



平成30年度（2018年度）

MGO専焼エンジンの技術開発

成果報告書

平成31年（2019年）3月

一般社団法人 日本船用工業会



## はしがき

本報告書は、BOAT RACE の交付金による日本財団の助成金を受けて、平成 30 年度(2018 年度) の 1 年計画で、一般社団法人日本船用工業会が株式会社ジャパンエンジンコーポレーションに委託して実施した、「MGO 専焼エンジンの技術開発」の成果をとりまとめたものである。

ここに、貴重な開発資金を助成いただいた日本財団、並びに関係者の皆様に厚く御礼申し上げる次第である。

平成 31 年 (2019 年) 3 月  
(一社)日本船用工業会



## 目 次

1. 事業の目的	1
2. 事業の目標	4
2.1 本事業の最終目標	4
3. 社会的背景と期待される効果	5
3.1 社会的背景	5
3.2 期待される効果	10
4. 平成30年度の実施内容	11
4.1 MGO専焼エンジンの開発設計	11
4.1.1 全体システム計画	11
4.1.2 2段過給計画	14
4.1.3 層状水噴射設計	18
4.1.4 燃焼室最適化	23
4.1.5 エンジン本体設計	25
4.1.6 制御設計	30
4.2 製作及び検証試験	35
4.2.1 実機製作	35
4.2.2 単体試験	43
4.2.3 エンジン試験	47
5. 目標の達成状況	53
6. 今後の予定	53
7. まとめ	54



## 1. 事業の目的

国際海運においては、IMO による船舶からの排出ガス規制が順次強化されており、NOx に関しては Tier II/III 規制が、SOx および PM に関しては ECA 内にて燃料油中の硫黄分 0.1% 以下、2020 年以降は一般海域で 0.5% 以下の燃料を使用することとなっており、CO2 についても EEDI 規制の Phase1 が始まっている。（図 1-1、図 1-2 参照）

当社（前身の三菱重工業、三菱重工船用機械エンジンを含む）は NOx Tier III 規制に対し、SCR と EGR を開発した。

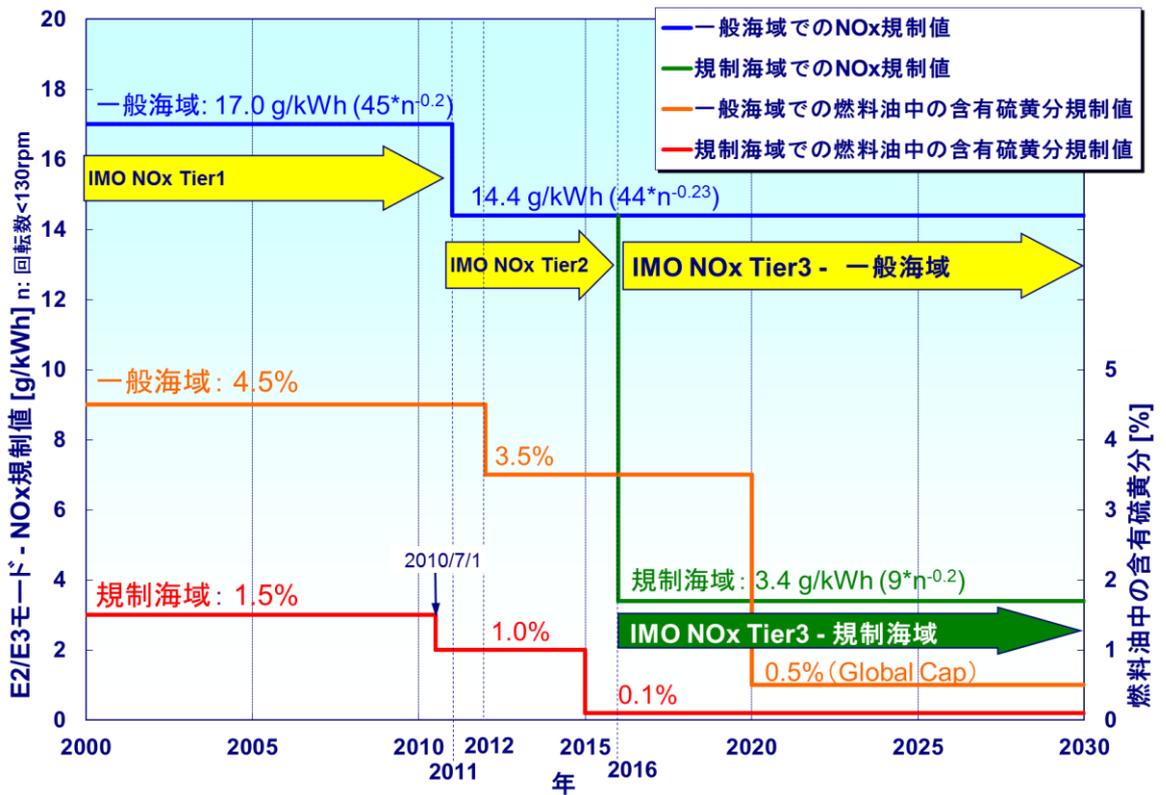


図 1-1 NOx/SOx 規制

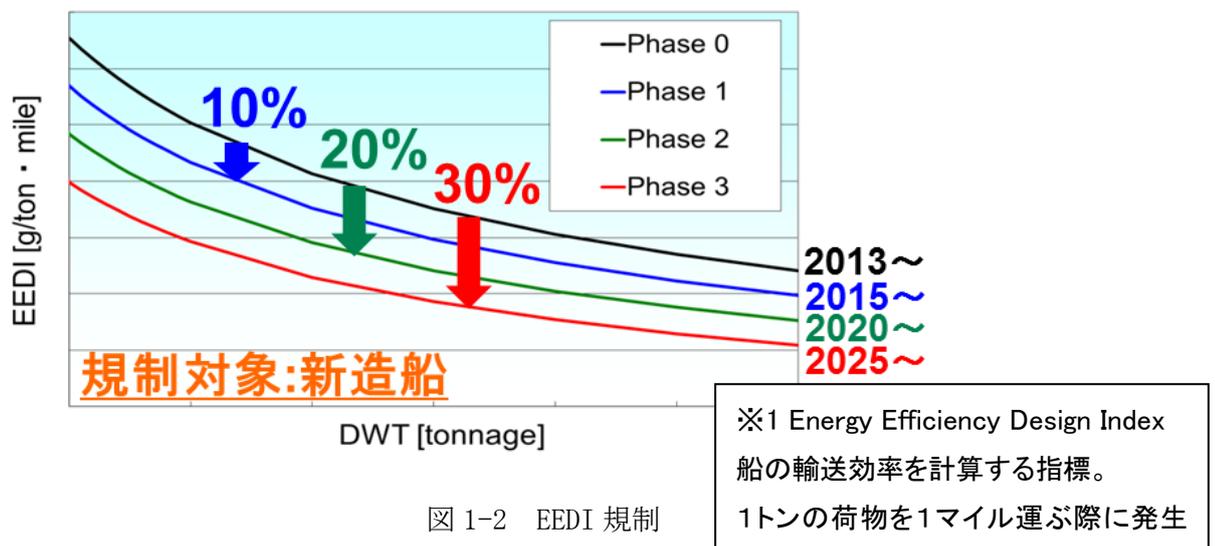


図 1-2 EEDI 規制

※1 Energy Efficiency Design Index  
船の輸送効率を計算する指標。  
1トンの荷物を1マイル運ぶ際に発生

従来、NO<sub>x</sub> と SO<sub>x</sub> の規制対応は別個に考えていたが、単に組み合わせるだけでは非効率な面がある。そこで、全く新しいコンセプトとして MGO 専焼エンジンを開発し、NO<sub>x</sub>/SO<sub>x</sub>/CO<sub>2</sub> の全規制に対して同時且つ画期的に改善・対応することを目的とする。船舶全体で見ても後述するメリットが多々あり、非常に優位性の高い技術開発である。(図 1-3 参照)

なお、「MGO 専焼」と記載をしているが、使用される油を MGO のみに限定するものではなく、MGO あるいは MDO (A 重油) といった留出油全般を専焼する機関であり、今後の本報告書の中では便宜上「MGO」とのみ記載する。

本事業の目的は以上の通りであるが、用語の説明および個別の重要な要素技術について補足すると以下の通りである。

#### ・用語説明

IMO : International Maritime Organization (国際海事機関)

NO<sub>x</sub> : Nitrogen Oxide (窒素酸化物、大気環境・健康被害を及ぼす物質)

Tier II/III : 2 次及び 3 次の規制、段階的に規制値を強化

SO<sub>x</sub> : Sulfur Oxide (硫黄酸化物、大気環境・健康被害を及ぼす物質)

PM : Particulate Matter (粒子状物質、大気環境・健康被害を及ぼす物質)

ECA : Emission Control Area (排出規制海域、北米沿岸と北海・バルト海に設定)

CO<sub>2</sub> : Carbon DiOxide (二酸化炭素、地球温暖化効果ガス)

SCMD : Super Clean Marine Diesel (スーパークリーンマリンディーゼル、国交省  
主導、日本財団支援の日船工事業)

SCR : Selective Catalytic Reduction (選択還元脱硝、触媒による化学反応)

EGR : Exhaust Gas Recirculation (排ガス再循環、燃焼を緩慢にする技術)

MGO : Marine Gas Oil (マリンガスオイル、軽質分主体の粘度の低い良質な燃料)

#### ・2 段過給

エンジンの重要な性能である燃料消費量と排出 NO<sub>x</sub> 量の二律背反事象 (トレードオフ) を改善する有効な手段として、2 ストローク/4 ストロークのサイクルを問わずミラーサイクル化が進められている。ミラーサイクルとは、従来のエンジンサイクルが圧縮行程と膨張行程がほぼ同じであるのに対し、圧縮行程を小さくすることで膨張行程 (=エンジンの仕事) を据え置きにしたままサイクル効率 (=性能) を向上させる技術である。2 ストロークエンジンの場合は、排気弁閉タイミングを遅角することにより実現するが、圧縮時の筒内圧力 (P<sub>comp</sub>) を同等にするために掃気 (給気) 圧力を上げる必要があり、現在の過給機仕様ではトレードオフ改善の余地が限られている。

※ 2 ストロークエンジン : ①給気 (掃気) ・圧縮と②燃焼・膨張・排気の 2 行程  
で 1 ストローク (サイクル) となるエンジン。  
外航船推進主機関の 9 割以上に使用されている。

4ストロークエンジン：①給気、②圧縮、③燃焼・膨張、④排気の4行程で1ストロークとなるエンジン。

船舶では主に発電用補機関や小型船の主機関等に使用されている。

そこで、過給機を2台直列に配置し、過給圧（掃気圧）を大幅に高めること（2段過給）を検討する。4ストロークエンジンでは一部採用例も出始めている技術であるが、2ストロークエンジンに適用するのは先進的である。

また、逆に掃気圧を下げることによりサイクルの熱効率を高めて低燃費化を狙い、その結果さらに多く発生してしまうNOxを水の利用により低減する、という組合せについても検討を実施する。両者を比較し、より低燃費化を達成できる仕様で開発を進める。

#### ・層状水噴射

本技術は燃焼室内に噴霧される燃料の途中に水をサンドイッチする形で注入し、局所の燃焼温度を下げることでサーマルNOx（燃焼時の高温場で空気中の窒素と酸素が反応して生成するNOx）を低減する技術である。燃料噴射の機構自体は従来と同様で、容量を上げた燃料噴射ポンプにより燃料と水を同じ燃料弁から層状に燃焼室内に噴射する。過去の研究では、燃料100に対し水を50程度入れることにより、NOxを約40%低減し、燃料消費は約2%悪化する。実船搭載した実績もあるが、最新仕様の電子制御エンジンに適用するために制御を含めた最適設計が必要である。

#### ・燃焼室設計最適化

掃気スワール（掃気空気が燃焼筒内を旋回しながら上昇する流れ）は排気と掃気空気の混合状態や燃料噴射時の噴霧の拡がり具合等、燃焼状態を左右する必要な要素である。掃気の燃焼筒内への入口である掃気ポートの形状や角度のみならず、燃料噴射弁の設計と組み合わせで最適な燃焼を実現する必要がある。従来知見を超える領域が最適な解である可能性もあり、これも開発要素の大きな項目である。



図 1-3 MGO 専焼エンジンのコンセプト

## 2. 事業の目標

### 2.1 本事業の最終目標

(1) IMO NOx Tier II 規制適合条件で、従来エンジン比 5% の燃費低減

(図 2-1 参照)

→対象エンジン (UEC50LSH) で 156 g/kWh 以下 (カタログ燃費ベース)

(2) 上記に加え、低圧 EGR システム併用による IMO NOx Tier III 規制値適合

(図 2-1 参照)

→E3 モード NOx 排出量 3.4g/kWh 以下

※E3 モード：エンジンの 25/50/75/100% の 4 負荷にて NOx 排出量を算出し、規定に沿った傾斜配分計算をした代表 NOx 排出量

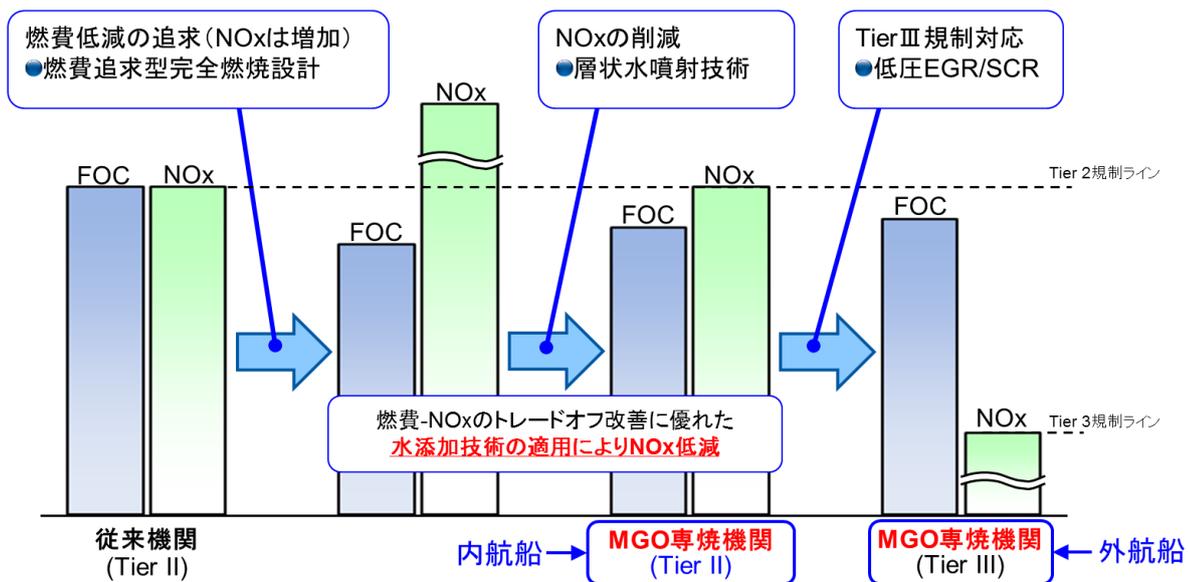


図 2-1 MGO 専焼エンジン

### 3. 社会的背景と期待される効果

#### 3.1 社会的背景

既述のように、従来の各規制に対しての対応技術を組み合わせる手法ではなく、NOx/SOx/CO2 規制に同時に対応出来る解として、全く新しい考え方に至った経緯を簡単に述べる。本開発エンジンは、使用燃料油を低硫黄 MGO に限定することにより船全体としてシステムが成立する。最も技術的なハードルが高いのは CO2 排出量=燃費を究極に改善することであり、仮に本開発エンジンと同様に NOx 規制のかかる前の状態（所謂「Tier 0」状態）まで燃焼を改善することを前提に従来技術の延長線上で考えると、Tier II 仕様でせいぜい 1～2%が限界である。その際でも、EGR を使用すれば運転の結果として出てくる廃液の処理や苛性ソーダのコストが、SCR を使用すれば尿素水のコストがかかり、運用コストとして評価すると燃費改善分が目減りする結果となる。

これに対し、本開発エンジンでは燃費を極限まで低減させることにより、結果としてエンジン出口排ガスの温度（=未利用のエネルギー）が大幅に低下するが、MGO 燃料を使用することから燃料配管の蒸気加熱も不要になり、排ガスエコマイザやボイラの能力を大幅に小さくすることが出来、船種によっては廃止も可能と考えられる。但し、これだけで何もしなければ NOx 排出量は大幅に増大し、Tier II 規制ですらクリアできないエンジンになってしまう。

そのため何らかの組合せ技術が必要だが、SCR 技術は排ガス温度によって NOx 低減効率が左右され、また排ガス中の SOx により一定条件下で酸性硫安（硫酸水素アンモニウム）を生成し、NOx 低減の重要部品である触媒の性能低下を招くことが広く知られている。この課題に対し、排ガス温度 200℃台後半レベルにて脱硝還元反応が十分發揮できる触媒の選定により実用化の目途を得ているが、本開発エンジンでは排ガス温度が 200℃レベルになる計画であるため、組み合わせとしては不適である。これを解決する手段として既述の層状水噴射を用いる必要がある。NOx と燃費のトレードオフを改善する手段として水を利用する場合には水エマルジョン（乳濁液）燃料の使用も考えられるが、本開発エンジンでは燃費を究極に改善することにより NOx 排出量が増えるため、混入させる水の量も相対的に多くなる見込みであり、万が一のフェールセーフを考えた場合には安全性・信頼性が低い。層状水噴射であれば、燃料と水を個々に制御・監視することが可能であり、運転モードの切替も瞬時に行うことが可能なため安全性・信頼性が高いシステムである。

SOx・PM 規制の 2020 年対応の議論では、運航コスト増を抑えるために C 重油の使用を想定されるケースが多いが、ここに大きな落とし穴がある。既存船も対象、かつ一般海域となると、現存する殆どの船が燃料油による規制対応を余儀なくされ、全世界への供給量も確保しつつ大混乱を生じさせないためには規制適合燃料油の価格もそれなりのレベルに抑えられる必要があり、市場原理から、バランスはその方向に傾くはずである。

また石油業界の大きな方向性として、将来的に重油生産量を削減していく流れは既定路線であり、未来永劫 C 重油が安定的に供給される保証はどこにもない。とはいえ燃料コストは上昇する方向に行くため、燃料油対応するとした場合に明らかに燃費の良いエ

ンジンの方が運用側としては歓迎される。このように全世界に規制適合油が十分供給される状況を想定すると、リセールバリューも上がる可能性がある。

更に、中小型船ではC重油使用に必須であるSOxスクラバ（排ガス洗浄によりSOxを除去する装置）を搭載するのに十分なスペースが確保でき無いことも十分に考えられる。また、スクラバが搭載できた場合であっても、スクラバ装置の煩雑なオペレーションや、常時監視等の業務が追加となることで本船の乗組員の負担は増大する。また、特に内航船ではSOxスクラバは搭載できないとの見方もあり、MGO専焼エンジンは唯一解となる可能性を大いに秘めている。

