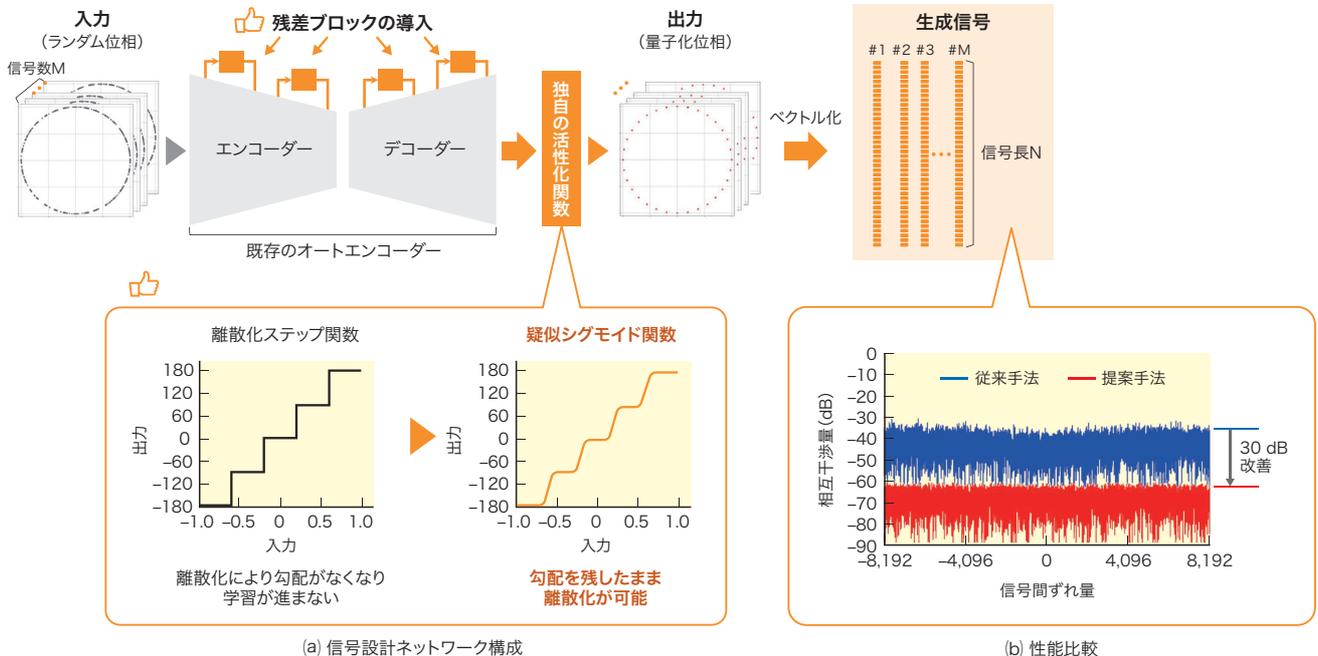


深層学習の活用で周波数利用効率を改善する信号設計技術



深層学習を活用した信号設計技術の概要

Overview of signal design technology based on deep learning

電波資源の枯渇が進む現代では、限られた周波数の有効利用が重要な課題である。周波数利用効率の向上は、通信システムには通信容量の増加を、レーダーシステムには探知精度の向上をもたらす、社会的・経済的・安全保障的な観点からも大きな意義を持つ。

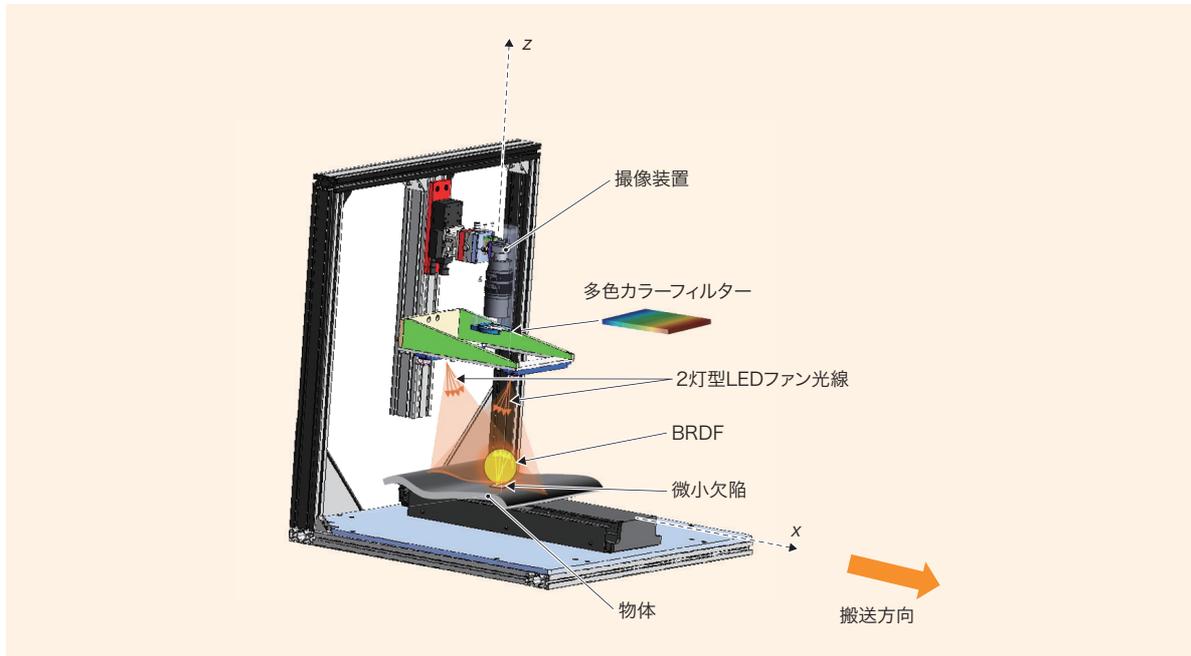
周波数利用効率を改善するには、同一システム内の異なる装置が同時に電波を利用しても、相互干渉量が極力小さくなるように信号を設計することが有効である。従来の代数的な設計アプローチは、同時利用できる信号長や信号数に制限があること、及び離散化の影響による装置上の性能劣化が不可避であることから、実用化の見通しは立っていなかった。

