

発表No.A3-9

グリーンイノベーション基金事業/次世代船舶の開発

LNG燃料船のメタンスリップ対策

触媒とエンジン改良によるLNG燃料船からのメタンスリップ削減技術の開発

発表者名

団体名 カナデビア株式会社

ヤンマーパワーテクノロジー株式会社

株式会社商船三井

発表日 2025年7月17日

連絡先：

カナデビア株式会社

<https://www.kanadevia.com/>

ヤンマーパワーテクノロジー株式会社

https://www.yanmar.com/jp/about/company/power_technology/

株式会社商船三井

<https://www.mol.co.jp/>

事業概要

1. 期間

開始 : (西暦) 2021年10月

終了 (予定) : (西暦) 2026年度末

2. 最終目標

4ストロークエンジンの改良とメタン酸化触媒の組み合わせで70%以上のメタンスリップ削減を目指す

3. 成果・進捗概要

2024年度から実船実証試験を開始

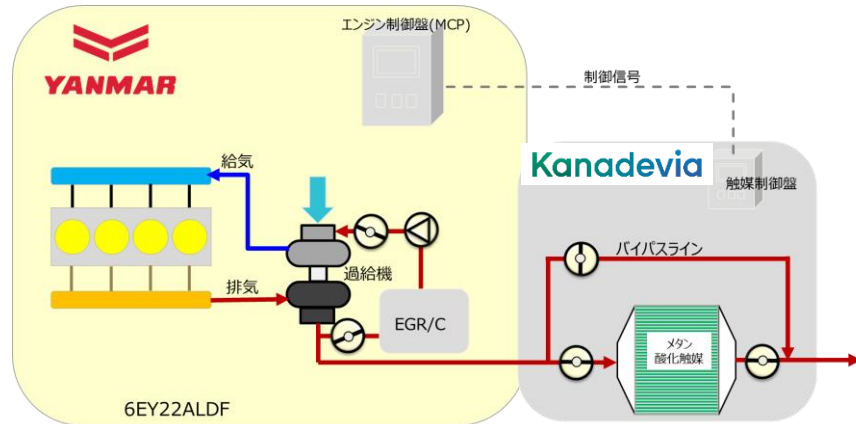


図 メタンスリップ削減装置



図 実船実証船『REIMEI(荅明)』

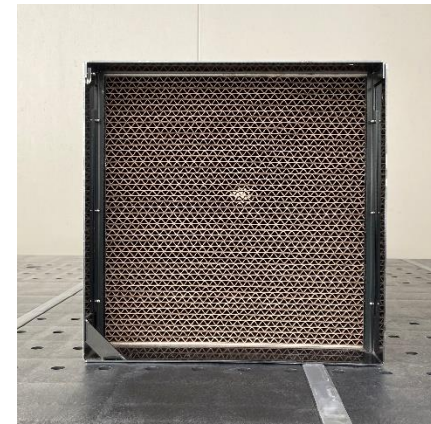


図 メタン酸化触媒

1. 事業の位置付け・必要性

■ 背景・目的

GHG排出規制の動き

2023年第80回海洋環境保護委員会(MEPC80)で2018年に採択された「IMO GHG削減戦略」を改定

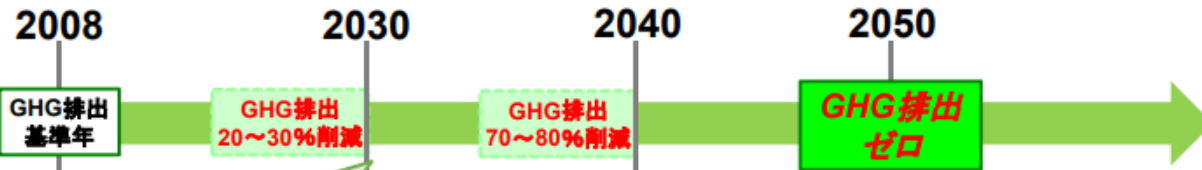
- 国際海運GHG削減目標を「2050年ごろまでにGHG排出ゼロ」へと強化

国際海運「2050年頃までにGHG排出ゼロ」目標に合意 国土交通省

- 2023年7月、国際海事機関(IMO)にて、**国際海運「2050年頃までにGHG排出ゼロ」の目標に合意し**、「GHG削減戦略※」を改定 ※ 2018年4月採択



