

エネルギーソリューションの提供



江口 直也

富士電機株式会社 取締役執行役員
技術開発本部長

1. まえがき

富士電機は、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するという思いを込め、2012年7月にブランドステートメント“*Innovating Energy Technology*”を策定しました。この思いの実現のため、富士電機では、電気エネルギーを安全・安心かつ効率的に供給・利用する技術や、熱エネルギーを無駄なく活用する技術、ならびにそれらを最適に制御する技術の開発に研究資源を集中しています。2013年に策定した中期経営計画の中では、**図1**に示すように、パワー半導体とパワーエレクトロニクス（パワエレ）の技術をコアにし、加えて差別化された計測機器・熱コンポーネントを強化し、これらを制御技術プラットフォームとしてパッケージにしてエネルギーソリューションを提供する研究方針を掲げています。本稿では、その概要について紹介いたします。

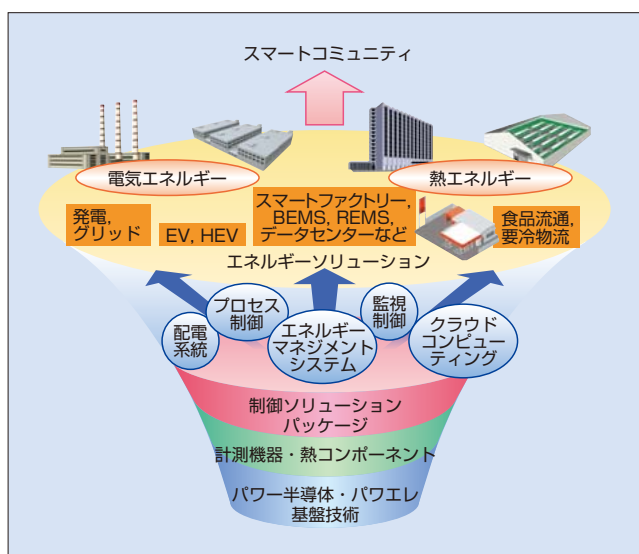


図1 富士電機のコア技術と注力分野

2. パワー半導体とパワエレ

パワー半導体技術とパワエレ技術は富士電機のコア技術であり、これら二つの技術のシナジーを生かして省エネルギー（省エネ）につながる特徴あるコンポーネントを開発しています。

パワー半導体としては、低損失化、低ノイズ化、小型化、高信頼性を狙い、IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）モジュール、IPM（Intelligent Power Module）、MOSFET（Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor）、ディスクリートデバイス、パワー IC などを開発しています。

IGBT モジュールのさらなる小型化、高パワー密度化を実現するために、連続動作温度を現行の 150℃から 175℃に引き上げるパッケージ技術を確立しました。高温での連続動作によるパワーサイクル寿命の低下を防止するため、高耐熱アルミニウムワイヤを開発するとともに、チップと絶縁基板間の接合はんだとして、高温で高強度の新しいはんだ合金を開発しました。また、熱応力の発生を低減する電極構造も併せて開発しました。これらを適用した 175℃連続動作保証の IGBT モジュールは、現行の 150℃連続動作保証のモジュールに比べて高寿命であることを確認しました⁽¹⁾。

ハイブリッド自動車の電力を制御する IPM では、小型・軽量化が要求されているため、二つのインバータと昇降圧コンバータを結合した大容量 IPM を開発しました。放熱設計技術と高温で高強度を持つ新しいはんだ技術によって、モジュールとアルミニウムヒートシンクを一体化した直接冷却構造を実現し、従来品比で体積 30%、質量 60% の削減を達成しました。

先進のパワー半導体技術の応用として、富士電機独自のパワー半導体である RB-IGBT（Reverse-Blocking IGBT）を用いた新 3 レベル電力変換回路を適用し、高効率でコンパクトなパワエレ機器を開発しています。アジアをはじめとする海外市場向けに、装置効率が 96.5% で従来機種に比べて設置面積を 30% 以上削減できる三相四線式の大容量 UPS「7000HX-T4」を開発しました。

