

富士電機技報

FUJI ELECTRIC JOURNAL

2019
Vol.92 No.



特集 2018年度の技術成果と展望



特集 2018 年度の技術成果と展望

富士電機は、エネルギー・環境技術の革新を追求し、エネルギーを安定的に最も効率的に利用できる、環境にやさしい製品・システムを創り出しています。強いコンポーネントとそれを活用した特徴あるシステムの創出や、これらをつなぐ IoT (Internet of Things) 技術の活用により、お客さまの価値を徹底的に追求するため、研究開発を行っています。

本号は、2018 年度の技術成果と今後の展望をまとめたものです。新しい社会を構築する上で、皆さまに少しでも参考になるところがありましたら幸いです。

表紙写真

富士電機は、さまざまな分野でシステムやコンポーネントおよびソリューションを提供しています。例えば、次期新幹線 N700S 確認試験車用主回路電機品、船舶用排ガス浄化システム (サイクロン式 SO_x スクラバ)、車載用大容量直接水冷モジュールなどがあります。さらに、工場の見える化を実現する EMS パッケージや、さまざまなシチュエーションやニーズに対応した自動販売機・カウンター什器・店舗空調ソリューションなども提供しています。国内だけでなく、成長ポテンシャルの高い東南アジア、インド、中国のお客さまにも新たな価値を提供してまいります。

(*写真提供：東海旅客鉄道株式会社)



目次

特集 2018年度の技術成果と展望	
特集に寄せて “パワエレシステムとパワー半導体を中核に エネルギー・環境事業で 持続可能な社会の実現に貢献” 北澤 通宏	66 (2)
特別対談 “持続可能な社会を実現するために” アナログ技術とデジタル技術の融合を、 将来のエネルギーシステムのスマート化にどう生かしていくか 横山 明彦 ・ 近藤 史郎	68 (4)
成果と展望 “顧客価値を生み出す強いコンポーネントと 制御・IoT でつなぐシステムソリューション” 近藤 史郎	73 (9)
ハイライト	79 (15)
パワエレシステム エネルギー □エネルギーマネジメント □施設・電源システム □受配電・開閉・制御機器コンポーネント	87 (23)
パワエレシステム インダストリー □オートメーション □社会ソリューション □情報ソリューション	91 (27)
電子デバイス □半導体 □ディスク媒体	100 (36)
発電プラント □火力・地熱発電 □原子力関連設備 □新エネルギー	104 (40)
食品流通 □自動販売機 □店舗流通	107 (43)
フィールドサービス □フィールドサービス	109 (45)
基盤・先端技術 □基盤技術 □先端技術	110 (46)
略語・商標	116 (52)
技術業績の表彰・受賞一覧	118 (54)
富士電機技報 2019 vol.92 no.2 掲載項目一覧	119 (55)

パワエレシステムとパワー半導体を中核に エネルギー・環境事業で 持続可能な社会の実現に貢献

富士電機は、1923年の創業以来、エネルギー・環境技術の革新を追求し、産業・社会インフラの分野で、広く世の中に貢献してまいりました。国際社会では、温室効果ガス排出削減のための国際的な枠組みである「パリ協定」や、持続可能な社会の実現に向けた開発目標であるSDGsが採択され、企業にもその実現に向けた積極的な行動が求められています。

このような中、当社は、電気、熱エネルギーの効率的な利用に向けた技術・製品開発と、温室効果ガスの削減や資源の有効活用など地球環境に配慮したものづくりを推し進めており、2019年6月に、中長期的な環境活動の目標として“環境ビジョン2050”を発表しました。

当社は現在、“パワエレシステム”のエネルギーとインダストリー、“電子デバイス”“発電プラント”“食品流通”の4事業・5分野を展開しています。2019年度を初年度に、当社が創立100周年を迎える2023年度を最終年度とした5か年中期経営計画では、売上高1兆円、営業利益率8%以上を目標とします。この達成に向け、パワエレシステム、および電子デバイスのパワー半導体にリソースを傾注し、研究開発費も8割を投入する計画で、顧客価値を明確にした新製品を創り出していきます。

“パワエレシステム”のエネルギーでは、大容量パワエレ技術、エネルギー監視制御技術などを基に、開閉装置、変圧器、保護リレーなどのコンポーネント、およびこれらを用いたシステムを、社会インフラや産

業市場に展開しています。変電システム分野では、今後の電力需要の伸びが期待できるグローバル市場向けの製品として、世界最小クラスの体格、質量、油量を実現した115kV、50MVAクラスの変圧器を開発しました。また、最新の国際規格に準拠した新型145kVガス絶縁開閉装置（GIS）を海外電力会社に初めて納入しました。

“パワエレシステム”のインダストリーでは、パワエレ技術をコアに強いコンポーネントを創出し、制御技術・IoT技術との組合せでシステム販売を強化し、海外事業の拡大を目指しています。オートメーション分野では、工場の自動化を推進するインバータやサーボ、計測機器、制御機器などのコンポーネントと、それらを組み合わせた制御システムを開発し、生産性の向上と省エネルギーに貢献しています。IoTの活用では、生産現場にあるさまざまな機器のデータの時刻同期を取ってひとまとめに蓄積し、分析サービスまでを提供する新しいエッジデバイス「OnePackEdgeシステム」を開発し、製品化しました。さらに、アナリティクス・AIの適用により、EMS、予兆診断、品質分析・改善など新たな価値を提供します。また、船舶分野にも注目し、長年培ってきた集じん機技術や水処理技術などを応用し、硫黄酸化物（SO_x）、粒子状物質（PM）規制に対応する船舶用排ガス浄化システムを開発しました。制御機器分野では、ライフライン設備などの高信頼性が求められる市場向けに、二重化対応したプログラマブルコントローラや、電機高速コントローラを開発し、鉄鋼プラントなどの高速で信頼性



の高い駆動制御システムの実現を可能にしています。

“電子デバイス”のパワー半導体では、従来のSi半導体に比べ低抵抗かつ高耐圧で高温動作が可能なSiC（炭化けい素）を適用したパワー半導体チップを開発し、世界最高レベルの性能を持ったSiCモジュールを開発しています。これらは次世代高速鉄道などに適用されて小型・軽量化に貢献し、機器の性能評価が進んでいます。

これらパワエレシステムとパワー半導体をコア技術として、急速に進むモビリティの電動化を重要ターゲットに位置付けています。富士電機独自のパワー半導体と冷熱技術・モジュール化技術を駆使して小型・軽量化を実現した車載用パワー半導体モジュール、ならびにこれを用いた車載用パワエレ機器の開発を進めています。

“発電プラント”では、世界的に脱炭素の流れが加速する中、再生可能エネルギー分野へのシフトを進めています。一括請負工事（EPC）で受注した4件の太陽光発電所は2018年度に竣工し、その中で苫小牧メガソーラー第一発電所は、蓄電池併設型で北海道電力株式会社の出力変動対策の技術要件に対応した国内最大級の設備となります。

“食品流通”では、人手不足の常態化に対応して、利便性向上・省力化・省エネルギーという観点で課題に取り組んでいます。例を挙げると、汚れにくいコーヒーミルの開発や、IoT技術の活用による作業の簡略化を進めています。また、消費者の待ち時間に対するストレス軽減のために、コーヒーの抽出プロセスを見

直し、より短時間でまろやかな味の実現を可能にしました。

さらに、広く製品に貢献する共通的な基盤技術や将来を見据えた先端技術の研究開発を進めています。例を挙げると、分子シミュレーション技術を用いたSiC半導体とゲート酸化膜界面の欠陥構造の特定や、モデルベース設計技術の適用によるサーボシステムの制御アンプ、モータ、機械負荷の詳細モデルの作成、AI技術を用いた画像認識技術の開発による外観検査の自動化などを進めています。このように従来の技術にデジタル技術を融合して、さらに強い技術基盤を構築します。

富士電機は、“地球社会の良き企業市民として、地域、顧客、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ます”を経営の基本理念に、スローガンとして、“熱く、高く、そして優しく”を掲げています。新しい技術や製品を生み出すことにより社会に貢献するという“熱い”気持ち、“高い”目標を掲げてどんな困難にも立ち向かっていく気概、そしてお客様さまや仲間、支えてくれている家族に感謝し、大切に思う“優しさ”です。これらの思いや姿勢が当社のDNAであると考えています。

このスローガンの下、多様な人材がチームとなり、安全・安心で持続可能な社会の実現に貢献していく所存です。皆様のご指導、ご鞭撻を心よりお願い申し上げます。

代表取締役社長

北澤通宏

持続可能な社会を実現するために

アナログ技術とデジタル技術の融合を、
将来のエネルギーシステムのスマート化にどう生かしていくか

横山 明彦 東京大学大学院 工学系研究科 電気系工学専攻 教授

近藤 史郎 富士電機株式会社 執行役員 技術開発本部長

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第5次評価報告書（2013年）では、有効な温暖化対策を採らなかった場合の21世紀末（2081～2100年）の世界の平均気温は、20世紀末に比べて2.6～4.8℃上昇すると報告されている。温暖化をもたらすCO₂の削減は、もはや待ったなしの国際的課題である。日本はくしくも、2011年の東日本大震災によりエネルギー政策の大転換を迫られることになった。分散型エネルギーシステムの構築に向け、パワーエレクトロニクスや制御技術に強みを持つ富士電機が果たすべき役割は何か。電力システム工学の第一人者である東京大学大学院教授の横山明彦氏を迎え、ハードウェアやシステムへの期待や課題について、富士電機技術開発本部長の近藤史郎と意見を交換した。

分散型エネルギーと技術的課題

近藤 富士電機は、“エネルギー・環境技術の革新により、安全・安心で持続可能な社会の実現に貢献します”を経営方針に掲げています。2016年の「パリ協定」を踏まえ、日本はCO₂削減目標を2030年26%、2050年80%と決めました。パワーエレクトロニクス（パワエレ）や制御、発電の技術などでエネルギー関連事業に長年携わってきた富士電機は、その実現に向けた社会課題の解決を通してビジネス展開を図っていくべき、と考えています。

本日は、メーカーとしての方向性について、横山先生よりいろいろとご示唆をいただきたいと思えます。よろしくお願いいたします。

横山 よろしくお願いたします。ご存じのように、電力システムを取り巻く状況は、東日本大震災を機に一変しました。

一つは、電力システム改革です。電力の発電や小売を自由化することで、新規参入の機会を創出しました。競争原理による電気料金の値下げやサービスの多様化も期待されます。需要家にとっては、電力会社の選択肢が増えることとなります。

もう一つは、分散型再生可能エネルギーの大量導入です。再生可能エネルギーである自然変動電源を大量導入する流れは、電力システムの安定的運用に大きな影響を与えます。私たち大学としても研究テーマが増え、とてもチャレンジングな状況になっています。

近藤 電力システムの変化によって、解決しなければならない技術的課題がいくつも出てまいりました。配電網について言えば、電力エネルギー密度が極端に低い電源を分散的に入れる前提で、ネットワークの需給バランスをしっかりと取る必要があります。システムの方向性としては、基幹に集中電源を置き、その下に配電網がクラスタリングされたシステム構成になるのでしょうか。

横山 配電網に大量の自然変動電源が入ってくると、まず配電のローカルエリアで問題が発生します。配電線の電圧の上昇、送電容量、短絡容量の不足、逆潮流などの問題です。これらはまずクラスタリングによって解決されることとなりますが、次にクラスタリングされたシステム間の問題に発展します。クラスタリングされたシステムはわが国では需要地系統とも呼ばれていますが、ある需要地系統は、配電



横山 明彦 よこやま あきひこ

1984年 東京大学工学部電気工学科 助手

1985年 同講師

1989年 同助教授

2000年 同大学大学院工学系研究科 電気工学専攻教授

2019年 同大学大学院工学系研究科 先端電力エネルギー・環境技術教育研究センター (APET) センター長

1987年2月～1989年2月 テキサス大学アーリントン校 客員研究員

1988年2月～12月 カリフォルニア大学 パークレー校客員研究員

2017年5月～2018年5月 電気学会会長

より上位の電圧階級の系統を介して、他の需要地系統に影響を及ぼすのです。そしてやがて基幹系統全体へと影響は広がっていきます。

近藤 そうなると、需要地系統ごとの分散電源のリソースをマネジメントするシステムと、需要地系統間のエネルギーバランスを取るシステムが連携しながら動く必要がありますね。

横山 おっしゃるとおりです。そういうシステムが必要になってくると思います。

近藤 富士電機が得意とするパワエレの側面から言えば、スマートグリッドの基本はエネルギーを時間的・空間的に、いかに合理的に移動させるかだと思います。

横山 時間的・空間的に、合理的に。いい言葉ですね。

近藤 富士電機はメーカーとして強いコンポーネントを創り出し、それを生かしたシステムビジネスの展開を掲げています。逆に言えば、システムソリューションに資する機器を開発するメーカーでありたい。先生は機器にどのような要望をお持ちですか。

横山 分散型の自然変動電源が系統に大量に入ってきて、需要量に対して発電量が少なくなったり多くなったりすると、需要を下げたり上げたり、自然変動電源の出力制御を行ったりするなど、制御を掛けないければなりません。また、需要家の要望でCO₂をフリーにして地球温暖化に貢献しなければいけないという世の中の流れでEV（電気自動車）が普及する。そのとき、EVも含めた需要家側の膨大な数の機器に対して、通信を使って制御を掛けていくことを考えると、安価で信頼性のある制御装置が必要になりますね。

近藤 電力網と制御通信網を同時並行的に最適化していくイメージですね。現在、スマートグリッドに接続される機器は、スマートメータから変電設備までさまざま、情報量やリアルタイム性もまったく異なります。一方の通信システムも、有線・無線、ローカル規格・オープン規格と種々の選択肢があります。最適化への道のりは平坦（へいたん）ではありませんね。

2020年には5G（第5世代移動通信システム）が実用化されると、リアルタイム性が上がり、従来の精度とは異なるネットワークになります。先生は5Gにどのような期待をされていますか。

横山 大容量・高速通信が可能になり、大量の需要家機器を高速にコントロールできるようになるでしょう。私は、今後はEVが重要になってくると考えています。EVをうまくコントロールできれば、系統の安定化制御に役立ちます。そのためにはまず、

EV自体の充電をコントロールできないといけません。EVが一斉に充電し始めると、配電網はパンクしてしまいますから。プラグインした時刻、プラグアウトしたい時刻、充電にかかる時間、配電線の潮流などの情報を基に、配電網、需要地系統をコントロールする。それには大容量・高速通信が非常に役に立つのではないかと期待しています。

近藤 系統におけるEVの活用については、V2G（Vehicle to Grid）というコンセプトで、車の蓄電池から逆潮流させたりするわけですね。

横山 各家庭にあるEVを分散型蓄電池として有効利用できれば、系統内に置く系統用蓄電池を減らすことができ、社会的コストも減らせます。われわれ研究者としては、EVをそういう方向性でぜひ使いたいですね。

社会的コストを意識した開発の重要性

近藤 需要家サイドの技術として、直流化も注目されています。富士電機も直流UPS（無停電電源装置）や直流配電装置の開発に取り組んでいます。

横山 中国がLVDC（Low Voltage Direct Current）の規格化に熱心で、小さな町で実証プロジェクトが始まっていると聞きます。商業地区、住宅地区などは負荷変動が大きい。10%、20%に負荷が落ちたときに変換器の効率が急激に悪くなりますから、その辺りをどう解決していくかですね。

近藤 直流化すればエネルギー変換の段数は減りますが、工場に直流配電を入れてシミュレーションしてみても、すぐに投資回収できるとは言えません。また、標準化の問題もあって技術の確立にはもう少し

近藤 史郎 こんどうしろう

- 1984年 富士電機製造株式会社（現富士電機株式会社）入社
- 2007年 富士電機アドバンステクノロジー株式会社取締役
- 2012年 富士電機企業管理（上海）有限公司董事長・総経理
- 2013年 富士電機株式会社産業インフラ事業本部計測制御システム事業部長
- 2016年 富士電機株式会社技術開発本部副本部長
- 2017年 富士電機株式会社執行役員、技術開発本部長兼務





時間がかかりそうです。

横山 変換器の部分負荷の効率を上げるパワーエレクトロニクス技術があるといいですね。

近藤 一つの解が並列運転だと考えています。既に、富士電機のUPSには、大きなスタックではなく、ある単位のスタックがパラレルに載っています。これを応用して、負荷に応じて容量を切り替えられるようにしています。

横山 スタックに分けてもコストは増えませんか。

近藤 ケース・バイ・ケースですが、ある単位のものを標準化してスケールアップする方が、量産効果でコストメリットが出ますね。

横山 蓄電池はどうですか。系統側に大容量蓄電池を置くのがいいか、各需要家側に小さな蓄電池を置くのがいいか、非常に興味深いところです。

近藤 電池も進化していますから、コストは変動的です。鉛蓄電池からリチウムイオン電池になり、やがて全固体電池が出てくるでしょう。蓄電池の再利用も考えられます。富士電機は鹿児島島の甑島（こしきしま）で、EVの使用済み蓄電池を再利用したシステムを開発しました。また、九州・沖縄の離島で多くのマイクログリッド実証実験に取り組み、将来、再生可能エネルギーが大量導入された際の系統の課題と対応策を検証しています。

横山 それは、とてもいい取組みですね。再生可能エネルギー電源の制御、需要家の機器の制御、そして既存の発電所の経済性、これらを全部考慮して、システム全体を統合的に最適化し、社会コストを下げていく。そういうエネルギーマネジメントシステムが今後、注目されるようになるでしょう。富士電機がマイクログリッドで培った技術は、そうした大きなシステムにも応用できます。

予測に立ちはだかるデータ共有の問題

近藤 富士電機は、工場や生産プロセスのエネルギー

マネジメントを通じて、1970年代から最適化や需要予測の分野に取り組んできました。近年はIoTや、そこで得られるデータを基にAIやアナリティクスで価値創造を行うことの重要性が認められつつあります。例えば、電気、熱、蒸気などのエネルギー需要に対して、どのような運転計画を立てたらエネルギーコストが最小になるか。その最適化は長く研究対象でした。そこで鍛えられた力は、これからのグリッドの最適化にも必ず生きてくると信じています。

横山 おっしゃるとおりです。

発電所、再生可能エネルギー、需要家機器を含めた統合的なエネルギーマネジメントシステムで大事なものは、予測、運用、制御の技術です。気象庁のデータから太陽光や風力の出力を予測する技術。月間ベース、週間ベース、日間ベースでの運用計画の最適化を導き出し、実運用に反映させる技術。急に太陽光が雲で遮られたり、風が吹きだしたり、何か事故が起きて出力が急変したときに制御する技術。この3本柱が今後は求められます。

AI技術を使った予測も研究されていますか。

近藤 いくつかの手法を研究しています。例えば、システムの非線形性に対応するためディープラーニングを使いますが、この領域では、きちんと説明できるディープラーニングの研究に取り組んでいます。ディープラーニングで学習した気象と電力需要の関係をかなり正確に取り出せるようになってきています。

横山 AIとビッグデータを利用した機器の寿命診断、故障診断など、国も電力設備の保安のスマート化を懸命に進めています。

近藤 富士電機は、設備診断や寿命診断、故障予知についても、積極的に取り組んでいます。仕様の異なるデータを素早く、時間同期を取って収集できるエッジデバイスを作りました。そのデータを独自の多変量解析で解くのですが、かなり短い時間で解析解が出せるところまでできました。

横山 電力は公益的な事業ですから、各社の保安に関わるビッグデータの共有については期待したいのですが、現実には難しいようですね。

近藤 どういうデータを持っているか、どういう精度で取っているか、ということも関係します。データの所有権の問題もありますね。将来は先ほど先生がおっしゃったように、需給のバランスの問題も、メンテナンスの合理化の問題も、緊急時の対応の即効性の問題も、データの共有がなされないと解決しないかもしれません。データの共有に関するルール作

リが必要でしょうか。

横山 そうでしょうか。国もまだそこまでは議論が進んでいないようです。

EVは需要家の要望が電力を動かした

近藤 スマートグリッドや脱炭素化、エネルギーミックスの変革なども、技術の問題以上に、制度や社会実装の問題が大きいように感じます。

横山 経済性の問題が大きいと考えています。投資費用やメンテナンスの費用に経済合理性がないと、社会的に受け入れられないと思います。今、ブームのマイクログリッドも、補助金を使ってあちこちで盛んに行われていますが、本来は補助金がなくとも長期間にわたって維持できるシステムであるべきでしょう。

近藤 そう考えると、先ほど先生がお話されたEVは、温暖化の原因であるCO₂の排出をゼロにして地球環境に貢献しなければいけないという需要家の要望が先あって、電力の供給サイドを動かした特殊なケースといえそうです。

横山 EVの蓄電池としての利用も、需要家の要望が先です。地震などに伴う大規模停電のリスクを回避するために、家庭に蓄電池を置きたいという人はいます。しかし、停電はめったに起きません。自動車も毎日、長距離を走るわけではありませんから、電気がたまりっ放しというのももったいない。たまった電気を有効に効率的にシステムで利用させてもらうという考えは、社会経済的に見ても当然あり得えます。

近藤 BCP（事業継続計画：企業が危機的状況下に置かれたときに、損害を最小限に抑え、事業の継続や復旧を図るための計画）や、ESG投資（環境、社会、企業統治に配慮している企業への投資）、Renewable Energy 100（企業活動に必要なエネルギーを100%、再生可能エネルギーで賄うことを目標とする）など、昨今、需要家サイドの動きもいろいろと出てきています。それらに経済合理性の議論が相まって社会実装が進んでいくのでしょうか。

パワエレ機器のスマート化への期待

近藤 先生はよく「2050年に向けたシナリオ作りと、バックキャスト的な2030年のシナリオ作りが大切」とお話されています。2023年の富士電機100周年に向けたロードマップは、顧客価値起点で考えてきまし

たが、その先の2030年のシナリオは社会価値ベースでの検討が必要と感じています。

先生はパワエレ機器の未来のシナリオを、どのようにイメージしていらっしゃいますか。

横山 再生可能エネルギーの大量導入は、電力を直流から交流に変換するパワエレ機器を大量に必要とします。それはまた、慣性力不足からシステム不安定を生じさせる一因にもなります。システムの安定運用のために、パワエレ機器の高度化、スマート化が一層求められようになるのではないのでしょうか。いわゆるスマートインバータです。

例えばインバータに仮想的に慣性・同期化力を付ける。われわれはこれをVSG（Virtual Synchronous Generator）モデル制御と言っています。システムに置いた大きな蓄電池のインバータが同期機の慣性力を模擬する方法や、各分散型エネルギー電源のインバータが同期機のように自律的に制御する方法などが研究されています。

VSG以外にも、インバータの力率制御によるシステムの電圧の制御や、緊急時にシステム安定性を維持するための出力制御など、インバータに付ける機能はいろいろと考えられます。今後は、このようないろいろな制御の干渉を抑制し、自律運転可能なインバータが求められると思います。

近藤 変電の機器も、これからはアクティブな制御の実装が必要になりますね。

横山 システム全体は階層構造ですが、需要家の機器の制御は中央で集中して行うのではなく、ローカルコントロールセンターのような存在が出てくると考えています。アグリゲーターもその一つです。そういったローカルなセンターが協調しながら、システム全体の調和を図る。分散するだけではだめで、協調分散しないとイケません。

近藤 リアルタイム性を追求していくと、下流のシステムなり機器が自律的に動いてくれないと無理があ



ると思います。その辺りの研究は先生もいろいろとされているのではないですか。

横山 私は近年、ヨーロッパの DSO（配電会社）を訪問するのですが、ビジネスモデルの話がとても面白くて参考になります。

ヨーロッパは、TSO（送電会社）と DSO が分離しています。今、DSO ではプラットフォームが用意され、さまざまな会社がさまざまなアプリケーションをつないで新しいビジネスに挑戦する仕組みを実証しています。それを目の当たりにすると、日本の遅れを認めざるを得ません。日本人の多くは TSO には頻繁に訪れて、制度や系統制御などの話を聞いてくるみたいですが、DSO を訪問する日本人はまだ少ないようです。

近藤 ビジネスチャンスは DSO にあり、ということですね。富士電機は配電系統で頑張ってきた会社ですから、非常に興味の湧くお話です。

横山 CIGRE（国際大電力システム会議）もこれまでは TSO の方が多かったのですが、配電網を含む DSO の方を取り込んで発電から需要家までをカバーする組織にしなければいけないという議論が今、なされています。2021 年に京都で開催される CIGRE の会議では、配電網をテーマにしたシンポジウムを準備しています。ビジネスのターゲットは国際的にも DSO に移っているのですから、CIGRE も変わっていかねばなりません。

日本は幸いにして、TSO と DSO が同じ会社にありますから、ヨーロッパの DSO のようにやろうと思えば、効率的にできるはずですよ。

アナログもデジタルも——富士電機の優位性

近藤 エネルギーの蓄積、移動という観点で水素の可能性について、先生はどのようにお考えですか。

横山 いつかは考えなくてははいけません、10 年後はどうかと言うと、非常に問題が多いですよ。水素を作るコストが高いというのがありますが、作った水素の使い道がなかなかないのです。東北地方の大量の太陽光発電や風力発電を系統につなぐと余剰電力が出て大変なので、集めて水素に変えるという話もありましたが、その水素をどう使うのかと。燃料電池車もまだ普及していませんし、水素を使う産業もそうそうありません。そうかといって、電気から作った水素を再び電気に戻したのでは、あまりに非効率です。

