

スーパーエコシップ(S&ES)の成果と展望

電気推進内航船の未来

スーパーエコシップ(S&ES)研究会 代表 土井征一郎

(略歴)

- ・1969～2004年 IHI
- ・2004～2009年 鉄道・運輸機構(JRTT)船舶技術担当理事
SES建造プロジェクトの開始から従事
- ・1010年～ 「広島電気推進船研究会」会員
- ・2014年～ 「スーパーエコシップ研究会」(横浜)

0

スーパーエコシップ(S&ES)研究会の紹介

スーパーエコシップ(S&ES)研究会の趣旨

- ・SES開発・建造の成果検証
- ・今後の内航電気推進船の技術開発課題の研究
- ・内航海運関係者に研究成果を発信する
☆現在、「月刊共有船」に「SES開発の歴史と検証」を連載中

研究会メンバー構成(全員ボランティア)

- ・SES開発建造に従事したJRTTのOB
- ・JRTT現職有志
- ・海上技術安全研究所現職有志
- ・大学教員・学生(予定)

1

本日の講演内容

第Ⅰ部 SESとは何か

プロジェクトの経緯と概要

第Ⅱ部 SES要素技術の実用化

SESプロジェクトの要素技術の成果と問題点

第Ⅲ部 代表的なSESの事例

4つの推進方式の代表的な船を紹介

第Ⅳ部 電気推進内航船の未来

電気推進船の今後の進化の方向性を予想

2

第Ⅰ部 「SESとは何か」

1. SESの生い立ち

- (1) 内航海運の課題
- (2) 国の施策とJRTTのミッション
- (3) 国内初の電気推進商船・ケミカルタンカー「千祥」

2. SES開発・建造のしくみ

- (1) SESの制度
- (2) SES開発・建造体制の構築＝中小造船所の技術力補強
- (3) SESの定義と達成目標

3. SES開発の基本戦略

- (1) 高効率推進器の実用化
- (2) 船型の根本的見直し
- (3) 発電機関の効率確保

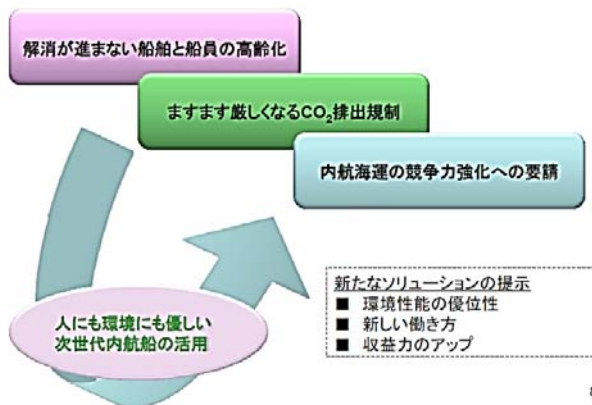
4. SES建造実績

3

1. SESの生い立ち

(1)内航海運の課題

内航海運を取り巻く環境とSESへの期待



8

4

1. SESの生い立ち

(2)内航初の電気推進ケミカルタンカー「千祥」の誕生 ①概要

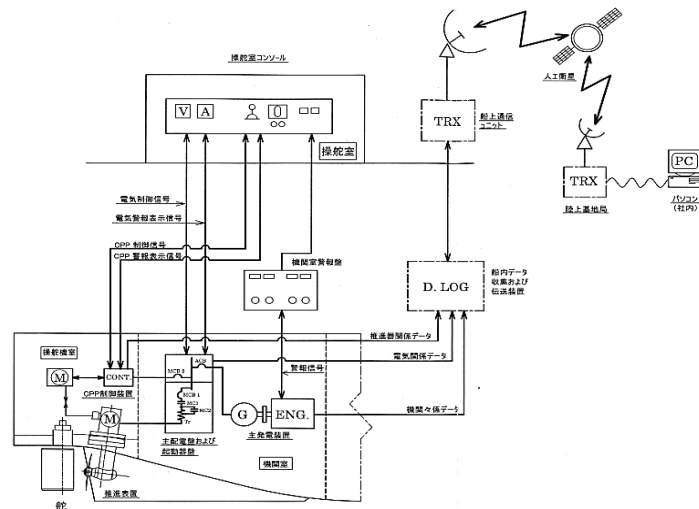


用途	液体化学薬品ばら積船 兼 油タンカー
船主	吉祥海運
建造造船所	中谷造船㈱
竣工年月	平成14年7月
長さ×幅×深さ	62.9×10.0×4.5(m)
総トン数	499GT型
航海速力	11.9ノット
推進方式	固定ポッド+舵
ディーゼル発電機	530kW×3基
推進制御方式	2軸可変ピッチプロペラ
推進用モータ	370kW×2基
	高度船舶安全管理システム 実証試験

5

1. SESの生い立ち (2)内航初の電気推進ケミカルタンカー「千祥」の誕生
 ②「千祥」の電気推進システム

高度船舶安全管理システムの試行



6

1. SESの生い立ち (2)内航初の電気推進ケミカルタンカー「千祥」の誕生
 ③産学による自主共同開発の成果

建造支援体制	電気推進検討会 座長: 広島大学 名誉教授 仲渡道夫
船舶機能計画	千代田開発(株) 吉祥海運(株) 中谷造船(株)
船型計画	中谷造船(株) (有)流体テクノ
推進システム	中谷造船(株) MECエンジニアリングサービス(株) 川崎重工(株) 西芝電機(株) ヤンマーディーゼル(株)
検討開始	2001年 4月
仕様決定	2001年 8月
起工	2002年 1月30日
進水	2002年 6月11日
竣工	2002年 7月10日

- 集中カーゴポンプ⇒分散ポンプ
 - ・船員のガス吸引の不安がなくなった
 - ・荷役時間の短縮
 - ・全速航海中にタンククリーニング可能
- 減速、停止時も騒音振動が無い
 - ・船員が良く休息できる
- 高度船舶安全管理システム搭載
 - ・メンテナンスが楽、安心して眠れる
 - ・メンテナンスコストも従来と同じ
- モーター推進
 - ・荒天航海で速力低下が無い
 - ・燃料消費量は在来船とほぼ同じ

7

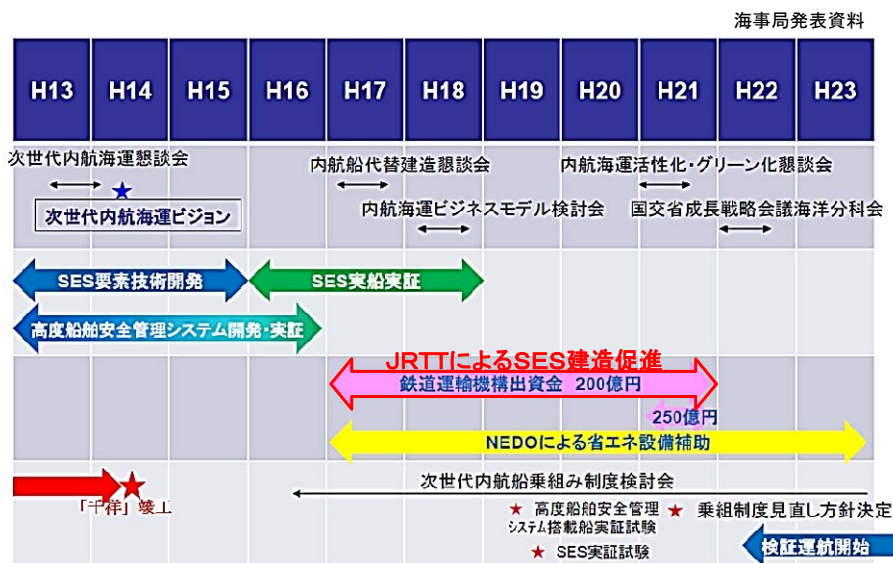
1. SESの生い立ち (4)電気推進船の状況

電気推進船就航隻数 (2005年末)

船種		日本	世界
商船	貨物船	0	39
	旅客船・フェリー	2	225
	タンカー	1	49
	ガス船	0	5
漁船		1	18
特殊船	調査船	7	139
	支援船・タグ	0	323
作業船	浚渫船	2	114
	ケーブル敷設船	1	49
オフショア(含「ちきゅう」)		1	75
艦艇	砕氷船	1	58
	その他艦船	4	171
計		20	1265

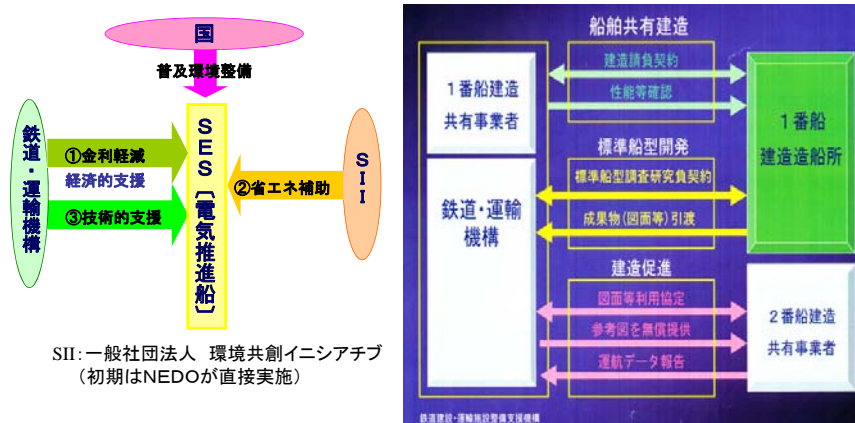
注) 日本: 筆者推計
 世界: 2007年度調査研究報告抜粋(船籍国ベース) 船籍国: 欧州49%、北米14%、アジア5%

1. SESの生い立ち (3)国の施策とJRTTのミッション



2. SES 開発・建造のしくみ (1)SESの制度

- ・最初の5年間は**手厚い経済的、技術的支援**
- ・SES各船型1番船は**電気推進船建造実績のある造船所(A)**が基本設計・船型開発、2番船以降は**中小造船所(B)**が詳細設計・建造することができる仕組みを構築



10

2. SES 開発のしくみ (3)SESの要件と導入効果

- SESの要件
 - ①推進システムのひとつに異常が生じた場合においても船舶の運航に支障が無いこと。
 - ②エネルギー効率の向上が図られていること。
- 導入効果
 - ①経済性が高い 省エネ効果：5～20%低減
 - ②環境に優しい CO2：5～20%削減、Nox：30～35%削減
 - ③乗客・船員に優しい 騒音・振動：5～10dB低減
 - ④安全性が高い 故障率が低い、操船性能の向上
- エンジニアリングレビューによる効果の確認

重要な接点ごとに関係者全員(がJRTTに集合し技術内容を相互確認)

