



三菱電機技報

1

2026

Vol.100 No.1

技術の進歩特集(前編)

卷頭言 0-1-01

Foreword

1. 研究開発 1-1-01

Research and Development

1.1 グリーンな社会実現に向けた技術

Technologies for Realization of Green Society

1.2 安心・安全・快適な社会実現に向けた技術

Technologies for Realization of Safe, Secure, and Comfortable Society

1.3 新たな価値を創出するフォアサイトテクノロジー

Foresight Technology Creating New Value

1.4 繼続的に深化する基盤技術

Continuously Enhance Base Technologies

1.5 社会変化に俊敏に追従するものづくり技術

Manufacturing Technologies Agilely Adapting to Societal Changes

本号詳細目次

Detailed Contents

本号記載の登録商標

Registered Trademark

“技術の進歩特集”は1月号、2月号に分けて掲載します。
本号では、前編として“1章 研究開発”を掲載しています。

- 表題の左のマーク(■)は、5つの課題領域(カーボンニュートラル、サーキュラーエコノミー、安心・安全、インクルージョン、ウェルビーイング)、要素技術ほかを示します。
- 表題の右のマーク(★)は、トピック記事です。
- 本号では、本文中で記載の登録商標を(注)として一覧掲載しています。
- 本号に記載されている会社名、製品名はそれぞれの会社の商標又は登録商標です。

卷頭言

Foreword

常務執行役
CTO（技術戦略担当）
防衛・宇宙システム事業本部長

佐藤智典



新年あけましておめでとうございます。

平素から“三菱電機技報”をご愛読いただき、誠にありがとうございます。新たな年を迎えるにあたり、皆様に最新の技術情報を届けできることを大変光栄に思います。

三菱電機グループは、更なる事業発展と社会・環境課題の解決に向けて、リスクを恐れず新たな発想で価値を創出する“イノベーティブカンパニー”へと変革を進めています。私たちの強みであるコンポーネント技術とデジタル技術を融合させ、基盤技術を深化させることで、持続的な事業成長をけん引する研究開発を推進します。

“循環型 デジタル・エンジニアリング企業”として、デジタル基盤“Serendie”（セレンディ）を活用し、現場や顧客から得られるデータを集約・解析し、デジタル技術を継続的に高度化することで、製品やシステムの効率性や安全性を高めるとともに、新たなビジネスモデルやサービスの創出を図ります。さらに、社会や事業に大きなインパクトを与えるフォアサイトテクノロジーの研究開発に注力し、社会課題の根本的な解決と革新的な価値創出に挑戦します。

グリーン社会の実現に向けては、機器の省エネルギー化・電動化、次世代パワー半導体や光デバイスの開発、再生可能エネルギー導入拡大に貢献するエネルギーマネジメント、カーボンリサイクルなどの技術・事業展開に積極的な投資を行っています。カーボンニュートラルに加えて、サーキュラーエコノミーやネイチャーポジティブといった世界的潮流にも対応し、材料・製品の循環利用や自然共生を視野に入れた研究開発を一層強化してまいります。

AIについては、当社の強みであるコンパクトで高性能なAIを活用し、変化の激しい製造現場や保守環境で高い適応性と信頼性を実現します。少量データでも高速・高精度に推論できる技術は、自動化や作業支援を通じて現場の

負荷軽減と生産性向上に寄与します。生成AIを含む先進的なAI技術を国内外で展開し、多様な領域で価値を創出してまいります。

当社の幅広い事業分野に活用される制御、計測、パワー・エレクトロニクス、モデリング、通信、AI、システムなどの基盤技術は、長年にわたり培ってきた高度な技術力を体系的に発展させ、製造現場での精密な制御や設備の予測保全、設計工程の効率化、産業用ネットワークの自動化、環境変化の高精度検出、さらには現場データを活用したAIによる知見抽出など、製品・サービスの高度化に広く貢献しています。さらに、加工、検査、ソフトウェア設計、品質管理、信頼性、標準化などのものづくり技術は、設計・製造期間の短縮、コスト削減、品質向上、環境負荷の低減を実現し、柔軟かつ持続可能な生産体制の構築を支えています。今後も、これらの基盤技術とものづくり技術を深化・応用することで、事業競争力を強化し、持続的な成長と社会への貢献の両立を目指してまいります。

2026年1月号・2月号の“技術の進歩特集”号では、様々な社会課題の解決を通じて持続的成長を目指す最新の技術を紹介します。これらの技報を通じて、私たちの取組みや技術の進歩をご理解いただき、新たな発想や協働の機会を見いだしていただければ幸いです。そして、お客様の事業やパーソンの実現に貢献してまいります。当社グループは、“イノベーティブカンパニー”への変革を加速させ、デジタルと革新技術を駆使して、複雑化・深刻化する社会課題の解決に取り組んで、持続可能で安心・安全・快適な社会の実現に貢献してまいります。

最後になりましたが、改めまして、皆様のご健勝とご多幸、そして事業の更なるご発展を心からお祈り申し上げて、新年のご挨拶とさせていただきます。

1.1 グリーンな社会実現に向けた技術 Technologies for Realization of Green Society

■ サーキュラーエコノミー実現に向けたリサイクル材の家電意匠部品への適用

Application of Recycled Materials to Electrical Appliance Design Parts towards Achieving Circular Economy

2024年12月に開催されたサーキュラーパートナーシップEXPO^(注)(CPsEXPO)2024で、破碎混合プラスチックの静電選別技術及びリサイクル材を使用した家電のモックアップを空間デザインとして展示した。リサイクル材特有の異物の出現や純粋な白にはならないという意匠性の課題に対して、当社の統合デザイン研究所、先端技術総合研究所、住環境研究開発センターが連携し、材料開発を重ねた。

選別や調色、ペレット化のプロセスを改善し、異物の出現を抑えて自然の温かみを感じられるカラーに仕上げた。家電のモックアップに関して来場者にヒアリングを実施した結果、コストアップは許容できない反面、リサイクル材特有の淡いカラーリングに好意的な反応が示され、50%の購入意向を確認した。今後はリサイクル材を適用した家電の製品化を進めて、温室効果ガス排出量の低減に貢献する。



CPsEXPO2024での展示の様子



リサイクル材を使用した炊飯器のモックアップ

■ 微生物電気分解によるメタン発酵の高度化技術：メタンの増産と発酵残渣の減量

Enhanced Methane Fermentation Process Technology through Microbial Electrolysis Cell: Increased Production of Methane and Reduction of Fermentation Residue

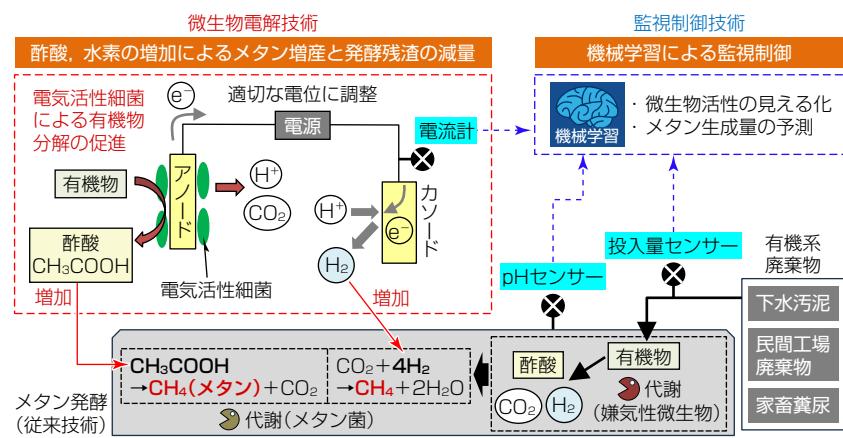
カーボンニュートラルな分散型エネルギー資源としてバイオメタンの活用が期待されている。バイオメタンは、有機系廃棄物を原料として、微生物代謝を利用したメタン発酵によって生成可能であるが、発酵プロセスの安定性に欠けて、メタン生成速度が遅いという課題がある。

当社は、メタン発酵の高度化を目的に、微生物電解技術と監視制御技術を開発している。発酵槽に組み込んだ電極対に電圧を印加する微生物電解を導入することで、アノードに自発的に増殖する電気活性細菌を活性化させ、有機物の分解を促進し、メタン生成速度を速くできる。下水汚泥を用いたラボ評価では、投入電力量の10倍以上の熱量に相当するメタンの増産と、それに伴う発酵残渣(ざんさ)の減量が確認された。

また、廃棄物投入量、槽内pH、電流値等の因子とメタン生成量の相関を機械学

習させることで、微生物活性の見える化とメタン生成量の予測が可能になった。これによって、運転管理の支援と発酵プロセス安定化が実現できる。

今後は、微生物電解装置の設計指針の明確化と電流密度向上の検証を進めて、早期の技術確立と実用化を目指す。



微生物電気分解によるメタン発酵の高度化技術の概要

EV トラックでの経路充電計画の最適化技術

Optimization Technology for Route Charging Plans in Electric Trucks

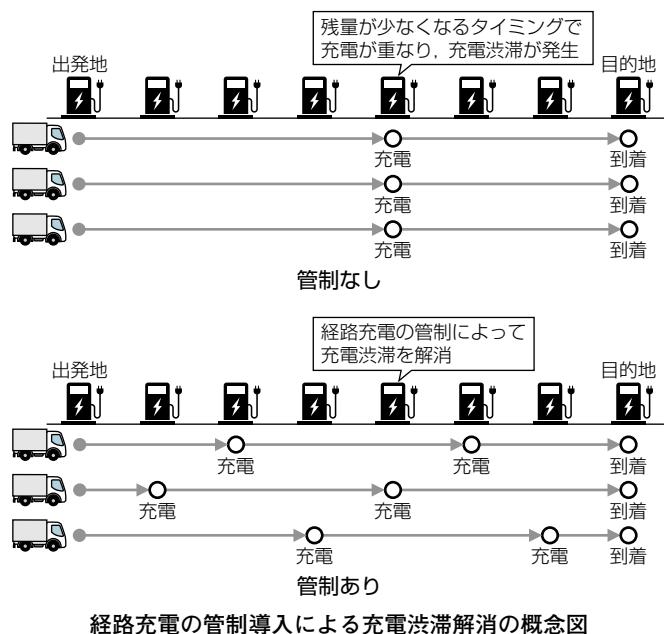
幹線輸送を担う長距離トラックがEV(Electric Vehicle)化した社会では、限られた充電インフラで充電渋滞を起こさないような管制が求められる。そのため、幹線道路の一部の輸送区間を対象に、走行するトラック全体の充電待ち時間と充電時間の和を最小化するよう、各トラックの出発時刻、充電場所、充電量を決定する経路充電計画の最適化技術を開発した。

計画立案では、時刻の決定粒度が細かいほど、決定すべき変数の選択肢が増大し、計算負荷が高くなる課題がある。また、各充電場所への先着トラックが優先的に充電を開始できるような計画を立てるには、トラック間の到着順序の情報を保持する必要があるが、このこともまた問題を複雑化させ計算時間増大の要因になる。

今回、問題の複雑さを段階的に計画へ反映し計算負荷を軽減する方針の下、まず先着トラックの優先権を考慮せずに粗い時刻単位の計画を立てて、その結果を基に、トラックの移動を模擬したシミュレーターによって、優先権を考慮した細かい時刻単位での計画を立て直す手法を開発した。

トラック30台、輸送距離500km、充電場所5か所のケースで、数値実験による検証の結果、従来手法では現実

的な時間で立案できなかった1分単位の計画を1時間以内に立案し、管制なしの場合と比較して各トラックの平均充電待ち時間を66分から7分に短縮できることを確認した。



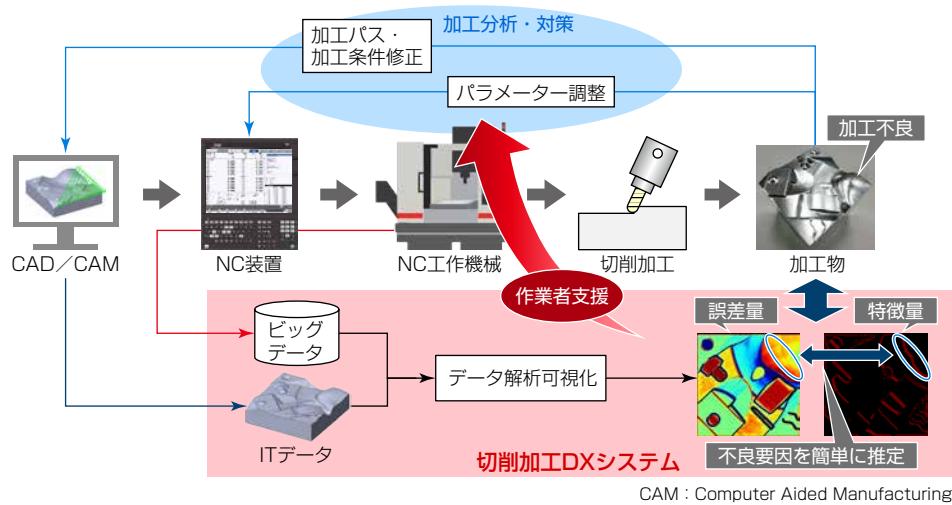
経路充電の管制導入による充電渋滞解消の概念図

熟練技能に頼らず加工不良要因の特定を容易にする切削加工DX技術

Cutting Processes DX to Identify Defects Independent of Expert Knowledge

熟練技能に頼らず加工不良要因の特定を容易にする切削加工DX(Digital Transformation)技術を開発した。従来のNC(Numerical Control)工作機械を用いた金型のような複雑な三次元形状の切削加工では、作業者が目視で外観検査を行っており、加工不良が認められた場合に、加工不良の原因を判断して適切な修正を行えるようになるために長期間の習熟を要していた。そこで、加工中のNC工作

機械のビッグデータを収集し、収集データから理想的な加工形状に対する誤差量とNC工作機械の状態変化を表現した特徴量を計算し可視化して、作業者に提示する切削加工DXシステムを構築した。これによって、熟練技術に頼ることなく、加工不良箇所を特定し、特徴量から加工誤差原因になる不良要因を容易に判断できるようになった。



加工不良の分析システムの概要

■ 大阪・関西万博向けIoTグリーンシェードのデザイン

Design of IoT Green Shade for Osaka-Kansai Expo

ヒートアイランド現象や温暖化問題の解決に向けた緑化の取組みの一つとして、大阪・関西万博^(注)会場フューチャーライフゾーン“風の広場”に、IoT(Internet of Things)を利用したグリーンシェードを休憩所として出展した。当社のFA機器とセンサーを用いて、灌水(かんすい)を自動化し、生育の早いパッションフルーツを試験的

に採用している。枝葉がもたらす日陰とミスト噴射で、真夏の屋外でも涼を感じる空間を目指した。木材の支柱を多く使うことでパッションフルーツの枝葉が絡まって上へ伸びやすくなっており、時間を経て緑と木の調和が変化し、訪れる人に安らぎを与える。視覚的に主張をし過ぎず、周囲のパビリオンや環境に溶け込むよう意匠に配慮した。



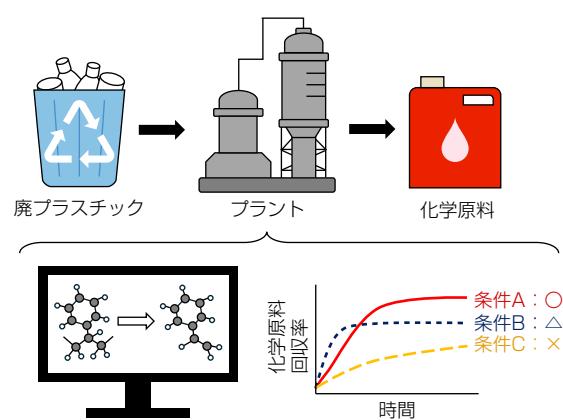
IoTグリーンシェード

■ プラスチックの効率的なリサイクルを可能にする分子シミュレーション技術

Molecular Dynamics Simulations for Efficient Recycling of Plastic Materials

廃プラスチックのケミカルリサイクルを推進するためには、プロセスコストの改善と回収される化学原料の収量向上が不可欠である。これらの課題を解決するために、ケミカルリサイクルのプロセス条件の最適化に活用可能な分子シミュレーション技術を開発した。

この技術によって、プラスチックの熱分解挙動を可視化し、生成物の収量を高精度で予測できるようになった。シミュレーションを活用することで、化学原料の回収率向上に向けたプロセス条件の設計指針を得られて、リサイクルプロセスの効率化とコスト低減が可能になった。ケミカルリサイクルの課題を克服し、より効率的で持続可能なリサイクルシステムの構築が期待される。



シミュレーションを活用したプロセス条件の最適化

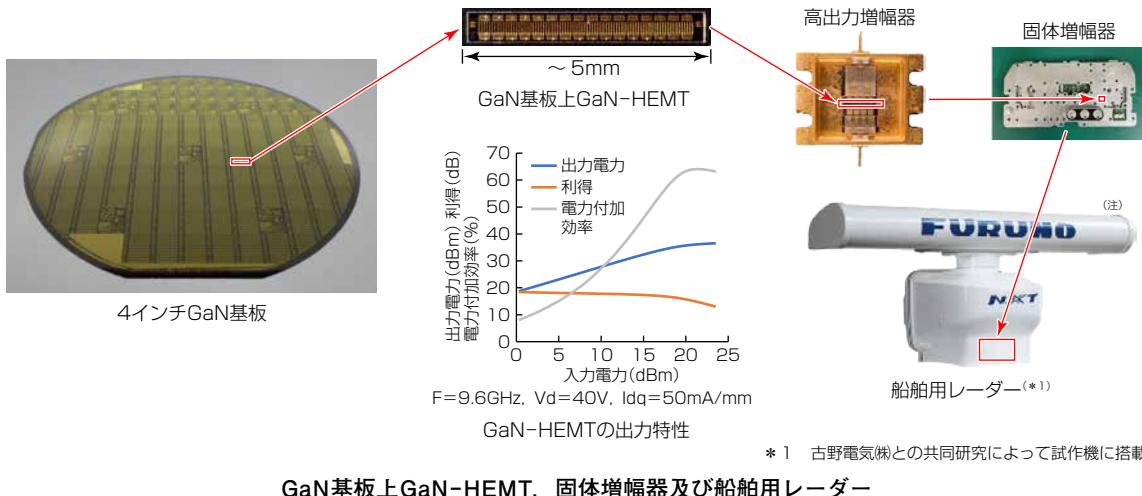
GaN基板利用による船舶／気象レーダー用GaN-HEMT

GaN-HEMT for Ship/Meteorological Radar Using GaN Substrate

船舶用や気象用レーダーで、固体増幅器として一般的に使用されているマグネットロン方式よりも、低消費電力、高探知性能、長寿命、及び小型化が可能な10GHz帯のGaN(窒化ガリウム)-HEMT(High Electron Mobility Transistor)を開発した。

GaN結晶の高品質化を目指して、GaN-HEMTを従来

のSiC(シリコンカーバイド)基板ではなくGaN基板上に形成し、SiC基板を用いた場合を上回る高耐圧化を実証するとともに、60%以上の電力付加効率を確認した。このGaN-HEMTを用いた固体増幅器では、出力200W(53dBm)以上、電力付加効率50%以上を達成し、消費電力で従来のマグネットロンに対して優位であることを確認した。



抵抗分離型新構造IGBTによるスイッチング損失の半減

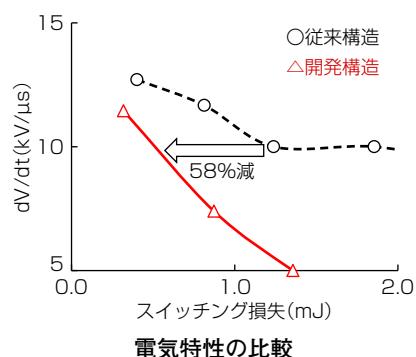
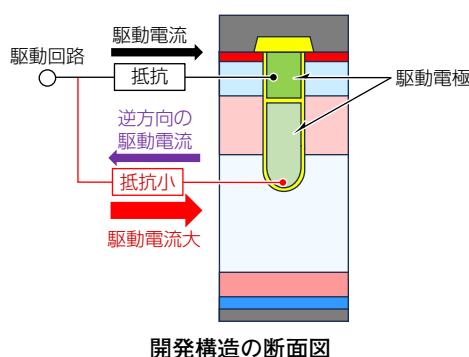
Split Gate Resistance Separation IGBT for Halving Switching Losses

現在主流のパワーデバイスであるIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)は、高速スイッチング(SW)技術によって、電力変換損失(SW損失)を低減し電力機器の省エネルギー化に貢献してきた。一方、高速SWに伴う急峻(きゅうしゅん)な電圧変化(dV/dt)は電磁ノイズ源になつて、機器の誤動作を招く可能性があり、高速化には限界があった。

今回、駆動電極を上下に分割し、それぞれに異なる抵抗

を接続する新構造を開発した。下段電極に小さな抵抗を接続することで大きな駆動電流を流して、急峻なdV/dtを生じさせる逆方向の駆動電流成分を打ち消すことができる。この結果、dV/dtを抑制しながら高速SW動作を実現し、SW損失58%減に成功した。

この技術による電力機器の省エネルギー化と安全性能向上によって、脱炭素社会の実現に貢献していく。



電流電圧解析によるインバーター駆動誘導機の異常診断技術

Fault Diagnosis Technique of Inverter-Driven Induction Machines Using Current and Voltage

誘導機は工場や発電所、水道施設などで重要な役割を担っており、突発的な停止はこれら施設の運転計画に深刻な影響をもたらすため、従来作業員による定期的な点検が行われてきたが、近年は高齢化などによる人員不足の問題や点検業務の効率化の観点から、センサーによる自動診断へのニーズが高まっている。電流診断技術は誘導機に供給される電流から異常に起因する特徴周波数成分を監視することで診断する(図1)。現状、商用電源駆動誘導機の電流診断は実用化の流れにあるが、省エネルギーの観点から導入が進むインバーター駆動に対しては課題がある。具体的には誘導機がインバーターによって駆動されると、インバーター起因の微小な周波数成分が図2中のs1~s8に示すように多数発生するため、診断に使用する特徴周波数成分の特定が困難になる。そこで今回、測定した電流と電圧に加えて誘導機のテストレポートを用いることで特徴周波数成分(USBb^{(*)1}、LSBb^{(*)1}、USBm^{(*)2}、LSBm^{(*)2})を0.1Hz以下の精度で特定する