今回、新たな試みとして、深層学習を活用することで、任意の信号長や信号数に対応できる信号設計技術を開発した。開発技術は、深層学習の一種であるオートエンコーダーを基本とする強化学習であるため、運用で要求される相互干渉量を満足する信号を柔軟に設計できる特長を持つ。また、深層学習を活用する場合、離散化の影響による勾配消失と呼ばれる現象で、学習が進まなくなる問題が発生する。そこで、残差ブロックの導入や独自設計の活性化関数の利用により、学習を継続できるようにして、離散化の影響を考慮した信号設計を可能とした。

実機検証の結果、開発した信号設計技術は既存手法と比べて相互干渉量を約 30 dB 改善でき、実用レベルの性能を持つことを確認した。

開発技術は、防衛分野で多様な装備品への応用が可能であり、運用における周波数共用だけでなく、低被傍受性の向上や、搜索活動における長距離化・高解像度化も期待できる。今後、防衛分野のレーダーシステムで実用化を目指したのち、民生分野へのスピノフを実現するために、産官連携した検証を本格化していく。

傾斜角の大きな製品表面のリアルタイム光学検査技術



2灯型LEDファン光線を照射できる光学系の模式図
Schematic view of dual fan beam emitting optical imaging system

自動車や半導体などの様々な製造ラインにおいて、製品表面の微小欠陥を非接触で高速かつリアルタイムに検査し、目視に代わって良否判定を行い、全ての製品の品質を管理することが望まれている。

製品表面の微小欠陥、特にマイクロメートルサイズの高低差を持つ凹凸形状になると、従来の撮像技術では明暗のコントラストがつきにくく、鮮明な画像が取得できなかった。その結果、微小欠陥を見落とすことがあった。そこで、反射光の方向分布 (BRDF) を色変化として捉え、微小欠陥を瞬時に鮮明化できる撮像技術 (ワンショット BRDF) を開発してきた。ただし、曲面上の微小欠陥は、その曲面からの反射光が撮像装置に戻って来ないため、光学系に更なる工夫が必要であった。

これを解決するために、1灯のLED (発光ダイオード) 光源からファン状 (扇状) に広がる光線群を射出できる照明と、反射光の広がりを色で捉える多色カラーフィルターとを組み合わせ、曲面上の各点からの反射光の広がりを瞬時に捉える光学系を開発してきた。しかし、1灯のLED光源から射出するファン光線群だけでは、撮像範囲内において、物体への光線の入射角を大きく取ることが難しかった。そのため、大きな曲面を持つ物体からの、反射角度の大きな光線を撮像するのが困難であり、傾斜角が $\pm 10^\circ$ よりも小さな曲面を持つ物に検査対象が制限されるという問題があった。

今回、LED光源を2灯とし、両者を撮像視野の外側に配置することにより、全ての撮像点においてファン光線の入射角を大きく取れる光学系を設計した。これにより、従来の2倍以上の、 $\pm 20 \sim 30^\circ$ の傾斜角を持つ曲面でも、高低差が数 μm 以下の微小欠陥を、色の数の変化として捉えられるようになった。この技術により、製品の表面に大きな傾斜角の曲面を持つ物体も、製造ラインで搬送されている間にリアルタイムに検査できるようになった。

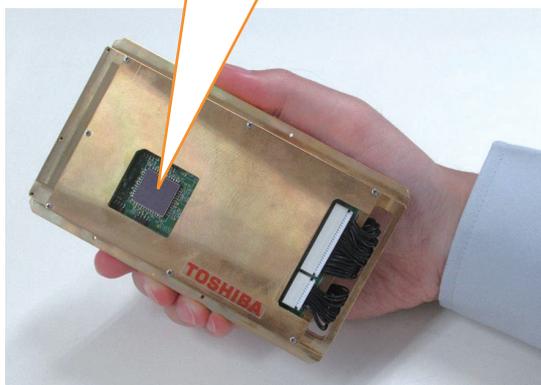
小型高精度慣性センサーモジュール及びそれを用いた可搬型ジャイロコンパス



MEMSジャイロセンサー



MEMS加速度センサー



開発した小型高精度慣性センサーモジュール
Compact, high-precision inertial sensor module



開発した可搬型ジャイロコンパス
Portable gyrocompass

慣性計測装置は、ジャイロセンサーや加速度センサーなどの慣性センサーの出力を用いて物体の位置を計測する。GPS（全地球測位システム）などの電波が届かない環境や、カメラの視認性が悪化するトンネルや屋内暗所などでも使用できることから、耐環境ロバストな測位技術として着目されている。モビリティの自律化の進展に伴い、既存市場である航空防衛用途から、AGV（自動搬送車）、ドローン、鉄道、自動運転車などの新規市場への用途拡大が期待されており、キーパーツである慣性センサーモジュールの小型・高精度化が課題となっている。

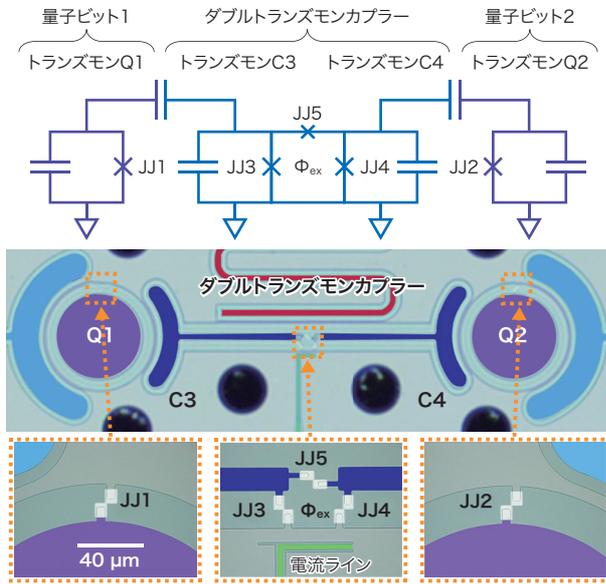
そこで、当社独自のMEMS（Micro Electro Mechanical Systems）技術を活用して、小型の慣性センサーモジュールを開発した。ジャイロセンサーのバイアス安定性^{（注）}は $0.01^\circ/\text{h}$ 以下、加速度センサーは $1\ \mu\text{G}$ （ $9.8\ \mu\text{m}/\text{s}^2$ ）以下という世界最高レベルの精度であり、このモジュールを慣性計測装置に搭載すれば、太平洋航路をGPSなしで飛行可能なナビゲーショングレードの性能を満たす。

