



海運業界における燃料転換の動向と 電力推進船のポテンシャル

株式会社H&Sエナジー・コンサルタンツ パートナー
石丸 美奈

目次

- | | |
|---------------------|-------------|
| ○はじめに | ○LNG燃料船 |
| ○環境規制と地球温暖化防止
対策 | ○バッテリー推進船 |
| ○船舶と燃料 | ○燃料電池船 |
| | ○産業・地域の課題解決 |

○はじめに

化石燃料のディーゼル車やガソリン車などの生産や販売禁止が世界各国で相次いで宣言¹されているが、自動車業界に続いて船舶の世界でも、従来の重油からの燃料転換の動きが本格化しつつある。

規制)が敷かれており、一般海域では硫黄分濃度が3.5%以下となっているが、2020年1月以降は0.5%以下と大幅に引き下げられる。

- ①バルト海周辺、②北海周辺、③米国(含むハワイ)とカナダ沿海部の200海里内の北米、④プエルトリコと米領ヴァージン諸島を含む

○環境規制と地球温暖化防止対策

こうした動きを加速しているのが、国際海事機関(IMO)による排ガス規制の強化だ。大気汚染の原因となる窒素酸化物(NOx)、硫黄酸化物(SOx)、粒子状物質(Particulate Matter, PM)は呼吸器疾患等の健康被害を引き起こすため、世界各国で規制が導入されているが、船舶に関してはIMOが、海洋汚染防止を目的とするマルポール条約(MARPOL 73/78)により規制を行っている。同条約の附属書V I²では、SOxの排出削減対策として、燃料油の硫黄分濃度規制(SOx

排出規制海域(ECA)



(出所) 石油輸出技術センター(JPEC)「IMOのSOx規制強化による船舶用燃料への影響(1)」、JPECレポート2015年度 第17回、2015年10月7日

1 オランダやノルウェーでは2025年、ドイツ、デンマーク、スウェーデンでは2030年、フランス、英国、スペイン、台湾では2040年を目途に、こうした自動車の生産ないしは販売が禁止となる予定。但し、ハイブリッド車に関する各国の対応は不透明。

2 1973年に採択され1978年に発効したMARPOL 73/78附属書V I (2005年発効)は400総トン以上の全て船舶から排出される大気汚染物(NOx、SOx、PM)に適用される。なお総トン数は船の容積を表す指標。

カリブ海の4つの排出規制海域（Emission Control Areas, ECA）³では、すでに2010年7月から1.0%以下、2015年1月からは0.1%以下の制限が適用されている。

こうした大気汚染対策に加えて、2015年の第21回国連気候変動枠組条約締約国会議（COP21）で合意に至ったパリ協定では、地球温暖化防止対策として、世界の平均気温上昇を産業革命以前に比べて2℃未満（努力目標1.5℃）に抑え、21世紀後半には温室効果ガス（GHG）の排出を実質ゼロとする世界共通の長期目標が掲げられている。このような国際動向を受けて、IMOでも2018年にロンドンで開催された海洋環境保護委員会（MEPC）で、海運業界としては国際的に初めて、2050年までにGHG排出総量を2008年比で50%以上削減する等の排出量削減目標⁴を定め、今世紀中のできるだけ早い時期にGHG排出量ゼロを目指すことで合意した。このため、長期的な視野に立った燃料転換によるCO₂削減も急務となっている。

○船舶と燃料

商用船舶に使用される燃料には主として軽油と重油がある。重油は原油から軽油を含む各種石油製品を精製した後の残渣油で、A重油（硫黄分1.0%）は軽油90%に少量の残渣油を混合したもので軽油に近い。C重油（硫黄分3.5%）は90%以上が残渣油で、粘度が高く不純物も多い。船舶用に使用される場合は油清浄機により不純物を取り除くが、それでも硫黄や灰分を多く含んでいる。しかし、低価格のため中・大型船舶の燃料として、日本の

内航船の69%、外航船の98%で使用されている⁵。

SOxの規制強化でC重油は現行のままでは使えなくなる。9か月後に迫ったIMOの規制基準をクリアするための当面の方策としては①重油を低硫黄燃料油に変える、②船上に排気ガス洗浄装置（スクラバー）を設置して脱硫する、③LNGに燃料転換する、の3つがある。

