

三井造船における環境規制対応技術の開発について



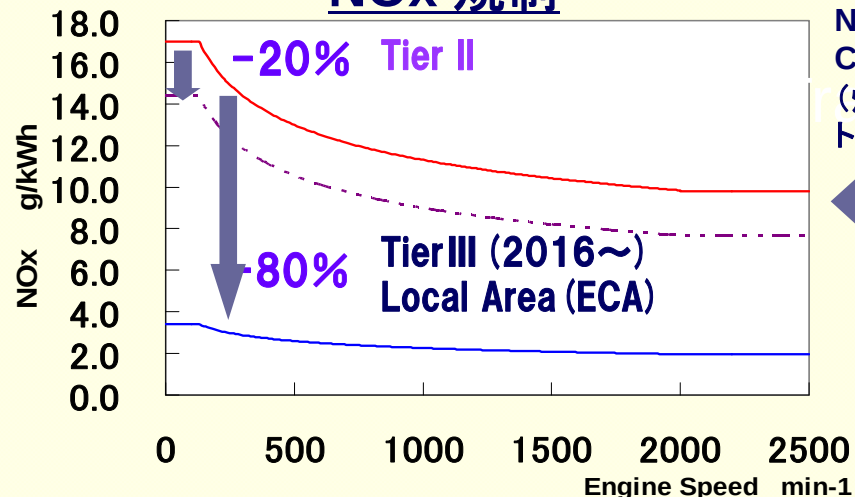
- Development of Environmentally-friendly engine -



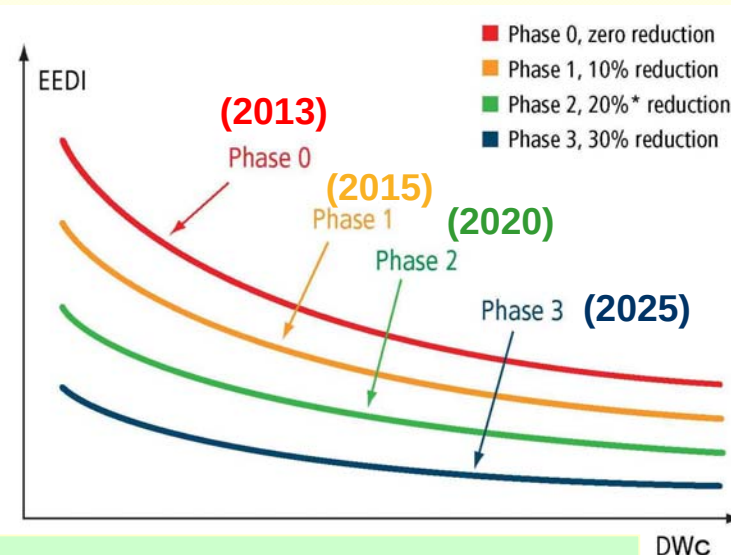
IMOによる環境規制



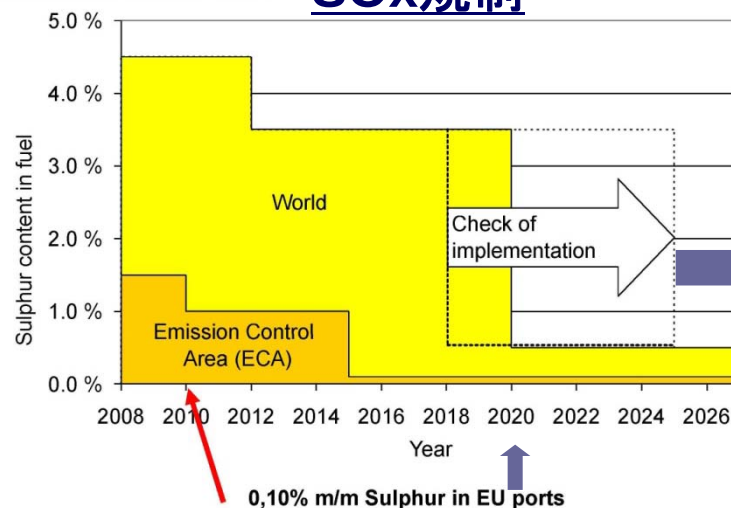
NO_x 規制



GHG(CO₂) 規制:EEDI



SO_x規制



EEDI : Energy Efficiency Design Index
(エネルギー効率設計指標) 1tonの荷物を1マイル運ぶのに必要な船舶からのCO₂排出量

(EEDIが基準値をクリアせねば就航できない)

2020年～ 重油燃料価格高騰の可能性大

経済性・環境規制の両面から、
ガス焚機関への関心の高まり



三井造船株式会社
MITSUI ENGINEERING & SHIPBUILDING CO.,LTD.

環境負荷低減技術

ClassNK
R&D PROJECT



国土交通省「船舶からのCO2削減技術開発支援事業」の補助対象事業及び、一般財団法人日本海事協会との共同研究体制により、主要環境負荷低減技術開発を実施

CO₂削減技術

高効率機関

- ◇ Mark9 / Dot2 / G-engine
- ◇ 電子制御 (ME)
- ◇ ディレーティング

部分負荷性能改善

- ◇ 過給機可変ノズル (VTA)
- ◇ 過給機カット
- ◇ シーケンシャル過給機
- ◇ 排気ガスバイパス (EGB)

排熱回収システム適用

- ◇ 油圧活用: THS (Turbo Hydraulic System)
- ◇ 低温排熱回収システム: VPC (Variable Phase Cycle)

日本海事協会の「業界要望による共同研究スキーム」による支援を受けて開発

排ガス分離
システム: EGSS
(Exhaust Gas
Separation
System)

EGR

SCR

NOx削減
技術

ME-GI

SOx削減
技術

ガス焚機関

スクラバ



MES

三井造船株式会社
MITSUI ENGINEERING & SHIPBUILDING CO., LTD.

CO₂削減技術／高効率機関



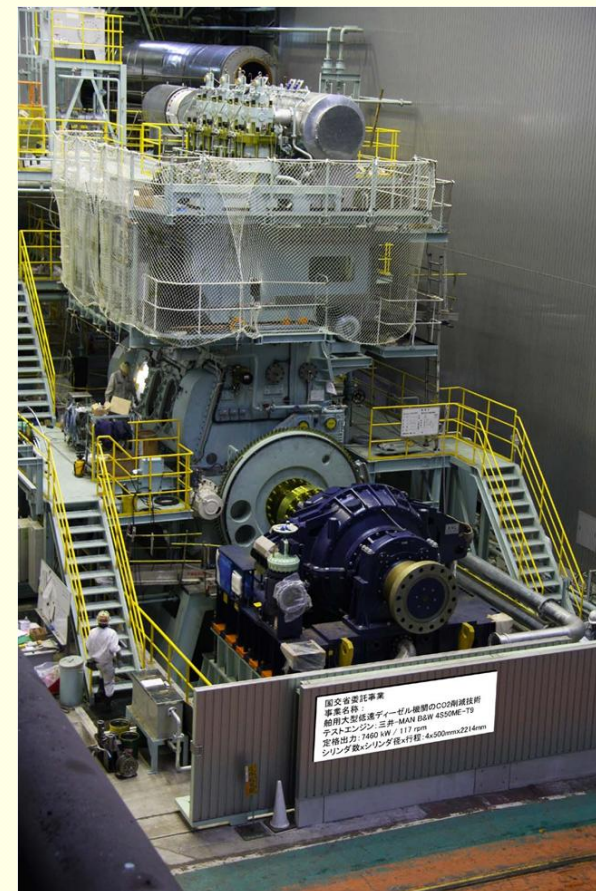
国土交通省「船舶からのCO₂削減技術開発支援事業」の補助対象事業及び、一般財団法人日本海事協会との共同研究体制にて実施

