

実海域データに基づく漁業調査指導船「ほうじょう」の燃料消費特性に関する考察

木船弘康・平賀和徳・栗原陸・川名優孝・鎌滝裕文・
西村竜雄・加々美雄也・島田績・長谷川光A Study on Fuel Consumption Characteristics of Fishery Research and Guidance Boat "Hojo"
Based on Actual Sea Area DataHiroyasu KIFUNE*, Kazunori HIRAGA*, Riku KURIHARA*, Masataka KAWANA*,
Hirofumi KAMATAKI**, Tatsuo NISHIMURA***, Yuuya KAGAMI**,
Isao SHIMADA****, and Hikaru HASEGAWA****

緒 書

コロナ禍からの世界経済回復に伴う原油の需要増や一部産油国の生産停滞などによる原油価格の高騰を受けて、国内の石油製品価格は高値水準で推移している。さらに地政学的混乱や世界的インフレ傾向を見ても燃料油価格が下がることを期待できそうな要因は見当たらない。

また、令和3年度の沿岸漁業における漁労支出の15から20%は燃料費であり、雇用労務費を上回る割合を占めている¹⁾。このまま燃料費が高値のまま推移すると漁業者の収入を圧迫することが懸念される。

そこで、費用がかからず、すべての漁業者が簡易に実施できるソフトウェア的な対処方法として減速航行等の省エネ運航がもっとも合理的と考えられる²⁾。本研究グループでは、そうしたソフトウェア的アプローチの研究を相模湾試験場の漁業調査指導船「ほうじょう」を用いて実施してきた^{3, 4, 5)}。本報では、その中で得られた同船の推進特性について観測データに基づいて議論する。

材料および方法

1 「ほうじょう」の諸元

本船は平成27年2月に建造され、相模湾と東京湾

における海洋調査、資源調査、漁網調査等に従事している。推力発生に関連する諸元を表1に示す。主機関は4サイクルディーゼルエンジンで軽油を燃料として使用する。

表1 漁業調査指導船「ほうじょう」の代表的諸元

全長	19.8m
最大船速 (海上公試時)	25.2knot
主機関定格出力/定格回転数	610kW/1,880rpm
減速比	2.56:1
プロペラ直径	1,000mm



2 設置した計測機器

本研究の実施期間中に計測機器の変更等を行って

2023.11.9 受理 神水セ業績 No. 23-006

脚注 *東京海洋大学海洋工学部 〒135-8533 東京都江東区

**船舶課

***水産庁 〒100-8907 東京都千代田区

****相模湾試験場

いるが、現在は図1のような計測機器ネットワークを構築している。全センサーの実測データを同一タイムスタンプで記録するため、記録用PCとWi-Fi接続している。本船の主機関は燃料油として利用する以上の燃料油をタンクから引き込み、その一部の燃料を燃焼に使っている。大半の燃料油はシリンダヘッド周辺の冷却を行って、戻り油として燃料油タンクに返されている。このため、使用燃料油を正確に把握するため、送り油と戻り油の双方の燃料油配管系統に流量計を取り付けている。回転計は推進軸にレーザー型パルス計を設置し、計測値に減速比を乗算することで主機関回転数として記録している。船速はスマートフォンのGPS機能により得られる位置情報から対地速度を求めている。また、船体の前後方向の傾きを検出するため、傾斜計を取り付けた。

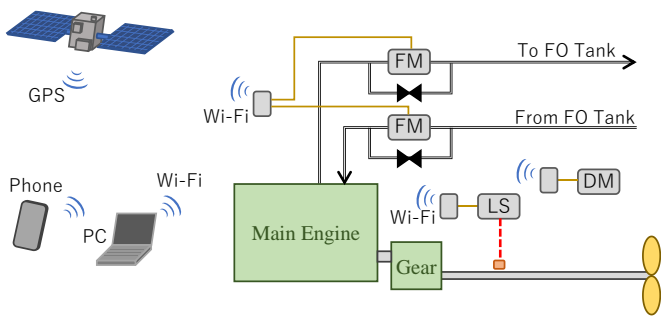


図1 計測機器ネットワーク (FM: 燃料流量計、LS: レーザー型パルス計、DM: 傾斜計)