①に関しては、軽油とC重油をブレンドする、残渣油を直接、脱硫したり、分解・改質したりして低硫黄燃料油を増産する、低硫黄原油から低硫黄燃料油を製造する、といった方法があるが、需要に見合った安定供給が可能か否かは明確でない。規制が開始されると高品質燃料は取り合いとなり、価格が上昇するのは必至とみられている。また、燃料の質が変わることで、機械系統に問題が生じる恐れもある。

②のスクラバーの設置には一基あたり数億円の費用がかかる上、燃料消費量も2～3%増加する。設備が大きく重量もあるので、貨物積載量が削られてしまうデメリットもある。また、既存船への後付けには長い工期がかかるという問題もある。

一方、③のLNGへの燃料転換では、特殊で大型のLNG燃料タンクが必要となり、新造船の船価は高く、貨物積載量も削減される。大きなシステム変更になるため既存船の改造は難しい。超低温のLNG（約-160℃）を取り扱うため、船員への技術教育が必要となる。また、世界的なLNG燃料供給インフラの整備もあまり進んでいない。しかし、LNGには

3 IMOが承認したECA。③と④の海域ではPMおよびNOxの規制も導入されている。中国はIMOの承認を受けていない独自の国内ルールで3つのECA（渤海、長江デルタ、珠江デルタ）を定めている。

4 炭素排出効率の面から、短期的には、海運業務当たりの原単位二酸化炭素排出量を2030年までに2008年比40%以上削減し、中期的には2050年までに70%削減できるよう努める、との目標もある。

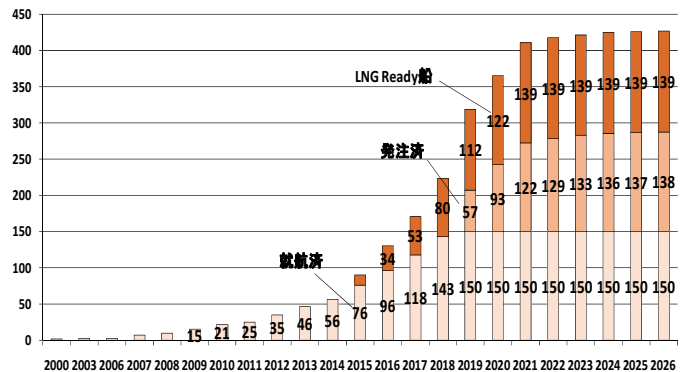
5 国土交通省「海運業界要望に係る事項についての現時点での情報について」2017年2月28日

SOxやPMの排出をゼロに、また重油に比べてNOxは最大で80%、CO₂も約30%削減できるという大きなアドバンテージがある。さらに、比較的安価な燃料の長期安定供給という面では、シェールガス革命による供給ポテンシャルの大幅な増加⁶もあり、数ある代替燃料候補の中では、唯一、船舶業界全体での燃料転換が起こったとしても、それに十分対応できる供給量⁷と価格競争力があると予想されている⁸。そのため、欧米を中心に環境問題に対する意識の高い客船会社などの間でLNG燃料船を導入する動きが始まっている。

OLNG燃料船

2000年にノルウェーで世界初のLNG燃料船であるフェリー「Glutra」⁹が就航して以降、2018年末までに世界では223隻のLNG燃料船が建造され、うち80隻は将来的にLNG燃料の使用が可能な設計であるLNG Ready船

世界のLNG燃料船の隻数



(出所) “Alternative Fuel Insight”, DNV GL, 2019年

となっている。国内の天然ガス資源の活用拡大はノルウェー政府の長年の目標で、同国内で就航しているLNG燃料船は81隻(2019年2月末現在)と世界の28%を占めている¹⁰。

日本では日本郵船が2015年8月に、国内初のLNG燃料船であるタグボート「魁」を竣工させている。全長37.2m、272総トンで、重油とLNGの両方を燃料にできる二元燃料(Dual Fuel)エンジンを搭載する。

