

一般社団法人 日本船舶機関士協会 様  
令和6年度第二回技術講演会

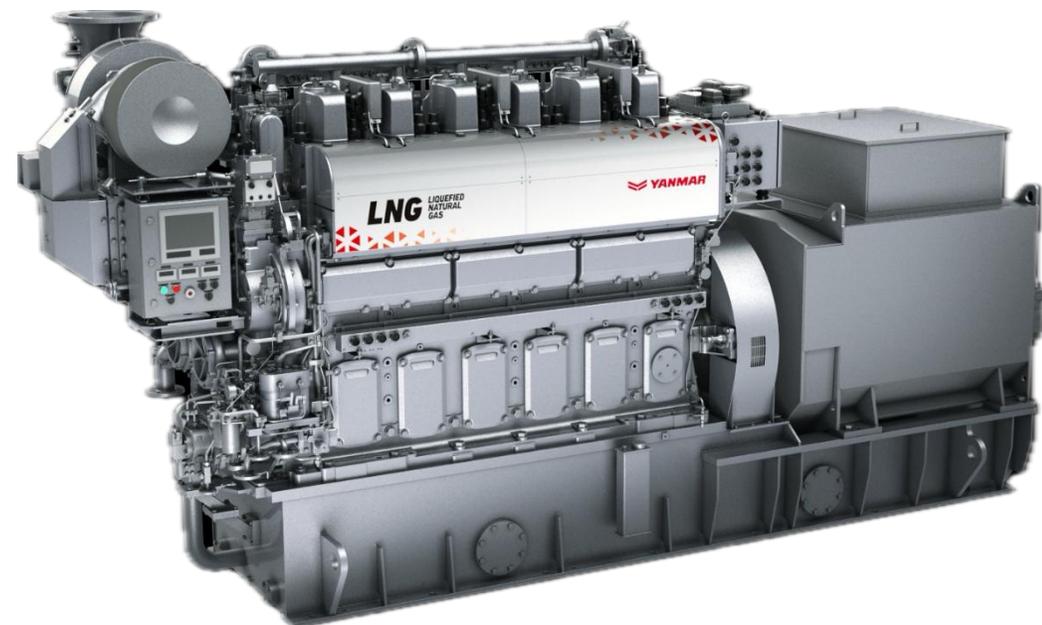
# ヤンマーLNG-DF機関の紹介

2025年2月21日

ヤンマーパワーテクノロジー株式会社

特機事業部 開発部

アプリケーション技術部



## 内容

---

### 1. 会社紹介

### 2. 業界動向

### 3. LNG-DF機関の概要

### 4. LNG-DF機関付帯設備の概要

### 5. 新燃料エンジンに関する取り組み状況

## 内容

---

### **1. 会社紹介**

### **2. 業界動向**

### **3. LNG-DF機関の概要**

### **4. LNG-DF機関付帯設備の概要**

### **5. 新燃料エンジンに関する取り組み状況**

## 会社概要（ヤンマーグループ）



商 号	ヤンマーホールディングス株式会社
本 社 所 在 地	大阪市北区茶屋町1-32 YANMAR FLYING-Y BUILDING
創 業	1912年3月 ※ヤンマーの前身である山岡発動機工作所創業
設 立	2013年4月
資 本 金	9,000万円
創 業 者	山岡 孫吉
代表取締役社長	山岡 健人
従業員数(連結)	21,553名 (2024年3月31日現在)

# 事業展開の歴史

優れたエンジンの製造を基盤に、時代に合わせて様々な産業機械の製造へと事業を拡大。

## 創業

山岡発動機工場 創業



## アグリ事業

耕うん機・トラクター  
発売



## エンジン事業（船用）

外航船用補機  
中・大形エンジン発売



## エネルギーシステム事業

電源・予備電源用  
大形ディーゼルエンジン発売



1912

1933

1937

1947

1952

1953

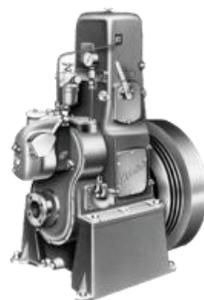
1968

(単位は年)



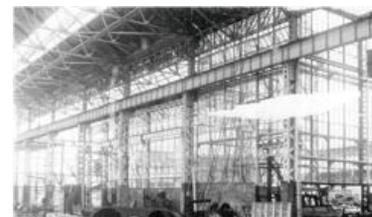
## エンジン事業（産業用）

世界初 小形ディーゼル  
エンジン完成



## マリン関連事業

漁船用 小形ディーゼル発売



## コンポーネント事業

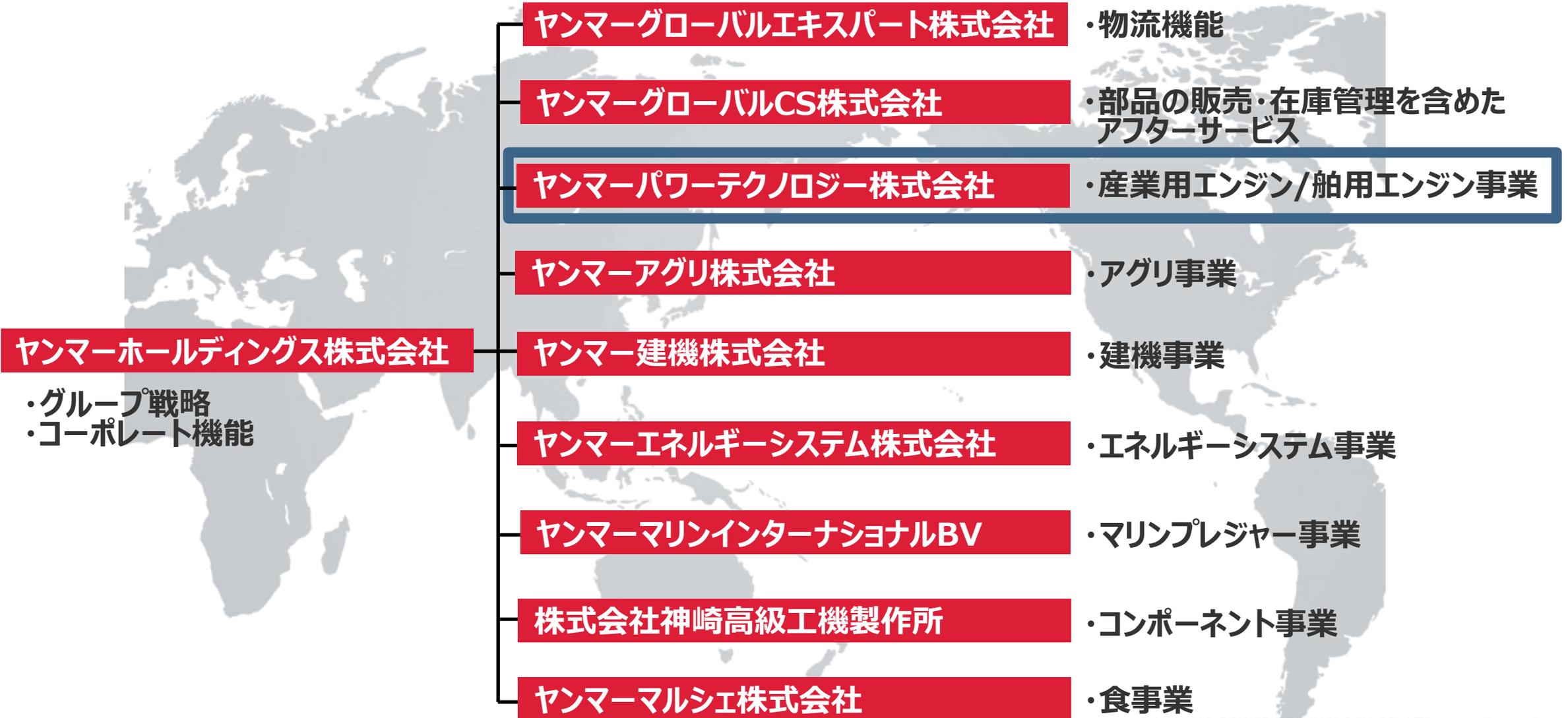
工作機械の修理、治具・専用機の  
製造開始



## 建機事業

自走式ミニショベル発売

## 会社組織・体制



# 会社概要 (ヤンマーパワーテクノロジー株式会社)

**ビジョン** : パワースソースの分野で**世界基準を創造**する。

**ミッション** : **LCV** (Life Cycle Value) の**最大化**と**環境負荷の最小化**を達成する技術ソリューションを提供する。

## 小形事業部 滋賀県

▶ 産業機械用小形エンジン



3



155

## 特機事業部 兵庫県

▶ 船舶用・産業用エンジン  
▶ 産業用ガスタービン



15



4,800 kW

# 生産拠点



## 鋳物部品

ヤンマーキャストテクノ (株)  
松江事業部  
(島根県松江市)



尼崎工場1936年～

## 組立・製造

特機事業部尼崎工場・塚口工場  
(兵庫県尼崎市)



塚口工場2000年～



## 精密機器部品

ヤンマーパワーテクノロジー (株)  
小形事業部大森工場  
(滋賀県長浜市)



## 歯車・減速機

(株) 神崎高級工機製作所  
(兵庫県尼崎市)



## 鋳物部品

ヤンマーキャストテクノ (株) 甲賀事業部  
(滋賀県甲賀市)



# 営業サービス拠点



## 内容

---

### 1. 会社紹介

### 2. 業界動向

### 3. LNG-DF機関の概要

### 4. LNG-DF機関付帯設備の概要

### 5. 新燃料エンジンに関する取り組み状況

# 国際海運からのGHG削減目標

IMO 第80回海洋環境保護委員会 (MEPC80)



GHG排出ゼロ技術の導入

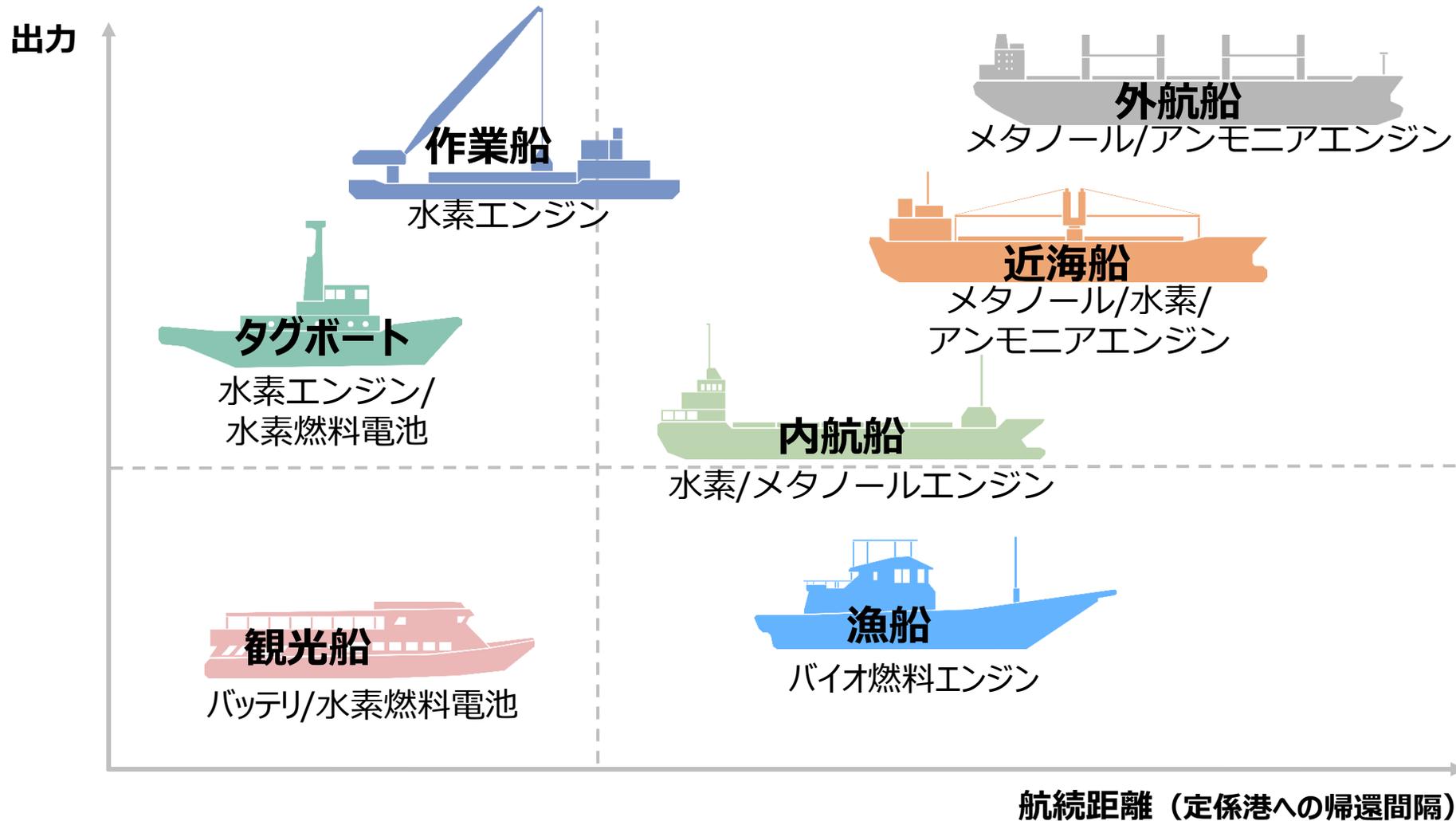
【2018年に採択した「IMO GHG削減戦略」を改訂】  
 2050年頃までに国際海運からのGHG排出ゼロへ強化  
 2030年頃までにゼロエミッション燃料等の使用割合を5~10%

