

# 研究開発

## Research and Development

東芝グループは、サイバーフィジカルシステム (CPS) テクノロジー企業を目指し、①実世界 (フィジカル) で圧倒的性能を実現するコアコンポーネント、②そこから生み出されるデータを収集してデジタル世界 (サイバー) で理解・分析するアルゴリズム、③それらを結ぶシステム、という全ての領域で先進・先端技術を継続的に創出していきます。

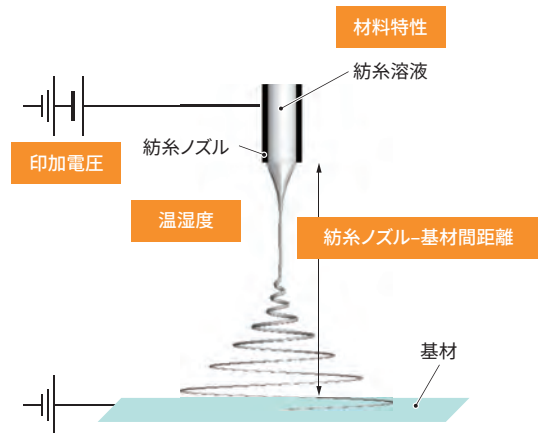
また、CPSによって高品質で魅力ある製品やサービスをタイムリーにお客様に提供するため、長期的視野に立ったソフトウェアエンジニアリングやプロセス改善などの共通基盤技術の開発、モノづくり技術や仕組みの研究開発、モノづくりのあるべき姿の発信、コア生産技術の深耕と製造現場への適用を進めていきます。

社外との連携やオープン技術も積極的に活用し、新たな発見や創造を次々と技術革新に結び付けながら、人々にまだ見ぬ感動や驚きをもたらすと同時に、社会に安全と安心をお届けすることを使命として、研究開発を推進していきます。

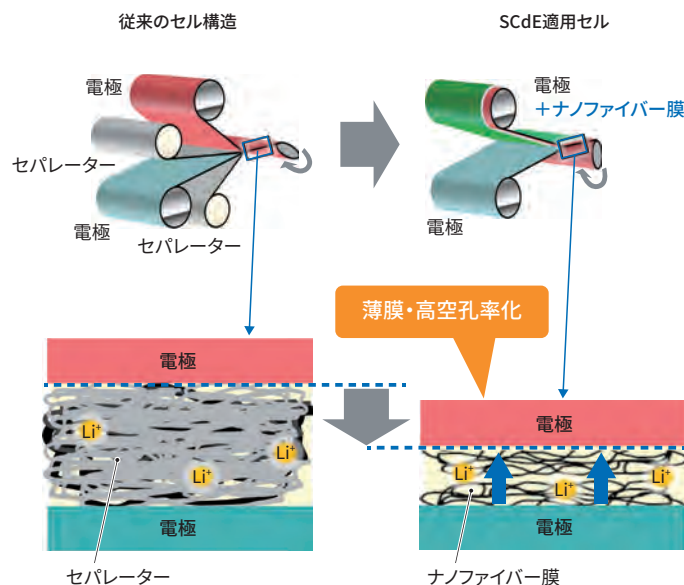


# エレクトロスピンニングによるナノファイバー形成技術を応用した新構造の SCiB™

研究開発  
コンポーネント技術



エレクトロスピンニングの制御因子  
Control parameters of electrospinning for nanofiber formation



電極上にナノファイバー膜を直接形成  
⇒薄膜・高空孔率化で高入出力・大容量化とコストダウンを両立

Li<sup>+</sup>:リチウムイオン

SCdE 適用セル

Newly developed skin-coated electrode (SCdE) as alternative to separator in cell

ナノファイバー形成技術の一つであるエレクトロスピンニング (ES) は、溶液を充填した紡糸ノズルに高電圧を印加し、電界で高分子を引き出して紡糸する技術である。今回、この技術の高速化を実現して量産レベルまで高め、一般のリチウムイオン二次電池で用いられているセパレーターの自立膜型絶縁材を使用しない、新構造の SCiB™を開発した。

ESによるナノファイバー形成技術を応用し、印加電圧や、材料特性、温湿度、紡糸ノズル-基材間距離などの制御因子を適正化することで、リチウムイオン二次電池の電極材料の表面をナノファイバー膜で覆った構造 (SCdE: Skin-Coated Electrode)を実現した。この構造により、電池内の電極間距離を近づけられるため、高いイオン伝導性を確保でき、電池の内部抵抗を抑制できる。SCdEの採用で、SCiB™の強みである入出力性能を向上させられるだけでなく、単位体積当たりの容量も高められる。

この新構造を適用したセルを量産ラインで試作し、SCiB™の高出力 (1,800 W) セルである 10 Ahセルと同サイズで、2,200 W の出力性能を達成した。更に、独自の電極塗工技術と組み合わせて内部抵抗値を従来品に比べて約 40 % 低減し、セルの冷間始動性能の向上が可能となった。

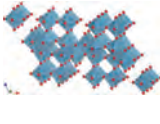
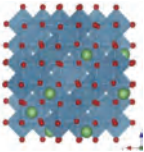
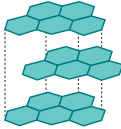
試作したセルを用いた実証試験では、充放電を 8,000 回以上繰り返しても 95 % 以上の電池容量を維持することが確認できており、高入出力・大容量化と、SCiB™の特長である長寿命を併せて実現した。今後、SCdEを用いた新構造を、車載や、鉄道、定置向けなどの SCiB™に展開し、実用化を目指す。

生産技術センター

# 新酸化物負極の採用で高エネルギー密度を実現した次世代SCiB™

## 黒鉛負極とチタンニオブ酸化物系負極の特性比較

Comparison of characteristics of conventional graphite, lithium-titanium-oxide, and titanium-niobium-oxide anodes

負極材料	TiNb <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (TNO)	LTO	黒鉛
結晶構造	単斜晶系 	スピネル型 	六方晶系 
酸化還元対	Ti <sup>4+</sup> /Ti <sup>3+</sup> Nb <sup>5+</sup> /Nb <sup>3+</sup>	Ti <sup>4+</sup> /Ti <sup>3+</sup>	C <sub>6</sub> /C <sub>6</sub> <sup>-</sup>
真密度 (g/cm <sup>3</sup> )	4.34	3.41	2.25
質量当たりの容量*1 (mAh/g)	<b>387</b>	170	372
体積当たりの容量*1 (mAh/cm <sup>3</sup> )	<b>1,680</b>	580	<b>837</b>
電極電位*2 (V vs. Li)	1.6	1.55	0.2

Ti: チタン Nb: ニオブ C: 炭素 Li: リチウム

\*1: 単位格子当たりの理論値

\*2: 金属電極Liの平衡電位を0V基準にした電位



チタンニオブ酸化物負極を用いた試作電池

Prototype battery equipped with titanium-niobium-oxide anode

EV（電気自動車）の普及のため、ユーザーの利便性を向上させるには、充電1回当たりの航続距離の伸長と充電時間の短縮が必要である。東芝インフラシステムズ（株）は、負極にチタン酸リチウム（LTO）を採用し、急速充放電や、安全性、寿命に優れたリチウムイオン二次電池SCiB™を製品化している。今回、EV向けに、数分で超急速充電ができ、更にエネルギー密度も向上させた、次世代SCiB™を開発した。

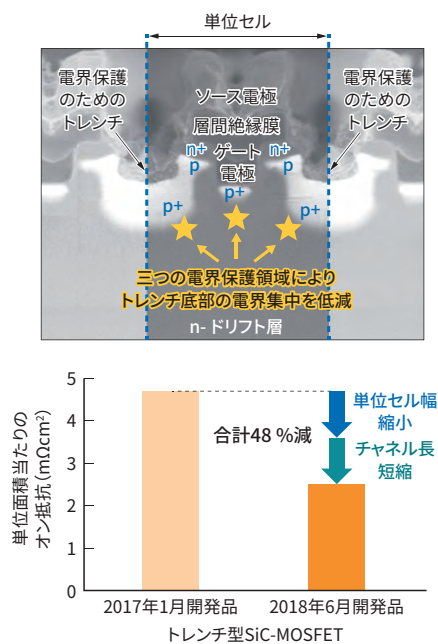
当社は、一般のリチウムイオン二次電池に使用される黒鉛負極と比べ、体積当たり約2倍の容量を持つチタンニオブ酸化物（TNO：TiNb<sub>2</sub>O<sub>7</sub>）に着目し、2011年頃から開発を進めてきた。この材料は、リチウムイオンを吸蔵する際に、LTOと同等の電極電位で2電子反応が可能なニオブ元素を含む上、真密度が高いという特長を持っている。黒鉛負極に対し、質量当たりの容量が同等で、体積当たりの容量が約2倍になるため、EVに向けた応用が期待される。

今回、独自に開発した合成方法でTNO粒子の結晶性を向上させ、理論容量に近い実容量を実現した。これを負極に用いた公称容量49 Ahの試作電池では、6 minで90%まで充電可能な超急速充電性能と、5,000回の繰り返し充放電で90%の電池容量を維持できる長寿命性が確認できた。コンパクトEVに適用すれば、6 minの充電で航続距離320 kmが想定され<sup>(注)</sup>、利便性の大幅な向上が期待できる。

(注) 32 kWh 電池容量搭載のコンパクトEVを想定したJC08モード（国土交通省が定める燃費測定用走行パターン）での走行距離換算。  
関係論文：東芝レビュー．2018，73，3，p.4-8.

