資料７

GI基金事業の取組状況について

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：川崎重工業株式会社（幹事企業）、代表名：代表取締役社長　橋本　康彦

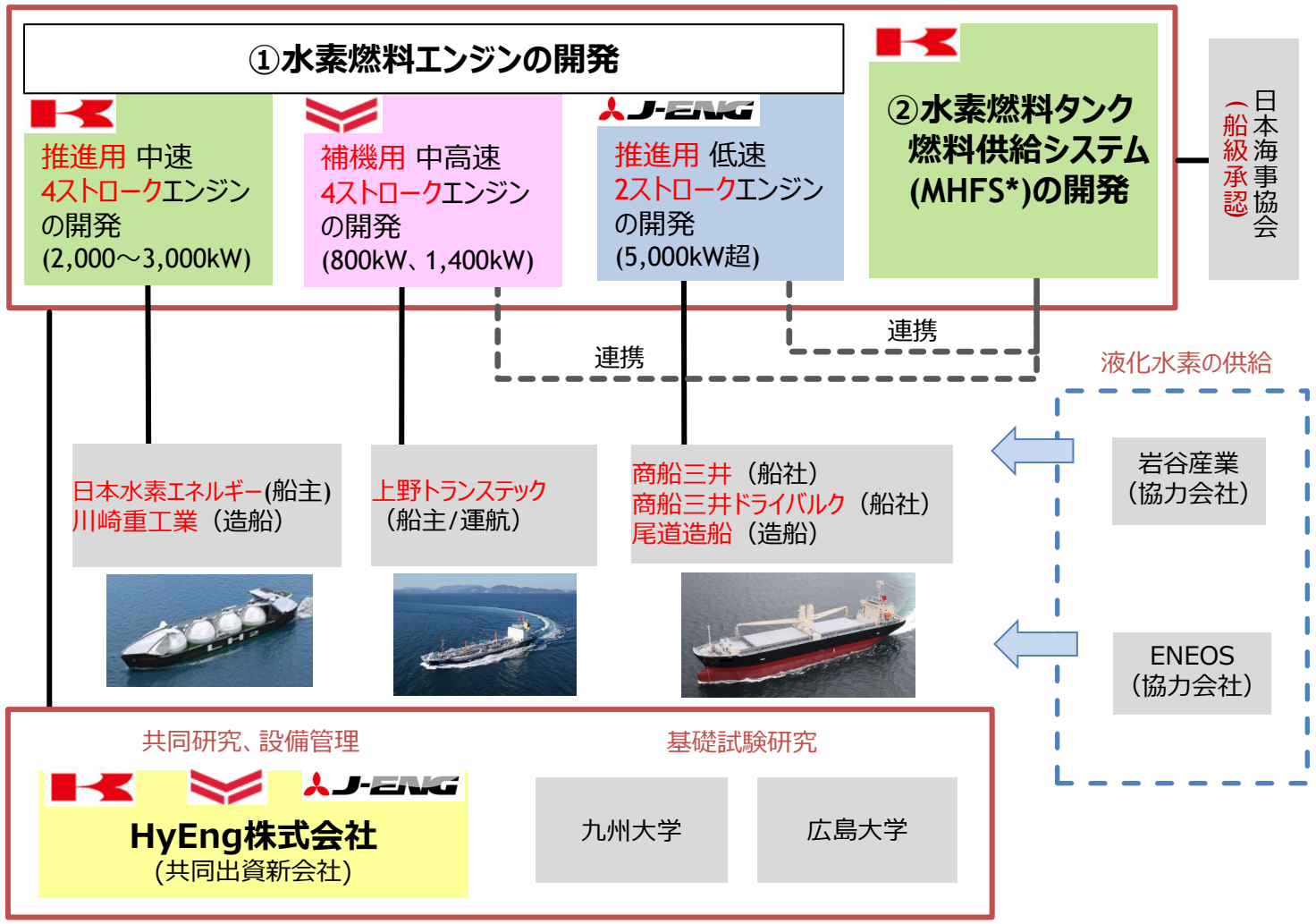
共同実施者：ヤンマーパワーテクノロジー株式会社
共同実施者：株式会社ジャパンエンジンコーポレーション