近藤 EV では、電池容量を増やして航続距離を伸ばそうとしても電池容量の問題で、ある点を超えると



逆に航続距離が短くなると聞いています。モビリティの視点から水素の活用は考えられるでしょうか。

横山 長距離を走るトラックやバスは水素にするとか。水素ステーションと充電スタンドの 2 重インフラは大変ですから、すみ分けをきちんとしなければいけませんね。

近藤 水素は、クリーンなエネルギーという点は非常に魅力的ですが、社会実装に至るまでの課題は大きいですね。

メーカーとしては、それでも前に進まなくてははいけません。どちらの足を踏み出すかが、悩みです。

横山 富士電機は、アナログ的な技術から先進のデジタル技術まで幅広くやっておられて、将来的に非常に有望だと思います。その理由は、エネルギーはアナログだからです。昨今、デジタルイゼーションが叫ばれ、生活のあらゆるモノやコトにデジタルが適用されています。その流れで、エネルギーもデジタルで送れると誤解している人もいるようですが、エネルギーを送るのはアナログ技術。それをコントロールする神経網がデジタル技術です。アナログとデジタルが協調してうまく進んでいかないと、エネルギーを安定供給することは不可能です。両方をしっかりやっておられる富士電機の今後に大いに期待します。

近藤 本日はお話を通じて、将来の電力システムの姿について理解が深まりました。電力網と情報通信網の同時最適化や集中から協調分散へのアルゴリズムの構築に向けて、富士電機の強みであるパワエレをいかに生かすかということだと思います。先生からいただいた貴重なご示唆をヒントに、持続可能な社会の実現に貢献できるような技術を今後も生み出してまいります。本日はありがとうございました。

成果と展望

顧客価値を生み出す強いコンポーネントと制御・IoTでつなぐシステムソリューション



近藤 史郎

富士電機株式会社 執行役員
技術開発本部長

1. まえがき

2018年度は、前中期計画3年間の最終年度に当たります。この間、顧客価値の創出により、売上・利益拡大に貢献する効率的な研究開発の推進を基本方針として掲げ、研究開発改革を押し進めてきました。2017年度から製品開発を事業部の開発統括部に集約して強化し、技術開発本部は共通基盤技術と先端技術を担う体制を構築して役割を明確にしました。また、製品開発のDR（デザインレビュー）ステップを整備して顧客価値の検証のための仕組みを構築し、本格的に運用を開始しました。さらに、技術マーケティング部門を創設し、商品企画力の強化を図ってきました。

技術開発としては、世界トップレベルのパワー半導体技術、パワーエレクトロニクス（パワエレ）技術を組み合わせ、強いコンポーネントを生み出し、お客さまに提供します。これらのコンポーネントに計測・制御技術を組み合わせ、特徴あるシステムを構築するとともに、IoT（Internet of Things）やアナリティクス・AIの活用によって新たな顧客価値を提供します。

2. 富士電機のIoT

富士電機ではIoT技術を、自社の生産プロセス改善と顧客への新たな価値提供の両面で活用しています。“Small, Quick start & Spiral-up”をコンセプトに、短時間で顧客課題に答えを出しながら、IoT活用の仕組みと効果を横展開する形で価値を拡大する取組みを強化しています。

富士電機のIoTプラットフォームは、このコンセプト実現のために最適化されています⁽¹⁾（図1）。散在し、同期の取られていないフィールドのデータを収集し、かつ、それらのデータを現場で分析・解析するエッジデバイス、クラウドインデペンデントにサービスを実装可能とするサービスインタフェース、ならびに顧客価値創出のコアであるアナリティクス・AIなどから成ります。

富士電機の分析・解析技術は、数多くの実績を持つ

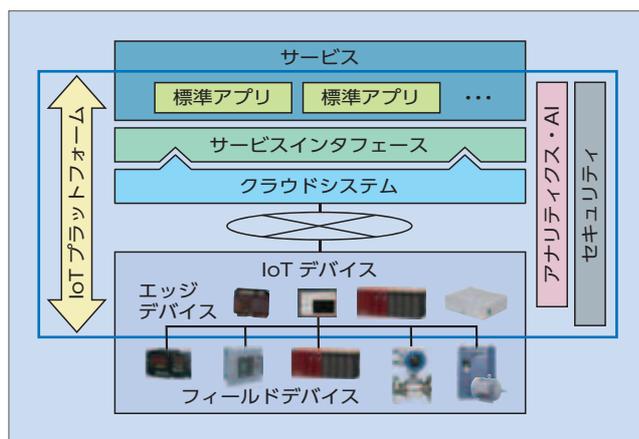


図1 富士電機のIoTプラットフォーム

MSPC（Multivariate Statistical Process Control：多変量統計のプロセス管理）を入口としています。線形モデルで解ける問題のほぼ全てに対応できるように長年かけて機能強化とチューニングが行われており、極めて短い時間で解析が可能となっています。一方、非線形問題などのより複雑な問題には、ディープラーニングなどの手法を適用しますが、社会、産業のニーズに応えるために、富士電機独自に“説明可能なAI”の機能を研究し、実装しています。

富士電機は、IoTを活用して、プラント・設備の異常予知診断、製造品質分析、エネルギー需要予測と最適運用など、具体的な顧客価値を創出します。

3. パワエレシステム エネルギー

エネルギー分野では、大容量パワエレ技術、エネルギー監視制御技術などを基に、開閉装置、変圧器、保護リレーなどのコンポーネント、およびこれらを用いたシステムを社会インフラ、産業市場に展開しています。

変電システムでは、中東や東南アジアを中心としたインフラ拡大の期待に応えるため、巻線・鉄心締付構造の最適化、冷却器構造の最適化などにより変圧器質量を大幅に低減し、世界最小クラスの体格、質量、油量を実現した115kV、50MVAクラスの変圧器を開発しました（図2）。



図2 グローバル市場向け変圧器

また、最新の国際規格に準拠し、従来に比べて据付面積比が70%、質量比65%と小型化した新型145kVガス絶縁開閉装置(GIS)を、オマーンのBousher変電所向けに初めて納入しました(図3)。今後は、同国で納入実績をさらに増やし、他の地域への市場参入も視野に入れ、拡販に注力していきます。

施設・電源システム分野では、伸長するIT、産業分野を中心に事業を展開しています。近年、データセンターの



図3 オマーン・Bousher 変電所 145kV GIS



図4 「UPS7000HX-T4」と入出力盤

無停電電源装置(UPS)システムの効率向上が求められています。このため、常時インバータ給電時で軽負荷率における効率を向上させる台数制御機能、および異常時に無瞬断で常時インバータ給電に切り換わる常時商用給電機能を付加した「UPS7000HX-T4」を開発しました(図4)。これにより、本機のみで、三相3線式と三相4線式、ならびにサーバ用と空調用の負荷に対応でき、企画設計、製作、保守が容易になります。

今後も、さらに高まる電力安定供給のニーズに対して、顧客の課題解決に向けた開発を推進し、市場への貢献を進めていきます。

4. パワエレシステム インダストリー

オートメーション分野では、工場の自動化を推進するインバータやサーボ、計測機器、制御機器などのコンポーネントと、それらを組み合わせた制御システムを開発し、顧客の生産性向上と省エネルギーに貢献しています。サーボシステム「ALPHA7」は、主に工作機械、印刷機、電子機器組立装置および半導体製造装置などの用途で使用されています。2017年にサーボアンプのVSタイプ(SXバス)1.5kW以下の出荷を開始し、2018年は地域や業界の幅広い要望に応えるためにラインアップを拡充しました。インタフェースは、汎用インタフェースのパルス列タイプ、および高速・高精度なモーション制御を可能とするEtherCAT通信タイプです。定格出力は2~5kWの容量を追加し、多様な機械への適応が可能な製品ラインアップをそろえました(図5)。

IoT活用の取組みとしては、生産現場にあるCNC(Computerized Numerical Control)、PLC(Programmable Logic Controller)、各種センサなどさまざまな機器からのデータを時刻同期を取ってひとまとめに蓄積し、分析サービスまでを提供する新しいエッジデバイス「OnePackEdgeシステム」を開発し、製品化しました(図6)。蓄積した統合データベースから必要な情報を取得して解析することで、設備異常や不良発生を抑制す

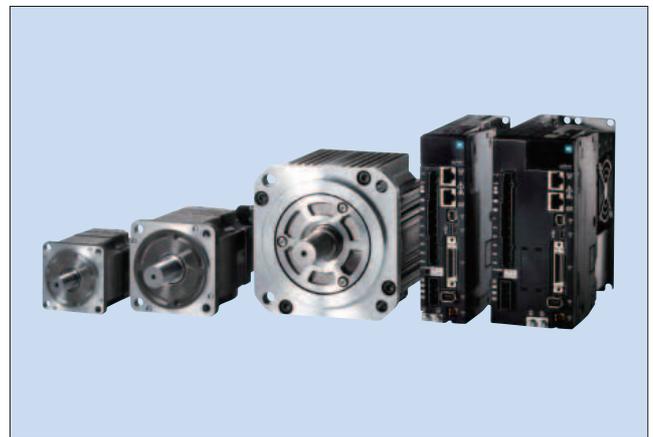


図5 サーボシステム「ALPHA7」

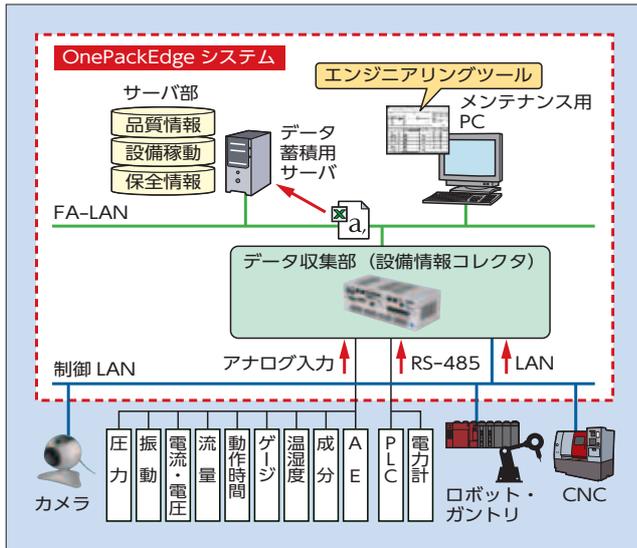


図6 「OnePackEdge システム」



図7 電機高速コントローラ「XCS-3000 TypeE」

ることに役立てることが出来ます。本製品は、既存設備に後付けで容易に設置することができ、導入コストの抑制が可能です。制御機器としては、ライフライン設備などの高信頼性が求められる市場向けに、二重化対応した PLC「MICREX-SX SPH5000H」を開発しました。また、監視制御システム「MICREX-View」に適用する駆動制御システム用電機 PLC である電機高速コントローラ「XCS-3000 TypeE」(図7)を開発し、鉄鋼プラントなどの高速で信頼性の高い駆動制御システムの実現を可能にしています。

船舶分野にも注目し、長年培ってきた集じん機技術や水処理技術などを応用し、硫黄酸化物 (SO_x) や粒子状物質 (PM) 規制に対応する船舶用排ガス浄化システム (サイクロン式 SO_x スクラバ) を開発しました (図8)。本装置は、排ガス中にアルカリ水を噴霧し、その液滴に SO_x を溶解させて低減します。既存の棚板式と異なるサイクロン式の採用により、容積で他社品の約 50% に縮小した業界最小サイズを実現し、設置を容易にしています。

社会ソリューションでは、SiC パワー半導体モジュール



図8 船舶用排ガス浄化システム (サイクロン式 SO_x スクラバ)

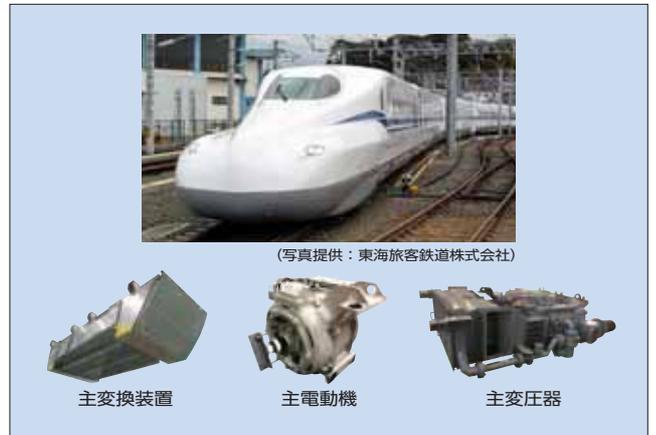


図9 N700S 新幹線確認試験車用主回路電機品



図10 5000 系リニューアル車両

を搭載して小型・軽量化を図った主変換装置 (駆動用インバータ、コンバータ) を開発しました。その成果として、東海旅客鉄道株式会社向けには、主変換装置、主電動機および主変圧器を駆動システムとして納入し、2018年3月から次期新幹線 N700S の確認試験車で現在も走行試験を行っています。これらは、従来品と比較して駆動システム

全体で 20% の軽量化を達成しています (図 9)。

また、山陽電気鉄道株式会社向けには、5000 系リニューアル車両向けに鉄道車両駆動用 VVVF インバータを納入しました (図 10)。本製品には、SiC パワー半導体モジュールと走行風冷却方式を採用し、従来品と比較して体積で 64%、質量で 45% の小型・軽量化を達成しています。

5. 電子デバイス

パワー半導体は、世界のエネルギー需要拡大ならびに地球温暖化の対策や安全・安心で持続可能な社会を実現するために、電気エネルギーを効率的に利用し、省エネルギー・創エネルギーに貢献できるパワエレ技術のキーデバイスとして期待されています。近年では、産業機器や家電製品だけでなく、自動車、太陽光発電、風力発電などの幅広い分野でパワー半導体の需要が拡大しています。その代表的な素子の一つである IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) を富士電機は 1988 年に製品化し、その後、多くの技術革新を生み出し、最新の第 7 世代 IGBT モジュール「X シリーズ」では、第 7 世代チップ技術やパッケージ技術を適用し、650 ~ 1,700 V 耐圧の幅広い製品を系列化しました。従来に比べて高信頼性を確保しつつ、さらなる低損失化と小型化を実現しました。

富士電機では、パワー半導体技術とパワエレ技術をコア技術として共に保有しており、そのシナジーを生かして、急速に進むモビリティの電動化に貢献するために技術開発を進めています。富士電機独自の IGBT と FWD (Free Wheeling Diode) をワンチップ化した RC-IGBT (Reverse-Conducting IGBT: 逆導通 IGBT) と密閉型アルミニウム冷却器を用いることで、小型・軽量化を実現した車載用パワー半導体モジュール (図 11) を開発し、お客さまに提供するとともに、これを用いた車載用パワエレ機器の開発も進めています。従来の Si 半導体に比べて低抵抗かつ高耐圧で高温動作可能な SiC (炭化けい素) 半導体を適用した SBD (Schottky Barrier Diode)

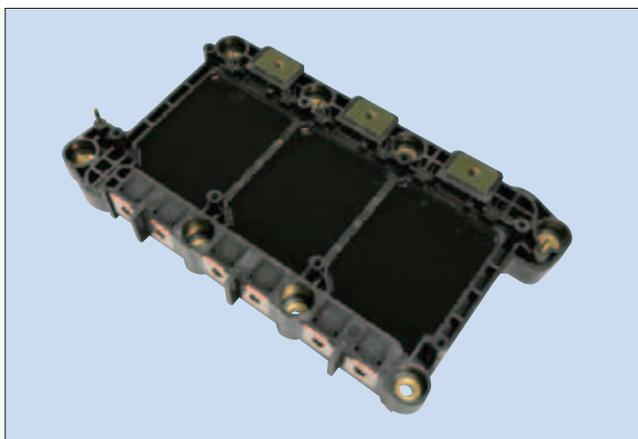


図 11 車載用大容量直接水冷モジュール

とトレンチゲート構造の SiC-MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) チップを開発し、世界最高レベルの性能を持った 1,200 ~ 3,300 V 耐圧のモジュールを開発しています。これらの SiC パワー半導体モジュールを用いることで小型・軽量化に貢献する主回路電気品は、次世代高速鉄道などの確認試験車両に適用されて、走行試験にて機器の性能評価が進んでいます。

6. 発電プラント

発電プラント分野では、世界的に脱炭素の流れが加速する中、再生可能エネルギー分野へのシフトを進めています。一括請負工事 (EPC) で受注した 4 件の太陽光発電所は 2018 年度に竣工し、その中で苫小牧メガソーラー第一発電所は、蓄電池併設型で北海道電力株式会社の出力変動対策の技術要件に対応した国内最大級の設備となります。バイオマス発電分野では、住友重機械工業株式会社経由にて、東日本で最大級のバイオマス発電所である、サミット酒田パワー株式会社 酒田バイオマス発電所向けに 50 MW 蒸気タービン・発電機設備を納入し、2018 年 8 月に営業運転を開始しました (図 12)。地熱発電分野においては、国内で今後増加が予想される 15 MW クラスの地熱タービン発電設備を受注しました。水力発電分野は、「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」(FIT) の追い風を受け、2018 年度の国内受注高は、新設およびスクラップアンドビルド案件 6 件、ならびにサービス事業を含め富士・フォイトハイドロ社設立以来、過去最高額を達成しました。



図 12 サミット酒田パワー株式会社 酒田バイオマス発電所

7. 食品流通

食品流通分野では、店舗経営において従業員が常態的に不足している状態が大きな課題となっていることに対して、働きやすい店舗環境を提供することなどによる働き方の改革に技術で貢献するための検討を進めています。例を挙げると、汚れにくいコーヒーマシンの開発、IoT 技術の活用による作業の簡略化に取り組んでいます。また、利便性向上・省力化・省エネルギーという観点でも課題に取り組んでいます。例えば、消費者の待ち時間に対するストレス軽減のために、コーヒーの抽出プロセスを見直し、より短時間にまろやかな味を提供することを可能にしました。2018 年度は株式会社セブン-イレブン・ジャパンと共同で新型のセブンカフェ用コーヒーマシンを開発しました(図 13)。これは、カップサイズを認識し、大容量コーヒーの連続抽出を可能にして調理時間を短縮し、抽出部の汚れもシャワーで効率的に洗浄します。また、無線通信機能を



図 13 株式会社セブン-イレブン・ジャパン向けコーヒーマシン



図 14 東南アジア向け飲料自動販売機「FAG36JGCD80Y」

搭載し、配信により大型 LCD (Liquid Crystal Display) パネルの表示内容や飲料設定の変更を可能としました。

今後拡大が見込まれる東南アジア市場を視野に、自動販売機の製造拠点をインドネシアに置き、東南アジア向けに飲料自動販売機を開発し、2018 年度に生産を開始しました(図 14)。日本に比べて商品の形状(寸法)が統一されていないため、商品形状に依存しない新しい販売機構としてスラントラックを搭載し、それに伴った気流制御技術を新たに搭載しています。決済は、現地通貨に対応するだけでなく、日本においても主流となりつつある QR コード決済装置(内製品)を標準搭載しています。

8. 基盤・先端技術

事業ロードマップと技術マーケティングを起点とした、中長期視点での基盤技術の強化と先端技術の研究を進めています。この中で研究開発のデジタル化を進めています。すなわち計算科学を適用した材料設計やモデルベース開発を適用した製品設計の開発期間短縮、ならびにプラントや製造ラインなど信頼性が求められる分野で活用するた

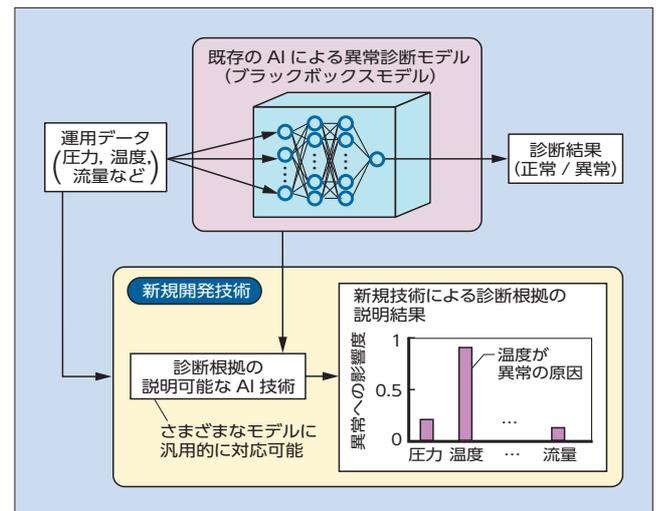


図 15 診断根拠の説明可能な AI の概要

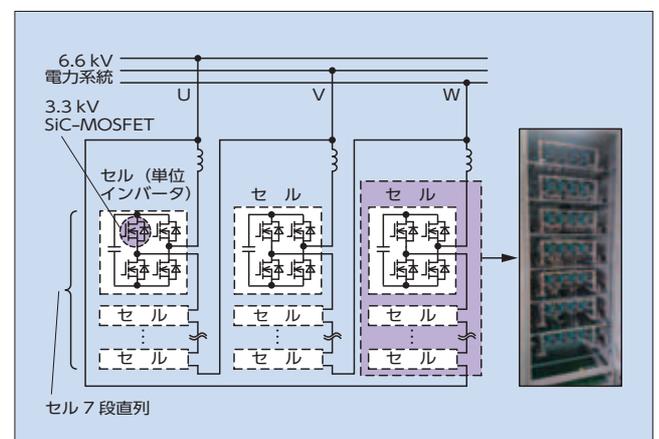


図 16 MMC 実証試験装置の全体回路構成と一相分の外観

めに、異常診断の根拠が説明できる AI の開発を進めています（図 15）。また、パワー半導体とパワーエレクトロニクス技術のシナジーも追求し 3.3 kV 耐圧の SiC パワーデバイスを適用した MMC（Modular Multilevel Converter）を開発しました。本装置は 6.6 kV 電力系統に連系トランスなしで連系が可能で、98.5% の効率を達成し、独自の単相インバータ直流電圧均等化制御により逆相電力補償も可能としています（図 16）。このように従来の技術にデジタル技術を融合して、さらに強い技術基盤を構築していきます。

9. あとがき

富士電機が 2018 年度に取り組んできた、エネルギーと環境分野で、電気エネルギーと熱エネルギーを効率的に利

用して省エネルギーに貢献する技術、そしてこれらを最適に制御して IoT でつなぎ、顧客価値を生み出すソリューション技術の概要を紹介してきました。

研究開発に関わる組織や仕組みの改革も進め、今後はさらに付加価値が高く、環境にやさしい製品をお客さまに提供することにより、安全・安心で持続可能な社会の実現に貢献してまいります。

参考文献

- (1) 保川幸雄ほか. IoTから始まる新しい価値創出ソリューションの現状と展望. 富士電機技報. 2018, vol.91, no.3, p.124-129.



