

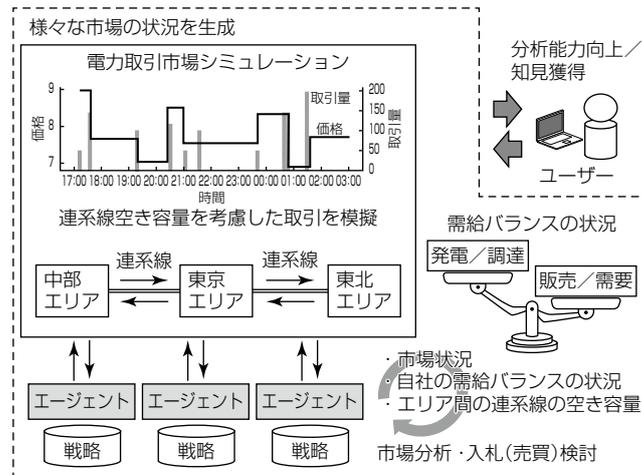
1. 研究開発 Research and Development

1.1 サステナビリティ実現に向けた技術 Technologies for Realizing Sustainability

■ 電力取引市場のマルチエージェントシミュレーション技術 Multi-Agent Simulation Technology of Electricity Market

電力取引市場では、送配電事業者が管轄するエリア間の連系線空き容量が不足するとエリア間の取引が成立しないため、ユーザー（電気事業者）は空き容量を考慮した入札が必要になる。

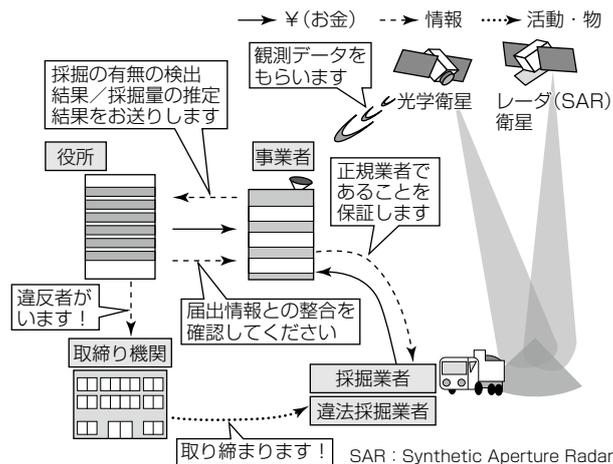
今回、電力を取引するエージェントが自律的に電力取引市場へ入札するマルチエージェントシミュレーション技術を開発した。このエージェントは、エリア間の連系線空き容量を考慮した電力取引シミュレーション環境の下で、経済的に需給バランスを取るための入札戦略を学習する。入札戦略を得たエージェントが多数存在するシミュレーション環境で、ユーザーは電力取引を経験することが可能になる。この技術によって電力取引市場の分析能力向上や知見獲得を促して、ユーザーの入札業務の改善を支援する。



マルチエージェントシミュレーション技術の活用イメージ

■ 衛星を活用した、砂を見て、森を守るサービス Effective Utilization of Satellite Information in Forest Protection Service

建設資材としての需要が増加している砂の過剰採掘によって土地の陥没や浸食が進んで、水害や土砂災害を誘発し、森林が失われる原因になることもある。これまで、砂採掘場の監視は、人の見回りやヘリコプターを用いて実施されており、広域を高頻度に観測するのに課題があった。そこで、森林破壊や土砂災害の一因になっている砂の過剰採掘を、衛星を活用して広域・高頻度に監視するために、観測を実現する衛星システムの設計技術、レーダ衛星画像による砂採掘の有無の検出技術、光学衛星画像を用いた砂採掘量の推定技術を開発している。天然砂の採掘と輸送をグローバルに監視することで、資源の有効活用と環境の保全に貢献する新しいビジネスモデルを提案する。



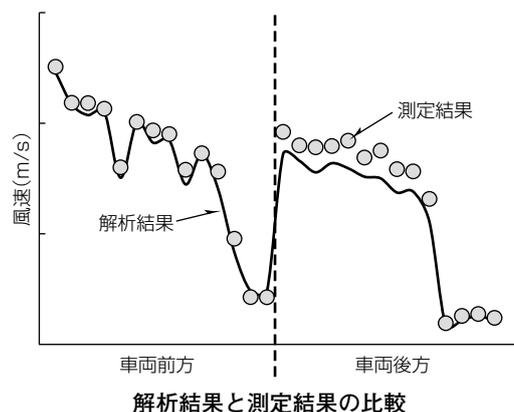
衛星を活用した、砂を見て、森を守るサービスイメージ

■ 屋根上走行風を利用した電鉄向けパワエレ冷却技術 Power Electronics Cooling Technology Using Natural Air on Car Roof for Electric Railways

電鉄用制御装置のグローバル展開を想定して、屋根上設置の制御装置に対して、省エネルギー・低騒音化のため、ブロー冷却から走行風利用冷却に転換する開発を完遂した。

屋根上に設置される冷却器周りの走行風の挙動を把握するため、車両全体と各種機器をモデル化し、複雑な風の流れや渦と冷却器周りの風速を推定する流体解析技術を開発した。流体解析で推定される冷却器周りの風速分布を実測値と比較すると、車両前方・後方によらず高い精度で風速を再現できており、解析の妥当性を確認した。

この解析技術によって、屋根上走行風に適した冷却器を開発できた。



■ 超高濃度オゾンによる下水汚泥減量の実証、及び温室効果ガス削減効果の試算

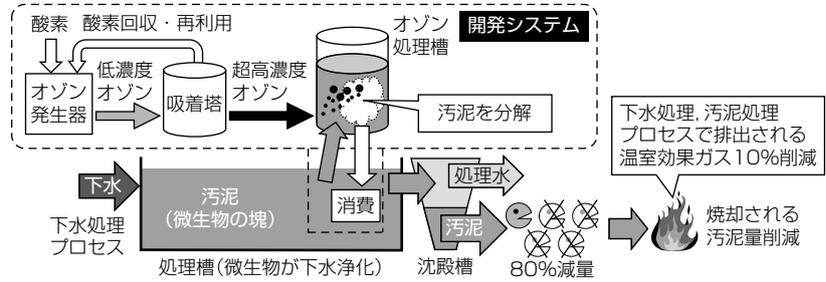
Demonstration of Sludge Reduction with High Density Ozone and Estimation of Greenhouse Gas Reduction Effects

下水処理場で発生する下水汚泥の廃棄処理では、埋立てによる土壤汚染や焼却処理による温室効果ガス(N₂O：亜酸化窒素)の発生が中国や日本で社会課題になっている。

当社は、独自の超高濃度オゾン製造技術によって、従来の低濃度オゾンによる汚泥分解技術と比べて高効率な汚泥減量システムを開発した。今回、中国で実施した実下水処理場を模擬したパイロット実証で80%の汚泥減量と従来比75%のオゾン削減を達成した。また、焼却処理される汚泥を80%減量したことで、各処理場の温室効果ガス排出量の10%を削減で

きる試算結果を得た。

今後は削減効果、及び導入条件・導入コストの観点から、他の脱炭素技術に対するこの技術の優位性を検証する。

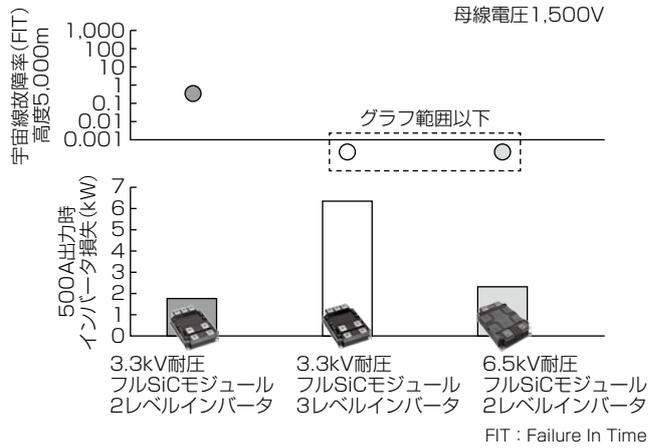


超高濃度オゾンによる下水汚泥減量システムと温室効果ガス発生量削減効果の試算

■ 電動航空機向けインバータへのフルSiCモジュール適用検討

Investigation of Application of Full-SiC Power Module to More Electric Aircraft Inverter

二酸化炭素排出量の削減を背景に、電動航空機の開発が本格化している。電動航空機の推進系インバータには省エネルギー性(低損失)とともに、信頼性(宇宙線に対する低故障率)も重視される。今回、2種類のフルSiC(シリコンカーバイド)モジュール(3.3kV耐圧と6.5kV耐圧)を用いて損失と宇宙線による故障率をモデルベース技術で解析した。その結果、6.5kV耐圧モジュールでは、省エネルギー性、高信頼性の両面で優れた性能を示すことを確認した。一方、3.3kV耐圧モジュールも十分に優れた性能を示すことが確認できた。最終的にはモジュールのコストも鑑みて、電動航空機の仕様に応じた最適な適用法を検討し、推進系インバータの開発を加速させる。



回路構成別インバータ損失と宇宙線故障率のトレードオフ

■ 航空機電動化開発を支える絶縁評価技術

Technology to Evaluate Electrical Insulation Supporting Development of Aircraft Electrification

電動航空機へのパワーモジュールやモータの適用に当たって、高高度環境、すなわち、低気圧環境や温湿度変化が激しい環境、高宇宙線量環境に対応した絶縁設計が求められる(図1)。これに対して、このような環境下での絶縁性能の評価技術は未構築であった。そこで、気圧・温度・湿度の複合環境下で部分放電特性や絶縁破壊特性の低下度合いを評価できる技術を開発した(図2)。また、宇宙線照射した絶縁材料の帯電特性の実測と、宇宙線

照射によるエネルギー付与解析を組み合わせることによって、宇宙線照射に伴う封止材の帯電がパワーモジュールの絶縁性能に与える影響度合いを評価できる技術を開発した(図3)。これらによって、高高度環境に対応した絶縁設計を可能にした。

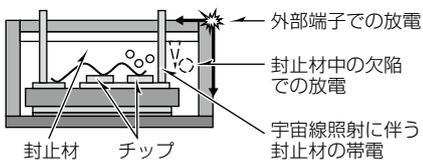


図1. 高高度環境下で絶縁設計が必要な絶縁弱点部の例

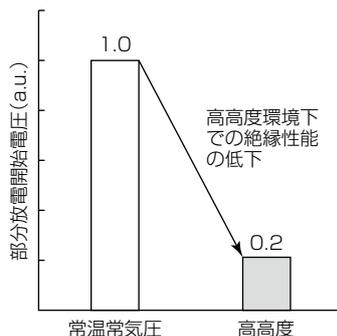


図2. 高高度環境下でのパワーモジュールの絶縁特性

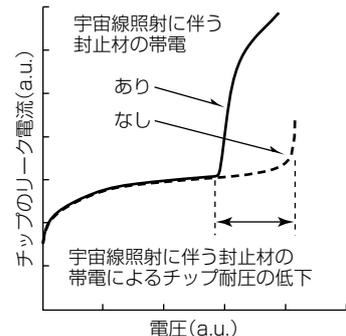


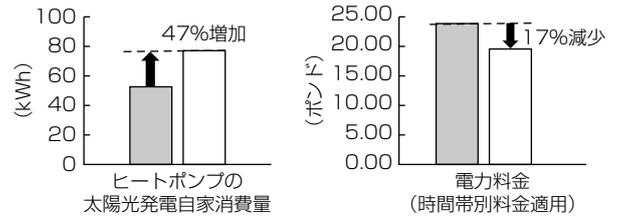
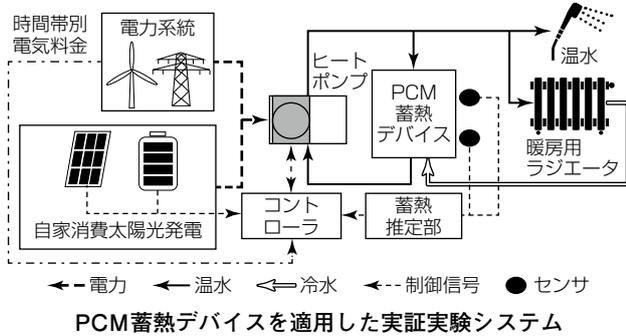
図3. 宇宙線帯電に伴う封止材の帯電下でのチップ特性

■ PCM蓄熱デバイスを用いたヒートポンプ式暖房・給湯機最適制御技術

Optimal Control Technology for ATW System Using PCM Heat Battery

凝固・融解時の潜熱エネルギーを活用するPCM(Phase Change Materials)蓄熱デバイスは蓄熱量が大きく、蓄放熱温度を自由に設計可能であり、装置の小型化や省エネルギー・電気料金削減を目的に、ヒートポンプ式暖房・給湯システムATW(Air To Water)への活用が期待されている。

今回、蓄熱デバイスの外側にセンサを設置し、蓄熱量を推定して、ヒートポンプを最適運転制御する技術を開発した。欧州市場向けATW“ecodan”に適用した評価実験で、開発した最適運転によってヒートポンプの太陽光発電自家電力使用量を47%向上させて、電気料金を17%削減可能であることが明らかになった。今後、様々な蓄放熱温度のPCMに対応するため、運転制御最適化の開発を進める。



PCM蓄熱デバイス向けATWヒートポンプ最適制御の効果

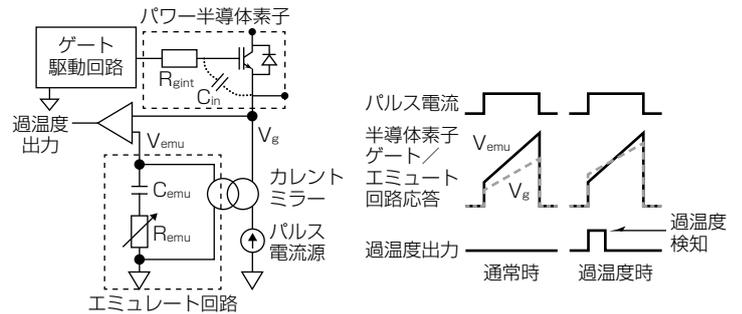
■ 内部及びエミュレートされたゲート抵抗による過温度検出方法

Over Temperature Detection Method via Internal and Emulated Gate Resistance

パワー半導体素子の過温度を検出する回路を開発した。パワー半導体素子は通電で生じる損失によって発熱するが、ある一定以上の温度(過温度)になると半導体素子の通電制御ができなくなり破壊の原因になる。従来は半導体素子上に温度検出用のダイオードを搭載することで素子温度を検出していたが、素子の有効面積が犠牲になる課題があった。

の有効面積を削減することなく、静止状態で±4.2℃、スイッチング時に±7.4℃の検出精度を実現した。

今回、素子の内部ゲート抵抗及び入力容量からなるインピーダンスと、駆動回路上に設けたエミュレート回路のインピーダンスの応答を比較することで素子の過温度を検出する回路を開発した。その結果、素子



過温度検出回路及び検出波形

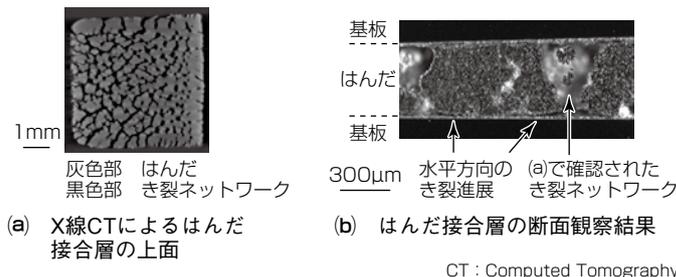
■ 鉛フリーはんだの疲労き裂ネットワークに関する解明

Investigation of Fatigue Crack Network in Lead-Free Solder

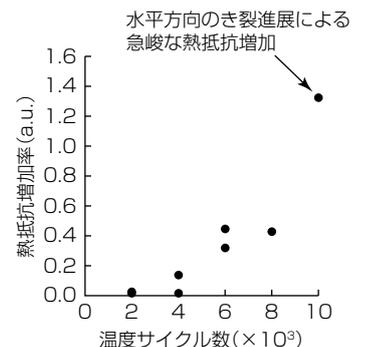
鉛フリーはんだに生じる疲労き裂ネットワークの進展挙動、及び熱抵抗への影響を解明した。パワー半導体素子の接合に鉛フリーはんだを用いたとき、素子と回路基板との線膨張係数差が小さい条件では、温度サイクルによって、はんだ接合部の層内にネットワーク状のき裂が形成される。