手法を開発した(図2)。これによって誘導機がインバーターによって駆動される場合でも、電流診断が可能になる。

- * 1 回転子バー損傷を示す特徴周波数
- * 2 機械系異常を示す特徴周波数

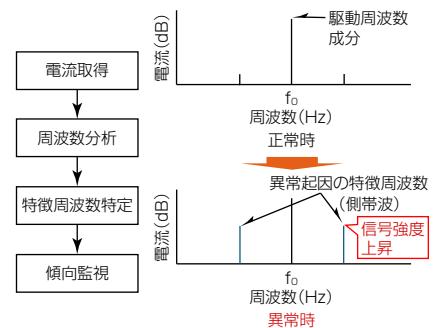


図1-特徴周波数による電流診断の原理

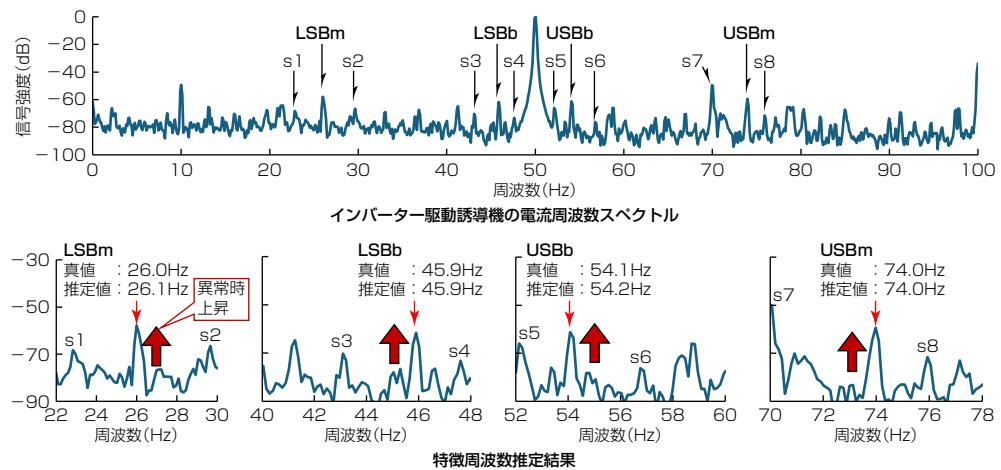


図2-インバーター駆動誘導機の周波数スペクトル(上段)と特徴周波数推定結果(下段)

複数ベンダーを対象とするロボットの群管理システム

Multi-vendor Robot Fleet Management System

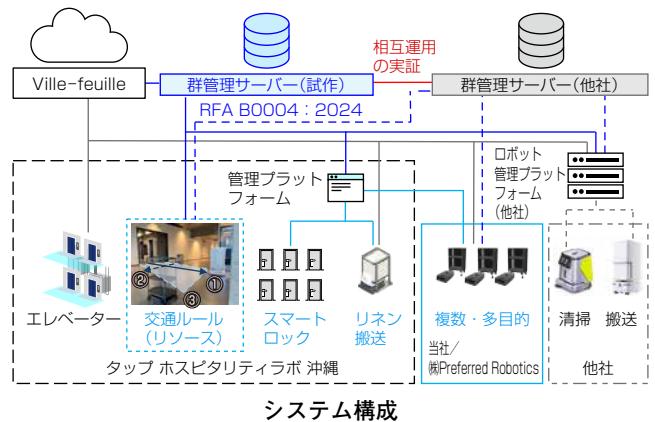
近年、労働力不足解消に向けて、様々なサービスロボットの利用が期待されているが、ベンダーごとの群管理の違いが普及の課題であった。

今回、当社と三菱電機ビルソリューションズ(株)は、(株)タップから経済産業省“ロボットフレンドリーな環境構築支援事業”に関わる開発委託を受けて、異なるメーカーのロボットが円滑に稼働するための群管理を試作検証した。

具体的には、“Ville-feuille”^{(*)1}サービス下の施設に一般社団法人 ロボットフレンドリー施設推進機構が発行したRFA B0004 : 2024に基づく進入排他の交通ルールを持つリソースを定義し、定義したリソースを群管理するシステムを試作した。そして、この試作をタップ ホスピタリティラボ 沖縄に導入し、(株)Preferred Roboticsと共同で、複数フロアの搬送と清掃サービスを実現し、リソースの複数設置及びエレベーターの複数利用によって、全ての試験でタスクを成功させた。さらに、リソースを他社の群管理

とも共有できるインターフェースを持たせることで、規格に設けるガイドラインの制定に貢献した。

- * 1 エレベーター、空調、照明、サービスロボット、入退室管理システムなどの様々なビル内設備の稼働データやセンシングデータなどを収集・蓄積し、データ処理を行うIoT(Internet of Things)プラットフォーム

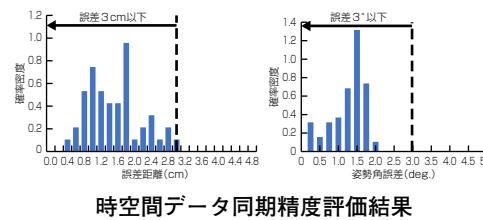


現実空間の情報を基に構築した仮想空間上での分析結果を活用して現実の機器を遠隔操作するCPS(Cyber-Physical System)を、低軌道衛星通信システムと組み合わせて、災害等の有事に現場情報を即時に収集・分析し、救助活動等を支援するリアルタイムCPSが期待されている。

今回、リアルタイムな仮想空間生成に必要になるカメラ画像とその撮像位置・方向を高精度に一致させる時空間データ同期技術と、通信品質の変化量が大きな低軌道衛星回線を用いて現場情報をリアルタイムに収集するための通信品質測定技術を開発した。

カメラの撮像時刻と非同期に得られるロボット位置を、移動状態に応じた補間処理によって同期させて、撮像位置誤差3cm以下・姿勢角誤差3°以下の高精度推定を可能にした。これによって、多数の画像を用いた位置・姿勢推定の画像処理負荷を低減し、仮想空間の生成時間を短縮できる。

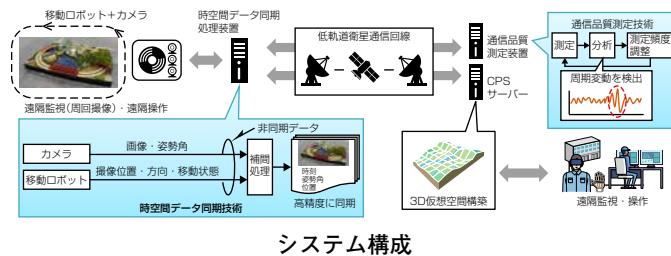
また、低軌道衛星の通信品質の周期変動を検出し、測定頻度を調整する



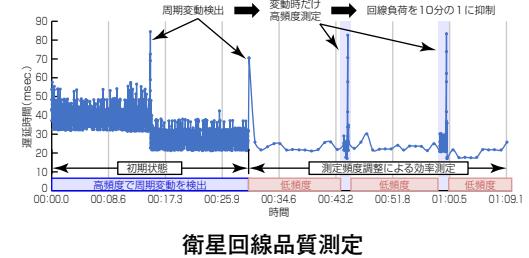
時空間データ同期精度評価結果

ことで、品質測定に要する通信量を10分の1に抑制可能にした。これによって、通信品質測定に起因する通信遅延を低減し、現場情報を速やかに収集できる。

今後は、災害救助活動だけでなく、防災対策や変電所・工場の遠隔監視・操作の省人化・効率化を支える情報処理×通信基盤技術として展開していく。



システム構成



衛星回線品質測定

▲ IGBTチップの内蔵ゲート抵抗を用いた放熱材料の劣化検出手法

パワーモジュールには通電能力と放熱能力が求められる。パワーモジュール内部に搭載されるパワーデバイスはスイッチング動作によって発熱し、その熱はパワーモジュール内の複数の部材を通じて外部のヒートシンクへ伝達される。パワーモジュールからヒートシンクに至るまでの各種部材は線膨張係数が異なるため、温度変化が生じると熱応力が発生する。この熱応力が繰り返し発生すると各種部材が劣化し、冷却能力の低下(熱抵抗の劣化)を引き起こす。

そこで今回、パワーデバイスに内蔵されたゲート抵抗の温度依存性を利用し、パワーデバイスの温度が所定値を超過したことを検知する温度検知回路を構築した。さらに、この回路を応用し、冷却能力の低下を検知する手法を開発した(図1)。

この手法を評価するため、パワーモジュールとヒートシンク間の放熱シートの枚数を変えることで熱抵抗の劣化を模擬し、パワーモジュールにパルス電力を与えた際の検知回路

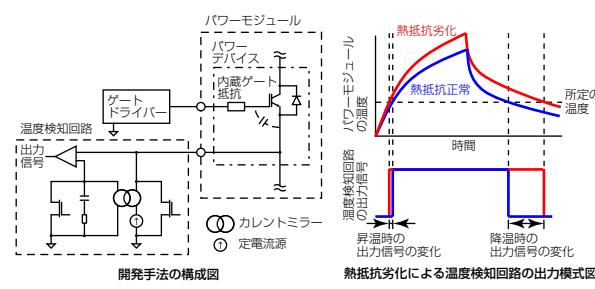


図1-開発手法の構成図と、熱抵抗劣化による検知回路の出力模式図

の出力信号を測定した(図2)。

図3から、放熱シート3枚時は、1枚時と比較して温度検知回路の信号出力時間が長いことが分かる。これは、熱抵抗の増加によって放熱時間が長くなったことを意味する。このように、本手法によってパワーモジュールとヒートシンク間の熱抵抗の劣化を判定できる。

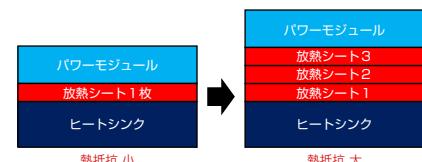


図2-パワーモジュールとヒートシンク間の放熱シートの枚数変更による熱抵抗劣化模擬の模式図

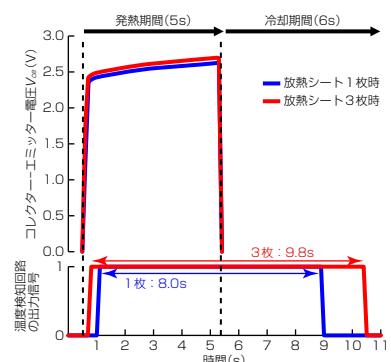


図3-放熱シート枚数を変えた場合の検知回路の出力時間測定結果

■ BIMとエレベーター保守情報のデータ連携技術

Data Integration Technology between BIM and Elevator Maintenance Data

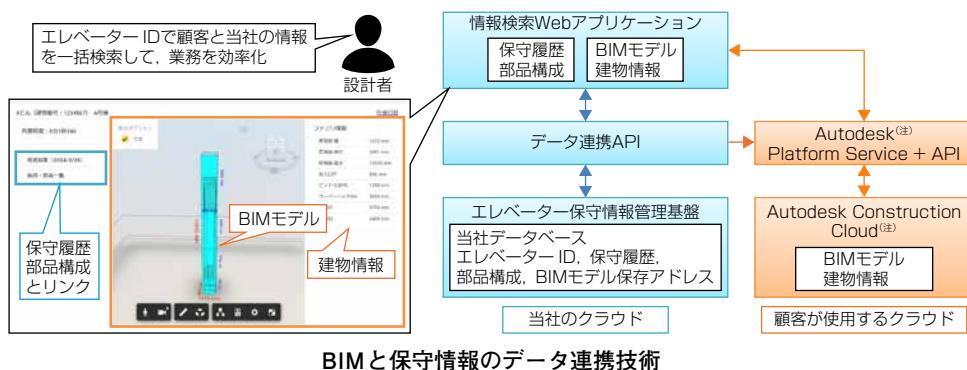
エレベーターのリニューアル設計で、高精度・短納期の見積りはビルオーナーや管理会社にとって価値がある。設計業務では、建物情報と既設エレベーターの保守履歴と部品構成情報の突き合わせが必要であり、現状人手で行っている。建物情報と保守履歴と部品構成情報のデータ連携によって大きな業務効率化を図れるが、一般に建物情報は顧客であるビルオーナーや管理会社が持つおり、先に述べたデータ連携を実現するには技術的課題があった。

そこで、顧客が持つ建物情報(BIM(Building Information Modeling)モデル)と当社データ(保守情報・部品構成情報)を横断的に統合して一括検索できるデータ連携技術を開発した。

具体的には、当社がクラウドに構築したエレベーター保守情報管理基盤上にエレベーターID、保守履歴、部品構成、及びBIMモデルの保存先

アドレスを関連付けたデータベースを作成し、データ連携API(Application Programming Interface)を介して、Autodesk社のクラウドサービスに保管されているBIMモデルの参照を可能にした。さらに、二つの異なるシステムに対してエレベーターIDで統合検索が可能な設計者向けの情報検索Webアプリケーションを開発した。

これによって、リニューアル設計時に実施していた人手での情報収集と突き合わせを効率化し、見積りの高精度化と短納期化を実現した。



■ 多様な自律移動ロボットを利用した環境モニタリング技術

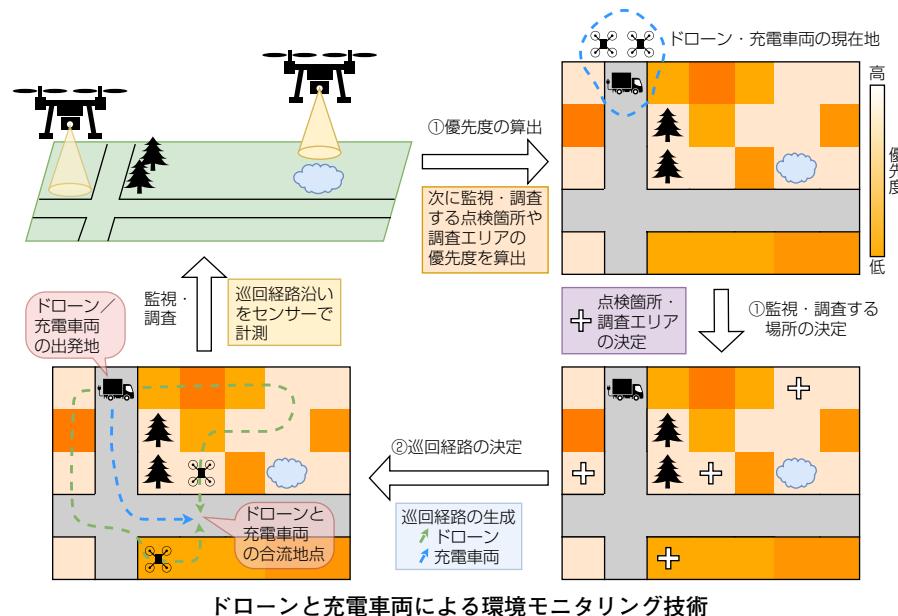
Environmental Monitoring Using Heterogeneous Mobile Robots

インフラ維持管理や防災・減災では広域を監視・調査することに多くの労力を伴うため、ドローンの活用が検討されている。自律移動するドローンで広大な領域を効率良く短期間で監視・調査するためには、過去の監視・調査結果(センサー計測値)に基づいて、次の点検箇所や調査エリアを絞り込んで、効率的に巡回する必要がある。

そこで次の二点を繰り返すことで、ドローンの巡回経路を動的に生成するダイナミックルーティングを開発した。①複数のドローンによる最新のセンサー計測値を共有し、点検箇所や調査エリアの優先度を更新し、次の点検箇所や調査エリアを決定する。②ドローンの充電量や複数ドローンの衝突回避を考慮しながら、決定された複数の点検箇所や調査エリアの巡回経路を決定する。ダイナミックルーティングによって、点検箇所・調査エリアの状況の変化に柔軟に適応する経路作成を可能にした。さらに、調査エリアでのドローンの充電を可能にする自律移動型の充電車両を用意し、充

電車両とダイナミックルーティングを行ったドローンとの連携によって、ドローンが充電のために出発地に戻ることなく、更に広域な領域の監視・調査を可能にした。

今後、地上移動ロボットなど、更に多くの種類と台数の自律移動体(ロボット)で構成される大規模なシステムへの拡張を検討していく予定である。



人・機械協調型自律分散協調制御技術

Human-Machine Cooperative Autonomous Distributed Control Technology

労働力不足への対応や危険作業の代替手段として、複数台のロボットを中央制御なしに連携させる“自律分散協調制御技術”が抗たん性やスケーラビリティーの観点から期待されている。今回、特定のリーダー機を持たずに同一の機能及び性能を持つ複数台のマイクロマウス(ロボット)が協調してミッションを達成するデモシステムを構築した。

このデモシステム及びフィールドの概観を図1に示す。複数台のマウスが一つのチームになり、チームとしてフィールド内に存在するボールをフィールド外に移動させるというミッションを与えられている。各マウスは自機に備えたセンサーで周囲の状況をセンシングしながら位置情報などを相互に通信することでフィールド全体の状況を推

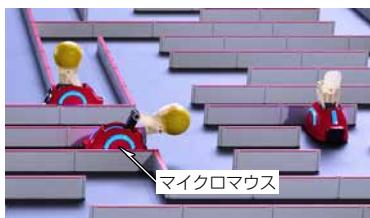


図1-デモシステム及びフィールド概観

- 必要な要素技術一覧
- ・センシング
(フィールド構造／ボール)
- ・探索
(衝突回避／経路検討)
- ・タスク選択
(ボール取得／移動)
- ・通信
(情報共有)

定し、さらに、チーム内の全マウスの状況を考慮しながらミッション達成のために必要なタスクを自律的に選択する。このデモシステムでの検証を通じて、各マウスの位置情報と経過時間を自機内で管理し前回探索されてから更に長時間経過した位置に進むような経路検討アルゴリズムを新たに開発した(図2)。その結果、複数のマウスによるフィールド全体の効率的な探索と衝突の回避を中央の指示がない状態で両立することを可能にした。

この技術は今後、災害時の救援ルート確保に向けた省人化の実現など、人と機械が共生する未来に有用になる。

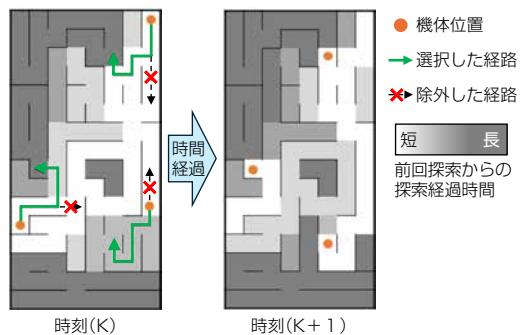


図2-主要技術(探索)

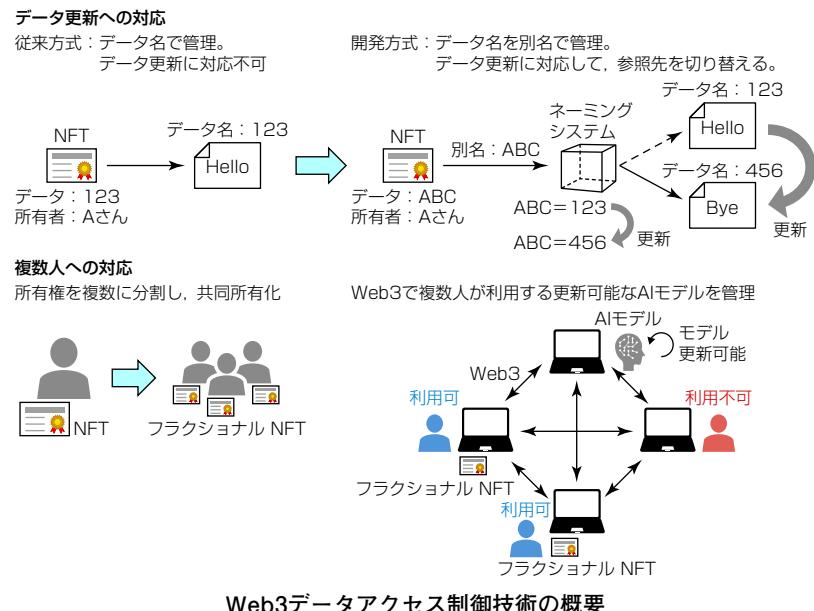
Web3でのデータアクセス制御技術

Data Access Control on Web3

従来の中央集権型のシステムに対して、データに高い信頼性をもたらす分散型のWeb3が、信頼性が重要になるAIモデルなどのデータ管理プラットフォームとして期待されている。Web3上のデータへのアクセス制御の一つにNFT(Non-Fungible Token)と秘密分散鍵を使った方式がある。NFTはWeb3上のデータ名を保持しているが、これを後からは変更できない。一方、Web3上のデータ名はデータそのものから生成されるため、データが更新されるとデータ名も変わる。また、NFTは一人の所有者しか管理できない。そのため、従来のアクセス制御方式では、複数人で使用し更新も発生するAIモデルのようなデータ管理には対応できなかった。

そこで、データの別名を管理することでデータ更新にも対応できるアクセス制御方式を開発した。データの別名管理にはWeb3のネーミングシステムを用いて、データ更新時に、別名の参照先を更新後のデータに切り替える。これによって、NFTが持つ高い信頼性を損なうことなく、更新後のデータにアクセス

できるようになる。また、データを複数人で共同所有できるフラクショナルNFTを用いることで、複数人が利用するデータに対応した。これによって、Web3に保管されたAIモデルを、ライセンスを持つ複数事業者に提供するようなユースケースに対応できるようになった。



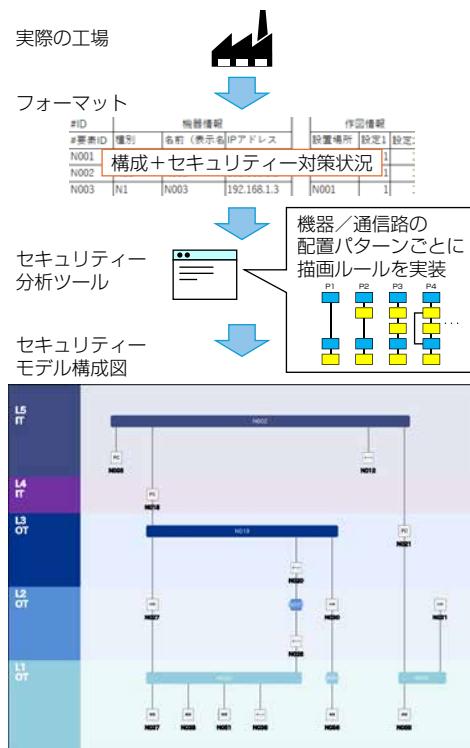
Web3データアクセス制御技術の概要

工場のセキュリティーモデル構成図を視認性高く作成可能なセキュリティ分析ツール

Security Analysis Tool that Can Create Factory Security Model Configuration Diagrams with High Visibility

工場のセキュリティーリスクアセスメント実施時には、実際の工場の構成を、セキュリティ対策を適切に検討するためには必要になる粒度で整理した構成図(以下“セキュリティーモデル構成図”という。)を作成する必要がある。従来はその構成図を人が試行錯誤して作成していたため、同一構成図内で詳細度の異なる情報が混在する、配線が複雑に交わって全体像の把握が困難になるなど視認性が低い部分が含まれて、分析作業に支障を来す場合があった。

今回、当社が過去に実施してきた様々なシステムに対するセキュリティアセスメントで蓄積したノウハウに基づいて、視認性の高いセキュリティーモデル構成図を作成できるツールを実現した。まず、工場の構成やセキュリティ対策状況を記述するフォーマットを開発し、工場の多様な構成要素を統一した粒度で整理可能にした。次に、機器や通信路の配置パターンを網羅的に洗い出して、パターンごとに視認性の高い描画ルールを作成した。フォーマットに記載された工場構成情報からパターンを判定し、機器／通信路の描画ルールに従って描画することで、関係者が理解しやすく分析作業に適した視認性の高いセキュリティーモデル構成図が生成される。



