

これからの船用パワープラント

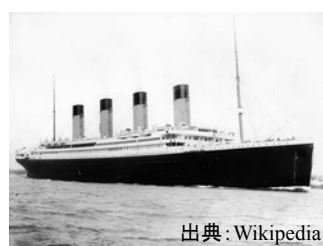
第13回海上技術安全研究所講演会
2013年11月15日

独立行政法人海上技術安全研究所
千田 哲也

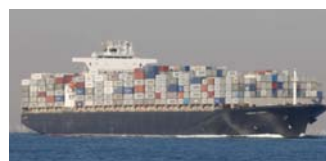


船用パワープラントの技術開発

- 船用パワープラントの歴史
 - より高い熱効率, 扱いやすい燃料
 - 機関形式: 蒸気機関→蒸気タービン
→ディーゼル機関
 - 燃料: 石炭→石油(重油)→天然ガス
- パワープラントに関する規制
(1990年代～)
 - 排ガス規制→NO_x, SO_x, PM(燃料油のS分)
 - GHG排出規制 → 燃費
- これからのパワープラント
 - **規制に対応する技術開発が必要**
合理的な規制の制定のためには先行する技術開発が必要
 - 経済合理性
製造・運航コスト, 安全性, ロバスト性



出典: Wikipedia





パワープラントに関する規制 - MARPOL Annex VI -

・ 排ガス規制

- 有害排ガス (NO_x, SO_x, PM) 規制の必要性がIMOに提案
- 欧米で国別・地域別の規制が検討され, 国際統一基準の必要性が再認識
- 大洋上と陸域近くは規制の重要度が異なる (地理的規制)
 - ECA (Emission Control Area) の設定 (指定された) 陸域近くでは規制強化
- ・ NO_x: g/kWh 値で規制
- ・ SO_x, PM: 燃料油のS分で規制 (PMの多くはS分起源)

・ 温暖化ガス規制

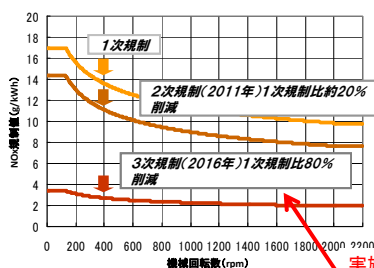
- 国際海運は京都議定書の対象外 (国別規制になじまない)
 - IMOで規制することが要請 (国際航空はICAO)
- 総量規制ではなく, 排出原単位 (g/ton・mile) 規制を志向
- 全世界単一規制 (京都議定書と異なる)



大気汚染防止のための規制

NOx新造船規制

- 2次規制
 - 2011年から実施
 - 1次規制値より15%~22%削減
- 3次規制
 - 2016年から実施
 - 2012年から2013年末までの間に実施時期のレビューを行い, 必要であれば, 規制の実施時期を遅らせる。
 - 指定海域 (ECA) において1次規制値より80%削減
 - ① 24m未満のプレジャーボート
 - ② 合計推進出力750kW未満で設計, 建造上規制適合が困難と主管庁が認める船舶を除外

