

# NEDO水素・燃料電池成果報告会2023

発表No.B2-11

## 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／ 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

仲井 雅人，宮本世界  
川崎重工業株式会社  
2023.7.14

連絡先：  
川崎重工業株式会社  
E-mail: nakai\_masato@khi.co.jp

# 事業概要

---

## 1. 期間

開始 : 2020年8月

終了 : 2023年3月

## 2. 最終目標

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）に関する技術開発を行う。

ガスエンジン単筒試験機にて、水素燃焼試験を行い、図示平均有効圧力※1.6MPaを達成すること。

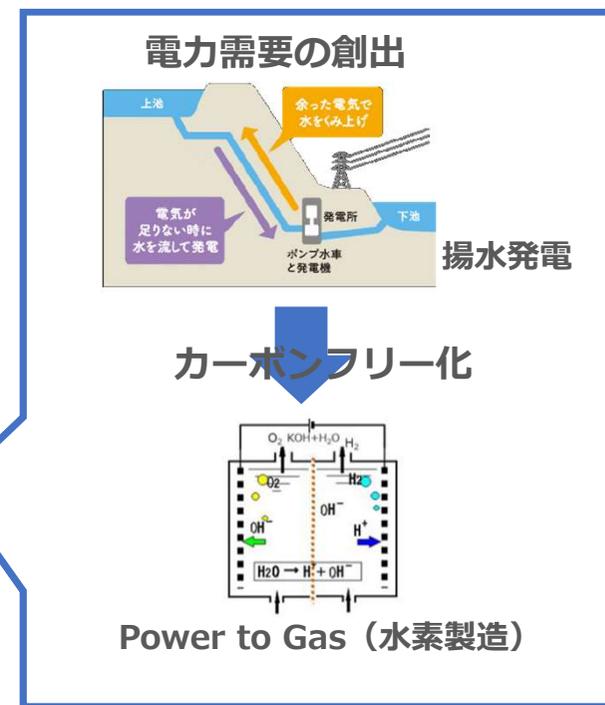
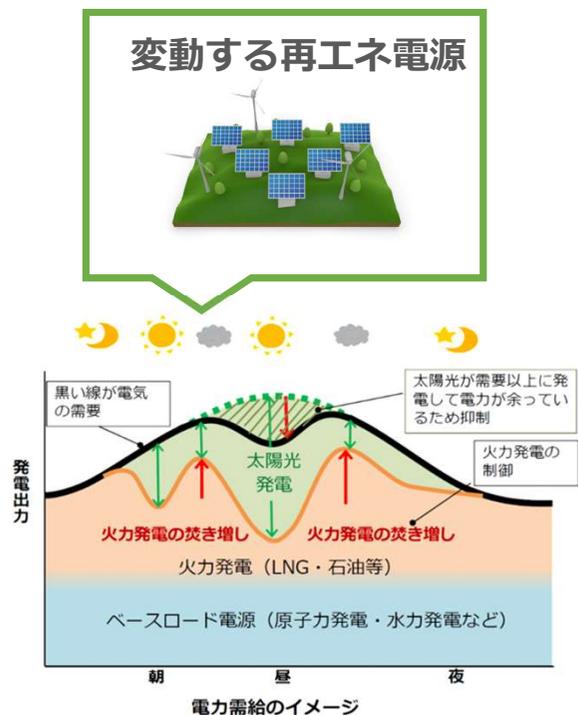
※レシプロエンジン出力を示す指標

## 3. 成果・進捗概要

- 水素ガスエンジンに最適な燃焼室設計、EGR（排気ガス再循環）適用による燃焼制御の最適化により、目標の図示平均有効圧力1.6MPaを超える成果を達成した。
- 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システムを確立することを目標としたリスクアセスメントを実施し、そ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・整備した。

# 1. 事業の位置付け・必要性

## 事業目的



✓ 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系統の安定化に貢献。

- ① 大量の供給過剰電力発生 (kWh) への対処
- ② 調整電源による変動吸収 ( $\Delta\text{kW}$ )
- 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 (kW・kWh)

# 1. 事業の位置付け・必要性

## 事業の効果

※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



離島における発電利用



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：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.

