

## 研究開発の取組み

# エネルギー・環境を支える パワーエレクトロニクス機器

### ① まえがき

2011年3月11日の東北・関東地方を襲った未曾有の東日本大震災による電力不足から、身近なところではエスカレーター、エレベータの運休、鉄道の一部運休など大規模な節電活動が行われたことは記憶に新しい。さらに、安全性確認のため、各地の原子力発電所が運転を休止し、電力供給量の規模の低下は避けられない状況となっている。このことは、日本国内だけでなく、世界各国の原子力政策にも大きな影響を与え、安全かつ安定した電力供給への動きとなった。

一方、地球環境に多大な影響をもたらす温室効果ガスの排出を減らし、低炭素社会を構築することが世界的な課題となっている。この低炭素社会を構築する具体的な手法としては、エネルギー消費量の少ない機器・設備の導入や化石燃料から太陽光、地熱、風力などの再生可能エネルギーへの転換などが挙げられる。また、これらの再生可能エネルギーは天候や機構に左右されるため、需要と供給のバランスを調整するなどの系統安定化が不可欠であり、双方向

エネルギーの最適制御を目指すスマートグリッドの構築や、それを基盤としたスマートコミュニティが新しい社会として注目されている(図1)。このスマートコミュニティを実現するためには、パワーエレクトロニクス(パワエレ)技術は必要不可欠なものとなっている。

### ② 富士電機のパワーエレクトロニクス機器

富士電機には、このスマートコミュニティ市場に提供できる幅広い製品・技術がある。“創エネルギー”に関わる製品・技術の一つとして、例えば気候などにより発電量が不安定な太陽光・風力発電に使用するパワーコンディショナ(PCS)などがある。また、電力の使用そのものを“省エネルギー(省エネ)”化するためのパワエレ製品としてインバータなどがある。

また、装置自身の高効率化により省エネに貢献する高効率無停電電源装置(UPS)や同期モータ、大量輸送を可能とする鉄道用電車用機器、電気自動車の普及に欠かせない地上急速充電器なども省エネに大きく貢献している。

