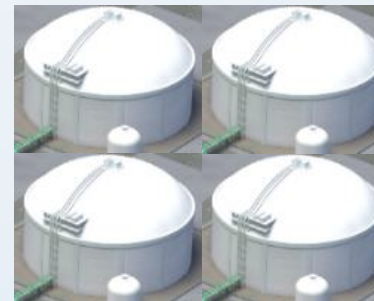
JSC



**機器サイズを大型化し、
商用化の成立性を見極める**

2031年～

商用チェーン



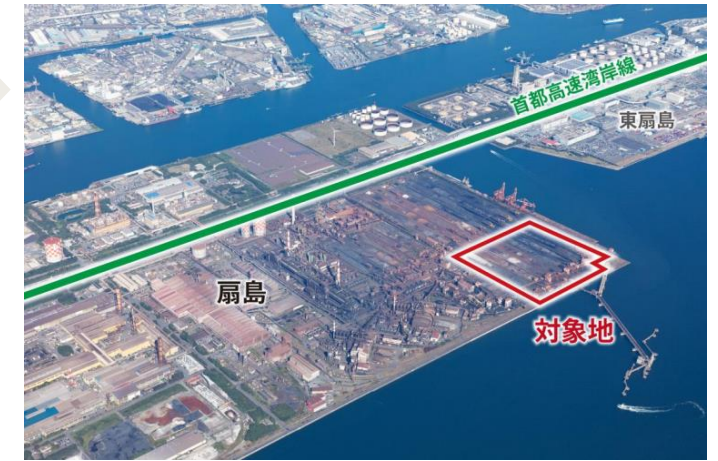
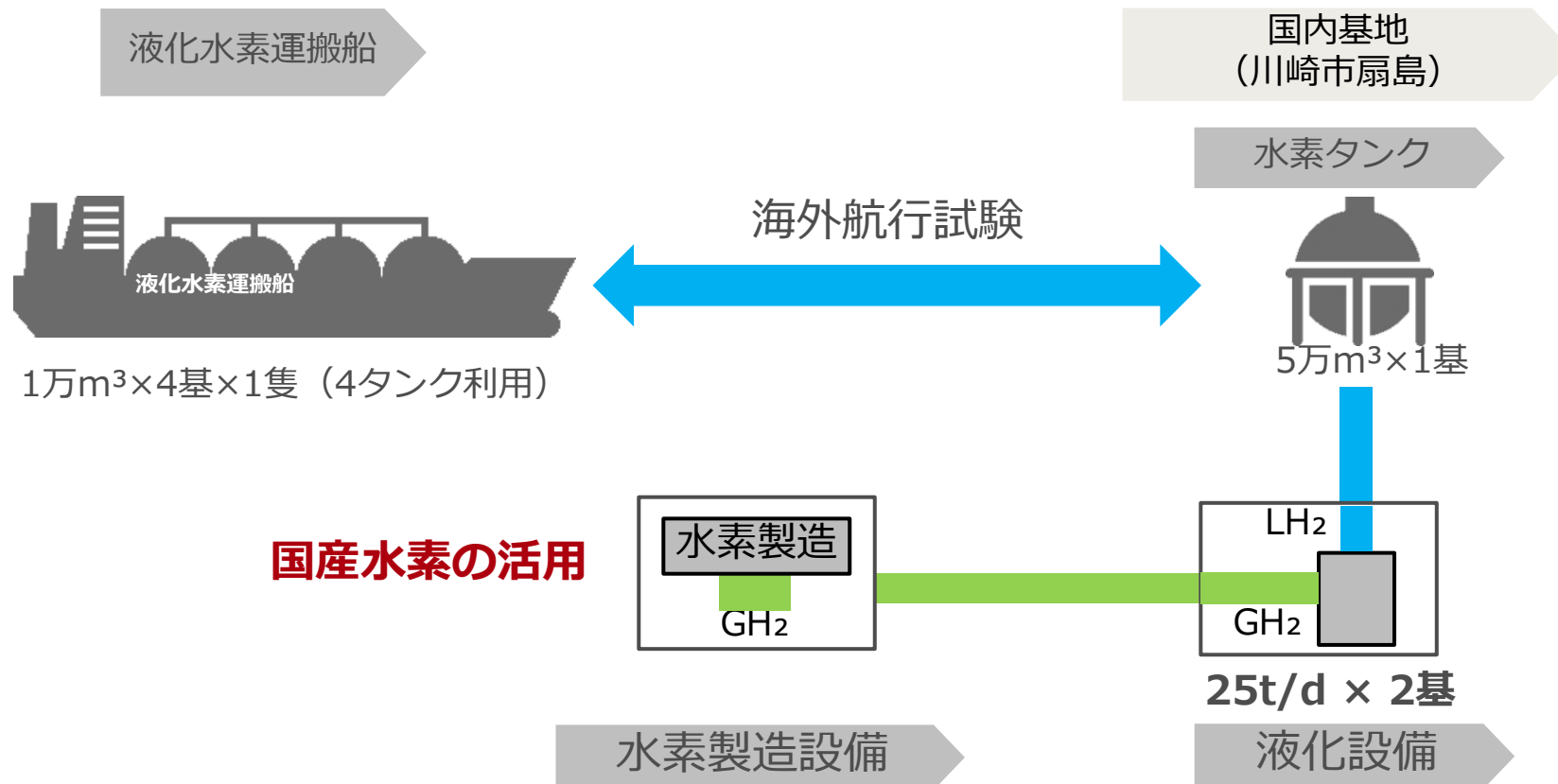
**経済的に自立し、
利益を生むビジネス**

※ NEDO助成事業

グリーンイノベーション基金（商用化実証）の概要

【実施体制】日本水素エネルギー（JSE）：幹事会社、ENEOS、岩谷産業

【事業規模】約3,000億円（支援規模 約2,200億円）



* 詳細な機器構成、スペックは検討中

【目次】

1. カーボンニュートラルにおける水素の役割
2. 水素サプライチェーン構築に向けた取組み
3. 水素利活用に向けた水素ガスタービン開発
4. 水素ガスタービンによる熱電供給実証
5. 将来の社会実装に向けて

