

富士電機技報

FUJI ELECTRIC JOURNAL

2020
Vol.93 No.

2

特集 2019年度の技術成果と展望



特集 2019 年度の技術成果と展望

富士電機は、2019 年（令和元年）度に、創立 100 周年となる 2023 年度を最終年度とする 5 か年の新中期経営計画“令和、Prosperity 2023”をスタートし、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するとの経営方針に基づいて、顧客価値創出、社会課題解決に資する研究開発を推進しています。

本号は、2019 年度の技術成果と今後の展望をまとめたものです。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、人々の生活を支えています。例えば、①新幹線 N700S 系営業車両向け電機品、②車載用 RC-IGBT を搭載したモジュール、③現場型診断装置「SignAiEdge」、④店舗向けの正圧化制御システム、⑤大規模太陽光発電向け PCS、⑥インドネシア・ムアララボ地熱発電所のエンジニアリングと主要機器などがあります。

(* 写真提供：東海旅客鉄道株式会社)

(** 写真提供：PT.SEML)



目 次

特集 2019 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事業を核にして、 安全・安心で持続可能な社会の実現に貢献” 北澤 通宏	93 (3)
---	--------

“新たな価値創出と社会・環境課題の解決に向け、 リアルの技術を磨くとともにデジタル技術を深化” 近藤 史郎	94 (4)
---	--------

ハイライト	95 (5)
-------	--------

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	104 (14)
---	----------

パワエレシステム インダストリー □オートメーション □情報ソリューション □社会ソリューション □フィールドサービス	108 (18)
--	----------

電子デバイス □半導体 □ディスク媒体	116 (26)
-------------------------------	----------

発電プラント □火力・地熱発電 □水力発電 □原子力関連設備 □新エネルギー	120 (30)
---	----------

食品流通 □自動販売機 □店舗流通	124 (34)
-----------------------------	----------

基盤・先端技術 □基盤技術 □先端技術	126 (36)
-------------------------------	----------

デザイン (Fe design)	132 (42)
------------------	----------

略語・商標	133 (43)
-------	----------

技術業績の表彰・受賞一覧	135 (45)
--------------	----------

富士電機技報 2020 vol.93 no.2 掲載項目一覧	136 (46)
--------------------------------	----------

Contents

Technical Achievement and Outlook in FY2019

Preface Contributing to the Creation of Responsible and Sustainable Societies Centered on Power Electronics Systems and Power Semiconductors Businesses KITAZAWA, Michihiro	93 (3)
To Create New Values and Solve Socio-Environmental Issues, Enhancing Digital Technologies as Well as Refining Real-World Technologies KONDO, Shiro	94 (4)
Highlights	95 (5)
Power Electronics Systems Energy ☐ Energy Management ☐ Power Supply and Facility Systems ☐ Electric Distribution, Switching and Control Devices	104 (14)
Power Electronics Systems Industry ☐ Automation ☐ Information Solutions ☐ Social Solutions ☐ Field Services	108 (18)
Electronic Devices ☐ Semiconductors ☐ Disk Media	116 (26)
Power Generation ☐ Thermal and Geothermal Power Generation ☐ Hydro Power Generation ☐ Nuclear Related Equipment ☐ New Energy	120 (30)
Food Distribution ☐ Vending Machines ☐ Store Distribution	124 (34)
Fundamental and Advanced Technologies ☐ Fundamental Technology ☐ Advanced Technology	126 (36)
Fe design	132 (42)
Abbreviations and Trademarks	133 (43)
Awards and Prizes for Technical Achievement	135 (45)
FUJI ELECTRIC JOURNAL vol.93 no.2 2020 Detailed Contents	136 (46)

パワエレシシステムと パワー半導体事業を核に して、安全・安心で持続 可能な社会の実現に貢献



はじめに、このたびの新型コロナウイルス感染症に罹患（りかん）された方々に謹んでお見舞い申し上げますとともに、医療従事者の方々、ならびに私たちの生活を支えてくださっている方々に深く感謝申し上げます。

富士電機は、古河電気工業株式会社とドイツのシーメンス社との資本・技術提携により、1923年の創業以来、エネルギー・環境技術を革新し、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。

今日、世界では気候変動や都市化の問題、高齢化による人口構造の変化など、さまざまな変化が起こり、企業にも社会の一員として、こうした課題解決に積極的に取り組むことが、従来以上に求められるようになってきました。

当社は、経営理念に“豊かさへの貢献”“創造への挑戦”“自然との調和”を掲げており、2019年度は、SDGs達成への貢献、ならびに「パリ協定」が目指す地球温暖化対策としての温室効果ガス排出量の削減を骨格とした“環境ビジョン2050”を発表しました。同時に、令和元年を初年度に、創立100周年を迎える2023年を最終年度とする5か年の新中期経営計画“令和・Prosperity2023”をスタートさせました。ここには、エネルギー・環境事業で社会と共に繁栄（Prosperity）を目指す、という思いを込めており、経済成長と社会・環境課題の解決を両立させ、持続可能な社会の実現に貢献することを内外に表明しました。

成長分野と位置付けるパワエレシシステム事業、パワー半導体事業へのリソースを傾注し、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を追求し、キーデバイスを活用した高効率機器に、これまで培ってきたエンジニアリング・サービス、最適制御技術、IoTを組み合わせ、エネルギー・環境課題の解決に貢献するシステム事業を拡大させています。また、自動車の電動化が加速していく中で、xEV向けパワー半導体の開発強化と生産能力の増強を行い、さらに、船舶向けでは、環境規制に対応した排ガス浄化システムの本格展開を行いました。

新型コロナウイルス感染症は、私たちの予想しえない状況を創り出し、これまでの行動様式の転換が求められる時代になってきました。私は、こうした困難な時代にあっても、社員や家族の安全と健康を最優先として、“ピンチをチャンスに”の考え方のもと、中長期視点に立ち、研究開発、ものづくり力の強化に、チーム力をもってチャレンジしてまいります。

富士電機の経営理念のスローガンには、“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。とりわけ私は、この優しさは当社のDNAであると考えます。

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

新たな価値創出と社会・環境課題の解決に向け、リアルな技術を磨くとともにデジタル技術を深化

近藤 史郎 KONDO, Shiro

富士電機株式会社 執行役員常務 技術開発本部長



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するとの経営方針に基づいて、顧客価値創出、社会課題解決に資する研究開発を推進しています。事業戦略に沿った新製品開発、グローバルでの事業拡大を目的としたグローバル商材の開発、技術マーケティングを起点としたテーマ探索の強化、技術プロモーション強化による共創推進、中長期視点に立った基盤技術の強化と人材育成に取り組んでいます。近年の研究開発投資については、伸長分野である自動車や鉄道などのモビリティ分野および国外における競争力強化を目指した商材・技術開発にリソースを重点的・継続的に投入しています。

以降、事業分野ごとに主要な取組みを紹介します。

パワエレクトロニクス エネルギー分野では、分散型電源の導入拡大や負荷の多様化に伴う電圧変動、周波数変動などの課題に対応するために、大容量パワーエレクトロニクス（パワエレ）技術、エネルギー監視制御技術などを基に、電圧調整装置や大容量無停電電源装置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開発し、社会インフラや産業市場に納入しました。

パワエレクトロニクス インダストリー分野では、パワエレ技術をコアにインバータやサーボ、計測機器、制御機器などの特徴あるコンポーネントをIoTでつなぎ、最新の制御技術、先端のアナリティクス・AIを活用して工場の自動化、生産性向上、省エネルギー（省エネ）などの価値創出に貢献するシステムを開発しています。アナリティクス・AIを搭載した現場型診断装置「SignAiEdge（サインアイエッジ）」は、生産現場の問題点を可視化し、生産性向上に貢献します。東海旅客鉄道株式会社の新幹線N700S系営業車両向けに主回路電機品とフルアクティブダンパ駆動装置を開発し、納入しました。フルアクティブダンパ駆動装置は、N700S系で新たに採用された車両の左右振動を抑制する振動制御システムに組み込まれ、乗り心地の向上に貢献します。

電子デバイス分野では、パワエレ機器の低損失化（高効率化）、小型化、高信頼性化に貢献する第7世代IGBT-IPM、大容量RC-IGBTモジュール、SiCハイブリッドモジュール、All-SiCモジュールの系列化開発ならびに電気自動車やハイブリッド自動車の小型・軽量化と高効率化に貢献する車載用RC-IGBTモジュールの製品化と次世代技術の開発を進めました。

発電プラント分野では、低炭素社会と電力インフラ強靱（きょうじん）化に貢献する火力・地熱、水力、太陽光・風力などの発電プラントシステムの開発を進めました。株式会社コベルコパワー真岡の真岡発電所向けにガスタービンコンバインドサイクル発電設備一式をEPCとして請け負い、2019年10月に営業運転を開始しました。国内初の内陸型の大型ガス火力発電設備で、エネルギー基盤の強靱化に貢献します。また、すずらん釧路町太陽光発電所向けに国内最大級の蓄電池併設型メガソーラーをEPCとして請け負い、2020年2月に営業運転を開始しました。大容量リチウムイオン電池と出力変動緩和システムにより、世界最高レベルの制御品質が求められている北海道電力株式会社の出力変動規定を満たしています。

食品流通分野では、利便性向上・省力化・省エネ化を推進する自動販売機、飲料ディスペンサ、店舗機器を開発しました。“とろみ飲料”が提供できる自動給茶機は、高齢者などの誤嚥（ごえん）を予防し、医療や介護現場の作業負担の軽減にも貢献します。店舗向けの正圧化制御システムは、外気や粉じんなどの侵入を抑制することで、空調の省エネとともに床面や空調フィルタの清掃頻度を低減し、清潔で快適な商空間の維持に貢献します。

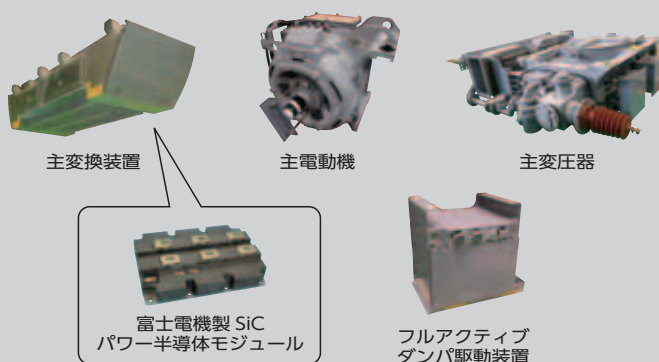
続いて、共通基盤技術と先端技術の開発領域について紹介します。

シミュレーション技術では、蒸気タービンの効率改善や船舶用SOxスクラバをコンパクト化する設計などに貢献する液滴・液膜の挙動推定技術を開発しました。パワエレ技術では、絶縁、接合、熱冷却、SiCパワー半導体、パッケージなどの先端技術を複合して超高電力密度パワーユニットの研究を進めました。また、安全なパワエレ機器を目指して、複合環境ストレスにおける機器の絶縁性を検証するための絶縁信頼性評価技術を構築しました。パワー半導体技術では、SiC-SJ-MOSFETや縦型GaN-MOSFETなどの次世代技術の研究を進めました。AI技術では、外観検査システムにおけるAIの判断根拠の可視化技術など、その応用領域の拡大を進めています。

富士電機は、お客さまの新たな価値創出と社会・環境課題の解決に向け、メーカーとしてリアルな技術を磨くとともに、最新のデジタル技術を深化させ、エネルギー・環境技術を革新し、安全・安心で持続可能な社会の実現に貢献して参ります。



(写真提供：東海旅客鉄道株式会社)



東海旅客鉄道株式会社向け新幹線 N700S 系営業車両向け電機品

東海旅客鉄道株式会社は、次世代の N700S 系新幹線電車を新製し、2020 年 7 月から営業投入する予定である。富士電機は、確認試験車を使った機器の性能評価を完了し、営業車両向けに主回路電機品（主変換装置、主電動機、主変圧器）、および新たに採用となったフルアクティブダンパ駆動装置（インバータ、小型モータ）を納入した。

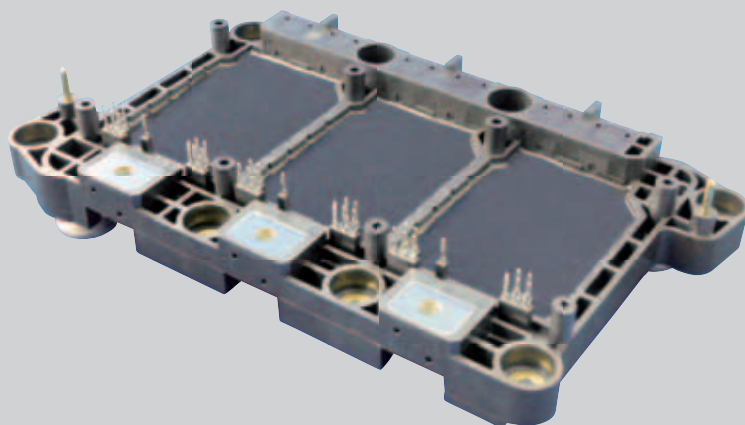
主な特徴は次のとおりである。

- (1) 主変換装置に富士電機製の SiC 素子を搭載し、主電動機の 6 極化と主変圧器の冷却方式を見直したことにより、駆動システム全体で約 20% 軽量化した。
- (2) フルアクティブダンパ駆動装置は、振動制御システムの油圧ポンプを小型モータで駆動させ、ダンパに油圧を供給する装置である。これにより、車両の左右振動を抑制するダンパに油圧が供給され、乗り心地の向上に貢献している。

車載モジュール向け 車載用 RC-IGBT チップ

小型かつ高電力密度が要求される車載用モジュール向けに、車載用 RC-IGBT（逆導通 IGBT）チップを開発した。

RC-IGBT は、IGBT と FWD を一つのチップに統合した半導体素子である。モジュールに搭載するチップ数を削減できるだけでなく、チップ面積や熱抵抗の低減というメリットがある。そのため、RC-IGBT を採用することでモジュールの小型・軽量化ができる。本チップの構造を最適化し、損失および熱抵抗を低減した。これにより、この車載用 RC-IGBT を搭載したモジュールは、従来に比べて電力密度が 15% 向上し、業界トップクラスの電力容量の定格 750 V/1,200 A と電力密度 700 kVA/L を実現している。





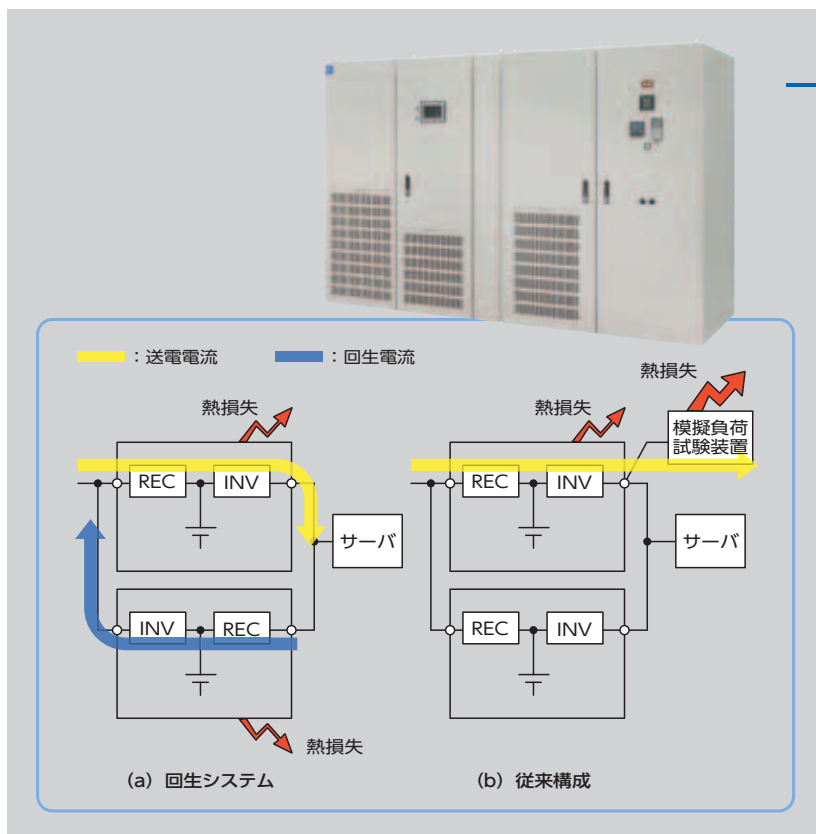
現場型診断装置

「SignAiEdge (サインアイエッジ)」

近年、IoT による製造業のデジタル化が進んでいる。特に、現場情報の解析・最適化機能をエッジコントローラに搭載するエッジヘビー化の取組みが進められている。富士電機は、アナリティクス・AI を搭載した表示器一体型のエッジコントローラである「SignAiEdge (サインアイエッジ)」を開発した。

富士電機のプログラマブル表示器「MONITOUCH」の技術を発展させたタッチオペレーションを採用している。また、富士電機のアナリティクス・AI (MSPC) のほかに、現場情報の解析・診断に必要な機能を搭載している。

現場で誰にでも使いやすいこの診断装置を使用して、これまで見えなかった問題点を可視化し、バッチ生産とロット生産の生産性の向上に貢献する。



回生機能付き UPS

「UPS7000HX-T4F」

近年、データセンターでは、試験運転方法を監修するコンサルタント会社の認証が必須となる場合が増えている。UPS に対しては現地において 8 時間 100% 負荷および 30 分の過負荷試験を義務付けられており、従来は模擬負荷試験装置をリースして試験を実施していた。これに対して「UPS7000HX-T4F」では、UPS に回生機能を実装することにより現地試験を効率化し、コストが削減できる。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 並列に接続された UPS 間で試験が完結するため模擬負荷試験装置と仮設ケーブルが不要となる。
- (2) 模擬負荷試験装置で熱エネルギーとして放出されていた電力が不要になったことで、試験中の消費電力が UPS 損失分のみとなり、従来に比べて約 90% 削減できる。



電力システムシミュレータ エントリーモデル「A1 型」

国内では大規模停電の発生以降、電力の安定供給と電力システムの回復力（レジリエンス）の重要性が高まっている。電気事業者や研究機関から、分散型電源を含めた電力システムの将来構想の検証や故障ケースの想定、不安定現象の把握とその対策を検証するためのツールが求められている。

富士電機は、発電所・送電線などで構成される送電システムをミニチュアモデルで模擬する電力システムシミュレータエントリーモデル「A1 型」を開発した。この装置は、システムに起きる現象をリアルタイムにシミュレーションを行い、送電系統の基本特性である電圧特性、周波数特性、安定度を短時間に解析できる。分散型電源がシステムに与える影響の解析や、系統保護・制御による対策の検証にも拡張可能である。さらに、配電系統のシミュレータ開発にも取り組む予定である。



株式会社神戸製鋼所 加古川製鉄所 77 kV 特高変電所の更新

1970 年代に建設された 77 kV ハウジング式変電所の保守性や信頼性を向上するため、ガス絶縁開閉装置（GIS）の採用を中心に、特高変圧器や監視盤を含む 77 kV 機器の全面リフレッシュを行った。

主な特徴は次のとおりである。

- (1) 屋外型の GIS（21 回線）の採用により、設置スペースを既設キュービクルに対し約 30% に削減した。GIS の現場操作盤には乾燥空気を常時注入して盤内を陽圧に保ち、屋外環境による塩害・結露発生、じんあい侵入を防止した。
- (2) 変圧器は活線浄油機を不要とする真空バルブ式負荷時タップ切換器を採用し保守の省力化と長寿命化を行った。
- (3) デジタル形母線保護装置を採用して保護を高度化し、変流比の異なる既存回線にもソフトウェアを変更することで柔軟に対応できるシステムとした。



(a) 小田急 5000 形車両とドア駆動システム



(b) つくばエクスプレス TX-3000 系車両とドア駆動システム



小田急電鉄株式会社向け・ 首都圏新都市鉄道株式会社つくばエクスプレス向け ドア駆動システム

富士電機は、小田急電鉄株式会社 5000 形と、首都圏新都市鉄道株式会社つくばエクスプレス TX-3000 系の新造車両向けに、高信頼性設計のドア駆動システムを納入した。いずれの車両とも、2020 年 3 月から営業運転を開始した。

本装置の主な特徴は次のとおりである。

- (1) プラットフォーム化したドア駆動システムを利用し、実績のある高い信頼性を維持するとともに、容易に開閉時間や戸挟み検知後の動作の変更を可能とした。
- (2) 従来車両の空気式ドア駆動システムや他社の電気式ドア駆動システムと、次の取扱い互換性を持たせることで、乗務員や保守員の負担を軽減した。
 - (a) 非常用解錠ハンドル設置位置と操作方向の一致
 - (b) 従来の車上通信システムに対応

インド灌漑プラント向け 35 MVA 超大容量ソフトスタータ

高圧インバータ「FRENIC4600FM6e」は、系列拡充が進み、中国や、その他アジアの地域で納入が伸びている。このような中、大規模灌漑（かんがい）プラント向けソフトスタータのニーズに応えるため、インバータ並列制御による超大容量機種を開発した。

主な特徴は次のとおりである。

- (1) 電圧、容量：11 kV、35 MVA（18.3 MVA を 2 並列）
- (2) 高速光通信を使って、PWM スイッチングのタイミングを 3 μ s 以内で同期させる並列制御技術確立し、各インバータの出力部を結合するリアクトルを小型化した。
- (3) 同期機駆動用センサレス制御においても、系統電源位相との同期を安定させ、短時間の同期投入を実現した。
- (4) 故障による同期失敗や機械調整などに配慮した手動同期投入に対応した。