研究開発センター

## ■ 電力損失の低減を可能にした SiC トレンチ型 MOSFET



n+ : 不純物濃度の高いn型半導体領域    p : p型半導体領域  
n- : 不純物濃度の低いn型半導体領域    p+ : 不純物濃度の高いp型半導体領域

SiCトレンチ型MOSFETの断面構造と単位面積当たりのオン抵抗の低減  
Cross-sectional structure and decrease in on-resistance of newly developed silicon carbide (SiC) trench metal-oxide-semiconductor field-effect transistor (MOSFET)

SiC (炭化ケイ素) パワー半導体により、鉄道車両や電気自動車などに使われる電力変換装置の高効率・小型化が可能となる。今回、スイッチング素子であるMOSFET (金属酸化膜半導体型電界効果トランジスタ) において、業界トップクラス<sup>(注)</sup>の低オン抵抗を実現した。

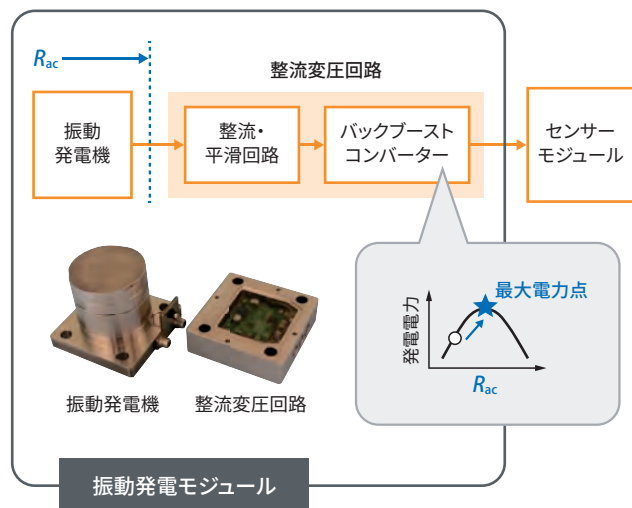
トレンチ (ウエハー表面の溝) 型のSiC-MOSFETは、現行のプレーナー型に対し、オン抵抗の低減が期待できるが、トレンチ底部への大きな電界集中による信頼性低下が懸念される。そこで、トレンチ周辺に自己整合的に電界保護領域を形成する手法で、単位セル当たり三つの保護領域を持つ独自のデバイス構造を開発してきた。

今回、この構造の単位セル幅の縮小と、チャンネル (スイッチ機能を備えた電子の通り道) 長の短縮を組み合わせ、単位面積当たりのオン抵抗として従来比48%減となる2.5 mΩcm<sup>2</sup>を達成した。この研究の一部は、共同研究体「つくばパワーエレクトロニクスコンステレーション (TPEC)」の事業として行われたものである。

(注) 2018年12月現在、1.2 kV級MOSFETにおいて、当社調べ。

研究開発センター

## ■ 鉄道車両監視用 電磁誘導型振動発電モジュール



R<sub>ac</sub>: 振動発電機から見た回路の等価抵抗

振動発電モジュール

Prototype vibration energy harvester module for monitoring rolling stock condition

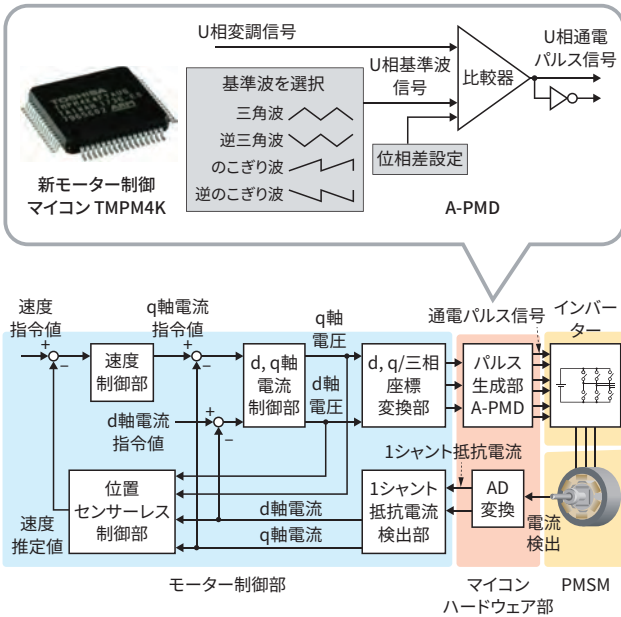
鉄道車両において、脱線などの重大事故を防ぐため、台車の状態をセンサーで監視するシステムの開発が進んでいる。しかし、既設台車への電源ケーブルの敷設には課題も多い。

そこで、走行時の振動を利用する振動発電モジュールを開発した。台車上の狭い設置スペースで大きな交流電力が得られるように、磁束の漏れが小さく磁束が強く集中する振動子構造の電磁誘導型発電機を考案した。試験線で実車を用いて評価したところ、有効に発電できることが立証された。更に、交流電力から直流電力に効率良く変換されるよう、最大電力点で出力するモジュールも開発した。最大電力点への調整は、発電機から見た回路の等価抵抗を変更して行う。

実車試験線での模擬振動試験の結果、当社従来比約2倍の電力が得られた。営業線による実用システムでも大幅な向上が期待できる。この試験の一部は、公益財団法人 鉄道総合技術研究所との共同研究により実施したものである。

研究開発センター

## ■ PMSM 駆動システムの高性能化と低コスト化を両立する モーター制御マイコンTMPM4K



d軸:磁界成分 q軸:トルク成分 AD:アナログデジタル  
 PMSMの制御ブロック図とモーター制御マイコンTMPM4K  
 Control block diagram of permanent magnet synchronous motor (PMSM) drive system and TMPM4K motor control microcomputer

高効率な永久磁石同期モーター（PMSM：Permanent Magnet Synchronous Motor）は、近年、民生・産業など多分野に適用されているが、駆動には電流センサーや位置センサーなどの高価なセンサーが必要で、普及の妨げになっている。このため、センサーの削減で低コスト化し、それに伴う性能低下を補う技術が研究されているが、適用には高度な知識や経験が求められる。

今回、これらの技術をユーザーに使いやすくするためにA-PMD（Advanced Programmable Motor Driver）を改良した新モーター制御マイコンTMPM4Kを開発した。

改良したA-PMDは、電流センサーを削減できる“1シャント（分流器）抵抗電流検出技術”や、位置センサーを削減できる“位置センサーレス制御技術”などの高度なPMSM制御機能を実現できる、モーターへの新しい通電信号生成機能を持つ。

これらの機能で、TMPM4Kは、処理速度の向上による高性能化とモーター駆動システムの低コスト化を実現した。

関係論文：東芝レビュー. 2019, 74, 1, p.65-69.

生産技術センター

## ■ スポット溶接検査用の超音波探傷ロボット



スポット溶接検査ロボットシステム  
 Ultrasonic spot weld inspection robot system

3D（3次元）超音波検査装置Matrixeyeを活用し、スポット溶接部の自動探傷を実現するロボットシステムを開発した。

これまでは、作業者が経験を基に検査プローブの角度調整を行っていたため、熟練が必要であるなどの理由により、作業時間のばらつきが生じていた。

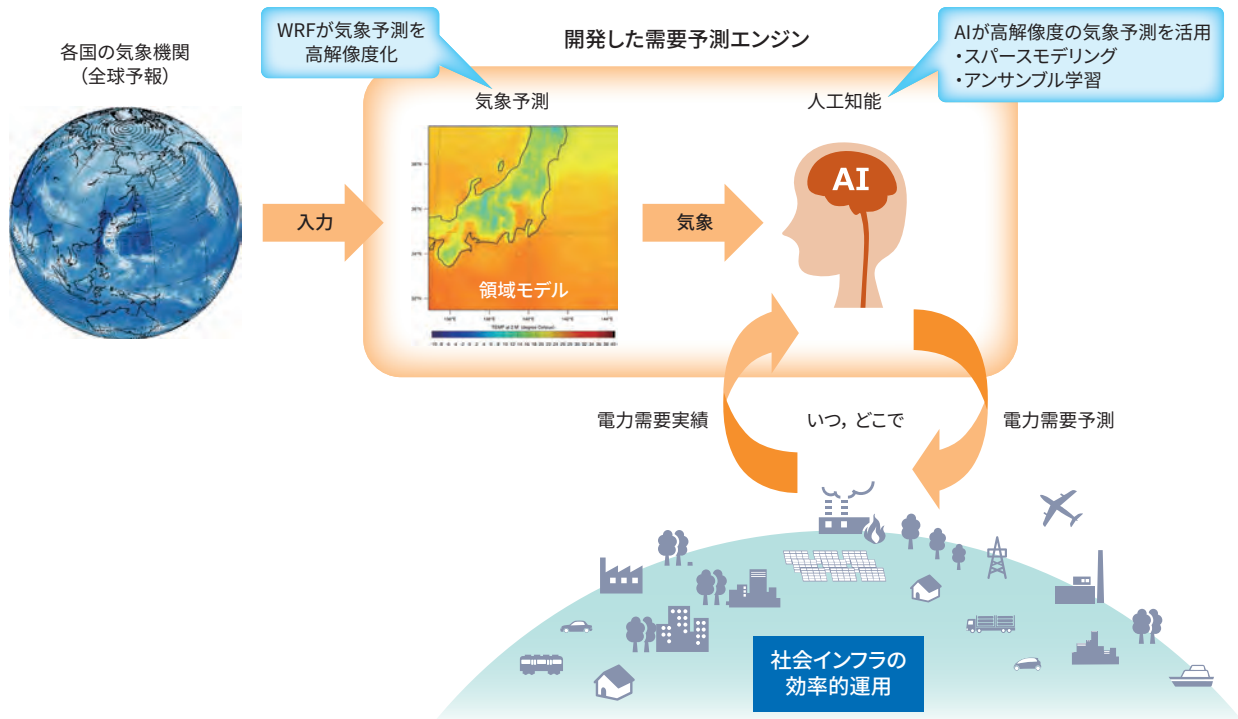
そこで、今回、Matrixeyeで撮像された超音波検査画像を基に、超音波反射強度の分布データから溶接部の表面や裏面の傾きを推定し、検査プローブの適正な姿勢を導くアルゴリズムを開発した。

更に、検査プローブと超音波を伝搬しやすくする接触媒質を塗布できる機構を搭載したロボットアームに、開発したアルゴリズムを適用して、スポット溶接部の自動探傷作業を実現するシステムを開発した。

今後、スポット溶接が多く用いられる自動車業界などでの実用化に向けて、フィールドテストを重ねていく。

生産技術センター

## 気象予測とAIを組み合わせた高精度な電力需要予測技術



高精度な電力需要予測技術の構成  
Architecture of high-precision electricity load forecasting system

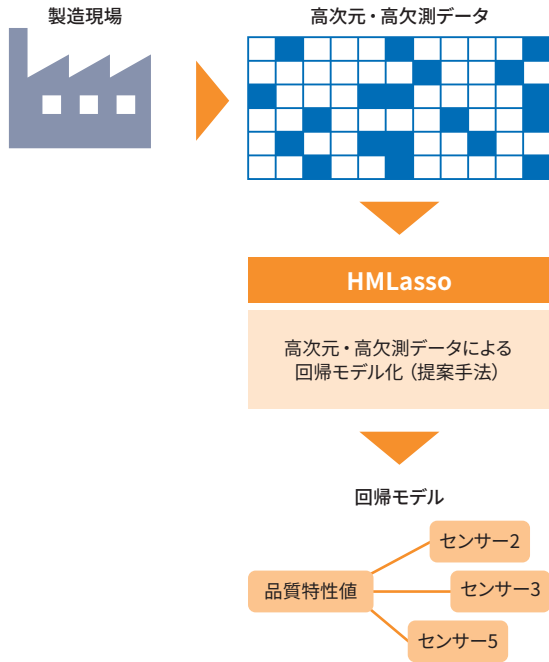
気象予測とAIの機能を組み合わせ、電力の需要量を高精度に予測する技術を開発した。

