

1. 研究開発 Research and Development

1.1 新技術の探索・創出 Search for and Create New Technologies

■ 空間操作インタフェースでの視覚フィードバック技術 Visual Feedback Technology in Spatial Manipulation Interface

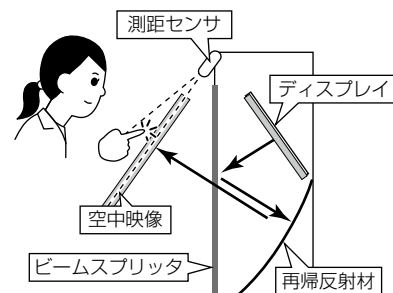


衛生的な機器操作の実現がニューノーマル社会に必要とされている。何もない空間に映像を投影する空中映像表示技術と、操作する指先の三次元位置を取得する測距センサとを組み合わせて、非接触のタッチ操作を実現する空間操作インタフェースを開発した。

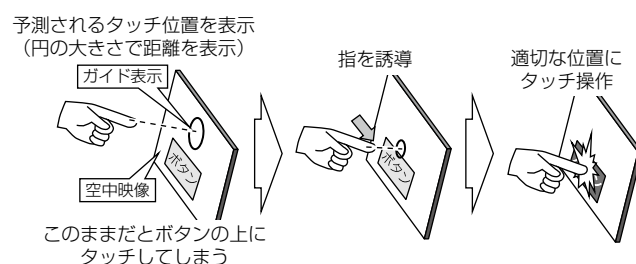
空間操作での課題として、操作者に空中映像と指先との位置関係が適切に伝わらず、さらにタッチ操作時の操作感がないため、誤操作につながることが挙げられる。

操作者の指先と、空中映像との空間的な位置関係をセンシングし、操作者にそれら位置関係を視覚的に伝える視覚フィードバック技術を開発した。具体的には、測距センサによって指先が空中映像にタッチする接点を算出し、空中映像に指先の方向と接点までの距離をリアルタイムに重畳し、ガイド表示する。

これによって、タッチ位置へと指先を誘導することで、誤操作を抑制し、ストレスの少ない非接触操作が可能になった。



空間操作インタフェースの構成



視覚フィードバック表示例

■ 電流診断方式による低圧三相モータの異常検知技術 Abnormality Detection Technology for Low-Voltage Three-Phase Induction Motor Using Current Diagnosis Method

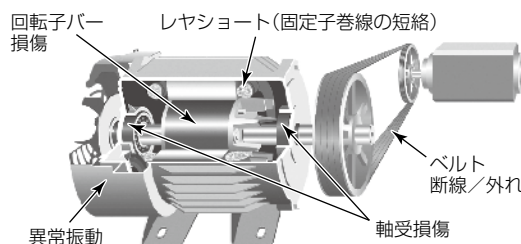


発電設備や産業プラントなどで使用される低圧三相モータ(以下“モータ”という。)は、ファン、ポンプ、ベルトコンベアなどの様々な設備の動力を担う主要機器であり、生産性の維持・向上の観点から安定した連続運転性能が要求される。

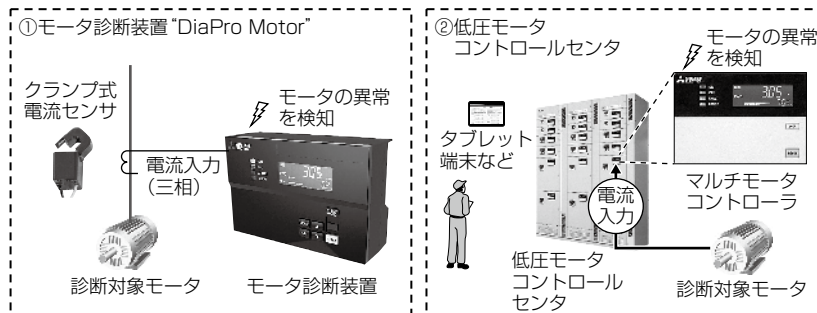
従来、熟練の点検作業者が定期的に現場を移動し、モータごとに振動や音などを人手で点検していた。一方、点検費用削減の要求や人員不足を背景として、モータ点検の効率化や省力化が求められていた。

今回、モータ運転時の電流から独自の信号解析によって異常振動や軸受損傷などの機械系異常と、レヤショート(固定子巻線の短絡)や回転子バー損傷などの電気系異常を検知することが可能な技術を開発した。また、モータごとに初期状態を正常値として記憶し、異常判定値を個別に自動設定する独自機能によって、異常を高精度に自動検知できるようにした。電気盤内の電流を解析するため、水中や高所などの危険な場所に設置されたモータも診断可能になる。

この技術を搭載したモータ診断装置“DiaPro Motor”と低圧モータコントロールセンタは、2020年9月と11月にそれぞれ販売を開始している。この製品及び技術は2021年に第51回機械工業デザイン賞IDEAと電気学会第77回電気学術振興賞進歩賞を受賞した。



種類	異常内容
電気系異常	・ 固定子巻線の短絡 ・ 回転子バー損傷
機械系異常	・ 軸受損傷 ・ 軸の振れ周り ・ 回転軸の調整不良 ・ 異常振動 ・ ベルト断線など



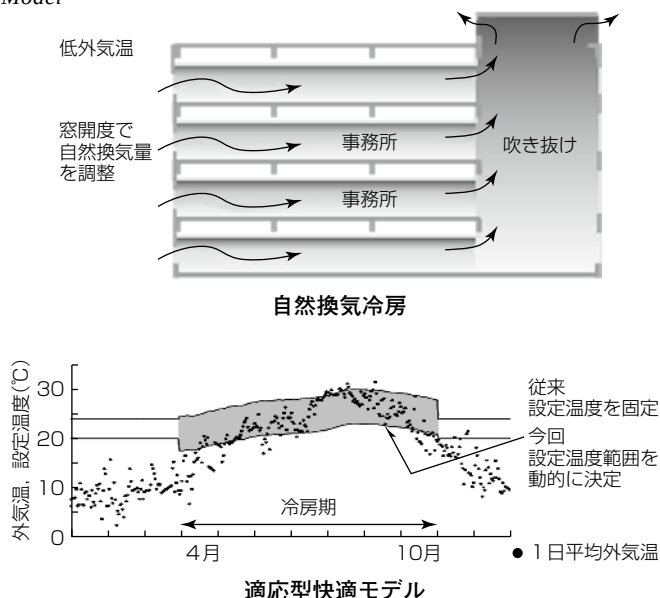
低圧三相モータの異常検知技術

■ 適応型快適モデルに基づく自然換気冷房技術

Natural Ventilation Cooling Technology Based on Adaptive Comfort Model

ZEB(net Zero Energy Building)を実現する技術の一つに自然換気を利用したパッシブ冷房が知られているが、快適性を損なわずに消費電力を抑えるためには効果的な制御が不可欠である。

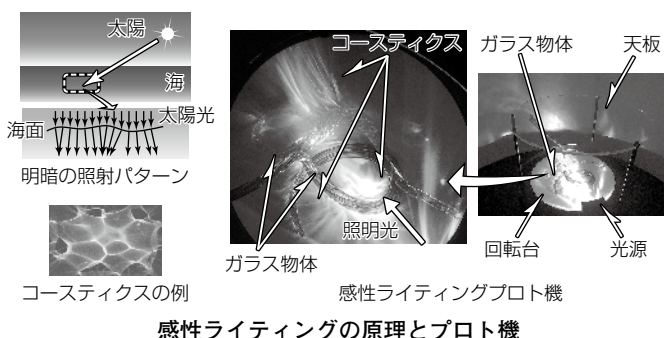
設定温度を固定せず、過去30日間の移動平均外気温から設定温度範囲を動的に決定する適応型快適モデルと、中間期や初夏等の低外気温時に換気量を調整して冷房利用する自然換気冷房技術を開発した。当社のZEB関連技術実証棟“SUSTIE”（4階建てオフィスビル）を対象に関東地方の気象条件でシミュレーション評価した結果、気象条件に応じた室温制御による快適性の向上に加えて、冷房期の消費電力を6.4%削減できることを確認した。今後は、実証試験によって技術検証を行って実用化を目指す。



■ 自然の揺らぎを再現する感性ライティング

Kansei Lighting for Reproducing Natural Fluctuations

快適性の向上など、従来の照明にない新たな価値の提供を目指して、自然界の光と影の揺らぎを人工的に生成し、人の感性に訴えかける“感性ライティング”を開発した(京都大学との共同研究)。海面のような凹凸面によって太陽光が屈折・反射して生成するパターンをコースティクスと言うが、この開発では、複雑な凹凸形状を持つガラス物体を回転させ、太陽光を模擬した指向性の高い光を照射して明るさや色を時間的・空間的に変化させてコースティクスを再現した。この技術を2021年1～6月に当社イベントスクエア“METoA Ginza”に出展し、そこでのアンケート調査(回答数1,700件以上)では、居心地やリラックス等の項目で好ましい印象であるという結果を得た。

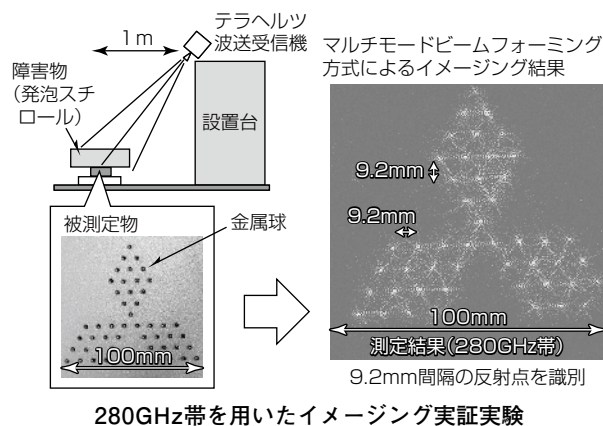


感性ライティングの原理とプロト機

■ テラヘルツ波を応用した高解像度イメージング技術

High-Definition Imaging Technology Using Terahertz Signals

光の高解像度と電波の透過性を併せ持つテラヘルツ波を活用した高解像度イメージング技術を開発した。テラヘルツ波帯はこれまで携帯電話などで利用されてきた低い周波数帯に比べてはるかに広帯域な信号を送信できるため、帯域内に多数のビームを構成できる。周波数ごとに形状の異なるビームを送信・合成するマルチモードビームフォーミング方式によって、測定物以外の虚像を抑圧し、物体位置に応じた焦点制御を行うことで光が通らない障害物背後の物体を高解像度に可視化した。280GHz帯を用いてイメージング実証実験を行い、距離1mで解像度1cm以下を確認した。この技術は空港や駅のセキュリティゲート、工場での非破壊検査などへの応用が期待される。

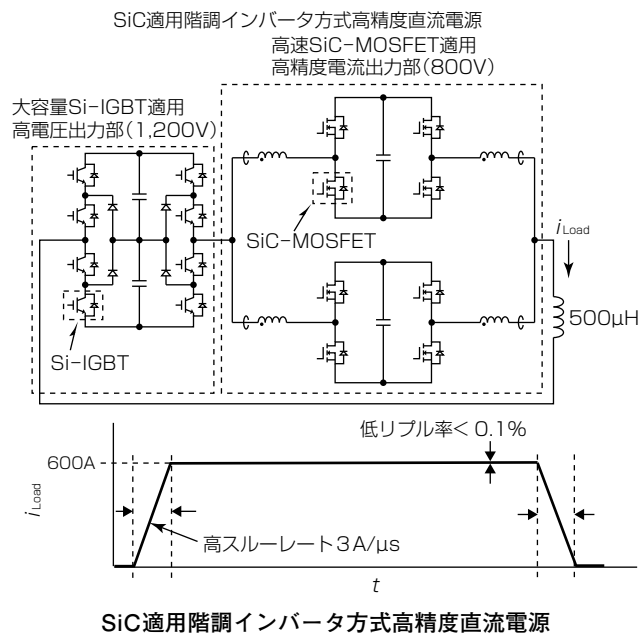


280GHz帯を用いたイメージング実証実験

■ SiC適用階調インバータ方式高精度直流電源 High Precision DC Power Supply by Gradational Voltage Inverter with SiC-MOSFETs



MRI(Magnetic Resonance Imaging)用途の誘導性負荷に、高スルーレートかつ低リプル電流を供給するSiC(シリコンカーバイド)適用階調インバータ方式高精度直流電源(2kV/600A)を開発した。リプル電流低減にはインバータの高周波化が有効であるが、相反して素子のスイッチング損失が増大する。そこでこの電源では、高スルーレートを実現する大容量Si-IGBT(Silicon-Insulated Gate Bipolar Transistor)適用高電圧出力部と、低リプルを実現する高速SiC-MOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)適用高精度電流出力部とをカスケード接続した階調インバータ方式にすることで、低リプル化と低損失化を両立させた。この電源を誘導性負荷(500μH)に適用し、高スルーレート(3A/μs)と低リプル率(<0.1%)を実現するとともに、従来のSi-IGBT適用直列多重インバータ方式に対して、半導体損失を最大51%低減した。



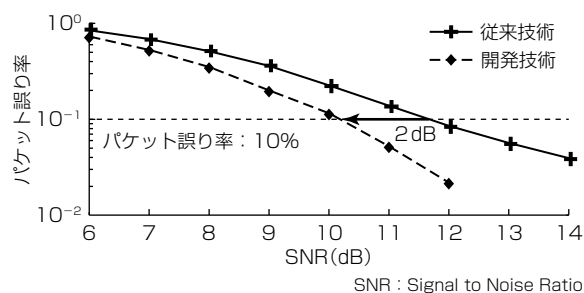
■ Beyond 5G/6Gを実現する位相トラッキング技術 Phase Tracking Technology for Beyond 5G/6G Communications



Beyond 5G/6Gの次世代移动通信システムでは、大容量化の実現にサブテラヘルツからテラヘルツ帯の高い周波数を用いるが、信号伝搬及び回路雑音に起因する位相雑音による信号劣化がより顕著になる。

今回、送信側でパイロット信号を挿入し、受信側で信号と位相雑音を同時処理する位相トラッキング技術を開発した。この開発技術は、従来技術と比較して受信性能^(*)を2dB改善するとともに、演算規模を58%に低減できることをシミュレーションで確認した。

今後、様々な環境下での検証を実施するとともに、試作機上で開発技術の効果を確認する。



SNRとパケット誤り率の関係

演算規模の比較

技術	位相トラッキング演算数	演算規模
従来技術	$L^3 + (2N_{PTRS} - 1)(L^2 + L) + N(2L - 1)$	100%
開発技術	$2N_P K_\Psi (1 + \log K_\Psi) + 3N \log N + N$	58%

L : フィルタ長, N_{PTRS} : 位相トラッキング参照信号シンボル数, N : サブキャリア数, N_P : 位相トラッキング参照信号ブロック数, K_Ψ : 周波数サンプル数

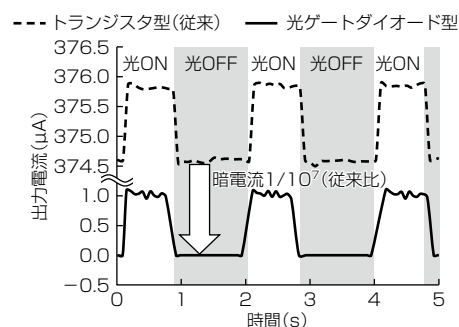
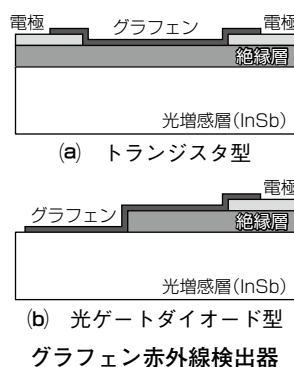
■ グラフェン光ゲートダイオード構造による高性能赤外線検出器 High Performance Infrared Detector with Graphene Photogated Diodes Structure



グラフェン光ゲートダイオード構造を考案して大幅に暗電流を低減した高感度赤外線検出器を開発した。

グラフェンは微小な電圧変化に対する出力電流変化が極めて大きくなる現象(光ゲート効果)が発生し、市販の赤外線センサの10倍以上の高感度化が期待できる。しかし、グラフェンを用いたトランジスタ型赤外線検出器では、暗電流が大きいこと課題である。今回、グラフェンの一部がInSb(アンチモン化インジウム)と直接接触するグラフェン光ゲートダイオード構造を考案した。トランジスタ型に比べて暗電流を $1/10^7$ 以下にすることで雑音を低減し、か

