

発表No.E-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
2022.7.29

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

1. 期間

開始 : 2020年8月
終了（予定） : 2023年3月

2. 最終目標

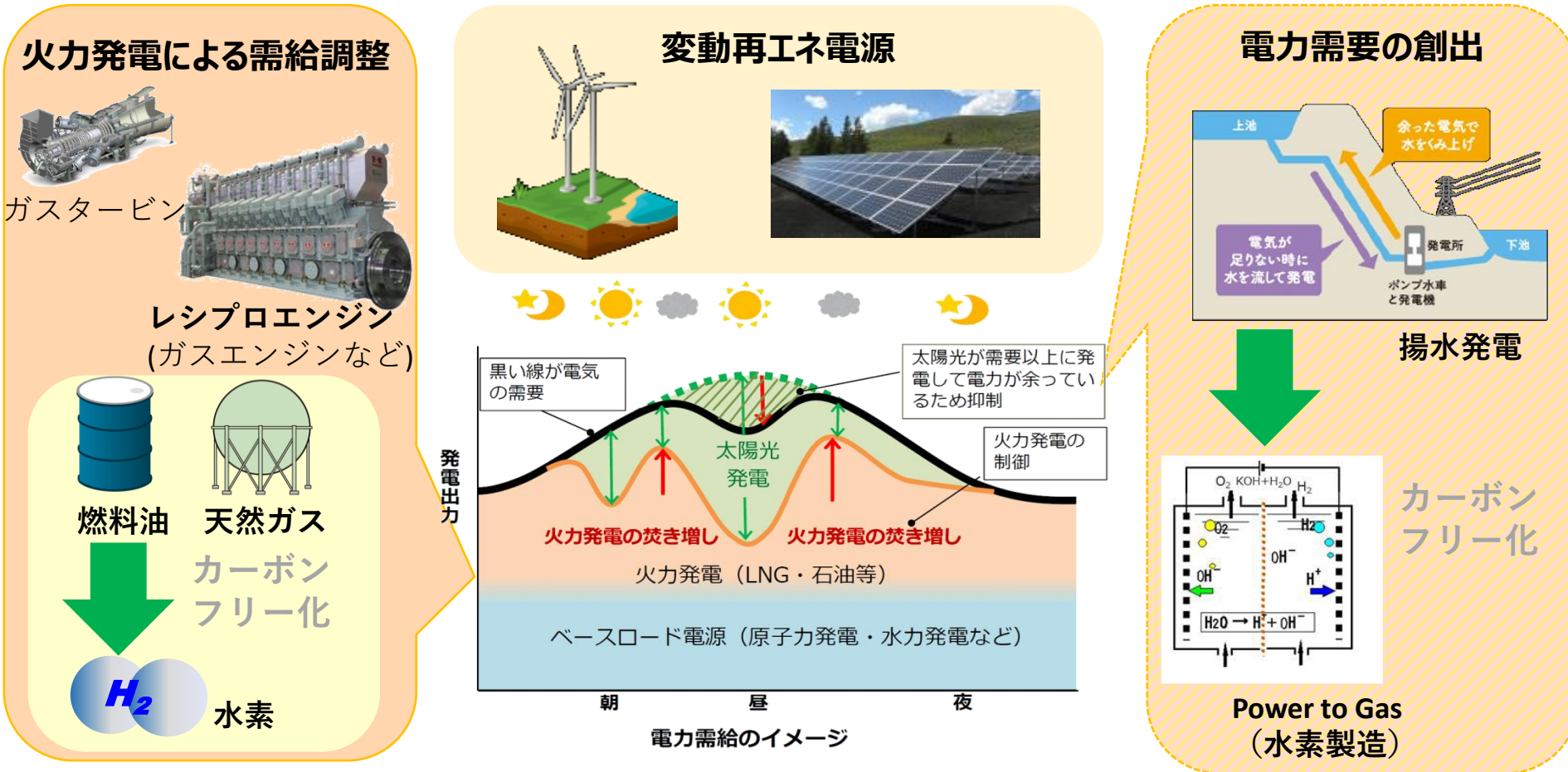
従来に無い大出力(2～8MW級)の水素を主燃料とする2元燃料ガスエンジン（水素燃焼エンジン）に関する技術開発を行う。
ガスエンジン単筒試験機にて、水素燃焼試験を行い、図示平均有効圧力※1.6MPaを達成すること
※出力の大小を表す指標

3. 成果・進捗概要

- 天然ガス単筒試験機を改造して短時間の水素燃焼が出来るようにした上で、EGR等を適用した水素燃焼試験を行ってきた結果、目標出力の80%まで達成
- 新設の水素燃焼単筒試験設備の整備について、以下の進捗
 - エンジン製造・建造が完了
 - エンジン附帯機器（動力計など）の設計と一部製造が完了
 - エンジン周辺設備の設計が完了
 - リスクアセスメントを実施し、その成果をエンジン運用システム構築に反映

1. 事業の位置付け・必要性

事業目的

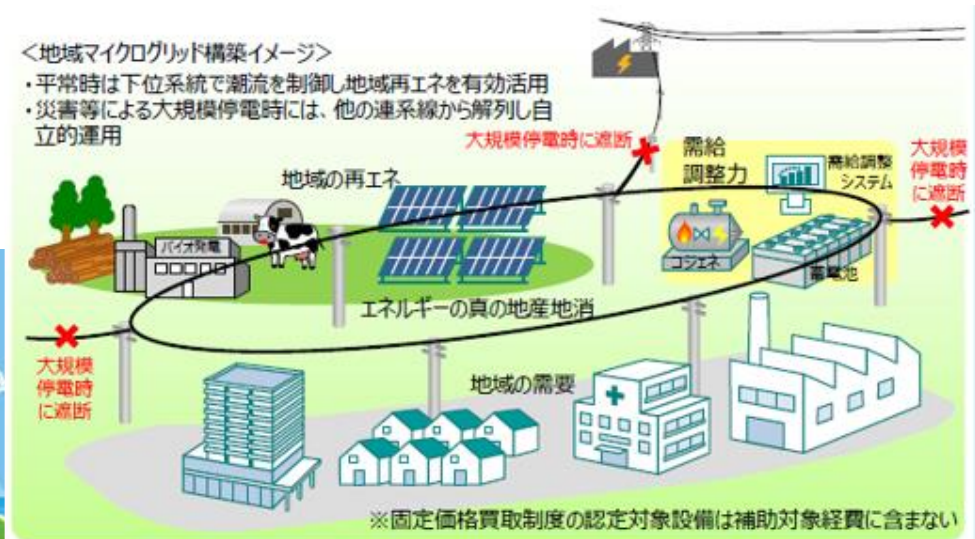


水素燃焼エンジンの実現 (+水電解水素製造) により、①～③を同時に達成し、カーボンフリーでの電源システムの安定化に貢献する

- ①大量の供給過剰の発生 (kWh) への対処、
- ②調整電源による変動吸収 (ΔkW)、
- 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