## 主な代替燃料の特徴

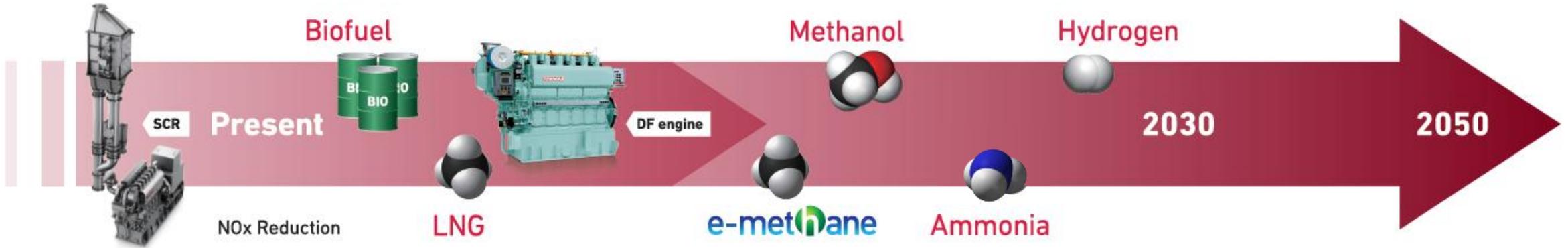
	従来燃料 HFO/LSFO	バイオ ディーゼル	LNG	メタノール CH3OH	アンモニア NH3	水素 H2
CO2排出量 (従来比)	1	0	0.74	0.90※	0	0
燃料体積比 (従来比)	1	1-1.2	1.7	2.4	2.7	4.5
燃料貯蔵状態	液体	液体	低温液体	液体	低温液体	極低温液体
自着火温度	>300℃	370-450℃	450-560℃	464℃	651℃	571℃

※グリーンメタノールの場合はGHG排出量「0」

# 想定される推進システム\_船種、出力、航続距離、インフラ、コスト、取扱容易性により異なる



# カーボンニュートラル・ゼロエミッションに向け、ヤンマーパワーテクノロジーは、『全方位的』に新燃料対応技術の研究開発を推進中



## 内容

---

### 1. 会社紹介

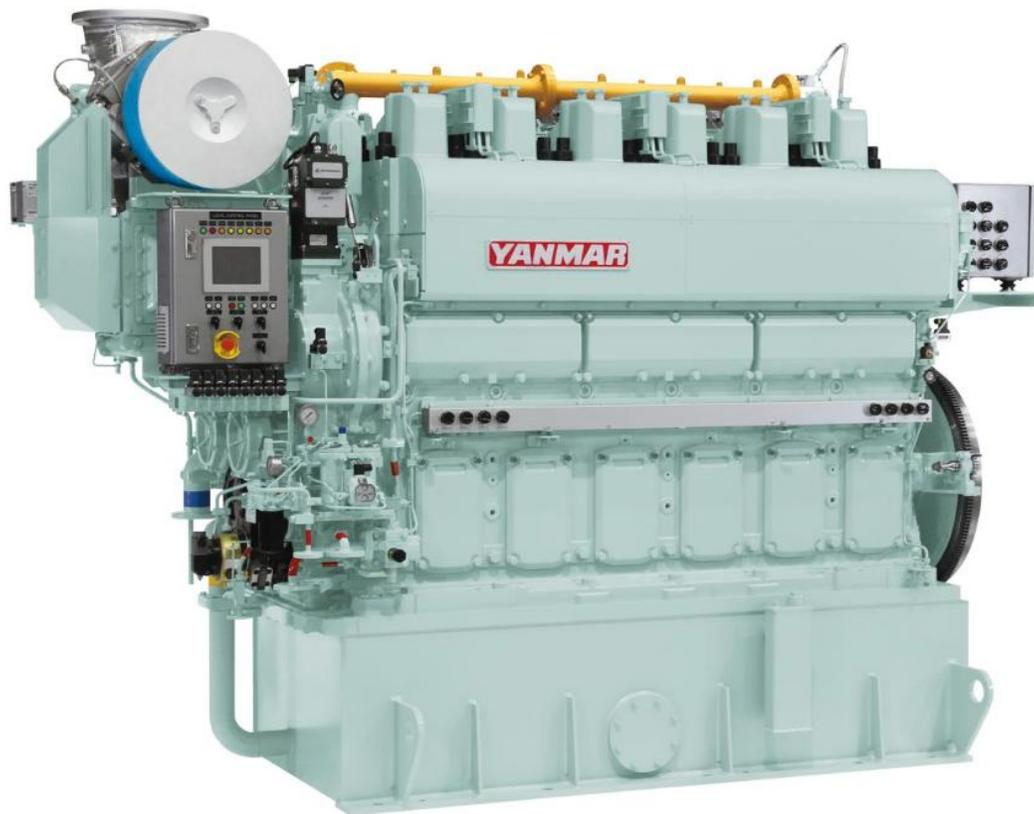
### 2. 業界動向

### 3. LNG-DF機関の概要

### 4. LNG-DF機関付帯設備の概要

### 5. 新燃料エンジンに関する取り組み状況

# ヤンマー 船用LNG-DFエンジン



LNG / 重油 二元燃料対応



SOx / PM



NOx



CO<sub>2</sub>

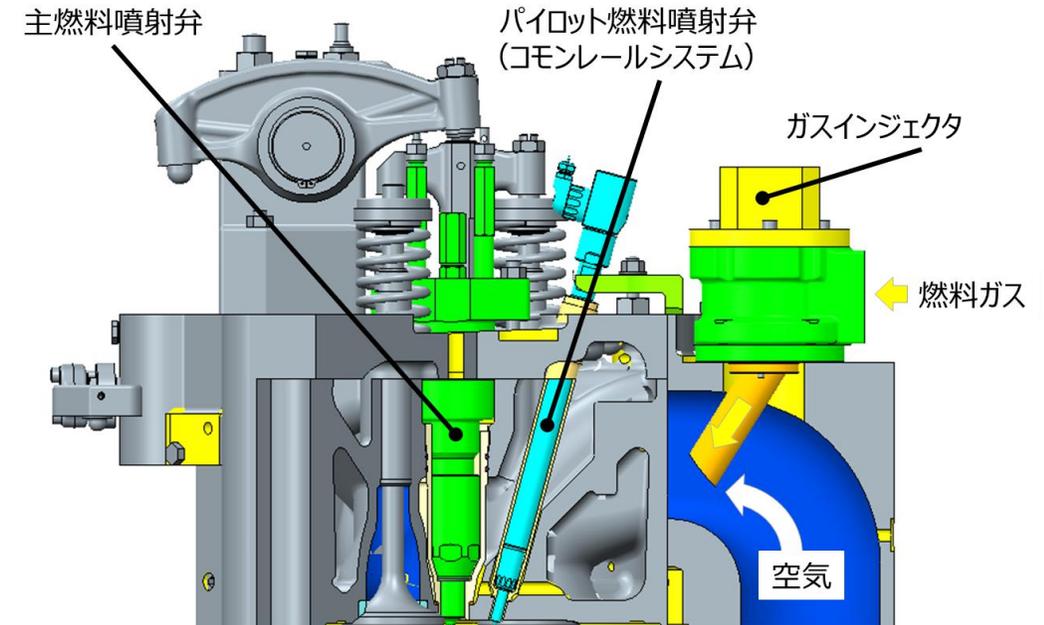
\* Where diesel is 100

環境規制への対応

# LNG-デュアルフューエル機関の基本構造

Dモード：ディーゼル運転モード  
Gモード：ガス運転モード

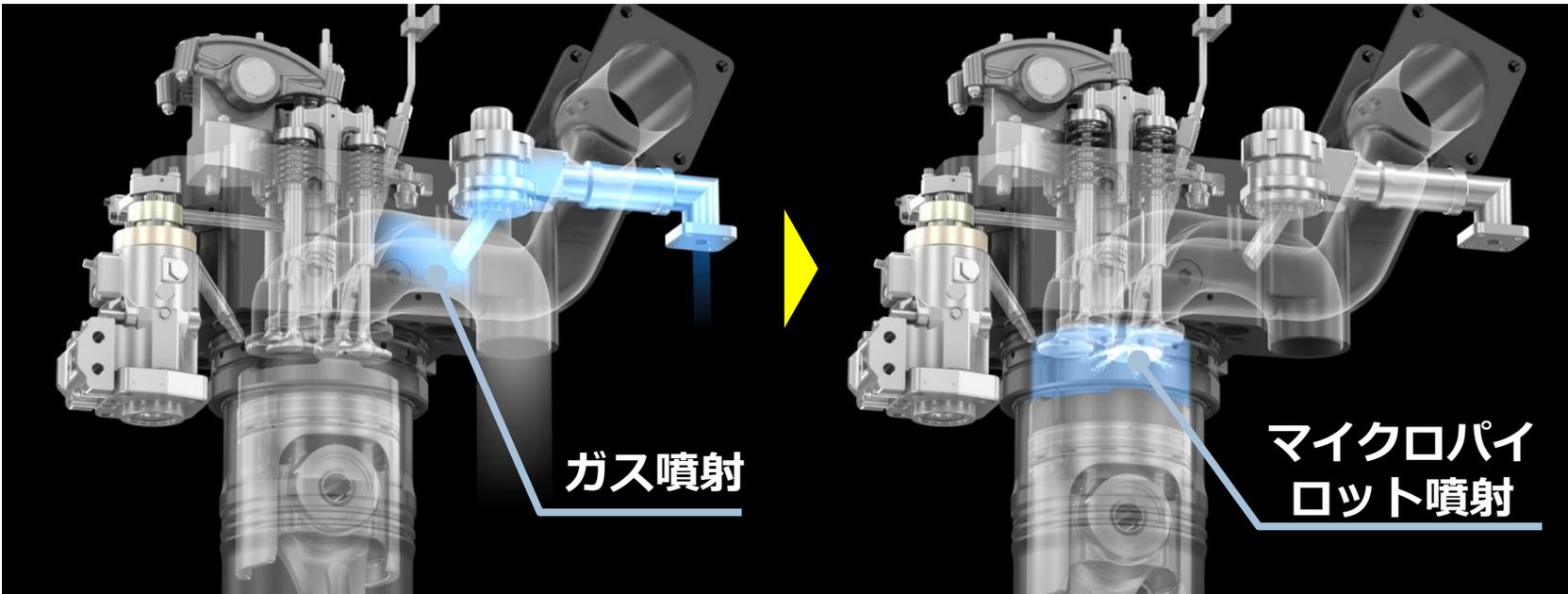
	ディーゼルエンジン	DFエンジン
燃焼形態	拡散燃焼	Dモード：拡散燃焼 Gモード：予混合燃焼
着火方式	圧縮自己着火	Dモード：圧縮自己着火 Gモード：パイロット燃料圧縮着火
使用燃料	軽油 A重油 C重油	軽油・A重油/C重油 天然ガス/13Aガス (メタン価65以上)



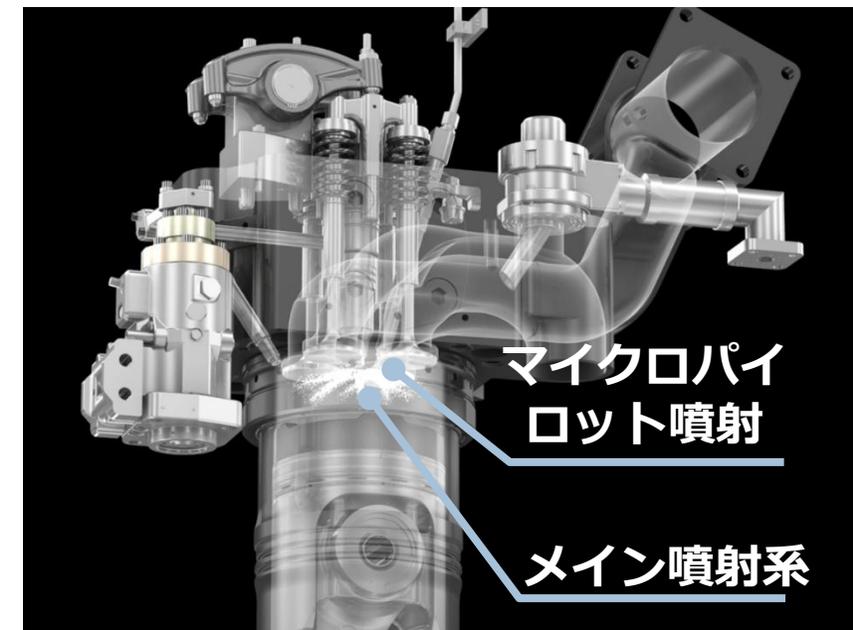
- 始動/停止時はディーゼルモードで運転
  - 始動時：エンジンの暖機
  - 停止時：排気管内の掃気
- 暖機後、任意の出力・タイミングでガスモードへの切替が可能
- ガスモードで異常があった場合は、ディーゼルモードに切替、継続運転可能

## デュアルフューエル機関の運転モード

Gモード：ガス運転モード



Dモード：ディーゼル運転モード



### ■ ガスモード運転

- ①燃料ガスはシリンダヘッドのポートに噴射し、燃料とガスの混合気としてシリンダ内に取り込まれる
- ②その後、マイクロパイロット噴射弁から微細に噴霧された燃料が火炎源となって燃焼する

