

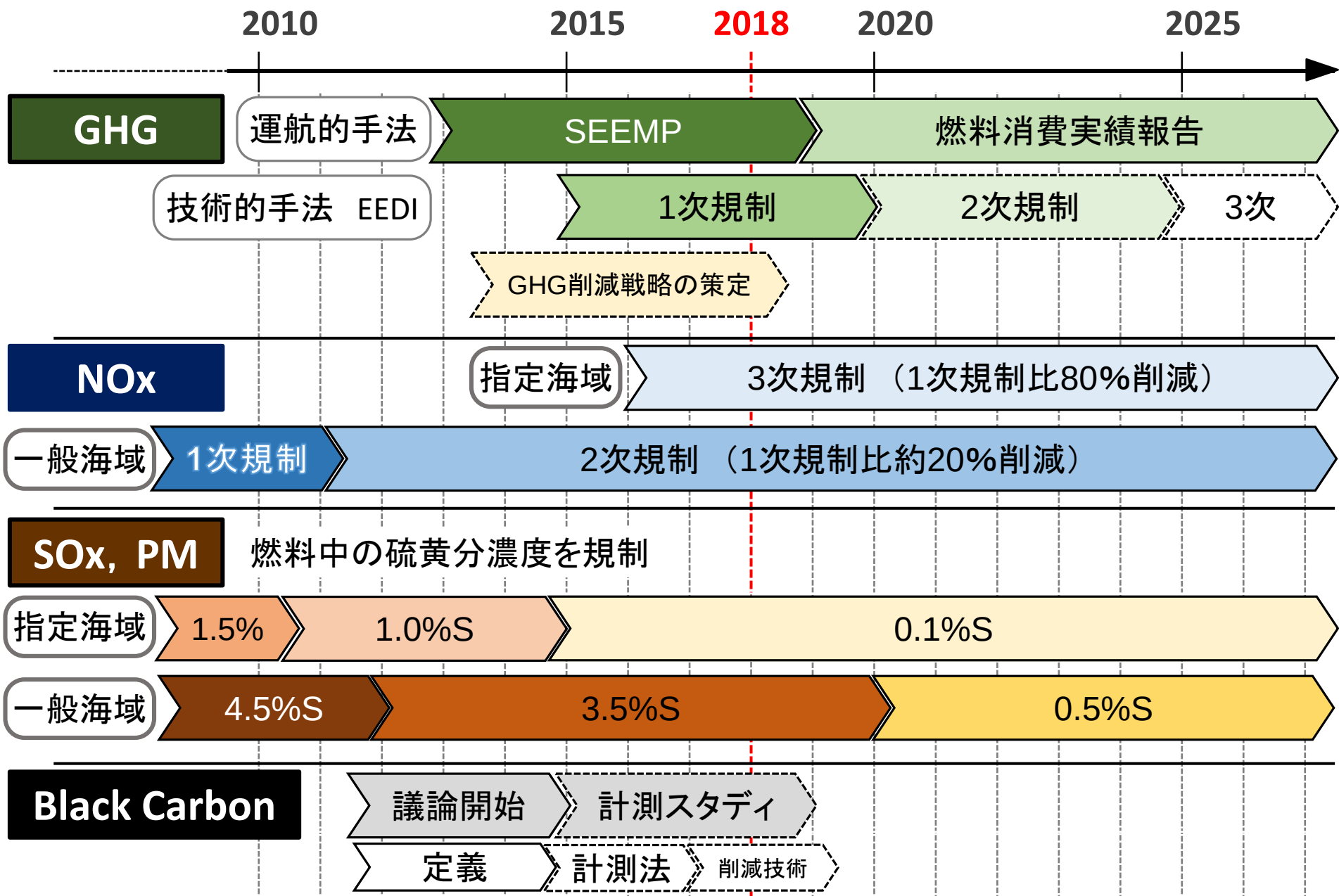
Sea Japan 2018
海上技術安全研究所主催セミナー

C-9

大気環境規制の動向と船用動力源の 燃料多様化



国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
海上技術安全研究所 環境・動力系
環境分析研究グループ長
高橋千織

