

## 温室効果ガス削減に向けた最新の取り組みの紹介

山中 象太\*

Yamanaka Shota



国際海運は、積地、揚地、船籍、建造国など関係国が多岐に渡る等の理由で、温室効果ガス（以下、GHG）削減対策は国別削減対策の枠組みに含まれず、国際海事機関（以下、IMO）における統一的な検討に委ねられている。国際海運からの二酸化炭素（以下、CO<sub>2</sub>）排出量は2018年で約7.0億CO<sub>2</sub>トンであり、世界全体の排出量約335億CO<sub>2</sub>トンの約2.1%にあたり、ドイツ一国分のCO<sub>2</sub>排出量と同じレベルである。そのような中、IMOでは2018年に「GHG削減戦略」を採択し、[1]2030年までにCO<sub>2</sub>排出量40%以上削減（輸送量あたり、2008年比）、[2]2050年までにGHG排出量50%以上削減（2008年比）、[3]今世紀中なるべく早期の排出ゼロ、という中長期目標を採択している。また、2022年6月に開催されたIMOの第78回海洋環境保護委員会（MEPC 78）では、我が国を始めとする多くの国が遅くとも2050年までにGHG排出を全体として実質ゼロ（カーボンニュートラル）にすることを念頭に、具体的な目標の改定の議論を進めることを提案し、引き続き議論を進め2023年夏に「GHG削減戦略」の改定を採択することが合意されている。

国際海運の要となる船舶を建造する当社においても、持続可能な社会の実現のために地球環境に優しい船づくりを当社経営の最重要課題の一つと位置付けており、これまでGHG削減対策に関する研究を様々な枠組みで実施しており、船から排出されるGHGの削減に努めている。今回は、当社が取り組んでいるGHG削減に関する一部を紹介する。

### 1. 緒言

IMOの「GHG削減戦略」が前倒しになる可能性が高い中、GHG削減やゼロエミッション技術の開発が急務となっているが、GHG削減・ゼロエミッションと言っても第1表のとおり種々のアプローチ方法がある。これらの中から1つを利用するのではなく、組み合わせることでカーボンニュートラルを達成することができるものも多い。また、近年で

は商品が排出するGHGに気を配るのは勿論、商品が完成するまでの間で輸送や製造等で排出されるGHGも気に掛ける顧客が増えてきている。

今回は、第1表の②従来からの燃料である重油と比較して、GHGの排出を抑制できる別のエネルギーを用いる方法に焦点を合わせて、その特徴・技術課題を述べるとともに当社の取り組みについて紹介する。

第1表 GHGの削減方法

番号	アプローチ方法	技術例
①	従来からの燃料である重油を利用するが、GHGの発生を抑制する方法	燃費向上技術、最適航路 等
②	従来からの燃料である重油と比較して、GHGの発生を抑制できる別のエネルギーを用いる方法	LPG燃料、LNG燃料、アンモニア燃料、水素燃料、バイオ燃料、バッテリー、燃料電池、風力、波力 等
③	GHGを吸収・回収・貯蔵する方法	CCS（CO <sub>2</sub> 回収・貯蔵）、CCU（CO <sub>2</sub> 回収・利用） 等
④	その他	カーボンオフセット、排出権取引 等

## 2. 新エネルギーの特徴

従来からの燃料である重油と比較して、GHG の発生を抑制できる別のエネルギーとしては、特にガス燃料に注目が集まっている。その中でも LPG や LNG を燃料とした船については、既に就航しているものもあり、当社においても以下の建造受注が公表されている。

- ・2019年12月25日公表「LNG燃料」大型石炭専用船（第1図）の受注
- ・2021年8月5日公表「LPG/重油2元燃料対応」大型LPG・アンモニア運搬船（第2図）の受注
- ・2022年1月14日公表「LNG燃料」大型撒積運搬船（第3図）の受注