また、東芝電波プロダクツ（株）は、このモジュールを用いて持ち運び可能なサイズのジャイロコンパスを開発し、 0.056° の方位角精度で真北を推定できることを確認した。一般的な方位磁石が地球磁場を用いるのに対し、ジャイロコンパスは地球の自転を基に方位角を計測するため、磁場の乱れや遮蔽の影響を受けない。 0.056° の方位角精度は、極めて高い正確性が求められる防衛分野でレーダーなどの設置方向を決める際にも使用できる精度であり、防衛分野以外にも土木測量や地中掘削などの幅広い場面への適用が見込める。

この技術成果の一部は、防衛装備庁が実施する「安全保障技術研究推進制度（JPJ004596）」の支援を受けて得られたものである。

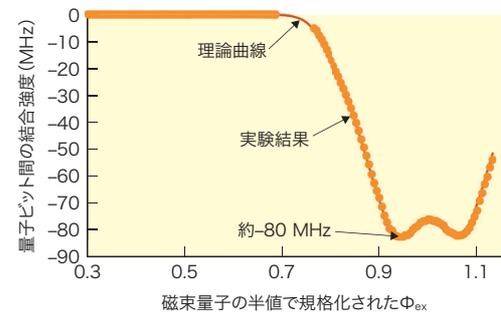
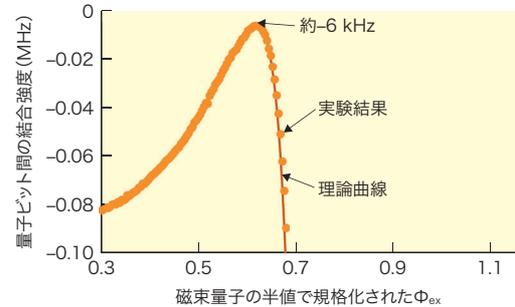
（注）センサー出力の安定性を示す指標であり、値が小さいほど高精度。

超伝導量子コンピューターの性能向上を可能にする可変結合器 ダブルトランズモンカプラー



JJ1~5:ジョセフソン接合 Φ_{ex} :ループ内の外部磁束
*理研提供の図を基に作成

ダブルトランズモンカプラーの回路図と作製したチップ
Circuit diagram and photo of double-transmon coupler (created based on a figure provided by RIKEN)



結合強度の測定結果
Coupling strength measurement results

近年注目されている量子コンピューターには様々な実現形態があり、中でも超伝導方式は特に有望視されている。その性能向上に寄与する素子として、可変結合器がある。可変結合器は、量子ビット間の結合の強さをオン/オフすることで、高速なゲート操作と非操作時のエラー抑制を両立できる。

しかし、従来の標準的な可変結合器は、エラー抑制に望ましい周波数が大きく異なる量子ビットに対して、結合を十分にオフにすることが難しかった。そこで当社は2022年、周波数が大きく異なる量子ビットに対しても結合をオフにできる、独自の可変結合器ダブルトランズモンカプラーを理論的に提案した。

今回、特定国立研究開発法人 理化学研究所（以下、理研と略記）と協力し、ダブルトランズモンカプラーを世界で初めて^(注1)実験的に実現することに成功した。その結果、周波数差が464 MHzと大きく異なる二つの量子ビットに対して、結合強度の大きさはオフ時に約6 kHz、オン時に約80 MHzとなり、オン/オフ比は約13,000と非常に大きく、理論の予測どおりの特性を確認した。大きな結合強度を生かすことで、ゲート時間48 nsという高速な2量子ビットゲートを実現し、世界トップレベルとなる99.90%のゲート忠実度^(注2)を達成した。

