

# 船用低速(Wärtsilä型)機関における IMO規制対応の現状および将来技術

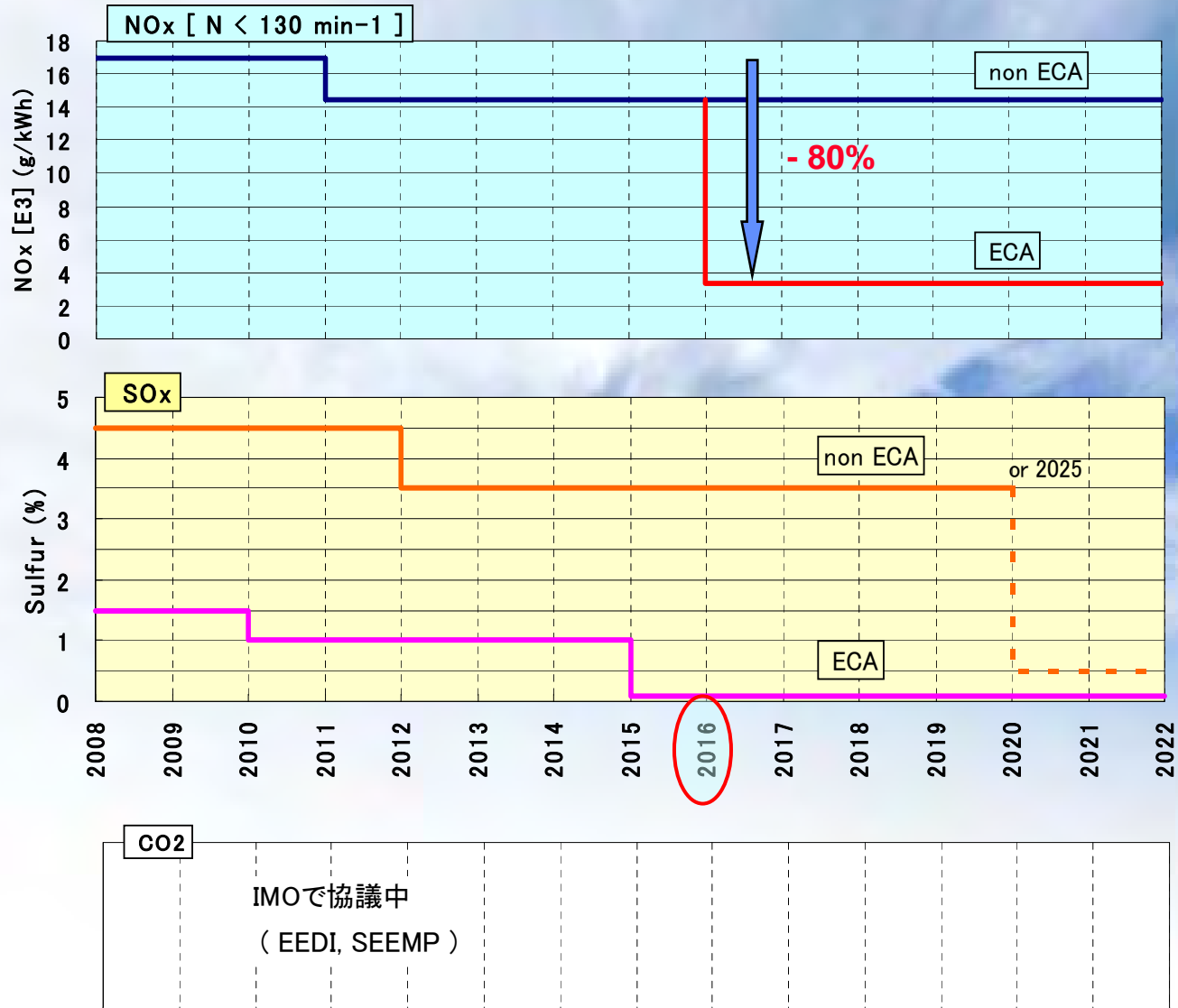
(株)ディーゼルユナイテッド  
カスタマーサポート部  
開発グループ  
森山 功治



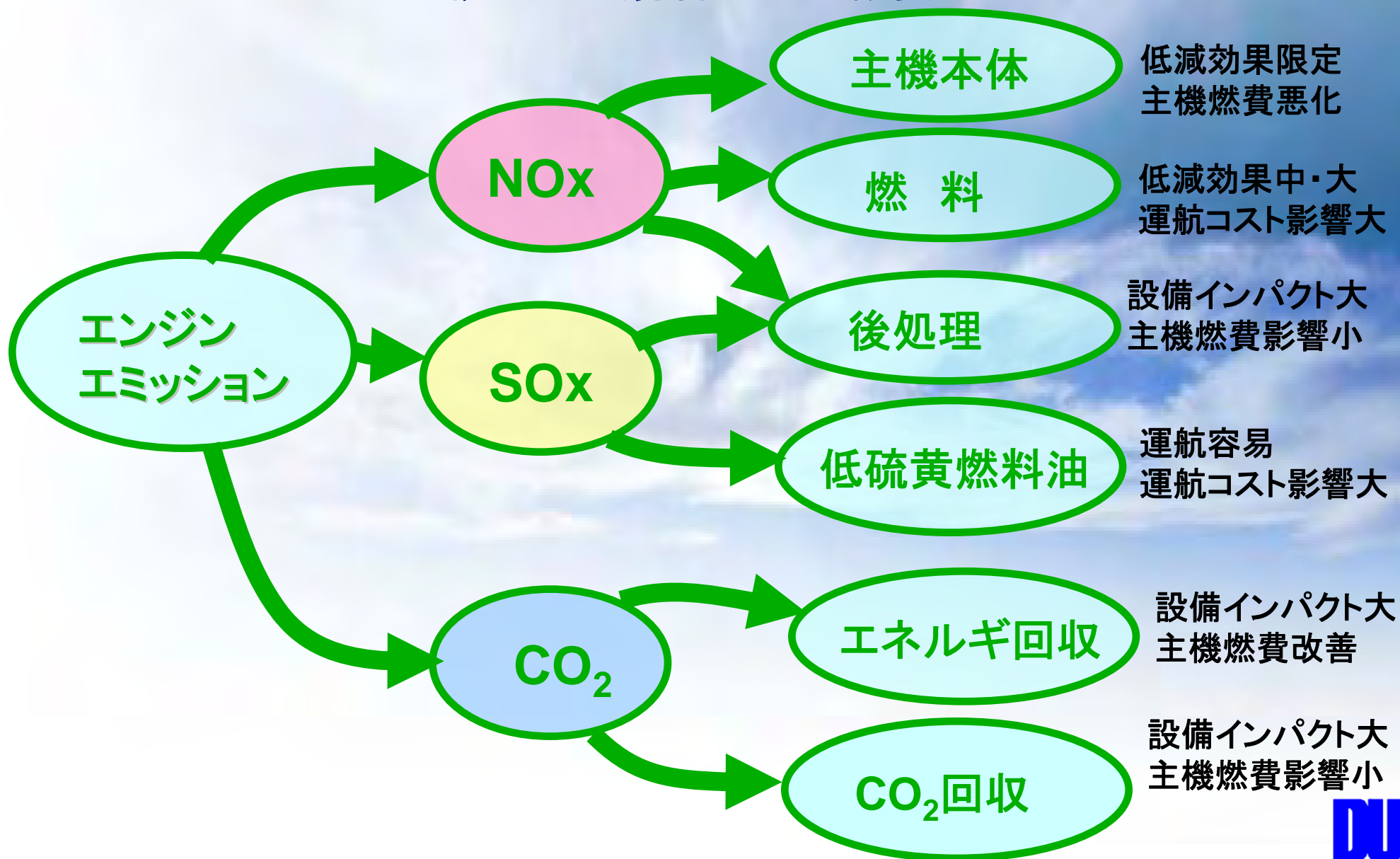
# Contents

1. IMO規制
2. NO<sub>x</sub>について
  - 1) NO<sub>x</sub> 2次規制対応
  - 2) NO<sub>x</sub> 3次規制対応
3. SO<sub>x</sub> について
4. CO<sub>2</sub>について

# IMO排気ガス規制



# IMO排気ガス規制対応の概要



## Contents

### 1. IMO規制

### 2. NO<sub>x</sub>について

#### 1) NO<sub>x</sub> 2次規制対応

#### 2) NO<sub>x</sub> 3次規制対応

### 3. SO<sub>x</sub>について

### 4. CO<sub>2</sub>について

## 2次規制対応への主な仕様変更点

1. 2st ミラーサイクル(掃気圧力上昇、排気弁遅閉じ)
2. 燃料噴射排気弁タイミング、圧縮比の最適化
3. 燃料弁アトマイザの最適化
4. 全負荷域におけるチューニングパラメータ最適化
5. シーケンシャル燃料噴射
6. 掃気温度の最適化
7. 燃焼最高圧力(Pmax)の最適化

# 2次規制対応への仕様変更点

燃料弁アトマイザ仕様変更

配管／格子他の設計変更

圧縮シム変更

WECSパラメータ変更  
(燃料／排気弁タイミング他)

