

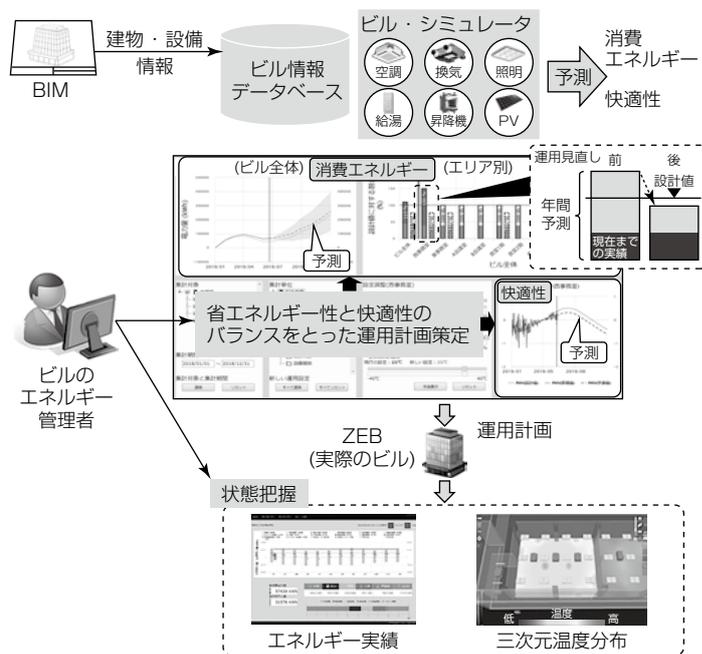
1. 研究開発 Research and Development

1.1 ライフ Life

■ ZEB運用支援技術 Operation Support Technology for Net Zero Energy Building

ZEB(net Zero Energy Building)運用時は、室内の快適性を維持しつつ、消費エネルギーを設計値に抑える必要がある。そのため、従来のビル運用管理業務では、設備の設定変更と室内環境計測を試行錯誤する必要があった。建物情報や設備情報を格納したBIMを入力すると、消費エネルギーと室内の快適性(温熱快適性)を同時に算出できる業界初^(*)のシミュレータを開発した。このシミュレータは、当社設備の内部動作を再現できるため、高精度(予測誤差5.78%)に消費エネルギーを予測できる。これによって、省エネルギー性と快適性のバランスをとった上で、消費エネルギーを設計値の範囲内に抑える運用計画を事前に策定し、評価できる。運用後のビルの状態は、エネルギー実績や三次元温度分布で確認できる。

* 1 2019年2月13日現在、当社調べ



BIM : Building Information Modeling, PV : PhotoVoltaics

ZEB運用支援技術

■ “ダイナミックサイン”の国際標準化活動 International Standardization Activity for "Dynamic Sign"

光のアニメーションを用いた“ダイナミックサイン”による施設案内は国内外で利用が始まっているが、視認性やアクセシビリティに関するガイドラインは存在しない。当社は、駅やスポーツ施設など様々な室内空間やイベントで“ダイナミックサイン”の実証実験を行い、データを収集・分析し、各施設が抱える誘導に関する課題への解決方法としての有効性を確認している。これまで収集したデータから、視認性やアクセシビリティなど“ダイナミックサイン”の条件を定義し、国立研究開発法人産業技術総合研究所と共同でISOに国際標準化を提案した。今後は、より多くの

人が分かりやすく、安全にサインを使用できるように、数値目標のガイドライン策定を目指す。



実証実験の様子

■ 三菱ビル統合ソリューション“ビルユニティ”のエレベータークラウド制御システムサービスのデザイン Design for Cloud Elevator Controlling System Services of Mitsubishi Building Integrated Solution "BuilUnity"

スマートフォンで、遠隔地からでもエレベーターの異常監視と、停止階・運行スケジュールが変更できるクラウドを利用したサービスの操作画面をデザインした。導入コストや大規模ビルとの運用の違いからエレベーターの監視制御システムが普及しなかった中小規模ビルを対象に、運用に沿った機能の厳選と、情報の表現を工夫した。縦スクロールだけで複数のビルの状態が見渡せるシンプルな画面構成と、図形を主にエレベーターの状態を直感的に伝える表現で、複数のビルのエレベーターを巡回管理するプロにも、高齢のビルオーナーにも

使いやすい操作画面に仕上げた。2019年11月からサービスインし、使い勝手への配慮が評価されて2019年度グッドデザイン賞を受賞した。

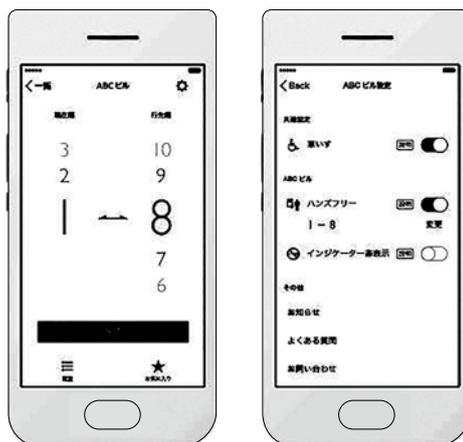


運用に沿った機能とデザイン

■ エレベーター-スマートフォン連動サービス向けアプリケーションデザイン

Application Design for Elevator-Smartphone Integrated Service

エレベーターのメンテナンス契約でのサービスメニューの一つである、エレベーター-スマートフォン連動サービスのアプリケーションデザインを行った。このアプリケーションでは、操作盤を用いた操作の代わりに手元からエレベーターを呼び出せる。また、行先階をあらかじめ指定しておくことで乗場に近づくだけで操作することなく行先階行きのエレベーターに乗車できるハンズフリー運転を搭載する。画面デザインでは構成要素を厳選し、初めて使う利用者にも分かりやすい表現を目指した。さらに、位置情報を活用して利用者の行動の流れに沿うことで初期登録やエレベーターの選択作業などの操作手順を簡略化する工夫を行った。今後も引き続き評価・改善と機能充実化を進める。



スマートフォンアプリケーションの画面イメージ

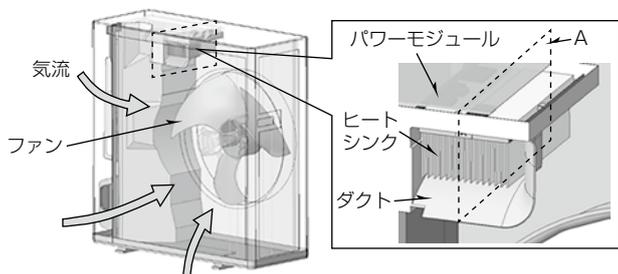
■ インバータエアコンのパワーモジュール冷却技術

Power Module Cooling Technique for Inverter Room Air Conditioners

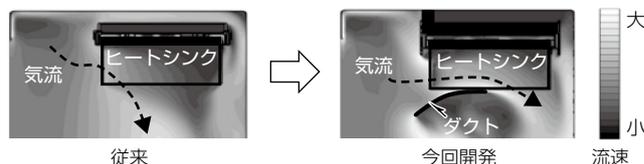
高温地域での冷房能力の低下を抑制するパワーモジュール冷却技術を開発した。

インバータエアコンは世界的に普及が進む一方で、高温地域では室外機のパワーモジュール冷却性能の向上が必要になる。今回、ヒートシンクにファンの気流を効率よく導

くダクト構造を開発した。流体解析を用いて室外機内部の複雑な気流を把握し、ヒートシンク内の気流均一化と流速上昇を実現するダクトの形状と配置を決定して、冷却性能を20%向上させた。これによって、定格能力7.6kW機種で冷房運転可能な外気温度上限を46℃から52℃に拡大可能になる。この冷却技術を適用したインバータエアコンは、2019年2月にインド向けに出荷を開始した。



ルームエアコンの室外機



断面Aの流速分布

■ 空調機での圧縮機振動抑制制御の調整レス化

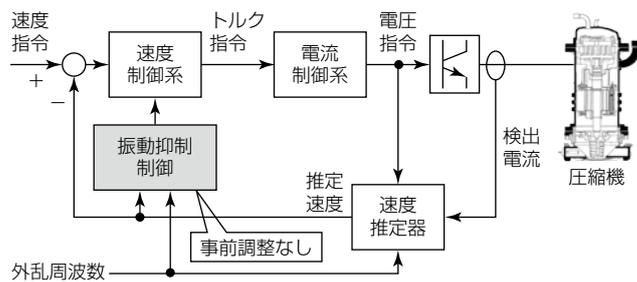
Tuningless Active Vibration Suppression of Compressor for Air Conditioners

空調機器で使用される圧縮機では、冷媒を圧縮する際に振動が発生する。この振動は室外機の不具合を誘発するおそれがあるため、当社空調機の一部機種では圧縮機の振動を抑制する制御アルゴリズムが実装されている。しかし、

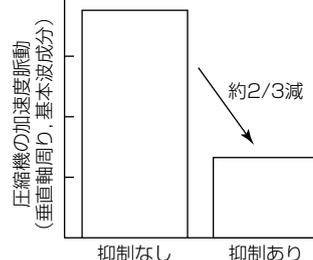
従来方式では手動調整が必要であり、調整作業工数が極めて大きかった。今回、圧縮機に印加されるインバータの電圧指令値と圧縮機に流れる検出電流値から機械的な振動成分を高精度に推定し、収束演算によって振動成分が最小となるように圧縮機のモータ回転速度を制御する振動抑制制御方式を開発した。この方式によって事前調整を行わなくても、15~100Hzの振動成分を従来方式と同水準まで低減できるようになった。

従来の制御方式では手動調整が必要であり、調整作業工数が極めて大きかった。

今回、圧縮機に印加されるインバータの電圧指令値と圧縮機に流れる検出電流値から機械的な振動成分を高精度に推定し、収束演算によって振動成分が最小となるように圧



振動抑制制御系の構成



振動抑制制御の効果

■ 寒冷地向けルームエアコンのノンストップ暖房技術

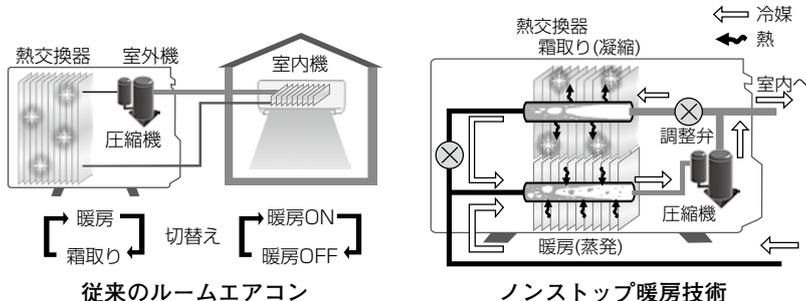
Continuous Heating Technology for Room Air Conditioners in Cold Regions

寒冷地では、エアコンの室外熱交換器に付着する霜を定期的に取り除く必要がある。霜取り中には、室内の暖房が停止されるため、快適性の低下が課題である。

そこで、霜取り中にも暖房を継続し、室内の温風温度を低下させないノンストップ暖房技術を世界で初めて^{(*)2}開発した。熱交換器を2分割し、交互に霜取りをする。霜取り対象の熱交換器では、前後に設置した調整弁で、冷媒がガスから液に凝縮するように冷媒圧力を制御する。このとき、冷媒が放出する凝縮熱を利用し、少量の冷媒で効率よく霜取りをするので、室内の暖房に十分な冷媒を供給できる。

この技術を搭載した国内寒冷地向けルームエアコン“ズバ暖霧ヶ峰”を2019年9月に発売した。

* 2 2019年7月17日現在、当社調べ



■ プラスチック部品への防汚性付与技術

Antifouling Technology for Plastic Parts

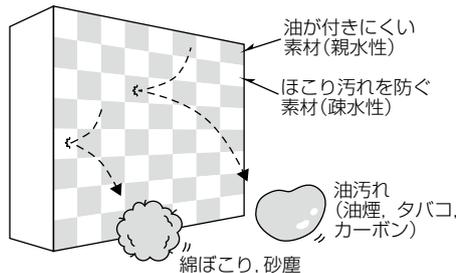
家電製品などでは、汚れを防止して清掃頻度を減らすとともに見た目の美しさを維持することが求められている。従来の防汚コーティングは、高度な意匠性を要する外観部品や形状が複雑な部品に施すことが困難であるなど、適用範囲に制限があった。

同時に実現した。今後、ルームエアコンを始め、家電製品など幅広い製品に適用する。

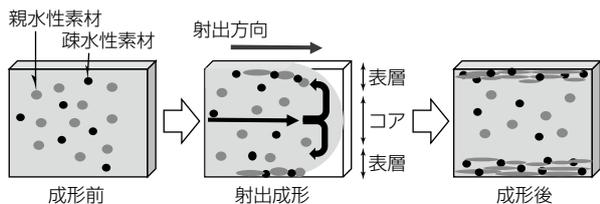
* 3 2019年7月23日現在、当社調べ

* 4 帝人株のグループ関連会社であるマーベリックパートナーズ(株)と共同で開発した。

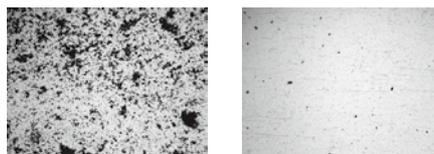
今回、プラスチックに配合するだけで、砂塵(さじん)やほこりなどの親水性汚れと、すすや油煙などの疎水性汚れの両方の付着を抑制する新素材“デュアルバリアマテリアル”を世界で初めて^{(*)3}開発した^{(*)4}。親水性素材と撥水(はっすい)・撥油効果のある特殊疎水性素材の二つが成形時に材料表面に濃縮・露出することで、防汚性と意匠性を



親水性汚れと疎水性汚れをはじくイメージ



親水性素材と疎水性素材がプラスチックの表面に濃縮・露出する原理(イメージ)



配合なし 黒部分が汚れ(カーボン粉)

ポリスチレン板上での汚れ付着の様子

■ 三菱ルームエアコン“霧ヶ峰R/BXVシリーズ”

Mitsubishi Room Air Conditioner "Kirigamine R/BXV Series"

2019年度向け三菱ルームエアコン“霧ヶ峰R/BXVシリーズ”は、ハイサッシ窓上など狭くて高い場所への設置を想定し、据付け性と清潔性にこだわったエアコンである。

め、天面や吹出し口などの汚れやすい部品を取り外して、手で簡単に掃除できるようにしたり、天面を外すことで熱交換器を露出させて従来難しかった熱交換器の清掃を可能にしたりするなどして、清潔性を向上させた。

近年、ハイサッシを採用する住宅が増えており、窓上スペースが少なくなったために、エアコンを設置できないケースが増えてきた。そこで、内部構造設計の見直しによる本体高さのコンパクト化の実現と、設置時の取付け軌道を考慮したデザインによって、狭い場所への据付け性に配慮した。

また、エアコンを清潔に保ちたいという要望に応えるた



霧ヶ峰R/BXVシリーズ

■ コンパクト3ドア冷蔵庫“CGシリーズ”

Compact 3doors Refrigerators "CG Series"

少人数世帯に向けたガラス面材のコンパクト3ドア冷蔵庫“CGシリーズ”を開発した。普及価格の単機能機種が主流の中容量機種でありながら、当社独自のチルド機能“氷点下ストッカー”を搭載した。これによって肉や魚を冷凍することなく長期保存できるため買物や解凍の手間を減らして家事の時短を実現した。また、従来機種の不満点であった清掃

性については、汚れをふき取りやすいガラス面材を採用してハンドルの凹凸を軽減させるなどの改善を図った。これらによって忙しい子育て



氷点下ストッカー



清掃性の良い外観



スリムな外観のラインアップ

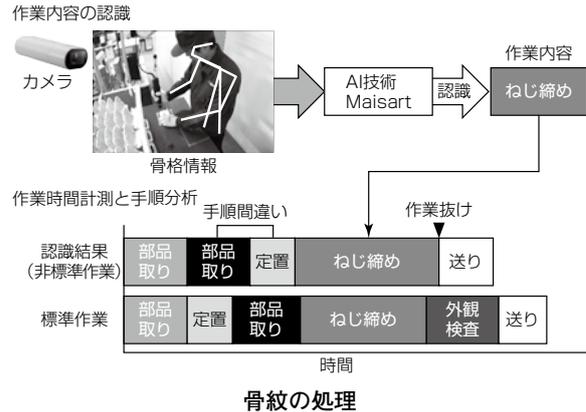
1.2 インダストリー Industry

■ 作業動作分析技術“骨紋”

