

環境保護と生産性向上に貢献する インダストリーソリューションの現状と展望

Industry Solutions Contributing to Environmental Protection and
Productivity Improvement: Current Status and Future Outlook

友高 正嗣 TOMOTAKA, Masatsugu

鉄谷 裕司 TETSUTANI, Hiroshi

松本 康 MATSUMOTO, Yasushi

① まえがき

人々の暮らしが快適・便利になるにつれ、地球温暖化が影響しているといわれる自然災害の増加、急激な経済発展による大気汚染の拡大やエネルギー需給の逼迫（ひっばく）など、地球レベルで困難な課題を抱えている。

一方では、AI、IoT（Internet of Things）、EV（Electric Vehicle：電気自動車）など近年話題になっている技術を駆使して、さらなる暮らしの向上、生産性の向上、経済の発展を成し遂げようとする国や地域レベルでの成長戦略の取組みが加速している。

富士電機は、エネルギー・環境技術をコアに“パワーエレクトロニクス”“発電”“電子デバイス”“食品流通”の四つの事業を通じて、安全・安心で持続可能な社会の実現に貢献している。本稿では、パワーエレクトロニクス（パワエレ）を中心とした環境保護と生産性向上に貢献するインダストリーソリューションと題し、インダストリーソリューションの現状と展望を述べる。

② ファクトリーオートメーション分野

国内外ともに生産性を向上させるための製造設備・装置への投資が旺盛である。常にファクトリーオートメーション技術の進歩が図られ、多様な製品・システムを駆使することで製造業界は活性化している。過去においては、技術の高い先進国での伸長が目立つ業界であったが、近年では東南アジア、インド、中国といった地域との技術格差が急速に縮まっており、グローバルで高度な技術が求められている。

2.1 ドライブ分野

インバータ^{(*)1}や回転機を商材とするドライブ分野では、



図1 汎用インバータと低圧三相モータ

多様化が進む用途に汎用機の機能や性能の向上で対応するとともに、主要な用途であるクレーン、エレベータ、空調などに対しては専用機を用意してきめ細かい対応を行っている。また、さらなる低損失と高精度制御が可能となる^{(*)2} SiCデバイスの実用化が活況で、これを搭載したインバータの技術も確立されつつあり、さらなる用途の拡大が期待されている（17 ページ“過酷な環境下に設置可能な耐環境インバータ「FRENIC-eFIT」”参照）。

富士電機は、“電子デバイス事業”を持っており、デバイス部門とドライブ部門の技術の結集で、より低損失、小型化、高性能なドライブ製品を開発できることが強みである（図1）。

2.2 モーション制御システム分野

サーボ、コントローラ、HMI 端末を商材とするモーション制御システム分野では、スマートフォンをはじめとする IT 機器、および EV が著しい普及を続けており、増産に対応するための工場や生産設備の自動化、半導体製造装置、工作機械などでの需要が増えている

(*)1 インバータ

三相交流モータへの電源周波数を自在に変えることにより、モータの回転数を制御する駆動装置である。

(*)2 SiC

けい素（Si）と炭素（C）の化合物である。3C、4H、6H など多くの結晶の構造多形が存在し、構造によって 2.2 ～ 3.3 eV のバンドギャップを持つワイドギャッ

プ半導体として知られる。絶縁破壊電圧や熱伝導率が高いなどパワーデバイスとして有利な物性を持つため、高耐圧・低損失・高温動作デバイスが実現できる。



図2 サーボシステム「ALPHA7」とモーションコントローラ「SPH3000D」

(図2)。

富士電機は、業界最高レベルの制御性能を持つモーション制御システムを各業界に展開している。その中で組立加工分野において、異常時に停止しない設備の実現に向けたデータ収集システムを提供している。1サイクルの生産に関わるあらゆるデータから設備異常や不良の要因を漏れなく収集するシステムであり、解析技術と診断技術を組み合わせることでさらなる生産性と安全性の向上、ロスコストの削減に貢献していく(12ページ“IoT技術とモーション制御技術によるFAソリューション”参照)。

③ プロセスオートメーション分野

プロセスオートメーションにおいては、駆動制御技術、計測制御技術および溶解炉・加熱装置などの工業電熱技術をコアとして、生産設備の安定稼動とエネルギー原単位削減を実現する機器・システムを展開している。

3.1 駆動制御分野

駆動制御分野では、鉄鋼・非鉄および一般産業向けに、高速ドライブ制御システムやシステム機器を納入している。

高速ドライブ制御システムでは、自動車や家電の生産集積地として期待されるインドネシアの製鉄会社向けに、圧延設備用電気品および駆動制御システムを納入した。制御パッケージの適用拡大による品質向上、海外パートナー製品の採用による現地サービスの拡大、生産設備の状況を時間軸と製品軸で収集・解析するシステムの提供、ならびに障害発生時の即応性を向上するための現地窓口の強化など、生産設備の安定稼動を行うためのエンジニアリングを基本計画の検討から納

