

小型高速旅客船省エネ運航調査 報 告 書

(小型高速旅客船省エネマニュアル)

平成 2 5 年 3 月

財団法人 九州運輸振興センター

は し が き

本報告書は、日本財団の助成を受け実施した小型高速旅客船省エネ運航調査研究を取りまとめたものです。

近年、交通運輸業、特に運航に多くの燃料油を消費する旅客航路事業においては、燃料油の高騰・高止まりの与える影響により厳しい航路経営を強いられている状況にあります。

このため、各旅客航路事業者は、バンカーサーチャージ（燃料油価格変動地調整金）の導入や減速運航の実施等による運航ダイヤの見直しなどにより、その影響軽減が図られています。

このような状況に加え、離島航路を運営する旅客航路事業については、離島の人口減少や地域経済の衰退等により、一層厳しい経営状況にあり、さらなる改善のための対応策が求められる状況にあります。

本調査研究は、「さらなる改善のための対応策」の一つとして、離島が多く小型高速旅客船を使用している九州の離島航路事業者等を調査対象に、小型高速船の運航状況等実態把握とこれを踏まえた省エネ運航のあり方について検討を進め、小型高速旅客船を使用する旅客航路事業者の経営改善に寄与することを目的に実施したものです。

本報告書は、小型高速旅客船を運営する離島航路事業者へのヒアリング及び実地乗船調査結果等を基に「小型高速旅客船省エネ調査研究委員会」において審議・検討頂いた上で、「小型高速旅客船省エネマニュアル」として取りまとめ頂きました。

この取りまとめ結果である「小型高速旅客船省エネマニュアル」が、離島航路を始めとする小型高速旅客船を運航する旅客航路において省エネ推進の取組みの一助となり、ひいては航路経営の維持に貢献できることを希望いたします。

なお、本省エネマニュアルの利用促進のために、今後、九州旅客船協会連合会と連携しながら周知広報活動を積極的に実施して参ります。

最後に、本調査研究を取りまとめるに当たり、多大のご指導ご協力を頂きました大阪府立大学大学院工学研究科片山徹准教授（委員長）を始め調査研究委員会の各委員・オブザーバーの皆様、実地調査等を担当して頂きました（独）海上技術安全研究所の皆様並びに調査にご協力いただきました旅客航路事業者等関係者の皆様に、改めて厚くお礼を申し上げます。

平成25年3月

財団法人 九州運輸振興センター
会 長 田 中 浩 二

小型高速旅客船省工不調査委員会 委員名簿

(敬称略、順不同)

区 分	氏 名	所 属
委 員 長	片 山 徹	大阪府立大学 大学院工学研究科 航空宇宙海洋系専攻 海洋システム工学分野 准教授
委 員	菅 澤 實	マリンデザインオフィス
〃	堀 井 正 信	ヤンマー造船(株) 商品統括部 部長
〃	木 原 廣 道	九州旅客船協会連合会 理事(崎戸商船(株)取締役)
〃	佐々木 健宗	中国旅客船協会連合会 (瀬戸内海汽船(株)航路事業部 次長)
〃	吉 田 稔	(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 共有船舶建造支援部 部長
〃	小 宮 範 幸	九州運輸局 海事振興部長
オブザーバー	市 川 吉 郎	中国運輸局 海上安全環境部長
〃	神 近 泰 裕	九州運輸局 海事振興部 離島航路調整官
〃	園 達 也	九州運輸局 海事振興部 船舶産業課長
〃	才 田 勝	九州運輸局 海事振興部 旅客課 専門官
事 務 局	師 岡 照 房	(財)九州運輸振興センター 専務理事
〃	藤井 真紀子	(財)九州運輸振興センター
〃	田 村 兼 吉	(独)海上技術安全研究所 運航・物流系 研究統括主幹/系長
〃	宮 崎 恵 子	(独)海上技術安全研究所 運航・物流系 上席研究員
〃	平 田 宏 一	(独)海上技術安全研究所 動力システム系 センター長
〃	辻 村 一 郎 (米 川 佳 宏)	(独)海上技術安全研究所 企画部 産官学連携主管

※ () は上記委員の前任者

目次

1. はじめに	1
2. 省エネルギー対策の検討手順	2
2.1 エネルギー消費を含む高速船の理解	2
2.2 エネルギー消費に関する内訳の解析	6
2.3 運航データ等の見える化	7
2.4 省エネルギー項目の検討	9
3. 各省エネルギー対策の着眼点	10
3.1 運航管理	10
(1) 減速運航	10
(2) 排水量及びトリム管理	11
(3) 主機関の稼働時間の短縮	13
(4) 季節、運航状態に応じた各機器の節電	14
(5) 空調、照明の合理化	14
(6) 航海計画の見直し	15
(7) その他の合理的運航	15
3.2 保守管理	16
(1) 推進抵抗の変化傾向把握	16
(2) 主機関の性能保持	17
3.3 現行船における省エネルギーに資する機器の導入	18
4. 省エネルギー対策の実施	21
参考文献	21
小型高速旅客船運航事業者の省エネルギーチェックシート	22

1. はじめに

旅客船事業は近年厳しい経営状況が続いているが、特に、離島航路事業については、人口減少や地域経済の衰退により、図1が示すとおり、事業者数、航路数、隻数、輸送人員及び輸送人キロともに減少する傾向にあり、営業収入も平成21年度から著しく減少している。平成21・22年度は燃料費の価格が下がったため経常収支率の改善が見られたが、昨今の円安により燃料費は高騰しており、一層厳しい状況となると予測される。このような状況下で生活交通の存続を図るため、平成23年度からは従前の離島航路構造改革補助制度を他の支援制度と統合した地域公共交通確保維持改善事業の中で、運営費補助と構造改革補助によって引き続き航路維持を図ることとされている。運航事業者においては、これまでも様々な自助努力がなされているが、なお一層の経営改善が求められているところである。

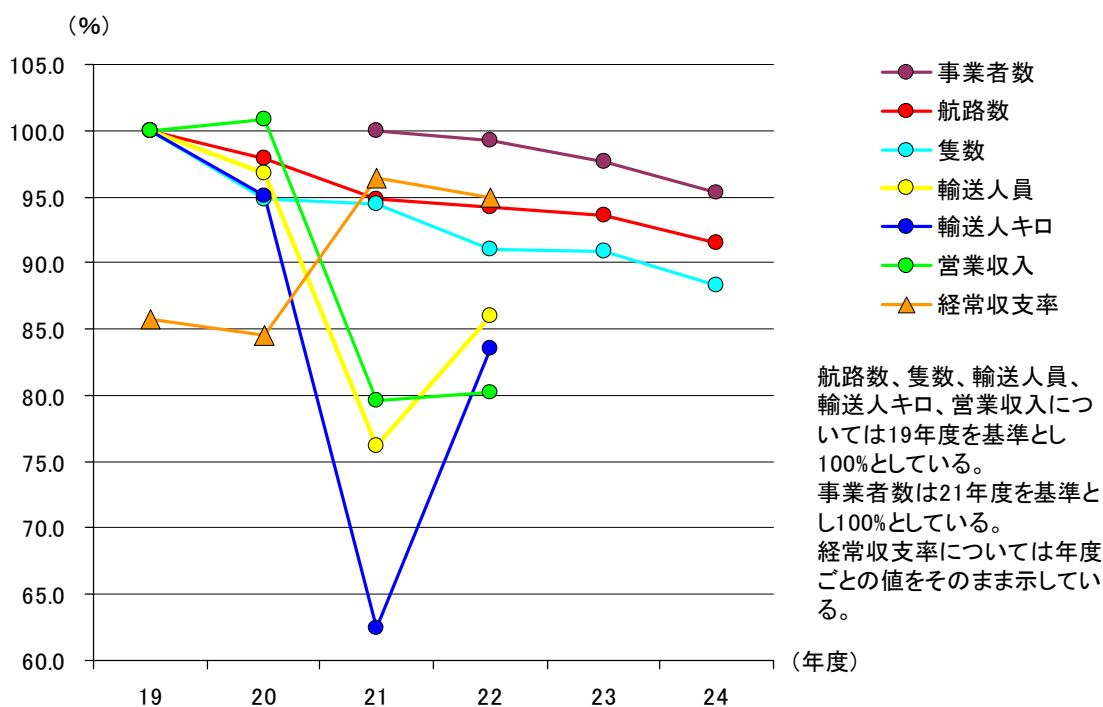


図1 離島航路事業の推移¹⁾

本マニュアルは、小型高速旅客船を対象として、運航等の省エネルギー化を図り、もって運航事業者の経営改善を図ることを目的とし、運航事業者におけるこれまでの経営改善状況の確認及びさらなる自助努力の一助とするため作成したものである。

本マニュアルでは、最初に、**省エネルギー対策の検討手順**について紹介する。次に、

省エネルギー対策には様々な方法があるが、それらの方法がどのように効果があるのかを、**各省エネルギー対策の着眼点**として解説する。最後に、**各省エネルギー対策のチェックシート**をまとめている。このチェックシートは、運航事業者が実際に省エネルギー対策を検討する際、また、社内教育を実施する際に用いることができるものである。

なお、本マニュアルは平成 23 年度から 24 年度に実施した主として平水域の小型高速旅客船 8 隻の乗船調査（以下、乗船調査という）、文献調査及び造船・運航の専門家からの聞き取りにより得られた知見に基づき作成している。

