

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や、それらを適用したソリューションの開発に注力している。同時に、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、マルチフェーズフィールド法による地熱タービンなどの腐食進行を予測するシミュレーション技術を開発した。腐食液中のイオン拡散と金属溶解を統一して取り扱うことができ、さまざまな腐食環境や腐食モードに対応できる。今後、製品設計などに適用していく。

圧倒的な差別化を狙った SiC デバイスと、これを適用したパワーエレクトロニクス機器の開発を推進している。SiC デバイスの低抵抗化、高信頼性を狙い、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。また、放電理論により絶縁沿面の電界分布と放電電圧の関係を数式化し、チップ内部構造のシミュレーションと組み合わせることにより、耐圧を実測値との差 5% 以内の高精度で予測可能とする耐圧予測技術を開発し、SiC デバイスの絶縁構造の最適化を実現した。

SiC-MOSFET の性能を最大限に発揮するために、高速スイッチング動作とサージ電圧抑制を両立させる独自のアクティブゲート駆動技術を開発した。この技術により、サージ電圧の跳ね上がりが約 20% 低減することを確認した。

熱エネルギー技術としては、未利用の低温排熱の有効活用を狙った先端的な技術を開発し、製品に適用中である。同一の圧縮機で二段階圧縮ができる技術を開発し、高効率な 150℃高温蒸気発生装置を開発中である。また、圧倒的な吸着性能を実現した新しいコンセプトの吸着剤の開発に成功し、この吸着剤を使用した吸着式冷凍機を開発中である。

視認性が高く、投影面との距離や角度にかかわらず焦点が合うフォーカスフリーの映像を投影することができるレーザディスプレイ技術を確立した。視覚効果を利用することにより、安全性と視認性を両立できる画期的な技術であり、ファクトリーオートメーション分野や食品流通分野のデジタルサイネージとして実用化を進めていく。

システム技術としては、つり荷の重さやロープ長の変動に対して制御パラメータの調整が不要で、風などの外乱に

強いクレーン制御技術を開発した。既存制御を補強するロバスト制御の導入により、導入コストが削減できる。

顧客価値を創出するソリューションとして、IoT (Internet of Things) 技術が脚光を浴びており、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。汎用のクラウド技術をベースにサービスを容易に構築するためのサービスインタフェース機能をはじめ、クラウドとエッジコントローラの通信機能およびセキュリティ機能を備えた IoT プラットフォームを開発し、2018 年度から運用開始予定である。

また、IoT 機器がデータ送信前にクラウドと相互認証を行い、クラウドにデータを送信するときにデータと共にトークン（許可書）を送信することにより、不正機器の接続を防止する IoT システム向け機器認証技術を開発した。

高まる設備の異常診断技術の要求に応えるため、既取得データによる異常診断可否を従来の 1/10 の時間で判断が可能な診断性可視化技術を開発した。また、従来技術では診断が困難であった複雑な対象でも診断を可能にする非線形診断技術を開発した。

高精度な推論が可能な深層学習技術を産業分野に適用するために、モデル構造最適化によるパラメータ自動学習や、入出力関係定量化による推論根拠説明により、自動学習と推論根拠説明が可能な深層学習技術を開発している。

試作回数を削減するため、大規模計算により複数の目的を最適化する手法を開発している。パラメトリックな設計因子に対し、3D-CAD 形状、解析設定の自動化などにより、パワーエレクトロニクス機器の温度と騒音の多目的最適化手法を確立し、性能向上を確認した。今後、フロントローディングによる製品開発に展開していく。

このように富士電機は、電気・熱エネルギー技術や環境技術の革新につながる先端技術に挑戦するとともに、製品開発を支える基盤技術をブラッシュアップしながら、圧倒的に差別化が可能な顧客価値を創出するコンポーネントやソリューションを提供していく。