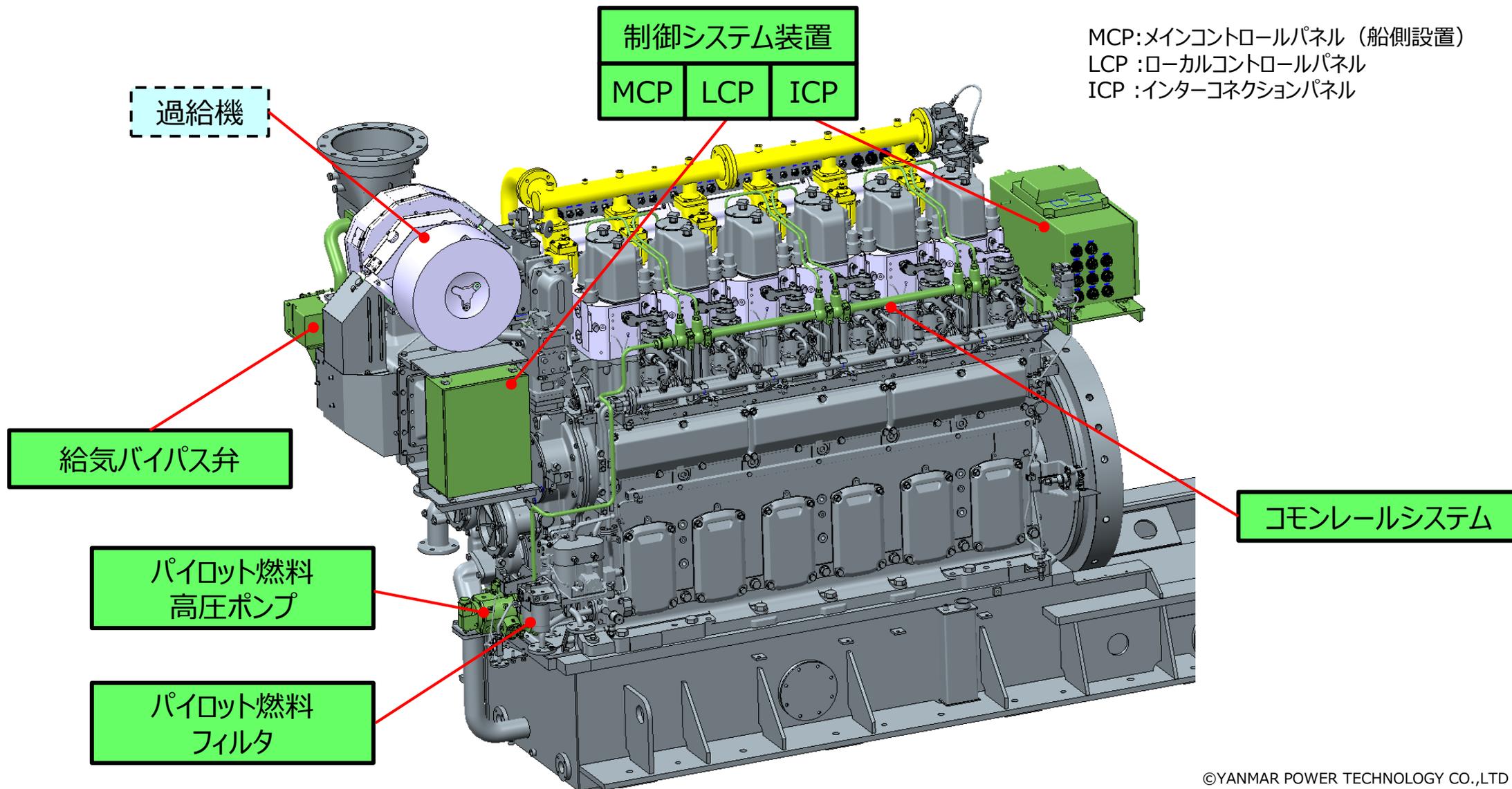
### ■ ディーゼルモード運転

ディーゼルエンジンと同じく、通常の燃料弁にて燃焼。但し、燃料はマイクロパイロット噴射弁からも噴射される

# 外観（操縦側）

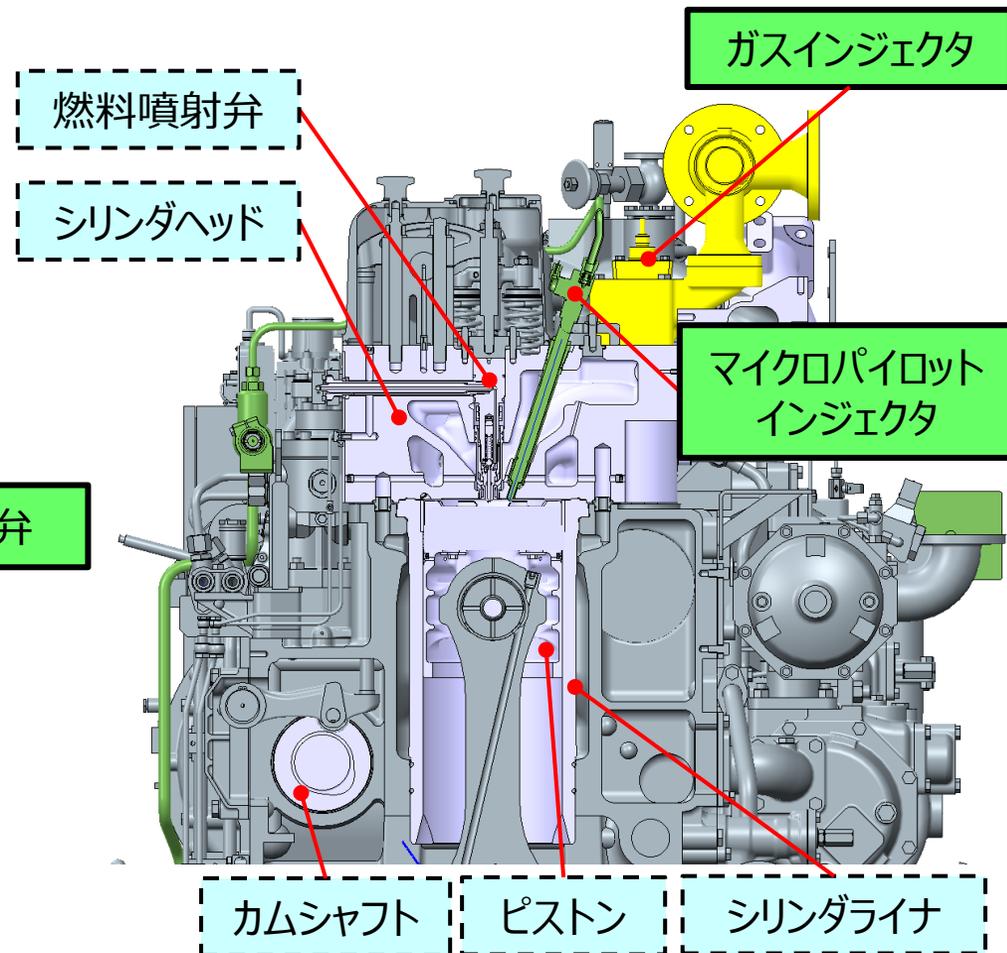
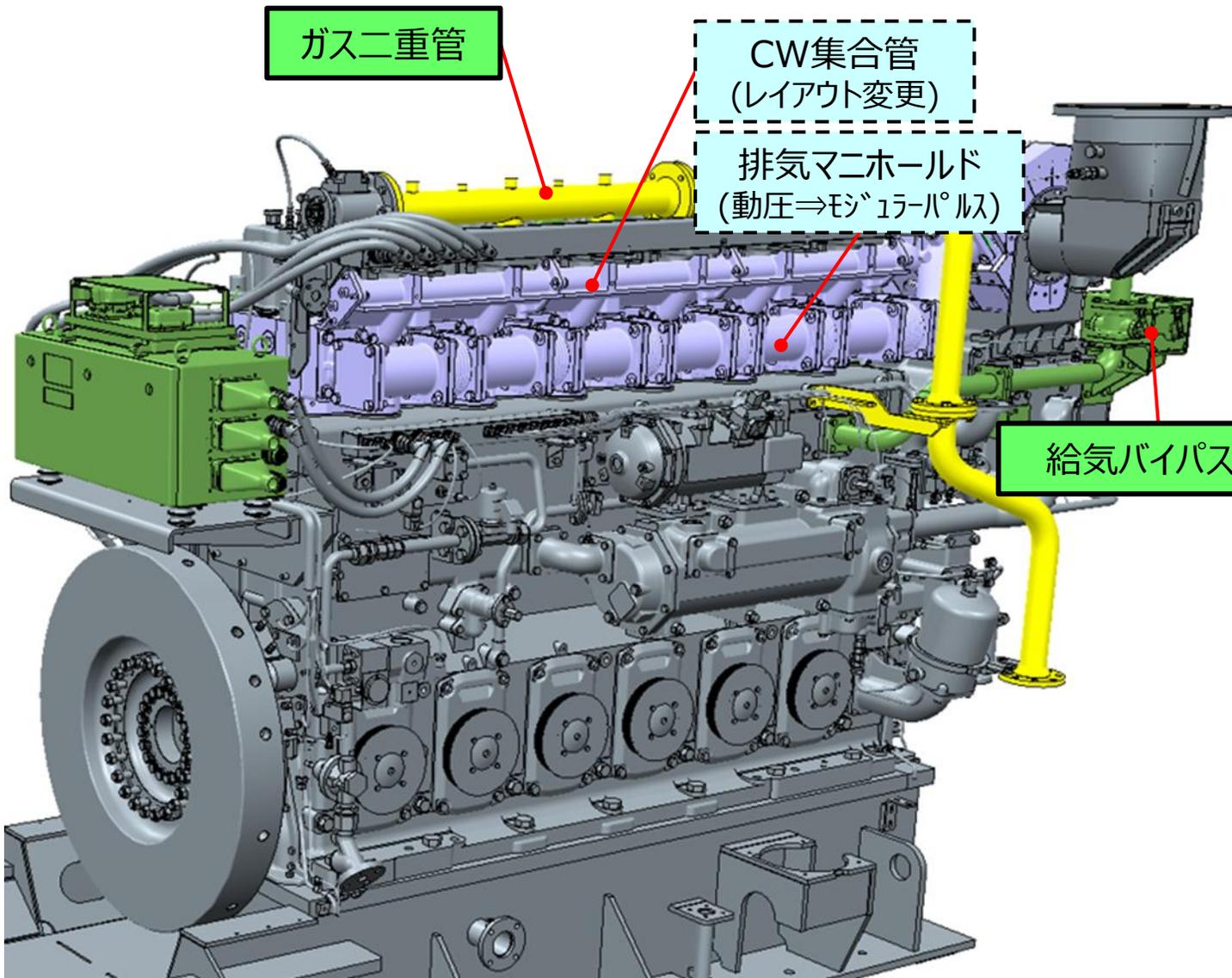
変更部品