# 1. 事業の位置付け・必要性

## 事業の意義

		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%)	
イメージ	<p>排気ポート 給気ポート 燃料油噴射弁 燃焼室 ピストン</p>	<p>天然ガス噴射弁 パワレット燃料油噴射弁</p>	<p>水素噴射弁</p>	
CO2削減率	- (基準)	20-23%	約95%	

CO2排出[%]

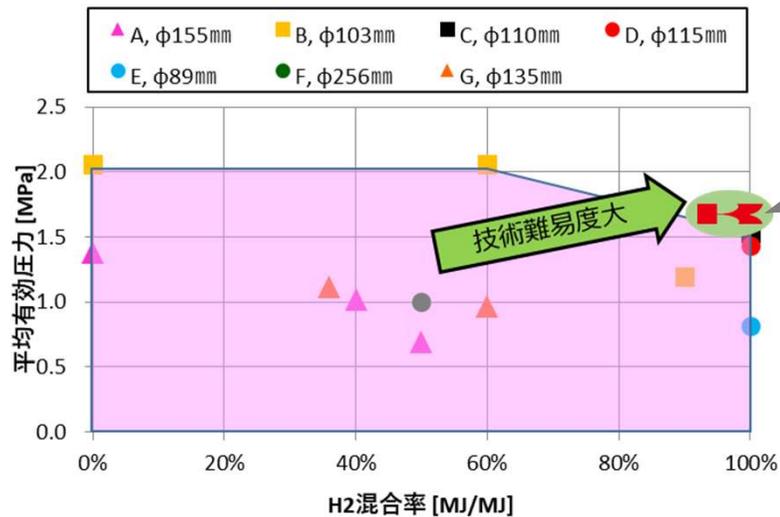
✓ 従来の燃料に比べ大幅に温室効果ガス排出を削減可能

## 2. 研究開発マネジメントについて

### 研究開発目標と目標設定経緯

- 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



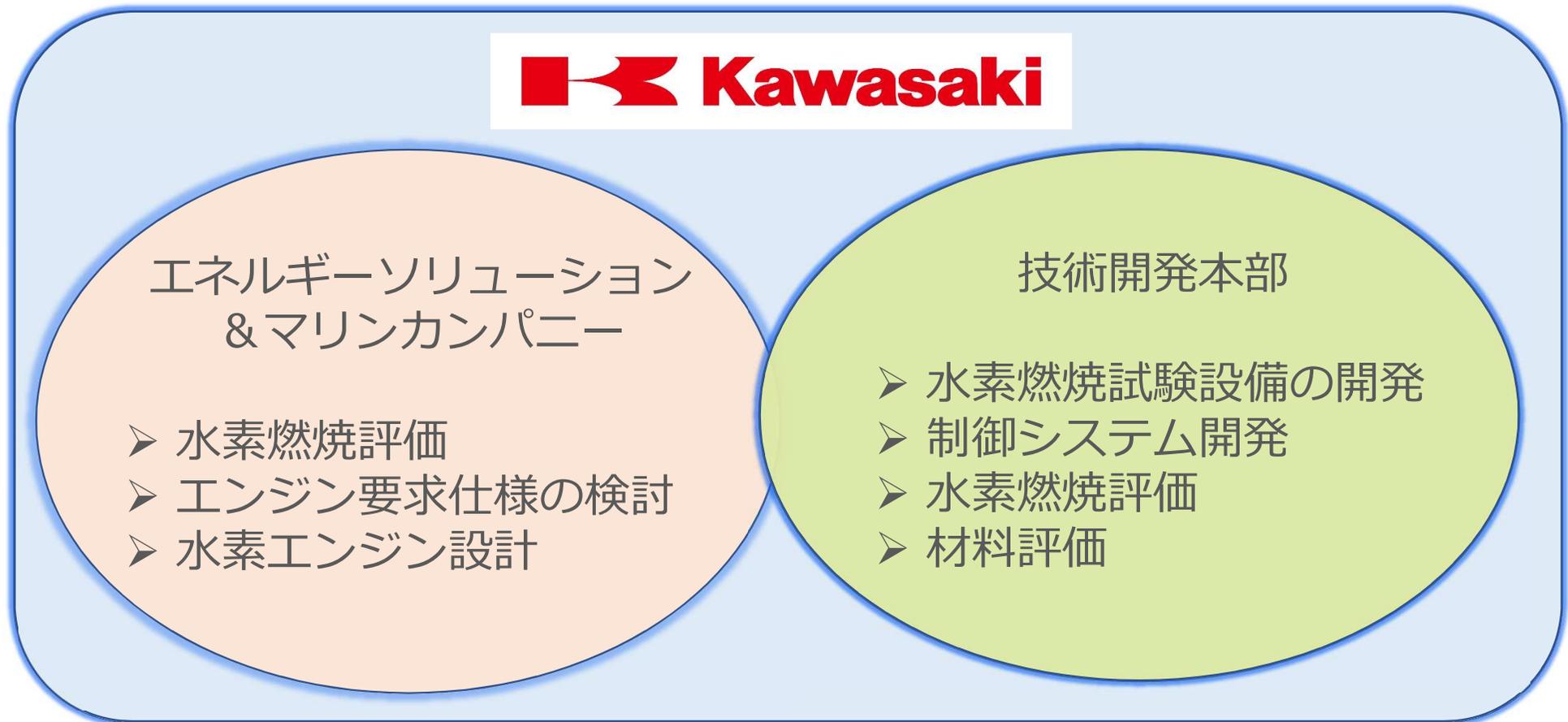
本事業にて開発する水素燃焼エンジン		
要目	シリンダボア径	300mm級
	燃焼形態	2元燃料 水素 + 重油
目標性能	水素混焼率	95%以上
	平均有効圧力	1.6MPa以上