世界初のLNG燃料船「Glutra」



(出所) <https://www.marinetraffic.com>

日本郵船のLNG燃料タグボート「魁」



(出所) 日本郵船プレスリリース、2015年9月1日

6 但し、シェールガス生産に関しては水圧破碎による採掘で地震が増えるといった事象や水質、地質、大気など環境に与える負荷や人体への影響が問題視されている。直近では中国四川省で起こった1000人以上の地元住民と当局による衝突が記憶に新しい(日本経済新聞、2019年2月26日)。
 7 ノルウェー、オスロに本拠を置く自主独立の財団で、第三者認証機関であるDNV-GLの調査では、世界中の船舶がLNG燃料に切り替えたとしても、総需要量は現行のLNG市場の10%に過ぎないとしている。DNV-GL “Alternative Fuels and Technologies for Greener Shipping” June 2018。
 8 但し、供給のためのインフラ整備には投資が必要となる。なお、本稿では燃料供給を行うインフラとしての船舶をLNG燃料供給船、LNGを燃料として航行する船舶をLNG燃料船として区別する。
 9 全長94.8m、載貨重量640トンで、自家用車96台又は8台のトラックトレーラと42台の自家用車を収容でき、乗客300名を運ぶことができる。
 10 “Alternative Fuel Insight”, DNV GL, 2019年

また、2016年には欧州向けに、世界初となるLNG燃料自動車専用船（Pure Car & Truck Carrier, PCTC）「AUTO ECO」（全長約181m、42,424総トン、Dual Fuelエンジン搭載）が、そして2017年には姉妹船「AUTO ENERGY」が竣工している。

昨年12月には、同社が日本の荷主からの要望を受け、国内向けにも、同様のLNG燃料船建造の検討に入った旨が報道されている¹¹。

しかし、最終的にゼロエミッション化を目指すにあたって、LNG燃料への転換は過渡的な手段に過ぎない。そのため自動車業界で電気自動車（EV）や燃料電池車（FCV）が登場しているように、海運業界にも電化の兆し

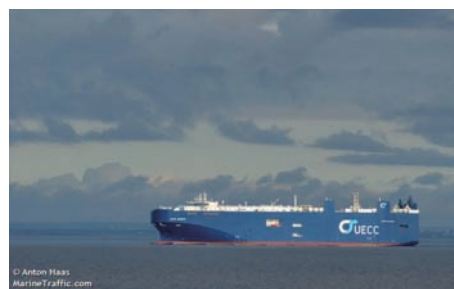
が表れている。

○バッテリー推進船¹²

バッテリー推進船の分野でも先行するのはノルウェーで、2015年から、世界初となる完全電気推進のカーフェリー「Ampere」が、ノルウェー西部の同国最大のフィヨルドであるソグネフィヨルドで運航されている。全長80mで車両120台、乗客360名を運ぶことが可能で、片道5.6km、20分のルートを一日17往復する。船には容量1MWhのリチウムポリマー電池¹⁴が搭載されており、港に停泊中10分で充電が完了する。

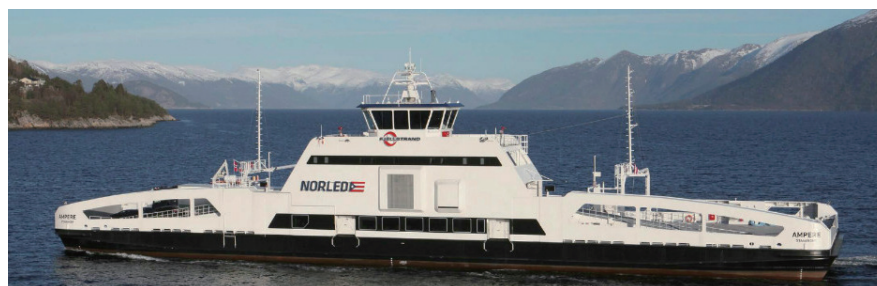
現在の船用バッテリー技術やコスト面の制

日本郵船グループUECC社¹³のLNG燃料PCTC「AUTO ECO」（左）と姉妹船「AUTO ENERGY」（右）



（出所）日本郵船プレスリリース、2016年9月11日（左）、marinetraffic.com（右）

ソグネフィヨルドを航行する「Ampere」



（出所）DNV-GL ウェブサイト

11 Bloomberg「日本郵船が初の日本向けLNG燃料船検討、荷主の環境意識受け」2018年12月13日

12 本レポートは民間商船を対象としており、既にバッテリー使用の例が多数あるレジャー・ボート分野は扱わない。

13 United European Car Carriers (UECC、本社：ノルウェー・オスロ) は日本郵船とWallenius Lines (本社：スウェーデン・ストックホルム) が50%ずつ出資する船舶会社。

14 電解質に半固体状態のポリマー（ポリマーに電解液を含ませてゲル化したもの）を使用するリチウムイオン電池の一種。電解質に液体を使うリチウムイオン電池に比べて燃えにくく、安定性が高い。