基盤技術

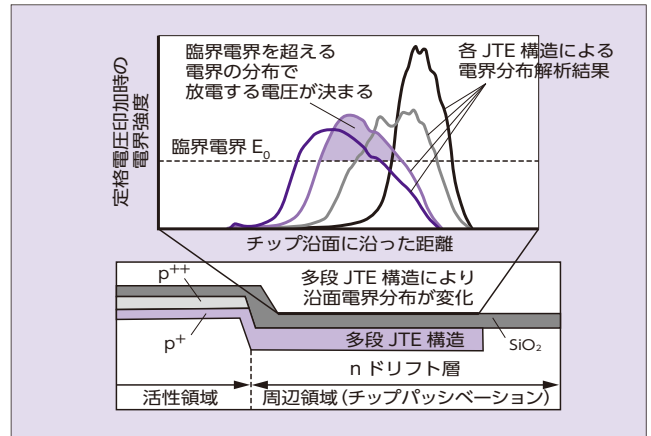
1 放電理論による半導体チップの沿面絶縁設計の最適化

SiC 半導体チップの周辺領域(チップパッシベーション)の沿面絶縁破壊不良を未然に防ぐ設計技術を構築した。

従来、チップ設計のプロセスでは周辺領域の内部構造(JTE 構造)のキャリア密度と移動度から絶縁破壊する電圧(耐圧)を導出するのに対し、沿面構造部は最大電界に基づく推定を用いていた。チップのパワー密度を向上させるためには、より短い絶縁幅で耐圧を保持したいものの、沿面の絶縁破壊を正確に判定することは困難であった。

そこで、ガス空間の放電理論を応用して沿面の電界分布と放電電圧の関係を数式化し、JTE 構造のシミュレーション結果からチップ沿面の耐圧を実測値との差 5% 以内で精度よく予測できる技術を確認した。

図1 SiC のチップパッシベーション模式図とその電界分布



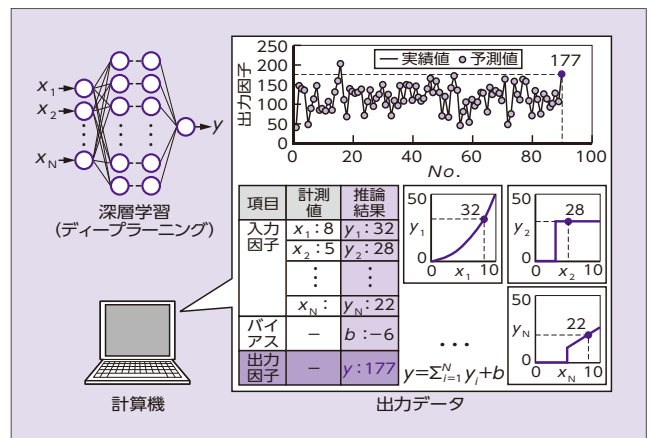
2 自動学習と推論根拠説明が可能な深層学習技術

高精度な推論(分類・回帰)が可能な技術として、画像分野にて深層学習(ディープラーニング)が注目されている。しかし、深層学習は人手によるパラメータやメンテナンスのチューニングが必要であり、推論結果の解釈が困難である。そのため、長期運用や信頼性が求められる産業分野では、これまで適用対象に限界があった。そこで、富士電機では、自動学習と推論根拠説明が可能な深層学習技術の開発に取り組んでいる。主な特徴は次のとおりである。

- (1) モデル構造最適化によるパラメータ自動学習
- (2) 至近学習によるメンテナンス自動学習
- (3) 入出力関係定量化による推論根拠説明

本技術の導入により、産業分野への適用対象の拡大が実現できる。

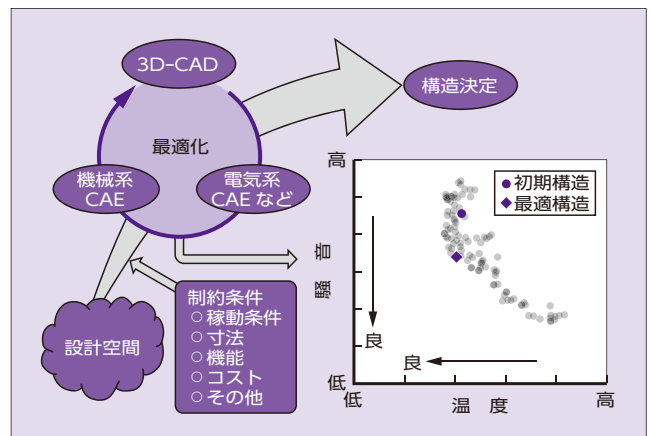
図2 深層学習技術による推論根拠説明の例



3 製品設計における CAE 活用の取組み(多目的最適化)