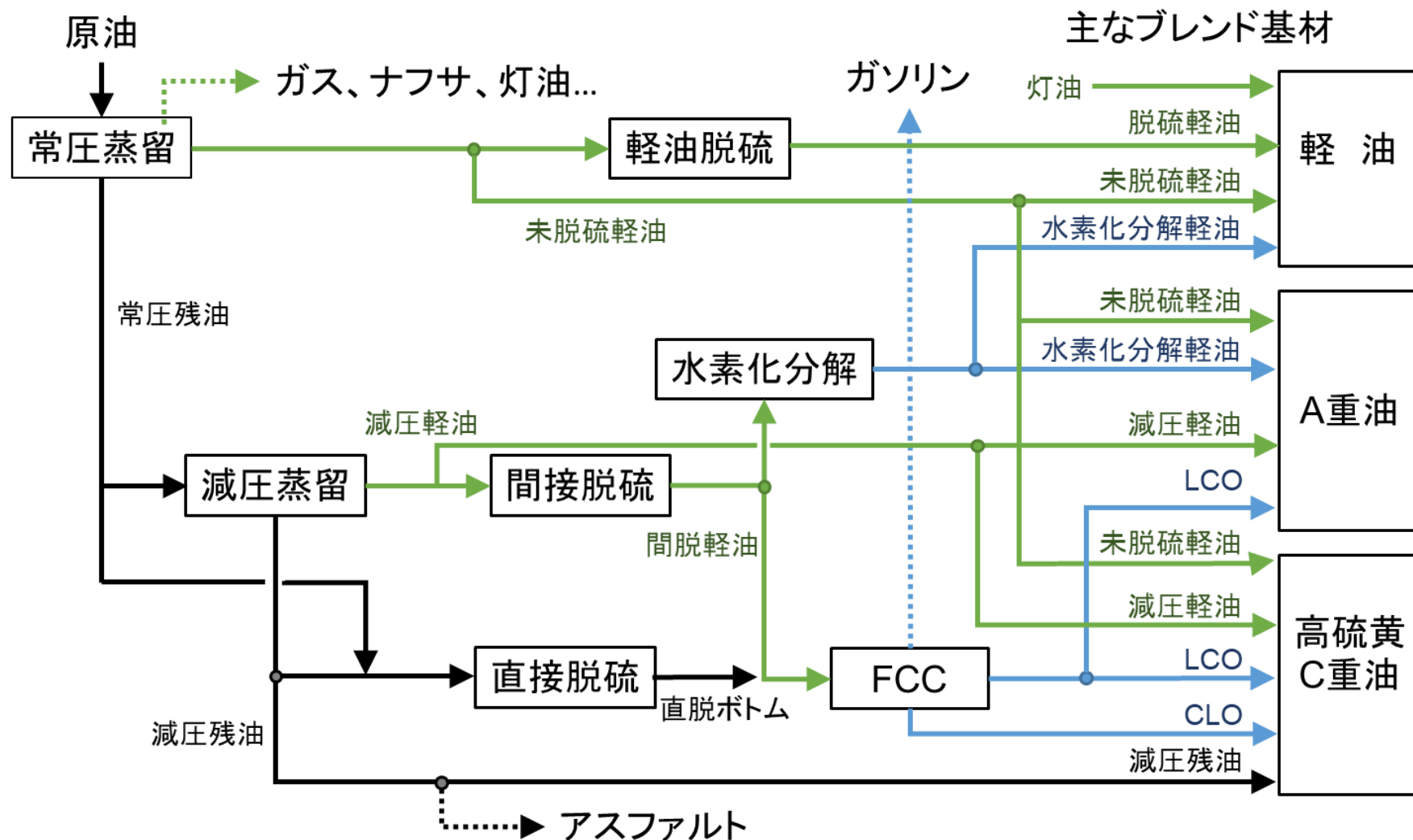


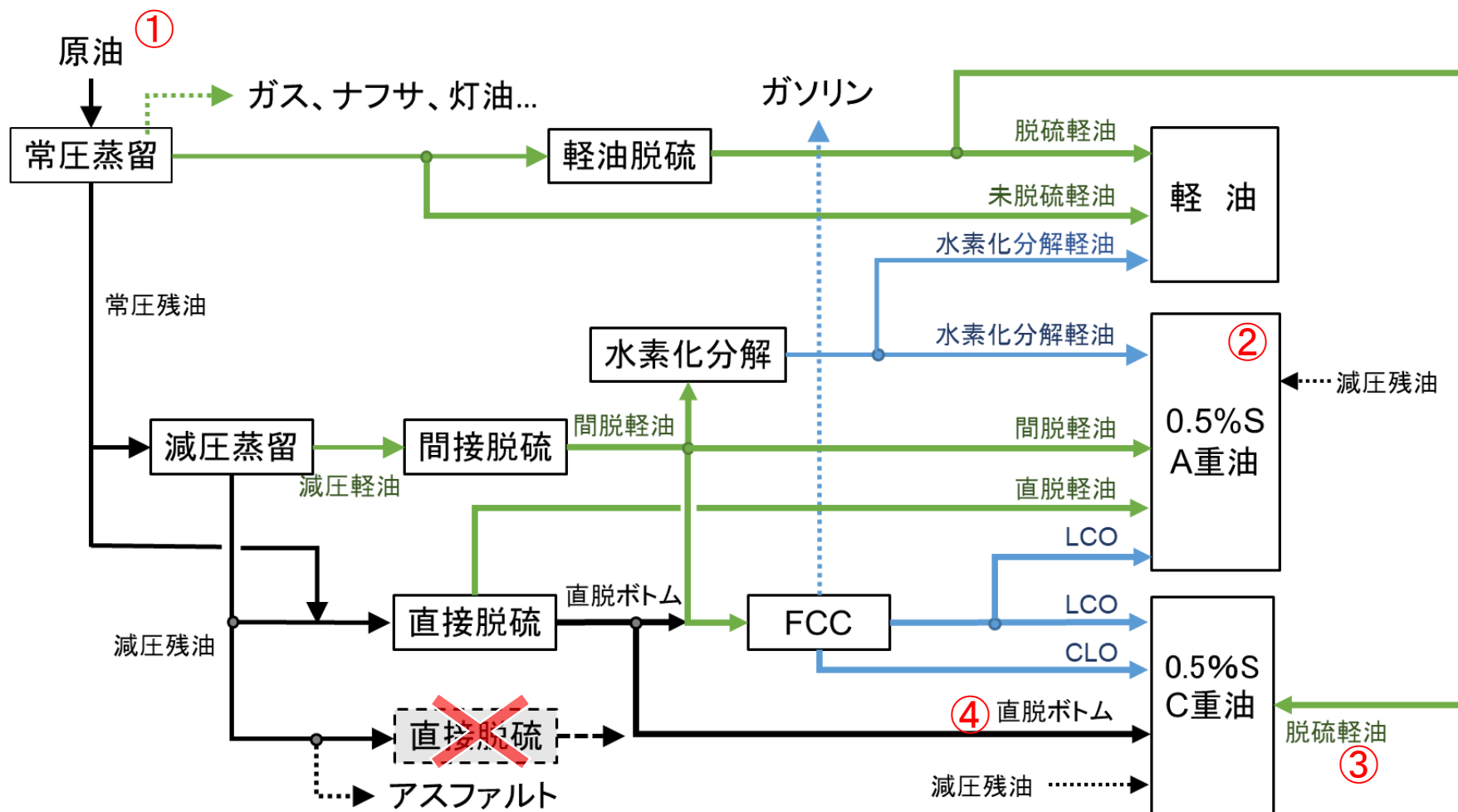
海技研における大気環境規制関連のエンジン技術 周辺研究について紹介

- SO_x規制強化への対応について
 1. 2020年以降の低硫黄燃料油について
 2. 対策技術についての現状データ
- ブラックカーボン(BC)対策からみた環境規制対策技術
 1. BC規制検討の経緯と削減技術調査について
 2. 海技研における研究状況

SOx規制強化への対応

2020年以降の船用燃料油の低硫黄化について





低硫黄化のための手段:

- ①原油の低硫黄化、②留出油タイプ(DMBグレード)、③既存C重油を脱硫軽油で希釈、
- ④直脱ボトムをベース(ハイブリッドタイプ)

2020年以降の燃料油

動粘度範囲の拡大(低粘度化)、燃焼性の悪化、混合安定性など
燃料品質のあり方 特に注意すべき性状は何か？

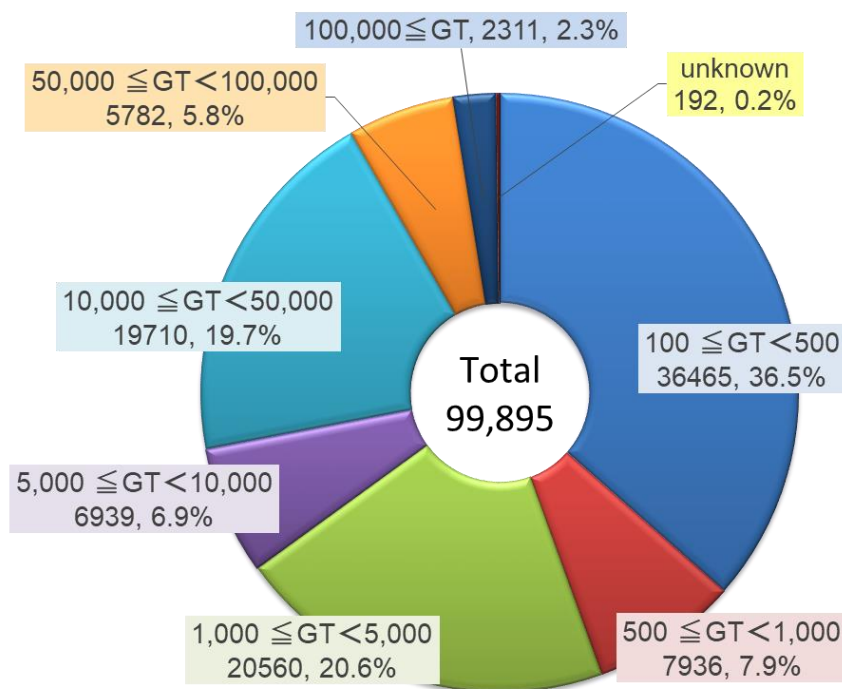
- 内航船では、使用する燃料に対し、エンジン側、船舶側の設備条件を整理する必要あり
 - * C重油常用からA重油専焼への転換 → 基本的に問題なし
 - * 問題なく使用できる動粘度範囲か？(加熱器、粘度コントローラ)
 - * 2020年以降、石油会社から個別製品ごとの性状表が提供されるか？
 - 外航船では、燃料性状の動向を見守っていく必要
 - * サプライヤによって作り方が異なる。国内に比べ、よりバラエティに富んだ燃料が出てくる可能性があり、性状の確認が必要。
 - * 0.5%LSFOの場合、CCAI値が適用できない、低負荷でスス(ブラックカーボン)、PMの発生量が増大する可能性。
- 初期においては、どこでどんな燃料が入手可能か、トラブルの有無など情報の共有が重要

