



第24回 海上技術安全研究所研究発表会



GHG削減PTにおける多角的なアプローチによる GHG削減の取り組み

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

GHG削減PT

高橋 千織

- 1 GHG削減に向けた海技研の取り組み
- 2 PT研究の一部紹介
- 3 【PT内プロジェクトの紹介】
ゼロエミッション実現に向けたコンセプト船の検討
低速幅広肥大船の開発と経済性評価
- 4 まとめ

1

GHG削減に向けた海技研の取り組み

2

PT研究の一部紹介

3

【PT内プロジェクトの紹介】
ゼロエミッション実現に向けたコンセプト船の検討
低速幅広肥大船の開発と経済性評価

4

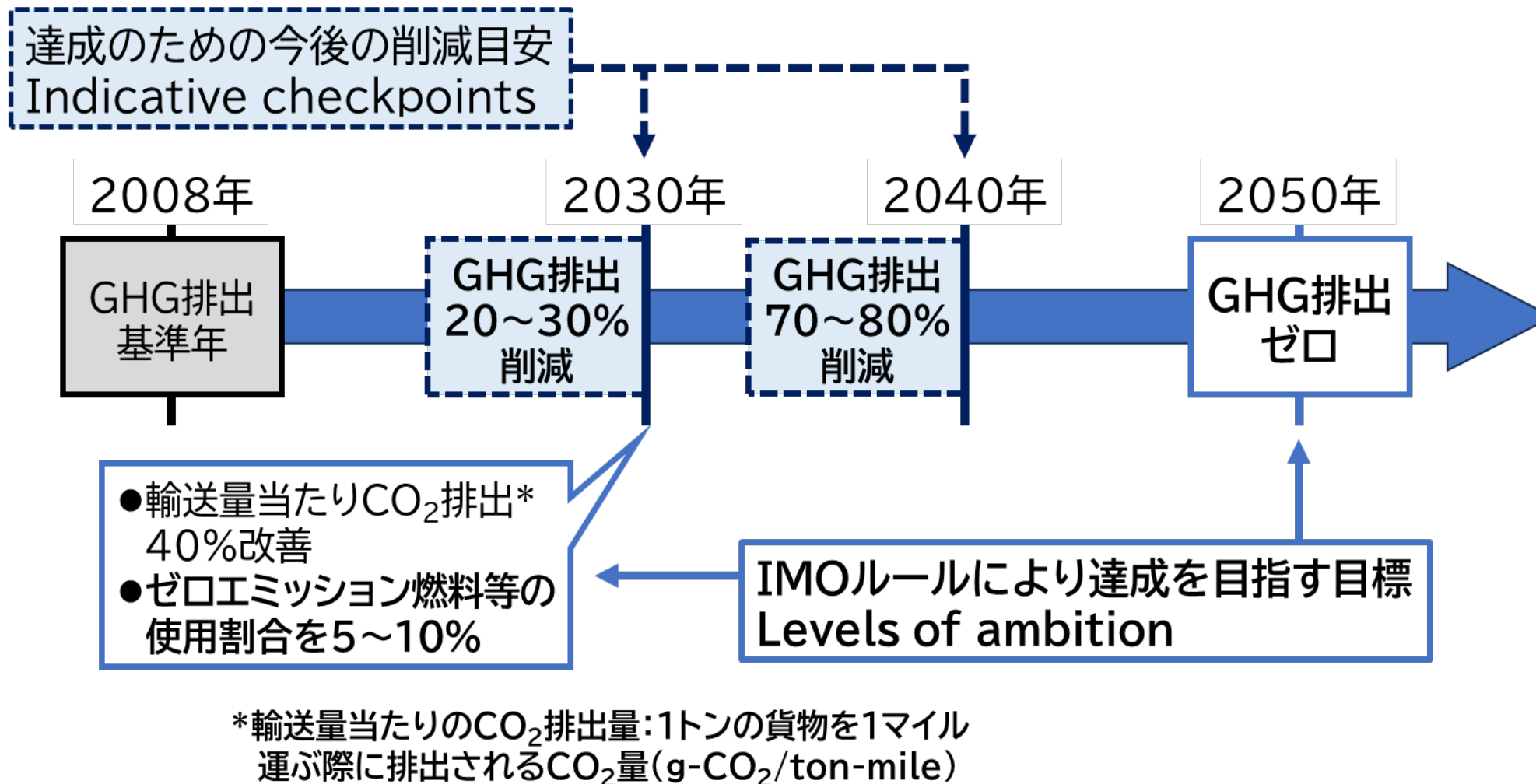
まとめ

GHG削減PTの研究ビジョン — 社会的背景



パリ協定：産業革命前からの世界平均気温上昇を2℃より十分低く、できれば1.5℃に抑える

国際海運 2023 IMO GHG削減戦略



- CO₂だけではなく、CH₄やN₂Oなどの地球温暖化ガスもカウント
- Tank to Wake からWell to Wakeも考慮することに。

内航海運 パリ協定による国内削減目標

- 2030年 約17%CO₂削減(2013年度比)
- 2050年 カーボンニュートラル実現に貢献

2030年度目標達成のための更なる省エネの追求

- ✓ 更なる省エネを追求した船舶の開発・普及
 - ✓ バイオ燃料の活用等の省エネ・省CO₂の取組
 - ✓ 荷主等に省エネ船の選択を促す燃費性能の見える化の更なる活用を促進
- 推進のハイブリッド化等
- 運航支援設備
- 設備の電動化・自動化
- 更なる省エネを追求した船舶イメージ (連携型省エネ船)

2050年に向けた先進的な取組の支援

- ✓ LNG燃料船、水素FC*船、バッテリー船等の実証・導入
 - ✓ 水素燃料船、アンモニア燃料船の開発・実証
- ※Fuel Cell(燃料電池)
- 出典：日本郵船・HP
- 高出力水素FC船の開発・実証事業イメージ
- 4

海運セクターにおいても、長期目標だけでなく、短中期の目標も非常に高い目標設定となっている

GHG削減PTの研究ビジョン — 海技研の研究方針



解決すべき課題

短中期対策

2030年、2040年

既存船対策
レディ船含む
ドロップイン燃料

長期対策

2050年

新技術導入
ゼロエミッション船
e-fuels
安全利用技術

ゼロエミッション船の導入促進に向けた
適切な規制や政策の導入

必要となる技術開発研究

船型、省エネデバイスの開発、予測・評価法
運航支援技術
代替燃料利用技術：燃烧解析、燃料分析
エンジン以外の動力源
船上CCS
安全対策：後処理技術、リスク評価
LCA評価
レディ船の導入支援

