

多様なエネルギー源を用いた動力システムの開発と評価

平田 宏一*

Development and Evaluation of Marine Power Systems using Various Low-Carbon Energy Sources

by

HIRATA Koichi*

Abstract

In response to sulfur oxide regulation and GHG reduction targets set by the International Maritime Organization (IMO), the fuel used in marine power systems is being changed from conventional heavy oil to low-carbon, decarbonized fuels such as liquefied natural gas (LNG), hydrogen, and biofuels. The Japanese basic energy plan also recommends the use of biofuels, natural gas, liquefied petroleum gas (LPG), and hydrogen as energy sources as an alternative to conventional petroleum oil. Against this background, the National Maritime Research Institute conducted "the development of new power systems for ships using various energy sources" from 2016 to 2022. Within this research, we have been studying research on marine power systems using the low-carbon decarbonized fuels, the results of which are presented in this report. In research on marine fuel cell systems, various tests related to hydrogen were conducted to verify the safety regulation. Furthermore, we investigated various carbon-free fuels and summarized the applicability of the alternative fuels and the power systems to ships. We also compiled CO₂ reduction technologies for domestic vessels and supported the construction of a domestic cargo ship. As a future direction of this study, it is necessary to expand on these studies to meet future GHG reduction goals. We also aim to provide technical support towards achieving the final goal of carbon neutrality.

* 環境・動力系

原稿受付 令和6年2月1日

審査日 令和6年2月14日

目 次

1. まえがき	62
2. 船用燃料電池システムの開発	62
2.1 水素燃料電池システムの安全対策	62
2.2 小型実験船による水素燃料電池システムの検証試験	63
2.3 水素燃料電池システムの成果とまとめ	63
3. カーボンフリー燃料の利用技術	64
4. 内航船における CO ₂ 削減技術	64
4.1 連携型省エネ船	64
4.2 各種 CO ₂ 削減技術を搭載した船舶の建造支援と評価	65
5. まとめ	65
謝 辞	65
Reference	66

1. まえがき

国際海事機関 (IMO, International Maritime Organization) における硫黄酸化物 (SO_x) 規制への対応及び温室効果ガス (GHG) 削減対策として、船用動力システムで使用する燃料を従来の重油から LNG (液化天然ガス) や水素、バイオ燃料等の低・脱炭素燃料に転換することが注目されている。一方、国内では、2014 年 4 月策定のエネルギー基本計画では「多様なエネルギー源を選択できる環境整備の促進」として、従来の石油製品ばかりでなく、バイオ燃料、天然ガス、LPG (液化石油ガス)、さらに水素をエネルギー源として利用することが求められている。

このような背景のもと、海上技術安全研究所 (以下、当所という) では、2016~2022 年度に実施された重点研究「多様なエネルギー源等を用いた新たな船用動力システムの開発に関する研究」(以下、本重点研究という) において、船舶分野における多様なエネルギーの利用技術の確立を目指し、低・脱炭素燃料に対応する船用動力システムに関する研究を進めてきた¹⁾。本重点研究では、別途報告される水素エンジンやアンモニアエンジンの燃焼技術に関する研究の他、船用燃料電池システム、各種カーボンフリー燃料の調査と課題抽出、内航船を主対象とした CO₂ 削減技術などの研究を進めてきた。以下、それらの概要について述べる。

2. 船用燃料電池システムの開発

本重点研究においては、水素燃料電池システムの安全対策を確認するための実船試験や、システムの安全性・信頼性を向上させるための検証試験や技術開発を実施した²⁾⁵⁾。そして、その研究成果は、国土交通省による「水素燃料電池船の安全ガイドライン⁶⁾」の策定の他、民間企業と協力することによって水素燃料電池船や水素混焼エンジン船の建造にも貢献した。

