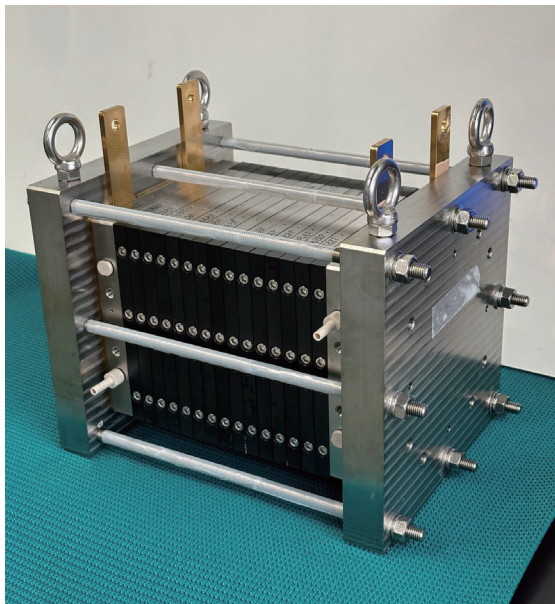


研究開発

Research and Development

技術戦略に基づいて、中長期的な視点で基盤技術を深め、新規事業領域の研究や革新的かつ先行的な研究開発に取り組んでいます。顧客やパートナー企業と未来を共創し、発想力と技術力で、これまでにない価値を生み出します。

CO₂を価値ある物質に変換する電解システム



電極サイズ100 cm²のセルを10層積層したCO₂電解セルスタック

Cell stack for carbon dioxide (CO₂) electrolysis consisting of 10 cells with 100 cm² electrode area



実証用CO₂電解システム

CO₂ electrolysis system for demonstration

2050年のカーボンニュートラル実現のため、二酸化炭素(CO₂)を価値ある物質に変換するCO₂電解システムの早期社会実装が求められている。社会実装には、CO₂を高スループットで大量に有価物に変換することが重要なため、CO₂電解システムの大型化、高耐久化の検証を実施した。

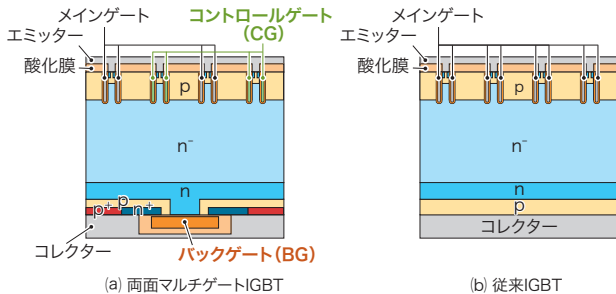
電極サイズ100 cm²のセルを10層積層したCO₂電解セルスタックを作製し、これを実装したベンチスケールの実証用CO₂電解システムを試作して、連続運転の動作検証を行った。このシステムは、CO₂の処理量を増大させるために開発した高性能なCO₂電解還元触媒及びCO₂電解還元電極技術を導入しており、CO₂から一酸化炭素(CO)への年間最大1 tの変換が可能である。

実証では、社会実装に重要な実環境下を模擬した条件での動作検証を行った。石炭火力発電所などから発生する排出ガスから分離回収したCO₂分離回収ガス利用時の影響を明らかにするため、CO₂分離回収ガス成分に含まれる微量不純物を添加して模擬CO₂分離回収ガスを作製し、そのガスを用いてCO₂電解セルの動作を行うことで、CO₂電解還元触媒の不純物耐性を確認した。この結果、純CO₂ガス利用時と比べて触媒性能に大きな変化はなく、用いた触媒は不純物耐性を持つことが分かった。更に、再生可能エネルギー利用時に重要な、電力変動時のCO₂電解セルの追従特性評価も行った。再生可能エネルギーの電力変動を模した周期的に変動する模擬電源を利用したところ、CO₂電解セルは、電力変動に追隨して動作可能であることを確認した。

今後、更なるシステムの大型化や、CO₂の処理速度の向上を進め、カーボンニュートラルの実現に貢献していく。

この成果の一部は、環境省の委託事業「二酸化炭素の資源化を通じた炭素循環社会モデル構築促進事業(多量二酸化炭素排出施設における人工光合成技術を用いた地域適合型二酸化炭素資源化モデルの構築実証)」で得られたものである。

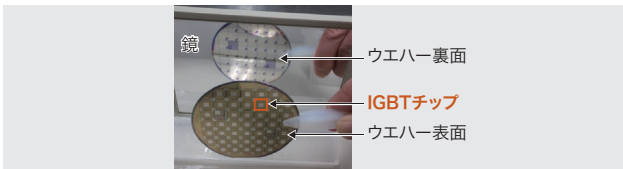
パワーエレクトロニクスシステムの高効率化・電力損失低減に貢献する両面マルチゲートIGBT技術



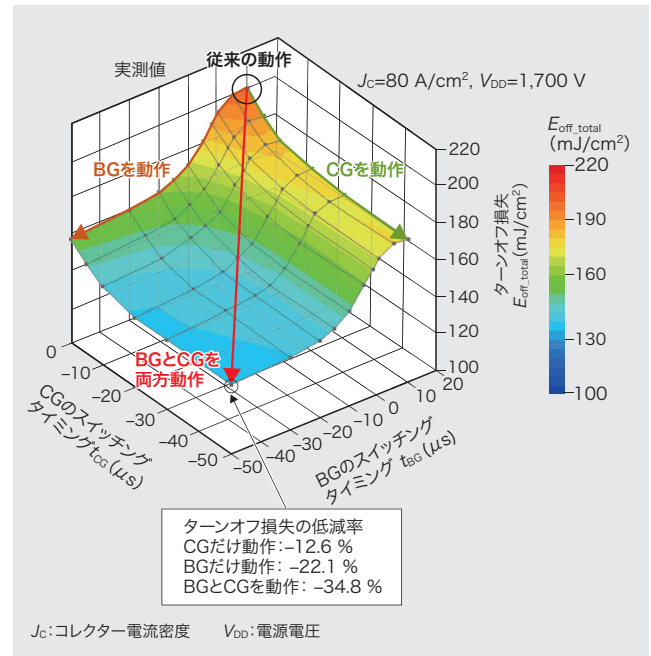
p: p型半導体 p+: 不純物濃度が高いp型半導体 n: n型半導体
 n+: 不純物濃度が高いn型半導体 n-: 不純物濃度が低いn型半導体

両面マルチゲートIGBTと従来IGBTのデバイス断面図

Comparison of cross-sectional views of single-back and double-front gate-controlled insulated-gate bipolar transistor (SDG-IGBT) and conventional IGBT



試作した両面マルチゲートIGBT
 Prototype SDG-IGBT



従来IGBTと両面マルチゲートIGBTのスイッチング損失の比較
 Comparison of switching loss for conventional IGBT and SDG-IGBT

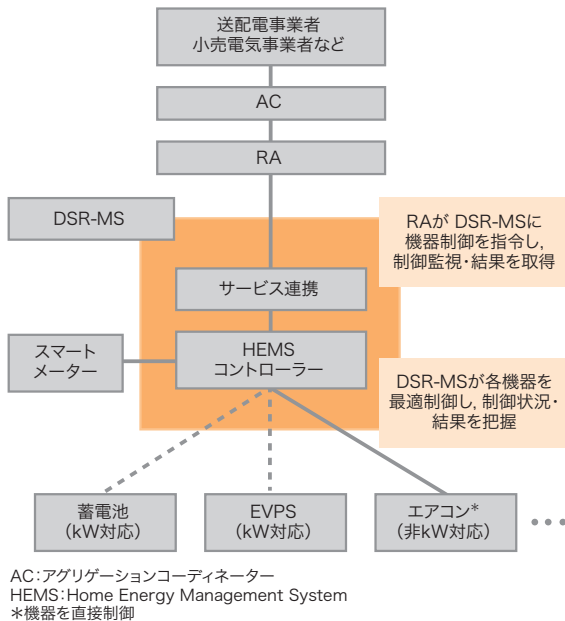
カーボンニュートラルの実現に向け、風力発電や電気自動車などのモーターを駆動するパワー半導体IGBT（絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ）の電力損失の低減が重要である。IGBTは、デバイス内部に電子と正孔の対を高密度に蓄積することで抵抗を低減し、高い耐圧と小さな導通損失を両立させている。一方、蓄積した電子正孔対は、オンからオフのスイッチング動作（ターンオフ）時に、デバイス外部に排出される過程で大きな損失を引き起こすことがある。電子正孔対の密度に依存した導通損失とターンオフ損失の間のトレードオフに対して、これまでIGBTチップの厚みを薄くすることで性能改善を図ってきたが、改善効果は飽和傾向で限界が見えてきている。

今回、新たなブレークスルー技術として、従来のIGBTに対し、チップの表と裏の両面にゲートを一ずつ追加し、計三つの独立に制御可能なゲートを持つ両面マルチゲートIGBTを開発した。この素子では、オン状態の電子正孔対を高密度に維持して、低い導通損失を実現すると同時に、ターンオフ時には追加したゲートだけを事前に駆動して電子正孔対の密度を減らすことで、ターンオフ損失を低減できる。更に、片面だけにゲートを追加した従来のマルチゲートIGBTと比べ、電子正孔対が排出される領域が、デバイス内の全域に拡大される特長を持つ。この効果により、ターンオフ損失は、従来の標準IGBTに対して最大で34%の低減、片面マルチゲートIGBTに対しては12～22%の低減を実現した。

今後、新規の両面マルチゲートIGBT技術の発展、及び各種機器への採用により、パワーエレクトロニクスシステムの省エネ化を促進し、カーボンニュートラルの実現に寄与することが期待できる。

この成果は、国立大学法人 東京大学生産技術研究所の平本研究室、及び東芝デバイス&ストレージ(株)との共同研究で得られたものである。

「VPPにおける需要家エネルギーリソースの活用に関するガイドライン第2版」を公開



DSR-MSを活用したDR制御システム

Application of DSR-MS to demand-response (DR) control system

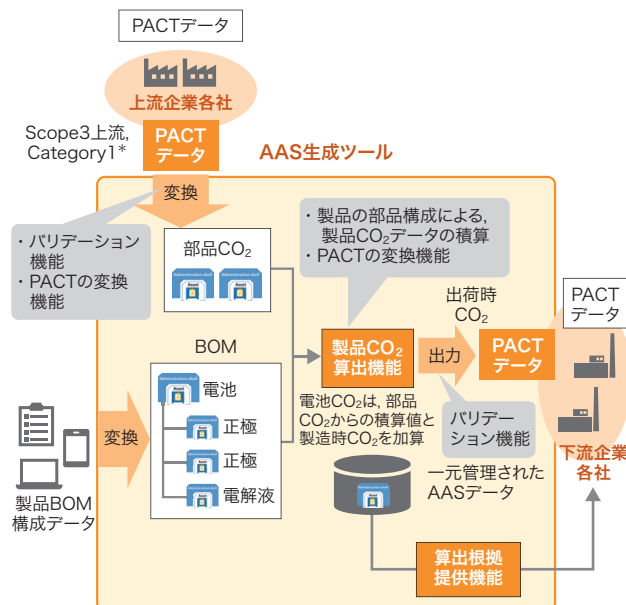
一般社団法人 日本電機工業会 (JEMA) IoT・スマートエネルギー専門委員会のVPP分科会 (17社参加・エコーネットコンソーシアム連携) を主導し、「VPPにおける需要家エネルギーリソースの活用に関するガイドライン (通称: VPPガイドライン) 第2版」を公開した。

各種制度設計や需要家リソースの開発動向など、カーボンニュートラル達成に向けた最新の動きを反映し、VPP (仮想発電所) サービス事業者であるRA (リソースアグリゲーター) による「需要家のエネルギー機器群活用のより正確・確実なDR (デマンドレスポンス) 制御」を対象に改訂した。蓄電池やEVPS (電気自動車パワーステーション) などの需要家リソースを束ねて制御するDSR-MS (Demand Side Resources - Energy Management System) を定義するとともに、DSR-MSとRA間のデータ定義の改訂や、ECHONET Lite Web API (Application Programming Interface) の活用例などが記載されている。

今後も、群制御や機器個別計測、周波数制御などの新しい課題に対応するため、活用・更新していく。

研究開発センター

製品CO₂データの流通を実現するデータ相互運用技術



BOM: Bill of Materials
*GHGプロトコルで定義された、温室効果ガスのサプライチェーン排出量の国際的な算定・報告基準

データ相互運用技術による製品CO₂データ流通実証実験の概要

Overview of product carbon footprint exchange experiment using data interoperability technology

データ相互運用技術を実装するための「AAS (アセット管理シエル) 生成ツール」を使用して、製品のカーボンフットプリント (CFP) データ (製品CO₂データ) の流通を推進している。この取り組みにおいて、一般社団法人 電子情報技術産業協会 (JEITA) のGreen x Digitalコンソーシアムが主催する「仮想サプライチェーン上におけるCO₂データ連携」実証実験に参加し、製品CO₂データの算定とデータ連携の実証実験を行った。

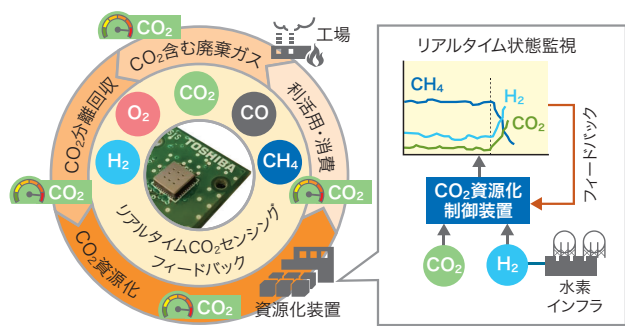
具体的には、PACT^(注)データモデルとAASデータモデルの一元管理機能や、PACTデータの正確性を保証するバリデーション機能、製品CO₂算出機能、PACTの入出力・変換機能など、データ相互運用技術として開発した機能を提供した。

