

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

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

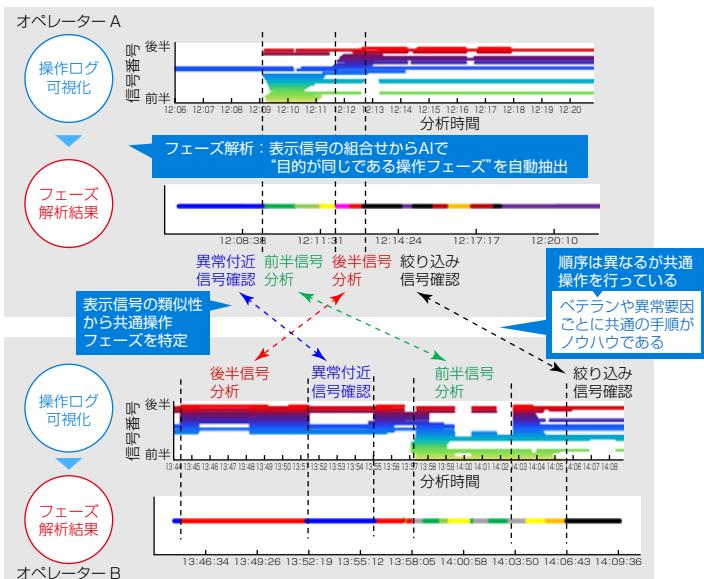
“Operation Log-driven Development Technology” that Provides Visualization of Operator Know-How from System Operation Logs

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

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

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

とともに、DXシステムの要求分析を従来より的確かつ短期間で実現できる。



操作ログの可視化とAIによるフェーズ解析

■ 建物変化検出のための衛星テレメトリー活用型AIシステム

Satellite Telemetry-Guided AI System for Building Change Detection

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

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



2015年



2018年

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

図1-見た目が変わって見える建物の例

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

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



図2-AIシステムの概要と建物変化判定結果

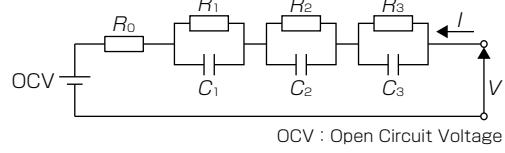
■ 運用データだけを用いた蓄電池自動モデリング技術

Automatic Battery Modeling Technology Using Only Operational Data

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

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

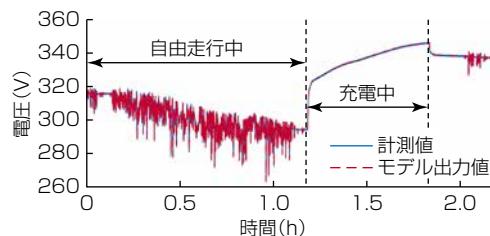
今回、まず蓄電池の等価回路モデルを状態空間表現し、解くべき問題を数理的なパラメーター推定問題として定式化した。そして、この問題を解いて全モデルパラメーターを自動かつ効率的に推定する当社独自手法としてVariable Projection-based Output Error Methodを開発した。これによって事前の仕様情報がなくても、運用データだけから等価回路定数と充放電範囲の開回路電圧関数の全パラメーターを推定可能



蓄電池の等価回路モデル

にした。

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



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

開発技術によるEV走行時のバッテリー電圧の推定結果

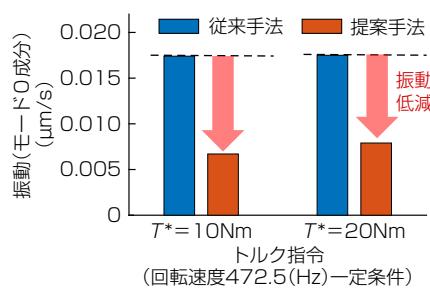
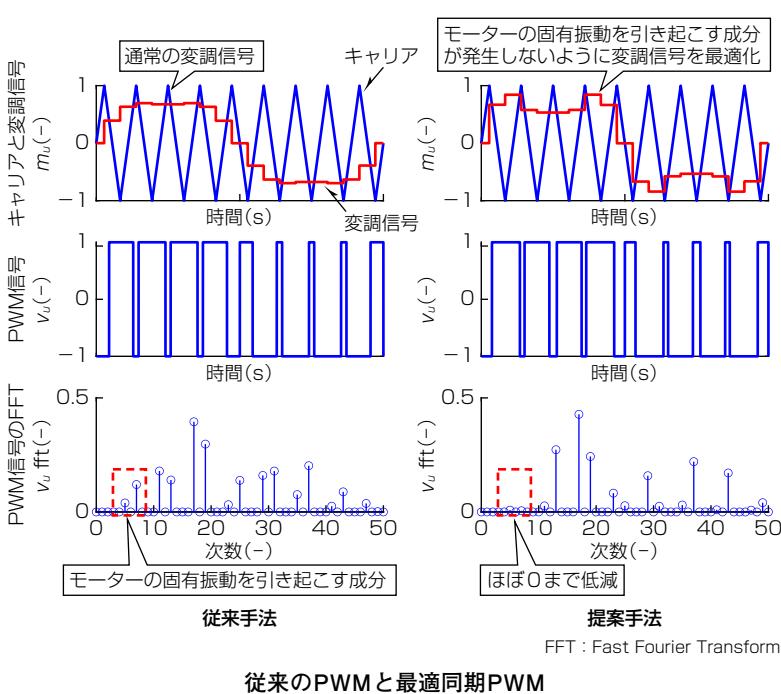
■ 汎用マイコンに搭載可能な最適同期PWMによるモーターの低振動化技術

