

「低圧EGRシステムの実船試験に関する研究開発」 -M/V “DREAM ISLAND” (主機6UEC45LSE-Eco-B2)-

Feb. 2017

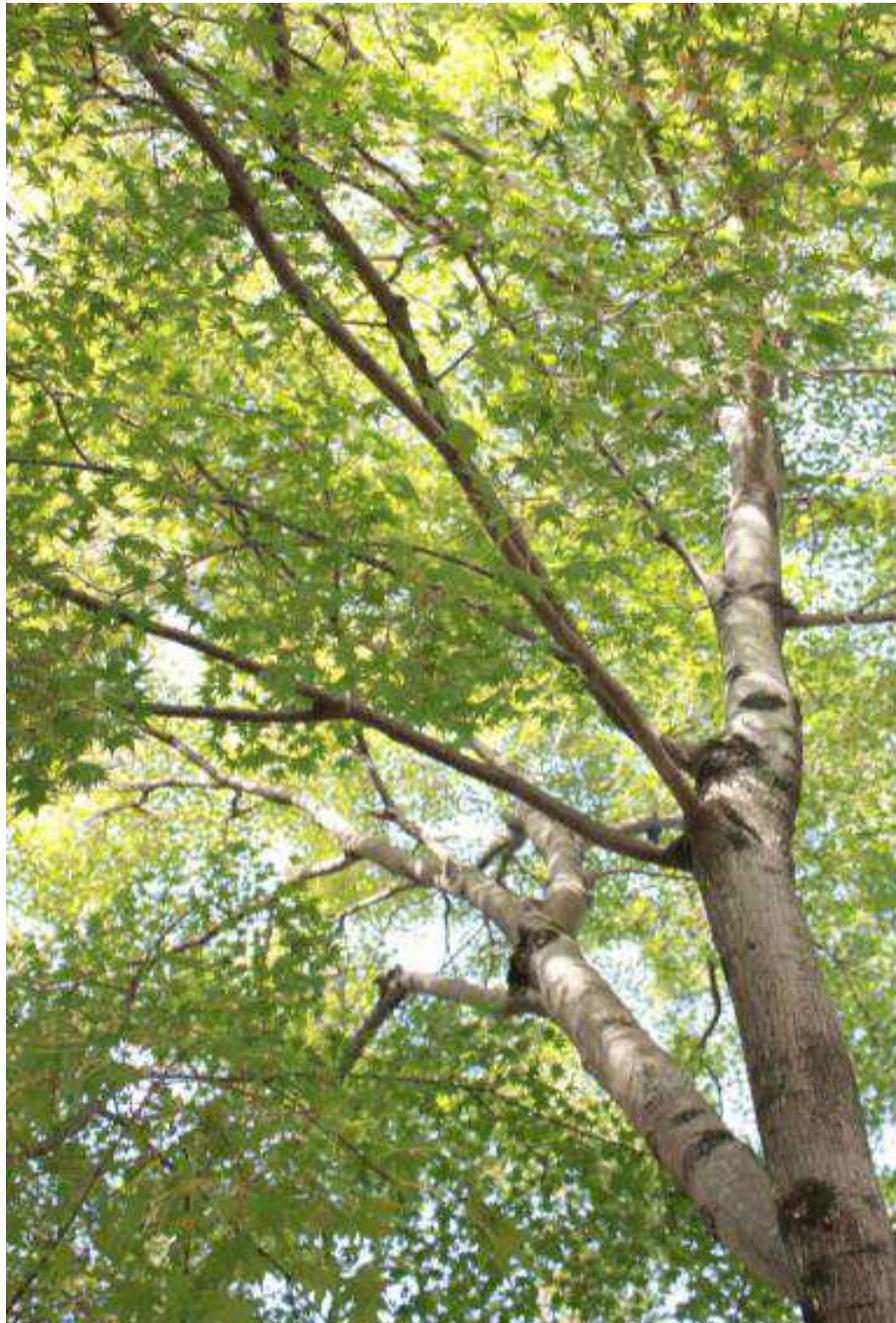
 **MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES MARINE MACHINERY & ENGINE CO., LTD.**

Engineering & Products Marine Engine Division

WMS-D531

CONFIDENTIAL 複写・転載禁止

 **三菱重工船用機械エンジン**



1. 研究開発概要
2. 低圧EGRシステムの概要
3. 陸上運転結果
4. 海上運転結果
5. 実船航海試験結果
6. 研究会開発成果

1. 研究開発概要

事業名： 低圧EGRシステムの実船試験に関する研究

研究期間：2014年10月1日 ～ 2017年2月28日

研究者： 日本海事協会殿
三菱化工機殿
三菱重工船用機械エンジン

事業目標：

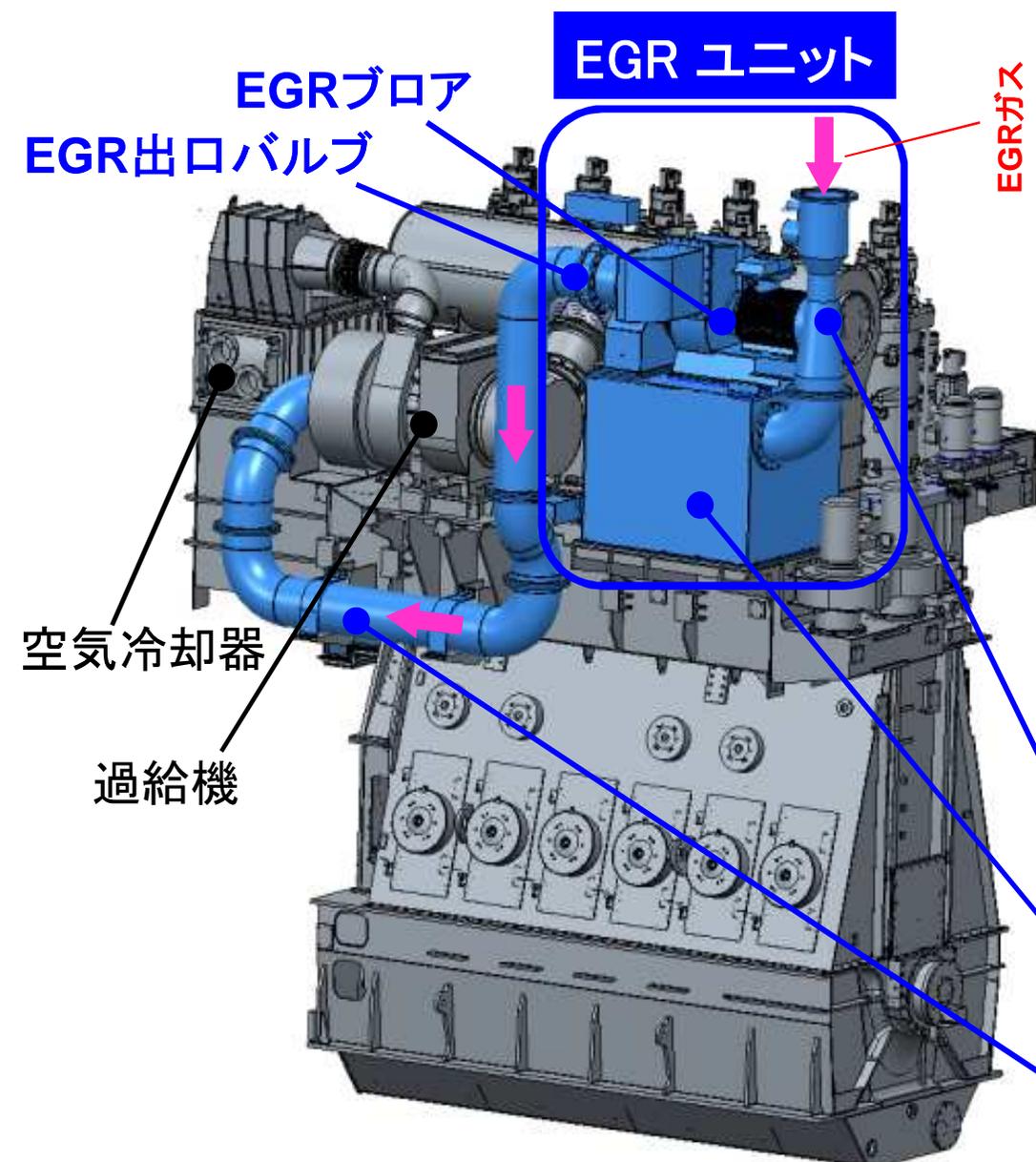
- (1) エンジン搭載型低圧EGRシステムでのIMO NOx TierⅢ規制値適合
- (2) C重油燃料でのEGR運転にて、水処理後の排水規制適合
- (3) 耐久信頼性の確保