計算機の発展により、大規模計算による物理現象のメカニズムの解明や、計算時間の短縮化が可能となってきた。これにより、代表条件だけの計算にとどまらず、機能向上や品質向上に向けた数百の計算を伴う最適化実行環境が整いつつある。機械系のシミュレーション分野での最適化は、3D-CAD 形状の変更に伴う計算格子生成などの解析条件設定の自動化が必要となる。今回、CAE を活用し、パワーエレ機器の冷却構造を対象に相反する温度と騒音に対する多目的最適化を行った。パラメトリックな設計因子に対し、3D-CAD 形状、解析条件とその設定作業の自動化に加え、短時間で騒音推定を行う手法により最適な構造を導出した。導出した構造で実機検証し、性能向上が確認できた。今後、フロントローディングによる製品開発への展開を図る。

図3 多目的最適化の実施例



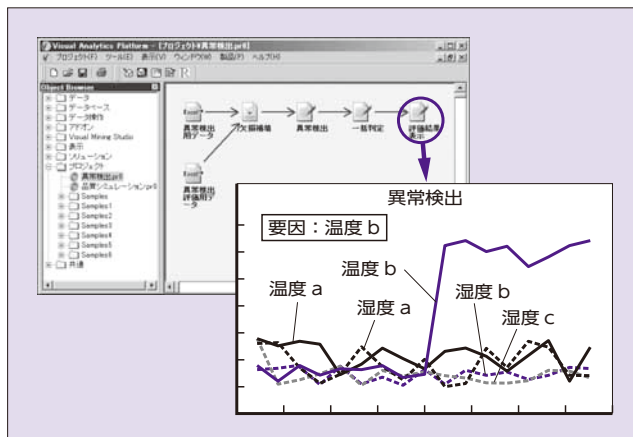
基盤技術

④ データ分析のプラットフォーム化技術

富士電機がビジネス化を進めているクラウドサービスには、業種ごとのさまざまなデータが集まっている。このデータを価値のある情報として新たなビジネスにつなげるためには、多くの技術者が容易にデータの分析を行うことができる環境が必要である。株式会社 NTT データ数理システムのデータマイニング製品である“Visual Mining Studio”をベースとするデータ分析プラットフォームを開発した。主な特徴は次のとおりである。

- (1) 富士電機特有のデータ分析エンジンを利用した相関算出、異常検出、品質シミュレーションなどのさまざまな分析が可能である。
- (2) 複数の分析テンプレートと標準手順書を準備したことにより、分析の専門知識がなくとも容易に利用できる。