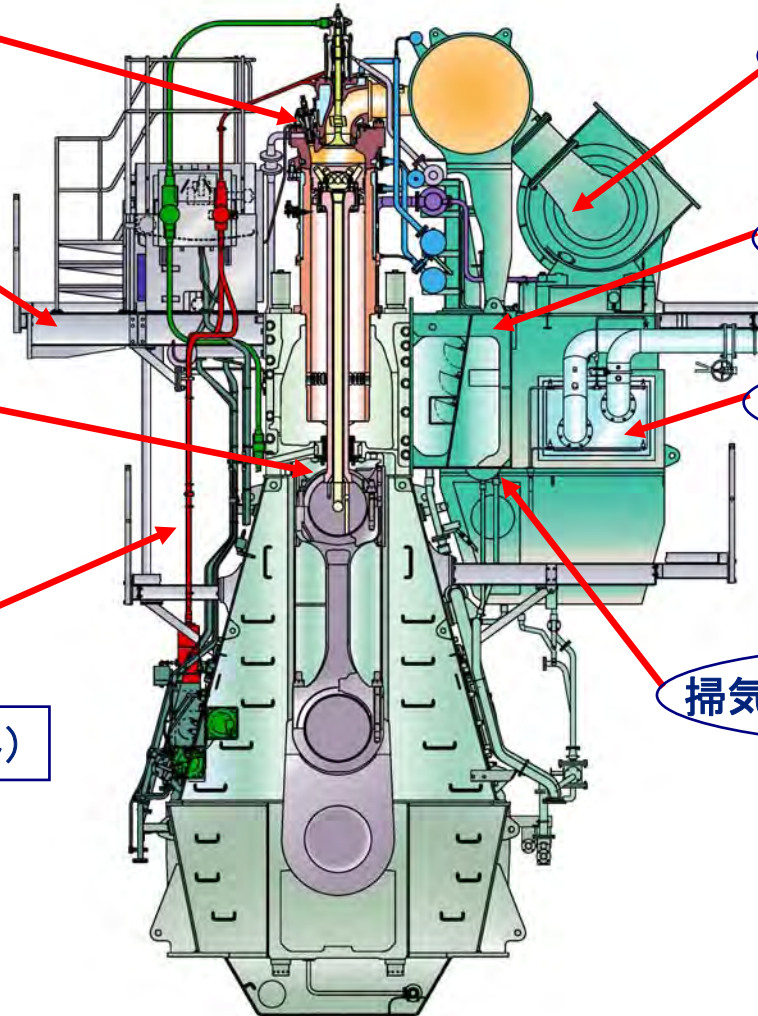
ハイリフト排気カム(RTA機関のみ)

過給機仕様 or 型式変更

補助ブロワ(モータ容量アップ)

給気冷却器(交換熱量アップ)

掃気溜設計見直し(掃気圧アップ)



# 2次規制対応時の機関性能に及ぼす影響

## 1. 燃費の悪化

～2g/kWhの悪化(RT-flex Efficiency-optimized)

～4g/kWhの悪化(RT-flex Cost-optimized)

～6g/kWhの悪化(機械式エンジン)

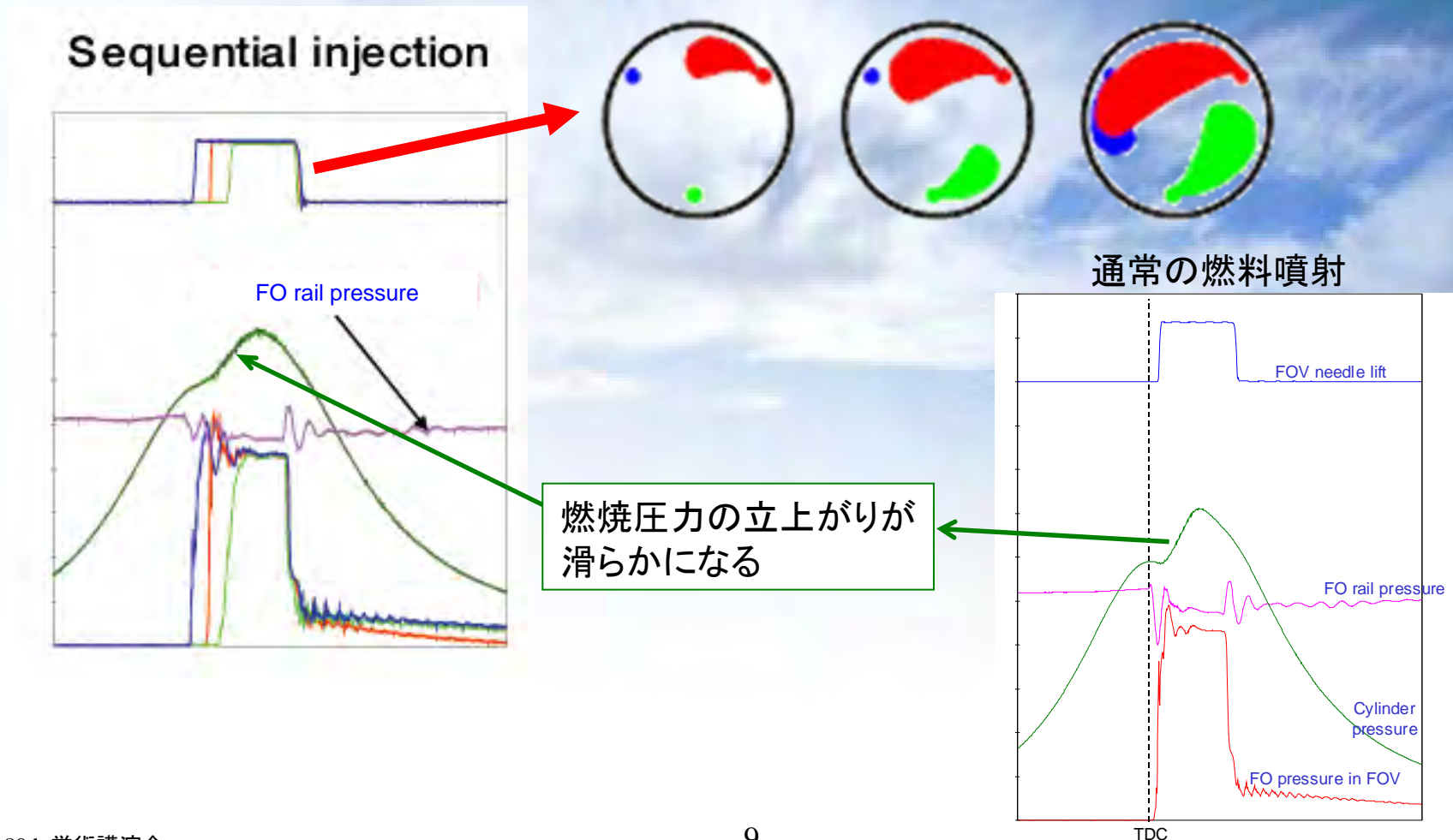
## 2. 空気量増加

・排気ガス温度低下(1次規制から約20°C低下)

・排ガス量の増加

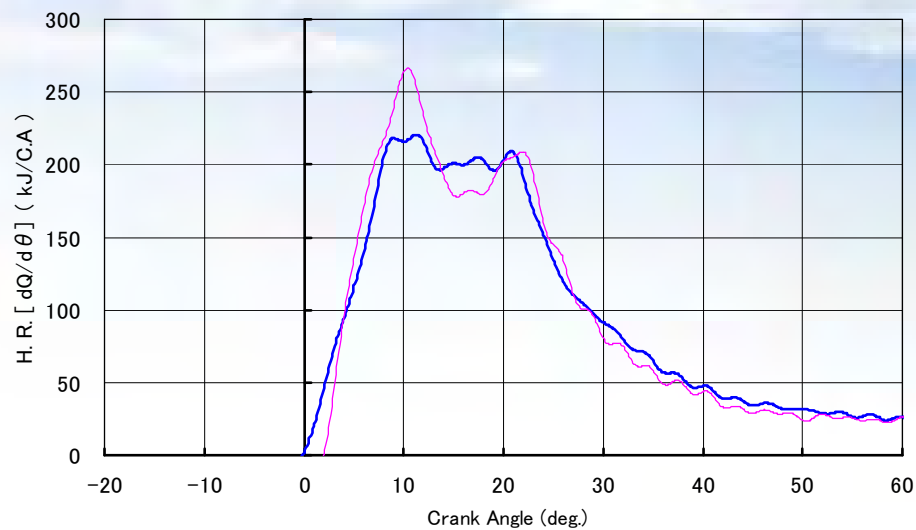
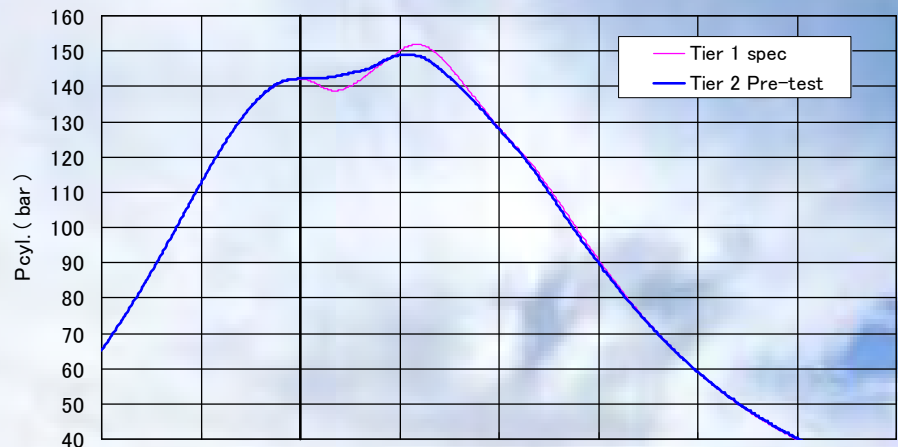
# シーケンシャル燃料噴射 (flex機関)