電子制御と過給機可変ノズルの組み合わせにより、
各負荷での性能最適化をテストエンジンにて実証

テストエンジンは排熱回収技術等の検証にも活用

テストエンジン 4S50ME-T緒元

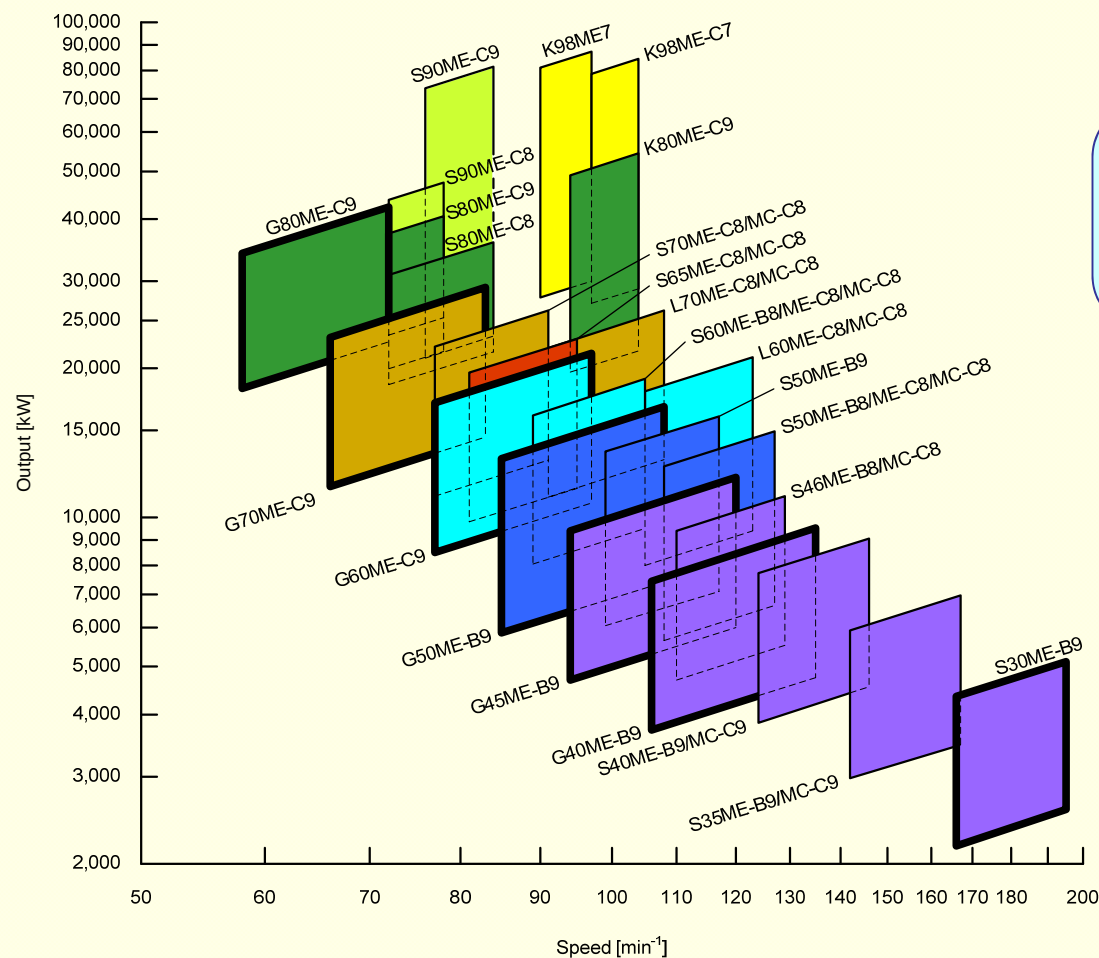
	従来 (機械式)	4S50ME-T (電子制御)	
Mark NO.	8.1	9.2(現状)	10(将来)
シリンダ径 cm	50	←	←
ストローク cm	200	←	←
回転数 rpm	127	←	←
Pe MPa	2.0	←	2.2
Pmax MPa	16	18.5	(20)
出力 kW	6,640	7,120	7,460



CO₂削減技術／最新機関



G形機関(Green Ultra Long Stroke Engine)



- ・ロングストローク化
- ・高出力/低回転
- ・プロペラ効率

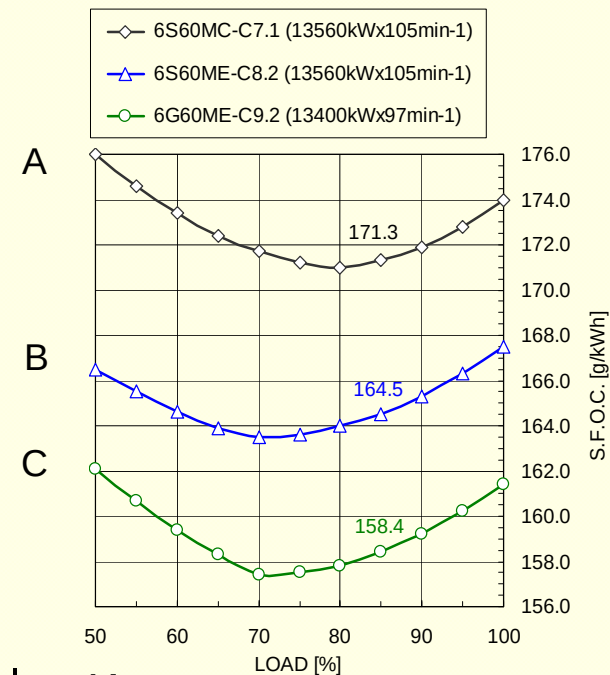
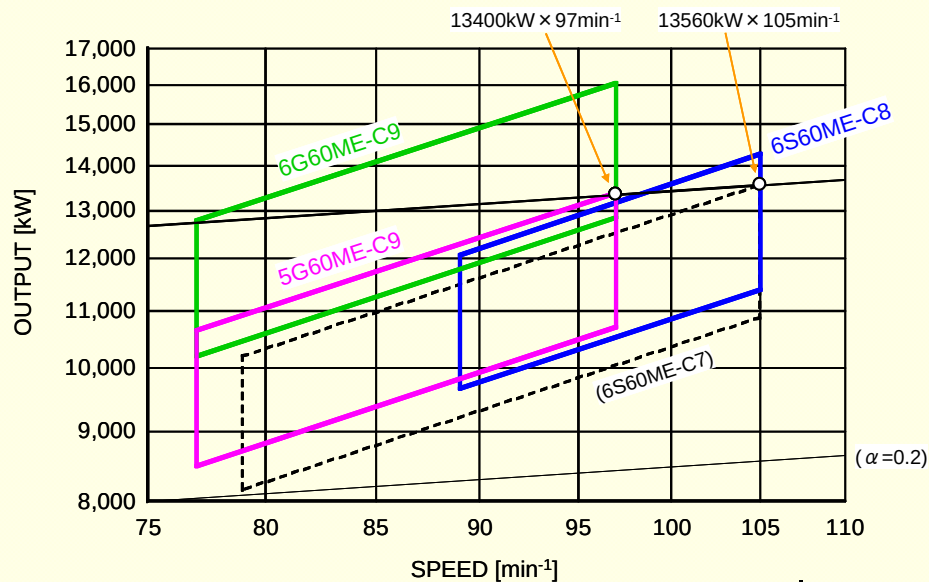
高効率

燃費改善

CO₂削減技術／最新機関



機関選定による燃費改善例

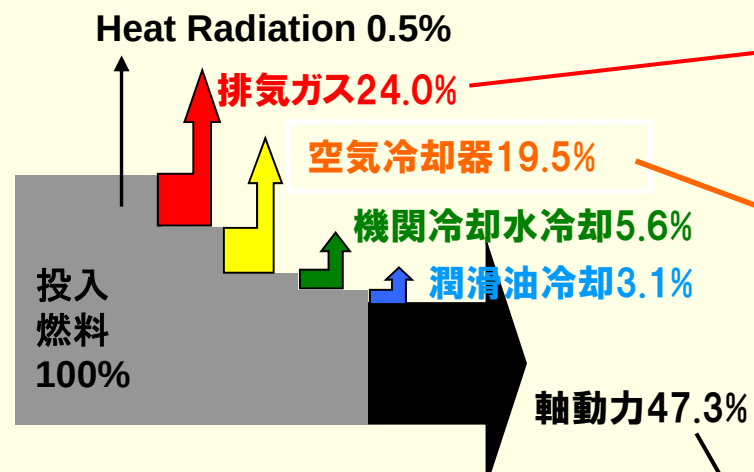


	エンジン型式	燃費 g/kWh	ton/day	
	6S60MC-C7	171.3 (Ref)	47.4 (Ref)	A
➤ Up rating機関の採用	6S60MC-C8	169.8 (-0.9%)	47.0 (-0.4)	
➤ Dot 2機関の採用	6S60MC-C8.2	167.8 (-2.0%)	46.4 (-1.0)	
➤ 電子制御機関の採用	6S60ME-C8.2	164.5 (-4.0%)	45.5 (-1.9)	B
➤ G形機関の採用	6G60ME-C9.2	158.4 (-7.5%)	43.3 (-4.1)	C

