

令和6年度  
内航船舶技術支援セミナー

これからの海事分野の方向性

村山英晶

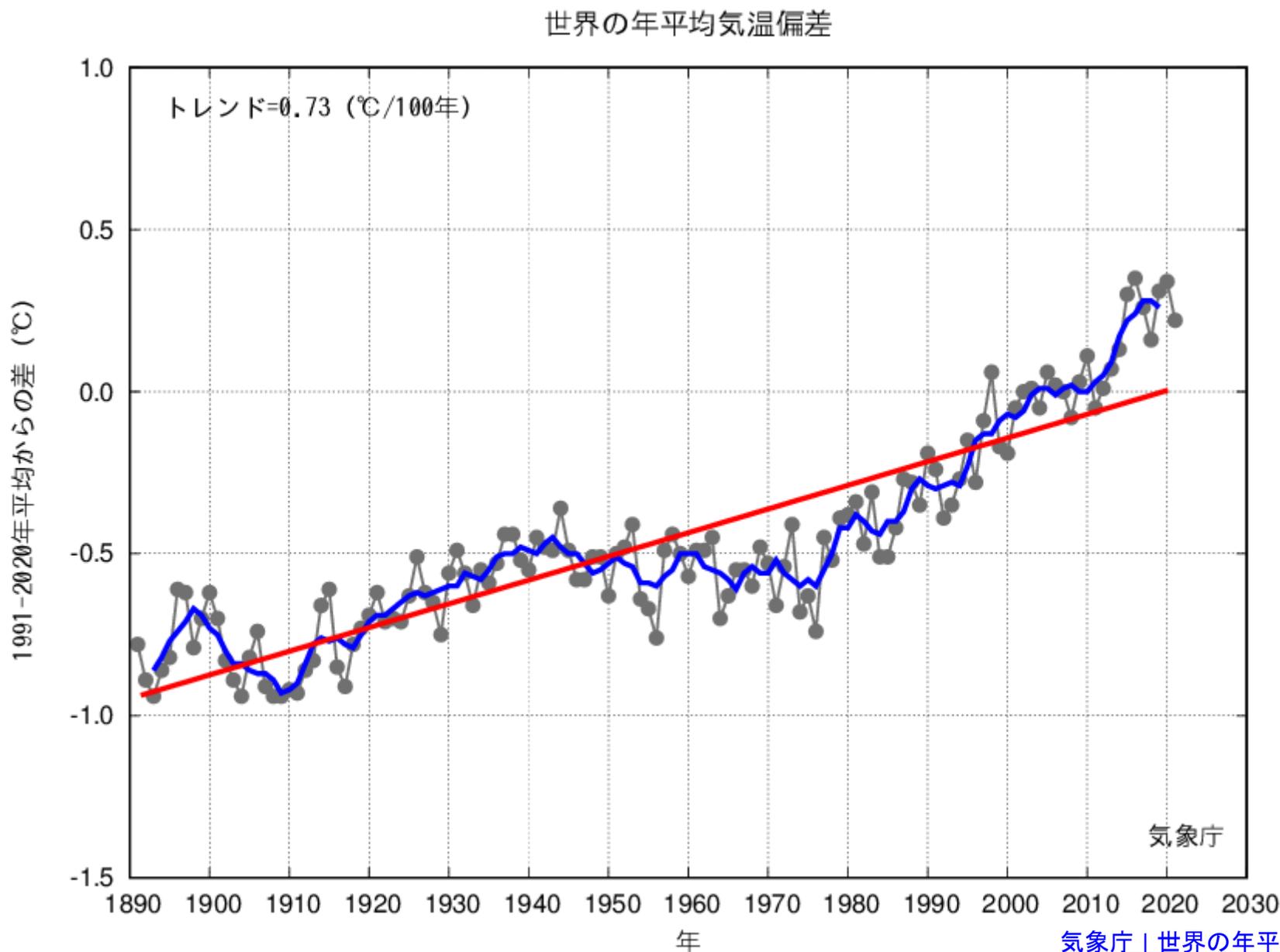
東京大学  
大学院新領域創成科学研究科  
海洋技術環境学専攻



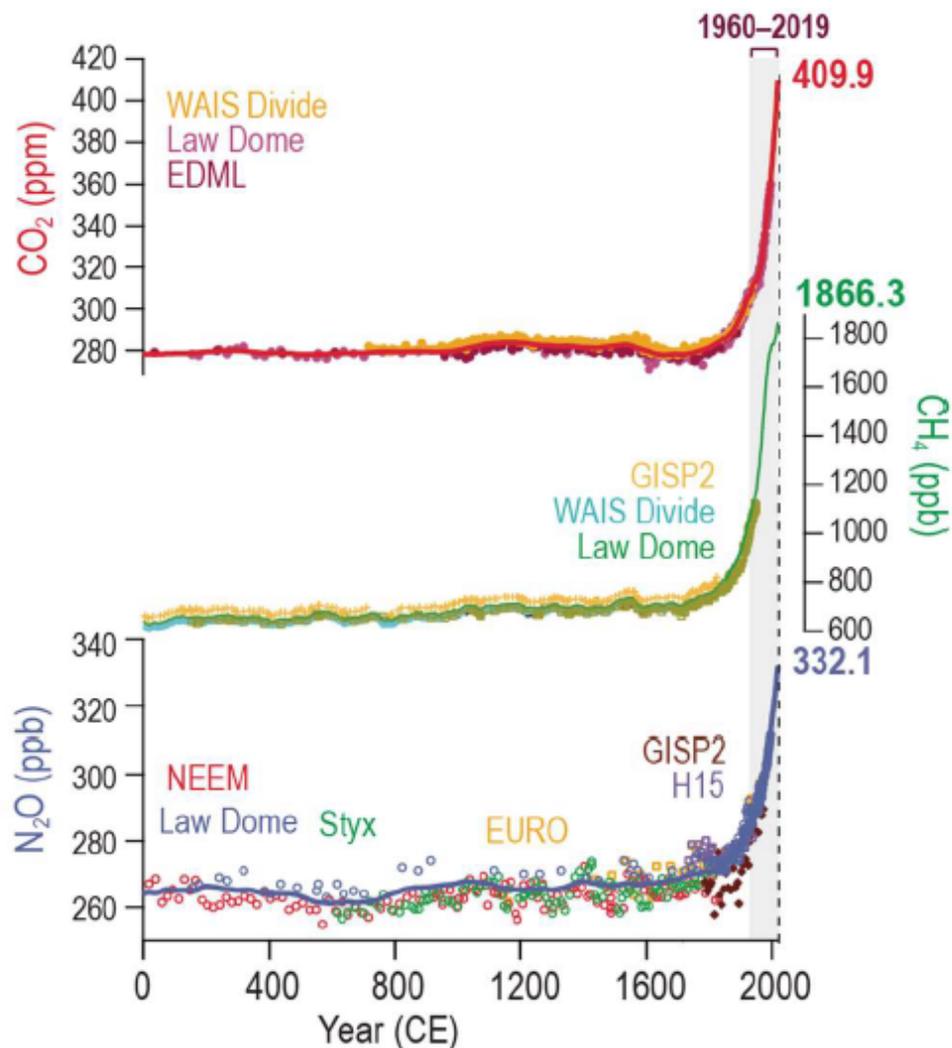
# 本日の講演内容

- 脱炭素化 GX
- デジタル化 DX
- 産官連携と産学連携 SX

# 世界の年平均気温偏差の経年変化(1891~2021)



# 温室効果ガス(GHG)の濃度増加



よく混合された温室効果ガスの濃度は、1750年頃以降急増

温室効果ガス	2019年の濃度	1750年以降の変化
CO <sub>2</sub>	410ppm	+47%
CH <sub>4</sub>	1,866ppb	+156%
N <sub>2</sub> O	332ppb	+23%

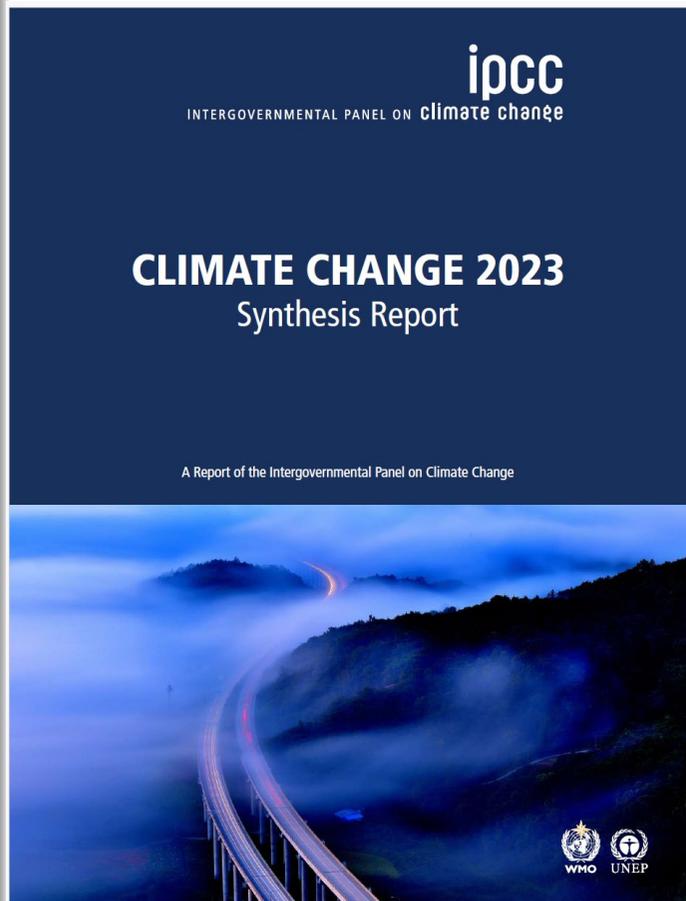
出典:AR6 WG1 SPM A1.1及びWG1 2.2.3.4より作成

GHG	温暖化係数	発生源(例)
二酸化炭素(CO <sub>2</sub> )	1	エンジン燃焼
メタン(CH <sub>4</sub> )	25	メタンスリップ
一酸化二窒素(N <sub>2</sub> O)	298	エンジン燃焼
フロンガス	100~10,000	冷媒

図 氷床コアから得られたCO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>Oの濃度変化  
数字は2019年時点の観測値 出典: AR6 WG1図 TS.9(b)

# IPCC 第6次評価報告書(2023)

- 気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change)
  - 世界気象機関(WMO)及び国連環境計画(UNEP)により1988年に設立
  - 気候変動に関する科学的、技術的及び社会・経済的情報の評価・公表



## 統合報告書の主なメッセージ

- 人間活動に起因する温室効果ガス(GHG)の排出により地球温暖化をもたらしたことに疑う余地はない
- 大気、海洋、雪氷圏、生物圏に急速な変化が起こっており、気象・気候の極端現象により自然と人間に悪影響をもたらしている
- 将来変化の一部は不可避、不可逆的だが、GHGの排出削減によって地球温暖化を抑制する
- 温暖化を1.5°Cまたは2°Cに抑制できるかは、CO<sub>2</sub>排出正味ゼロを達成する時期までの累積炭素排出量と、この10年のGHG排出削減の水準によって決まる

# 自然・人間への影響



Heat extremes	極端な高温
Wildfires	山火事
Droughts	干ばつ
Tropical Cyclones	熱帯性サイクロン
Heavy precipitation	大雨
Floods	洪水
High-tide flooding	高潮洪水
Marine heat waves	海洋熱波

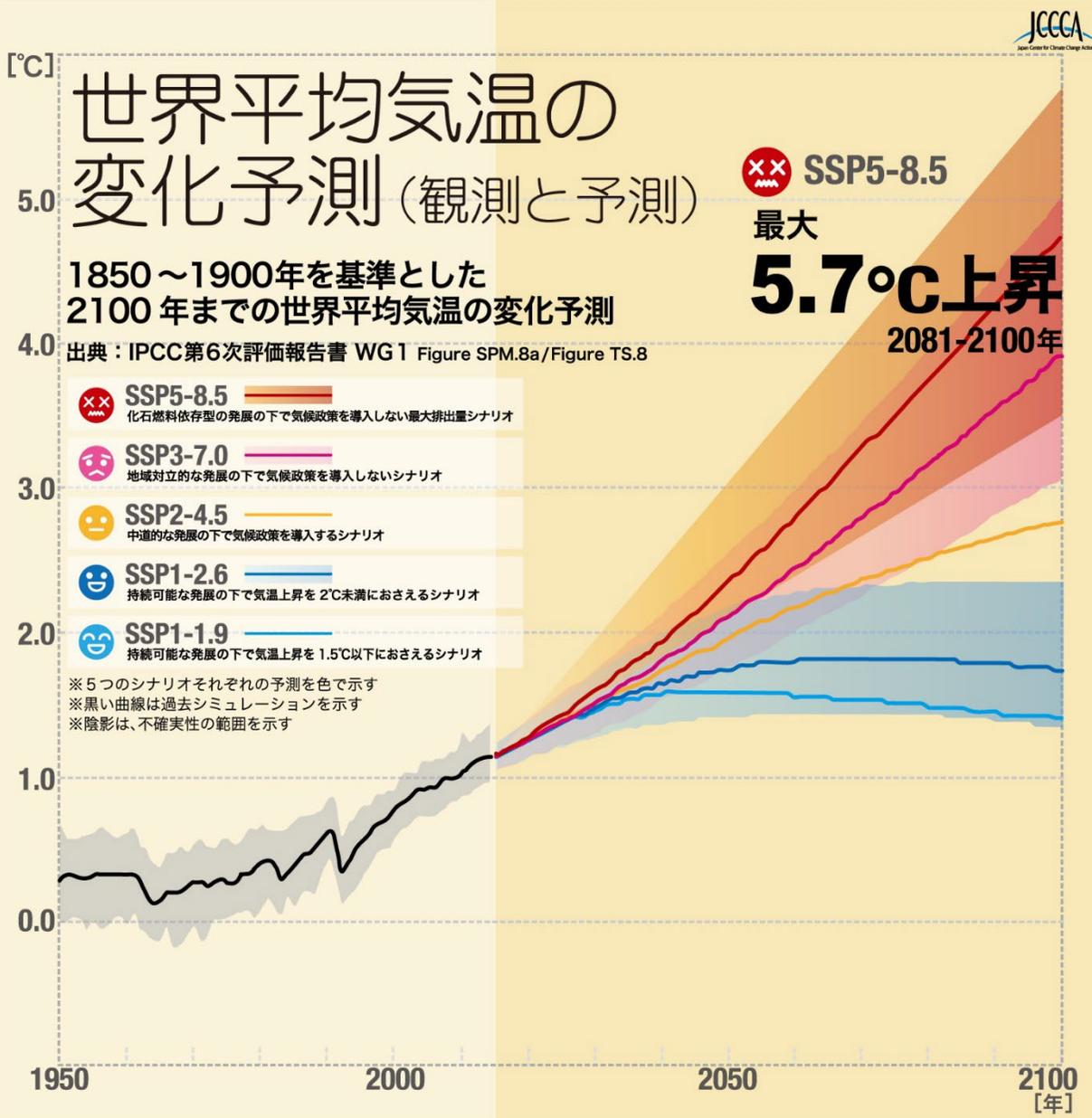
[Extreme Weather | National Climate Assessment \(globalchange.gov\)](https://www.globalchange.gov/)

[The Influence of Climate Change on Extreme Environmental Events \(nationalgeographic.org\)](https://www.nationalgeographic.org/)

[Extreme Weather - NASA Science](https://www.nasa.gov/science/ExtremeWeather/)

# SSPシナリオと気温の変化予測

全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト (<https://www.jccca.org/>) より



## IPCC 第6次評価報告書における SSPシナリオとは

シナリオ	シナリオの概要	近い RCPシナリオ <sup>1)</sup> <small><sup>1)</sup>IPCCAR5 で使われた 代表気候経路シナリオ</small>
<b>SSP1-1.9</b>	持続可能な発展の下で 気温上昇を 1.5°C以下におさえるシナリオ 21世紀末までの気温上昇(工業化前基準)を 1.5°C以下に抑える政策を導入 21世紀半ばに CO <sub>2</sub> 排出正味ゼロの見込み	該当なし
<b>SSP1-2.6</b>	持続可能な発展の下で 気温上昇を 2°C未満におさえるシナリオ 21世紀末までの気温上昇(工業化前基準)を 2°C未満に抑える政策を導入 21世紀後半に CO <sub>2</sub> 排出正味ゼロの見込み	<b>RCP2.6</b>
<b>SSP2-4.5</b>	中道的な発展の下で気候政策を導入するシナリオ 2030年までの各国の国別削減目標(NDC)を 集計した排出量上限にほぼ位置する	<b>RCP4.5</b> (2050年までは RCP6.0にも近い)
<b>SSP3-7.0</b>	地域対立的な発展の下で 気候政策を導入しないシナリオ	<b>RCP6.0</b> と <b>RCP8.5</b> の間
<b>SSP5-8.5</b>	化石燃料依存型の発展の下で 気候政策を導入しない最大排出量シナリオ	<b>RCP8.5</b>

出典：IPCC第6次評価報告書および環境省資料をもとにJCCCA作成

### SSPx-y

x は5種のSSP(1:持続可能、2:中道、3:地域対立、4:格差、5:化石燃料依存)、y はRCPシナリオと同様に2100年頃のおおよその放射強制力(単位はW/m<sup>2</sup>)を表す。