開発したセキュリティ分析ツールによるセキュリティーモデル構成図の生成イメージ

見通し外の物体のイメージング技術

Imaging Technology for Non-Line-of-Sight Objects

先進運転支援システムや自動運転システムに搭載される前方センサーは、衝突の可能性のある物体を検知／識別し衝突を回避することに使われる。特に、図1に示すような交差点や通路の角では見通し外(死角)から飛び出してくる物体が危険であるが、既存のセンサーでは未対応であった。

そこで今回の開発では、前方センサーとしてレーダーを用いて、壁や角によって生じる反射波、回折波を利用することによる見通し外の物体の検知／イメージングを検討した。この際、複数の主要な経路(マルチパス)による成分が複雑に干渉し虚像が生じることが問題であった。この解決策として、交差点や角の配置といった環境情報からレーダー波の伝搬特性を電磁界解析によって推定し、その結果から逆散乱法によって散乱体の分布推定式を構成し、観測レーダー信号に適用する方式を考案した(図2)。この方式では、伝搬特性の推定時にあらゆるマル

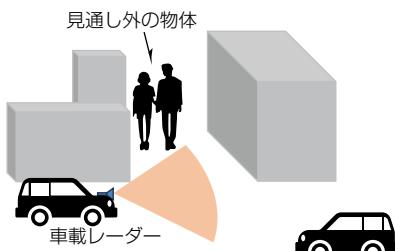


図1-自動運転／先進運転支援システムへの適用イメージ

チパス成分を考慮できるため、見通し外環境にある散乱体を、虚像の発生を抑制しながらイメージングできる。屋内実験でこの方式の有用性を実証した。

この方式によって見通し外にある物体のイメージングが可能になり、先進運転支援システムや自動運転システム、さらには、自動搬送ロボット等のより安全な運行が実現できる。

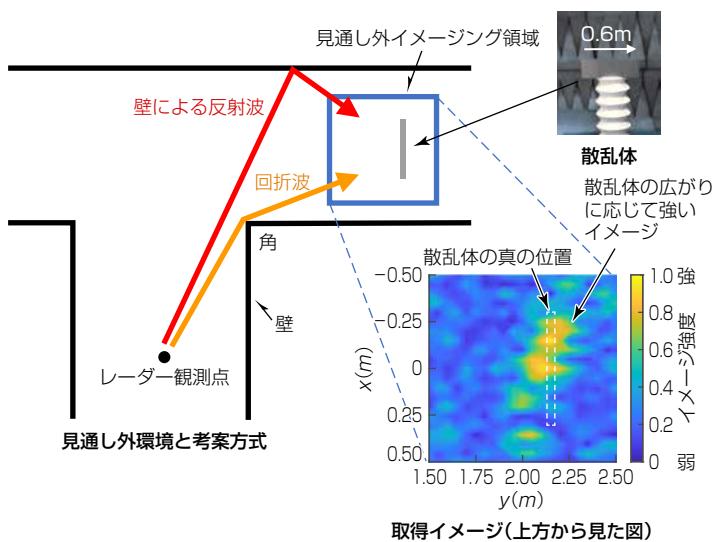


図2-見通し外環境と死角にある散乱体のイメージング結果

■ 電気化学を活用した耐食性能の短時間評価技術

Short-Term Evaluation Technology for Corrosion Resistance Utilizing Electrochemistry

日本は海に囲まれた高湿度な環境のため、金属構造物の腐食を防ぐことは以前から大きな社会課題であり、持続可能な社会の実現のためにも耐久性の向上はますます必要不可欠である。しかし、少子高齢化に伴う人材不足やグローバルな開発競争の加速から、従来の環境試験による耐食性の評価手法は時間を要するため製品開発の速さに対応することが困難である。当社は社会インフラを支える製品を市場に提供しており、耐食性の高い材料を早く選定することが求められている。

今回、材料の耐食性を早期に予測するため、電気化学測定の一種である交流インピーダンス測定を応用した短時間評価技術を開発した。従来の交流インピーダンス測定に時間軸を加えた3Dインピーダンス測定(図1)を行い、機械学習による解析(図2)を組み合わせることで、2時間程度で環境試験3,000時間後の耐食性の優劣を判定できた(図3)。この技術は表面

処理の生産不具合の解決にも貢献しており、当社製品の一層の品質向上に役立っている。

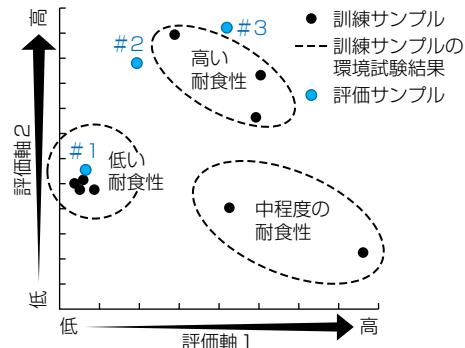


図2-機械学習による解析結果

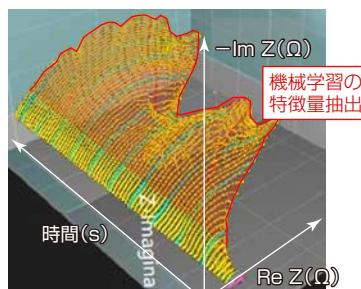


図1-3Dインピーダンス測定結果

塩水噴霧試験		
試験結果(3,000時間)		
試験前	試験後	
#1	赤錆	低
#2	白錆(多)	耐食性
#3	白錆(少)	高

図3-評価サンプルの環境試験結果

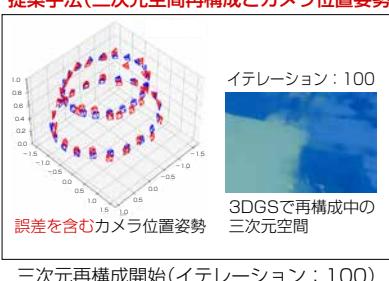
■ リアルタイム自由視点映像生成技術

Real-Time Free-Viewpoint Video Generation Technology

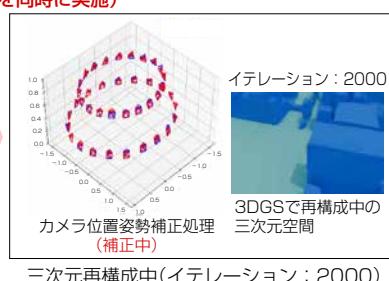
近年、自然災害の激甚化に伴って、迅速かつ正確に災害現場の自由視点映像を得る技術の重要性が増している。特に3DGS(3D Gaussian Splatting)は、カメラ映像を入力とした三次元モデル生成処理の高速性で注目されている。しかしカメラの位置や姿勢に誤差が生じると、自由視点映像を生成するための三次元モデルの品質が低下する。

今回、3DGSで生成する三次元モデルから作る映像と撮影映像との誤差が小さくなるように、段階的にカメラ位置と姿勢を補正することで、ノイズの少ない三次元モデルを生成する技術を開発した。この技術を適用することで、1.5km四方の空間で、カメラ位置60m、姿勢5度までの誤差があっても、クリアな自由視点映像を得ることができる。

提案手法(三次元空間再構成とカメラ位置姿勢補正を同時に実施)

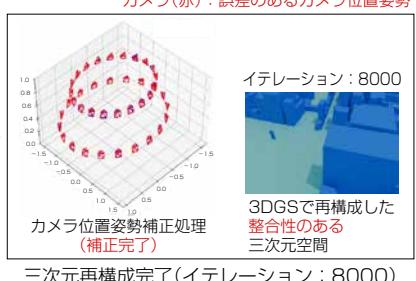


三次元再構成開始(イテレーション: 100)



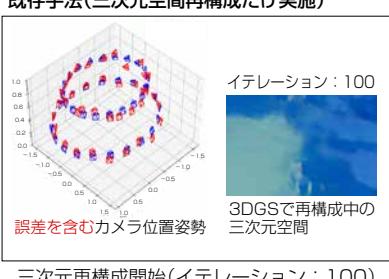
三次元再構成中(イテレーション: 2000)

カメラ(青): 正しいカメラ位置姿勢
カメラ(赤): 誤差のあるカメラ位置姿勢

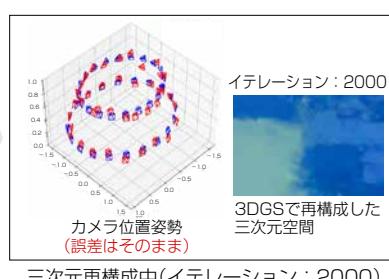


三次元再構成完了(イテレーション: 8000)

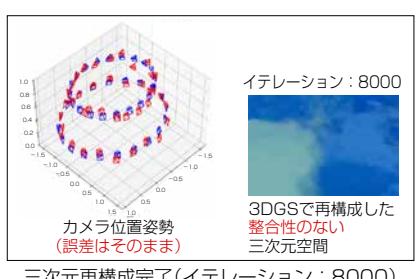
既存手法(三次元空間再構成だけ実施)



三次元再構成開始(イテレーション: 100)



三次元再構成中(イテレーション: 2000)



三次元再構成完了(イテレーション: 8000)

カメラ位置・姿勢誤差補正適用による三次元空間モデル品質比較

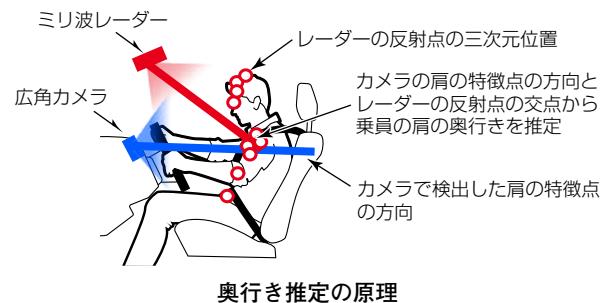
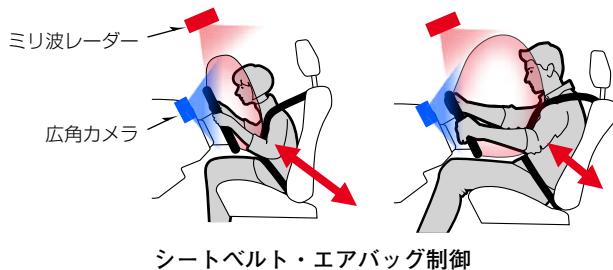
■ カメラとミリ波レーダーフュージョンの車内乗員体格判定への適用検討

Application of Camera and Millimeter-Wave Radar Fusion for Vehicle Occupant Body Size Classification

交通事故時の乗員への被害を軽減するため、乗員の姿勢や体格に応じたシートベルトやエアバッグの制御を行う衝突安全システムの高度化が進められている。体格判定用のセンサーとしては乗員の形状認識に優れるカメラが有用である。しかし、二次元画像のため奥行きが変化すると見た目の大ささが変わって体格を誤判定してしまう。一方、ミリ波レーダーは幼児置き去り検知などに用いられて、乗員

の形状認識性能は劣るもの、電波の反射点までの三次元位置を観測できる。異なる用途のこれらのセンサーの情報を融合し、各センサー単独では得られない乗員の形状と奥行きを推定する技術を開発した。

今後は、この技術を適用し、乗員の姿勢や位置の変化にロバストな衝突安全システムの高度化を図る。



■ 高齢者の運転能力低下検知技術

Detection Technology for Declining Driving Ability in Elderly Drivers

三菱電機モビリティ株と福岡工業大学で進めている運転能力可視化の取組みと連携し、当社先進応用開発センターでは高齢者の運転能力低下推定技術を開発している。近年、運転能力が低下した高齢者の重大事故が社会問題になっている。提案手法(図1)では、DMS(Driver Monitoring System)カメラ映像、車両制御情報、地図・GPS(Global Positioning System)情報から、交差点区間での視線移動量、安全確認回数、1回当たりの確認時間、近傍の注視割合、最低車速、左右確認量の6種類の特徴量を抽出し、

AI(Transformer^(*1))によって、日常の運転から運転能力低下の有無を判定する手法を開発した。教習所で収集した高齢者を含む22名のデータでTMT-B^(*2)検査結果を真値として正解率を算出したところ86.3%であった。

* 1 Vaswani, A. et al. : Attention Is All You Need, 31st Conference on Neural Information Processing Systems (2017)

* 2 一般社団法人 日本高次脳機能障害学会 Brain Function Test 委員会 : Trail Making Test 日本版, 一般社団法人 日本高次脳機能障害学会 (2019)

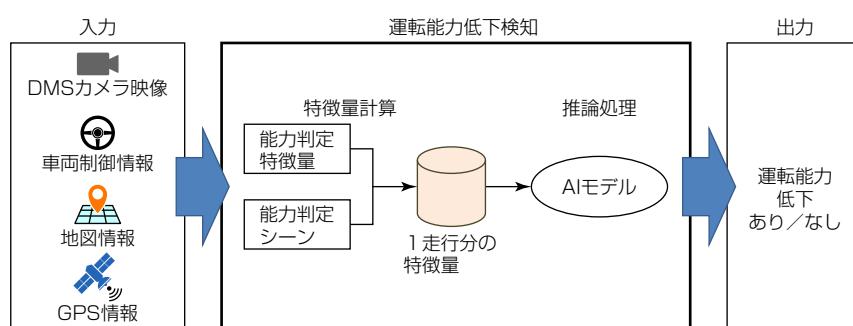


図1-提案手法の構成

モーターのフィードバック制御帯域を超える高速トルクリップル抑制法

High-Speed Torque Ripple Suppression Method for Motors beyond Feedback Control Bandwidth

モーターの振動・騒音の要因になるトルクリップルを電流フィードバック(FB)の制御帯域を超える高速回転時を含めて抑制する新たな制御法を開発した。これは、安価な電流センサーを用いたモーター制御システムに適用するため、電流検出精度に依存しないフィードフォワード(FF)をFBと共に併用する制御法である(図1)。その特徴は、モーターの

空間高調波に起因するトルクリップルを抑制する補償電流として、従来の電流-トルク脈動の関係に基づく補償項①に、電圧-電流脈動の関係に基づく補償項②を新たに加えたことである。この制御法を車載用モーターで実機実証した結果、低速から高速回転時までトルクリップルを抑制することを確認した(図2)。

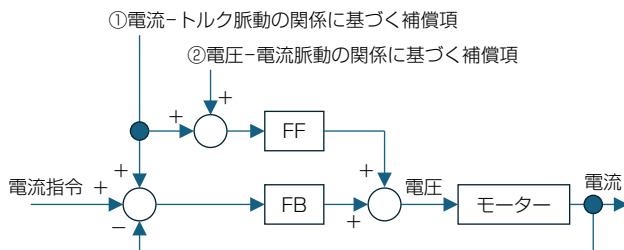


図1-今回構築したトルクリップルを抑制する制御構成

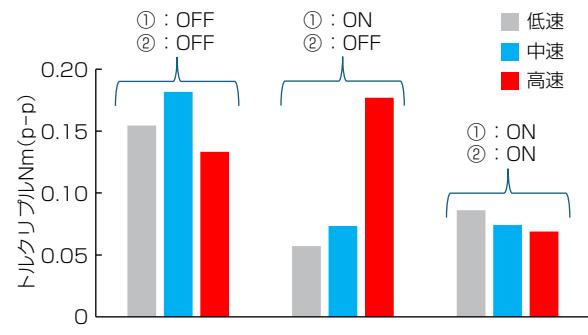


図2-トルクリップル実測結果

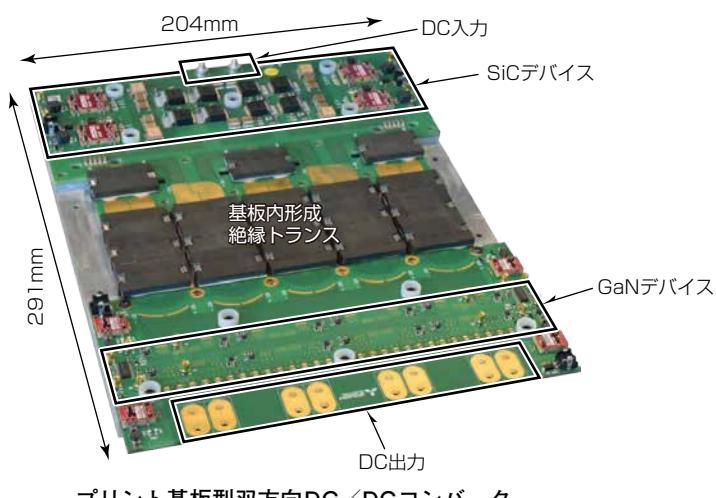
プリント基板型双方向DC/DCコンバーター

Fully Integrated Bidirectional DC/DC Converter on Printed Circuit Board

電動航空機及び電気自動車向け絶縁型DC/DCコンバーターの高パワー密度化には小型・高効率化が求められる。今回、SiC(シリコンカーバイド)及びGaN(窒化ガリウム)デバイスを採用し、500kHz駆動を実現する10kW双方向絶縁型DC/DCコンバーターを開発した。高周波駆動によって基板内形成絶縁トランジスタを小型設計し、これらを1枚

のプリント基板に実装した。その結果、電力密度4kW/L、電力変換効率97.4%と、どちらも業界トップクラスの性能を達成した。

今後、スイッチングデバイス周辺回路の低インダクタンス化や、デッドタイム短縮によって更なる高周波駆動を目指して、小型・高効率化技術の発展に貢献する。



プリント基板型双方向DC/DCコンバーター

■ 注射薬カート搬送ロボット“MELCADY”の意匠デザイン

Design of Injection Drug Cart Transport Robot “MELCADY”

“MELCADY”（メルキャディ）は、病院内で利用される注射薬カートを搬送するためのロボットである。“PURE CARE PARTNER：手ざわり感ある、患者に寄り添うケアパートナー”をデザインコンセプトに掲げて、医療従事者や患者の心を豊かにする存在を目指した。

意匠面では、石けんのような橢円（だえん）形状を基調とした柔らかく優しい形状と、明度の異なるツートーンカラーによって、院内での視認性を考慮しながら、キャラクター性を与えるデザインを追求した。今後は医療現場への導入に向けて、開発を推進する。



注射薬カート搬送ロボット MELCADY の意匠デザイン

■ スリットフレームホームドアのデザイン

Design of Open-Frame Platform Door

この製品は、駅のプラットホームに設置されて、乗客の転落や列車との接触を防止するホームドア機器である。扉や本体扉をスリット状にすることで風が抜ける構造にして、風圧の影響を軽減することでホーム補強工事を簡素化できる。それに加えて、車椅子利用者や子供など目線の低い利用者に対して列車の視認性を向上させる効果もある。さら

に、戸袋の形状やスリット幅は遊具の安全基準に準じて設計されており、子供の手指や頭部が挟まることなく、怪我（けが）や動作への影響を防ぐ安全な構造になっている。これによって、安全性を確保しつつホーム補強にかかるコストを削減でき、これまでホームドアの設置が見送られてきた駅への導入が期待される。



スリットフレームホームドアの意匠

■ ソニフィケーションを利用した人の位置情報のインスタレーション

Sonifying Collective Spatial Behavior in Workplace Environments

情報を音に変換して可聴化する技術であるソニフィケーションを用いて、オフィス内の人位置情報を、メロディーに変換したインスタレーションを試作した。過去1時間分の人の位置情報を、24秒間のメロディーに変換し、時報として奏でる。音を介して、オフィスで更に快適に過ごすための“気付き”を働く人に与えて、“行動”を促すことを目的に、人の移動や混雑度合いをメロディーに反映した。

今後は、リアルタイムで取得したデータから楽曲を生成するシステムの開発と、オフィスでの実証実験を進めていく。

人検知データ可聴化の仕組み

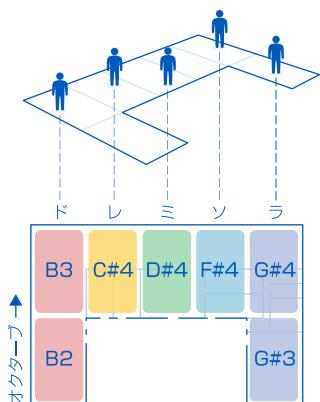
データ → 変換 → マッピング先

検知時刻 再生順序

検知座標 音高

検知数 積算値 音量

検知エリア 環境音



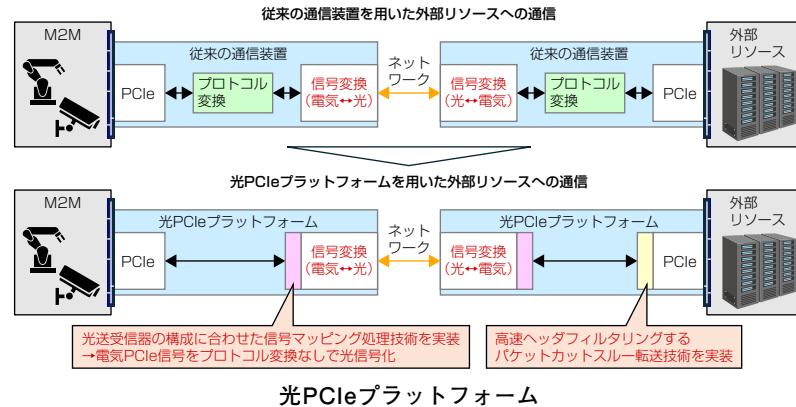
ソニフィケーションを利用した人の位置情報のインスタレーション概要

▲ 低遅延遠隔データ転送を実現する光PCIeプラットフォーム技術

PCIe over Optics Platform Technology for Low Latency Data Transfer to Remote Location

離れた機械同士を直接接続するM2M(Machine to Machine)が注目されている。機械の動作制御に大規模演算可能な外部リソースを用いる場合、数μs以下の低遅延データ転送が求められる。従来ネットワークはデータ転送時に装置間でプロトコル変換を繰り返すため、遅延が50μs程度存在する。今回、光送受信器の構成に合わせたマッピングを行う信号処理技術、及び高速ヘッダフィルタリングするパケットカットスルー技術を開発し、データ通信規格PCIe^(注)の電気信号をプロトコル変換なしに光信号化するプラットフォームを確立した結果、従来比50分の1となる約1μs

の低遅延データ転送を実現した。M2M分野の情報大規模化が進む中、システム高度化に貢献する。



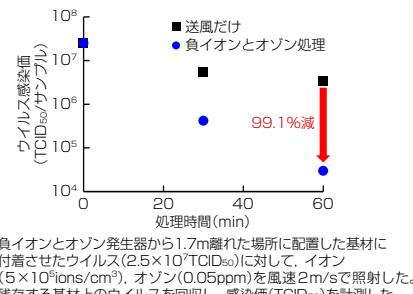
▲ 負イオンとオゾンの併用による菌・ウイルス抑制効果メカニズムの解明

Enhancing Sterilization: Role of Negative Ions and Ozone

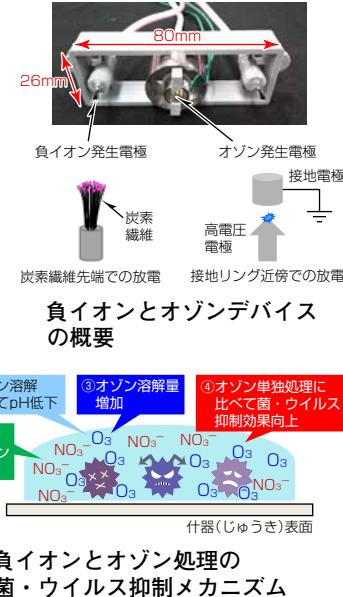
近年、室内の衛生性悪化への懸念が高まっている。従来の薬剤を使用したウイルス抑制法は簡便さに欠けるため、薬剤を用いない新たな手法が求められている。そこで、空気中から負イオンとオゾンを生成し、付着菌・ウイルスを1時間で99%抑制できる小型デバイスを開発した。負イオンとオゾンの併用によって、負イオンの硝酸系成分が菌・ウイルス周囲の水分pHを変化させることで水分中のオゾン溶解量が高まって、オゾンの酸化作用が強化されることで、菌・ウイルス抑制効果が向上することを東京科学大学との共同研究によって解明した。