 - ①基本設計終了後： 水槽試験結果を踏まえた見直し確認、仕様の確認
 - ②詳細設計終了後： 設計レビューと運転方案の確認
 - ③海上試運転後： 性能評価

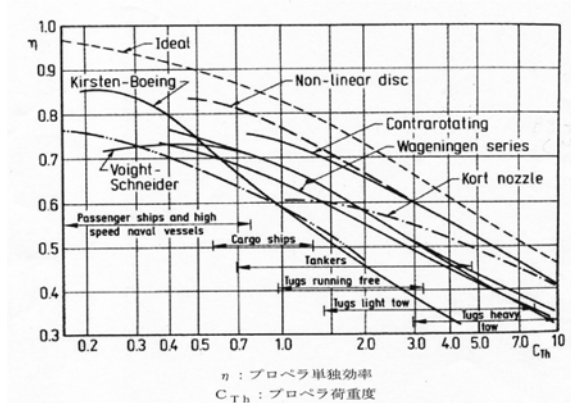
11

3. SES開発の基本戦略

(1) 高効率推進器の実用化

① 二重反転効果に期待

- ・2重反転プロペラはシングルプロペラに対し、荷重度の低下と二重反転効果により、10%以上プロペラ効率が改善
- ・ツインプロペラ方式を採用すれば荷重度が下がることで2重反転プロペラに準ずる効率改善があるが、課題が多い



12

3. SES開発の基本戦略 (1) 高効率推進器の実用化

② 二重反転プロペラの検討

内航に適した二重反転プロペラの国産品が無かった

- ・CRPラインシャフトは大型船の実績のみ
- ・国産CRPポッドは開発中で未完成
- ・タンデム方式は499GT、749GT級では船尾が大きくなり適用不可、国産の実績なし



CRP配置

⇒ 小型CRP装置の開発



CRPポッド配置

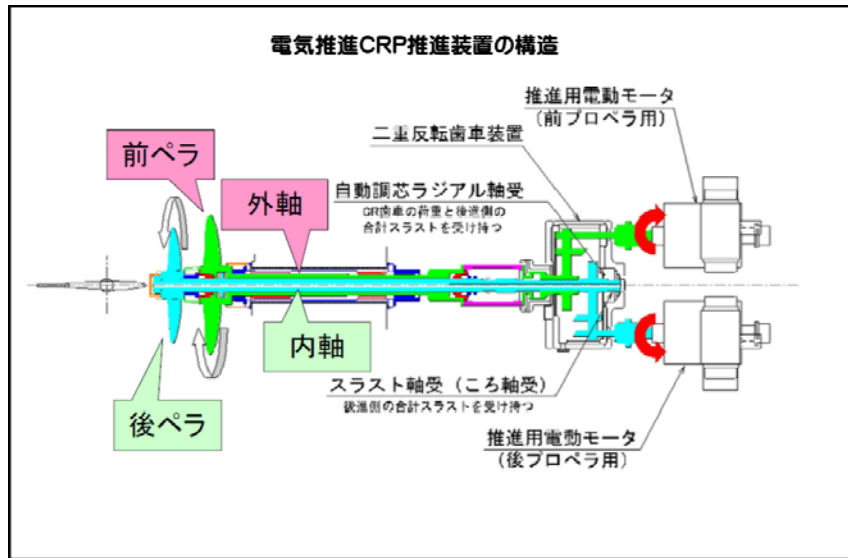


タンデム配置

13

3. SES開発の基本戦略 (1)高効率推進器の実用化

③小型CRPラインシャフトの実現

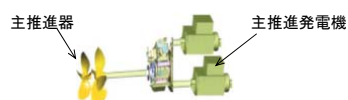


14

3. SES開発の基本戦略 (1)高効率推進器の実用化

④ 4つの推進方式の選択が可能に

ラインシャフト二重反転プロペラ(CRP)方式



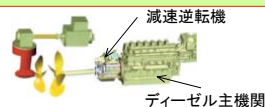
- ・プロペラの二重反転効果により**推進効率向上**
- ・**在来船感覚で操船**が可能
- ・最も建造実績が多い
- ・速度はインバーターで制御

ポッド方式(ツイン、両頭)



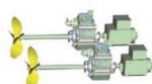
- ・全旋回ポッドの採用により**操船性能向上**
- ・狭い港湾での離着岸性能が向上
- ・ポッドの種類、配置、速度制御に多くのバリエーション

タンデムハイブリッド方式



- ・**大きな出力が必要な船**で採用が多い
- ・二重反転効果により**推進効率向上**
- ・全旋回ポッドの採用により**港内操船性能が向上**
- ・ポッドプロペラはインバーターで制御

2軸可変ピッチプロペラ方式

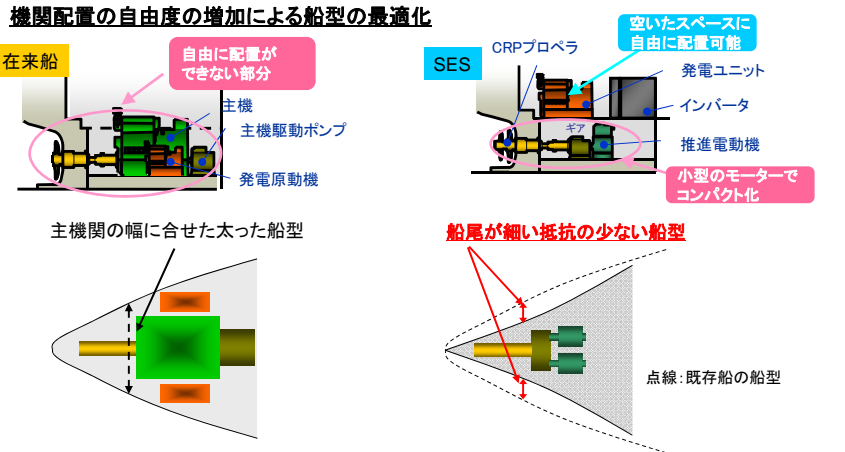


- ・速度はインバータの代わりに可変ピッチプロペラで制御
- ・2軸プロペラの採用により**操船性能が向上**
- ・**従来船との価格差を低減**

15

3. SES開発の基本戦略 (2)船型の根本的見直し

- ・SESは機関室配置の自由度の増加による船型の最適化が可能になる
- ・SESの各船型1番船はA造船所の基本設計と水槽試験により、電気ロスをカバーして余りある高い推進効率を追求

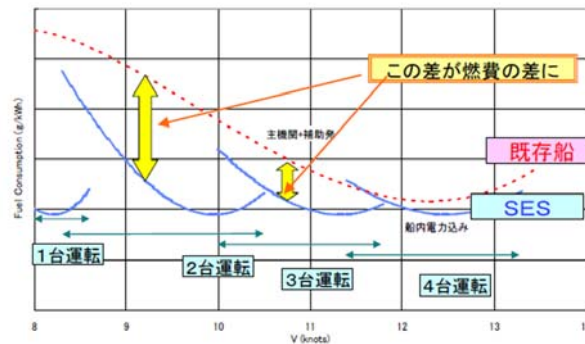


16

3. SES開発の基本戦略 (3)発電機関の効率確保

- ・発電機関は一般に低負荷では燃料消費率が悪化するが、発電機関の台数制御を行えば、主機に劣らない燃費性能を確保できる





【発電機の台数制御による省エネ効果 (速力-燃費曲線のイメージ)】



17

4. SESの建造実績

これまでに竣工したSESは合計25隻(旅客船4隻、貨物船21隻)

推進方式	16 船 種					旅客船
	一般貨物船	油タンカー	カガカカ-	セメント船	LPG船	
ラインシャフト CRP  16	499GT型 「新衛丸」	749GT型 「なでしこ丸」 「東亜丸」	499GT型 「第五日光丸」 「のじぎく」 「第三ほろりん」 「豊和丸」 「ろっこう」 「第五豊興丸」 「やまゆり」 1000GT型 「国朋丸」	749GT型 「海光丸」 「鶴洋丸」 5700GT型 「パシフィック ブリーズ」 「北斗丸」	749GT型 「第十いづみ丸」	
ポッド  5				749GT型 「安福」 「松涛丸」		250GT型 「みやしま丸」 1300GT型 「桜島丸」 1300GT型 「第2桜島丸」
カデムブリッド  3	4675GT型 「北翔丸」			15000GT型 「興山丸」		5700GT型 「橋丸」
2軸CPP  2			749GT型 「新進丸」			
	2	2	16			18

第2部「SES要素技術の実用化」目次

1 推進装置の実用化

- (1) ラインシャフトCRP装置
- (2) CRPポッド
- (3) タンデムハイブリッドCRPシステム

2 推進モーター駆動システムの構築

- (1) SESで採用したモーター駆動システム
- (2) かご型誘導モーターの実例
- (3) かご型誘導モーターの速度制御
- (4) インバータ制御による船の推進
 - ① 基本特性
 - ② 港内操船時の例
 - ④ 荒天航海時の例

3 発電機システムの見直し

- (1) 発電機単体の効率
- (2) 発電機の台数管理

1. 推進装置の実用化

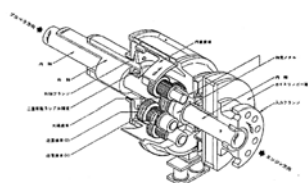


20

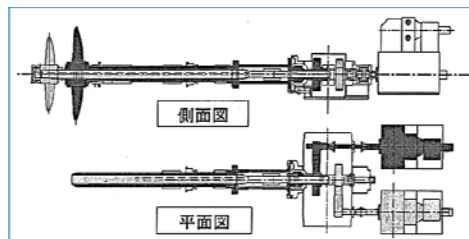
1 推進装置の実用化

(1) ラインシャフトCRP装置の開発 ①開発の経緯

- ・SES貨物船第1船「新衛丸」の推進装置として、IHIMUが小型内航用の「ラインシャフトCRP」装置の開発を決定。
- ・大型船のCRP装置では主機入力軸が1軸のため高価な遊星歯車装置が使われていたが、SESでは振動のない2台のモーターを使うことで、シンプルな平歯車装置が採用できた。
- ・プロペラ回転制御にはインバータを使用するが、インバータも2系統となるため、二重反転効果が最大となるよう前後プロペラの回転数を変えることができる。



2重反転歯車装置



21

1. 1 推進装置の実用 (1)ラインシャフトCRP装置の開発
②開発の成果

・SES貨物船
第1船「新衛
丸」によって
大幅な省エネ
性が立証され
た

・プロペラだけ
で12%以上
の省エネが達
成されたと推
定



22

1 推進装置の実用化 (1)ラインシャフトCRP装置の開発

③新衛丸の試運転時のプロペラ後流 (最高速力14ノット時)



