

成果と展望

IoT がつなぐ強いコンポーネントと顧客価値を創出するソリューション



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

富士電機は、パワー半導体とパワーエレクトロニクスをコア技術とし、計測・制御技術を駆使することで、電気・熱エネルギー技術を革新して、エネルギーを有効に利用するための特徴あるコンポーネント・システム製品を生み出しています。これらの製品をIoT (Internet of Things) でつなぎ、分析・予測・最適化のエンジン (analytics software) の活用で、お客さまの価値を徹底的に追求しています。

2016年度は前年度から取り組んだ研究開発拠点の整備(図1)を完了し、研究開発組織の再編を進めました。また、全社のIoT戦略を策定し、実行を推進する役割を担ったIoTプロジェクト室を新設しました。

研究開発方針としては、富士電機の注力分野とコア技術(図2)に対して、顧客価値創出を活動の中心に据えて、圧倒的に強いコンポーネントとソリューションの開発を掲げています。具体的には、SiC(炭化けい素)デバイスの成果の刈取り、パワエレ開発の強化・加速、IoTを活用した顧客価値創出、海外事業強化のための開発加速、共通基盤・先端技術開発の継続的強化に取り組んできました。ここでは、最近の開発状況についてご紹介します。



図1 完成した研究開発拠点

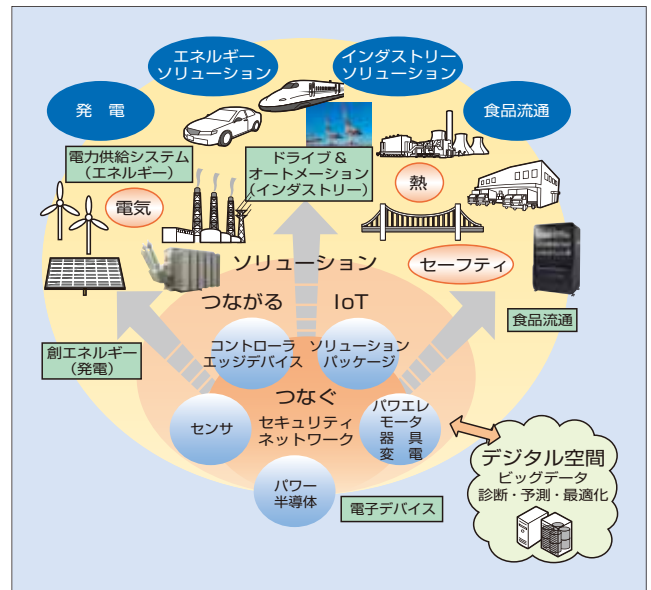


図2 富士電機の注力分野とコア技術

2. IoT 活用により顧客価値を創出するソリューション

世界規模でIoTの活用が進み、デジタル化による変革の時代を迎えています。これらの取組みを俯瞰(ふかん)すると、対象範囲の違いなど差異はあるものの、安価に入手可能になったICT (Information and Communication Technology) を用いて、顧客価値を創出するという点において、本質的には共通しています。

富士電機はIoTを、“顧客フィールド(機械、設備、インフラなど)のあらゆる情報をデジタル化し、サイバー空間で新しい顧客価値を創出するシステムの総称”と定義しています(図3)。これら価値創出の仕組みをプラットフォーム化し、エネルギー最適化や、安定操業、生産性向上、品質改善、熟練技術継承、環境改善などをソリューションメニューとして、製品化と機能拡充を継続しています。