1. 研究開発概要

【開発目標】

- デミスタ性能改善等を織り込んだエンジン搭載型低圧EGRシステムとして実用化設計を実施し、世界初の「低圧EGRシステムIMO NOx TierⅢ規制値適合」。さらに世界初の低圧EGRシステム実船搭載、海上試験を実施。
 - EGRシステムとしてキーとなる水処理装置に関しても、遠心分離機(SJ)×2台の組合せで、水処理性能およびEGRシステム全体としての最適化を実施し、C重油燃料でのEGR運転にて、水処理後のEGCS排水規制適合。
 - 上記を織り込んだトータルシステムにて長期耐久信頼性の評価。
 - C重油及び低硫黄燃料とした場合の各種性能、信頼性
 - デミスタ、過給機コンプレッサ翼および水処理装置の耐久性
 - 実航海での負荷応答性、過渡特性、制御システムのロバスト性の検証
- ⇒システムとしての最終評価を実船試験にて実施し、実商談エンジン仕様にフィードバックし玉成を図る。

1. 研究開発概要[試験概要]



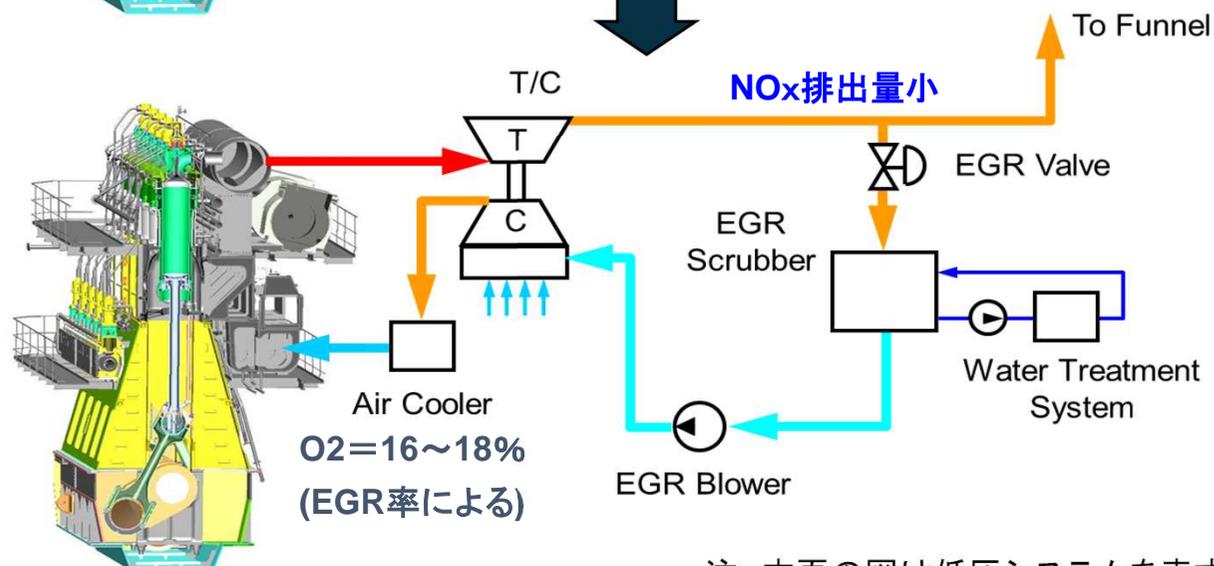
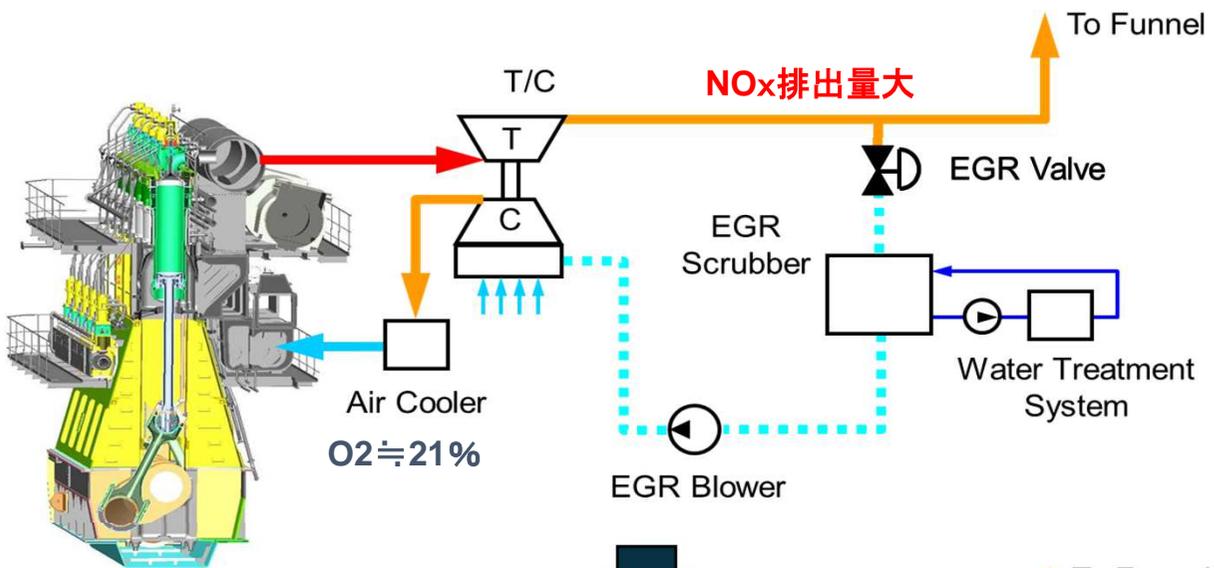
主機 機種	6UEC45LSE-Eco-B2
ボア x ストローク	450 mm x 1930 mm
燃料系/排気系駆動	電子制御
船種	バルクキャリア
型式	34,000 DWT
スケジュール	
陸上運転	2015/04 [済]
海上運転	2015/08 [済]
実船航海試験	2015/08 - 2017/02 [済]

EGRスクラバ
デミスタユニット
配管 (EGRブロア→過給機)

低圧EGRシステム搭載型6UEC45LSE-Eco-B2外観

2. 低圧EGRシステム[システム構成]

- EGR (Exhaust Gas Recirculation) はエンジン排ガスの一部を掃気に戻すことでNO_xを削減する技術



注. 本頁の図は低圧システムを表す。

<非EGR時(一般海域)>

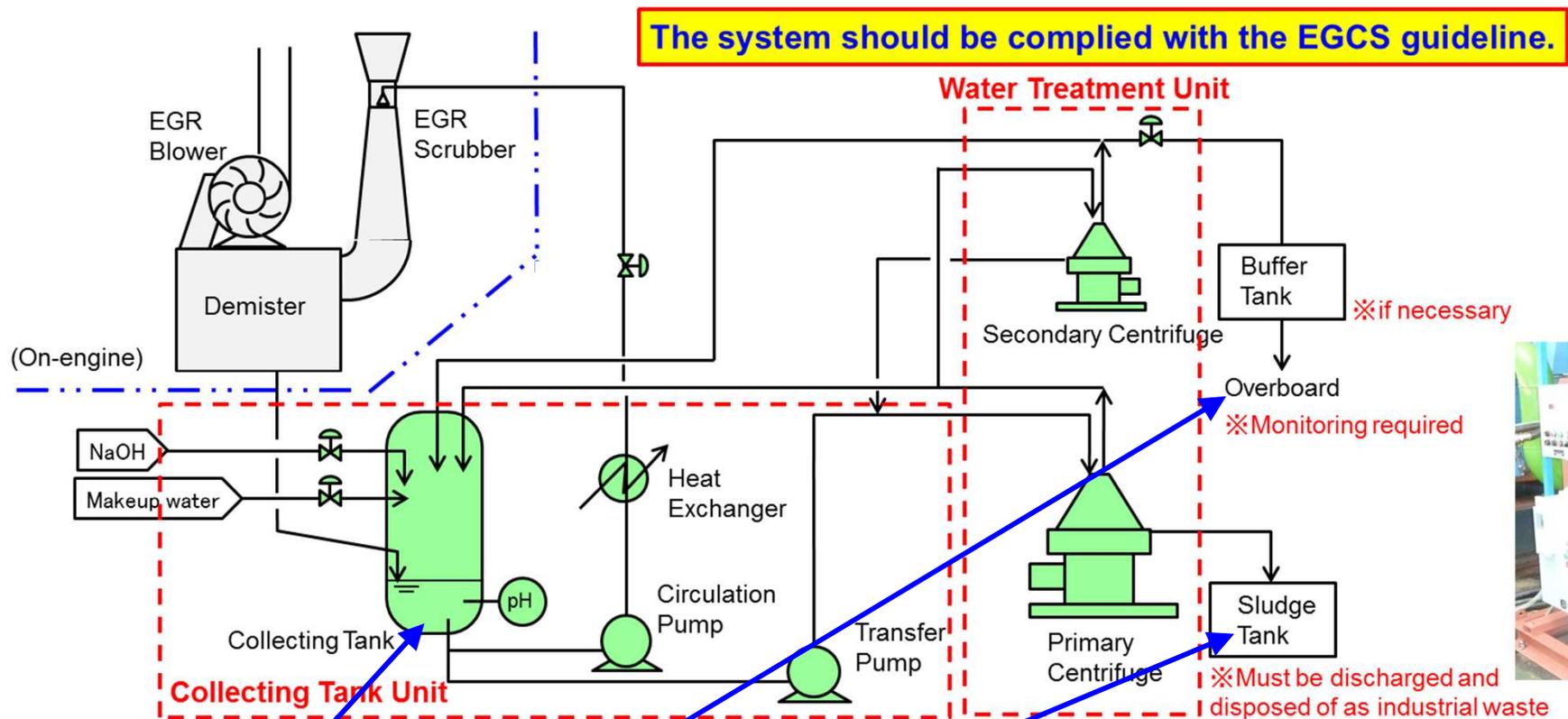
- 非EGR時は従来エンジンと同じ
- 掃気は空気 (O₂濃度 ≒ 21%)
- 燃焼が良かったため、NO_x排出量大