つ高感度を保つことに成功した。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。



中波長赤外線に対する応答の比較

■ 海中応用に向けた可視光帯コヒーレント光送受信技術

Coherent Optical Transceiver with Visible Wavelength for Under Sea Application



水中透過率の高い可視光帯レーザ光は、海底探査等の海中利用で有望視される。三次元撮像や通信等の更なる高度化に向けて、可視光帯レーザ光の送受信を世界で初めて^(※1)コヒーレント検波方式で実証した。変調された波長 $1\mu\text{m}$ のレーザ光を可視帯 ($0.5\mu\text{m}$) に変換後、反射体に送受し、反射光と参照光による干渉光を検出(コヒーレント検波)することで測距と通信の原理検証を行った(図1)。可視光帯

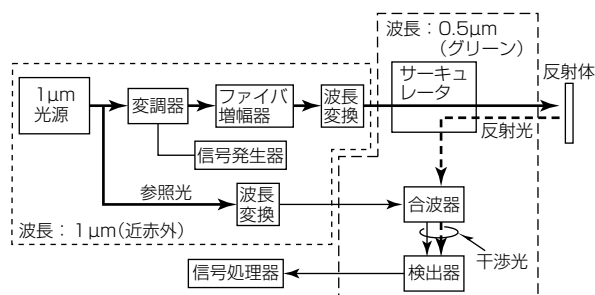


図1. 可視光帯コヒーレント光送受信実験系

では高速変調部品がなくて撮像分解能や通信速度が制限されたが $1\mu\text{m}$ 帯で変調することでGHzオーダーの高速変調部品を利用可能になり、高感度受信と両立した。図2の受信スペクトル中、変調周波数での信号検出を確認した。今後、測距や通信への適用・検証を行う。

* 1 2020年3月20日現在、当社調べ

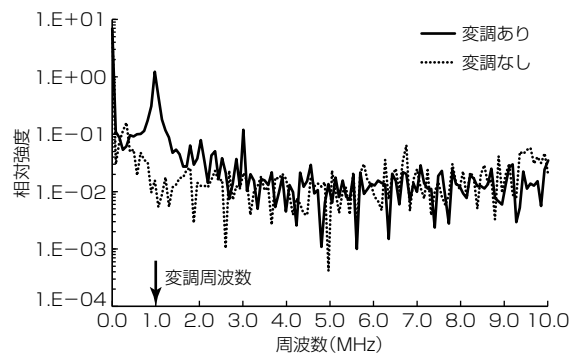


図2. 受信スペクトル

1.2 基盤技術の継続的深化 Continuously Enhance Fundamental Technologies

■ 安定性が保証できる強化学習技術

Stability-certified Reinforcement Learning



社会インフラ、車両、ドローンなどの各種機器やシステムの制御にAIを導入することで、それぞれの性能を向上させることが期待されている。しかし、従来のAI制御では安定性が保証できず外乱に弱いなどの課題があった(図1)。そこで、東京大学と共同で、AI制御の安定性を保証可能にするニューラルネットワーク(NN)に対する新しい学習手法を開発した。

制御システムでは全要素のL2ゲイン^(※1)(図2の γ_L)の積が1以下になることがシステムの安定条件として知られている。この開発ではシステムの安定条件とNNの数学的特性の関係を調べて、NN各層の入出力比の積(図2の σ_π)がL2ゲインの上界になることを証明した。これによって、システムの安定条件($\gamma_L \leq 1$)を満たすためにはNN各層の入出力比 σ_π を学習時に調整すれば安定性を保証可能であることを理論的に示した。

この理論に基づいてNNの学習を実施し、得られたNNが制御性能を保ちつつ安定性が保たれていることを実験的に確認した。

この技術によってAIによる制御の安定性を保証できるようになり、AI導入範囲の拡大、ひいては機器・システムの性能向上が期待される。

* 1 制御工学で用いられる要素の入出力比の一種

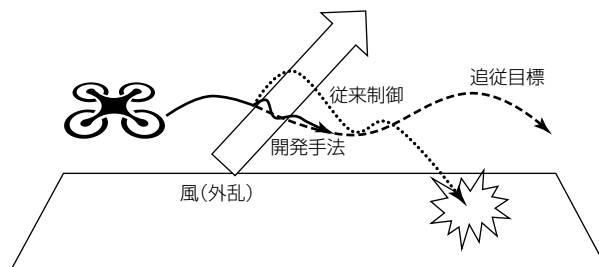


図1. 手法適用例(ドローン)

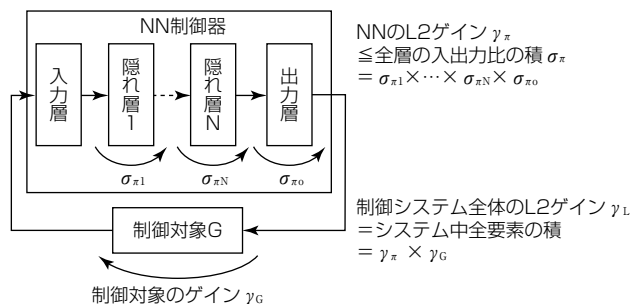
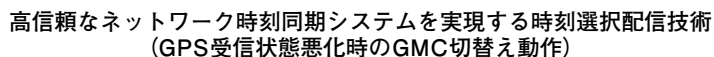


図2. 制御システム

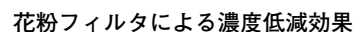
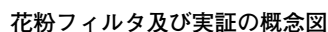
Clock Selection and Time Transmission Method for Reliable Network Time Synchronization Systems

縮でき、より高信頼な時刻同期システムを提供可能にした。
また、この技術と当社の高精度な時刻同期技術を組み合わせることで、ネットワークの機器間で高精度な同期による緻密な制御が要求される制御システムや高精度な監視が求められる各システムで、数 μ sオーダーの同期を維持する高信頼なネットワークを実現した。



High-performance Pollen Filter for Air Conditioners to Increase Intellectual Productivity by Catching Pollen Allergens

搭載した業務用ロスナイとビルマルチエアコンを設置した室内実証試験では、東京都の平均飛散花粉数から推算したアレルゲン濃度が $55\text{pg}/\text{m}^3$ の場合、 $1\text{pg}/\text{m}^3$ 程度にまで低減できることを確認した。

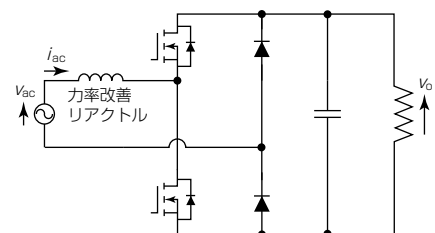


■ 動的スイッチング周波数制御を適用した低損失AC-DCコンバータ

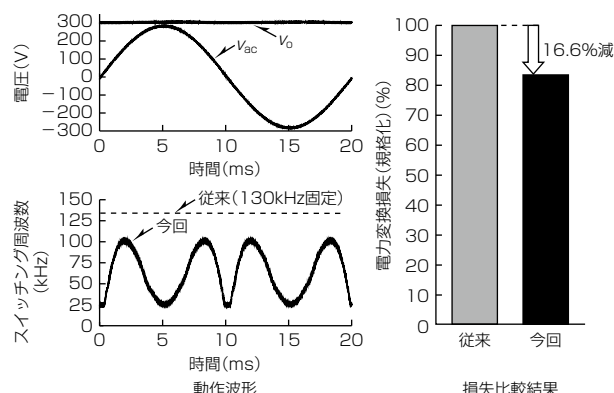
Low Power Loss AC-DC Converter with Dynamic Switching Frequency Control

力率改善AC-DCコンバータで、追加部品なしで低損失化を実現するためのスイッチング周波数制御技術を開発した。従来の固定スイッチング周波数制御では、力率改善リアクトルの磁束密度が入出力電圧で一意に決定されてしまうので電力変換損失の低減には限界があった。今回、入出力電圧に応じて回路損失が最小になる磁束密度を演算し、これに追従するようにスイッチング周波数を動的に制御した。この結果、力率改善機能は維持しながら、力率改善リアクトルの損失を最小化できるとともに、スイッチング回数も低減できることから

力率改善AC-DCコンバータの主回路構成



パワーデバイスの発生損失低減効果と合わせて、電力変換損失を従来比で16.6%低減できることを実証した。



実験結果

■ ナノコンポジット化技術による絶縁性能向上

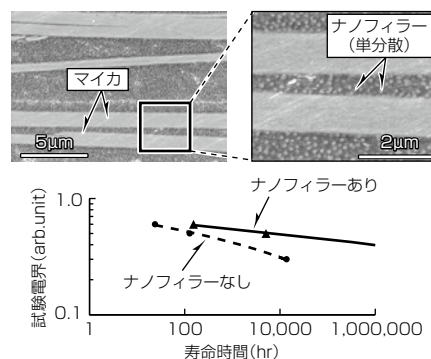
Improvement of Insulation Performance by Nanocomposites Technology

タービン発電機の高効率化を目的に、ナノフィラーを配合した熱硬化性樹脂をマイカ(雲母(うんも))に含浸し、硬化することで、絶縁性能に優れた固定子コイル絶縁材を開発した。

この開発では、樹脂配合設計・分散プロセス技術を駆使して、ナノフィラーの表面改質による樹脂中での単分散化を実現し、含浸によるマイカ間隙へのナノフィラーの充填を可能にした。充填されたナノフィラーは、放電時の樹脂侵食を抑制する効果があり、コイル絶縁材の薄肉化が可能になるため、この技術は放熱性向上及び導体断面積の拡大による機器の高効率化に寄与する。今後、実用化に向けて発電機への量産適用開発を進める。この開発の一部はNEDO(国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構)

の戦略的省エネルギー技術革新プログラム(*1)の一環として実施した。

*1 電力機器用革新的機能性絶縁材料の技術開発(JPNP12004)



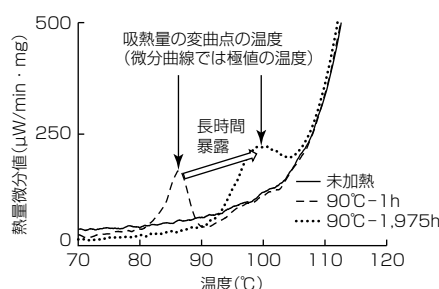
ナノフィラー適用による絶縁性能の向上

■ 樹脂材料の寿命推定に向けたポリエチレンの熱履歴解析

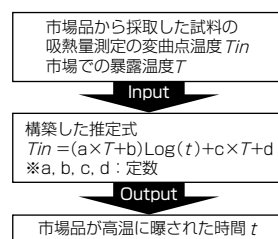
Analysis of Thermal History of Polyethylene Toward Life Prediction of Plastics

樹脂を用いた部品の寿命推定に向けて、80℃以上の高温環境で使用される樹脂材料(プラスチック材料)の使用時間を推定する技術を開発した。結晶性樹脂が融解温度未満の高温に曝(さら)されると、樹脂の結晶状態が変化する。この変化は、温度上昇に伴う材料の吸熱及び発熱を評価する示差走査熱量測定で、吸熱量の温度依存性の変曲点として表れる。今回、結晶性樹脂であるポリエチレンについて、暴露温度が既知(80℃以上)の試料の示差走査熱量測定から暴露時間を得る推定式を構築した。この推定式を用いることで、市場で使用された樹脂材料の熱履歴を解析できる。また、数mgの採取だけで解析で

きるため、樹脂材料の残寿命推定や異常診断への応用が期待される。



吸熱量測定の変曲点温度



高温に曝された時間の推定フロー

■ 知識処理に基づく対話要約技術

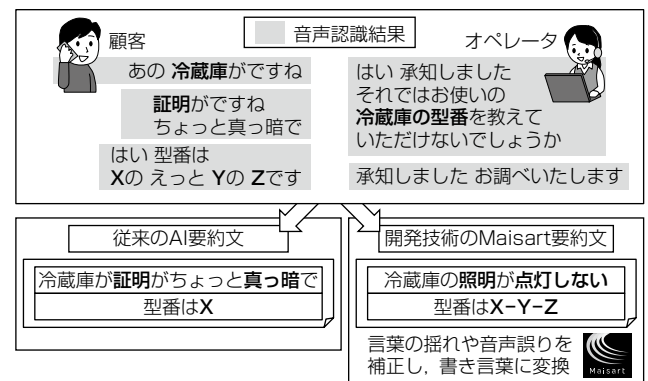
Dialogue-summarizing AI Based on Knowledge Processing

電話などによるオペレータの顧客対応業務を効率化するために、顧客との通話内容を要約した報告書を自動で作成したいというニーズが高まっている(*1)。

当社は、AI技術“Maisart(マイサート)”によって、学習した過去の通話履歴や報告書を使って、電話対応による話し言葉の表現や類義表現を自動補正して、書き言葉で要約文を自動生成する“知識処理に基づく対話要約技術”を開発した。従来の報告書作成と比較して、オペレータによる修正の必要性が少ない要約文を自動生成でき、報告書作成に要する時間を削減する(*2)。

*1 出典：コールセンター白書2019, (株)リックテレコム

*2 コールセンターで録音されたデータと報告書で評価

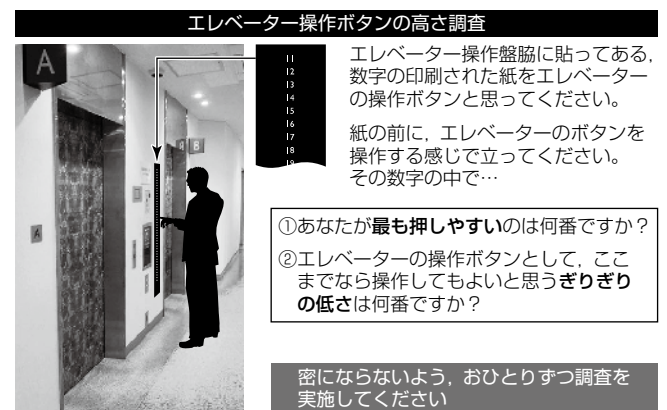


対話要約技術のコールセンターへの適用イメージ

■ エレベーター行先予報システム乗場操作盤のユニバーサルデザイン

Universal Design of Hall Operation Panel for Elevator with Destination Oriented Allocation System

エレベーター行先予報システムは、エレベーターの輸送効率を向上させるシステムである。乗場に設置される操作盤を健常者・車いすユーザーが共通で使用する場合の、適切な取付け高さについて検討した。健常者141名を対象にして調査した結果、及び米国建築基準が示す車いすユーザーの手が届く高さのデータから、健常者・車いすユーザー双方に許容される乗場操作盤の取付け高さは“操作ボタンの中央部の床上高さが955～1,220mm”であることを導出した。今後は当社エレベーター製品開発の指針とする予定である。



調査対象者(健常者)に提示した実施要領書

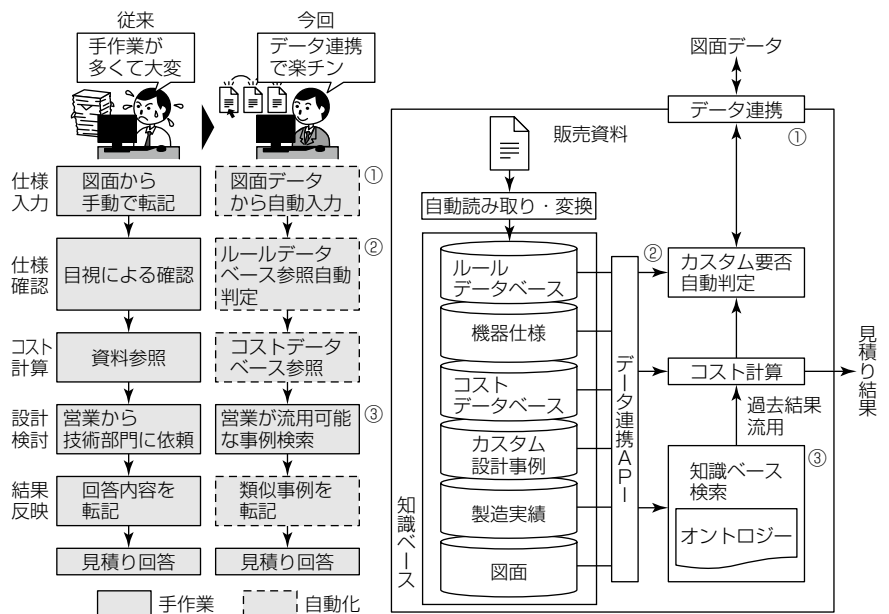
■ 製品コスト見積り業務の自動化技術

Automation Technology for Product Cost Estimation

案件ごとにカスタム設計を伴う製品では、見積り早期回答と低コスト化のため、製品コスト見積り業務の効率化が求められている。

今回、①図面とシステム間の仕様転記作業を、顧客から受領した図面データを活用して自動化するデータ連携技術、②ルールデータベースによって入力仕様に対するカスタム設計要否を自動判定する技術、及び③設計業務知識を形式知化したオントロジーを用いて、見積り回答に流用可能な過去事例を高精度に検索する知識ベース検索技術を開発した。