"KOTSUMON" AI Technology for Identifying Specific Motions in Videos

製造現場では、作業時間のばらつきや人為的な作業ミスによって生産性が低下する課題がある。従来は現場監督者が目視で現場を確認していたため、実態把握に時間を要していた。今回、当社AI技術“Maisart”を活用した作業動作分析技術“骨紋”を開発した。骨紋は作業映像から抽出した骨格情報からAI(Artificial Intelligence)で作業内容を認識し、“部品取り”や“ねじ締め”といった詳細な単位での作業時間計測と作業抜けや手順間違いなどの非標準作業を自動検知する。当社工場での検証の結果、90%の精度で作業時間を計測し、非標準作業を正しく検知できることを確認した。今後は、様々な作業映像を用いた検証・改良を

重ね、汎用性を高めていく。



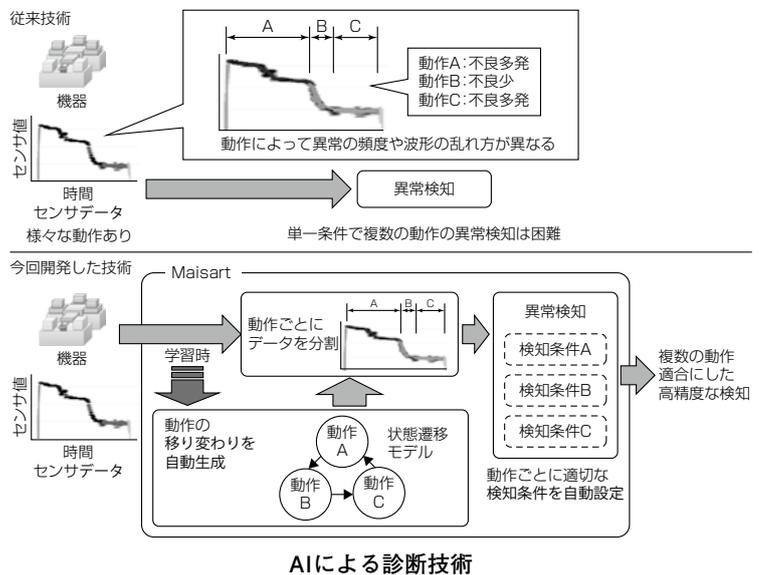
■ AIで高精度に異常を検知する機器診断技術

Equipment Diagnostic Technology Detecting Abnormalities with High Accuracy by AI

当社AI技術“Maisart”を用いて、電流・電圧などの機器のセンサデータから動作の移り変わりを表す状態遷移モデルを自動生成し、それを用いて異常を高精度に検知する機器診断技術を世界で初めて(*5)開発した。

製造設備などの機器の中には複数の動作を切り替えながら稼働するものが存在する。そのような機器に対し、センサデータ上に現れる機器の異常兆候を単一条件で検知する従来技術は検知精度に限界があった。生成した状態遷移モデルを用いてセンサデータを分割し、動作ごとに適切な検知条件を自動設定する技術を開発し、高精度の異常検知を実現した。この技術を用いた異常検知システムの構築によって機器の故障前対策やダウンタイム削減を可能にした。

*5 2019年7月8日現在、当社調べ

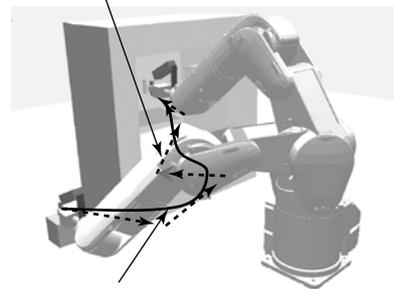


■ 段階的に素早く学ぶAI

Fast Stepwise-learning AI Shortens Motion Learning

産業用ロボットなど生産設備の立ち上げ作業の効率化に向け、自ら賢くなるAI制御技術“段階的に素早く学ぶAI”を開発した。これまで、経路や動作などの複合的で複雑な内容をAIに学習させるには、試行錯誤の繰り返し回数が膨大になり、多くの学習時間が必要であった。今回、AIへの学習内容を段階的に追加する学習方式を開発し、シミュレータを用いて効率よく短時間で学習を完了できるようになった。産業用ロボットの立ち上げ課題では、人手による立ち上げ作業時間と比べ、調整作業に必要な時間を1/10にし、熟練作業者と同等以上のタクトタイムを実現した。

第1段階:経路情報付与
スタートからゴールまでの経路を生成



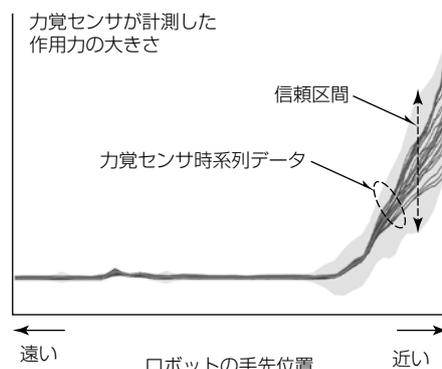
第2段階:動作学習
経路に近く短時間で完了する動作を学習

ロボットアームでの実施例

■ 産業用ロボットによるコネクタ挿入作業時の異常検知技術

Anomaly Detection Technology for Connector Insertion by Industrial Robot

産業用ロボットによるコネクタ挿入作業時の異常検知技術を開発した。ロボット作業中に計測される手先の力覚センサ作用力を使用し、コネクタ挿入時の正常な力覚センサ時系列データの確率予測モデルを機械学習する。そして、学習後の確率予測モデルに基づいて力覚センサ計測値の信頼区間を許容変動範囲として設定する。これによって、ロボット作業時の稼働データを監視し、力覚センサ計測値が信頼区間を逸脱する外れ値を検出することで、高精度なりアルタイム異常検知を実現できる。正常データだけを用いるために異常検知システムの構築が容易であり、異常品だけでなく異常を発生し得る兆候も検出できるため組立て品質を向上させることができる。



力覚センサ計測値の確率予測モデル

■ レーザ切断品質のAIを利用した自動判定技術

Automatic Diagnostic Technologies Utilizing AI for Laser Cutting Quality

レーザを使用した金属切断加工で、従来切断面の平滑さを向上させる切断品質の改善は、熟練者の経験とノウハウに頼っていた。熟練者が切断面を視認し、直観的に把握した切断面の特徴に基づき、レーザ出力や切断の送り速度といった加工条件を調整する。今回、レーザ切断品質のAIを利用した自動判定技術を開発した。熟練者の判定結果をAIに学習させることによって、88%以上の確率で切断面の特徴を正しく判定し、補正条件を提示する。AIの指示に従って条件調整を繰り返すことによって、経験やノウハウを必要とせずに、常に優れたレーザ切断品質を維持することが可能になった。なおこの成果は、国立研究開発法人産業技術総合研究所との共同研究によるものである。



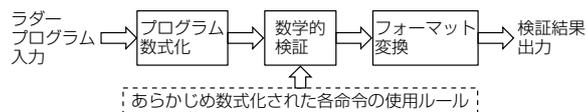
レーザ切断品質のAIを利用した自動判定システム

■ ラダープログラムの高信頼検証技術

Trusted Verification Technology for Ladder Programs

PLC(Programmable Logic Controller)に実装するラダープログラムでは、あらかじめ規定された入力範囲などのルールに従って各命令を使用する必要がある。従来、各命令の使用ルール適合性に関する検証は、作業員抽出の検証項目に基づくシミュレーションで行われるため、人為的要因によって検証漏れが発生するリスクがあった。

そこで、フォーマルメソッドと呼ばれる数学的解析手法を活用した検証技術を開発し、検証ツールの試作を実施した。数学的手法によって原理的に漏れない検証が可能であり、さらには検証作業の自動化によって、従来の検証時



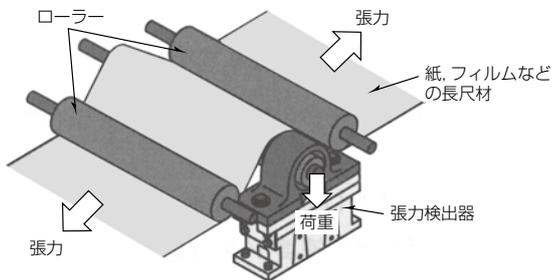
フォーマルメソッドを活用した検証処理

■ 張力検出器の小型化

Miniaturization of Tension Detector

紙やフィルムなど長尺材搬送時の張力制御に用いる小型で設置性に優れた軸受一体形の張力検出器を開発した。

張力検出器は、軸受に作用する荷重を板ばねの撓(たわ)みで生じる変位で検出する。軸受と荷重の検出部が別部品であった従来構成に対して、開発品は軸受を検出器の中央に配置した一体構成である。軸受一体形への課題は、検出

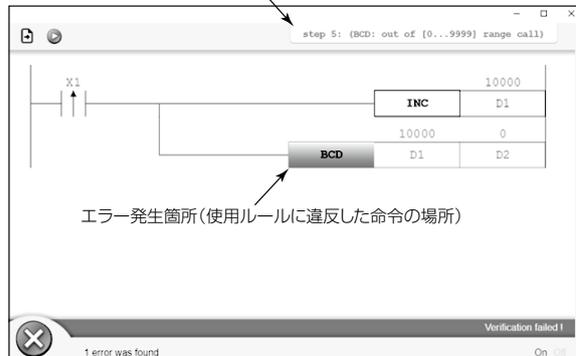


搬送機器での張力検出器の使用例

間の大幅な短縮(2日→5秒)を実現した。

今後は、複数命令の組合せによって成立するプログラムの機能の正当性に関する検証技術の開発も進める。

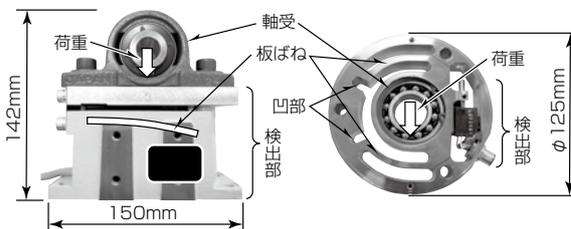
エラー原因(命令が何の使用ルールに違反したか)



試作ツールによるエラー検出の画面例

器の小型化に伴う性能と寿命の低下への対応であった。

そこで、軸受に沿った円弧形状の板ばねの根元に凹部を設け、板ばねを長くすることで、検出性能の低下抑制、及び発生応力の低減を図った。これによって、容量1kNタイプの張力検出器の容積を従来比26%まで小型化することを可能にした。この張力検出器を2020年度に発売する。



従来品：軸受分離形、厚さ68mm 開発品：軸受一体形、厚さ31mm

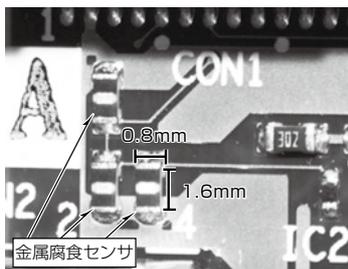
張力検出器の構造(容量1kN)

■ プリント基板に実装可能な金属腐食センサ

Metal Corrosion Sensor Designed for Mounting on Printed Circuit Boards

産業用機器の金属腐食の進行度把握による故障の未然防止策が求められているが、外付けの金属腐食センサでは機器内部に近い腐食環境を確認することが難しいという問題があった。

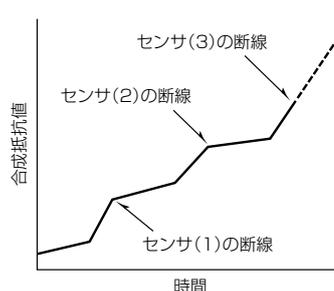
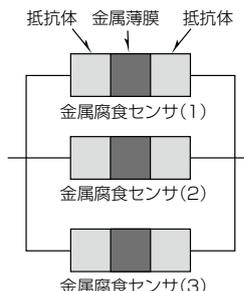
今回、産業用機器などのプリント基板に実装できる小型の“金属腐食センサ”を世界で初めて(*6)開発した。金属腐食センサは金属薄膜と抵抗体から構成され、金属薄膜の腐食による抵抗値増加から産業用機器内の金属部品の腐食進行度を



金属腐食センサの搭載例

検知する。金属薄膜の材質や厚みなどを変えた複数の金属腐食センサを組み合わせることで、腐食進行度を段階的に検知できる。このセンサを当社の産業用機器などに適用し、機器の故障の未然防止に貢献する。

*6 2019年9月4日現在、当社調べ

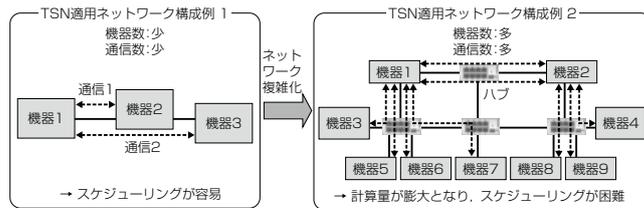


金属腐食センサの構成イメージ 金属腐食センサの合成抵抗変化例

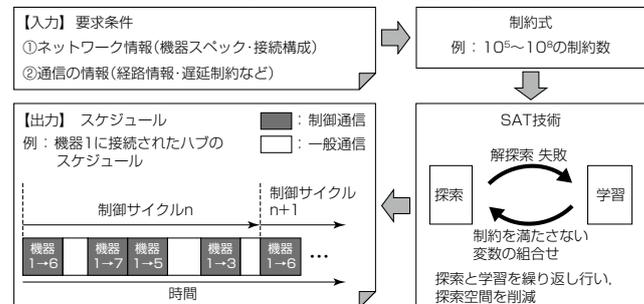
■ TSN適用ネットワークでのスケジューリング最適化手法

Method for Optimization of Time-scheduling in TSN Based Networks

車載・産業機器を制御するリアルタイム通信と一般の通信をEthernet(注)で統合するTSN(Time-Sensitive Networking)規格群が注目されている。TSNには、各通信の転送時刻をスケジューリングすることで、輻輳(ふくそう)遅延を抑制する仕組みがある。しかし、機器数や通信数が多くなると、転送時刻の組合せが膨大となりスケジューリングが困難になる。今回、通信の遅延や機器構成等の要求条件を定式化して制約式を導出し、さらに制約を満たさない変数の組合せを学習して探索空間を削減するSAT(boolean SATisfiability)技術で、スケジューリングを高速化した。これによって、機器数18、通信数250の例では、導出される約14万の制約を満たすスケジュールを、汎用パソコンでも約3分で計算できる。



TSN適用ネットワークの設計の課題



スケジューリング手順

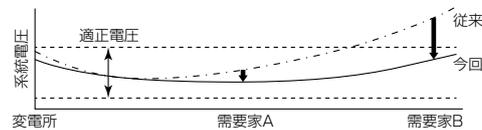
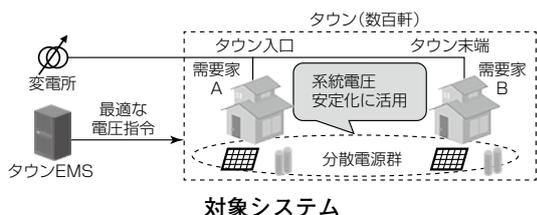
1.3 インフラ Infrastructure

■ 需要家分散電源を活用した系統電圧安定化制御技術

System Voltage Stabilization Technology Using Distributed Energy Resources of Consumers

タウン内の需要家に設置された分散電源(太陽電池や蓄電池)を活用した系統電圧安定化制御技術を開発した。従来、系統電圧を適正範囲に維持するために、各分散電源は入力される系統電圧に基づいて無効電力(負荷と電源を往復するだけの消費されない電力)を制御していた。しかし、この方式では需要家の位置によって分担する無効電力にばらつきが発生し、公平性という点で課題が生じていた。今回、分散電源の計測情報を基にタウンEMS(Energy

Management System)で系統連系点の電圧変動幅を予測して最適な電圧指令を算出し、分散電源が入力系統電圧を制御するように構成した。これによって、タウン内の需要家が負担する無効電力の平準化が図れ、公平性を担保することが可能になった。



需要家の位置と系統電圧の関係



シミュレーション結果(従来/今回)