約で、出力需要の大きい外航船への利用は難しく、海洋開発事業のためのオフショア支援船や作業船といった沿岸航行船か、フェリー、旅客船といった、決められたルートを定期的に運航する船舶での導入が中心となっている。2018年末現在、世界でバッテリーを動力として使用する船舶は147隻だが、そのうち約40%をノルウェーが占める。同国は内航フェリーの近代化を主たる政策とし、支援も行っているため、船用バッテリー市場で大きなシェアを有している。

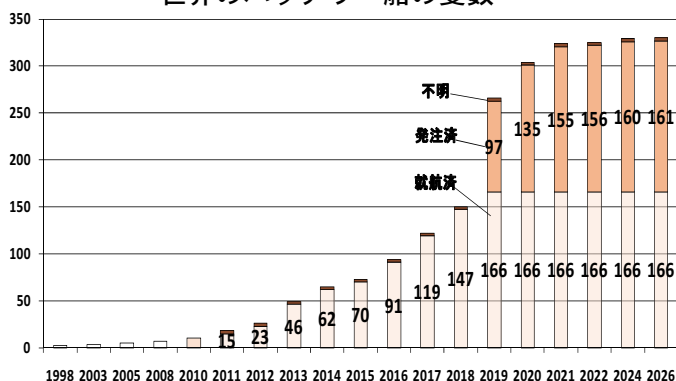
しかし、こうした船舶電動化促進の背景には、次世代産業育成の側面に加えて、ノルウェー独特の大気汚染問題がある。山々に囲まれ盆地となっているオスロやベルゲンのような都市では、冬になると自動車、船舶、暖房機器などからの排ガスで街が覆われ、住民には呼吸器疾患やアレルギーなどの健康被害が出ている。夏には多くの観光客がフィヨルド地域を訪れるが、観光船などからの大量の排ガスと油の臭いで貴重な観光資源のイメージが損なわれかねない。このため、こうした地域における船舶を含む交通手段の完全電化は

重要な課題の一つとなっている。

オスロ港は2030年までにCO₂排出の85%減を目標にしており、将来的にはゼロエミッション港を目指している。そのため、燃料転換や新しい技術、CO₂排出削減につながるインフラ設備の提供に尽力しており、今年1月8日には新たな陸上から船舶への電力供給システム（陸電システム）を整備した。大手フェリー会社であるDFDSとStena Lineの船舶は陸からの受電ができるようになり、停泊中に化石燃料を燃やす必要がなくなった。この設備により年間で乗用車1,300台分以上のCO₂排出量が削減できるとのことで、オスロ港では2020年までに海外からの全てのフェリーに対する陸からの給電を目指している。

日本では、本年2月27日に国内の内航貨物船としては初めて、リチウムイオン電池を利用したハイブリッド推進システム搭載の「うたしま」（499総トン）¹⁵が就航した。通常の航海時にはディーゼルエンジンを使うが、港内や低速での短距離航行時には、内燃機関を使用せず、リチウムイオン電池からの電力が推進電動機に給電されプロペラを回

世界のバッテリー船の隻数



(出所) “Alternative Fuel Insight”, DNV GL, 2019年

リチウムイオン電池搭載型内航鋼材船「うたしま」



(出所) NSユナイテッド海運株式会社プレスリリース、2019年2月18日

15 総容量3,500kWhのリチウムイオン電池が搭載されており、これは一般的な普通自動車2,700台分に相当する（NSユナイテッド海運株式会社プレスリリース、2019年2月18日）。

す。また荷役や停泊時の船内電力もリチウムイオン電池から給電される。

一方、1月には旭タンカーとエクセノヤマミズがリチウムイオン電池を動力源とする完全電化の内航タンカー「e 5 (イーファイブ)」(499総トン)の基本設計の完成を発表しており、2020年末には世界初となるバッテリー推進タンカーの商用化を目指す。将来的な自動運航および燃料電池の搭載も視野にいたしたプロジェクトだ。

船舶の自動運航では昨年10月に大島造船所が電池駆動船「e-Oshima」(290トン)¹⁶の開発を発表している。e-OshimaにはMHIマリンエンジニアリングと共同開発する自立操船システムが搭載され、来賓送迎船として3キロ区間を不定期に航行し、自動運航の実証実験を行うという¹⁷。