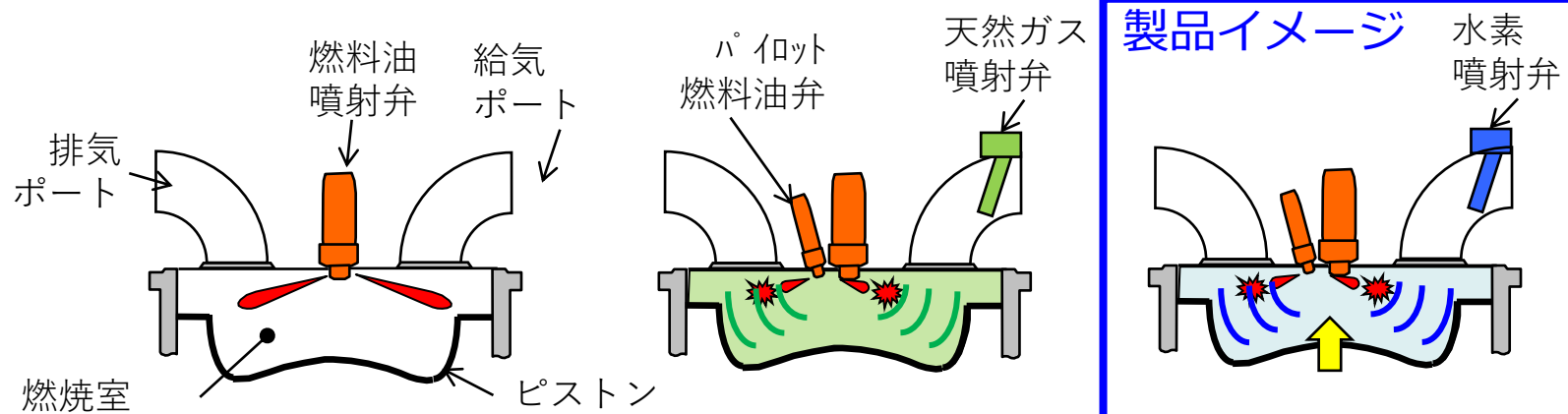
※出典：地域マイクログリッド構築事業について
(経済産業省北海道経済産業局)

URL : <https://www.hkd.meti.go.jp/hokpp/20200325/data07.pdf>

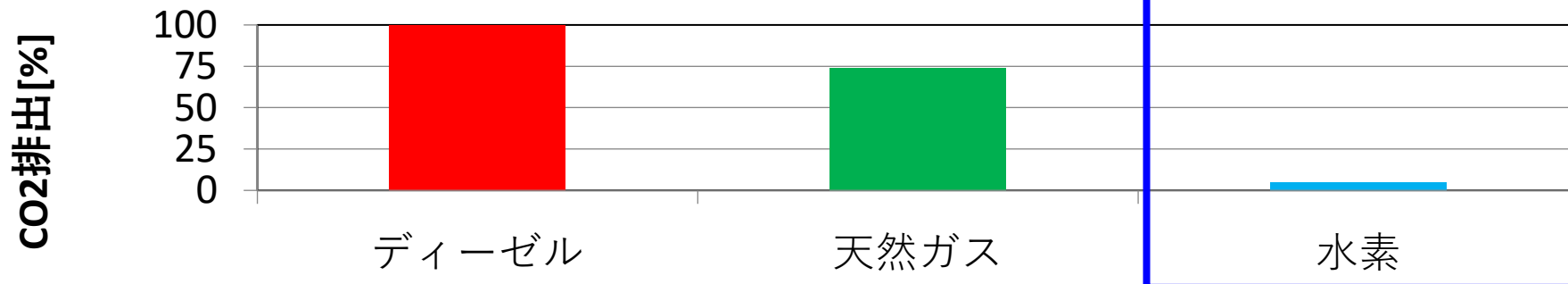
- 技術開発結果を用いて、従来に無い大出力(2~8MW級)の水素を主燃料とする2元燃料ガスエンジン（水素燃焼エンジン）の製品開発を行い、事業化する
- 開発したエンジンを発電用途に用いることで、離島や地域マイクログリッドなどからの温室効果ガス排出を低減させるだけでなく、余剰の再生可能エネルギー由来の水素を活用することを通して電力供給システムの安定化に寄与する
- 事業化当初は再生可能エネルギーの余剰電力の吸収と電力安定化が喫急の課題である離島での事業用発電に供することを想定している。その後の水素サプライチェーンの伸展に合わせ国内の電力関連に対し事業拡大を行う

1. 事業の位置付け・必要性

事業の意義



	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%)
CO2削減率	- (基準)	20-23%	約95%

