

# 事業戦略ビジョン

実施プロジェクト名：「舶用水素エンジン及びMHFS\*の開発」

実施者名：ヤンマーパワーテクノロジー株式会社

代表名：代表取締役社長 田尾 知久

幹事会社：川崎重工業株式会社

共同実施者：株式会社ジャパンエンジンコーポレーション

# 目次

## 1. 事業戦略・事業計画

- (1) 産業構造変化に対する認識
- (2) 市場のセグメント・ターゲット
- (3) 提供価値・ビジネスモデル
- (4) 経営資源・ポジショニング
- (5) 事業計画の全体像
- (6) 研究開発・設備投資・マーケティング計画
- (7) 資金計画

## 2. 研究開発計画

- (1) 研究開発目標
- (2) 研究開発内容
- (3) 実施スケジュール
- (4) 研究開発体制
- (5) 技術的優位性

## 3. イノベーション推進体制（経営のコミットメントを示すマネジメントシート）

- (1) 組織内の事業推進体制
- (2) マネジメントチェック項目① 経営者等の事業への関与
- (3) マネジメントチェック項目② 経営戦略における事業の位置づけ
- (4) マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保

## 4. その他

- (1) 想定されるリスク要因と対処方針

# 1. 事業戦略・事業計画

# 1. 事業戦略・事業計画／（1）産業構造変化に対する認識

## 世界的な温暖化対策の強化により、全ての船舶に対するグリーン化要求が高まっている

### カーボンニュートラルを踏まえたマクロトレンド認識

#### （社会面）

- 温暖化問題の表面化
- パリ協定（'15年、2℃目標）→IPCC1.5℃特別報告書（'18年）
- 世界各国で2050年のカーボンニュートラル目標を設定

#### （経済面）

- カーボンニュートラル目標達成のための大規模投資を要する
- EU Green Deal, 日本グリーンイノベーション基金等の補助施策・基金

#### （政策面）

- IMO GHG strategy（'18年設定、'23年改訂・目標強化）
- IMO 既存船燃費性能規制や燃費格付け制度の施行（'23年から）
- EU ETS対象拡大や国際海事研究開発基金(IMRF)設立の動き

#### （技術面）

- 欧州2-strokeエンジンメーカーのメタノール/アンモニアエンジン開発
- 欧州, 日本4-strokeエンジンメーカー等の水素/メタノール/アンモニアエンジン開発

#### ● 市場機会：

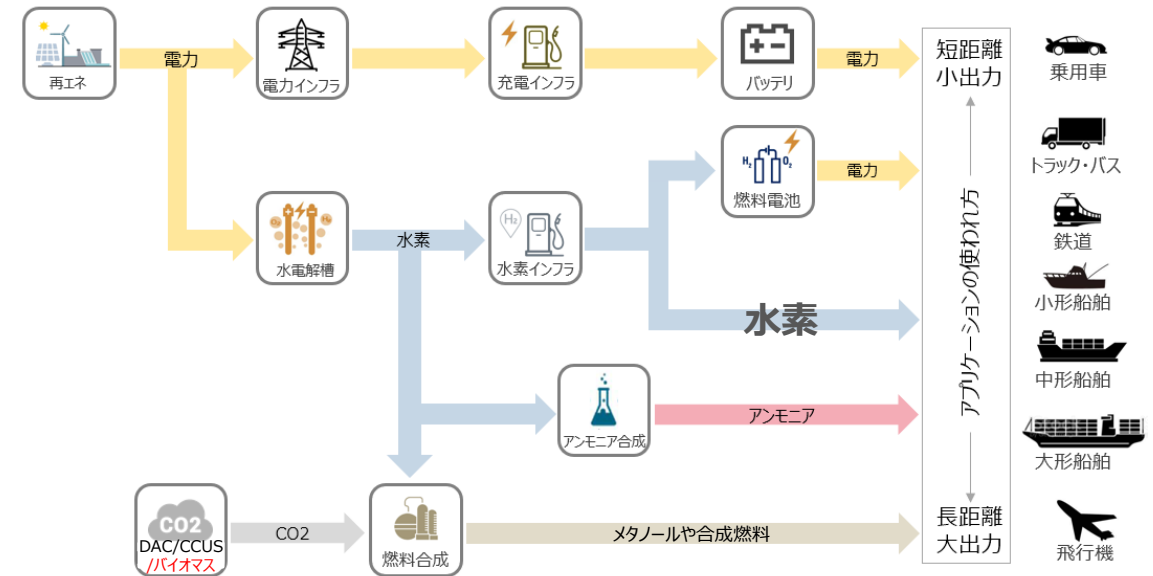
全ての船舶の低炭素化・脱炭素化が求められ、電動化が困難な領域においてはエネルギー効率改善だけでなく、水素等のグリーン燃料への転換が求められる。

#### ● 社会・顧客に与えるインパクト：

舶用機器において安全な新燃料利用技術を提供することにより、顧客の低/脱炭素化(船主やオペレータのビジネス)に貢献する。

### カーボンニュートラル社会における産業アーキテクチャ

#### 将来のエネルギーフローイメージ（移動体を想定）



出典：IEA Net Zero by 2050などをもとに作成

#### ● 当該変化に対する経営ビジョン：

#### A SUSTAINABLE FUTURE

～テクノロジーで、新しい豊かさへ。～

（ヤンマーグループのブランドステートメント）

#### A GLOBAL LEADER in Green Powertrain Technologies

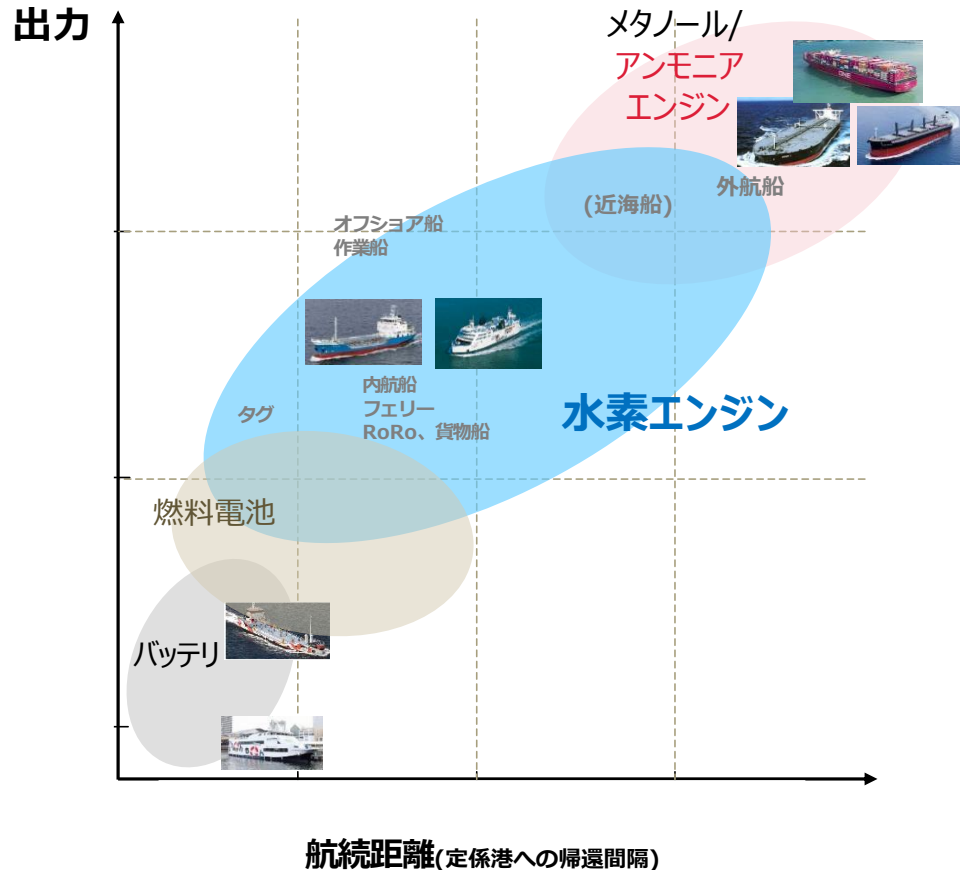
～ 環境負荷を最小化する動力を提供

（ヤンマーパワーテクノロジー長期ビジョン）

## 舶用水素市場の中で外航船補機をメインターゲットとする

### セグメント分析

出力・航続距離に対する新燃料パワーソースの適合性イメージ



### ターゲットの概要

※IEA Net Zero by 2050 のMaritime shipping燃料シェア見通しより

#### 市場概要と目標とする船種

- 水素が将来の主要燃料と想定される中、外航船補機を本事業のメインターゲットとする。
- アンモニア(外航深海船にて利用)を除く舶用燃料における水素燃料は、3~4割程度のシェアを占め、新造船においてはその比率はさらに高まると考えられる（2050年※）
- 上記水素燃料船における燃料電池適用範囲は、1MW以下の領域への限定が想定されることから、エンジンがその一部の領域を含めてパワーソースのマジョリティになると考えられる。

船種		市場成長率	顧客（船側）の課題	補機想定ニーズ
外航船	水素運搬船	水素需要増	・ GHG規制適合 ・ 大量輸送のための専用船開発 ・ 積荷の燃料利用	・ ボイルオフガス利用 ・ 水素混焼率の最大化（DF機関パイロット燃料の最小化）
	バルカー その他タンカー コンテナ等	荷動き増 化石燃料 需要減	・ GHG規制適合 ・ ペイロード確保	・ 小型・高出力化（付帯設備含め）
内航船	客船	電気推進 船やハイブリッド船の 増加	・ GHG規制適合 ・ 冗長性、安全性確保 ・ 作業性・操船性向上 ・ 輸送サービス高付加価値化	・ 小型・高出力化（付帯設備含め） ・ 負荷応答性 ・ 蓄電池との協調制御 ・ 静粛性
	作業船			
	漁船			
	貨物船	メカ推進	・ GHG規制適合 ・ ペイロード、船速確保	・ 小型・高出力化（付帯設備含め）

# 1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル

## GHG排出削減のための「補機用中高速4ストローク水素燃料エンジン」を提供する事業創出・拡大

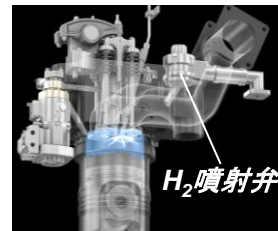
### 社会・顧客に対する提供価値

- 幅広い用途におけるGHG排出削減
- 冗長性の高いエンジン提供
- 船舶のゼロエミッション化と機関室内の省スペース化のためのエンジンサイズ両立
- NOx, SOx規制満足維持
- 国内海事産業の活性化