本開発エンジンでは、エンジン内に全て制御を組み込む計画であり、乗組員の負担は現状から増えることがない。船側の削減部品との相乗効果で、操作性については結果的に向上すると考える。

（表3-1～3-4参照）

表3-1 従来システムとの得失比較

	従来システム	本開発エンジン
使用燃料油	○ 但し、C重油使用にはSOxスクラバが必要	△ MGO専焼
初期コスト	× SOxスクラバは非常に高価（1.5～5億レベル）	○ シンプルなシステム NOx対応技術は同等
燃費	× 従来の延長線上、改善なし SOxスクラバ追設により 燃費悪化の方向	◎ 圧倒的な低燃費エンジン
運用コスト、ユーティリティ	△ 不透明 苛性ソーダ、産廃処理費が 継続して費用負担要	○ MGO価格は不透明な部分があるものの、追加コストはECA内TierⅢのEGR分のみ
操作性	× 組み合わせのため、操作機器が増え、乗組員負担増大	○ 船側も省力化メリット有り

表 3-2 SOx 規制対策について

	HFO	MGO	低硫黄 C 重油 (適合油)	LNG
価格	安価	高価	高価	中間 (HFO に近い)
入手性	良好と推定	良好と推定	良好と推定	限定的 (インフラの整備 が必要)
燃料油 ヒーティング	必要	不要	必要	不要
システム	・高価で複雑な SOx スクラバが必 要	・シンプル (ヒートトレー スの廃止や排エ コ小型化 or 廃 止)	・現状と同様 ・混合等によるト ラブルの懸念あ り	・DF 機関/燃料供 給システム/LNG タンクが必要と なり、コスト/サ イズへのインパ クトあり

表 3-3 燃料油比較

	HF0+スクラバ	MGO	低硫黄 C 重油 (適合油)	LNG
メリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 安価な HF0 が使用できる</li> <li>• 燃料系の変更不要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ヒーティングが不要となり、エンジンルームがシンプルになる</li> <li>• ケミカルが不要</li> <li>• 現状でも広く流通</li> <li>• 乗組員が使い慣れている</li> <li>• 機器のメンテナンスコスト低減、信頼性向上が期待される</li> <li>• 乗組員の負担減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• MGO よりは若干安価と予想される</li> <li>• 燃料系の変更不要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SOx、PM、CO2、(NOx)を同時に削減可能</li> </ul>
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> <li>• スペース確保要 (カーゴスペース減少)</li> <li>• 消費電力増</li> <li>• 排水が規制のある海域/港では Open Loop の使用不可。</li> <li>• Closed Loop の場合、大量の苛性ソーダが必要</li> <li>• スクラバの生産能力と修繕ドックの数が限定される</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 価格が高い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 混合等によるトラブルの懸念</li> <li>• スペックが未決定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• カーゴスペースの減少 (燃料タンク大)</li> <li>• バンカリングが限定的</li> <li>• 初期投資大</li> <li>• 乗組員に高いスキルが必要</li> </ul>

表 3-4 低硫黄 C 重油 (適合油) の懸念点

混合安定性	低温流動性	FCC 粒子 (Cat Fine)	着火遅れ、燃焼不良
<ul style="list-style-type: none"> <li>異なる燃料を混合する場合、マッチングによつては、大量のスラッジが発生する可能性有り。</li> <li>ストレーナーの閉塞による機関の停止等を引き起す可能性有り。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>A 重油 (MGO) に比べて流動点が高い。</li> <li>温度低下によるワックス析出のリスクが大きく、-フィルタの目詰まり</li> <li>-タンクからの移送困難等のトラブルが発生する可能性有り。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>二次精製装置により、付加価値の高いガソリンを抽出するリファイナーが増加しており、FCC 粒子のリスク大。</li> <li>FCC 触媒粒子により、リング・ライナや燃料ポンプに過大摩耗が発生する可能性有り。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ブレンド油では、硫黄分調整のため、低硫黄の LCO (ライトサイクル油) が混合される。</li> <li>LCO は着火性や燃焼性不良となる傾向があり、リング・ライナの異常摩耗を引き起すリスク有り。</li> </ul>

※ FCC 粒子：石油精製で使用される流動接触分解装置の触媒粒子

### 3.2 期待される効果

例として 37,000 トンのばら積み船 1 隻で、1 日に約 22 トン（約 110 万円@5 万円 /ton）の燃料消費が、本開発エンジンを使用することにより 1 日約 1 トン（約 5 万円）の燃料節減が可能となる。

同様に MR タンカーで試算すると、1 日に約 31 トンの燃料消費が、1 日約 1.5 トン（約 7 万円）の燃料節減となり、年間 180 日運航すると想定した場合、約 1,260 万円の燃料費節減効果が得られることとなる。

※MR (Medium Range) タンカー：載貨重量トン 25,000～45,000 クラスの中規模タンカー。

SOx スクラバ搭載船と比較すると、本開発のシステムの方が全体システムの必要補機動力が少ないことと、SOx スクラバでは必ず出てくる廃液スラッジの産廃処理や苛性ソーダ使用とを併せ鑑みると、本開発の成果は特に運用コストやユーティリティにおいて優位性があると考えられる。

労働安全衛生上も、既述の通りシンプルなシステム構成で追加機器の取扱いは抑えられているため、環境規制強化に対する乗組員の負担増大を軽減することが出来る。

#### 4. 平成30年度の実施内容

##### 4.1 MGO 専焼エンジンの開発設計

###### 4.1.1 全体システム計画

MGO 専焼エンジンは、UE 機関の最新機種であるボア 50cm の UEC50LSH 機関をベースとし、本体等の大物主要部品はそのままの構造として下記にて設計計画を実施した。

###### ① フル電子制御化

50LSH 機関は、燃料噴射系は電子制御、排気弁駆動系はカム軸駆動であるが、MGO 専焼エンジンでは排気弁駆動系も電子制御化することで、燃料噴射系・排気弁駆動系の両方を電子制御されたフル電子制御機関とすることで低燃費を追及。(表 4.1.1-1、図 4.1.1-1 参照)

###### ② 作動油系統の二系統化

通常電子制御機関では、燃料噴射系の作動油と排気弁駆動系の作動油は同じ蓄圧ブロックの作動油が使用されているが、MGO 専焼エンジンでは燃料噴射系と排気弁駆動系を別々の作動油圧にて最適化できるように、蓄圧ブロックを二系統化した。燃料噴射系を駆動する蓄圧ブロックを上段に、排気弁駆動系を駆動する蓄圧ブロックは中段に配置し、上段の蓄圧ブロックは電動モータ駆動の油圧ポンプに、中段の蓄圧ブロックはギア駆動の油圧ポンプにより各々作動油を供給することで油圧を独立して制御できる。(図 4.1.1-2 参照)

###### ③ 注水ポンプ

注水ポンプ系も電子制御とし、上段の蓄圧ブロック上に配置して燃料噴射系と同じ作動油圧を使用。

###### ④ 水噴射用燃料弁

現状の燃料弁をベースとし、層状水噴射に対応した注水機能を有する燃料弁とする。

###### ⑤ EGR 関連装置

EGR システムは、EGR ガスが低圧で且つ比較的低温の為に構造、構成がシンプルであり、かつ過給機後流のガスを再循環させるために EGR の ON/OFF 切替が過給機に影響を与えないことで運転切替時の制御が容易(港湾操船時等の挙動が安定)な低圧 EGR システムを採用し、EGR ユニットの配置を計画。(図 4.1.1-3 ~ 図 4.1.1-4 参照)

表 4.1.1-1 電子制御方式の比較

		UEC50LSJ (MGO 専焼エンジン)	UEC50LSH
設計コンセプト	燃料噴射系	電子制御	電子制御
	排気弁駆動系	電子制御	カム軸駆動
	注水系	電子制御	なし
	始動空気系	電子制御	電子制御

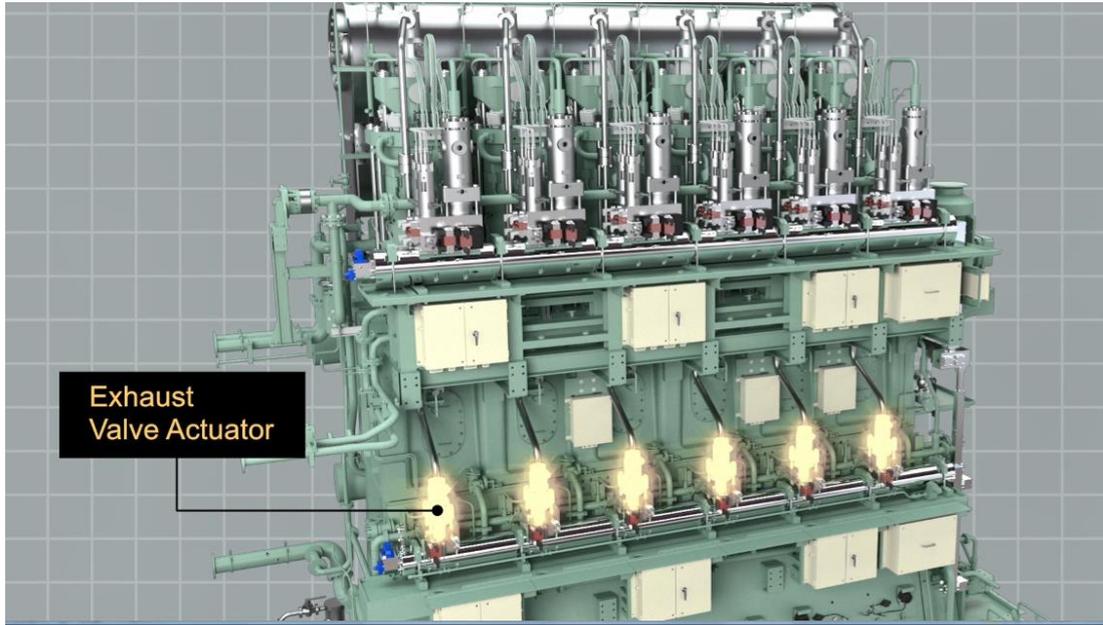


図 4. 1. 1-1 フル電子制御化（排気動弁の電子制御化）

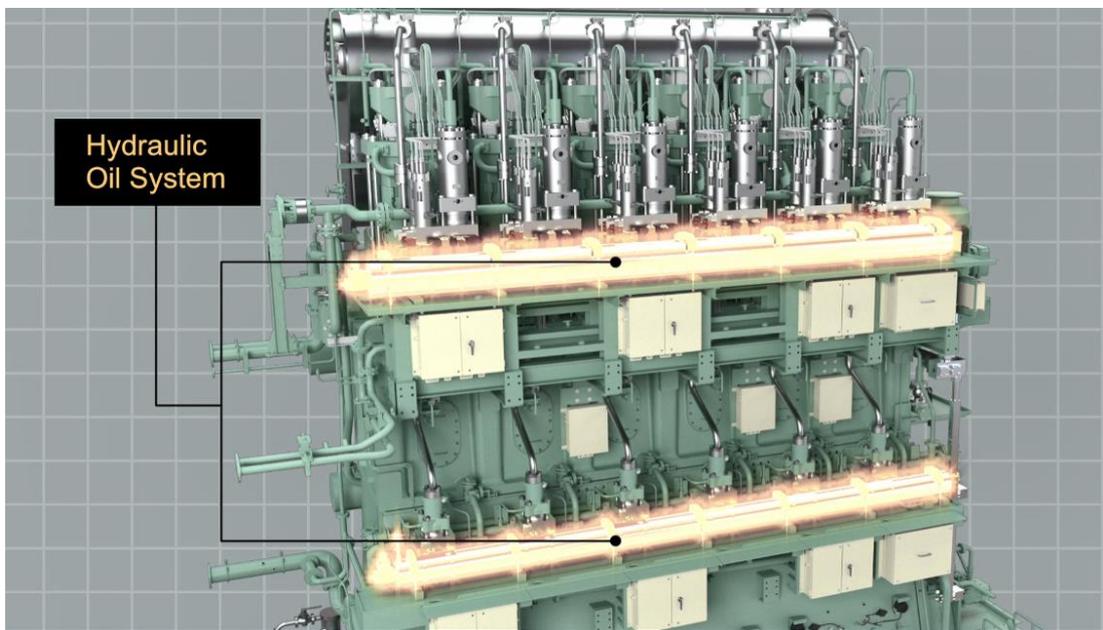


図 4. 1. 1-2 作動油系統の二系統化

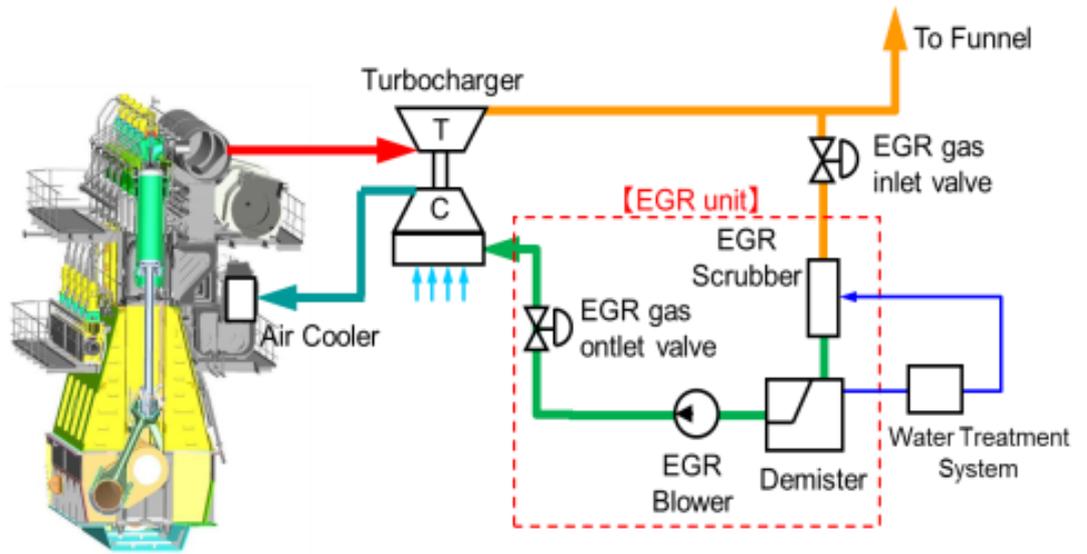


図 4. 1. 1-3 低圧 EGR システム (今回適用)

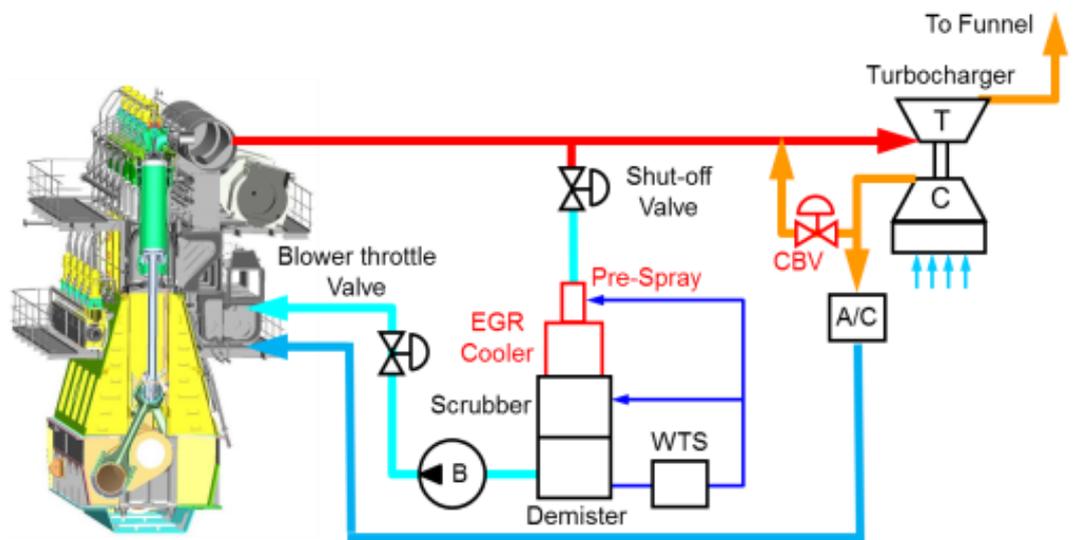


図 4. 1. 1-4 高圧 EGR システム (参考)

#### 4.1.2 2段過給計画

##### ①二段過給の配置検討

主機上に過給機を二台配置する二段過給仕様での配置検討を実施した。二段過給の主機配置計画を図4.1.2-1に示す。過給機は、大気圧から圧縮される一段目の過給機（低圧段過給機）と、そこから更に圧縮をする二段目の過給機（高圧段過給機）の二台の過給機により構成され、高圧段過給機は吸込み空気の密度が大きいことで体積流量が小さくなるため、低圧段過給機と比較すると小さな型式の過給機が適用できる。大気圧から低圧段過給機によって過給された空気は、過給されることで上昇した空気温度を下げる為の空気冷却器と、空気冷却器で温度が下がる事により凝縮した水分を分離するためのドレンセパレータを通過した後に、高圧段過給機で更に過給され、空気冷却器とドレンセパレータを通過して掃気トランクへ導入される。また、補助ブロアの配置としては、既存機種と同様に過給機を通過した後の掃気トランクとの流路間への配置（図4.1.2-2）、低圧段過給機と高圧段過給機との流路間への配置（図4.1.2-3）が考えられるが、今回の計画では補助ブロア動力を比較的小さくできる後者にて配置を計画した。