新規部品



# 外観（非操縦側及び断面）

変更部品  
新規部品



## LNG-デュアルフューエル機関の課題と対応技術

---

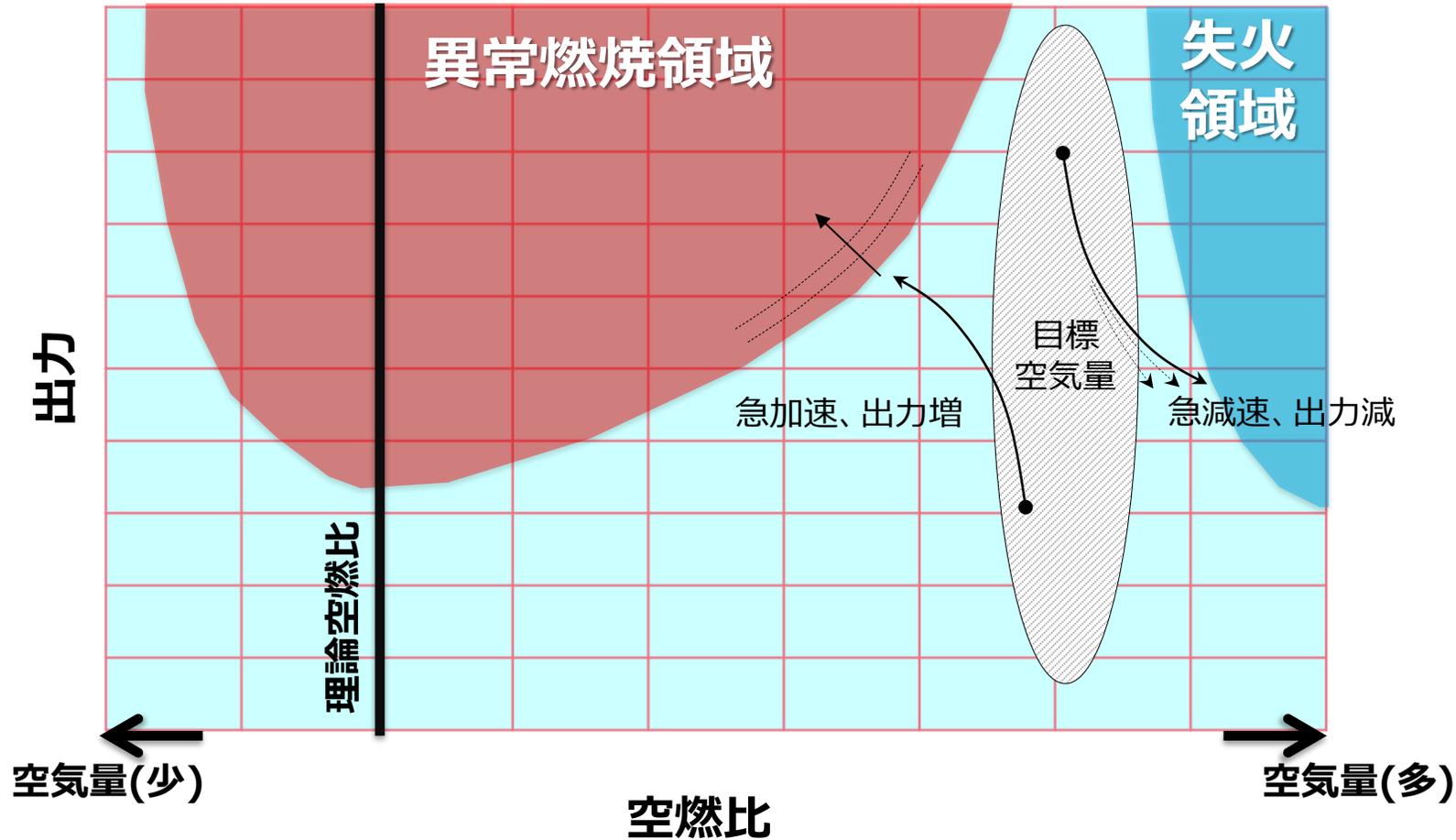
### デュアルフューエルとして必要な制御技術

- マイクロパイロット制御技術
- ディーゼル-ガス切替制御

### ガスの燃焼安定性確立のために必要な制御技術（負荷追従性）

- 空燃比制御技術
- ノッキング検出・回避制御技術

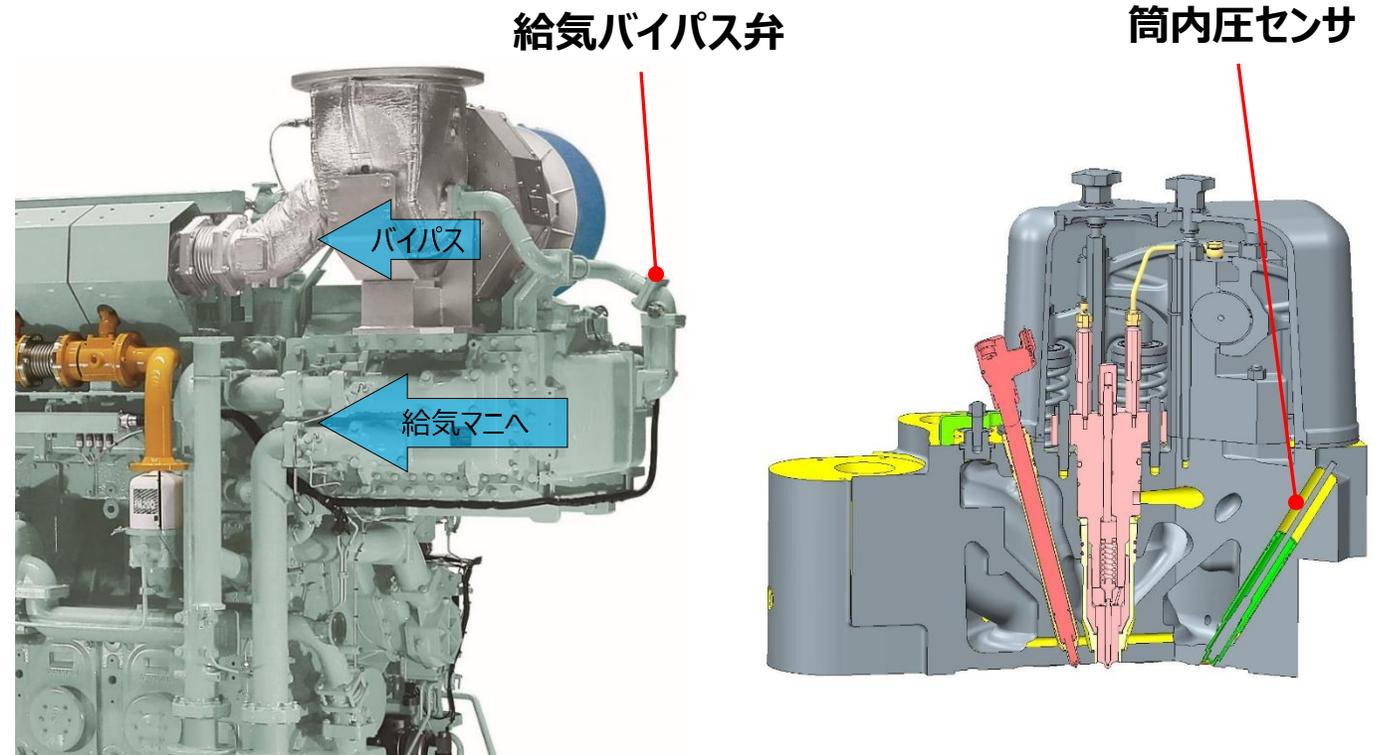
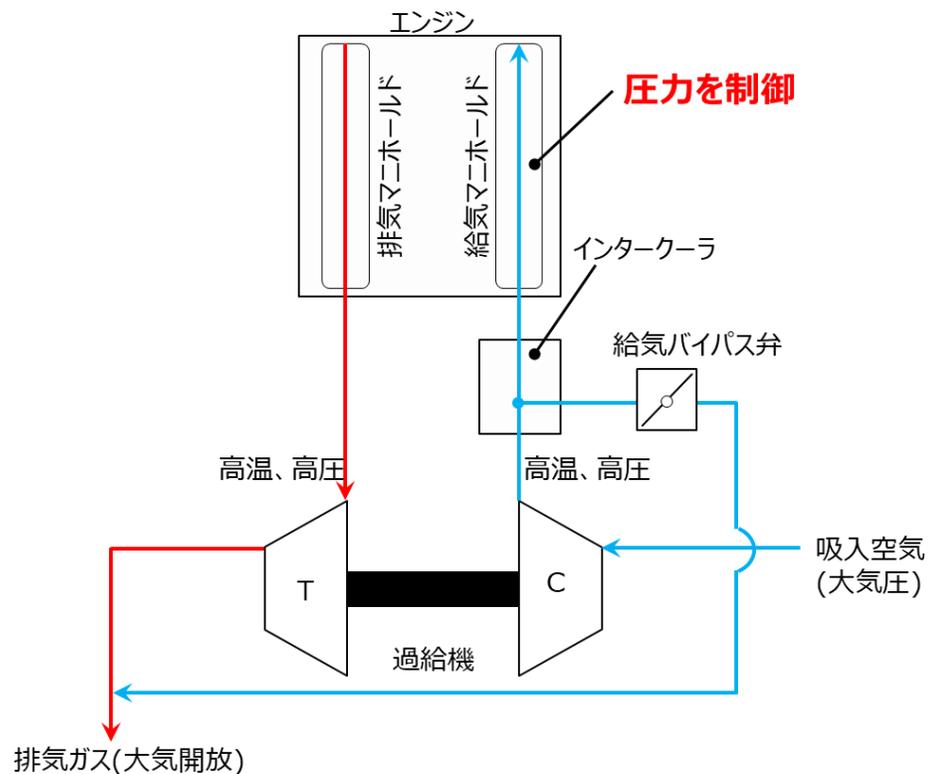
## ガスエンジンの燃焼特性



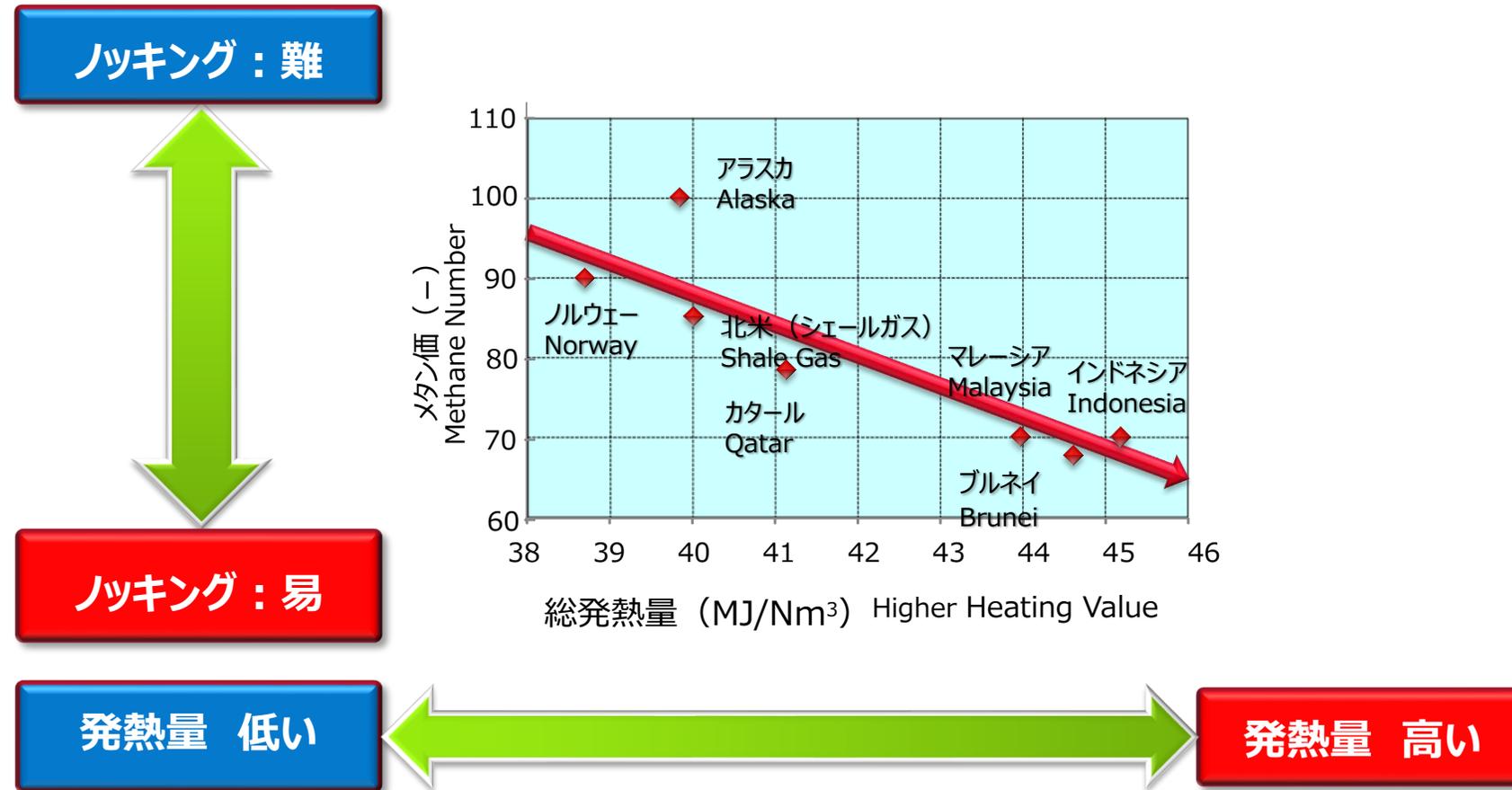
- 出力を上げるためには、異常燃焼および失火を回避するための空燃比制御が必須
- 過渡的に異常燃焼領域を増やしたり(急加速時)、瞬時に不要な空気量を抑制する(急減速時)の制御技術の組み合わせが必要

## 空燃比制御（負荷変動対応技術）

- ガスモード運転に必要な空気量を制御
- 所定の負荷条件に応じた給気マニホールド圧力へ調整する
- 給気バイパス弁は、コンプレッサ出口の高圧空気量を制御
- 燃焼を常に監視し、空燃比を緻密に制御

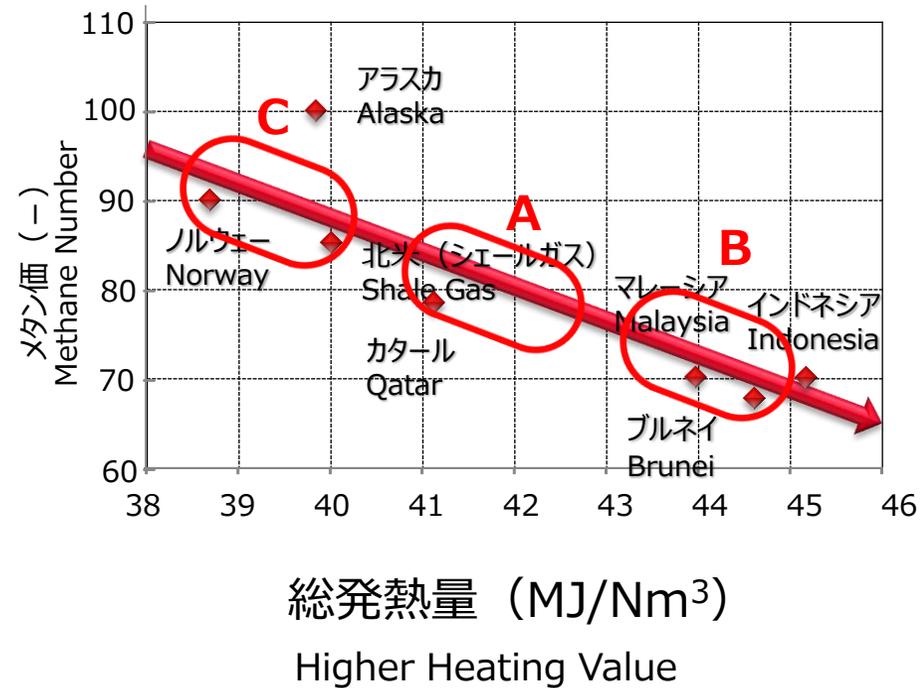
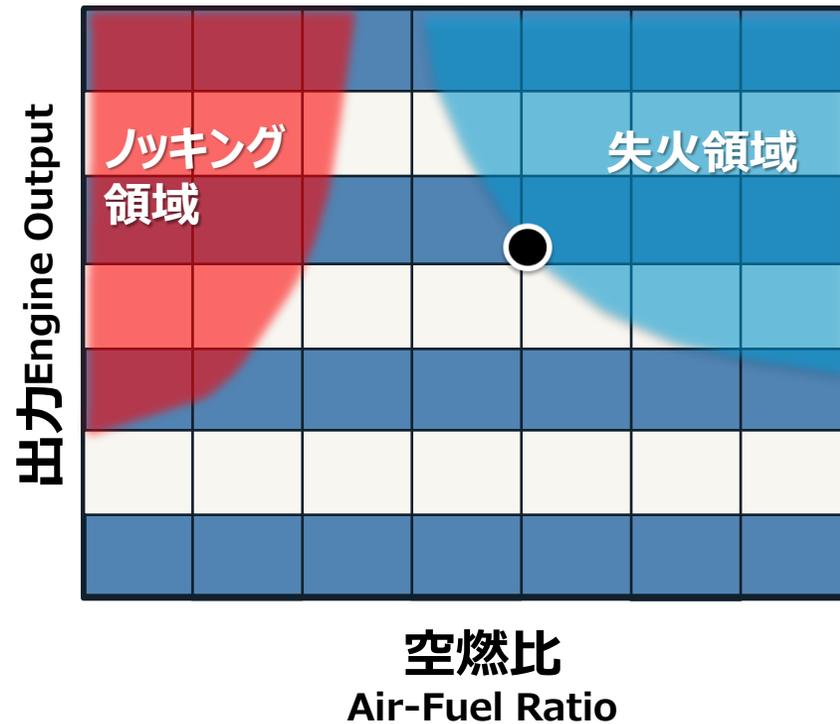