進展終期の挙動に関する知見は、今後のパワーモジュール長寿命化開発に向けて有用であると考えて、信頼性設計手法の確立を目指して定量的なモデル構築を実施する予定である。

今回、き裂ネットワーク形成の終期で、はんだ接合界面近傍を界面に対して水平方向にき裂が進展し、熱抵抗が急峻(きゆうしゅん)に増加することを明らかにした。このようなき裂



はんだ接合層のき裂ネットワーク観察結果



温度サイクル回数とはんだ接合層の熱抵抗増加率との関係

■ HVIGBTモジュールでのシリコンゲルの吸湿挙動と結露リスクの明確化

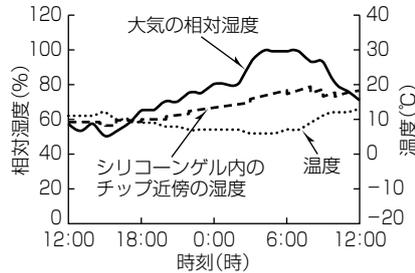
Investigation of Humidity Absorption Behavior and Condensation Risk of Silicone Gel in HVIGBT Modules

電鉄・電力市場では様々な環境に対する高い信頼性が求められている。特に湿度の高い環境でのモジュールの耐湿性向上とその確認技術が強く求められている。

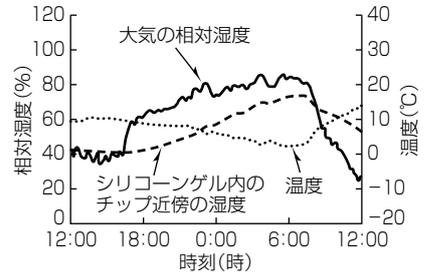
モジュールの吸湿挙動を明らかにするために、封止材であるシリコンゲルの温湿度に対する水蒸気の拡散係数・溶解度係数の取得と吸湿挙動のシミュレーションを実施した。その結果、大気中と比べてシリコンゲル中では結露が発生しにくいこと、及び市場環境下ではシリコンゲル内部での結露リスクが小さいことを明らかにした。

この技術によって、様々な環境でのモジュールの吸湿・結露リスクを明ら

かにするとともに、今後はモジュール信頼性試験条件の適正化にも貢献していく。



ロンドンの環境データ(2020年2月1日～2日)に基づくHVIGBTモジュール内のシリコンゲルの吸湿シミュレーション結果



東京の環境データ(2020年2月4日～5日)に基づくHVIGBTモジュール内のシリコンゲルの吸湿シミュレーション結果

HVIGBT : High Voltage Insulated Gate Bipolar Transistor

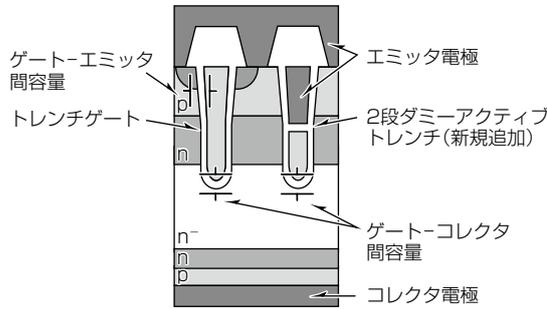
シリコンゲルの吸湿モデルに基づく市場環境下でのシリコンゲルの吸湿シミュレーション結果

■ 2段ダミーアクティブ構造によるIGBTのターンオン損失低減技術

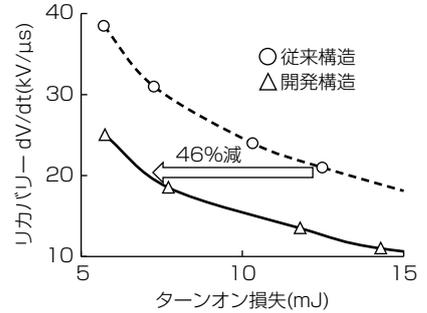
Split-dummy-active Structure for Reducing Turn-on Switching Loss of Insulated Gate Bipolar Transistor

低炭素社会を支えるパワー半導体で、使いやすさが性能指標の一つになりつつある。従来、Si-IGBT(Silicon-Insulated Gate Bipolar Transistor)のターンオン損失と還流ダイオードでの単位時間当たりの電圧上昇であるリカバリーdV/dtはトレードオフ関係にあり、モータの絶縁不良の原因になるリカバリーdV/dtの抑制にはターンオン損失を犠牲にする必要があった。今回、複数あるトレンチゲートの一部を2段に分割し、上段の電極をエミッタ電極と同電位にすることによって、

ゲート-コレクタ間容量とゲート-エミッタ間容量の比率を最適化した。この結果、トレードオフが改善し、ターンオン損失を46%低減できた。この成果によって、電力変換器の更なる低損失化が期待できる。



開発構造の断面図

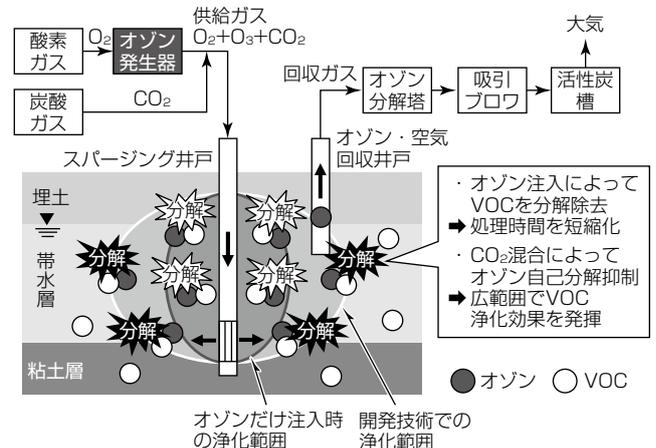


電気特性の比較

■ オゾンガススパージングによる地下水・土壌VOC浄化

Technology for Removal of Volatile Organic Compounds in Groundwater by Ozone Gas Sparging

地下水・土壌中の揮発性有機化合物(VOC)による汚染を従来よりも短時間で浄化可能な技術を開発した。2017年の土壌汚染対策法改正を背景に、VOCに汚染された地下水・土壌の浄化対策が推進されている。従来の浄化処理では、特に、地下水中のVOC濃度が低い場合に長時間処理が強いられ、コストが肥大化する課題があった。今回、高い酸化力を持つオゾンと二酸化炭素を地下水中に注入するオゾンガススパージング技術を開発した。この技術はオゾンの自己分解を抑制して広範囲で浄化効果を得られることが特長で、実証試験で地下水中のVOC濃度を従来技術よりも短時間で環境基準値以下に低減できることを確認した。この技術によって、低コストでの地下水・土壌再生が期待できる。

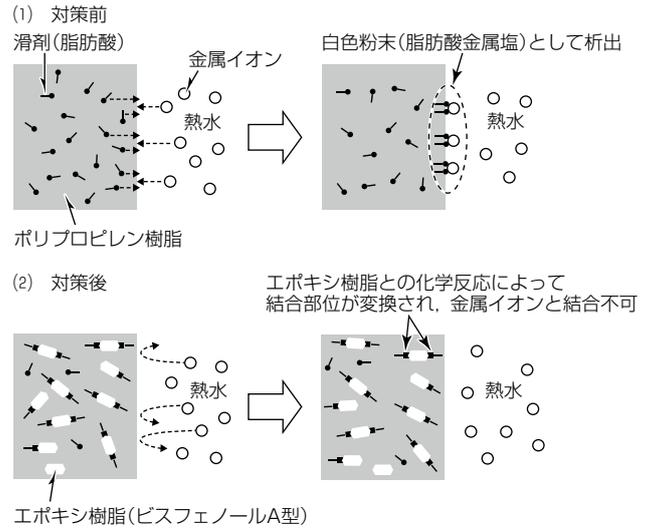


CO₂混合オゾンガススパージング技術

■ 熱水処理に由来する外観不良を抑制できるリサイクルポリプロピレン樹脂成形品

Recycled Polypropylene Resin Molded Products Suppressing Appearance Defects Caused by Hot Water Treatment

熱水環境で使用可能なリサイクルポリプロピレン樹脂成形品を開発した。大型家電から市場回収されたリサイクルポリプロピレン樹脂成形品は熱水環境に晒(さら)すと白色粉末が析出し外観不良が発生する。この原因物質は、成形時の樹脂流動性を高めるための脂肪酸系の滑剤であり、熱によって樹脂表面に移行した滑剤のカルボキシ基が熱水中の金属イオンと結びついて白色粉末の脂肪酸金属塩が析出する。今回、滑剤のカルボキシ基と化学反応するビスフェノールA型エポキシ樹脂を添加することで、熱水処理による外観不良を抑制できる技術を開発した。この技術によって、熱水環境で使用されるプラスチックにもリサイクル材料を適用可能になり、リサイクル材料の適用範囲拡大が期待できる。



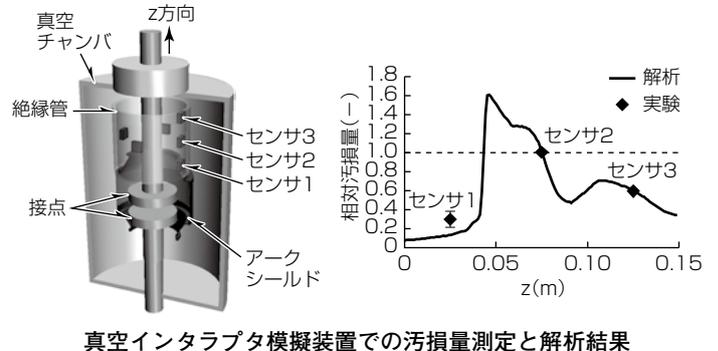
外観不良発生メカニズムとその抑制方法

■ 真空遮断器の高電圧化を実現する汚損診断及び汚損シミュレーション技術

Diagnostic and Simulation Technology of Contamination Process for High Voltage Vacuum Circuit Breakers

真空遮断器での絶縁劣化の主要因の一つである真空インタラプタ内面への微小金属粒子付着による汚損状況を診断・予測する技術を開発した。金属粒子の付着による微小な質量変化を水晶振動子の振動数変化によって検出する手法を確立し、汚損状況の定量化を実現した。併せて、確率論的手法(Direct Simulation Monte Carlo : DSMC)を用いることで金属粒子の衝突・反射・付着などの運動特性を考慮し、実測と整合する汚損シミュレーション技

術も確立した。これらの技術によって従来困難であった真空遮断器の汚損診断・予測を実現し、汚損現象を考慮した信頼性の高い遮断器設計が可能になり、従来よりも高電圧に対応した真空遮断器を実現できるようになった。



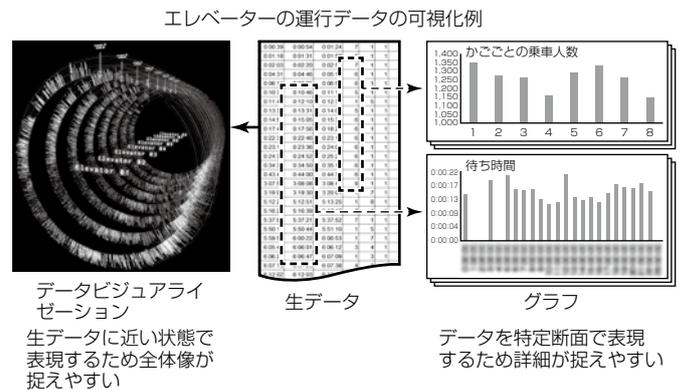
真空インタラプタ模擬装置での汚損量測定と解析結果

■ 複雑な世界をひも解くデータビジュアライゼーション

Data Visualization to Unravel Our Complicated World

高度で複雑化する社会課題の解決には、大量多量のデータを活用しつつ、その全体像や相関性を人に分かりやすく伝える必要がある。データビジュアライゼーションは、生データに色や形を与えることで、事象の全体像を捉えやすくし、潜在的な課題の発見や解決に導く支援をする。

エレベーターの運行データの可視化例では、時計回りに行先階やかごの到着時間を配置することで、運行傾向が確認できた。サステナブルな社会の実現に向けて、エネルギーの効率的な運用やインフラ保全の高度化など、社会課題を解決する状況把握手段として可視化技術を活用していく。

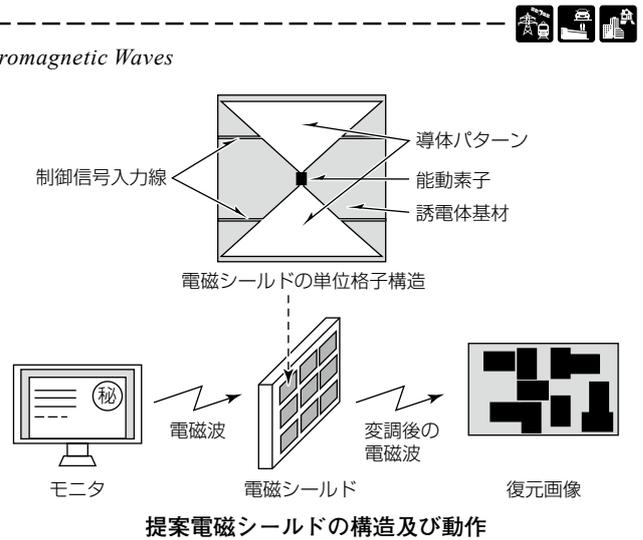


エレベーターの運行データの可視化例

■ 電磁波に含まれる情報を秘匿する電磁シールド

Electromagnetic Shield for Concealing Information Contained in Electromagnetic Waves

モニタがノイズとして出す電磁波に表示内容の情報が含まれていることを利用して、これを傍受し、表示を復元する攻撃がある。通常の電磁シールドのように、電磁波を減衰するだけでは、同一表示内容の情報を複数フレーム分傍受し、平均処理によって表示を鮮明化することで表示を復元される場合がある。開発した電磁シールドは、導体パターン、能動素子、及び制御信号入力線を誘電体基材上に配置した単位格子構造の配列からなり、電磁波を減衰するとともに、制御信号に応じて電磁波を変調できる。電磁波に含まれる情報を変調によって上書きすることで、平均処理による鮮明化を防いで、攻撃を阻止する効果がある。

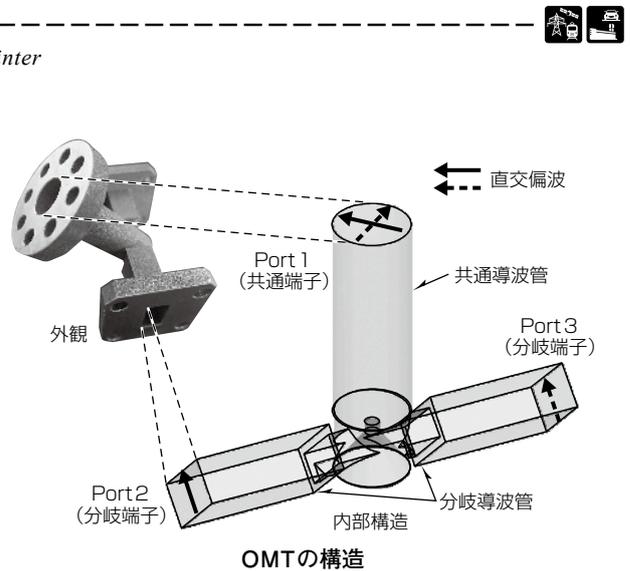


■ 金属3Dプリンターを適用した小型導波管偏波分離回路

Compact Waveguide Polarization Separation Circuit using Metal 3D Printer

衛星通信などで用いられる導波管偏波分離回路では、偏波が直交する二つの信号の分離が求められる。従来回路は切削加工が前提のため非対称な構成を取らざるを得ず、良好な分離特性の実現と小型化の両立が困難であった。

