

連携型省エネ船のコンセプトと今後の在り方

講演内容

1. はじめに
2. 船舶分野におけるCO₂排出の実情と連携型省エネ船
3. 内航ミライ研究会の連携型省エネ船『SIM-SHIP 1』
4. 内航船に必要な技術と今後の在り方
5. まとめ

(国研) 海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所
平田 宏一

1. はじめに

- パリ協定を踏まえ、我が国は「温室効果ガス排出を2050年までに実質ゼロを目指す」と謳った。
- 内航海運は、2030年度までにCO₂排出量181万トン削減（2013年度比、約17%削減）の目標が掲げられ、省エネ船舶の開発・普及が進められている。
- 目標達成のための方法として、国土交通省が提案する"連携型省エネ船"の普及があげられる。
- 本講では、（一社）内航ミライ研究会が"連携型省エネ船"のコンセプトを踏まえて開発・建造したSIM-SHIPを紹介する。さらに、内航船の自動化・デジタル化に向けたいくつかの取り組みについて紹介する。

(2) 内航海運のGHG排出と削減技術

- 国土交通省は、2021年4月より「内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会」を設置し、詳細な検討を行い、成果を取りまとめた。
- 内航海運における省エネ・省CO₂化の手法を大きく3つに分類している。

① ハードウェア対策

- 高効率エンジン, 高効率プロペラ, 省エネ船型, 省エネ付加物, 空気潤滑装置, 低摩擦塗料などの導入がある。
- 既存船への適用 (レトロフィット) が可能な技術の拡大が必要である。

② 運航的手法

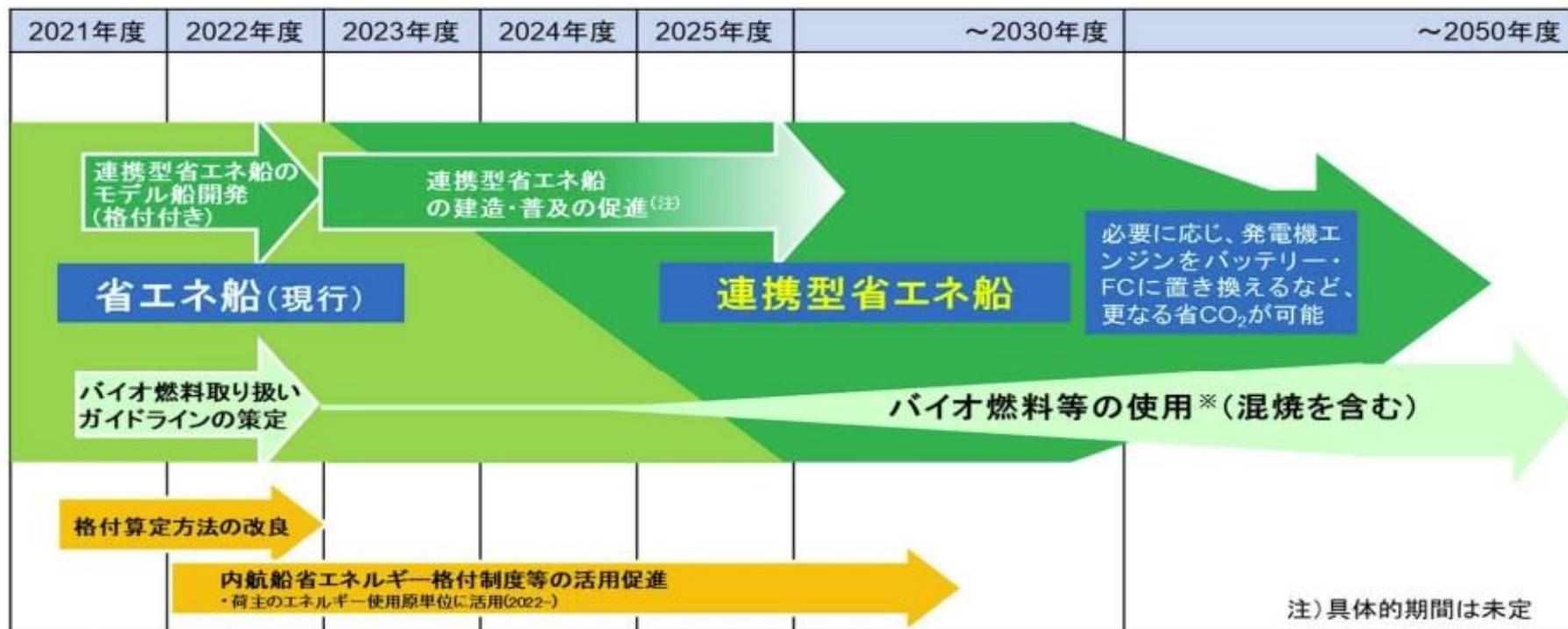
- ウェザールーティングによる最適航路の選定, 陸電による荷役・停泊時のCO₂排出削減などの導入がある。
- 船速の最適化や陸電設備の導入のしやすさが課題となる。

③ 燃料転換手法

- 水素, アンモニア, LNG, バイオ燃料, カーボンニュートラルメタン, 電池推進化などの利用により, 20~100%のCO₂排出削減が可能である。
- 関連機器の技術開発, インフラ整備と導入及び運航コスト, ライフサイクル全体のCO₂排出量削減が課題である。

(2) 内航海運のGHG排出と削減技術

- 同検討会では、現時点で入手可能な情報やとりまとめの方向性を踏まえて、連携型省エネ船等および先進的技術の適用可能性のロードマップが作成された。
- ただし、カーボンニュートラルに向けた日本全体の政策や技術開発の動向、燃料供給体制の整備状況等によって、大きく変動しうる点について十分な留意が必要である。