## 天然ガスのメタン価と発熱量特性（ガス発熱量変動の対応技術）



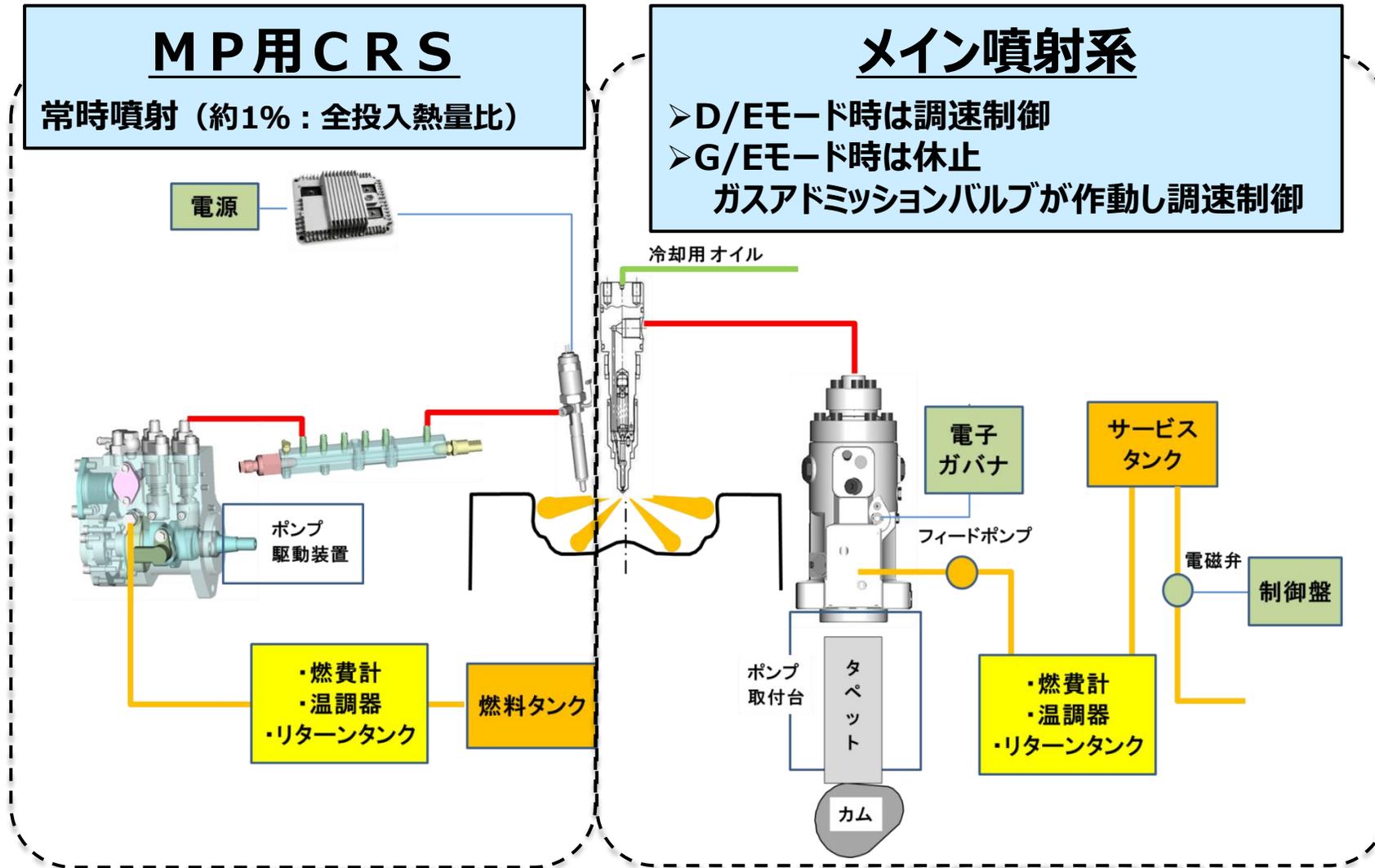
▶ メタン価はハッキングのし易さを表す指標であり、総発熱量が高くなるほど、メタン価は小さくなる傾向をもっています

# ガス発熱量変動への対応

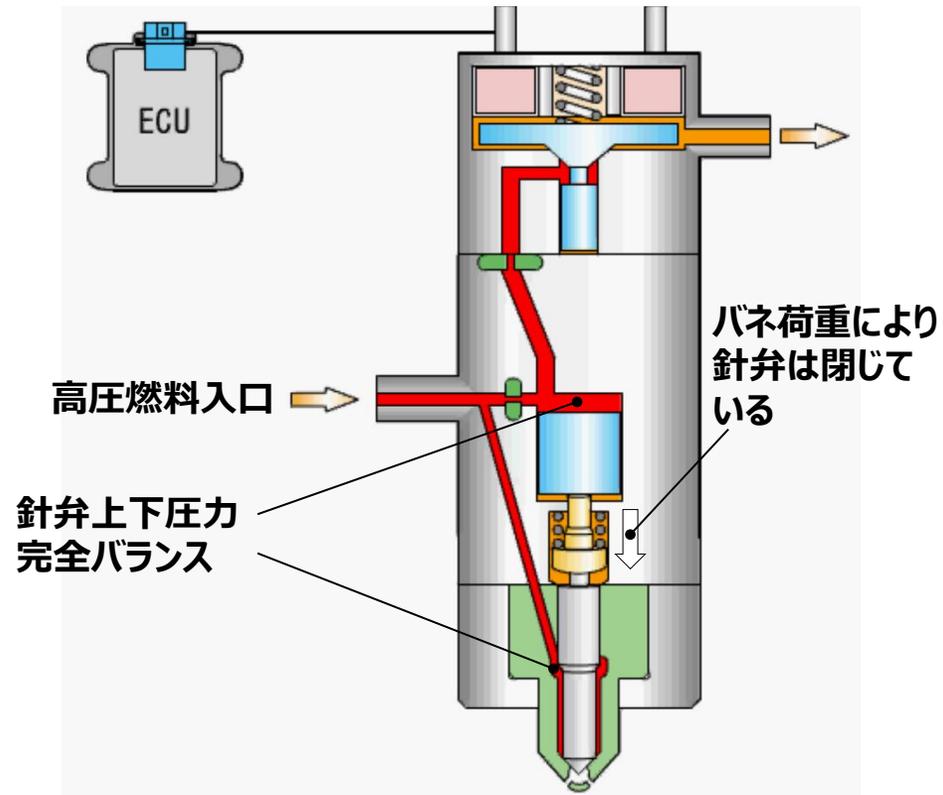


➤ ガス発熱量の変動に合わせて、適正な空燃比制御を行います

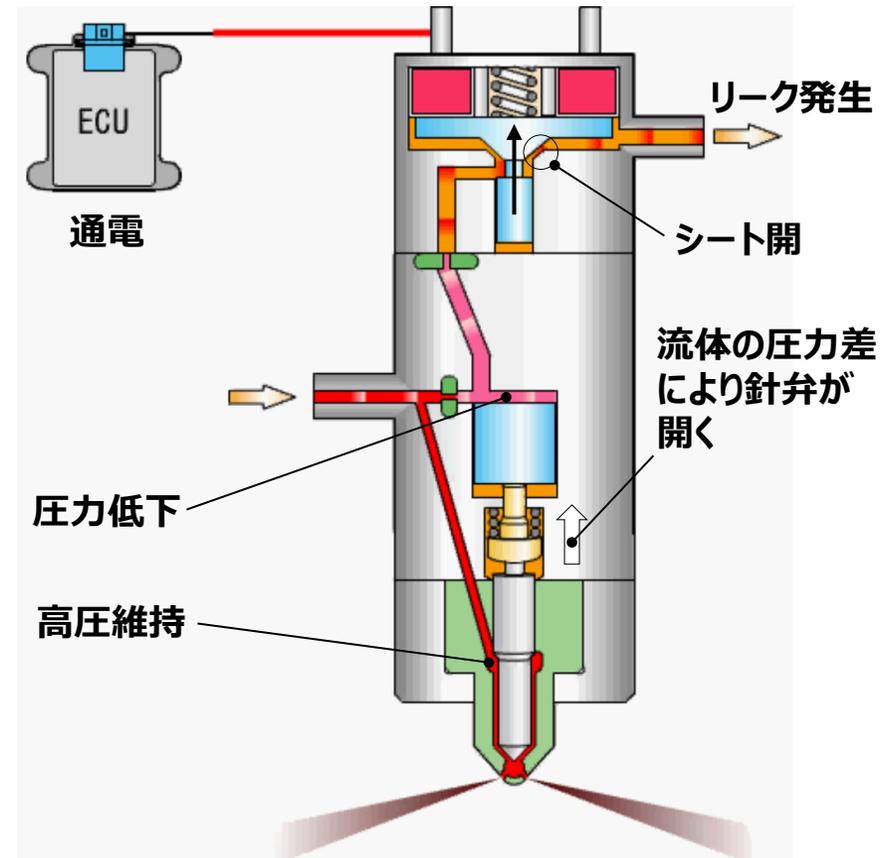
# コモンレールシステムの概要



# パイロット燃料噴射弁の動作

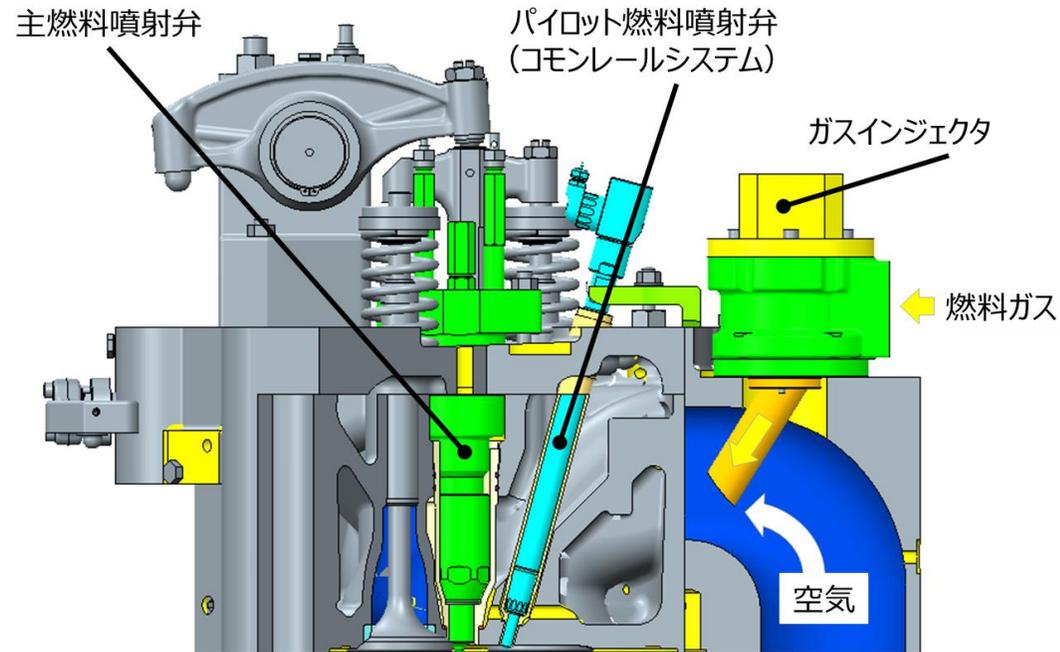


【噴射前】



【噴射】

## ガスインジェクタ（ガス燃料噴射弁）の動作

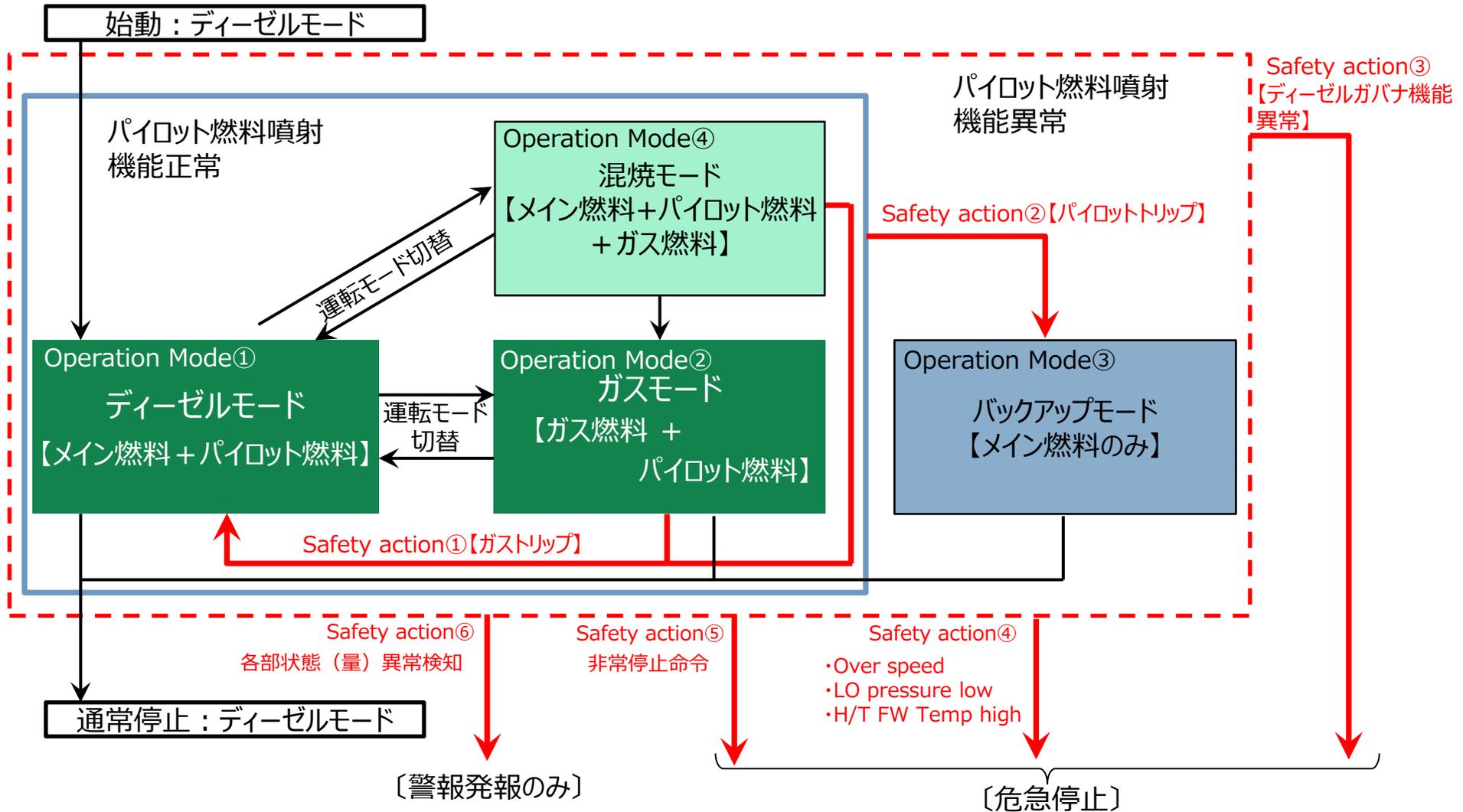


ガスインジェクタ

作動原理)

- ・インジェクションドライバよりソレノイドに通電
- ・コアが引上げられ、ガス通路を形成しガスを供給
- ・コントローラにより通電時間(噴射期間)を制御し、ガス燃料噴射量を制御