この実証実験により、PACTデータモデルとAASデータモデルの相互運用が可能であること、製品CO₂データやその算出根拠データをAASで一元管理できることを確認した。AAS生成ツールによってPACT形式の製品CO₂データの正確な算出と流通が保証され、この実証実験の成功に貢献した。

(注) 持続可能な開発のための経済人会議 (WBCSD) が主催する、製品CO₂データを流通するための共通フレームワーク。

研究開発センター

■ 超小型・高速応答MEMSガスセンサーを用いた混合ガスセンシング技術



H₂:水素 O₂:酸素 CH₄:メタン
(a) カーボンサイクルにおける主要発生ガス



(b) 素子構造

(c) 評価用に試作したモジュール

MEMS熱伝導型ガスセンサーの素子構造と評価モジュール
Structure of microelectromechanical system (MEMS) for thermal conductivity gas sensors and its evaluation module

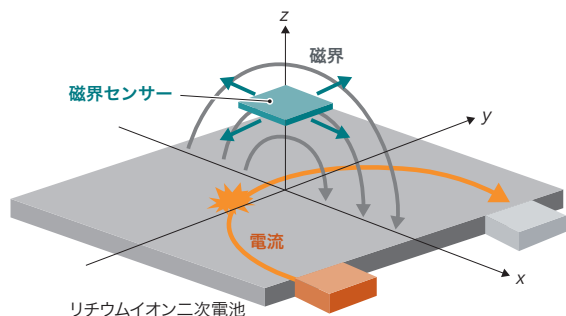
カーボンニュートラルの実現には、CFPデータの高信頼化が不可欠である。現行の温室効果ガス排出量の算定方法やCO₂換算による推定データは、精度が低く、信頼性に疑問が指摘されている。

そこで、CO₂や水素など3種以上の異なる物質で構成される混合ガスをリアルタイムに直接センシングできる技術を開発した。複数のMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 熱伝導型ガスセンサーを数mmサイズの超小型チップ内に集積し、各センサーのデータをアルゴリズム処理することで、混合ガスそれぞれのガス濃度を実環境でリアルタイムに計測できる。これにより、従来の混合ガス濃度計測技術であるガスクロマトグラフィーに対し、1/200以下のサイズへの小型化と、150倍以上の高速化を実現した。

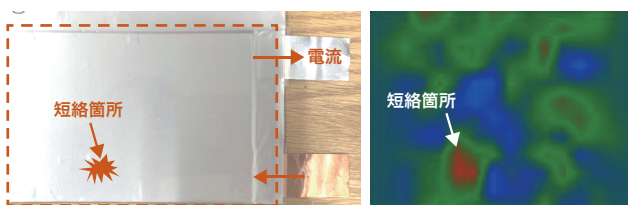
開発した技術は、CFPデータの高信頼化やCO₂の分離回収・資源化技術の高効率運用などへの適用に加え、水素社会インフラの水素漏洩(ろうえい)の検知や、屋内空気質モニタリング、呼吸ヘルスケアなど様々な分野への応用展開が期待できる。

研究開発センター

■ 非接触で二次電池の欠陥を検出できる超高感度小型磁界センサー



磁界顕微鏡の模式図
Magnetic field microscope schematic



(a) 測定サンプル外観

(b) 磁界像

短絡欠陥を持つリチウムイオン二次電池の磁界像
Magnetic field image of secondary lithium-ion battery with short-circuit defect

超高感度な磁界センサーは、非接触で微弱な電流を磁界として検出でき、二次電池、半導体素子・回路の欠陥検出や劣化診断などでの活用が期待されている。


今回、巨大磁気抵抗効果(GMR)素子で、変調信号が周波数分離される磁界変調技術において、変調成分を除去できる独自の反位相ブリッジ回路を開発し、10 Hzにおける検出限界を地磁気の1/10⁶にあたる6 p (ピコ: 10⁻¹²) T/√Hz にまで下げること成功した。また、素子の磁界集束効率を改善し、素子サイズを2×8 mmに小型化できた。開発したセンサーと交流磁界の変調/復調機構を磁界顕微鏡装置に実装することで、リチウムイオン二次電池内部の短絡欠陥を磁界像として可視化でき、短絡箇所が同定できることを実証した^(注)。

この成果の一部は、内閣府が推進し、管理法人である国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託事業である「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第2期/フィジカル空間デジタルデータ処理基盤」で得られたものである。

(注) (株)Integral Geometry Scienceにて自社所有のサンプルを測定。

研究開発センター

■ 大容量化と超急速充電が可能なチタンニオブ酸化物負極を用いた大型二次電池セルのパイロット試作

項目	諸元
外観	
定格容量	55 Ah
電圧範囲	2.95 ~ 1.50 V
セル寸法	157×200×13 mm (161×253×13 mm 端子, シール部分含む)
交流インピーダンス (1 kHz)	約0.45 mΩ
体積エネルギー密度	334 Wh/L (端子, シール部分を除く)

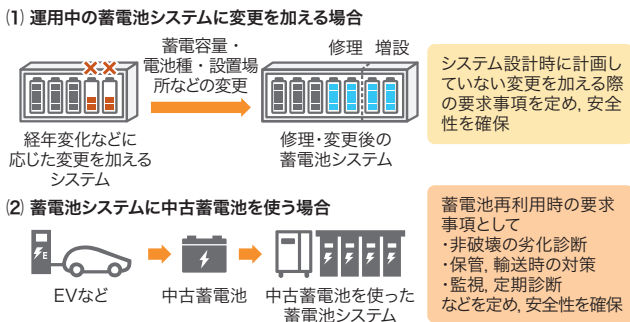
パイロット試作した大型ラミネートセルの諸元
Specifications of large pouch cell for trial production

カーボンニュートラルの実現に向けて、稼働頻度が高く過酷環境下で使われる商用車の電動化が求められている。当社は、従来のリチウムイオン電池の黒鉛負極と比べて体積当たり2倍の容量を持ち、超急速充放電・安全性・寿命に優れるチタンニオブ酸化物 (TNO : Titanium Niobium Oxide) を負極とする次世代電池を開発している。

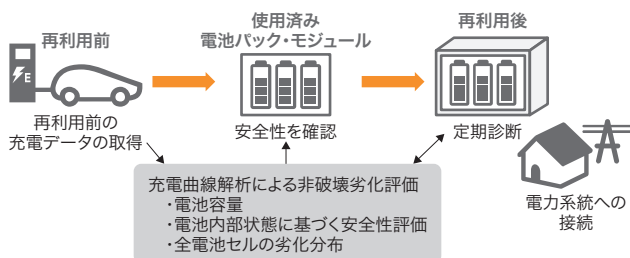
今回、実用化に向けて低コストニオブ原料を用いたTNO負極を開発した。コストダウンに伴う不純物の影響を最小限とするTNOの合成方法を見だし、公称容量55 Ahの大型電池セルを、パイロットラインで試作した。試作電池は、リン酸鉄リチウムイオン電池に匹敵する334 Wh/Lの高い体積エネルギー密度、10分間で80%充電可能な超急速充電性能、4,000回の繰り返し急速充放電で初期容量の95%以上の電池容量を維持する長寿命、及び高安全性を持つことを確認した。従来のリチウムイオン電池では適用が困難な大型商用車や重機への展開により、カーボンニュートラルの実現に貢献していく。

研究開発センター

■ 蓄電池システム安全規格の非破壊安全性評価手法に付記された充電曲線解析法



IEC 62933-5-3に基づく定置用蓄電池システムの安全対策
Safety requirements for stationary energy storage systems based on IEC 62933-5-3



充電曲線解析法を用いた電池再利用時の非破壊安全性評価
Non-destructive evaluation of battery repurposing safety using charging curve analysis

蓄電池として使用されるリチウムイオン電池は、電気自動車 (EV) や再生可能エネルギーの導入に向けて、急速な市場拡大が進んでいる。その一方で、発火・爆発や性能の急低下など、電池劣化に伴う安全性低下の問題も顕在化してきた。

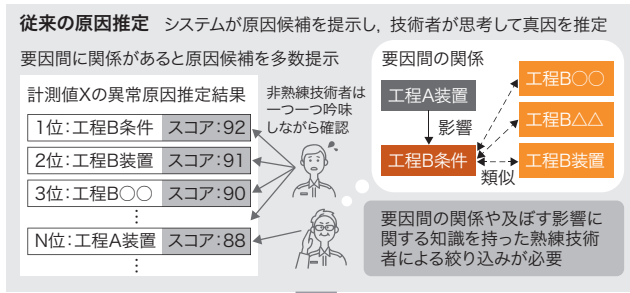
当社は、電池の電極材料の過度な劣化が電池発火の原因となり得ることを明らかにし、非破壊で電池内部の材料劣化を推定する充電曲線解析技術を開発した。

運用中蓄電池の安全性評価のデジュール化を目指し、独立行政法人 製品評価技術基盤機構、及び一般財団法人 電気安全環境研究所 (JET) と連携して技術実証を進めた。その結果、国際電気標準会議 (IEC) のTC120国内委員会から提案された蓄電池再利用時などの非破壊安全性評価を要求する規格であるIEC 62933-5-3は、劣化後蓄電池の安全性評価手法として充電曲線解析法が付記され、2023年10月に発行された。

この規格は中古電池の部品認証 (JETリユース電池認証) にも展開されており、顧客各社と連携し、充電曲線解析の活用による蓄電池システムの安全運用・車載リチウムイオン電池のリユース促進に貢献していく。

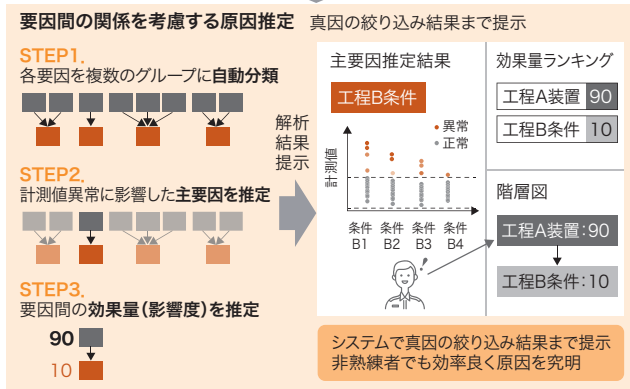
研究開発センター

■ SCiB™ 製造工程のデータ解析による異常原因究明のスキルレス化



SCiB™の生産拠点である柏崎工場では、自社開発した異常原因解析システムを製造工程の計測値異常監視に活用し、異常予兆の早期発見及び原因究明を効率化することで生産性向上を図っている。

従来のシステムでは、計測値異常の原因候補となる製造工程の要因が原因らしさのスコア順に提示されるが、互いに関係する原因候補があると、これらが高いスコアで多数提示される場合がある。このため、要因間の関係を把握した熟練技術者によって原因究明の調査対象とする原因候補を絞り込む必要があり、非熟練技術者でもシステムの活用を容易にする機能が求められていた。



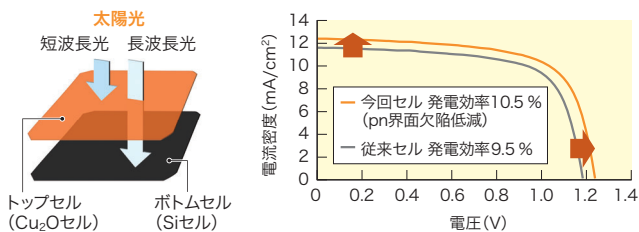
そこで、要因間の関係を考慮し、注目すべき原因候補の数を絞り込んで提示する原因推定技術を開発した。要因間の関係をデータに基づき決定し、計測値異常への影響が大きい主要因と、主要因に影響を及ぼす親要因を原因候補とし、効果量(影響度)を合わせて提示することで、原因候補の絞り込みを自動化した。必要な原因候補を残しつつ、提示する原因候補数を平均1/10に削減し、原因究明のスキルレス化を実現した。

要因間の関係を考慮する原因推定技術の概要

Overview of cause estimation method considering relationships among multiple factors

研究開発センター

■ 発電効率10%を超えるCu₂OセルをSiセルに積層した高効率タンデム太陽電池



タンデム太陽電池の模式的な構造図

Schematic diagram showing structure of tandem solar cell with transparent cuprous oxide (Cu₂O) cell

pn界面欠陥を低減したCu₂Oセルの電流密度-電圧特性の改善

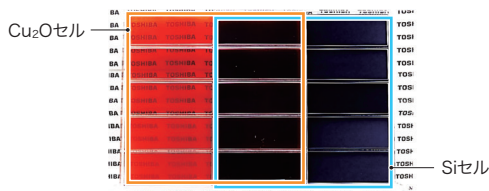
Improving current-voltage (IV) characteristics of Cu₂O cells by reducing defects at p-n interface

限られた設置面積で必要な大電力を供給できる、亜酸化銅 (Cu₂O) 太陽電池セルをシリコン (Si) 太陽電池セルに積層した、タンデム太陽電池を開発している。キーとなる透過型のCu₂Oセルは、当社が2019年に開発に成功したものである。