気象予測の機能では、気象機関が公開する、地球全体の低解像度な気象予測データ（全球予報）を取得した上で、数値気象モデルWRF（Weather Research and Forecasting）などの日本周辺の領域モデルを用いて気象予測データを高解像度化する。人工知能の機能では、スパースモデリングやアンサンブル学習などの機械学習手法を適用し、高解像度の気象予測データを電力需要予測の精度向上に生かす構成とした。

従来方式は、気象予測データは、県庁所在地などの主要都市だけの参照で、需要予測モデルが単一となる構成が多い。一方、開発した方式は、スパースモデリングが時間ごとに参照地点を自動選別する点、アンサンブル学習が複数の需要予測モデルを併用する点に構成上の特長があり、従来に比べて需要予測の前日誤差を約1%抑制した。

今後、この成果を、電気事業者向けの需給管理システム製品や、東芝グループの仮想発電所（VPP：Virtual Power Plant）サービス事業などへ適用していく。

## ■ 高次元・高欠測データのための回帰モデリング技術



高次元・高欠測データを用いた回帰モデリングフロー  
Flow of regression modeling using high-dimensional data with high-missing rate

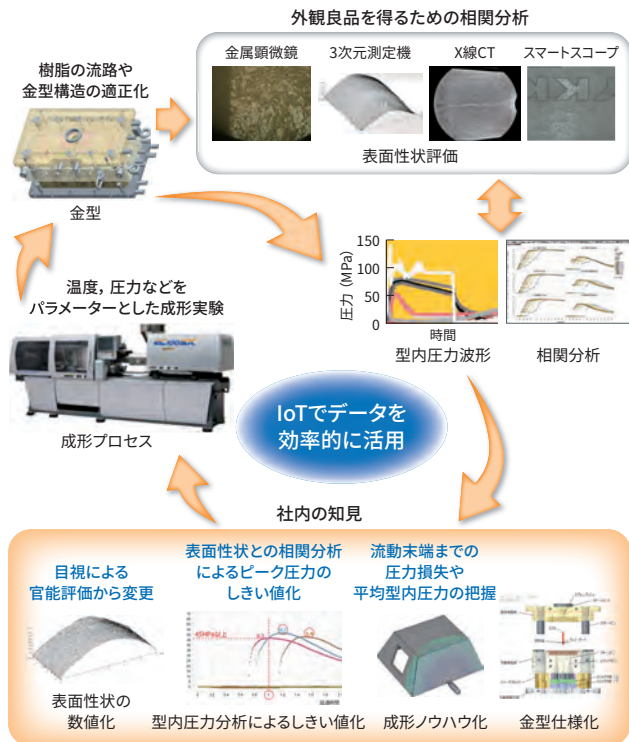
製造現場では、ビッグデータから回帰モデルを推定し、品質悪化の要因を特定することで歩留まり向上が図られている。特に、センサー数が膨大な高次元データでは、変数選択と回帰モデル推定を同時に行うLasso (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator) がよく利用される。しかし、サンプリング検査などによりデータに欠測値が含まれる場合が多く、欠測補完でデータに偏りが出て、回帰モデルの推定精度が低下する課題があった。

今回、大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 統計数理研究所との共同研究で、欠測値が多くても、欠測補完せずに高精度に回帰モデルを推定する新手法HMLasso (Lasso with High Missing rate) を開発した。

HMLassoは、欠測率の情報を有効活用することで高精度化を図っており、理論的に、開発した手法が既存手法よりも推定精度に優れていることを確認した。更に、欠測率50%の人工データによるベンチマーク評価で、既存手法より誤差を43%削減できることを確認した。

研究開発センター

## ■ スマートファクトリー化の実現に寄与する製造IoTソリューション



CT:コンピューター断層撮影

樹脂成形に適用した製造IoTソリューション  
Manufacturing Internet of Things (IoT) solution applied to injection molding process

スマートファクトリー化のために、製造IoT (Internet of Things) が注目されている。しかし、IoTはあくまで手段なので、使うこと自体が目的にならないように、どのようなもので、何ができるのかを理解して使いこなす必要がある。

今回、多種多様な当社製品に対する改善活動から得られた知見を生かした、製造IoTソリューションをシステム化した。製造IoTを導入するためには、現場の“データ収集”や、“見える化”、“分析”、“自動制御・最適化”、“自律化”などを推進する必要がある。このシステムは、現場で見えている課題から本質課題を推測し、課題解決に必要な生産・品質データを効率的に抽出できる。

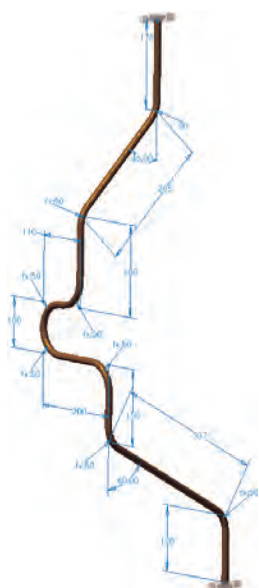
まずは、樹脂成形や、ダイカスト、プレスなどの部品加工で、生産・現場管理、検査、設備管理に対し、必要データから、分析方法・結果、改善アクション、期待効果までのデータ活用をシステム化し、IoT導入を迅速化した。また、東芝グループのIoTシステム“Meisterシリーズ”を活用し、生産性向上や、品質改善、技能継承などを実現可能とした。このソリューションは、社内外の顧客の製造現場で活用され始めている。

関係論文：東芝レビュー. 2018, 73, 1, p.20-24.

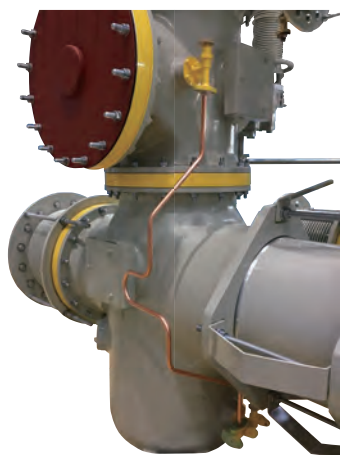
関連記事：p.10, 22

生産技術センター

## ■ 3D設計を活用した配管製造のプレハブ化で現地施工の工期短縮



3D図面に寸法を加えたガス配管の製造指示  
Three-dimensional drawing with dimensions for gas piping manufacturing instruction



ガス配管を組み込んだGISの例  
Example of gas-insulated switchgear (GIS) equipped with gas piping

ガス絶縁開閉装置（GIS）は、顧客の敷地形状や要求仕様に合わせて設計するため、形状やレイアウトのバリエーションが多数存在する。特に、各機器に絶縁ガスを供給するガス配管は、現地で現物に合わせて製作することが多く、現地施工の工期長期化の一因となっている。現地施工中は、変電所などを停止させる必要があるため、工期短縮が非常に重要である。

今回、現地施工の工期短縮を狙い、ガス配管をあらかじめ工場内で製作するプレハブ化を二つの施策で実現した。一つは、機器レイアウト標準化による配管パターン抑制に、カスタマイズに柔軟に対応できる配管レイアウトルールを組み合わせた3D（3次元）設計である。もう一つは、設計部門と製造部門が協力して実施した、3Dで表記した寸法指示と3Dデータ提示による加工指示方法の開発である。

その結果、70本のプレハブ配管を、現地での後加工なく接続でき、ガス配管の接続工期を1/4に短縮した。これは、現地施工の工期全体の55%削減に相当する。今後、電気配線配管などもプレハブ化し、更なる工期短縮を目指す。

生産技術センター

## ■ 工場で培った生産シミュレーションを物流分野へ展開



物流分野への生産シミュレーションの活用  
Application of production line simulation techniques to logistics field

近年、物流需要の増大に伴って、労働力の確保が課題となっている。当社は、荷降ろしロボットやピッキングロボットなどの自動化機器を開発し、物流業界に導入しているが、更に顧客価値を高めるためには、ロボットのようなハードウェアだけではなく、それを有効活用する物流システムソリューションの提供が求められる。

一方、これまで当社は、社会インフラ製品や半導体などの様々な工場で、製造ラインの新規構築や、生産能力の検証、生産性の向上などに生産シミュレーション技術を活用してきた。

今回、この技術を物流分野にも展開し、多種多様な商品を扱い作業量の変動が大きい物流システムやライン構想に適用した。これにより、人とロボットが協調する物流ラインでのレイアウトの適正化や、物流システムの能力、ロボットによる自動化の導入効果などを、ライン導入前に検証できる。

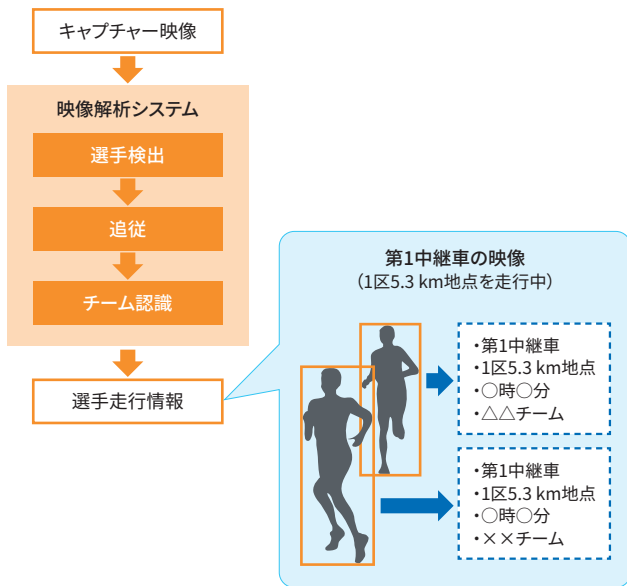
今後、ロボットなどの自動化機器の導入とともに、物流業務を対象とした現状把握から改善施策の提案までを物流ソリューションとして確立し、顧客価値を高めていく。

関連記事：p.9, 22

生産技術センター



## ■ ディープラーニングによる高精度リアルタイム人物映像解析技術



駅伝ロードレース映像解析システムの概要  
Outline of video analysis system for live broadcasts of road relay races

