

三菱電機技報

1

2025
Vol.99 No.1

技術の進歩特集(前編)



巻頭言	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 a 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 ゲームチェンジを起こす新技術		New Technologies for Making Game Changes
1.4 継続的に深化する基盤技術		Continuously Enhance Base Technologies
1.5 生産インフラ・設計技術		Production Infrastructure and Design Technologies

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, サークュラーエコノミー, 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。

巻 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、皆様に最新の技術情報をお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、事業を通じた社会課題の解決によって、持続可能な社会の実現に貢献することを目指しています。グリーン研究開発では、機器の省エネルギー化・電動化、次世代パワー半導体・光デバイスの開発、再生可能エネルギー導入の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、材料・製品の循環利用に向けた開発など、グリーン関連領域での事業の拡大と創出に向け、積極的な投資を行います。

今後、カーボンニュートラルだけでなく、サーキュラーエコノミー、さらにはネイチャーポジティブの概念が世界のトレンドとして定着する中、これらの社会全体の課題に取り組み、皆様の生活を守りながら持続可能な社会の実現に向けた研究開発を一層強化します。さらに、既存の事業や組織の枠を超えた包括的、戦略的な活動も推進してまいります。

グリーンとデジタルは、社会・環境を豊かにしながら事業を発展させる“トレード・オン”の活動には欠かせない技術テーマです。当社グループのありたい姿である“循環型デジタル・エンジニアリング企業”として、顧客から得られたデータを集約・分析し、脈々と培ってきた技術と限りない創造力によって、新たな価値の創出に貢献します。また、労働力不足・人件費高騰を背景とした労働人口問題は、重要な社会課題です。当社グループはこれまで数々の自動化・省人化に取り組んでまいりましたが、継続的なニーズの拡大に対応するため、自動化技術を様々な分野に適用し、国内外で展開する技術開発を推進してまいります。

現在、多様なサービスが台頭し始めている生成AIは、10年後にはほとんどのユーザーまで浸透し、世の中で当たり前のように使用される時代になっていると容易に想像できます。生成AIの技術は様々な分野で利用が進み、当社でも事業展開や社内での活用を実施していますが、イノベーションの中心にあるのは、更に先を行く次の技術であると考えています。当社のAI技術は、以前から全てのモノを賢くするため、AIを“コンパクト化”し、あらゆる機器への搭載を可能にする独自の技術ブランドである“Maisart”を展開してきました。生成AIの活用やクラウド接続が前提の現在でも、これまで開発してきたAI技術と生成AIを組み合わせることで、より信頼性のある“責任あるAI”の確立を目指します。データ流通・活用や今後の我々の生活に欠かせなくなる、AI・生成AIの活用と、安心・安全を守るセキュリティ・プライバシー技術の開発を推進してまいります。

さらに、変化の大きい未来社会で生まれる新たなニーズや課題に対応する新技術の探索・創出にも引き続き注力してまいります。バックキャストアプローチとフォアキャストアプローチを駆使し、サステナブルな社会の実現に資する研究開発テーマを探索し、ゲームチェンジを起こすフォアサイトテクノロジーとして技術開発に挑戦していきます。

1月号と2月号の2巻にわたってお届けする“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の実現を目指した最新の技術をご紹介します。これらの技報を通じて、私たちの取り組みや技術の進歩をご理解いただき、新たなアイデアや視点をいただければ幸いです。今後とも、私たちの研究開発に対するご支援とご理解を賜りますよう、心からお願い申し上げます。

最後になりましたが、改めて皆様の社業のますますのご発展とご健勝を祈念し、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 a Green Society

液体水素で冷却する高効率な高温超電導発電機



High-Temperature Superconducting Generator with High Efficiency Cooled by Liquid Hydrogen

液体水素は、水素の輸送形態として注目される一方、液体水素の持つマイナス253℃の冷熱を有効利用する方法が、カーボンニュートラルの観点から探索されている。

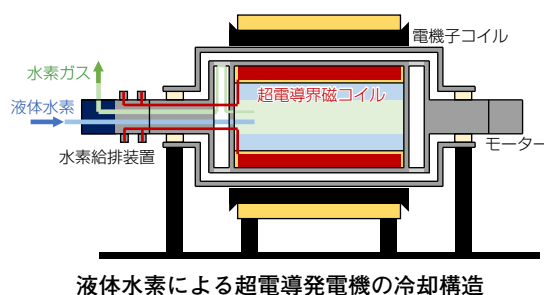
超電導発電機は、界磁コイルに超電導線材を使用することで発電効率が向上する効果がある。しかし従来は、超電導線材を冷凍機を用いて液体ヘリウムや液体窒素で冷却するためコストが課題であった。

そこで当社・関西学院大学・東京大学・国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構(JAXA)・上智大学のチームは、液体水素で冷却する高温超電導発電機の実現に向けた技術開発を行った。発電機内部の水素槽に超電導界磁コイルを配置し、超電導界磁コイルを含めた水素槽全体を回転して発電する構造を想定する。超電導界磁コイルは、将来目標の600MW発電機の回転応力50MPa

に耐える金属ケースによる補強構造にした。また、超電導界磁コイル単体を液体水素に浸漬(しんじ)した状態で通電試験を行い、超電導コイルが一時的に液体水素から露出しても超電導状態を継続できる可能性を明らかにした。

今後、この技術開発を推進することで、液体水素の冷熱利用を促進しカーボンニュートラル実現に貢献する。

この成果は、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)の委託事業(JPNP14004)の結果得られたものである。



液体水素による超電導発電機の冷却構造



金属ケースで補強した超電導界磁コイル

ゼロカーボンビルの設計・運用を支援するLCCCO₂シミュレーション技術



Life Cycle CO₂ Simulator for Supporting Design and Operation of Zero Carbon Building

カーボンニュートラル実現のため、ビルの建設・運用・改修・解体のライフサイクルで排出されるCO₂(LCCCO₂)の収支がゼロ以下になるゼロカーボンビル(ZCB)の普及が進んでいる。ZCB実現には、太陽光発電と蓄電池での再生可能エネルギー活用によって、電力会社からの買電で排出するCO₂を削減するだけでなく、余剰再生可能エネルギーを売電し他物件のCO₂も削減して、建設等で排出したLCCCO₂を相殺する必要がある。

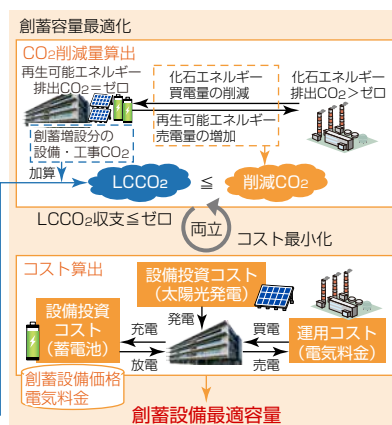
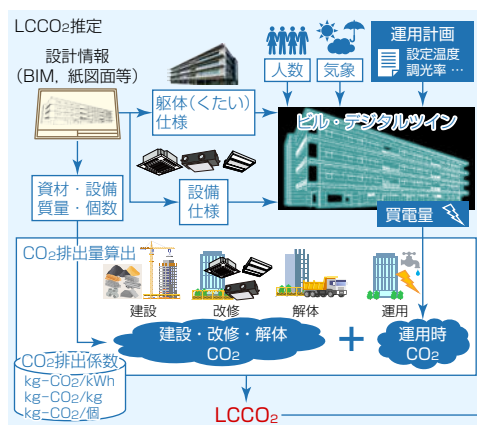
そこで、設計情報からLCCCO₂を推定し、推定したLCCCO₂の相殺に必要な創蓄容量を最適化して、ZCBの実現を支援するLCCCO₂シミュレーション技術を開発した。

LCCCO₂の推定では、ビル・デジタルツインを基に運用計画変更時の空調・照明等の時間単位の消費電力の変化を再現し、買電量を推定する。また、設計情報から資材の質量等を抽出する。そして、個々のCO₂排出係数を基に買電量から運用時CO₂を、資材の質量から建設・改修・解体時CO₂を算出し、

合算してLCCCO₂を推定する。

創蓄容量の最適化では、創蓄増設による電力売買量の変化や将来の創蓄設備価格・電気料金を想定し、CO₂削減量と設備投資・運用コストを算出する。そして、LCCCO₂収支がゼロ以下でコストが最小になる創蓄容量を算出する。

今後は、当社のZEB(net Zero Energy Building)関連技術実証棟“SUSTIE”にこの技術を適用し、ZCB化に向けた改修計画を立案・評価する。



BIM : Building Information Modeling

LCCCO₂シミュレーション技術

ヒートポンプ式空調機に適用可能な鉛直アルミニウム扁平(へんぺい)管熱交換器を開発した。空調機に用いられる熱交換器には、冷媒使用量の削減と伝熱性能の両立が求められる。これらの両立には、伝熱管を細径化しながら熱交換器を高密度実装することが有効である。しかし、従来の熱交換器では、鉛直に配置される冷媒分配器に密度が異なるガス冷媒と液冷媒が重力に逆らって流動するため、ガス冷媒と液冷媒が不均等に分布・流動することが課題であった。

今回開発の熱交換器は、鉛直上向きに延びるアルミニウム扁平管(VFT)(図1)を採用することで、冷媒ガスと冷

媒液の流れが冷媒分配器(図2)で重力によって偏る現象を抑制した。さらに冷媒分配器を二重管構造にし、内パイプに設けたオリフィスで冷媒ガスと冷媒液を混合させた。これによって、従来の熱交換器と比べて4倍になる100本以上のアルミニウム扁平管を実装しながら、冷媒を均等に行き渡らせることに成功した。

VFTは、従来の熱交換器に比べて伝熱性能を最大40%向上させながら、熱交換器の内容積を最大20%削減し、2024年9月に発売されたビル用マルチエアコンに搭載された。

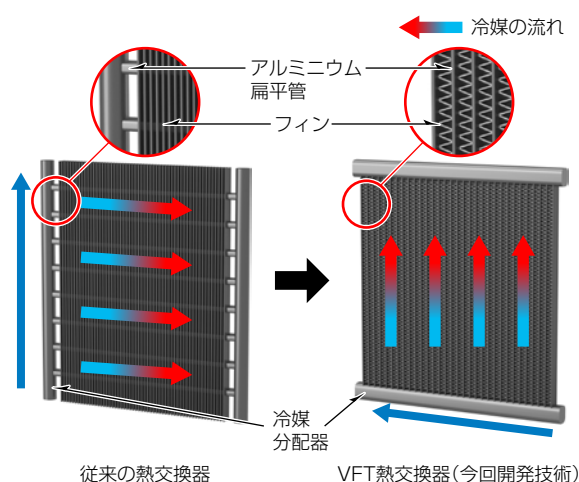


図1-従来の熱交換器とVFT熱交換器の比較

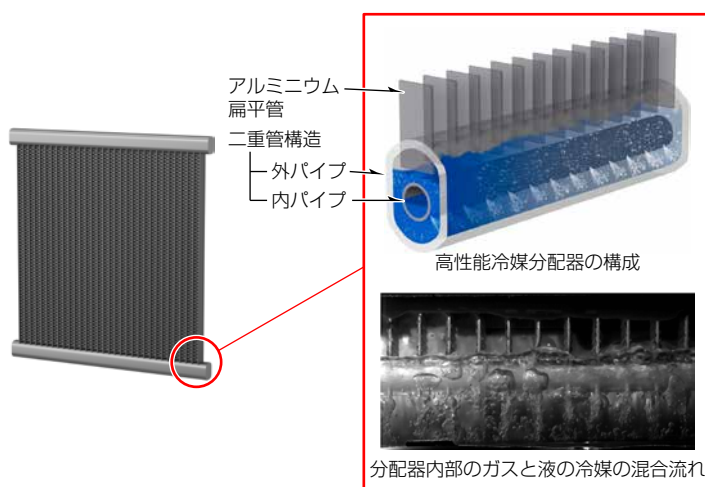


図2-高性能冷媒分配器

SiCパワーデバイスの耐湿性向上技術

近年、電力損失を大幅に低減できるSiC(シリコンカーバイド)パワーデバイスへの期待が高まっている。SiCパワー半導体は従来のSi(シリコン)パワー半導体と比べて半導体チップに生じる電界強度が高くなり、信頼性基準を満たすために要求される技術レベルが高くなる。

今回、高温高湿環境で高電圧を印加した際のSiCチップの劣化メカニズムを明らかにするとともに、電界緩和領域の再設計でSiCパワーモジュールの長寿命化を実現した。

(1) 高温高湿環境でのSiCチップの劣化メカニズム

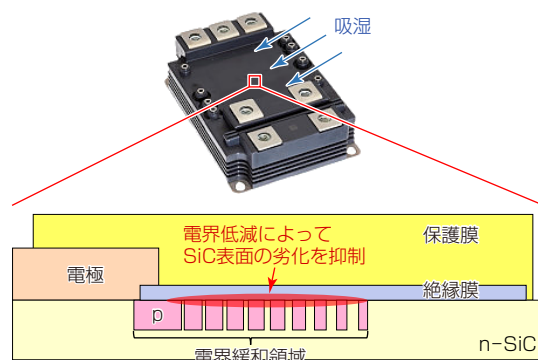
高温高湿環境による吸湿状態でSiCチップに高電圧が印加された場合、チップ外周に設けられた電界緩和領域のSiC表面にSiO₂(酸化シリコン)が析出して、上部の絶縁膜や保護膜との間に剝離が生じることを明らかにした。またこの析出はこれまで注目されていたSiC内の電界強度ではなく、SiC表面上の電界強度に依存することを実証した。

(2) SiCパワーモジュールの長寿命化

シミュレーションを用いて電界緩和領域のp型SiCの数、

幅、間隔を再設計し、SiC表面上の電界強度を従来比66%に低減することで、高温高湿環境でのSiCパワーモジュールの破壊寿命を従来の2.8倍に改善した。

今後、この技術を製品適用することで、SiCパワーモジュールの耐環境信頼性の向上に貢献する。



高温高湿環境でのSiCチップの劣化抑制

デジタルゲート駆動によるパワー半導体の伝導ノイズの制御

Active Selection of Conduction Noise in Power Semiconductors by Digital Gate Drive

パワー半導体のスイッチング動作では、電圧、電流の変動に起因した伝導ノイズが発生する。この伝導ノイズは対地を循環するコモンモードと、パワーモジュールが搭載される電力変換器内部を循環するノーマルモードに区分され、それぞれ異なる対策が必要である。従来のゲート駆動方式は両方の伝導ノイズを発生させるため、必然的に双方への対策が必要であり、開発の長期化、製品コストの増加といった課題があった。この課題に対して、東京大学との共同研究で開発したデジタルゲート駆動技術を用いて電圧変動と電流変動を個別に制御した場合の伝導ノイズを評価した。この評価では、図1に示すように高速の電圧変動と低速の電流変動のパターンAと、その逆(低速の電圧変動と高速の電流変動)のパターンBを準備した。その結果、パターンAではコモンモードノイズ(図2)、パターンBではノーマルモードノイズ(図3)が顕著であった。この結果は、デジタルゲート駆動技術によって一方の伝導ノイズの発生を制限でき

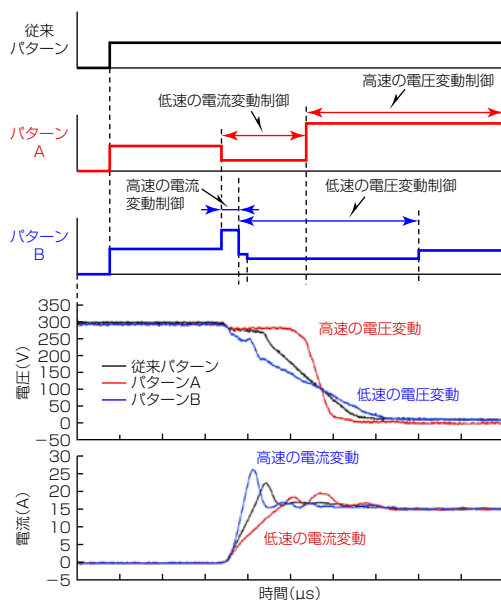


図1-デジタルゲート駆動のタイミングチャートとスイッチング波形

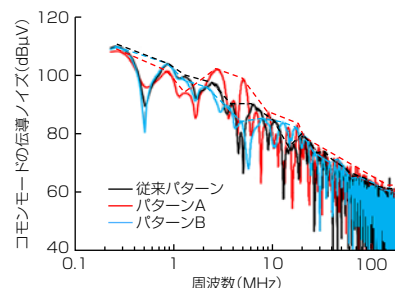


図2-コモンモードの伝導ノイズの評価結果

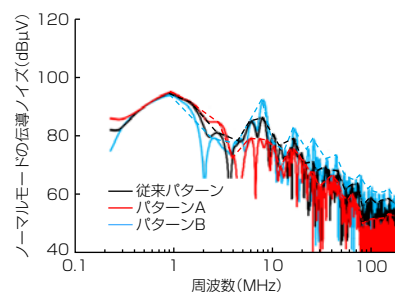


図3-ノーマルモードの伝導ノイズの評価結果

小型炉への適用に向けた現場型デジタル炉外核計装システム

Local Digital Ex-core Instrumentation System for Small Modular Reactor

当社は米国Holtec International社が進める次世代原子炉である小型モジュール炉“SMR-300”の開発に参画し、計装制御システムの設備設計を担当している。小型炉市場では安全性の維持を前提にしつつ、初期コストの低減が重要な要素になることから、小型炉への適用に向けた新たなコンセプトの下、新型炉外核計装システム(新型EIS(Ex-core Instrumentation System))の開発を実施している。

新型EISの開発コンセプトはデジタル化範囲の拡大による盤の小型化と保守工数低減、及び格納容器(Containment Vessel: CV)近傍に盤を設置する現場型化による初期コストの低減である。新型EISでは従来複数のアナログ回路で実現していた機能を新たに開発した信号処理モジュールに統合することで盤の占有面積を従来比で約1/3に削減する(図1)。また、信号処理モジュールの適用によって信号処理回路数が削減されることでシステムの保守工数低減にも寄与する。さらに、

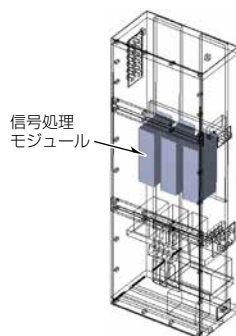


図1-新型EIS盤の内部構造(例)

小型化の実現によって盤の設置場所に対する制約が緩和され、初期コストの増加要因になっていた耐ノイズ特殊ケーブルと専用電線管の敷設量を大幅に削減可能になる(図2)。

今後は基本設計段階である新型EISの詳細設計や検証計画を具体化していくとともにHoltec社と共同でSMR (Small Modular Reactor)開発を推進していくことで、原子力発電の発展を通じたカーボンニュートラルの実現に貢献していく。

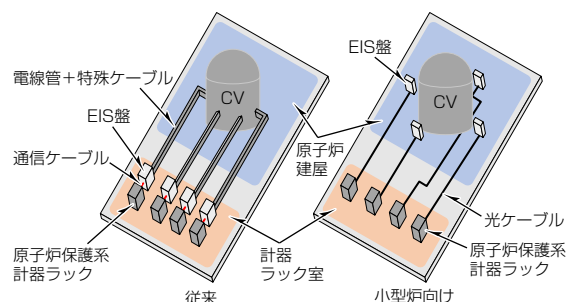


図2-従来炉と小型モジュール炉でのEIS盤の配置(例)

マグネシウム合金の高速・高精度積層造形技術の確立

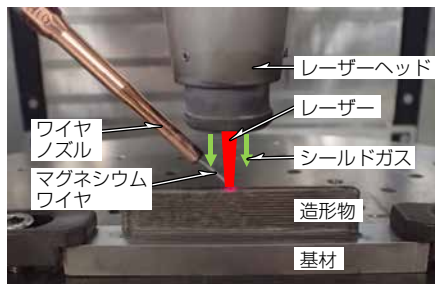
Establishment of High-Speed & Precision Additive Manufacturing Technology for Magnesium Alloys

実用金属中最も軽いMg(マグネシウム)合金は、昨今の輸送機器等の更なる軽量化要求に対応する高強度・高剛性かつリサイクル性に優れた材料として注目されている。

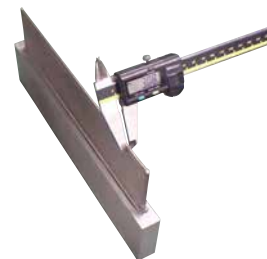
今回、当社は熊本大学、東邦金属㈱、JAXAと連携して、ワイヤ・レーザーDED(Directed Energy Deposition: 指向性エネルギー堆積法)(^{*1})方式金属3DプリンターによるKUMADAI耐熱Mg合金(^{*2})の3mm幅での高精度かつ高速な積層造形を実現した。積層造形物は常温で約250MPa、高温(200℃)で約220MPaの引張強度があり、ロケットタンク等に活用すると最大で約20%の軽量化効果がある試算を得た。またこの技術では造形時のシールドにAr(アルゴン)ガスを用いており、Mg铸造加工で従来用いられているSF₆

(六フッ化硫黄)ガスが不要なことから温室効果ガスの大幅な排出削減にもつながる。

- *1 集束させた熱エネルギーを利用して材料を溶融、結合、堆積させて造形する手法
- *2 熊本大学が開発した“KUMADAIマグネシウム合金(注)”の中でも、高い強度と耐熱性を併せ持つ合金



マグネシウム合金の積層造形原理



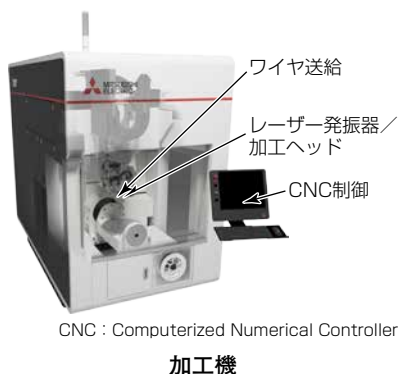
マグネシウム合金の積層造形サンプル

ワイヤ・レーザー金属3Dプリンター“AZ600”向け広域シールドガスノズル

Large-area Shield Gas Nozzle for Wire-Laser Metal 3D Printer "AZ600"

ワイヤ・レーザー金属3Dプリンター“AZ600”用の広域シールドガスノズルを開発した。AZ600は様々な材料に対応できるが、チタン合金は酸化しやすく、シールド範囲の拡大が課題であった。今回、フラウンホーファー研究所との共同研究によって、従来と比べて約25倍のガス噴射領域を持つノズルの開発に成功した。広域から噴射されるガスを乱さず供給するために、ガスの分配構造や多重スリット構造を考案した。また、複数ガス種の組合せやガス流量探索などのプロセス開発を行った。その結果、引

張強度、耐力、伸び、酸素含有量で、鍛造規格を満たす結果を得た。チタン合金は特に航空宇宙分野での需要が高く、今回開発品の速やかな製品搭載を目指して開発を推進する。



加工機



広域シールドガスノズル(正面)

ノズル、チタン合金造形サンプル



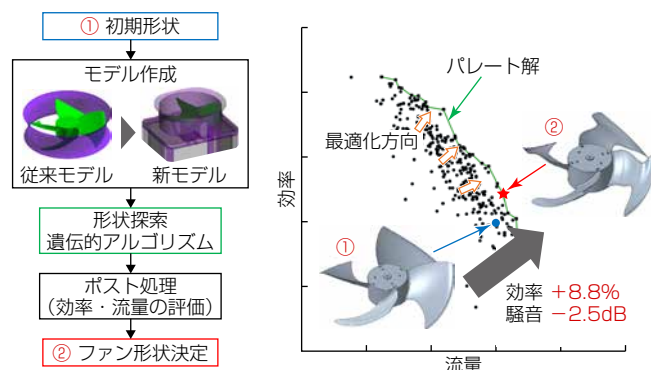
チタン合金造形サンプル (燃料タンクを模擬)