### ビジネスモデルの概要（製品、サービス、価値提供・収益化の方法）と研究開発計画の関係性

#### <研究開発計画>

#### 1. 水素混焼中速補機エンジンの開発



#### 2. 水素専焼高速補機エンジンの開発

- 基礎燃焼技術確立：各大学とのコラボ
- 水素燃料供給装置(MHFS\*)：  
コンソーシアム内での共同開発
- NOx規制対応SCR◇システム：自社開発
- 各サプライヤーとの連携

#### <ビジネスモデル>

#### 1. 外航船に搭載している補機用のディーゼル燃料を水素へ移行させる

#### 2. 水素燃料インフラ整備状況を踏まえた水素エンジンの市場投入

- (1)水素燃料インフラが整備されるまで  
ディーゼル燃料油も使用可能な  
水素二元燃料(DF)中速エンジン提供  
(冗長性確保も可能)
- (2)水素燃料インフラ整備につれて  
水素専焼高速エンジン提供

\*MHFS (Marine Hydrogen Fuel System)：舶用水素燃料タンク及び燃料供給システム

◇SCR (Selective Catalytic Reduction)：選択的触媒還元（排ガス後処理）



# 1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル（標準化の取組等）

## 市場導入（事業化）しシェアを獲得するために、ルール形成（標準化等）を検討・実施

### 標準化戦略の前提となる市場導入に向けての取組方針・考え方

#### （将来考えられる海外の基準化動向）

- ISO 液化水素燃料
- ISO 液化水素バンカリング操作の安全性とリスク評価
- IMO 水素燃料船IGFコード
- IMO 新燃料(水素・アンモニア)使用時の排ガス計測方法

#### （将来規制動向）

- IMOによる船舶からの温室効果ガス(GHG)削減規制



- 公衆安全要求を基準・規則（国際条約・船級規則・国内法）に反映
- 新燃料使用に伴う共通課題を当コンソ・HyEng社で開発・解決
- 基準・規則適合および課題解決技術として、当コンソの製品および技術パッケージ（ライセンス）を提供
- 当コンソ製品および技術パッケージ（ライセンス）の優位性を見る形にするため、民間認証・格付などの新取組みを模索



#### 【現状】

- IMOによる船舶からの温室効果ガス(GHG)削減戦略の強化あり  
「2023 IMO GHG削減戦略」に掲げられた国際海運のGHG排出削減目標（2030年までを抜粋）  
[https://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji07\\_hh\\_000289.html](https://www.mlit.go.jp/report/press/kaiji07_hh_000289.html)  
○ IMOで策定する対策(ルール)により、達成を目指す目標  
    ◇ 2030年までに、ゼロエミッション燃料等の使用割合を5～10%  
    ◇ 2030年までに、CO2排出(輸送量当たり)を40%削減（2008年比）  
○ GHG排出ゼロ達成のための今後の削減目安  
    ▶ 2030年までに、GHG排出を20～30%削減（2008年比）
- 上記標準化戦略の考え方に基づき、当コンソの要望としてClass NK殿と船級規則化における技術要件の粒度に関する議論を開始

### 国内外の動向・自社のルール形成(標準化等)の取組状況

- 水素エンジン事業～標準化戦略立案・推進を行う専門部署を各社で設立済
- 製品・技術パッケージ(ライセンス)を支える新技術の知的財産取得を確実に実施
- オープン＆クローズ戦略において、オープン領域とクローズ領域(例：コア技術／燃焼制御)について仕分けし、特にオープン部分における事業戦略を検討
- 水素燃料推進システム全体提供、船舶設計支援等、当コンソの優位性を活かした事業戦略を立案・推進



### 水素エンジンを含む推進システムに関わる具体的標準化取組内容

- ゼロカーボン燃料の排ガス計測方法、NOx認証の取得方法
- 水素に対するシール技術（ガスケット、パッキン）標準の構築
- 配管材料等の選定・使用基準
- 様々な設置場所における水素漏洩検知センサーの選定・使用基準
- 水素燃料推進システムの取扱、安全対策の基準
- 水素燃料船に乗船する船員教育体制構築



#### 【現状】

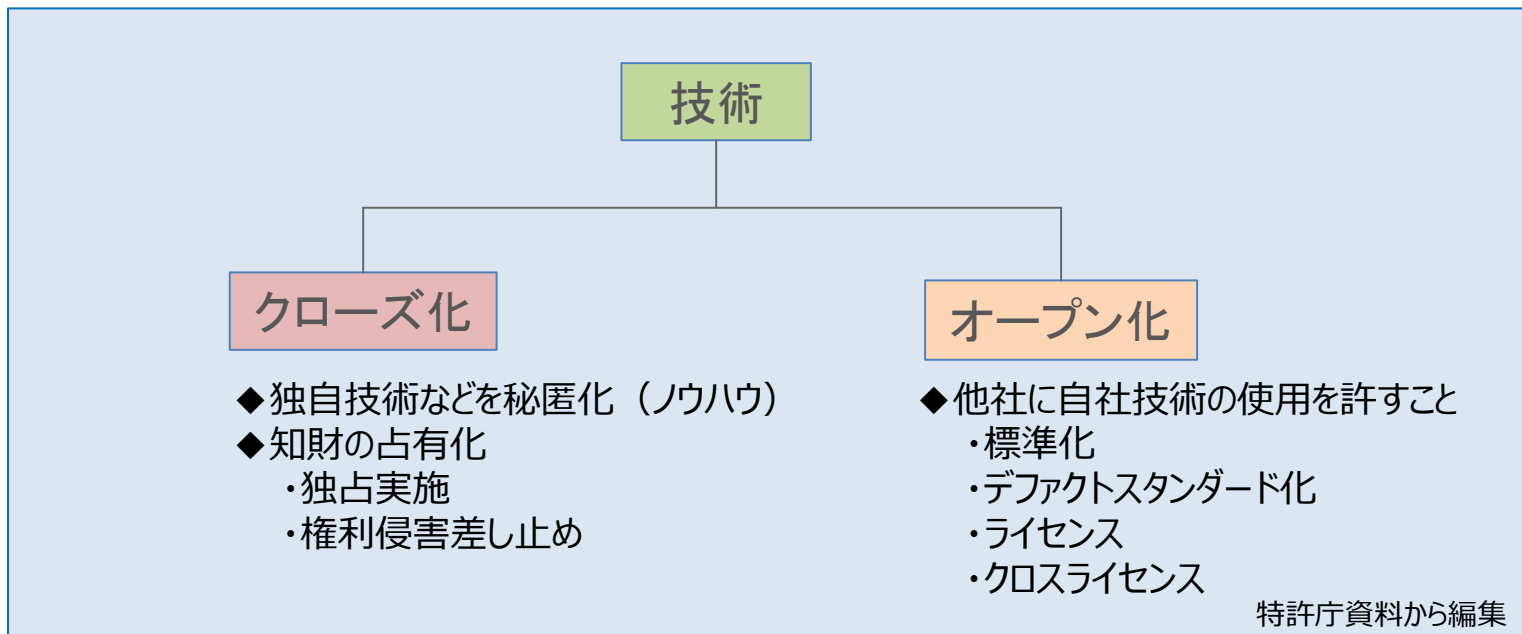
- 排ガス計測方法、NOx認証において、ワーキングチームを3社で立上げ、共通化を推進。共通の認証方法についてClassNK殿と協議中
- 共通課題情報（シール、配管材料、センサー）を3社で共有するワーキングチームを設立済
- 船員教育については、代替燃料使用に伴う課題認識と技術動向共有のため、海技大学校との情報・意見交換を開始

# 1. 事業戦略・事業計画／（3）提供価値・ビジネスモデル（標準化の取組等）

## 開発成果のオープン&クローズ戦略の検討推進



開発成果はオープン&クローズ戦略において、**オープン領域とクローズ領域について仕分けし**、標準化と知財占有化を検討する。



オープン

### 標準化

他社に対して自社の技術の一部をオープンにすることで、市場への他社の参入を誘導する。（イノベーションの誘発）

（例：エンジン本体部分、EGR機器 等）

オープン

### ライセンス

コア技術に関しては秘匿しつつ、製造図面提供を行い普及とコストダウンを狙う。

（例：大形船用ディーゼル主機におけるライセンスエンジンをビジネス模範とし、同様のビジネス形態を目指す。）

クローズ

### ノウハウ or 知財占有化

自社が独占すべきコア部分をクローズして、自社の利益拡大を狙う。

（例：燃焼制御技術、燃料噴射技術、EGR制御技術、異常燃焼検知・状態監視技術 等）



自社の強みを活かし、社会・顧客に対して「GHG排出削減」という価値を提供する。

## 自社の強み、弱み（経営資源）

### ターゲットに対する提供価値

- GHG排出削減
- GHG削減効果を多数の船に展開



### 自社の強み

- 外航補機関で世界トップシェア
- LNG-DFエンジン、SCRを開発できる技術力
- 全世界に展開する販売、サービスネットワーク

### 自社の弱み及び対応

- 海外ライセンスメーカーに対する価格競争力  
⇒ 先行的な技術確立、市場投入による実績蓄積  
⇒ 上記に基づく性能、品質面での競合優位性確立  
⇒ サービスネットワークによる迅速な市場への展開

## 他社に対する比較優位性

### 自社

#### 技術

- LNG-DFエンジン(燃焼)技術力  
自社製エンジンへの尿素SCR適合力  
(触媒装置設計)  
(エンジン制御/排ガス温度コントロール)
- エンジニアリング、アフターサービス面
- (将来)新燃料システム全体を  
インテグレーションする技術力

#### 顧客基盤

- ヤンマー船用ディーゼルエンジンへの  
信頼度/期待感  
(外航補機関で世界トップシェア確保)
- LNG-DFエンジン、SCRにおける市場投入実績
- 世界各地に広がるサービスネットワーク

### 競合

- 海外ライセンサーもしくは  
海外エンジニアリング会社からの  
技術供与によるエンジン開発

- 低価格販売
- ネットワークは未熟  
(ただし急成長の可能性あり)

### (国内)

- LNG-DFエンジンの自社技術を保有  
サイズとしては大型傾向

- 船用ディーゼルエンジンの顧客基盤を有するが  
規模において差異あり

# 2021年に研究開発開始、2029年頃の事業化、2038年頃の投資回収を想定

(高速機関は2031年頃の事業化)