国際海運からのGHG排出削減目標

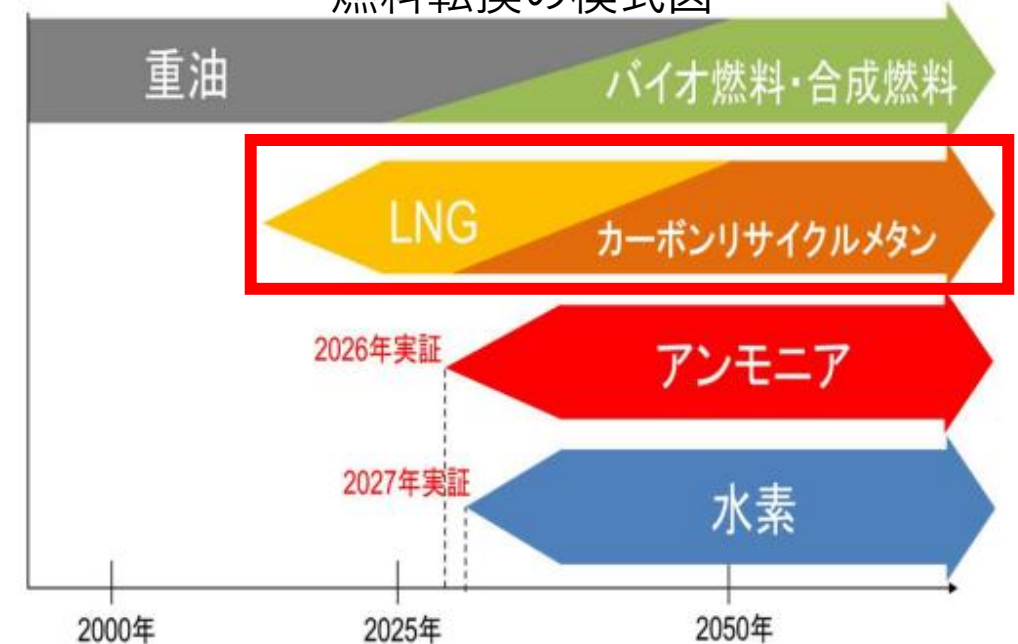


- 輸送量当たりCO2排出 40%削減
- ゼロエミッション燃料等の使用割合5~10%

参考：2018年GHG削減戦略の削減目標



燃料転換の模式図



(出展)国際海運2050年カーボンニュートラルに向けた取組
国土交通省 海事局 令和4年4月19日

2023年7月11日付け
国土交通省プレスリリース

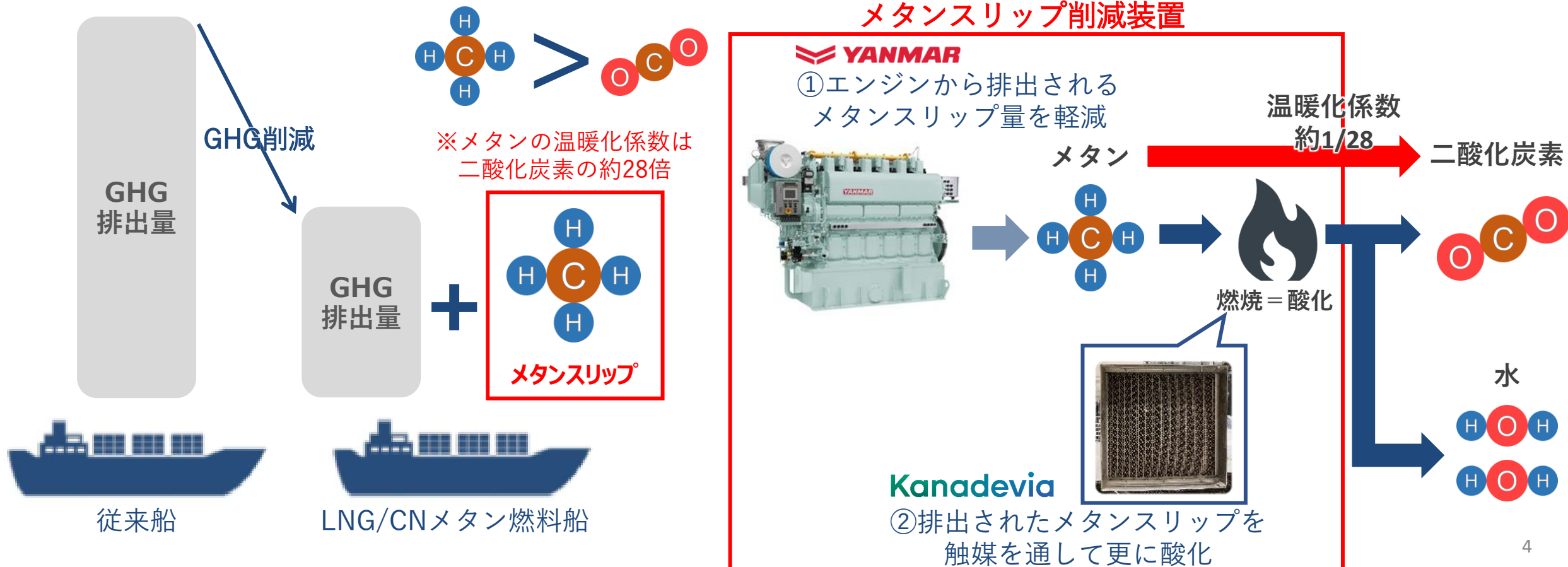
1. 事業の位置付け・必要性

■ 背景・目的

LNG燃料の課題

未燃メタン（メタンスリップ）によるGHG削減効果低減

➤ プロジェクトの目的：LNG燃料船からのメタンスリップ削減の実現



1. 事業の位置付け・必要性

■ 位置づけ・必要性

メタンスリップ触媒技術を用いたGHG排出量を削減する製品により事業を創出/拡大

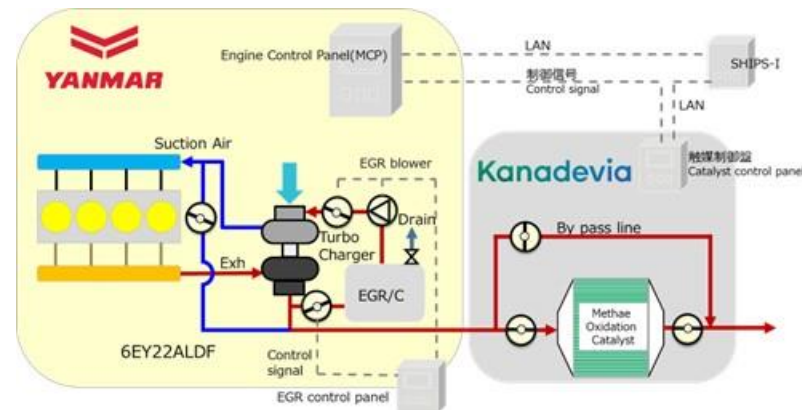
社会・顧客に対する提供価値

- LNG燃料船へのメタンスリップ削減技術の提供

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

- 2026年度までに実船実証試験を完了し、LNG燃料船にメタン酸化触媒を含むメタンスリップ削減装置の事業を開始する。
- LNG/CN燃料船用のガスエンジンにメタン酸化触媒を含むメタンスリップ削減装置に搭載することで収益を確保する。
- 将来、CNメタンへ移行した際には、メタン酸化触媒を高性能化することでゼロエミッション船となり、メタンスリップ削減装置の事業を拡大する。

ビジネスモデル概要



4stガスエンジン

メタンスリップ削減装置

触媒回収・交換



2. 研究開発マネジメントについて

■ 研究開発の目標と目標設定の考え方（根拠）

研究開発項目

LNG燃料船のメタンスリップ対策
対象：4ストロークエンジン補機500kW以上

KPI メタンスリップ削減率70%以上

1. 触媒の開発(2021年～2023年)[カナデビア]
エンジン排ガスの条件で触媒を反応させて目標のメタンスリップ削減率を達成する

Kanadevia

2. エンジンシステムの開発(2021年～2023年)[YPT]
 - ・ 触媒のメタンスリップ削減率を高めるために排気温度を昇温し、触媒劣化を抑制してメンテナンスインターバルを満足
 - ・ エンジン出口でのメタンスリップを削減



<ステージゲートクリア後>

3. 実船実証(2024年～2026年)[商船三井]
開発した触媒とエンジンを組み合わせてメタンスリップ削減技術の運用手法の確立

MOL 商船三井

アウトプット目標

2026年までにLNG燃料船のメタンスリップ削減率70%以上

KPI設定の考え方

- ・ 海運のゼロエミに貢献する。
- ・ 現状のままでは、重油からLNGへの燃料転換でCO2は25%削減もメタンスリップによりGHG削減効果が薄れている。
- ・ メタンスリップを70%削減し、燃料転換によるGHG削減効果を引き上げる。



2. 研究開発マネジメントについて

■ 研究開発の目標達成に必要な解決方法

KPI

メタンスリップ削減率70%以上

現状	達成レベル	解決方法	実現可能性＝成功率
TRL3(実験による概念実証) 1. 触媒の開発 [カナデビア] 模擬ガスでのメタン酸化率を確認 Kanadevia	TRL7 (商業化前の実証) メタンスリップ削減率70%をエンジン排ガスにて確認 ➤	1. 触媒組成、製法検討による性能向上 ① 触媒組成の最適化 ② 触媒製法の最適化 ③ 排ガスでの触媒評価から課題抽出、改善	1. 70% 触媒に不利な温度条件でもシステムを成立させる
2. エンジンシステムの開発[YPT] リーンバーンをベースとした削減レベルに限定 メタン酸化触媒を実用化したエンジンは存在しない YANMAR	ステージゲートクリア後 ➤ TRL8 (商業規模の実証) 長期運用手法の確立	2. メタンスリップ削減 ① メタン酸化触媒との協調制御 ② エンジン本体の燃焼コンセプト 見直しによるメタンスリップ削減	2. 70% エンジン制御が難しい条件でもシステムを成立させる
3. 実船実証[商船三井] 船用脱硝触媒装置の搭載知見あるが、メタン酸化触媒の運用技術は未確立 MOL 商船三井	➤	3. 所有船へ開発した触媒とエンジンを組み合わせたシステムの適用	3. 90% 1、2での課題を解決後に実施する

2. 研究開発マネジメントについて

■ 研究開発の実施体制・スケジュール

Kanadevia

共同研究開発

カナデビア（幹事会社）

- ・ 船用機関用のメタン酸化触媒の開発
- ・ 触媒組成、製造方法の開発
- ・ エンジンの排ガス条件で目標のメタンスリップ削減率を達成する触媒を開発

- ・ 実船実証でのメタン酸化触媒の耐久性と触媒メンテナンス頻度(ストローや再生など)の検証を担当



YANMAR

ヤンマーパワーテクノロジー

- ・ エンジンからのメタンスリップを削減
- ・ 触媒を使いこなす技術の開発
- ・ 触媒でのメタンスリップ削減率を高めるための昇温技術
- ・ 触媒の劣化を抑制するための制御技術

- ・ エンジンからのメタンスリップを削減するシステムの制御ロジック、昇温デバイス等の実船検証を担当

MOL

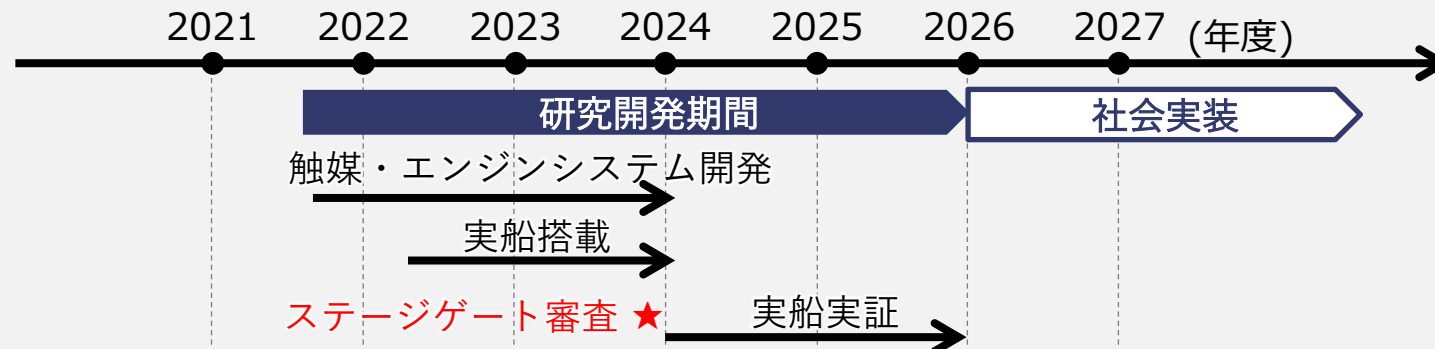
商船三井

商船三井

- ・ 実船検証でのメタン酸化触媒のオペレーション手法の開発
- ・ 触媒のメンテナンス性の評価

- ・ 実船検証でのメタン酸化触媒のオペレーション手法の検証
- ・ 触媒のメンテナンス性の検証を担当

スケジュール



3. 研究開発成果について

■ 研究開発の進捗状況（カナデビア）

1. 触媒開発

- 触媒性能向上
 - ✓ 350°Cで70%以上のメタン酸化率を達成
 - ✓ 実ガス試験で90%以上の酸化率を確認
 - ✓ GHGを9~27%削減
- 耐久性向上・確認
 - ✓ 吸着剤で触媒に届く硫黄を削減
 - ✓ 触媒の長寿命化に成功
- 触媒の量産方法確率
 - ✓ 量産方法の確立と量産品の性能確認
 - ✓ 実証試験にて量産品の性能確認済み

2. 触媒開発

- リアクタ設計
 - ✓ 振動する船内で触媒を保持
 - ✓ ガスシール性能を確保
- 制御システムの構築
 - ✓ 陸上試験で自動での起動・停止など安全性を確認
- 実証船への搭載
 - ✓ 反応器、Air Supply Unit等の設置完了



反応器(Reactor)