<EGR時(ECA内)>

- EGRバルブを開き、排ガスの一部を再循環させる
- 掃気は空気と再循環排ガスの混合気 (O₂濃度 ≒ 16~18%)
- 燃焼を緩慢にし、NO_x生成抑制

2. 低圧EGRシステム[水処理システム]



(before treatment)



(after treatment)



(sludge)

- 水処理システムはプライマリ/セカンダリ遠心分離機、諸ポンプ、諸タンク、熱交換器、バルブ類およびセンサ類により構成
- プライマリ遠心分離機はスクラバ循環水を常時清浄に保つための役割、セカンダリ遠心分離機は排水を基準値以下の清浄度にするための役割を担う

2. 低圧EGRシステム[主な特徴]

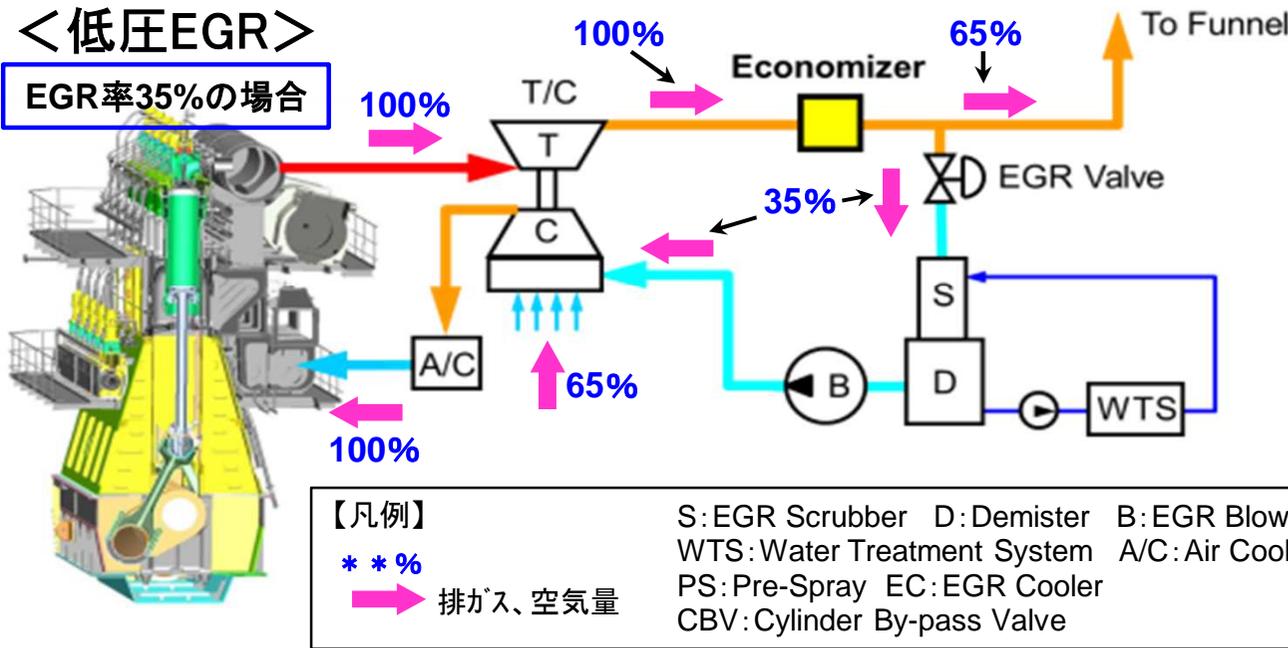
- **シンプルな構造**
“少ない部品、配管による構成”.
- **シンプルな制御**
“少ない制御バルブ、過給機運転モード変更なし”.
- **初期コストと運用コストの抑制**
“シンプルな構造”
“少ない燃費悪化、ボイラー追い焚き不要”

⇒ **低圧EGRシステムの大きな利点**

2. 低圧EGRシステム[高圧システムとの比較]

<低圧EGR>

EGR率35%の場合



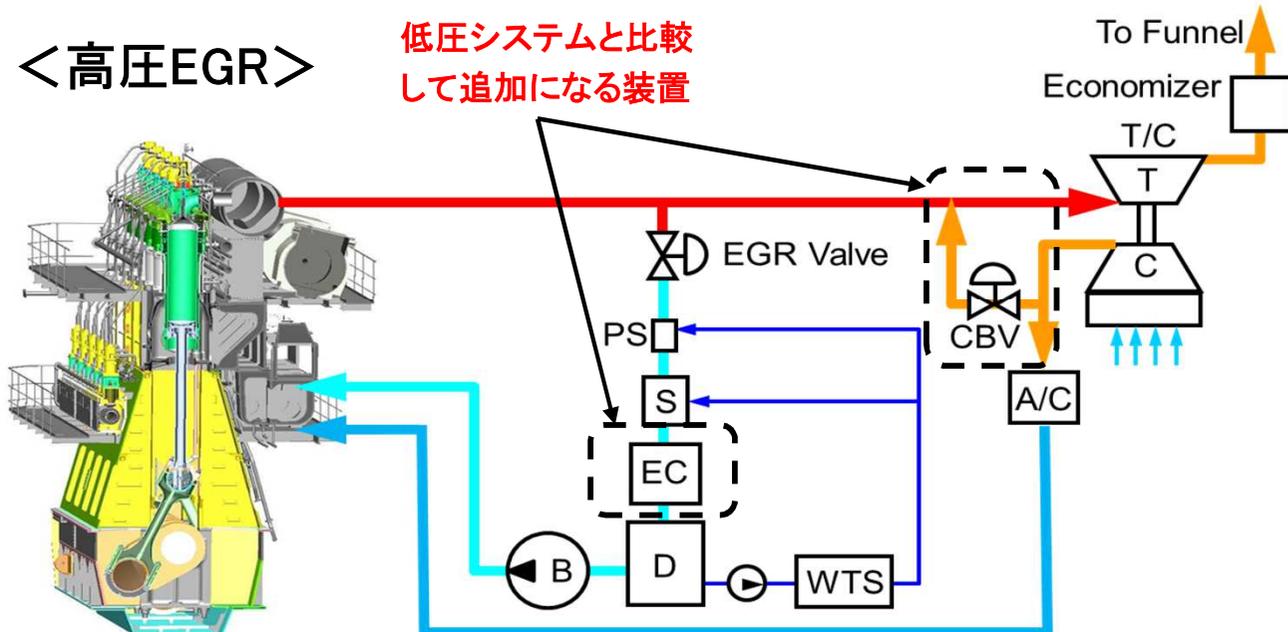
<低圧EGR>

- EGRガスの分岐は過給機後流の低圧排ガス
- EGRガスを洗浄するスクラバー部は低温・低圧のため、シンプルな構造
- 過給機吸込負圧を利用できるため、EGRブロア動力を小さくできる



<高圧EGR>

低圧システムと比較して追加になる装置



<高圧EGR(他社システム)>

- EGRガス分岐は過給機上流の高圧ガス
- 構成部品が低圧と比べて多く、またEGRガスを洗浄するスクラバー部が高温・高圧のため、複雑になる
- 高圧ガスを処理して掃気に合流させるため掃気圧レベル以上に昇圧する必要があり、EGRブロア動力が大きくなる

3. 陸上運転結果[陸上試験設備(全体)]