2. 省エネルギー対策の検討手順

小型高速旅客船の省エネルギー対策を進めるためには、まず、**小型高速旅客船の特性について理解**することが第一歩である。次に、自船がどのような形でどのくらいのエネルギーを消費しているかという**エネルギー消費の内訳を解析し確認**する。そして、自船の運航データ等を、いわゆる**見える化をすることにより内容を把握**する。これらを行った上で、**自船に適用する省エネルギー項目を検討**することにより、自船に適した省エネルギー対策を行うことができる。また、これらの検討手順と結果を、**社内外の関係者の間で共有**することにより、運航事業者の省エネルギー対策がより充実したものとなり、**運航事業者の努力が広く認められる**こととなる。図 2 は以上の省エネルギー対策の検討手順を示している。

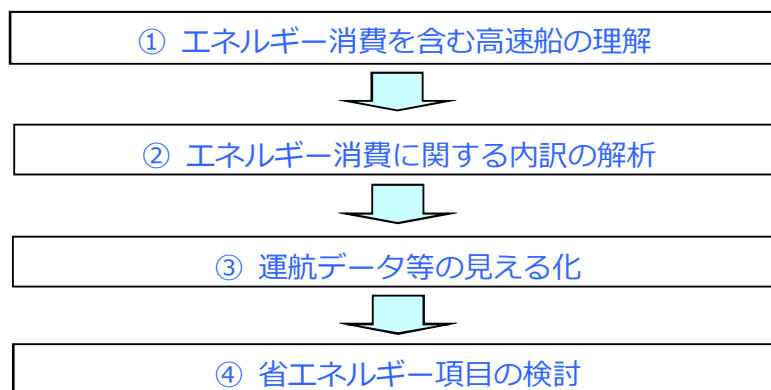


図 2 小型高速旅客船の省エネルギー対策の検討手順

2.1 エネルギー消費を含む高速船の理解

小型高速旅客船の効果的な省エネルギー対策を実施するためには、まず、エネルギー消費を含む高速船の特性を理解する必要がある。ここでは、高速船の一般的特性を解説する。

滑走型と排水量型

船が静かに水に浮かんでいるとき、船の重量は船を下から上へ押し上げようとする水の力（浮力）とちょうど釣り合いがとれている。船が走り出すと、この重量と浮力の他に、船底を流れる水流による圧力変化によって上向きの力（揚力）が船体に作用するタイプの船がある。どんどん速力を上げていくと最後には船の重量の大部分が、この揚力によって支えられるようになる船を滑走型、速力を増してもそれほど揚力を発生しない船型を排水量型と呼ぶ（図3参照）。小型高速旅客船の多くは、この中間の特性を持つ半滑走型に分類される。

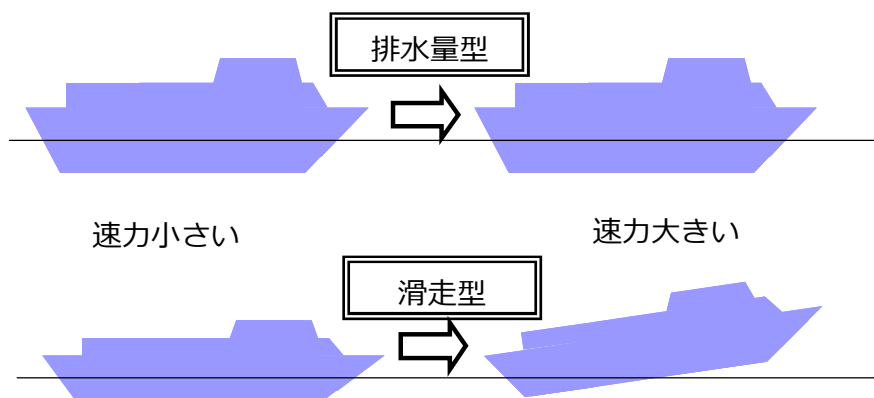


図3 排水量型と滑走型の滑走姿勢

船の抵抗

船が走るときに、船体に対していろいろな抵抗が発生する。図4は排水量型と滑走型の速力と抵抗の関係を示す。抵抗のなかでも最も影響が大きいのが、摩擦抵抗と造波抵抗の2つである。

船が低速で走っている時は、水と船体とが接触することによって生じる摩擦抵抗が抵抗の大部分を占めている。船底にフジツボ等がつくと速力が落ちるのはそのためであり、船底を洗浄して滑らかにすることにより摩擦抵抗を小さくすることができる。滑走型の船型では、揚力により船を浮かすことにより水と船体の接触面積を小さくして、高速時の摩擦抵抗を減らしている。

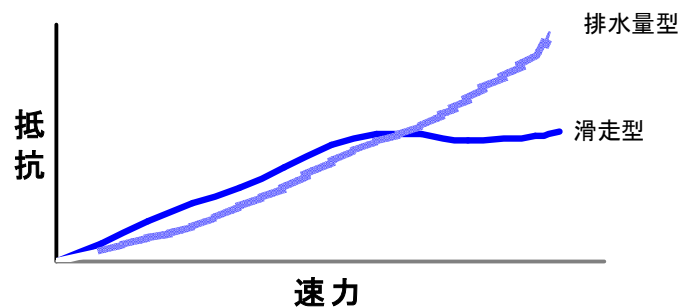


図4 船の抵抗

一方、造波抵抗は、船が波を起こすことで生じる抵抗のことである。摩擦抵抗が速力の二乗に比例して大きくなるのに対し、造波抵抗は速力の三乗に比例して大きくなるので、ある程度以上の速力では、造波抵抗が抵抗の大部分を占めている。

ただし、造波抵抗は速力に比例して単純に増加するのではない。船首付近の起こす波と船尾付近の起こす波が互いに干渉して、波を強め合ったり打ち消し合ったりするので、速力が増すと造波抵抗は増加しながらも速力の変化に応じて山と谷が繰り返し現れる（図5参照）。この最後の山をラストハンプとよんでいる。

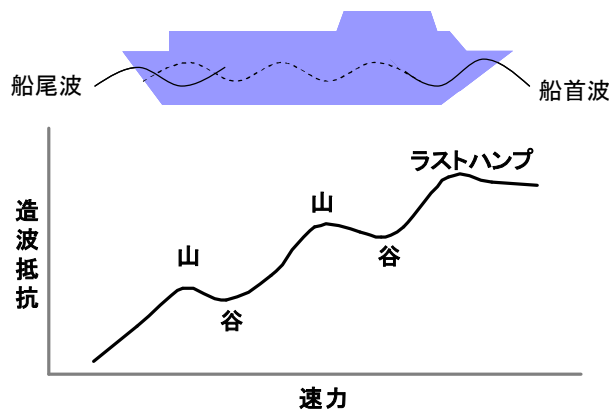


図5 造波抵抗

排水量型と滑走型の一般的な速力を考慮し、速力と抵抗の関係を整理すると図6のようになる。排水量型の船は造波抵抗のラストハンプより遅い速力で航走し、BよりもAの位置で航走することが効率がよいといえる。一方、半滑走型や滑走型の船では、造波抵抗のラストハンプより速い速力で、摩擦抵抗の増加を抑え航走している。滑走状態でも速力が増すとエネルギー消費は増加するという傾向は排水量型と変わらないものの、最適な航走状態では速力の割にはエネルギー消費が抑えられる。さらに速力を増すとエネルギー消費の増加が再び著しくなり、速力に比してエネルギーの無駄が大きくなるので、DよりもCの位置で航走することが効率がよいといえる。

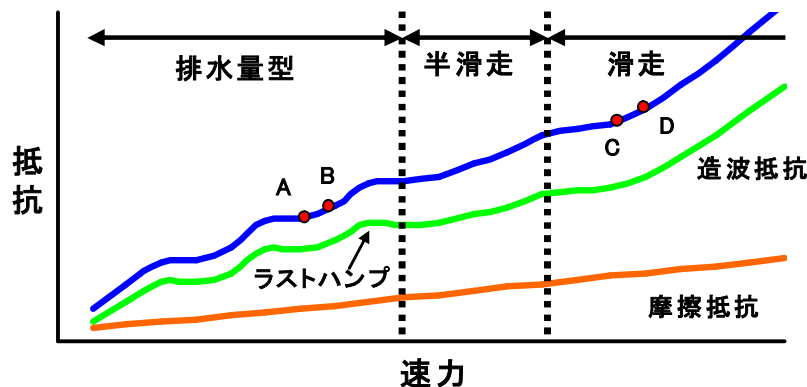


図6 速力と抵抗の関係

適切なトリム

船のトリムとは船首喫水と船尾喫水の差をいう。排水量型船では平水中のトリムを考えればよいが、半滑走型船や滑走型船で重要なのは走行時のトリムである。排水量型船のトリムが浮力と重力のバランスのみで決まるのに対して、半滑走型船や滑走型船の走行トリムは重心・浮力・揚力のバランスによって決まる。速力に応じて適切なトリムは少しずつ異なるが、一般に小型高速旅客船の滑走時は、やや船尾トリムの状態が適切といえる。

「とも曳き」といって船尾トリムが大きすぎる状態になると、船尾から出る波が船首からくる波より大きくなり、舵効きが悪くなり、速力も低下する。一方「前突っ込み」といって船首トリムが大きい状態では、追い波により舵が効かない状態となり、速力を落とさなければ横向きになってしまうブローチング現象を引き起こしやすくなる。また、水に浸かっている浸水表面積が過大となり速力が伸びることはなく、船首における波かぶりも多くなる。

図7は一般的な高速船のトリムと抵抗との関係である。適切な滑走姿勢を確保するための船尾トリムは、船型、大きさ、速度によって異なるが、概ね3度から5度程度である。このような適切なトリムを確保することが重要であり、そのためには、完成重量重心表に記載されている自船の設計上の搭載状態を確保するとともに、重量物を搭載する場合は、初期トリムを維持するまたは若干船尾トリムとなるように設置し、左右舷のバランスにも留意する必要がある。