# 日本の地球温暖化対策 (R3.10/22閣議決定)

## 各国の削減目標



国名	削減目標	今世紀中頃に向けた目標 ネットゼロ <sup>(※)</sup> を目指す年など <small>(※) 温室効果ガスの排出を全体としてゼロにすること</small>
 中国	GDP当たりのCO <sub>2</sub> 排出を <b>2030</b> 年までに <b>65%</b> 以上削減 <small>(2005年比)</small> ※CO <sub>2</sub> 排出量のピークを 2030年より前にすることを旨す	<b>2060</b> 年までに CO <sub>2</sub> 排出を 実質ゼロにする
 EU	温室効果ガスの排出量を <b>2030</b> 年までに <b>55%</b> 以上削減 <small>(1990年比)</small>	<b>2050</b> 年までに 温室効果ガス排出を 実質ゼロにする
 インド	GDP当たりのCO <sub>2</sub> 排出を <b>2030</b> 年までに <b>45%</b> 削減 <small>(2005年比)</small>	<b>2070</b> 年までに 排出量を 実質ゼロにする
 日本	<b>2030</b> 年度 において <b>46%</b> 削減 <small>(2013年比)</small> ※さらに、50%の高みに向け、挑戦を続けていく	<b>2050</b> 年までに 温室効果ガス排出を 実質ゼロにする
 ロシア	<b>2030</b> 年までに <b>30%</b> 削減 <small>(1990年比)</small>	<b>2060</b> 年までに 実質ゼロにする
 アメリカ	温室効果ガスの排出量を <b>2030</b> 年までに <b>50 - 52%</b> 削減 <small>(2005年比)</small>	<b>2050</b> 年までに 温室効果ガス排出を 実質ゼロにする

各国のNDC提出・表明等、表現のまま掲載しています (2022年10月現在)

# 日本の地球温暖化対策（R3.10/22閣議決定）

## ■ 地球温暖化対策推進法に基づく政府の総合計画

「2050年カーボンニュートラル」宣言、2030年度46%削減目標※等の実現に向け、計画を改定。

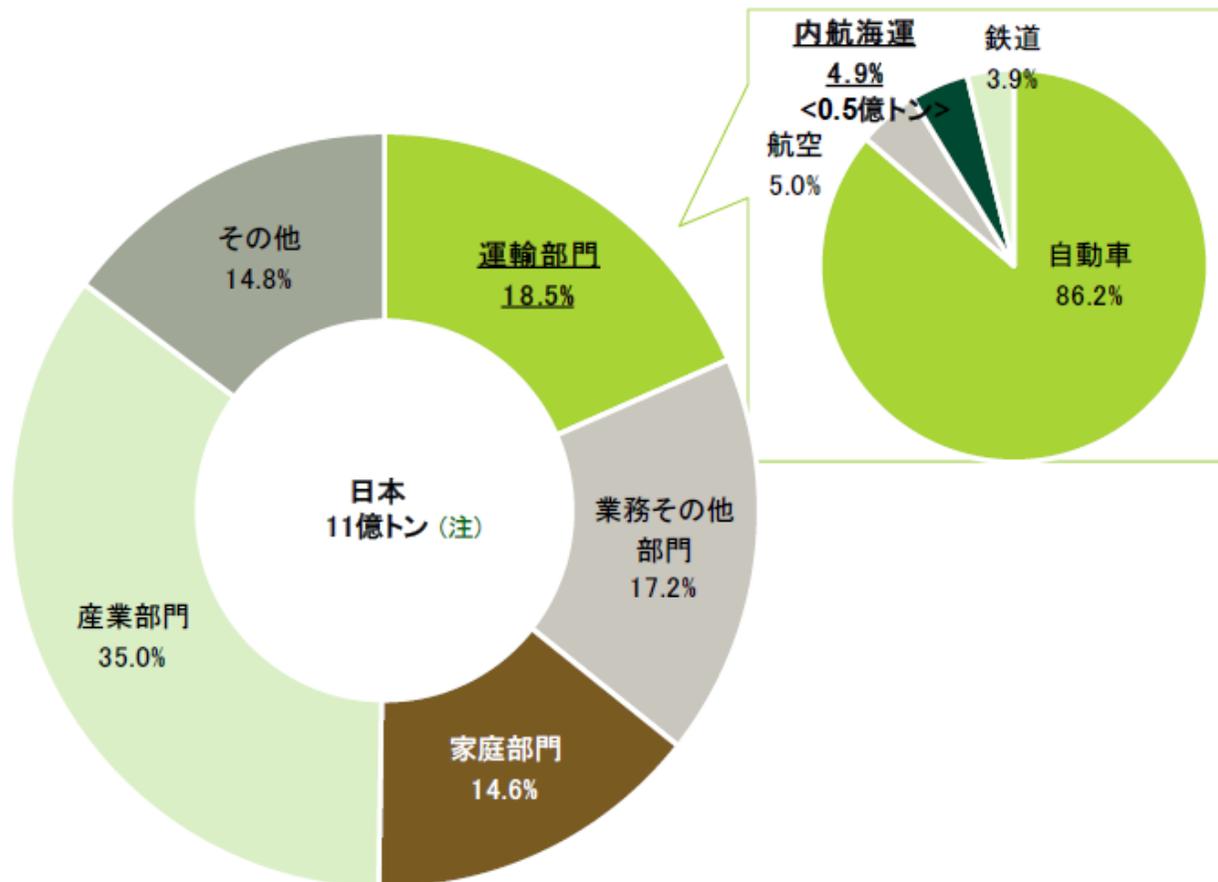
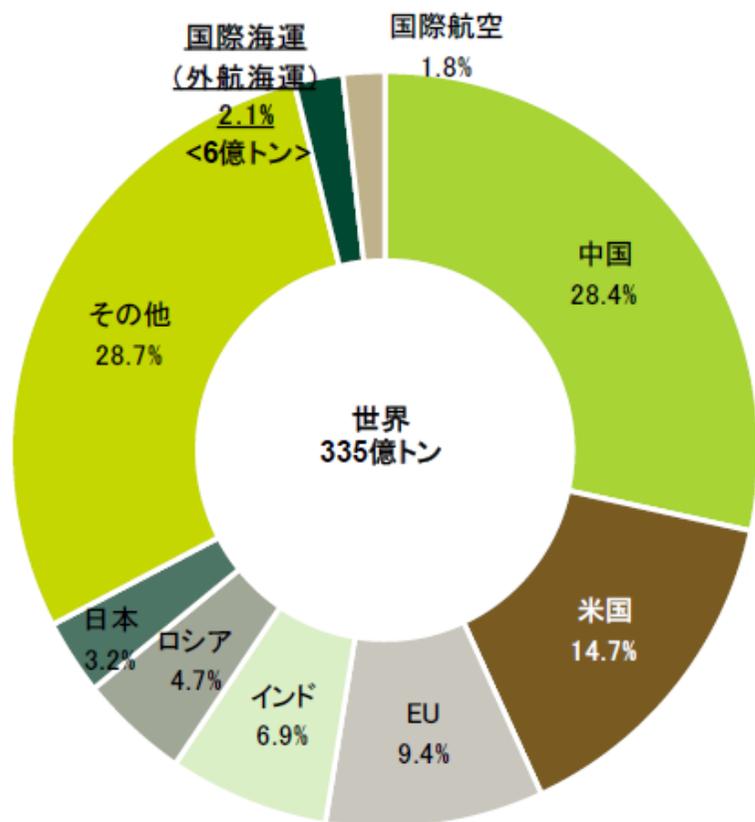
※我が国の中期目標として、2030年度において、温室効果ガスを2013年度から46%削減することを目指す。さらに、50%の高みに向け、挑戦を続けていく。

温室効果ガス排出量・吸収量 (単位：億t-CO <sub>2</sub> )		2013排出実績	2030排出量	削減率	従来目標
		14.08	7.60	▲46%	▲26%
エネルギー起源CO <sub>2</sub>		12.35	6.77	▲45%	▲25%
部門別	産業	4.63	2.89	▲38%	▲7%
	業務その他	2.38	1.16	▲51%	▲40%
	家庭	2.08	0.70	▲66%	▲39%
	運輸	2.24	1.46	▲35%	▲27%
	エネルギー転換	1.06	0.56	▲47%	▲27%
非エネルギー起源CO <sub>2</sub> 、メタン、N <sub>2</sub> O		1.34	1.15	▲14%	▲8%
HFC等4ガス（フロン類）		0.39	0.22	▲44%	▲25%
吸収源		-	▲0.48	-	(▲0.37億t-CO <sub>2</sub> )
二国間クレジット制度（JCM）		官民連携で2030年度までの累積で1億t-CO <sub>2</sub> 程度の国際的な排出削減・吸収量を目指す。我が国として獲得したクレジットを我が国のNDC達成のために適切にカウントする。			-

海運業界はカーボンニュートラルに向けてどのような対策を取るのか？

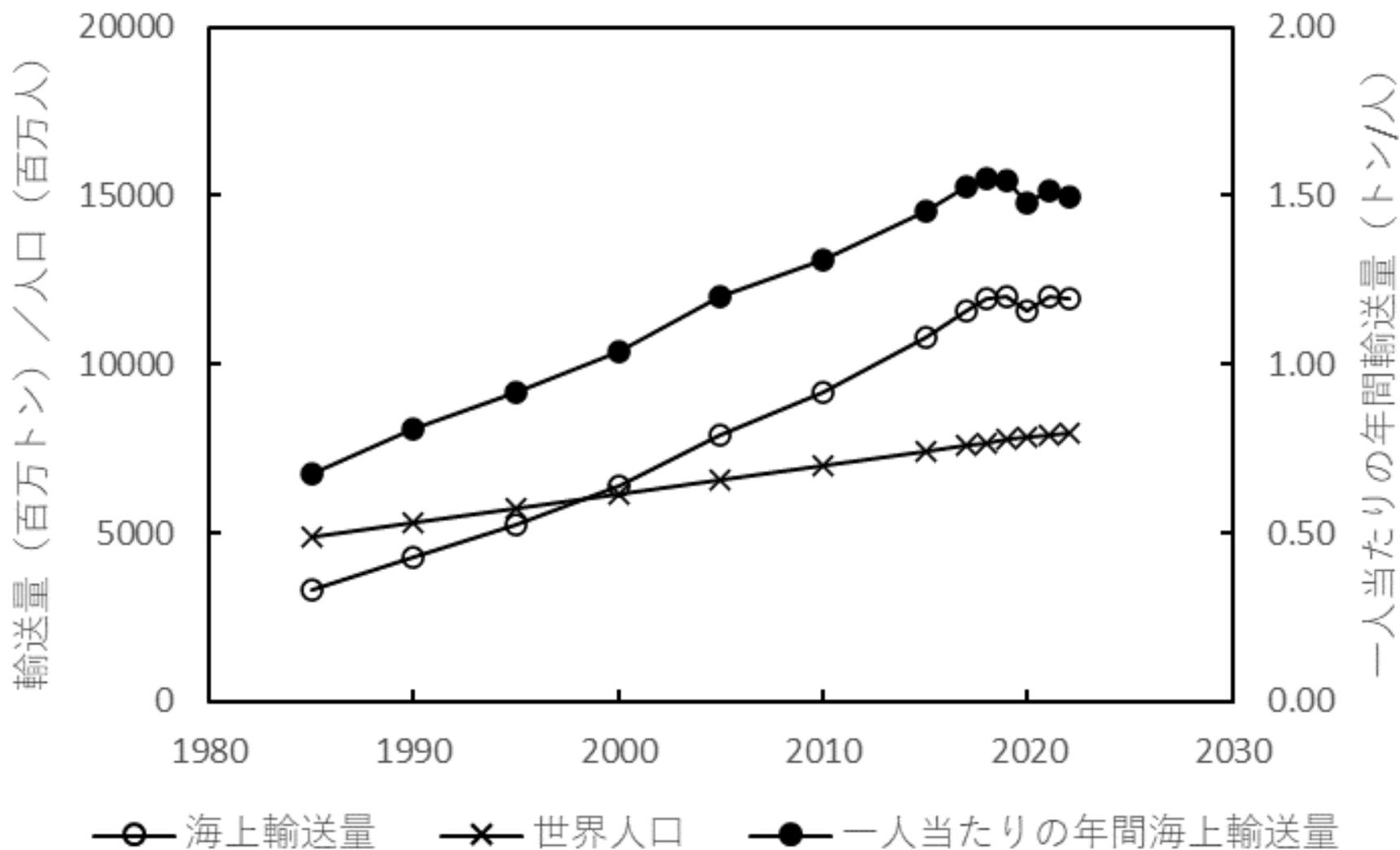
# 海運業界のCO2排出量

2018年 産業別CO2排出量



海運業界～脱炭素化に伴う環境変化と戦略の方向性、三井住友銀行、2021.12.

# 海上輸送量と世界人口の変化



村山, 英晶, デジタルエンジニアリングによる海事産業の変革, 日本船舶海洋工学会誌, pp. 3-6, 2024.01.

# 国際海運のGHG排出削減の取り組み①

- EEDI (Energy Efficiency Design Index: エネルギー効率設計指標)

$$\text{Attained EEDI} \leq \text{Required EEDI} = \text{Ref. line value} \times \left(1 - \frac{X}{100}\right) \quad (2)$$

表1 リファレンスライン算式と削減率

船種	リファレンスライン		削減率(一定のサイズ以上)			
			2013	2015	2020	2025
ばら積貨物船	961.79 x DWT <sup>-0.477</sup>					
ガス運搬船	1120.00 x DWT <sup>-0.456</sup>					
タンカー	1218.80 x DWT <sup>-0.488</sup>					
兼用船	1219.00 x DWT <sup>-0.488</sup>		0%	10%	20%	30%
コンテナ船	174.22 x DWT <sup>-0.201</sup>					
一般貨物船	107.48 x DWT <sup>-0.216</sup>					
冷凍運搬船	227.01 x DWT <sup>-0.244</sup>		0%	10%	15%	30%
自動車運搬船*	DWT/GT<0.3	(DWT/GT) <sup>-0.7</sup> x 780.36 x DWT <sup>-0.471</sup>	n/a	5%	15%	30%
	DWT/GT≥0.3	1812.63 x DWT <sup>-0.471</sup>				
Ro-ro貨物船*	1405.15 x DWT <sup>-0.488</sup>					
Ro-ro旅客船*	752.16 x DWT <sup>-0.381</sup>		n/a	5%	20%	30%
クルーズ客船*	170.84 x GT <sup>-0.214</sup>					
LNG運搬船*	2253.7 x DWT <sup>-0.474</sup>		n/a	10%	20%	30%

\* 2015年9月1日以降に建造契約または2019年9月1日以降に引渡しが行われる船舶に適用

荒木康伸, 日本マリンエンジニアリング学会, 52(4), 83-2018

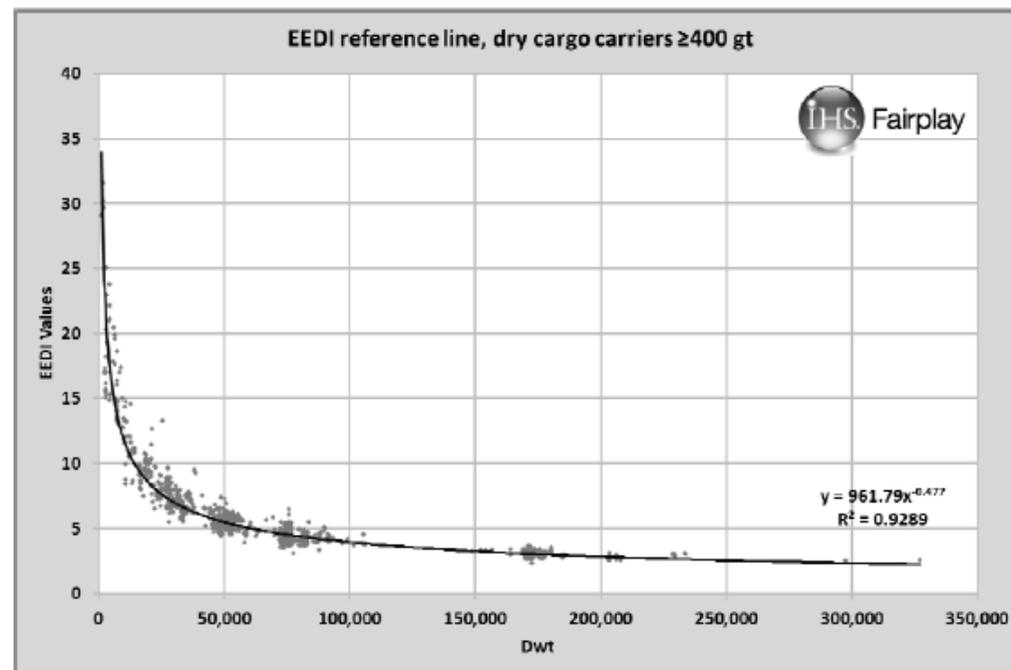


図1 ばら積貨物船のリファレンスライン

1999年～2008年の全造船から得られたEEDI

# 国際海運のGHG排出削減の取り組み②

- EEXI (Energy Efficiency Existing Ship Index: 既存船エネルギー効率指標)
- CII (Carbon Intensity Indicator: 燃費実績格付け制度)