2.1 水素燃料電池システムの安全対策

水素燃料電池システムは、その燃料電池スタックや配管からの水素漏洩を皆無にすることは難しく、区画あるいは管体の換気が必要となる。また、燃料電池は通常発電時であっても余剰水素が発生し、船外に排出する必要がある。さらに、異常発生時には大量の高濃度水素を船外に排出することもあり得る。本重点研究では、水素燃料電池システムの開発に関連して、配管部分や使用機器の水素漏洩試験や通風装置の換気試験等の試験、水素を含むガスの換気や船外排出に着目した CFD 解析並びに検証試験などを進めてきた⁷⁾。さらに、次節に述べる水素

燃料電池の実船試験に使用する水素配管やバルブ類，圧力調節器の水素漏洩試験や水素燃料タンクに関する試験を実施し，それらの安全性を確認した。

2.2 小型実験船による水素燃料電池システムの検証試験

図1は，水素燃料電池システムの実船試験に用いた小型実験船「神峰」である。実船試験においては，外部関係者ととも水素燃料電池システム，リチウムイオン電池システム及び電気推進システムを構築した。そして，水素漏洩等の不具合が発生した際の安全機能やシステムの冗長性を調べる試験などを実施した²⁾³⁾。

また，電気推進システムの監視並びに運航時の航続可能距離を推定・表示するための監視システムを開発した。図2は監視モニタ画面の一例であり，水素残量とリチウムイオン電池の残量から航続可能距離を計算し，その推定結果を表示している。

これらの実船試験を行った結果，燃料電池システムを含む電気推進システムに重大な支障はなく，水素使用時の安全性並びに電気機器の制御性，さらに水素燃料電池船の安定した運航を検証できた。



図1 水素燃料電池システムの実船試験に用いた小型実験船「神峰」



(a) 電気推進システムの監視画面

(b) 航続距離等の表示画面

図2 監視モニタ画面の一例

2.3 水素燃料電池システムの成果とまとめ

本重点研究においては，水素燃料電池システムの安全対策を確認するため，様々な試験を実施した。その研究成果は，国土交通省による「水素燃料電池船の安全ガイドライン」の策定に貢献した。また，水素燃料電池システムを搭載する小型船の試設計や水素燃料電池を搭載した模型船によるエネルギー供給並びに推進システムの冗長性の検証試験などを進めてきた。

最近では、水素燃料電池や水素混焼エンジンを搭載した船舶が実際に建造されはじめている。本重点研究で得られた成果の一部は、これらの船舶を建造する際のリスク評価などに貢献している。

3. カーボンフリー燃料の利用技術

本重点研究においては、船舶に各種代替燃料を利用する際の課題や適用性を調査するとともに、当所の GHG 削減プロジェクトチームの活動の一部として、水素やアンモニアを燃料としたコンセプト船の検討を進めてきた^{8),9)}。図 3 は検討結果の一例であり、内航船の航続距離と寸法に対する代替燃料及び動力システムの適用性を模式的に表したものである。水素燃料は小型から大型の船舶まで幅広く利用できると考えられる。また、短距離航路の船舶においては蓄電池の利用、長距離航路の船舶においてはアンモニアやバイオ燃料の利用が期待できる。

これらの調査結果の一部は、国土交通省及び日本船舶技術研究協会らによって実施された国際海運 GHG 削減ロードマップの策定・改定作業^{10),11)}や、国土交通省らが実施している内航カーボンニュートラル推進に向けた検討¹²⁾に貢献した。