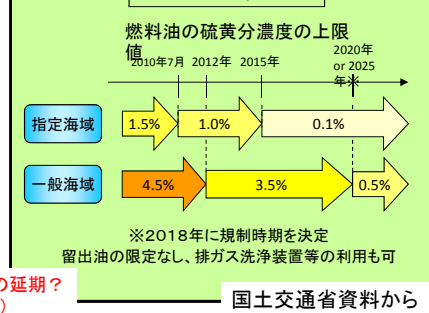


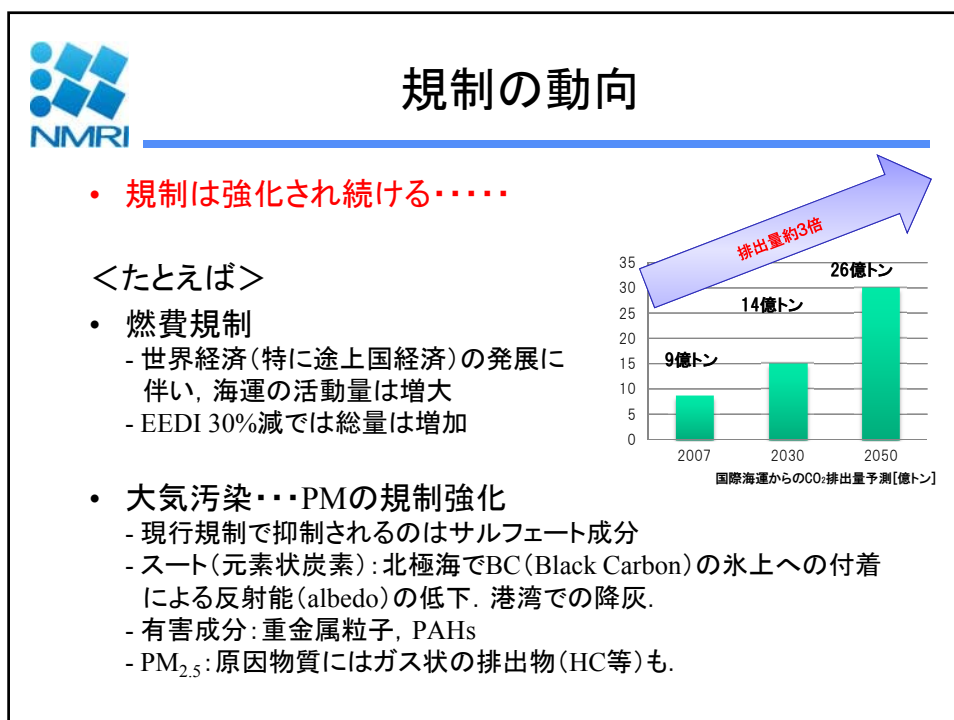
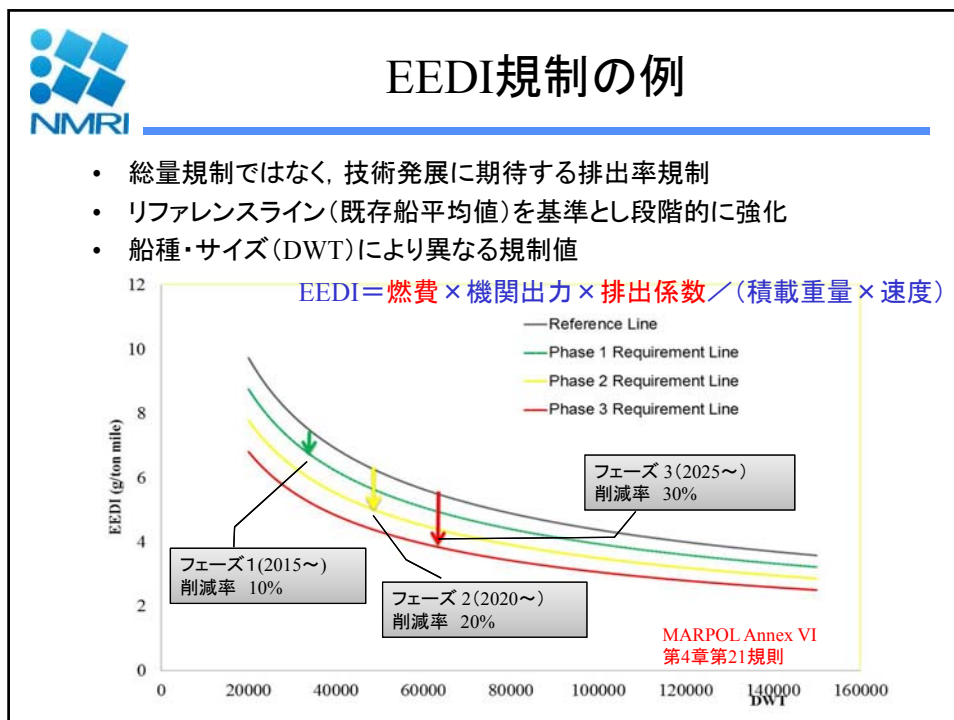
実施時期の延期?
(MEPC 65)

