

# 船舶・港湾分野におけるカーボンニュートラルへの取組み

Initiatives to Achieve Carbon Neutrality in the Ship and Harbor Sector

造田 大祐 ZODA, Daisuke

林 寛明 HAYASHI, Hiroaki

項 東輝 Donghui, Xiang

脱炭素化に向けて船舶の電動化が期待されている。富士電機は、船舶・港湾分野の脱炭素化に貢献できる商材を開発している。船舶の電気推進システムは、電力変換器や推進用電動機の冷却方式を水冷ジャケット式とすることで空冷式に比べて小型化し、システムの設置スペースが削減できる。港湾の陸上給電設備は、電源設備をコンテナに収納しパッケージ化することで施工性が向上し、工期が短縮できる。港湾 EMS では、水素・アンモニアなどの代替燃料も含めた港湾のエネルギーマネジメントにより、省エネルギーと脱炭素化を進めることができる。

As a step toward decarbonization, the electrification of ships is expected to progress. Fuji Electric is developing products that can contribute to decarbonization in the ship and harbor sector. Ship electric propulsion systems that use a water jacket cooling system are smaller than that using a conventional airflow cooling system, reducing system footprint. Onshore power supply systems have improved the installation and shortened construction periods by packaging power supply equipment in a container. Our harbor EMS manages harbor energy, including hydrogen, ammonia and other alternative fuels, contributing to energy saving and decarbonization.

## ① まえがき

地球温暖化対策として、温室効果ガス排出の削減、カーボンニュートラル実現への加速が叫ばれるようになってきている。日本政府も“2050年カーボンニュートラル”を2020年に宣言し、その達成に向けた施策を打ち出している。日本のCO<sub>2</sub>排出量の約17%は運輸部門由来であると報告されている<sup>(1)</sup>。これは発電などのエネルギー転換部門、産業部門に次いで大きく、これを削減することも喫緊の課題である。富士電機は、各部門におけるカーボンニュートラルに貢献するさまざまな製品を提供している。本稿では、船舶・港湾分野におけるカーボンニュートラルへの取組みについて述べる。

## ② 船舶・港湾分野における取組み

富士電機は、船舶・港湾分野においてパワーエレクトロニクス技術を活用して、脱炭素化に貢献できる製品の開発を推進している。船舶に対しては電気推進システム、港湾に対しては停泊中の船舶への陸上給電設備・港湾のエネルギーマネジメントシステム(EMS: Energy Management System)と荷役機械向け水素燃料電池システムの開発に注力している。

船舶の電動化は、脱炭素化に向けた重要な手法である<sup>(2),(3)</sup>。バッテリー、水素燃料電池を動力源とする電気推進システムを搭載した小型船舶が、ここ近年建造されている。2019年にバッテリー船 e-Oshima が、2022年にバッテリー船 EVタンカーあさひが、2023年には同型のあかりがそれぞれ竣工している<sup>(4)</sup>。2023年には、2025年日本国際博覧会(大阪・関西万博)での運航に向けて水素燃料電池船が建造開始されている。富士電機は、e-Oshimaの電気推進シ

テムを納入しているが、今後の電気推進システムの普及に貢献すべく、新たに電気推進システム向けの電力変換器・電動機を開発を推進している。電動化の拡大には、経済合理性も重要な要素である。電気推進システムの導入に対して、導入費用および設置スペースを極力抑えることと、システムの効率を高めることを目標に開発を進めている。

停泊中の船舶のエンジンを止めることで脱炭素化に貢献する港湾の陸上給電設備は、欧米で普及が進んでいる<sup>(5),(6)</sup>。国内に設置する陸上給電設備においても、外航船に対応するためには国際規格に準拠する必要がある。富士電機は、IEC規格に準拠した陸上給電設備の開発を進めている。