図4 分析テンプレートの例（異常検出）

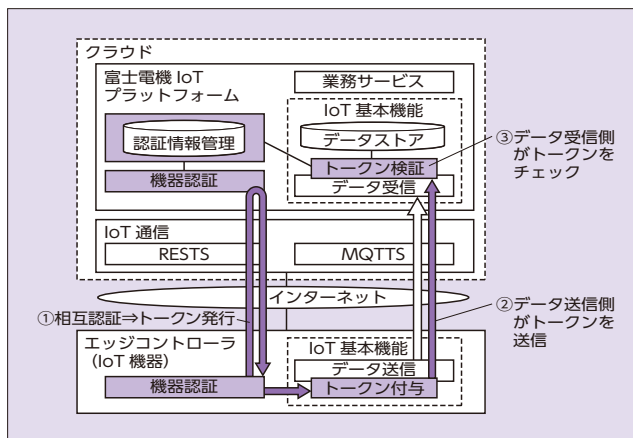


⑤ IoT システム向け機器認証技術

IoT システムは、インターネットを経由して現場の IoT 機器からデータを収集する。このため、クラウド上のサービスに不正機器が接続されるリスクが存在する。

富士電機は、クラウドにデータを送信する IoT 機器を認証する技術を開発した。IoT 機器は、データ送信前にクラウドと相互認証を行い、トークン（許可証）を受け取る（図①）。IoT 機器は、クラウドにデータと共にトークンも送信する（図②）。クラウドのデータ受信機能は、有効なトークンが付与されたデータのみを受理する（図③）ため、認証されていない不正機器からのデータを排除できる。今後、富士電機の IoT プラットフォームに接続するエッジデバイスなどの IoT 機器に適用し、安全・安心な IoT システムの実現に貢献する。

図5 機器認証を適用した IoT システムの構成



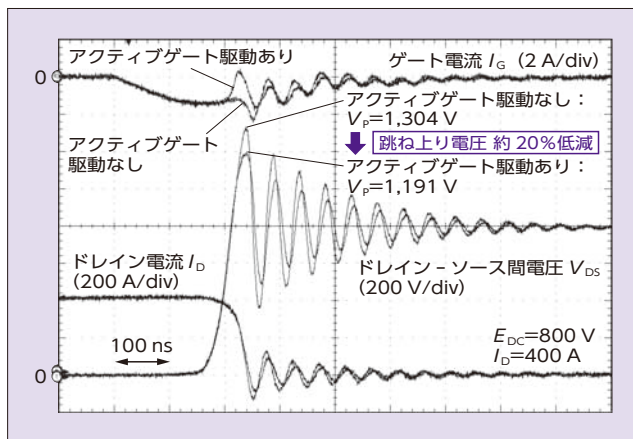
先端技術

① SiC-MOSFET のアクティブゲート駆動技術

SiC-MOSFET 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・高効率化が期待できる。しかし、スイッチング時に過大なサージ電圧が発生することが装置適用への制約となり、その性能を十分に生かしきれないことが課題となっている。

富士電機では、SiC-MOSFET の性能を最大限に発揮させるアクティブゲート駆動技術を開発している。図に示すように、ドレイン電流が減少している期間中に一定期間ゲート電流の通流を停止させる独自の制御方式によって、高速なスイッチング動作とサージ電圧抑制の両立を可能とした。本方式により、通常駆動時に対してサージ電圧の跳ね上がりを約 20% 低減しつつ、ターンオフ損失は同等のスイッチング特性となることを確認した。

図6 アクティブゲート駆動技術によるサージ電圧抑制



先端技術

② 業務用固体酸化物形燃料電池

富士電機は、現在販売中の発電出力100kWのりん酸形燃料電池（PAFC）に加え、固体酸化物形燃料電池（SOFC）を開発中である。数十kW規模の業務用コージェネレーションシステムを想定し、2014年度から国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）のプロジェクトである“固体酸化物形燃料電池等実用化推進技術開発”に参画し、開発を進めてきた。2017年度は、50kW級実証機システムの社内実証試験を行い、3,000時間以上の定格連続運転を検証し、目標性能であるAC発電効率50%以上、排熱回収効率30%以上を達成した。2018年度からは、社外でのフィールド実証を行うとともに、市場導入機を開発し、2018年度末に上市する予定である。

図7 業務用固体酸化物形燃料電池（実証機システム）



③ クレーン振れ止め制御システムのロバスト設計

富士電機は、ファクトリーオートメーション分野において、クレーン振れ止め制御システムを開発している。このたび、つり荷振れの原因となる風などの外乱に強い制御設計方法を開発した。主な特徴は次のとおりである。