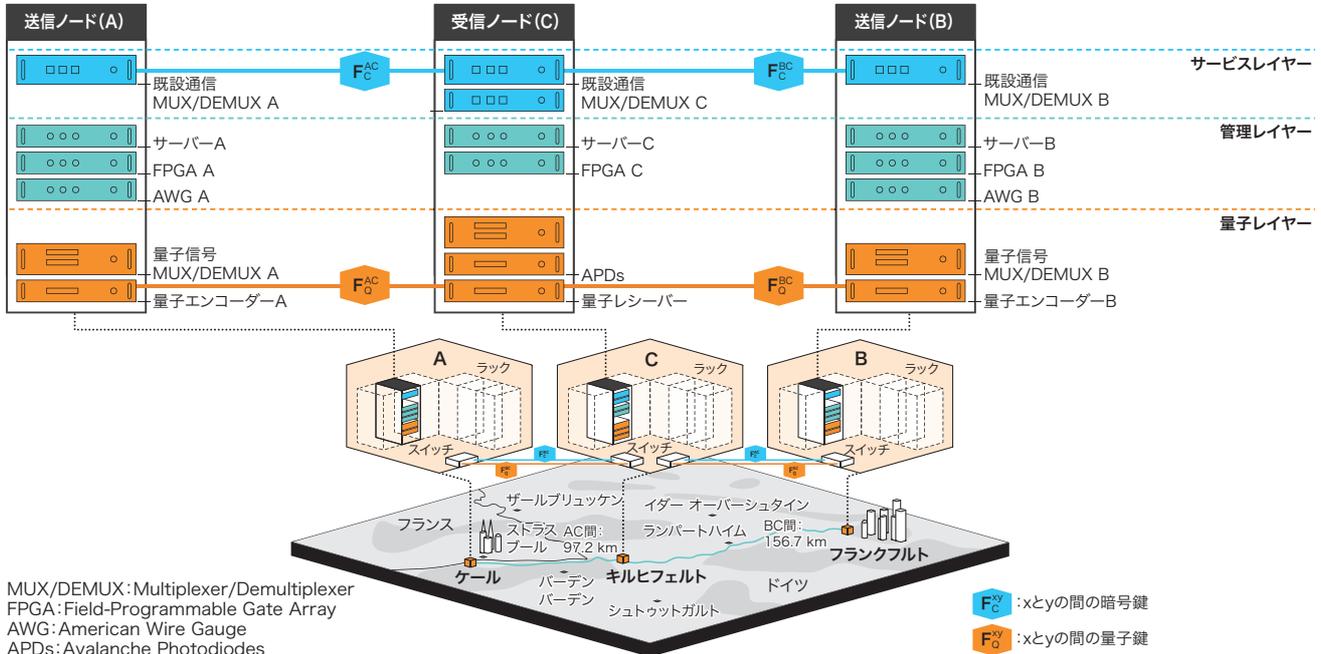
今後、更なる性能向上と量子ビット数のスケールアップを目指す。

この成果は、理研の中村泰信チームとの共同研究で得られたものである。また、この成果の一部は、文部科学省光・量子飛躍フラッグシッププログラム(Q-LEAP)「超伝導量子コンピューターの研究開発(研究代表者:中村泰信)(Grant No.JPMXS0118068682)」による助成を受けて得られた。

(注1) 2024年10月時点、当社調べ。

(注2) 実際のゲート操作がどれだけ理想に近いかを表す標準的な性能指標。

既設通信インフラを用いた250 kmを超える 長距離量子暗号通信の実証



MUX/DEMUX: Multiplexer/Demultiplexer
 FPGA: Field-Programmable Gate Array
 AWG: American Wire Gauge
 APDs: Avalanche Photodiodes

TF-QKD 実証システムの構成

Configuration of twin-field quantum key distribution (TF-QKD) demonstration system

量子コンピューターの普及は計算パラダイムの大きな転換をもたらし、従来の暗号化技術の脅威となり得る可能性が指摘されている。その解決策の一つとして、単一光子を活用して暗号鍵を運ぶ量子鍵配送 (QKD: Quantum Key Distribution) は、物理法則で安全性が保証された技術として期待が高まっている。

当社は、このQKDの通信可能距離を倍増するTwin Field QKD (TF-QKD) プロトコルを開発し、長さ600 kmを超える光ファイバーでの量子暗号通信を確認した。しかし、このシステムは極低温光子検出器や、低振動で安定した実行環境などを必要とするため、精密に制御された実験室などでの稼働に限定されていた。

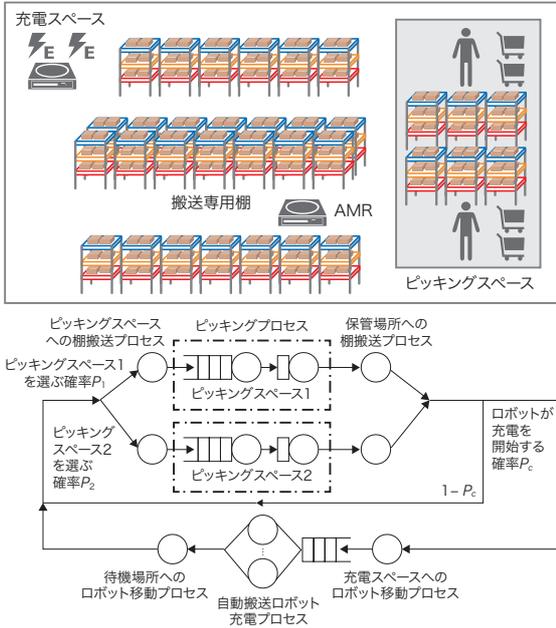
そこで、一般的な通信データセンターで標準的に利用されている機器だけを用いるTF-QKDシステムを新たに設計した。サーバーラックに搭載可能な小型TF-QKDシステムを試作し、ドイツに既設されている254 kmの通信インフラ上でQKDを実証した。GÉANT社の協力の下、ケールとフランクフルトにある標準的なデータセンターにレーザー光源を含む通信機器を設置して送信ノード(A)・(B)とし、中間地点のキルヒフェルトに双方からの光子を観測する受信ノード(C)を設置した。

道路や建物の地下を通る数百 kmの光ファイバーは、振動やノイズの影響を強く受けており、QKDの効率低下の要因となる。これに対し、位相ノイズを低減する独自のオフバンド位相安定化技術の適用や、位相参照信号とプロトコル符号化信号に異なる光周波数帯を割り当てるなどの工夫により、254 kmの距離で110ビット/sの信頼性の高い安全な鍵生成を実現した。これは、現在の商用QKD製品の性能を上回る通信距離であるだけでなく、極低温冷却を必要としない半導体レーザーや検出器によるTF-QKDプロトコルの、実インフラを使った初めての实証として、長距離量子通信への道を切り開く結果である。