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

研究開発体制

船主・造船所・液化水素供給者・船級・大学等を含めた産・官・学の開発体制を構築

研究開発体制図



コンソーシアムによる取組内容

①舶用エンジンマーケットのボリュームゾーンとなる出力0.5MW～15MWをカバーする水素燃料エンジンをコンソーシアムにて同時並行開発

②水素燃料供給システムも含めたインテグレーションシステム提供

③水素燃料エンジン搭載を実現する国際ルール作り

④普及のための標準化戦略立案と共同実行

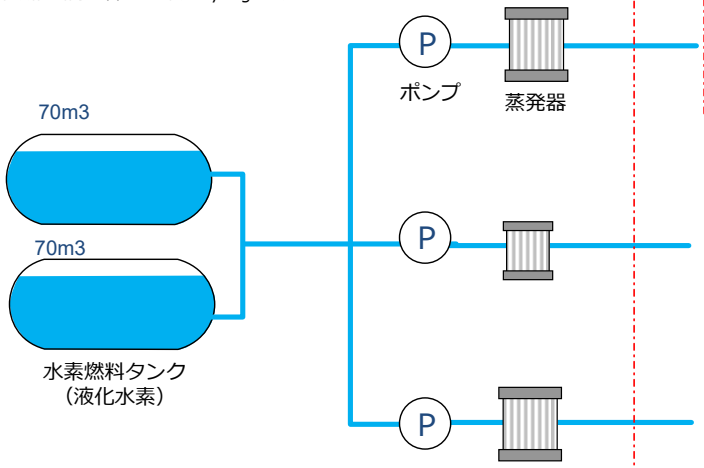
*MHFS（Marine Hydrogen Fuel System）：舶用水素燃料タンク及び燃料供給システム