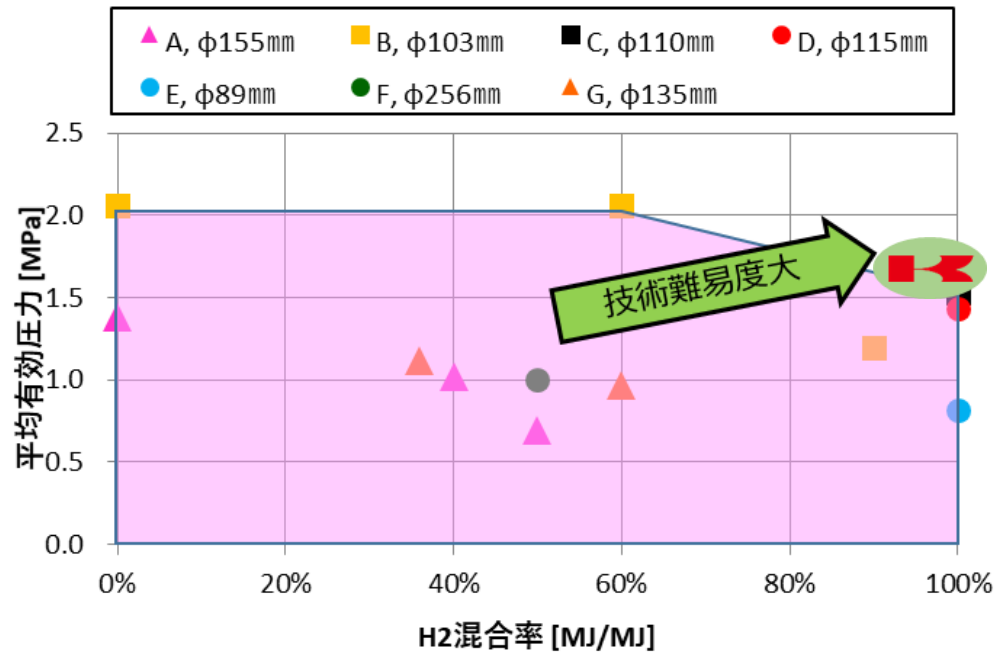


従来の燃料に比べ大幅に温室効果ガス排出を削減可能

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

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の要目

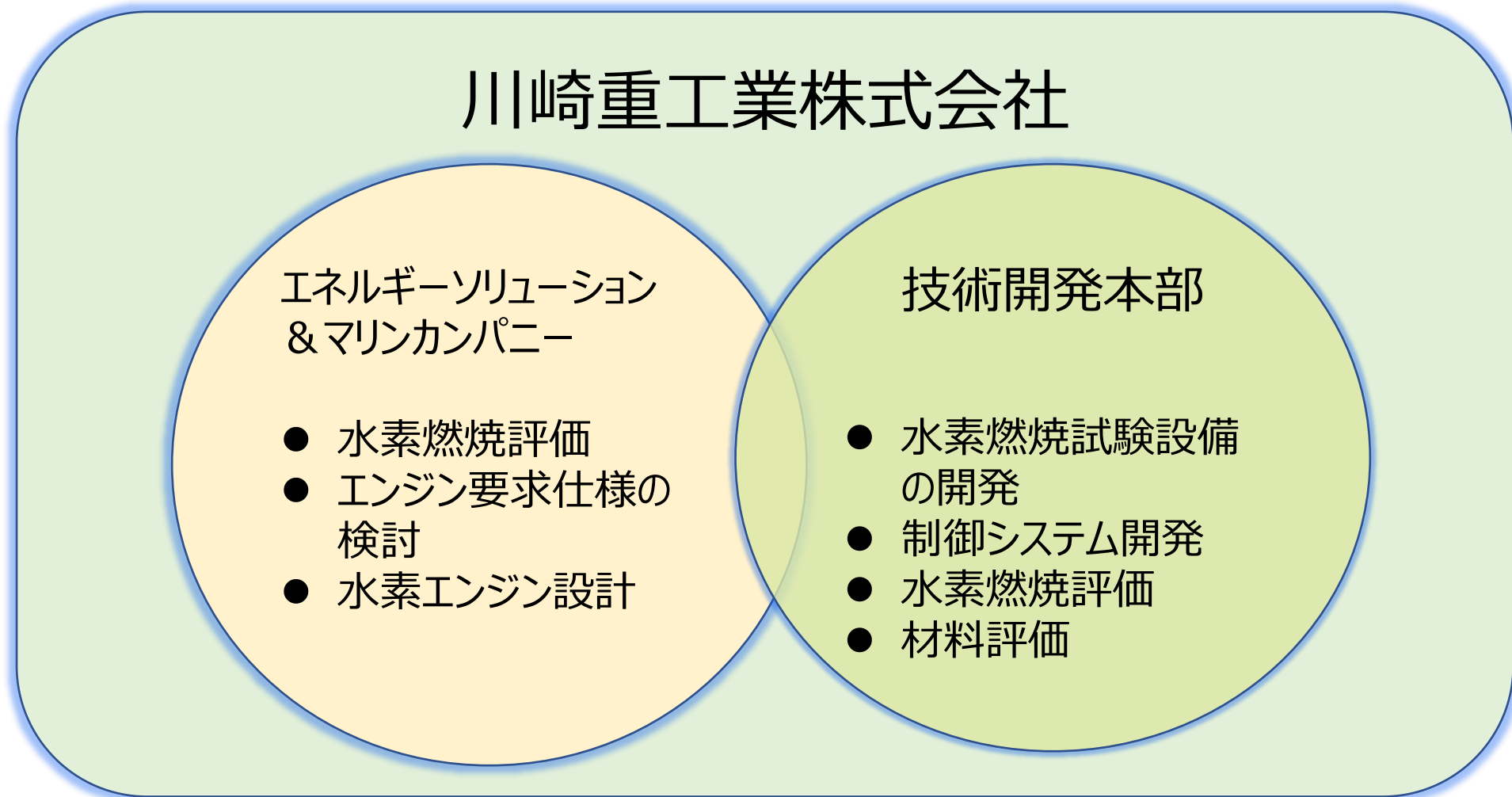
平均有効圧力	1.6MPa以上
シリンダ径	300mm級
水素混焼率	95%以上
燃焼形態	2元燃料 水素 + 重油

- これまで研究発表や市販されている水素燃料エンジンは、主にシリンダ径100mm級・低出力である
- 水素の高い燃焼速度に起因する最大燃焼室内圧上昇や異常燃焼等が発生するため、水素燃料エンジンは高出力化が困難である

