

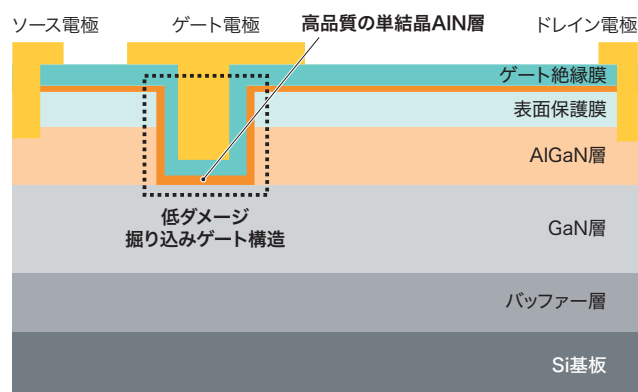
研究開発

Research and Development

東芝グループは、世界有数の CPS（サイバーフィジカルシステム）テクノロジー企業を目指し、東芝 Next プランを推進しています。その中で研究開発部門は、サイバー空間とフィジカル空間のデータの受け渡しを担うエッジ領域を差異化するコンポーネント技術や、AI をベースとしたデジタル技術、様々な IoT (Internet of Things) サービスを実現する技術などとともに、新規事業を創出するための先進技術並びに事業展開を支える基盤技術の開発に注力しています。



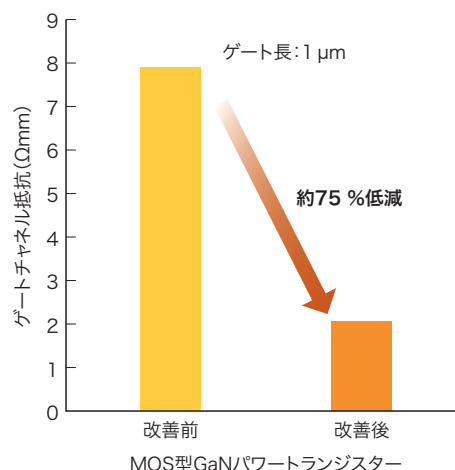
MOS型 GaN パワートランジスタのチャネル抵抗を低減させるプロセス技術



AlGaN: 窒化アルミニウムガリウム Si: シリコン

開発した MOS 型 GaN パワートランジスタの断面構造

Cross-sectional structure of metal-oxide semiconductor (MOS) type gallium nitride (GaN) transistor



プロセス改善前後のゲートチャネル抵抗の比較

Comparison of gate-channel resistance before and after process improvement

サーバー電源の省エネを可能にする GaN（窒化ガリウム）パワー半導体で、MOS（金属酸化膜半導体）型ゲート構造トランジスタのチャネル抵抗を、大幅に低減できる独自のゲートプロセス技術を開発した。

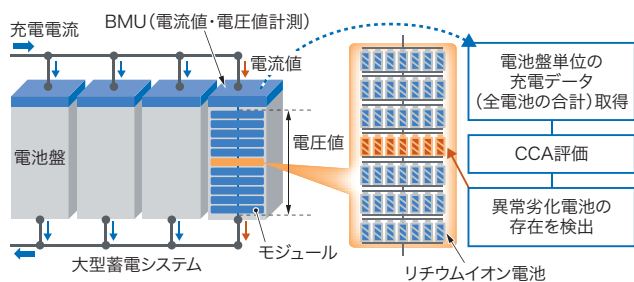
GaN トランジスタは、フェールセーフの観点からノーマリーオフ動作が求められ、高速動作が可能な MOS 型では、掘り込みゲート構造を採用する必要がある。しかし、掘り込みゲート構造には、チャネル抵抗が大きくなり、デバイスの損失が増大するという問題があった。

今回、独自に、

- (1) 掘り込みゲート形成時の GaN 層への加工ダメージ低減
 - (2) 掘り込みゲート構造への原子層堆積 (ALD) 法による高品質な単結晶 AlN（窒化アルミニウム）層形成
- の二つを組み合わせたプロセス技術を開発した。

この技術の適用で、ノーマリーオフ動作を維持しつつ、従来に比べ、ゲートチャネル抵抗を約 75 % 低減できた。これにより、ノーマリーオフ動作と低損失を両立させた MOS 型 GaN パワートランジスタを実現するプロセス技術が得られた。

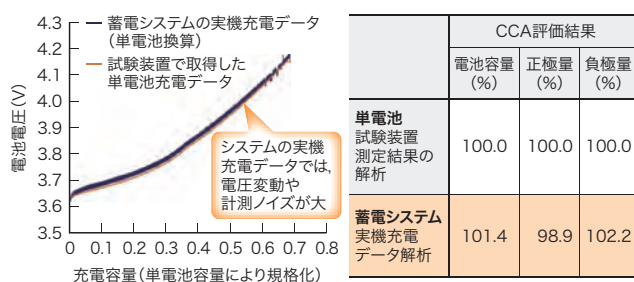
■ リチウムイオン電池を搭載した蓄電システムの充電曲線解析による内部状態評価



BMU: バッテリーマネジメントユニット

大型蓄電システムの構成と電池盤単位でのCCA評価

Configuration of large-scale battery energy storage system and charging curve analysis (CCA) method applying measurements per battery string

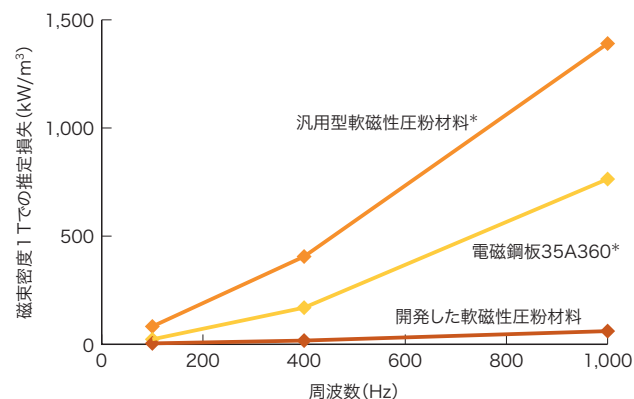


蓄電システムの充電データとCCA評価による内部状態推定結果

Charging data obtained by actual battery energy storage system and results of internal state estimation using CCA method

研究開発センター

■ 超低損失の軟磁性圧粉材料



*Maeda, T. et al. SEI TECHNICAL REVIEW. 2005, 60, p.3-9を基に作成

磁束密度 1 T (テスラ) 下での汎用型軟磁性圧粉材料及び電磁鋼板と、開発した軟磁性圧粉材料との損失比較

Comparison of core loss of conventional soft magnetic composite, electrical steel sheet, and newly developed soft magnetic composite at magnetic flux density of 1 T

大容量のリチウムイオン電池を搭載したEV (電気自動車) や、定置用蓄電システムが普及しつつあり、電池の安全維持や性能把握のための診断技術の開発が急務となっている。

当社は、運用中の電池の診断手法として、充電曲線解析 (CCA) 技術の開発に取り組んできた。CCAは、電池の充電データから正極・負極劣化を含む内部状態を推定し、安全性評価や、残寿命推定、制御の調整による寿命延長などを行う。しかし、大型蓄電システムのCCA評価では、数千個以上の電池が接続されており、各電池の充電データを取得するのが難しいという問題があった。

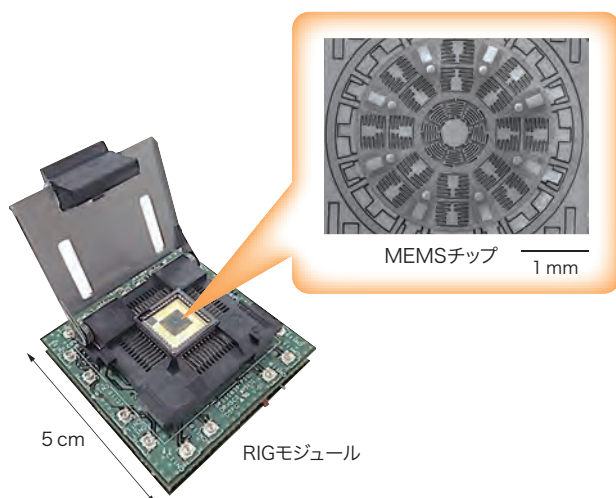
そこで、大型蓄電システムでも取得が容易な電池盤単位で充電データをCCA評価し、内部状態を推定することで材料劣化が進んだ異常電池を含む電池盤を検出する技術を開発した。計測ノイズが大きいシステムの実機充電データのCCA評価においても、誤差は約2%に収まることを確認しており、現在、当社製 SCiB 搭載の大型蓄電システム及び他社製電池搭載の住宅用蓄電システムで実証試験を継続している。

汎用型軟磁性圧粉材料や電磁鋼板といった従来材に比べて、幅広い周波数帯域で損失を大きく低減し、モーターシステムや、インダクター、トランスなどの部品から成る電源システムの高効率化を可能にする、超低損失の軟磁性圧粉材料を開発した。

軟磁性圧粉材料は、高い形状自由度と優れた磁束制御性を備えることから次世代軟磁性材料として期待されているが、一般に損失が大きく、低損失化が重要な課題となっている。今回、扁平 (へんぺい) 形状の磁性粒子を用い、扁平面内の磁気特性を制御することで磁束制御性を更に高め、損失を大きく低減させるという独自のコンセプトで材料開発を行った。FeCoSiB (鉄-コバルト-シリコン-ホウ素) の非晶質扁平磁性粒子を絶縁性マトリックス中に配列させ、扁平面内に磁界を印加しながら熱処理を行うことで、熱処理時の磁界方向に沿って効率良く磁束を導くことができ、従来材に対する大幅な低損失化を実現した。

研究開発センター

■ 角度直接検出型高精度ジャイロセンサー



開発したRIGモジュールとMEMSチップ

Microcontroller-based rate integrating gyro (RIG) module and micro-electromechanical systems (MEMS) chip

対象物の向きや角度を計測するジャイロセンサーは、倉庫・工場内での物品位置推定や、ドローンの精密姿勢制御、自動運転などの幅広い分野での応用に向けて、一層の高精度化が期待されている。

今回、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術で小型チップ化した角度直接検出型ジャイロセンサー (RIG) で、世界初^(注)となるマイクロコントローラーベースのモジュール開発とその動作実証に成功した。従来のジャイロセンサーでは、角度を求める際に、計測した角速度の数値積分処理が必要であるのに対し、RIGは角度を直接検出できるため、高精度化が期待できる。RIG動作の必須条件となる振動子の非対称性補正を、独自技術の抵抗型可変ダンパーの導入などで実現した。