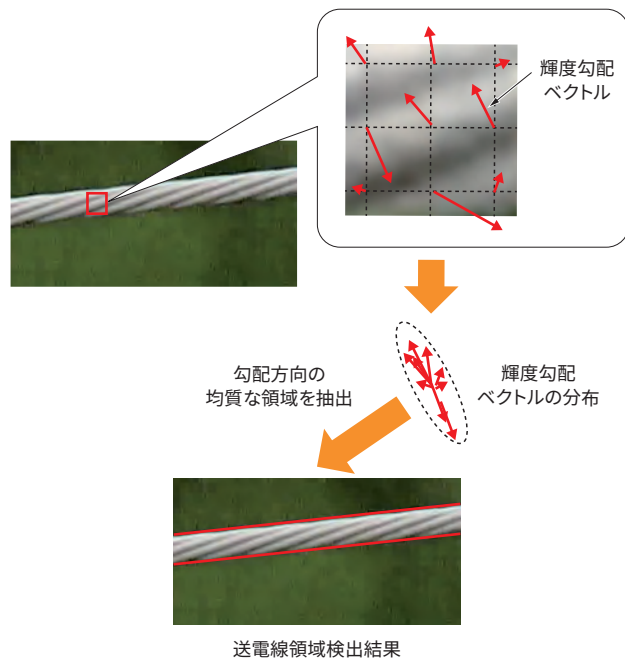
駅伝ロードレース番組制作の効率化を目的に、走行中の選手のチームをリアルタイムに自動認識する人物映像解析システムを開発した。駅伝ロードレースは、選手同士の重なりが多く日照条件の変化も大きいため、従来の画像解析ではチームの自動認識が困難であった。

このシステムは、選手同士が重なっても見えやすいユニフォーム領域を認識の対象とし、様々な日照条件下でのロゴや色について深層学習したモデルを用いて高精度にチームを識別する。また、選手との動きの違いを利用して、沿道の観客を認識対象から除去することで、認識処理の回数を削減してリアルタイム動作を実現するとともに、誤認識を大幅に低減させた。

放送映像へ選手情報やラップタイムを表示するために人手で行っていた記録作業を、省力化する実証実験を行った。生放送でリアルタイムに映像解析をした結果、適合率98.1%と実用的な性能が得られた。この技術は、他のスポーツ映像解析はもとより、既設のカメラを用いた産業分野の作業分析・効率化などにも応用できる。

研究開発センター

## ■ 送電線異常検知のための架空線領域検出技術



画像の輝度勾配から送電線領域を抽出する手法  
Method for stably extracting power line sections according to brightness gradients

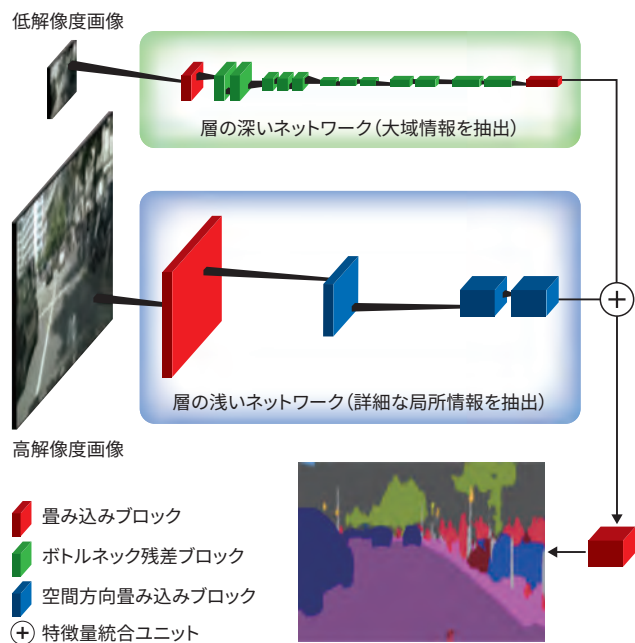
送電線の保守管理では、ヘリコプターによる送電線の巡視点検が行われているが、空撮された送電線画像を作業者が目視検査するため、多大な労力と時間を要している。

このため、深層学習による異常検出技術で点検作業を省力化する取り組みがなされているが、その際の前処理として、画像から検査対象の送電線領域を安定して抽出する必要がある。しかし、送電線は、より線状の構造をしているため、従来の線分検出技術では安定した検出ができない場合があった。また、最近では、4K (3,840×2,160画素) や8K (7,680×4,320画素) などの高解像度な画像が用いられるため、高速な処理も求められる。

今回、直線検出に用いられてきたHough変換を拡張し、輝度勾配ベクトルの向きがそろっている直線状の領域を安定して検出する手法を開発した。この手法は、直線のパラメータ空間における量子化の幅を調整することで、検出精度を落とさずに高解像度の画像を高速に処理でき、送電線点検の省力化を実現できる。

研究開発センター

## 省メモリでのリアルタイム動作と高い精度を両立する画像領域分割技術



ContextNetのネットワーク構成

Network structure of ContextNet semantic segmentation technique for exploring context and detail

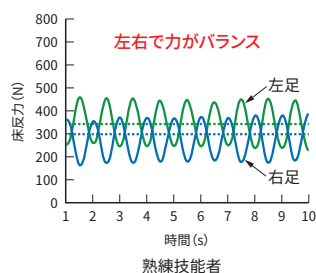
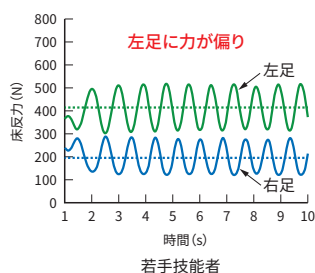
省メモリでのリアルタイム動作と高い精度を両立する画像領域分割技術 ContextNetを開発した。少ない計算資源でリアルタイム動作が求められる自動運転向けに、車載カメラで撮影された画像を、歩行者や、車両、車道、歩道などの領域に高精度で分割できる。

ContextNetは、低解像度画像を入力として大域情報(コンテキスト)を抽出する、層の深いニューラルネットワークと、高解像度画像を入力として詳細な局所情報を抽出する、層の浅いネットワークの処理結果を統合することで、本来トレードオフの関係にある省メモリでのリアルタイム動作と高い精度の両立を可能とした。

オープンなベンチマークデータCityscapeを用いた性能評価では、パラメータ数が85万、処理速度が18.2フレーム/秒、精度が66.1%であり、他社や大学の既発表手法と比べ、メモリ・処理速度と精度のバランスに優れていることが示された。

東芝欧州研究所

## モーションキャプチャーによる“巧みさ”の見える化



モーションキャプチャーを用いた技能者の筋負担比較

Comparison of muscle loads of young and highly skilled workers by means of motion capture

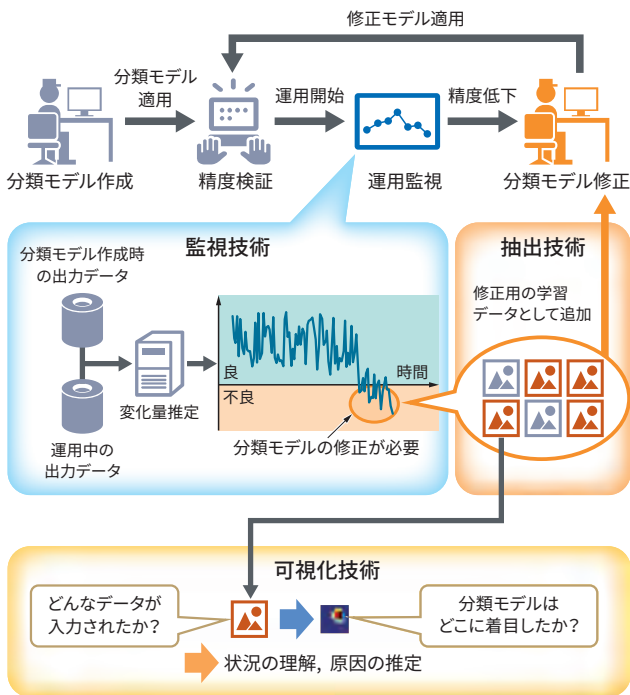
製造業では、機械加工で作られた部品の仕上げが手作業である部分がまだ多い。このため、技能者が持つ技能によるところが大きく、競争力の維持には、熟練技能者の知見やノウハウを継承していくことが重要となってきている。

そこで、技能者の早期スキルアップを目的に、モーションキャプチャーと筋骨格シミュレーションによる身体運動可視化手法を開発した。慣性センサー式モーションキャプチャーの採用で、装置周りを動いても作業時の全身の動きが計測でき、関節角度の変化に対する身体モデルの逆運動学解析で、関節トルクや筋力などの身体内部の作用力を推定できる。また、両足が床面に固定された条件の身体モデルを用いれば、力センサーなしで両足の床反力も推定可能である。

熟練技能者と若手技能者で、作業時の両足への作用力を比較した例では、熟練技能者の少ない筋負担が作業姿勢などに起因していることが明らかになった。この手法により、動きのポイント(巧みさ)に関する気づきが得られることから、技能五輪に向けた若手指導にも利用している。

生産技術センター

## ■ ディープラーニングモデルのメンテナンス技術



ディープラーニングモデルの精度を維持するための監視技術，抽出技術，可視化技術  
Monitoring, extraction, and visualization techniques to maintain accuracy of deep learning models

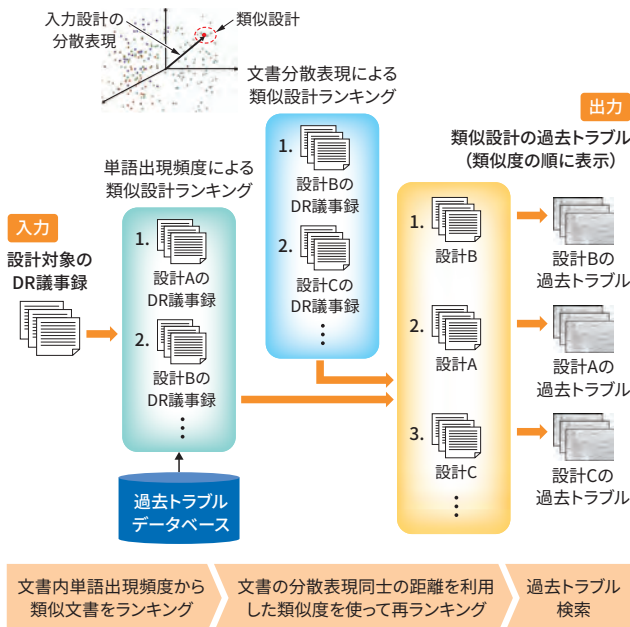
ディープラーニング（深層学習）の産業応用が進み，作成した分類モデルを長期的に運用する場面が出てきている。分類モデルへの入力データは，カメラで撮影した画像やセンサーで取得した波形など多様だが，撮影対象の状態変化やセンサーの位置ずれなどで，入力データの傾向が変化して分類精度が低下するおそれがある。そのため，この傾向変化の監視や，変化後の入力データに対する分類モデルの修正，センサー位置の修正による入力データ傾向の正常化などのメンテナンスが，安定的な運用に必要である。