本事業では、前例の無いφ300mm級・高出力の水素エンジンで実現する技術開発を行う。具体的には、水素専用の単筒機を建造し、右上表の要目を達成する

研究開発体制

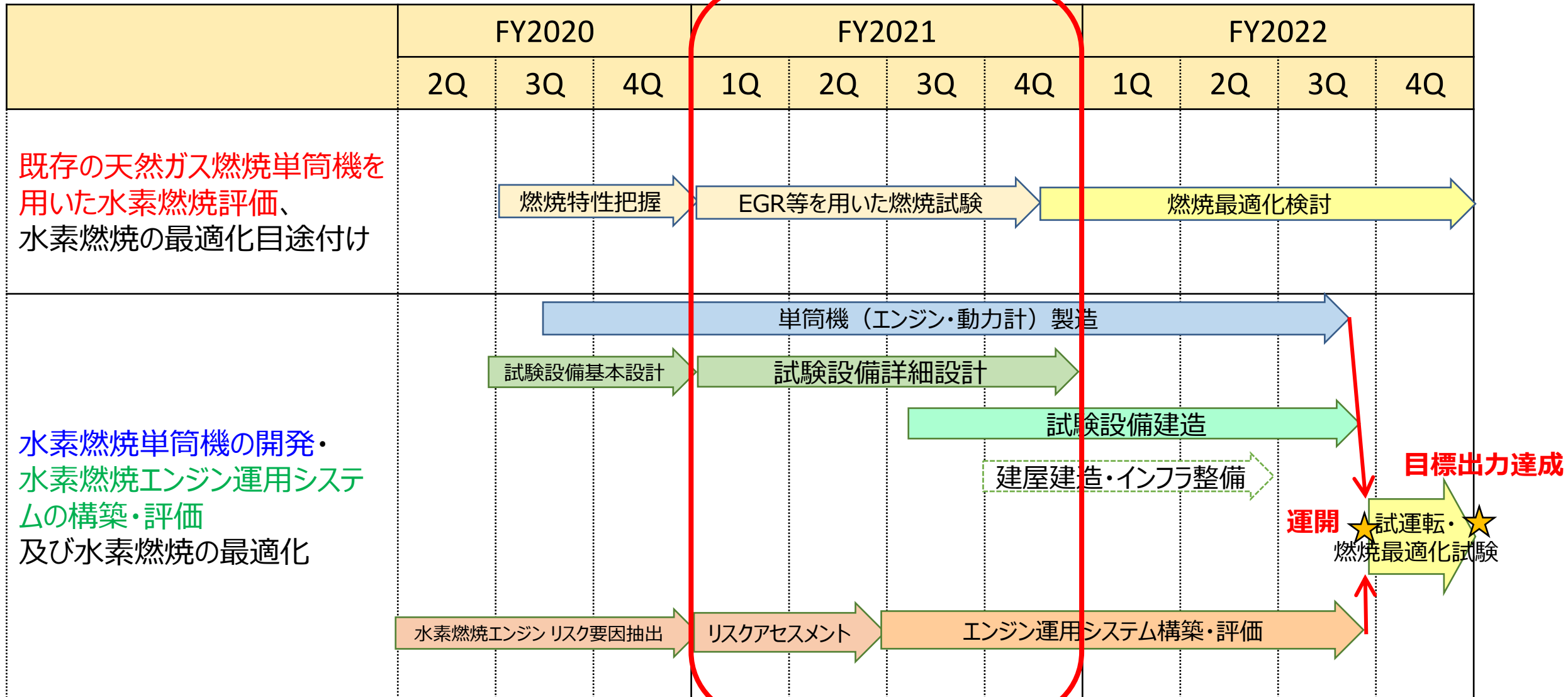
設計開発部門および研究開発部門が各々保有のスキル・ノウハウを結集して実施



3. 研究開発成果について

研究開発スケジュール

今回報告範囲



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

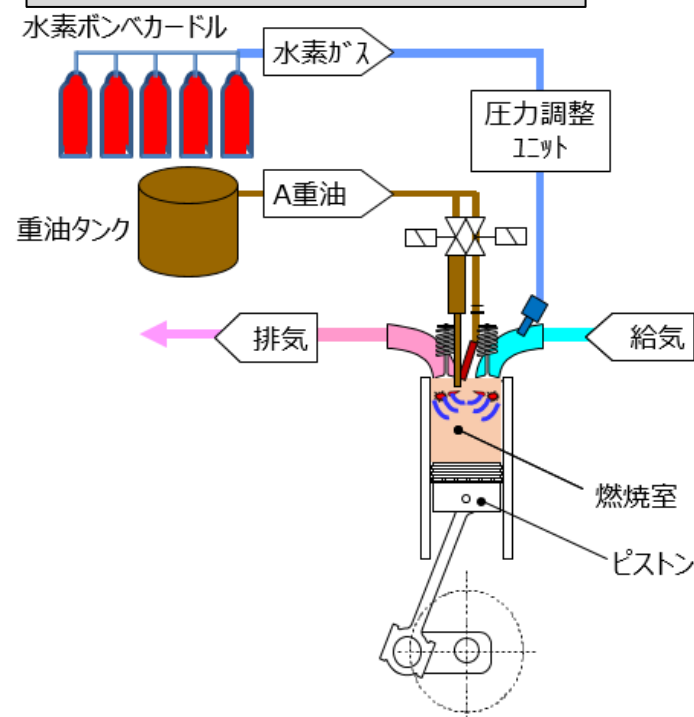
天然ガス単筒試験機に以下の設備を追設し、水素燃焼試験が出来る準備を完了

- ✓ 水素ポンペ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

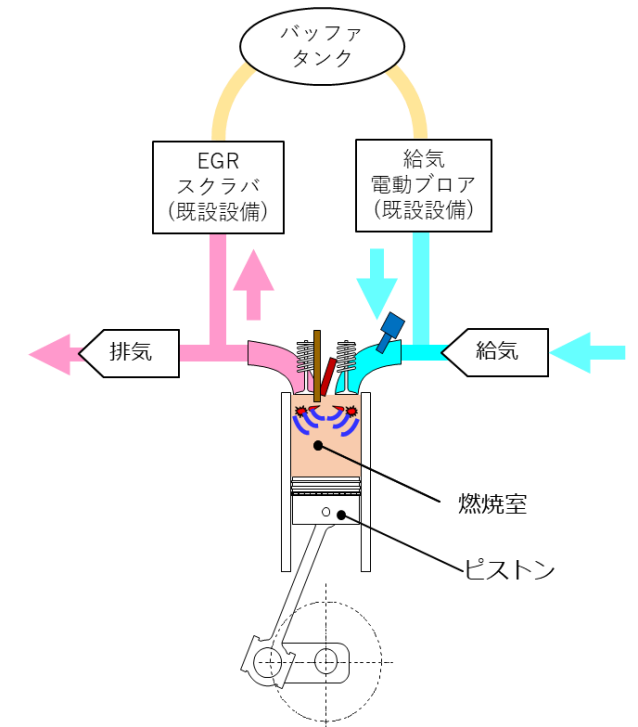