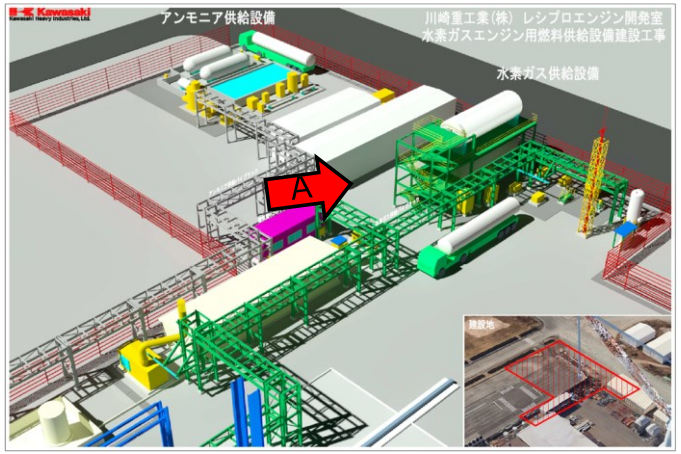
J-ENG本社工場(明石市）で共同試験運転を実施

共通水素供給設備

Kawasaki

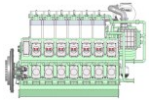
本設備の維持・管理、運転はHyEngの予定





水素エンジン運転設備

Kawasaki



推進用 中速 4ストローク
出力：2000～3000 kW
回転数：720 rpm

YANMAR

補機用 中/高速 4ストローク
出力：800kW/1400kW
回転数：900rpm/1800rpm

J-ENG

推進用 低速 2ストローク
出力：3000～15000kW
回転数：79～215rpm

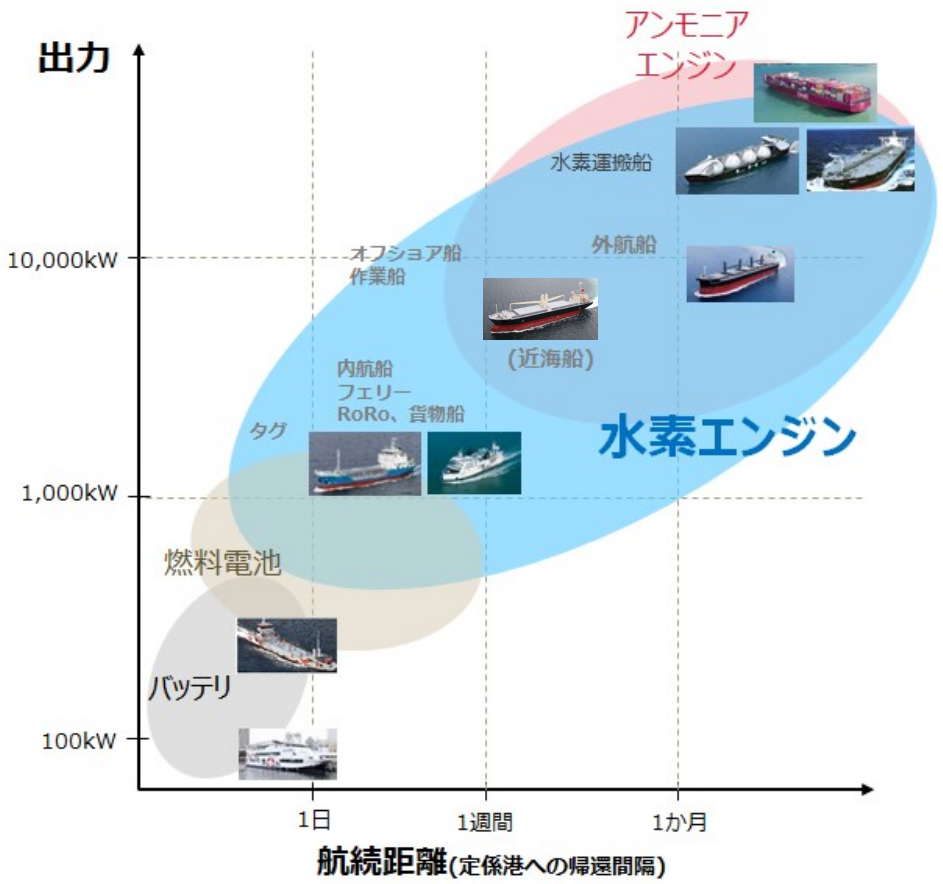
液化水素貯蔵および水素供給設備の建設状況

3社で舶用水素燃料エンジン市場をフルカバーして牽引（機関出力:0.5～15MW）

機関　：数値はエンジン出力
MHFS　:数値は液化水素タンク容量

セグメント分析

出力・航続距離に対する新燃料の適合性イメージ



出典：国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップなどをもとに作成

ターゲットの概要

川崎重工業

		目標シェア(2050)
外航船	主機関 :8～30MW（複数台搭載合計 プロペラ直結除く）	30%
	MHFS :0.5～1.6万m³ 以上	70%
大型内航船	主機関 :2～8MW	60%
小型内航船	MHFS :100～1500m³	90%
小型船	主機関 :燃料電池/バッテリー	対象外
	MHFS :15～100m³	90%