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

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

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

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



実機実験による振動評価結果

■ フェーズドアレーランテナ送信電力変動抑圧技術

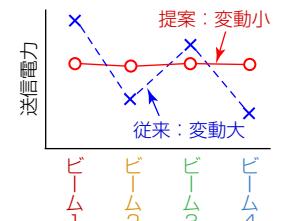
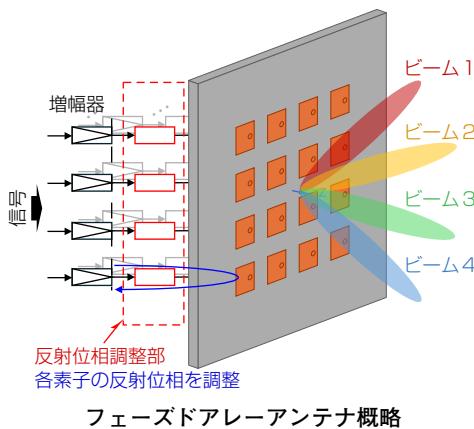
Suppressing Transmission Power Fluctuations in Phased Array Antennas

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

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

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

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



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

▲ 制御から映像まで利用可能な産業用高信頼無線技術

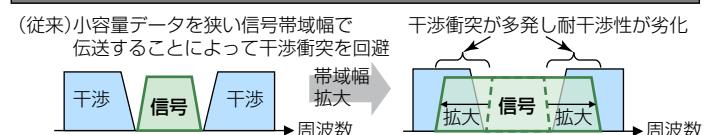
Industrial High-Reliability Wireless Technology Available for Control and Video Surveillance

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

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

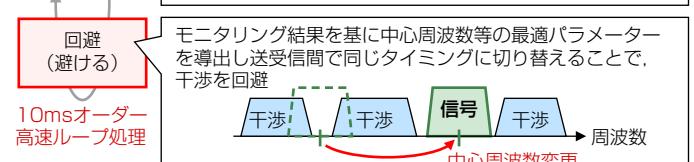
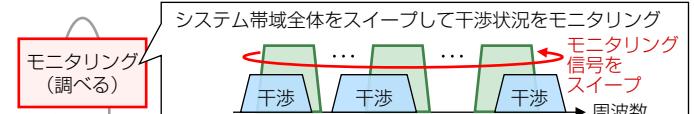
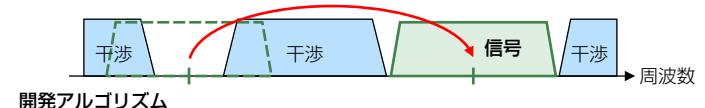
* 1 <https://www.youtube.com/watch?v=aRelXiEkB0g>

課題：大容量化のため信号帯域幅を拡大すると干渉衝突が多発



今回：干渉をモニタリング・回避することで適応的に干渉の影響を最小化

対策イメージ 中心周波数変更で干渉を回避



産業用高信頼無線技術

▲ AI垂直連合学習による産業用ネットワークの運用自動化技術

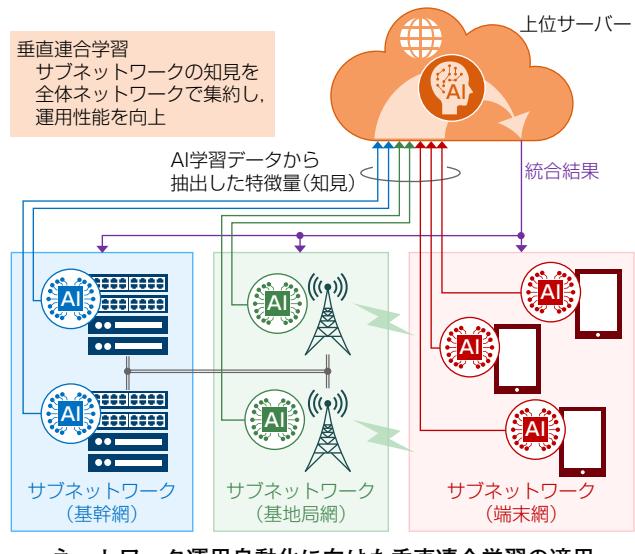
Automated Operation for Industrial Networks Using AI Vertical Federated Learning