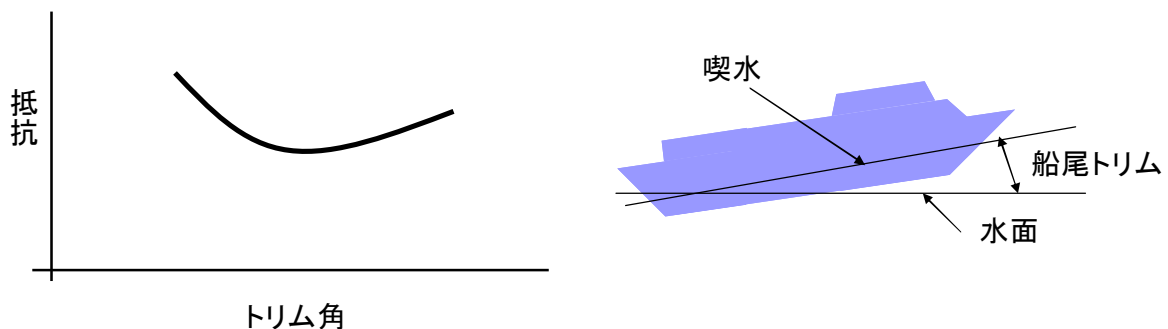


図7 一般的な高速船でのトリムと抵抗の関係

波浪の影響

また、高速船の速力は波浪状態に大きく影響される。波浪状況が悪いときに定時運航を確保するために速力を維持すると、大きな出力を必要とする。よって、波浪状態が悪い場合は、速力を落とし、安全に十分注意した上で最適となるような針路を選択することが重要である。

2.2 エネルギー消費に関する内訳の解析

以上のとおり、2.1 節では小型高速旅客船の特性について紹介した。検討手順に従い、引き続き 2.2 節では、小型高速旅客船のエネルギー消費の内訳を解析する。この解析には、乗船調査を行った、就航中の小型高速旅客船 A 船を対象として結果例を示す。表 1 に A 船の要目概要と運航形態を示す。

表 1 小型高速旅客船 A 船の要目概要と運航形態

要目等	A 船の値	要目等	A 船の値
全長	約 26m	満載排水量	約 55 トン
垂線間長	約 22m	連続定格出力	約 600kW × 2 基
幅	約 5m	速力	約 20 ノット
深さ	約 2m	航行時間(片道)	約 45 分
満載喫水線	約 1m	1 日の運航数	4 往復
総トン数	約 58 トン	備考	バウスラスタを装備

図 8 は、電力調査表と海上公試運転成績書に基づいた小型高速旅客船 A 船のエネルギー消費の内訳の解析例である。A 重油 1kg100 円として、航行時、入出航時、アイドリング時、停泊時それぞれのフェーズにおいて、各機器が稼働しているときの 1 分当たりの燃料費を示している。停泊時以外は、主機関の割合が大きく、特に航行時は主機関の燃料費が多くなっている。

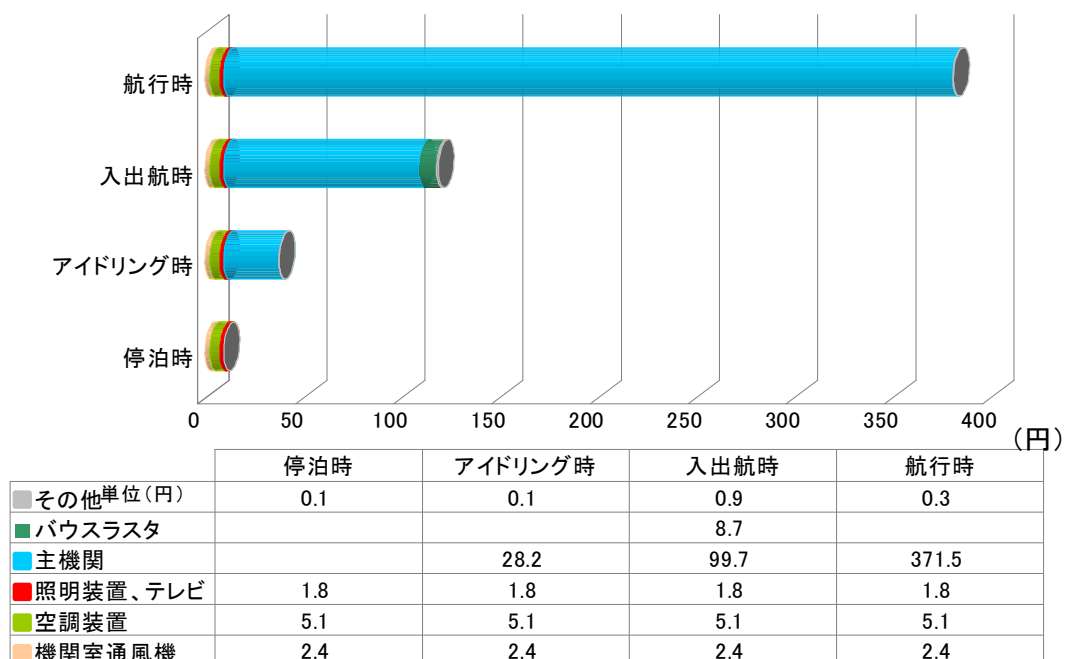


図 8 A 船の各機器で消費する燃料費

なお、これは電力調査表による計画値であり、実際のエネルギー消費の内訳の解析では、運航の各フェーズのエネルギー消費状況を反映させることで詳細に確認することができる。

2.3 運航データ等の見える化

主機関の省エネルギー対策を詳細に検討するためには、運航の各フェーズの運航データを収集・蓄積し、電子ファイル化して表やグラフ表示することで、いわゆる運航データ等の見える化を行い、現状を把握、理解することがまず第一歩となる。そのためには、**自船位置、針路、速力、機関回転数等の運航データを簡便に収集することができる計測装置が用意できると作業の効率があがる**。図 9 に、乗船調査で使用した計測装置の概要図を、図 10 には機関室での計測用パソコンの設置状況を示す。