産業用低圧インバータ 「FRENIC4000VM6」

製造プロセスの高速化や、製品の高品質化、安定操業などのユーザーのさまざまな要求に応えるため、これまで数多くの可変速制御装置を開発して製造業の発展に貢献してきた。近年では国際標準化が進む中、国際規格に基づく適合性評価制度を採用した新JISに準拠した産業用低圧インバータ、「FRENIC4000VM6」を開発した。

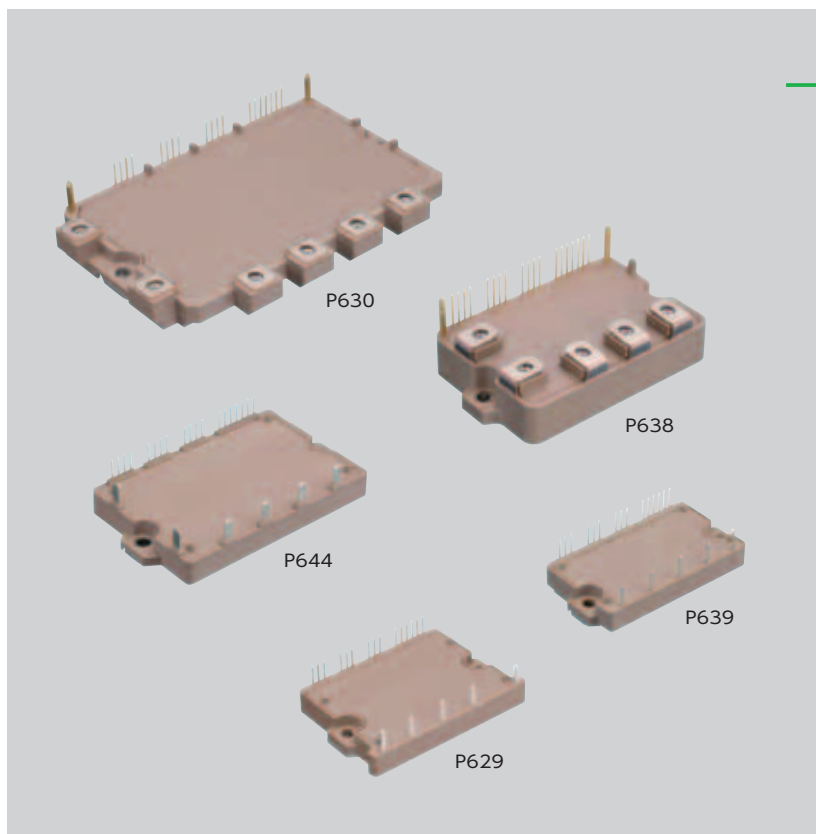
従来機種の「FRENIC4000VM5R」と、寸法およびインタフェースにおいて互換性を持っている。1面当たり最大12段のインバータが収納できるので、省スペース化だけでなくユニット単位ごとの部分更新ができる。さらに、従来機種の機能を踏襲しつつ、保護機能や運転時の監視機能を一層充実させているので、ユーザーの保守作業が従来よりも一層軽減できている。



大規模太陽光発電向け DC1,500V 用 パワーコンディショナ

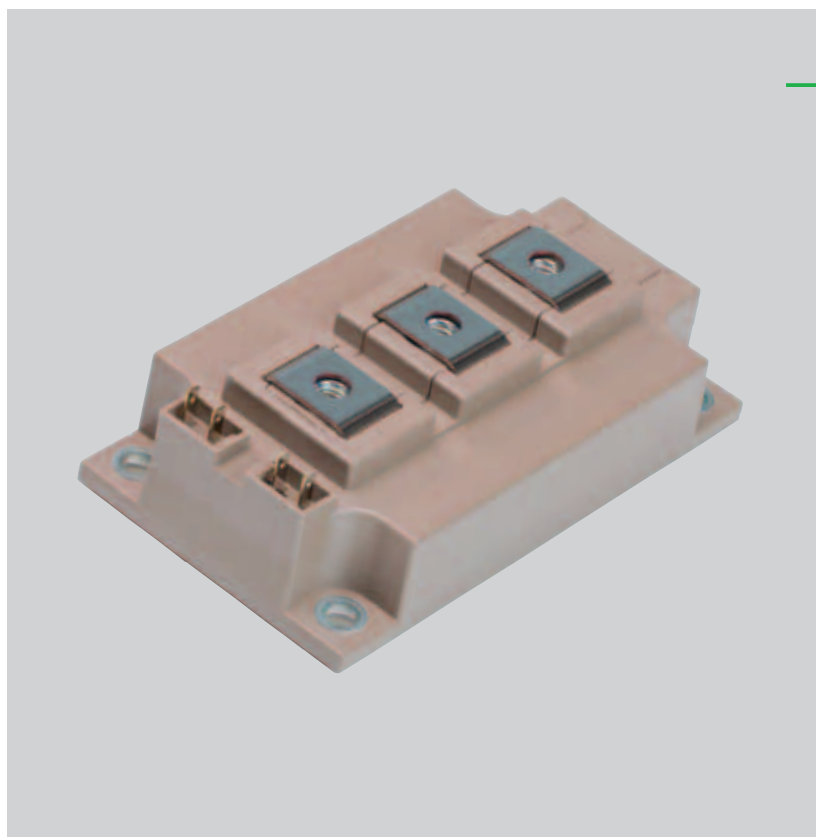
これまで、国内の太陽光発電向けに DC1,000V、1,000kW パワーコンディショナ（PCS）を展開してきた。一方、東南アジアをはじめとする国々ではコストを削減するため、太陽電池本体の高電圧化とそれに伴う PCS の高電圧・大容量化によって PCS の設置台数の削減が進んでいる。そこで国外の太陽光発電向けに、高電圧化（DC1,500V）と大容量化（2,500kW）を行った PCS「PVI1500CJ-3/2500」を開発した。防じん防水規格 IP55 に対応した屋外盤構造に加え、主回路のユニット化により装置を小型化し、世界最小クラスの設置面積を実現した。

今後は、IEC 規格の第三者認証に加え、タイやフィリピンの系統連系規格（タイ：PEA Interconnection Code、フィリピン：Philippine Grid Code）を取得し、東南アジアを中心に展開する。



第7世代「Xシリーズ」IGBT-IPM

電力変換装置の小型化、低損失化、高性能化の市場要求に応えるため、第7世代「Xシリーズ」IGBT-IPM（XシリーズIPM）を開発した。XシリーズIPMは、第7世代チップ技術と制御回路技術によって、「Vシリーズ」IPMより発生損失が約10%低い。さらに、第7世代パッケージ技術と制御回路の改善により、連続動作時のジャンクション温度の上限を125℃から150℃に拡大し、出力電流を約30%増加することが可能となる。また、IGBTのジャンクション温度が150℃以上になると、外部に警報信号を出力する温度ワーニング機能を業界で初めて搭載した。この機能により、電力変換装置の出力を絞ってIPMの動作を継続することで、突然の装置停止による工作機械の生産性低下や、エレベータ装置の急停止などを回避することが可能となる。



高速SiCハイブリッドモジュール

近年、パワーエレクトロニクス（パワエレ）装置の小型化や高効率化を実現するために、高キャリア周波数による電力変換を行う装置が増加しており、高速スイッチング動作に適した電力変換用モジュールの需要が高まっている。

このような市場要求に応えるために、第6世代「Vシリーズ」IGBTをベースに高速スイッチング動作と高短絡耐量（VシリーズIGBTと同等）を両立させた「VWシリーズ」IGBTを開発した。このVWシリーズIGBTとSiC-SBDを組み合わせた高速SiCハイブリッドモジュールは、ターンオフ損失とターンオン損失を低減できるため、さらなる高キャリア周波数動作が可能である。



真岡発電所 1・2号機の営業運転開始

富士電機は株式会社コベルコパワー真岡から、真岡発電所のガスタービンコンバインドサイクル発電設備（600 MW 級×2 基）一式を EPC として請け負い、1 号機は 2019 年 10 月、2 号機は 2020 年 3 月に営業運転を開始した。

本発電所は、国内初となる内陸型の大型ガス火力発電設備である。津波のリスクがなく、分散立地の大型電源として意義がある。内閣官房と経済産業省による国土やエネルギー基盤の強靱（きょうじん）化に資する事例に選ばれた。また、従来の海岸立地の発電所とは異なり、大規模な空気冷却式復水器を備えている。最新鋭のガスタービンを導入し、富士電機の蒸気タービンと発電機を組み合わせた高効率の発電設備である。



国内最大級の蓄電池併設型メガソーラー運用開始

すずらん釧路町太陽光発電所は、富士電機が設計・調達・施工（EPC）を請け負い、2020 年 2 月に商業運転を開始した。本発電所は、発電出力が交流連系定格 59.4 MW の大規模太陽光発電所であり、蓄電池併設型の太陽光発電所としては国内最大級のシステムである。北海道釧路郡釧路町の土地約 163ha に、約 30 万枚の太陽電池モジュール（DC パネル容量 92.2 MW）を設置している。北海道電力株式会社から求められた出力変動規定（1%/分）を実現するために、25 MWh 相当のリチウムイオン電池を併設し、富士電機の出力変動緩和システムを適用した。

このシステムを使った売電事業が、今後 20 年間継続できるように、計画的な定期メンテナンスを行っていく予定である。



Courtesy of PT.SEML

インドネシア・ムアララボ地熱発電所の 営業運転開始

インドネシア・スマトラ島に納入したムアララボ地熱発電所（発電容量：85.26 MW）が2019年12月に営業運転を開始した。本プロジェクトにおいて、富士電機はプラント全体のエンジニアリングと主要機器の調達を担当した。製品としては、蒸気タービンと発電機、電動機と制御盤（TGR）などを納入した。

本発電所の地理条件は、最寄りの港から山道を約150 km 進んだ標高約1,400 m の山中という非常に厳しいものであった。現地のエンジニアリング会社である Rekayasa Industri（REKIND）社と協力し、輸送や現地据付指導、試運転などの現地業務を無事完遂した。

インドネシアの民間および国営の電力事業者からも高い評価を受け、同国において地熱発電用タービンのシェアは約50%を占めている。

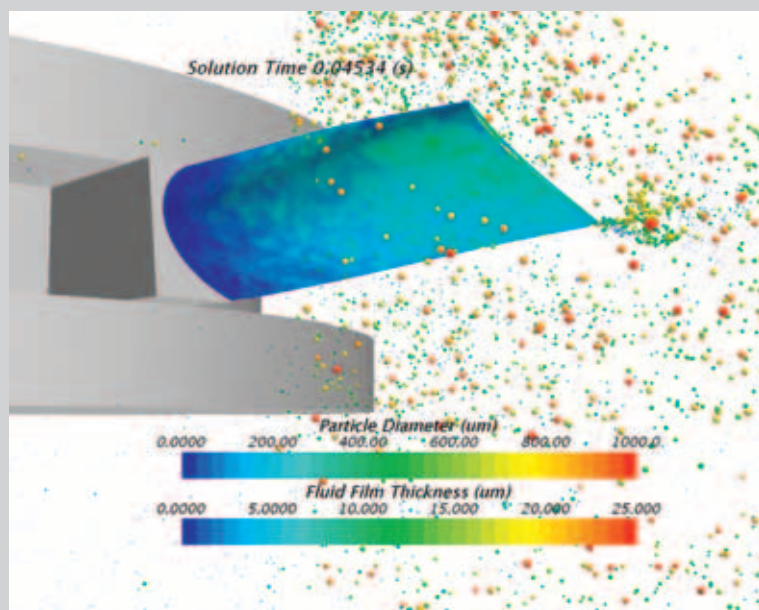


とろみ飲料に対応した カップ内ミキシング自動給茶機

カップ内ミキシング自動給茶機を開発した。これは、高齢者をはじめとした飲み込みが難しい人の誤嚥（ごえん）を予防するためのとろみ飲料に対応している。とろみ飲料の安定した調理と同時に、省スペース化などを実現した。医療や介護の現場で従事する人の作業負担を軽減し、いつでも・誰でも・安心して飲める飲料を提供する。

主な特徴は次のとおりである。

- (1) 利用者の飲み込み具合に応じて、とろみなしと3段階のとろみが選択できる。
- (2) 自動給茶機に初めてカップ内ミキシング機構を搭載し、高粘度のとろみ飲料が調理できる。
- (3) 安全・安心への対応として、販売口の扉のロック機構および紙コップを自動で供給するカップ機構を搭載した。



流体シミュレーションによる液滴・液膜の挙動推定技術

蒸気タービンの低圧段で液滴が動翼に衝突する現象や、船舶用スクラバで液滴が壁面に衝突して液膜化する現象など、製品の性能に影響を与える液滴と液膜の挙動を数値計算で推定する技術を構築した。

ラグランジュ混相流や液膜モデルなどの解析手法と計算条件の適切な組み合わせを実験結果との検証で導き出し、壁面に衝突した液滴による液膜の生成や微細化、液膜から液滴が再飛散する現象を考慮して、液滴の到達位置や流出量、流体の圧力損失などを評価できる。

この技術を適用して、ドレンキャッチャの構造を改良して蒸気タービンの効率が改善できる。また、スクラバの液滴除去性能を向上させながら圧倒的にコンパクトにする設計を実現した。

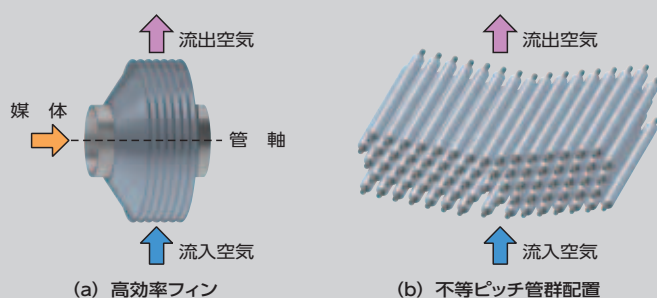


高効率空冷凝縮器

地熱流体（蒸気や熱水）で低沸点媒体を蒸発させてタービンを駆動するバイナリー発電設備のコンパクト化と送電端出力を増大するため、低消費電力で高効率な新型空冷凝縮器を開発している。新開発のフィン形状と管群配置を適用した凝縮器の性能を小型性能試験装置により実証した。この開発した新型空冷凝縮器により、敷地面積の低減と送電端出力の増大が両立できるようになった。

主な特徴は次のとおりである。

- (1) フィンの根元から先端に向けて管軸方向に傾斜させた独自の高効率フィンを開発し、従来の平面フィンに対して熱交換性能が34%向上した。
- (2) 管群配置を不等ピッチとすることで、従来の等ピッチに対して送風機消費電力が17%低減した。

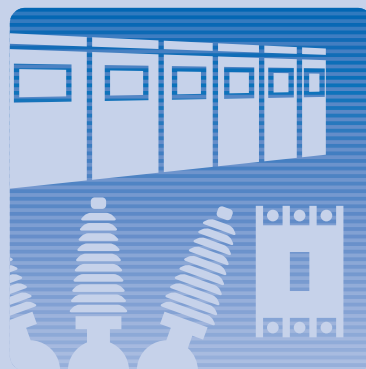


パワーエレクトロニクス エネルギー

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（パワーエレ）技術とエネルギーの監視制御技術をコアに、開閉装置、変圧器、保護リレーなどのコンポーネントと電力の需給管理や配電自動化などのエネルギーマネジメントシステムを組み合わせることで展開している。

国内では、社会インフラや産業向けに納入後 30 年以上経過した機器が多く、その更新需要が見込まれる。一方、環境継続可能な社会の実現のため、再生可能エネルギーの導入拡大に向けた新しい電力システムの検討が進んでいる。国外では、社会インフラや工場の整備が進む東南アジア、中東などにおいて、電力システムへの設備投資が期待できるため、国外生産拠点を強化し、積極的に対応を進めている。

変電システム分野では、変圧器二次側との接続に 80 m 以上の長大な三相ガス絶縁母線（GIB）を採用した 168 kV ガス絶縁開閉装置（GIS）を電力会社に納入した。この変電所の GIB は構内道路をまたぐため、三次元の曲折した配置となり、熱伸縮吸収用の大変位ベローズを要所に設けて対応した。また、1970 年代に建設された 77 kV ハウジング式特高変電所を更新した。屋外用の GIS を採用することでキュービクルの面積を既設の約 30 % に削減し、真空バルブ式負荷時タップ切替器を採用することで保守の省力化と長寿命化を実現した。

電力流通システム分野では、再生可能エネルギーの活用と電力の安定供給の両立に向けたさまざまな装置やシステムを提供している。分散型電源の導入拡大などに伴う電圧上昇問題に対応するため、東北電力株式会社と共同で、巻線と鉄心だけの構成ながらインダクタンスの連続調整機能を持つ、磁束制御型可変リアクトルを採用した配電用変電所設置タイプの電圧調整装置を開発した。また、蓄電池を用いて負荷変動を抑制し、高効率希薄燃焼ガスエンジン発電機の運転を安定化する電力制御システムを納入し、電圧変動や周波数変動の振幅が大幅に小さくなる効果を確認した。また、分散型電源を含めた電力システムを検証するためのツールが電気事業者に求められていることに対応し、系統現象をリアルタイムにシミュレーションできる電力シ

ステムシミュレータエントリモデル「A1 型」を開発した。このシミュレータにより、電力システムの将来構想の検証や、故障ケースの想定、不安定現象の把握などの対策手法の検証が容易になる。その他、電力規格に対応した高い環境性能や耐ノイズ性能を持ち、複母線系統の電圧制御を 1 台のユニットで制御可能な電圧調整リレーを開発した。

今後も、新しい技術を用いて、さらに高まる電力安定化のニーズに対して、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。

施設・電源システム

施設・電源システムでは、近年クラウドサービスの利用が活発になり、投資が盛んなデータセンターを中心とした国内外の産業分野に、変圧器、配電盤と無停電電源装置（UPS）を組み合わせた電源システムを、据付工事や保守サービスを含め電気設備まるごとソリューションとして展開している。

データセンター設備向けに、大容量化、省スペース化、システムの継続運転に対応した UPS の開発を進めている。一方で、設備の大規模化に伴い現地試運転調整の効率化、経済性が求められており、これらを実現する回生機能付き UPS を開発した。また、経済性、高信頼性システムなどの多様なニーズもあり、並列構成の常用 UPS ブロックと予備 UPS ブロックをシステム化したキャッチャー方式のシステムを納入した。

高層ビル向けには受変電設備、自家発電設備、UPS などと組み合わせ、信頼性が高く、見える化を重視した電機システムを納入した。また、空港向けには最近の気象災害を考慮し、高信頼性、安全性を向上させた屋外キュービクルや配電システムを納入した。

今後も、データセンターの一層の大規模化や成長する国内外の産業分野の地域特性やニーズの多様化に迅速に応え、大容量モジュール型 UPS や、高効率変圧器、配電盤などを開発し、それらを組み合わせる電気設備まるごとソリューションにより、市場への貢献を進めていく。

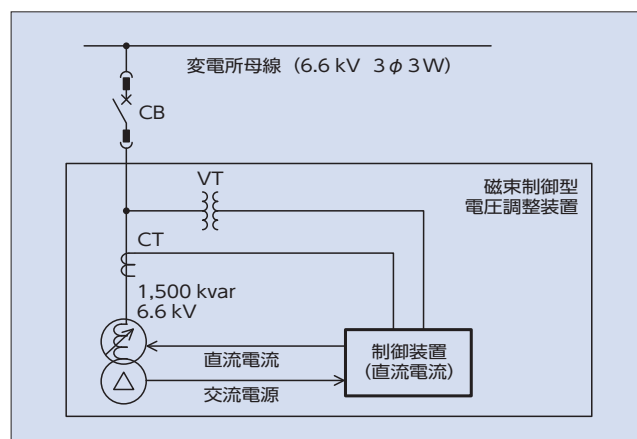
エネルギーマネジメント

① 磁束制御型可変リアクトルを適用した電圧調整装置

富士電機は、分散型電源の導入拡大や負荷の多様化に伴う電圧上昇の課題を解決するため、東北電力株式会社と共同で磁束制御型可変リアクトルを採用した電圧調整装置を開発した。従来は配電線の柱上に設置していたが、配電用変電所に設置するタイプとし容量を増加して電圧調整効果を高めている。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 定格電圧は配電用変電所二次側の 6.6 kV であり、定格容量は従来の 300 kvar から 1,500 kvar に増加している。
- (2) 主回路は巻線と鉄心だけのシンプルな構成でありながらインダクタンスを連続的に調整できる。
- (3) 定期交換品である冷却用ファンや高調波フィルタ用コンデンサを不要とした構成であり、信頼性に優れる。
- (4) 制御装置に計測機能と監視機能を搭載した。

図1 配電用変電所設置タイプの電圧調整装置



② ガスエンジンと蓄電池を併用した電力制御システム

富士電機は、高効率希薄燃焼ガスエンジンの自立運用時の運転安定性を向上させるために、蓄電池用双方向電力変換装置（PCS）、系統連系設備、および制御システムから構成された電力制御システムを製作し、東京ガス株式会社に納入した。このシステムでは、蓄電池としてNAS電池®を採用している。