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

今回、垂直連合学習を用いて通信量を大幅に削減する技術を開発した。

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

今後はこの技術の実証を進めるとともに、更なる性能改善に取り組む。



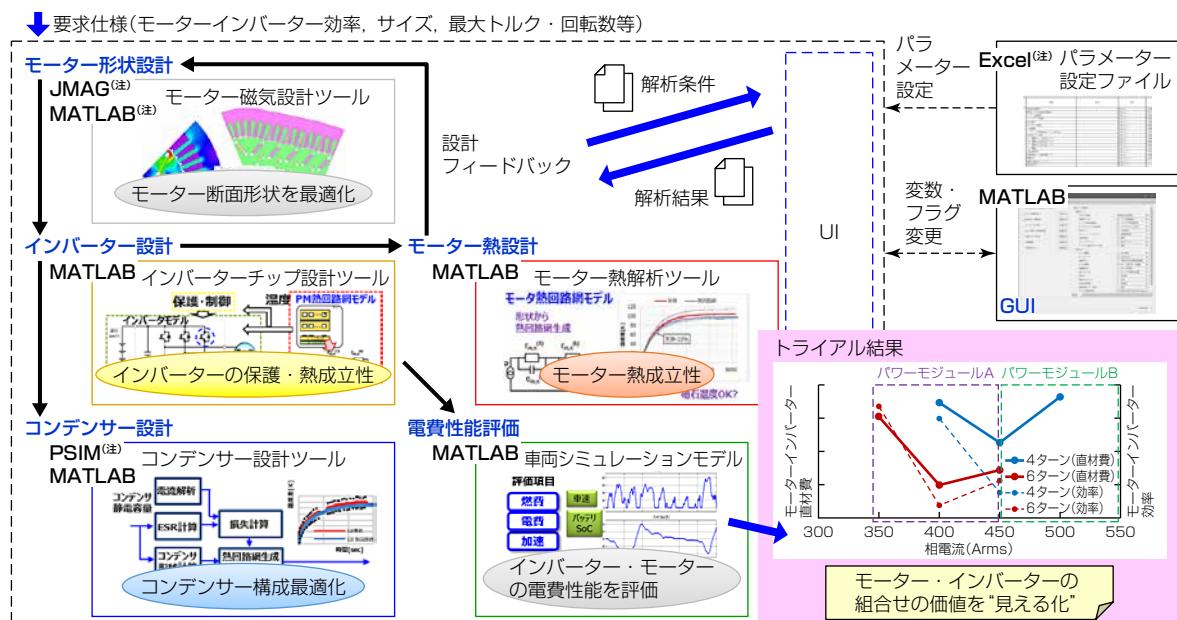
ネットワーク運用自動化に向けた垂直連合学習の適用

■ MBDを活用したモーター・インバータ連携設計ツール

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

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

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



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

MBDを活用したモーター・インバータ連携設計ツールの概要

▲ SiC-MOSFET並列駆動時でのフロントローディング手法

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

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

今後ニーズ把握の上で全社展開していく。

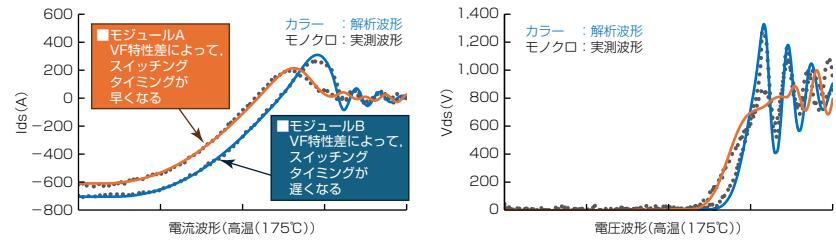


図1-ターンオン時スイッチング波形(実測波形と解析波形)

