

# 小型高速旅客船 省エネマニュアル 【運航編】



(独) 鉄道建設・運輸施設整備支援機構

## 1. はじめに

このマニュアルは、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行うため、具体的な省エネルギー対策について示しています。

マニュアルの最後には、省エネ効果を自分で簡単に確認できる試算シートの使用方法和省エネルギー対策のチェックシートを設けていますので、日常の運航、整備の確認などに、是非ご活用ください。

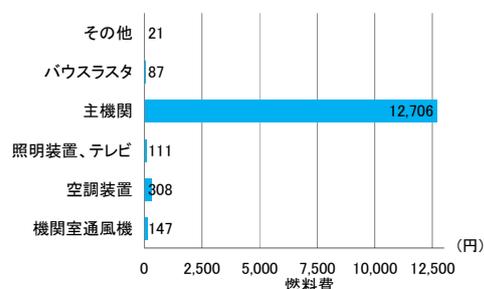
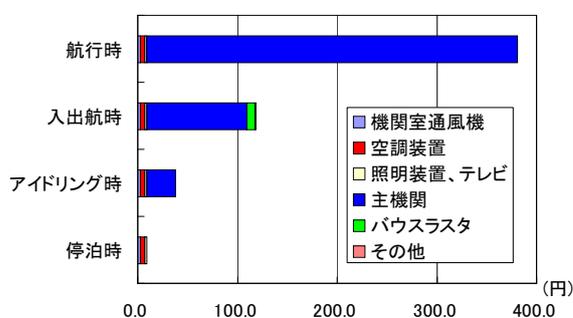
## 2. 小型高速旅客船におけるエネルギー消費

小型高速旅客船の省エネルギー化を行うにあたって、小型高速旅客船のエネルギーの使われ方を知ることが大切です。いつ、どのようにエネルギーが使われているのを知ることによって、どのように省エネルギーを行えば効果的であるかがわかります。

図1は、実際に就航している小型高速旅客船 A 船（表1）のエネルギー消費の内訳です。航行時、入出航時、アイドリング時、停泊時それぞれにおいて、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ます。また、図2は、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しています。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ことが再確認できます。

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	バウスラストを装備



いずれも A 重油 1kg100 円として計算

図1 A 船の各機器の 1 分当たりの燃料費

図2 A 船の一航海当たりの燃料費

### 3. 小型高速旅客船の省エネルギー対策

そこで、実際の省エネルギー対策として、まず、主機関でできることを、運航前、運航中、運航後のそれぞれで考えていきます。主機関でエネルギーを無駄にしないためには、航行中に船にかかる抵抗をいかに抑えるかが大きなポイントとなります。

次に、燃料費に占める割合は大きくありませんが、その他の機器で省エネルギー対策としてできることを考えていきます。

小型高速旅客船省エネルギー対策一覧

1) 主機関		2) その他の機器	
① 運航前	a. 排水量及びトリム管理	① 運航前	h. 空調の合理化
	b. 主機関の起動時刻管理		i. 照明の合理化
② 運航中	c. 減速航行	② 運航中	j. 稼働台数の合理化
	d. 航海計画の見直し		k. 発電機の性能保持
	e. その他の合理的運航	③ 運航後	l. 船体の洗浄
③ 運航後	f. 主機関の停止時刻管理		m. プロペラの洗浄
	g. 主機関の性能保持		

#### 1) 主機関

##### ① 運航前の対策

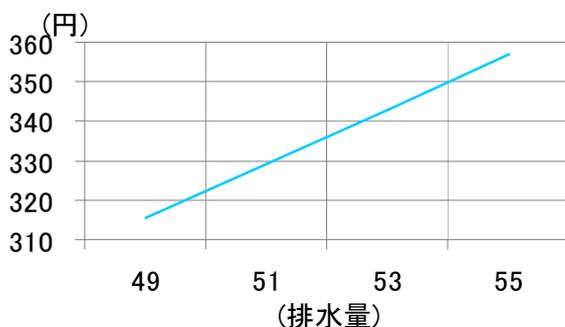
##### a. 排水量及びトリム管理

なお、小型高速旅客船の特性について知ると、特に主機関の省エネルギー対策についての理解が深まりますので、付録として最後に解説を掲載しました。



図3は、A船の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しています。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ます。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す。