3 実験航走手法

船体が受ける全抵抗と推進システムが発生する推力とがバランスする時、船速が一定となる。このバランスが取れた状態で各種データを記録することで、船体運動特性ならびに推進システム特性を定量的に把握することとした。実際の手順としては、クラッチをONにした後から、主機関回転数をおおよそ50rpmずつ上昇させ、最終的に定格回転数までステップ状に上げる(図2に実測例を示す)。各ステップでは、おおよそ1分間、それぞれの回転数を維持して航走を行った。

なお、操舵すると、その瞬間に抵抗が増加するため、定常状態を把握することが困難になる。このため、本実験中は、なるべく大きく舵を切らないよう針路を維持しながら航走した。一方、加速時の船体運動挙動についても把握するための実験も行っているが、紙幅の関係から本稿では取り扱わない。

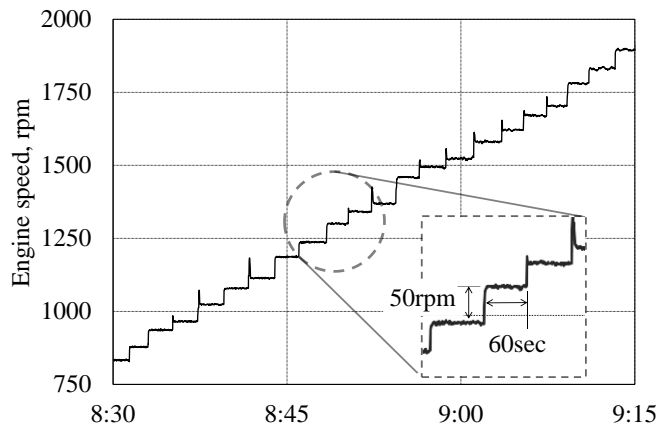


図2 実験の方法

結果及び考察

「ほうじょう」の推進性能と燃料消費特性

1 船速と燃料消費の一般的な関係

一般的に、船体抵抗 R は船速 v_s の2乗に比例する。

$$R \propto v_s^2$$

船速 v_s を維持するのに必要な動力 P は

$$P \propto R \times v_s \propto v_s^3$$

航海時間を T とすると、総エネルギー消費量 Q は

$$Q = P \times T \propto v_s^3$$

必要動力ならびに総エネルギー消費量すなわち燃料消費量は船速の3乗に概略比例することとなる。ここで船速を10%減速すると、 R 及び P はそれぞれ

$$R \propto \left(\frac{9}{10} v_s\right)^2, \quad P \propto \left(\frac{9}{10} v_s\right)^3$$

一方、航海時間は約11%長くなるため、総エネルギー消費量 Q は

$$Q \propto \left(\frac{9}{10} v_s\right)^3 \times \frac{10}{9} T = \frac{81}{100} v_s^3 T$$

すなわち、燃料消費は全体を通じて19%近く節減できる見込みとなる。船体抵抗は造波抵抗、摩擦抵抗、圧力粘性抵抗など複数の要素に分解でき、それら要因が全て上述の式と同様の特性を持つわけではない。こうした特性は多くの船舶に見られ、船の大

きさや種類によらず、減速航行が燃料消費節減の有効な手段として位置づけられている。

2 「ほうじょう」の実測結果

(1) 燃料消費特性と船体抵抗

上記のような船速と燃料消費との関係性は、船速によらず船体の接水面積が変化しない排水量型船舶に明瞭に現れる特性である。一般貨物商船や、まき網漁船、定置網漁船がこれに相当する。一方、「ほうじょう」のような中高速舟艇の場合、必ずしも上記のような原則が当てはまるわけではない。

図3は「ほうじょう」で実測された船速と燃料消費の関係性を示している。令和4年3月3日から令和5年2月13日までに10回の実験航海を実施した結果である。燃料消費[L/min]は必要動力Pに比例すると見なせれば、船速の2乗に比例することとなる。しかしながら、増速とともに燃料消費が増えているものの、全体的にはそのような傾向を見出しにくい。詳細に見ると、低速域と中高速域では、その傾向に変化が表れている。特に低速域に着目すると、船速の上昇とともに燃料消費が穏やかなカーブを描いて増加している。しかし、筆者らの解析では、船速に対して1.96乗程度の増加率であった。一方、10knot以上の中高速域では、それらの関係は、累乗推移というよりは直線的推移として観察された。