GHG削減対策の影響評価モデル、経済性評価：
物流データ解析技術
シミュレーション技術

既に海技研で取り組んでいる研究課題

高い研究能力を、社会実装、基準・規格化など具体的な成果につなげる

GHG削減PTの研究ビジョン — 研究実施体制



ゼロエミッション化に向け、必須となる技術開発研究

省エネ

流体力学的観点

流体設計系
環境・動力系

船型、省エネデバイス
運航改善、運航支援
連携型省エネ船

+

カーボンニュートラル

代替燃料・機関等の
観点

環境・動力系
海洋リスク評価系

代替燃料（バッテリー、燃料
電池含む）
燃焼・安全利用技術

海上物流への影響

海上物流の観点

知識・データシステム系
環境・動力系

海上物流予測モデル
経済性評価
GHG総排出量の予測

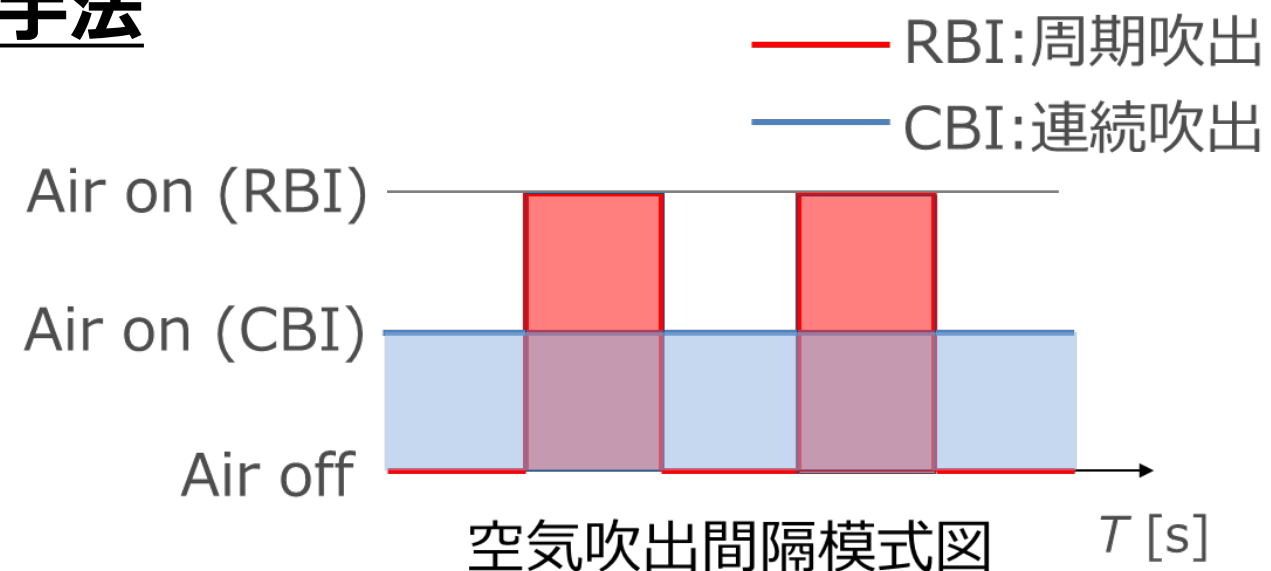
分野横断連携による4研究系
17名のメンバーにより構成

中核的研究拠点を目指す

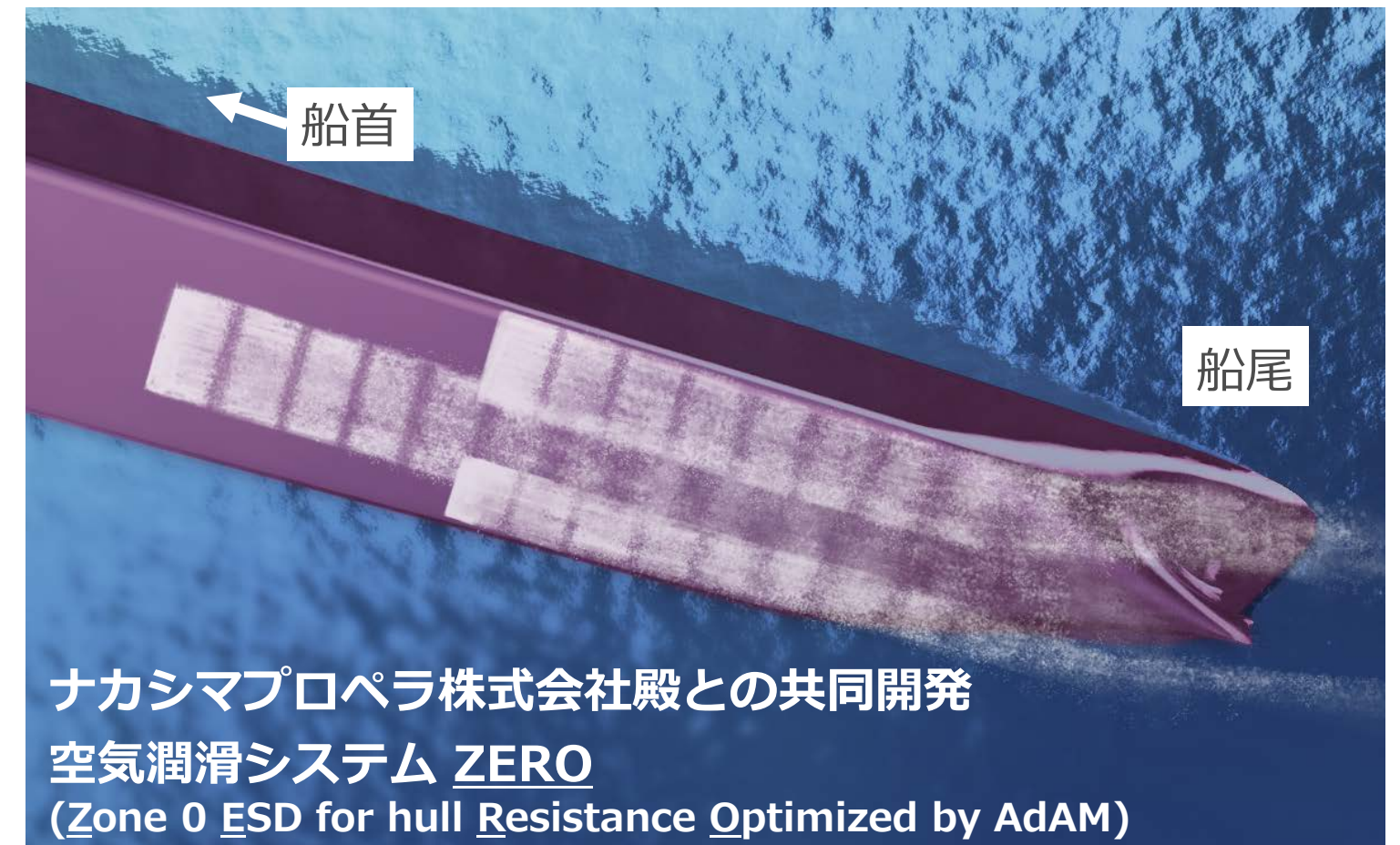
- 1 GHG削減に向けた海技研の取り組み
- 2 PT研究の一部紹介
- 3 【PT内プロジェクトの紹介】
ゼロエミッション実現に向けたコンセプト船の検討
低速幅広肥大船の開発と経済性評価
- 4 まとめ

【周期吹出法】

- 空気を周期的に吹き出し、気泡の**周期的な変動**を作りだすことで、空気潤滑法の**抵抗低減効果を向上させる手法**



- 20m、36m長尺模型による試験を実施
全抵抗、局所摩擦抵抗、ボイド率、気泡速度、気泡径を計測
⇒ 壁面近傍の**局所ボイド率のピーク値が高くなる**
とともに**局所摩擦抵抗低減率が高くなる**
⇒ **連続吹き出しに比べ、約8% 抵抗低減**