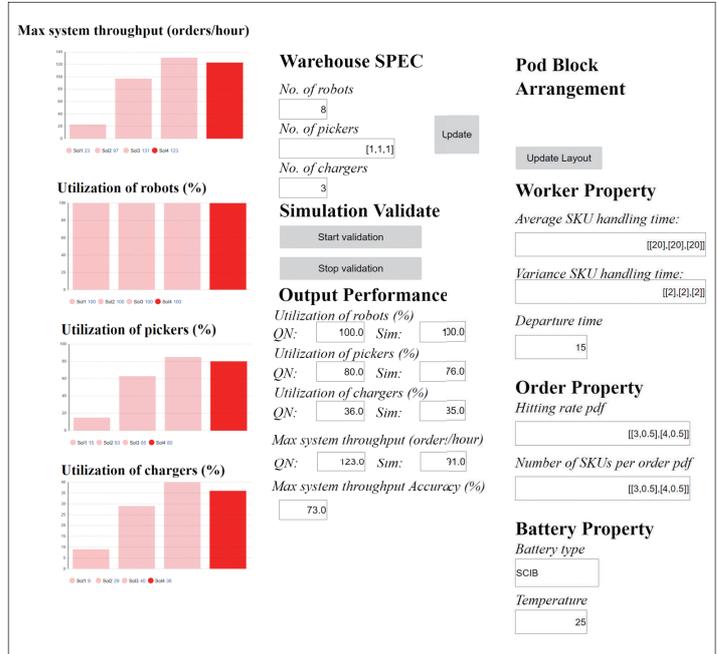
この研究の一部は、EU (欧州連合) のホライズン2020プロジェクト「OPENQKD」、及び総務省委託事業「グローバル量子暗号通信網構築のための研究開発 (JPMI00316)」の支援を受けて実施した。

東芝欧州社

物流自動化向け超高速性能評価技術



AMRを導入した倉庫自動化の概要とQNモデル
Warehouse automation using autonomous mobile robots (AMRs) and queuing network models



見積ツール出力画面の例
Examples of estimation tool output images

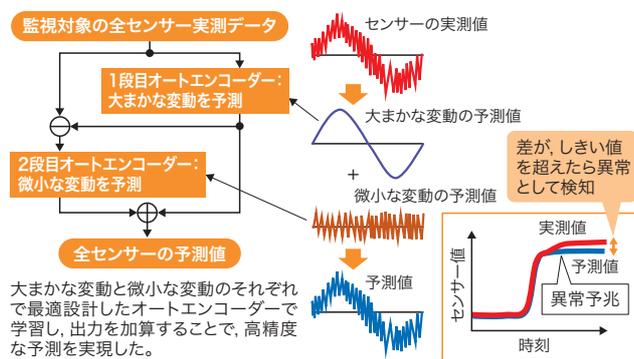
物流業界では、EC（電子商取引）の拡大や人口減少などの影響で人手不足が慢性化しており、倉庫自動化による効率化や省人化のニーズがますます高まっている。自動搬送ロボット（AMR）などを使い、商品の入った棚をピッキングステーションへ搬送するG2P（Goods to Person）システムが注目されており、顧客への提案段階で、費用対効果の効率的な提示が重要となる。必要なスループットを達成するための最小限のAMR台数・ピッキングステーション数の見積もりや、採用する電池の特性を適切に反映した性能評価などが求められる。

従来、顧客への費用対効果の提示には、離散事象シミュレーターを用いていたが、安定した結果を得るまでに時間が掛かることがあった。

そこで、Queuing Network (QN) をベースとした数理モデルを導入することで、離散事象シミュレーターによる精度を維持したまま、約1,000倍高速化可能な見積ツールを開発した。また、AMRの平均移動時間を連続時間シミュレーションから自動的に抽出してQNモデルに提供することで、倉庫内のレイアウト変更に対応した見積もりを自動的に実施できるようにした。また、電池特性のモデルの導入により、異なる種類の電池を採用した場合のスループットや必要な充電ステーションの数を評価できるようになった。これにより、冷蔵倉庫内のAMRに搭載する東芝リチウムイオン二次電池SCiB™の優れた低温特性の可視化も実現した。

この技術は、G2P物流自動化システムの顧客提案支援ツールとしての活用や、倉庫自動化システムでのSCiB™活用効果を定量的に評価するために、活用していく。

■ 大規模プラントの状態変化に埋もれた異常を早期かつ高精度に検知する 異常予兆検知AIの提供開始



2段階オートエンコーダーの構成

Two-stage autoencoder operation process



TOSHIBA SPINEX for Energyの異常予兆検知システム

Example of anomaly detection system trend monitoring display

大規模で複雑なプラントでは、設置されている数千点のセンサーから得られる膨大な時系列データを監視し、早期に異常を検知する必要がある。

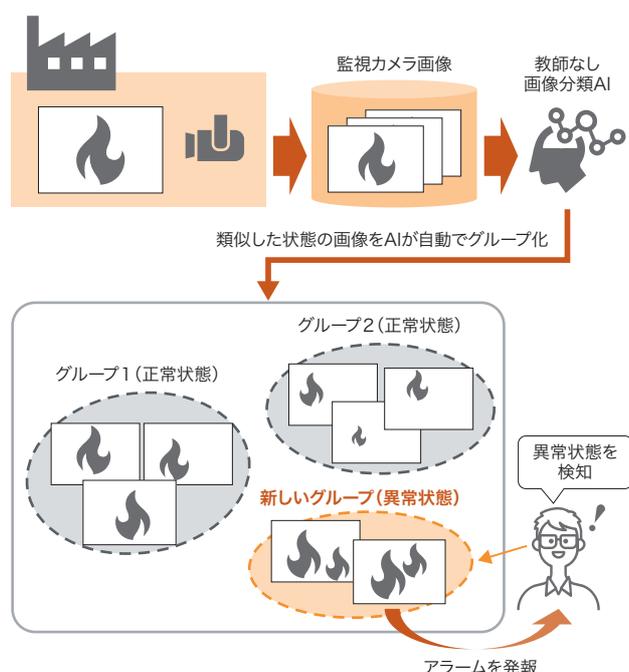
そこで、これまでに当社は、異常予兆検知AI“2段階オートエンコーダー”を開発してきた。膨大な時系列データにまたがる複雑な関係を学習させることで、プラントの状態変化の中に埋もれ、従来は捉えられなかった異常の兆候を、早期かつ高精度に検知できる。検知することで、異常や劣化の状態に応じたメンテナンスを可能にし、状態基準保全による効率的なプラント運用・保守と稼働率の向上が見込める。実証試験は、東芝エネルギーシステムズ(株)の子会社の(株)シグマパワー有明が運営する三川発電所で行い大量のデータのオンライン監視から、埋もれた異常予兆が早期に検知できることを確認した。