今回、Cu₂Oセルの発電効率低下の主要因であるpn界面 (p:p型半導体, n:n型半導体) 欠陥を低減することで、タンデム構造での発電効率30%達成に必要なCu₂Oセルのマイルストーン効率10%を超える、世界最高効率^(注)10.5%を実現した。今後、Cu₂O太陽電池のサイズを量産タイプのSi太陽電池と同じサイズまで拡大する大型化開発を進め、2025年度をめどにセル製造技術を確認し、実用サイズのタンデム太陽電池セルで高効率実証を目指す。また、タンデム太陽電池を用いた充電なし電気自動車をはじめとするモビリティー応用につなげ、カーボンニュートラル社会の実現に貢献していく。

この成果の一部は、NEDOの委託業務の結果得られたものである。

(注) 2023年12月現在、当社調べ。



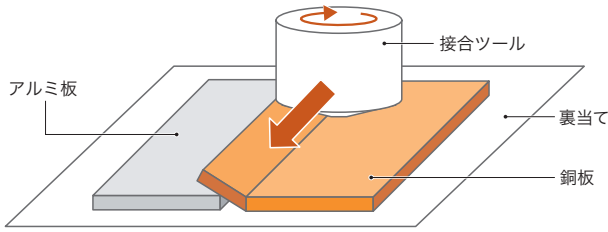
*Cu₂Oセルの発電エリアサイズは実用サイズの125×42 mm

開発中の大型Cu₂Oセル(左側2列)を同サイズに加工した市販品のSiセル(右側2列)に中央(1列)で重ねたサンプル

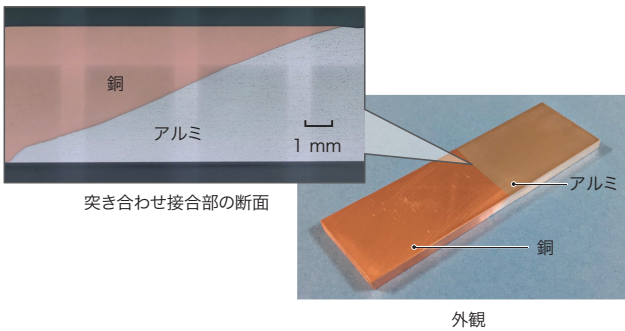
Two arrays of large Cu₂O cells in development (orange) overlapping two arrays of commercially available silicon (Si) cells cut to same size as Cu₂O cells (light blue)

研究開発センター

■ 機器の軽量化による消費エネルギー低減へ寄与する異種金属接合技術



接合方法
Schematic showing butt-joining method



銅-アルミ接合品
Butt-jointed plate consisting of copper and aluminum

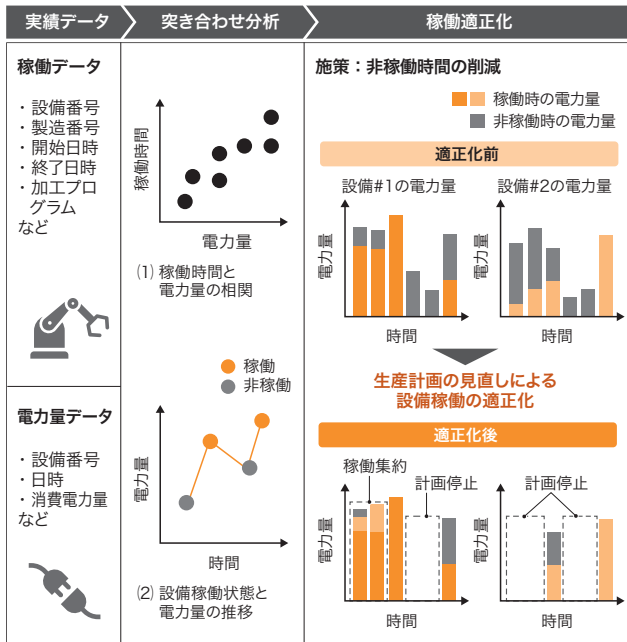
銅製の通電部品の一部をアルミニウム（以下、アルミと略記）へ変更して機器を軽量化し、消費エネルギーを削減することが検討されている。

アルミへの部分代替では、銅とアルミの接合が必要になる。この接合で高強度を維持するには、銅とアルミの間に隙間なく金属間化合物を生成し、かつ、その厚さを数 μm 程度に抑制することが求められる。従来、このような接合は拡散接合で達成されていたが、コストなどの問題があった。

今回、銅板とアルミ板の一部を重ね、回転した接合ツールで加圧して、摩擦熱により銅とアルミの共晶熔融を起こし、融液を押し出すとともに重ね部を変形させて突き合わせ接合部を得る新たな接合技術を開発した。接合面の金属間化合物の厚さは $2\mu\text{m}$ 以下であり、高い強度を持つ。更に、接合に要するエネルギー量が従来技術より少なく、大気中で行えることから、機器組立工程での実施も可能である。開発した技術は、モーターや電動機、車両機器、各種バスバー、端子などへの適用が期待できる。

生産技術センター

■ 温室効果ガス排出量の削減に寄与する設備稼働の適正化手法



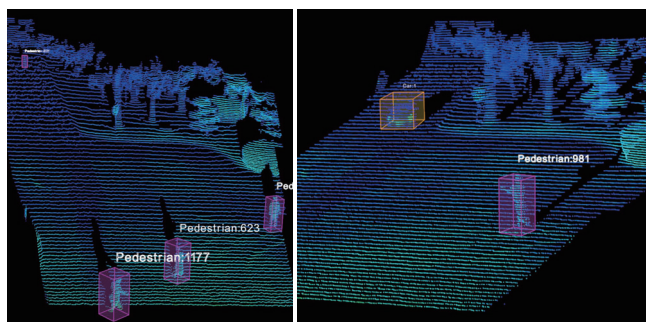
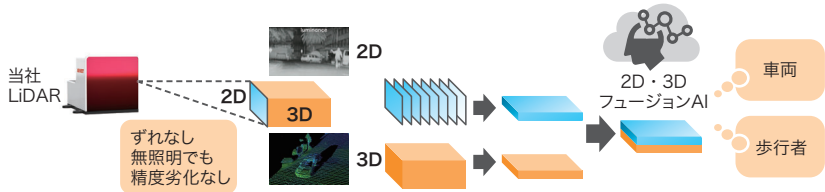
設備データ分析による設備稼働適正化手法
Machine operation optimization via data analysis to reduce greenhouse gas (GHG) emissions

東芝グループでは「人と、地球の、明日のために。」の経営理念に基づき、事業活動で排出される温室効果ガスの削減によるカーボンニュートラルの推進に取り組んでいる。製造過程で排出する温室効果ガスの削減に向けて、製造設備の稼働データと電力量データの突き合わせ分析により稼働時と非稼働時の待機電力量を見える化・分析し、設備の稼働を適正化する手法を構築した。

この手法を用いて、機械加工設備の稼働時間と電力量の関係や設備の稼働状態と電力量の変化を分析し、稼働集約や計画停止などの生産計画を見直し、非稼働時間を削減する施策を検証した。機械加工設備で構成される製造ラインに適用した結果、計画停止時の設備運用設計により、非稼働時の温室効果ガス排出量を64%削減できることを確認した。この手法を広く展開することで、温室効果ガスの大幅な削減を目指していく。

生産技術センター

空間のデジタルツインを支えるLiDAR技術

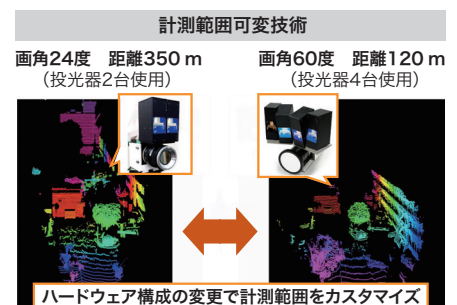
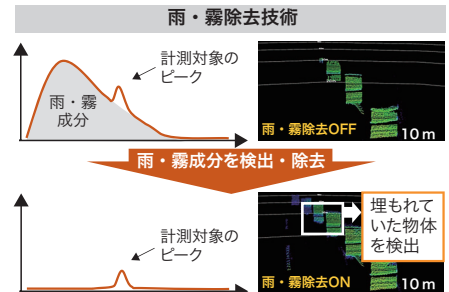


*LiDARから50 m～115 mの距離を走る任意の車両と
80 m～110 mの距離を歩く任意の歩行者に対して行った実証結果

2D・3DフュージョンAIによる車両と人の認識・追跡

Detection and tracking of pedestrians and cars using fusion artificial intelligence (AI) for two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) data

車両と歩行者に対し
認識精度98.9%*
追跡精度99.9%*
(位置誤差 < 15 cm)



雨・霧除去技術と計測範囲可変技術

Rain and fog removal technique, and light detection and ranging (lidar) technique with reconfigurable range and field of view (FoV)

対象物の形状を3次元(3D)で把握可能なLiDAR (Light Detection and Ranging)^(注1)は、自動運転としての用途に加え、“空間のデジタルツイン”^(注2)を構築し、実空間上の様々なモビリティの自動化や、製造・物流ラインの全体最適化など、あらゆる産業の効率化につながる技術である。

LiDARの3Dデータだけで物体を高精度に認識し追跡することは困難なため、従来はカメラとLiDARを併用する手法が取られていたが、両データの空間的・時間的なずれによる認識精度の劣化が大きな問題となっていた。また、雨や霧といった悪天候の環境下で精度が劣化したり、設置場所の制限により死角が発生したりすることも問題であった。

今回、カメラを用いず、LiDARだけで得られる2次元(2D)データと3Dデータを融合する2D・3DフュージョンAIを開発し、物体を98.9%の精度で認識して99.9%の精度で追跡するといった、いずれも世界最高^(注3)の精度を達成した。これにより、空間のデジタルツインの構築において、従来必要だった大量のカメラの設置が不要になることも見込める。

更に、雨・霧の成分だけをセンサーデータから除去することが可能な雨・霧除去アルゴリズムを開発し、猛烈な雨・濃霧環境下での検知距離を2倍以上改善し、80 mm/hの猛烈な雨環境で計測距離40 mが実現できることを確認した。また、投光器の台数と受光レンズの構成変更だけでLiDARの計測範囲を変更可能な計測範囲可変技術により、画角24度では計測距離350 m、画角60度(従来比約6倍)では計測距離120 mを実現した。

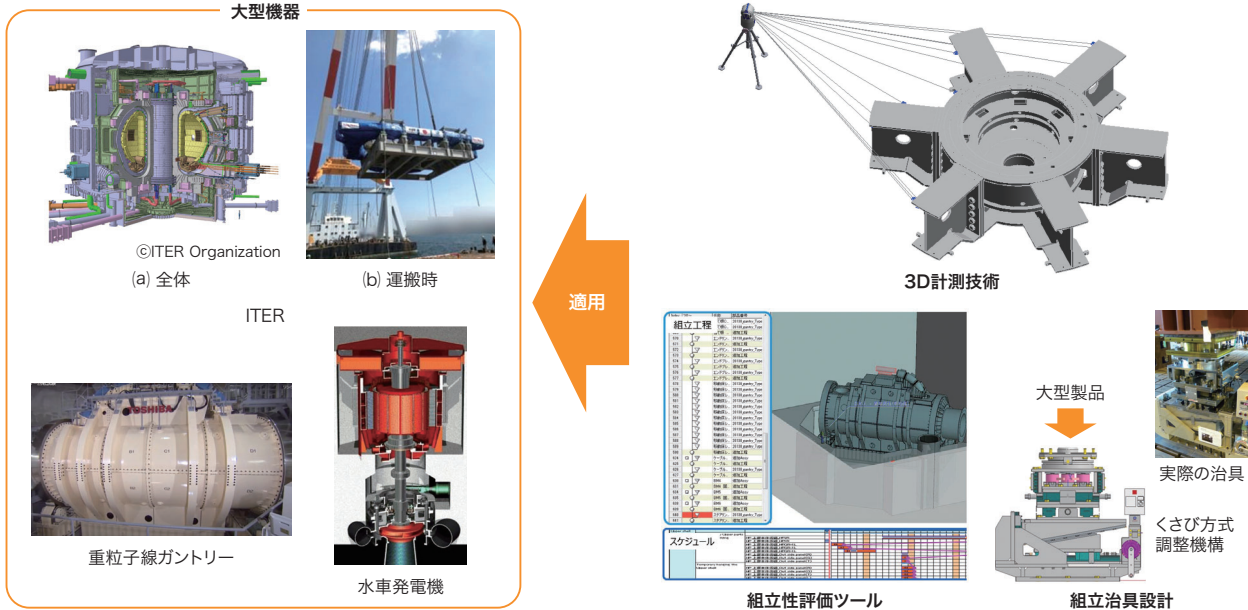
今後もLiDARの幅広い活用を想定し、インフラレジリエンスで安全・安心な社会の構築に貢献していく。

(注1) レーザーの照射により、離れた物体までの距離情報を3D画像として得る技術。

(注2) 空間上の物体の位置や動きなどの情報を把握する技術。

(注3) 2023年11月現在、当社調べ。

大型機器製造の高精度化・コスト削減に貢献するデジタルツイン技術



大型機器に適用するデジタルツイン技術
Digital twin technology applied to large equipment

デジタルツインとは現実世界から収集したデータに基づいて仮想空間に再現する技術であり、製品開発・製造・運用の効率化や品質向上、コスト削減などの効果が期待されている。当社では、高精度な3D計測技術、仮想空間で組み立てを可視化する組立性評価ツール、仮想空間での検証結果を実製品で再現する組立治具を開発することで、大型機器の高精度な組み立て・据え付けを可能とし、同時にコスト削減や工期短縮を実現した。以下に、事例を三つ挙げる。