水素利活用におけるガスタービン発電の意義

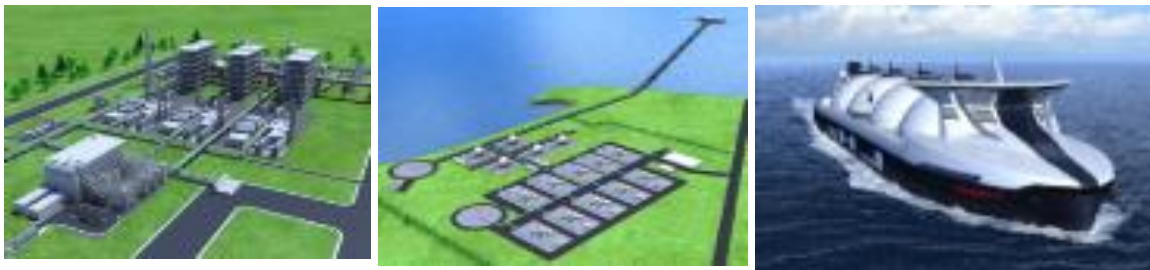
■ 課題 1 水素コストの低減

パイロットチェーン

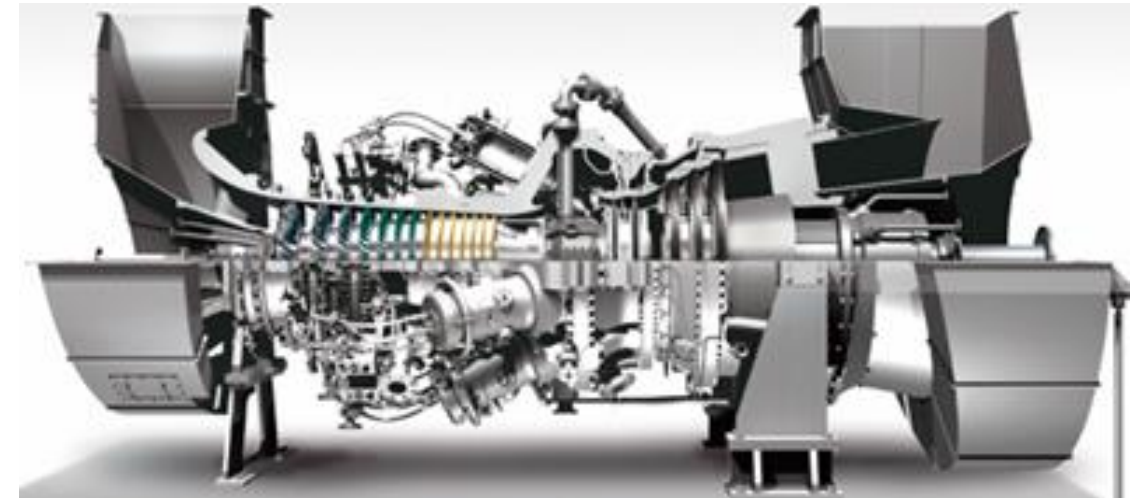


大規模化

商用チェーン



■ 課題 2 大量の水素需要創出



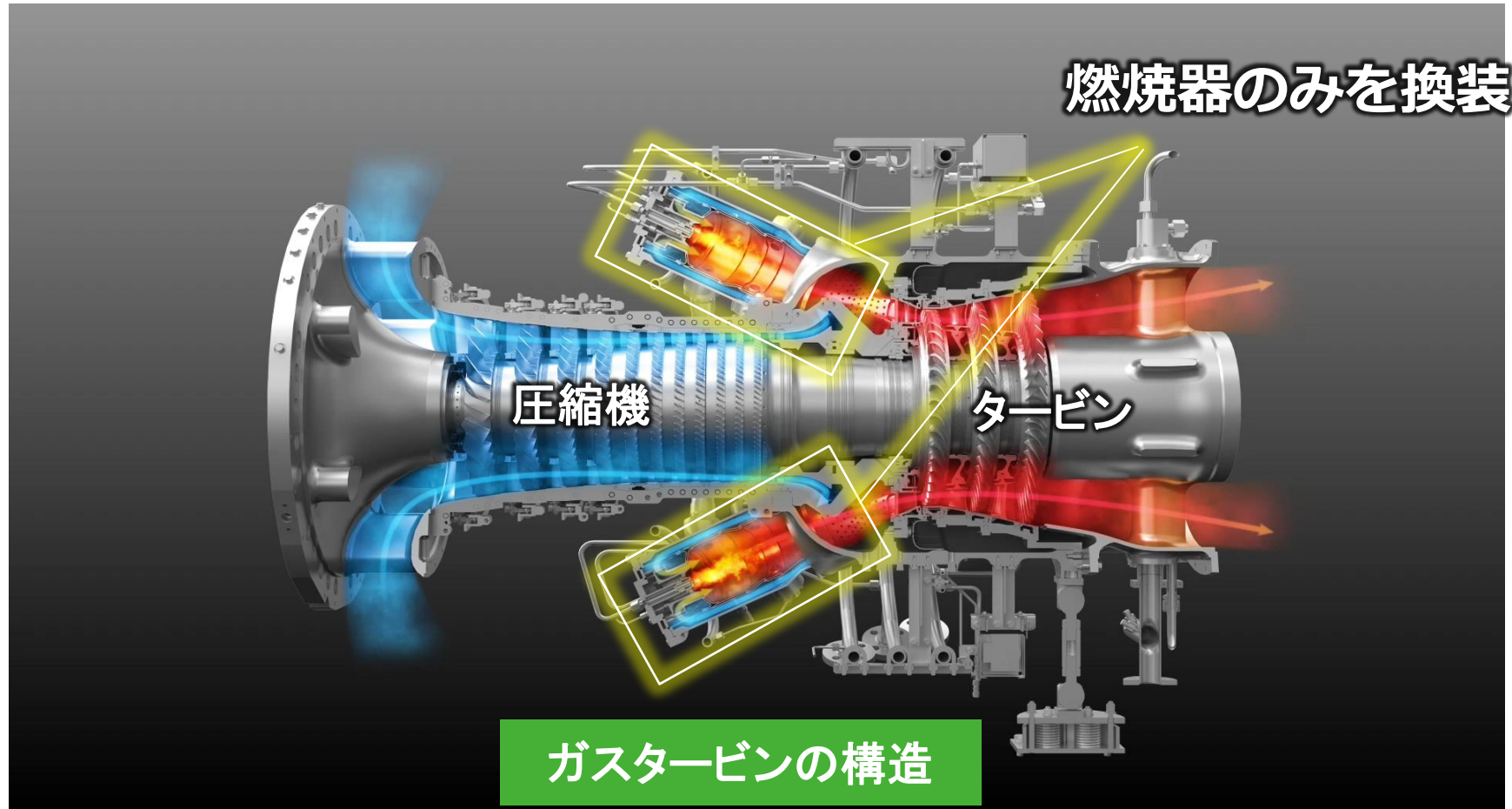
ガスタービン発電

100万kWガスタービン×1基

≡

FCV×300万台に相当

水素ガスタービン開発における基本コンセプト



- 従来のガスタービン(天然ガス燃料)の**燃焼器**を交換することで水素対応が可能
- 水素ガスタービンにおけるキーテクノロジーは**燃焼器**開発と燃焼技術



水素燃焼器開発における技術課題

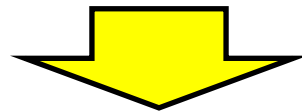
水素は天然ガスと比較して
「**燃焼速度が速く**」、「**火炎温度が高い**」という点が技術課題である