ヤンマーパワーテクノロジー

外航船	発電補機 :0.5～2MW	50%
大型内航船	発電補機 :0.5～2MW	90%
小型内航船		

ジャパンエンジンコーポレーション

外航船	主機関　：３～15MW	20～30%

海外エンジンメーカーのシェア構造切り崩しを狙う！

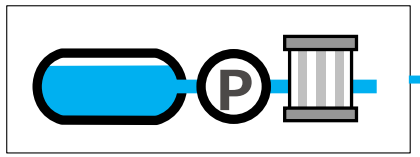
*MHFS：舶用水素燃料タンク及び燃料供給システム

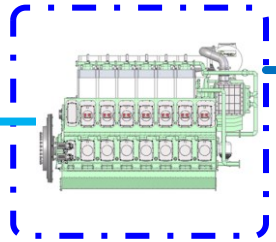
各社共同による「舶用水素エンジン＋MHFS※」システム提供の目標

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

Kawasaki　Kawasaki

小形MHFS



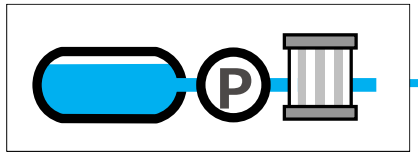


搭載

液化水素運搬船　主機＋発電補機

Kawasaki　YANMAR

小形MHFS

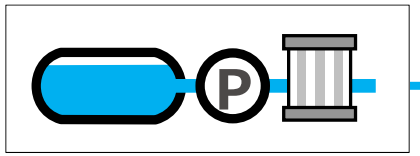


搭載

内航船　主機＋発電補機＋MHFS

Kawasaki　J-ENG

大形MHFS



水素燃料タンク　ポンプ　蒸発器

外航船　主機＋発電補機＋MHFS

水素燃料主機・水素燃料発電補機・MHFSをコンソーシアム内で保有→システム提供可能

標準・基準作りについて、メリット・デメリットを整理した上での戦略

IMOやISO等の規則化は、普及促進、開発・設計の後戻り回避には有利であるが、
参入障壁の低下により早期に競争力を失うという**2面性有り**。

従って；

航行の安全、環境（毒性、CO2排出等）、運用の面で満たすべき仕様を性能基準として早期にルール化することが望まれる一方で、構造規準の様に詳細寸法・形状、材料、設計技術や製造法を示唆したり、先行技術を例示しつつクライテリアを提示することは後発者利益の誘発、技術進展・革新を難しくする点でも好ましく無い。

○ 性能基準規則

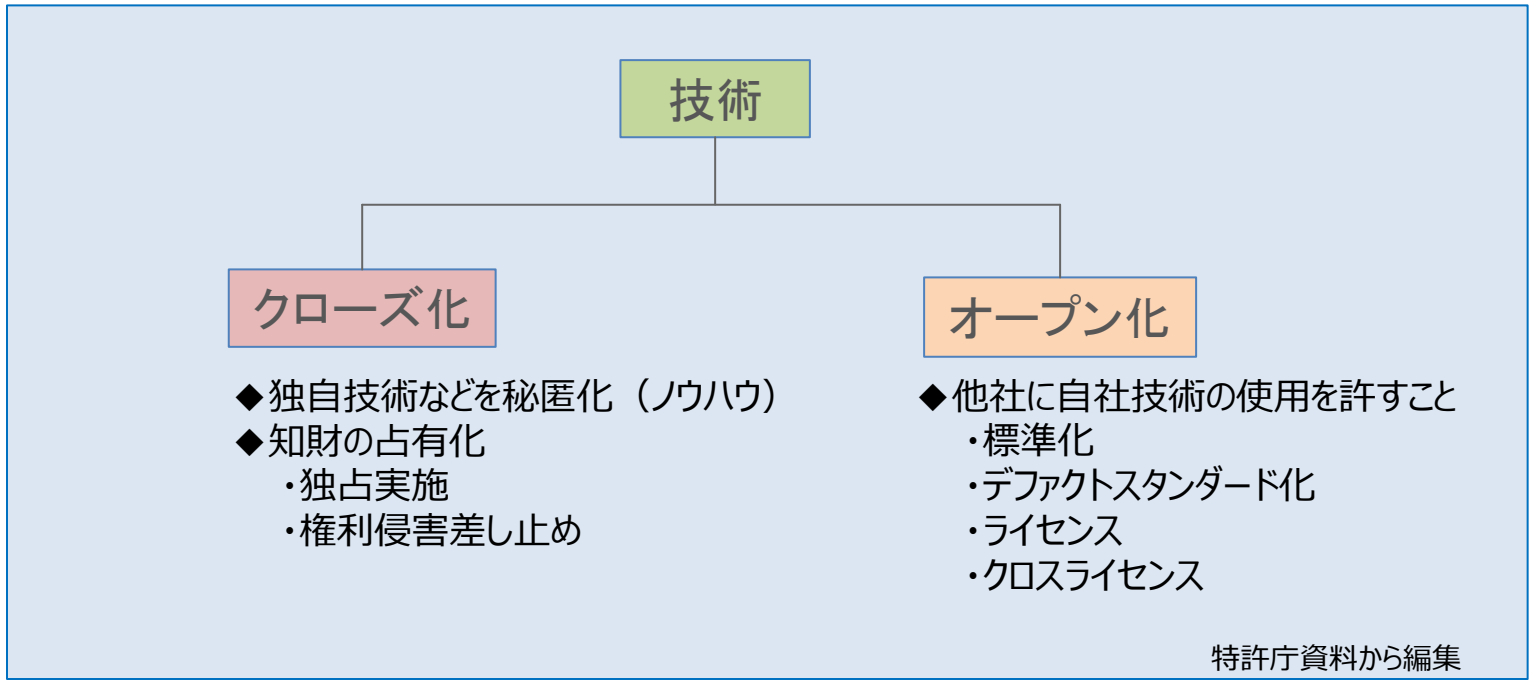
× 構造基準規則

→当コンソーシアムは、船級協会殿と、本件に関してのディスカッションを開始。
今後の規則化における留意点として、上記の青字について要望した。

規則要求を満たすには、当コンソで開発した製品および技術パッケージ(水素エンジン、MHFS)を使用するのが、最も安全で、簡単で、早く、安く実現できる様にするべく、技術開発を行い、本パッケージを提供することが理想である。