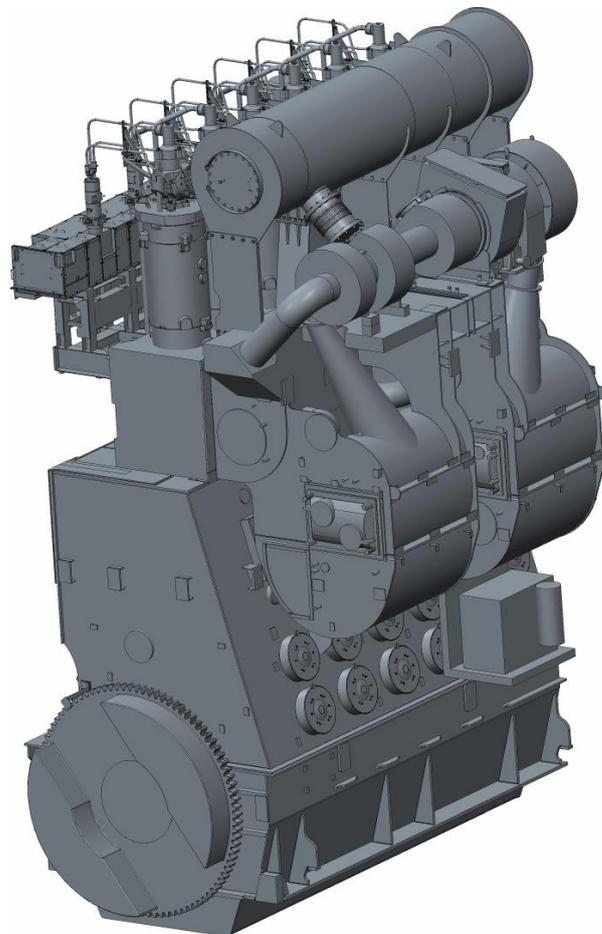


図 4.1.2-1 二段過給の主機配置計画

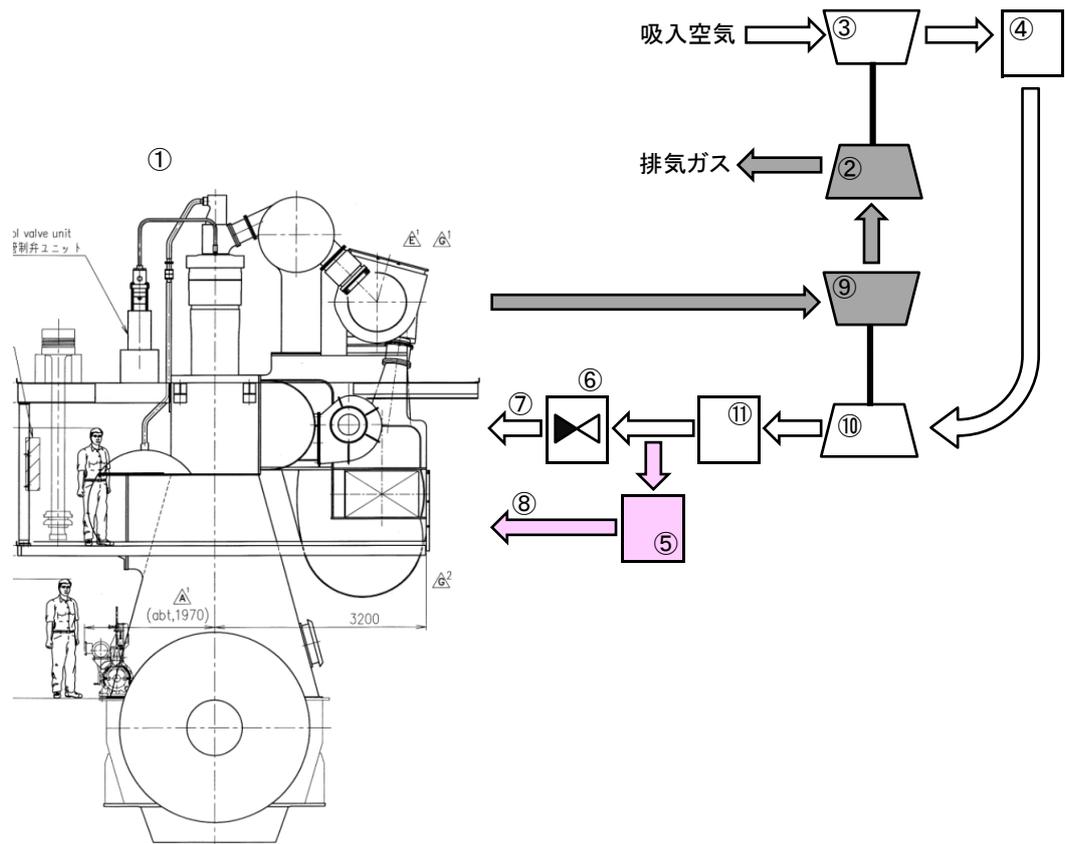


図 4. 1. 2-2 補助ブロアの配置 (⑤が補助ブロア)

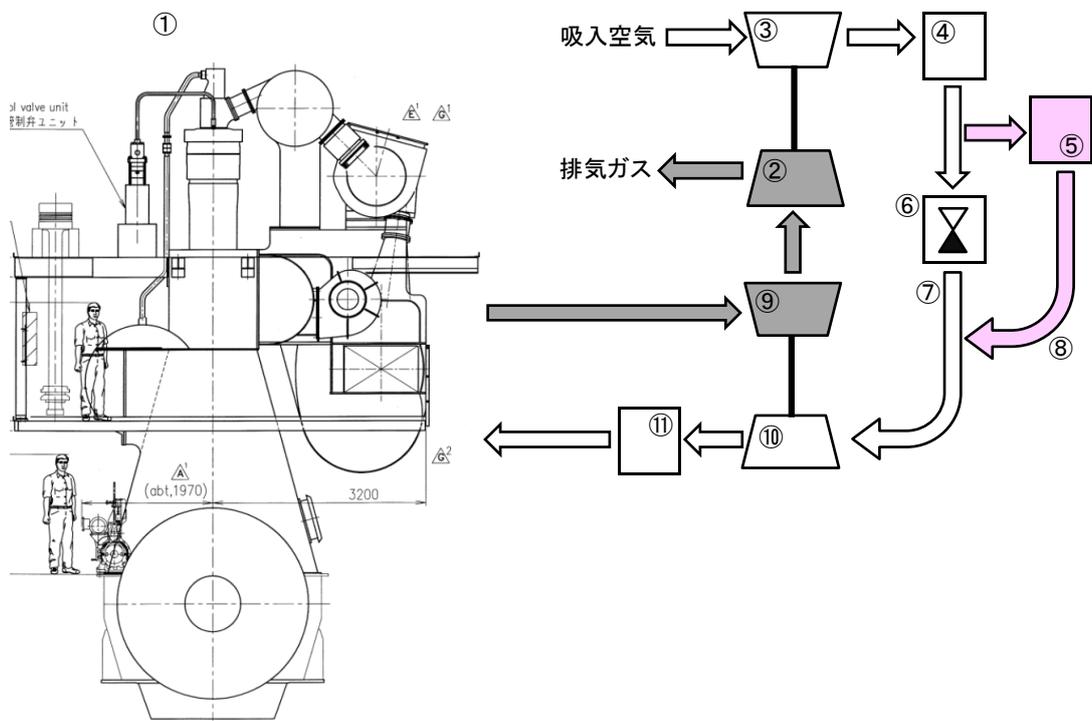


図 4. 1. 2-3 補助ブロアの配置 (⑤が補助ブロア)

## ②過給圧（掃気圧）の検討

機関の掃気圧について、仕様書に記載の下記2ケースについての検討を実施。

- ・ 2段過給により掃気圧を大幅に増加させた場合
- ・ 掃気圧を下げることでサイクル効率を高めた場合

両方のケースにて性能シミュレーションを実施した。

図 4.1.2-4 に性能シミュレータを用いて掃気圧を変化させた場合の燃料消費量の変化の一例を示す。

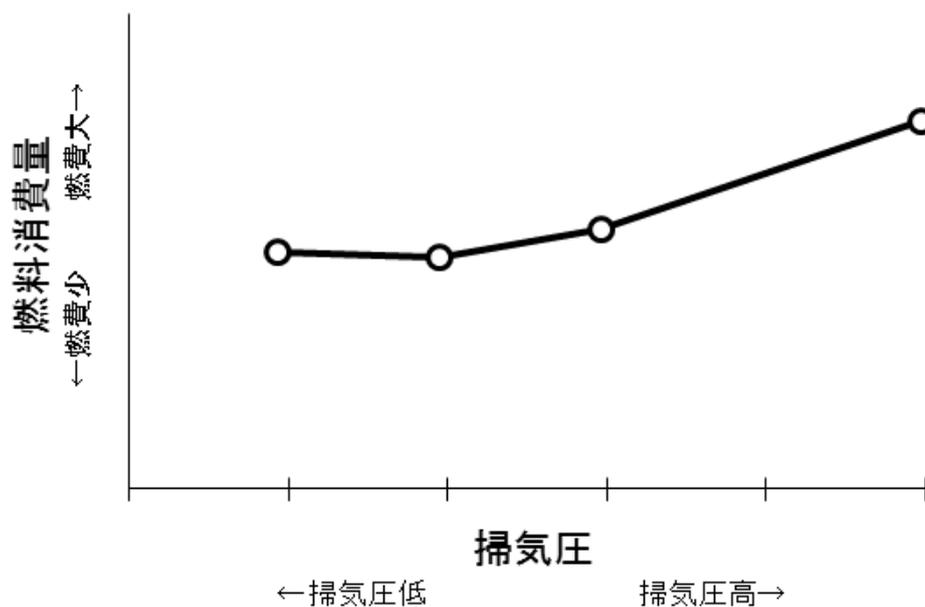


図 4.1.2-4 シミュレータによる性能解析結果（例）

この解析により、現過給機ラインナップで過給機を2台直列に配置して掃気圧を上げるよりも、1段過給のままで掃気圧を下げた方が低燃費化が図れるとの結果となったこと、また、過給機1段の方が初期コスト、メンテナンスコストの両面で有利であることを考慮した結果、過給機の2段化は実施せずに、1段過給機を適用することで決定し、実機テストの中で掃気圧も含めた最適チューニングを実施することとした。

### ③過給機の機関配置検討

上述の通り、性能シミュレーションの結果より過給機は1段を適用する事として、実際の機関での配置検討を実施した。上段には過給機の外に EGR 関連装置も配置する必要があることから、各々の装置でのメンテナンススペース等を考慮して計画を実施した。最終的な配置図を図 4.1.2-5 に示す。

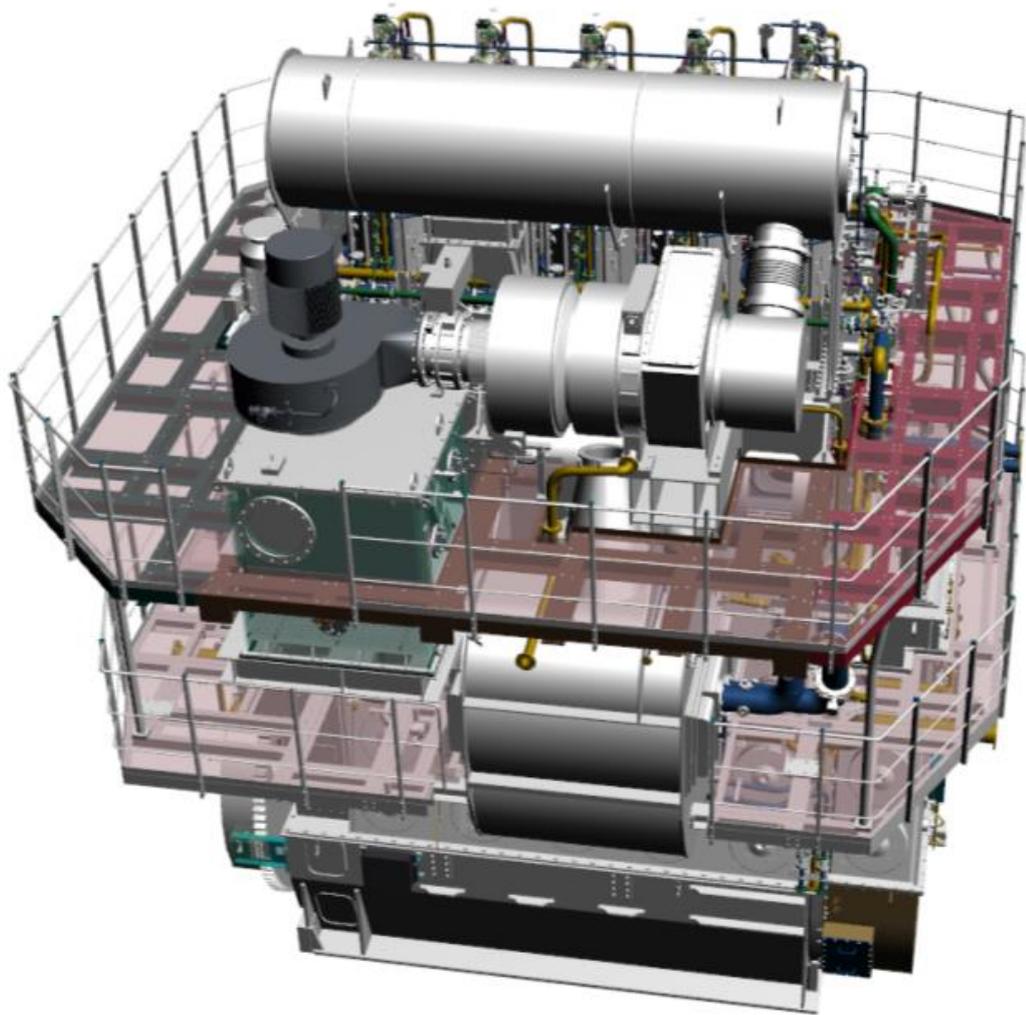


図 4.1.2-5 過給機の主機配置計画（最終適用図）

#### 4.1.3 層状水噴射設計

筒内に水を噴射することで局所の燃焼温度を下げ、排ガス中 NOx の殆どを占めるサーマル NOx を低減できる水噴射技術には

- ・エマルジョン噴射
- ・独立水噴射

といった方法が知られている。

エマルジョン噴射は、燃料噴射ポンプに供給する上流の段階で燃料と水を混ぜてエマルジョン状にして供給し、これを燃料弁から筒内に噴射するシステムである。追加が必要な装置はエマルジョン化装置だけというメリットがあるが、噴射初期に水を含む燃料が投入されるために機関始動時の着火性の悪化や、負荷毎の水添加率のコントロールが難しいというデメリットがある。

独立水噴射は、燃料と水を各々の独立した噴射弁より筒内に噴射するシステムである。燃料弁とは独立した水噴射弁を有するために水噴射を独立して制御することが可能であるというメリットがあるが、低負荷から高負荷までの全負荷範囲で燃料噴霧と水噴霧を効率よく混合させることができるように最適化する事がポイントとなる。

今回、本開発で適用した水噴射技術は層状水噴射で、上記の2つの技術のデメリットをクリアしたユニークな技術である。すなわち、燃料の途中に水をサンドイッチする形で注入して筒内に噴射されるために初期投入は燃料のみとなることで着火性は通常機関と同等となり、水の注入は毎サイクル実施されるために負荷毎の水添加率のコントロールが可能であり、同一の噴孔から燃料と水が噴射されるために効果的に混合できる為である。

今回適用する層状水噴射のシステム図を、図 4.1.3-1 に示す。燃料噴射の機構自体は従来機種と同様で、容量を上げた燃料噴射ポンプ、注水ポンプ、逆止弁構造をもった注水通路を有する燃料弁から構成される。今回の層状水噴射では、注水層を2層、それをサンドイッチする燃料層が3層となる「油+水+油+水+油」の層状噴射を適用し、2層ある水層に各々1個ずつ注水ポンプを設置、合計2個/シリンダの注水ポンプを配置する事とした。これは、水の層数を多くした方が層状水噴射の効果を効率良く得ることが可能ではあるが、その反面、注水ポンプ系の数が増加してしまうため、性能面での効果と費用のバランスをとった結果である。注水ポンプは、蓄圧ブロック上の燃料噴射ポンプの横に2個隣接して配置され、配置図を図 4.1.3-2 に示す。

次に、層状水噴射を形成するための機構について記載する。層状水噴射では、まず燃料弁及び燃料噴射管の燃料ライン中に水を注入することで燃料に水がサンドイッチされて「燃料と水の層状ライン」を形成させる。この注水操作は燃料噴射と燃料噴射の間の無噴射の期間中に実施されるため、注水に必要な十分な時間を確保する事が可能であり、また注水時の圧力を噴射圧以下の噴射管残圧レベルにまで下げることが可能である。「燃料と水の層状ライン」が形成された後で、通常機関での作動と同様に燃料噴射ポンプを作動させることで同一の燃料弁から層状になった燃料と水が、順次筒内に噴射される。燃料ライン中への注水ラインの合流点は逆止弁が取り付けられており、注水時には注水

ラインの圧力が燃料管内の残圧を越える事で逆止弁が作動し燃料ラインへ水が注入されるが、燃料噴射ポンプが作動して燃料ラインの圧力が上昇した場合には逆止弁が閉まることで注水ラインへの燃料の逆流を防ぎ、燃料分噴射弁の噴孔から筒内へと噴射される。燃料ラインへの注水による層状油水の形成を図 4.1.3-3 に、層状ライン形成後の層状噴射を図 4.1.3-4 に示す。

なお、今回のシステムでは各々の注水層に対応して 1 個の注水ポンプを設置しているため、1 層目と 2 層目の注水量の配分を機関負荷等に応じて変更することも可能であり、場合によっては 1 層のみの注水とする事も可能である。また、注水ポンプの駆動は燃料噴射ポンプと同様に蓄圧ブロック内の作動油圧を使った電子制御式（増圧/減圧ピストン方式）を採用しており、各噴射サイクル毎に注水量を設定することが可能であることにより負荷に応じた設定の変更（注水率や注水配分の変更）にもフレキシブルに対応できるシステムである。