今回、回路製造に金属3Dプリンターを適用し、従来になかった小型な偏波分離回路(Ortho-Mode-Transducer: OMT)を開発した。金属3Dプリンターで対称な回路構成を実現することによって、直交する二つの偏波をそれぞれ同一原理で分離し、分離特性を向上させた。これによって、従来に比べて、反射特性を5 dB改善するとともに50%の小型化を実現した。この技術は、他社との差別化を図り、衛星/基地局事業の競争力向上に貢献するものである。



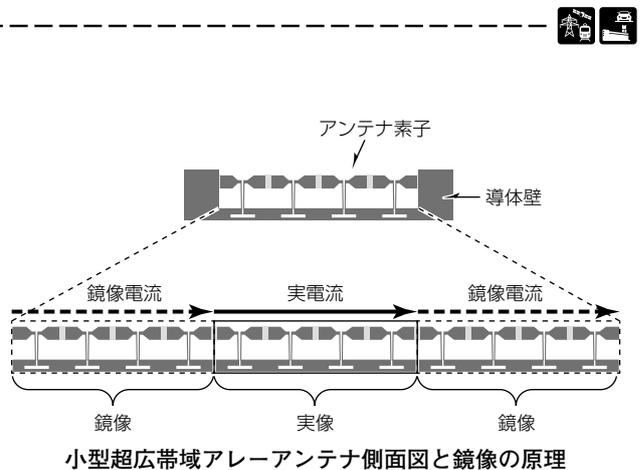
■ 小型超広帯域アレーアンテナ

Small-sized Ultra-wideband Array Antenna

航空機や小型衛星等への搭載に好適な小型超広帯域アレーアンテナを開発した。

従来のアレーアンテナで超広帯域特性を実現するためには、低周波帯域端で1波長以上のサイズが必要であり、アンテナが大型化する課題があった。

これに対して、アンテナ端部に導体壁を設置して電氣的に鏡像を作り出すことで仮想的にサイズを大きくする新たな超広帯域アレーアンテナを考案した。これによって、1波長以下の小さいサイズでも良好な電気特性を得ることができ、従来比1/3の小型化に成功した。

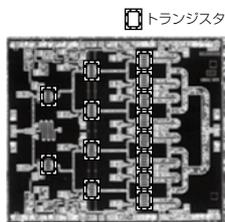


■ K帯高出力GaN増幅器MMIC

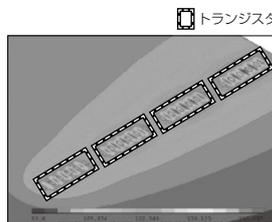
High Power K-band GaN Power Amplifier

衛星通信向けK帯GaN(窒化ガリウム)増幅器MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit)の高出力電力・高効率化技術を開発した。衛星通信では通信容量増大の要求に伴い通信周波数の高周波化が進められている。従来衛星通信に用いられてきた進行波管電力増幅器は高周波化に伴う構造面での高精度化に課題があり、近年は固体電力増幅器の適用が注目されている。今回、熱解析によって固体電力増幅器向けGaN増幅器MMICのトランジスタ間での熱干渉を最小

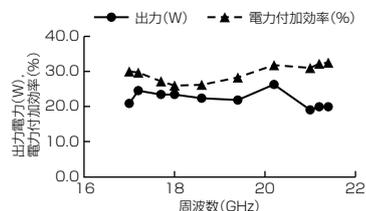
化し、熱による出力電力・効率・利得の低下を最小化した。試作したK帯GaN増幅器MMICは、連続動作条件下で世界トップレベルの高出力電力・高効率特性(出力電力19.1W以上、電力付加効率26%以上)を実現した。



K帯高出力GaN増幅器MMIC



トランジスタ間の熱干渉を考慮した配置図

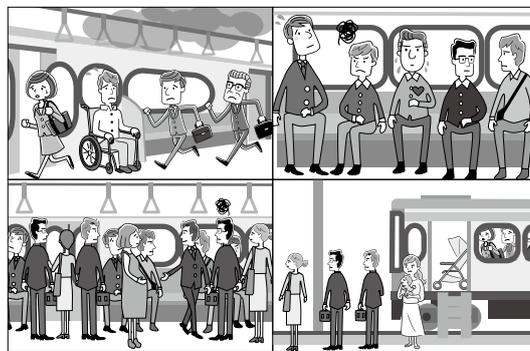


世界トップレベルの高出力電力・高効率特性

■ 鉄道の運行支障時のユーザー特性の研究

Research of User Characteristics in Disruptions to Rail Services

鉄道の運行に支障があるときに必要となる乗客への支援を明らかにするため、多様な利用者を対象に個別インタビュー調査を行った。調査対象は、鉄道を介助なしに利用することがあり、運行支障時に第三者による支援の必要性が考えられる障がい者や外国人などに健常者を加えた12属性61人である。インタビューによって、各種運行支障のシーン別に利用者の心身の状態や行動を定性データとして取得した。多様な利用者特性を横並びで見て、シーンごとに必要な支援を俯瞰(ふかん)的に整理した。今後、鉄道での安全かつ適切な製品開発に活用していく。



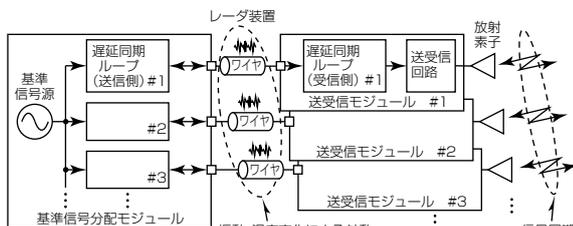
インタビュー結果を基にした運行支障時に予測される利用者シーンのイラスト

■ レーダの複数送受信機の同期精度を向上する基準信号同期IC

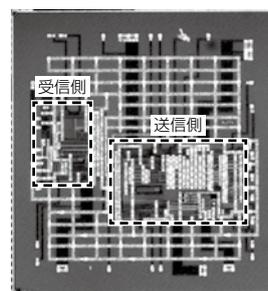
Reference Signal Synchronization IC to Improve Synchronization Accuracy of Multiple Radar Transmitters and Receivers

車載の衝突防止センサ等に使用されているレーダでは、複数の送受信機を同期させて動作させることで検知分解能を向上させることができるが、振動や温度変化による外乱が存在する状況でも同期信号を高精度に分配することに課題があった。今回、位相変動を抑えて同期信号を分配する遅延同期ループ内の可変遅延回路(VCDL)の特性ばらつきを抑制し、より高精度な同期を実現する当社独自技術を開発した。

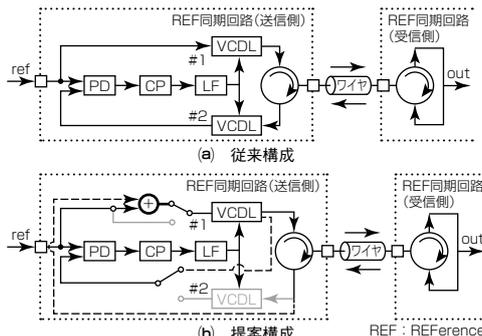
能を測定した結果、提案構成はVCDLのばらつきが小さいときの従来構成と同様の特性を実現した。



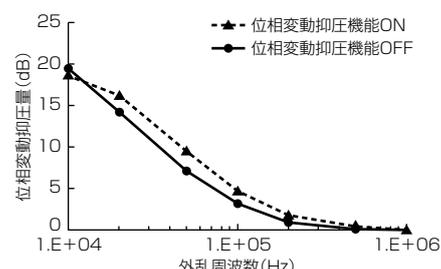
複数の送受信機に同期信号を分配する遅延同期ループ



チップ写真



従来構成と提案構成

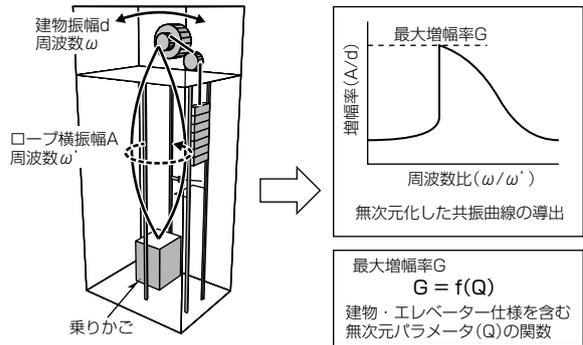


測定結果

■ 建物揺れ時のエレベーターロープ最大横振幅を簡易に求める解析手法

Simplified Solution against Maximum Rope Sway due to Building Vibration

強風や地震で建物が揺れ続けると、特定のかご位置でエレベーターロープが大きく横に揺れる共振現象が発生する。このときのロープ横振動の共振曲線は非線形振動特性を示すため、最大振幅の評価にはシミュレーションによる数値計算が必要であった。そこで、ロープの横振動と縦振動を1自由度振動系でモデル化し、さらに共振曲線を無次元化することで、ロープ横振動の最大値を求める解析手法を開発した。これによって、エレベーターの仕様や建物の加振条件を含む無次元パラメータを入力として、ロープ横振動の最大振幅を容易に求められる。そのため、ロープ揺れのリスク評価と対策案を早期に提示可能になり、強風・地震に強いエレベーターを提供できる。



■ 動くサイン“ダイナミック・サイン”の人間工学的デザイン要件とISO規格提案

Ergonomic Design Requirements and International Standardization of "Dynamic Signs"

ダイナミック・サインは状況に応じて表示内容を動的に変化させる情報提示技術の総称で、誘導や注意喚起サインの気づきと理解を高めることができる。しかし、その見やすさや利用しやすさ、安全性に関する統一規格はこれまで存在しなかった。そのため国立研究開発法人 産業技術総合研究所とともにVR(Virtual Reality)技術を用いた人間工学実験や実施の実証実験等を行い、施設利用者の人間工学特性の基礎データを取得した。それらを基にサインデザインの要求事項をまとめて、ISO規格を提案し、発行に至った。



■ 高光出力と高ビーム品質を両立するフォトニック結晶面発光レーザー

Photonic Crystal Surface-emitting Laser with High Power and High Beam Quality

フォトニック結晶レーザー(PCSEL)は二次元ナノ周期構造であるフォトニック結晶の利用によって、従来の半導体レーザーを凌駕(りょうが)する高輝度(高出力かつ高ビーム品質)ビームを実現可能である。将来的なスマート加工(レーザー加工)システムの超小型・低コスト化に向けて、図1に示す1mmφPCSELを開発した(京都大学で開発されたPCSEL技術を基に、当社も参画した)。試作したデバイスを連続電流駆動した結果、10W級の高輝度ビームが得られた(図2)。さらに、PCSELを光源とする金属表面加工

システムを作製し、ステンレス板表面の微細加工に成功した。今後はフォトニック結晶構造を深化させ、ワンチップ100W~kW超級PCSELを適用したレーザー加工機の実現を目指していく。

この研究は京都大学で開発されたPCSEL技術を基に、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)の下で、当社も参画して研究を進めたものである。

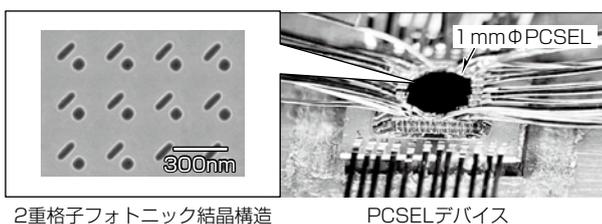


図1. PCSEL (どちらも京都大学で試作したもの)

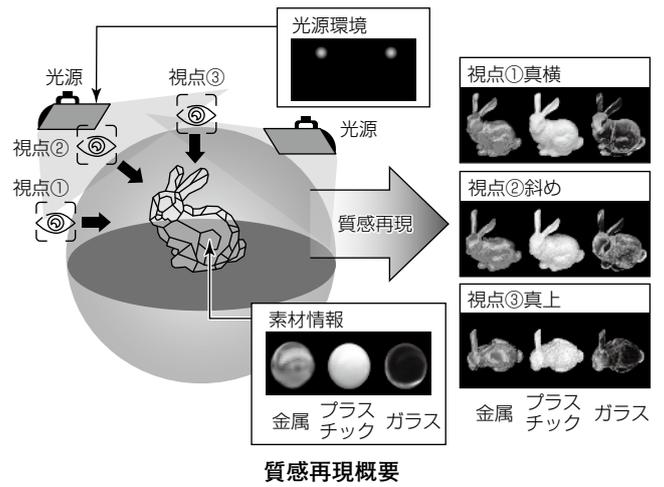


図2. PCSELの性能評価結果

■ 質感再現技術

Technology for Reproducing Real Objects in Virtual Space

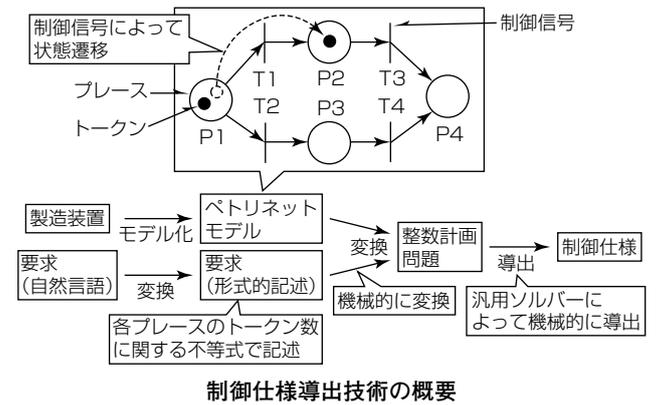
仮想空間上に現実空間の物体モデルをリアルに再現する質感再現技術を開発した。光源と物体の素材情報を基に、仮想空間上に反射や透過、屈折などの光学現象を忠実に再現することで、まるで現物を見ているかのような物体の質感を再現する。また、光源と視点を自在に変化させることで、現実空間以上の自由度で物体を確認可能である。少子高齢化・ニューノーマル社会では、場所や時間の制約から解放された新しいワークスタイルが求められている。質感再現技術によってデジタルツインを高度化し、現実空間と仮想空間の境界を最小化することで、これまで現地・現物で実施していた工業製品の意匠確認などを時間や場所の制約なしに行うことを可能にする。



■ シーケンス制御プログラム自動生成に向けた制御仕様導出技術

Control Specification Derivation Technology for Automatic Generation of Programmable Logic Controller Programs

FAシステム構築効率化のため、シーケンス制御プログラム自動生成技術に応用可能な制御仕様導出技術を開発した。この技術では、製造装置とその動作に対する要求から、製造装置を要求どおり制御するための各時刻の制御信号(制御仕様)を機械的に導出する。制御仕様導出では要求の形式的かつ簡潔な記述が重要である。既存の要求記述方式では、製造装置がとり得る全ての状態を解析し要求を記述するが、同時並行動作が多い製造装置では状態数が膨大なため、要求の記述量が膨大になる。この技術では、同時並行動作のモデル化に適したペトリネットモデルを用いて、状態の一部に制限をつける要求記述方式を考案することで要求の記述量を削減し、機械的な制御仕様導出を可能にした。

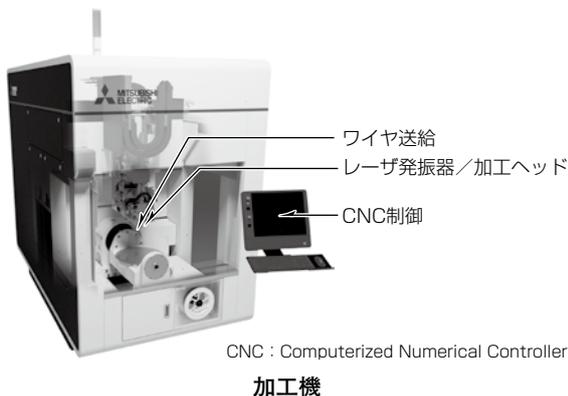


■ ワイヤ・レーザ金属3Dプリンター“AZ600”

"AZ600" Wire-laser Metal 3D Printer

溶接用ワイヤをレーザで溶融し、三次元構造を高品質に造形するワイヤ・レーザ金属3Dプリンター“AZ600”を2022年3月1日に発売した。造形物高さや溶融池幅等の計測値に基づいて、軸指令値とワイヤ供給量及びレーザ出

力の指令値を協調制御するデジタル造形技術によって、安定的かつ高品質な三次元造形を実現した。ワイヤ材を用いているため、既存の粉末方式と比較して作業性や安全性に優れており、高い緻密度で空孔の少ない高品質な造形を実現できる。自動車や船舶、航空機の部品製造でのニアネットシェイプ化や肉盛り補修向け等で、消費エネルギー削減や省資源、加工時間短縮を実現する高効率な工法を適用することによって、脱炭素時代のモノづくりに貢献する。