東芝エネルギーシステムズ(株)は、核融合エネルギーの科学的実証のためのITER(国際熱核融合実験炉)計画に参画し、トロイダルコイルという長さ16m、幅10m、質量300tもの巨大製品4基の製作を2023年に完了した。この製品仕様を満たすためには、0.1mm単位の組立精度が必要であった。大型部品の組み付け評価には、通常、多くの工数が掛かるが、当社が開発した可搬型測定機による3D計測技術を適用したことで、仮想空間上での製品の組み付け確認が可能となり、実機での確認工程を削減できた。実際の組み立てでは、くさび方式の調整機構を持つ組立治具を設計・適用し、重量を支持しながら0.1mm単位での位置調整を可能とした。

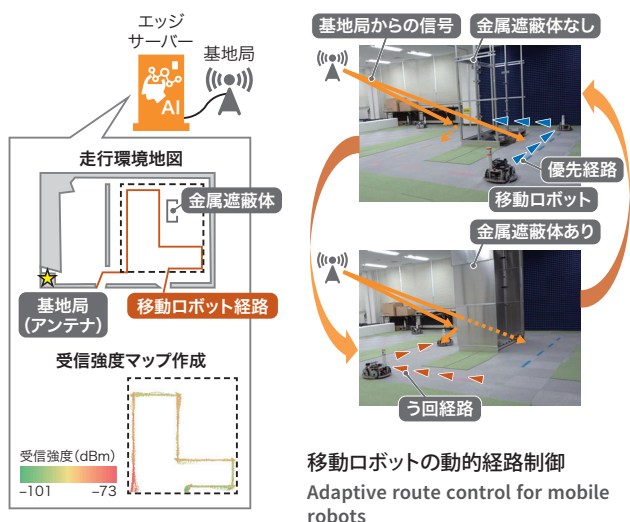
また、現場で高精度な位置決めが求められる水車、発電機の据え付けでは、多くの寸法測定が必要であった。従来、製品組立・据付工程では、熟練スキルを要する手動ツールでの寸法計測が行われていた。当社ではITERで培った3D計測技術を応用し、仮想空間上で設置位置を特定することで、正しい位置への部品移動を作業者に誘導できる仕組みを開発した。これにより、組み付け確認工程を削減できる見込みを得た。

病院や大学の建屋内への重粒子線ガントリーの据え付けは、工事会社に委託する必要があるが、工事会社の能力にばらつきがあるため、作業品質の確保が難しかった。当社では、仮想空間で工程検討が可能な組立性評価ツールを適用し、工程を可視化した。これにより、組立不備のリスク排除や据付作業の品質確保に貢献した。

今後、デジタルツインの技術をほかの大型製品にも展開し、全社で活用を促進していく。

生産技術センター

ローカル5Gを用いて荷物搬送効率向上に寄与する移動ロボット制御技術



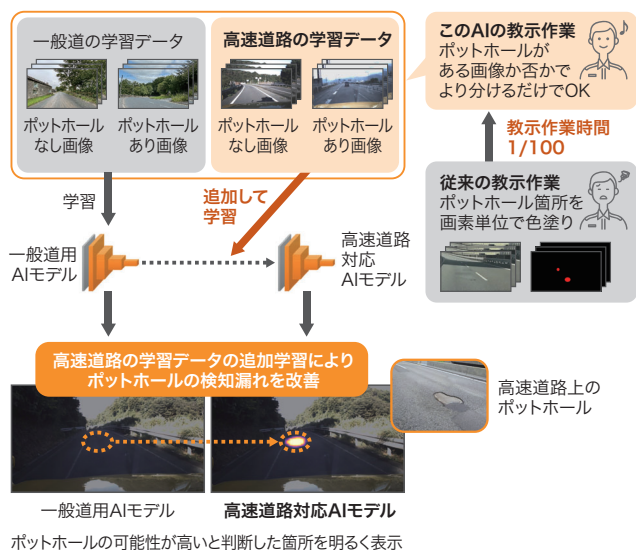
エッジサーバーでの処理
Processing on edge server using local 5G (fifth-generation mobile telecommunication network)

自営で高信頼ネットワークを構築するローカル5G（第5世代移動通信システム）の産業応用に注目が集まっている。今回、倉庫内での荷物搬送を想定し、ローカル5Gの活用により、移動ロボットをエッジサーバーからリアルタイム群制御する技術を開発した。併せて、倉庫内での環境変化を推測し、動的に走行経路を変更する技術を開発した。

実際に、ローカル5Gの基地局やエッジサーバーを導入して、端末を搭載した10台の移動ロボットと通信し、積み荷を模した金属遮蔽体の高さを変えながら、走行経路制御を行った。その結果、エッジサーバーで、遮蔽体裏側では基地局-移動ロボット間の見通し状況が変わること、表側では遮蔽体表面で反射する電波の強弱が変わることを、移動ロボットで取得した電波の受信強度のマップにより把握し、動的に走行経路を変更した。このように適切な経路を走行することで、荷物搬送効率を最大9.3%改善可能なことを明らかにした。この成果は、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「ポスト5G情報通信システム基盤強化研究開発事業」（JPNP20017）の委託事業の結果得られたものである。

研究開発センター

高速道路のポットホールをリアルタイムに検知する弱教師型の画像変状検知AI



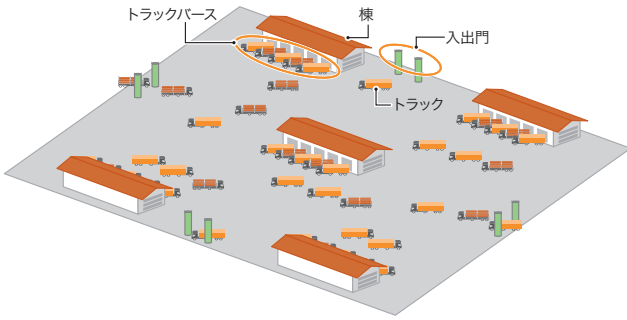
開発した弱教師型画像変状検知AIによるポットホール検知結果
Results of pothole detection using new weakly supervised AI for image anomaly detection

目視で行われている高速道路の日常点検に、画像変状検知AIを導入することで時間短縮や省力化が見込める。しかし、多様な点検対象に対応できるようにAIモデルに学習させる必要があり、学習用画像に対して変状箇所を画素単位で教示する作業に多大な労力を必要としていた。そこで、変状がある画像とない画像とをより分けるだけで学習可能な弱教師型のAIを開発し、教示作業時間を1/100に削減した。

今回、高速道路の点検対象の中で緊急補修が必要なポットホール（路面の穴）を検知対象として、実証実験を行った。その結果、開発したAIは毎秒26フレームの速度で動作し、時速80～100kmで走行しながらポットホールの可能性がある箇所をリアルタイムに検知可能なが確認できた。また、一般道の学習データを学習済みのAIモデルに対し、高速道路の学習データを追加学習させたところポットホールの検知精度は61.25%から84.22%に改善し、現地データの学習による効果を確認でき、実用化にめどが立った。東芝デジタルソリューションズ(株)、中日本高速道路(株)と実証実験を進め、2024年度の実用化を目指す。

研究開発センター

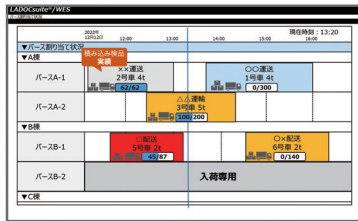
大規模物流倉庫の荷待ち時間を削減するバース割り当て最適化技術



バース割り当て最適化の導入を想定する大規模倉庫のイメージ図（4か所の入出門，5か所の棟，25個のバースの例）

Target application of truck berth scheduling: Large distribution warehouse (with 4 gates, 5 buildings, and 25 berths)

バース割り当て状況画面



倉庫担当画面



倉庫担当

どのバースにどのトラックが何時に来るかを確認して、あらかじめピッキング指示をしよう。積み込みの進捗に関しても確認しよう。

物流業界では働き方改革が進められている。その取り組みを支えるため、東芝グループは、倉庫運用管理システム（WES）の開発を進めており、今回、WES用にバース（注）割り当て最適化技術を開発した。倉庫に入門したトラックのバースでの荷役作業をスケジューリングすることで、各トラックの出門予定をできるだけ遵守し、ドライバーの荷待ち時間を削減する。倉庫内の複数の棟を1台のトラックが巡回して荷役作業を行うような大規模倉庫への適用も可能なアルゴリズムとして、以下の特長を持つ高速なヒューリスティクス解法を開発した。

- 出門遅れ時間と荷待ち時間の同時最適化によるトラックドライバーの満足度向上
- 棟の巡回順序も合わせて最適化することによる倉庫全体を俯瞰（ふかん）したトラック渋滞の解消
- 荷役作業の生産性実績と在庫の保管形態に応じた荷役作業時間の高精度な予測

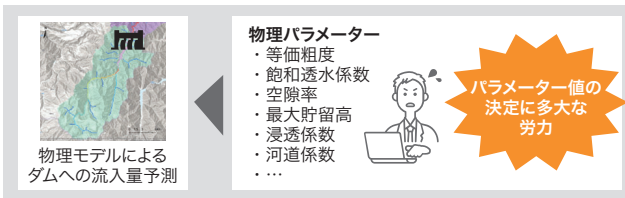
現在、最適化エンジンをクラウドシステムに実装し、東芝グループ内で活用を進めている。

（注） 荷物の積み降ろしをするためにトラックを駐停車するスペース。

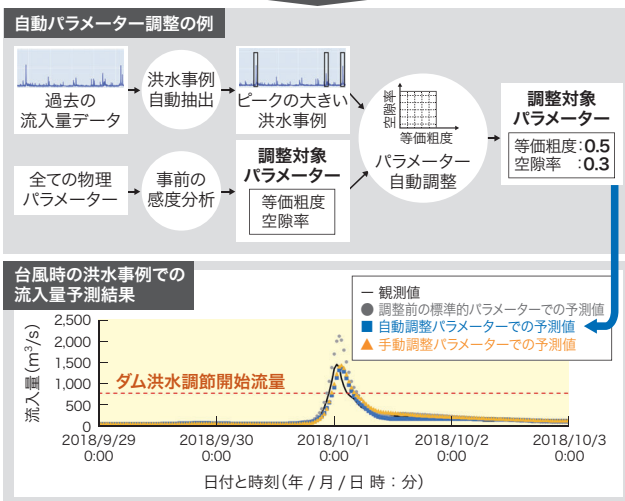
バース割り当て最適化の出力画面の例（バース別のスケジュール結果）
Example of output image of berth-by-berth truck berth scheduling

研究開発センター

パラメーター自動調整による洪水時の高精度ダム流入量予測技術



パラメーター調整の自動化



パラメーター自動調整によるダム流入量予測の概要
Overview of dam inflow prediction with automatic parameter tuning

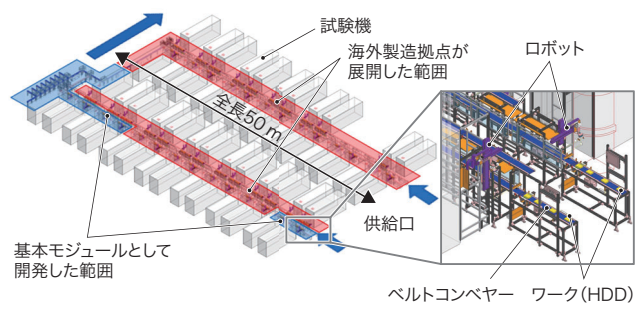
研究開発センター

近年、豪雨による洪水の増加に伴い、国や自治体ではダムへの流入量を事前に予測して放流操作などを見直し、下流氾濫を防止する取り組みを行っている。洪水時の流入量予測では主に物理モデルが使われており、予測精度向上のため、これまでは運用事業者がモデル内の数多くのパラメーターを手動で調整する必要があった。

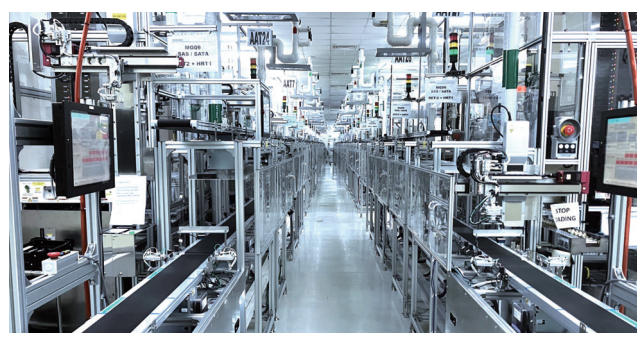
そこで、パラメーターを自動で調整でき、精度の高い流入量予測が可能な技術を開発した。まず、感度分析により洪水時に影響の大きい少数のパラメーターだけを調整対象として抽出した。パラメーター調整では、過去のデータから少数の洪水事例を自動選択して、グリッドサーチと呼ばれる手法でその値を決定する。複数の洪水事例の流入量データに対し、パラメーター自動調整効果を検証した結果、比較対象とした標準的なパラメーターでの予測結果より精度が向上（平均絶対値誤差30%低減）し、手動調整での精度と同程度であることを確認した。

今後、この技術を実際にダム管理用制御処理設備に適用して検証を進めていく。

■ 多機能と採算性を両立させる搬送自動化システム



HDD 試験工程
Hard disk drive (HDD) test process



搬送自動化システム (供給口)
Automated transportation system (input area)