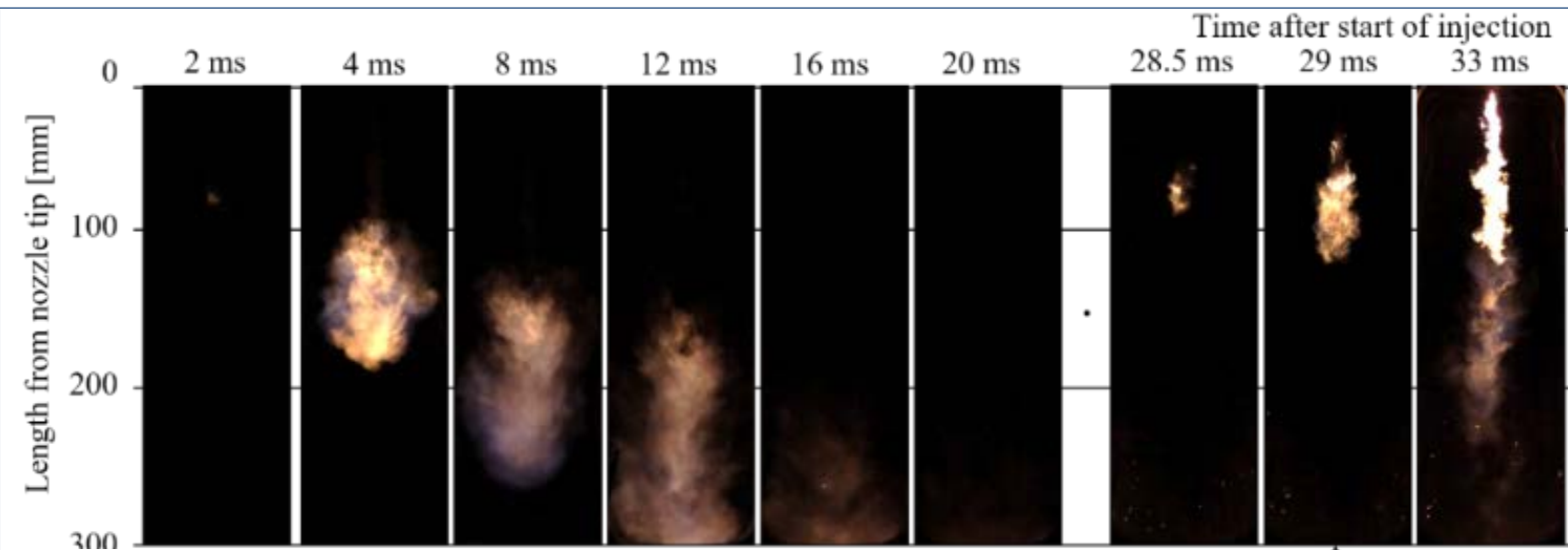
周期吹出法を用いた空気潤滑システムのイメージ

499GT貨物船に実船搭載 年内に竣工予定！

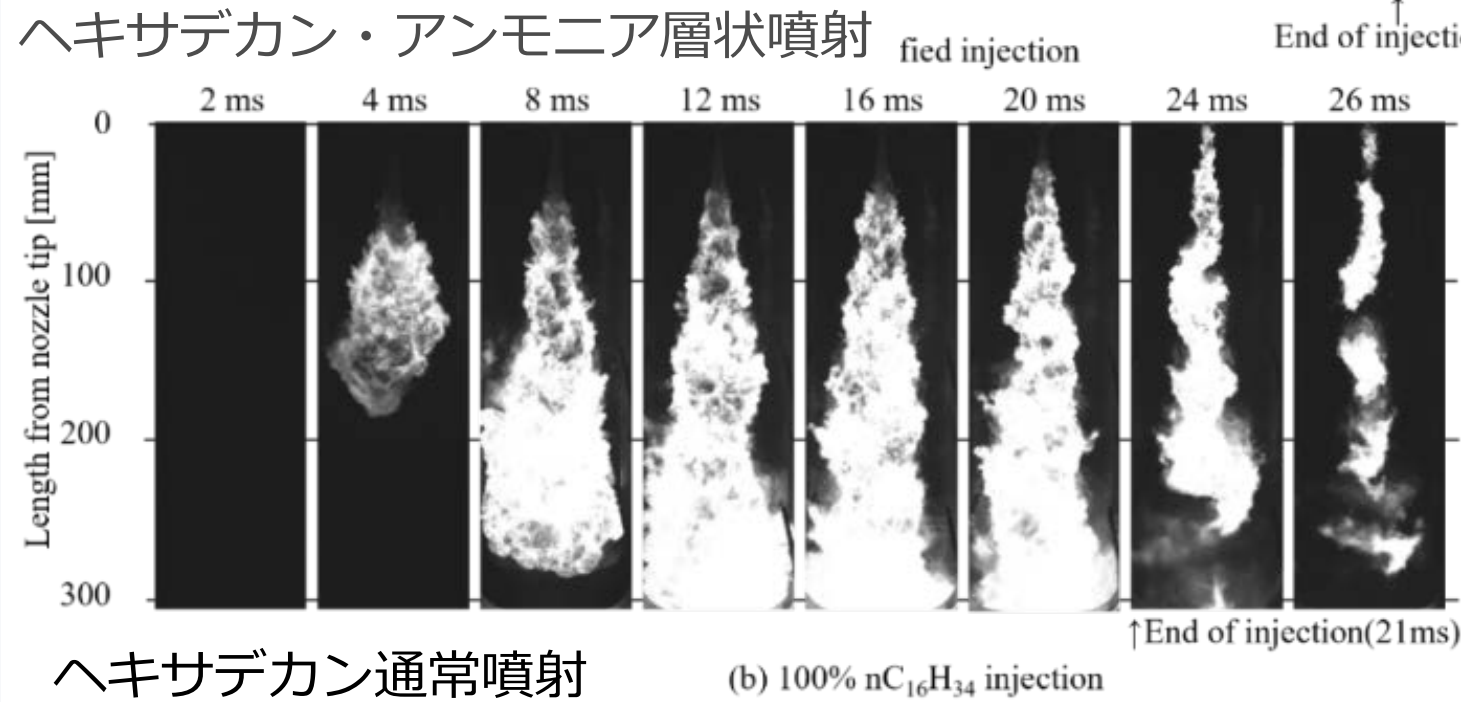
研究の紹介2ーアンモニア・水素等の燃焼技術



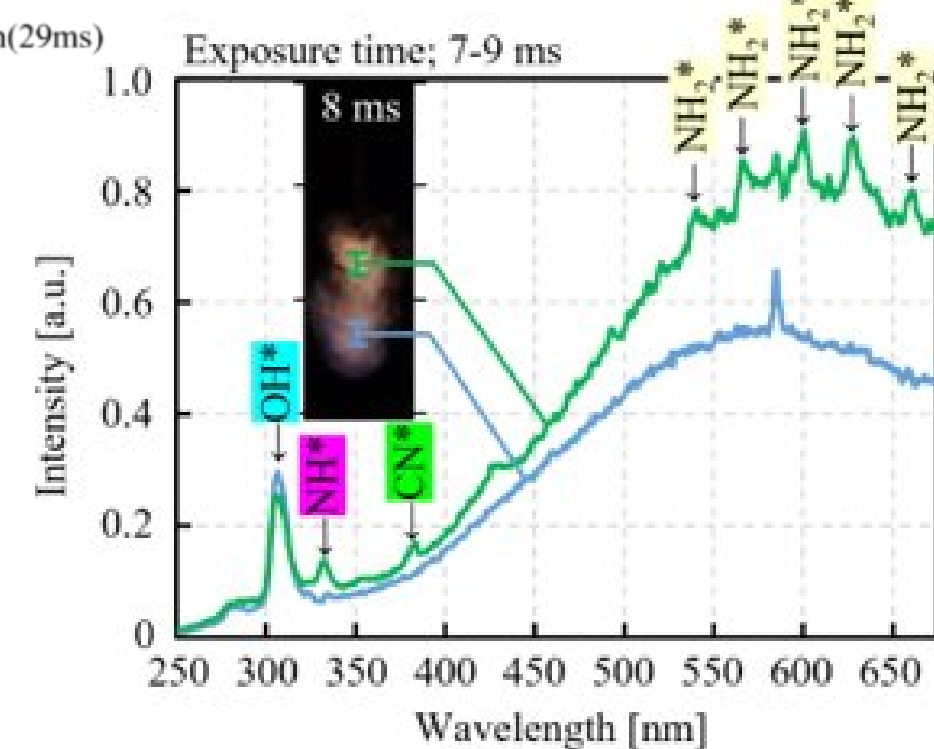
➤代替燃料の燃焼のメカニズム解明や、水素専焼エンジン開発に向けての基礎実験などを実施中



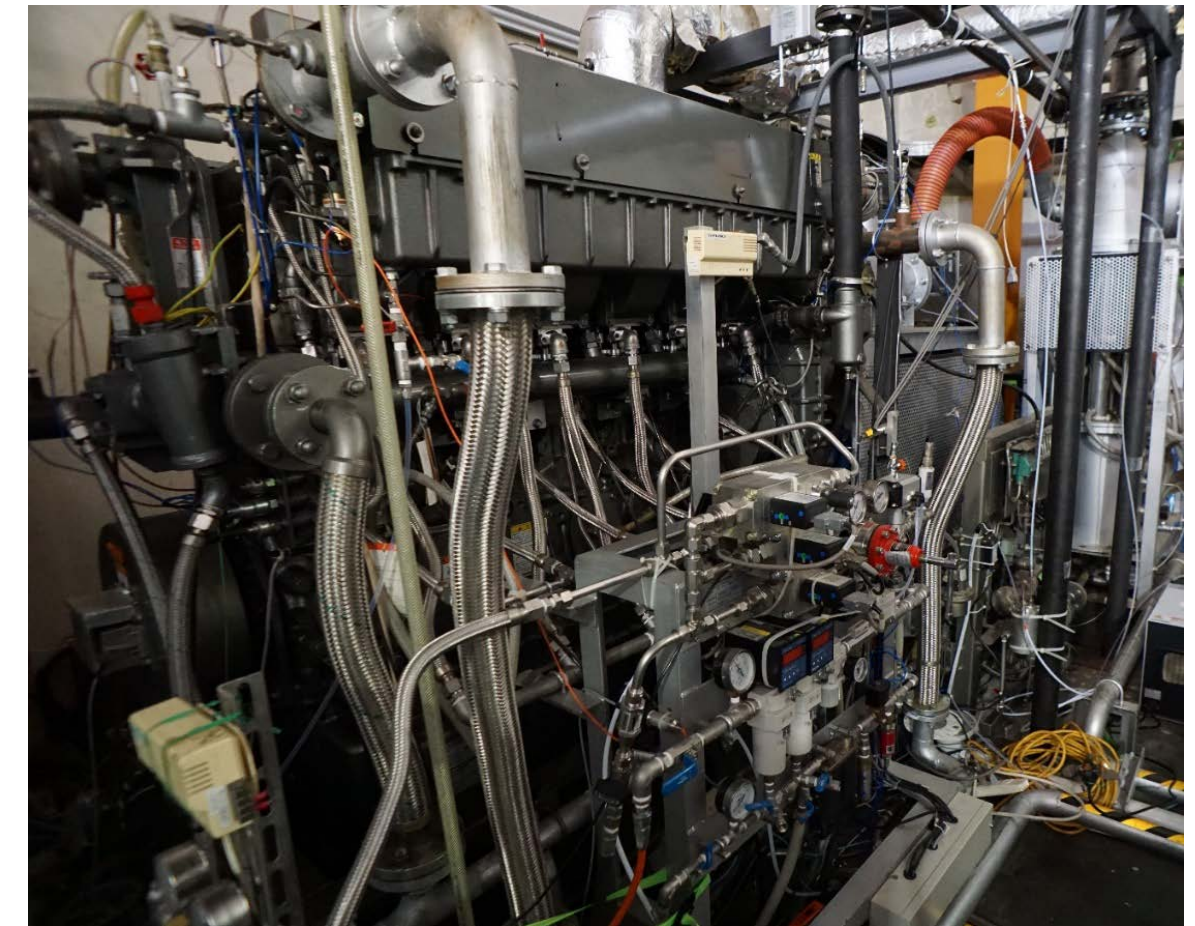
アンモニア燃焼プロセス
解明のための解析例
(アンモニア層状噴射)