燃焼速度が速い ⇒ 逆火・焼損

- 逆火：火炎が、燃料ノズル上流側に伝播・逆流する現象
- 焼損：ホットスポットが燃料ノズルや燃焼室壁近傍に発生して金属部品を焼損

火炎温度が高い ⇒ NOx生成量増

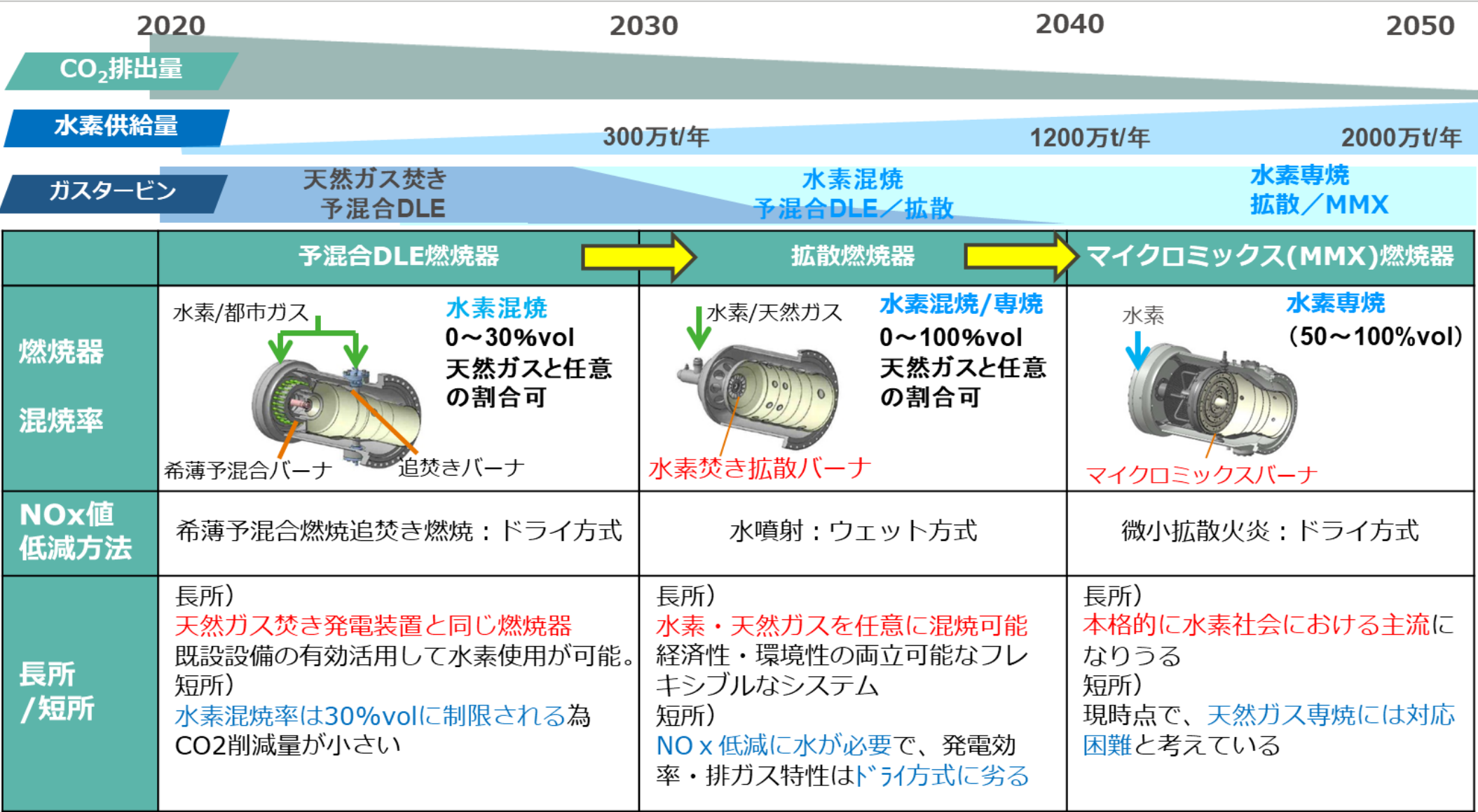
- ホットスポットの発生により、NOxの生成量が増える



燃焼技術の高度化

高速燃焼に対する燃焼安定化と、高温燃焼により発生するNOxの低減

川崎重工が開発した水素対応燃焼器

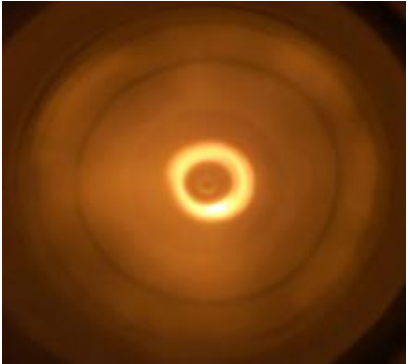


拡散燃焼器の開発 ～高温対応と水噴射によるNOx抑制～

- 水素の特徴：燃焼速度が速く、燃焼温度も高い
- 課題：高温火炎でも焼損しないバーナーの改良開発
高温燃焼によるNOx発生抑制

改良前

高温火炎により
赤熱するバーナー

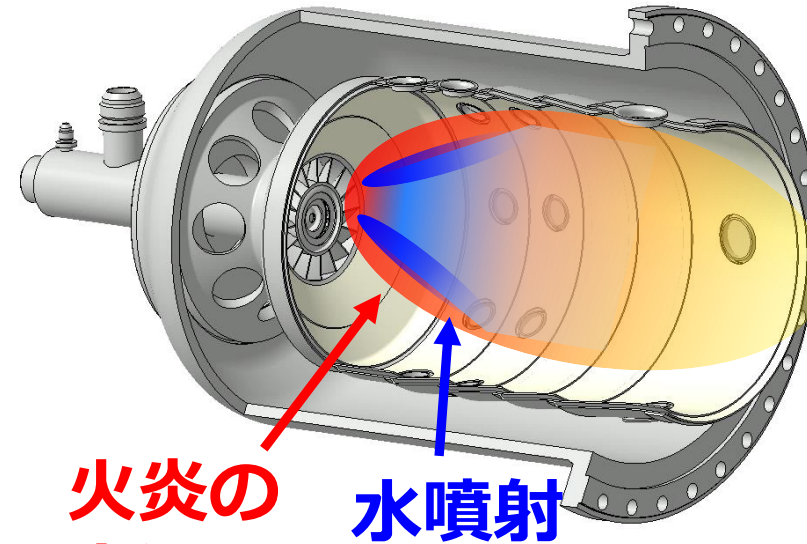
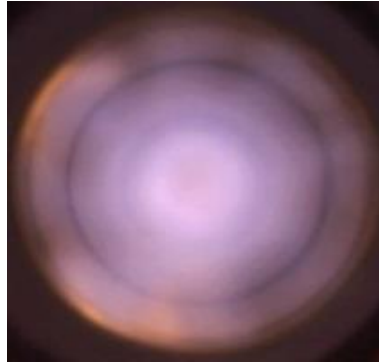


焼損したバーナー



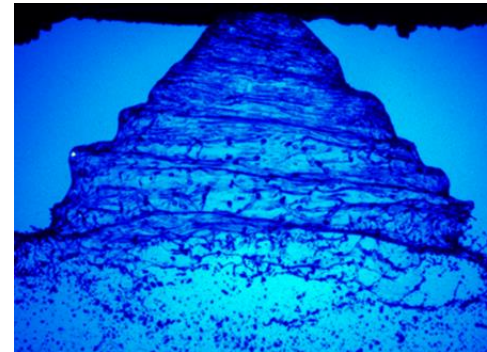
改良後

新規開発した
水素対応バーナー



火炎の
高温部

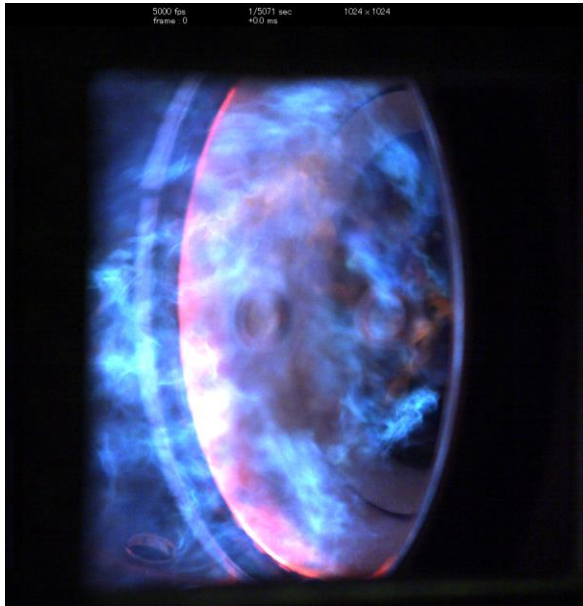
水噴射



- 新設計バーナーにより燃焼速度と燃焼温度を最適化
- 水噴射により燃焼ガス中のNOx低減を実現
- 大気汚染防止法の規制値をクリア

天然ガスとの混焼運転への対応（拡散燃焼器）

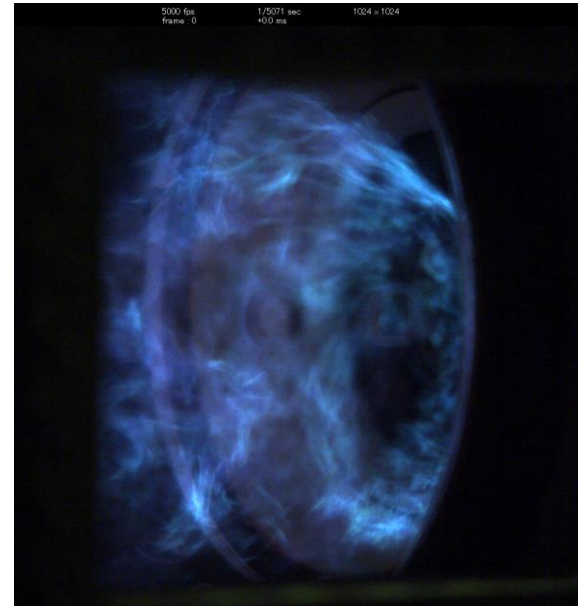
- 拡散燃焼器は**水素と天然ガスを任意の混合率**で運転可能、また運転中も混合率の切替え可能
(水素100%専焼 ⇔ 水素・天然ガス混焼 ⇔ 天然ガス100%)
- 水素普及の初期段階から**天然ガス混焼の併用により水素利用の普及を促進**