すでに昨年12月、英ロールスロイス社とフィンランド国営のフィンフェリー社は、フィンランドのトゥルク市の南部、2万にも及ぶ島々の浮かぶ多島海で、世界で初めてフェリー「FALCO」の完全自律運航に成功した。80名の招待客を乗せた全長53.8mのFALCOは、搭載された各種センサーやAIにより障

害物を検知の上で衝突を回避し、自動着岸も行っている。

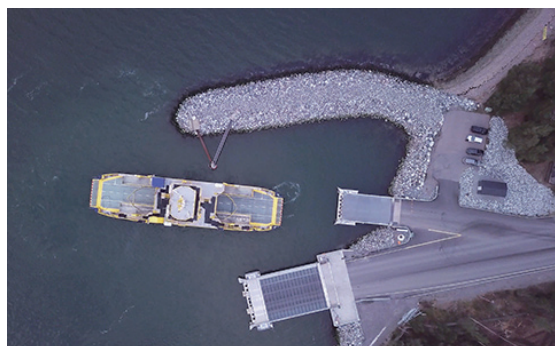
電動化により構造が簡素化されたEV車では制御が容易になり、完全な自動運転実現に向けての研究開発が加速されている。船舶においても、完全な電気推進船が普及するにつれて、自律航行に向けた取り組みが進むだろう。

○燃料電池船

燃料電池船のプロジェクトはまだごく初期段階にあるが、今後の燃料電池と水素技術の研究開発の進展につれて、船用分野にも広がることになると考えられる。

水素燃料電池船には戸田建設などが環境省の実証事業で開発した日本初となる「長吉丸」(重量5.2トン)があり、2015年度に長崎県五島市の椀島沖で実証航行が行われた。全長12.5メートル、12人乗りの小型船で、水素と燃料電池で発電し、その電力でモーターを駆動し、スクリューを回す。1充填当たりの航行時間は2時間で、最高20ノット(時速約37km)で走る。燃料となる水素は、同じ五島沖の浮体式洋上風力発電施設からの余剰電力で

自律運航で港を離れるファルコ号



(出所) ロールスロイス社プレスリリース、2018年12月8日

水素燃料電池船「長吉丸」



(出所) 五島市公式サイト「まるごと」2015年10月2日

16 容量約600kWhのバッテリーで推進力と船内電気を賄う。長崎新聞社、2018年10月11日記事(12月11日更新)

17 平成18年度の国交省の補助事業。

水を電気分解し製造したCO₂フリー水素だ。充電式のリチウム電池船が抱える蓄電池の軽量化と航続距離延長の両立という課題を解決し、地域の風力資源を活用したエネルギーの地産地消を実践したプロジェクトとなっている。

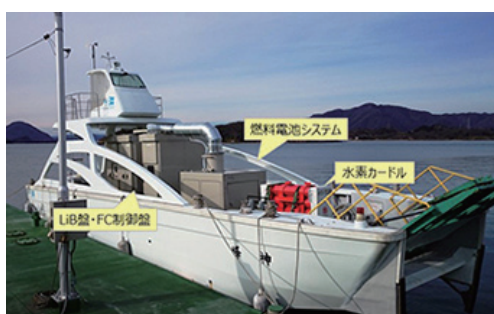
2016年には東京海洋大学などが、全長12.7mの電池駆動船「らいちょうN」(9.1総トン)¹⁸を改造し、水素燃料電池を追加搭載¹⁹して、東京湾での実証実験を行い、2018年にはヤンマーなどが、国立研究開発法人「海上・港湾・航空技術研究所 海上技術安全研究所」の管理する実験船「神峰」(全長16.5m、17総トン)

燃料電池を搭載した電池駆動船「らいちょうN」



(出所) 日刊水産経済新聞、2016年10月19日

燃料電池システムを搭載した実験船「神峰」



(出所) ヤンマー株式会社プレスリリース、2018年3月30日

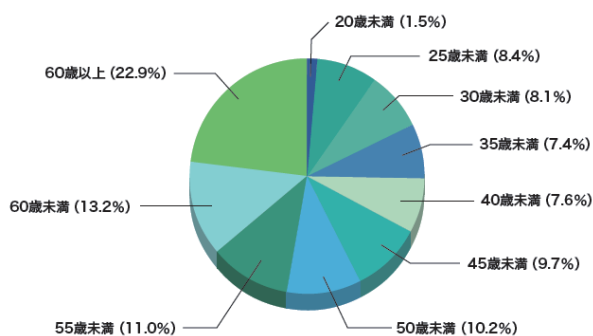
に燃料電池とリチウムイオン電池を搭載して広島県尾道市の海域で実船試験を実施している。こうした成果は、国土交通省海事局が2020年の東京オリンピック・パラリンピック開催時をめぐりに策定を進めている「水素燃料電池船の安全ガイドライン」に反映される。