複数機種のガスエンジンと電力制御システムを併用することにより、ガスエンジンの機種によらず負荷変動が抑制され、自立系統の電圧変動や周波数変動が大幅に改善されることを確認した。また、本システムを活用することにより、自立負荷（重要負荷）の投入時間の短縮も可能となる。

図2 電力制御システム



③ 電力規格対応デジタル形電圧調整リレー（ユニット形）

電力用規格に対応したユニット形の「F-MPC3000 シリーズ」の電圧調整リレーを開発し、発売した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 電力用規格 B402、JEC-2500、2501（2010）に準拠した高い環境性能と耐ノイズ性能
- (2) 常時積分方式と偏差積分方式の両方式を1ユニットに搭載し、ニーズに合わせて積分方式に切替えが可能
- (3) 最大14日分の電圧変動を記録する電圧記録機能を標準搭載し、ユーザーによる系統電圧の解析が可能
- (4) 従来機種（DQVBB、DUYVVR、DUYUDVAN 形）と形状互換を図り、レトロフィットにも対応
- (5) 90リレー要素を二つ搭載したタイプをラインアップし、複母線系統の電圧制御を1台のユニットで制御可能

図3 「F-MPC3000 シリーズ」の電圧調整リレー



エネルギー・マネジメント

④ 国内電力会社向け 168 kV ガス絶縁開閉装置

変圧器二次側との接続に長大な三相ガス絶縁母線（GIB）を採用した 168 kV ガス絶縁開閉装置（GIS）を国内の電力会社に納入した。この変電所では GIS と変圧器に挟まれた構内道路を大型車両が通行するため、GIB を地上から高さ 5 m に上げる必要があった。

そのため GIB は三次元に曲折して、総延長は 2 回線 80 m 以上になる。温度による伸縮を吸収するため大変位に対応するベローズを要所に設けている。また、外観や施工性も考慮して GIB の支えには円柱管を用いている。

この変電所に同時に納入した 36 kV 変圧器三次用 GIS と 120 kV 中性点用 GIS も現在運転中である。

図 4 168 kV ガス絶縁母線



施設・電源システム

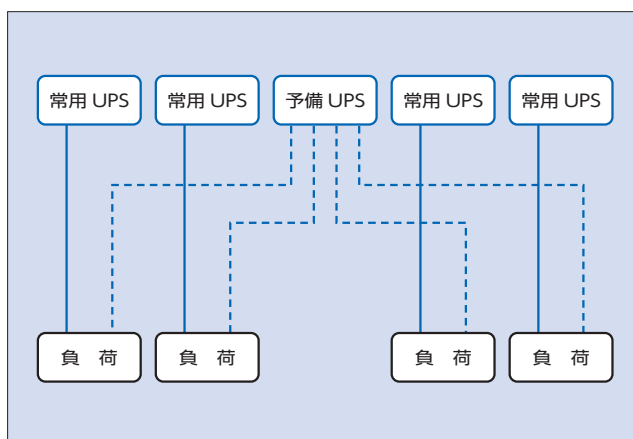
① 某データセンター向けキャッチャ方式 UPS

データセンター向け UPS の 2 (N^*+1) 並列冗長システムは、信頼性が最も高く、コンポーネントの冗長性が高いが、そのため経済性に課題がある。

そこで、富士電機は、某データセンターに経済性と高い信頼性を兼ね備えたキャッチャ方式の UPS を採用した共通予備システムを納入した。このシステムは、四つの常用 UPS に一つの予備 UPS を加えた合計五つの UPS で構成され、各 UPS は、三相 4 線式 400 V、500 kVA 出力の「7000HX シリーズ」を 4 台並列している。通常は給電している常用 UPS の一つが故障などで給電を停止すると、これをキャッチして予備 UPS に切り換えて給電を継続することができる。

* N ：負荷に必要な容量の電力を供給する UPS のセット

図 5 共通予備キャッチャ方式



② 高層ビル向け特高受変電設備

高層ビル向けに受変電設備、自家発電設備、無停電電源装置などの電機システムを納入している。最近の高信頼性、見える化を重視する要求に対応して、従来よりも信頼性が高く、異常などの早期発見・対応につながるシステムを納入した。主な特徴は次のとおりである。

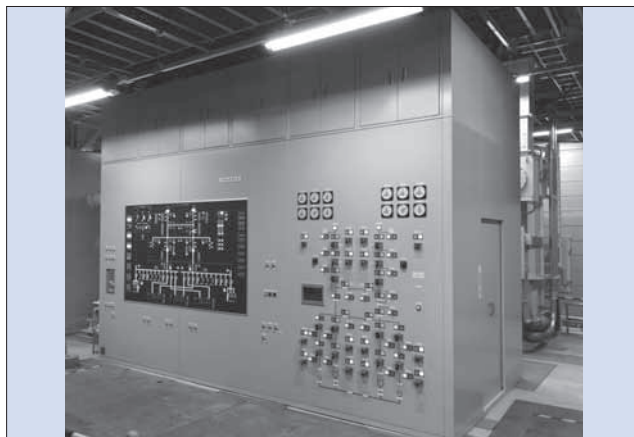
(1) 二重化による信頼性の向上

- 停電復電時の二重化並列制御
- プログラマブルコントローラの二重化
- 外部入出力信号の二重化

(2) 異常などの早期発見・対応につながる見える化

- モザイクパネル上に主回路系統や機器の状態、ならびに系統の故障の照光表示
- プログラマブル表示器を使った制御の状況や結果の表示

図 6 特高監視操作盤



施設・電源システム

③ 国内空港向け配電システムの納入

那覇空港の滑走路増設に伴い、国内空港向けとして高信頼性・安全性・気象災害対策を配慮した屋外キュービクル式高圧受変電設備からなる配電システムを納入した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 2 回線受電方式により、片回線に事故が生じてでも健全回線から自動送電するので、停電時間を短時間にする事ができる。
- (2) 誤操作防止のため、キュービクル内の遮断器にインタロックおよび明確な注意表示を設けた。
- (3) 暴風雨による雨水の侵入対策として、盤の換気口は前面背面に気密性の高い薄型防噴流ギャラリを設けた。
- (4) 滑走路近傍に設置するため、航空機から視認しやすい指定塗装色とした。

図7 屋外キュービクル式高圧受変電設備



受配電・開閉・制御機器コンポーネント

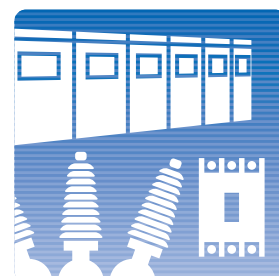
① 密閉型高電圧コンタクタ「SVE170」

直流配電システムや電気自動車の普及に伴い、需要が急増している直流回路用のコンタクタには、小型でありながら大電流の通電に対応した安全な製品が求められている。

富士電機はこれらの要求に応えるため、独自の接点構造を用いた密閉型高電圧コンタクタ「SVE135」（定格電流 135 A）の系列製品として、新たに定格電圧 DC450 V、定格電流 170 A の「SVE170」を開発し、量産供給を開始した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 既存製品の SVE135 と同一の外形サイズを維持しながら、定格電流を 135 A から 170 A に拡大した。
- (2) 業界最高レベルとなる 20 kA の高過電流耐量と、主回路の無極性化および正逆両方向で同じ遮断性能を持つ。

図8 「SVE170」



パワエレシステム インダストリー

オートメーション
情報ソリューション
社会ソリューション
フィールドサービス



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製品に計測機器、制御機器、IoT (Internet of Things) 技術を組み合わせてシステム化し、自動化と省エネルギー (省エネ) により、あらゆる産業分野への貢献を目指している。

オートメーション

オートメーションでは、生産設備の自動化や見える化、省エネに貢献するインバータ、回転機、計測機器、FA コンポーネントと、それらに IoT を組み合わせた制御システムを展開している。

ファクトリーオートメーション分野では、IoT による製造業のデジタル化を推進するため、現場型診断装置「SignAiEdge (サインアイエッジ)」を開発した。このエッジコントローラは、アナリティクス・AI を搭載した表示器一体型で、タッチオペレーションを採用し、工場ですぐ導入できる設備診断装置として、生産現場の最適化に貢献する。

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」は、情報収集対象機器の拡充と分析機能を拡張し、適用分野を拡大した。

また、AC100 ~ 240 V の入力を受けて DC24 V を出力する制御盤用の AC/DC 電源を開発した。(1+1) 冗長機能を内蔵、配線を最小化、ラックマウント構造を採用し、電源スペースを最大 50% 削減した。船舶分野では、硫酸化合物 (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) のシリーズ化を進め、エンジン出力に応じて、S、M、L サイズに続き、主に大型貨物船に対応する 2L と XL サイズを開発した。

プラントオートメーション分野では、国外市場の灌漑 (かんがい) プラントをターゲットとした高圧インバータ「FRENIC4600FM6e」に 35 MVA 超大容量機種を追加し、系列拡充した。また、DC1,500 V の高電圧化と 2,500 kW の大容量化を実現した太陽光発電向け PCS「PVI1500CJ-3/2500」を開発した。

駆動制御システムでは、従来機種に対して互換性を持たせながら、保護機能や運転時の監視機能を充実させ、新規格に対応した産業用低圧インバータ「FRENIC4000VM6」を開発した。その他に鉄鋼会社向けに、外形寸法および電気的な仕様を既設品に合わせた巻線形誘導電動機を納入し、短期間で更新工事を行った。また、非鉄金属会社向けに、自動車用アルミニウム板材を生産する連続熱処理・表面処理ラインの電気品として、インバータ約 200 台、モータ約 350 台、プログラマブルコントローラ 10 台、制御盤約 150 面を納入し、高性能、高信頼性かつ保守性や安全機能などの付加機能が向上した。

計測制御システムでは、監視規模の拡大、オペレーターの監視操作の支援および画面アプリケーションの作成支援機能などの機能を拡充した「MICREX-VieW XX (ダブルエックス)」を開発し、プラントオペレーションが円滑化してプラントエンジニアリング効率が向上した。鉄鋼プラント向け監視制御システムの更新では、この MICREX-VieW XX に制御システムを統合し、オペレーターの動線改善、監視状態の一元管理による安全操作および保守性の向上を実現した。その他、既存の制御系に付加することでボイラ効率を改善するボイラ燃焼ソリューションパッケージや、将来の新旧工場統合を目指してクライアントサーバ構成とした化学プラント向け計測制御システムを納入した。

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に情報制御システムを供給するとともに、IoT 技術を活用し、自治体や企業などの業務合理化、生産性向上、省エネを推進するツールやシステムを展開している。

製造データ利活用ソリューションは、操業に影響を与えず、複数の工場をリアルタイムで参照し、工場稼働情報などを蓄積・解析し、品質向上や操業の効率化などに役立つ。また、蒸気使用設備の省エネ、CO₂ 削減に向けた見える化システムである熱 EMS ソリューションを提供している。

社会ソリューション

社会ソリューションでは、鉄道用電機品や放射線管理システムなどを展開し、社会インフラの安全・安心と省エネに貢献している。

鉄道分野では、2020 年 7 月に営業運転を開始予定の次世代の新幹線 N700S 系向けに主回路電機品（主変換装置、主電動機、主変圧器）、および乗り心地を向上させるために車両の左右振動を抑制する振動制御システムに適用される新規採用のフルアクティブダンパ駆動装置を納入した。

また、ドア駆動システムでは、プラットフォーム化したドア駆動システムを利用し、実績のある高い信頼性を維持しつつ、乗務員や保守員の負担軽減を狙い、従来車両との相互互換性を重視したドア駆動システムを顧客に納入した。さらに、信頼性や可用性、保全性、安全性の国際規格であ

る RAMS（EN 50126/IEC 62278）やソフトウェアの機能安全規格（EN 50128/IEC 62279）に対応した国外向けのドア駆動システムや補助電源装置を開発し、顧客に納入した。

フィールドサービス

フィールドサービス分野では、従来型の定期点検や修理などの保守サービスに加え、IoT やアナリティクス・AI を活用した設備保全最適化ソリューションを展開している。

顧客設備の安定稼働を目的とした回転機故障予兆監視システム「Wiserot」の新ラインアップとして LAN 振動センサを製品化した。回転機に特化した診断技術のベアリング異常判断基準 Q 値を搭載し、従来の無線振動センサと併用が可能であり、設置環境や目的に応じた運用ができる。

オートメーション

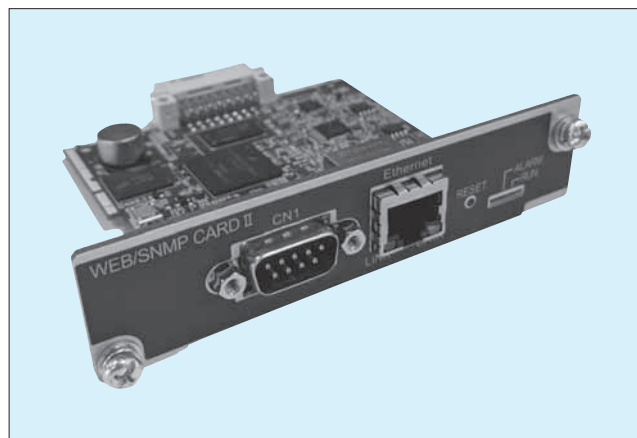
① 新ネットワークカード「Web/SNMP カードⅡ」

サーバの仮想化や工場の IoT 化の普及により、データセンターの機器や工場生産設備において、ネットワーク化が拡大している。これらの施設で電源保護装置として利用されている無停電電源装置（UPS）もネットワーク化に対応するため、UPS にプラグイン可能なオプション製品として「Web/SNMP カードⅡ」をリリースした。

高度な暗号化通信（TLS1.2）によるセキュリティを実装し、また、高速通信（1 Gbps）にも対応しているので、データセンターでも安全に使用できる。仮想化システムでは、直接連携を可能にする通信用（SSH）の専用サーバが必要であった。しかし、本製品は UPS にプラグイン実装するだけで使用できるため、従来必要であった専用サーバが不要になり、システムの初期コストを低減できる。

●関連論文：富士電機技報 2019, vol.92, no.3, p.197

図1 「Web/SNMP カードⅡ」

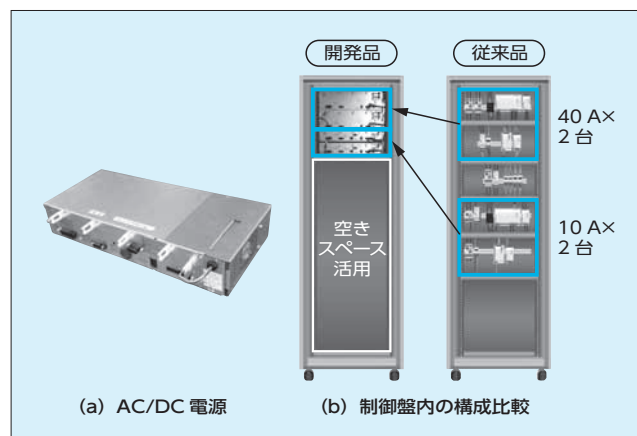


② 制御盤用 AC/DC 電源

制御盤用の AC/DC 電源は、従来、冗長機能を持たせるために市販の DIN レールに取り付け、電源装置を複数個組み合わせ、さらに回路を取り付けて構成することが多かった。そのため制御盤内の占有する体積が大きくなってしまいう問題あった。このような問題が生じないように、制御盤用 AC/DC 電源を開発した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) (1+1) 冗長機能を内蔵、配線最小化、ラックマウント構造により電源の体積を最大 50% 削減
- (2) 並列使用により供給電力を増強し、制御盤の高度化や大規模化が可能
- (3) 入力 AC100 ~ 200 V、出力 DC24 V で、出力電流 10 A、20 A、40 A の 3 モデルをラインアップ

図2 制御盤用 AC/DC 電源



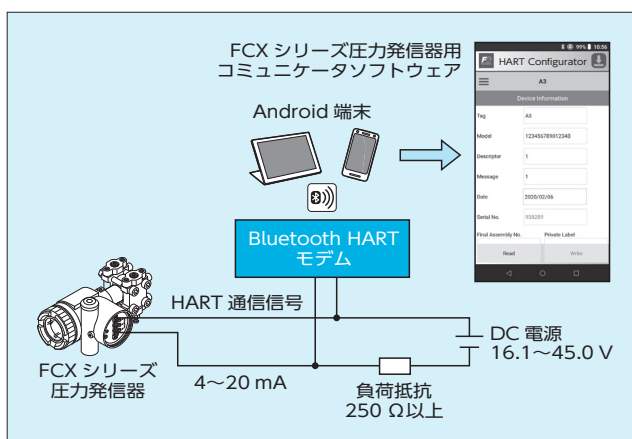
オートメーション

③ 「FCX シリーズ」 圧力発信器用コミュニケーターソフトウェア

Android 端末で利用可能な「FCX シリーズ」圧力発信器用コミュニケーターソフトウェア（アプリケーション）を開発した。従来は、設備メンテナンス時に、専用のハンドヘルドコミュニケーターで測定レンジの変更や測定データのモニタ、自己診断などの操作を行っていた。このアプリケーションを市販の Android 端末にインストールすることで、同様の操作が可能になる。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 市販の Android 端末を利用できる。アプリケーションはインターネットから無料でダウンロードが可能である。
- (2) Bluetooth HART モデムに対応し、Bluetooth による遠隔操作やモニタが可能である。
- (3) 圧力発信器の設定内容（個体識別番号、校正記録、測定範囲など）を電子化して管理できる。

図 3 システム構成例



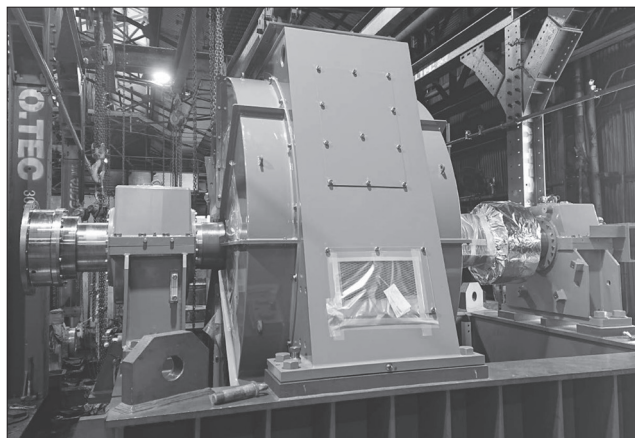
④ 愛知製鋼株式会社向け R1・2 ミル用巻線形誘導電動機

愛知製鋼株式会社 刈谷工場の形鋼圧延ライン R1・2 ミルの巻線形誘導電動機を納入し、更新した。更新に当たり、ケーブルを含む既設の周辺機器を流用するため、製作する電動機はその外形寸法および電気的な仕様を約 60 年前に納入した既設品に合わせることが求められた。この要求に応えた更新工事を行い、予定どおりの営業運転の開始につながった。

電動機的主要仕様は次のとおりである。

- (1) 出力：1,500 kW
- (2) 一次側電圧：3,300 V
- (3) 回転速度：446 r/min
- (4) 始動方法：液体抵抗器（既設）による二次抵抗始動

図 4 電動機の外観

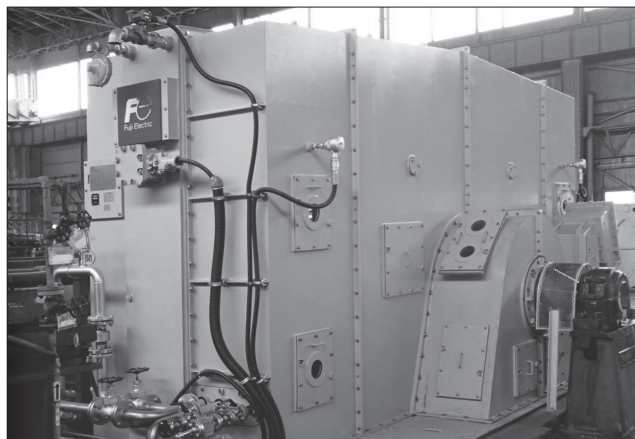


⑤ 宇部丸善ポリエチレン株式会社向け圧縮機用同期電動機

富士電機は、宇部丸善ポリエチレン株式会社向け圧縮機用同期電動機（6 kV、1,650 kW 32 極）および付帯する電気設備を更新した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 本電動機の設置場所は、可燃性ガスが存在する第一類危険箇所である。そのため、電動機は可燃性ガスが機内に入り込まないように内圧防爆構造を採用した。
- (2) 直接励磁方式を採用して電動機のコンパクト化を図り、新旧電動機の据付け寸法を同一とし、基礎工事を不要とした。これにより、限られた設備停止期間内に工事を完了した。

図 5 電動機の外観



オートメーション

⑥ 愛知製鋼株式会社向け1棒鋼C列ミルモータ用直流駆動装置の更新

愛知製鋼株式会社向け1棒鋼C列ミルモータ用直流駆動装置を更新した。駆動対象は、直流電動機(410 kW)は既存のままで、駆動装置を1978年に納入したアナログ制御からデジタル制御のレオナード装置「LEONIC-M700」「LEONIC-M Compact」に更新した。駆動装置間の制御はPLC化とし、速度制御応答も向上した。交流側、直流側ともに既存のケーブルを用いて、制御盤のコンパクト化を図り、既存設備と合わせたことにより、短期間で更新工事を完了した。主な仕様は次のとおりである。

- (1) LEONIC-M700 :
出力～3,300 kW、電圧 DC220 ～ 750 V
- (2) LEONIC-M Compact :
出力～450 kW、電圧 DC220 ～ 440 V