SOx規制強化への対応

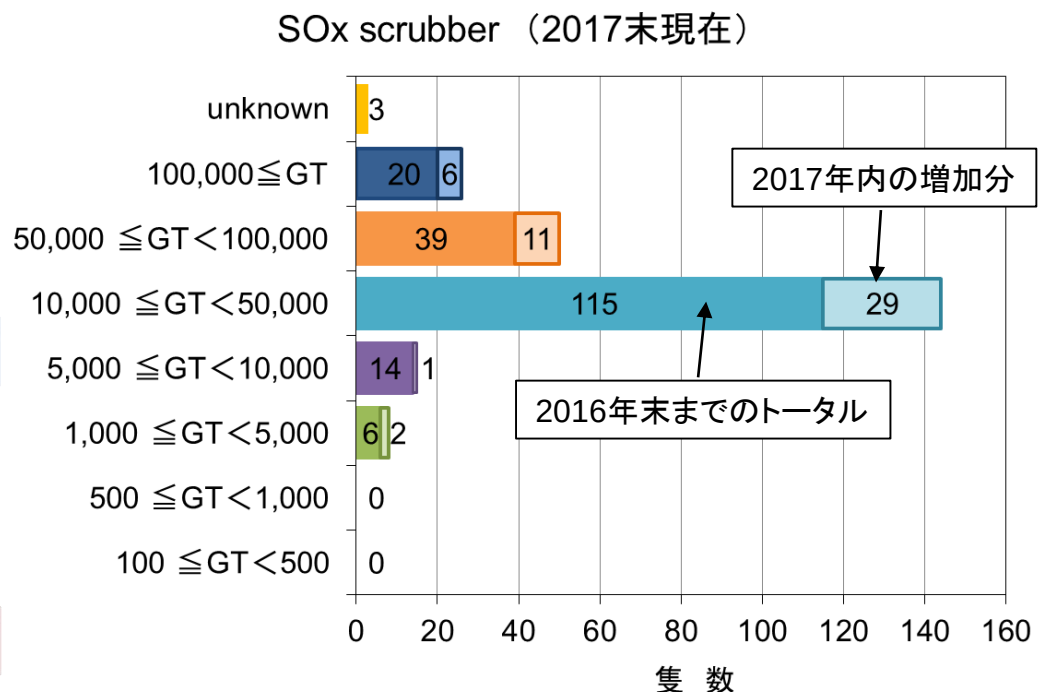
現状における対応動向

燃料転換	従来燃料	メリット	・従来通りのオペレーションで運航可能 ・留出油では燃料供給の問題はほぼない
	低硫黄化	課題	・経済性 ・高硫黄燃料からの転換では、シリンダ油変更などが必要
	代替燃料①	メリット	・再生可能エネルギーであり、カーボンニュートラル
	バイオ燃料 メタノールなど	課題	・生産量と生産コストにまだ課題がある ・原料・精製方法によって性状が変わる可能性 ・酸化劣化しやすい。ゴム、樹脂類を劣化させる可能性
	代替燃料②	メリット	・SOx以外の規制にも効果的
	LNG	課題	・燃料供給インフラの整備 ・初期コスト(新造船時導入に向いている) ・新たな船員教育(すでにLNG運搬船で確立済み?) ・将来的にメタンスリップが規制の対象となる可能性?
	代替燃料③	メリット	・SOx以外の規制にも効果的 ・燃料供給拠点は、LNGに比べ多い
	LPG	課題	・バンカリング方法 ・初期コスト(LNGよりは安価。新造船時導入に向いている) ・安全対策の整備、新たな船員教育
	同等手段 (Equivalents) 附属書VI Regulation 14	メリット	・今までどおり安価な高硫黄重質油を使用できる ・PM、BCの削減もある程度期待できる
	スクラバ	課題	・薬剤や計測機器の取り扱いなどの船員教育 ・初期コスト

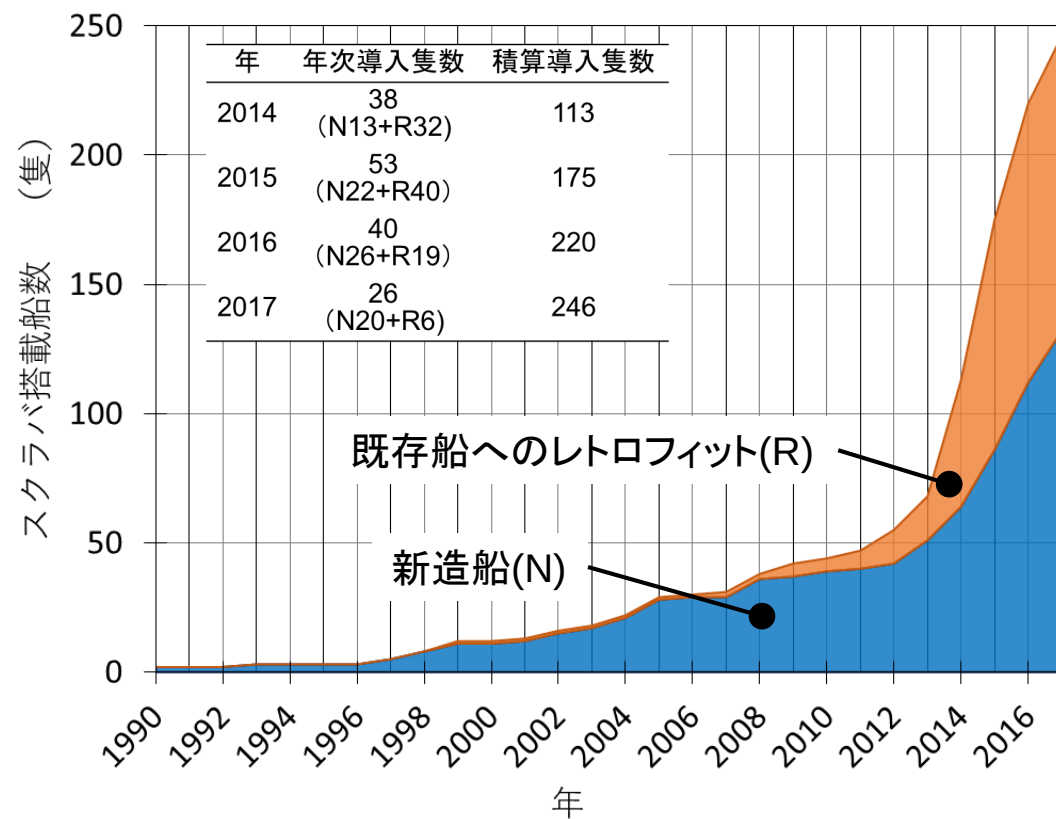
World Fleet Registerに登録された
商船(運航中) 99,895隻の内訳