(1) 制御パラメータの再調整が不要

つり荷の重さやロープ長などのプラント変動に対しても制御パラメータの再調整が不要となる。

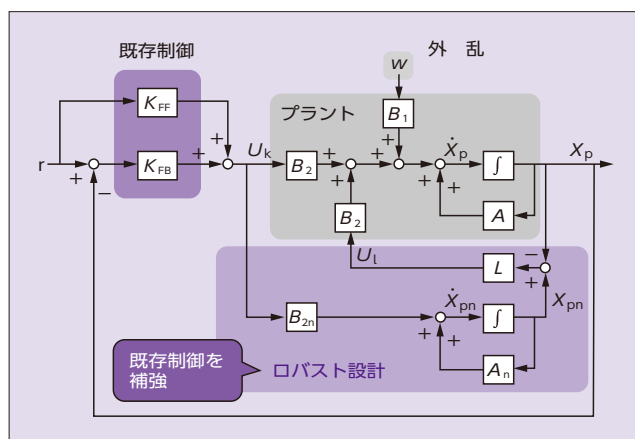
(2) 導入コストの削減

既存制御を補強するロバスト設計により、システムの改造が小規模であり、導入コストが削減できる（図）。

(3) ロバスト性の向上

港湾クレーンのシミュレーションでは、外乱に対するつり荷の振れ止め制御性能が32.9%向上した。

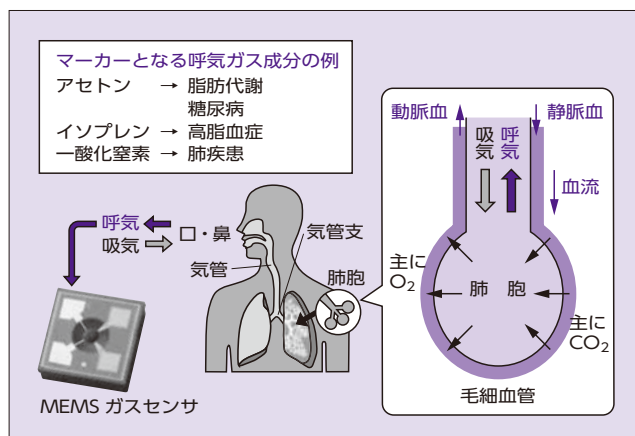
図8 ロバスト設計のブロック線図



④ MEMS ガスセンサを用いた呼気計測技術

世界初の電池式都市ガス警報器用メタンセンサをプラットフォームとした応用展開で、MEMS ガスセンサを用いた呼気計測の研究を行っている。呼気には血液中の揮発ガスが含まれており、さまざまな体調管理に呼気計測が有効とのコンセプトに基づいている。近年、脂肪代謝時に産生される呼気アセトンが、トレーニングやダイエットの指標、糖尿病マーカーとして注目されている。そこで、呼気アセトンセンサを開発した。アセトン検知に最適化した触媒技術により、従来はできなかった呼気アルコールとの区別を行い、呼気アルコールの検知感度を小さくすることで呼気アセトンの検知精度を向上させた。また、MEMS ガスセンサならではのセンサ駆動技術による高感度検知により、呼気アセトン濃度0.1～20ppmの範囲で検知できる。

図9 MEMS ガスセンサを用いた呼気計測



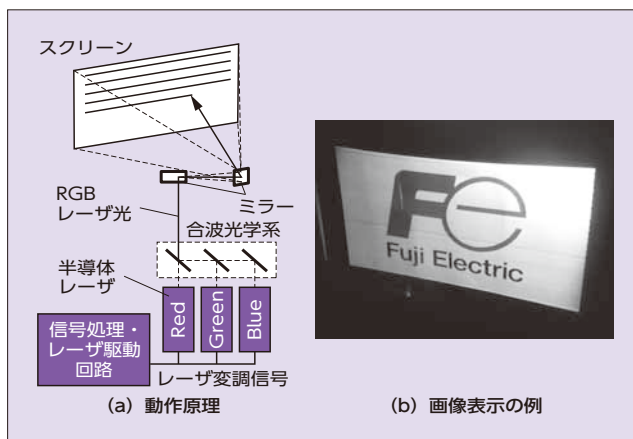
先端技術

⑤ 高い視認性を実現するレーザーディスプレイ技術

近年、さまざまな分野において、インタラクティブ広告や動画による作業支援といったデジタルサイネージの活用が広がっており、さまざまな場所に映像を投影できる映像表示装置の要求が高まっている。富士電機では、視認性が高く、投影面との距離や角度にかかわらず焦点が合うフォーカスフリーの映像を投影することができるレーザーディスプレイ技術を確立した。従来のレーザーディスプレイは、明るい場所で映像の視認性が低下する問題があった。

