

研究開発部門は現在から将来まで社会やお客様が必要とする技術を幅広く見据え、新たな着想で高品質な製品・サービスを効率的に生み出して提供することを通じ、人々の暮らしを豊かにする研究開発を進めています。

情報通信分野では、大規模施設などに設置した複数箇所のカメラに映る全ての人物に関して、同一人物を判定し、人物ごとの施設内での移動経路を高速・高精度に取得する技術を開発しました。また、量子計算機でも解読不可能な高速暗号通信に向け、光子検出器制御手法や誤り訂正方式などの量子暗号技術を開発し、世界で初めて10 Mビット/sを超える量子暗号鍵生成速度を実現しました。材料デバイス分野では、省エネ・小型化が期待されるSiC（炭化ケイ素）パワーデバイスで、MOSFET（金属酸化膜半導体型電界効果トランジスター）のオン抵抗低減に向け、独自のゲート絶縁膜プロセス技術であるゲート絶縁膜とSiC界面への高密度の窒素導入により、電子移動度を60%向上させました。生産技術分野では、IE（生産工学）技術の適用拡大で、社会インフラ製品の据え付けなどフィールド作業の生産性を上げるとともに、製品開発のリスク抽出技術、フィルターや細胞培養基材など多分野で応用できるナノファイバー膜をエレクトロスピニングで高速形成する技術を開発しました。ソフトウェア分野では、テスト自動化に必要なツールやプロセスの整備に加え、海外拠点と連携したグローバルな実施体制の構築で、テストのコストを大幅に削減しました。

ハイライト編のp.26, 27, 33に関連記事掲載。

上席常務 研究開発本部長 斉藤 史郎

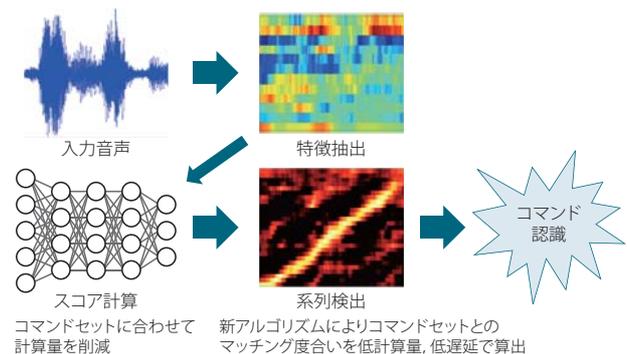
1. 情報通信技術

■ 計算コストを削減できる低遅延ボイストリガー認識技術

家電やカーナビ操作に対するコマンド発声の認識（ボイストリガー認識）を低遅延、低コストで行う技術を開発した。

この技術では、音声とあらかじめ用意されたコマンドとのマッチング度合いを表すスコアを算出し、入力音声区間における時間平均スコアがしきい値以上である音声信号系列の検出を、理論的に保証する低遅延のアルゴリズムで実現した。また、マッチング度合いのスコアの算出に使用する、特定コマンド発声の検出に適したディープニューラルネットワークの学習、計算法を考案し、計算コストを大幅に削減した。

現在、このボイストリガー認識技術を家電やカーナビなどの音声アプリケーションに展開中である。



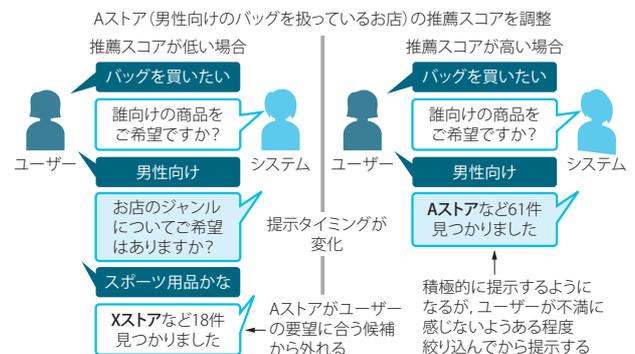
ボイストリガー認識技術の概要

Overview of voice trigger recognition technology

■ 音声自動応答システムの対話戦略のカスタマイズを低コストに実現する応答制御技術

ユーザーとの対話を通じて情報案内を行う音声自動応答システム向けに、対話戦略のカスタマイズを低コストに実現したいというニーズがある。対話戦略は、ユーザーの発話に対する最適な応答を決定するものであり、従来は、対話フローを手作業で修正していた。

今回、対話戦略の修正コストを削減するため、案内候補に設定された推薦スコアに基づき対話フローを自動的に調整する応答制御技術を開発した。最適な応答の学習には、推薦スコアとユーザー満足度の2種類の報酬を設定した強化学習を用いた。これにより、推薦スコアが高い候補を、ユーザーが不満に感じない程度に積極的に提示する応答を実現した。



推薦スコアを変化させた場合の対話の違い

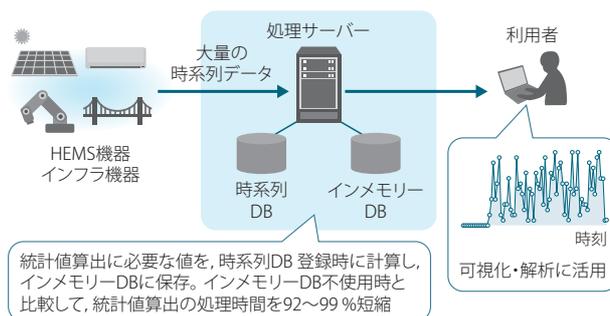
Differences in dialogues when recommendation score changed

■ HEMS・社会インフラ向け高速時系列データ処理技術

スマートメーターや蓄電池などのHEMS (Home Energy Management System) 機器や監視設備などの社会インフラ機器で生成される大量の計測データを、クラウドシステムに高速に収集して解析できる時系列データ処理技術を開発した。

時系列データの保存に特化した時系列データベース (DB) と、データを高速なRAMに蓄積するインメモリーDBを併用し、時系列DBに保存するときに統計値算出に必要な値を計算してインメモリーDBに保存することで、効率的にデータを蓄積しながら統計値算出の処理時間を短縮する。

これにより、安価な時系列データ処理システムが構築でき、利用者に電気の使い過ぎを通知したり、インフラ機器の稼働状況をアフターサービスに活用したりなど、様々な事業分野で製品の機能やサービスの向上が期待される。



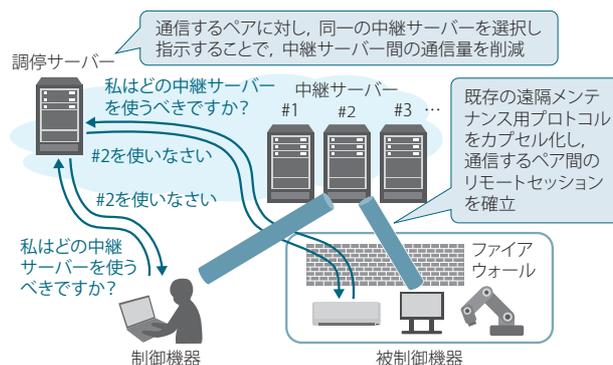
高速時系列データ処理技術のシステム構成

System architecture of technology for processing time-series data at high speed

■ ファイアウォール内の機器の遠隔メンテナンスを可能にするリモートセッション確立技術

デスクトップパソコン (PC) などの制御機器を、ファイアウォールの内側にある被制御機器に中継サーバー経由で接続し、遠隔メンテナンスを可能にするリモートセッション確立技術を開発した。

これまでに開発した調停サーバーと中継サーバーから成るシステムを応用し、制御機器・被制御機器と中継サーバーの間のリアルタイム通信路を構築するWebSocketプロトコル上に、RFB (Remote Frame Buffer) など既存のリモートデスクトップ用プロトコルをカプセル化して転送することで、既存のソフトウェアを変更せずに、ファイアウォール越しの通信を実現する。Webブラウザからの接続にも対応する。機器の遠隔メンテナンスや、遠隔カスタマーサポートなどへの応用が期待される。



中継サーバー経由のリモートセッション確立技術のシステム構成

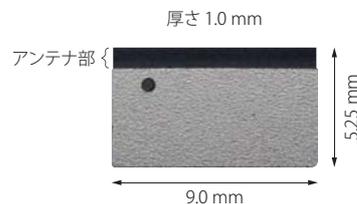
System architecture of technology to establish remote session through relay server

■ アンテナ一体型超小型無線モジュール技術

IoT (Internet of Things) の広がりとともに、プリント回路基板 (PCB) 上に配置するだけで無線機として使える、認証取得済みのアンテナ一体型無線モジュールの需要が拡大している。しかし、アンテナの放射特性を確保するために、PCB上に広い配線禁止領域が必要になる。

そこで、独自構造の小型アンテナを用い、Bluetooth® low energy規格に準拠したモジュールを試作した。実装基板の配線禁止領域をモジュール直下の9 mm²に限定できるため、PCB設計の指標である配線禁止領域を含めたモジュール面積は47.25 mm²となり、シールド付きモジュールで世界最小^(注)を実現した。