また、第6世代「Vシリーズ」IGBTを適用した汎用インバータ「FRENIC-Ace」を開発しました。このインバータは、ユーザが独自に機能を追加できるカスタマイズ機能を標準で搭載しており、伸線機、ホイスト、紡績機械などのアプリケーションに最適なカスタマイズパッケージソフトウェアが使えます。

次世代デバイスの開発においては、Siデバイスの物性限界を超えて劇的に損失を低減する、SiC（炭化けい素）の化合物半導体の開発を進めています。

パワー半導体の生産拠点である松本工場では、業界に先駆けて前工程の6インチSiCウェーハ（図2）のプロセス生産ラインを構築・稼動し、600~1,700V耐圧のSBD（Schottky Barrier Diode）と1,200V耐圧のMOSFETの量産を開始しました。

さらに、SiCの利点が発揮できる3,300Vなどの高耐圧のSBDとMOSFETのデバイス開発を進め、試作品の評価をしています。

同時に、SiCデバイスが持つ性能を最大限に発揮できるように、高温動作、高放熱、低インダクタンスの超小型・高信頼性All-SiCモジュールも開発しています。現在、このモジュールを適用した超低損失かつ省スペースの太陽光発電用パワーコンディショナ（PCS）（図3）をはじめ、

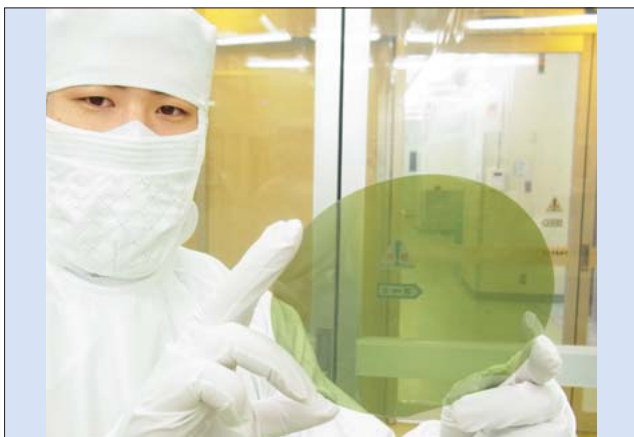


図2 6インチSiCウェーハ



図3 All-SiCモジュールを適用した太陽光発電用PCS

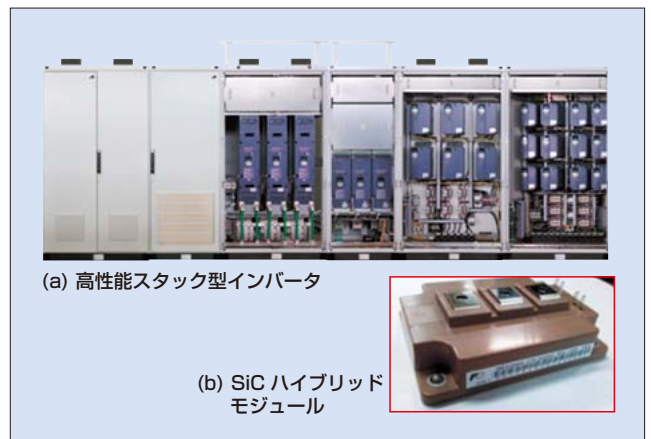


図4 SiCハイブリッドモジュールを適用した高性能スタック型インバータ

SiCハイブリッドモジュールを適用した、大型クレーンやプラント用の690V系列の高性能スタック型インバータ（図4）などを開発しており、2014年度の発売を予定しています。