## CO<sub>2</sub>排出量削減の選択肢



エンジンシステムの変更

燃料やエネルギー源

最適化や省エネルギー技術

燃料生産：船舶外の活動

カーボンフリー燃料や  
既存炭素の回収による  
カーボンニュートラル燃料の生産

運航の最適化

風力補助推進

バッテリー

陸からの電源供給

船体形状や塗装の  
最適化

プロペラの  
最適化

エンジン  
出力制限

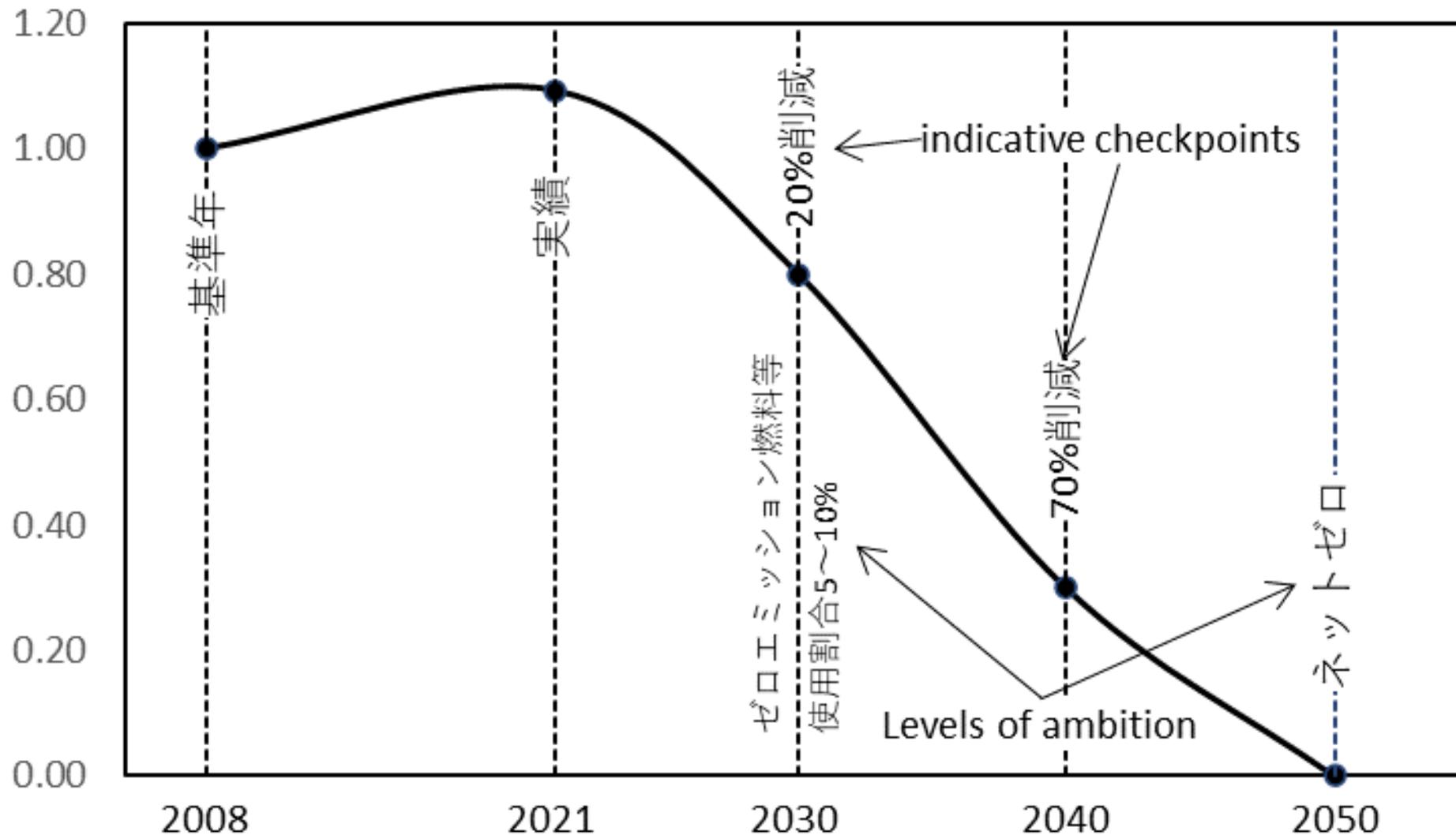
燃料電池  
多元燃料  
エンジン

カーボンニュートラル燃料：  
- 再生メタン、再生プロパン  
- バイオメタン  
カーボンフリー燃料：  
- メタノール  
- アンモニア  
- 水素

<https://www.bureauveritas.jp/magazine/211210/005>



# 国際海運のGHG排出削減の取り組み③



IMO GHG削減戦略

# 内航海運におけるCO<sub>2</sub>排出削減目標



「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

# GHG排出削減の方法(技術的手法)



**C-ZERO Japan H<sub>2</sub>**  
我が国の陸上分野でも利用が広がりつつある水素燃料は、燃焼によるCO<sub>2</sub>が発生しないクリーンな燃料です。

**C-ZERO Japan H<sub>2</sub> 主要目**

全長	399.90 m
船長	383.00 m
全幅	61.50 m
深さ	33.00 m
液化水素タンク	30,000 m <sup>3</sup>
コンテナ個数	21,000 TEU
冷凍コンテナプラグ	1,100 TEU
計画速力	22.5 knots
航続距離	11,500 NM
主機最大出力	60,000 kW
発電機	5000kW×3台

## C-ZERO Japan LNG & Wind

世界各国で導入が進んでいるLNG燃料は、現在主流の船舶用C重油に比べるとCO<sub>2</sub>排出量を20%程度削減できます。低速設計や風力推進等の既存技術を更に組み合わせると、CO<sub>2</sub>排出量の削減率を86%まで高めることが可能です。将来的には、カーボンリサイクル燃料の導入によりゼロエミッションの達成も可能となります。



**C-ZERO Japan LNG & Wind 主要目**

全長	229.00 m
船長	225.00 m
全幅	42.00 m
深さ	20.60 m
積貨重量	102,000 ton
LNGタンク	3,800 m <sup>3</sup>
計画速力	11.5 knots
推進モーター定格出力	1,700kW×2台

## C-ZERO Japan NH<sub>3</sub>

アンモニアも、水素と同様に燃焼に際してCO<sub>2</sub>を発生しません。毒性など注意すべき課題はありますが、水素と比べると貯蔵が容易です。



**C-ZERO Japan NH<sub>3</sub> 主要目**

全長	233.00 m
船長	225.5 m
全幅	32.26 m
深さ	20.10 m
積貨重量	81,000 ton
アンモニアタンク	1,550 m <sup>3</sup>
計画速力	14.2 knots
主機最大出力	9,660 kW
発電機	600 kW×3台



## C-ZERO Japan Capture

排気ガスからCO<sub>2</sub>を回収する技術は、陸上の発電所等では実用化されつつあります。CO<sub>2</sub>回収装置を船舶に搭載できるようにすれば、燃料を選ばずにCO<sub>2</sub>排出ゼロの達成が可能となります。



**C-ZERO Japan Capture 主要目**

全長	399.90 m
船長	383.00 m
全幅	61.00 m
深さ	33.50 m
コンテナ個数	21,300 TEU
メタノールタンク	13,200 m <sup>3</sup>
CO <sub>2</sub> タンク	6,400 m <sup>3</sup> x 2 sets
計画速力	21.8 knots
主機最大出力	55,000 kW
発電機	6,870 kW×5台

ゼロエミッション船(国土交通省)

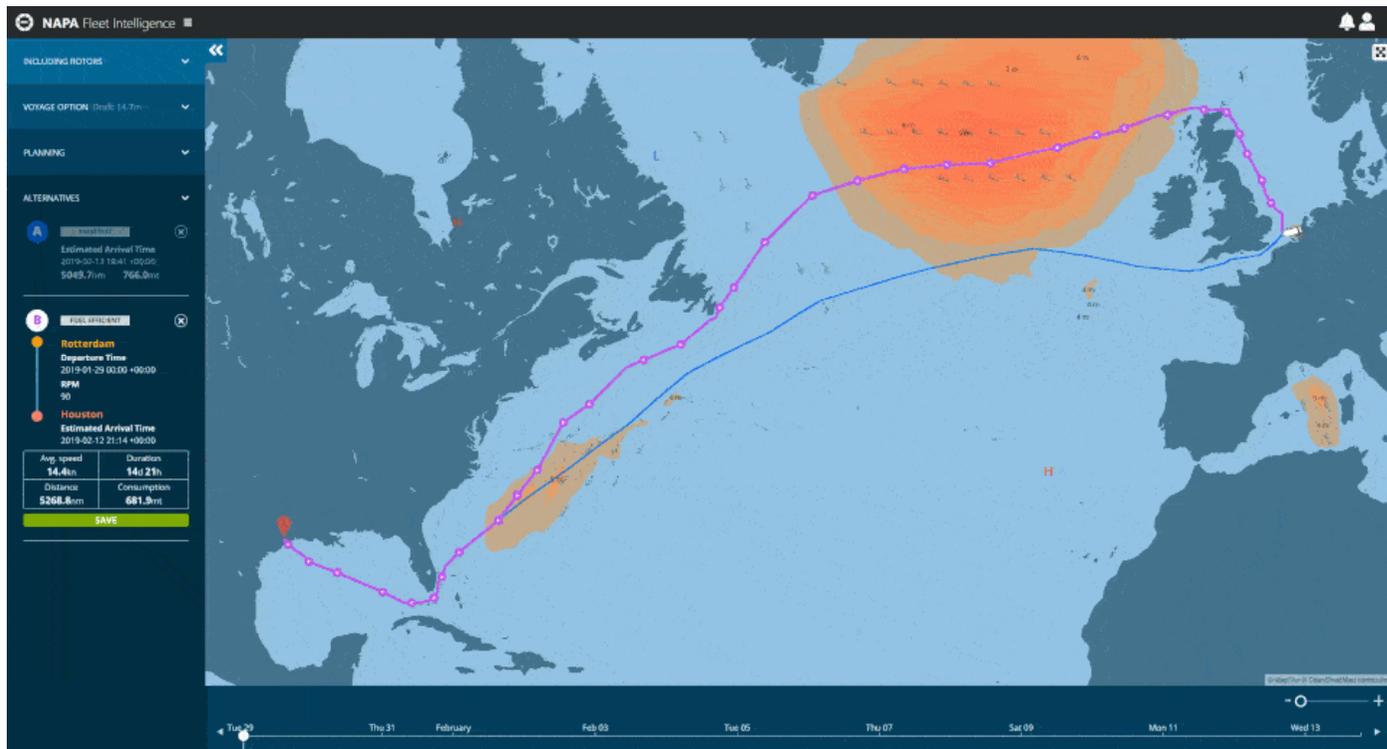
参考: 国際海運のゼロエミッションに向けたロードマップ、2020.3

# 風力推進装置

様々な風力推進装置の開発  
ハードセール(e.g., 商船三井)  
ローターセール(e.g., ANEMOI)  
カイト(e.g., 川崎汽船)



航路選択技術・シミュレーション(NAPA提供)

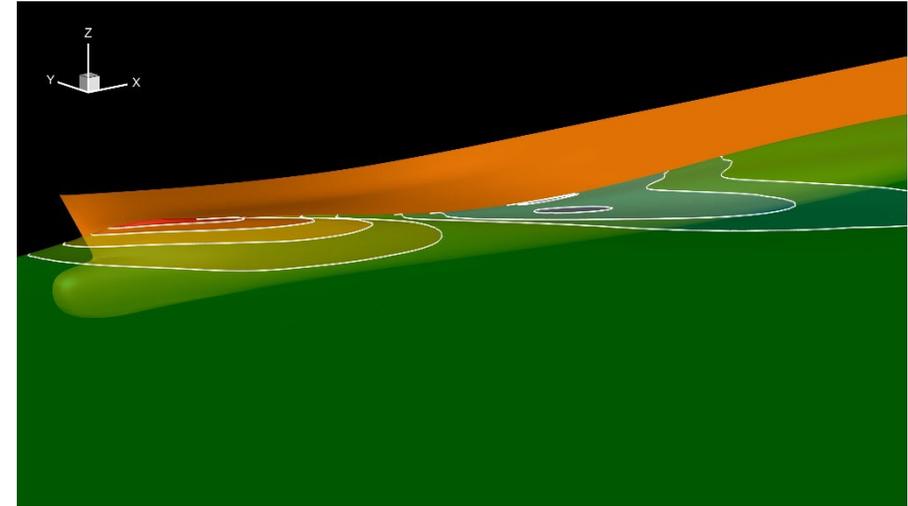


# その他の技術的手法

H. Ando (MTI, NYK Group), Alternative approaches to monitoring -'Digital Twin' of vessel performance-, 2017/03.



**23 % CO2 reduction  
was confirmed**



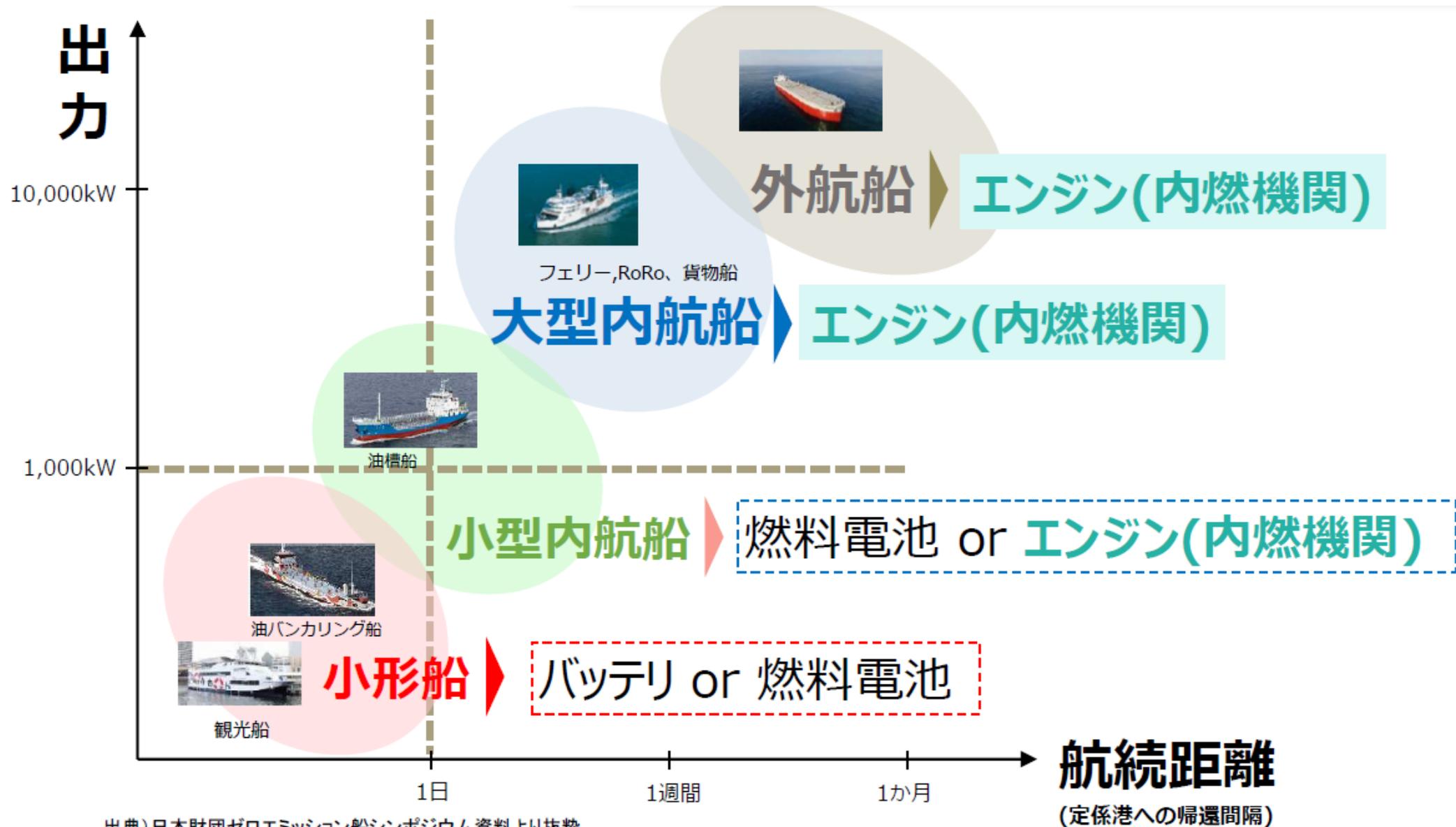
バルバスバウのCFD (海上技術安全研究所)

三菱空気潤滑システム (MALS)  
<https://www.mhi.com/jp/news/100224.html>

液体CO2輸送船 (三菱造船株)