今後、IoTの浸透とともに、さまざまなモノが、自律してネットワークに接続していきます。富士電機では、既設

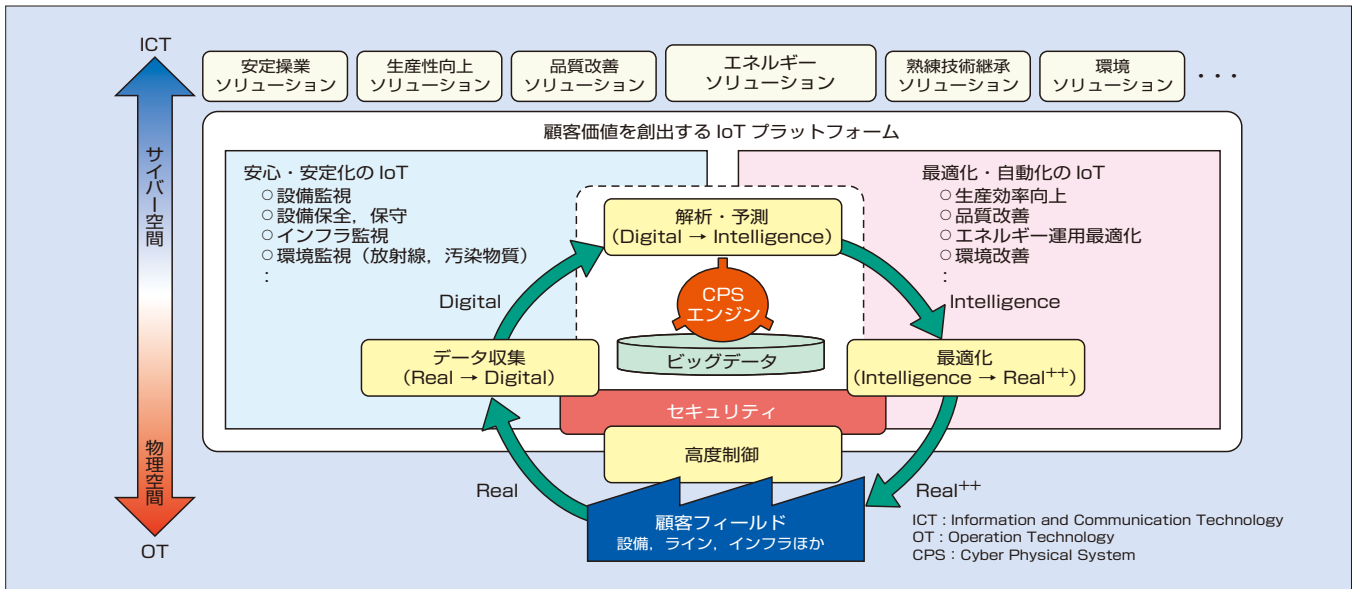


図3 富士電機のIoTのコンセプト

のデバイスや設備について自社製、他社製を問わず、サイバー空間に接続する独自の製品開発を行っています(図4)。

エネルギーの最適利用, 設備の安定稼働, 生産性・品質向上などのさまざまな顧客価値を創出するために, 解析, 診断や予測, 最適化, 高度制御, 認識などの多くの技術を保有しています。これらの技術群をCPS (Cyber Physical System) エンジンと呼び, IoTプラットフォームの中核的技術と位置づけています(図5)。