ビル用マルチエアコン室外機に搭載されるファンの最適化技術

Fan Design Optimization on Outdoor Units of Multi Air Conditioners for Buildings

室外機のプロペラファンは、周囲の筐体(きょうたい)形状による気流の乱れや偏りのない流れ場の下で設計されてきた。それらを考慮するためには室外機全体の大規模な流体計算が必要になるため、高速・高精度な性能予測が困難であった。そこで、気流への影響が大きな熱交換器とモーター周辺構造をモデル化した流体計算と最適化手法を組み合わせる翼形状探索技術を開発した。モデル作成からポスト処理までを自動化し多並列化計算することで、大規模な流体計算にもかかわらず、従来同等の計算時間でファン形状を最適化できた。この手法を適用したビル用マルチエアコン室外機“グランマルチシリーズ”で、ファン効率を

8.8%、ファン騒音値を2.5dB改善し、量産化に貢献した。



従来手法と新手法

800V対応SiCインバーター搭載EV実験車“EMIRAI 800”

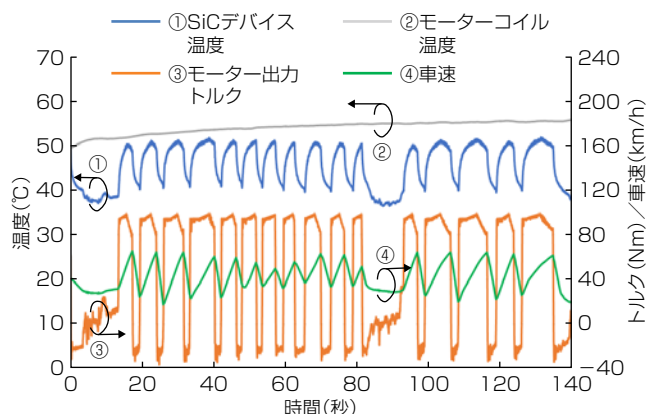
EV Test Vehicle "EMIRAI 800" Equipped with 800V Compatible SiC Inverter

EV(Electric Vehicle)の課題である充電時間短縮のため、大容量電池を搭載する車の電池電圧は800Vに高電圧化される傾向にあり、高電圧域で高効率なSiCデバイスを適用した車載インバーターが注目されている。EV実験車“EMIRAI 800”は、800Vの電池と、当社で開発中の800V対応SiCインバーターを搭載し、自走できるように仕上げ

た。開発品を最終形である車に搭載することで、走行時にインバーターがどのように使われているかを実測し、車に必要なとされるインバーターの性能や品質を評価・分析できるようになった。これらの結果を設計やシミュレーションにフィードバックし、車全体の視点からSiCインバーターの製品価値向上を図る。



EV試験車“EMIRAI 800”



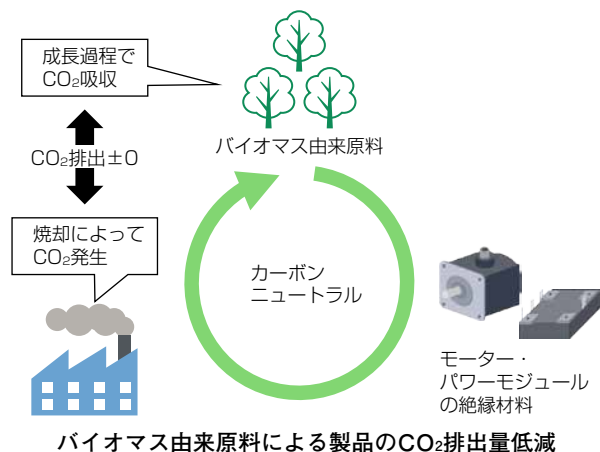
走行時の温度上昇確認試験

バイオマス由来原料を用いた高耐熱絶縁材料

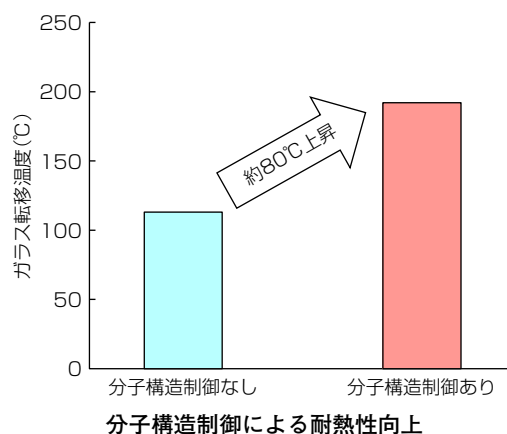
High Heat Resistant Insulating Materials Using Biobased Resins

バイオマス由来のエポキシ樹脂を用いて、材料設計及び分子構造制御によって、75%以上のバイオマス度を持ちつつ、ガラス転移温度192℃の高耐熱性を発現する絶縁材料を開発した。製品のライフサイクルでのCO₂排出量低減のため、バイオマス原料の絶縁材料への適用を検討している。バイオマス樹脂は耐熱性が低いものが多く、絶縁材料

に適用するには耐熱性の向上が課題になる。そこで、剛直なメソゲン骨格を含む硬化剤と組み合わせ、配合割合や硬化条件を最適化して硬化物の分子構造制御を図った。その結果、高密度な硬化物が得られ、バイオマス樹脂の高耐熱化を実現した。今後はモーターやパワーモジュールに用いられるモールド樹脂への適用に向けて開発を進める。



バイオマス由来原料による製品のCO₂排出量低減



分子構造制御による耐熱性向上

■ 気候変動データの体験型可視化・可聴化作品“Climatic Reflector”

"Climatic Reflector": Climate Data Artwork with Visualization and Sonification

気候変動の問題が毎日のようにニュースになっているが、それを自分事として捉えることができていないのか。

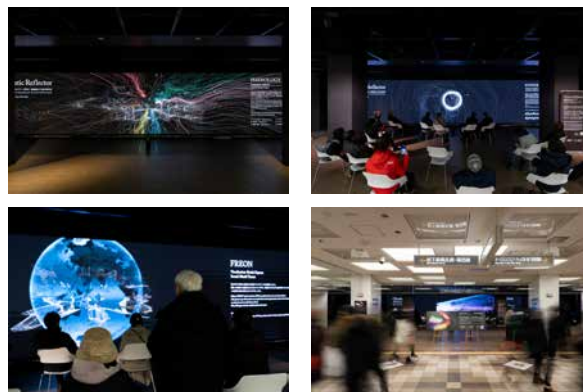
“Climatic Reflector”はこのような問題意識に基づいて、気候変動に関するオープンデータを可視化した五つの作品群である。

季節の風物詩を可視化した作品では、うぐいす初鳴やさくら開花など生物季節観測データの変遷を視覚的に分かりやすく表現することで、気候変動が風物詩の在り方に影響を与えた軌跡を捉えることができる。ほかにも海面シミュレーションのデータや、海中に蓄積された特定フロンのデータ、オゾンホールデータのデータ、IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change: 気候変動に関する政府間パネル)の2300年シナリオに基づく海面上昇シミュレーションデータという、五つの異なる切り口から作品を制作した。数値に色や形、動き、音を与えることで、気候変動の問題を視聴覚的に感じ取ることを可能にした。

さらに、鑑賞者もリアルタイムにセンシングされた点群データとして作中に登場させ、データに向き合う自分自身

を客観視する体験を提供した。

これらの作品は“人々の気候変動への能動”を可視化する装置として慶應義塾大学 脇田玲研究室と札幌国際芸術祭(SIAF2024)に出展した。さっぽろ地下街オーロラタウンの没入型大型ビジョンに展示し、多くの市民や観光客に視聴され、自分事として捉えた上での感想を共有した。



三菱電機 統合デザイン研究所+慶應義塾大学 脇田玲研究室 (Climatic Reflector)
Photo by MOMMA Yusuke

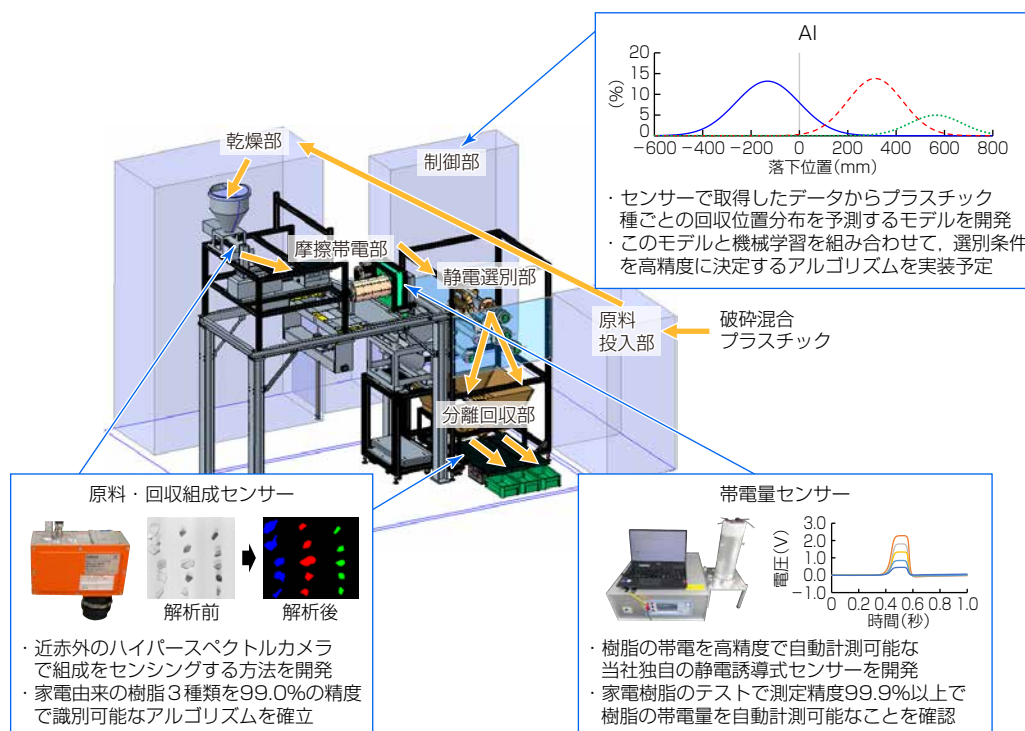
展示中の様子

■ サークュラーエコノミーに資するプラスチック高度選別技術

Advanced Plastic Sorting Technology for Circular Economy

当社では家電プラスチックリサイクル事業で培ってきた静電選別技術の社外展開を検討している。プラスチックの帯電特性の違いを利用して選別する静電選別は汎用性に優れるが、リサイクルプラスチックの原料変動に対応した選別条件の最適化が普及の課題になっている。そこで選別条件の自動制御技術の確立に向けて、原理検証を行うためのラボ装置の作製を開始し、各種センサーとAIを活用する要素技術の検討を行った。その結果、原料・回収組成と帯電量のセンシングシステムの正常動作確認、及びAIアルゴリズムの構築と性能検証が完了し、原料変動の対応の目途が立った(図1)。今後、この技術を搭載したラボ装置を完成させ、家電以外のプラスチックも含めた原理検証を行う。

この研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)“サーキュラーエコノミーシステムの構築”(研究推進法人:独立行政法人 環境再生保全機構)(JPJ012290)によって実施した。



小型月着陸実証機SLIMの軌道設計技術



Technology for Trajectory Design of Small Lunar Landing Demonstrator SLIM

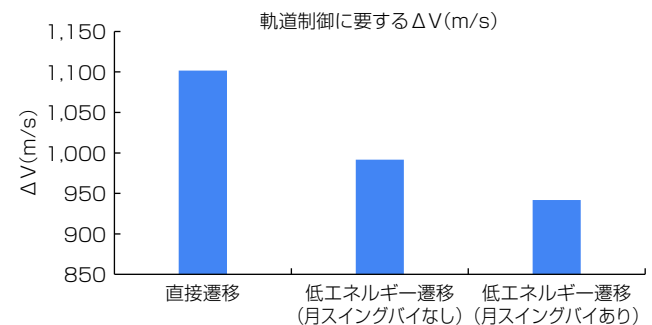
SLIM(Smart Lander for Investigating Moon) は、2024年1月20日に世界初の月面ピンポイント着陸(誤差100m以下)を達成した小型の月着陸実証機である。SLIMの特長である“軽量の月惑星探査機システム”を実現するために、月スイングバイと太陽潮汐(ちょうせき)力を活用した低エネルギー遷移軌道を設計した。月スイングバイによって、軌道制御を行うことなく、遠地点高度を月高度(38万km)から138万kmまで上昇させている。また、月スイングバイ後に深宇宙を数か月間航行することで、太陽潮

汐力を受けながら加速し、近地点高度を月高度まで上昇させている。これによって月と再会合するときの月に対する相対速度をほぼゼロにして、月周回軌道投入に必要な速度増分(ΔV : 推進消費量に対応)を削減している。設計した軌道を採用することで、従来の直接遷移軌道と比べて軌道制御に要する ΔV を10%以上削減できた。これによって搭載推進量を削減し、小型軽量の探査機システムの開発及び世界初の月面ピンポイント着陸に貢献した。

今後は、開発した軌道設計技術を活用・強化し、国際協力で推進が予定されているアルテミス計画等への参画を通して、持続的な宇宙探査活動の確立や人類の活動領域の拡大に貢献していく。



SLIMの低エネルギー遷移軌道



直接遷移と低エネルギー遷移の速度増分(ΔV)の比較

小型月着陸実証機SLIMの通信・測距技術



Communication, Range and Range Rate Measurement Technology for SLIM

小型月着陸実証機(SLIM)の打上げから月着陸後の探査ミッションに至るまで、SLIM搭載のS帯トランスポンダーは、地球とのデータ通信や地球からの位置推定を支援する役割を担っている。S帯トランスポンダーは、SLIMの受信機に到来する地上からの信号を正確に捕捉・追従し、あらかじめ定めた遅延量と周波数比率で電波を折り返し送信する。これを受けた地上側受信機で電波の往復に要した時間を測定することによる距離推定(測距)と、送受した信号の周波数差からドップラー測定による速度推定を実現している。当社はHTV(H-II Transfer Vehicle)に搭載したトランスポンダーの開発で培った捕捉・追従に必要な位相同期技術をSLIM向けに改良し、受信電力が微弱で、高速移動に伴う大きなドップラー変動が発生する環境でも安定して地上の信号を捕捉・追従するとともに、地球側の測距・速度推定に必要な周波数安定度で信号を折り返し送信することに成功した。また、SLIMがスピン運動し、搭載アンテナが地球を指向しなくなることで受信レベルが低下

するが、一定期間のレベル低下が発生しても追従の破綻を防ぎ、時間のかかる捕捉のやり直しを防ぐ制御機能を設けた。さらに、アナログ/デジタル信号変換部の高速化によって、直接S帯の電波をサンプリング可能にして、搭載アナログ部品の点数削減によるSLIMの小型化に貢献した。



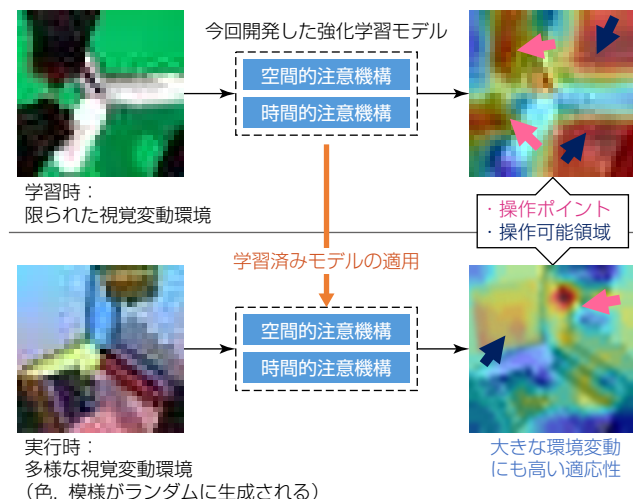
SLIM向けS帯トランスポンダー

自律走行ロボットや産業用ロボットに求められる高精度かつ高信頼な制御を実現するためには、現実世界の複雑な環境への適応能力が求められる。強化学習は、このような高度なロボット制御を可能にした強力なロボット学習手法である。しかし、従来の強化学習アルゴリズムは、視覚情報の汎化性に欠けて、大きな環境変動への適応が課題になっていた。

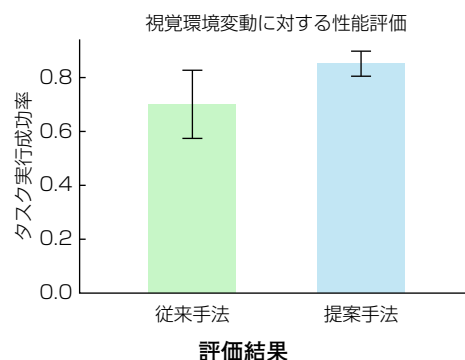
今回、視覚情報に対して空間的注意機構と時間的注意機構を統合した新しい強化学習アルゴリズムを開発した。空間的注意機構は、視覚情報内の重要な箇所に注目し、時間的注意機構は過去の視覚情報群からタスク実行に有用な視覚情報を動的に生成する。この二つの注意機構を用いることで、環境変動の影響を受けずに環境内の操作ポイントと操作可能領域を識別可能にして、高い環境適応力を持つ制御の学習を実現した。

実験では、ロボットハンドによるバルブ回転タスクを対象に、現実世界でよく見られる視覚環境変動として色変化とノイズ付与の条件下で、限定した環境変動下での学習済みモデルの性能評価を複数回実施した。その結果、従来の強化学習と比較して、タスク実行成功率(平均値とばらつき)が大幅に向上することが示された。

今回の開発によって、現実世界の環境変動に対応可能なロボットや自動化システムの実用化に貢献できる。



提案方式の概要



評価結果

圧縮センシングを用いたレーダー目標検出感度向上技術

安全保障環境が変化の中で、電波を用いて早期に遠距離の目標が検出可能なレーダーの重要度は高く、より小さい・より遠い目標を検出する高感度化が求められている。今回、一般的にレーダー目標の分布は電波照射エリア内でスパースな特性と、1観測時間内での目標成分の変動は小さく、受信機雑音の変動は大きい特性に着目し、受信機雑音を効果的に抑圧するNewCS(Noise Elimination with Compressive Sensing)法を考案した。この手法では、まず、1観測時間内の受信信号を数個のブロックに分割し、スパース性を仮定した逆問題を解く圧縮センシングによってスパースな信号を復元する。次に、ブロック間で復元信号の相関及び積分を行う(図1)。これによって、変動が

小さい目標成分だけが積み上がり、変動が大きい受信機雑音は抑圧され、目標検出感度の向上が可能になる。シミュレーション検証によって、圧縮センシングによる信号復元を行わない従来の信号積分法と比較し、目標成分以外の電力レベルを大きく抑圧できることを確認した(図2)。目標検出感度の評価結果は従来比約2倍であり、これは従来の半分の面積、又は1.2倍遠くの目標が検知できることに相当する。今後はレーダーシステムや無線通信システム等その他装置の受信処理部への適用を目指す。

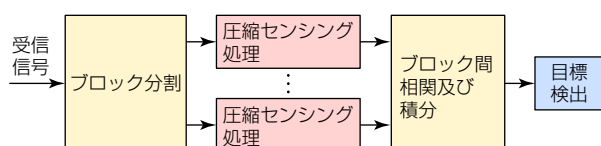


図1-NewCS法処理フロー

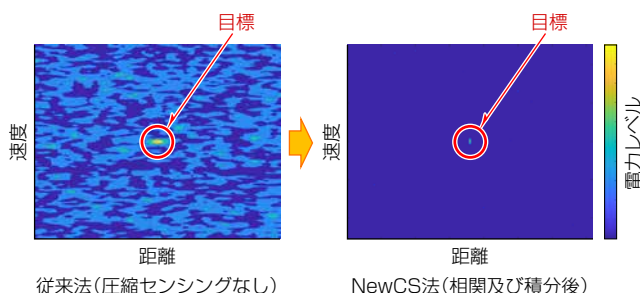
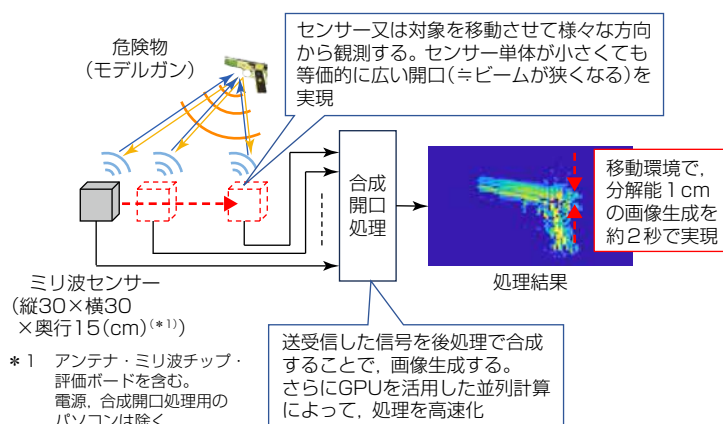


図2-信号復元結果

近年の公共空間でのセキュリティ意識の高まりを背景に、空港・駅、アミューズメント施設等で、危険物を検査する装置の導入が進んでいる。空港等に設置されているX線検査装置は人体への安全性の観点で主に手荷物検査に限定されている。また、人体に安全なミリ波を用いたボディースキャン装置の空港への導入が始まっている。しかし、高分解能イメージングを実現するには、人が立ち止まった状態で、大きなアンテナを用いて周囲360°の計測が必要であり、数分/人の検査時間を要していた。

今回、観測衛星等に搭載されており、地表面を電波でイメージングする合成開口レーダー技術を活用することで、比較的小型なセンサーかつ移動環境下でのイメージングを実現する技術を開発した。合成開口レーダー技術は、センサー又は対象物の移動に伴い、複数の方向から観測した結果を後処理で合成することで、等価的に大きな開口のアンテナを実現し、分解能を向上させる技術である。さらに、GPU

(Graphics Processing Unit)を活用した並列計算によって、処理を高速化した。モデルガンの移動環境を模擬した実験によって、分解能1cmのイメージングが約2秒で可能なことを確認した。この技術によって、人の流れを止めずに危険を検知する未来社会の実現に貢献する。