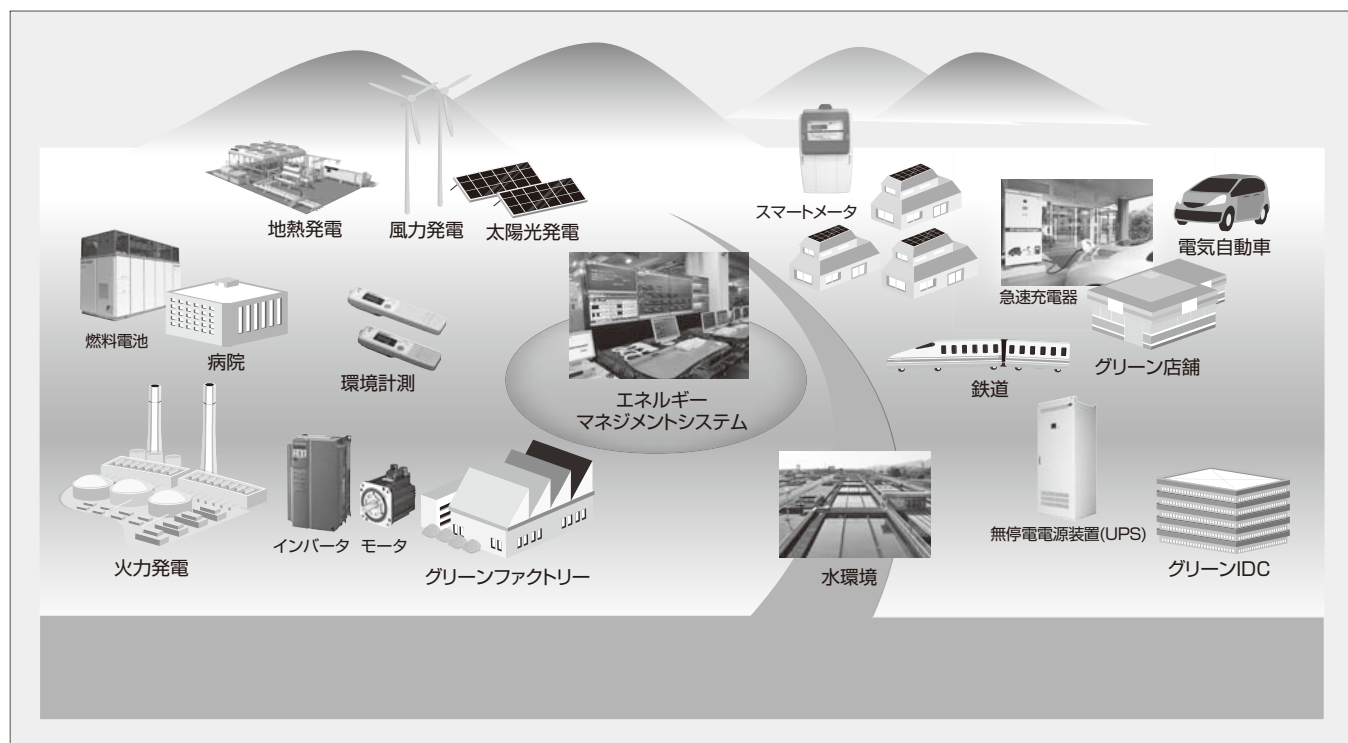


図1 スマートコミュニティ

パワーエレクトロニクス機器は、電源供給関連のパワーサプライ機器と、モータ駆動およびその周辺機器のドライブ機器に大別され、これらについて紹介する。

### ③ パワーサプライの研究開発の取組み

パワーサプライ分野では、電力変換技術と蓄電池応用技術をコア技術として、パワーエレクトロニクスとパワー半導体の相乗効果を引き出す取組みを加速し、パワーデバイスの特性を最大限引き出した低損失な機器の開発を進めている。

一例として、データセンターにおける空調設備用のUPSが挙げられる。取り扱うデータ量が膨大になるのに合わせて非常に大量のIT機器が稼動するデータセンターでは、消費される電力の急増とそのための効率的な冷却が大きな課題であった。そこで、常時商用給電方式と常時インバータ給電方式の特徴を兼ね備えた独自のデュアル

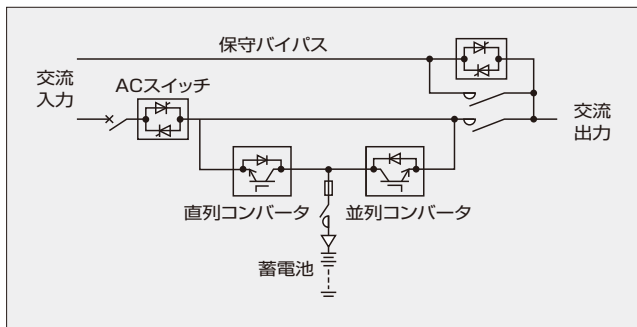


図2 デュアルプロセッシング方式

プロセッシング方式(図2)を適用し、電力消費を極力抑えることにより、空調設備に最適な超高効率大容量UPS「8000NDシリーズ」を開発した。

本方式は、交流入力that定常範囲(±15%)では、電圧変動分を直列コンバータ部で一定とし、停電時には瞬時にACスイッチをオフし、無瞬断で並列コンバータからの給電に切り替える。従来方式と比較して、交流から直流、直流から交流の変換損失がないことなどにより、98.5%の超高効率を実現した。

さらに、富士電機独自のパワー半導体の一つであるRB-IGBT (Reverse-Blocking IGBT) を活用した新型変換回路の新3レベル変換回路[A-NPC (Advanced Neutral-Point-Clamped)] (図3)を、その特長である電力変換効率の向上とノイズの低減を生かして、“エネルギー・環境、スマートコミュニティ”に貢献する各種アプリケーションに展開した。