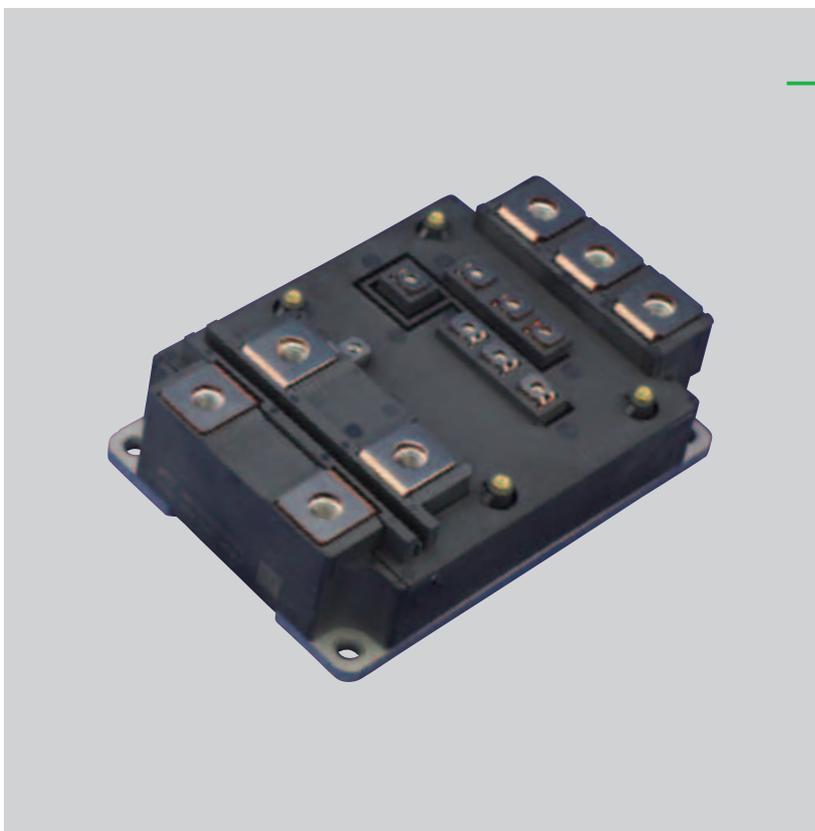


船舶用排ガス浄化システム (サイクロン式 SO_x スクラバ)

船舶からの大気汚染を防止するため、「MARPOL 条約 改正附属書VI」に基づき、排ガス規制が順次強化されている。富士電機は、硫黄酸化物 (SO_x)、粒子状物質 (PM) 規制に対応する船舶用排ガス浄化システム (サイクロン式 SO_x スクラバ) を 2018 年 10 月に発売した。本装置は、排ガス中にアルカリ水を噴霧し、その液滴に SO_x を溶解させて低減する。

主な特徴は次のとおりである。

- (1) 容積で他社品の約 50% に縮小した業界最小サイズを実現した。
- (2) 既存の棚板式と異なるサイクロン式の採用により、小型化と低圧損を達成した。
- (3) SO_x 溶解のモデル実験と流体シミュレーションを行い、他社よりも低い圧力損失や液滴飛散率を実現した。

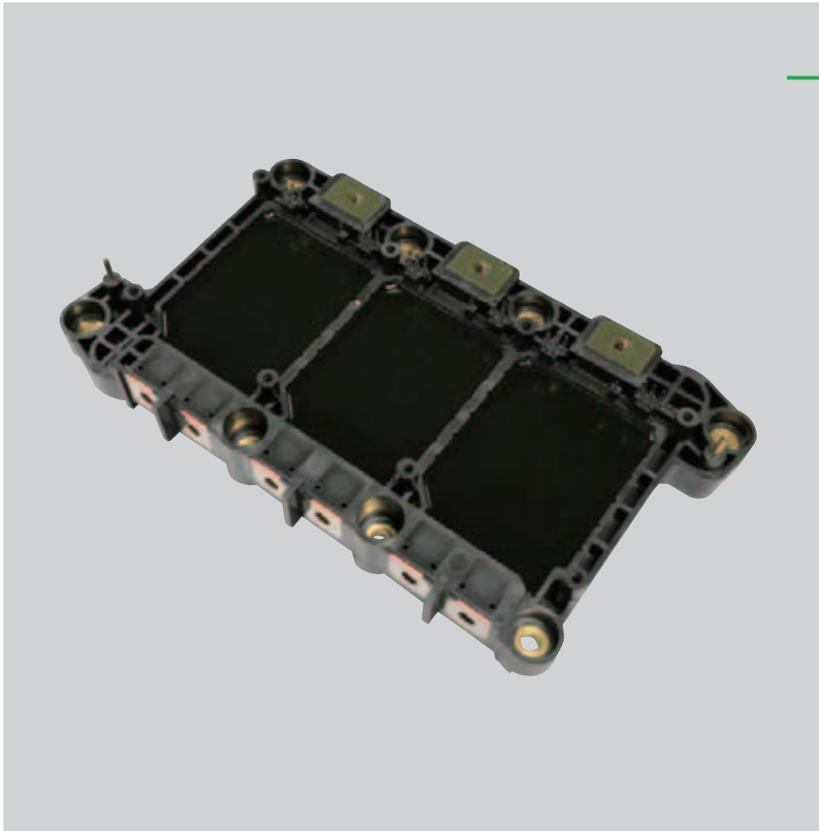


電鉄向け大容量パワーモジュール 「HPnC」

近年、パワー半導体を用いた電力変換装置は、さまざまな分野に普及し、装置の大容量化と小型化が進んでいる。一層の大容量化と小型化に応えるため、第 7 世代「X シリーズ」チップを搭載した電鉄向け大容量パワーモジュール「HPnC」(High Power next Core) を開発した。

この HPnC ではラミネート構造の内部端子の採用と主端子位置を最適化したので、インダクタンスが 10 nH と従来品「HPM」の 42 nH よりも 76% 低減した。これにより、サージ電圧の抑制とスナバ回路の小型化が可能になった。

また、超音波接合の採用により主端子接合部の信頼性を高めた。低熱膨張の新ベース板の採用により、はんだ疲労を低減した。これにより ΔT_c パワーサイクルを高耐量化した。



車載用大容量直接水冷モジュール

富士電機は、国内外で市場が急成長しているEVやHEV向けにパワーモジュールの市場展開を図っている。車載用IGBTモジュールは、小型かつ大電力密度であることが求められる。そこで、業界トップクラスの容量である定格750V/1,200AのIGBTモジュールを開発した。

軽量で高放熱性を実現するため、冷却器にはアルミニウム製のウォータージャケット一体型直接水冷構造を採用している。内部配線にはリードフレームを、パワー素子にはIGBTとFWDを同一チップ上に形成したRC-IGBT（逆導通IGBT）を用いることで、面積効率を向上させて大電力密度化している。また、RC-IGBTに内蔵した温度センサによってチップ温度を直接モニタすることで、NTCサーミスタよりも設計マージンを削減し、許容電流を増やすことができる。



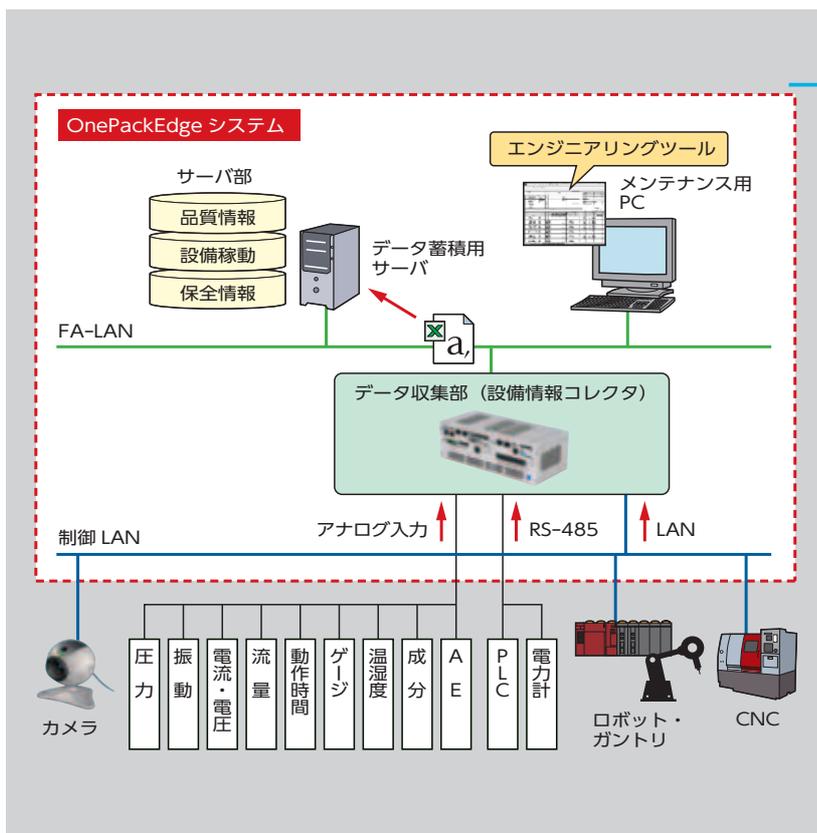
大容量RC-IGBTモジュール

富士電機は、IGBTモジュールの大容量化、高信頼性化といった市場要求に応えるため、IGBTとFWDをワンチップ化したRC-IGBT（逆導通IGBT）を製品化している。

定格電圧1,200V第7世代「Xシリーズ」産業用RC-IGBTモジュールの系列化を進める中で、今回、RC-IGBTを搭載した“PrimePACK™”を開発した。

同一パッケージを用いた従来製品である第6世代「Vシリーズ」産業用IGBTモジュール“PrimePACK™”に比べ、最大定格電流を1,400Aから2,400Aに拡大した。さらに、過負荷やDCロック、低周波動作時のチップ接合温度上昇を大幅に改善した。これにより、電力変換装置のさらなる出力アップや高寿命化が期待できる。

止まらない設備を実現する 「OnePackEdge システム」



富士電機は、計測制御システムの実績を生かし、データ収集端末と解析ソフトウェアを含んだシステムソリューション「OnePackEdge システム」を新たに開発し、発売した。CNC、PLC、各種センサなどからの環境データや加工データを収集し、製品・生産サイクルごとにひとまとめ（ワンパッケージ）に蓄積するシステムとした。

主な特徴は次のとおりである。

- (1) 各部門が必要な情報を統合データベースから取得することができる。
- (2) 現場情報の多角的な解析で設備異常や不良発生を抑制することができる。
- (3) 既存設備に後付けで容易に設置でき、導入コストを抑制することができる。

インドネシア・ジャワ島の工業団地におけるスマートコミュニティ実証事業

(a) システム全体概要

(b) 運転開始式 (NEDO, インドネシア国有電力会社など)

富士電機は、2012年度から2018年度にかけて、NEDO から“インドネシア共和国・ジャワ島の工業団地におけるスマートコミュニティ実証事業”を受託し、配電自動化システムを初めて海外の電力会社に導入した。次の電力安定化技術に関する実証を行った。

- (1) 配電自動化システムの導入による停電時間短縮などの効果を実証した。
- (2) 高品質電力供給システム（瞬時電圧低下保護装置、高圧 UPS）を電力会社の配電系統に設置し、複数の需要家に高品質電力供給サービスを提供した。その結果、瞬時電圧低下の被害低減などの高い導入効果が得られた。また、シェア型サービスモデルの実現可能性を実証した。



中国向け EMS モデル工場の導入

富士電機は、国外におけるシステム事業の拡大の一環として、2018年10月に冰山集団と共同で大連富士冰山スマート制御システム社（DFBCS）を設立した。中国市場向けにEMS（エネルギーマネジメントシステム）パッケージを開発し、DFBCSから冰山集団の傘下企業である大連冷凍機股分有限公司の新工場に納入した。このEMSは、エネルギーの見える化と分かる化の機能を持っている。

この工場を、中国におけるビジネス拡大を図るための富士電機のモデル工場と位置付け、今後、MES（製造実行管理システム）との連携によるエネルギー原単位管理やエネルギーセンター設備の最適運用などの機能を追加していく計画である。



高信頼化二重化システム 「MICREX-SX SPH5000H」

富士電機は、ライフライン設備などの高い信頼性を要求する市場向けに、プログラマブルコントローラ「MICREX-SX SPH5000H」を2019年4月に発売した。

主な特徴は次のとおりである。

- (1) 1 Gbits/s 等値化バスによる高性能なCPU二重化
- (2) 1 Gbits/s FL-net 採用による高速な制御ネットワーク二重化
- (3) 高速 I/O リフレッシュが可能な E-SX バスによる I/O ネットワーク二重化とループ対応ネットワーク
- (4) CPU の RAS に不揮発メモリを採用し、高い保守性を実現

これらの機能により、安定した24時間連続操業に貢献していく。



電機高速コントローラ 「XCS-3000 TypeE」

富士電機は、監視制御システム「MICREX-ViewW」に適用する、駆動制御システム用電機プログラマブルコントローラ（PLC）である「XCS-3000 TypeE」を開発した。従来の計測制御システム用 DCS コントローラ「XCS-3000」と、コントローラプラットフォームの統一化を図っており、同一プラントでの電機・計測制御システムの統合によるデータの一元管理や、両システムのシームレスな結合を可能とする。また、従来の電機 PLC が持つ機能を拡張して搭載することにより、高速で信頼性の高い駆動制御システムを実現できる。

主な特徴は次のとおりである。

- (1) 高速大容量制御 LAN である SX-Net のループ構成
- (2) 高速大容量 I/O バスである E-SX バスのループ構成
- (3) 鉄鋼の駆動制御に必要な制御周期（0.5 ms）の実現



サミット酒田パワー株式会社 酒田バイオマス発電所の営業運転開始

富士電機は、住友重機械工業株式会社経由にて東日本で最大級のバイオマス発電所である、サミット酒田パワー株式会社 酒田バイオマス発電所向けに 50 MW 蒸気タービン・発電機設備を納入し、2018 年 8 月に営業運転を開始した。本発電所の使用燃料は、国内チップ、輸入ペレット、輸入 PKS（Palm Kernel Shell：パーム椰子殻）などの木質系バイオマスである。

本蒸気タービン設備では、これまで 75 MW 以上の発電所で採用実績の多かった 1 ケーシング再熱タービンを、高信頼性と高効率を維持しつつ、低容量域まで適用範囲を拡大して採用し、地域ごとの制約条件にフィットした設備を実現した。

今回の実績を生かし、引き続き類似容量帯のバイオマス発電所向け蒸気タービン・発電機設備の受注につなげていく。



グローバル市場向け変圧器

富士電機は、今後の電力需要の伸びが期待できる東南アジアなどのグローバル市場向けに、115 kV、50 MVA クラスの変圧器を開発した。次に示すアプローチにより、世界最小クラスの体格、質量、油量を実現した。

- (1) リード絶縁構造の最適化を図り、対タンク絶縁寸法を大幅に低減した。
- (2) 巻線・鉄心締付構造の最適化、冷却器構造の最適化により、変圧器質量を28%低減した。
- (3) (1)と(2)の寸法低減と合わせてタンク構造の最適化を図り、油量を47%低減した。
- (4) タンクシールド構造の最適化を図り、漂遊負荷損を低減した。



キャノングループ向け環境対応型 66 kV 特高変電所

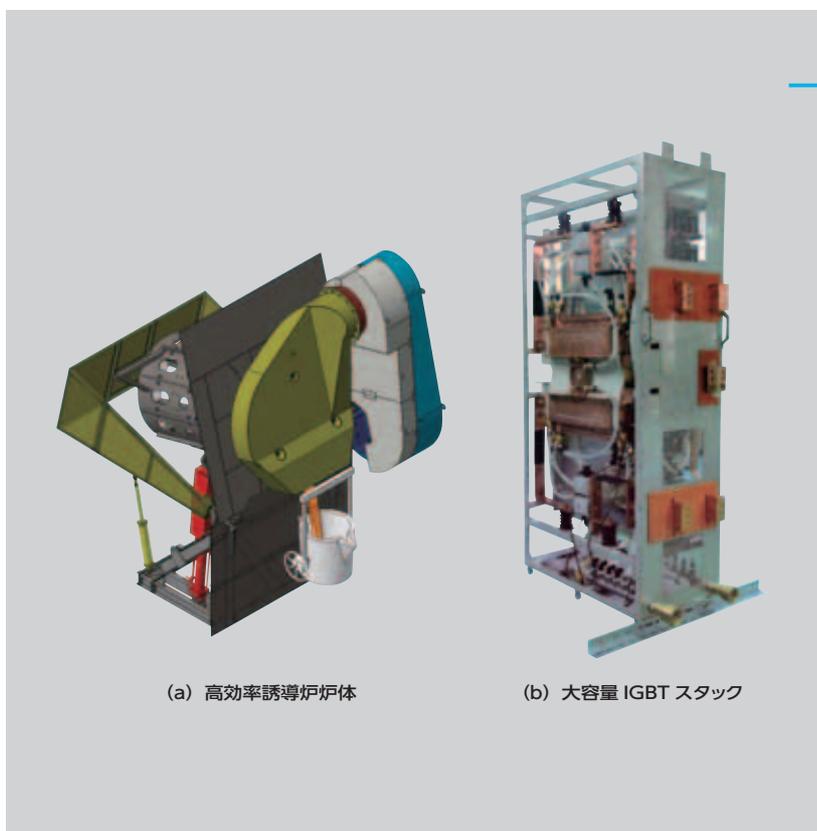
キャノン・コンポーネンツ株式会社 66 kV 特高変電所の老朽化に伴い、地球環境保全と高性能化を実現した特高変電設備を納入した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 変圧器（エコレトランス）の絶縁油は、鉱油に代わり植物由来のパームヤシ脂肪酸エステルを採用した。低粘度であるため冷却性能が向上し、小型化を実現した。万一、漏えいしても生分解性であるため、環境への負荷を小さく抑えられる。
- (2) キュービクル形ガス絶縁開閉装置（C-GIS）の絶縁には、ドライエア（乾燥空気）を採用した。温室効果ガス（SF₆）を使用しないので内部点検時のガス回収が不要である。万一、空気圧力が大気圧まで低下しても系統電圧の絶縁性能を有しているので、安全性も向上した。



太陽光発電用パワーコンディショナ「PIS-50/500」

富士電機の太陽光発電用パワーコンディショナ（PCS）は、これまで 500 kW 以上のセントラルタイプのみを日本市場に発売してきた。一方、中国市場では 50 kW クラスのストリングタイプが主流であるため、低圧インバータの技術を活用してストリングタイプの PCS を開発した。セントラルタイプ 500 kW 機では、約 2,000 枚の太陽光パネルを一括で最大電力点追従制御を行うが、富士電機のストリングタイプは約 40 枚ごとに制御を行っている。これにより、天候による太陽光パネルの出力低下の影響を最小限にすることができるため、発電量を数 % 増加することができる見込みである。今後、中国以外にも、日本、韓国、東南アジアで発売を予定している。セントラルタイプとストリングタイプを供給することで、さまざまな顧客ニーズに対応していく。



(a) 高効率誘導炉炉体

(b) 大容量 IGBT スタック

海外市場向け高効率高周波誘導炉

環境対策として省エネルギー規制が各国で広がりを見せる中、富士電機は独自の誘導加熱技術およびパワーエレクトロニクス技術により、日本国内だけでなく中国、東南アジアを中心とした海外市場向けに高効率高周波誘導炉を開発した。

主な特徴は次のとおりである。

- (1) 最適な継鉄構造およびコイル構造により、電力使用量の従来比 5% 削減を実現した。
- (2) 独自の絶縁技術により従来比約 2 倍のコイル電圧を実現し、コイルなどのジュール損失を大幅に低減した。
- (3) 低損失型 IGBT モジュールを採用したコンパクト型大容量 IGBT スタックを開発した。

今後、顧客の生産性、安全性、保守性を高めるため、最適操炉機能、自己診断管理などの付加機能を随時提供する。

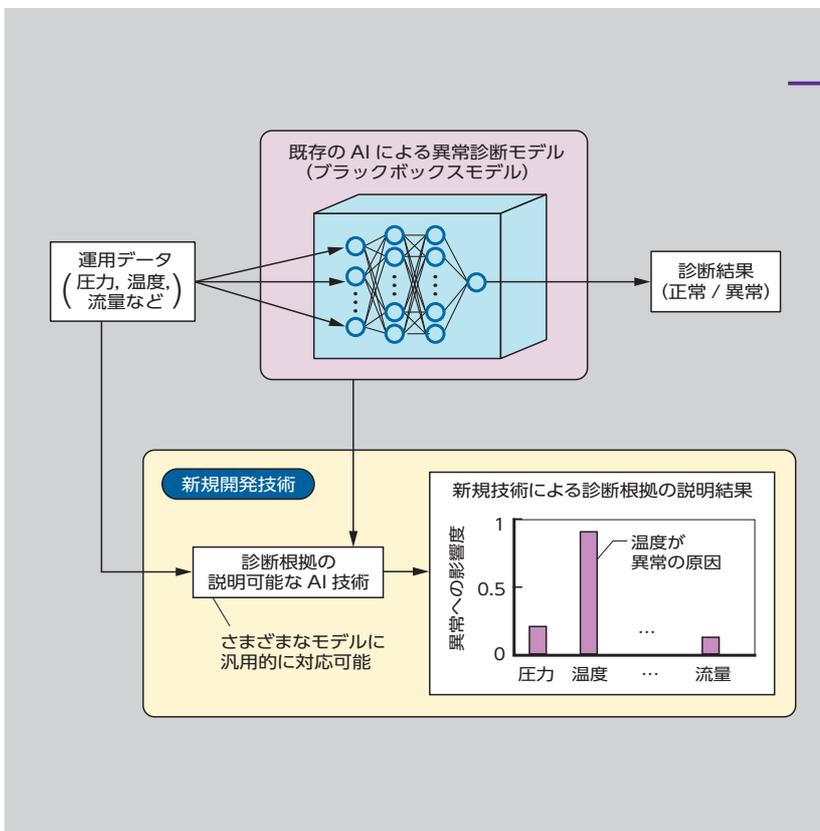


株式会社セブン-イレブン・ジャパン 向けコーヒーマシン

富士電機は、株式会社セブン-イレブン・ジャパンと新型のセブンカフェ用コーヒーマシンを共同開発した。

主な特徴は次のとおりである。

- (1) メニューによって異なるカップをセンサーで識別する機能を開発した。これにより購入者は、ボタンの選択を迷ったり間違えたりすることがなくなった。
- (2) シャワー状に湯を供給する抽出機構を開発した。大容量のコーヒーの連続抽出が可能になり、調理時間を短縮した。また、抽出部の汚れもシャワーにより効率的な洗浄が可能になった。
- (3) 無線通信機能を搭載し、配信により大型LCDパネルの表示内容や飲料設定の変更が可能になり、売切れや故障などの稼働状態が遠隔監視できるようになる。



診断根拠の説明可能なAI技術

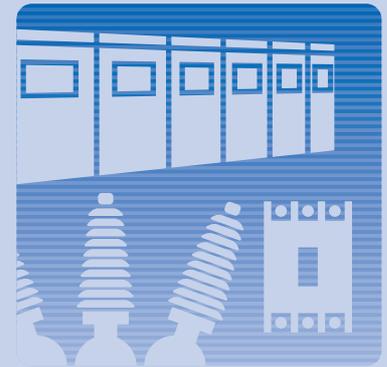
人工知能(AI)技術の進歩により、複雑な現象の異常診断が可能になった。

しかしながら、既存のAIは、内部構造がブラックボックスであり、異常と判断した根拠が分からず、異常発生時にその原因を速やかに取り除くことはできなかった。そのため、プラントや製造ラインなど信頼性が求められる分野では、異常診断の根拠が説明できるAIが必要とされている。

富士電機は、診断根拠の説明可能なAIを他社に先駆けて開発している。既存のAIに本技術を追加することにより、異常の影響度を数値化して、その原因を説明することが可能となる。この結果、顧客の歩留り改善や品質向上に寄与できる。

パワエレシステム エネルギー

エネルギーマネジメント
施設・電源システム
受配電・開閉・制御機器コンポーネント



展望

エネルギーマネジメント

エネルギーマネジメントでは、大容量パワーエレクトロニクス（パワエレ）技術、エネルギーの監視制御技術などを基に、開閉装置、変圧器、保護リレーなどのコンポーネント、および、これらを用いたシステムを社会インフラ、産業市場に展開している。また、中東や東南アジアを中心としたインフラ拡大の期待に応えるため、海外向け製品の開発、海外生産拠点の強化、エンジニアリングの強化などを進めている。

変電システム分野では、今後の電力需要の伸びが期待できるグローバル市場向けの製品を開発し、市場に投入している。海外の製造拠点で製造することを前提とした、世界最小クラスの体格、質量、油量を実現した 115 kV、50 MVA クラスの変圧器を開発した。また、最新の国際規格に準拠し、中東の厳しい環境下でも耐えられる仕様の新型 145 kV ガス絶縁開閉装置（GIS）を海外電力会社に初めて納入した。

電力流通分野では、海外での電力需要の増大に対応するために、インドおよびインドネシアにおいて、スマートグリッド技術を適用した NEDO の実証事業を実施した。インドでは、スマートメータ、VCB などの配電機器および監視制御装置を使い、デマンドレスポンス効果や事故時の停電時間の短縮などを実証した。インドネシアでは、日本国内電力会社仕様の配電自動化システムと高品質電力供給システム（瞬時電圧低下保護装置、高圧 UPS）を用いて、高品質な電力供給サービスを実証した。

施設・電源システム

施設・電源システムでは、パワエレ技術をコアとして、伸長する IT、産業分野を中心に、環境に配慮した電源システムを展開している。市場動向やユーザーニーズを捉え、UPS、施設用電機品の製品力を強化するとともに、これらを組み合わせた電源ソリューションを展開している。

常時インバータ給電時に効率を向上させる台数制御機能、および異常時に無瞬断で常時インバータ給電に切り換える常時商用給電機能を付加した「UPS7000HX-T4」を開発した。外線ケーブル施工を省略でき、景観も優れた製品とした。

海外における施設用電機品の需要拡大に対応するため、IEC 規格に適合した 24 kV スイッチギヤを開発した。これは、設備を運転しながら特定区画の点検・保守が可能である。また、内部アーク事故で発生するホットガスを、急速に冷却する装置のオプション取付が可能である。

地球環境保全を推進しつつ高性能化するため、植物由来のパームヤシ脂肪酸エステルを採用した変圧器や、温室効果ガス（SF₆）ではなくドライエア（乾燥空気）を用いたキュービクル形ガス絶縁開閉装置の納入を推進している。

今後も、さらに高まる電力安定供給のニーズに対して、顧客の課題解決に向けた開発を推進し、市場への貢献を進めていく。

受配電・開閉・制御機器コンポーネント

受配電・開閉・制御機器コンポーネントでは、再生可能エネルギー関連設備、ビルディング・施設の電気設備、および工場生産ラインの制御システムなどにおいて、電気を効率的かつ安全に利用するための受配電機器・開閉機器、ならびに生産設備や生産機械の自動化・最適化を図る制御機器を展開している。

低圧受配電・開閉機器では、スプリング端子を適用し、制御盤の配線工数を低減するねじレスのプッシュイン方式を採用した「F-QuiQ シリーズ」を提供している。新たにマニュアルモータータターを開発し、ラインアップに追加した。盤製作の生産効率を向上することに加えて、作業によるばらつきがなく品質の安定化にもつながる。