これらの技術によって、見積り早期回答と設計コスト低減を実現した。



API : Application Programming Interface

見積り業務フロー及び見積りシステム

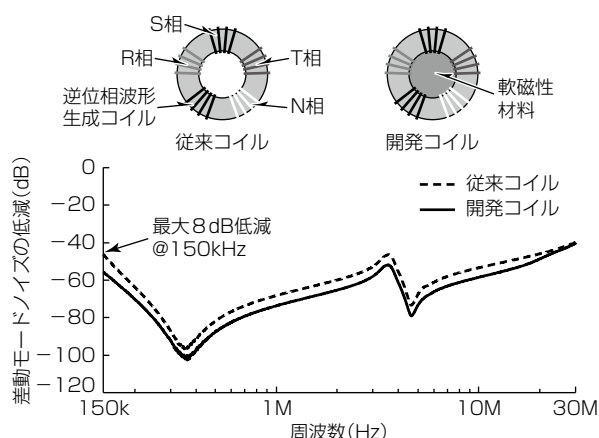
■ 電力変換器のアクティブノイズキャンセラ技術

Active Noise Cancelling Technology for Power Converters

パワー半導体を搭載した電力変換器の適用拡大に伴い、誤動作を招く電磁ノイズの抑制が求められている。

電磁ノイズの抑制に、逆位相波形を利用したアクティブノイズキャンセラ技術を開発している。電力変換器には、従来コイルによるコモンモードノイズの低減に加えて、差動モードノイズの低減が必要になる。

新たなコイルを開発し、軟磁性材料でコイル内円部を封止して漏れインダクタンスを2倍に増やした。その結果、コイルに新たな磁束を生成して従来コイルと同体積で差動モードノイズに対応し、最大8dB@150kHzのノイズ低減効果が得られた。今後はコイル量産方法を確立し、空調機用電力変換器などへの適用を目指す。

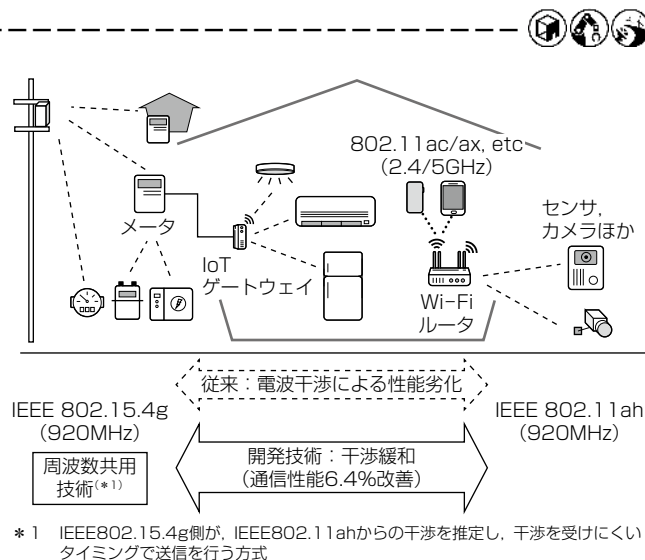


コイルと差動モードノイズ低減の関係

■ IoT向け異種無線通信システム間の周波数共用技術

Wireless Coexistence Technology for Internet of Things

920MHz帯で動作するIoT(Internet of Things)向け無線通信システムIEEE 802.15.4gとIEEE 802.11ah間の周波数共用技術を開発した。IEEE 802.15.4gはスマートメータや環境モニタリングに使用されており、IEEE 802.11ahは既存Wi-Fi^(注)の拡張として屋外IoTアプリケーションへの適用が期待されている。多数のモノが無線でつながることで無線通信システム間の電波干渉が課題になる。この技術によって、従来干渉によって性能劣化が発生していたIEEE 802.15.4g側の通信性能が改善(従来比6.4%)し、IoT機器はより安定した通信が可能になった。また、この技術をIEEE 802.19.3標準化に提案し、2021年4月にIEEE 802.19.3規格として承認された。



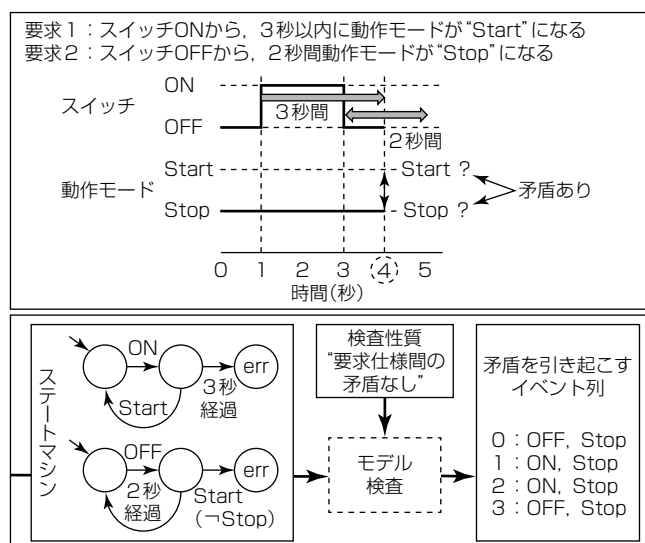
*1 IEEE802.15.4g側が、IEEE802.11ahからの干渉を推定し、干渉を受けにくいタイミングで送信を行う方式

IoTユースケース(920MHz帯)

■ 時間制約を含むソフトウェア要求仕様の一貫性検証技術

Consistency Checking Technique for Software Requirements Including Time Constraints

時間的制約を含むソフトウェアの要求仕様間の矛盾を、形式手法を用いて検出する技術を開発した。外部入力やシステム動作といったイベントが特定の順序・間隔で発生した場合だけ顕在化する検出困難な欠陥を、設計の段階で網羅的に検出することで、開発下流からの手戻りを防止する。矛盾の検出では、形式記述された各要求仕様を、時間的制約を考慮したステートマシンに変換する。各ステートマシンはイベントの発生に応じて状態遷移し、対応する要求仕様に違反するイベント列を検知する。これらのステートマシンをモデル検査機等の形式検証ツールに入力し、要求仕様間の衝突を引き起こすイベント列を探索することで、要求仕様間の矛盾を網羅的に検出する。

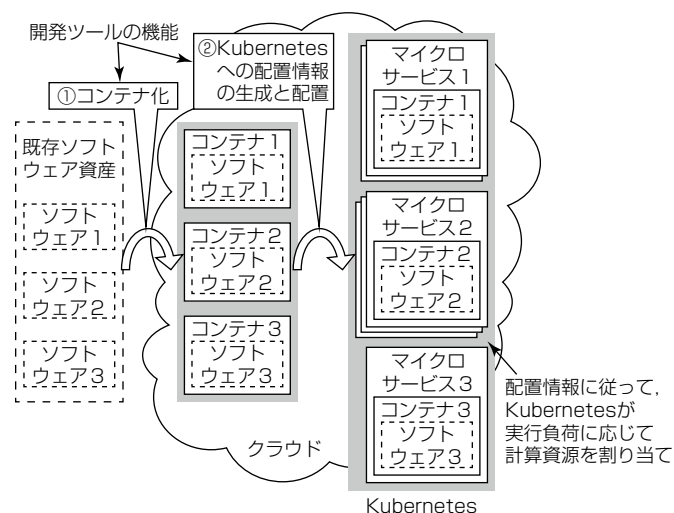


要求仕様間の矛盾の例及び一貫性検証フロー

■ 既存ソフトウェア資産のマイクロサービス化

Converting Existing Software Assets into Micro-services

企業ではこれまでに数多くのソフトウェアを開発し、資産として持っている。これら資産の更なる活用を目的として、ソフトウェアをAPI(Application Programming Interface)を介してクラウド上で実行可能なマイクロサービスに変換するツールを開発した。このツールは対象になるソフトウェアと数行の設定ファイルを入力として、①コンテナ化、②Kubernetes^(注)(コンテナのスケジューリングと管理を担う実行基盤)への配置情報生成と配置を行い、ソフトウェアをマイクロサービスとして公開する。このツールが生成する配置情報はKubernetesに対して、マイクロサービスの実行負荷に応じた計算資源の最適な割り当てを指示する。これらによって、既存ソフトウェアを再利用し、クラウド上で実行する際のコストを削減できる。

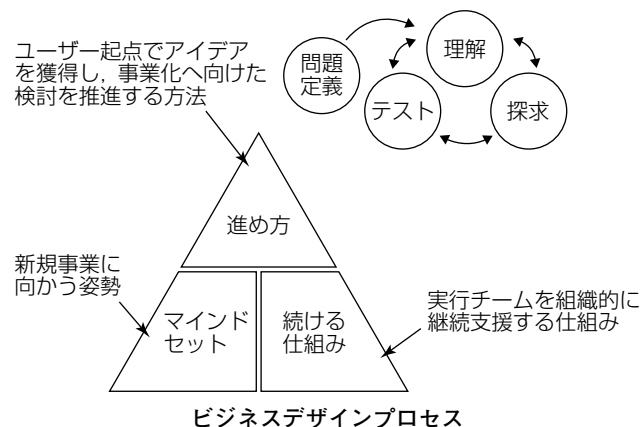


マイクロサービス化したソフトウェアの動作

■ 新規事業創出活動を支援する“ビジネスデザインプロセス”の体系化

Systematization of "Business Design Process" to Support New Business Creation Activities

新規事業創出活動の活性化と支援を目的に、デザイン思考をベースにした“ビジネスデザインプロセス”を独自に体系化した。当社内の新規事業創出活動の特徴と市場の最新研究を分析し、この研究では、事業化に向けた推進方法“進め方”、取組みに必要な意識“マインドセット”、活動を継続的に支える組織的支援“続ける仕組み”の三つの視点でプロセスを定義している。主な特徴は、関係者全員が主体性を持って共創しながら活動する方法を採用し、新規事業創出の実行プロセスとともに、実行者のマインドや実行組織の仕組みについて変化を求めている点である。これらを、当社の製作所や事業部、関係会社での新規事業創出活動の支援に生かしている。

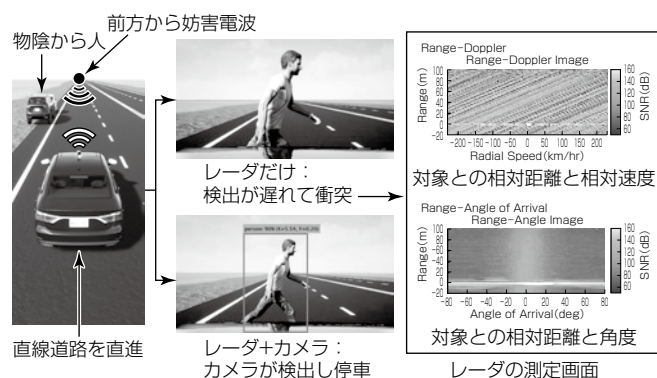


ビジネスデザインプロセス

■ 自動運転を想定したセンサ攻撃耐性評価シミュレータ

Simulator for Sensor Attack Resistance Evaluation on Autonomous Driving

様々なセンサに支えられる自動運転では、電波を妨害して測距を誤らせるなどのセンサ攻撃への耐性を定量化して評価することが不可欠である。実車を用いた評価が安全性の観点で難しいことや、設計への反映のため開発の早期段階での評価が求められることから、シミュレータによるセンサ攻撃耐性評価技術を開発した。日本と欧州のNCAP (New Car Assessment Programme: 新車アセスメントプログラム)で規定されているAEB(Autonomous Emergency Braking: 衝突被害軽減ブレーキ)試験の走行シナリオを網羅し、走行中の車に対する攻撃の影響を評価できる。実車では難しい網羅的な評価や、攻撃耐性を考慮したセンサの性能要件の早期決定を可能にする。



センサ攻撃耐性評価シミュレータの画面例

■ 通信ケーブルへのノイズ侵入位置の推定技術



Position Estimation Technique of Noise Intrusion into Communication Cable

ケーブルを用いた通信で、送受信ICの低電圧化／高周波化が進んでおり、外来ノイズによるトラブルが増加している。このようなトラブルが工場内に敷設したケーブル網で発生すると、ノイズ源の特定に多大な時間を要することがあった。今回、複数箇所を観測したノイズを、シミュレータ上で各々の観測点から同時に時間を遡らせて伝搬させ、ノイズ侵入直後の電圧分布を再現することで、ケーブルのどの位置からノイズが侵入してきたかを推定する解析技術を開発した(図1)。

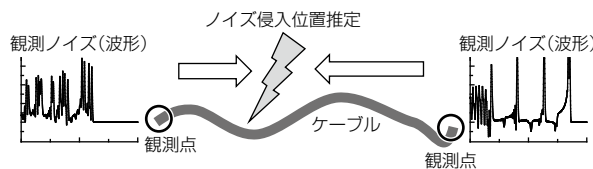


図1. 時間を遡るシミュレーションによるノイズ侵入位置推定

20mケーブルを用いた検証で、30cm精度でノイズ侵入位置を特定できることを確認した(図2)。この技術によって、ノイズ源の特定が容易になり、通信異常への対策を迅速に行うことが可能になる。

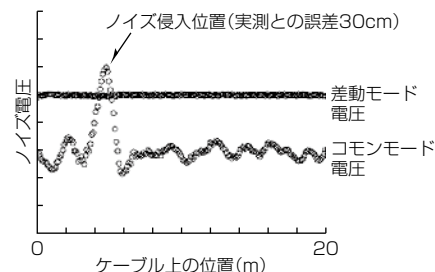


図2. ノイズ侵入時のケーブル上の電圧分布推定結果

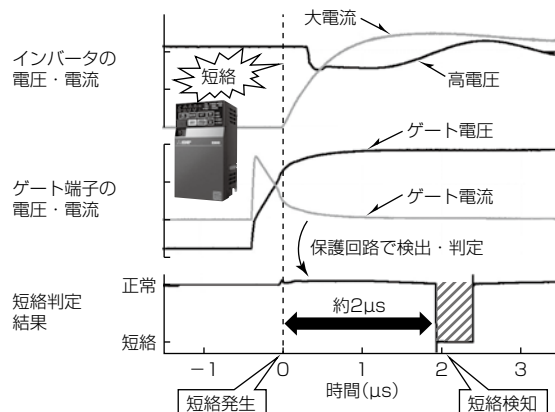
■ ゲート電圧・電流情報を用いた高速検知方式の短絡保護回路



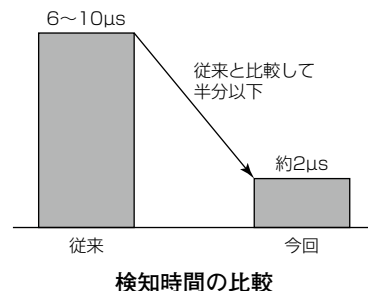
Short-circuit Protection Circuit with High-speed Detection Method Using Gate Voltage and Current Information

パワー半導体の短絡状態を高速で検知するゲート検知方式の保護回路を開発した。短絡状態とは、パワー半導体に高電圧・大電流がかかる現象で、パワー半導体の破壊につながる。従来はインバータの電圧・電流情報から短絡状態を検知してパワー半導体を保護していたが、検知速度が遅いという課題があった。今回、パワー半導体を制御するゲート端子の電圧・電流情報だけを使用し、高速に短絡状態を検知する回路を開発した。その結果、従来の半分以下になる約2 μ sの短時間で

短絡状態を検知して保護することに成功し、インバータの安全性向上を実現した。この短絡保護回路を搭載した汎用インバータ“FREQROL-E800シリーズ”は2020年12月に量産を開始した。



短絡検知波形



検知時間の比較

■ SiC-MOSFETでのしきい値電圧変動の物理モデル構築

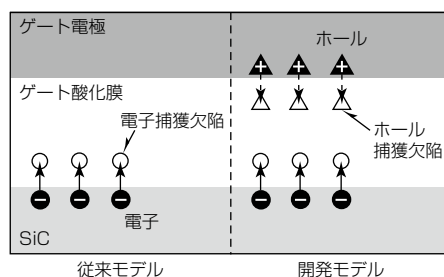


Physical Modeling of Threshold Voltage Shift in SiC-MOSFETs

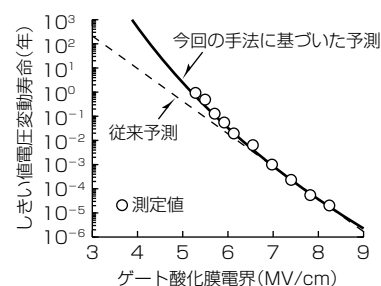
パワーエレクトロニクス機器を制御するパワー半導体であるSiC(シリコンカーバイド)-MOSFET(Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)で、実使用によるしきい値電圧の時間変動現象に関する物理モデルを構築し、素子寿命予測を精緻化した。