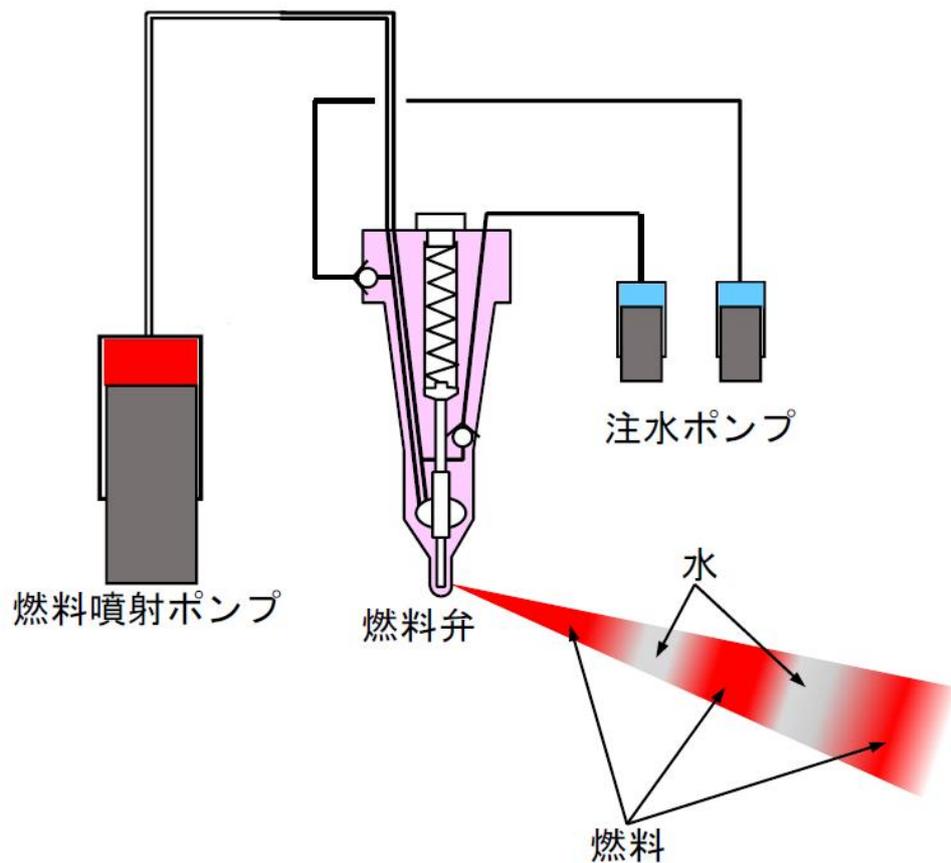


図 4.1.3-1 層状水噴射のシステム図

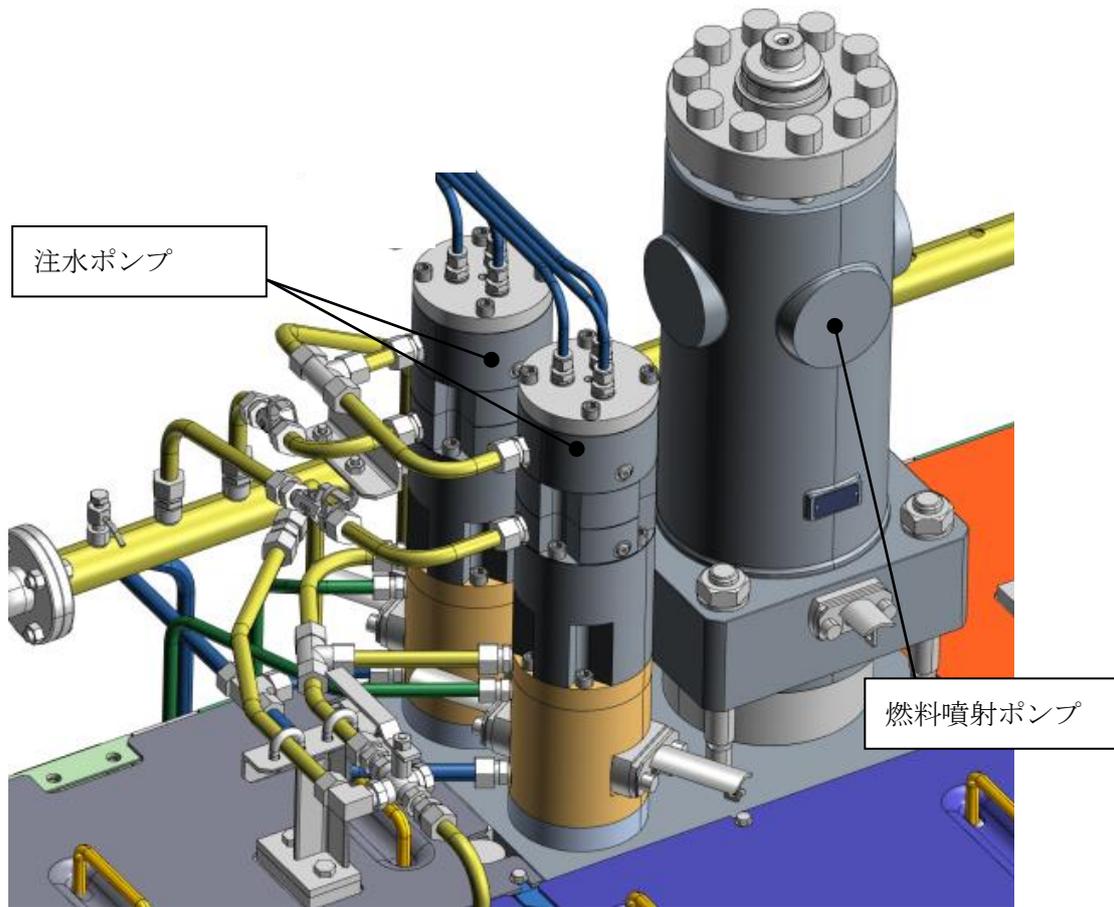
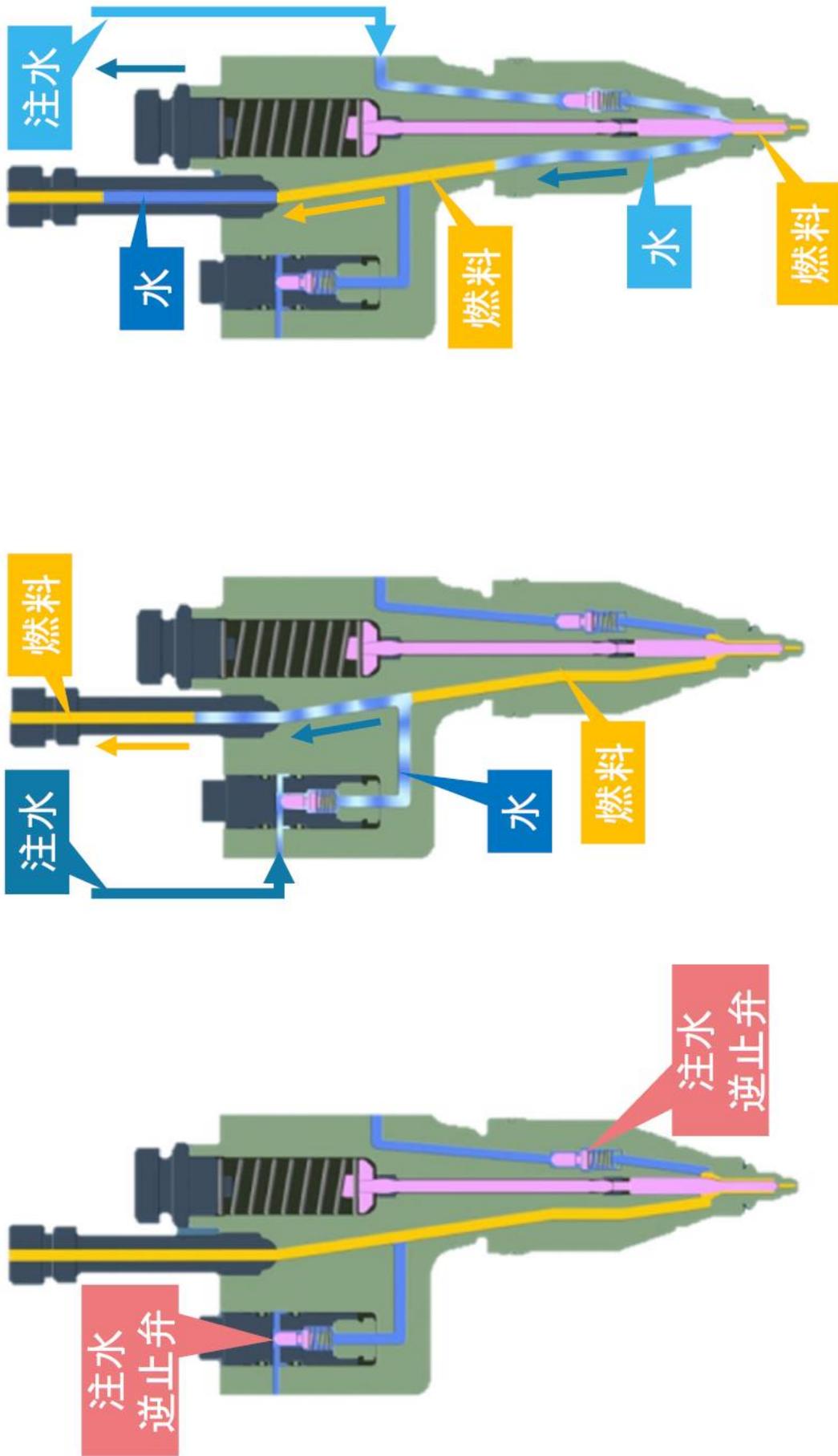


図 4. 1. 3-2 配置図

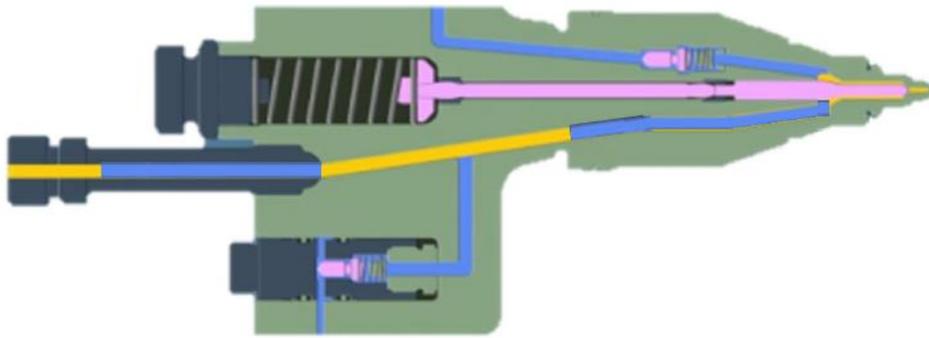


水2層目の注水時

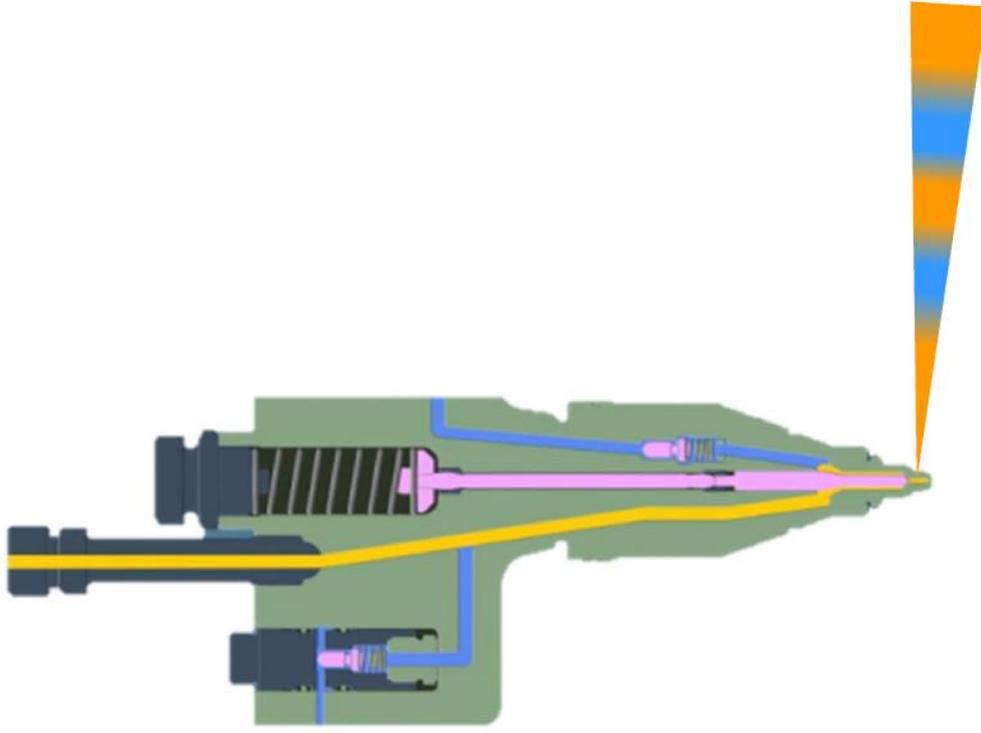
水1層目の注水時

注水前

図 4.1.3-3 燃料ラインへの注水による層状油水の形成



燃料と水の層状ライン形成



燃料噴射ポンプ動作による層状噴射

図 4.1.3-4 層状ライン形成後の層状噴射

#### 4.1.4 燃焼室最適化

燃焼室については、実績のある UEC50LSH を踏襲した仕様にて計画を進めた。（図 4.1.4-1 参照）

燃料弁は 3 弁/1 シリンダの仕様として火炎を分散する事で燃焼室温度を低減・均一化し、燃焼室部材の信頼性向上・摩耗低減に寄与できる仕様としている。またサックボリュームを低減したゼロサック型燃料弁を採用しており、燃料噴霧垂れや後燃えを低減した仕様であり、排ガス中の HC 低減にも有効である。層状水噴射に対応した燃料弁仕様とするため、噴射量の増大にともなって噴射通路径の拡大や、注水通路と注水逆止弁を内蔵した構造となっている。また、注水ポンプから燃料弁への注水配管は燃料高圧管に沿わせた経路アレンジとすることでメンテナンス時の取り外し性の向上を図っている。

リングライナについては、シリンダライナ摺動面にはプラトーホーニングを、ピストンリングは 3 本リングで表面コーティングにはクロムセラミックを採用して摩擦力を低減することでメカロスを低減しつつ、リングの摩耗率も低減できる仕様となっており、低燃費とメンテナンスコストの削減に有効である。

ピストン冠は、ハイトップランド型とすることで燃焼による火炎のリングライナへの影響を抑制できる仕様とし、冷却方式には冷却効率に優れたボアクール方式を採用することで部材温度を低下、損耗率を低減することで補修インターバルの延長によるメンテナンスコストの削減に有効である。

排気弁については、耐高温腐食材料であるナイモニックを適用することで、排気弁の損耗を低減、メンテナンスコストの削減に有効である。

また、シリンダ注油システムには電子制御注油システム（A-ECL）を適用することで最適注油による信頼性向上と注油率低減によりメンテナンスコストとランニングコストの低減に有効である。

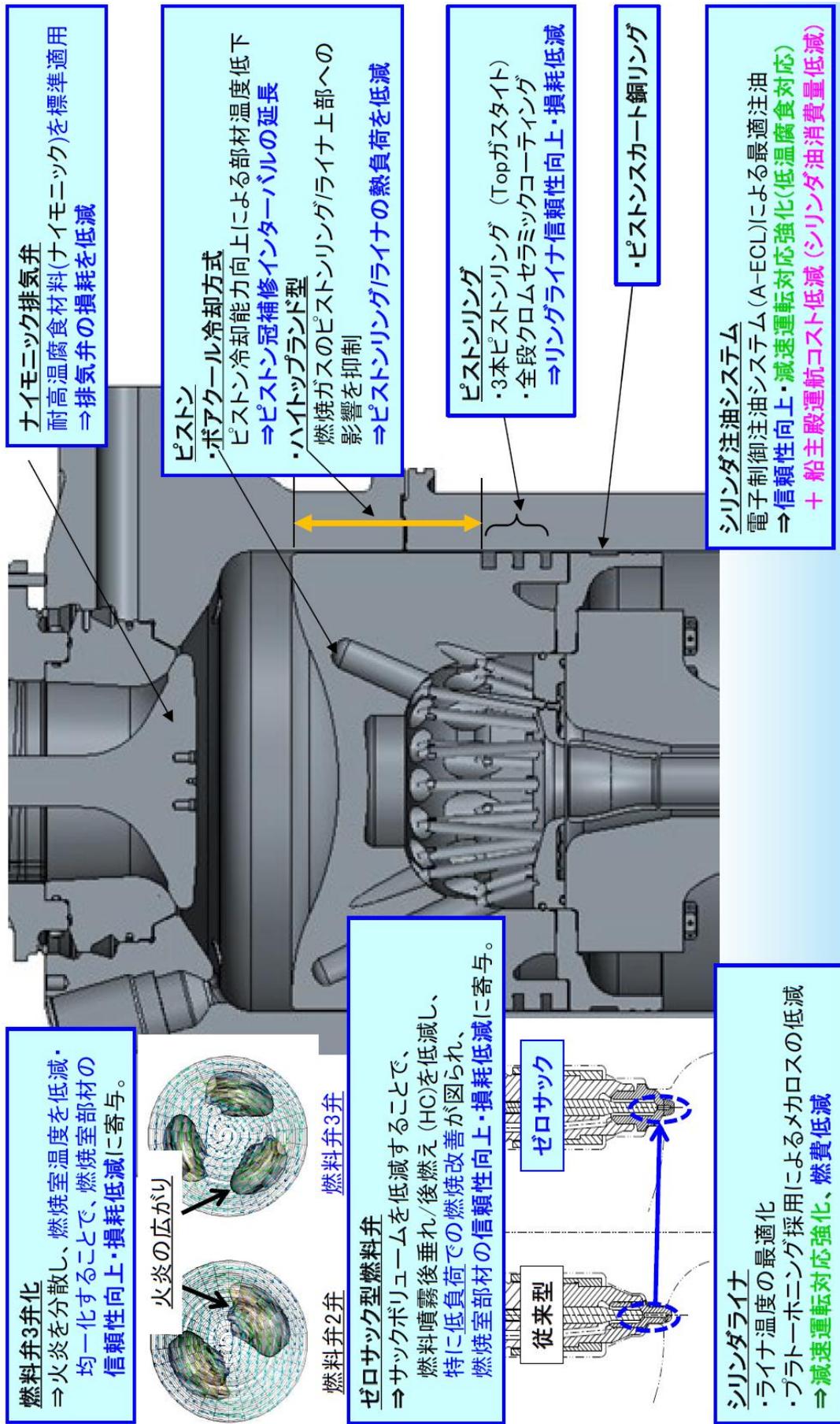


図 4.1.4-1 燃焼室の最適化

#### 4.1.5 エンジン本体設計

エンジン本体については、実績のある UEC50LSH を踏襲した仕様にて計画を進めた。主要本体構造について図 4.1.5-1 に示す。

これに加えて、全体システム計画で計画した

- ・ フル電子制御化
- ・ 作動油系統の二系統化
- ・ EGR 関連装置

の本体設計を実施した。

上段には燃料噴射ポンプ及び注水ポンプを駆動する蓄圧ブロックを配置、各筒に燃料噴射ポンプ（1 個）、注水ポンプ（2 個）を配置した。（図 4.1.5-2 参照）

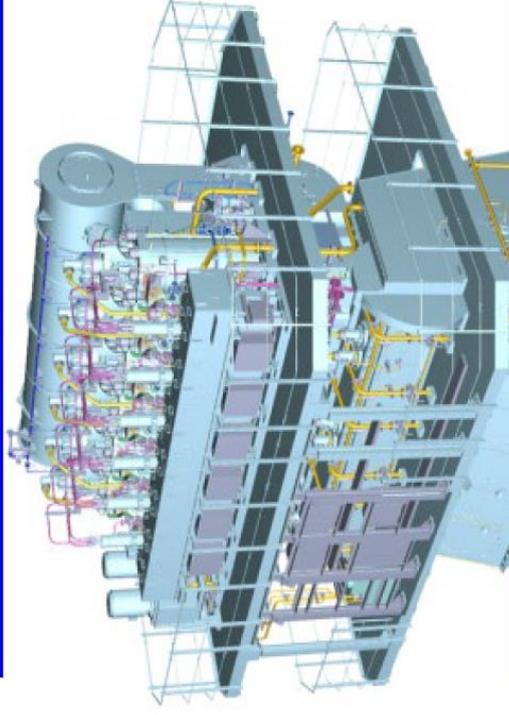
中段には、UEC50LSH 機関で装備されていた排気弁駆動用のカム軸およびカム軸駆動装置を取り除き、排気動弁駆動用の蓄圧ブロックを配置、電子制御に対応した下部動弁装置を配置した。（図 4.1.5-3 参照）