このように燃料消費が船速に対して直線的な傾向を持つためには、船体抵抗がある範囲の船速に対して一定でなければならない。ただし、一般的な流体力学の観点から、流体速度の2乗に比例して抵抗が増加することは自明の理であるため、船体抵抗の大きさに寄与する別の要素が船速の2乗に反比例して減少していることとなる。

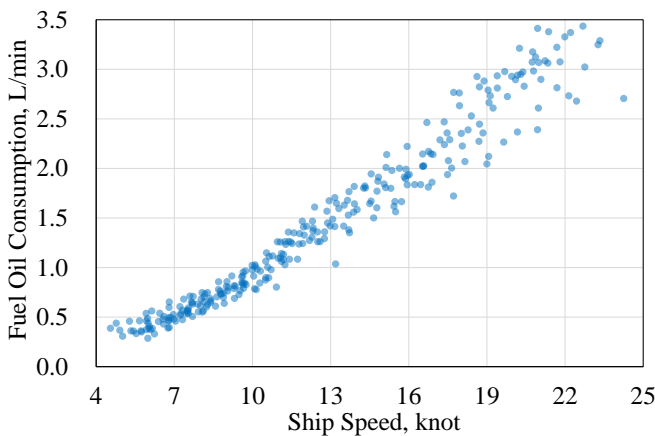


図3 「ほうじょう」の燃料消費特性

(2) 船体傾斜

令和5年7月14日に試験的に導入した船体傾斜センサーの実測結果を図4に示す。10knot以上で船体が傾斜（船首が上がる方向）することが確認されている

6)。このことから、10knot以上では、船首部で発生する波によって船首部が揚力を得て傾斜し、その結果、船首部の接水面積が減少し、摩擦抵抗を減じる1つの要素となっている可能性を指摘できる。しかし、本船は半滑走型船舶に分類され、船速の上昇に伴って船首部が揚力を得ても水面から浮き上がるには至らない。よって船体抵抗の減少を船速の2乗に反比例して接水面積が減少したと説明するのは困難である。

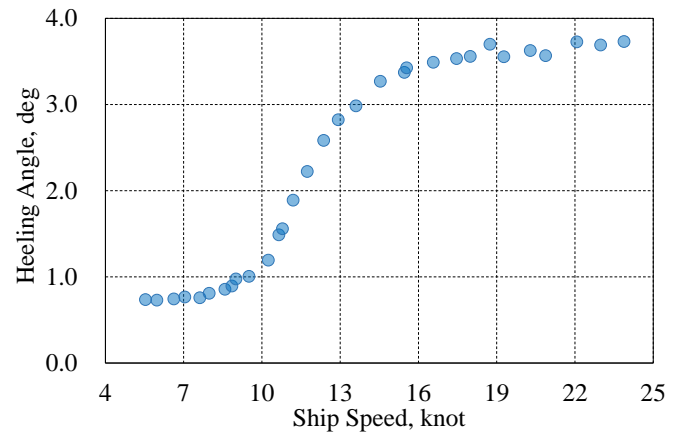


図4 「ほうじょう」の船速と船体傾斜（令和5年7月14日計測）

(3) 圧力粘性抵抗

この他の要因として圧力粘性抵抗の変化が考えられる。一般に、船首で両舷に押し出された水が船尾側で再び合流する際に、船尾で渦を形成して圧力粘性抵抗を生じる。一方、本船は一定船速以上となると、両舷ならびに船底を流れる水の合流点が船尾から後方へと離れるため、全抵抗に占める圧力粘性抵抗の寄与度が低下すると考えられる。この現象を確認するため、船尾周りの水流を観察した。

図5は航走中の「ほうじょう」を真上から撮影した写真である。低速時は船尾波の合流点が船尾直後にあり、水流が渦を巻いて白く波立っていることが確認される。一方、中高速域になると、船尾波の合流点が船尾後方へと離れており、船尾周囲に渦の発生は見られない。