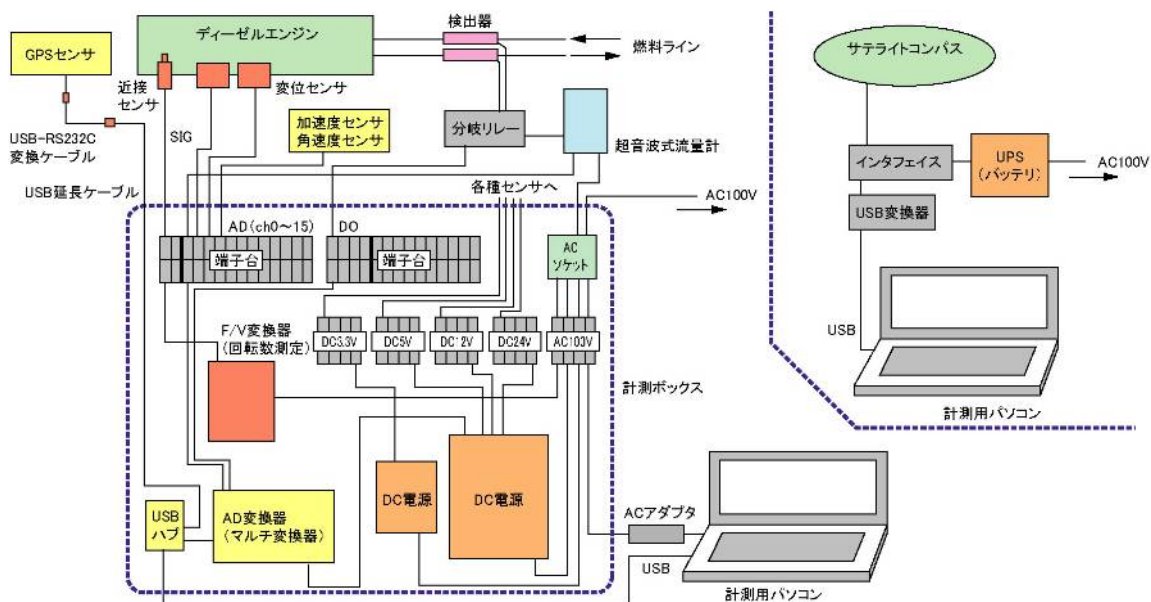


図 9 乗船調査に用いた計測装置の概要図



図 10 機関室に設置した乗船調査中の計測用パソコン

図 11 には、乗船調査において計測した A 船の運航データ例を、図 12 には参考として、ウォータージェット式の高速船の運航データ例を示す。

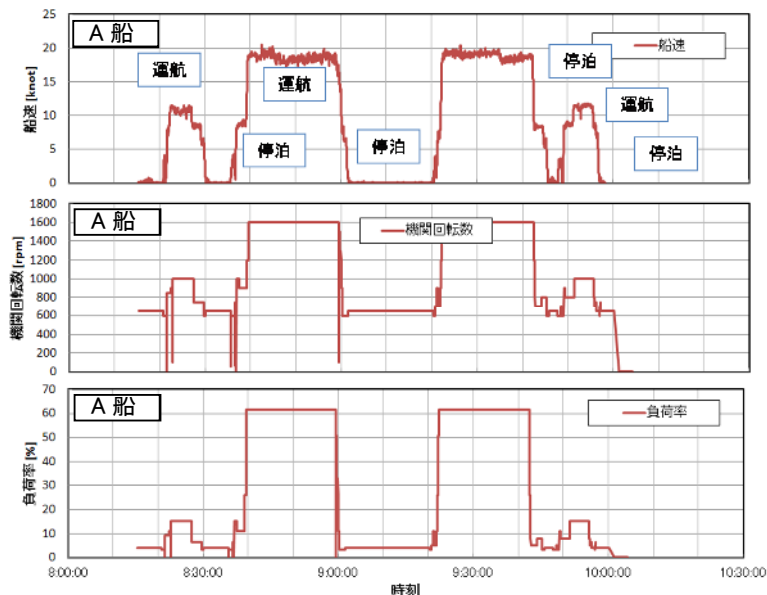


図 11 計測装置による A 船の運航データ例－主機の運転時間と負荷特性

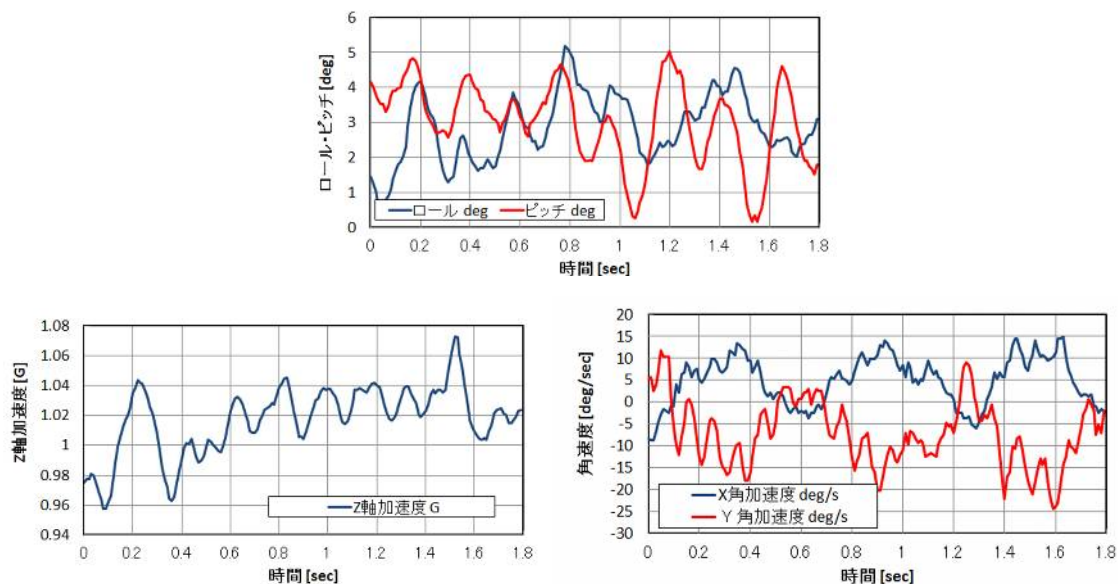


図 12 計測した運航データ例（ウォータージェット式【参考】）－船体動揺と加速度

運航データの見える化の例として、図 13 に標準的な運航における A 船の一航海当たりの燃料費内訳を示す。標準的な運航の例であるため、乗船調査で計測した運航データではなく、図 8 と同様に電力調査表に基づき、これまでの計算と同じく A 重油 1kg100

円としている。なお、一航海には、航行時、入出航時、アイドリング時、停泊時各フェーズを含んでいる。図 13 から、A 船の船舶及び運航状況では、エネルギー消費の内で主機関の占める割合がたいへん高いことが改めて確認できる。

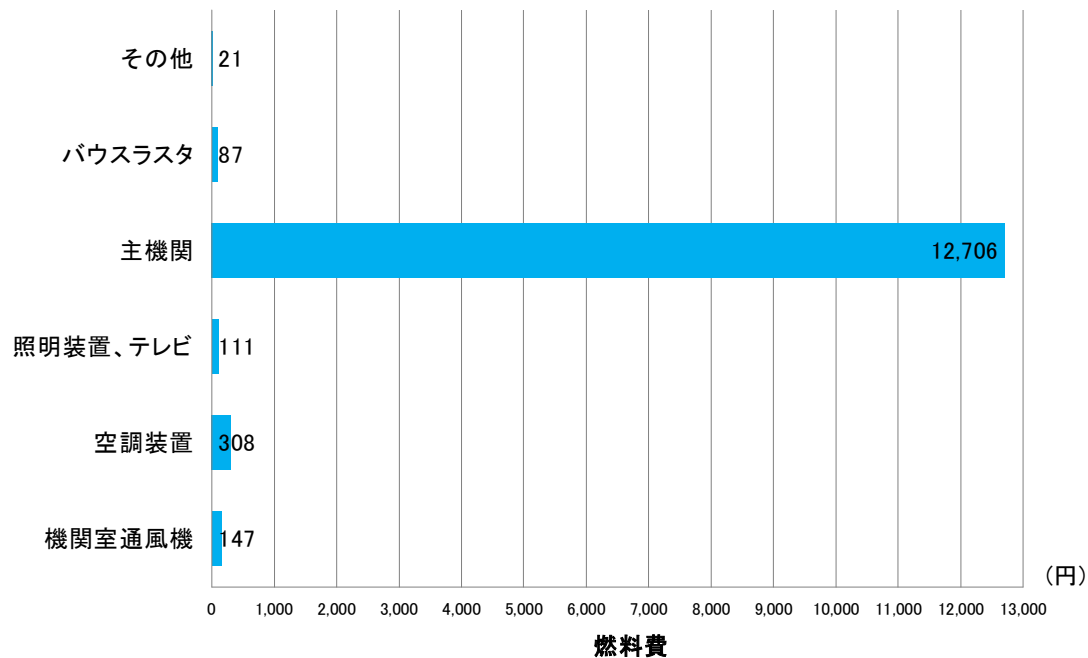


図 13 A 船の一航海当たりの燃料費の内訳

また、航行中に船橋等において、リアルタイムで運航データの計測値及び推定値を加工し総合的に表示することが可能なソフトウェア（以下、運航状態表示システムという）の開発も省エネルギー対策の一つとして検討する必要があると考える。

この運航状態表示システムを用いることは、自動車のいわゆるエコ表示システムのように、自船の運航状況がわかりやすく表示されるシステムで、操船者の省エネルギー運航の動機付けとして有効と考えられると同時に、実際に操船者が航行中に、現在の運航状態と理想的な運航状態とを比較・確認でき、実際の操船行動を変更することができる。

2.4 省エネルギー項目の検討

以上のとおり、小型高速旅客船を対象とし、個別の航行状態での自船の現状を把握、理解するための方法について述べてきた。これに基づき、自船に対して、次章に述べるような各種省エネルギー対策を対応させて検討することが、よりの確に省エネルギー対策の効果を得るために有効である。

3 省エネルギー対策の着眼点

3.1 運航管理

(1) 減速運航

図 14 は、速力馬力計算書及び曲線図に基づく満載排水量 55 トン時の A 船の速力と主機関の燃料費の関係を示しており、速力が増すと燃料費が顕著に増えることがわかる。なお、A 重油 1kg100 円として計算している。

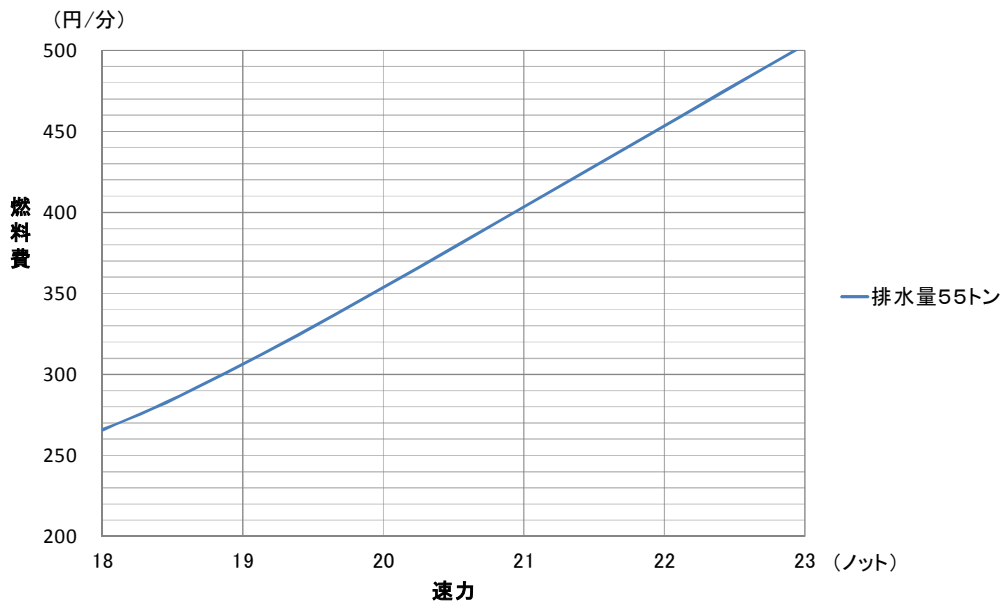


図 14 A 船の速力と燃料費の関係

図 14 が示すように、減速航行は、エネルギー消費を減少させる方策としての効果が大きい。そこで、許容される範囲での減速運航を検討することは有効と考えられる。

例えば

表 2 は、乗船調査を行った就航中の小型高速旅客船 B 船の要目概要と運航形態である。B 船は、速力が 27 ノットであり、ある程度の高速を保ったままで減速航行の効果を確認できるため、B 船を対象とした。