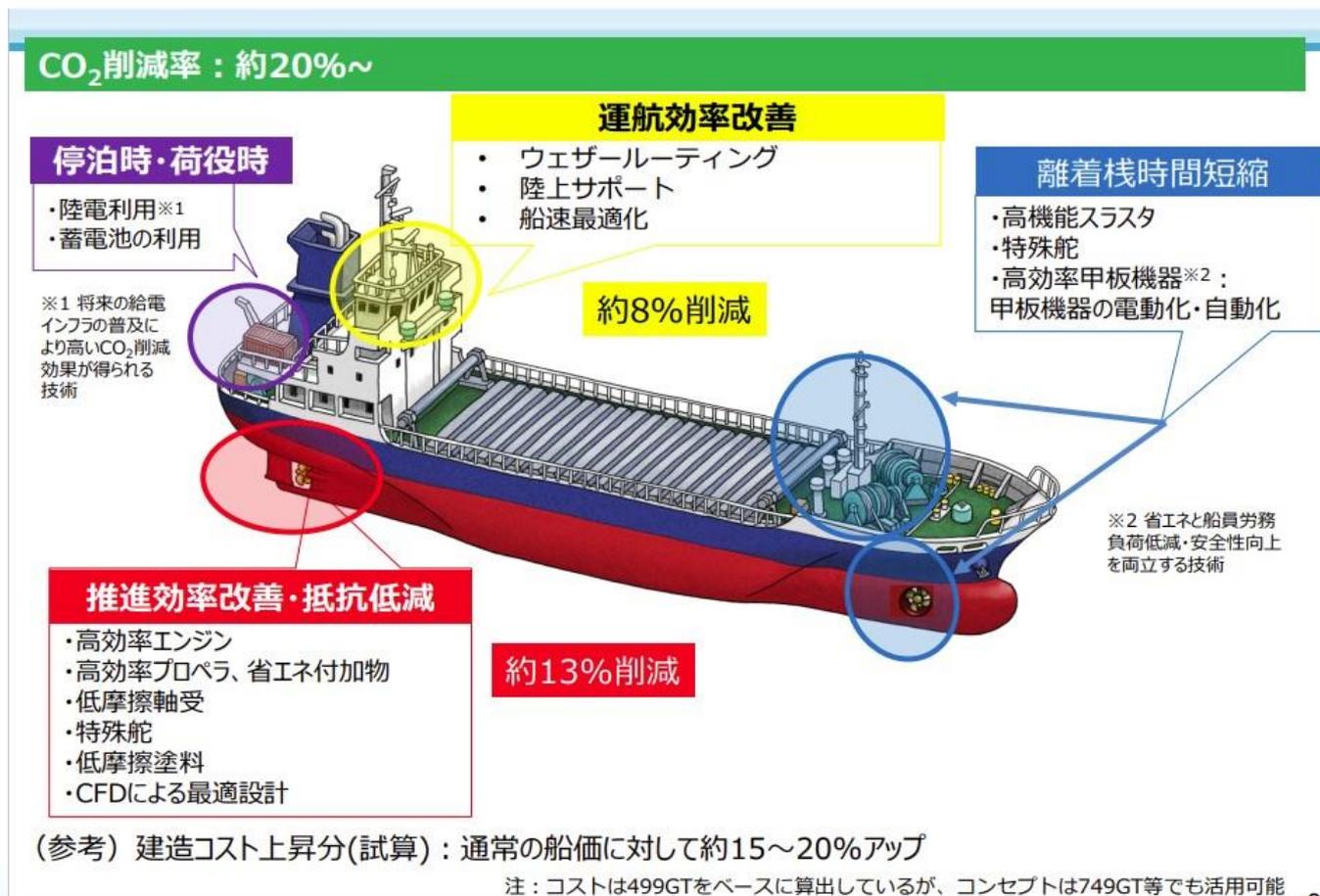


※供給量や経済合理性等の条件も使用拡大に大きく影響

連携型省エネ船等のロードマップ
(「内航カーボンニュートラル推進に向けた検討会」とりまとめより)

(2) 連携型省エネ船のコンセプト

- 連携型省エネ船とは、荷主・オペレーター・船主・造船事業者等が連携し、航海・離着岸・停泊・荷役等の船の運航全体で、省エネ・省CO₂に取り組む船舶である。



連携型省エネ船の設計コンセプト検討例
(国土交通省：「連携型省エネ船開発・普及に向けた検討会」とりまとめ)

(2) 連携型省エネ船のコンセプト

- 様々な省エネ技術を組み合わせて、トータルで20%以上の省エネ効果が得られると試算している。

コンセプトに採用する削減技術の例（499GT貨物船）

モード	省エネ技術の分類	省エネ技術の導入例	エネルギー消費割合 [%]	省エネ効果 (モード毎) [%]	省エネ効果 (トータル) [%]	備考
運航	推進効率改善	高効率プロペラ	91	4.0	3.6	船型開発は行わないが、CFDによる最適設計を踏まえて、既存船型に適したプロペラおよび省エネ付加物を開発・採用する。
		省エネ付加物		3.0		
		低摩擦軸受		1.5	1.4	
		プロペラ健全化（健全性の維持）		0.5	0.5	
	抵抗低減	低摩擦塗料		2.5	2.3	コストパフォーマンスが高い。ただし、メンテナンスが必要となる。
		船体健全化（健全性の維持）		2.5	2.3	メンテナンス時に適用する。
	高度設計技術	CFDによる最適設計		2.0	1.8	上記、プロペラおよび省エネ付加物の最適化を図る。
	運航効率改善	ウェザールーティング		3.5	3.2	省エネ効果は使用状況により異なる。
陸上サポート（荷主連携）		5.0	4.6	コストパフォーマンスが高く、省エネと船員労務負荷低減・安全性向上を両立する技術として採用する。		
離着棧	離着棧時間短縮	高機能スラスト	2	30.0	0.6	省エネと船員労務負荷低減・安全性向上を両立する技術として採用する。
		大舵角舵・特殊舵		25.0	0.5	
		高機能甲板機器		5.0	0.1	
荷役	荷役効率改善	高効率機器の採用	2	5.0	0.1	コストパフォーマンスは低いですが、省エネと船員労務負荷低減・安全性向上を両立する技術として採用する。
	荷役時間短縮	運用効率改善		2.0	0.04	
停泊	陸電利用	陸電利用	5	25.0	1.3	コストパフォーマンスは低いですが、将来の普及により高いCO ₂ 削減効果が得られる技術である。
	蓄電池	大容量蓄電池搭載		5.0	0.3	
合計			100		22.4	

3. 内航ミライ研究会の連携型省エネ船『SIM-SHIP 1』

- (一社)内航ミライ研究会らは、“連携型省エネ船”のコンセプトを踏まえて、運航ばかりでなく、離着岸や荷役、停泊時の省エネ技術を搭載した499GT貨物船「國喜68」を建造した。

一般社団法人 内航ミライ研究会 連携型省エネ船

コンテナ型

MIRAI-Battery

船内監視・陸上サポート

RIKU-SAPO

SIM-SHIP 1 mk1



複数の省エネ装置を組合わせ
最適プロペラと統合設計

Monster Package

デジタル電動ウインチ YOKOMO
デジタル電動ハッチカバー MAKIMO

全旋回型ジェットスラスト

STEER-jet

※ 本船は、(一社)内航ミライ研究会が環境省「地域共創・セクター横断型カーボンニュートラル 技術開発・実証事業」の補助を受けて開発・建造された船舶である。海技研は、同研究会のメンバーとして開発に協力しつつ、省エネ効果の検証に携わっている。

(1) SIM-SHIP 1に搭載された新技術

- 499GT貨物船「國喜68」には様々な新技術が搭載されている。

運航時 A1 開発技術 Monster Package

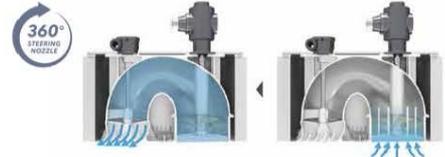
CFDによる船体性能推定に基づいた最適設計プロペラおよび電気エネルギーパッケージ




CFDによる船体性能推定に基づいた最適設計プロペラおよび電気エネルギーパッケージ

離着桟時 A2 開発技術 STEER-jet

・全旋回スラストにより高機動可能へ
・バラスト調整不要へ
・離着桟の時間を短縮しCO2排出削減

A1
A2

停泊・荷役時 A3 開発技術 MIRAI-Battery

船内発電機と蓄電とをブラックアウトさせることなく切り替えることができる必要最低限のバッテリーシステムを開発




実船での検証 B,C 開発技術 RIKU-SAPO

海上監視システム

運航時の主機やスラストなどの異常について陸地間通信を用いて陸上で機器を監視する陸上サポートシステム
通常時の運航データや燃料消費特性のデータも監視



全面協力



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

A3
B,C



安全性



働き方改革



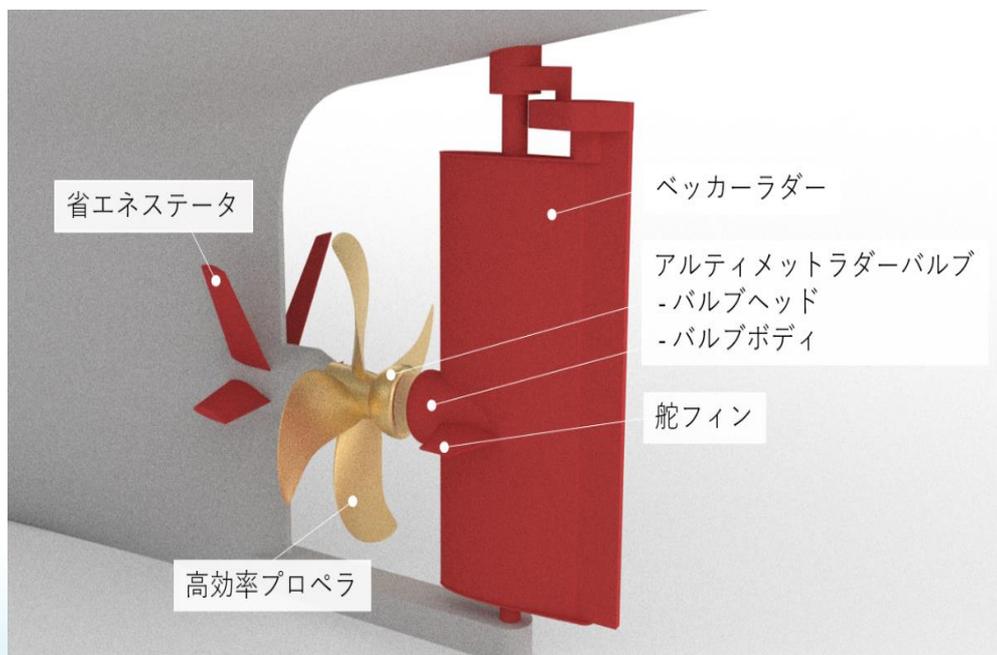
GHG/CO2削減

(2) 運航時の省エネ技術

- CFDによる船体性能推定に基づいた、最適設計プロペラと省エネ付加物のパッケージが搭載されている。
- 完成直後の海上試運転データや就航後の実運航データを整理し、運航時の省エネ技術導入による効果を確認した。