■ 高電圧DCCB向け高速電磁操作装置

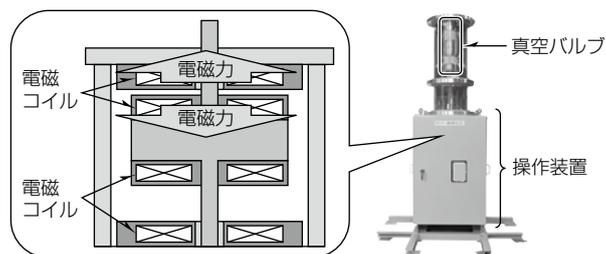
Fast Electromagnetic Operating Mechanism for High Voltage Direct Current Circuit Breaker

多端子HVDC(High Voltage Direct Current)送電システムで必要となるDCCB(Direct Current Circuit Breaker)の遮断時間を短縮する技術を開発した。当社は、事故時の系統電圧低下に起因する系統崩壊を回避するため、低コストな機械式DCCBによる高速事故遮断の実現を目指しており、高速化を実現する操作装置の開発が課題であった。

することに成功した。

このプロジェクトはEuropean Union(EU)の研究・技術革新プログラムHorizon 2020から、協定番号691714の助成金提供の支援を受けている。

今回、電磁反発式の高速電磁操作装置を開発し、可動部の軽量化、電磁コイルの高出力化によって高速動作を実現した。この操作装置を適用して開発した160kV/16kA機械式DCCBをオランダの国際認証試験機関(DNV-GL KEMA)で実証試験を行った結果、従来の電磁ラッチ式ばね操作装置を適用した場合と比べ、遮断時間を20%短縮



電磁反発式操作装置を適用した160kV/16kA機械式DCCB遮断部用真空遮断器

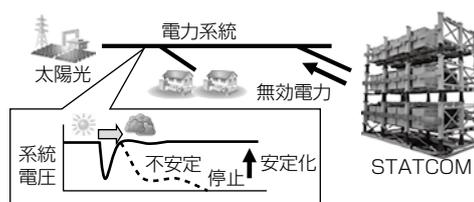
■ 無効電力補償装置の小型化技術

Technology for Reducing Size of Static Synchronous Compensator

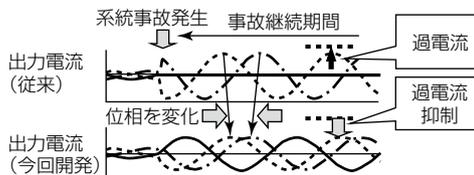
電力系統向け無効電力補償装置(STATic synchronous COMpensator : STATCOM)の小型化技術を開発した。太陽光発電などの再生可能エネルギーの普及に伴い、系統電圧を安定化させるSTATCOMの需要が増大している。

STATCOMは、電力系統での落雷等による系統事故時に運転を継続し、無効電力を出力することが求められる。今回、系統事故時に系統電圧の位相に応じてSTATCOMの出力電流の位相を最適に調整することで、電流の大きさを従来比で80%に抑制できる制御技術を開発した。

この制御技術の適用によって、系統事故に備えて余剰な設備容量を確保する必要がなくなり、STATCOMのサイズを従来比で80%に削減した。



STATCOMとその働き



無効電力出力時の過電流抑制技術

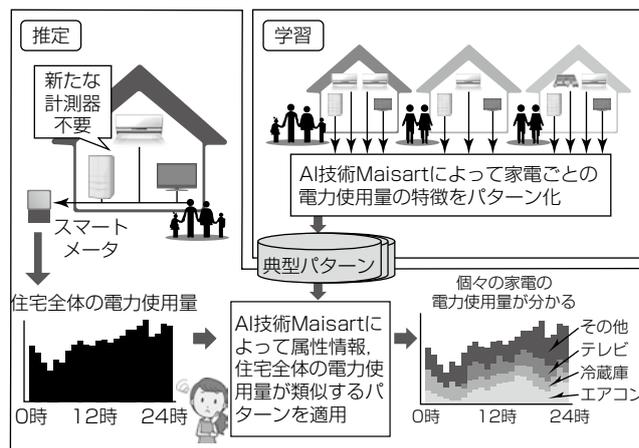
■ 家電ごとの電気の使い方見える化技術

Visualization Technology for Use in Domestic Power Consumption Management

新たな計測器を取り付けることなく、スマートメータで計測した住宅全体の電力使用量から、家電ごとの電力使用量を高精度に推定する技術を開発した。あらかじめモニタ住宅で計測した家電ごとの電力使用量や、家族構成、保有家電などの属性情報を基に、当社のAI技術“Maisart”が、電気の使い方が類似する住宅を自動的にグループ化して典型パターン化し、住宅全体の電力使用量と最も類似する典型パターンを選択する。類似する住宅や典型パターンを選択する際に、日々の行動時間などの変動を補正することで高精度な見える化を実現した。

これによって、電力会社による新たな電力データ活用サービスの提供や、家庭での省エネルギー意識向上に貢献する。

なお、この技術は、東北電力(株)との共同研究による成果である。



家電ごとの電気の使い方見える化技術

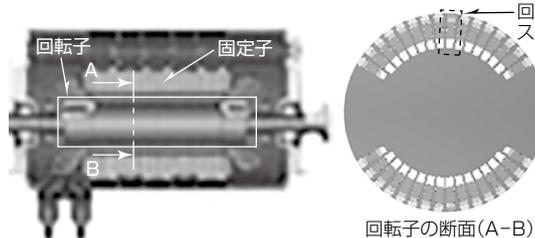
■ タービン発電機の保全時に効率を向上させる回転子スロットの設計手法

Design Method of Rotor Slot Structure to Improve Efficiency at Maintenance of Turbine-generator

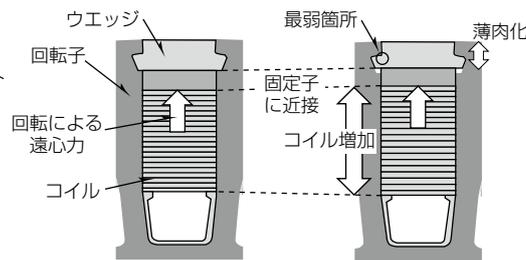
タービン発電機の回転子コイルを更新する保全工事で、既設回転子を流用して発電効率を向上させる回転子スロットの設計手法を開発した。

従来は回転子を新製し、回転子コイルを固定子に近接させて界磁電流を低減するとともに、コイル断面積を増加させて損失を低減し、効率を向上させていた。これに対し、遠心力が加わるコイルを保持する部品(ウエッジ)の強度を実測し、最弱

箇所を再評価することで、ウエッジを約15%薄肉化して、回転子の新製を必要とせずに効率を向上させた。この設計手法の採用によって、タービン発電機の回転子損失を約4%低減し、発電効率は約0.01%改善できる見込みである。



タービン発電機



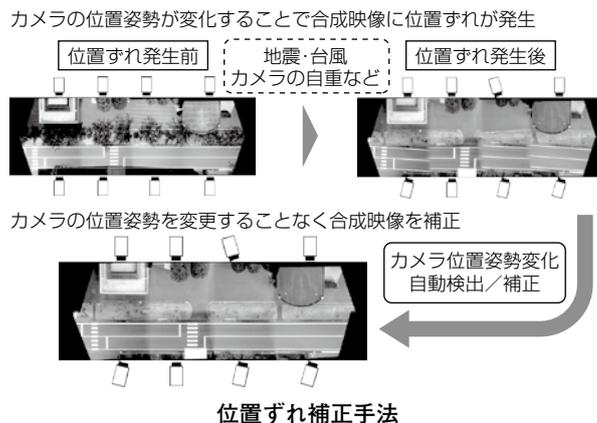
回転子スロットの設計手法

■ 俯瞰映像監視システム向けカメラ位置ずれ補正手法

Image Compensation Method for Top-view Surveillance System

複数の監視カメラ映像を真上から見た映像に変換後、1枚の俯瞰(ふかん)映像に合成し、監視エリア全体を一目で把握可能とする俯瞰映像監視システム“Fairview”を開発してきた。“Fairview”ではカメラ位置や撮影方向が天候や自重でずれると、合成した映像にずれが発生するため、従来は手でカメラを元に戻す保守作業が必要になっていた。

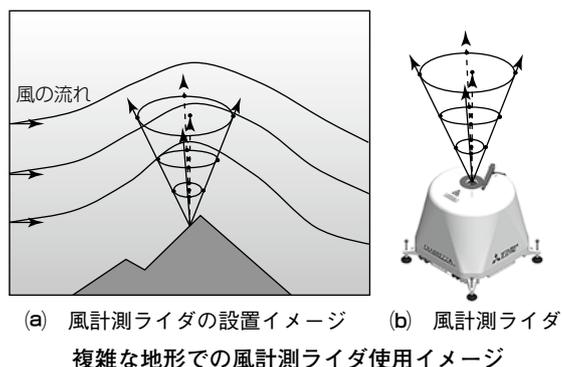
今回、カメラごとに推定したカメラのずれ量と、カメラ映像を合成する際の重なり合う部分の接続性を評価し、ずれた映像を自動補正するカメラ位置ずれ補正手法を開発した。これによって、従来カメラ位置の調整等で8時間かかっていた補正作業を約1分に短縮でき、“Fairview”の保守コストを削減可能にした。



■ 風計測ライダ高性能化アルゴリズム

Wind LiDAR Algorithm

複雑な地形での風計測ライダ性能を改善するアルゴリズムを開発した。従来、平坦(へいたん)な地形での風計測ライダの風速・風向き測定値は、正值に対して2%程度の誤差で測定可能であったが、山間部などの複雑な地形では10%程度の誤差となり、例えば、風力発電向け用途には適用が難しかった。数値流体力学(Computational Fluid Dynamics: CFD)に基づく補正アルゴリズムを用いても、複雑な地形によってもたらされる影響を補正することが困難であった。今回CFDに加え、データ同化法(Direct-Adjoint-Looping: DAL)を用いることで、誤差を従来の10%から4%に大幅に改善した。これによって、複雑な地形での風計測ライダの風力発電向け用途などへの適用を可能にした。



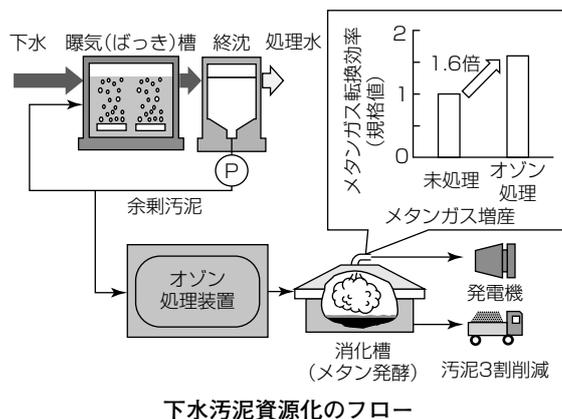
■ 下水汚泥資源化の効率化

Improvement of Efficiency for Sewage Sludge Recycling

下水汚泥の発酵で得たメタンガスを使って発電し、エネルギー源に利用する汚泥資源化の取組みを進めている。当社と日鉄エンジニアリング(株)は、オゾンを使って下水汚泥を効率よく発酵させる技術を開発した。

オゾンの強い酸化力で有機物を分解することで下水汚泥が発酵しやすくなり、余剰汚泥からのメタンガス発生量が6割増加し、汚泥廃棄量を3割削減できることが分かった。現在、実規模実証試験を計画している。

これによって、20万~30万人程度の都市の下水処理場でも、メタンガスによる発電と汚泥削減で採算が確保できる目途を得て、2020年の実用化を目指す。

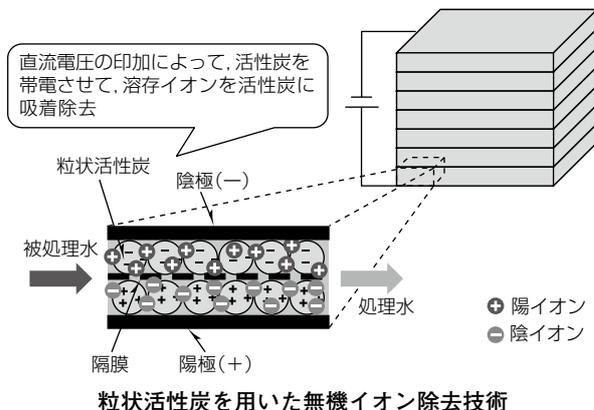


■ 容量性無機イオン除去デバイスの省エネルギー化

Energy Saving of Capacitive Desalination Device

粒状活性炭を電極として積層した、低圧損を特長とする容量性無機イオン除去デバイスを開発した。この技術は、水の電気分解が生じない範囲で活性炭電極間に直流電圧を印加することで活性炭を帯電させ、溶存イオンを活性炭に静電気力的に吸着させて飲用水・冷却水などに有害な無機イオンを除去する。

今回、下水処理水を模擬した水溶液(0.05% NaCl(塩化ナトリウム))を処理したところ、ワンパス除去率90%、処理水回収率75%で、従来法の逆浸透膜ろ過と同等性能の達成見込みを得た。この技術では、逆浸透膜ろ過と比較して、圧力損失を約70%抑制でき、水ポンプ動力の低減によって、イオン除去時の消費電力を約50%削減できた。今後、この技術の製品適用に向けて長期処理安定性及びメンテナンス性を評価する。



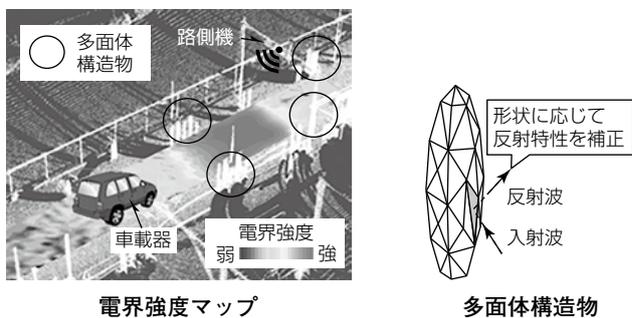
粒状活性炭を用いた無機イオン除去技術

■ 交通インフラ向け三次元スキャンデータ活用電波伝搬解析技術

Radio Propagation Analysis Technique Using 3D Scan Data for Transport Infrastructure

周囲構造物からの電波散乱を考慮して、ETC(Electronic Toll Collection) (注)路側機の通信に最適な位置や角度を決める配置設計を実現する電波伝搬解析技術を開発した。配置設計には電波伝搬解析で計算したETC路側機からの電界強度マップを利用するが、従来は構造物を単純な直方体で模擬しており、MMS(Mobile Mapping System)で測定した三次元スキャンデータから生成した多面体構造物からの反射特性を精度良く計算できず、ETC車載器の受信電力の計算値と実測値との平均誤差が7dBと大きくなる問題があった。多面体の分割形状の大きさに応じて電波の反射特性を補正する電波伝搬解析技術を開発し、平均誤差を

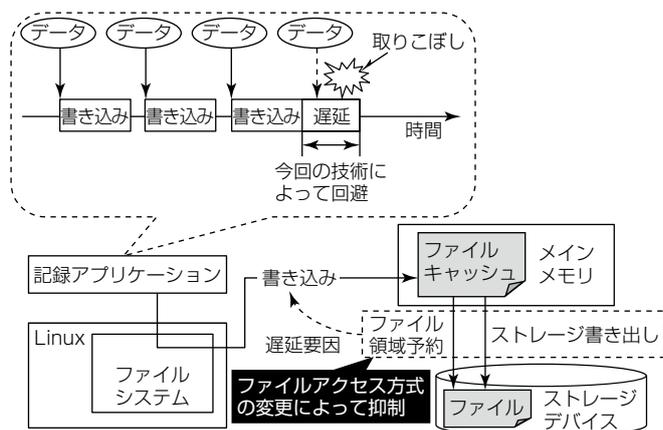
3 dB以下まで改善でき、ETC路側機の高精度な配置設計が可能になった。



■ 組み込みLinuxでのリアルタイムデータ記録技術

Real-time Data Recording Technique on Embedded Linux

監視制御装置などの組み込み機器では、異常発生時の解析のため、短周期で発生するデータのリアルタイム記録が要求される。Linux(注)を搭載したシステムでこれを実現する場合、ファイルシステムExt4に内包する様々な書き込み遅延要因によって、データを取りこぼしてしまうおそれがある。今回、Linuxカーネルによるファイル領域の予約処理やストレージへの書き出し処理が遅延要因であることを明確にし、これらの事象を発生させないファイルアクセス方式を開発した。従来方式のファイル書き込みの最大遅延が4,454μsであったのに対して、この方式では309μsであり、ミリ秒以下の短周期データのリアルタイム記録をLinuxによって実現可能にした。