# 新燃料対応エンジン



# 新燃料対応エンジン

## 脱炭素燃料

N<sub>2</sub>Oの発生を抑制しつつ、アンモニアの混焼率を高めることが技術課題

## 低炭素燃料（化石燃料由来）

GHG削減効果 25%以下程度  
⇒ ブリッジソリューションの位置づけ

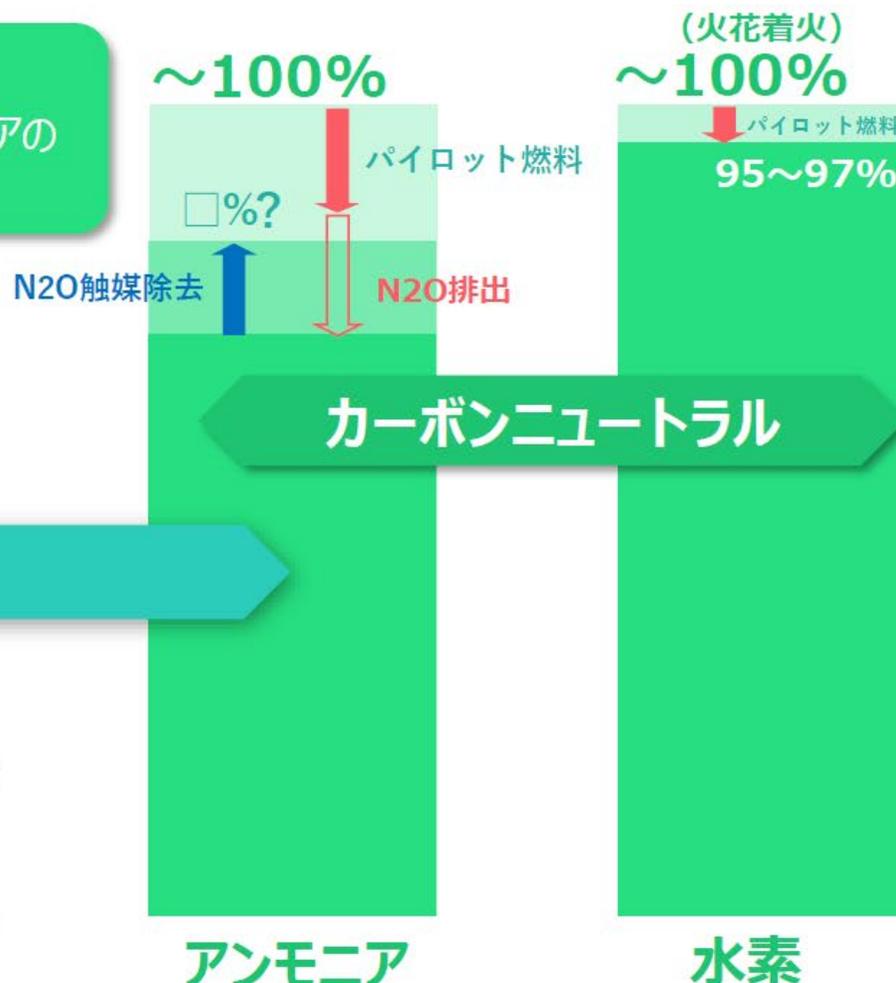
## ブリッジソリューション



## 低炭素燃料



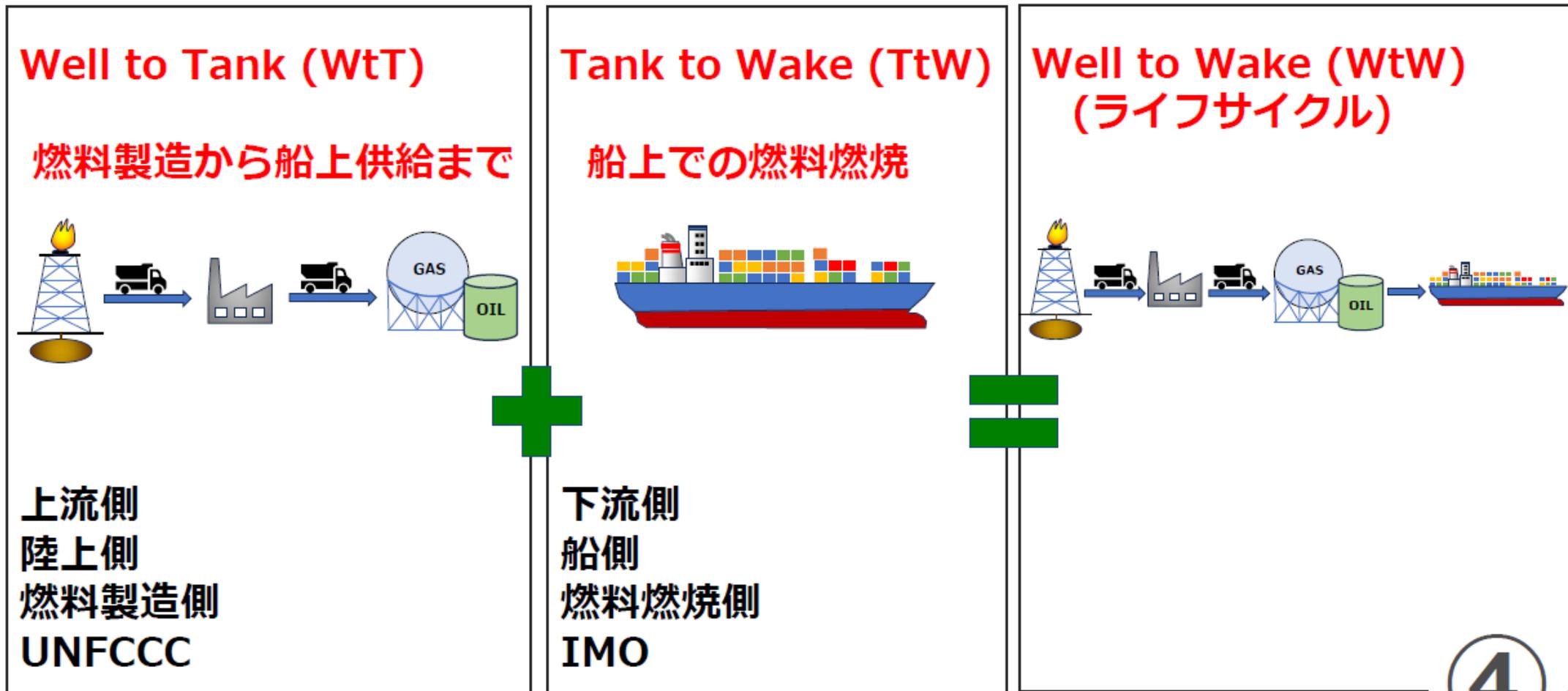
## 脱炭素燃料



## カーボンニュートラル

新燃料をどのように生産・輸送するのか？

# 新燃料対応エンジン



# 新燃料対応エンジン

## UEC50LSJA

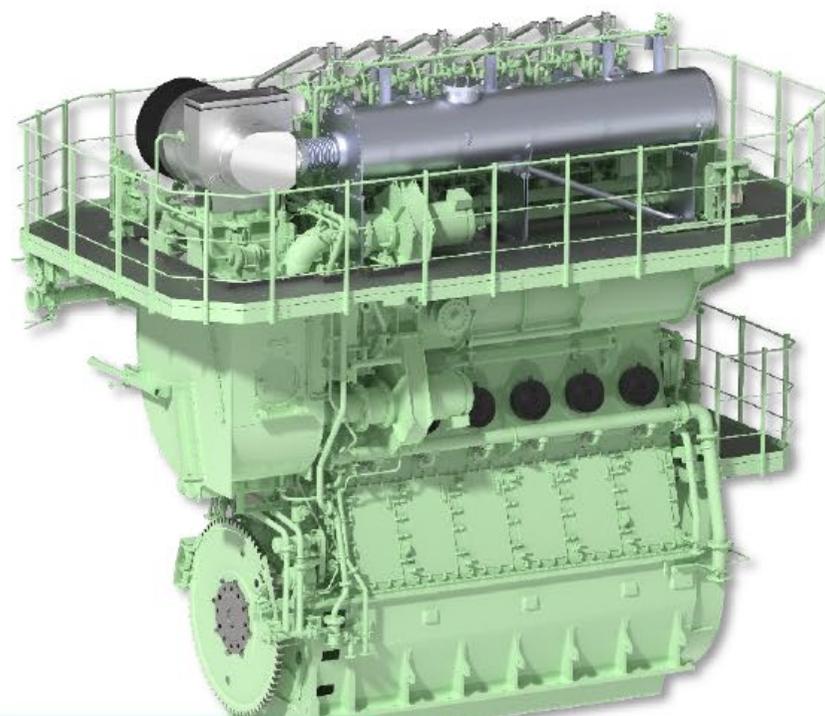
アンモニア燃料エンジン (2025年 完成予定)



LSJ+Ammonia

## UEC35LSGH

水素燃料エンジン (2026年 完成予定)



LSGi+Hydrogen

# 新燃料対応エンジン

## グリーンイノベーション事業基金

[https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_101487.html](https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_101487.html)

次世代船舶の開発

### 別紙2-1 船用水素エンジン及びMHFSの開発

MHFS: Marine Hydrogen Fuel System 船用水素燃料タンクおよび燃料供給システム

#### 事業の目的・概要

- ① 船舶から排出される温室効果ガスを削減するために、**コンソーシアム3社が出力範囲と用途の異なる船用水素エンジンを並行して開発**する。開発したエンジンにより実船実証運航を行い、機能および信頼性を確認し、社会実装につなげる。
- ② **船用水素燃料タンクおよび燃料供給システムを新開発**する。陸上試験を経て、補機用の中高速4ストロークエンジン、推進用の低速2ストロークエンジンの実証運航に適用し、機能および信頼性を確認し、社会実装につなげる。

#### 実施体制

- ① **川崎重工株式会社**、ヤンマーパワーテクノロジー株式会社、株式会社ジャパンエンジンコーポレーション
- ② **川崎重工株式会社**

#### 事業規模等

- 事業規模 (①+②) : 約219億円
- 支援規模 (①+②) \* : 約210億円
- \*インセンティブ額を含む。今後ステージゲートでの事業進捗などに応じて変更の可能性あり。
- 補助率など
- ① : 9/10 → 2/3, ② : 9/10 → 2/3 (インセンティブ率は10%)

#### 事業期間

①、② 2021年度～2030年度(10年間)

#### 事業イメージ



出典：川崎重工株式会社、ヤンマーパワーテクノロジー株式会社、ジャパンエンジンコーポレーション

次世代船舶の開発

### 別紙2-2 アンモニア燃料国産エンジン搭載船舶の開発

#### 事業の目的・概要

- 海上輸送のゼロエミッション化推進・次世代船舶分野における日本海事クラスターの競争力維持・向上を目的として、**アンモニア燃料国産エンジンを搭載するアンモニア燃料船の研究開発**を行う。
- ① **アンモニア燃料タグボート(内航船)の開発・運航**  
国産4ストローク主機の開発、安全性・実用性に配慮したアンモニア燃料船の設計、アンモニア燃料船に係る運航・メンテナンス手法の確立などに取り組み、2024年の竣工を目指す。
- ② **アンモニア燃料アンモニア輸送船(外航船)の開発・運航**  
国産2ストローク主機および国産4ストローク補機の開発、外航船の船型主要目の開発とアンモニア燃料・荷役配管システムおよびオペレーションシステムの開発、アンモニア毒性に対する船内安全システムの確立、アンモニア燃料船に係る運航・メンテナンス手法の確立などに取り組み、2026年の竣工を目指す。

#### 実施体制

- ① **日本郵船株式会社**、株式会社IHI原動機
- ② **日本郵船株式会社**、株式会社ジャパンエンジンコーポレーション、株式会社IHI原動機、日本シップヤード株式会社 (一般財団法人日本海事協会 \*NEDO助成先対象外)

#### 事業規模等

- 事業規模 : 約123億円
- 支援規模 \* : 約84億円
- \*インセンティブ額を含む。今後ステージゲートでの事業進捗などに応じて変更の可能性あり。
- 補助率など : 2/3 → 1/2 (インセンティブ率は10%)

#### 事業期間

□ 2021～2027年度(7年間)

#### 事業イメージ

<アンモニア燃料エンジン開発>

用途	種類	ボア径 (mm)	出力 (kW)	
①	主機	4ストローク	280	約1,600
	補機	4ストローク	200/250	約1,300
②	主機	2ストローク	500	約8,000
	補機	4ストローク	200/250	約1,300



出典：日本郵船株式会社、ジャパンエンジンコーポレーション、株式会社IHI原動機、日本シップヤード株式会社

次世代船舶の開発

### 別紙2-3 アンモニア燃料船開発と社会実装の一体型プロジェクト

#### 事業の目的・概要

- **2028年までの出来るだけ早期**にアンモニア燃料船を日本主導で社会実装し、日本の海事産業がゼロエミッション分野で長年に渡り優位性を維持出来る形を目指し、他国に先駆けて推進システム・船体開発および保有・運航を行う。
- 早期の社会実装実現のためにアンモニア燃料船の「開発」、「保有・運航」、「燃料生産」、「燃料供給拠点整備」の全域をカバーする「統合型プロジェクト」の一環として本事業を推進する。

#### 実施体制

- 伊藤忠商事株式会社、川崎汽船株式会社、NSユニテッド海運株式会社、日本シップヤード株式会社、株式会社三井E&Sマシナリー

#### 事業期間

2021年度～2027年度(7年間)

#### 事業イメージ

#### アンモニア燃料船開発・統合型プロジェクト



出典：伊藤忠商事株式会社、川崎汽船株式会社、NSユニテッド海運株式会社、日本シップヤード株式会社、三井E&Sマシナリー

次世代船舶の開発

### 別紙2-4 触媒とエンジン改良によるLNG燃料船からのメタンスリップ削減技術の開発

#### 事業の目的・概要

- 海運業界の温室効果ガス削減に貢献するために、2026年までにLNG燃料船の**メタンスリップ削減率70%以上を達成**し、重油からLNGへの燃料転換による温室効果ガス削減効果を引き上げる。
- そのためエンジン実稼働条件下で高いメタンスリップ削減性能を有する触媒の開発とエンジン出口からのメタンスリップ削減および触媒のメタンスリップ削減性能を高める燃焼方式を軸とした新たなエンジンシステムを開発する。
- その後、開発した**触媒とエンジンを組み合わせたメタンスリップ削減技術**を実船搭載し運用手法を確立する。

#### 実施体制

- **日立造船株式会社**
- ヤンマーパワーテクノロジー株式会社
- 株式会社商船三井

#### 事業規模等

- 事業規模 : 約11億円
- 支援規模 \* : 約6億円
- \*インセンティブ額を含む。今後ステージゲートでの事業進捗などに応じて変更の可能性あり。
- 補助率など : 1/2 → 1/3 (インセンティブ率は10%)

#### 事業期間

2021年度～2026年度(6年間)

#### 事業イメージ



出典：日立造船株式会社、ヤンマーパワーテクノロジー株式会社、商船三井株式会社、日立造船株式会社

# GHG排出削減の方法（経済的手法）

## 主な論点

課金による収入の使途。

化石燃料を使用する船舶



課金



ゼロエミ船  
への還付

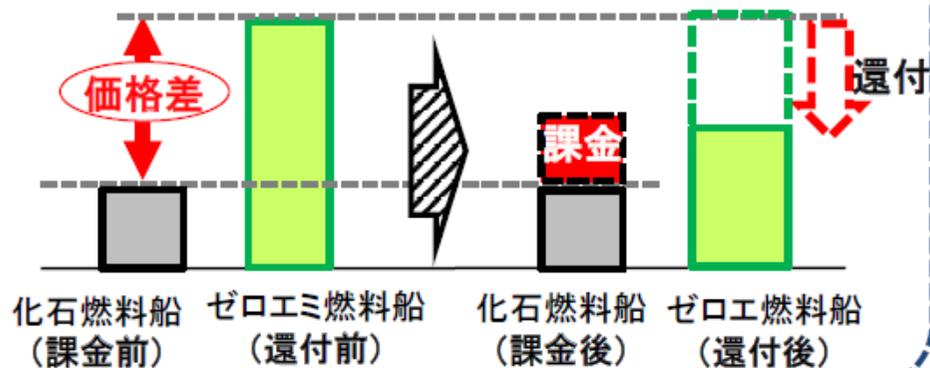


技術開発支援

途上国支援

## Feebate制度（日本提案）

ゼロエミッション船の導入インセンティブを付与  
(化石燃料とゼロエミッション燃料の価格差を埋める)



# GHG排出削減の方法（経済的手法）



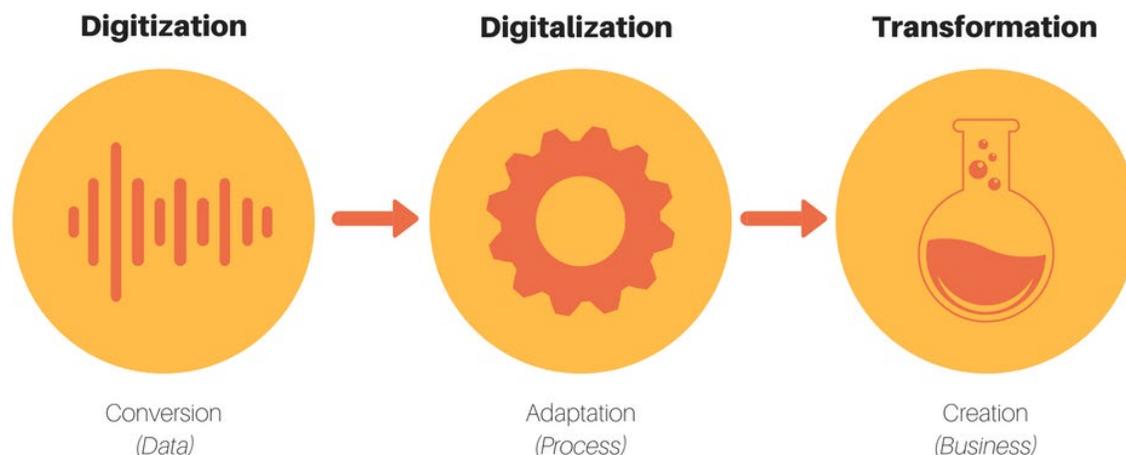
POSEIDON  
PRINCIPLES

- ポセイドン原則（Poseidon Principles）

- <https://www.poseidonprinciples.org/#home>
- 2019年6月に船舶ファイナンスを手がける欧米主要金融機関11行により設立
- 国際海運から排出されるGHGの削減目標やその実現のための対策等を包括的に定めるGHG削減戦略に対する民間金融機関主導の取組
- 同原則に署名した金融機関は、船舶ファイナンスの対象船舶について毎年CO<sub>2</sub>排出削減努力の達成度を評価し、各行の船舶ファイナンスポートフォリオ全体のCO<sub>2</sub>排出削減努力貢献度を算出し公表する

# デジタル化

- Digitization
  - データの変換 – アナログからデジタルへ – (デジタルデータの創出)
- Digitalization
  - プロセスの変換 (デジタルデータの活用)
- Digital transformation
  - ビジネスの変換 (デジタルデータの展開)