脱炭素化に向けた代替燃料として、水素・アンモニアなどの検討が進んでいる港湾・臨海地区を中心に、従来扱っていない代替燃料に対するインフラ設備や、代替燃料を燃料源とする設備・機器が新たに導入されていく<sup>(7)-(9)</sup>。富士電機は、代替燃料も含めた港湾のエネルギーマネジメントが脱炭素化に必要な技術であると考え、EMSの開発を進めている。また、荷役機械への動力源として水素燃料電池システムの開発も進めている。

## ③ 電気推進船向け電力変換器・電動機

### 3.1 概要

富士電機は、プラントの可変速駆動システムとして1980年代から交流可変速駆動装置を製品化し、共通直流電源方式の電力変換器を鉄鋼プラントなどで展開してきた<sup>(10)-(12)</sup>。現在、産業分野向け電力変換器のフルモデルチェンジ開発を進めており、船舶向けの要件を付加したラインアップも計画している。機器の小型化のために自社の第7世代IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)を採用、大容量器を水による冷却としている。また、直流配電システ

ムにも対応し、交流配電システムに対してシステムが簡素化でき、導入費用・設置スペースの削減および効率の向上を図ることができる。

電動機に対しては、水冷ジャケット式の永久磁石同期電動機（PM モータ：Permanent Magnet Synchronous Motor）の開発を進めており、従来の誘導電動機に比べ小型・高効率化を図っている。また、横軸取付形に加えアジマス型プロペラに有用な立軸取付形のラインアップをそろえており、船内への設置の自由度を高めている。

### 3.2 電力変換器

図1にバッテリー船の電気推進システムの構成例を示す。直流配電方式を採用したもので、2組の独立したDC母線に対して電力変換器とリチウムイオン電池が接続されている。

リチウムイオン電池を動力源として推進用電動機、補機および船内電源に電力を供給している。また、陸上電源を使ってリチウムイオン電池の充電を行っている。電力変換器は推進用電動機駆動用インバータ、補機駆動用インバータ、船内給電用インバータ、および陸上電源用コンバータで構成される。また、図には示されていないがリチウムイオン電池の充放電などに使用するDC/DCコンバータの開発も進めている。図1の構成において交流配電方式を採用した場合、補機駆動用インバータや船内給電用インバータは不要になるが、リチウムイオン電池の出力を交流に変換する変換器や推進用電動機駆動用インバータに給電するための整流器が必要になる。直流配電方式は、交流配電方式に比べてシステムを簡素化できるため、導入費用、設置スペースの削減およびシステム効率の向上が可能となる。

水冷式の電力変換器は、空冷式に比べて船内設置スペース削減に有効である。表1に空冷式変換器と水冷式変換器の仕様例を示す。同一のIGBTを使った空冷式と水冷式の比較である。水冷式は、空冷に対して冷却効率が良いので、

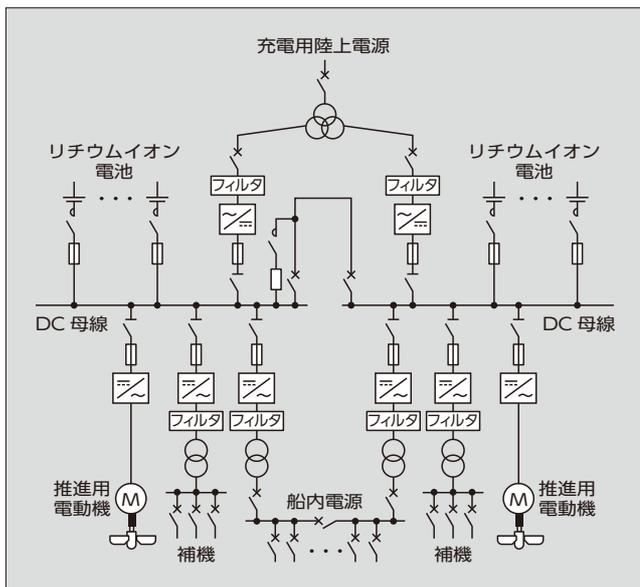


図1 バッテリー船の電気推進システムの構成例

表1 空冷式変換器と水冷式変換器の仕様例

項目	仕様	
	空冷式	水冷式
冷却方式	空冷式	水冷式
定格容量 (kVA)	650	830
定格電流 (A)	544	695
最大出力電圧 (V)	AC690	
寸法 (mm)	W220×D550×H1,400	