図6 「LEONIC-M700」



⑦ 株式会社UACJ 福井製造所向け新設プロセスライン設備電気品

株式会社UACJ 福井製造所向けに、自動車用アルミニウム板材を生産する連続熱処理・表面処理ライン(CALP設備)の電気品を納入した。最新の制御システムにより、高性能、高信頼性かつ保守性や安全機能などの付加機能が向上した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) インバータ約200台、モータ約350台、PLC10台、制御盤約150面ならびに制御ソフトウェアと監視制御システム一式で構成しており、プラントデータの高速収集と遠隔監視が可能である。
- (2) 接地システムには、等電位ボンディング(IEC 60364-4-44)を適用し、EMC対策を図った。
- (3) 機器のリスクレベルに応じた装置停止回路を構築し、設備の機能安全を確保した。

図7 連続熱処理・表面処理ライン

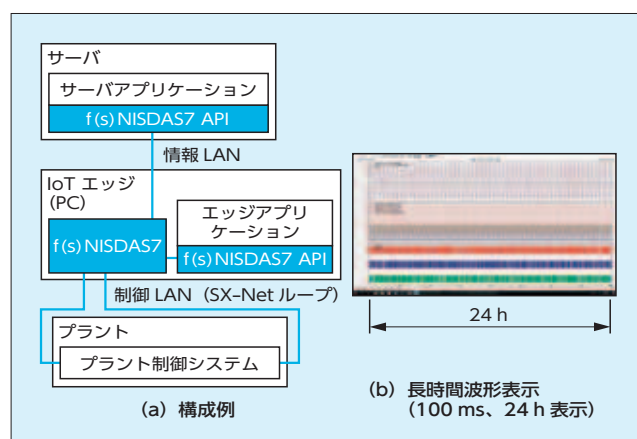


⑧ データ収集・解析支援パッケージソフトウェア「f(s) NISDAS7」

設備の運転安定化や予防保全を行うためのデータ収集・解析支援パッケージソフトウェア「f(s) NISDAS7」の機能を拡充した。これにより、端末内外からのデータアクセス・利活用が容易になり、生産設備の立上げ、設備保全・解析が効率化できる。拡充した機能は次のとおりである。

- (1) 表示・解析機能の拡充
 - (a) 長時間の膨大なデータを表示可能(長時間波形表示)
 - (b) 最新データと履歴データを連続して表示
 - (c) BCDコード対応強化
- (2) IoTエッジ機能の拡充
 - (a) 「SX-Net」のループ接続に対応し、断線してもデータ収集を継続
 - (b) 連携用APIにより外部アプリケーションに対応可能

図8 構成とサンプリング画面



オートメーション

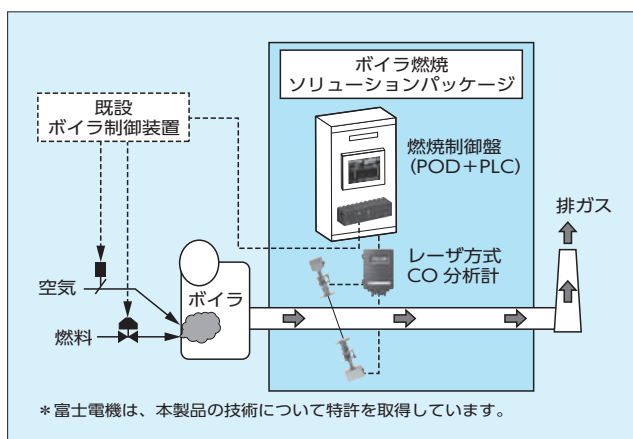
⑨ ボイラ燃焼ソリューションパッケージの納入と導入効果

富士電機は、既存の制御系に付加することで、ボイラ効率を改善するパッケージを国内某所に納入した。

従来のボイラでは、不完全燃焼（黒煙の発生）を防止するため、燃焼に必要な理論空気量に対して過剰となる空気量を設定していた。本パッケージは、排ガス中の CO をリアルタイムに計測する高速応答レーザ分析計と、独自の演算ロジックを搭載した小型コントローラで構成している。微量に CO が発生するまで空気量を下げることによって、過剰空気による熱損失を削減した。また、外乱によって CO 量が増大した場合のブロック機能も持っている。

試運転の結果、100 t/h ボイラの場合に、年間約 172 千 Nm³ の燃料の削減に相当する約 0.3% の効率改善を示した。

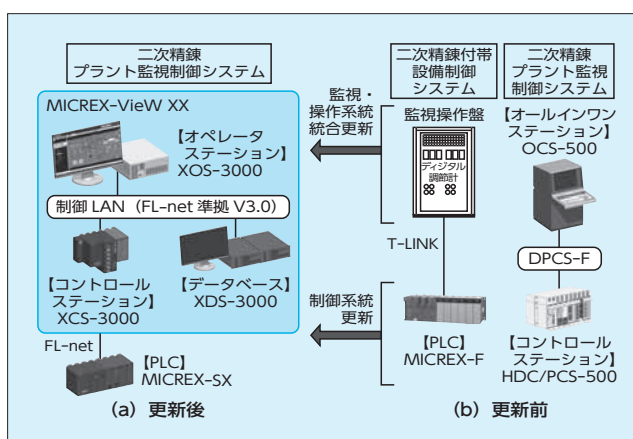
図 9 ボイラ燃焼ソリューションパッケージ



⑩ 製鉄所の二次精錬プラント監視制御システムの更新

製鉄所の二次精錬プラント監視制御システムの更新工事を、顧客と合意した設備休止期間である 5 日間で完了した。二次精錬プラントの監視制御システムは、DCS で構成され、付帯設備の制御システムは、操作監視盤・デジタル調節計・PLC で別々に構成されていた。本工事では、監視・操作系統を統合し、「MICREX-VieW XX」に更新した。これにより、二次精錬プラントと付帯設備の監視・操作の一元管理を実現し、オペレーターの動線の改善、操業の安全性と設備の保守性が向上した。また、データ収集・解析支援パッケージソフトウェア「f (s) NISDAS」の導入により、プラントデータの高速収集と大容量保存が可能になり、そのデータを用いて生産性や品質が向上した。

図 10 二次精錬プラント監視制御システム

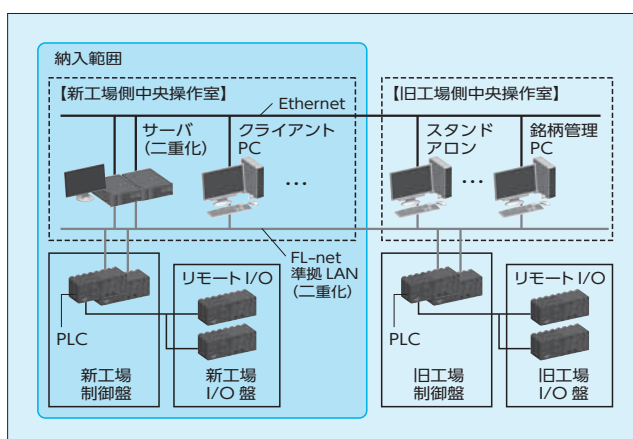


⑪ 化学プラント向け計測制御システム

化学工業分野では、製品需要が自動車関連材料などの高機能製品の需要が大幅に伸長している。このような需要の変化に対応するため、新規プラントの建設や老朽化設備の更新などが大幅に増加している。富士電機の監視制御システム「MICREX-VieW FOCUS」を導入していた顧客も増産のため新工場を建設した。新工場ではクライアントサーバ構成とし、新旧工場の統合に備えた。さらに、サーバや FL-net 準拠の LAN の二重化などにより高い信頼性を確保した。また、旧工場の原料タンクなどの設備の一部や銘柄管理システム「FLEX-BATCH」を共用して、コストを削減した。

今後、システムの統合に加え、運転支援システムを始めとした IoT 商品を提供することで、顧客と共にプラントの最適運用に取り組んでいく。

図 11 某化学プラント向け計測制御システムの構成図



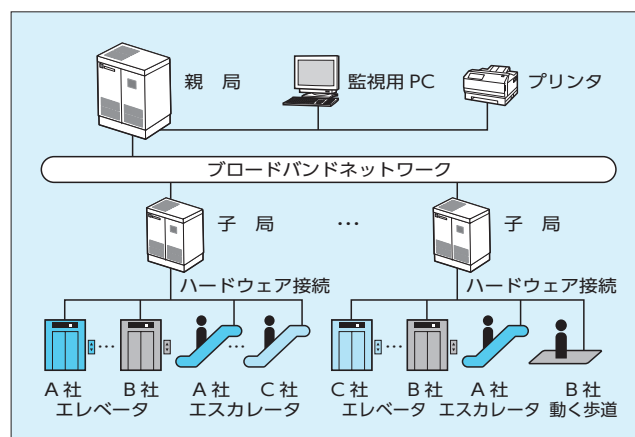
オートメーション

12 成田国際空港株式会社向け昇降機監視システム

成田国際空港第1および第2ターミナル向けの昇降機監視システムに「MICREX-View FOCUS」を納入した。既設（他社製）は二次元表示での監視を行っていたが、三次元表示とすることで、各ターミナル内のエレベータやエスカレータなどの昇降機、動く歩道の監視の利便性や、緊急時の対応のしやすさが向上した。また、昇降機などは複数のメーカーが混在していたが、子局からの接続をハードウェア接続にすることで、接点仕様や電源仕様などを富士電機が提供するシステムに統一した。これにより、昇降機などの増設や改造を容易にした。

新たな機能として、耳の不自由な人がエレベータ内のインタホンで会話ができない場合に、係員が向かっていることを表示灯で知らせるなど、利用者の利便性も図った。

図 12 昇降機監視システムの構成図

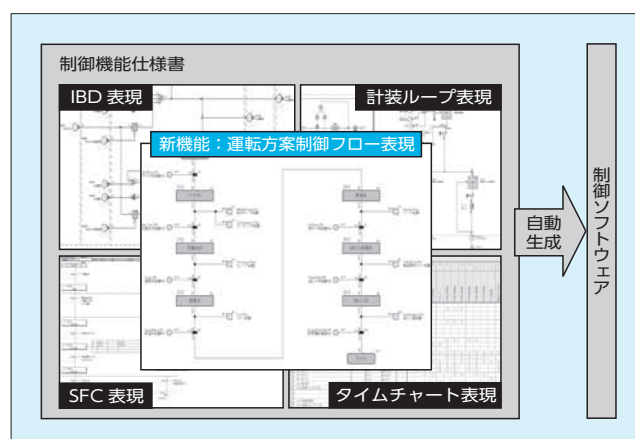


13 高効率エンジニアリング支援ツール「HEART」の機能拡充

「HEART」は、汎用のOAソフトウェアのExcelやVisioで作成した制御機能仕様書から、自動で制御ソフトウェアを生成するエンジニアリング支援ツールである。この仕様書の表現には、計装ループ図やIBD（Interlock Block Diagram）、SFC（Sequential Function Chart）、タイムチャートなどがある。

運転方案制御フローを新たにこの仕様表現に加えることで、ゴミ焼却やボイラの自動立上げなど、多くの分野への適合性が向上した。また、運転方案制御フローは、ソフトウェアへの自動変換の他、制御機能仕様書上で実行状態のモニタもできる。さらに、一時停止や強制終了、指定工程へのジャンプなどの機能を標準で備えた。これらにより、容易に、かつ高効率にエンジニアリングを行うことができる。

図 13 制御機能仕様書から制御ソフトウェアの自動生成



14 設備監視システム「MICREX-View PARTNER」の機能拡充

設備監視システム「MICREX-View PARTNER」の新機能を開発した。新機能の主な特徴は次のとおりである。

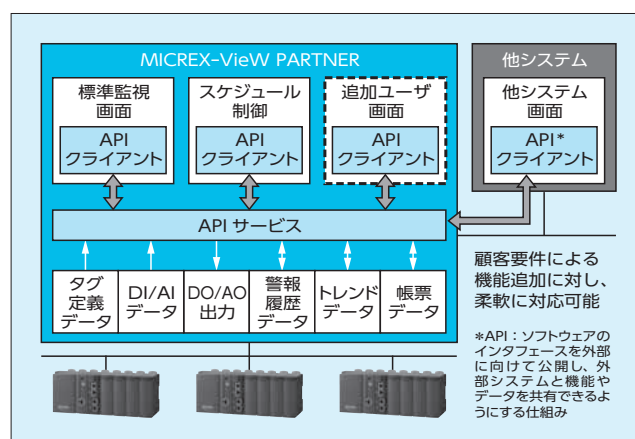
(1) 拡張 API (Application Programming Interface) 機能

拡張 API 機能として、システムと顧客要件で追加する機能との連携を仲介する API サービス機能と、それに伝送を介して接続する API クライアント機能を開発した。API クライアントは追加する画面や、さらには他社システムや顧客が作成したシステム上からも容易に連携することができ、顧客のさまざまな機能要件に柔軟に対応できる。

(2) データ移行機能

短時間で効率良くシステムをリプレイスするため、旧機種種の定義データをシステムの定義データに一括で変換する機能を追加した。

図 14 拡張 API 機能の動作



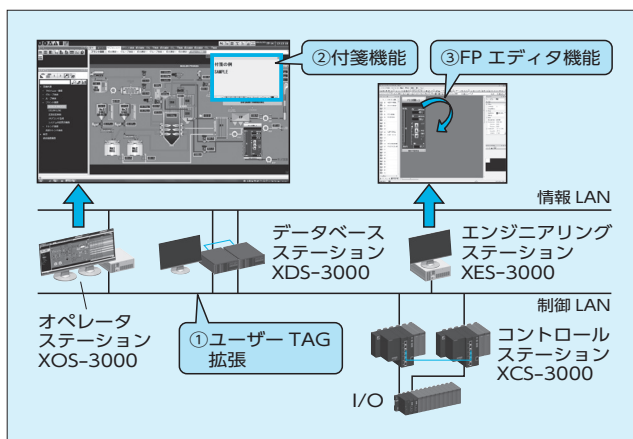
オートメーション

15 監視制御システム「MICREX-View XX (ダブルエックス)」の機能拡充

監視制御システム「MICREX-View XX (ダブルエックス)」に、監視規模の拡大、オペレーターの監視操作の支援、および画面アプリケーションの作成支援などの機能を拡充した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 制御 LAN のブロードキャスト通信に割り当てられるユーザー TAG の点数を、従来の 32,752 点から 65,535 点に拡張し、プラントの監視点数を拡大した。
- (2) 現場の要望に応え、オペレーターの交代時の連絡事項（コメント）を、監視画面上に付箋のメモのように貼り付けることができる付箋機能を搭載した。
- (3) 顧客や分野ごとの画面アプリケーション作成を支援するフェースプレート（FP）エディタ機能を開発し、エンジニアリング効率を向上させた。

図 15 「MICREX-View XX」の基本システム構成例



情報ソリューション

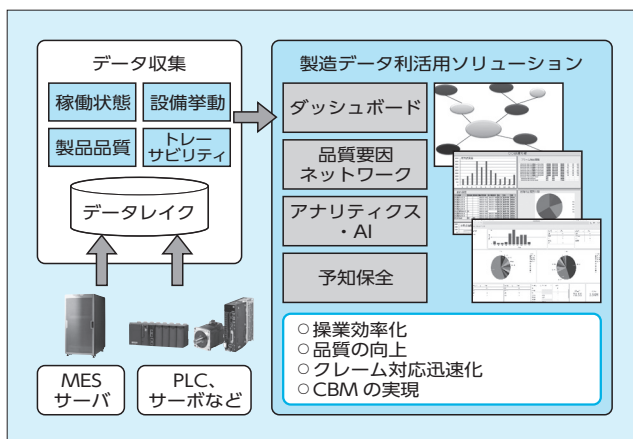
1 製造データ利活用ソリューション

富士電機は、MES サーバや PLC、サーボなどから収集する装置の稼働状態や製品品質、設備挙動などをデータレイクに蓄積・解析し、品質の向上、操業の効率化とクレーム対応の迅速化などに役立つ製造データ利活用ソリューションを開発した。

このソリューションは、操業に影響を与えずに、複数の工場をリアルタイムに参照でき、稼働状況の管理による操業の効率化、製品の品質に影響を及ぼす要因の特定による設計品質の向上とトレーサビリティによるクレームへの即時対応性を実現する。また、設備状態を基にした最適解の算出により CBM（予知保全）を行う。

このソリューションは、加工組立やプロセスまたは両方が混在する製造業に適用できる。

図 16 製造データ利活用ソリューションのデータフロー図

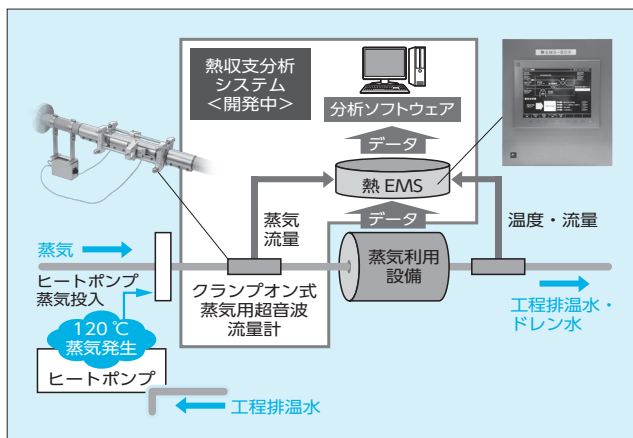


2 熱 EMS ソリューション

蒸気設備の熱収支や各種排熱を定量的に見える化して省エネルギー化と CO₂ の排出を削減するソリューションを、2020 年度内の製品化に向け、開発している。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 蒸気に非接触で計測可能なクランプオン式蒸気流量計を用いるため、生産性などに影響しない。
- (2) 設備の蒸気使用量と各種排熱の発生量をリアルタイムで定量的に監視することにより、熱エネルギー効率の現状を把握できる。
- (3) 生産実績や設備能力設計値などを取り込んだデータ分析により、エネルギー効率悪化を捉え、その悪化要因や要因発生場所などを自動抽出し、課題を明確化できる。

図 17 システム導入構成例



社会ソリューション

① ジャカルタ MRTJ 車両向け電機品

アジアにおける富士電機のドア駆動システムと補助電源装置の納入実績、ならびにそれら電機品搭載車両の信頼性は高く評価されている。この評価を基に、インドネシア初の地下鉄（MRTJ：Mass Rapid Transit Jakarta）車両向けとして、2019 年 4 月の開業までに、日本車輛製造株式会社経由で 6 両 16 編成分のドア駆動システム 768 台と、補助電源装置 32 台の両電機品を受注・納入した。主な特徴は次のとおりである（(2)、(3)は、両電機品共通）。

- (1) プラットフォーム化したドア駆動システムをベースに、MRTJ 要求仕様（ドア開閉時の低騒音化）に対応
- (2) 信頼性、可用性、保全性、安全性の国際規格である RAMS（EN 50126/IEC 62278）対応
- (3) ソフトウェア機能安全規格（EN 50128/IEC 62279）対応

図 18 ジャカルタ MRTJ 車両



フィールドサービス

① 回転機故障予兆監視システム「Wiserot」

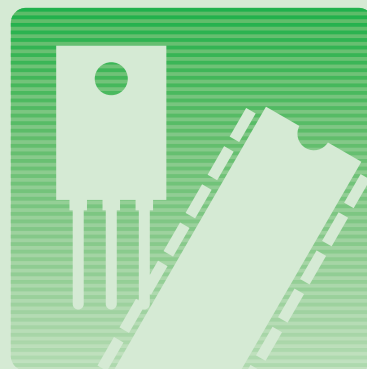
顧客設備の安定稼働を目的とした回転機故障予兆監視システム「Wiserot」の新ラインアップとして LAN 振動センサを製品化した。回転機に特化した診断技術のベアリング異常判断基準 Q 値を搭載し、従来の無線振動センサと併用が可能であり、設置環境や目的に応じた運用ができる。LAN 振動センサの主な特徴は次のとおりである。

- (1) 従来のバッテリー搭載、特定小電力無線通信による無線式に対し、Ethernet 通信を使った有線式にしたことで、1 台の PC で最大 256 台まで接続可能とした。
- (2) 解析用データの伝送量を従来の 4,096 点から最大 262,144 点まで拡張し、FFT 周波数解析の分解能を従来の 6.25 Hz から 0.09 Hz に大幅に改善し、ベアリングの不具合箇所が正確に特定できるようになった。

図 19 LAN 振動センサ



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す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 (Insulated Gate Bipolar Transistor) を製品化し、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 世代の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。また、エアコンや産業用インバータ、サーボ用途に駆動 IC と保護機能を内蔵した X シリーズ IPM (Intelligent Power Module) を開発した。第 7 世代チップとパッケージ技術に加え、制御回路技術により、従来品に比べてさらなる低損失化、小型化、高信頼性化した。また、従来の IPM の機能に加え、異常時に電力変換装置が突然停止する前にアラーム信号を出力する新たな予知保全機能を世界で初めて搭載した。

RC-IGBT (逆導通 IGBT) では、IGBT チップと FWD (Free Wheeling Diode) チップを一体化し、さらなる高密度化が期待できる。富士電機は、この RC-IGBT の技術と第 7 世代チップとパッケージ技術を用いた X シリーズの技術とを組み合わせた産業用 RC-IGBT モジュールを開発し、高密度化に伴う温度上昇を低減し、小型化した。