Air Supply Unit

3. 研究開発成果について

■ 研究開発の進捗状況（カナデビア）

1. 触媒開発

● 触媒性能向上

触媒性能は2019年時点のチャンピオン*に比べ飛躍的に向上

一方、耐久性能は1,500時間で70%を下回る
➤ Dock to Dockの期間耐久性を維持するためには対策が必要

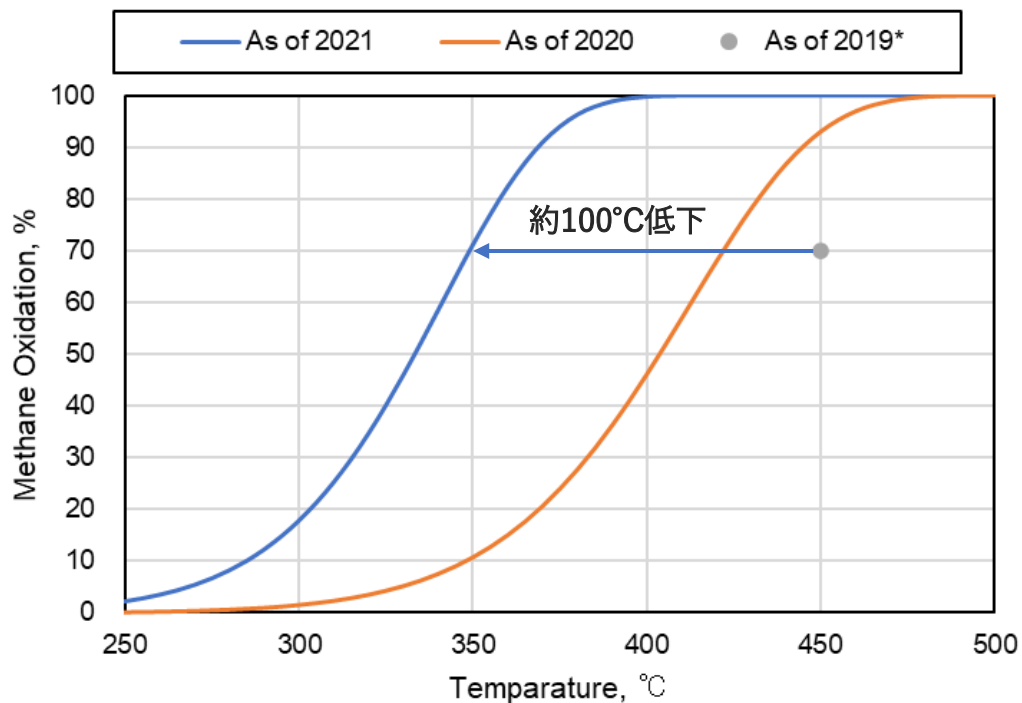


図 メタン酸化率 vs 温度

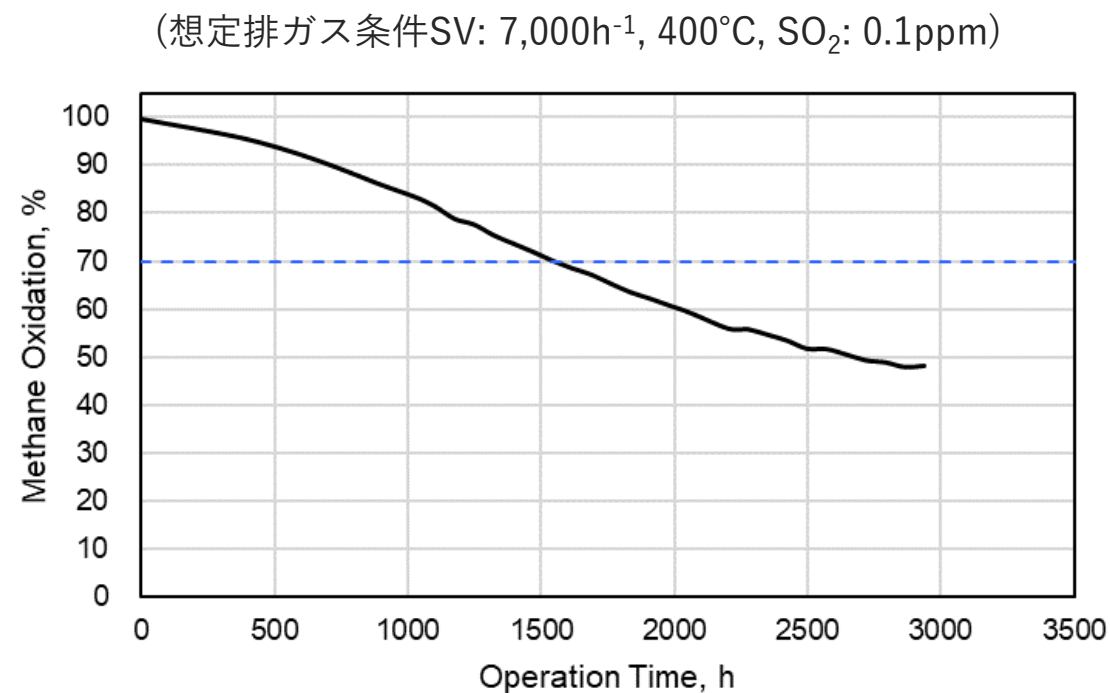


図 メタン酸化率の経時変化

*出典 CIMAC2019 paper 398(2019.6.10-14))

3. 研究開発成果について

■ 研究開発の進捗状況（カナデビア）

1. 触媒開発

- 耐久性向上

触媒の劣化は熱によるシンタリング(凝集)や
排ガスに含まれる硫黄が原因
メタン酸化触媒は硫黄による劣化の影響が大きい



硫黄対策が必須

対策	メリット	デメリット
触媒自身の性能向上	追加策が不要	メタン酸化触媒においては難易度が高い
触媒の再生	運航中*でも触媒性能の回復が可能 *補機は複数台設置、稼働していない間に再生	再生のための機器、エネルギーが必要 (CAPEX,OPEXの増加)
吸着剤の設置	再生のための機器、エネルギー不要 触媒量削減によるコスト削減	触媒+吸着剤の体積増による圧損上昇 吸着剤の交換が必要

カナデビアでは硫黄対策として触媒の再生と吸着剤の設置を検討

3. 研究開発成果について

■ 研究開発の進捗状況（カナデビア）

1. 触媒開発

● 耐久性向上

- 触媒上流に吸着剤
 - ✓ 触媒に届く硫黄を削減、触媒の劣化が抑制され触媒延命
- 反応器サイズは同等
 - ✓ 吸着剤分の体積は増加するが触媒量の削減が可能
- コスト圧縮
 - ✓ 吸着剤コスト < 触媒コストのため装置全体のコストを圧縮

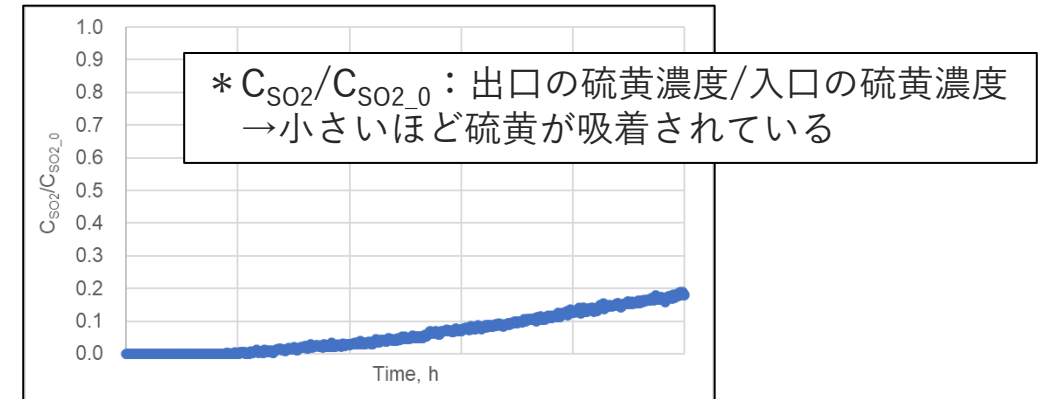


図 吸着剤性能の経時変化

吸着剤の設置イメージ

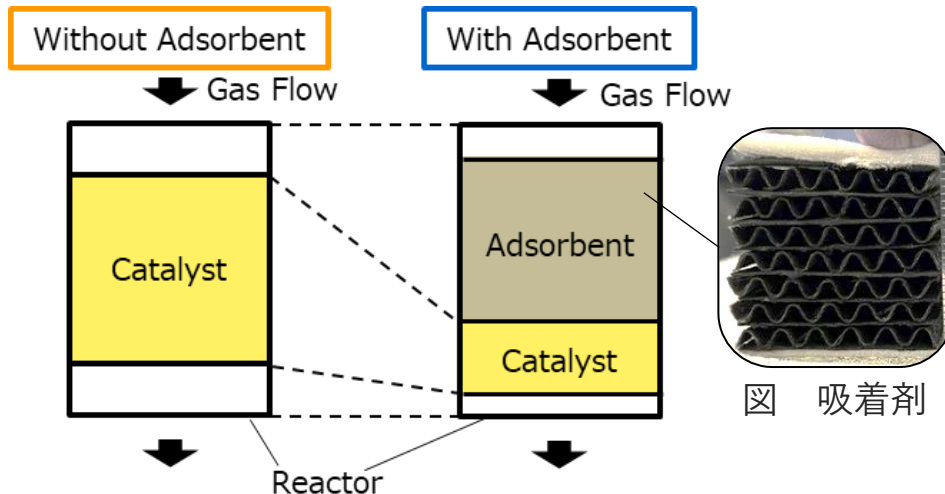


図 吸着剤

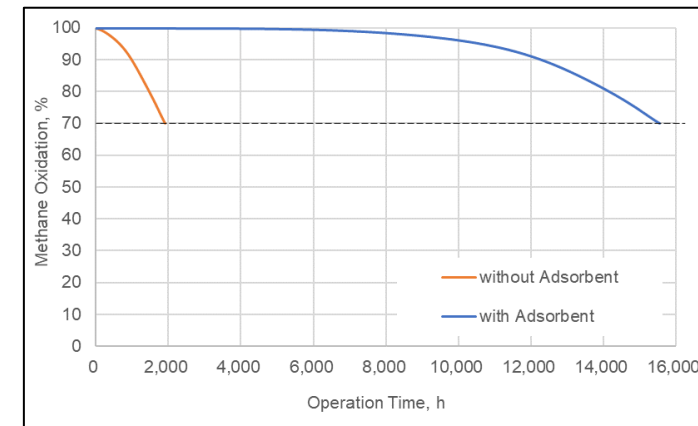


図 吸着剤設置時の触媒寿命試算

3. 研究開発成果について

■ 研究開発の進捗状況（カナデビア）

実排ガスによる確認(陸上ベンチ試験)