この研究の一部は、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) の助成事業「高度なIoT社会を実現する横断的技術開発プロジェクト」により実施したものである。

(注) 2020年1月にMEMS2020で発表、当社調べ。

研究開発センター

■ 複数ラインを移動しながらパレタイジングできる移動式パレタイザー



移動式パレタイザー

Mobile palletizer capable of handling multiple conveyor lines

製品の入った段ボールをパレット上に積み上げる従来のパレタイズ作業では、作業者が段ボールをパレットに積み上げるか、固定されたロボットで積み上げることが多い。このため、必要な人数の作業者の確保やロボットの複数台設置によるコスト高が問題となっていた。

今回、AGV (無人搬送車) にロボットを搭載した移動式パレタイザーを開発した。これにより、ロボットで段ボールを移載し、AGVで複数ラインを移動できるため、作業者を介さずに自動でパレタイズできる。電源は、急速充電が可能なSCiB™を採用し、充電に伴う停止時間を短縮した。AGVに搭載したロボットは、労働安全衛生規則の産業用ロボットに該当するため、安全柵又はそれに相当する安全システムが必要になる。そこで、パレットごとに安全監視エリアを分割し、移動式パレタイザーとパレット取り出し作業者とを分離できるように制御することで、パレタイジングの効率を低下させることなく、安全に作業できるようにした。

関係論文：東芝レビュー、2019、74、4、p.33-36。

生産技術センター

■ ニアライン向けHe充填HDDの高品質封止を実現する レーザー溶接封止自動化ライン



He 充填 HDD 用レーザー溶接封止自動化ライン

Laser welding and helium (He) sealing production line for He-filled hard disk drives (HDDs)

業界最大^(注)容量(16 T (テラ: 10^{12}) バイト)のストレージサーバー用ニアライン向け3.5 型 He (ヘリウム) 充填 HDD (ハードディスクドライブ) のレーザー溶接封止自動化ラインを開発した。

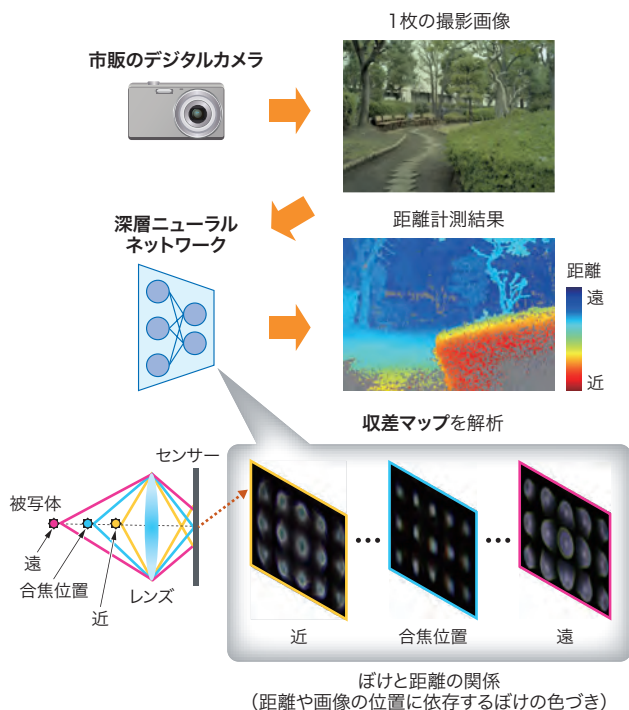
He を HDD 内に閉じ込めるため、東芝グループ内の様々な製品のものづくりで培ったレーザー溶接封止技術を活用した。He 充填 HDD のアルミダイカスト製筐体(きょうたい)に合わせてレーザー溶接プロセスを最適化することで、高品質な封止を実現した。更に、高速・低衝撃な HDD 搬送システムや、高速・高精度位置決め機構、インラインでの全数溶接自動検査機能などを備えることで、溶接品質を保証しつつ、生産性も向上させた。

今後も、安定した He 充填 HDD の供給に向け、順次設備を展開していく。

(注) 2019 年 1 月現在、高さ 26.1 mm の CMR (Conventional Magnetic Recording) 方式の 3.5 型 HDD として、当社調べ。

生産技術センター

■ 収差マップを利用した単眼カメラによる距離計測技術



収差マップによる単眼カメラ画像からの距離計測の概要

Overview of distance measurement according to aberration maps of image captured by monocular camera

市販のデジタルカメラで撮影した1枚の画像から、距離画像を取得できる技術を開発した。

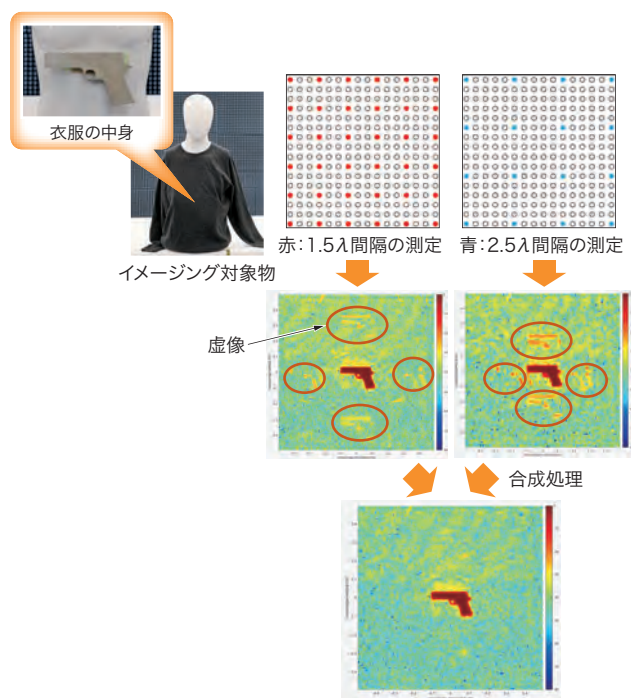
画像を用いて高精度に距離を計測する装置は、ステレオカメラが広く知られているが、2台のカメラを用いるため小型化が困難であった。また、単眼カメラを利用する場合は、小型ではあるが、特殊なカラーフィルターを取り付けるなど、追加加工なしでは距離計測ができないと考えられていた。

開発した技術は、この常識を覆し、レンズ収差と距離に基づく画像のぼけ(収差マップ)を解析して被写体までの距離を計測する。ぼけと距離の関係は複雑で、数式によるモデル化が困難なため、深層ニューラルネットワークにより計測データから得られるぼけと距離の関係を学習する。これにより、市販のデジタルカメラ1台だけで、被写体の形状などによらず、ステレオカメラ並みの高精度な距離計測を実現した。

この技術を活用することで、カメラの高機能化や、保守点検サービスの自動化、製品検査の精密化など、幅広い応用が期待できる。

研究開発センター

■ 警備支援システム向けミリ波レーダーイメージング技術



λ: ミリ波の波長

衣服の中に隠した物体のミリ波レーダーでのイメージング例
Example of image of concealed object created by millimeter-wave radar imaging technology

研究開発センター

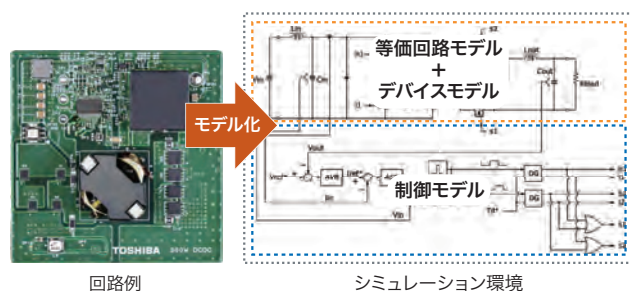
不審者が衣服の中にナイフや爆発物などの凶器を隠し持っている場合、監視カメラでの検知はほぼ不可能になる。また、公共スペースで人流を止めるセキュリティチェックは、利便性が低下するという問題がある。

そこで、見えない危険物をミリ波レーダーで短時間で検知する技術を開発した。従来、高精細なイメージング画像の生成には、アンテナで半波長間隔の測定が必要となり、短時間での検知は難しい。また、半波長以上の間隔で測定すると、不要な虚像が生じてしまう。

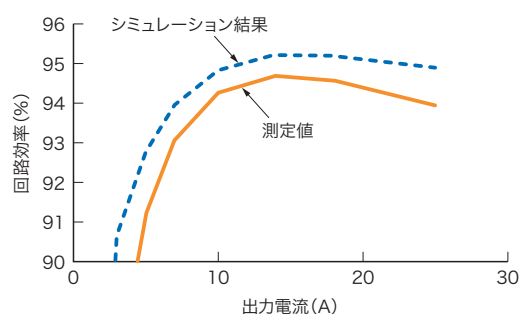
今回、半波長以上の間隔による間引き測定でも、互いに素となる間隔で測定した二つのイメージング画像を合成することで、虚像を打ち消し合う特性を新たに発見し、短時間での検知を実現する新方式を開発した。この方式は、半波長間隔で測定した場合の約 1/7 の測定数で、高精細なイメージング画像を生成できる。

これにより、駅改札や施設ゲートなどの公共スペースで、人流を止めない警備を支援する不審者スクリーニングが実現できる。

■ パワーデバイスの開発効率を向上させる高精度な電力損失シミュレーション



パワーデバイスを搭載する回路の電力損失シミュレーション環境
Simulation environment to evaluate power loss of circuit board equipped with power device