既存の天然ガス単筒機



燃料供給系統



EGR系統

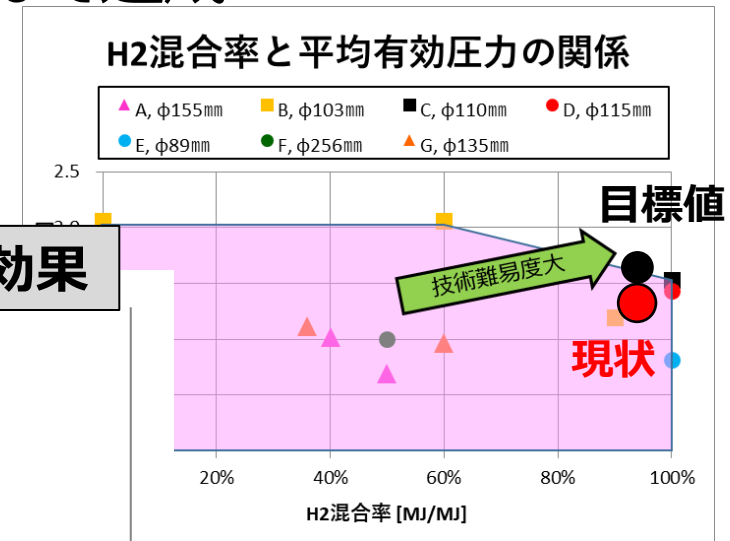
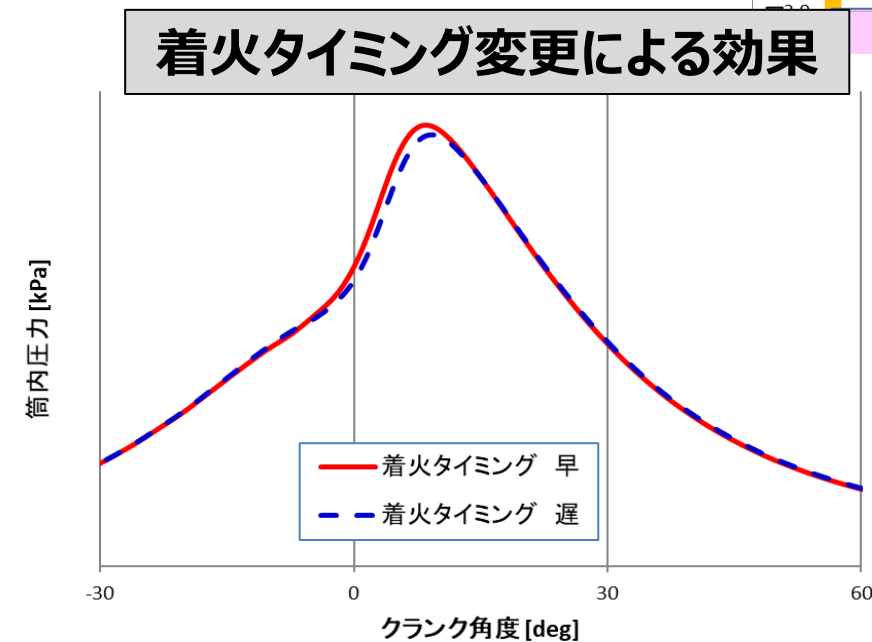
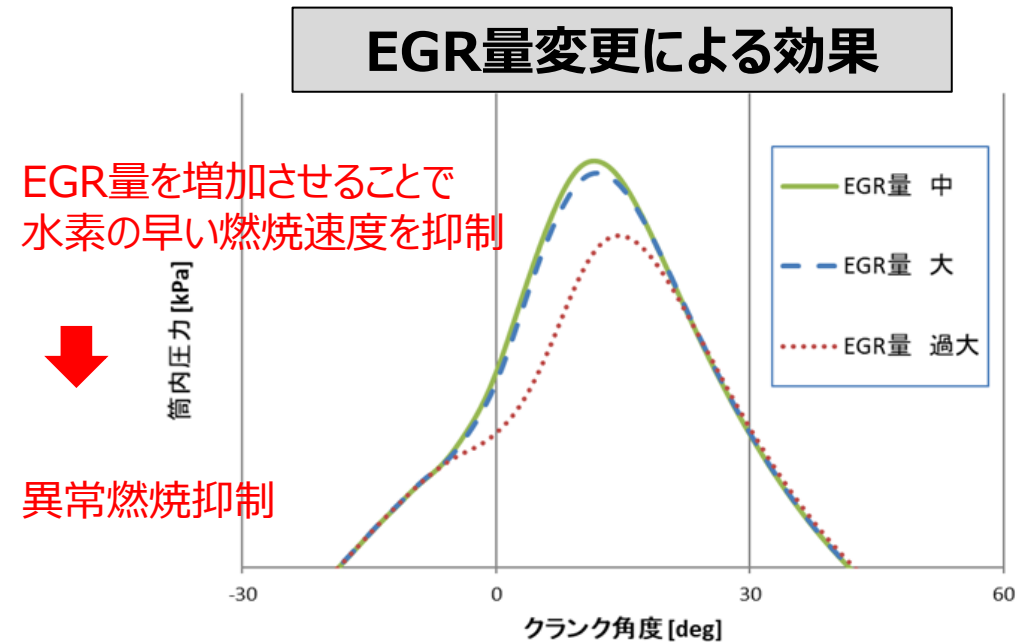


EGR適用等の検討により、目標出力達成に向けて試験を実施中

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

EGR等を適用した水素燃焼試験の結果、現状は目標出力の80%まで達成



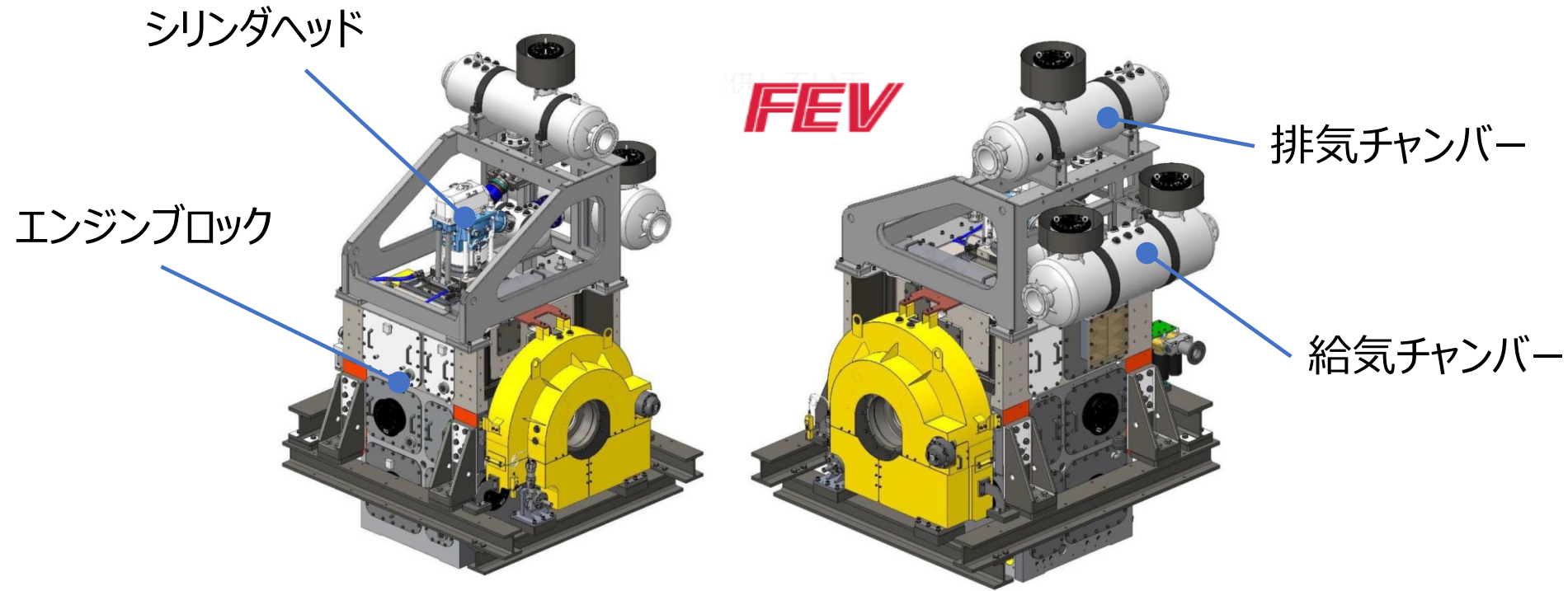
天然ガスエンジンと同様に着火タイミングの調整で筒内圧力の調整が可能

エンジン仕様変更（カムタイミング等）や制御パラメータ（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出力達成を目指す