そこで、人の視覚効果を利用してレーザー光の出力を抑えながら視認性を向上させる技術を開発し、レーザーの安全性を確保しながら高い視認性を実現した。今後、ファクトリーオートメーション分野や食品流通分野のデジタルサイネージとして実用化の検討を進めていく。

図10 レーザーディスプレイ試作機の動作原理と画像表示の例

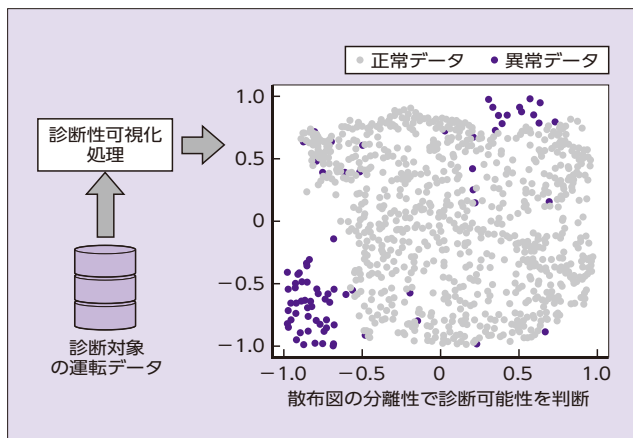


⑥ 診断性可視化技術と非線形診断技術

データを用いた設備やプラントの異常診断技術への要求が高まり、従来にない複雑な診断対象への診断が求められている。異常診断においては、得られているデータを用いて診断が可能かどうかを迅速に判断し顧客に提示できることと、診断性能の高いモデルを構築することが重要となる。

富士電機では、診断対象の運転データから異常診断の可否を判断する診断性可視化技術、および複雑な設備やプラントの異常診断を可能とする非線形診断技術の開発に取り組んでいる。診断性可視化技術を実プロジェクトに適用し、1週間以上を要していた診断可能性の判定を半日程度で行うことができることを確認した。また、非線形診断技術により、従来技術では診断が困難であった診断対象の診断性能が20%以上改善することを確認している。

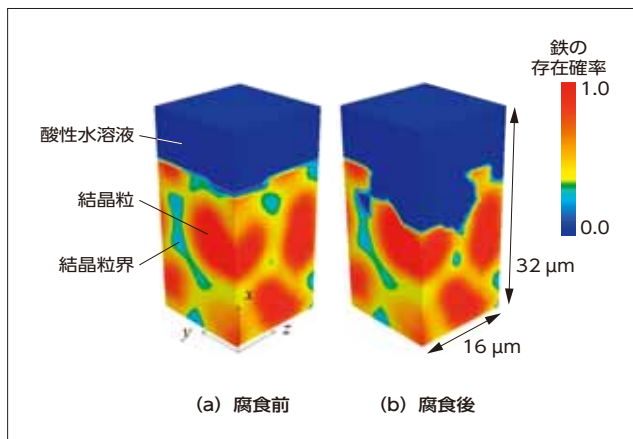
図11 診断性可視化技術の例



⑦ 腐食シミュレーション技術

富士電機は、地熱タービンや船舶用排ガス洗浄システムなど、過酷な腐食環境下で動作する製品を展開している。製品の長期安定動作を確保するためには、経年的な腐食進行を精度よく予測する技術が求められる。製品ごとに腐食環境は異なり、また、腐食形態にはさまざまなモードがあるため、腐食予測技術はこれらに対応する必要がある。そこで、マルチフェーズフィールド法により、各腐食環境や腐食モードに対応した腐食シミュレーション技術を開発した。腐食液中のイオン拡散と製品表面での金属溶解を統一して取り扱えるため、製品ごとに異なる腐食環境にも対応が可能である。金属組織の不均一性を計算モデルに取り込むことにより、孔食を含む複数の腐食モードに対応した。今後、この技術を製品設計に適用していく予定である。

図12 鉄の孔食進展シミュレーション結果





*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。