富士電機のIoT活用コンセプトは“スモール・クイックスタート”です。顧客の課題に対して, 必ずしも, いき

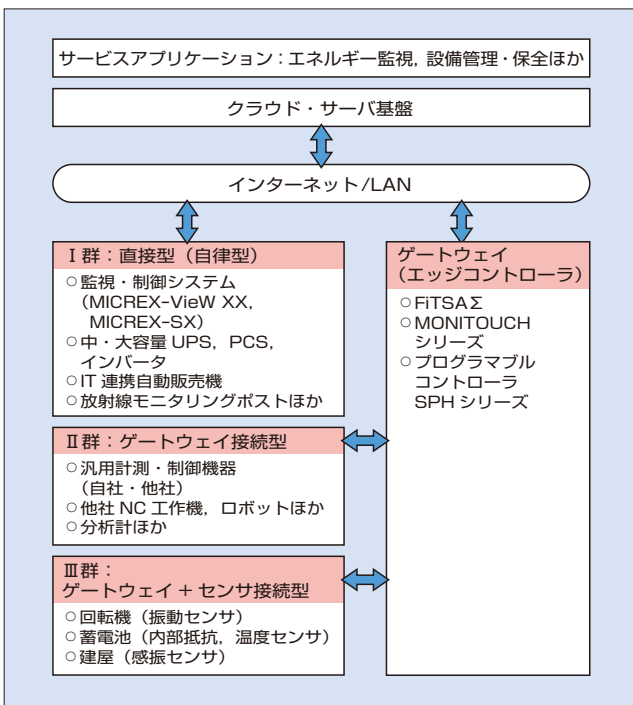


図4 サイバー空間への接続タイプ別製品開発

診断・分析	予測	最適化
<ul style="list-style-type: none"> ○MSPC:診断モデル ○ニューラルネット ○ログデータ分析 (深層学習:ディープラーニング) (網羅的解析手法) 	<ul style="list-style-type: none"> ○JIT (ジャストインタイム) 予測 ○重回帰モデル ○ニューラルネット, PLS, 決定木 ○機械学習 (マシンラーニング) (網羅的解析手法) 	<ul style="list-style-type: none"> ○メタヒューリスティクス ○数理計画法 ○モデル予測制御
物理モデルシミュレーション: 熱流体解析, 電磁界解析など分野固有技術		

図5 CPSエンジンの例

なり全領域IoT化ではなく, 効果の上がる部分を特定し, 実装から効果評価までを短時間で実施することが重要と考えています。富士電機では, CPSエンジンの中で, 特に製造現場で診断や予測に効果が期待できるMSPC (多変量統計のプロセス管理) をソフトウェアパッケージとして製品化し, スモール・クイックスタートで実績を積み上げています。また, 自社工場を含む複数のプロジェクトを運



図6 デジタルサイネージ自動販売機

用し、生産性の向上、製造品質の向上、運用・保守の効率化、プラント効率の改善、工程品質トレーサビリティの確保など、適用事例を増やししながら効果を確認しています。IoT 活用はエネルギー・インダストリー分野にとどまらず、例えば、次世代の自動販売機として、デジタルサイネージ、スマートフォンとの連携、音声・顔認識やジェスチャーなどによる双方向コミュニケーションに関する技術開発に取り組んでいます（図 6）。

今後、さらに、顧客視点で価値を提供できるシステム・サービスを提供していきます。

3. パワー半導体とパワエレ技術のシナジー

富士電機は、新製品の開発を進め、Si パワー半導体の性能改善に取り組んできました。IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）は既に第 7 世代をリリースしています。2016 年度は、その系列化が進みました。これと並行して、スイッチング時の損失が少なく、パワー半導体に革命をもたらすと期待されている SiC を材料としたパワー半導体の研究開発にも全社を挙げて取り組むとともに、これらを適用したパワエレ製品の研究開発を進め、パワー半導体とパワエレ製品のシナジーを追求しています。

富士電機は、高圧・大容量インバータや風力発電システムなどの需要拡大に応えるために、第 7 世代「X シリーズ」IGBT モジュールの系列において、定格電圧 1,700 V の大容量 IGBT モジュールを開発しました。半導体チップの特性改善によって電力損失を低減するとともに、高放熱絶縁基板を用いることで熱抵抗を大幅に低減し、従来の技術では困難であった最大定格 1,700 V/1,800 A の製品化を達成しました。また、連続動作保証温度を従来の 150℃から 175℃に高め、小型化、低損失化、高信頼性化の要求に応えました。また、IGBT および FWD（Free Wheeling Diode）の革新技術となる、RC-IGBT（Reverse-Conducting IGBT：逆導通 IGBT）を開発しました。RC-IGBT は IGBT チップと FWD チップを一体化する技術であり、モジュールパッケージの最大定格電流を向上させることが可能となるため、産業分野向け製品の系列拡大を進めています。

自動車の電動化トレンドに応じて車載用パワー半導体においては、ディスクリートからモジュール、インバータ、モータを含む総合的な開発を進めています。車載用製品には小型化が求められます。RC-IGBT は、熱冷却技術、パッケージ技術と組み合わせることでモジュールの大幅な小型・高電力密度化を実現することができるため、車載用 IGBT モジュールへの採用が進んでいます。2016 年度は車載用直接水冷型パワーモジュール（図 7）のサンプル出荷を開始しました。