6UEC45LSE-Eco-B2

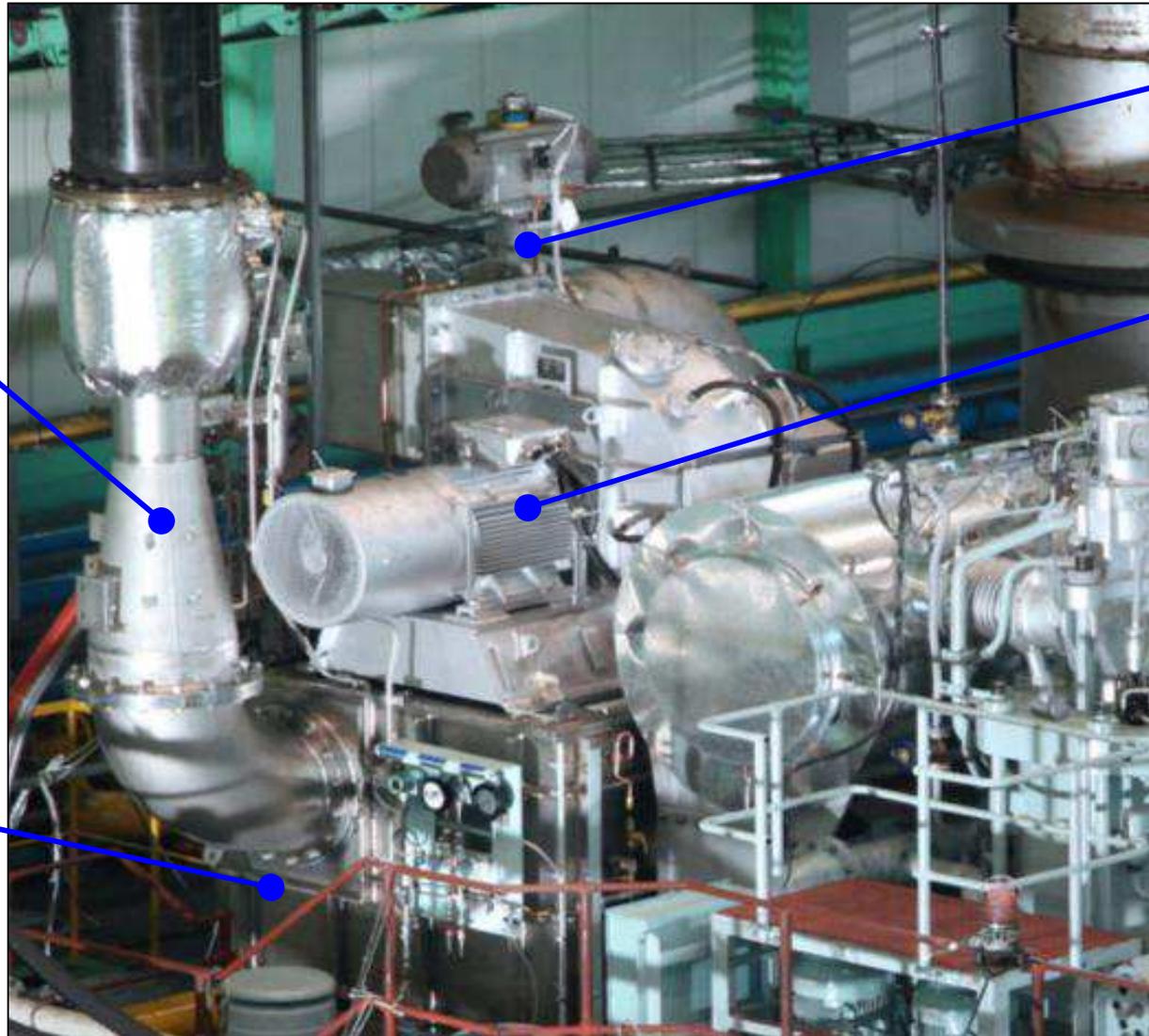
EGRユニット

コレクティングタンク
ユニット(CTU)
【工場運転用】

水処理ユニット(WTU)
【工場運転用】



3. 陸上運転結果[EGRユニット]



EGRスクラバ

EGR出口バルブ

EGRブロア

デミスタ

EGRユニット(拡大)

3. 陸上運転結果[結果のサマリ]

EGRシステム評価

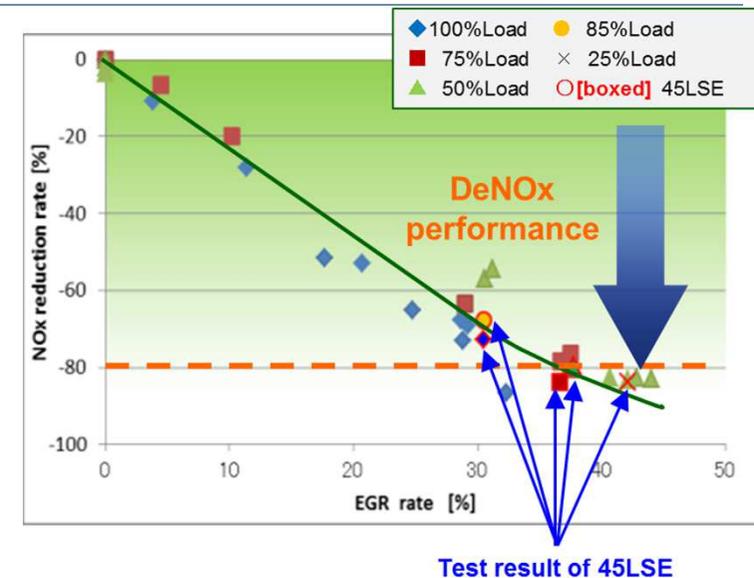
- EGR ON/OFF、負荷応答性確認、110%負荷運転、非常停止等、システムとしての動作に問題ないことを検証。
- 各部温度計測を実施。

NOx排出性能

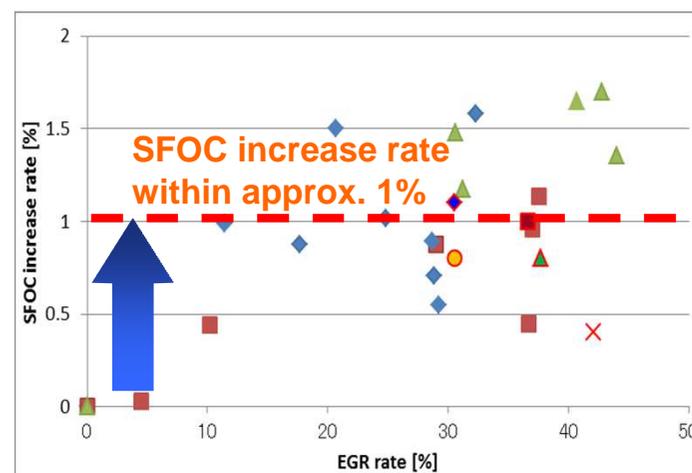
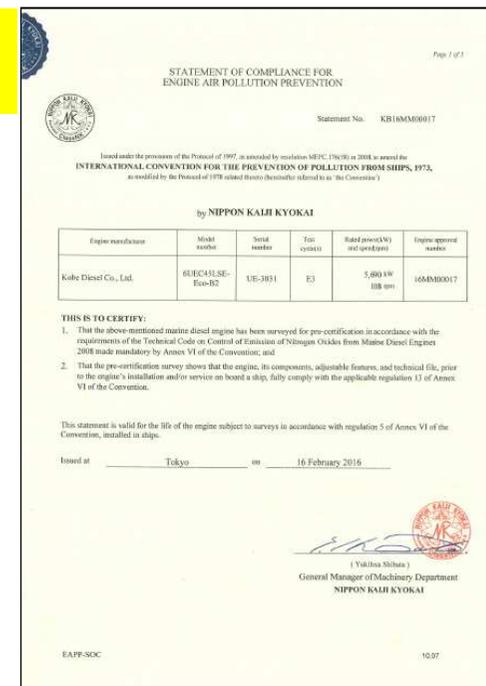
- FOVマッチング、各パラメータマッチングにより、性能最適化を実施。
- 日本海事協会お立会の下、NOx受検を実施し、IMO NOx TierIII規制適合を確認。
⇒IMO NOx E3 mode: 3.2g/kWh (TierIII規制値3.4g/kWh)