天然ガス:80%、水素:20%



天然ガス:40%、水素:60%



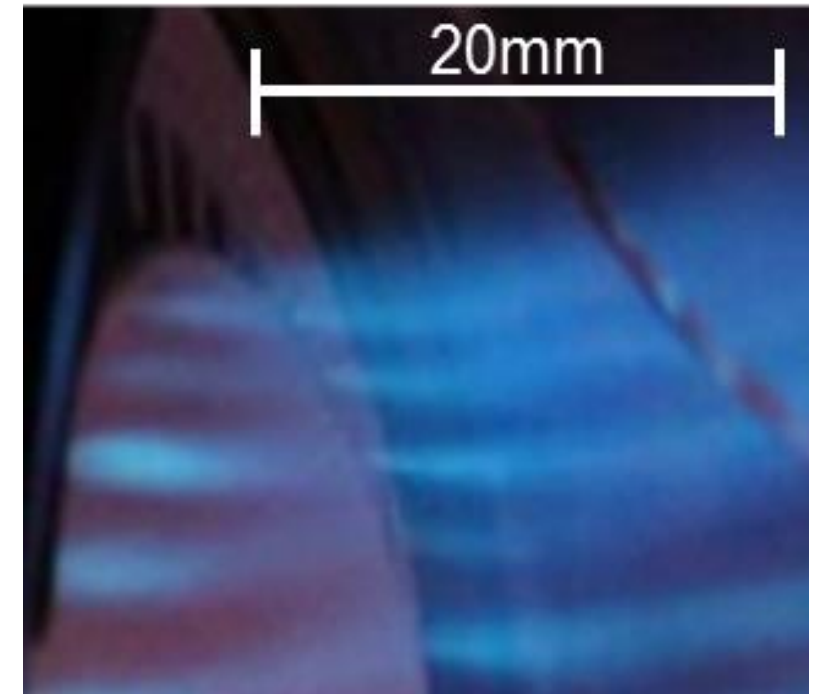
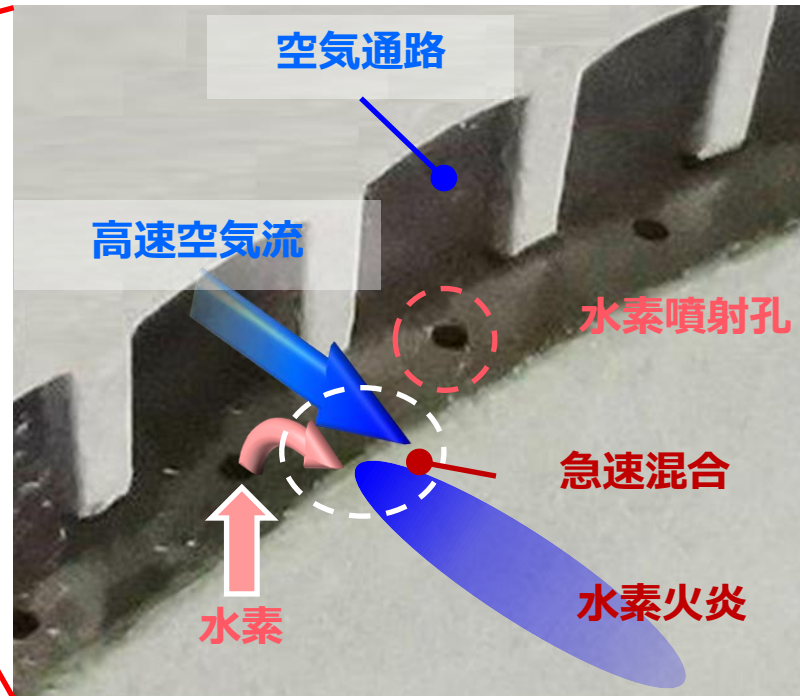
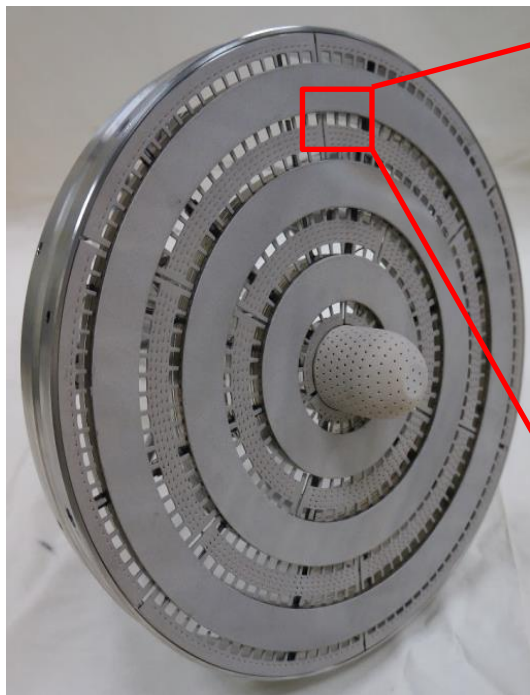
天然ガス:20%、水素:80%



水素:100%

マイクロミックス (MMX) 燃焼器の開発

- 微小火炎(マイクロミックス燃焼)を用いた**ドライ方式低NOx水素燃焼器**を新開発
- 水噴射を使わずにさらなるNOx低減を実現
- **発電効率の向上と同時に高い環境性能を実現**