データセンターのサーバ用バックアップ電源として使われるUPSは、高品質・高信頼性が要求されるため、常時インバータ給電方式が適用されている。新3レベル変換回路を適用することで、IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) 素子のスイッチング損失を低減するとともに、インバータ出力の高調波成分を半減させたことにより、波形整形回路損失も低減した新3レベルIGBTモジュール搭載UPS「HXシリーズ」を開発した。このUPSは、常時インバータ給電方式としては世界最高レベルの電力変換効率97%を実現した。新3レベル変換回路の採用により、回路構成の簡素化および波形整形フィルタの小型化を行い、

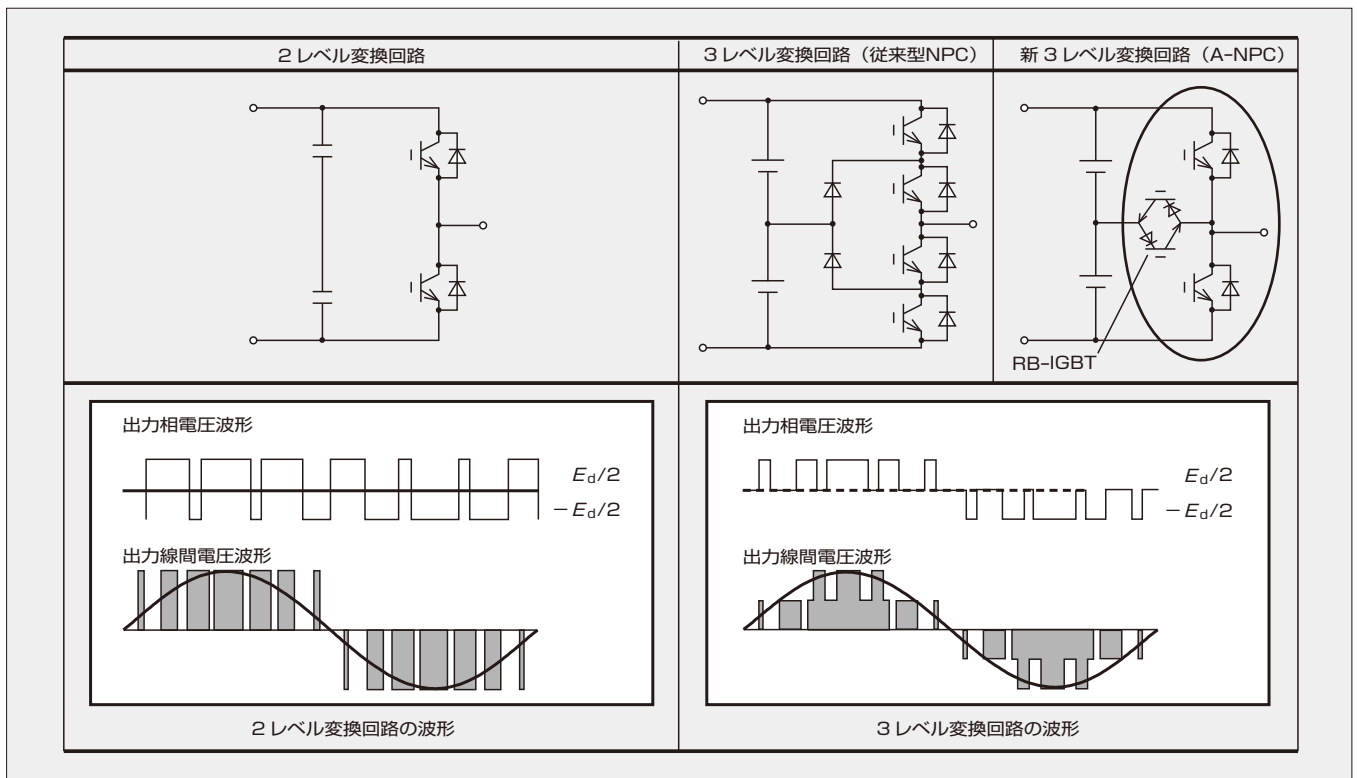


図3 新3レベル変換回路

従来機より 30% の小型・軽量化を実現した (図 4)。

東日本大震災以降、再生可能エネルギー活用の機運が一段と高まっており、その一つである太陽光発電用として、MW クラスの大規模発電所に最適な 1MW の PCS に新 3 レベル変換回路を適用し、製品化した (図 5)。