燃料弁毎の燃料噴射開始時期をずらし、燃焼最高温度を抑える



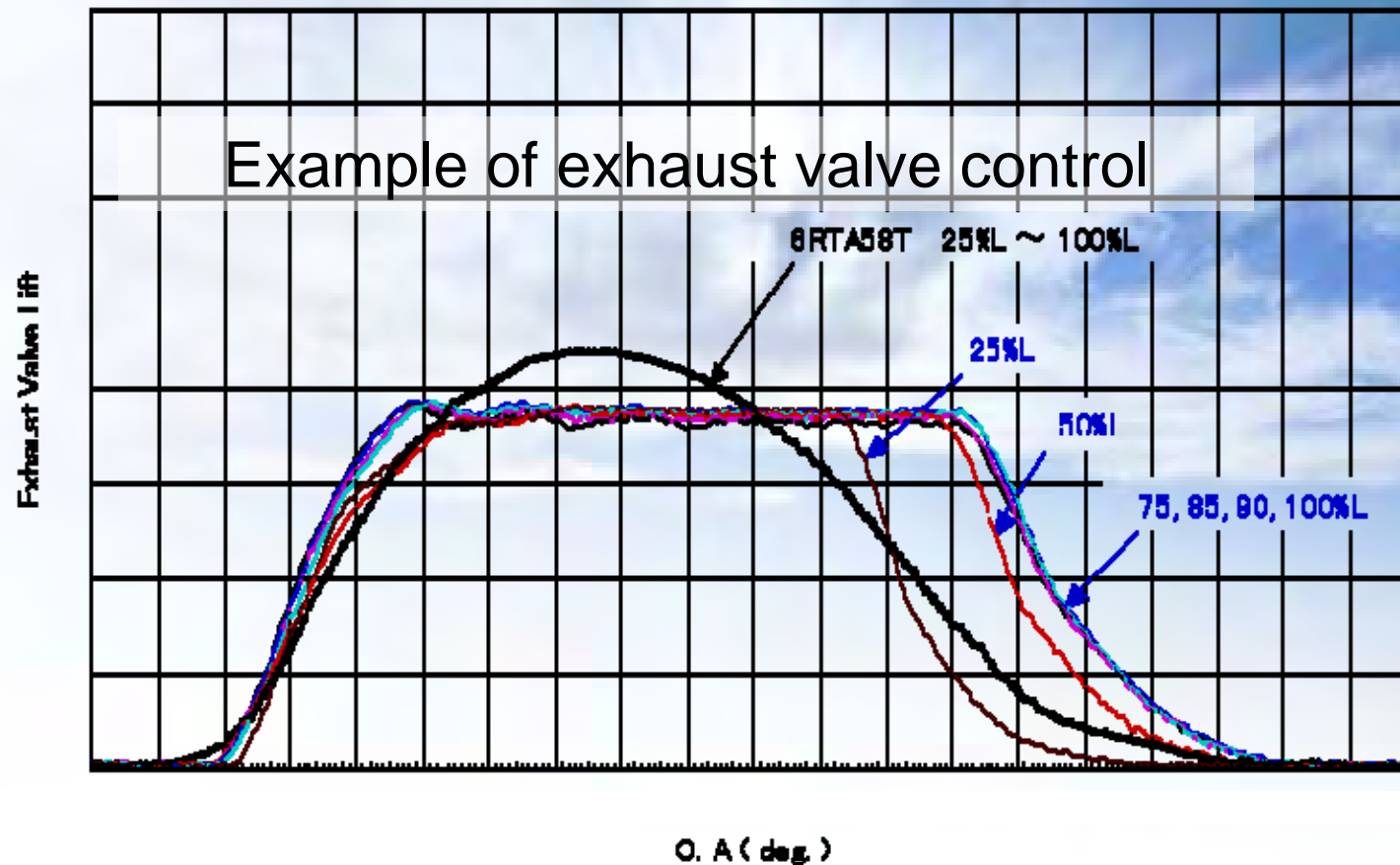
# シーケンシャル燃料噴射 熱発生率例

7RT-flex84TD (R1) 100%L [ 0° / 6° / 2° (#1 / #2 / #3) ]



# 排気弁 開/閉 タイミング変更例(flex機関)

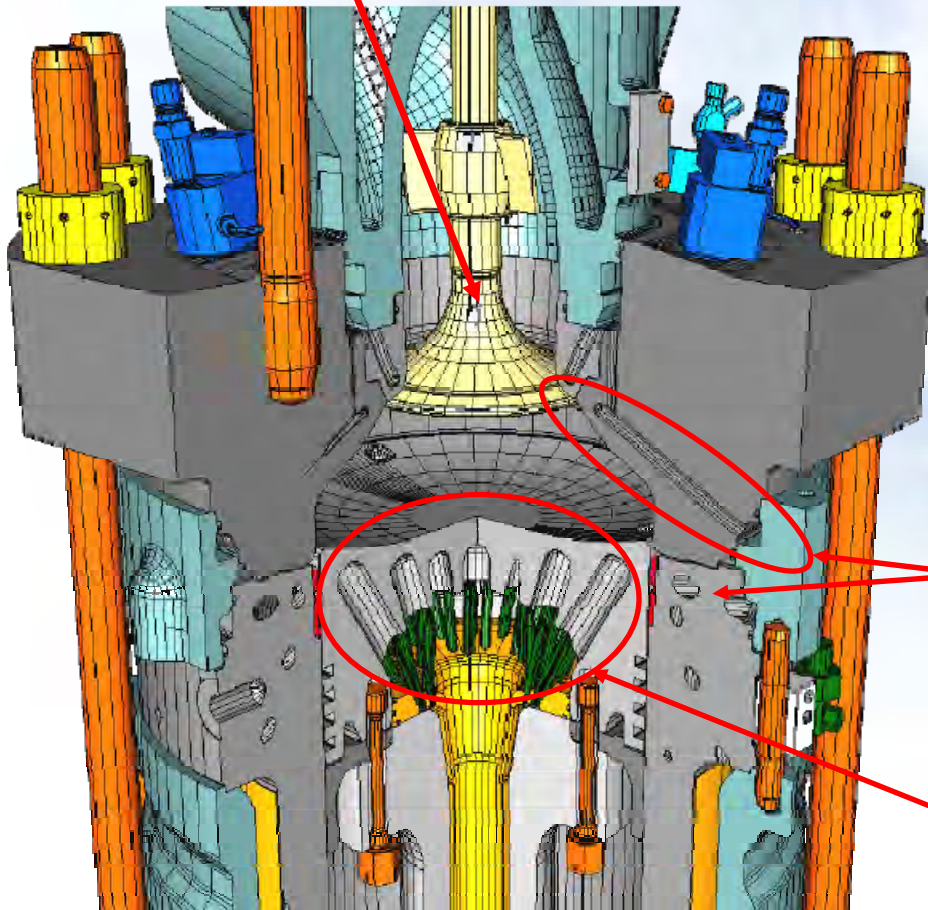
排気弁 開/閉 タイミングを各負荷で最適化 : flex機関



# flex機関燃焼室関連部品

## Tier2対応に伴う変更なし

Material : Nimonic-80A  
(Highest grade heat-resistance alloy)



### Bore cooled components

- Piston
- Cylinder cover
- Cylinder liner
- Exhaust valve seat

Optimized cooling bore arrangement

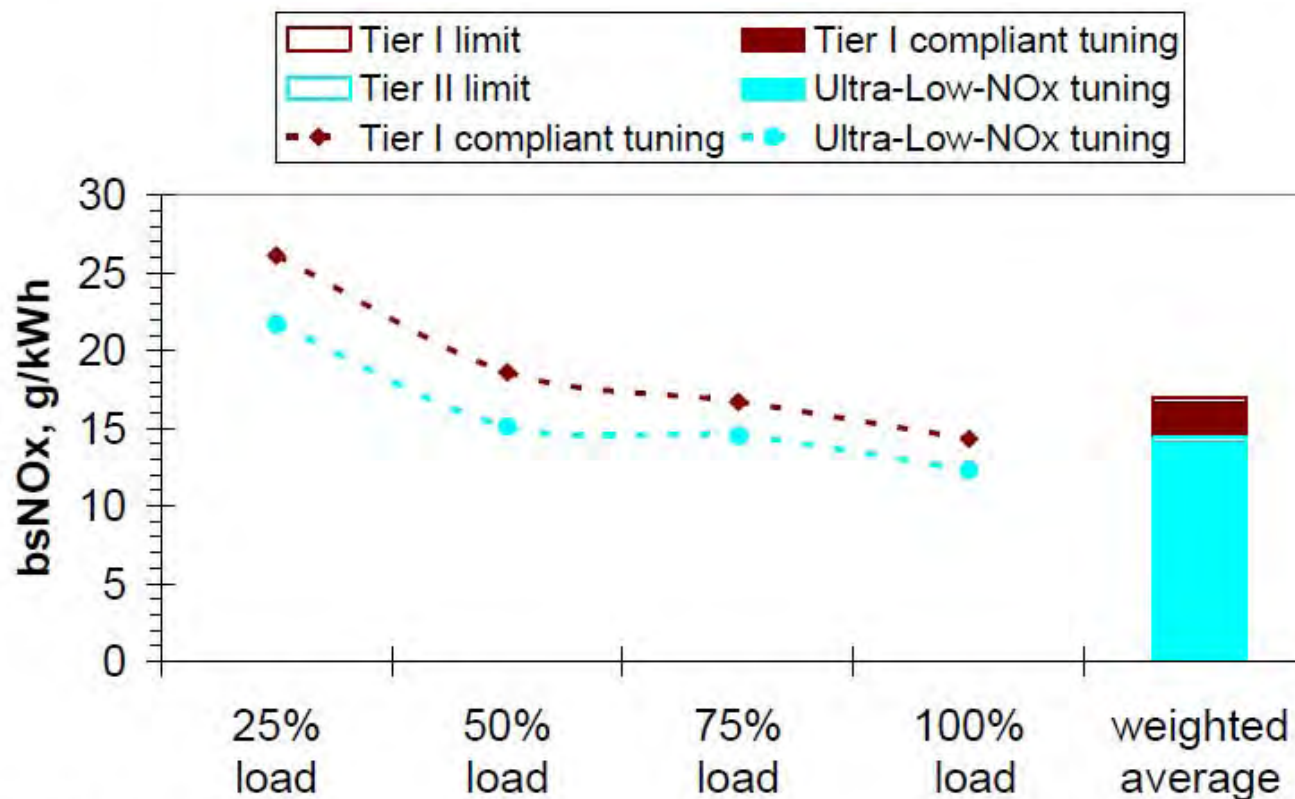
Jet-shaker cooling for piston

Very high cooling efficiency for piston crown.