499GT貨物「國喜68」(SIM-SHIP 1)



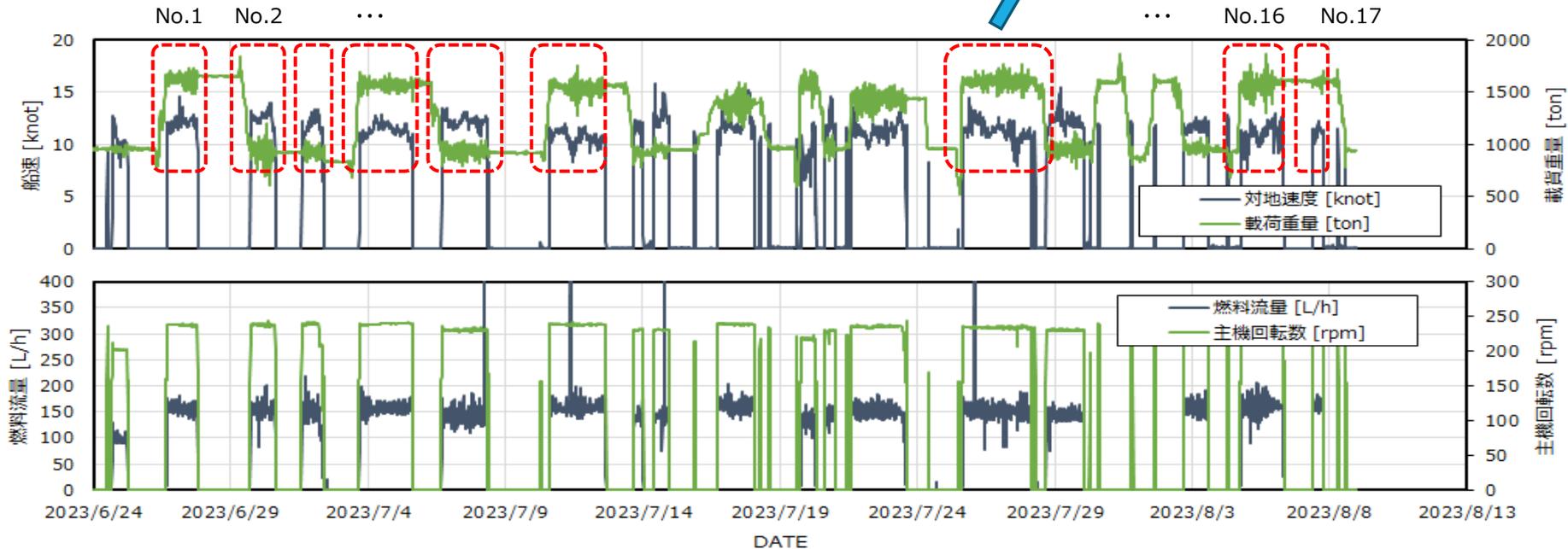
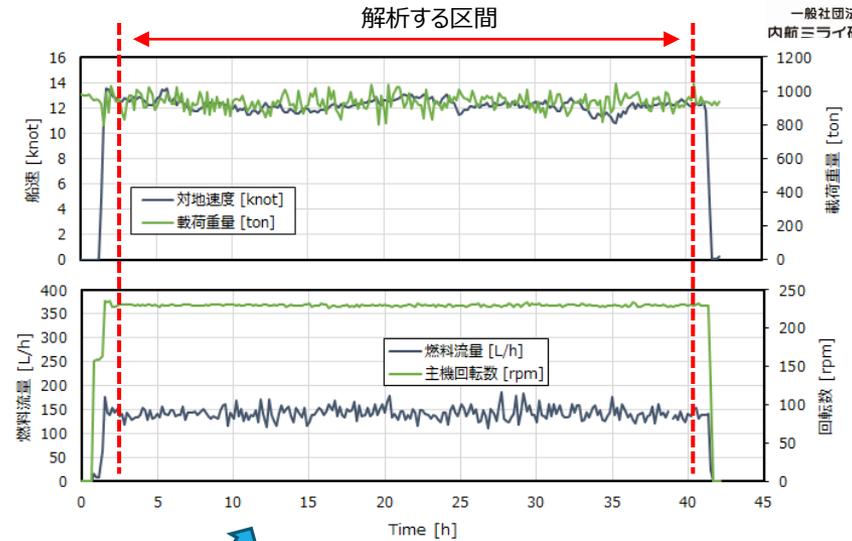
運航時の省エネ技術

本船の諸元

船名	國喜68
船種	鉄鋼運搬船
総トン数	499GT
全長	70.0m
幅	12.5m
深さ	6.83m
主機	阪神内燃機LA30G-94
定格出力	735kW
定格回転数	240min ⁻¹
建造造船所	山中造船
船主	國喜商船

(2) 運航時の省エネ技術

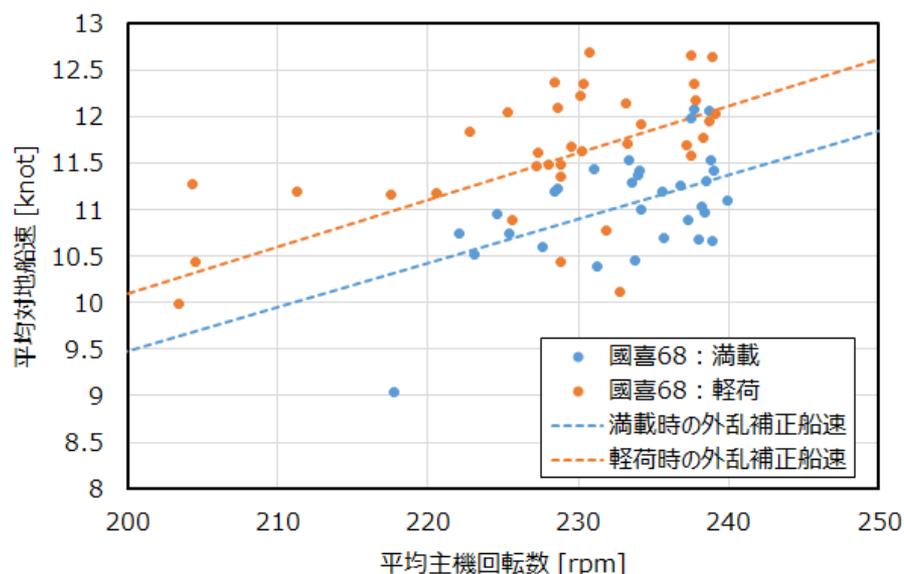
- 2023年6月末に就航した國喜68は、本船に搭載している陸上サポートシステムによって、実運航時のデータを取得している。
- 就航後7ヶ月間に航海した72回の運航データを解析し、省エネ技術の効果を評価する。
- 出港開始時と着岸直前は主機回転数や船速、舵角が大きく変化するため、前後2時間を除いたデータを抜き出し、1航海の平均値を解析する。