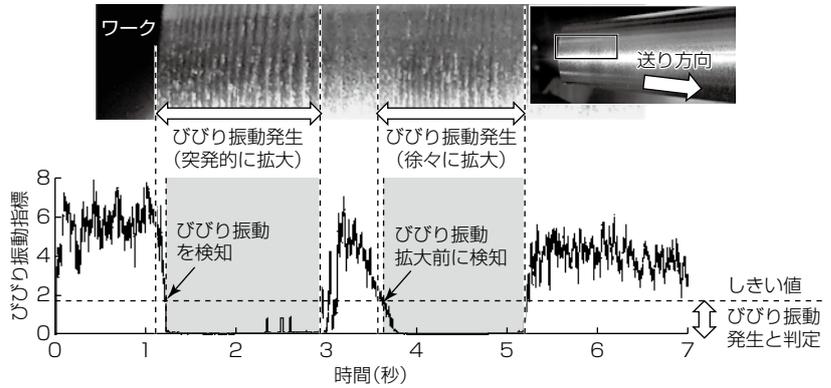


■ 数値制御装置の信号を活用したびびり振動の高速検知技術

Fast Chatter Detection Method Using Computerized Numerical Control Data

切削での加工品質低下の原因であるびびり振動を高速に検出する手法を開発した。びびり振動は振幅が時間とともに拡大する自励振動であるため、発生を瞬時に検知し回避することが要求される。従来の周波数解析を行う手法では検知に数秒程度の時間を要して、検知した時点で既に加工に致命的な不良が発生することが多かった。今回の開発手法では、数値制御装置から取得した主軸角度を参照して工作機械に設置した加速度センサ信号を逐次解析する方式にしたことで100ミリ秒未満でのびびり振動検知が可能になった。これによって、加工条件変更などの対策をリアルタイムに実施することで切削

加工の歩留り向上と加工時間短縮に貢献できる。



加工結果とびびり振動の検知結果

■ ティーチングレスロボットシステムのデザイン

Design of Teachingless Robot System

コロナ禍で、今後、食品市場や物流市場に対する産業用ロボットの導入が一層求められることが予想される。しかし、現状のロボットに動作設定を行うには専門知識が必要で、また多くの時間を要するため、これらは現場への導入障壁になっている。そこで、初心者でも簡単にロボットの動作設定ができるように、タブレット端末によるタッチ操作や音声操作を主とした簡単操作UI(User Interface)を開発した。食品工場等での弁当箱への食品の盛り付け箇所や、盛り付け対象物の個数を表す数値などをAR(Augmented Reality)を用いた立体的表示にすることで、タッチ操作や音声操作の誤入力を軽減する。現場で働く職員にとっても扱いやすく、より多くの現場への導入が期待できる。



ロボット設置時のシミュレーションAR表示
盛り付け場所の指示ミスを防ぐ立体的AR表示
ティーチングレスロボットシステムのUI

■ プレジャーボートのオートパイロット機能を支える方位制御技術

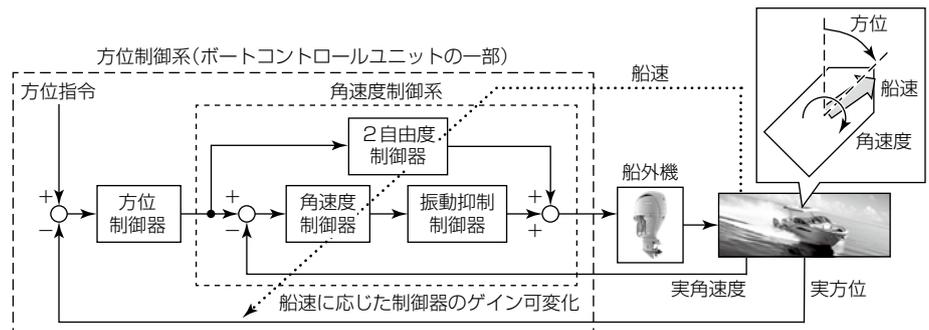
Heading Control Technology Supporting Autopilot Function for Pleasure Boats

プレジャーボートでは、舵(かじ)効きが鈍感な釣り用途の低船速域から、敏感な移動用途の高船速域にかけて、方位指令どおりに実方位を安定に追従させる課題があった。これに対して、ボート動特性の船速依存性を実験で明確にし、船速に応じたゲイン可変型の次の制御器を持つ動特性変動に頑強な方位制御技術を開発した。

方位指令直後に実方位を機敏に反応させる2自由度制御器

この技術は、ボートコントロールユニットへ適用され、顧客から高評価を得ている。

- (1) 角速度の制御応答バラつきを抑制する角速度制御器
- (2) 特に舵効きが鈍感な低速域で、操舵(そうだ)に対する角速度の制御応答の遅延を小さくする振動抑制制御器
- (3) 操船者に違和感を与えないよう、



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

開発技術を含む方位制御システムの全体構成

■ 居住者の健康性を向上させるウェルネス・システム

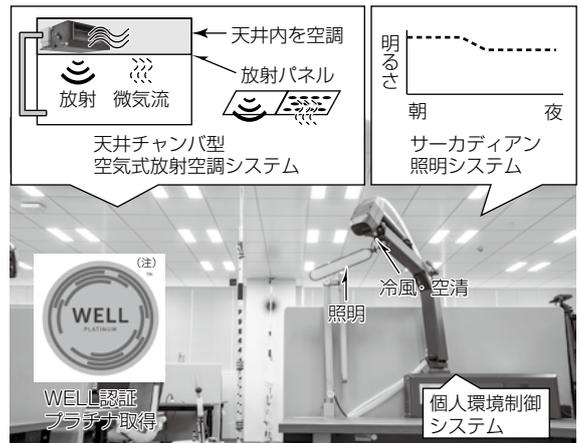
Wellness System to Improve Well-being for Office Workers

居住者の健康性を向上させるウェルネス・システムを開発し、ZEB(net Zero Energy Building) 関連技術実証棟“SUSTIE”に導入した。

このシステムは、空間全体の環境を生成する各設備システムと、個々人の周辺環境を調整する個人環境制御システムで構成している。各設備システムとして、空調に天井チャンバ型空気式放射空調システム、照明にサーカディアン照明システムを導入している。また、個人環境制御システムは、冷風機能、空気清浄機能、照明機能等を備えている。

被験者実証では、このシステム導入後の健康性に関するアンケート結果が約4.7%向上し、有効性を確認した。

このシステムは、人の健康面からビルを評価するWELL認証に適合し、最高ランクのプラチナ認証取得に貢献した。



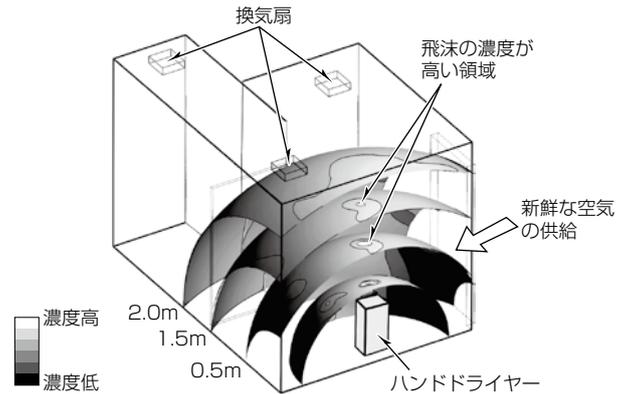
ウェルネス・システムの概要

■ ハンドドライヤーによるCOVID-19への感染リスクの評価手法

Assessment of Risk for COVID-19 Infection Caused by Hand Dryers

新型コロナウイルス感染症(COVID-19)の感染拡大防止措置として、日本では多くの施設でハンドドライヤーの使用が停止された。ハンドドライヤー使用時の安全性を検証するため、運転時に生じる気流の影響を考慮した感染リスクの評価手法を構築した。一様かつ定常な状態を対象とした従来の評価手法に対して、この手法では、実測した粒子径分布や数値流体解析で予測した飛沫(ひまつ)の濃度分布と、他の先行研究などの様々なデータを組み合わせることで、時間的・空間的に変化する飛沫分布の影響を考慮することを可能にした。この手法を用いて試算した結果、多くの場合ハンドドライヤーによる水滴飛散は、会話などの直接的な唾液の飛散に比べて感染リスクへの寄与が小さくなる

可能性が高いことが示唆された。



数値流体解析によって求めた飛沫濃度の空間分布の例

■ ビル向け快適気流制御技術

Airflow Control Technology for Commercial Air-conditioning Systems

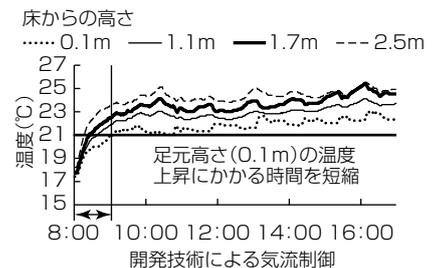
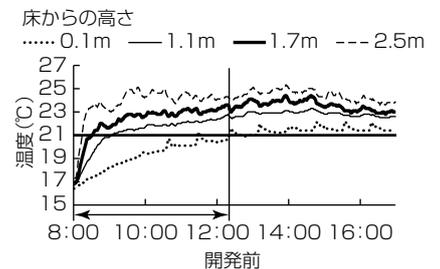
近年のビル用空調市場での健康や快適性に配慮した空間へのニーズの高まりを受けて、室内全体の快適性を向上させる“ビル向け快適気流制御技術”を開発した。快適性に影響を及ぼす因子の一つである気流分布はセンサによる把握が困難である。この制御では、室内機の吹き出し角度、風量、発熱量などを変えた複数の吹き出しパターンに対してあらかじめ気流解析を実行する。制御時には空調機のセンサ値で解析結果を補正して室内気流分布を予測し、所望の室内環境を実現する最適な吹き出しパターンを選択して制御する。当社ZEB関連技術実証棟で暖房試験を行った結果、足元の暖まりの遅さが改善

され、業務時間を想定した9時間の中で上下温度差が3℃以上になる時間が約30%削減されることを確認した。



室内全体が最も快適になる吹き出しパターンを選択し室内全体が快適になるよう制御

ビル向け快適気流制御技術のイメージ



実証データ(窓際の温度推移)

■ IHジャー炊飯器“本炭釜 紬(つむぎ)”の“らく楽アシスト”

"Raku Raku Assist" for IH Rice Cooker "Pure Carbon Pot TSUMUGI"

当社の“らく楽アシスト”は、誰もが“あんしんして、らくに、楽しく使える”を考慮したものづくりを目指している。

当社ジャー炊飯器発売50周年記念モデルの“本炭釜 紬”は、現在の設定内容や操作方法、操作ミスのガイダンスを液晶表示と同時に音声でアナウンスをする。また、手入れのしやすさでは、内ぶたや内釜を設置する本体のフレームでは、従来品から部品



操作方法、操作ミスのガイダンスを液晶表示と同時に音声でアナウンス

ピピピピッ、内釜がありません。

点数を削減し、凹凸を減らしたシンプルな構造にしたことで、清掃性を向上させた。内ぶたは、約42%の軽量化を実現し、取り回しを良くした。当社独自のユニバーサルデザイン基準では高得点を獲得したが、今後は、さらに誰もが使いやすい製品開発に努めていく。



清掃性を向上させた本体フレーム



部品点数を削減し、42%の軽量化を実現した内ぶた

■ 国内向け6ドア冷蔵庫“MZ/WZシリーズ”のデザイン

Design of "MZ/WZ Series" Refrigerator for Domestic Market

筐体(きょうたい)プラットフォームの共通化によって、野菜室が真ん中、冷凍室が真ん中の二つのラインアップ

を持つ国内向け6ドア冷蔵庫を開発した。家庭ごとの食生活スタイルによって使い勝手を選ぶことができる。独自の断熱構造によって、従来機種に対して、幅、奥行きを変えずに庫内容積を拡大した。生鮮食品の鮮度を保つチルドケースは、横幅を庫内いっぱい広げて、まとめ買いニーズに対応し



国内向け6ドア冷蔵庫“MZ/WZシリーズ”

た。外観は、シンプルな直線を基調として、手になじむハンドルや落ち着いたカラー、光沢を抑えたガラス面材の質感によって、人や生活空間との調和を実現した。



横幅を庫内いっぱい広げたチルドケース



野菜室が真ん中



冷凍室が真ん中

1.2 統合ソリューションを支える技術 Technologies Supporting Integrated Solutions

■ グラフデータベースを活用した試験統合管理プラットフォーム技術

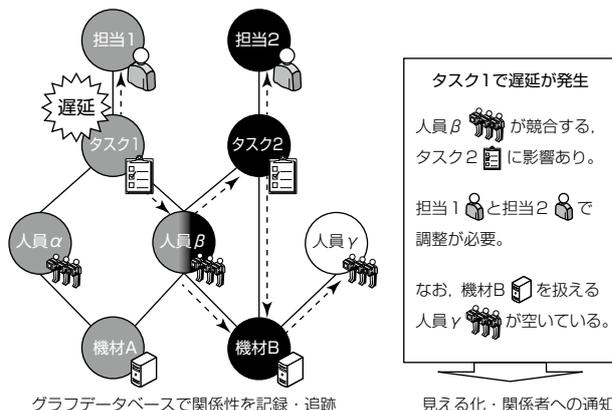
Test Management Platform Utilizing Graph Database System

大規模システム開発では、設計のフロントローディング等、超上流でのリスク低減が重要だが、製造前は不確定要素が多くゼロにできない。そのため、下流での問題発生時、早急に対策を取れる仕組みが必要になる。例えば、試験で手戻りが生じた際、担当は他への影響を確認し、調整するが、この時間は品質向上に寄与しないロスタイムになる。

今回、担当者、タスク、人員、機材等の要素を、割当てや技術等に基づいてグラフデータベースでひも付けて、何らかの要素で問題が生じた際、影響を可視化・通知する仕組みを開発した。

これによって、問題のあるタスクと影響するタスクの担当で、課題と関連要素を瞬時に理解し、対策(順序や機材

を組み替えての並行実施等)をすぐに検討できるようにした。

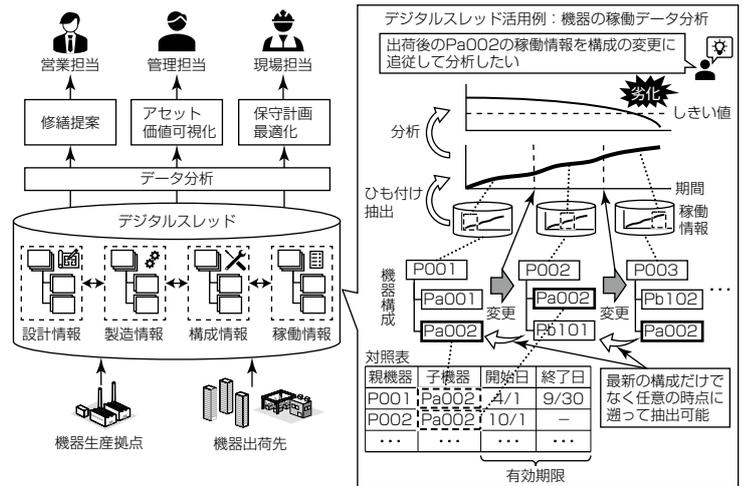


グラフデータベースを活用した試験統合管理プラットフォーム技術

■ 機器情報を一元管理するデジタルスレッド管理技術

Digital Threading for Device Data Consolidation

機器の設計情報、製造情報、構成情報や稼働情報を相互にひも付けて一元管理するデジタルスレッド管理方式を開発した。機器は出荷後に移動や付け替え、交換によって構成が変わり、異なった領域に稼働情報が格納されるため、機器個体に着目した稼働情報の抽出や分析が困難であった。この方式では、機器の生産拠点や出荷先から取得した情報を有効期間付きで管理する対照表によって、過去の任意の時点での機器の構成情報を復元可能にし、出荷後の機器の構成に追従して稼働情報を抽出できる。抽出した稼働情報を分析することで、機器の異常兆候を検知し、異常発生前の修繕提案、保守計画の立案や最適化、アセット価値可視化に活用し、高度な機器メンテナンスの実現に貢献する。