回路効率の実測値とシミュレーション結果の比較
Comparison of measured and simulated circuit efficiency

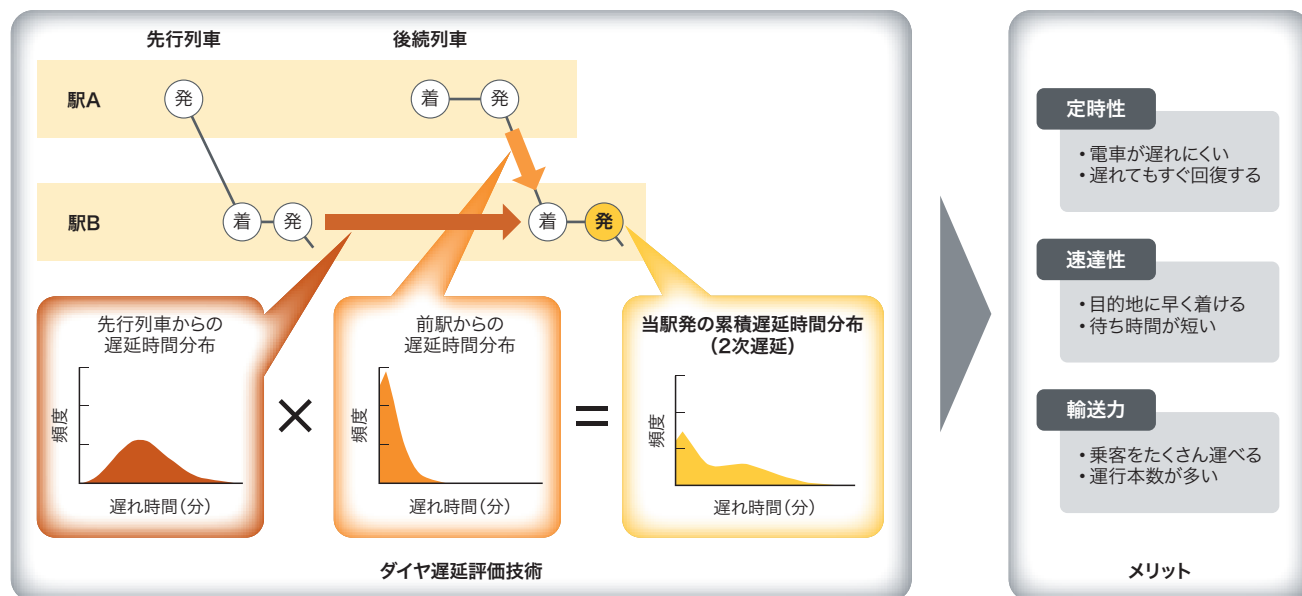
生産技術センター

回路に搭載された状態のときに、最高の性能となるパワーデバイス製品を開発している。今回、開発の後戻り防止や性能向上のため、デバイスが搭載される回路を模擬して高精度に電力損失を分析できる回路シミュレーション環境を開発した。

開発したシミュレーション環境は、回路部品で生じる損失を精度良く算出できる等価回路モデルと高精度なデバイスモデルを組み合わせた電気回路モデル、及び任意の負荷に適切な電力を供給するための制御モデルで構成した。電圧・電流を自由に観測できるため、電力損失の詳細分析や実際の回路では測定が困難な現象の評価が可能である。

このシミュレーション環境を活用することで、試作・実験の試行回数の削減が期待でき、低損失なデバイスを早期に市場展開できる。今後は、多様な顧客ニーズに対応するため、回路の種類を拡充していく。

鉄道事業者向けのダイヤ遅延評価技術



鉄道ダイヤの2次遅延評価のメリット

Advantages of evaluation of secondary delay time from train schedule

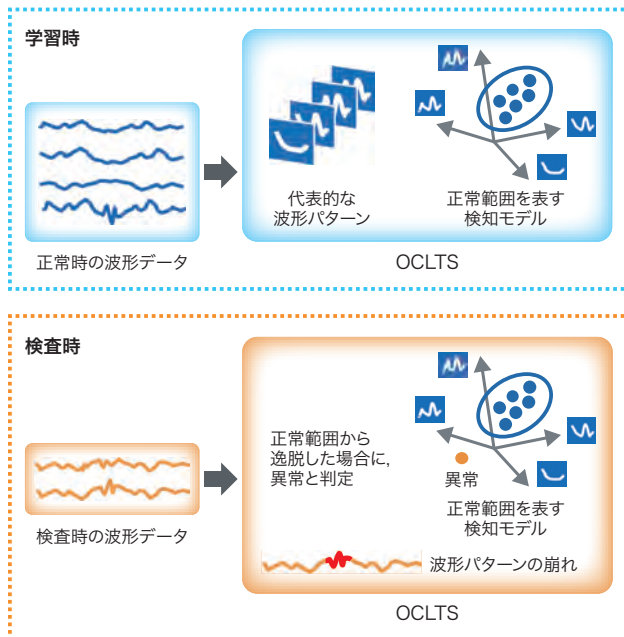
近年、鉄道の遅延が社会問題化しており、特に、後続列車への遅延が累積して生じる2次遅延が問題となっている。大きな2次遅延はまれにしか発生しないが、一度発生するとダイヤが大きく乱れるため、列車遅延リスクをあらかじめ正確に評価・予測してダイヤどおりに列車を運行することは、鉄道事業者にとって重要である。しかし、遅延シナリオを想定して何度もシミュレーションを繰り返す従来手法では、まれにしか発生しない大きな2次遅延を正確に評価・予測するために、膨大なシミュレーションを行う必要があり、短時間での評価の実現が課題であった。

この課題を解決するため、鉄道事業者が2次遅延に強いダイヤを作成するための基本技術として、全列車の2次遅延確率分布を高速に計算するダイヤ遅延評価技術を開発した。開発した技術は、実際の運転パターンやダイヤの発着時刻の情報を基に確率伝搬モデルを作成し、そのモデルに実際の運行実績を学習させることで2次遅延確率の計算精度を向上させている。更に、2次遅延確率の確率分布関数を直接扱うことで、従来手法で必要であった膨大なシミュレーションを行わずに2次遅延確率を計算できる。

実際の運行ダイヤに基づく性能評価では、全ての列車と駅の2次遅延確率分布の計算が、1秒未満でできることを確認した。これにより、大規模・過密ダイヤでの列車遅延リスクを低減しつつ、乗客の利便性と満足度を向上させ、鉄道会社の経営効率改善につながる運行計画が作成できる。

このダイヤ遅延評価技術が評価され、三井物産(株)との連携により、2019年9月に英国の鉄道会社 Greater Anglia との鉄道運行計画作成のプロジェクト合意がなされた。

■ 正常時の波形データだけで異常を検知する高い説明性を備えたAI技術 OCLTS



OCLTSの概要

Outline of fault diagnosis method using one-class learning time-series shapelets (OCLTS)

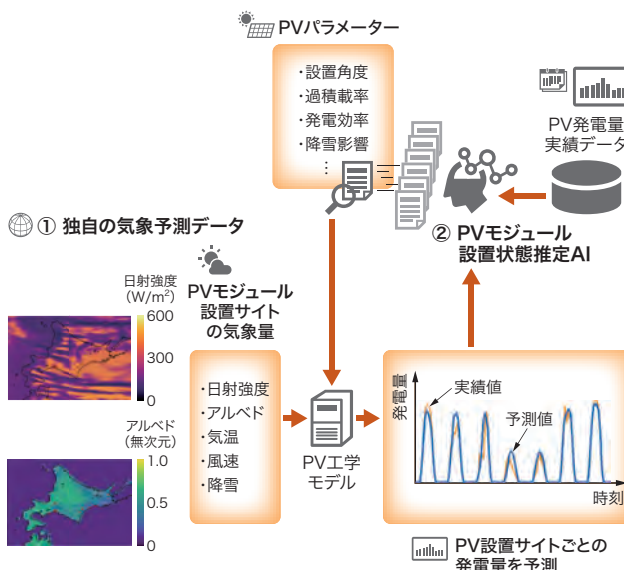
インフラ設備や製造装置などの状態を監視するために、様々なセンサーを用いてそれらの波形データを取得する環境が整ってきている。しかし、異常の発生はまれなため、異常データの蓄積や、それを用いたAI技術による学習は依然として難しい。また、異常を検知した際には、専門家が波形データを確認して原因を究明し、対策を立案する場合が多い。

このような背景から、代表的な波形パターン(Shapelets)と異常検知モデルとを、異常データなしで同時に学習する高い説明性を備えた異常検知技術OCLTS(One-Class Learning Time-series Shapelets)を開発した。波形パターンを学習する従来技術では、異常データを用いて学習するため、実際の社会インフラや製造工場などに適用することは難しかった。一方、開発した技術は、異常を検知した際に、正常時の波形パターンからの崩れを専門家に提示することで、専門家による原因の究明や対策の立案をサポートできる。更に、性能評価実験により、従来技術よりも異常検知性能が高いことも確認できた。

関係論文：東芝レビュー、2019、74、5、p.9-12.

研究開発センター

■ AIによる高精度な太陽光発電量予測技術



AIを用いて太陽光発電量を高精度に予測する技術の概要

Outline of high-precision photovoltaic (PV) power generation forecasting technology using artificial intelligence (AI)

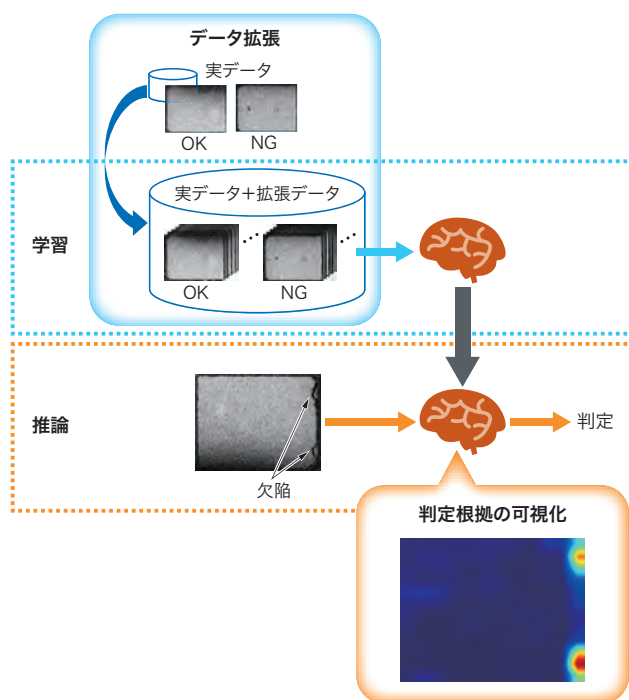
太陽光発電(PV)の発電量は、気象条件によって大きく左右されるため、今後の再生可能エネルギーの導入量拡大に伴って安定的な電力の需給管理を実現するには、高精度なPV発電量の予測が不可欠になる。

従来のPV発電量予測は、PVモジュールの設置地点の日射強度や気温といった気象予測データを使用して、設備状態(PVモジュールの容量や方位・傾斜角など)から工学モデルに基づいて行われていた。一方、当社は、①独自に運用する数値気象シミュレーションから得られる風速や、降雪、アルベド(地表面の反射率)などの気象予測データを、日射強度や気温に加えて使用するとともに、②発電量の実績値をPVモジュール設置状態推定AIに学習させて、PV工学モデルのパラメーター(PVパラメーター)を最適化することで、予測精度を向上させる発電量予測技術を開発した。この技術で、従来手法と比較して、予測誤差を約9.8%低減できることを確認した。