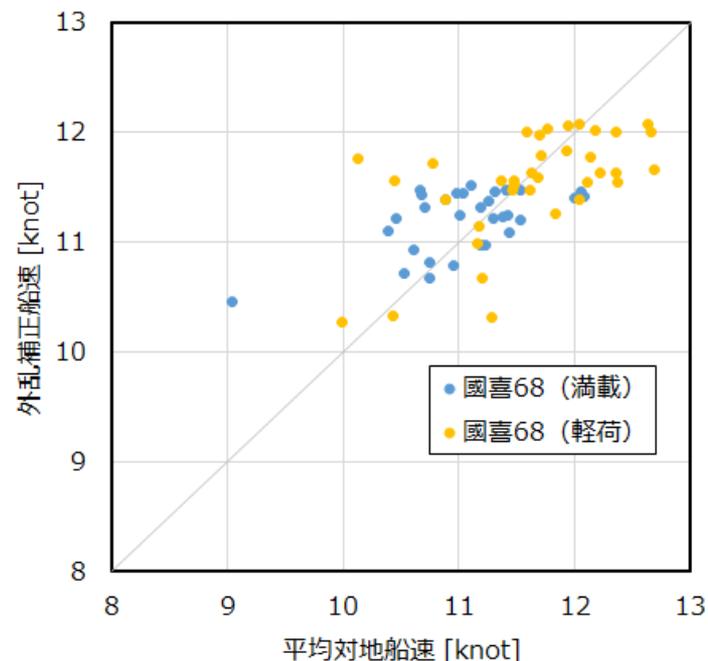
取得した運航データの一部

(2) 運航時の省エネ技術

- ▶ 実運航時の載荷重量DWTによって軽荷（DWT=900～1000ton）と満載（DWT=1400ton～）に分けて解析する。
- ▶ 実運航時の対地船速は潮流による影響を受けるため、燃費特性（載荷重量1tonを1mile運航する際に消費する燃料）のばらつきが大きく、適切な評価が難しい。
- ▶ 潮流の影響を除去するため、平均対地船速のデータを平均主機回転数を用いて補正し、満載時の主機EEDI（載荷重量1tonを1mile運航する際の主機によるCO₂排出量）を整理する。



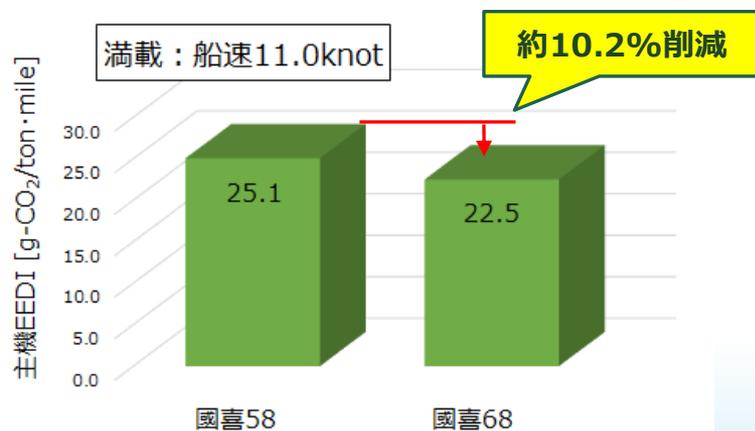
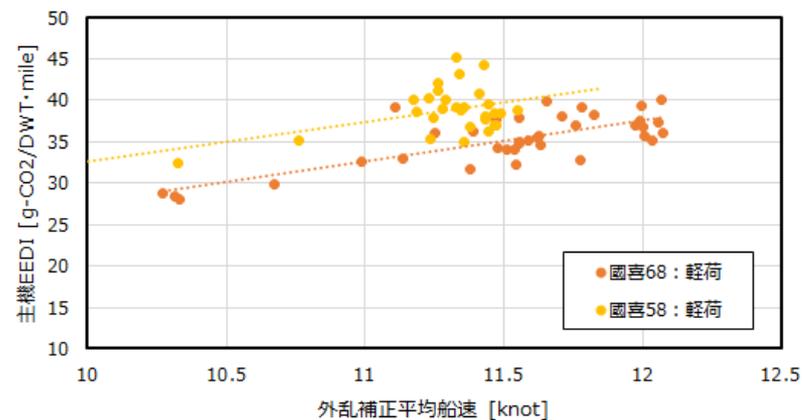
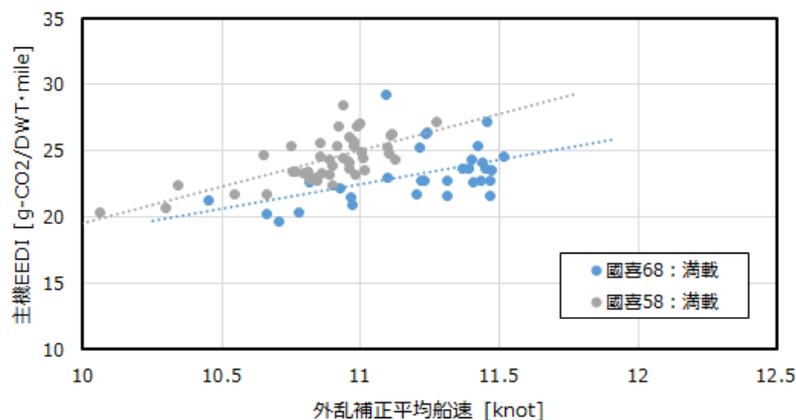
実運航時の平均対地船速



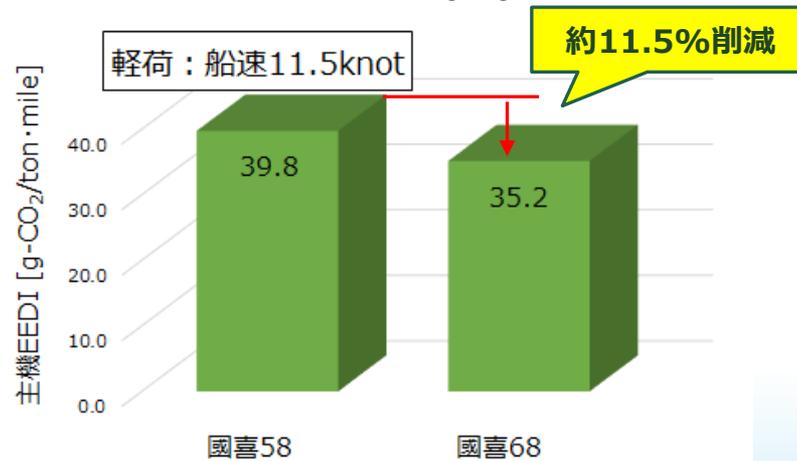
外乱補正船速

(2) 運航時の省エネ技術

- ▶ 同様の方法により実運航データを計測・整理した姉妹船「國喜58」と比較する。
- ▶ 國喜68は、満載時に船速11.0knotで運航する場合、**約10.2%のCO₂削減効果**，軽荷時に船速11.5knotで運航する場合，**約11.5%のCO₂削減効果**が得られる。