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 製の FWD に代わり、低損失の SiC-SBD (Schottky Barrier Diode) を、Si 製の高速スイッチング特性を持つ IGBT と組み合わせた高速ハイブリッドモジュールを開発した。また、

SiC トレンチ MOSFET (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor) チップを開発し、1,200 ～ 3,300 V 耐圧の All-SiC モジュールを系列化する。これら多くの技術革新により、電力変換装置をさらに高効率化、小型化、高信頼性化する。

電装分野では、高温での圧力の出力精度を改善し、ステンレスダイヤフラム方式の小型パッケージを採用した、第 7 世代高圧センサを開発した。150 °C での動作保証と高精度化、広い圧力範囲での使用を可能とし、燃費改善や排出ガス規制強化を背景とする環境性能と安全性が向上する。

ディスクリット製品では、PCS や UPS 用機器の効率化や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」1,200 V 耐圧 40 A 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、1,200 V 耐圧 75 A 製品、およびサブエミッタ端子を追加した TO-247-4 パッケージ系列品の開発を進めている。

IC 製品では、電源回路の小型化、軽負荷時の効率向上およびシステムコストダウンという市場要求に応えるため、小容量の平滑コンデンサに対応した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」および LLC 電流共振制御 IC「FA6C00N シリーズ」を開発した。

ディスク媒体

ビッグデータアナリシスの本格化に伴い、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、膨大な量のデータストレージの需要が生まれている。この需要を支えるハイパーデータセンターの主要ストレージとしてニアライン HDD が用いられ、引き続き大容量化が求められている。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、磁性層技術と信頼性技術の開発により、大容量化磁気記録媒体を市場提供することで IT 社会の発展に貢献していく。

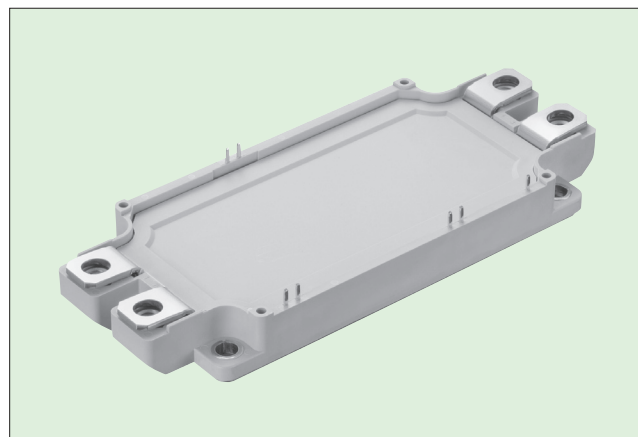
半導体

① 大容量 RC-IGBT モジュール「Dual XT」

IGBT モジュールの大容量化、信頼性向上といった市場要求に応えるため、IGBT と FWD の機能をワンチップ化した RC-IGBT（逆導通 IGBT）を搭載した定格電圧 1,200 V 第 7 世代「X シリーズ」産業用 RC-IGBT モジュールの系列の一つとして、「Dual XT」（1,200 V/1,000 A）を新規開発し、量産化した。

最大定格電流は、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「Dual XT」の 600 A から、本製品では 1,000 A に拡大した。さらに、過負荷やモータロック、低周波動作時のジャンクション温度の上昇を大幅に低減した。これにより、電力変換装置のさらなる出力向上や高寿命化に貢献する。

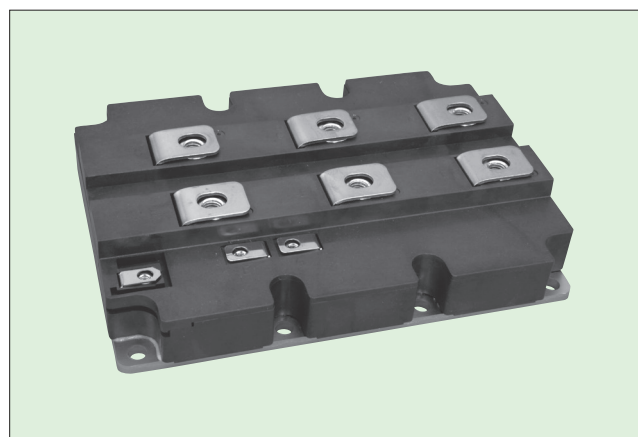
図 1 「Dual XT」1,200 V/1,000 A



② 3.3 kV SiC ハイブリッドモジュール

近年、さまざまな分野でパワーエレクトロニクス装置が広く使われるようになり、装置の高出力化かつ小型化が求められている。これらの市場要求に応えるため、富士電機では第 7 世代「X シリーズ」Si-IGBT チップと第 1 世代 SiC-SBD チップを搭載した 3.3 kV SiC ハイブリッドモジュールを開発した。X シリーズ IGBT のコレクタ・エミッタ飽和電圧 $V_{CE(sat)}$ を現行の IGBT に対し約 1.2 V 改善することで、定常損失が大幅に低減する。さらに、SiC-SBD の採用によりスイッチング損失が大幅に下がった。これらにより、装置の高出力化が可能になり、また高周波動作も可能となるためフィルタ回路のリアクトルやコンデンサの形状が小さくでき、装置の小型化にもつながる。

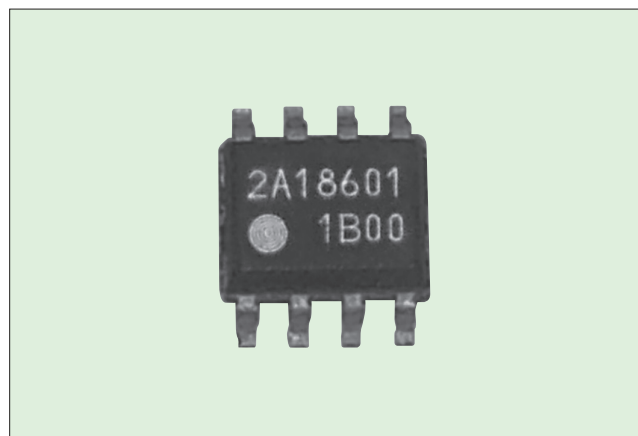
図 2 3.3 kV SiC ハイブリッドモジュール



③ 第 4 世代臨界モード PFC 制御 IC「FA1B00 シリーズ」

出力容量が 75 W を超えるスイッチング電源には、高調波電流規制を満たすため力率改善（PFC）回路が使用され、市場では低待機電力や小型化が求められている。このような要求に応えるため、第 4 世代臨界モード PFC 制御 IC「FA1B00 シリーズ」を開発した。この IC は、入力電流を台形波状に制御する方式を新たに搭載した。従来の正弦波よりも入力電流のリプルが小さくなるため、高調波電流規制を満足しながら PFC 回路の出力コンデンサの容量を小さくできる。これにより、従来の電解コンデンサから体積の小さなセラミックコンデンサなどに置換え可能で、電源装置の小型化に貢献する。また、従来製品と同様に軽負荷時の効率が向上するボトムスキップ機能やバースト制御機能を搭載しているので、低待機電力を実現している。

図 3 「FA1B00 シリーズ」



半導体

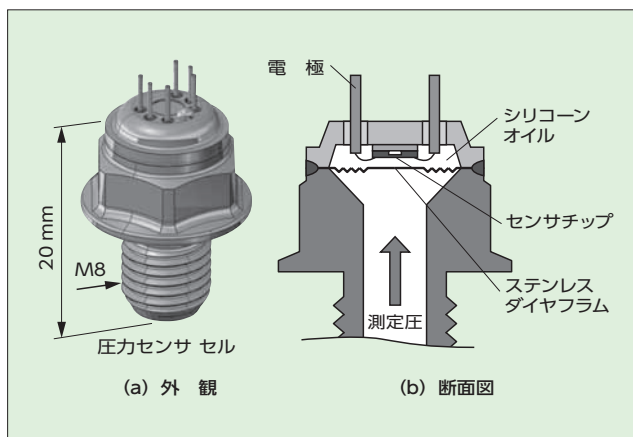
④ 第7世代車載用高圧センサ

自動車の厳しい使用環境に対応した、第7世代車載用高圧センサを開発し、自動変速機油圧測定用センサに採用された。このセンサは、最高使用温度 150℃、測定圧力 6 MPa の環境下でも高精度に動作する。高温特性の改善のため、リーク電流を低減したデュアルゲート MOS トランジスタを採用したチップを新規に開発し、センサに搭載した。さらに、ステンレスダイヤフラムを追加した二重ダイヤフラム構造のパッケージとすることで、高圧における測定精度と信頼性を改善した。また、ノイズ環境に対する耐性（過渡電圧サージ）は、国際規格*を満たしている。今後は、本センサのグローバルな市場展開を積極的に進めていく。

* ISO 7637 (2011) Pulse1、2、3a、3b LEVEL-III

➡ 関連論文：富士電機技報 2019, vol.92, no.4, p.258

図4 第7世代車載用高圧センサ

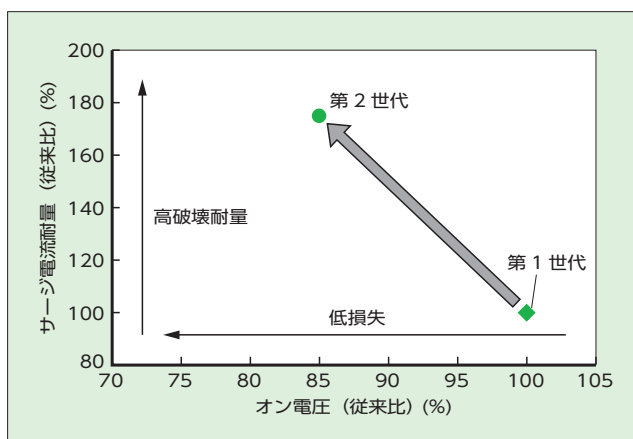


⑤ 第2世代 SiC-SBD 技術

低オン電圧特性と高サージ電流耐量を持つ第2世代 SiC-SBD (Schottky Barrier Diode) チップを開発している。素子の厚さを第1世代 SiC-SBD に比べて大幅に薄くすることと、独自のプロセス技術を用いて素子の表面構造を最適化することにより、650 V 耐圧素子では、オン電圧が 15% 低減、サージ電流耐量が 175% に向上した。

今後は、定格電圧 650 V および 1,200 V の第2世代 SiC-SBD チップを搭載したディスクリート製品の量産に向けた開発を進めていく。

図5 第2世代 SiC-SBD の特性改善 (650 V 従来比)



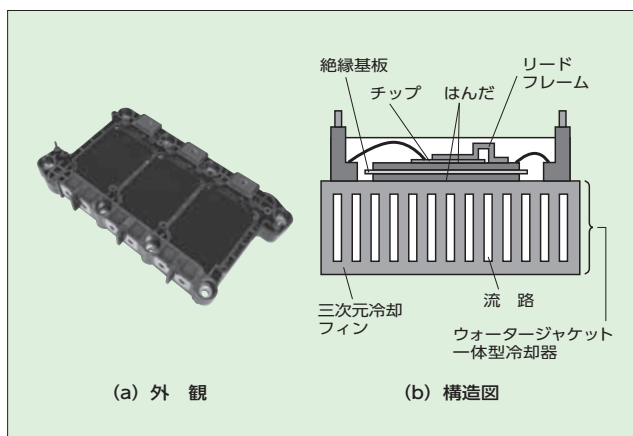
⑥ xEV 向け第4世代直接水冷パッケージ技術

自動車業界では、ハイブリッド自動車 (HEV) や電気自動車 (EV) のような、電力を動力源としてモータで走行する電動車 (xEV) の開発と普及が加速している。これに伴い、燃費向上につながる高電力密度化 (小型・軽量化、高出力化) したパワーモジュールが求められている。

第4世代アルミニウム直接水冷パッケージでは、冷却フィンを三次元形状にすることで伝熱性の高い流路を形成し、放熱性能を向上させた。さらに、半導体素子上の従来のアルミニウムワイヤによる主回路配線からリードフレームを使って配線する技術を開発した。この結果、第3世代に比べて体積当たりの電力密度を 36% 向上させ、車載向けモジュールの高出力化および小型化を実現した。

➡ 関連論文：富士電機技報 2019, vol.92, no.4, p.238

図6 車載用直接水冷モジュール



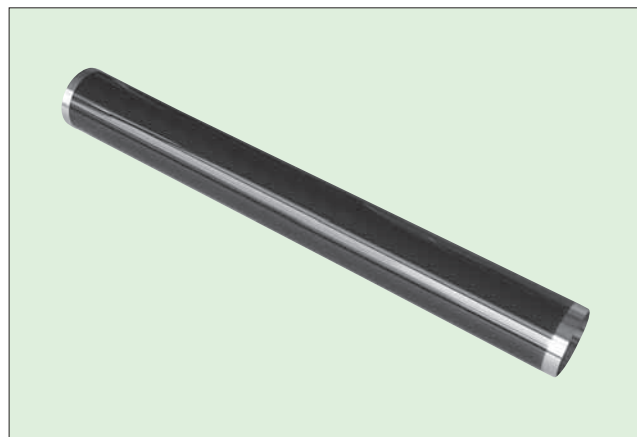
半導体

7 正帯電型有機感光体の電位安定性向上

感光体は、電子写真プリンタや複写機のような電子写真機器の画像品質を担う主要コンポーネントである。電子写真機器のメーカーは、低価格化の進んだモノクロ機から付加価値の高いカラー機に開発の比重を移している。カラー機では色バランスをより安定させるために、露光電位やハーフトーン電位といった各種電位の安定性に対する要求が高まってきている。

富士電機は、電位安定性の低下を防ぐ上で、特に機能材料の酸化による劣化と、機能材料の連続印字による疲労が課題であった。オゾン・NO_x 暴露による電位変動量が少なく、かつ高移動度の電荷輸送材料を新規に開発することで、これらの課題を同時に解決した。その結果、従来品と比べて露光電位の変動量を 80% 削減した。

図7 正帯電型有機感光体

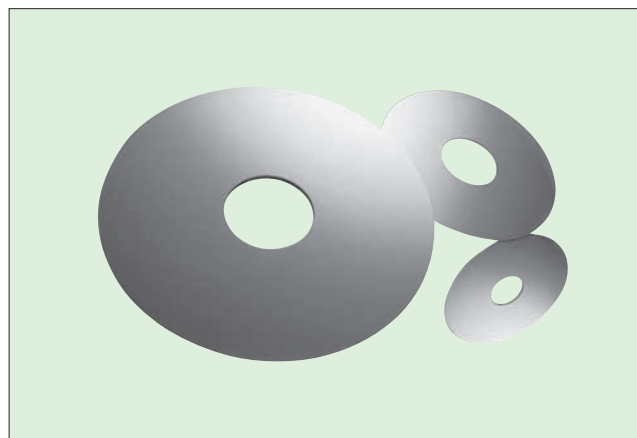


ディスク媒体

1 ニアライン HDD 向け磁気記録媒体

IoT や AI のようなビッグデータを活用する技術の台頭により、データストレージの需要は伸び続けている。データセンターにおける記録容量の大部分は、引き続き HDD が担うと期待されている。データセンター向けニアライン HDD には、世界最高レベルの高記録密度と高信頼性が求められる。そこで、多層磁性層の構成の最適化による記録容易性の改善と磁性粒子交換相互作用の低減、ヘッド - 磁性層間距離の狭小化により記録密度を改善した。さらに、媒体表面の粗さ低減および表面の硬度を高めることにより、耐食性と耐久性を改善した。これらの技術を用い、ニアライン向け 1.78 TB/ 枚の磁気記録媒体の顧客認定を取得した。今後も、高記録密度化に向けた技術開発を継続し、超情報化社会の発展に貢献していく。

図8 磁気記録媒体



発電プラント

火力・地熱発電
水力発電
原子力関連設備
新エネルギー



展 望

発電業界では、地球温暖化対策の検討が進む中、再生可能エネルギー（再エネ）の拡大と主力電源化に向けた取組みがさまざまな形で行われている。国内では災害への対応とレジリエンス強化が今後の電力分野の課題として取り上げられている。また、「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、再エネ分野におけるコスト低減要求と分散化、蓄電能力といった付加価値が求められるようになってきた。富士電機も、再エネ分野での競争力・提案力強化と、事業機軸の再エネ分野へのシフトを進めている段階にある。

この環境の中、エネルギー基盤の強靱（きょうじん）化に貢献する国内初の内陸型大型コンバインドサイクル発電プラントである真岡発電所（600MW 級×2 基）が竣工（しゅんこう）した。

地熱発電分野では、国内で 15 MW クラスの地熱タービン発電設備を継続して受注した。国外では、アフリカ地域において、2018 年度に引き続き地熱発電設備を受注した。さらなる受注に向けて、国内外での取組みを強化中である。

火力・地熱サービス分野では、市場環境の変化から、既存発電設備のさらなる高効率化と延命化が求められている。また、発電を継続したまま設備の検査・診断を実施するオンライン化の要望が高まっている。富士電機は、台湾において既設蒸気タービンのレトロフィットによる性能向上を行った。また、回転機（発電機）内のガス成分をオンライン状態で分析し、絶縁劣化診断を行う技術を確立した。高度化するニーズに対応した提案型更新サービスの拡大、ならびに国内と国外重点市場でのサービスのオンショア・オンサイト化を今後も強力に推進していく。

水力発電分野では、FIT の追い風が継続しており、中小水力の新規開発に加え、50 ～ 60 年前の国内水力開発期に建設された発電所の更新案件がかつてないほどに全国で活況を呈している。三次元の流れ解析技術を駆使し、個々の発電所にベストフィットさせることで、出力増大だけでなく、年間発電電力量の大幅アップを実現している。また、油圧を使わない環境に優しい油レス技術や、保守性と寿命を向上させた次世代の水力発電設備を提案していく。

太陽光発電分野では、EPC で受注したすずらん釧路町太陽光発電所（DC92.2 MW、AC59.4 MW）、津白山太陽光発電所（DC23.4 MW、AC18 MW）、久慈待浜太陽光発電所（DC12 MW、AC8.5 MW）が共に竣工した。特にすずらん釧路町太陽光発電所は、リチウムイオン電池を採用した蓄電池併設システムで、北海道電力株式会社の出力変動緩和対策の技術要件（連系点の有効電力変動抑制を 1%/分）を満たした国内最大級の設備である。久慈待浜太陽光発電所は、東北電力株式会社からの技術要件〔連系点の電圧変動（電圧偏差 ΔV ）が 2% 以下〕を PCS の無効電力補償機能を使って満足させたものである。また、太陽光発電向け大容量 PCS（DC1,500 V、2,500 kVA）の市場展開を始め、東南アジア内経済特区向けのプロジェクトに同地域の関連会社が参入し、AC5 MW（蓄電池付き）の EPC 案件を 2 件受注（同機を 4 式適用）した。今後も、大規模発電所に適した土地が多くあり、拡大が期待される東南アジア市場を中心に積極的に事業展開していく。

風力発電分野では、北海道や東北地域では陸上と洋上の双方で大規模なウインドファームの計画・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 6 台、ドイツに 4 台のりん酸形燃料電池を出荷した。今後も、CO₂ 排出量低減に向けて注目が高まっている水素利用案件にも注力していく。

原子力分野では、原子力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、新規規制基準に適合する耐震、防火・消火に関連する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においては、高速増殖原型炉“もんじゅ”の燃料取出し、燃料洗浄のほか、解体廃棄物を処理するセメント固化設備の設計を進めている。また、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新技術による安定化処理の開発を進めている。

富士電機は、地熱、水力、蓄電池併設太陽光・風力などの発電事業に引き続き注力し、低炭素社会と電力インフラの強靱化に貢献する。

火力・地熱発電

① 電源開発株式会社 鬼首地熱発電所向け発電設備の受注

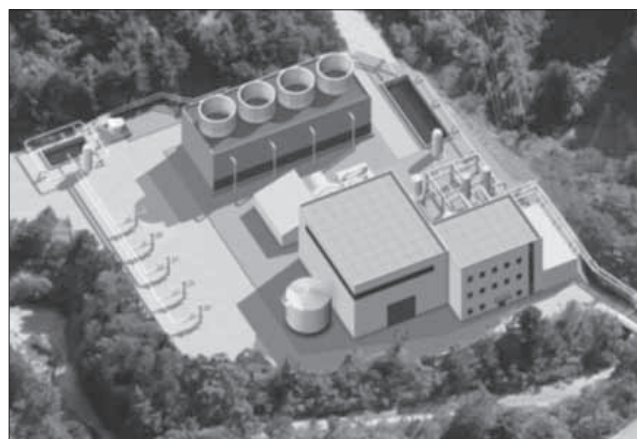
2019 年 8 月に電源開発株式会社 鬼首地熱発電所（発電端定格出力：14.9 MW）における発電設備の設計・調達・製作・据付・試運転を一括受注した。主機である蒸気タービン、発電機、復水器は川崎工場にて設計・製造し、納入する。

本発電所は、地中の蒸気と熱水を利用する 1 段フラッシュ方式を採用している。

なお、積雪地帯に建設されるため、積雪荷重や外気温の影響、凍結防止対策などを設計に反映することでプラントの信頼性を向上させ、年間を通して安定した電力を供給する予定である。