CO₂削減技術／排熱回収システム適用



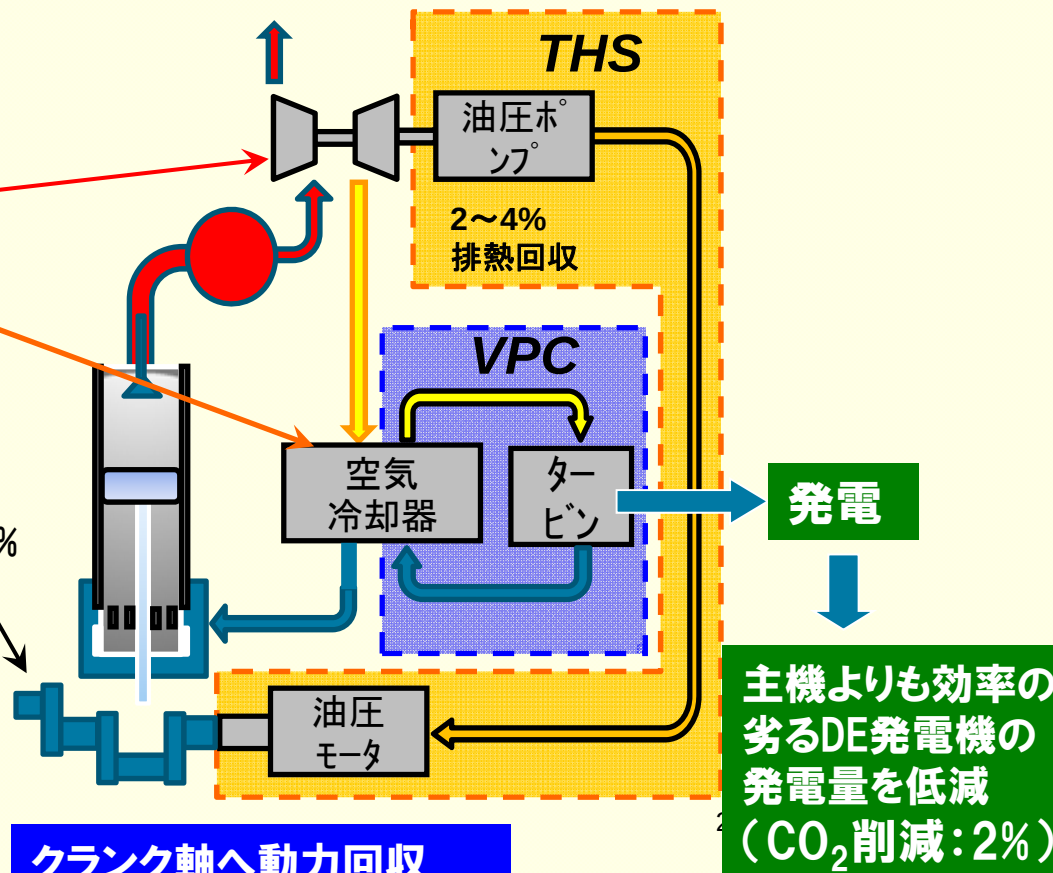
船用主機の熱収支例



THS: Turbo Hydraulic system
油圧を活用したシステム

特徴: コンパクト・安価

国土交通省「船舶からのCO₂削減技術開発支援事業」の補助対象事業及び、一般財団法人日本海事協会との共同研究体制にて開発実施



クランク軸へ動力回収
(CO₂削減: 2-4%)

低温排熱回収システム: VPC (Variable Phase Cycle)



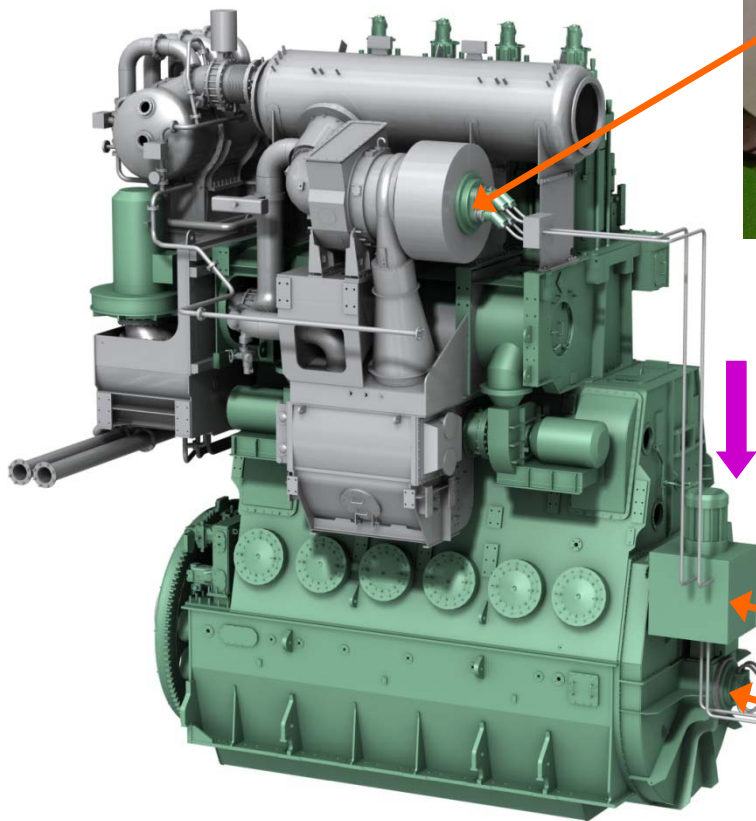
三井造船株式会社
MITSUBI ENGINEERING & SHIPBUILDING CO., LTD.

CO₂削減技術／排熱回収システム適用(THS)

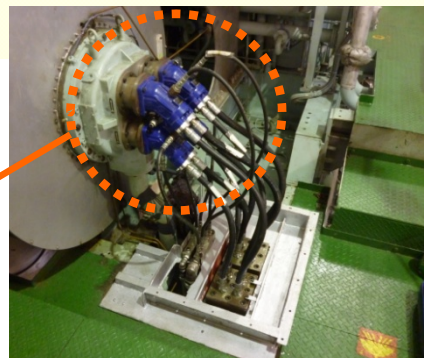


国土交通省「船舶からのCO₂削減技術開発支援事業」の補助対象事業及び、一般財団法人日本海事協会との共同研究体制にて実施

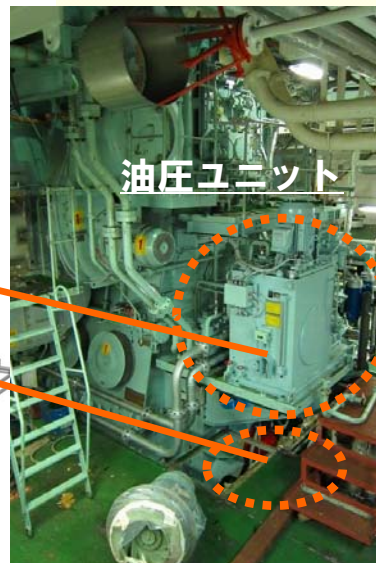
THS: Turbo Hydraulic System



燃料削減効果 2-4%



過給機付油圧ポンプ



油圧ユニット

クランク軸付油圧モータ

特徴:

- ・コンパクト
- ・エンジン内で完結
- ・安価

ばら積み船などの小型外航船に最適なシステム

テストエンジンにて最大4%削減確認(100%負荷時)

実船試験開始済
(56BC/6S60MC-C)
2.2%のCO₂(燃費)削減効果確認済(75%負荷)

副次的効果:
過給機出口排ガス温30度程度上昇→
排エコでの熱回収量も増加



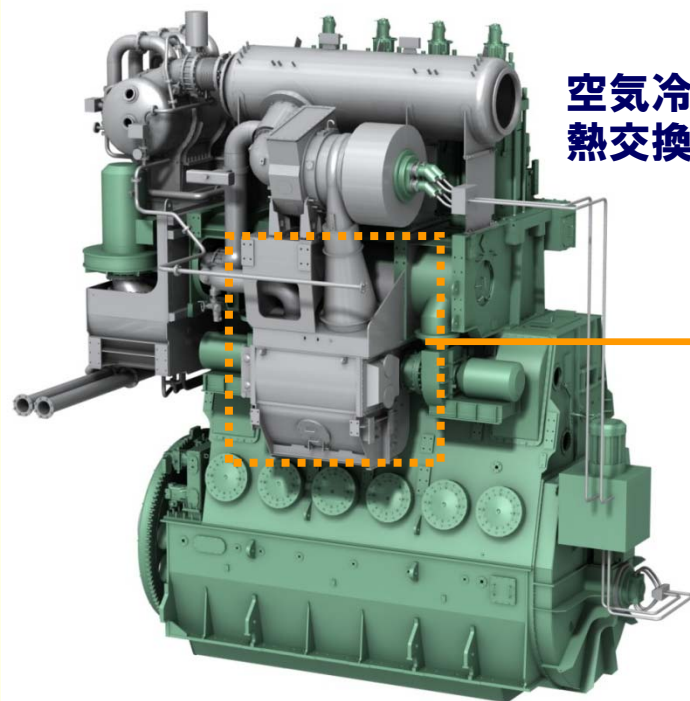
三井造船株式会社
MITSUI ENGINEERING & SHIPBUILDING CO.,LTD.