同一寸法で容量を約30%大きくすることができる。例えば2,000kW推進モータを駆動する場合、電力変換器は空冷式では4台必要だが、水冷式だと3台で済む。したがって、システムの設置スペースの削減に貢献できる。

### 3.3 水冷式永久磁石形同期電動機

プロペラを駆動する推進用電動機として水冷式PMモータを開発している。表2に水冷式PMモータの仕様を示す。499総トン型内航船、749総トン型内航船および280総トン型タグボートの推進用電動機をターゲットとしており、アジマス型プロペラ向けは立軸取付形としている。

冷却方式を水冷ジャケット式としているため、従来必要であった別取付け熱交換器や他力通流ファンが不要となる。また、PMモータとしているため、従来の誘導電動機に比べて非常に小さくなる。表3に水冷式PMモータと従来の誘導電動機のサイズ例を示す。水冷式PMモータは、誘導電動機より定格トルクが10%大きくなっているのにも関わらず、体積は70%以上小さくなっている。

表2 水冷式PMモータの仕様

項目	仕様	
	横軸取付形	立軸取付形
取付方法	横軸取付形	立軸取付形
冷却方式	水冷ジャケット式 (IC71W)	
定格電圧 (V)	AC600	
定格容量 (kW)	400～2,300	600～3,000
定格回転数 (r/min)	600～1,000	750～1,000
用途	ラインシャフト型プロペラ	アジマス型プロペラ

表3 水冷式PMモータと従来の誘導電動機のサイズ例

項目	誘導電動機	水冷式PMモータ
冷却方式	IC666	IC71W
定格トルク (kN-m)	12.9	14.3
定格容量 (kW)	1,618	1,500
定格回転数 (r/min)	1,200	1,000
高さ (mm)	3,160*	900
奥行 (mm)	3,045*	1,700
幅 (mm)	1,250*	900
体積比率 (%)	100*	21.6

\*熱交換器や他力ファンを含む

#### 4 陸上給電設備向けコンテナパッケージ・ケーブルマネジメントシステム

船舶向けの陸上給電設備（陸電）は、港湾に停泊している船舶、造船所で建造・修繕中の船舶に電力を供給する。いずれの場合も船舶のエンジンを止めることができるため、CO<sub>2</sub>の排出を削減できる。富士電機は、国内の造船所向けに陸電を納入してきたが、今後の港湾での陸電導入に対応すべく開発を進めている。

図2に陸電のシステム構成を示す。受電設備、コンテナパッケージ、給電コンテナ、ケーブルマネジメントシステム（CMS : Cable Management System）から構成される。

##### 4.1 陸電の IEC 規格対応

船舶が外航船の場合、国内だけでなく国外でも陸電を利用することが求められるので、陸電は IEC 規格に準拠する必要がある。表4に陸電の IEC 規格を示す。基本となる