- ✓ 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

## 2. 研究開発マネジメントについて

### 研究開発体制

- 設計開発部門および研究開発部門が各々保有のスキル・ノウハウを結集して実施

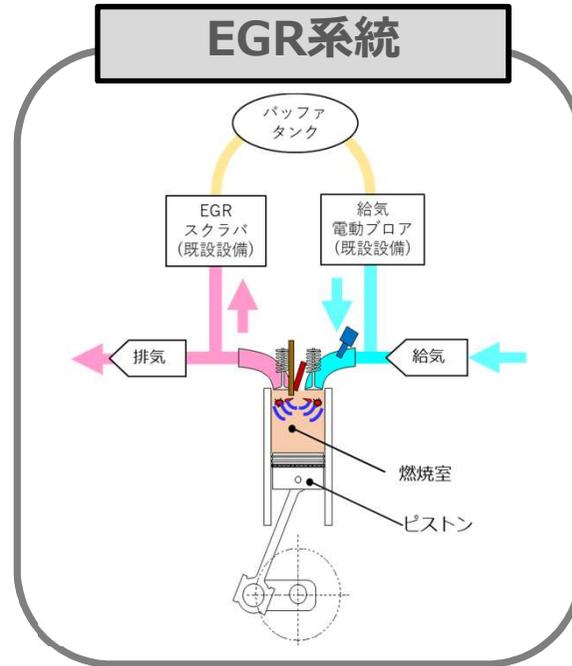
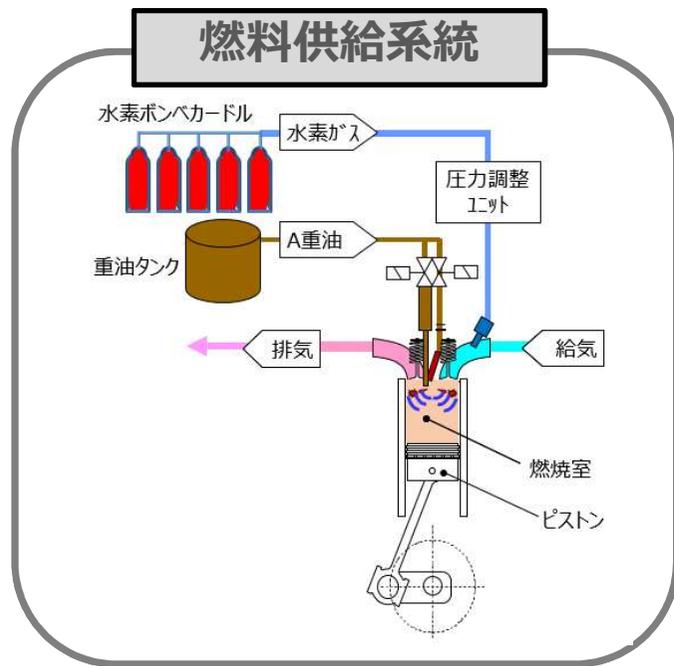