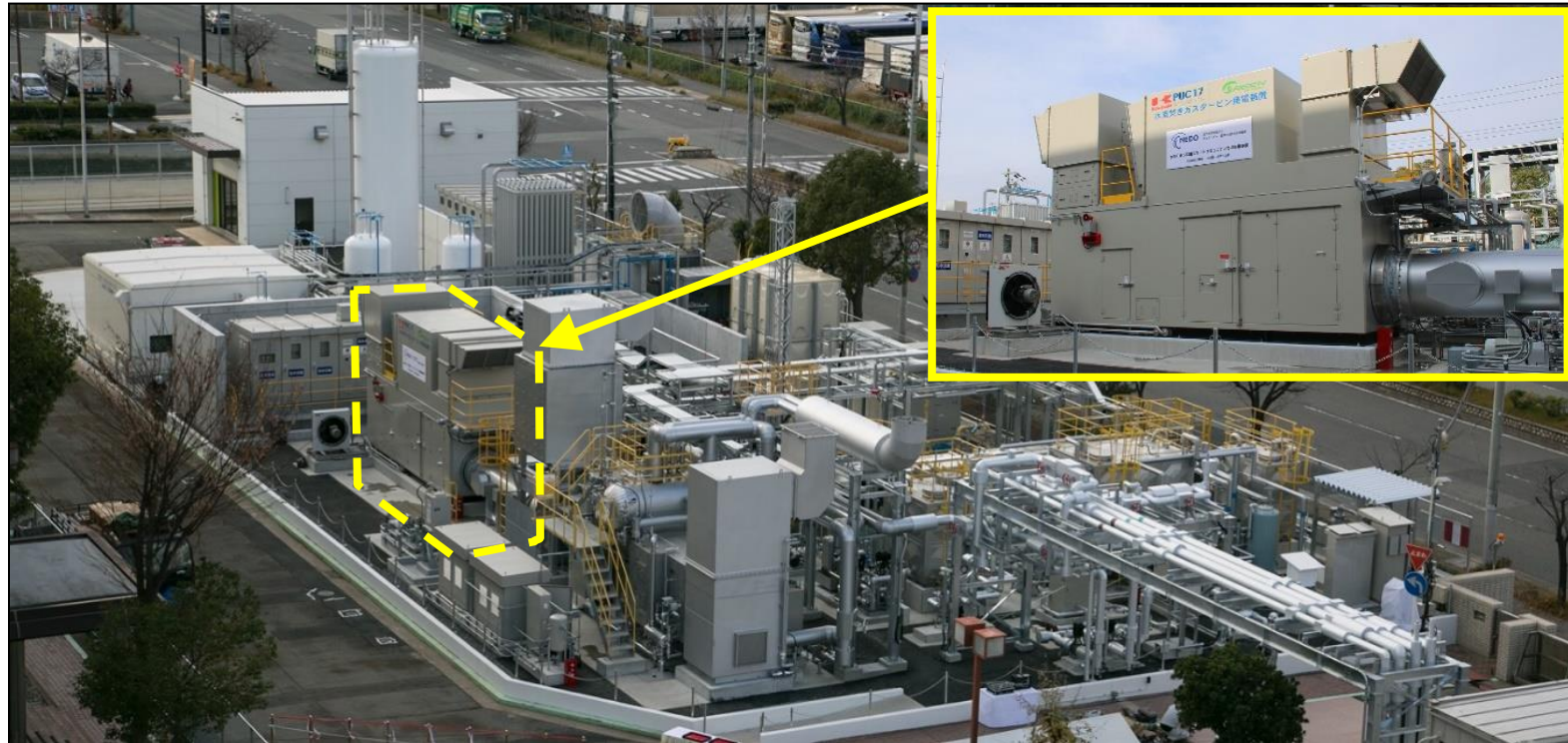


【目次】

1. カーボンニュートラルにおける水素の役割
2. 水素サプライチェーン構築に向けた取組み
3. 水素利活用に向けた水素ガスタービン開発
4. 水素ガスタービンによる熱電供給実証
5. 将来の社会実装に向けて

神戸ポートアイランドでの実証（NEDO助成事業）

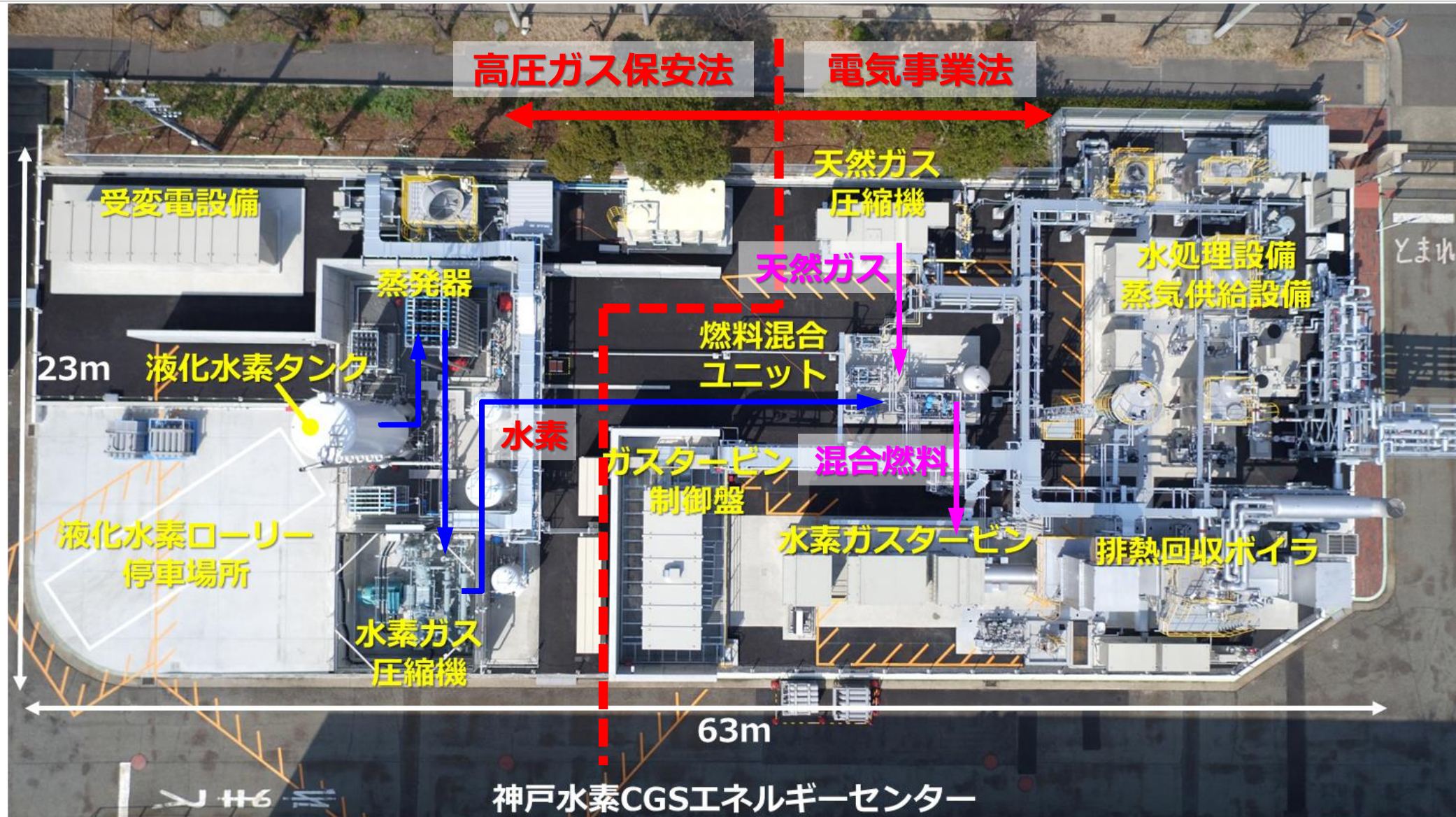
- 1 MW級の水素ガスタービン・コージェネレーションシステムを社会実装
- 水素由来の電気・熱エネルギーを市街地へ供給できることを実証 **（世界初）**