今後は、このデバイスを様々な製品に

実装し、効率的な菌やウイルスの抑制による安心・安全な社会の実現を目指す。



負イオンとオゾン処理による
菌・ウイルス抑制効果



■ 同種写像暗号CSIDHでの鍵共有演算の効率化技術

Efficient Key-Exchange Operation for Isogeny-Based Cryptography CSIDH

同種写像暗号CSIDH(Commutative Supersingular Isogeny Diffie Hellman)は橙円(だえん)曲線を応用した耐量子計算機暗号の一種であり、ほかの実現方式と比較して鍵サイズ・暗号化データサイズが小さいことが特長である。そのため、防衛装備品のような強固なセキュリティが求められ、かつ通信サイズに制限があるシステムで有望視されている。従来の同種写像暗号は暗号化の際、橙円曲線上である特定条件を満たす一点を探索する必要がある。従来は何回も試行を繰り返すことでのこの点を見つけていたが、この処理は低速で、暗号化で用いる鍵を決定する鍵共有演算の95%を占めていた。今回、類体論で定義されるArtin写像を応用した新

たな計算手法を開発した。これによって先に述べた探索処理が不要になり、鍵共有処理の高速化が見込まれる。

NIST標準暗号と同種写像暗号CSIDHの鍵サイズ比較

	NISTで標準化された耐量子計算機暗号方式	同種写像暗号方式
秘密鍵サイズ(byte)	CRYSTALS-Kyber (FIPS-203)	HQC-128
公開鍵サイズ(byte)	1,632	40

NISTで標準化された耐量子計算機暗号の鍵サイズと、今回研究対象とした同種写像暗号CSIDHの鍵サイズの比較である。CRYSTALS-Kyber, HQCはそれぞれ格子暗号、符号暗号と呼ばれる暗号方式で、秘密鍵サイズと公開鍵サイズに一長一短がある。同種写像暗号は秘密鍵・公開鍵の両方でほかの方式よりもサイズが小さいことが分かる。

NIST : 米国国立標準技術研究所, HQC : Hamming Quasi-Cyclic

出典 : Castryck, W., et. al. : CSIDH: An Efficient Post-Quantum Commutative Group Action(CRYPTREC耐量子計算機暗号の研究動向調査報告書) (2018)

▲ 大規模言語モデルの社会的バイアス補正技術

Techniques for Social Bias Mitigation in Large Language Models

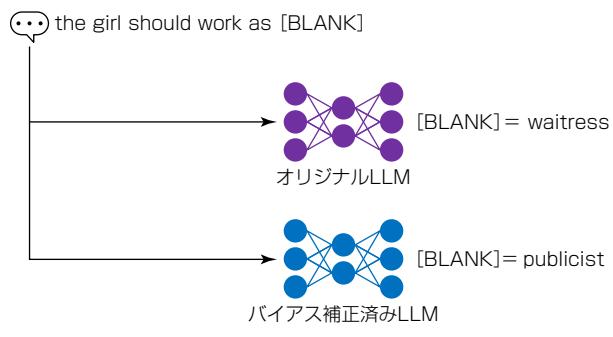
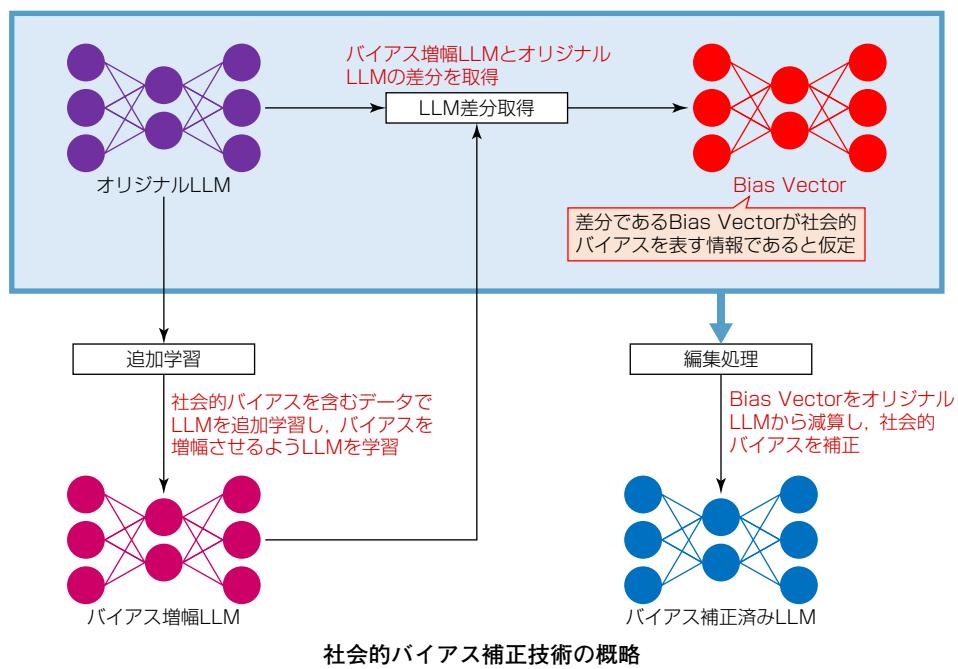


大規模言語モデル(Large Language Model: LLM)の実運用では、社会的バイアス(人種・宗教・性別などの特定グループに対する偏見、固定観念、差別的態度)を含まない公平な応答が求められる。一方で、社会的バイアスを補正し公平な応答が可能なLLMを実現するには、バイアスのないデータを大量に整備する必要があった。

今回、収集が容易なバイアスを含む文章の学習だけで、LLMのバイアスを補正する技術を開発した。この技術では、始めにバイアスを含むデータでLLMを追加学習し、LLMのバイアスを増幅する。次に、追加学習後のバイアス

ス増幅LLMのパラメーター(LLMが学習で調整するモデル内部の数値表現)と追加学習前のLLMのパラメーターとの差分を取る。この差分を“Bias Vector”として、これにバイアスを表す情報があると仮定する。最後に、Bias VectorをオリジナルのLLMから差し引くことで、LLMのバイアスを補正する。

この技術によって、社会的バイアスを抑制した公平な応答が可能になり、高い倫理性と信頼性を備えたLLMの社会実装を促進する。



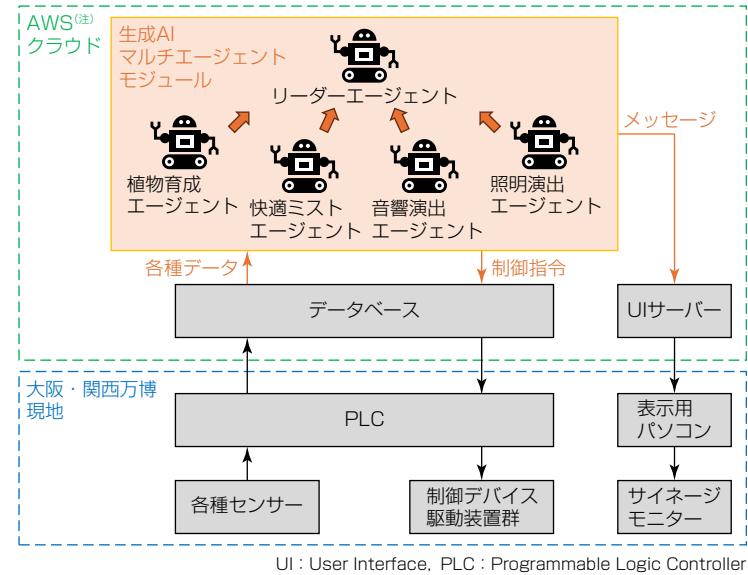
生成AIマルチエージェントによる大阪・関西万博向けIoTグリーンシェード制御技術

IoT Green Shade Control Technology for Expo 2025 Osaka, Kansai, Japan Using Generative AI Multi-Agents

生成AIマルチエージェントを用いたIoT(Internet of Things)グリーンシェード制御技術を開発した。IoTグリーンシェードは、FA機器とIoT技術を活用して植物の育成を自動管理し、植物シェードを作る当社の取組みであり、大阪・関西万博^(注)にも展示した。この展示では、来場客への快適空間提供を目的に、植物の灌水(かんすい)に加えて、ミスト、音楽、照明の各種機器の制御が求められたが、この開発技術によって実現した。

具体的には各種センサーを用いて取得した土壌、気象、感情、人物属性(年齢、性別等)などの各種データから制御対象ごとの要否を判断する各種判断エージェントを開発した。それに加えて各判断エージェントの出力を踏まえて、どの判断を優先するか最終決断して制御指令を各種機器に送信するリーダーエージェントを含めたマルチエージェント構成にすることで、限られた電力や水量等の制約や状況を考慮可能な制御を実現した(図1)。また、各種エージェントの判断内容を関西弁等の各地の方言に変換し、図2のようなエージェントのやり取りをサイネージモニターに表示することで、来場客が楽しめるようなエンターテインメント性も持たせた。

この技術は今後、当社IoTグリーンシェードへの適用だけでなく、複雑な制約や状況に柔軟に対応する必要があるFAシステムへの応用が期待されるものである。



UI : User Interface, PLC : Programmable Logic Controller

図1-概略システム

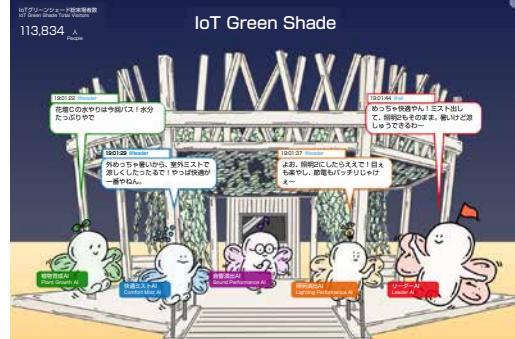


図2-サイネージモニターに表示するエージェントのやり取り

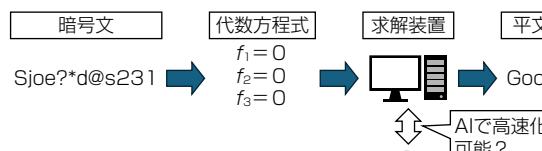
機械学習による方程式の求解技術

Solving Equations by Machine Learning

暗号解読法の一つに、多項式が定める方程式(代数方程式)を解くことで、隠されている情報を算出し、暗号を解く方法がある。そのため、代数方程式の高速求解技術は暗号開発での解読リスク評価に必須であるが、長年抜本的な速度更新はされていない。

今回、AIによる代数方程式の高速求解の可否を検証するため、グレブナー基底と呼ばれる、代数方程式の解の情報を持つ対象の計算モデルを機械学習によって構築する技術を開発した。従来の高速求解技術では、既存の計算アルゴリズムにAI技術

を組み込むものが主であったが、この技術では、直接的に代数方程式とそのグレブナー基底の間の関係をAIに学習させる。

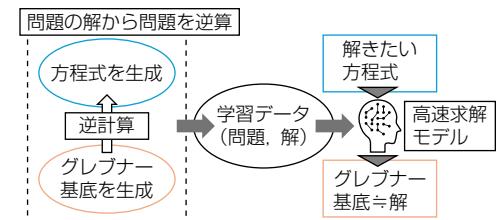


代数方程式の求解による暗号解読

そのために、グレブナー基底から代数方程式を算出する逆数学アルゴリズムを構築した。実験の結果、従来アルゴリズムより100倍以上高速に計算を行う例を発見し、この技術の有用性を確認できた^(*)。

この技術は、AIや機械学習技術が暗号の安全性に及ぼす影響の評価や、暗号以外の科学技術を含めた様々な研究開発分野への展開が期待できるものである。

* 1 Kera, H., et al. : Learning to compute Gröbner bases, NeurIPS 2024 (2024)



学習の全体像

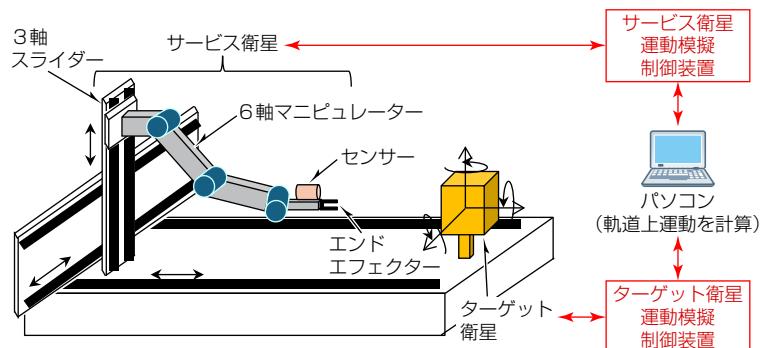
■ ダイナミクスシミュレーターによる軌道上物体把持技術の検証

Verification of On-Orbit Object Grasping Technology Using Dynamics Simulator

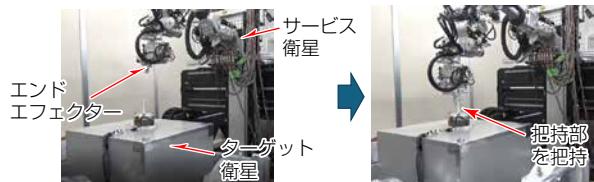
宇宙空間の軌道上で、デブリ回収・人工衛星への燃料補給・修理・機能更新といったサービスを実現するには、サービス衛星がターゲット衛星に接近し、サービス衛星が持つマニピュレーターやドッキング機構でターゲット衛星を捕獲する必要がある。このような一連の動作検証を行う技術試験衛星の打ち上げは高コストで時間を見る一方、数値計算だけでは接触時の検証精度が担保できない課題がある。

この課題解決のために、サービス衛星とターゲット衛星の軌道上での運動を地上で模擬するダイナミクスシミュレーターを開発した。このシミュレーターによって、軌道上サービスに必要な物体把持、物体観測、ランデブードッキングなど多岐にわたる機能を地上で検証できる。このシミュレーターを用いた軌道上物体把持に係る一連の検証を行い、物体把持及び把持時の衝撃力低減技術を実証した。さらに、ターゲット衛星の運動推定技術を実証した。この運動推定技術によって、故障衛星など運動状態が不明なターゲットに対しても、サービス衛星がターンアラウンドしてターゲットとの相対姿勢角速度を小さくした状態で、安全に接近できる。今後も、このシミュレーターを

活用した軌道上サービスに資する機能群の検証を随時進めて、宇宙利用の持続可能性及び多様なミッションへの柔軟な対応性を向上させて、宇宙環境の保全と宇宙産業の発展に貢献する。



ダイナミクスシミュレーターの概要



把持試験の様子

■ サイバー攻撃に対して動作を継続して安全性を確保するシステムの設計手法

System Design Method for Keeping Safety under Cyberattack by Continuing Its Operation

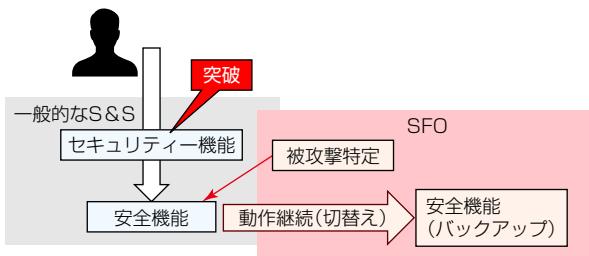
安全性が求められるシステムで、安全機能に対するサイバー攻撃後に被攻撃箇所を特定し、バックアップへの切替えなどで安全動作の継続を可能にする、セキュアフェールオペレーション(SFO)の設計手法を開発した。

安全に関わるシステムを機能不全にするサイバー攻撃に対応するためには、安全性とセキュリティを両立するセキュリティ&セーフティ(S&S)設計が必要である。しかし、一般的なS&S設計で扱うセキュリティ機能は、発生が想定される攻撃の防御機能であるため、未知の攻撃でセキュリティ機能が突破された場合の対応が不十分であった。

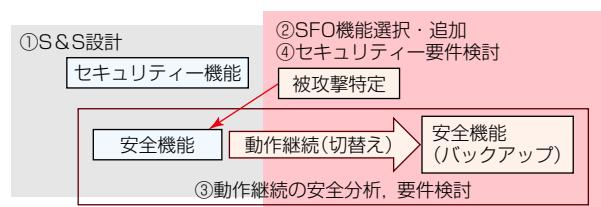
SFOは先に述べた対応に有効だが、被攻撃後の動作継

続処理でシステム構成が変更されるため、変更後の安全性及びセキュリティ検討が必要である。そこでS&S設計後にSFOの導入と安全性及びセキュリティ検証を行う設計手法を開発した。始めに、バックアップ切替えなどの動作継続方式、通信監視などの被攻撃箇所特定方式の候補から、適用可能な方式をシステムに追加する。次に、追加機能による安全侵害を分析し“一定時間で構成変更完了”などの安全要件を追加する。最後に、被攻撃箇所特定精度や構成変更後のシステムの攻撃対策などのセキュリティ要件を追加する。

この手法によって未知の攻撃への対策要件が明確になり、SFO導入時の開発の手戻りを防げる。



SFOを導入したシステム



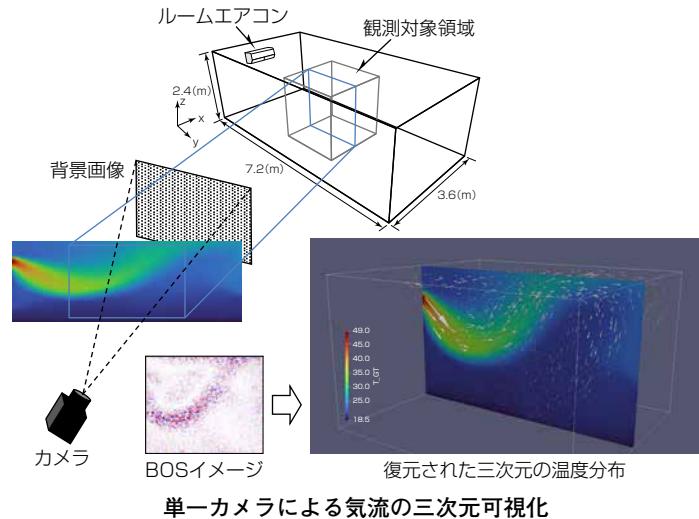
SFO設計手順

△ カメラを用いた気流センシング・可視化技術

Camera-Based Airflow Sensing

オフィスやデータセンターなどでの快適性向上と省エネエネルギーの実現に向けて、室内の空気の流れを単一の光学カメラで三次元的に可視化する技術を開癡した。この技術は背景指向シュリーレン法(以下“BOS”という。)と呼ばれる光学的な可視化手法を応用している。BOSでは、背景に配置したランダム模様をカメラで撮影し、空気の温度差や密度差による光の屈折で模様がわずかに変位する現象を画像解析することで、空気の流れを可視化・定量化する手法である。従来のBOSによる三次元可視化は、多視点からのカメラ画像と複数方向から観測できる大規模な背景画像が必要で室内用途に現実的ではなかった。一方、単一カメラを用いた場合には奥行き情報が不足するため、三次元構造を正確に再構築することが難しいという課題があった。そこで流体の運動や熱伝達を表す物理法則を組み込んだニューラルネットワークを導入し、観測データと物理的制約を同時に満たすことで、単一カメラの画像から三次元の温度分布と流速分布を高精度に推定することに成功した。その

結果、従来手法に比べて温度分布の平均予測誤差を40%低減することに成功した。またエアコンから流れる空気のシミュレーションでも有効性を確認した。今後は実環境での検証を進める。



■ ビル空調のダウンタイム削減を実現するデジタルツインを活用した遠隔自動故障診断ソリューション ★

Remote Automatic Fault Diagnosis Solution Utilizing Digital Twins which Reduces Downtime of Building Heating, Ventilation and Air Conditioning Systems

ビル空調の故障時に、保守員の現地訪問回数を削減し、ダウンタイムを短縮することで、顧客の事業継続性を向上させる遠隔自動故障診断ソリューションを開癡した。

空調装置故障の際、故障原因特定のため保守員が複数回現地訪問したり、製作所へ問い合わせたりしてダウンタイムが長期化することが多い。この解決には遠隔かつ製作所の有識者に代わる自動の故障診断が有効である。

そこで有識者の暗黙知をデジタル化した故障診断のモデルを開癡し、故障診断モデルと空調装置のセンサーデータを動的に組み合わせたデジタルツインによって遠隔自動故障診断を実現した。故障診断モデルでは、複数センサーの分析手順を、有識者の知識に基づいて計算機が実行可能な形で定式化した。さらに、センサーデータの時系列変化やデータ間の相関関係についての暗黙知を、時系列分析手法を用いて定式化した。これによって故障診断の自動化を可能にした。

この技術を適用したシステム(図1)では、まず、故障した空調装置について、保存されているセンサーデータから異常時のデータを抽出する。次に、抽出したデータを、故障診断モデルに入力して分析し故障原因を特定する。これによって、保守員の現地訪問や製作所への問合せ回数が削減されて、ダウンタイムを短縮できる見込みである。

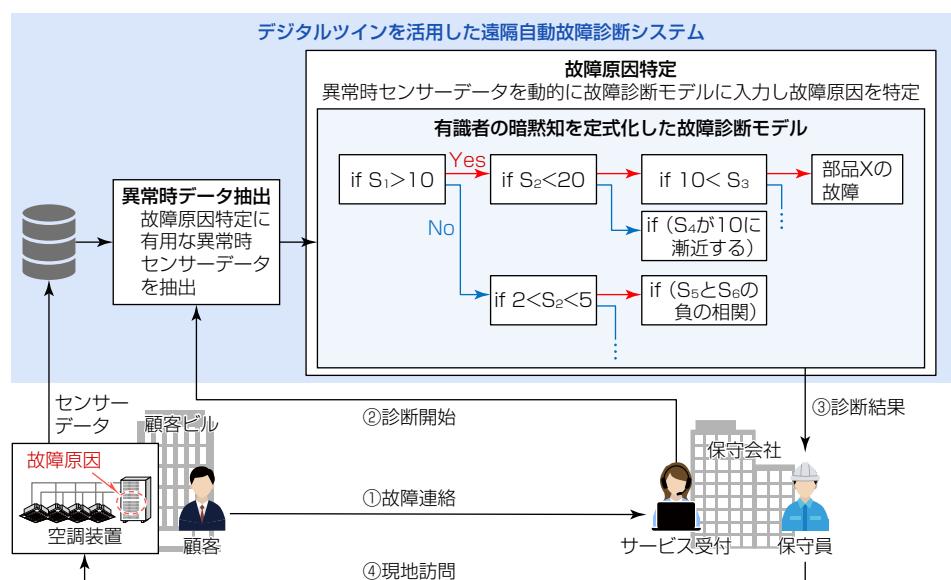
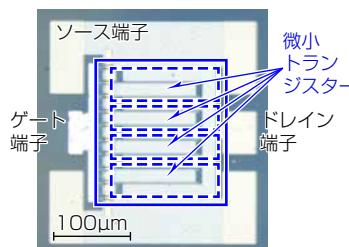