- ✓ ヤンマー殿エンジンを使用した陸上試験を実施
- ✓ 実証船と同じ仕様の機器で確認
- ✓ 目標(メタン酸化率70%)を大きく上回る性能を得た
- ✓ GHGを9~27%削減※
- ✓ 他社4ストロークエンジン(IHI原動機殿、阪神内燃機工業殿)でも実排ガス試験実施、同等の性能を確認

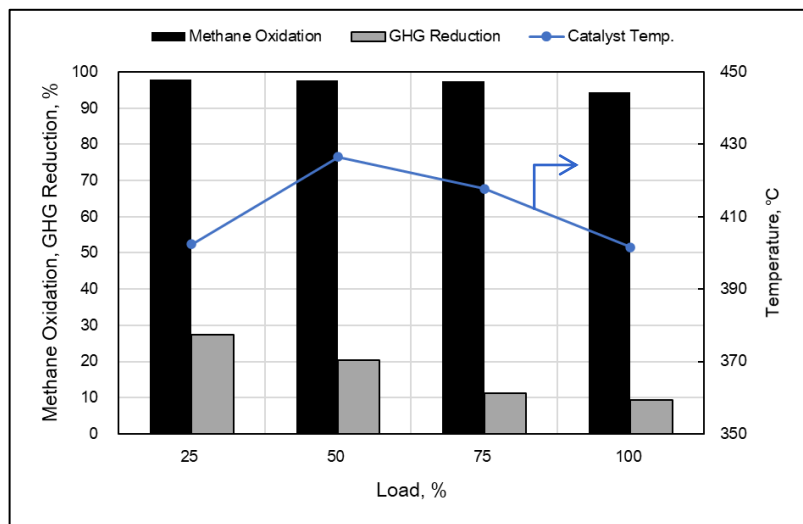


図 実排ガス試験結果

※GHG削減率の計算

$$\text{削減率} = 1 - \frac{\text{触媒出口のGHG}}{\text{触媒入口のGHG}}$$



図 反応器

3. 研究開発成果について



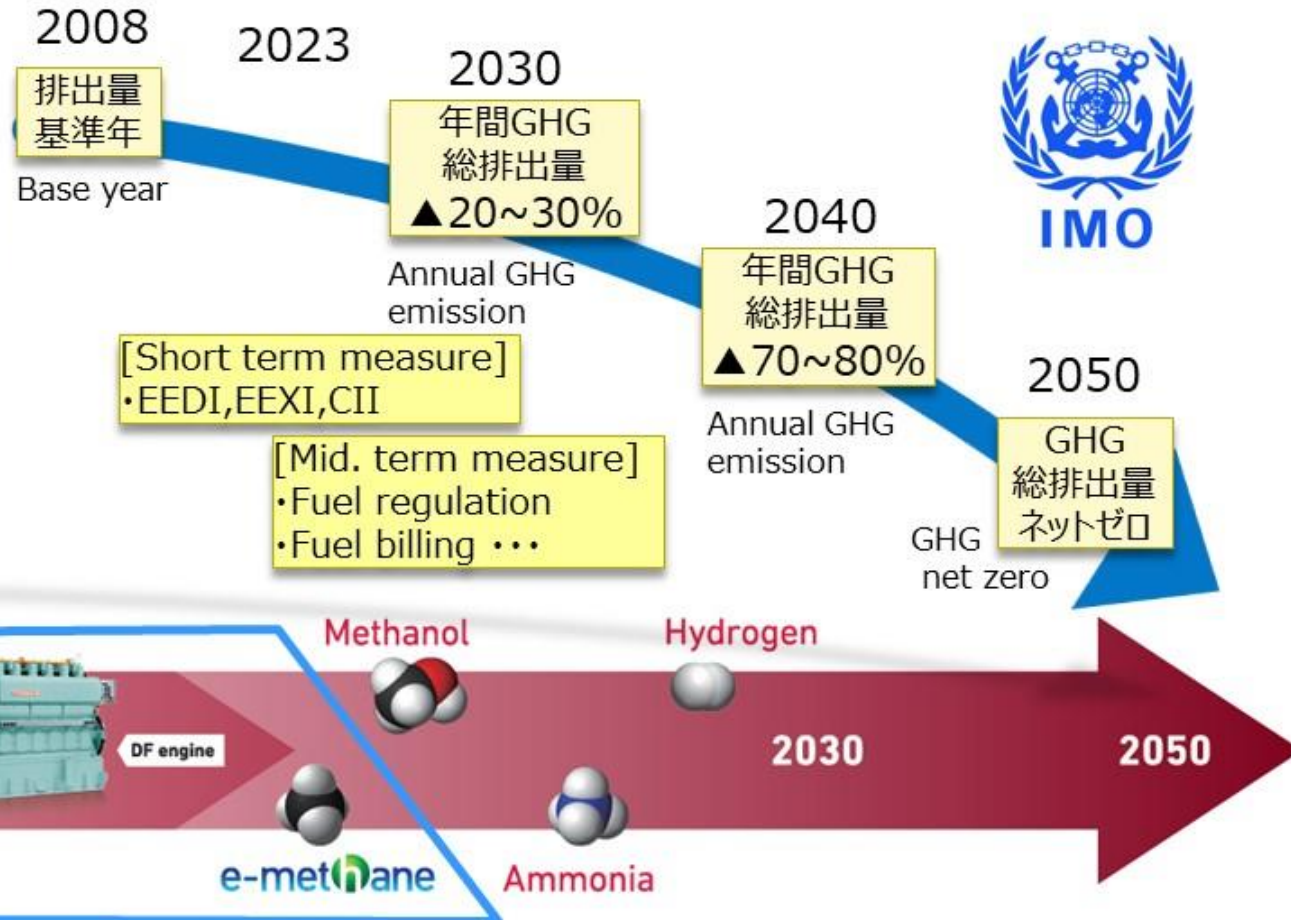
■ 研究開発の進捗状況（ヤンマーパワーテクノロジー）

ヤンマーパワーテクノロジーの取組



References:

<https://www.imo.org/en/MediaCentre/MeetingSummaries/Pages/PREVIEW-MEPC-80-3-7-July-2023.aspx>



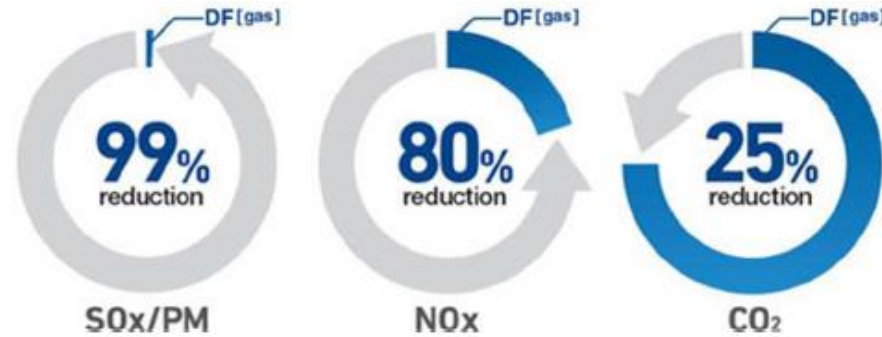
3. 研究開発成果について



■ 研究開発の進捗状況（ヤンマーパワーテクノロジー）

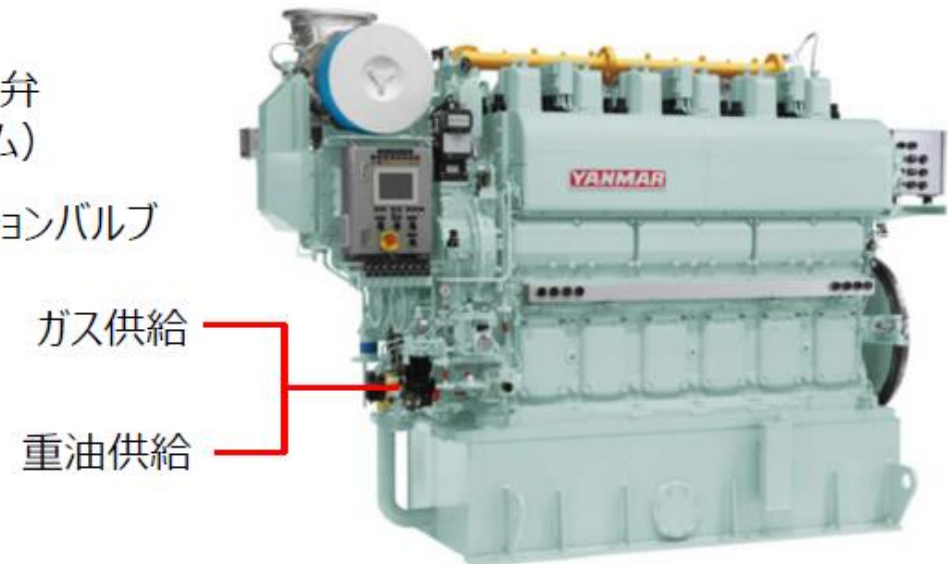
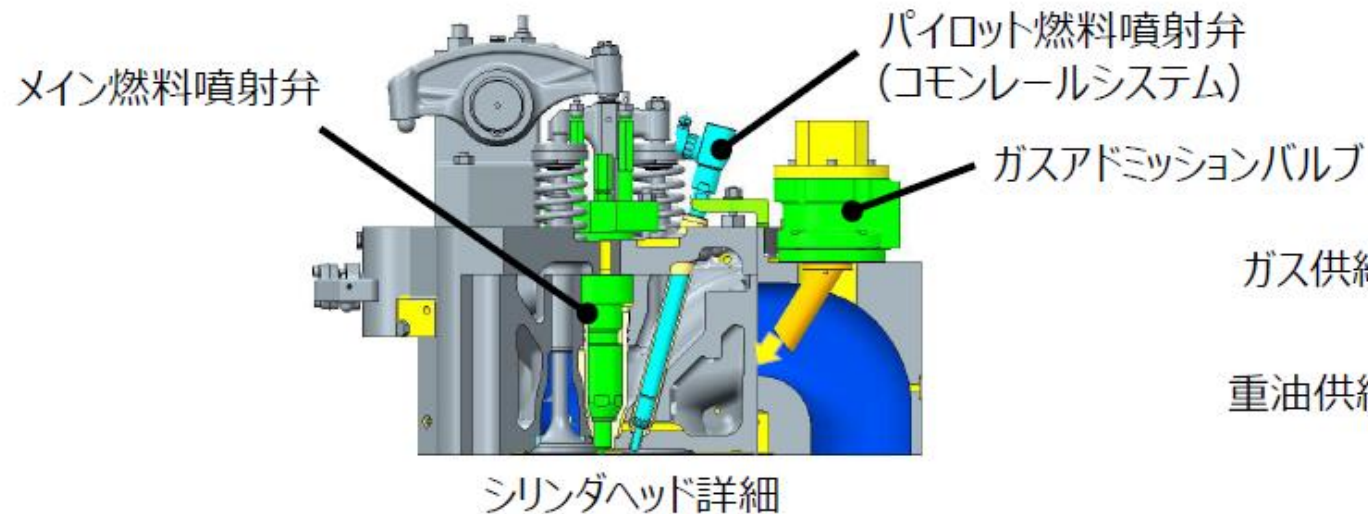
≪LNG≫ 船用DFエンジンの開発