書き込み遅延によるデータを取りこぼしと今回の技術の効果

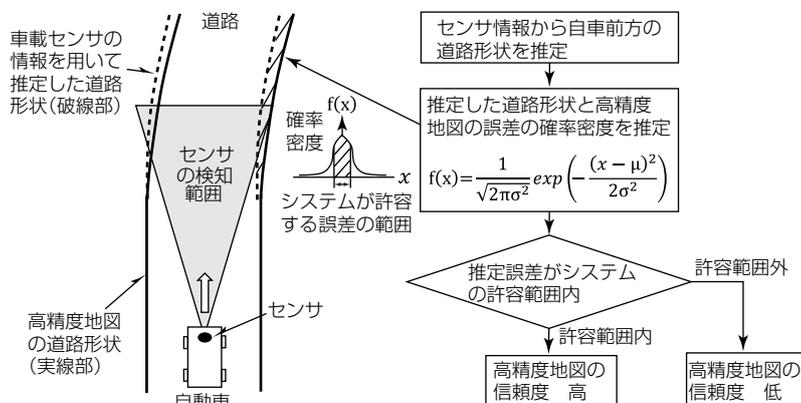
1.4 モビリティ Mobility

■ 高精度地図のリアルタイム信頼性評価技術

Real-time Reliability Evaluation Technology for High Definition Map

先進運転支援や自動運転システムで、自車位置推定や周辺環境認知などに利用する道路形状を詳細に表現した高精度地図が、道路工事や地震による地殻変動で実際の道路形状と一致しない箇所が発生すると、システムが所望の性能を達成できなくなる問題がある。今回、車両に搭載した複数のセンサの検出結果から推定した当該車両前方10~50m範囲の道路形状と高精度地図が表す道路形状の差の統計処理をすることで、自車前方の高精度地図の信頼性をリアルタイムに評価する技術を開発した。この技術によって、数秒後に車両が走行する道路に対して高精度地図が信頼できるか否かを判定することがで

きるようになり、システムが地図の信頼性に応じて適切な対応をとることが可能になる。



走行中の車両での高精度地図の信頼性評価手法

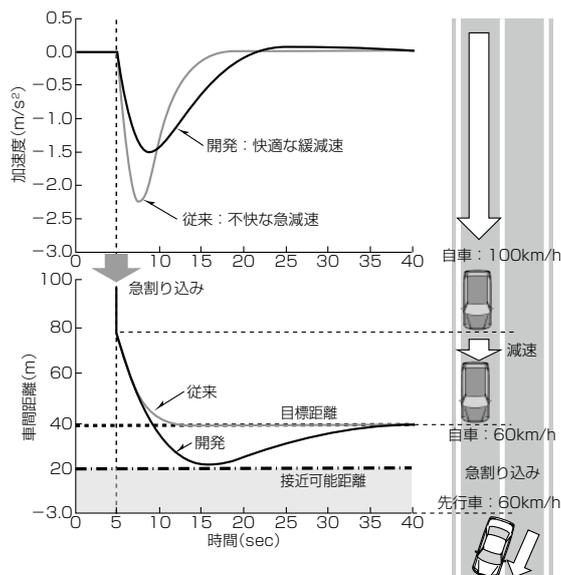
■ 先進運転支援・自動運转向け高性能速度制御技術

High Performance Speed Control Technology for ADAS and Automated Driving

安全性を確保しつつ快適性を向上させる運転支援・自動運转向け高性能速度制御技術を開発した。

近年、先進運転支援(ADAS)・自動運转向けの速度制御は、高い安全性と快適性が要求されている。従来の速度制御は安全な車間距離を速やかに確保するように制御していたため、前方に割り込みがあった場合は急な減速が生じ、ドライバーが不快に感じる課題があった。

今回、急な割り込みが生じた場合でも、自車及び先行車の運動モデルを用いて安全性を確保できる距離(接近可能距離)を瞬時に予測し、車の速度を緩やかに変化させることで不快な減速を抑制する速度制御技術を開発した。



先進運転支援・自動運转向け速度制御技術

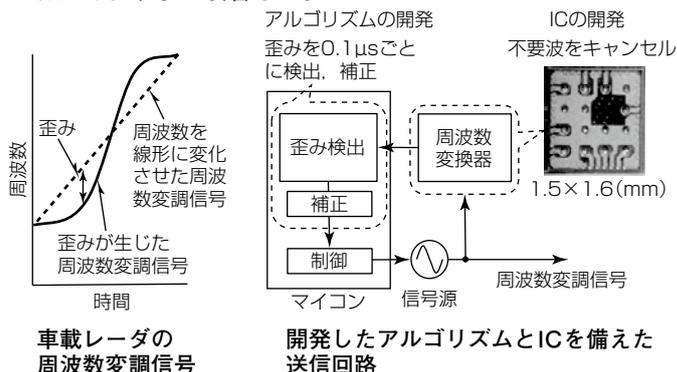
■ 車載FMCWレーダが送信する周波数変調信号の線形性改善技術

High Linearity Chirp Signal Generation Technique for Automotive Frequency Modulated Continuous Wave Radar

車載FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave)レーダが送信する周波数変調信号の線形性を改善するアルゴリズムと、周波数変換器ICを開発した。

車載レーダが送信する周波数変調信号で、周波数変化に歪(ひず)みが生じて線形性が劣化すると、検知精度が低下する。今回、周波数変化の歪みを高速(0.1μsごと)に検出して補正するアルゴリズムを開発した。また、このアルゴリズムを実現するため、ミリ波帯の周波数変調信号を歪み検出可能な低周波に変換する機能と、検出精度の劣化要因となる回路内部の不要波をキャンセルする機能を合わせ持つ周波数変換器ICを開発した。これらを車載レーダに適

用することによって、周波数変調信号の線形性の劣化を0.12%以下まで改善した。



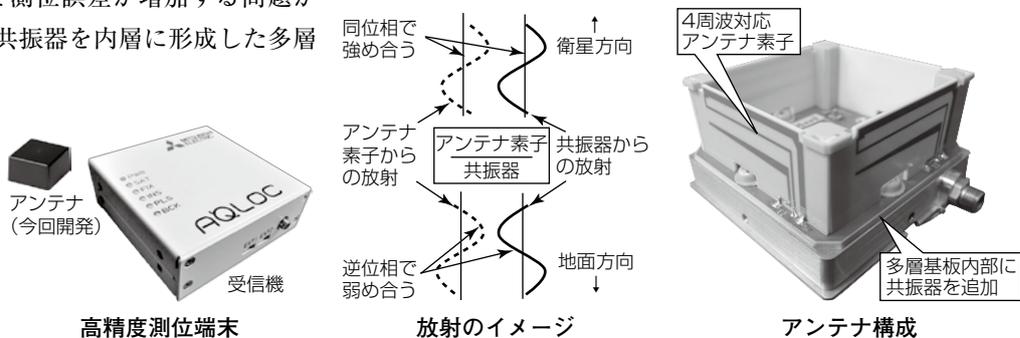
車載レーダの周波数変調信号

開発したアルゴリズムとICを備えた送信回路

■ 準天頂衛星対応高精度測位端末アンテナの小型化 —……—
 Miniaturization of High Accuracy Positioning Terminal Antenna for Quasi-Zenith Satellite System

準天頂衛星のセンチメートル級高精度測位システムに必要なとなる4周波対応(L1/L2/L5/L6)の端末用小型アンテナを実現した。従来の平面型パッチアンテナよりも小型なアンテナ方式を採用したが、地面方向への放射が強いため地面からの反射波の影響で測位誤差が増加する問題があった。今回、厚さ1mmの共振器を内層に形成した多層基板上に4周波対応アンテナ基板を設置する構造を考案した。アンテナ素子からの地面方向放射を共振器からの放射で打ち消す技術で反射波影響を解決し、他社と比べて体

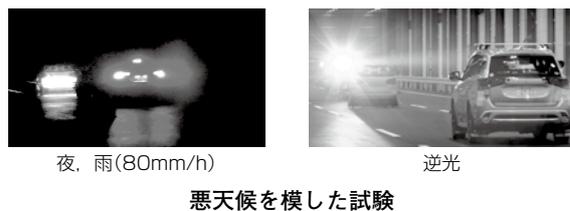
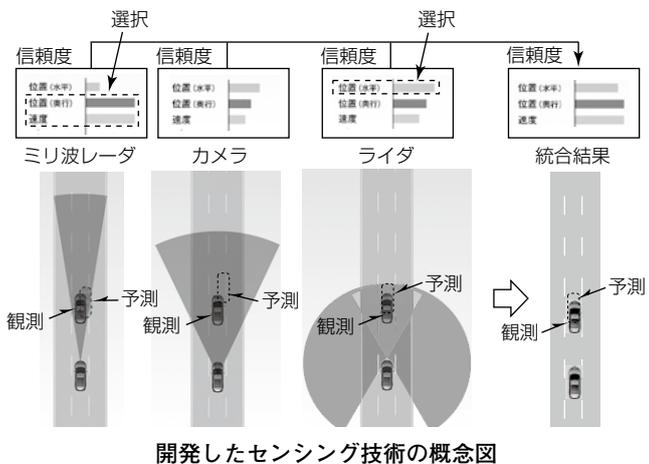
積比1/10以下(59×59×33(mm))まで小型化した。この開発成果を適用した高精度測位端末“AQLOCシリーズ”は2018年11月に販売を開始し、2019年11月発売の新モデルにも採用している。



■ 悪天候に対応可能な車載向けセンシング技術 ……
 Automotive Sensing Technology Enabling Accurately Detection Even in Rough Weather

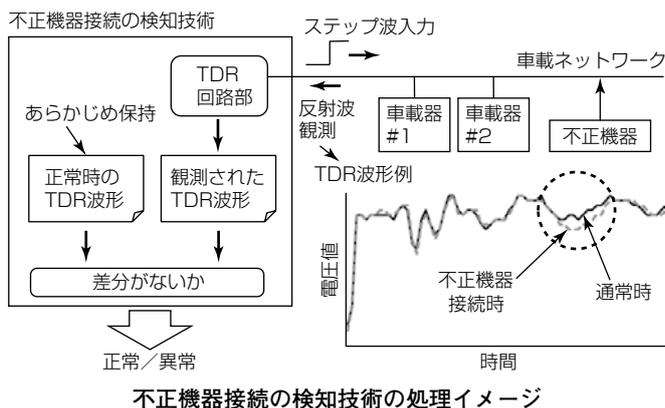
複数の車載センサ情報を独自の信頼度に基づき選択・統合することで車両周辺の状況を精度良く検知できる車載向けセンシング技術を開発した。信頼度は、カルマンフィルタで用いられるセンサ情報のカルマンゲイン K_t とセンサ

のマハラノビス距離 θ の単調減少関数 $f(\theta)$ との積 $K_t f(\theta)$ で表し、天候等に応じて変化する。実証実験では運転支援システムの衝突被害軽減ブレーキを題材とし、ミリ波レーダ、カメラ、ライダーのうち信頼度の高いセンサ情報を選択する方式を用いた結果、市販量産車が衝突回避不可能な雨天時(80mm/h)だけでなく逆光時や夜でも衝突回避できた。この技術によって、センサの検知精度が低下する実際の悪天候時でも運転支援システムを安定的に作動させることが期待できる。



■ 車載ネットワーク上の不正機器接続の検知技術 ……
 Detection Technology of Unauthorized Device Connection on In-vehicle Network

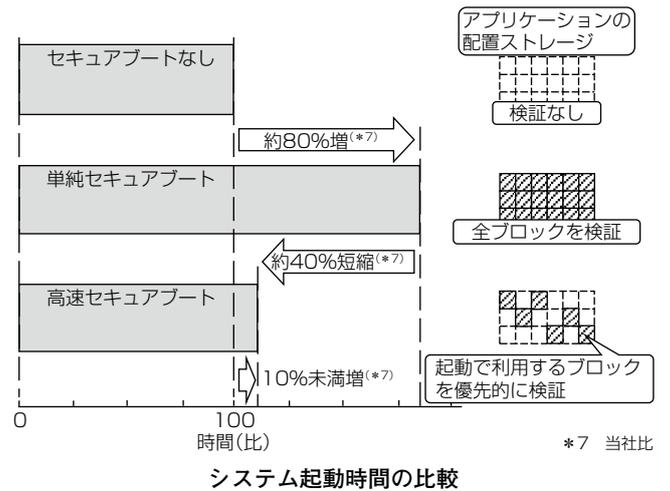
カーシェアリングが普及しており、車載ネットワークに不正な機器を物理的に接続し、自動車走行を不正に操作される脅威が懸念される。この脅威に対し、従来の通信パケットを監視する技術では、不正な通信をされた後に検知することになるため、未然に防げないおそれがある。当社はステップ波を印加し、反射波を観測することでネットワーク上のインピーダンスを測定するTDR(Time Domain Reflectometry)技術を応用し、不正機器接続による電気的な変化を捉え、不正な通信をされる前に検知する技術を開発している。実験試作では80%以上の検知精度を実現した。



■ 次世代車載情報機器向け高速セキュアブート技術

Fast Secure Boot Technology for Next Generation In-vehicle Infotainment Systems

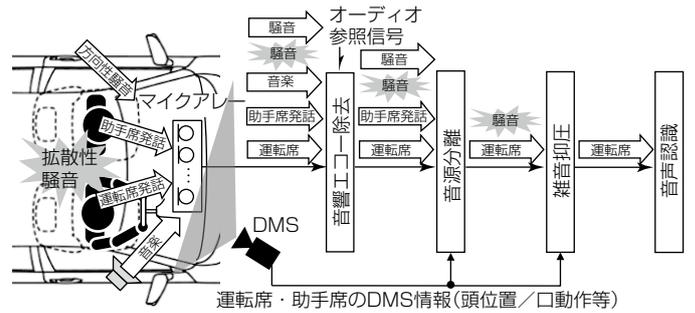
コネクテッドカーの普及によって、車載情報機器に搭載されるソフトウェアがネットワーク経由で容易に更新可能になってきている。一方で、サイバー攻撃によるソフトウェアの不正書換えによって車の安全性が脅かされるおそれがある。この対策として、機器の起動時に搭載ソフトウェアの正当性を検証するセキュアブート機能が有効である。従来の単純なセキュアブートでは、ソフトウェア全体をロード・検証するため、起動に時間を要する等の問題が存在した。今回、起動時に必要なソフトウェアが格納されるストレージブロックを優先的に検証することで起動処理を最適化し、単純方式と比較して起動時間を約40%短縮した次世代車載情報機器向け高速セキュアブート技術を開発した。



■ ドライバモニタリングシステムと連携したマイクアレイ信号処理による複数話者分離・集音技術

Technology of Speech Separation and Sound Correction by Microphone Array Signal Processing Cooperated with Driver Monitoring System

クルマの車内環境では、走行騒音、音楽、同乗者の発話などの様々な妨害音が発生し、音声を「正確に認識」する上で大きな阻害要因になっている。この課題を解決するために、ドライバモニタリングシステム(DMS)とマイクアレイを連携させた音声信号処理システムを開発した。乗員の頭位置や口動作情報等をDMSから取得し、マイク集音範囲など各種信号処理を制御することで、同乗者の会話や音楽、エアコン送風音があっても、運転席と助手席の同時発話を正確に分離・集音することを可能にした。この技術をカーナビゲーションシステムの音声認識に適用することで、複数人の同時発話による音声指示を正確に判断することが可能になる。