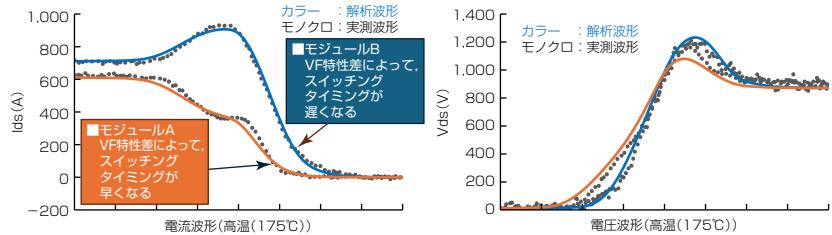


図2-ターンオフ時スイッチング波形(実測波形と解析波形)

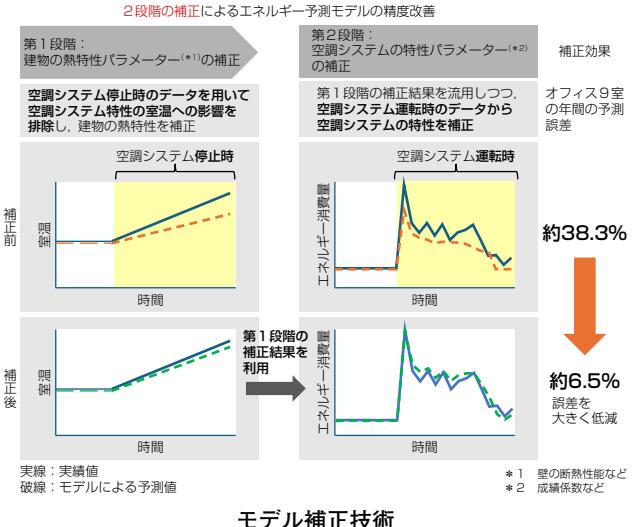
* 1 デバイス特性を任意の式で表現したモデル

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

▲ 進化し続けるビルを目指すエネルギー予測モデル補正技術

Model Calibration Technology Realizing Buildings that Improve Themselves Continuously

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



▲ 欧州向け住宅用壁掛けCO₂センサー

Wall Mounted CO₂ Sensor for Residential Use in Europe

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

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

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

つことができる。

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



欧州向け住宅用壁掛けCO₂センサー本体

■ 日本市場向け中容量3ドア冷蔵庫デザイン

Mid Capacity 3-door Refrigerator for Japanese Market

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



デザインを刷新した冷蔵庫の設置イメージ

■ 未来の街づくりデザイン研究

Research and Development for Social Issues Resolution and Regional Revitalization

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

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

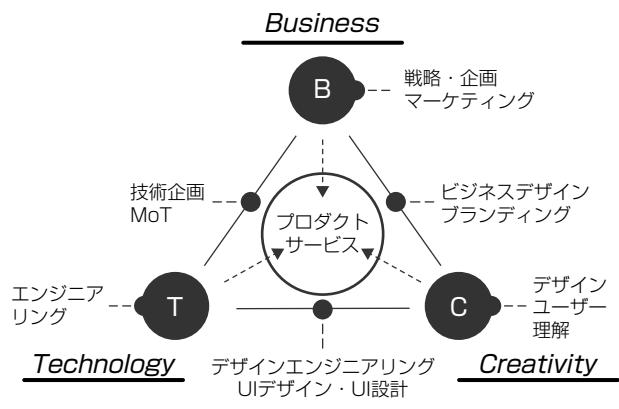


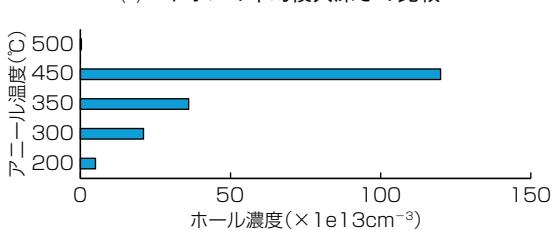
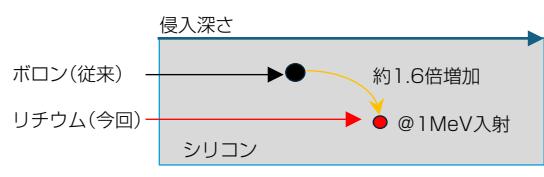
図1-BTCトライアングル概要