### 3. 研究開発成果について

## 既存の天然ガス燃焼単筒機を用いた水素燃焼評価

- 天然ガス単筒試験機に以下設備を追設 ➡ 水素燃焼試験の準備を完了
  - 水素ボンベを利用した短時間の水素供給設備
  - 既存設備を流用した排気再循環(EGR)設備



## 既存の天然ガス単筒機



水素燃焼試験可能

✓ EGR適用等の検討により目標出力達成に向けて試験を実施

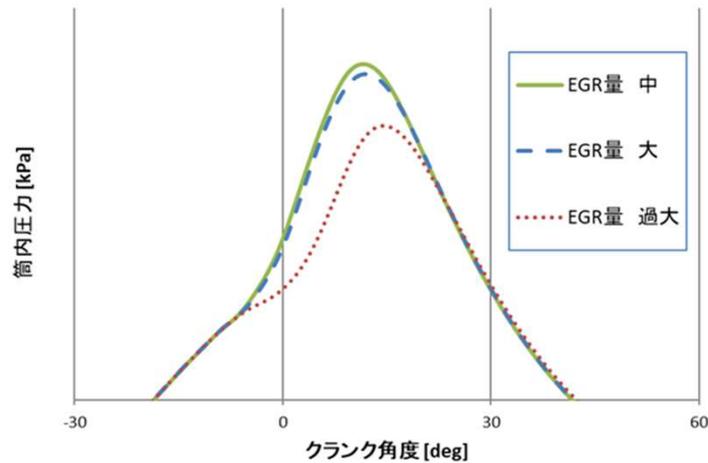
### 3. 研究開発成果について

## 水素燃焼の最適化目途付け

- EGR等を適用した水素燃焼試験の結果、異常燃焼を抑制

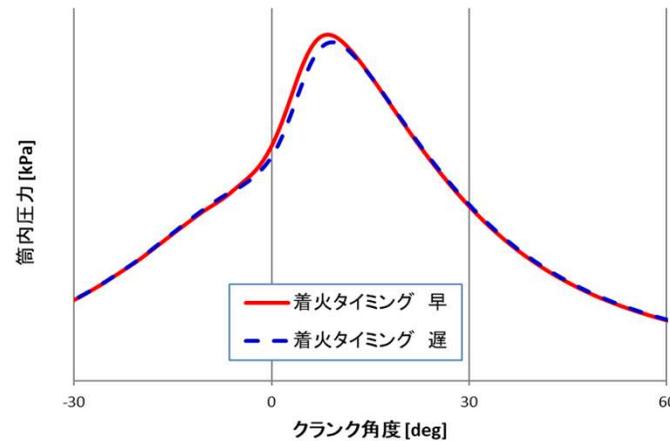
### EGR量変更

EGRによって燃焼速度と異常燃焼抑制

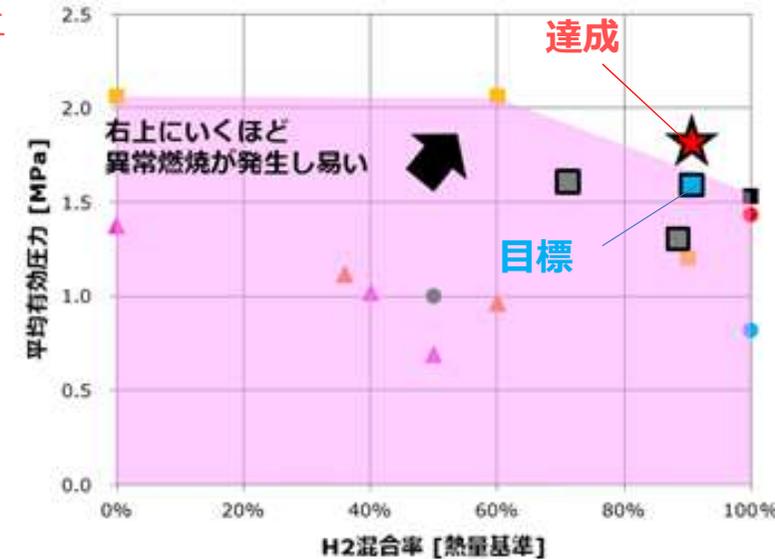


### 着火タイミング変更

着火タイミング最適化により燃焼圧を向上



### 目標よりも高い出力達成

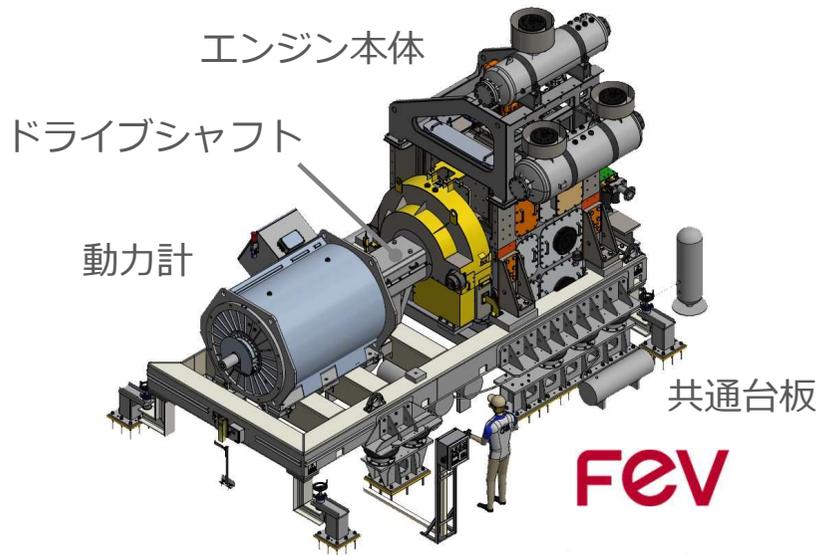


- ✓ エンジン仕様変更（カムタイミング等）、制御パラメータ（給気圧、水素噴射タイミング等）の最適化を組み合わせ、目標の図示平均有効圧力1.6MPaを超える成果を達成