第1図 「LNG燃料」大型石炭専用船



第2図 「LPG/重油2元燃料対応」  
大型LPG・アンモニア運搬船



第3図 「LNG燃料」大型撒積運搬船

第1図の船尾中央にある短い円筒型のものが、LNG燃料タンクである。また、第3図の船尾右舷側にある円筒型のものがLNG燃料タンクである。第2図にLPG燃料タンクがないのは、船体にある貨物タンク内のLPGの一部を利用するためである。これらガス燃料を含めた新エネルギーと、従来の燃料である重油の特徴を比較したものを第2表に示す。

LNGやLPGは化学式をみても炭素を示す「C」が含まれており、燃焼する際は酸素と結合しCO<sub>2</sub>が排出されてしまう。ただし、1トンの貨物を1マイル運ぶ際に船舶から排出されるCO<sub>2</sub>排出量比率は、重油と比較すると12%~27%の削減となる。

アンモニアや水素については、化学式にも炭素が含まれておらず燃焼してもCO<sub>2</sub>が発生しない。そのため、ゼロエミッションが達成できる燃料として注目を集めている。アンモニアと水素を比較すると、液化温度が大きく違うことがわかる。水素は-253℃と極低温であるため、燃料タンクや燃料配管などを取り扱うにはノウハウが必要である。一方、アンモニアは-33.4℃であり水素やLNGと比較しても比較的扱いやすい低温である。しかしアンモニアには毒性があり、漏洩した場合は命の危険に関わるため、リスク評価を慎重に行う必要がある。

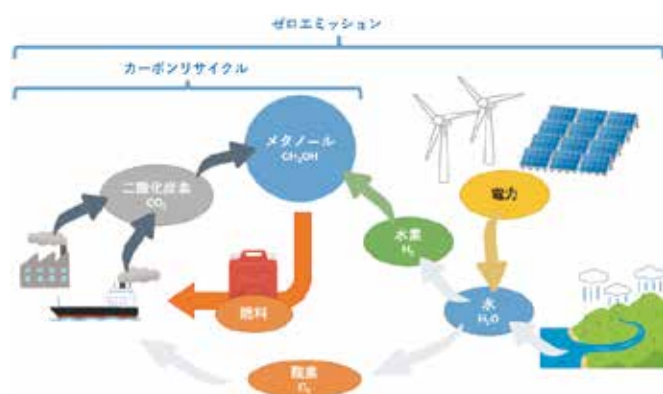
次に燃料の必要タンク容量について着目すると、重油の燃料タンクと比較してLPGやLNGで1.4~1.8倍の容量が必要であり、第1図や第3図のように大きな燃料タンクが必要である。燃料タンクが大きくなると、配置する場所にも工夫が必要になってくる。当社が多く建造している撒積運搬船ではハッチカバーが可動し、荷役装置がその上を稼働するため船体中央のホールド部に配置することが難しい。そのため、第1図や第3図のように居住区の左右舷や後方に配置する必要があるが、燃料がアンモニアや水素となると重油の燃料タンクの2.5~4.5倍の容量が必要となり、LPGやLNGの燃料タンクよりさらに大きな燃料タンクが必要である。そのため、単純に大きい燃料タンクにするのか、タンク数を増やすのかなどを考慮しつつ、係船装置やライフボートを避けて配置する必要がある。

最後にメタノールについてだが、1トンの貨物を1マイル運ぶ際に船舶から排出されるCO<sub>2</sub>排出量の比率は重油と比較して-8%であり、その他の燃料と比較して見劣りしてしまうが、製造過程も考慮すると一転する。メタノールは天然ガスを原料とした製造方法もあるが、水を電気分解した水素と様々なCO<sub>2</sub>排出源（工場の排気ガス等）から回収し