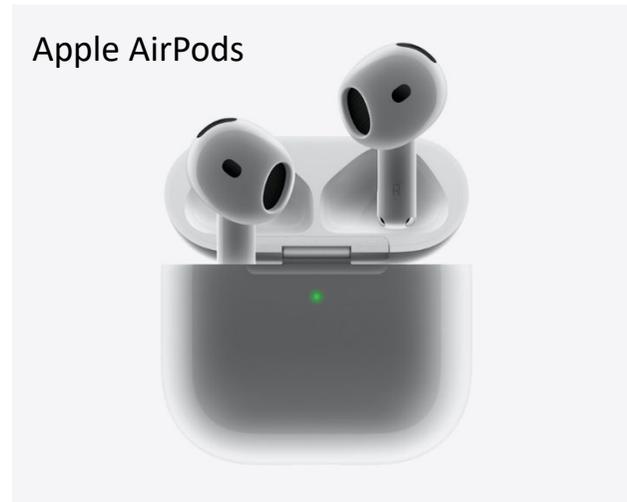
例)  
Digitization  
フィルムカメラ→デジタルカメラ  
Digitalization  
設計・製造→CAD/CAE/CAM  
Digital transformation  
シェアリングエコノミ(タクシー業界、  
ホテル業界、外食産業、...)  
Digital disruption

B. Maltaverne, What is the digital transformation of procurement really about?

<https://medium.com/procurement-tidbits/what-is-the-digital-transformation-of-procurement-really-about-9d2148e04638>

# デジタル化

- IoT/IoP/IoS/IIoT
- Industrial Internet
- Industry 4.0
- Big data
- 5G
- AI
- Digital Twin
- Metaverse
- Smart City
- CPS (Cyber Physical System)
- Society 5.0

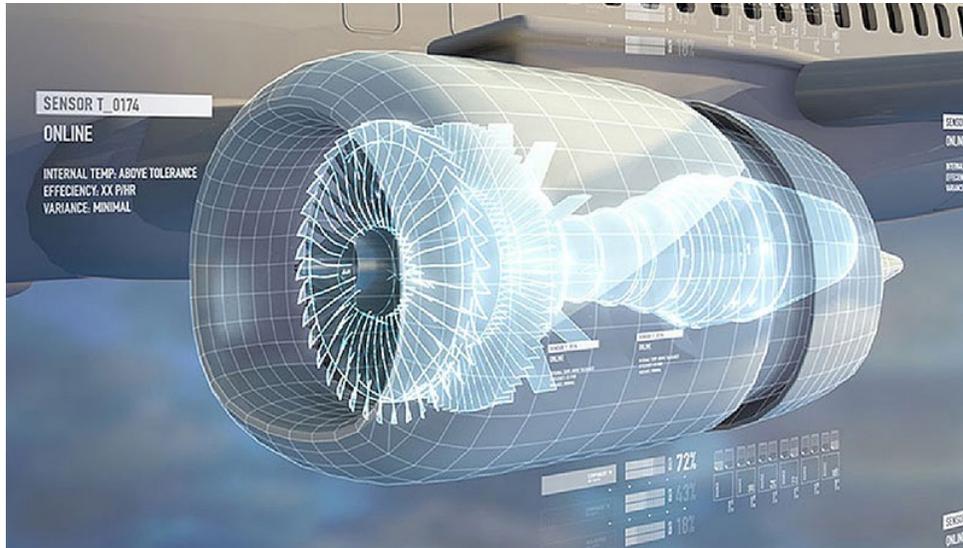


<https://www.apple.com/airpods-4/>

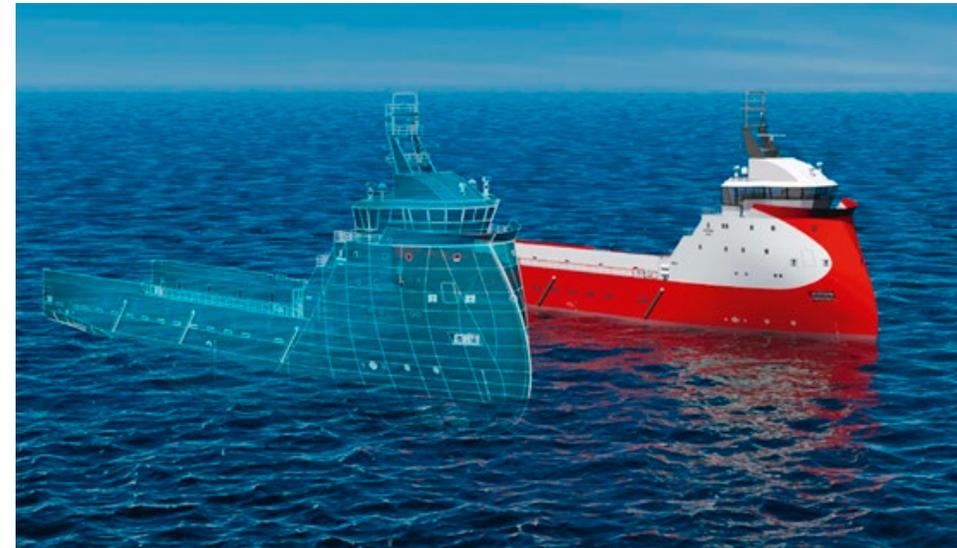


<https://amfg.ai/2018/05/29/3d-printing-transforming-spare-parts-industry/>

# Digital Twin

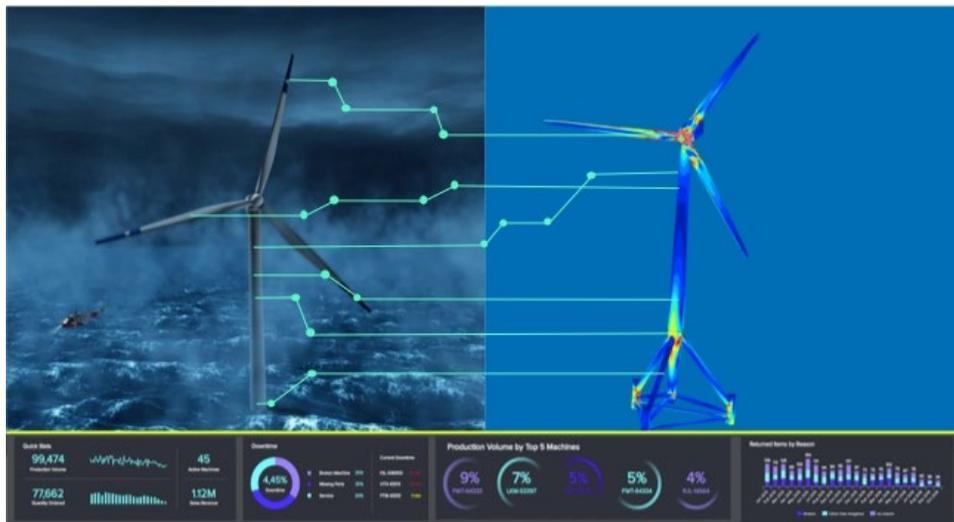


<https://aerospaceamerica.aiaa.org/year-in-review/interest-grows-in-digital-twins-digital-engineering/>



## DNV-GL

<https://www.dnvgl.com/expert-story/maritime-impact/Digital-twins-and-sensor-monitoring.html>



## Akselos

<https://www.businesswire.com/news/home/20180927005503/en/Akselos-Innogy-Ventures-Shell-Ventures-Predictive-Digital>



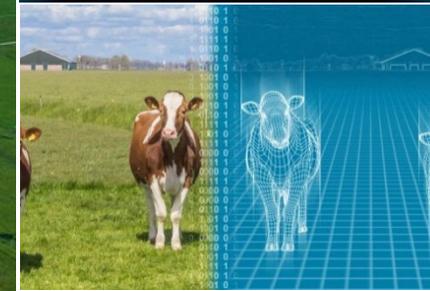
## Urban Digital Twin

<https://living-in.eu/groups/solutions/urban-digital-twin>

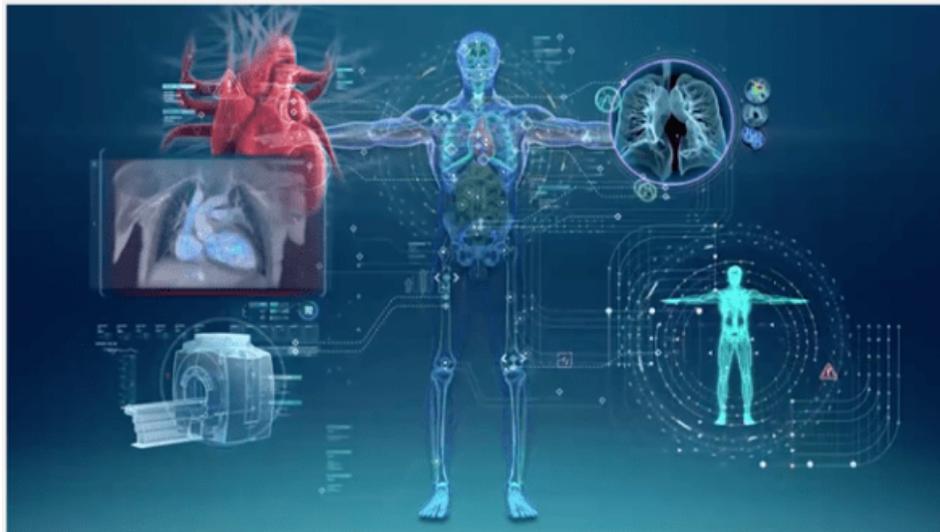
# Digital Twin



<https://mentormate.medium.com/the-future-of-farming-7-ways-a-digital-twin-can-be-applied-to-agriculture-595a1750c453>



[http://www.tomatonews.com/en/digital-twins-for-tomatoes-food-and-farming\\_2\\_1096.html](http://www.tomatonews.com/en/digital-twins-for-tomatoes-food-and-farming_2_1096.html)



S. Sharma, Get Your Physics Right or Go Home!  
<https://www.linkedin.com/pulse/get-your-physics-right-go-home-sudhir-sharma/>



[https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2020/09/Digital\\_Twin\\_Earth](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2020/09/Digital_Twin_Earth)

# 航空機エンジンにおける活用

- Rolls-Royce

- Power-by-the-hour

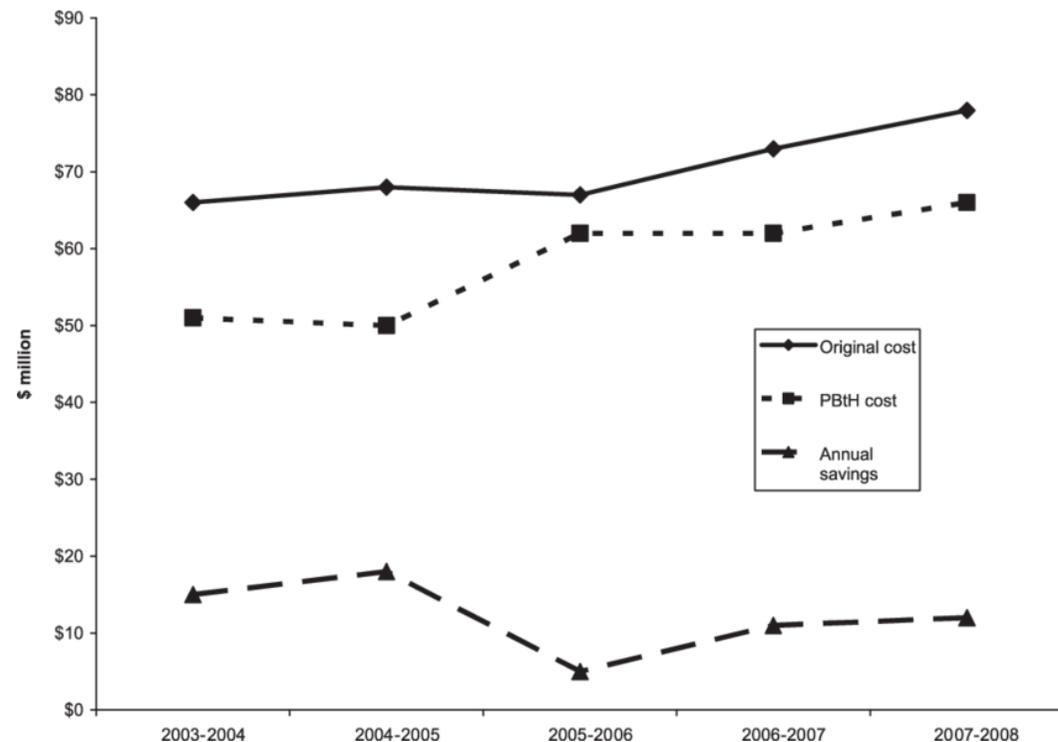
- エンジンの出力と使用時間に応じて、利用者(エアライン)に課金するサービス
    - 売り切りからのビジネスモデルの転換(Transformation)

- GE

- Digital twin creation



<https://www.ge.com/research/offering/digital-twin-creation>

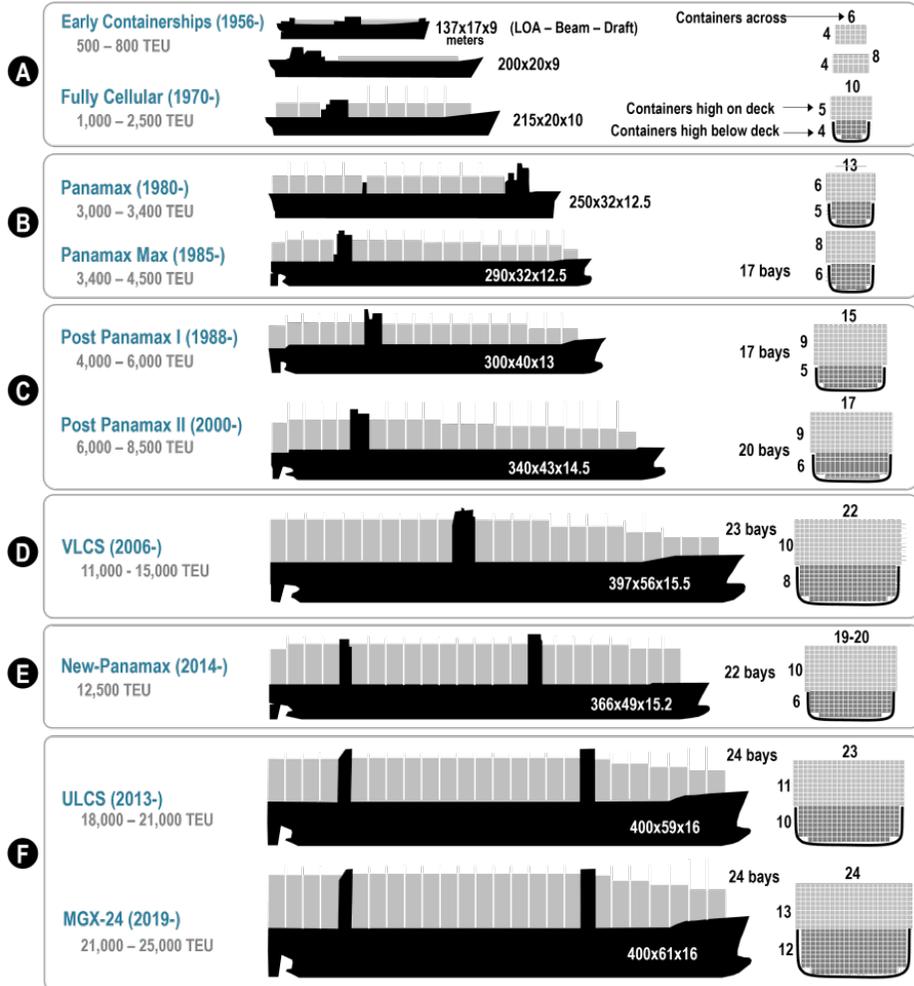


D. Smith, Power-by-the-hour: The role of technology in reshaping business strategy at Rolls-Royce, 2013

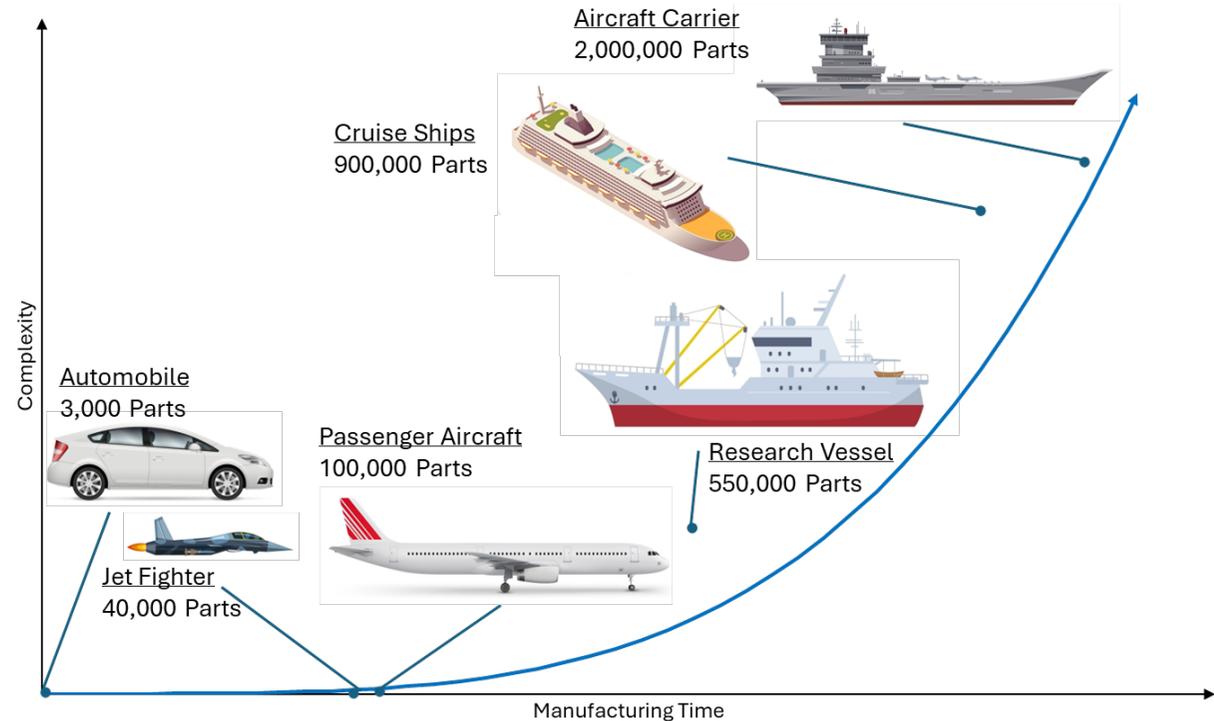
# 船舶の大型化と複雑化

Evolution of Containerships

<https://transportgeography.org/contents/chapter5/maritime-transportation/evolution-containerships-classes/>