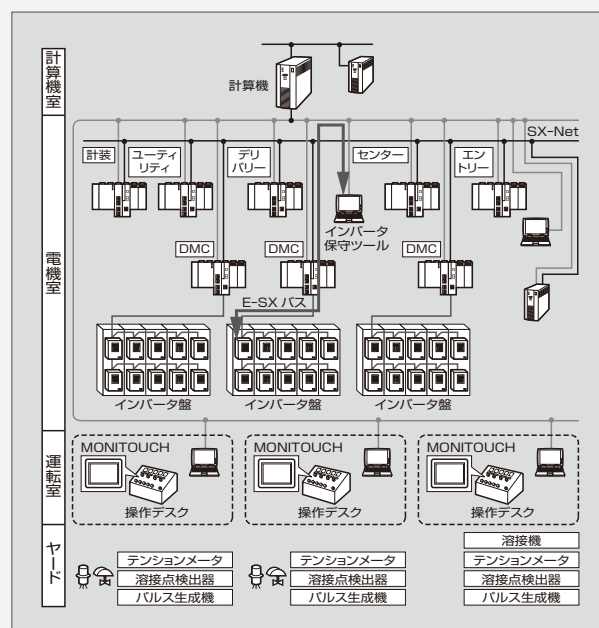


図3 高速ドライブ制御システムのシステム構成

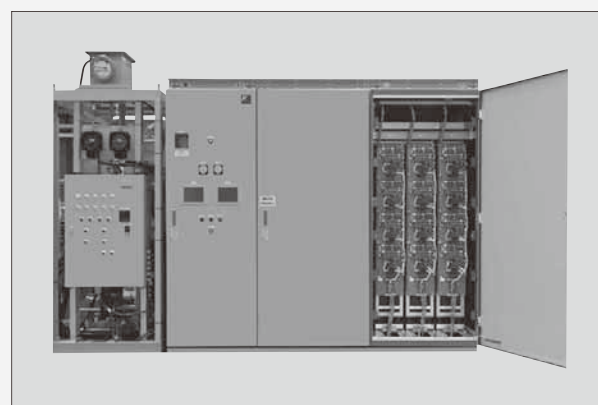


図4 中大容量ドライブシステム「FRENIC4800VM6」

入までの全工程にわたって実施し、制御システムに反映している。高速ドライブ制御システムのシステム構成を図3に示す(30ページ“最新の海外棒鋼・形鋼圧延設備用電気品および駆動制御システム”参照)。

システム機器では、産業用中大容量インバータの新機種「FRENIC4400VM6」と「FRENIC4800VM6」を製品化し、国内の鉄鋼・非鉄メーカー向けに納入した「FRENIC4800VM6」の外観を図4に示す。出力周波数の拡大、制御機能の追加・改善といった基本性能の向上だけでなく、ユーザ支援機能の拡充による使いやすさの向上も実現している。(22ページ“ユーザの多様なニーズに応える水冷式高圧大容量インバータ「FRENIC4800VM6」”参照)。

3.2 計測制御分野

計測制御分野では、化学、食品、ごみ処理およびセメントなどのプロセスオートメーション分野に、高度

な制御技術をコアとしてプラントエンジニアリングにおけるノウハウを駆使した事業を展開している。

(1) 化学業界

化学業界は、海外の巨大企業の再編や原材料の高騰などにより各社の競争がますます激しくなっており、高付加価値な製品を高効率、かつ、いかに低コストで生産するかが重要な課題である。このような背景から、生産におけるエネルギー原単位や原料などを最適化し、技術を結集した新しいスマート化された仕組みを構築することが望まれている。

富士電機では、従来の制御技術に加え、省エネルギー（省エネ）や設備異常の予見に関する提案を行っている。今後は、プラントシミュレータなど操業支援機能の拡充を計画している。

(2) 食品業界

食品業界は、他の産業に比べて消費が安定した市場である。しかし、原料価格の上昇やデフレにより収益を上げることが難しくなっている。また、人口の減少や個人ニーズの多様化により、多品種少量生産への対応がさらに進んでいる。生産現場では、高齢化による熟練者の退職が進み技術伝承の問題が挙げられている。このような多品種少量生産や技術伝承の問題に対応しつつ、複雑化したプラント運用への対応が求められている。

富士電機では、これまで新製品や製品改良に柔軟に対応できる機能を提供してきた。今後は、生産性向上につながる情報系システムの提案を行うとともに、現場ノウハウの集積や運用を支援できる機能の拡充を図っていく（26 ページ“技術伝承と生産性の向上に貢献するプラント運転支援システム”参照）。

(3) ごみ処理業界

ごみ処理業界では、循環型社会の形成と推進の観点から、CO₂削減やエネルギー回収を行う熱回収施設や先進的設備の導入が要求されている。ごみを計画的に処理するだけでなく、ごみ処理工場の外に蒸気や電気を継続的に供給するために、施設の安定かつ効率的な運用は不可欠になってきている。これまで各工場独自の運転・維持管理を行ってきたが、今後は一括収集・管理を行うことにより、最適な監視・解析・運用を行うための IoT 環境の構築が急務である。