23

1
1. 推進装置の実用化 (1)ラインシャフトCRP装置の開発

④その後のフォロー

- 二重反転プロペラ軸の保守整備費用の削減
 - ・予防保全的検査(PSCM)の導入
 - ・潤滑等の継続モニタリングで、抜き出し・開放検査が免除
- SES用CRP装置は合計16基稼働、現在まで問題なく動いている
- JMUはSESに続き、内航船向**主機駆動方式のCRP装置**を開発し、すでに3隻の実績を得ている。来年には大型フェリー用のハイブリッド(主機+モーター)駆動のラインシャフトCRP船が完成予定

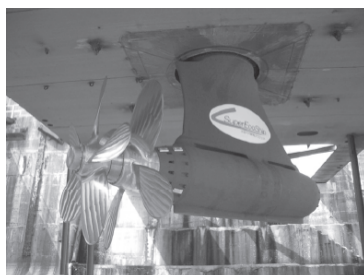


24

1 推進装置の実用化 (2)CRPポッドの開発

①開発の経緯

- ・ナカシマは「SES要素技術開発」の内、12500kwCRPポッドの試作に参画
- ・スーパーエコシップ実証試験では1650kwCRP実証機を製作
CRPポッドは引き続き、英雄海運「茂丸」で実用
- ・ナカシマの**CRPポッド商用1、2号機**が鹿児島市の「桜島丸」「第2桜島丸」に採用された



25

1 推進装置の実用化 (2)CRPポッドの開発
 ②CRPポッドの成果「桜島丸」

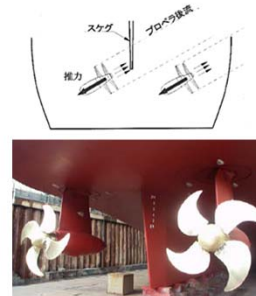
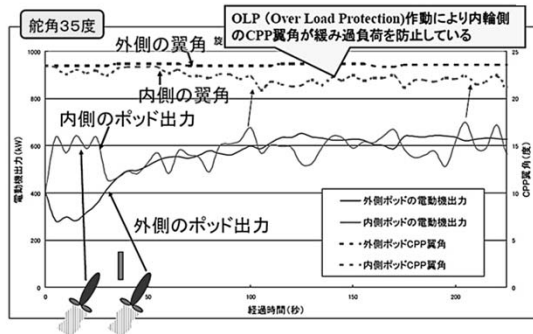
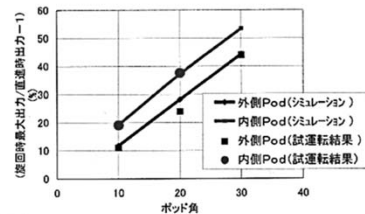
- ・広島大学での船型開発の結果、前側の抵抗が大幅に減少し、後側でも抵抗低減とプロペラ効率の向上により、**大幅な省エネ**が達成された



26

1 推進装置の実用化 (2)CRPポッドの開発
 ③ツインポッド方式の留意点

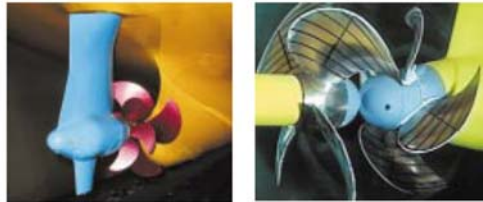
- ・ポッド旋回角を大きく取ると**トルクが急増**し、モーター出力が大きく増加
- ・ツインポッド船ではスケグの陰になる**旋回の内側に来るポッドの出力**が、外側より更に増加
- ・インバータ又はCPP船ではOLPにより過大な負荷を制限することで安全性は担保出来る。



27

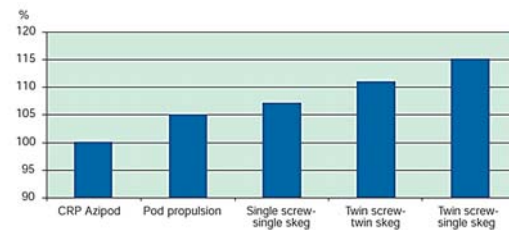
1 推進装置の実用化 (3)タンデムハイブリッドCRPシステムの開発
①世界初の「はまなす」「あかしあ」

- ・2003年、MHIとABBの共同開発により完成。ABB製17.6MWポッド搭載
- ・高い省エネ性能と、荒天下の小樽港内の操船でポッドの威力を如何なく発揮
- ・高速巡航中のポッド操船の問題のため補助舵を追加
- ・この成功により後続船2隻も本方式が採用され、更に「橋丸」につながった



ULCS CRP Azipod.

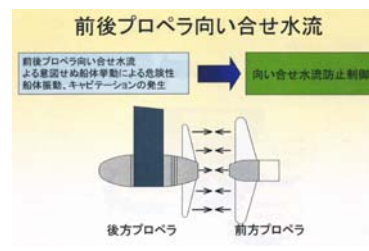
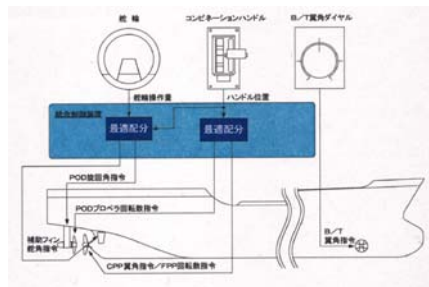
CRP Azipod in cavitation tests.



28

1. 推進装置の開発 (3)タンデムハイブリッドCRPシステムの開発
②タンデムハイブリッド船・統合制御システムの開発

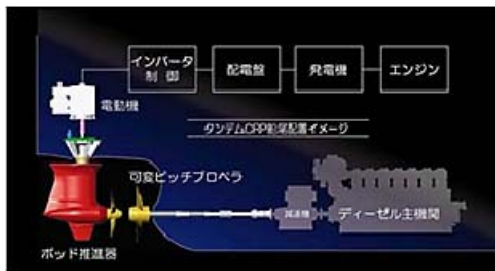
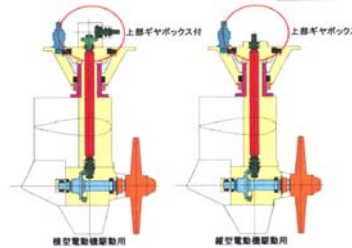
- ・高速巡航用の補助舵を追加すると操作が複雑になる
上位の統合制御装置により在来船と同じ操作で操船が可能
- ・JRTT実用化支援制度の下で下関菱重エンジニアリング(現MHI 下関エンジニアリング)が開発



29

1. 推進装置の実用化 (3) タンデムハイブリッドCRPシステムの開発
 ④ タンデムハイブリッドCRP用ポッド推進器の開発

- ・JRTT実用化支援制度の下で**ナカシマが開発**
- ・**総出力1500~5000kW**のタンデムCRPシステム用推進装置が国産化可能
- ・20000GTセメント船「興山丸」及び、5681GT 貨客船「橘丸」に採用した



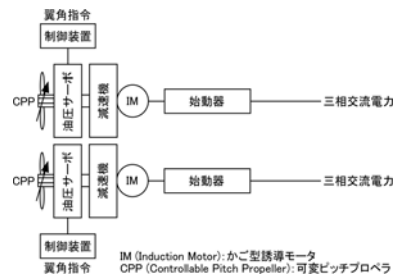
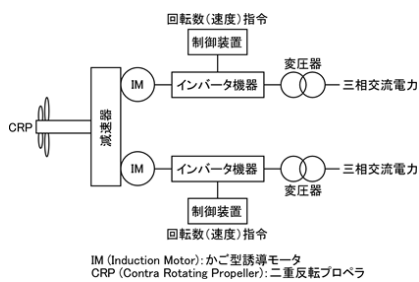
型式	ポッド連続最大出力 (kW)	システム総出力 (kW)
NAP-40FS	750	1500~2500
NAP-70FS	1000	2000~3300
NAP-130FS	1500	3000~5000

30

2. 推進モーター駆動システムの構築
 (1) かご型誘導モーターとその駆動システム

- ・電動モーターで**最も単純で堅牢な「かご型誘導モーター」**を採用
- ・かご型モーターは**単独では起動時の大電流のため始動器が必要**であるがインバータでは電圧電流が制御できるため問題は無い
- ・かご型モーターによる実用的な船の速度制御方式は下記の2つ

- ① インバータによる回転数指令制御
- ② CPP翼角指令(トルク指令)制御



IM (Induction Motor): かご型誘導モーター
 CRP (Contra Rotating Propeller): 二重反転プロペラ

IM (Induction Motor): かご型誘導モーター
 CPP (Controllable Pitch Propeller): 可変ピッチプロペラ

31

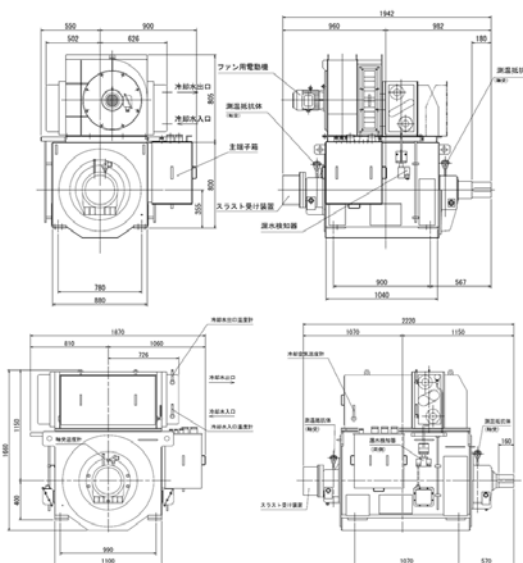
2. 推進モーター駆動システムの構築 (2)かご型誘導モーターの実例

- 上: **新衛丸 (GRP)**
 - 出力 500kW
 - 極数 6
 - 速度制御 インバータ
 - 回転数±120~1200rpm
 - プロペラ回転数300rpm