第2表 重油燃料と新エネルギーの特徴比較

	重油 (Diesel Oil)	LPG		LNG メタン CH <sub>4</sub>	メタノール CH <sub>3</sub> OH	アンモニア NH <sub>3</sub>	水素 H <sub>2</sub>	備考
		プロパン C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	ブタン C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>					
CO <sub>2</sub> 排出係数 Cf (t-CO <sub>2</sub> /t-fuel)	3.206	3.000	3.030	2.750	1.375	0.000	0.000	単位重量あたりのCO <sub>2</sub> 排出量
発熱量 LHV (MJ/kg)	42.7	46.3	45.7	50	19.9	22.5	121	低位発熱量
1トンの貨物を1マイル運ぶ際に船舶から排出されるCO <sub>2</sub> 排出量の比率 (重油ベース)	1.00 (ベース)	0.86 (-0.14)	0.88 (-0.12)	0.73 (-0.27)	0.92 (-0.08)	0.00 (-1.00)	0.00 (-1.00)	
密度 (液体) (kg/m <sup>3</sup> )	900	508	585	422	792	695	71	
単位体積発熱量 (GJ/m <sup>3</sup> )	38.4	23.5	26.7	21.1	15.8	15.6	8.6	
必要タンク容量比率 (重油ベース)	1.0 (ベース)	1.6	1.4	1.8	2.4	2.5	4.5	同等航続距離を確保
液化温度 (°C)	-	-42	-0.5	-162	65	-33.4	-253	

た CO<sub>2</sub> を原料としたカーボンリサイクル型の製造方法が注目されている。また、電気分解に必要な大量の電気を風力や太陽光などの再生可能エネルギーで賄うことで、CO<sub>2</sub> を循環させるカーボンリサイクル全体をゼロエミッション化することが可能となっており、特に欧州を中心に注目を集めている。メタノールのゼロエミッションについて概略図を第4図に示す。



第4図 メタノールのゼロエミッション概略図

このように、新エネルギーは様々な特徴を持ち、超えるべき課題も各々あることがわかる。これらの課題を解決するために当社が取り組んでいる「水素燃料電池」を用いた

共同研究、「風力」を用いた共同研究、「アンモニア燃料」を用いた共同研究を最新技術への取り組みとして紹介する。ただし、最新技術の共同研究ということもあり、詳細記載できないところもあることをご理解頂きたい。

### 3. 「水素燃料電池」を用いた共同研究<sup>1), 2), 3), 4)</sup>

当社は岩谷産業株式会社、関西電力株式会社、国立大学法人東京海洋大学と共に、水素燃料電池船および船舶用ステーションの実現に向け、「商用運航の実現を可能とする水素燃料電池船とエネルギー供給システムの開発・実証」というテーマで、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDO）の「燃料電池等利用の飛躍的拡大に向けた共通課題解決型産学官連携研究開発事業/燃料電池の多用途活用実現技術開発」事業に応募し、採択を受け NEDO の助成事業として水素燃料電池船とエネルギー供給システムの開発・実証を進めており、実施期間としては2021年7月から2025年2月までを予定している。

本共同研究の目的は、水素燃料電池の利活用拡大と、未来へのショーケースとして大阪・関西万博等で水素燃料電池船を運航し利用・乗船してもらうことで、世界各国からの来場者に水素エネルギーの可能性を PR し、将来的な海

上輸送分野でのゼロエミッション化に貢献することである。水素燃料電池船のイメージを第 5 図に示す。総トン数は 110-130 トン相当、速さは約 10 ノット（およそ時速 20km）で水素燃料電池と蓄電池の電力を用いて航行する。定員は 150 名程度を予定している。



第 5 図 水素燃料電池船イメージ  
(岩谷産業株式会社ニュースリリースより)<sup>1)</sup>

水素燃料電池船は、従来船と比べ走行時に CO<sub>2</sub> や環境負荷物質を排出しない高い環境性能を有するだけでなく、従来の燃料油を燃焼した際のような臭いがなく、モーター駆動のため主機エンジンも不要で、ディーゼル発電機もないため騒音・振動もなく、優れた快適性が期待されており、観光や遊覧をする船と相性の良いシステムである。