# Tier II – Sample Results RT-flex82C

(Tier II NOx対応例)

NOx emissions



# Tier2実証試験

## IMO NOx2次規制 でいったい何が起ころ?

E3モードNOx値の低減 17g/kWh → 14.4g/kWh

NOx値低減は熱機関の燃焼効率低下を意味する。

### 燃費率悪化改善方法は?

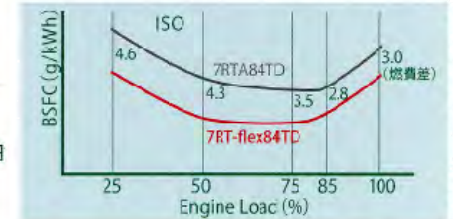
### 改善策

- ・サイクル効率の改善 → ミラーサイクルの利用 → 排気弁開閉の可変制御
- ・燃焼期間の短縮 → 高圧噴射化、定圧噴射化 → コモンレール方式燃料供給
- ・NOx2次規制値を達成 → 各パラメータ最適化 → 電子制御
- 燃料噴射弁1個毎の制御 → シーケンシャル燃料噴射

flex機関だから可能

## RTA機関とflex機関のNOx2次規制の燃費率(当社比)

[実証試験] flex機関 [7RT-flex84TD] 2009年1月28日～2月5日  
 [実証試験] RTA機関 [7R1A841D] 2009年9月4日～9月10日



## 燃料消費量の大幅削減で高い経済性を実現

VLCCで日本とベルシヤ線を「7RTA84TD」と「7RT-flex84TD」(共に最大出力は27,166kW)で同じ出力で航行した場合の試算。(C重油価格を@35,000円/tonと仮定)

[削減額]

	1年(7往復)	20年
通常運転	1,250万円	2億5千万円
減速運転	1,480万円	3億円

大幅削減が可能!

	負荷	運転時間 (H)	燃費差 (g/kWh)	出力 (kW)	片航燃料セーブ (ton)	7往復/年燃料セーブ (ton)
通常運転	85% Ballast	382	28	23,086	24.7	359.1
	85% Loaded	412	28	23,086	26.6	
減速運転	65% Ballast	429	38	17,654	38.8	423.7
	65% Loaded	474	38	17,654	31.8	

## Contents

### 1. IMO規制

### 2. NO<sub>x</sub>について

1) NO<sub>x</sub> 2次規制対応

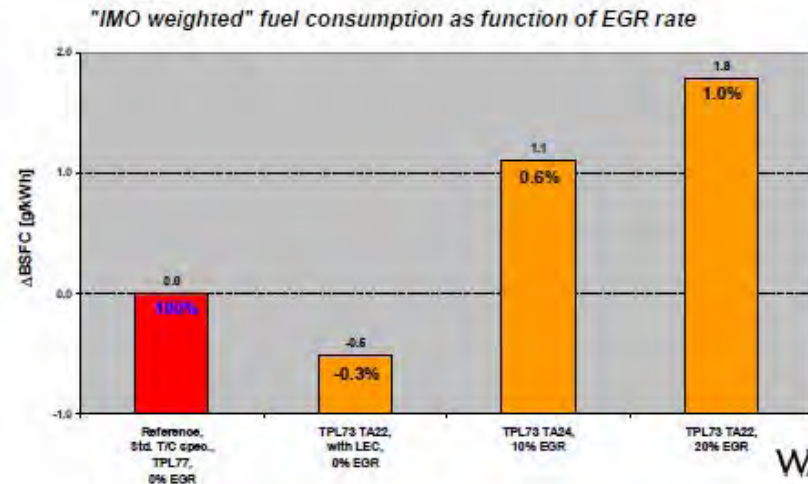
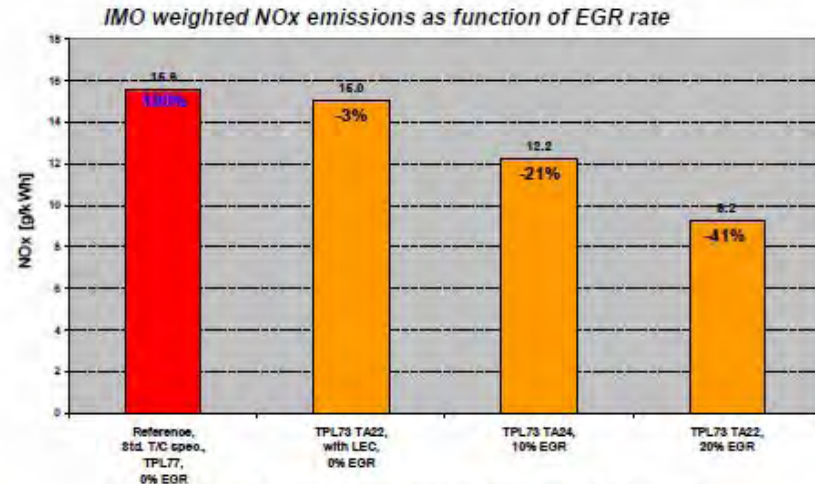
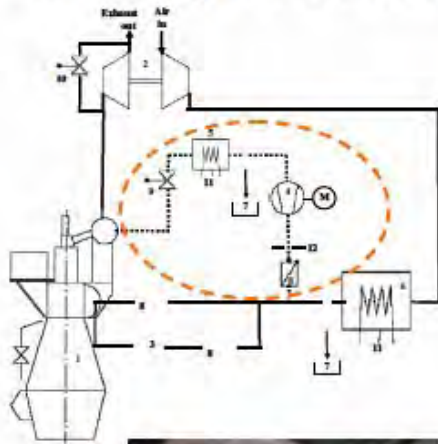
**2) NO<sub>x</sub> 3次規制対応**