今回，分類モデルの出力データにおいて，分類モデル作成時からの変化量を基に分類精度を見守る“監視技術”，分類精度の低下した入力データの中から特に傾向の異なるものを見付ける“抽出技術”，抽出された入力データに対し分類モデルの注目箇所を描写する“可視化技術”を開発した。

抽出された入力データとその可視化結果は，傾向変化の状況を理解する助けとなり，分類モデル修正のための学習データとしても有用となる。これらを監視技術と併用することで，分類モデルの効率的なメンテナンスを可能にした。

研究開発センター

## ■ 過去のトラブル事例を効率良く調査できる文書検索技術



類似設計による過去トラブル検索技術の概要  
Document retrieval technique to search past reports of problems with existing products similar to product at design stage

製品設計で同じトラブルを繰り返さないため，過去のトラブル事例を効率良く調査したいというニーズがある。

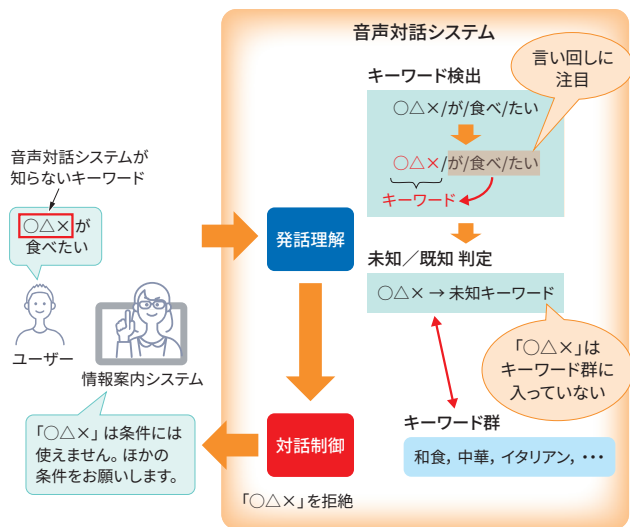
ベテランは，知識や経験を生かし，過去の大量な事例から類似な設計を見付け，そこで生じたトラブルを選択できる。しかし，若手設計者は，過去の類似な設計を見付けられず，重要なトラブルを見逃すおそれがある。

そこで，過去の類似設計を高精度に抽出する技術を開発した。設計レビュー（DR）の検討事項が似ていれば設計仕様も類似すると仮定し，設計対象のDR議事録と文書内容が類似する過去のDR議事録を抽出し，それに対応する設計を類似設計とする。ここで，文書間の類似度は，単語の出現頻度による手法と，ニューラルネットワークで学習した文書の分散表現を利用した手法を組み合わせで算出する。

この技術で，類似設計抽出結果の30位再現率は，単語の出現頻度だけによる抽出と比較して7.1ポイント向上し，75.4%となった。現在，この技術を利用した過去トラブル検索システムが，東芝グループ事業所で試験運用中である。

研究開発センター

## ■ 音声対話中の未知キーワード検出手法



未知キーワード検出手法  
Out-of-domain keyword detection technique for spoken dialog systems

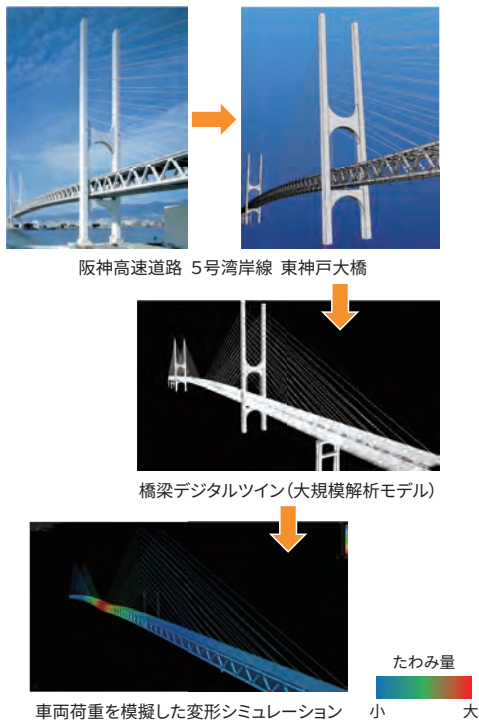
ユーザーと対話して情報案内を行う音声対話システムは、事前にユーザーが発話するキーワードを収集して保持し、これに基づいて応答を生成する。次々に出現する新しい商品名や流行語を全てキーワードに追加するのは難しく、ユーザーの発話に未知キーワードが含まれることは避けられないので、音声対話システムは適切な応答を生成できない。

そこで今回、発話文全体の言い回しを利用した未知キーワード検出手法を開発した。検出した未知キーワードが使用できない旨を、情報案内システムからユーザーに通知することで、円滑に対話を進められる。例えば、「〇△×が食べたい」という発話では、食べ物に共通して使われる「が食べたい」の言い回しに注目すれば、機械学習モデルで「〇△×」をキーワードとして検出できる。音声対話システムは、検出したキーワードが、同じ言い回しに使われる“和食”などの既知のキーワード群になれば、それを未知キーワードと判定する。この音声対話システムは、今後、商品名を頻繁に扱う商業施設での案内やコールセンターでの質疑応答などで、活用が期待される。

関係論文：東芝レビュー．2018，73，5，p.58-62.

研究開発センター

## ■ “橋梁デジタルツイン”に向けた大規模構造解析技術



超大規模構造解析による橋梁変形シミュレーションの例  
Example of simulation of bridge deformation applying ultra-large-scale structure analysis

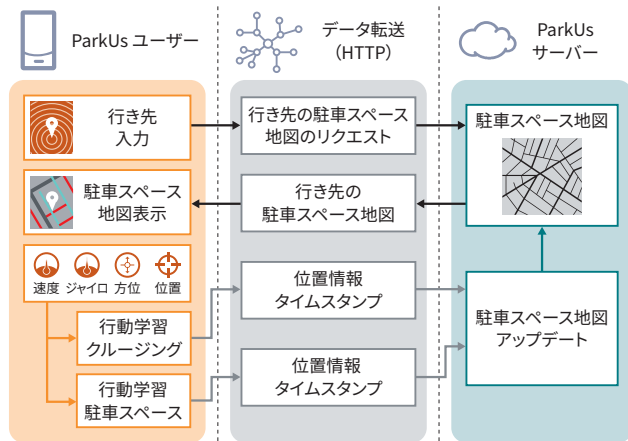
現実世界の対象物を仮想空間上のモデルで忠実に再現することで、設計・運用・保守などを高度化するデジタルツインというアプローチがある。これを橋梁(きょうりょう)に適用した“橋梁デジタルツイン”の実現に向け、大規模構造解析技術を開発した。

阪神高速道路(株)との共同研究で、実在の橋梁(5号湾岸線東神戸大橋)を対象としてモデル化した。橋梁全体を扱う場合、従来は、複雑な断面形状を梁(はり)で置き換え、パラメーターの合わせ込みでモデル化していた。今回の研究では、細部の詳細形状までそのまま再現し、並列計算を用いた5億自由度規模の超大規模解析技術を構築した。細部までモデル化されているため、応力集中の生じる部位を直接分析することができ、維持管理の高度化や災害時の状態把握など、より適切な防災対応への活用が期待される。

構築したモデルを用いて、20t車2台の車両荷重を模擬した変形解析を実施した。橋梁中央のたわみ量を実測結果と比較したところ、パラメーターの合わせ込みなしで良好な一致が得られ、大規模構造解析の有効性を示した。

研究開発センター

## ■ 行動学習による環境モニタリング技術 “ParkUs”



HTTP: Hypertext Transfer Protocol

ParkUs のシステム構成

Architecture of ParkUs system to find parking spaces through behavior learning

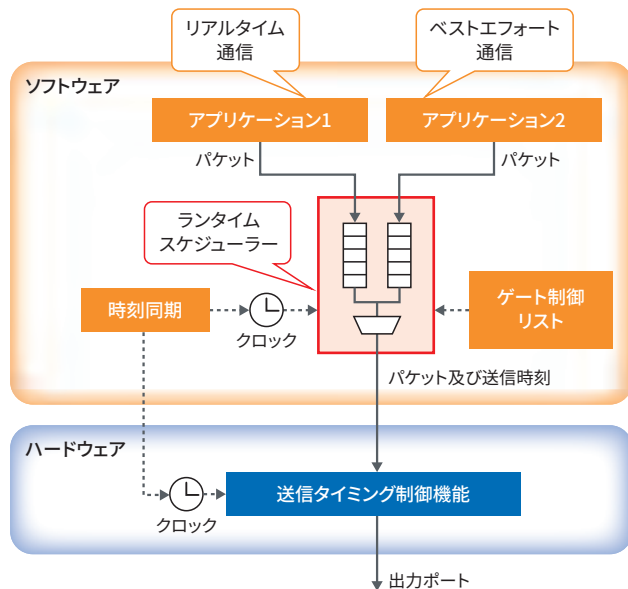
道端の駐車スペースを探し回ることが日常的になると、渋滞を引き起こし、CO<sub>2</sub>(二酸化炭素)排出量の増加や、時間・燃料の浪費などの社会問題となる。

今回開発したParkUsは、リアルタイムに駐車スペースの有無を検出するアルゴリズムである。インフラ側にカメラやセンサーなどを設置する必要がなく、駐車スペース探索行動の機械学習から環境をモニタリングする技術で、スマートフォンやカーナビの加速度センサーやGPS(全地球測位システム)が利用できる。

27人の被験者による200件以上の行動学習で開発と評価を進め、80%を超える駐車スペース検出率を達成した。大学キャンパスやショッピング街のフィールド評価では、駐車スペースを探すのに平均3分近く掛かる環境で、1分37秒を達成した。これは、40万人都市に換算すると、CO<sub>2</sub>排出量790tの削減と燃料費5,500万円の節約になる。この技術は、駐車場探索に加え、サービスエリアやショッピングモールで待ち行列をリアルタイムにモニタリングするソリューションなどにも応用できる。

東芝欧州研究所

## ■ リアルタイム通信をソフトウェアで実現するランタイムスケジューラー



リアルタイム通信スケジューリング技術のブロック図

Block diagram of software-based traffic scheduler for real-time communication

産業・車載ネットワーク分野などでは、リアルタイム性や信頼性を保証するための次世代規格TSN (Time-Sensitive Networking)の普及が見込まれている。

今回、リアルタイム通信への適用を目指し、TSN規格の一つであるタイムアウェアシェーピングをソフトウェアで実現するランタイムスケジューラーを開発した。このスケジューラーは、ゲート制御リスト<sup>(注)</sup>を先読みし、リストで指定されているタイミング制約に基づいて各パケットの送信時刻を動的に決定することで、TSN対応の専用ハードウェアを使用せずに、ソフトウェアでリアルタイム通信ができる。