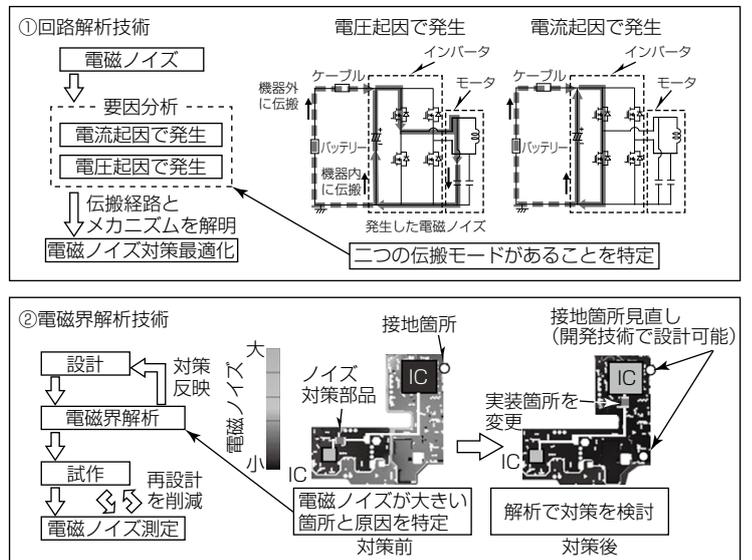


■ 車載インバータの電磁ノイズ解析技術

Electromagnetic Noise Analysis Technologies for Automotive Inverter

車載インバータ向けに、電磁ノイズを予測・対策するための回路解析技術と電磁界解析技術を開発した。従来は困難であった、車載インバータから発生する電磁ノイズの要因が電流起因か電圧起因かの切り分けを可能にする回路解析技術を考案した。これによって、電磁ノイズ伝搬経路と発生メカニズムを明らかにし、不要な電磁ノイズ対策部品の削減を可能にした。

また、車載インバータの制御回路が搭載されたプリント基板の電磁界解析に独自の改良を加え、解析負荷を増加させずに筐体(きょうたい)の影響まで考慮する電磁界解析技術を考案した。この技術を用いてプリント基板の再設計回数を削減し、開発期間を約30%短縮できた。

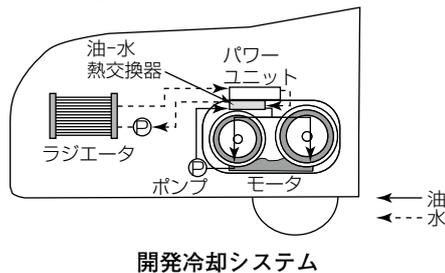


■ 集中巻xEVモータの非対称な回転子構造による出力密度向上

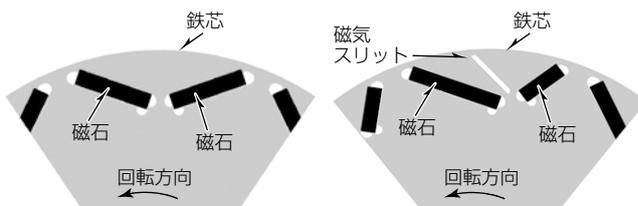
Improvement of Power Density with Asymmetric Rotor Structure for Concentrated-winding xEVs Motor

自動車の走行のほとんどが前進方向であることに着目し、前進方向への回転トルクを優先的に高めるように、回転子を非対称構造にした高出力密度モータを開発した。独自の磁気スリットと非対称な磁石配置によって、一般的に分布巻に比べて小さいとされる集中巻の鉄芯で発生するトルクを改善した。また、鉄芯と磁石で発生するトルクのベクトルのずれを、磁束の向きをずらすことで小さくし、両トルクのベクトル和である回転トルクを高めた。さらに、油-水熱交換器を備えた高効率な冷却構造によって、高温での使用が困難であった、磁気特性が高い磁石を採用した。これによって、出力密度を30%向上させ、世界最高クラス^(*)の出力密度23kW/Lの集中巻モータを実現した。

* 8 2019年2月13日現在、当社調べ。2モータ方式ハイブリッド車に対応した駆動用モータの同一条件の比較で



開発冷却システム



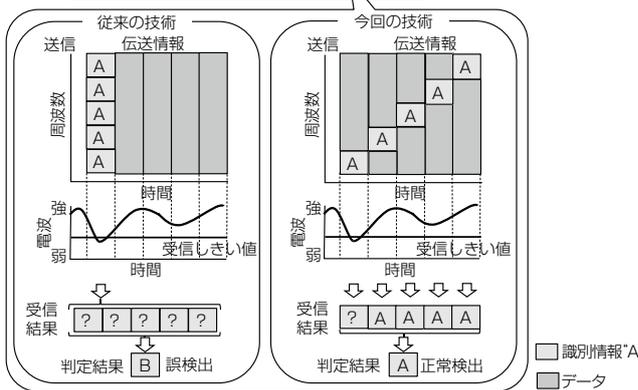
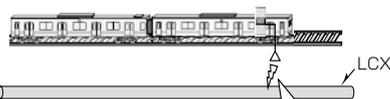
モータの従来回転子構造

モータの非対称回転子構造

■ LCX列車無線通信技術

Technology for Train Radio Communication Using Leaky Coaxial Cable

LCX(Leaky Coaxial cable)列車無線通信では、音声や動画といったコンテンツや保安情報など、通信品質が異なる様々なデータを伝送する必要がある。データの種類ごとに適切な受信処理を行うために、識別情報を付加して送る必要があるが、高速移動で受信電波が急に弱くなったとき、誤った識別情報を受信する問題がある。今回、識別情報を周波数と時間による分散的な割当てで送信して、複数の受信結果から正常な識別情報を導く分散伝送技術を開発した。これによって、識別情報の誤り発生頻度を従来比1/100に低減し、安定した通信を実現した。



識別情報の分散伝送技術

1.5 通信システム・ITシステム Communication, IT

■ 深層学習を用いた変調方式識別技術

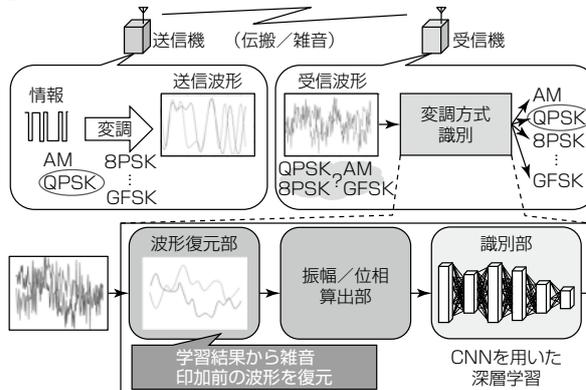
Modulation Classification Technology with Deep Learning

電波監視業務を高度化する技術の一つである変調方式識別技術では、識別対象とする変調方式数の増加に対応した特徴量設計が複雑化しており、その解決のために深層学習型の識別手法が検討されている。

今回、高精度に変調方式を識別する手法として、信号波形に加え、振幅/位相を算出して深層学習型の識別部へ追加で入力する手法を開発した。また雑音の多い環境では振幅/位相値の誤差が大きくなるため、機械学習によって雑音を除去し、復元した信号波形を用いて算出することで、識別精度の劣化を抑える。

この技術によって11種類の変調方式を識別する評価を行い、従来、識別誤り率が顕著であったQPSK(Quadrature Phase Shift Keying)信号と8PSK(8-Phase Shift Key-

ing)信号間の識別率が90%以上になる結果が得られた。



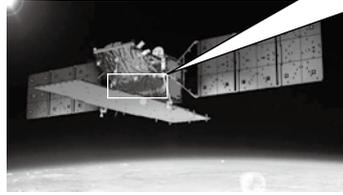
AM : Amplitude Modulation
GFSK : Gaussian Frequency Shift Keying
CNN : Convolutional Neural Network

深層学習を用いた変調方式の識別

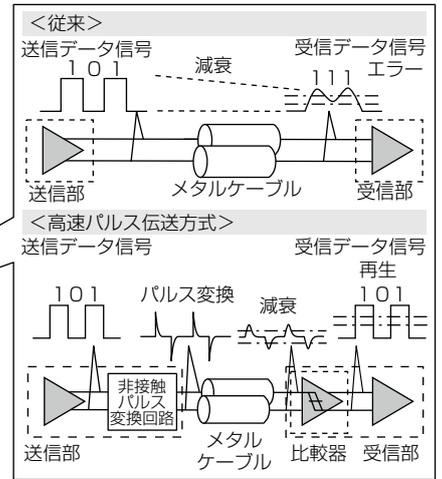
■ 衛星機器間データ伝送の距離延伸技術

Extension Technology of Data Transmission Distance Between Satellite Equipments

衛星内部の電子機器間のメタルケーブルによるデータ伝送の伝送距離を延伸するため、非接触パルス変換回路を用いた高速デジタルデータ伝送技術を国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 (JAXA) と共同で開発した。一般的な矩形波のデジタル信号による長距離データ伝送では、メタルケーブルの損失が低周波と高周波で大きく異なることで発生する波形の歪みから、受信時にエラーが増加する。今回、低周波成分をカットする非接触パルス変換回路の適用によって送信データ信号をパルスに変換して伝送し、受信部に備えた比較器で信号を再生する高速パルス伝送方式を考案した。この技術によって、宇宙用トランシーバによる高速データ伝送方式 “Wizard Link” の伝送距離を従来の1.5倍以上に延伸して通信を行うことが可能になる。



次世代衛星

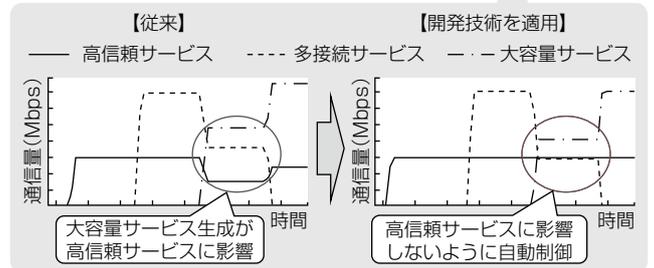
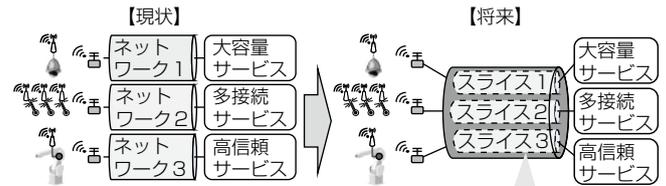


高速パルス伝送方式

■ ネットワークスライシングを実現する仮想ネットワーク制御技術

Virtual Network Configuration Technology for Network Slicing

将来のネットワークでは、単一通信インフラ上に高信頼、低遅延等を含む多様な要件に応じたサービスを重畳することが要求されるため、各要件に適する仮想的なネットワーク (スライス) を適時構成することが必要となる。今回、異なるサービスの間で要件に影響しないように制御された仮想ネットワークを、単一通信インフラ上にその都度自動生成する技術を開発した。これによって、高信頼、低遅延サービス等を收容する場合にも、人手を介さない迅速かつ整合した通信インフラ制御が可能になるため、ネットワーク運用コストを低減できる。今後、この技術と無線ネットワーク技術を連携させ、様々な産業や地域で導入が期待されるローカル5Gシステムに適用することを検討する。

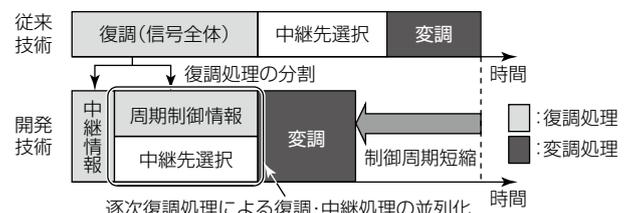
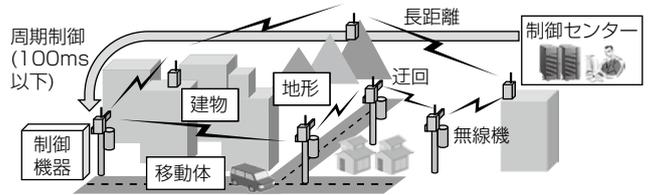


仮想ネットワーク制御技術

■ 広域無線マルチホップネットワーク技術

Wide Area Wireless Multi-hop Network Technology

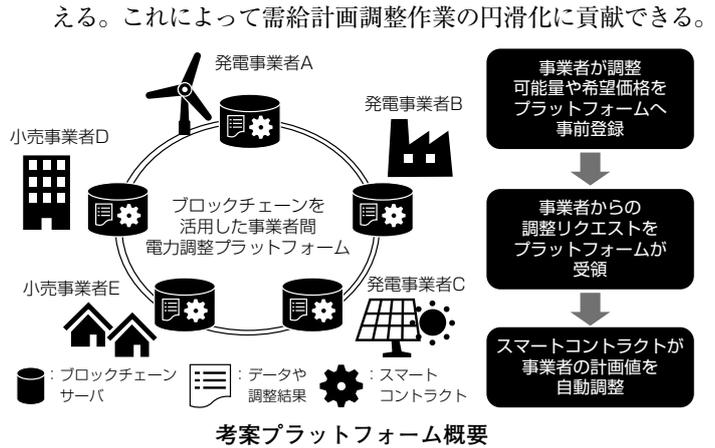
従来、高度配電網のように、建物や地形に影響されず広域をカバーし、短時間の周期制御が必要となる制御網は光通信網を利用していたが、敷設コストが高くなるという課題があった。今回、無線通信で長距離伝送と短周期制御を両立させるために、無線信号の変調処理を中継情報と周期制御情報に対して個別に行い、無線マルチホップ通信に特化した逐次復調処理技術を開発した。この手法によって、無線信号全体の復調処理を待たずに中継情報の復調後から中継先の選択を開始でき、短周期制御に利用可能な制御周期100ms (中継数：5) 以下を実現した。この技術によって、制御網の無線化が可能になり、敷設コストが削減できる。今後、配電制御への実適用に向けた検証を進めていく。



逐次復調処理による復調・中継処理の並列化
広域無線マルチホップネットワーク

■ **ブロックチェーンを活用した事業者間電力調整プラットフォーム** *Blockchain-based Bilateral Energy Transaction Platform*

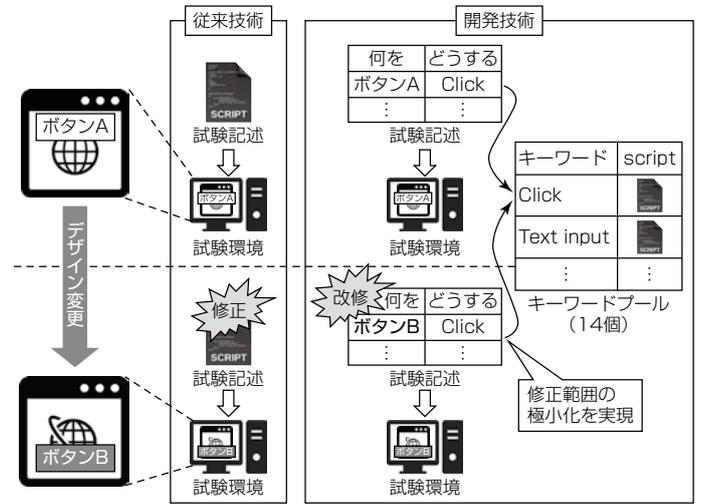
発電・小売事業者は時々刻々変化する再生エネルギー出力や需要予測に応じ、卸電力取引所での市場取引等を活用して自社の需給計画を調整している。電力システム改革に伴って事業者間取引の活性化が予想されるため、既存の市場取引に加え、事業者間契約に基づいて電力調整を行えるプラットフォームを考案した。このプラットフォームはブロックチェーン技術を活用しており、事業者間でデータや調整結果を共同管理することでプラットフォーム参加者全員の平等性と結果の透明性を担保する。またプラットフォーム上のスマートコントラクト(自動実行プログラム)による、事業者からの調整リクエストを基にした計画値自動調整機能を備



■ **Webアプリケーション向け試験自動化技術** *Automated Software Testing Technology for Web Applications*

Webアプリケーションを対象にした自動試験のコスト削減に向け、キーワード駆動テスト技術を活用した試験技術を確認した。

従来のWebアプリケーションの自動試験では、試験対象のデザインが変更になった場合、自動化スクリプト等の試験記述の大幅な修正が発生していた。この技術ではキーワード駆動テスト技術を活用し、試験操作を標準的な14個のキーワードに集約するとともに、試験記述を構造化することによって自動化スクリプトの再利用性向上を図った。これによって、試験対象のデザインが変更になった場合の試験記述の修正コストについて、評価環境で従来の52%に削減できることを確認した。