■ 環境規制への対応



ただし、CO₂よりも温室効果が高い
メタンスリップの排出が課題

■ ディーゼルとガスどちらも運転可能（冗長性）



3. 研究開発成果について

■ ①エンジン燃焼と②触媒（後処理）との組合による「メタンスリップ削減効果の最大化」

①エンジン燃焼

Engine combustion

(EGR*+リッチ燃焼の適用)

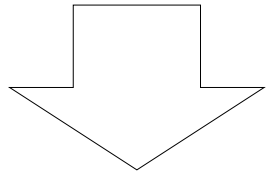
(Apply EGR +Rich combustion)

②後処理技術

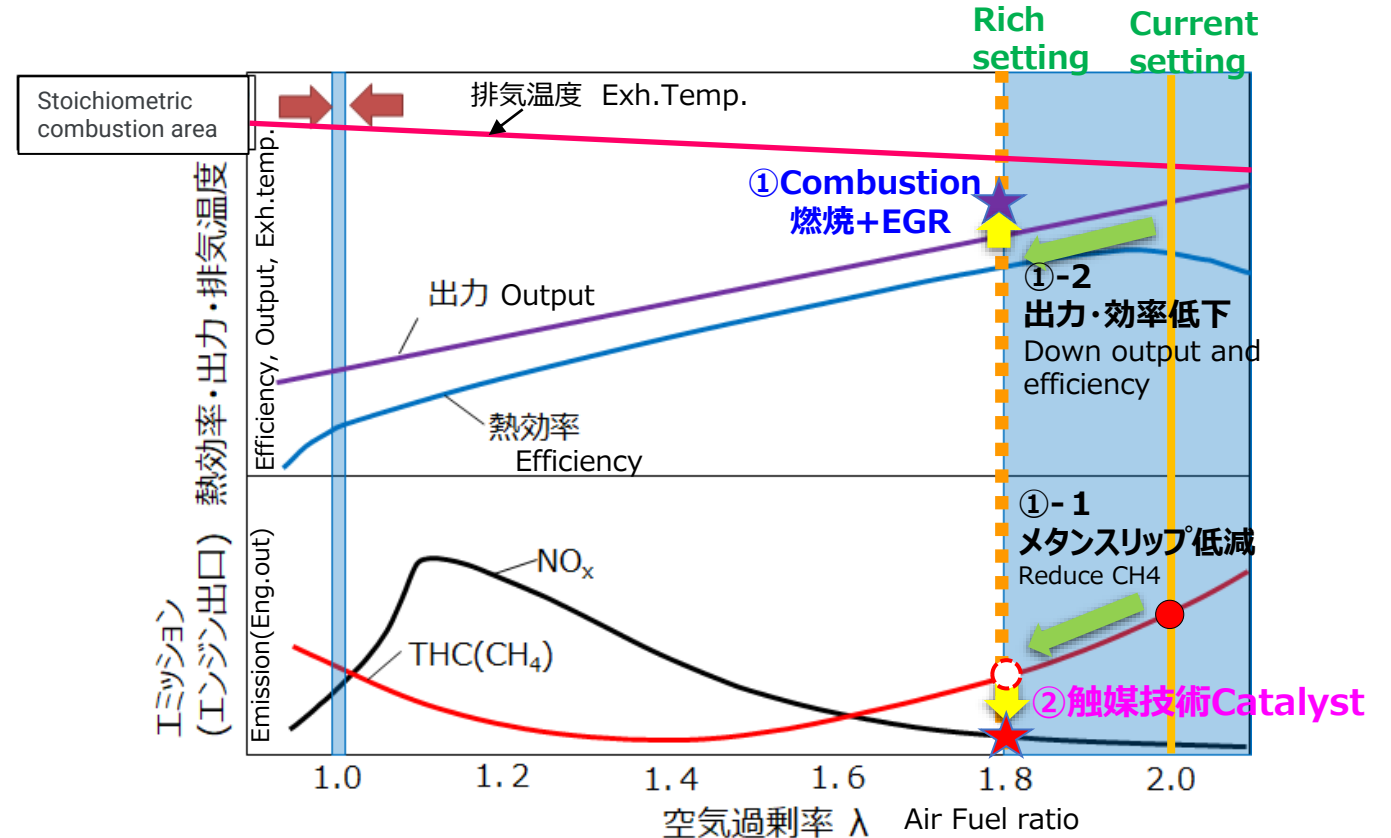
After-treatment technology

(メタン酸化触媒の適用)

(Apply Methane Oxidation Catalyst)



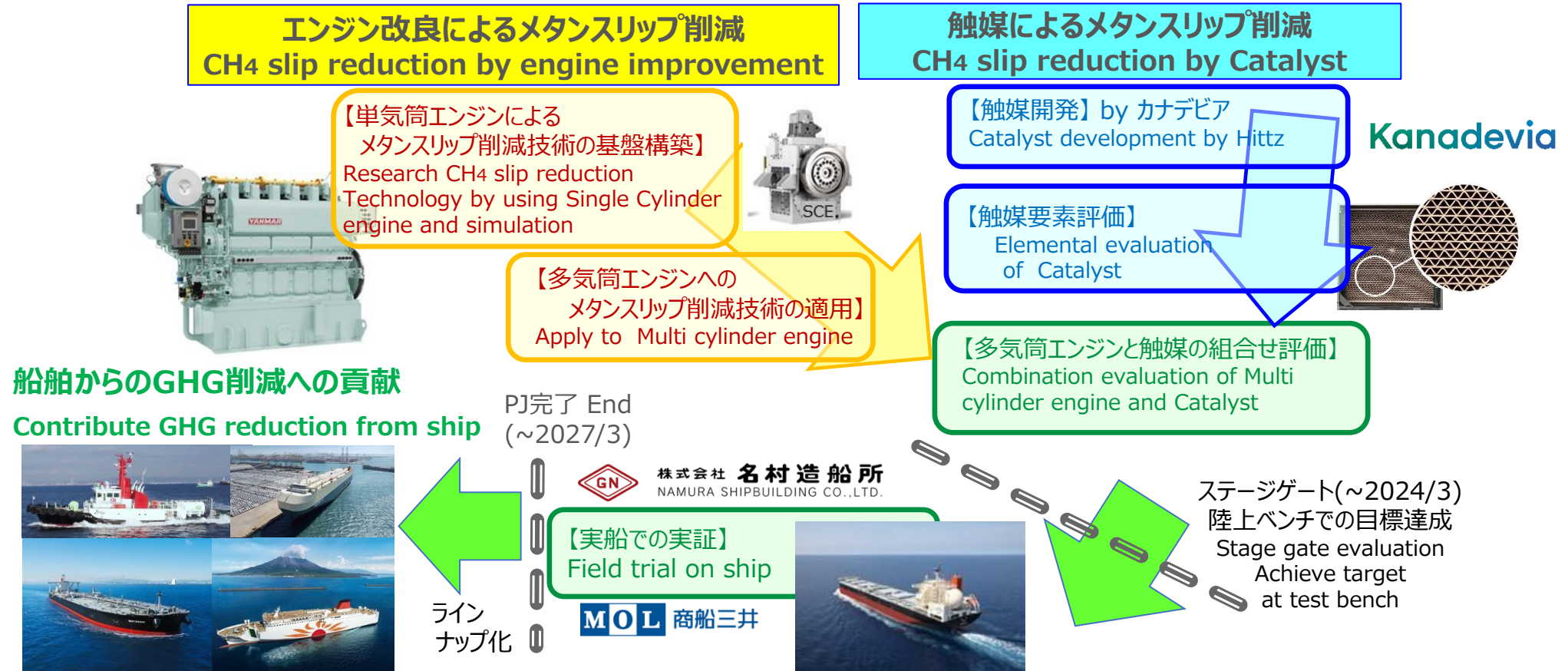
最適組み合わせによる価値最大化
Maximize Reduction potential
by optimized combination