実施：川崎重工業、大林組

協力：神戸市、関西電力、岩谷産業、関電エネルギーソリューション他

水素コージェネレーションシステム実証設備の構成



実証における電気・熱の供給先

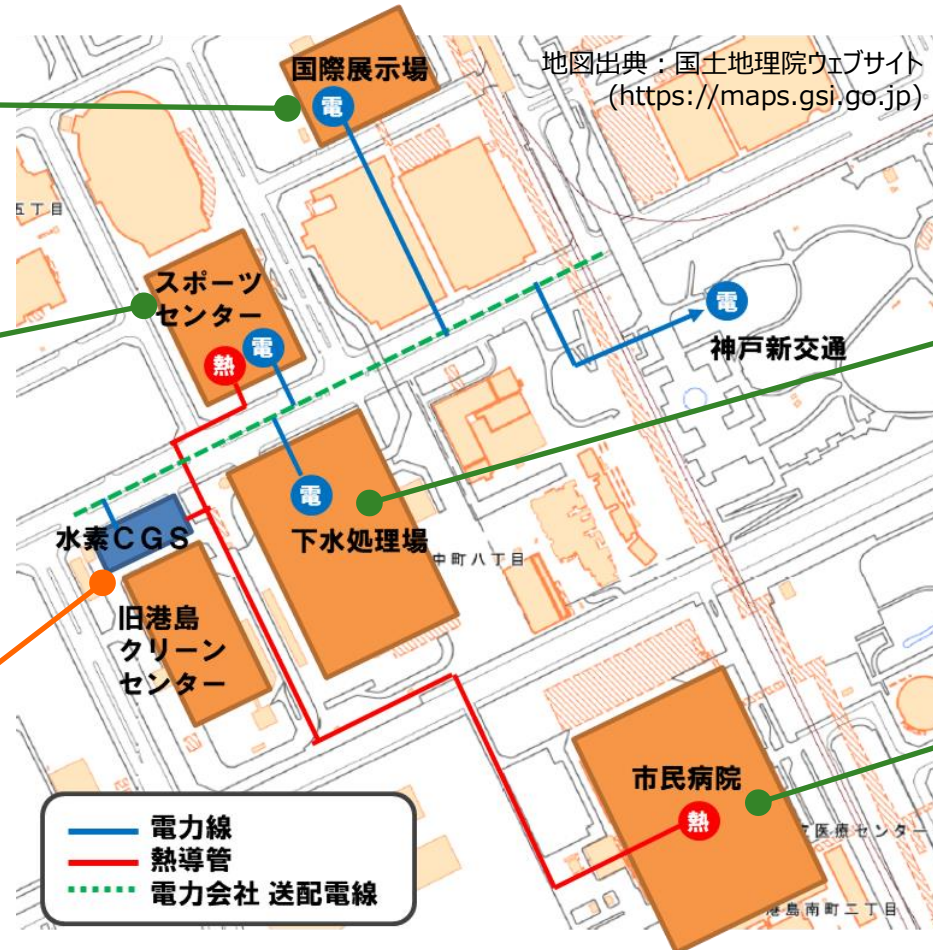


神戸国際展示場

ポートアイランド
スポーツセンター神戸CGS
エネルギーセンター

■エネルギーの供給能力

電力 およそ 1,100kW
熱 およそ 2,800kW



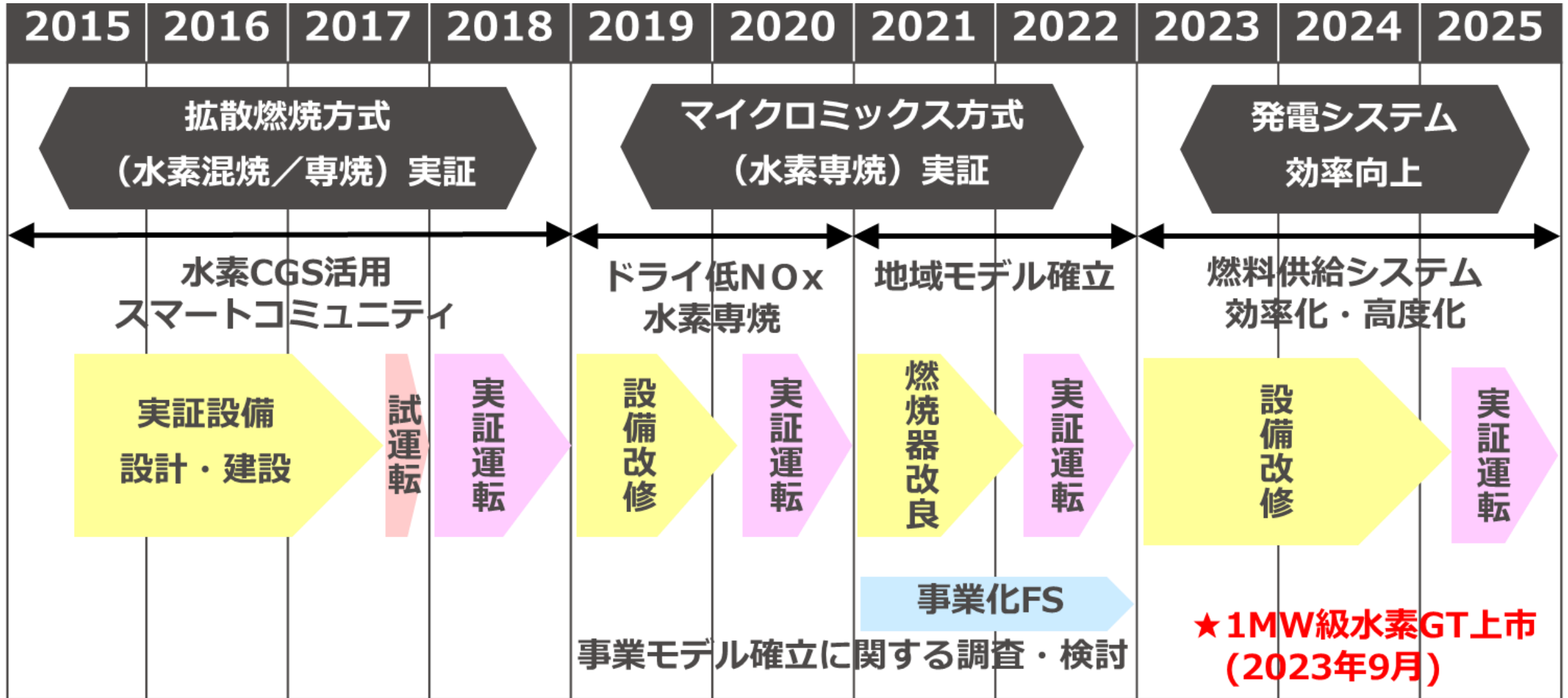
(2018年11月時点)

ポートアイランド
処理場

神戸中央市民病院

市街地にて水素100%を燃料としたガスタービン熱電供給は**世界初**

実証事業のスケジュール



水素ガスタービンの普及に向けた課題

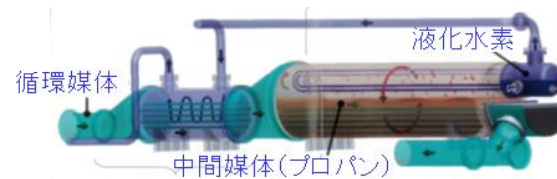
- 天然ガスの普及期と同様、パイプラインが整備されるまではサテライト方式が主流になると考えられる
⇒ **液化水素による供給**が前提

＜課題＞

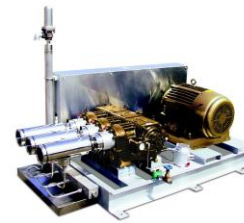
- 水素ガス圧縮機による燃料供給は消費動力が大きく送電端効率を低下させる
- 従来の空温式気化器では液化水素の冷熱を有効活用できない

＜対応策＞

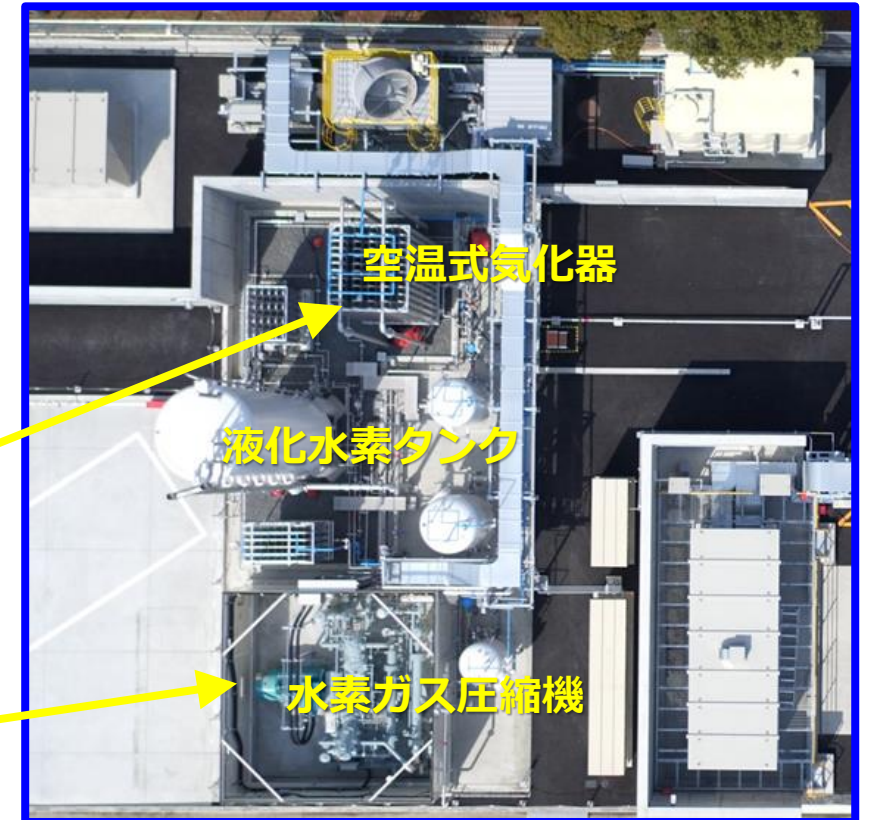
- 消費動力の小さい液水ポンプと冷熱を取り出すことができる中間媒体式気化器(IFV)を導入することにより、**システム全体でのエネルギー効率改善**を図る