CO₂削減技術／排熱回収システム適用(VPC)



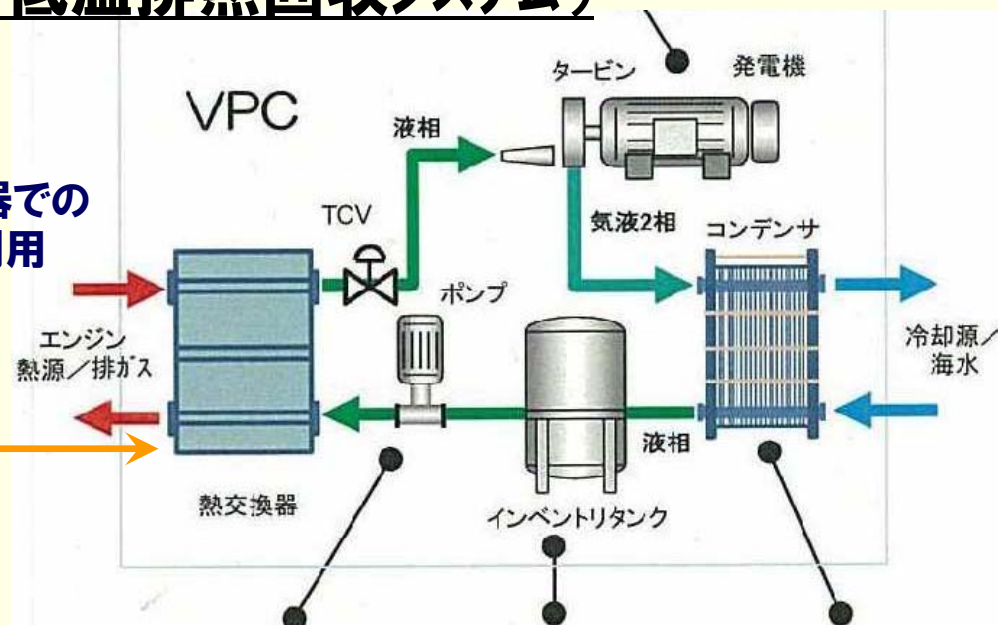
日本海事協会の「業界要望による共同研究スキーム」による支援を受けて開発

VPC: Variable Phase Cycle(低温排熱回収システム)



空気冷却器での
熱交換を利用

テストエンジン(4S50ME-C、約
7,100kW)にて約150kW(2%削減)
の電力回収を確認

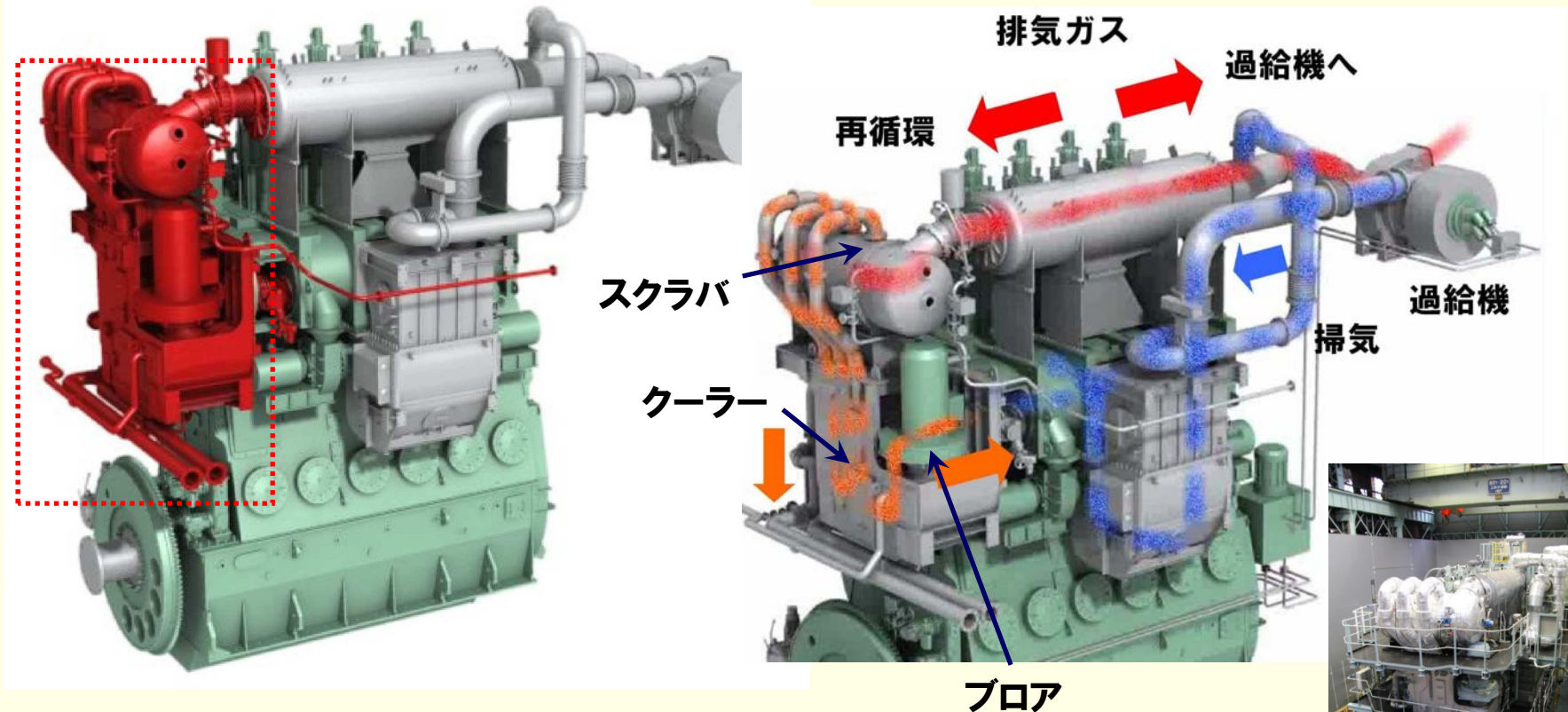


NOx Tier III対応技術／EGR：Exhaust Gas Re-circulation

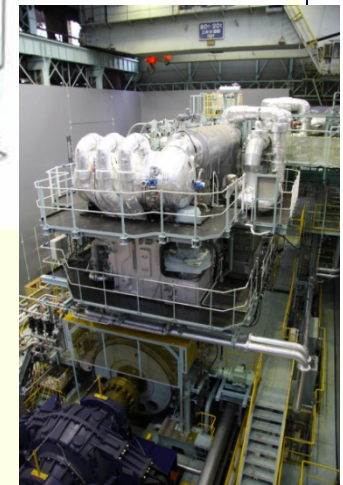
国土交通省「船舶からのCO2削減技術開発支援事業」の補助対象事業及び、一般財団法人日本海事協会との共同研究体制にて実施



EGR：排気ガス再循環 燃焼温度を下げNOxの生成量を減らす技術



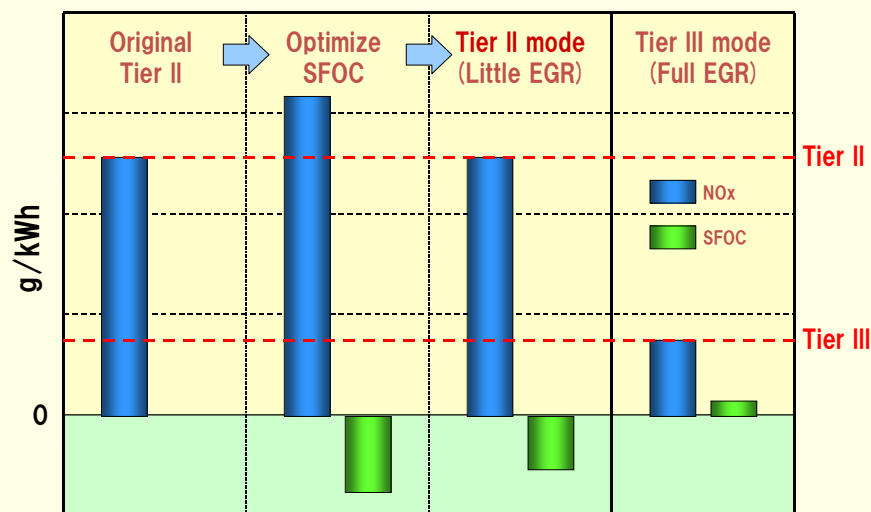
- ・エンジンに装備可能 → コンパクト(機関室設計への影響少)
- ・ECA外(二次規制レベル)では、省エネ機器として運用
低負荷域にてCO2排出(燃費)約3%減可能



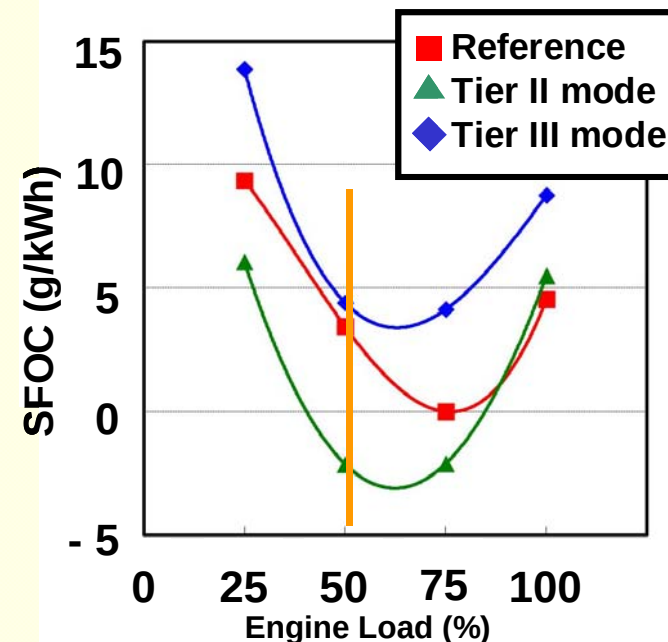
NOx Tier III対応技術／EGR：Exhaust Gas Re-circulation