(注) 2017年12月現在、当社調べ。



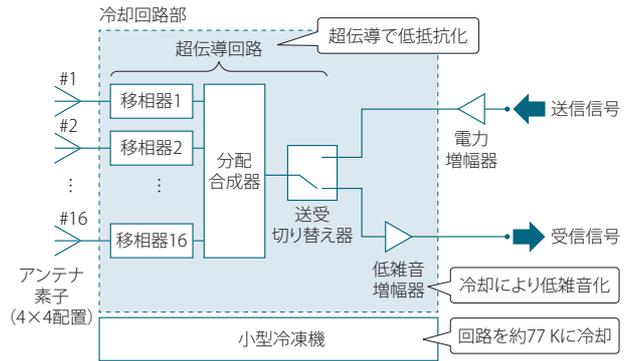
試作したアンテナ一体型Bluetooth® low energy モジュール
Prototype Bluetooth® Low Energy module equipped with ultrasmall antenna

■ 超伝導回路によるフェーズドアレイアンテナの高感度化技術

低コスト化と高感度化の両立を可能とする、レーダー向け超伝導フェーズドアレイアンテナを開発した。

低コスト化のために、通常はアンテナ素子ごとに移相器の前段に設ける増幅器を、送受切り替え器の後段に送受各一つだけ配置して使用数量を削減した。しかし、この構成では、アンテナ素子と増幅器の間に移相器や、分配合成器、送受切り替え器などの抵抗損失があり、従来技術では高感度化が困難になる。

そこで、これらを独自の超伝導回路で低抵抗化して損失を低減した。更に、超伝導回路の冷却に用いる小型冷凍機で受信側の増幅器も同時に冷却し、低雑音化を図った。感度の指標である冷却回路部の雑音温度は226 Kであり、従来に比べて高感度な性能を実証した。

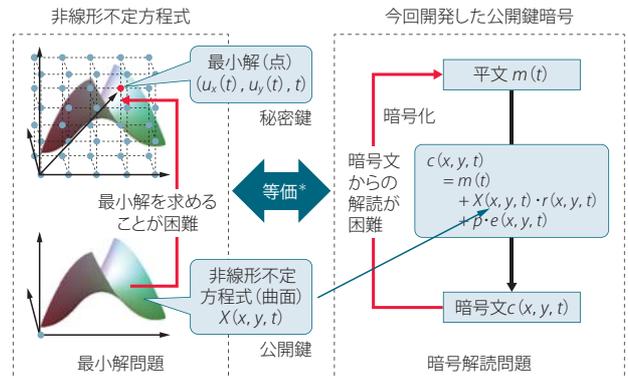


超伝導フェーズドアレイアンテナのブロック図
Block diagram of superconducting phased-array antenna for radar systems

■ 量子計算機でも解読困難な公開鍵暗号 “Giophantus™”

量子計算機でも計算困難な非線形不定方程式の求解問題に基づく公開鍵暗号 “Giophantus™” を、国立大学法人 北海道教育大学、国立大学法人 九州大学、及び国立研究開発法人 産業技術総合研究所と共同で開発した。

現在広く利用されている公開鍵暗号は、十分に大きな数の計算を高精度で実行できる量子計算機が出現すると解読されることが知られており、量子計算機でも解読困難な公開鍵暗号が注目されている。今回開発した方式は、その安全性が非線形不定方程式の最小解問題の計算困難性に基いており、秘密鍵長が短いため高速処理が可能となるほか、安全性が理論的に証明可能であるという特長がある。長期的な安全性の確保が必須である社会インフラなどへの応用が期待される。



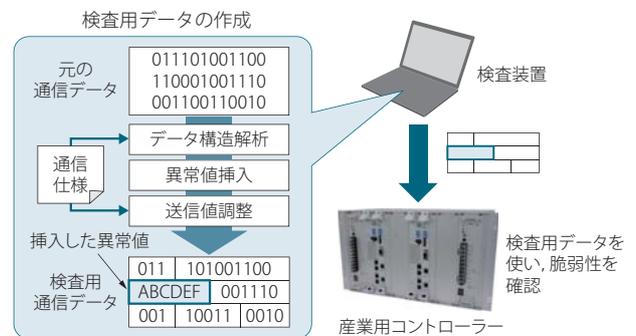
*一方が解ければ他方も解けること。今回の暗号解読問題は、非線形不定方程式の最小解問題に関連する別の問題と等価となる。

非線形不定方程式の最小解問題と今回開発した公開鍵暗号
Relationship between non-linear indeterminate equations and newly developed public-key cryptosystem

■ 産業用コントローラー向け脆弱性検査技術

電力システムなどの重要なインフラシステムがサイバー攻撃を受けた場合でも、サービス維持が可能であることを検証する脆弱（ぜいじゃく）性検査技術を開発した。この技術では、重要なインフラシステムの制御機器で使われる通信仕様に基づいて、通信データの一部を改変し、制御機器の状態に合わせて異常を引き起こす可能性のある検査用の通信データを生成・送信することで脆弱性の有無を判断する。

東芝グループの産業用コントローラーである“ユニファイドコントローラ nvシリーズ type2”にこの技術を適用し、その堅牢（けんろう）性が確認できた。制御機器の脆弱性を未然に排除でき、安全な制御機器、並びにそれらで構成される安全・安心なインフラシステムを実現できる。

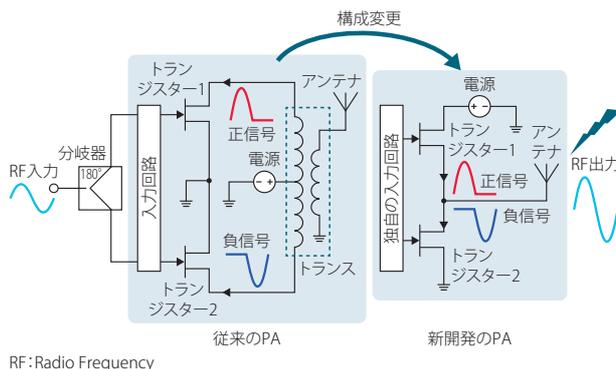


通信仕様に基づいた脆弱性検査技術
Communication robustness testing technology based on protocols

■トランスが不要なPA技術

電力増幅器 (PA) は、従来、並列接続したトランジスタのプッシュプル動作で実現され、後段の出力合成に必要なトランスが回路基板面積の大部分を占めていた。基板面積縮小のため、トランスが不要なトータムポール動作によるPA構成を開発した。

この構成では、電源に対してトランジスタを積み重ねて動作させるが、出力側のアンテナとのインピーダンス整合が難しく、高周波化と高効率化が課題だった。開発した700 MHz帯PAは、独自の入力回路の採用により2.46 Wのピーク出力で46.5%の高い電力効率を達成した。縦横とも約40 mmと、回路面積を従来の約1/2に小型化でき、PAを他の回路と同一基板上に統合することが可能になった。



RF: Radio Frequency

トランスが不要なPAのブロック図

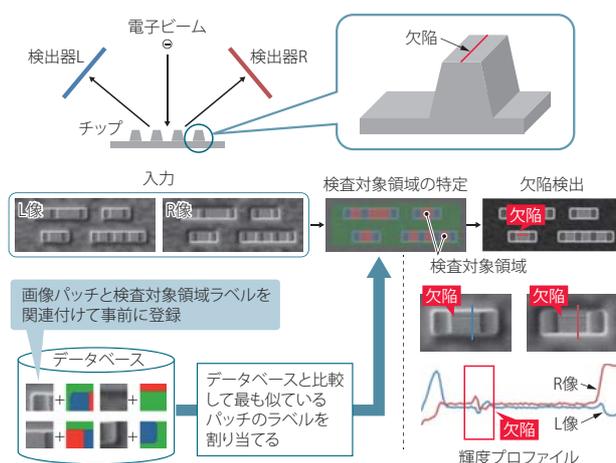
Comparison of block diagrams of conventional push-pull type and newly developed transformerless type high-power amplifiers for radio frequency (RF) applications

■画像解析による半導体の自動欠陥検出処理技術

半導体製造プロセス改善の効率化のため、検査画像中の半導体基板構造を自動解析して欠陥を検出する技術を開発した。

従来の検査では、左右に配置した検出器を用いて撮像した2枚の走査電子顕微鏡画像(L像, R像)から欠陥を目視で計数評価するが、画像枚数が膨大なため作業者の負荷が大きかった。

そこで、画像パッチと検査対象領域ラベルを関連付けたデータベースを用意し、次元削減と木探索の手法で効率化した探索手法により、検査画像から検査対象領域を特定した。そして、検査対象領域内でL像とR像で明暗が逆転している部分を欠陥として検出することで、目視と同等の精度での完全自動処理を実現した。