対象物の移動環境を模擬した実験状況及び処理フロー

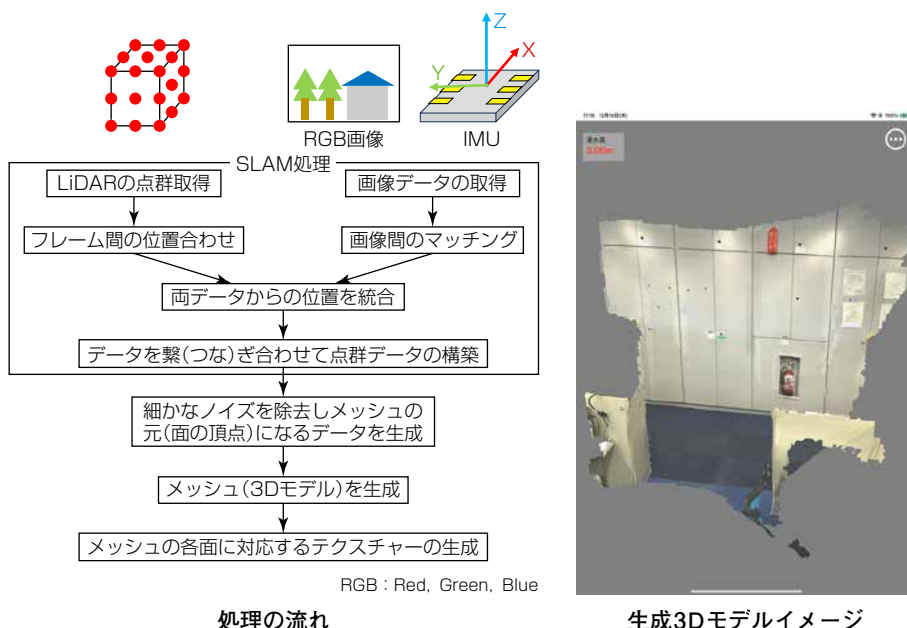
スマートフォンのセンサーを活用した三次元計測技術

水害発生時の保険金支払のためには被災度合いを把握する必要があるが、被保険者は専門的な計測装置を扱うことができず、計測者の派遣を待つ必要があった。そこで、スマートフォンに搭載されたLiDAR(Light Detection And Ranging)、カメラ、IMU(Inertial Measurement Unit)センサーを利用した自己位置推定と環境地図作成を同時に行うSLAM(Simultaneous Localization and Mapping)技術を開発し、作業者の技量によらず三次元情報を生成し、被害度合いを計測できる技術を開発した。

今回開発の技術では、SLAM技術によって画像とIMUを併用して算出したスケール情報を含む姿勢と、LiDAR点群から推定した姿勢をそれぞれ取得して、保持しておく。そして、計測時刻までの数フレームだけで生成した狭域の環境地図を参照して算出した重みを使用し、同期させた上でそれぞれの姿勢を更新することで、環境や姿勢変化に頑強な三次元情報生成を実現した。さらに今回開発の技術では、先に述べた方法で取得した姿勢情報、三次元情報を

用いて三次元点群を生成し、計測した画像を貼り合わせることで三次元モデル(メッシュ)の作成が可能である。

今後、工場・オフィス向けなど適用先の拡大や、より汎用的な利用を目指して、一般的な端末に搭載されているカメラとIMUだけで計測できる手法を開発していく。そのために、フレーム間で対応点を正確に推定し、姿勢を最適化する技術の開発を進める。



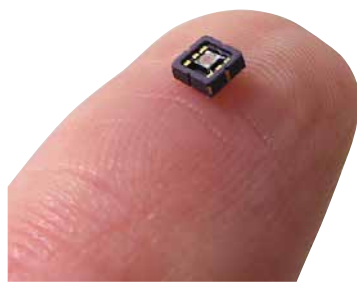
鉛フリー圧電薄膜を用いたMEMS超音波センサー

MEMS Ultrasonic Sensor Using Lead-free Piezoelectric Thin Film

送信した超音波が対象物で反射して戻ってくるまでの時間を用いて距離を測定するMEMS(Micro Electro Mechanical Systems)超音波センサーを開発した。Si(シリコン)メンブレン上に圧電薄膜を形成し、メンブレンを振動させることで超音波の送受信を行う。圧電薄膜には鉛フリーのKNN(ニオブ酸カリウムナトリウム)を採用し、一般的に用いられるPZT(チタン酸ジルコン酸鉛)と同等の性能を実現した。MEMS技術によって、素子サイズは1.2mm角、体積はバルクPZT式センサーと比べて0.01%と超小型である。

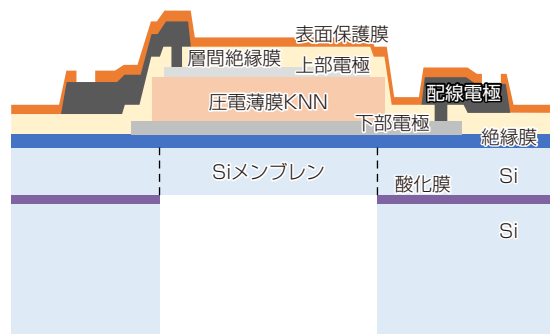
MEMS超音波センサーはメンブレンが極小のため、高い送信圧を得るために共振駆動を用いるが、メンブレンの変位量はハードスプリング効果という非線形周波数特性によって制限され、測距性能に問題があった。

今回の開発では、圧電薄膜の構



パッケージに搭載した
MEMS超音波センサー素子

造と積層薄膜の応力を最適化し、メンブレンに適切な撓(たわ)みを持たせることで非線形周波数特性が緩和されることを見いだした。これによって、メンブレンの変位は線形変位の10倍以上になり、5m以上の測距性能を達成した。複数の素子を用いることで三次元位置検知も可能である。MEMS超音波センサーは微小で設置しやすく、ガラスなどの透明物体も検知できるため、屋内モビリティ向け周辺監視などに適用できる。



MEMS超音波センサー素子断面構造

“電磁指紋”電子機器・部品の電磁的特性を利用した真贋判定技術

"Electromagnetic Fingerprint" Authenticity Determination Technology Using Electromagnetic Characteristics of Electronic Devices and Parts

近年では偽造品による被害が増加しており、従来の外観による判定に加えて、RF(Radio Frequency)タグやセキュリティチップの組み込みなどの対策にコストがかかっている。当社は、電子機器から生じる電磁ノイズ特性や、機器の外部端子から観測される反射特性(機器が電磁波をどのように反射するかを示す特性)などの一部の電磁的特性が、機器の設計によって異なり、かつ意図的に複製することは困難であることを見いだし、これを“電磁指紋”と称した。一例として同様な機能を持つ異なる二つの電子機器の反射特性を図1に示す。同色の複数の線は同じ機種内の異なる個体の特性であり、色の違いは機種の違いを示している。同じ機種内での特性に比べて異なる機種の特

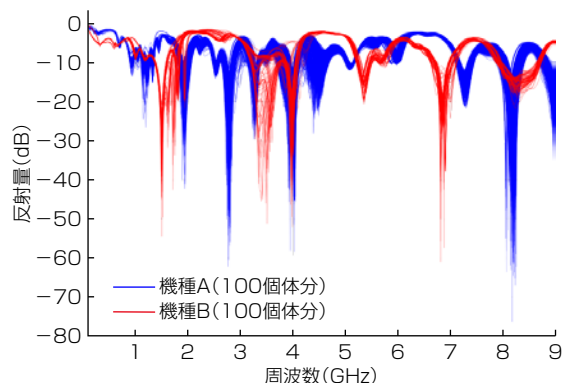


図1-電磁指紋(電子機器の反射特性)の例

性は大きく異なっており、この性質を利用することで真贋(しんがん)判定が可能になる。具体的には、対象機器の電磁指紋をあらかじめ正規品の特性としてデータベースに登録し、必要時に照合することで、外観からでは判別不可能な偽造品の真贋判定を容易に可能にする技術を開発している(図2)。この技術によって、セキュリティチップ等の追加コストなく、電子機器や半導体の偽造品がシステムに組み込まれることを防止し、偽造品によって引き起こされ得る正常動作の阻害や意図的な障害発生・情報漏洩(ろうえい)などを防止でき、安心・安全な社会の実現への脅威を排除する手段の一つになる。

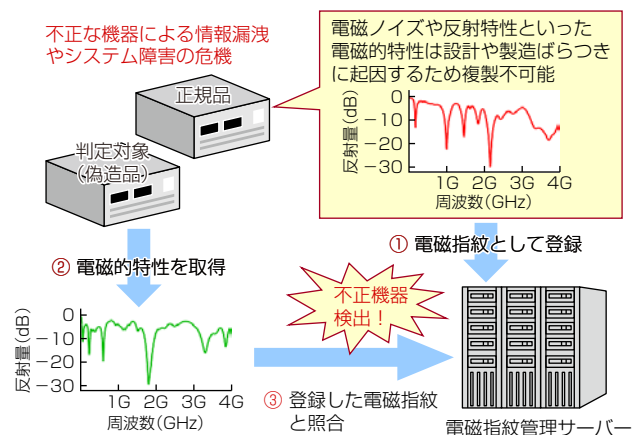


図2-電磁指紋を用いた真贋判定システムのイメージ

電波と加速度を用いたマルチモーダル非接触生体センシング技術

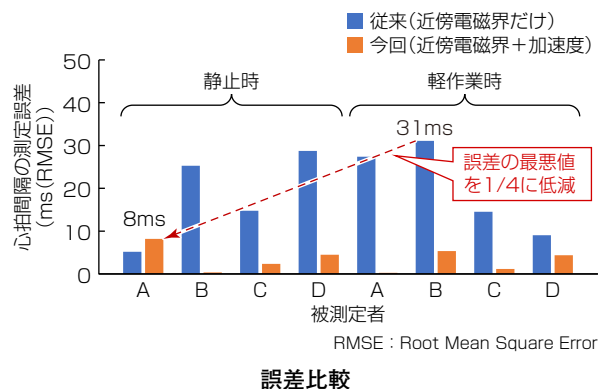
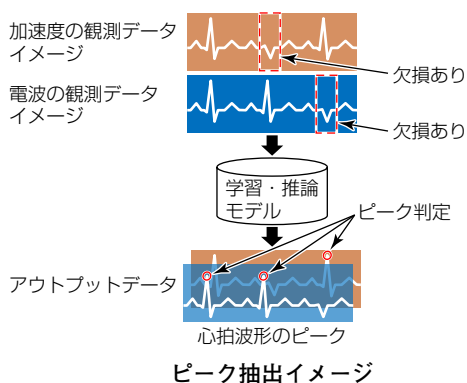
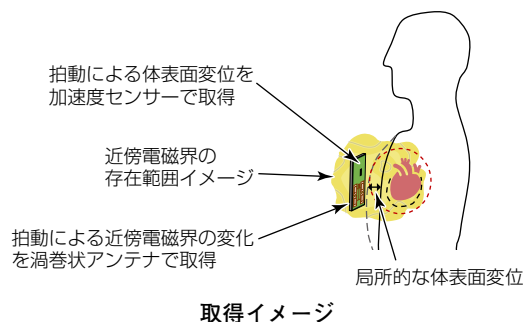
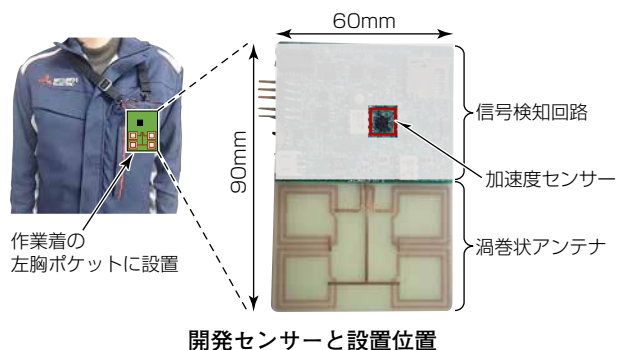
Multimodal Contactless Biometric Sensing Technology Using Radio Waves and Acceleration

心臓全体の動き(拍動)に起因する近傍電磁界の変化をアンテナで検知する非接触心拍センサーでは、体動や設置位置のずれに起因するデータ欠損による心拍間隔(心拍波形ピークの間隔)の測定精度低下の抑制が課題である。

今回、拍動に伴う局所的な体表面変位を捉える加速度センサーも併用し、機械学習を用いて心拍間隔を抽出するマルチモーダル方式を開発した。信号検知回路と渦巻状アンテナから成る名刺サイズの非接触心拍センサーの回路部に加速度センサーを実装して、先に述べた二つの異なる心拍

連動事象を観測可能にした。これら2種の観測データを用いた機械学習・推論によって、単一センサーではデータ欠損が生じる場合にも互いに補完することで、心拍間隔の測定精度を高めた。静止時と軽作業時の2シーンで被測定者4名の左胸部に試作センサーを設置して心拍間隔を測定し、測定誤差の最悪値を従来比1/4まで低減できることを確認した。

今後、個人差の影響を抑制するためロバスト性の向上を図り、健康データの見える化等によって働く人々のウェルビーイングに資するソリューションへの適用を目指す。

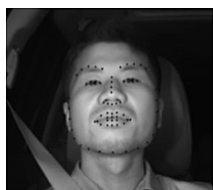


カメラによるバイタルサインのモニタリング

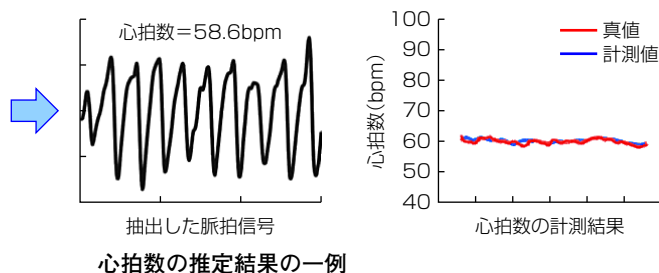
Camera-Based Monitoring of Vital Signs

ウェルネス、高齢者ケア、車内乗員モニターなどの分野でバイタルサインは健康状態を評価する重要な指標であり、利便性や衛生面から非接触計測の要望がある。

今回、カメラで撮影した人の顔映像から、脈動に応じた血液流量の変化によって生じる肌の微小な明るさ変化を抽出し、血流による脈拍信号を取得する独自のAIを開発した。顔の複数の部位の肌の明るさ変化を分析し、顔の動きや外光などの外部要因の影響を抑制することで検出性能を向上させた。一般的に利用されるMMSE-HR(Multimodal Spontaneous Expression-Heart Rate)ベンチマークデータセットを用いたテストで、心拍数を1分間当たり平均絶対誤差1.11bpmで計測できることを確認した。



顔映像の分析箇所



非常時の鉄道シャトル運転移行の迅速化

Rapid Transition to Train Shuttle Operation during Fallback

鉄道運行で事故や故障が起きたとき、逆向きの走行が許可される無線式列車制御などの信号システムであれば、通行不可領域内で通行できる路線(図1)を使ってシャトル運転(双方向運転)に移行し、輸送を維持できる。しかし、シャトル運転は列車運行や乗客の状況を踏まえて、経験に基づいて担当者が人手で専用ダイヤを作成しており、適切な双方向区間を決定してシャトル運転へ移行するのに時間がかかる。

そこで、過去の実績と現在の状況から乗客需要を予測し、乗客と事業者双方の利得のバランスの取れた双方向区間を自動決定

するシミュレーション技術を開発した(図1)。これによって、専用ダイヤ作成の効率化を図ることができ、迅速にシャトル運転に移行することが可能になる。

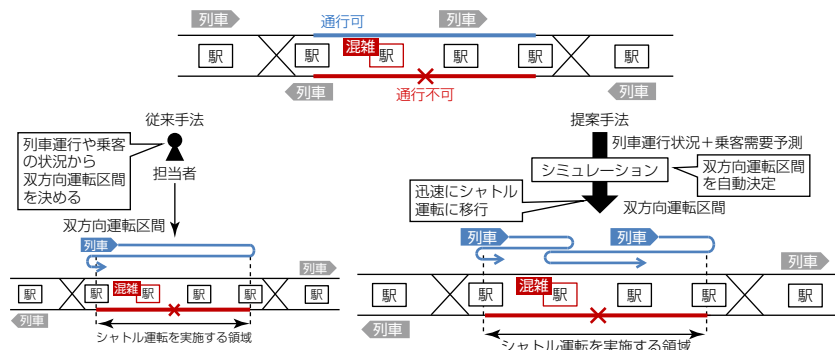


図1-シミュレーションによるシャトル運転移行の迅速化

広範囲人物追跡技術

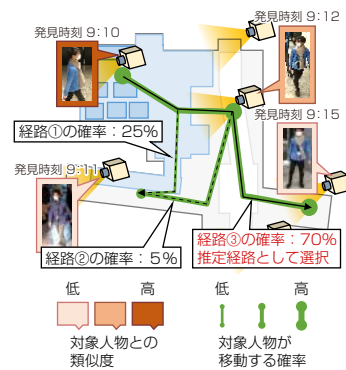
Wide-Area Human Trajectory Prediction

広範囲に設置した多数のカメラの画像から、追跡対象の人物の画像を限られた人員で探して、その移動経路を特定することは膨大な労力がかかる。

そこで、自動で移動経路を推定する画像解析技術を開発した。従来は、対象人物との類似度だけを用いて移動経路を推定していたが、今回開発の技術ではそれに加えて、カメラ位置と類似人物の発見時刻を用いて、考えられる経路候補ごとに対象人物が移動する確率を算出し、最も確率が高い候補を推定経路として選択する。これによって、時間的に移動できない場所にいる類似の別人物の影響を低減で

き、従来と比べて誤推定を61%削減した。

今後は、安心安全な社会の実現やマーケティング分野への応用を視野に入れて、監視カメラシステムへの適用を進める。



開発方式の概略

自律走行車用LiDARへの妨害攻撃が及ぼす影響評価

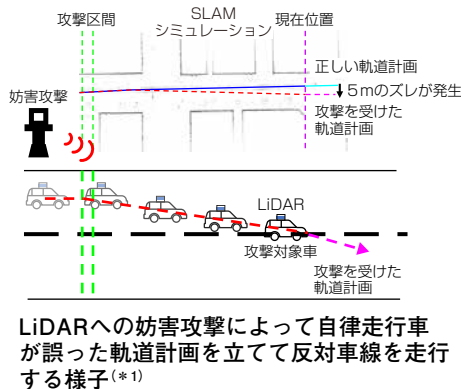
Assessment of Impact of Random Spoofing Attacks on LiDAR for Autonomous Vehicles

レーザーによって周囲環境を測定するLiDARは、自己位置の推定と3D地図生成を行うSLAM技術と組み合わせ、安心安全な自律走行の実現に大きく寄与している。これまで、LiDARへの妨害攻撃によって、LiDARから得られる情報がどのように変化するかを評価する研究が行われてきた。

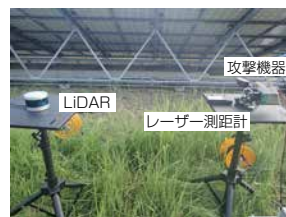
今回、LiDARの物体検出に検知されない後方からのレーザー照射に着目した当社独自の妨害攻撃によって、SLAMの地図生成処理が重大な影響を受けて、自律走行車が誤った経路を走行する可能性があることを、シミュレーション及び実験で明らかにした。

今後、この妨害攻撃に対する有効な

対策を導くことで、より安心安全な自律走行の実現に貢献する。



LiDARへの妨害攻撃によって自律走行車が誤った軌道計画を立てて反対車線を走行する様子(*1)



屋外照射攻撃実験(*1)



屋内照射攻撃実験(*1)

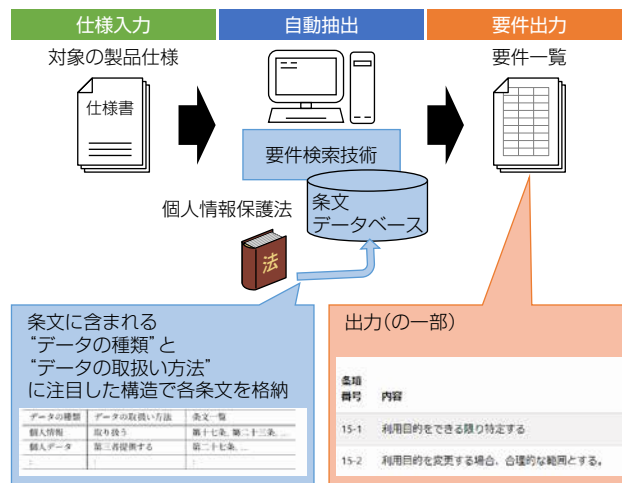
*1 出典：Fukunaga, M., et al. : Random Spoofing Attack against LiDAR-Based Scan Matching SLAM

プライバシー保護設計効率化を実現する個人情報保護要件抽出ツール

Tool for Obtaining Requirements Regarding Protection of Personal Information towards Privacy by Design

製品開発者は、個人情報保護法に規定された多くの要件から、開発製品に関連するものを抽出し、製品設計へ反映しなければならない。この抽出作業は人手で実施されてきたが、個人情報保護法の知識が乏しい開発者にとって容易ではなかった。

そこで、製品仕様を入力すると、個人情報保護法の条文中から当該製品に関連する条文を自動的に抽出するツールを実現した。今回開発のツールでは、各条文の文章構造の分析結果を基に開発した“条文を格納するデータベースのデータ構造”及び“同データベース上での検索技術”によって、仕様からの効率的な関連条文の抽出を実現している。今回開発のツールによって“個人情報保護法からの要件抽出”作業の負担軽減と、要件抽出誤りの防止を実現できる。



ツールの全体像

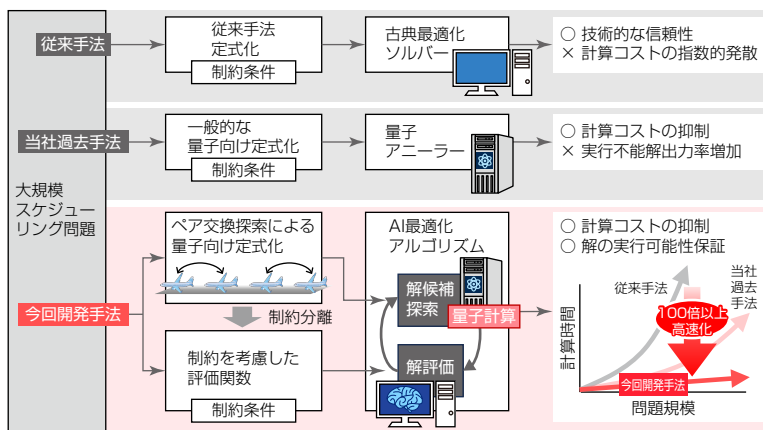
量子・AIハイブリッド技術による大規模スケジューリング技術

Large-Scale Scheduling Technology Using Quantum and AI Hybrid Techniques

量子アニーリング(QA)とAI技術を組み合わせることで大規模なスケジューリング最適化問題を、高効率に計算する技術を開発した。大規模スケジューリング問題はその組合せの多さから、計算時間が膨大になり実用化の障壁になっている。

今回の開発では、AIを用いた強力な最適化手段であるベイズ最適化の候補探索にQAを用いることで、スケジューリング問題の探索効率を飛躍的に向上させた。また、独自の定式化手法を採用し解探索時の制約をQAとAI部に分散することで、①実行不能解の回避性向上、②モデリングコスト削減、③量子アニーリングの探索安定化を実現した。シミュレーションによって

100倍以上の計算速度向上を確認した。



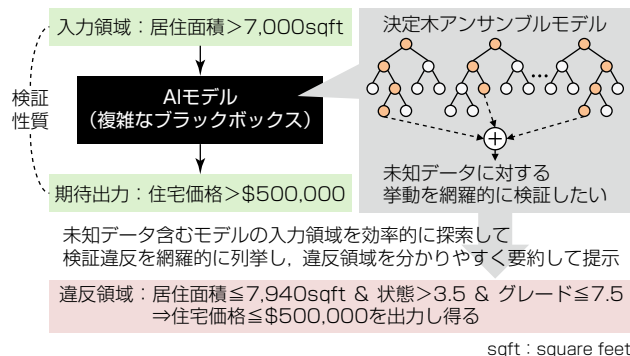
量子・AIハイブリッド最適化技術の概要

未知データに対するAI挙動を網羅的に検証する技術

Technique to Comprehensively Verify AI Behavior on Unknown Data

AIモデルの推論は帰納法的でかつ一般に複雑なブラックボックスであるため、従来のソフトウェアテスト手法を適用することが難しい。今回、数値データの分類・回帰に用いられる決定木アンサンブルモデルに対して、期待する検証性質を満たすか否かを未知データを含めて厳密に検証し、その結果を要約する手法を開発した。この手法によって、モデルの入力領域を効率的に探索して検証違反を網羅的に列挙し、違反に対して適切に対処できるように違反領域を分かりやすく提示できる。実験の結果、検証時間をデータセットによっては従来手法の1/1000以下まで短縮すると同時に、従来手法と比較して真の違反領域により近