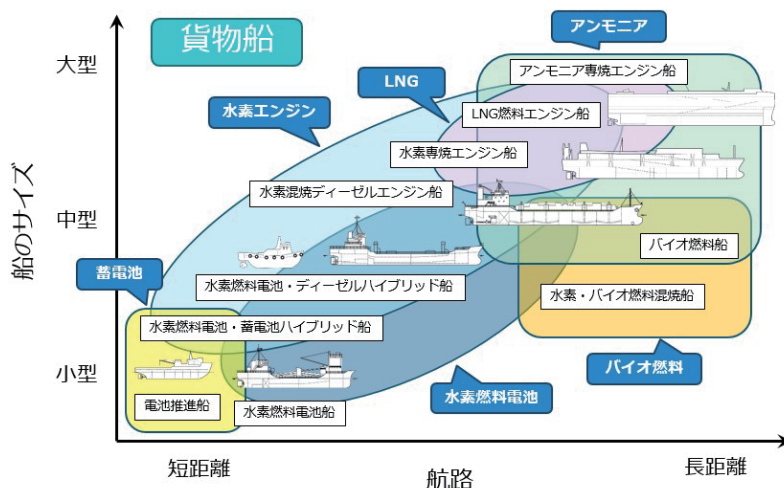


図 3 内航船のカーボンニュートラル技術適用性の検討例⁹⁾

4. 内航船における CO₂ 削減技術

内航海運においては、2030 年度までに CO₂ 排出量を約 181 万トン削減すること（2013 年度比、約 17%削減）を目標に掲げている¹²⁾。本重点研究においては、国土交通省事業のもと、内航船の GHG 削減手法の一つである“連携型省エネ船”の検討を進めた^{13),14)}。

4.1 連携型省エネ船

連携型省エネ船とは、現在の省エネ技術をさらに高度化するとともに、ハイブリッド推進の導入、運航の最適化を図る運航支援設備の導入、時間短縮や船員の作業低減に資する荷役・離着岸設備の自動化・電動化、陸電受電設備や大容量蓄電池などの一部あるいは全部を導入することにより、荷主・陸上・港湾等と連携し、さらなる省エネ・省 CO₂ を実現する船舶である。

図 4 は、連携型省エネ船の検討例であり、省エネ効果が数%の技術を組み合わせることで、運航時、荷役時及

び停泊時を含めて、トータル22%のCO₂削減と試算される。連携型省エネ船は、将来のカーボンフリー燃料の利用に先行して、建造される必要がある内航船であると考えている。

4.2 各種CO₂削減技術を搭載した船舶の建造支援と評価

一般社団法人内航ミライ研究会らは、上記の連携型省エネ船のコンセプトを踏まえた”SIM-SHIP”を提案し、環境省事業のもと、各種CO₂削減技術を搭載した499GT内航貨物船「國喜68」を建造した（図5）¹⁵⁾。本船には、数値流体解析（CFD）を活用した高効率プロペラや省エネ付加物、360°任意の方向に推力を発生できる新型スタスタ、荷役時・停泊時のCO₂削減に貢献する電動甲板機器や大容量リチウムイオン電池などの新技術が搭載されている。当所は、本重点研究で得られた知見を活用し、本船建造時の技術協力を行うとともに、運航状態や搭載機器の状態を監視する陸上サポートシステムの研究開発に携わった。

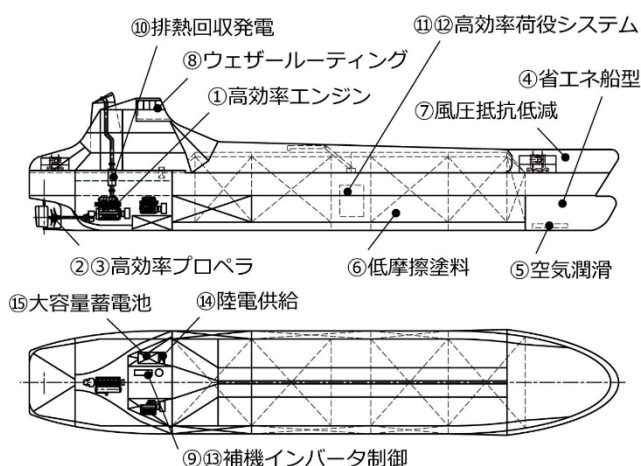


図4 各種技術を導入したGHG削減船のイメージ⁹⁾



図5 各種CO₂削減技術を搭載した499GT内航貨物船「國喜68」¹⁵⁾

5. まとめ

本報では、2016～2022年度に実施された重点研究「多様なエネルギー源等を用いた新たな舶用動力システムの開発に関する研究」において実施した研究成果の一部を紹介した。