受配電・制御機器コンポーネントにおいては、省スペースかつ高信頼性という設備や制御システムのニーズに応える受配電機器を開発しています。取扱い性を向上し、RoHS指令^(注)にも対応したストライカ引外し式限流ヒューズ付高圧交流負荷開閉器（LBS）を開発しました。図5に示すように消弧室の内部に固定側接触子とアークガイドを設け、アークが消弧するために必要な距離や可動側接触子の回転速度などを最適化して、消弧室の容積を従来品比で約半分に小型化しました。

また、太陽光発電システムに対して、太陽電池パネルのストリング（10~20枚の太陽電池パネルからなる発電のまとまり）単位で電流・電圧を計測し、上位システムと連携することで太陽電池パネルの異常の早期発見と故障箇所⁽²⁾の特定に寄与するストリング監視ユニットを開発しました。

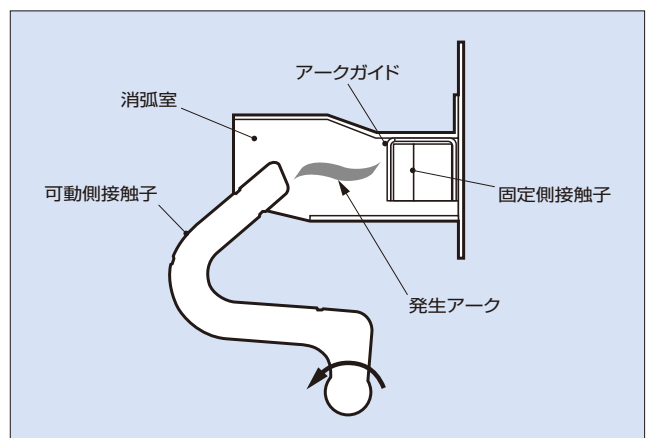


図5 LBSの消弧部の構造

<注> RoHS 指令：電気・電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限についてのEU（欧州連合）の指令

制御設備・機械用には、シンクロセーフコンタクトを搭載した非常停止用押しボタンスイッチを開発しました。接点部が外れた場合にメイン回路が開路となる機構にすることで安全性を高めました。

3. 計測機器・熱コンポーネント

計測機器では、プロセスの省エネに貢献する特徴ある製品を開発しています。世界で初めて2成分(CO+O₂)をリアルタイムに測定可能で高速応答が可能な直接挿入レーザー方式ガス分析計「ZSS」を開発しました。図6に示すように、光学技術を応用して、各成分用の2レーザー発光素子と受光素子を同軸上で結合させて2成分分析を実現しています。さらに、ダスト対策用パージガスとして、従来の窒素ではなく、計装用空気を使用できるという特徴を持っています。ZSSの高速応答性を生かして燃焼プロセス制御に適用することにより、燃焼空気量制御を精密に実施することが可能になり、大幅な省エネに貢献できます⁽³⁾。

熱コンポーネントでは、排熱回収型の蒸気発生ヒートポンプシステムを開発し、三重工場で実証試験を実施中です。工場などにおいてこれまで未利用であった100℃未満の温排水から排熱を回収し、蒸気として再利用するものです。自動販売機などで培った冷凍サイクル技術を駆使し、60～80℃の温排水から120℃の飽和蒸気を生成します。その際の成績係数(COP)は4.0であり、業界最高クラスです。このヒートポンプシステムは、熱配管による損失を減らすために蒸気利用設備の近傍に分散して設置が可能なタイプであり、熱利用も含めた工場のトータルな省エネソリューションのためのキーコンポーネントです。