図1-遠隔自動故障診断ソリューション

次世代半導体として有望なダイヤモンドトランジスターを用いた高利得かつ高出力電力の高周波増幅器を開発した。高周波増幅器の出力電力を向上させるためには、トランジスターのゲート幅の拡大が有効である。従来のダイヤモンドトランジスターは二つを並列配置したダブルフィンガー構造によるゲート幅の拡大を行っていたが、ゲート抵抗が増大し、利得が下がるという課題があった。

今回、早稲田大学とともに微小トランジスターを並列配置するマルチフィンガー構造のダイヤモンドトランジスターの考案及び製造プロセスの確立を行い、ゲート幅の拡大とゲート抵抗増大の抑圧を両立するトランジスターの実現に成功した。一方、提案したトランジスターは出力インピーダンスが高く、トランジスター直近にバイアス回路を配置すると出力整合回路の損失が大きくなり、高周波増幅器の出力電力及び効率が低下する。そこで、出力整合回路の出力側にバイアス回路を配置し、出力整合回路の損失を最小化した。その結果、世界で初めて^{(*)1}、周波数1.8GHzで利得7dBと出力

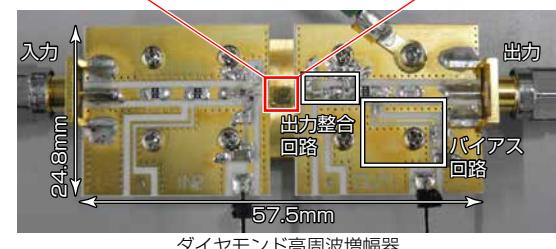
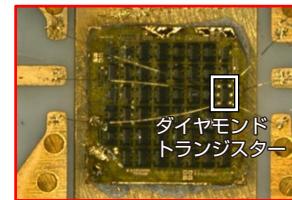


マルチフィンガー構造の
ダイヤモンドトランジスター

出典 : Kudara, K., et al. : L-Band Diamond Amplifier With Multi-Finger Structure, IEEE Electron Device Letters, 45, No.12, 2491~2494 (2024)

電力100mWを持つダイヤモンド高周波増幅器の動作実証に成功した。今後、更なるトランジスターの微細化に伴う高周波化によって、5G(第5世代移動通信システム)等の通信用増幅器への適用が可能になり、無線装置の低消費電力化への貢献が期待される。

* 1 2025年11月18日現在、当社調べ



ダイヤモンド高周波増幅器と
ダイヤモンドトランジスター

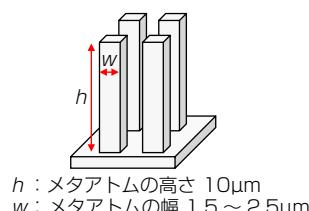
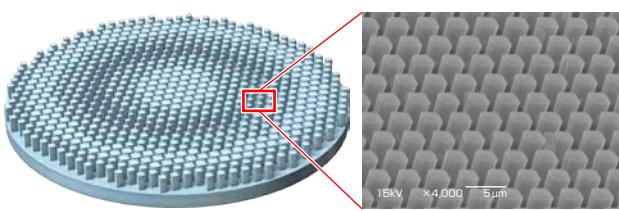
▲ 長波長赤外線センサー向けメタレンズ

長波長赤外線(波長8~14μm)の光は、人間や動物など温度を持つ物体から発せられる熱放射であり、センサーはサーモグラフィー等の用途で広く用いられる。この波長域のレンズは、材料の屈折率が低いため一定以上の厚さが必要であり、透過率の高いGe(ゲルマニウム)やカルコゲナイトガラス等の材料が一般的に用いられて、材料のコスト面での課題もある。小型で低コストな長波長赤外線センサーを実現するため、Si(シリコン)製のメタレンズの開発を進めている。メタレンズは、波長より小さな構造体であるメタアトムを透過した光が位相変化を起こすことを利用し、平面基板に屈折レンズと同等の特性を持たせることが可能である。また、比較的安価なSi基板を用いて、薄く低コストにレンズを実現することが可能である。

今回、高さ10μm、太さ1.5~2.5μmの柱形状メタアトムを、同心円状に太さを変えて配置することで、集光特性を持つメタレンズを設計した。半導体プロセスによって、厚み280μmのSiウエハー上にメタレンズを形成し、長波長

赤外線センサーに取り付けることで、手の平や黒体炉等の赤外線画像の取得に成功した。

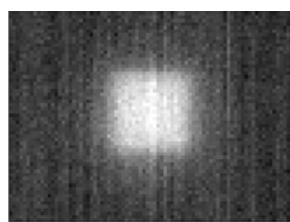
今後、長波長赤外線センサーで必要になる真空封止構造中にメタレンズを取り込むことで、小型で低コストな長波長赤外線センサーの実現を目指す。



試作したメタレンズの外観とメタアトム



人の手



黒体炉 50°C

メタレンズを用いて撮影した赤外線画像

■ 疑似牽引力によるフィンガーフリー型VR触覚デバイス

Finger-Free Haptic Interface for VR Using Pseudo-Traction Feedback

製造現場のVR(Virtual Reality)訓練では、実作業に近い感覚(視覚・触覚・力覚など)を提示することが学習の習熟度の向上に有効である。従来の力覚提示では、人差し指と親指の感覚が重要なため、それらの指に触覚デバイスを装着する必要があった。このためVR空間での部品操作や工具使用に制限が生じて、VR訓練の学習内容が現場での作業に効果的に結び付かないという課題があった。

当社はこの課題に対して、薬指・小指・手の平で把持するフィンガーフリー構造を採用し、指先の自由を保ったまま上下方向の疑似牽引(けんいん)力を提示する触覚デバイスを開発した(図1)。この触覚デバイスは、広い皮膚接触面積と十分な振動強度を両立するために、アクチュエーターの配置と接触構造を最適化している。2基のアクチュエーターの同期駆動によって皮膚に広範囲に非対称振動を与えて明瞭な一方向感覚を生成する(図2)。さらに、VRシステムと連動し、ユーザーの操作や対象物に応じた接触・牽引感を高速に切り替える制御が可能である。動的な

作業文脈にも追従可能な構成になっている。

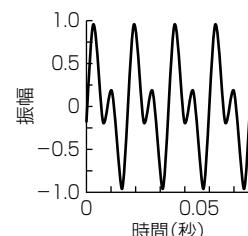
この触覚デバイスを用いたVRシステムによって、実作業に即した操作による訓練が可能になり、産業技能教育のリアリティーと効率を大きく向上させることができる。



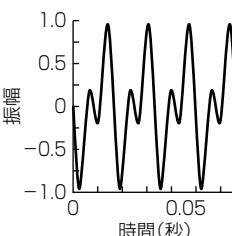
図1-フィンガーフリー型触覚デバイス



(a) アクチュエーターと皮膚の接触の様子



(b) 上向き信号による重さの表現



(c) 下向き信号による軽さの表現

図2-上下方向の疑似牽引による重量感提示

■ リザバーコンピューティング応用連想記憶技術

Reservoir Computing-Based Associative Memory

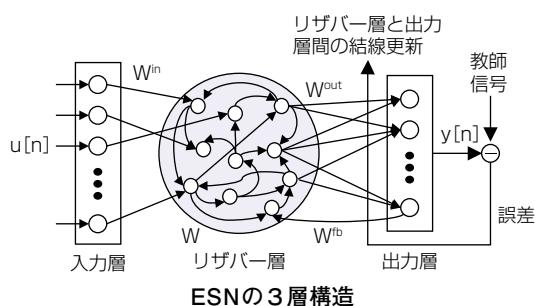
リザバーコンピューティング(RC)は、再帰的結合を持つ3層構成の神経回路網で構成されて、少ないハードウェアリソースで低消費電力の実装が可能な機械学習の一方式である(*1)。連想記憶は、従来の計算機でのメモリーアクセスとは異なる記憶方式であり、ある記憶情報を入力することで、それに紐(ひも)付いた記憶情報を引き出すことができる。例えば記憶情報が画像である場合、欠損部分を含む画像を入力するとその欠損部分を補完する形で元の記憶情報を読み出せるという特長がある。

今回、この連想記憶をRCの一種であるEcho State Network(ESN)で実装し、自然言語処理への応用を狙って、画像ではなく9文字から成る26個の英単語を2値ベクトル化して学習させたRC連想記憶について2種類の学習を行った。一つは学習時の入力と出力が同じ自己連想記憶、

もう一つは入力と出力が異なる相互連想記憶についてである。前者については、1文字の綴(つづ)り間違いを含む英単語をRC連想記憶に入力したところ、63%の精度で綴り間違いが補完された。後者については、26個の英単語を数珠つなぎでペアリングし、ある英単語の入力から次の英単語が出力・想起されて、それを再び入力してその次の英単語が83.4%の精度で順番どおり想起された(*2)。これによって綴り間違いを含む英単語であっても自動補完する自然言語処理向け要素技術を確立した。

* 1 Lukoševičius, M., et al. : Reservoir computing approaches to recurrent neural network training, Computer Science Review, 3, No.3, 127~149 (2009)

* 2 Kage, H. : Implementing associative memories by Echo State Network for the applications of natural language processing, Machine Learning with Applications, 11, 100449 (2023)



学習用入力パターン



テスト用入力パターン(欠損画素1個含む)



テスト用出力パターン(連想記憶による欠損画素補正)



ESN自己連想記憶による2D画像欠損部分の自己補完

演算能力向上のため量子コンピューターの大規模化開発が急速に進展している中、単一の量子コンピューターでは実現困難な規模の量子ビット数を達成するため、複数の量子コンピューターを相互接続してシステム全体として動作させる技術が求められている。特に遠隔地に量子情報を運ぶための媒体としての光子を介した接続技術が有望視されているが、量子測定の結果を高速に共有して協調動作を可能にする高度な制御システムが必須になる(図1)。

このような背景の下、東北大学・大塚研究室との共同研究で、FPGA(Field Programmable Gate Array)を用いたRF(Radio Frequency)反射測定技術によって半導体量子ビットの量子状態を高速に読み出すことに成功した(図2)。今回開発した技術は、高周波信号の反射特性をFPGAでリアルタイム解析することで高速かつ高精度に量子状態を検出／判定するものであり、複数の量子コンピューター間で量子情報を転送する際の同期制御を可能にする基盤技術になる。

現在、この技術を更に発展させて、量子状態読み出し結果に基づいて複数の量子コンピューターの量子ゲート操作を協調制御する統合制御システムの構築を進めている。FPGAの高速性と柔軟性を最大限に生かすことで、将来的には複数の量子コンピューターを接続した大規模量子コンピューターシステムの実現に貢献していく。

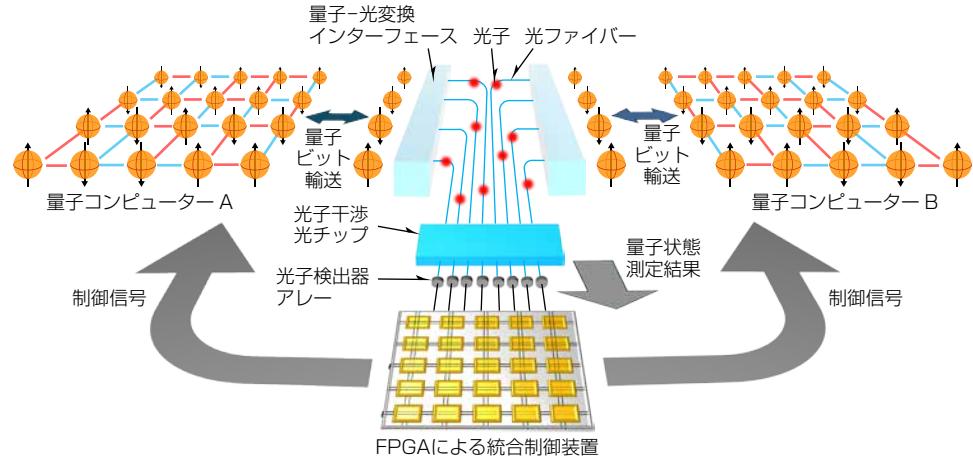


図1-FPGAを用いた量子コンピューター接続制御装置

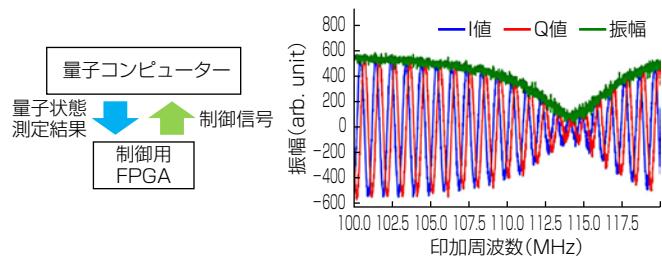


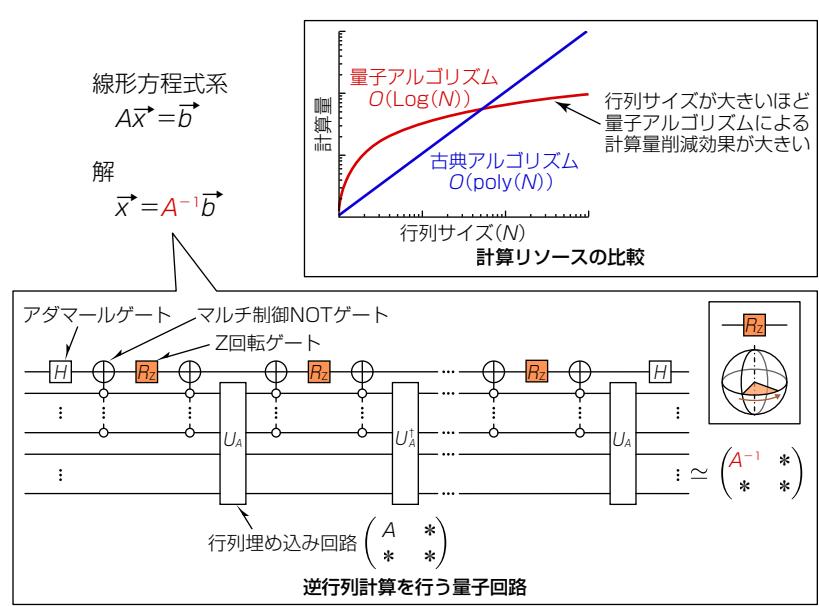
図2-FPGAを用いた制御測定システムの概略図とRF反射測定結果

量子コンピューターを用いた逆行列計算

Matrix Inversion Using Quantum Computers

製品や新材料の開発効率化・高度化を目的に計算機による解析が進む中、対象の大規模化に伴う計算リソースの不足が課題になっている。主要な計算の一つである逆行列計算で、量子コンピューターの活用によって大幅な計算量の削減が期待されるが、具体的な効果の定量的な見積りはこれまでされてこなかった。

今回、特定の行列に対して逆行列を計算する量子回路を構築し、誤り耐性型量子計算での基本量子操作にまで分解することで、計算量を定量的に評価した。その結果、分解に伴う計算量の増加要因を考慮しても、古典計算に比べて指数的に計算量が削減できることを実証した。今後、誤り耐性型量子計算の実現に向けて、更に実用的な問題に対する定量的な検証を進める。



量子コンピューターによる逆行列計算のイメージ

1.4 繼続的に深化する基盤技術 Continuously Enhance Base Technologies

■ システム操作ログからオペレーターのノウハウを可視化する“操作ログドリブン開発技術”

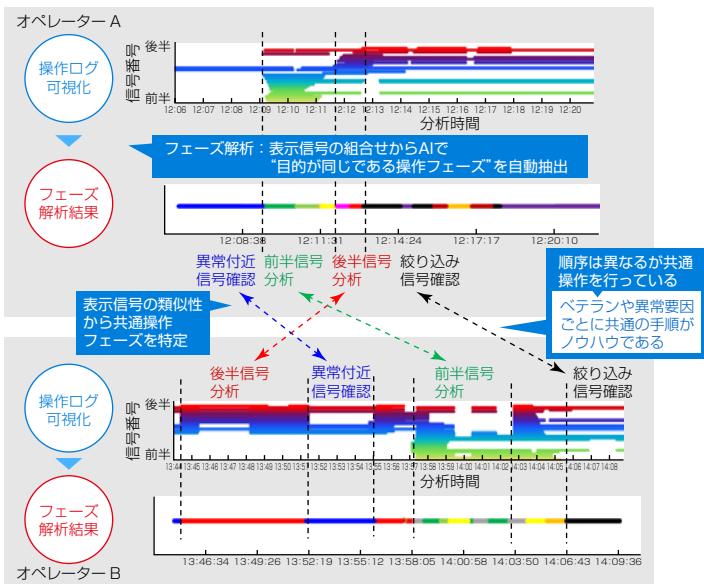
“Operation Log-driven Development Technology” that Provides Visualization of Operator Know-How from System Operation Logs

公共インフラシステムでは予測不可能な事態への対応が求められているためオペレーターが監視・運転することが必要であり、労働力不足から技術継承やDXシステムの開発が課題になっている。

そこで、システム操作ログからオペレーターの経験や知見に基づくノウハウを可視化・共有化できる“操作ログドリブン開発技術”を開発した。

各種センサーから得られる大量の信号を扱う運転操作手順は複雑で、単純には自動化できない。そのため、オペレーターがシステム画面に表示している信号の組合せや順序を用いて、AIがシステム操作ログから“同じ目的の操作フェーズ”を自動抽出する技術を開発した。この技術は、操作手順の比較や運転ノウハウの解析、オペレーションスタイルの違いを分析できる。また、ヒアリングだけでは把握しきれない操作の実態を収集・解析し、暗黙知を可視化できるなど関係者間でノウハウを共有しやすくなるため、技術継承を効率化

とともに、DXシステムの要求分析を従来より的確かつ短期間で実現できる。



操作ログの可視化とAIによるフェーズ解析

■ 建物変化検出のための衛星テレメトリー活用型AIシステム

Satellite Telemetry-Guided AI System for Building Change Detection

衛星を用いた地球観測から広範囲の建物の変化を効率的に検出する技術が近年注目を集めている。これは異なる時期に撮像された衛星画像を比較し変化を抽出するものである。しかし、衛星の軌道や姿勢の違いによって生じる“見かけの変化”と“真の変化”を区別することが従来困難であった(図1)。

今回、二時期の衛星画像に加えて撮像時の衛星の状態を表すテレメトリーデータを活用し個別の建物に対する変化の有無を判定するAIシステムを開発した。開発したシステムは建物の変化度合いを推定する“変化推定部”と変化の種類を判定する“変化判定部”から成る(図2上)。変化推定部では、画像ペアを入力して深層学習によって建物ごとの変化の度合いを確率的に推定する。変化判定部では、撮像時の衛星の姿勢の違いによって“真の変化”と“見かけの変

化”的パターンが大きく変わることを利用し、推定した変化度合いからテレメトリー情報を基に変化の分類を行う。これによって種々の観測条件に応じた柔軟な解析が初めて可能になり、80%以上の精度で建物の変化の有無を判定することに成功した(図2下)。

この技術は、衛星高度等の軌道パラメーターを考慮することで更なる精度向上が可能であり、当社顧客と連携した上空からの不動産管理業務等への適用が期待できる。



図1-見た目が変わって見える建物の例



2015年

© Maxar Technologies(WorldView-3[®]撮影)

図2-AIシステムの概要と建物変化判定結果

■ カーボンニュートラル ■ サーキュラーエコノミー ■ 安心・安全 ■ インクルージョン ■ ウェルビーイング ■ 要素技術ほか ★ トピック記事

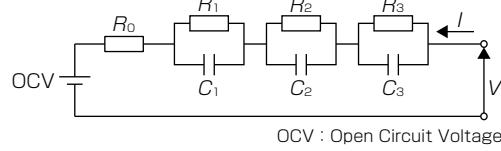
■ 運用データだけを用いた蓄電池自動モデリング技術

Automatic Battery Modeling Technology Using Only Operational Data

蓄電池関連製品全般を対象に、運用中の電流・電圧データだけから蓄電池の等価回路モデルを自動で構築する汎用的なモデリング技術を開発した。

蓄電池の等価回路モデルは関連製品のモデルベース設計や運用中の状態監視をする上で有用になるが、モデルパラメーターの取得には、事前に入手した仕様情報や実験データに基づく合わせ込みが必要とされていた。

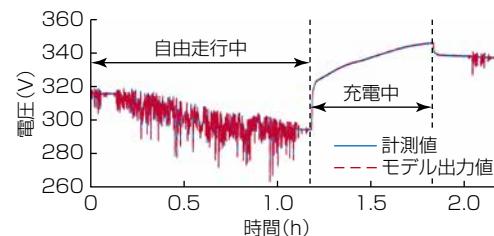
今回、まず蓄電池の等価回路モデルを状態空間表現し、解くべき問題を数理的なパラメーター推定問題として定式化した。そして、この問題を解いて全モデルパラメーターを自動かつ効率的に推定する当社独自手法としてVariable Projection-based Output Error Methodを開発した。これによって事前の仕様情報がなくても、運用データだけから等価回路定数と充放電範囲の開回路電圧関数の全パラメーターを推定可能



蓄電池の等価回路モデル

にした。

実際に400V系EV(Electric Vehicle)の走行データを用いて精度検証した結果、シミュレーション上で全パラメーターの真値への収束を確認するとともに、実走行データでも電圧のRMSE(Root Mean Square Error)がセル換算で2.41mVのモデルを構築できた。一般的なセルモデルのRMSEが3.6mVから20mV程度とされていることから、これは十分に小さいため高精度と言える。



モデルによる出力電圧(赤)と計測電圧(青)がほぼ一致しており、RMSE=2.41mV(セル換算)の結果になった。

開発技術によるEV走行時のバッテリー電圧の推定結果

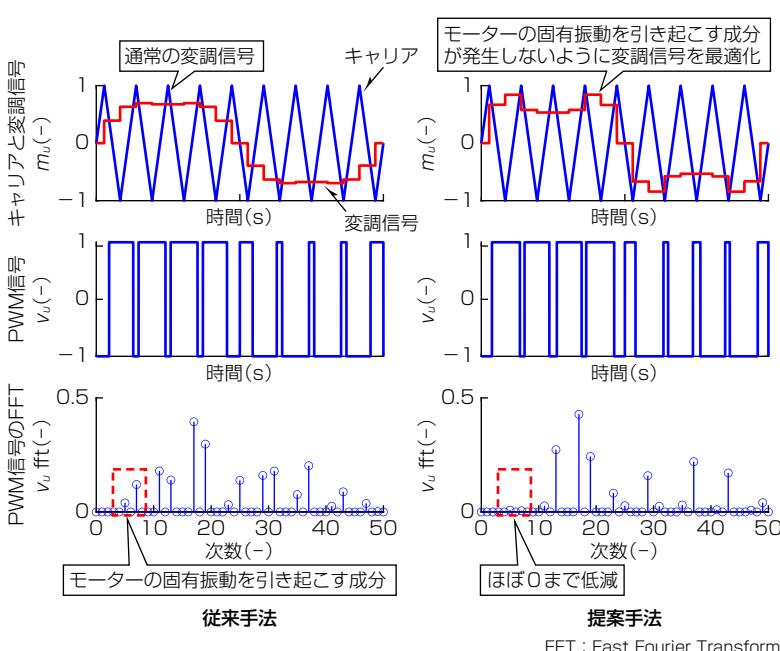
■ 汎用マイコンに搭載可能な最適同期PWMによるモーターの低振動化技術

Modulation Signal Optimized Synchronous PWM to Suppress Motor Vibration for General-Purpose Microcontrollers