2023年度から始まった第2期中長期計画の重点研究「GHG削減技術の高度化および安全・環境対策に関する研究」においては、これまでに得られた研究成果をより発展させて、GHG削減・カーボンニュートラルに貢献する各種技術について、船舶搭載性や実用性の調査を進め、将来のGHG削減目標達成に貢献する技術の構築を目指している。そして、2050年目標であるカーボンニュートラルの実現に向けて、技術的なサポートをしていきたいと考えている。

謝 辞

本研究の一部は、海上技術安全研究所の重点研究「多様なエネルギー源等を用いた新たな舶用動力システムの開発に関する研究」（2016～2022年度）及び「船舶から排出される大気汚染物質に関わる環境対策技術に関する研究」（2016～2022年度）において実施された。また、本研究の実施にあたっては、国土交通省をはじめ、多くの方々の協力をいただいた。関係された所内外の関係者に感謝の意を表す。

References

- 1) MASUDA Akiko, ASAMI Mitsufumi, HIRATA Koichi and TAKAHASHI Chiori: GHG Reduction and Environmental Conservation in Marine Environment & Engine System Department, Papers of National Maritime Research Institute, Vol. 23 (Separate volume), p. 115-120, 2023.
- 2) HIRATA Koichi: Research and Development of New Marine Power Systems using Various Energy Sources, 18th Lecture of National Maritime Research Institute, p.184-193, 2018.
- 3) HIRATA Koichi, KIYOHARA Katsumi, HAINIWA Teruyoshi, HIRAIWA Takuya and YUKIZANE Fumiaki: Commitment to Developing Hydrogen Fuel Cell Ship, Journal of the Japan Institute of Marine Engineering, Vol.54, No.2, p. 34-37, 2019.
- 4) HIRATA Koichi: Research and Development and Safety Guideline for Hydrogen Fuel Cell Ships, Bulletin of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol.93, p. 44-46, 2020.
- 5) HIRATA Koichi: Research on Marine Power Systems with Low-carbon Fuels, Papers of National Maritime Research Institute, Vol. 19 (Separate volume), p.3-7, 2019.
- 6) Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Safety Guideline of Hydrogen Fuel Cell Ships, 2021.
- 7) HIRATA Koichi: Development of Fuel Cell Systems in Marine Field, 17th Lecture of National Maritime Research Institute, p.90-99, 2017.
- 8) HIRATA Koichi and KAWAKITA Chiharu: Activity Plans of GHG Reduction Project Team in NMRI, Papers of National Maritime Research Institute, Vol. 20 (Separate volume), p.19-23, 2020.
- 9) HIRATA Koichi: Feasibility Study on Reduction of GHG Emissions from Ship, Papers of National Maritime Research Institute, Vol. 21 (Separate volume), p.69-72, 2021.
- 10) Shipping Zero Emission Project, Roadmap to Zero Emission from International Shipping, 2020.
- 11) Shipping Zero Emission Project, Toward Achieving Carbon Neutrality in International Shipping by 2050, 2022.
- 12) Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Summary of the “Study Committee for Promoting Carbon Neutral of Domestic Shipping”, 2021.
- 13) Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Summary of the “Study Committee for Development and Popularization of Collaborative Energy-Saving Ships”, 2023.
- 14) HIRATA Koichi: Consideration of Zero-Emission Concept Ship towards Carbon Neutrality, 66th Special Lecture of the Japan Institute of Marine Engineering, p.39-42, 2022.
- 15) Naiko Mirai Study Group (news release), <https://www.7151000.jp/>, 2022.