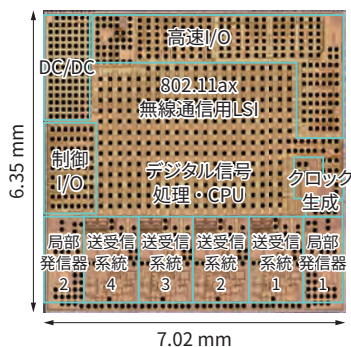
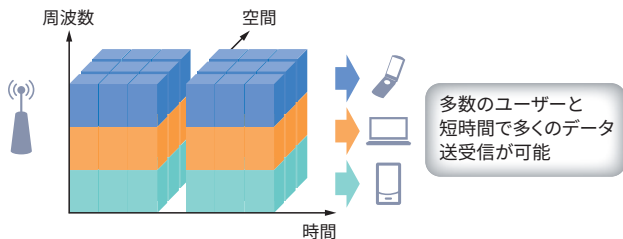
開発した技術と送信タイミング制御機能を持つ汎用ハードウェアを組み合わせたシステムで、リアルタイム通信とベストエフォート通信を混在させた実機評価を行った結果、リアルタイム通信における遅延揺らぎ(ジッター)を0.1μs未満に抑えられた。今後は、低遅延化に取り組む。

(注) 送信ゲートの開閉タイミングを制御するリスト。IEEE 802.1Qbv (電気電子技術者協会規格 802.1Qbv)で定義される。

研究開発センター

## ■ 高効率化と高信頼化を可能とする次世代無線LAN技術

時間軸だけでなく、周波数軸や空間軸でも多重化



DC/DC: 直流直流変換器 I/O: Input/Output

マルチユーザー多重伝送技術の概要と開発した無線通信用LSIチップ  
Overview of multi-user multiplex transmission technique and newly developed large-scale integration (LSI) chip for radio communication

従来の無線LANよりも高効率化と高信頼化を可能とする、次世代無線LAN規格 IEEE 802.11ax（電気電子技術者協会規格802.11ax）の標準化が進められている。今回、IEEE 802.11axのドラフト規格に準拠した無線通信用LSIを開発した。

複数ユーザーが同時に通信できるマルチユーザー多重伝送技術の適用に加え、世界最高レベル<sup>(注)</sup>の信号誤差精度を達成し、一度により多くの情報伝送が可能な1024-QAM (Quadrature Amplitude Modulation) 変調を可能とした。これにより、課題であった多数ユーザー利用時のスループット低下を防止し、最大2 Gビット/s以上の高速無線通信を実現した。また、電波信号の特徴を抽出することで、通信品質低下につながる電子レンジやほかの無線システムからの干渉信号を検出する機能も搭載している。

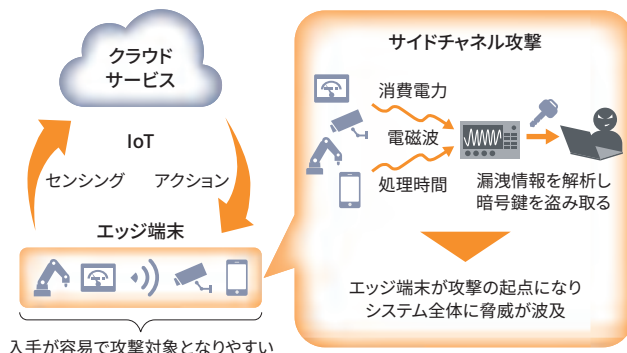
スタジアムでの超高速無線LANサービスや、多数の無線センサーを収容するIoT用途などでの利用が期待される。

(注) 2018年2月現在、無線LAN用LSIにおいて、当社調べ。  
関係論文：東芝レビュー、2018、73、3、p.31-35。

研究開発センター

## ■ 実装起因の攻撃に対応する暗号ソフトウェア対策実装技術

IoTの普及により多くのシステムがサイドチャネル攻撃の対象に



入手が容易で攻撃対象となりやすい

ソフトウェアによる対策実装でインフラシステムの安全性を向上



SW:ソフトウェア

IoTシステムの末端機器を守る暗号ソフトウェア対策実装  
Cryptographic software implementation technique to protect edge devices of IoT systems from side-channel attacks

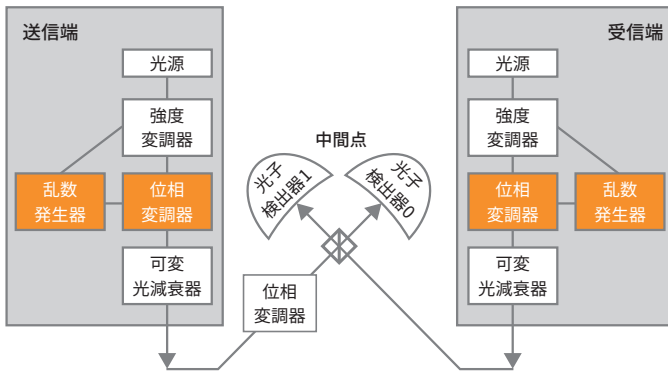
サイドチャネル攻撃は、暗号処理中のアナログ漏洩（ろうえい）情報（消費電力、電磁波、処理時間など）を観測し、暗号の秘密鍵を特定する攻撃手法である。ICカードなどでは、現実的な脅威として対応されているが、今後は、インフラシステムなどのIoT化に伴い、エッジ端末への攻撃が脅威となる。

これへの対応準備として、汎用CPUで動作し、既存システムに導入しやすい暗号ソフトウェア対策実装技術の開発を進めている。ソフトウェア実装で対策することで、攻撃の進化に追従してアップデートでき、製品寿命の長いシステムでも安全性を維持しやすい。

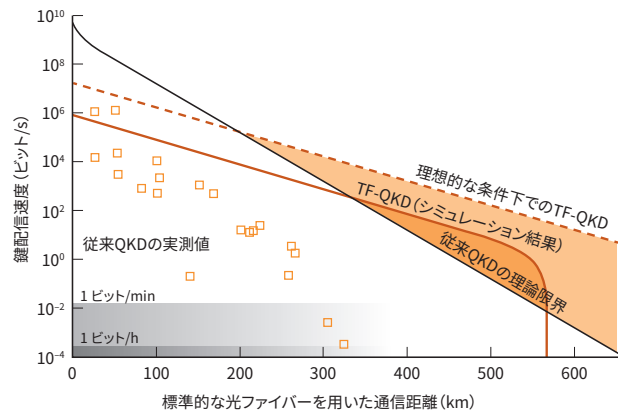
今回、IoTシステムで機器認証やデータ改ざん検出に使用される暗号方式HMAC (Hash-based Message Authentication Code)のソフトウェア対策実装技術を開発した。評価手法の一つであるISO/IEC 17825 (国際標準化機構/国際電気標準会議規格 17825)を用いた評価で、サイドチャネル攻撃に対して耐性があることを確認できた。

研究開発センター

# 世界最長 500 km 以上の通信距離が可能な量子暗号通信方式



TF-QKDの構成  
Setups for implementation of twin-field quantum key distribution (TF-QKD)



光ファイバーを用いたQKDの理論限界と実測値  
Theoretical limits and experimental data of fiber-based quantum schemes

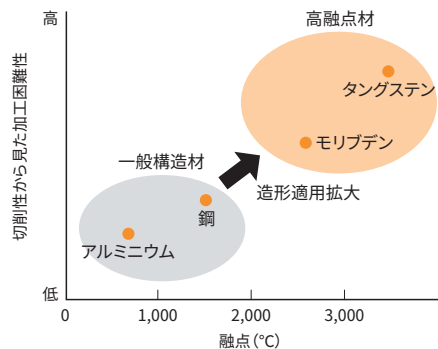
標準的な通信用光ファイバーを用いて、量子暗号通信の通信距離を世界最長<sup>(注1)</sup>の500 km以上に拡大する、新方式“ツインフィールド量子鍵配信(TF-QKD: Twin-Field Quantum Key Distribution)”を開発した<sup>(注2)</sup>。この方式により、例えば、ロンドンと、パリや、ブリュッセル、アムステルダム、ダブリンなどの都市との間を結ぶ光ファイバー網上で、秘匿性の高いデータを安全にやり取りすることが可能となる。

距離が長くなると、情報を伝達する光子が散乱などにより失われてしまうため、これまで光ファイバーを用いた量子暗号通信の距離は、200～300 kmに限られていた。今回、通信距離の長距離化と、鍵配信速度を高める手法を考案し、これまで限界と考えられていた距離を上回る500 km以上の量子暗号通信が、世界で初めて<sup>(注3)</sup>可能になった。また、鍵配信速度も、従来の到達限界距離で、100 ビット/s以上と試算された。

従来の量子暗号通信では、単一光子がファイバーの一端からもう片方の端まで送られるが、TF-QKDでは、ファイバーの両端から中間点に向けて送られ、中間点で光子が検出される。その結果を利用して、両端で暗号鍵を共有する。シミュレーションにより、光パルスの送信器や光子検出器を従来の量子暗号通信と同じ原理で動作できること、及び安全性や鍵配信速度は従来と同様の性能を維持しつつ、通信距離を従来の最大2倍にできることを確認した。

(注1) 2018年2月現在、当社調べ。  
 (注2) 2018年5月2日発行の学術論文誌 Nature に掲載。  
 (注3) 2018年2月時点、当社調べ。

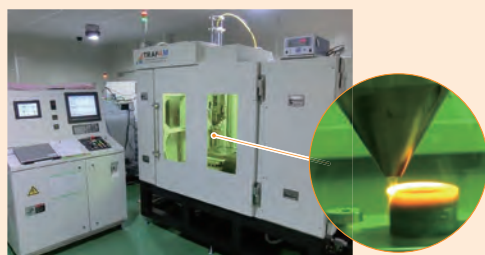
# 高熔点金属への適用拡大と世界最高速レベルの造形速度 510 cm<sup>3</sup>/h を実現する金属 3D プリンティング技術



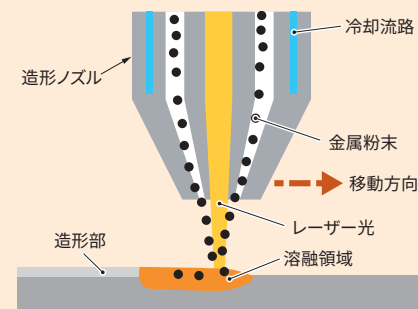
各金属材料の特性比較  
Comparison of metal material characteristics