燃焼可視化装置内の高速度直接撮影

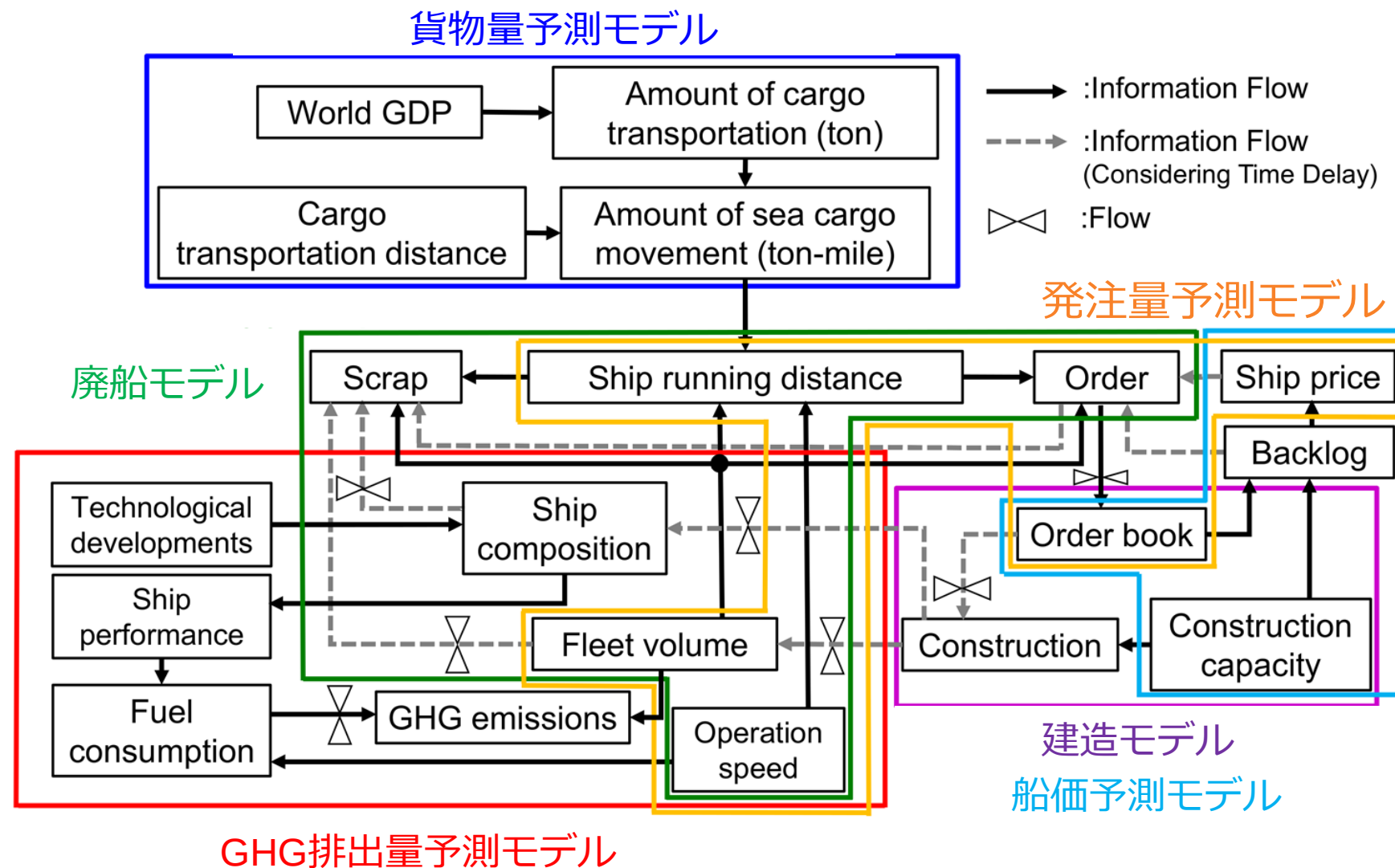


分光法による燃焼過程の解析

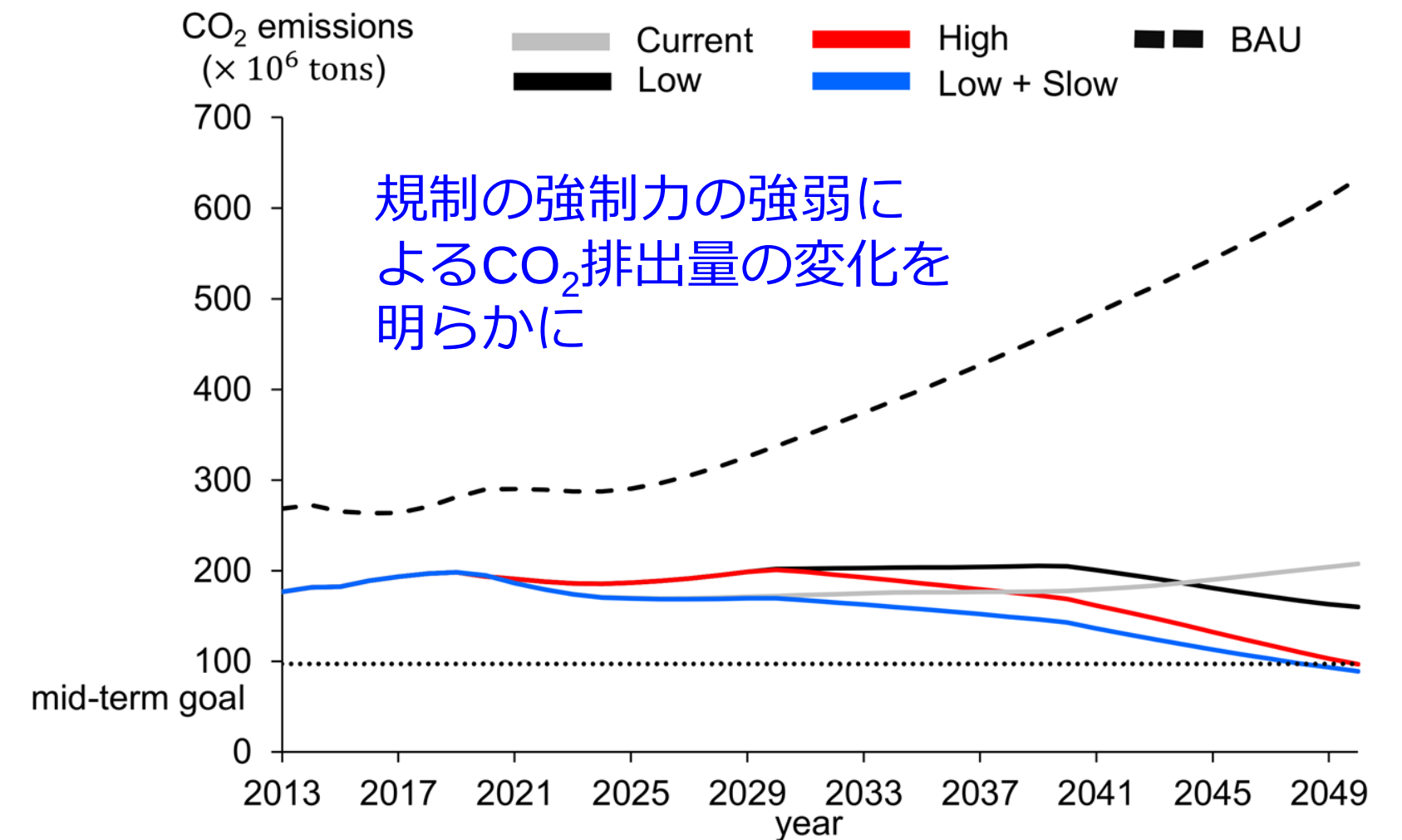


水素供給を可能とした
副室式リーンバーンガスエンジン
75%負荷で混焼率98%を達成

- 各種のモデリング技術・データ解析技術を用いてGHG削減対策の影響評価モデル、船舶の経済性の評価モデルを開発。



システムダイナミクスによる海運・造船市場のモデル化の例



システムダイナミクスによるCO₂排出量の削減策の評価

参考文献 : <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/5/2760>

- 1 GHG削減に向けた海技研の取り組み
- 2 PT研究の一部紹介
- 3 **【PT内プロジェクトの紹介】**
ゼロエミッション実現に向けたコンセプト船の検討
低速幅広肥大船の開発と経済性評価
- 4 まとめ