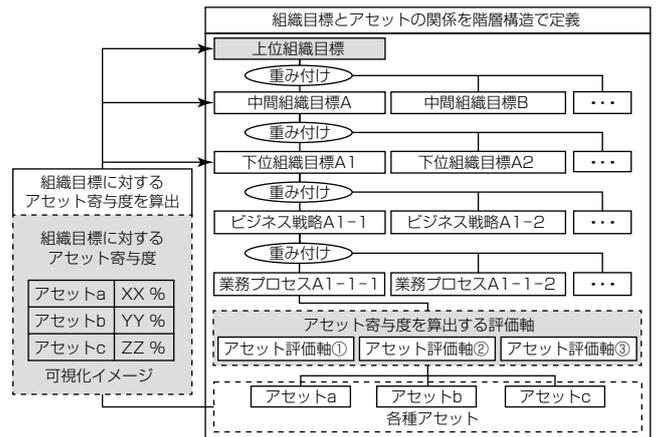


デジタルスレッド管理技術の構成と活用例

■ アセット寄与度管理システム

Asset Contribution Management System

鉄道等のインフラ事業ではアセットマネジメントに対する顧客ニーズが増えており、組織目標の達成に向けて戦略的にアセット投資(保全, 改善)を行う重要性が高まっている。従来のアセット投資支援技術では、アセットの保全に要する投資施策は提示するが、組織目標に対するアセットの価値(寄与度)は考慮されず、性能改善など、より戦略的な観点まで含めた投資施策は提示できないという課題があった。この技術では、組織目標とアセットの関係を、ビジネス戦略、業務プロセス等の要素を用いて階層構造として定義することで、組織目標に対するアセット寄与度の算出と可視化を可能にした。この結果、より戦略的に優れたアセットマネジメントサービスが提供可能になる。

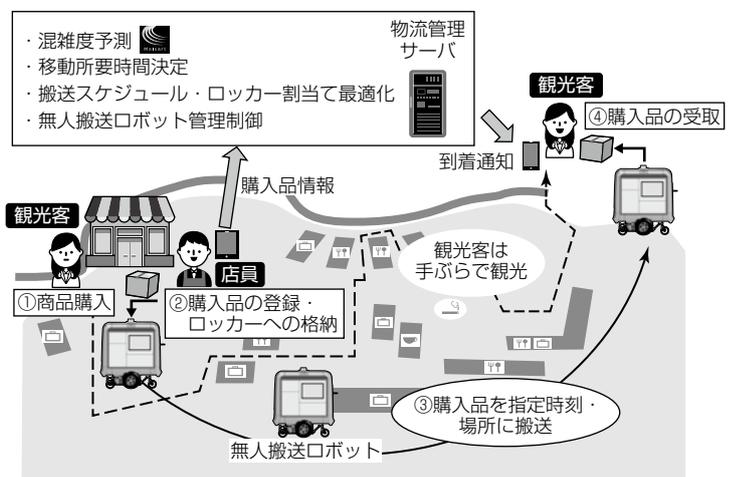


アセット寄与度算出イメージ

■ AIを用いた“手ぶら観光ソリューション”

Hands-free Sightseeing Solution with AI

観光地での購入品等の荷物携行負荷軽減や店舗での重量物の販売促進を目的とした、無人搬送ロボットによる“手ぶら観光ソリューション”の実証実験を実施し、利用者・施設運営者から好評価を得た。観光客の購入品を無人搬送ロボットが各店舗から収集し、指定の受取時刻・場所に最適な経路で搬送するものである。観光地では曜日・時間帯・天候などで混雑度合いが変化し無人搬送ロボットの走行時間に影響を与えるため、当社AI技術“Maisart”による混雑度予測によって指定された時刻への前後5分以内の搬送を実現した。また、無人搬送ロボットに搭載されたロッカーへの購入品割当てを最適化し、無人搬送ロボットの効率利用、利用者の使い勝手向上を実現した。



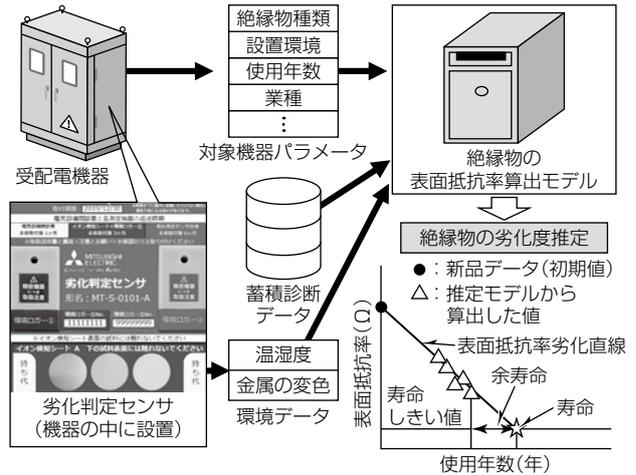
AIを用いた“手ぶら観光ソリューション”

■ 受配電機器の劣化診断システム

Degradation Diagnosis System for Power Distribution Equipment

受配電機器絶縁物の劣化診断時に、設備停電や現地測定作業が不要になる、簡易で低コストの劣化診断システムを開発した。絶縁物の劣化度は直接測定できないため、これまで現地で絶縁物表面のイオン量等の計測で、劣化度と相関の高い表面抵抗率を算出し診断してきたが、診断コスト低減と作業簡易化が課題であった。

今回、対象機器パラメータと劣化判定センサ(客先から返送され、当社内で解析する)から得られる環境データ(温湿度、センサ金属の変色)、及びこれまで蓄積してきた診断データから絶縁物の表面抵抗率算出モデルを構築し、絶縁物の劣化度を簡易に推定可能にして、また、経年変化から絶縁余寿命を予測可能にした。現地作業も不要になり、診断コストが50%削減できた。



受配電機器の劣化診断システム

■ 多用途搬送サービスロボットシステム“MELDY”のデザイン

Design of Versatile Delivery Service Robot System "MELDY"

病院向けとしてスタートする多用途搬送サービスロボットシステム“MELDY”では、多様化する搬送需要に対応するため脱着型カート方式を開発した。カートの付け替えで様々な搬送物に柔軟に対応し、ロボットの高稼働率を実現する。搬送ロボットを機能重視の“機械”ではなく、作業者が朗らかな気持ちで協働作業に取り組める“仲間”のような存在感をコンセプトに、丸みを強調したフォルムや愛嬌(あいきょう)のあるロボットの表情、声、話し方、走行音、管理・操作システムUI(User Interface)までトータルにデザインすることで病院内の環境に優しく寄り添うデザインを実現した。

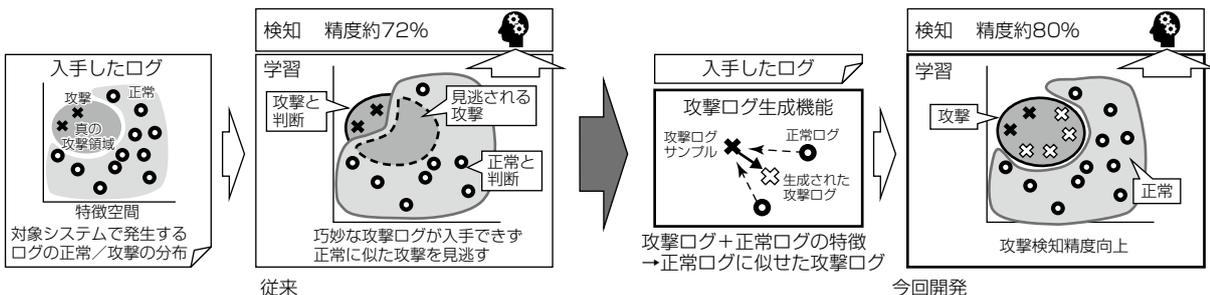


■ AIを利用した高度な攻撃検知技術

Advanced Cyber Attack Detection Technology Using Artificial Intelligence

サイバー攻撃の増加・巧妙化に対応するために、企業の業務環境から得られるログをAIで監視する攻撃検知技術が注目されている。この技術では正常時のログと攻撃時のログを学習することで真の攻撃領域をいかに正しく見定められるかが鍵になる。しかし攻撃ログを十分集めることは難しく、攻撃ログの学習が不十分な場合、正常か攻撃かの

判断境界が正常側に膨らんで正常に似た攻撃が見逃されて、検知精度に課題があった。今回の開発では、攻撃ログから正常なログに似せた巧妙な攻撃ログを生成し学習に加えることで、判断境界を真の攻撃領域に近づけて検知精度を約8ポイント向上させた。この技術は攻撃ログの入手が難しい制御システムなどで、より効果を発揮できる。



巧妙な攻撃ログを学習に加えることで、攻撃と判断する境界を真の攻撃領域に近づけることができる

巧妙な攻撃ログ生成による検知精度改善のイメージ

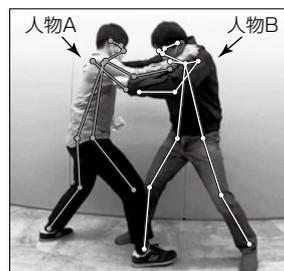
■ 骨紋による危険行動検知技術

Dangerous Behavior Detection Technology "KOTSUMON"

人の骨格を解析して行動を認識する当社技術“骨紋”によって、暴力などの危険行動を検知する技術を開発した。

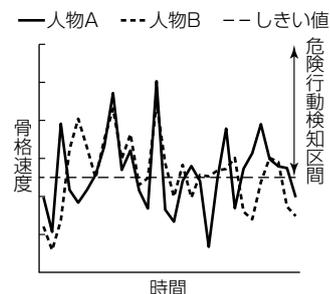
従来は、カメラ画像内の一人の骨格に着目して解析していたため誤検知が多かった。今回、複数人の骨格を解析することで、危険行動の誤検知を抑制した。具体的には、複数人の骨格情報から算出した骨格運動量や骨格速度、骨格形状(姿勢)を時系列解析する。もみ合いなどの複数人を巻き込む危険行動は、各人の動きや姿勢に相関がある特性から、この技術によって高精度に検知できる。

このように、危険な行動を自動検知することで、この技術はカメラによる防犯監視の業務負荷軽減や発見漏れ・遅れの抑制に貢献する。



映像

2人の骨格速度がともにしきい値を超える
→動きに相関がある大きな動き
=危険行動として検知

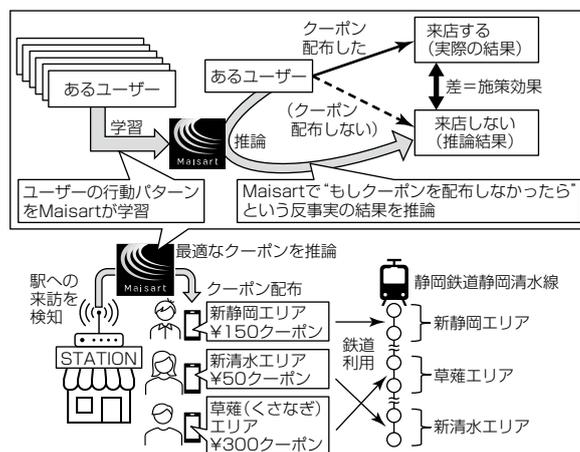


骨格速度の解析結果

■ AI技術“Maisart”を活用したクーポン配布による行動変容促進

Behavioral Change through Coupon by Artificial Intelligence Technology "Maisart"

都心や駅周辺商店街等への来訪促進・にぎわいの創出を目的に、当社AI技術“Maisart”を活用した行動変容促進技術を開発し、静岡鉄道静岡清水線を実証フィールドとして、鉄道と沿線周辺店舗の利用を促すクーポン配布実証実験を実施した。この実証では、ユーザーの行動パターンを学習したAIがクーポン効果を推論し、ユーザーごとに最適な電子クーポンをモバイル端末に配布する。AIは、クーポン配布したユーザーには“もしクーポンを配布しなかったら”という反事実の結果を推論し効果を見積もることで、最適なクーポンを選定する。実証実験の結果、AIによるクーポン配布はランダム配布に比べて、クーポン配布による鉄道利用回数の増加効果が1.7倍になる結果を得られた。



静岡鉄道でのMaisartを用いたクーポン配布実証実験の概要

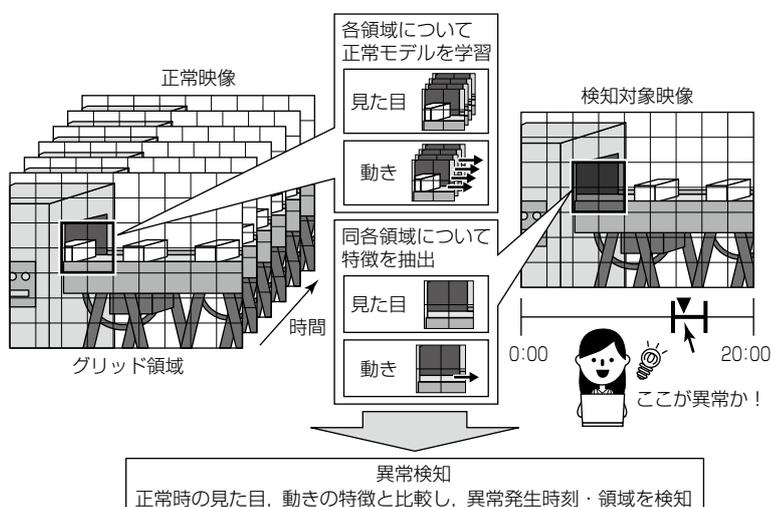
■ 工場ライン映像からの異常発生時刻・領域検知技術

Anomaly Detection Technology from Factory Line Video

工場ラインの映像から、映像内のどの時刻のどの領域でどのような異常が発生したかを検知する技術を開発した。

この技術では、入力映像をグリッド領域に分割し、各領域で正常時に観測される物体の見た目及びその物体の動きの特徴を正常モデルとして学習しておく。異常検知時には、検知対象映像の各領域の特徴を抽出し、学習した正常モデルと比較することで、異常発生した異常発生時刻及び領域候補を検知する。

この技術によって、これまで人手で時間をかけて行っていた長時間の工場ライン映像からの異常発生時刻及び領域の特定の省力化、また異常を示した特徴から異常原因の絞り込みの効率化を実現できる。



工場ライン映像からの異常発生時刻・領域検知技術

■ ゼロトラスト時代に向けた動的認証認可技術

Dynamic Authorization Method for Zero Trust Security

昨今問題になっている情報漏洩(ろうえい)のリスクを低減するため、きめ細かなアクセス条件に従ってアクセス制御を行うゼロトラストが注目されている。ゼロトラストの実現には多数のアクセス条件を設定するが、矛盾や衝突なく管理することは難しい。そこで、まず知識や情報を構造化して整理するモデルであるオントロジーを用いてアクセス条件を整理し、複数のアクセス条件間の矛盾や衝突の発見を容易にした。次に、図1のように制御対象の利用者の属性が不明(未定義)の場合や条件が矛盾・衝突するときに適用するルールを追加することで、一意なアクセス制御を実現し