1.6 電子デバイス Electric Devices

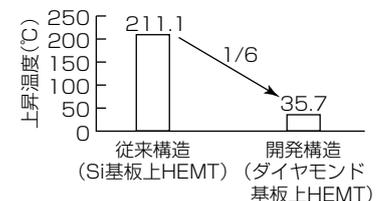
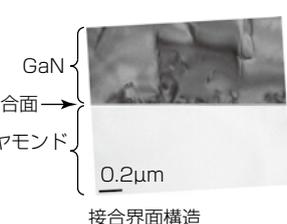
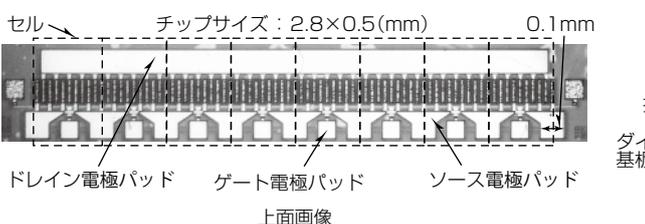
■ **ダイヤモンドを放熱に用いた高出力GaNデバイス** *High-Power GaN Device Using Diamond as Heatsink*

移動体通信基地局や衛星通信システムに搭載される高周波電力増幅器として、高出力・高効率動作可能なGaN(窒化ガリウム)を用いたGaN-HEMT(高電子移動度トランジスタ)の適用が進んでいるが、更なる性能向上実現に向け、動作時の自己発熱による出力・効率の低下抑制が求められている。

今回、マルチセル構造(*)9を持つGaN-HEMTと、物質中最大の熱伝導率を持つダイヤモンドを、接合法によって一体化する技術の開発に世界で初めて(*10)成功した。Si(シ

リコン)を基板として用いた構造と比較して基板からの放熱性が大幅に改善され、素子温度の上昇が約1/6に抑制された。また、GaN-HEMTの出力が2.8W/mmから3.1W/mmへと増加するとともに、電力効率が55.6%から65.2%に向上した。

この開発成果の一部は、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)の委託業務の結果得られたものである。



ダイヤモンド基板上に作製したGaNデバイス HEMT動作状態での温度上昇比較

■ 硫黄添加によるSiC-MOSFETの高しきい値電圧化

Enhanced Threshold Voltage of SiC-MOSFETs by Sulfur Doping

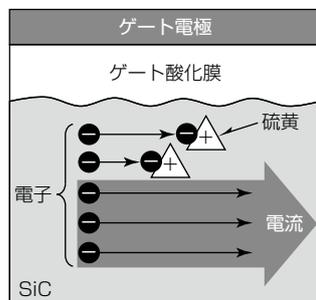
パワーエレクトロニクス機器を制御するパワー半導体であるSiC(シリコンカーバイド)-MOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)で、外部ノイズによる素子の誤動作への耐性を強化するため、しきい値電圧(動作開始電圧)を高める技術を開発した(*11)。

SiC中で深い不純物準位を呈する硫黄をゲート酸化膜直下のSiC内に添加して電子の一部をイオン化した硫黄に捕獲させることで、しきい値電圧を増加させるという動作原理を新たに考案した。試作したSiC-MOSFETの電気特性評価によって、硫黄を添加しない場合と比べ、素子の低いオン抵抗特性を維持したまま、しきい値電圧が

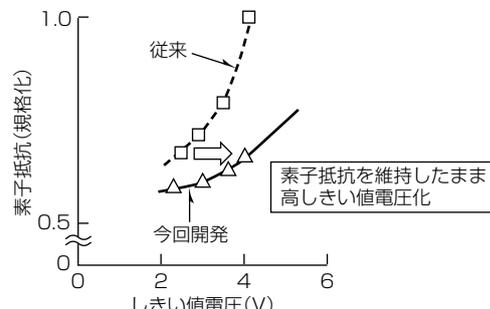
高くなることを実証した。

この技術は、パワーエレクトロニクス機器の高信頼性に寄与する。

*11 東京大学と共同で実施



硫黄を添加したSiC-MOSFETでの動作機構



SiC-MOSFETでの素子抵抗としきい値電圧の関係

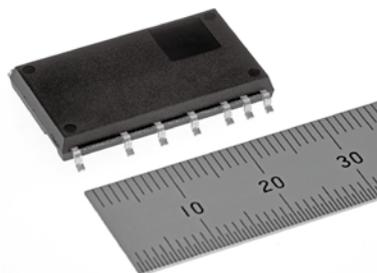
■ 家庭用エアコン向け表面実装パワーモジュール

Surface-mount Package Intelligent Power Module for Home Air Conditioners

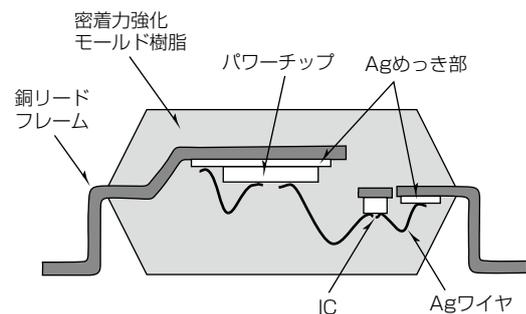
家庭用エアコン向け表面実装パワーモジュールを開発した。このモジュールでは、低コスト化を目的にモールド樹脂自身が放熱性を持つフルモールド型を採用した。熱伝導性フィラーが高充填されたモールド樹脂は、リードフレーム上のAg(銀)めっき部の密着強度が十分でなく、吸湿リフロー試験で樹脂剥離が生じる課題があった。

今回、高熱伝導率モールド樹脂に対し新規に硫黄系密着助剤を添加して、Agめっき部との結合性を向上させることで密着強度が1.6倍に向上した。

この技術によって、吸湿リフロー試験でのモールド樹脂の剥離を抑制し、信頼性の高い表面実装パワーモジュールを実現した。



表面実装パワーモジュール



断面図

■ SiC-MOSFETのSPICEモデル

Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis Model for SiC-MOSFET

SiC-MOSFETのスイッチング動作を高精度に解析可能なSPICEモデル(回路解析用モデル)を開発した。このモデルは、デバイス内部の寄生容量モデルに当社独自の2電圧(ゲート・ソース電圧, ドレイン・ソース電圧)依存性動作式を採用し、この動作式をSPICEコードに記載したものである。解析の一例として、ターンオフスイッチング動作の比較結果を図示する。このモデル(図1)は、従来モデル(図2)に比較して、電圧・電流の立ち上り・立ち下り挙動が実測に良く整合しており、高精度な解析を可能にした。

スイッチング動作のより正確な事前検証を可能にし、デバイスユーザーの設計の高精度化を支援する。

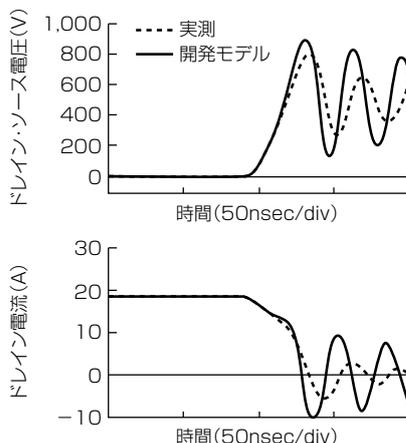


図1. 開発モデルの解析精度

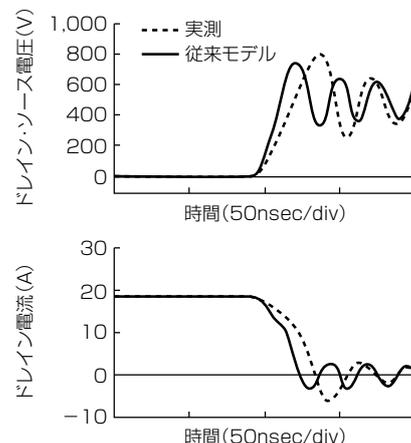


図2. 従来モデルの解析精度

このモデルによって、デバイスでの

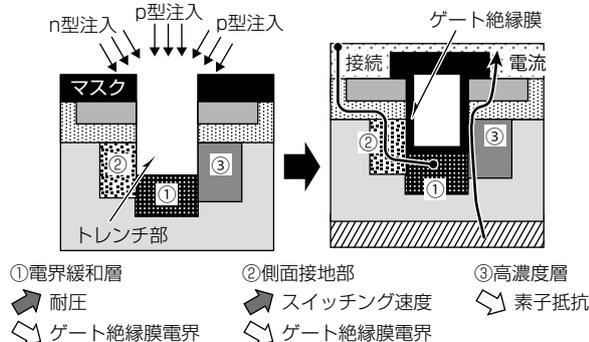
■ 傾斜イオン注入を活用したトレンチ型SiC-MOSFETの特性改善
 Performance Improvement of Trench SiC-MOSFETs by Tilted Ion Implantation

パワーエレクトロニクス機器の更なる省エネルギー化推進のため、SiCパワーデバイスの低抵抗化への強い要求がある。

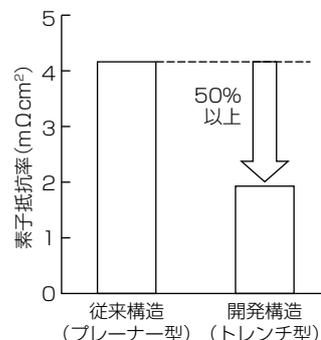
今回、従来のプレーナー型から素子抵抗率を半減するトレンチ型SiC-MOSFETを開発した。トレンチ部近傍に

局部的に不純物層を設ける構造を考案し、シミュレーション技術によって、ゲート絶縁膜にかかる電界をプレーナー型並みに抑制しつつ、高速なスイッチングも可能にする素子設計を行った。新たに構

築したn型及びp型不純物の傾斜注入プロセスによって製造した素子で、室温での素子抵抗率をプレーナー型から50%以上低減した。今後、実用化に向けて素子の信頼性を高め、量産プロセスを構築していく。



傾斜注入プロセスによる不純物層(①, ②, ③)の形成と効果

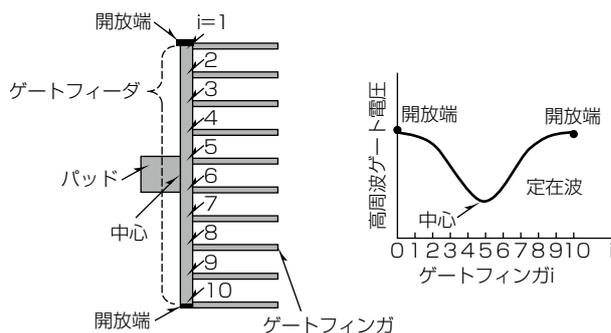


従来構造と開発構造の素子抵抗率の比較

■ ミリ波帯GaNトランジスタのモデリング技術
 Modeling Techniques for GaN Transistors at Millimeter-Wave Band

ミリ波帯を用いた通信システムでキーコンポーネントになる信号増幅器用ミリ波帯GaNトランジスタのモデリング技術を開発した。ミリ波帯のGaNトランジスタでは、各ゲートフィンガを接続するゲートフィーダ上に電圧定在波が発生し、高周波ゲート電圧が変化して、出力電力密度と自己発熱に影響を及ぼすことが知られている。回路設計に用いる従来のトランジスタモデルでは、この事象が考慮されていないため高精度な回路設計が困難であった。今回、ゲートフィーダの長さを考慮することで、ゲートフィーダ内での電圧定在波の位相を正確に表現するGaNトランジスタモデルを開発した。これによって高精度な回路設計を

行うことが可能になった。



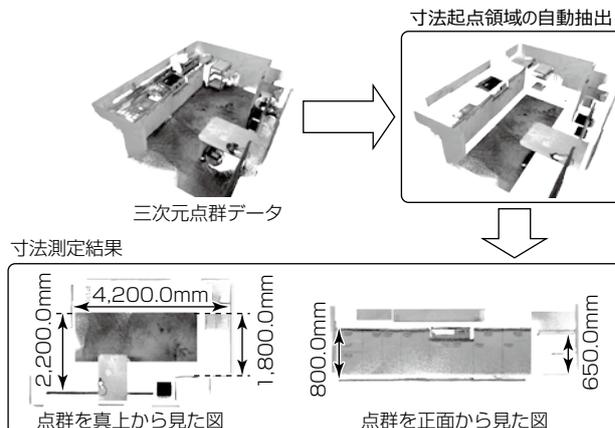
トランジスタレイアウトと高周波ゲート電圧の解析結果

1.7 共通基盤 Common Technologies

■ 低価格三次元カメラ向け測定ソフトウェア
 Measurement Software for Low Cost 3 Dimension Cameras

当社はこれまで低価格三次元カメラを利用したポータブル三次元スキャナを開発してきた。今回新たに、特に建造物や設備の三次元デジタルアーカイブによる保守管理応用に向け、スキャナで得られる三次元点群データから空間や設備間の寸法を計算する測定ソフトウェアを開発した。

このソフトウェアを用いて、低価格三次元カメラから得られる計測誤差の大きな三次元点群データに対して、面や線など幾何構造を安定的に解析することによって、寸法測定の起点となる領域を寸法測定起点領域として自動抽出することを實現した。これによって、抽出された領域間の寸法測定を行うことができる。現在、当社の複数事業所で実証試験を進めている。



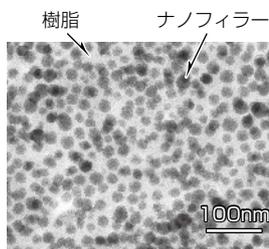
三次元カメラ向け測定ソフトウェアの画面

■ ナノコンポジット技術による絶縁性能向上

Improvement of Insulation Performance by Nanocomposites Technology

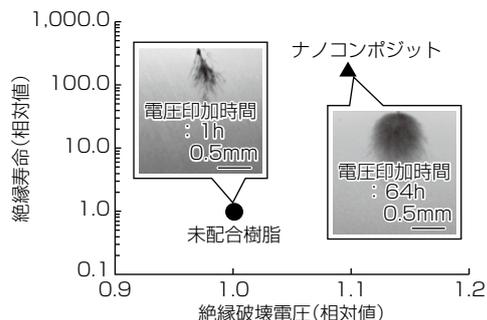
電力機器の小型化・高出力化を図るため、樹脂にナノフィラー(微小無機粒子)を複合化するナノコンポジット技術を開発し、絶縁性能の向上を実現した。

性能向上には樹脂中でのナノフィラーの均一分散が重要であるが、分散時に凝集する性質がある。そこでフィラーの表面改質によって樹脂への親和性を高め、樹脂中で強いせん断力を与えてフィラー凝集をほぐし、均一分散を実現した。これによって高電圧下の絶縁破壊前現象である電気トリートの進展を抑制し、絶縁長寿命化(フィラー未配合樹脂比約180倍)と絶縁破壊電圧向上(約1.1倍)を達成した。



ナノコンポジット絶縁材料

今後、各種電力機器への適用開発を行い、この技術の実用化を進める。



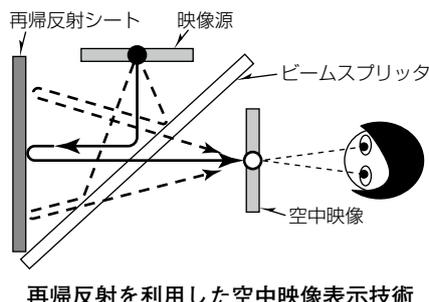
絶縁性能の比較

■ 空中映像表示での画質改善技術

Image Quality Improvement Technology for Aerial Display

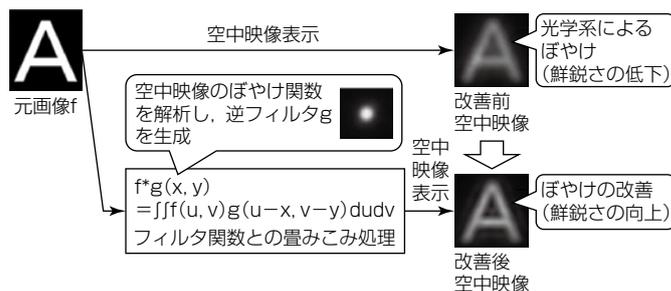
空間上に映像を投影する空中映像表示での画質改善技術を開発した。再帰反射を利用した空中映像表示では、構成要素の配置やサイズに応じて結像光路のずれが生じ、空中映像がぼやけるため、明るさや鮮鋭さが低下する。そこで、ぼやけの解析と映像信号処理によって空中映像の画質を改善する技術を開発した。

ぼやけの解析では、空中映像を撮像・解析し、ぼやけは映像源からの光が再帰反射シートで反射する際の



再帰反射を利用した空中映像表示技術

入射角度に依存することを究明し、ぼやけを関数化した。また、空中映像の表示時には、このぼやけ関数の逆フィルタを生成し、映像源に対して畳みこみの映像信号処理によって、ぼやけを補正することで、空中映像の鮮鋭さを向上させた。