国土交通省「船舶からのCO2削減技術開発支援事業」の補助対象事業及び、一般財団法人日本海事協会との共同研究体制にて実施



Tier II対応エンジンで、燃費を向上させるエンジン制御を行い、増加したNOxのみをEGRで除去することにより、Tier2レベルを維持した状態で燃費向上が可能になる。



EGR適用時のテストエンジンでの試験結果
(負荷50%)

Tier II対応時(ECA外)EGR適用により
CO2排出量削減率:3.6%
EGR機器動力(0.6%)を除き、
正味CO2排出量削減:3%

NOx Tier III対応技術／EGSS+SCR（過給機後配置）



国土交通省「船舶からのCO2削減技術開発支援事業」の補助対象事業及び、一般財団法人日本海事協会との共同研究体制にて実施

EGSS（高低温排気分離システム：Exhaust Gas Separation System） CO2削減およびNOx削減技術に大きく貢献する技術

EGSS

(Exhaust Gas Separation System)
排ガス分離システム

排ガスレシーバへ
(低温)

排ガスレシーバへ
(高温)

副弁

主弁（排気弁）

動作シミュレーション



排気ガスを高温ガスと低温ガスに分離し、
高温ガスのみ過給機 & SCRへ流す

→排ガス温度上昇(80-100度)

◇CO₂削減：

THSでの排熱回収率増加 : 1～2% 増加

◇NOx削減

SCRコンパクト化

・触媒塔高さ半減

・バーナー不要 などSCR競争力高まる



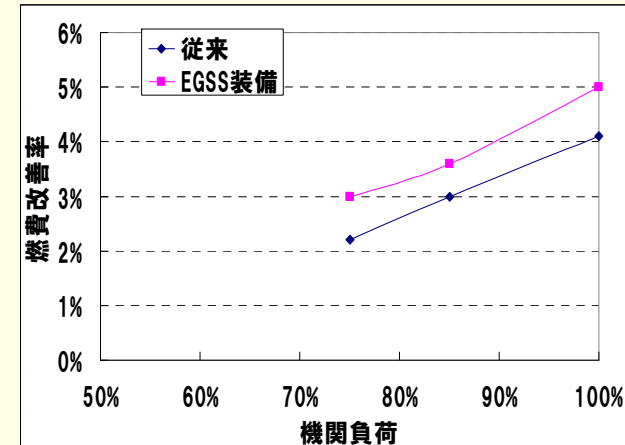
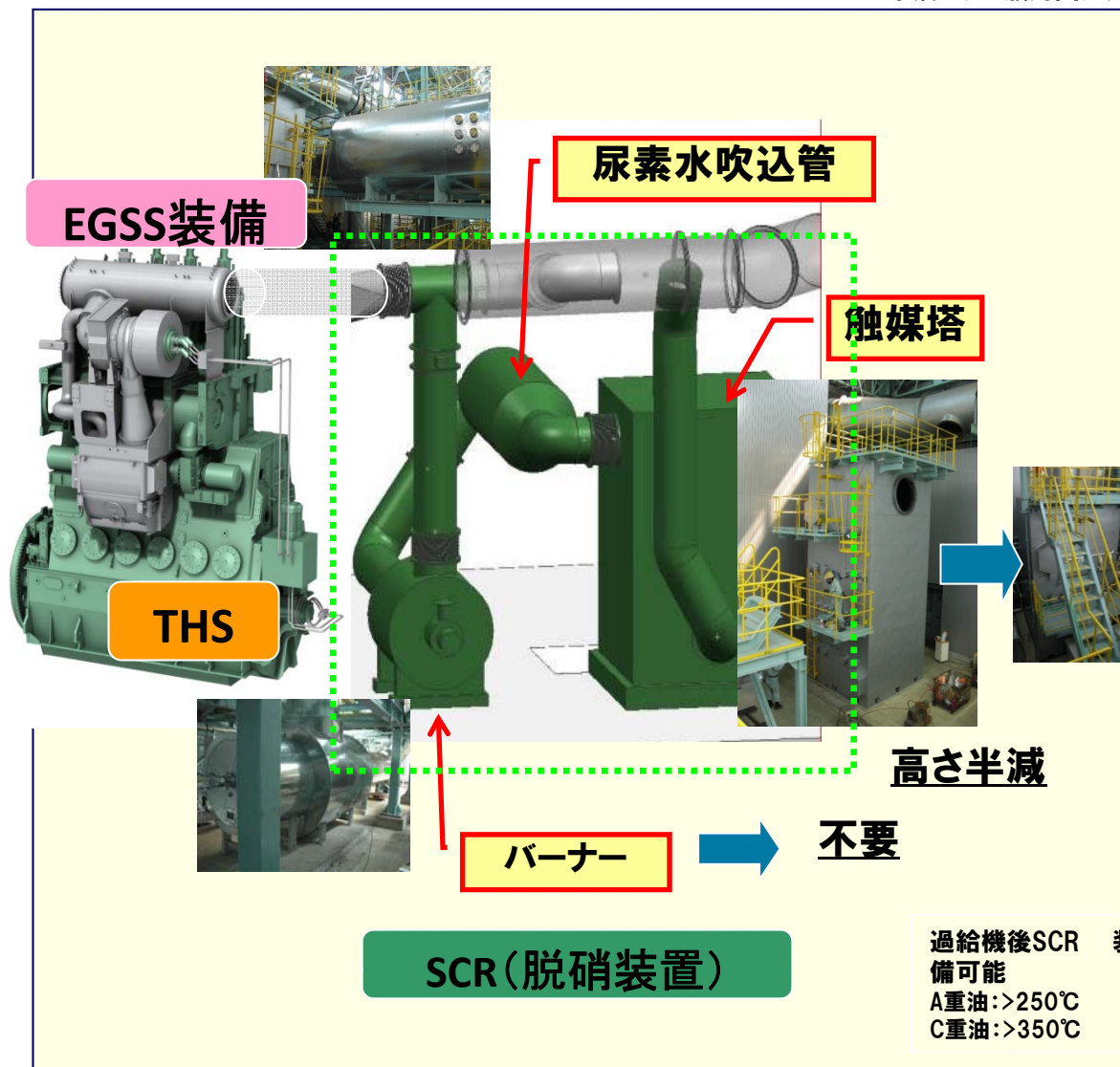
三井造船株式会社

mitsui engineering & shipbuilding co.,ltd.

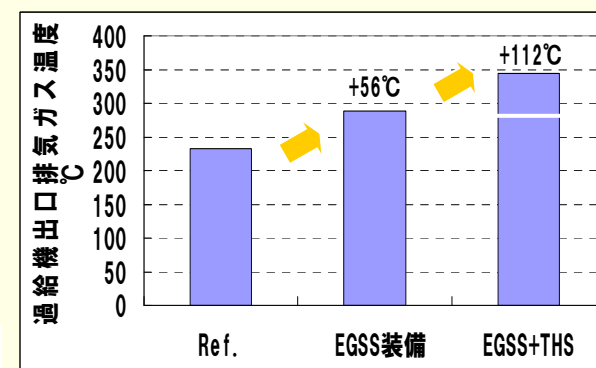
NOx Tier III対応技術／EGSS+SCR（過給機後配置）



国土交通省「船舶からのCO2削減技術開発支援事業」の補助対象事業及び、一般財団法人日本海事協会との共同研究体制にて実施



EGSSによるTHS装備時
CO₂低減率



SCRへの流入排気ガス温度

CO₂・NO_x・SO_x削減技術／ME-GI(ガス焚機関)



国土交通省「船舶からのCO₂削減技術開発支援事業」の補助対象事業及び、一般財団法人日本海事協会との共同研究体制にて実施

ME-GIとは？

船用で十分実績のある、通常の船用低速ディーゼル機関(DE)と主要構造は変更なく、ガスも焚けるDual Fuel (DF)機関である。

DEとほぼ同じタイミングでガスを噴射するため、熱サイクルもDEと同様であり、高効率である。中速DFエンジンのノッキング・メタンスリップ問題は無し。

開発の歴史

1994年 12K80MC-GI-S機関を三井造船千葉事業所に発電用として設置。約20,000hrの運転実績を基に、電子制御技術と結合され、ME-GIとして開発。