た。リスク特性に応じたアクセス条件を矛盾や衝突なく管理できるため、動的なアクセス制御を効果的に実施できる。

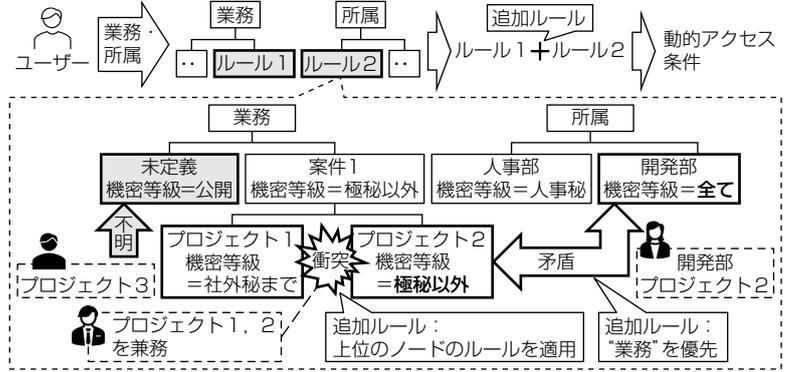
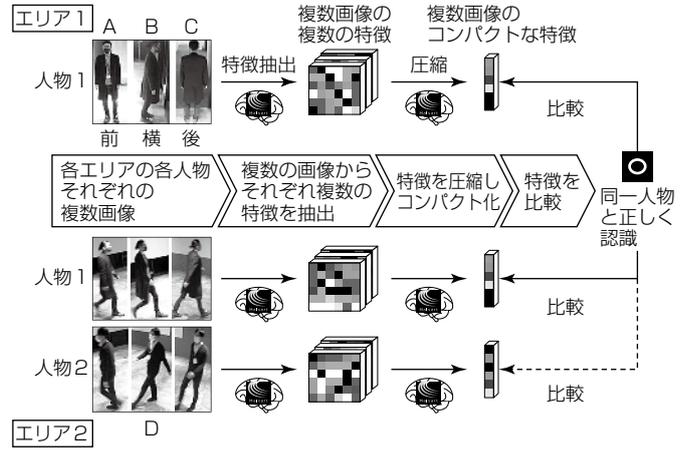


図1. 動的アクセス条件の矛盾や衝突を解消する仕組み

■ 高速・高精度に“人物特定・追跡・検索を実現するAI”技術

AI Technology for Fast, Accurate Reidentification, Tracking and Searching of Human Subjects

向きや姿勢が異なる複数の人物画像の中から高速に同一人物を特定し、高精度に追跡・検索可能にする技術を開発した。ある人物の複数画像から抽出した特徴量を分析し、重要な見た目の特徴を保持したまま不要な特徴だけを削除する圧縮技術が今回開発のコアである。1枚の画像から抽出した非圧縮の特徴量を使う従来手法は検索が低速で向きや姿勢の変化に脆弱(ぜいじゃく)であった。それに対して開発技術は特徴量サイズを10分の1に圧縮(検索を10倍高速化)でき、向きや姿勢の変化に頑強で検索精度が10%向上する。今後、この技術を当社AI技術“Maisart”に加えて、不審者や迷子の発見・追跡などのセキュリティ分野や、動線分析などによる顧客サービス分野での実用化に向けて開発を進める。



特徴量を圧縮して高速・高精度に追跡・検索可能にする技術

■ 高感度小型サーマルダイオード赤外線センサ

High Sensitive Small Thermal Diode Infrared Sensor

サーマルダイオード赤外線センサの温度感度は、1画素に含まれるダイオード数と支持脚長に比例する。検知部と支持脚を同一平面に設ける従来の構造(図1)では、画素の小型化に伴いダイオード数の減少、支持脚の短縮化が生じて、温度感度が低下してしまうという課題があった。今回、検知部と支持脚を別平面に設ける新構造(図2)を提案した。

12μmピッチ画素で、従来構造比で約3倍の温度感度が見込まれる(図3)。今回の開発によって画素密度を増加できるため、高分解能で温度表現に優れた熱画像が取得可能になるほか、レンズや筐体(きょうたい)の小型化及びそれに伴う低コスト化が期待される。

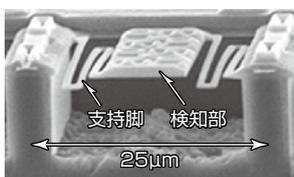


図1. 従来構造のSEM像

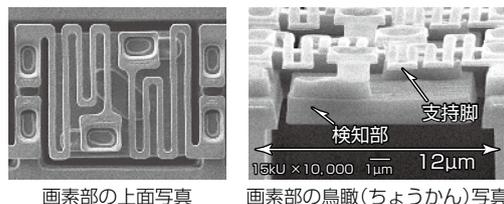


図2. 新構造のSEM像

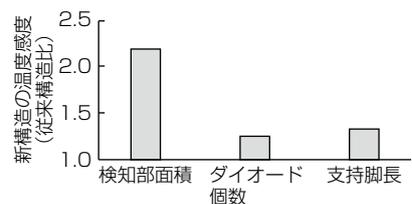


図3. 従来構造と新構造の性能比較

SEM: Scanning Electron Microscope

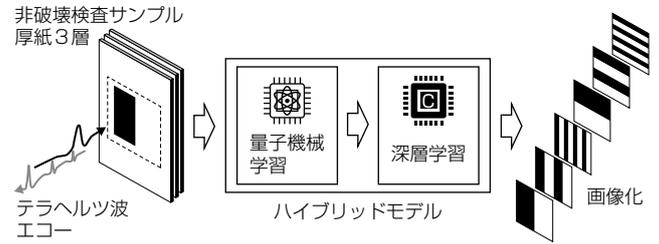
■ 量子機械学習によるテラヘルツ波イメージング技術

Quantum Machine Learning-assisted THz Imaging

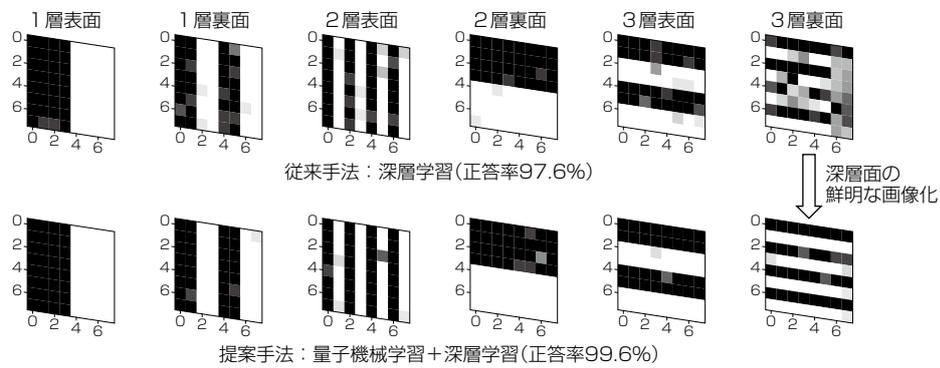
テラヘルツ波イメージング技術は非金属材料の非破壊検査等への応用が期待されている。エコー波形を入力し断層画像を出力するモデルとして、従来の深層学習を量子機械学習で補強するハイブリッドモデルを世界で初めて^(*)開発した。深層学習モデルで画像変換を実現する際、モデルサイズが巨大になって訓練データが限られるときに性能が不十分になる問題があった。量子ビット長に対して大きな状態数を記述できる量子回路の特長に着目し、特徴量抽出のため量子機械学習モデルを従来の深層学習モデルに接続した。重ねた3層の厚紙サンプルのエコーデータを用いた

実測検証によって、従来の深層学習モデルを上回る99.6%の正答率を達成でき、この提案モデルの有効性を示した。

*1 2022年12月2日、当社調べ



提案手法のシステム構成図



出典：Koike-Akino Toshiaki, Wang Pu, Yamashita Genki, Tsujita Wataru, Nakajima Makoto, Quantum Feature Extraction for THz Multi-Layer Imaging, International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz) 2022

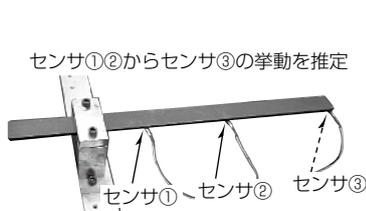
イメージング結果比較

■ 製品全体の振動を少数の加速度センサで推定する技術

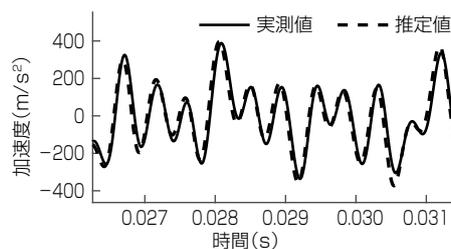
Vibration Estimation of Mechanical Structures Using Small Number of Accelerometers

製品全体の振動をごく少数の加速度センサで推定する技術を開発した。従来の振動測定技術では、センサ設置位置の振動しか取得できず、製品全体の振動を把握するには数百個以上の膨大な数のセンサが必要になる課題があった。今回、拡大カルマンフィルタを適用し、10個程度のごく少数のセンサ測定値から数学的に補正を加えることで、製品全体の振動を高精度に推定可能な技術を開発した。要素

試験によって、この技術で製品全体の振動が推定可能であることが確認できた。また、共振周波数は有限要素モデルで算出されない値も含めて誤差0.2%以下で求められた。今後、製品全体の振動状態を把握することで、性能や品質の向上を図るとともに状態監視や予防保全技術への適用を目指す。



要素試験



振動推定結果(センサ③, 時系列)

要素試験結果

n次	実測値 (Hz)	推定値 (Hz)	誤差 (%)	解析値 (参考) (Hz)
1	38	38	0.0	40
2	244	244	0.0	252
3	585	586	0.2	-
4	651	652	0.2	-
5	702	703	0.1	704
6	860	861	0.1	874
7	1,344	1,344	0.0	1,377

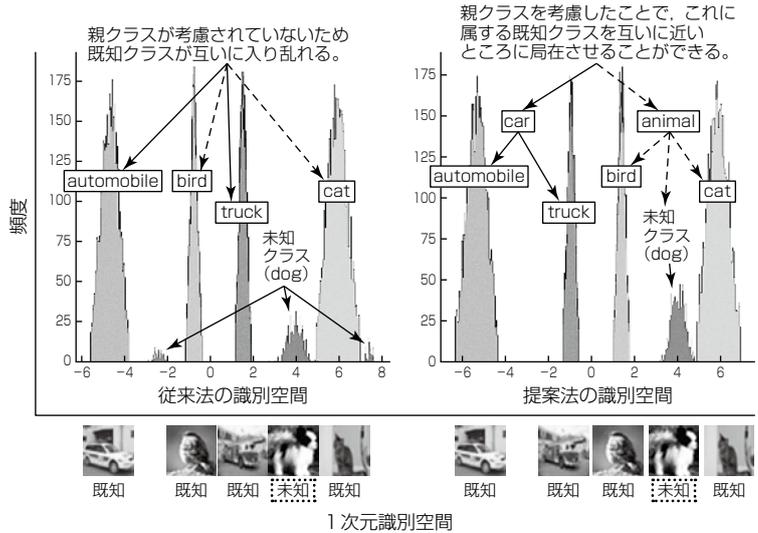
解析値は有限要素モデルの固有値解析結果 (3・4次は有限要素モデルでは推定できない) 振動推定結果(センサ③, 共振周波数)

■ クラス分布間の多様体構造を考慮した未知物体識別技術

Unknown Object Recognition Technique Using Manifold Structure of Class Distributions

近年の物体認識技術の多くは、学習済みの既知クラス(*1)の物体を入力として開発されてきた。しかし、現実世界では未知の物体が入力として用いられる可能性があり、従来の手法ではそのような場合への対応が困難であった。今回、既知クラスの親クラス(*2)を考慮して識別空間を構築する手法を提案し、これによって未知物体を“未知クラス”として出力すると同時に、“どの既知クラスに最も近いか”まで出力可能になった。オープン画像データセットでの評価の結果、従来手法の全体識別率55.1%に対して、提案手法では81.1%まで向上した。今後、画像以外の信号データ等への適用に向けたアルゴリズム改良検討を進める。

- *1 クラス：物体のカテゴリー、例えば“猫”“鳥”等である。
- *2 親クラス：物体の大カテゴリー、例えば“猫”と“鳥”の親クラスは“動物”等である。



1次元識別空間
各分布(山)がそれぞれ学習済みの既知クラス(automobile, truck, bird, cat)を表し、既知クラスの分布内に位置するデータは当該クラスへ判定されることを意味する。提案手法は、既知クラスが親クラス(car, animal)ごとにまとまっていることが分かる。未学習の未知クラス(dog)はどの既知クラスとも異なる分布になっており、かつ正しい親クラス付近に分布していることから、“未知クラス”として出力すると同時に、“どの既知クラスに最も近いか”まで出力可能であることが分かる。

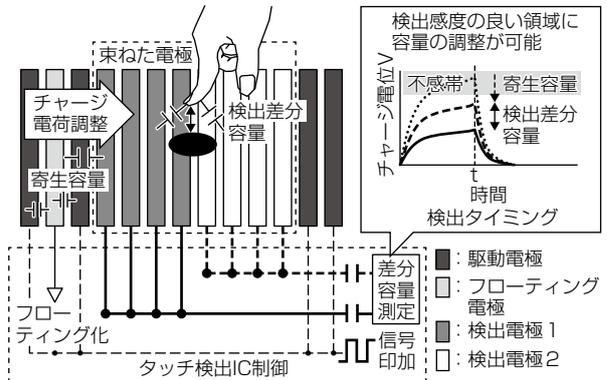
識別空間の比較

■ 静電容量式タッチパネルの近接検知を安定化する容量ばらつき調整技術

Capacitance Imbalance Adjustment Technology to Stabilize Proximity Detection of Projected Capacitive Touch Screen

ニューノーマル社会で、不特定多数が利用する端末を衛生的に使える非接触操作のニーズが高まっている。非接触操作を静電容量式で検知するには、(1)非接触用に調整された専用タッチセンサを用いる、(2)複数のセンサ電極を束ねて感度を高める、の二つの方法がある。(1)は追加のハードウェアコストが必要であり、(2)は束ねるほど容量の偏りが生じやすく、その結果感度が低下する課題があった。(2)に対して、検出電極の周辺電極をフローティング化し寄生容量を発生させ、容量の偏りを調整する技術を開発した。この技術によって、24インチの汎用タッチセンサを用いて、ユーザー評価を通して分かった適正検知距離20mm以上を

満たす23mmの近接検知を実現した(従来方式16mm)。



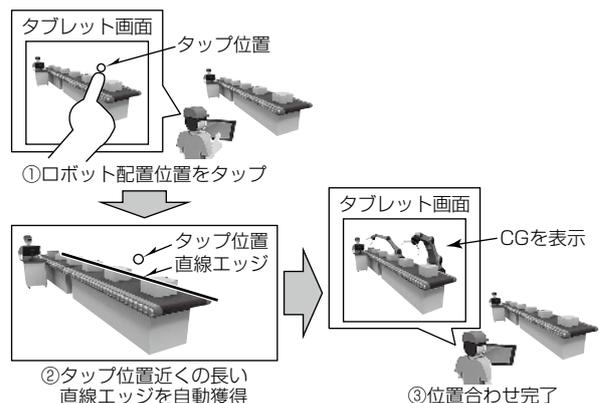
周辺電極のフローティング化による容量ばらつき調整技術

■ AR表示のための位置合わせ技術

Registration Techniques for Augmented Reality

工場へ機器を簡単・迅速に導入するため、導入後のイメージをラインを止めずにAR(Augmented Reality)で確認可能な技術を開発した。動く物体や類似物体が多い工場では、マーカや自然特徴を用いる従来方式では、CG(Computer Graphics)を重畳する位置合わせ精度が不十分で適用が困難である。この技術は“ベルトコンベア付近にロボットアームを設置する”という条件の下、端末で取得した点群データから、端末画面上のタップ位置に最も近い直線エッジを自動検出し、事前定義した機器配置用点群データと位置合わせする。おおよその位置を幾何学的に一致させた後で精密に位置合わせすることで従来比5倍の平均誤差3cm以下の精度を実現した。この技術は盤や昇降機かご枠の直

線を検出して点検支援向けARにも適用できる。



AR表示のための位置合わせ技術

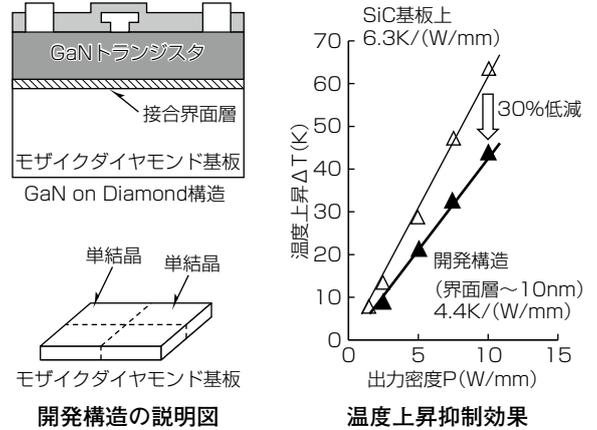
■ デバイス温度上昇を抑制するダイヤモンド放熱構造高出力・高周波GaNデバイス

High-power and High-frequency GaN Device with Diamond Heat Dissipation Structure for Suppression of Device Temperature Rise