また、適正な滑走姿勢を確保することが効率的な航行につながります。

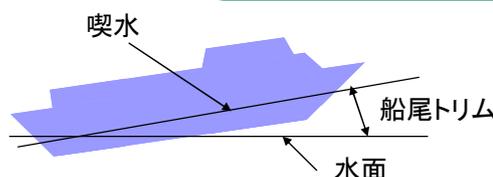


速力は20ノット、A重油1kg100円として計算

図3 A船の排水量と主機関燃料費の関係



滑走姿勢と抵抗の詳細は付録の解説をご覧ください。



排水量及びトリム管理では、次の対策を行いましょ。う。

搭載している燃料の重量を抑えましょ。う。

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しましょ。う。

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ふことは絶対避けなければなりません。

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しましょ。う。

ビルジの陸揚げを滞りなく計画的に実施しましょ。う。

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重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、電食の要因になります。

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す。

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しましょ。う。

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す。

## b. 主機関の起動時刻管理

主機関の起動時刻を出港時刻から適正に判断しましょ。う。



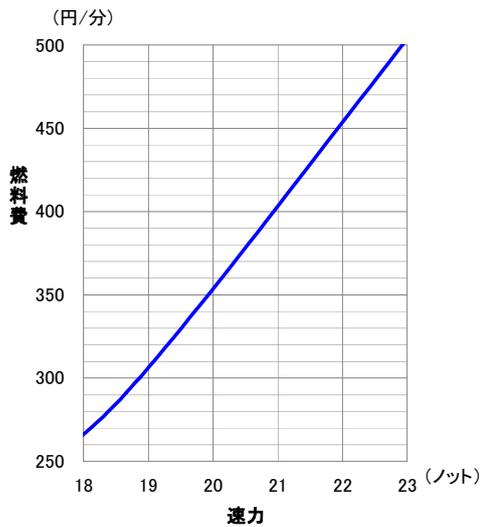
## ② 運航中の対策

### c. 減速航行

図4は、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ります。

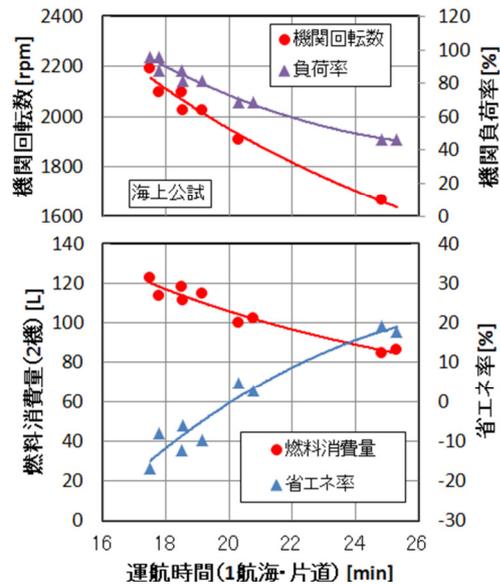
図5は、A船と類似のB船での減速航行の効果を試算した結果です。B船は27ノット片道20分で航行していますが、約24.5ノット22分で航行すれば10%の燃料消費削減、約21.5ノット25分で航行すれば、20%の燃料消費削減が見込まれることが示されています。このように、減速航行は、エネルギー消費を減少させる方策としての効果が大きくなっていますので、許容される範囲での減速運航を検討しましょ。う。

なお、運用時には、利用者との協議、時刻表の改訂等が必要になります。



A 重油 1kg100 円として計算

図 4 A 船の速力と燃料費の関係



B 船は主機関連続定格出力約 800kW×2 基

図 5 B 船の減速運航の効果の試算

#### d. 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ますが、安全を確保した上で、運航の合理化を図ることも必要です。

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、大きなエネルギーが必要となります。そこで、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、波浪状態が悪いときには、減速や最適となる針路を選択するなど、航海計画を見直すことにより安全で合理的な航行をしましょう。