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、**<u>オープン領域とクローズ領域について仕分け</u>**し、標準化と知財占有化を検討する。



オープン **<u>標準化</u>**

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：大形舶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 **<u>ノウハウ or 知財占有化</u>**

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）

当コンソーシアムが考える水素エンジン普及シナリオ

液化水素運搬船

気化した水素を燃料として活用する点、高効率の観点からレシプロ機関が嗜好される。

水素燃料船

脱炭素燃料（水素・アンモニア・e-fuel）に関しては、量産により経済的合理性ができるまでは、化石燃料に比べコストは上昇する。

従って、以下の政策・支援が望まれます。
- **脱炭素の世界方針化（条約化）**
- **課金・還付制度**

国際海運においては、IMOで既に議論中。

燃料供給体制早期整備、航続距離の観点からは
内航海運の早期実現性に対し高いポテンシャル有り。

現状、船舶により輸送する**製品価格に及ぼす燃料費のコスト割合はそれほど高くない**。
荷主による環境コスト負担の原則をどのように徹底するかがポイント

海外へのブランド認知・海外顧客への売り込み戦略についての考え

- **国内案件実績醸成後の海外展開**
- **水素利用の拡大を図ろうとしている国々とのコラボレーション**
  ⇒欧州の内陸水運
  ⇒中東の海運
- **海外支社による営業活動や展示会等を通じたPR活動**
  →海外顧客とのパイプ作り → アーリアダプションとして有望なクルーズ船、コンテナ船(小型)、海外官公庁船案件に対する要望のヒアリング、課題検討の実施
  → 海外荷主、船主からの将来戦略についてのヒアリング
  → 双方からのアーリーアダプションに対するコラボレーション提案へ

展示会における水素エンジン模型展示
例：G7伊勢志摩交通大臣会合にて

- **船舶向けと共に陸上発電用としてプロモーションを行い認知度を高める。**
- **海外エネルギーメジャーとのコラボ**
  →代替燃料採用には、必ずエネルギー供給体制の確立が必要。
  →海外における水素サプライチェーン構築活動と一体になった売り込み戦略

海外におけるエネルギー供給体制の構築は、既存のエネルギー会社とのコラボが現実的である。
(営業・販売チャンネル領域、資金領域、ロジ領域などの観点で)

水素エンジン：技術様式の絞り込みの範囲やタイミング等、市場投入についての考え

見えてきた水素エンジンにおける技術課題　→　異常燃焼の回避と対策

・高圧直噴　→〇出力密度の向上　→　△NOx増大(～2027) →　〇EGR, SCR→　△廃水処理(EGR)
×水素圧縮動力増大　→　〇液水ポンプの採用　→　×BOGの利用ができない.
↓
〇低圧予混合エンジン or FC (発電)との複合利用

・低圧予混合→〇BOGの利用
→×出力密度の低下
→ 〇EGRの採用→　△システム複雑、コスト増加、スペース増加→　△廃水処理(～2029)
→ 〇燃焼室設計変更　→　△NOx増加　→　〇SCR (～2027)
→ 〇シリンダ数増加
〇高速エンジン化
〇高過給化,付加デバイスの装備

〇　：改善策
×　：デメリット
△　：開発結果次第　→　△開発技術により、その絞り込みや差別化・最適化ができる。

BOG:Boil Off Gas
EGR:Exhaust Gas Recirculation
SCR:Selective Catalytic Reduction

現状の燃料供給システムでは、両タイプのエンジンを主機、補機で組み合わせて採用する事が、システム効率とボイルオフガス利用の観点から最良であることも判明

MHFS:技術様式の絞り込みの範囲やタイミング等市場投入についての考え

見えてきたMHFSにおける技術課題 → 液水タンクサイズ、水素漏洩解析と船舶設計への反映

- **BOGの利用** → BOG利用可能な推進システムの開発 → ○低圧水素消費機器
  △タンクマネージメント
- **BOGの最小化** → バンカリング時のBOG発生抑制 → △バンカリングの自動化、迅速化
- **エネルギー当りの体積大** → 液水タンク容量が大 → ○バンカリング頻度高 → △バンカリングの容易化
  ↓
  △バンカリングの自動化、低コスト化
- **水素漏洩対応** → 船舶設計に影響 → ○漏洩解析技術の構築 → △漏洩解析技術の設計ツール化（～2028）
  ↓
  ・船舶設計支援請負
  ・新ビジネス→船舶設計が我が国の強味