ぼやけ関数を応用した空中映像の補正処理

■ 時系列データの解析・識別技術

Analysis and Identification Technology of Time Series Data

センサ信号等の時系列データ解析・識別技術の一つとして、ターゲットからのレーダ反射波のマイクロドップラ特性を用いる技術を開発した。マイクロドップラ特性とはターゲットの持つプロペラの回転等によるドップラ周波数の時間変化であり、ターゲットの種類に応じて独自の特徴がある。開発技術ではその特性(図1)を非線形かつ多次元な空間上にモデル化(図2)することで特徴を際立たせた上で、未知のターゲット特徴と識別モデルとの類似度を用いて識別率向上を目指した。

この技術をドローン4種のマイクロドップラ特性実測値に適用し

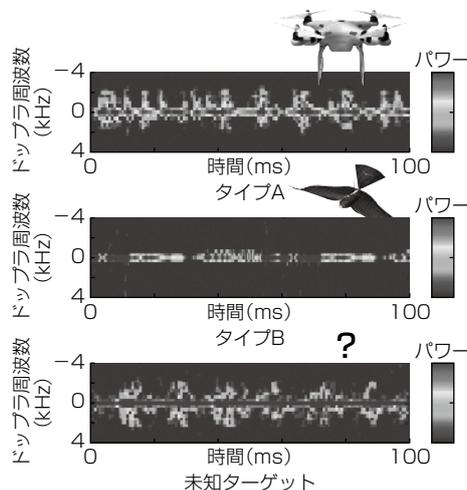


図1. ドローンのマイクロドップラ特性

たところ、識別率は85.0%となり従来のサポートベクタマシンに比べ4.4ポイント識別率が向上した。

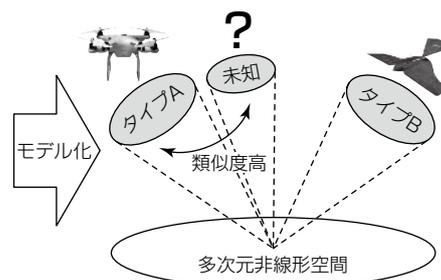


図2. 多次元非線形空間上にモデル化したドローン

■ 誤認識攻撃に耐性を持つ深層学習技術

Robust Deep Learning Technology Against Adversarial Attacks

人間が見ると正しく認識できるがAIは誤認識するデータ(Adversarial Examples)を用いたAIへの攻撃が注目されている。従来は、AI学習器の中身(学習モデル情報)を知らなければ、この攻撃は実行できなかったが、今回、入力データに応じたAIの処理時間差に着目することで、誤認識データが作成可能であることを発見した(図1)。AIが機器に実装された場合、攻撃者は手元で容易に処理時間差の計測・解析ができるため、この攻撃は脅威となる。そこで、処理時間差の発生個所を特定して演算処理を改良することで、入力データに応じて処理時間差が発生しない、誤認識攻撃に耐性を持つ深層学習技術を開発した(図2)。これによって、当社機器でのAI技術の安全性が確保できる。

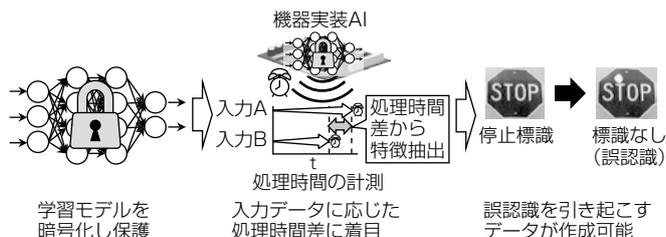


図1. AIへの誤認識攻撃

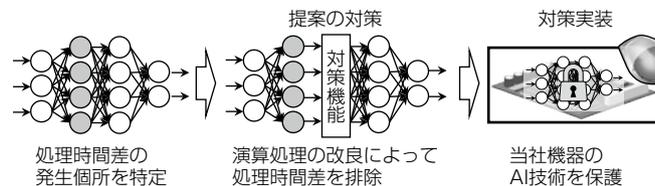


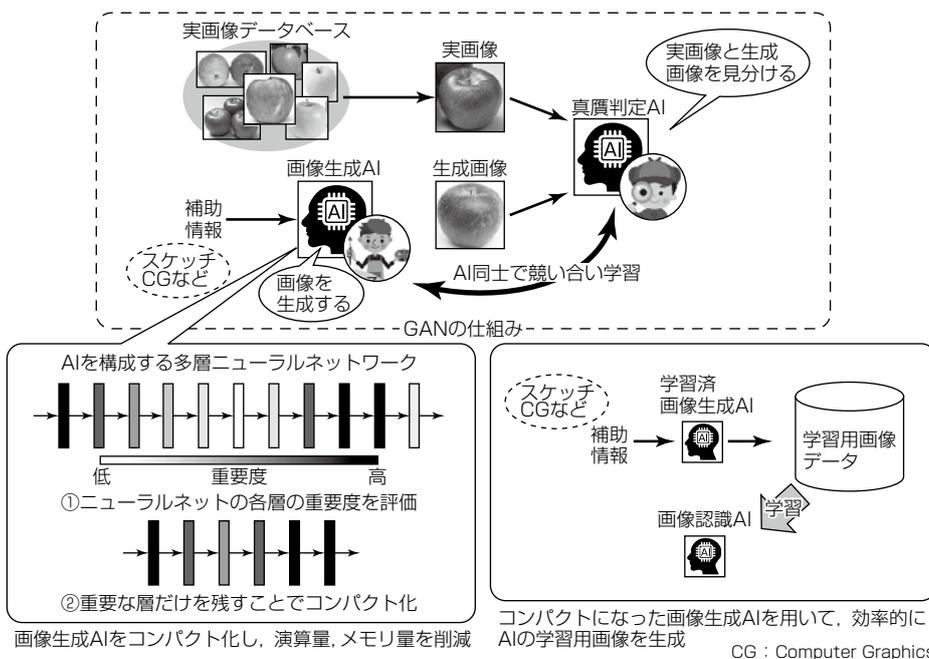
図2. 対策技術

■ コンパクトなGAN

Compact GAN

ディープラーニングの登場によって、AIによる画像認識の性能は飛躍的に向上しているが、学習には膨大な学習用画像を要し、その収集に時間とコストがかかる課題がある。一方で、画像生成AIと、真贋(しんがん)判定AIが競い合いながら学習していくことで高品質な画像生成が可能になる敵対的生成ネットワーク(Generative Adversarial Network: GAN)が注目されている。今回、GANの画像生成AIを構成するニューラルネットワークの各層の重要度を評価するアルゴリズムを新たに開発し、画像生成AIの重要な層だけを残すことで、生成画像の品質を落とさずに演算量とメモリ量を従来の10分の1に削減した。これによって、ノートパ

ソコンなどの安価な設備で画像認識AIのための学習用画像を短期間で大量に生成できる。



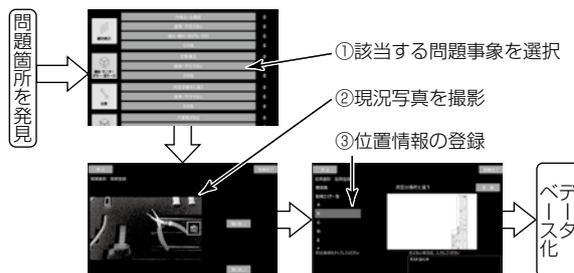
コンパクトなGAN

■ 巡視サポートアプリケーション

Patrol Support Application

職場での各種巡視活動を効率化するアプリケーションを当社デザイン研究所とパワーデバイス製作所が共同で開発し、当社での運用を開始した。従来の巡視作業では、手書きメモとデジタルカメラで記録した情報を事務所に持ち帰って報告書に転記する手間が発生していた。このアプリケーションはタブレットのタップ操作で①問題事象の分類、②現況写真、③位置情報を効率よくデータベース化する。これによって報告書の自動生成や正フォローの効率化を実現し、職場環境の改善に貢献する。①の問題事象の分類は、ベテラン巡視者の行動観察と分析によって、現場ごとの特性に

じた巡視ポイントを可視化したものである。これを参照することで、経験の浅い巡視者でも効率的な巡視を実施できる。



巡視サポートアプリケーションの操作手順

■ 話した言葉をスマートフォン画面に3D表示するアプリケーション“空中しゃべり描きUI”
 “SwipeTalk Air” : Application Displaying Speaker's Word in 3D on Smartphone

AR(Augmented Reality)技術を活用し、話した言葉を指でなぞった軌跡に3D表示するアプリケーション“空中しゃべり描きUI(User Interface)”と、それに動画撮影機能などを組み合わせたスマートフォンアプリケーションを開発・試作した。従来のARアプリケーションは空間上に文字を配置する直感的な方法を欠いていたが、このUIによって、物に文字を沿わせたり、螺旋(らせん)状に配置し

たりといった自在な文字表現の作成を、直感的で楽しい操作方法で実現できる。

これによって、短時間動画を使ったチャットやライブストリーミング等でのユーザーコミュニケーションの活性化に貢献できる。また、工場や建設現場などで文字をAR空間上に配置し、メモとして利用するなどによって、作業効率や安全性の向上に寄与できる。

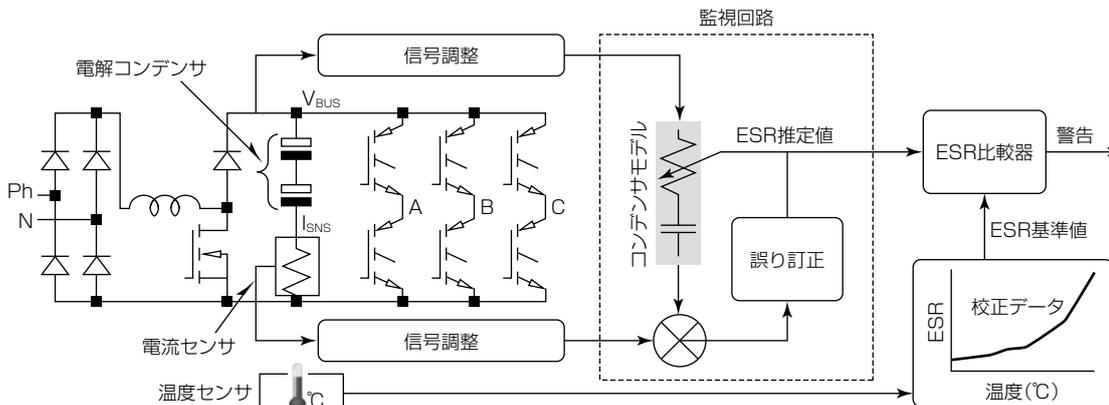


“空中しゃべり描きUI”の利用シーン

■ 電解コンデンサの運転時状態監視システム
 Electrolytic Capacitor Health Monitoring System Operated during Normal Operation

電解コンデンサは、パワーエレクトロニクス機器の故障での主要因の一つである。そのため、コンデンサの状態を監視し、劣化の兆候が一定レベルを超えたら警告を出す診断機能が求められている。従来は、機器を一旦停止して、コンデンサの劣化状態を測定する必要があった。今回、機器を停止することなく測定が可能な劣化状態監視技術を開

発した。センサ測定値とコンデンサモデルを比較して等価直列抵抗(Equivalent Series Resistance : ESR)を推定する監視回路と、推定値と基準値を比較することによって警告を出す比較器をパワーエレクトロニクス機器に追加することによって実現した。



電解コンデンサ状態監視システム

1.8 生産インフラ・設計技術 Production Infrastructure and Design Technologies

■ 就業管理システム刷新によるコンプライアンス対応の強化 Enhancement of Compliance through Renewal of Employee Attendance Management System

2019年4月の“働き方改革関連法”施行にみられるように、労働時間の適正管理は、労務管理で年々重要な課題として位置付けられている。このような労務管理強化の観点から、当社では就業管理システムを刷新し、2019年6月18日から新システムを稼働させた。

システム刷新に当たっては、主に次の点を課題としてシステム化を検討した。

- (1) 将来的な法制度改定や今後の多様な働き方に常にいち早く対応すること
- (2) 上長・部下共に、時間外時間の管理を強化すること

前者に対応するため、当社規模の導入実績の数とサポート体制の充実度に焦点を当てたベンダーの選定、及び法制度改定への迅速な対応と当社の多様な勤務形態に対応できる機能の柔軟性を重視した製品選定を実施した。

後者に対しては、新たな就業管理システムでは、個人の時間外時間や有休取得情報を単なる数値情報ではなく、グラフ表示することにし、これによって自身の勤怠状況をより視覚的に把握することが可能になった。また同様に上長

も部下の時間外時間をビジュアルに把握できるようになった。これらによって、上長・部下共に時間外時間の把握が直感的となり、労働時間管理の意識向上につながった。



新たな就業管理システムの画面イメージ

■ 三菱電機グループの営業力・調達力強化のための企業情報共有基盤構築 New IT Platform of Sharing Company Information to Enhance Sales and Procurement Functions of Mitsubishi Electric Group

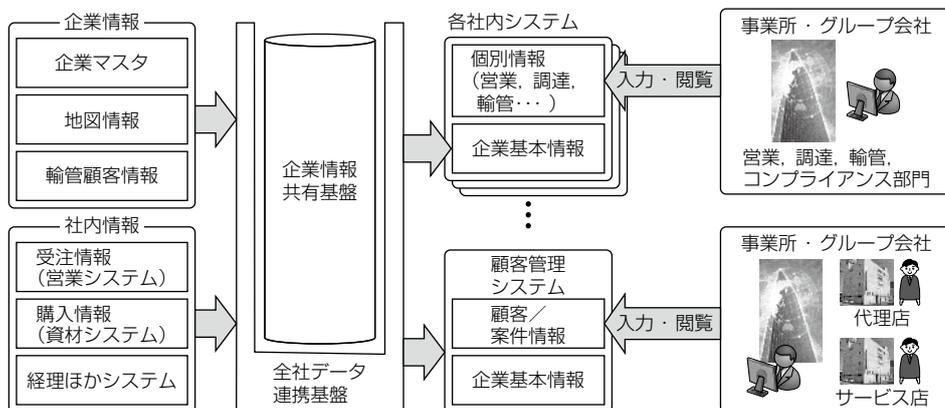
当社の各事業所及び当社グループ各社は個別に顧客取引先等の企業情報(企業マスタ、地図情報、輸出管理情報など)を管理しており、それらを区別する企業コード体系も異なる状況にあった。そのため、経営管理や事業推進のために企業情報を収集するには、情報の粒度(企業単位なのか、部署単位なのか)の統一やコード変換が必要になり、容易ではなかった。この問題に対し、当社グループ共通の企業情報マスタの確立と情報連携基盤の整備が課題になっていた。

今般、全世界分の企業情報と社内情報(受注、購入、経理ほか)を付加したグループ共通の企業情報共有基盤を整備した。主キーとなる企業コードには、デファクトスタンダードであるDUNS(注)ナンバー(*1)を採用するとともに、より細分化した粒度で管理するために、社内採番の独自コードも今回新たに策定して併用することにした。

また、情報連携の仕組みとして、全社データ連携基盤を利用し、顧客管理システム等、各社内システムへの企業情報の配信・連携を容易に実現できるようにした。

この施策によって、営業活動での顧客の状況確認、調達時の取引先の状況把握等をスピーディに行うことが可能になり、各事業活動の強化が図れた。

*1 米国のダンアンドブラッドストリート(D&B)が管理している企業コードの名称

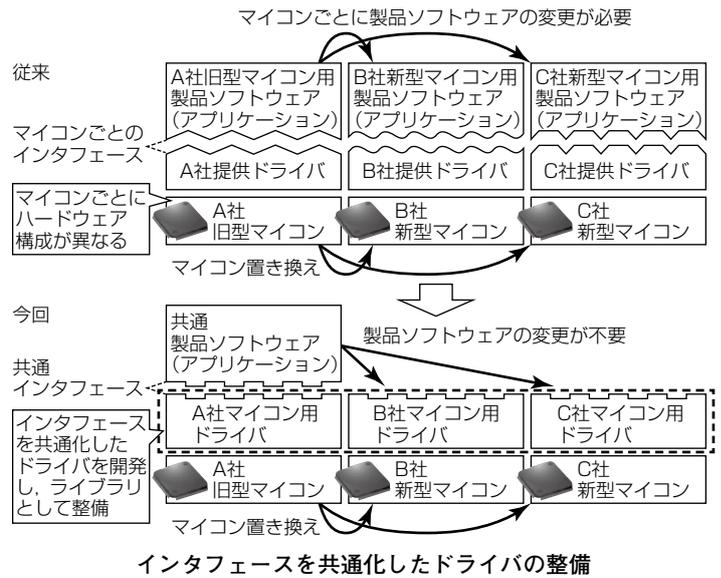


企業情報共有基盤のイメージ

■ マイコンの置き換え容易化技術

Efficient Replacement Technique for Microcomputers

生産終了となる旧型マイコンが増加し、新型マイコンへの置き換えが進んでいる。しかし、マイコンごとにハードウェア構成が異なるため、置き換えには製品ソフトウェアの変更が必要になり、開発工数が増加していた。そこで、主要なマイコンに対し、製品ソフトウェアとのインタフェースを共通化したドライバ(マイコン内蔵ハードウェアの制御用ソフトウェア)を開発した。これによって規模の大きい製品ソフトウェアを変更せずにマイコン置き換えを可能にし、開発工数を50%削減した。さらに、当社製品機能に限定することでメーカー提供ドライバに比べてメモリ使用量を削減し、引数等のチェック有無をコンパイル時に切り替える機能によって、デバッグ性と処理高速性を選択可能にした。