新 3 レベル変換回路を適用したことにより、変換回路損失と波形整形フィルタ損失を従来機に対して半減させ、最高効率 98.5% を実現した。

この PCS は 4 個の変換ユニットで 1MW を構成している。一部の換ユニットが故障しても正常なユニットで運転を継続する機能を持ち、給電の信頼性が向上している。

今後、新 3 レベル変換回路を用いた最高効率の変換機の開発・系列化およびプラットフォーム化を推進し、パワーサプライの各種アプリケーションへの適用を拡大していく。

また、リチウムイオンバッテリー (LiB) やリチウムイオンキャパシタ (LiC) などを利用した新しい蓄電池システムへの取組みを加速していく。

さらに、シリコンパワー半導体の性能が次第に理論限界に近づきつつあるため、シリコンデバイスの性能限界を大幅に超える次世代デバイスである炭化けい素 (SiC) や窒化ガリウム (GaN) パワー半導体の長を生かせる回路技術の開発に取り組み、多様化するパワーサプライの顧客要求に対応した製品開発を進めていく。

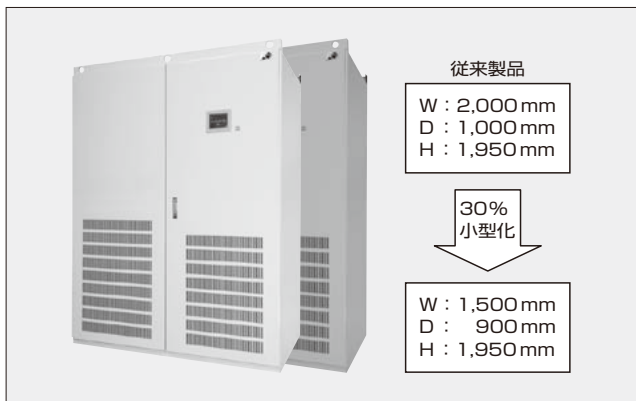


図 4 「HX シリーズ」

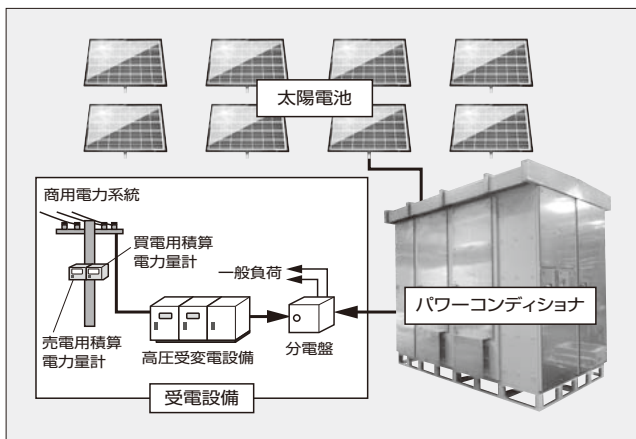


図 5 パワーコンディショナの使用例

## 4 ドライブ機器

### 4.1 交流モータ駆動用インバータ

交流モータ駆動用インバータは、初号機の発売から 35 年が経過した。当初はアナログ電子回路とパワートランジスタでスタートし、その後 CPU を搭載し、IGBT が主流となった。この IGBT の出現により、パワエレ技術は飛躍的に向上し、モータ駆動用インバータも広く適用されることとなった。さらに、SiC の登場により、その特徴である損失の低減、高耐圧化を生かしたインバータの小型化が期待されている。

富士電機では、中国・アジア新興国市場を中心に、ファン・ポンプ、包装機械、クレーン分野に注力し、次の製品を開発した。

#### (1) 「FVR-Micro シリーズ」

中国やインド、南米などの新興国においては、急激な経済成長を背景に、紡績、毛織などの工業分野における製造設備の機械化が進んでおり、簡易型のインバータが求められている。「FVR-Micro」シリーズは、“簡易”“簡単”をコンセプトに機能を限定した製品である。