2013年4月

三井造船にて商船三井殿のご協力により、6S70ME-GIのデモンストレーション運転を実施

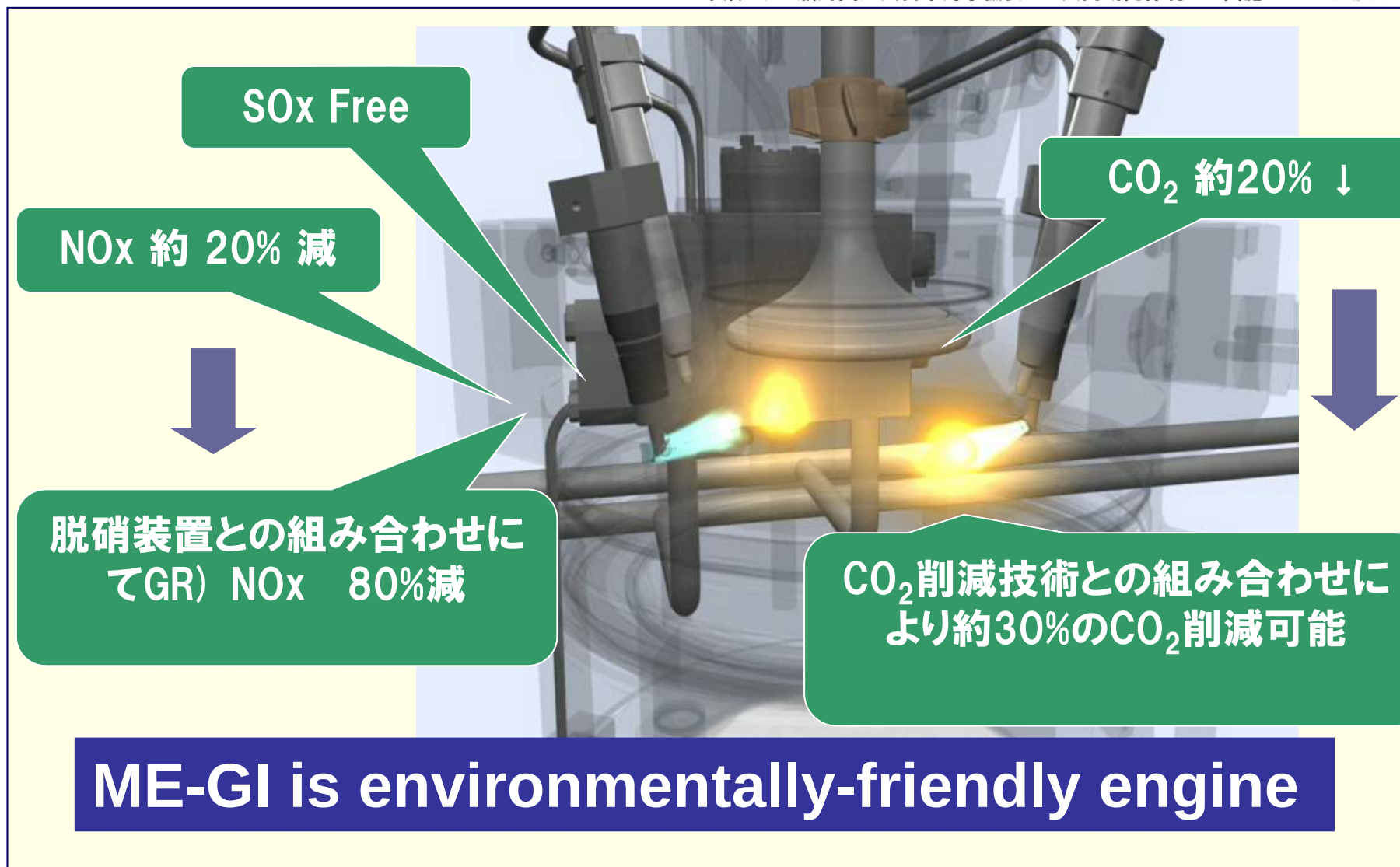
ME-GIが商品として完成した事、および、三井造船がME-GIの製造・試運転・供給可能な体制が整った事をPR



CO₂・NO_x・SO_x削減技術／ME-GI(ガス焚機関)



国土交通省「船舶からのCO₂削減技術開発支援事業」の補助対象事業及び、一般財団法人日本海事協会との共同研究体制にて実施

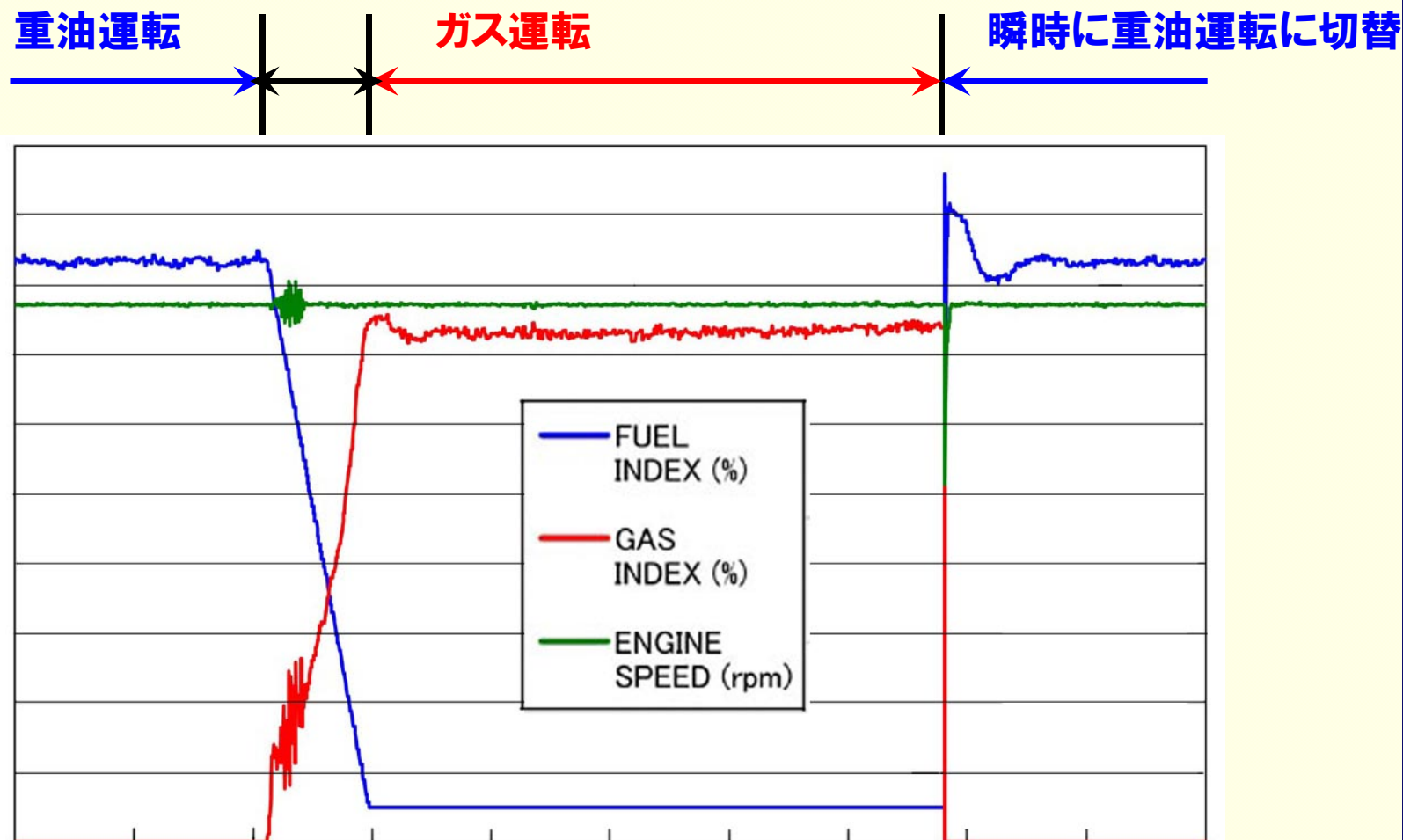


C02・NOx・SOx削減技術／ME-GI(ガス焚機関)



国土交通省「船舶からのCO2削減技術開発支援事業」の補助対象事業及び、一般財団法人日本海事協会との共同研究体制にて実施

運転結果例



環境規制対応技術纏め



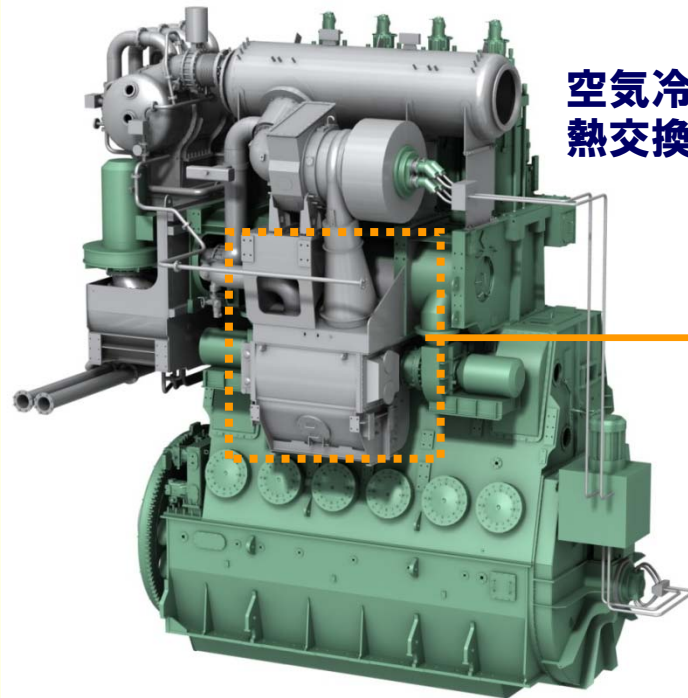
	SOx規制対応燃料	ディーゼル機関	排熱回収技術(CO ₂ 削減技術)	CO ₂ 削減率	NOx規制対応技術	備 考
1	LSF (低硫黄燃料)	低速2サイクル機関 + CO ₂ 削減技術	THS/VPC	10%以上 可能	EGR / SCR+EGSS	燃料代高騰の可能性大
2	HFO(重油) + スクラバ	低速2サイクル機関 + CO ₂ 削減技術	THS/VPC	10%以上 可能	EGR / SCR+EGSS	機器設置スペース大
3	LNG	中速4サイクル機関	—	約20%	不要	メタンスリップ大
4	LNG	低速2サイクル ガス焚機関 (ME-GI)	—	約20%	EGR / SCR+EGSS	メタンスリップ問題なし
		低速2サイクル ガス焚機関 (ME-GI) + CO ₂ 削減技術	THS/VPC	約30%	EGR / SCR+EGSS	最も環境に優しく、経済性にも優れる推進システム
DF (Dual Fuel) engine not mentioned						