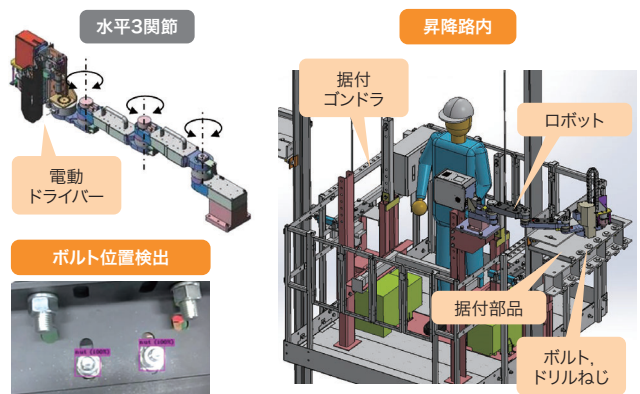
生産技術センター

ハードディスクドライブ (HDD) を製造する海外拠点の製品試験工程において、ワークを搬送する自動化システムを構築した。試験工程では、全長 50 m の広大なエリア内に多数設置された試験機に対して、ワークを配膳・投入し、払い出す一連の作業が人手で行われていたため、作業の省人化や、ワークの誤投入、仕掛かり品の滞留といった問題への対応が課題となっていた。

これらに対し、配膳や、投入、払い出し、仕分けなどの作業を自動化することでワークと人の流れを最適化し、作業人員、仕掛かり品ともに約 75 % の削減を実現した。導入にあたって、国内でベルトコンベヤーとロボットの基本モジュールを開発し、海外製造拠点がそれら基本モジュールを組み合わせることで全エリアに展開することで設備コストを低減させ、海外の安価な労働力に対する投資採算性をカバーしながら、多機能な搬送自動化システムを構築できた。

今後も、生産ラインの省力化と効率化を目指し、自動化の適用範囲を拡大していく。

■ 現場に容易に持ち込めるエレベーター据付支援ロボット



開発したロボットのエレベーター据付ゴンドラへの設置例
New robot and example of its installation in gondola for elevator installation

近年、エレベーターの据付現場では、作業を習得した人員が不足しており、現場作業の省力化が課題となっている。更に、据付作業は、その都度異なる建物で行われるため、現場で用いる据付機器は、容易に持ち込み・設置可能なことが求められる。そこで、作業者と同様の動作を再現でき、持ち運びが容易な軽量性や設置を容易にする機能を備えた据付支援ロボットを開発した。

このロボットは、据付時のボルト締めや先端がドリル状のドリルねじを締める作業を担うもので、施工段階に応じた押し付け力と電動ドライバーの回転を制御することで作業者の動作を再現した。また、質量が 10 kg と持ち運べる軽量性を備えながら、手先の高負荷にも耐えられる機構とした。更に、コンピューターグラフィックスを利用した深層学習の適用により、初めて入る現場でも、ドリルの下穴の位置などを事前調整なしで検出できるようになり、設置容易性を高めた。

現在、実用化に向けて、現場評価や意見収集などを行い、更なる高機能化と信頼性向上を目指している。

関係論文：東芝レビュー、2023、78、5、p.15-18。

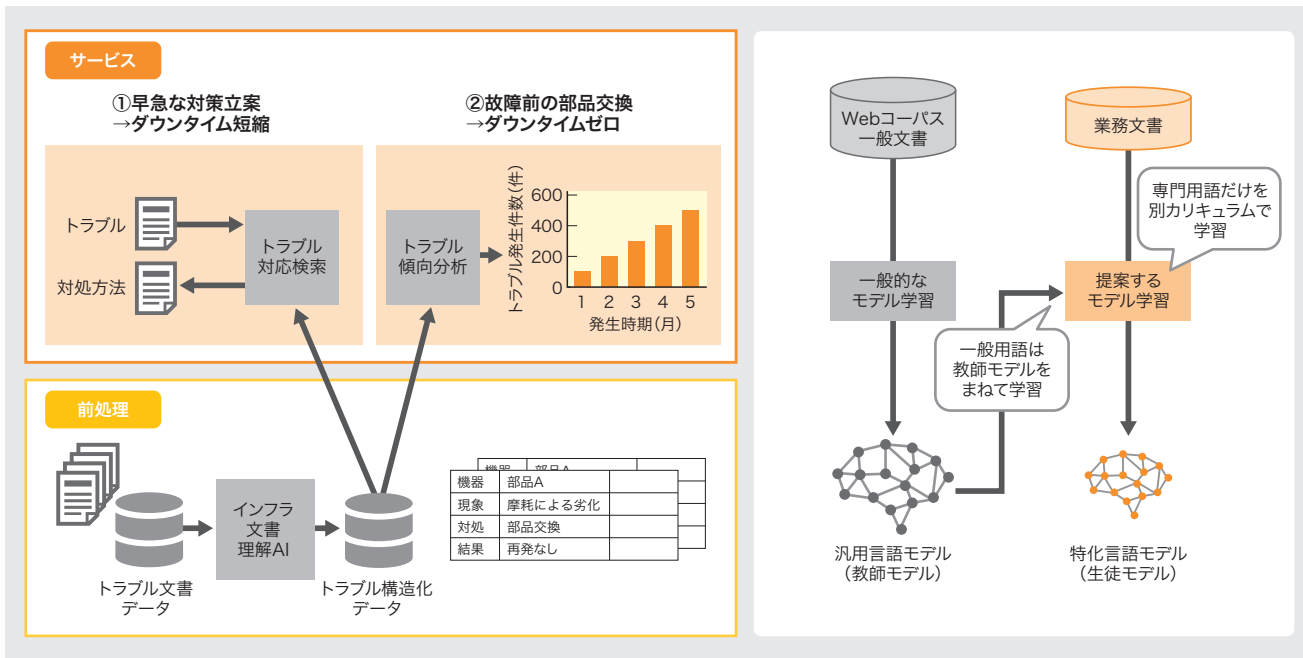


作業者の動作を再現して自動施工したドリルねじ
Automatic installation of drill screws (reproducing skills of experts)

生産技術センター

熟練者の知識を高度な保守に生かすインフラ文書理解 AI

研究開発
デジタル・データ



一般用語の学習と同時に専門用語を習得できるインフラ文書理解 AI

Artificial intelligence (AI) model for understanding infrastructure documents capable of learning both technical and general terms simultaneously

インフラ分野では、導入されている多くの設備で、老朽化と慢性的な人手不足が問題になっている。保守点検を高い精度で実現するには、対象設備に関する高度な知識や過去の経緯の把握が必要であるが、それらを記録した文書は十分整備されていないため再利用が難しい。

そこで、工場やプラントなどで、蓄積された機器の図面・仕様書や、点検・トラブルの記録といった専門的な文書を高効率・高精度に認識する、専門分野に特化したインフラ文書理解 AI を開発した。

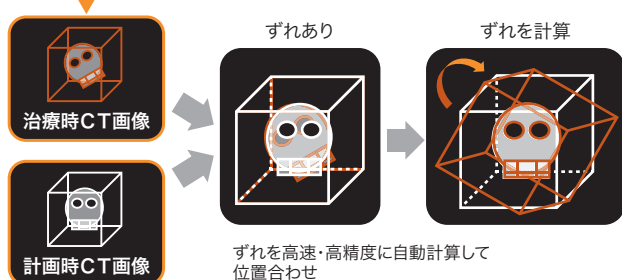
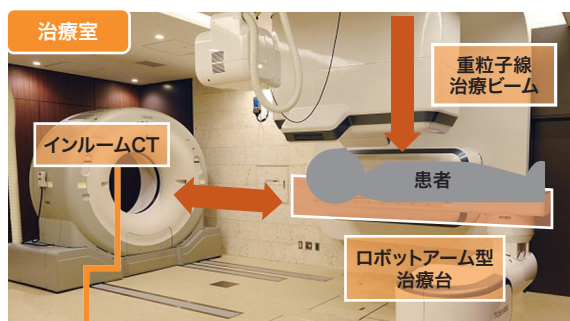
文書を高精度に理解する基盤技術として、大規模な汎用言語モデルが知られているが、大規模であるために、大量の専門的な文書を用意して事業分野ごとにモデルを適応させる必要があった。そこで、一般用語を習得した大規模な汎用言語モデルを教師モデルとして、教師モデルからの継承で一般用語を学習すると同時に、別カリキュラムで専門用語も学習することで、小規模な特化言語モデルを生成するようになった。

電力設備の保守点検記録に記載されたトラブルに関する表現を見つける言語解析試験に適用した結果、学習に用いる文書量は従来の 1/100 でありながら、保守点検記録の中からトラブルが発生した“機器の現象”や“保守員の対策”が記載された箇所を、正解率 89% で抽出できるなど、実用水準に近い高い精度が得られた。

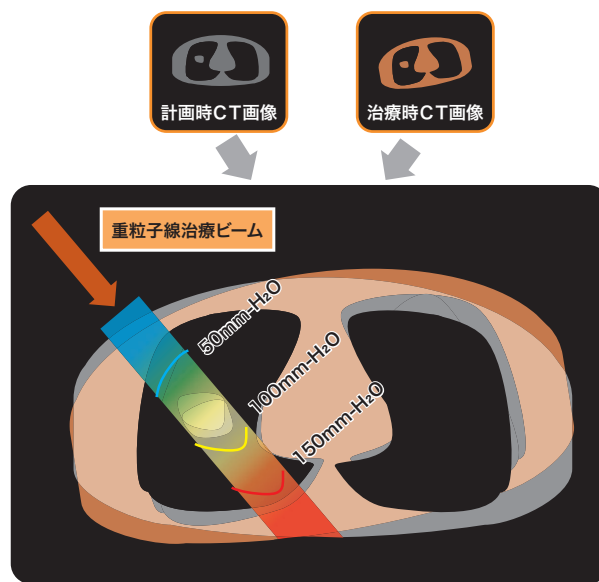
従来の AI では認識が困難だった熟練者の経験や知識が蓄積された専門的文書の活用が、インフラ文書理解 AI で可能になり、記載不備のある報告書の自動チェックや、類似のトラブル事例を参考にした早急対策立案、故障傾向の把握による故障前の部品交換など、保守点検業務を大幅に効率化できる可能性がある。2024 年度の東芝グループ内事業現場での運用開始を目指す。

研究開発センター

重粒子線治療の効果を高める3D患者位置決め技術



(a) 3D画像同士を自動位置合わせする計算手法



エネルギー減衰量を簡易計算する水等価厚長(mm-H₂O)が、腫瘍付近で一致するように位置合わせ

(b) 重粒子線治療ビームの飛程を計画値に合わせる手法

重粒子線治療向け3D患者位置決め技術の概要

Schematic drawing of three-dimensional (3D) patient positioning technology for heavy-ion radiotherapy

重粒子線治療は、重粒子線をがんに照射して破壊するがん治療方法である。従来の放射線に比べて治療効果が高く、ピンポイントに照射できるため、治療期間が短く、身体への副作用も少ないことから、早期の社会復帰が期待できる。

重粒子線治療を行う際には、患者体内のがんを、治療計画時に定められた照射スポットに、高精度に位置決めをする必要がある。そのために、照射の直前に患者の透視画像を撮影し、治療スタッフが体内の様子を観察して患者の位置を調整する。あるいは従来、透視に利用してきた2次元のX線画像は、患部の視認性が低いため、現在は明瞭に写る骨などを手掛かりに、治療計画の透視画像との自動画像照合手法で位置決めをする。

近年、人体の輪切り画像を撮影可能なCT(コンピューター断層撮影)装置が備えられた治療室が普及しつつあり、治療直前の患者の3次元(3D)画像(治療時CT画像)と治療計画の立案に使用された3D画像(計画時CT画像)で位置決めをすることで、治療精度の向上が期待できる。その一方で、2次元のX線画像に比べて、3Dの画像照合では計算量の増加が懸念される。

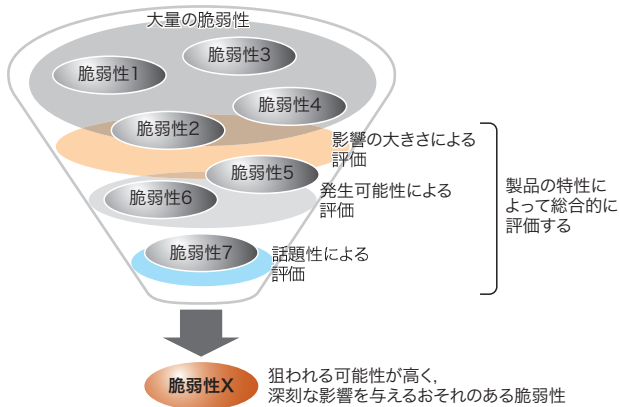
そこで、高速・高精度に3D画像同士の自動位置合わせを行う計算手法を、国立研究開発法人 量子科学技術研究開発機構と共同で開発している。二つの画像のずれを表す画素値の差が小さくなる方向を、GPU(Graphics Processing Unit)で並列計算して推定する。

更に、画素値の差の最小化と同時に、患部での重粒子線治療ビームの飛程を計画値に合わせる手法を開発中である。重粒子線治療ビームは、患者体内の通過によってエネルギーが減衰していく。腫瘍までのエネルギー減衰量を簡易計算するために、重粒子線治療ビームの飛程と関係のある水等価厚長(mm-H₂O)が、計画時と治療時で一致するように位置決めをすることで、計画どおりの線量を腫瘍に与えられる。