*EGR: Exhaust Gas Recirculation、排ガス再循環システム
排ガスを再循環させて再燃焼するシステム

3. 研究開発成果について

- 触媒とエンジン改良を組合わせLNG燃料機関からのメタンスリップ70%以上削減を達成する

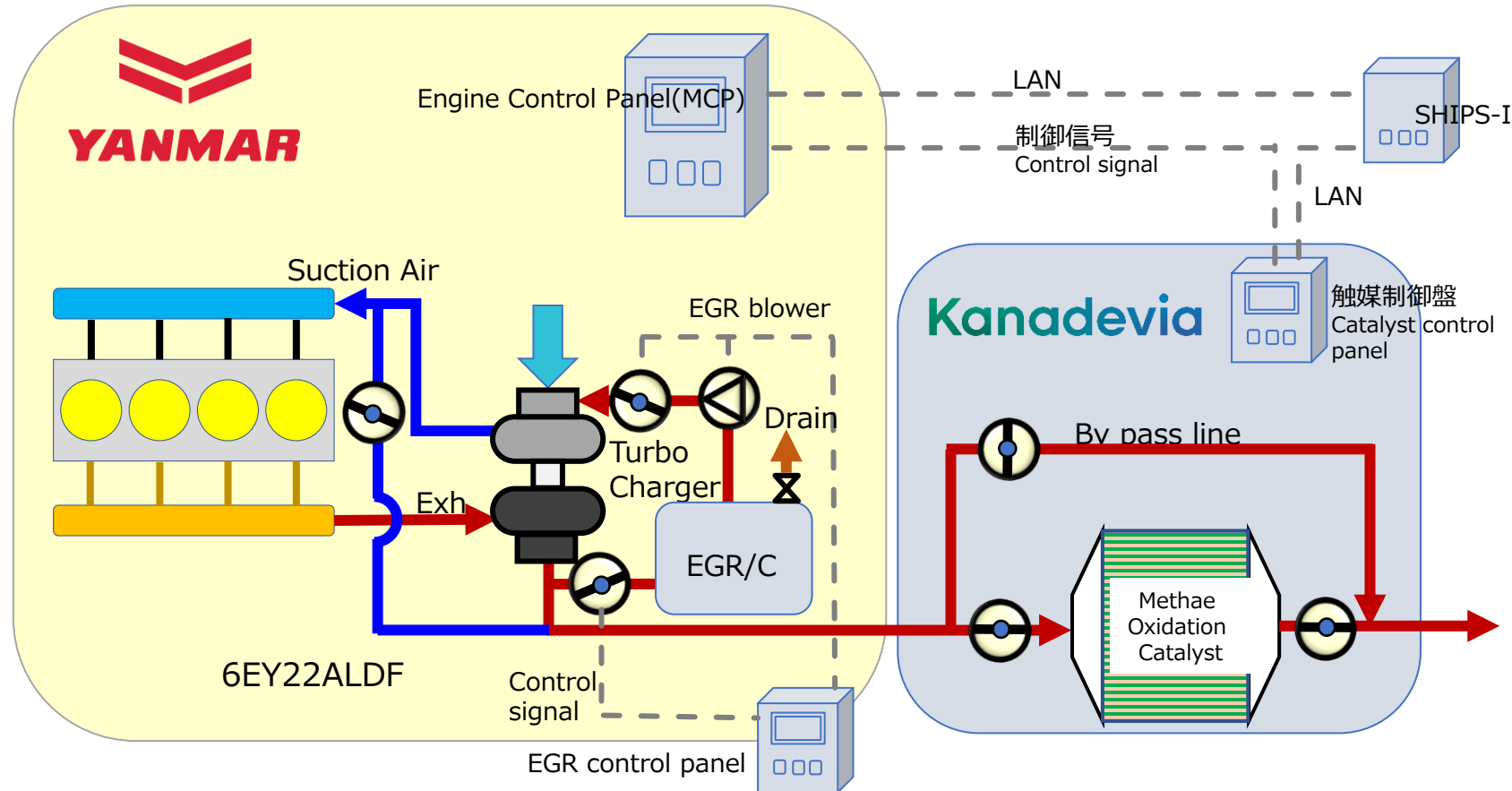


3. 研究開発成果について



■ 研究開発の進捗状況（ヤンマーパワーテクノロジー）

メタンスリップ削減システムの概要[6EY22ALDF + EGRシステム + メタン酸化触媒]