低温排熱回収システム(VPC)の開発



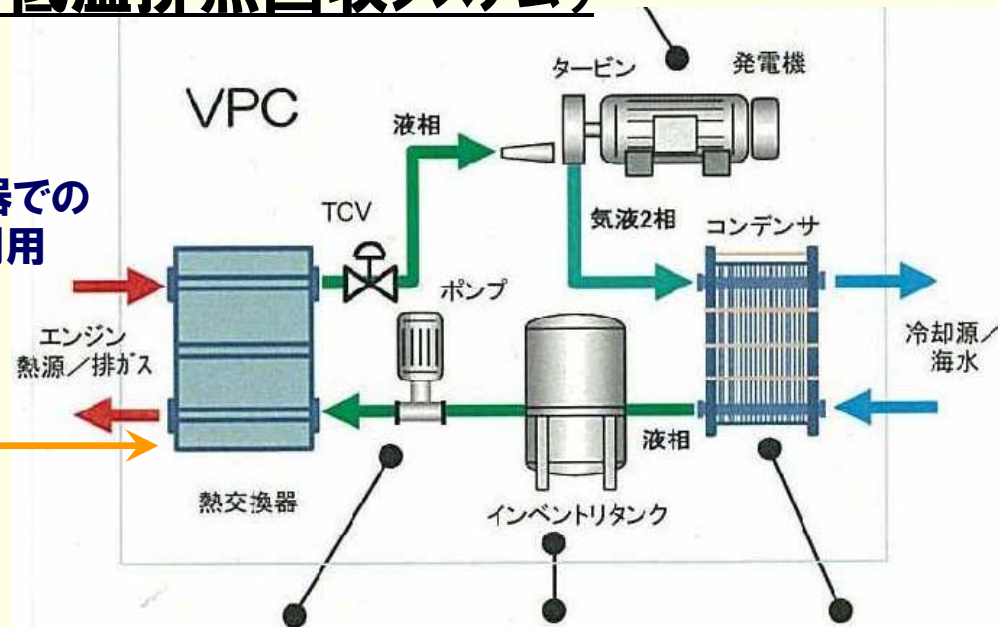
日本海事協会の「業界要望による共同研究スキーム」による支援を受けて開発

VPC: Variable Phase Cycle(低温排熱回収システム)



空気冷却器での
熱交換を利用

テストエンジン (4S50ME-C、約
7,100kW) にて約150kW(2%削減)
の電力回収を確認



開発のステップ



ターゲット：機関出力7,000kWクラスの船舶搭載主機の空気冷却器の冷却熱を利用した船舶用VPC発電装置を以下のステップにより研究開発した。

- (1) 10kW級および200kW級の電力回収が可能なVPC発電装置のプロトタイプ機を開発**
- (2) 10kW級装置について実習船へ搭載し、本船環境(温度、湿度、振動、動揺、電源)におけるVPC装置運転に関わる課題を抽出**
- (3) 200kW級装置について弊社テストエンジンにて機能・性能の陸上試験検証を実施。**

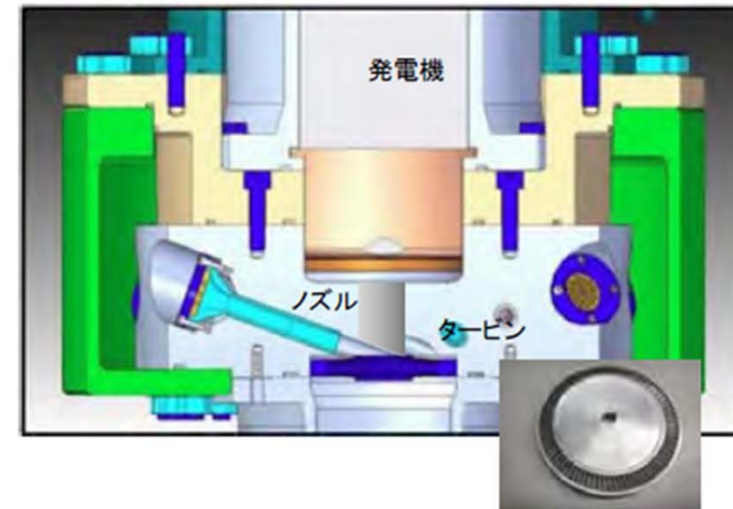


本研究開発は、三井造船株式会社と一般財団法人日本海事協会との共同研究体制により実施するとともに、同協会の「業界要望による共同研究スキーム」による支援を受けて実施した。

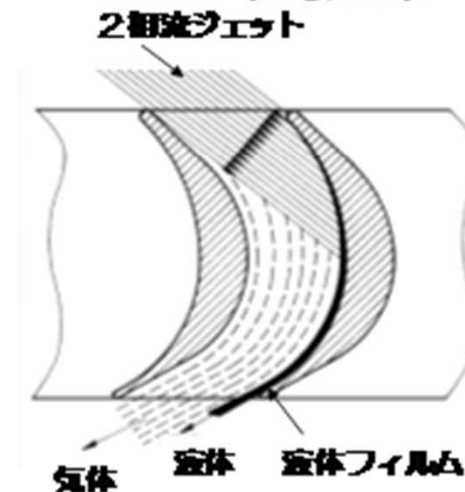
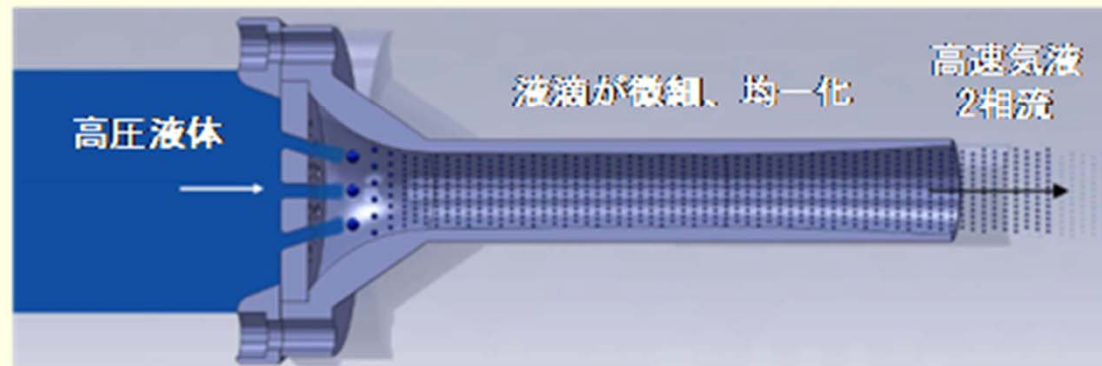
VPT (Variable Phase Turbine) とは？

作動媒体のエンタルピーを気液2相流の運動エネルギーに変換

- ・ 蒸気のせん断応力が液相を微小液滴に分割する。
- ・ 蒸気が運動量を液滴に伝達する。
- ・ 気相、液相のち密な連成により微小液滴を十分に加速できる。



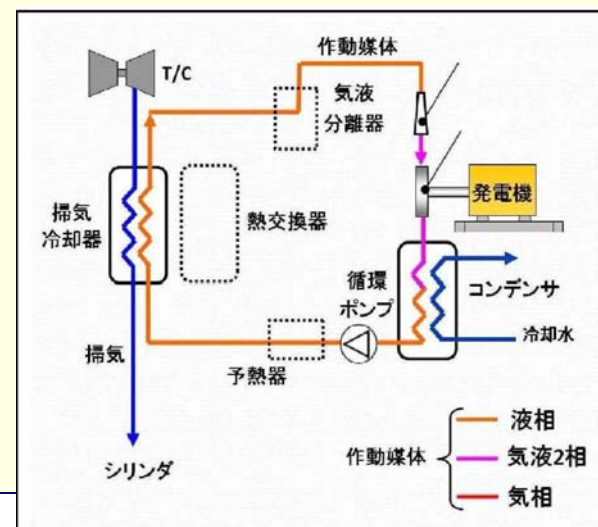
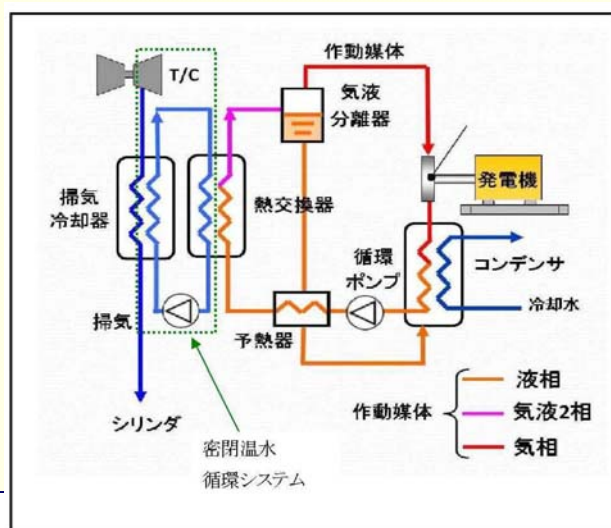
タービンロータ