### 3. SO<sub>x</sub>について

### 4. CO<sub>2</sub>について

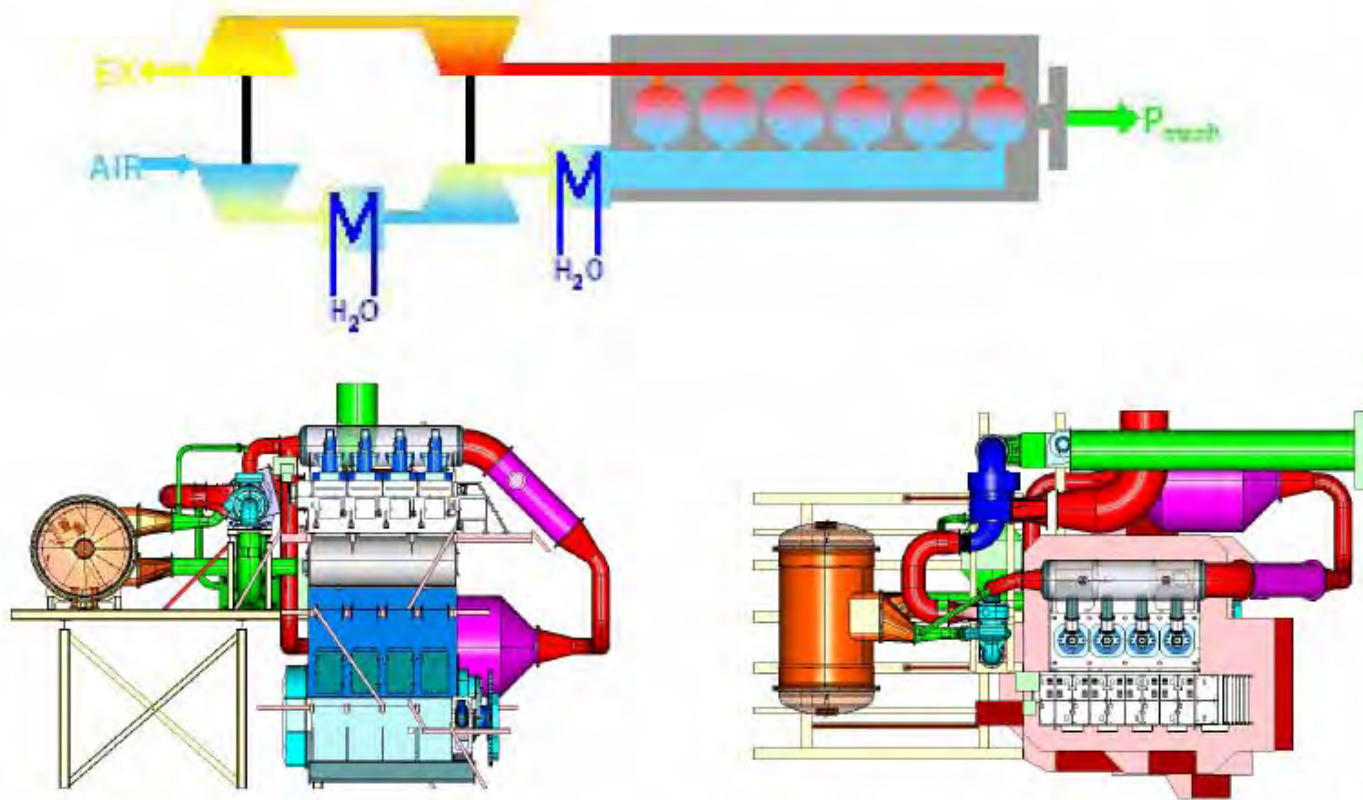
# NO<sub>x</sub> 3次規制対応： EGR

- Exhaust gas recirculation



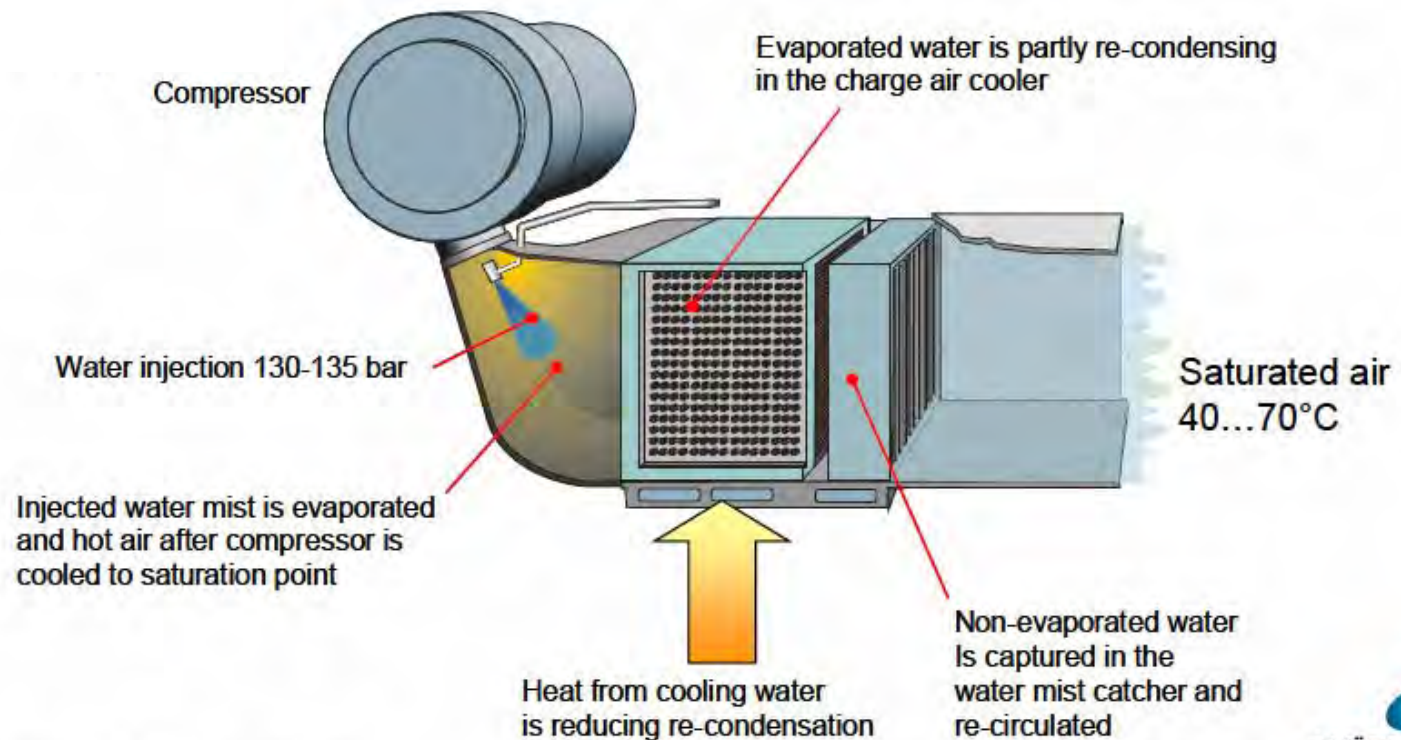
# NO<sub>x</sub> 3次規制対応： 2段過給

- Extreme Low-NO<sub>x</sub> tuning by means of high-pressure turbo charging (2-stage)



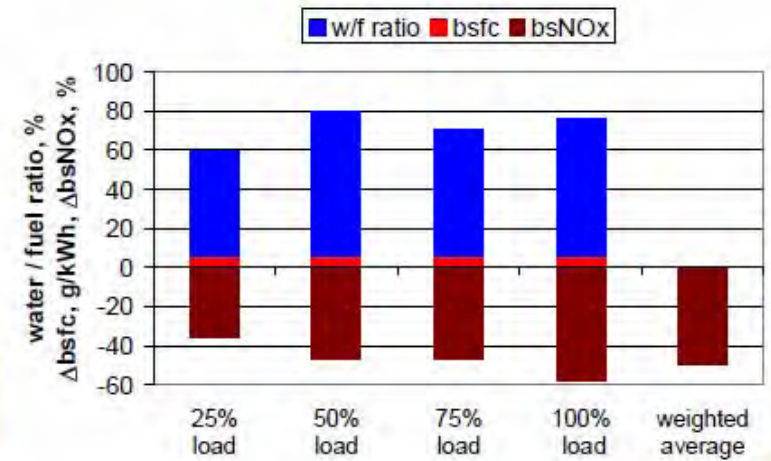
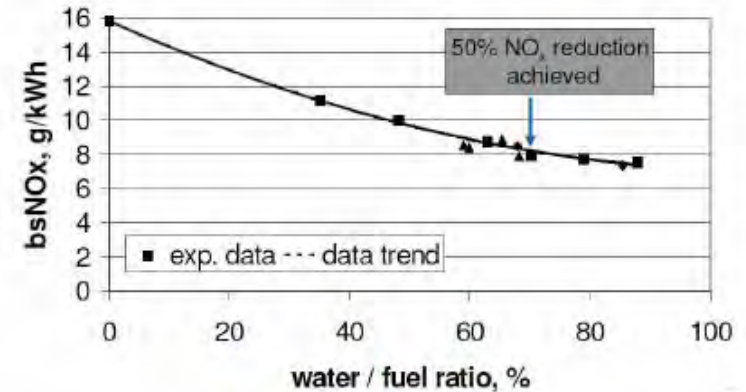
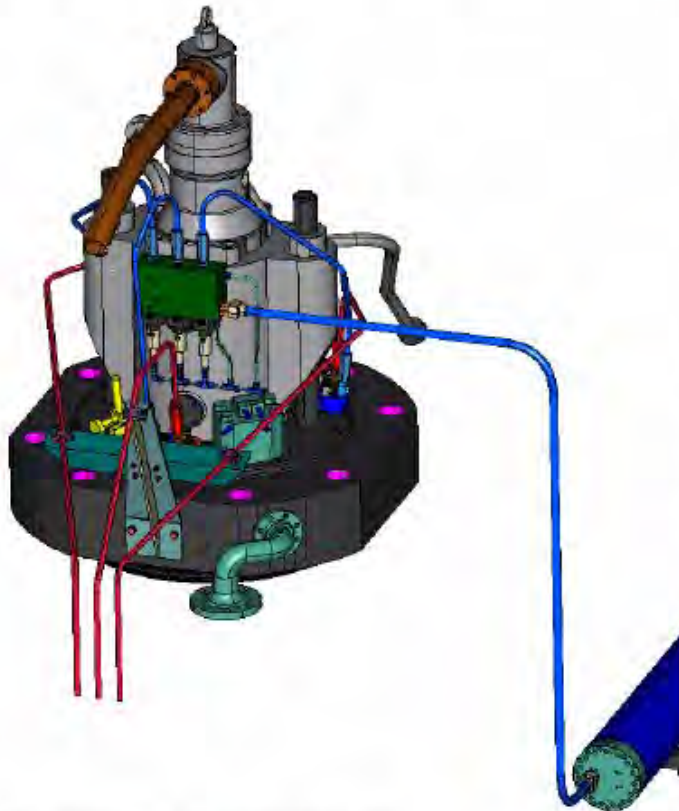
# Candidate technologies for achieving IMO Tier III

- Charge air humidification



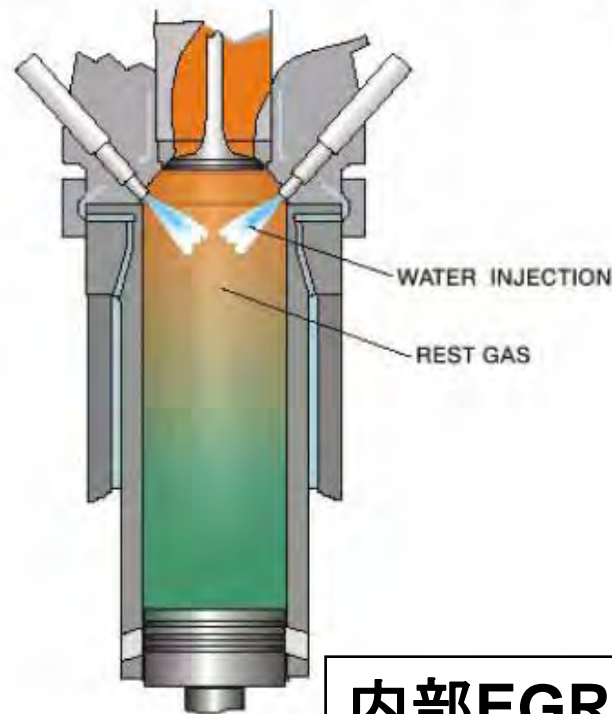
# NOx 3次規制対応： 水噴射

- Direct water injection



# NOx 3次規制対応： WaCoReG

- WaCoReG (water-cooled residual gas):

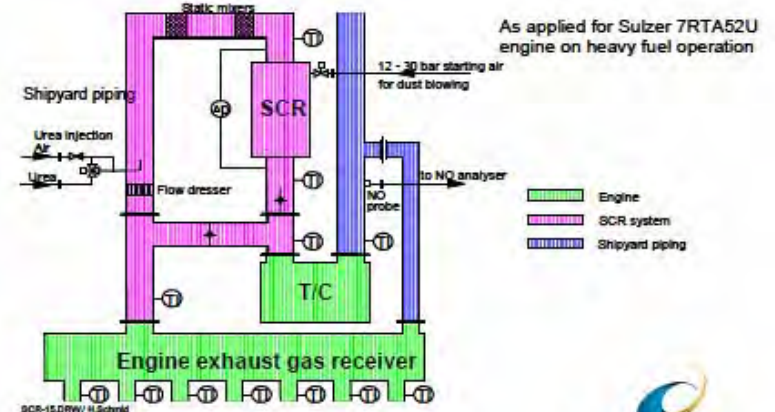
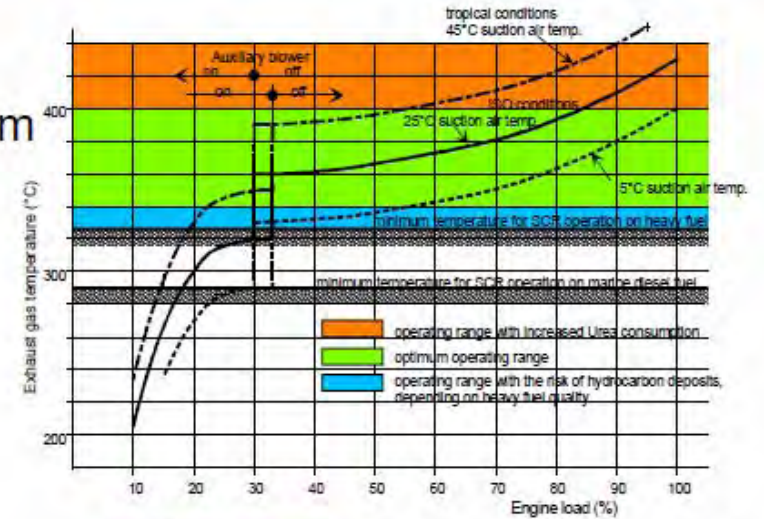