どちらの手法も、計算時間は従来の位置決め手法と大きく変わらない見込みである。重粒子線治療向け3D患者位置決め技術は、2025年頃の実用化を目指して開発を進める。

研究開発センター

脆弱性リスク評価技術



脆弱性リスク評価技術の概要
Overview of vulnerability risk assessment technology

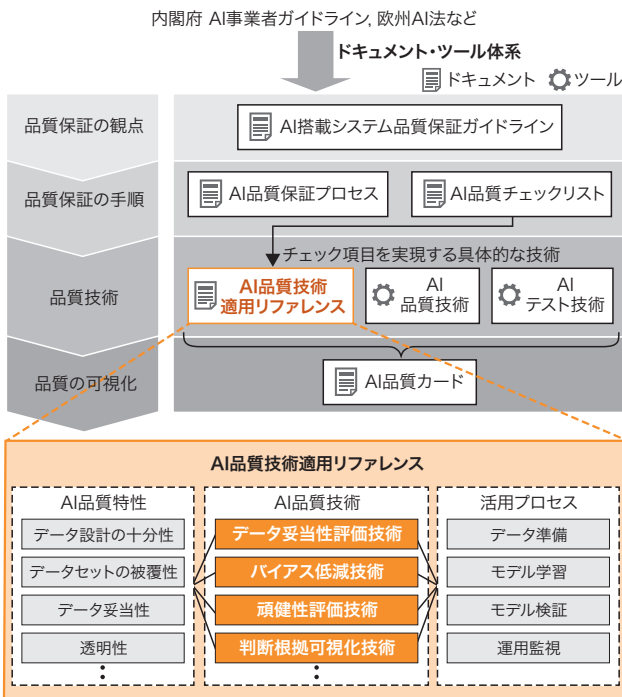
製品に対して悪意ある操作が可能なソフトウェアの脆弱（ぜいじゃく）性は、年間数万件報告されている。

これに対応するため、製品開発者がリスクの高い脆弱性を優先して対応できるよう、対応優先度を自動的に判断する脆弱性リスク評価技術を開発した。この技術は、“攻撃発生時の影響の大きさ”と“攻撃の発生可能性”に、“脆弱性の話題性”を加味して、脆弱性が対象製品に及ぼすリスクを総合的に評価する。攻撃発生時の影響の大きさは製品の利用環境やセキュリティ対策状況を、攻撃の発生可能性は脆弱性への攻撃事例や攻撃プログラムの公開の有無などを、そして脆弱性の話題性は脆弱性のメディアやWebへの掲載状況などを考慮しており、これによりリスクの変化を早期に捉えてセキュリティ事故を未然に防ぐことが可能となる。

過去の約四万件の脆弱性に対する評価の結果、対応優先度の高い脆弱性の数は従来指標（CVSS（Common Vulnerability Scoring System）基本評価基準）に比べて約1/25（月に数件）まで削減でき、重要な脆弱性の見逃しも発生しないことも確認できた。今後は実際の脆弱性対応に適用し、効果を実証する。

研究開発センター

AI品質管理を実践するためのAI品質技術適用リファレンス



AI品質管理のドキュメント・ツール体系とAI品質技術適用リファレンス
Document and tool sets for management of AI quality and reference application of AI quality technology

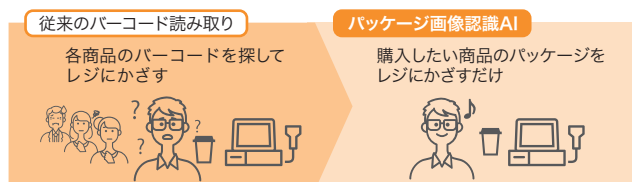
近年、内閣府によるAI事業者ガイドラインの策定検討など、AIの管理を強化する動きが高まる中、当社はAI品質管理のドキュメント・ツール体系を整備している。その中で、AI品質技術適用リファレンスは、AI品質チェックリストのチェック項目に挙げたAIの品質を評価・改善する技術をまとめたものである。

AI品質技術適用リファレンスでは、AI品質技術を、活用プロセスとAI品質特性（国立研究開発法人 産業技術総合研究所「機械学習品質マネジメントガイドライン」による）の観点で分類・整理した。活用プロセスでは、AIモデルライフサイクルの、データ準備、モデル学習、モデル検証、及び運用監視を定義した。AI品質特性では、データ妥当性や透明性などを定義した。当社独自手法を含むAI品質技術をこれらの項目へマッピングし、個々の技術について、解決する品質課題・効果・利用方法と、適用可能なデータ種別・AIモデル種別を記載した。

AI品質技術適用リファレンスを活用することで、AI開発者・運用者は、AI品質の評価・改善に必要な技術を容易に見つけることができ、AI品質管理の効率や効果の向上が可能になる。

研究開発センター

■ バーコードなしで購入商品を特定するセルフレジ向けパッケージ画像認識AI



パッケージ画像認識AIによる購入商品の特定
Identifying items scanned with self-checkout point-of-sale (POS) system by capturing images

買い物の利便性向上と、店舗の労働力不足解消のため、消費者自身が商品登録と会計を行うセルフレジが注目されている。一方で、操作に不慣れな消費者は、商品バーコードの読み取りに手間取り、会計完了までの時間が長くなる傾向にあるため、使いやすく操作性の良いセルフレジが望まれていた。

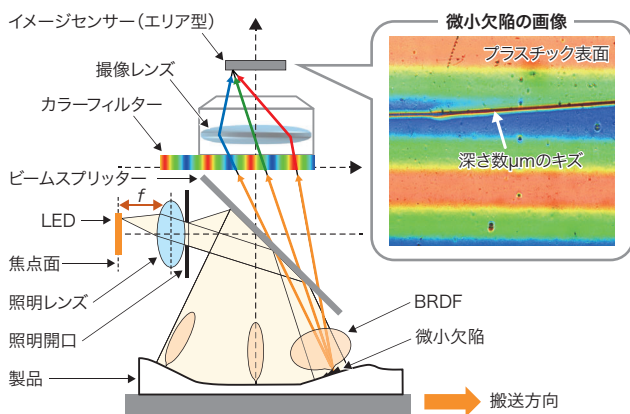
そこでバーコードではなく、セルフレジのスクリーン画像から商品パッケージを認識し、購入商品を特定するパッケージ画像認識AIを開発した。この技術の処理時間は、従来のバーコード読み取りと同程度であり、バーコードを探す手間と時間を削減できる。

スーパーマーケットが扱う約6,000商品の画像データセットを用いた評価実験の結果、約97%の商品を特定できることを確認した。また、特定できない商品を幾つかに絞り込むことができた。更に、未登録の新商品は、セルフレジのスクリーンで商品を撮影するだけで簡単に追加登録でき、約90%の商品を特定できることを確認した。

開発した技術は、東芝テック(株)と連携してセルフレジへの搭載を進め、顧客体験の向上と効率化に貢献していく。

研究開発センター

■ 曲面对応型ワンショットBRDF光学検査技術



LED：発光ダイオード

光学系の模式図とプラスチック製品表面の微小欠陥の画像例
Schematic of optical system and example of image showing micro defects

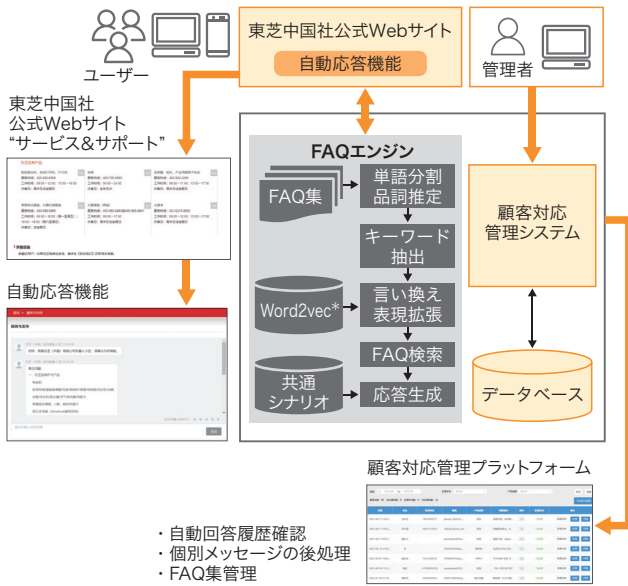
自動車などの様々な製造工程において、目視による良否判定の代わりに、製品表面の微小欠陥を非接触で高速に検査し、品質を管理することが望まれている。当社は、反射光の方向を色変化として捉え、微小欠陥を鮮明化できる撮像技術(ワンショットBRDF(Bidirectional Reflectance Distribution Function))を開発してきた。しかし、曲面上の微小欠陥は、曲面からの反射光が撮像装置に戻ってこないため、検査が困難であった。

そこで、扇状に広がる照明と、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用い、曲面上にある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た。この光学系により、最大傾斜角±10°の曲面上の微小欠陥(高低差数μm以下)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、製造ラインで搬送される製品の表面が曲面であっても微小欠陥を識別可能になるので、人員削減や効率化に貢献できる。

研究開発センター

シナリオレス型自動対話FAQ技術によるコールセンター業務の自動化



- ・自動回答履歴確認
- ・個別メッセージの後処理
- ・FAQ集管理

*文章中の単語を数値ベクトルに変換してその意味を把握する自然言語処理手法

シナリオレス型自動対話FAQ技術によるコールセンター業務自動化の概要

Overview of call center automation using automatic, scenario-less frequently asked question (FAQ) dialogue technology

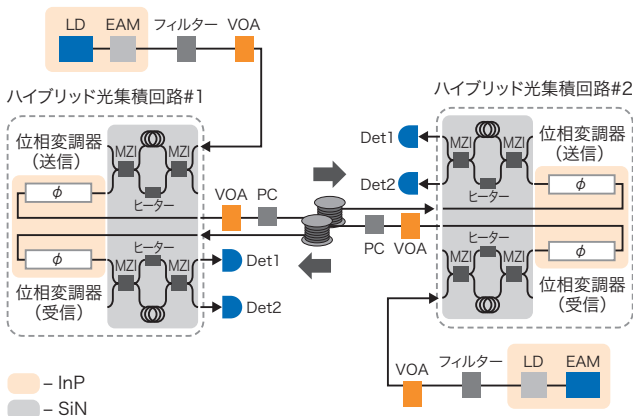
中国語版シナリオレス型自動対話FAQ (Frequently Asked Questions) 技術を適用し、これまで人が対応していた当社コールセンター業務を、チャットボットによる自動応答に変更した。

シナリオレス型自動対話FAQ技術は、FAQ集を用意するだけで低コストにチャットボットシステムの構築が可能で、FAQ集が変わっても即座にシステムに反映できる点が特長である。更に、スライディングウィンドウと曖昧検索による専門用語キーワードマッチング機能により、応答精度が従来よりも向上した。

2023年4月に、当社公式Webサイト上でこの技術による自動応答機能の試行を開始し、実用上問題のない精度で対応可能なことを確認した。その上で、8月中旬に既存の電話・メールの有人対応窓口を終了し、顧客からの問い合わせ対応を自動応答に一本化した。9月末までの3,757件の問い合わせに対し、回答率99.81%という高い精度での自動応答を実現した。この結果、コールセンター業務の大半を自動化し、運営コストの大幅削減につながった。

東芝中国社

ハイブリッド光集積回路を用いたQKD送受信チップ



- PC : フォトニック結晶
- MZI : マッハツェンダー干渉計
- VOA : 可変光減衰器
- Det : 光検出器
- LD : レーザーダイオード
- EAM : Electro-Absorption Modulator

ハイブリッド光集積化技術を用いたQKD送受信チップによる双方向通信システムの構成

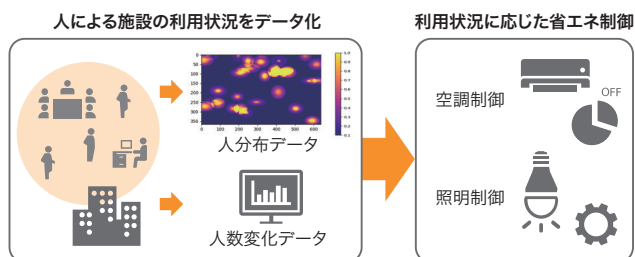
Configuration of bidirectional communication system using hybrid photonic integrated quantum key distribution (QKD) transceiver chip

究極の情報通信といわれる量子インターネットの幅広い普及に向け、量子鍵配送 (QKD) システムの小型化・低コスト化が期待されている。2022年には、InP (リン化インジウム) QKD 送信機と SiN (窒化ケイ素) QKD 受信機の光集積回路を用いた世界初のチップベースQKDシステムを実証した。今回、2種類の特性の異なる送受信機をハイブリッド光集積化技術により一つのチップに統合し、伝搬の超低損失と位相変調の高速性を両立するQKD送受信チップを開発した。

このチップの性能評価実証を行い、実ファイバーで250 km超の距離でのチップ間QKD通信の確立、複数ノードの通信を行うために必要な前方・後方の双方向通信、及び50 kmと180 kmの光ファイバー接続での2.4 Mbps/15 kbpsの高速な鍵配送性能を確認した。また、54時間以上の連続動作ができる安定性も示した。高性能QKDシステムの新たな可能性を切り開き、より柔軟で効率的なアジャイル量子ネットワークの実現に貢献する。

東芝欧州社

■ 省エネ性向上に貢献する人流推定プラットフォーム

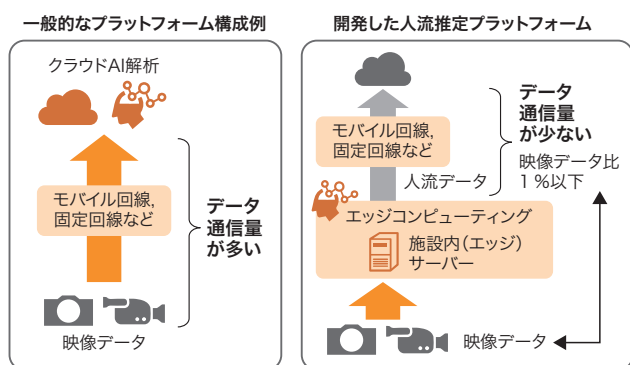


高度な省エネ制御実現のための人流データ活用
Energy-efficient facility control utilizing people flow data