作動油供給用の機関駆動油圧ポンプは、クランク軸付ギアから 3 枚のギアを介して駆動され、冗長性も考慮してポンプ 2 個を配置した。（図 4.1.5-4 参照）

EGR 関連装置については、デミスタユニットと EGR ブロアを一体化した構造とし、過給機吸い込み側までの距離がミニマイズできるような配置として機関排気側の上段に配置した。また、EGR スクラバはデミスタユニットの排気側に配置させることで造船所排ガス管からの EGR 戻り配管のアレンジが容易となる。（図 4.1.5-5 参照）また、MWTU (Make-up Water Tank Unit) や、SCWR (Scrubbing Water Receiver) といった機器を主機上に配置することで、機関室に配置となる水処理関連装置の配置制約を低減した。（図 4.1.5-6、図 4.1.5-7 参照）

<p><b>ピストン棒/パッキン箱</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ピストン棒高周波焼入れ + 高面圧リング</li> <li>⇒ <b>信頼性向上 + 船主殿運航コスト低減</b> (ドレン量[システム油消費量]低減)</li> </ul>
<p><b>シリンダカバー排気出口管</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・デューザー型 + 静圧管内旋回流にて圧損低減</li> <li>⇒ <b>燃費低減</b></li> </ul>
<p><b>過給機出口掃気ダクト</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ワイドデューザー型にて圧損低減</li> <li>⇒ <b>燃費低減</b></li> </ul>
<p><b>台板・架構</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・板金製1枚壁構造による高剛性化 ⇒ <b>信頼性向上</b></li> </ul>
<p><b>シリンダジャケット</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・形状最適化による高剛性化 ⇒ <b>信頼性向上</b></li> </ul>
<p><b>タイボルト</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・低合金鋼ツイнтаイボルト採用による高剛性化</li> <li>・主軸受部の変形量低減 ⇒ <b>信頼性向上</b></li> </ul>
<p><b>クロスヘッド</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・本体高剛性化によるメカロス低減</li> <li>⇒ <b>信頼性向上・燃費低減</b></li> </ul>

<p><b>電子制御システム</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・自社開発Ecoシステム搭載</li> <li>⇒ <b>自社開発技術であり、ブラックボックスがなく、迅速な不具合対応・処置が可能</b></li> <li>⇒ <b>減速運転対応強化・燃費低減</b></li> </ul>
--



<p><b>クロスヘッドピン軸受</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・中央油溝を廃止したポケットタイプ採用による油膜圧力低下</li> <li>⇒ <b>信頼性向上</b></li> </ul>
<p><b>主軸受・クランクピン軸受</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・アルミメタル採用による疲労強度向上</li> <li>⇒ <b>信頼性向上</b></li> </ul>

図 4.1.5-1 主要本体構造

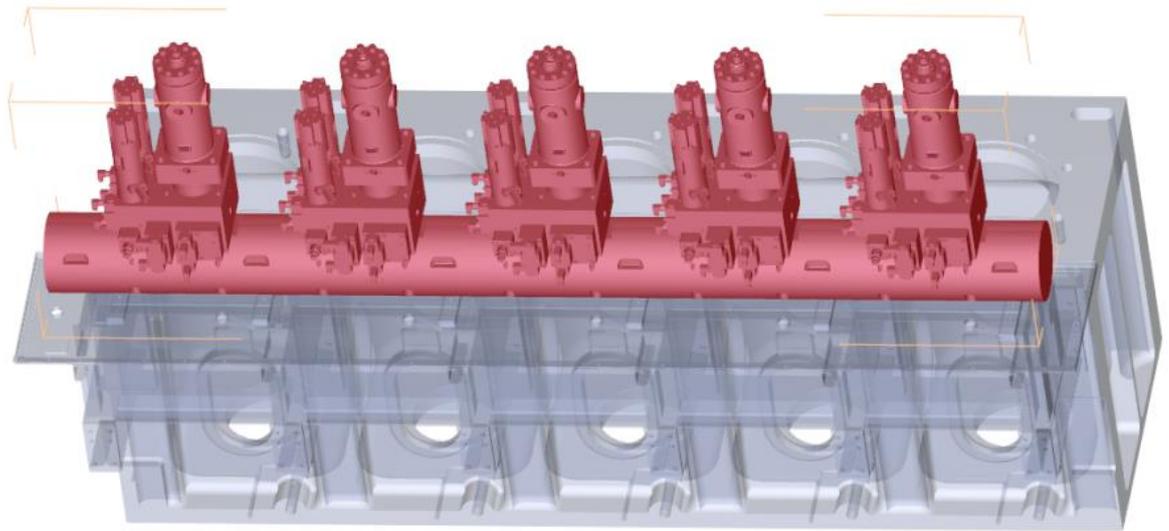


図 4. 1. 5-2 燃料噴射系・注水系用蓄圧ブロック（上段配置）

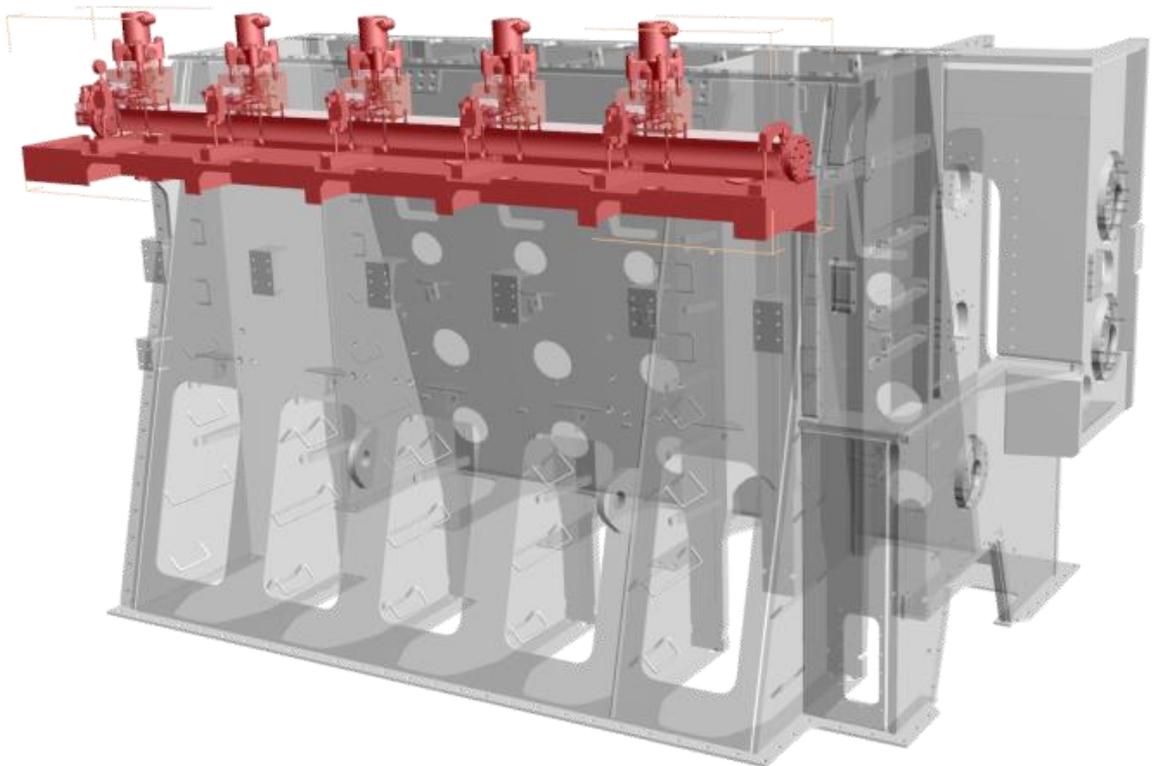


図 4. 1. 5-3 排気弁駆動系用蓄圧ブロック（中段配置）

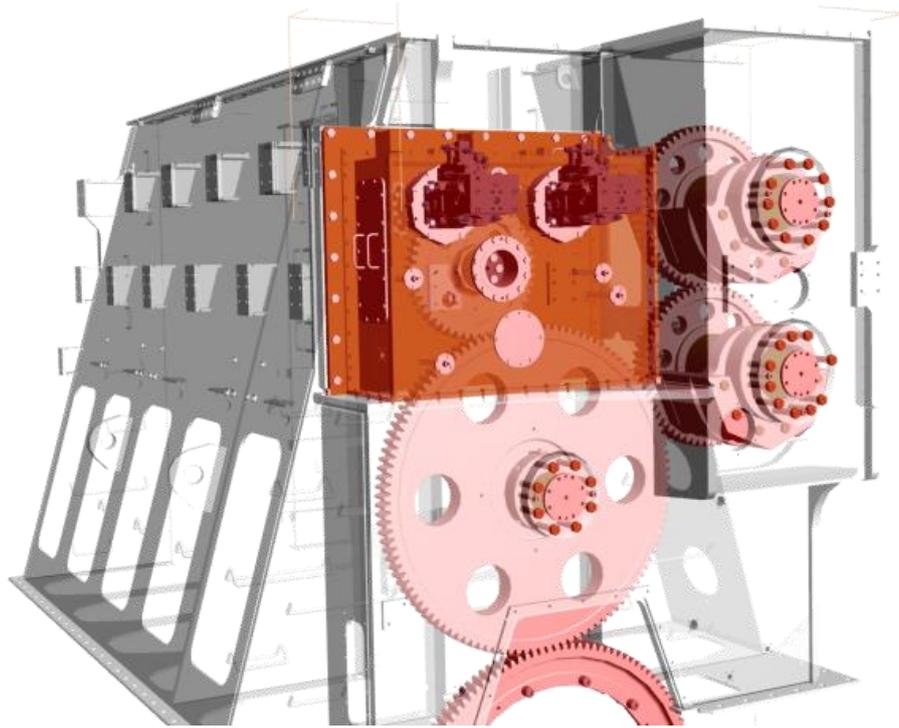


図 4. 1. 5-4 機関駆動油圧ポンプ（船尾側）

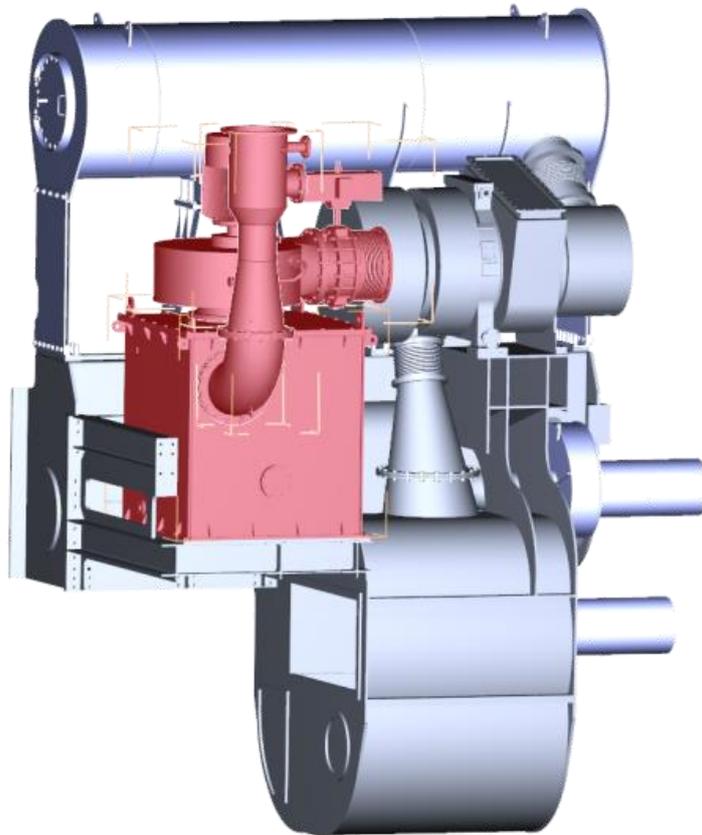


図 4. 1. 5-5 EGR システム装置（排気側）



図 4. 1. 5-6 EGR 関連装置の配置

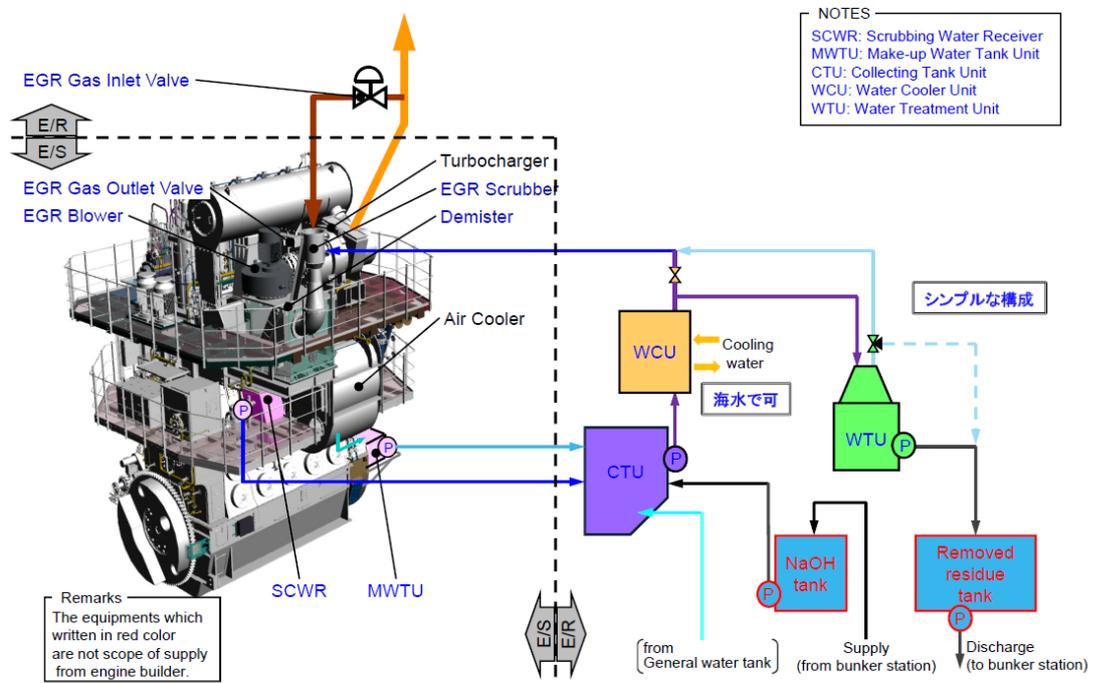


図 4. 1. 5-7 EGR 水処理装置

#### 4.1.6 制御設計

制御系は、従来機関（UEC-Eco 機関）向けで実績のある制御システムをベースとして注水制御機能及び EGR 制御機能を追加し、追加機能の従来システムへのインテグレーション及び追加機能を実現するための制御ソフトウェア開発を実施した。

制御システムの構成を図 4.1.6-1 に示す。注水制御を実施する C&C ユニット、信号入出力のための ASU 及び MIO ユニット、注水ポンプ電磁弁を駆動するための DRV ユニットのネットワークにて従来の制御システムに接続する構成とした。各ユニットは従来機関（UEC-Eco 機関）向け制御システムで使用している機器を使用してシステムインテグレーションを行った。ユニット数が従来機関に比して増加するため、ネットワーク構成については特に注意深く検討して開発を進めると共に、最終的に作成したソフトウェアはシミュレータを用いて検証確認を実施し、確実なものとした。

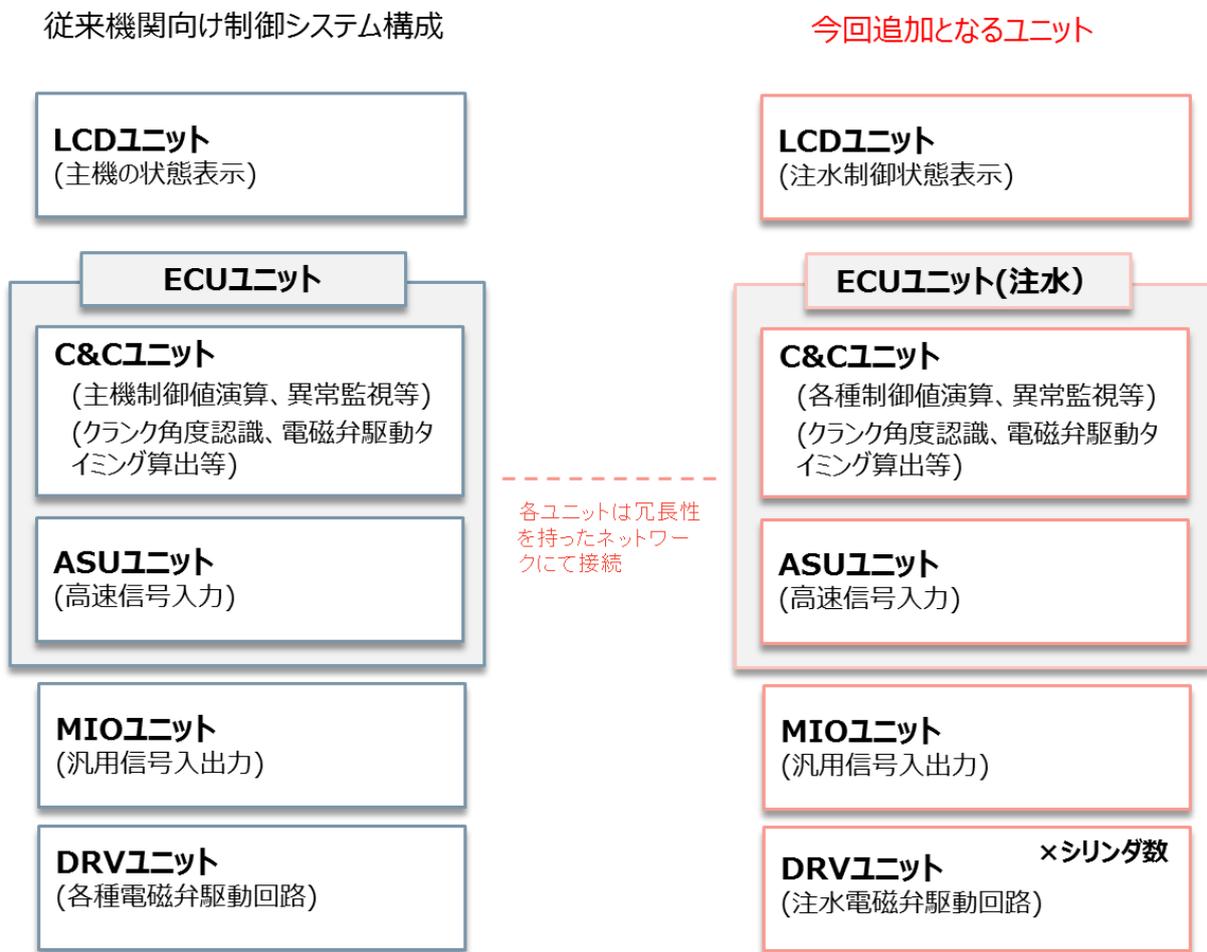


図 4.1.6-1 制御システム構成

本制御系では注水ポンプと燃料ポンプを同期して動作させることが重要であり、まずは、注水ポンプと燃料ポンプを1シリンダのみ取り出した単体試験装置（4.2.2章参照）を用いて制御システムとしても事前検証を行い、所期の動作を行なえることを確認した上で実機向けに展開した。（図4.1.6-2参照）