今後、この技術を電力需給管理システム製品や東芝グループの仮想発電所サービス事業などにも適用していく。

研究開発センター

■ 目視検査を自動化するAI画像検査技術

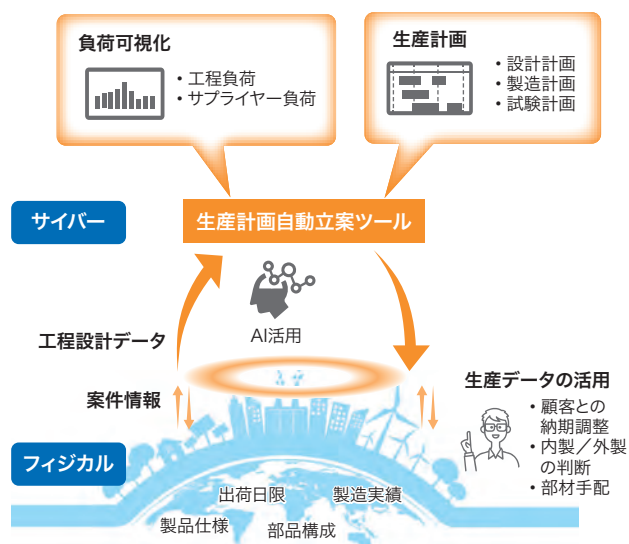


NG: No Good

AIで目視検査を自動化するためのデータ拡張・判定根拠可視化技術
Learned data augmentation and defect position visualization technologies for automated visual inspection using AI

生産技術センター

■ 個別受注設計製品に対応する生産計画自動立案ツール



個別受注設計製品の生産計画自動立案ツールの概要
Overview of automatic build-to-order production planning tool

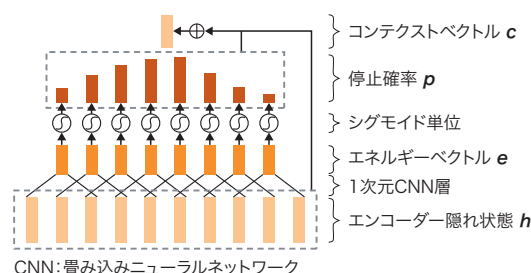
個別受注設計製品は、製品ごとに要求仕様が異なるため、受注後に製品設計と工程設計が必要になる。更に、その生産計画では、顧客との納期調整や、各工程での内製／外製の判断、部材手配などにも必要になる。このため、従来の生産計画立案は、担当者のノウハウに依存する部分が大きかった。

このような背景から、営業部門が管理する案件情報や製品仕様に合わせた工程設計データなどを一元管理することで、設計・製造・試験工程の計画を自動で立案できる生産計画立案ツールを整備し、業務への適用を開始した。このツールを活用することで、製造工程ごと、あるいはサプライヤーごとの長期的な負荷見込みが可視化できるようになり、関連部門間の計画調整時間や生産管理担当者の計画立案時間を削減できた。

今後、製品の多様化への対応力強化を目指してモジュール化を進めている設計データとの連携強化を図るとともに、蓄積された設計データや製造実績データを用いたAIを活用し、効率的な生産計画を短時間かつ高精度に導出する手法を開発していく。

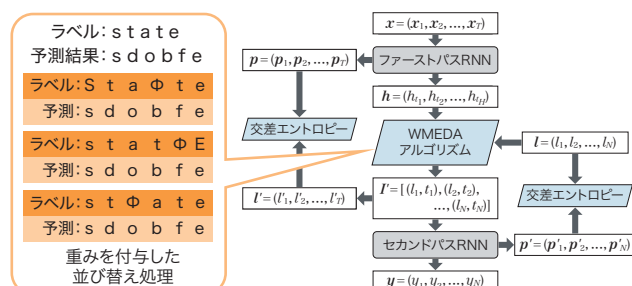
生産技術センター

■ End-to-Endモデルを導入した音声認識性能の向上手法



ACSアルゴリズム

Adaptive computation steps (ACS) algorithm for improvement of speech recognition accuracy



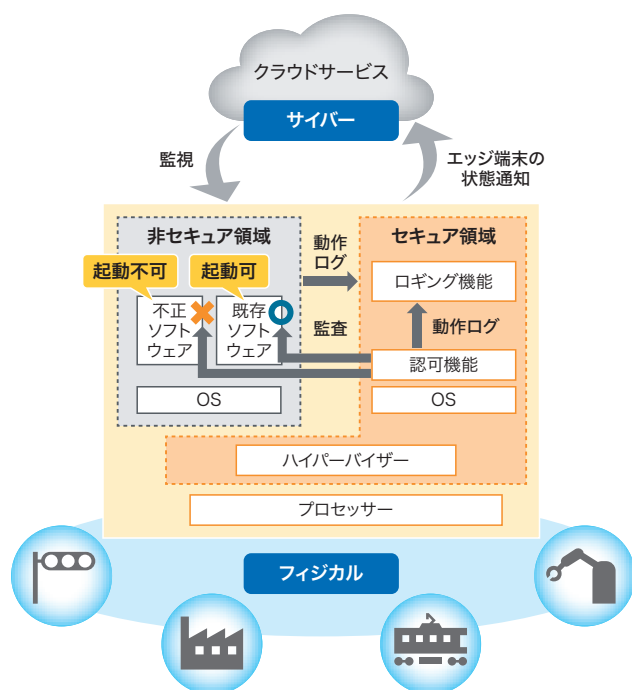
RNN:再帰型ニューラルネットワーク

WMEDA アルゴリズム

Weighted minimum edit-distance aligning (WMEDA) algorithm for shortening of training time

東芝中国社

■ 組み込みプラットフォーム向けロギング技術



OS:基本ソフトウェア

CPSのエッジ端末で動作ログの改変を防止するロギング技術

Logging technology to prevent alternation of log data from edge devices in cyber-physical systems (CPS)

研究開発センター

入力データと出力データの対を単一のモデルで学習させる End-to-End 型音声認識に関する研究が世界中で盛んに行われているが、実際に使用するには、認識精度や計算時間など改善すべき課題が多い。

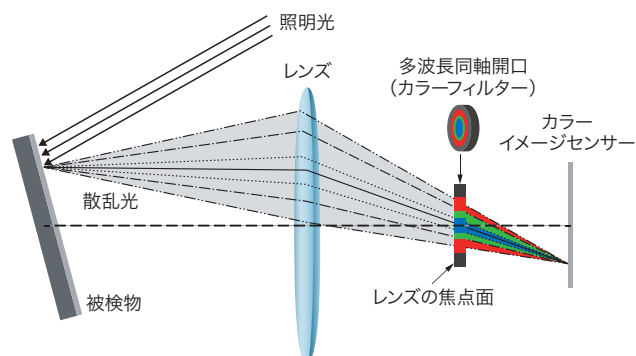
今回、認識精度の向上と計算時間の削減のそれぞれに貢献する独自の手法を開発した。認識精度については、音声認識モデル内部で実行する計算ステップ数を動的に決定する Adaptive Computation Steps (ACS) アルゴリズムを考案し、オンライン認識の文字誤り率を 31.2 % (従来手法 32.4 %) に、オフライン認識の文字誤り率を 18.7 % (従来手法 22.0 %) に改善した。また、計算時間については、音声認識モデルの学習プロセスに Weighted Minimum Edit-Distance Aligning (WMEDA) アルゴリズムを導入することで、学習時間を従来手法から 45.7 % 削減するとともに、文字誤り率を 19.38 % (従来手法 19.43 %) に改善した。

工場プラントや水処理プラントなどの社会インフラシステムでは、クラウドシステムから現場にあるエッジ端末の状況を把握し、異常の早期検知や故障の予兆検知につなげる取り組みが進められている。しかし、サイバー攻撃により動作ログが改変されると、正確な状況を把握できず、最悪の場合、事故につながるおそれが懸念されている。

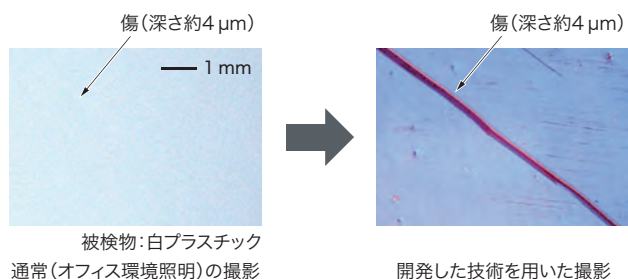
このような状況を踏まえ、CPS（サイバーフィジカルシステム）のエッジ端末向けに、仮想化技術を応用してセキュアにデータをロギングする技術を開発した。この技術は、アクセス制限されたセキュア領域でロギング処理と動作ログの集約を行うことで、動作ログの書き換えを防止する。更に、不正プログラムによる動作ログの改ざんを防止するため、プログラムの起動時にバイナリーレベルで当該プログラムの正当性をセキュアに検証する認可機能を搭載した。

今後、検知した異常からエッジ端末を回復させるレジリエンス機能を追加し、エッジ端末に組み込み機器を用いるCPSの実現に不可欠なプラットフォームに拡張していく。

■ 微小な表面欠陥の光学的非破壊検査技術



*Ohno, H.; Kano, H. Optics Express. 2018, 26, 20, p.25880–25891を基に作成



光学的非破壊検査技術で取得した深さ約4 μmの傷の画像例
Example of image of shallow defect of about 4 μm in depth captured by non-destructive inspection technique using optical system

研究開発センター

■ 鉄道の線路設備点検向け異常検知技術



軌道回路の部品異常検知システムの操作画面例
Example of operation display of anomaly detection system to identify failed part of track circuit system

近年、製造現場の品質検査では、光学装置を用いた非接触で高速な撮像によるIoT (Internet of Things) 化とともに、AIによる画像解析で作業の効率を向上させる試みが世界的に進められている。しかし、製品表面の微小な欠陥（小さな傷や異物）の検査は、いまだに熟練者が様々な角度から行う目視検査や、触感検査に頼らざるを得ないことが多い。