投資計画

																			中速 事業化	高速 事業化	投資 回収
年度	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038			
研究開発費	約61億円(コンソーシアム全体)																				
							ラインナップ化														
設備投資				生産に向けた投資																	
CO2削減量 (万t)								約83万トン													

## 研究開発段階から将来の社会実装（設備投資・マーケティング）を見据えた計画を推進

	研究開発・実証	設備投資	マーケティング
取組方針	<ul style="list-style-type: none"> <li>開発機種を選別</li> <li>対応技術の組合せと適合</li> <li>コンソーシアム内での船社・造船所との意見交換による実装を睨んだ開発内容への反映</li> <li>積極的な知的財産権取得</li> <li>開発段階からの船級との意見交換による国際ルール化への反映</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素燃料エンジン技術開発のための単筒機試験用準備への投資</li> <li>水素燃料エンジン生産のための投資計画複数台運転に対するMHFS*容量確保</li> <li>2029年頃の販売開始（以下、順次） 補機用中速4ストロークエンジン 補機用高速4ストロークエンジン</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>環境規制強化に対応した販売</li> <li>他の新燃料動向注視と適宜対応（バイオ燃料など）</li> </ul>
進捗状況	<ul style="list-style-type: none"> <li>日本海事協会(NK)とのミーティングを実施 ⇒水素燃料エンジンの設計承認取得に向けた取り組みに順次移行</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高速エンジン開発に向けた単筒機試験設備の導入実施</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>船主・造船所殿との意見交換会実施</li> <li>Nor-shipでのHyEng社プレゼンや、Techno-Ocean2023での講演によりPR(広報活動)</li> </ul>
国際競争上の優位性	<ul style="list-style-type: none"> <li>ユーザー視点に立ったシステム開発</li> <li>国際ルール制定参画と同ルールの先取り及び市場展開</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>新燃料エンジン開発・生産拠点整備により、GHG排出削減への流れを加速</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>早期開発による市場展開加速とシェア拡大</li> </ul>

\*MHFS (Marine Hydrogen Fuel System) : 舶用水素燃料タンク及び燃料供給システム

(参考資料) 舶用水素エンジンの社会実装への流れ

2021

水素燃料電池搭載船の実証運航

舶用水素システムのインテグレーション技術獲得



2023

水素燃料電池システム商品化

舶用水素システムの市場投入開始



2027～

本事業における実船実証運航

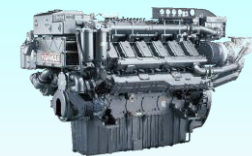
委託事業で開発する舶用水素DFエンジンとMHFS\*  
を油槽船に搭載  
大容量舶用水素システムの利用技術確立



2029～

舶用水素エンジンの社会実装

外航船に向けた舶用水素DF・専焼エンジンの商用化  
と大型/小型CTV等内航船への展開



# 国の支援に加えて、コンソーシアム全体で77億円規模の自己負担を予定

## 資金調達方針

	2021 年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度	2026 年度	2027 年度	2028 年度	2029 年度	2030 年度	2031 年度	2032 年度	2033 年度	2034 年度	2035 年度
事業全体の資金需要	約249億円(コンソーシアム全体)														
うち研究開発投資	約229億円(コンソーシアム全体)										本事業終了後も性能改善及び バリエーション展開の開発を 継続				
国費負担※ (委託又は補助)	約172億円(コンソーシアム全体)														
自己負担 (設備投資含む)	約77億円(コンソーシアム全体)														

※消費税、インセンティブを含まない

※毎年委託事業のインセンティブ相当分は自己負担として計上

（自己負担が会社全体のキャッシュフローに与える影響）

- 金額影響は大きいものの、既存事業における収益、新規事業における収益、将来成長への投資等を考慮した中長期計画を策定しており、キャッシュフローにおいても、これらを含めた枠の中での計画としている。

## 2. 研究開発計画

## 下記アウトプット目標を達成するために必要なKPI

### 研究開発項目

1. 補機用\_中高速\_  
4ストロークエンジンの開発

### アウトプット目標

- ・船舶のゼロエミッション化のため、水素専焼エンジンを開発する。
- ・但し、舶用水素インフラが整備されるまではディーゼル燃料との併用が必要になるため、冗長性確保を考慮して水素DF/混焼エンジンの開発も行う。

### 研究開発内容

- 1 安全対策・水素脆化対策
- 2 水素燃焼・制御技術確立
- 3 水素混焼実機開発
- 4 水素専焼実機開発
- 5 実証運航

### KPI

- ・水素燃料エンジン向けの材料選定指針立案
- ・機関室の安全対策指針策定
- ・中速単筒機による水素混焼実証
- ・高速単筒機による水素専焼実証
- ・水素混焼、出力800kWの中速エンジン開発完了
- ・水素専焼、出力1400kWの高速エンジン開発完了
- ・水素混焼,専焼エンジンでの実証運航完了

### KPI設定の考え方

- 水素エンジンの実現と船舶に搭載するための課題を抽出・解決する。
- パイロット燃料を使用しない専焼エンジンの技術開発により、ゼロエミッション化を図る。DFエンジンではパイロット燃料を使用するが、最大限のGHG削減効果を得る。
- 外航船補機として主流のエンジンスペックであり、幅広い用途に適用可能な出力帯である。
- 高速化により、小形(コンパクト)で高出力の水素専焼エンジンを実現する。
- 船舶への搭載や運用面に関する課題を抽出し、解決を図る。



### 各KPIの目標達成に必要な解決方法

	KPI	現状	達成レベル	解決方法
1 安全対策・水素脆化対策	・機関室の安全対策指針策定 ・水素燃料エンジン向けの材料選定指針立案	実証機設計 (TRL5)	実証機設計・運航計画への展開 (TRL6)	<ul style="list-style-type: none"> <li>機関・機関室についてのリスクアセスメントによる解決策検討</li> <li>材料劣化等の要素試験による部品選定指針策定</li> </ul>
2 水素燃焼・制御技術確立	・中速単筒機による水素混焼実証 ・高速単筒機による水素専焼実証	中速単筒機での実証 (TRL5)	中速単筒機での実証 (TRL5)	<ul style="list-style-type: none"> <li>水素・ディーゼルDF(デュアルフューエル)マイクロパイロット着火燃焼方式の確立</li> <li>水素火花点火燃焼方式の確立</li> <li>シミュレーション計算による諸元最適化</li> <li>異常検知制御技術の確立</li> </ul>
3 水素混焼実機開発	水素混焼, 出力800kW 中速エンジン開発完了	実証機設計 (TRL5)	中速DF多気筒機での実証 (TRL6)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①②の成果展開と実機設計</li> <li>工場実証試験</li> <li>水素エンジンに適合したSCR◇システム開発</li> </ul>
4 水素専焼実機開発	水素専焼, 出力1400kW 高速エンジン開発完了	構想段階 (TRL2)	高速専焼多気筒機での実証 (TRL6)	<ul style="list-style-type: none"> <li>①②の成果展開と実機設計</li> <li>③⑤中速混焼エンジンからのフィードバック</li> <li>工場実証試験</li> </ul>
5 実証運航	水素混焼、専焼エンジンでの実証運航完了	構想段階 (TRL2)	混焼・専焼機関での実船実証 (TRL8)	<ul style="list-style-type: none"> <li>船舶への水素燃料エンジンコンテナパッケージのレトロフィット</li> <li>遠隔監視による運転状態把握と商品へのフィードバック</li> </ul>

各KPIの目標達成に向けた個別の研究開発の進捗度

研究開発内容	直近のマイルストーン	これまでの（前回からの）開発進捗	進捗度
1 安全対策・水素脆化対策	・水素燃料エンジン向けの材料選定指針立案	・社内製造部品,買入部品共に、材料選定指針の策定：完了 ・CFD #による解析結果を基に,単筒機でのクランクケース内水素漏洩対策を完了 ➡多気筒工場実証機用の掃気装置設計に反映	○ （理由）計画通り
2 水素燃焼・制御技術確立	・中速単筒機による水素混焼実証	・多気筒工場実証機と同一のボアとなる単筒機において、マイルストーンを遂行； ➡水素・ディーゼルDF(デュアルフューエル)マイクロパイロット着火燃焼方式確立 ➡目標達成 ・広島大学での水素噴流可視化実験データとCFD計算との照合結果の展開 ➡単筒機CFD #モデル化における反映と水素ガスノズル改良設計実施	○ （理由）計画通り
3 水素混焼実機開発	・水素混焼、出力800kW中速エンジン設計完了	・多気筒工場実証機用のベースエンジン(部品)手配：完了 ・同水素化設計：完了 ・NKとの認証取得方針に関する協議実施 ・(コンソーシアム共用)陸上試験運転設備準備(YPT所掌分)	○ （理由）計画通り