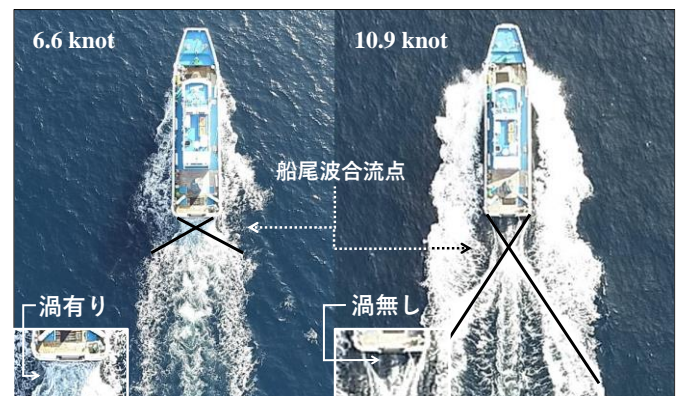


図5 船尾波の合流の様子

図6は船尾の乾舷から水面までの距離を実測した結果の一例である。低速域では、船尾から水面までの距離は短い。一方、船速の上昇とともに船底を流れてきた水流が船尾トランサム部から少しずつ離れ、水面までの距離が大きくなる（観測者目線では、水面が下がったように見える）。そして9knot前後で船底水流が完全に離脱している。その結果、水面までの距離が船底までの距離と等しくなり、以降、ほぼ一定値となっている。

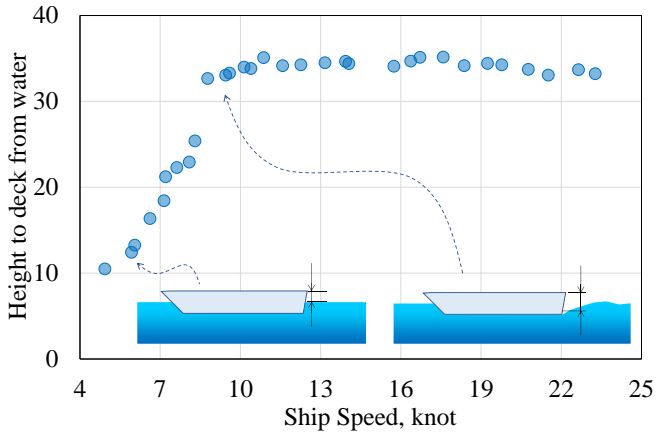


図6 船尾の乾舷から水面までの距離

3 実験結果考察

上述の観察から、船速の増加とともに、圧力粘性抵抗が減少していると観察され、結果的に船速上昇に伴う摩擦抵抗の増加分を打ち消すような働きをしていると考えられる。よって、中高速域では船速に対して燃料消費量が比例の関係性を示した（船体抵抗がほぼ一定）と考察される。

謝 辞

本研究は長年にわたり東京海洋大学と水産技術センター相模湾試験場の共同で実施されている。漁業調査指導船「うしお」「ほうじょう」で多くのデータを収集してきた。歴代の場長、専門研究員、船員の皆様に感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 水産庁(2021)：令和3年度水産白書、第2章我が国の水産業をめぐる動き、図表2-5沿岸漁業漁船を営む個人経営体の経営状況の推移、62。
- 2) 長谷川勝男・溝口弘泰・伏島一平(2012)：漁船の燃料消費見える化システムの開発、第82回マリンエンジニアリング学術講演会、115-116。
- 3) 木船弘康・川名優孝・石戸谷博範・山本章太郎・阿部美英・畑中義博(2012)：操船者の省エネ行動を促す簡便な燃料消費可視化に関する提案、第82

回マリンエンジニアリング学術講演会、123-124。

- 4) SATO M., KIFUNE H., SUZUKI J., KAJI M. and NAKASHIMA K. (2017) : Development for extracting method of engine speed from inboard noise, Proc. of the International Symposium on Marine Engineering, 588-591.
- 5) HIRAGA K., KIFUNE H., KAWANA M., NISHIMURA T., KAGAMI Y., SHIMADA I. and HASEGAWA H. (2022) : Fuel Saving Effects on Slow Steaming and its Limitation for Small Boat, Proc. Of The 92nd Annual Marine Engineering Academic Conference, 241-242.
- 6) KURIHARA R., KIFUNE H., KAMATAKI H., KAGAMI Y., SHISHIDO T., SHIMADA I. and HASEGAWA H. (2023) : A study of factors influencing fuel efficiency for high speed small boat, Proc. Of The 92nd Annual Marine Engineering Academic Conference, 237-238.