今回、微小な欠陥で反射される光は、平滑な面での場合に比べて僅かに偏向された散乱光になることに着目した。欠陥からのこのような散乱光を捕らえるため、被検物を照らす平行照明、光の偏向角の大小に応じて色分離するカラーフィルター、及びそのカラーフィルターを結像レンズの焦点面に配置する光学系を採用することで、欠陥を周囲と異なる色にしてワンショットで撮像する光学的非破壊検査技術を開発した。光学系の構造を決めるにあたっては、独自の散乱光解析技術などを用いた。

この光学的非破壊検査技術により、欠陥の検知や識別が非接触で効率的に実施できるようになった。

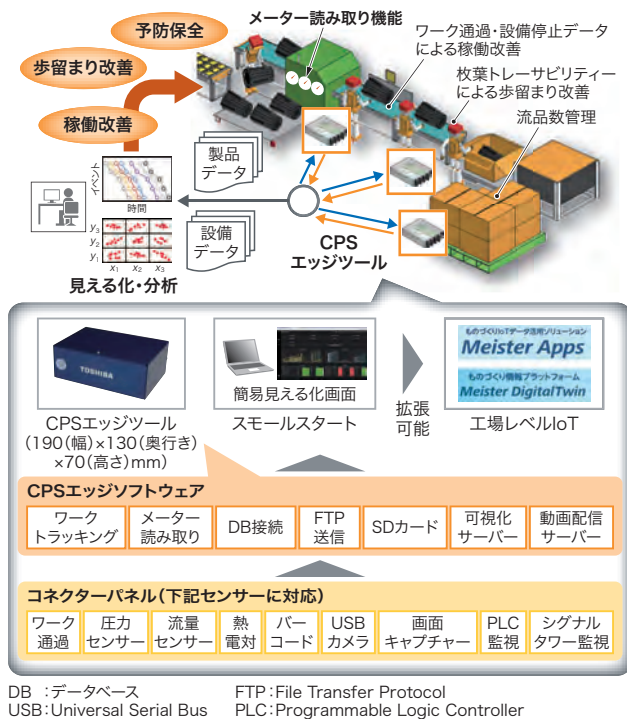
鉄道には、線路上の列車の位置を正しく検知するための軌道回路という設備がある。軌道回路を構成する部品に破損や、断線、脱落などが発生すると、鉄道の安全・安定運行に支障を来す。このため、鉄道会社では、多数の部品を定期的に目視点検している。

この保守点検作業の効率化を目的に、自動的に異常部品を検知するアルゴリズムを開発した。営業列車に取り付けられた軌道材料モニタリング装置で収集されたレール側面の画像を用い、①独自の画像特徴量CoHOG (Co-occurrence Histograms of Oriented Gradients: 輝度勾配方向共起ヒストグラム) による部品位置の自動検出、②撮影日ごとに異なる撮影位置やカメラ方向の詳細な位置合わせ、③対象箇所における基準となる撮影日の画像と点検日の画像との比較を行うことで、異常を検知する。

実データを用いた性能評価を行い、目視で異常が認められた部品に対する検知精度は、実用可能レベルであることを確認した。今後、この技術を搭載した部品異常検知システムを、保守点検の現場へ納入していく。

研究開発センター

■ 既存機器のIoT化を可能にするCPSエッジツール

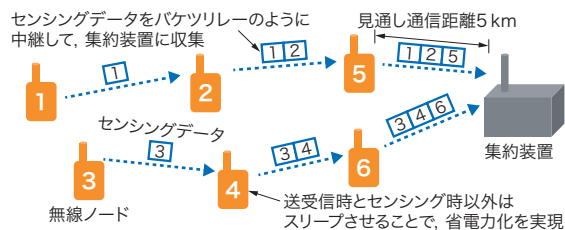


既存機器をIoT化できるCPSエッジツールの概要

Overview of cyber-physical systems (CPS) edge tool to connect existing equipment to Internet of Things (IoT) networks

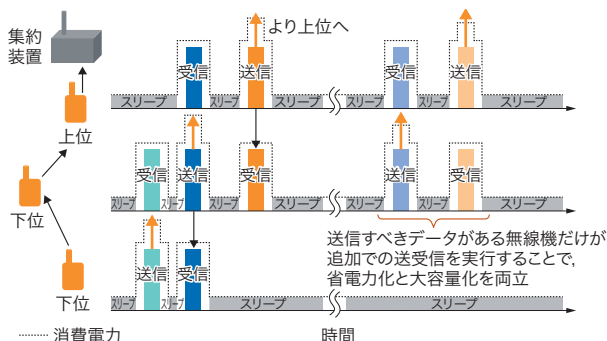
生産技術センター

■ メンテナンスフリーで広域監視が可能な省電力無線マルチホップネットワーク技術



通信距離の延伸と通信容量の拡大を図った省電力マルチホップ通信動作

Operation of low-power multihop communication achieving longer range and larger capacity transmission



通信失敗の発生頻度を低減した省電力時分割通信動作

Operation of low-power time-division communication reducing occurrence of transmission failure

生産現場では、既に稼働中のロボットやレガシーな自動化機器のデータをネットワークで収集し、最適なCPS（サイバーフィジカルシステム）を構築することが求められている。

そこで、多様な機器に対し、センサーを簡単に後付けてデータ収集を手軽に始められる、CPSエッジツールを開発した。これにはセンサーや、ネットワーク接続用のコネクターパネル、簡易見える化画面などが搭載されている。収集したセンサーデータに生産情報をひも付けるワークトラッキング機能を備えることで、品質向上や稼働率向上のための分析能力を高めた。また、機器に設置され、デジタル出力機能がないメーターをカメラで撮像してデータ化する機能も搭載した。これは、カメラ視野内でメーターの位置、大きさ、及び傾きが変化した場合でも、表示データを安定して読み取ることができる。

今後、社内工場にCPSエッジツールを展開し、生産現場の効率向上や予防保全への活用を進めていく。

関係論文：東芝レビュー、2019、74、4、p.37-41.

見通し環境1 kmの距離での通信と99.999 %以上の高いデータ収集率を実現し、電池で10年間駆動可能なマルチホップ通信技術^(注)において、今回、以下の三つの技術を開発した。

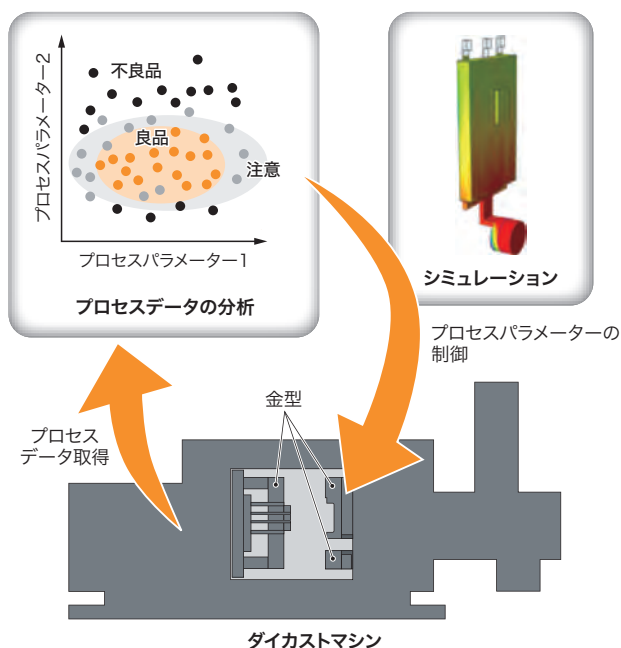
- (1) 無線モジュールの内製化で、雑音を抑圧して受信感度を向上させ、見通し環境での通信距離を5 kmまで延伸
 - (2) 複数のデータを結合しながら必要最低限の通信回数で送信する技術で、省電力性を維持しつつ通信容量を拡大
 - (3) 内製無線モジュールで送信遅延時間のばらつきを抑え、同期精度の改善で同期ずれによる通信失敗の頻度を低減
- これらの技術で、通信距離の拡大や、通信の大容量化・高信頼化などが可能となり、様々な要求条件に対応できる無線システムを実現した。

開発した技術は、IoT向け無線システムとして2019年5月にリリースした。また、この技術は、地震時のエレベーター自動復旧運転機能の拡大を目的とした、エレベーター機器に加わる揺れを直接計測する振動センシングシステムに、採用された。

(注) 受信したデータをバケツリレーのように中継伝送できる通信技術。

研究開発センター

■ ダイカスト鑄造法の品質と生産性の向上を支援する製造IoT技術



ダイカスト工程における製造IoTの概要

Overview of application of manufacturing IoT to die-casting process

ダイカストは、溶かした金属を金型に注入・固化させ、高精度な部品を大量生産できる製法であり、近年、ダイカストマシンのプロセスパラメーターや稼働状態（品質など）といったプロセスデータをモニタリングして生産管理を行うことが一般的になってきている。製造ロス削減や歩留まり向上のためには、プロセスデータを分析して早期に改善することが重要だが、経験豊富な技術者でも、不良分類や、要因分析、対策立案などに長い時間を要することがあった。

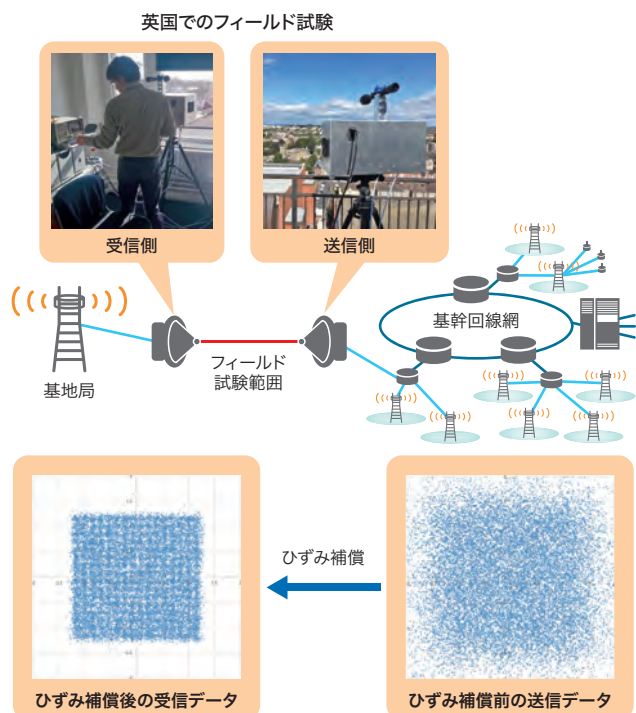
そこで、ダイカスト製造で品質不良があるとき、過去のプロセスデータの中で相関のあるものと結び付けて分析する製造IoT技術を開発した。この技術を使えば、製造工程での不良をいち早く検出して対策できる。今回、製造現場での実証実験を行い、プロセスデータによる品質管理の有効性を確認できた。