検討の背景

- 現在、EEDI フェーズ 3 対応船も建造
- ゼロエミッション化 脱・低炭素燃料の利用が必須
従来の重油燃料と比べて格段に高価
→ さらなる省エネ化を要求
→ 航海速力の低下や船体の大型化を検討

流体力学的観点

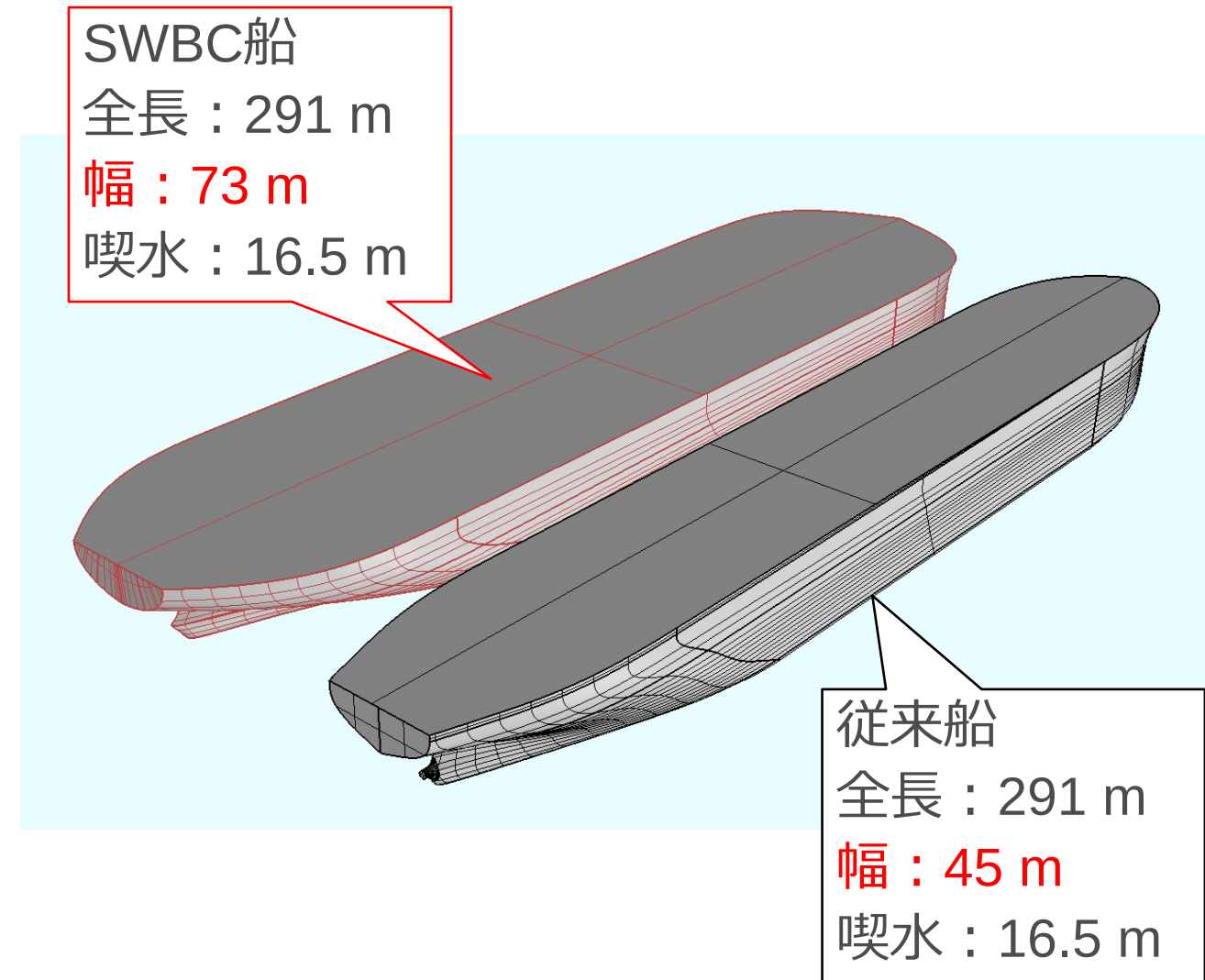
「革新的省エネ技術の開発」の一環として行ってきた
低速運航船開発の検討

+

代替燃料・機関等の観点
ゼロエミッション燃料の利用

海上物流の観点
経済的評価

従来よりも低い計画速力
輸送効率が従来船の2倍以上
となる船型



A. 低速幅広バルクキャリア（SWBC）船型の検討



設定条件

- ・ 航海速力を大幅に低下
- ・ 船体の大型化により総輸送量維持
- ・ 航路や港湾設備の制限を考慮

全長と喫水は変えずに、船幅と肥大度を変更

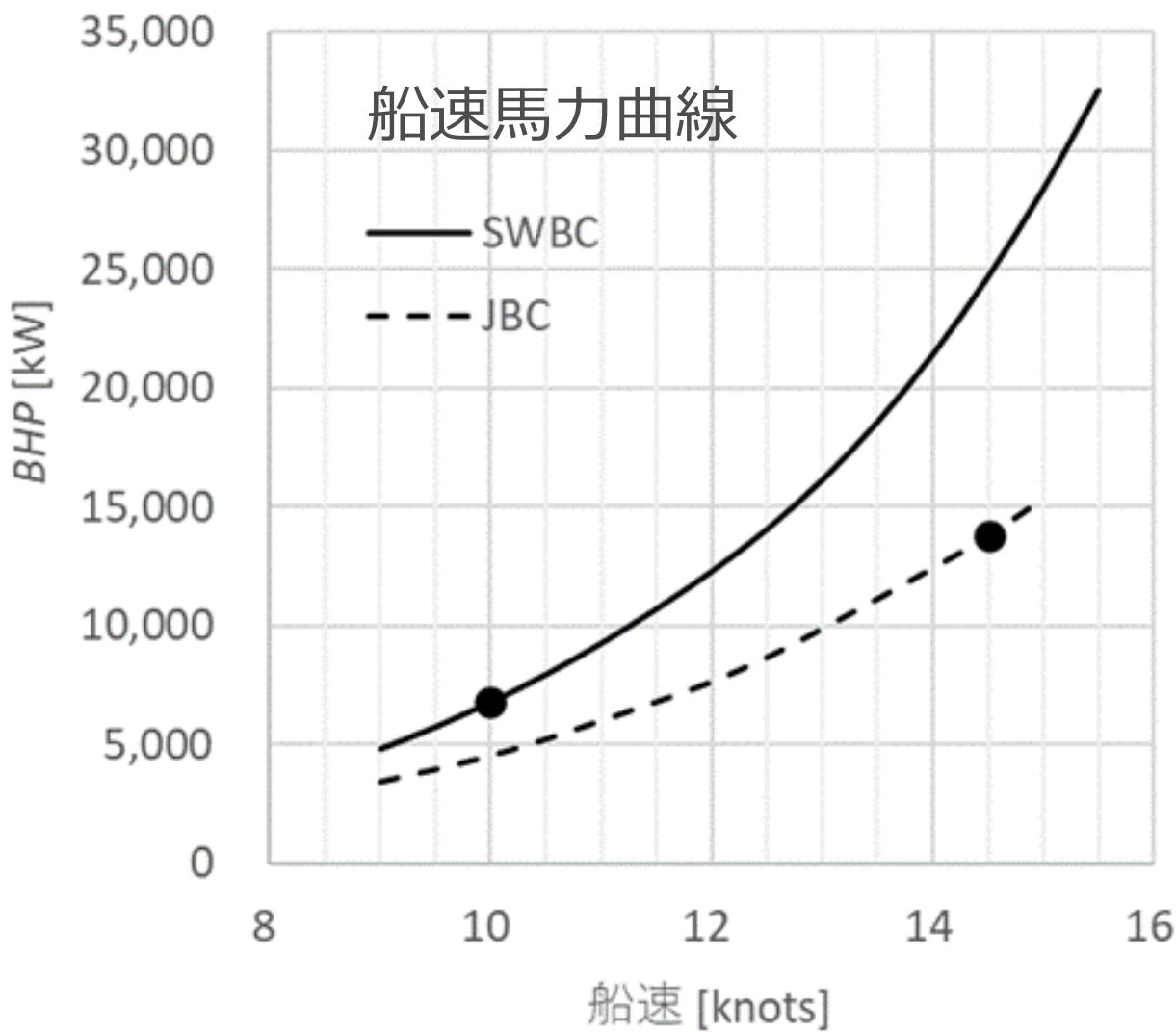
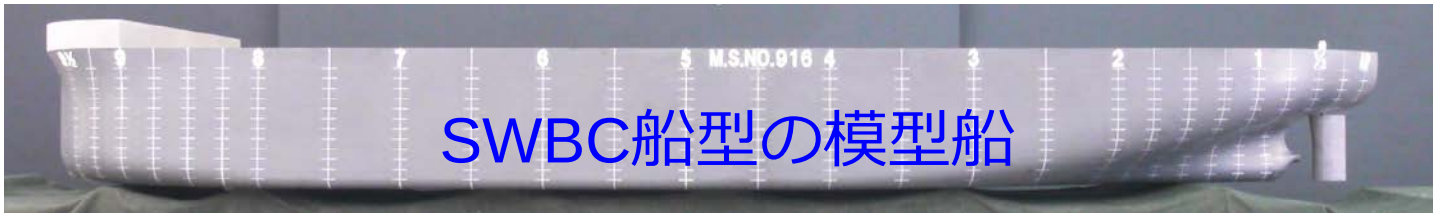
船型・主要目の決定