2024年2月に、電力事業者や製造業向けデジタルサービス“TOSHIBA SPINEX for Energy”にて、クラウドサービスとオンプレミスの両方で提供を開始した。

関係論文：東芝レビュー、2024、79、5、p.51-54。

研究開発センター

■ 産業プラントの監視画像を自動でグループ化して未知の異常状態を発見する 教師なし画像分類AI技術



教師なし画像分類AI技術を用いた監視カメラ画像の異常検知

Detection of anomalies in factory surveillance camera images using unsupervised clustering artificial intelligence (AI)

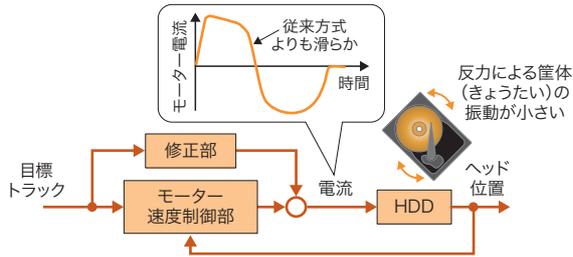
産業プラントでは、監視カメラで取得した映像を監視員が目視で確認し、異常の発生を監視している。省力化や見逃し防止のため、AIを用いた監視の自動化が期待されているが、監視対象が流体状の材料や炉内の炎など不定形のケースがあり、AIに正常や異常の状態を事前に学習させることは困難であった。

そこで、AIが自動で画像の特徴を学習して類似した特徴の画像をグループ化する“教師なし画像分類AI技術”を開発し、監視カメラの映像に適用して自動で未知の異常状態を検知するAIエンジンを開発した。監視カメラで得た画像のグループ化で、複数の正常状態のグループを可視化させ、正常状態と異なるグループが発生した際に異常状態のアラームを発報する。このアラームで、常に監視していなくても異常状態に気付くことが可能になる。道路の監視カメラの公開データを用いた実験により、開発したAIエンジンで渋滞状態が検知できることを確認した。

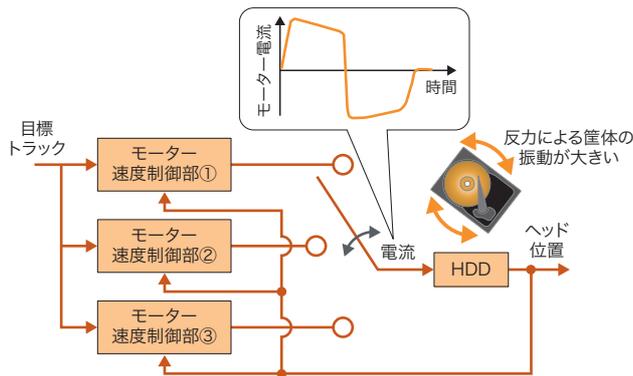
開発したAIエンジンは、提供に向けて東芝グループ会社の開発する産業プラント監視システムに組み込んだ。

研究開発センター

■ ニアラインHDDのシーク反力低減を実現した制御技術



シーク反力を低減する開発したシーク制御方式のブロック線図
Block diagram of proposed seek control system to reduce reaction force



従来のシーク制御方式のブロック線図
Block diagram of conventional seek control system

データセンターで利用されるニアラインHDD（ハードディスクドライブ）は、大容量化だけでなく、シーク^(注1)時の反力^(注2)が小さいアクセス性能も求められる。反力低減の実現には、加速や定速から減速へ移行する際の動作を滑らかに行う必要があり、減速移行時のモーター電流の形状整形が重要となる。

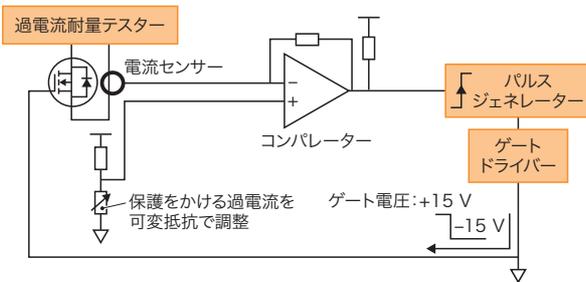
従来方式では、シーク時に制御則を切り替えてモーター電流を整形していたが、切り替え時の電流を滑らかにすることが難しく、反力を低減させることが困難であった。

そこで、制御則を切り替えることなく、統一した制御則で目標トラック近傍までシークさせる方式を開発した。更に、減速移行時のモーター電流形状を滑らかにするため、モーター速度を制御する新しい技術も導入したことにより、反力を抑えたシーク性能が実現できた。その結果、シーク終了時の残留振動が約7%改善した。現在、この制御技術の次機種への適用を進めている。

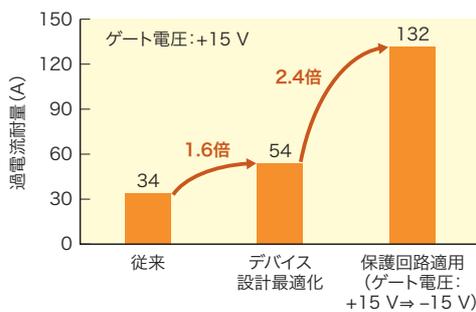
(注1) ヘッドを目標トラックまで移動させる動作。
(注2) モーターが発生させた力に対し、モーター支持箇所が発生する力。

研究開発センター

■ SiC MOSFETの過電流耐量を向上させた設計最適化と保護回路技術



開発した過電流保護のためのゲート電圧制御システム
Gate voltage control system for surge current protection



デバイスの設計最適化・保護回路の適用による過電流耐量の向上
Improvement of surge current tolerance via device design optimization and protection circuit

電力ネットワークや電気自動車・鉄道などの電力損失低減に寄与する、次世代のパワーデバイスSiC（炭化ケイ素）MOSFET（金属酸化膜半導体型電界効果トランジスタ）の必要性が増している。SiC MOSFETは、同期整流の応用時に、過電流に対する破壊耐量が低下することが問題となっている。