今後は、取得したプロセスデータを活用したシミュレーションを行うことで、現象を予測して良品を製造できるプロセスパラメーターを導出する自動制御技術などへ発展させていく。

関係論文：東芝レビュー、2019、74、5、p.38-41。

生産技術センター

■ セルラー 5G 向け高速無線バックホール技術



高速無線バックホールのフィールド試験結果の例

Example of data measured in field experiments on prototype wireless transmission system applying high-speed backhaul technology

セルラー 5G（第5世代移動通信システム）による様々なサービス導入が期待されている。広域サービスに向けて、どこでも簡便に基地局へ接続できる回線網を展開する必要があり、10 Gビット/sを超える高速なPeer-to-Peerの無線バックホールが目玉されている。

今回、ミリ波である70 GHz帯で、様々な無線伝搬環境に耐性のあるOFDM（直交周波数分割多重）方式と、偏波多重によるMIMO（Multiple Input Multiple Output）を組み合わせた無線伝送装置を開発し、伝送速度20 Gビット/s、伝送距離0.9 kmで5 km相当^{（注）}のフィールド試験を実施した。独自の高利得アンテナ・通信フレームに加え、偏波間の干渉や、無線回路のばらつき、帯域狭窄（きょうさく）化などによるひずみを補償するアルゴリズムを適用することで、256QAM（直交振幅変調）信号の復調に十分な信号対雑音比を確保し、安定した高速大容量通信を実現した。

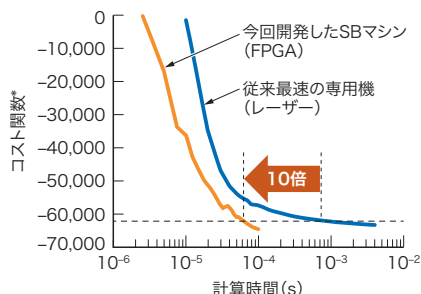
この技術により、都会や、地方、郊外、山岳など光ファイバーの敷設が困難なエリアで、迅速かつ低コストに5Gバックホールが展開できる。

（注） 受信側に減衰器を入れて模擬。

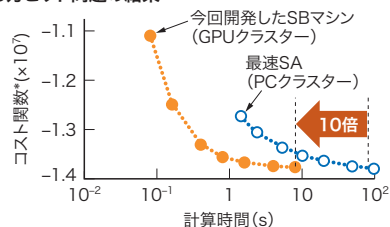
東芝欧州研究所

組み合わせ最適化問題を世界最速・最大規模で解く シミュレーテッド分岐マシン

2,000ビット問題の結果



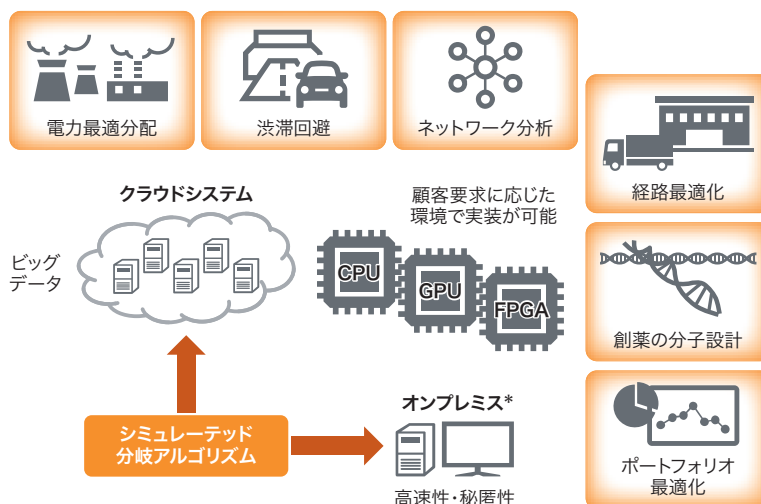
10万ビット問題の結果



*低いほど最適解に近い

従来手法とSBマシンのパフォーマンスの比較結果

Results of comparison of performance of conventional techniques and simulated bifurcation (SB) machine



*自社運用

SBマシンの社会実装例

Examples of application of SB machine to various social and business fields

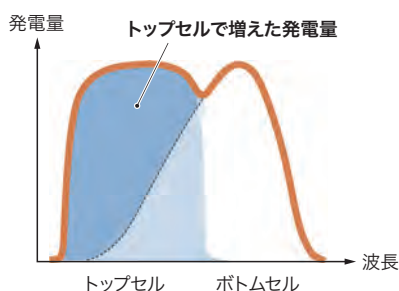
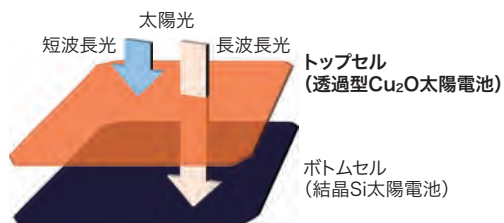
膨大な組み合わせの中から最適なものを見付け出す組み合わせ最適化問題は、物流の最適経路探索や、金融のポートフォリオ最適化、創薬の分子設計など、社会や産業分野で頻繁に現れる。しかし、組み合わせの数が問題サイズに対し指数関数的に増加する“組み合わせ爆発”のため、短時間で解くことは困難で、量子計算機のような新しい計算機が期待されている。

当社は、2016年、組み合わせ最適化専用の量子計算機“量子分岐マシン”を理論的に提案した。今回、その理論を応用し、従来のデジタル計算機で組み合わせ最適化問題を解くためのアルゴリズム“シミュレーテッド分岐アルゴリズム (SB)”を開発した。従来のアルゴリズムであるシミュレーテッドアニーリング (SA) は、変数を逐次更新するのに対し、SBは、古典力学の運動方程式を数値的に解くので変数を並列更新できるため並列計算に適し、最新の計算機の高い並列性を生かすことで高速に組み合わせ最適化問題が解ける。2,000ビット問題に対し、FPGA (Field Programmable Gate Array) を用いたSBマシンは、約8,000並列の計算を実行し、従来この問題で最速であったレーザーを用いた専用機の約10倍高速であった。また、10万ビットという大規模問題では、GPU (Graphics Processing Unit) クラスターを用いたSBマシンは、PC (パソコン) クラスターを用いて最速実装したSAマシンの約10倍高速であった。SBマシンを用いれば、FPGAやGPUといった既存の並列計算機の利用で高速かつ大規模な組み合わせ最適化が実現できる。

今後、このFPGAの高速性やGPUの大規模性を生かし、様々な社会課題の解決に取り組んでいく。

研究開発センター

亜酸化銅とSiを用いた低コストで高効率なタンデム太陽電池



タンデム太陽電池の高効率発電の原理
Principle of high-efficiency power generation of tandem solar cell



透過型Cu₂O太陽電池
Transmission type cuprous oxide (Cu₂O) solar cell

限られた面積で大出力発電が可能な、低コストの新型高効率タンデム太陽電池の開発に取り組んでいる。これまでの高効率太陽電池には、ガリウムヒ素半導体などのIII-V族化合物半導体を結晶成長技術で積層したタンデム（多接合型）太陽電池がある。発電効率は、広く普及している結晶Si（シリコン）太陽電池の1.5～2倍の32～33％であるが、現在のところ製造コストが結晶Si太陽電池の数百倍から数千倍と高く、幅広い用途には向いていないと考えられる。そこで、安価な亜酸化銅（Cu₂O）による長波長光透過型太陽電池を結晶Si太陽電池と組み合わせたタンデム太陽電池の開発を進めている。

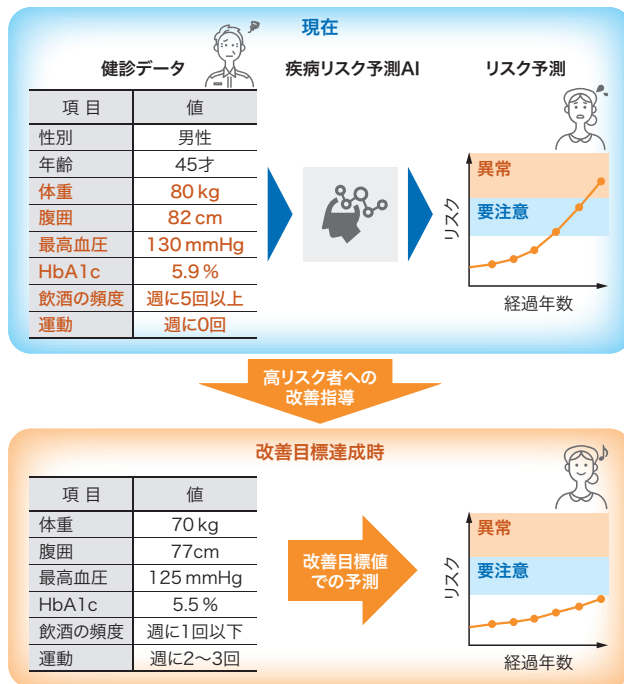
Cu₂Oと結晶Siは、発電する波長が相補的で、Cu₂Oは短波長光で発電し、結晶Siは長波長光で発電する。そこで、両者を重ねれば太陽光を効率良く利用でき、高効率発電が可能になる。独自の薄膜形成技術で、従来は実現できなかった長波長光を透過し短波長光で発電する透過型Cu₂O太陽電池を世界で初めて^(注)実現し、発電効率22％の結晶Si太陽電池と組み合わせて効率24.2％を達成した。透過型Cu₂O太陽電池の主成分である銅の酸化物Cu₂Oは、地球上に豊富に存在するため、低コスト化が期待できる。

現在、発電効率30％台のタンデム太陽電池技術の開発を行っており、自家発電システムや、地域ごとの分散電源への適用、メガソーラーの高出力化、電動モビリティへの応用など、太陽光発電を使った新事業創出につなげていく。

（注） 2019年1月時点、透過型Cu₂O太陽電池として、当社調べ。

関係論文：東芝レビュー、2019、74、1、p.30-34。

健康診断データによる生活習慣病リスクの予測技術



HbA1c:ヘモグロビンエーワンシー

疾病リスクの予測技術を用いた生活習慣の改善指導

Lifestyle improvement guidance using disease risk prediction technology

研究開発センター

身長や、体重、生体検査値などの健康診断データを入力し、生活習慣病発症リスクを予測する技術を開発した。健康診断を行うクリニックへ予測サービスとして提供し、生活習慣に対してきめ細かい改善指導を行うことで、QOL（Quality of Life：生活の質）の向上を目指す。