富士電機では、このような状況に対応するため、電気・計装・計算機の統合システムを提供し、操業安定化のためにデータが容易に収集できるシステムを構築

した。今後は、収集した大量のデータを解析することにより、異常発生を抑制し、異常発生時には早期復旧を行うなどの総合支援が可能なシステムを提供する計画である。

(4) セメント業界

セメント業界は、循環型社会に貢献するため廃棄物や副産物の有効利用などの取組みが高まっている。また、制御のみならず、設備稼働管理や機器異常の予測などによる予防保全、ダウンタイムの短縮が求められている。

富士電機は、セメントプラント向けに原料調合制御システムやキルン制御システムを提供してきた。最近では通信回線を使い、製造データや品質データなどを本社部門にて一元管理することも多くなってきている。それらのデータを遠隔監視し、設備の劣化や異常兆候の予測など、運転支援に活用できるプラントの最適運用を提案している。

3.3 工業電熱分野

工業電熱分野では、省エネ性と環境の改善性を持つ電気加熱の需要が堅調である。富士電機は、環境保全とともに生産性向上に適した加熱方式である誘導加熱の用途拡大を図っている。さらに特徴として、被過熱物の直接発熱、急速加熱、高温加熱、局部加熱や均温加熱への対応、設定温度への容易な加熱、クリーンな電気エネルギーの利用などがあり、電磁界解析および熱解析の技術を用いて、装置の改善を図っている。

素形材産業分野は、多種多様な工業炉が使用されており、燃焼炉の占める割合は大きい。今後、CO₂を削減するため化石燃料を使用する燃焼炉から電気加熱に置き換えが進み、誘導加熱技術への期待は大きい。

鋳鍛造などの鉄鋼プロセスでは、溶解炉や加熱炉の省エネを推進することが、コストダウンや合理化のポイントであり、さらには地球温暖化対策につながる。

富士電機では、これらを推進するためさまざまな取り組みを行っている。

誘導加熱の周波数帯は、50/60 Hz の商用周波から 1 MHz もの高周波領域まで広範囲にわたっている。パワエレ技術を駆使することでこれらの電源を実現してきた。サイリスタインバータが主流の誘導炉用電源では、業界に先駆け IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）を用いたインバータにより高効率化を実現している。高周波るつぼ形誘導炉の外観を図 5 に

(※ 3) サイリスタ

電圧や周波数を変換する回路で使用するスイッチング用の半導体素子の一種で、pnpn の 4 層構造からなる。過電流耐量が大いという特徴はあるが、非導通状態にするために大電流が必要となり、損失が大いという欠点がある。

(※ 4) IGBT

Insulated Gate Bipolar Transistor の略である。ゲート部は MOSFET と同じ構造で、酸化物絶縁膜で絶縁されたゲート部を持つ電圧制御型デバイスである。MOSFET とバイポーラトランジスタの長所を生かしたものである。バイポーラ動作であるため伝導度変動

を用いることができるので、インバータへの応用に十分なスイッチング速度と高耐圧・低オン抵抗を両立できる。

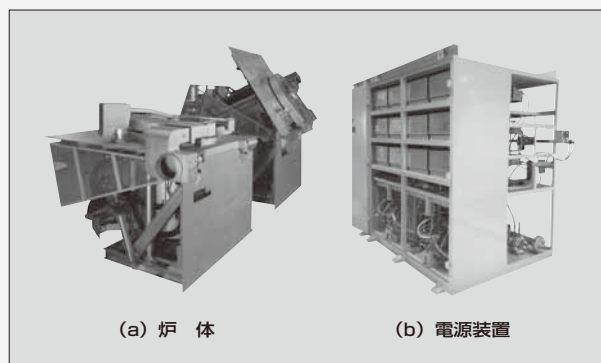


図5 高周波るつぼ形誘導炉

示す。

④ 環境・社会ソリューション分野

環境・社会ソリューション分野では、社会のさまざまな環境分野に貢献する製品群を、富士電機の保有する基盤技術を軸に独自性のあるコンポーネントとして創出してきた。現在、これらのコンポーネントをシステム化し、社会インフラや産業インフラなどに提供している。今後はIoTを応用し、データベース化による自己診断機能を付加することで、さらに幅広い分野における環境監視や設備保全および異常予知などの事業を拡大していく。

このように環境・社会ソリューション分野では、富士電機の環境計測ソリューションおよび環境監視ソリューションを提供することで、社会インフラや産業インフラに貢献していく。