#### e. その他の合理的運航

定時出港による航海時間の確保をしましょう。

余分な燃料を消費する急激な加減速は回避しましょう。

予定時刻に合わせた"Just In Time"の計画的入港をしましょう。

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を検討しましょう。

主機関のオーバーロードを防ぎましょう。

主機関各部への負担を減らし、オーバーホール間隔を保ち交換部品の減少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ります。



### ③ 運航後の対策

#### f. 主機関の停止時刻管理

着岸後、主機関は、アフタークーリング後の速やかな停止をしましょう。

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ります。



#### g. 主機関の性能保持

夏季においては、主機関の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、冷却海水管系等の清掃を定期的に行いましょう。

メンテナンスについては、主機関・減速機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、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適正に策定し、的確に実施しましょう。

## 2) その他の機器

### ① 運航前の対策

#### h. 空調の合理化

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すが、設備の清掃を定期的に行うとともに、運航中も含め、次のような対策を行いましょう。

まずは、設定温度と電力消費量を把握し、日々の天候・気温を確認しましょう。

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をしましょう。

モニター温度計の設置位置を適正にしましょう。

空調中は可能な限り扉を閉めておきましょう。

停泊中など乗客がいないときには窓カーテンを徹底しましょう。



#### i. 照明の合理化

照明器具については、乗客の乗船前の客室をはじめ、不在時の消灯は必須です。



## ② 運航中の対策

### j. 稼働台数の合理化

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ります。よって、この点を考慮した節電を図ることが可能です。

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す。



## ③ 運航後の対策

### k. 発電機等の性能保持

発電機をはじめその他の機器も、主機関と同様に性能保持を図りましょう。

### l. 船体の洗淨

船舶の推進抵抗は、入渠後の就航時間とともに悪化します。推進抵抗の増加は、直接主機関の負担の増加につながります。これを防ぐため、水中または乗架して、船体の洗淨を行いましょう。

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りますので、浮上中の清掃方法（水中清掃を含む）についても検討してください。ただし、船体は洗淨により塗装面が荒れるため、洗淨直後は抵抗が減りますが、汚れが付きやすくなる場合もあることに注意してください。

### m. プロペラの洗淨

また、船体と同様に、プロペラの汚れもエネルギー消費を悪化させます。高速船のプロペラは回転数が高いので汚れが少ない傾向にありますが、プロペラの状態を確認して、汚れている場合は洗淨を行いましょう。



## 4. 省エネルギー対策の実施

運航に関するデータを収集し、表計算のソフトを使ってグラフ化することで、自船の運航の状態やエネルギー消費の情報を実感することができます。是非、定期的にデータを収集し、電子ファイル化しまししょう。これらのデータを何カ月、何年と蓄積することで、計画的なメンテナンスや新造船の建造時に役に立ちます。そして、継続的に、チェックシートにより自船の省エネルギー対策に取り組みましよう。



## 「自分で簡単に確認できる試算シート」の使い方

試算シートに、自船の陸上運転試験成績表や海上運転試験成績表等を入力することで、自船の燃料消費率や自船速力に対する機関出力がグラフ表示されます。また、自船が実際に航行した時刻と機関回転数を入力することで、速力変化や燃料消費量変化のグラフが表示されます。試算シートは、

「[http://www.nmri.go.jp/institutes/distribution\\_system/operational\\_analysis\\_tech/miyazaki/download.html](http://www.nmri.go.jp/institutes/distribution_system/operational_analysis_tech/miyazaki/download.html)」から Zip ファイルをダウンロードしてください。

### 自分で簡単に確認できる試算シート

**Step 1: 陸上運転試験成績表データの入力**

最大連続出力 **600** kW  
 定格回転数 **2100** min<sup>-1</sup>  
 主機台数 **2** 機

右舷機関

負荷率 [%]	25%	50%	75%	90%	100%	110%
回転数 [min <sup>-1</sup> ]	1323	1667	1908	2028	2100	2168
出力 [kW]	150	300	450	540	600	660
燃料消費量 [kg/h]	25.5	48.5	72.6	89.4	101.3	111.4
燃料消費率 [g/kWh]	170.0	161.7	161.3	165.6	168.8	168.8