- 下: **新進丸 (CPP)**
 - 出力 500kW
 - 極数 10
 - 回転数 705rpm
 - プロペラ回転数190rpm

- 比較
- モーター体格は定格トルクで決まるため回転数の少ない方が大きい

- ・冷却はいずれも全閉水冷却方式



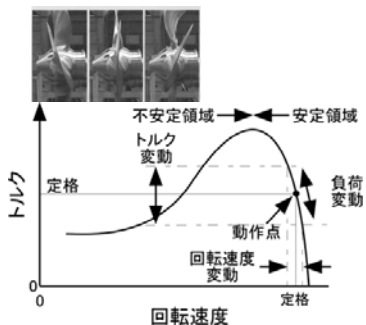
32

2. 推進モーター駆動システムの構築(3)かご型誘導モーターの速度制御

① CPP翼角制御

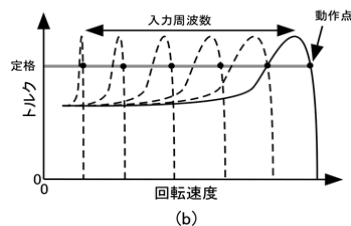
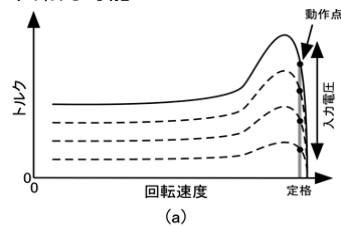
- ・かご型モーターは起動時に大きな電流が流れるが、定格速度に達した後は、**トルクが変動しても一定速**

- ・低トルクでも回転数は変わらないため低速では効率が低下する



② インバータ制御

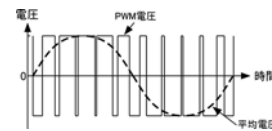
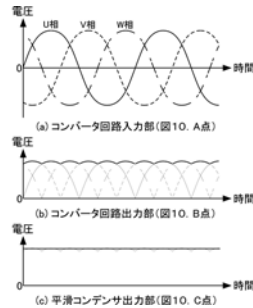
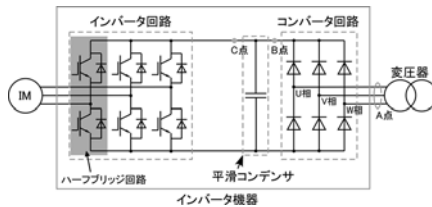
- ・**トルクと回転数を任意に設定**できるため、高トルクで安定した低回転も可能



33

2 推進モーター駆動システムの構築 (3)かご型誘導モーターの速度制御 ③船用PWMインバータの普及

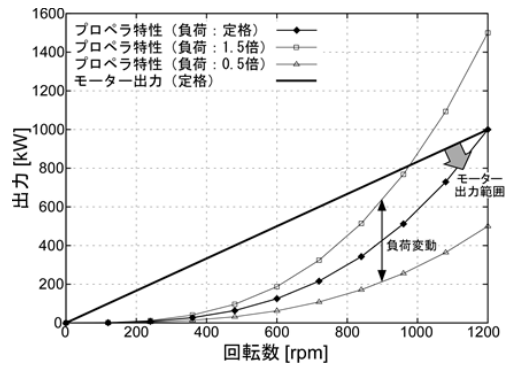
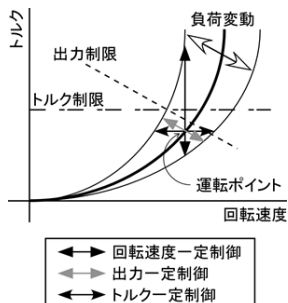
- ・インバータ方式はかご型誘導モーターを制御する最も一般的な手段
- ・しかし、SES以前の船用インバータは殆ど特注品で高価であった
- ・低圧汎用インバータユニットの組み合わせによる**低コスト化**と、船内の他のインバータとの**共用化**に取り組み



34

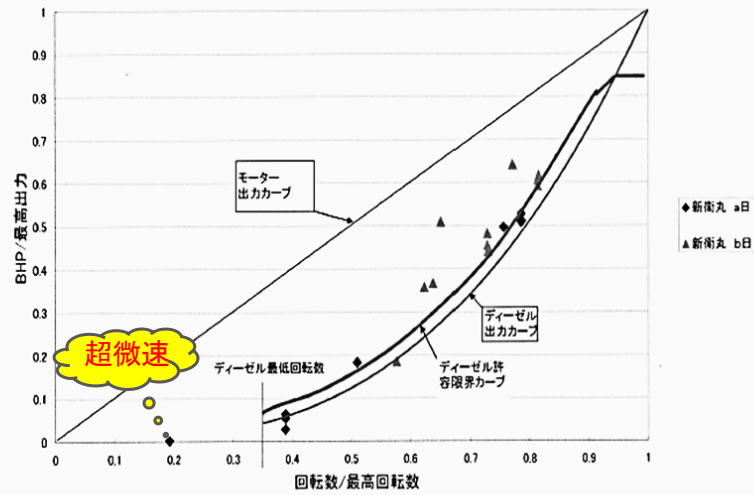
2 推進モーター駆動システムの構築 (4)インバータ制御による船の推進 ①基本特性

- ・インバータ制御では、回転速度一定、出力一定、トルク一定のいずれかの運転が選べるが、通常は回転数一定を指令し、負荷に対しトルクを追従させる
- ・全ての回転数でモーターの最大トルクが出せる
トルク制限により**トルクリッチは起こらない**



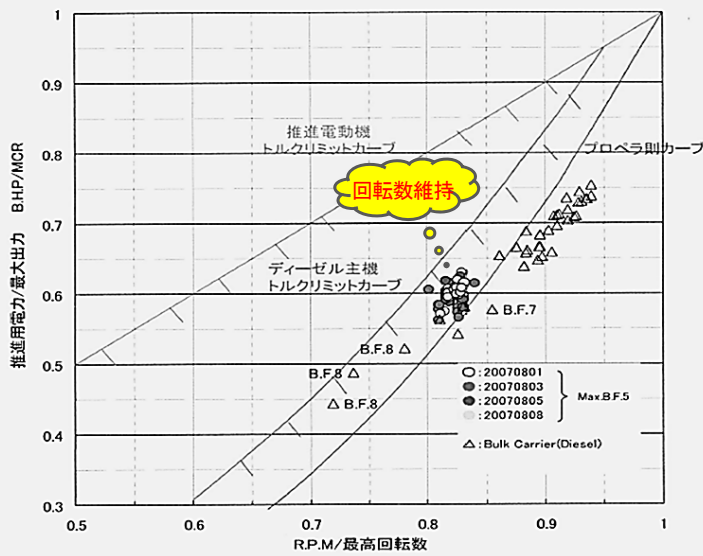
35

2 推進モーター駆動システムの構築
 (4) インバータ制御による船の推進 ② 港内操船時の例



注：ディーゼル許容限界カーブは85%出力を上限としている。

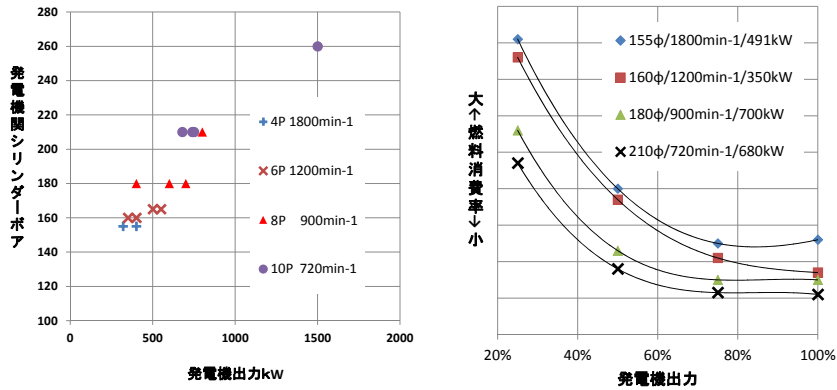
2 推進モーター駆動システムの構築 (4) インバータ制御による船の推進
 ③ 荒天航海時の例



3. 発電機システムの見査

(1) 発電機単体の効率

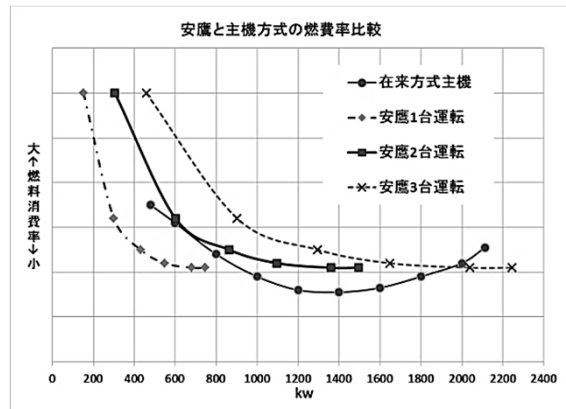
- ・全電気推進SES22隻中、20隻は同一出力の6気筒発電機を3基搭載
- ・発電機回転数は4極(1800min⁻¹)、6極、8極、10極(720min⁻¹)の4種類
- ・発電エンジンは低速エンジンほど燃料消費率が良いが、寸法が大きくなる



38

3. 発電機システムの見査 (2) 発電機の台数管理

- ・通常は2台運転で常用速力が出せるが、荒天時に3台目を自動投入する技術が確立しておらず、発電機3台を常時運転しているケースが見られる
- ・CPP方式では起動のために3台運転する必要があり、発電機3台が前提
- ・インバータでは発電機1台でも起動でき、1台だけでも低速運航出来る為発電機2台でも信頼性が高い



39

第Ⅲ部 「代表的なSESの実船開発例」 目次

推進方式	船 種					
	一般貨物船	油タンカー	ケミカル	セメント船	LPG船	旅客船
ラインシャフト 二重反転プロペラ 	499GT型 「新衛丸」	749GT型 「なでしこ丸」 「東亜丸」	499GT型 「第五日光丸」 「のじぎく」 「第三ほろりん」 「豊和丸」 「ろっこう」 「第五豊興丸」 「やまゆり」 1000GT型 「国朋丸」	749GT型 「海光丸」 「鶴洋丸」 5700GT型 「パシフィック プリース」 「北斗丸」	749GT型 「第十いつみ丸」	
ポッド 				749GT型 「安鷹」 「松涛丸」		250GT型 「みやしま丸」 1300GT型 「桜島丸」 1300GT型 「第2桜島丸」
タンデムハイブリッド 	4675GT型 「北翔丸」			15000GT型 「興山丸」		5700GT型 「橘丸」
2軸CPP 			749GT型 「新進丸」			

40

第Ⅲ部 「代表的なSESの実船開発例」 目次

ラインシャフトCRP方式

1. 499GT多目的貨物船「新衛丸」
2. 499GTケミカルタンカー「第五日光丸」

ポッド方式

3. 749GTセメント船「安鷹」
4. 1000GT両頭CRPポッドフェリー「桜島丸」

タンデムハイブリッドCRP方式

5. 5730GT貨客船「橘丸」

2軸CPP方式

6. 749GTケミカル(コールタール)タンカー「新進丸」

41

1. 499GT貨物船「新衛丸」 (1)概要



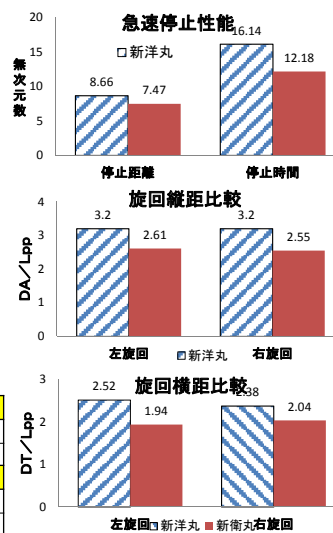
用途	貨物船兼油タンカー
船主	新島物産㈱
建造造船所	㈱IHIMU 讃岐造船鉄工所
竣工年月	2007年2月
Lpp×B×D	55×9.8×3.5(m)
総トン数	492GT
載貨重量	655t
航海速力	11.9ノット
推進方式	ライシャフトCRP
ディーゼル 発電機	455kW×3基
インバータ	2基
推進用モータ	500kW×2基