SiC では既に上市したプレーナゲート型 SiC-MOSFET（Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor）の次世代素子として、6 インチ基板を用いたトレンチゲ



図 7 車載用直接水冷型パワーモジュール

ト型の SiC-MOSFET を開発しました。1.2kV 定格のトレンチゲート型 SiC-MOSFET は、富士電機のプレーナゲート型 SiC-MOSFET に対し、セルピッチを約半分まで微細化して単位面積当たりのオン抵抗を約 50% 低減し、世界最高レベルの低損失性能（ $R_{on} \cdot A = 3.5 \text{ m}\Omega \cdot \text{cm}^2$ ）と高信頼性を実現しました。

富士電機はこれまで銅ピン接続と樹脂封止技術を適用して、モジュール内部の配線インダクタンスを低減し、SiC デバイスの高速動作、高信頼性、高温動作を可能とし、定格容量 1,200 V/100 A までの All-SiC モジュールを製品化してきました。2016 年度は、新構造パッケージにより大容量化を進め、第 1 世代 SiC トレンチゲート MOSFET を搭載した定格容量 1,200 V/400 A の All-SiC モジュールを実現しました（図 8）。情報システムのクラウド化や IoT の導入などにより、北米ではデータセンターの建設が増加しています。これに伴い現在約 1,000 億円の無停電電源装置（UPS）市場は年率 3% 以上の成長が見込まれており、大容量 UPS 「7300WX-T3U」（300 kVA）を発売しました（図 9）。本製品には、富士電機が開発した SiC パワー半導体、および富士電機独自技術の RB-IGBT（Reverse-Blocking IGBT：逆阻止 IGBT）を用いた“3 レベル電力変換回路”を適用し、業界最高レベルの 97.5% の装置変



図 8 定格容量 1,200 V/400 A の All-SiC モジュール



図9 SiC ハイブリッドモジュール搭載の大容量無停電電源装置

換効率を実現しました。本UPSは、低負荷（負荷率25%時）においても96.3%の装置変換効率を達成しており、電力損失を低減して省エネルギー（省エネ）に貢献します。

これに続いて、現在、ダイオード、トランジスタともにSiCを適用したAll-SiCモジュール搭載のパワエレ機器の研究開発が進んでいます。例を挙げると、低損失に加えて高耐熱性を持ったハイエンドクラスのインバータや、高耐圧性能を生かした配電機器があります。

4. エネルギーソリューション

再生可能エネルギーの大量導入や電力取引市場の制度見直しに伴い、電力システムの周波数動揺や分散型電源の逆流による電圧上昇など、系統で発生する問題への対応が求められています。これに応えるため、蓄電池制御システムや可変インダクタンスを用いた静止型無効電力補償装置(SVC)を安定化対策の中心的な製品として展開していきます。次世代配電制御機器としては、高耐圧というSiCの特長を生かしたSVCの開発にも取り組んでいます。また、新たな取組みとして、発電機、蓄電設備などの需要家設備をまとめて運用することにより電力の調整力とするパワープラント(VPP)の実証に参加し、技術的な知見やビジネスモデルの検討を進めています。

変電システム分野向けでは、受変電設備や大容量パワエレ装置を開発し、環境対応など各種のソリューションビジネスを展開しています。また、電力分野では、世界的なエネルギー需要の拡大により発電所や変電所の建設が進み、開閉装置の需要も増加しています。富士電機は、アジアを中心にグローバルに事業拡大を推し進めており、このたびIEC規格に準拠した145kVガス絶縁開閉装置(GIS)「SDH714」を開発し、発売しました(図10)。遮断構造を見直すとともに、密閉容器にアルミニウム合金を採用することなどにより、業界最小・最軽量クラス(従来製品比で据付面積30%減、質量35%減)を実現するとともに、新設計により保守性も大幅に向上しました。