#### (2) 「FRENIC-HVAC/AQUA シリーズ」

国内市場では、空調に必要な制御部分はインバータの外部で構築しているが、海外市場においては、これらの制御部分をインバータ内部に取り込んでいる。また、設置についても盤内に収納するのではなく、インバータ単体で設置されることから、IP54 以上の保護構造とし、周辺機器である EMC フィルタや DC リアクトルなども内蔵している。これらの要求を満足するとともに、空調に必要な機能

容量範囲・IP 規格	
容量範囲	0.75 ~ 710kW/400V
IP 規格	IP21/IP55 (90kW 以下) IP00 (110kW 以上)

直流リアクトル (DCR)・EMC フィルタ		
	90kW 以下	110kW 以上
DCR	内蔵	外付け
EMC フィルタ	内蔵 EN61800-3 Immunity/2nd env. Emission/Category C2	内蔵 EN61800-3 Immunity/2nd env. Emission/Category C3

図 6 「FRENIC-HVAC/AQUA シリーズ」

を搭載した「FRENIC-HVAC」を開発した。また、水処理ビジネスにおける給排水処理分野に特化した「FRENIC-AQUA」も同時に開発した（図6）。

これらの製品では、湿球温度推定制御、濁水保護機能、少水量検出機能、噛み込み防止機能など用途特有の機能を内蔵するとともに、リアルタイムクロックの搭載により、曜日ごと、時間帯ごとの自動運転も可能とした。

(3) 「FRENIC-VG」

従来は、機械メーカーへの納入を想定し、汎用ベクトル制御インバータという位置付けて製品化した。一方、海外市場ではインバータの普及とともに、機械メーカーへの納入からエンドユーザへの納入が増えてきている。このことにより、大規模なシステムへの対応や直流配電のインバータが要求されるようになった。

今回、富士電機における最上位機種「FRENIC-VG」を開発した。主な特徴は、交流入力タイプのほかに直流入力タイプをそろえたことであり、プラント用途での利用が可能である。また、従来はインバータの出力をリアクトルで結合するか、モータの巻線を分割することで、多数台のインバータを使って容量の拡大を図ってきたのに対し、インバータの出力をモータ端子部で並列接続するダイレクトバラ接続により実現した（図7）。通常、IGBTのスイッチングタイムのばらつきにより、インバータ間で横流があるが、高速の横流抑制制御により、これを解決した。

このことにより、リアクトルや特殊巻線モータが不要となった。また、多数台のインバータのうち1台に不具合が発生した場合には、正常なインバータだけで運転が可能であり、重要な設備での適用が期待される。

4.2 鉄道車両

日本におけるCO<sub>2</sub>排出量の20%を占める運輸部門の中で、鉄道はもっともエネルギー効率に優れ、安全かつ安定した大量輸送機関である。富士電機は、最新のパワーエレクトロニクス技術を駆使した電気制御システムにより、より快適で地球環境と人にやさしい輸送ソリューションを提供している。

鉄道車両におけるパワーエレクトロニクス機器へのニーズは、安全性、信頼性、経済性に対する要求はもちろんのこと、高速化、省エネ化、小型軽量化、省メンテナンス化、乗り心地・快適性の向上、環境調和への対応といった時代の要請に応えながら、技術革新を実現してきた。

鉄道車両分野の製品開発として、新幹線車両システム、在来線車両システム、ドアシステムの次世代技術開発に取り組んでいる。

新幹線電車はわが国を代表する鉄道車両として、その時代時代の最新技術が適用されてきた。富士電機は、新幹線の初代車両である東海道新幹線0系から最新のN700系に至る歴代の新幹線車両用主回路電気品（主変圧器、主変換装置、主電動機）を納入してきた（図8）。

補助電源装置は、車内快適性の維持に必須の空調装置や照明機器などへ安定した電力を供給するとともに、主変換装置をはじめとする機器の制御電源や列車制御装置、車内表示器などの各種IT機器の電源として、現代の車両に不可欠な機器となっている。

補助電源装置には、架線電圧の急変やコンプレッサなどの投入・遮断時による負荷電流の急変、単相負荷のような三相不平衡負荷に対しても、波形ひずみや電圧変動の少ない安定した電力供給が求められる。富士電機はこれに応え