表 2 小型高速旅客船 B 船の要目概要と運航形態

要目等	B 船の値	要目等	B 船の値
全長	約 26m	総トン数	約 67 トン
垂線間長	約 23m	連続定格出力	約 800kW × 2 基
幅	約 6m	速力	約 27 ノット
深さ	約 2m	航行時間 (片道)	約 20 分
満載喫水線	約 1m	1 日の運航数	4 往復

図 15 は、B 船の海上公試成績報告書を基に減速航行による省エネルギー効果を計算した結果である。B 船の場合、入出港時を考慮し、現状片道 20 分の航海時間を 22 分、速力約 24.5 ノットとすれば 10%の燃料消費削減、航行時間を 25 分、速力約 21.5 ノットとすれば 20%の燃料消費削減が見込まれることが示されている。

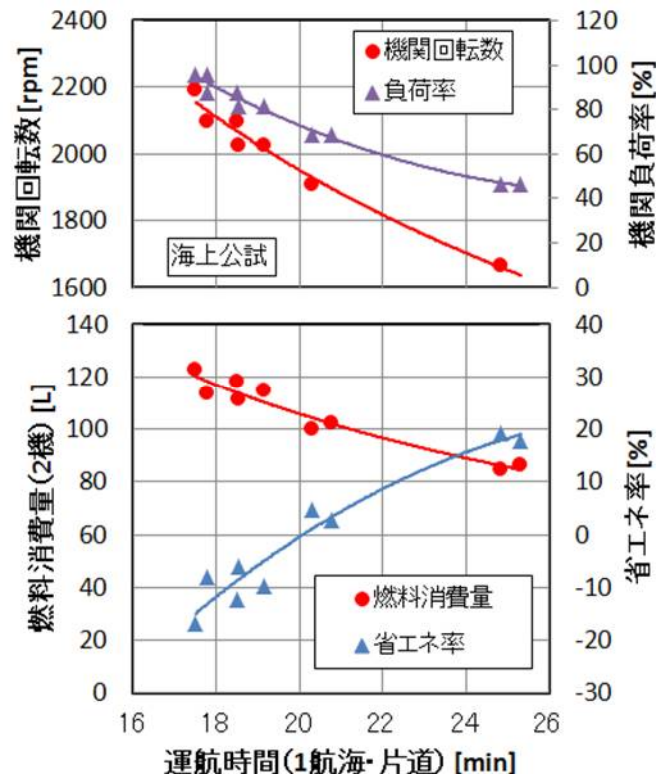


図 15 B 船の減速運航による省エネルギー化の試算

ただし、高速旅客船は、「船舶運航事業者等の提出する定期報告書に関する省令」の内航定期旅客船航路事業実績報告書において、航海速力 22 ノット以上と定義されていることに留意する必要がある。なお、減速航行は利便性には反することになるが、運航時間帯によっては乗客に悪影響が少ないことも考えられるため、これらを考慮して検討すべきである。

(2) 排水量及びトリム管理

図 16 は、速力馬力計算書及び曲線図に基づき A 船のおおよその 50% 載貨状態から満載状態まで排水量を変化させたときの主機関の燃料費を示すグラフである。速力は 20 ノット、A 重油 1kg100 円として計算しており、A 船の場合、排水量が 1 トン増えると燃料費が 1 分当たり 7 円程度増加することが示されている。このように、エネル

ギー消費において排水量を少なくすることは重要である。

また、図 7 で示したように、高速船では、適正な航走姿勢を確保するための適正トリムを考慮することが必要である。

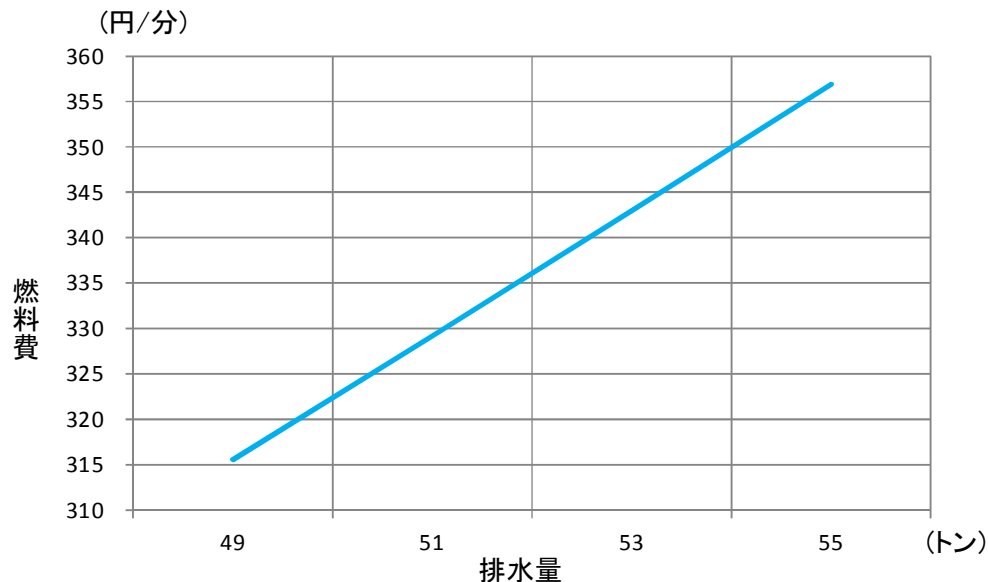


図 16 A 船の排水量と主機関燃料費の関係

排水量とトリムの管理の点では、次に示すような事項が対策として検討可能である。

- ・ 搭載している燃料の量を抑える。

ポイント

可能な限り運航に最低限必要な燃料のみ搭載する補給スケジュールとする。

ただし、燃料タンク内の燃料が少な過ぎて主機関が燃料と一緒に空気を吸い込んでしまうことは絶対避けなければならない。

- ・ 燃料タンクが船首船尾両方に複数ある場合は、適正トリムとなるように、それができない場合は、できるだけ船尾位置で左右均等に搭載するような燃料搭載計画とする。
- ・ ビルジの陸揚げを滞りなく計画的に実施する。

ポイント

ビルジは、排水量を増加させるだけでなく、FRP 船の場合は、構造材である合板等に吸収され質量増加と構造材の脆弱化を引き起こし、アルミ船の場合は、電食の要因になる。

また、船底亀裂を確認するためにもビルジの陸揚げは必要である。

- ・ 清水、船具、予備品、乗組員の荷物は、使用実績を踏まえて船内に保管する量

は最小限とし、それ以外は陸置きとする。

ポイント

これら船具や予備品を船内に保管する場合は、適正トリムとなるように、かつ、左右均等に搭載することが重要である。

(3) 主機関の稼働時間の短縮

図 11 が示すとおり、主機関の燃料消費量は大きいことから、この稼働時間の短縮を図ることは重要である。図 17 は、これまでと同じく A 重油 1kg100 円として、小型高速旅客船 A 船の海上公試運転成績表、カタログ等から求めた主機関及び発電機の燃料消費率と機関負荷率との関係を示している。

図 17 が示すとおり、主機関の低負荷時の燃料消費率は高い。よって、停泊時の空調や照明等の電力のために主機関を運転しているようであれば、その代わりに発電機を運転することを検討することは有効である。

さらに、陸上の電力料金 13(円/kWh)を燃料消費率に換算した結果も図 18 に示しているが、130(g/kWh)であり、発電機に比べてもさらに小さい。ただし、この電力料金には基本料金が含まれていないため使用電力量を考慮する必要があるが、停泊時のエネルギー消費が大きい場合は、現在、陸電設備へ助成がなされていることから、船内設備及び陸上設備の設備費用を考慮した上で、停泊時は陸電利用への変更を検討することも有効である。

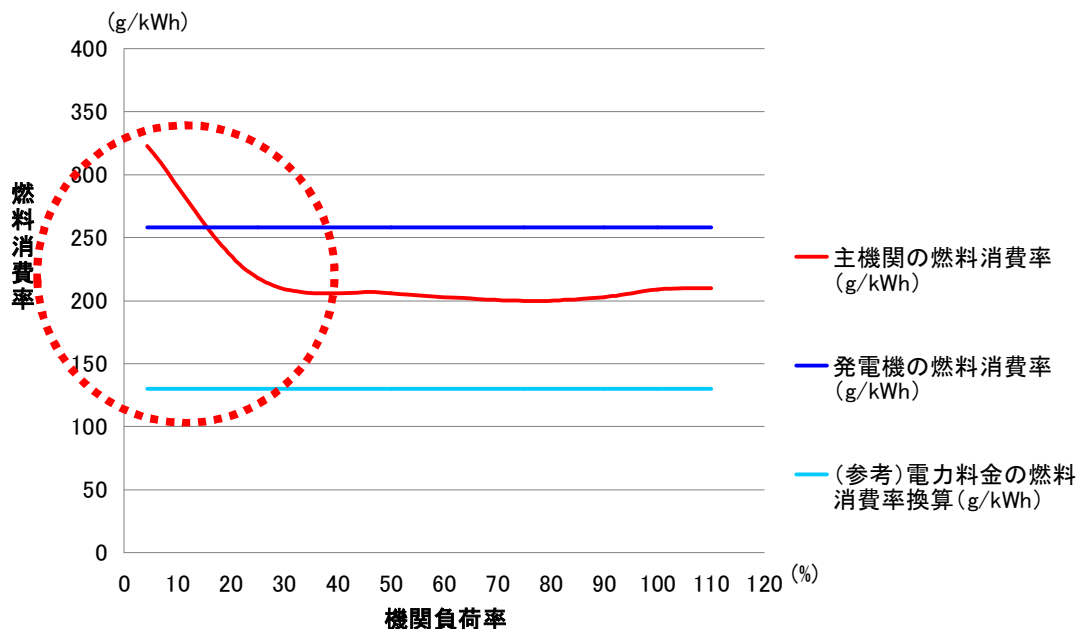


図 17 A 船の主機関及び発電機の燃料消費率と機関負荷率の関係

主機関の稼働時間の短縮に関しては、さらに次に示すような事項が対策として検討可能である。

- ・ 主機関の起動時刻を出港時刻から適正に設定するとともに、停止においてもアフタークーリング後の速やかな停止等の検討を行う。
- ・ 外国製主機関等予熱に時間を要する機種については、清水加熱器の設置による清水加熱で行うことを検討する。