#CFD(Computational Fluid Dynamics)：数値流体力学

個別の研究開発における技術課題と解決の見通し

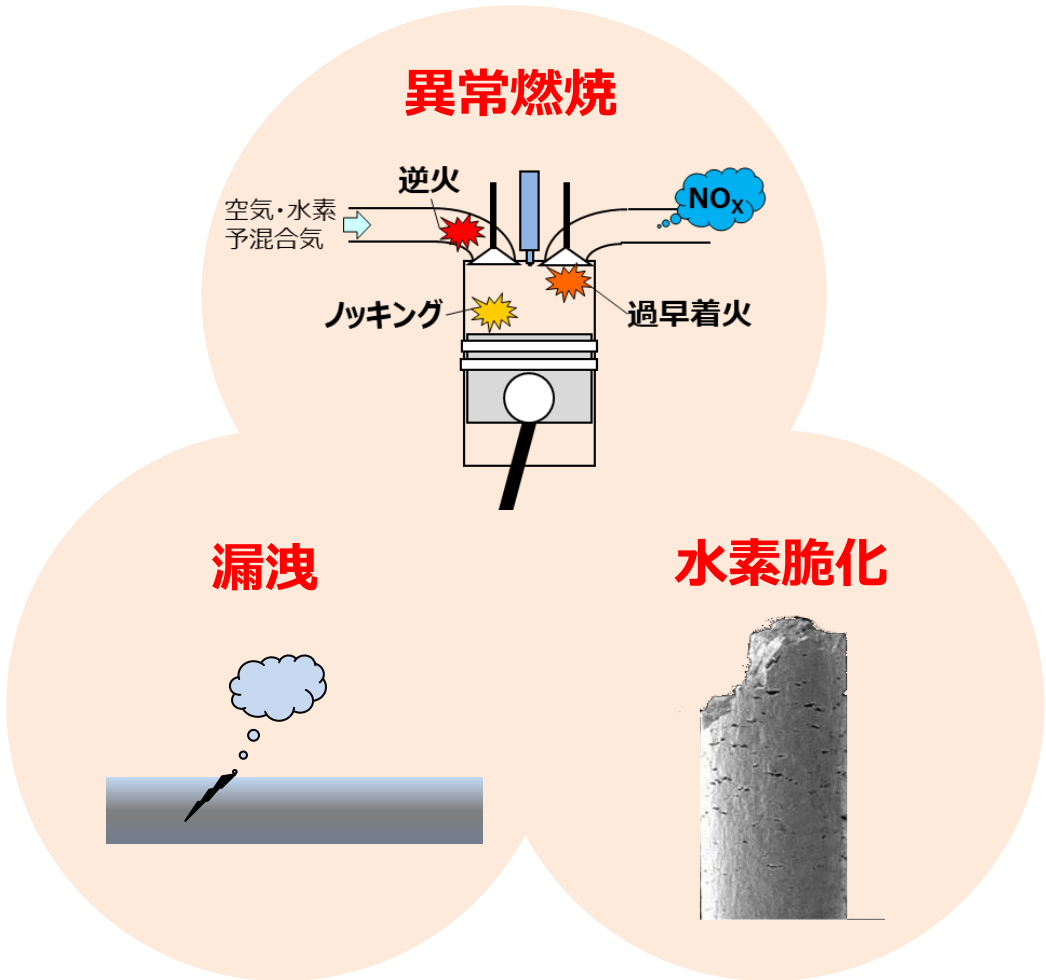
研究開発内容	直近のマイルストーン	残された技術課題		解決の見通し
1 安全対策・水素脆化対策	・水素燃料エンジン向けの材料選定指針立案	・無し		-
2 水素燃焼・制御技術確立	・中速単筒機による水素混焼実証	・無し		-
3 水素混焼実機開発	・水素混焼、出力800kW中速エンジン設計完了	・無し		[今後の予定] ・多気筒工場実証試験への着手(準備を含む.)
4 水素専焼実機開発	2025-28年度の取り組み	5 実証運航	助成事業での取り組み	

2. 研究開発計画に対する進捗・参考資料（3社共通の実施内容）

物性から見た水素燃料エンジンの基本的課題



		水素 H <sub>2</sub>	メタン CH <sub>4</sub>	課題
分子量		2	16	分子量が小さく 漏洩し易い
低位発熱量	MJ/Nm <sup>3</sup>	10.8	35.8	発熱量が小さく 容量や流量が大きくなる
可燃範囲	vol%	4～75	5～15	可燃範囲が広く、 最小着火エネルギーが小さく、 燃焼速度が速いため、 異常燃焼し易い
最小着火エネルギー	mJ	0.02	0.28	
層流燃焼速度	cm/sec	270～290	37～38	
温度(大気圧)	℃	-253	-162	液化温度が低く 貯蔵が難しい
脆化について		水素脆化有	なし	水素脆化した場合 材料強度が低下



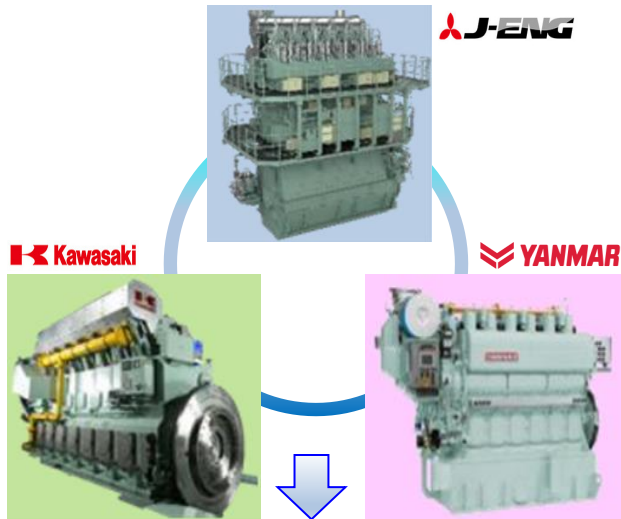
## コンソーシアム共通の技術課題における進捗度

## 【適用材料の水素環境下での材料試験および水素脆化の影響評価】

水素に暴露される可能性のある材料に対し、水素脆化の影響度をまずは調査するべく、九州大学との共同研究を以下のフローにて進めている。

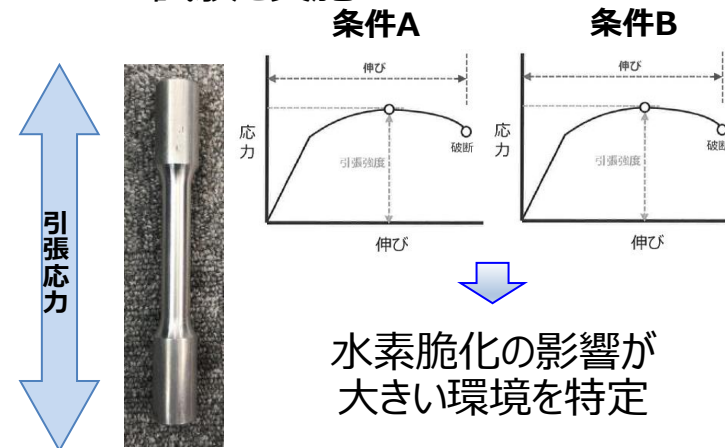
## 1)対象材料の選定

エンジン部品の中から、  
水素脆化影響が懸念される  
材料・使用環境をピックアップ



➡ 2)SSRT※試験(九州大学)

該当材料の使用環境に応じて、  
SSRT※試験を実施



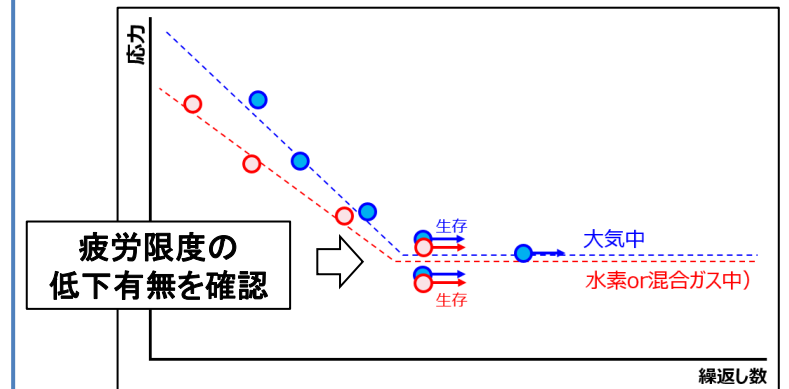
## 水素脆化の影響が 大きい環境を特定

SSRT(Slow Strain Rate Technique)  
: 低ひずみ速度引張試験

### ➡ 3) 疲労強度試験(九州大学)

- ・水素環境下と大気下における疲労強度の比較
- ・水素による疲労強度への影響評価

## 疲労試験 アウトプットのイメージ



【達成状況】

- まずは先行して、重要部品かつ設計に時間のかかるエンジン部品より評価する材料を選定。
- 選定した材料について、エンジン使用環境下において、水素脆化の影響がないことの確認が出来た。  
※引き続き、追加の材料評価を継続中。



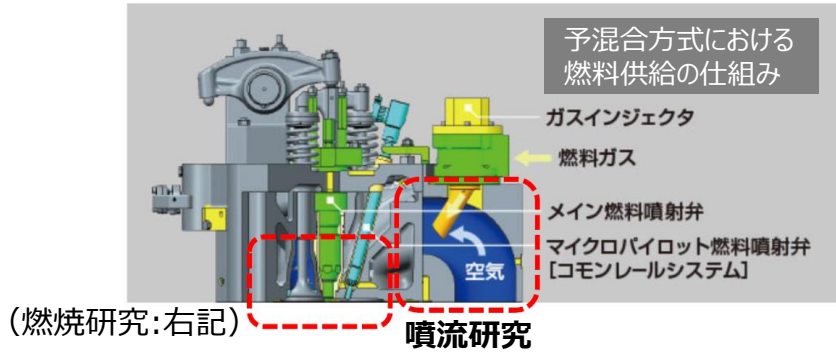
コンソーシアム共通の技術課題における進捗度

【水素噴流のモデル化のための研究】

広島大学

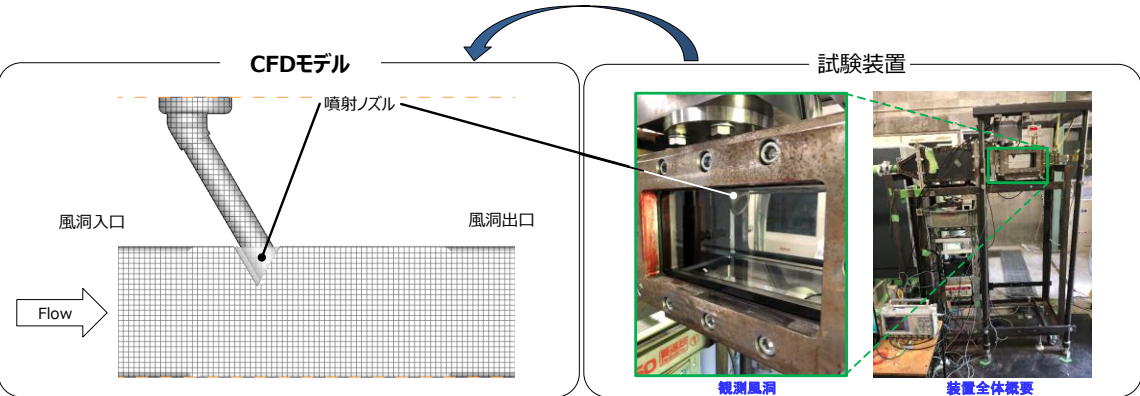
■ 目的・実施概要

予混合燃焼方式では、水素燃料噴射条件の最適化により、混合気の均一化を図ることが**異常燃焼回避**に繋がる。その予測ツールとして、給気ポート内の水素と空気の混合気形成CFD#用モデルを確立する。