4.1 船舶分野

船舶分野では、排ガス規制による環境保護への対応が急がれている。2020年に施行されるグローバル規制に対応した世界最小の「SO_x スクラバ」と、排ガス浄化システム（EGCS：Exhaust Gas Cleaning System）を供給する（図6）。コンパクトな大きさであることから船内配置が容易であり、新造船だけでなく既存船や就航船の改修（レトロフィット）にも適用可能であり、日本を含むアジア、欧州を中心に環境改善に寄与していく（35ページ“世界最小の船舶用サイクロン式SO_x スクラバ”参照）。

4.2 道路インフラ分野

道路インフラ分野では、図7に示したトンネル換気システムの他、高速道路用車両検知器、道路遠方監視制御システムなどのソリューションシステムを提供し

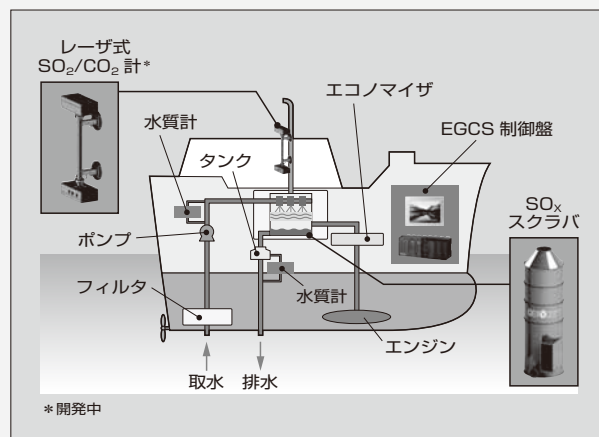
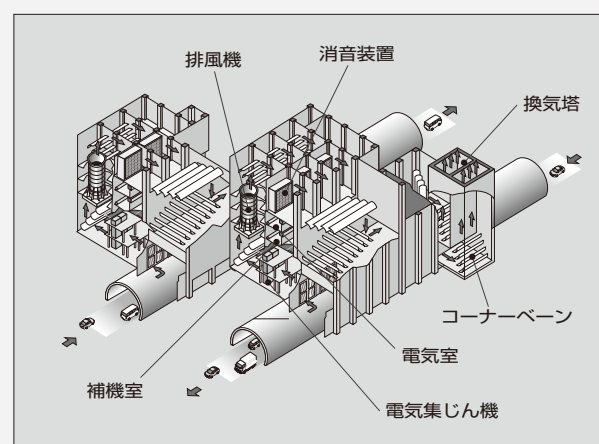
図6 SO_x スクラバと排ガス浄化システム

図7 富士電機のトンネル換気システム

ている。その中でトンネル用電気集じん機やジェットファンなどのトンネル換気システムは、トンネル周辺の大気環境を改善するために、全国の道路トンネルで貢献している。富士電機の電気集じん機は、放電線が断線しにくい対策を施した放電板を用いた交流電気集じん方式を採用し、ナノオーダより大きな粒子を高効率に集じんすることが可能である。これにより、集じん機下流壁面の汚染を防止するなど道路環境の改善に寄与している。