SiC-MOSFETの寿命は、高電界領域で取得した寿命データに基づいて、低電界領域の寿命を直線近似で外挿して推定していた。今回、ゲート酸化膜中の電荷捕獲モデルに基づいて、しきい値電圧に影響する電子捕獲欠陥の影響を、ホール捕獲欠陥の影響と分離評価する手法を構築した。この手法によって、ゲート酸化

膜電界としきい値電圧の変動寿命との関係を広い電界領域で取得した結果、実使用条件になる低電界での寿命が従来予測よりも長寿命であると予測された。この技術をSiC-MOSFETの高信頼性設計に活用していく。



今回開発と従来のゲート酸化膜中の電荷捕獲モデル



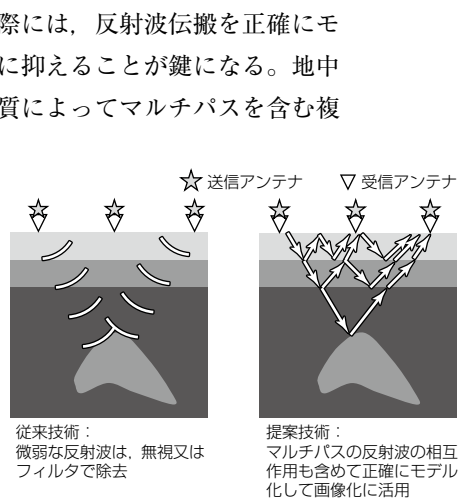
今回開発と従来のゲート酸化膜電界に対するしきい値電圧変動寿命予測

■ 非破壊インフラ監視を可能にするレーダ画像化技術

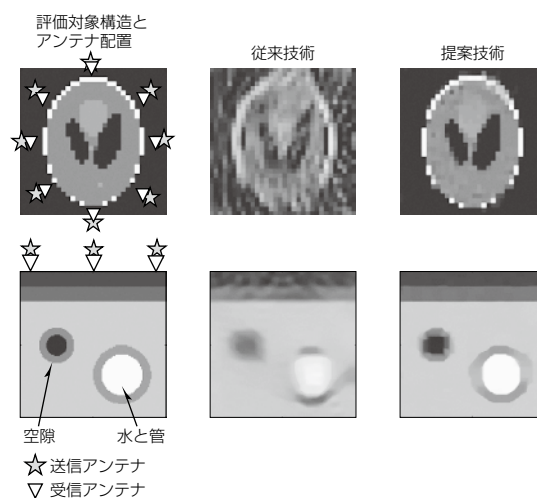
Radar Imaging Technology to Enable Non-destructive Infrastructure Monitoring

老朽化したインフラの検査や地中埋設物の特定を可能にする、地中や構造物内部を非破壊で可視化するレーダ画像化技術を開発した。レーダを対象物に照射し、測定した反射波に基づいて画像化するには、反射波伝搬を正確にモデル化し、現実的な演算量に抑えることが鍵になる。地中や構造物内部では、層や物質によってマルチパスを含む複数の反射波が発生するが、従来は、微弱な反射波は画像化に用いていなかった。提案技術ではマルチパスの微弱な反射波も利用することでモデル精度を向上させて、解析する周波数帯域を徐々に拡大することで演算量も抑制

した。これによって、従来と比較して最大7 dBの信号雑音比向上を実現した。



従来技術と提案技術の比較



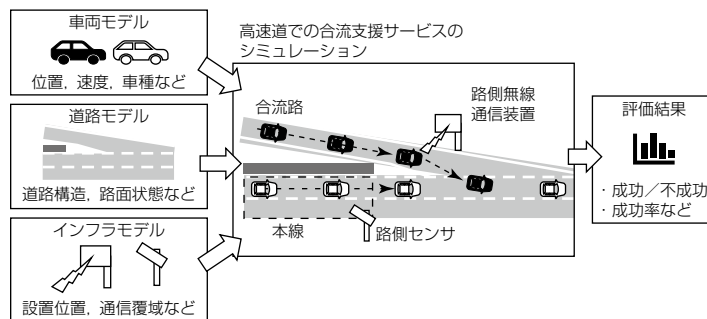
シミュレーション結果比較

■ インフラ協調型自動運転システムのシミュレーション評価技術

Simulation Evaluation Technology for Vehicle-Infrastructure Cooperative Automated Driving System

自動運転車両の自律走行を高度化するインフラ協調型自動運転システムでは、路側センサが検出した走行車両の位置や速度の情報を自動運転車両に無線通信を用いて通知する。その導入に際しては、様々なサービス要件に応じたシステム設計と開発効率化が課題になる。今回、車両・道路・インフラの3種類のシミュレーションモデルを作成し、個々のモデルを組み合わせることによって、インフラ協調型自動運転システムの机上評価を可能にするシミュレーション評価技術を開発した。この技術によって、高速道路での合流支援や料金所の通過支援など様々なサービスのシステム設計と机上評価ができるようになり、インフラ

協調型自動運転システムの開発効率化が可能になる。



インフラ協調型自動運転システムのシミュレーション評価技術の概要

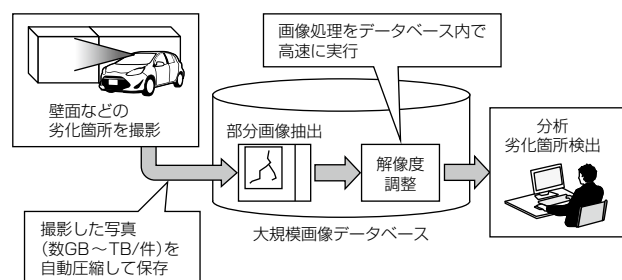
■ 公共インフラ維持管理向け大規模画像データベース

Large Amount and Large-scale Image Database for Public Infrastructure Maintenance

高度経済成長期に整備された道路や橋などの公共インフラが老朽化し始めており、適切な管理・補修のための画像診断が普及しつつある。しかし、公共インフラを画像診断するための撮影画像は、大規模(大量のデータ件数で、1件当たりのデータ量が大い)であり管理には多くの計算機資源が必要になる。そこで、画像管理に適した機能を持つデータベースを開発した。

蓄積時には画像を自動的に圧縮してデータ量を削減する。また、データベース内の圧縮画像を対象に部分画像抽出や解像度調整などの画像処理機能によって、処理を高速に実行する。解像度調整の一例では、PostgreSQLより26倍高

速であることを確認した。このデータベースを画像分析システムに適用し、公共インフラの適時の管理・補修を実現する。



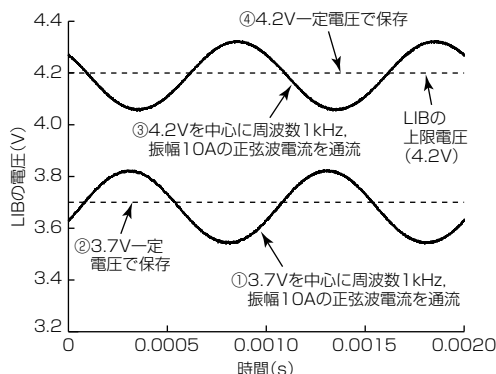
公共インフラ維持管理向け大規模画像データベース

■ フィルタの小型化に向けたリチウムイオン電池へのリプル電流の影響評価

Effect Assessment of Ripple Current to Lithium Ion Battery for Miniaturization of Filter

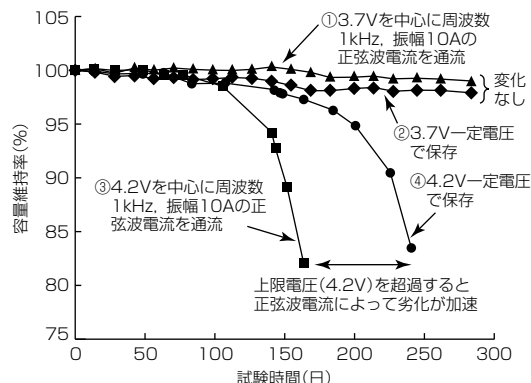
リチウムイオン電池(Lithium Ion Battery : LIB)と変換器を接続した機器では、LIBに流れるリプル電流を低減するフィルタが用いられる。しかし、リプル電流がLIBに及ぼす影響は不明確なため、過剰なフィルタが選定される可能性があった。

今回、リプル電流を模擬した正弦波電流をLIBに通流し、劣化に及ぼす影響を評価した。その結果、通流によってLIB電圧が上限電圧を超過すると劣化が促進されるが、上限電圧を超過しない場合は電



LIBの電圧波形

流に交流成分が含まれても劣化に影響しないことを明らかにした。これによって、LIB電圧が上限電圧を超過しない範囲にリプル電流を低減するフィルタを選定することで、フィルタの小型化が可能になる。



容量維持率の変動

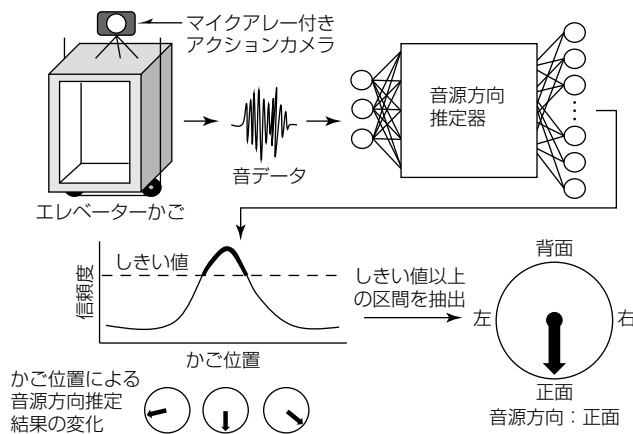
■ エレベーター保守での昇降路内音源方向推定技術

Method of Sound Localization in Hoistway for Elevator Maintenance

エレベーター保守作業では、異常音発生源を保守員が特定しており、その効率化や安全確保が課題になっていた。

今回、かご上に設置したマイクアレーの音データから異常音発生源の方向を推定する音源方向推定技術を開発した。昇降路内は反射音が生じやすく、マイクアレーと異常音発生源との位置関係によっては音源方向推定が困難になる。そこで音源方向推定が的確にできているかを示す信頼度を算出するようにして、かご位置を移動させながら信頼度がしきい値以上になる区間の推定結果を抽出することで、より正確な異常音発生源の特定を実現した。

この技術は市販品のアクションカメラで利用可能なため昇降路内作業削減による効率化や安全性向上に貢献できる。



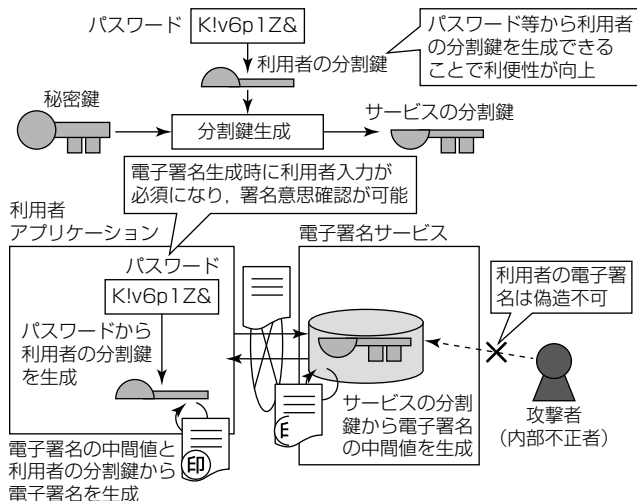
エレベーター保守での昇降路内音源方向推定技術

■ 鍵管理デバイスを不要にする分割鍵管理ソフトウェア

Key Management Software Using Threshold Cryptography to Eliminate the Need for Devices

テレワークの課題である押印の代替手段に、電子署名サービスがある。従来、電子署名を行うための秘密鍵を安全に管理するため、HSM(Hardware Security Module)を利用していたが、高価なため導入コストが高くなる課題があった。

今回、パスワード等からしきい値暗号の分割した秘密鍵を生成する技術と、しきい値暗号を導入することで秘密鍵を分割したまま電子署名の生成を行う技術を開発した。分割した秘密鍵を利用者、サービスそれぞれで管理することで、利用者の利便性と、HSM不要で安全性を確保することに成功した。この技術を電子署名サービスに適用し、サービス側管理者による電子署名の偽造防止や、電子署名で重要になる利用者による署名意思の確認が容易に可能になる。



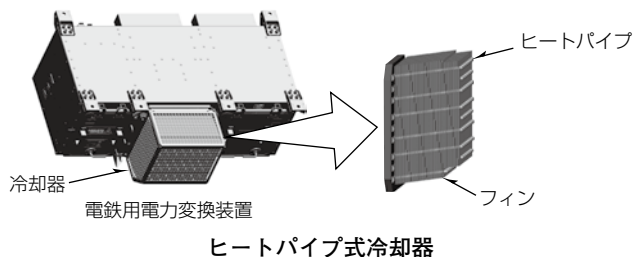
分割鍵管理ソフトウェア

■ 電鉄用ヒートパイプ式冷却器の性能を予測する熱流体解析技術

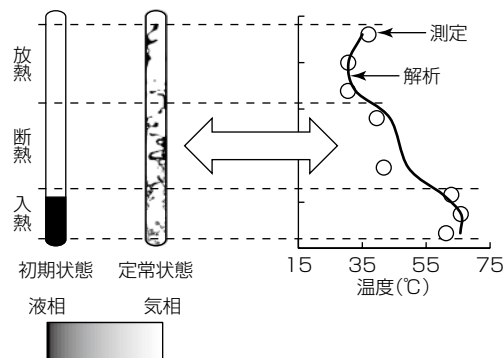
Thermo-fluid Analysis Technology Predicting Performance of Heat Pipe Cooler for Electric Railways

電鉄用ヒートパイプ式冷却器の高性能化に向けてパイプ断面形状の変更を検討している。ヒートパイプは内部冷媒の流動と相変化によって熱輸送するが、断面形状を変更すると内部の流動特性が変化するため、試作と試験による評価が必要であり、開発期間の短縮のためには解析技術が必要とされていた。今回、解析技術に新たに相変化モデルを組み込むことで相変化と気液流動が連成した解析を実現した。ヒートパイプ壁面温度分布の解析結果と測定結果を比

較したところ、誤差が15%以下になり、この解析技術の妥当性を確認した。今後、この解析技術をループ型ヒートパイプに拡張するとともに、気液相変化を利用した幅広い製品へ適用する予定である。



ヒートパイプ式冷却器



解析結果と測定結果の比較

■ 顧客との要件定義を支援するMBSEとデモ用ソフトウェアの連携環境

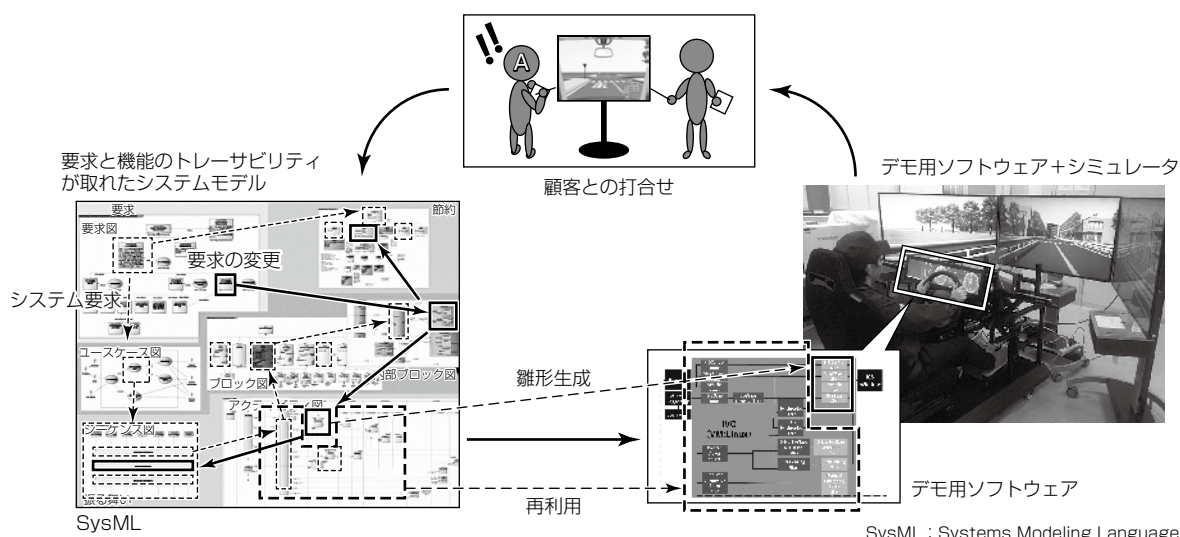
Framework to Support Requirement Analysis with Model-Based Systems Engineering and Demo Software