い違反領域を提示できることを確認した。



住宅価格予測モデルの検証例

欧州でのAI倫理リサーチの取組み

Research Initiative on AI Ethics in Europe

近年、欧州では包括的なAI規制を世界に先駆けて進めており、欧州視点のAI倫理動向は事業活動で重要な要素になる。そこで、マンガを用いてAI倫理の議論を活性化する当社プロジェクト“AI SPEC”を、オーストリアで開催されたArs Electronica^(注) Festival 2024に出展し、市民や研究者、アーティストへのリサーチを行った。

来場者は、起こり得る未来を描いたマンガを読んで、自らの価値観や文化的背景を踏まえながら対話に参加した。集まった意見からは権利意識や行動動機に日欧の違いが読

み取れるとともに、マンガというコンテンツが欧州でも人々の議論を促すツールとして有効であることを確認できた。



展示会でのコメント収集の様子

赤外線センサー“MeIDIR”を活用した家畜の監視システム

Livestock Monitoring System Using Infrared Sensor "MeIDIR"

家畜の体温を赤外線センサーで推定する技術を開発した。豚などの家畜の体調は、食欲、排せつなどの行動を観察し推定しているが、人間同様、体温の変化から体調を推定できる。家畜の表面温度測定には、赤外線カメラを用いることが一般的であるが、コストが高いという課題がある。

そこで今回、当社が開発した低コストな赤外線センサー

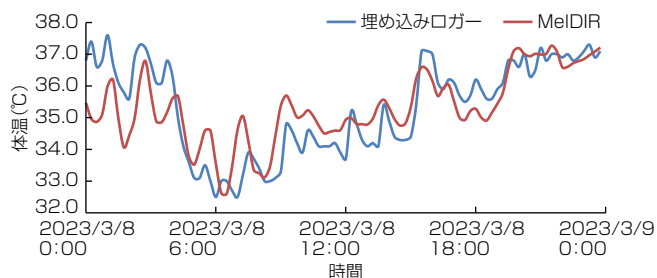


図1-マウス体温の推定結果

“MeIDIR”を用いて、家畜用深部体温推定アルゴリズムを開発し、マウスでの実験を行った。結果、マウス体内に埋め込んだロガーで取得した体温と遜色ない精度で測定できることを確認した(図1)。今後は豚を対象に体温推定技術の確立を目指す(図2、図3)。なお、今回の開発は、宮崎大学農学部との共同研究によって実現した。

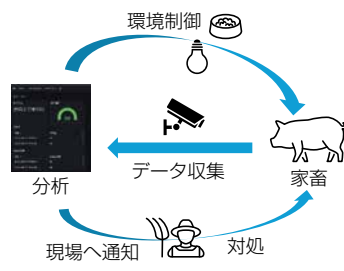


図2-家畜監視システム構成イメージ

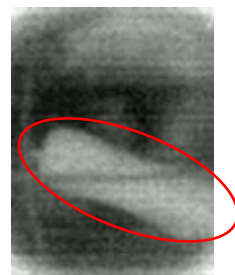


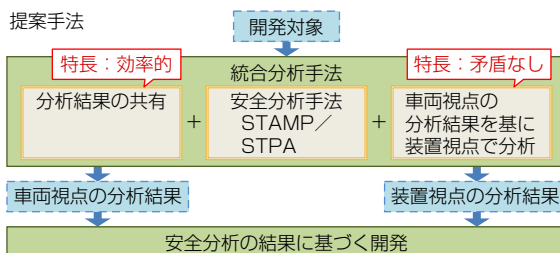
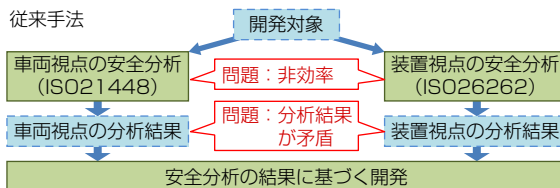
図3-MeIDIRで撮影した豚の様子

自動車・自動車機器の開発に向けた新しい安全分析手法

New Hazard Analysis Method for Automotive System Development

自動車の安全に関する規格にはISO21448とISO26262がある。これまでは同一の開発対象に対して、人命に関わる危険を検出する安全分析を、両規格に基づいて車両視点と装置視点とで別々に行っていた。そのため分析結果が矛盾したり非効率であったりするという問題があった。

そこで両規格の安全分析を統合的に行う手法を開発した。まず両規格の安全分析を整理し、共有する部分と車両視点から装置視点を導出する部分とを明確にした。次に整理した結果に基づいて、車両視点の安全分析手法であるSTAMP (System-Theoretic Accident Model and Processes) / STPA (System-Theoretic Process Analysis) を拡張し、装置視点の分析結果を導出するようにした。この手法の妥当性を試行によって検証し、一度の分析で矛盾なく効率的に両規格の安全分析に対応できることを確認した。



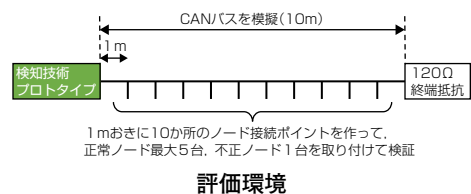
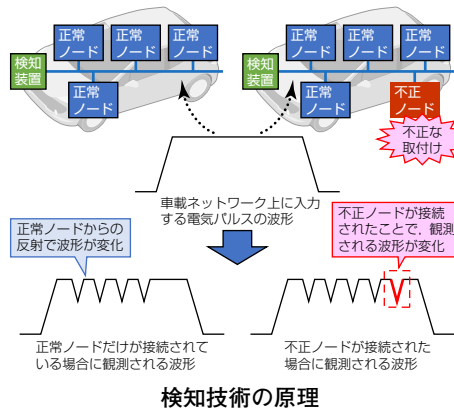
開発物 開発プロセス 分析手法・手順
従来手法の問題と提案手法の概要

車載ネットワーク内の盗聴を防止するサイレントノード検知技術

Silent Node Detection Technology to Prevent Eavesdropping on In-Vehicle Networks

カーシェアの普及に伴い、車載ネットワークへ不正にノードが取り付けられる危険が増大しており、ノードの不正接続を検知する技術が注目されている。従来技術は、ネットワークを流れるメッセージを監視することでノードの不正接続を検知するため、メッセージを出力せず盗聴だけを行う不正ノード(サイレントノード)を検知できなかった。今回、ネットワーク中に電気パルスを入力すると、接続さ

れた各ノードからの反射によって、観測波形が接続ノードに応じた形状になることに着目し、入力したパルスの観測波形の変化を捉えて、サイレントノードの接続を検知する技術を開発した。簡易なネットワーク構成かつノイズがない条件下での評価では、検知率98.5%、誤検知率0%を確認した。

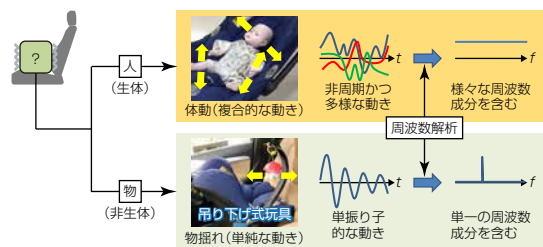


ミリ波レーダーを用いた幼児置き去り検知での誤警報の抑制

False Alarm Prevention for Child Presence Detection Using Milli-meter Wave Radar

自動車内の幼児置き去りによる熱中症死亡事故が社会問題化しており、車内に残された幼児を検知する機能が欧州自動車安全性評価の対象になった。シート背後や毛布に隠れた幼児の検知も求められることから、布などを透過して検知可能なミリ波レーダーを用いた方式が有力視されている。ミリ波レーダーでは呼吸に伴う胸腹部の動きから幼児を検知することが一般的だが、車内に残した飲料や吊(つ)り下げ玩具等の揺れが誤警報要因になり実用面で課題になる。今回、動きの複雑さや時系列変化の違いに着目した人と

物揺れの識別技術を開発し、幼児置き去り検知のロバスト性を向上させ、実車両で収集した物揺れデータ(94件)に対する誤警報率を25.5%→0%に削減した。

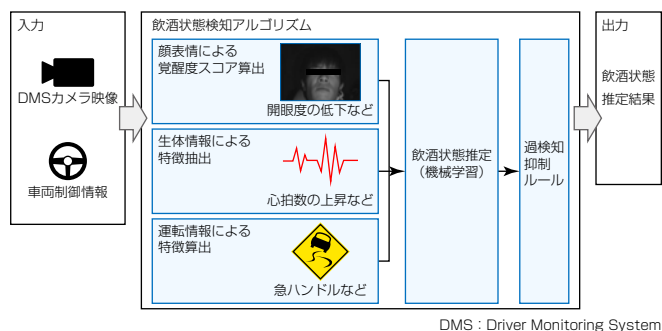


人と物揺れの識別技術概略

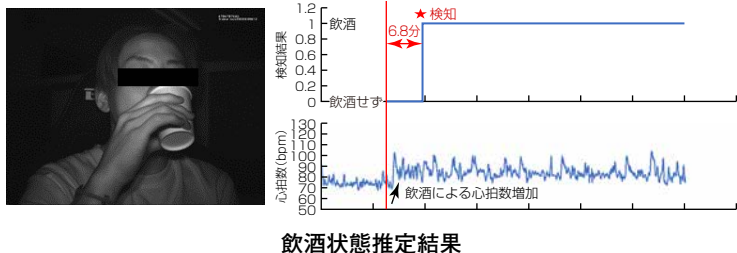
飲酒状態検知技術

Camera-Based Drunkenness Detection Technology

飲酒による交通事故死者数は米国で年間1万人以上と社会課題になっており、欧州や米国を中心に法規・ガイドライン化の議論が進んでいる。これまでドライバーの飲酒状態検知にはアルコール呼気検知装置が用いられてきたが、装置の追加設置が必要で、コストが高くなる課題があった。今回、カメラから得られるドライバーの生体情報・覚醒度情報、車両から得られる操作情報を用いて機械学習で飲酒状態を検知する技術を開発した。これによって追加の装置なしに82%の精度で飲酒状態の検知が可能になった。今回開発の手法によって走行中の飲酒状態推定が可能になり、飲酒運転に対する警告／車両制御が可能になる。今後は実車搭載に向けて、実走行環境下での課題分析・対策を進める。



飲酒状態検知システム概要



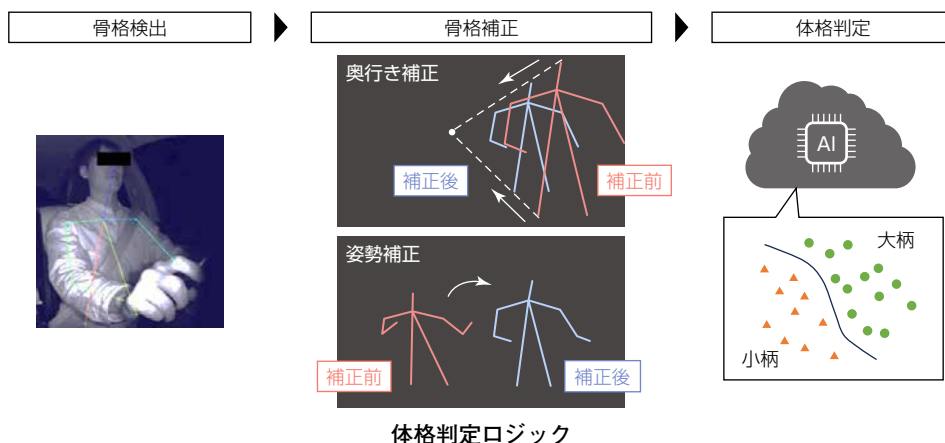
車載カメラによる体格判定技術

Physique Classification Using In-Cabin Camera

近年、ドライバーの安全を確保するためにDMSの導入が進んでいる。DMSによってドライバーの居眠りや脇見などの検出が可能になったが、今後は同乗者の安全確保の需要が高まると予想される。中でも注目されているのが体格判定であり、DMSのカメラを活用することで荷重センサーの削減と判定精度向上の効果が期待されている。

今回、画像から乗員の骨格情報を用いて体格を判定する手法を開発した。人体の抽象的な骨格情報を用いることで、被験者の奥行きや姿勢の推定が可能になり、多様な車室内環境で体格判定が可能になった。

今後はロバスト性の改善や車載機器への搭載を進める。



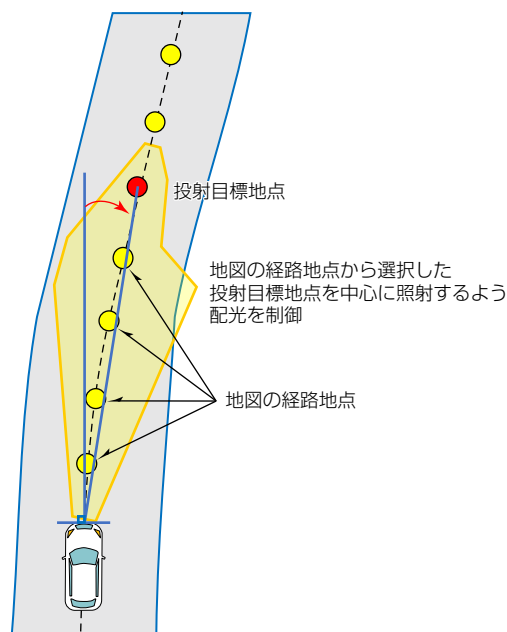
灯火制御技術のカーブ先読み配光制御機能

Lighting Control Technology: Curve Prediction Beam Distribution Control Function

安全な夜間運転のために現在位置と地図から進行方向の道路形状に基づいてヘッドランプを配光制御する“カーブ先読み配光制御機能”を開発した。

機能あり／なしで山道を走行評価した結果、7段階の主観評価は機能ありが5.4点と、機能なしの4.0点よりも高評価を得た。また、木々や山の斜面等の遮蔽物がない地点では、視線と配光の差は、機能ありが3.9°と、機能なしの9.5°に比べて視線の先を明るくできた。一方、遮蔽物がある地点では視線と配光の差は遮蔽物がない地点に比べて大きくなり、主観評価も悪くなった。これは被験者は遮蔽物を避けて視認するのに対して、配光は前方の道路を遮る遮蔽物を照射するためである。

今後、遮蔽状況に応じた配光制御による機能の向上を行う。



カーブ先読み配光制御機能

山道の実車走行評価結果のまとめ(平均値)

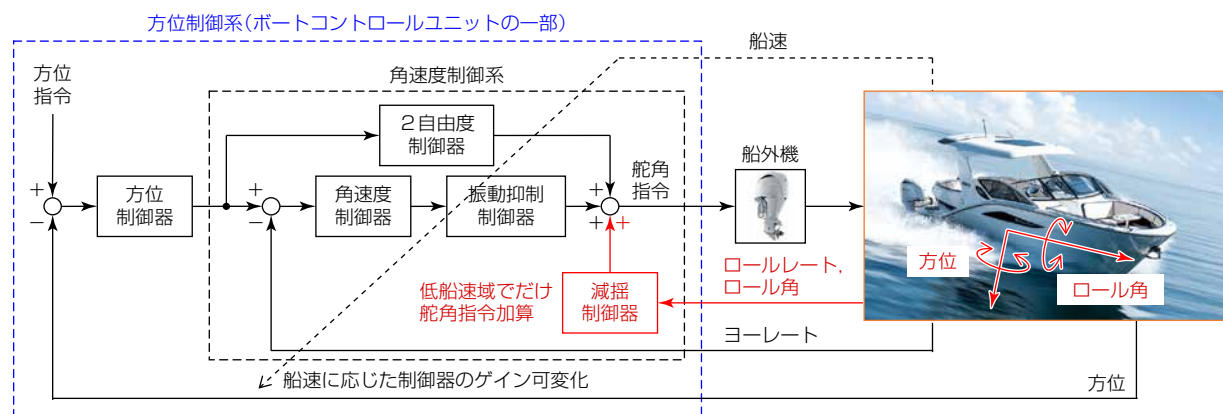
	機能あり	機能なし
7段階の主観評価結果 (7点：高、4点：どちらでもない、1点：低)	5.4	4.0
遮蔽物がないカーブの視線と配光の差	3.9°	9.5°
遮蔽物があるカーブの視線と配光の差	9.9°	5.5°

プレジャーボートの横揺れ低減と方位制御を両立する運動制御技術

Motion Control Technology to both Roll Reduction and Heading Control for Pleasure Boat

低船速時にプレジャーボートの横揺れを低減する減揺制御器を開発した。プレジャーボートは、低船速で真っすぐ航走しても横揺れし、搭乗者が船酔いする一因になる。また用途面で、流し釣りがしにくくなり、横揺れの改善が課題であった。今回、船外機の舵(かじ)がボート重心より低い位置にあることに着目し、操舵(そうだ)による方位の回

転力と、重心ずれによる船体のロール運動を引き起こす回転力とが同時に発生する動特性を実験的に解明した。これによって、ロールレートとロール角から横揺れを相殺する舵角指令を生成する減揺制御器を開発した。この制御器は、低船速領域でだけ方位制御に舵角指令を加算するものであり、プレジャーボートの横揺れ低減と方位制御を両立できる。



写真の出典：ヤマハ発動機株式会社製品サイト(<https://www.yamaha-motor.co.jp>)

減揺制御器を含む方位制御システムの全体構成

ヘッドマウントディスプレイ(HMD)を用いた業務訓練システム

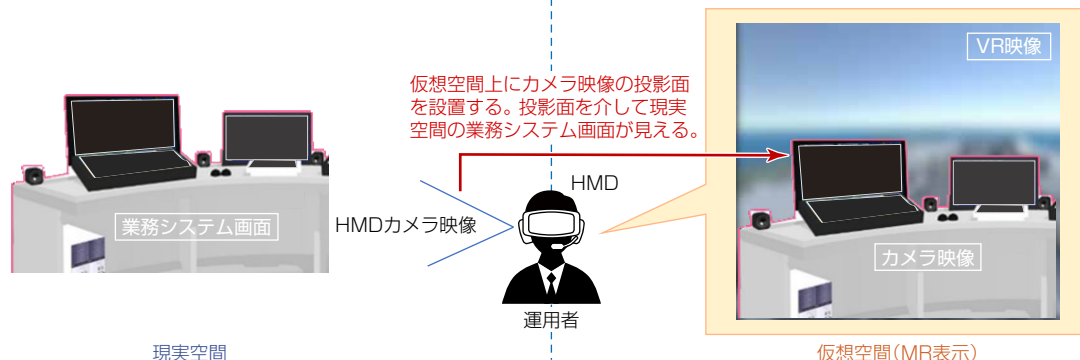
Social Operations Training System with HMD

社会インフラに関わる監視業務では、運用者が業務システムを熟知し、様々な状況を考慮して事前に訓練しておくことが安全を確保する上で重要である。訓練では、時々刻々と変化する周辺環境をVR(Virtual Reality)で生成し、それをHMD(Head Mounted Display)に表示することが有用である。しかし通常、VRは現実世界から遮断されるため、物理的な操作(タッチ操作等)を必要とする業務画面

との共存が課題になる。そこで、実設置した業務画面をカメラで捉えて、かつ業務内容に連動した周辺環境のVR映像と合成するMR(Mixed Reality)技術を研究開発している。これによって、業務システムの従来の操作性を維持し、仮想空間と現実空間の両方のメリットを持った訓練が可能になる。

現実空間には業務システム画面(シミュレーター)を設置する。実運用と同じ操作性で訓練できることが現実空間のメリットである。

仮想空間には周辺環境を模擬したVR映像とともに業務システム画面のカメラ映像を表示する。周辺環境表示用のディスプレイ削減、及び没入的な再現ができることが仮想空間のメリットである。



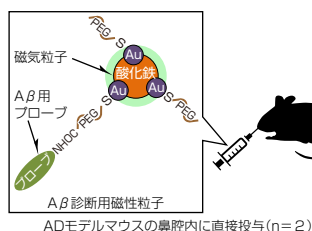
MRを利用した訓練システムのイメージ

アルツハイマー病発症前の画像検査の実現に向けた磁気粒子イメージング装置

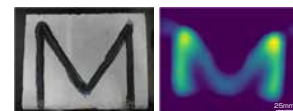
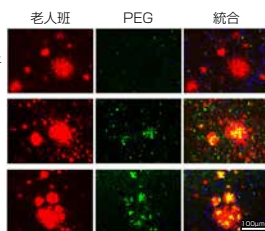


Magnetic Particle Imaging Device for Preclinical Alzheimer's Disease Detection

アミロイドβ(Aβ)に特異的に結合する磁気粒子と、ヒト脳サイズの領域に存在する磁気粒子を高感度に撮像可能な磁気粒子イメージング(MPI)装置の開発に成功した。アルツハイマー病(AD)は、脳内にAβという老廃物が沈着し、老人班を形成することが原因と考えられ、Aβの蓄積量を診断する技術の開発が期待されている。磁気粒子表面にAβに特異的に結合する分子プローブを担持することに成功し、ADモデルマウスに経鼻投与することで、脳内の老人班位置に磁気粒子が集積することを抗PEG(Polyethylene Glycol)染色によって確認した(*1)。MPI装置は、磁気粒子が外部から交流磁場を受けて生じる磁化信号を検出することで位置・量を画像情報として描写するが、交流磁場コイルを大径化すると、電源が大型化することが課題であった。今回、従来の25kHzから0.5kHzまで周波数を抑制しても高感度に磁気信号を検出できる



マウスへのAβ診断用磁性粒子の経鼻投与(左)、抗PEG染色による老人班への結合評価(右)(*1)



磁気粒子イメージング装置の試作機(左)、チューブに磁気粒子を注入したサンプル(中央)と撮像(右)

コイル構造を開発することで約0.1MWの総電源容量で実現した大型磁気粒子イメージング装置で、ヒト脳サイズと同等のターゲットの撮像に成功した。なお、今回の開発はAMED(国立研究開発法人 日本医療研究開発機構)支援事業の下(*2)、6機関(大阪大学、大阪公立大学、岡山大学、神戸薬科大学、日本メジフィジックス株、国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構)との共同研究で実施した。今後、2030年頃に実用化の目途を付けることを目標に、他社との協業も視野に入れて検討を進める。

- *1 Seino, S. et al.: Investigating the efficacy of nasal administration for delivering magnetic nanoparticles into the brain for magnetic particle imaging. Journal of Controlled Release, 367, 515~521 (2024)
- *2 今回の研究は、AMEDの助成金番号JP20hm0102073, JP21hm0102073, 及びJP22hm0102073の支援を受けた。

超小型高出力紫外レーザー技術



Small-Size and High Energy Deep-Ultraviolet Laser Technology

高出力パルスレーザーは加工やセンシング、防衛、核融合等の分野で活用され、特に紫外波長では需要が急増する半導体基板の配線ビアを小径化するために有効である。しかしジュール級の高出力のパルスレーザーでは従来低温冷却が必要であり装置が大型化していた。