今後も、ニーズに応える受配電・開閉・制御機器コンポーネントを開発することで市場への貢献を進めていく。

エネルギーマネジメント

① 電源開発株式会社向け水力発電シミュレータ

電源開発株式会社の川越研修施設にて1999年から運用されてきた水力発電シミュレータの設備を更新した。本設備は水力発電所および変電所の主要電気機器を縮小モデルで模擬したアナログシミュレータである。

本更新では、水力発電所で採用が進む調速制御機能と励磁制御機能を一体化して実装した調速励磁制御盤を採用した。同期発電機には新規に開発した電流増幅器一体型デジタル演算装置を採用し、小型化と拡張性を実現した。

従来と同様に圧力・温度などの物理量は計算機のデジタルモデルで模擬演算を行っている。監視制御盤は現場と同じものを使用している。

なお、この設備は運転技術習得からトラブル対応訓練まで幅広く利用され、毎年技術競技大会が開催されている。

図1 監視制御盤の外観



② 沖縄電力株式会社 配電自動化システムの更新

富士電機は、沖縄電力株式会社の本島全4支店（那覇、浦添、うるま、名護）の配電自動化システムを更新した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 大規模災害時、支店が被災し、システムが運転不能となっても、他のバックアップ拠点から運転が継続できる。
- (2) これまでは、支店ごとに独立したシステムであったが、4支店のデータベースを統合した。これにより、各支店で沖縄本島全配電系統の状態が把握できるようになり、本島全体の系統状況を踏まえた停電事故の復旧処理ができる。
- (3) 操作端末上に地図と配電システムを重ねて表示し、現場の作業状況を地図上に表示することにより、工事作業や事故復旧作業の効率化を図ることができる。

図2 配電自動化システム（指令室）



③ インド・ハリヤナ州パニパット地区におけるスマートグリッド実証事業

インドでは電力需要の増大に伴い、負荷ピークの低減、事故時停電時間の短縮、電力メータ改ざんや料金徴収漏れの課題がある。2015年10月～2019年3月にハリヤナ州パニパット地区でスマートグリッド技術を導入したNEDOの実証事業を実施した。実証した項目は次のとおりである。

- (1) 配電線4フィーダへの配電機器（VCB、LBS）と監視制御装置（SCADA）の設置により、事故時の停電時間を短縮した。
- (2) 11,000台のスマートメータと上位系システム（MDMS、OMS）の設置により、料金徴収の改善とデマンドレスポンス効果を確認した。
- (3) インドの通信インフラ環境下でのスマートメータ通信方式として、PLC伝送方式の優位性を確認した。

図3 パニパット地区スマートグリッドシステム



エネルギーマネジメント

④ オマーン・Bousher 変電所向け 145 kV GIS

富士電機はオマーンの Bousher 変電所向けに、新型 145 kV ガス絶縁開閉装置 (GIS) を 2 回線納入した。既設変電所の増設案件ではあるが、海外電力会社向けの新型 GIS として初の納入実績となる。

この新型 GIS は最新の国際規格に準拠しており、中東の厳しい環境下でも耐えられる仕様となっている。また、富士電機の従来機種より据付面積比 70%、質量比 65% とコンパクトに設計されており、運搬の効率化や据付時の省スペース化にも貢献できる。現地での据付と試験を完了し、2019 年秋頃の運転開始を予定している。

今後は、同国での納入実績をさらに増やすとともに、他の中東・アジア地域への市場参入も視野に入れ、新型 GIS の拡販に注力していく。

図 4 オマーン・Bousher 変電所 145 kV GIS



⑤ 東日本旅客鉄道株式会社 日暮里変電所向け HSVCB

東日本旅客鉄道株式会社の日暮里変電所に直流高速度真空遮断器 (HSVCB) を納入し、使用を開始した。同変電所は、都心の輸送人員が多い山手線、京浜東北線、常磐線、宇都宮線・高崎線の結節点にあり、これらの 4 路線に直流 1,500 V で送電する国内最大規模の鉄道用直流変電所である。HSVCB は、従来の直流高速度気中遮断器にない次の特徴を持ち、火災事故の防止と都心の限られたスペースでの機器更新を実現し、安定輸送に貢献する。

(1) アークレス

直流電流の遮断時に発生する爆発的なアーク (電気エネルギー) を消弧装置で熱エネルギーに変換し処理する。

(2) 省スペース

アークスペースの省略により収納盤を縮小した。

図 5 HSVCB 盤



施設・電源システム

① 「UPS7000HX-T4」の高効率制御

近年、データセンターの無停電電源装置 (UPS) システムの効率向上が求められている。99% の高効率を達成した常時インバータ給電方式の三相 4 線式「UPS7000HX-T4」の電源システムを開発した。次の二つの機能によって電源事情や負荷への電源品質に合わせた運転方法を選択できる。

(1) 常時インバータ給電時に、軽負荷率における効率を向上させる台数制御機能

(2) 異常時に無瞬断で常時インバータ給電に切替可能な常時商用給電機能

本機種だけで、三相 3 線式と三相 4 線式、サーバ用と空調用の負荷に対応できる。そのため、企画設計、製作、保守が容易となる。さらに、UPS と入出力盤の導体接続を盤間で行うため、外線ケーブル施工が不要で、景観も優れている。

● 関連論文: 富士電機技報 2019, vol.92, no.1, p.54

図 6 「UPS7000HX-T4」と入出力盤



施設・電源システム

② IEC規格適合 24kVスイッチギヤ

海外向けのスイッチギヤには、IEC規格（IEC 62271-200）が適用される。この規格では、故障や保守時の人への保護の分類など安全な構造への考え方が強化されている。そこで、IEC規格に適合した24kVスイッチギヤを製品化した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 第三者認証取得：IEC 62271-200
- (2) 定格仕様：24kV, 25kA, 1,250A
- (3) 設備を運転しながら特定区画の点検・保守が可能（運転継続性区分最高クラス：LSC 2B）
- (4) 内部アーク事故で発生するホットガスを急速に冷却する装置のオプション取付が可能（IAC-AFLR）

図7 24kVスイッチギヤ



受配電・開閉・制御機器コンポーネント

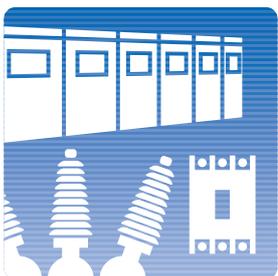
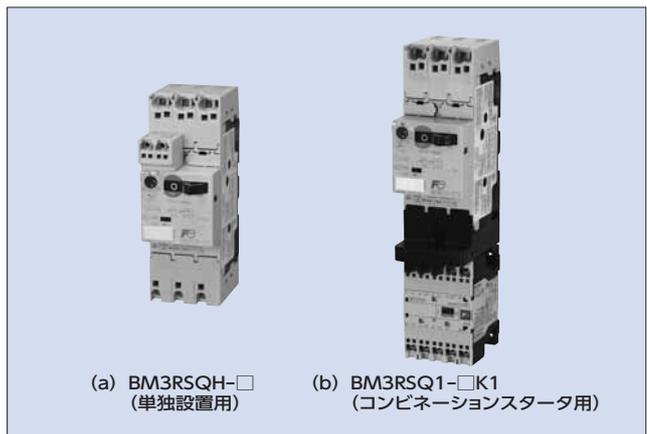
① 「F-QuiQシリーズ」のマニュアルモータスタータ

富士電機は、制御盤の配線工数を低減するねじレスのプッシュイン方式を採用した「F-QuiQシリーズ」においてマニュアルモータスタータを開発し、ラインアップに追加した。

機器単体で使用する標準のマニュアルモータスタータに加えて、コンビネーションスタータ用に工具レスかつワンタッチで電磁接触器と組み合わせることができる製品もそろえ、幅広い顧客ニーズを満足する。

両製品とも従来製品に比べ、配線工数および製品組合せ工数が減り、生産効率が向上する。また、作業スキルを必要としない簡単な配線作業であるため、作業者によるばらつきがなく品質の安定化にもつながる。

図8 「F-QuiQシリーズ」



パワエレシステム インダストリー

オートメーション
社会ソリューション
情報ソリューション



展 望

パワエレシステム インダストリーは、パワーエレクトロニクス（パワエレ）技術をコアに強いコンポーネントを創出している。強いコンポーネントと制御技術・IoT（Internet of Things）技術との組合せでシステム販売を強化するとともに、海外事業の拡大を目指している。

オートメーション

オートメーションでは、工場の自動化や見える化を推進するインバータやサーボ、計測機器、制御機器などのコンポーネント、ならびにそれらを組み合わせた制御システムを展開している。これにより生産性の向上と省エネルギーに貢献する。

計測機器分野では、蒸気流量を計測する超音波流量計を開発した。この流量計は配管工事が不要なので、従来できなかった稼働中の設備への流量計の設置が可能である。

制御機器分野では、ライフライン設備などの高い信頼性が要求される用途に、二重化対応したプログラマブルコントローラ（PLC）「MICREX-SX SPH5000H」を開発した。また、鉄鋼プラントなど向けに、高速、大容量、高信頼化した電機高速コントローラ「XCS-3000 TypeE」を開発した。これにより、鉄鋼プラントなどの高速で信頼性の高い駆動制御システムを実現できる。

計測制御システムの実績を生かし、複数の加工設備のデータを集約してワンパッケージ化し、データ収集から分析サービスまで提供するシステムソリューション「OnePackEdge システム」を開発した。これにより、必要な情報の取得が可能になり、解析による設備異常や不良発生を抑制できる。

富士電機の持つ制御ノウハウを海外向けにカスタマイズした鉄鋼圧延プラント用制御システムパッケージは、PLC「MICREX-SX」、インバータ「FRENIC」、データ収集・解析支援パッケージソフトウェア「f(s) NISDAS7」、HMIシステム「TELLUS-HMI」で構成されたコンパクトな制御システムである。今後は、インドの鉄鋼分野のユーザ向けに市場展開を図る。

船舶分野では、陸上で長年培ってきた集じん機技術や水

処理技術などを応用し、硫黄酸化物（SO_x）、粒子状物質（PM）規制に対応する船舶用排ガス浄化システム（EGCS）のサイクロン式 SO_x スクラバを開発した。装置本体内に渦流を生成し、高拡散で噴霧した洗浄水に排ガスを接触させるサイクロン式の採用により、小型・軽量化と低圧力損失を実現した。さらに、排ガス中に含まれる SO_x と CO₂ の濃度をインラインで測定するために開発したレーザ方式ガス分析計と組み合わせて船舶用排ガス浄化システムを構築し、サイクロン式 SO_x スクラバのポンプ稼働の最適化を図り、運航コストの低減に貢献する。

太陽光発電用パワーコンディショナ（PCS）では、中国市場で主流となっている 50 kW クラスのストリングタイプの太陽光発電用 PCS「PIS-50/500」を、低圧インバータの技術を活用して開発した。今後は、中国以外にも日本、韓国、東南アジアに展開していく。

工業電熱分野では、日本国内だけでなく中国、東南アジアを中心とした海外市場向けに、独自の誘導加熱技術およびパワエレ技術を用いた高効率高周波誘導炉を開発した。今後は、顧客の生産性、安全性、保守性を高めるための付加機能を拡充していく。

社会ソリューション

鉄道分野では、鉄道車両駆動装置について、富士電機製の SiC パワー半導体モジュールと走行風冷却方式を採用して、小型・軽量化を図った製品を開発した。

新幹線では、東海旅客鉄道株式会社の次期新幹線 N700S の確認試験車向けに、主変換装置（駆動用コンバータ・インバータ）とともに主電動機と主変圧器を納入し、2020年7月の営業運転に向けて性能評価および長期耐久走行試験を実施している。

在来線では、山陽電気鉄道株式会社 5000 系リニューアル車両向けに駆動用インバータを納入し、2018年10月より営業運転中である。また、最新の電気式ドア装置を東急電鉄株式会社および東京都交通局の新型車両に納入し、従来の空気式ドアシステムに対して、安全性、信頼性、保守性の高い鉄道車両を実現している。

放射線機器では、1台で γ 線と β 線の同時測定が可能で、無線通信機能により遠隔監視システムと連携可能な新型電子式個人線量計「NRF54」を開発した。これにより、放射線業務に携わる方々に、安全・安心な現場の見える化環境を提供する。

情報ソリューション

情報ソリューションでは、富士電機グループ全体の情報

制御システム、IoTシステムを供給するとともに、自治体や企業などの業務を合理化するツールやシステムを展開している。

働き方改革のニーズに応えるため、企業内の異なるデータベースに蓄積されている情報資産を活用できるツール「軽技 Web」をベースに、定型業務の自動化を可能とした「軽技 Web シナリオクリエイター」を開発した。

オートメーション

① サーボシステム「ALPHA7」の拡充

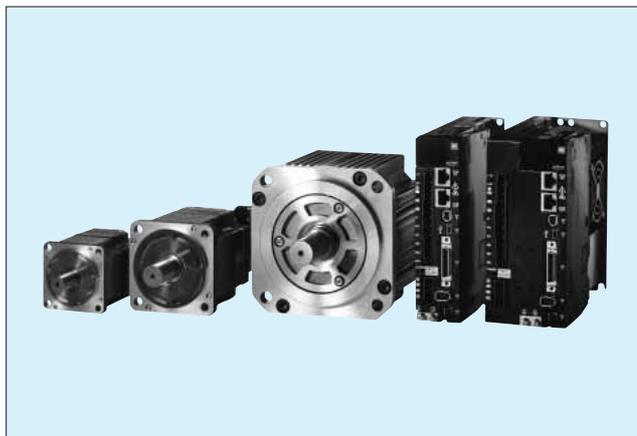
サーボシステム「ALPHA7」は、主に工作機械、印刷機、電子機器組立装置および半導体製造装置などの用途で使用されている。2017年にサーボアンプのVSタイプ（SXバス）1.5kW以下の出荷を開始した。このたび、さまざまな機械や装置に対応できるようにサーボアンプのラインアップを拡充した。追加した主な特徴は次のとおりである。

(1) インタフェース

- 汎用インタフェースのパルス列タイプ
- 高速・高精度なモーション制御を可能とする EtherCAT 通信タイプ

(2) 定格出力：2～5kW

図1 「ALPHA7」



② ソケットタイプ温度調節計「PXF4-U」

富士電機は、温度制御や過昇温防止用途として広く利用されるメンテナンス性に優れたソケットタイプ温度調節計を販売している。今回、これまで販売していた「PXR4-S」に代わる新たなソケットタイプ温度調節計「PXF4-U」を開発し、次世代グローバル・スタンダード温度調節計「PXFシリーズ」のラインアップを拡充した。

PXF4-Uは、PXR4-Sと端子配列を同一とし、操作方法もPXR4-Sと完全互換性を持たせたモードを設けることで、既存製品からの置換え作業をストレスフリーとしている。一方、PXFシリーズで好評のフルマルチ入力、高速サンプリング、11セグメントLCD表示およびユーザキーなどを採用することで、市場ニーズに合った製品となっている。

図2 「PXF4-U」



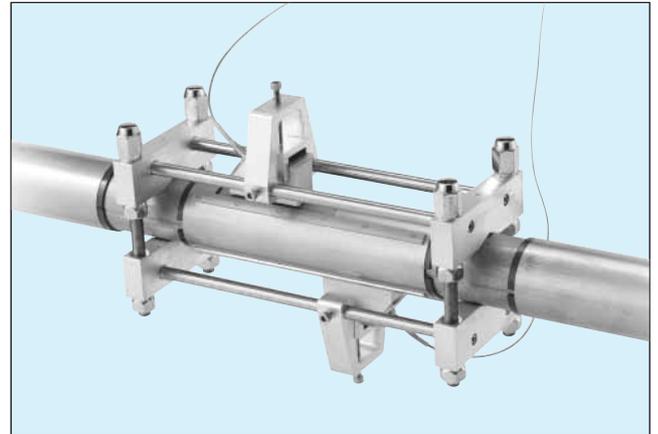
オートメーション

③ 蒸気用超音波流量計

富士電機は、蒸気流量を配管工事不要で計測できる超音波流量計を発売した。高温蒸気を高感度に計測する超音波センサと、計測を阻害するノイズを低減する技術を新たに開発した。今までにない、クランプオン型（外付け式）の蒸気流量計測である。設備稼動中でも流量計の設置が可能であり、さまざまな業種の工場や事業所で使用されている蒸気流量の見える化を容易にした。主な仕様は次のとおりである。

- (1) 配管口径：50 A（口径ラインアップ拡大中）
- (2) 飽和蒸気温度（圧力）範囲：120～180℃〔0.1～0.9 MPa（G）〕
- (3) 測定流速範囲：0～±50 m/s
- (4) 精度：±3%（流速±10～30 m/s）

図3 蒸気用超音波流量計の検出器「FSX」



④ 海外向け「MONITOUCH TS1000 Smart シリーズ」

富士電機は、高まる中国アジアの需要に対応できるように、機能を凝縮したヒューマンマシンインタフェース「MONITOUCH TS1000 Smart シリーズ」を開発し、2018年8月に発売した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 中国・アジア市場で最も需要の高い7型ワイドと10.2型ワイドの画面サイズのラインアップ
- (2) 国際規格 CE, KC, UL, cUL の取得
- (3) LED バックライトによる 65,536 色 TFT カラー液晶の採用
- (4) VNC サーバ機能による遠隔監視・操作が可能
- (5) 上位互換により「TS1000 シリーズ」の画面資産の流用が可能
- (6) 筐体構造の見直しによる軽量化（従来比 30～40%）

図4 「TS1100Si」



⑤ 海外向けモーションコントローラ「MICREX-SX SPF Plus」

富士電機は、アジア市場を中心に高まる生産高効率化に対応するため、小型プログラマブルコントローラ（PLC）「MICREX-SX SPF Plus」を2018年4月に発売した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 補間制御、同期制御のような高度なモーション制御に対応したファンクションブロックを用意した。
- (2) 500 kHz、最大4軸のサーボシステムに対応した。
- (3) 外付けの専用モーションコントローラを不要にした。
- (4) 「MICREX-SX SPF」と共通のオプションにより、フレキシブルなシステム構築を可能にした。
- (5) PLCの国際言語規格 IEC 61131-3 に対応し、効率的なプログラム開発を実現した。

図5 「MICREX-SX SPF Plus」



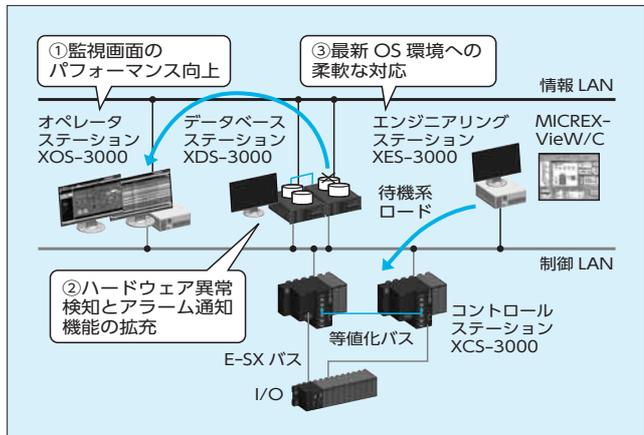
オートメーション

⑥ 「MICREX-View XX (ダブルエックス)」の機能拡充

富士電機は、中小規模監視制御システム「MICREX-View XX (ダブルエックス)」の機能を拡充して、顧客の製品製造の高品質化、操業・監視の安定化および各設備の保守性を向上した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) プラント画面に使用するメモリ容量が半減化することで、画面表示のばらつきを抑え、オペレータにストレスを感じさせない監視を実現した。
- (2) オペレータステーションやデータベースステーションのハードウェア異常（HDD 故障など）を検知し、オペレータに通知する機能により、保守性が向上した。
- (3) 最新 OS の Windows10 と Office2016 に対応した。また新旧 OS の混在を考慮して、顧客の設備更新プランに合わせた PC の置換えを可能とし、保守性が向上した。

図 6 システム構成例



⑦ 設備監視システム「MICREX-View PARTNER」の機能拡充

富士電機は、設備監視システム「MICREX-View PARTNER」の新バージョンを開発し、機能を拡充した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 帳票データを画面上で自由に選択して、積上げグラフなどで監視できる帳票トレンド機能を搭載した。異なる日付の帳票トレンドグラフを並べて比較が可能で、表示しているグラフデータを CSV 形式で保存できる。
- (2) 運転画面の受電系統図などの製作試験効率を向上させるため、ブレーカ部品の状態からラインの充放電を判断し、自動で画面上のラインの色を変化させる機能を搭載した。
- (3) 運転画面およびエンジニアリングツールを多言語に対応できるようにし、今回は中国語に対応した。

図 7 帳票トレンド機能の画面例



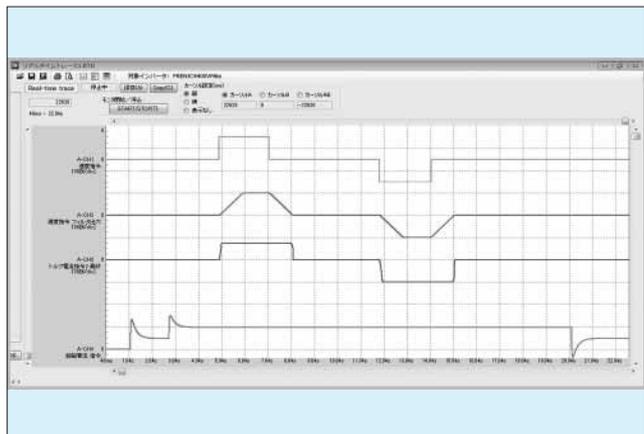
⑧ ドライブシステム用統合保守支援ツール「FLOADV8」

富士電機のプラント用インバータには、ユーザの保守・調整用ツールとして PC ロード「FLOAD」を用意している。今回、保守・調整機能を強化した新ロード「FLOADV8」を新たにリリースした。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 任意のトリガを設定・表示可能なヒストリカルチャート
- (2) インバータと USB 接続をすることにより、1 ms の高速サンプリングが可能
- (3) プリンタを接続することにより、チャートデータの印刷が可能

高性能なチャート機能の追加により、故障発生時の原因究明と早期復旧を強力に支援する。

図 8 チャート表示例



オートメーション

9 高効率エンジニアリングツール「HEART」の機能拡充

「HEART」は、VisioやExcelで作成した制御機能仕様書をコントローラのソフトウェアに自動変換が可能で、仕様書上でモニタリングも行える高効率で容易なエンジニアリングツールである。今回、ヒューマンコミュニケーションインタフェース（HCI）との連携を行い、機能を拡充した。

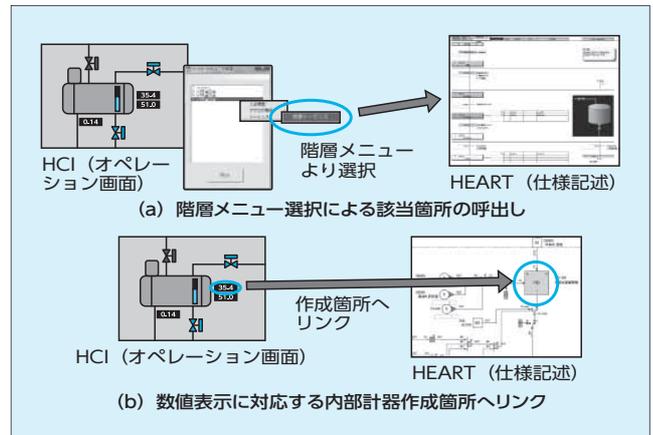
(1) HCIからの階層メニューによるリンク

オペレータに分かりやすい設備名や装置名などで階層化したメニューにより、関連したHEART内の作成箇所をHCIから呼び出すことが可能となった。

(2) HCIの数値表示から作成箇所へのリンク

変数によるHCIとHEART間の使用箇所へのリンクに加え、内部計器Tagをキーにした作成箇所の呼出しにより、オペレーション時の利便性が向上した。

図9 HCIとの連携



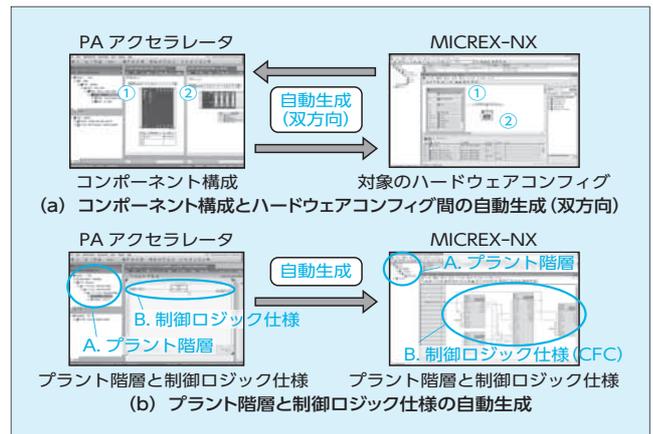
10 統合エンジニアリング効率化ツール「PA アクセラレータ」と「MICREX-NX」の連携

プラントの立ち上げ工程の短縮やコスト削減に寄与するツールとして、情報・プロセス制御システム「MICREX-NX」と相互に連携し、システム構成や制御ロジック仕様などを作成可能な統合エンジニアリング効率化ツール「PA アクセラレータ（PAA）」を実用化した。特徴を次に示す。