左舷機関

負荷率 [%]	25%	50%	75%	90%	100%	110%
回転数 [min <sup>-1</sup> ]	1323	1667	1908	2028	2100	2168
出力 [kW]	150	300	450	540	600	660
燃料消費量 [kg/h]	25.5	48.7	72.6	89.4	101.3	115
燃料消費率 [g/kWh]	170.0	162.3	161.3	165.6	168.8	174.2

**Step 2: 海上運転試験成績表データの入力**

負荷率 [%]	25%	50%	75%	90%	100%	110%
回転数 [min <sup>-1</sup> ]	1667	2100	2404	2555	2646	2731
合計推定出力 [kW]	300	600	900	1080	1200	1320
往路速力 [kt]	14.5	18.6	20.0	21.0	21.8	21.8
復路速力 [kt]	15.1	18.8	20.2	21.1	21.1	22.0
平均速力 [kt]	14.8	18.7	20.1	21.1	21.1	21.9

**Step 3: 燃料消費量とコストの概算**

航海速力 **18** kt  
 1航海の距離 **25** mile  
 1日の航海数 **4** 回  
 燃料の価格 **80,000** 円/kL

航海速力を得るための機関出力 **868.2** kW  
 そのときの燃料消費量 **140.1** kg/h

1航海の燃料消費量 **234.4** L  
 1日の燃料消費量 **937.7** L  
 1ヶ月の燃料消費量 **28.1** kL  
 1年の燃料消費量 **342.2** kL

1航海の燃料価格 **18,753** 円  
 1日の燃料価格 **75,013** 円  
 1ヶ月の燃料価格 **225** 万円  
 1年の燃料価格 **2,738** 万円

1航海の時間 **83.3** min

1航海の燃料消費率 **72.2** %  
 1航海の燃料消費率 **168.8** L/h

**Step 4: 詳細航路の設定と燃料消費特性の推定**

「航路シート」に1航海の時刻と速力を入力してください。

最高速力 **17.5** kt  
 最高機関出力 **818.9** kW  
 機関効率 **68.2** %

1航海の燃料消費量 **138.4** L  
 1日の燃料消費量 **553.5** L  
 1ヶ月の燃料消費量 **16.6** kL  
 1年の燃料消費量 **202.0** kL

1航海の燃料価格 **11,069** 円  
 1日の燃料価格 **44,278** 円  
 1ヶ月の燃料価格 **133** 万円  
 1年の燃料価格 **1,616** 万円

小型高速旅客船省エネマニュアル【運航編】は、(独)海上技術安全研究所が(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構空の受託研究を受けて作成しました。2012年度(財)九州運輸振興センター殿からの請負研究で作成した省エネマニュアル【日常編】に新たに省エネ効果を「自分で簡単に確認できる試算シート」を作成し追加しました。