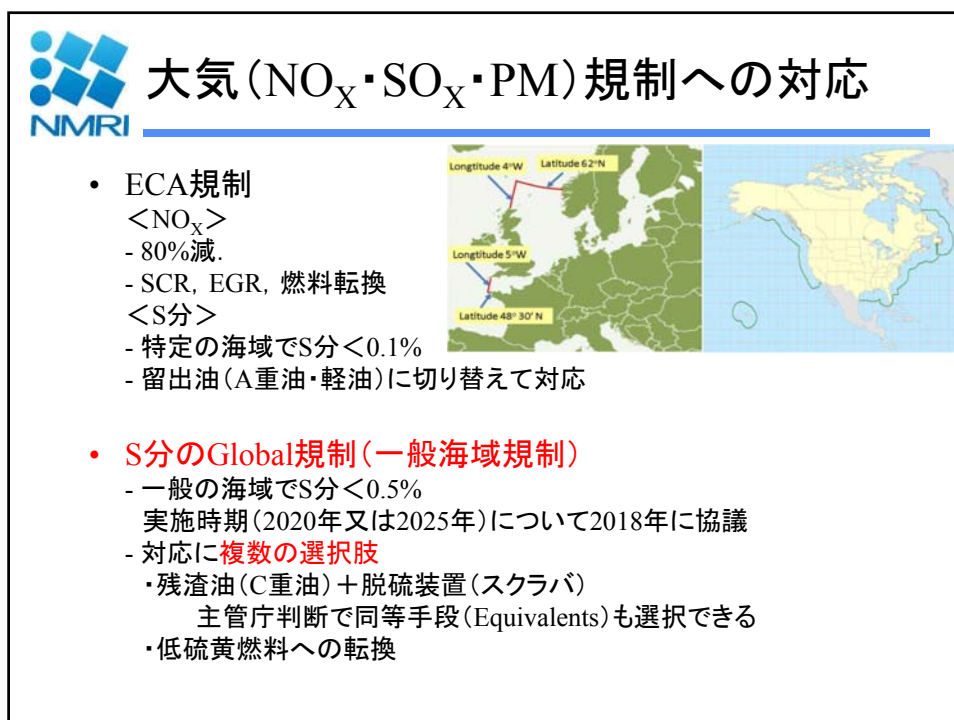
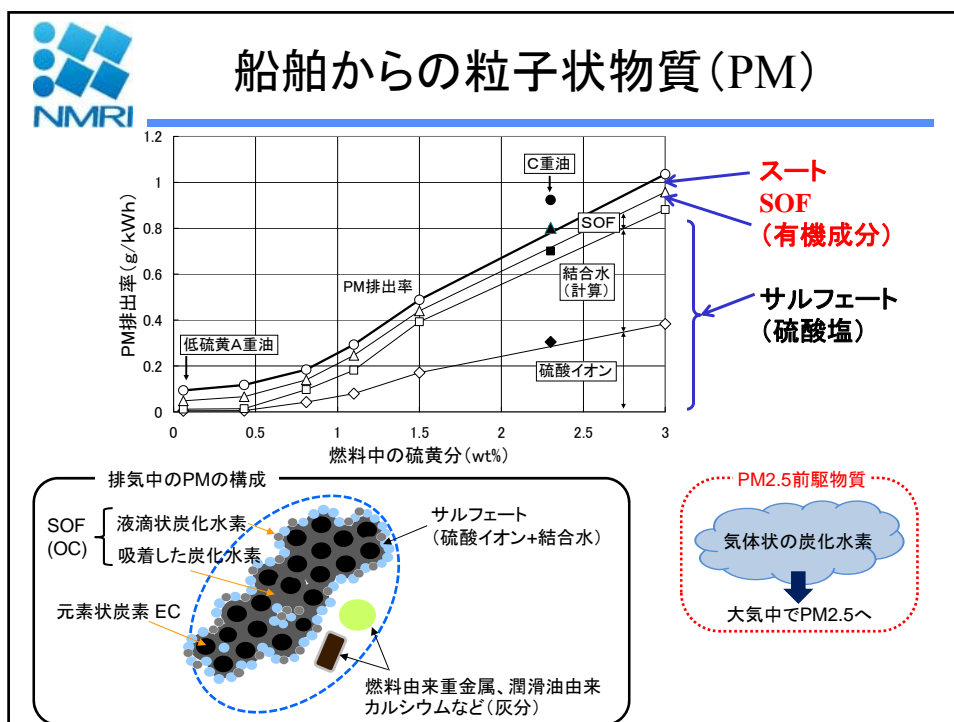
NOx現存船規制

	対象エンジンのうち, アップグレードキット (規制に適合させるための改造手法) が認証されたもののみ規制
規制対象範囲	1990年以降建造の現存船のシリンダ - 容積90L以上かつ出力5000kW超のエンジン
規制値	1次規制値
規制実施時期	いずれかの主管庁がアップグレードキットの認証をIMOに通報してから1年後の最初の定期検査

SOx・PM規制









燃費 (EEDI) 規制への対応

- 船体, プロペラ, 機関・燃料, 運航, ...で対応
- 機関系への期待は10%減程度

削減方法	削減率	削減方法	削減率
自然エネルギー利用	0.1%	船体最適設計	2%
最適運航支援システム	5%	機関システム効率化	10%
推進効率最適化	5%	摩擦抵抗低減	10%
燃料油添加剤	1.5%	合計	30%

横田健二: 第2回超省エネ船シンポジウム, p.15 (2011).