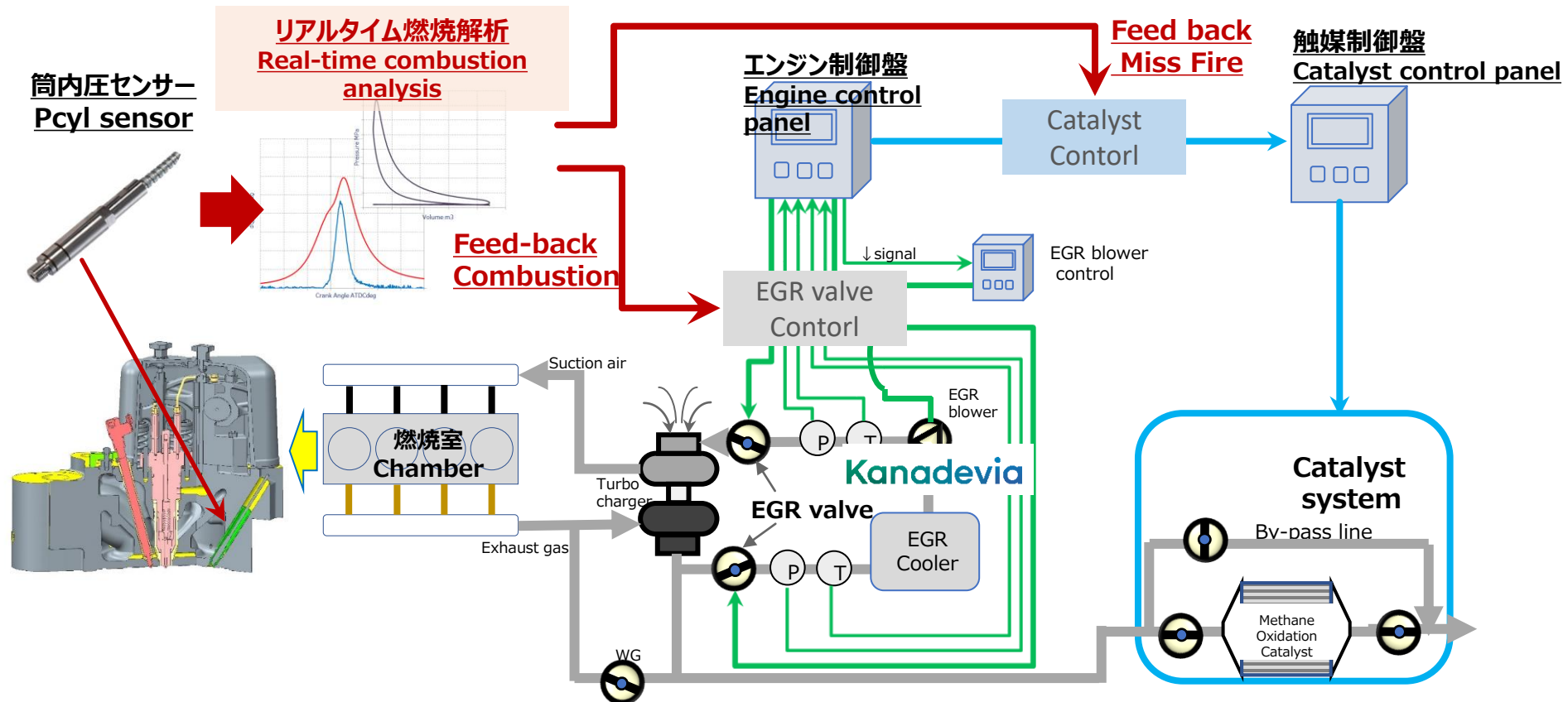


3. 研究開発成果について



■ 研究開発の進捗状況（ヤンマーパワーテクノロジー）

最適な自動燃焼制御を実現するEGRバルブ制御とリアルタイム燃焼解析制御を採用



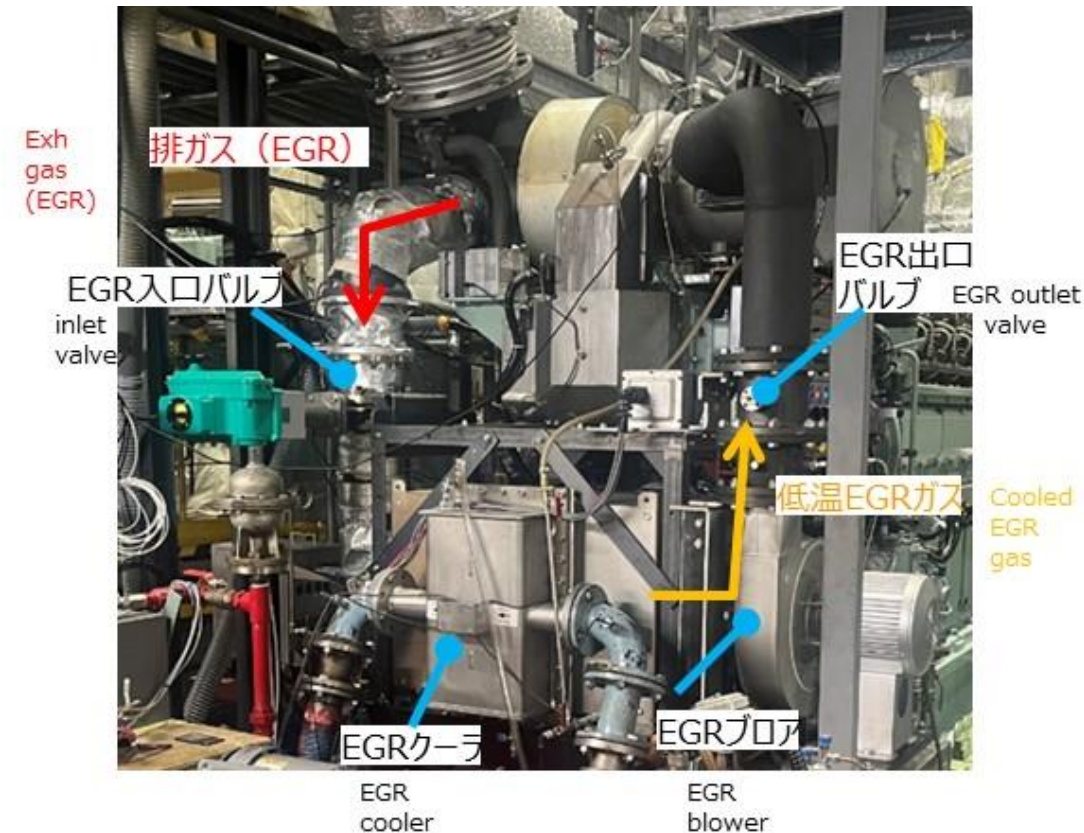
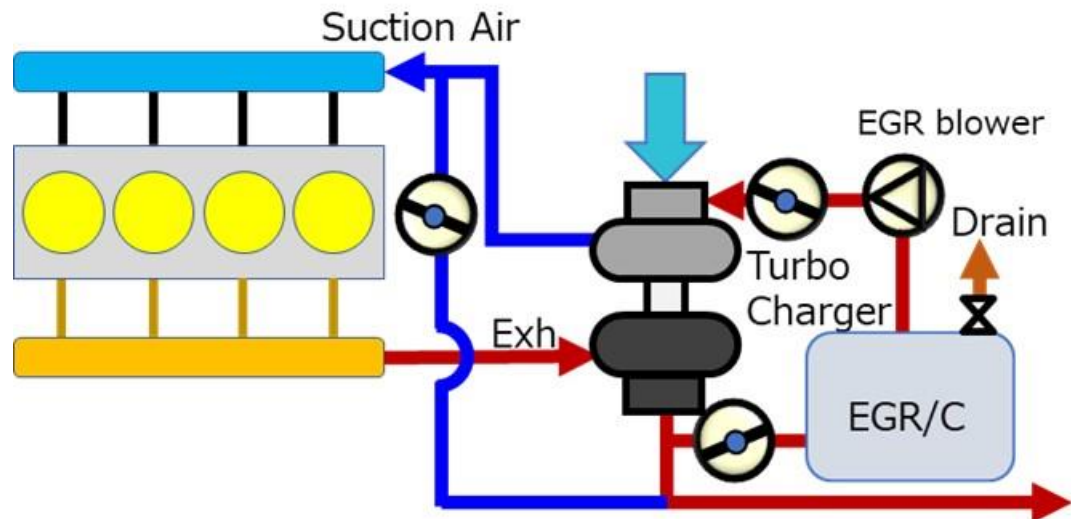
3. 研究開発成果について



■ 研究開発の進捗状況（ヤンマーパワーテクノロジー）

6EY22ALDF + 低圧EGRシステムの概要

- ✓ 排ガスを過給機入口吸気に還流することで未燃メタンを再燃焼させると共に燃焼温度を低減しノッキングを回避する
低圧EGRシステムを採用
- ✓ 陸上ベンチでEGR率、空燃比等を最適化し、エンジン出口でのメタンスリップを最小化
- ✓ 特殊コーティング等の腐食対策技術を構築

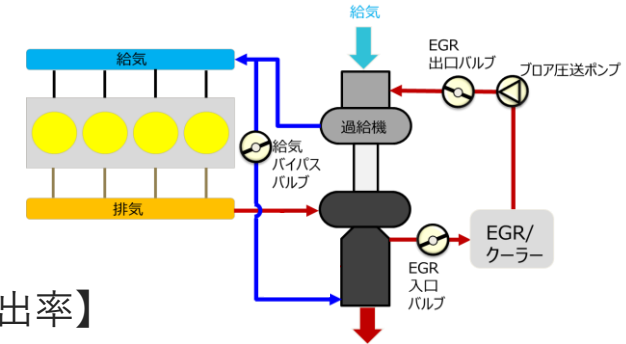


3. 研究開発成果について

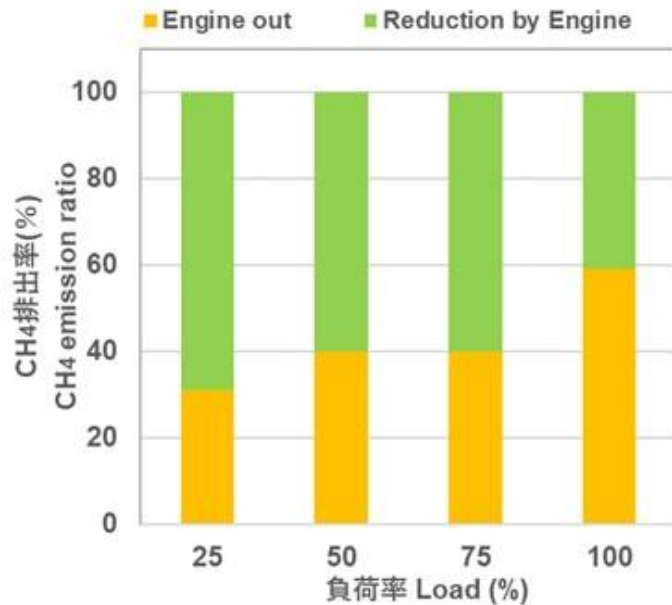
■ 研究開発の進捗状況（ヤンマーパワーテクノロジー）

EGRとリッチ化の組合せによるエンジン改良

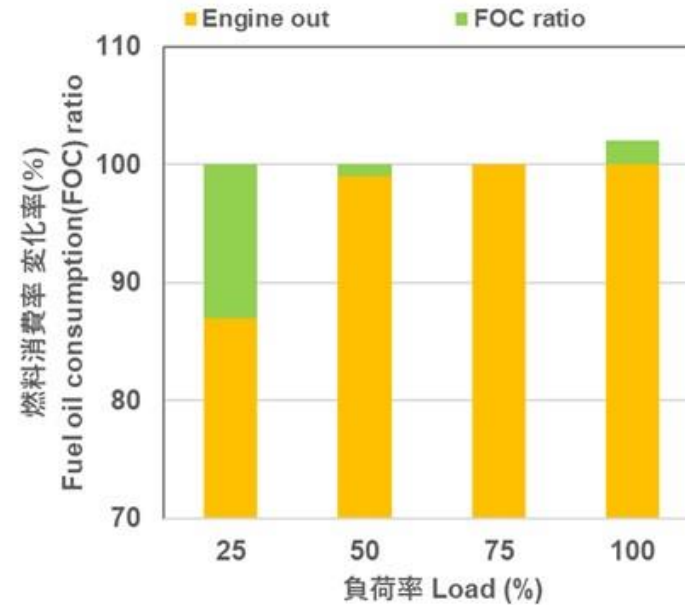
- ✓ EGRとリッチ化の組合せによる改良によりエンジン出口でCH₄を60%以上削減
- ✓ 75%負荷以下の実用域で燃費も改善し、全域でGHGを大幅に削減