海部陽介、インターメディアテク 特別展示図録 海の人類史ーパイオニアたちの100万年, 2024



# リスク = 起こりやすさ × 被害の大きさ

失敗/故障の起こりやすさ  
Likelihood

高 High	条件付 許容			許容 不可
中 Medium	リスク			
低 Low	許容 可能		増加	
微 Negligible				要計画 変更
	小 Minor	大 Major	重大 Critical	致命的 Catastrophic

被害の大きさ  
Severity of Consequence

## リスクランキング表

# 船舶リスクの増大化

Accident of MOL Comfort (2013)



<https://ameblo.jp/mkiipenguin06/entry-12522335533.html>

Accident of ONE Apus (2020)



<https://www.porttechnology.org/news/one-apus-container-catastrophe-highlights-potential-drone-use-in-ports-2/>

Accident of Ever Given (2021)



<https://asia.nikkei.com/Economy/Efforts-to-dislodge-ship-blocking-Suez-Canal-enter-sixth-day>  
Accident of Dali (2023)



<https://www.seamagazine.com/baltimore-bridge-ship-collision-causes-toppling-investigation-underway>

# 船舶リスクの増大化

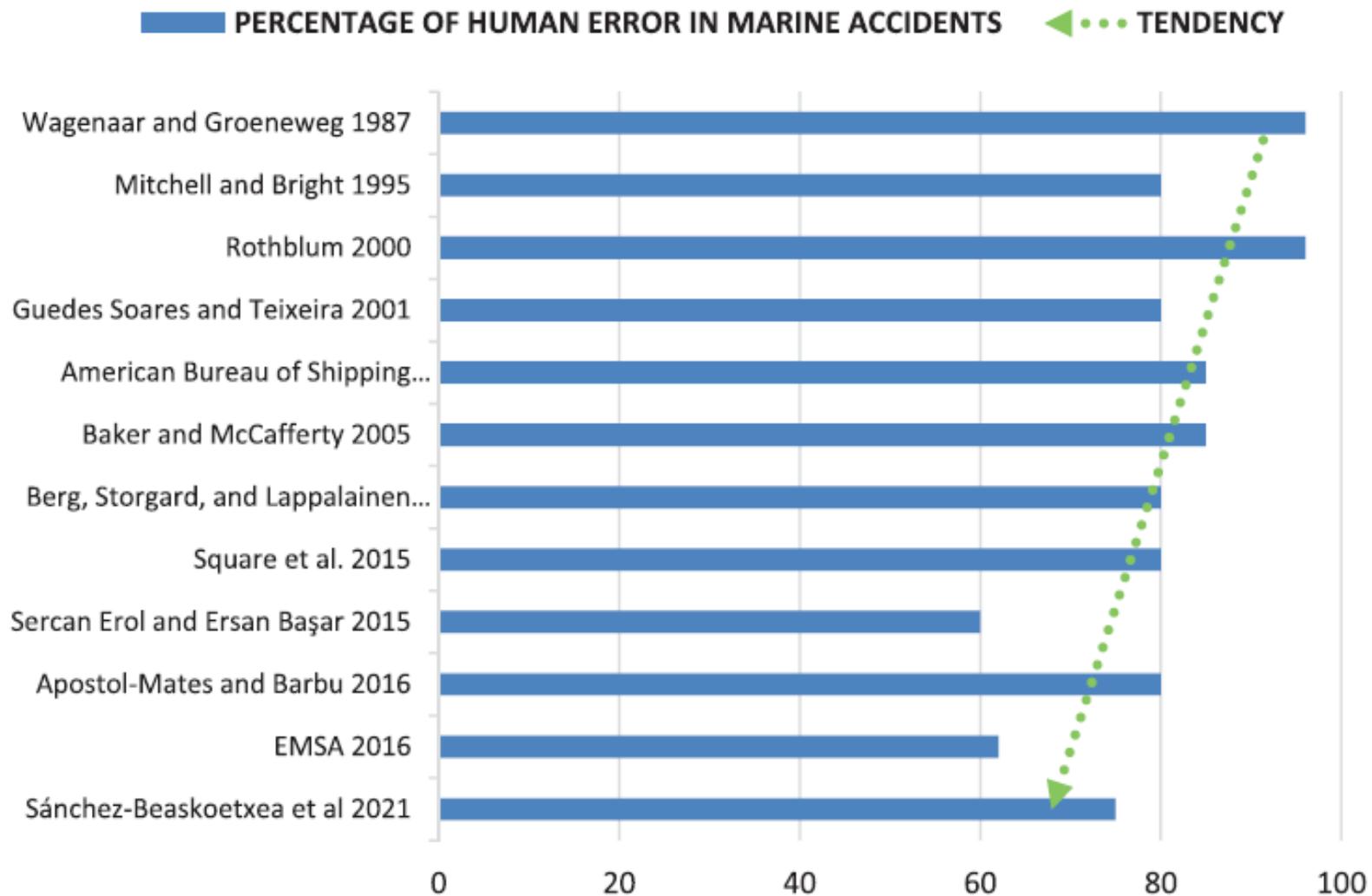


Fig. 1. Percentage of human error in marine accidents according to several authors.

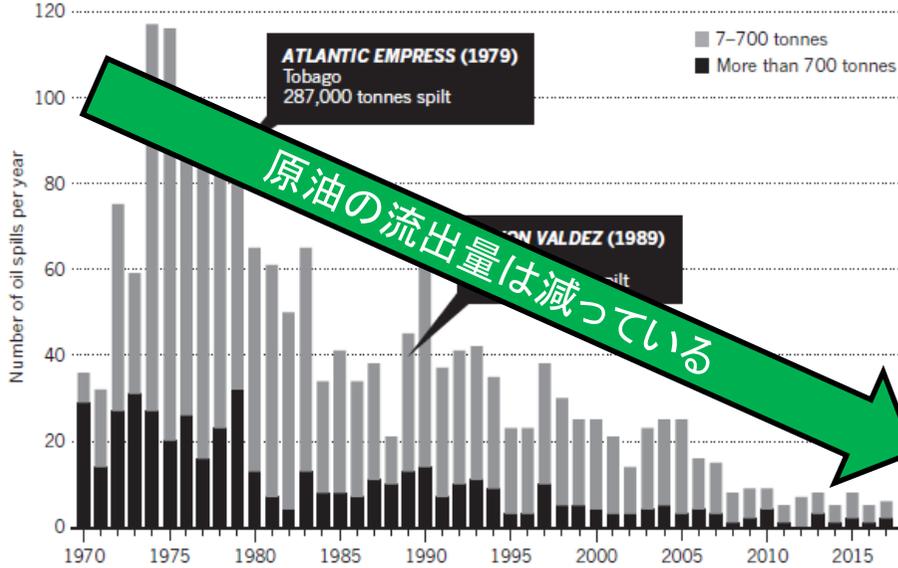
J. Sánchez-Beaskoetxea, et al., Human error in marine accidents: Is the crew normally to blame?, Maritime Transport Research, 2, 100016, 2021.

# 船舶リスクの増大化

Z. Wan and J. Chen, *Nature*, 560, 2018.

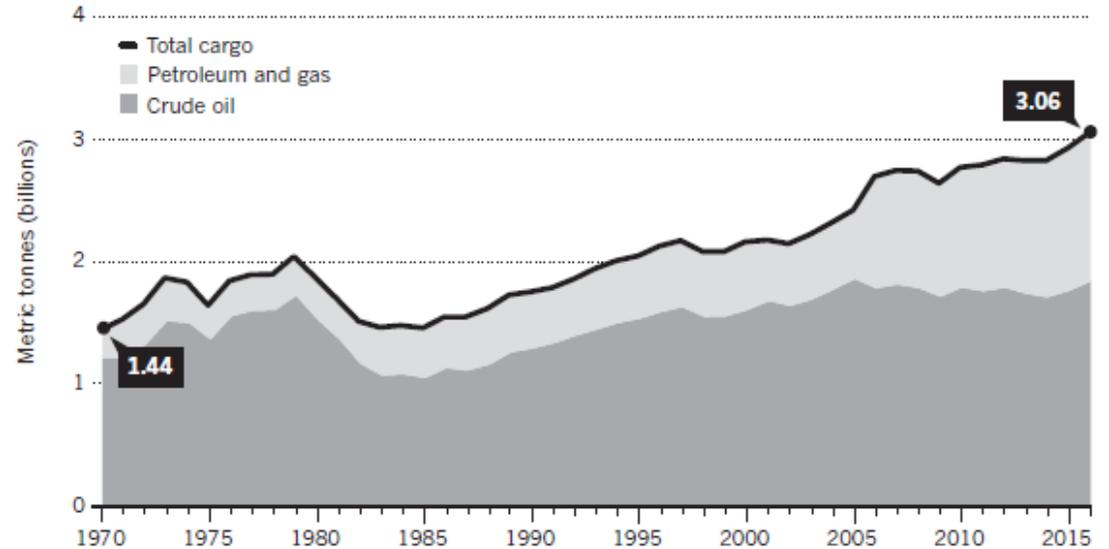
## FEWER SPILLS

Double hulls and fire systems have reduced tank breaches.



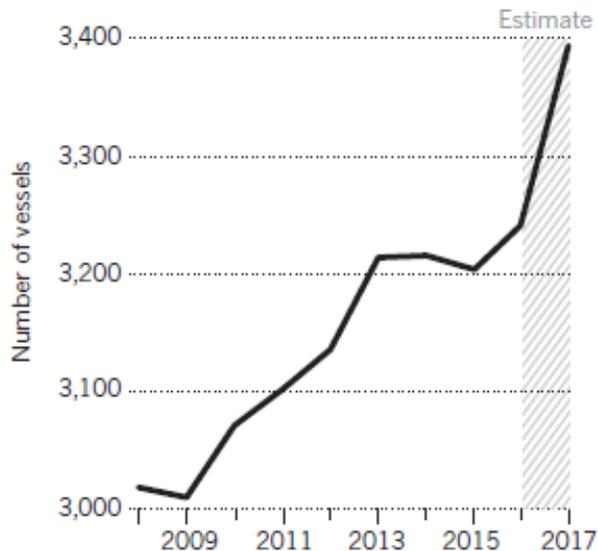
## MORE CARGO

Rising energy use is increasing the volume of oil transported.



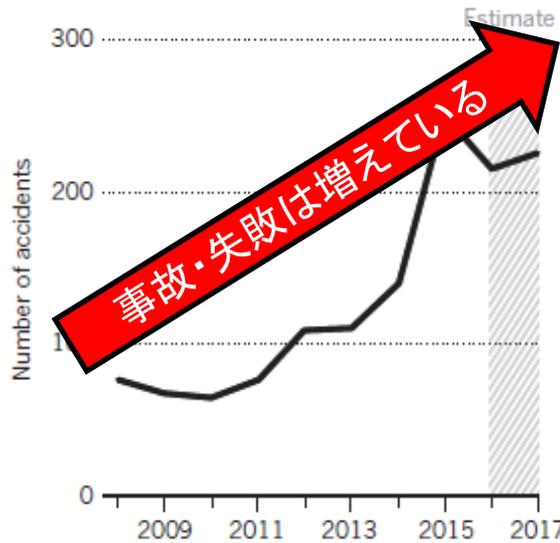
## MORE SHIPS

A growing number of registered oil tankers have a carrying capacity of more than 15,000 tonnes.

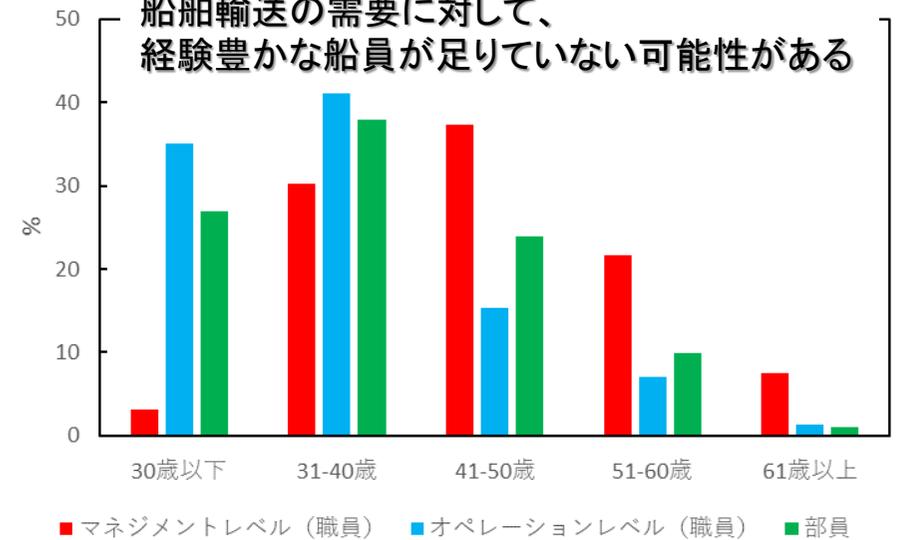


## MORE MISTAKES

Accidents are rising as trade grows and shipping lanes become congested.

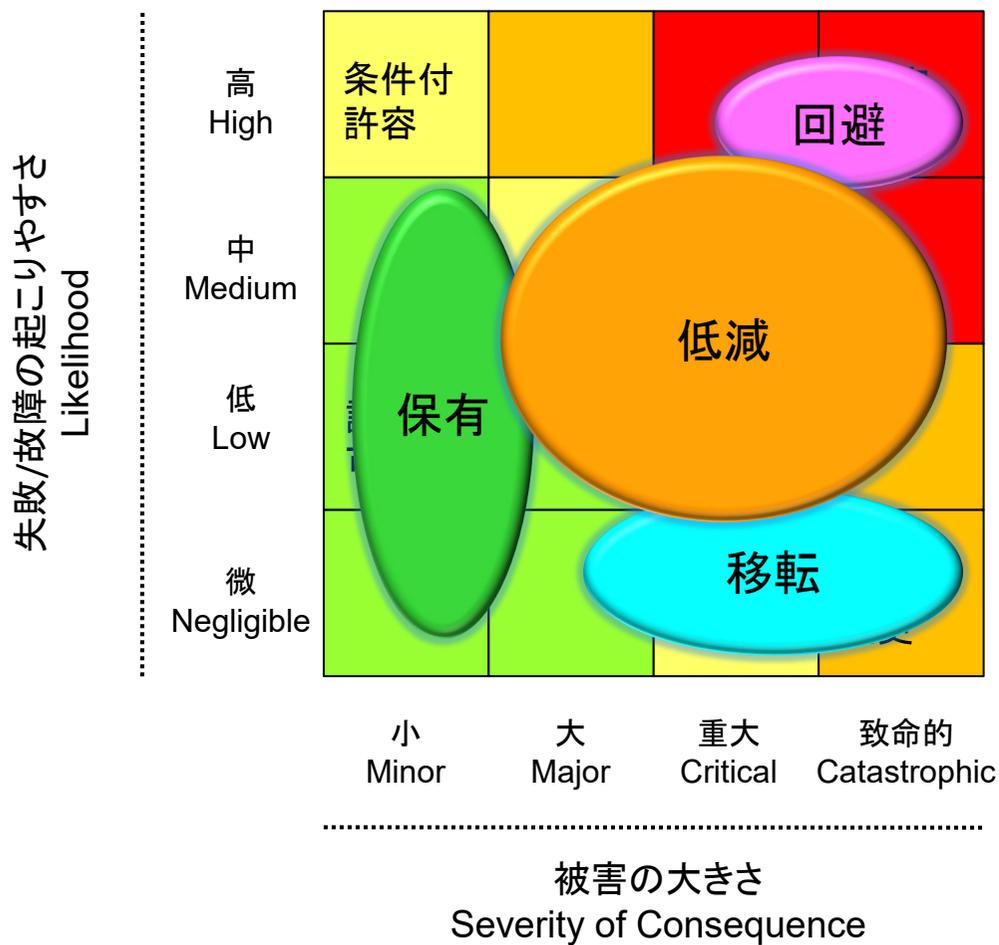


船舶輸送の需要に対して、  
経験豊かな船員が足りていない可能性がある



村山, 英晶, 日本船舶海洋工学会誌, pp. 3-6, 2024.01.