3. 研究開発成果について

水素燃焼単筒機の開発

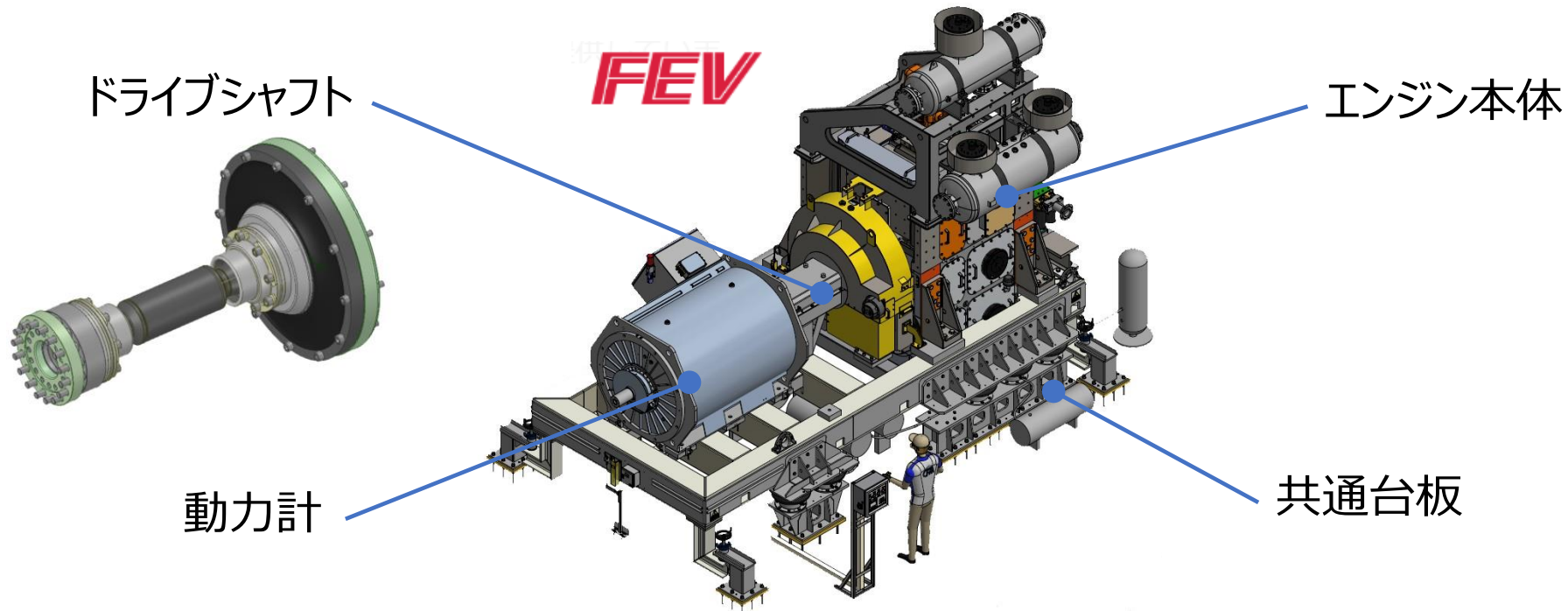
水素燃焼エンジンの本体（エンジンブロック、給排気チャンバーなど）の詳細設計と、製造が完了



- 水素滞留の可能性の高い給排気チャンバーやクランクケースの換気や爆発対策のコンセプトを重点的に検討し、リスクアセスメントの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を設計

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、共通台板に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