なお、主機関の稼働時間の短縮は、オーバーホールまでの期間延長が図られ、メンテナンスコストの削減にも寄与することとなる。

(4) 季節、運航状態に応じた各機器の節電

船舶の電気機器は使用状況が最も厳しい状態を考慮して設計されているため、季節または運航状況によっては能力が過剰となる。よって、この点を考慮した節電を図ることが可能である。

例えば

機関室通風機は、主機関の燃焼に必要な空気量の確保や機関室の冷却を目的として設置されているため、停泊中や大気温度の低い季節の航海中に機関室通風機を1台休止する等の可能性について検討を行うことが有効である。

(5) 空調、照明の合理化

旅客船において客室用の空調設備は通常欠かせない設備である。小型高速旅客船 A 船の場合、図 13 が示すとおり、空調設備はエネルギー消費全体の中の 2.3%を占めている。このため、空調設備に関しても次のような対策を取ることが必要である。

- ・ まずは、設定温度と電力消費量を把握し、日々の天候・気温を確認
- ・ 乗客の乗船時刻を考慮した適時の空調設備の稼働開始と適切な設定温度管理
- ・ モニター温度計の設置位置の適正化
- ・ シーリングファン等の補助通風装置の設置を考慮した通風設備の設置と確認
- ・ 次のような空調温度緩和に効果がみられる事項の実施
 - 自船の形態と状況に応じた空調中の扉の開放の回避
 - 停泊中等乗客非搭載時の窓カーテンの徹底
 - 天蓋への散水
 - 遮熱用塗料の塗布
 - 窓への遮熱フィルムの使用

照明器具については図 13 の A 船の例ではエネルギー消費の 0.8%であるが、次のような対策が考えられる。

- ・ 乗客非滞在時の客室をはじめ不在時の消灯は必須
- ・ LED の導入の検討
LED の場合、長寿命で交換の頻度が激減することも費用削減の利点として考慮

(6) 航海計画の見直し

安全航行のために気象海象情報、潮流情報の入手が実施されているが、安全を担保した上で、運航の合理化を図ることも必要である。波浪と速力・必要馬力、風圧側面積の影響といった自船の特性と照らし合わせ、航海計画を検討することにより合理的航行を実現することが重要である。

(7) その他の合理的運航

以上のとおり、高速船及び自船の特性を踏まえた上で検討する各種省エネルギー対策について、項目ごとの着眼点を解説した。

これまで述べた項目に加え、主として操船の点で実施または改善すべき省エネルギー対策として次のような項目がある。

- ・ 定時出港による航海時間の確保
- ・ 余分な燃料を消費する急激な加減速の回避
- ・ 予定時刻に合わせた"Just In Time"の計画的入港による燃料消費の合理化
- ・ エネルギー消費の大きいバウスラストの使用を最小限とするような岸壁への進入コースの検討

また、装備されているプロペラについては、主機関の損傷を防ぐためにシーマージン（プロペラマージンを含む）を過大にしている場合があり、次のような検討を行うことが推奨される。

- ・ まずは、海域、海象等の航路の特性を考慮した適切なシーマージンとなっていることをプロペラ計算書等で確認
ポイント
必要に応じて専門家の助言を得て実施
- ・ 適合していない場合は、取り替える機会を捉え、適合したプロペラを装着することを検討

ポイント

主機関よりプロペラは取り替えの費用が少なく、また、破損等でプロペラだけ取り替える機会も主機関よりも多い傾向にある。よって、**取り替える機会には、適合したプロペラに変更することを検討すべき**である。

さらに

シーマージンに合わせてプロペラを取り替えた際には、これまでと同じ操船方法では主機関を損傷させる危険性があるので、新しいプロペラに対応した操船を行うことが必要である。

3.2 保守管理

(1) 推進抵抗の変化傾向把握

船舶の推進抵抗は、入渠後の就航時間とともに悪化する。これに対応するため、次に示すような**船底洗浄と適切な塗料の塗布**等が対策として必要である。

- ・ 水中または乗架しての船底洗浄
- ・ 入渠しての船底洗浄
- ・ 船底へのサンドブラスト
- ・ 船底塗料の計画的塗布等

推進抵抗の増加の傾向

常に運航している定期航路の高速旅客船の場合、徐々に燃費が悪くなるのではなく、**一定の時間が経過すると顕著に燃費の悪化が現れる傾向**にある。

塗料の塗布の注意点

推進抵抗が悪化する期間は塗布する塗料の種類、サンドブラスト等の処理、塗料の塗布回数、自船の運航形態によって異なるため、**主機関出力（主機関回転数）に対する速度、排気温度の経時変化を把握し、船底洗浄の時期と仕様を決定**することが重要であり、費用対効果も考慮した船底防汚塗料の選定が重要である。

また、費用対効果の点では、トランサム等の水の流れがない箇所には流れのある場所とは異なる塗料を選定することも必要である。ただし、一緒に塗布してはいけない塗料もあるので、この点にも十分注意する必要がある。

船底洗浄と塗料塗布の効果

船底洗浄、サンドブラスト、塗料塗布等の省エネルギー効果の具体的な数値については明確な調査結果は得られていないが、**実施前後で燃料消費量の数パーセントの効果が見込める場合がある**。

例えば

毎日運航する定期航路の高速旅客船の場合は、フジツボ等の海洋生物の付着まで至らず、清掃しやすい海苔やスライムの付着に留まっていることもあるので、浮上中の清掃方法（水中清掃を含む）について検討することも有用である。

ポイント

ただし、船底清浄により塗装面が荒れるため、清浄直後は推進抵抗が減少するが、汚損開始が早まる場合もあることに留意する必要がある。

プロペラ洗浄の注意点

また、船底と同様に、**プロペラ汚損もエネルギー消費を悪化させる**。高速船のプロペラは回転数が高いので汚損が少ない傾向にあるが、汚損している場合は洗浄による省エネルギー効果が見込める。よって、**入渠以外の途中の時点にも潜水してプロペラ洗浄を実施する**といった頻度と方法について、費用対効果を考慮して検討することは有効である。

(2) 主機関の性能保持

主機関の性能を保持するために、冷却水管理、潤滑油管理、冷却海水管系等の清掃等を計画的、かつ、適時に実施することは重要である。

例えば

夏季においては、冷却海水の管系が海洋生物により閉塞され、冷却効果が低下することがあることから、これを防止するための清掃は有効である。

主機関の運転における注意点

主機関のオーバーロードは、主機関各部への負担が大きく、オーバーホール間隔の短縮及び交換部品の増加にも繋がることから、**主機関の適正負荷による運航**を実施する必要がある。

主機関の整備における注意点

メンテナンスについては、主機関メーカー推奨の点検整備項目やオーバーホール間隔を踏まえつつ、運輸局の検査の方法における特例を考慮し、**オーバーホール結果を詳細に見直した上で、点検・整備計画及び部品交換計画を策定**することが肝要である。

また、発電機についても同様に性能保持を図ることが必要である。

3.3 現行船における省エネルギーに資する機器の導入

現在、海上交通低炭素化促進事業費補助制度により、表 3 に示す船舶の低炭素化に資する設備等には補助金が交付されるため、導入による費用対効果について検討することも有効である。また、これらの助成制度には含まれていないが、省エネルギー効果が考えられる設備として、主機関付発電機の設置、冷却水ポンプのインバータ化等が考えられ、これらの設備の費用対効果を検討することも有用である。

さらに、2.3 節で示した運航状態表示システム等の設置により、運航状態の見える化を図ることで運航方法の改善に繋げることも検討する必要がある。

表 3 海上交通低炭素化促進事業費補助制度の対象設備一覧（順不同）

船体船尾に取り付けられる整流板（特に可動式）	低燃費ディーゼル機関（燃料消費率が改善する主機関への換装に限る）	港湾施設等からの電力を受電するための設備
整流板付舵	低負荷運転システム付ディーゼル機関	ハブ渦発生防止プロペラ
低摩擦型船底塗料	電子制御ディーゼル機関	プロペラボス取付翼
	燃料改質器	プロペラ前部放射状型取付翼

上記の設備等のうち、九州運輸局管内で平成 22 年度から 24 年度の 3 年間に制度適用の実績があるのは、低燃費ディーゼル機関、低摩擦型船底塗料、ハブ渦発生防止プロペラである。これらについて、以下に解説、試算例等を示す。

低燃費ディーゼル機関

低燃費ディーゼル機関の導入については、乗船調査を行った、就航中の小型高速旅客船 C 船を対象として試算した例を示す。表 4 には、C 船の要目概要と運航形態を示す。

表 4 小型高速旅客船 C 船の要目概要と運航形態

要目等	C 船の値	要目等	C 船の値
全長	約 26m	総トン数	約 77 トン
垂線間長	約 24m	連続定格出力	約 800kW × 2 基
幅	約 6m	速力	約 25 ノット
深さ	約 2.5m	運航時間（片道）	約 15 分
満載喫水線	約 1m	運航数	7 往復