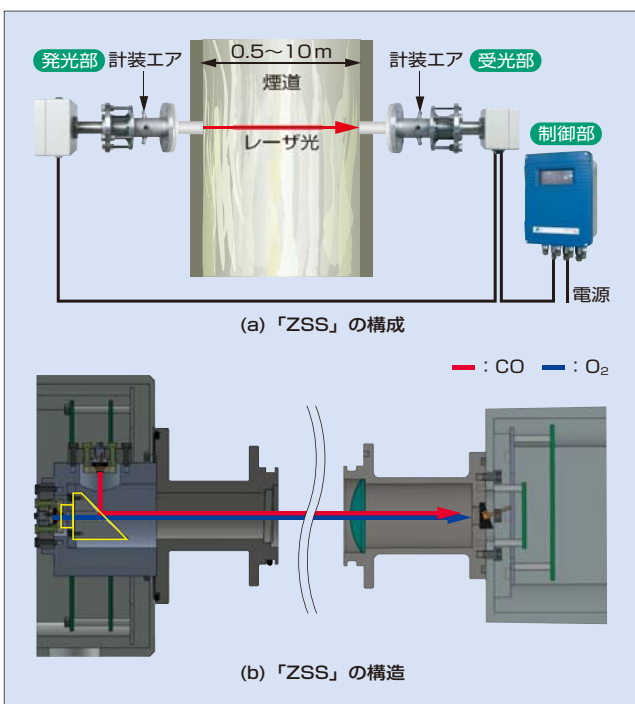


図6 直接挿入レーザー方式2成分ガス分析計「ZSS」

また、地球環境にやさしい自然冷媒であるCO₂を使用した自動販売機用冷却システムの高効率化を実現しました。これは、動作圧力が高いCO₂冷媒の特徴を生かしたエジェクタによる圧縮動力の削減や、高性能アルミニウム熱交換器による高効率化、インバータを適用した圧縮機の最適運転制御技術によるものです。

4. 制御ソリューションパッケージ

制御ソリューションパッケージでは、エネルギーの安定供給、省エネ、安全・安心、設備安定稼働に貢献する制御システムソリューションパッケージを開発しています。そのプラットフォームとして、図7に示す制御システムプラットフォームを開発しました。富士電機の制御技術と機器をパッケージ化し、有機的につなげて、さまざまな制御シーンに適用できます。また、これを実現するための制御システム層として、中小規模監視制御システム「MICREX-VieW XX」を開発しました(図8)。本システムは、高信頼性かつ小型・高性能のシステムで、顧客設備の更新に当たっては、既存システムの画面やプログラムの資産を継承することが可能です。さらに、垂直水平統合エンジニアリング環境により画面やプログラムの作成を効率化できます。高信頼性を実現するために、コントローラ、ネットワーク、I/O、HMI (Human Machine Interface)、データベースなど各機器単位での二重化が可能です。この二重化システムでは共通部分がないので、多重故障モード⁽⁴⁾に対してシステムの継続運転が可能です。