World Fleet Registerに登録された
現役船へのスクラバ搭載総隻数 246隻

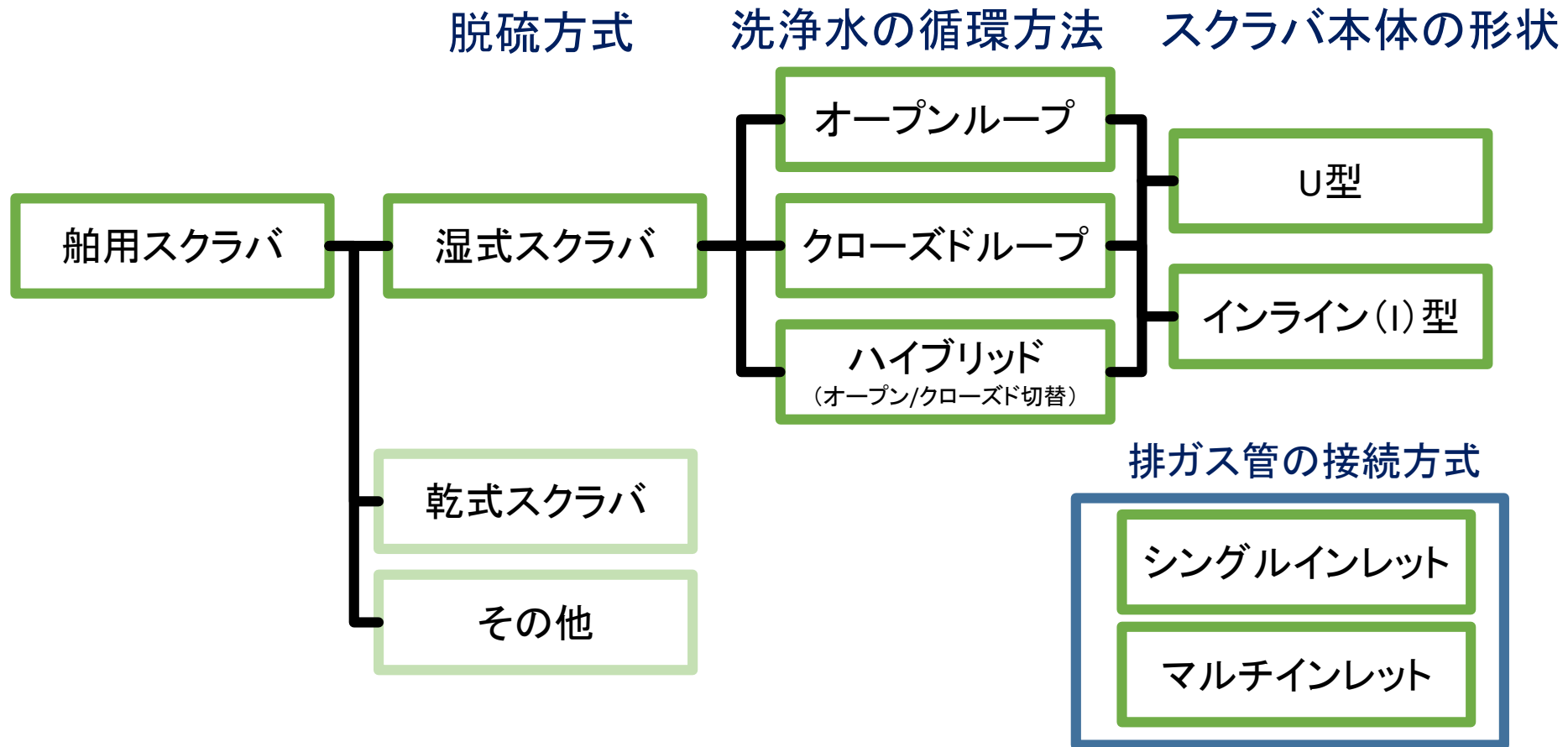


スクラバ搭載隻数推移

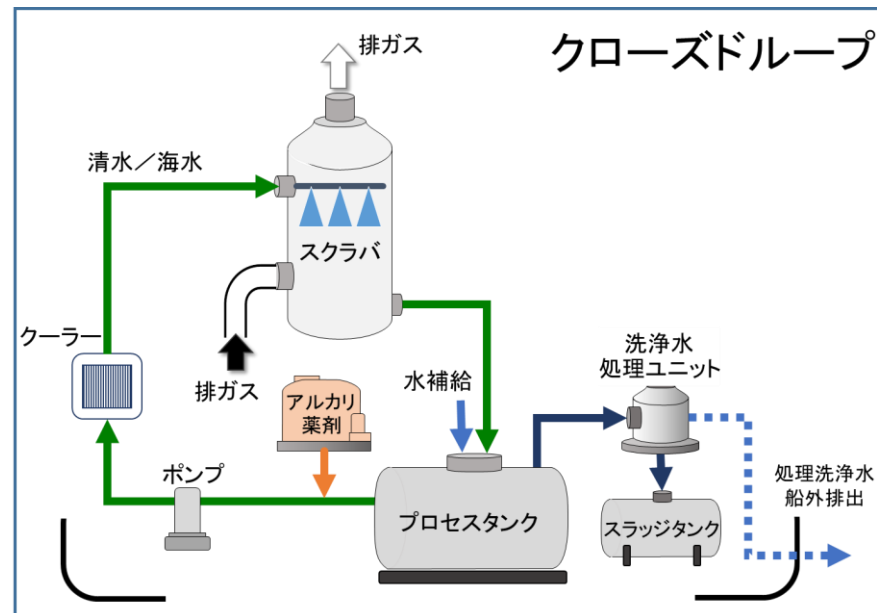
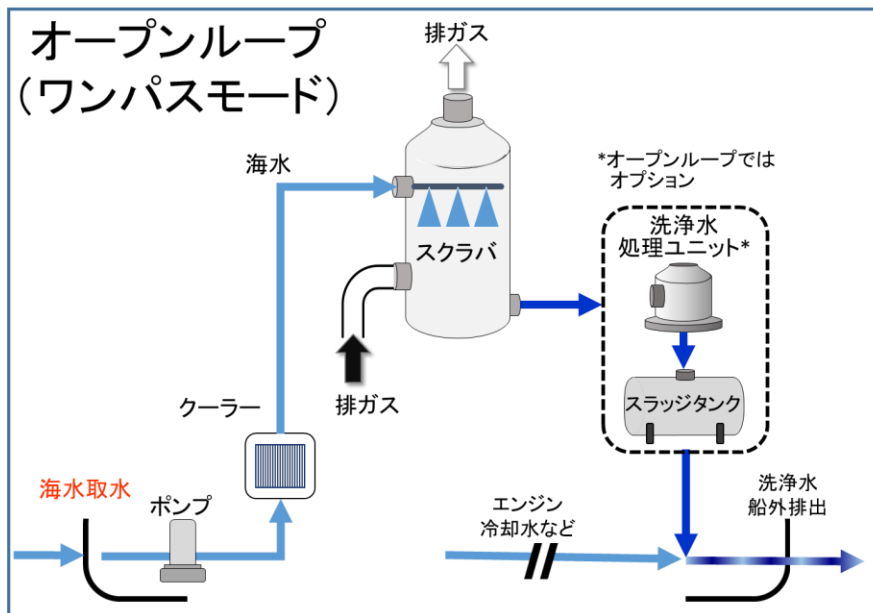


船種別スクラバ搭載数

船 種	搭載総数	
	2016	2017
Ro-Ro	53	57
Cruise Ship	32	42
Tanker	12	28
Gas carrier	22	25
Cargo ship	19	23
Pass./Car Ferry	19	21
Offshore support	11	11
Fully Cellular Container	10	12
Pure Car Carrier	6	14
Stone Chip Carrier	4	4
Floating offload system	3	3
Ore Carrier	2	2
Reefer Fish Carrier	2	2
Training Ship	1	1
Pipe Layer	1	1
	197	246