一方、水素の特徴は前述のとおりであり、極低温の液化水素は取り扱いが難しいため、早期の普及を目指すべく、今回検討している水素燃料電池船の燃料は圧縮水素ガスとした。岩谷産業株式会社は、燃料電池自動車、燃料電池バス、燃料電池フォークリフト向けの水素ステーションを先駆けて販売・運用してきた経験ノウハウを生かし、水素燃料電池船及び水素の充填と充電が可能な船舶用ステーションの開発に取り組む。

船舶用ステーションの開発に関しては、水素燃料電池船に用いる蓄電池の充電時に高出力の電気が必要である。また、船に水素を充填するために用いる圧縮機も利用時に大量の電力を消費する。そのため、関西電力株式会社は、船の運航スケジュールを踏まえ、水素圧縮機や充電器の出力や時間を制御するとともに、最適な設備構築を行うことで、使用するエネルギー全体の負荷平準化を目指す。

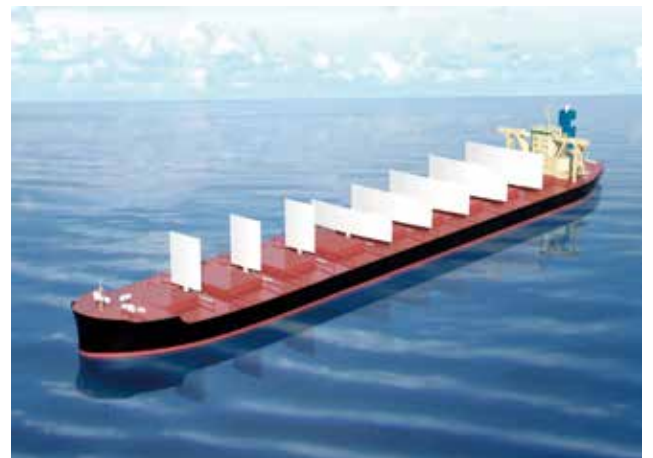
国立大学法人東京海洋大学は、2008 年よりリチウムイオ

ン電池を搭載した急速充電対応型電池推進船に関する研究を開始しており、これまでに急速充電対応型電池推進船「らいちょう I」、モーター駆動ウォータージェット推進器搭載の「らいちょう S」、ハイブリッド型電池推進船「らいちょう N」を建造・就航させ、2016 年からは水素燃料電池を搭載させている。これらの「らいちょうシリーズ」建造にあたり蓄積した技術、ノウハウを生かし、水素燃料電池船の普及および課題解決を目指す。

当社においては、造船所として培ってきた技術とノウハウならびに、先の LNG・LPG のノウハウも生かし共同研究先と協力することにより、水素燃料電池船の実現を目指す。

#### 4. 「風力」を用いた共同研究<sup>5)</sup>

当社は、NS ユナイテッド海運株式会社と共同で、183,000DWT の撒積運搬船を対象とした帆を利用した風力による低燃費技術の実現に向けて研究開発を実施している。風力による低燃費技術については、世界各国で GHG 削減をはじめとする環境目標が掲げられる昨今、実船への搭載も始まっており、当社においても風力利用による低燃費技術が、今後欠かせない技術になるととらえている。また、2021 年には EEDI 及び EEXI の計算及び認証のための革新的省エネ技術の取扱いに関するガイダンスも発行され、帆を含む「風力」を利用した推進補助装置の効果を EEDI や EEXI へ反映できる仕組みになり、その取り組みの重要性は増している。第 6 図に取り組んでいる帆の搭載イメージ図を示す。