満載時の主機EEDI

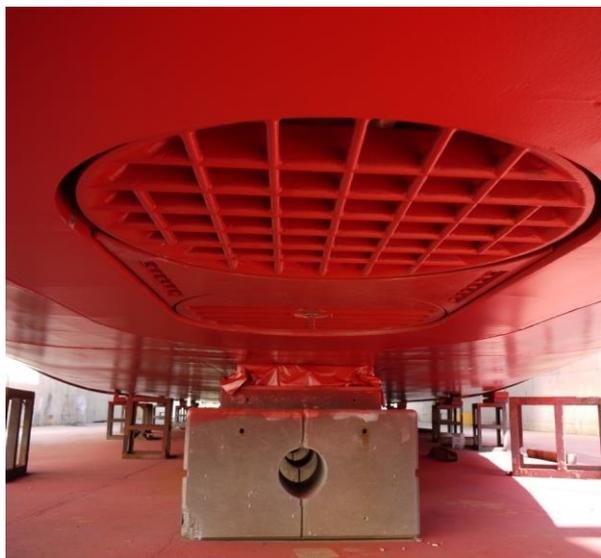


軽荷時の主機EEDI

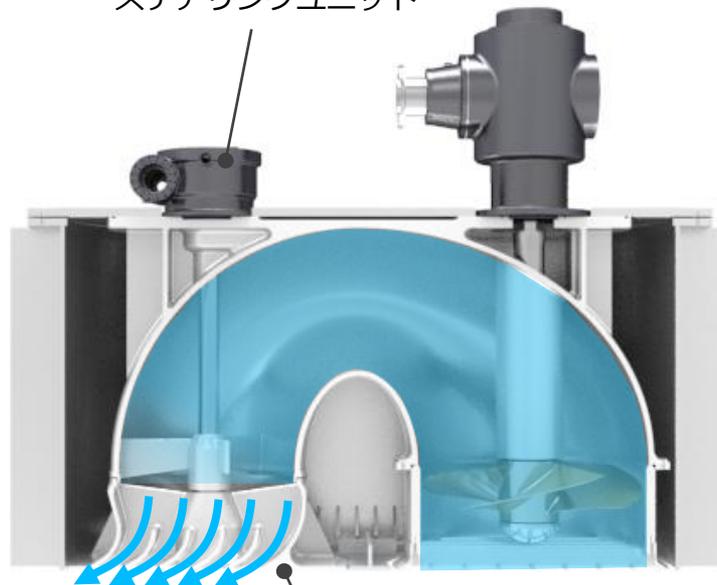
(3) 離着陸時の省エネ技術

- 全旋回型スラスタ「Steer-jet」を搭載することにより真横移動が可能となる。さらに、バラスト調整不要となり、離着陸の時間を短縮することによるCO₂排出削減を目指した技術である。

STEER-jet

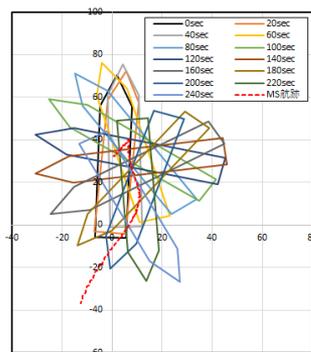
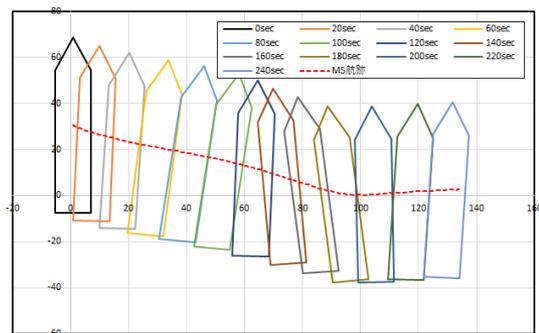


ステアリングユニット



- インペラの駆動により船底から水を吸い込み、ダクトへ送り込む。
- ダクトを通った水流はステアリングノズルによって360度、任意の方向に吐出される。

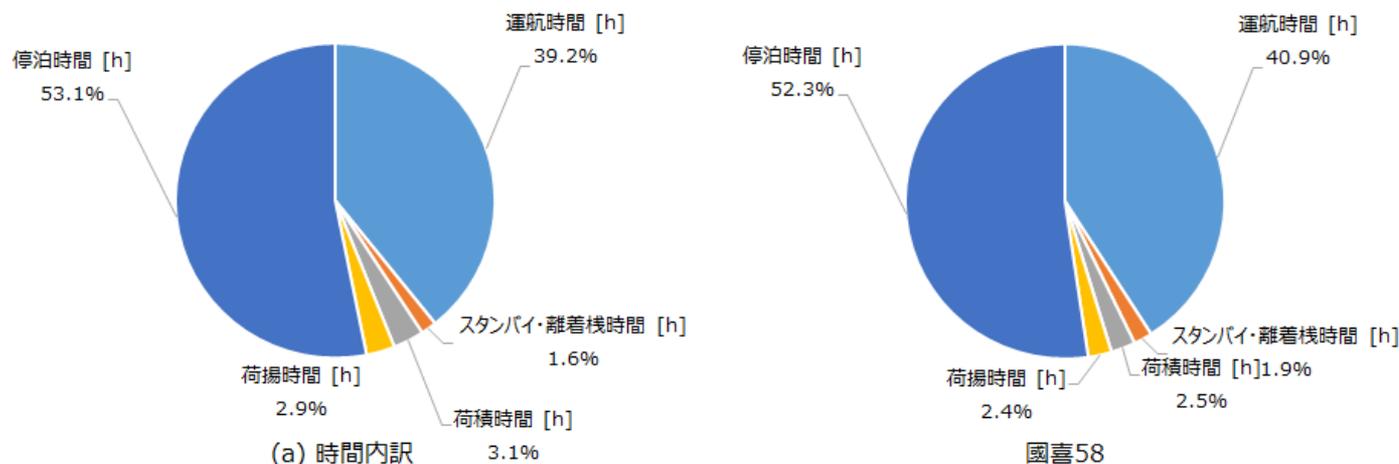
ステアリングノズル



- 全旋回型スラスタと推進用プロペラ、舵を用いることにより、横移動やその場旋回ができることを確認した。
- 建造直後の検証試験により、バラスト調整時間の短縮および離着陸時間短縮（開始条件によって1/3～1/2）を確認した。

(3) 離着棧時の省エネ技術

- 國喜68と國喜58は離着棧橋する港ばかりでなく、操船者も異なるため、実運航時の離着棧の短縮時間を詳細に比較するのは難しい。
- そのため、長期間の実運航データを集計し、スタンバイ・離着棧時間（主機が運転状態にあり船速が2knot以下の時間）の割合と燃料消費量を求めた。
- 國喜68のスタンバイ・離着棧時間の割合は1.6%、國喜58のスタンバイ・離着棧時間の割合は1.9%である。離着棧時間短縮率は、15.8%と推定される。
- スタンバイ・離着棧時の國喜68の平均燃料消費量は31.0L/h、國喜58の平均燃料消費量は32.9L/hであった。
- それらを踏まえて、離着棧時の省エネ効果（CO₂削減率）は20.7%と算出される。



※ スタンバイ・離着棧の時間短縮だけが省エネに寄与するとした数値である。運航時間の短縮または減速航行に寄与できれば、省エネ効果は上昇する。

(a) 國喜68 (2023/6月末~2024/1月)

(b) 國喜58 (2023/1月~10月)

(4) 荷役・停泊時の省エネ技術

- 200kWh相当のバッテリーをコンテナに入れて、ポートデッキに搭載した。これにより、船内発電機と陸電とをブラックアウトさせることなく切り替えできる。
- 居住区内の電源と甲板機械（電動ウインチ・電動ハッチカバー）の駆動源で利用でき、主に停泊用発電機の代わりとして利用できる。



コンテナ型バッテリーと監視画面

(4) 荷役・停泊時の省エネ技術

- 陸上設備が十分ではなく、本船就航後に陸電によるバッテリー充電は行われていない。現状では、航行中または停泊中に主発電機によって、バッテリーが充電されるのがほとんどである。
- 停泊時のバッテリーシステムによる省エネ効果を評価するため、様々な状況における船内電力を集計・整理した。
- 停泊時、主発電機を使用する場合、ディーゼルエンジンを運転するための補機電力があり、主発電機は平均55.7kW（最大106kW）で運転している（バッテリー充電をしない場合）。
- 停泊時、バッテリーシステムまたは停泊用発電機を使用する場合、主発電機のディーゼルエンジンを運転するための補機電力がなくなるため、平均10～11kW程度の発電出力で運転している。

船内電力供給の詳細（約4ヶ月の集計）

No.	停泊時およびLiBの状況	平均発電出力 [kW]	平均燃料消費量 [L/h]	平均CO2排出量 [kg/h]	停泊時間充電時間 [h/day]	CO2排出量 [kg/day]
1	主発電機使用（停泊時）	55.7	17.2	46.7	11.8	551.1
2	停泊用発電機使用（停泊時）	11.3	3.5	9.5	11.8	111.7
3	主発電機によるバッテリー充電（停泊時※1）	81.0 (29.8※2)	22.1	60.0 (13.3※3)	4.1※4	54.5
	停泊時バッテリー給電（停泊時）	10.4	0	0	11.8	