42

1. 499GT貨物船「新衛丸」 (2)性能評価

- ・船長「軽トラからスポーツカーになった」
- ・本航路では天候が急変すると島に接岸できないため、**速力の余裕が必要**
発電機3台運転では14ktが出せることを確認した
- ・インバータにより操船性が飛躍的に改善。これにより、荒天時の棧橋への離着岸が容易になった
- ・一定回転の高速エンジンにより、**振動・騒音が大幅に減少**し、船員はテレビを普通の音量で聴けるようになった。

騒音 (dB)	新洋丸	新衛丸	差
操舵室	67	61	-6
船長室	68	61	-7
振動 (gal)	新洋丸	新衛丸	差
操舵室	50	8	-42
船長室	20	8	-12



43

1. 499GT貨物船「新衛丸」 (3)省エネ性

- 根本的な船型改良とCRPラインシャフトによりBHPで**40%の省エネ**達成
- 電気ロスと発電エンジンの燃料消費率から**燃料消費量で21%の省エネ**達成
- 推定要因
 - ・船型改良で約20%
 - ・推進器の改良で約12%
 - ・工作上的改善で約 8%

* AB方式で現図から塗装に至るまで
A造船所によるきめ細かな指導の結果

主要目	新洋丸	新衛丸	
総トン数GT	t	438	492
垂線間長 L p p	m	50	55
型幅B	m	9.6	9.8
型深さD	m	3.5	3.5
載貨重量DW	t	614	655
常用速力V _e	knots	11.9	11.9
最大出力MCR	kw	1176	1000
常用出力NOR	kw	1000	855

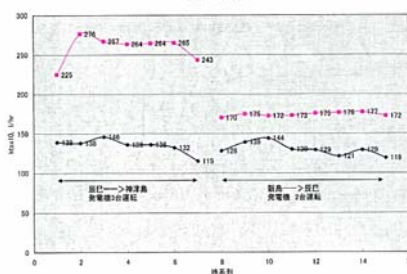
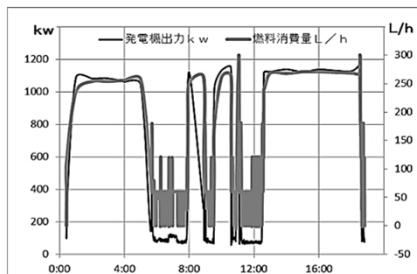
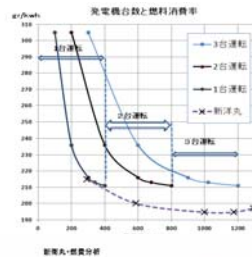
海上公試記録比較		新洋丸	新衛丸	比率
試運転最高速力 knots		13.1	14	1.07
常用速力時 軸出力 kw	原動機軸出力	655	420	0.64
	モーター軸出力			
常用速力出力補正	排水量補正 (新衛丸ベース)	690	420	0.60
	新衛丸総出力 (電気ロス*燃費率悪化)	690	542	0.79
		(192g/kWh)	(212g/kWh)	

プロペラ要目	新洋丸	新衛丸	
		前ペラ	後ペラ
プロペラ直径 m	2.05	1.92	1.6
翼数	4	4	5
最大回転数 rpm	360	324	358
常用回転数 rpm (11.9kts時推定)	約340	約290	約320

44

1. 499GT貨物船「新衛丸」 (4)エンジン運転台数管理

- ・運転開始直後は燃料消費量が多く、原因は3台運転で高速航行したためと判明(図下左)
- ・以後、**通常航海では機関2台運転を徹底**した結果、燃料消費量は試運転結果とほぼ同じ20%省エネを続けている



45

2. 499GTケミカルタンカー「第五日光丸」

(1) 概要

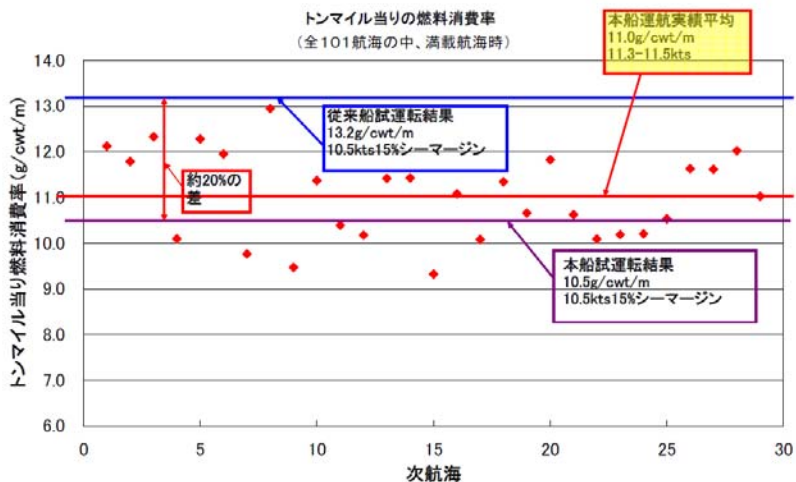


用途	液体化学薬品ばら積船 兼 油タンカー
船主	国嗣汽船(有)
建造造船所	㈱IHIMU/興亜産業㈱
竣工年月	平成19年5月
長さ×幅×深さ	61.8×10.0×4.5(m)
総トン数	499GT型
貨物容積	1,230(m ³)
航海速力	10.5ノット
推進方式	ライシャフトGRP
ディーゼル発電機	350kW×3基
インバータ制御装置	2基
推進用モータ	370kW×2基

46

2. 499GTケミカルタンカー「第五日光丸」(2) 省エネ性

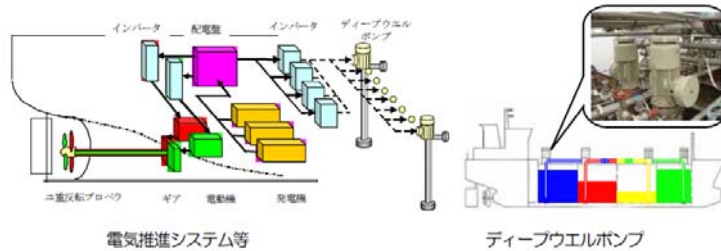
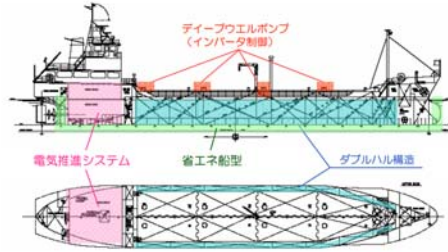
・海上公試の結果、最新の従来船より20%以上の省燃費と報告され、その後の100回の実航海モニターでも約20%の省燃費を確認、現在も維持している



47

2. 499GTケミカルタンカー「第五日光丸」 (3) 荷役システムの合理化と作業安全

- ・電動ディーゼルポンプの採用により**危険な貨物ポンプ室を廃止**
- ・発電機の大容量化により、**複数ポンプの同時運転**が可能となった
- ・499GTケミカルタンカー第3船から、推進、荷役、パウスラスタ等の駆動にも多重に使える**統合インバータシステム**が導入された



48

2. 499GTケミカルタンカー「第五日光丸」 (4) ユーザーの評価

就航後の船主・オペレータの声	現在の声
<ul style="list-style-type: none"> ・最大の目的であった貨物ポンプ室の廃止により、危険作業が無くなり、甲板の作業員を1名増員できた ・居住環境は全然ちがう 乗組員の居室ではほとんど音も振動も感じない ・旋回・停止・加減速性能が高く、操船が大幅に楽になった ・荒天時の安定的な航海が可能になり冬の日本海にも安心して配船できる 	<ul style="list-style-type: none"> ・竣工当時と変わりなく、20%の省エネを継続 ・冬の日本海に配船できるのはSESのみ ・日常の保守点検は海水ラインのストレーナーの清掃及びG/Eの燃料弁の清掃程度 ・今の機関室スペースで日常作業に特段の問題なし ・警報が出たときはマニュアル通りに対応。自分の判断でいじるとトラブルのもと

49

3. 499GTセメント船「安鷹」

(1)概要

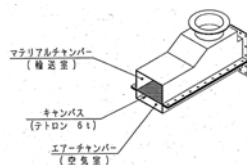
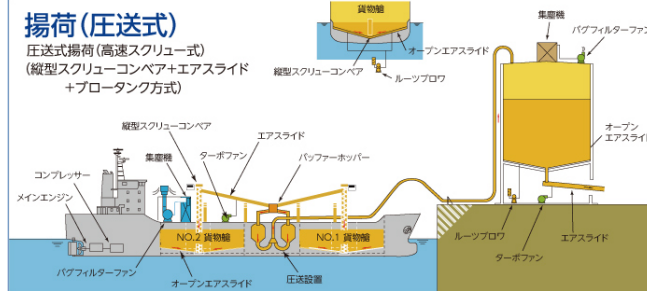
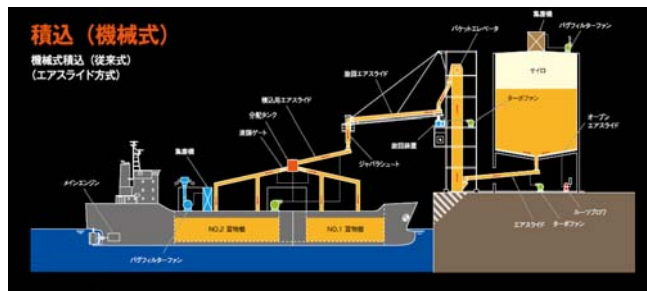


用途	旅客フェリー
船主	鹿児島市
建造造船所	中谷造船㈱
竣工年月	平成23年2月
長さ×幅×深さ	50.46×13.5×4.5(m)
総トン数	1,330GT型
載貨能力	旅客657名(車両搭載時) 大型車4台+乗用車37台
航海速力	11.0ノット
推進方式	二重反転ポッド
ディーゼル発電機	740kW×3基
インバータ制御装置	2基
推進用モータ	1000kW×2基