改善指導が必要とされる根拠説明ができるランダムサバイバルフォレストという予測モデルを採用し、東芝健康保険組合の大規模な匿名化済み健康診断データを用いた学習と、独自手法による最適化により、6年以内の糖尿病発症リスク予測でAUC（Area Under the Curve）^(注1)0.9以上という世界トップレベル^(注2)の精度を達成した。

今後は、対象とする疾病を拡大し、大学などと連携しながら、ゲノムデータによる個人の体質に応じた予測モデルの開発などにも取り組んでいく。

(注1) 2クラス分類の性能を示す指標で、1に近いほど精度が高い。

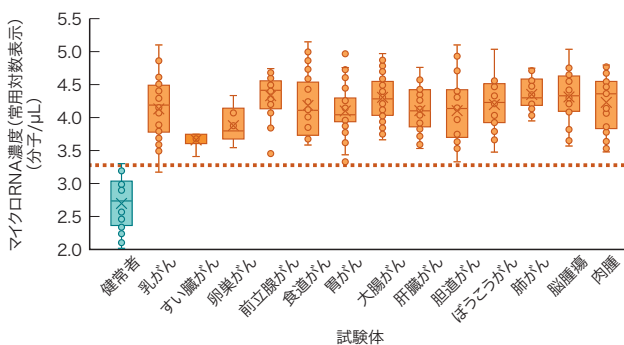
(注2) 2019年10月現在、健康診断データによる予測において、当社調べ。

簡便な血液検査だけでがんを早期発見するマイクロRNA 検出技術



マイクロRNAチップと小型検査装置

microRNA chip and compact cancer detection apparatus



13種類のがん患者と健常者の血液中マイクロRNA濃度測定結果

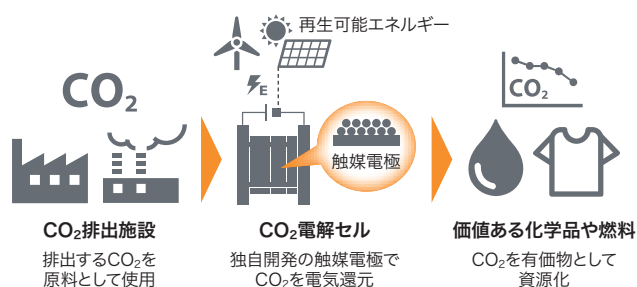
Results of microRNA concentration measurements in blood of patients with 13 types of cancer and healthy subjects

研究開発センター

1滴の血液で早期がんを高精度に識別できる、マイクロRNA（リボ核酸）検出技術を開発した。大腸がんやすい臓がんなど13種類のがんの患者と健常者を99%の精度で網羅的に識別可能で、従来では発見が難しかった、ステージ0の超早期がんも識別できることを確認した。簡便な血液検査で、高精度ながんの早期診断が期待できる。

この技術は、独自のマイクロRNA増幅技術とマイクロRNAチップから構成される。マイクロRNAは、細胞内で遺伝子の働きを制御する分子で、体内にがんができると特定のマイクロRNAが細胞から血液中に分泌される。血液中から分離したマイクロRNAは、マイクロRNAチップと専用の小型検査装置で2時間以内に検査でき、人間ドックなどの即日検査に適用することが可能である。この技術の臨床適用に向けた、学校法人東京医科大学及び国立研究開発法人 国立がん研究センターとの共同研究で、がん患者の血液を健常者と識別できることを実証した。

■ CO₂の資源化技術 — Power to Chemicals



CO₂資源化の概要

Outline of power-to-chemicals concept to produce valuables from carbon dioxide (CO₂) using renewable energy



CO₂電解セルと開発した触媒電極

CO₂ electrolysis cell and newly developed catalyst electrode

脱炭素社会の実現に向け化石資源依存からの脱却が課題となっている中、二酸化炭素 (CO₂) を資源として有効利用する技術開発が進められている。

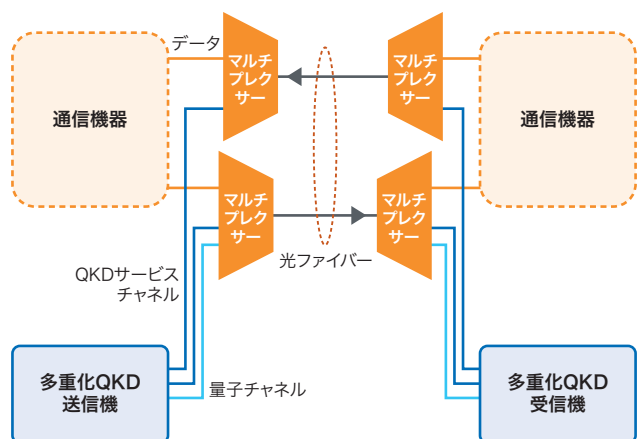
今回、独自開発した触媒電極を用いたCO₂電解セルによって、CO₂から化学品や燃料の原料となる一酸化炭素への変換で、従来の約450倍にあたる世界最高レベル^(注)の変換速度を達成した。固体(触媒)、気体(CO₂)、液体(水)の三相での同時反応(三相界面反応)ができる触媒電極を開発し、CO₂ガスの拡散性に優れた多孔質性の触媒層構造を適用した結果、常温常圧環境下の電流密度700 mA/cm²で、ファラデー効率92%という高い処理速度を実現した。

この技術により、システム設置面積の省スペース化が図れる。また、将来的には産業施設や火力発電所などのCO₂排出施設に近接してシステムを設置することで、太陽光や風力などの再生可能エネルギーを活用したCO₂からの有価物製造(Power to Chemicals)が実現できる。

(注) 2019年3月現在、当社調べ。

研究開発センター

■ 量子暗号鍵配信の実証実験



多重化QKDシステムの構成例

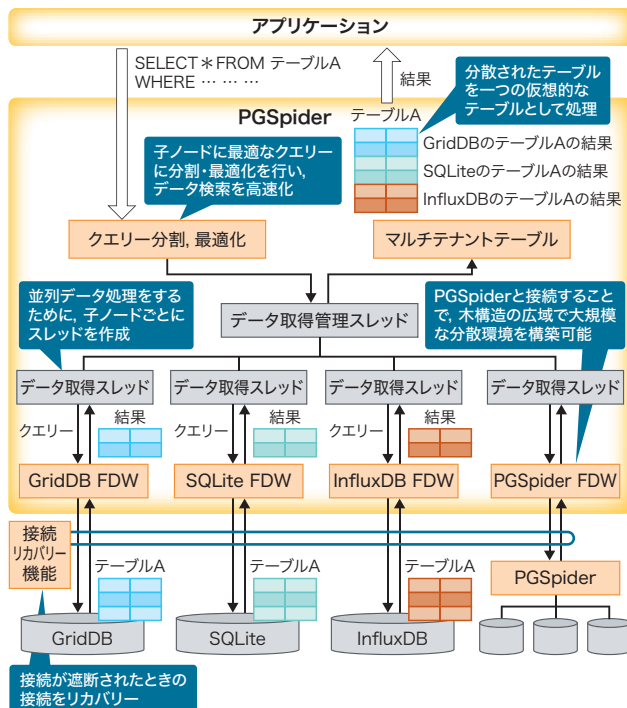
Example of configuration of multiplexed quantum key distribution (QKD) system

単一光子を用いて情報を符号化することで通信の秘匿性を保証する量子暗号鍵配信(QKD)は、実用化への技術開発が急速に進み、商用化に向けた機が熟しつつある。商用化への重要なステップとなる見込み顧客とのフィールド実証実験に向け、今回、2種のQKDシステムを設計・開発した。一つは、QKDと広帯域データ通信を1本の光ファイバーで実現する多重化QKDシステムで、もう一つは、高速鍵配信と長距離通信ができる高性能QKDシステムである。

これらのシステムでは、広く普及している光通信機器との接続性を担保するように設計した。従来、QKDの実証実験には未使用回線を占有する特殊な構成が必要であったが、これらのシステムは、既存通信インフラへの展開が容易なため、通信事業者による採用促進が期待される。既に、両システムとも、世界各国の見込み顧客と実験室やフィールドで実証実験を行い、動作検証されている。

東芝欧州研究所

大規模分散SQLエンジン PGSpider



FDW: Foreign Data Wrapper

大規模分散SQLエンジン PGSpiderの概要

System architecture of PGSpider high-performance SQL cluster engine

大量のセンサーや機器で構成されるエッジコンピューティングでは、生成されるデータも膨大なものとなる。社会インフラ・エネルギー分野のシステムで、処理や消費エネルギーなどを最適化するには、全データを集約して処理すればよいが、実際に集約することは困難である。

そこで、広域に分散している機器のデータを、仮想的に一つのテーブルとして扱い、高速に検索できる大規模分散SQLエンジン PGSpiderを開発した。

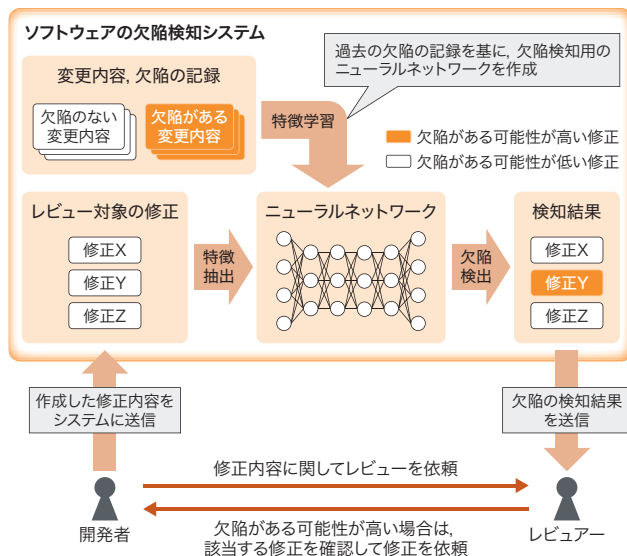
PGSpiderは、オープンソースソフトウェアのPostgreSQLをベースに、クエリ分割・最適化や、分散するテーブルを一つの仮想テーブルとして扱うマルチテナント、並列データ処理などの機能を追加することで、データ検索の高速化を実現した。