## 小型高速旅客船 自船の省エネルギーチェックシート

運航前	主機関	<input type="checkbox"/> 燃料油を必要以上に搭載していませんか。【P.4】 <input type="checkbox"/> 燃料油の搭載位置はトリムを意識していますか。【P.4】 <input type="checkbox"/> 燃料油の搭載位置は左右均等になっていますか。【P.4】 <input type="checkbox"/> ビルジの陸揚げを計画的または適時実施していますか。【P.4】 <input type="checkbox"/> 清水を必要以上に搭載していませんか。 <input type="checkbox"/> 船具、予備品、乗組員の荷物などの内、不要なものを陸上げしていますか。【P.4】 <input type="checkbox"/> 清水、船具、予備品、荷物を船内に保管するときには、トリムと左右均等を意識していますか。【P.4】 <input type="checkbox"/> 主機関の起動時刻を出港時刻から適正に判断していますか。【P.4】
	その他の機器	<input type="checkbox"/> 空調設備のフィルタ、ファン、コンデンサを清掃していますか。【P.6】 <input type="checkbox"/> 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ますか。【P.6】 <input type="checkbox"/> 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ますか。【P.6】 <input type="checkbox"/> モニター温度計の設置位置は適切ですか。【P.6】 <input type="checkbox"/> 自船の形態・状況に応じて、可能な限り扉は閉めていますか。【P.6】 <input type="checkbox"/> 停泊中等乗客がいなくときには窓カーテンを徹底していますか。【P.6】 <input type="checkbox"/> 停泊中の不要な照明を消灯していますか。【P.6】
運航中	主機関	<input type="checkbox"/> 効果的な減速航行を検討していますか。【P.5】 <input type="checkbox"/> 気象海象、潮流情報の取得及び活用方策を検討または実施していますか。【P.5】 <input type="checkbox"/> 波浪状況を考慮し、最適となるような速力や針路で航行していますか。【P.5】 <input type="checkbox"/> 定時出港により航海時間を確保していますか。【P.5】 <input type="checkbox"/> 急激な加減速をしていませんか。【P.5】 <input type="checkbox"/> 予定時刻に合わせ"Just in Time"の計画的入港をしていますか。【P.5】 <input type="checkbox"/> 省エネルギーになる岸壁への進入コースを検討していますか。【P.5】 <input type="checkbox"/> 主機関のオーバーロードをしていませんか。【P.5】
	その他の機器	<input type="checkbox"/> 機関室通風装置の運転状況（台数制御）は適切ですか。【P.7】 <input type="checkbox"/> その他の補機、ポンプ類も季節に対応した運転状況ですか。【P.7】
運転後	主機関	<input type="checkbox"/> アフタークーリング後の速やかな停止をしていますか。【P.6】 <input type="checkbox"/> 冷却海水管系等の清掃を定期的に行っていますか。【P.6】 <input type="checkbox"/> 点検・整備計画及び部品交換計画を適正に策定していますか。【P.6】 <input type="checkbox"/> 点検・整備が適切に行われていますか。【P.6】
	その他の機器	<input type="checkbox"/> 発電機をはじめその他の機器の点検・整備計画及び部品交換計画を適正に策定していますか。【P.7】 <input type="checkbox"/> 発電機をはじめその他の機器の点検・整備が適切に行われていますか。【P.7】 <input type="checkbox"/> 船体に汚れはありませんか。【P.7】 <input type="checkbox"/> 防汚塗料及び塗装状況は適切ですか。【P.7】 <input type="checkbox"/> 入渠以外の船体の洗浄計画は適切ですか。【P.7】 <input type="checkbox"/> プロペラ及びプロペラ軸に汚れはありませんか。【P.7】 <input type="checkbox"/> プロペラ及びプロペラ軸防汚塗料及び塗装状況は適切ですか。【P.7】 <input type="checkbox"/> 入渠以外のプロペラ及びプロペラ軸の洗浄計画は適切ですか。【P.7】
計測・記録・報告書の作成と報告状況	航海・機関日誌と撮要整備記録	<input type="checkbox"/> 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ですか。【P.7】 <input type="checkbox"/> 電子ファイル化が行われていますか。【P.7】 <input type="checkbox"/> 電子ファイルのデータをグラフ化して、運転状態を確認したり、時間経過による変化を確認したりしていますか。【P.7】



## 付録 エネルギー消費を含む高速船の特性

### 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（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-付録 1 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。