電源システム分野では、サーバの高性能・高密度化によ



図10 145kV ガス絶縁開閉装置「SDH714」

リデータセンターにおける消費電力が急激に増加しており、省エネに対するニーズがよりいっそう高まっています。富士電機では、従来のビル型に比べて1/2の工期(約半年)で施工が可能であり、省エネ機器を含んだ受変電設備、UPS、間接外気空調機などを含めて、EPC(設計・調達・建設)で請け負っています。一例を挙げると、株式会社IDCフロンティア向けモジュール型データセンターを納入しました(図11)。

これまで、データセンター向け空調機としては、熱交換器を介して外気冷熱のみを取り込む間接外気導入式の空調機「F-COOL NEO」(冷房能力40kW)を販売しており、近年、サーバの高性能・高密度化により発熱量が飛躍的に増加していることから、新たに冷房能力を向上させた56kWタイプを開発しました。特徴としては、外気冷房と内蔵の冷凍機との併用運転により、年間の消費電力を一般の空調機の約1/3に節約できます。間接外気利用のため、外気に含まれる水分、PM2.5などのじんあい、腐食性物質の影響を受けにくく、また、必要なユーティリティは電源のみであり、冷却水を必要としないことなどが挙げられます。今後も、国内外に向けてシステム全体でのEPC



図11 株式会社IDC フロンティア向けモジュール型データセンターの外観

ソリューションを展開し、顧客の課題解決に向けたシステム・製品を提供していきます。

5. インダストリーソリューション

プロセスオートメーション分野では、顧客の高品質な製品製造と操業の安定化・効率化の課題に応えるべく、プラント向け監視制御システム「MICREX-VieW XX」に機能拡充を実施し、リモート監視ステーションの開発、データ収集・表示処理の高速化、プラントデータの長期保存、セキュリティ強化など、大幅に機能を強化しました。今後、化学プラント、石油・ガスプラント、電力プラントなどさまざまなプラントの監視制御システムに提供していきます。**図 12** に、神戸市環境局事業部西クリーンセンター向け監視制御システムへの適用例を示します。

富士電機は、世界の港湾で活躍しているコンテナクレーンに数多くの電気品を納入しています。このたび、国内の港湾向けコンテナクレーンの電気設備と制御システムを納入しました（**図 13**）。ドライブ装置には、スタック型の PWM コンバータと高性能ベクトルインバータを採用して、省スペース、高性能・高信頼性を実現し、モニタリング装置には、クレーンの状態監視、荷役管理、故障監視および



図 12 「MICREX-VieW XX」の適用例



図 13 港湾向けコンテナクレーン



図 14 「ALPHA7」(モータ・サーボアンプ)

故障トレースバック機能を搭載し、故障が発生したときにも迅速な解析と復旧が可能です。また、高精度の振れ止め制御システムを採用したことにより、経験の浅いオペレータでも熟練者と同様の安定した操業が可能です。

ファクトリーオートメーション分野では、性能重視、コスト重視、オープン化対応といった、異なる要求に応えることができるコンポーネント・システムの開発を進めています。これらの開発により、地域や業種により異なる顧客の価値を創出するシステム、ソリューション・サービスを提供してまいります。一例を挙げると、業界最高レベルの高速・高精度な制御を実現する新サーボシステム「ALPHA7」(**図 14**)と、「MICREX-SX シリーズ」のモーションコントローラ「SPH3000D」を開発し、発売しました。

モーションコントロールシステムは、工場の生産設備や自動化機械をはじめとした産業機械における位置決め、速度、トルクの制御など、半導体製造装置や工作機械、印刷機械、包装機械などの幅広い分野で使用されています。ここに、ALPHA7 と SPH3000D を用いることにより、モーション制御を一つの CPU モジュールで行うことができます。高額なモーション専用モジュールが不要なため、高機能・高性能なモーションシステムをコストパフォーマンスの高い構成で実現することが可能となります。