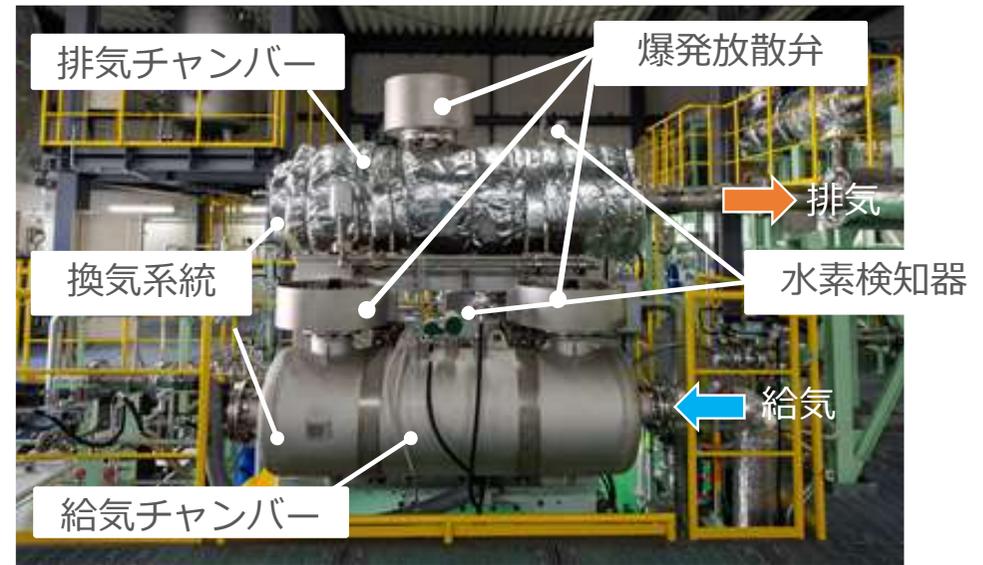
### 3. 研究開発成果について

## 水素燃焼単筒機の開発

- より長時間で安定した水素燃焼試験を実施するため水素燃焼単筒機を開発。
- エンジン本体（エンジンブロック、給排気チャンバーなど）の詳細設計・製造完了。



水素燃焼単筒機



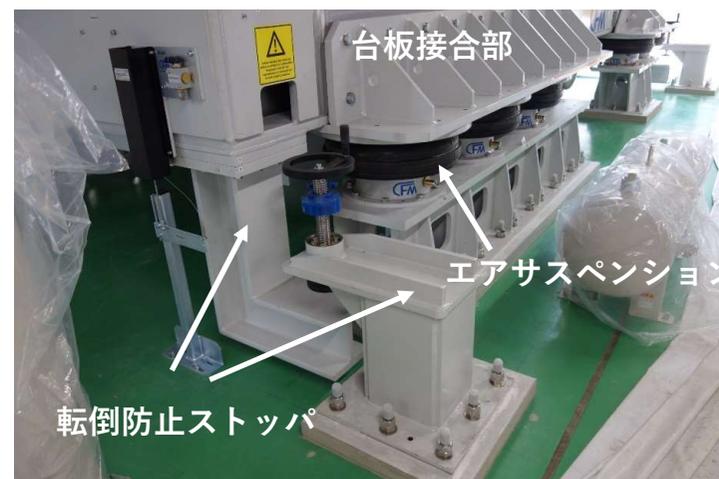
水素燃焼単筒機

- ✓ 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・爆発対策コンセプトを重点的に検討 → リスクアセスメント結果を考慮しながら詳細設計に反映
- ✓ 水素DF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。

### 3. 研究開発成果について

## 水素燃焼単筒機の開発

- 動力計、共通台板、ドライブシャフトなどの付帯機器も詳細設計・製造完了



- ✓ 幅広い試験を可能とするため、電気式動力計を採用。
- ✓ エンジンの振動吸収・安定性確保のため、共通台板とエアサスペンションを適用
- ✓ 回転振動や軸振れを吸収するため、専用ドライブシャフトを設計
- ✓ 共通台板は基礎にアンカリングし、転倒防止ストッパを追加。
  - ➔ 地震発生時は自動で燃料遮断、エンジン停止やエアサスペンション下降。