- EGR: Internal exhaust gas recirculation by reduced scavenging ports and smaller turbochargers
- DWI: Direct water injection to reduce combustion chamber temperatures and NOx emissions
- RT-flex: Common rail technology and variable exhaust valve timing to adjust EGR level
- NOx reduction: up to 70%  
≈ 5 g/kWh

# NO<sub>x</sub> 3次規制対応： SCR

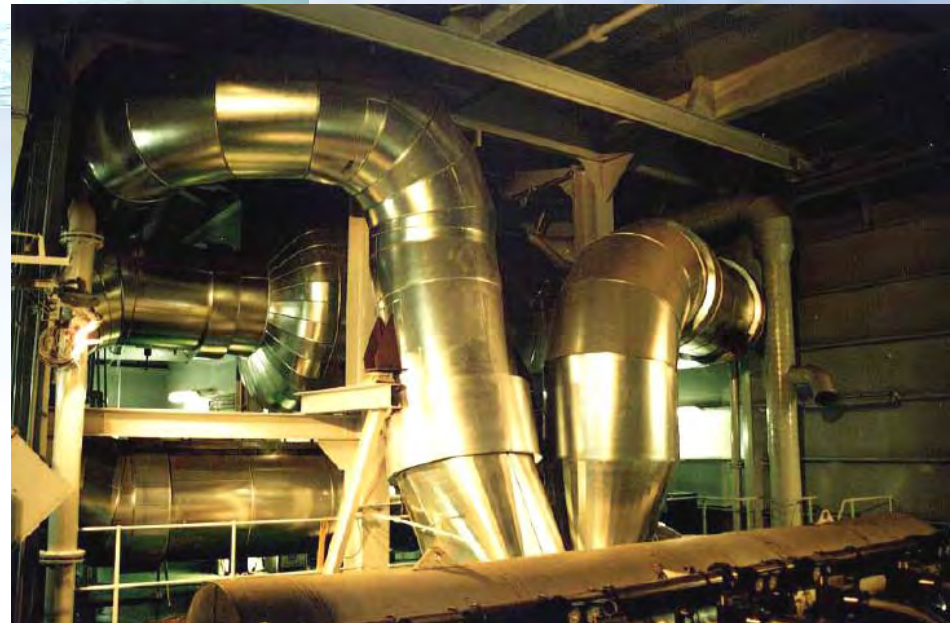
- Selective catalytic reduction (SCR), integrated with the turbocharging system

Sulzer 6RTA52U with SCR system



# SCR実船適用例

Engines:	1 Main engine • Sulzer 7RTA52U (10'920kW) 2 Auxiliary Engines • Wärtsilä 6L20
Vessels:	M/V "Spaarneborg" M/V "Schieborg" M/V "Slingeborg"
Type of ship:	RoRo
Owner:	Wagenborg
1 <sup>st</sup> vessel in service:	December 1999
Certificate:	NO <sub>x</sub> -emissions < 2g/kWh