- 公開船型Japan Bulk Carrier(JBC船型)を初期値として、船幅と肥大度を変更
- 計画速力は10ノット
CFDによる抵抗計算と自航計算を実施
- 推進効率がJBC船型と同等で、従来船にない先駆的な船幅喫水比（B/d）を持つ船型を提案（SWBC船型）

SWBC船型とJBC船型の主要目等

		Ship scale	
		SWBC	JBC
全長	$L_{oa}[m]$	291.00	291.00
垂線間長	$L_{pp}[m]$	286.00	280.00
船幅	$B[m]$	73.13	45.00
計画喫水	$d[m]$	16.50	16.50
船幅喫水比	B/d	4.4	2.7
方形係数	$C_B[-]$	0.832	0.858
載貨重量	$DWT[t]$	254,000	158,000
計画速力	$V_s[knots]$	10.0	14.5

推進性能の評価：水槽試験



推進性能の評価：輸送効率

■ 新たに輸送効率係数 **EEC**を定義

$$EEC = \frac{BHP}{V_s \cdot DWT}$$

BHP ：軸馬力[kW], V_s ：船速[knots], DWT ：載貨重量[t]

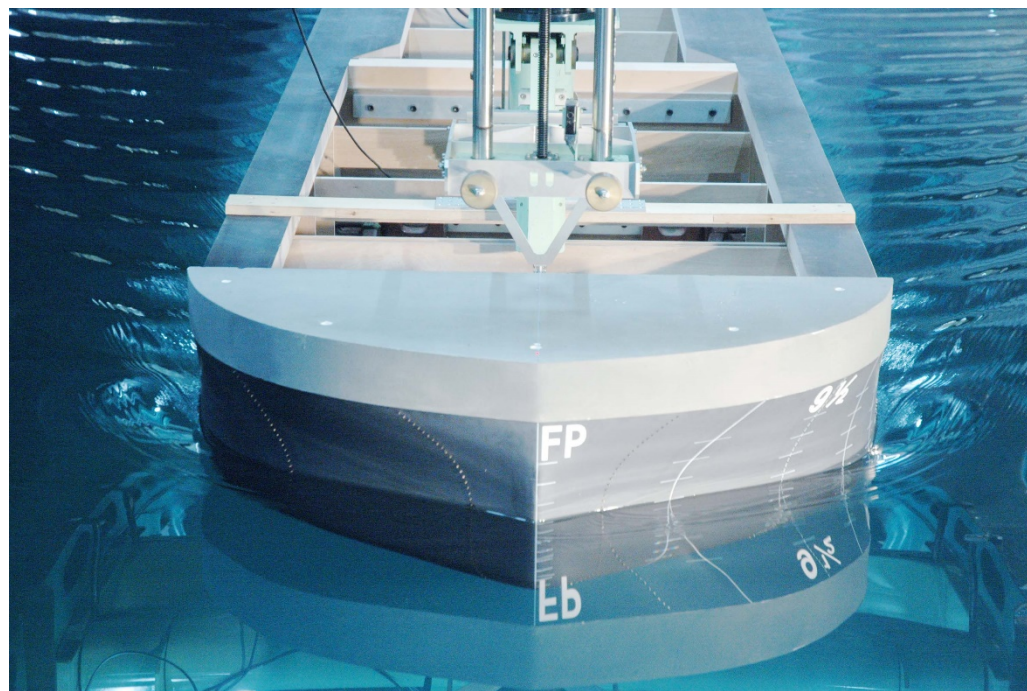
SWBC船型とJBC船型の輸送効率係数等

		SWBC	JBC
船速	V_s [knots]	10.0	14.5
軸馬力	BHP [kW]	6,827	13,811
載貨重量 (燃料：C重油)	DWT [t]	254,000	158,000
輸送効率係数	EEC [$\times 10^{-3}$ kW/(t knots)]	2.688	6.028
EEC 比	-	0.446	1

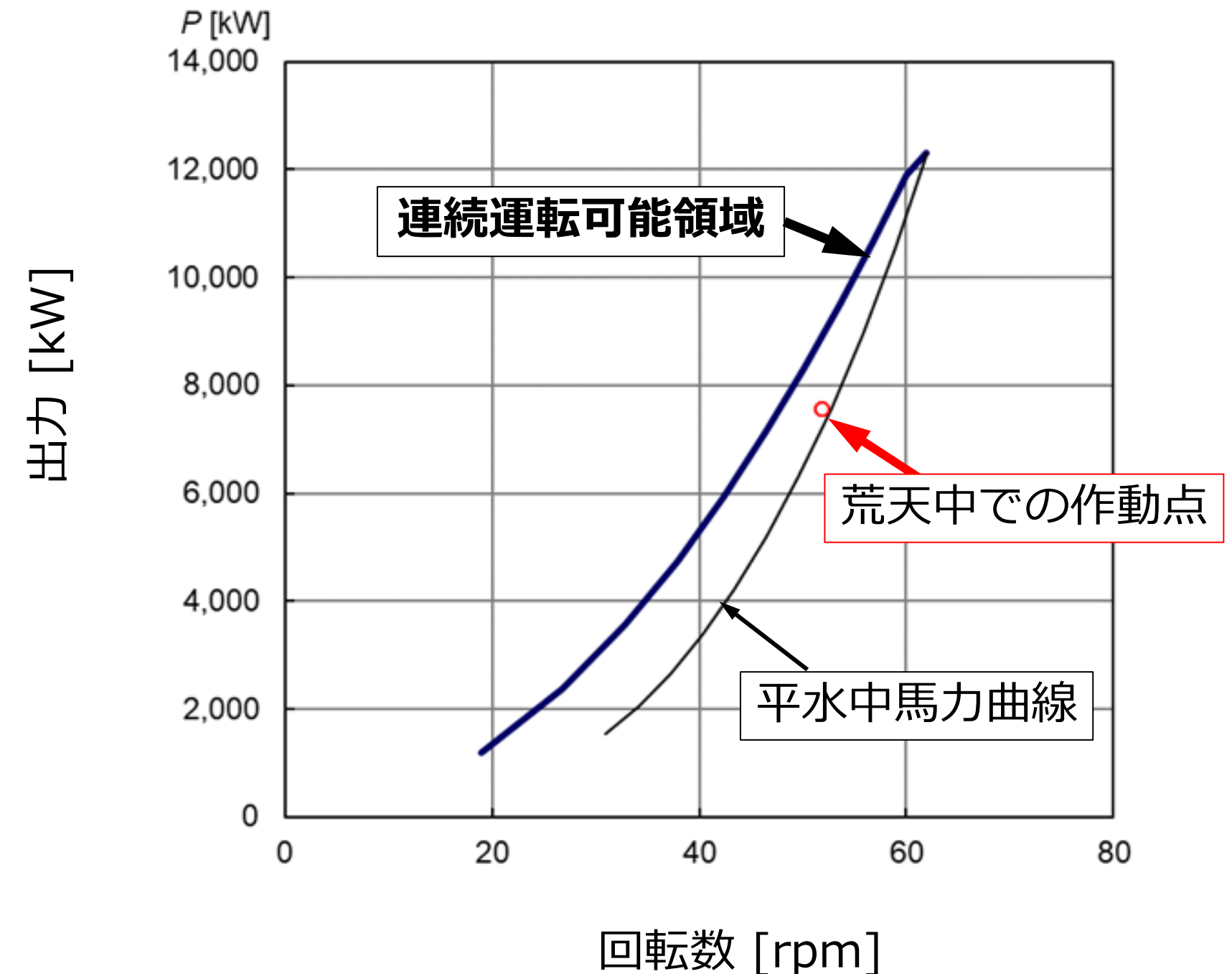
SWBC船型は従来船型に対し2倍以上の輸送効率向上ができることを確認

最低推進出力評価と主機の決定

- 海技研の実運航性能シミュレータVESTAの最低推進出力の合否判定機能を用いて、IMOガイドライン*のレベル2の最低推進出力を満足する主機を選定
- 決定したSWBC船型に適した主機の連続最大出力は12,300 kW、回転数は62 rpm