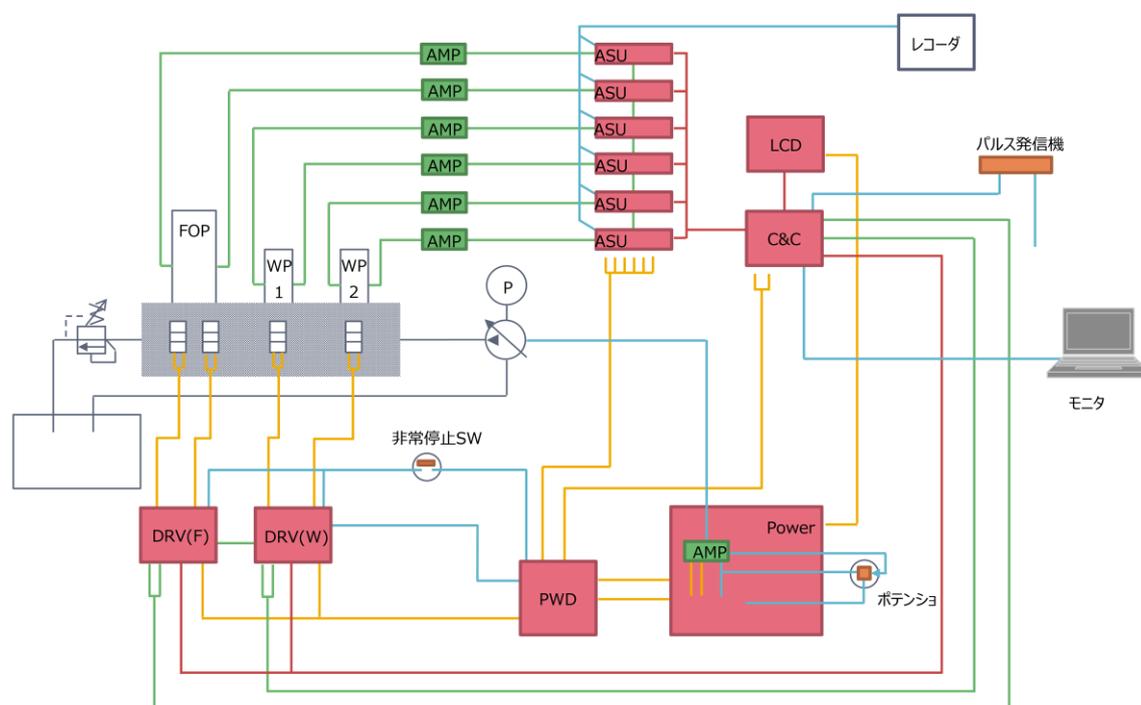


図 4. 1. 6-2 単体試験装置での制御システム

注水制御を追加するための制御ソフトウェアの開発においては、注水ポンプの動作に関わるタイミングや投入量算出に関する機能や注水ポンプ異常判定時の処理につき制御ソフトウェアを作成するとともにMMI（Man Machine Interface）の画面デザインを実施し、各種情報の確認やパラメータ設定がLCD画面上から可能な設計としている。また注水ポンプにはリフト量を計測するためのセンサを設置しており、これらの値についても画面上で確認可能である。（図4.1.6-3参照）

EGR制御を追加するための制御ソフトウェアの開発においては、制御に用いられる各種機器（バルブ、ブロー）のシーケンス制御やフィードバック制御に関する機能や関連機器の異常判定時の処理につき制御ソフトウェアを作成するとともに、MMIの画面デザインを実施し、各種情報の確認やパラメータ設定がLCD画面上から可能な設計としている。

（図4.1.6-4参照）

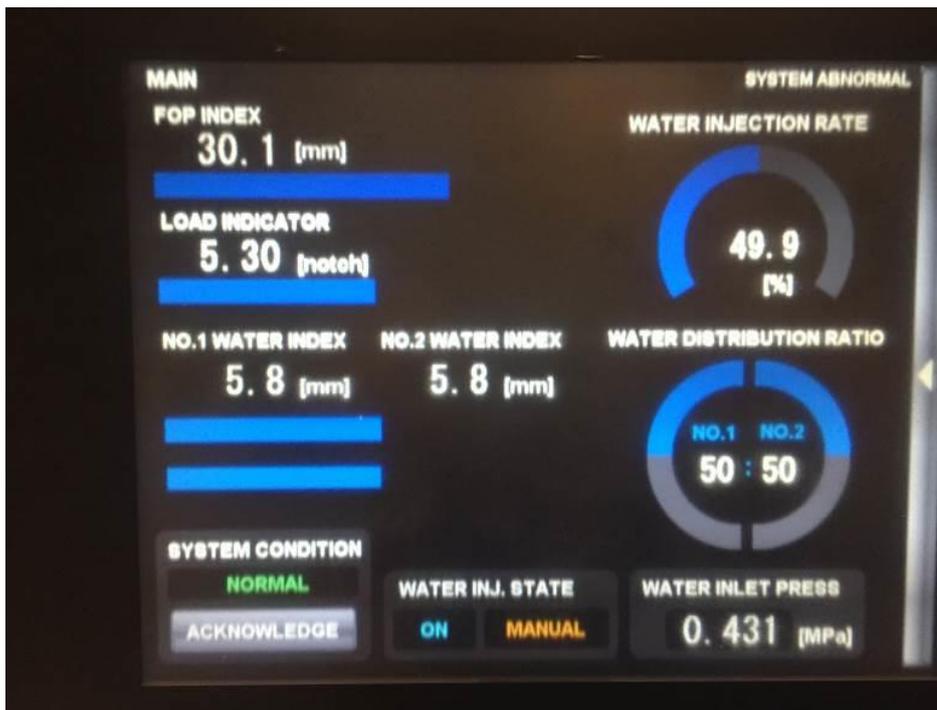


図 4. 1. 6-3 注水ポンプ制御に関する画面の一例

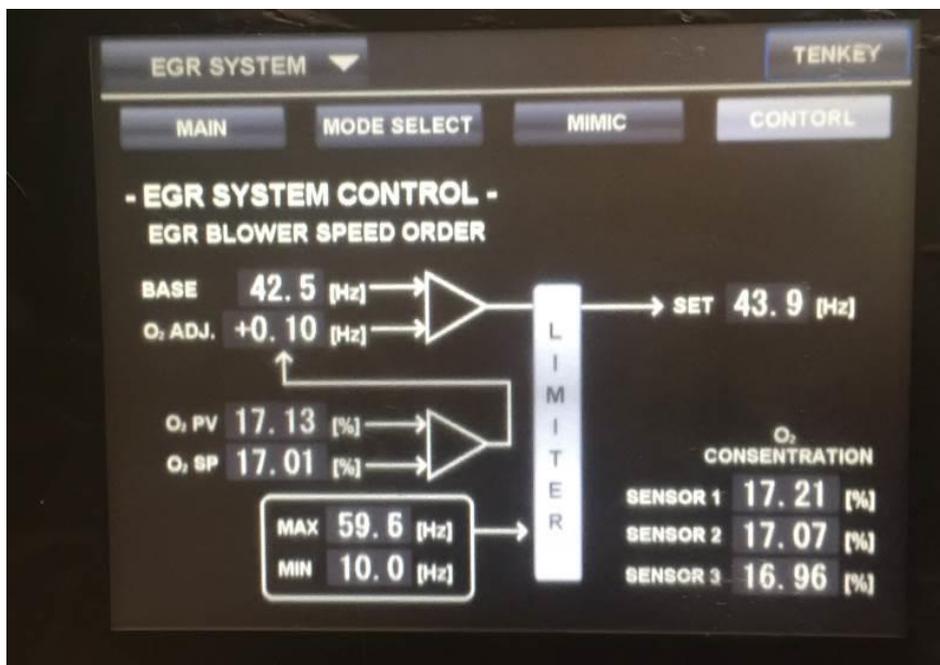


図 4. 1. 6-4 EGR 制御に関する画面の一例

制御システム作成時には FMEA (Failure Mode and Effects Analysis : 故障モードと影響解析) を用いた分析を実施し、システムの健全性/安全性の確認を実施した。各ユニットや各種機器への入出力異常時の主機運転への影響や異常発生頻度を考慮し、システムの冗長度や異常発生時の処置について詳細を決定したうえでソフトウェアに盛り込んだ。作成したソフトウェアは今回追加した機能を含めて、リアルタイムシミュレータを用いて動作確認を実施することで、所期動作が実施されるかを1週間以上かけて入念に確認・検証した。なお、リアルタイムシミュレータを用いることにより、実際に主機を運転することなく、主機運転状態を模擬することが可能であり、ソフトウェア機能毎に検査要領リストを作成し、確実な検証を行う事が可能である。(図 4.1.6-5、図 4.1.6-6 参照)



図 4.1.6-5 リアルタイムシミュレータ



図 4. 1. 6-6 ソフトウェア検証時の各ユニット

## 4.2 製作及び検証試験

上述の 4.1 章で設計した開発図面を基に、5UEC50LSJ 機関の製造、組立を実施し、エンジン試験にて機関性能の最適化を実施した。

なお、注水系と燃料系の装置については、実機によるエンジン試験をスムーズに実施するために、事前に単体試験による作動確認を実施した。単体試験は、注水系と燃料系の系統を 1 シリンダのみ取り出した単体試験装置を製作し、この装置を実機と同様に油圧駆動にて作動させることで基本的な注水特性の確認を実施した。

### 4.2.1 実機製作

エンジンを構成する部品のうち、クランク軸や台板、架構、シリンダジャケット等は、MGO 専焼用エンジンであってもベースとなった UEC50LSH から変更がない。例えば台板や架構といった溶接構造物は、製缶メーカーにて溶接作業が実施され、弊社に納入後に社内の機械を用いて機械加工が実施される。機械加工が完了した架構は、ブロック組立と呼ばれるサブアセンブリ工程で付属装置が組み付けられる。シリンダジャケットについても機械加工終了後に同様にブロック組立にて付属装置が取り付けられる。主機全体の組立は総合組立とよばれ、まず運転定盤の上に台板を据付け、その後クランクを納入し、上記のブロック組立でサブアセンブリされた架構ブロック、シリンダジャケットブロックが順に搭載されて、その後、順次大物装置（過給機等）が搭載されていく。

主機の総合組立の様子を図 4.2.1-1～4.2.1-5 に、組付けが完了した燃料噴射ポンプ、注水ポンプ、下部動弁の状況を図 4.2.1-6～4.2.1-9 に、EGR ユニットの配置を図 4.2.1-10 に、機関全景を図 4.2.1-11 に示す。

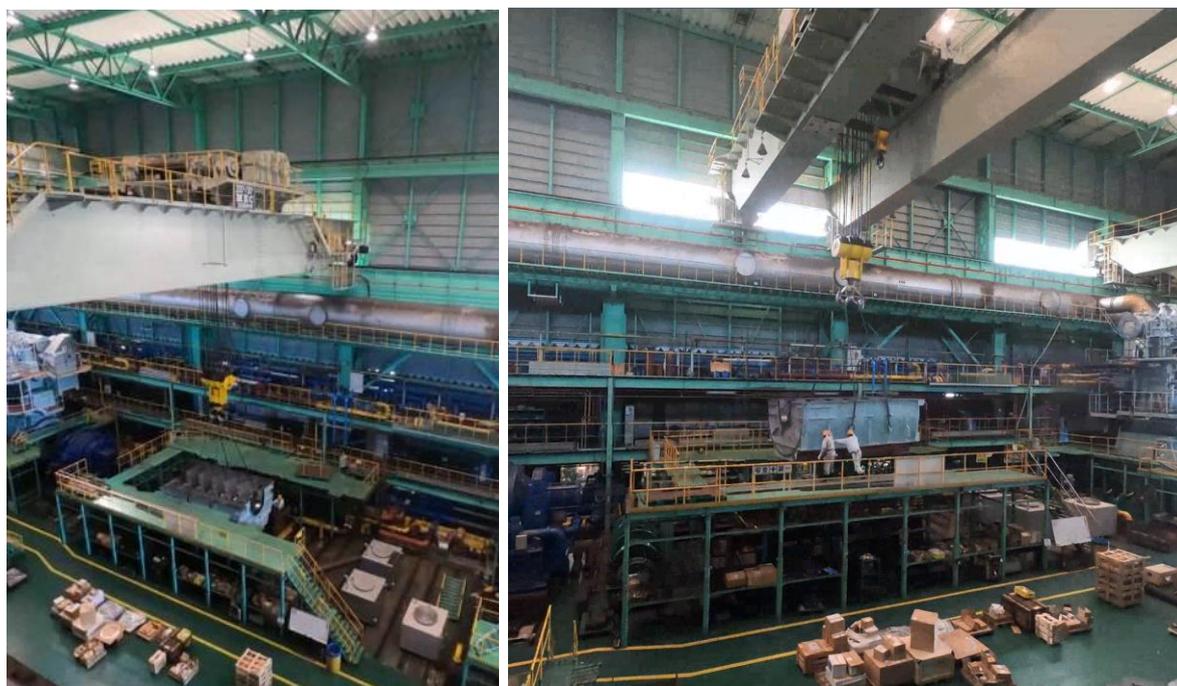


図 4.2.1-1 台板据付け



図 4. 2. 1-2 クランク納入

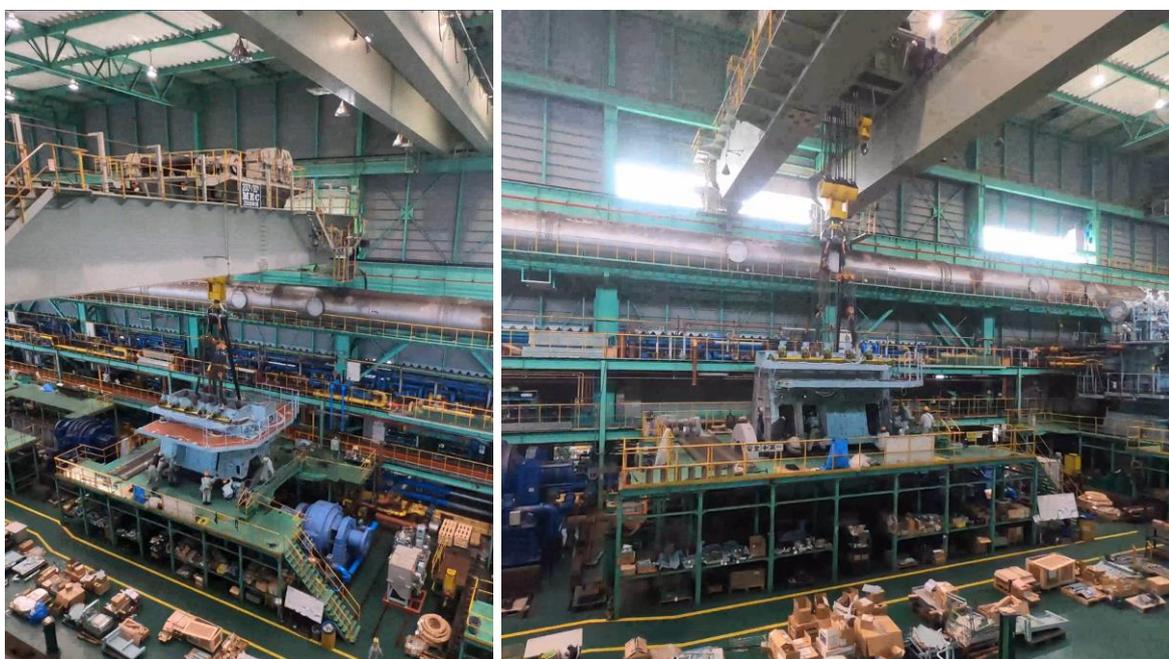


図 4. 2. 1-3 架構ブロック搭載

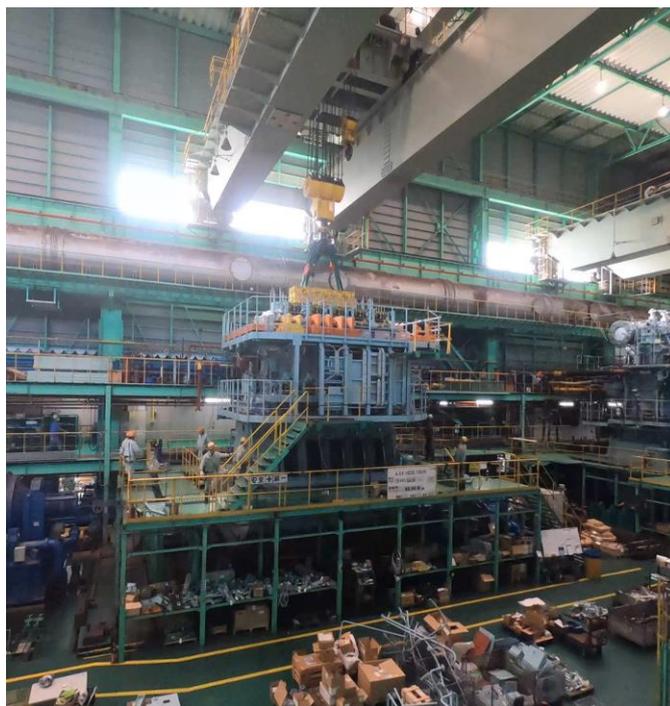


図 4. 2. 1-4 ジャケットブロック搭載



図 4. 2. 1-5 過給機搭載



図 4. 2. 1-6 上段配置



図 4. 2. 1-7 燃料噴射ポンプ、注水ポンプ

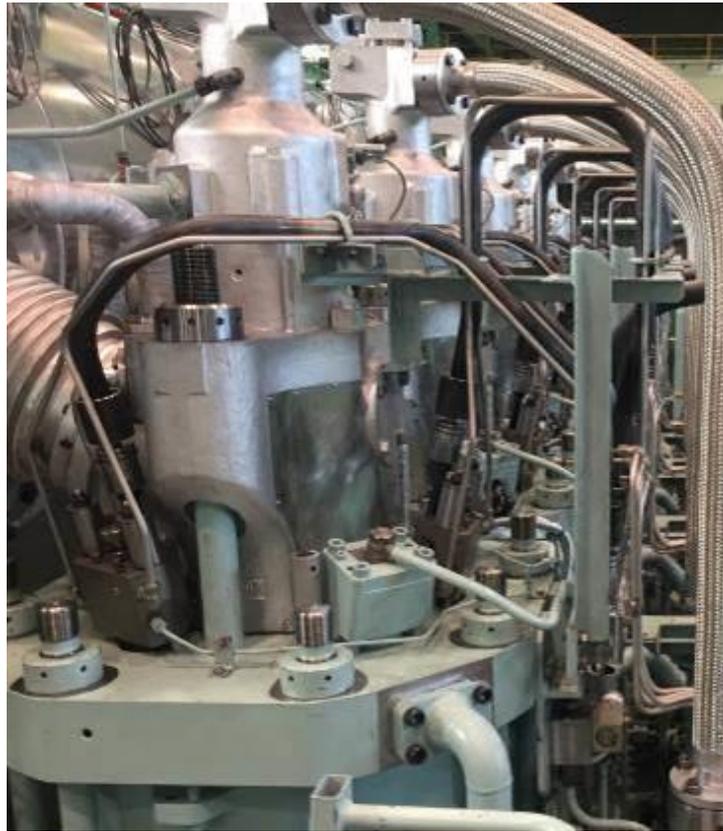


図 4. 2. 1-8 燃料水噴射弁（層状水噴射仕様）



図 4. 2. 1-9 中段 下部動弁装置配置



図 4. 2. 1-10 EGR ユニット



図 4. 2. 1-11 機関全景

## 1) 試験部品

エンジン性能の最適化に於いては、燃料弁の噴孔アレンジを最適なものに設定することが重要である。例えば噴孔を横に並べて配置したものは、お互いの噴霧が干渉することで噴霧への空気（酸素）の取り込みがある程度制限されることで燃費は若干悪化する一方、排出される NOx をある程度低く抑える事が可能な仕様である。一方、上下に段違いに配置したものは、空気に接する面積が大きくなることで噴霧内に空気（酸素）をより多く取り込むことが可能であり燃費は良くなる方向となるが、その反面で NOx の排出量が大きくなってしまいうという特徴がある。噴孔アレンジを横に並べて配置したものと、上下に段違いに配置した場合のイメージ図を、各々図 4.2.1-12、図 4.2.1-13 に示す。