◆洗浄水の循環形式



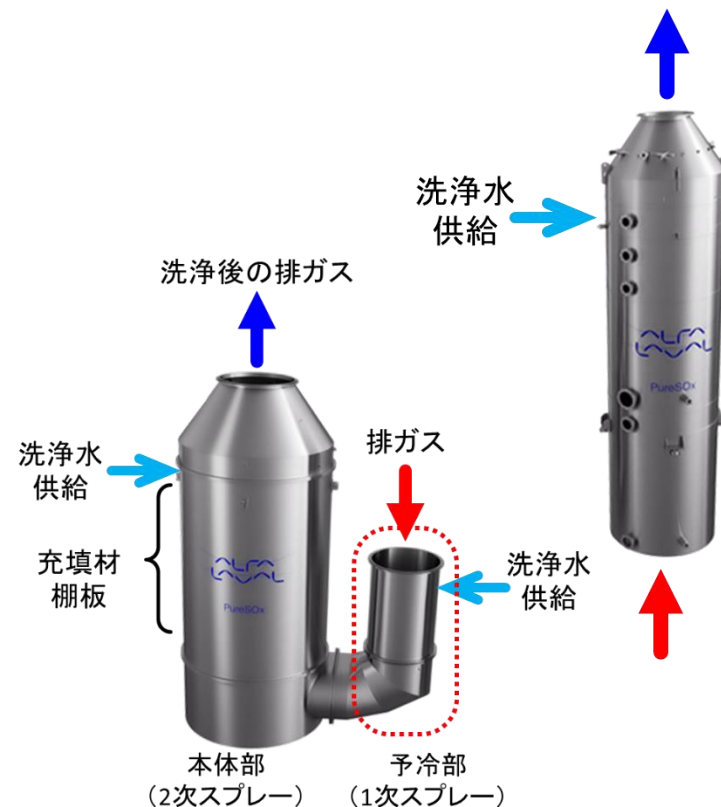
- 清水製造装置(清水使用の場合)
- 苛性ソーダなどの中和剤
- 洗浄水処理システム
- スラッジタンク

ハイブリッド方式:
必要に応じてオープン/クローズド切替

◆形状別

- U型
- I型（インライン型、ペンシル型）

	U型	インライン型
脱硫能力	高	U型より低 (Global Cap向き)
洗浄水量 (m ³ /MWh)	45	U型より 20%程度多
排気管バイパス	必要	必要なし
対応形式	オープン / クローズド ハイブリッド シングル / マルチインレット 海水 / 清水	



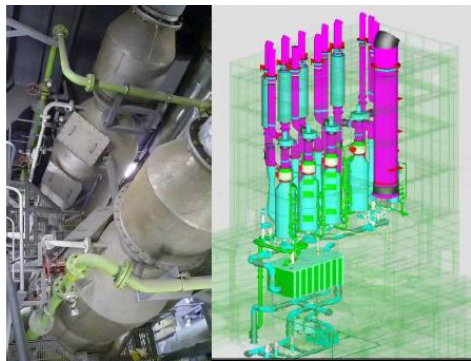
ALFA LAVAL社HPより



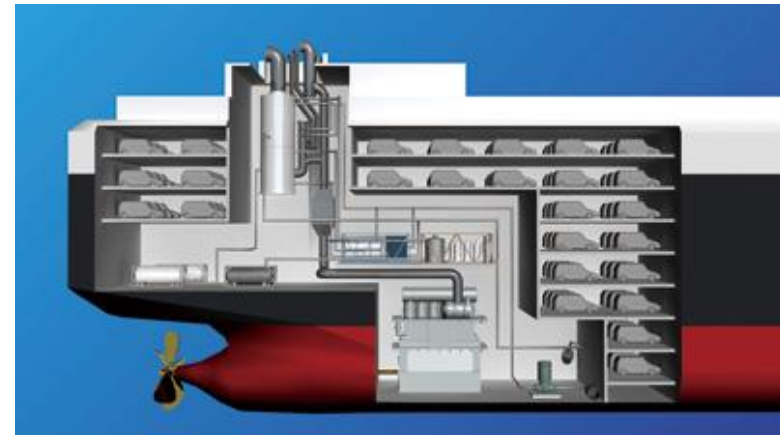
マルチインレットスクラバ
(レトロフィット)

APL England – コンテナ船

WÄRTSILÄ社



シングルインレットスクラバ
MV Jolly Diamante – コンテナ船



三菱ハイブリッド SOx スクラバーシステム
三菱重工業/三菱化工機
DRIVE GREEN HIGHWAY-自動車運搬船

* スクラバ本体以外の主要周辺機器を
40フィートコンテナ内にパッケージ化

バルチラ社資料(2012/5)より

<http://www.pmsaship.com/pdfs/Stian%20Aakre%20-%20Wartsila%20Hamworthy,%20Panel%204.pdf>

三菱化工機HP <http://www.kakoki.co.jp/theme/sox-scrubber/index.html>

LNG燃料船

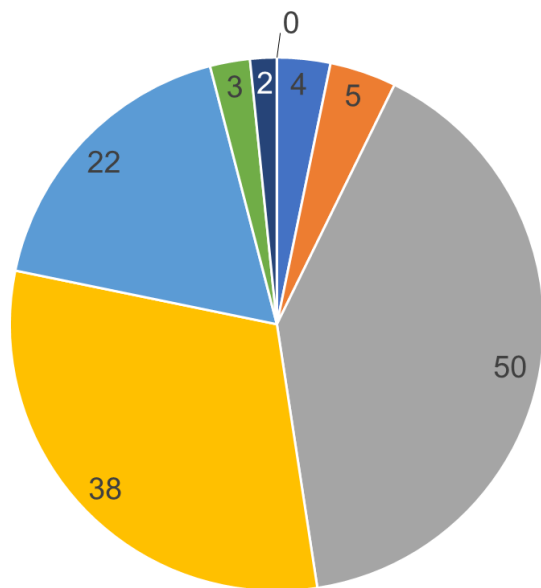
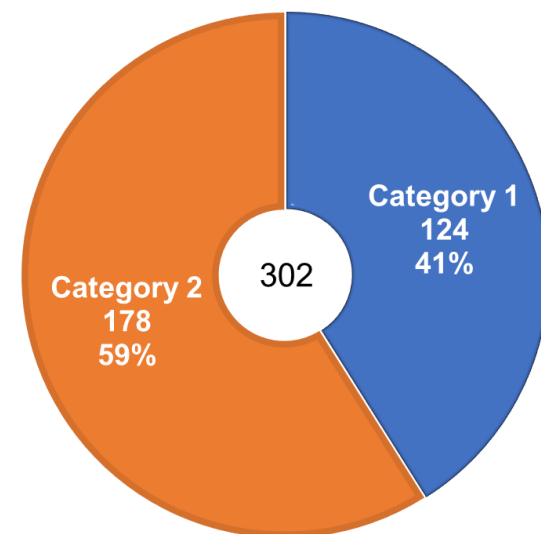
以下の2つのカテゴリーに分類して整理

Category 1

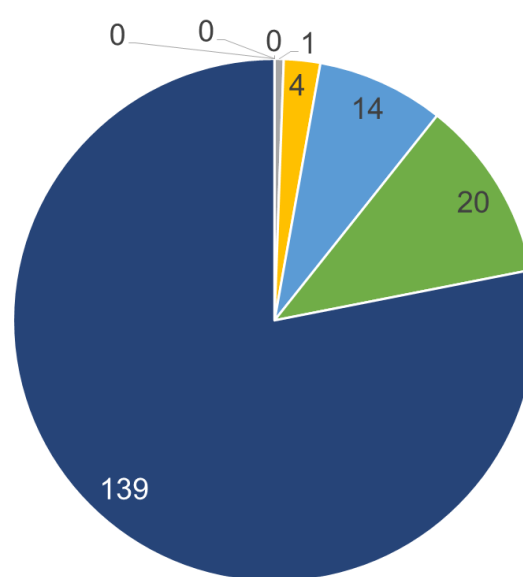
LNGを燃料としてのみ使用する目的で積載

Category 2

LNGを燃料及び貨物として積載



Category 1



Category 2

Unit: ton

- 100 ≤ GT < 500
- 500 ≤ GT < 1000
- 1000 ≤ GT < 5000
- 5000 ≤ GT < 10000
- 10000 ≤ GT < 50000
- 50000 ≤ GT < 100000
- GT ≥ 100000
- unknown