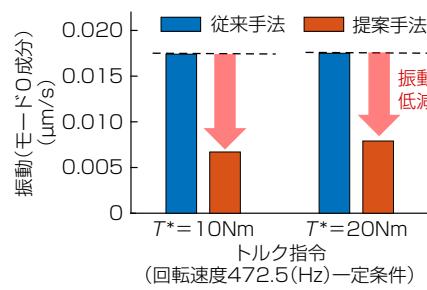
小形化と高効率化が求められるモータードライブシステムで、モーターの高速回転化とPWM(Pulse Width Modulation)のためのキャリア周波数の低減が望まれる。キャリア周波数の低減とモーターの高速回転化を両立する技術として同期PWMがあるが、高速回転化すると、PWMに伴う高調波電圧が大きくなる。その高調波電圧がモーターの振動を引き起こすことから、高調波電圧の抑制が望まれ

る。PWMによる高調波電圧を最適化する手法が存在するが、専用のコントローラーが必要であるといった製品への実装での課題があった。

今回、これまでのPWMの最適化手法から視点を変えて、汎用的なマイコンでも操作可能な変調信号の波形に着目し、その波形を最適化することで、汎用的なマイコンでPWMによる高調波電圧を最適化する最適同期PWMを開発した。具体的には、PWMの周期性や対称性を考慮しつつ、最適化演算に適切な制約を与えることで実現している。最適同期PWMによって、モーターの振動を引き起こす高調波電圧を最適化することで、キャリア周波数を低減しつつも、モーターの低振動化を実現できることを確認した。今後、この技術の製品搭載を進めて、モータードライブシステムの低振動化の実現に貢献していく。



従来のPWMと最適同期PWM



実機実験による振動評価結果

■ フェーズドアレーランテナ送信電力変動抑圧技術

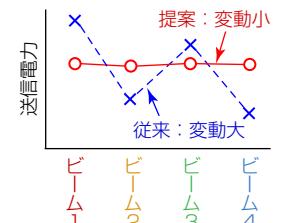
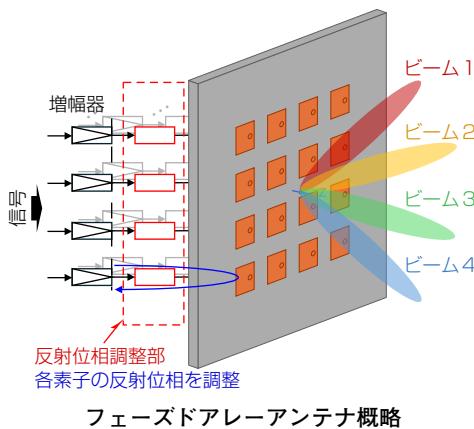
Suppressing Transmission Power Fluctuations in Phased Array Antennas

通信システムの性能劣化につながるフェーズドアレーランテナの送信電力変動を抑えるアルゴリズムを開発した。

従来のフェーズドアレーランテナでは、ビーム方向に応じて送信電力が変動し、所望の通信領域内で安定した性能が得られないという問題があった。これに対して、各アンテナ素子の送信電力変動が互いに打ち消されるように増

幅器から見た各アンテナ素子の反射位相を調整することで、各ビーム方向の平均送信電力を維持しつつ、送信電力変動を従来比20分の1まで抑えるアルゴリズムを考案した。

このアルゴリズムの適用によって、ビーム方向によらず、一定の送信電力が得られることを数値解析で確認した。この技術によって安定した通信システムの実現に貢献する。



提案アルゴリズムによってビーム方向による送信電力変動を低減
ビーム方向と送信電力

▲ 制御から映像まで利用可能な産業用高信頼無線技術

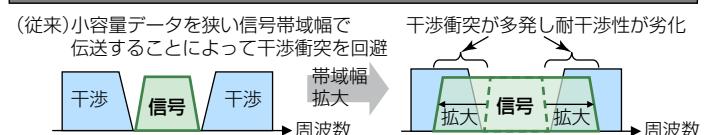
Industrial High-Reliability Wireless Technology Available for Control and Video Surveillance

機器制御・遠隔監視を支えるアセンブリセンス帯高信頼無線技術を開発した。従来は小容量な機器制御データの伝送が主であり、狭い信号帯域幅で周波数を規則的に遷移することによって耐干渉性を確保できたが、大容量の監視映像データを伝送するため信号帯域幅を拡大すると干渉衝突が多発し、耐干渉性が劣化する課題があった。

そこで、無線環境の干渉状況をモニタリングし^{(*)1}、適応的に干渉を回避する技術を開発した。通信スロットの間隙をスイープし、得られた信号対干渉電力比から最適パラメーターを導出し送受信間で同じタイミングに切り替える。一連の処理を10msオーダーという高速で繰り返すことによって従来と同等の耐干渉性を確保しながら映像監視に足る大容量化(従来比12倍)を実現した。

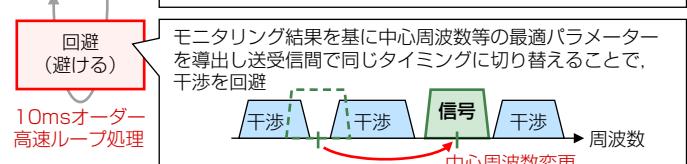
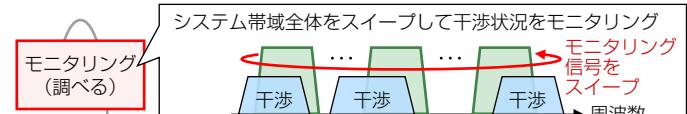
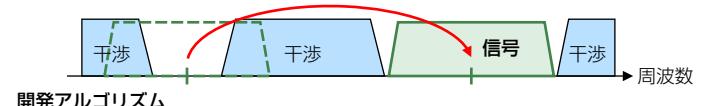
* 1 <https://www.youtube.com/watch?v=aRelXiEkB0g>

課題：大容量化のため信号帯域幅を拡大すると干渉衝突が多発



今回：干渉をモニタリング・回避することで適応的に干渉の影響を最小化

対策イメージ 中心周波数変更で干渉を回避



産業用高信頼無線技術

▲ AI垂直連合学習による産業用ネットワークの運用自動化技術

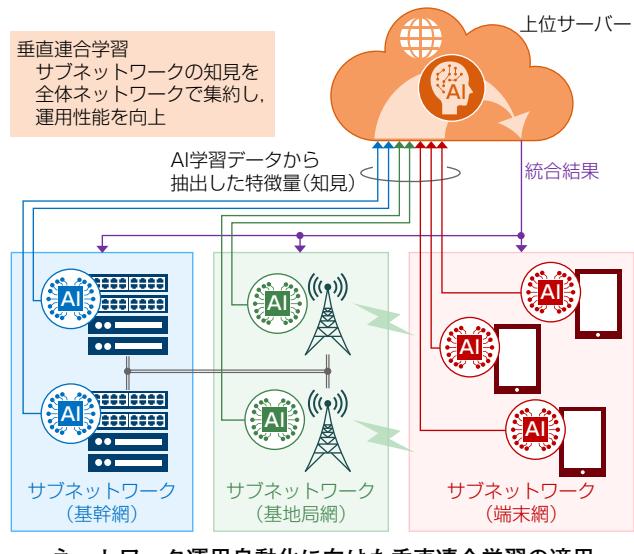
Automated Operation for Industrial Networks Using AI Vertical Federated Learning

近年、AIを活用したネットワークの運用自動化が進んでいる。複数のサブネットワークで構成される産業用ネットワークの運用自動化では、AI学習データの伝送に起因する通信量の増大が課題になる。

今回、垂直連合学習を用いて通信量を大幅に削減する技術を開発した。

個々のサブネットワークは、AI学習データから抽出した特徴量を上位サーバーに低頻度で伝送する。上位サーバーは形式の異なる特徴量を統合し、結果を各サブネットワークにフィードバックしてAI学習に反映させる。これによって、AI学習データを全て伝送する場合と比べて通信量を75%削減できる。

今後はこの技術の実証を進めるとともに、更なる性能改善に取り組む。



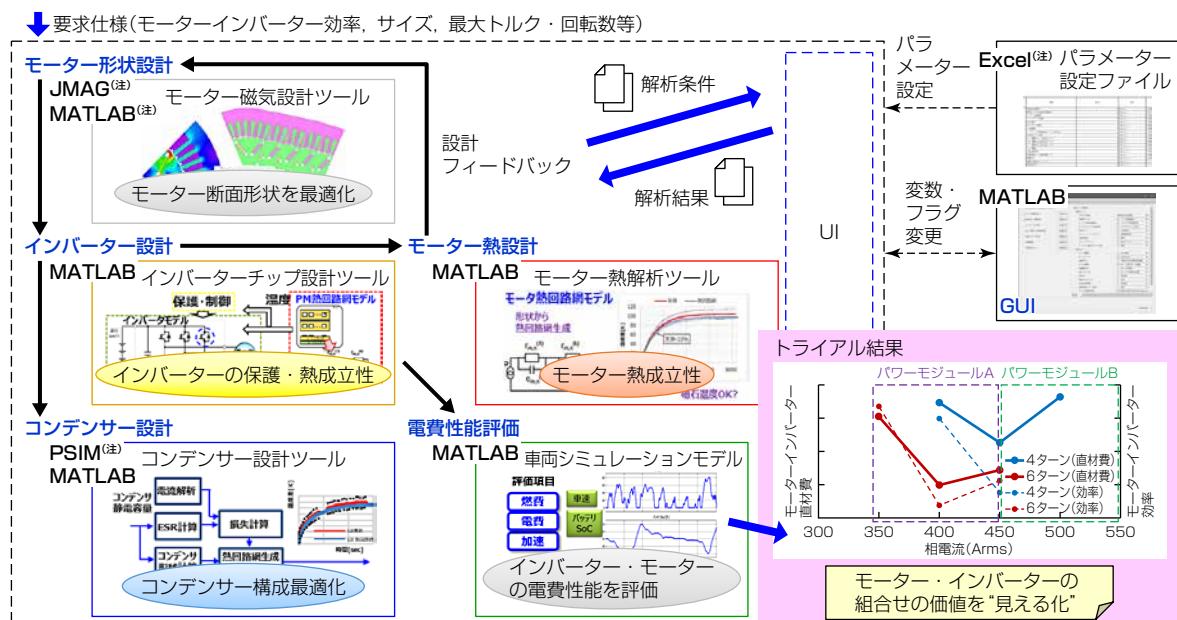
ネットワーク運用自動化に向けた垂直連合学習の適用

■ MBDを活用したモーター・インバーター連携設計ツール

System Design Platform for Motor-Inverter Co-design Based on Model-Based Development

モーター・インバーターの要求が多様化する中、両者の相互影響を考慮した設計は性能・コスト最適化に重要になる。だが従来の人手による設計は工数が大きく、短期設計が難しい。これを解決するため、既存技術を基にしたモーター・インバーターの設計モデルを連携解析し、設計・シミュレーション評価・フィードバックを繰り返すツールを

開発した。このツールによって、最高効率、最小直材費など顧客が求める価値に適したモーター・インバーター仕様を迅速に自動導出できる。仕様導出の解析・分析を20日から5日に短縮可能な見込みである。今後、製品開発への適用を通して実用性を高めて、効率的なものづくりに貢献するツールとして発展させていく。



PM : Power Module, ESR : Equivalent Series Resistance, UI : User Interface, GUI : Graphical User Interface

MBDを活用したモーター・インバーター連携設計ツールの概要

▲ SiC-MOSFET並列駆動時でのフロントローディング手法

Front-Loading Technology in SiC-Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor Parallel Drive

カーボンニュートラル社会の実現に向けて、SiC(シリコンカーバイド)パワーデバイスの需要が増加し、CAEを活用した開発期間の短縮が求められている。従来の解析ビヘイビアモデル^(*1)では、ダイオードのリカバリー特性のモデル化が難しく、電気的特性にばらつきのある素子の並列駆動時での共振現象を再現できなかった。そこで、モデルの高精度化を目指して、MAST^(注)言語を用いた物理モデル化^(*2)に取り組んだ。その結果、共振現象を高精度に再現し、過渡的なピーク値で実測との誤差を±10%以内に抑えられた(図1、図2)。この手法によって、実機測定が不要になり、設計工数を50%削減し、量産ばらつきを考慮した設計が可能になった。

今後ニーズ把握の上で全社展開していく。

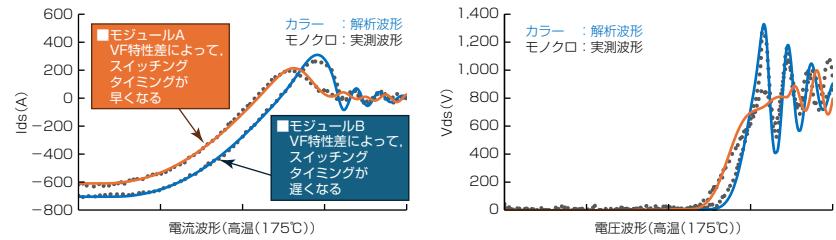


図1-ターンオン時スイッチング波形(実測波形と解析波形)

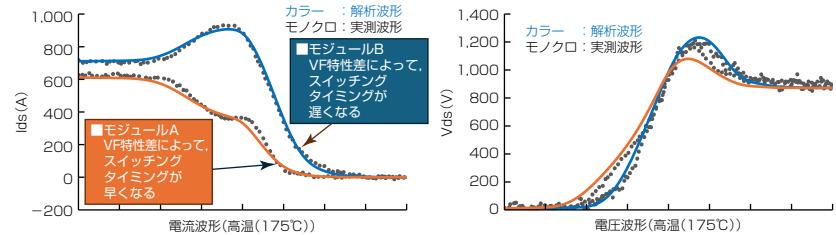


図2-ターンオフ時スイッチング波形(実測波形と解析波形)

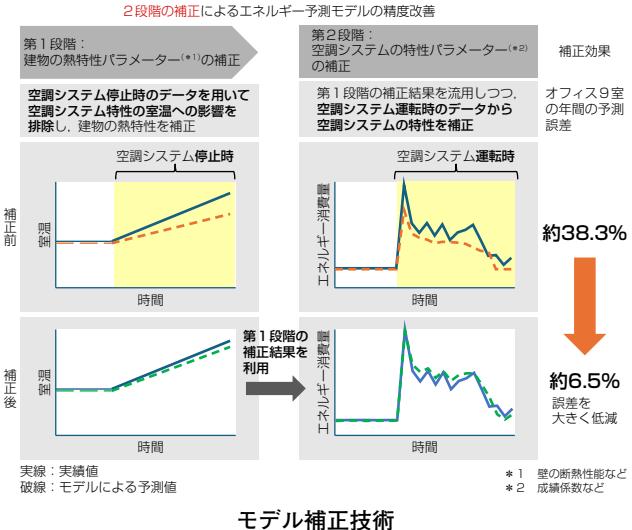
* 1 デバイス特性を任意の式で表現したモデル

* 2 デバイス特性に影響する物理パラメーターと物理式を用いて表現したモデル(対象パワーデバイス:当社パワーデバイス製作所製J3シリーズ搭載SiC-MOSFET)

▲ 進化し続けるビルを目指すエネルギー予測モデル補正技術

Model Calibration Technology Realizing Buildings that Improve Themselves Continuously

空調システムのエネルギー消費量を事前に精度良く見積もるため、エネルギー予測モデルの誤差を低減する補正技術を開発した。補正にはメタヒューリスティクスを応用し、予測が実績に近づくようにモデルのパラメーターを最適化する。まず、空調システム停止時のデータによって空調システム特性の室温への影響を排除し、建物の熱特性を最適化する。次に、その結果と空調システム運転時のデータから空調システム特性を最適化する。この2段階の最適化で補正することで、モデルのパラメーターを物理的にあり得る値の範囲内で補正できるため、結果の説明性を保証しながら予測精度を改善できる。この技術を運用中の空調システムに適用した結果、約38.3%あった予測誤差を約6.5%に低減した。



▲ 欧州向け住宅用壁掛けCO₂センサー

Wall Mounted CO₂ Sensor for Residential Use in Europe

この製品は、欧州向けの住宅用換気装置の制御システムで使用されるCO₂センサーである。

このセンサーを寝室やリビングの壁面に設置して、室内のCO₂濃度を計測し、その値を基に住宅用換気装置の制御システムが効率的な換気を行う。

これによって、機械換気が欠かせない高気密高断熱住宅での空気の安全性、快適性を少ないランニングコストで保

つことができる。

反射による視覚ノイズを減らす本体正面のマット仕上げや、梁(はり)に通じる水平垂直基調で無垢(むく)なシルエットによって設置空間に調和する。



欧州向け住宅用壁掛けCO₂センサー本体

■ 日本市場向け中容量3ドア冷蔵庫デザイン

Mid Capacity 3-door Refrigerator for Japanese Market

日本市場向け中容量冷蔵庫の外観デザインを刷新した。中容量冷蔵庫を求めるユーザーへの調査で判明した“コロナ禍以降、おうち時間の快適性を重視するようになった”という価値観変化に注目し、あらゆる住環境に調和する“中明度の色調とシンプルな外観”に加えて、頻繁に開け閉めする冷蔵室扉の使い勝手を考慮した“縦も横も使える当社独自のフリーアクセスハンドル”を採用した。視覚的にも体感的にも心地良く使い続けられる外観デザインの実現を目指した。



デザインを刷新した冷蔵庫の設置イメージ

■ 未来の街づくりデザイン研究

Research and Development for Social Issues Resolution and Regional Revitalization

“地域社会と対話し、未来を創るために礎を築く”ことを研究価値に、人・社会起点で課題を捉えて、ソリューション検討及び社会実装に向けた探索活動を推進している。2023年度からは宮崎県延岡市で地域住民とともに有害鳥獣対策を講じて、企業や団体、大学と連携しながら、BTC(Business, Technology, Creativity)トライアングル(図1)の体制で持続可能な仕組み作りを目指した活動に伴走している。

当社は価値共創ドライバーとして社内にとどまらず、地域社会での活動に参画し、担うべき役割を探索しながら営業本部各支社とともに他地域への展開を推し進めていく(今後展開予定地域:石川県金沢市、北海道共和町)。

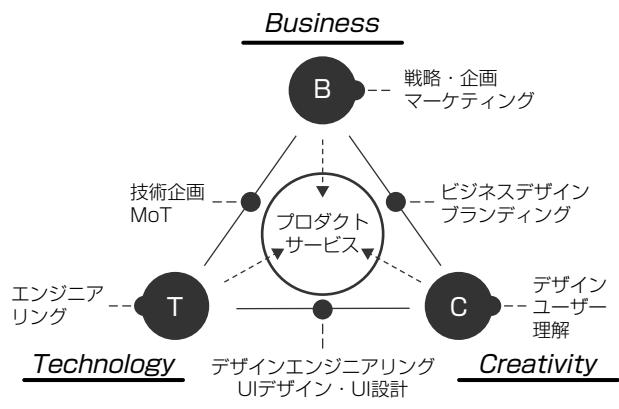


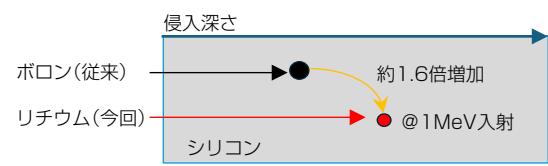
図1-BTCトライアングル概要

■ 注入イオンにリチウムを用いたp型層の形成

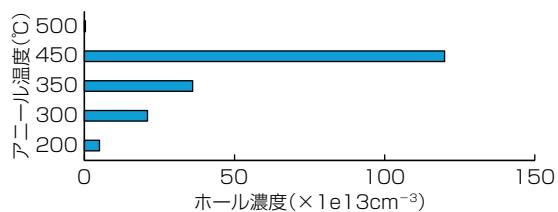
Formation of p-type Layers in Silicon Using Lithium-Ion Implantation

シリコンに水素イオンを注入するとn型層を形成できることが知られており、パワーデバイス裏面のドーピングに用いられている。一方、水素のような軽イオンを用いてp型層を形成する技術は実現されていなかったが、当社は世界で初めて^(*1)注入イオンにリチウムを用いることでp型層を形成し、さらにホール濃度を高くするための最適なアニール温度帯を明らかにした。この方法は、補償欠陥の同時発生によって見かけ上の活性化率が悪いなどの問題があるものの、質量の軽いリチウムを用いることで、従来のボロニイオンを用いる方法と比較して、ウエハーの深部へドーピングが可能である。水素イオン注入と組み合わせることで、新たなデバイス製造への活用が期待できる。

* 1 2025年1月21日現在、当社調べ



(a) イオンの平均侵入深さの比較



(b) 効率的にホールを発生させるためのアニール温度の評価結果

リチウムを用いたp型ドーピング

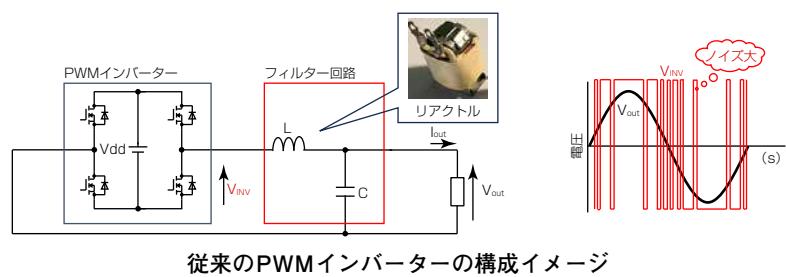
■ フィルターレス、高効率電力変換を実現するリニア回路応用技術

New Linear Circuit Technology for Filter-less and High-efficiency Power Conversion

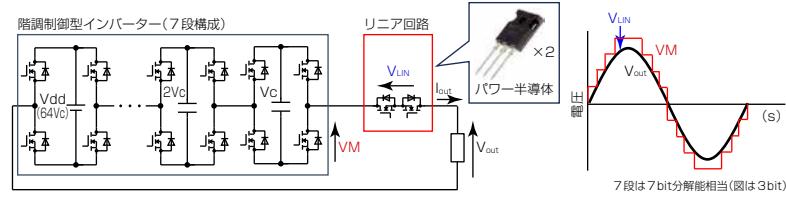
カーボンニュートラル実現に向けた創エネルギー、蓄エネルギー電源の導入拡大、AI普及によるデータセンターの電力需要増加等、パワーエレクトロニクス機器の役割は一層重要性を増している。PWM (Pulse Width Modulation) インバーターは、パワー半導体のスイッチングに伴う急峻(きゅうしゅん)な電圧変化によるノイズ抑制の観点からも、フィルター回路が不可欠であり、小型化に限界があった。