4.3 産業分野

産業分野では、富士電機の特徴的な技術として産業用排水処理ソリューションおよび植物工場プラントの農業ソリューションがある。

(1) 産業用排水処理ソリューション

産業用排水処理ソリューションを図8に示す。産業用排水処理ソリューションでは、独自の排水処理用バチルス菌「FBS-Premium」を活用したバチルス菌排

(* 5) バチルス菌

60 ページ「解説1」“バチルス菌”を参照のこと

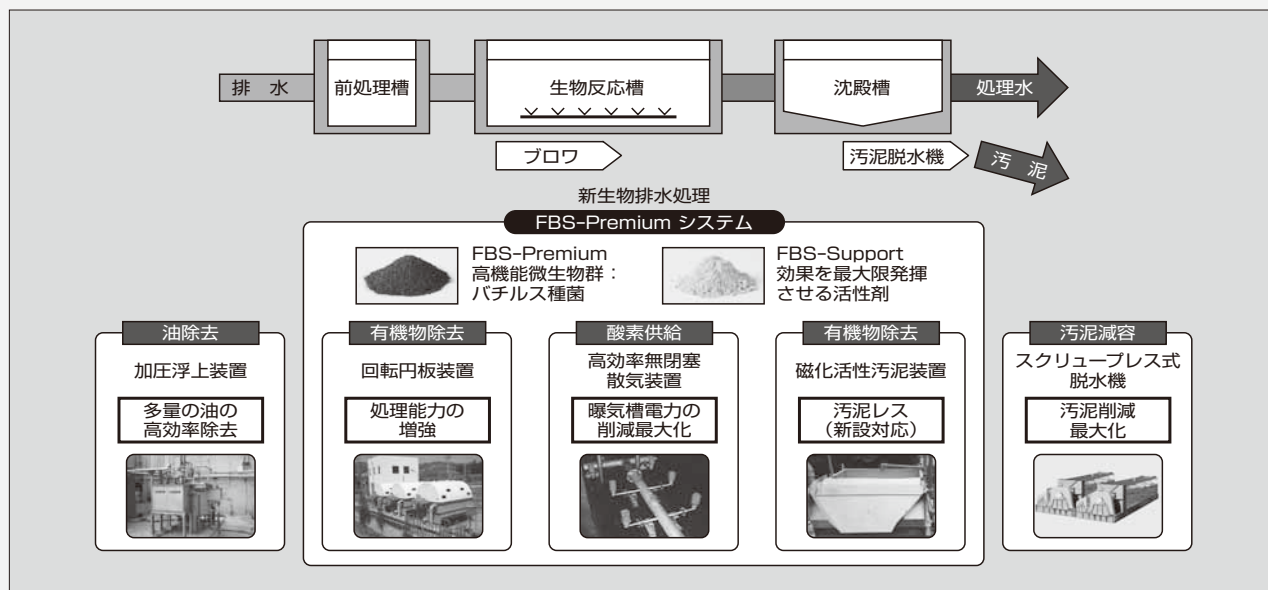


図8 富士電機の産業用排水処理ソリューション

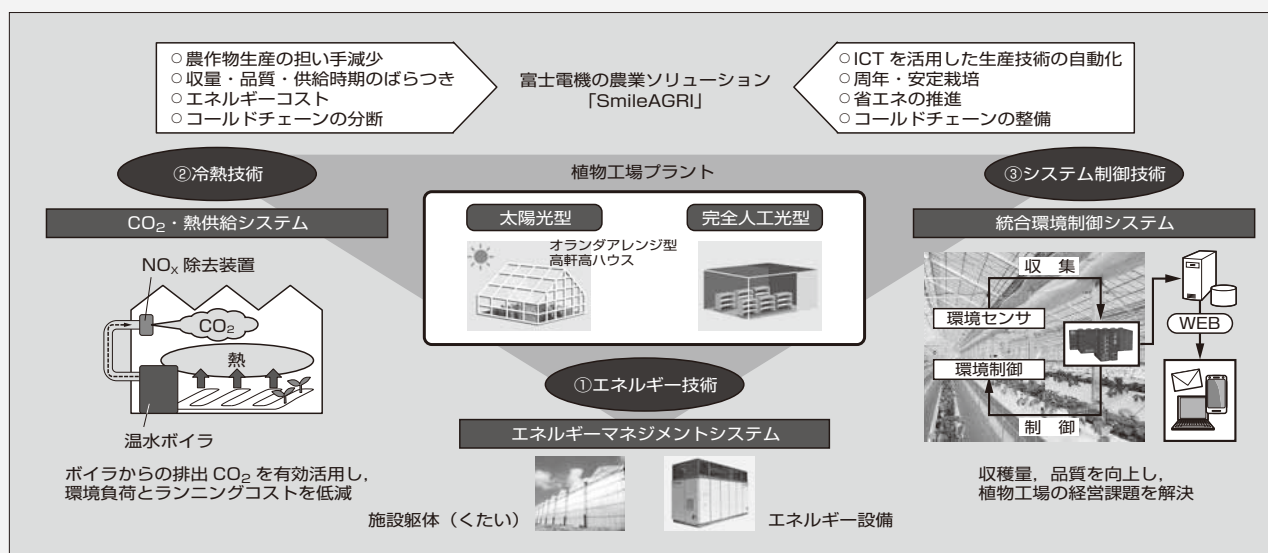


図9 富士電機の農業ソリューション

水処理システム「FBS-Premium システム」を提供している。このバチルス菌を排水処理設備に投入することにより、有害な薬剤などを使用することなく処理能力を向上させ、処理水の浄化と悪臭を抑制する。この技術は、既存の排水処理システムを省エネ型に変えるだけでなく、ランニングコストを低減する。昨今、「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法」に基づいた「再生可能エネルギー固定価格買取制度」(FIT: Feed-in Tariff)を背景に、畜産系廃棄物を利用したバイオガス発電プラントが増加しつつある。FBS-Premium システムは、バイオガスを作る過程で出る消化液の処理課題を解決し、かつランニングコストの削減につながる消化液の排水処理システムである。これまでの実績と高い品質により、省

ランニングコスト、省エネ、省スペースを実現した。産業利用した排水をクリーンな状態で自然に戻し、貴重な水資源と自然保護につなげ、環境負荷の低減に寄与する(40 ページ“水環境保護に貢献するバチルス菌排水処理システム「FBS-Premium システム」”参照)。(2) 農業ソリューション「SmileAGRI」

富士電機は、これまでに培った電気・熱エネルギーやプラント制御の技術とノウハウを生かし、農業ソリューション「SmileAGRI」を提供している(図9)。このソリューションは、植物工場プラントの構築に最