- エンジンシステムでの対応
 - エンジンシステムの効率向上
 - ・ ディーゼルエンジン自体の熱効率に限界
 - ・ 排ガス等からの熱回収による効率の改善
 - ハイブリッド化による他のエネルギー源の活用
 - 燃料転換 (低C燃料; LNG等)によるCO₂排出の低減



パワープラントでのGHG削減

エンジン周辺により循環流動層を形成して排気戻流と排熱回収を行うシステム

← 流動床排熱回収システム

排熱回収 → スターリングエンジン

空気潤滑への掃気の利用

船船海洋工学会ホームページ



Future Ship Powering Options

— Royal Academy of Engineering, UK —

代替推進技術の調査研究 (July 2013)

短期的選択肢

- ディーゼルエンジン
確固たる実績とインフラを有するシステムだが、排ガス対策(SCR, EGR, スクラバ)が必要
- LNG技術
コスト的にも排ガス対策としても有利になる可能性
- ガスタービン
ニッチに適用。燃費ではディーゼルに比べ不利



- ディーゼル+排ガス対策, LNG, ハイブリッド推進システム

中長期的選択肢

- バイオ燃料
- 燃料電池
固体酸化物, 熔融炭酸塩型が有望
- 原子力
- 2次電池技術
有害排ガス低減に有利, ハイブリッド技術への展開も
- 超電導技術
- 水素



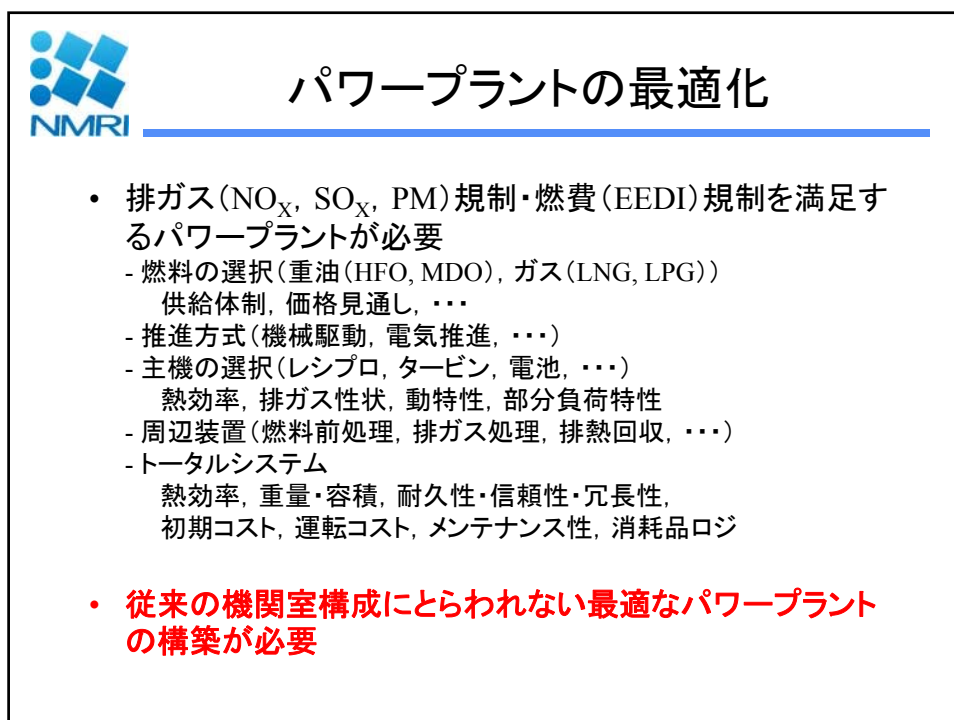
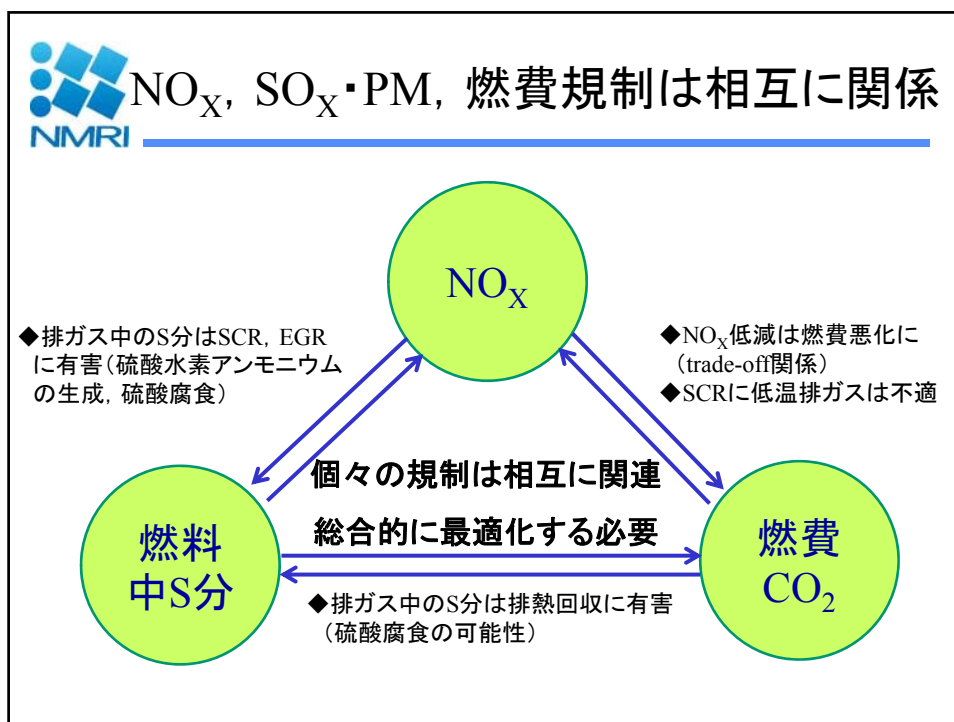
- 代替燃料, 燃料電池, 原子力, 2次電池技術等が重要