図 18 は、低燃費ディーゼル機関へ換装した場合の燃料消費率と燃料消費量を試算した結果である。ここでは、新旧機関どちらも新しい状態での性能を用いて計算しており、**C 船では、低燃費ディーゼル機関の換装により、数%の省エネルギー化が見込まれる。**

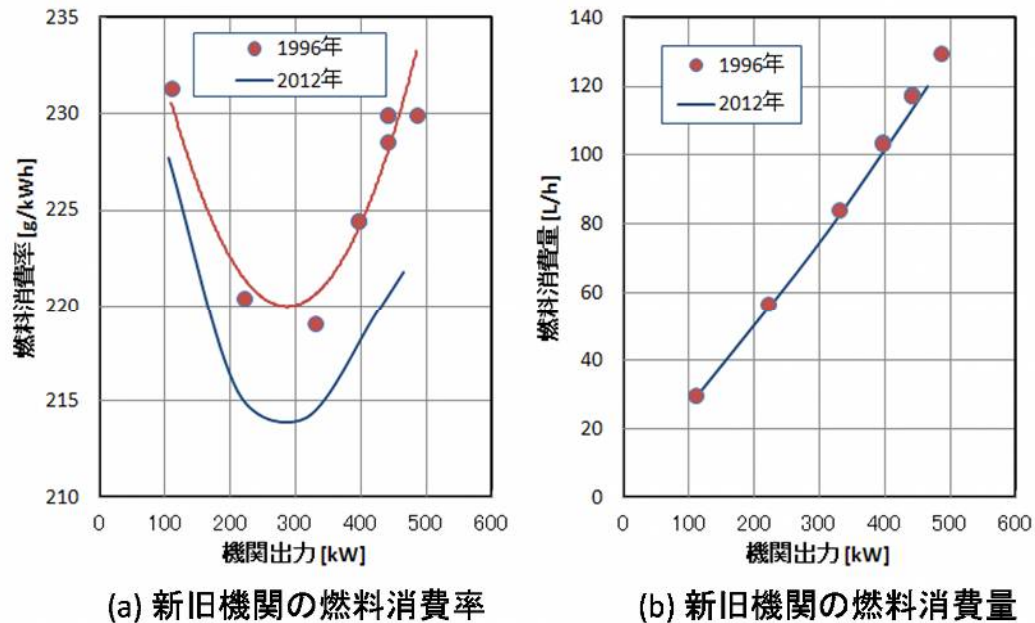


図 18 C 船の低燃費ディーゼル機関の導入前後の省エネルギー試算

低摩擦型船底塗料

低摩擦型船底塗料については、3.2(1)推進抵抗の変化傾向把握を参照されたい。

ハブ渦防止プロペラ

船用プロペラではプロペラキャップの後端からハブ渦が出て、後流に流れていく。このハブ渦が強くなるとハブ渦キャビテーションとなり、エネルギーロスや舵の損傷につながる。ハブ渦防止プロペラでは、プロペラ翼形状を工夫することにより、ハブ渦を軽減、消滅させることができる。ハブ渦キャビテーションが消えてもプロペラ翼形状変更に伴うマイナス分があるので、トータルとしてプロペラ効率がプラスになるように高度な設計を行う必要がある。従来のプロペラと比較してプロペラ効率が 1~5%向上するといわれている。

港湾施設等からの電力を受電するための設備

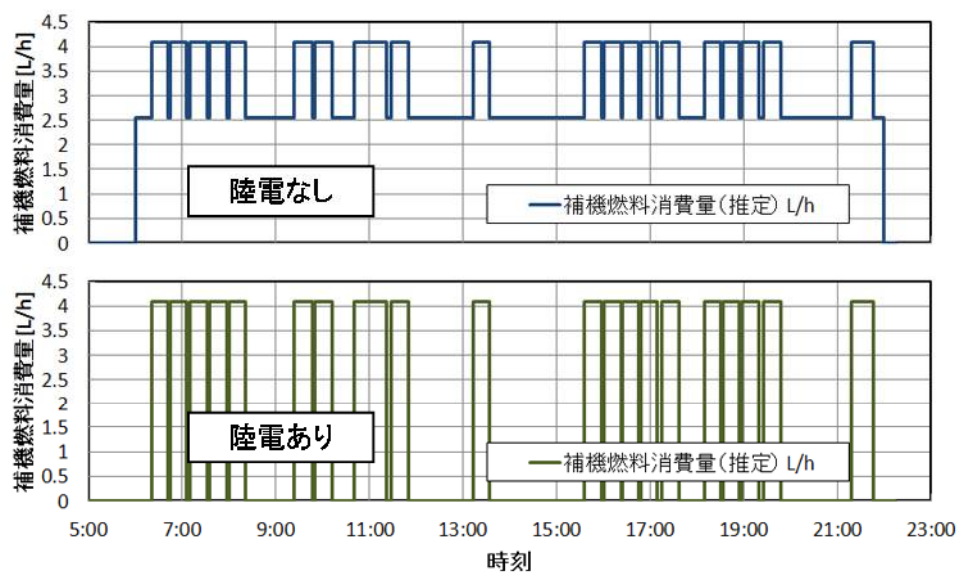
当該範囲において実績はないが、小型高速旅客船で省エネルギー効果が期待できる設備として、陸電技術の導入について試算した。対象は、乗船調査を行った、就航中の小型高速旅客船 D 船である。表 5 には、D 船の要目概要と運航形態を示す。なお、陸電

技術の導入については、3.1(3)主機関の稼働時間の短縮も参照されたい。

表 5 小型高速旅客船 D 船の要目概要と運航形態

要目等	D 船の値	要目等	D 船の値
全長	約 24m	総トン数	約 49 トン
垂線間長	約 22m	連続定格出力	約 500kW × 2 基
幅	約 5m	速力	約 22 ノット
深さ	約 2m	運航時間（片道）	約 20 分
満載喫水線	約 1m	運航数	20 往復

陸電技術の導入について試算した結果を図 19 に示す。本試算では、D 船で、すべての停泊時に陸電を使用すると仮定すると、約 2%燃料消費量を削減できる。ただし、陸上及び船内の設備等のイニシャルコスト等、導入に当たっては費用対効果を検討する必要がある。



	運転時間	燃料消費量
主機	9.5 h/day	1004 L/day
発電機(陸電なし)	16 h/day	53 L/day
発電機(陸電あり)	7.7 h/day	31 L/day

図 19 D 船の陸電技術の導入前後の省エネルギー試算

4. 省エネルギー対策の実施

3章で述べたような対策を着実に実施するためには、**エネルギー使用の合理化の重要性に関する全社的なコンセンサスの醸成、トップダウンとボトムアップの両面から各階層における合理化努力が必要とされる。**

このため、まず、エネルギー使用の合理化が自社に求められている状況、**船の運航とエネルギー消費実態の把握を社内に提示し共有し、高速船への理解を通じて省エネルギーの推進を行うような系統的な社内教育を行う必要がある。**そして、**継続的に、チェックシートにより陸上管理体制及び本船の省エネルギー取り組み状況について把握し、改善方策を検討**することが重要である。

最後に、主な省エネルギー対策について、低コストで日常的に実施する対策、コストが発生し年間等で社として計画的に実施する対策、工事が必要となる対策の3ケースに分けてまとめる。詳細な内容については、本文並びにチェックシートを確認していただきたい。