(1) PAAで作成したコンポーネント構成をインポートすると、ハードウェアコンフィグなどを自動生成する。逆にMICREX-NXからPAAへの反映も可能にした。

(2) PAAで作成したプラント階層と制御ロジック仕様をエンジニアリングステーション（ES）にインポートすると、ES内で階層と制御ロジック仕様を自動生成する。なお、制御ロジック仕様はI/Oアドレスを自動的に割り付ける。

図10 「PA アクセラレータ（PAA）」の画面例



11 物流センター実行管理システムパッケージ

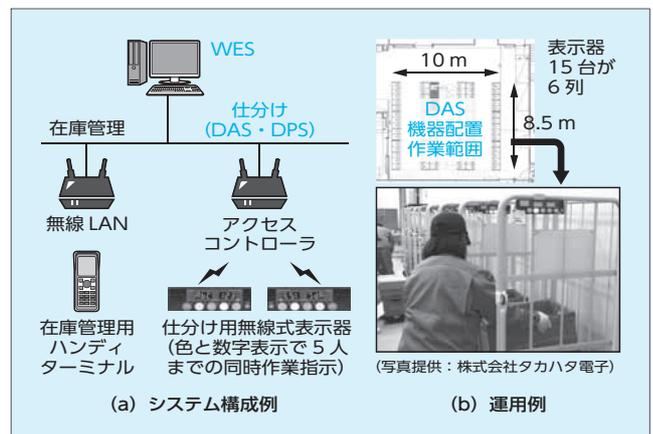
物流センターや各メーカーの倉庫における仕分け作業は、大規模なものを除いていまだに紙リストと人手により行っている場合が多い。富士電機は、こうした人手作業の省力化や効率改善、ミスの低減を実現する無線式の5色表示器（指示器）に対応したDAS（Digital Assort System）・DPS（Digital Picking System）を開発し、発売した。

導入した食品メーカーでは、出荷仕分けの作業工数を約30%削減し、大幅に改善した。主な特徴を次に示す。

(1) PCでの管理と無線指示で作業の省力化を実現した。
 (2) 可動式ラックを利用し、柔軟なスペースの活用を可能にした。

(3) 5色表示器の対応により、5人までの同時作業が可能となり、効率改善に貢献した。

図11 システム構成と運用例



オートメーション

12 高速制御システム向け計算機パッケージ

コイルや板状の長尺品の製造および品質データを収集し、保存、表示、データ出力を行うパッケージを開発した。製品の長さ方向に1 cm ~ 10 m ごとに収集データを編集し、製品のキー情報を付与して保存する。機能を次に示す。

(1) 設定登録機能

収集データおよび設備情報の登録を簡易にできる機能

(2) データ収集、長さ単位変換機能

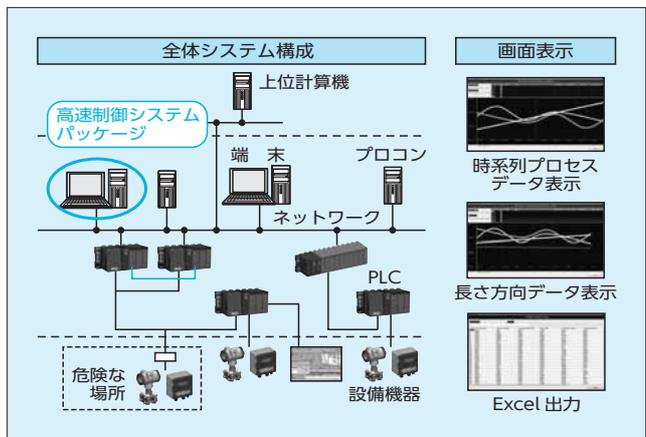
(a) PLC, プロセスコンピュータ (プロコン) などからイベントおよび定周期でデータを収集

(b) 設備のセンサ位置情報を用いて補正を行い、時系列のデータから長さ単位のデータに変換

(3) 画面表示機能

トレンド表示 (時系列, 長さ単位), Excel 出力機能

図 12 全体システム構成と画面表示



13 海外向け鉄鋼圧延プラント用制御システムパッケージ

富士電機は、海外向け鉄鋼圧延プラント用制御システムパッケージを開発した。本パッケージは富士電機のプログラマブルコントローラ「MICREX-SX」、インバータ「FRENIC」、データ収集・解析支援パッケージソフトウェア「f (s) NISDAS7」、HMI システム「TELLUS-HMI」で構成され、制御盤 1 面に 4CPU 分の制御機能を集約したコンパクトな制御システムである。特徴を次に示す。

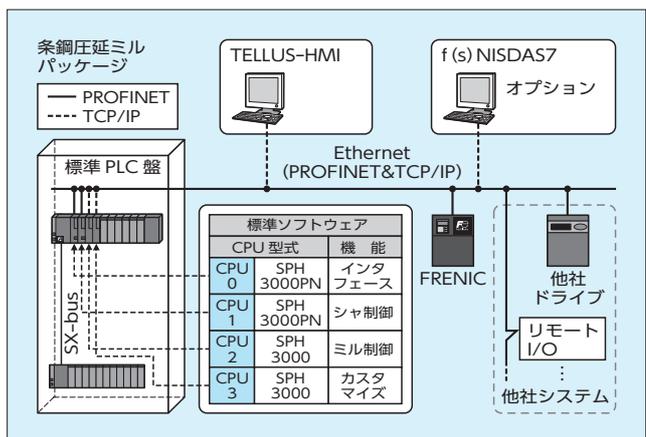
(1) 富士電機の持つ制御ノウハウを海外向けにカスタマイズした。

(2) PROFINET によるオープンネットワークに対応した。

(3) Multi-CPU を採用したコンパクトなシステムである。

今後、インドの鉄鋼分野のユーザ向けに市場展開を図っていく。

図 13 システム構成図



14 データ収集・解析支援パッケージソフトウェア「f (s) NISDAS7」

富士電機は、設備の運転安定化、予防保全のためのデータ収集・解析支援パッケージソフトウェア「f (s) NISDAS7」に、収集対象とする制御システムの拡張と、IoT エッジの役割を強化する機能を新たに搭載した。これにより、導入時の柔軟性が向上し、設備保全・解析を効率化した。

(1) 電機高速コントローラ「XCS-3000 TypeE」を収集対象機種に追加した。

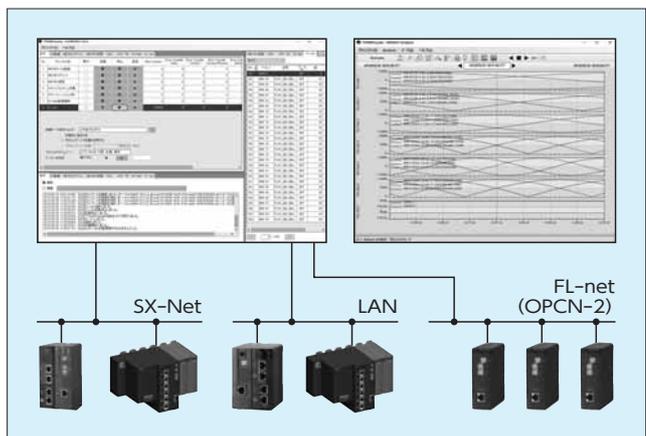
(2) 固定であった収集コントローラの台数を可変とし、最大収集台数を 13 台に拡張した。

(3) FL-net, SX-Net の 64 ビット化に対応した。

(4) 解析を容易にする独自の波形検索機能を追加した。

(5) 外部アプリケーション、外部ノードへのネットワークや CSV 形式でのストリーム出力機能を追加した。

図 14 「f (s) NISDAS7」の概念図



オートメーション

15 大型 GTCC 発電設備向け監視制御システム

株式会社コベルコパワー真岡の真岡発電所では、最新鋭のガスタービン・コンバインドサイクル（GTCC）による国内初の本格的な内陸型火力発電所を新設している。富士電機は、本発電所の主要機器（HRSG、蒸気タービン、ガスタービン、発電機）に加え、次の機能を持つ BTG 用の監視制御システム「MICREX-NX」を納入した。

- (1) HRSG、蒸気タービンなどの監視制御機能およびシーメンス社製ガスタービン制御装置と取り合ったユニット協調制御機能
- (2) 空気式冷却復水器の合計 36 台にわたる冷却ファンの起動・停止および通常時における台数制御機能
- (3) ユニット起動・停止におけるステップシーケンスのタイムリーな監視と的確な操作機能

図 15 真岡発電所の中央操作室

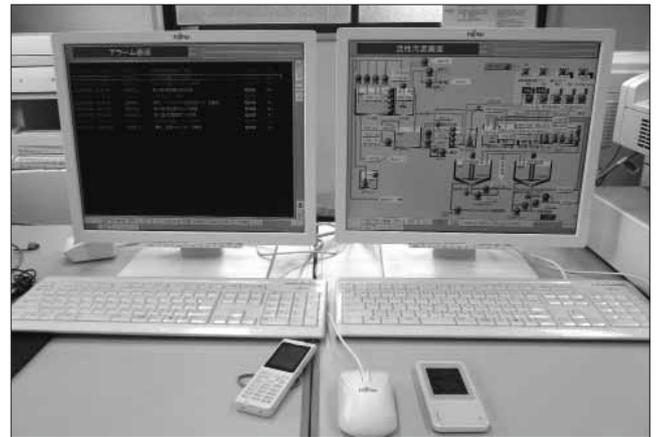


16 食品分野向け排水処理設備監視制御システム

富士電機は、飲料メーカーの排水処理設備における監視制御システムとして「Citect SCADA」を納入している。今回、ある顧客は、多種にわたる廃液を処理するために、排水処理の高度処理設備を導入した。これにあわせて、IoT 化を進めた。第一弾として Citect SCADA に、重故障発生時に電話による音声通報およびメールによって通知する機能を追加した。これにより、夜間での監視制御室の無人運転、および遠隔での重故障発生時の緊急対応が可能になった。

また、タブレット端末を活用した遠隔監視制御および Web カメラによる処理設備の遠隔監視、計測データのワイヤレス通信、さらには薬剤手配の業務システムとの連携などの先進システムの導入を計画している。

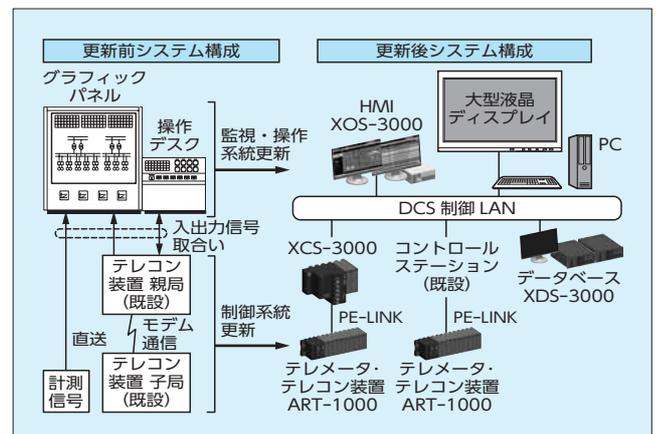
図 16 排水処理設備監視制御システム



17 製鉄所受変電設備の遠方監視制御システムの更新

鉄鋼業はエネルギー多消費型産業であり、その多種多様なエネルギーを集中監視・制御し、生産工場への安定供給を目的とするエネルギーセンターは、富士電機の得意分野の一つである。現在、既存のエネルギーセンター計装システムの老朽化更新を促進しており、このたび、日本製鉄株式会社君津製鉄所の受変電設備遠方監視制御システムを更新した。テレメータ・テレコン装置とパネル・デスク計装装置を組み合わせた従来の構成のうち、HMI による受変電設備の集中監視・操作を目的とし、DCS と伝送で通信が可能となるテレメータ・テレコン装置を更新した。HMI は「MICREX-View XX」の採用に加え、グラフィックパネルに代わる電力潮流監視用の大型液晶モニタを構築し、従来の操作手順を変えることなくシステムの更新を行った。

図 17 受変電設備遠方監視制御システム



社会ソリューション

① 海外向け個人線量計「NRF54」

富士電機は、 γ 線と β 線を同時に測定する新型電子式個人線量計「NRF54」を開発した。NRF54は、「NRF5シリーズ」の最新機種である。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 開口窓を備えたケースを採用したことにより、透過力の弱い β 線を、 β 線測定用センサで効率良く測定することを可能とした。
- (2) 1台で γ 線と β 線の同時測定を可能とした。
- (3) 線量計の国際規格 IEC 61526 に準拠した。
- (4) 無線通信機能を利用したリアルタイム遠隔監視システムとの連携を可能とした。

これにより、放射線業務従事者の被ばく低減を図ることが可能であり、さまざまな放射線管理施設での利用が期待できる。

図 18 「NRF54」



② 中性子シンチレーションサーベイメータ「NSN4」

富士電機は、LiCAF 共晶体を中性子検出のシンチレーション物質として用いる中性子シンチレーションサーベイメータ「NSN4」を開発した。

現在、広く利用されている中性子検出器に使用されているヘリウム-3 ガスは、将来的な供給不足が懸念されている。

富士電機は、ヘリウム-3 ガスを使わない LiCAF 検出器タイプの中性子シンチレーションサーベイメータ「NSN4」を世界で初めて製品化した。また、既にヘリウム-3 ガス検出器の代わりに、有機混合ガス検出器を使用する軽量中性子サーベイメータ「NSN3」も発売している。NSN3 に加えて、より中性子検出感度の高い NSN4 の発売により、将来の世界的なヘリウム-3 ガスの供給不足の影響を受けないサーベイメータを提供する。

図 19 「NSN4」



③ 山陽電気鉄道株式会社 5000 系車両向け SiC モジュール適用 VVVF インバータ

富士電機は、小型・軽量化を図った鉄道車両駆動用 VVVF インバータを、山陽電気鉄道株式会社 5000 系リニューアル車両向けに納入した。同車両は、2018 年 10 月から営業運転を開始した。本製品には電力変換デバイスとして、SiC-SBD (Silicon Carbide-Schottky Barrier Diode) と IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) を組み合わせた 3.3 kV/1,200 A SiC ハイブリッドモジュールを採用した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 富士電機製の SiC ハイブリッドモジュールにより低損失化した。
- (2) 走行風冷却方式によりヒートパイプを不要にした。
- (3) 従来品と比較して体積で 64% 小型化し、質量で 45% 軽量化した。

図 20 5000 系リニューアル車両



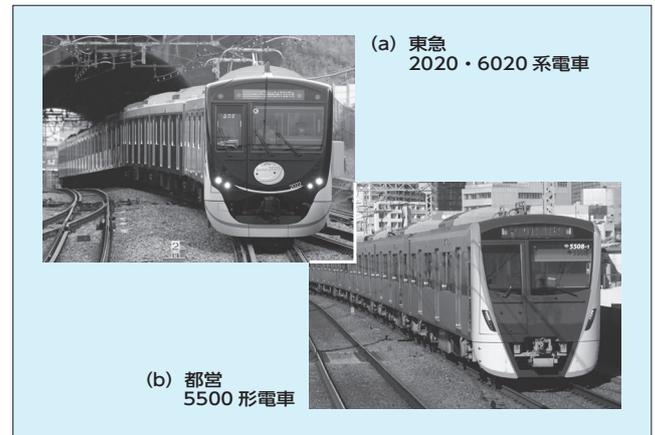
社会ソリューション

④ 東京急行電鉄株式会社・東京都交通局向けドア駆動装置

株式会社 総合車両製作所経由で東京急行電鉄株式会社 2020・6020系、東京都交通局 5500形向け電気式ドア駆動装置を納入している。いずれも従来の空気式ドア駆動装置の代替として採用し、旧型車両（東急 8500系・都営 5300形）を順次置き換える予定である。両車両とも自社線内だけでなく相互乗入車として首都圏で広く活躍している。特徴を示す。

- (1) 実績のあるラック・アンド・ピニオン方式により、ドア開閉時の信頼性の向上
- (2) 高分解能エンコーダとサーボ制御技術を組み合わせたドア制御シーケンスと、戸挟み検知技術による安全性の向上
- (3) 車両制御システムとの通信対応による、通信信頼性と機器状態の監視機能の向上

図 21 電車外観

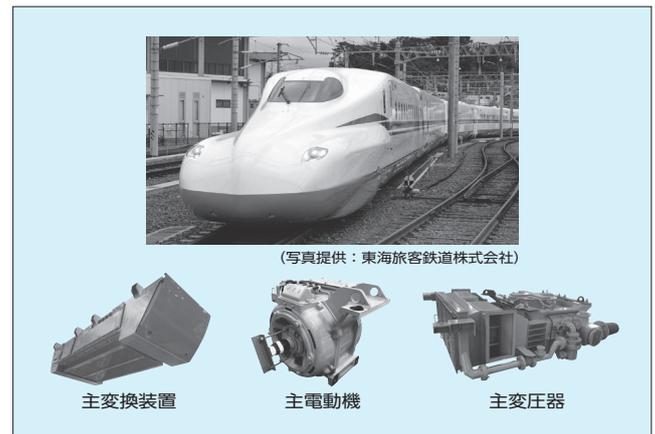


⑤ 東海旅客鉄道株式会社向け次期新幹線 N700S 確認試験車用主回路電機品

東海旅客鉄道株式会社は、次期新幹線 N700S の確認試験車を開発し、2018年3月から走行試験を開始している。富士電機は、主回路電機品（主変換装置・主電動機・主変圧器）を納入し、走行試験にて機器の性能を評価している。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 主変換装置は、富士電機製の SiC パワー半導体モジュールを採用し、小型・軽量化を図った。
- (2) 主電動機は、極数を従来の4極から6極に変更し、小型・軽量化を図った。
- (3) 主回路電機品で構成される駆動システム全体としては、従来品に対して20%の軽量化を図った。

図 22 N700S 新幹線確認試験車用主回路電機品



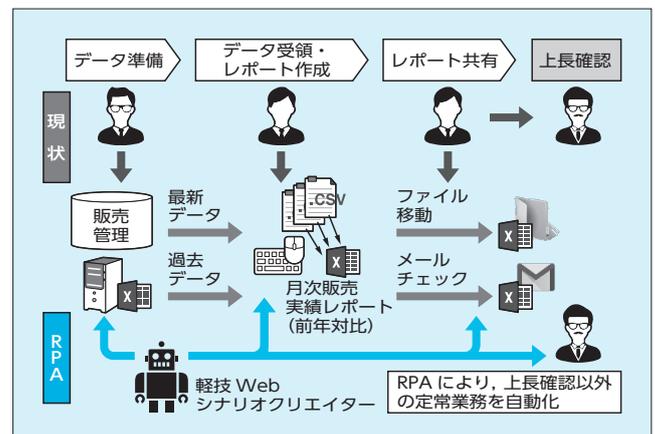
情報ソリューション

① 「軽技 Web シナリオクリエイター」

「軽技 Web」は、企業内のデータベースに蓄積されている複数の情報資産を活用できるツールであり、専門知識のない業務部門のユーザでもデータ検索・集計を簡単に行うことができる。このたび、働き方改革のニーズに応えるため、データ活用における定型業務の自動化を可能とする RPA（ロボティックプロセスオートメーション）オプションである「軽技 Web シナリオクリエイター」を開発した。主な特徴は次のとおりである。

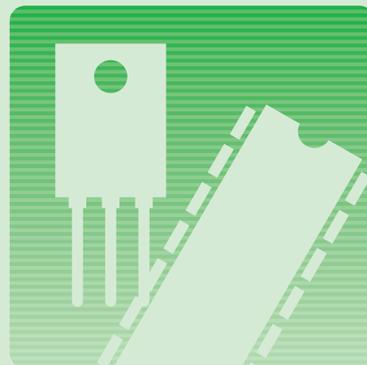
- (1) ファイル操作、メール送信、データ二次加工といった手作業の処理をプロセスとして抽出し、パッキング（シナリオ化）を行う機能を実現した。
- (2) コーディングスキルがなくても、画面操作のみでシナリオの作成を可能にした。

図 23 利用イメージ



電子デバイス

半導体
ディスク媒体



展望

半導体

世界的な人口増加や経済成長により、エネルギー需要は拡大を続けている。CO₂ 排出抑制による地球温暖化対策や、安全・安心で持続可能な社会を実現するために、電気エネルギーを効率的に利用し、省エネルギー・創エネルギーに貢献できるパワーエレクトロニクス技術への期待が高まっている。近年、産業機器や家電製品だけでなく、自動車、太陽光発電、風力発電などの幅広い分野で電力変換素子のキーデバイスとして、パワー半導体の需要が拡大している。富士電機は、パワー半導体の代表的な素子として使われている IGBT を 1988 年に製品化し、その後多くの技術革新とともに、さらなる高効率化、小型化、高信頼性化といった市場ニーズに応える製品を実現してきた。

最新の第 7 世代 IGBT モジュール「X シリーズ」は、第 7 世代チップ技術やパッケージ技術を適用し、650 ~ 1,700 V 耐圧の幅広い製品を系列化した。従来品に比べて高信頼性を確保しつつ、さらなる低損失化と小型化を実現した。また、エアコンや産業用インバータ、サーボ用途向けに、駆動 IC と保護機能を内蔵した X シリーズ IPM の系列拡大を進めている。近年開発した RC-IGBT（逆導通 IGBT）では、IGBT チップと FWD チップの一体化を実現し、さらなる高密度化が期待できる。富士電機は、第 7 世代チップとパッケージ技術を用いた X シリーズの技術と RC-IGBT 技術を組み合わせた産業用 RC-IGBT モジュールを開発し、高効率・高信頼性化とともにさらなる小型化を実現した。さらに、近年 Si（シリコン）に代わる次世代半導体材料として注目されている SiC（炭化けい素）を使った製品の開発を進めている。これまで使っていた Si 製 FWD に代わり低損失の SiC-SBD を、Si 製 IGBT と組み合わせたハイブリッドモジュールを開発した。また、さらなる高効率化、小型化、高信頼性化を実現するため、SiC トレンチ MOSFET チップを開発し、1,200 ~ 3,300 V 耐圧の All-SiC モジュールを開発している。

電装分野では、高精度電流検出アンブ搭載ワンチップリニア制御用 IPS の新製品を開発した。既存品に新規回路を適用することでチップを小型化した。また、高温での圧

力の出力電圧精度を改善し、パッケージを小型化した第 6.5 世代過給圧センサを開発した。燃費改善、排出ガス規制強化を背景に、ダウンサイジングターボ車などの高温環境での過給圧測定に用いられ、環境性能の向上に貢献する。さらに、HEV、EV などのモータ駆動に用いられる車載用 IGBT では、前述の RC-IGBT と富士電機独自の密閉型アルミニウム冷却器を用いた小型・軽量モジュールの製品系列化を進めている。また、DC/DC コンバータの小型・軽量化に貢献する MOSFET およびダイオードモジュールを開発した。

ディスクリット製品では、UPS や PCS 用機器の効率化・小型化の要望に応えるため、新たにディスクリット IGBT「XS シリーズ」の 650 V 耐圧製品の系列化を行った。本製品は、オン電圧とスイッチング損失の両方を低減し、高速スイッチングにも対応している。さらに、650 V 耐圧に続き 1,200 V 耐圧の製品も開発を進めている。また、IC 製品では、電源回路の軽負荷時の効率向上、低待機電力化およびシステムコストダウンという市場要求に応じて、臨界モード PFC 制御 IC と LLC 電流共振制御 IC を製品化してきた。現在、新たに出力電圧リップルの抑制と軽負荷の効率を改善する制御を内蔵し、部品点数の削減が可能な臨界モード PFC 制御 IC「FA1B00N シリーズ」と LLC 電流共振制御 IC「FA6C00N シリーズ」の開発を進めている。これからも、地球にやさしいパワー半導体製品を開発し、安全・安心で持続可能な社会の実現に貢献していく。

ディスク媒体

IoT や M2M の発展に伴い、全世界で生み出されるデータ量は年率約 30% の急激な増大を続けている。その結果、膨大な量のデータストレージ需要が生まれ、データセンター向けニアライン HDD がこの需要の大部分を担うことが期待されている。富士電機は、ニアライン HDD 向け 3.5 インチ磁気記録媒体の量産を本格化している。今後も、旺盛な市場要求に応えるため、高容量と高信頼性を併せ持つ磁気記録媒体を開発し提供することで、高度情報化社会のさらなる発展に貢献していく。

半導体

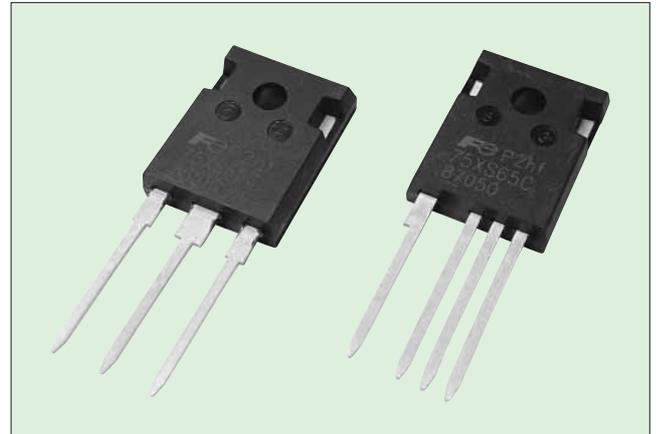
① ディスクリート IGBT「XS シリーズ」

近年、UPS や PCS では、機器の高効率化・小型化への要求が強い。これらの機器の高効率化・小型化を実現する 650 V のディスクリート IGBT「XS シリーズ」を開発した。従来の「High-Speed W シリーズ」と比較して、オン電圧とスイッチング損失の両方を低減し、トレードオフ特性を改善させた。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 低オン電圧 ($T_{vj}=25^{\circ}\text{C}$, 従来比 0.45 V 減)
- (2) 低スイッチング損失 ($T_{vj}=25^{\circ}\text{C}$, 従来比 10% 減)
- (3) 定格電圧・電流: 650 V/30 A, 40 A, 50 A, 75 A
- (4) 外形 (パッケージ): TO-247, TO-247-4