受注開発で、顧客へのサンプル出荷後に認識の齟齬(そご)が発覚して大きな手戻りを発生させてしまうことがある。

この問題を解決するため、顧客要求を反映したデモ用ソフトウェアを用いて、顧客との議論・反映を短期間で繰返し可能な環境を開発した。

この環境では、要求とデモ用ソフトウェアとのトレーサ

ビリティが取れたシステムモデルをMBSE (Model-Based Systems Engineering)で定義することで、要求変更の影響を受けないソフトウェアの容易な再利用を実現し、開発期間を短縮する。さらに、システムモデルからデモ用ソフトウェアの雛形(ひながた)を生成することで、再利用しないデモ用ソフトウェアの開発効率も向上させる。



顧客との議論・反映のサイクルのイメージ

1.3 コア技術の強化 Strengthen Core Technologies

■ 光空間通信技術の高度化

Upgrading of Free Space Optical Communication Technology

光空間通信技術は、電波に対して広帯域・高指向が得られ、特に宇宙空間や光ファイバ敷設困難な地上地域向け大容量無線通信技術として期待されている。今回、次のとおり高度化開発を行った。

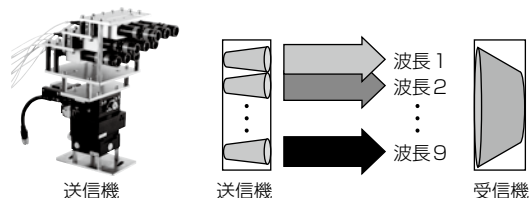
(1) 大容量光空間伝送技術

従来光送信機は一つのビームで信号を送信しており、レーザー光の人の目に対する安全性から大容量化に必要なビームのパワーが制限されていた。今回、信号を互いに干渉しない九つの波長の並列なビームに分けて送信し、パワー密度を安全な値に抑えたまま合計パワーを高めた。また九つのビームを一括して集光できるように受信機の指向性を設計した。この構成で220mの距離で、光空間通信の世界記録を超える14Tbpsの大容量伝送を実証した。

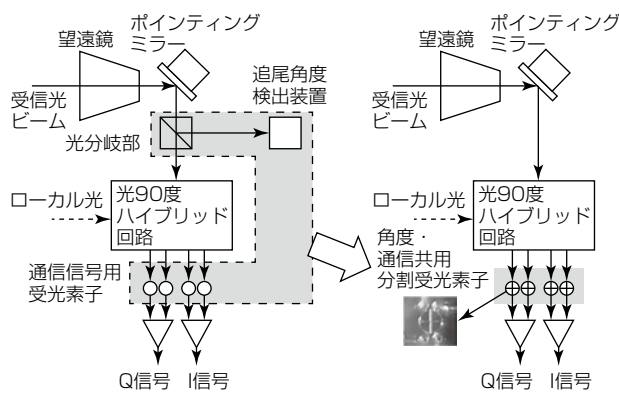
(2) 受信ビーム追尾・通信統合技術

光空間通信は指向性が鋭いため、通信相手との光ビームの捕捉追尾に高い精度が要求される。このため捕捉追尾用角度検出機構を備えている。今回、通信用の受光素子を4象限に分割配置した受光素子を開発し、各分割素子への入射光量の重心演算による角度検出機能と光コヒーレント通信用受信機能を統合したコヒーレント光受信フロントエン

ドを実現可能にした。これによって、通信と角度検出用の光分岐部が不要になり、小型化と送信レーザーパワーの低減による低消費電力化も期待できる。



大容量光空間伝送技術
(9ビーム並列波長多重光空間通信系の構成)



受信ビーム追尾・通信統合技術

■ 薄型・高効率ミリ波帯アクティブフェーズドアレーアンテナ技術

Millimeter-wave Active Phased Array Antenna with Low-profile and High-efficiency

レーダの高分解能化、通信の高速・大容量化のため、ミリ波帯アクティブフェーズドアレーアンテナを利用した車載レーダや無線通信システムが注目されている。今回、これらシステムの高性能化・小型化を実現するミリ波帯アクティブフェーズドアレーアンテナ要素技術として、高効率アンテナ素子、及び世界初^(*)1)のミリ波帯三次元積層RFIC(Radio Frequency Integrated Circuit)を開発した。

従来のアクティブフェーズドアレーアンテナでは、広角方向にビーム走査したときの送受信効率の低下が課題であった。今回、アンテナ素子前面に誘電体基板(図1)を配置することで、広角ビーム走査時の効率を理論限界近く

まで向上させる技術を開発した。これによって、アクティブフェーズドアレーアンテナの覆域を従来に比べて20%拡大できる。

また、アンテナの開口面積が非常

に小さいミリ波帯で、RFICをアンテナ裏面に実装するため、ミリ波帯三次元積層RFICを開発した。積層したRFIC間の接続は、シリコン貫通ビアで同軸構造を模倣することで、60GHz以下の周波数で1.2dB以下の低損失な特性を実現した(図2)。二つのミリ波帯RFICの積層によって実装面積を46%削減した結果、アンテナ裏面へのRFICの平面実装が可能になり、厚さ3cm以下(支持・放熱構造含む)の薄型アンテナを実現した。

*1 2020年2月6日現在、当社調べ

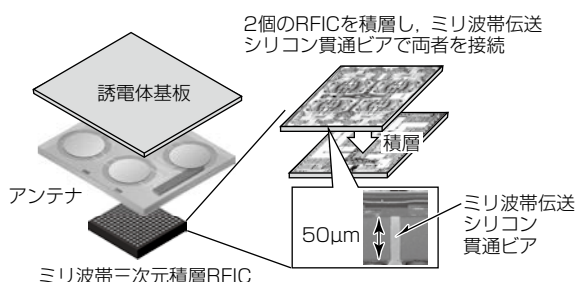


図1. ミリ波帯アクティブフェーズドアレーアンテナの模式図

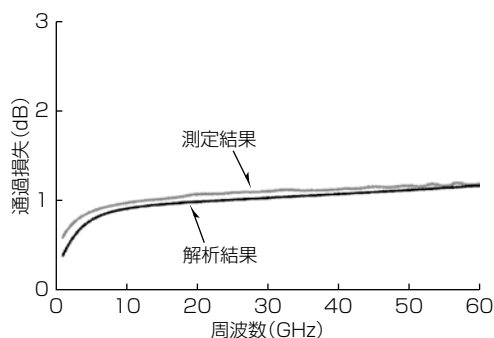


図2. シリコン貫通ビアの通過損失

■ いつでも・どんな加工に対しても高い生産性を実現するFA向けAI技術 —————

AI Technology for FA to Realize High Productivity for Any Time and Any Processing

製造業での変種変量生産が進む中、様々な加工を高速かつ高品質に行うことが求められている。加工形状の変更などによって環境変化が生じると最適な加工条件が変化するが、変種変量生産で加工条件の調整を人手で行うと生産性が低下する。そのため、人手を介さずに環境変化に即座に対応できる仕組みが必要になる。そこで、生産・製造中の環境変化をリアルタイムで学習・補正することで、FA機器を高速・高精度化するAI技術の開発を行った。

このAI技術は、FA機器で共通して使用可能な次の特長を持つ。

(1) 高速推論

FA機器に求められるリアルタイム制御を実現するため、高速推論が可能なAI技術を開発した。

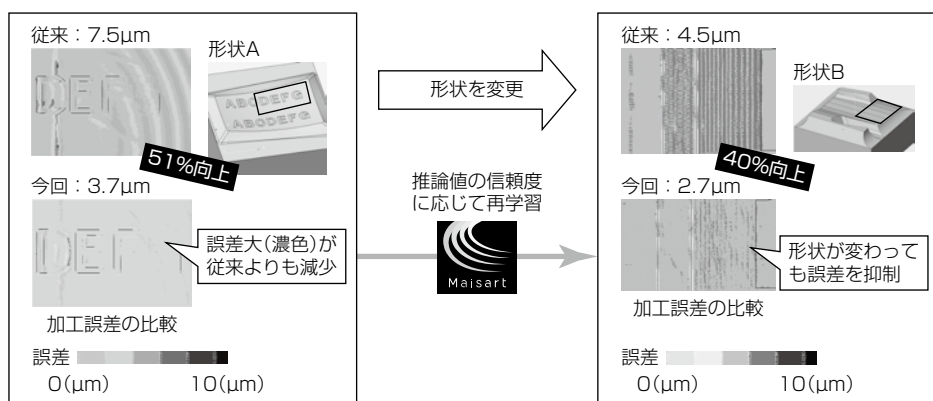
(2) 環境適応

加工中のデータを学習し、常に変化する加工環境に適応した。

(3) 高信頼性

推論結果の信頼度を指標化し、信頼度に応じてFA機器を適切に制御することで、信頼性の高い安定した動作を実現した。

このAI技術の適用例として、NC(Numerical Controller)工作機械の加工誤差を学習し、誤差補正したときの加工誤差マップを図に示す。図から、形状Aでは、加工誤差は51%減少し、形状を変更した形状Bでも、信頼度に応じて学習することで形状Aと同程度に加工誤差を抑制できることを実証した。



NC工作機械の誤差補正機能への適用例

■ アニメーションライティング誘導システム“てらすガイド”と映像解析ソリューション“kizkia”の連携実証実験 —————

Demonstration Experiment of Cooperation between Animation & Lighting Guidance System "Terasu GUIDE" and Video Analysis Solution "kizkia"

コロナ禍での感染予防を目的に、アニメーションライティング誘導システム“てらすガイド”とAIによる映像解析ソリューション“kizkia”を連携させた誘導案内のコンセプトプロトタイプを開発し、実証実験を実施した。食堂の座席使用状況をリアルタイムで分析し、“推奨座席”や“混雑状況”を案内する実験では、AIからの案内をシンプルな図案や、アニメーションによる強調表現などで利用者が直感的に理解できる表示表現にした。この実証実験の分析では、座席使用の混雑度を示す指標であるエリアごとの密度差が約40%改善され、表示表現によって座席の分散利用効果が認められた。今後は市場の要望も参考に更に改善を図って、より効果の高い人流制御の実現に向けて開発を進めていく。



食堂入り口の混雑度案内



食堂内の推奨座席への誘導案内

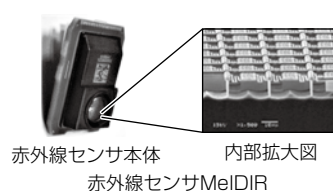
■ 赤外線センサ“MeIDIR”を活用した空調機向け熱画像処理技術

Thermal Image Processing Technology for Room Air Conditioner Using Infrared Sensor "MeIDIR"

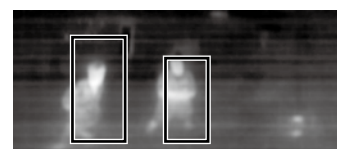
当社は低価格かつ高感度という特長を持つ独自のSOI(Silicon On Insulator)構造のサーマルダイオード方式を用いた高性能赤外線センサ“MeIDIR”を開発した。MeIDIRは、従来のサーモパイル型比で、素子数は80倍、感度は2.5倍を実現している。今回、このセンサを活用した熱画像処理技術として、従来のサーモパイル型では困難であった高度な人体検知技術と、従来実現不可能であったユーザー環境下で気流到達範囲を把握して制御する気流制御技術を開発した。このような民生品搭載可能な高感度赤外線センサと高度な熱画像処理技術を組み合わせることで、人の快適性の更なる向上とともに、アフターコロナを含めた今後の健康社会の実現に役立つことが期待できる。



ルームエアコンFZシリーズ



赤外線センサ本体
赤外線センサMeIDIR



検知足元位置

目標気流

検知足元位置

目標気流

MeIDIRを用いた熱画像処理技術による気流制御

■ 高機能熱交換型換気設備“学校用ロスナイ”のデザイン

Design of Highly Functional Heat Exchange Type Ventilating Equipment "Lossnay for Schools"

学校向けの後付け設置ができる高機能熱交換型換気設備“ロスナイ”を開発した。新型コロナウイルスの感染拡大を受けて、文部科学省から学校に向けた窓開け換気の指針が示されたが、様々な事情から多くの学校で適切な窓開け換気が困難な状況にある。この製品は、熱交換によってエアコンが効いた教室内の暖かさ、涼しさを屋外に逃がさず、屋外からのほこりや騒音の侵入を抑えつつ換気ができ、窓開け換気と比べて、大幅に省エネルギーでより学習に最適な空調環境を実現する。また、CO₂センサによる風量自動制御とLED表示によって、最適換気とCO₂濃度の見える化も実現した。様々な設

置環境になじむよう側面から吸気する構造にして、視界に入りやすい底面側に吸気口がないすっきりとした外観にした。



学校用ロスナイ



設置イメージ

■ 入退室管理システム“指透過認証装置TP3シリーズ”のデザイン

Design of Access Control System "Fingerprint Authentication Device TP3 Series"

セキュリティ意識の高まりを背景に、国内での生体認証セキュリティ機器市場は拡大を続けており、中でも指紋認証装置はセキュリティレベルの高いオフィスやサーバーームなど多くの施設で採用が進んでいる。従来機は認証部の精度向上と小型化の両立が課題であり、シンプルなデザインや薄型化が困難であった。入退室管理システム“指透過認証装置TP3シリーズ”は認証部の基本構造から見直し、認証の高精度化と建築空間に調和する業界トップクラスの厚さ11mmの薄型形状(従来比約63%減)にしてフラットでシンプルな意匠を実現した。また、JIS準拠スイッチボックスに収納可能なサイズにすることで電気設計・施工の工数削減を実現した。



TP3シリーズの使用イメージ

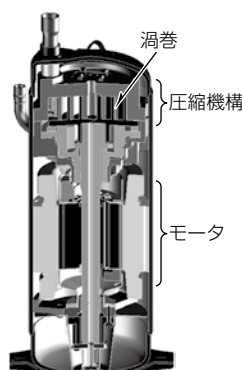
■ スクロール圧縮機の高出力渦巻設計技術

High Power Wrap Design Technology for Scroll Compressors

空調機のグローバル市場拡大に伴って、これに搭載されるスクロール圧縮機の出力拡大ニーズが高まっている。スクロール圧縮機は、1対の渦巻が形成する圧縮室の容積変化によって冷媒を圧縮する。しかし、従来は渦巻の設置スペースに冷媒の圧縮に利用できない無駄スペースがあった。

今回、渦巻軌跡を収納形状に近づけた世界初^{(*)1}のオーバル(楕円(だえん))形渦巻を開発した。圧縮機内での渦巻のスペース効率を向上できるため、従来の円形渦巻を搭載した圧縮機と比較して、同一サイズで出力を20%拡大できた。

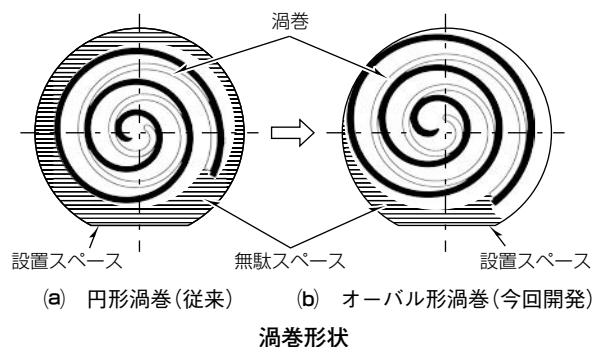
この技術を適用したスクロール圧縮機



スクロール圧縮機

は、2020年にビル用マルチ空調機やチラー等の大容量空調機向けに量産を開始した。

*1 2021年7月1日現在、当社調べ



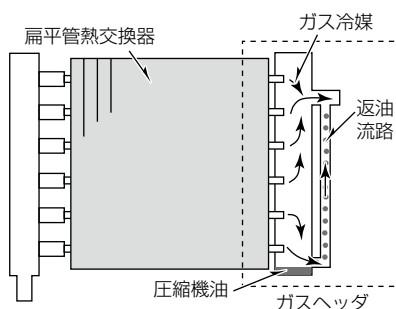
渦巻形状

■ アルミ扁平管熱交換器を支える熱流体技術

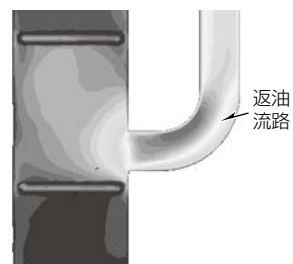
Thermal Fluids Technologies to Design Aluminum Flat Tube Heat Exchanger