今回、防衛装備庁安全保障技術研究推進制度を通じて国立研究開発法人 理化学研究所及び大学共同利用機関法人 分子科学研究所と連携し、図1に示す常温でのジュール級レーザーを開発した。出力は波長1,064nmで2J、深紫外波長266nmに変換することで0.23Jが得られた。パルス幅は0.58ns、ピークパワーは0.36GWである。0.23Jはサブナノ秒パルスの深紫外レーザーでは世界最高クラスの出力で、同等出力のレーザーの報告と比較して倍の繰り返し周波数で実現した。さらにサイズは1.0×1.2(m)になり抜本的小型化が可能であることを実証した。

要素技術となる高廃熱チップは透明ヒートシンクとレーザー媒質を常温接合することで高廃熱を実現している。また、マイクロチップレーザーは約8mmの小型共振器から高ピークのパルスを得られる。どちらもパルスレーザーの

抜本的小型化に資する技術であり、より低出力のレーザーの小型化にも適用可能である。今後は、このような要素技術を用いて、ファイバーレーザー等と同等の出力を超小型に実現することで、既存レーザー市場の置き換えと新規市場創出を図る。

この研究は、防衛装備庁が実施する安全保障技術研究推進制度JPJ004596の支援を受けたものである。

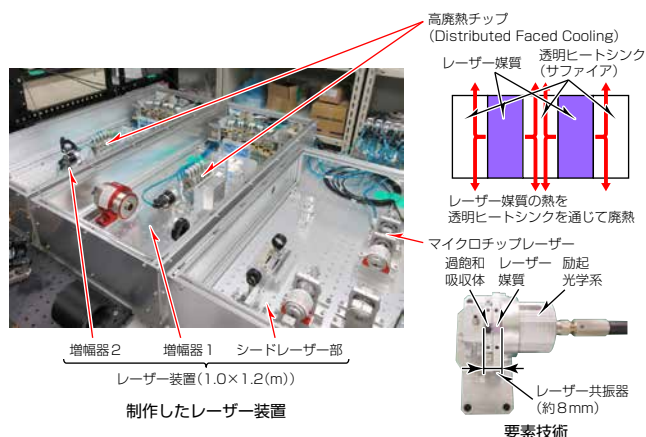


図1-レーザー装置と使用した要素技術

量子コンピューター向け高速・高精度なシリコン量子ドット

High-Speed and High-Fidelity Silicon Quantum Dots towards Quantum Computers

量子コンピューターの早期実現に向けて、高速・高精度な量子状態の読み出しを可能にする“高周波回路一体型シリコン量子ドット”を開発した。量子コンピューター(図1)は、量子ビットと呼ばれる量子情報の最小単位を用いて計算を行う。特に集積化に適したシリコン量子ドット中の電子スピンの向き(スピン量子ビット)を利用することによって、実用的な量子コンピューターに最低限必要とされる数百万規模の量子ビット配列が可能になるため、将来の超高速な量子計算の実現が期待される。他方、従来はスピン量子ビットの近傍に配置した電荷センサーの直流電流測定によって量子状態を読み出していたが、その高速・高精度化が課題であった。今回、東京工業大学(現:東京科学大学)とともに、電荷センサーに独自の高周波回路を接続した“高周波回路一体型シリコン量子ドット”を開発した(図2)。開発したシリコン量子ドットでは、新たな測定方式である高周波回路を介したマイクロ波反射測定によって、高速に量子状態を読み出すことが可能になる(図3)。また、高周波回路には直列

インダクターと並列インダクターを組み合わせた独自の回路構成を採用することによって、高精度な読み出しを実現した。シミュレーションの結果、従来と同等の精度を保ちつつ、量子状態の読み出し時間を40%程度削減できる見込みを得た。今後、評価による検証を行う予定である。



数百万規模の量子ビット
(画像: 東京科学大学 小寺研究室提供)

図1-量子コンピューター

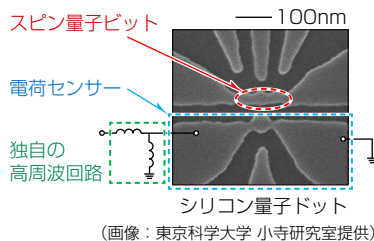


図2-高周波回路一体型シリコン量子ドット
(画像: 東京科学大学 小寺研究室提供)

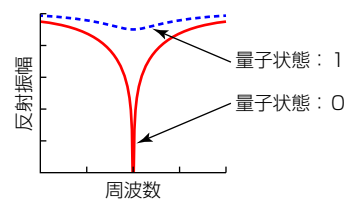


図3-マイクロ波反射測定による量子状態読み出しのイメージ

可視光／中波長赤外線グラフェンVGAイメージセンサー

Visible/Mid-wavelength Infrared Graphene VGA Image Sensors

グラフェン光ゲートダイオード(Graphene Photogated Diode: GPD)構造をVGA(Video Graphics Array)フォーマットにアレー化し、可視光及び中波長赤外線向けの裏面照射型グラフェンVGAイメージセンサーを実現した。これまで、GPD構造を用いることで、光ゲート効果による信号増幅、暗電流の低減によるノイズ抑制が可能になることを実証してきた。今回、画素数640×512、画素ピッチ15μmのVGAフォーマットでGPDをアレー化し、GPDアレーのグラフェン上にインジウム(In)バンパを形成し(図1(a))、検出器の信号を読み出す回路と接合することで高感度化に有利な裏面照射型グラフェンVGAイメージセンサー(図2)を実現した。GPDの検出波長がグラフェンと組み合わせる光増感層の材料で決定されることに着目し、可視光ではシリコン(Si)、中波長赤外線ではアンチモン化イン

ジウム(InSb)を選択することで、可視光と中波長赤外線のそれぞれに対応した裏面照射型グラフェンVGAイメージセンサーの作製に成功した。今後、光増感層を所望の吸収波長を持つ材料に変えることで、更に様々な波長に対応したイメージセンサーを実現できる。

この研究は、防衛装備庁が実施する安全保障技術研究推進制度JPJ004596の支援を受けた。

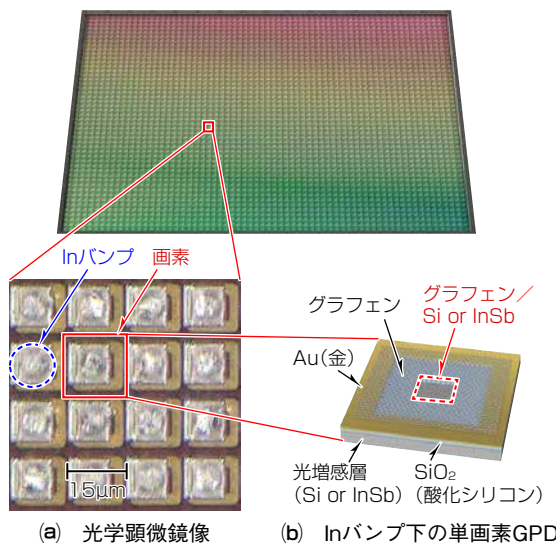


図1-GPDアレー

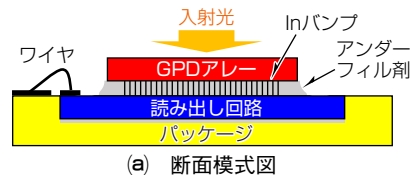


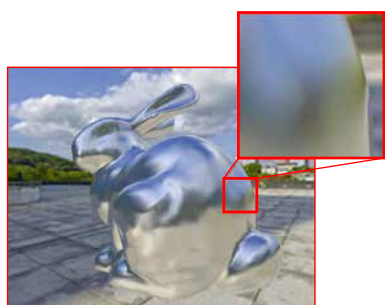
図2-裏面照射型グラフェンVGAイメージセンサー

金属加工シミュレーション向け写実レンダリング技術

Efficient Rendering Technique for Machine Tools Simulator

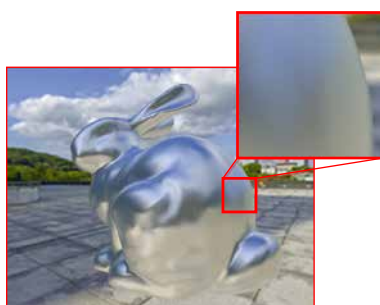
近年、デジタルツインを用いたデザイン・開発の効率化や資源の節約が注目されている。NC(Numerical Control)加工機で実用化されているデジタルツインを用いた3D加工シミュレーションの結果を写実的に描画することで、傷等の設計意図と異なる加工不具合の視認性を向上させる技術を開発した。今回、一般的に描画処理に適用されるプレフィルタリング近似手法を改良した。加工シミュレーショ

ンで得た微小形状に対して、代表的な法線を等間隔に取って、事前に光源環境マップに畳み込む改良で、異方性のある加工表面に対して高い描画精度を実現した。この手法によって、加工シミュレーション上の微小形状を、仮想空間上で視点や照明位置を任意に変化させて確認できる表示システムの実現が期待できる。



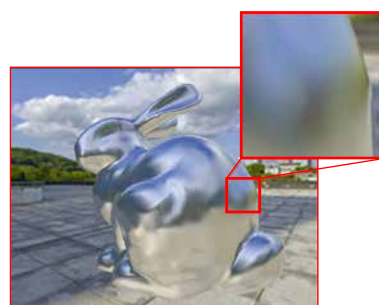
光線サンプリング数：1,024
描画時間：735.79秒

(a) 微小形状データを使ってレンダリングした場合



光線サンプリング数：4
描画時間：2.32秒
描画誤差(平均二乗)：35.355

(b) 従来のプレフィルタリング近似手法



光線サンプリング数：4
描画時間：2.41秒
描画誤差(平均二乗)：1.719

(c) 提案手法

従来手法と提案手法の描画結果比較

新デバイス創出へ向けた微小試験によるグラファイトの疲労特性評価

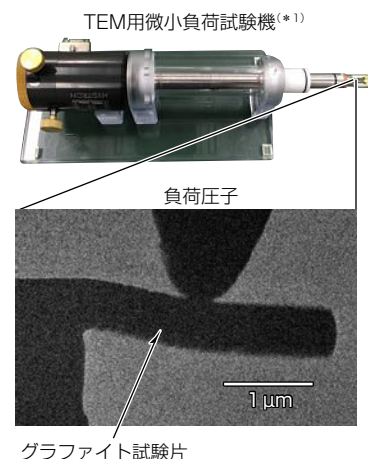
Evaluation of Fatigue Characteristics of Graphite by Micro Experiment

積層した二次元材料で構成される多層二次元材料には機械的、物理的に優れた性質を持つものがあり、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)の構造材料やその他熱電デバイス等への応用が期待されている。デバイスに適用する場合、疲労特性の理解が必要不可欠だが、試験片の作製や微小疲労試験の困難さからこれまで明らかになっていなかった。

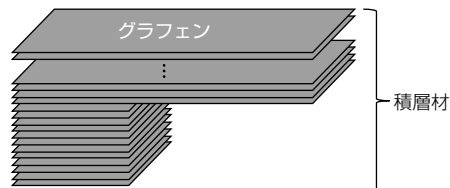
今回、グラフェンの積層方向が揃(そろ)ったグラファイトからFIB(Focused Ion Beam：集束イオンビーム)加工装置でマイクロ片持ち梁(はり)試験片を作製し、TEM(Transmission Electron Microscope)用微小負荷試験装置を用いることで、TEM内でのその場観察曲げ疲労試験を実現した。その結果、繰り返し数の増加に伴って、試験片の積層材料間で発生するせん断応力が低下し、繰り返し加工軟化を伴う疲労を示すことが明らかになった。



透過型電子顕微鏡(TEM) (*1)



グラファイト試験片



グラファイト試験片の構成

*1 写真の出典：京都大学 平方研究室
<https://msr.me.kyoto-u.ac.jp/>

試験装置、試験片及び試験中TEM像

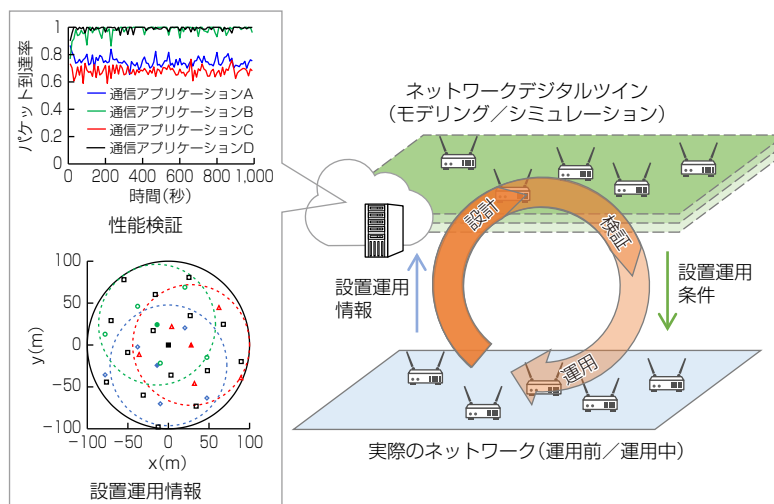
機器の導入前検証を可能にするネットワークモデリング技術



Network Modeling Technology Enabling Pre-deployment Verification of Equipment

大規模な無線ネットワークを定量的に評価することは、評価環境の構築、実利用環境の再現性、環境構築・評価にかかる人的コスト等に課題があり、困難であった。そこで、通信システムを仮想的に構築し、様々な通信方式・ネットワークプロトコル・パラメータに対して大規模シミュレーションを行うネットワークモデリング技術を開発した。この技術を活用するとサイバー空間上に実利用環境と様々な通信方式、ネットワークプロトコルを持つネットワークデジタルツインを構築できる。通信システムの運用パラメータ、機器の位置情報、アプリケーションの通信トラフィック等をネットワークモデルに入力することで、端末1,000台規模の評価が可能になることを確認した。これによって、多様なネットワークシステムに対して、収容率・スループット・応答遅延時間など、機器の導入前検証が可能になる。また運用開始後の通信ログや統計情報をネットワークモデルに反映することで、評価精度の向上が可能である。さらに今回開発技術は、運用中の通信システムのパラメータ変

更や、設置機器の追加・変更、アプリケーションの追加要求に対しても、システムへの影響を事前に検証可能である。これによって、継続的な機能追加・変更が要求される通信システムに対して安定した運用を実現する。この技術を、当社事業でのネットワークシステム構築に展開していく。



大規模シミュレーションを行うネットワークモデリング技術

直感的操作でプラント運用の課題と改善策を見つけるギャップ分析ツール

GAP Analysis Tool for Rapid Identification of Plant Operation Issues and Solutions

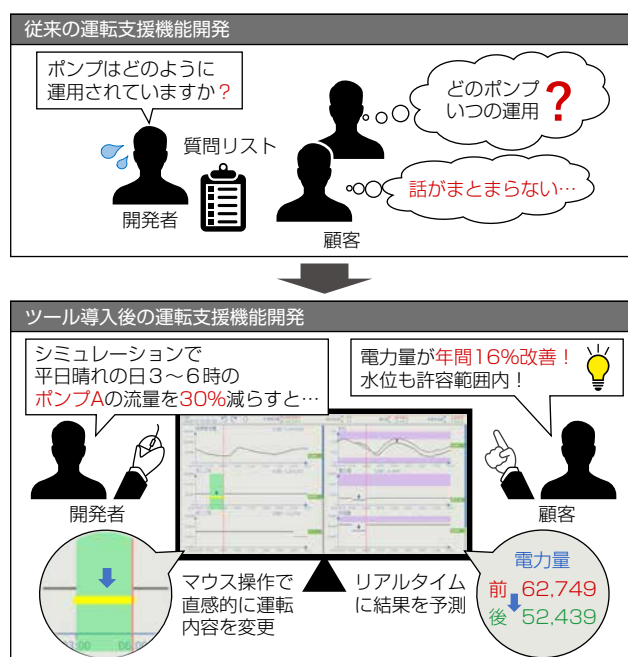
データ分析に基づいて、プラント運用の課題を発見し、改善策を導くためのギャップ分析ツールを開発した。

プラント監視制御システムには、運用高度化のために各種予測機能やガイダンス機能が導入されている。従来の運転支援機能開発では、顧客ヒアリングとデータ分析を基に、現状の把握、課題の抽出、改善策の効果試算の手順を個別に進める必要があり、多くの時間と労力を要していた。特に、各段階での顧客との認識合わせが課題であった。

今回開発したギャップ分析ツールでは、実計測データを用いたシミュレーション環境を構築した。データ分析によって抽出した運用シナリオを基に、ユーザーがマウス操作で運転内容を変更することで、KPI(Key Performance Indicator)がどのように変化するかをリアルタイムにシミュレーションする機能を実現した。これによって、現状の運用と理想の運用とのギャップを直感的に見つけ出して、その場でKPIの改善を確認できるようになった。

このツールの導入によって、顧客と対話しながら即座に運転支援機能開発の手順を進めることができ、開発期間をこれまでの1/4程度に短縮し、顧客と開発者双方の時間と

労力の大幅な削減を実現した。



ギャップ分析ツールによる運転支援機能開発の革新

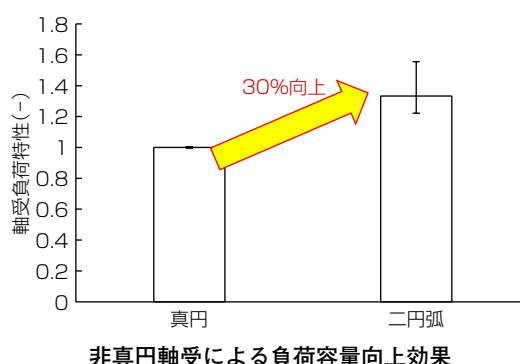
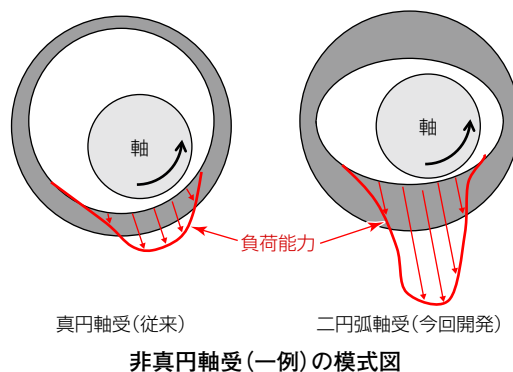
滑り軸受内径の非真円加工による軸受特性向上技術

Enhancing Load-Carrying Capacity Using Non-circular Journal Bearing

滑り軸受は油膜による振動減衰や静粛性、長寿命などの特長のために回転機械の主軸支持に広く用いられる。滑り軸受では、金属接触が生じると摩擦・摩耗に起因した回転機械の性能低下や故障のリスクがあるため、油膜による流体潤滑状態を維持することが重要になる。そのため、運転条件の広い範囲で主軸を油膜支持できるように負荷容量の向上を狙った滑り軸受構造を開発している。

今回、新たな軸受構造として軸受の内径形状が二つ以上の円弧から成る非真円軸受(多円弧軸受)に着目した。特に、加工が比較的容易な二円弧軸受について、従来形状である真円軸受との比較を通して新構造の有効性を評価した。潤滑理論に基づく油膜厚さの数値計算を基に、負荷容量を最大化するように最適化した二円弧軸受を試作し、要素試験によって負荷容量を実験的に評価した。その結果、従来の真円軸受と比較して、二円弧軸受の負荷容量が30%向上することを実証できた。

今後は、更なる負荷容量の向上を図るため、新たな非真円形状を追求し、当社回転機械製品の高性能化、高効率・省エネルギー化に貢献していく。



旋回流を利用した鉄さび粒子捕捉デバイス

Iron Rust Capture Device Using Swirl Flow

カーボンニュートラル実現に向けた政策推進を背景に、欧州ではヒートポンプ式給湯暖房機の需要が高まっている。ヒートポンプ式給湯暖房機はラジエーターに温水を循環し、その輻射(ふくしゃ)と放熱で室内を暖める。ラジエーターは鉄製で内部に非磁性の鉄さびが発生することがある(図1)。この鉄さびは温水循環ポンプなどの部材の損傷要因であり、現行対策の磁気分離デバイスは非磁性の鉄さびを除去できないことが課題であった。

今回開発した遠心分離の捕捉デバイスは、図2のように円筒型上部の接線方向に流入口、下部に流出口を備えて、流出口を囲うように底部に内管を設置した二重管構造で、温水とともに流入した鉄さびは遠心力によって旋回流でデバイス外周方向へ移動・集積し、内管外側で捕捉できる。流体解析によって内管径及び高さを設計し、鉄さびの代替として非磁性の酸化ジルコニウムを用いた試験では90%以上の捕捉率を達成した。また実際の粒子捕捉率を高精度に推算する流体解析モデルを構築し、モデルベース設計及び性能予測技術を確認した。この開発成果は鉄さび等の異物混入への有効な対策であり、ヒートポンプ式給湯暖房機の長期信頼性確保に貢献する。



図1-室内暖房(ラジエーター)等から発生する鉄さび

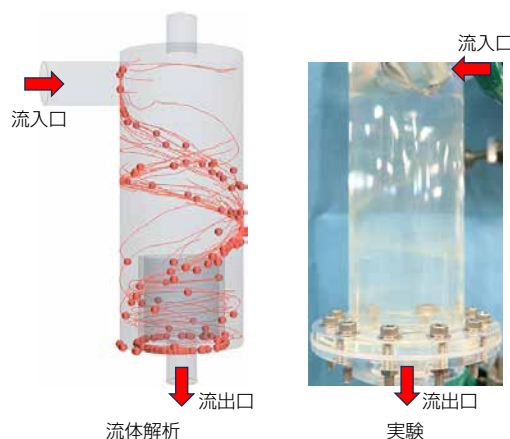


図2-捕捉デバイス内の粒子挙動

■ 冷蔵庫“HSシリーズ”のデザイン

Refrigerator "HS Series" Design

東南アジア・オセアニア地域に向けた、2ドアボトムフリーザー冷蔵庫のデザインを行った。これらの地域では近年、食品をまとめ買いするスタイルの増加に伴い、冷凍食品の購入量も増加している。この製品は、冷蔵室と冷凍室のドアの大きさの比率を1：1に設定し、同カテゴリーの他社製品と比較して冷凍室の収納容量を大幅に増加させた。また、冷凍室側のドア内に断熱壁を設けて、食品を凍らせることなく鮮度を長く保てるソフト冷凍室を配置した。2ドアのシンプルな外観を維持しながら、解凍の手間を減らす使い勝手を備えている。

またこの製品は、オープン化しダイニングとつながるキッチントレンドや、友人を招いて行われるパーティー文化を意識し、インテリアの一部としてのクオリティーにこだわった。無駄な装飾を廃して、均整の取れたミニマルなデザインを追求した。上下ドアの分割位置は標準的なキッチンカウンターの高さに合わせて、ドアパネルには光沢を抑えたヘアライン仕上げを採用した。LEDで発光するタッチパネル式の操作部は、待機時には消灯してすっきりと見える仕様にして、洗練されたキッチン空間の中にも違和感なく調和するデザインを実現した。



外観



庫内



操作部

■ 冷蔵庫“CXシリーズ”のデザイン

Refrigerator "CX Series" Design

中容量3ドア冷蔵庫CX33、CX37のデザインを行った。この製品は、仕事や家事に忙しい夫婦二世帯や子育て世帯、食への関心が高いシニア世帯など、家事の効率化や健康的な食生活を求める少人数世帯をターゲットにしており、中容量帯の冷蔵庫でありながら、生鮮食材の鮮度を保って長く保存できる“氷点下ストッカー”を搭載した。2024年新モデルでは、その機能性に加えて、外観デザインの更新を行った。