SWBC船型の水槽実験の様子



*参照ガイドライン：IMO文書 MEPC.1/Circ.850/Rev.3

最低出力ガイドラインをクリアできる主機を選定



低・脱炭素燃料の性状比較

*海技研で入手実績のあるC重油（硫黄分2.15%）の代表性状

		C重油*	メタノール	メタン	アンモニア	水素
化学式			CH ₃ OH	CH ₄	NH ₃	H ₂
液体密度 (温度)	kg/m ³ (°C)	972.3 (15)	795.6 (15)	426 (-164)	681 (-33)	71 (-253)
低位発熱量	MJ/kg	40.9	19.9	50.0	18.6	120.0
低位発熱量 (体積当たり)	GJ/m ³	39.8	15.9	21.3	12.7	8.5
体積当たりの 低位発熱量の比率 (C重油に対する)	%	100	40	54	32	21
沸点 (大気圧下)	°C	-	65	-164	-33	-253
自己着火温度	°C	-	460	640	651	520
燃焼速度	cm/s	-	56	40	7	312

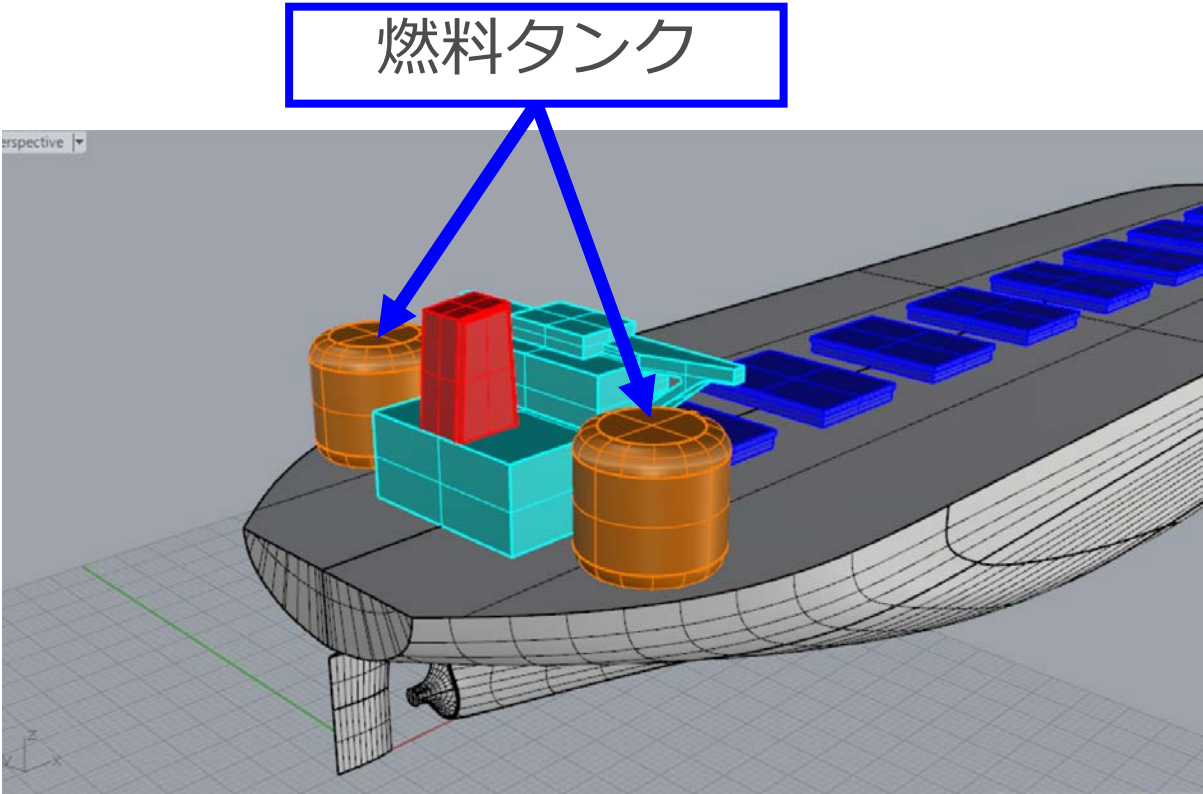
■ 脱炭素が可能であり，既存の燃料と性状の大きく違う水素やアンモニアをSWBC船に利用（専焼を仮定する）

燃料タンク容積と配置

- 日豪航路の運航を想定し、液化水素（LH₂）及び液化アンモニア（LNH₃）を燃料する場合は航続距離を10,400 NM（日豪航路1往復）として、燃料タンク容積等を算定
- 燃料タンクを船殻間に配置することが困難であるが、SWBC船型では、船幅（73.13 m）が広く甲板上面積は比較的余裕があることから、甲板上に燃料タンクを配置できることを確認

燃料タンク容積等（SWBC船型）

		C重油	LH ₂	LNH ₃
航海速力	[knot]	10.0		
燃料消費量（主機+補機）	[t/day]	32	11	71
航続距離	[NM]	24,000	10,400	10,400
燃料必要量	[t]	3,234	478	3,081
充填制限値	[-]	0.96	0.95	0.95
燃料タンク内容積	[m ³]	3.465	7,101	4,756
燃料タンク外容積	[m ³]	3,535	9,274	6,211
燃料タンク外容積比 （C重油を基準）	[-]	1.00	2.62	1.76