○ ：改善策
× ：デメリット
△ ：開発結果次第 → △開発技術により、その絞り込みや差別化・最適化ができる。

水素運搬実証船・水素燃料実証船　プロジェクト進捗状況

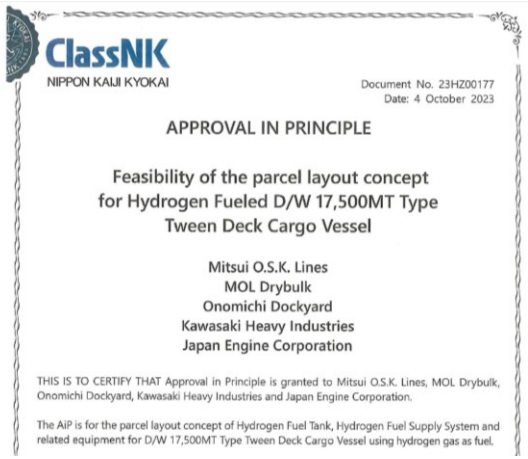
プロジェクト	実施者・協力者	進捗状況・予定	
 液化水素運搬船　発電補機	Kawasaki（水素エンジン） JSE Ocean　(船主) 川崎重工業　（造船所） 海上安全技術研究所（国交省） 日本海事協会（船級協会）	2022年 10月；液化水素運搬船への水素エンジン搭載に関するHAZID*完了。 10月；**AiP*取得**	
 内航タンカー　主発+MHFS	YANMAR（水素エンジン） Kawasaki（MHFS） 上野トランステック（船主/運航） （造船所） 日本海事協会（船級協会）	2023年 9月；リスクアセスメント/ HAZID完了 → **AiP*取得予定**	NK殿にて「水素燃料船ガイドライン」の作成作業を開始。 （発行目標：2024/4）
 外航バルカー　主機+MHFS	J-ENG（水素エンジン） Kawasaki（MHFS） 商船三井（船社） 商船三井ドライバルク（船社） 尾道造船（造船所） 日本海事協会（船級協会）	2023年 9月；配置設計リスクアセスメント/ PreHAZID完了 → **AiP*取得** 2024年 3月；リスクアセスメント/ HAZID実施予定	

*HAZID
(Hazard Identification Study)
安全性評価手法

*AiP (Approval in Principle)
設計に関する基本承認

フルスケール水素DFエンジンと大型MHFSを搭載する実船実証運航

2023年10月に区画配置コンセプトに関する基本設計承認(AiP)を取得し、プレスリリース。



ClassNK
NIPPON KAIJI KYOKAI

Document No. 23HZ00177
Date: 4 October 2023

APPROVAL IN PRINCIPLE

Feasibility of the parcel layout concept
for Hydrogen Fueled D/W 17,500MT Type
Tween Deck Cargo Vessel

Mitsui O.S.K. Lines
MOL Drybulk
Onomichi Dockyard
Kawasaki Heavy Industries
Japan Engine Corporation

THIS IS TO CERTIFY THAT Approval in Principle is granted to Mitsui O.S.K. Lines, MOL Drybulk, Onomichi Dockyard, Kawasaki Heavy Industries and Japan Engine Corporation.

The AiP is for the parcel layout concept of Hydrogen Fuel Tank, Hydrogen Fuel Supply System and related equipment for D/W 17,500MT Type Tween Deck Cargo Vessel using hydrogen gas as fuel.