50

3. 499GTセメント船「安鷹」 (2)セメント荷役システム

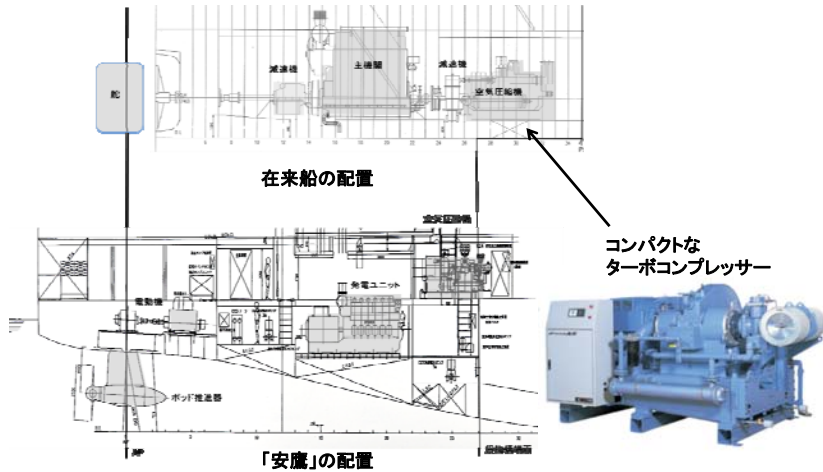
- セメント搬送動力は空気圧
- 水平移動はエアスライド方式
- 垂直移動はスクリュー方式
- 地上設備への揚荷は空気による圧送方式



51

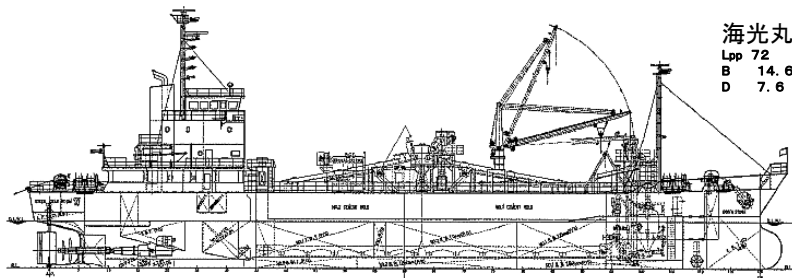
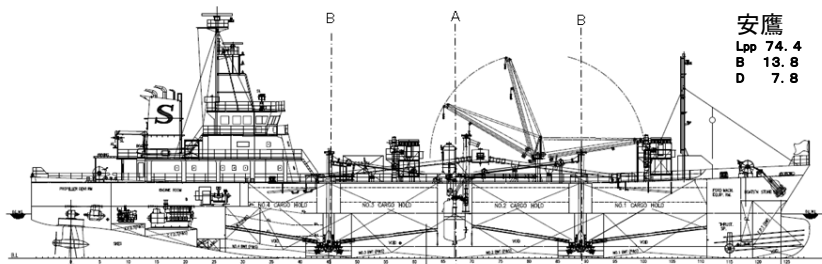
3. 499GTセメント船「安鷹」 (3) 機関室配置

・推進器、空気圧縮機ともモーター駆動にしたため、**機関室がコンパクトになり**、
貨物槽を船尾側に延長できた



52

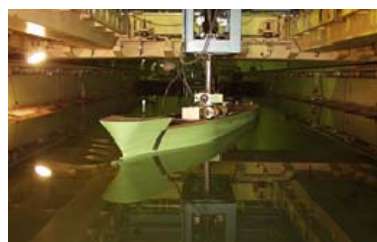
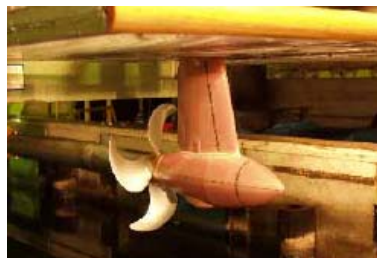
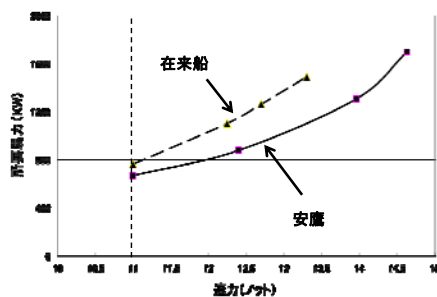
3. 499GTセメント船「安鷹」 (4) 全体配置



53

3. 499GTセメント船「安鷹」 (5) 省エネ性

- ・常用速力11ノットで**13%の省エネ**達成
(機関出力ベース)
- ・「安鷹」は在来船に対し、同じ出力なら、
よりスピードが出る船型となっている



54

4. 1330GT両頭フェリー「桜島丸」

(1) 概要

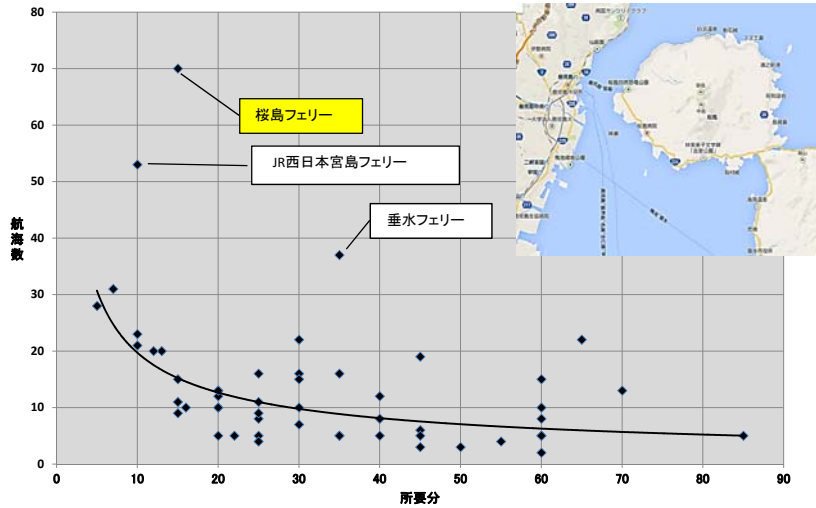


用途	旅客フェリー
船主	鹿児島市
建造造船所	中谷造船㈱
竣工年月	平成23年2月
長さ×幅×深さ	50.46×13.5×4.5(m)
総トン数	1,330GT型
載貨能力	旅客657名(車両搭載時) 大型車4台+乗用車37台
航海速力	11.0ノット
推進方式	二重反転ポッド
ディーゼル発電機	740kW×3基
インバータ制御装置	2基
推進用モータ	1000kW×2基

55

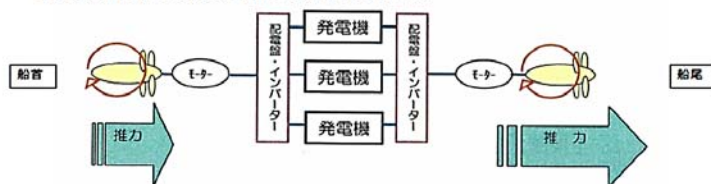
4. 1330GT両頭フェリー「桜島丸」 (2) 日本の短距離フェリー航路
 両頭両ランプ船と単頭両ランプ船の境は航路時間約30分

区間所要時間と1日の航海数



4. 1330GT両頭フェリー「桜島丸」
 (4) 桜島フェリー電気推進化の設計コンセプト

桜島丸と在来船の推進方式の比較



在来船は ・主機関の機械動力でプロペラを回す
 ・プロペラは、舵とともに、船首と船尾に各2基設置



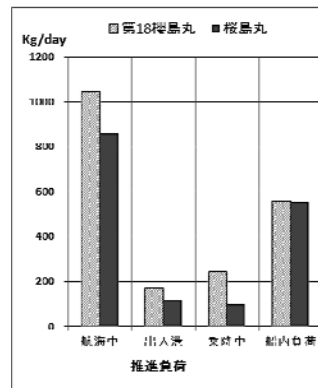
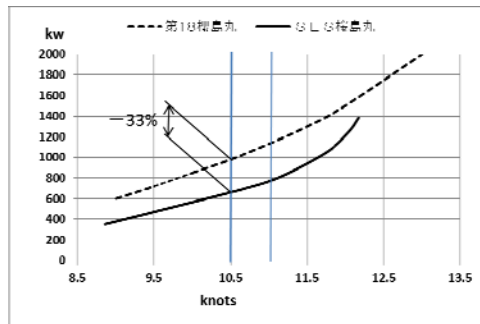
4. 1330GT両頭フェリー「桜島丸」 (5) 桜島丸の船型開発

- ・**広島大学**がCRPポッド方式の船型開発水槽試験を実施
- ・スケグ1枚では進路不安定となるため、スケグ2枚としてバトックフロー船型を根本から見直した。
- ・結果10%以上の省エネが期待された



4. 1330GT両頭フェリー「桜島丸」 (6) 省エネ性

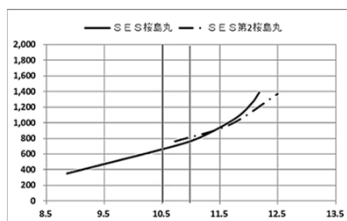
- ・試運転結果では**推進出力ベースで33%**削減燃料消費量ベースでは15%の削減と報告された
- ・鹿児島市による就航後の燃料消費量分析の結果、**航海中で18%**、乗降中及び船内電力を含む**全体で19%の削減**と判定



燃料消費モード	第18桜島丸	桜島丸	削減%
推進			
航海中	52.0	42.8	18
出入港	8.3	6.0	28
乗降中	12.0	4.9	59
負荷			
小計	72.3	53.7	26
船内負荷	27.7	27.6	1
合計	100.0	81.0	19

4. 1330GT両頭フェリー「桜島丸」 (7)「第2桜島丸」での改善

- ・防火構造等で船体は少し大きくなったが、船型改善により**高速域で抵抗低減**
- ・各ポッドの**モーター・インバータを2系統**とし冗長性を持たせた



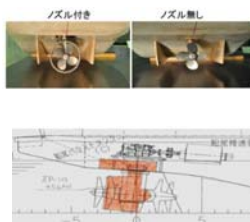
仕様	桜島丸	第2桜島丸	
総トン数	GT 1330	1404	
主要寸法	Lpp	50.8	52
	B	13.5	13.5
	D	4.2	4.2
航海速度	knots 11	11	
旅客定員	657	600	
搭載車両台数	大型車	9	10
	乗用車	32	30
推進システム	発電機間	800kw*3	800kw*3
	推進電動機	1000kw*2	500kw*4
	インバータ数	2	4
	CRPポッド数	2	2