# バルチラ 脱硝装置システム概要

コントロールシステム=

圧縮空気=

尿素パイプ=

NOR= Nitrogen Oxide Reducer

SCR

スートブロー

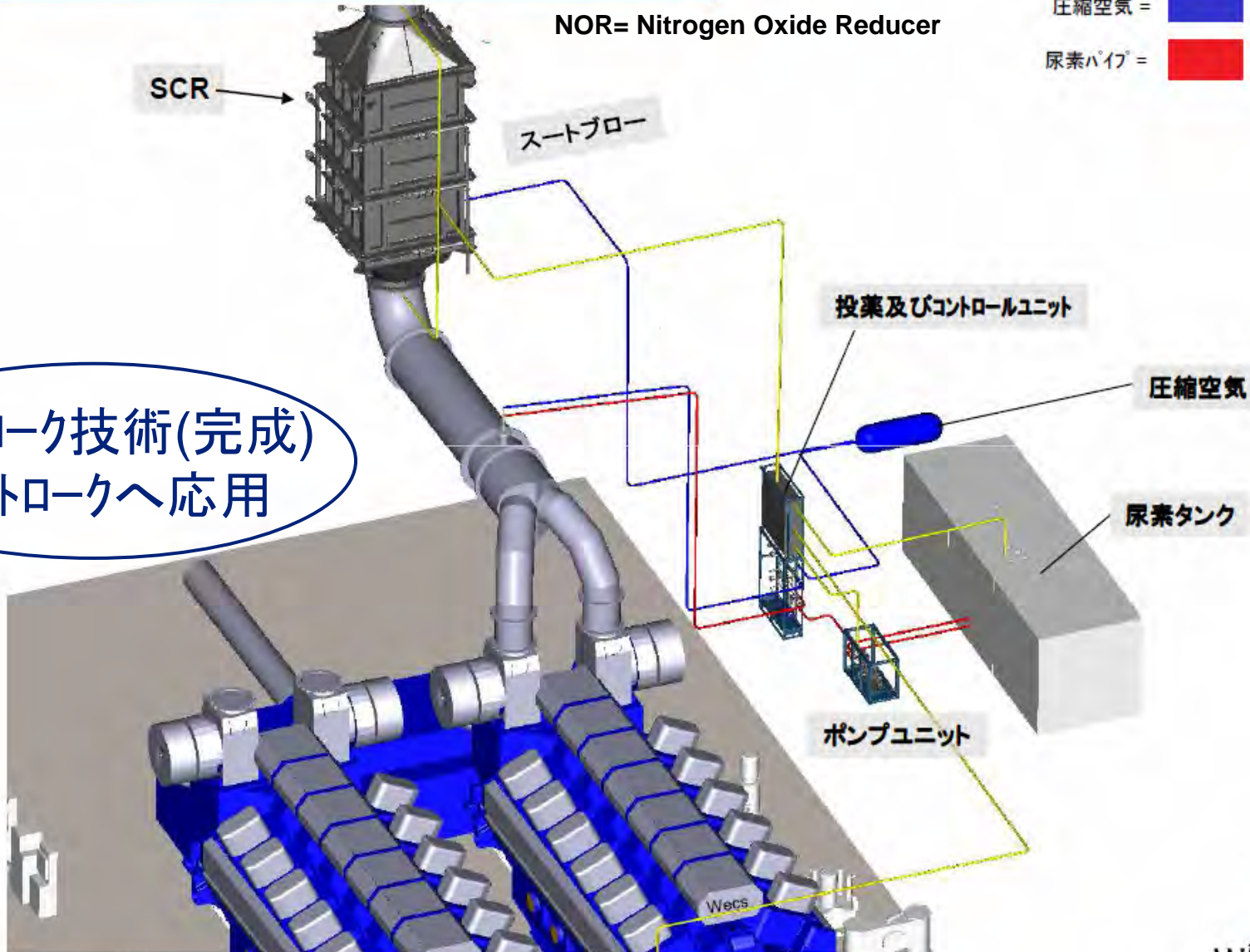
投薬及びコントロールユニット

圧縮空気

尿素タンク

ポンプユニット

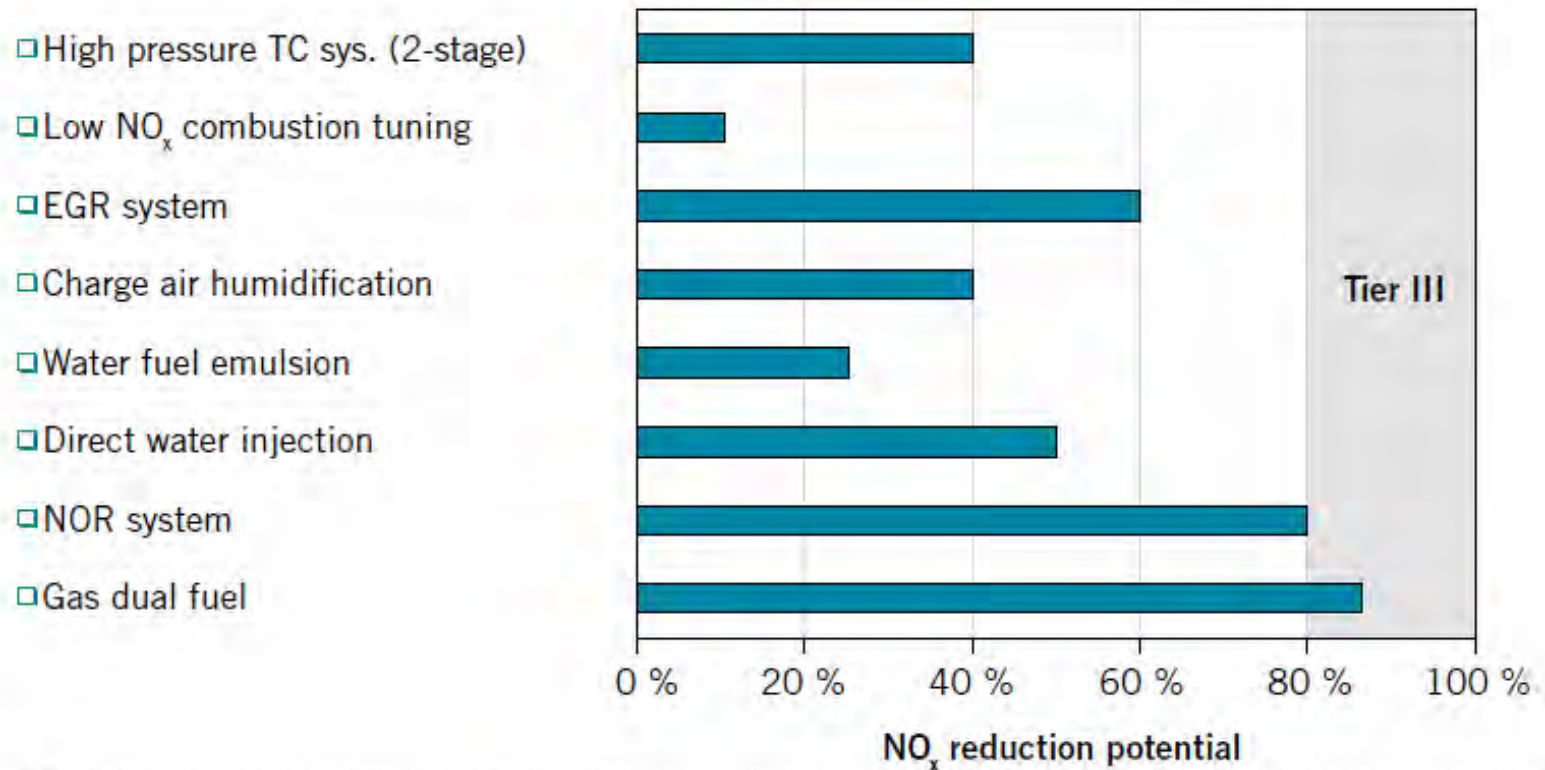
4ストローク技術(完成)  
を2ストロークへ応用



5 © Wärtsilä June 2010

WÄRTSILÄ

# NO<sub>x</sub> 3次規制技術



⑦ NO<sub>x</sub> reduction technology potential

MTZ 06/2010

Volume 71



## Contents

### 1. IMO規制

### 2. NO<sub>x</sub>について

1) NO<sub>x</sub> 2次規制対応

2) NO<sub>x</sub> 3次規制対応

### 3. SO<sub>x</sub>について

### 4. CO<sub>2</sub>について



# 清水スクラバー実船適用例



1 © Wärtsilä Wärtsilä SOx Scrubber - Leading the way in SOx abatement

- Closed-loop, fresh water scrubber

Wärtsilä scrubber on  
Neste Oil MT "Suula"



- SCP, ETM, OMM, Record Book, Test plan and Safety Concept approved.

- Tests in 2008-2010, including certification.

© Wärtsilä Wärtsilä SOx Scrubber - Leading the way in SOx abatement



## Contents

### 1. IMO規制

### 2. NO<sub>x</sub>について

1) NO<sub>x</sub> 2次規制対応

2) NO<sub>x</sub> 3次規制対応

### 3. SO<sub>x</sub>について

### 4. CO<sub>2</sub>について

# CO2削減

## IMOで協議中

### 技術的手法(新造船対象)

エネルギー効率設計指標(EEDI) (g/ton mil)

$$EEDI = \frac{\text{CO2換算速力係数} \times \text{燃料消費率(g/kWh)} \times (\text{機関出力} - \text{控除出力})(\text{kWh})}{\text{DWT (ton)} \times \text{速力(mile/h)} \times \text{実海域速力低下係数}(fw)}$$

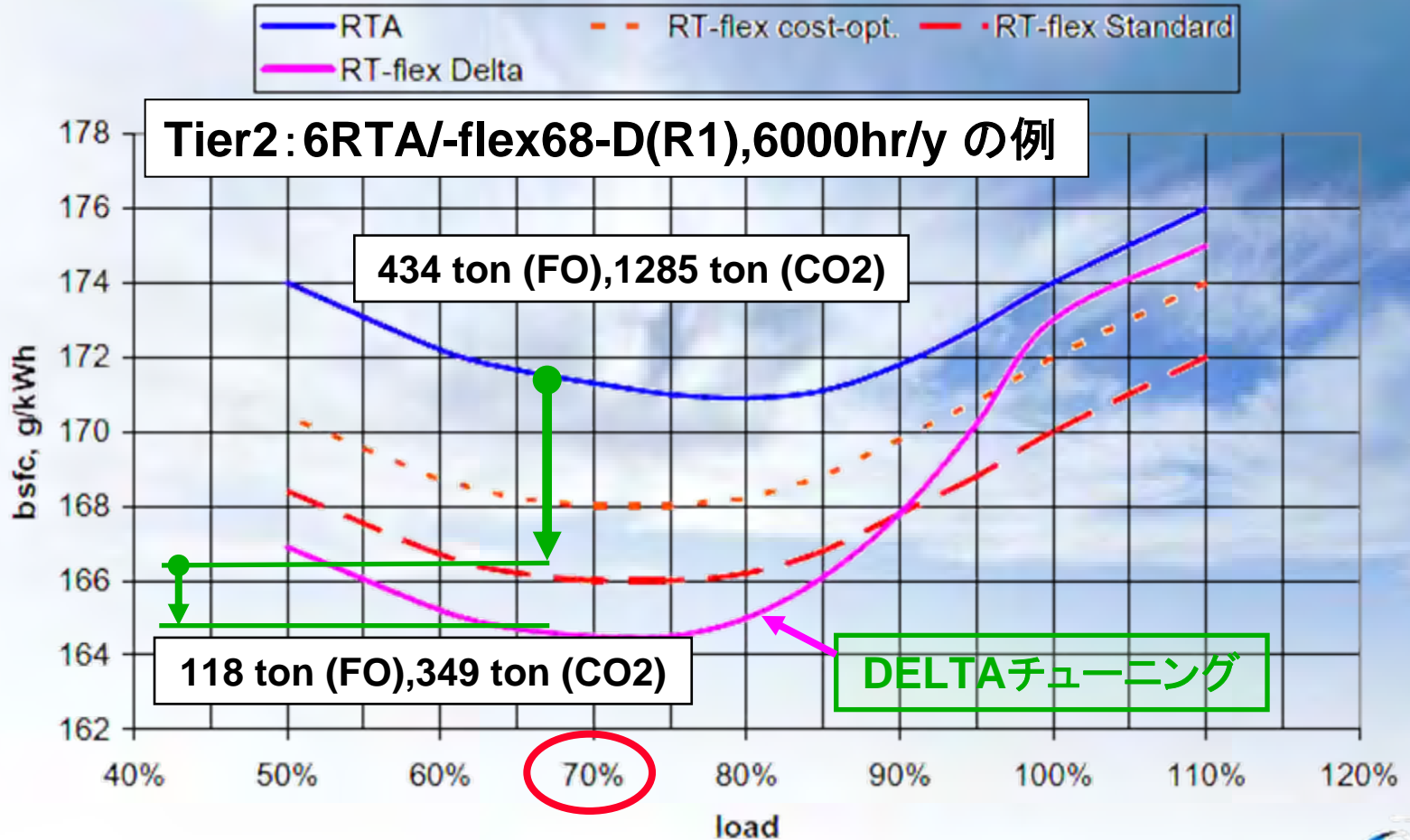
### 運航的手法(既存船対象)

船舶エネルギー効率マネジメントプラン(SEEMP)

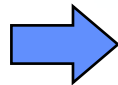
エネルギー効率運航指標(EEOI) (g/ton mil) の自己モニタリング

$$EEOI = \frac{\text{CO2換算係数} \times \text{燃料消費量}(g)}{\text{実貨物量 (ton)} \times \text{実航行距離(mile)}}$$