● 関連論文: 富士電機技報 2018, vol.91, no.4, p.236

図1 「XS シリーズ」

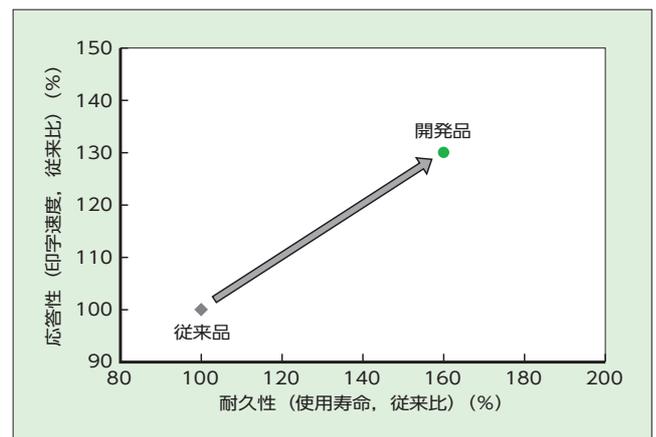


② 正帯電型有機感光体の応答性と耐久性の向上

電子写真プリンタや複写機では、高速化や長寿命化が進んでいる。これらに搭載される感光体は、画像品質を担う主要コンポーネントであり、高応答性と高耐久性が要求される。しかし、一般に電荷輸送材の比率を増やして高応答性に対応すると樹脂比率が相対的に減るため耐久性が下がってしまい高速印字と長期間の使用を両立することは難しい。

富士電機は、正帯電型有機感光体で使用する電荷輸送材の移動度と樹脂の靱性(じんせい)に着目し、高い輸送性能を発揮する高移動度電荷輸送材と低摩擦性能を持つ高靱性樹脂を新たに開発し、これらの材料を併用して比率を最適化した。その結果、感光体の応答性を 30%、耐久性を 60% 同時に向上した。

図2 高移動度電荷輸送材と高靱性樹脂の併用による性能向上

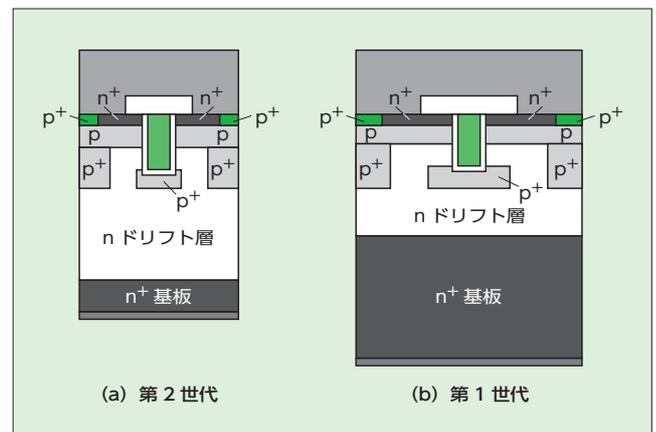


③ 第2世代 SiC トレンチゲート MOSFET

富士電機は、動作時のオン抵抗を従来より低減した第2世代 SiC トレンチゲート MOSFET を開発した。定格 1,200 V の SiC トレンチゲート MOSFET は、第1世代品に対し、セルピッチを約 2/3 まで微細化し、SiC 基板の厚さを約 1/4 まで薄くした。これにより、単位面積当たりのオン抵抗を約 23% 低減した。また、SiC 基板とプロセスにおいて独自の技術を用いることで、課題であった SiC-MOSFET のボディダイオードの通電によるオン抵抗上昇を防ぐことができた。

2019年度は、定格 650 V と 1,700 V の第2世代 SiC トレンチゲート MOSFET の開発を計画している。

図3 SiC トレンチゲート MOSFET の断面構造



半導体

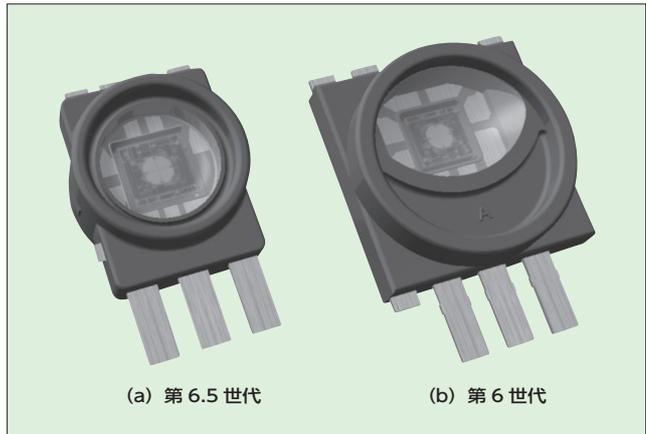
④ 第 6.5 世代車載用過給圧センサ

近年、自動車に強く求められる環境負荷低減に対応するため、排出ガスのクリーン化や燃費向上する高精度なエンジン制御が求められている。エンジン制御に必要な圧力センサの搭載環境は過酷になっている。

ターボチャージャーやスーパーチャージャーの過給圧を測定する第 6.5 世代車載用過給圧センサは、測定媒体に対する耐腐食性能や耐帯電性能、150℃での動作保証など、過酷な搭載環境に対応している。

- (1) 製品寸法（樹脂部）：W7.5×D5.6×H10.0（mm）
- (2) 使用温度範囲：-40～+150℃
- (3) 使用圧力（過給圧）/出力電圧：10～400 kPa/0.5～4.5 V
- (4) 耐腐食性能：JASO M611-92/B 法 準拠

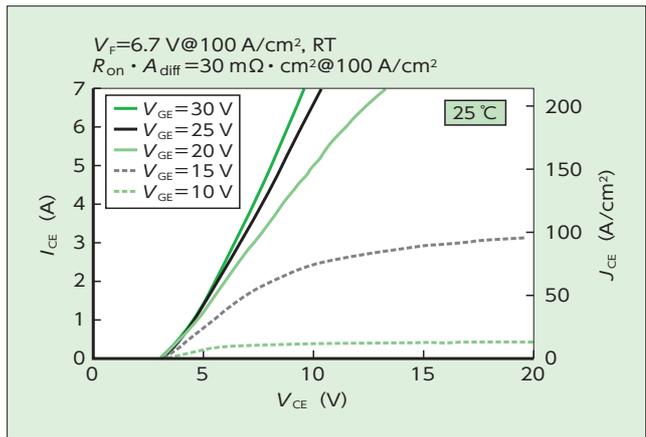
図 4 車載用過給圧センサ



⑤ 戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）における SiC-IGBT の開発

富士電機は、2014 年度から国家プロジェクトである戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）に参画し、国立研究開発法人 産業技術総合研究所や他の参画企業と 20 kV 耐圧 SiC-IGBT を共同開発してきた。ワイドバンドギャップ半導体である SiC を用いた IGBT はバイポーラデバイスであり、現在上市されている MOSFET と比べて超高耐圧領域で低いオン抵抗が可能である。13 kV 超耐圧の SiC-IGBT は、高圧電力変換装置や送電配電系統機器の部品点数の削減、小型化、高効率化を実現すると期待されている。2018 年度の成果として、耐圧 24 kV および特性微分オン抵抗 $30 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ の世界最高レベルの性能を実現した。10 kV スイッチング試験を実施し、総合損失において目標である Si デバイス損失の 50% 以下を達成した。

図 5 SiC-IGBT の性能特性

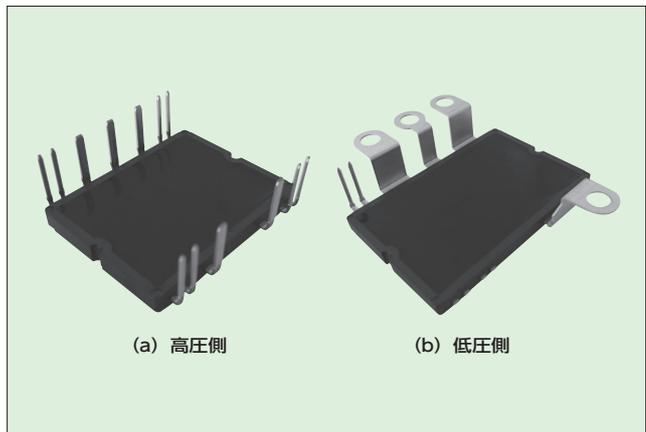


⑥ xEV 向け DC/DC コンバータ用モジュール

近年、安全性や利便性、快適性を向上する電装品の占有率が増加しているため、電力変換回路の小型化が強く要求されている。富士電機は、電動車（xEV）向け DC/DC コンバータ用モジュールを製品化した。従来はディスクリット製品で行っていた回路構成のモジュール化を行うとともに、産業用小容量モジュールで培った技術を応用し、DC/DC コンバータの大幅な小型化に貢献し、従来比 40% 減も可能である。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 高圧側：600 V/15 A（Super J MOS 内蔵）
- (2) 低圧側：120 V/120 A, 150 A（SBD 内蔵）
- (3) 回路構成：位相シフトフルブリッジコンバータ
- (4) 定格出力：約 1.9 kW（低圧側 120 A 仕様）、約 2.3 kW（低圧側 150 A 仕様）

図 6 xEV 向け DC/DC コンバータ用モジュール



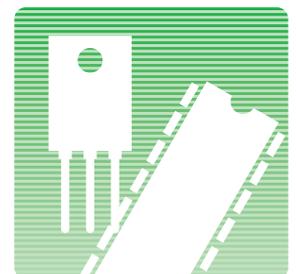
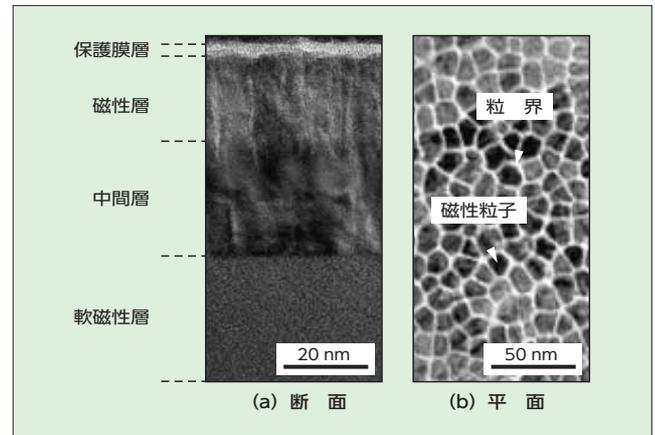
ディスク媒体

① データセンター HDD 向け磁気記録媒体

データストレージ量が拡大する中で、その大部分（約75%）を引き続きハードディスクドライブ（HDD）が担うと予想されている。そのため、さらなる HDD の高記録密度化が求められている。

富士電機は、データセンター HDD 向け 1.33 TB/枚（0.84 Tbits/in²）の 3.5 インチ磁気記録媒体を量産している。この技術を基にして、多層磁性層構成の最適化により記録容易性を改善した。また、磁性粒子の微細化と孤立化を進めることで粒間相互作用を低減し、ノイズ特性を改善した。これらの技術を用いた 1.75 TB/枚（1.12 Tbits/in²）の磁気記録媒体を開発し量産を開始した。2019 年度は、高記録密度化の技術開発を継続し、超情報化社会の発展に貢献していく。

図7 磁気記録媒体 TEM 像



発電プラント

火力・地熱発電
原子力関連設備
新エネルギー



展 望

2018年12月の国連気候変動枠組条約第24回締約国会議（COP24）以降、世界的に脱炭素の流れがより一層加速し、気温2℃上昇シナリオに向けた各国の政策変更により、発電分野は今まさに激変期を迎えている。このように世界規模での石炭火力への逆風と再生可能エネルギーへの転換が推進する中、国内の再生可能エネルギー分野においては経済産業省による「再生可能エネルギーの固定価格買取制度」（FIT）の見直しにより、開発の主体が変化している。業界各社が、直面する石炭火力市場の縮小への対応として構造改革を進める中、富士電機も再生可能エネルギー分野へのシフトを進めている。

火力発電分野では、国内では複数台のバイオマス混焼プラント向けタービン発電設備を継続して受注し、海外でもコンバインドサイクル用タービン発電設備を受注した。

地熱発電分野では、国内で今後増加が予想される15MWクラスの地熱タービン発電設備を受注した。海外では、アフリカ地域において富士電機として初の地熱発電設備を受注した。また、インドネシアでも継続的に受注している。

サービス分野では、サービスメニューの拡充や顧客提案活動を拡大してきた。また、効率改善を主目的としたリハビリ案件の継続的な提案活動が効果を上げつつある。海外においては、重要戦略地域において、海外販社にローカルスタッフを配置し受注活動の強化を進めている。

水力発電は、発電時にCO₂を排出しない安定供給性にすぐれた再生可能エネルギーである。電力供給のベースロード電源の役割を担うとともに、揚水発電では、電力を貯蔵することで送電網の安定に貢献し、風力や太陽光といった発電量が安定しない再生可能エネルギー源が増大する状況において、より一層重要な役割を担うことが期待されている。富士電機の水力発電分野は、FITの追い風を受け、2018年度の国内受注高は新設およびS&B案件6件、ならびにサービス事業を含めて富士・フォイトハイドロ社設立（1997年）以来、過去最高を達成した。市場動向も2021年度までのFIT買取価格が決定したことにより、2019年度以降も水力発電設備の更新需要が期待でき、安

定的な受注確保が見込まれている。

原子力分野では、発電所の再稼働や、再処理工場とMOX燃料工場の建設推進に向け、新規規制基準対応に適合した耐震高度化や、防火・消火技術と製品を提供している。一方、原子力発電所の廃止措置計画も同時に進んでいる。その中で富士電機は、高速増殖原型炉“もんじゅ”の廃止措置に向け、納入した燃料取扱設備による燃料取出しおよび燃料洗浄作業を着実に進めている。さらに、原子力施設の運転や廃止措置の過程で発生する放射性廃棄物の安定化処理の実現に向け、英国・Wood社と共同で、ジオポリマーを用いた放射性廃棄物の固化化技術を国内に導入するための開発を進めている。

太陽光発電分野では、一括請負工事（EPC）で受注した4件の発電所が2018年度に竣工した。その中で苫小牧メガソーラー第一発電所（DC38.4MW、AC25MW）は蓄電池の併設型であり、北海道電力株式会社の出力変動対策の技術要件を満たしたもので、国内最大級の設備である。また、ストリングタイプ太陽光発電用PCS「PIS-50/500」（DC1,100V 50kVA）の開発を完了し、市場展開を始めた。このPCSは、建物やビルの屋上、駐車場の屋根への設置に最適であり、今後需要が増加する自家消費型案件への参入を拡大させていく。

風力発電分野では、北海道や東北地域を中心に大規模なウインドファームの計画と建設が始まっている。富士電機は、蓄電池とPCSを組み合わせた系統安定化システムの販売に加えて、風力発電設備のEPC案件にも積極的に取り組んでいく。

燃料電池分野では、韓国に17台、ドイツに2台のりん酸形燃料電池を出荷した。韓国では、電気事業者に燃料電池を含む新・再生可能エネルギー発電を一定割合以上導入することを義務付けたRPS制度などの政策により、燃料電池の普及が拡大している。今後、さらに韓国を中心に燃料電池の販売加速が期待される。

富士電機は、中小発電プラントに継続して取り組んで、経験・強みを生かし、付加価値が高く、脱炭素時代により適したソリューションを引き続き提案していく。

火力・地熱発電

① インドネシア・Rantau Dedap 地熱発電所の受注

富士電機は、2018年4月にインドネシア・PT Rekayasa Industri社と共同で、PT Supreme Energy Rantau Dedap社向け地熱発電所（発電端定格出力：49.2MW×2台）の設計・調達・製作・据付・試運転を一括受注した。

富士電機は、発電所内の主要機器や配管設備、制御装置の設計・調達・製作を行い、主機である地熱蒸気タービン・発電機と復水器は川崎工場で設計・製造し、納入する。

本件では、改良型インターコンデンサの採用、硫酸注入設備の最適化などによるプラントの発電効率向上、ならびに信頼性向上のための最適化技術を適用している。

2020年8月の運転開始に向けて、機器製作と現地工事が進行中である。

図1 発電所エリア工事中写真

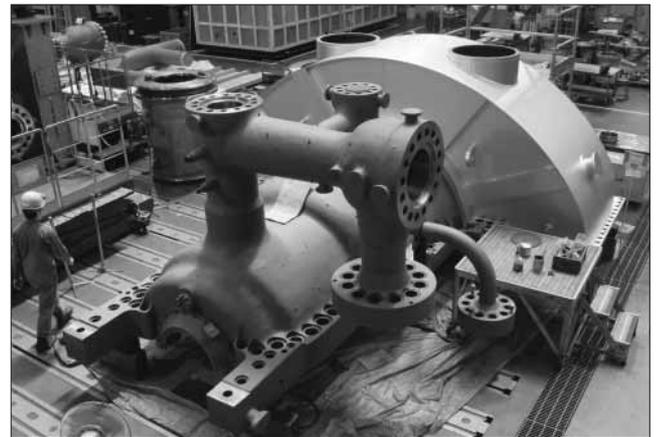


(2019年3月撮影)

② バイオマス発電所への蒸気タービン・発電機設備の出荷

住友重機械工業株式会社が主契約者の中部電力株式会社 四日市火力発電所（49MW）、エア・ウォーター & エネルギア・パワー山口株式会社の防府バイオマス・石炭混焼発電所（112MW）、およびJFEエンジニアリング株式会社が主契約者の豊前ニューエナジー合同会社の豊前バイオマス発電所（74.95MW）の3プラント向けに、蒸気タービン・発電機、復水器などの主要設備を出荷した。2019～2020年の完成に向けて現地据付と試験を進めている。いずれも、再生可能エネルギーである木質バイオマス（パーム椰子殻や木質ペレット）を利用した発電設備である。高効率で信頼性が高い1ケーシング再熱蒸気タービンに、実績が多く信頼性が高いブラシレス励磁方式の空冷冷却発電機を採用し、コンパクトな配置を実現した。

図2 出荷準備中の蒸気タービンケーシング

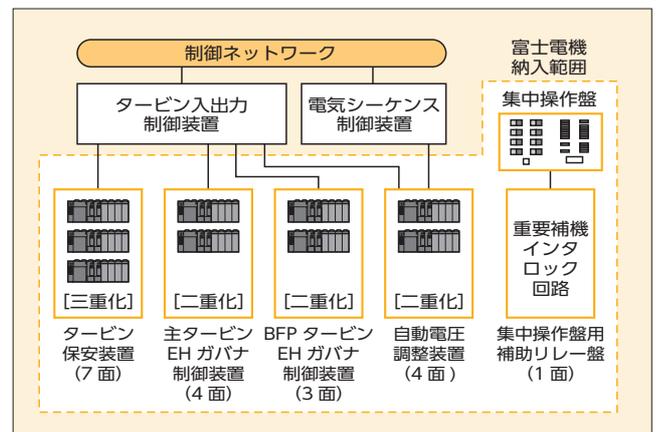


③ 電源開発株式会社 磯子火力発電所新1号機の主機制御装置の更新工事

富士電機は、ジェイパワー・エンテック株式会社を主契約者として、電源開発株式会社 磯子火力発電所新1号機（600MW、2002年運転開始）の主機制御装置（タービン・発電機制御装置、タービン保安装置）の更新工事を実施し、2018年8月に運転を開始した。

重要補機の監視操作回路に関する改善要望を受け、ハードインタロックの追加および他社製の監視制御装置とのインターフェースの変更を行い、監視制御システム全体の信頼性を向上した。また、顧客側作業と現地作業が円滑に進むように配慮し、試運転および調整を問題なく完了した。更新後の主機制御装置は、富士電機製の最新コントローラ（PLC）を採用し、冗長化するとともに信頼性とメンテナンス性の向上を図った。

図3 システム構成概略図



原子力関連設備

① 先端固型化技術 SIAL[®] の放射性廃棄物への適用

富士電機は、ジオポリマーとして世界で初めて放射性廃棄物の固型化に用いられた英国・Wood社の先端固型化技術 SIAL[®] を使用して、国内の原子力プラントで発生する放射性廃棄物の固型化・安定化技術の実用化に取り組んでいる。

SIAL[®] は、固型化が困難なイオン交換樹脂やスラッジ状廃棄物、焼却灰、オイル、濃縮廃液などの放射性廃棄物にも適用することができる。また、固型化処理システムはコンパクトであるため、既存施設内への設置が容易である。

SIAL[®] の国内での実用化に向けて、固型化物の圧縮強度、浸出特性などの基礎特性や、200 L ドラム缶を用いた実規模での混練・固型化特性の確認を行い、固型化処理システムの開発を進めている。

図4 固型化処理システムの混練装置



新エネルギー

① 韓国・KT社向けりん酸形燃料電池

富士電機は、2017年から韓国の中小規模発電事業者に100 kW りん酸形燃料電池を納入しており、熱需要の大きな施設を中心に、既に10台以上が稼働している。

韓国では、燃料電池は再生可能エネルギーと同等に普及が支援されている。発電電力を高値で売電することが可能なため、近年燃料電池の導入が急速に拡大している。

このたび、韓国最大の通信事業会社であるKT社が保有する保養施設に1台納入した。発電電力を売電する一方で、燃料電池が発電する際に発生する排熱を施設で有効に活用することで、エネルギー消費量を削減している。

今後も韓国内における納入の増加が期待できる。

図5 納入したりん酸形燃料電池



(写真提供：KT社)



食品流通

自動販売機 店舗流通



展 望

自動販売機

東南アジアに展開されている自動販売機の台数は約8万3,000台（日本の約1/30）である。今後拡大が見込まれる東南アジア市場に展開するため、製造拠点をインドネシアに置き準備を進めてきた。2018年度に初めて東南アジア向けの飲料自動販売機の生産を開始した。東南アジアでの展開に向けて幾つかの工夫を施すため、設計変更を実施した。

日本に比べて商品の形状や寸法が統一されていないため、商品の形状に依存しない新しい販売機構としてスラントラックを搭載し、これに伴った気流制御技術を新たに適用した。また、決済においては、現地通貨に対応するだけでなく、日本においても主流となりつつあるQRコード決済装置（内製品）を標準で搭載している。

東南アジアにおけるスマートフォンの普及に伴うインターネット人口は年々増加傾向にあり、東南アジア全体の人口約6億人のうち、8割近くが2020年までにインターネットユーザになるといわれている。現金の取扱いが煩雑な東南アジアでは、それらの事情を見越した電子マネービジネスが今後急増することが予想される。このため、アジアにおける電子決済機能は必須となる。インドネシアを例にとると、総人口2億6,000万人のうち、スマートフォンの所有数は6,700万人、日本国内のLINEのアクティブユーザ数の7,600万人に匹敵する。事実としてインドネシアでは、バイクタクシーなどを中心にQRコード決済の活用が拡大しており、他の地域でも同様の傾向が予想される。

自動販売機の普及を狙い、東南アジアでの人手によるメンテナンス体制の構築を整備中である。ちょっとした設定ミスであっても、長時間かけてルートセールススタッフが現地に出向くことは、効率を著しく低下させることにつながる。今後、広範囲に展開される自動販売機のメンテナンスを効率よく実施するために、自動販売機の状態を通信により把握し、設定変更など現地作業が不要なものについてはリモートで操作できるようにするなど、IoT技術によってサービスやオペレータ業務を支援する遠隔システムを開発している。

自動販売機を活用する顧客が安心して事業を拡大できる

ようなサポートをセットで共有し、自動販売機の普及拡大につなげていきたい。

店舗流通

経済産業省から発行されている“コンビニ調査2018結果概要”によると、店舗経営において従業員が常態的に不足していると答えた割合は61%と半数を超えている。

人が集まらない理由として、コンビニエンスストアの業務が複雑になっていることや、業務が大変というイメージがあり多店舗との人材の取り合いがあることを挙げている。

富士電機では2017年からプロジェクトを立ち上げ、今後、労働者の多様化に対応可能な働きやすい店舗環境とはどのようなものなのか、機材メーカーとしてこれらの課題に少しでも貢献できることはないのかなど検討を進めてきた。レジ業務に対するストレスを軽減することができる自動つり銭機の活用、ならびにバックヤードでの作業を軽減する「スウィングラック」の開発など、実際の店舗における作業をわれわれ自身が実体験し、それに基づく幾つかの提案を始めている。

2018年度に、コンビニエンスストア向けコーヒーマシンのフルモデルチェンジを行った。コーヒーマシンの日々の清掃や点検作業は、味を維持する上で必要な作業であるが、同時に店員の負担になっていることも事実である。このことから汚れにくいコーヒーマイルを開発し、従来必要だった作業をなくすこと、ならびに販売パネルの中央に液晶ディスプレイを配置し、故障が発生したときの対応を分かりやすく案内することなど、IoT技術を活用して作業の簡略化についても取り組んでいる。