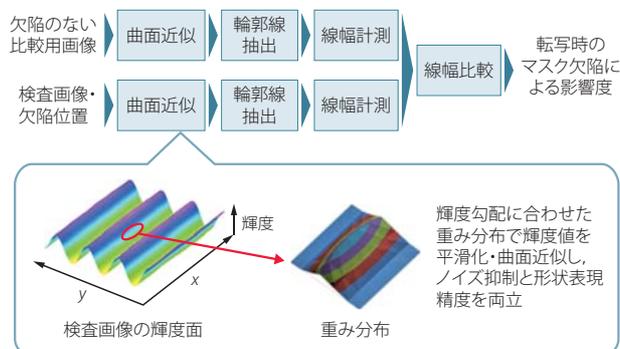
自動欠陥検出処理技術の概要

Outline of automatic defect detection processing technology

■光学像による半導体マスク欠陥の影響度評価技術

露光によって回路パターンを転写するときのマスク欠陥による影響を、マスク欠陥検査装置で評価する技術を開発した。影響が大きいと評価された欠陥についてだけ、転写特性測定装置で精密に評価することで、検査を効率化できる。

この技術では、転写後の回路パターンについて、欠陥付近の線幅と欠陥がないときの線幅の差を、欠陥影響度として評価する。その際、光学画像の局所的な輝度勾配に応じて決定した重み分布を用いて、輝度分布を平滑化し、曲面近似した。これにより、輪郭形状を保ったままノイズを抑制し、サブ画素精度での輪郭線抽出を可能にした。その結果、線幅の計測精度が向上し、転写特性測定装置と相関の高い評価を実現することができた。



マスク欠陥の影響度評価の処理フロー

Flow of processes to evaluate impact of photomask defects on lithography

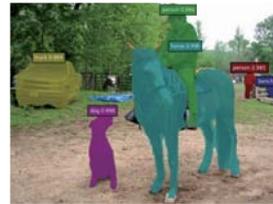
■ ディープラーニングによる新しい画像領域分割技術

ディープラーニング(深層学習)による新しい画像領域分割技術 BiSegを開発した。この技術は、人や車などの物体を個体ごとに検出しながら画像領域分割も行うインスタンスセグメンテーションにおいて、更に道路などの不確定な形状も推定し、物体の種類ごとの画像領域分割を可能とする。

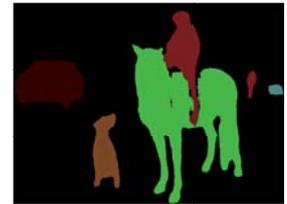
BiSegのネットワークは、主に局所的な物体候補の領域分割と画像全体の領域分割を扱う二つのサブネットから構成される。サブネットの特徴量マップを共有することで計算の効率化を図った。また、二つのサブネットの予測結果を物体候補領域ごとに統合し、事後確率として物体領域マスクを予測することで、物体の種類や形状によらない高精度な領域推定を実現した。



入力画像



物体個体ごとの画像領域分割



物体の種類ごとの画像領域分割

物体個体ごとと物体の種類ごとに推定して画像領域分割した例
Example of images simultaneously estimated by instance and semantic segmentation

■ スポーツを対象としたハイブリッド型映像解析システム

スポーツ映像を対象に、複雑な人物の動きを理解するために二つの方式を組み合わせたハイブリッド型映像解析システムを開発した。対象としたラグビーでは、選手の数が多く、密集や接触プレーが多いため、画像認識での解析が困難であった。

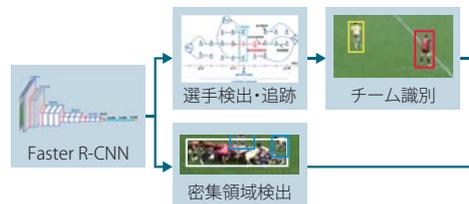
このシステムでは、一つのカメラ映像から、特徴量設計方式によるボール検出と深層学習方式による選手検出を行うので、密集領域での選手検出性能が向上し、ボールや選手の移動軌跡を精度良く仮想2次元フィールド上にマッピングできる。また、これまで人手で行われていた主要プレーのタグ付け作業を省力化するために、深層学習を用いて、自動的なプレー分類を可能にした。この技術は、ラグビーに限らず様々なスポーツへ活用できるだけでなく、既設のカメラを用いた作業分析・効率化など産業分野への応用も可能である。

関係論文：東芝レビュー. 72, 4, 2017, p.30-34.

ボール検出: 特徴量設計方式



選手・密集領域検出: 深層学習方式



R-CNN: Region-based Convolutional Neural Networks

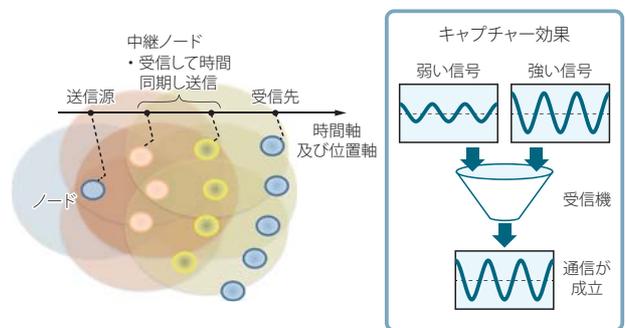
ハイブリッド型映像解析の概要

Overview of hybrid type video analysis targeted at sports images

■ Bluetoothのメッシュネットワーク技術

産業向け制御アプリケーションにも適用可能な、高い信頼性を持ち、低いレイテンシー(低遅延)となるマルチホップ無線メッシュネットワーク手法を開発した。

送信源から受信先へホップ(中継)していくノード設定において、従来のルーティング手法をとらずに、潜在的な全てのノードを活用する手法をとる。各ノードは、キャプチャー効果と呼ばれる無線信号復号における物理特性を活用し、時間方向に同期を取ってホップを実行していく。Bluetooth Low Energyのメッシュネットワークにこの手法を適用し、3~6個のノード経由において、標準規格手法の1/10以下となる、0.3~1msの低レイテンシー特性を達成した。

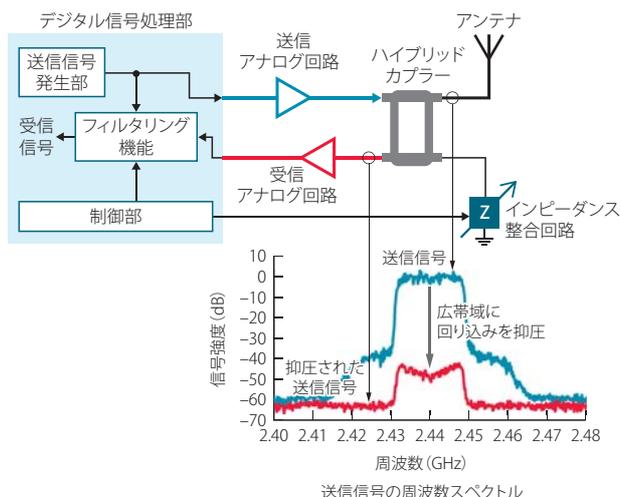


メッシュネットワークの全てのノードが活用できるノードホッピングの概要とキャプチャー効果の活用

Outline of Image of hopping using all nodes in newly developed mesh network and capture effects

■フルデュプレクス技術における送受同時動作の広帯域化技術

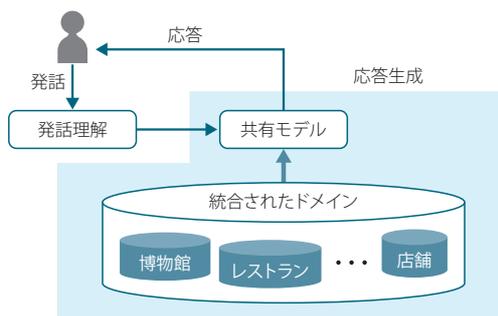
同一周波数チャネルの送受同時動作を可能にするフルデュプレクス技術において、無線LANにも適用可能な広帯域化を実現した。開発した無線機構成は、アンテナと無線回路をハイブリッドカプラーで接続したもので、カプラー終端部のインピーダンス調整によって受信回路への送信信号の回り込みを広帯域に抑圧するとともに、デジタル信号処理部のフィルタリング機能と合わせて、高い抑圧量を提供する。この技術を用いた20 MHz帯域の無線LAN試作機で、75 dBの送信信号の抑圧を確認した。この技術を用いた全二重通信方式は、スループットを倍増できて通信における聞き漏らしをなくすることが可能になり、様々な応用が期待される。



フルデュプレクス技術を用いた無線機の構成と送信信号スペクトル
Block diagram of newly developed transceiver using full-duplex technology and frequency spectra of transmitted signals at transmitter output and receiver input

■マルチドメインに対応できる音声対話技術

レストラン検索やホテル検索のような、複数の異なる検索ドメインに対し、共通の対話モデルで適切な応答を返すことができる技術を開発した。この技術では、ユーザーの検索要求をドメインに依存しない表現形式に変換した上で、ユーザーに対するシステムの対話モデルをディープラーニングにより学習する。これにより、複数のドメインにおいて、ドメイン共有のモデルを用いたユーザーとの対話が可能になるため、開発コストを抑制しつつ、音声対話システムの様々な領域への展開が可能になる。レストラン、ホテル、博物館、店舗の4ドメインの検索タスクで、ユーザーの検索要求を達成できたかをタスク達成率で評価したところ、開発した技術は、シミュレーション評価で91.3%、実ユーザーによる評価で78.6%の高い性能を達成した。