独自調査によって、この容量帯の冷蔵庫を低価格という理由以外で購入するユーザーは、自分の時間を大切に、充実した暮らしを志向していることを把握した。その価値観に寄り添って、暮らしの質を高めるノイズレスな外観と、自由度の高い使い勝手を目指した。冷蔵室は2枚の外装パネルでハンドルを構成する独自工法によって、ドアの縦、横、コーナーが自由に使える“フリーアクセスデザイン”とし、体格や利き腕などによらず、幅広いユーザーが楽に開閉できるよう考慮した。野菜室、

冷凍室のハンドル部分は表面に微細なドットの凹凸を施してグリップしやすくしながら、なだらかなスロープ形状にすることで清掃性も考慮した。外装パネルは非光沢仕上げにして指紋の付着を防いで、パネルを上下から保持する樹脂部分は最小化して質感を向上させた。意匠性と使い勝手を両立させ、長く心地よく使い続けることができるデザインを実現した。



CX33



CX37



フリーアクセスデザインのハンドル

リニアトラックシステムのデザイン

Design of Linear Track System

当社名古屋製作所で開発した、複数のキャリアを高速かつ自由に制御できるリニアトラックシステムのデザインを行った。

このシステムは、小さく区切られたユニットを自由に組み合わせてトラック形状に組むことができるため、従来のベルトコンベヤーと比較し設置スペースや生産効率の点で優れている。

また、モーターのモジュールと、モータードライバーがそれぞれ独立しており、メンテナンス時等にユニットごとの交換が可能な構成になっている。

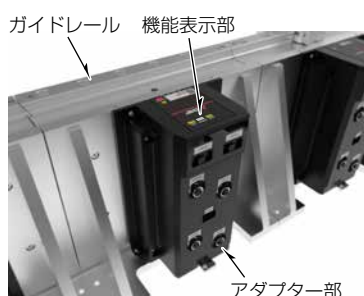
外観のデザイン面では、この特徴的な構成を体現するため、ガイドレールはレイアウトによらず一続きに見える形

状にしつつ、ガイドレールの内側に突出している黒色のモータードライバーが、独立したユニットに見えるような配色にしている。また、モータードライバー同士がどのようなレイアウトで並んでも干渉せず、整理された印象になるよう幾何学的な形状にした。

視認性の面では、モータードライバーの機能表示の向きをトラックの外側から自然に稼働状態が把握できる向きにして、コントラストの高い印刷を施した。さらにモータードライバー側面のアダプターの配置は、各ケーブルの結線作業がしやすいよう互い違いにして、工場作業者の都合を考慮したデザインを行った。



リニアトラックシステム



リニアトラックシステムの
モータードライバー



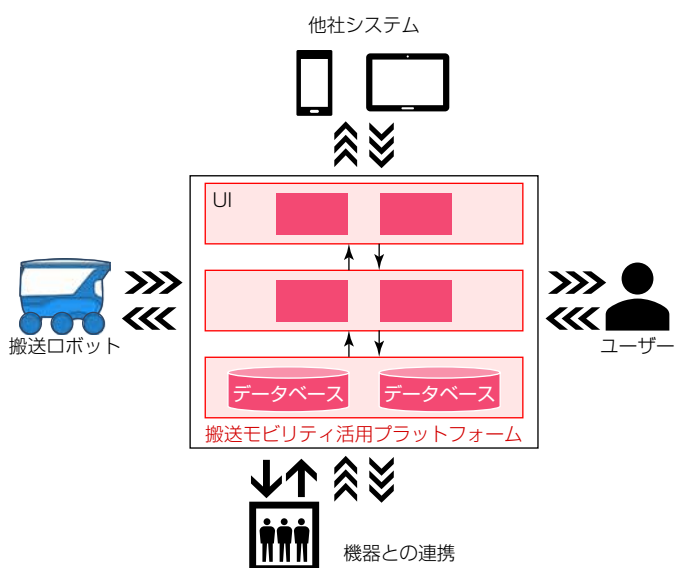
リニアトラックシステムの
モータードライバー (機能表示部)

搬送モビリティ活用プラットフォーム

Transport Mobility Utilization Platform

昨今搬送に対する労働力不足が社会課題になっており、自律搬送モビリティが注目されている。サービスの導入では、各現場のニーズに合わせた差分開発が課題になるため、これに対応するプラットフォームを開発した。このプラッ

トフォームは顧客ごとに異なるユースケースに対応できるUI(User Interface)コンポーネント、連携する機器(エレベーター等)ごとに異なるインターフェースや通信プロトコルに対応する機能をクラウド上に配備している。また要求の差分をデータベースに入力することで、効率的にサービス導入を可能にした。さらに、他社のオンラインサービスとの連携が可能なように標準化した外部インターフェースを持っており、幅広いサービスとの連携が可能である。今後、このプラットフォームに入退セキュリティゲート等の機能追加を予定している。



搬送モビリティ活用プラットフォーム概要



標準UI

データ駆動型社会に向けたデータコネクタ技術

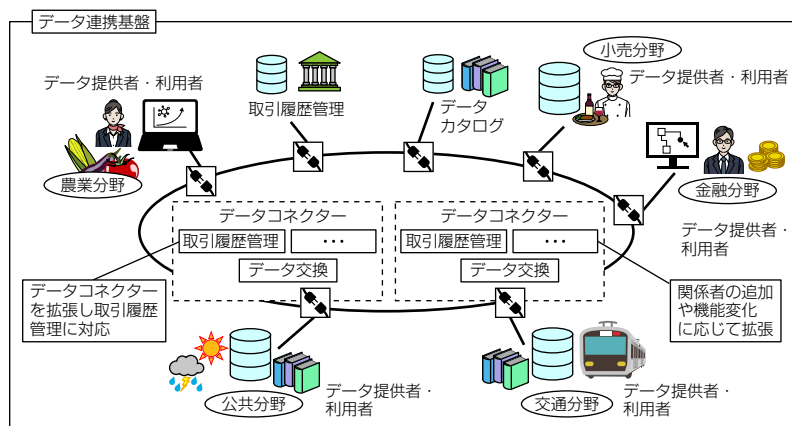
Data Connector Technology for Data-Driven Society

国内外のデータ連携基盤では、データ提供者・利用者に加えて様々な役割を担う関係者が機能を提供する(取引履歴管理、データカタログ管理等)。現在、様々な実証で関係者の役割や機能、連携方法が検討されている。

今回、新たな関係者への対応のため、取引履歴管理に対応するデータコネクタ機能を開発した。欧州標準実装のEDC(Eclipse Dataspace Components)のデータコネクタ機能を拡張し、取引履歴管理が介在するデータ取引形態に対応した他実装との組合せを実現し、連携対象の増加に追従できることを検証した。

今後も、関係者の追加や機能変化に応じたデータコネクタの拡張によって、データ連

携基盤を活用したデータ駆動型社会へ貢献する。



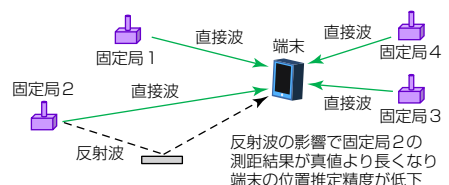
データコネクタ機能の拡張によるデータ連携基盤の利活用

超広帯域無線を活用した高精度位置推定技術

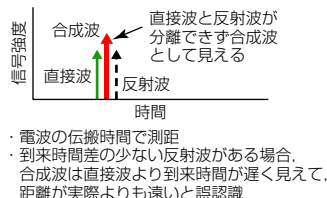
High-Accuracy Positioning Using Ultra-Wide Band

サイバーフィジカルシステム実現に向けて、超広帯域な無線信号で測距とデータ伝送を実現するUWB(Ultra-Wide Band)が注目されている。固定局と端末の間でUWB測距を行う場合、直接波との到来時間差が少なく分離できない反射波があると測距結果が真値より長くなり端末の位置推定精度が低下する。そこで複数の固定局と端末との全測距結果から仮の端末位置を求めて、その位置と各

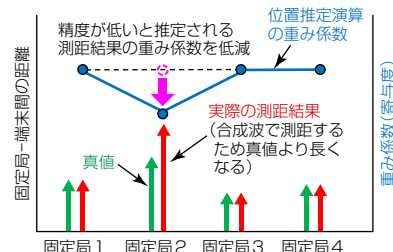
固定局の間の推定距離と、実際の測距結果との差の2乗値に反比例した重み付けを施して再度位置推定を行うことで、精度の低い測距結果の影響を低減する位置推定方式を開発した。シミュレーションの結果、反射波起因の測距誤差が存在する場合の位置推定誤差を約1/100に低減できることを確認した。



UWB測距を用いた位置推定システムの課題



UWB測距での反射波の影響



開発方式の概要

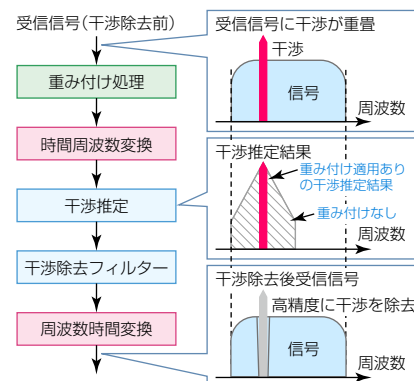
強靱(きょうじん)で安定した無線通信を実現する高精度干渉除去技術

High Precision Interference Cancellation Technology for Robust Wireless Communication

通信障害を招く高干渉な電波環境でも通信継続性を担保する高精度干渉除去技術を開発した。

従来は、スペクトル拡散によってデータを冗長化して耐干渉性を確保していたが、冗長化によってデータ速度が低下する課題がある。今回、データ速度を低下させずに従来比数10倍の高い耐干渉性を受信処理だけで実現した。具体的には、干渉推定で干渉のスペクトル形状を推定し、干渉除去フィルタリングを行う構成にした。干渉推定を高精度化するために、時間周波数変換の前段に干渉スペクトルの広がりを抑える重み付け処理を適用することで高解像度

化を図っている。この技術は、安定的な通信の継続性が求められる衛星通信システム等への適用を想定している。



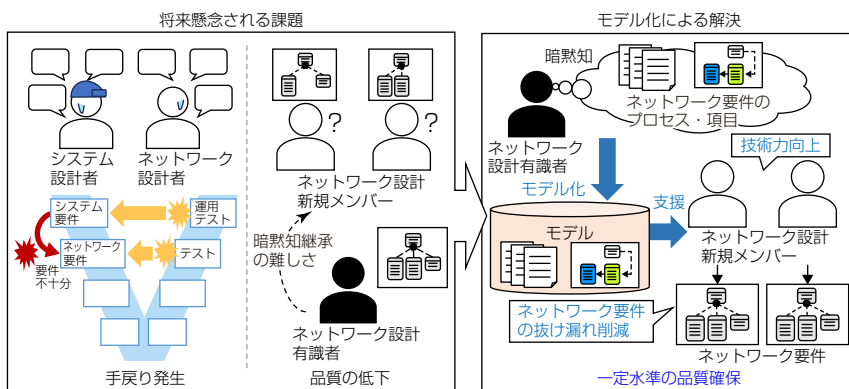
高精度干渉除去技術

ネットワーク要件定義プロセスのモデル化検討

Study of Modeling for Requirements Definition Process of Network Design

大規模、複雑化していくシステムのネットワークは、重要性が高まりながら設計規模が拡大していく。将来、ネットワーク要件定義の不十分さによる手戻り、ネットワーク設計の属人化と暗黙知の技術継承の難しさによる品質の低下が懸念される。この解決に向けてネットワーク設計にMBSE (Model Based Systems Engineering)の適用を検討している。今回最初のステップとして、これまで暗黙知であったネットワーク設計有識者のシステム要件からネットワーク要件定義を導くプロセスを有識者の設計時の観察と分析によって形式化し、ネットワーク要件項目とネットワーク要件定義プロセスとしてモデル

化した。このモデルの活用によってネットワーク設計者の技術力向上とネットワーク要件の抜け漏れ削減による一定水準の品質確保の効果が期待できる。



ネットワーク要件定義プロセスの導出とモデル化

電磁波吸収板

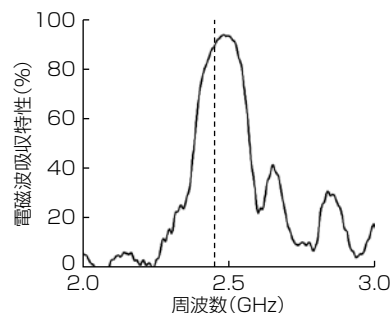
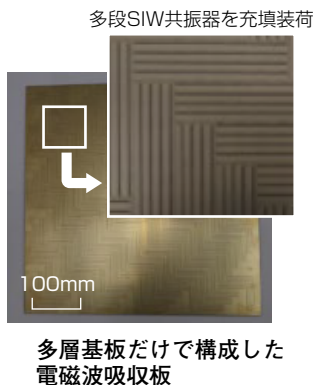
Electromagnetic Wave Absorbing Board

従来の電磁波吸収板は、誘電体基板の表面に特殊塗料や抵抗シート等の付加材料を必要とするため、経年劣化に対するメンテナンス性の向上が課題であった。

今回、誘電体基板だけで構成し、付加材料が不要な電磁波吸収板を開発した。この電磁波吸収板は、多段SIW (Substrate Integrated Waveguide: 基板集積導波路) 共振器を充填装荷した多層誘電体基板だけで構成している。

試作した電磁波吸収板を測定評価した結果、設計どおり2.45GHzで約90%の、従来と同等の電磁波吸収特性が得られた。この構成によって、付加材料が必要な従来構成よりも、経年劣化に強くメンテナン

ス性が良好な電磁波吸収板が期待できる。



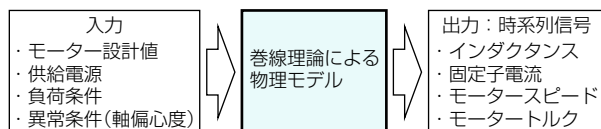
自由空間法で測定した電磁波吸収特性

物理モデルを活用したモーター異常検知技術

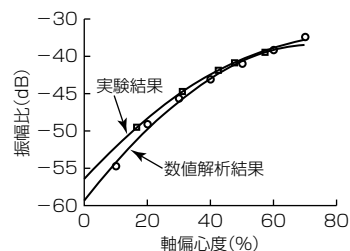
Motor Fault Diagnosis via Physics-Based Approach

製造業で予知保全は、設備や機器のダウンタイムの最小化や安全性の向上をもたらす。しかし、センサーの追加導入などが課題になっていた。そこで、電動モーターの軸偏心による振り回り異常の度合いを固定子電流信号から定量的に検出する技術を開発した。モーター設計値、電源、軸偏心に伴うモーター磁気ギャップ変動を入力して固定子電流信号を計算する物理モデルを構築し、数値解析によって固定子電流信号の回転周波数成分と電源周波数成分の信号強度の比から異

常を検出する方式を考案した。異常模擬実験と数値解析の結果が誤差10%以内で一致することを確認し、モデルの妥当性と異常検知方式の有効性を示した。



物理モデル概略



出典: Wang, B., et al.: Motor Eccentricity Fault Detection: Physics-Based and Data-Driven Approaches, IEEE 14th International Symposium on Diagnostics for Electrical Machines, Power Electronics and Drives, 2023

実験結果と数値解析結果の比較

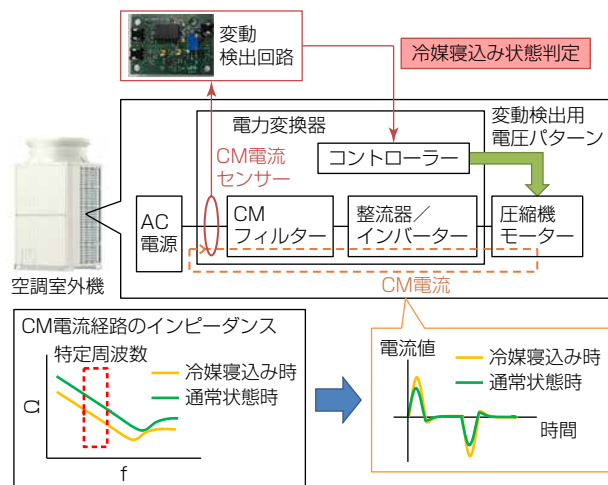
■ コモンモード電流によるインピーダンス変動検出技術

Impedance Variation Detector by Common Mode Current

空調機用電力変換器では、故障につながる運転状態を回避する状態診断が求められる。低温で長期間停止した室外機は、圧縮機の故障の原因になる冷媒寝込みが生じることがあるため運転前に圧縮機を加熱するが、圧縮機内部の状態把握が困難なため空調運転の開始前に十分な加熱時間を設ける必要があった。

今回、電力変換器内のコモンモード(CM)電流センサーを活用し、インバーターから変動検出用電圧パターンを注入して得られるCM電流の特定周波数成分を観測するインピーダンスの変動検出回路を開発した。これによって、インピーダンス変動から冷媒寝込みの解消を検知できる見込みを得た。

今後は、様々な室外環境でCM電流測定試験を実施し、変動検出回路の実用化を目指す。



冷媒寝込み状態診断方法

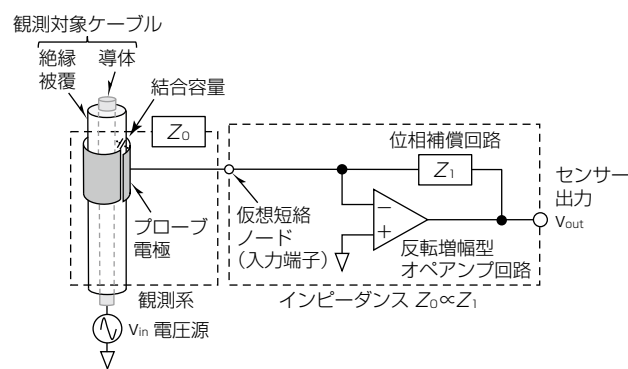
■ 非接触電圧センシング技術

Non-contact Voltage Sensing Technology

ケーブル等に印加された交流電圧波形を、絶縁被覆の上から観測できる非接触電圧センシング技術が知られている。従来技術では、ハイ・インピーダンス系での観測に伴う寄生成分の影響や、観測系のインピーダンス Z_0 の周波数変動によって、センサーの広帯域化が困難であった。

今回、反転増幅型に構成したオペアンプ回路の仮想短絡ノードを入力端子として寄生成分の影響を排除し、さらに、位相補償回路を負帰還経路に搭載し Z_0 の周波数変動を相殺することで、1 Hz~50 MHz（従来 1 Hz~100 kHz）の広帯域で平坦（へいたん）な周波数特性を実現した。この技術によって、電源周波数（50~60 Hz）だけでなく、より高い周波数成分を持つ広帯域ノイズやデジタル信号の観測も可

能になる。



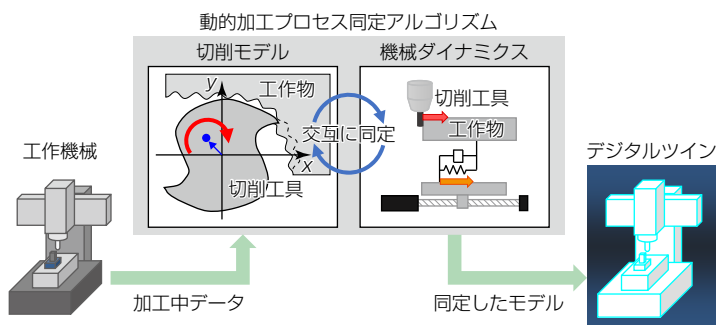
非接触電圧センシングの概要

■ 動的加工プロセスの同定技術

Identification Method for Dynamic Cutting Process

切削加工中の工作機械のデータから動的加工プロセスのモデルを高速に同定する技術を開発した。加工性能診断に使用する工作機械デジタルツイン構築のためには、加工条件ごとに切削モデルと機械ダイナミクスから成る動的加工プロセスのモデルを同定する必要がある。従来は同定用の実験が必要でモデル構築に時間を要していた。そこで、大学と共同で、加工中に主軸モーターの回転数を変化させることで、モーターのデータと加速度センサーの信号をリアルタイムで逐次計算し、動的加工プロセスのモデルを同定するアルゴリズムを開発した。これによって従来は実験を含めて数日かかっていたモデル同定が数分に短縮

でき、短時間で工作機械のデジタルツインを構築できるようになった。



動的加工プロセス同定の概要

工場の予知保全に向けた統計量のオンライン計算方式

Online Calculation Method of Statistics for Predictive Maintenance

FA機械の故障予知を実現するために、通常では短いサンプリング周期で採取した大量のデータが必要になる。また統計量と呼ばれる、平均・分散・尖度(せんど)・歪度(わいど)などの信号の特徴量が様々な故障の予知に有効なことが知られるが、データの一括処理を行う従来方式では大量のメモリーや通信のコストを必要とした。

そこで今回、所定期間の統計量を少ないメモリー・通信・計算処理で逐次的に計算する、統計量オンライン計算

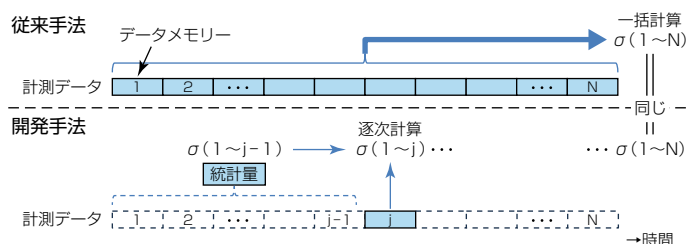


図1-統計量オンライン計算のイメージ

方式を開発した(図1)。位置決め動作をするサーボモーター駆動装置のギヤ摩耗試験で、予知保全手法の一例としてMT(Mahalanobis-Taguchi)法を適用し、開発したオンライン統計量計算方法で、従来比1/500のメモリー量で同等性能(正答率94.7%)の異常検知効果を確認した(図2)。

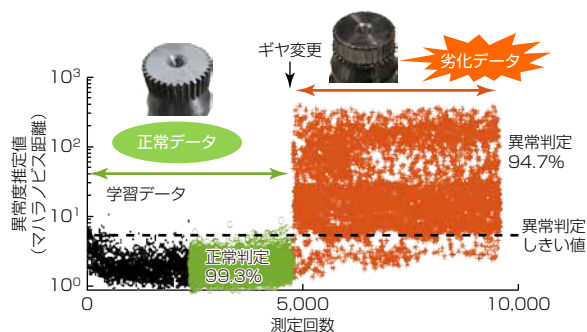


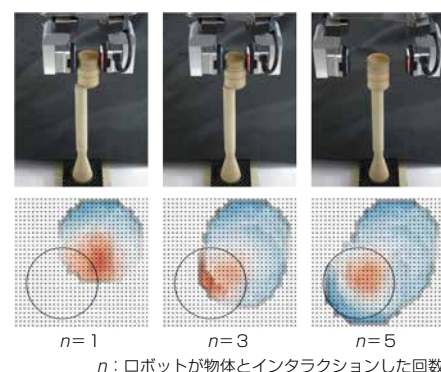
図2-ギヤ摩耗検証試験結果

不安定な物体を積み上げるロボット制御技術

Robotic Stable Placement for Highly Irregular Objects

ロボットによる物体積み上げは、従来は単純に物体の近くで物を離すピックアンドプレイス技術が使われていた。しかし、例えば図1上に示すような複雑な形状の物体を極めて不安定な物体の上に積み上げるのは困難であった。人間は指先の感覚(力覚・触覚)から微弱な力・トルクを感じ取って、その情報から物体の安定性を推論する。このような挙動をロボットで実現するため、この研究では、把持した物体のどの部分が下の物体に接触しているかを力覚・触覚センサー情報から予測する機械学習モデルを構築し、物体とインタラクションするたびに接触面積の予測精度を向上