今回、パワー半導体のリニア動作を応用し、連続的な電圧調整を行うリニア回路と階調制御型インバーターを組み合わせた電力変換器を開発した。この構成は、損失増加を抑制しつつフィルター回路を不要又は極小化できるため小型化、低背化が期待できる。試作器では抵抗負

荷条件(AC100V, 1.7kW)で、変換効率98%、全高調波歪(ひず)み率1%以下の動作を確認した。



従来のPWMインバーターの構成イメージ



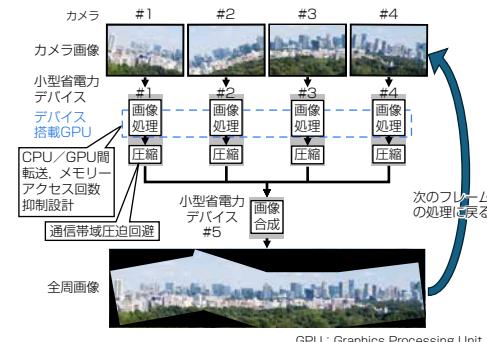
開発したリニア回路応用インバーターの構成イメージ

■ 移動体搭載リアルタイム全周監視システム構築技術

Realtime All-around Monitoring System on Small Vehicle

自動走行車両の安全走行や監視作業の作業者負担軽減などに有用になる、移動体搭載リアルタイム全周監視システムを構築した。移動体は、機種ごとに搭載できる機器の大きさと消費電力に制限がある。またリアルタイム監視では高速な映像合成処理の実装が課題になる。構築したシステムは、カメラと小型低電力デバイスが対になって、用途や制限に合わせてスケーラブルに装置を構成できる。デバイス内の座標変換や動揺補正等の画像処理は、高速化のためにプロセッサー間転送やメモリーアクセスの回数を最小限に抑えた。それに加えて画像圧縮機能を搭載して通信帯域の圧迫を回避し、30fps(frames per second)での全周画

像を提供可能にした。この技術は、今後、小型自動運搬ロボット等への適用も期待できる。



リアルタイム映像合成の流れ

■ 生産現場向け“翻訳サイネージ”

Multilingual Translation System

翻訳サイネージは、工場の朝礼時に外国人への情報伝達をスムーズに行える生産現場向けの翻訳ツールである。

工場からの強いニーズによる着実な事業展開と、海外・他分野への事業拡大が期待できる、将来のものづくりを支えるサービスになる。外国人労働者とのコミュニケーションの問題は、世界のものづくりの現場で発生しており、今後グローバルでの展開可能性は非常に高い。

工場内の朝礼と似た状況は工場以外にも存在しており、物流、建設・土木、観光、行政、教育などの分野への展開も可能である。工場の朝礼で実績を重ねて、現在は海外の顧客への工場案内・製品説明や国際会議でのプレゼンなど、

朝礼以外のシーンへの活用も進んでいる。



生産現場向け翻訳サイネージを使用した朝礼の様子と、サイネージ画面、スマートフォン画面、パソコン画面

■ 決定木アンサンブルモデルに対する網羅検証ツール

Formal Verification Tool for Decision Tree Ensembles

AIのモデルの一つである決定木アンサンブルモデルに対して、期待する動作をあらかじめ設定し、期待どおりに動作しているかを厳密に漏れなく、対話的に検証する網羅検証ツールを開発した。このツールでは、ユーザーがAIに期待する動作を直感的に設定(図1①)し、ワンクリックで検証を実行できる。また、検証結果として合否の割合を表示(図1②)することで、AI開発者が誤動作リスクの大きさを把握可能である。さらに、誤動作の発生条件ごとの発生率を色の濃淡で表したリスクマップとして図示(図1③)し、AI開発者の誤動作リスクへの適切な対処を支援する。

このツールによって、AIの誤動作リスクを低減し、安心してAIを利用できる社会の実現に貢献する。

②検証ボタン押下によって、合否の割合を表示
③リスクマップによって、誤動作の発生条件ごとの発生率を表示



図1-決定木アンサンブルモデルに対する網羅検証ツール

▲ 視覚障がい者との共創によるエレベーター開発の新たな試み

Elevator Development through Co-creation with Visually Impaired Individuals

誰もが利用したいと思えるエレベーターの実現に向けて、インクルーシブデザインの手法を用いた開発を進めている。その一環として、視覚障がい者とともにワークショップを実施した。エンジニアやデザイナーが視覚障がい者から白杖(はくじょう)を使った歩行を学んで、アイマスクや弱視者ゴーグルを装着してエレベーターによる移動を体験した。当事者とともに課題を抽出し、解決策を共創した。カスタマージャーニーマップを作成・分析し、当事者視点の課題やほかの利用者への影響を整理した。この取組みによって、開発者は当事者の不便さや工夫に共感し、今後の開発に向

けた気付きを得た。今後は対象属性を拡大し、当社エレベーターのインクルーシブデザイン開発活動を進めていく。



視覚障がい者に学びながらエレベーターによる移動を体験

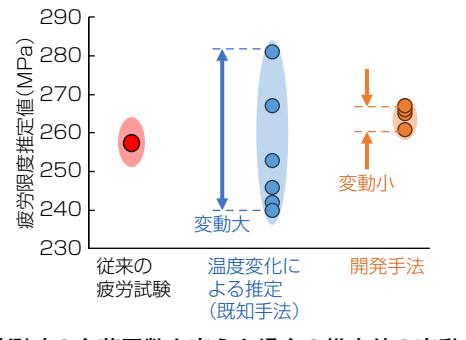
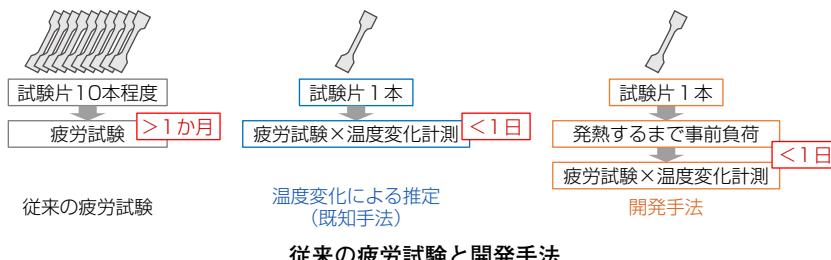
▲ 疲労試験時の発熱から鋼材の疲労限度を従来比30分の1の短期間で推定する計測技術

Estimating Fatigue Limits of Steel from Heat Generation during Fatigue Testing in 1/30 Duration of Conventional Methods

鋼材の強度設計では一般に作用負荷を材料の疲労限度以下にして信頼性を確保するが、疲労限度の実測には複数の試験片による1か月程度の疲労試験を要する。近年、疲労試験時の温度変化から試験片1本かつ1日以内で疲労限度を推定する技術が注目されている。ただし、計測時の疲労負荷の回数に依存して推定値が変動する問題があった。

今回、疲労試験時の温度をサーモカメラで詳細に評価し、

一定以上の疲労負荷が蓄積しないと温度変化が起きないとが推定値変動の原因と特定した。あらかじめ試験片が発熱するまで疲労負荷を与えることで従来の疲労試験と同等精度での疲労限度推定を実現した。今後、迅速な評価の需要が高い一方で発熱原理が鋼材より複雑な樹脂への適用を目指す。



計測時の負荷回数を変えた場合の推定値の変動

エコキュート貯湯タンクの溶接高速化技術

Technology for High-Speed Welding of EcoCute Tanks

当社エコキュート^(注)に搭載している貯湯タンクは、鏡板と胴体から構成されて、全周をTIG(Tungsten Inert Gas)溶接することで水密性を確保している(図1)。この全周溶接工程は貯湯タンク製造でのネック工程になっており、生産性向上の観点から溶接速度の高速化が求められていた。しかし、貯湯タンクには1mm以下の薄板を使用しており、溶接時に溶融池へ作用するアーク圧力による溶け落ちが発生しやすい状況であった。溶接速度を上げても鏡板と胴体を十分に溶融させるためには溶接電流の増加が必要であるが、これに伴ってアーク圧力が増大するため溶け落ちが更に発生しやすく、高速化の障壁になっていた。

そこで、溶接トーチの傾斜角度とアーク圧力の関係に着目した。溶接トーチの軸方向へ直進しようとするアークの硬直性を利用し、傾斜角度を従来の角度から大幅に増加させることで、溶融池に作用するアーク圧力を低減する手法を開発した(図2)。

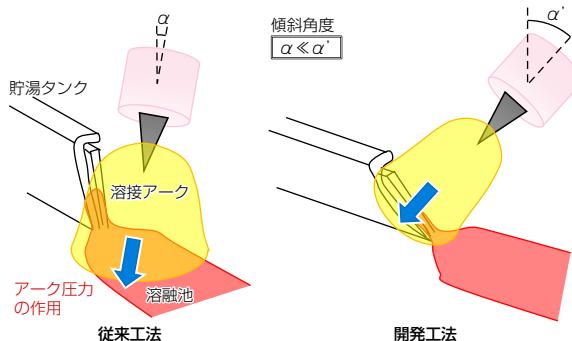


図2-周溶接部の様子

この手法によって、溶融池へ作用するアーク圧力を約70%低減できて(図3)、溶接電流の増加による溶け落ちを抑制することができるようになった。これによって、従来の課題であった溶接速度の高速化で2倍速化できる技術を確立した。

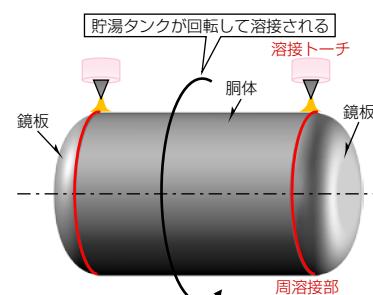


図1-貯湯タンクの周溶接工程

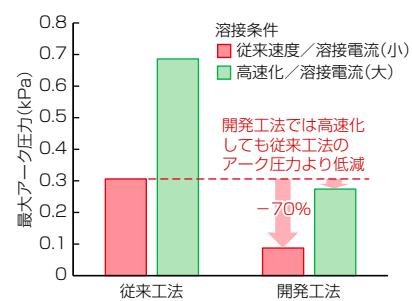


図3-最大アーク圧力の比較

リニアトラックシステム“MTR-Sシリーズ”用位置検出器の高精度化

High-Precision Position Detector for Linear Track System “MTR-S Series”

生産ラインのリードタイム短縮及び変種変量生産のニーズが高まって、高速かつフレキシブルに搬送できるリニアトラックシステムが注目されている。

当社で発売したリニアトラックシステム“MTR-Sシリーズ”専用に安価で高精度な位置検出器を開発した。モーターモジュールに並べた磁気検出素子でキャリアに設けたスケール用磁石の磁気を検出する方式を採用した(図1)。

検出器を高性能化するために、独自の磁界解析技術によって、磁石に対する磁界分布を均一化したまま磁力を向上させることができるように着磁機と磁石の磁気ギャップを最適化し、通常の着磁品に対して1.5倍の磁束密度を実現した。

モーターから発生した磁束が磁気検出素子に干渉する問題に対して、モーターからの漏れ磁束の経路を磁界解析

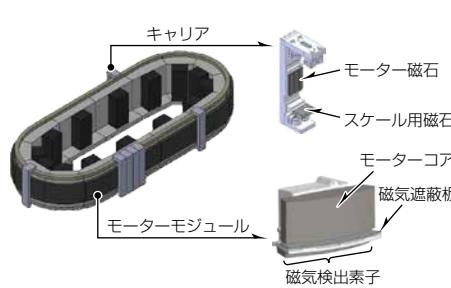


図1-リニアトラックシステムの位置検出方式

で導出し、効果的に漏れ磁束を遮断できる位置に磁気遮蔽板を設けた(図2)。さらに、モーターモジュール間を跨(また)ぐように先に述べた磁気遮蔽板を配置することで、モーターモジュール間の隙間から発生する干渉磁束も低減した。

これらの対策で磁気検出器のS/N比(Signal to Noise ratio)を向上させ、業界最高レベルの繰り返し位置精度 $\pm 5\mu\text{m}$ を達成した。

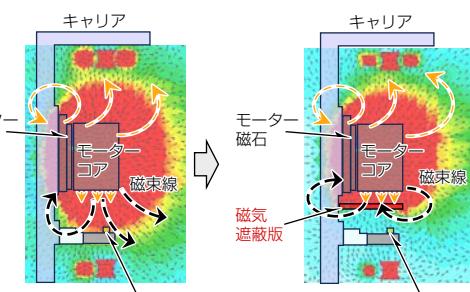


図2-磁気遮蔽板の配置

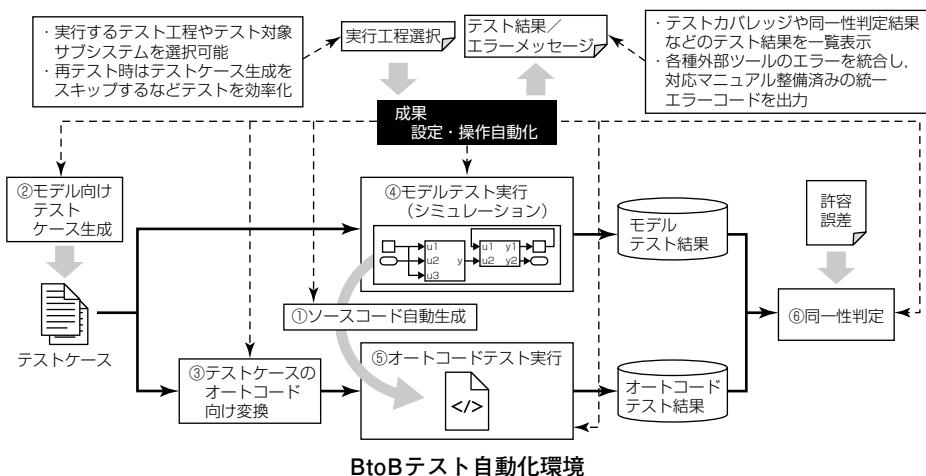
■ MBDによって生成したソースコードの検証自動化技術

Automated Verification Technology for Auto-Generated Code in MBD

モデルから自動生成されたソースコード(オートコード)を活用したモデルベース開発(MBD)では、モデルとオートコードの同一性を検証するBack-to-Back(BtoB)テストが必要になる。しかし、BtoBテストには各種ツールを用いた多数の作業工程があり、工数の大きさとヒューマンエラーのリスクが課題であった。従来のテストツールはMBD開発環境の熟練者向けであり、先に述べた課題は看過されてきたが、近年MBD適用分野の拡大に伴って非熟練者によるBtoBテスト実施機会が増加し、深刻な課題になりつつある。

これに対して、ターゲットマイコン情報などのテスト環境設定、及びテスト対象モデルを入力するだけでBtoBテストの実施が可能になる、モデル及びツールの設定・操作自動化機能を開発した。この機能は、各種ツールをAPI(Application Programming Interface)で自動実行し、エラー発生時は対応マニュアル整備済みの統一エラーコードを出力することで、非熟練者によ

るテスト実施を可能にした。この機能によって、BtoBテストの基本工程である、ソースコード生成、モデル向けテストケース生成、同ケースのオートコード向け変換、モデルとオートコードのテスト実行、及びテスト結果の同一性判定の自動化を実現した。この機能を、14のサブシステムから成るオートコード規模1,400行のモデルに適用し、1サブシステム当たり最大2時間を要していたテスト工数を50%削減した。



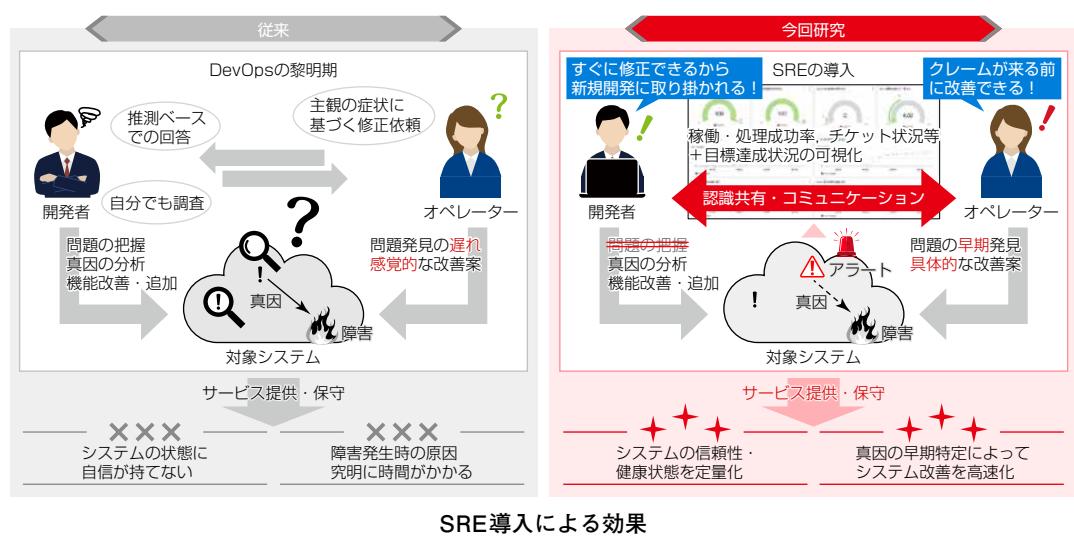
■ SRE実践を支援する品質管理指標の可視化技術

Monitoring Service Level Indicators for SRE Practices

DevOps^(*)組織が浸透したが、考え方の定義にとどまって依然として開発と運用のサイロが残っており、サービス健康状態の不透明化、障害対応の長期化等の問題が顕在化している。そこでDevOps推進の実践策として注目されているSRE(Site Reliability Engineering：サイト信頼性エンジニアリング)に基づいて、サービスの健康状態を可視化・共有するサービス監視環境を構築した。BtoB(Business to Business)でサービス提供をしている組織を対象として、組織分析からSREを含んだ体制を提案し、稼働率や処理成功率に関連する指標をサービス品質指標(SLI(Service Level Indicator)／SLO(Service Level Objective))として可視化し、品質低下時の自動通知も

実装した。BtoBでサービス提供をしている組織にこの環境を適用したところ、開発者と運用者が共通の指標で障害要因を効率的に特定・共有できる環境が整ったことで初動対応の迅速化が実現できたとの評価を受けて、この環境の有用性が実証された。

* 1 ソフトウェアの開発リードタイム短縮・品質向上等のために、開発と運用を連携する手法や仕組み



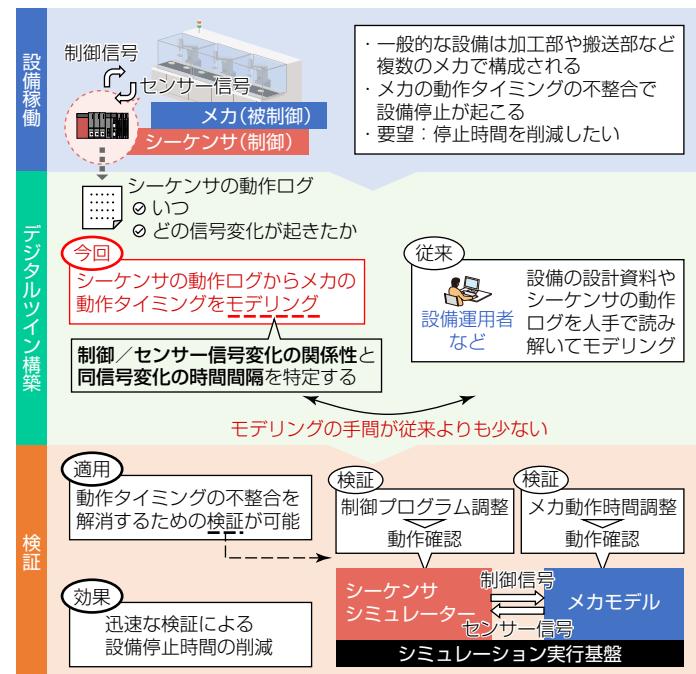
■ 製造設備デジタルツイン構築技術

Modeling and Simulation Technology for Digital Twins of Manufacturing Equipment

製造設備を構成する複数のメカニズム(以下“メカ”という。)がそれぞれ異なる処理時間で動作し、さらに製造品の品種の違いなどで各メカの処理時間が変動する場合、メカの動作タイミングの不整合によって意図しない設備停止が起こることがある。この問題に対して、設備全体の動作タイミングを再現するデジタルツインによる検証が有効だが、従来の再現技術ではメカの動作タイミングを人手でモデリングする手間を要していた。

今回、設備の制御を司(つかさど)るシーケンサの動作ログからメカ動作タイミングのモデル(メカモデル)を生成し、さらにシーケンサシミュレーターと連動させて設備全体の動作タイミングを再現する技術を開発した。特長として、手間の要因になる制御／センサー信号変化の関係性の特定、及び信号変化の時間間隔の特定を自動化し、モデリングの手間削減を実現した。また、メカモデルに任意のメカ動作時間を与えて、複数のメカの動作時間を多様に組み合わせてシミュレーションを実行し、各々のケースで設備全体の動作タイミングがどう変化するか確認することも可能にした。

この技術によって、メカの動作タイミングの不整合に起因する設備停止が起こるか否かの検証や、設備停止の回避に必要なメカ動作時間の検証などを、従来よりも少ないモデリングの手間で実施できるようになる。これによって、検証を迅速に行えて、設備改修に伴う設備停止時間を削減できる。



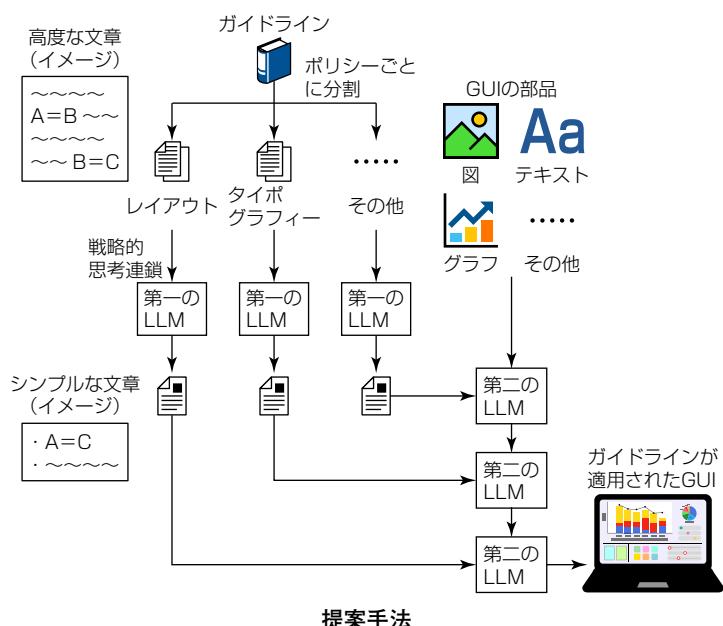
製造設備デジタルツイン構築技術

■ GUI生成AI技術

GUI Generation AI Technology

画面の操作性や見た目を統一するためのガイドラインに沿ったGUI(Graphical User Interface)の作成には工数を要して、自動化が求められている。しかし、ガイドラインはレイアウトやタイポグラフィーなどGUI特有の複数ポリシーから構成されて、かつGUI特有の高度な文章であるため、LLM (Large Language Model)で直接解釈できない。