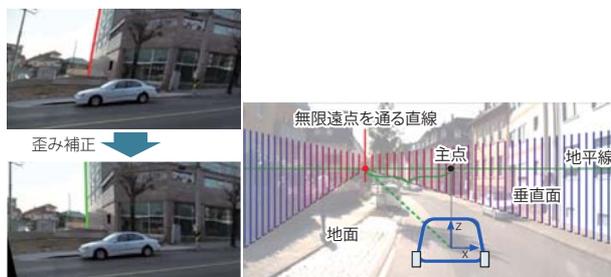
共有モデルに基づくマルチドメイン対応音声対話技術
Architecture of single-model multi-domain dialogue policy

■都市部画像の高速歪み補正技術

近年、自動車には廉価なローリングシャッター方式カメラが搭載されることが多い。この方式のカメラでは、画像の上部から下部へと順番に画像をキャプチャするので、移動する対象を撮影するときに画像歪み(ひずみ)が生じるが、これを高速で補正する技術を開発した。

開発した技術では、自動車におけるアッカーマン運動モデルと、市街地映像における3D(3次元)構造の特性を用いて、補正処理に必要なパラメーターの数を削減した。

この技術を用いることにより、従来方式に比べて2桁程度高速に画像補正を行うことができ、補正画像の平均誤差も1ピクセル未満にすることに成功した。



ローリングシャッターの補正及び直線構造物とアッカーマン運動モデルによるパラメーター削減

Examples of images applying rolling shutter correction (upper) and Ackermann motion model for reduction of processing parameters

■ 日本人ゲノム解析ツール“ジャポニカアレイ®v2”を用いたゲノム解析サービスを開始

日本人に最適化したゲノム解析ツールとして、ヒトの免疫に関わるHLA（Human Leukocyte Antigen：ヒト白血球抗原）領域及び疾病関連の一塩基多型（SNP）を強化した新型の“ジャポニカアレイ®v2”を用いた解析サービスを開始した。

ジャポニカアレイ®は、COI（センターオブイノベーション）東北拠点で開発されたもので、日本人に特徴的な約67.5万か所のSNPを1チップに搭載し、約30億塩基の全ゲノム構造を疑似的に再構成できる設計である。更に、ジャポニカアレイ®v2では、自己免疫疾患など様々な疾患との関連が知られるHLA領域のSNPを従来の約2倍に増強した。

このサービスは、疾病や形質などと遺伝子多型との関連性を解明する研究の進展に寄与し、個別化予防・個別化医療実現の更なる加速に貢献するものである。

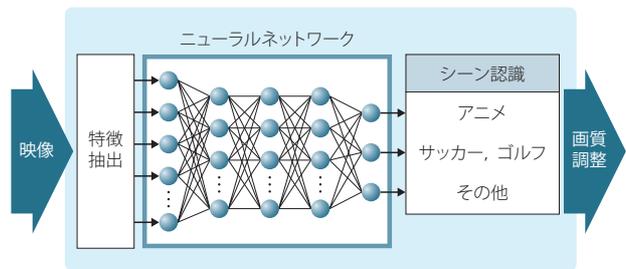


ジャポニカアレイ®v2
Genotyping array optimized for ethnic Japanese

■ AI技術を駆使してテレビの画質を向上させるAI高画質技術

AI深層学習シーン解析高画質技術とAI機械学習HDR（High Dynamic Range）復元技術を開発し、4K（3,840×2,160画素）液晶レグザ Z810Xシリーズ（2017年2月発売）とBZ710Xシリーズ（2017年5月発売），及び4K有機EL（OLED：Organic Light-Emitting Diode）レグザ X910シリーズ（2017年3月発売）に搭載した。

AI深層学習シーン解析では、入力映像の特徴を学習させた5層のニューラルネットワークによってシーンを解析することで、シーンごとの最適な自動画質調整を実現した。AI機械学習HDR復元では、従来映像をHDR映像へ復元（変換）する際に、機械学習で得られたHDR復元テーブルを用いることで、より自然でリアルな階調表現を実現した。



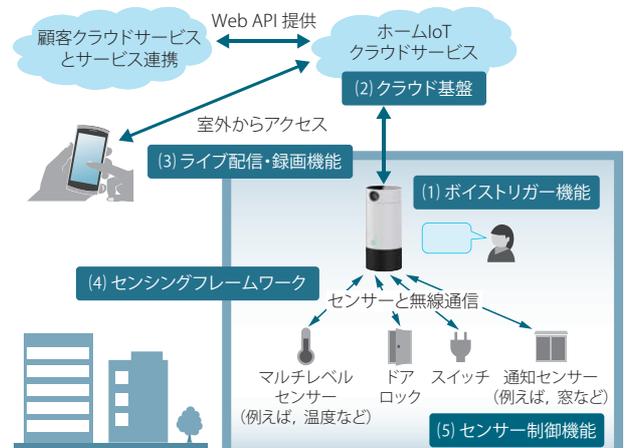
AI深層学習シーン解析技術の構成
Configuration of scene analysis using five-layer deep neural network

■ 音声対話デバイス向けの基盤機能技術

音声対話デバイス向けに、五つの基盤機能を開発した。

- (1) ボイストリガー機能 世界最高水準のトリガーワード検出性能を実現し、Amazon™ Alexa™ Voice ServiceのFar-Field/Hands-Free 認証を取得
- (2) クラウド基盤 マイクロサービス化やマネージドサービスの活用によるロバストで低コストな基盤
- (3) ライブ配信・録画機能 業界標準のWebRTC（Web Real-Time Communication）を活用したライブ配信とスケラブルなクラウド録画
- (4) センシングフレームワーク 様々なセンサープロトコルを統一して扱うモジュールウェア
- (5) センサー制御機能 各社Z-Wave™ 規格に準拠したセンサーへの対応とZ-Wave™ 認証を取得

これらの機能は、北米向けのオールインワン型音声対話デバイス TH-GW10に実装され、製品化された。



API: Application Programming Interface
北米向けオールインワン型音声対話デバイス TH-GW10
TH-GW10 all-in-one home Internet of Things (IoT) terminal for North American market

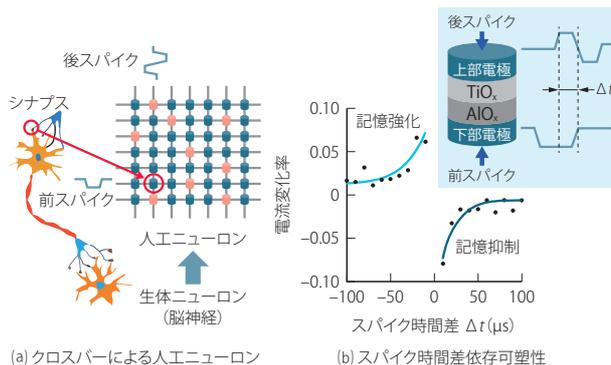
2. 材料デバイス・機械システム技術

■ 金属酸化物素子による脳神経記憶動作の模倣技術

IoT (Internet of Things) やエッジコンピューティングでのAI学習を低消費電力化するため、脳模倣型コンピューターに着目し、脳神経の記憶更新原理であるスパイク時間差依存可塑性を電子素子で実現する技術を開発した。

金属酸化物素子によるクロスバー型的人工ニューロンを試作し、素子両端に印加する電気刺激(スパイク)の時間差を用いて電気抵抗値を連続的かつ不揮発に変化させることができた。また、この技術と深層学習などの人工ニューラルネットワークの学習アルゴリズムを組み合わせ、小規模ながらアナログ電子回路での学習動作原理を確認できた。

今後、大規模並列化による高速化の検討を進め、超低電力性能を実証していく。



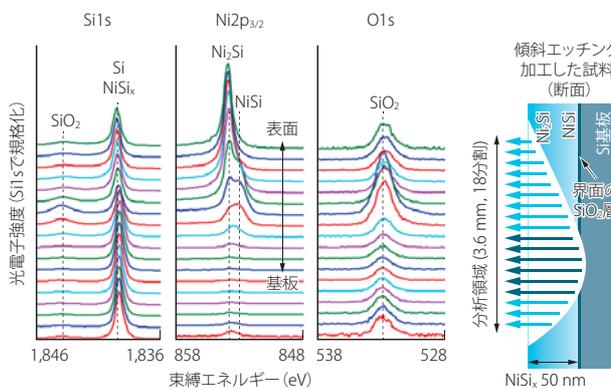
人工ニューロンのシナプス部でのスパイク時間差依存可塑性
 Spike-timing-dependent plasticity at synapses in artificial neuron

■ 放射光を用いた半導体積層構造の深さ方向分析技術

放射光を用いた最先端の表面分析技術である硬X線光電子分光法(HAXPES)により、厚さ数10 nmを超える積層構造試料の組成や、化学結合状態、バンド構造などの深さ方向変化を分析する技術を開発した。

HAXPESの検出深さは、表面から数10 nm程度と大きく、これより浅い領域では、従来の光電子検出角度依存やX線全反射を用いた深さ方向分析が可能である。今回は、より深い領域まで対応するため、あらかじめ傾斜エッチング加工を施した試料を位置分解で測定し、短時間で深さ方向分析を行う技術を開発した。