主機性能

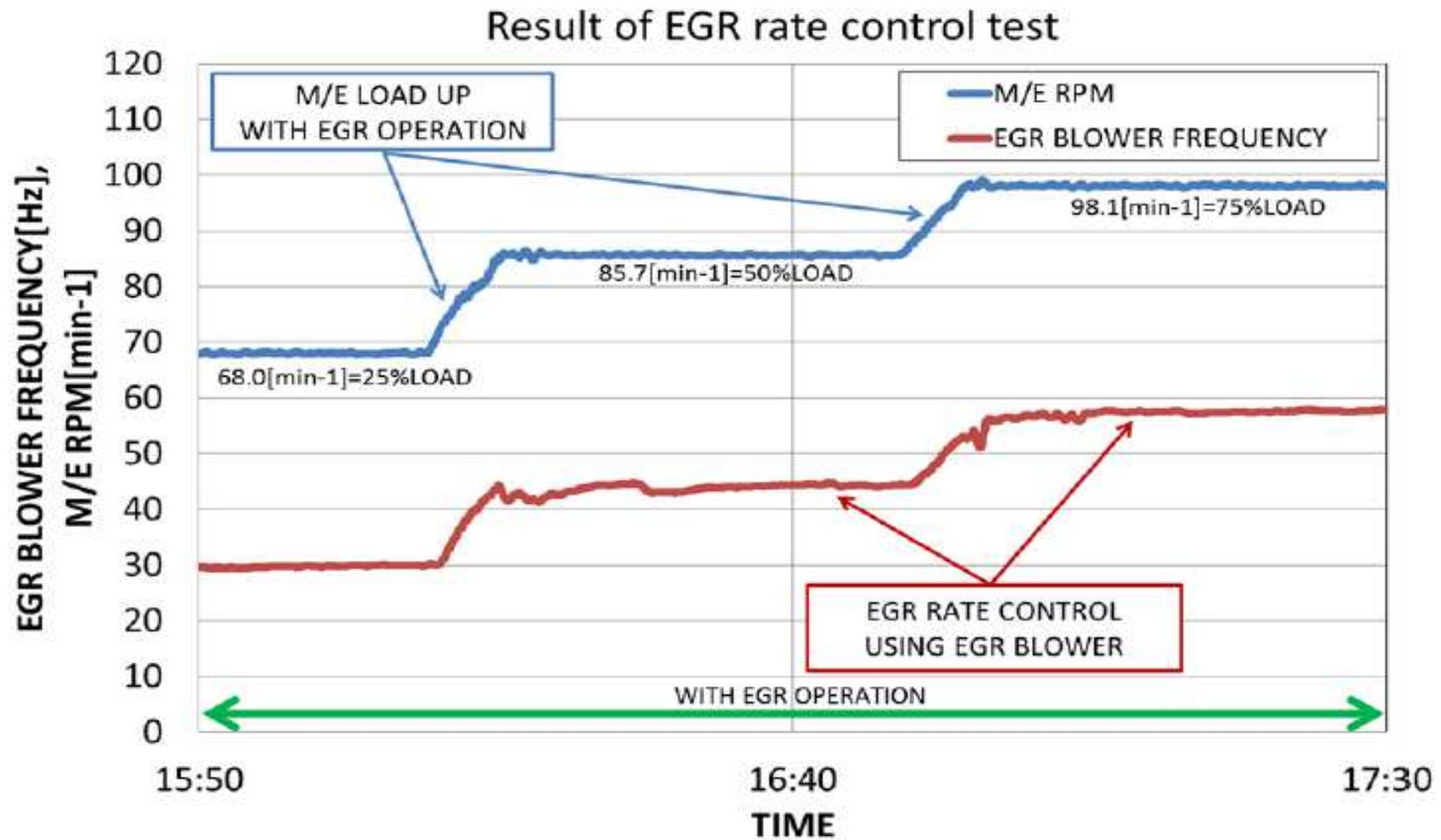
- 燃費及び排ガス温度等、所期の性能を達成。
⇒燃費悪化は略1%以内！



Tier III approval

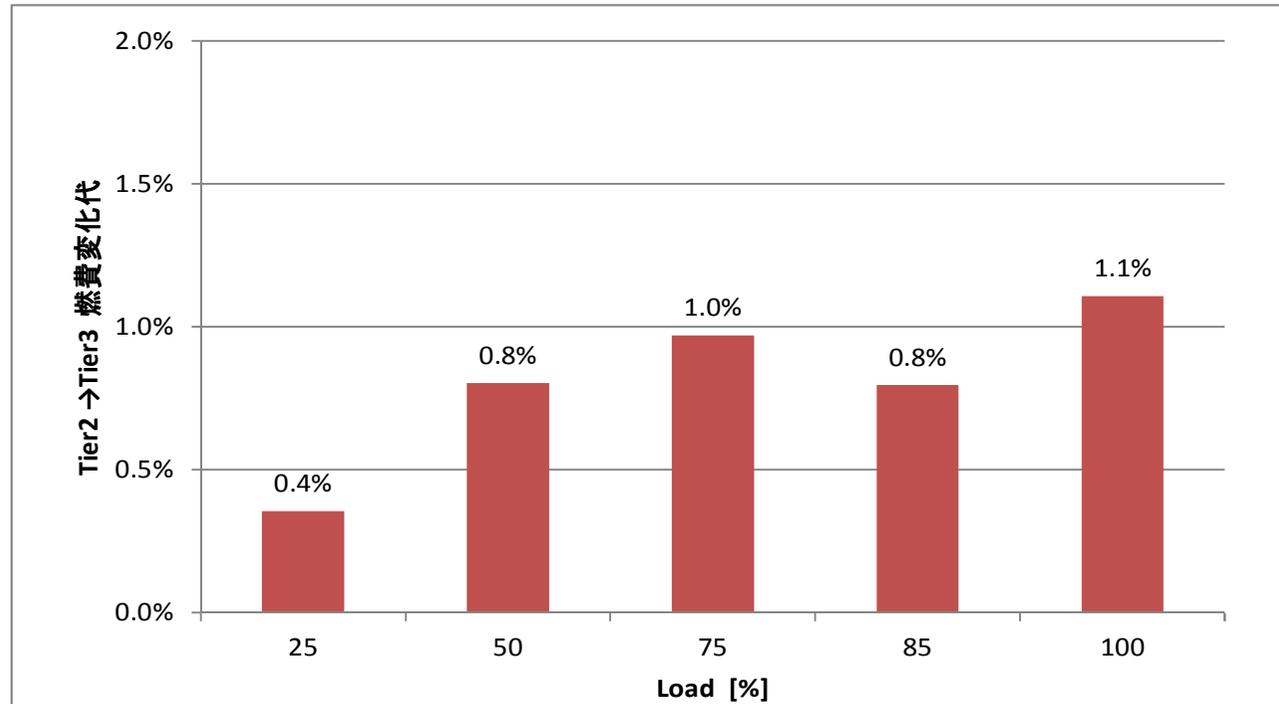


3. 陸上運転結果[負荷応答性確認]



⇒ 負荷変動に追従してEGRガス量を制御できていることを確認。

3. 陸上運転結果[各負荷燃費性能]

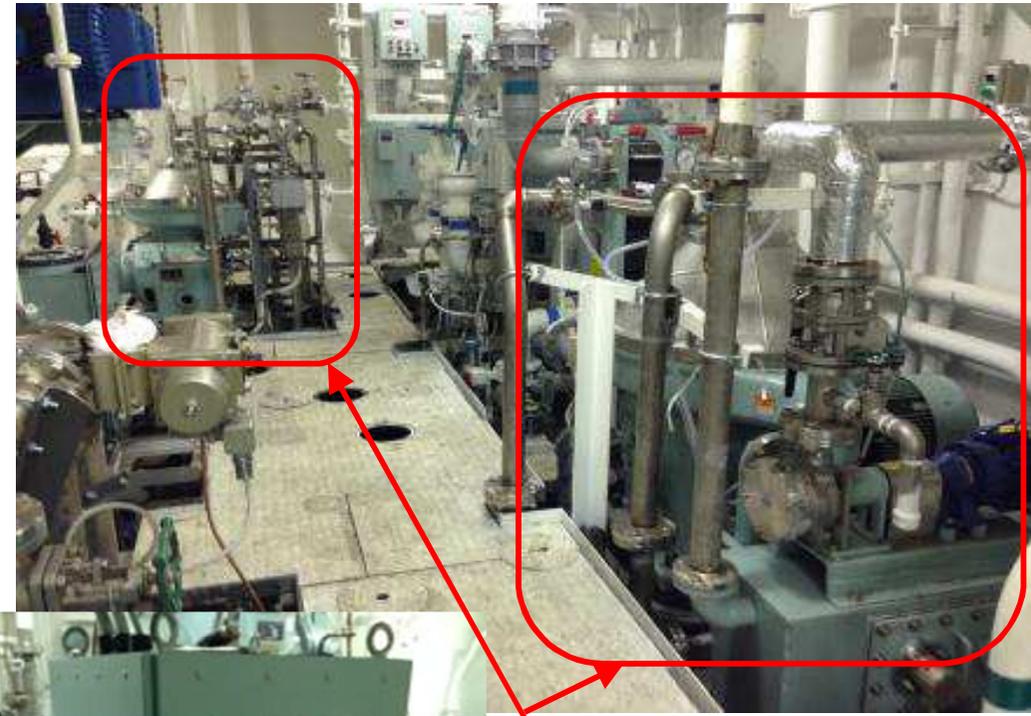


⇒NOx排出量TierⅢ規制値(3.4g/kWh)に適合するセッティングで各負荷燃費悪化約1%程度であり、他社公表値より悪化代小。

4. 海上運転結果[EGRシステム搭載状況]