高周波デバイスの高出力化実現ではデバイス内で発生した熱の排熱が課題になる。当社では従来のSiC(シリコンカーバイド)基板より3~4倍の高熱伝導性を示すダイヤモンドを発熱部近傍に配置し、チップレベルでの放熱性改善が可能な高出力高周波GaN(窒化ガリウム)デバイス“GaN on Diamond”を開発している。

実用化にはウェーハサイズのダイヤモンドが必要になるが、単結晶ダイヤモンドの大面积化は課題が多い。今回、複数の単結晶基板が平面的に接合されている“モザイクダイヤモンド”基板へのGaNデバイス接合を行い、動作中温度を解析し、温度上昇を従来構造より30%以上低減可能であることを実証した。

この研究は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術開発機構(NEDO)の委託研究成果である。

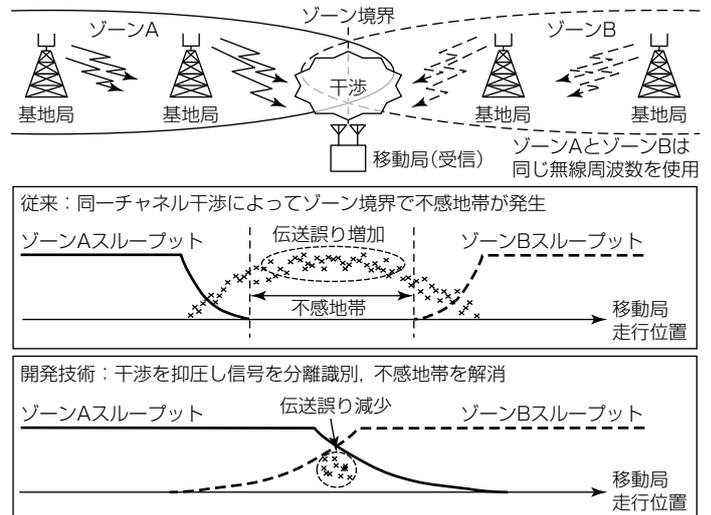


■ 高効率な無線周波数利用を実現する同一チャネル共用技術

Co-channel Interference Suppression Technology for Highly Efficient Spectral Use

広域移動体通信システム向けに、シームレスなハンドオーバーを実現する同一チャネル共用技術を開発した。

列車無線では、複数基地局で通信エリア(ゾーン)を構成して同一情報を伝送する。しかし、異なるゾーンと接する境界では同一チャネル干渉が発生し、通信できない不感地帯が生じていた。今回、無線の安定化のために用いられる差動符号化変調が時間的冗長度を持つ特徴を活用し、異なる時間で受信した2信号を二つの受信アンテナで得た信号に見立てて、仮想的にアンテナ数を拡張する技術を確立した。受信アンテナを2本から4本分に拡張でき、各ゾーンの信号を分離・識別可能になった。この技術によって不感地帯を解消でき、干渉対策用の設備や敷設工事を削減できる。



同一チャネル共用技術によるゾーン間干渉抑圧の効果

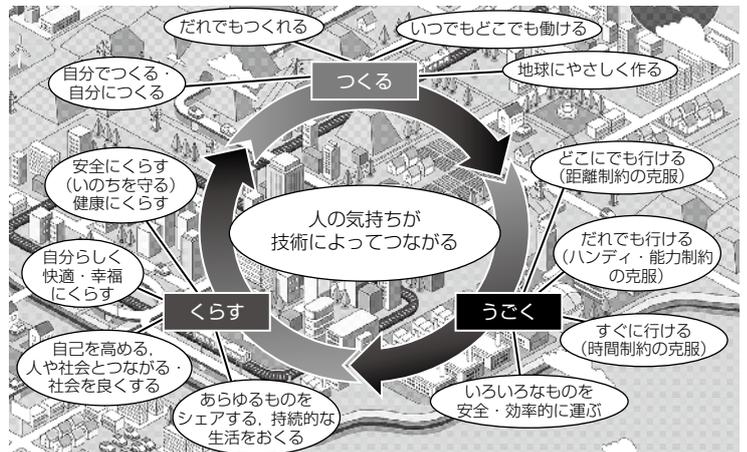
■ 5G/Beyond5Gなどの情報通信インフラでの標準化活動の推進

Promote 5G/Beyond 5G Standardization Activities in Information and Telecommunications Infrastructure

モバイル通信に関する国際標準仕様を策定する3GPP(The 3rd Generation Partnership Project)は、2015年から5G(第5世代移動通信システム)に関する検討を開始し、国内では2020年に同仕様に基づいてサービスが開始された。現在、5Gは通信エリア拡大等の普及期になっている。一方、国際的には5Gの次の通信システムになるBeyond 5G(=6G)の議論が開始され、国内では、総務省が中心になって推進コンソーシアム、新経営戦略センターを設立し、当社は運営委員として活動を推進している。

産業間連携を推進していく予定である。

今後、産業分野に欠かせない基盤になることが想定されるBeyond 5Gの国際標準仕様策定に向けて、従来のシーズベースに加えて、社会像シーンを基にしたニーズベースの考えを取り入れて標準化活動や



Beyond 5G時代の社会像シーン

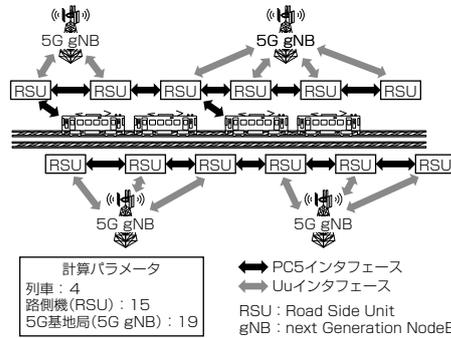
■ 次世代列車無線システム向けリソース管理技術

Radio Resource Management in Next-generation Railway System

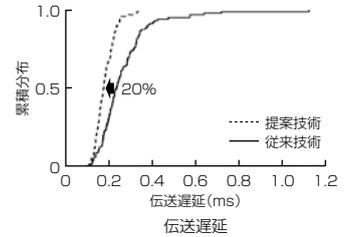
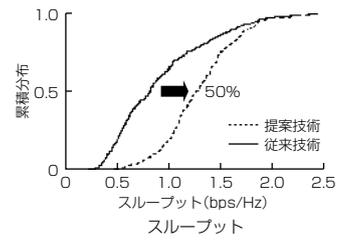
5Gによる次世代列車無線システムでは、列車と路側機間及び隣接路側機間の狭域通信PC5インタフェースと、路側機と5G基地局間の広域通信Uuインタフェースからなるネットワークが検討されており、両インタフェースを跨(またが)るマルチホップ中継のリソース管理技術が必要になる。

従来は無線信号の受信パワーが最大になる経路を選択してリソースを最適化していたが、今回、列車及び路側機のリソース情報を共有し、マルチホップ中継する際の列車と5G基地局間の伝送遅延及びリソースを同時に最適化する技術を開発した。今回開発した技術は、従来技術と比較して、スループットを50%改善、又

は伝送遅延を20%低減することをシミュレーションによって確認した。



次世代列車無線システムでのマルチホップ中継



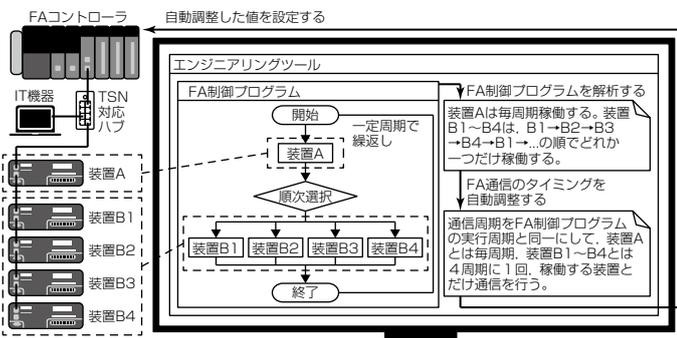
従来技術との比較

■ FA通信向けネットワーク帯域最適化技術

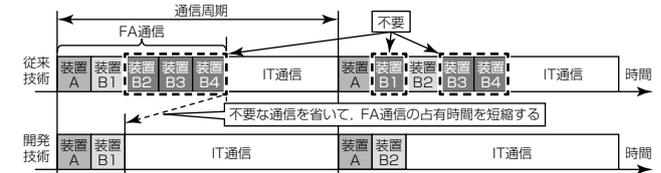
Network Bandwidth Optimization for FA Communication

産業用オープンネットワーク“CC-Link IE TSN”では、TSN(Time-Sensitive Networking)技術に基づく時刻同期と時分割管理によって、定周期FA通信とIT通信の混在を実現した。しかし、性能を追求しIT通信の帯域を最大

化する場合、各FA機器の適切な通信タイミングをFA制御プログラムから求めて、FA通信のネットワーク占有時間が最短になるよう手動調整する必要があり、システム設計者にとって負担であった。今回、FAエンジニアリングツールがFA制御プログラムを解析し、FA通信のネットワーク占有時間が最短になるように自動調整する技術を確立した。この技術によって、“CC-Link IE TSN”でのFA通信とIT通信を高い性能で両立させることが可能になる。



システム概略



この技術による帯域割当ての変化

1.3 継続的に深化する基盤技術 Continuously Enhance Base Technologies

■ 新事業創出マインドセット醸成ツール“いのべーしょんの心得かるた”

Japanese Card Game that Can Encourage Mindset for New Business Generation

新事業を創出する活動を進めていく上で有益なマインドセットが学べるツール“いのべーしょんの心得かるた”を企画・制作した。この活動で理解しておくべき代表的な事項を、その過程で起こり得る様々な課題を乗り越えるためのヒントやアドバイスを中心に、社員自らの経験や参考書籍等から抽出し、48の心得として“かるた”にまとめた。新事業創出の手法を習得する機会は数多く存在するが、この取組みでは、活動に必要な“心得”を“かるた”という身近なツールに集約することで、新事業創出への学びのきっかけを、誰にでも親しみやすい形で提供することを目指した。

利用シーンとしてはデザイン思考によるワークショップのアイスブレイク等での活用を想定している。



いのべーしょんの心得かるた

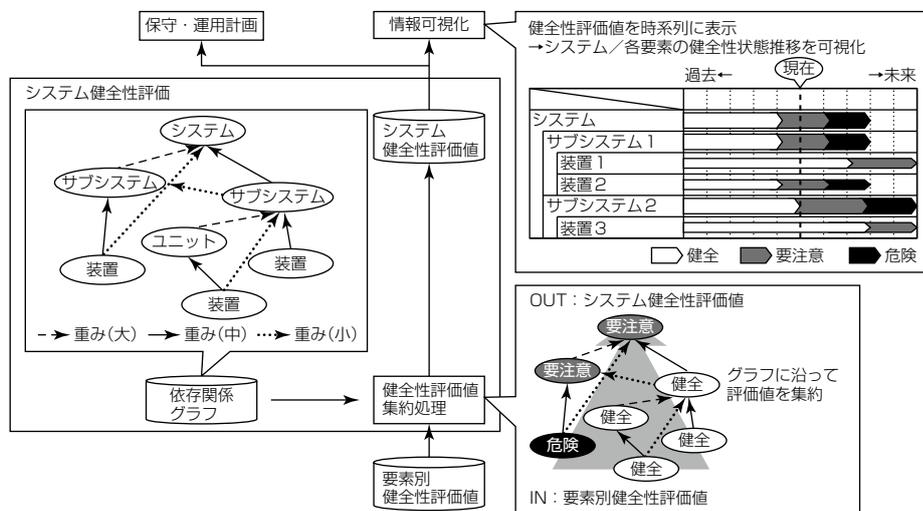
■ 要素ごとの影響度を考慮したシステム健全性評価技術

Estimation Method for System Health Based on Componentwise Health and Impacts

プラント設備や鉄道車両など多数の要素(装置, ユニット等)から成るシステムは, 安全性や効率, 快適性など様々な観点から保守可否を判断する。そのため保守対象であるシステムに対して総合的な健全性評価が必要になる。

この技術は, 要素間の依存関係や個々の状態が全体に及ぼす影響度を重み付き有向非巡回グラフで定義し, 各要素の評価値(検査結果等)をグラフに従い集約することで, システムに対する健全性評価値を算出・可視化する。このとき集約過程で一部要素の状態劣化の情報が埋もれないよう, 各要素の評価値に応じて集約方法を動的に調整する。

この技術によって, システムに対する健全性評価を実現し, システム状態を基準とした保守・運用計画が可能になる。



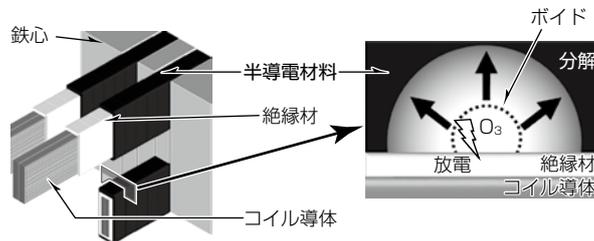
システム健全性評価の構成・処理の特徴

■ 産業用電動機向け半導電材料の長寿命化

Extending Lifetime of Outer Corona Protection Material for Industrial Motors

産業用電動機の信頼性を向上させる長寿命の固定子コイル用半導電材料を開発した。産業用電動機では, 電界緩和のために鉄心と絶縁材の間に設置された半導電材料(図(a))が経時劣化する問題があった。今回, ボイドを模擬した実験用モデルによって, 半導電材料の劣化原因が微小ボイド内部の放電で生成したオゾン(O₃)による酸化分解であることを立証した(図(b))。この劣化メカニズムに基づいて, 構成樹脂をオゾン耐性に優れた材料にすることで, 寿命を2倍以上向上させた。現在, 開発した半導電材料は, 産業用電動機(3~13.8kV)の全機種に適用されている。今後,

産業用電動機の高電圧化を目指して, 更に耐オゾン性に優れた半導電材料の開発を進める。



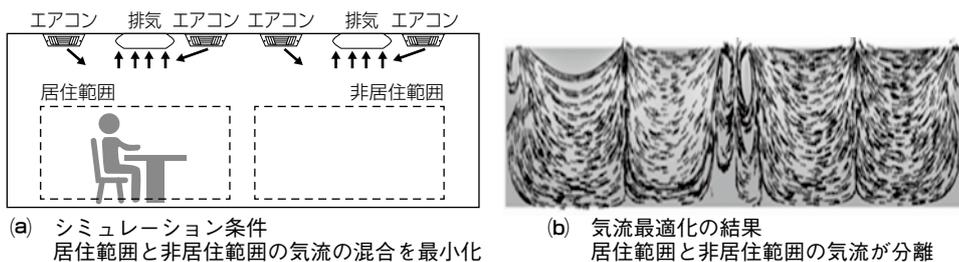
(a) 固定子コイル端部 (b) 劣化メカニズム
半導電材料の劣化メカニズム

■ 気流問題の最適化と制御のための高速解法技術

High-speed Solver Technology for Complex Fluid Problem Optimization and Control

気流問題の最適化手法で, 従来, adjoint法が広く用いられているが, 気流モデルを解いた後に最適解を導くため多大な計算時間が問題になっていた。この問題を解決する手法として, 気流モデルと最適解を同時に導出できるone-shot法を開発した。建物内の空調機器への適用シナリオとしてゾーン冷却の最適化を行い, 開発したone-shot法は従来のadjoint法よりも約10倍高速に最適解を算出でき, クラス最高の手法であることを確認した。住宅, 事務所や医療機関などシーンに応じた空調機器

の快適, 省エネルギー, 換気などの性能を向上させるため, 空調機器の最適配置の設計技術や, 三菱赤外線センサMelDIR(メルダー)と組み合わせたフィードバック制御技術に適用可能である。



(a) シミュレーション条件 居住範囲と非居住範囲の気流の混合を最小化 (b) 気流最適化の結果 居住範囲と非居住範囲の気流が分離

出典: Nabi, Saleh; Grover, Piyush; Caulfield, Colm-cille.; Robust preconditioned one-shot methods and direct-adjoint-looping for optimising Reynolds-averaged turbulent flows, Computers & Fluids, Vol238 2022