# チューニングと燃費率

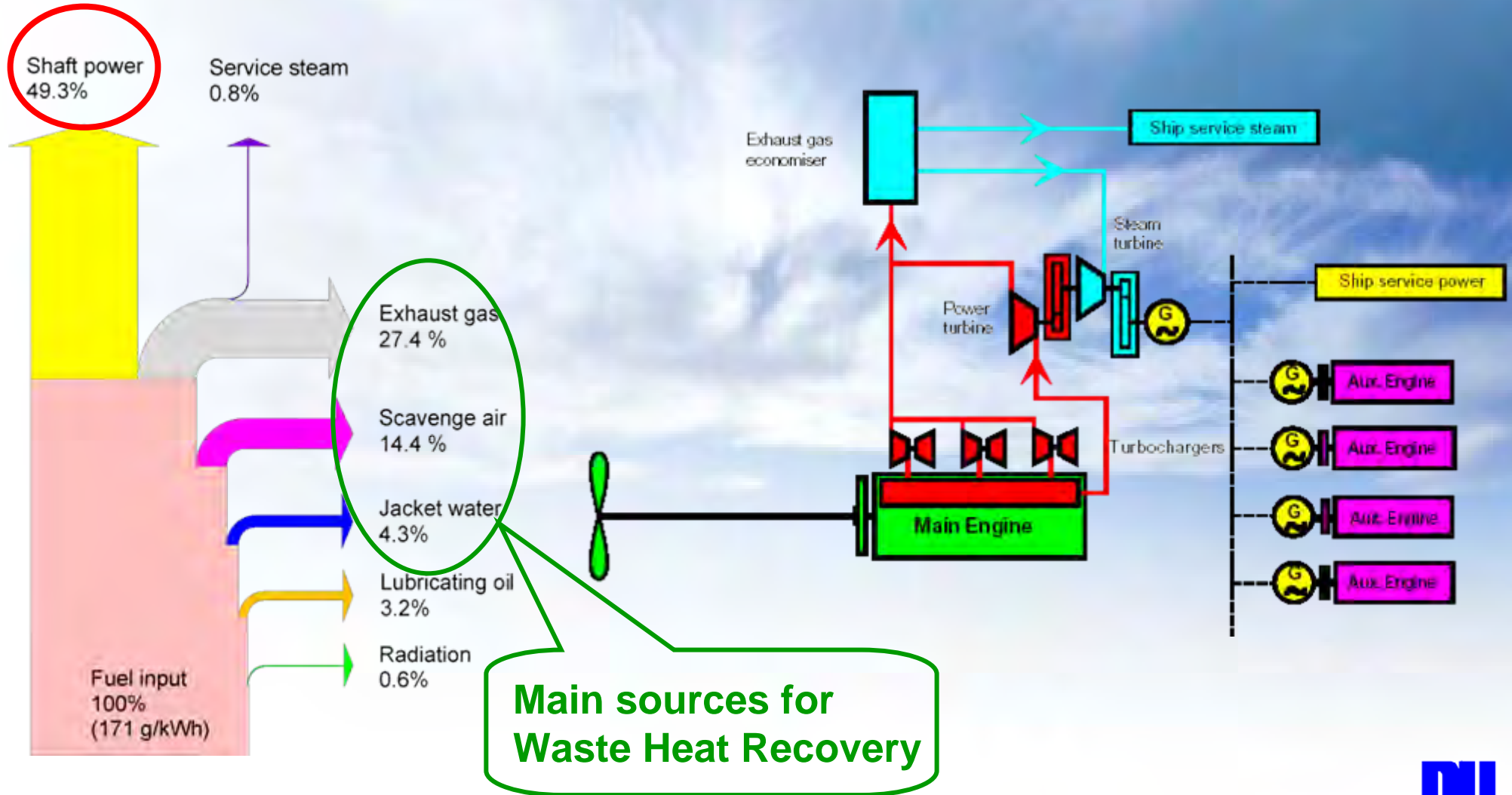


燃料噴射圧とタイミングの最適化  
 排気弁開閉タイミングの最適化



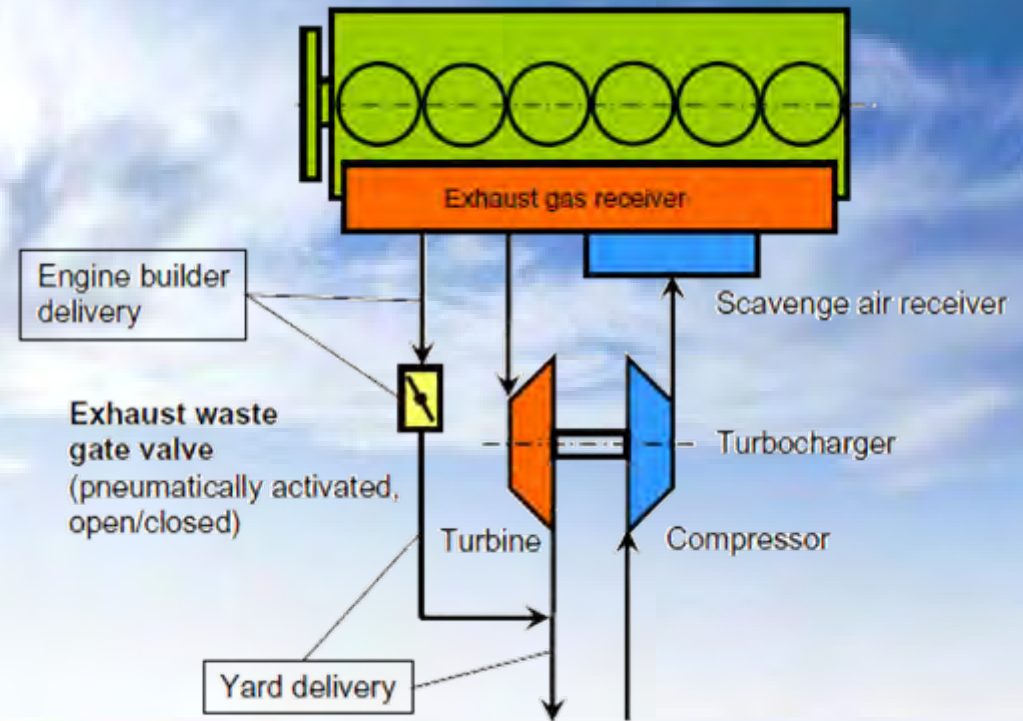
排気ガス規制をクリアしつつ、  
 部分負荷時の燃料消費率を  
 低減: DELTAチューニング

# Waste Heat Recovery

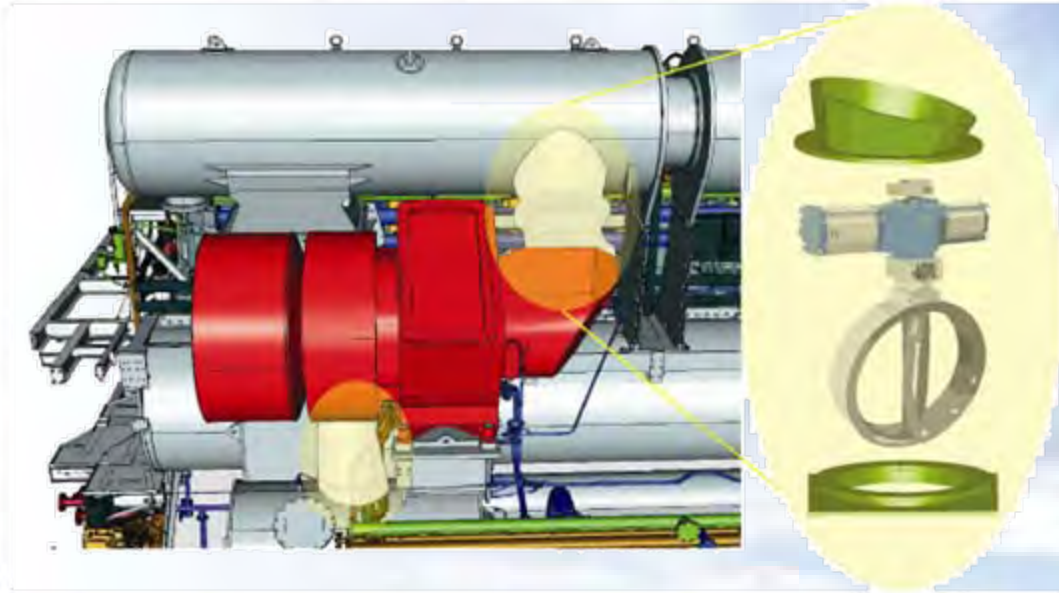


# Low Load Tuning

- 低負荷マッチング過給機
- 75%負荷以下で掃気圧力上昇
- 排ガスバイパス弁を85%負荷以上で自動的に開とし、約5%の排ガスをバイパスさせる。



# T/Cカット

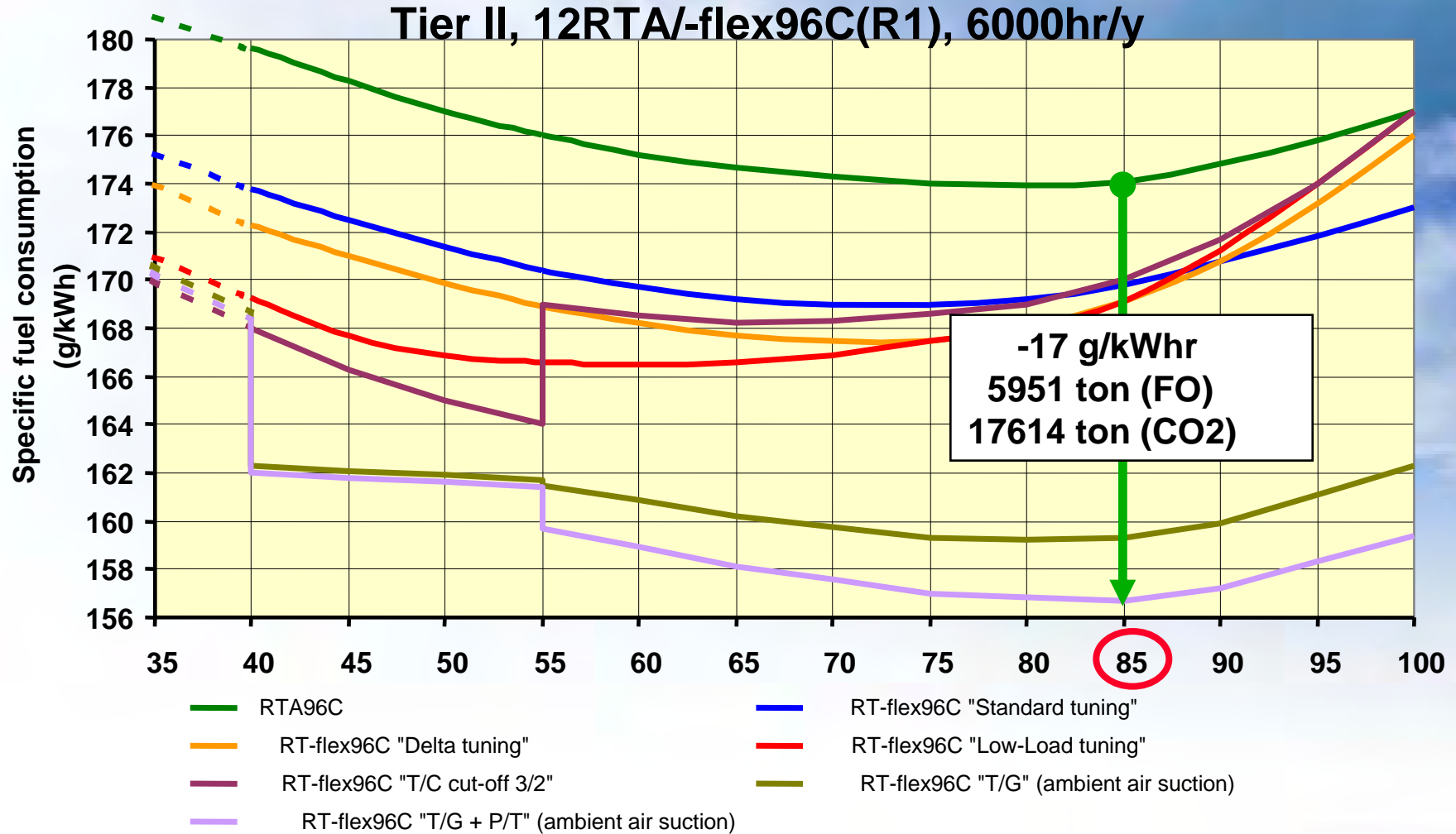


T/Cカット：自動開閉弁

T/Cカット：フランジ装備  
DUにて就航船15隻以上、  
最長2年以上の実績あり。



# チューニングと燃費率



# CO2削減手法まとめ

## NO<sub>x</sub>排出率を規制値以下に抑えて燃費改善する手法

1. 2stミラーサイクルによる膨張行程増大(高過給と排気弁タイミング遅延)
2. シーケンシャル燃料噴射による燃焼制御
3. 電子制御による全負荷で域の最適エンジンチューニング
4. 可変ノズル制御過給機による部分負荷での燃費率向上

## 更なる燃費低減手法

1. Low Load Tuning (T/C低負荷マッチング)
2. Waste Heat Recovery (廃熱回収:T/G+P/T)
3. T/Cカット
4. その他

**ご清聴ありがとうございました。**