Engine installation



Water Treatment Unit (WTU)



Control Panels



Waste Water Monitoring Sensor Unit (WWMSU)

4. 海上運転結果[結果のサマリ]

● EGRシステム検証

- EGR ON/OFF、負荷応答性確認、非常停止等、陸上運転と同様にシステムとしての動作に問題ないことを検証。
- 水処理装置を含めた全体システム運転を実施。(陸上運転は工場設備を使用)

● NO_x排出および主機性能

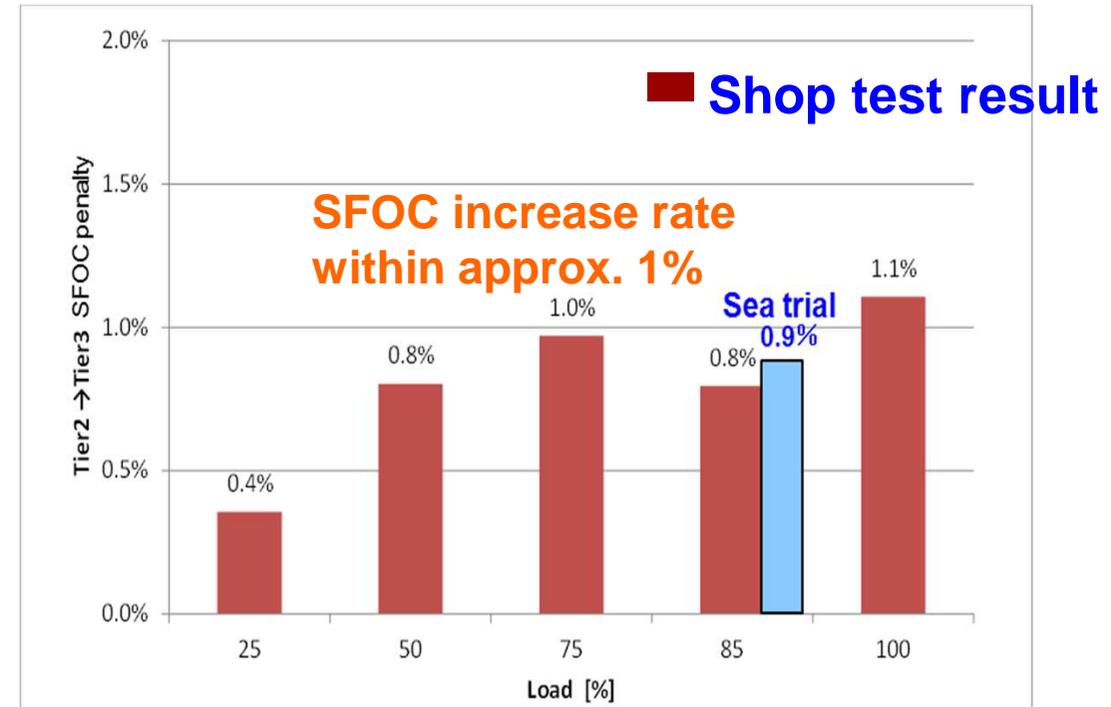
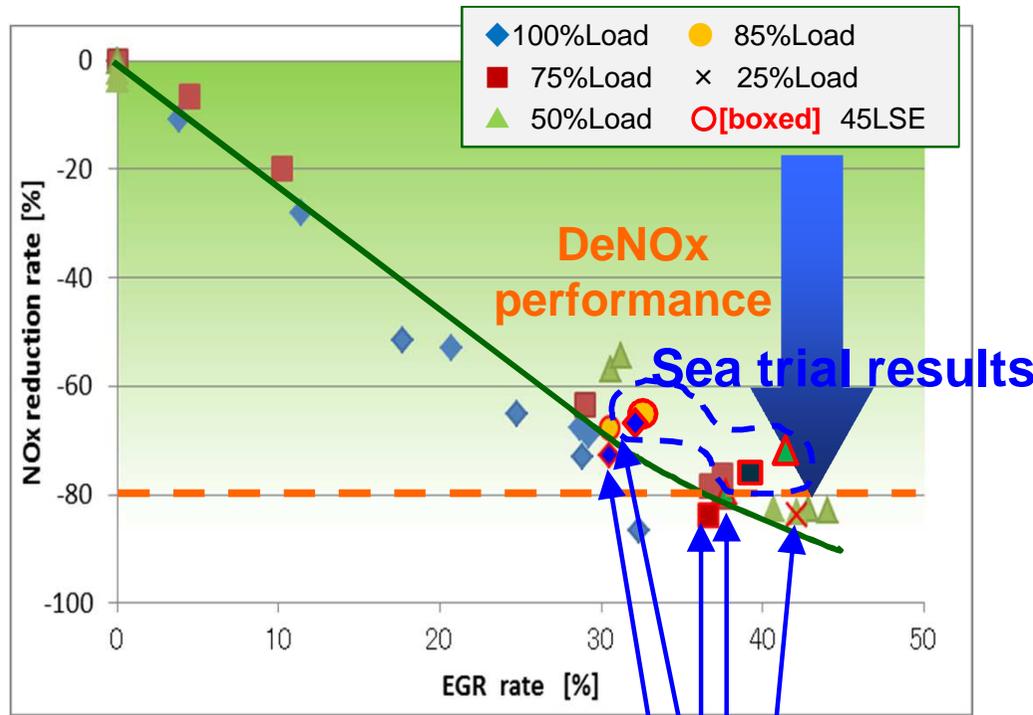
- 燃費、NO_xとも陸上運転の性能と同等の結果が得られた。
- A重油とC重油での運転を実施、性能データ取得。

● 水処理装置

- 実運転にて、船外排出水の水質につき確認。
- 排水モニタリングおよび制御が問題なく行われていることを確認。

4. 海上運転結果[燃費、NOxの確認計測]