# 運転モード・セーフティコンセプト (セーフティ機能)



※混焼モード

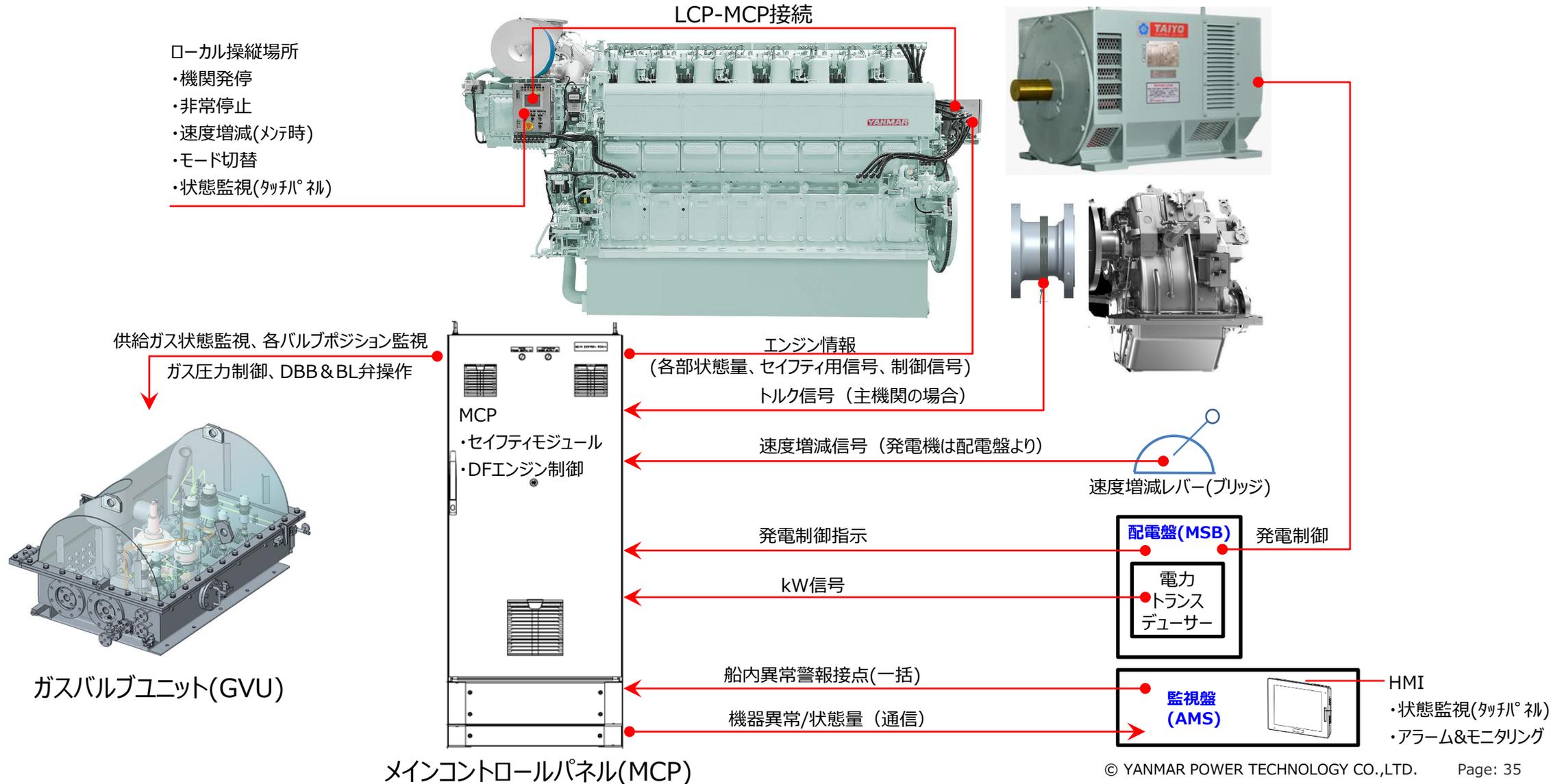
バンカリング直後のN2が多く混ざっている低発熱量のガス燃料でもガスを消費出来る運転モード

## 各運転モードに必要な制御機能および主な状態監視項目

運転モード	ガスモード	ディーゼルモード	バックアップモード
マイクロパイロット 噴射量制御	○	○	異常停止
メインディーゼル 噴射量制御	停止	○	○
ガスインジェクタ 駆動制御	○	停止	停止
空燃比制御 (給気バイパス弁)	○	停止	停止
筒内圧補正 & 監視制御	○ (異常燃焼監視)	監視のみ	←
排気温度監視	○	監視のみ	←
kW信号監視	○	不要	←

※バックアップモード：パイロット噴射系に重大な故障が発生し、特定気筒のパイロット噴射が停止または噴射機能が全喪失した場合に、メイン燃料噴射による運転を行うモードです