VPC (Variable Phase Cycle)

ORC : 気化させた低沸点媒体にてタービンを駆動させる。
 VPC : 加圧・加熱した媒体を気化させず、液体のまま管状ノズルで膨張させ、一部気化させて気液2相流を作る。VPCの特徴は以下である。

- ① 未だ有効活用されていない空気冷却器冷却水の熱エネルギーを有効に活用
- ② ORCに比した優位性
 - ・ 機器点数減 → コンパクト・信頼性の向上、就航船へも適用容易
 - ・ 高出力化 → ORCに比べ5-30%程度の出力増加
- ③ 排ガスエネルギーを活用した排熱回収システムやNOx・SOx規制技術（EGR/SOxスクラバ）との併用が可能
 → 一層のCO2削減・NOx削減に繋がる環境に優しい技術

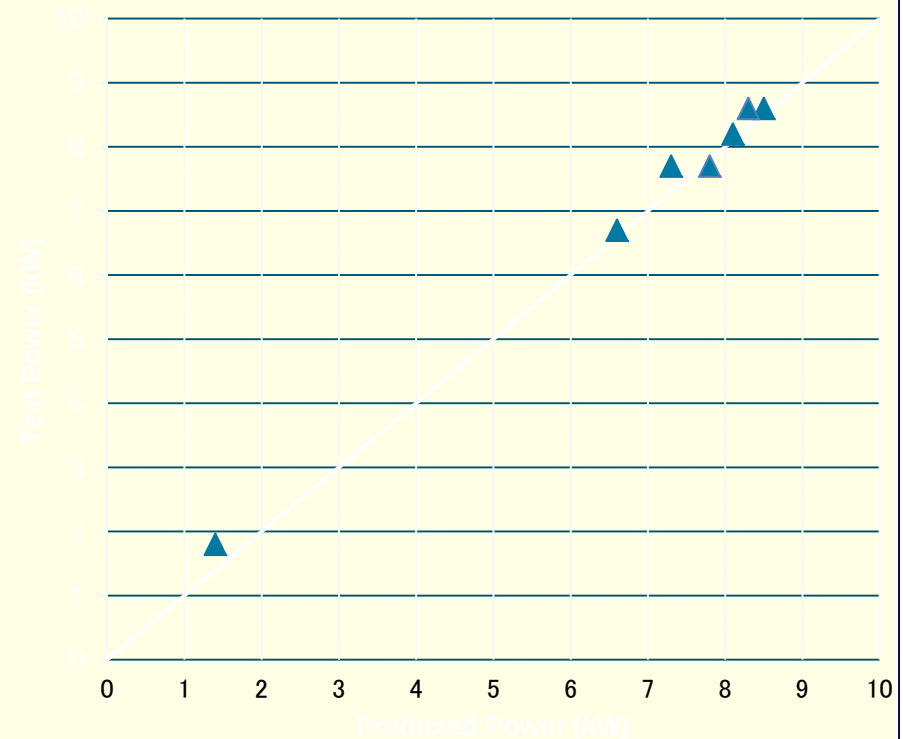


○
 : VPCには
 不要な機器

10kW級VPC試験／フィールド試験



10kW級VPCユニット



実機試験でのタービンの性能評価として同条件でのシミュレーション結果と比較して誤差3%以内の結果が得られた。

10kW級VPC試験／東京海洋大学実習船搭載試験



船舶番号	129829	全長	49.93m
信号符号	JG4644	型幅	10.00m
IMO番号	8608561	型深さ	3.80m
船籍港	東京	機関	ディーゼル×1
船主名	(大)東京海洋大学海洋工学部	機関馬力	1,400PS (1,030kw)
造船所名	石川島播磨重工業 東京	航海速力	14.12ノット
建造番号	2957	旅客定員	生徒等50名
起工年月	1986年5月	積荷	
竣工年月	1987年2月	備考	航海練習船
総トン数	425トン		

汐路丸

- (1) 本船環境（温度、湿度、振動、動揺、電源）におけるVPC 装置運転に関わる課題の抽出と対応策検討
- (2) 出力の確認と性能シミュレーションとの比較評価
- (3) 主要機器は、10kW級 フィールド試験設備を流用搭載

10kW級VPC試験／東京海洋大学実習船搭載VPC装置



試験装置



陸上調整



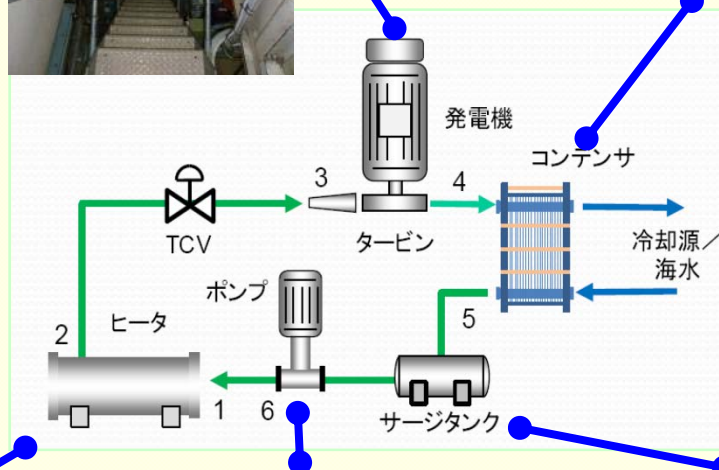
電気ヒータ（熱交換機代替）

タービン-発電機



実習船搭載

コンデンサ



ポンプ



サージタンク



10kW級VPC試験／東京海洋大学実習船搭載試験結果



試験場所	汐路丸 (Sea Going)	MES陸上
電気出力 (kW)	1.20	0.91
性能シミュレーション結果	1.27	0.86
実験値との比較	-5.7%	+5.6%

性能シミュレーション結果は下記の式より算出

$$P(kW) = M \times (E_{in} - E_{out}) \times \eta_n \times \eta_r \times \eta_g$$

M : R245fa流量 (kg/sec)

E_{in} : タービン入口エンタルピー (kJ/kg)

E_{out} : タービン出口エンタルピー (断熱膨張後) (kJ/kg)

η_g : 発電機効率=0.92

η_n : ノズル効率 及び η_r : ローター効率は実績値とした。

試験結果の発電出力は性能シミュレーション結果と同等であることを確認した。

200kW級VPC開発／船用テストエンジンでの試験



エンジン 4S50ME-T
出力 7,120kW
回転数 117min⁻¹

タービン・発電機仕様

機器名	項目	仕様
タービン	形式	単段衝動式二相流タービン
	出力	最大 200 kW
	回転数	3,600 min ⁻¹
	軸封形式	N2 加圧ダブルメカニカルシール
発電機	形式	三相誘導発電機
	出力	250 kW
	回転数	3,600 min ⁻¹

テストエンジン100%負荷にて約150kWの
発電が可能な事を確認した。
→2%のCO₂削減に相当する。

舶用要件の検討/鋼船規則対応およびM0運転対応



鋼船規則に準拠し、機器性能試験・立会試験項目を決定

機器名称	NK殿 図面承認	NK殿 工場試験立会	備考
タービン	不要	不要	米国製
発電機及び 制御盤	必要	H.2.4.15に掲げる試験	米国製
冷媒循環 ポンプ	不要	水圧テスト及び 性能試験	米国製
同上用電動機 (75kW)	不要	不要	米国製
凝縮器	不要	耐圧試験及び 気密試験	国内

ご清聴ありがとうございました

なお、本日ご紹介した、三井造船における環境規制対応技術開発の多くは、国土交通省「船舶からのCO2削減技術開発支援事業」の補助対象事業及び、一般財団法人日本海事協会との共同研究体制により実施したものである。

また、低温排熱回収システム「VPC」の開発は、日本海事協会の「業界要望による共同研究スキーム」による支援を受けて、同協会との共同研究事業として実施したものである。

ここに、改めて関係各位に、深く感謝の意を表する。