させる確率推論を用いることで不安定な物体を積み上げるロボット制御方法を開発した(図1下)。



出典: Ota, K., et al.: Tactile Estimation of Extrinsic Contact Patch for Stable Placement, International Conference on Robotics and Automation (2024)

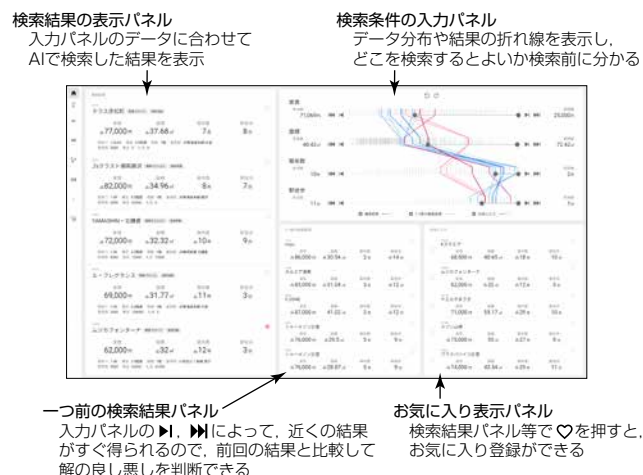
図1-ロボットがインタラクションしながら接触部分の確率分布が更新される様子

AIによる多目的最適化向けUI

UI for Multi-objective Optimization Using AI

鉄道の乗換え検索や賃貸物件の検索のような、複数の条件からユーザーにとって最適な結果を求める多目的最適化に対して、AIを用いて満足する結果を素早く得られるユーザーインターフェース(UI)を開発した。

多目的最適化には、ユーザーがAIと対話しながら満足する結果を求める方法があるが、利用ユーザーにインタビューしたところ、“対話回数を少なくしたい”“調整方法が分からない”などの意見が得られた。そこで、データの分布・状態の可視化によって調整箇所が分かり、また、最適化結果周辺を簡単に確認し、結果に満足できるUIを開発した。このUIを、賃貸物件検索を例に試作・評価したところ、従来手法と比べて探索回数を20%削減できた。



多目的最適化向けUI

1. 有機基板を空洞化／アンテナ性能を飛躍的に向上

アンテナ／RF(Radio Frequency)／制御を一体化した低SwA-P-C(Size, Weight, Power and Cost)航空機用電子走査アレーアンテナを開発した(図1)。実装基板厚3mm以下で世界最薄クラスである。コア技術は励振／非励振パッチアンテナ間に空洞部を持つ素子を高密度・高精度で周期配置した有機プリント配線板の製造技術である。空洞で誘発する表面ディンプル変形を特殊積層技術で20 μ m以下に抑制した。疲労寿命の延命化を目的とした Δ CTE(熱膨張係数差)階層型構造に必要な大型BGA(Ball Grid Array)モジュールの実装性を容易化した。空洞内壁の導体はスキャンブラインドネス(広角ビーム走査時にアンテナ利得低下が発生する現象)を解消し、飛行中の安定通信実現に貢献する。ブロードバンド通信が可能なミリ波帯へ適用可能であり、航空機だけでなく車両、船舶含む移動体衛星通信の基盤になる技術である。

2. PCAスタック技術／空間分離で小型大電力送信

アンテナ基板や増幅回路基板、位相制御回路基板を一体化した無線電力送信モジュールを開発した(図2)。コア技術は変形著しい各PCA(Printed Circuit Assembly)の接続距離制御スタッキング技術、及びアンテナ基板と増幅回路基板を近接配置しながらもアイソレーションを確保する空間分離技術である。基板間の位置・高さを高精度にスタック接合する特殊加圧加熱法が電気性能を確保している。取り外し可能な特殊金属接合によるスタッキング方式、シールド性能を強化する導体ラビリンス勘合方式が可能である。内部配置した発熱部品の放熱は実装型銅コインを部品Exposed padに直接はんだ接合する方法で排熱効率を向上させる。将来の更なる高周波・大電力送信の基盤になる技術である。

3. CuMo内層基板／混載部品全はんだ接合寿命延伸

モリブデン(Mo)箔(はく)に銅(Cu)をクラッドした箔を内層配置したプリント基板を開発した(図3)。冷熱サイクル温度差90 $^{\circ}$ Cではんだ接合寿命30,000サイクル以上を見込む。

このプリント基板は、航空機用電子機器の過酷な環境での長寿命化要求に対応する。コア技術は大型CuクラッドMo箔とそのパターン形成技術を含む各種加工技術、及びマルチCTE制御設計である。混載するセラミックベース部品、シリコンベース部品、モールド部品等異なるCTE部品に対してそれぞれの接合はんだに発生する異なる疲労歪(ひず)みをCuMo層数等で個別にミニマム制御する。はんだ素材の高強度化や基材の低CTE化という一律の方策とは異なる技術で宇宙・防衛機器の過酷な使用環境に対応する。

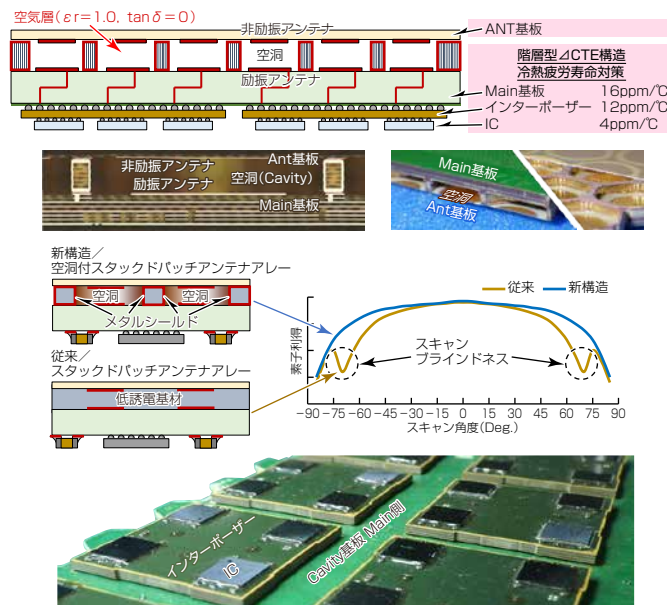


図1-Cavity(空洞)構造の有機プリント配線板

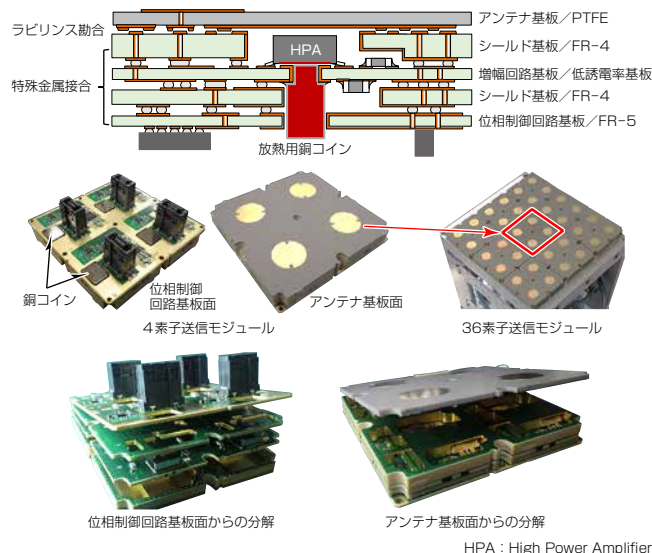


図2-PCAスタック構造の無線電力送信モジュール

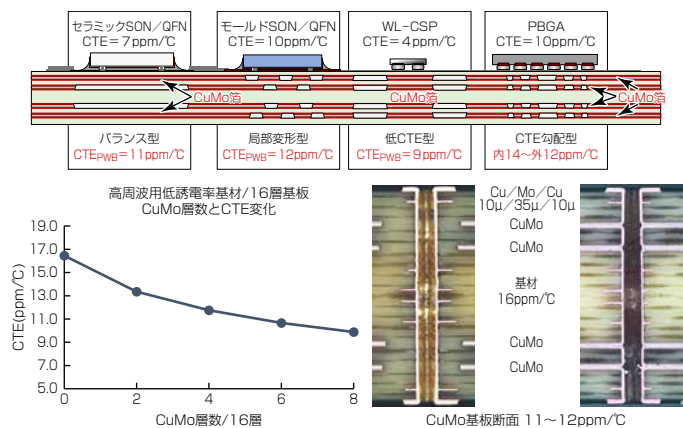


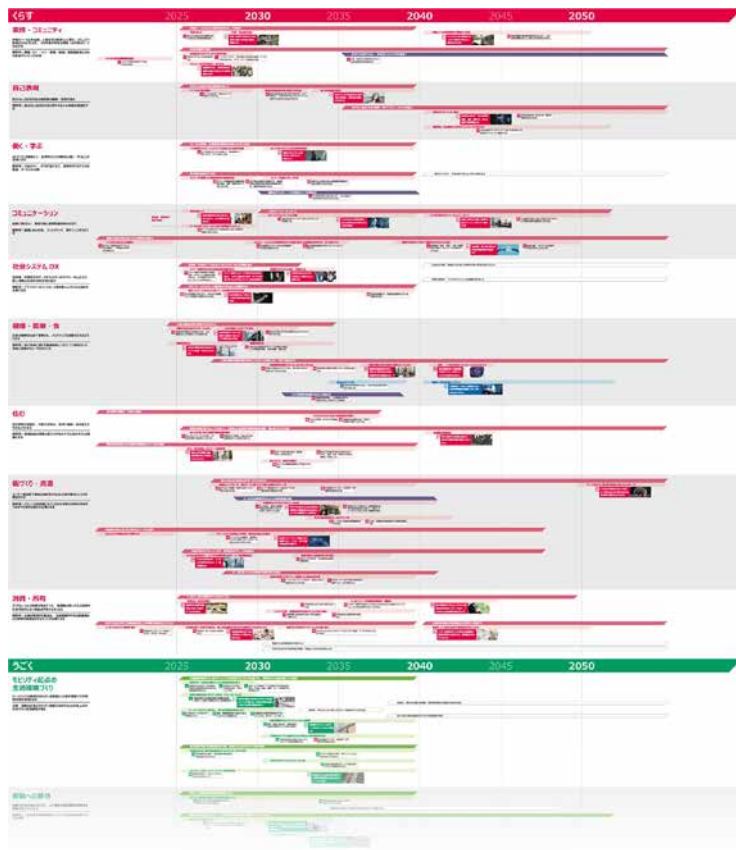
図3-Mo特性(CTE=5.2ppm/°C ヤング率=327GPa)がもたらすマルチCTE高周波多層プリント基板

新たな技術開発や事業戦略に資する未来価値洞察年表

Chronology of Future Value Insights Contributing to New Technology Development and Business Strategy

社会を取り巻く状況が目まぐるしく変化している現在、将来の製品やサービスを考える際に、従来の延長線上ではなく、変化の可能性を踏まえた未来を考慮することが重要である。

当社統合デザイン研究所では“未来価値洞察”の活動名で、世界で起こっている未来の兆し情報やメガトレンド情報など膨大な情報を基に未来の社会や価値観の変化を洞察している。起こり得る未来のシナリオを多数描いて、相関や変遷を分析し、時系列でまとめた“未来価値洞察年表”を作成し、更新を毎年続けている。これによって視野が拡張し既成概念にとらわれず、広く可能性を探索することにつながる。製品・サービスを企画する際や長期視点の技術開発、事業戦略での活用を進めている。



未来価値洞察年表

動画制作ハンドブック

Handbook for Creating Videos

開発の対象がモノからコトへ変化し、開発内容の共有手段として時間軸やユーザーの感情が表現できる動画が有効と考えられる。しかし、一般的には動画制作には専門スキルが必要という認識があり動画普及を妨げている。社内にリリースした“動画制作ハンドブック”では、企画の手順な

ど初心者がつまずくポイントや、目的に応じた効果的な表現手法などを、学術的知見を交えて解説している。

今後、動画活用領域の拡大に合わせて、項目を拡充していく予定である。



動画制作ハンドブックの構成



“第2章 動画制作の基本”の一部抜粋

生産現場で働く外国籍の班員に伝わる朝礼を実現する“翻訳サイネージ”のプロトタイプ



Prototype of Signage with Translation Function for Foreign Workers with Goal of Enhanced Understanding Morning Assembly in Factory

当社は、3割を超える外国籍の班員がいる生産現場もあり、班員の母国語も様々である。毎日の朝礼で情報共有を行っているが、2022年度のデザイナーによる現場観察、社内調査では、外国籍の班員に朝礼の内容を正確に伝達できていないことが分かった。

そこで、朝礼での伝達事項を翻訳して、複数の言語で同時表示するサイネージシステムを試作し、2023年度から社内の工場で実証利用をしている。

朝礼前に原稿を作成する操作画面では、日本語からの翻訳結果を再度、日本語に翻訳し直す“折り返し翻訳”機能を搭載した。これによって、班長は、ポルトガル語やタガログ語などの翻訳結果を日本語で確認し、日本語で誤訳箇所

を修正できる。日本語での原稿作成から、多言語への一括翻訳、折り返し翻訳での精度確認、サイネージへの表示設定など一連の作業を、朝礼に特化してツール化し、コンテンツ作成時間を大幅に短縮した(図1)。

また、スマートフォンからサイネージの表示送りなどの操作をできるようにしたことで、班長は、サイネージを背に班員と向き合って、表情や反応を見ながら朝礼を行うことができる(図2)。

“翻訳サイネージ”の導入後に実施した社内調査では、回答した外国籍の班員の9割以上から朝礼の内容が分かりやすくなったとの声を得られた。現在、デザインの視点から、ツールの使い勝手の向上を図り、開発を進めている。

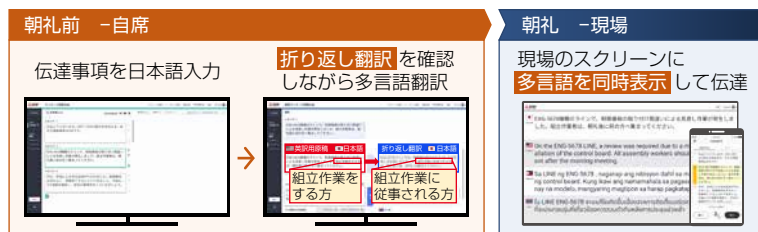


図1-折り返し翻訳を利用したサイネージ用の原稿作成手順



図2-多言語が同時表示できる“翻訳サイネージ”を利用した班長による朝礼

アキュムレーター内の冷媒挙動を対象とした気液二相流解析技術



Gas-Liquid Two-Phase Fluid Simulation Technology for Refrigerant Behavior in Accumulator

空調機の冷媒回路に設置されたアキュムレーターの内部の冷媒挙動を予測する解析技術を構築した。空調機に搭載されているアキュムレーターは、冷媒回路内の余剰な冷媒を溜(た)めて、冷媒から気体だけを分離する。気体を分離せず液冷媒が圧縮機に戻ると、軸受が摩耗し故障するおそれがある。また、昨今では製品訴求のためにアキュムレーター容器の小型化も求められており、溜めた冷媒の液面が高くなるため液冷媒が圧縮機に戻りやすくなる(図1)。そのため、これを抑制するアキュムレーターを設計する必要がある。

しかし、アキュムレーターは耐圧の面から金属で密閉されており、内部を直接観察できなかった。また、内部では入り口の配管から流入する冷媒と溜めた冷媒が混ざる複雑な現象が起こっているため、従来の解析で予測するには計算規模が膨大になり、困難であった。そのため、試作と試験を

繰り返して適正な構造を決定していた。

そこで、解析モデルを工夫し、流入する液冷媒を粒子で模擬することで計算の負荷を削減し、液面の暴れ方や浮遊した液冷媒の挙動を可視化する気液二相流解析モデルを構築した。解析の結果と実機の可視化試験を比較し、冷媒挙動の整合性を確認した(図2)。更に解析を繰り返して配管の形状を適正化し、12%小型化しつつ、圧縮機に液冷媒が戻ることを抑制する構造を導出した。

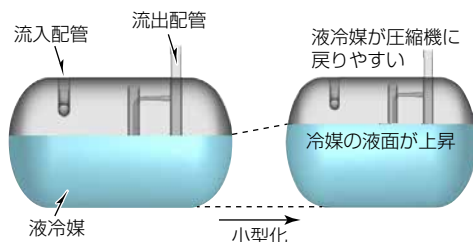


図1-アキュムレーター小型化による液面位置の変化

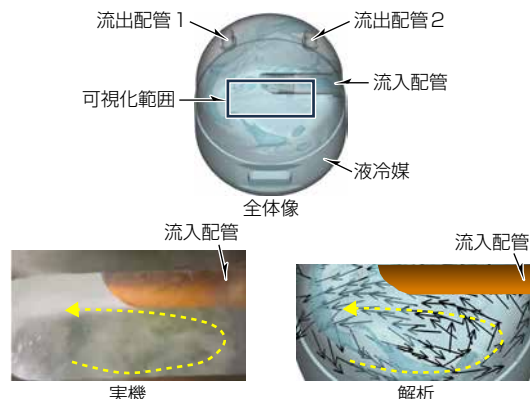


図2-アキュムレーター内流動挙動の比較

TEG Chip with Integrated Piezoelectric Elements, for Innovative Power Module Technology

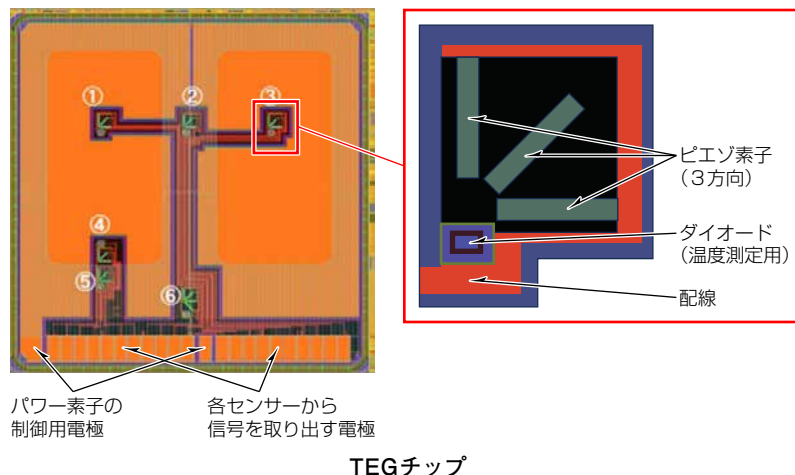
パワーモジュールの組立てプロセスで、パワー素子には主に温度変化に起因した熱応力が発生する。またパワーモジュールの動作中にも、温度変化による熱応力が生じる。この熱応力が過度になると、パワー素子の電気的な特性が変化したり、パワー素子自体が損傷したりする可能性がある。そのため、新規のパワーモジュール構造の開発では、パワー素子に生じる熱応力が許容範囲内にあるかどうかを確認することが重要である。

従来はひずみゲージを用いて応力を測定していたが、ひずみゲージを取り付ける際に用いる接着剤を硬化させるのに必要な熱履歴の影響を受けるなどして、十分な精度を得ることが困難であった。

このたび、パワー素子に応力測定用のピエゾ素子と温度センサーを組み込んだTEG (Test Element Group) チップを開発した。

組立てプロセスで生じる様々な応力をリアルタイムに計測できるだけでなく、パワー素子が動作中の熱応力と温度を直接測定することが可能になった。

今後は、この新たな手法を利用して、新しいパッケージの開発に取り組んでいく予定である。



TEGチップ

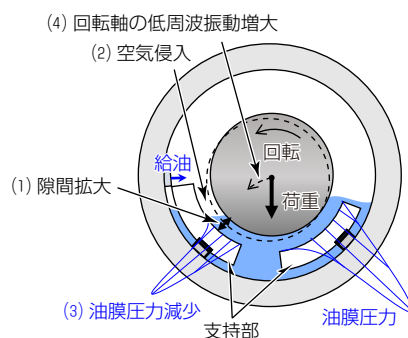
■ タービン発電機回転軸の振動を高精度に予測する解析技術

Improvement of Loss and Reliability of Journal Bearing in Turbine Generator

タービン発電機の回転軸の振動挙動を予測する新たな解析技術を開発した。発電機の回転軸は、軸受の支持部と回転軸の隙間で形成される油膜の圧力によって支持され、軸受で発生する摩擦損失は発電機全体の損失の約1割を占める。近年、発電効率の向上に向けて、少ない給油量で潤滑することで摩擦抵抗を低減可能な低損失軸受の適用拡大を進めているが、回転軸の質量が比較的軽い機種では、給油量を少なくすると回転軸が浮上して支持部との隙間が拡大する。拡大した隙間に空気が侵入し、回転軸を支える油膜圧力が減少することで回転軸の振動が増大する懸念があり、振動に対する給油量の適正化が課題であった。

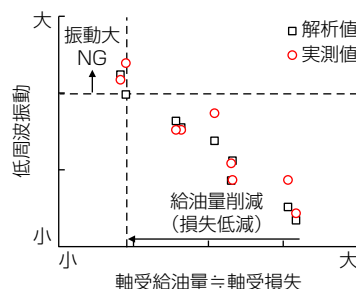
今回、空気の侵入を考慮した油膜圧力の計算モデルを構築し、過渡的に変化する空気の侵入量から油膜圧力の変動を予測可能にした。さらに、油膜圧力の変動によって不安定になる回転軸と軸受支持部の運動方程式を連成させて回転軸の振動挙動を予測する新たな解析技術を開発した。こ

の技術によって、これまで経験則に基づいて予測していた回転軸の振動をより広範囲な条件で高精度に予測でき、回転軸質量が軽い機種に対しても、給油量を適正化した低損失軸受を適用可能になり、軸受の給油量及び摩擦損失の40%削減を実現した。

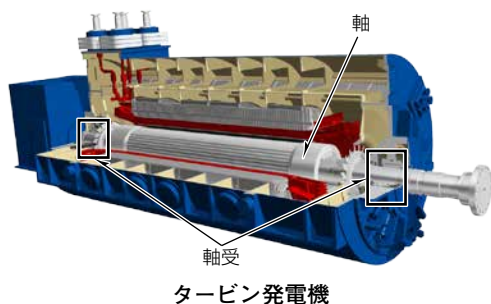


出典：岡野紗耶, ほか：大容量水素間接冷却タービン発電機の高効率化・高信頼性化の最新技術, 日本ガスタービン学会誌, 48, No.1, 9 (2020)