また、子ノードとのネットワーク接続が遮断されたときの接続リカバリー機能を追加したことで、可用性も向上させた。

関係論文：東芝レビュー、2019、74、1、p.80-81。

ソフトウェア技術センター

ディープラーニングによるソフトウェアの欠陥検知システム



ソフトウェアの欠陥検知システムの概要

Overview of software defect detection system using deep learning

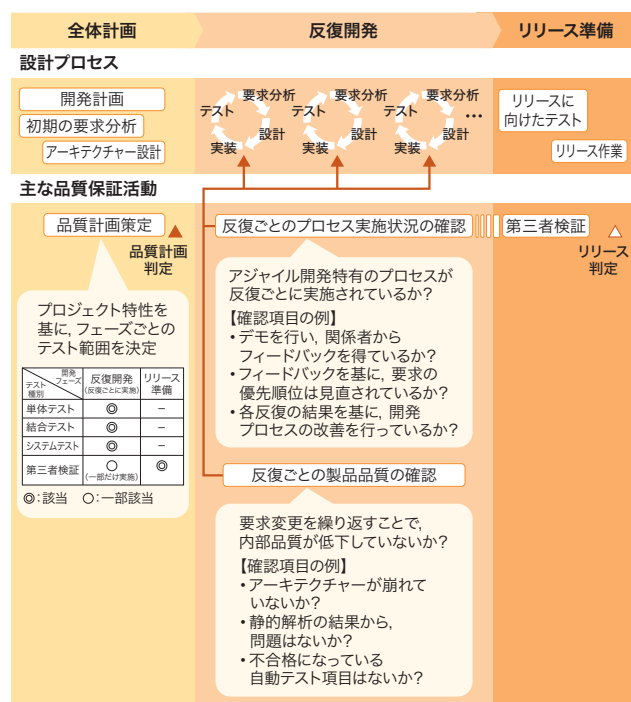
ソフトウェア開発では、品質確保のためにレビューを実施することが一般的である。これは、追加・変更されたソースコード（変更内容）を目視し、欠陥がないことを確認するものである。そのため、手間が掛かるだけでなく、見落とすおそれもある。

そこで、ディープラーニングでソフトウェアの欠陥を自動的に検知するシステムを開発した。このシステムは、過去に発生した欠陥と変更内容の記録を用いて、欠陥が含まれる可能性が高い変更内容を検知する。欠陥検知にディープラーニングを用いることで、高い検知性能（F値^(注)：0.8程度）を達成した。更に、新規開発で過去の記録がない場合にも、オープンソースソフトウェアの記録を用いることで、一定の検知性能が確保できることを確認した。このシステムを導入することで、レビューのコスト削減やソフトウェアの品質向上などが期待できる。

(注) ディープラーニングなどの性能評価に用いられる指標で、値が1に近いほど良い。

ソフトウェア技術センター

■ アジャイル開発における品質保証手法



アジャイル開発の各開発フェーズでの品質保証活動

Quality assurance activities in each phase of agile software development

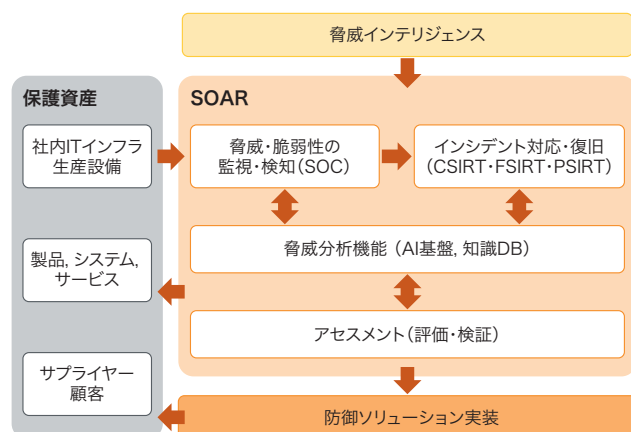
市場の素早い要求変化に対応できる開発プロセスとして、アジャイル開発が注目されている。反復的に開発を進めるアジャイル開発は、ウォーターフォールモデル型の従来開発とは異なり、テストなどの品質保証活動のタイミングや品質確認の観点が変わってくる。そこで、今回、アジャイル開発に対応した品質保証手法を開発した。

この手法では、製品開発の流れを全体計画、反復開発、及びリリース準備の三つのフェーズに分け、各フェーズで実施する品質保証活動を定義した。例えば、全体計画では、品質計画を立案し、自動テストなどの開発スキルや製品種別などのプロジェクト特性を基に、反復開発内で実施するテストの範囲を決める。また、アジャイル開発特有のプロセスが実施されているか、要求変更により内部品質の低下が見られないかといった反復ごとの確認項目についても明示した。

この手法により、要求変化への迅速な対応というアジャイル開発の特性を生かしながら品質を確保できる。今後は、効果を訴求しつつ、開発部門へのアジャイル開発の導入・展開を進めていく。

ソフトウェア技術センター

■ セキュリティー運用基盤CDMPの構築と運用



IT:情報技術

SOC: Security Operation Center

CSIRT: Computer Security Incident Response Team

FSIRT: Factory Security Incident Response Team

PSIRT: Product Security Incident Response Team

DB: データベース

SOARを用いたCDMPの概要

Overview of cyber defense management platform (CDMP) using security orchestration, automation and response (SOAR)

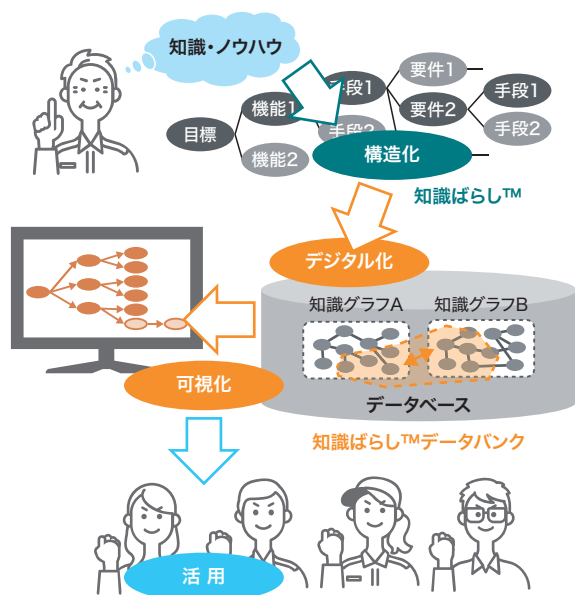
東芝グループでは、社内のセキュリティー運用におけるリスク検知・対応の迅速性・正確性の向上を目的に、セキュリティー運用基盤CDMP (Cyber Defense Management Platform) の構築を進めている。

CDMPでは、脅威動向やハッカーの攻撃活動などの、セキュリティーに関する意思決定支援情報である脅威インテリジェンスの活用や、監視・検知、対応・復旧の自動化を積極的に進め、セキュリティーリスクが企業活動に及ぼす影響を最小化することを目指している。

今回、CDMPの一機能として、SOAR (Security Orchestration, Automation and Response) と呼ばれる運用自動化プラットフォームを構築し、脅威インテリジェンスの監視・検知での活用を開始した。今後、脅威の発生を未然に防止するプロアクティブ領域での脅威インテリジェンスの活用を拡大していく。

研究開発センター

■ 業務知識を有効に蓄積・活用する知識ばらし™ データバンク



知識やノウハウを蓄積・活用する仕組みの概要

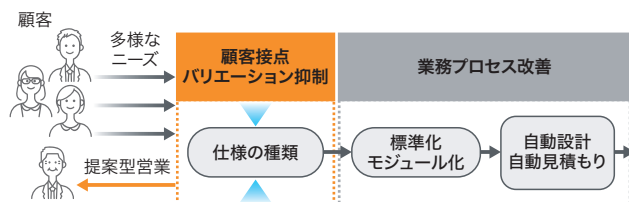
Outline of method for accumulation and utilization of business knowledge and know-how

業務遂行に関わる知識やノウハウは、形式化して表現することが難しく、属人化や擦り合わせ不足による業務の後戻りなどが生じている。

今回、知識やノウハウを構造化する知識ばらし™と、構造化された知識情報をデータベースに格納し、知識間の関連付け機能により再利用性を高める知識ばらし™データバンクを開発した。知識ばらし™は、戦略策定や、発想支援、知識継承といった目的に合わせ、記述内容や順序をテンプレートとして定義することで、作業効率と視認性を高めている。また、知識ばらし™データバンクは、専用RDF (Resource Description Framework) スキーマを用いて意味付けした知識ばらし™のデジタルデータを蓄積する。更に、蓄積した複数の知識情報間で類似語を関連付ける言語処理により、個人の知識だけでは得られない気付きを促すような可視化も行える。

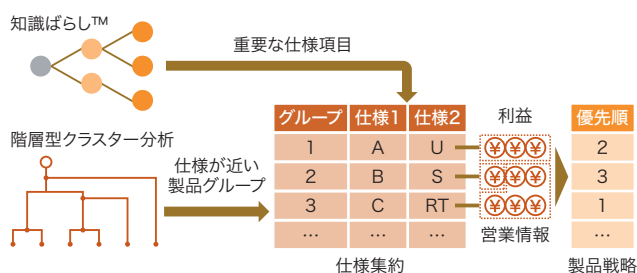
生産技術センター

■ 多様な顧客ニーズに短納期で対応できる製品バリエーション抑制手法



顧客接点における製品バリエーションの抑制

Product variation suppression at customer contact point



製品バリエーション抑制手法の概要

Outline of product variation suppression procedure

多様な顧客ニーズへの対応として、仕様が近い過去の製品をベースに最適設計を行うと、リソース不足で設計リードタイムが増大し、機会損失が発生する一因となる。このため、低コスト・短納期で対応するには、顧客価値を損なわずに設計バリエーションを抑制して設計工数を大幅に削減し、提案型で営業する業務プロセスにシフトする必要がある。

この課題を解決するため、知識ばらし™を併用した階層型クラスター分析による仕様集約に加え、営業情報とのひも付けによる競争力の高い市場の選別で、論理的に製品戦略を決定する手法を確立した。

この手法を用いて列車空調事業での戦略策定を実施し、国内・海外298機種を15グループに集約して生産高とひも付け、一括企画により標準空調装置のラインアップ整備を進めた。更に、戦略策定及びラインアップ整備と並行し、標準機を前提とした業務プロセス改善も進め、提案型営業へのシフトを実現した。

生産技術センター