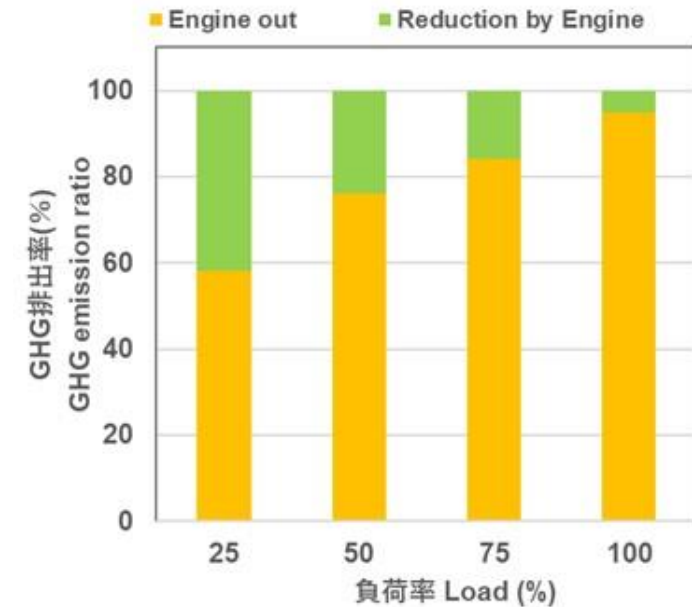
【CH₄排出率】
CH₄ emission ratio



【燃料消費率 変化率】
Fuel oil consumption ratio



【GHG排出率】
GHG ratio



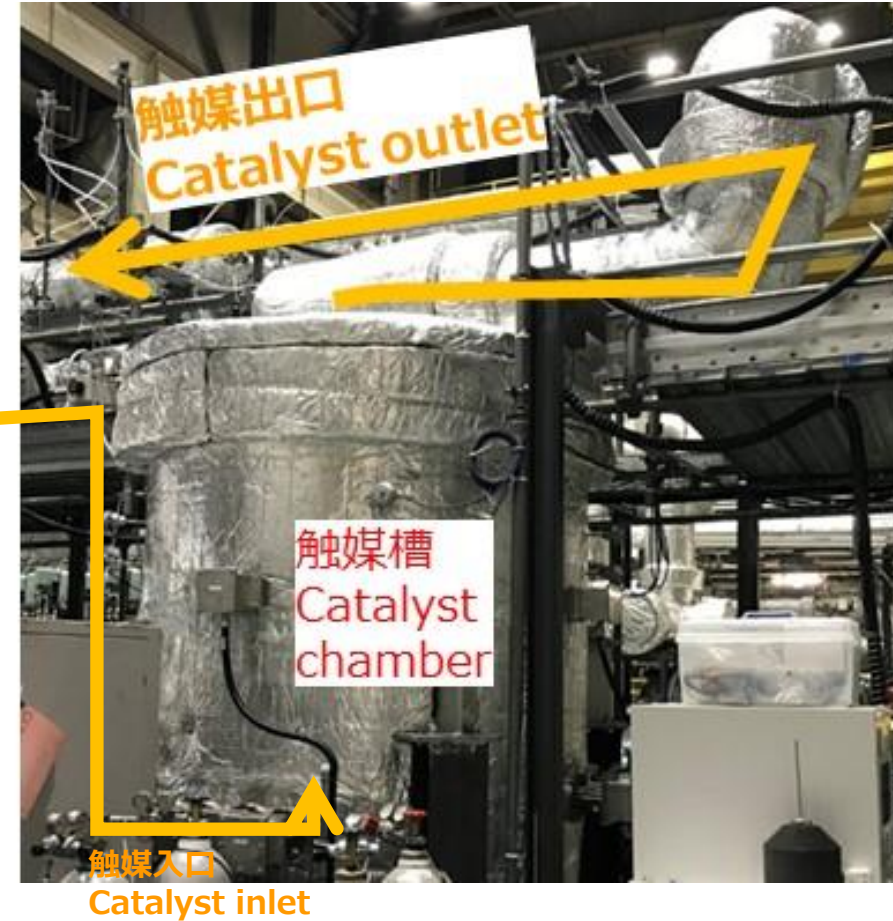
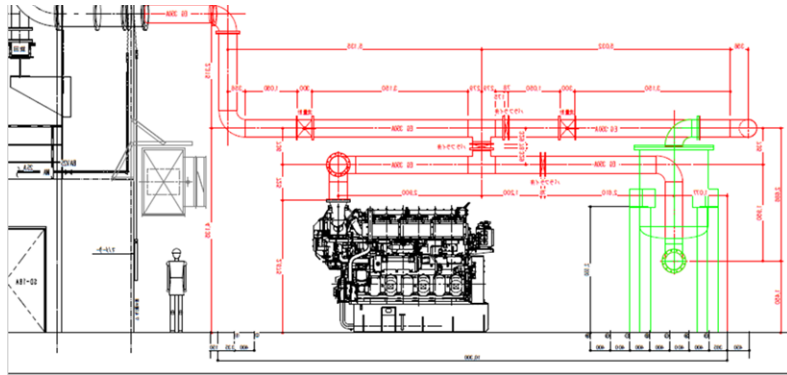
*当技術適用前のオリジナルを100%とする。
Original =100%

3. 研究開発成果について



■ 研究開発の進捗状況（ヤンマーパワーテクノロジー）

6EY22ALDF + EGRシステム + メタン酸化触媒の概要



3. 研究開発成果について

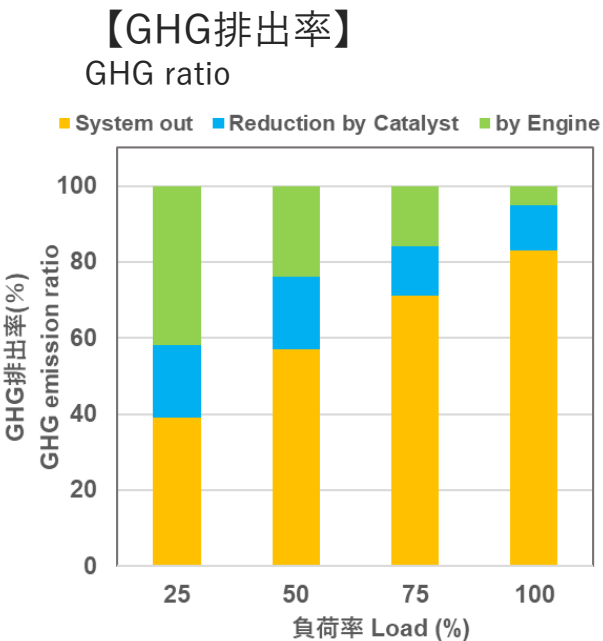
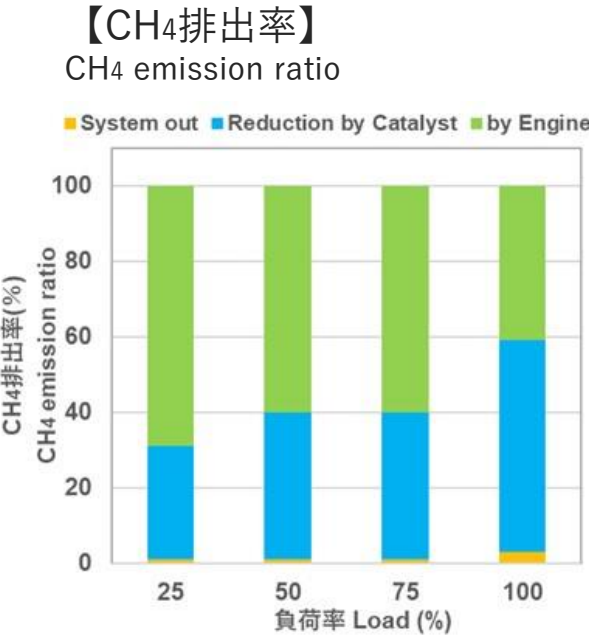
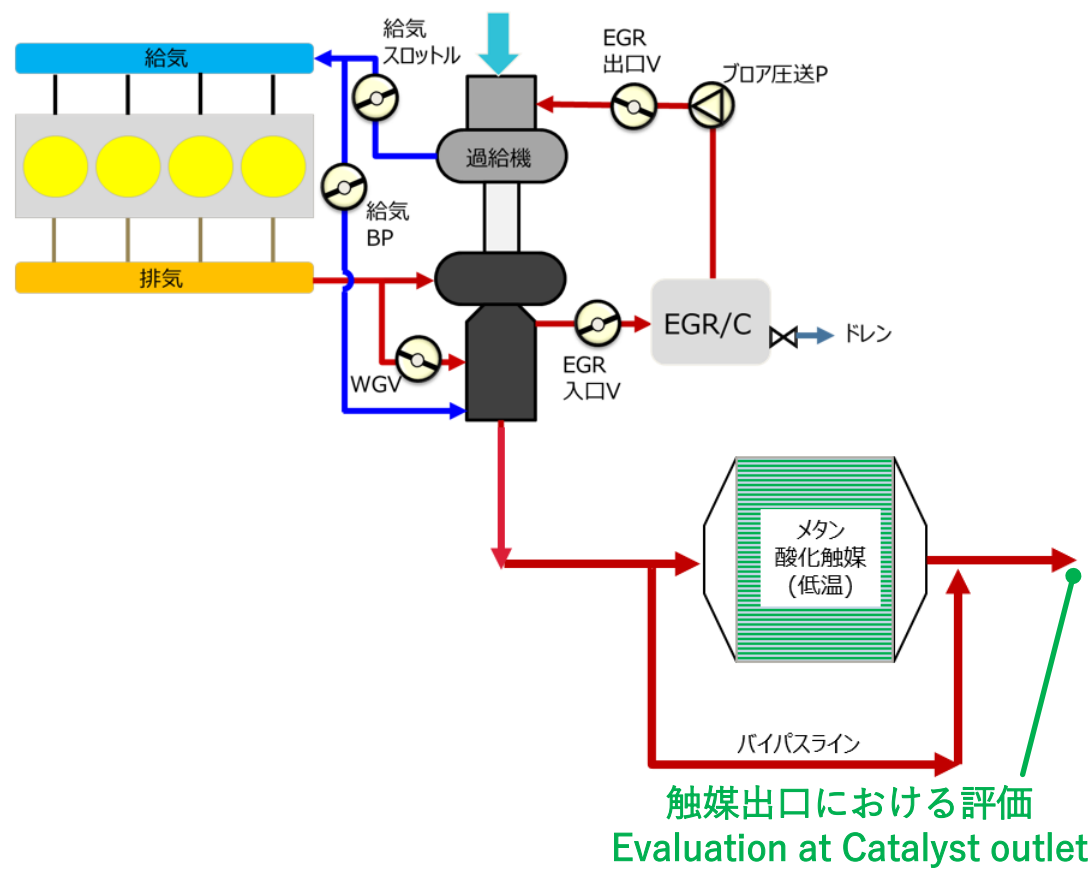


■ 研究開発の進捗状況（ヤンマーパワーテクノロジー）

エンジン改良とメタン酸化触媒との組合せ(陸上ベンチ試験結果)

- ✓ エンジン改良とメタン酸化触媒との組合せによりシステム出口でCH₄を97~99%削減
- ✓ GHG排出量17~61%削減を達成

開発目標の
CH₄削減率70%以上をクリア



*当技術適用前のオリジナルを100%とする。
Original =100%

4. 今後の見通しについて

陸上ベンチで開発したメタンスリップ削減システムを現在、実船にて実稼働状態で評価を推進中

今後、当システムの完成度を高めた後、社会実装を進め、船舶からのGHG削減に貢献します。

Kanadevia

MOL 商船三井

YANMAR



実船実証船「苓明」
Actual demonstration ship : REIMEI