〈注〉「FBS-Premium」をコアとした応用技術で国立環境研究所・日刊工業新聞社主催 平成 29 年度環境賞[優秀賞]を受賞

適な各種設備や機器、プラントシステムの設計とエンジニアリングにより構築されている。特に、モデルプラントをベースに CO₂・熱供給システムや計測機器、コントローラなどを活用した環境制御システム、国内規格に合わせた施設を用いて運用している（45 ページ“安定生産と収益性の向上に貢献する農業ソリューション「SmileAGRI」”参照）。今後、伸長が期待される植物工場プラントは施設のコスト低減、エネルギー効率化を進めるとともに、育成対象の安定生産と生産性の向上を図ることが重要である。

4.4 放射線機器・システム分野

放射線機器・システム分野においては、原子力関連施設の内部や管理地域、その周辺地域における、放射線量および放射能に関する環境監視活動に貢献する放射線管理システムが導入されている。富士電機は、国内の放射線計測機器やシステムのメーカーとして、最も長い歴史と実績を持っている。その製品やシステムは、原子力施設をはじめ研究所、病院、大学などで、幅広い分野で採用されている。放射線管理システムを図 10 に示す。代表例として、放射線管理区域内の労働者の外部被ばくや内部被ばくを測定・管理する個人被ばく管理システム、発電所敷地内外の空間 γ 線量率やダスト濃度を測定・監視する環境放射線モニタリングシステム、ならびに電力会社や病院、大学向けの放射線機器、放射線管理システム、サーベイメータなどがある。震災後の復興や復旧活動における環境測

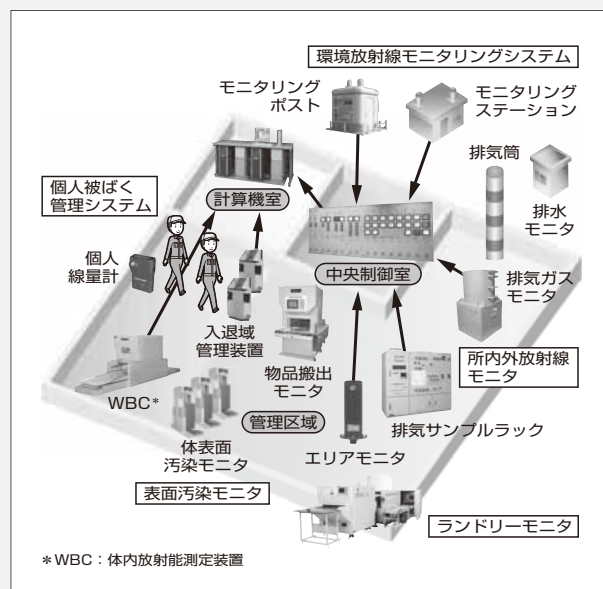


図 10 富士電機の放射線管理システム

定の経験を生かして、IoT 環境モニタによる環境監視サービスをはじめ、他社に先駆けてシンチレータ材料による化ストロンチウムを採用した高分解能かつ小型・軽量のスペクトルサーベイメータや、浮遊じんあい中の放射能濃度を連続監視する大気モニタ、震災復興関連施設の焼却施設向け排ガス放射性物質濃度監視装置、土壌濃度分別装置などを新たに開発している。放射線機器システムは、放射線管理によって人と環境に安全を提供するために、各種放射線を正確かつリアルタイムに計測している（50 ページ“環境保護に貢献する放射線管理ソリューション”参照）。

4.5 IT ソリューション分野

業務環境の改善や生産性を向上する IT ソリューション分野には、図 11 に示すように、電子自治体向け電子行政サービスシステム、ワークフローパッケージ「ExchangeUSE」、データベース検索ソフトウェア「軽技 Web」などがある。

電子行政サービスは、行政業務の効率化や住民サービスを高度化するために、行政内部事務を効率化したリスピードアップしたりと“いつでも・どこでも”の身近な自治体サービスを支援する。利用法人の保有設備で運用する自庁型（オンプレミス）と、インターネット経由のクラウドサービスとして機能を提供する ASP 型（SaaS）^(*)がある。さらに、複数の地方自治体向けアプリケーションベンダの行政業務機能をイン