当社では、空調機の冷媒使用量削減による環境負荷軽減と省エネルギー性向上を実現する高性能な熱交換器として、扁平(へんぺい)管熱交換器の開発を進めている。今回、扁平管熱交換器に流れる圧縮機油の返油性能を向上させる新構造のガスヘッダを開発した。扁平管熱交換器には扁平管を流れる冷媒を合流・排出するガスヘッダが設けられる。扁平管をガスヘッダに接続する際、扁平管の長寸に合わせてヘッダ径が大径化するため、冷媒流速低下による圧縮機油の滞留が課題であった。今回、ヘッダ下部に返油バイパス流路を設ける新構造を考案し、ガスヘッダ

内部の冷媒流動解析技術によって、流路径と接続位置を最適化した。これによって圧縮機油の返油性能向上と高性能化を実現した。



今回開発の扁平管熱交換器



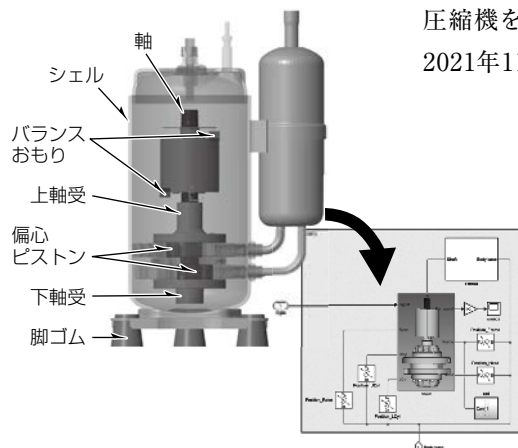
ガスヘッダ内部の冷媒流動解析

■ ルームエアコン向けロータリ圧縮機の高速回転化技術

High-speed Rotation Technology of Rotary Compressors for Room Air Conditioners

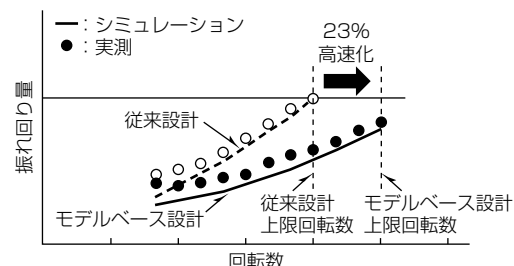
住宅の高気密・断熱化に伴って、低負荷から高負荷まで幅広い範囲で高効率運転が可能な高速回転できるロータリ圧縮機が求められている。しかし、高速回転化に伴って、回転軸が振れ回って、軸受の焼き付き・摩耗の危険性や圧縮機の振動が増大するため、この抑制が課題であった。

今回、圧縮機全体を数値モデル化してシミュレーションで高精度に軸回転バランスを設計できるモデルベース設計手法を構築した。これによって、軸回転



ロータリ圧縮機のシミュレーションモデル

バランスをこれまで以上に高精度に最適設計することが可能になり、軸受の焼き付き・摩耗や圧縮機の振動は従来の性能を維持しつつ、23%の高速回転化を実現した。この圧縮機を搭載したルームエアコン“霧ヶ峰FZシリーズ”を2021年11月に発売した。



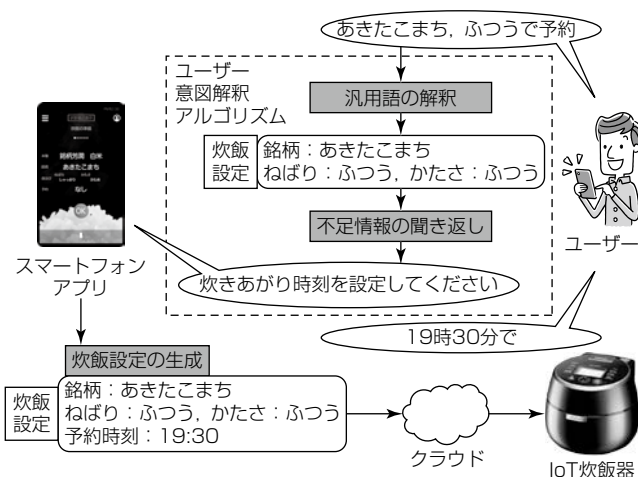
従来設計とモデルベース設計の比較

音声認識でのユーザー意図解釈技術

Interpretation Technology of User Intention by Speech Recognition

スマートフォンで操作可能なIoT(Internet of Things)炊飯器向けに、音声操作で最適な炊飯設定ができるアプリケーションを開発した。米の銘柄に合わせた炊き方やユーザーの好みに合わせた細かい炊飯設定など、炊飯器の高機能化が進んでいる。これに伴って、操作パネルを使った設定が複雑化する傾向にあり、操作性の改善に向けて音声入力によるスマートフォンの活用が求められている。

今回、ユーザーの音声入力時の炊飯設定に必要な情報の聞き返しや曖昧表現といった課題に対して、それらの解釈を行うユーザー意図解釈アルゴリズムを開発した。これによって、複雑な炊飯設定が少ない手順で可能になり、スマートフォンによる炊飯器の操作性が改善できた。



音声会話による炊飯設定支援

自律搬送台車“MELporter”のデザイン

Design of Autonomous Mobile Robot "MELporter"

現在、物流倉庫や工場、病院やオフィスビルなどで、身体的負荷の高い運搬作業は就業人口の減少などを理由に人手不足が深刻になっている。自律搬送台車“MELporter”はプログラムされた場所へ自律的に走行し荷物を運搬する。効率的で安全な走行を実現するためには、車体周辺を死角がないようにセンシングすることが必要であるが、複数のセンサの有効範囲を考慮しながら凹凸を大きくしないデザインにすることで、安全性と意匠性の両立を目指した。また周辺の人に状態を表示する本体四隅のLEDによって安全運行を実現した。



自律搬送台車MELporter



搬送用ボックス取付け時

エレベーターかご室天井照明の照度予測システム

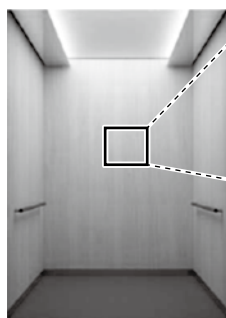
Illuminance Prediction System for Ceiling Lighting in Elevator Car Room

多様な嗜好(しこう)に対応するために、エレベーターでも新たな形態の天井照明や、デザイン性に優れた立体的な構造の壁材を新規に採用している。エレベーターのかご室は、床面の要求照度が法規によって規定されており、多様な部材による床面照度の変化を予測する光学解析技術を開発した。この技術では、100種類以上ある壁材の反射特性を計測して光学解析用にモデル化し、かご室のサイズや照明の構成をパラメータとして床面照度を連続して解析する。これによって、膨大な組合せの床

面照度を短時間で予測でき、商談時でのかご室内照度イメージの提案も可能になった。この技術は、2020年10月に発売した三菱エレベーター“AXIEZ-LINKs”に適用され、今後の製品開発にも活用していく。

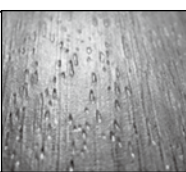


(a) 四方向とも外側に向けた間接照明中央ダウンライト照明

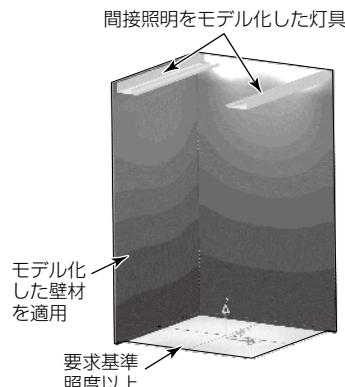


(b) 内側に向けた間接照明立体的な構造の木目調壁材

新たな形態の天井照明の例



木目調壁材の拡大図(立体的な構造)



照度シミュレーション例

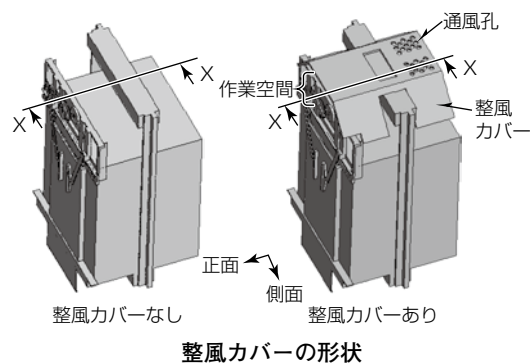
■ エレベーターの流体騒音低減技術

Fluid Noise Reduction Technology for Elevators

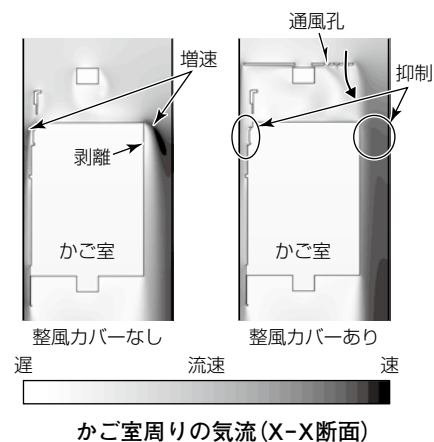


高速で昇降するエレベーターでは昇降時の速度に応じて大きな流体騒音が発生する。当社では、かご室の周囲の気流増速を抑制する流線形の整風カバーの設置や遮音対策によって、かご室内の快適性を確保してきた。しかし、騒音対策コストと据付け性・保守性の低下が課題になっていた。

その対策として、かご室の上下面に台形上のカバーを設置するとともに、背面側に通風孔を設けることを特徴とした整風カバーを考案した。かご室周囲の気流増速を抑制し、低騒音化と低コスト化を両立させた。また、かご室とカバーとの



間に作業空間を設けることで据付け性・保守性を向上させた。この整風カバーを適用したエレベーターは2021年から出荷を開始した。



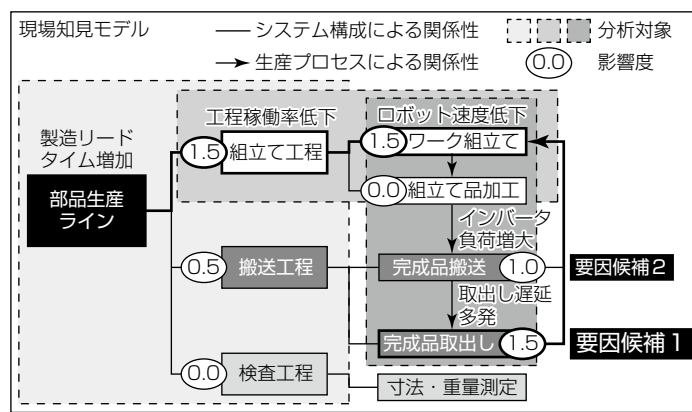
■ 生産現場の改善を支援する分析技術

An Analysis Technique to Support Improvements of Production Sites



生産現場での、生産指標(KPI)悪化要因特定作業の効率化を実現する分析技術を開発した。

従来のKPI悪化要因特定作業では、生産現場から収集した大量のデータに対して網羅的な分析を行っていたことから、時間がかかるという問題があった。そこで今回、生産現場のシステム構成や生産プロセスによるデータの関係性を現場知見としてモデル化し、モデルに沿って分析を行うことでKPI悪化要因を効率的に抽出する技術を開発した。この技術によって抽出したKPI悪化要因を現場知見モデルに重ねる形で提示することでKPI悪化要因特定作業を支援する。模擬ラインによる検証では、KPI悪化要因特定作業に要する時間を半減できることを確認した。



KPIである製造リードタイム増加への影響度が高いのは、要因候補1の完成品取出し作業！優先して状況確認しよう。

現場管理者

生産現場の改善を支援する分析技術

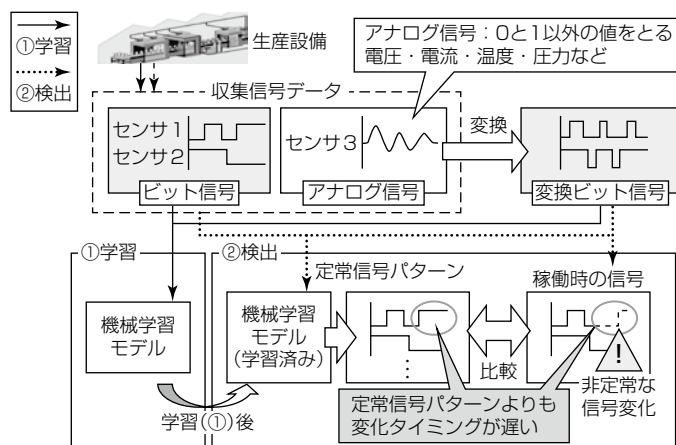
■ 生産設備の制御入出力信号の非正常検出技術

Anomaly Detection Technology for Control Input-output Signals of Production Equipment



生産設備などの制御に用いられる制御入出力信号を、複数のビット・アナログ両信号間の依存関係を含めて監視し、非正常な信号変化(タイミングのずれなど)を検出する技術を開発した。従来は、ビット信号だけを非正常検出の対象として、アナログ信号との関係も含めた検出ができないという課題があった。今回、アナログ信号値の増加・減少の傾向変化を複数のビット信号で表すような信号変換技術を新たに確立し、ビット信号だけでなくアナログ信号も含めて非正常検出できるよう機能強化した。

生産設備のビット信号だけでなくアナログ信号を含めた複数の信号間の関係が分析できることによって、高精度に異常開始箇所を特定できる。



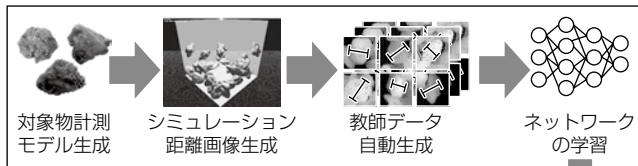
ビット信号とアナログ信号を組み合わせた非正常検出技術

■ 食品・物流向け市場を拡大するためのロボットシステム技術

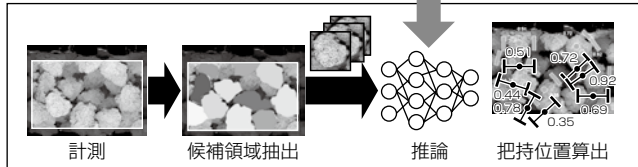
Robot System Technology for Food and Logistics Industry

食品工場や物流センターでは総菜の盛り付け工程など人手作業で実施している工程が多く残っているが、生産年齢人口の減少等の要因から人手不足が顕著になってきており、自動化要求が高まっている。今回こうした要求に対応するため、対象物を認識して把持する作業の自動化に必要な、ばら積みされた不定形物の把持位置の認識技術を開発した。開発した技術では、①計測した対象物のデータを基に仮想空間内でネットワークの学習を行うことで学習に要する時間を削減し、②抽出した候補領域の距離画像を学習したネットワークに入力し、把持の中心位置等の把持作業に必要な情報を算出することで、短い推論時間で把持成功率の向上を達成した。

①学習フェーズ



②実行フェーズ



深層学習を用いた把持位置認識技術

■ モータ診断装置“DiaPro Motor”のデザイン

Design of Motor Diagnostic Device "DiaPro Motor"

主に発電設備や産業プラントなどのファンやポンプ、ベルトコンベアなどの様々な設備の動力を担うモータは、生産性の維持・向上のため定期的なメンテナンスが必要である。モータ診断装置“DiaPro Motor”はモータ運転中の電流信号を解析し、事前学習したモータ正常時の初期状態と比較することで、高精度な異常予兆検知を自動で行うことが可能である。さらに操作性を考慮し、本体を上下に二分する段差で表示部と操作部を明確に区別したデザインにした。これによって、熟練点検作業者のノウハウに依存せずに、設備停止の未然防止と巡回点検の省力化に貢献する。



DiaPro Motor

■ 高出力深紫外ピコ秒レーザー加工装置

High Power Pico-second Deep UltraViolet Laser Machining System

大阪大学、スペクトロニクス(株)と連携して、高出力深紫外ピコ秒レーザー加工装置を試作した(図1、図2)。ビーム歪(ひず)みを低減する基本波レーザー光源、波長変換素子、加工光学系を開発し、従来の10倍になる平均出力50Wの発生に成功した。材料を分解する能力が高い波長266nmの深紫外でパルス幅がピコ秒の短パルスレーザーを、50W