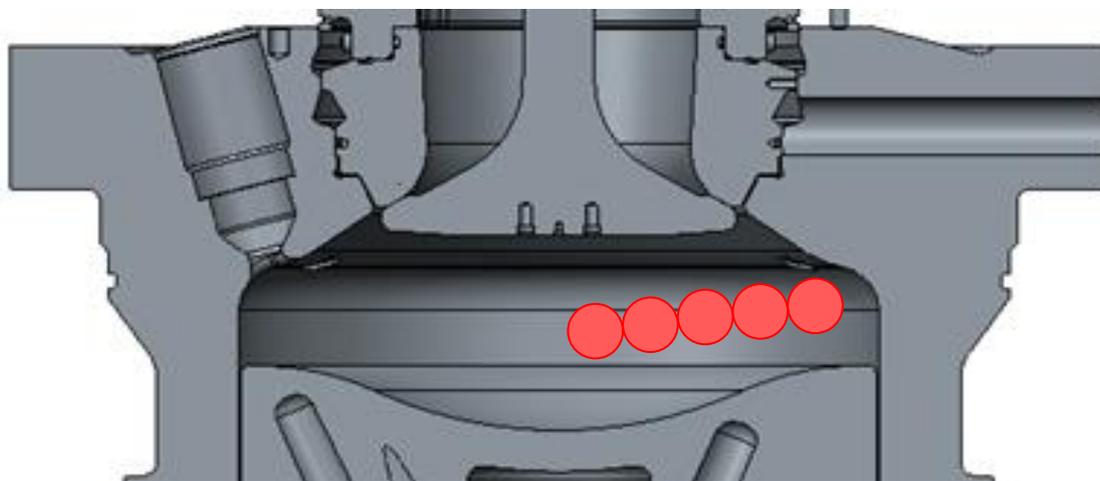


図 4.2.1-12 噴孔アレンジ（真横配置）のイメージ図

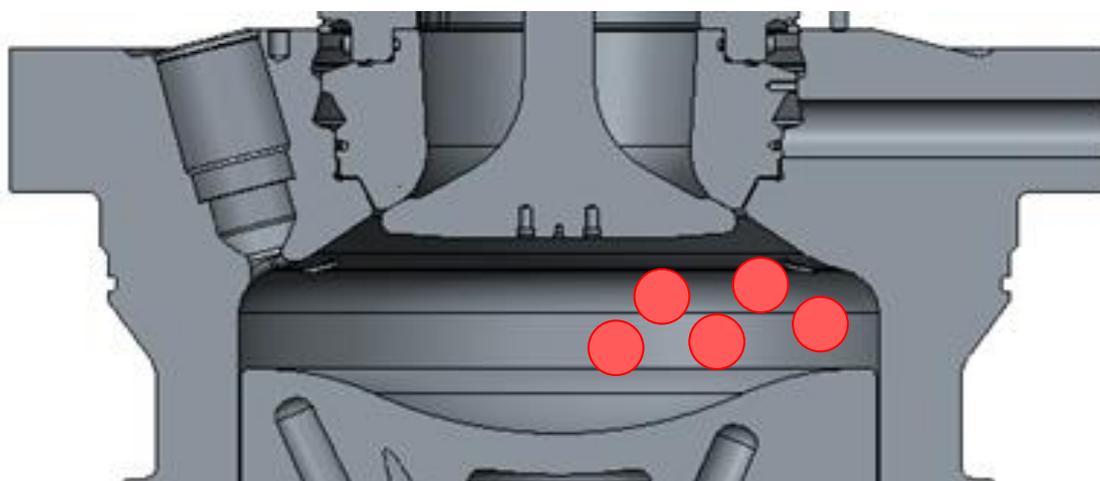


図 4.2.1-13 噴孔アレンジ（段違い配置）のイメージ図

今回採用する層状水噴射では、燃料のみが噴射される場合と比較し、水を噴射することで噴霧の運動量が増えるために燃料と空気の混合が促進される傾向となる。そのため、従来のエンジンとは最適な噴孔アレンジが異なる可能性がある。また、噴孔径も機関性能を左右する重要なファクターであるが、噴孔アレンジと同様に水を噴射することで最適な径は従来のエンジンとは異なってくると考えられる。これらの最適な組み合わせを策定するため、噴孔アレンジや噴孔径を変更した燃料弁を複数スペック準備し、実際のエンジンに組み込んでのテスト運転を計画した。噴孔アレンジについては、噴孔の偏角や俯角を変更したもの、噴孔直径などの異なるものを数パターン用意して、これらを用いてエンジン試験を計画した。

## 2) 計測用部品

エンジンテストを実施する際には、各部の油圧の挙動や、燃焼室構成部材の温度計測等を実施し、油圧挙動に問題がないか、燃焼室構成部材の温度が適正な温度レベルにあるか等を確認しながら性能最適化を実施することで計画した。上述の試験計測を実施するシリンダはNo.1シリンダ（図4.2.1-14参照）とし、試験部品を組付けてエンジン試験を実施した。



図 4. 2. 1-14 No. 1 シリンダ（計測シリンダ）

#### 4.2.2 単体試験

実機での試験運転を実施する前に、今回設計を実施した注水装置系統が所期の動作を実施するかを確認するため、注水系と燃料系を1シリンダのみ取り出した単体テスト装置を製作して、基本的な注水特性の確認を実施した。単体テスト試験機を図4.2.2-1に、製作した単体試験の写真を図4.2.2-2～4.2.2-4に示す。

単体テスト装置は、主に、蓄圧ブロック、注水ポンプ、燃料噴射ポンプ、燃料弁と、各装置を接続する配管と、これらを作動させる電磁弁や制御ユニットにより構成される。実機と同様に2個の注水ポンプが燃料噴射ポンプの横に配置され、注水ポンプ／燃料噴射ポンプともに蓄圧ブロック内に蓄圧された作動油によって作動される機構となっている。各々のポンプの作動のタイミングは、蓄圧ブロックの側面に取り付けられた電磁弁により制御される。2個の注水ポンプの注水開始タイミング/注水終了タイミングは、2個の電磁弁によって制御される。また燃料噴射ポンプについては、図4.2.2-5に示すとおり2個の電磁弁を用いて主弁の開閉を制御することで燃料噴射ポンプの噴射率をコントロールできる構造となっている点も実機と同じである。また作動油については、実機と同様に電動モータで駆動される油圧ポンプを用いて昇圧され、蓄圧ブロック内に蓄圧される。

単体試験としては、まず最初に注水ポンプのみを作動させた試験を実施し、注水ポンプが所期の動作をすることを確認した。その後、燃料噴射ポンプと注水ポンプとを作動させて、配管内部に層状の水+油の状態を生成させて実際に燃料弁から噴射させる試験（燃焼はさせない）を実施した。図4.2.2-6に作動時の波形を示す。注水ポンプによる注水が燃料噴射と燃料噴射の間のインターバル期間で完了できていること、また注水が完了した後に燃料噴射ポンプにより燃料噴射が正常実施されていることが確認され、注水ポンプ、燃料噴射ポンプともに所期の動作制御ができていることを確認した。

またその後、注水ポンプの連続運転による耐久試験を実施。主機運転時間約600h相当回数回の運転を実施し、試験終了後の開放点検にて摺動部等に問題の無いことを確認している。

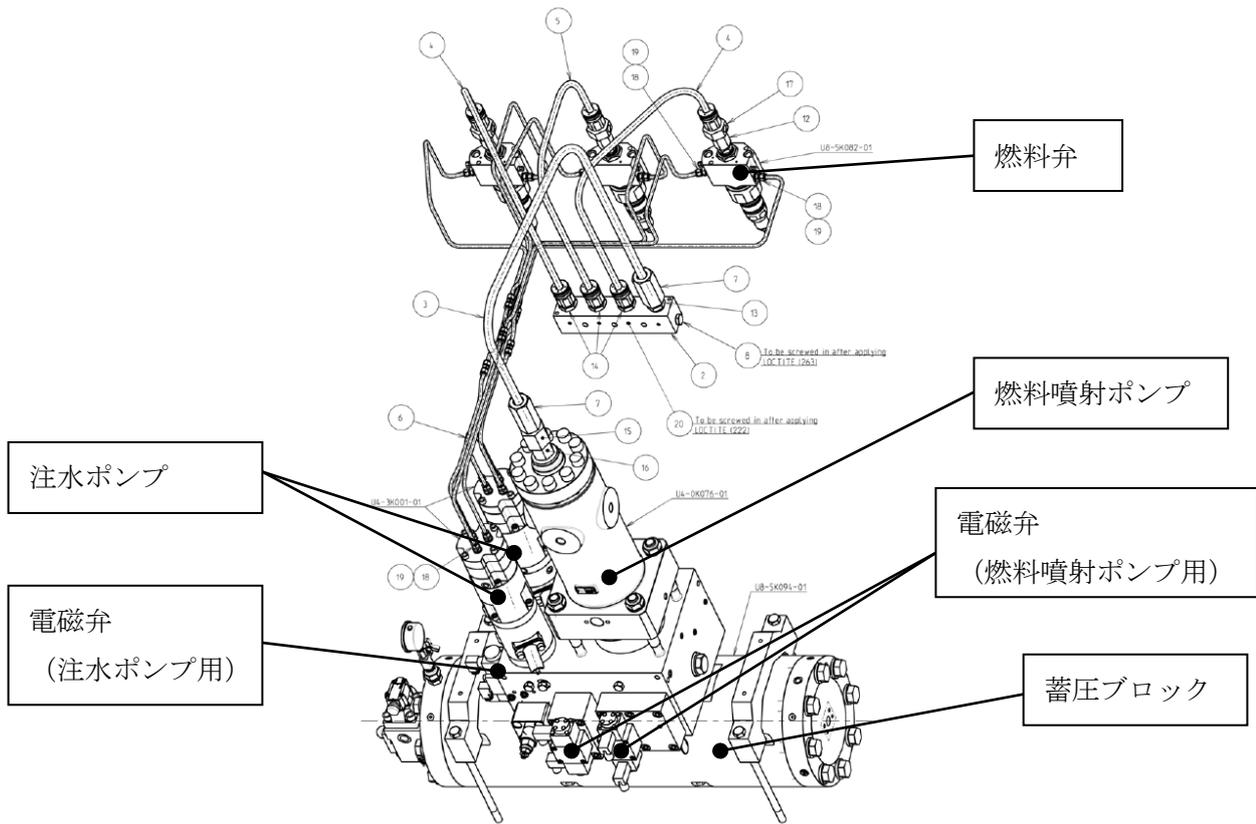


図 4. 2. 2-1 単体試験装置



図 4. 2. 2-2 単体試験装置 (全景)



図 4. 2. 2-3 単体試験装置（手前：注水ポンプ、奥：燃料噴射ポンプ）

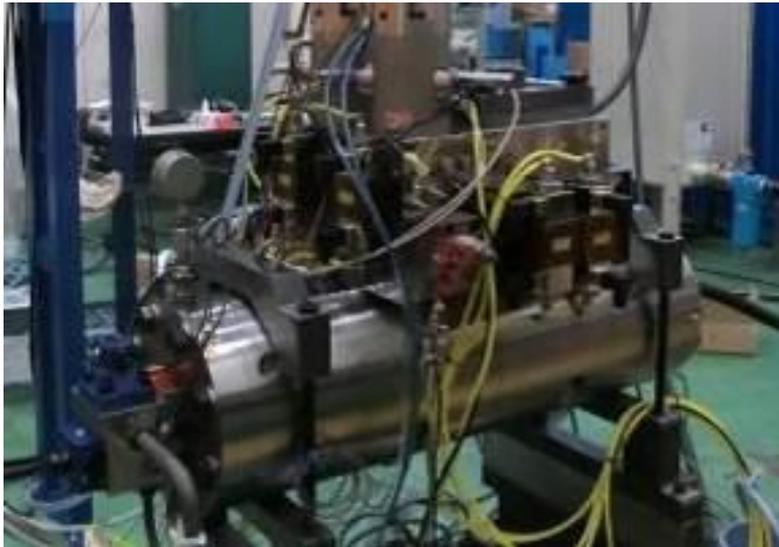


図 4. 2. 2-4 単体試験装置（左：蓄圧ブロック、右：電動油圧ポンプ）

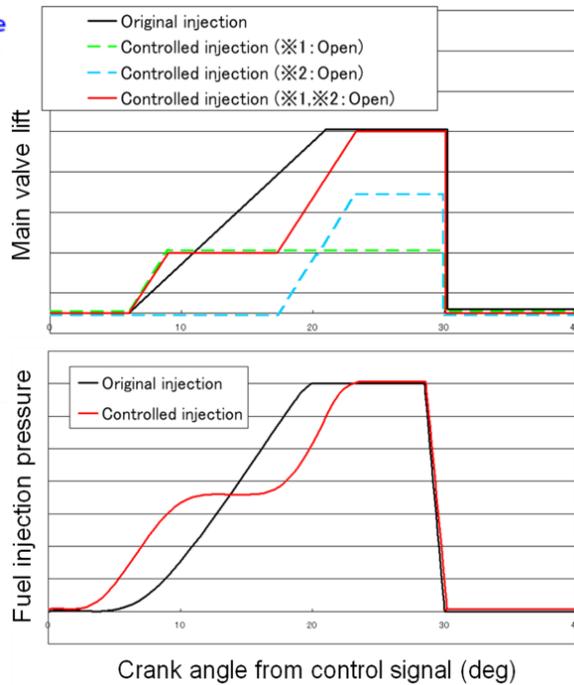
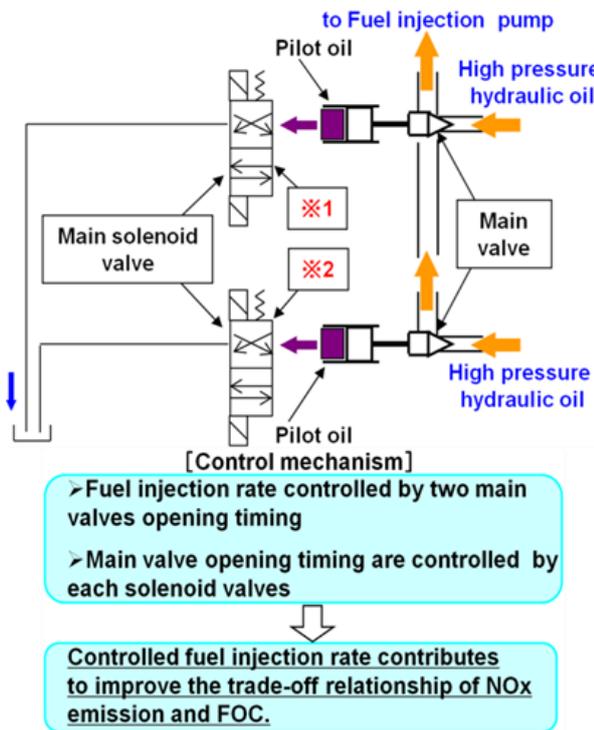


図 4. 2. 2-5 噴射率制御

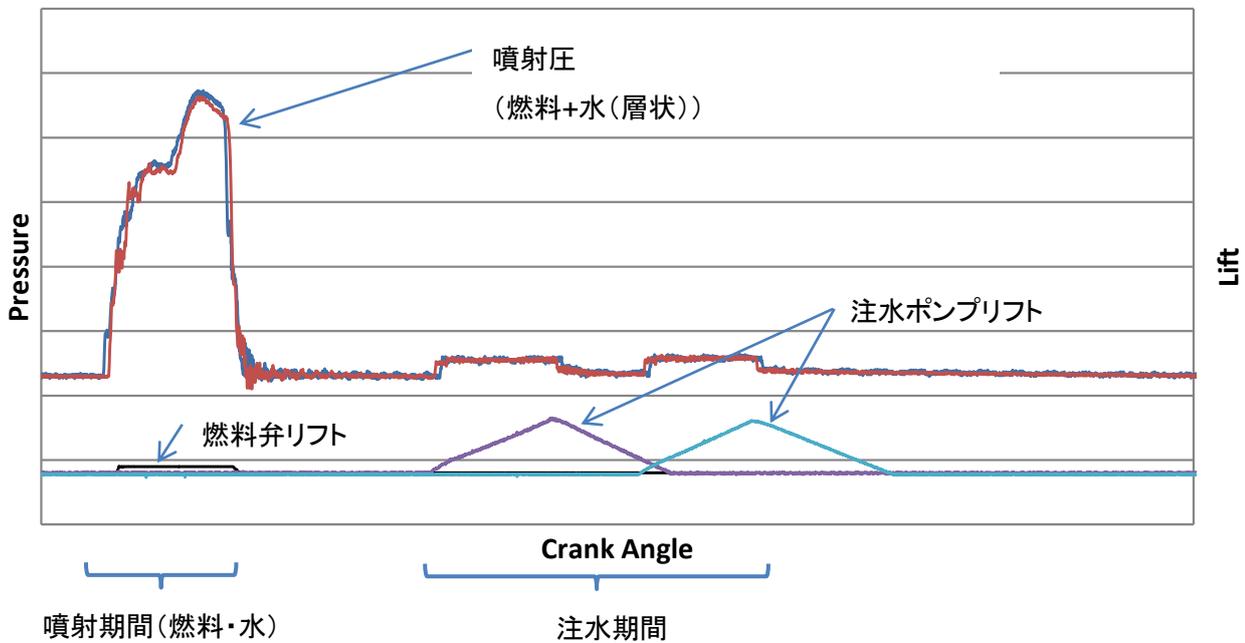


図 4. 2. 2-6 単体試験装置による注水/噴射試験結果

#### 4.2.3 エンジン試験

##### 1) 工場設備

今回の MGO 専焼エンジンでは層状水噴射で水を使用するため、工場設備に水供給ラインの設置を行った。水供給ラインには水の消費量を計測するための装置を設置し、計量方式は重量計測式としてタンク下面に設置されたロードセルを用いて試験計測の前後でのタンク内の水重量差を計測することで、計測時間内に消費された水の質量を正確に計測するシステムにて計画し、設置した。