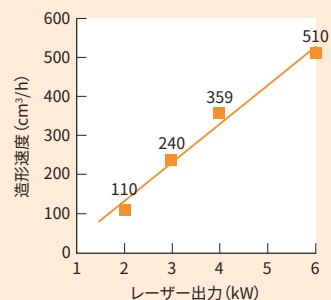
タングステン放熱用部品  
Heat dissipation part made of tungsten before (left, showing as-built surface) and after being polished (right)



高速金属 3D プリンター試作機  
Prototype high-speed 3D metal printer



LMD方式 3D プリンターの造形ノズル  
Powder nozzle of three-dimensional (3D) metal printer applying laser metal deposition (LMD)



レーザー出力と造形速度の関係  
Relationship between building speed and laser power

金属 3D (3次元) プリンティングは、3D 図面から直接、金属の造形物を作ることができる技術で、金型や機能部品など少量多品種の部品製造への適用が検討されている。一方、実用化を進めるにあたり、造形できる金属の種類拡大と造形速度の向上が課題となっている。

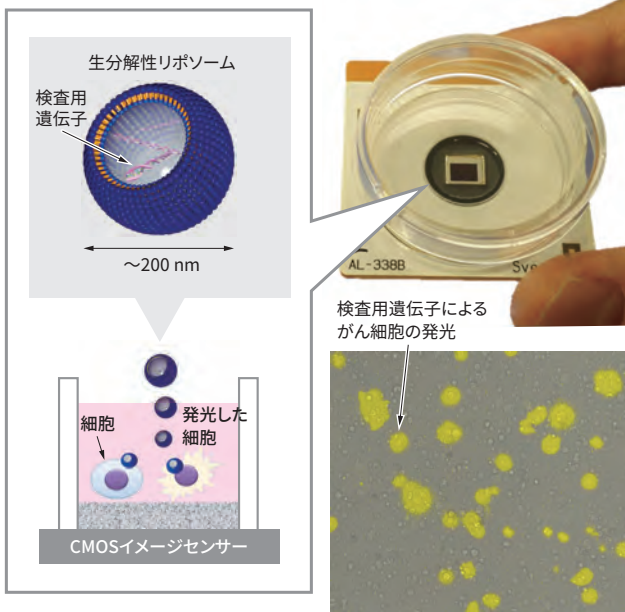
当社は独自に、パウダーベッド方式の 3D プリンターで各種材料の造形を可能にする技術を開発している。この度、耐熱部品に使用され、加工が難しいタングステンなどの高熔点金属について、粉末の溶解性と供給性の改善のために、粉末粒子の形状や大きさを適正化した材料を、東芝マテリアル(株)と共同開発した。このタングステン粉末を使用し、レーザー照射などのプロセス条件を適正化することで、高熔点金属の造形を可能にした。

また、当社は、TRAFAM (技術研究組合次世代 3D 積層造形技術総合開発機構) に参加し、LMD (レーザーメタルデポジション) 方式の高速金属 3D プリンターの装置開発を進めており、造形ノズルを開発した。加工点からの熱で造形ノズルに損傷が発生する問題があったが、造形ノズル先端を冷却する流路を造形ノズル内部に形成することで、耐熱性を向上させた。更に、熱の影響を低減するには加工点と造形ノズルの距離を長くする必要があったが、その結果、熔融領域から外れて無駄になる粉末が増えるという問題があった。流体シミュレーション技術により最適な粉末流路を設計することで粉末の収束性を向上させつつ、粉末の利用効率と造形速度を高めた。今回、レーザー出力 6 kW の造形について開発を進め、造形ノズルの移動速度やレーザー光の照射径などのプロセス条件を適正化することで、世界最高速レベル<sup>(注)</sup>の造形速度 510 cm<sup>3</sup>/h を実現した。

(注) 2018 年 8 月現在、当社調べ。  
関係論文：東芝レビュー、2018、73、1、p.6-10.



## ■ 生分解性リポソームを用いた生細胞活性可視化技術



生細胞活性可視化システムを用いた乳がん細胞の検出方法  
Method for detection of breast cancer cells by means of live cell analyzing system using biodegradable liposomes

細胞を生きたまま観察し、細胞内の遺伝子の活性状態を可視化できる“生細胞活性可視化技術”を開発した。

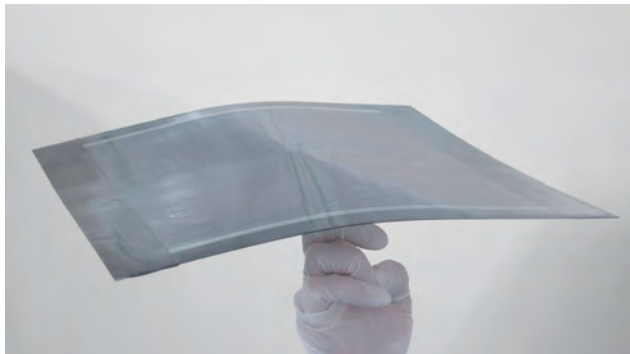
この技術は、従来手法による遺伝子の配列異常検出に加えて、遺伝子の機能異常を1細胞レベルで経時的に検出可能であり、従来手法では困難だった細胞数が極めて少ない病変の検出に応用できる。乳がんなどのがん診断で、がん細胞の増殖やゲノム構造の異常に関わる遺伝子活性の検出に適用することにより、診断精度の向上が期待できる。

この技術は、当社独自の生分解性リポソームとCMOS（相補型金属酸化膜半導体）イメージセンサーから構成される。生分解性リポソームは、内包した検査用遺伝子を細胞内へ安全に運搬するナノカプセルである。検査用遺伝子が導入された細胞を培養すると、細胞の遺伝子の活性状態に応じて発光する。この発光をCMOSイメージセンサーで撮像することにより、遺伝子の活性状態をリアルタイムに観察する。

この技術の臨床への適用に向けて、乳がん患者から採取した細胞を用いて、遺伝子の活性状態を経時的に観察できることを実証した。

研究開発センター

## ■ 世界最大面積のフィルム型ペロブスカイト太陽電池モジュール



フィルム型ペロブスカイト太陽電池モジュール  
Film-based perovskite photovoltaic (PV) module

ペロブスカイト太陽電池は、ペロブスカイト型結晶を光吸収層に用いた太陽電池であり、塗布・印刷技術により低コストな製造が可能で、かつ高効率化も期待されている。独自の塗布技術に加え新たなプロセス開発などにより、従来困難であった大面積化と高効率化の両立を実現し、世界最大<sup>(注1)</sup>の面積703 cm<sup>2</sup> (受光部サイズ 24.15 × 29.10 cm) のフィルムモジュールで、エネルギー変換効率<sup>(注2)</sup> 11.7%を確認した。このモジュールは、学術論文誌Progress in Photovoltaicsに掲載される世界の太陽電池トップデータ集であるSolar cell efficiency tables (version 52) のペロブスカイトサブモジュールのカテゴリーにおいて、認定機関で測定したモジュールの中で世界一のエネルギー変換効率として掲載された。

この研究は、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) の委託事業「高性能・高信頼性太陽光発電の発電コスト低減技術開発」により実施したものである。

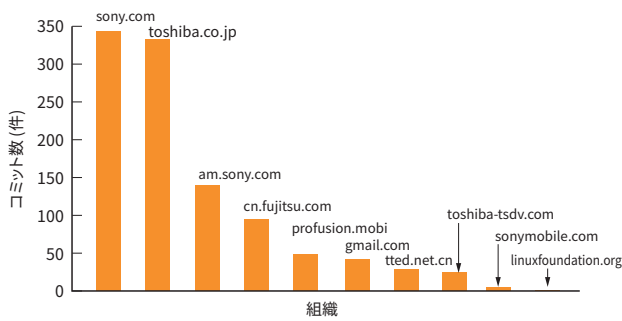
(注1) 2018年11月現在、当社調べ。

(注2) 太陽光エネルギーを電気エネルギーに変換する効率。

関係論文：東芝レビュー. 2018, 73, 3, p.13-17.

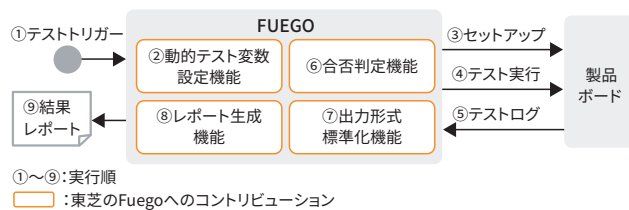
研究開発センター

## ■ 組み込み Linux システムのテストを効率化する自動テストシステム Fuego



\*調査日: 2018年11月5日

企業など組織の Fuego 開発への貢献度  
Companies and organization contributing to development of Fuego automated testing tool for Linux embedded systems



Fuegoの構成  
Diagram of Fuego and core components developed by Toshiba

Fuegoは、接続方法や用途の特殊性などの理由から、テスト項目の一般化が難しいとされる組み込み機器向けのテスト自動化ツールであり、オープンソースソフトウェア(OSS)として、世界中の開発者や企業が参画して開発を進めている。当社は、Fuegoの開発に多くの貢献をしており、プロジェクトリード担当者からトップコントリビューターとして認定された。例えば、Fuegoでテスト実行のための中心的な機能となる、動的テスト変数設定機能、合否判定機能、出力形式標準化、及びレポート生成機能は、当社の成果である。

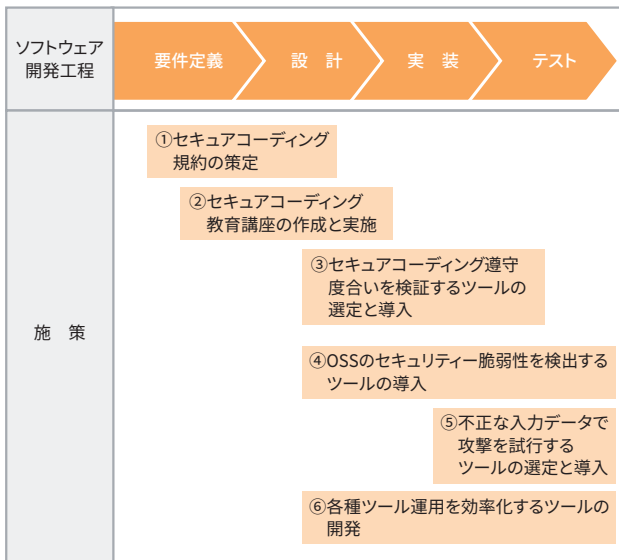
Fuegoは、既に100セット以上のテストに対応しており、更に拡張が続いている。これらの開発成果は、誰でも利用可能であり、Linux組み込みシステムのソフトウェアの開発効率向上にも大きく貢献した。

今後は、既存フレームワークとの統合や、不具合原因の検索などの機能を追加し、組み込みシステムやOSSの品質向上に貢献していく。

関係論文: 東芝レビュー. 2018, 73, 5, p.96-97.