さらに、店舗内の冷設機器、空調・照明機器の管理制御を一括で行い、総合的な省エネを実現する「エコマックスコントローラ」を開発しました(図9)。店舗内の多彩な

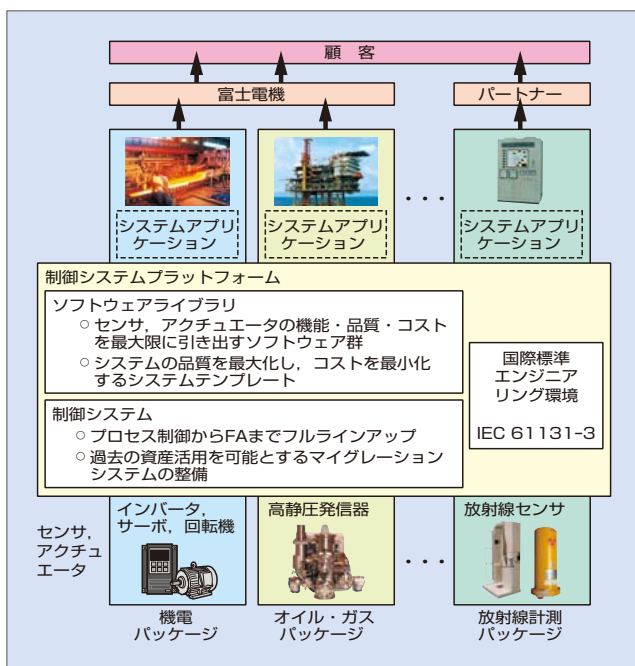


図7 制御システムプラットフォーム

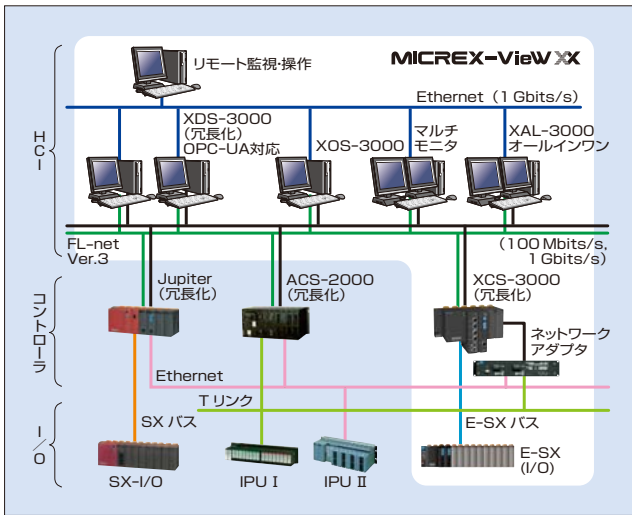


図8 中小規模監視制御システム「MICREX-View XX」

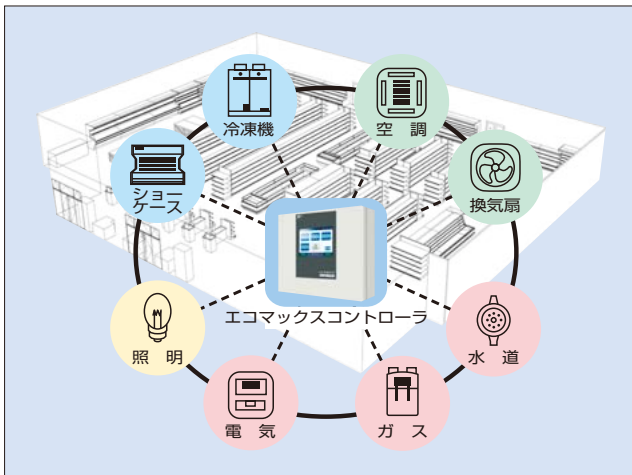


図9 「エコマックスコントローラ」を用いた店舗管理システム構成

機器の各種インタフェースに対応可能とするとともに、次に示す機能により、店舗機器全般の総合的な管理が実現できます⁽⁵⁾。空調機と冷凍機の総消費電力が最小となるような空調機最適運転機能、最適な換気風量制御を実現する給排気制御機能、ならびに店舗全体の消費電力量が目標値を超えないように制御するデマンド制御機能やスケジュール運転機能です。

5. エネルギーソリューション

エネルギーソリューションでは、創エネルギーの領域で火力発電や地熱発電の高効率化を継続的に実施しています。さらに、電気エネルギーや熱エネルギーの最適制御により省エネを実現する各種エネルギーマネジメントシステム(EMS: Energy Management System)の開発を進め、スマートコミュニティの構築を目指しています。富士電機が考えるEMSを図10に示します。

2010年度から開始された経済産業省“次世代エネルギー・社会システム実証事業”では、四つの地域(横浜市、豊田市、けいはんな学研都市、北九州市)で、次世代エネルギー・社会システムの実現を視野に、地域の再生可能エネルギーの安定で高効率な活用や、EMSの開発・実証を実施しています。