■ 達成状況

水素噴流の可視化実験と、試験装置のCFD#モデル化による計算を完了し、両データ間において各パラメータでの良好な一致が得られた。



【水素燃焼の最適化研究】

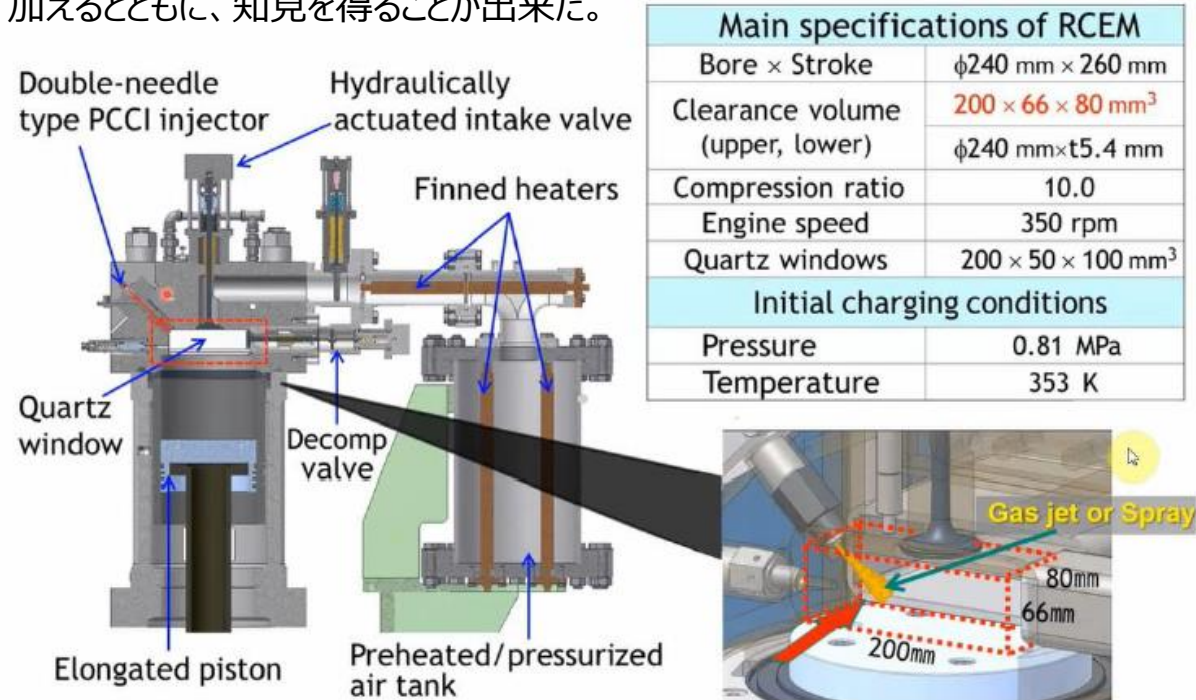
九州大学

■ 目的・実施概要

急速圧縮膨張装置(RCEM)により、基礎燃焼試験(予混合、直噴)を共同で実施。予混合・パイロット燃料噴射と水素ガス直接噴射方式の、各々における水素燃焼CFD#モデルの妥当性検証や燃焼制御条件検討のため、水素燃焼観察への取り組みを行った。船用エンジンのような高過給圧・高噴射圧下での同様な事例は少なく、**異常燃焼回避**に役立てると共に、出力向上(高BMEP<sup>◎</sup>化)に繋げる。

■ 達成状況

予混合と直噴方式について予定した実験を完了し、各々の結果に対しての考察を加えるとともに、知見を得ることが出来た。

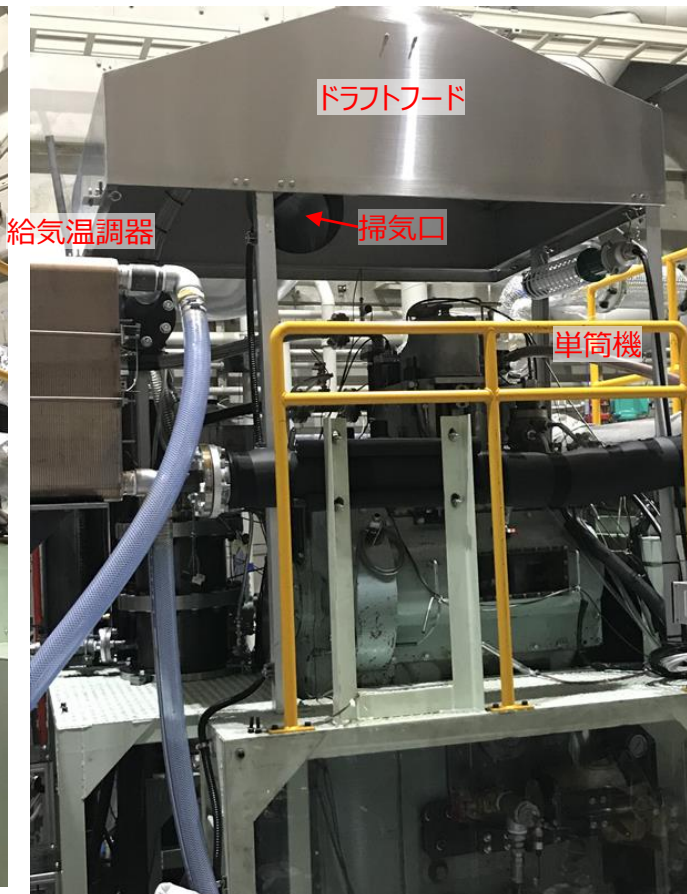
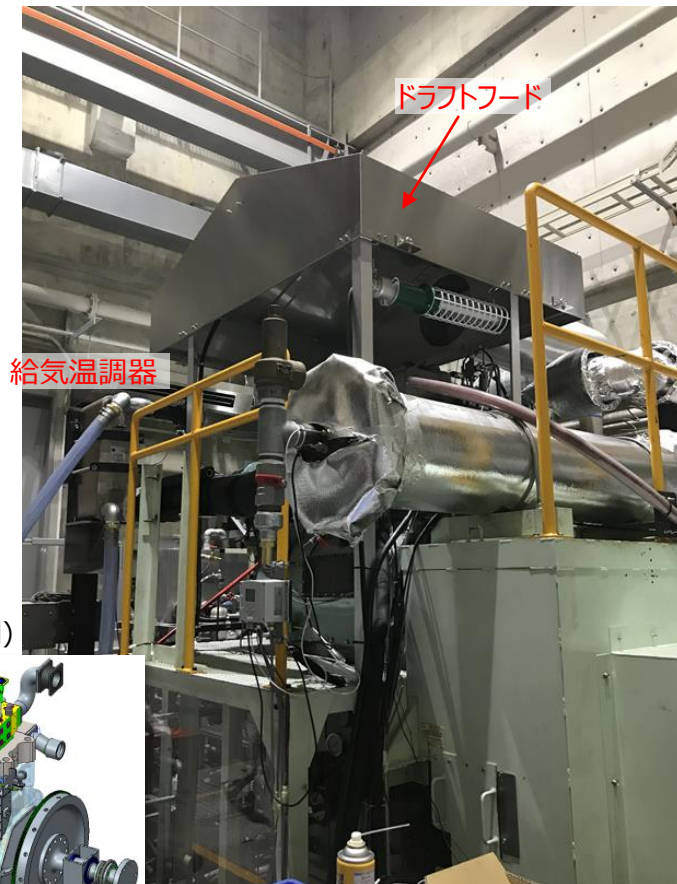


#CFD(Computational Fluid Dynamics)：数値流体力学

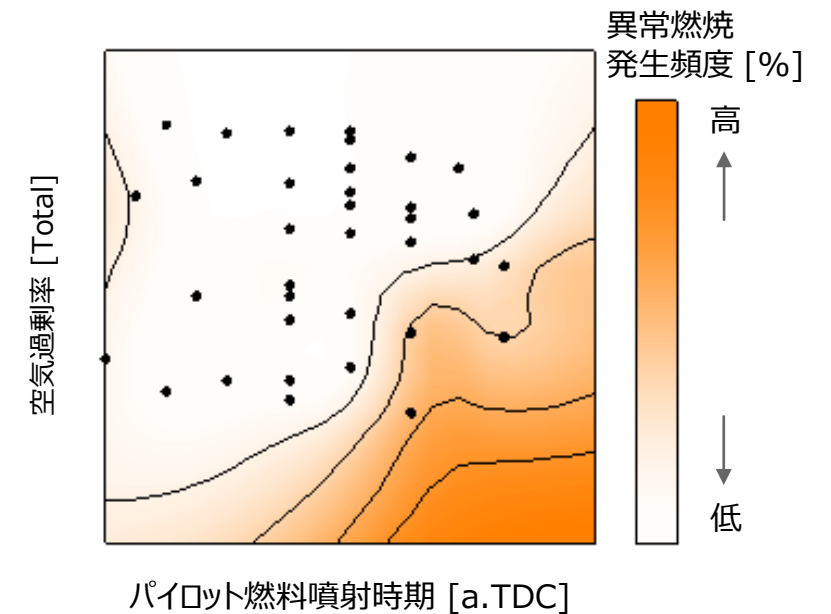
◎BMEP(Brake Mean Effective Pressure)：正味平均有効圧力(エンジンの排気量によらず、トルク特性を横並びに評価するために用いられる指標)