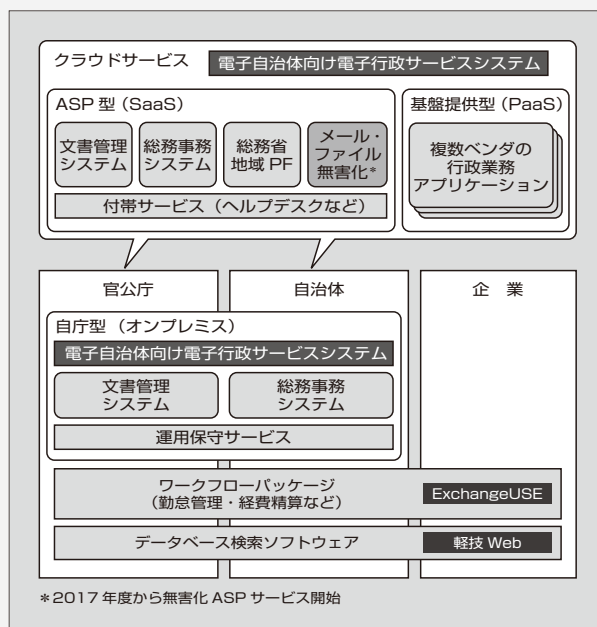


図 11 富士電機の IT ソリューション

(*) シンチレータ

シンチレータ (scintillator) は、放射線に励起されることにより蛍光を発する特性を持った物質であり、放

射線を検出する素子として利用される。シンチレーション検出器は、シンチレータに光電子増倍管などの光検出器を結合することにより、放射線による蛍光を

電気信号に変換し、電流パルスとして取り出すものである。代表的なシンチレータとしては、NaI (TI) シンチレータおよび CsI (TI) シンチレータがある。

ターネット経由で提供するために、アプリケーション実行プラットフォームを提供する基盤提供型 (PaaS) として、“クラウド・モール”を運営している。ExchangeUSE は、全ての企業をはじめとした事業体に共通する勤怠管理や経費精算などの業務を、柔軟なカスタマイズに応えられる基本機能としてパッケージ化し、比較的低予算で顧客に合わせた生産性向上を実現する国内ワークフローのシステムである。軽技 Web は、データベースの汎用検索、非定型検索を通じて、必要なデータを必要なときに必要な形で素早く集計して提供するものである。顧客の業務や情報活用を活性化する EUC (End User Computing) を使用し、生産性を高めるビッグデータ時代の BI (Business Intelligence) ツールである。

4.6 輸送ソリューション分野

世界的に都市化が急速に進展する中で、1950 年に 30% であった都市人口比率は、2050 年には 66% になると予想されている。主に発展途上国の都市部では過度な交通集中による渋滞が頻発し、排ガスからの CO₂、NO_x などによる環境破壊が進行している。

この中で鉄道は、人流・物流・大気汚染抑制の面で環境に優しい交通機関として注目されている。単位輸送量 (人・km) 当たりのエネルギー消費量を比較すると、鉄道は、自家用車の約 1/6、航空機の約 1/4 である。

富士電機は、鉄道車両を走行させる駆動システム、車両に安定的な電力を供給する補助電源装置、旅客の安全・安心を支えるドアシステムを統合的に供給できる国内唯一のメーカーであり、環境に優しい鉄道システムの日々の安全・安定輸送・快適な運行に大きく貢献している。

富士電機の鉄道車両用装置は、安全・安定輸送・快適な運行に欠かせない信頼性において鉄道事業者から高い評価を得ており、社会生活の利便性と質の維持・向上に貢献している。さらに、赤道直下の高温多湿地域や砂漠地域から亜寒帯まで、さまざまな環境で多くの実績を持っている。

(1) 駆動システム

鉄道車両を走行させるための重要な装置である高速車両用の駆動システムは、主に架線から供給される高電圧の電源を降圧する主変圧器、速度や運転指令に応じて、降圧した電源を適切な交流電源に変換する主変換装置、ならびに変換した交流電源により駆動力を発生させる主電動機から構成される。

富士電機は、JR 東海 (東海旅客鉄道株式会社) と共同で新幹線向け主変換装置を開発している。開発した主変換装置には、SiC (炭化けい素) を用いたパワー半導体モジュールを採用している (図 12)。従来の Si-IGBT パワー半導体モジュールに対して、パワーユニットを約 20% 小型化し、約 8% 軽量化した。図 13 に、主変換装置の外観を示す。小型・軽量化した主変換装置は、車両の重量低減に寄与し、製造から廃棄までのライフサイクルにおける環境負荷を低減している。また、軽量化や SiC デバイスの採用による回生 (ブレーキ時の発電) 可能電力の増大により、車両走行に伴うエネルギーを削減して環境保護に貢献している。2015 年に現車試験による評価を開始し、約 2 年間にわたり不具合なく良好な評価結果が得られた。高速鉄道用の駆動システムに、SiC モジュールを採用した走行試験は世界初である。