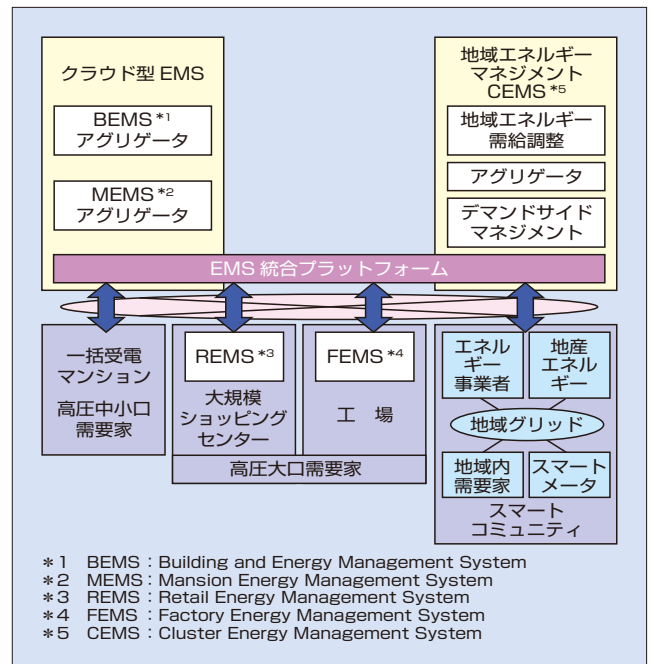


図10 富士電機が考えるEMS

- *1 BEMS: Building and Energy Management System
- *2 MEMS: Mansion Energy Management System
- *3 REIMS: Retail Energy Management System
- *4 FEIMS: Factory Energy Management System
- *5 CEMS: Cluster Energy Management System

富士電機は、北九州市、けいはんな学研都市の実証システムに積極的に参加しています。北九州市では、“地域節電所”を核とした地域エネルギーマネジメントシステム(CEMS: Cluster Energy Management System)を開発し、デマンドレスポンスの実証試験を行いました。夏季や冬季の電力需給の逼迫(ひっばく)が予想される日に、ピーク時間帯の料金を高く設定するダイナミックプライシングにより、夏季に9~13%、冬季に9~12%の需要削減が確認でき、その効果を実証しました⁽⁶⁾。

一方、大量のエネルギーを消費する百貨店やショッピングセンターといった大型商業施設では、省エネの徹底、エネルギーの効率的な利用が求められています。富士電機は、これら大型商業施設向けに特化したEMSを開発しました(図11)。すでに開発した柔軟性・拡張性に優れた“統合EMSプラットフォーム⁽⁷⁾”の技術を適用し、単独の大型商業施設への導入からスマートコミュニティにおける他システムとの連携まで、幅広い領域での適用を実現しています。需要予測機能として、エネルギー消費特性が異なる各エリアから集計した負荷実績を予測計算に用いることで、各エリアのミクロな予測値とそれらを合計した施設全体のマクロな需要予測を高い精度で算出しています。各設備の最適運用のために、発電設備、蓄電設備、熱源などの設備をモデル化し、需要予測を基にエネルギーの需給シミュレーションを実行し、それら設備の運用計画を作成します。また、運用管理者への推奨操作ガイダンスを作成