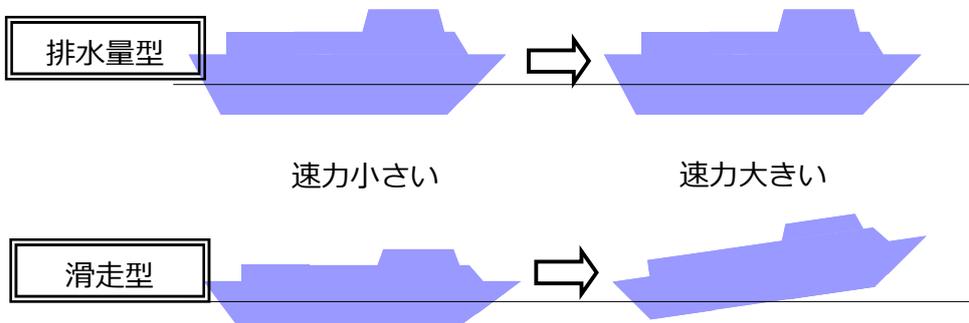


図-付録 1 排水量型と滑走型の滑走姿勢

### 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-付録 2 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。

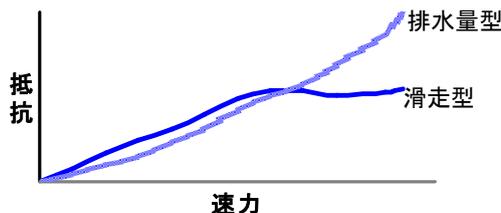


図-付録 2 船の抵抗

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-付録3参照）。この最後の山をラストハンブとよんでいる。

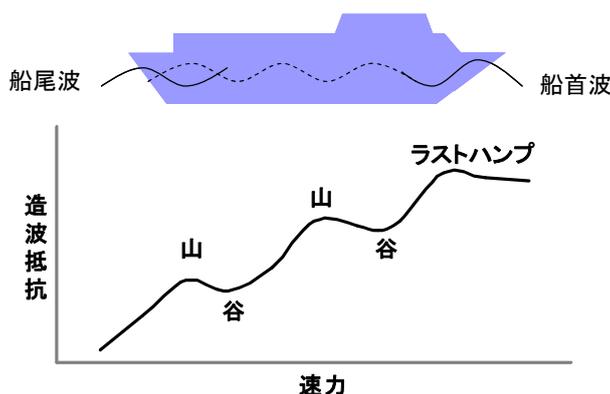


図-付録3 造波抵抗

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-付録4のようになる。排水量型の船は造波抵抗のラストハンブ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ブより速い速力で、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。さらに速力が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。

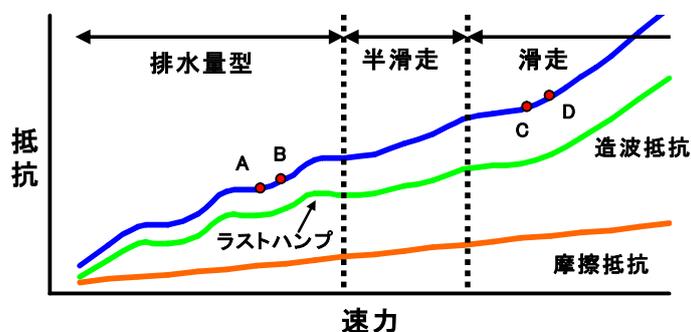


図-付録4 速力と抵抗の関係

## 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-付録 5 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。

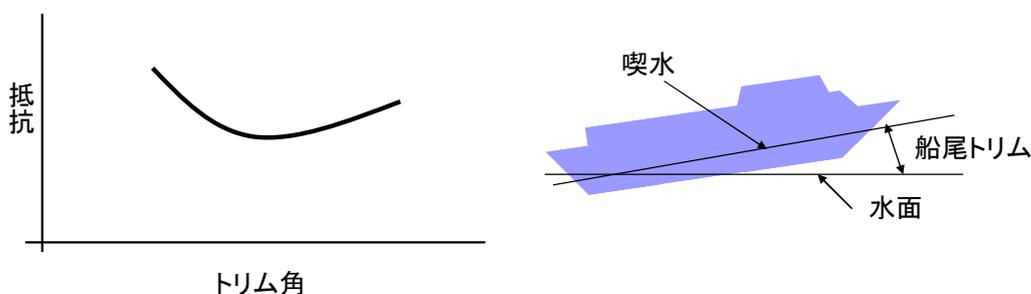


図-付録 5 一般的な高速船でのトリムと抵抗の関係

## 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。