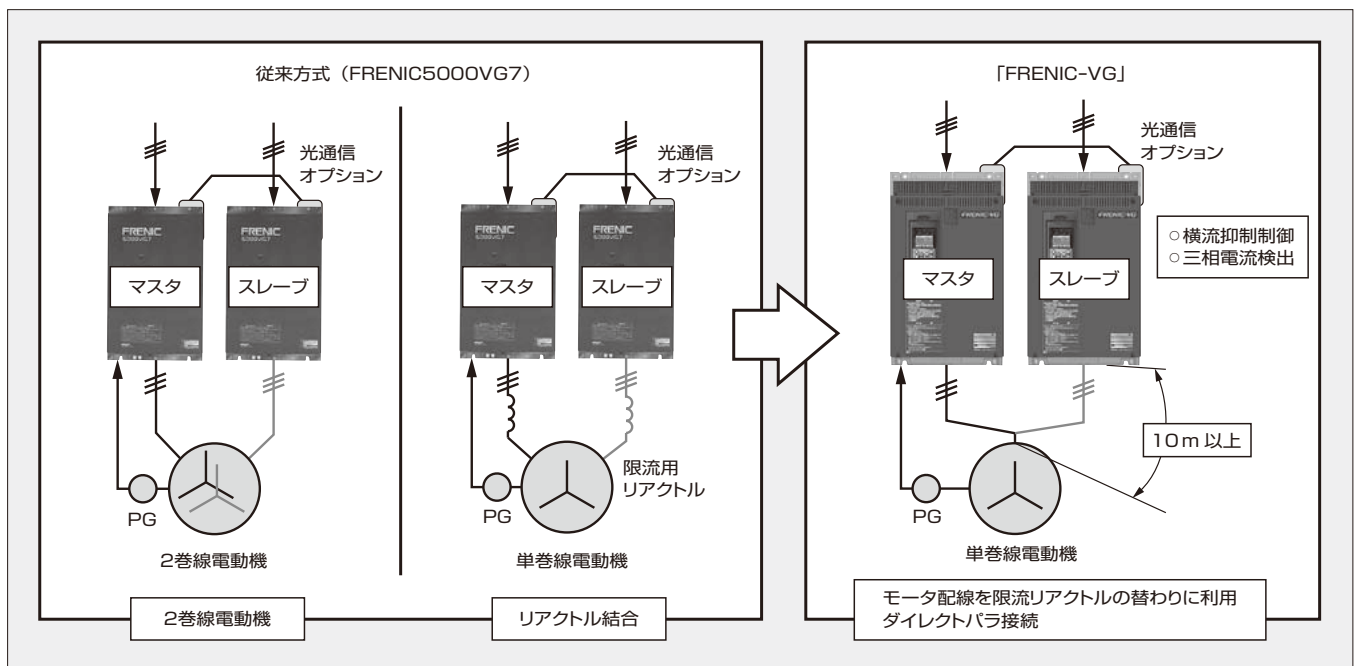


図7 インバータのダイレクトバラ接続

るために、三相個別波形制御を採用している。三相出力電圧の検出値に基づき各相の電圧実効値を一定に制御する三相個別実効値制御を行い、さらに三相個別瞬時制御を併用することで負荷急変などにおける出力電圧の過渡変動を抑制する。この結果、架線電圧や負荷の急変に対しても安定した電圧制御性能を実現し、出力電圧誤差±1%以内、波形ひずみ率約1%の高精度な正弦波電圧を達成している。

鉄道車両のドアシステムにおいては、高信頼性の実績と国際標準に基づく安全性の高いドアで、国内および海外市場で高い評価を得ている。

ドアは通勤型車両に多数搭載されているが、ラッシュアワーの時間帯にこのうち1台でも不具合を発生するとその列車の運行に直ちに影響をきたす。このため、ドアは車両用電気品の中でも、特に、安全性と信頼性が要求される機器である。このような背景のもと、空気式ドアと比較して電子制御による高速制御応答と高機能化を達成できる電気式ドア(図9)は、首都圏と海外市場を中心に急速に普及しつつある。