The Green Ship of the Future

— Denmark —

- The Green Ship of the Future
 - CO₂ 排出30%減, NO_x・SO_x排出90%減を目指す官民プロジェクト
 - Aalborg Industries, A.P. Moller-Maersk, MAN Diesel, Odense Steel Shipyard (2008~)
- MAN Diesel & Turbo社—EEDI低減技術—
 - 排ガススクラバ
 - 低速航行
 - 自動チューニング
 - EGR (排ガス再循環)による排出低減
 - 排熱回収
- MAERSK社
 - 高価な低硫黄燃料の代替手段—LNG又はスクラバ技術
 - 排熱回収システム, PMフィルター, エンジンの自動モニタリング





燃料から考えるパワープラント

- 燃料中硫黄分規制により, 燃料選択が必要
 - グローバル規制によりすべての船舶に適用の可能性
 - 燃料により最適なパワープラント構成が異なる
- 燃料の選択肢
 - 残渣油 (S<3.5%)・・・Equivalent規定
 - 残渣油 (低S分)・・・直接脱硫, 軽油添加
 - 留出油 (A重油・軽油)
 - 代替燃料 (低硫黄)
 - LNG・・・S-free, C/H比が低い (同じ熱量ならGHG低減)
 - LPG
 - GTL・・・天然ガスから製造される“軽油”
 - バイオ燃料・・・“カーボンニュートラル”
 - 水素・・・2次エネルギー (他のエネルギー減を使って製造)



燃料油の供給構造

- 製品の需要構成
 - 残渣油 (C重油) の需要 (日本)
 - 1980年 80万kL (38%) → 2009年 15万kL (8.1%)
 - 重質燃料は石油製品の10% (↓), 船用は5.5% (↑) (世界)
- 需要の白油化・原油の重質化 (世界)
 - 二次精製装置の増備による軽質製品の比率拡大 (流動接触分解装置, 熱分解装置 (コーカー))
 - 難燃性 (低セタン価) の軽油留分が生成
 - 最新の製油所 (中国, インド, 中東) 二次装置装備率が高い
 - ・・・「残渣油は一滴も出ない」
 - (日本の最新の製油所は出光・愛知; 1975年)
- エネルギー供給構造高度化法 (2009年)
 - 重質油分解装置の装備率10% → 2013年に13% (中国・鎮海: 接触分解 + コーカーで24%)



低硫黄燃料油の供給


- ECA規制への対応
 - ECAでの軽質油使用による需要増加は1.7%程度
(軽質油不足は起きない. 新規製油所は中間留分増産可能)
(JPEC NEWS, 2012.3)
- 一般海域規制への対応
 - 0.5%S残渣油(1)・・・低硫黄原油の利用
低硫黄原油は希少で非現実的
 - 0.5%S残渣油(2)・・・直接脱硫による低硫黄化
直接脱硫装置の増強等でコスト高(28,000円/kL up)
0.5%達成のためには軽油添加・・・動粘度低下
 - 0.5%S留出油・・・低硫黄A重油(軽油)相当品の利用
接触分解・コーカーの装備増強でコスト高(33,200円/kL up)・・・?