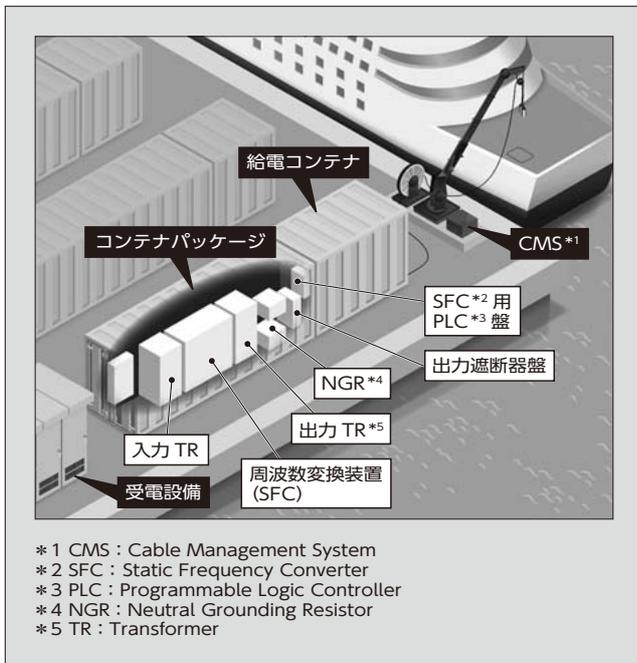


図2 陸電のシステム構成

表4 陸電の IEC 規格

規格	内容
IEC/IEEE 80005-1	Utility connections in port - Part 1 : High voltage shore connection (HSVC) systems - General requirements 高圧陸上電源接続システム 一般要件
IEC/IEEE 80005-2	Utility connections in port - Part 2 : High and low voltage shore connection system - Data communication for monitoring and control 高圧および低圧陸上電源システム 監視および制御のためのデータコミュニケーション
IEC PAS 80005-3	Utility connections in port - Part 3 : Low voltage shore connection (LVSC) system - General requirements 低圧陸上電源接続システム 一般要件

る陸電の IEC 規格に付随して、給電ソケットや安全に係る IEC 規格への準拠も必要となる。富士電機で開発中の陸電は IEC 規格に則った製品のため、既に欧米で陸電を利用している外航船でも利用可能である。

##### 4.2 陸電用コンテナパッケージ

陸電を導入する際の施工性を向上させ、工期短縮・早期運用を目的とし、電源設備をコンテナに収納したパッケージの開発を行っている。コンテナパッケージには、電源設備として必要な変圧器、周波数変換装置などを収納しており、給電コンテナには、各船への電力の分配・給電に必要な遮断器盤などを収納している。

船舶の電源の周波数は、一般的に 60 Hz である。東日本地区では 50 Hz なので、周波数変換装置が必要になる。表5にコンテナパッケージの一覧を示す。

周波数変換装置がありて 6.6 kV を船舶に給電する場合、40ft コンテナ 1 台で 1.25 MVA が給電可能な 8 台のコンテナを並列接続することで、10 MVA が給電可能となる。周波数変換装置がなしの場合、20ft コンテナ 1 台で 1.25 MVA が給電可能である。

表6にコンテナパッケージと給電コンテナの設置環境条件を示す。岸壁近傍に設置するので、塩害や強風への対策を考慮した。

##### 4.3 ケーブルマネジメントシステム

陸電設備から船舶に給電用ケーブルを渡す際、ケーブル重量が 100 kg を超える場合があり、そのための機構として CMS が必要となる。CMS には、船舶にケーブルを渡す以外に主に次の要件が求められ、これを満たす CMS の

表5 コンテナパッケージの一覧

周波数変換装置	電圧	容量					
		625 kVA	1.25 MVA	2.5 MVA	5 MVA	7.5 MVA	10 MVA
あり	440 V	40 ft* <sup>1</sup> 1台		—			
	6.6 kV	—	40 ft 1台	40 ft 2台	40 ft 4台	40 ft 6台	40 ft 8台
なし	440 V	20 ft* <sup>2</sup> 1台		—			
	6.6 kV	—	20 ft 1台	屋外仕様変圧器+屋外盤			

\*1 40ft : 40フィートコンテナ

\*2 20ft : 20フィートコンテナ

表6 コンテナパッケージと給電コンテナの設置環境条件

項目	仕様
周囲温湿度	外気温度 -20 ~ +40℃ 85%RH以下
風速	46 m/s以下
塩害	コンテナ本体 : ISO 668海上貨物輸送コンテナ仕様 室外機 : 重耐塩仕様
積雪荷重	1.0 m/m <sup>2</sup> 以下
防水	IEC 60529 保護等級4 (防まつ型)
コンテナ設置向き	扉、室外機は山側に設置