カーボンニュートラル実現に向けて、ビルや工場などの各種施設では、快適性と省エネを両立する制御や、工程の自動化の実現が求められている。そのために、人の分布や、人数変化、アクティビティーなどの、人による空間の利用状況をデータ化した人流データが必要とされている。

そこで、施設内のカメラデバイスからの映像をAI解析し、人流データを生成する人流推定プラットフォームを開発した。人流推定プラットフォームでは、現場（エッジ）のサーバーなどで映像取得直後に解析を実行するエッジコンピューティングにより、映像をデータ量の少ない人流データ（映像データ比1%以下）に変換する。これにより、クラウドシステムなどへのデータ通信量や、データストレージ容量を削減し、効率の良い人流推定を実現した。

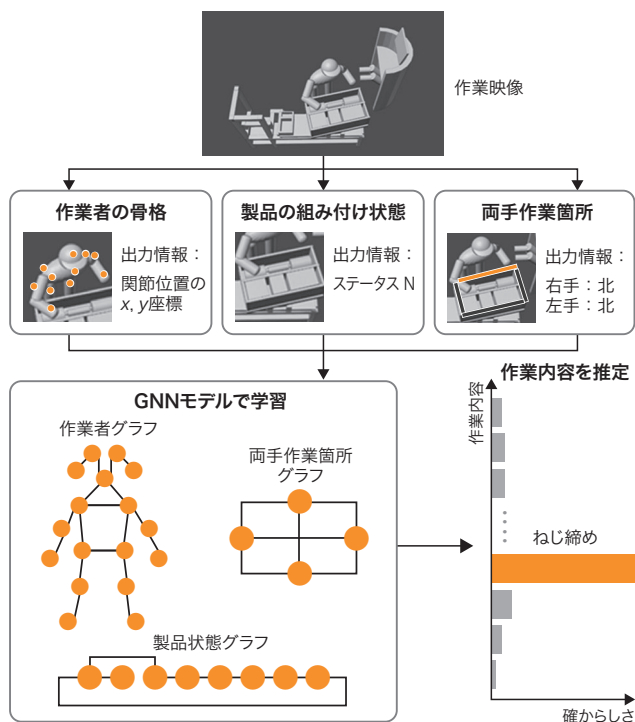
現在、社内執務環境において、人流推定プラットフォームで生成された人流データを利用して、空調や照明の省エネ制御を実証中である。今後、実証を通して得られた知見を基に、人流データを活用した省エネ制御を社会に実装し、カーボンニュートラル実現に貢献していく。



人流推定プラットフォーム
People flow estimation platform

研究開発センター

■ 作業者の骨格位置・作業箇所・製品状態を基にした作業内容推定技術



作業内容推定のプロセス
Work process estimation based on information of worker skeletal structure, parts to be worked on, and product conditions

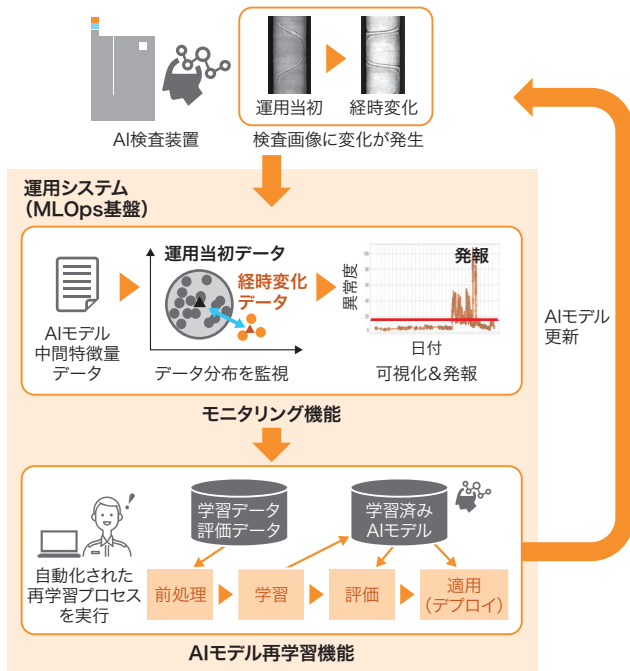
多くの製造現場では、製造に関わる様々なデータの自動収集と分析に基づく改善活動により生産性を向上させている。しかし、人手作業に強く依存した組立工程のような、作業内容が複雑で多種多様な製造現場では、作業データを専用のセンサーなどで収集することが難しい。

そこで、作業現場を撮影した映像から抽出した、作業者の骨格位置、製品に対する両手の作業箇所、及び製品の組み付け状態の情報を統合的に学習し、作業内容を自動かつ高精度に推定する技術を開発した。学習モデルにはGNN (Graph Neural Network) を用いており、各入力情報に対してグラフ構造を考慮して学習することで、詳細な特徴を捉えることが可能になる。16種類の要素作業で構成される組立工程における9名の作業者のデータを対象に、作業内容推定の精度評価を実施した結果、平均85%を超える推定精度が得られ、現場への導入が可能なレベルであることを確認した。

今後、様々な製品・サービスに対して適用し、改善活動に必要な作業データ収集の自動化を進めていく。

生産技術センター

AI 品質検査の精度を長期間維持する運用システムの構築



長期間の検査精度維持を可能にするAI品質検査向け運用システムの概要

Overview of AI system enabling long-term maintenance of quality inspection accuracy

AIを用いた品質検査では、材料変化や、検査装置の経時変化などによって、運用中に検査精度が低下することがある。検査精度を長期的に維持するためには、データの経時変化を監視し、精度低下の兆候を確認した際に再学習が可能な運用システムが必要である。

今回、セラミック製品の製造ラインで稼働中のAI外観検査に対し、再学習可能な運用システムを構築・適用した。この運用システムは、当社のMLOps (Machine Learning Operations)^(注)基盤を利用して実装し、AIモデルの中間特徴量を監視してデータ変化時に警報を上げるモニタリング機能と、AIモデルの再学習プロセスを簡単に実行できる機能を持つ。

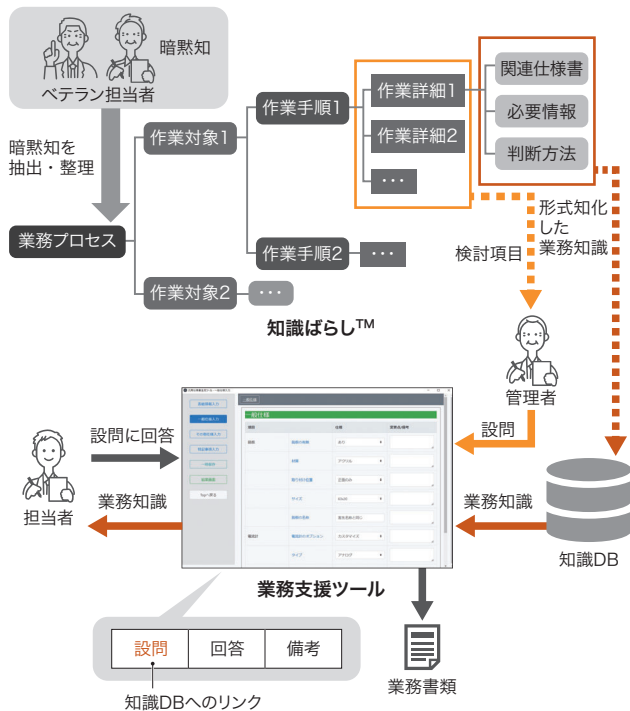
10か月間の長期運用の結果、照明の角度ずれによる検査精度低下が発生した際に、データの変化を30分以内に検出して発報したため、AIモデルの再学習により精度回復できた。

製造現場のAI検査工程にこの運用システムを導入することで、検査精度を長期間維持できることが実証できたため、今後、ほかの検査工程にも広く展開していく。

(注) 機械学習のライフサイクルを管理する枠組み
関係論文：東芝レビュー、2023、78、4、p.29-32。

生産技術センター

知識ばらし™と業務支援ツールの連携で知識を活用・継承する手法



知識ばらし™と業務支援ツールを連携した業務知識の活用・継承
Overview of knowledge utilization and transfer system consisting of knowledge systematization and business support tools

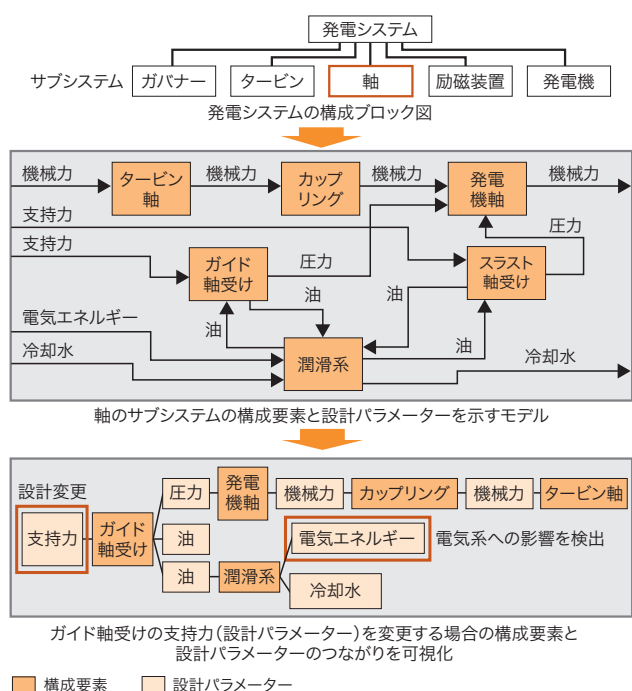
安定に事業を継続するには、業務を効率的に遂行できる環境作りと、経験が少ない担当者への業務知識継承が重要である。当社は、ベテラン担当者が持つ業務知識を形式知化する手法である知識ばらし™と業務支援ツールを連携させることで、業務知識を効率良く活用する手法を開発した。

知識ばらし™では、対象とする業務で暗黙知になりやすい必要な情報や判断方法を短時間で抽出し、ノウハウを階層構造の知識データベース(DB)に格納する。業務支援ツールは、設問への回答を基に業務書類を生成する機能と、更に回答の根拠となる知識DB内の情報にアクセスできるリンクを自動生成する機能を持つ。これにより、担当者は知識DBを利用して、効率的に業務書類を作成しながら業務知識を習得できる。

これをインフラ製品事業へ適用し、業務支援ツールを通じて効率良く業務を進めるとともに、ベテラン担当者の知識を組織全体で継承できる環境を構築した。

生産技術センター

■ MBSE活用による設計変更管理手法



設計パラメーターのつながりを可視化して設計変更の影響範囲を把握する設計変更管理手法

Design change management technique for visualizing relationships among design parameters to estimate impact of design changes

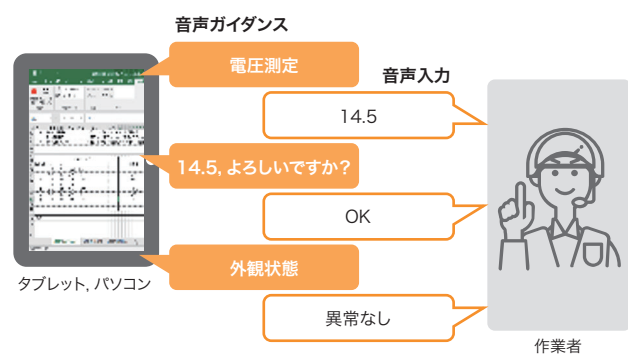
生産技術センター

電力・社会インフラ機器をはじめとする受注型製品では、顧客の要求に応じて製品の設計仕様を策定する。顧客要求や設計仕様に変更が発生した場合、変更内容を確実に製品設計へ反映する必要がある。インフラ機器のような大規模な製品の変更を手で管理することは困難であるため、人のスキルに依存しないで、ばらつきなく効率的な管理手法が必要である。

そこで、対象製品を階層状のサブシステムに分割したモデルで記述できるSysML (Systems Modeling Language) のダイアグラムを活用し、モデルベース (MBSE : Model-Based Systems Engineering) で管理する設計変更管理手法を開発した。発電システムにSysMLによる設計変更管理の手法を適用した結果、機械パラメーターの変更による電気系のサブシステムへの影響を検出した。また、運用・保守業務でも同様に、トラブルの発生点から要因となるサブシステムを検出できる。

この設計変更管理手法は、電力・社会インフラ製品における製品システム全体だけでなく、製品ライフサイクルの運用・保守にも活用することで、サステナブルな社会実現に貢献できる。

■ 音声認識技術を活用した音声対話型帳票入力ツールによる保守点検業務の効率化



音声対話型帳票入力ツール
Form input tool using voice interaction

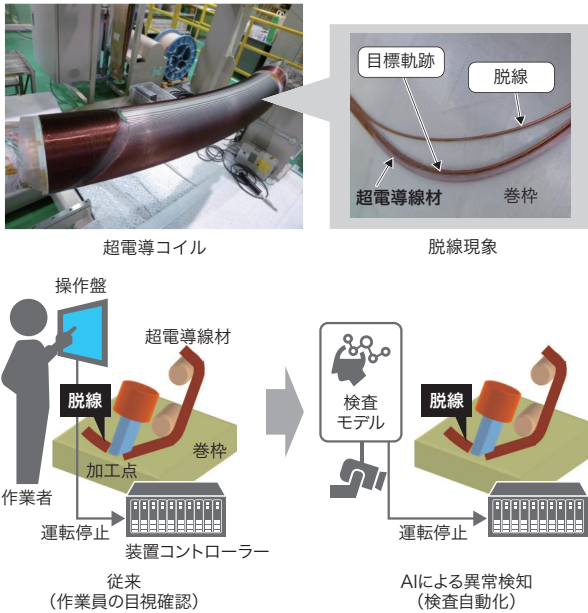
保守点検業務の現場では、作業の結果や測定したデータなどを、一旦、紙の帳票に記録し、その後、パソコンを使って手作業でファイルに入力する例などがある。このような帳票入力作業を効率化するために、AI技術による音声認識技術を活用した音声対話型帳票入力ツールを開発した。このツールは、帳票の作成に多用される表計算ソフトウェアのアドオンとして動作し、音声でファイルに直接入力できる。あらかじめ設定した手順に沿って、作業内容や入力項目などを音声ガイダンスとして読み上げ、作業者が作業結果や測定データなどを音声で入力する。