 - 高硫黄残渣油・・・現行のバンカー油
スクラバ等の船上脱硫装置が必要
(ENEOS Technical Review, 2011.10)



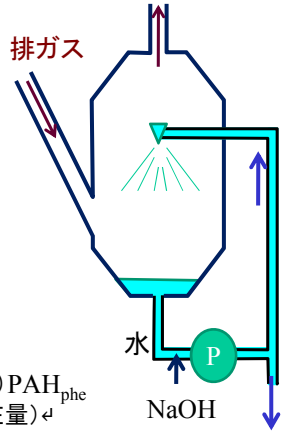
残渣油(C重油)


- C重油(現状はS<3.5%)を使用
 - 燃料費は現状維持, 燃料供給ルートも維持
- 船上での排ガスからの脱硫が必要
 - 開放型湿式スクラバ(海水スクラバ)
 - 閉鎖型湿式スクラバ(清水スクラバ, 中和回収)
 - 乾式脱硫装置(Ca系脱硫剤等)
 - SCRや排熱回収装置を含めると後処理装置群による
巨大プラントに
- SCR等の後処理装置への排ガス中硫黄分の影響
- 初期設備費は必要だが燃料費が低く, トータルで安価
 - 1~2年で設備費を回収可能
 - ライフサイクルでみたエネルギー消費が脱硫燃料使用より低い
- 排水や廃棄物処理の周辺条件が未定



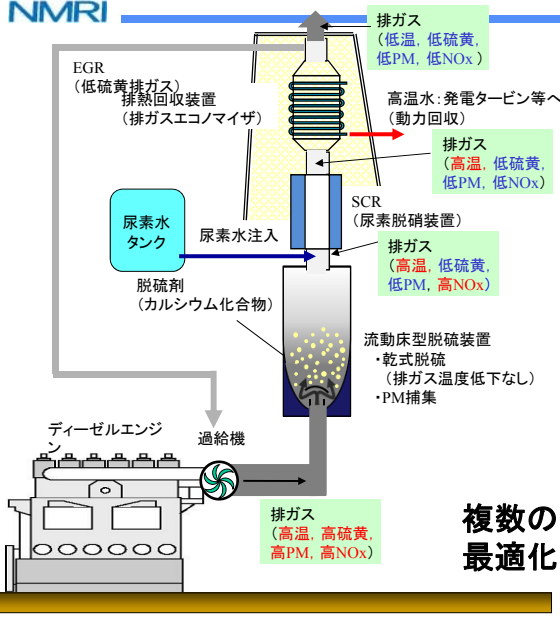
水スクラバ

- Equivalent規定
 - MARPOL条約 Annex VI, Regulation 4に
「主管庁がEquivalent手法を認めることができる」
 - 水(海水/清水)による硫黄分(硫酸/硫酸塩)の除去
排ガスの冷却, 水との衝突による硫酸分の捕獲
- 技術的な課題
 - SO_x除去率, 圧力損失, 耐食性, 排水
- 排水基準(IMO)
 - Guidelines for Exhaust Gas Cleaning Systems
(10. Washwater Discharge Criteria)
 - pH規定: 船舶が係留中の場合のpH(out) > 6.5
 - PAHs規定: 濃度(out) - 濃度(in) < 50 μg/L (50ppb) PAH_{phe}
(フェナントレンで正規化された16種のPAHsの総存在量) ←
 - 濁度・SPM: 濁度(out) - 濁度(in) ≤ 25 FNU (ホルマジン比濁計)
 - 硝酸塩排出: <排ガスから除去されたNO_xの12%
 - 排水添加物など: 薬品を使うEGCでは洗浄水の評価が必要





乾式脱硫装置を用いた排ガス系



装置の構成

- T/C直後に乾式脱硫を設置 (PMと硫黄分を除去)

特徴

- 排ガス温度を低下させることなくPM・硫黄分除去

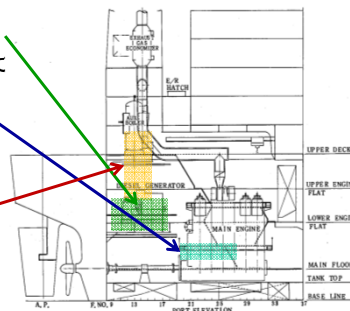
→SCRの硫黄被毒と熱交換器の硫酸腐食の防止

複数の後処理装置を総合的に最適化した統合システムが必要



留出油焚きプラント

- 安全性の向上・後処理系の**トラブル軽減**
 - 腐食・清浄機等のトラブル低減, 燃料切り替えに伴う船員負担軽減
 - SCRの硫酸水素アンモニウム蓄積が軽減(バーナーによる再生不要)
 - エコマイザ(排熱回収熱交換器)の硫酸腐食の軽減
- **燃料系統が簡素化**
 - 燃料が1系統に. サービスタンク以外は不要に.
 - 燃料の加熱系, 前処理系(清浄機等)等が不要に
- GHG排出の低減
 - 燃料加熱ボイラが不要→余剰熱の利用
 - 発熱量当たりのCO₂排出3~4%低減
- **機関室に空間**
 - 後処理系(排熱回収等)の設置が容易
 - 潤滑油が清浄に保持
→2st主機でバンクピストン型も可能
- 問題点
 - 燃料価格が高い(将来は船用グレードの低硫黄留出油も)
 - 動粘度が低く, 潤滑等の問題も