これにより、総膜厚が100 nmを超えるような半導体積層構造でも、エッチング損傷の影響が少ない深さ方向分析が可能になった。

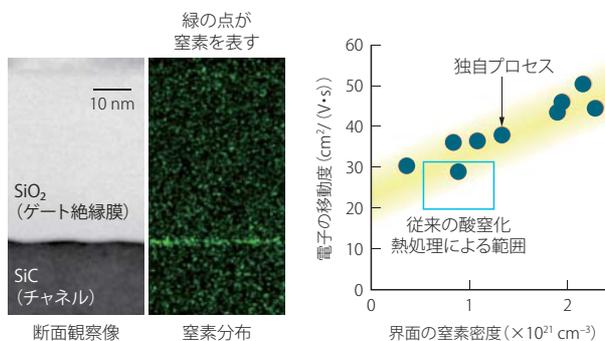


Ni: ニッケル O: 酸素 SiO₂: 二酸化ケイ素
 1s, 2p_{3/2}: 電子軌道のエネルギー準位
 傾斜エッチング加工と位置分解HAXPES測定を利用したニッケルシリサイド(NiSi_x)/シリコン(Si)基板の深さ方向分析
 Depth profiling of chemical states of silicon (Si), nickel (Ni), and oxygen (O) in NiSi_x/Si using slant-etching process and position-resolved hard X-ray photoelectron spectroscopy (HAXPES) measurement

■ SiC-MOSFETのオン抵抗を低減するゲート絶縁膜技術

インバーターの小型・低損失化を可能にするSiC(炭化ケイ素)パワー半導体で、MOSFET(金属酸化膜半導体型電界効果トランジスタ)のオン抵抗を低減できる独自のゲート絶縁膜技術を開発した。

MOSFETのオン抵抗低減には、ゲート絶縁膜がSiCと接する界面に窒素を添加することによる、電子の移動度の向上が重要である。従来の酸窒化熱処理による界面の窒化に対し、今回、低温酸化処理と高温窒素熱処理を適切に組み合わせた独自のプロセス技術を開発した。この技術の適用で、界面窒化に伴う材料の損傷を回避するとともに、より高密度の窒素添加が実現し、電子移動度が60%向上した。素子の信頼性を損なわずに、最大20%のオン抵抗低減が期待できる。

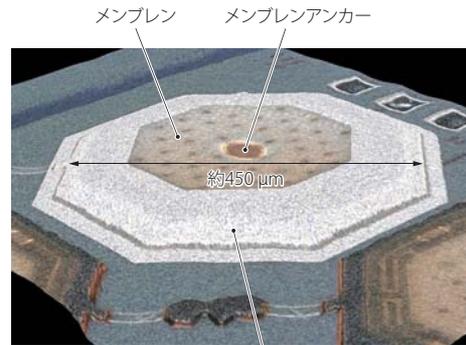


界面窒素密度の増加による電子移動度の向上
 Improvement of electron mobility due to higher nitrogen density at interface between SiO₂ and silicon carbide (SiC) through nitrogen introduction

■ 高速で低消費電力なMEMS水素センサー

検知速度を落とすことなく、従来の約1/100以下の低消費電力で水素ガスを検知する水素センサーを開発した。

近年、地球温暖化対策などの観点から、水素社会の実現が期待されている。一方で、水素は可燃性ガスであり、漏洩（ろうえい）時には速やかに検知する必要があるため、高速検知の水素センサーが求められる。また、バッテリー駆動で常時モニターを行うためには、低消費電力動作が重要である。そこで今回、センサー膜にパラジウム (Pd) 系金属ガラスを用いた独自のMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 構造を採用することで、従来はトレードオフの関係にあった、高速検知と低消費電力を両立する水素センサーの実証に成功した。



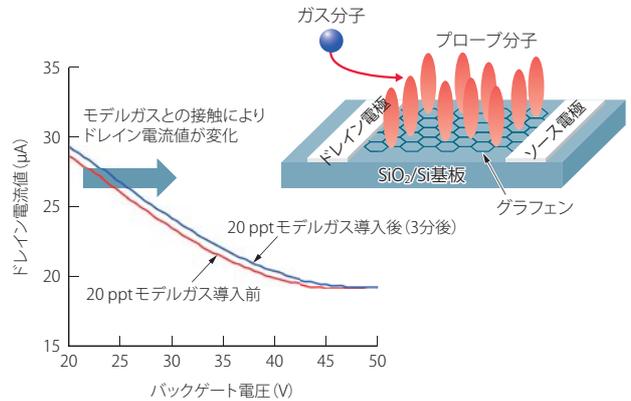
Pd系金属ガラス (センサー膜)

試作したMEMS水素センサー

Prototype microelectromechanical systems (MEMS) hydrogen sensor

■ グラフェンFETによる超高感度ガスセンシング技術

危険物探知などのセキュリティ分野や、大気汚染などの環境分野、医療分野などで小型の超高感度ガスセンシング技術の開発が期待されている。今回、小型化が可能なガスセンサーとして、グラフェンをチャンネル層に用いた電界効果トランジスタ (FET) にターゲットとなるガス分子を選択的に捕獲するプローブ分子を導入したセンサー素子を開発した。数十ppt (ppt: 10^{-12}) から数ppmまでのリン酸系モデルガスに対する応答性を評価したところ、ガスとの接触によりソース-ドレイン間の電流値に変化が見られ、超高感度ガスセンサーとして機能することが実証できた。今後は、ガス種を識別する技術を開発していく。

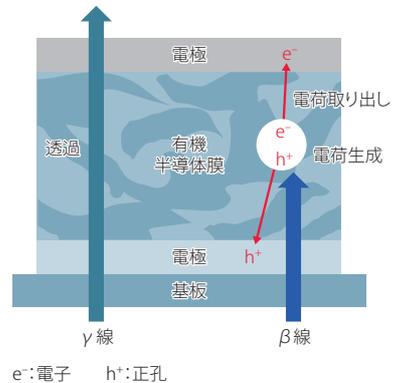


センサー素子の構造とリン酸系モデルガスとの接触時のドレイン電流値変化

Structure of gas sensor and its response to phosphate-based sample gas

■ 有機半導体を用いたβ線検出技術

有機半導体を用いたβ線検出素子を開発した。原子力発電所などの放射性物質による表面汚染は、放出されるβ線で計測しているが、バックグラウンドのγ線の影響を受けやすいことが課題であった。有機β線検出素子は、捉えたβ線のエネルギーによって、二つの電極に挟まれた有機半導体内で発生した電荷を信号として検出する。有機層は、原子番号が小さい元素で構成されるため、γ線は透過させ、選択的にβ線を捉えることで精度良く表面汚染を検出できることが特長である。今回、β線の捕捉効率の向上とノイズ低減のため、溶液からの塗布成膜による有機半導体層の厚膜化と膜質の向上を進めた結果、表面汚染の代表物質であるコバルト60のβ線を検出することに成功した^(注)。



有機β線検出素子の動作の概念図

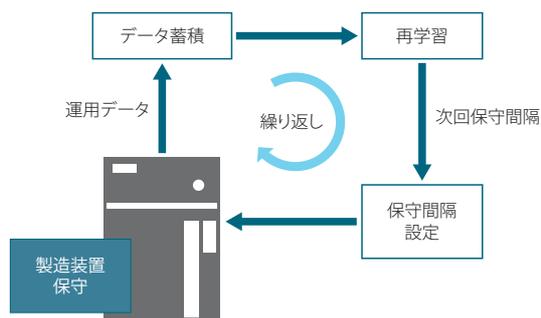
Schematic diagram of organic beta-ray detector

(注) 2017年10月にIEEE Room-Temperature Semiconductor Detectors (RTSD) Symposiumで発表。

■ 強化学習による製造装置の保守間隔自動調整技術

製造装置の保守間隔を延伸すると、保守コストが抑えられる一方で、トラブルの発生率は増大するため、これらを勘案して総コストを最小にする保守間隔を設定する必要がある。総コスト最小間隔を求めるには、現状よりも間隔を延ばしたデータを収集する試行錯誤が必要だが、従来、実運用中の製造装置ではリスクが大きく、試行錯誤ができなかった。

そこで、リスクを管理した試行を実現するため、強化学習の一手法であるバンディットアルゴリズムを応用し、総コストの予測値に基づいた、適正な保守間隔の自動算出技術を開発した。この技術により、実際の装置での試行判断が可能となり、リスクの少ない試行で保守間隔の11%延伸が確認できた。

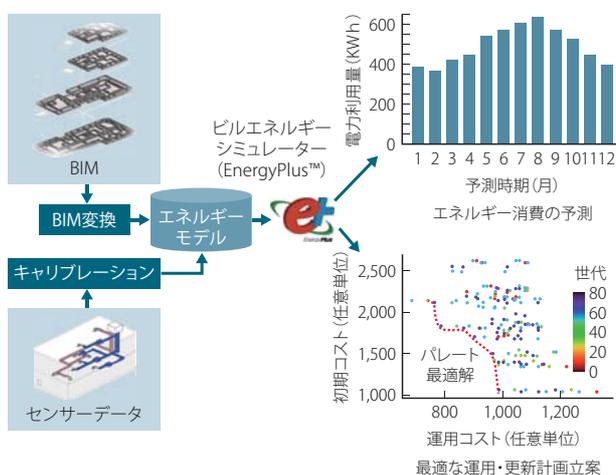


バンディットアルゴリズムによる製造装置の保守間隔自動調整フロー
Flow of maintenance timing adjustment applying bandit algorithm