2023 年 4 月の運転開始に向けて、設計業務を遂行している。

図 1 鬼首地熱発電所完成予想図



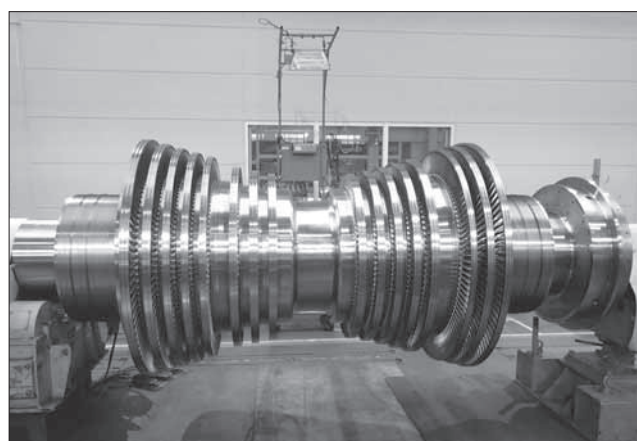
② 既設蒸気タービンのレトロフィットによる性能向上

富士電機が、台湾中部の西海岸に位置する麦寮火力発電所に納入した 4 台の 600 MW 蒸気タービン発電設備は、運転開始以来約 20 年の間、台湾全土に安定した電力を供給している。今回、この発電設備の性能向上を図るため、レトロフィット（設備の改善）を行った。

この発電所の蒸気タービンは 4 ケーシング構造（高圧×1、中圧×1、低圧×2）からなる。今回のレトロフィットでは、1 号機の中圧蒸気タービンに対して、最新設計の 3D 翼を採用したロータおよび内部ケーシングを製作し、蒸気タービンの性能を向上させた。2020 年 2 月に現地での更新作業が完了し、運転を再開した。

また、当発電所の 2 号機と 3 号機においても、同様の受注をしており、2021 年に更新作業を行う予定である。

図 2 新製した中圧ロータ



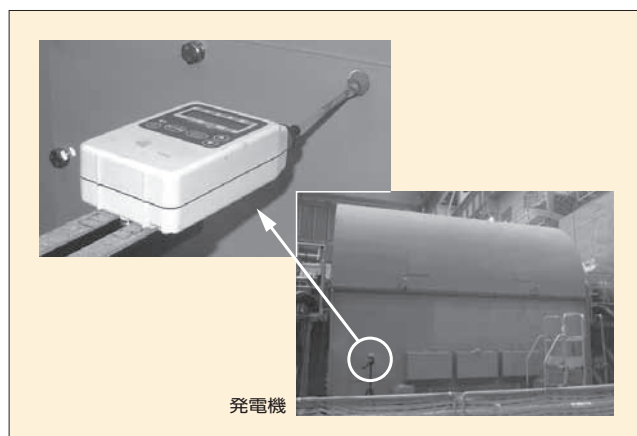
発電プラント

③ オンラインガス分析による回転機固定子巻線の劣化診断

発電機の固定子巻線の絶縁は、運転にともなう電気や機械、熱、環境の複合ストレスにより経年劣化する。特に、固定子巻線の絶縁表面の劣化が進行すると部分放電が起き、オゾン（ O_3 ）や窒素酸化物（ NO_x ）などの腐食性ガスが発生する。さらに腐食性ガスが空気中の水分と反応して硝酸（ HNO_3 ）が発生し、これによって機内の金属部品の腐食が原因となって、破損が生じて突発的な事故へと繋がる場合もある。

このような事故を未然に防ぐため、運転中に簡易な測定システムによって O_3 や NO_x を定量測定し、固定子巻線の絶縁表面の劣化度合を推定する手法（特許取得済み）を確立した。今後、この劣化診断技術を用いて、最適な保守・保全プランを提供していく。

図 3 発電機的气体分析例

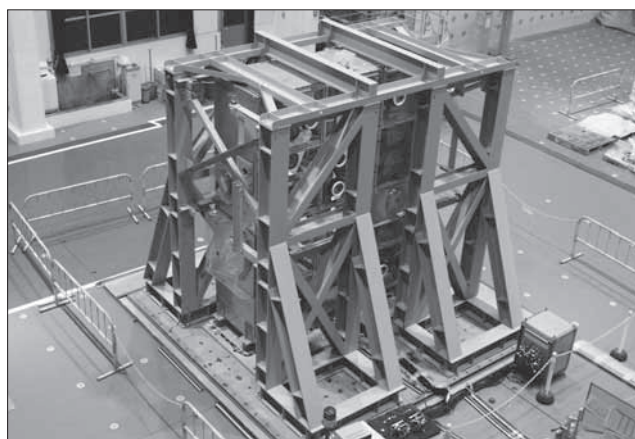


原子力関連設備

① MOX 燃料工場向け耐震確認試験

日本原燃株式会社向けに MOX 燃料加工施設を設計・製作している。本施設では、グローブボックス（GB）という密閉容器内で核燃料物質を取扱う。GB の重要な機能は、核燃料物質を外部に漏えいしないこと（閉じ込め機能）である。閉じ込め機能の評価では、耐震確認試験で漏れがないことが確認された GB の応答加速度（機能維持確認済加速度）を許容値としている。一方、近年では想定される地震の規模が大きくなり、より高い許容値が必要とされる。富士電機は、2016 年度に GB の耐震確認試験を行い、従来よりも高い応答加速度（5.7G など）まで機能が維持されることを確認した。この結果を基に、2018 から 2019 年度は GB や関連機器の設計と耐震計算を行った。今後は MOX 燃料加工施設の竣工に向け、これらの機器の製作を進めていく。

図 4 耐震確認試験の試験体外観

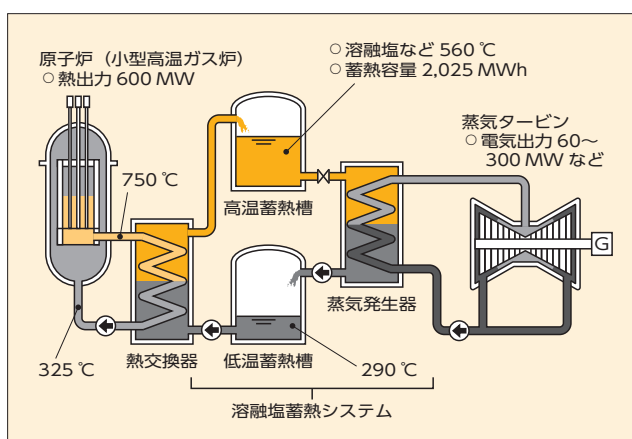


② 蓄熱型小型モジュール高温ガス炉

原子力発電は将来の脱炭素化の選択肢として位置付けられている。富士電機は、東芝エネルギーシステムズ株式会社と共同で蓄熱型小型モジュール高温ガス炉を開発しており、2019 年度から概念設計に取り組んでいる。本システムは、固有の安全性をもった原子炉である小型高温ガス炉に、太陽熱発電で実証済みの熔融塩蓄熱システムと蒸気タービンを組み合わせている。高温ガス炉の 700℃ を超える原子炉出口温度を活用し、効率的なエネルギー貯蔵と発電量の調整ができ、再生可能エネルギーの発電量の変動に対応できるシステムである。

高温工学試験研究炉などで蓄積した高温ガス炉技術を活用し、2030 年代までの小型高温ガス炉の実用化、および 2050 年までの蓄熱型の実用化導入を目標にしている。

図 5 蓄熱型小型モジュール高温ガス炉のシステム概念



新エネルギー

① 無効電力調整機能付きメガソーラー（久慈待浜太陽光発電所）の完工

未来創電待浜合同会社が岩手県久慈市に建設する太陽光発電所の設計・調達・施工（EPC）を請け負った。本発電所は 66 kV の特別高圧系統に連系し、発電出力は 8.5 MW である。

太陽光発電の出力変動による系統の電圧変動率が、適正値の $\pm 2\%$ 以内に収めるため、通常は無効電力補償装置（SVC）を導入する。しかし、大型で重量のある SVC を設置できる土地がなく、導入が困難であった。

この問題を解決するため、太陽光発電用 PCS に無効電力調整機能を付与し、制御コントローラ（PLC）と組み合わせて系統電圧変動を抑制するシステムを開発した。出力 8.5 MW において ± 4.6 Mvar の範囲で無効電力を制御し、系統電圧変動率を適正値内に抑制した。

図 6 久慈待浜太陽光発電所の全景



新エネルギー

② 東南アジア経済特区分け蓄電併設 5 MW メガソーラー

国内では、大規模太陽光発電所の新規案件が減少しているが、国外では拡大傾向にある。特に東南アジアは今後の生産年齢人口の伸びと経済成長により、電力需要の増大が予想される。また、豊富な日射量から太陽光発電への期待が大きい。富士電機は 2019 年度から東南アジアの太陽光発電事業に取り組んでいる。今回、同地域の関係会社と連携し、経済特区分けのプロジェクトを一括請負工事（EPC）で 2 件受注した。リチウムイオン電池を併設し、ピークカットと夜間電力の供給を実現する蓄電池併設型の太陽光発電所であり、1 件当たりの連系点電力は 5 MW である。これらの発電所に設置する新型の太陽光発電向け PCS「PVI1500CJ-3/2500」は、従来品より小型で、単機容量 2,500 kW、最高効率 98.7% である。

図7 「PVI1500CJ-3/2500」



③ 韓国・ユイル産業社向けりん酸形燃料電池

韓国では、燃料電池を含む新・再生可能エネルギーへの支援が積極的に行われ、導入が加速している。

富士電機は、2017 年に韓国の中小規模発電事業者に 100 kW りん酸形燃料電池の納入を開始し、現在までに 17 台が稼働している。2017 年度には韓国南西部のユイル産業社に 5 台納入した。安定して稼働してきた実績により、2019 年度は新たに 3 台を追加納入した。同一サイトへの 8 台設置は、富士電機として韓国における最多の設置数である。ユイル産業社は、燃料電池で発電した 800 kW の電力を電力事業者に売電している。今回の実績を生かし、小中規模売電事業やコージェネレーション利用を中心に燃料電池の導入拡大につなげていく。

図8 納入したりん酸形燃料電池



食品流通

自動販売機
店舗流通



展 望

自動販売機

中国、東南アジアにおける自動販売機市場は人件費の高騰やキャッシュレスの急速な普及により、需要が拡大している。また、日本における在留外国人数は2012年から毎年5%程度増加するとともに訪日観光客も毎年20%程度増加している。2019年のインバウンド消費は4.8兆円に到達しており、国内経済においても在留および訪日外国人の消費が大きな割合を占めている。

2020年に猛威を振るっている新型コロナウイルス感染症は世界経済において大きな打撃を与えているが、同時に日常生活様式を変化させる起点となった。人との対面を避けることに対して無人販売を実現する自動販売機は、今後一つの役割を果たしていくものと思われる。既にマスクなど公衆衛生用品を自動販売機で販売するなどの新しい活用の動きが始まっている。流通現場において求められるのは需給バランスを図った合理的な運営であり、需給の不均衡は食品ロスや販売機会の損失を招く要因の一つであるため、これを解消するにはサプライチェーン全体の情報基盤の整備が必要であるといわれている。自動販売機の現場においても自動販売機への商品の配送、現金の回収、空き缶回収などの作業効率を上げるための努力が行われている。これらの背景を踏まえて自動販売機のスマート化を推進し、情報連携による総合的な自動販売機運営支援サービスの開発を行っている。また、グローバル化と利用者の利便性を高めるため、QRコードを利用した決済機能や、日本では当たり前になっている自動販売機の操作に対し、多言語による操作ガイダンスを設けるなどあらゆるシーンで活用できるための新機能を開発した。ホテルや外食エリアで活用されている清涼飲料ディスペンサに大型液晶タッチパネルを搭載し、商品の説明や操作のフローを5か国語から選択して案内するガイダンス機能の追加をはじめ、消費嗜好（しこう）の多様性に合わせた複数の飲料の混合や炭酸強度の調整など、利用者が好みに合わせて調整する機能を付加したことで楽しさを演出している。

日本の人口は2008年をピークに減少に転じて、高齢化が進み2035年には3人に1人が65歳以上という高齢化

社会を迎えるといわれている。介護施設は増加傾向にあるが、介護の現場では介護従事者の補充が追い付かず負荷が増大している。2017年の日本人の死因のうち肺炎は9.9%であり、高齢者の肺炎による死因のうちおよそ7割が誤嚥（ごえん）性肺炎によるものといわれている。誤嚥性肺炎の一つの要因として、加齢によって引き起こされる嚥下障害が挙げられる。誤嚥防止には飲料などに適正なとろみをつけることが良いとされている。介護施設では食事や服薬の際に要介護者に応じたとろみをつけた飲料を提供しているが、攪拌（かくはん）や飲み頃温度にするための時間がかかり業務を増やす一因になっている。富士電機は、ボタン操作によりそれぞれの要介護者に適したとろみの濃度の飲料をカップ内で自動調理する給茶機を業界で初めて開発し、介護従事者の業務負荷を低減させた。

今後も、急速に広がるボーダレス社会への対応や新しい生活様式の速やかな実現、ならびに人生100年時代における健康的な生活を支援する製品開発を継続していく。

店舗流通

店舗を訪れる消費者にとって、清潔で快適な商空間が維持されていることは重要である。富士電機は数年前より実店舗における快適環境の調査を独自に行ってきた。店内では季節により変動する店内温度を適度に保つと同時に、調理室やトイレなどの適正な換気を維持する必要がある。その際、排気と給気のバランスが崩れていると顧客の来店により自動扉が開いた際、店外からの熱や湿度および粉じんが店内に流入し、空調負荷の増加や床面、空調フィルタの清掃頻度を高める原因となっていることを確認した。店内外の圧力差を基準に外気導入量を細かく制御し、店内圧力を適切に保つ技術を開発したことで、空調の消費電力量を約10%削減し、フィルタの清掃頻度を約50%低減することができた。

社会環境の変化によって目まぐるしく変化する小売業界の課題に対し、柔軟に対応していくことで継続的な社会貢献を実現していきたい。

自動販売機

① サントリービバレッジソリューション株式会社向けタッチパネル搭載清涼ディスペンサ「Mercury」

サントリービバレッジソリューション株式会社向けに新型清涼ディスペンサ「Mercury」を開発した。フリードリンクのコーナーにおけるわくわく感や楽しさの演出により利用者の満足度が向上した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 15 インチ大型タッチパネルにより、利用者が好みに合わせて飲料を混ぜたり炭酸強度を調整したりすることで、従来の 18 種類から 100 種類以上の飲料が提供できる機能を搭載
- (2) 商品説明や操作フローを表示する言語を 5 か国語から選ぶことができ、インバウンドに対応
- (3) 新型チューブポンプの採用により全飲料を 1 か所から提供でき、位置を間違えずにグラスのセットが可能
- (4) 従来のイメージを刷新した機材デザイン

図 1 「Mercury」



② QR コード決済端末「F-ID-QRPT」

インバウンドおよびキャッシュレス社会に対応するため、QR コードにて決済可能な自動販売機用の決済端末「F-ID-QRPT」を開発した。本端末は、タッチパネル付きの 7 インチディスプレイを搭載し、決済サーバから取得した支払 URL 情報を QR コードで表示する。これをスマートフォンのカメラで読み取って決済を行う方式を採用している。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 複数ブランド対応

Alipay、WeChatPay、LINE Pay、PayPay に対応

- (2) インバウンドに向けた対応

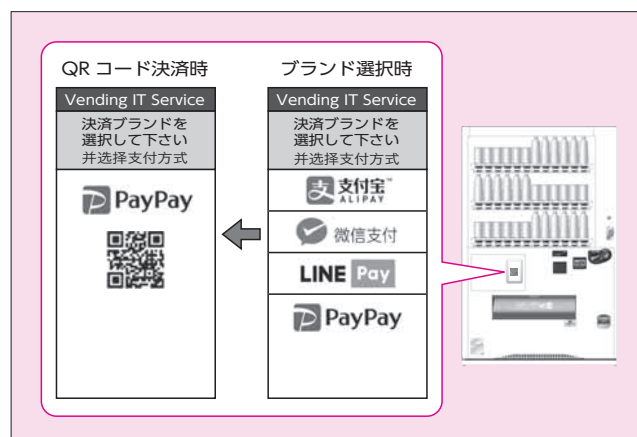
操作ガイダンスを中国語と日本語で同時表示

- (3) 一件明細*集計サービス（オプション）

専用サーバによる一件明細集計サービスの提供

*一件明細：自動販売機の販売ごとの利用明細のデータ

図 2 「F-ID-QRPT」

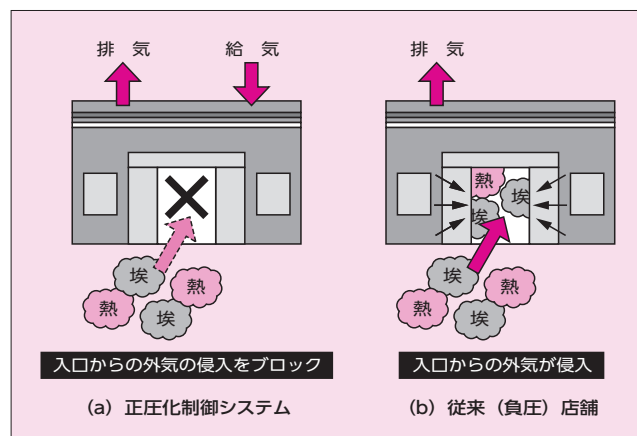


店舗流通

① 店舗向けの正圧化制御システム

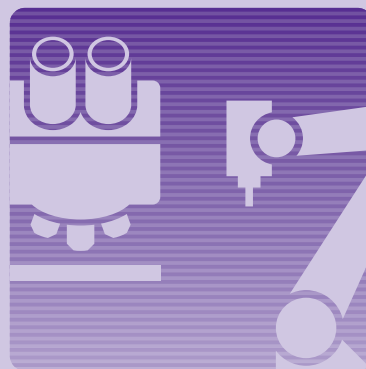
店舗機器の省エネルギー（省エネ）化や店内作業の省力化の要望が高くなっている。店舗全体の熱負荷や店内の空気の流れに着目すると、差圧により店舗扉からの外気の侵入が熱負荷として大きな割合を占め、空調やショーケースの負荷増大に影響している。さらに、外気とともに粉じんや埃（ほこり）が侵入して店内清掃の負担が増える。そこで外気の侵入を低減するため、店舗内外の差圧を最小化する差圧フィードバック制御技術を開発した。この技術と給排気の場所や空気の流れを工夫することで、空調の消費電力量が約 10% 削減でき、粉じんなどの侵入抑制により空調やショーケースのフィルタの清掃頻度が 50% 低減した。

図 3 正圧化制御システムの模式図



基盤・先端技術

基盤技術
先端技術



展 望

富士電機は、新たな顧客価値の創出と社会課題解決に向けて、強いコンポーネントとそれらを活用したシステムならびにソリューションの開発に注力するとともに、これらの商材を支える基盤技術と先端技術の研究開発に取り組んでいる。特に絶縁技術、EMC 技術、材料技術、シミュレーション技術など八つの領域の基盤技術、および、パワーエレクトロニクス（パワエレ）技術、パワーデバイス技術、アナリティクス・AI などの先端技術の中長期的な強化を進めている。

次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 の研究開発を進めている。2019 年度には、イオン注入プロセスで作製した縦型 GaN-MOSFET において、世界で初めて高耐圧かつ低オン抵抗のトランジスタ動作に成功した。また、第一原理計算を用いた GaN-MOSFET のゲート絶縁膜中の不純物の状態解析技術を活用し、さらなる性能向上を進めている。

将来のパワエレ機器向けの技術として、絶縁、接合、熱冷却、パワエレ、SiC パワーデバイス、パッケージなどの先端技術を複合して、超高電力密度のモータ駆動用パワーユニットの研究を進めている。これまでに電力密度は、従来技術を用いたインバータの 20 倍を達成した。今後、さらなるレベルアップを目指すとともに、この研究で培った技術をパワエレ機器に展開していく。

電力機器やパワエレ機器のさらなる安全性向上に向けて、絶縁評価技術を強化している。その一環として、電氣的負荷、機械的負荷、環境的負荷を組み合わせた環境を模擬できる絶縁評価技術を構築した。この技術を活用して、現在、より厳しい複合環境ストレスにおける機器の絶縁性検証を

進めている。

地熱バイナリー発電設備のコンパクト化と送電端出力を増大するため、熱交換性能を大幅に向上できる独自の高効率フィンと不等ピッチ管群配置を適用した新型空冷凝縮器を開発した。今後、フィールド検証を進める予定である。

ゴムや金属などの生産ラインにおける不良部材の流出やロットアウトの防止に向け、レーザ誘起ブレイクダウン分光法を用いて、部材の成分をインラインで自動計測する技術を開発した。今後、検証試験を行い、FA 分野向け商材への適用検討を進める。

化学プラントなどの安定操業に向けて、プログラマブルコントローラに搭載できるエッジ型モデル予測制御技術とモデル自動調整技術を開発した。モデル自動調整技術により、プラントが経年変化しても安定した制御が可能である。

工業製品の外観検査システムへの適用に向けて、画像認識 AI の判断根拠可視化技術を開発した。これまで困難であった AI の判断根拠を明示でき、検査員による妥当性の判断が可能である。今後、自社工場の検査ラインにて検証を行う予定である。

シミュレーション技術として、ラグランジュ混相流と液膜モデルの組合せにより、壁面に衝突した液滴による液膜生成や液膜から液滴が再飛散する現象を数値計算で推定する技術を構築した。この技術を用いて、蒸気タービンや船舶用スクラバなどのさらなる性能向上を進める。