の高出力で照射することによって、これまでのレーザーでは加工が難しかった透明なガラス(図3)を含む複合材などの高速微細加工が可能になった。

今後は、微細化が進む半導体製造の後工程でのサイズ20μm以下の微細な穴あけやパターン形成を高い生産性で実行する生産装置を目指した実用化を進める。

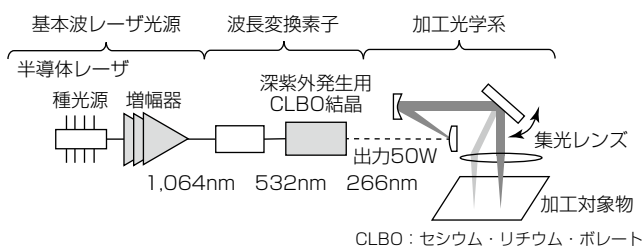


図1. 深紫外ピコ秒レーザー加工装置の概念構成



図2. 試作機

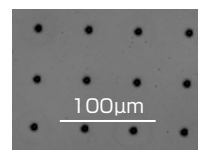


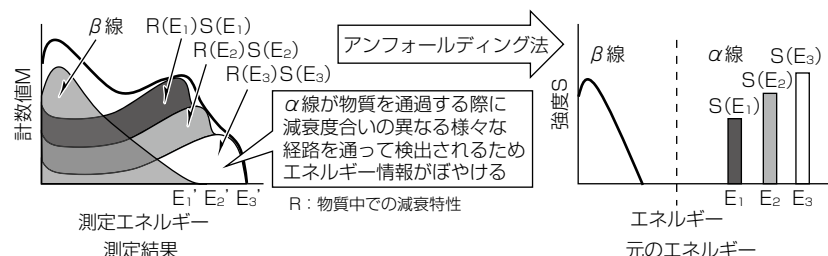
図3. ガラスの穴あけ加工例

■ α 線汚染物質の核種分析技術

Nuclide Analysis Technique for Radioactive Contamination with Alpha Particle Emission

原子力発電所の廃炉では、作業雰囲気中に含まれる α 線を放出する放射性物質による内部被ばくの低減が重要になる。 α 線は物質中での減衰が大きく計測器それ自体で減衰してしまう点と、環境中に多くある β 線がノイズとして混入してしまう点から現場で簡易的に定量測定することが難しかった。そこで、放射性物質が放出する α 線はノイズになる β 線よりもエネルギーが数倍大きいことに着目して、物質中での減衰特性から元のエネルギーを復元するアルゴリズムであるアンフォールディング法を改良し、復元したエネルギー

情報から α 線と β 線を分離することで、測定対象になる α 線を放出する放射性物質ごとの濃度を20%の不確かさで現場で簡易的に測定する技術を実証した。



アンフォールディング法の概念図

■ 監視制御システムの時系列データからのプラント運転パターン抽出技術

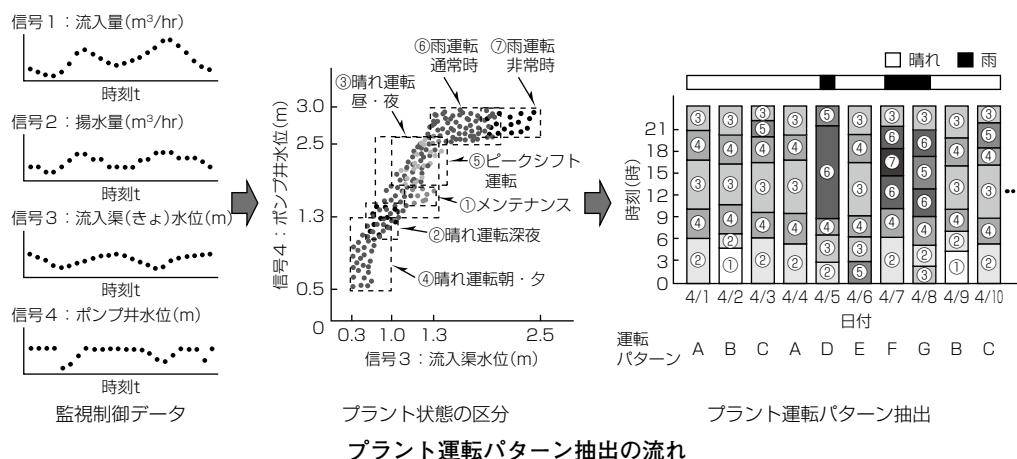
Technology to Extract Plant Operation Patterns from SCADA System's Historical Data

ベテラン運転員の大量退職や民間委託の増加に伴うノウハウ継承の課題を抱えるプラント運転管理の現場に向けて、監視制御(SCADA)データからプラント運転ノウハウを抽出する技術を開発した。

なノウハウを可視化することが可能になった。

今後は、プラント運転ノウハウ抽出技術を活用した運転支援システムの検討を進めていく。

今回開発した技術は、プラント監視制御システムに蓄積された多数の時系列データを特徴的なプラント状態に区分し、プラント運転パターンを抽出する。これによって、気象など状況変化に応じた運転手法の変更や、複数設備を組み合わせた運転調整など、従来では判別が困難であった複雑



プラント状態の区分

プラント運転パターン抽出

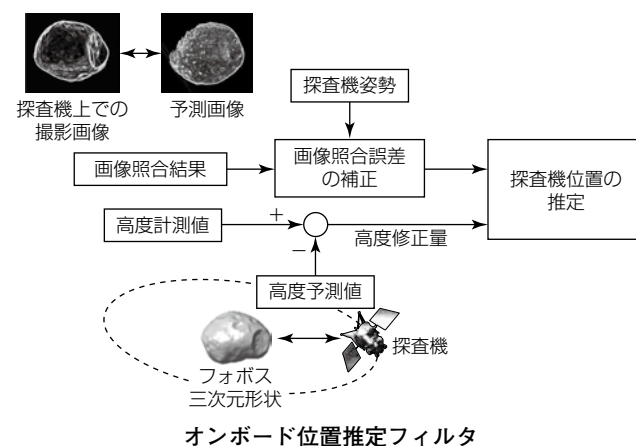
プラント運転パターン抽出の流れ

■ 火星衛星探査での探査機位置のオンボード推定技術

On-board Space Probe Position Estimation Technology for Martian Moons Exploration Mission

火星衛星探査計画では、火星衛星フォボスの周回軌道上から、探査機に搭載された観測機器をフォボスに対して正確に指向させるために、探査機位置を高精度に推定する必要がある。これまでは、地上で推定した探査機位置を探査機にアップロードしていたため、アップロード後は時間経過とともに位置誤差が蓄積されるという課題があった。

そこで、探査機上で撮影したフォボス画像と予測画像との照合結果と、フォボス表面からの距離情報を用いて、オンボードで探査機位置を推定するフィルタを開発している。また、探査機姿勢誤差に起因する画像照合誤差の補正に加えて、フォボスの三次元形状に基づく高度予測値の算出によって、高精度な位置推定を可能にする。



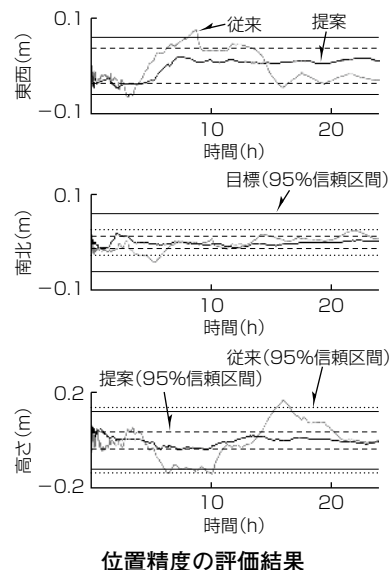
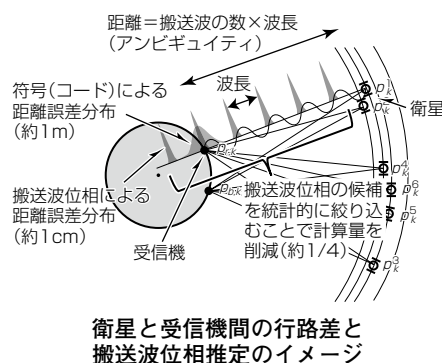
オンボード位置推定フィルタ

■ ロバストなセンチメートル級測位を可能にする衛星受信波の統計・数値的解析手法

Statistical and Numerical Analysis Method of Satellite Carrier Wave Enabling Robust Centimeter-level Positioning

標準的な衛星測位受信機と準天頂衛星が提供する補正データを用いて測位精度と耐環境ロバスト性の両立を可能にする、統計・数値的解析手法を開発した。従来、衛星と受信機間の搬送波位相アンビギュイティの推定精度は、電波環境の影響を受けやすく、ロバスト性を向上させるためには多くの計算資源が必要であったが、準解析的な統計推定手法を用いることで推定候補を効率的に絞り込んで、標準的な受信機が持つ限られた計算機資源での測位精度の向上を可能にした。実評価によって、センチメートル級の目標精度を達成できることを確認した。自動運転向け高精度ロケータや輸送から災害対応まで様々な用途が見込まれ

るドローンなどの高精度化と普及に貢献していく予定である。



■ 時空間フーリエ変換によるTEC空間分布推定技術

Estimation Technology for Spatial Distribution of Total Electron Content Using Time-space Fourier Transform

衛星測位では衛星～観測点の電波伝搬時間から距離、さらに観測点位置を算出する。電離層全電子数(TEC)の空間分布に応じて電波の伝搬時間が変動するため、測位精度高精度化にはTEC空間分布の推定が必須である。TEC空間分布が時間とともに移動する伝搬性電離層擾乱(じょうらん)(Traveling Ionospheric Disturbance: TID)の発生時(図1)は、TEC空間分布が平面波状になって、従来の多項式による推定では、推定精度が不足する(図2)。今回、時空間フーリエ変換を利用してTID発生時のTEC空間分

布を精度良く近似する推定技術を開発し、TID発生時の分布推定精度を最大50%向上させた。また、この手法によるTID進行方向、波長、伝搬速度推定結果に基づいて、TEC空間分布を将来予測するため技術開発を進めている。

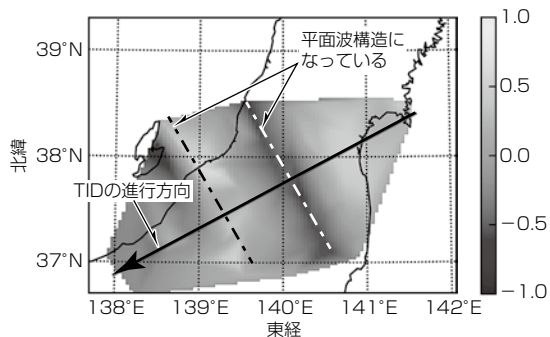


図1. TID発生時のTEC空間分布

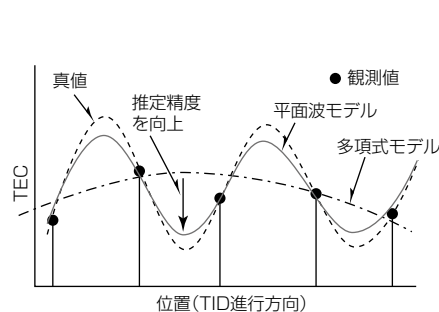


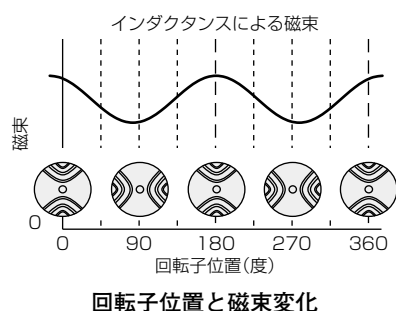
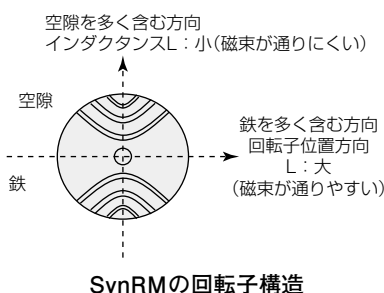
図2. 平面波モデルによるTEC空間分布推定

■ 鉄道車両用同期リラクタンスモータ駆動システムの位置センサレス制御

Position Sensorless Control of SynRM Drive System for Railway Vehicle

鉄道車両向けに高効率同期リラクタンスモータ(SynRM)を用いた独自の鉄道車両推進システム“SynTRACS”の位置センサレス制御技術を開発した。鉄道車両用途では、広範囲にわたる速度・トルク領域で、回転子位置を検出する位置センサを用いずにトルクを制御する位置センサレス制御が求められる。しかし、回転子に磁石を持たないSynRMは、磁石によって発生する速度起電力が得られないため、回転子位置推定が困難であった。そこで、SynRMの特殊な回転子構造に注目し、回転子のインダクタンスによる磁束の変化か

ら回転子位置を推定する手法を開発した。これによって、鉄道車両用途で用いられる速度・トルク領域での位置センサレス制御を可能にした。

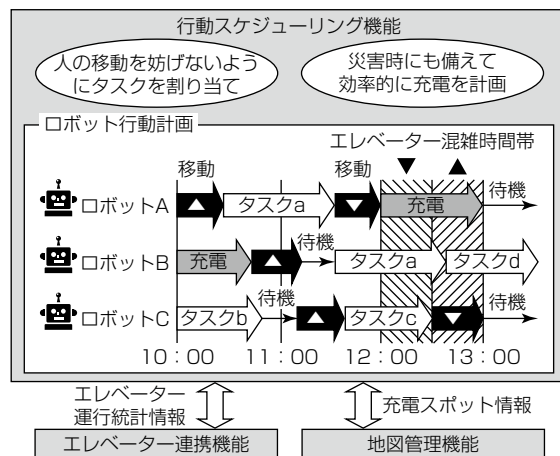


■ ビル内設備情報と連携したサービスロボット群の行動スケジューリング

Action Scheduling for Service Robots Utilizing Information on Equipment in Building

人とロボットが共存するスマートビルの実現に向けて、ロボットは人の動きを妨げることなく、ビル内で効率良く作業することが求められている。

今回、複数のサービスロボットが混雑を避けてタスクを遂行する行動スケジューリング技術を開発した。エレベーターの運行情報からエレベーターが混雑する時間帯や方向を推定し、タスクの優先度、所要時間、災害時に備えた充電量を考慮して各ロボットに割り当てるタスク内容と実行のタイミング、移動、充電を計画する。例えば、上りの利用者が多い時間帯はロボットには下りのエレベーターだけ利用を許すことによって、エレベーターの混雑防止とロボットの作業効率化を両立させた。



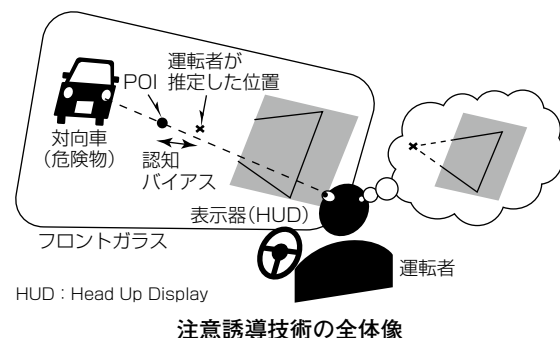
ロボット群の行動スケジューリング機能の概要

■ 画面外の位置への注意誘導を目的とした図形の認知的最適化

Cognitive Optimized Guidance toward Off-screen Point-Of-Interests

車両外危険物の通知を目的として、運転者の注意を表示器よりも外側の位置(Point-Of-Interest: POI)へ正確に誘導する技術を開発した。具体的には、二等辺三角形の一部だけ表示することで、POIのある頂点位置を運転手に推定させる従来手法を用いた。しかし、POIまでの距離を過小に見積もるといった認知バイアスが原因になって推定が不正確になる問題が生じた。そこで、様々な形状の二等辺三角形を表示したときの認知バイアスを測定し、認知バイアスによる悪影響を最小化するように図形の形状を決定した。その結果、車両外左右1.2mの範囲でPOIの推定誤差

を従来比約25%改善し、車に衝突しそうな対象物に対してより高精度な注意喚起を実現した。



注意誘導技術の全体像

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

■ ASICのコンパレータ低消費電力設計技術

Comparator Design Technique for Reducing Power Consumption of Application Specific Integrated Circuit

IoT(Internet of Things)機器の増加に伴い、待機電力の削減が課題になっている。その解決には機器に実装されたASIC(Application Specific Integrated Circuit)内で常時動作しているコンパレータの低消費電力化が必要である。

従来のコンパレータでは、比較速度を確保するために常時一定の電流を流しており、低消費電力化に限界があった(図1)。そこで、この電流を抑制するため、信号電圧と基準電圧が等しくなるときだけ瞬間的に大電流を流す電流制御回路と、出力回路の代わりに待機電流なしで結果を保持