AiP証書授与式の様子

水素燃料多目的船(1万7500重量トン型)（完成予想図）

MOL 商船三井　MOL 商船三井ドライバルク
尾道造船株式會社　Kawasaki　J-ENG

2023年10月19日

水素燃料船の実証運航に向けて基本設計承認(AiP)を取得

株式会社商船三井
商船三井ドライバルク株式会社
尾道造船株式会社
川崎重工業株式会社
株式会社ジャパンエンジンコーポレーション

株式会社商船三井、商船三井ドライバルク株式会社、尾道造船株式会社、川崎重工業株式会社および株式会社ジャパンエンジンコーポレーションの５社は、ゼロエミッション燃料である水素を燃料とする多目的船(以下「本船舶」)のリスク評価を行い、一般財団法人日本海事協会から区画配置コンセプト(※1)に関する基本設計承認(Approval in Principle:以下、「AiP」)を取得しました。

大型低速２ストローク水素燃料エンジンを主機関として搭載する船舶に関するAiP取得は世界初となります。

プロジェクトの推進体制（川崎重工業）

JSE Ocean(船主)

代表取締役社長
橋本 康彦
（事業にコミットする経営者）

コンソーシアム
YANMAR
J-ENG Japan Engine Corporation

HyEng株式会社
(共同出資新会社)

技術開発本部
本部長　中谷　浩

水素戦略本部
本部長　原田　英一
副本部長　山本　滋

エネルギーソリューション＆マリンカンパニー
プレジデント　西村 元彦
バイスプレジデント　村上 直樹

システム技術開発センター
センター長　加賀谷　博昭

技術研究所
所長　川崎　卓巳

技術総括部
総括部長　岩崎 英和

エネルギーディビジョン
ディビジョン長　杉本 智彦

舶用推進ディビジョン
ディビジョン長　村田 英彰

開発部
部長　東 誠

レシプロエンジン技術部
副部長　東田 正憲
（研究開発責任者）

品質保証部

調達部

製造部

インテグレーションシステム開発部
要素技術研究

エネルギーシステム研究部
機械システム研究部
環境システム研究部
強度研究部
材料研究部
要素技術研究

水素エンジン及びMHFS開発サポートチーム
要素技術研究

水素エンジン開発・設計チーム
エンジン開発・試験
エンジン本体設計

MHFS開発チーム
MHFS開発
MHFS設計

水素エンジンシステム事業戦略課
事業戦略
知財戦略
標準化

研究開発内容の詳細（川崎重工業）

【水素エンジン開発】

2023年度末(1st ステージゲート) ➡ 2027年度末(2nd ステージゲート) ➡ 2030年度末(3rd ステージゲート)

① 舶用運用システムの開発
リスクアセスメントを実施し、安全要求に対応したエンジンシステムおよび制御方法を開発する。
→完了見込

② 多気筒エンジンの開発
EGRシステムを搭載した実証エンジンの設計を完了する。
→完了見込

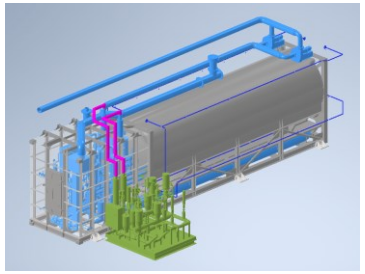
③ 多気筒エンジンの製造
出力 2600kW （出力密度大）
水素混焼率≧95%（水素率高）

④ 多気筒エンジンの実船実証
実運用での負荷変動対応。
長期信頼性の確認。

【MHFS開発】

2023年度末(1st ステージゲート) ➡ 2028年度末(2nd ステージゲート) ➡ 2030年度末(3rd ステージゲート)