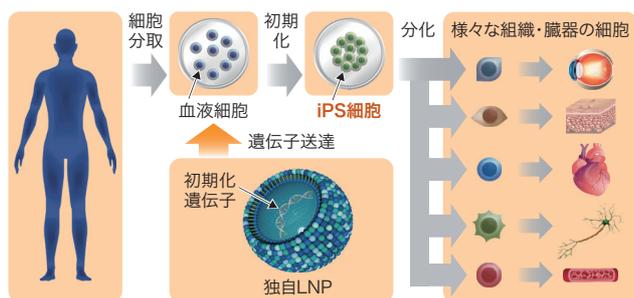
そこで当社は、東芝デバイス&ストレージ（株）と連携して、シミュレーション解析で原因分析を行い、通常の整流時はデバイスがバイポーラー動作するのに対し、同期整流時はユニポーラー動作し、発熱が過大になることが過電流耐量の低下する原因であることを明らかにした。

その結果を基に、過電流動作時はバイポーラー動作を誘起するようにデバイスの設計最適化を行い、試作した実デバイスで、過電流耐量を1.6倍に向上できたことを確認した。加えて、過電流を検出し、ゲート電圧を正から負に切り替える保護回路の適用により、更に特性改善が図れ、過電流耐量を2.4倍に向上させることに成功した。

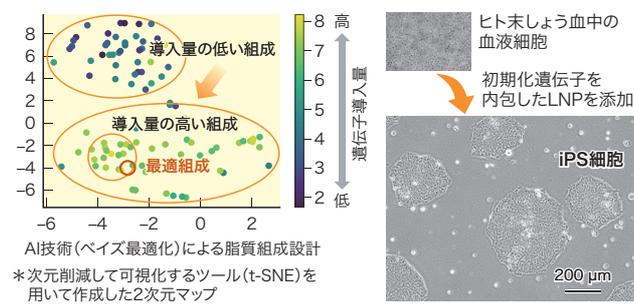
開発した技術は、SiC MOSFETの信頼性向上に寄与し、パワーエレクトロニクスシステムの安定性に貢献できる。

研究開発センター

独自の脂質ナノ粒子により血液細胞からiPS細胞の作製に成功



独自LNPを用いたiPS細胞の製造プロセス
Induced pluripotent stem cell (iPSC) production process using novel lipid nanoparticles (LNPs)



独自LNPの脂質組成設計方法と血液細胞から作製したiPS細胞
Novel LNP lipid composition design method and iPSCs produced from blood cells

様々な組織や臓器を作製可能なiPS細胞（人工多能性幹細胞）は、再生医療や創薬への応用が期待される。医用材料としてiPS細胞を実用化するには、安全で均一な細胞を得ることが可能な製造プロセスの確立が求められるが、現行法ではウイルス由来材料を使用するため、安全面で懸念がある。

そこで当社は、京都大学iPS細胞研究財団と共同で、非ウイルス材料である独自脂質ナノ粒子（LNP）を用いたiPS細胞製造プロセスを開発してきた。

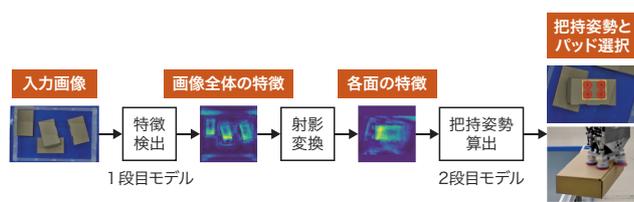
LNPは、複数の脂質成分から成る遺伝子送達用カプセルで、標的細胞に応じた脂質成分比の最適化で遺伝子送達効率の向上が実現できる。末しょう血中の血液細胞に95%以上の効率で送達できるようにAI技術を活用して最適組成を設計し、そのLNPに初期化遺伝子（注）を内包させ、血液細胞からiPS細胞を作製することに成功した。

LNPを用いた細胞製造プロセスは、安全性と量産性の点から応用範囲の拡大が見込める。今後はiPS細胞から種々の組織・臓器の細胞を作製することにも取り組んでいく。

（注）細胞を初期状態に戻してiPS細胞を作るための遺伝子群。

研究開発センター

複数の吸着パッドを備えたロボットハンドでの物品形状に合わせた把持姿勢を高速に計算するAI



ポイント1	ポイント2	ポイント3
<p>モデルを2段階にして学習</p> <p>接触できる面を検出（1段階モデル）</p> <p>検出した面の向きをそろえてから学習（2段階モデル）</p> <p>正確に把持位置を捉え、向きがばらばらでも正確に把持可能</p>	<p>1段階モデルの計算結果を活用して2段階モデルを計算</p> <p>一般的な方法</p> <p>射影変換 → 特徴検出 → 把持姿勢算出</p> <p>2段階モデル</p> <p>開発した方法</p> <p>射影変換 → 把持姿勢算出</p> <p>1段階モデルの結果（画像全体の特徵）</p> <p>一部省略された2段階モデル</p> <p>2段階モデルで必要な計算の一部を省略し、高速化を実現</p>	<p>物品の面と接触可能な吸着パッドの最大個数を計算</p> <p>吸着パッド 1個</p> <p>吸着パッド 2個</p> <p>吸着パッド 3個</p> <p>吸着パッド 4個</p> <p>物品の形状に合わせた個数の吸着パッドを選択可能</p>