今後、包装機器、ロボット、半導体装置分野への適用を進めていきます。

6. 基盤・先端技術

富士電機では、これまで述べてきた各技術を共通的に支える基盤技術、ならびに将来を見据えた先端技術の研究開発を行っています。共通基盤技術としては、電磁気、絶縁、EMC (Electromagnetic Compatibility)、熱流体、機械、樹脂・金属材料などに関わる実験、評価・解析やシミュレーションに取り組んでおり、先端技術としては、GaN (窒化ガリウム) などの SiC の先を担う半導体材料の研究、ならびに材料物性や劣化現象などを予測する計算科学に取

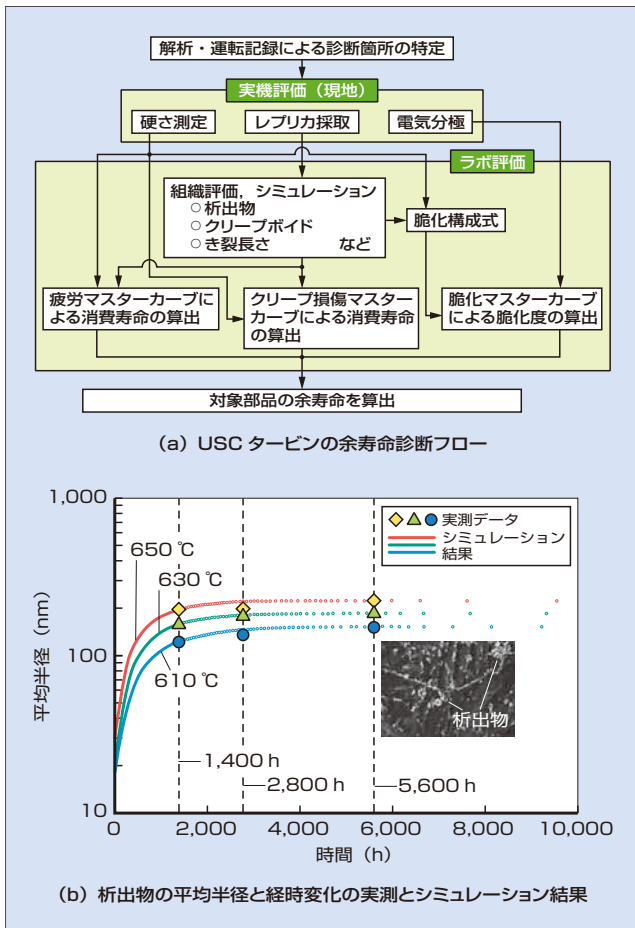


図 15 余寿命診断技術

り組んでいます。

火力発電プラントでは、高効率化のために蒸気温度を約 600℃にまで高めた USC (Ultra Super Critical) タービンが主流になりつつあります。タービンは、材料の経

年劣化によって破損リスクが高まるため、経年劣化を予測する余寿命診断技術が不可欠となります。しかし、USC タービンでは劣化現象が複雑なため、これまで精度の良い余寿命診断技術はありませんでした。富士電機では、クリープや脆化などの劣化現象について、長時間試験やシミュレーションによりメカニズムを解明し、材料中の析出物の粒径などの変化から劣化現象を予測できる寿命計算式の構築、ならびに電気分極法などの非破壊検査法の適用による高精度な余寿命診断技術の開発を行いました (図 15)。

7. あとがき

本稿では、富士電機が取り組んでいる、電気エネルギーを安全・安心して効率的に利用する技術、熱エネルギーを有効に利用し省エネルギーに寄与する技術、そしてこれらを最適に制御し、IoT でつなぐことによって付加価値を高めるソリューション技術の概要を紹介してまいりました。環境と調和し、持続可能な社会を実現することは、今後ますます重要になります。

富士電機では、2016 年度から新製品開発のプロセス変革に着手し、お客さまの価値創造に貢献できる商品を企画し、これに供する研究開発を進めてまいります。

今後も、エネルギー・環境技術の革新により、付加価値の高い、環境にやさしい製品・システムをお客さまに提供することで、安全・安心して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) 近藤史郎, 福住光記. IoT新時代の計測・制御ソリューションの現状と展望. 富士電機技報. 2016, vol.89, no3, p.138-145.





*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。