ソフトウェア技術センター

## ■ ソフトウェア開発工程におけるセキュリティの向上



セキュリティを向上させるための六つの技術的施策  
Six measures to improve security during processes of software development

現代のシステムは、様々な機器やクラウドシステムなどと連携して動作している。このようなシステムにおいて、製品のソフトウェア開発でセキュリティを確保するには、セキュリティ脆弱(ぜいじゃく)性が入り込みにくい設計と、仮に入り込んだとしても早期に取り除ける仕組みが求められる。

東芝グループは、ソフトウェアの開発工程別に、①セキュアコーディング規約の策定、②セキュアコーディング教育講座の作成と実施、③セキュアコーディング遵守度合いを検証するツールの選定と導入、④OSSのセキュリティ脆弱性を検出するツールの導入、⑤不正な入力データで攻撃を試行することでシステム全体結合によって発生するセキュリティ脆弱性を検出するツールの選定と導入、及び⑥各種ツール運用を効率化するツールの開発、の六つの技術的施策を講じた。

社会インフラ・エネルギー・電子デバイス系のシステムを対象に取り組みを行い、ソフトウェア開発でのセキュリティを向上させた。

関係論文: 東芝レビュー. 2018, 73, 5, p.19-22.

ソフトウェア技術センター

## ■ 既存ソフトウェア資産の活用を促進するコード理解支援ツール

ソースコードエディタ上からの操作でダイアグラムを更新

ダイアグラム上の要素に対応するソースコードを頭出し

コードを読解

オーバービュー

関数内部のブロック構造を模式化

関数

式

項 term()

ここでvalに3が代

コメント

ここでval(3)に5を定めてvar

token:int = Add

変数

ソースコードを理解した結果の表現に適したダイアグラムを考案

- 関数内部の構造を簡潔に表現できる
- 関数の呼び出し構造が分かりやすい
- 関数の呼び出し順が把握できる
- 重要な変数の読み書き関係を表現できる
- ソースコードの行とひも付けてコメントを付加できる

### コード理解支援ツールの概要

Overview of source code comprehension tool to facilitate reuse of existing software assets

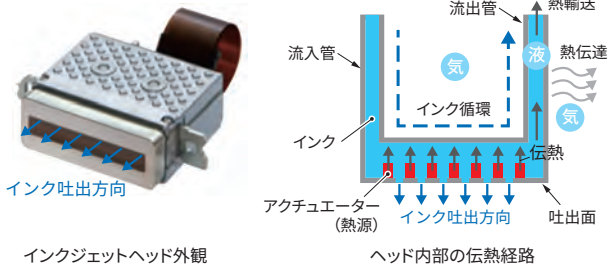
既存のソフトウェア資産を改造・再利用するためには、現状のソフトウェアを正しく理解しておく必要がある。しかし、度重なる改造で、ドキュメントとソースコードが乖離（かいり）したソフトウェアを理解することは困難である。そこで、熟練技術者がソースコードを理解する方法を分析し、それに基づくコード理解支援ツールを開発した。

熟練技術者は、ソースコード上での実行順序をトレースし、関心の高い箇所を切り出すことでソースコードを理解していく。このツールは、ソースコードから切り出した関心の高い箇所をソースコード構造の表現に適したダイアグラムとして描画する。そして、ダイアグラムとソースコードを同期して参照できる機能により、ソースコード上での実行順序のトレースを支援する。

このツールにより、熟練技術者の作業速度を低下させることなくソースコードの理解結果を記述できる。また、記述したダイアグラムは、コードレビューや、以後の改造・再利用のときに、設計資産として活用できる。

ソフトウェア技術センター

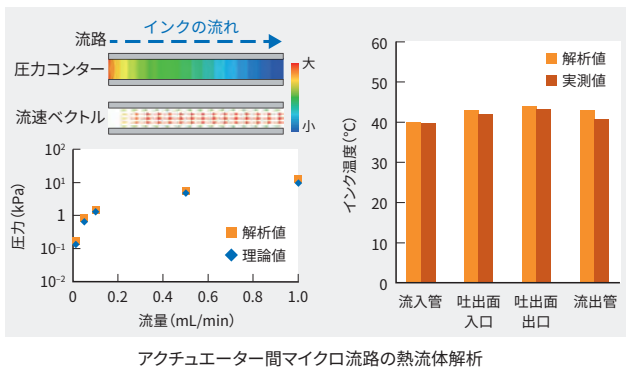
## ■ 産業用インクジェットヘッドの放熱設計技術



インクを循環させて変質や沈降を防ぐことで、高品質な印字を可能とするインク循環型インクジェットヘッドでは、高解像度化のため、インクを吐出するアクチュエーターを高密度に配置する。しかし、この構造では、複数のアクチュエーターが近接配置され、発熱密度が高くなることから、インクが温度上昇で変質しないよう、高い放熱性が求められる。

ヘッド内外の空気への放熱だけでなく、インクによる熱輸送も考慮するため、気液二流体を用いた熱流体解析を活用し、インクの温度分布を高精度に予測できる放熱設計技術を開発した。複雑なインクのマイクロ流路をモデル化し、流路壁での摩擦損失を考慮したインクの挙動を計算することで、流入量に対する流速や圧力分布を高精度に予測した。

これにより、流路内のインクの熱輸送を正確に把握することができ、各所のインク温度の解析値と実測値に高い整合が得られた。この技術を構造設計の上流段階に適用することで、試作レスで、製品仕様を満たすヘッドの放熱構造やインク流入量などが検討できる。

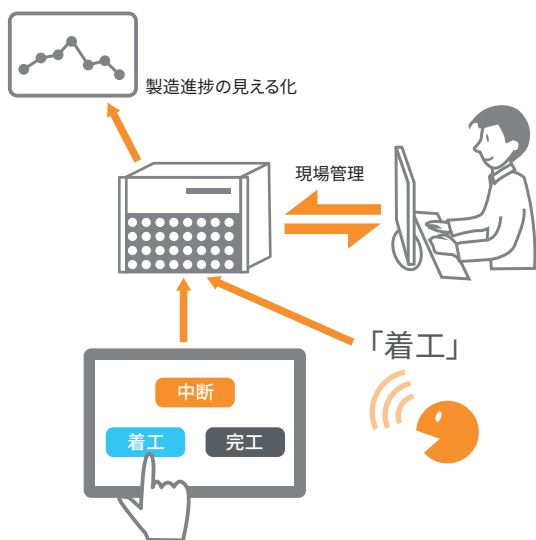


インクジェットヘッド内部の熱流体解析によるインクの流れと温度の予測  
Prediction of ink flow and temperature inside inkjet head using thermal fluid analysis

関連記事：p.66

生産技術センター

## ■ インデント製品の製造進捗情報を効率的に取得できる仕組みの構築



工程進捗に関わる情報のインプットと活用  
Input and utilization of information on progress of manufacturing of customized products

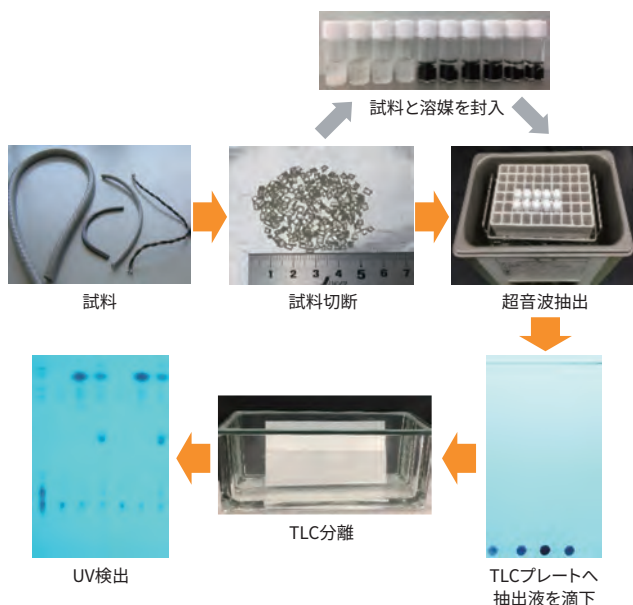
当社は、ライン方式で生産される量産製品では、工程別の作業工数をリアルタイムに把握できる仕組みを構築し、ネックになる工程の改善やラインバランスの適正化に活用している。一方、インデント製品は、仕様が一品一様で組立工数が製品ごとに異なる上、調整や検査など工数のばらつきが大きい。このため、製品完成時に各作業者の工数申告から総工数を集計し、当初の見込み工数との差異を分析することで現場改善につなげてきた。しかし、リアルタイムに製造進捗が把握できないことや、現場管理者による工数集計・分析の負荷が大きいことが問題となっていた。

今回、インデント製品の製造現場を対象に、作業者が“着工(着手時)”，“中断(休憩や会議などによる中断時)”，“完工(完了時)”のタイミングにそれぞれのボタンを押すだけで、製造進捗を可視化する仕組みを開発し導入した。これにより、工程ごとの製造進捗や作業状態をリアルタイムに把握できるようになり、現場管理者の管理工数を半減した。今後、この仕組みを各工場に展開し、一層の生産性向上を目指していく。

関連記事：p.9, 10

生産技術センター

## ■ フタル酸エステルを低コストで高精度にスクリーニングする簡易検査法



フタル酸エステル簡易スクリーニング法のスキーム  
Flow of simplified screening of phthalate esters by means of thin-layer chromatography (TLC)

フタル酸エステルの低コスト・高精度な簡易検査法を開発した。フタル酸エステルは、主に塩化ビニールの可塑剤として使用されている。しかし、2019年7月に4種のフタル酸エステルが欧州 RoHS (Restriction of Hazardous Substances) 指令の規制物質に追加される予定で、その規制は世界的に波及する動きがある。そこで、フタル酸エステルの管理体制の構築が急務であるが、従来の機器分析を用いる検査法は、コストが掛かること、技術者の確保が必要なことなどの問題があった。

開発した検査法は、材料に含まれるフタル酸エステルを溶媒抽出し、薄層クロマトグラフィー (TLC) 法で分離後、UV (紫外線) 検出するものである。抽出工程では、溶媒量を従来の抽出法と比較して1/40～1/100に削減し、工程も簡略化した。また、TLC測定では、多試料の同時分析により迅速に分離でき、UV検出結果の画像処理技術の導入で明確な小さい値(質量分率0.1%)判定が可能になった。更に、導入コストは、従来の検査法の1/50以下で、運用や管理に関わるコストも大幅に削減できた。

研究開発センター