60

4. 1330GT両頭フェリー「桜島丸」 (8)コストダウン

- ・CRPポッド船の速度制御にはインバータが必要であるが、CRPポッドとインバータの双方でコストが高止まりしている
- ・航路時間15分程度の短距離フェリーでは常用速度10.5ノット以下の時間帯が長く、プロペラ荷重度が平均的に高くなる。このような条件では**ダクト付のシングルポッドでほぼ同等の推力が得られる**ことが、広島大学の水槽試験で明らかになった。
- ・両頭ポッドSESの普及のためにはコストダウンが不可欠



61

5. 5681GT貨客船「橘丸」 (1)概要



建造コンセプト

①環境負荷低減

- ・2軸船型を1軸船型に
- ・主機とポッドでCRP効果
- ・浦賀水道は主機のみで

②快適性の向上

- ・低騒音、低振動

③安全性・就航率向上

- ・ポッドと2つのパウラスタで厳しい海象条件でも確実に離着岸



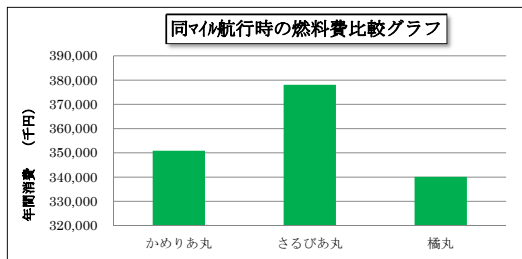
用途	貨客船
船主	東海汽船㈱・JRTT
建造造船所	三菱重工
竣工年月	平成26年6月
長さ×幅×深さ	109.2×17.0×8.95(m)
総トン数	5681GT型
旅客定員	御蔵島まで596人 八丈島まで1000人
載貨重量	1,427トン
航海速力	19.0ノット
推進方式	タンデムハイブリッドCRP
主機機関	4350kW(OPP)
推進用モータ	1500kW(インバータ)
発電機関	1425kW×3

62

5. 5681GT貨客船「橘丸」 (2)省エネ性

同航路に就航していた「さるびあ丸(4965GT)」との単純比較で

- ・海上試運転結果では19ノットでの推進用燃料消費量は**15.6%削減**
- ・停泊中を含む**年間の燃料費では約10%削減**



	かめりあ丸	さるびあ丸	橘丸
竣工年月	1986.3	1992.12	2014.6
現在の就航航路	海外(売却)	神津島航路	八丈島航路
総トン数 t	3751	4965	5681
全長 m	102.87	120.54	118.0
空幅 m	15.0	15.2	17.0
満載喫水 m	4.75	5.4	5.4
乗客数(沿海)	1765	1927	1000
コンテナ積載数	25	30	34
推進方式	主機2機2軸	主機2機2軸	タンデムハイブリッドCRP
主機最大出力kw	2648*2	4160*2	4350*1
ポッド出力 kw	-	-	1500*1
航海速力 knots	17.5	20.0	19.0



63

5. 5681GT貨客船「橘丸」 (3)操船性能

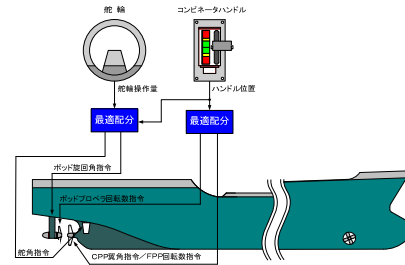
・通常航海

「操船統合制御システム(MICOS)」により、**1軸主機方式船と同様の操作**で、前後プロペラの最適配分が自動的に決定され、同時に誤操作も防止できる

・離着桟時

ポッドの推力が大きく、微調整可能のため、急な潮流、風の変化があっても**その場回頭が速い**

真横接岸では、メインプロペラを前後移動、バウスラスタ及びポッド推進器を横移動として使用することで**真横移動が簡単**で、船長一人で操船が可能。



64

5. 5681GT貨客船「橘丸」 (3)操船性能
御蔵島港着桟の様子



65

6. 749GT ケミカルタンカー「新進丸」(2軸CPP) (1)概要

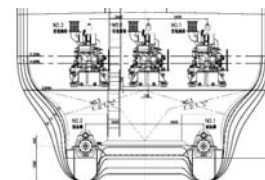
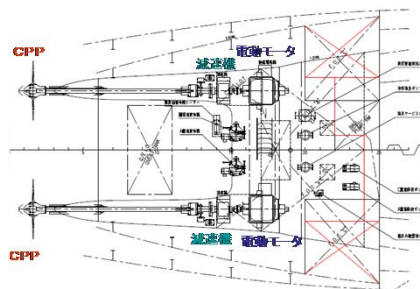


用途	液体化学薬品ばら積船 兼 油タンカー	
船主	(株)日隆	
建造造船所	(有)福島造船鉄工所	
竣工年月	平成24年4月	
長さ×幅×深さ	69.95×11.50×5.20(m)	
総トン数	749GT型	
載貨重量	1,794トン	
航海速力	12.0ノット	
推進方式	二軸可変ピッチプロペラ	
推進システム	ディーゼル発電機	600kW×3基
	インバータ制御装置	—
	推進用モータ	500kW×2基

6. 749GT ケミカルタンカー「新進丸」 (2)低コスト化への挑戦

開発コンセプト

- ・一定速かご型モーターとCPPにより**建造コストを抑制**
- ・ラインシャフト2軸で、**大直径・低回転のプロペラ**を用いて効率を向上
- ・ツインスケグ船型により、シャフトブラケットを無くし推進性能を向上



6. 749GT ケミカルタンカー「新進丸」

(3) 開発成果の検証

➤ 省エネ性能

- ・海上公試の結果計画通りの性能を得た。
類似のラインシャフトCRP船に対し推進出力ベースでは若干劣るものの、電気口
スが小さいことで燃料消費量ではほぼ**同レベル**が達成されている

➤ 運動性能

- ・2軸CPPにより、自在な操船が可能であり、両頭フェリーのように超微速を多用し
ない貨物船ではインバータなしでも**十分な操船性能**が確認された

➤ コスト評価

- ・在来船に対し10%以内の価格上昇という目標に、ほぼ見通しがついた

➤ 総合評価と今後の課題

- ・2軸CPPは幅広船型ではより有利な船型
- ・エンジン台数を2台に圧縮するには、モーターの起動電流を抑えることが必要
- ・スケグ部の工作方法の改善

68

第4部「内航電気推進船の未来」目次

「環境に優しい」「人に優しい」究極の船は電気推進

もっと環境にやさしい船を！

- 1 NYKのスーパーエコシップ計画＝目標は燃料電池船
- 2 内航海運におけるCO2削減の展望
 - (1)内航海運のCO2排出量
 - (2)モーダルシフトの推進と電気推進化
- 3 SESの近未来＝ハイブリッド化
 - (1)発電システムの課題
 - (2)短距離フェリーにおける先行事例
 - (3)タグにおける先行事例
- 4 SESの近未来＝電気系の新技術
 - (1)回転機の効率改善
 - (2)インバータの効率改善

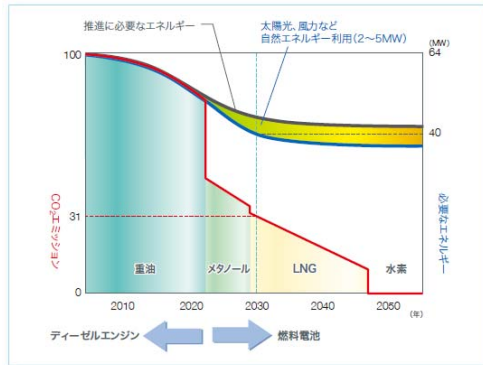
2. もっと人に優しい船を！

- 5 居住性の向上＝更なる騒音・振動の低減
- 6 高度船舶安全管理システムの普及

69

1 NYKのスーパーエコシップ計画=目標は燃料電池船

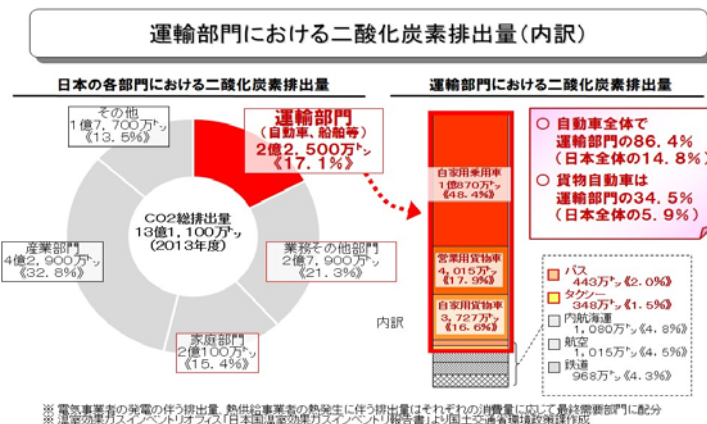
- ・2030年にはハイブリッド化でCO2排出量69%削減
- ・2050年には水素と自然エネルギーによりCO2排出量ゼロ



70

2 内航海運におけるCO2削減の展望 (1)内航海運のCO2排出量

- ・内航海運のCO2排出量は運輸部門全体の5%以下
- ・すでに産業基礎物資の8割は内航海運が分担=更なる省エネの追及
- ・トラックから海運へのモーダルシフトの拡大



71

2 内航海運におけるCO2削減の展望
 (2)モーダルシフトの推進と電気推進化
 ①内航フィーダー輸送の拡大

井本商運コンテナフィーダー輸送ネットワークの成長



大型化の推進



540TEU Series



なとり	
総トン数(G/T)	7390
重量トン数(D/W)	6963
主機出力(PS)	7046
速力(ノット)	17.71
最大積載(TEU)	548
全長/全幅(m)	136.25/21.0
冷凍コンテナ積載能力(個)	100
建造(竣工)	2015年12月

72

2 内航海運におけるCO2削減の展望
 (2)モーダルシフトの推進と電気推進化 ②電気推進船の登場

・前方ブリッジの採用が可能に ・船型は2軸CPP

210TEU Series



ふたば(電気推進船)

総トン数(G/T)	749
重量トン数(D/W)	1780
主機出力(KW)	
推進モーター	880x2基
速力(ノット)	14.5
最大積載(TEU)	211
全長/全幅(m)	93.90/14.0
冷凍コンテナ積載能力(個)	56
建造(竣工)	2014年12月