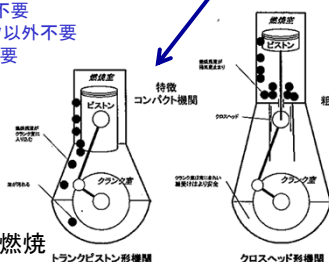
留出油焚きプラントの構成

留出油(MDO)燃料専焼



- 加熱用ボイラ不要
- サービスタンク以外不要
- 燃料清浄機不要

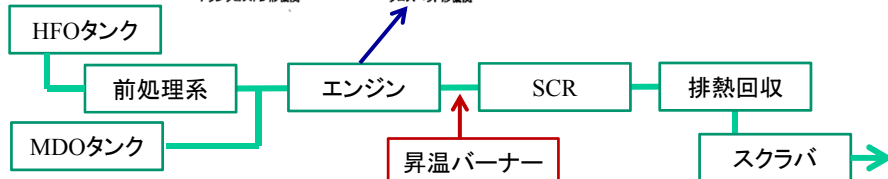
- 劣化対策軽減 (昇温バーナー不要)
- 硫酸腐食の影響小 (大型化による高効率回収も可能)

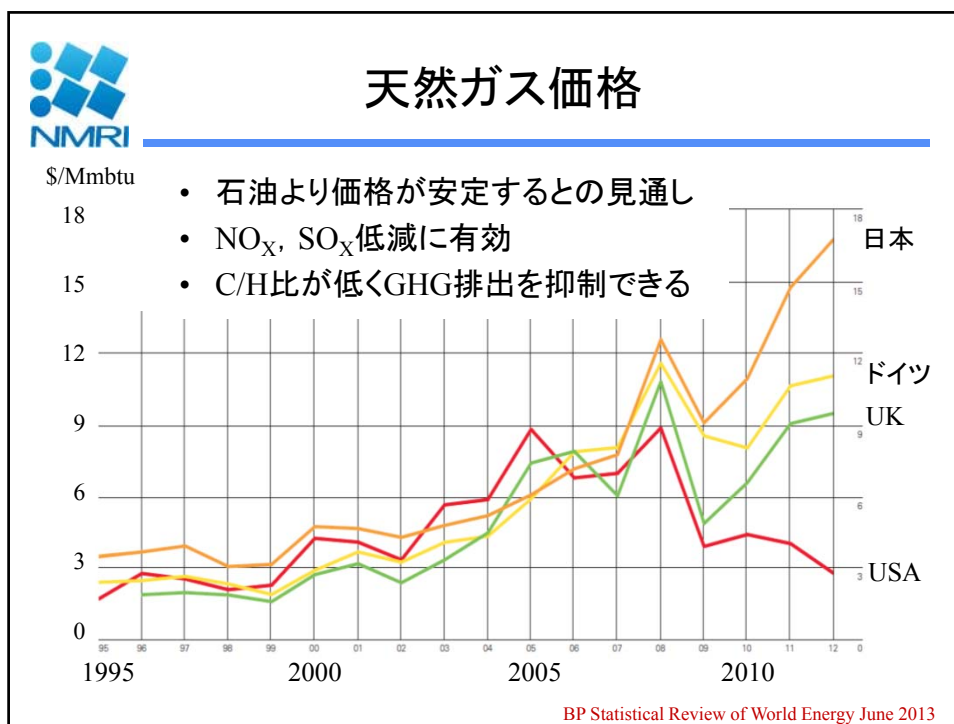



- 潤滑油の汚損が少なく, シリンダ油とシステム油を分ける必要がない.
- 小型の(高さが低い)バンクピストン型も適用可能

図の出典: 日本マリンエンジニアリング学会「マリンエンジニアリング技術者継続教育」基礎コーステキスト

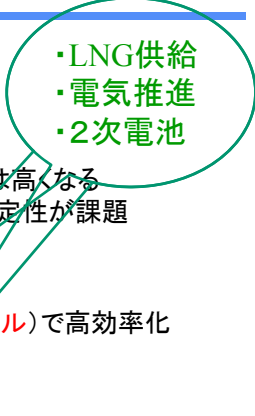
残渣油(HFO)燃焼





 **LNG燃料の利用**

- LNG燃料船が現実的な選択肢に
→ 供給インフラの整備が期待される
- ガスエンジン
 - デュアル燃料・・・燃料の冗長性あり. C/H比は高くなる
 - リーンバーン・・・メタンスリップに要注意. 燃焼安定性が課題
- **ガスタービン**
 - 比出力が大きく, 小型化が可能
 - 蒸気タービンによる排熱回収(コンバインドサイクル)で高効率化
 - 日常のメンテナンス軽減
- **燃料電池**
 - 化学エネルギーを直接電気に変換. 高効率の電気推進が可能.
 - 水素燃料搭載には課題が多い. LNG, DME等からの改質であれば現実的な選択肢
 - 本質的にNO_x, SO_x, PMの排出はない

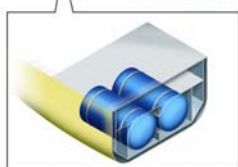
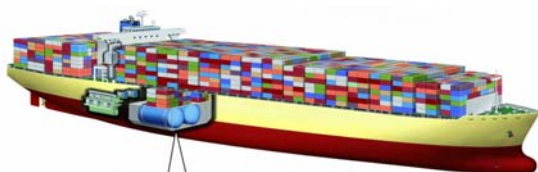


- LNG供給
- 電気推進
- 2次電池



LNG燃料船

- 規制強化と燃料コストの問題の同時解決の可能性
 - NO_xが約90%, SO_xがほぼ100%, CO₂が約25%削減可能
 - 天然ガスは今後長期的には安定した価格で供給される見込み
 - 環境規制強化に伴う低硫黄船用燃料油等のコスト追加の抑制が可能



LNG燃料外航コンテナ船(9300TEU)のコンセプト