一方、コーヒーマシンの抽出プロセスを見直し、より短時間にまろやかな味の実現を可能にした。消費者の待ち時間に対するストレスを軽減させることを狙いとしている。

小売業界での課題はこれだけにとどまらず、運営にかかるエネルギー消費を最適化することや食品ロスの削減など、社会が抱える課題でもある。富士電機としても利便性向上・省力化・省エネルギーという観点に基づき、さまざまな課題に継続的に関与していきたい。

自動販売機

① 東南アジア向け飲料自動販売機「FAG36JGCD80Y」

富士電機は、市場拡大が見込まれる東南アジア向けに飲料自動販売機を開発し、インドネシアのPT. FUJI METEC SEMARANG社で生産を開始した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 大型商品に対応するため、スラントラックの商品収容・販売装置を搭載した。
- (2) 商品収容量に合わせた気流制御技術を採用した。
- (3) QRコードなどのキャッシュレス決済も可能とした。
- (4) 富士電機の飲料自動販売機として初めて第三者認証を取得した。

○安全規格：IEC 60335-2-75

○EMC規格：IEC 61000-6-1, IEC 61000-6-3

図1 「FAG36JGCD80Y」



店舗流通

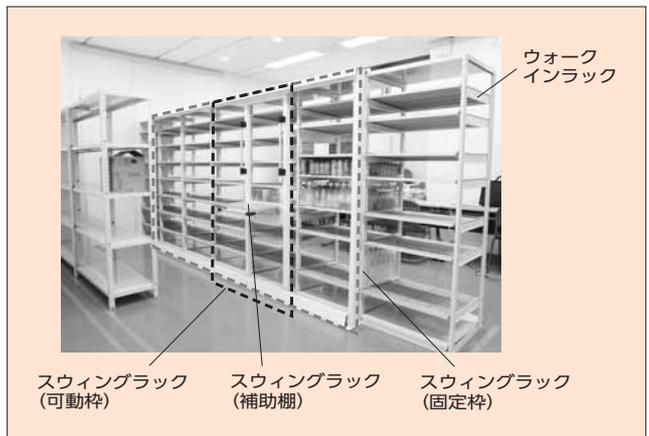
① ウォークインケース補助ラック「スウィングラック」

🔗関連論文：富士電機技報 2019, vol.92, no.1, p.26

富士電機は、株式会社セブン-イレブン・ジャパン向けにウォークインケース内のラックに取り付ける「スウィングラック」を開発した。商品を積載したまま倉庫内を移動できる機能があり、ウォークインケースに商品を展示する作業時に生じる移動操作や屈伸動作などの苦渋作業を軽減する。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 商品を積載するスウィングラックの補助棚は、ラチェット式ロック機構とダンパー機構を採用した。これにより、誰でも簡単に安全に収納できる操作性を実現した。
- (2) 補助棚を取り付ける可動枠は、底面に戸車を取り付け、V字型レールの上を転がる構造とした。これにより、戸車とレールの接触抵抗が低減し、軽い操作性を実現した。

図2 「スウィングラック」



② 自動つり銭機「ECS-777」

🔗関連論文：富士電機技報 2019, vol.92, no.1, p.41

富士電機は、従来より市場に展開している自動つり銭機の機能をさらに進化させた「ECS-777」を開発した。本製品は、小売店の現金管理業務の効率化とスムーズな会計処理を支援するため、セルフ機にも使用できる優れた操作性と高いデザイン性を融合し、直感的に操作できる使いやすさを実現した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 入出金時にサポートランプを点灯させることにより、使用者の直感的な操作を促す。
- (2) 紙幣入金口のガイド構造およびソフトウェアによる姿勢制御により、紙幣詰まり率を大幅に改善した。
- (3) つり銭機内の硬貨・紙幣の満杯を検知し、オーバーフロー機能により自動回収を行うことで、つり銭機を停止させることなく連続運転を可能にした。

図3 「ECS-777」



フィールドサービス



フィールドサービス

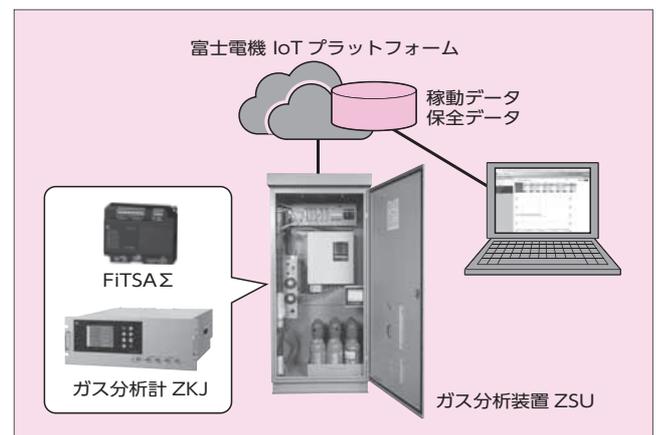
フィールドサービス

① ガス分析装置遠隔監視サービス

富士電機は、業界初のクラウドを利用したガス分析装置遠隔監視システムを開発し、遠隔監視クラウドサービスを提供する。これにより、装置リースや保守契約など、一括サービスメニューを盛り込み、設備導入・運用費用の最適化を支援する。主な特徴は次のとおりである。

- (1) ガス分析装置から収集した各種データを基に、運転・保全状態を分析して、故障・異常リスクを診断する。
- (2) 異常兆候を早期に発見するとともに、部品交換などの最適な保全時期の判断が可能となる。
- (3) 富士電機の共通IoTプラットフォームでセキュアなシステムであり、かつ万全な運用管理体制で稼働を行うことができる。

図1 システム構成



フィールドサービス



基盤・先端技術



基盤技術
先端技術

展望

富士電機は、顧客価値を創出する圧倒的に強いコンポーネント、システムおよびソリューションの開発に注力するとともに、そのような開発を支える基盤技術や差別化を実現する先端技術の研究開発にも精力的に取り組んでいる。

材料技術においては、計算科学を適用して SF₆ を代替する絶縁ガスを設計するなど、差別化を実現する研究開発に取り組んでいる。高電圧機器の小型化のため、フィラーにより誘電率を最適に設計した絶縁材料の開発や、計算科学を活用した新規材料の設計などを推進している。

SiC（炭化けい素）デバイスの低抵抗化、高信頼性化を狙い、最先端の分析・解析技術や計算科学を駆使し、メカニズムを解明しながら研究を推進している。反応による材料の分子構造変化を解析する分子シミュレーション技術を開発し、SiC-MOSFET のゲート酸化膜界面の欠陥解析に適用して性能に影響する欠陥構造を特定することができた。

SiC の次の世代のパワーデバイスとして、GaN（窒化ガリウム）を用いた縦型 MOSFET を開発している。ポイントは、イオン注入による p 形形成と MOS 界面制御である。p 形（Mg）注入層上に原子層レベルで平坦な MOS 界面を形成する技術確立し、GaN 基板上にイオン注入だけで縦型 MOSFET 構造を形成し、ノーマリーオフ FET 動作に成功した。

SiC デバイスを搭載したパワーエレクトロニクス機器として、3.3 kV 耐圧の SiC パワーデバイスを搭載した MMC（Modular Multilevel Converter）を開発した。本装置は、6.6 kV 電力系統に連系トランスなしで連系可能で、98.5% の効率を達成するとともに、独自の単相インバータ直流電圧均等化制御により、逆相電力補償も可能としている。

また、高圧機器の信頼性向上に関する技術開発も推進している。粉じんによるブスバー間での放電メカニズムを解明し、適切な絶縁設計を可能とする設計技術を構築した。

熱エネルギー技術として、二段階で圧縮する圧縮機を使った高効率な 150℃高温蒸気発生装置を開発し、低温排熱の有効活用を実証するフィールドテストを実施している。

再生可能エネルギーの導入が進む中、大規模風力発電所の落雷サージによる影響が懸念されている。一般財団法人電力中央研究所が開発したサージ解析プログラムにより、風車や配電網の詳細なサージ特性を把握し、その特性を電力系統解析プログラムでモデル化した。これにより、大規模な風力発電システムのサージを高精度に解析できる技術確立した。

制御技術として、プラントモデルによる予測で制御するモデル予測制御をエッジデバイスにより実行可能とする技術を開発した。従来は高速な計算機が必要であったが、数式処理技術の応用により高速化してプログラマブルコントローラ（PLC）「MICREX-SX」に搭載した。

開発の効率化を狙い、開発初期から開発対象をモデル化し、詳細なシミュレーションを駆使して開発するモデルベース開発手法の導入を推進している。例えば、サーボシステムの制御アンプ、モータ、機械負荷の全てにおいて、詳細モデルを作成し、模擬環境におけるバーチャル試験結果に基づく制御アンプモデルを製品の制御プログラムに適用している。

進展著しい人工知能（AI）技術の活用も進めている。正常な製品の画像データにより特徴を学習し、それと異なる特徴を持つ画像を段階的に分類可能な AI を適用した画像認識技術を開発している。検査員の官能に依存する外観検査の自動化を狙い、社内検査ラインに適用する予定である。

異常診断への AI 活用が進められている。異常と判断した根拠を明確にするために、異常の影響度を数値化し、その原因を説明可能な AI を開発している。

IoT（Internet of Things）技術の活用が拡大しており、富士電機でも“Small, Quick Start & Spiral-Up”をキーワードに、豊富なフィールドデバイスと特徴ある高度な解析技術を武器にソリューションの拡大を図っている。そのために必須である組込機器のセキュリティ対策技術を開発している。また、無線ネットワークの活用拡大に対応するため、無線機器に内蔵のファームウェアを効率的に配信して自動更新する技術の開発も実施中である。

ソフトウェア開発技法として、マイクロサービスが脚光を浴びている。変化に強く、新しいサービスを迅速かつ品質を落とさずに適用可能にすることを狙った独立性の高い複数のシステムで構成されており、その実現のための軽量かつ高速なコンテナ型仮想化技術を開発している。

このように富士電機は、先端技術に挑戦し、製品開発を支える基盤技術を徹底的に強化することにより、安全・安心で持続可能な社会の実現のためのソリューションを提供していく。

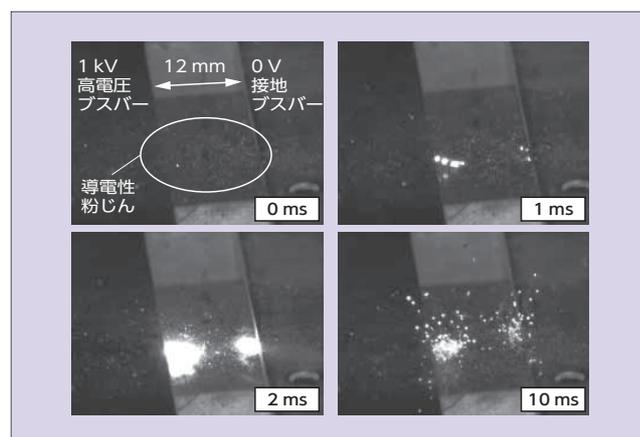
基盤技術

① 高圧機器の粉じん汚損に対する検証・設計技術

従来、耐汚損設計は、水溶性汚損による結露時の放電を想定し、交流受配電機器の塩害研究を基礎としていた。粉じん環境で使用されるパワーエレクトロニクス機器の信頼性の向上のため、ブスバー間の粉じん汚損を検証し、粉じんの性質に応じて適切な絶縁距離を設けることで安全なパワーエレクトロニクス機器を提供できる設計技術を構築した。

- (1) スイッチング時に粉じんが完全にブスバー間を橋絡しなくとも粉じん粒子間、あるいはブスバー間で放電アークが生じる。
- (2) 粉じんでは、乾燥状態でも著しく耐圧が低下する。
- (3) スイッチング時に絶縁沿面の電圧分担が汚損部と非汚損部で大きく変化し、いずれかの箇所がしきい値を超えることで放電が生じる。

図1 ブスバー間絶縁沿面の粉じん汚損時直流放電高速観察事例

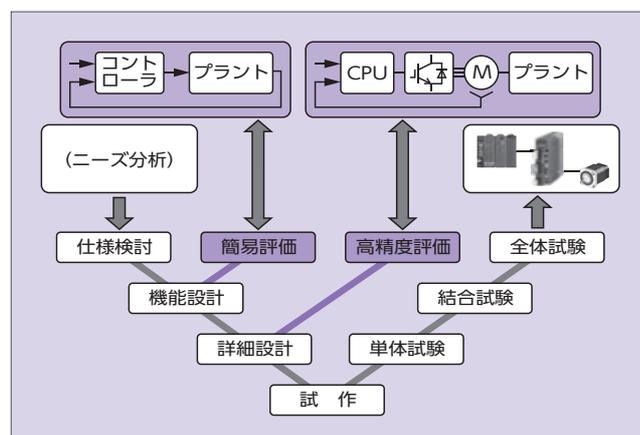


② モデルベース開発手法を適用した製品開発

開発初期から製品および適用対象をモデル化して詳細なシミュレーションを行い、製品開発を進めていくモデルベース開発手法が広がりつつあり、富士電機の製品開発でも導入を進めている。

一例としてサーボシステムにおいて、制御アンプ、モータ、機械負荷の全てについて、動作タイミングを含めた詳細モデルを用意し、さまざまな模擬環境におけるバーチャル試験を行っている。試験を行った制御アンプモデルを製品の制御プログラムに適用することで、開発・検証の効率化につなげている。サーボシステム以外の機械駆動系についても同様の開発手法の導入を進めている。

図2 モデルベース開発手法を適用した製品開発・改良の取組み



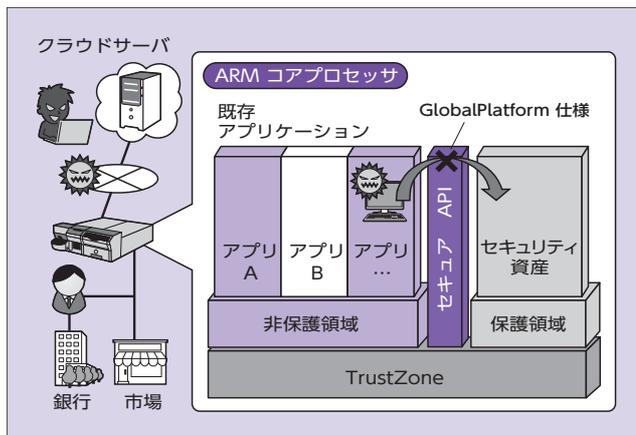
基盤技術

③ 組込機器向け資産保護技術

IoTの普及に伴い、組込機器におけるセキュリティ対策が今まで以上に求められている。組込機器向け資産保護技術では、ARM コアプロセッサの機能である TrustZone を利用してメモリを保護領域と非保護領域に分離することにより、機器が保有するデータとプログラムの真正性を保証し、セキュアな実行環境を提供している。

また、領域間の通信インターフェースには、標準化団体である GlobalPlatform が定義した Trusted Execution Environment の API を採用した。これにより、セキュアな構造設計が容易になり、同時に機能選択による軽量化も実現している。

図3 情報資産を保護する実行環境

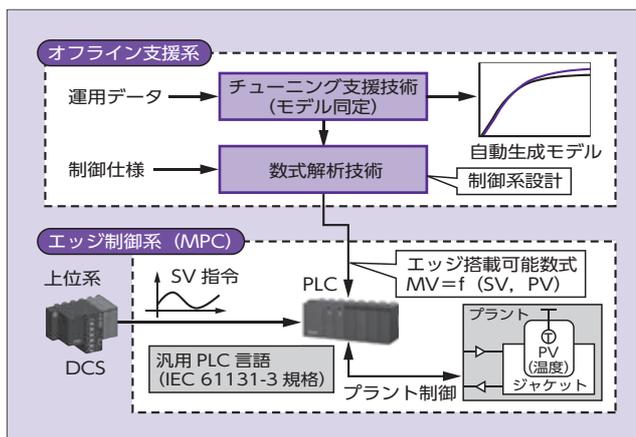


④ 汎用コントローラに搭載可能なエッジ型モデル予測制御

モデル予測制御 (MPC) は、プラントモデルを用いて未来の挙動を予測しながら、高精度な制御ができる優れた制御方式である。しかし、従来は高速な計算機を必要としていた。今回、MPC を廉価なエッジデバイス上で実行できるように、数式処理技術を応用して高速化し、国際規格である IEC 61131-3 規格に準拠した汎用 PLC 言語を用いて PLC 「MICREX-SX」に搭載した。次に示す技術により、顧客プラントの高精度制御が、実績のある制御システム上で低コストに実現可能となる。

- (1) 運用データからプラントモデルを作成する“チューニング支援技術”
- (2) 制御仕様とプラントモデルに基づき、数式処理により最適な制御式を生成する“数式解析技術”

図4 エッジ型モデル予測制御の構成例

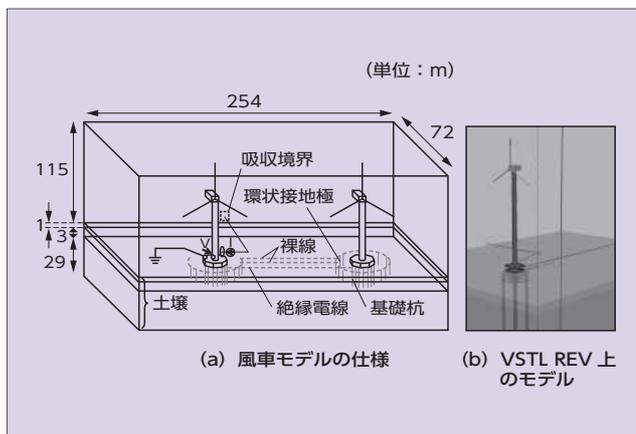


⑤ 大規模風力発電システムの雷サージ解析技術

風力発電設備は、主力電源として大規模化および大量導入が予想されている。落雷による雷サージの流入に伴う風力発電設備の破損などが懸念されており、送配電網を含む風力発電システムの雷サージ解析の重要性が高まっている。

大規模風力発電システムの雷サージ解析を行うため、一般財団法人 電力中央研究所が開発したサージ解析プログラム VSTL REV と電力系統解析プログラム EMTP を用いたシミュレーション技術の確立に取り組んでいる。本技術によって、VSTL REV にて把握した風車や配電網の詳細なサージ特性を EMTP 上で簡易モデル化することにより、大規模な風力発電システムの高精度なサージ解析を行うことができる。これにより、詳細な雷過電圧推定に基づく絶縁設計が可能となる。

図5 大規模風力発電システムのシミュレーションモデル例



基盤技術

⑥ 無線によるファームウェア更新技術

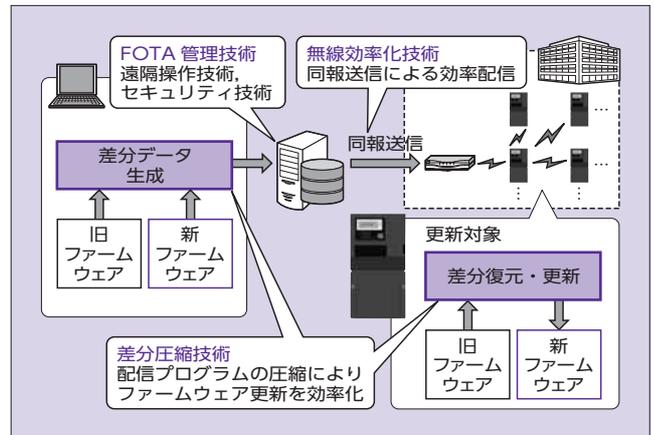
IoTの普及に伴い、無線ネットワークを使った事業や製品が拡大している。機能改良や障害対策として無線機器に内蔵しているファームウェアを更新する際の保守費用や保守期間の増大が問題になっている。

そこで、無線機器のファームウェアを効率的に配信して自動更新する技術（FOTA：Firmware On The Air）を開発している。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 同報通信による効率的なデータ配信が可能
- (2) 差分圧縮技術によって配信データ量を削減して更新時間の短縮が可能

今後、このFOTAをプラットフォーム化し、さまざまな事業分野の製品に適用していく予定である。

図6 無線によるファームウェア更新のシステム構成

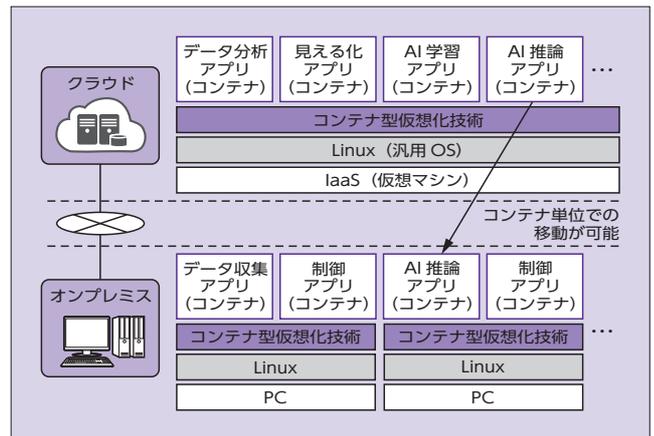


⑦ マイクロサービスを実現するコンテナ型仮想化技術

ソフトウェアの開発において、顧客ニーズの変化に対応した新しいサービスを迅速にかつ品質を落とさずに提供するため、システムを独立性の高い複数のサービスで構成するマイクロサービス化が起きている。マイクロサービスを実現する手段として、軽量（CPU、メモリ、ディスクのリソース消費量が少ない）かつ、高速（起動が速く、オーバーヘッドが少ない）なコンテナ型仮想化技術がある。

コンテナ型仮想化技術は、オンプレミスによるクラウドサービスの提供や組込機器を含むシステムのエッジヘビー化に迅速に対応することができる。また、コンテナ単位でのシームレスな移動とソフトウェアの再利用がしやすくなる。

図7 コンテナ型仮想化技術を適用したシステムの例



⑧ 画像認識 AI を適用した自動外観検査技術

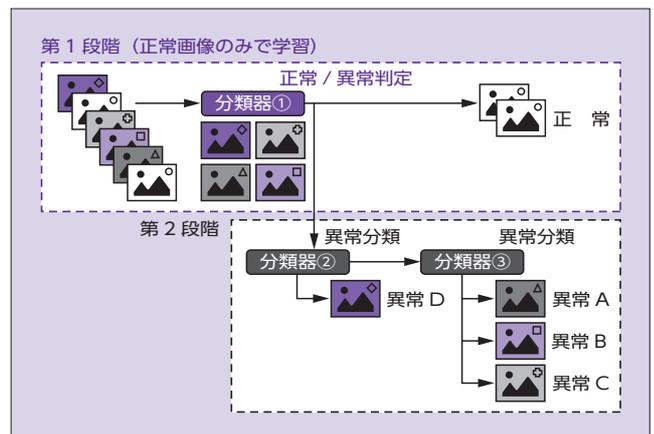
従来、工業製品の外観検査では、画像処理の専門家が試行錯誤を重ねて対象製品に特化した検査アルゴリズムを構築していた。また、正常品と異常品の差異が曖昧でルール化が困難な場合は、検査員による官能検査に頼らざるを得ないという課題があった。

そこで、この官能検査を自動化するため、次のような手順でAIを使った画像認識技術を開発している。

- (1) 正常な製品の外観画像からAIにより特徴を学習
- (2) 学習結果と異なる特徴を持つ画像を段階的に分類

このようにして、自動化した外観検査において安定な検査結果が得られるようになった。今後、本技術を社内検査ラインに適用する予定である。

図8 画像認識 AI 検出フローの例

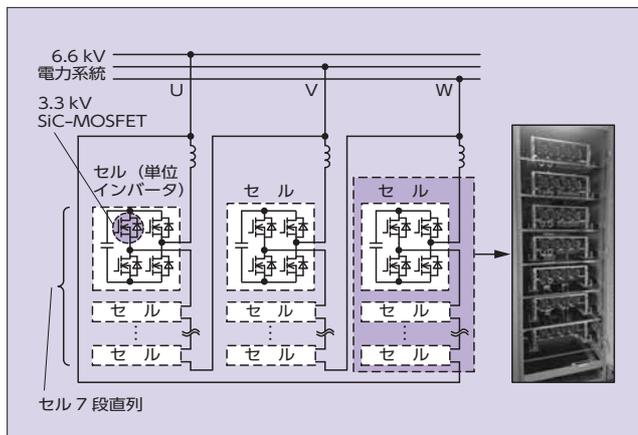


先端技術

① 6.6 kV 連系用トランスレス電力変換装置

富士電機は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）“次世代パワーエレクトロニクス”に参画し、6.6 kV 電力系統に連系用トランスを用いずに直接連系可能な MMC（Modular Multilevel Converter）方式の電力変換装置を開発した。2018 年度は、200 kVA 試験装置による社内実証試験を行い、目標効率 98.5%（損失：従来比 1/2 以下）を達成した。本装置は、3.3 kV 耐圧の SiC パワーデバイスを搭載し、高効率を実現している。また、富士電機独自のセル（単相インバータ）直流電圧均等化制御により、進相・遅相無効電力だけでなく、逆相電力補償も可能である。今後は、本技術を数 10 MVA 級の無効電力補償装置、フリッカ補償装置に適用する予定である。