重油、LNG以外の燃料を使用する船舶:9隻

燃料にメタノールを使用:5隻(客船1、メタノールタンカー4)

燃料にエタンを使用:2隻(エチレン・LPGタンカー)

バイオ燃料を使用:4隻(一般貨物船2、客船2)

* メタノール専焼船(客船)を1隻を除いて、すべて2016年以降に建造されており、HFOも使用している。

二次電池を主動力とする船舶:4隻

4隻ともディーゼル発電機で発電した電力を二次電池に蓄えて使用。AMP (Alternative Marine Power、陸電)、Solar cell (太陽光パネル)、バイオ燃料も併用。船舶単体でのゼロエミッション化を実現

➤ 今後の取組の方針

需要の集中が想定される低硫黄 C 重油の需要を他の燃料へ分散するとともに、十分な供給能力を確保し、需給・価格を早期に安定させるため、以下の取組等を推進することとなりました。

- ・スクラバーの小型化・経済性向上・工期短縮
 - ・低硫黄 A 重油へ転換する際の必要な対応とメリットの明確化
 - ・LNG 燃料船の導入促進
 - ・使用可能な燃料油の性状の幅の拡大
- 等

第 3 回燃料油環境規制対応連絡調整会議の結果報告から抜粋
<http://www.mlit.go.jp/common/001220746.pdf>

* 燃料油環境規制対応連絡調整会議

国土交通省海事局は、海運業界及び石油業界と経済産業省資源エネルギー庁などを含めたオールジャパンの会議を設置

Black Carbon規制の必要性 についての検討状況

BC計測法と計測スタディ
削減技術の調査

◎IMOへの問題提起

MEPC60(第60回海洋環境保護委員会、2010年3月)



「北極圏における船舶からのブラックカーボン排出削減」

ノルウェー、スウェーデン、米国の共同提案

MEPC62(2011年7月)

「国際海運からのBC排出が北極海域に及ぼす影響とその規制の必要性」について検討することで合意

◎ BLG(現PPR)小委員会への検討作業委託

- ① BCの定義を提案する
- ② 最も適切な計測法を特定する
- ③ BC排出を削減する適切な方法の調査を行う

IMOにおけるBCに関する議論の経緯(2)

- BCの定義:

MEPC68(2015年5月)にて基本合意

Bondらの定義をもとにした定義とする

T.C.Bond et al., J. of Geophysical Research: Atmospheres,
118(2013), 5380-5552

- 計測法:

PPR5(2018年2月)にて合意(現時点で一つに特定しない)

フィルタスモークメータ法(FSN)、光音響(PAS)法、

レーザー誘起発光(LII)法

- 各国での計測スタディ実施: 継続中

→計測スタディのための報告プロトコル作成(PPR5)

- 削減技術の調査:

PPR6(2019年)にて検討予定

→現在、CGにおいて意見集約中

1. 燃料転換

	期待されるBC削減率	Note	
燃料油転換	HFOからMDOの場合 30%～80%	2ストロークと4ストロークエンジンで異なる。 最新の電子制御エンジンでは効果なしとの報告もあり。 ハイブリッドタイプでは更なる評価が必要	○
水エマルジョン	50-90%	CO ₂ 削減18%以下	○
LNG	90%以上		○
LPG			
バイオ燃料	50-75%(100%の場合) 10-30%(20%ブレンド)	再生可能エネルギー	○
メタノール エタノール	97%(DME)	常温常圧で液体 再生可能エネルギー	
電池			○
燃料電池		NOx、SOx、PMはほぼゼロ	○
水素			○
核燃料	95%以上		

2.エンジン技術

	期待されるBC削減率	Note	
エンジンタイプ	2-ストは4-ストの1/2-1/10	Man Diesel & Turbo資料	○
	大きさと負荷によって、PM排出率は3桁近く異なり、一般にエンジンが大きくなるとBC排出率は小さくなる		
エンジン負荷率		エンジン負荷率を上げるとBC排出率減	○
電子制御化		新しい電子制御エンジンほど燃焼が良く、BC排出率減	○
	低負荷で80%以上	三菱重工資料(7UEC33LSII)	
エンジンオプション			
スライドバルブ	20-50%		
De-rating	4%		
チューニングと減速	12%		

3.排ガス後処理装置

	期待されるBC削減率	Note	
SOxスクラバ	25-70% 30%程度	レポートによって値に差があるのは、エンジンとスクラバタイプの組合せによると考えられる	○
	0%	Finlandの実船計測報告	
DPF ディーゼルパーティクルフィルタ	70-90%	複数の報告から引用 燃料条件などによって異なるとの報告も	○
	99%以上	新しい電子制御エンジンほど燃焼が良く、BC排出率減	
電気集塵機(ESP)	15-90%	陸上では実用化されているが、船用市販品の実績は少ない。 水を使用するタイプもある。	○
SCR (選択的触媒還元)	0-35%	基本的にはSCRに削減効果はない	○
	TierIIIエンジンよりSCRを搭載したTierIエンジンの方がBC少	SCRを利用することで、NOxを気にせず、燃焼改善が行えることからBC削減	