二人作業の一人作業化、記入・入力作業の削減、ハンズフリーでの作業性向上などにより工数削減の効果がある。また、音声ガイダンスでの安全注意事項を含む手順指示で作業の抜け漏れを防止し、音声入力データを基準値と比較して異常を検出することにより、安全性向上・作業品質向上の効果がある。

音声対話型帳票入力ツールは、保守現場のほか製造現場でも既に実用化されており、今後も様々な現場へ展開していく。

生産技術センター

■ 巻線検査工数削減を実現するAI異常検知技術



AI異常検知技術による巻線の脱線異常検知
AI technology for detection of coil winding disengagement

超電導磁石製造のコイル巻線工程において、人手による検査工数を削減するため、AI異常検知技術を開発した。

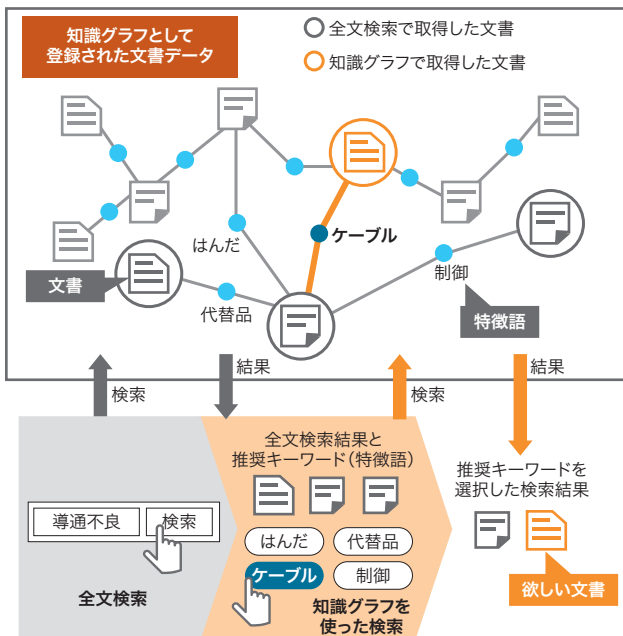
巻線機を用いて超電導線を巻枠の表面に押し付けながら溶着する巻線動作で、溶着不足の超電導線が巻枠表面から剥離する脱線異常が発生することがある。脱線異常発生時は即座に設備を停止させて手直りする作業が必要なため、常時、作業員が目視確認していた。

そこで、CNN（Convolutional Neural Network：畳み込みニューラルネットワーク）による線材画像特徴の抽出機能と、RNN（Recurrent Neural Network：再帰型ニューラルネットワーク）による画像特徴の時系列変化検出機能を組み合わせ、加工点付近に設置したカメラの映像から脱線を検知するAIモデルを作成した。事前に撮影済みの映像を用いた評価で脱線異常の発生を検出できることを確認し、検知率は97.1%と実用上十分高い値を示した。

今後、AI異常検知技術を巻線機に実装して自動化検証を進め、量産適用に向けて完成度を高めていく。

生産技術センター

■ 知識グラフを活用した効率的な情報検索システム



文書から自動生成した知識グラフを用いた関連検索
Searches for related documents using knowledge graphs automatically generated from document set

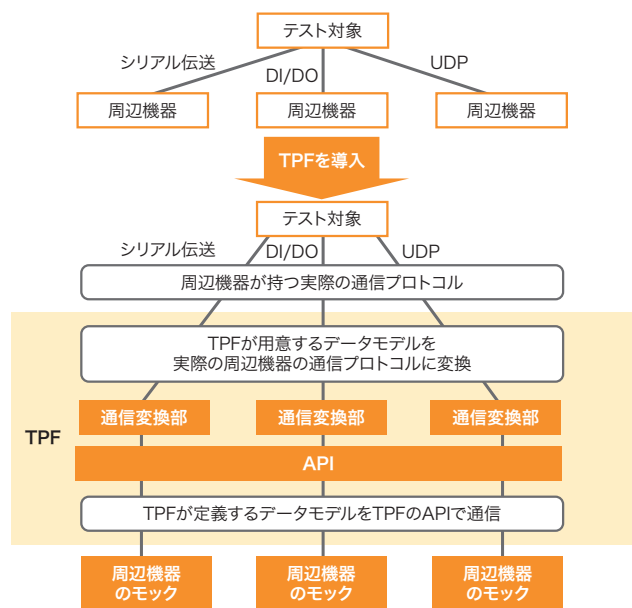
ノウハウ・知識が記載された文書を登録し、情報抽出する社内検索プラットフォームは、業務効率化に有用である。しかし、適切な検索キーワードを指定しないと、所望の結果が得られず、繰り返し検索が必要で時間が掛かることがある。

そこで、文書を端的に表現する特徴語の抽出を行い、各文書とひも付けることで知識グラフを形成し、そのひも付き情報から推奨のキーワードを提示する情報検索システムを開発した。キーワードによる全文検索を行った後、検索結果として得られた文書集合にひも付く特徴語を知識グラフから取得し、推奨キーワードとして提示する。ユーザーが特徴語を選択することで、特徴語にひも付く新たな文書へ検索範囲を拡大し、更に複数の特徴語を追加して範囲を絞り込むことができる。これにより、全文検索を繰り返すことなく、最初のキーワードでは検索できない文書にも到達できる。

品質不具合事例の文書を用いて、情報検索システムを検証した。的確な推奨ワードの提示と、全文検索だけでは取得できない関連文書の抽出が簡単に実行可能であり、システムの有効性を確認できた。

生産技術センター

■ CPS・IoT向けテストを効率化するテストプラットフォーム



DI/DO: デジタル入出力
UDP: User Datagram Protocol

TPF導入時の通信体系

Communication system provided by test platform

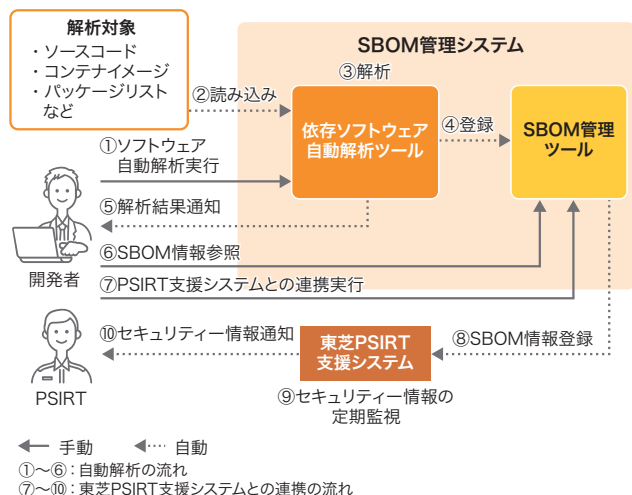
CPS (サイバーフィジカルシステム) やIoT (Internet of Things) で用いる多数の機器から構成されるシステムでは、システムテストの実施に、テスト対象機器だけでなく周辺機器も必要になるため、テスト環境構築のコストが増加しがちである。テスト用に、実際の周辺機器ではなく、挙動を模擬したシミュレーターを用いる場合も、相応の開発コストを要することがある。

そこで、周辺機器の挙動を模擬するモックの開発をクラウドシステム上で容易に実現するテストプラットフォーム (TPF) を開発した。TPF は、テスト対象と周辺機器の間の特有の通信プロトコルを意識しないで開発できるよう、汎用的なデータモデルと通信API (Application Programming Interface) を提供する。この汎用的な枠組みの下でモックを開発し、実際の通信プロトコルへの変換は TPF 内の通信変換部で行うことにより、テスト対象の周辺機器の挙動を簡便に模擬できる。

TPF を社会インフラシステムに試行適用し、必要最小限のコストでシステムテストを実施できることを確認した。

デジタルイノベーションテクノロジーセンター

■ OSSの管理を効率化するSBOM管理システム



SBOM管理システムによるSBOM自動解析の流れ

Flow of automatic analysis of software bill of materials (SBOMs) using SBOM management system

近年、ソフトウェアサプライチェーンにおいてライセンス違反リスクやセキュリティリスクが高まっており、その対策としてSBOM (Software Bill of Materials) が注目されている。

ソフトウェア製品は通常複数のオープンソースソフトウェア (OSS) を組み合わせて利用する。このとき、各OSSは複数の他のソフトウェアを呼び出して動作する。呼び出されるソフトウェア (依存ソフトウェア) は膨大な数になるため、それらを適切に特定しSBOMを作成することは難しい。

これを解決するため、ソフトウェアのソースコードリポジトリなどを指定することで、依存ソフトウェアを自動的に解析し、その解析結果を管理するSBOM管理システムを構築した。このシステムを試行した結果、SBOMの生成と管理に要する時間を82%削減できた。更に、東芝PSIRT (Product Security Incident Response Team) 支援システムと連携することで、ソフトウェア製品内のセキュリティリスクを継続的に監視できる。

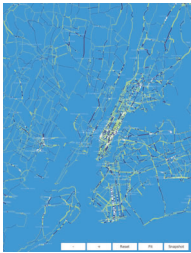
今後、このシステムを実用化し、SBOM管理の効率化に加え、ライセンス違反リスク削減とセキュリティ向上につなげる。

デジタルイノベーションテクノロジーセンター

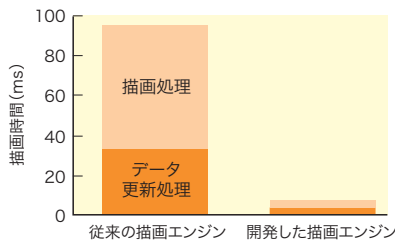
■ 監視制御システムにおける設備変更を容易にするオーサリングツールと大規模図面に対応した描画エンジンの開発



道路網(線数16,338本)作図例



端末上での表示



開発したオーサリングツールと描画エンジンによる道路網作図例と端末上での描画時間

Example of editing highway network using new authoring tool and rendering engine, and performance measurement using tablet

工場やインフラ設備の運用・メンテナンスで使用される監視制御システムでは、運用中に変更される設備や業務内容に応じ、系統図やプロセスフロー図といった監視対象図面の変更が必要になる。これらの図面は監視対象の動的な状態を表現するため、周辺技術の理解が不可欠であり、小規模な変更でも関連機器のメーカーに変更依頼する必要がある。

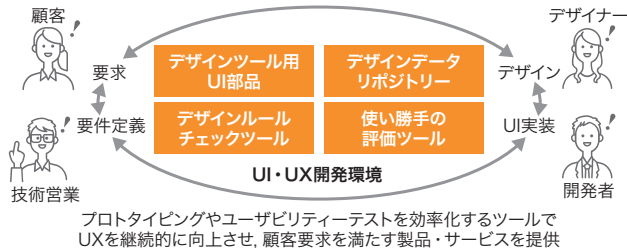
そこで、ユーザーが容易に監視対象図面を変更できるように、監視制御システムに統合できるオーサリングツールを開発した。このオーサリングツールはWeb上で動作するため、タブレットなどの多様な端末から操作可能である。また、WebGL™(注)を採用した描画エンジンも開発し、より大規模な図面にも対応できるようにした。

現在これらを統合した監視制御システムの開発を進めており、ユーザーのフィードバックを基に更なるユーザーエクスペリエンス(UX)向上を進めていく。

(注) Web Graphics Library. Web上でグラフィックを表示する技術。

デジタルイノベーションテクノロジーセンター

■ エンドユーザーにとって使いやすいUIの開発を促進するUI・UX開発環境

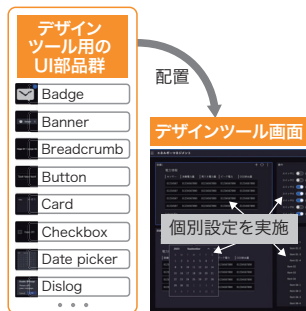


アジャイル型開発に有用なUI・UX開発

Agile development style useful for development of user interface (UI) and user experience (UX)

アジャイル型の開発では、顧客と協調し、ユーザーニーズや仕様の追加や変化に機敏に対応することが求められる。このためには、各開発ステップで生じる関係者からのフィードバックを効率良く反映しながら開発を進める必要がある。そこで今回、情報共有しながらユーザーインターフェース(UI)の開発を進めるUI・UX開発環境を準備した。

このUI・UX開発環境では、UIデザイン制作ツール用のUI部品群、デザインデータを保管・共有するリポジトリ、デザインルールのチェックツール、及びUIの使い勝手の評価ツールを提供する。これらのツールを用いると、UI部品群を利用したUIデザインの制作・変更を素早く行える、デザイン仕様の共有と議論が素早く行える、デザインルールに対する違反の検出が簡単になる、システムのUIから見た使い勝手をデザイン段階で評価できる、といったことが可能になり、後戻りの少ない開発につながる。



ツールの例(デザインツール用のUI部品群)

Tool example: UI components for design tools



ツールの例(デザインルールのチェックツール)

Tool example: Design rule checker

デジタルイノベーションテクノロジーセンター