※1 停泊時にバッテリーを充電している状況。

※2 括弧内はバッテリーへの充電出力。

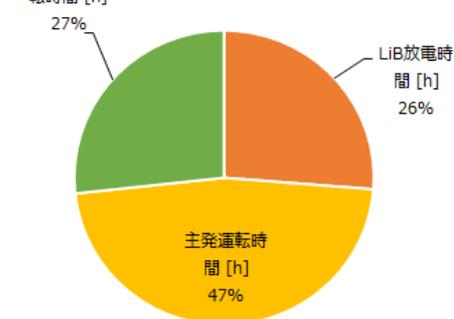
※3 括弧内はバッテリー充電のための燃料消費量。

※4 停泊時に使用するバッテリーを充電する時間。

(4) 荷役・停泊時の省エネ技術

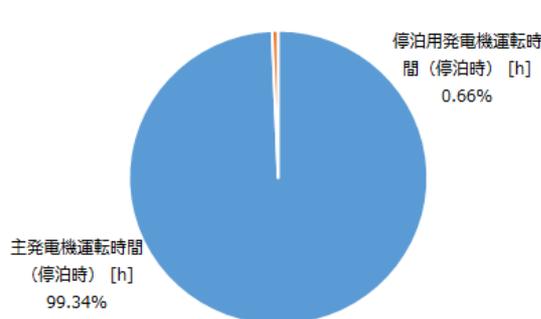
- 國喜68では、停泊時間（主機停止時）の26%がバッテリーによる船内給電，47%が主発電機による船内給電，27%が停泊用発電機による船内給電がされている。
- 一方，國喜58は，停泊時間（主機停止時）の99%以上が主発電機による船内給電であり，停泊用発電機はほとんど使われていない。
- バッテリーシステムを用いることによって，主発電機による停泊よりも大幅にCO₂排出量を削減できる。
- 船内発電設備の仕様や停泊時間が短いなどの運航条件によっては，停泊用発電機が使われない船も多いと思われる。そのような船に対して，バッテリーシステムのCO₂削減効果は極めて高い。

LiB使用状況（停泊時）



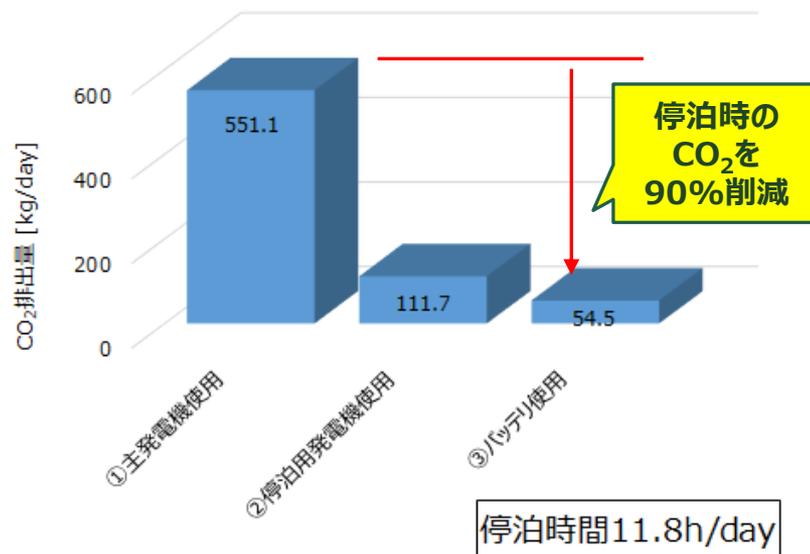
國喜68

停泊時の発電機使用状況



國喜58

停泊時の船内電力計測例



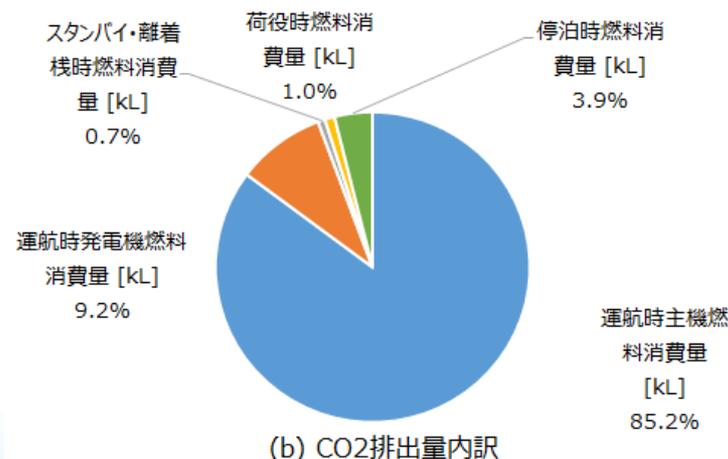
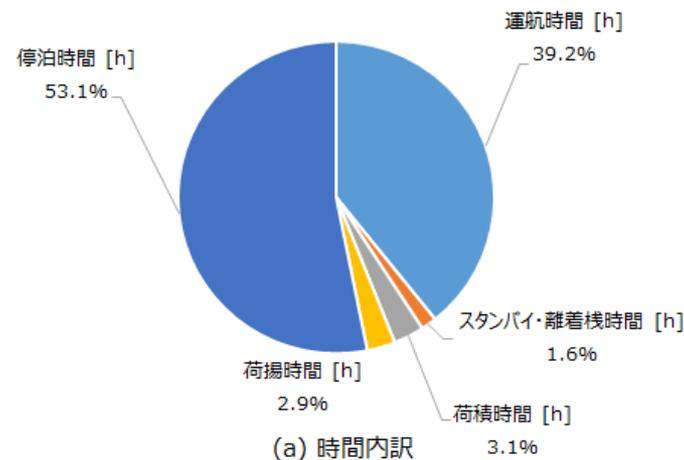
停泊時の省エネ効果

(5) 連携型省エネ船のコンセプトに基づく「國喜68」の省エネ効果

- トータルの省エネ効果を評価するため、本船の運航モードの時間と燃料消費の内訳を集計した。
- 実運航時の時間割合とエネルギー消費割合をベースとして、上記の各技術の省エネ推定結果を積み上げると、國喜68のトータルの省エネ効果は13.9%（國喜58との比較）となる。

國喜68の省エネ効果

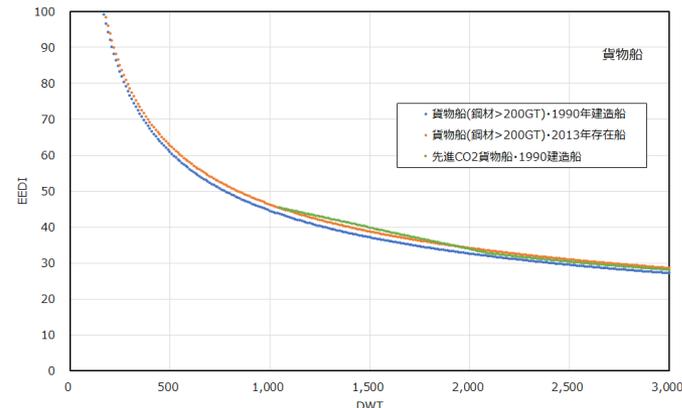
モード	省エネ技術の分類	時間割合 [%]	エネルギー消費割合 [%]	省エネ効果 (モード毎) [%]	省エネ効果 (トータル) [%]
運航 (満載)	推進効率改善	20.3	48.4	10.2	4.9
運航 (軽荷)	推進効率改善	18.9	46.0	11.5	5.3
離着棧	離着棧時間短縮	1.6	0.7	20.7	0.1
荷役	荷役効率改善	6.0	1.0	---	---
	荷役時間短縮			---	---
停泊	陸電利用	53.2	3.9	---	---
	蓄電池			90.1	3.5
合計		100	100		13.9



國喜68 (2023/6月末~2024/1月)