図 9 MMC 実証試験装置の全体回路構成と一相分の外観



② 未利用排熱回収型高温蒸気出力ヒートポンプ

富士電機は、業界初となる 150℃の蒸気出力が可能な高温蒸気出力ヒートポンプを開発している。2015 年から NEDO のプロジェクトに参画し、現在、山梨工場でフィールドテストを実施している。主な特徴は次のとおりである。

- (1) これまで再利用が進んでいなかった 100℃未満の排熱を回収して 150℃の飽和蒸気をヒートポンプで高効率に生成することが可能になった。
- (2) 1 台で 2 段圧縮が可能なスクロール圧縮機により、業界最高クラスの成績係数 COP3.4 を実現した。
- (3) 地球環境に配慮し、地球温暖化係数（GWP）が 2 となる新冷媒を用いた。

図 10 フィールドテスト中のヒートポンプ蒸気発生装置



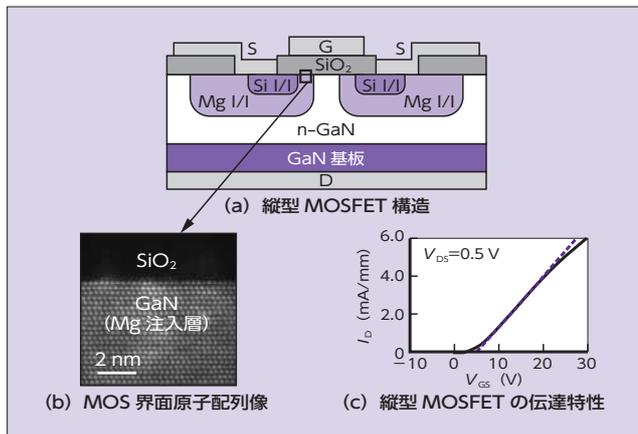
③ イオン注入による縦型 GaN-MOSFET

窒化ガリウム（GaN）を用いた縦型 MOSFET（図(a)）は、炭化けい素（SiC）よりさらに低損失の次世代パワースイッチング素子として期待されている。コストや信頼性の観点から、GaN デバイスの実現には、イオン注入（I/I）による p 形形成と MOS 界面制御が重要である。

富士電機は、p 形（Mg）注入層上に原子層レベルで平坦な MOS 界面の形成技術を確認し（図(b)）、チャネル特性の制御（しきい値 >3V で移動度 >100 cm²/Vs）を可能とした。また、この技術を用いて、自立 GaN 基板上にイオン注入による縦型 GaN-MOSFET 構造を形成し、ノーマリーオフ FET 動作に成功した（図(c)）。

SiC-MOSFET を上回るデバイス特性を実現するため、今後も特性改善を進める。

図 11 縦型 GaN-MOSFET の構造と電気特性



先端技術

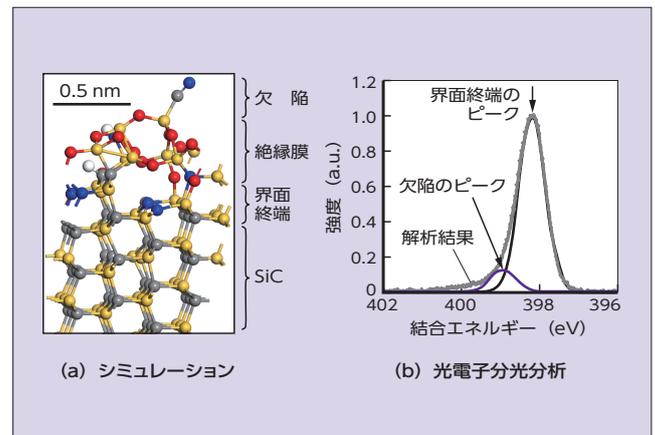
④ 分子レベル計算によるSiC-MOSFETの界面の反応解析技術

デバイス性能低下の大きな要因の一つに、材料の表面や界面での反応がある。これを解明するため、反応による材料の分子構造の変化を解析する分子シミュレーション技術を開発した。本技術をSiC-MOSFETの移動度低下要因であるゲート酸化膜界面の欠陥解析に適用した。

ゲート酸化膜の形成をSiCとプロセスガスとの反応計算で求めたところ、光電子分光分析で得られている界面終端や欠陥構造を再現することに成功した。

詳細な解析から、移動度低下原因となる欠陥構造を特定することができた。今後は、SiC-MOSFETの移動度を向上させるため、欠陥構造を回避するようなガス条件などの探索に取り組む。また、この技術は、金属や樹脂などの他の材料への水平展開が可能である。

図12 SiCとプロセスガスの反応シミュレーションおよび分析



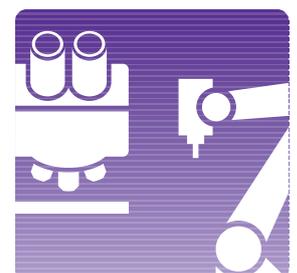
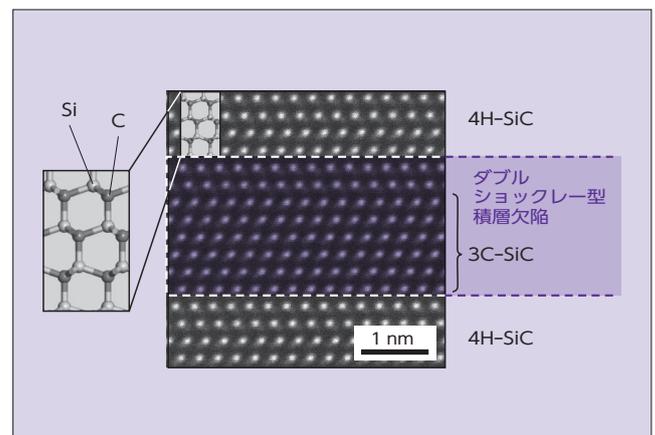
⑤ 4H-SiC基板上積層欠陥の構造評価技術

SiC-MOSFETの信頼性を向上するため、SiC基板中の結晶欠陥の構造を詳細に評価し、欠陥生成メカニズムを解明する必要がある。

富士電機は、原子レベルの空間分解能を持つ球面収差補正走査透過電子顕微鏡法(Cs補正STEM)などの各種分析手法を駆使して、SiC基板の結晶欠陥の構造を原子レベルで評価する解析技術を開発した。

SiC-MOSFETには、結晶構造が4H構造のSiC基板を用いる。ある製造条件においてSiC基板中に3C構造を含むダブルショックレー型積層欠陥と呼ばれる結晶欠陥が発生し、電気特性に影響を与えることを見いだした。得られた知見を製造条件の改善に生かし、SiC-MOSFETの高信頼化につなげた。

図13 SiC積層欠陥断面の原子レベル走査透過電子顕微鏡像



略語（本号で使った主な略語）

AI	Artificial Intelligence	人工知能
API	Application Programming Interface	
BCP	Business Continuity Plan	事業継続計画
BTG	Boiler Turbine Generator	ボイラ・タービン発電機
C-GIS	Cubicle type Gas Insulated Switchgear	キュービクル形ガス絶縁開閉装置
CNC	Computerized Numerical Control	コンピュータ数値制御
COP	Coefficient of Performance	成績係数
CPU	Central Processing Unit	
DAS	Digital Assort System	
DCS	Distributed Control System	分散制御システム
DPS	Digital Picking System	
DSO	Distribution System Operator	配電会社
EMS	Energy Management System	エネルギーマネジメントシステム
EMTP	Electromagnetic Transients Program	
EPC	Engineering, Procurement and Construction	
ESG	Environment Social Governance	
EV	Electric Vehicle	電気自動車
FIT	Feed-in Tariff	再生可能エネルギーの固定価格買取制度
FOTA	Firmware On The Air	
FWD	Free Wheeling Diode	
GIS	Gas Insulated Switchgear	ガス絶縁開閉装置
GTCC	Gas Turbine Combined Cycle	ガスタービン・コンバインドサイクル
GWP	Global Warming Potential	地球温暖化係数
HDD	Hard Disc Drive	ハードディスクドライブ
HEV	Hybrid Electric Vehicle	ハイブリッド自動車
HMI	Human Machine Interface	
HRSG	Heat Recovery Steam Generator	排熱回収ボイラ
HSVCB	High Speed Vacuum Circuit-Breaker	直流高速度真空遮断器
IaaS	Infrastructure as a Service	
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor	
IoT	Internet of Things	
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	気候変動に関する政府間パネル
LAN	Local Area Network	
LBS	Load Break Switch	高圧交流負荷開閉器
LCD	Liquid Crystal Display	
LED	Light Emitting Diode	発光ダイオード
MDMS	Meter Data Management System	メータデータマネジメントシステム
MES	Manufacturing Execution System	製造実行管理システム
MMC	Modular Multilevel Converter	
MOSFET	Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor	
MPC	Model based Predictive Control	モデル予測制御
MSPC	Multivariate Statistical Process Control	多変量統計のプロセス管理
NEDO	New Energy and Industrial Technology Development Organization	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
OMS	Outage Management System	停電管理システム
PCS	Power Conditioning System	パワーコンディショナ
PLC	Programmable Logic Controller	プログラマブルコントローラ
PM	Particulate Matter	粒子状物質
RAS	Remote Access Service	
RC-IGBT	Reverse-Conducting IGBT	逆導通 IGBT
RPA	Robotic Process Automation	ロボティックプロセスオートメーション
RPS	Renewable Portfolio Standard	
SBD	Schottky Barrier Diode	
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition	
SDGs	Sustainable Development Goals	持続可能な開発目標
SiC-SBD	Silicon Carbide-Schottky Barrier Diode	
TEM	Transmission Electron Microscope	透過型電子顕微鏡

TSO	Transmission System Operator	送電会社
UPS	Uninterruptible Power System	無停電電源装置
V2G	Vehicle to Grid	
VCB	Vacuum Circuit-Breaker	真空遮断器
VNC	Virtual Network Computing	
VSG	Virtual Synchronous Generator	仮想同期発電機
WES	Warehouse Execution System	倉庫実行システム

商標（本号に記載した主な商標または登録商標）

ARM	ARM Limited の商標または登録商標
EtherCAT	Beckhoff Automation GmbH の商標または登録商標
Ethernet	富士ゼロックス株式会社の商標または登録商標
Excel	Microsoft Corporation の商標または登録商標
LINE	LINE 株式会社の商標または登録商標
Linux	Linus Torvalds 氏の日本およびその他の国における商標または登録商標
Office	Microsoft Corporation の商標または登録商標
PrimePACK™	Infineon Technologies AG の商標または登録商標
QR コード	株式会社デンソーウェーブの商標または登録商標
SIAL	Wood 社の商標または登録商標
TrustZone	ARM Limited の商標または登録商標
Visio	Microsoft Corporation の商標または登録商標
Windows	Microsoft Corporation の商標または登録商標

その他の会社名、製品名は、それぞれの会社の商標または登録商標である。

技術業績の表彰・受賞一覧（2018年度） 順不同

一般社団法人 電気学会

●平成 30 年産業応用部門表彰 部門論文賞

「電力ケーブルの放射ノイズを抑制可能なアクティブコモンモードフィルタの提案」

富士電機株式会社 玉手 道雄
〔北海道大学との合同受賞〕

一般社団法人 日本電機工業会

●2018 年度（第 67 回）電機工業技術功績者表彰 奨励賞

「蓄電池併設型メガソーラー向け世界最大容量マルチ PCS の開発」

富士電機株式会社 古庄 泰章, 佐藤 智希
岩丸 陽介

●2019 年度（第 68 回）電機工業技術功績者表彰 優秀賞

「FL-net の国際標準化」

富士電機株式会社 湯尾 幸輝, 須長 祐悟
梅原 篤樹

●2019 年度（第 68 回）電機工業技術功績者表彰（委員会活動）優秀賞

「2kHz ~ 150kHz の両立性レベルの規格作成」

富士電機株式会社 吉岡 康哉

●2019 年度（第 68 回）電機工業技術功績者表彰 奨励賞

「視認性・操作性を向上させたデジタル形多機能リレーの開発」

富士電機株式会社 工藤 英樹, 小山 秀雄

一般社団法人 日本電気協会東北支部

●特別功績賞

「3 方向放射線透過式配管肉厚測定装置の開発」

富士電機株式会社 橋井 剛
〔東北電力株式会社との合同受賞〕

一般社団法人 日本原子力学会

●第 51 回（2018 年度）日本原子力学会賞 特賞・技術賞

「軽量可搬型中性子線量計の開発」

富士電機株式会社 布宮 智也

一般社団法人 日本鉄鋼協会

●第 159 回制御技術部会大会 特別賞

「富士電機のアナリティクス・AI 技術と適用事例」

富士電機株式会社 吉見 浩一郎

一般社団法人 溶接学会

●平成 30 年度溶接学会 優秀ポスター発表賞

「炭化物複合レーザークラディングにおける耐食性向上手法の検討」

富士電機株式会社 中島 悠也

一般財団法人 日本規格協会 IEC 活動推進会議

●平成 30 年 IEC-APC 議長賞

「大容量電力変換装置の代替試験法の規格化（IEC 62920）」

富士電機株式会社 吉岡 康哉

公益社団法人 計測自動制御学会

●2018 年度学会賞 国際標準化賞 功績賞

「対象国際標準規格名：IEC 61804, 61769, 61158 シリーズ」

富士電機株式会社 池田 卓史

公益財団法人 電気科学技術奨励会

●第 66 回電気科学技術奨励賞

「3 方向放射線透過式配管肉厚測定装置の開発」

富士電機株式会社 橋井 剛
〔東北電力株式会社との合同受賞〕

株式会社 日刊工業新聞社

●第 21 回オゾン層保護・地球温暖化防止大賞 優秀賞

「HFO 冷媒を用いた内蔵型ショーケース」

富士電機株式会社

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

●戦略的省エネルギー技術革新プログラム 優良賞

「環境調和型冷媒を用いた未利用排熱回収型蒸気出力ヒートポンプの研究開発」

富士電機株式会社 岩崎 正道, 安嶋 賢哲

INSTICC (Institute for systems and technologies of information, control and communication)

●Best Poster Award

10th International Joint Conference on Computational Intelligence

「Total Optimization of Smart City by Global-Best Modified Brain Storm Optimization」

富士電機株式会社 飯坂 達也, 松井 哲郎

特集に寄せて “パワエレシステムとパワー半導体を中核に エネルギー・環境事業で 持続可能な社会の実現に貢献”	66 (2)
---	--------

特別対談 “持続可能な社会を実現するために” アナログ技術とデジタル技術の融合を、 将来のエネルギーシステムのスマート化に どう生かしていくか	68 (4)
---	--------

成果と展望 “顧客価値を生み出す強いコンポーネントと 制御・IoT でつなぐシステムソリューション”	73 (9)
--	--------

ハイライト	79 (15)
-------	---------

- 船舶用排ガス浄化システム(サイクロン式 SO_x スクラバ)
- 電鉄向け大容量パワーモジュール「HPnC」
- 車載用大容量直接水冷モジュール
- 大容量 RC-IGBT モジュール
- 止まらない設備を実現する「OnePackEdge システム」
- インドネシア・ジャワ島の工業団地におけるスマートコミュニティ実証事業
- 中国向け EMS モデル工場の導入
- 高信頼化二重化システム「MICREX-SX SPH5000H」
- 電機高速コントローラ「XCS-3000 TypeE」
- サミット酒田パワー株式会社 酒田バイオマス発電所の営業運転開始
- グローバル市場向け変圧器
- キヤノングループ向け環境対応型 66 kV 特高変電所
- 太陽光発電用パワーコンディショナ「PIS-50/500」
- 海外市場向け高効率高周波誘導炉
- 株式会社セブーン イレブン・ジャパン向けコーヒーマシン
- 診断根拠の説明可能な AI 技術

パワエレシステム エネルギー	87 (23)
----------------	---------

- エネルギーマネジメント…………… 88 (24)
- ① 電源開発株式会社向け水力発電シミュレータ
 - ② 沖縄電力株式会社 配電自動化システムの更新
 - ③ インド・ハリヤナ州パニパット地区におけるスマートグリッド実証事業
 - ④ オマーン・Bousher 変電所向け 145 kV GIS
 - ⑤ 東日本旅客鉄道株式会社 日暮里変電所向け HSVCB

施設・電源システム…………… 89 (25)

- ① 「UPS7000HX-T4」の高効率制御
 - ② IEC 規格適合 24 kV スイッチギヤ
- 受配電・開閉・制御機器コンポーネント…………… 90 (26)
- ① 「F-QuiQ シリーズ」のマニュアルモータスタータ

パワエレシステム インダストリー	91 (27)
------------------	---------

- オートメーション…………… 92 (28)
- ① サーボシステム「ALPHA7」の拡充

- ② ソケットタイプ温度調節計「PXF4-U」
- ③ 蒸気用超音波流量計
- ④ 海外向け「MONITOUCH TS1000 Smart シリーズ」
- ⑤ 海外向けモーションコントローラ「MICREX-SX SPF Plus」
- ⑥ 「MICREX-VieW XX (ダブルエックス)」の機能拡充
- ⑦ 設備監視システム「MICREX-VieW PARTNER」の機能拡充
- ⑧ ドライブシステム用統合保守支援ツール「FLOADV8」
- ⑨ 高効率エンジニアリングツール「HEART」の機能拡充
- ⑩ 統合エンジニアリング効率化ツール「PA アクセラレータ」と「MICREX-NX」の連携
- ⑪ 物流センター実行管理システムパッケージ
- ⑫ 高速制御システム向け計算機パッケージ
- ⑬ 海外向け鉄鋼圧延プラント用制御システムパッケージ
- ⑭ データ収集・解析支援パッケージソフトウェア「f(s) NISDAS7」
- ⑮ 大型 GTCC 発電設備向け監視制御システム
- ⑯ 食品分野向け排水処理設備監視制御システム
- ⑰ 製鉄所受変電設備の遠方監視制御システムの更新

社会ソリューション…………… 98 (34)

- ① 海外向け個人線量計「NRF54」
- ② 中性子シンチレーションサーベイメータ「NSN4」
- ③ 山陽電気鉄道株式会社 5000 系車両向け SiC モジュール適用 VVVF インバータ
- ④ 東京急行電鉄株式会社・東京都交通局向けドア駆動装置
- ⑤ 東海旅客鉄道株式会社向け次期新幹線 N700S 確認試験車用主回路電機品

情報ソリューション…………… 99 (35)

- ① 「軽技 Web シナリオクリエイター」

電子デバイス	100 (36)
--------	----------

半導体……………101 (37)

- ① ディスクリット IGBT「XS シリーズ」
- ② 正帯電型有機感光体の応答性と耐久性の向上
- ③ 第 2 世代 SiC トレンチゲート MOSFET
- ④ 第 6.5 世代車載用過給圧センサ
- ⑤ 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) における SiC-IGBT の開発
- ⑥ xEV 向け DC/DC コンバータモジュール

ディスク媒体……………103 (39)

- ① データセンター HDD 向け磁気記録媒体

発電プラント	104 (40)
--------	----------

火力・地熱発電……………105 (41)

- ① インドネシア・Rantau Dedap 地熱発電所の受注
- ② バイオマス発電所への蒸気タービン・発電機設備の出荷
- ③ 電源開発株式会社 礪子火力発電所新 1 号機の主機制御装置の更新工事

原子力関連設備……………106 (42)
 ① 先端固型化技術 SIAL® の放射性廃棄物への適用

新エネルギー……………106 (42)
 ① 韓国・KT 社向けりん酸形燃料電池

食品流通……………107 (43)

自動販売機……………108 (44)
 ① 東南アジア向け飲料自動販売機「FAG36JGCD80Y」

店舗流通……………108 (44)
 ① ウォークインケース補助ラック「スウィングラック」
 ② 自動つり銭機「ECS-777」

フィールドサービス……………109 (45)

フィールドサービス……………109 (45)
 ① ガス分析装置遠隔監視サービス

基盤・先端技術……………110 (46)

基盤技術……………111 (47)
 ① 高圧機器の粉じん汚損に対する検証・設計技術

- ② モデルベース開発手法を適用した製品開発
- ③ 組込機器向け資産保護技術
- ④ 汎用コントローラに搭載可能なエッジ型モデル予測制御
- ⑤ 大規模風力発電システムの雷サージ解析技術
- ⑥ 無線によるファームウェア更新技術
- ⑦ マイクロサービスを実現するコンテナ型仮想化技術
- ⑧ 画像認識 AI を適用した自動外観検査技術

先端技術……………114 (50)

- ① 6.6 kV 連系用トランスレス電力変換装置
- ② 未利用排熱回収型高温蒸気出力ヒートポンプ
- ③ イオン注入による縦型 GaN-MOSFET
- ④ 分子レベル計算による SiC-MOSFET の界面の反応解析技術
- ⑤ 4H-SiC 基板上積層欠陥の構造評価技術



Innovating Energy Technology

エネルギー技術を、究める。

電気、熱エネルギー技術の革新の追求により、
エネルギーを最も効率的に利用できる製品を創り出し、
安全・安心で持続可能な社会の実現に貢献します。

FE 富士電機

主要事業内容

パワーエレクトロニクス エネルギー

確かな技術で電力インフラを支え、エネルギーの安定供給、最適化、安定化に貢献します。

エネルギーマネジメント

エネルギーマネジメントシステム (EMS), 電力流通, スマートメータ, 変電

施設・電源システム

データセンター, 無停電電源装置 (UPS), 配電盤

器具

受配電・制御機器

パワーエレクトロニクス インダストリー

パワーエレクトロニクス応用製品に計測機器, IoT を組み合わせ、工場の自動化や見える化により生産性の向上と省エネを実現します。

オートメーション

インバータ, モータ, FA コンポーネント, 計測機器, FA システム, 物流システム, 駆動制御システム, 計測制御システム, 工業電熱

社会ソリューション

鉄道車両電機品, EV システム, 放射線管理システム, 船舶用排ガス浄化システム

情報ソリューション

情報制御システム

電子デバイス

高い品質, 変換効率を実現, 小型化・省エネ化に貢献します。

半導体

産業分野 (第7世代 IGBT モジュール, All-SiC モジュール, 小容量 IPM, パワー MOSFET)
自動車分野 (車載用直接水冷型パワーモジュール, 圧力センサ)

ディスク媒体

発電プラント

高度なプラントエンジニアリング力で、設計・製作から現地据付・試運転・アフターサービスまで一貫して提供します。

再生可能・新エネルギー

地熱発電, 水力発電, 太陽光発電, 風力発電, 燃料電池

発電プラント

火力発電, 原子力関連設備

食品流通

自動化・省エネを食の安全・安心とともに提供します。

自販機

飲料・食品自動販売機

店舗流通

店舗設備機器, 金銭機器, エネルギー管理システム

次号予定

富士電機技報 第92巻 第3号

特集 電力の安定供給, 効率化, 最適化に貢献するエネルギーソリューション

富士電機技報企画委員会

企画委員長 近藤 史郎

企画委員幹事 吉田 隆

企画委員 荻野 慎次 斎藤 哲哉 片桐 源一 渡部 雅教

熊谷 明恭 益田 真次 吉田 隆 桑山 仁平

真下 真弓 大山 和則

事務局 木村 基 小野寺拓也 小野 直樹 山本 亮太

富士電機技報 第92巻 第2号

令和元年6月20日印刷 令和元年6月30日発行

編集兼発行人 近藤 史郎

発行所 富士電機株式会社 技術開発本部
〒141-0032 東京都品川区大崎一丁目11番2号
(ゲートシティ大崎イーストタワー)

編集・印刷 富士オフィス&ライフサービス株式会社内
「富士電機技報」編集室
〒191-8502 東京都日野市富士町1番地
電話 (042) 585-6965
FAX (042) 585-6539

発売元 株式会社オーム社
〒101-8460 東京都千代田区神田錦町三丁目1番地
電話 (03) 3233-0641
振替口座 東京 6-20018

定価 756円 (本体700円・送料別)

*本誌に掲載されている論文を含め、創刊からのアーカイブスは下記 URL で利用できます。

富士電機技報 (和文) https://www.fujielectric.co.jp/about/company/contents_02_03.html

FUJI ELECTRIC REVIEW (英文) <https://www.fujielectric.com/company/tech/contents3.html>

*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。

© 2019 Fuji Electric Co., Ltd., Printed in Japan (禁無断転載)

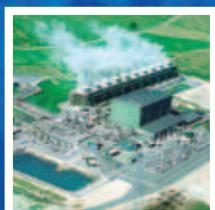
エネルギー・環境事業で、
持続可能な社会の実現に貢献します。



Innovating Energy Technology

エネルギー技術を、究める。

電気、熱エネルギー技術の革新の追求により、
エネルギーを最も効率的に利用できる製品を創り出し、
安全・安心で持続可能な社会の実現に貢献します。



耐食・材料・熱水利用技術
地熱発電プラント



デバイス技術
IGBTパワー半導体



パワーエレクトロニクス技術
メガソーラー向けPCS
(パワーコンディショナ)



パワーエレクトロニクス技術
インバータ



パワーエレクトロニクス技術
UPS (無停電電源装置)



熱交換・冷媒制御技術
ハイブリッドヒートポンプ式
自動販売機

F 富士電機

本誌は、環境に配慮したFSC® 認証紙および一部を除いて植物油インキを使用しています。また、ユニバーサルデザイン(UD)の考えに基づいた見やすいデザインの文字を採用しています。