4.燃費改善や政策他

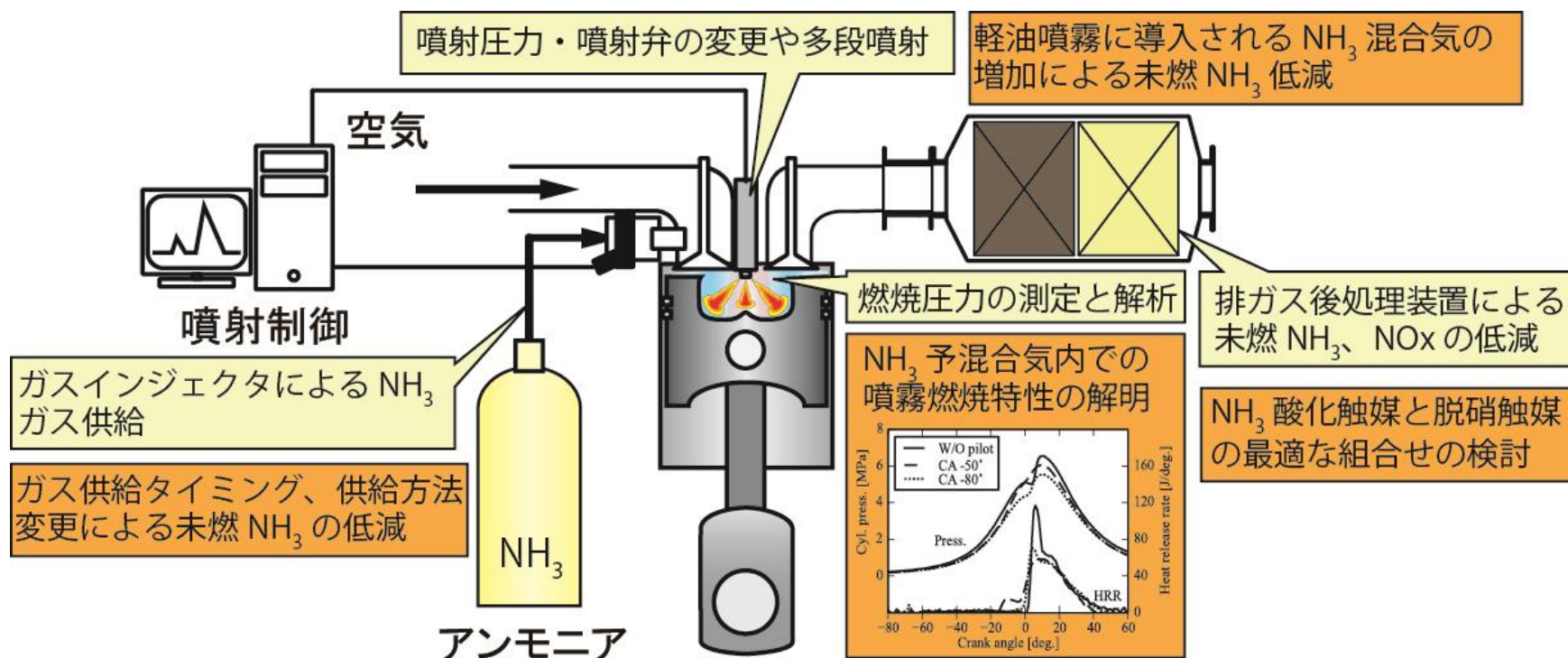
	期待されるBC削減率	Note	
船デザイン(新造船) EEDI	10-30%	燃費改善と同等のBC削減効果 2020年までに20%、2025年までに 30%の燃費改善	○
船デザイン (レトロフィット)SEEMP	1-20%	プロペラ最適化、空気潤滑、船底塗料、 クリーニングなど	○
モニタリングオプション	0.5-10%	ウェザールーティングや自動航行システムの アップグレード	○
減速運航	0-30%		
ECAの拡大 (残渣油の使用禁止)	35-80%		
BC排出基準値の制定		政策的な対策(税金、補助金等)により、 BC削減を船主に促す。	

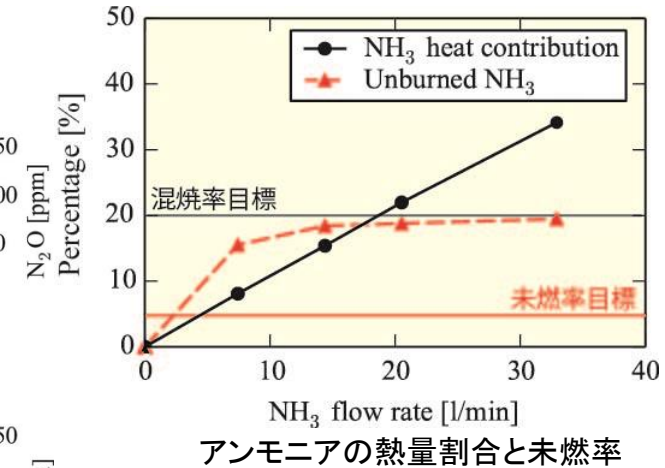
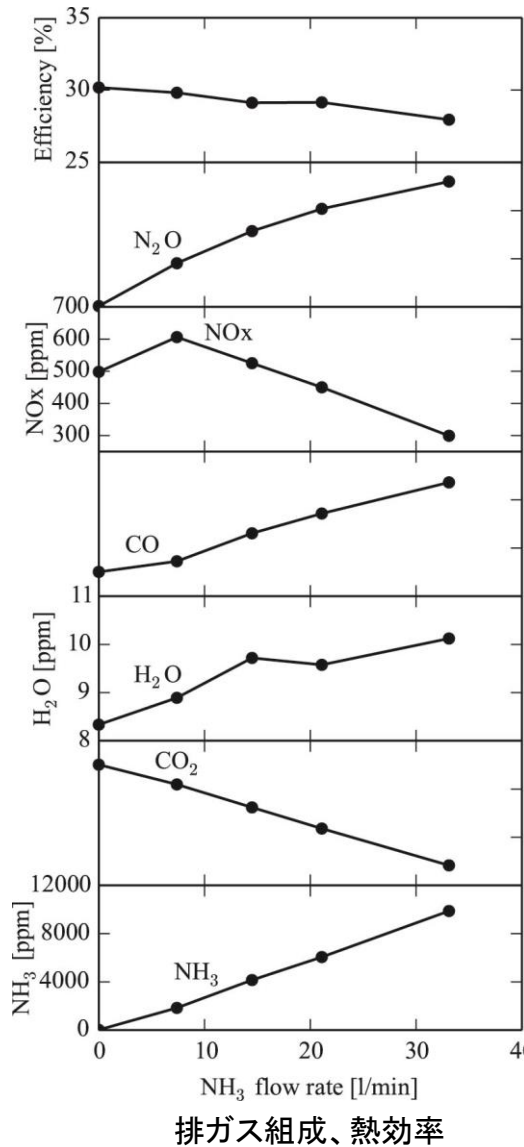
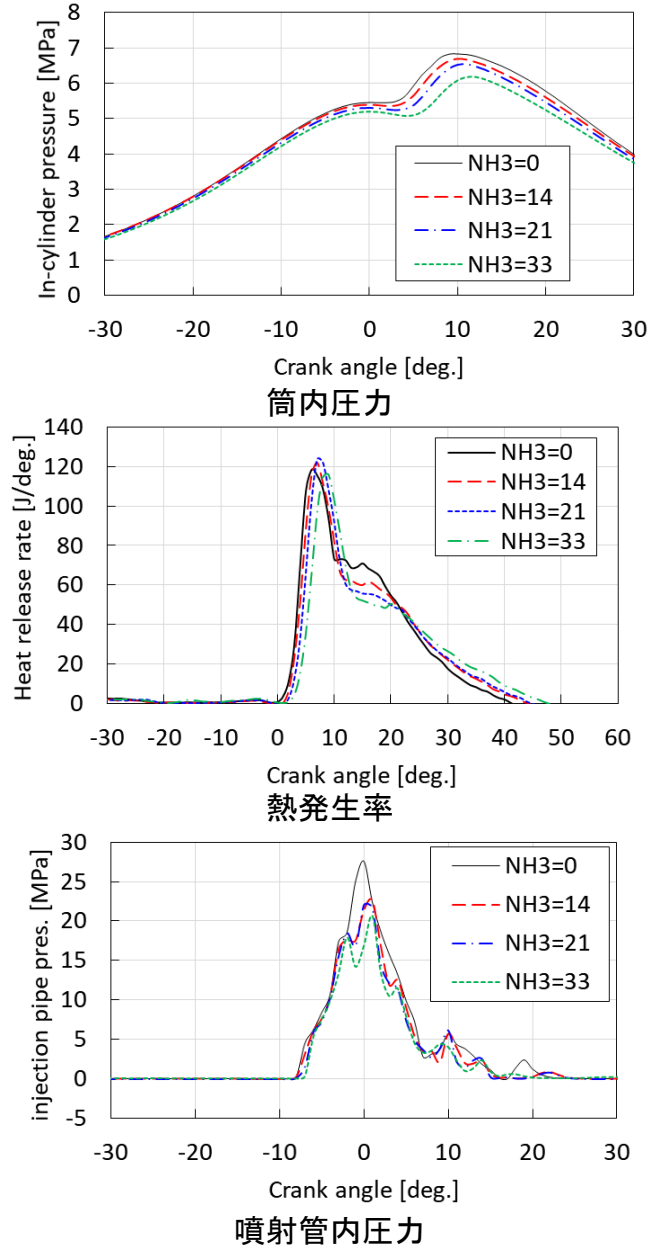
海技研での研究紹介