■ ビル向けのエネルギーシミュレーションを活用した省エネ・運用管理効率化技術

ビルのエネルギーモデルを活用したビル運用・機器更新サービスの展開を目指し、BIM（ビル情報モデル）をエネルギーモデルに変換後、設置されたセンサーのデータに基づいてこのモデルをキャリブレーションする技術と、このモデルに基づいて機器の保守・更新計画を立案する技術とを開発した。

従来は、エネルギーモデルを構築するために、図面や文書から書き起こすなどの手間を要していたが、米国カーネギーメロン大学との共同研究で開発した、精度の高いキャリブレーション技術と高速な最適化技術を用いて、米国の既設ビルを対象に検証した結果、トータルコストを最小にする設備計画を立案できることを確認した。

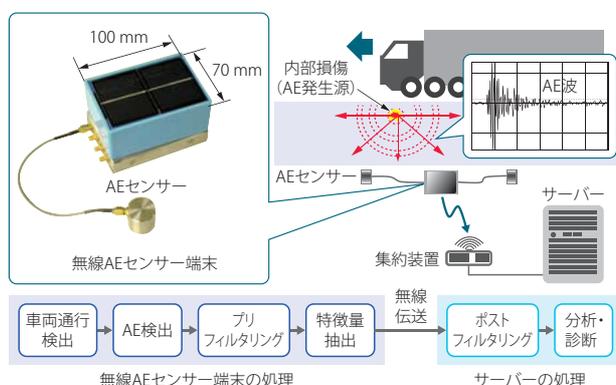


ビルのエネルギーモデルを用いた省エネと運用管理効率化
Operation and maintenance service applying building energy modeling for energy saving and operational optimization

■ 橋梁劣化診断システム用センサー端末

橋梁（きょうりょう）の劣化診断システム用のセンサー端末を開発した。大型車両通行時の応力負荷に伴って材料内部の損傷から発生する超音波帯域の弾性波（AE：Acoustic Emission）を検出して処理し、無線で送信する。車両の通行に合わせて動作を行うイベントドリブンを備えることで、低消費電力化を実現した。

今回、供用中の高速道路橋において、内蔵する太陽電池だけの動作を実証した。片手サイズで無線伝送ができ、かつ外部給電不要というこれまでのAE計測装置にない特長を生かし、劣化診断システムとしての実用化に向けた長期実証を進めている。この成果の一部は、NEDO（国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）の委託研究業務で得られたものである。



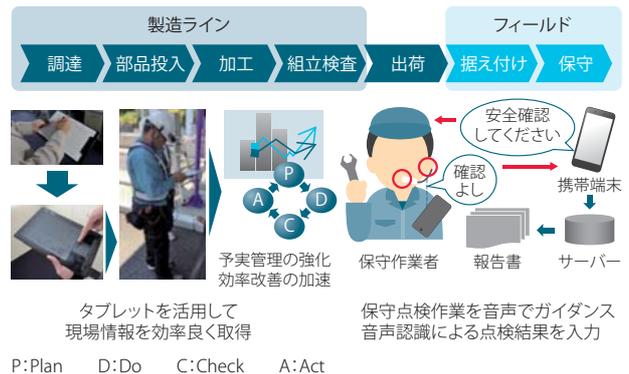
無線AEセンサー端末を用いた橋梁劣化診断システムの構成
Configuration of bridge diagnosis system applying wireless acoustic emission (AE) sensor unit with solar cells

3. 生産技術

■ IE技術によるフィールド作業の生産性向上

これまで、主に工場内製造ラインの組立作業での生産性向上を目的として培ってきたIE (Industrial Engineering) 技術を、社会インフラ製品の現地据付作業などのフィールド領域にも展開し、現場管理に有効なツールの開発と実運用化に取り組んでいる。

現地据付工事では、タブレットの活用で現地作業の実績工数や工事進捗などの現場情報を効率良く取得できるようになった。更に、それらのデータをIE手法で分析し、課題を抽出して対処した施策の効果も定量把握する改善サイクルを回している。また、保守・点検業務にも有効なツールとして、音声による作業ガイダンスと入力機能の開発も進めており、実用化を目指してトライアルを実施した。



IE改善手法のフィールド作業への適用による生産性向上
Improvement of productivity through application of industrial engineering (IE) technologies to field work

■ 製品開発におけるリスクの抽出技術

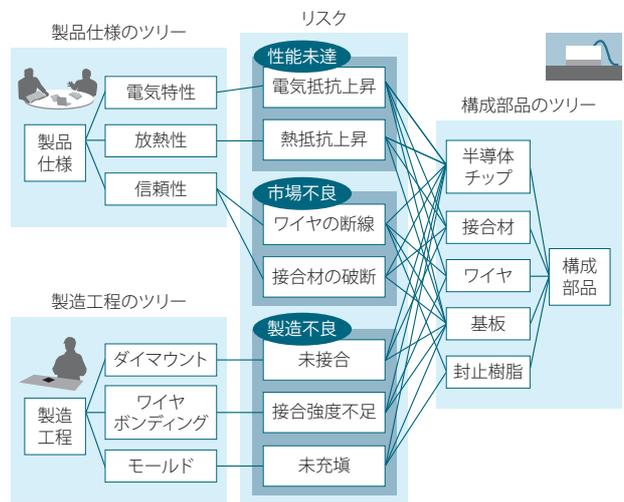
市場が要求する品質を実現するため、設計の上流段階で開発リスクを網羅的に抽出する技術を開発した。

製品開発では、性能や、信頼性、製造性を同時に成立させる必要がある。しかし、例えば一つの性能を向上させると、ほかの信頼性や製造性が低下することがある。したがって、変更によるリスクを抜け漏れなく抽出し、それらを検証することが重要である。

今回、技術ばらしを用いて製品全体を俯瞰(ふかん)し、製品仕様、製造工程、構成部品とリスクの関係をツリー図で可視化した。これを用いることで、設計変更によるリスクを抽出できる。

この技術は、半導体製品の開発に適用を開始しており、今後は様々な製品に展開していく。

関係論文：東芝レビュー. 72, 4, 2017, p.69-72.



開発リスクを抽出するための技術ばらしツリー
Technology breakdown tree to extract development risks in product design phase

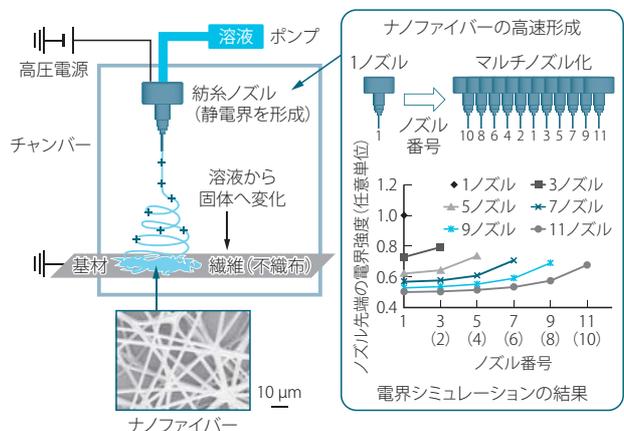
■ マルチノズルによるエレクトロスピンニングの高速化

エレクトロスピンニング法は、高電圧を印加したノズルから原料である高分子溶液を射出してナノファイバー不織布を形成する方法である。産業用途への適用では、ナノファイバーの高速形成が課題であり、単位時間当たりの原料射出量を増やすために、マルチノズル化が重要となる。

マルチノズル化では、高電圧印加に伴うノズル間の電界干渉を考慮してノズルの形状や配置を決める必要がある。

今回、電界シミュレーションの結果を基に、ノズル間で生じる電界強度の違いを抑制したマルチノズルヘッドを実現し、エレクトロスピンニングによるナノファイバーの高速形成を可能とした。

関係論文：東芝レビュー. 72, 4, 2017, p.74-75.