低硫黄燃料油が1,100ドル/トン
の場合、LNGが493~525ドル/
m³で年間費用(購入費の償却込
み)でLNG有利

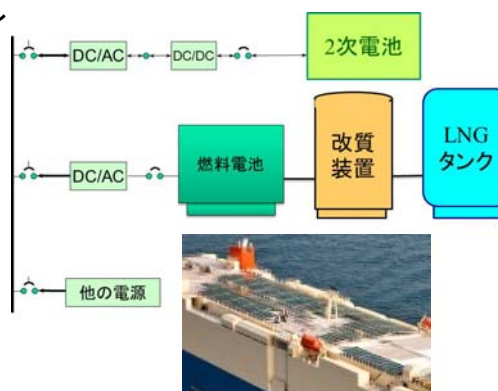
安達他:海上技術安全研究所
第12回研究発表会(2012)

燃料タンクの製作費は容量に依
存



LNG燃料電池

- 燃料電池の種類を選択
 - SOFC(固体酸化物形)・・・高効率
 - PAFC(リン酸形)・・・実用実績
 - PEFC(固体高分子形)・・・自動車用の本命
- 部分負荷で効率低下なし
- 天然ガスからの改質
 - $\text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + 3\text{H}_2$
 - $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2$
 - 改質は吸熱反応
 - 高効率改質触媒
 - 熱の有効利用
- 改質時に二酸化炭素の分離可能
 - 船上CCSの可能性





これからの船用パワープラント —まとめにかえて—

- これからのパワープラントの変化は、**規制への対応**が主要因
 - 現行のAnnex VIIに加え、燃費規制の強化、PM規制の検討が想定される
 - IMOでの議論を主導するために、先行した技術検討・開発が必要
- 排ガスと燃費の規制に対応するためには、複数の機能が要求される
 - 個々の規制への対応は相互に関連 → **総合的に最適化**を図る必要
- 新しいパワープラントの設計には**燃料選択**がキーに
 - 残渣油・・・低コスト、複雑な後処理系、スクラバは排水基準等に課題
 - 新燃料への転換も検討すべき
- **留出油** (A重油・軽油相当) への転換
 - 機関周辺機器の容積減少 (燃料前処理系、ボイラ等が不要)
 - メンテナンスコスト低減: 機関操作が簡素化、トラブルも減少
- **ガス燃料** (LNG, CNG, LPG) への転換
 - 燃料供給インフラ整備の機運
 - **ガスタービン**, **燃料電池**も選択肢に
 - 燃料電池は、大幅なGHG削減 (~ゼロエミッション) の可能性
- 燃料タンク～エンジン本体～後処理系・周辺機器を含めた**最適選択・設計**