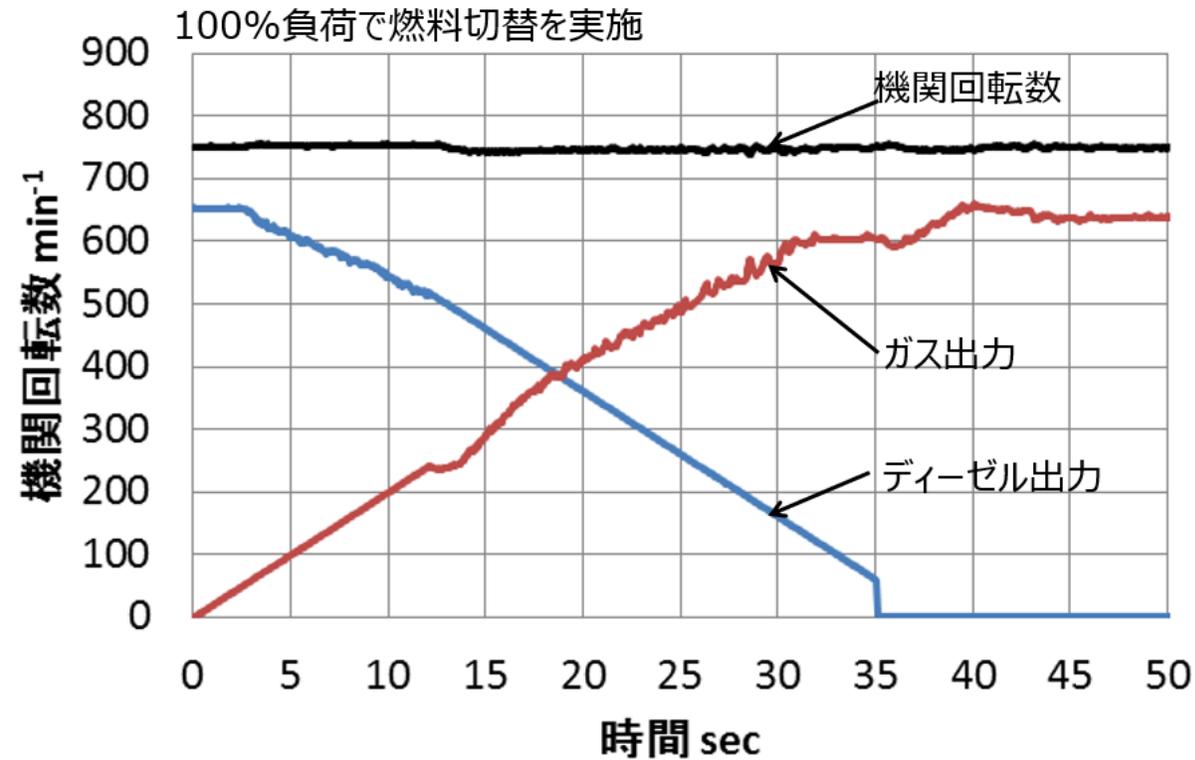
# 制御システム概要



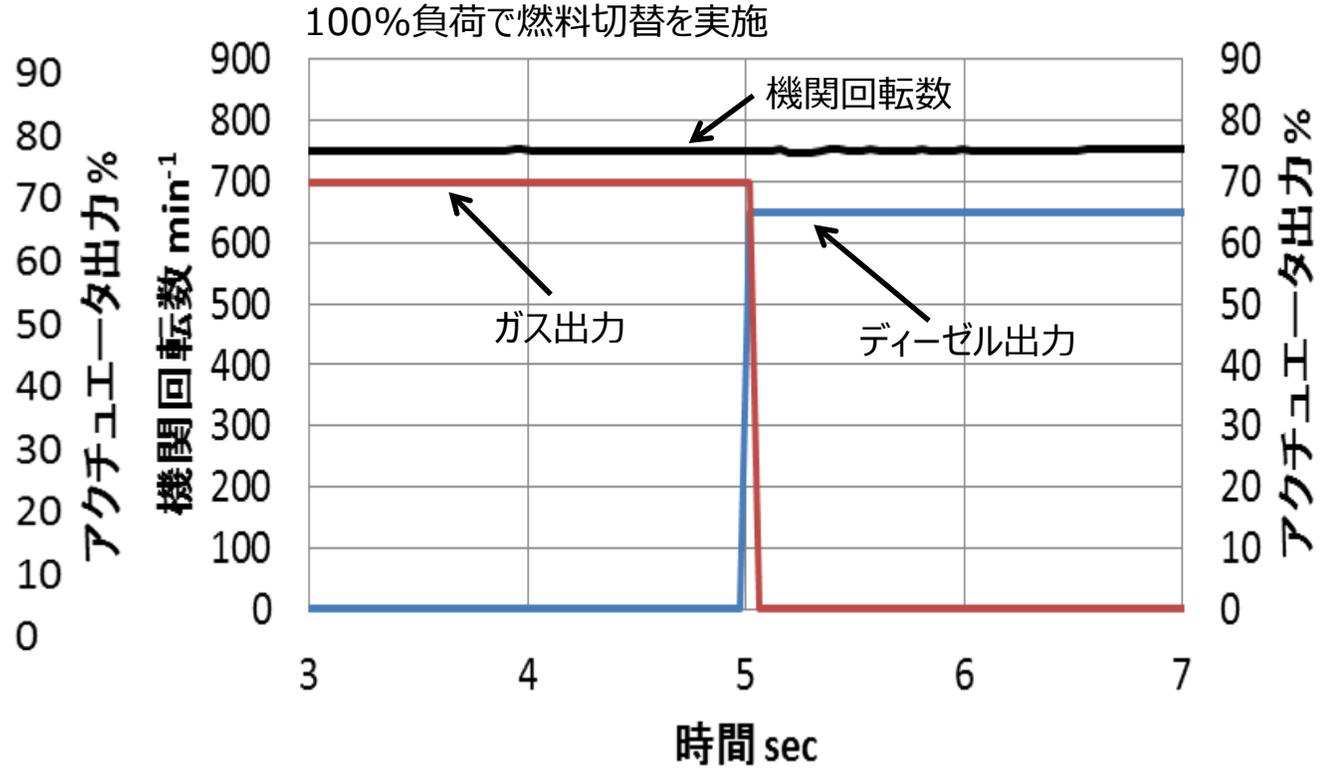
# 運転モード（燃料）切替性能

## ディーゼル → ガスモード切替

## ガス → ディーゼルモード切替



◆ 100%負荷でもガスモードへの切替可能（切替時間：負荷100%：約35sec）



◆ 100%負荷でも瞬時チェンジオーバー可能

# LNGデュアル燃料機関ラインナップ



## 6EY22DF

- ✓ 800～1100kW
- ✓ 補機として10隻(30台)納入実績

## 6/8EY26DF

- ✓ 1200～1960kW
- ✓ 主機として5隻(10台)納入実績
- ✓ 補機として4隻(12台)納入実績

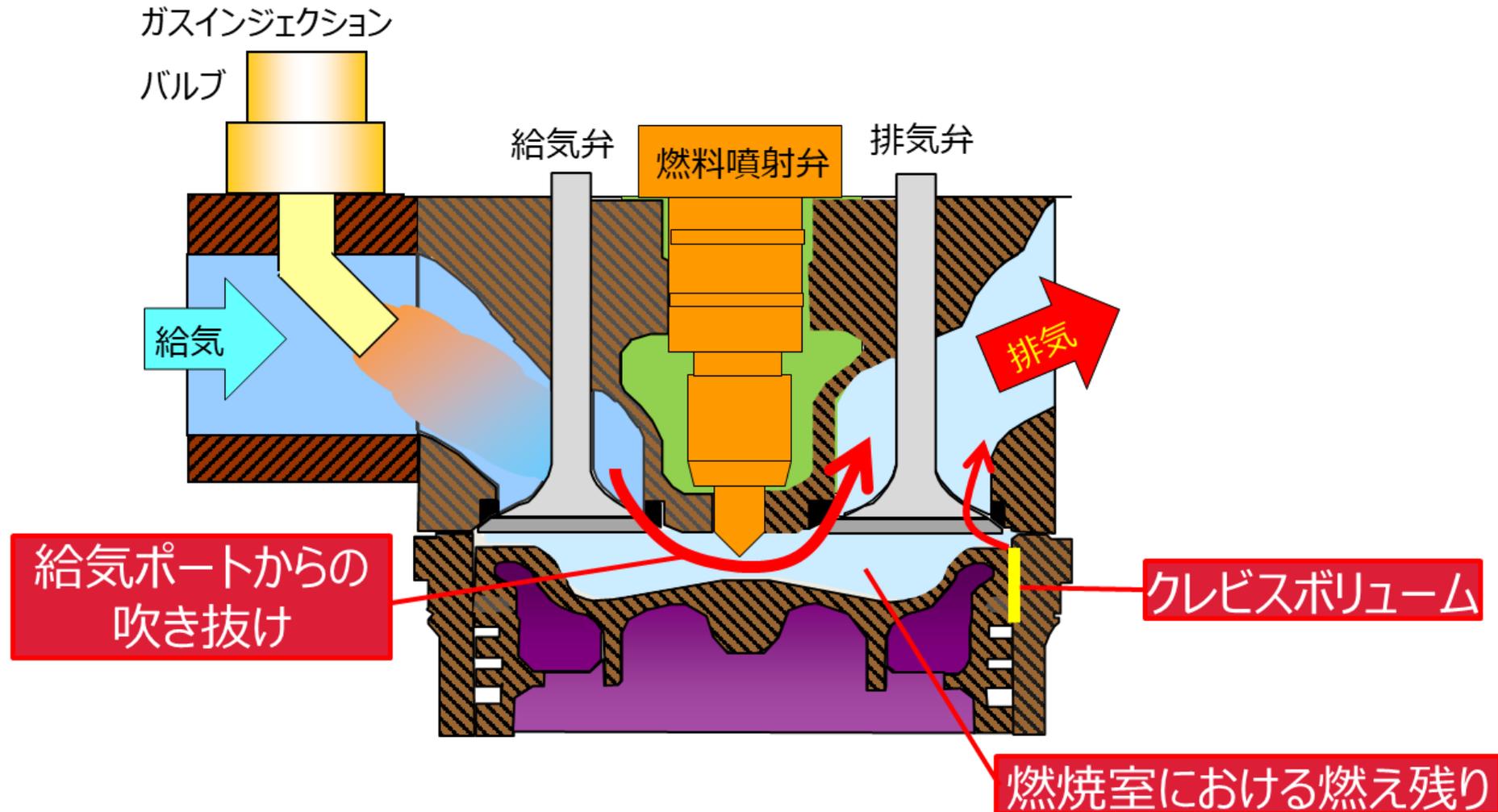
## 6/8EY35DF

- ✓ 2210～4080kW
- ✓ 基礎試験完了(補機)
- ✓ '25年以降のリリース予定

### 【特徴】

- 制御システムプラットフォームは全て共通
- 各機種からの追加&改善機能のアップデートにより全機種で共有が可能

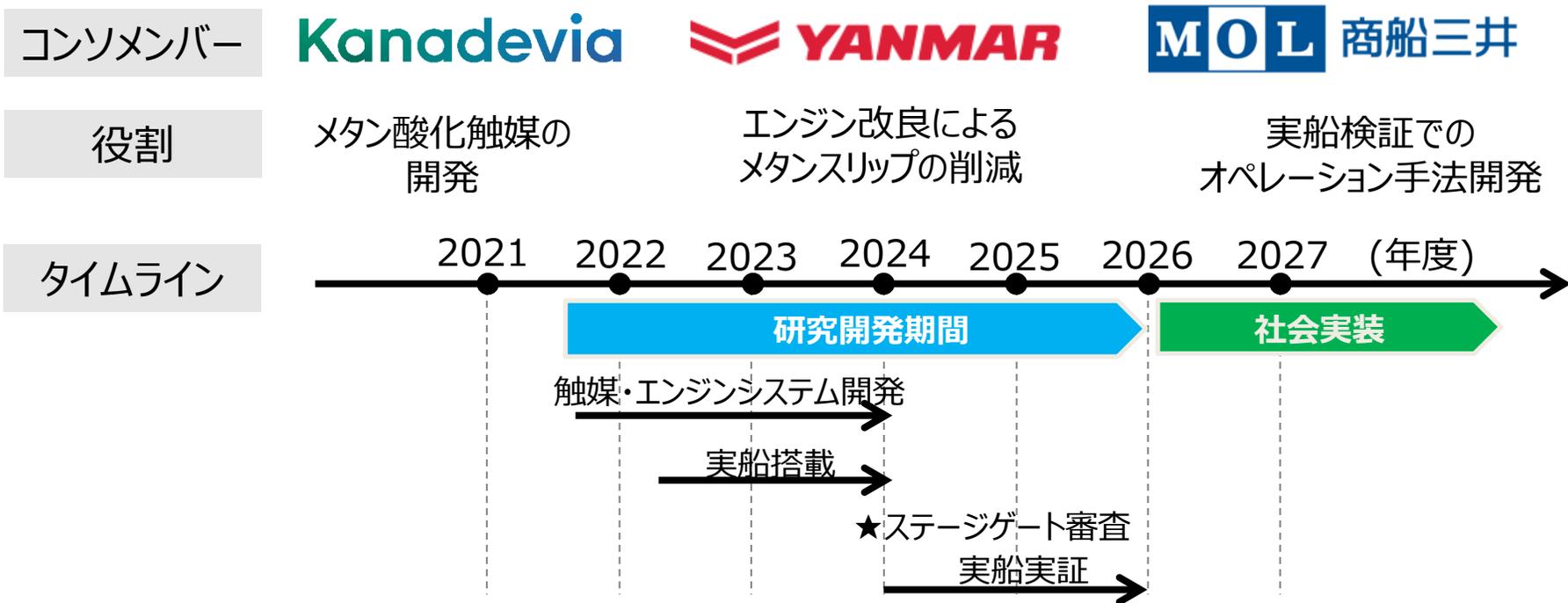
## メタンスリップが課題（メタンの温室効果は二酸化炭素の約28倍）



# メタンスリップ削減技術開発の概要



2021年10月  
 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の  
**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**に採択される



実船実証船「苓明」

## メタンスリップ削減技術の概要

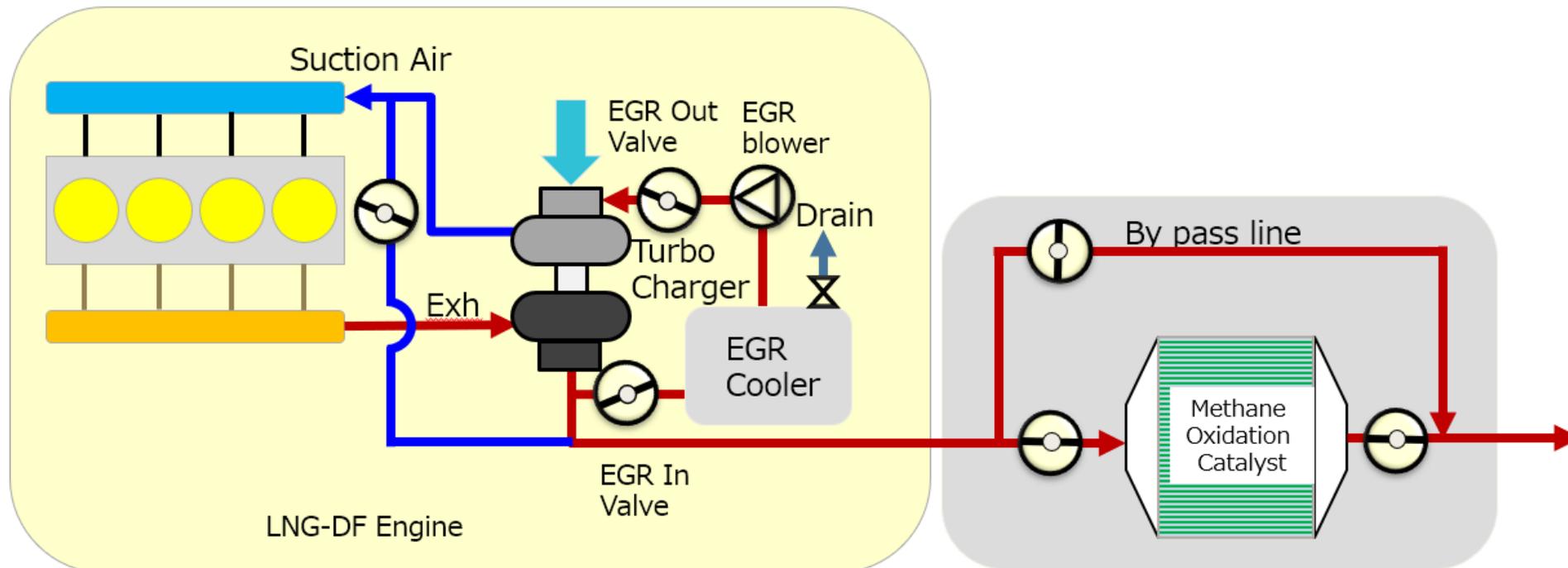
### ①エンジン燃焼（EGR+リッチ燃焼の適用）

空燃比リッチ化による高い燃料温度⇒燃焼活性化

EGRによる排気ガス中メタンの再燃焼、空燃比リッチ化による異常燃焼の改善

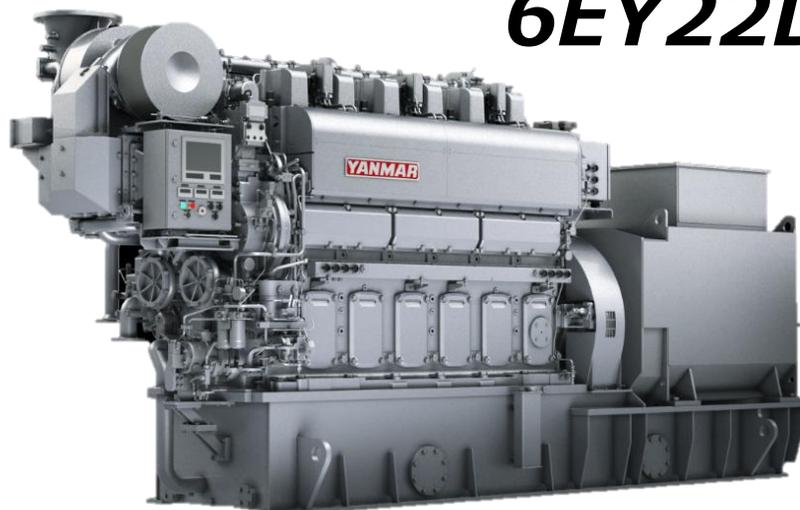
### ②後処理技術

メタン酸化触媒の適用



## LNG-DFエンジンラインアップの拡充

**6EY22DF**



**8EY22DF**



**6Cyl.**  
**1100kW → 1265kW**

**8Cyl.**  
**1680kW**

## 内容

---

### 1. 会社紹介

### 2. 業界動向

### 3. LNG-DF機関の概要

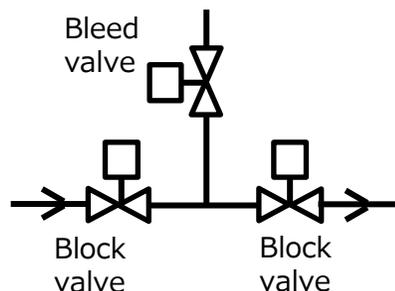
### 4. LNG-DF機関付帯設備の概要

### 5. 新燃料エンジンに関する取り組み状況



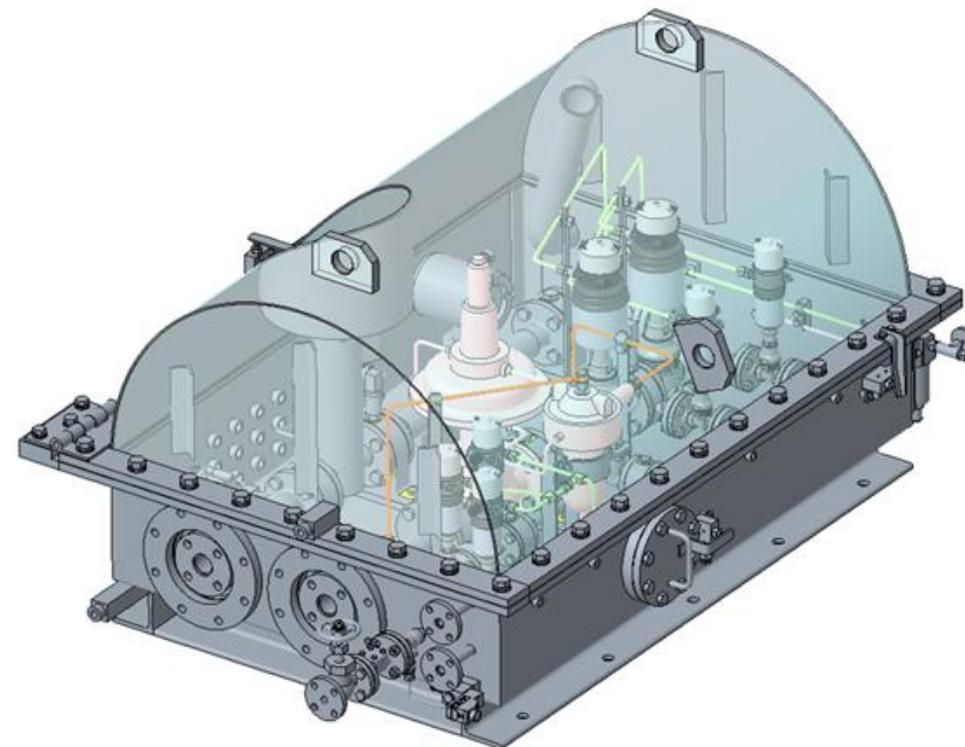
## ガスバルブユニット (GVU) の概要

- 機関毎に、ダブルブロックブリード弁機構が求められます  
(遮断弁の冗長性及びブリード機構)



以下の場合に、自動的に、直接に接続されたブロック弁は閉じ、ブリード弁は開きます

- ガス漏れ検知
  - 二重管アンユーススペースの通風異常
  - エンジン非常停止
- ガスレギュレータにより、エンジンのガス供給圧を制御します  
エンジン負荷に応じて、給気圧とガス圧の差圧を維持します
  - 設置場所に合わせて、インクロージャー式（二重管構造）  
またはオープン式で対応
    - ガス安全機関区域（機関室）：インクロージャー式
    - ESD保護機関区域（燃料調整室等）：オープン式

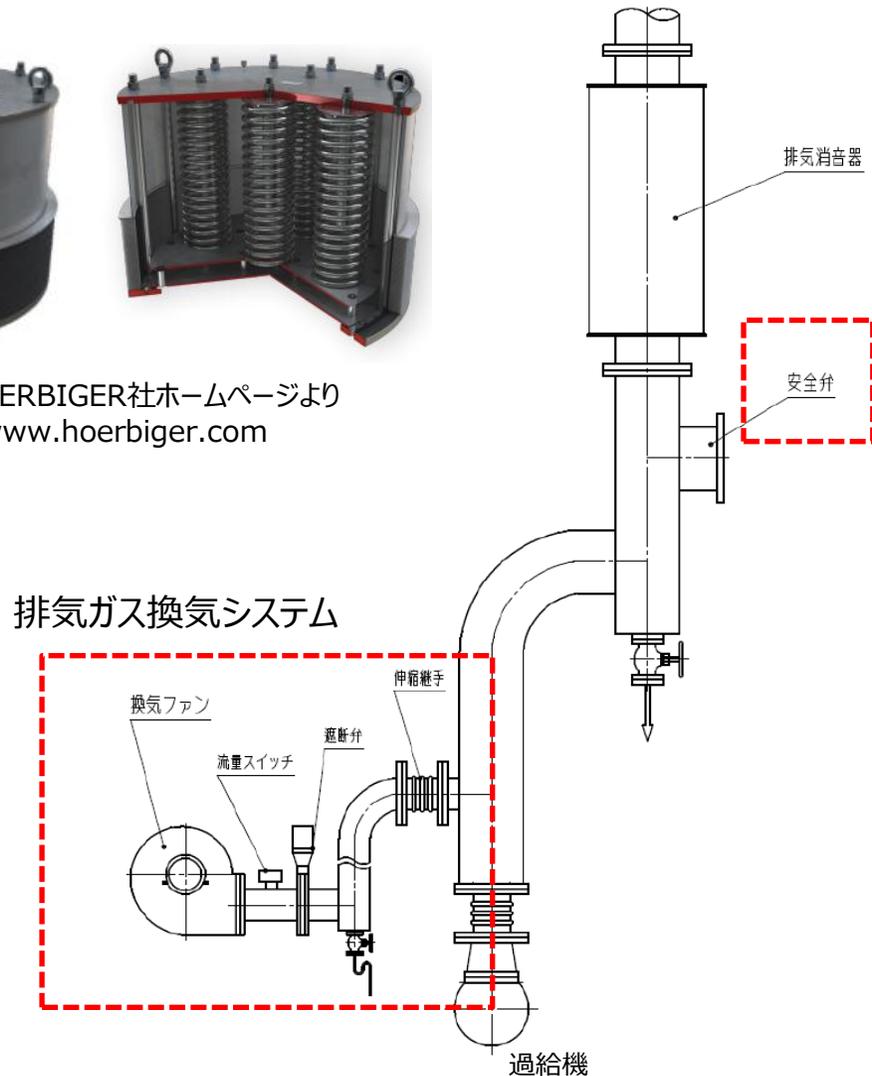


1set/1Engine  
(インクロージャー式)