### 中速単筒機による水素混焼実証：完了

#### KPI/目標達成



#### 本単筒機試験データの一部

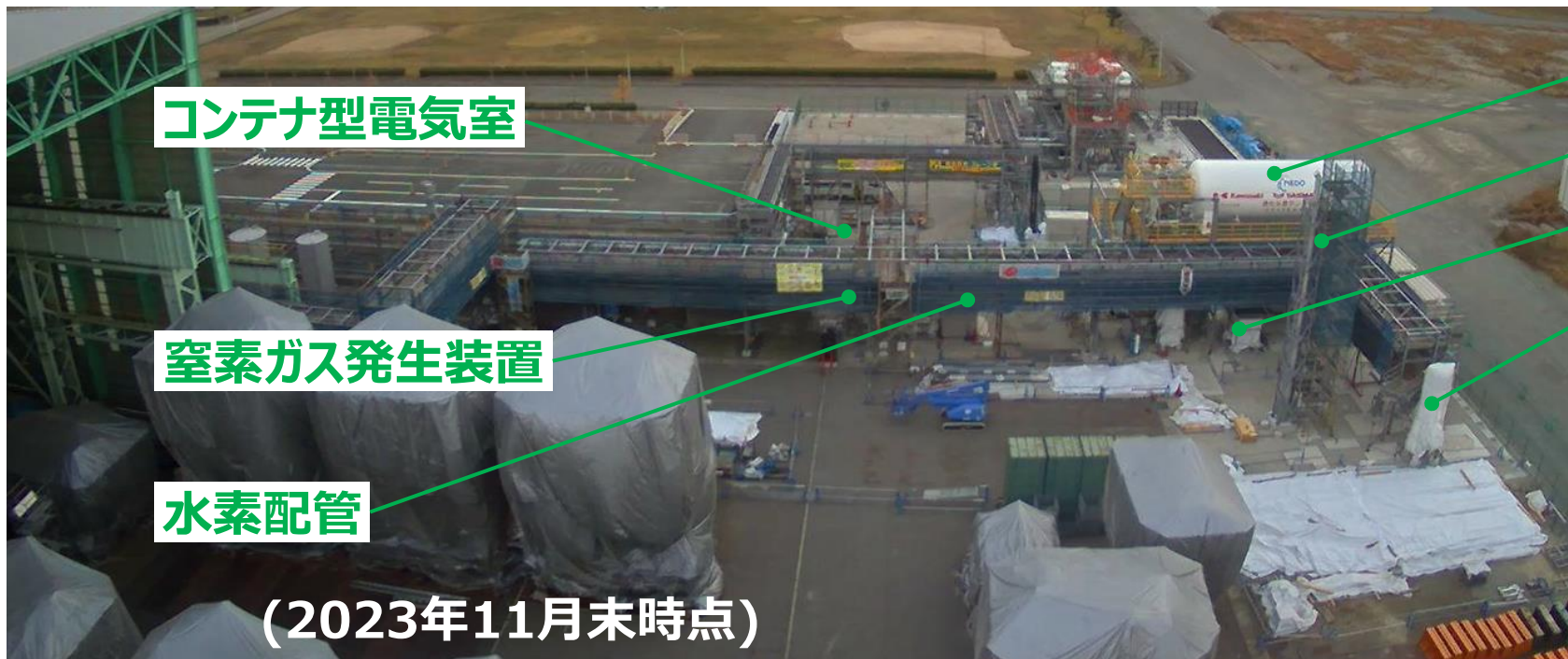


- ・パイロット燃料の噴射時期と空気過剰率のマップで整理
- ・異常燃焼発生頻度が低いほど、安定した運転が可能な領域



## 2. 研究開発計画に対する進捗・参考資料（3社共通の実施内容）

### 水素燃料エンジンの陸上試験運転設備の工事進捗状況【設備建設地全景】

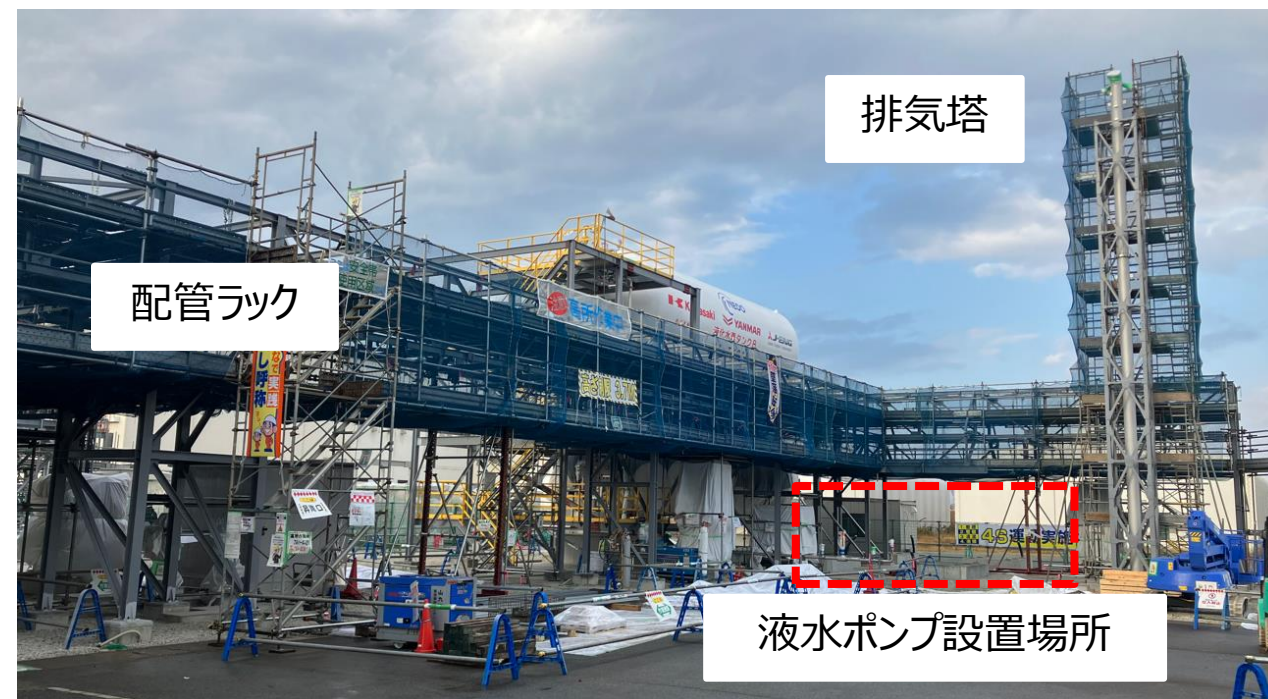




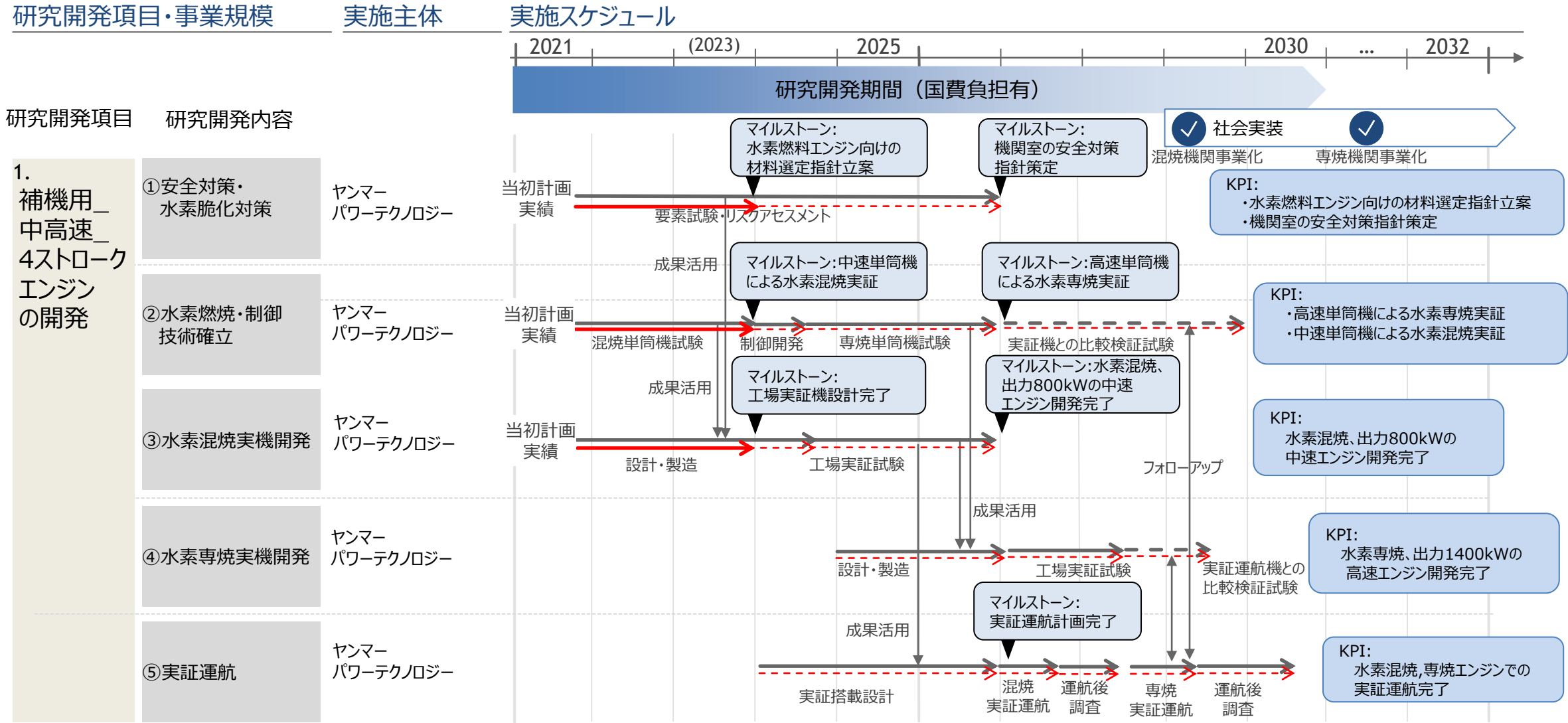
## 2. 研究開発計画に対する進捗・参考資料（3社共通の実施内容）

### 水素燃料エンジンの陸上試験運転設備の工事進捗状況【水素供給設備】

水素供給設備は2024年秋ごろに完成予定



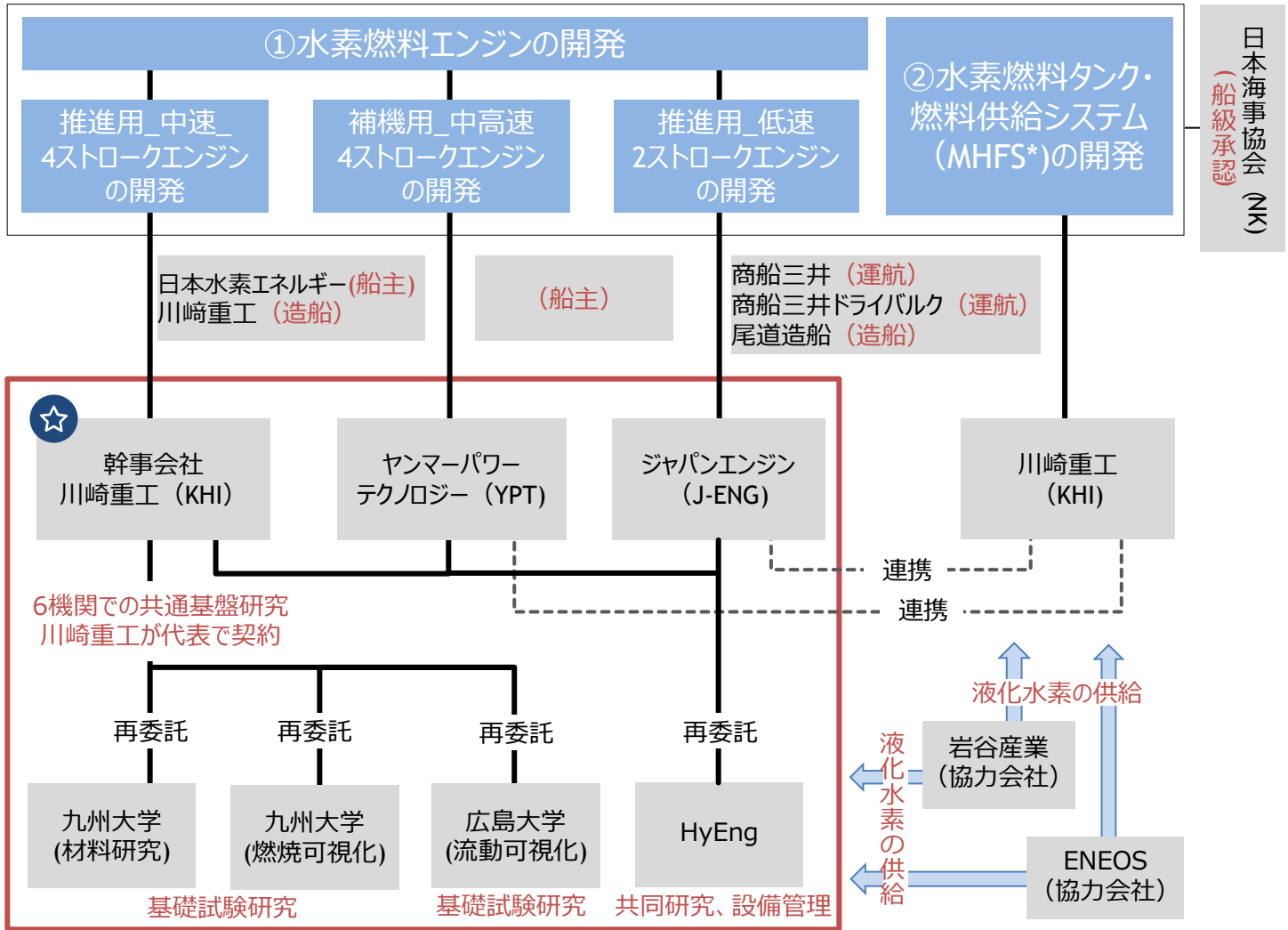
研究開発の大日程と各ステージゲート



各社の共通の課題を効率よく解決し、最速の製品化を目指した研究開発体制を構築

\*MHFS（Marine Hydrogen Fuel System）：船用水素燃料タンク及び燃料供給システム

実施体制図



各主体の役割と連携方法

各主体の役割

- KHIが、プロジェクトの幹事会社を担う。
- KHIは、推進用中速4ストローク水素エンジンの開発及び、YPT社とJ-ENG社向けのMHFSの開発を行う。
- YPT社は、発電補機用中高速4ストローク水素エンジンの開発を行う。
- J-ENGは、推進用低速2ストローク水素エンジンの開発を行う。
- 上記3社及びHyEng（上記3社の合併会社）、九州大学、広島大学の6機関で共通基盤技術の研究を行う。
- HyEngは安全性、材料、燃焼の研究を行う。
- 九州大学は、水素対応の材料試験、燃焼試験を行う。
- 広島大学は、水素燃料の混合気形成・流動可視化試験を行う。
- 岩谷産業及びENEOSはエンジン開発試験、MHFSの開発試験及び両者の実船実証用の液化水素を供給する。

研究開発における連携方法

- 6機関の共通基盤研究を実施するために、九州大学、広島大学とはKHIが代表で、HyEngとは個社ごとに再委託契約を締結する。
- YPT及びJ-ENGはKHIに対して、それぞれの開発エンジンに必要なMHFSの仕様を示し、それらを基に、KHIがMHFSの研究開発を行う。またエンジンとMHFSを組み合わせた陸上試験や実船実証を共同で行う。
- KHI,YPT,J-ENGから岩谷産業及びENEOSに、試験や実証に必要な液化水素の発注を行う。また、将来の水素燃料のバンカリングシステムや拠点の共同検討を行う。



国際的な競争の中においても技術等における優位性を保有

研究開発項目	研究開発内容	活用可能な技術等	競合他社に対する優位性・リスク