今後も富士電機は、基盤技術をデジタル技術の活用により徹底的に強化するとともに、新たな先端技術に挑戦し続け、安全・安心で持続可能な社会の実現を目指していく。

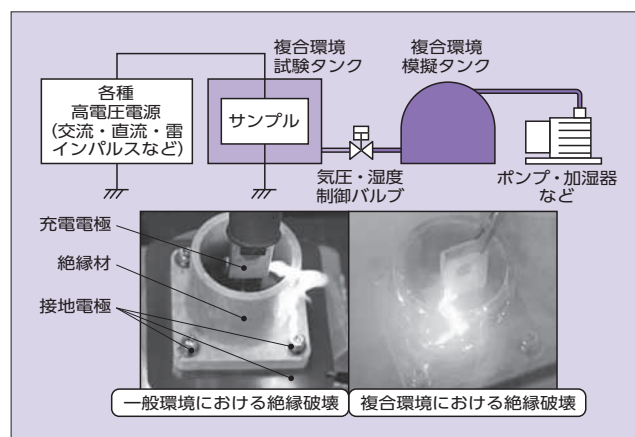
基盤技術

① 複合環境ストレスを模擬した絶縁評価技術

パワーエレクトロニクス（パワエレ）機器は、用途拡大に伴って海上や高地といった過酷な環境でも使用されるようになってきている。従来の絶縁評価は海上や高地の複雑な環境を再現しきれていない。そこで、電氣的負荷や機械的負荷、気圧や汚損をはじめとした環境的負荷などを複数組み合わせ、複合環境ストレスを模擬した絶縁信頼性評価技術を構築した。最も厳しい複合環境における絶縁破壊電圧は、一般環境と比較して 25% 程度まで性能が低下することが判明しつつある。

複合環境ストレスにおける機器の絶縁性を検証し、周囲環境の性質に応じた絶縁距離やダメージを受けない絶縁材質を選定することで、安全なパワエレ機器を提供できる。

図1 複合環境模擬絶縁評価システムと実験事例



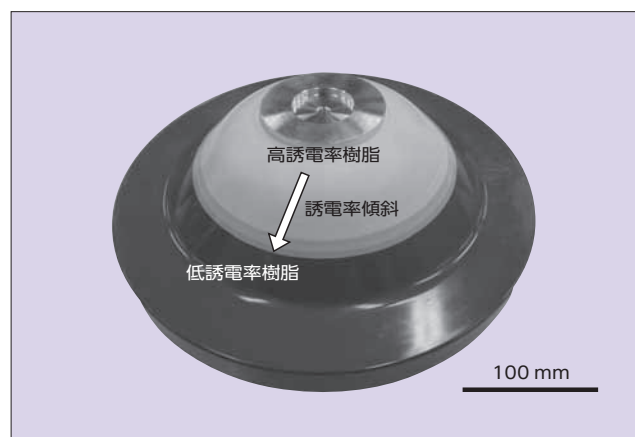
② 誘電率傾斜機能材料による電界緩和・高絶縁化技術

富士電機は 2017 年から NEDO のプロジェクトに参画し、電力の安定供給に不可欠な高電圧電力機器の小型化や信頼性向上を実現する高機能絶縁材料を開発している。

このプロジェクトを通じて、電界強度を最適に制御するため絶縁材料の比誘電率 ϵ_r を任意に設定できる誘電率傾斜機能材料（ ϵ -FGM）の技術を開発した。この ϵ -FGM を適用して従来より 30% 小型化したガス絶縁開閉装置（GIS）用の絶縁スペーサ（245 kV 相当）を試作した。雷インパルス耐電圧試験を行ったところ、IEC の規格値である耐電圧 1,050 kV を満足することを確認し、小型化できることを実証した。

今後、絶縁材料の長期信頼性や絶縁母線で検証し、実用化を目指す予定である。

図2 誘電率傾斜機能材料（ ϵ -FGM）適用絶縁スペーサ

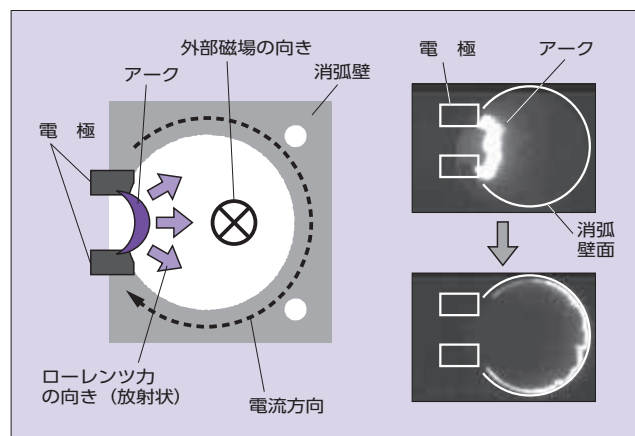


③ 低圧回路向け直流開閉技術

系統負荷の大容量化に伴い、給電容量が増加しているため、従来の電流や電圧よりも大きな電流や電圧を遮断できる直流開閉器の要求が高まっている。

直流電流を遮断するためには、電源電圧以上に消弧室内のアーク電圧を高める必要がある。アークに対し狙いの磁場分布を印加するための磁場設計（解析）と、実際のアークの観測を組み合わせ、遮断に必要なアーク長とローレンツ力によりアークを伸長させるために必要な磁束密度が導出できる技術を開発した。従来よりも大きな電流や電圧の仕様の直流開閉器の開発において、この技術を適用して消弧室内の磁場分布や消弧室サイズの最適設計を行っている。

図3 ローレンツ力を用いたアーク伸長状態の観測

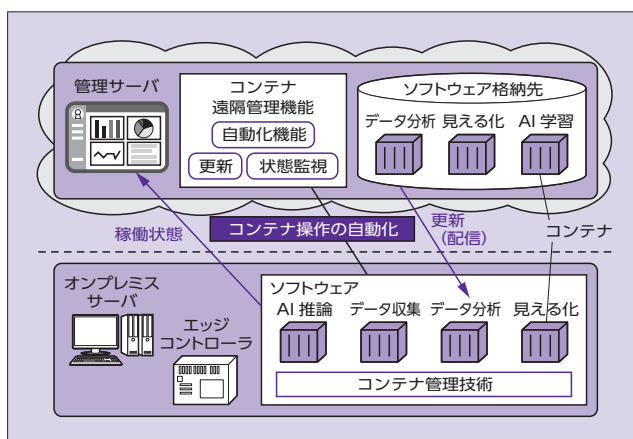


基盤技術

④ ソフトウェアの遠隔管理を実現するコンテナ管理技術

ソフトウェアをコンテナと呼ばれる小さな単位に分割し、それらを組み合わせることでシステム構築や変更を容易にするマイクロサービス技術が注目されているが、多くのコンテナから必要なものを選択し導入するための作業工数の増加が課題となっている。そこで工場の IoT システムで使用するエッジコントローラやオンプレミスサーバ内のソフトウェアを管理サーバから遠隔監視し、複数の管理作業を自動化するコンテナ管理技術を開発した。システム管理者は分散して配置されているコンテナの状態を一つの画面から一覧で監視し、ソフトウェアの停止や更新作業などの操作を自動化することにより作業工数は従来の 4% となり、顧客からの要求に迅速に対応できるようになった。

図 4 コンテナ管理技術を活用した IoT システムの一例

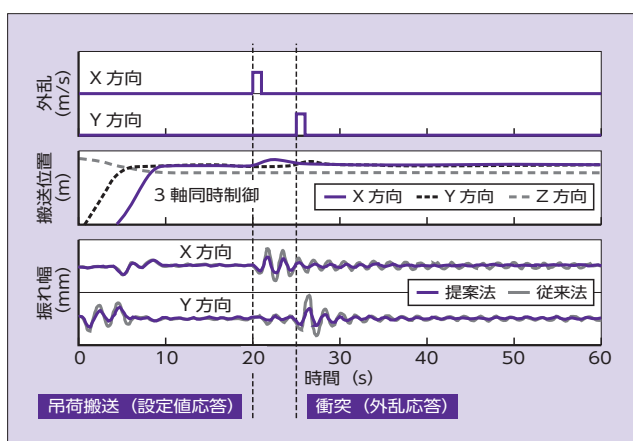


⑤ 多変数制御技術 — 天井クレーン振れ止め制御への適用 —

多変数制御は、PID 制御のようなワンループ制御とは異なり、複数の制御入力と、複数のプラント出力を一括して制御し、システム全体の性能が向上できる。外乱やモデル変動に強い多変数制御を開発し、天井クレーンの 3 軸振れ止め制御に適用した。

- (1) 設定値応答：従来法と同様に良好な吊荷搬送が可能である。また、3 軸同時制御なので、従来の 1 軸ごとの制御よりも搬送時間は 1/3 に短縮した。
- (2) 外乱応答：従来法と比較して、振れ幅が平均 46.4% 低減し、外乱抑制性能が向上した。
- (3) 調整レス：吊荷の質量やロープ長など、最大 50% のモデル変動が生じてても、同じ制御定数のままで同じ外乱抑制性能が維持できる。

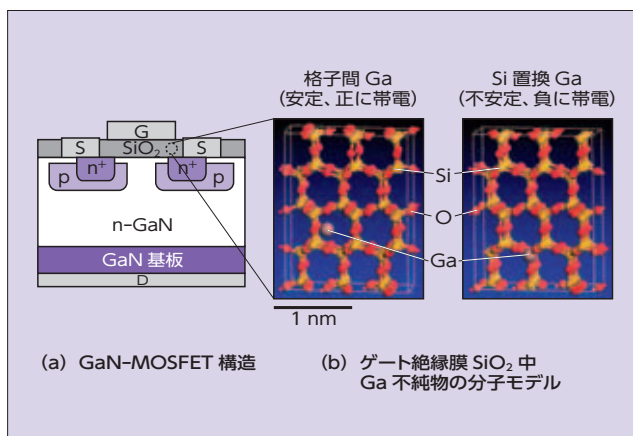
図 5 クレーンミニモデルの実験結果



⑥ 第一原理計算による GaN-MOSFET ゲート絶縁膜中不純物の影響解析

デバイス性能低下の大きな要因の一つに、微量不純物がある。この影響を解明するために、第一原理計算を用いて不純物の状態を解析する技術を開発した。本技術を GaN-MOSFET のゲート絶縁膜中の GaN 基板由来の Ga 不純物の解析に適用し、しきい値電圧への影響を検証した。分析が困難なゲート絶縁膜中の Ga の安定な位置とその帯電状態を計算により評価した。その結果、Ga が格子間位置で安定に存在し、プラスに帯電することを見出した。これは絶縁膜中の Ga がしきい値電圧を低下させることを示唆し、実験結果を裏付けることができた。今後は Ga 不純物の低減を行うとともに、帯電しない状態の探索に適用し、GaN-MOSFET の性能向上を行う。また、本技術は金属や樹脂などの他材料への水平展開が期待される。

図 6 絶縁膜中 Ga 不純物の分子モデルおよび解析



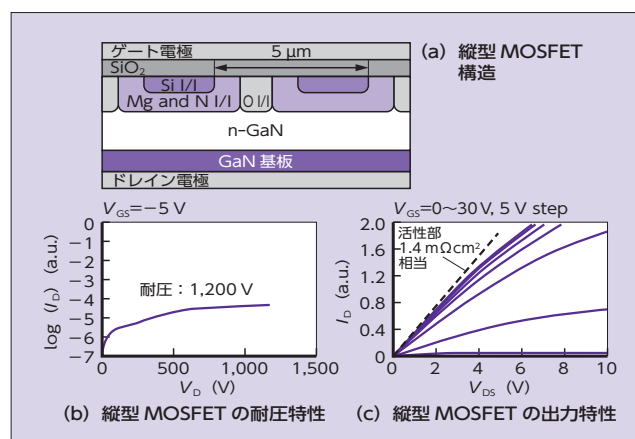
先端技術

① 世界初 イオン注入プロセスで作製した 1,200 V 級縦型 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) によるデバイス構造の制御が重要である。

富士電機では、p 形領域の形成にマグネシウム (Mg) と窒素 (N) との連続注入技術を適用し MOSFET の高耐圧化を実現した (耐圧: 1,200 V)。さらに、酸素 (O) のイオン注入による JFET 領域の抵抗制御技術を確認した。これらを用いて、自立 GaN 基板上に微細な MOSFET 構造を形成し、高耐圧かつ低オン抵抗のトランジスタ動作に成功した (特性オン抵抗: $1.4 \text{ m}\Omega\text{cm}^2$)。今後も特性改善を進めるとともに、大電流化を目指す。

図 7 縦型 GaN-MOSFET の構造と電気特性

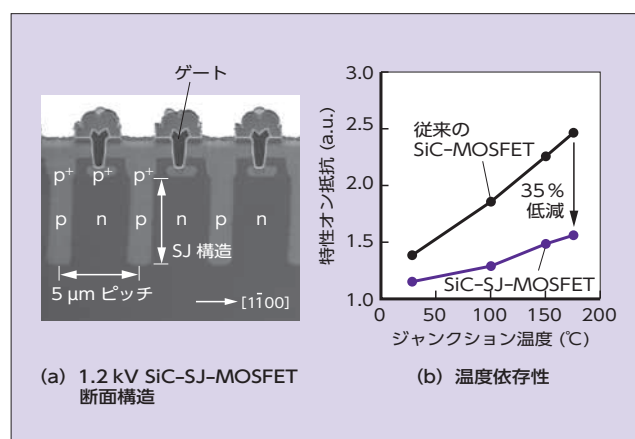


② 1.2 kV SiC スーパージャンクション MOSFET

4H-SiC 基板を用いた 1.2 kV 耐電圧クラスのトレンチゲート型 SiC スーパージャンクション MOSFET (SiC-SJ-MOSFET) を開発している。従来のトレンチゲート型 SiC-MOSFET 構造 (セルピッチ $5 \mu\text{m}$) のドリフト層内に、多段 n 形エピタキシャル成長と Al イオン注入を繰り返して SJ 構造を形成した。従来構造に比べて特性オン抵抗の温度依存性が小さい。ジャンクション温度 175°C において、従来構造に比べて特性オン抵抗を 35% 低減した。損失の低減により、インバータなどに搭載すると装置の小型・軽量化につながる。

本研究は、共同研究体 つくばパワーエレクトロニクスコンステレーション (TPEC) 殿の事業として行われた。

図 8 SiC-SJ-MOSFET の断面とオン抵抗の温度依存性



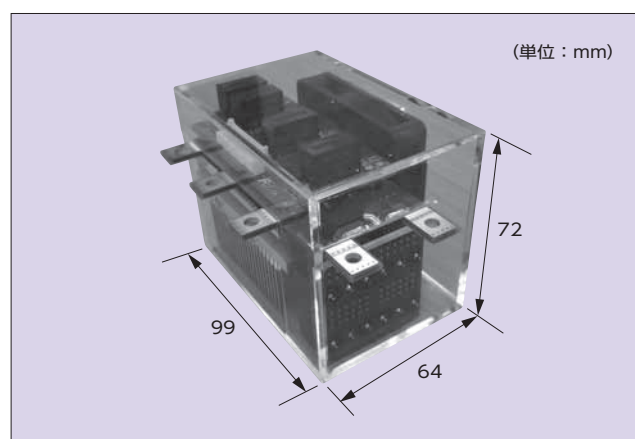
③ SiC-MOSFET 搭載超高電力密度パワーユニット

絶縁や接合、熱冷却、パワエレ、SiC-MOSFET モジュールなどの先端技術を複合して、モータ駆動用超高電力密度インバータパワーユニットの研究開発を行っている。以下の成果により、37 kW の強制空冷方式で $W99 \times D64 \times H72$ (mm) の小型サイズを実現した。

- (1) 従来の IGBT を用いたインバータと比較し、損失を 70% 低減し、電力密度を 20 倍に高めた。
- (2) ラミネート多層プリント基板をパワー回路に採用し、低配線インダクタンス化や発熱抑制、安全規格に準じた絶縁距離の確保を実現した。

今後、これらの高電力密度化の技術を応用し、幅広い分野への展開を図る。

図 9 37 kW モータ駆動用パワーユニット



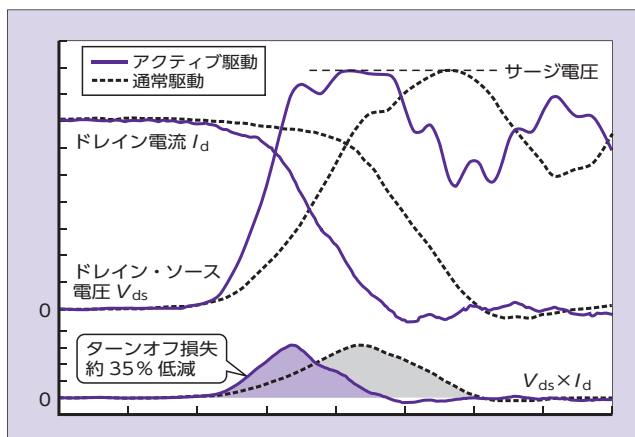
先端技術

④ SiC-MOSFET のアクティブゲート駆動技術

SiC デバイスは、高速かつ低損失で動作できる性能を持っており、パワーエレクトロニクス装置の小型・高効率化への寄与が期待されている。

富士電機は、SiC デバイスの開発と同時にその性能を最大限に発揮するためのアクティブゲート駆動技術を開発している。本技術は、ゲート電流の通流期間を制御し、ドレイン・ソース電圧の変化率とサージ電圧を制御する独自のゲート駆動方式で、ターンオフ時におけるサージ電圧の抑制とターンオフ損失の低減を両立する。図に示すように、通常駆動時に発生するサージ電圧を従来と同等のまま、ターンオフ損失を約 35% 低減できることを確認した。今後、製品への適用を進めていく予定である。

図 10 ターンオフ時のサージ電圧抑制と損失低減

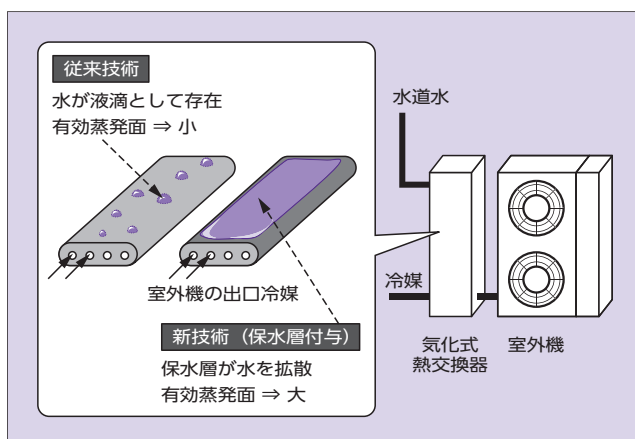


⑤ 室外機向け気化式熱交換技術

スーパーマーケットやコンビニエンスストアなどでは、「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」（省エネ法）の改正・施行に伴い、一層の省エネルギー（省エネ）が求められている。また、近年の外気温の異常な上昇により、室外機にかかる冷却負荷増大も課題である。そこで室外機に併設することで冷媒の冷却を補助し、省エネと冷却負荷の軽減を同時に実現する気化式熱交換技術を開発している。

本技術は水の気化熱を利用した冷却構造が特徴である。熱交換器表面に特殊な素材からなる保水層を付与することで、少量の水で効率的な冷却が可能である。例えば 28 kW 級の室外機では、夏期に 3 kW の冷却負荷が低減でき、約 10% の省エネに相当する。これは、室外機が夏期でも中間期と同等の冷却性能を発揮できることを示している。

図 11 気化式熱交換器における保水層の効果

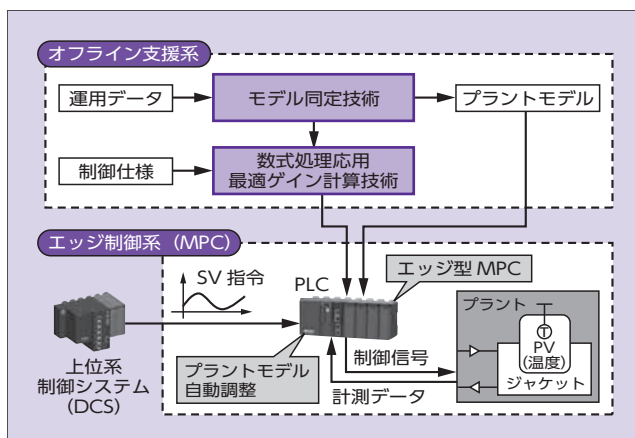


⑥ モデル自動調整機能を搭載したエッジ型モデル予測制御

富士電機は、PLC（Programmable Logic Controller）「MICREX-SX」に搭載できるエッジ型モデル予測制御（MPC）を開発してきた。従来の MPC は、制御対象の未来応答予測と制御目標との誤差を最小化する最適化問題を解きながら制御が行われるため、計算リソースが大きな PC が必要であった。

今回、開発したエッジ型 MPC は、数式処理技術を活用し制御系の設計段階で最適ゲインを事前計算することで、計算リソースが小さな PLC のファンクションブロックとして搭載できる。さらに、プラント経年変化に対応できるように、PLC に設定したプラントモデルを稼働時の計測データから自動で再調整できるモデル自動調整技術を開発した。これらの技術により、プラントの安定操業に貢献する。