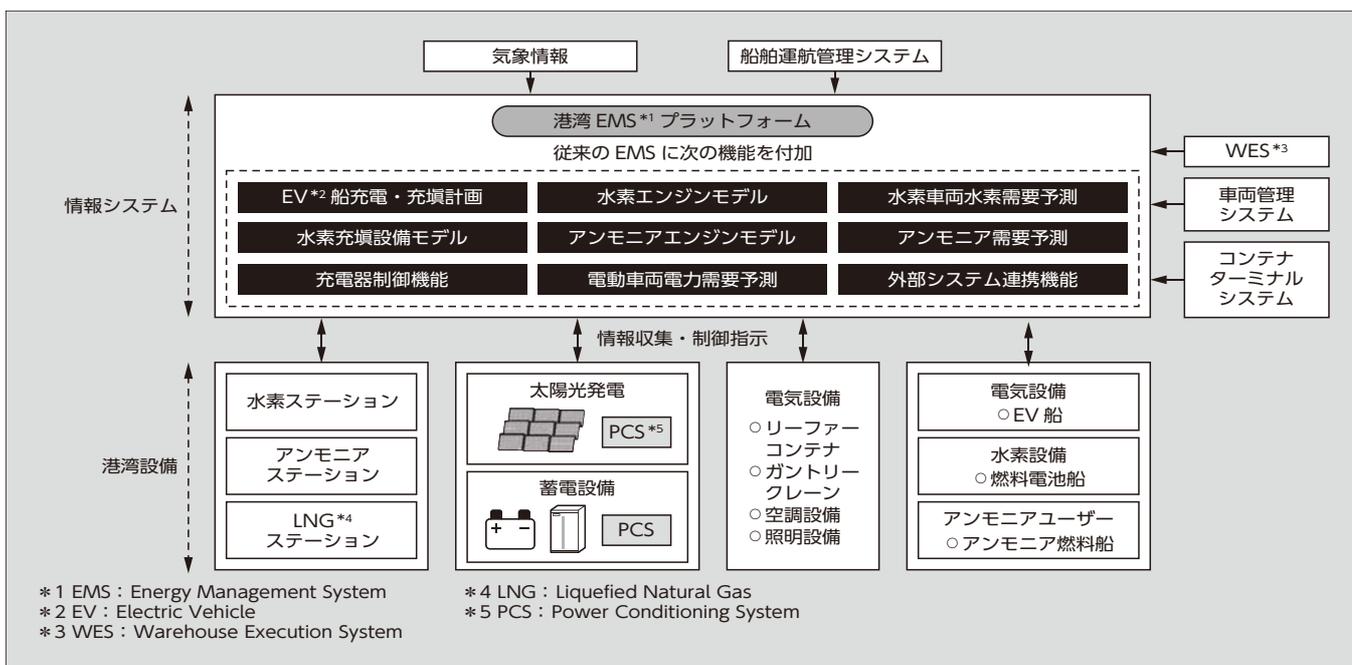


図3 港湾 EMS の機能構成

開発を進めている。

- (a) 作業者の安全確保
- (b) 海面の干満差、波の影響などによるケーブルの破断防止
- (c) スピーディなケーブルの脱着

#### 4.4 港湾エネルギーマネジメントシステム

港湾での脱炭素化に向けて、水素・アンモニアなど代替燃料を取扱う設備・機器の導入の検討が行われている。富士電機は、脱炭素化を目的として港湾 EMS の開発を進めている。エネルギー需給の最適運用、他システム連携によるエリア全体のエネルギー安定供給、港湾エリア内のエネルギー利用効率の自動分析により省エネルギーを進め、脱炭素化を実現する<sup>13)</sup>。図3に港湾 EMS の機能構成を示す。従来の EMS に対して代替燃料への転換に伴う機能および船舶に対するエネルギーの供給に伴う機能を追加している。港湾 EMS を実現するために具体的に次の機能を開発している。

- (a) 港湾から船舶まで統合した設備に対しての多様化するエネルギー源を考慮した最適運用の実現
- (b) 従来の電力のほか、水素、アンモニアなどの代替燃料の需要予測機能の搭載、エネルギーネットワークモデルの構築
- (c) エネルギー供給設備の充放電スケジュール、燃料充填（じゅうてん）スケジュールの立案