空調機器への適用例: ゾーン冷却

■ 複数OS搭載システムでの性能阻害要因分析技術

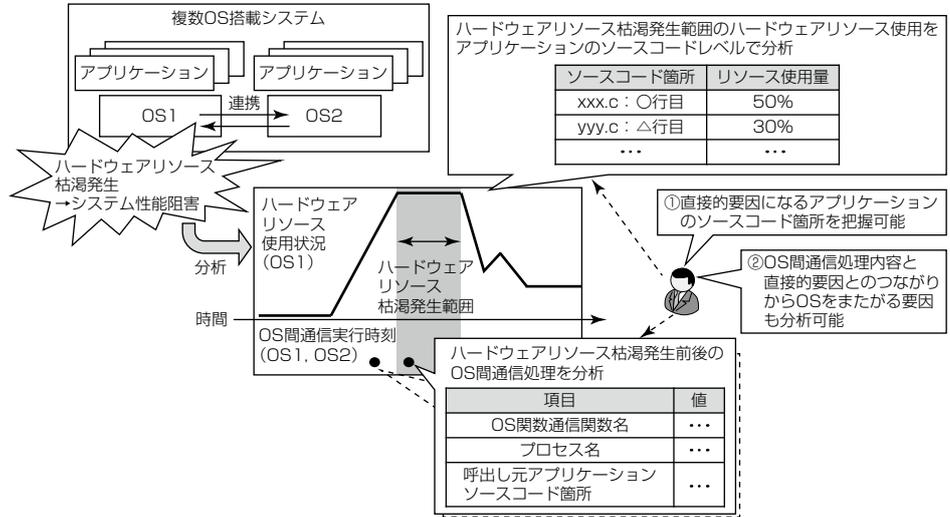
Analyzing Performance Inhibition on Multiple OS Systems

複数OS間で機能連携するシステムでは、OSをまたがる処理要求が起因して、性能阻害につながるハードウェアリソース枯渇が起こり得る。しかし、この要因の特定には、

ハードウェアリソース枯渇に至るまでのデータの流れ全てをOSをまたいで追跡する必要があり、対象範囲が広く分析が困難であった。

この技術では、ハードウェアリソース枯渇発生前後でのリソース使用処理とOS間通信処理に限定した分析を行い、①ハードウェアリソース枯渇の直接的要因である処理と、②その処理の実行に関わり得るOS間通信の呼出し元処理を、アプリケーションのソースコードレベルで提示する。これによって、データの流れ全てを追跡

することなく直接的要因につながる処理を分析でき、OSをまたがる要因の特定が可能になる。



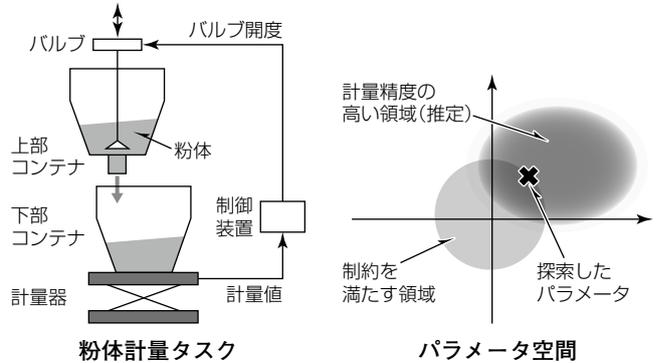
複数OS搭載システムでの性能阻害要因分析

■ 制約付き高次元パラメータ最適化技術

High-dimensional Parameter Optimization with Constraints

ベイズ最適化は少ない回数で適切なパラメータを探索できるが、パラメータが10個以上かつ制約条件を持つ場合への適用は難しい。今回、探索すべきパラメータ空間を次元圧縮し、さらに圧縮された各次元とそこに与える制約条件の意味を人間が理解できるようにすることで、効率的なパラメータの探索を可能にした。この方式を粉体計量とよばれるバルブ開度を適切に開閉することで粉体の投入量を制御するタスクに適用し、計量が進むにつれてバルブ開度を段階的に閉じる制約を満たすように19個のパラメータ(バルブ開度・計量値)を探索した。その結果、実用的な計量精度(誤差1%以下)を維持しつつ、手動のパラメータ

調整に比べて探索回数を3分の1以下に減らすことに成功した。

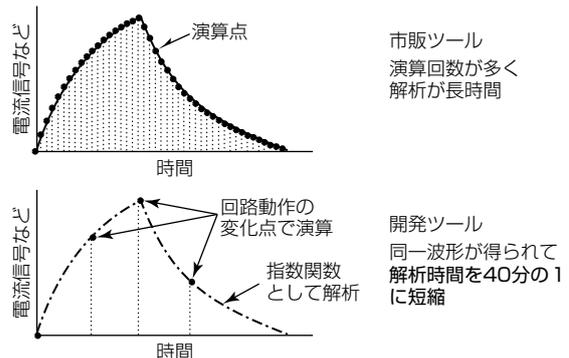


■ 電力変換器向け高速回路解析ツール

Fast Circuit Simulator for Power Converters

電力変換器の制御設計を効率化するために、電流や熱などの回路解析ツールの高速化が求められている。市販の様々な解析ツールでは、回路動作全体を高分解能で解析するために長時間を要する課題があった。回路動作の中で、回路動作の変化点だけを用いて演算回数を削減する回路解析ツールを新たに開発した。このツールでの指数関数を用いた波形解析手法は、関数の多項式近似を使用しないことから演算回数を減らしても誤差なく解析を行える。このツールを車載用電力変換器の解析に適用した結果、市販ツールと同一波形を得ながら解析時間を40分の1に短縮できること実証した。今後も評価検証を継続し、製品設計

ツールへの適用を目指す。



波形解析での演算回数と解析時間の比較

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

■ ASIC内蔵センサインタフェース回路の低雑音設計技術

Low Noise Design Technology for Sensor Interface Circuits Embedded in ASIC

IoT(Internet of Things)の普及に伴いセンサ機器の高精度化が課題になっている。この解決には機器に実装されたASIC(Application Specific Integrated Circuit)内で微小なセンサ信号を増幅するセンサインタフェース回路の低雑音化が必要である。従来はC(Capacitor)・R(Resistor)変調回路を用いていたが、素子の特性ばらつきによって雑音を十分に低減できていなかった。

そこで今回は、同じ素子は同じ特性ばらつきを持つことを利用し、増幅回路と同じCMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)素子を用いた変調回路を実現した(図1)。実現に当たり、CMOS素子のオン抵抗を高精度に制御する回路を考案した。これによって、増幅回

路の雑音が大きい周波数帯域と変調回路で除去可能な周波数帯域を一致させ、雑音を23%低減(表1)、センサ機器の高精度化に必要な低雑音化を実現した。

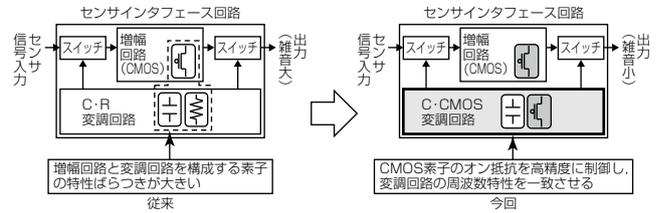


図1. センサインタフェース回路構成

表1. 出力雑音性能

項目	単位	従来	今回
出力雑音(100Hz)	(nV/√Hz)	11.4	8.7(-23%)

■ 小形電子機器向けの包装自動化技術

Packing Automation Technology for Small Electric Device

国内の労働力人口は減少しており、人手に頼った包装作業が生産性向上の妨げになっている。今回、包装自動化したラインを構築し、包装作業時間を削減することで生産性を向上した(図1)。

従来は、手組みを想定した包装箱になっており(図2)、多方向からの差し込みや折り込み構造を自動で組み立てる

ことが困難であった。そこで、押し治具による自動機の垂直動作で組立て可能で、サイズ違いの機種にも対応できる相似形の包装箱を開発した(図3)。製品保護には自動化可能なフィルム熱溶着方式を採用した(図4)。これによって包装作業の80%を自動化し、人手包装の作業時間を70%削減でき、将来必要な生産能力を確保した。

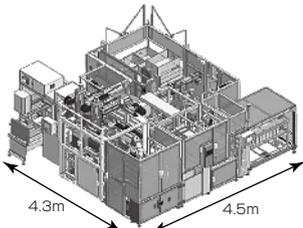


図1. 自動包装ライン

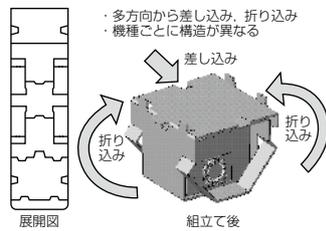


図2. 手組み用の包装箱

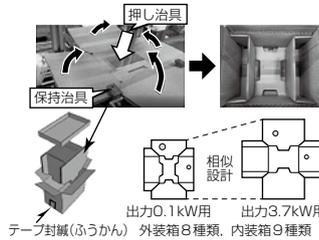


図3. 自動機用の包装箱

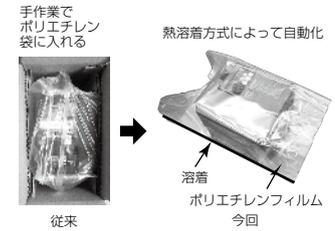


図4. 製品の保護(フィルム溶着)

■ 機械加工プロセスの革新

Innovation of Machining Process

機械加工技術開発ロードマップ(図1)に示すとおり、従来、加工高能率化等の共通技術開発に取り組んできたが、更なる生産性、加工精度向上のためには、工法の革新が必要である。一例として、高精度が要求される組合せ部品に対して、セット加工工法を開発し、加工精度向上、選択嵌合(かんごう)工程削減を達成した。従来、各部品を異なる加工機で加工していたため、機差影響によって組合せ隙間(図2)5μmが限界であったが、加工治具の開発によって同一加工機、工具で連続加工し、機差影響を排除した高精度加工工

法(図3)を開発し、隙間精度2μmを実現した。組合せ隙間要求精度の高い圧縮機部品へ適用した。今後、プロセスデータセンシング技術やAI技術を活用し、更なる生産性向上を図る。

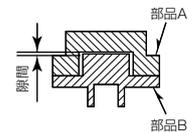


図2. 部品隙間

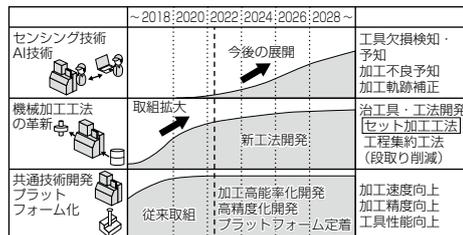


図1. 機械加工技術開発ロードマップ

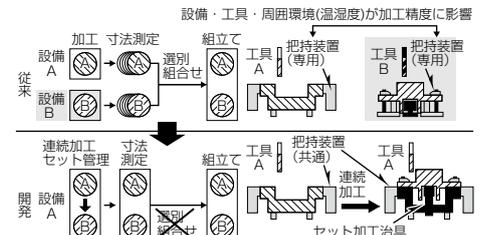


図3. セット加工工法

生産設備のプラットフォーム構築

Development of Equipment Design Platform

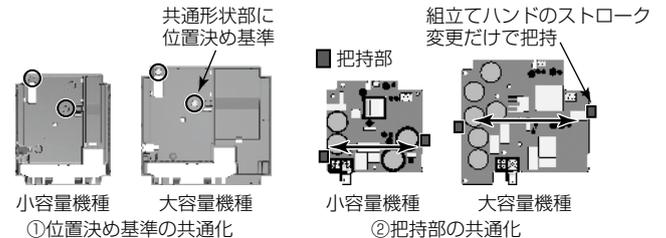
製品構造に入り込んだ生産設計によって自動組立て設備のプラットフォームを構築した。従来、組立てを自動化する上で多機種対応が困難であり、製品・設備とも標準化が進まず、各々が都度個別に設計していた。そのため、開発の長期化や手作業への依存が課題であった。インバータ新機種開発を機会に自動化視点の生産設計を志向し、類似複数機種が自動組立てできる標準化設備を実現した。



- ・自動組立てを可能にする
→ 一方組立て・ロボットの力覚制御
- ・作りやすい工作方法の選択
→ 自動化に適したコネクタの採用
- ・設備費の低減
→ 大きさが異なる部品の位置決め共通化
- ・設備開発期間の短縮
→ 生産設備のプラットフォーム化

生産設計の狙いと対策

特長は、一方組立てできる製品構造、ロボットの力覚制御に適した部品選定等である。また、寸法が異なる部品の位置決め基準・把持部を共通化し、機種間の段取り作業レスを実現した。これら生産設計要件や設備仕様をプラットフォームとして共有するとともにインバータ次機種以降への継続活用を進める。



生産設計例

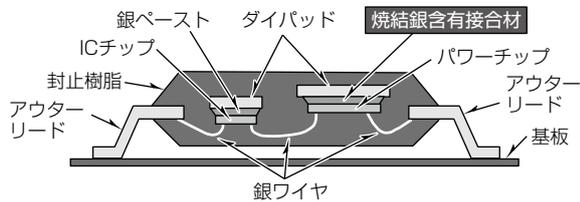
SOPIMの鉛フリー化技術

Pb Free Technology for SOPIM

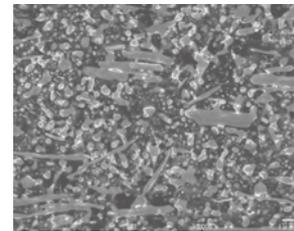
リフロー実装される表面実装型のパワーモジュールのダイボンド材には、一般的にリフロー時の熔融を避けるため鉛含有率の高い高融点はんだを用いている。当社は今回、新規の鉛フリー化技術を開発・適用した。材料は、高温高加圧が必要な焼結材ではなく、一般のペーストダイボンド装置を活用できる焼結銀含有接合材を採用した。材料供

給・チップ搭載、焼結・硬化の各プロセス条件を適正化し、従来と同等の信頼性を持ち、かつ鉛はんだより高い放熱性を持つ接合構造を確立した。この技術でSOPIMの定格2A/600Vの品種に適用した。

今後更に定格電流の大きい品種への展開を計画している。



SOPIMの断面模式図



焼結銀含有接合材のSEM (Scanning Electron Microscope) 観察例

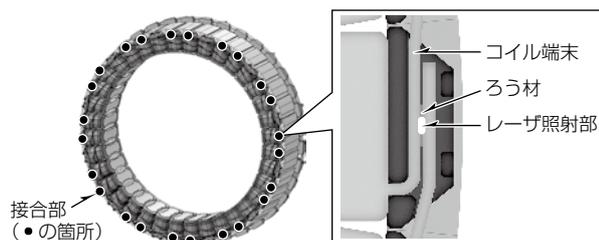
モータコイル端末のレーザーろう付け技術

Laser Brazing Technology for Motor Coil Terminals

ハイブリッド車向けモータのコイル端末をレーザーでろう付けする技術を開発した。コイル端末の高さを従来比7分の1に低減し、エンジンとトランスミッションの間に収まる薄型モータを実現した。

モータの軸方向に延びたコイル端末同士を従来はTIG (Tungsten Inert Gas) 溶接していた。溶接の際、コイル

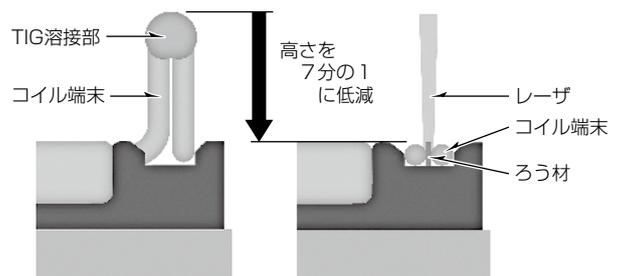
端末を把持する部分と溶融させる部分が必要のため、コイル端末が長くなる問題があった。そこで、コイル端末をモータの周方向に曲げて、隣接するコイル端末同士の間をろう材を挟んだ後、レーザーを照射し、ろう材を溶融させて接合する技術を開発した。



ハイブリッド車向けモータ

開発：レーザーろう付け

ハイブリッド車向けモータの構造



従来：TIG溶接

開発：レーザーろう付け

コイル端末の高さ