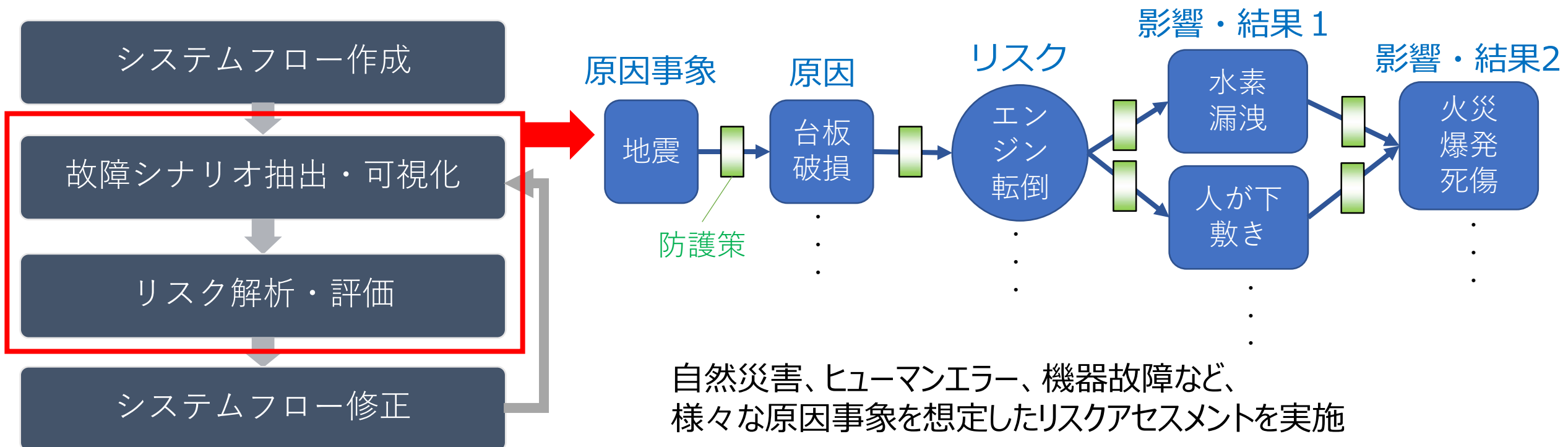
3. 研究開発成果について

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のフロー

■ シナリオ抽出・リスク解析例

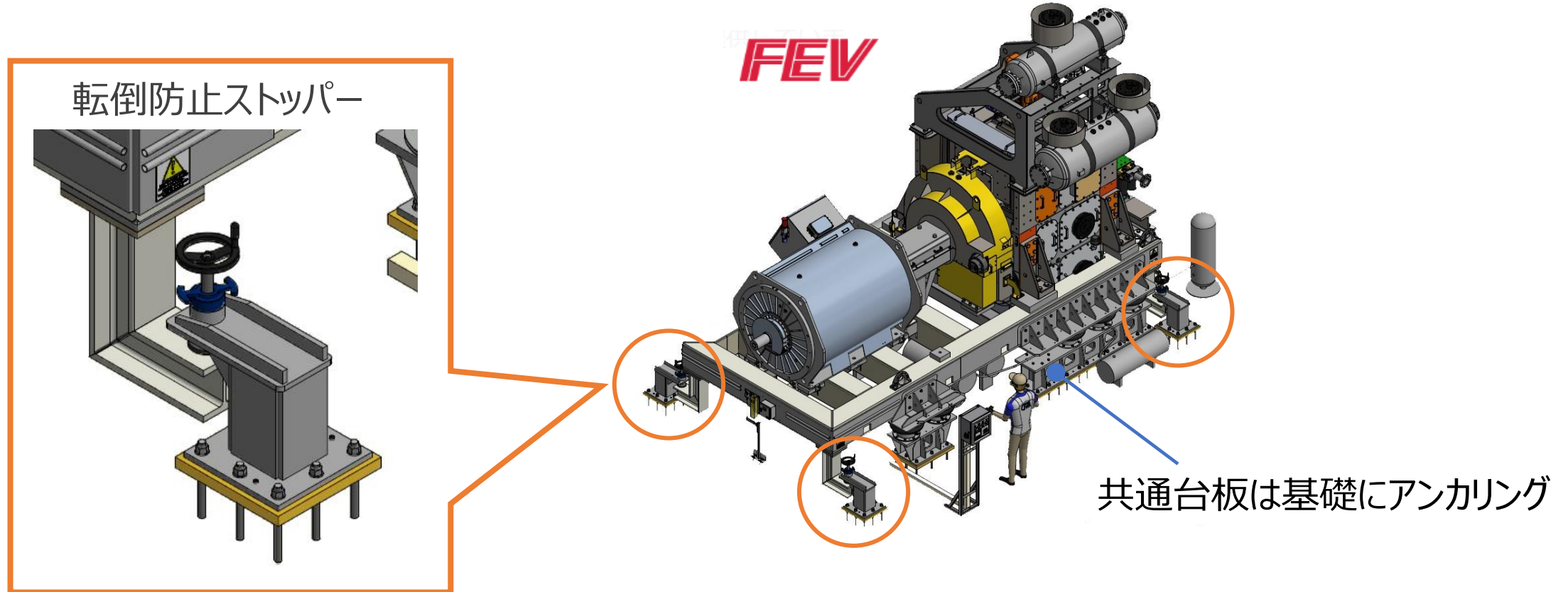


- 考えられるリスクをブレインストーミング方式で抽出
- 特に重大リスクに対しては、抜本的な安全対策を検討、設備仕様に反映

3. 研究開発成果について

水素燃焼単筒機の開発

抜本的な安全対策の一例： 地震を想定した措置（事業途中で追加）

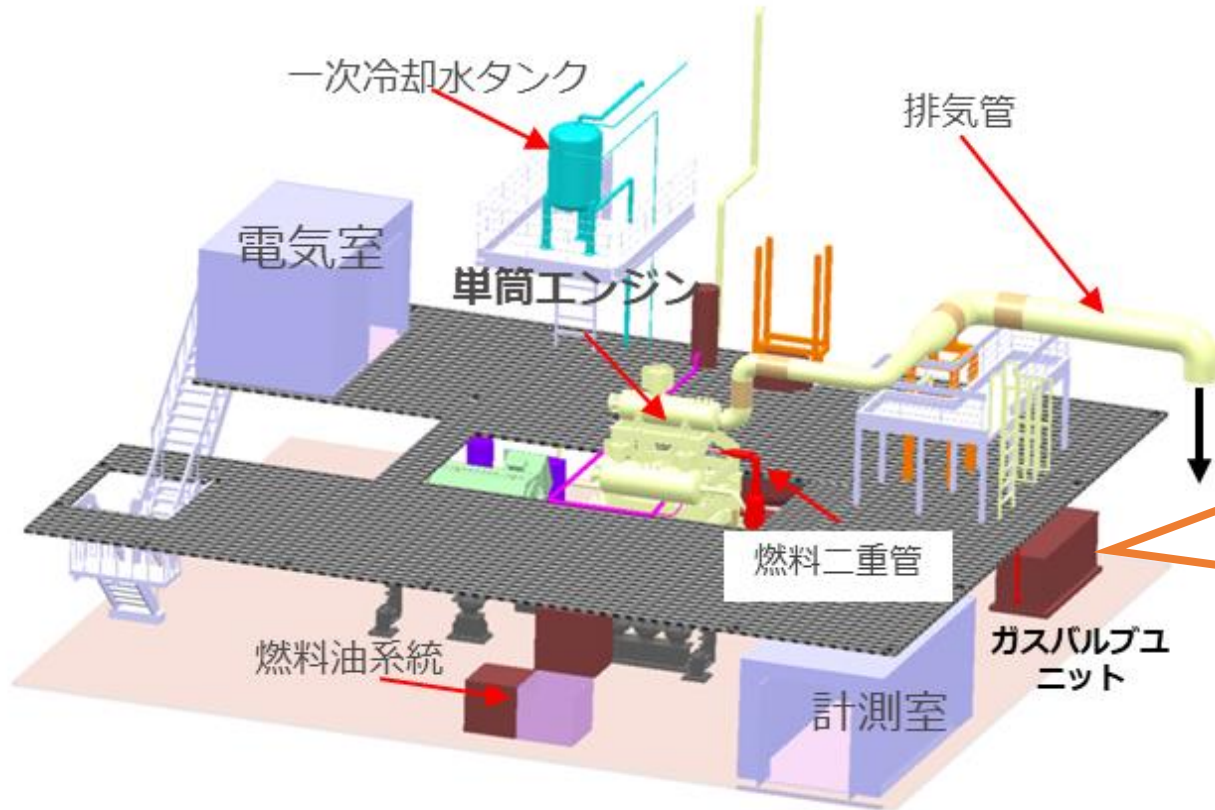


- 地震発生時は自動で燃料遮断、エンジン停止やエアサスペンション下降
- 共通台板は基礎にアンカリングし、更に転倒防止ストッパーを追加

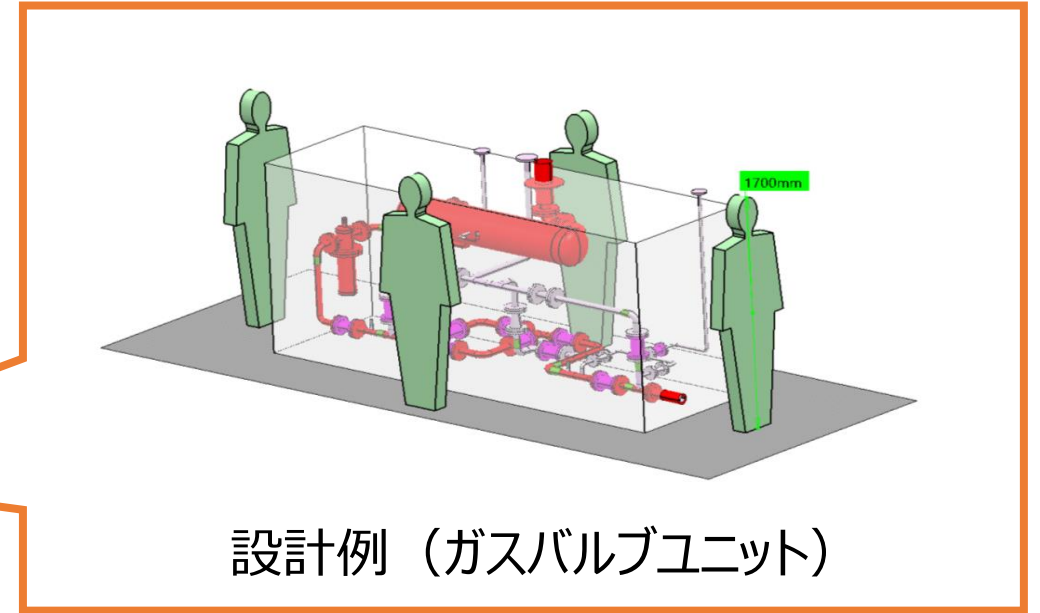
3. 研究開発成果について

水素燃焼単筒機の開発

エンジン周辺設備の設計が完了



水素燃焼単筒試験設備レイアウト



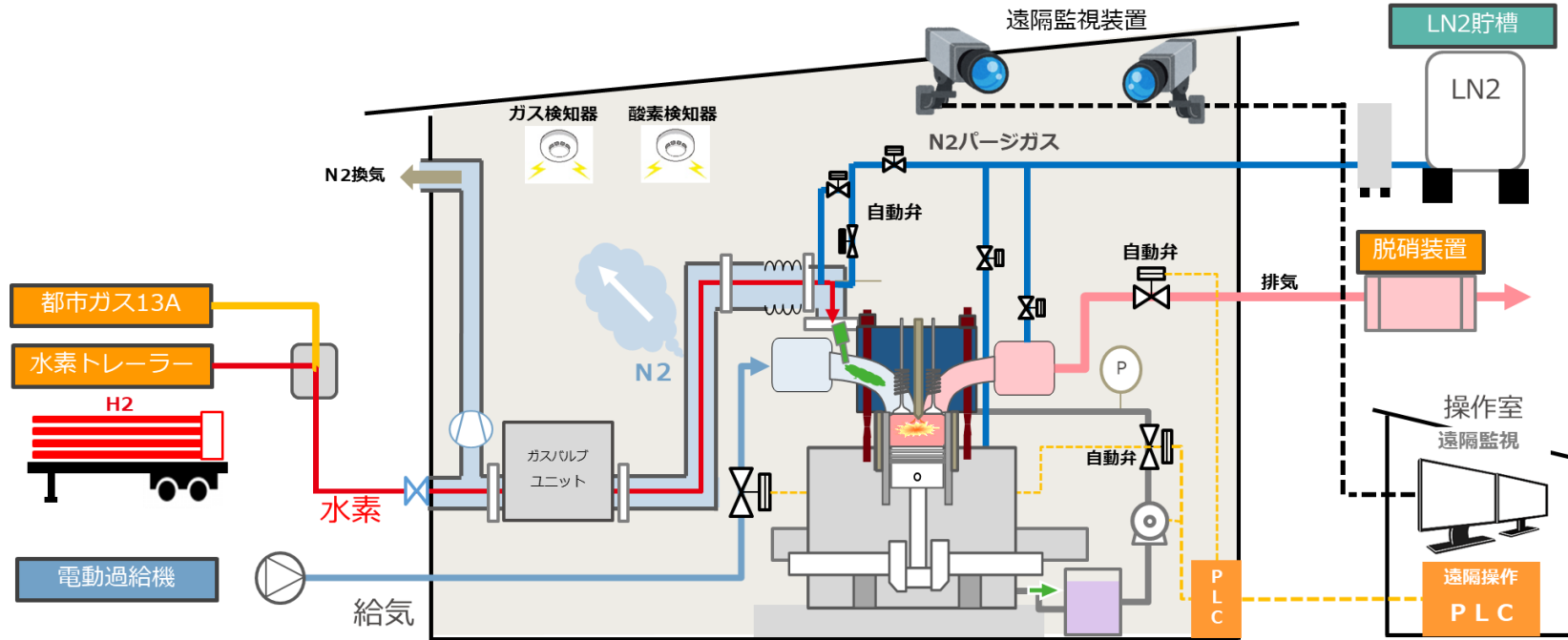
設計例（ガスバルブユニット）

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

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の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している



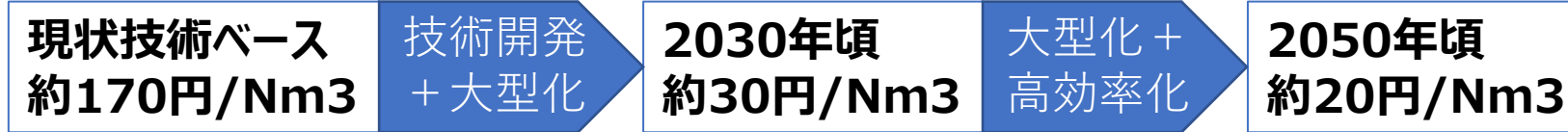
- その後の国際水素サプライチェーンの伸展に合わせて国内の電力関連に対し事業拡大を行う
- 海運における脱炭素化にも、水素エンジンが必要。当初は液化水素運搬船への適用を計画。水素普及に伴い液化水素燃料船への拡大も期待される



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を期待



- ディーゼルや天然ガスエンジンに対して導入コストが高い
 - ✓ 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する
- 脱炭素燃料利用のインセンティブ、炭素燃料利用によるペナルティ等の規制も期待される