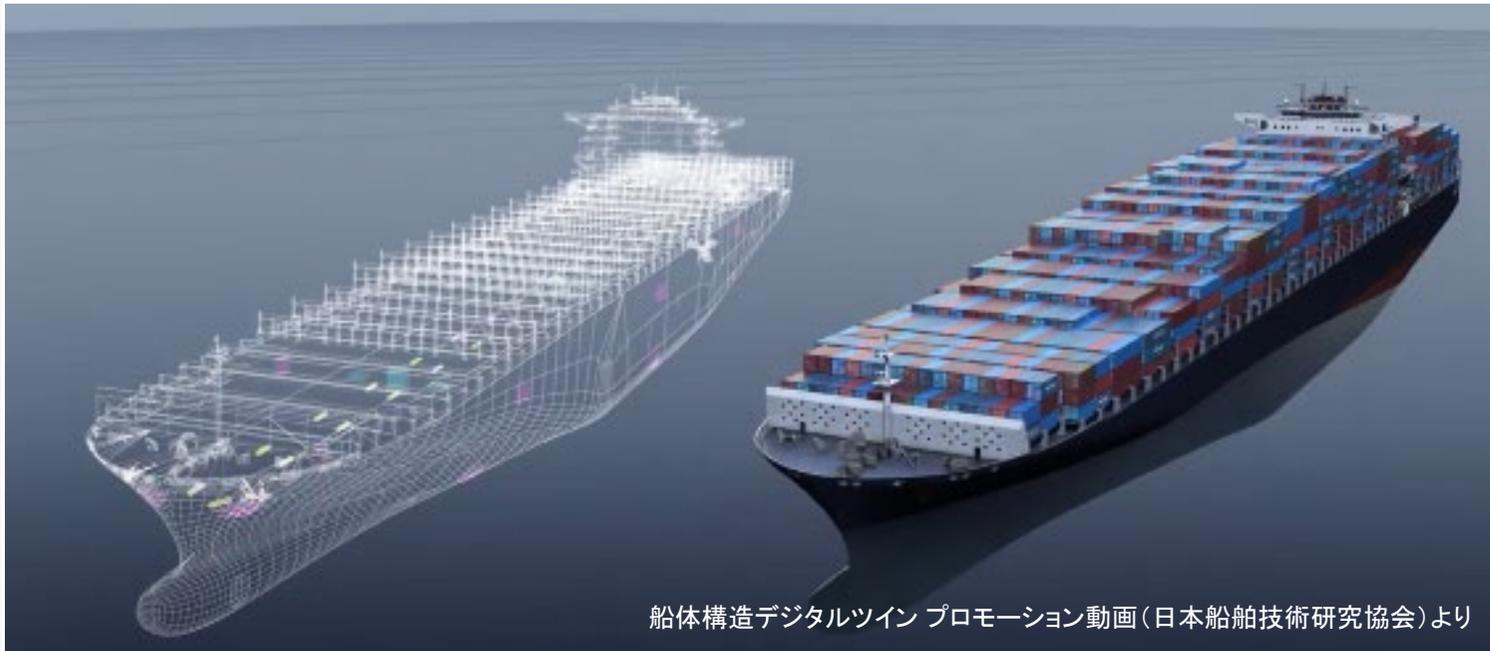
# リスクへの対応



リスクランキング表

# 船舶・海上輸送システムのデジタルツイン

Digital twin of maritime transportation system (from a promotional video of Digital Twin for Ship Structures by JSTRA)



船体構造デジタルツイン プロモーション動画(日本船舶技術研究協会)より

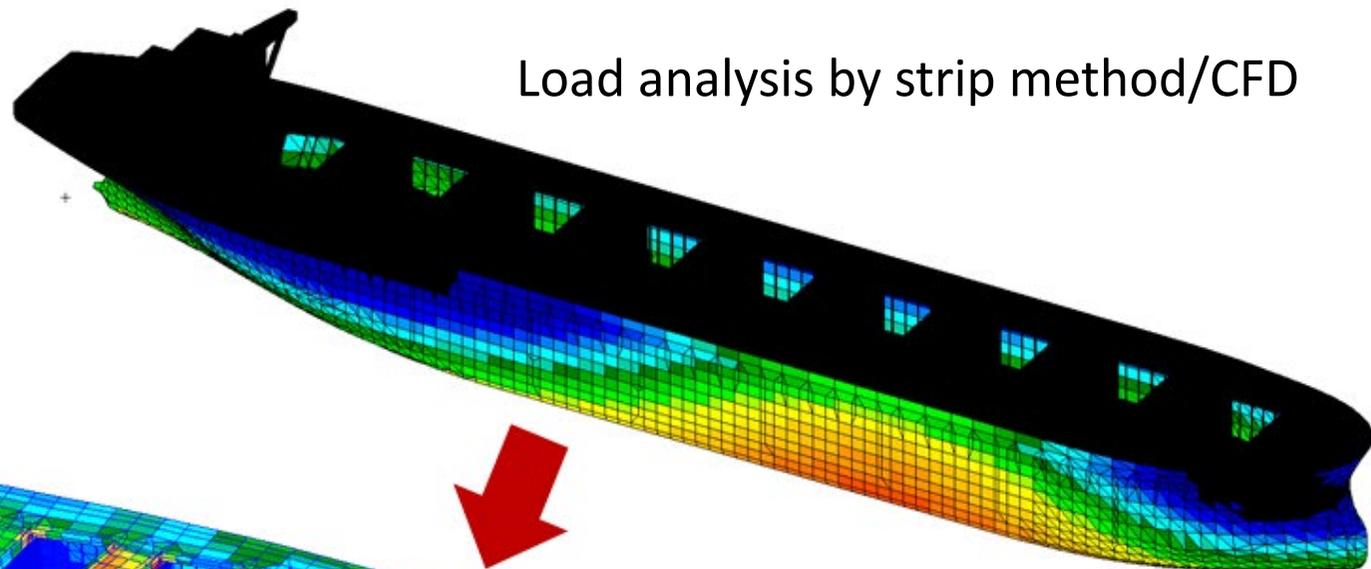
# 船舶デジタルツインの目的(例)

可視化

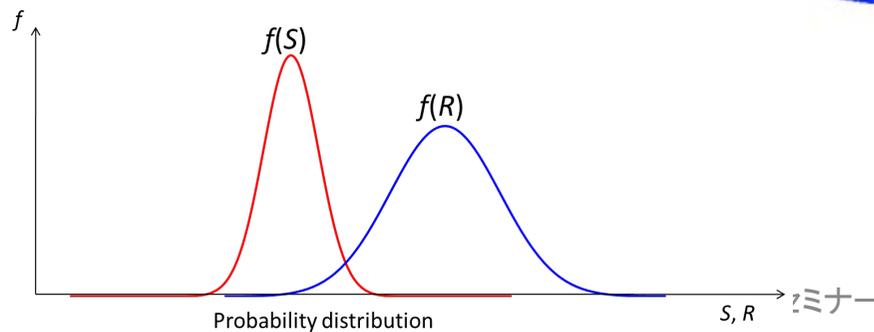
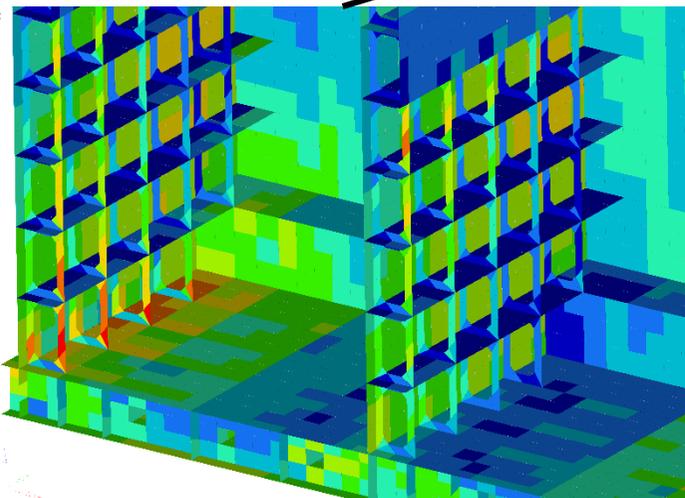
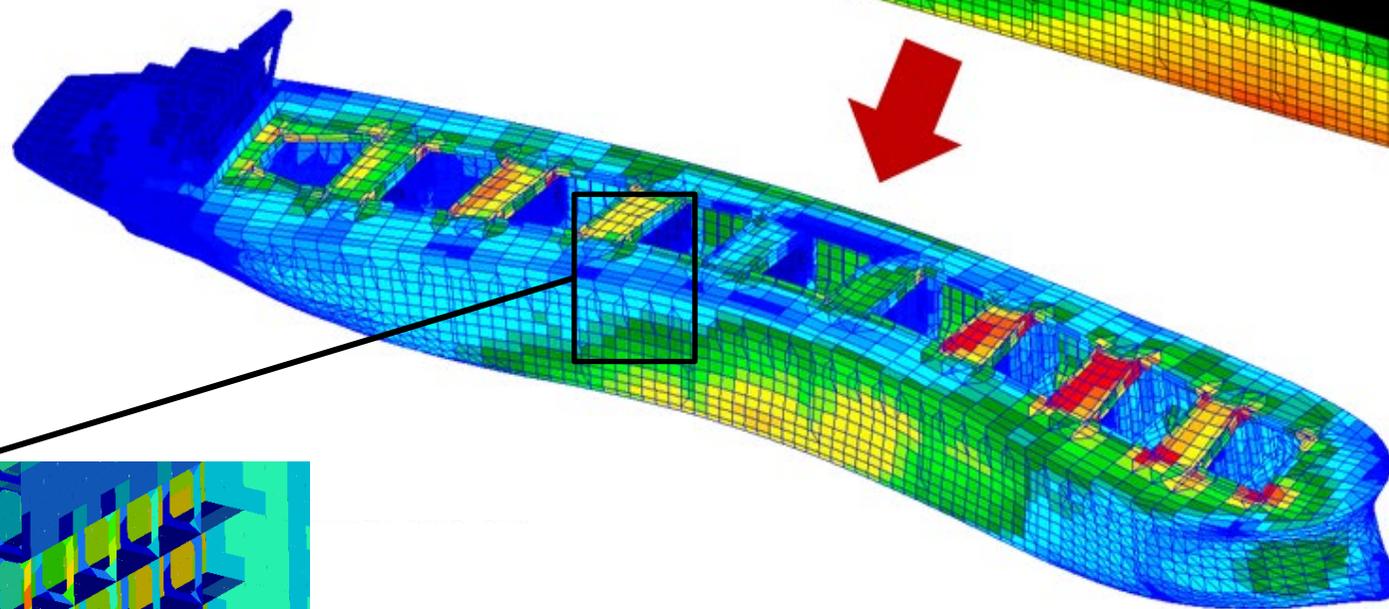
Actionable information

行動

Load analysis by strip method/CFD



Structure analysis by FEA



CFD: computational fluid dynamics  
FEA: finite element analysis

# 船舶デジタルツインの開発



谷澤他, “実海域再現水槽”, 海上技術安全研究所報告, 10(4), 2010.より  
 実海域再現水槽(海技研)で実際の波(外力)を再現



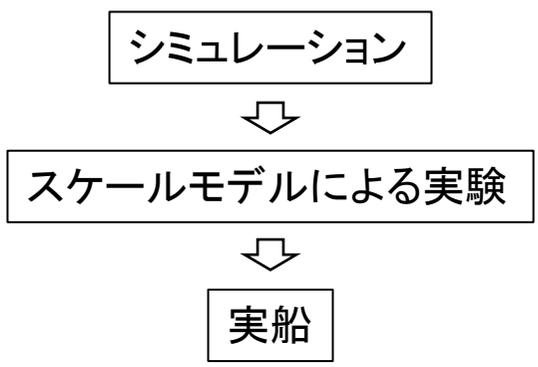
模型船

最新の光ファイバセンサの利用

<https://www.hebergementwebs.com/principles-of-communication/principles-of-fiber-optic-communications>

ガラス繊維強化プラスチック(GFRP)製の模型船で実際の船の挙動(応力・強度)を再現

## 研究開発の流れ



Principal dimension of the bulk carrier

Length $L_{OA}$	319.95 m
Breadth $B$	55.0 m
Depth $D$	24.3 m
Draft $d$	16.525 m

SHINZAN MARU  
 Bulk carrier (iron ore)

# 産官連携

## ① 技術開発・実証 (GI基金による開発)

### 水素・アンモニア等を燃料とするゼロエミッション船等の開発・実証(※1)

- (※1) ・GI基金350億円(令和3年～最長10年間)
- ・アンモニア燃料船  
2026年より実証運航開始、  
2028年までに商業運航実現
- ・水素燃料船  
2027年より実証運航開始、  
2030年以降に商業運航実現

- ✓ 令和5年4月、IHI原動機が4ストロークエンジンとして**世界初の商用実機でのアンモニア燃焼試験**開始
- ✓ 令和5年5月、J-ENGが2ストロークエンジンとして**世界初のアンモニア燃焼試験**開始



## ② 生産基盤の構築、新造船発注 (GX経済移行債等による支援)

### 造船・船用：生産設備整備支援

※令和6年度政府予算：94億円  
(同年度開始事業5年間：600億円)



エンジン、燃料供給システム、燃料タンク等の生産設備や  
艀装設備(クレーン)等の導入・増強

### 海運：ゼロエミッション船等の導入を促進



## ③ 運航環境の整備 (国際ルール作り)

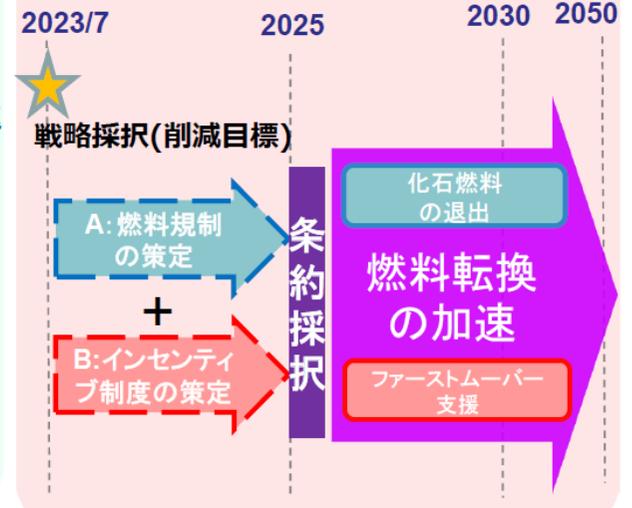
### 削減目標

令和5年7月、IMOにて、**国際海運「2050年頃までにGHG排出ゼロ」**等の目標に合意

### 目標実現に向けた国際ルール作り

- A：温室効果ガス排出量が多い燃料の**規制**
- B：新燃料に対する**経済的インセンティブ**
- AとBを**組み合わせた制度**（日本提案）の2025年中の採択に向けて交渉中