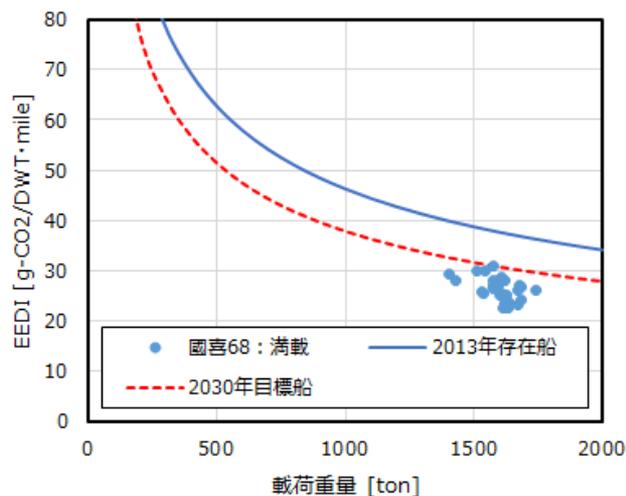
(6) 2013年基準との比較

- 鉄道・運輸機構（JRTT）殿より提供していただいた内航船省エネルギー格付制度計算要領の資料より，基準値（2013年存在船・貨物船，満載時）と本船の実運航データを比較する。
- EEDI（載荷重量1tonを1mile運航する際に排出されるCO₂重量）の算出においては，主機燃料消費量と発電機燃料消費量の合計（どちらも実測データ）を用いている。
- 國喜68のEEDIは，満載時に基準値を30%程度下回っている。2030年目標船（2013年存在船から-18%の省エネ）よりも高い省エネ性能を有していることがわかる。

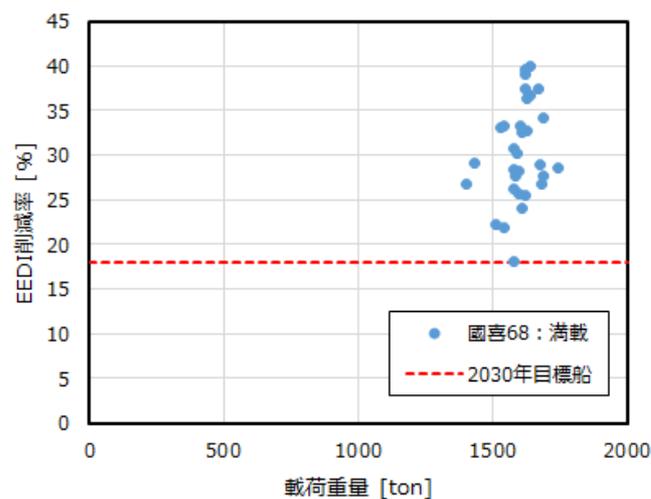


※ 満載時の基準値であり，軽荷時は含まれない。

2013年存在船の基準（JRTTより提供）



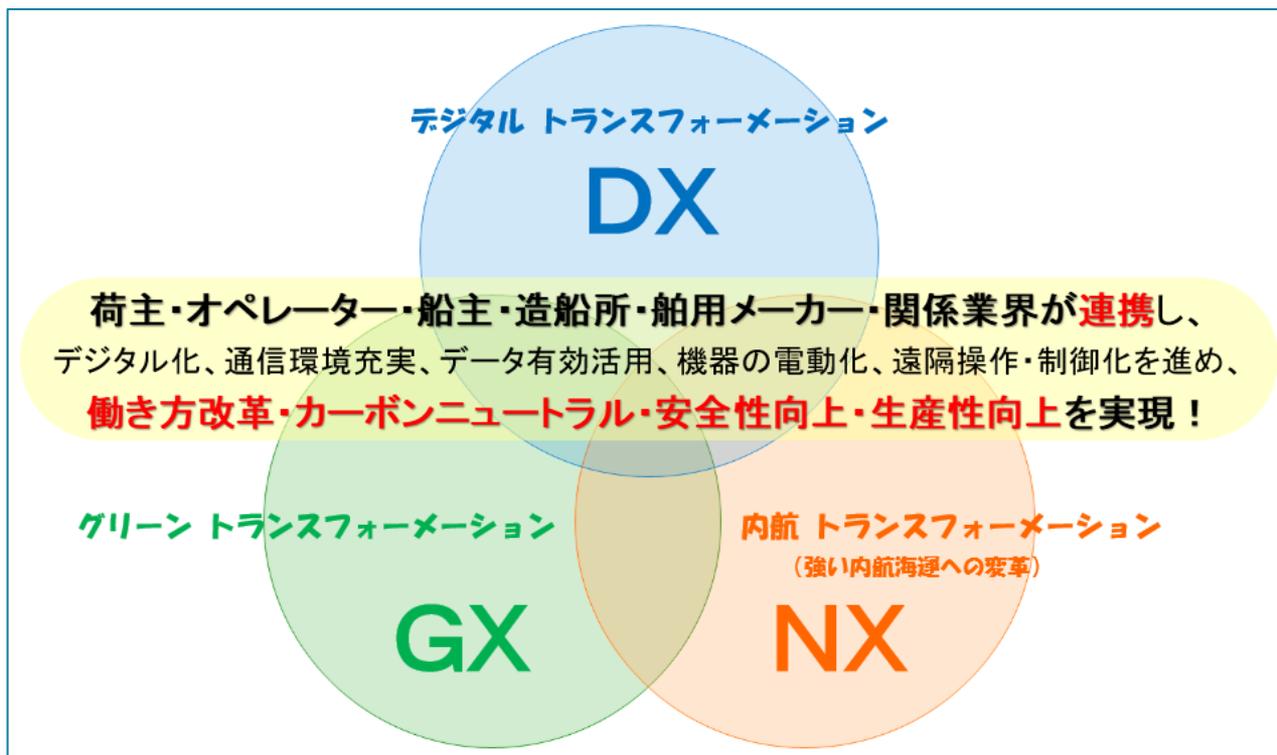
2013年基準との比較



2013年基準に対するEEDI削減率

4. 内航船に必要な技術と今後の在り方

- これからの内航船は、カーボンニュートラルに向けた取り組み（GX）ばかりでなく、デジタル技術の導入（DX）や「強い内航海運への変革（NX）」が必要となる。
- 以下、海技研が内航海運関係者らと共同で取り組んでいる研究開発の一部を紹介する。



※ 国土交通省資料より

(1) 海技研における自動運航船の研究

- 海技研では、小型実験船「神峰」を用いて、様々な自動化技術や運航支援技術の研究を進めている。

自動着棧

外力に強く、安心して使用できる自動着棧システムを開発している。



自動避航

レーダ、AIS、画像認識によって検知された他船を避航する。



他船検知

カメラ画像を処理して、他船情報を取得する。



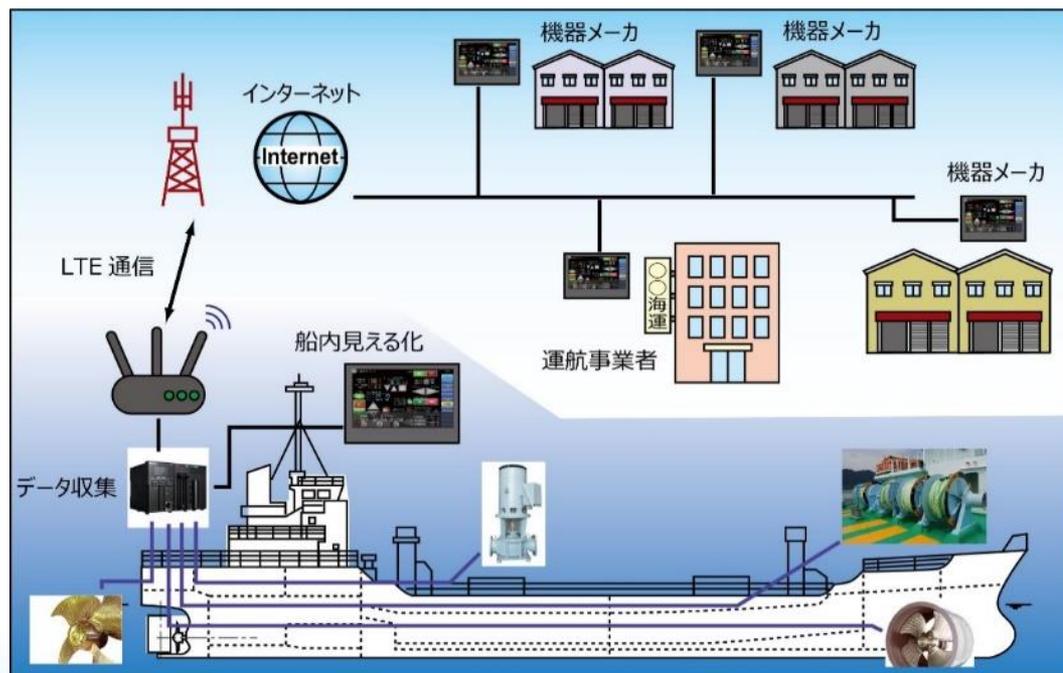
遠隔操船

遠隔地の操船者が、LTE通信によって送信された情報を確認しながら操船する。



(2) 陸上サポートシステム

- 海技研では、内航ミライ研究会らとともに、複数の貨物船を対象として船内計測の検証を進めている。
- 船内の情報を収集し、船内での監視を容易にするとともに、情報を陸上と共有する。