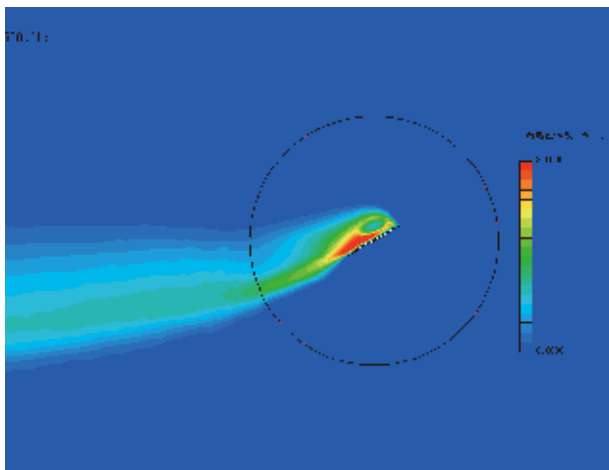
第 6 図 帆搭載イメージ

既に帆形状の最適化、帆の枚数、甲板下への格納方式及び幅方向への展開の検討を行い、当社独自の方式として特許出願に至っており、その大きな特徴は以下の 3 つである。

- (1) 風力による推進力を得られない場合および荷役を行っている場合等に、帆を甲板下に格納可能な機構を有する。
- (2) 風力による推進力を最大限得るために、帆を幅方向へ展開可能な機構を有する。
- (3) 帆の形状を決定する基準を複数設定し、複数形状の帆を採用することで、海上人命安全条約 (SOLAS 条約) 等にて定められている船橋からの視界を確保することを可能としている。

また、前述の特徴を踏まえて、以下の研究内容に取り組んでいる。

- (1) CFD 計算による帆の断面形状検討 (第7図)、及び帆の模型を製作し、水槽試験 (第8図)、風洞試験及び操縦性能試験を実施し帆の性能確認を行う。



第7図 CFD 計算による帆の断面形状検討  
(渦粘性係数の可視化)



第8図 水槽試験による帆の性能確認

- (2) 格納機構としてウインチを利用し、ホールド間のスペースに格納すること、また荷役中はアンローダー等の荷役装置と干渉しないことの検討を行う。

- (3) 帆の展開機構として、スライド方式の検討を行う。
- (4) 船橋からの視界を確保するために、各帆の形状及び大きさの検討を行う。
- (5) 帆の効果を最適航路選定ソフトに組み込み、省エネルギー効果を最大限活用する。
- (6) 帆の格納機構に関連する船殻強度の検討を行う。
- (7) 試作機を製作し、格納機構や展開機構等の作動試験を実施する。

これらを実現するために、NS ユナイテッド海運株式会社との航路のノウハウと合わせることにより、帆のオペレーションプロファイルの作成、帆の性能を把握するための諸試験などに取り組む。

### 5. 「アンモニア燃料」を用いた共同研究<sup>6), 7)</sup>

当社は、株式会社商船三井及び三菱造船株式会社とアンモニアを燃料として航行する大型アンモニア輸送船の共同開発を実施しており、同船の基本設計を進めている。株式会社商船三井は、港湾調査や船型調査を主担当としている。三菱造船株式会社は、最適カーゴタンクの検討および試設計、デッキタンクの開発、機関構成の検討、燃料供給装置の搭載設計、特殊艙装・荷役装置の設計、安全装置の搭載設計を主担当としている。当社は、要目確定及び船型開発を主担当としている。取り組んでいる大型アンモニア輸送船のイメージを第9図に示す。



第9図 アンモニア燃料大型アンモニア輸送船

現在、アンモニアの大半が肥料用途として幅広く利用されているが海上輸送量は限定的である。しかしながらアンモニアは近年、燃焼時に CO<sub>2</sub> を排出しない次世代のクリーンエネルギーとして注目されており、石炭火力発電所における混焼利用や水素キャリア (水素貯蔵体) としての活用など、2050 年カーボンニュートラルの実現に向けた有力な