回転軸の質量が軽いときの挙動



低周波振動解析結果の実測比較

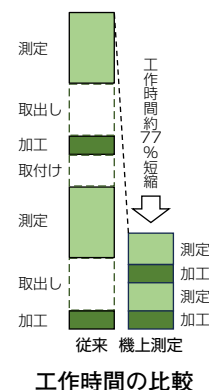


加工機向け高精度非接触測定技術

High-Precision Non-contact Measurement Technology for Processing Machines

加工機による工作は、工作物が目標精度を満たすまで、加工と形状測定を繰り返し行う。従来の接触式センサーでは、形状を測定するたびに、工作物を加工機外へ取り出す必要があり、結果として作業時間が長くなる課題があった。一方、従来の非接触光センサーは感度が低く十分な精度が得られなかった。今回、周波数変調方式を用いた高感度な光測定方式を適用することで、高精度化の壁であった感度を改善し、接触式センサーと同等である1 μ m精度の非接触光センサーを開発した。加工機上での形状測定を実現す

ることで、従来に比べて作業時間を約77%短縮できる見込みを得た。この光センサーは、非接触性と高精度測定を両立し、加工と検査を加工機上で連携する新しい測定技術である。

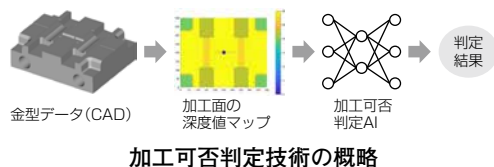


NC向け加工可否判定技術

Technology for Estimating Processability with NC Machining

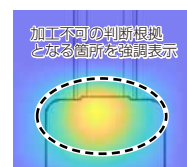
複雑な三次元形状を持つ製品の金型製作で、設計後のNC(Numerical Control)加工段階で初めて設計どおり加工できないことが分かり、手戻りになる問題がある。

そこで、設計段階の金型データから加工可否を判定し、不可の場合は原因箇所を提示する技術を開発した。この技術は加工面の深度値マップだけでAI学習するため、従来法より少ない学習データで高精度に判定できる。また、判定への寄与度をヒートマップ化して原因箇所を提示できる。



ター用設計データで95%の判定精度を達成し、手戻り件数を1/20に削減できた。また、加工不可と判定された場合の修正工数を1/3に削減できた。

今後、金型以外の多様な加工製品への適用を目指す。



ヒートマップによる原因箇所の提示

従来技術と開発技術の比較

	従来技術	開発技術
入力形式	Voxel	深度値マップ
構成	CNN3層+FC層	CNN3層+FC層
フィルターサイズ	4×4×4	4×4
パラメーター数	242	118
必要な学習データ数	8,000件~	3,000件~

CNN : Convolutional Neural Network, FC : Fully Connected

画像処理向け高性能パイプラインを合成可能な機能IPライブラリー

Pipeline Circuit Synthesizable IP Library for High-Performance Image Processing

論理回路設計手法の一つである高位合成による画像処理回路の開発では、機能(関数)の組合せでアルゴリズム(C/C++)を設計した後、処理全体がパイプライン動作するように、回路向けの再設計が必要であった。この再設計工程を省略し、設計効率化を実現する機能IP(Intellectual

Property)ライブラリーを開発した。この機能IPライブラリーは画像処理向けの関数を定義し、各関数は入出力データ型に応じたバッファ回路を自動挿入する仕組みを備える。そのため、関数の組合せでアルゴリズムを設計するだけで、高位合成時に関数間が自動的に適切なバッファ回路で結合され、処理全体がパイプライン動作する画像処理回路が容易に得られる。これによって、従来必要であった再設計工程が不要になった。

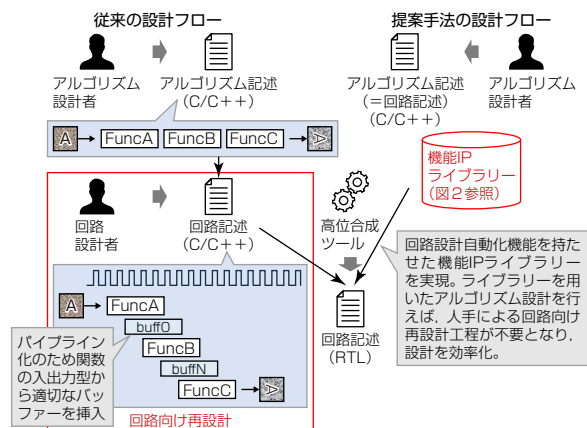


図1-設計フローの比較

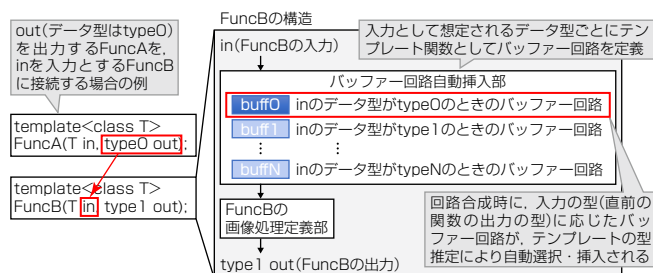


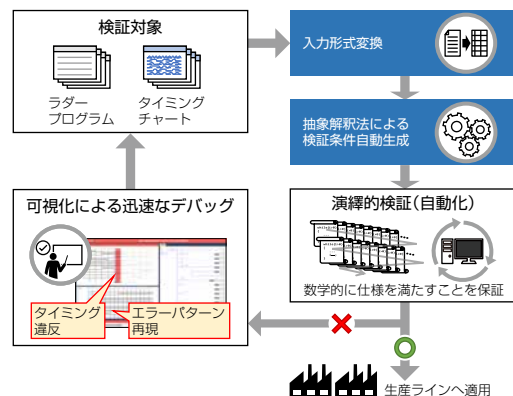
図2-機能IPライブラリーの構造とバッファ回路自動挿入の仕組み

ラダープログラム及びタイミングチャートのフォーマルメソッド検証

Formal Methods Verification of Ladder Programs and Their Timing Chart Specification

工場の生産ラインで用いられるラダープログラムは、生産ラインの高度化とともに大規模化しており、網羅的な検証がより重要になる。今回、数学的手法であるフォーマルメソッドを用いた検証技術を開発した。

ラダープログラムとその仕様であるタイミングチャートを検証可能な入力形式に変換し、抽象解釈法で検証条件を自動生成した。これによって、人手を要していた演繹(えんえき)的検証の自動化を実現し、従来は困難であった網羅的な検証を数十秒程度で可能にした。さらに、入力形式にデバッグ情報を埋め込むことで、タイミング違反を検知した際のパターンを再現でき迅速なデバッグが可能になった。今後はこの技術を幅広い分野へ展開するため開発を進める。



フォーマルメソッドを適用した検証フロー

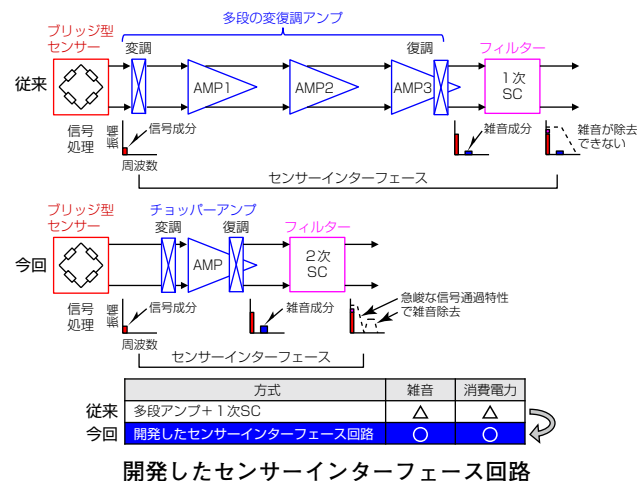
ブリッジ型センサーの低雑音インターフェース回路設計技術

Low Noise Design Technology for Bridge-Type Sensor Circuits Embedded in ASIC

電動車両の普及に伴い電流監視に用いられるセンサーの高精度化が求められている。この解決にはセンサーに搭載されたASIC(Application Specific Integrated Circuit)内のセンサーインターフェース回路の低雑音化が必要である。従来は、多段アンプで変復調し、1次スイッチドキャパシター(SC)で雑音を除去していたが、ブリッジ型センサー特有のスピン雑音除去と低消費電力化の両立が困難という課題があった。

そこで、低消費電力化に適したチョッパアンプと2次SCを組み合わせた回路を開発した。変復調を一体化したチョッパアンプと急峻(きゅうしゅん)な信号通過特性を備えた2次SCF(Switched Capacitor Filter)によって、スピン雑音を除去しながら従来比約30%の低消費電力化

と約90%の低雑音化の両立を実現した。



開発したセンサーインターフェース回路

脆弱性影響分析の効率化技術

Technology for Improving Efficiency of Vulnerability Impact Analysis

IoT(Internet of Things)化の進展に伴い、サイバー攻撃によるセキュリティリスクが増大している。IoT製品の多くはOSS(Open Source Software)を利用しており、利用OSSの脆弱(ぜいじゃく)性が公開された場合、製品への影響有無を、迅速に分析する必要がある。しかし、公開されたOSS修正情報又は製品コードが大規模・複雑な場合、従来の手作業による分析には、多くの時間を要していた。今回、製品コード上でOSSの脆弱な関数を特定し、特定した関数が実際に動作し得るかを分析する作業に着目し、効率化した。具体的には、コンポジション解析、ソースコード管理、静的構造解析ツール連携による、一連の分析作業の自動化技術を開発した(図1)。これによって、脆

弱性の影響有無を分析するのに要する時間を短縮した。

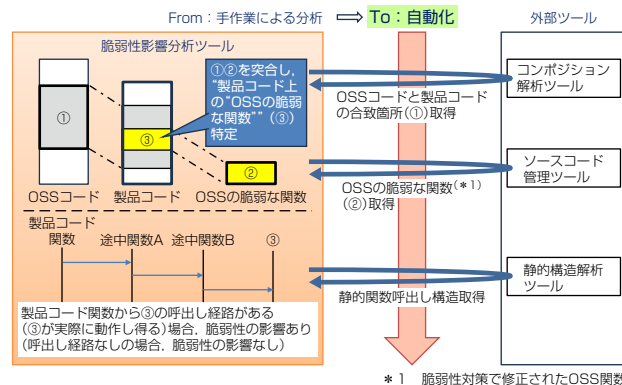


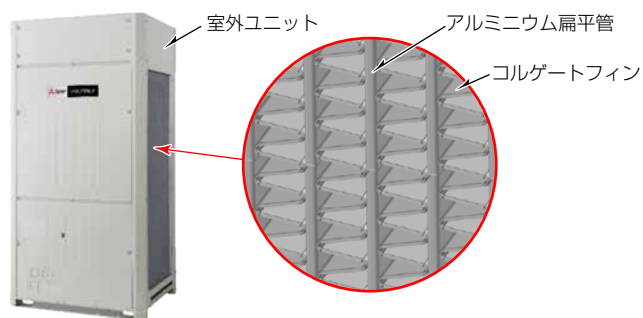
図1-脆弱性影響分析作業の自動化

■ ロール成形による熱交換器用フィンの排水穴開け加工技術

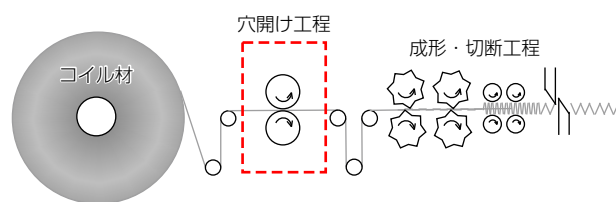
Drainage Hole Processing Technology for Heat Exchanger Fins by Roll Forming

当社は2024年9月、業界最高クラスの伝熱性能を持つ鉛直アルミニウム扁平(へんぺい)管熱交換器を搭載したビル用マルチエアコン室外ユニット“グランマルチ”を発売した。この熱交換器は波形状のコルゲートフィンが鉛直方向に配置されており、運転中に発生するフィン表面の結露水を円滑に排水するための排水穴をフィンに設けていることが特徴である。

コルゲートフィンの波形状加工は、一般に生産性の高いロール成形で連続的に行われる。今回、排水穴開け加工も同様にロール成形で行い、それらの工程を連動させる工法を実用化した。一般的なコルゲートフィンの熱交換器と比較して、生産性を損なうことなく、排水穴付きコルゲートフィンの製造を実現した。



鉛直アルミニウム扁平管熱交換器



ロール成形概略

■ 電子ビーム金属3Dプリンターの純銅造形技術

Pure Copper Additive Manufacturing with Electron Beam Melting

純銅は優れた熱伝導率と電気伝導率を持つため、金属粉末を溶融・積層する3Dプリンターによって中空構造や複雑な立体構造を形成して、熱交換器や電気回路の性能を大幅に向上させる可能性を秘めている。溶融源として主に用いられているレーザーは純銅の高い反射率が障害になるが、電子ビームを用いることで原理的には積層造形が可能になる。当社は、電子ビーム金属3Dプリンター(EZ300)を販売しており、そのアプリケーションとして純銅造形技術の開発に取り組んで、純銅造形は入熱コントロールが最も重要であることを突き止めた。造形エリアに応じた入熱量補正など独自のアルゴリズムによって造形温度と保持温度を安定させることで、高さ250mmを超える大型部品の造形を実現した。



構造部品 純銅

形状外形：□220mm×285mm
造形時間：103時間

大型純銅造形部品

電気自動車用インバーターの熱解析手法

Thermal Analysis Method for Inverters for Electric Vehicle

電気自動車用インバーターの開発で三次元モデルを用いた熱解析を活用している。このうち、インバーターの主要な部品であるパワーモジュール、平滑コンデンサー、バスバー(以下“主回路”という。)の熱解析では、主回路に流れる電流の経路が複雑であるためこれを計算する手間が多く、時間がかかる問題があった。

そこで、電流及び損失密度分布を解析によって求めるよ

うにして、さらに熱解析と同時に自動で連成解析する、計算負荷の小さい熱解析アルゴリズムを開発した(図1)。主回路の各部に流れる複雑な電流波形を複数の実効値で表して、複数の電流解析を行った後に解析結果を合成して電流及び損失密度分布を求めることによって、解析確度を維持しながら、1条件当たりの解析計算時間を10時間から5分に短縮した。

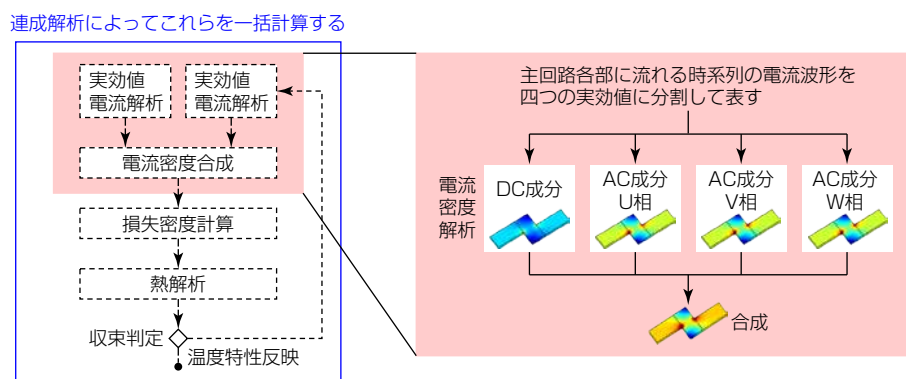
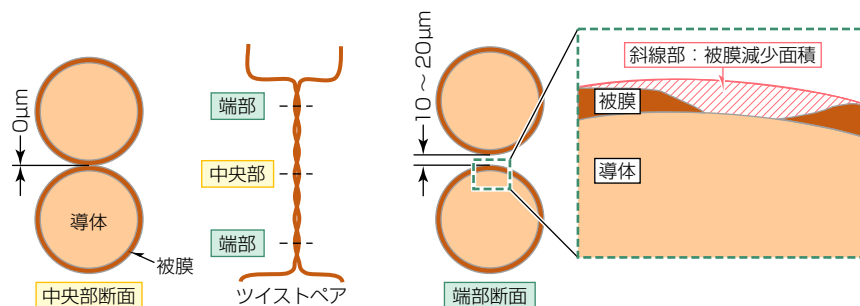


図1-計算負荷の小さい熱解析手法のプロセスフロー

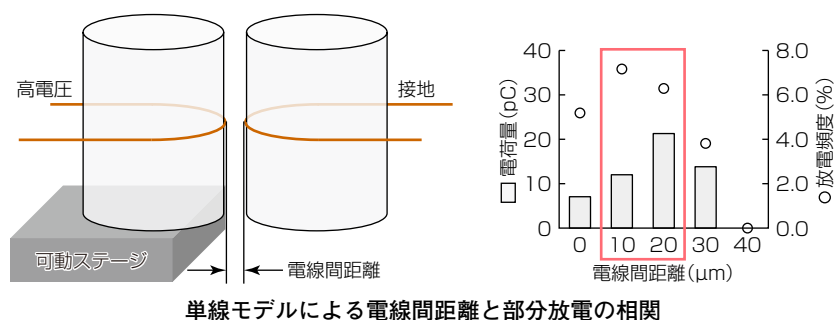
銅エナメル電線の部分放電評価精度の向上

Improved Accuracy of Prediction of Partial Discharge Life of Enameled Wires

モーター部品のコイル等に使用されるエナメル線の部分放電寿命を評価する際、2本のエナメル線を巻き付けたツイストペアが用いられているが、寿命がばらつく問題があった。そこで、ツイストペアの線間が密着している中央部よりも線間に隙間がある端部の方が部分放電試験後の絶縁被膜の減少面積が多いことに着目し、所定の間隔を隔てた二つの円柱それぞれにエナメル線を1周巻き付けた単線モデルによる部分放電の評価によって、電線間距離10~20 μm で部分放電が発生しやすいことを明確化した。ツイストペアでの寿命評価の精度を向上させるには、電線間に隙間ができる箇所に絶縁樹脂被覆するなどして電線間距離を一定にすべきである。



部分放電劣化後のツイストペアの電線間距離と絶縁被膜の減少面積



単線モデルによる電線間距離と部分放電の相関

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)

- 液体水素で冷却する高効率な高温超電導発電機
- ゼロカーボンビルの設計・運用を支援するLCCO₂シミュレーション技術
- 業界最高クラスの伝熱性能を実現する鉛直アルミニウム扁平管熱交換器VFT
- SiCパワーデバイスの耐湿性向上技術
- デジタルゲート駆動によるパワー半導体の伝導ノイズの制御
- 小型炉への適用に向けた現場型デジタル炉外核計装システム
- 電流脈動低減のためのモーター磁束に基づくPWMパルスモード切替え法
- 移動体上の負荷給電に適した小型・軽量な電界結合型非接触給電システム
- マグネシウム合金の高速・高精度積層造形技術の確立
- ワイヤ・レーザー金属3Dプリンター“AZ600”向け広域シールドガスノズル
- ビル用マルチエアコン室外機に搭載されるファンの最適化技術
- 800V対応SiCインバーター搭載EV実験車“EMIRAI 800”
- バイオマス由来原料を用いた高耐熱絶縁材料
- 気候変動データの体験型可視化・可聴化作品“Climatic Reflector”
- サーキュラーエコノミーに資するプラスチック高度選別技術

1.2 安心・安全・快適な社会実現に向けた技術(1-2-01)

- 小型月着陸実証機SLIMの軌道設計技術
- 小型月着陸実証機SLIMの通信・測距技術
- 環境適応性能を向上する強化学習技術
- 圧縮センシングを用いたレーダー目標検出感度向上技術
- セキュリティーゲート向けミリ波イメージング技術
- スマートフォンのセンサーを活用した三次元計測技術
- 鉛フリー圧電薄膜を用いたMEMS超音波センサー
- “電磁指紋”電子機器・部品の電磁的特性を利用した真贋判定技術
- 電波と加速度を用いたマルチモーダル非接触生体センシング技術
- カメラによるバイタルサインのモニタリング
- 非常時の鉄道シャトル運転移行の迅速化
- 広範囲人物追跡技術
- 自律走行車用LiDARへの妨害攻撃が及ぼす影響評価
- プライバシー保護設計効率化を実現する個人情報保護要件抽出ツール
- 量子・AIハイブリッド技術による大規模スケジューリング技術

- 未知データに対するAI挙動を網羅的に検証する技術
- 欧州でのAI倫理リサーチの取組み
- 赤外線センサー“MeDIR”を活用した家畜の監視システム
- 自動車・自動車機器の開発に向けた新しい安全分析手法
- 車載ネットワーク内の盗聴を防止するサイレントノード検知技術
- ミリ波レーダーを用いた幼児置き去り検知での誤警報の抑制
- 飲酒状態検知技術
- 車載カメラによる体格判定技術
- 灯火制御技術のカーブ先読み配光制御機能
- プレジャーボートの横揺れ低減と方位制御を両立する運動制御技術
- ヘッドマウントディスプレイ(HMD)を用いた業務訓練システム

1.3 ゲームチェンジを起こす新技術(1-3-01)

- アルツハイマー病発症前の画像検査の実現に向けた磁気粒子イメージング装置
- 超小型高出力紫外レーザー技術
- 量子コンピューター向け高速・高精度なシリコン量子ドット
- 可視光／中波長赤外線グラフエンVGAイメージセンサー
- 金属加工シミュレーション向け写真レンダリング技術
- 新デバイス創出へに向けた微小試験によるグラフィットの疲労特性評価

1.4 継続的に深化する基盤技術(1-4-01)

- 機器の導入前検証を可能にするネットワークモデリング技術
- 直感的操作でプラント運用の課題と改善策を見つけるギャップ分析ツール
- 滑り軸受内径の非真円加工による軸受特性向上技術
- 旋回流を利用した鉄さび粒子捕捉デバイス
- 冷蔵庫“HSシリーズ”のデザイン
- 冷蔵庫“CXシリーズ”のデザイン
- リニアトラックシステムのデザイン
- 搬送モビリティ活用プラットフォーム
- データ駆動型社会に向けたデータコネクター技術
- 超広帯域無線を活用した高精度位置推定技術
- 強靱(きょうじん)で安定した無線通信を実現する高精度干渉除去技術
- ネットワーク要件定義プロセスのモデル化検討
- 電磁波吸収板
- 物理モデルを活用したモーター異常検知技術
- コモンモード電流によるインピーダンス変動検出技術
- 非接触電圧センシング技術
- 動的加工プロセスの同定技術

- 工場の予知保全に向けた統計量のオンライン計算方式
- 不安定な物体を積み上げるロボット制御技術
- AIによる多目的最適化向けUI
- 宇宙・防衛を支えるPWB／PCA～10年の挑戦～
- 新たな技術開発や事業戦略に資する未来価値洞察年表
- 動画制作ハンドブック

1.5 生産インフラ・設計技術……………(1-5-01)

- 生産現場で働く外国籍の班員に伝わる朝礼を実現する
“翻訳サイネージ”のプロトタイプ
- アクキュムレーター内の冷媒挙動を対象とした気液二相流解析
技術
- ピエゾ素子を内蔵した革新的TEGチップによるパッケージ

- タービン発電機回転軸の振動を高精度に予測する解析技術
- 加工機向け高精度非接触測定技術
- NC向け加工可否判定技術
- 画像処理向け高性能パイプラインを合成可能な
機能IPライブラリー
- ラダープログラム及びタイミングチャートの
フォーマルメソッド検証
- ブリッジ型センサーの低雑音インターフェース回路設計技術
- 脆弱性影響分析の効率化技術
- ロール成形による熱交換器用フィンの排水穴開け加工技術
- 電子ビーム金属3Dプリンターの純銅造形技術
- 電気自動車用インバーターの熱解析手法
- 銅エナメル電線の部分放電評価精度の向上



本号記載の登録商標

Ars Electronica

Ars Electronica Linz GmbH & Co KGの登録商標である。

*KUMADAI*マグネシウム合金

熊本大学の登録商標である。

三菱電機株式会社