陸上サポートシステムのイメージ

① 船内機器の陸上モニタリング

- 主機ばかりでなく、ウインチやスラストなどの運転状態をモニタリングし、不具合発生時に陸上からサポートする仕組みを検討する。

② 運航状態の監視と支援

- 船舶の運航状態を陸上で監視し、船員労務負荷低減とCO₂排出削減、安全性確保の両立を目指す。

③ 燃費の見える化

- 実船データを蓄積し、実態を把握しつつ、カーボンニュートラル実現のための方法を詳細に検討する。

(2) 陸上サポートシステム

- 陸上サポートシステムは、船内で得られる運航や機器の情報をPLCに取り込む。
- 取り込まれたデータは、LTE通信を介して、陸上で確認することができる。
- 取り入れる情報はそれぞれの船舶によって異なる。
- SIM-SHIP 1では、電動ハッチカバーなどの動作を詳細に監視している。通常と異なる動作が確認された場合、陸上に注意喚起のメールと計測データが送信される。



陸上監視画面の例

(3) 陸上サポートシステムの応用例

- 陸上サポートシステムは、船内で得られる運航や機器の情報をPLCに取り込むため、船内監視装置として活用できる。
- 船員や船主の要望やアドバイスを受けて、機能の追加などを進めている。

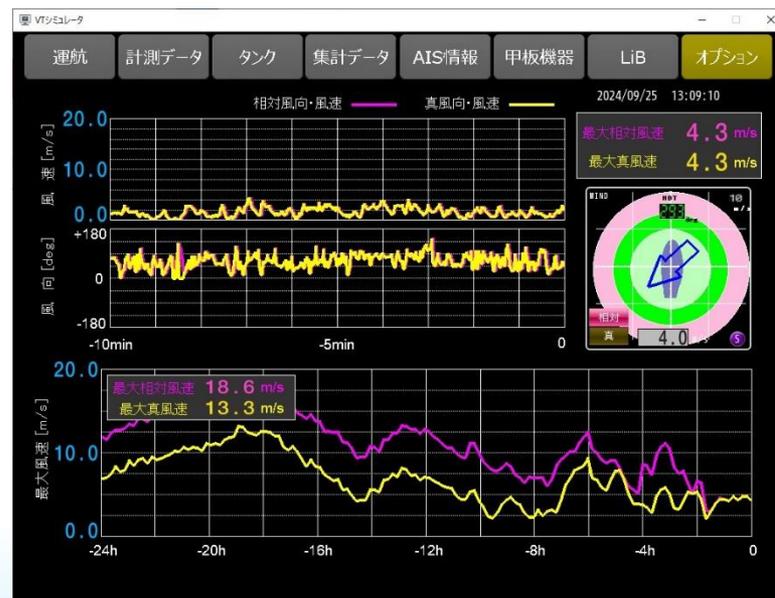
ケミカルタンカーの荷役監視

- ✓ ケミカルタンカーの船員の要望により、荷役状況の監視、荷役時間の予測機能を追加した（タブレット監視も可）。



風向・風速履歴監視

- ✓ 船員らのアドバイスにより、風向・風速履歴監視画面（陸上サポートシステムのオプション画面）を追加した。



(4) 「強い内航海運」に向けた取り組み

- 国土交通省の内航変革促進技術開発費補助金（NX補助金）を受けた関係社らに協力して、様々な研究開発を進めている。

物流革新DX

【事業名称】内航船の船員労務負荷低減と環境負荷低減、安全性確保の両立を実現する陸上遠隔サポートシステムの技術開発

【事業概要】

陸上サポートシステムを開発し、情報伝達を円滑に行うことで船員の業務時間短縮と労務負荷低減を図る



陸上サポートシステムの開発イメージ

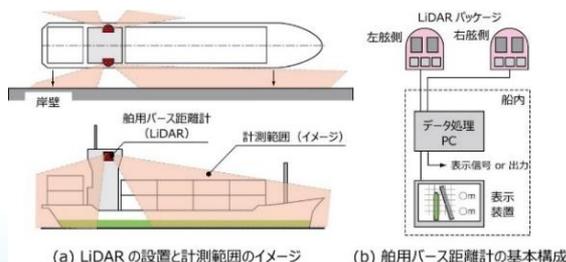


物流革新DX

【事業名称】着岸・係船作業支援のためのLiDAR技術を用いた船用バース距離計の技術開発

【事業概要】

レーザ画像検出機能とデジタル技術を利用したLiDARを活用して、船舶の着岸・係船作業を支援するための船用バース距離計を開発する



船用バース距離計（開発イメージ）

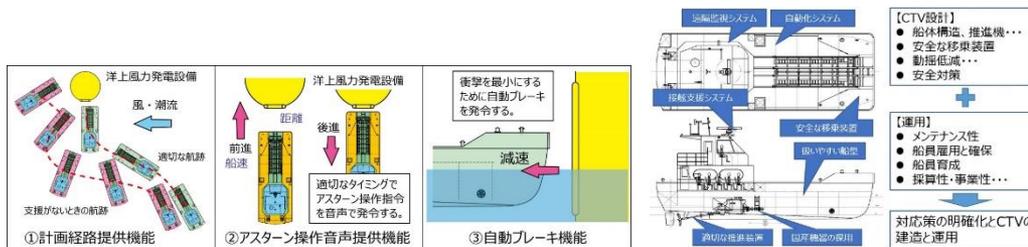


(4) 「強い内航海運」に向けた取り組み

洋上風力発電関連船舶

【事業名称】洋上風力発電施設向け作業員輸送船の操船支援システムによる船員負荷低減技術の開発と船員不足に対応するコンセプト設計

【事業概要】
CTVの操船に際したシステム開発、実運用を含めたコンセプト設計を行う



システム開発イメージとコンセプト設計

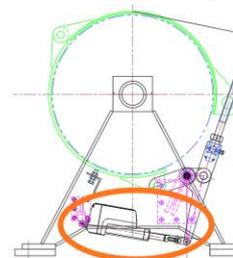
物流革新DX

【事業名称】係船作業と投錨作業の船員労務負荷低減に向けたウインチの高機能化についての技術開発

【事業概要】
電動ウインチのブレーキに高性能シリンダを用いることによって、係船作業と投錨作業における安全性向上と船員労務負荷低減を図る



ロードセル組込候補箇所



電動シリンダ改造

ロードセルを組み込む電動シリンダ



8. まとめ

- ① 内航海運の2030年CO₂排出削減目標を達成するための方法として, "連携型省エネ船"の普及があげられる。本講では, "連携型省エネ船"のコンセプトを踏まえて開発・建造したSIM-SHIPを紹介した。本船は, 運航ばかりでなく, 離着舷や荷役・停泊時の省エネ技術を搭載しており, その効果を検証した。
- ② 内航船の自動化・デジタル化に向けたいくつかの取り組みについて紹介した。陸上サポートシステムなどは, 既に実装・検証段階にあり, 船員の労働環境改善や安全性向上に資する技術である。
- ③ これからの内航船は, カーボンニュートラルに向けた技術やデジタル技術の導入などによる労働負荷低減・安全性向上の技術を両立させて, それらを実装・普及させることが必要となる。