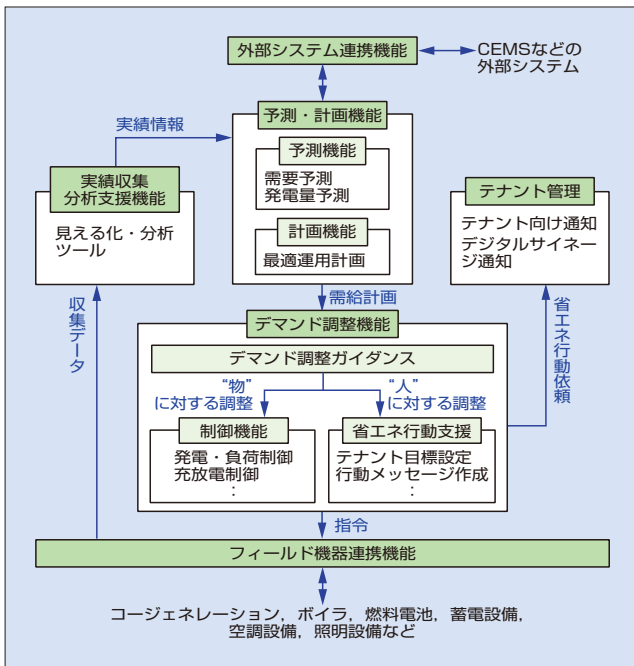


図11 大型商業施設向け EMS の機能構成

することもでき、推奨する行動とその効果を運用管理者が認識することができます。

6. 基盤・先端技術

これまで述べてきた各技術を共通的に支える基盤技術や、将来を見据えた先端的な研究開発を進めています。

パワエレ機器の開発時の試作回数を減らすためにデバイスの特性のシミュレーションと配線構造によるL、C成分のシミュレーションとを連携させるデバイス・回路連携シミュレーションを開発しました(図12)。これにより、スイッチング時の損失や跳ね上がり電圧などを試作前に推定でき、プリント基板の試作時に反映することができます。さらに、シミュレーション結果と冷却構造設計ツールとを連携させることにより、冷却構造設計まで可能となりました。このシミュレーションの適用により、開発期間を従来の1/3程度に短縮することが可能になります。

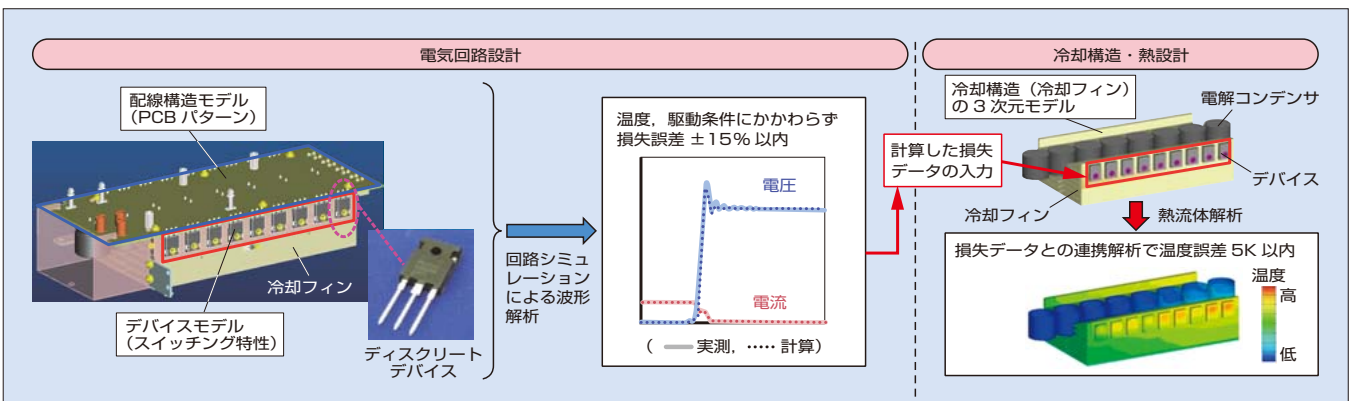


図12 デバイス・回路連携シミュレーション

EMC (Electromagnetic Compatibility: 電気・磁気的な妨害を及ぼさないこと/及ぼされないこと) については、機器の設計段階で精度良く評価できるシミュレーションを開発してきました。さらに、パワエレ機器と制御機器が同一盤内に収納される場合の配線間でのノイズ結合を解析する手法を開発しました。これにより、ノイズの観点からの盤内の配線設計が可能となります。

また、再生可能エネルギーの普及促進に欠かせない電力平準化機器として、リチウムイオン電池の活用技術が重要となっています。リチウムイオン電池の寿命が充放電条件などによりどのような影響を受けるかを定量的に推定する手法を開発し、リチウムイオン電池の選定や最適容量設計に適用しています。

そのほか、SiC などの高温動作デバイスのパッケージ用として 250℃ に耐えられる樹脂の開発や、金属組織シミュレーションを活用した異種金属接合技術の開発など、材料技術の開発も推進しています。