図 12 エッジ型モデル予測制御の構成例



先端技術

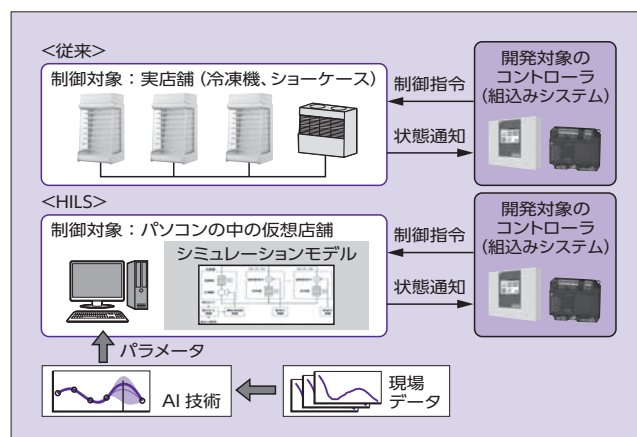
⑦ AI によるシミュレーションモデルの高精度化

ショーケースの制御ソフトウェア開発では、季節環境に基づいた、さまざまな動作条件や故障条件のすべてを実機で再現することはできなかった。

今回、冷凍機やショーケースなどの物理的シミュレーションモデルのパラメータを、AI 技術と現場データを用いて同定する技術を開発することで、高精度なテスト装置（HILS：Hardware-in-the-Loop Simulation）にすることができる環境を構築した。これにより、さまざまな条件がコンピュータ上で容易に再現できるようになり、開発期間の大幅な短縮が可能となる。

本技術を活用することで、冷媒配管長や店舗レイアウト検討などのエンジニアリング、異常兆候検知、最適制御などへの応用も期待できる。

図 13 製品開発への適用例



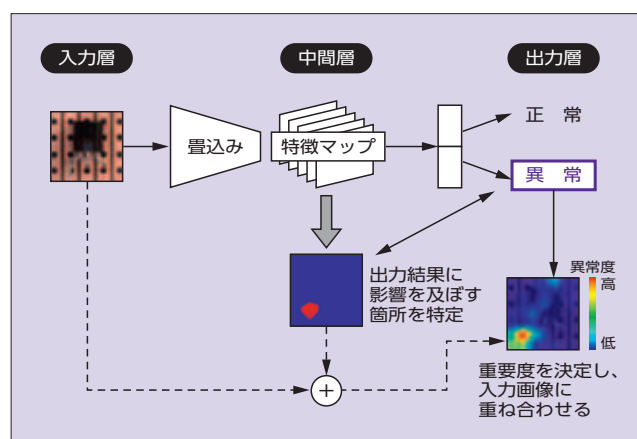
⑧ 画像認識 AI の判断根拠の可視化技術

近年、工業製品を高精度で安定した検査ができる外観検査システムに高いニーズがある。これを実現する画像認識 AI を用いたシステムは、判断根拠の明示が困難であり、結果の妥当性を確認することができず、現場への普及が難しかった。そこで、この課題に対し、検査結果に影響を及ぼした箇所を次の手順で画像上に可視化する技術を開発した。

- (1) 画像認識 AI の特徴マップ（画像から抽出した特徴のデータ配列）から出力結果に対する影響度を算出
- (2) 影響度の大きさから出力結果への重要度を決定
- (3) 入力画像にフィードバックし、ヒートマップを表示

この可視化技術により、現場の担当者が画像認識 AI の判定結果の妥当性を判断できるようになる。今後、本技術を社内の検査ラインに適用し、生産性の向上に貢献する。

図 14 画像認識 AI の判断根拠の可視化フローの例

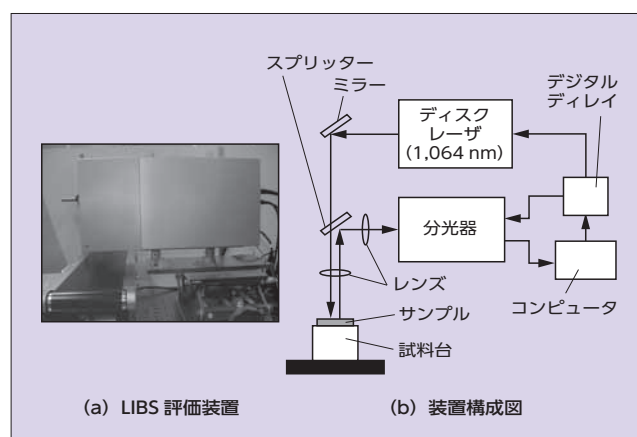


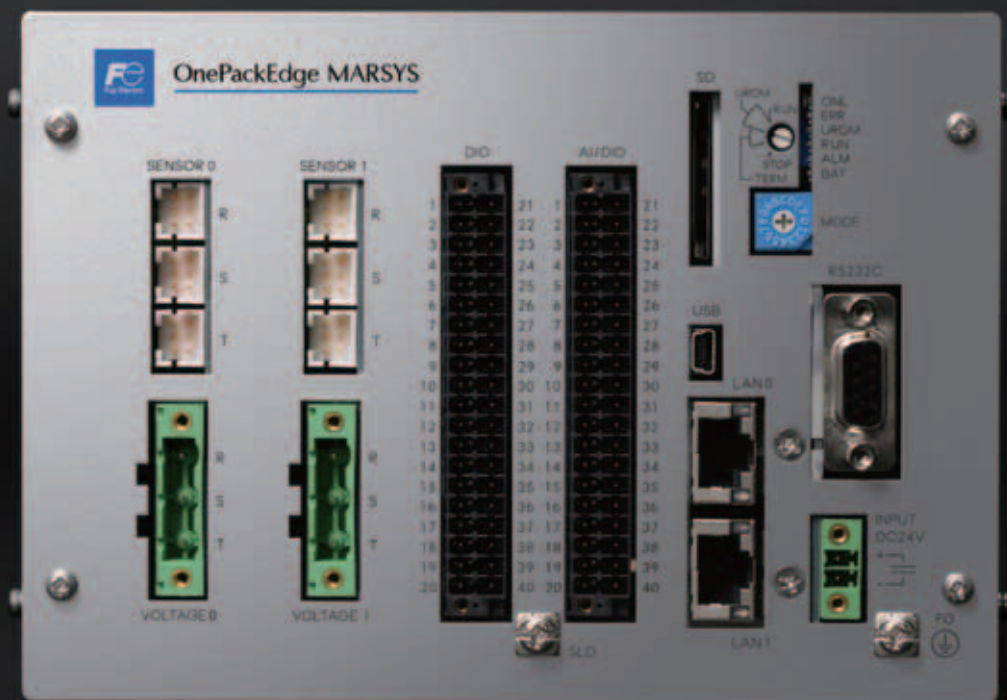
⑨ レーザ誘起ブレイクダウン分光法によるインライン成分自動計測

近年、FA 分野において、生産部材を連続監視し、不良部材の流出や部材のロットアウトを防ぎたいなどの要求が増えている。このような要求に応えるため、富士電機ではレーザ誘起ブレイクダウン分光法（LIBS）を用いて、多様な部材の成分をインラインで自動計測する技術を開発した。LIBS は被測定物にレーザを照射し、物質から生成するプラズマを分光計測することにより、含有元素量を計測する技術である。この技術を生産ラインに適用することによって、品質保証の効率化、高度化にもつなげることが期待できる。

今後、ゴム、金属、半導体などの生産ラインへの適用に向け、検証試験を行っていく予定である。

図 15 試作した LIBS 評価装置と装置構成図





工具診断コントローラ「OnePackEdge MARSYS」が、 2019 年度グッドデザイン賞を受賞しました。

切削加工機において、刃具は、製品品質を決める主役であり、最も寿命の短い機械部品です。そのため、信頼性を向上し、刃具交換の周期を延長化するうえで、切削時の刃先変化の診断が重要です。また、従来の工具診断コントローラは、切削加工機外部に取り付けられていましたが、後付けによる煩雑感を払拭するため内部に取り付けたいというニーズに応える必要がありました。そこで、工具診断コントローラ「OnePackEdge MARSYS」（組立加工データ収集システム「OnePackEdge」の派生シリーズ品）を開発しました。

開発にあたって、現場のニーズを徹底的にリサーチし、機能を厳選することで、従来製品と比較して体積を約 1/10 と極限まで小型化し、切削加工機の内部に取り付けられるようにしました。また、加工機の暗い内部でも扱いやすくするために、表示文字に読みやすさを考慮した当社オリジナル書体を採用し、先進性と高級感を表現した明るいシルバーを本体色に採用して文字とのコントラストを高めました。このような課題解決のアプローチが評価されました。



**GOOD DESIGN
AWARD 2019**

略語（本号で使った主な略語）

AI	Artificial Intelligence	人工知能
API	Application Programming Interface	
CALP	Cotinuuous Annealing Line with Pre-treatment	
CB	Circuit-Breaker	遮断器
CBM	Condition Based Maintenance	状態基準保全（予知保全）
CT	Current Transformer	変流器
DCS	Distributed Control System	分散型制御システム
EGCS	Exhaust Gas Cleaning Systems	排ガス浄化システム
EMC	Electromagnetic Compatibility	電磁両立性
EMS	Energy Management System	エネルギーマネジメントシステム
EPC	Engineering, Procurement and Construction	
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
FWD	Free Wheeling Diode	
GIB	Gas Insulated Bus	ガス絶縁母線
GIS	Gas Insulated Switchgear	ガス絶縁開閉装置
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
HILS	Hardware-in-the-Loop Simulation	
IBD	Interlock Block Diagram	
IEC	International Electrotechnical Commission	国際電気標準会議
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor	
IoT	Internet of Things	
IPM	Intelligent Power Module	
LIBS	Laser Induced Breakdown Spectroscopy	レーザ誘起ブレイクダウン分光法
MES	Manufacturing Execution System	製造実行管理システム
MOSFET	Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor	
MOX	Mixed Oxide	混合酸化物
MPC	Model Predictive Control	モデル予測制御
MSPC	Multivariate Statistical Process Control	多変量統計的プロセス管理
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
PCS	Power Conditioning System	パワーコンディショナ
PFC	Power Factor Correction	力率改善
PID	Proportional-Integral-Differential	
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
RC-IGBT	Reverse-Conducting IGBT	逆導通 IGBT
SFC	Sequential Function Chart	
SiC-SBD	Silicon Carbide-Schottky Barrier Diode	
SVC	Static Var Compensator	静止型無効電力補償装置
UPS	Uninterruptible Power System	無停電電源装置
VT	Voltage Transformer	計器用変成器
ε -FGM	ε -Functionally Graded Material	誘電率傾斜機能材料

商標（本号に記載した主な商標または登録商標）

Alipay	アリババグループホールディングリミテッドの商標または登録商標
Android	Google LLC. の商標または登録商標
Bluetooth	Bluetooth SIG, Inc. 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
FL-net	一般社団法人 日本電機工業会の商標または登録商標
LINE Pay	LINE Pay 社の商標または登録商標
NAS 電池	東京電力ホールディングス株式会社の登録商標
PayPay	PayPay 株式会社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
Visio	Microsoft Corporation の商標または登録商標
WeChatPay	テンセント・ホールディングス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（2019 年度） 順不同

文部科学省

- 令和 2 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞
開発部門
「電界分布制御型 IGBT 電力用素子の開発」
富士電機株式会社 大月 正人、百田 聖自
桐澤 光明、吉村 尚

一般社団法人 電気学会

- 第 13 回 でんきの礎「モノ」
「大容量 3 レベル中性点クランプインバータ」
富士電機株式会社
〔長岡技術科学大学、株式会社日立製作所、株式会社東芝、
三菱電機株式会社、東芝三菱電機産業システム株式会社と共同受賞〕
- 令和元年度電気学会フェロー認定者
「産業用電源装置の開発・実用化」
富士電機株式会社 大熊 康浩
「産業用パワエレ装置の開発・実用化」
富士電機株式会社 松本 康
- 平成 31 年電気学会全国大会 優秀論文発表賞
「数理応用技術研究」
富士電機株式会社 関段 友哉

一般社団法人 日本鉄道車輛工業会

- 鉄道車両工業功労者表彰
富士電機株式会社 井上 亮一
- 鉄道車両工業精励者表彰
富士電機株式会社 大澤 千春、橋井 眞

一般社団法人 日本電機工業会

- 2020 年度（第 69 回）電機工業技術功績者表彰 優良賞
「産業用ボイラ施設の省エネに貢献するクランプオン形蒸気
超音波流量計の開発」
富士電機株式会社 木代 雅巳、坂上 智
宮本 汐里
- 2020 年度（第 69 回）電機工業技術功績者表彰 奨励賞
「主回路系産業用機器のスプリング端子品の開発」
富士電機機器制御株式会社 古畑 幸生、廣瀬 高峰
斉藤 優輝

公益財団法人 日本デザイン振興会

- GOOD DESIGN AWARD 2019
「工具診断コントローラー [OnePackEdge MARSYS]」
富士電機株式会社

公益社団法人 発明協会

- 令和元年度 関東地方発明表彰 発明奨励賞
「電力用半導体素子の耐圧構造（特許第 5205856 号）」
富士電機株式会社 脇本 博樹、大月 正人
椎木 崇
「絶縁ゲート型デバイスの駆動回路（特許第 5700145 号）」
富士電機株式会社 岩水 守生

Materials Research Society

- 13th International Conference on Nitride Semiconductors
Best Poster Award
「Evaluation of Subsequent Implantation Effect into Mg
Implanted Region in GaN」
富士電機株式会社 高島 信也

特集に寄せて “パワエレシシステムとパワー半導体事業を核にして、 安全・安心で持続可能な社会の実現に貢献”	93 (3)
---	--------

“新たな価値創出と社会・環境課題の解決に向け、 リアルの技術を磨くとともにデジタル技術を深化”	94 (4)
--	--------

ハイライト	95 (5)
-------	--------

- 東海旅客鉄道株式会社向け新幹線
N700S 系営業車両向け電機品
- 車載モジュール向け車載用 RC-IGBT チップ
- 現場型診断装置「SignAiEdge (サインアイエッジ)」
- 回生機能付き UPS「UPS7000HX-T4F」
- 電力システムシミュレータ エントリーモデル「A1 型」
- 株式会社神戸製鋼所 加古川製鉄所
77kV 特高変電所の更新
- 小田急電鉄株式会社向け・
首都圏新都市鉄道株式会社つくばエクスプレス向け
ドア駆動システム
- インド灌漑プラント向け 35MVA
超大容量ソフトスタータ
- 産業用低圧インバータ「FRENIC4000VM6」
- 大規模太陽光発電向け DC1,500V 用
パワーコンディショナ
- 第 7 世代「X シリーズ」IGBT-IPM
- 高速 SiC ハイブリッドモジュール
- 真岡発電所 1・2 号機の営業運転開始
- 国内最大級の蓄電池併設型メガソーラー運用開始
- インドネシア・ムアララボ地熱発電所の営業運転開始
- とろみ飲料に対応したカップ内ミキシング自動給茶機
- 流体シミュレーションによる液滴・液膜の挙動推定技術
- 高効率空冷凝縮器

パワエレシシステム エネルギー	104 (14)
-----------------	----------

- エネルギーマネジメント……………105 (15)
- ① 磁束制御型可変リアクトルを適用した電圧調整装置
- ② ガスエンジンと蓄電池を併用した電力制御システム
- ③ 電力規格対応デジタル形電圧調整リレー (ユニット形)
- ④ 国内電力会社向け 168kV ガス絶縁開閉装置

- 施設・電源システム……………106 (16)
- ① 某データセンター向けキャッチャ方式 UPS
- ② 高層ビル向け特高受変電設備
- ③ 国内空港向け配電システムの納入

- 受配電・開閉・制御機器コンポーネント……………107 (17)
- ① 密閉型高電圧コンタクタ「SVE170」

パワエレシシステム インダストリー	108 (18)
-------------------	----------

- オートメーション……………109 (19)
- ① 新ネットワークカード「Web/SNMP カード II」

- ② 制御盤用 AC/DC 電源
- ③ 「FCX シリーズ」圧力発信器用コミュニケーターソフトウェ
ア
- ④ 愛知製鋼株式会社向け R1・2 ミル用巻線形誘導電動機
- ⑤ 宇部丸善ポリエチレン株式会社向け圧縮機用同期電動機
- ⑥ 愛知製鋼株式会社向け 1 棒鋼 C 列ミルモータ用直流駆動装
置の更新
- ⑦ 株式会社 UACJ 福井製造所向け新設プロセスライン設備電
気品
- ⑧ データ収集・解析支援パッケージソフトウェア
「f(s)NISDAS7」
- ⑨ ボイラ燃焼ソリューションパッケージの納入と導入効果
- ⑩ 製鉄所の二次精錬プラント監視制御システムの更新
- ⑪ 化学プラント向け計測制御システム
- ⑫ 成田国際空港株式会社向け昇降機監視システム
- ⑬ 高効率エンジニアリング支援ツール「HEART」の機能拡
充
- ⑭ 設備監視システム「MICREX-VieW PARTNER」の機能
拡充
- ⑮ 監視制御システム「MICREX-VieW XX (ダブルエック
ス)」の機能拡充

- 情報ソリューション……………114 (24)
- ① 製造データ利活用ソリューション
- ② 熱 EMS ソリューション

- 社会ソリューション……………115 (25)
- ① ジャカルタ MRTJ 車両向け電機品

- フィールドサービス……………115 (25)
- ① 回転機故障予兆監視システム「Wiserot」

電子デバイス	116 (26)
--------	----------

- 半導体……………117 (27)
- ① 大容量 RC-IGBT モジュール「Dual XT」
- ② 3.3kV SiC ハイブリッドモジュール
- ③ 第 4 世代臨界モード PFC 制御 IC「FA1B00 シリーズ」
- ④ 第 7 世代車載用高圧センサ
- ⑤ 第 2 世代 SiC-SBD 技術
- ⑥ xEV 向け第 4 世代直接水冷パッケージ技術
- ⑦ 正帯電型有機感光体の電位安定性向上
- ディスク媒体……………119 (29)
- ① ニアライン HDD 向け磁気記録媒体

発電プラント	120 (30)
--------	----------

- 火力・地熱発電……………121 (31)
- ① 電源開発株式会社 鬼首地熱発電所向け発電設備の受注
- ② 既設蒸気タービンのレトロフィットによる性能向上
- ③ オンラインガス分析による回転機固定子巻線の劣化診断
- 原子力関連設備……………122 (32)
- ① MOX 燃料工場向け耐震確認試験
- ② 蓄熱型小型モジュール高温ガス炉

新エネルギー.....122 (32)
① 無効電力調整機能付きメガソーラー（久慈待浜太陽光発電所）の完工
② 東南アジア経済特区向け蓄電併設 5MW メガソーラー
③ 韓国・ユイル産業社向けりん酸形燃料電池

食品流通	124 (34)
------	----------

自動販売機.....125 (35)
① サントリービバレッジソリューション株式会社向けタッチパネル搭載清涼ディスペンサ「Mercury」
② QR コード決済端末「F-ID-QRPT」

店舗流通.....125 (35)
① 店舗向けの正圧化制御システム

基盤・先端技術	126 (36)
---------	----------

基盤技術.....127 (37)
① 複合環境ストレスを模擬した絶縁評価技術
② 誘電率傾斜機能材料による電界緩和・高絶縁化技術

③ 低圧回路向け直流開閉技術
④ ソフトウェアの遠隔管理を実現するコンテナ管理技術
⑤ 多変数制御技術 ―天井クレーン振れ止め制御への適用―
⑥ 第一原理計算による GaN-MOSFET ゲート絶縁膜中不純物の影響解析

先端技術.....129 (39)

① 世界初 イオン注入プロセスで作製した 1,200 V 級縦型 GaN-MOSFET
② 1.2 kV SiC スーパージャンクション MOSFET
③ SiC-MOSFET 搭載超高電力密度パワーユニット
④ SiC-MOSFET のアクティブゲート駆動技術
⑤ 室外機向け気化式熱交換技術
⑥ モデル自動調整機能を搭載したエッジ型モデル予測制御
⑦ AI によるシミュレーションモデルの高精度化
⑧ 画像認識 AI の判断根拠の可視化技術
⑨ レーザ誘起ブレイクダウン分光法によるインライン成分自動計測



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、自動車分野

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

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

*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>

富士電機技術期刊（中文）

<http://www.fujielectric.com.cn/jtkw.html>



次号予定

富士電機技報 第93巻 第3号

特集 低炭素社会実現に向けた富士電機の発電プラント事業

富士電機技報企画会議

幹 事 中山 和哉

企画メンバー 斎藤 哲哉 桑山 仁平 眞下 真弓 前田政一郎

渡部 雅教 熊谷 明恭 片桐 源一 出野 裕

吉田 隆

事務局 荻野 慎次 堀口 道子

編集室 木村 基 小野寺拓也 小野 直樹 高橋 徹

富士電機技報 第93巻 第2号

令和2年6月20日 印刷 令和2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 本体700円＋税

*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。

© 2020 Fuji Electric Co., Ltd., Printed in Japan (禁無断転載)



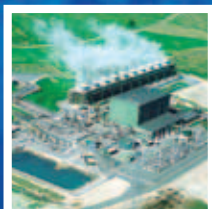
エネルギー技術を、究める。

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。

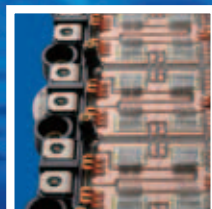
Innovating Energy Technology

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。