1.補機用_中高速_4ストロークエンジンの開発	1 安全対策・水素脆化対策	<ul style="list-style-type: none"><li>ガス・舶用LNG-DF機関の開発実績</li><li>国内初IGFコード対応船舶へのDF機関搭載設計</li><li>燃料電池搭載船の設計技術</li></ul>	→ <ul style="list-style-type: none"><li>船舶への水素燃料電池システム設計ノウハウをエンジン設計に展開できる点が優位</li></ul>
	2 水素燃焼・制御技術	<ul style="list-style-type: none"><li>要素試験機・産業用エンジンでの研究成果</li><li>シミュレーション技術(1D,3D)</li></ul>	→ <ul style="list-style-type: none"><li>エンジニアリング会社からの技術提供による海外メーカー等の開発加速がリスク</li></ul>
	3 水素混焼実機開発	<ul style="list-style-type: none"><li>DF機関に関連した特許</li><li>DF関連の論文発表</li><li>舶用LNG-DFエンジン開発技術</li></ul>	→ <ul style="list-style-type: none"><li>舶用LNG-DFエンジンでの実績</li><li>海外エンジンメーカーによる水素燃料4ストロークエンジンの早期開発がリスク</li></ul>
	4 水素専焼実機開発	<ul style="list-style-type: none"><li>ガス機関に関連した特許</li><li>陸用ガスエンジンに関する研究開発</li></ul>	→ <ul style="list-style-type: none"><li>長年の陸用ガスエンジンでの実績</li><li>エンジニアリング会社からの技術提供による海外メーカー等の開発加速がリスク</li></ul>
	5 実証運航	<ul style="list-style-type: none"><li>船舶へのDF機関・電気推進システムの搭載設計技術</li><li>自社製遠隔監視によるエンジン状態診断</li></ul>	→ <ul style="list-style-type: none"><li>国内での水素燃料エンジン搭載フェリー竣工が先行（CO<sub>2</sub>削減率50%）</li></ul>

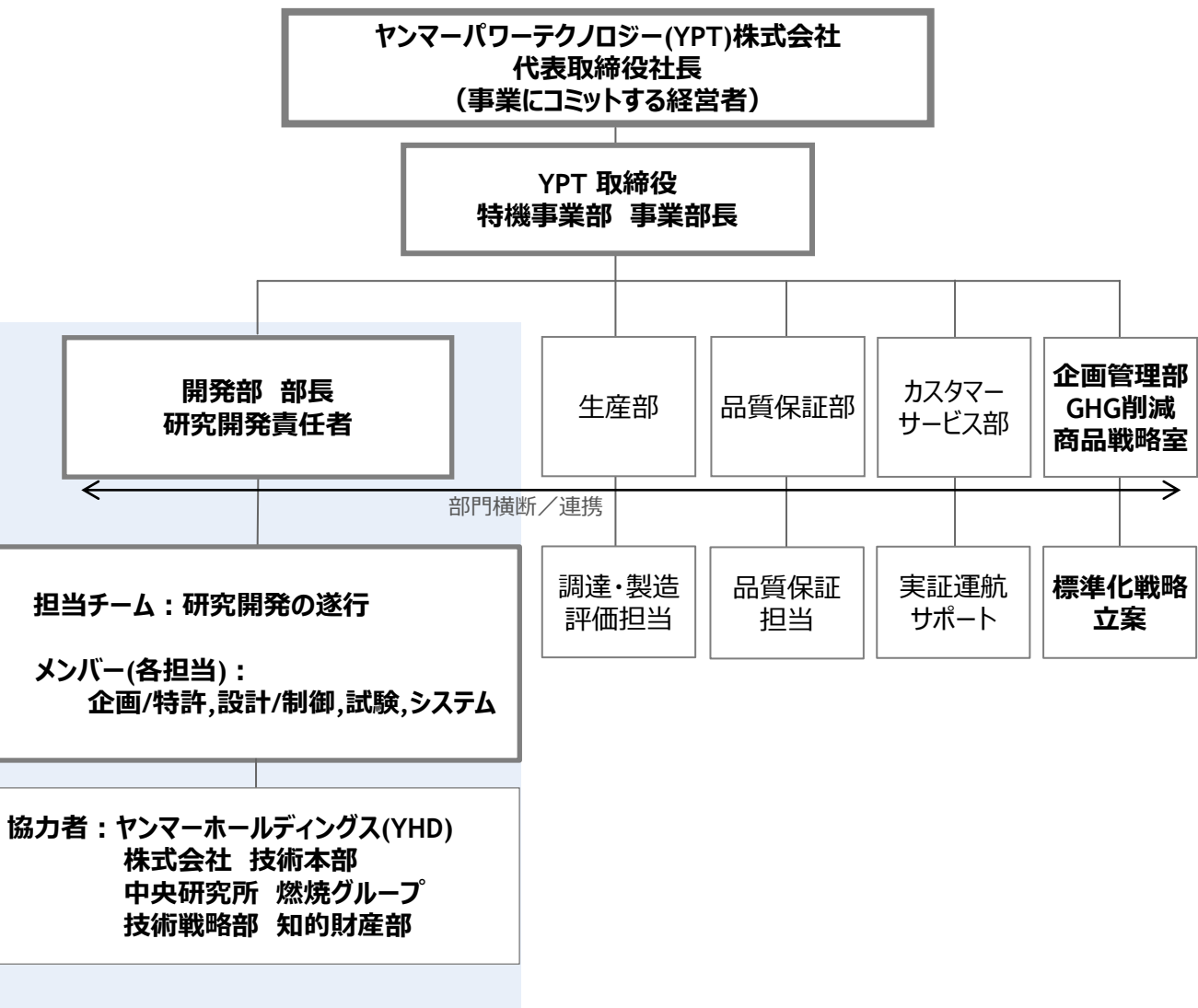
# 3. イノベーション推進体制

(経営のコミットメントを示すマネジメントシート)

### 3. イノベーション推進体制／（１）組織内の事業推進体制

## 経営者のコミットメントの下、専門部署を中心とした担当チームを設置

組織内体制図



組織内の役割分担

- ・YPT特機事業部の下、本事業を開発部が統括
- ・配下に専門のチームを新設し、研究開発～事業化までを強力に推進する。
- ・実証運航に向けては、関連部門との連携を図る。