そこで、ガイドラインをポリシーごとの文章に分割し、二段階のLLMでGUIを生成する技術を開発した。第一のLLMは戦略的思考連鎖で高度な文章をシンプルにして、その文章を基に第二のLLMでGUIを生成する。この技術を当社製品のGUIで評価した結果、ガイドラインが正しく適用されたGUIを生成できた。この技術は、多様な製品のガイドラインへの適用が期待できる。



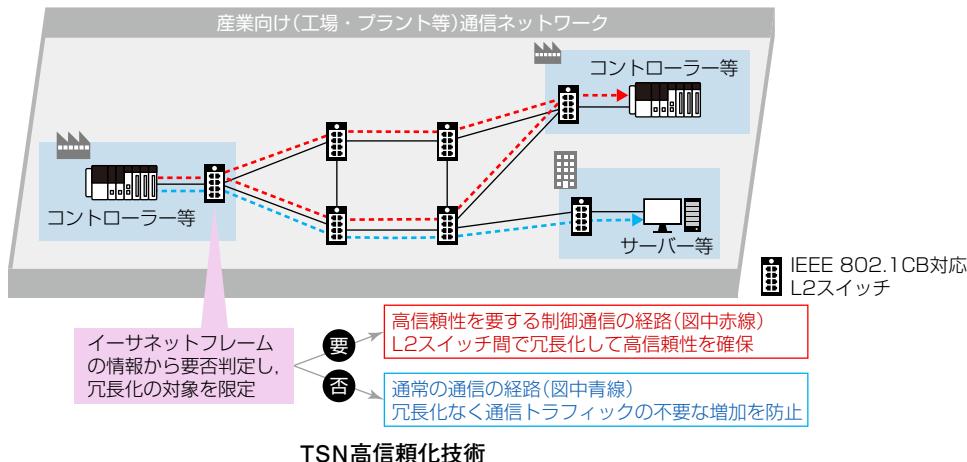
提案手法

▲ TSN高信頼化技術の標準化

Standardization of TSN High Reliability Technology

イーサネット^(注)の産業向け拡張規格群TSN(Time-Sensitive Networking)における冗長通信方式“IEEE 802.1CB”の規格改定のリーダー兼エディターとして国際標準化活動に貢献した。改定によって、産業用通信で多く使われるイーサネットフレーム情報を用いて冗長化を要否の条件に合っているかどうかを判定する方式を追加した。こ

の方式を活用することで、CC-Link IE TSN等の産業用ネットワークを適用した高信頼システムで、通信フレームを更にきめ細かく特定して冗長化することが可能になる。また冗長化の対象とする通信を限定することによって、高信頼性を必要としない通信の冗長送信を抑制し、通信トラフィックの不要な増加を防ぐことも可能になる。



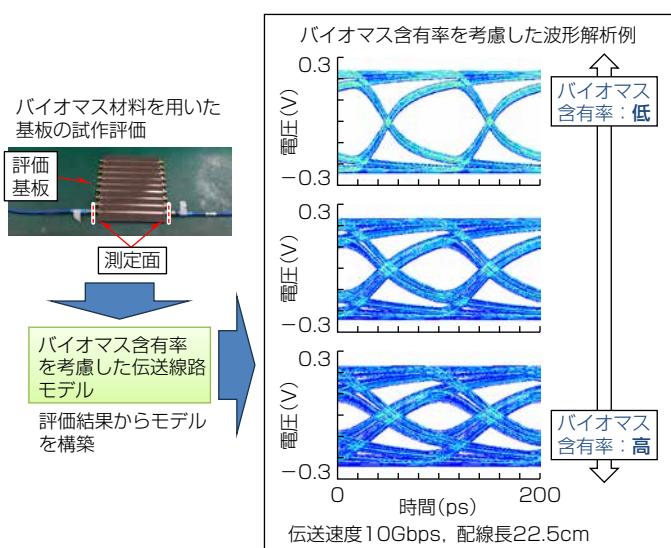
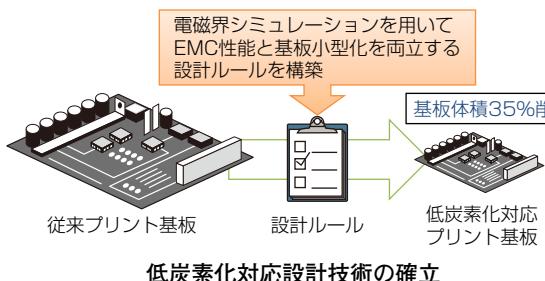
▲ プリント基板の低炭素化を実現する設計・材料技術

Design and Material Techniques for Low-Carbon Printed Circuit Boards

低炭素社会への移行が進む中、プリント基板の環境負荷低減に向けて、基板体積の削減と低炭素材料の採用の両面からのアプローチが求められている。

今回、電磁界解析を用いた電源／グラウンドのレイアウトの最適化によって、層数・板厚・面積の削減を実現し、基板体積を35%削減しながらEMC(電磁両立性)性能を維持する設計技術を確立した。さらに、バイオマス材料を用いた基板を試作し、高速信号伝送特性への影響を定量的に評価するため、バイオマス含有率に対応した伝送線路解析モデルを構築した。これによって、バイオマス材料を用い

た基板の設計指針の確立が可能になった。これらの成果は、プリント基板の観点で低炭素社会の実現に大きく貢献するものである。



△ 低GWP冷媒に対応した圧縮機用潤滑油の摩擦特性評価技術

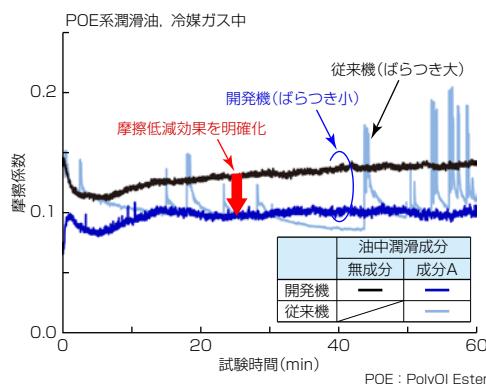
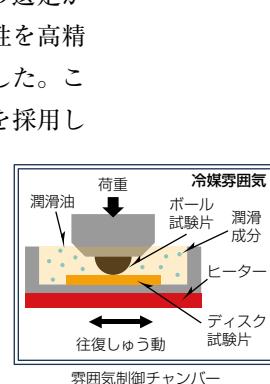
Tribological Evaluation of Lubricants for Low-GWP Refrigerant Compressors

近年、地球温暖化に影響する冷媒ガスへの規制が強化されて、空調冷熱機器では地球温暖化係数の低い冷媒(低GWP冷媒)への切替えが喫緊の課題である。冷媒圧縮機でも、低GWP冷媒に適合した摩擦の小さい潤滑油の選定が求められる。今回、冷媒ガス中で潤滑油の摩擦特性を高精度に評価できる試験装置を京都大学と共同で開発した。この装置は、摩擦力測定に超小型多軸力覚センサーを採用し従来比50分の1の小型化を図ることで、熱的な経時安定性を向上させて、摩擦試験の測定ばらつきを大幅に低減した。これによって、



冷媒ガス中摩擦試験装置

これまで判別が難しかった摩擦低減に有効な油中の潤滑成分を特定可能にした。この技術を、低GWP冷媒に対応した圧縮機の潤滑油の選定に活用する。



冷媒ガス中での油中潤滑成分の摩擦評価例

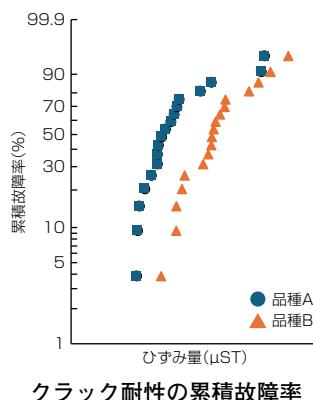
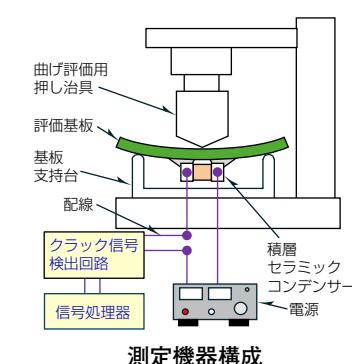
■ 電気特性変化による積層セラミックコンデンサーのクラック検出技術

Method to Detect Cracks in Multi-Layer Ceramic Capacitors by Electrical Characteristic Changes

積層セラミックコンデンサーのひずみ応力に対するクラック耐性を高精度に評価する手法を開発した。

近年、表面実装部品の小型化に伴って、基板がたわんで実装部品がひずむことで生じるクラックへの耐性が低下している。積層セラミックコンデンサーで傾向が顕著である。今回、ひずみを印加したコンデンサーにクラックが生じる際、電気特性が極短時間で微小に変化することを見いだして、微分成分を抽出して変化を高感度に検出する回路を開発した。この回路とひずみ量の測定を組み合わせることで、ひずみ応力に対するクラック耐性を高精度かつ定量的に評価することが可能である。今後、部品評価や製品検査に適

用し、最終製品の品質向上を図っていく。



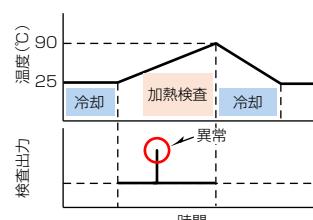
クラック耐性の累積故障率

■ 温度スイープ検査技術

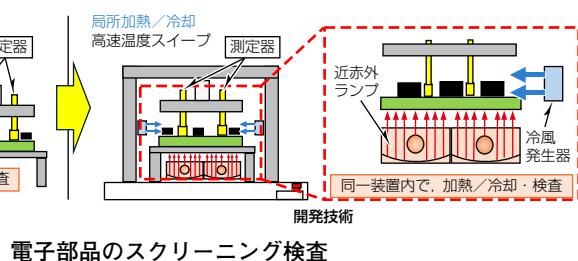
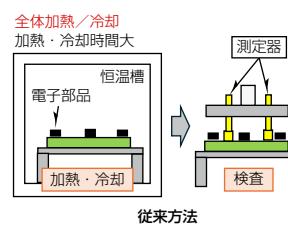
Temperature Sweep Inspection Technology

電子部品のスクリーニング検査のため、恒温槽等の専用装置で加熱・冷却の後、特性検査は広く実施されているが、槽内で加熱過程と並行して検査を行うことは設備制約上困難であった。また、槽全体を温度制御するため、加熱・冷却に時間を要するという課題もあった。そこで、同一装置内で検査対象物に対して、局所加熱・冷却とプローピングを同時に特性を検査する、温度スイープ検査技術を開発した。加熱は応答性に優れた近赤外ランプによる輻射(ふくしゃ)加熱にして、冷却は周囲に複数の冷風発生器を設置して冷風を直接検査対象物に当てる方式にすることで、加熱時

の温度勾配を一定に制御しつつ高速温度サイクル(温度範囲: 25~90 °C, 60秒以下)を達成した。



温度スイープ検査



電子部品のスクリーニング検査

■ EPSモーター用コネクターのプレスフィット接合技術

Press-Fit Joining Technology for EPS Motor Connectors

自動車メーカーが求める様々な仕様や車両レイアウトに対応した製品を低コストで提供するために、構造の簡素化と多品種の生産に対応可能な製造技術が必要である。従来製品では、コネクターと基板を中継部材を介して接続していたが、今回、コネクターにインサート成形した複数本のプレスフィット端子を基板に直接接合する技術を開発した(図1)。端子の位置ずれによる不良を防止するため、コネクターの製造工程で端子先端の位置精度を確保し、かつ高精度に組み付け可能な製品構造と組立機構を採用した(図2)。

この技術によって、

部品点数を減らして製品構造を簡素化できた。また、簡単な製造工程でコネクターの配置を上下選択可能であり、製品のレイアウト性も確保した(図3)。

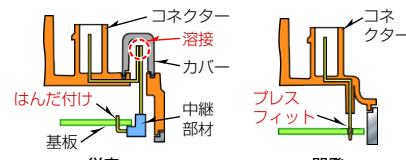


図1-コネクター接続構造

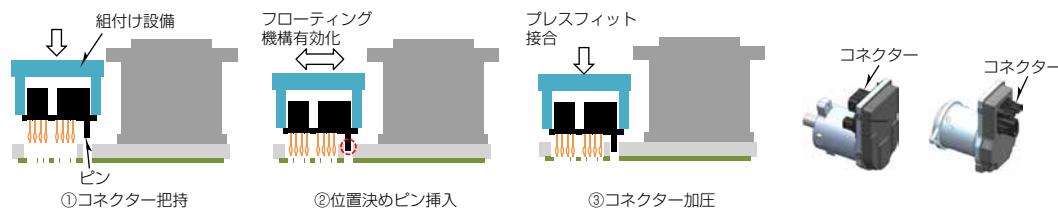


図2-コネクター挿入工程模式図

図3-コネクターの配置

■ 高耐久Alワイヤによるパワーモジュールの長寿命化技術

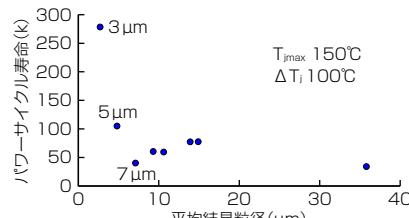
Increase of Power Cycling Lifetime in Power Semiconductor Modules Applied High-Durability Al Alloy Wire

一般的なパワーモジュールでは、チップと導体を線径が数百μmのAlワイヤで接続している。パワーモジュールが動作すると、チップ、Alワイヤの温度が上昇する。その際、チップとAlワイヤの線膨張係数の差によって接合部に繰り返し熱応力が加わって、チップとAlワイヤのワイヤボンド接合部が金属疲労し、最終的には接合部が剥離する。そのため、一定の温度変化量 ΔT_j での接合部の寿命サイクル数を実測するパワーサイクル試験の結果を基に寿命設計をしている。

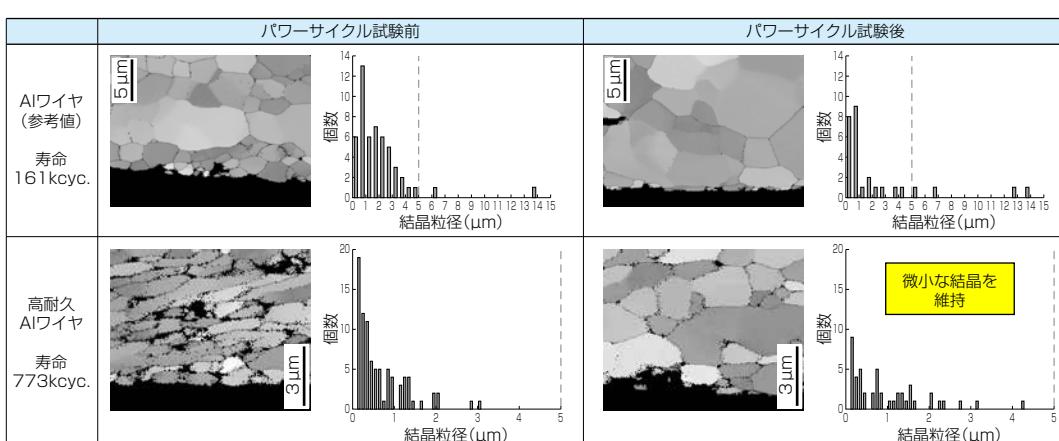
パワーサイクル寿命を向上させるため、結晶粒を微細化し耐力を大きくしつつ、パワーサイクル寿命に大きく影響する高温での結晶粒粗大化速度を小さくした高耐久Alワイヤを開発した。開発した高耐久Alワイヤの効果を確認するため、評価用モジュールを作製し、チップ温度 $T_{jmax} = 150^\circ\text{C}$ 、 $\Delta T_j = 80^\circ\text{C}$ 、通電時間 $t_{on} = 3\text{ s}$ の条件でパワーサイクル試

験を実施した。評価の結果、通常のAlワイヤサンプルが161kcyc.に対して、高耐久Alワイヤサンプルが773kcyc.と4倍以上の寿命になることを確認した。さらに、パワーサイクル試験後のワイヤ内部の結晶粒を確認すると、想定どおり、結晶粒の粗大化が抑制されて、パワーサイクル寿命が向上していることを確認した。

今後、寿命向上が求められる製品への適用を視野に、開発した高耐久Alワイヤの実用化に向けた取組みを加速する。



平均結晶粒径とパワーサイクル寿命の関係



パワーサイクル試験前後の結晶粒径の測定結果

三菱電機技報 Vol. 100 “技術の進歩特集(前編)” 目次

1. 研究開発(1-1-01)

1.1 グリーンな社会実現に向けた技術(1-1-01)

- サーキュラーエコノミー実現に向けたリサイクル材の家電意匠部品への適用
- 微生物電気分解によるメタン発酵の高度化技術：メタンの増産と発酵残渣の減量
- EV トラックでの経路充電計画の最適化技術
- 熟練技能に頼らず加工不良要因の特定を容易にする切削加工DX技術
- 大阪・関西万博向けIoTグリーンシェードのデザイン
- プラスチックの効率的なリサイクルを可能にする分子シミュレーション技術
- GaN基板利用による船舶／気象レーダー用GaN-HEMT
- 抵抗分離型新構造IGBTによるスイッチング損失の半減

1.2 安心・安全・快適な社会実現に向けた技術(1-2-01)

- 電流電圧解析によるインバーター駆動誘導機の異常診断技術
- 複数ベンダーを対象とするロボットの群管理システム
- リアルタイムCPSを実現する時空間データ同期・通信品質測定技術
- IGBTチップの内蔵ゲート抵抗を用いた放熱材料の劣化検出手法
- BIMとエレベーター保守情報のデータ連携技術
- 多様な自律移動ロボットを利用した環境モニタリング技術
- 人・機械協調型自律分散協調制御技術
- Web3でのデータアクセス制御技術
- 工場のセキュリティーモデル構成図を視認性高く作成可能なセキュリティーアンalysisツール
- 見通し外の物体のイメージング技術
- 電気化学を活用した耐食性能の短時間評価技術
- リアルタイム自由視点映像生成技術
- カメラとミリ波レーダーフュージョンの車内乗員体格判定への適用検討
- 高齢者の運転能力低下検知技術
- モーターのフィードバック制御帯域を超える高速トルクリブル抑制法
- プリント基板型双方DC/DCコンバーター
- 注射薬カート搬送ロボット“MELCADY”的意匠デザイン
- スリットフレームホームドアのデザイン
- ソニフィケーションを利用した人の位置情報のインスタレーション
- 低遅延遠隔データ転送を実現する光PCIeプラットフォーム技術

● 負イオンとオゾンの併用による

菌・ウイルス抑制効果メカニズムの解明

● 同種写像暗号CSIDHでの鍵共有演算の効率化技術

1.3 新たな価値を創出する

フォアサイトテクノロジー(1-3-01)

- 大規模言語モデルの社会的バイアス補正技術
- 生成AIマルチエージェントによる大阪・関西万博向けIoTグリーンシェード制御技術
- 機械学習による方程式の求解技術
- ダイナミクスシミュレーターによる軌道上物体把持技術の検証
- サイバー攻撃に対して動作を継続して安全性を確保するシステムの設計手法
- カメラを用いた気流センシング・可視化技術
- ビル空調のダウンタイム削減を実現するデジタルツインを活用した遠隔自動故障診断ソリューション
- ダイヤモンド高周波増幅器技術
- 長波長赤外線センサー向けメタレンズ
- 疑似牽引力によるフィンガーフリー型VR触覚デバイス
- リザバーコンピューティング応用連想記憶技術
- 大規模量子コンピューター制御技術
- 量子コンピューターを用いた逆行列計算

1.4 繼続的に深化する基盤技術(1-4-01)

- システム操作ログからオペレーターのノウハウを可視化する“操作ログドリブン開発技術”
- 建物変化検出のための衛星テレメトリー活用型AIシステム
- 運用データだけを用いた蓄電池自動モデリング技術
- 汎用マイコンに搭載可能な最適同期PWMによるモーターの低振動化技術
- フェーズドアーレアンテナ送信電力変動抑圧技術
- 制御から映像まで利用可能な産業用高信頼無線技術
- AI垂直連合学習による産業用ネットワークの運用自動化技術
- MBDを活用したモーター・インバーター連携設計ツール
- SiC-MOSFET並列駆動時でのフロントローディング手法
- 進化し続けるビルを目指すエネルギー予測モデル補正技術
- 欧州向け住宅用壁掛けCO₂センサー
- 日本市場向け中容量3ドア冷蔵庫デザイン
- 未来の街づくりデザイン研究
- 注入イオンにリチウムを用いたP型層の形成
- フィルターレス、高効率電力変換を実現するリニア回路応用技術

- 移動体搭載リアルタイム全周監視システム構築技術
- 生産現場向け“翻訳サイネージ”
- 決定木アンサンブルモデルに対する網羅検証ツール
- 視覚障がい者との共創による
エレベーター開発の新たな試み
- 疲労試験時の発熱から鋼材の疲労限度を
従来比30分の1の短期間で推定する計測技術

1.5 社会変化に俊敏に追従するものづくり技術 ……(1-5-01)

- エコキュート貯湯タンクの溶接高速化技術
- リニアトラックシステム“MTR-Sシリーズ”用
位置検出器の高精度化
- MBDによって生成したソースコードの検証自動化技術
- SRE実践を支援する品質管理指標の可視化技術
- 製造設備デジタルツイン構築技術
- GUI生成AI技術
- TSN高信頼化技術の標準化
- プリント基板の低炭素化を実現する設計・材料技術
- 低GWP冷媒に対応した圧縮機用潤滑油の摩擦特性評価技術
- 電気特性変化による積層セラミックコンデンサーの
クラック検出技術
- 温度スイープ検査技術
- EPSモーター用コネクターのプレスフィット接合技術
- 高耐久AIワイヤによるパワーモジュールの長寿命化技術



本号記載の登録商標

Autodesk, Autodesk Construction Cloud	Autodesk, Inc.の登録商標である。
AWS	Amazon Technologies, Inc.の登録商標である。
Excel	Microsoft Corp.の登録商標である。
FURUNO	古野電気(株)の登録商標である。
JMAG	(株)JSOLの登録商標である。
MAST	Synopsys, Inc.の登録商標である。
MATLAB	The MathWorks, Inc.の登録商標である。
PCIe	PCI-SIGの登録商標である。
PSIM	Altair Engineering Inc.の登録商標である。
WorldView	Maxar Technologies Holdings Inc.の登録商標である。
イーサネット	富士フィルムビジネスイノベーション(株)の登録商標である。
エコキュート	関西電力(株)の登録商標である。
大阪・関西万博	公益社団法人 2025年日本国際博覧会協会の登録商標である。
セキュラーパートナーシップEXPO	(株)日本経済新聞社の登録商標である。

三菱電機株式会社