■ 注入イオンにリチウムを用いたp型層の形成

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

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

* 1 2025年1月21日現在、当社調べ



(b) 効率的にホールを発生させるためのアニール温度の評価結果

リチウムを用いたp型ドーピング

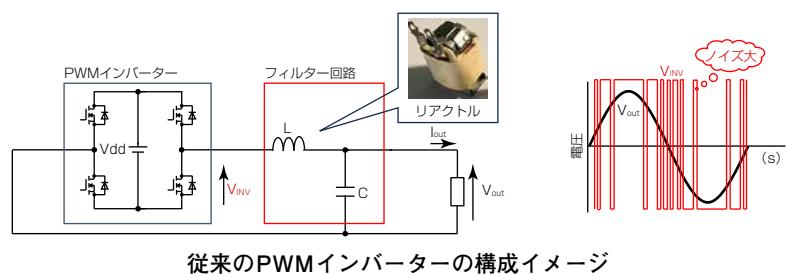
■ フィルターレス、高効率電力変換を実現するリニア回路応用技術

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

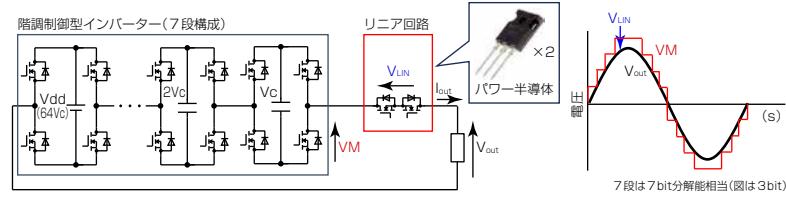
カーボンニュートラル実現に向けた創エネルギー、蓄エネルギー電源の導入拡大、AI普及によるデータセンターの電力需要増加等、パワーエレクトロニクス機器の役割は一層重要性を増している。PWM(Pulse Width Modulation)インバーターは、パワー半導体のスイッチングに伴う急峻(きゅうしゅん)な電圧変化によるノイズ抑制の観点からも、フィルター回路が不可欠であり、小型化に限界があった。

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

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



従来のPWMインバーターの構成イメージ



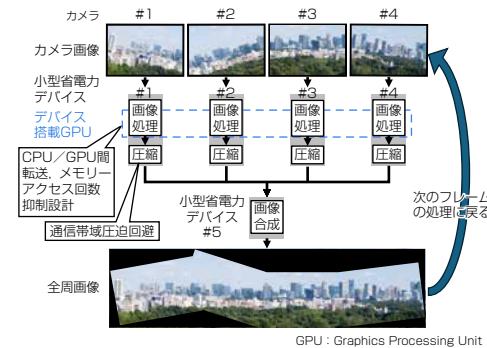
開発したリニア回路応用インバーターの構成イメージ

■ 移動体搭載リアルタイム全周監視システム構築技術

Realtime All-around Monitoring System on Small Vehicle

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

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



リアルタイム映像合成の流れ

■ 生産現場向け“翻訳サイネージ”

Multilingual Translation System

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

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

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

朝礼以外のシーンへの活用も進んでいる。



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

■ 決定木アンサンブルモデルに対する網羅検証ツール

Formal Verification Tool for Decision Tree Ensembles

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

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

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



図1-決定木アンサンブルモデルに対する網羅検証ツール

▲ 視覚障がい者との共創によるエレベーター開発の新たな試み

Elevator Development through Co-creation with Visually Impaired Individuals

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

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



視覚障がい者に学びながらエレベーターによる移動を体験

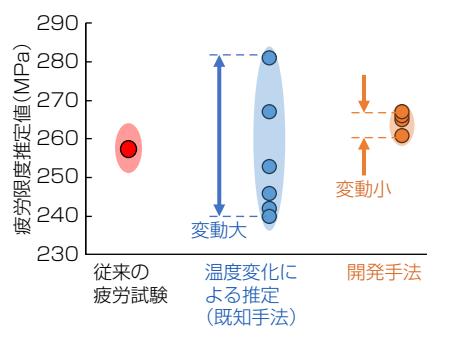
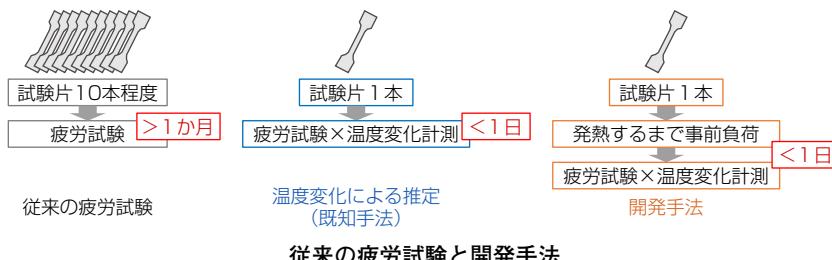
▲ 疲労試験時の発熱から鋼材の疲労限度を従来比30分の1の短期間で推定する計測技術

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

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

今回、疲労試験時の温度をサーモカメラで詳細に評価し、

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



計測時の負荷回数を変えた場合の推定値の変動