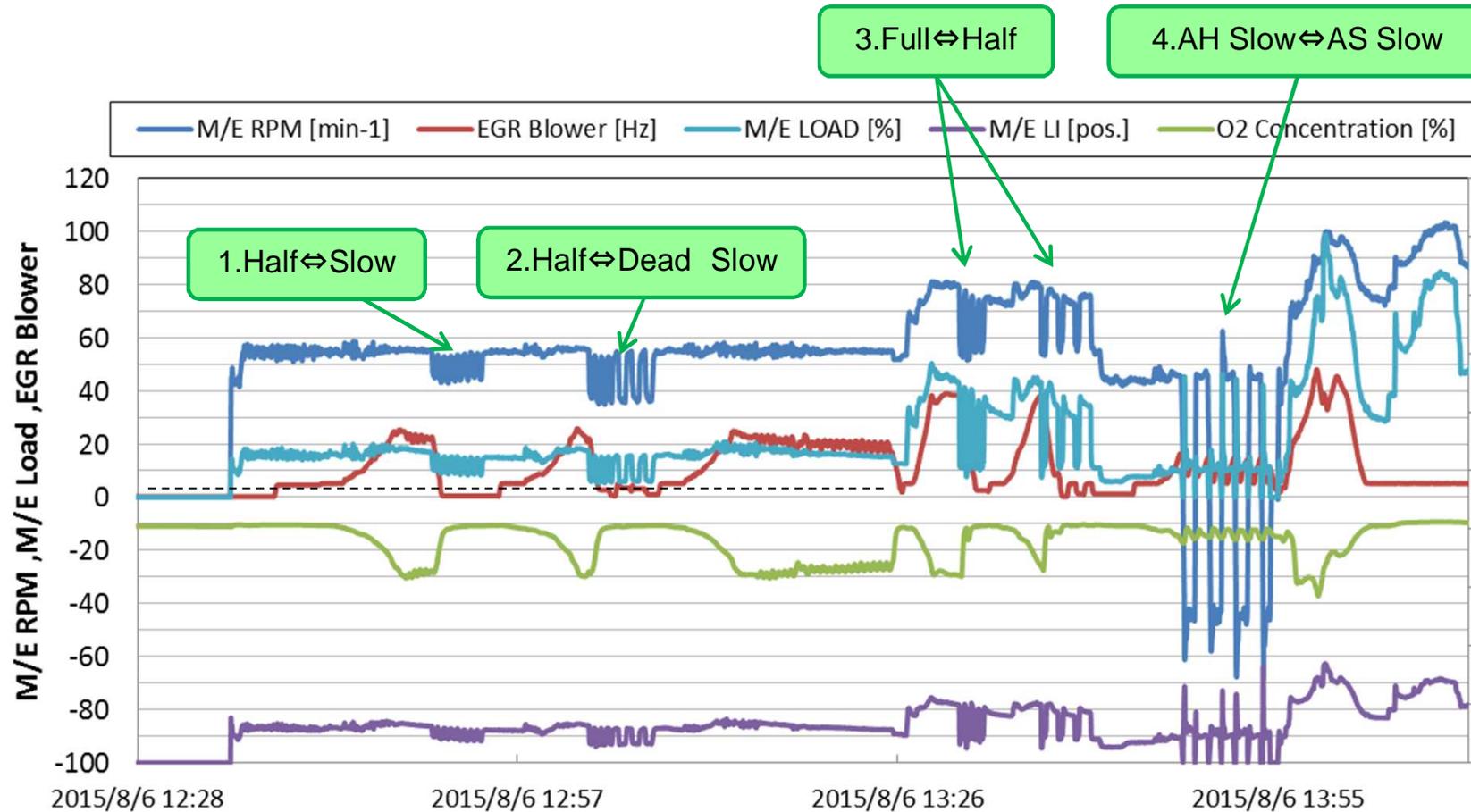
海上運転結果（過去の陸上試験結果との比較）



Shop test results of 45LSE

⇒NOx低減については過去の試験結果と同等の性能範囲内にあることを確認。燃費悪化は陸上、海上とも約1%以内！

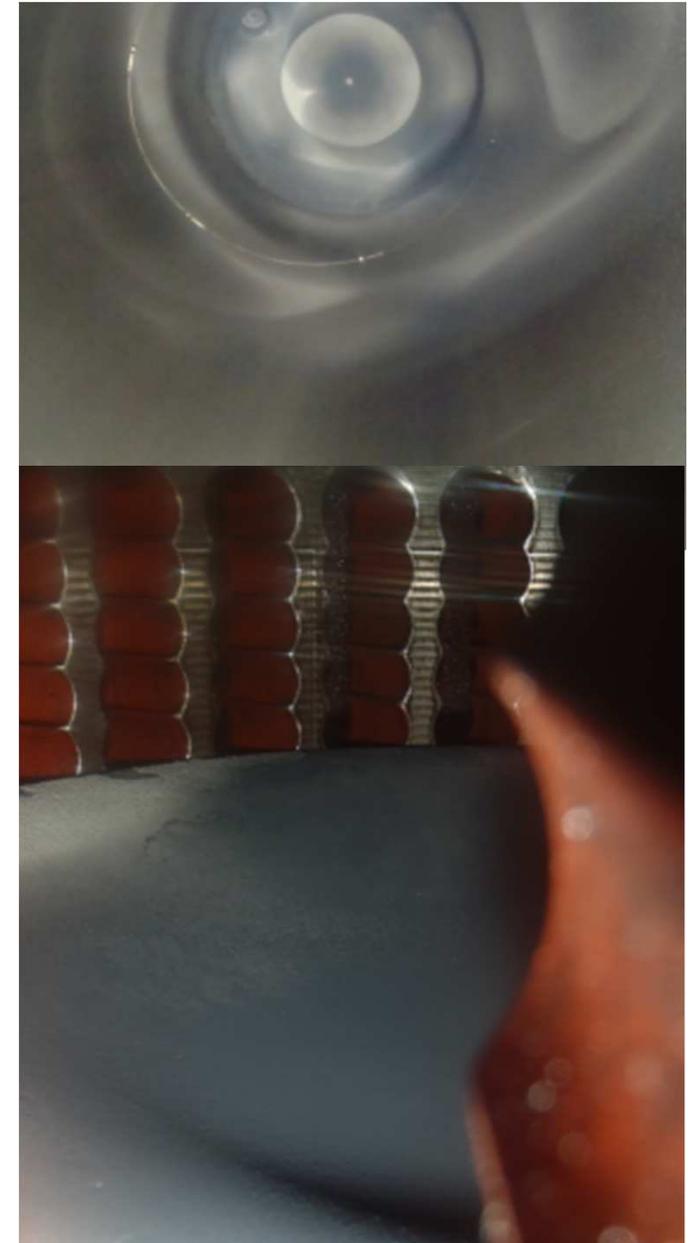
4. 海上運転結果[負荷応答性]



⇒ 港灣操船を模擬した運転でもアラーム等が発生することなく
運転継続できる事を確認。

4. 海上運転結果[点検結果]

EGR:52hr(陸上43h+海上9h)



[No.1cyl.リング・ライナ]

- 異常な摩耗等無く良好。

4. 海上運転結果[点検結果]

EGR:52hr(陸上43h+海上9h)



[過給機コンプレッサ翼前縁部及び背側]



[EGRブローア翼]

- 少量の塩(えん)及び煤の付着有るが問題なし

5. 実船航海試験結果[結果のサマリ]

● EGR運転時間:

- EGRの総運転時間は約555h(乗組員殿のみでの運転含む)
- 78時間の連続運転も実施。

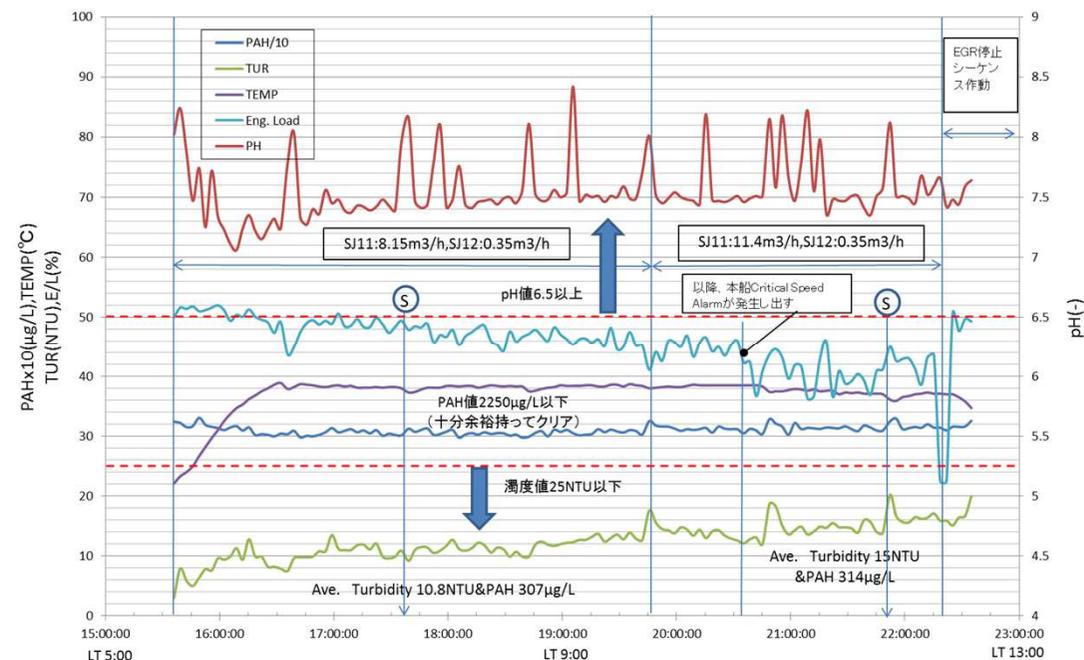
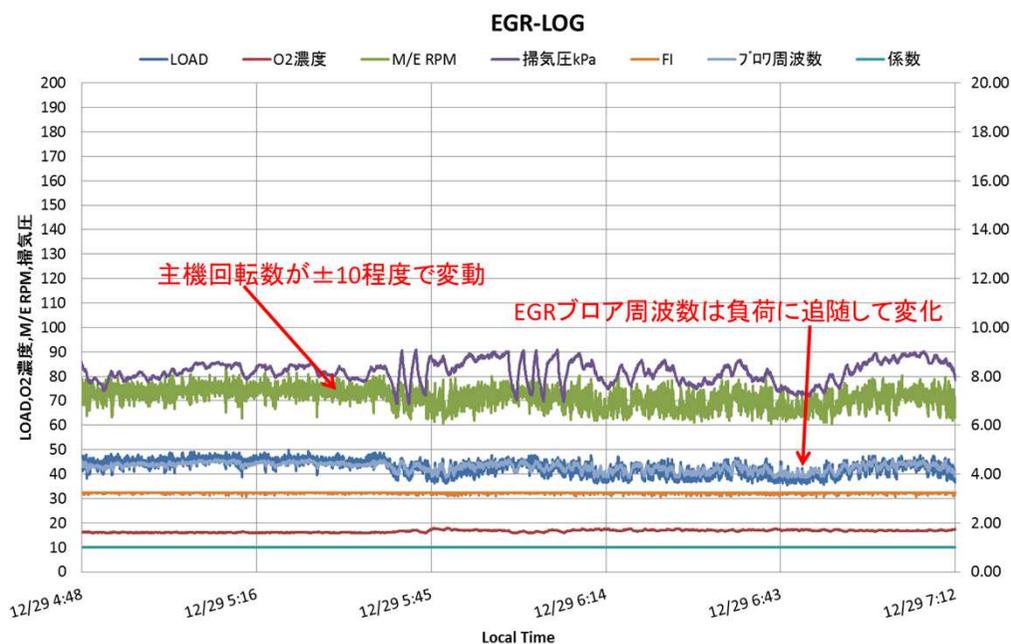
● これまでに得られた成果:

- 水処理装置の運転パラメータの最適化
- EGR関連装置の耐久性検証
- ピストンリング、ライナ等の主機信頼性の確保
- スラッジの陸揚げ設備の正常動作確認
- 荒天時のシステムの安定動作の確認
- 各種燃料によるEGR運転にて排水規制を満足

● 経験した初期不適合(全て改善済み):

- 各部配管、装置内面の発錆、塗装の剥離
- 補助ブロー軸シール部からのエア漏洩
- 制御装置のソフトウェアのバグ

5. 実船航海試験結果[荒天時追従性]



海象: Phenomenal 風力: 9-10 船首側

- ・荒天時の主機負荷変動に対し、EGRシステムが追従し、正常に制御されている
- ・荒天によるトルクリッチ運転の状況下においても、問題なく運転可能

⇒荒天等の厳しい環境下でも安全運航できるシステムになっている事を確認

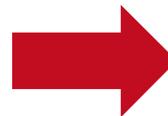
5. 実船航海試験結果[不適合事例]

O₂センサ配管の錆による閉塞によりO₂濃度計測値が異常となった。

⇒配管をSUS製にする事で、その後、再発なし。



【SGP管(錆あり)】



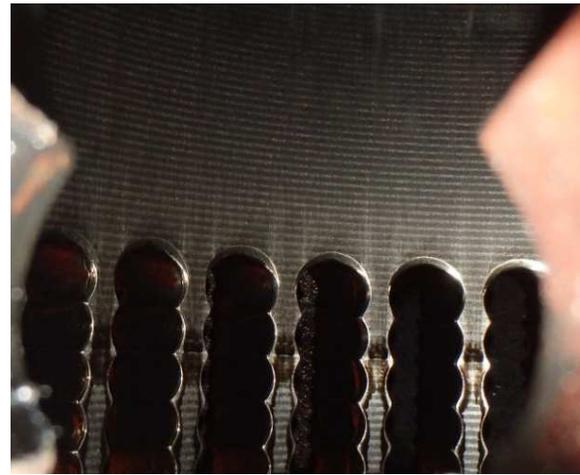
【SUS管(錆なし)】

5. 実船航海試験結果[点検結果]

各装置、部品の健全性を確認した



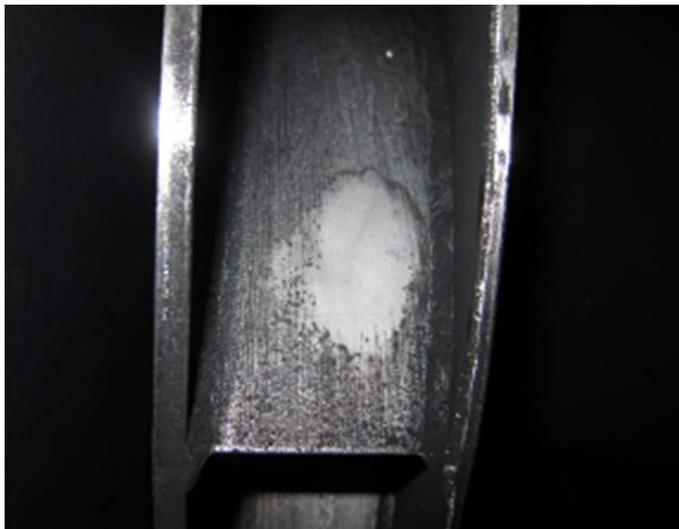
【ピストンリング】



【シリンダライナ】



【掃気トランク】



【EGRブロアインペラ】



【EGRブロアインペラ】



【遠心分離機】

5. 実船航海試験結果[スラッジ陸揚げ]

EGR運転より生じたスラッジは規制上、海洋投棄、船上焼却が出来ないため、産業廃棄物として陸揚げ。

- スラッジタンクを約35°Cまで加温し、流動性を確保した上で陸揚げを実施。
- 回収車(10t)を本船横付けし、暴露甲板上のEGRスラッジ排出口と接続。
- 本船内のEGRスラッジ排出ポンプにて移送、8.7m³のスラッジを約2時間で陸揚げ完了。

⇒今後は各国の排出方法調査が必要※

※境港では本船から排出後、回収液の税関検査があったが、中国においては特になし。

(税関検査: 不用船用品等取卸申告書、排出時の状況説明(写真)、サンプル液の提示)



5. 実船航海試験結果[乗組員トレーニング]

- ・EGRシステムの原理、基本構成を装置を見ながら説明。
 - ・取扱い説明書を抜粋した簡易マニュアル、チェックリストを作成し、EGR ON/OFFといった定常作業を乗組員と共に行うことで、システムへの理解を深めた。
 - ・メンテナンスやトラブルシューティングのデモも実施し、理解の深化を図った。
 - ・最終的には、乗組員殿からも「我々だけで運転できる」と力強い言葉を頂いた。
- 技師下船後、乗組員単独でEGR運転が実施出来ており、扱い易いシステムとなっている。



制御盤を見ながらの説明

<p style="text-align: center;"><u>Low pressure EGR manual</u></p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Start and stop <ul style="list-style-type: none"> 01-01. Procedure for the EGR system start&stop 01-02. EGR check list 2. Watch and measurement <ul style="list-style-type: none"> 02-01. Watch & measurement list 02-02. MME measurement sheet 02-03. Start data recording method on DATA LOGGER 02-04. Stop data recording method on DATA LOGGER 3. Maintenance at EGR system running <ul style="list-style-type: none"> 03-01. Procedure for change line to the air trap 03-02. Procedure for cleaning the strainer ST401 03-03. Procedure for cleaning the strainer ST301 03-04. Procedure for cleaning the strainer ST402 03-05. Procedure for bypassing the air trap 03-06. Procedure for checking of air cooler washing 03-07. Procedure for discharging the rust from rust trap 03-08. Method for adjustment the feed rate of SJ-11 03-09. Re-pause the turbidity high alarm method 4. Maintenance & trouble shooting <ul style="list-style-type: none"> 04-01. Procedure for O2sensor calibration procedure 04-02. Procedure for washing the air trap 04-03. Procedure for EGR blower idling 04-04. Procedure for exchange O2 sensor unit filter 04-05. Procedure for the water treatment system start & stop 04-06. Procedure for discharging the collecting tank to buffer tank 04-07. Confirmation Method for P-14 actuation 04-08. The procedure for the unloading of the sludge from the EGR system 04-09. EGR controller trouble shooting 	<p style="text-align: right;"><01-01></p> <p style="text-align: center;">Procedure for the EGR system start/stop EGR start/stop 手順</p> <p><u>EGR system start</u> the fuel oil from HFO to MGO and adjust the order speed to actual</p> <p>切り替えて下さい、そして指令速度を実速度に合わせてください。</p> <p>EGR system based on the attached check list. clear, please resolve the problem with check list.</p> <p>EGR システムをチェックして下さい。 ければ、チェックリストに割り問題を解決して下さい。</p> <p>en the MAIN screen on EGR control panel and push "READY" (When YES/NO selection screen appears, select YES.) ition begins blinking, and the EGR system preparation start the each equipment.</p> <p>ルの MAIN 画面を開き、「READY」ボタンを押して下さい。(その時、 *の*ので、YES を選択して下さい。)</p> <p style="text-align: right;">1 / 9</p>	<p style="text-align: right;"><03-01></p> <p style="text-align: center;">procedure for change line to the air trap エアトラップへの系統変換手順</p> <p>the position as shown in below sequence. the equalizer valve C: close => open dry and check the no air leakage, if there is air leakage, please clear.</p> <p>set 3 way valve A: air cooler - bypass => air cooler - air trap drain 3 way valve B: bypass - drain => air trap - drain</p> <p>に閉めてください。 => open</p> <p style="text-align: right;">1 / 2</p>
--	---	---

6. 研究開発成果

本共同研究により以下の成果が得られた。

- **IMO NOx TierⅢ規制適合：**

エンジン搭載型低圧EGRシステムにてIMO NOx TierⅢ規制に適合可能である事を確認（NK承認を取得）

- **排水規制適合：**

C重油に加え、MGO、低硫黄A重油でのEGR運転にて、水処理後の排水がEGCSガイドラインに規定の規制値に適合する事を確認

- **耐久信頼性確保：**

実船航海試験にて得られた経験を基に塗装仕様の変更や材質変更により、耐久信頼性の確保を達成

本研究開発事業の成果が全世界の環境負荷を低減できる将来は間近に迫っており、今後は商務フェーズに入っていくが、引き続きシステムの最適化に努め、より広く世界に普及させ海運業界の発展に貢献する所存。

本研究開発は、日本海事協会殿の「業界要望による共同研究」として支援を受けて実施しました。同協会の御支援に感謝申し上げます。