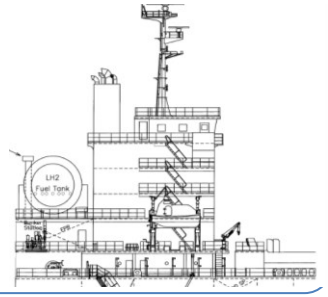
① 小型MHFS設計完了
→完了見込



② 大型MHFS基本設計完了
→完了見込

③ 小型MHFS製造
ヤンマー殿開発エンジン向けの小型コンパクトなMHFSの製造を完了する。

④ 大型MHFS製造
J-ENG殿向けの大型かつ高圧のMHFSの製造を完了する。



⑤ MHFSの実船実証
実運用での負荷変動対応。
長期信頼性の確認。

2022年度のモニタリングWGでのご意見（共通）

ご意見	対応状況
水素燃料船、アンモニア燃料船については、研究開発で先行しているものの、技術や性能・品質面でどこが競争軸となるかが特定できていないため、個社だけでなくコンソーシアムとしてのオープン＆クローズ戦略も意識しながら、海外顧客も含めた市場の形成・獲得に向けたアプローチをより具体的に描くこと。	水素燃料船における技術や性能・品質面における競争軸は、エンジンにおける出力率や効率だけでなく、船舶におけるリスクを考慮した安全設計、適切な航続距離、バンカリングの安全性・容易性など多岐に亘ると認識しています。これらは、エンジンメーカだけで実現できる内容では無く、開発協力者殿（船主殿、造船所殿、船級殿）も含めた拡大コンソーシアムとしての開発、知財獲得とその利用におけるオープン＆クローズ戦略が重要と認識しています。また、実プロジェクトの検討を開始した海外顧客も含めた市場の獲得に向けたアプローチもスタートしています。
海運業におけるCO2の排出削減目標の変化を始めとした、海事産業関連企業の動きを具体的に捉えつつ、ICS（国際海運会議所）等の国際機関や、国土交通省が主催する官民協議会等を通じた積極的な対話を通じて、競争優位性へと繋げること。	国際機関や国土交通省殿が主催する官民協議会等を通じた積極的な対話を通じて競争優位性へと繋げます。
こうした取組の検討・実施にあたって、中長期的な取組を見据えた若手人材の育成・登用を含め、各社において標準化戦略の推進体制を充実させることも必要となる。	本開発は、少なくとも2030年まで継続するプロジェクトであり、その後の持続的開発、事業化のためには若手人材の登用、育成は必須と考えています。既に社内公募、中途採用、新卒採用等を行い人材拡張を行っています。
取組を加速するための資金確保の方策をコンソーシアムごとに検討することも重要となる。	取組の加速、特に普及に向けて資金確保は重要な課題ですが、現状はまだ外部投資は呼び込めていない状況です。引き続き、本観点を持った開発を継続し、外部への発信を行います。

2022年度のモニタリングWGでのご意見（水素燃料船コンソーシアム）

ご意見	対応状況
海外勢の技術動向も情報収集しながら開発を進めることを期待する。また、コンソーシアム内での連携を深めるとともに、造船所や船舶運航会社との連携を深めるなど、適切な研究開発体制についても検討いただきたい。	競合情報として、海外勢の技術動向も公表・非公表情報共に収集しながら開発を進めています。また、エンジンメーカーによるコンソーシアム内での連携だけに留まらず、開発協力者殿である船主殿、船舶運航会社殿、造船所殿とも定例会議を繰り返し、連携を深めて一体感を醸成し開発を進めています。
水素燃料への転換期であり、国際的にも優位性の高い技術と考えられるため、国際水素サプライチェーンの確立に向けて、コンソーシアム内外のステークホルダー等とも連携しながら、ゲームチェンジャーとして高いシェアの獲得を目指していただきたい	国際水素サプライチェーンにより、安価な大量の水素を入手できることが水素燃料船の普及条件と考えています。従いまして、コンソーシアム内外のステークホルダーと連携しながら、社会実装に向けた事業化を目指します。
エンジンメーカー3社でコンソーシアムを形成し、船舶用水素燃料エンジンを海外に先行して開発しており、クローズ戦略に軸足をおいているとの認識だが、具体的にターゲットとする市場の獲得に対して、有効なルールの形成にむけたビジョンが未検討と思われる。優位性に意識した事業戦略に基づいて、水素燃料船が普及するためのオープン戦略も含め、根本的な標準化戦略を検討いただきたい。	今回の開発プロジェクトにおける特徴と優位性として、水素燃料エンジンとMHFS（燃料供給装置と液水タンク）の同時開発を行い、さらに実証運航による実績作りが可能になる点があります。これらは、大きく海外に先行する水素燃料推進システムの開発であり、以下の標準化戦略が考えられます。 ・デファクト標準を狙い、仮にデファクト標準が難しい場合は、フォーラム標準にて当コンソーシアム開発製品・システムを提案・標準化させ、安全、信頼の地位を獲得したいと考えます。 ・一方でデジュール標準（規格）では、水素燃料船に関する公衆安全要求を規格化し、その要求事項を最短で獲得するには、事実上当コンソ開発の製品（クローズ）または技術パッケージ（オープン）を利用する形態に持ち込みたいと考えています。