先端技術では、新たな環境問題としてクローズアップされているPM2.5の質量濃度と成分をリアルタイムで測定し、発生源の推定に貢献する世界初のエアロゾル複合分析計を開発し、実証を開始しました。図13に示すように、レーザを使用して有機物を計測したのち、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を活用して希

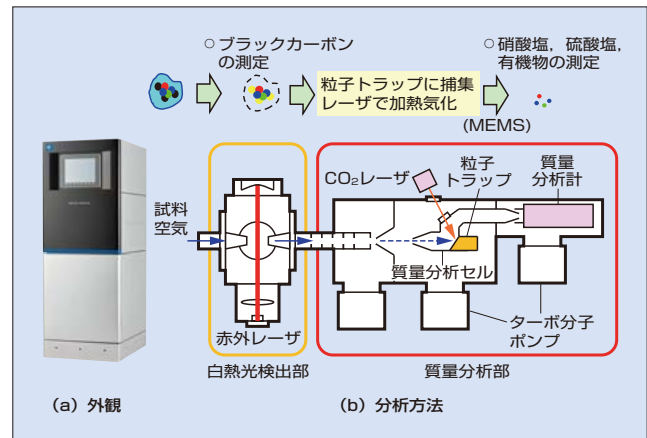


図13 エアロゾル複合分析計

薄なPM2.5を濃縮し、質量分析により成分分析まで行えます。本分析計は、東京大学および独立行政法人 海洋研究開発機構と共同で開発し、フジサンケイ ビジネスアイの第27回（2013年度）独創性を拓く先端技術大賞特別賞を受賞しました。

グローバルに製品を展開していくに当たっては、国際規格への対応がますます重要になっています。富士電機は国際規格への取組みを強化しており、特にパワエレやスマートコミュニティ関連では国際委員会活動に積極的に取り組んでいます。PCSのEMCやインバータ効率測定規格制定活動に貢献し、成果を上げつつあります。

7. あとがき

電気エネルギーを安全・安心に効率的に供給して利用する技術や、無駄なく熱エネルギーを活用する技術、ならびにそれらを最適に制御する技術を中心に、富士電機の取組みを紹介しました。環境と調和し、安全・安心で持続可能な社会の構築は、今後ますます重要になることは間違いありません。今後も研究開発を進め、富士電機のブランドステートメントに込められた、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するという思いを実現し、地球社会

のよりよき企業市民として貢献すべく、邁進してまいります。

参考文献

- (1) 百瀬文彦ほか. 175℃連続動作を保証するIGBTモジュールのパッケージ技術. 富士電機技報. 2013, vol.86, no.4, p.249-252.
- (2) 町田悟志. 太陽光発電システム用ストリング監視ユニット「F-MPC PV」. 富士電機技報. 2013, vol.86, no.3, p.211-212.
- (3) 小西英之ほか. 省エネルギーに貢献する直接挿入レーザー方式ガス分析計「ZSS」. 富士電機技報. 2014, vol.87, no.1, p.59-62.
- (4) 西脇敏之ほか. 顧客資産の継承と進化を実現する中小規模監視システム「MICREX-VieW XX」. 富士電機技報. 2014, vol.87, no.1, p.44-48.
- (5) 城戸武志, 神崎克也. 店舗のEMSを実現する「エコマックスコントローラ」. 富士電機技報. 2013, vol.86, no.3, p.193-196.
- (6) 大賀英治, 樺澤明裕. 北九州スマートコミュニティ創造事業におけるダイナミックプライシング社会実証. 富士電機技報. 2013, vol.86, no.3, p.166-172.
- (7) 堀口浩ほか. 統合エネルギーマネジメントシステムプラットフォーム. 富士時報. 2011, vol.84, no.3, p.214-218.
- (8) 小松原滋ほか. 大型商業施設向けEMS. 富士電機技報. 2013, vol.86, no.3, p.182-187.





*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。