### 3. 研究開発成果について

## 水素燃焼単筒機の開発

- 各種リスクアセスメント（HAZID,HAZOPなど）に取組み、リスク抽出・安全対策を立案・反映

#### HAZIDフロー

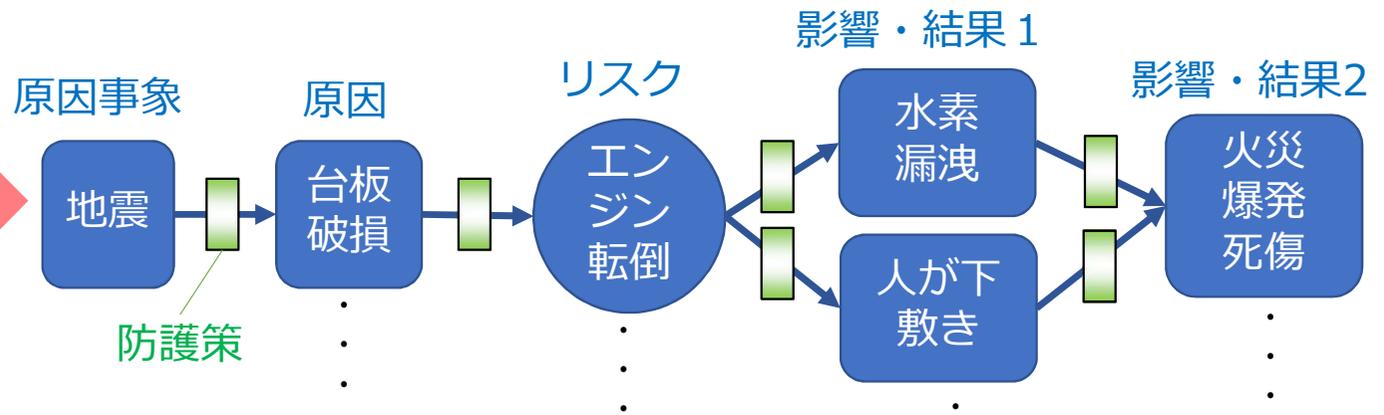
システムフロー作成

故障シナリオ抽出・可視化

リスク解析・評価

システムフロー修正

#### シナリオ抽出・リスク解析例



- ✓ 考えられるリスクをブレインストーミング方式で抽出
- ✓ 特に重大リスクに対しては、抜本的な安全対策を検討、設備仕様に反映

### 3. 研究開発成果について

## 水素燃焼単筒機の開発

- エンジン周辺設備の設計・建造が完了



エンジンエンクロージャ内部



屋外補機関連設備



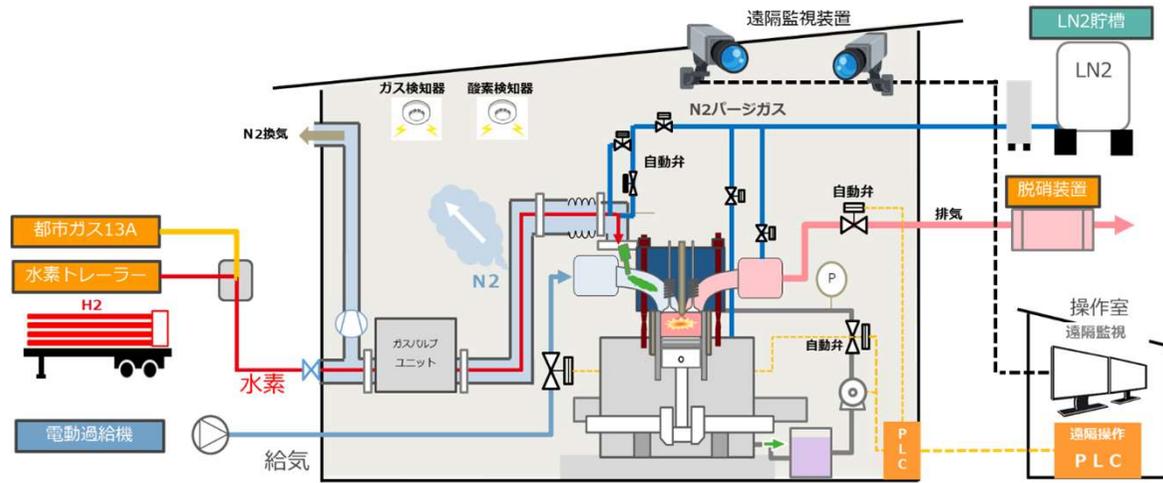
水素トレーラー駐機場

- ✓ 限られた敷地の中に、水素を扱う上での安全対策も十分に織り込んだ設備を設計
- ✓ 建造を完了し、水素供給やコミッショニングを経て運転開始

### 3. 研究開発成果について

## 水素燃焼エンジン運用システムの構築・評価

- 設備全体に対してリスクアセスメントを実施し、エンジン運用システム構築に反映



試験設備への安全機器・システム追加(概念図)