現在は、評価試験結果を踏まえて、図 14 に示す次

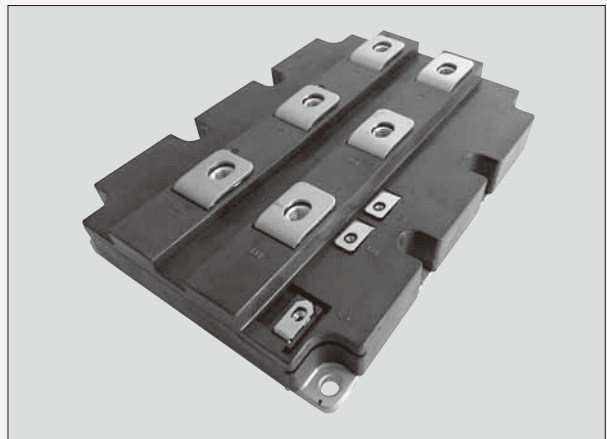


図 12 SiC パワー半導体モジュール

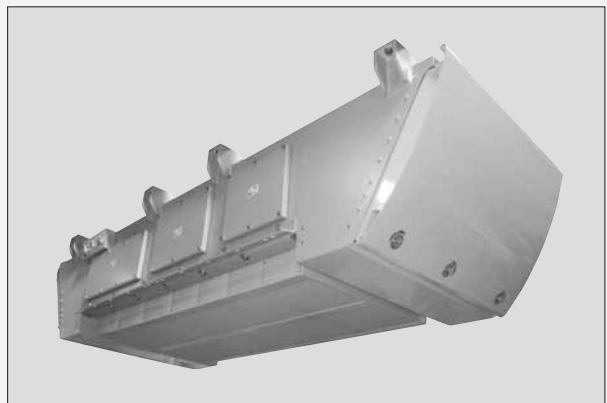


図 13 主変換装置

(* 7) ASP 型 (SaaS)

ASP は Application Service Provider の略であり、SaaS は Software as a Service の略である。インターネット経由で必要な機能やサービスを利用できるよう

に提供する仕組みのことである。

(* 8) PaaS

PaaS は Platform as a Service の略であり、インター

ネット経由でアプリケーション実行のプラットフォームを提供する形態のことである。



図 14 次世代新幹線車両

世代新幹線車両の量産先行車両向けに、主変圧器や主変換装置、主電動機を開発している。2018年に量産先行車両を使った現車試験を実施し、実用化に向けて最終確認を行う予定である。今後は、営業運転に向けて製品化を推進する。

(2) 補助電源装置

補助電源装置は、鉄道車両の安全・安定輸送・快適な運行のために、各種制御機器およびブレーキなどに使用される電動空気圧縮機に電力を供給している。また、快適な車内空間のために、旅客用情報提供装置や空調装置にも電力を供給している。

富士電機は、主に都市圏輸送用の直流電車で大容量補助電源装置、信頼性をさらに高めた待機二重化装置、新交通システムなどの小型車両向け高周波リンク式装置の他、交流電車および気動車用装置などの幅広い用途に対応した製品を取りそろえている。

また、電力を平滑する機能を担うフィルタコンデンサは、従来のオイルコンデンサから乾式フィルムコンデンサに替えるなど環境負荷が少ない部品を使用している。

(3) ドアシステム

ドアシステムは、鉄道車両の中でも乗客に近い場所で乗客の安全を守る装置である。加えて、都市部の通勤電車や地下鉄などの混雑地域では円滑な乗降のための開閉動作や各種検知機能により、ドアの開閉動作に伴う安全性を向上するとともに、車両運行の定時性の維持に貢献している。

富士電機は、ドア制御系全体の待機冗長方式や電源冗長方式を備えたドアシステムを提供しており、万一の不具合の際にも機能が低下することなく安全な開閉動作を可能にしている。故障検知機能や自己診断機能は、システムの異常や故障を素早く検知して影響範囲を極小化するとともに、修繕対応や原因調査を支援している。点検機能は、機能の安全性と健全性を確認するとともに、顧客の予防保全活動のために機器情報を提供している。戸挟み検知機能は、安全性の向上はも

ちろん、戸挟みの発生していないドアを分離した開閉動作を行うことにより、出発遅延を低減している。

2017年5月22日には、最新の電子デバイスや戸挟み検知技術などを適用したドアシステムを搭載し、JR東日本（東日本旅客鉄道株式会社）のE235系山手線量産車両が営業運用を開始した。今後、本製品をプラットフォームとした製品を、地下鉄や新交通システムなどの国内外の鉄道車両に展開していく予定である（55ページ“輸送品質向上を目指したJR東日本E235系車両（山手線）向けドアシステム”参照）。

5 あとがき

富士電機が取り組んでいる環境保護と生産性向上に寄与する代表的な取り組みを取り上げ、現状と展望について述べた。

富士電機はこれからも環境との調和を図り、地域社会のよき企業市民として、地域、お客さま、パートナーとの信頼関係を深め、誠実にその使命を果たしていく所存である。

参考文献

- (1) World Urbanization Prospects [highlights] 2014 Revision. p.7, United Nations, <https://esa.un.org/unpd/wup/publications/files/wup2014-Highlights.pdf>, (参照 2017-12-15).
- (2) 国土交通省交通関連統計資料集、Ⅲ. 交通関連エネルギー、Ⅲ-3. 交通関連エネルギー情勢、エクセルシート、ウ エネルギー消費原単位（ア）旅客, <http://www.mlit.go.jp/statistics/kotsusiryō.html>, (参照 2017-12-15).



友高 正嗣

富士電機株式会社執行役員常務、パワエレクトロニクス事業本部長。



鉄谷 裕司

富士電機株式会社パワエレクトロニクス事業本部長、ファクトリーオートメーション事業部長。



松本 康

富士電機株式会社パワエレクトロニクス事業本部長、開発統括部長。



*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。