燃料多様化への対応

水素エネルギーキャリアとして優れたアンモニアの直接燃焼 アンモニア

- ・液体水素、有機ヒドライドと比較しても、水素貯蔵量が多い。
- ・製造・輸送・貯蔵まで一貫した技術が、既に整備されている。



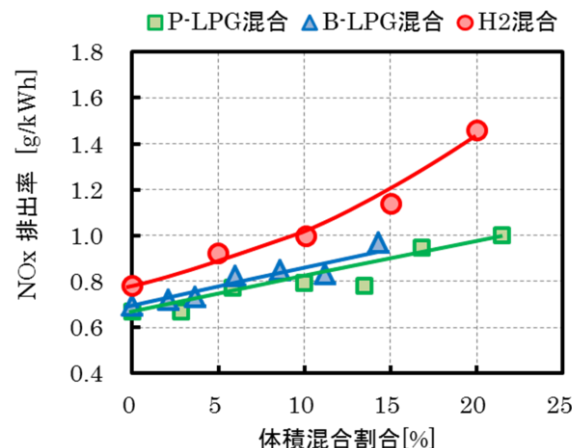
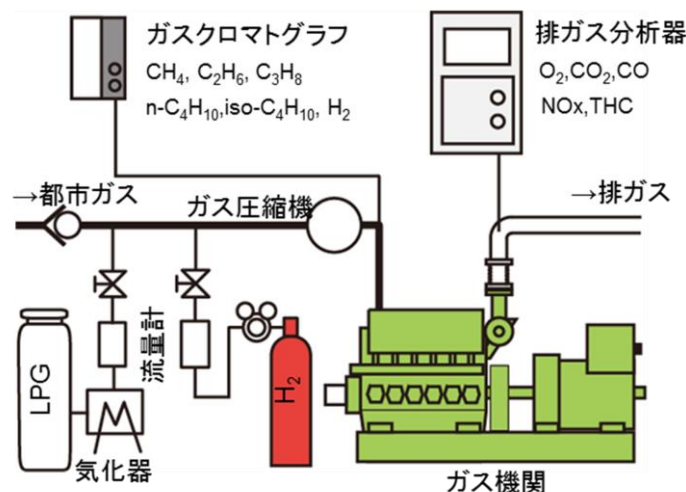


- ・圧縮圧力の低下
- ・着火遅れの僅かな増加
- ・未燃NH₃、N₂Oの排出
- ・アンモニア熱量比34%程度
- ・アンモニア燃焼効率80% (未燃率20%)

天然ガス機関への水素利用

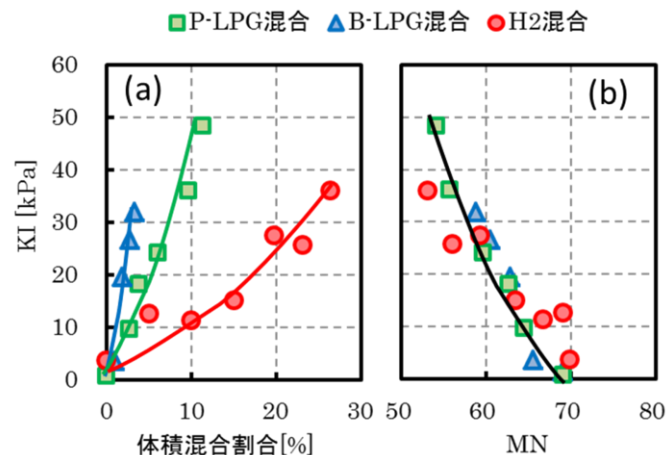
船用ガスエンジンに対して、ガス組成が燃焼特性、NO_x排出特性およびノッキング発生特性に銅のように影響を与えるか調査。さらに、温室効果ガス削減のため水素を可能な限り混焼利用するための技術について研究。

・NO_x排出特性に与える影響

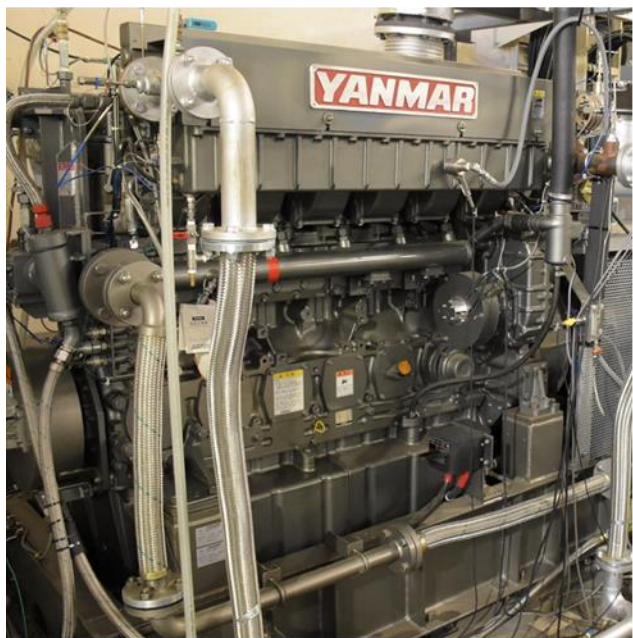


・ノッキング発生特性に与える影響

都市ガス(13A)に対して、
プロパン主成分LPG(P-LPG)
ブタン主成分LPG(B-LPG)
純水素(H₂)
を混合することで、燃料ガス組成を変更し、
機関特性の変化を調査



水素混焼に伴う急峻な燃焼およびノッキングやバックファイヤ等の異常燃焼を、**EGR技術**、**給気水噴射技術**を組み合わせることによって抑制
高い発熱量混焼率で安全に水素を利用することのできる技術を開発する



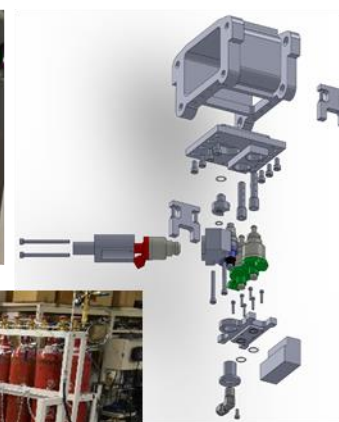
水素混焼を行うリーンバーンガス機関



EGR装置



給気ポートへの水素・水噴射システム



水素燃料電池船の安全ガイドライン策定のための調査

燃料電池船に搭載する蓄電池システムに求められる安全要件の妥当性を確認

広島県因島沖での実船試験

- ・臨時航行検査の受検
- ・動力冗長性の確認試験
FC非常停止時の推進動力維持
- ・電池推進モードによる実運航試験
主機アシストモード
ハイブリッドモード
LiB充電, 他の確認





謝辞：
本研究の一部は、日本財団の助成事業である(一財)日本船舶技術研究協会の「2017年度大気汚染防止基準整備のための調査研究(大気汚染防止基準整備プロジェクト)」、国土交通省からの請負研究「水素燃料電池船の安全ガイドライン策定のための調査検討」(平成29年度)、JSPS科研費15K18298の助成により実施された。ここに厚く御礼申し上げます。

海上技術安全研究所 環境・動力系

高橋千織

chiori@nmri.go.jp