【低コスト及び日常時に可能な対策】

主機関等の運転時間を含む運転状況の確認、適正化、整備

主機関等を含む運航状況の記録と電子ファイル化及び月間、季節、年度等の変化の把握

照明、空調等の稼働状況の確認、適正化、清掃、整備

適切な操船及び状況に応じた減速航行を含む運航計画の見直し

不要物の陸揚げ、ビルジ処理、燃料等の搭載量適正化を含む排水量の低減とトリムの適正化

【コストが発生する対策】

船体及びプロペラの洗浄及び塗装（塗料の選定やスケジュール管理を含む）

照明、空調の省エネルギー機器や遮熱材等の導入

【工事が必要な対策】

陸電の利用

プロペラ、主機関等の換装

参考文献

1) 海事レポート平成 19 年度及び 20 年度概要、並びに、平成 21 版～24 年度版、国土交通省海事局

小型高速旅客船運航事業者の省エネルギーチェックシート

(1) 陸上管理体制

高速小型旅客船事業者チェック項目		
エネルギー管理体制	☐ 社内教育や取組責任者等の体制整備は適切か。 ☐ 船員は高速船を十分に理解しているか。 ☐ 短期/中期/長期の省エネルギー目標及び計画を策定しているか。 ☐ 公的優遇制度（補助制度）について調べ、適用の検討や申請をしているか。	
エネルギー使用量管理	☐ エネルギー使用量を毎日記録しているか（会社全体及び個船）。 ☐ 上記記録を電子ファイルとして蓄積し、年間/月間単位及び前年度比を把握しているか。 ☐ 上記電子ファイルを分析、グラフ化しエネルギー使用量の見える化を実施しているか。	
エネルギー原単位管理	☐ 会社全体の輸送活動量等（対前年度）を適切に管理しているか。 ☐ 個船毎の輸送活動量等を管理しているか。	
環境関連の管理	☐ CO ₂ 排出対策等を十分に検討あるいは実施しているか。	
PDCA サイクル管理	☐ 省エネルギー目標に向かって取り組み方向を検討し、実行し、取組結果を評価し、次の取り組みへの反映を行っているか。	
運航管理	航海計画立案と効果的減速航行・最適航路の検討	☐ 気象海象、潮流情報、港湾情報の活用方策を検討あるいは実施しているか。【P.16_3.1(6)参照】 ☐ 情報を活用した効果的な減速航行を検討しているか。【P.11_3.1(1)参照】
	貨物以外の搭載物の削減と船体の最適トリムの検討	☐ 不要物の陸上げを実施しているか。【P.12_3.1(2)参照】 ☐ トリムを考慮した船内保管物搭載を行っているか。【P.12_3.1(2)参照】 ☐ ビルジ処理を計画的あるいは適時実施しているか。【P.12_3.1(2)参照】 ☐ 燃料油・清水等の保有量の適正化が図られているか。【P.12_3.1(2)参照】
	計測・記録	☐ 運航記録等の電子ファイル化が行われているか。【P.8_2.3 参照】
	船舶性能管理	☐ 航海・機関撮要日誌、運航データ解析により推進性能及び機関性能を把握しているか。【P.8_2.3 参照】 ☐ 運航記録の電子ファイル化及び見える化を行っているか。【P.8_2.3 参照】 ☐ 上記を基に、省エネルギー推進対策を検討しているか。【P.10_2.4 参照】
	予防保全計画の立案	☐ 入渠による推進性能の維持と回復の計画が策定されているか。【P.17_3.2(1)参照】 ☐ 機関の計画整備による性能維持が行われているか。【P.18_3.2(2)参照】 ☐ 点検・整備記録の書式が整備されているか。【P.17_3.2 参照】
保守管理	省エネルギー推進のための船体、機関、機器の改善計画立案	☐ 省エネルギー機器等の情報収集を行い、導入の検討を行っているか（機付発電機、蓄電池又は陸電等）。【P.19_3.3 参照】 ☐ 省エネルギー推進に関するソフトウェアの情報収集/検討/導入が行われているか。【P.19_3.3 参照】
	計測・記録	☐ 保守記録の電子ファイル化が行われているか。【P.17_3.2 参照】 ☐ 保守記録の電子ファイルの分析と見える化が図られているか（入渠と推進性能、保守と熱効率維持、船底防汚塗料の効果等）。【P.17_3.2 参照】

(2) 本船の省エネルギー取り組み状況

項目			高速小型旅客船事業者チェック項目
船体・推進器	船体		☐ 船底部に汚損はないか。【P.17_3.2(1)参照】 ☐ 船底塗料及び塗装状況は適切か。【P.17_3.2(1)参照】 ☐ 入渠及び入渠時の項目（サンドブラスト、塗料の選定、塗布回数等）の計画は適切か。【P.17_3.2(1)参照】 ☐ 入渠以外の船底の洗浄計画は適切か。【P.17_3.2(1)参照】
	プロペラ		☐ プロペラ及びプロペラ軸に汚損はないか。【P.17_3.2(1)参照】 ☐ プロペラ及びプロペラ軸防汚塗料及び塗装状況は適切か。【P.17_3.2(1)参照】 ☐ 入渠及び入渠時の項目（洗浄、塗料の選定、塗布回数等）の計画は適切か。【P.17_3.2(1)参照】 ☐ 入渠以外のプロペラ及びプロペラ軸の洗浄計画は適切か。【P.17_3.2(1)参照】
主機関・減速機	主機関		☐ 主機関の特性を十分に把握しているか。【P.8_2.3 参照】 ☐ 機関回転数、シリンダ内圧、排気温度、過給機回転数等の運転状況は適切か。【P.8_2.3 参照】 ☐ 暖気・冷気を含む運転時間は適切か。【P.8_2.3 及び P.14_3.1(3)参照】 ☐ 主機関の冷却水の暖気に時間を要する場合は、別置きの清水加熱器を設置しているか。【P.14_3.1(3)参照】
	減速機		☐ 点検・整備項目は適切か。【P.18_3.2(2)参照】 ☐ 点検・整備のインターバルはオーバーホール推奨間隔や検査の方法による合理化を考慮して適切か。【P.18_3.2(2)参照】
発電設備	ディーゼル発電機		☐ ディーゼル発電機の特性を十分に把握しているか。【P.8_2.3 参照】 ☐ ディーゼル発電機の運転状態及び運転時間は適切か。【P.8_2.3 及び P.14_3.1(3)参照】 ☐ 点検・整備項目は適切か。【P.18_3.2(2)参照】 ☐ 点検・整備のインターバルは適切か。【P.18_3.2(2)参照】
	軸発電機		☐ 軸発電機の特性を十分に把握しているか。【P.8_2.3 参照】 ☐ 軸発電機の運転状態及び運転時間は適切か。【P.8_2.3 及び P.14_3.1(3)参照】 ☐ 点検・整備項目は適切か。【P.18_3.2(2)参照】 ☐ 点検・整備のインターバルは適切か。【P.18_3.2(2)参照】
	陸電		☐ 陸電の使用可能性を検討あるいは使用しているか。【P.19_3.3 参照】
電力消費機器	機関室補機	主要補機	☐ スタンバイ対応可能な最小の運転時間にしているか。【P.15_3.1(5)】 ☐ 航海と停泊を適切に選別し、運転が行われているか。【P.15_3.1(5)】 ☐ 季節に対応した運転が行われているか。【P.15_3.1(5)】
		ポンプ	☐ 運転状況（台数制御、冷却海水ポンプの流量制御）は適切か。【P.8_2.3 参照】
		機関室通風装置	☐ 機関室通風装置の運転状況（台数制御）は適切か。【P.15_3.1(4)参照】
	照明設備	照明設備	☐ 停泊中の不要照明を消灯しているか。【P.15_3.1(5)】 ☐ 省エネルギー器具を使用しているか。【P.15_3.1(5)】

	項目	高速小型旅客船事業者チェック項目
居住設備	空調設備	☐ 空調設備のフィルタ、ファン、コンデンサを清掃しているか。【P.15_3.1(5)】 ☐ 日々の天候・気温を考慮して定時及び適時の空調設定温度管理をしているか。【P.15_3.1(5)】 ☐ 乗客の乗船時刻を考慮した適時の空調設備の稼働開始をしているか。【P.15_3.1(5)】 ☐ モニター温度計の設置位置は適切か。【P.15_3.1(5)】 ☐ 補助通風装置の設置を考慮した通風設備の設置をしているか。【P.15_3.1(5)】 ☐ 自船の形態・状況に応じて、部屋の開放の回避、停泊中等乗客非搭載時の窓カーテンの徹底、天蓋への散水、遮熱用塗料の塗布、窓への遮熱フィルムの使用等、空調温度緩和に効果がある事項を検討あるいは実施しているか。【P.15_3.1(5)】
情報の取得と活用状況	海・気象、海流等	☐ 気象海象、潮流情報の取得及び活用方策を検討あるいは実施しているか。【P.16_3.1(6)】 ☐ 情報を活用した効果的な減速航行を検討しているか。【P.11_3.1(1)】
	航路・港湾、荷役予定	☐ 航路及び港湾情報の取得及び活用方策を検討あるいは実施しているか。【P.16_3.1(7)】 ☐ 情報を活用した航海計画の見直しを行っているか。【P.16_3.1(7)】 ☐ 情報を活用した効果的な減速航行を検討しているか。【P.11_3.1(1)】
計測・記録・報告書の作成と報告状況	航海日誌・機関日誌	☐ 船位、コース、速力、主機出力と回転数、燃料消費量、電力、主要補機の運転時間と燃料消費量等記載内容は適切か。【P.8_2.3 参照】 ☐ 電子ファイル化が行われているか。【P.8_2.3 参照】
	航海・機関撮要日誌	☐ 記載内容は適切か。【P.8_2.3 参照】 ☐ 電子ファイル化が行われているか。【P.8_2.3 参照】
	整備記録	☐ 記載内容は適切か。【P.17_3.2 参照】 ☐ 電子ファイル化が行われていて、運転状態のトレンドを確認できるか。【P.8_2.3 参照】
その他	運航	☐ 不要物の陸上げを実施しているか。【P.12_3.1(2)参照】 ☐ トリムを考慮した船内保管物搭載を行っているか。【P.12_3.1(2)参照】 ☐ ビルジ処理を計画的あるいは適時実施しているか。【P.12_3.1(2)参照】 ☐ 燃料油・清水等の搭載量の適正化が図られているか。【P.12_3.1(2)参照】 ☐ 波浪状況を考慮し、最適となるような速力や針路で運航しているか。【P.3_2.1】 ☐ 定時性確保で許容される速力で運航しているか。【P.3_2.1 及び P.11_3.1(1) 参照】 ☐ 定時出港が遵守されているか。【P.16_3.1(7)】 ☐ 急激な加減速を回避しているか。【P.16_3.1(7)】 ☐ 予定時刻に合わせ"Just in Time"の計画的入港をしているか。【P.16_3.1(7)】 ☐ 省エネルギーになる岸壁への進入コースを検討しているか。【P.16_3.1(7)】 ☐ 自船のシーマージン（プロペラマージンを含む）の確認をしているか。【P.16_3.1(7)】 ☐ 新しいプロペラ等に交換した場合、対応した操船を行っているか。【P.16_3.1(7)】

小型高速旅客船省エネマニュアル

調査報告書

平成 25 年 3 月発行

発行人 田 中 浩 二
発行所 財団法人 九州運輸振興センター
〒812-0013 福岡市博多区博多駅東 3 丁目 10 番 17 号
TEL 092-451-0469 FAX 092-451-0474
<http://kyushu-transport.or.jp/>