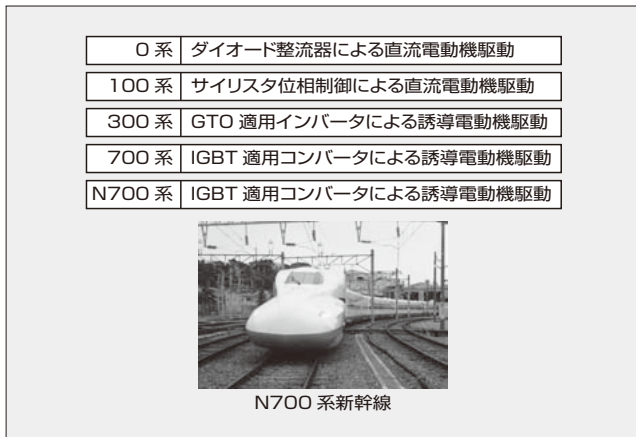


図8 東海旅客鉄道株式会社 新幹線用プロパルジョンシステムの発展



図9 電気式ドアシステム

### 4.3 船舶<sup>(1)</sup>

国内運輸部門における内航海運は、鉄道に次いでエネルギー効率が高く地球環境にやさしい大量・安全かつ経済的な輸送手段であり、輸送活動量(輸送量×距離)は国内貨物輸送の約40%を占めている。

一方、船員の高齢化、若手船員の確保難、厳しい労働環境、省エネ対策の遅れなどの課題があるといわれており、国土交通省では、2005年度より地球環境保全、物流効率化、海運活性化を図ることを目的とし、電気推進システムを導入した内航船の普及を図っている。

また、2006年4月から施行された「エネルギー使用の合理化に関する法律」(省エネ法)では、輸送能力2万総トン以上の輸送業者に対し、同法律の遵守状況を報告するように義務付けている。この判断基準には、“優れた輸送機械器具の使用”として“スーパーエコシップ(電気推進船)”“インバータ制御電動機器”などが有力な手段として掲げられている。

富士電機は、南極観測船ふじ、しらせ(初代)向けの電気推進装置、軸発電電動機装置などや、防衛省殿向け潜水艦用主電動機装置、各種巻上機などをはじめとして、可変速駆動用インバータおよび電動機などのコンポーネント機器を納入してきた。

### 4.4 電気自動車用地上充電器

電気自動車の普及には、地上の充電設備の整備・普及が不可欠であり、富士電機は、50kWクラスの急速充電器に引き続き、25kWの急速充電器を市場に投入した。

この充電器は、店舗やコインパーキングなどの小規模施設のニーズに応えた小容量タイプで薄型のユニバーサルデザイン仕様により、設置しやすく使いやすさが向上した。図10にその外観と特徴を示す。

## 5 あとがき

エネルギー・環境を支えるパワーエレクトロニクス機器



図10 25 kW 急速充電器

について紹介した。今後、最先端のパワーエレクトロニクス技術とマイクロエレクトロニクス技術をベースとして、小型軽量化、高性能化、高機能化、省メンテナンス性、快適性および環境対応がますます要求されていくものと考えられる。

また、SiCの登場により、その特徴である低損失・高耐圧を生かした製品ラインアップも期待されている。省エネルギーと環境の市場ニーズを先取りした研究開発を積極的に推進し、今後も社会に貢献できる製品を提供していく所存である。

#### 参考文献

- (1) 井上亮二ほか. 輸送ソリューションにおけるドライブ・電源技術. 富士時報. 2009, vol.82, no.2, p.120-126.



**廣瀬 順**

パワーサプライ機器の設計・開発および商品企画に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ機器本部パワーサプライ事業部パワーサプライ企画部長。



**吉田 雅和**

モータ駆動用低圧インバータの製品開発に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ機器事業本部ドライブ事業部主幹。電気学会会員。



**井上 亮二**

鉄道車両・船舶艦船用電気品、電源のエンジニアリング業務に従事。現在、富士電機株式会社パワエレ機器事業本部ドライブ事業部輸送・特機システム部長。





\*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。