#### 4.5 港湾クレーン用燃料電池システム

国土交通省が提唱するカーボンニュートラルポートの実現に向けた一助として、ディーゼルエンジン発電機から給電されている荷役機械、特に RTGC（Rubber Tire Gantry Crane）を水素燃料電池システムからの給電に

切り替える研究・開発が各社で行われている<sup>14)</sup>。富士電機も、自動車用に開発された燃料電池モジュールを応用した RTGC 向け燃料電池システムの開発を推進している（166 ページ、「水素社会の実現に貢献する燃料電池ソリューション」参照）。

#### 5 あとがき

船舶・港湾分野におけるカーボンニュートラルへの取組みについて述べた。今後は、電気推進システムが導入された船に対応する陸電が必要である。船内への給電機能の他に、リチウムイオン電池の充電機能を付与する必要がある。給電方式・適用規則など国内外の動きを調査し、電気推進システムと併せて陸電を提供できるよう検討していく。これらの取組みにより、カーボンニュートラルの実現に貢献していく所存である。

#### 参考文献

- (1) “2021年度温室効果ガス排出・吸収量（確報値）概要”。環境省 脱炭素社会移行推進室。国立環境研究所 温室効果ガスインベントリオフィス。https://www.env.go.jp/content/000129138.pdf, (参照 2023-12-11)。
- (2) 坂本大輔ほか。“三菱造船の電動船への取り組み-客船、物理探査船、LNG船の例”。日本マリンエンジニアリング学会誌。2021, vol.56. no.5, p.10-14。
- (3) 原田遥太ほか。“船用電動化に対応したZペラの開発-環境負荷低減に対応した推進システム”。日本マリンエンジニアリング学会誌。2021, vol.56, no.5, p.67-70。
- (4) 西田英幸ほか。“送迎船向け全電気推進システムの概要”。日本マリンエンジニアリング学会誌。2020, vol.55, p.20-24。
- (5) 福島豊。“コンテナターミナルにおける環境対策”。

Quarterly 78, 2009, vol.1.2, p.26-29.

- (6) Power Technology Research Services Companyホームページ. <https://ptr.inc/onshore-power-supply-in-europe-an-overview/>, (参照 2023-08-20).
- (7) 神戸市. “神戸港CNP形成計画”. 2023, p.21-26.
- (8) 名古屋港管理組合. “名古屋港カーボンニュートラル(CNP)形成計画”. 2023, p.13-18.
- (9) 大阪市. “大阪港カーボンニュートラル(CNP)形成計画”. 2023, p.13-16.
- (10) 千足正吉ほか. 産業用高性能インバータFRENIC4000VM. 富士時報. 1986, vol.59, no.10, p.665-670.
- (11) 上村猛ほか. 最近の可変速駆動装置. 富士時報. 1988, vol.61, no.5, p.326-334.
- (12) 保坂忍ほか. 産業用電動力応用プラントの可変速駆動システム. 富士時報. 1997, vol.70, no.10, p.516-521.
- (13) 西田英幸ほか. 港湾における環境配慮技術の取り組み. 港湾荷役. 2021, vol.66, p.615-621.
- (14) “港湾クレーン向け水素燃料電池パワーパックの試運転完了”. 株式会社三井E&S. 2022, [https://www.mes.co.jp/press/2022/0901\\_001885.html](https://www.mes.co.jp/press/2022/0901_001885.html), (参照 2023-08-20).



### 造田 大祐

船舶・港湾向けエンジニアリングに従事。現在、富士電機株式会社インダストリー事業本部輸送システム事業部船舶・交通・特機システム部主査。



### 林 寛明

ドライブ装置の設計開発、ドライブシステムのエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社インダストリー事業本部プロセスオートメーション事業部主席。



### 項 東輝

エネルギーマネジメントシステムの企画・開発・プロジェクトの技術取りまとめに従事。現在、富士電機株式会社インダストリー事業本部情報ソリューション事業部 DX 技術部主査。工学博士。計測自動制御学会会員。





\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。