また、従来より工場内で試運転を実施する際には A 重油を使って運転を実施してきたが、今回の MGO 専焼エンジンでは軽油での運転も実施する事で計画、軽油の供給ラインを追設し、ライン上には軽油の消費量を計測するための装置（計量システムは上述の水と同様のロードセルによる重量計測方式）にて計画し、設置した。

図 4.2.3-1～2 にライン図及び装置概略を、図 4.2.3-3～5 にタンクと制御盤を示す。

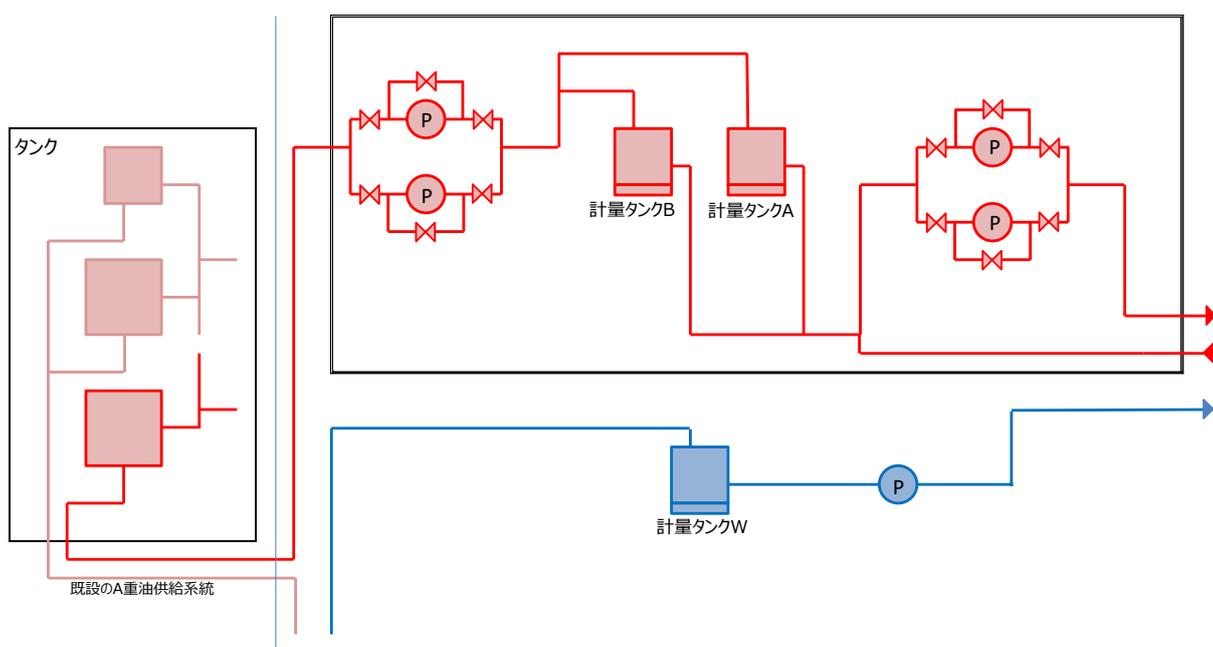


図 4.2.3-1 工場内水供給ライン（青ライン）/軽油供給ライン図（赤ライン）

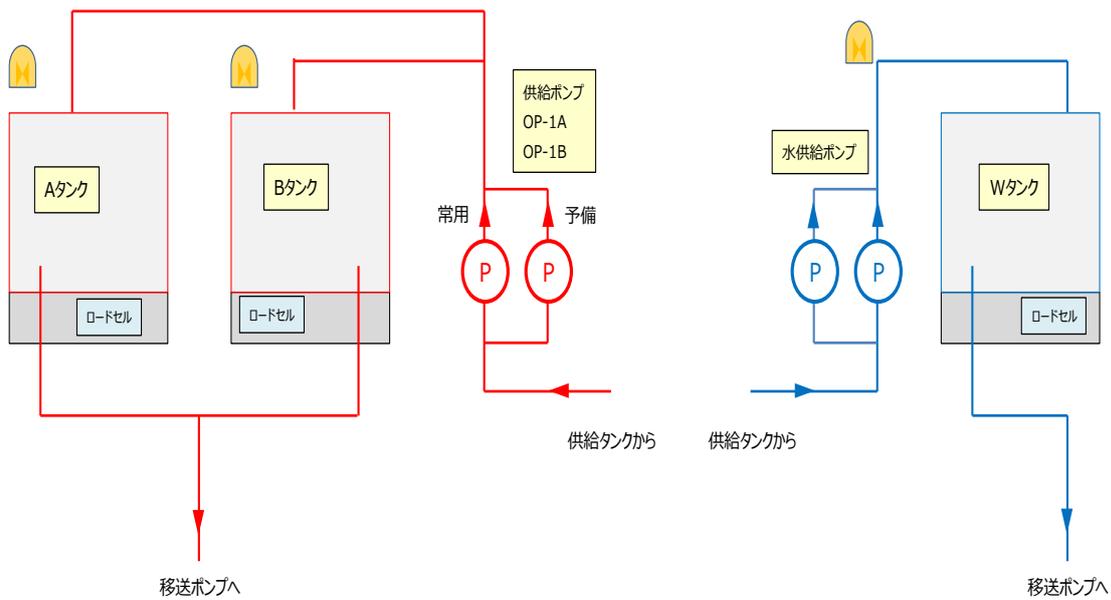


図 4. 2. 3-2 水の消費量計測装置/軽油の消費量計測装置の概略



図 4. 2. 3-3 水消費量計測用タンク



図 4. 2. 3-4 軽油消費量計測用タンク



図 4. 2. 3-5 軽油/水消費量計測用制御盤

## 2) エンジン試験

組立が完了した 5UEC50LSJ 機関にてエンジン試験を実施した。運転は、従来より工場運転で使用している A 重油と、MGO（軽油、表 4.2.3-1 参照）を使用して実施した。燃料弁等の変更試験や、エンジンチューニングの各パラメータ変更試験を実施し、機関のファインチューニングによる性能最適化を実施した。（図 4.2.3-6～8 参照）

計測時間 30 分の平均値にて評価をした結果、Tier-II モードで燃費 155.0g/kWh、Tier-III モードで NOx 排出量 3.38g/kWh となる事を確認した。（図 4.2.3-9 参照）



図 4.2.3-6 エンジン試験の実施状況

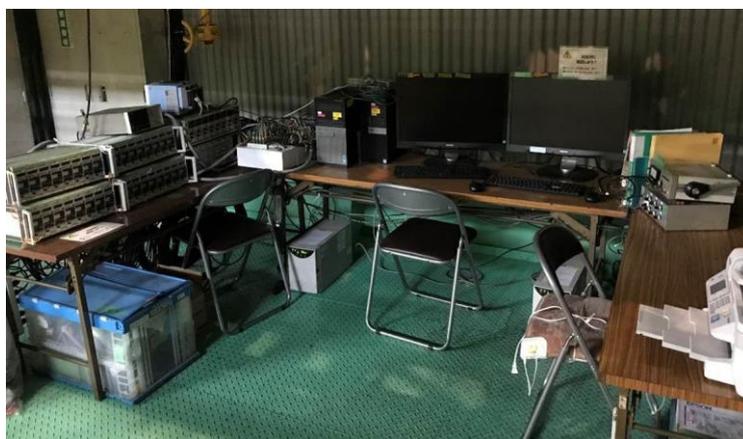


図 4.2.3-7 エンジン試験の計測装置

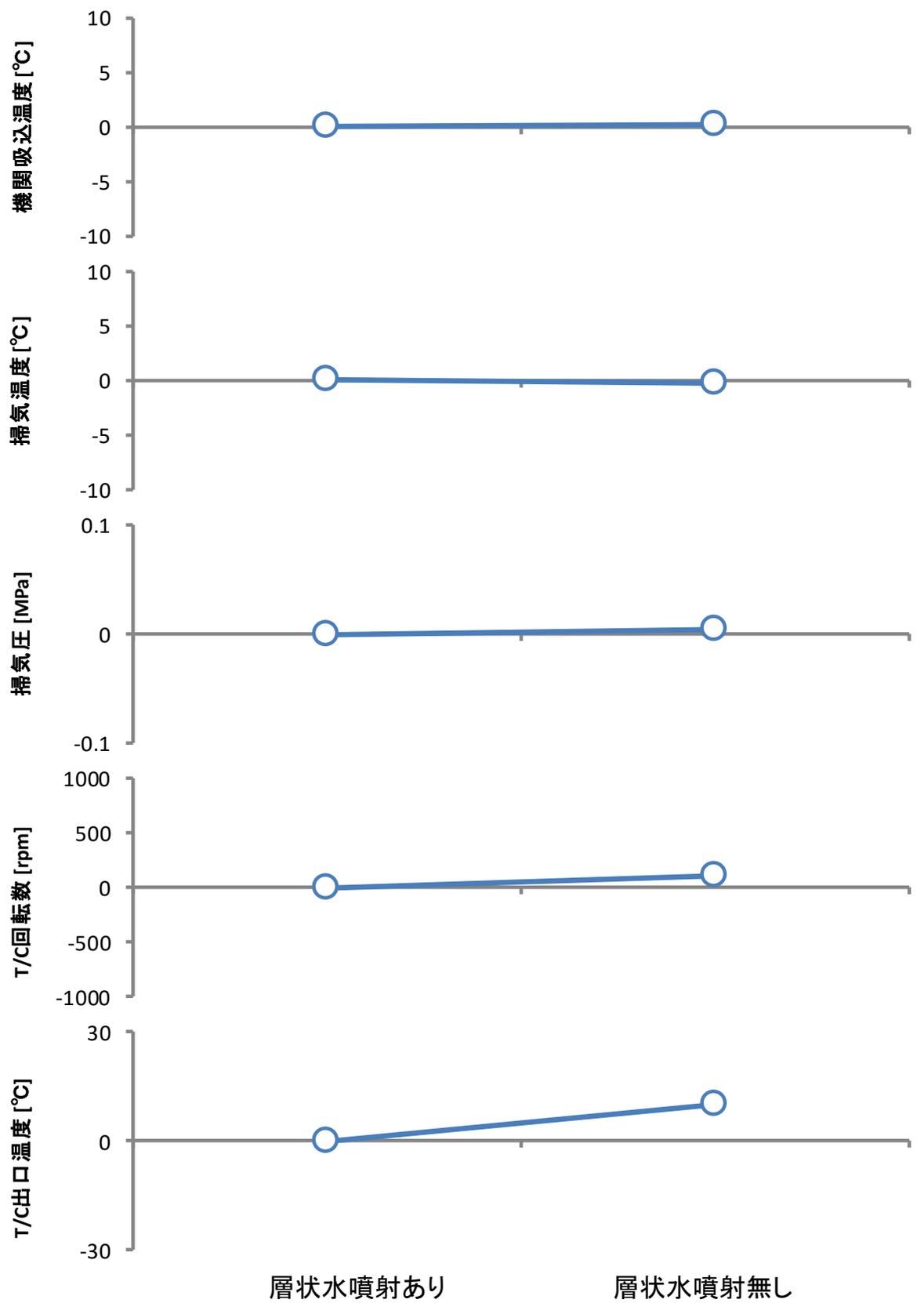


図 4. 2. 3-8 水噴射の有無による計測結果 (平均値、MGO 使用時の一例)

表 4.2.3-1 軽油の分析結果

試験項目	単位	結果	試験方法
炭素分	質量%	86.3	JPI-5S-65
水素分	質量%	13.4	
硫黄分	質量 ppm	6	JIS K 2541-6 (紫外蛍光法)
窒素分	質量 ppm	5	JIS K 2609 (化学発光法)
酸素分	質量%	0.5未満	熱分解-TCD法
密度 (15℃)	g/cm <sup>3</sup>	0.8377	JIS K 2249-1 (振動法)
総発熱量 (計算)	I/g	45750	JIS K 2279
真発熱量 (計算)	I/g	42910	
引火点	℃	73.5	JIS K 2285-3 (PM-A法)
動粘度 (30℃)	mm <sup>2</sup> /s	4.007	JIS K 2283
水分	容量%	0.01未満	JIS K 2275 (カルフィッシャー法)
灰分	質量%	0.001未満	JIS K 2272

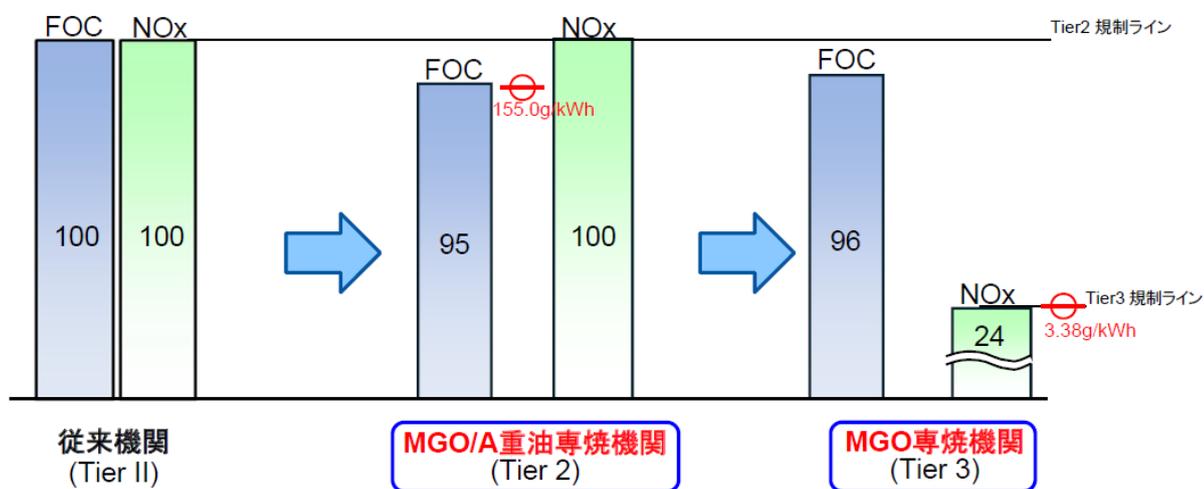


図 4.2.3-9 エンジン試験結果

## 5. 目標の達成状況

NO<sub>x</sub>/SO<sub>x</sub>/CO<sub>2</sub> の全規制に対して同時且つ画期的に改善・対応できる MGO 専焼エンジンを開発し、エンジン試験にて機関性能の最適化を実施した結果、Tier-II モードで燃費 155.0g/kWh、Tier-III モードで NO<sub>x</sub> 排出量 3.38g/kWh となる事を確認し、本事業の目標である「IMO NO<sub>x</sub> Tier II 規制適合条件で従来エンジン比 5% の燃費低減：対象エンジンで 156g/kWh 以下」、「低圧 EGR システム併用による IMO NO<sub>x</sub> Tier III 規制値適合：NO<sub>x</sub> 排出量 3.4g/kWh 以下」を達成した。

## 6. 今後の予定

本機関は、工場内での試験運転を継続して実施し、更なる性能の最適化と、運転時間を蓄積することで更なる信頼性の実証を実施していく。

本技術開発終了後の 2019 年 5 月頃より、本格的に販売を開始していく。

## 7. まとめ

従来より取り組みを行ってきた環境規制対応では、NOx と SOx 規制への対応は別個に考えられていたが、単に組み合わせるだけでは非効率な面があることから、全く新しいコンセプトとして MGO 専焼を考案し、NOx/SOx/CO<sub>2</sub> の全規制に対して同時且つ画期的に改善・対応できる MGO 専焼エンジンを開発した。

なお、「MGO 専焼」としているが、使用される油を MGO のみに限定するものではなく、MGO あるいは MDO (A 重油) といった留出油全般を専焼する機関である。

- ① MGO 専焼エンジンは、UE 機関の最新機種 of UEC50LSH 機関をベースとして、
  - ・ フル電子制御化による更なる低燃費の追求、
  - ・ 燃料噴射系と排気弁駆動系の作動油系統の二系統化による更なる低燃費の追求、
  - ・ 燃費-NOx のトレードオフを改善できる層状水噴射装置（注水ポンプ及び水噴射用燃料弁）の開発、
  - ・ 構成がシンプルでかつ運転切替時の制御が容易な低圧 EGR システムにより開発を実施した。
- ② 注水装置系統については、注水系と燃料系を 1 シリンダのみ取り出した単体テスト装置にて実機と同様に油圧駆動にて作動させ、基本的な注水特性の確認を実施した。
- ③ 開発した図面を基に、MGO 専焼エンジンである 5UEC50LSJ 機関の製造、組立の後、エンジン試験による機関性能の最適化を実施した。  
その結果、Tier-II モードで燃費 155.0g/kWh、Tier-III モードで NOx 排出量 3.38g/kWh となる事を確認し、本事業の目標である「IMO NOx Tier II 規制適合条件で従来エンジン比 5% の燃費低減：対象エンジンで 156 g/kWh 以下」、「低圧 EGR システム併用による IMO NOx Tier III 規制値適合：NOx 排出量 3.4g/kWh 以下」を達成した。

今後、本機関は工場内での試験運転を継続して実施し、更なる性能の最適化と、運転時間を蓄積することで更なる信頼性の実証をしていく。

本技術開発終了後の 2019 年 5 月頃より、本格的に販売を開始していく。

「この報告書は BOAT RACE の交付金による日本財団の助成金を受けて作成しました」

(一社) 日本船用工業会

〒105-0001

東京都港区虎ノ門一丁目 1 3 番 3 号 (虎ノ門東洋共同ビル)

電話 : 03-3502-2041      FAX: 03-3591-2206

<http://www.jsmea.or.jp>