可能なラッチ回路を導入したワンショット型コンパレータを開発した(図2)。これによって比較速度を維持しながら消費電力を従来比80%削減し(表1)、業界トップ(*1)になるASICの低消費電力化を実現した。

*1 2021年1月21日現在、当社調べ

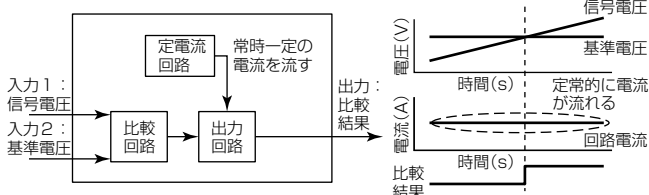


図1. 従来のコンパレータ

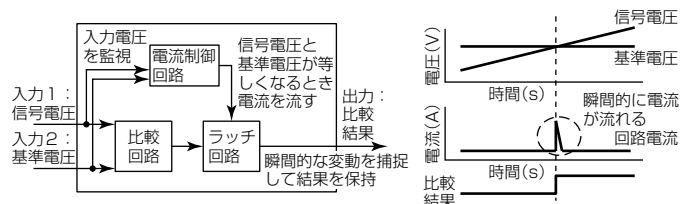


図2. ワンショット型コンパレータ

表1. コンパレータの消費電力性能

項目	単位	従来	今回
電力/動作周波数	$\mu\text{W}/\text{MHz}$	13.3	2.7

80%削減

■ 小型チップ部品のフロー実装技術



Wave Soldering Technologies for Small Chip Parts

リード挿入部品とチップ部品を実装する基板のはんだ付けには、溶融はんだ噴流によるフロー実装が多用されている。しかし、近年主流になっている1.0×0.5(mm)以下の小型チップ部品では、はんだ付け不良が多発するため、この工法の適用が進んでいなかった(図1)。

今回、溶融はんだとパッドとの接触及び離脱現象を流体解析によって明らかにして、チップ部品前方に溶融はんだを引き寄せる導入部と、

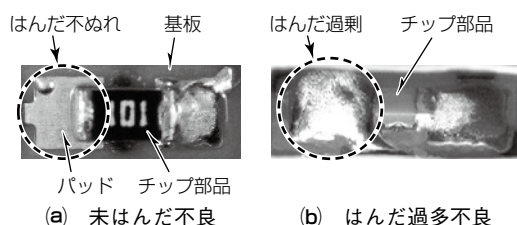


図1. フロー実装で発生するはんだ付け不良

後方にははんだ接合部の形状を整える離脱部を持つ専用形状を開発した(図2)。これによって、溶融はんだのぬれを安定化させ、接合不良を防止した。市場トレンドに対応した小型チップ部品のフロー実装技術を確立し、空調機器用の制御基板に適用を開始した。

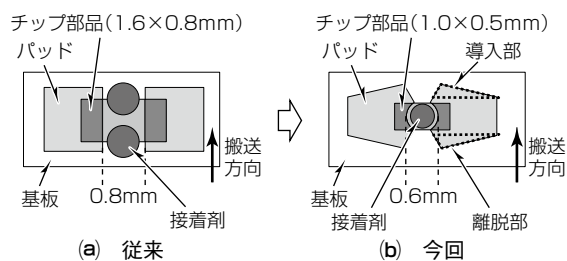


図2. フロー実装パッド形状(上面図)

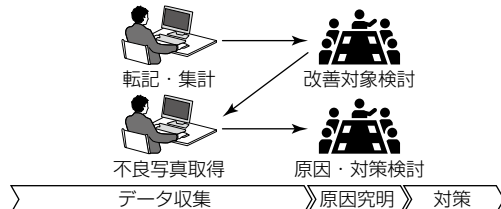
■ BIツールを用いた製造現場の品質管理力の向上



Improvement of Quality Control at Manufacturing Sites Using Business Intelligence Tools

近年、製品ライフサイクルの短縮化と多品種少量生産の進展によって、品質改善をより短期間で実行することが必要になっている。しかし、製造現場ではトレーサビリティ等のプロセスデータの収集に多くの時間を要して、その後の原因究明・対策に十分な時間を割けていなかった。そこで、当社ではBI(Business Intelligence)ツールを活用することで、データ収集と分析の効率化に取り組んできた。図1のようにIoT機器やタブレット端末の導入によって製造データの収集を効率化するとともに、不適合情報など文字データだけでなく検査機からの不適合品写真もBIツールに集約して表示することで、原因究明を容易にして、品質改善目標達成の短期化(50%減)を実現した。

従来：データ収集に時間を要しており原因究明・対策が不十分



改善後：データ収集の効率化によって品質改善を短期化・効率化



図1. BIツールを活用した品質改善の短期化

■ AGVを活用した先進フレキシブル組立てライン



Advanced Flexible Assembly Line Using Automatic Guided Vehicle

近年、市場ニーズの多様化が進んで、変種変量に柔軟に対応できる生産体制の構築が課題になっている。その要因として、従来、量産職場のワーク自動搬送手段の主流であるコンベヤ方式では、据付け後の変更が難しくラインが固定化することが挙げられる。そこで、①ライン設計自由度が高くレイアウトが容易、②基礎工事不要で生産準備期間が短い、③工程増減が容易で

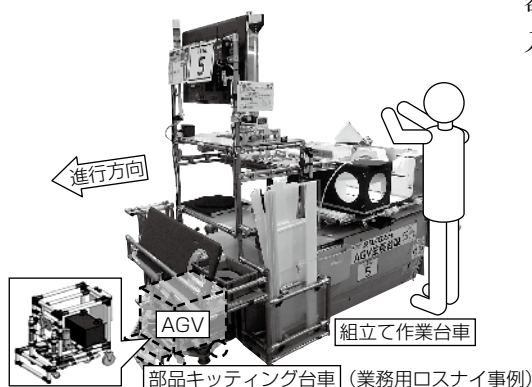


図1. AGV台車

生産規模変動へ俊敏に対応可能という特長を備えたフレキシブル組立てラインとして、台車生産方式の柔軟性に自動搬送機能を併せ持つ、“AGV(Automatic Guided Vehicle)台車生産方式”(図1)を開発し、業務用全熱交換形換気機器“ロスナイ”及び空調熱交換器の組立てライン(図2)へ導入した。

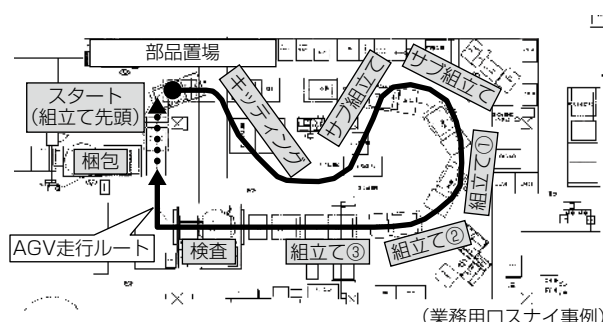


図2. フレキシブル組立てラインのレイアウト

■ 圧縮機用DCモータのコイル製造技術

Manufacturing Technology of Coil for Compressor DC Motor



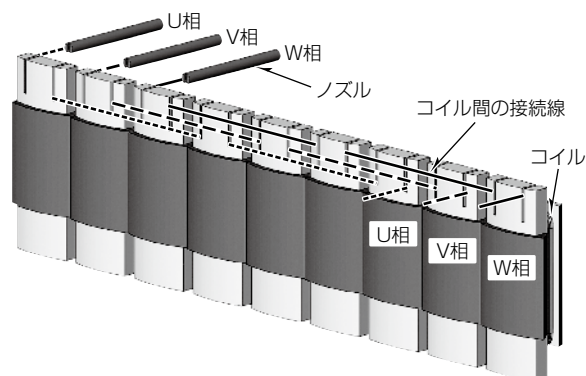
ルームエアコン圧縮機用のDC(Direct Current)モータ向けに、電線を切断することなく9個のコイルを連続で巻線する技術を開発した。

モータの固定子はU相・V相・W相の3相のコイルがそれぞれ3個ずつの組合せで構成される。従来、1本のノズルで1個のコイルを巻線した後に電線を切断し、別の接続部品で同相のコイルをつないでいた。今回、各相のコイルを3本のノズルで同時に巻線した後に複数のコイルをまたいで次の巻線をする技術を開発し、生産性を向上しつつ電

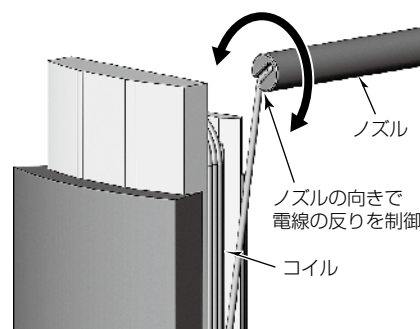
線の切断を不要にした。

しかし、この方式は巻線時に電線の膨らみによってコイル寸法が大きくなる課題があった。コアに対するノズルの角度をそれぞれの位置で適切に制御することで、膨らみと逆方向の反りを電線に付ける技術を合わせて開発し、コイルの膨らみを抑制した。

この技術によって、従来のモータに必要であったコイル同士をつなぐ接続部品を26個から8個へと大幅に削減し、性能を維持しつつ省資源化を実現した。



3本ノズル同時巻線の概念図



電線への反りの付与

■ X線を用いたIn-situ観察によるパワーモジュールのはんだ付け不良の新解析手法

New Analysis Method for Power Module's Soldering by In-situ Observation Using X-rays



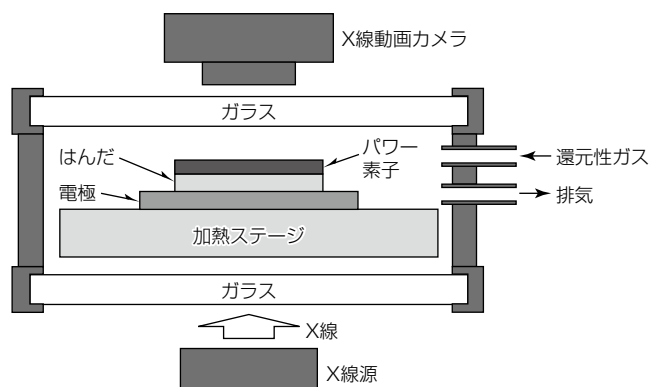
パワーモジュールでは、パワー素子と導体の電極間の接続にはんだ接合を用いる。加熱によってはんだを溶融させて、はんだを電極にぬれ広げて接合部を得るが、このとき接合部のはんだ中に気泡を巻き込む不良モードがある。

従来は接合部のはんだが冷却され凝固した後に、透過型X線ではんだの気泡を観察するか、超音波顕微鏡で観察し

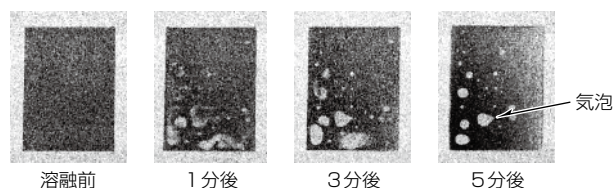
ていたが、気泡の発生メカニズムの特定が困難であった。

そこで、様々な圧力や還元性ガスの雰囲気下で温度を変化させて、はんだが溶融している最中のはんだと気泡の動きを透過型X線でリアルタイムに観察する新手法を開発した。

今後、気泡形成のメカニズムを詳細に観察し、高品質なはんだ付け製造プロセスの開発に活用していく。



新手法の装置構成



板はんだがぬれ広がる時の挙動

1.5 ビジネスイノベーション Business Innovations

■ エアモビリティ向け風況データ活用による安全運航支援サービス



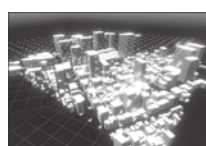
Safe Flight Support Service Utilizing Wind Data for Air Mobilities

レーザを用いて風向・風速をリモート計測するドップラーライダーによって取得した高精細な風況データを利活用し、様々な社会課題解決を目指す“データ連携・活用型ソリューション”を開発している。

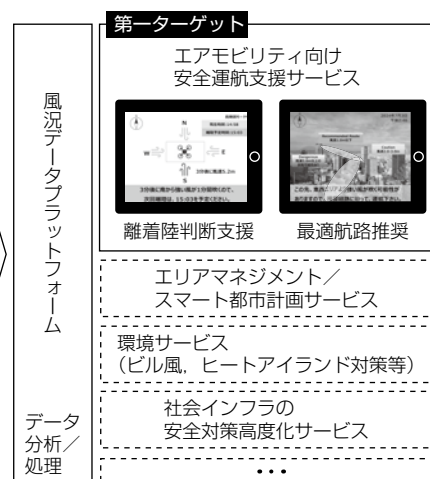
第一ターゲットはエアモビリティ（ドローンほか）市場で、足元ではインフラ検査、近い将来は物流等への用途拡大が見込まれる。一方で、ドローンは風に弱く、市場拡大に向けては風を適切に理解した上での安全運航が求められている。この課題に対して、高精細な風況データを活用し、ドローンの安全な離着陸や飛行中の最適航路等を推奨するサービスソフトウェアを開発している。

現在、顧客候補のドローンサービス等と共同で、データ計測等の価値検証を重ねている。これまでに、ドローン運用場所でドップラーライダーによる上空の風況把握を実施し、地上風と上空風は異なることを実証するなど、ドローン運用でドップラーライダー設置が重要であることを確認している。今後は、価値の具現化を行い、2022年度中のサービスリリースを目指す。

風に係る課題は、これ以外にも建設現場や都市計画（ビル風ほか）、鉄道等の社会インフラほか、多岐にわたるため、分野ごとのソリューションサービスを順次開発し、2030年までに風況データプラットフォーム事業の確立を目指す。



ドップラーライダーによる風況データ観測



風況データ利活用サービスのイメージ

■ 携帯電話網を活用したIoT向けキャリアダイバーシチシステム



Carrier Diversity System for Internet of Things Utilizing Mobile Network

複数の通信キャリアの携帯電話回線を冗長化させることで高信頼化を図った、IoT(Internet of Things)向けキャリアダイバーシチシステムを開発した。このシステムの特長は次のとおりである。

(1) システム構成と動作原理

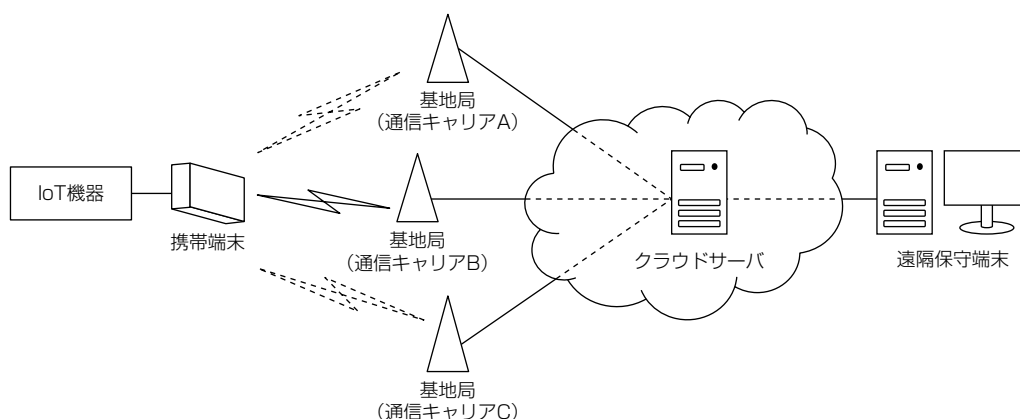
システムは、IoT機器と携帯端末、複数の通信キャリアの基地局を始めとする携帯電話網とこれら携帯電話網と通信可能なクラウドサーバ、遠隔保守端末から成る。携帯端末とクラウドサーバには当社アプリケーションプログラムを搭載している。

携帯端末は、各通信キャリアの品質測定、通信キャリア選択を行うとともに、GNSS(Global Navigation Satellite System)による測位を行い、その測定結果及び障害の有無をクラウドサーバに通知する。クラウドサーバは、携帯端末からの

通知情報に基づき携帯端末の状態管理、障害管理を行い、必要に応じて端末に接続キャリア切替えを指示する。これによって、携帯電話網の広域性に加え、災害等によるネットワーク障害発生時等に適切なキャリア選択を実現し、データ通信の継続性向上が得られる。

(2) 遠隔保守機能

クラウドサーバは、状態監視、プログラム更新の機能をWebアプリケーションとして提供する。これによって、インターネット接続可能な遠隔地からの保守を可能にする。



IoT向けキャリアダイバーシチシステム