#### 研究開発責任者(来歴含む)

- ・ 研究開発責任者：研究開発全般の取り纏め責任者
  - 開発部長：船用4ストロークディーゼル・DFエンジン開発等の実績に加え、品質保証業務経験を有し、市場におけるエンジンの信頼性に関する知見を設計指導に活用していく。
- ・ 担当チームリーダー：研究開発内容の推進主導
  - 先行技術部長：船用4ストロークディーゼルのIMO-NOxTier1,2,3対応、Tier3に向けてはSCRシステムの開発・商品化実績、空燃比最適化による水素運転可能範囲拡大に関連して、高過給技術の確立にも携わっている。

#### GHG削減商品戦略室の設置

- ・ メンバーには、開発・営業・知財・企画機能等から中堅を兼務で登用
- ・ カーボンニュートラル・ゼロエミッション商品参入の実現に向けた、事業環境分析からの仮説設定と標準化戦略の立案・遂行

#### 部門間の連携方法

- ・ YPT内、事業部内での月次進捗報告会開催
- ・ 各審査会によるレビュー
- ・ 定期的チーム間ミーティング



### 3. イノベーション推進体制／（2）マネジメントチェック項目① 経営者等の事業への関与

## 経営者等による本事業への関与の方針

#### （1）経営者等による具体的な施策・活動方針

- 経営者のリーダーシップ
  - 「A SUSTAINABLE FUTURE」をブランドステートメントに掲げ持続可能な社会の実現を目指し、脱炭素社会の実現に貢献すべく、ソリューション提案を継続推進。  
消化ガスを活用したバイオガス発電や、舶用水素燃料電池システムの実証試験を実施中。22年4月にはモジュール型バッテリーシステムを販売するELEO Technologies B.V.(本社：オランダ)を買収。  
「A SUSTAINABLE FUTURE –テクノロジーで、新しい豊かさへ。」というブランドステートメントを掲げ、「人間の豊かさ」と「自然の豊かさ」とを両立したものを「新しい豊かさ」と位置付けている。  
我々はお客様の課題を解決するとともに、未来に向けて人間と自然が共生するための社会的責任を担っている。この責任を果たすための指標の一つとして、ヤンマーは「グループ環境ビジョン2030」を掲げ、ホームページ上でも明示。2025年度に向けた中長期での5つの戦略課題の1つとして「循環する資源を元にした環境負荷フリー・GHGフリー企業への挑戦」を掲げ、「YANMAR GREEN CHALLENGE2050」を設定し、各事業・コーポレートでの対応を加速。
- 事業のモニタリング・管理
  - 事業運営・管理体制  
公的研究費を活用して実施する補助事業等の運営・管理を適正に行うため、最高管理責任者の下、補助事業統括、推進管理、事業推進、内部監査それぞれの責任者を設定。

- 経営層の指示  
経営層（最高管理責任者）への進捗報告、事業推進に関する監査を定期的実施する仕組みを社内規程として制定している。
- 社内外からの意見取り込み  
全体では、弊社グループ内の研究部門の他、大学や社外の協力会社等より、幅広い意見を取り入れられる体制とし、事業を推進する。

#### （2）経営者等の評価・報酬への反映

- 2021年度YPT特機事業中期ローリングにおける重点戦略テーマの1テーマとして、「カーボンニュートラル拡大に向けた多燃料パワーソース獲得」を設定。中期事業戦略でのローリング、2022年度YPT特機事業部方針の重点課題としての設定を行い、月例会議にて進捗を報告・管理。  
2023年度も、YPT特機事業部方針の重点課題の1つとして、「パワーソース多燃料化商品投入」を掲げ、本水素エンジンの開発を重点フォロー。  
重点課題の達成度は事業部の評価項目となっており、事業の進捗状況が事業部長の評価に反映される仕組みとなっている。

#### （3）事業の継続性確保の取組

- 2021年度に引き続き、2022年度、2023年度YPT特機事業中期ローリングにおける重点戦略テーマに位置づけをした上で、機能別戦略として具体的なアクションプランを作成。作成された資料は中期関連資料として、関連部門長で共有済み。  
事業部長の引継ぎ用資料の一項目として中期事業戦略は扱われるため、着実に引継ぎが実施される体制を担保している。

## 経営戦略の中核に水素事業を位置づけ、企業価値向上とステークホルダーとの対話を推進

### （１）取締役会等コーポレート・ガバナンスとの関係

- カーボンニュートラルに向けた全社戦略
  - 2021年度ヤンマーグループ中期戦略立案方針において、長期的に目指す姿の一つとして「循環する資源を元にした環境負荷フリー・GHGフリーの企業になる」が掲げられ、グループとして脱炭素戦略を作成。
- 経営戦略への位置づけ、事業戦略・事業計画の決議・変更
  - YPT特機事業として、カーボンニュートラル実現に向けた商品ロードマップ、研究開発費投資計画を策定。  
毎年の中期ローリングにてリバイスを継続実施中。  
毎月開催の事業部内執行会議において、重点課題として計画の進捗を継続フォロー中。
- コーポレートガバナンスとの関連付け。
  - YHDの中期戦略レビューで、上申・決議を行い(グループ戦略会議で議論)承認済み。2023年度も中期事業戦略ローリングを実施し、YHDグループ戦略会議にてローリング内容を承認済。
  - YHD主催の月次事業報告会にて、重点課題であるカーボンニュートラルへの対応進捗の報告を実施中。

### （２）ステークホルダーとの対話、情報開示

- 中長期的な企業価値向上に関する情報開示
  - 現在策定中のグループ全体を包括する脱炭素戦略の中で、グループ水素戦略を立案済み。取り組みを加速。
  - ヤンマーグループのブランドステートメント「A SUSTAINABLE FUTURE」の実現に向けた取り組みとして、CSR報告書等により、適宜、推進事項を開示中。
  - GI基金採択はプレスリリースにて公表済み(2021年10月26・27日)。
  - バリシップ2023・Nor-Shipping2023においても水素燃料対応の開発状況を積極的に説明
- 企業価値向上とステークホルダーへの説明
  - 非上場であるため、投資家への説明予定は無いが、金融機関等のステークホルダーに対しては実施。  
(2022年株式会社日本政策投資銀行のDBJ環境格付けにおいて、“最高ランクA”を取得済) Aランク格付けは17年連続
  - 定期的に行っている取引先への事業状況説明の場で、大きな方向性については説明を継続実施中。

### 3. イノベーション推進体制／（4）マネジメントチェック項目③ 事業推進体制の確保

## 機動的に経営資源を投入し、社会実装、企業価値向上に繋ぐ組織体制を整備

#### 経営資源の投入方針

- 全社事業ポートフォリオにおける本事業への人材・設備・資金の投入方針
  - プロジェクトチームを立ち上げ、専門性のあるメンバーを配置。
  - YHD技術本部中央研究所に有する運転ベンチ、および株式会社ジャパンエンジンコーポレーションの二見工場内に設置する試験設備等を活用して、効率的な事業推進を図る。
  - 事業期間中／終了後の商用事業では適切な設備投資を行い、製品供給に繋げる。
  - 国費以外にも研究開発投資・設備投資等に自社で資金投入を実施
- 機動的な経営資源投入、実施体制の柔軟性確保
  - 2020年度より、開発部においてGHG規制対応エンジンチームを編成。その中で水素燃料エンジン開発に取り組む。
  - エンジン開発には勿論のこと欠かせない設計、試験、及び船体搭載検討を担当する各部門から選出したメンバーを中心に同チームを構成しており、リソースの効率的かつ柔軟性を持った投入を可能とする。
  - 事業開始からの進捗状況として、設計、試験を担当する部門横断的なメンバーの推進により単筒試験機ならびに運転設備を準備の上、燃烧技術や安全対策技術確立のための運転試験を実施した。

#### 専門部署の設置

- 専門部署の設置
  - 2020年度4月より、船用パワースourcesの分野において、新燃料を含み次世代技術を創出する専門部署として先行技術部を設置(前身:先行開発部)。将来の環境規制対応のためのコア技術確立と関連部門との連携により、グローバルマーケットに通用する商品を提供することを任務としている。
  - 川崎重工業(株)、(株)ジャパンエンジンコーポレーション、YPTの3社は、シナジー効果を狙い、HyEng株式会社を設立。
  - GHG削減商品戦略室の設置  
2022年9月に標準化戦略の立案・推進を任務とする部門を設置  
各機能の中堅・若手社員が現業と兼務する形で編成し、育成機会を提供
- 若手人材の育成
  - 2030年とその先を見据え、本プロジェクトチームメンバーには若手を積極的に配置し、将来のエネルギー・産業構造転換に向け、必要な技術やスキルの育成に努める。
  - 研究開発系における個人別能力ランク付け等のグループで保有している制度も継続的に活用していく。

## 4. その他

## 4. その他／（１）想定されるリスク要因と対処方針

# リスクに対して十分な対策を講じるが、対象とする市場が無く技術的開発意義を失った場合等には事業中止も検討

### 研究開発（技術）におけるリスクと対応

- 開発において、想定していた以上の困難さが発見され、目標として設定した技術の達成が、現実的に困難であるリスク

#### <リスク対応>

真っ先にはコンソーシアム内で解決を図ることになるが、社外関連機関や必要に応じて競合他社との連携も視野に入れ、目標値の再設定も検討し、ゴールを目指す。開発計画の変更も同時に行う。

- 技術確立はできても、その技術に基づいて製作した製品が価格や性能的に競合他社の製品に対して競争力を持たず、市場に受け入れられないリスク

#### <リスク対応>

市場動向の収集はもとより社内コスト管理を徹底し、必要に応じて、市況を踏まえた目標値の見直しを行う。

### 社会実装（経済社会）におけるリスクと対応

- 社会トレンドが変化し、水素燃料活用の必要性が低下するリスク

#### <リスク対応>

社会情勢等の情報収集に努め、水素燃料エンジン、液化機の需要が変化した場合は、要素技術を転用可能な他のマーケットへターゲットを変更し、開発計画および、達成目標の調整を行う。

### その他（自然災害等）のリスクと対応

- 天災地変、風水害その他の誰の責に帰すことができない事由が発生するリスク

#### <リスク対応>

本開発を一旦中断の上、該当事由が収束次第、開発計画、スケジュールの見直し等をNEDO殿と協議させて頂きたい。



### ● 事業中止の判断基準：

- 再設定した目標値でも受入れられる市場が存在せず、技術的開発意義も無いと判断される場合。
- 転用可能な市場が存在せず、技術的開発意義も無いと判断される場合。
- 事由発生後の状況において、開発計画やスケジュールの変更を行っても開発継続が困難であると判明した場合。