GHG排出  
ゼロ



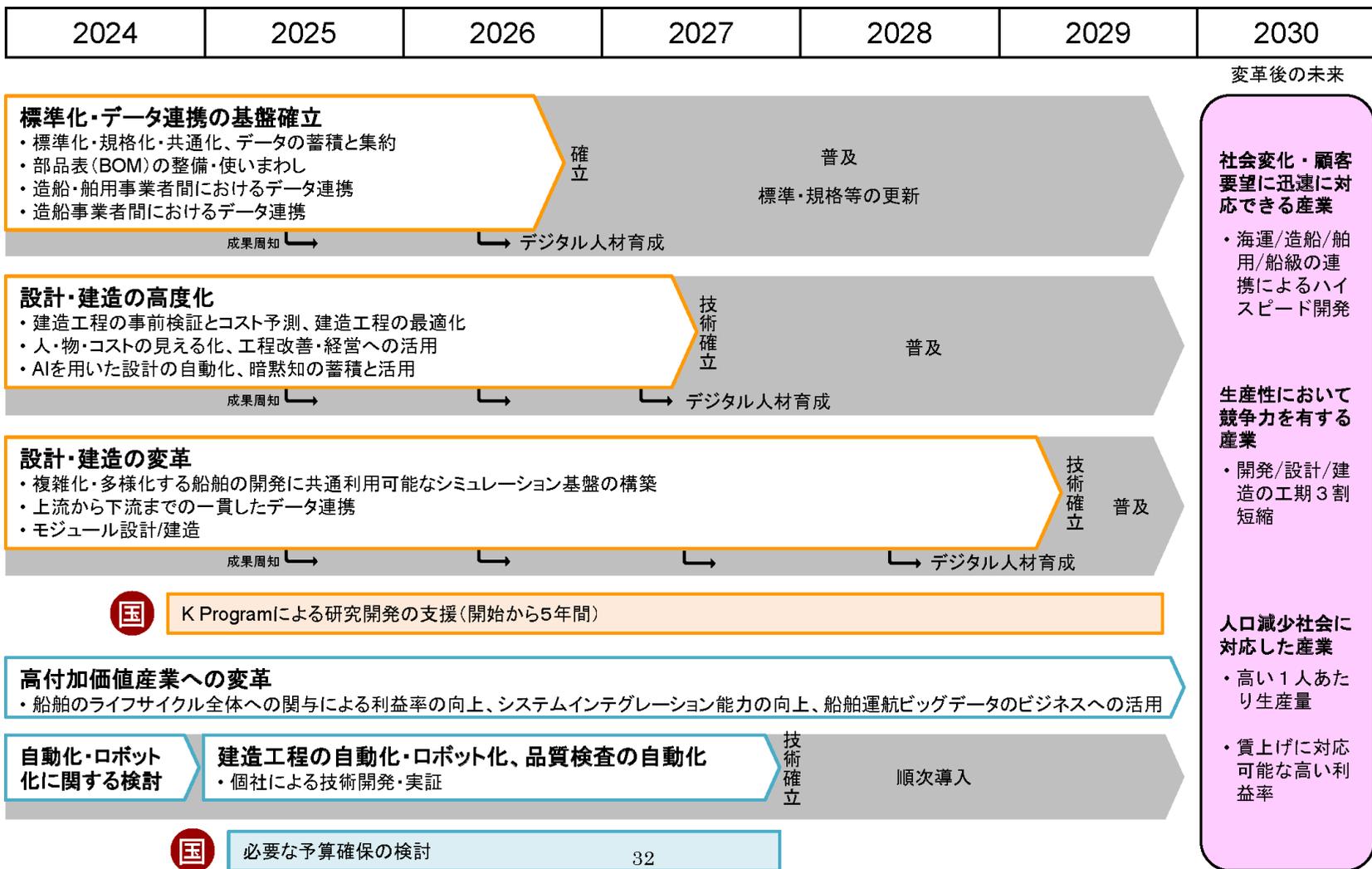
CO<sub>2</sub>排出削減と我が国海事産業の国際競争力強化を実現

# 産官連携

## 船舶産業の変革ロードマップ

業 業界が連携して行う取組
 企 個々の企業が実行する取組
 国 国が実施する取組
 国 国が場の設定や調査等により議論を主導する取組

### (1) デジタル技術を活用した設計・建造の変革と事業者間の連携

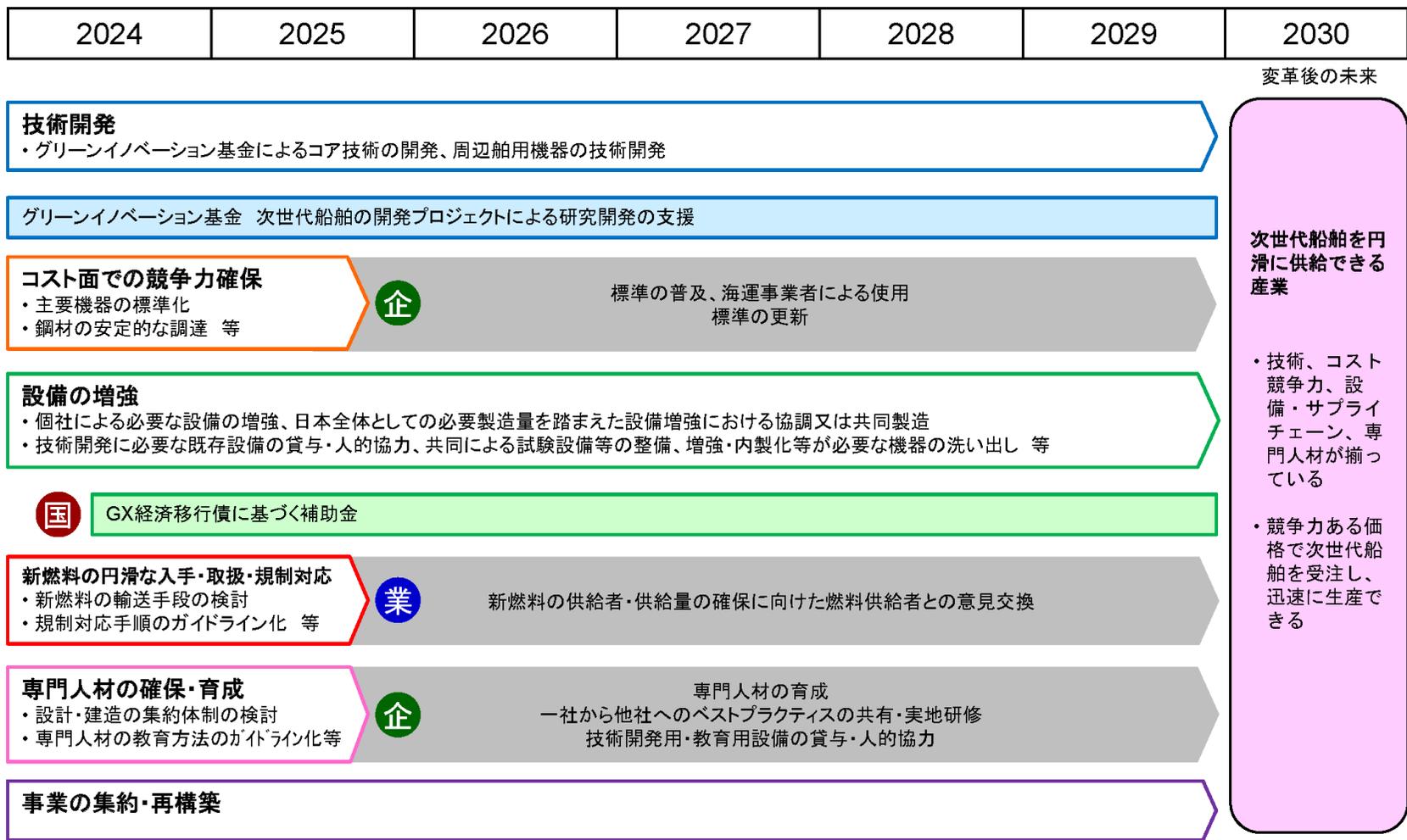


# 産官連携

## 船舶産業の変革ロードマップ

業 業界が連携して行う取組
 企 個々の企業が実行する取組
 国 国が実施する取組
 国 国が場の設定や調査等により議論を主導する取組

### (2) 次世代船舶等の供給体制の確立



# 産官連携

## 船舶産業の変革ロードマップ

業 業界が連携して行う取組
 企 個々の企業が実行する取組
 国 国が実施する取組
 国 国が場の設定や調査等により議論を主導する取組

### (3) 人材の確保・育成

2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
------	------	------	------	------	------	------

変革後の未来

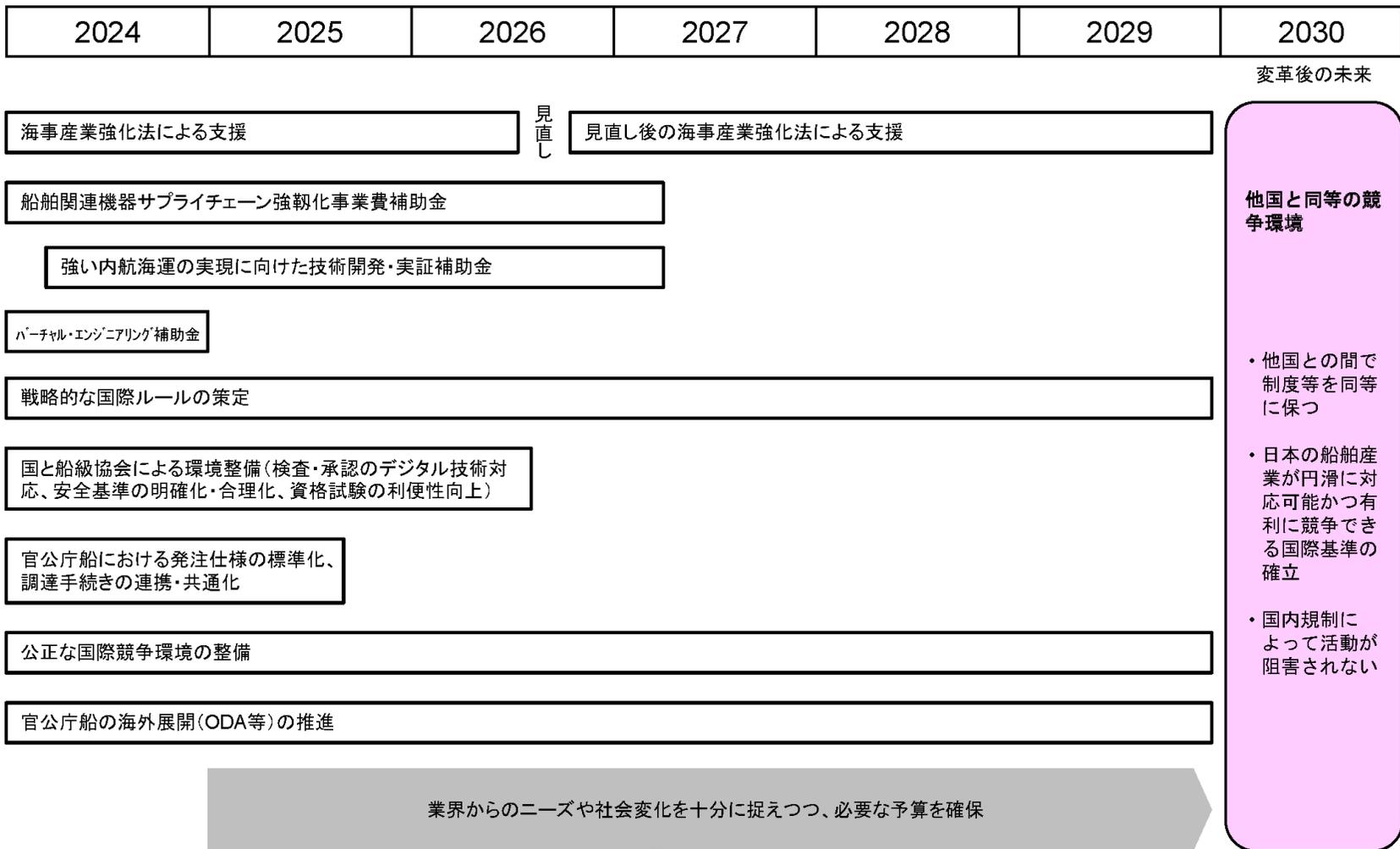


# 産官連携

## 船舶産業の変革ロードマップ

業 業界が連携して行う取組
 企 個々の企業が実行する取組
 国 国が実施する取組
 国 国が場の設定や調査等により議論を主導する取組

### (4) 船舶産業の競争力強化のために必要な環境整備



# 産学連携（海事デジタルエンジニアリング講座 MODE）



東京大学  
社会連携講座



## 海事デジタルエンジニアリング講座 第3回シンポジウム MODE2024

-これまでの取り組みと将来ビジョン-

The 3rd MODE (Maritime and Ocean Digital Engineering) Symposium

2024年 10月10日 木 13:00~18:00 開場 12:30

東京大学 本郷キャンパス 伊藤謝恩ホール

参加費  
無料

※事前の参加登録が必要です

### PROGRAM

司会 青山 和浩 東京大学 大学院工学系研究科 人工物工学研究センター

開会挨拶 (13:00) 村山 英晶 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 海洋技術環境学専攻

祝辞 今井 新 国土交通省 大臣官房技術審議官(海事局担当)

基調講演1 パーチャルエンジニアリングがもたらす製造業の大変革 (13:15)

内田 孝尚 国立研究開発法人理化学研究所

基調講演2 デジタルエンジニアリングと MBD・MBSE の未来展望 (13:45)

~DXによる産業界の革新と海事産業への期待~

山崎 美稀 株式会社日立ハイテク

基調講演3 Toward MBSE Implementation: MODE Systems Engineering Course (14:15)  
(MBSE実現に向かって:MODE Systems Engineering Course)

Yan Jin 南カリフォルニア大学 (リモート参加)

「MODE Labの研究活動 ~ ポスター展示の紹介」(14:45)

小代 凌平 寺崎電気産業株式会社 古川 幹貴 JRCS株式会社 馬淵 慎一朗 ナブテスコ株式会社

ポスターセッション 「海事デジタルエンジニアリングの取り組み」(15:00)

- ◆ MODE Lab研究員による研究PJ紹介
- ◆ エンジニアリングソフトウェア企業による展示

パネルディスカッション 海事デジタルエンジニアリング導入の狙い (16:00)

司会 安藤 英幸 株式会社MTI パネリスト 杉本 義彦 株式会社商船三井 武田 信玄 三菱造船株式会社

関 和隆 常石造船株式会社 原 裕一 古野電気株式会社

杉本 友宏 一般財団法人日本海事協会 満行 泰河 横浜国立大学

総括 (17:30)

村山 英晶 東京大学 大学院新領域創成科学研究科 海洋技術環境学専攻

閉会挨拶 (17:45)

有馬 俊朗 一般財団法人日本海事協会

懇親会 (18:00~20:00)

海事産業の課題に取り組むための有効な手段として期待されるのが、自動車産業で導入が進むモデルベース開発 (MBD)とモデルベース・システムズエンジニアリング (MBSE)です。これらを活用することで、複雑な設計においても迅速に最適化が図られるだけでなく、荷主・運輸者をはじめとする幅広いステークホルダーが参加する協力的な開発プロセス「海事デジタルエンジニアリング」を創り出すことができるようになります。

本講座は、2022年の10月に設置され、海事分野のためのMBDとMBSEについて研究教育する拠点として、次世代のサステナブルな海上物流を構築するためのシミュレーション共通基盤の開発に取り組んでおり、この度、第3回シンポジウムを開催し、これまでの取り組みと将来ビジョンを共有します。

アンケートにご協力ください



<https://forms.gle/rIKFJ9pVrHHkUy8>

主催 東京大学大学院新領域創成科学研究科

共催 今治造船株式会社、株式会社MTI、JRCS株式会社、ジャパンマリンユナイテッド株式会社、株式会社商船三井、株式会社新来島サノヤス造船、

ダイハツディーゼル株式会社、常石造船株式会社、寺崎電気産業株式会社、東京計器株式会社、ナブテスコ株式会社、一般財団法人日本海事協会、

日本無線株式会社、BEMAC株式会社、古野電気株式会社、三菱造船株式会社、株式会社日本海洋科学、株式会社三井造船昭島研究所

後援 内閣府総合海洋政策推進事務局、国土交通省

協賛 株式会社海事プレス社、株式会社日本海事新聞、公益社団法人日本船舶海洋工学会

お問合せ 海事デジタルエンジニアリング講座(MODE)事務局

Email: mode@edu.k.u-tokyo.ac.jp



# 産学連携（海事デジタルエンジニアリング講座 MODE）

## MODE Lab研究員/協力研究者によるポスターセッション【多目的スペース】

展示場所	ポスタータイトル	分類	PJT担当
①	自動運航船シミュレーション基盤の構築～MBSE手法による基盤開発～	自動運航	MTI 角田領,二木峻佑,谷原圭祐/ 古野電気 柳原智哉,柳井俊浩,安田俊平/日本無線 野一色崇志/ BEMAC 飯田豪/ナブテスコ 馬淵慎一朗/日本海洋科学 米舩勲
②	自動運航船シミュレーション基盤の構築～制御系評価シミュレータの構築～	自動運航	MTI 角田領,二木峻佑,谷原圭祐/ 古野電気 柳原智哉,柳井俊浩,安田俊平/日本無線 野一色崇志/ BEMAC 飯田豪/ナブテスコ 馬淵慎一朗/日本海洋科学 米舩勲
③	シミュレーションによる船舶用センサの試験環境構築に関する研究	自動運航	日本無線 野一色崇志/東大新 菅良太郎
④	MBDのセンサフュージョンへの適用とセンサフュージョン評価プラットフォームの構築	自動運航	東大新 菅良太郎/日本無線 野一色崇志
⑤	エンジンを対象としたHuman in the Loop Simulation による異常状態シナリオ試験	自動運航	BEMAC 飯田豪/寺崎電気産業 田伏弘樹
⑥	風力推進船の経済性評価のためのシミュレーション	脱炭素	MTI 渡部潤,小知井秀馬/ダイハツディーゼル 横澤賢司,村岡慧
⑦	風力推進装置を装備する船舶の安全性に関する研究	脱炭素	ジャパンマリコンナイツド 藤田泰明/東大工 Cem Guzelbulut/ 日本海事協会 杉本友宏
⑧	機関プラントの省エネ機器シミュレーションモデルの検討	脱炭素	常石造船 坂田晃一/東大工 Cem Guzelbulut
⑨	マルテエージェントシミュレーションによる国際海運における環境規制に対する船会社の効果的な戦略に関する研究	脱炭素	東大新 稗方和大,野々村一歩
⑩	船舶電力系統の高調波抑制対策手法に関する研究	設計・建造	BEMAC 阿方基裕/JRCS 古川幹貴/寺崎電気産業 小代凌平
⑪	船舶設計最適化のためのシミュレーション基盤構築に関する研究	設計・建造	三菱造船 土田大騎/MTI 角田領,渡部潤/ BEMAC 阿方基裕,飯田豪/JRCS 古川幹貴/寺崎電気 小代凌平/ 常石造船 坂田晃一/ナブテスコ 馬淵慎一朗
⑫	推進性能シミュレーション基盤構築に向けた調査	設計・建造	新来島サノヤス造船 新井大介/東大工 米倉一男
⑬	シミュレーション技術による造船の生産革新	設計・建造	東大新 安部昭則/海技研 松尾宏平,谷口智之
⑭	研究開発マネジメントの戦略的役割の分析と支援	MBD、MBSE手法	東大新 Bryan Moser,和田良太,中島拓也/ 東大工 Cem Guzelbulut
⑮	船舶デジタルツインの MBSE/MBD を用いた開発に関する研究	MBD、MBSE手法	東大新 村山英晶,三上航平
⑯	ソーラーボートチャレンジ	学生PJ	東大新 村山英晶,田口新風



## 企業による展示 【ホワイエ】

展示場所	出展社	展示場所	出展社
Ⓐ	ニュートンワークス株式会社	Ⓓ	シーメンス株式会社
Ⓑ	株式会社IDAJ	Ⓔ	MathWorks Japan
Ⓒ	アルテアエンジニアリング株式会社	Ⓕ	ダッソー・システムズ株式会社

# まとめ

- 脱炭素化 GX

カーボンニュートラル

ネイチャーポジティブ

サーキュラーエコノミー

- デジタル化 DX

新技術の導入・実装

デジタル化の目的

デジタルツイン

- 産官連携と産学連携 SX

ロードマップ

連携・協調

人材確保・育成

# ご清聴ありがとうございました



MIRAI. 船造りの未来を切り開け。

[https://www.mlit.go.jp/maritime/maritime\\_tk6\\_000056.html](https://www.mlit.go.jp/maritime/maritime_tk6_000056.html)