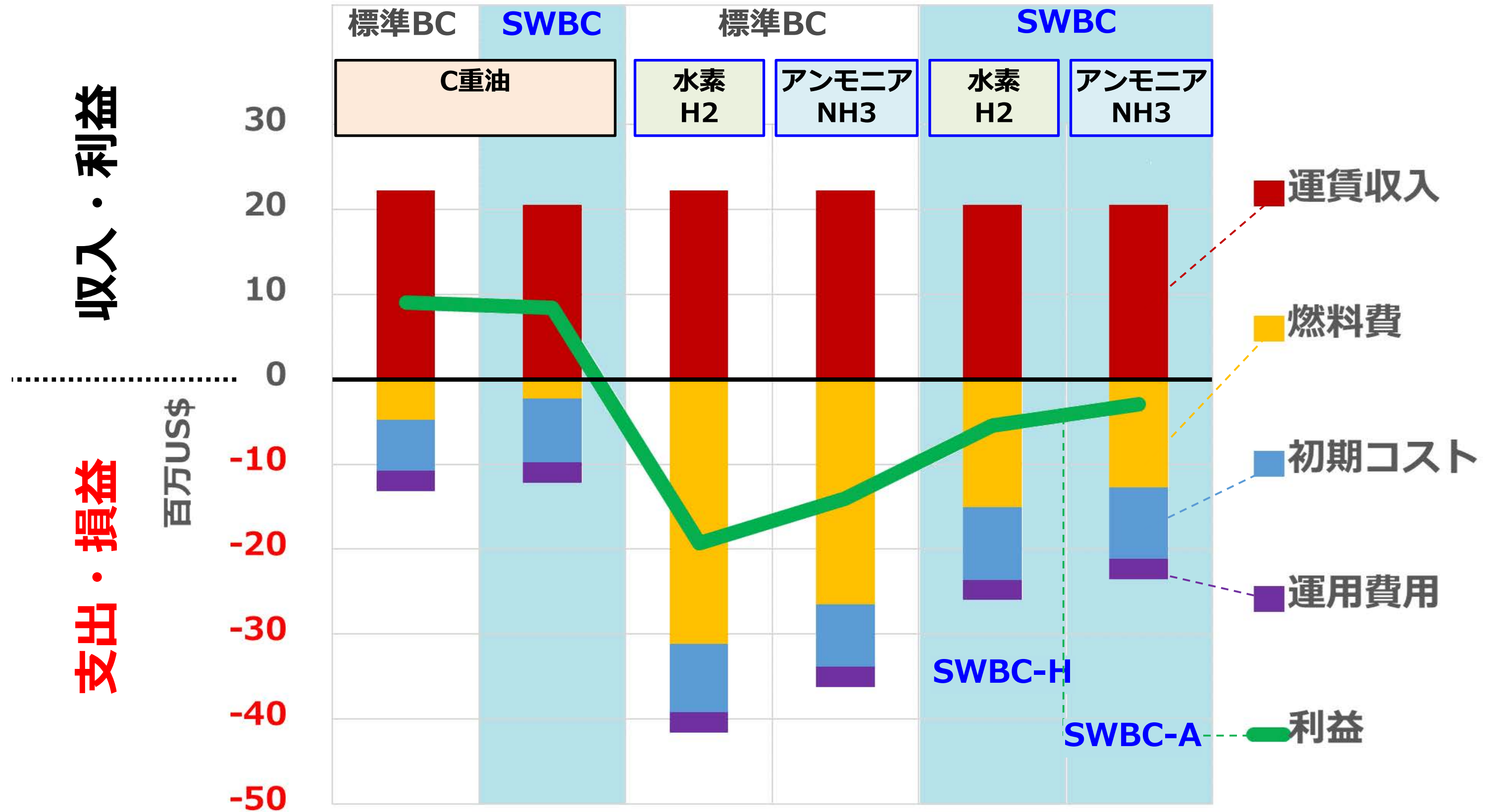
液化アンモニア燃料タンク配置イメージ

経済性評価の条件設定

検討項目		設定条件
運航データ	運航パターン 燃費など	- 標準BCはClarkson社の設定に基づく。 - SWBCはVENSON社のデータから運航パターンを決定。海技研が燃費を設定
収 入	運賃収入	標準BCとSWBC共に、Clarkson社によるケーブルサイズBCの運賃を使用
	運用費用	標準BCとSWBC共に、Clarkson社によるケーブルサイズBCのOPEXを使用（固定値）
	初期コスト (10年償却)	- 標準BCは、Clarkson社によるケーブルサイズBCの新造船船価を使用 - SWBCの新造船船価は、DWT、主機出力等との回帰式により設定 - 代替燃料利用による船価への追加コストは、文献調査の中間値を採用し加算
	燃料費	Solakiviらの文献(2022)による低・脱炭素燃料価格予測値を使用（水素、アンモニアは、e-fuel価格）

E. SWBCの経済性評価

2030年を想定した対象船舶の利益と収支構成



E. SWBCの経済性評価

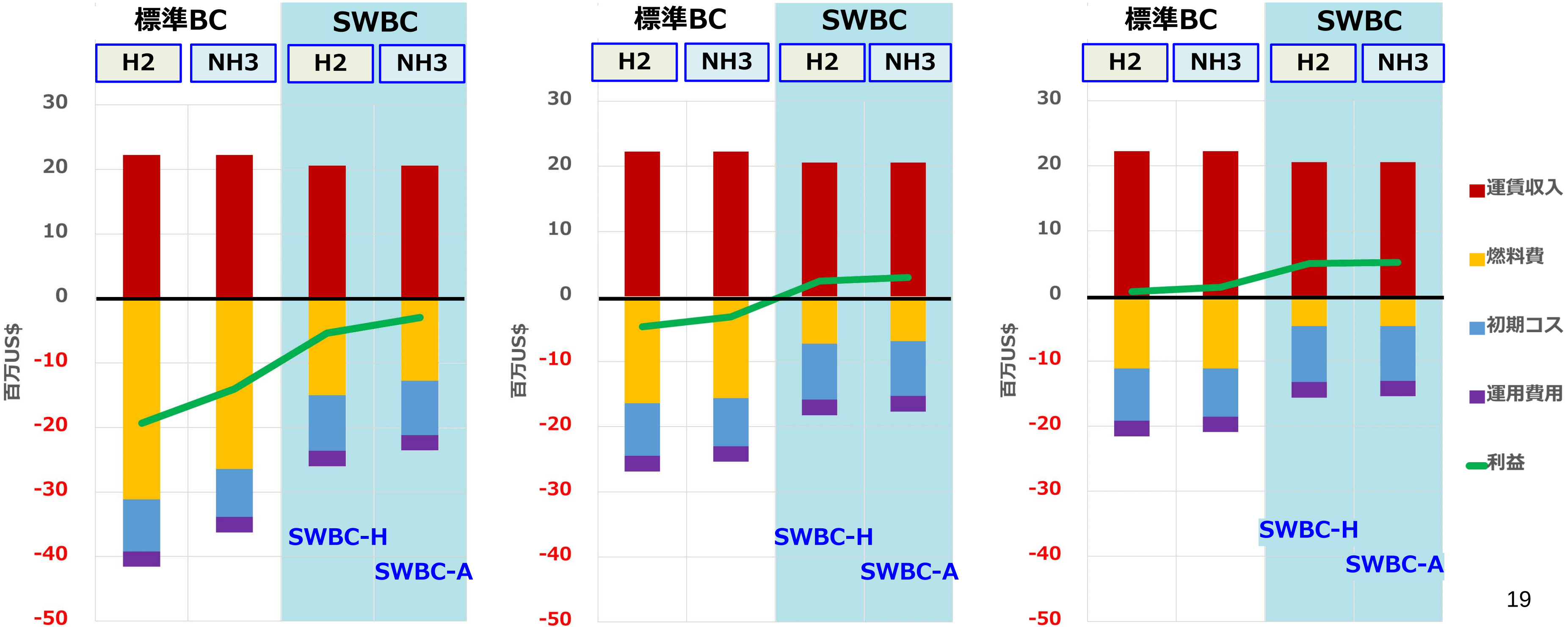


経済性評価の結果② ゼロエミッション船の利益と収支構成

2030年

2040年

2050年



JBC船型をもとにした設計速力10ノットの低速幅広船型の開発

- 従来船型の延長線上にはない幅広船型を用いて実現可能性を検討
- 水槽試験により従来船型よりも輸送効率が2倍以上に改善することを確認

液体アンモニア、液体水素燃料利用時の燃料タンク検討

- 日豪間を運航する鉄鉱石運搬船が、燃料無補給で1往復運航できる燃料タンク容積を想定
- 低速幅広バルクキャリアでは、船尾甲板上へ自由度をもって配置可能

低速幅広バルクキャリアの経済性評価

- 日豪航路を専従するケープサイズバルクキャリアの運航形態を参照して検討
- 特に脱炭素燃料の使用を想定した時に、低速幅広船型は従来船に比べて競争力を有する

PTのミッション：我が国及び海事産業のGHG削減目標達成に貢献

- 長期目標対策への研究を継続しつつ、短中期目標達成のための既存船対策、レディ船対策・評価を実施
- ゼロエミッション船への海技研独自技術搭載を目指す

ご清聴ありがとうございました



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
National Maritime Research Institute



文献	スライド ページ
1) IMO, 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships (Resolution MEPC.377(80)).	3
2) 国土交通省: 「内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会」とりまとめ (令和3年12月) . https://www.mlit.go.jp/maritime/content/001447040.pdf (Accessed 29 April 2024)	3
3) 濱田ら, 20m長尺模型を用いた空気潤滑法によるボイド率分布と局所摩擦抵抗の低減に関する研究, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, 第30号 (2020)	7
4) 市川ら, アンモニア層状噴霧燃焼の可視化計測による燃焼機構の解明, 第60回燃焼シンポジウム講演論文集 (2022)	8
5) Y. Ichikawa et al.: Combustion process in NH3 stratified spray flame for large two-stroke marine engine.Nineteenth International Conference on Flow Dynamics(2022), 193-195.	8
6) 市川ら, リーンバーンガスエンジンの水素高混焼率運転における機関性能, 第93回マリンエンジニアリング学術講演会論文集(2023)	8
7) Wada, Y. et al.: Evaluation of GHG Emission Measures Based on Shipping and Shipbuilding Market Forecasting, Sustainability 2021, 13(5), 2760; https://doi.org/10.3390/su13052760	9
8) VENSON NAUTIOCAL: Oceanbolt, https://veson.com/products/oceanbolt/ , (Accessed 22 February 2023)	17
9) Clarkson Research Service Limited: Sources & Methods for the Shipping Intelligence Weekly, https://www.clarksons.net/archive/research/archive/SNM/ , (Accessed 21 February 2023).	17
10) Solakivi, T. et al.: Cost competitiveness of alternative maritime fuels in the new regulatory framework. Transportation Research Part D: Transport and Environment Vol.113 (2022), 103500.	17