選択肢として位置づけられており、将来的に大規模な需要が見込まれている。日本のエネルギー政策の基本的な方向性を示すためにエネルギー政策基本法に基づき日本政府が策定し2021年10月に閣議決定された「第6次エネルギー基本計画<sup>8)</sup>」においても、アンモニアはカーボンニュートラル実現に向けた有力な選択肢として位置づけられており、2030年時点で300万トン、2050年時点では3,000万トンの国内での年間需要が想定されている。

当社は共同研究先と共に、こうしたアンモニアの需要増に伴う輸送を担う船舶を提供することに加え、GHGの排出削減の実現を目的としたアンモニアを主燃料とした大型アンモニア輸送船の開発に取り組む。

## 6. 結言

今回は、「従来の重油燃料と比較して、GHGの発生を抑制できる別のエネルギーを用いる方法」に焦点を当てて当社の最新の取り組みを紹介したが、それ以外にも紹介できなかった案件も多々ある。

当社は持続可能な社会の実現のために2050年カーボンニュートラルを掲げる政府方針に沿い、地球環境に優しい船づくりを当社経営の最重要課題の一つと位置付けており、GHG排出が少ない/GHG排出がない次世代の船の開発に積極的に取り組みカーボンニュートラル社会の実現に貢献できるよう引き続き取り組みを実施していく。

## 謝辞

最後に本報執筆にあたり、多大なご協力頂いた共同研究先のご協力を深く感謝致します。

## 参考文献

- 1) 岩谷産業株式会社ホームページ ニュースリリース：水素燃料電池船と船舶用ステーションの実現に向けた検討開始 大阪・関西万博での商用化を目指す  
[https://www.iwatani.co.jp/img/jpn/pdf/newsrelease/1373/20201125\\_news\\_jp3.pdf](https://www.iwatani.co.jp/img/jpn/pdf/newsrelease/1373/20201125_news_jp3.pdf)
- 2) 岩谷産業株式会社ホームページ ニュースリリース：水素燃料電池船と船舶用ステーションの開発を開始 NEDO 助成事業に採択、大阪・関西万博等での商用化を目指す  
[https://www.iwatani.co.jp/img/jpn/pdf/newsrelease/1402/20210721\\_news\\_jp.pdf](https://www.iwatani.co.jp/img/jpn/pdf/newsrelease/1402/20210721_news_jp.pdf)
- 3) 関西電力株式会社ホームページ プレスリリース：水素燃料電池船と船舶用ステーションの実現に向けた検討開始

について

[https://www.kepco.co.jp/corporate/pr/2020/1125\\_1j.html](https://www.kepco.co.jp/corporate/pr/2020/1125_1j.html)

4) 国立大学法人東京海洋大学ホームページ プレスリリース：水素燃料電池船と船舶用ステーションの開発を開始  
[https://www.kaiyodai.ac.jp/topics/img/965a7afce1b5ef09777a44f579353c88\\_1.pdf](https://www.kaiyodai.ac.jp/topics/img/965a7afce1b5ef09777a44f579353c88_1.pdf)

5) NS ユナイテッド海運株式会社ホームページ ニュース：帆を利用した風力による低燃費技術の共同研究について  
<https://www.nsuship.co.jp/wp-content/uploads/2021/05/00e86fef405fa4deaf7dbb72dc1c79b3.pdf>

6) 株式会社商船三井ホームページ プレスリリース：アンモニアを燃料とした「大型アンモニア輸送船」の開発に着手

<https://www.mol.co.jp/pr/2021/21098.html>

7) 三菱重工業株式会社ホームページ プレスインフォメーション：三菱造船、アンモニアを燃料とする「大型アンモニア輸送船」の開発に着手 商船三井、名村造船所と海事業界の脱炭素化で協働

<https://www.mhi.com/jp/news/21110401.html>

8) 経済産業省ホームページ：第6次エネルギー基本計画, pp. 111-112

<https://www.meti.go.jp/press/2021/10/20211022005/20211022005-1.pdf>