# 排ガス管系統



出典：HOERBIGER社ホームページより  
<https://www.hoerbiger.com>



## ◆ 排気ガス換気システム

- 1) ガスモード運転中に非常停止した場合に、排ガス管内の換気を行ってください
- 2) 排気管全容量を2～3minで3回換気可能なファン容量としてください
- 3) 排ガス換気システムは排気ガス管から2m以上離して設置ください

## ◆ 安全弁（リリーフバルブ）

- 1) 天然ガスが排気ガス管に滞留した場合に煙道爆発を起こす可能性があります
- 2) 作動時に排出される排気ガスは安全な場所に放出するように計画してください

## 内容

---

### 1. 会社紹介

### 2. 業界動向

### 3. LNG-DF機関の概要

### 4. LNG-DF機関付帯設備の概要

### 5. 新燃料エンジンに関する取り組み状況

# ヤンマーの次世代燃料対応技術



## 主な代替燃料の特徴

	従来燃料 HFO/LSFO	バイオ ディーゼル	LNG	メタノール CH <sub>3</sub> OH	アンモニア NH <sub>3</sub>	水素 H <sub>2</sub>
CO <sub>2</sub> 排出量 (従来比)	1	0	0.74	0.90※	0	0
燃料体積比 (従来比)	1	1-1.2	1.7	2.4	2.7	4.5
燃料貯蔵状態	液体	液体	低温液体	液体	低温液体	極低温液体
自着火温度	>300℃	370-450℃	450-560℃	464℃	651℃	571℃

※グリーンメタノールの場合はGHG排出量「0」

## メタノールの特徴



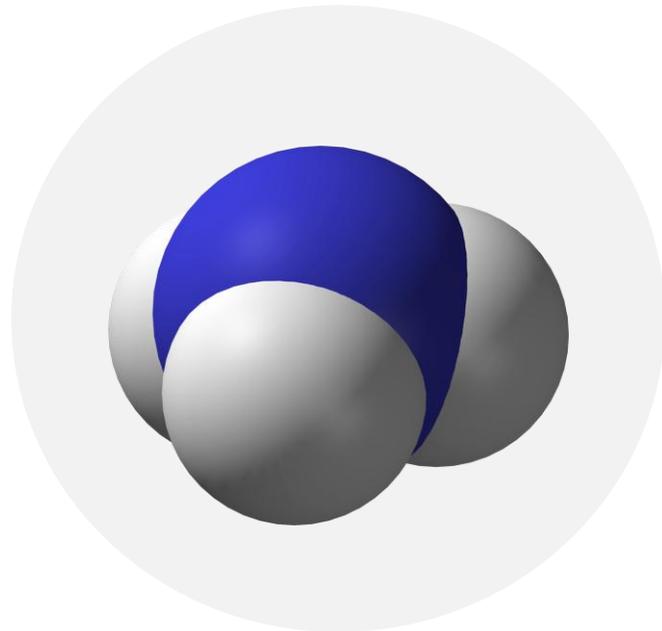
- 常温・常圧で液体であるため、**搭載性や運用の観点から外航船における燃料として注目**
- 発熱量当たりの体積は軽油・A重油の2.4倍であり、**比較的小さなタンク容量で対応が可能**
- セタン価が低く、自己着火性が低いため、**パイロット燃料等による強制着火が必要**
- 毒性・腐食性あり

# メタノールエンジンの燃焼方式

	高圧DI (DF)	低圧PFI (DF)
シリンダヘッド構造図	<p>※DI : Direct Injection</p> <p>メタノール/ ディーゼル INJ</p>	<p>※PFI : Port Fuel Injection</p> <p>ディーゼルINJ パイロットINJ メタノール INJ</p>
燃焼プロセス	<ul style="list-style-type: none"> <li>・はじめにパイロット用ディーゼル油が噴射される</li> <li>・その後メタノールも筒内に直噴される</li> <li>▶ 拡散燃焼 (ディーゼルエンジンと同様)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・メタノールは液体で給気管内に噴射される</li> <li>・その後、気化して、予混合気を形成する</li> <li>・パイロット用ディーゼル油により着火</li> <li>▶ 火炎伝播燃焼</li> </ul>

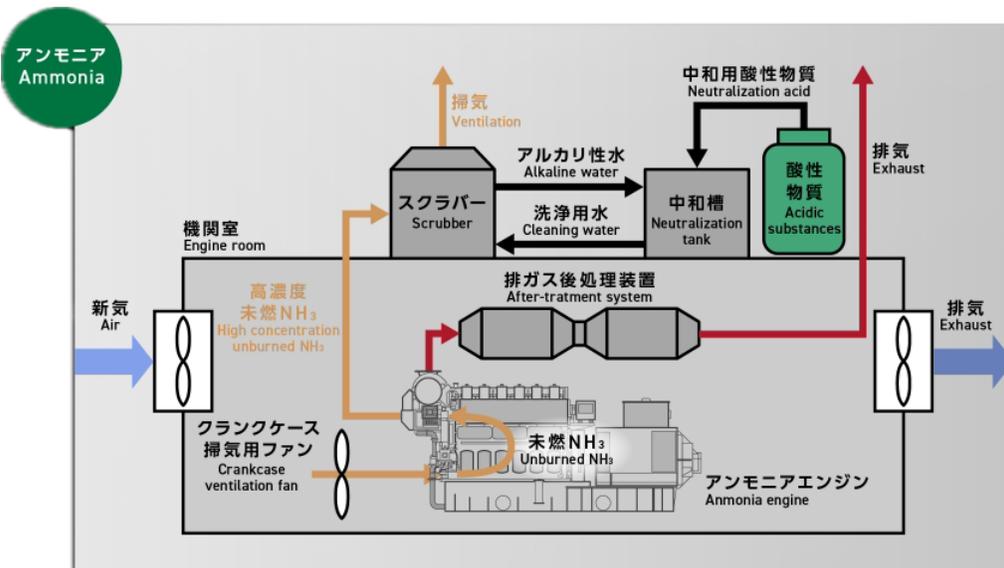
## アンモニアの特徴

---



- 常温加圧あるいは常圧で $-33^{\circ}\text{C}$ まで冷却することで液化が可能
- 燃料中に炭素を含まないため、**燃焼時に二酸化炭素を排出しない**
- 発熱量当たりの体積は軽油・A重油の約3倍であり、比較的大きなタンク容量が必要
- 自己着火性が低く、燃えにくい
- **毒性・腐食性あり**

# アンモニアエンジンの技術課題



難燃性（高混焼率・未燃アンモニア）対策

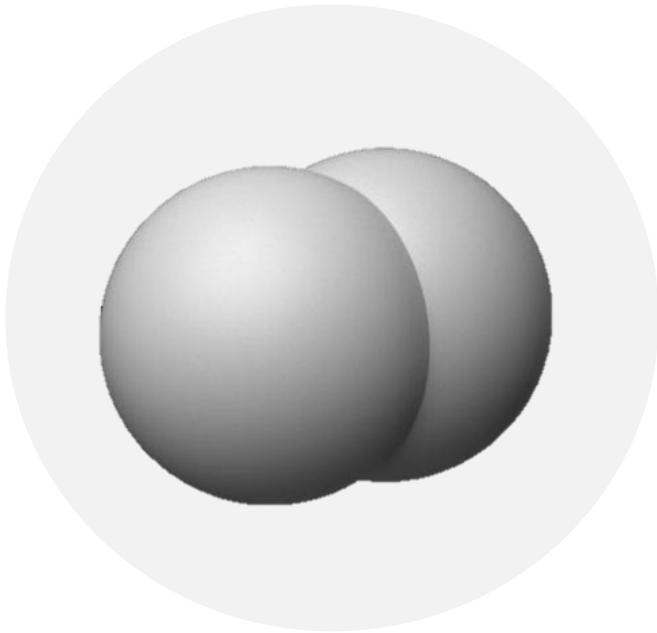
エミッション（NOx・N<sub>2</sub>O）対策

ブローバイ対策

腐食性対策

## 水素の特徴

---



- 燃料中に炭素を含まないため、**燃焼時に二酸化炭素を排出しない**
- **毒性がない**
- 液化温度が極低温で、単位体積あたりの発熱量が低いなど、**搭載性が課題**
- **漏洩・脆弱性対策が必要**
- **高度な異常燃焼制御技術を要する**

# 水素エンジンの燃焼方式

エンジンタイプ	中形高速	大形中速	大形高速	
用途	<ul style="list-style-type: none"> <li>・内航船用発電機関</li> <li>・高速船向け主機関</li> </ul>		外航船用発電機関（補機）	
エンジンの燃焼/着火方式	① 予混合/メイン噴射弁によるパイロット	③ 予混合/電気	② 予混合/マイクロパイロット	③ 予混合/電気
<ul style="list-style-type: none"> <li>① 水素混焼 (ディーゼル運転可能)</li> <li>② 水素DF (デュアルフュエル)</li> <li>③ 水素専焼</li> </ul>				
燃料貯蔵方式	圧縮水素		液化水素	

# 中形高速水素エンジン開発

## ■ 日本財団ゼロエミッション船プロジェクトにおいて、内航船舶向け「4ストローク水素エンジン」を開発中

2023.06.30



### 日本財団ゼロエミッション船プロジェクト

～温室効果ガス排出ゼロの未来の船を開発する～

### 3. 船用水素4ストロークエンジンと水素エンジン対応大型内航タンカーの開発・実証

#### プロジェクト概要と開発状況

水素を燃料とした水素専焼小形高速エンジン及び水素エンジンに対応した船舶を開発します。また、船用水素燃料エンジン発電機の運用・運航に向け、安全面や教育面に関する各種準備を整えていきます。



<https://www.nippon-foundation.or.jp/what/projects/zeroemission2050>



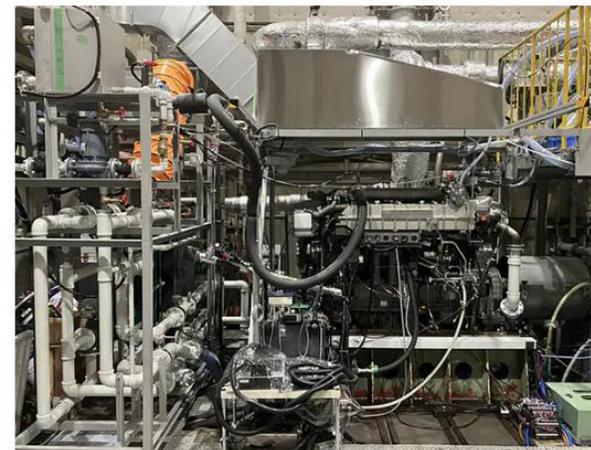
販売拠点

製品・サービス 企業情報 ニュースルーム サステナ

## 船用エンジン - ニュースリリース 内航船舶向け「水素4ストローク高速エンジン」の実証試験において定格出力での運転に成功

2024年10月02日

ヤンマーホールディングス株式会社



<「パイロット着火式水素4ストローク高速エンジン(6気筒)」の試験ベンチ>



<「パイロット着火式水素4ストローク高速エンジン」CGイメージ>

<https://www.yanmar.com/jp/marinecommercial/news/2024/10/02/142273.html>

## 大形中高速水素エンジン開発

■ NEDOグリーンイノベーション基金事業において、外航船舶向け「4ストローク水素エンジン」を開発中

NEDOグリーンイノベーション基金事業



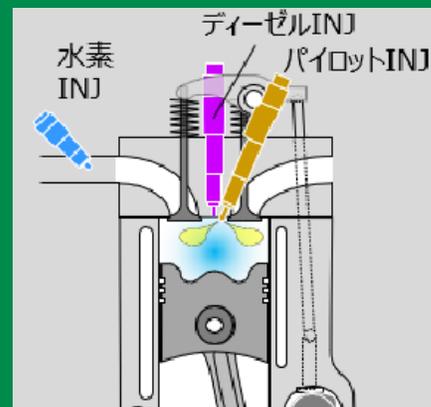
New Energy and Industrial Technology  
Development Organization

舶用水素エンジン及びMHFSの開発

### 中速水素エンジン

水素混焼

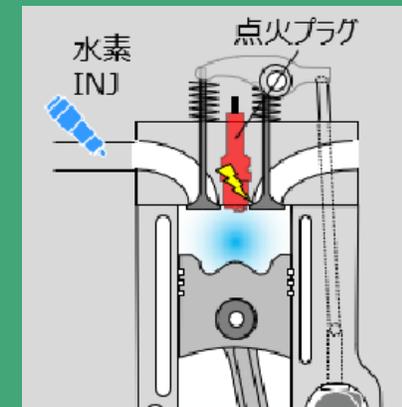
出力:800kW



### 高速水素エンジン

水素専焼

出力:1,400kW



# ヤンマーの次世代燃料対応技術



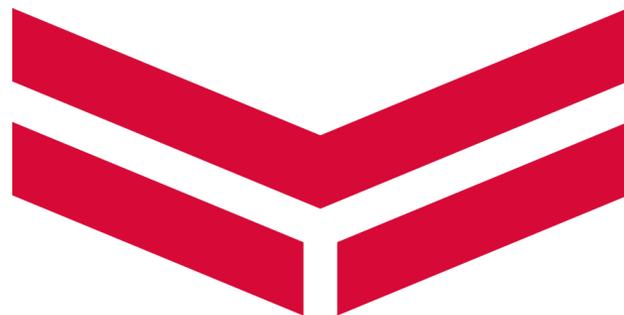
LNG



Methanol



Hydrogen



ご清聴ありがとうございました