【中間媒体式気化器(IFV)】

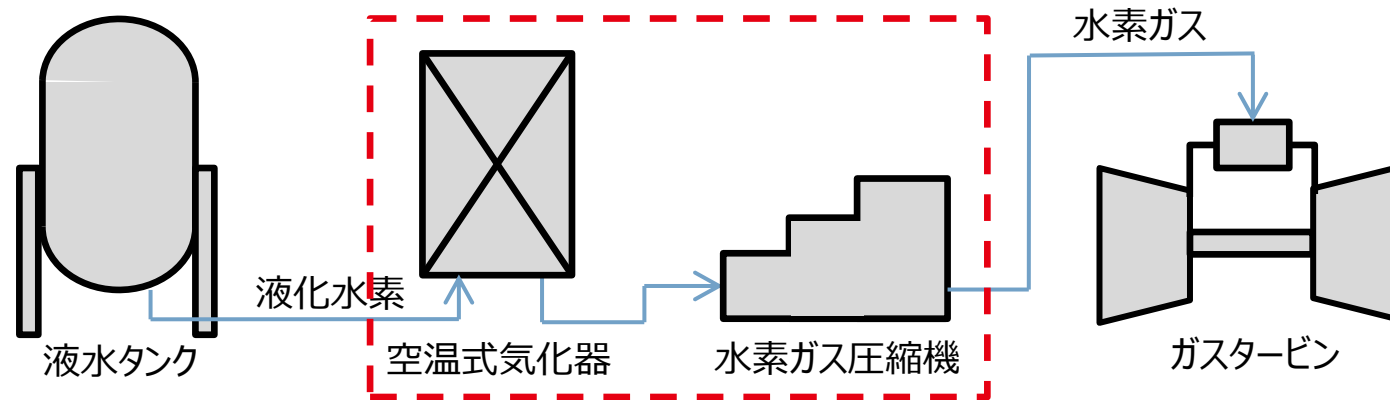


【液化水素ポンプ】



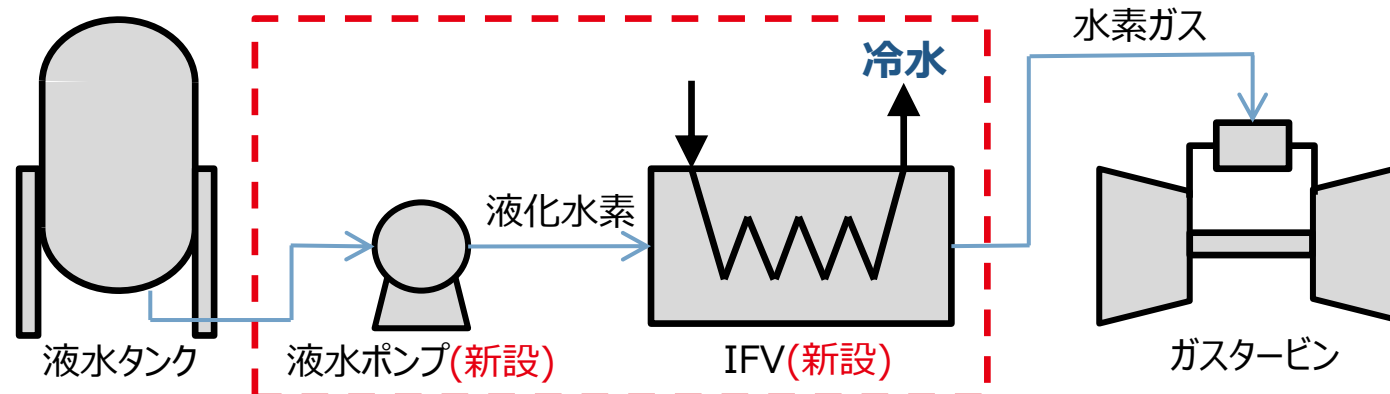
燃料供給システムの変更内容

➤ 既存の燃料供給システム



- ・気化器で液化水素をガス化した後、圧縮機にて水素ガスを昇圧
- ・液化水素の気化熱(冷熱)は大気に放散され有効活用できない
- ・気体状態(体積大きい)で昇圧するため圧縮機での消費動力が大きい

➤ 新設する燃料供給システム



- ・液化水素をポンプで昇圧した後、気化器にて高圧の液化水素をガス化
- ・IFV方式により液化水素の気化熱を冷水に取り込んで活用できる
- ・液体状態(体積小さい)で昇圧するのでポンプの消費動力は小さい

【目次】

1. カーボンニュートラルにおける水素の役割
2. 水素サプライチェーン構築に向けた取組み
3. 水素利活用に向けた水素ガスタービン開発
4. 水素ガスタービンによる熱電供給実証
5. 将来の社会実装に向けて

水素ガスタービン・ガスエンジン開発ロードマップ

2017

~

2020

2021

2022

2023

2024

2025

~

2030

水素コスト: 100円/Nm³
水素量 : 0.02万ton/年

国内水素
成長戦略

水素発電の実機実証

30円/Nm³

社会実装促進 300万ton/年



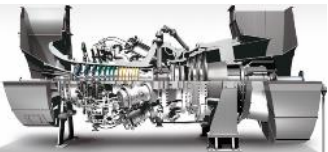
5MW級PUC50



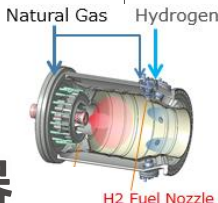
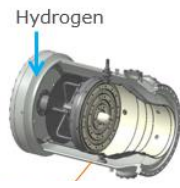
8MW級PUC80



18MW級PUC180



30MW級PUC300

水素 0-30%	ガス タービン	50D-H2 80D-H2	水素30%混焼			DLE燃焼器		現行ガスエンジン (一部改造)
	ガス タービン	180D-H2 300D-H2						
水素 0-100%	ガス タービン	50-H2 80-H2	水素30%混焼			水素0-100%		拡散燃焼器
	ガス タービン	180-H2 300-H2						
水素 100%	ガス タービン	50MMX 80MMX	MMX燃焼器				水素100%	水素100%
	ガス タービン	180MMX 300MMX						
水素 100%	ガス タービン	KG-12 KG-18/-18-T	水素100%			水素100%		水素100%
	ガス エンジン	KG-12 KG-18/-18-T						

進行中の水素ガスタービン発電プロジェクト

発電出力1.8MW級
(天然ガス/水素30%混焼)



納入(既設改修)場所：ベルギー
※既設の天然ガス焚きを改修
2023年10月運転開始済

https://www.khi.co.jp/news/detail/20240219_1.html

発電出力8MW級
(天然ガス/水素30%混焼)



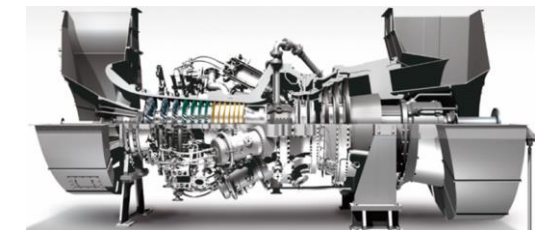
納入予定場所：日本国内
2025年4月運転開始予定
※水素使用は2027年以降

https://www.khi.co.jp/pressrelease/detail/2020926_1.html

発電出力30MW級
(水素専焼100%/混焼)