- ✓ 水素・窒素漏洩によるリスクから安全を担保するため、エンジン設置室内を無人化し、離れた操作室から遠隔運転（事業途中で追加）
- ✓ ヒューマンエラーを抑制するため、可能な限り各種操作を自動シーケンス化

## 4. 今後の見通しについて

### 水素普及に向けた取り組み



- ✓ 川崎重工業では、安価で大量の水素導入を目指し、国際水素サプライチェーンの実現に取り組んでいる

## 4. 今後の見通しについて

### 事業化のイメージ



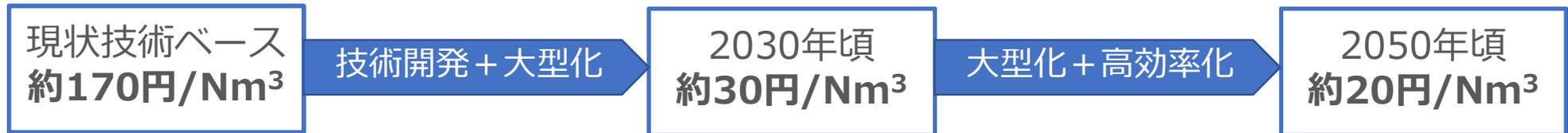
- ✓ 事業化当初は再生可能エネルギーの余剰電力吸収と、電力安定化が喫急の課題である離島での事業用発電に供することを想定。
- ✓ 国際水素サプライチェーン伸展に合わせ国内電力関連に対し事業拡大。
- ✓ 海運における脱炭素化にも、水素エンジンが必要。
  - 当初は液化水素運搬船への適用を計画。
  - 水素普及に伴い液化水素燃料船への拡大も期待される



## 4. 今後の見通しについて

### 今後の課題

- 水素燃料単価が想定通り安くなることに対する期待



- ディーゼルや天然ガスエンジンに対して高い導入コスト
  - ✓ 液体水素は極低温（-253℃）のためタンクに高い断熱性が必要
  - ✓ 漏洩しやすく可燃範囲が広いためより高い安全対策が必要



今後の技術開発によりコスト低減を検討

- 脱炭素燃料利用のインセンティブ、化石燃料利用のペナルティ等への期待