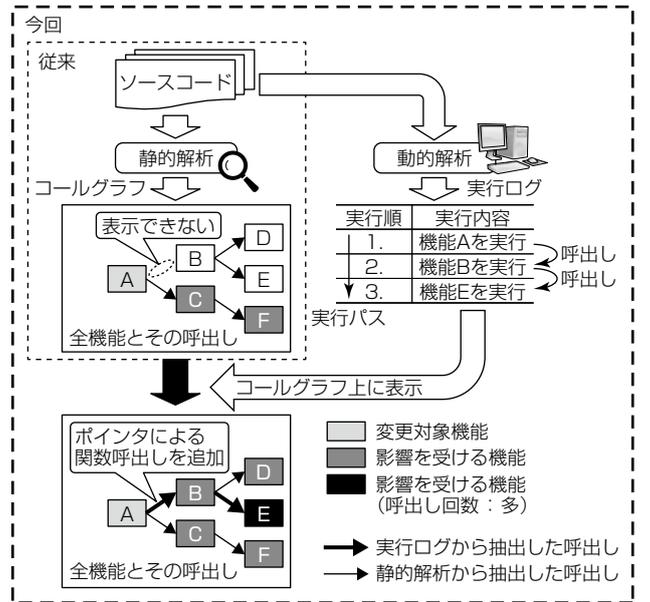


■ ソフトウェアの構造・処理フロー可視化技術

Visualizing Technique for Structure and Behavior of Software

ソフトウェアの流用開発が増加するにつれ、ソースコードのブラックボックス化が進んでおり、流用時には、変更に対する影響範囲の把握が重要となっている。

これまで、静的解析によって、関数呼出しを表示したコールグラフを用いて影響範囲を把握していた。しかし、静的解析では実行時に決定されるポイントによる関数呼出しは抽出できず、影響範囲の把握漏れのリスクがあった。そこで、動的解析による実行ログから全ての関数呼出しを抽出し、コールグラフ上に強調表示する方法を考案した。さらに、呼び出し回数による影響の重み付けを、ノードの色の濃淡で強調表示できるようにした。可視化によって、影響範囲の把握漏れによる不具合を防止した。



動的解析による関数呼出しの抽出

■ パワーエレクトロニクス機器の電流遮断機構設計技術

Design Technique of Current Interrupting Mechanism for Power Electronics Equipments

パワーエレクトロニクス機器の主回路に挿入して過電流を安全に遮断する、低コストで高速応答の電流遮断機構を開発した。

主回路配線を局所的に切欠いて構成した溶断部を、消弧作用と飛散防止に優れた樹脂で覆うことで配線と電流遮断機能を一体化した新しい機構を考案した。

さらに、構成部材の物性値の温度依存性を考慮した電気-熱連成解析の活用によって通電時の過渡的な温度変化を正確に推測することを可能にし(図1)、構成部材の種類やその形状を変更することによって溶断特性を制御する設計技術を確立した。この技術をパワーモジュールに適用し、主回路端子にこの機

構を設けることで、新たな機能部品を付加することなく安全性を向上させた(図2)。

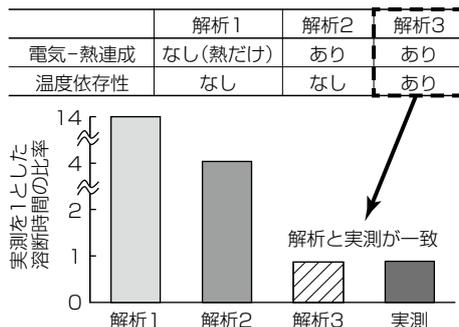


図1. 溶断特性の解析結果

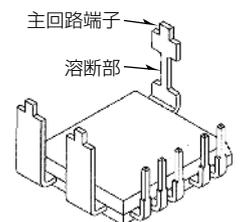


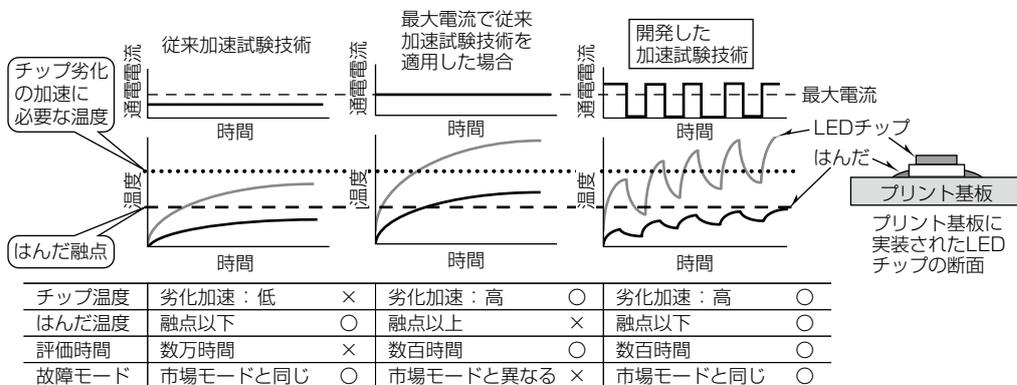
図2. パワーモジュールへの適用事例

■ LEDデバイスの高加速試験技術 ……

Highly Accelerated Test Method of LED Devices

寿命評価に長時間が必要とされるLEDデバイスは、LEDチップの劣化を加速させるために過大電流を通電すると、チップを固定しているはんだ接合部が融点を超え、市場とは異なるモードで故障してしまうという課題があった。そこで、通電をパルス化することでLEDチップの劣化を加速しつつ市場と同じ故障モードを再現可能な高加速試験技術を開発した。重要パラメータであるパルス通電の周波数及びON/OFF (Duty) 比は、LED各部材の熱過渡解析によって適正化している。この技

術によって、両立の難しい品質とコストのバランスが最適なLEDを選定することが可能になった。さらに、この技術はLEDだけでなく、寿命評価に長時間が必要とされる電子部品にも適用可能である。



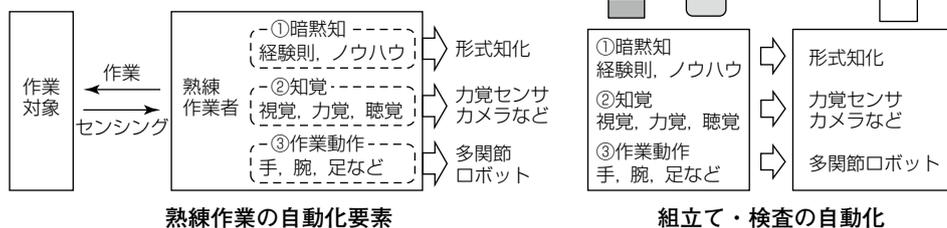
高加速試験条件の確立

■ 熟練作業の形式知化とセンシングの高度化による組立て・検査の自動化 ……

Automation of Assembly and Inspection by Formalization of Skilled Work and Advancement of Sensing

少量生産品・個別受注生産品は、従来、技術的な難易度の高さや投資効果の理由から自動化が難しく、熟練作業による手作業で要求される性能・品質を確保してきた。熟練作業は、作業ルールなどの形式知だけでなく、①経験則やノウハウといった暗黙知と、②視覚や力覚といった作業自身の知覚から得た情報を基に作業手順を決定し、③作業動作を行っている。今回、作業ノウハウを丹念に分析して形式知化し、カメラ、位置センサ、力覚センサから得られた情報を基に多関節ロボットで作業者の

動作を模擬することで、従来できなかった、微小ねじ締め、微小領域への接着剤塗布、溶接のでき栄えの目視検査を熟練作業と同じレベルで自動化し、生産現場へ導入した。



熟練作業の自動化要素

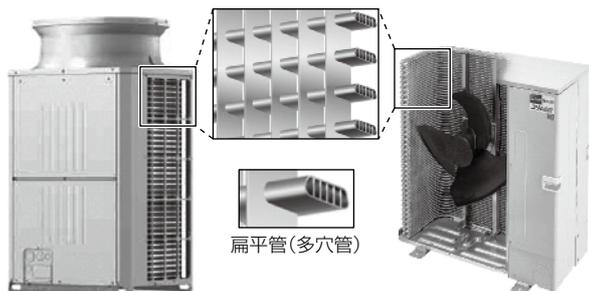
組立て・検査の自動化

■ アルミ扁平管熱交換器のろう付け品質作り込み技術の確立 ……

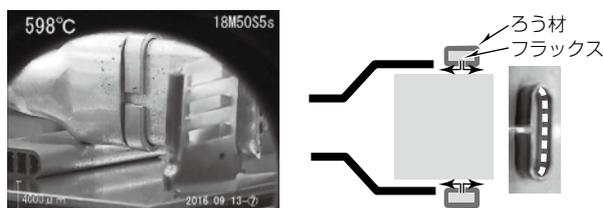
Establishment of High Quality Brazing Technology for Aluminum Flat Tube Heat Exchanger

近年、空調機では地球温暖化抑制のために世界規模で冷媒規制が進行している。当社は、室外機熱交換器に扁平(へんぺい)管を採用し、通常の円管に比べて熱交換面積が増大することで、少ない冷媒でも高い熱交換能力を実現している。一方、扁平管は複雑な断面形状となるため、量産性

を考慮すると管の成形加工性からアルミ材が採用されるものの、冷媒配管を接合するろう付けプロセスの難易度が高くなる課題があった。そこで、アルミ扁平管熱交換器で高い接合品質と生産性を両立させるため、観察窓を備えた加熱炉と高速度カメラを用いて炉内でのろう付け状態を直接観察可能にし、ろう付けプロセスの最適化による接合品質作り込み技術を確立した。



空調室外機搭載のアルミ扁平管熱交換器



加熱炉内のろう付け状態の可視化

■ 中容量サーボモータ“HKシリーズ”の製造技術

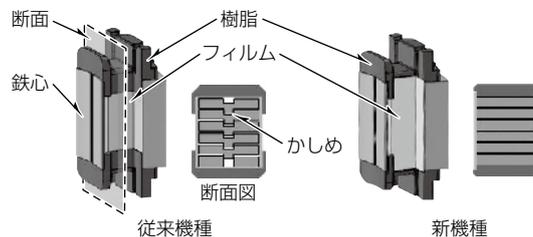
Manufacturing Technology for Medium Capacity Servo Motor "HK Series"

中容量サーボモータ“HKシリーズ”の小型化とモジュラデザインに対応する製造技術を開発した。磁極間を分割した積層鉄心の積層間をつなぐかしめをなくすとともに、絶縁のために鉄心と巻き線の間にはけられていた樹脂とフィルムを、フィルムだけに変更することによって巻き線スペースを拡大した。これによって、鉄心に発生する渦電流を低減するとともに、巻き線の占積率を向上させ、モータの発熱を抑えた。さらに、全機種でステータを樹脂モールドすることで放熱性を向上させ、また絶



中容量サーボモータ (HKシリーズ)

縁性能を向上させることで、電源電圧200V品と400V品を同一構造にして部品を共用化した。これらの開発によって、従来機種と比較してモータの全長を最大10%短縮した。



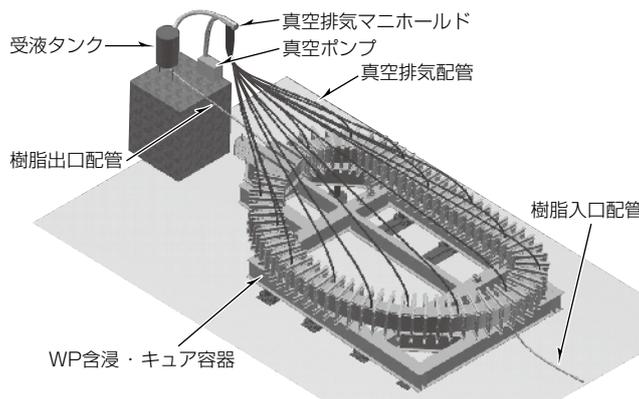
構造の比較

■ 大型超電導コイルの樹脂含浸技術

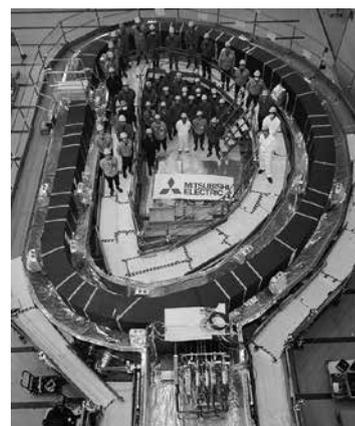
Resin Impregnation Technology of Large Superconducting Coil

ITER(International Thermonuclear Experimental Reactor)は高温プラズマによる核融合の実証を目指し、日本、欧州連合、ロシア、米国などの国際協力で実験炉の製作を進めている。当社は、プラズマを閉じ込めるための高磁場を発生させる縦14m×横7m、質量110tの世界最大級の超電導コイルであるトロイダル磁場コイル(TFコイル)の巻き線部分を担当している。大電流を流したときに、電磁力に起因して絶縁層にせん断応力が生じる。絶縁層の剥離を防止するため、樹脂で含浸して絶縁層の接着強度を高

める必要がある。今回、大型の超電導コイルの絶縁層(約6mm)に均一に樹脂を含浸させる技術を開発した。今後、2021年までにTFコイル5台の納入を予定している。



樹脂含浸した超電導コイル(提供：QST)



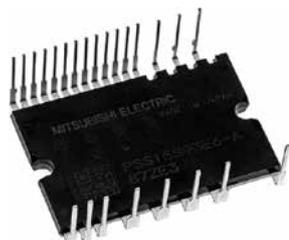
ITER向けトロイダル磁場コイル (提供：QST)

■ パワー半導体モジュール向けAgワイヤボンディング技術

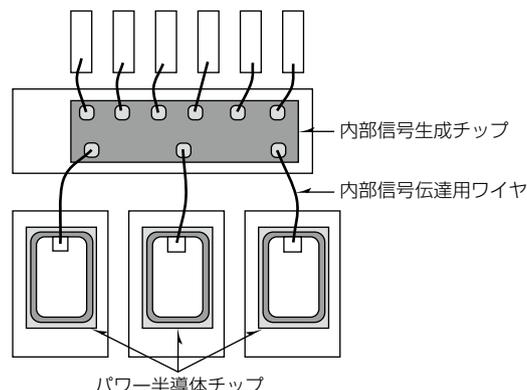
Silver Wire Bonding Technology for Power Semiconductor Module

当社製パワー半導体モジュール“DIPIPM”の内部信号伝達用ワイヤには、従来Au(金)を使っていた。“SLIMDIPシリーズ”には、Auより安価であるが、半導体チップ電極との接合が難しいAg(銀)を採用した。ワイヤボンディングには、放電によってワイヤ先端を溶解させボール形状を作る必要がある。AgはAuと比べて酸素の影響を受けて表面が滑らかなボール形状を形成しにくいことが課題であったが、適正化した窒素雰囲気下でボールを形成することによって高信頼性Agワイヤボンディング技術を確立した。この技術を順次

“超小型DIPIPMシリーズ”や“表面実装パッケージ型IPM(Intelligent Power Module)”などの新製品に展開している。



超小型DIPIPM Ver.7



超小型DIPIPM Ver.7の内部構成