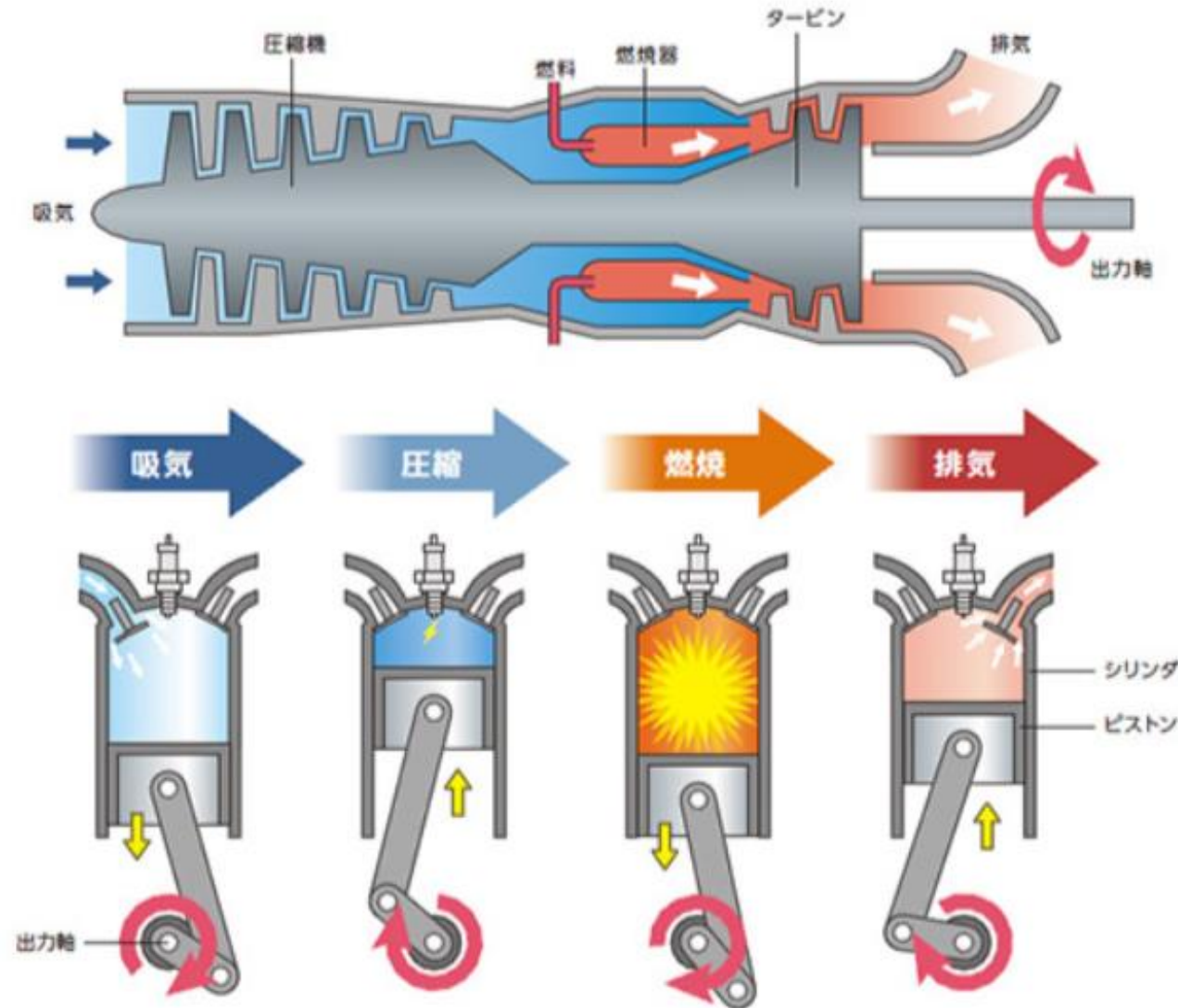


実証予定場所：ドイツ ニーダーザクセン州リンゲン
2025年度以降から実証試験開始予定



https://www.khi.co.jp/pressrelease/news_211209-2j.pdf

ガスタービンとガスエンジンの違い



<川崎重工業ホームページより>

【ガスタービン】

プロペラ状に羽がついた圧縮機で空気を吸入・圧縮、そこに燃料を噴射し燃焼させる内燃機関です。燃焼後の高温・高圧ガスの膨張力を利用してタービン(圧縮機と同様に羽が多数あるプロペラ状のもの)を回転させます。タービンの回転力の一部は圧縮機の駆動に使われ、残りが機械や発電機の駆動力として用いられます。

ガスエンジンが一つのシリンダーで全サイクルを行うのに対し、タービンはサイクルごとにそれぞれ異なる部分で分担します。

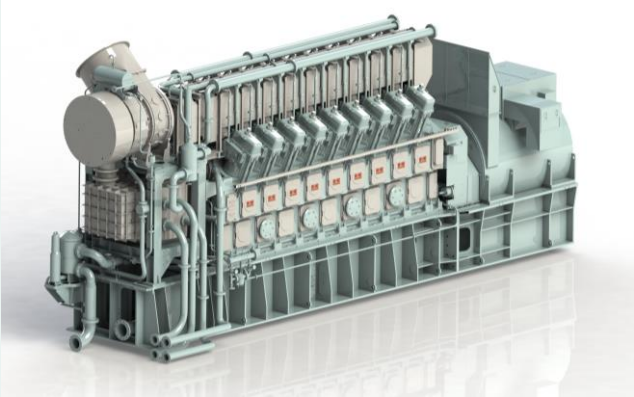
【ガスエンジン】

ガスを燃料として駆動するエンジンです。自動車用のガソリンエンジンと同様の原理です。

燃焼工程時ピストンが下がる時に外部に仕事をし(クランク機構を経て回転力に変換)し、接続された発電機を回転させ、発電します。

川崎重工のガスエンジン・ラインアップ

- ガスエンジンは発電効率がガスタービンより高い(電気需要が中心の客先に適)
- カスエンジンについても全機種で水素混焼製品化を予定

型 式	KG-12	KG-18	KG-18-V	KG-18-T
発電出力*	5.2 MW	7.8 MW		
発電効率	49.0 %		49.5 %	51.0 %
過給方式	バイパス弁方式		高効率過給方式	2段過給方式
外観	-			

* 50Hz, 750rpm仕様

水素混焼ガスエンジンの実用化

「国内初、水素30%混焼大型ガスエンジンの運用開始」

川崎重工は、神戸工場の水素30%混焼大型ガスエンジン発電設備（エンジン型式：KG-18-T、定格出力7.5MW）の運用を開始しました。体積比で30%の水素が適用可能な発電出力5MWを超える大型ガスエンジン発電設備としては、**国内初**となります。

（2024年11月15日プレスリリースより）



水素混焼に対応したガスエンジン外観



実証設備の外観

川崎重工ホームページ＜https://www.khi.co.jp/news/detail/20241115_1.html＞

社会実装に向けた川崎重工の取組み

川崎重工は、多角的な水素サプライチェーン構築を目指すとともに、**拡大が見込まれる水素発電分野に向けた製品展開を進めていきます**

化石燃料から水素へのトランジション期

本格的な水素社会の実現

2,000万
ton/年

1,200万
ton/年

300万
ton/年

CO₂分離回収プラント

水素－天然ガス
混焼ガスタービン

発電用

モビリティ用

工業用

2020

2030

2040

2050

海外からのCO₂フリー水素

当社はクリーンエネルギー・水素を社会に広め、
世界のカーボンニュートラルの早期実現に貢献します。

ご清聴ありがとうございました。



川崎重工業株式会社 水素戦略本部

〒650-0044 神戸市中央区東川崎町一丁目5番7号
(神戸情報文化ビル9階)

Tel: 078-361-7250

<http://www.khi.co.jp>