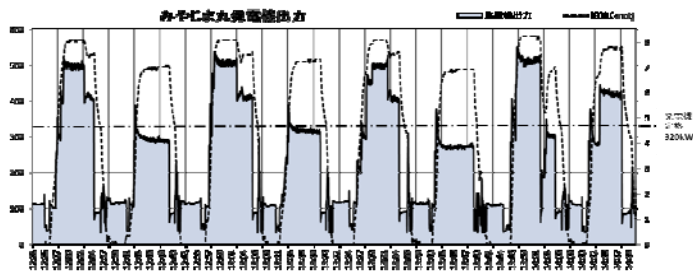
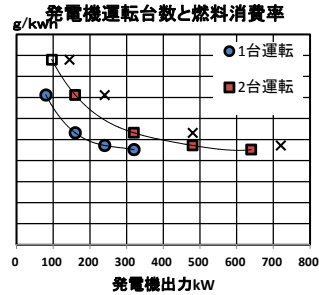


73

3. SESの近未来=ハイブリッド化 (1)発電システムの課題 ①短距離フェリーの出力変動

・短距離フェリーでは乗降中の低負荷に伴う燃料消費率の悪化と加速時の黒煙が問題

・エンジン1台運転としピーク時の電力量を蓄電池で補えば、エンジンは最も効率の良い状態で運転できる

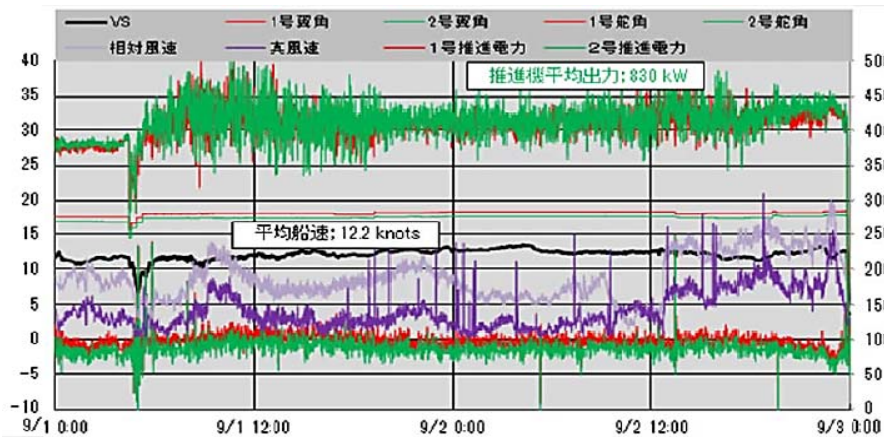


みやじま丸の運転パターン例 (JR西日本宮島フェリー/中谷造船提供)

74

3. SESの近未来=ハイブリッド化 (1)発電システムの課題 ②航海中の出力変動

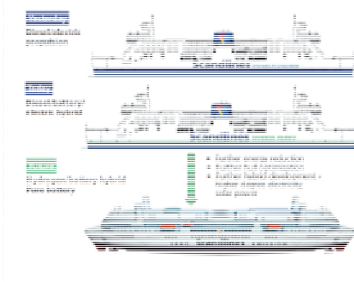
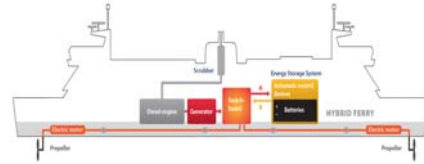
- ・常用航海でも常時大きな負荷変動があり、発電エンジンはその変動に追従して燃焼状態を変えている
- ・変動分を蓄電池に負担させれば、出力を効率の高い状態に維持出来る



75

3. SESの近未来＝ハイブリッド化 (2)短距離フェリーの先行事例

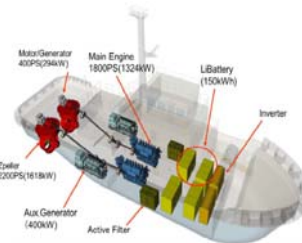
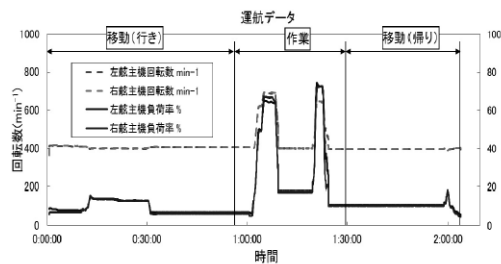
- ・欧州の短距離フェリーではLi-ion電池によるフェリーのハイブリッド化が進んでいる
 目的は、乗降中の発電エンジンの燃料消費率の悪化対策と思われる
- ・発電機関と蓄電池によるハイブリッド化を達成したScandlines社では燃料電池によるハイブリッド化を最終目標としている



Corvus AT6500 (6.5kWh)
399モジュール搭載

3. SESの近未来＝ハイブリッド化 (2)タグにおける先行事例

- ・大容量エンジンが必要な作業時間はごく僅かで、移動中は低負荷を余儀なくされ、燃料消費率が非常に悪い。又離着岸時の黒煙の排出が港周辺の環境問題となっている
- ・蓄電池により、移動と作業支援ができるタグが就航している(京浜ドック/ニイガタ)



4. SESの近未来＝電気系の効率改善 (1)回転機の効率改善

■ 各発電方式の特徴

発電方式	長所	短所	価格	運用効率
かご型誘導機 ・ 排熱回収発電機	<ul style="list-style-type: none"> 最も安価 発電機構造は簡素、軽量 ブラシが無く、発電機のメンテナンス性が優れる 	<ul style="list-style-type: none"> 増速ギアが必要のためギアのメンテナンスが必要 一定速のため効率が悪く、出力が安定しない。 	◎	△
ダブルフェド誘導機 (巻線型誘導機)	<ul style="list-style-type: none"> 同期機より安価 範囲は広くないが可変速が可能(可変速度範囲は変換装置の容量に依存) 	<ul style="list-style-type: none"> 増速ギアが必要のためギアのメンテナンスが必要 ブラシのメンテナンスが必要 可変速範囲が狭いので運用効率が同期機に劣る 低速大容量化は困難 	○	○
同期機 ・ 電気推進 ・ 軸発電機	<ul style="list-style-type: none"> ダイレクト駆動はギアのメンテナンス不要 広い可変速範囲 	<ul style="list-style-type: none"> 全容量の変換装置が必要のため高価 ブラシのメンテナンスが必要 ダイレクト駆動は大形化 	△	○
永久磁石同期機 ・ 艦船	<ul style="list-style-type: none"> ダイレクト駆動はギアのメンテナンス不要 広い可変速範囲 最も高効率 ブラシが無く、発電機のメンテナンス性が優れる 	<ul style="list-style-type: none"> 全容量の変換装置が必要のため高価 ダイレクト駆動は大形化するが、同期機よりは小型化 	△	◎

78

4. SESの近未来＝電気系の効率改善 (1)回転機の効率改善 ①永久磁石同期機

- ・永久磁石同期機はかご型より2～3%効率がよく、電車等で普及している
- ・大型化が進んでいる
- ・低速が可能のため減速機が不要



3MW / 15rpm
初号機工場試験状況



初号機設置、稼働状態
(J100-2.7, J Power 響灘にて)

備考：トルク比較：[3MW/15rpm機]は、概ね[5万馬力/180rpm機]と同一体格となる。

79

4. SESの近未来＝電気系の効率改善
 (1)回転機の効率改善 ②高温超電導モーター

- ・効率は永久磁石式より高い(冷却システムによるロスあり)
- ・よりコンパクトで減速機が不要
- ・現在、川重－東京海洋大により大容量化の研究が進んでいる



80

4. SESの近未来＝電気系の効率改善
 (2)インバータの効率改善

現在主流のパワー半導体である「IGBT」に代り、将来の変換器に於ける半導体素子

SiC 半導体

SiCの材料:シリコンに代り、炭化ケイ素(シリコンカーバイド)

→ 優れた物理的、化学的性質を有する

<特長>:低損失、高速、高温

・低損失、高速・・・スイッチング損失が発生しない

効率の大幅な改善

現状(IGBT)インバータ=96~97% → SiCインバータ=99.6~99.7% に

・高温・・・200℃でも動作可能であり、冷却装置が小型化

<結果>現状インバータと比較し、寸法で1/10程度、効率で90%程度の改善が可能

→大幅は省エネCO₂削減が可能

<難点>

(1)歩留まりが悪く、大口径ウエハーが出来ない

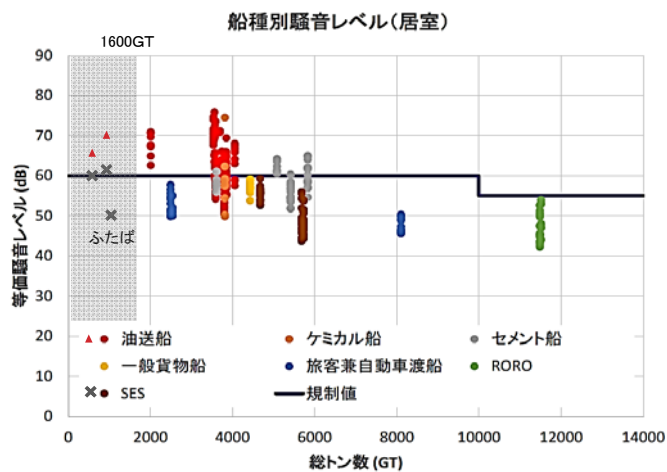
→インバータとしての容量が20kW程度まで

(2)高コストの為、量産化によるコスト低減が必要

81

5. 居住性の向上＝騒音・振動の低減
(1) 内航船の騒音レベル(JRTT2008・2015年度調査研究)

- ・SESはIMO新騒音基準(1600GT以上)を満足、1600GT未満もほぼ満足
- ・SESでは発電機運転台数の削減により改善



82

5. 居住性の向上＝騒音・振動の低減
(2) 更なる騒音・振動低減に向けて

- ・電気推進船の機関部と居住区に分離で50dB以下に(「ふたば」の例)
- ・蓄電池と燃料電池の時代になればエンジンの騒音・振動がなくなる



83

6. 高度船舶管理システムの利用拡大

- JRTT実用化支援制度では、主機用(阪神内燃機)は2006年度から、電気推進用(ヤンマー)は2007年度から実施し、2015年度までに、主機用11隻、SES13隻に搭載予定

84

第4部「内航電気推進船の未来」 未来の内航船のイメージ



85

まとめ

- SESを通じて、内航電気推進船の基礎的な技術が確立
- まだまだ改善課題がある
 - 普及の足枷が機器の高コスト
 - 例えば、インバータなら同一性能で陸用の価格は半分ぐらい規格で縛られていると言うがもっと知恵を絞る必要がある
- クリーンエネルギーへの転換は必ず来る
 - 準備は早ければ早い方がよい
- 電気推進船の技術はまだまだ欧米に追いついていない
 - 海事局とJRTTの更なるリーダーシップ、そして大手造船所の積極的な参画に期待したい

ご清聴ありがとうございました。