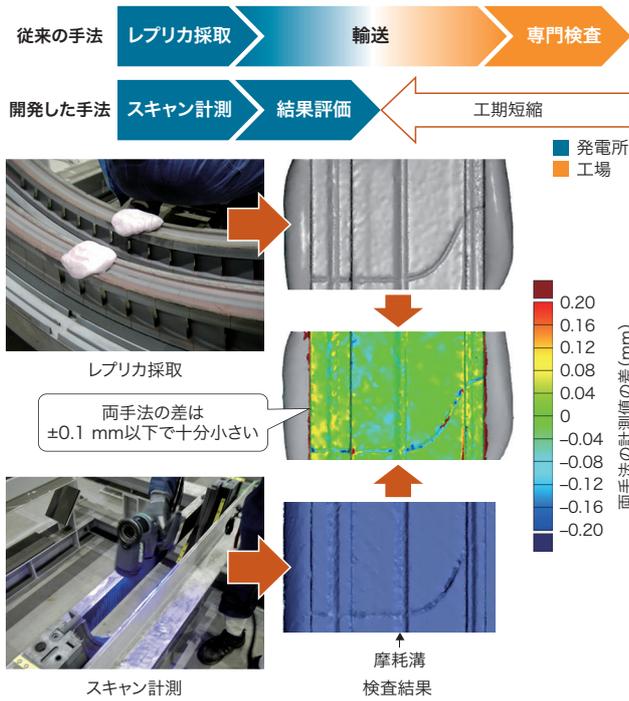
AIモデルの概要とポイント
Overview of AI model to rapidly provide grasp points for robotic multi-suction cup grippers

物流倉庫での労働力不足を解消するため、物品のピッキング作業で多様な形状を扱って自動化できるロボットが求められる。そのため、当社は、複数の吸着パッドを備えたロボットハンドを開発してきた。しかし、乱雑に置かれた物品に対し、適切な個数のパッドで把持するハンド姿勢の計算に従来は5.62秒掛かり（成功率73.9%）、その短縮が課題であった。

そこで、2段階モデルで高速に計算できるAIを開発した。このAIは、ハンドが物品に接触する面を検出する1段階目と、その結果を射影変換させたものからハンドの向きと吸着位置を決定する2段階目から成る。検出した面の向きはそろえることができ、乱雑に置かれても有効である。また、1段階目結果の特徴マップを転用して2段階目の計算を一部不要とし、高速化した。更に、各吸着パッドの接触面積から、形状に合わせた個数のパッドを選択できる。物流倉庫の代表物品の画像で検証し、従来に比べ、計算時間は1/10以下の0.47秒、成功率は6.2ポイント改善の80.1%を実現した。

生産技術センター

■ 3次元計測による火力発電所での摩耗・損傷検査の現地完結化



摩耗検査の従来手法と開発手法の比較
Comparison of conventional and proposed methods for wear inspection

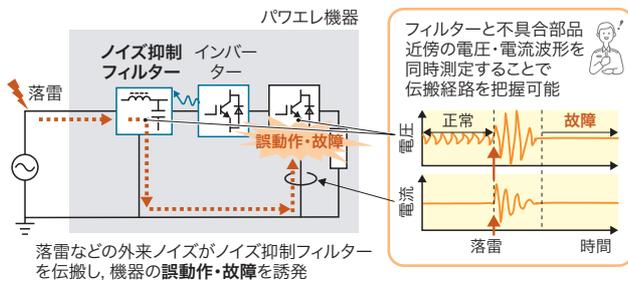
火力発電所の定期点検では、部品の摩耗・損傷（以下、摩耗と略記）状態の検査として、レプリカに形状を転写し、工場に持ち帰って計測する手法が用いられていて、点検に長期間を要していた。

そこで当社は、東芝エネルギーシステムズ(株)と連携し、課題である摩耗検査の現地完結化のため、タービン静止翼フィン表面層の摩耗を対象に、ハンディースキャナーを用いた3次元計測による検査手法を開発し、導入した。精度検証で従来法と同等であることを確認するとともに、被計測物に影響を与えない位置決め法を新たに採用して、ハンディースキャナーでの計測を可能とした。この結果、摩耗量算出までオンサイトで迅速にでき、摩耗検査の現地完結化に加え、工期短縮を実現した。更に、従来手法では局所的なデータしか取得できなかったのに対し、スキャン計測で連続的かつ3次的に部品形状や摩耗状態を評価できるようにしたことで、部品交換時期の予測の高度化などにも活用できる見込みを得た。

今後も、保守ビジネスの拡大や作業の効率化に向けて、3次元データ活用を推進していく。

生産技術センター

■ 電磁ノイズの漏えい抑制と耐性確保の両立を可能にする伝搬経路の分析技術

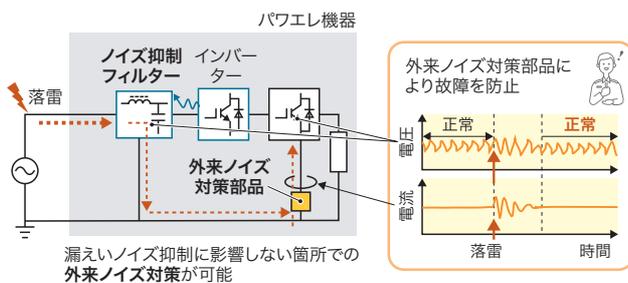


ノイズ伝搬経路の分析技術
Noise propagation path analysis technology

近年高まる省エネ需要に伴い、インバーターなどのパワーエレクトロニクス（パワエレ）機器のスイッチング速度の高速化が進み、機器から漏えいする電磁ノイズ（以下、ノイズと略記）は増加傾向にある。一方、そのノイズ対策として追加したフィルターは、落雷などの外来ノイズの経路になって部品の誤動作・故障などの不具合を引き起こす場合がある。

そこで当社は、ノイズの漏えい抑制と外来ノイズへの耐性確保を両立させる対策にあたり、ノイズの伝搬経路を明確化する分析技術を新たに開発した。この技術は、差動プローブを用いて、不具合を生じる部品とフィルターの電圧波形、及びその間の配線の電流波形を同時に観測することで、不具合を生じる部品までのノイズの伝搬経路を明確化できる。これにより、漏えい抑制に影響しない箇所での外来ノイズ対策が可能になる。

開発した分析技術を設計の初期や試作評価に活用することにより、低ノイズ設計と試験不合格時の迅速な分析/対策を可能にし、開発の後戻りも削減できる。



漏えいノイズの抑制と外来ノイズへの耐性確保を両立させる対策
Measures for reducing leakage noise and improving external noise

生産技術センター