○産業・地域の課題解決

現状では小型船が中心となる船舶の電動化であるが、こうしたシフトは単なる環境対策を超えて、海運産業や地域が抱える課題解決の糸口にもなり得る。

日本国内の海上輸送では船員の減少と高齢化、そして船舶の高齢化が深刻になっている。内航に関しては、日本を含む主要国の多くでカボタージュ規制²⁰が実施されており、日本の沿岸輸送を行えるのは自国籍の船舶に限られていて、日本人船員の乗船が義務化されている。また、日本人だけが沿岸輸送用船舶を所有できる。従って、内航海運を支えるのは日本人船員であるが、2017年10月の時点でそ

内航船員の年齢構成



(出所) 「Shipping Now 2018-2019」公益財団法人日本海事センター

18 東京海洋大学は2010年から急速充電の電池推進船らいちょうシリーズの開発に取り組んでおり、同船はその3作目。

19 燃料電池は3.5kwが2基、リチウムイオン電池は13.2kWhが11基で合計145kWh。

20 海運カボタージュとは国内の2港間の貨客の輸送を意味し、伝統的に自国籍船で行うことが慣行となっているが、英国やデンマークなど一部のEU諸国では原則としてカボタージュが解放されており、オーストラリアやニュージーランドでは1990年代後半に規制が撤廃されている。

の総数は27,844名と2010年からほぼ横ばいで、1997年に比べて60%以上の減少となっている。しかも、そのうち47%は50歳以上となっている²¹。少子化に加えて、不規則な勤務体系や特殊な労働環境もあり、若手船員の激減で人手不足は深刻な状況だ。

内航船の老朽化も進んでおり、2018年3月31日現在で、総数5,223隻のうち71%（総トン数では50%）が14年以上の老齢船になっている²²。小規模な船主が多く、自身の高齢化ともあいまって、新造船建造のためのファイナンスや船員確保の困難により、老齢船のリプレイスは進んでいない。なんらかの方策を導入しなければ、内航海運はその存続自体が危ぶまれる状況になりつつある。

電気推進船へのシフトにより、構造がシンプルかつ標準化された船舶が増えれば、大量生産で建造コストが低減する。IoTやAIの活用でこうした船舶の遠隔モニタリングや自動化が進み、完全な自動運航が可能になれば、今後、さらに深刻化する人材不足にも対応できる。

また、五島での水素燃料電池船プロジェクトが示すように、人口減少と高齢化に直面し、とりわけエネルギーの費用負担が重い離島で、交通セクターに地域の再エネ電力を活用できるようになれば、将来的に島民は、海上でバッテリー船や水素燃料電池船で、陸上ではEVやFCVで、オンデマンドと自動運転による切れ目のないモビリティを確保できるようになり、災害時には多数の動く蓄電設備が地域のレジリエンスを高めることになる。そんな未来像が描ける燃料転換の波及効果は大きい。

（参考文献）

（なお、本文中に引用されているものは除く。）

- ・旭タンカー株式会社&エクセノヤマミズ
「次世代ゼロエミッションEV内航船開発プロジェクト」2018年10月19日
- ・国土交通省「海事レポート2018」2018年7月
- ・一般財団法人 石油エネルギー技術センター（JPEC）
「IMOのSOx規制強化による船舶用燃料への影響(1)」2015年10月5日
「IMOのSOx規制強化による船舶用燃料への影響(2)」2015年10月13日
- ・戸田建設株式会社
「環境省CO₂排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業 小型船舶の低炭素化〔燃料電池〕の技術開発・実証」
- ・一般社団法人 日本舶用工業会、一般財団法人 日本船舶技術研究協会
「欧州における電池推進船の動向調査」2018年3月
「欧州におけるLNG等新燃料を使用する船舶用エンジンに関する開発動向及び使用環境調査」2018年3月

21 日本海事広報協会「日本の海運 SHIPPING NOW 2018-2019」2018年

22 日本海事広報協会「日本の海運 SHIPPING NOW 2018-2019」2018年