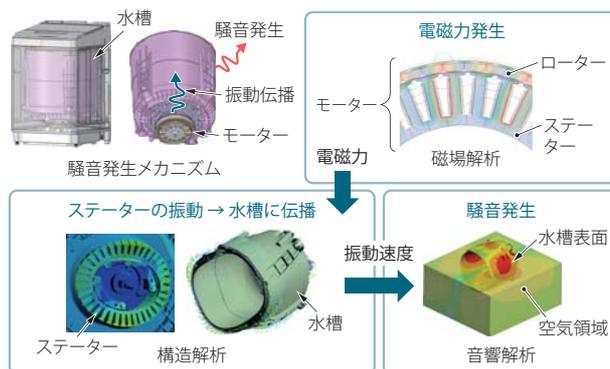
エレクトロスピンニング法とマルチノズル化による高速化
Multinozzle electrospinning method to speed up nanofiber formation

■ モーターの電磁力に起因する騒音の解析技術

モーターに発生する電磁力がステーターを振動させ、構造体に振動が伝播(でんぱ)して発生する騒音を、磁場-構造-音響の連成解析で予測する技術を開発した。

励起される振動モードを把握することで、部品の構造の適正化が可能になる。解析結果は、音圧レベルや音響パワーレベルで出力され、実測結果と直接比較できる。

この技術を縦型洗濯機の運転時に発生する騒音の解析に適用した。今後、設計の上流段階で騒音を解析して評価し、設計を適正化することで低騒音化を実現する。また、試作回数や設計の後戻りの削減による開発コスト低減も可能になる。



縦型洗濯機のモーターの電磁力に起因した騒音に対する磁場-構造-音響の連成解析フロー

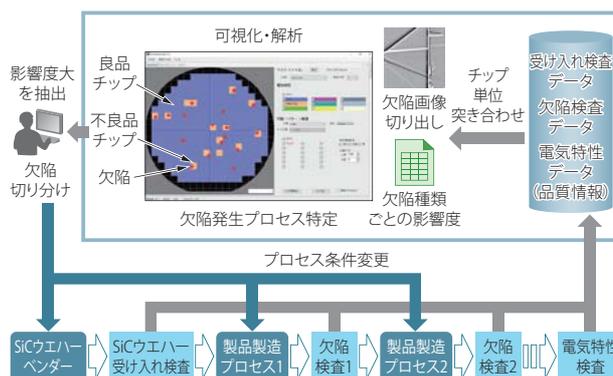
Flow of magnetic-structural-acoustic coupled analysis to predict noise from electromagnetic force generated in motor of vertical type washing machines

■ 欠陥発生プロセスを特定するSiC半導体製品向け品質管理システム

製造ラインにおける欠陥の検査データと半導体素子の品質情報を、チップ単位で突き合わせて一元的に可視化するのに加え、更に欠陥画像を切り出して解析できる品質管理システムを開発した。

このシステムは、ウェハーが持っている結晶欠陥と、製造プロセスで発生する欠陥を区別する機能を持つ。また、欠陥が発生したプロセスや、欠陥種類ごとの影響度を簡単に把握できることが特長である。これらの情報から欠陥の発生工程を特定し、必要に応じてその工程のプロセス条件を見直すことで、欠陥の発生を低減して製造ロスを削減できる。

このシステムを、次世代パワー半導体として期待されるSiC(炭化ケイ素)素子の製造ラインに導入し、製品の品質改善効率の向上に貢献した。



SiC半導体製造ライン向けの品質管理システムの概要

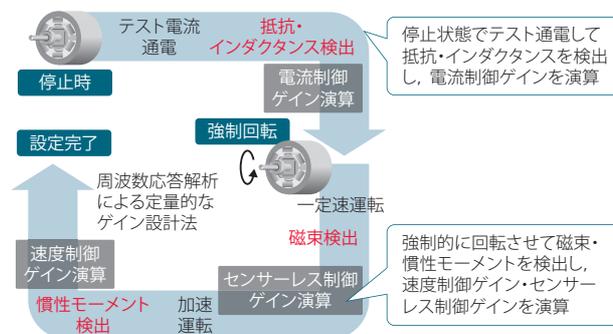
Outline of quality control system for silicon carbide (SiC) semiconductor manufacturing lines

■ モーター制御定数の自動測定・調整技術

永久磁石同期モーターは、小型・高効率であり、近年、家電や産業分野などの多くの用途で普及が進んでいる。

しかし、このモーターの駆動には、抵抗・インダクタンスなどのモーター定数や、速度制御等の制御ゲインの設定が必要で、これらの測定と調整には高度なモーター制御の知識や経験とともに、調整のためのリードタイムが要求されるという課題があった。

今回、当社製のモーター制御マイコンを用いて、モーターの電流・電圧・回転数の検出結果に基づいてモーター定数・制御ゲインを演算することで、人手で行っていた測定・調整工程を自動化する技術を実現した。



永久磁石同期モーターの自動測定・調整プロセス

Flow of processes for automatically tuning parameters of permanent magnet synchronous motor

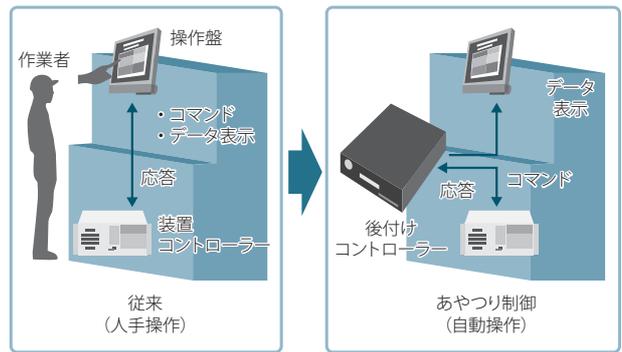
■ 200 mm 半導体製造ラインの自動化を実現するあやつり制御技術

装置画面信号を後付けコントローラーが分岐取得し、画像処理によって装置画面状態を確認しながら、キーボード信号や、マウス信号、タッチパネル信号などのユーザーインターフェース信号を生成することで、装置操作を自動化するあやつり制御技術を開発した。

この技術を200 mm半導体製造ラインに適用し、ロットセット後の処理開始操作の自動化を実現した。これにより、作業者の待ち時間を減らし生産性向上に寄与している。

今後、搬送を含めた生産ラインの自動化実現も目指していく。

関係論文：東芝レビュー. 73, 1, 2018, p.11-15.



後付けコントローラーによる装置操作の自動化

Automation of equipment for 200 mm semiconductor manufacturing by means of add-on controller

■ 金属3Dプリンターにおける銅やアルミニウムの造形プロセス

従来よりも高速な造形を実現するLMD（レーザーメタルデポジション）方式の金属3D（3次元）プリンター試作機において、銅合金、アルミニウム合金の造形プロセスを開発した。

3Dプリンターの実用化には、各種金属材料で造形を実施し、その性能を示すことが重要である。排熱用途向けの銅やアルミニウムは、レーザーのエネルギー吸収が小さいので、高出力レーザーでの造形が必要である。従来のパウダーベッド方式の3Dプリンターでは、高出力レーザーの照射でパウダーが飛散し、造形が困難であった。一方、LMD方式では、造形ノズルで加工点にパウダーを収束でき、高出力でも造形が可能である。高出力レーザーを搭載した試作機でプロセス条件の適正化を行い、純銅や純アルミニウムでの造形に成功した。

関係論文：東芝レビュー. 73, 1, 2018, p.6-10.



金属3Dプリンターの試作機及び造形サンプル

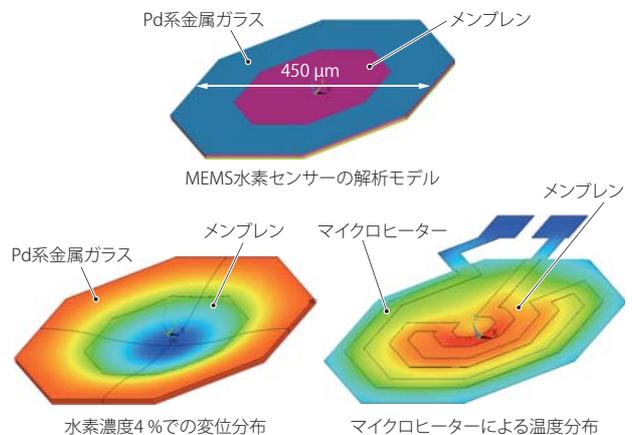
Prototype three-dimensional (3D) metal printer and samples made of copper and aluminum, respectively

■ MEMSセンサーの構造・伝熱シミュレーション技術

MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) センサーの設計用に、センサーの性能や信頼性を推定する構造・伝熱シミュレーション技術を開発した。

高速応答性と低消費電力化が実現可能なMEMS水素センサーでは、センサー膜であるパラジウム (Pd) 系金属ガラス膜の水素吸蔵と体積膨張の関係をモデル化し、水素濃度に対するセンサーの静電容量変化 (応答性) の推定を可能にした。また、湿度などの影響を低減する間欠マイクロヒーターの熱解析により、膜の温度分布や消費電力の見積もりも可能にした。

今後、IoT (Internet of Things) 社会で大量に必要とされる慣性や音響センサーなどのMEMSセンサーへこの技術を適用することで、性能向上や開発期間の短縮に寄与していく。



構造・伝熱シミュレーションによるMEMS水素センサーの性能推定
Estimation of microelectromechanical systems (MEMS) hydrogen sensor performance by means of structural and heat transfer simulations

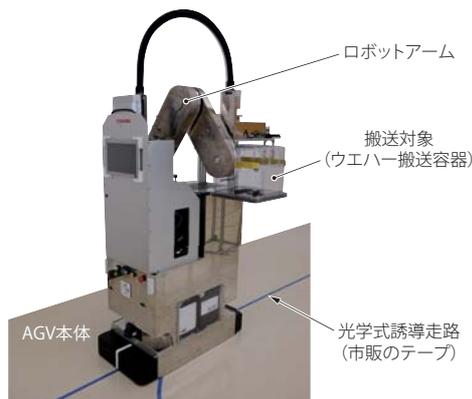
■ 高安全性・低消費電力を志向したロボットアーム付きAGV

工場内の人手不足を補完するため、工場内を移動しながら作業できる、ロボットアームを取り付けたAGV（無人搬送車）を開発した。部品を配膳して運ぶ作業などに対応できる。

2輪駆動のAGVの上に独自のロボットアームを組み合わせた構成なので、AGVとロボットは別々でも稼働できる。今回は、アームの肘関節を垂直方向に配置することで、作業や周辺機器とロボットの干渉を少なくした。また、アームをばねで引っ張ることで重さを支える機構にし、モーターの出力を抑えるなどの安全と低消費電力化も図った。

東芝グループの工場で機能検証を重ね、早期の実用化を目指す。

関係論文：東芝レビュー. 73, 1, 2018, p.11-15.



ロボットアーム付きAGV

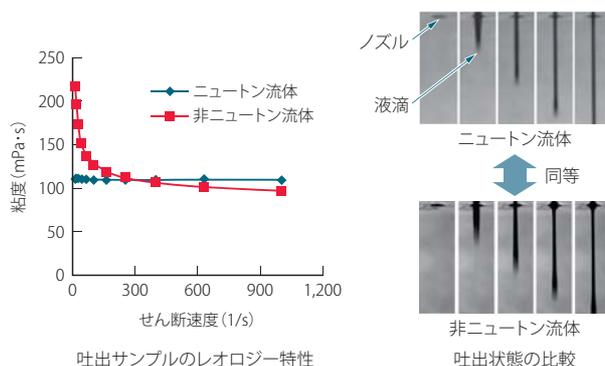
Automatic guided vehicle (AGV) equipped with robot arm for component distribution in factory

■ 非ニュートン流体に適用を拡大したインクジェット技術

インクジェットは、印刷などに比べて、材料の利用効率が高いので環境負荷を低減でき、産業用途では、広告印刷をはじめ、建材や、装飾品、電子デバイス製造など幅広い分野で用いられている。

しかし、塗布材料の多くは、粘度が高く、力のかかり方により粘度が変化する非ニュートン流体も多いので、一般のインクジェットヘッドでは吐出が難しい。

そこで、非ニュートン流体と、力のかかり方による粘度の変化がないニュートン流体との吐出挙動の違いを流体解析で明らかにし、インクジェットヘッドの流路構造や駆動条件を適正化して非ニュートン流体も吐出できるように、適用範囲を拡大した。



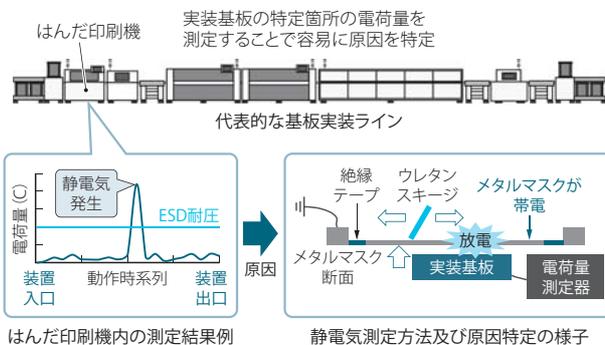
ニュートン流体と非ニュートン流体の吐出比較結果

Comparison of discharge from inkjet head in case of Newtonian and non-Newtonian fluid ejection

■ 基板実装工程における静電気測定技術

半導体デバイスは、微細化・高集積化が進み、ESD (Electro Static Discharge：静電気放電) 耐圧が低下してきている。基板実装工程でも、ESDによる半導体デバイスの損傷が、工程不良や市場不良の一つとなっている。しかし、従来の手法では、基板実装工程、特に製造装置内における原因特定が非常に困難であった。

今回、実装基板の特定箇所の電荷量を測定することで、動作中の装置内でも容易に原因の特定ができる静電気測定手法を開発した。これにより、工程品質が安定し、原因特定時間や対策費用が大幅に改善された。この手法は、半導体デバイスを用いた製品の組立工程でも活用が可能である。



原因例：スキージやクリーニング紙との摩擦でメタルマスクが帯電し、帯電したメタルマスクから実装基板へ放電

基板実装工程内での静電気測定結果の例

Example of result of static electricity measurement in surface mounting process

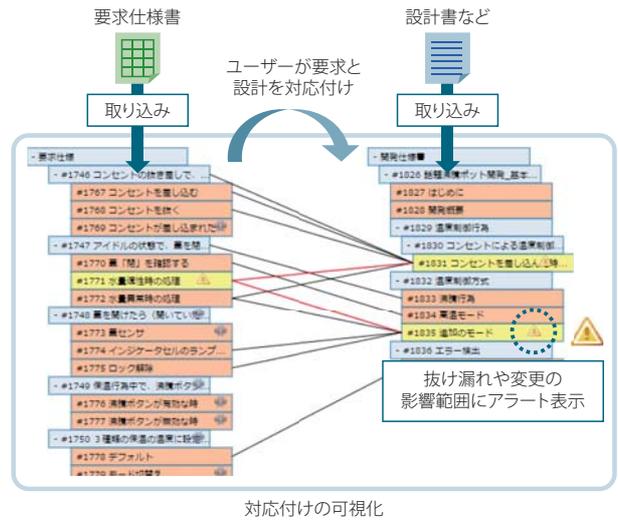
4. ソフトウェア技術

■ ソフトウェア開発を効率化する要求管理ツール

ソフトウェア開発において、抜けや漏れなく全ての要求を設計書などの下流成果物に反映させることは、製品の品質を確保する上で非常に重要であり、その手段としてトレーサビリティ確保の重要性が高まっている。

そこで、要求管理ツールを独自に開発した。このツールでは、製品ドメインごとに、異なる開発プロセスや成果物に合わせて、柔軟にツールへのデータ取り込み方法をカスタマイズできるとともに、東芝グループ向けにクラウドサービスとして提供しているので海外拠点からも利用できる。

下流成果物と要求との対応付けを常に確保することで、要求への対応漏れを早期に発見し、開発での後戻り作業削減の効果が得られる。



要求管理ツールの概要

Outline of requirement management tool for software development

■ システムテストの自動化技術

東芝グループは、既存の製品を改造する、いわゆる派生開発も多い。派生開発であっても、流用部分のテストを省略することはできないので、テスト工数とテスト期間が一向に減らないという課題がある。

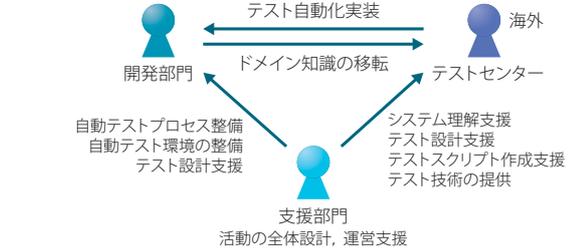
この課題に対し、テスト自動化の導入や推進ガイドの開発、テスト自動化プロセスの整備や、海外のリソースを活用したテスト自動化体制の整備、テスト仕様とテストスクリプトを一元管理する環境の整備など、システムテスト自動化の導入推進を行った。

社会インフラ系の大規模システムの開発を対象に取り組みを行い、次機種以降のテストコストの30%削減、初期導入コストの40%削減の効果を果たした。

テスト自動化戦略策定ステップ



テスト自動化体制



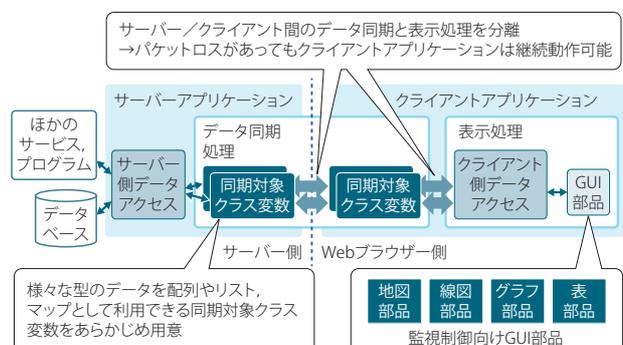
テスト自動化の戦略策定ステップと体制

Strategy formulation steps and organization for automation of system tests

■ 監視制御システム向けのリアルタイムWebアプリケーション開発フレームワーク DAFW[®]

Web技術はネットワークを介した構成を取ることが多いので、パケットロスやサーバプロセス停止などの影響を受けやすく、このことが、動作の継続性が求められる監視制御システムにWeb技術を適用する際の障壁となっていた。

今回開発したリアルタイムWebアプリケーション開発フレームワーク DAFW[®]は、データの同期機能と表示機能を分離し、障害発生時の表示継続性を確保した。更に、監視制御向けGUI (Graphical User Interface) 部品を備えるとともに、同期対象クラス変数で様々な型のデータを配列で取り扱えるようにして、監視制御アプリケーション開発のしやすさを向上させた。



DAFW[®]のアーキテクチャー

Architecture of DAFW Web-based real-time application development framework for monitoring and control systems