

## トレンド

# かしこく，つながり，進化する モノづくりテクノロジー

Smart, Connected, Evolving Manufacturing Technologies

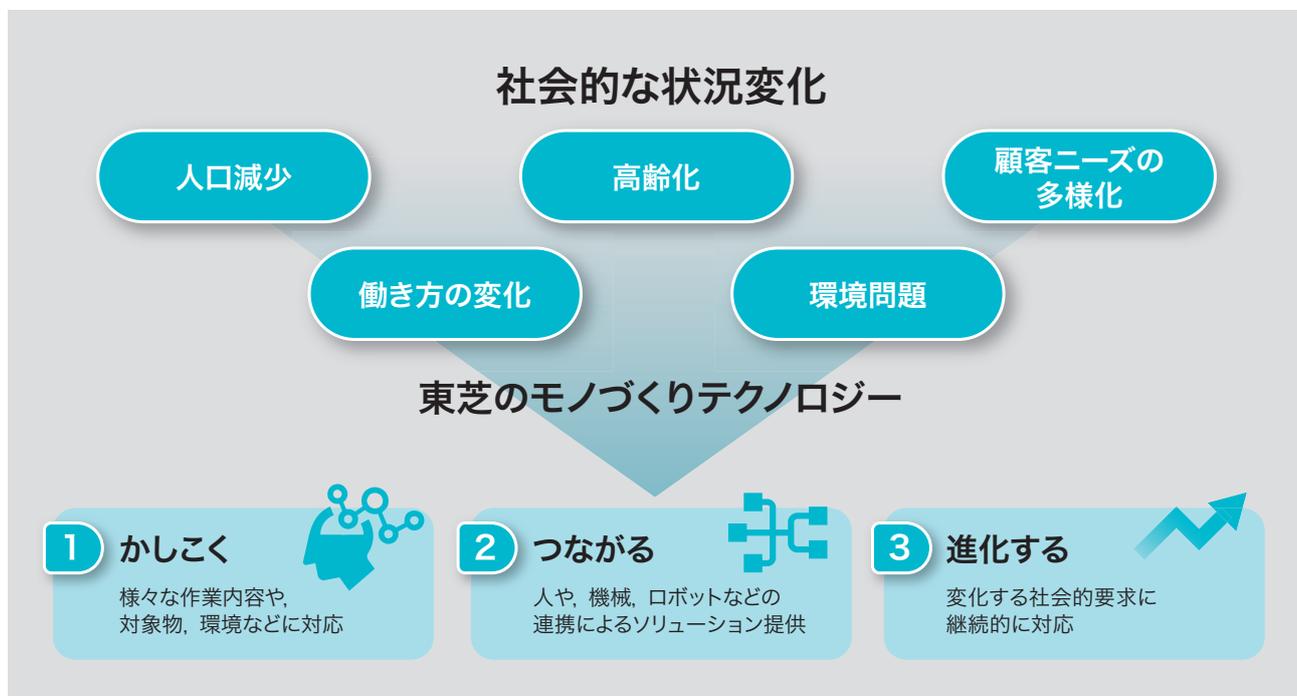
宮内 孝 MIYAUCHI Takashi 牛島 彰 USHIJIMA Akira

就労人口の減少と高齢化，顧客ニーズの多様化や環境問題対応などの社会的な状況変化の中で，モノづくり<sup>(注1)</sup>への要求も高度化・複雑化している。これらに対して，“かしこく”自律的に働き，“つながる”ことでより大きな価値を創出し，世の中の変化に素早く対応して“進化する”モノづくりテクノロジーが求められている。

東芝グループでは，工場や倉庫の自動化・省人化に役立つ知能化ロボットをはじめ，地球温暖化対策に貢献する加工点技術や，現場情報を効率的にデジタル化するツール，新規技術導入のリスク評価ツール，工場全体のスマートファクトリー化など，かしこく，つながり，進化するモノづくりテクノロジーの開発と実用化を進めている。

Manufacturing demands are growing more advanced and complex amongst a changing social environment dealing with a dwindling and aging working population, diversification of customer needs, and environmental issues. To solve these problems, there is a need for smart manufacturing technologies that work autonomously, connected technologies that create greater value, and evolving technologies that can quickly adapt to our changing world.

The Toshiba Group is working on developing smart, connected, evolving manufacturing technologies for practical use in tackling these challenges. They include intelligent robots that help with automation and labor saving at factories and warehouses, processing technologies that contribute to measures against global warming, tools that streamline digitizing on-site information, risk assessment tools for implementing new technologies, and overall smart factory transformation technologies.



特集の概要図。東芝グループのモノづくりテクノロジー

Toshiba Group manufacturing technologies

(注1) 工場で作品を作る“ものづくり”だけでなく，製品を作る活動に関連して創出する技術やサービスなども含む幅広い活動。

## 1. はじめに

経済産業省の2023年版ものづくり白書によると、国内の製造業の就業者数は、2002年の1,202万人から、2022年には1,044万人と13.1%減少している。更に、65歳以上の割合は、4.7%から8.6%に増加するなど製造業の人手不足と高齢化が進んでいる<sup>(1)</sup>。また、インターネットの普及による世界的な情報化に起因する顧客ニーズの多様化や、地球温暖化に代表される環境問題への対応、健康や楽しく生きることが優先するウェルビーイング志向が高まることによる働き方の変化などが進んでいる<sup>(2)</sup>。

これら社会的な状況変化の中で、モノづくりへの要求も高度化・複雑化している。これに対応するために、東芝グループは、**特集の概要図**に示すような、かしくく、つながり、進化するモノづくりテクノロジーの開発と実用化を進めている。社会的な課題とその変化に応え、様々な作業内容や、対象物、環境などに対応するために必須な“かしくく”が求められている。そして、その実用化には、人や、機械、ロボットなどが互いの得意な部分を生かすとともに、不得意な部分を補完することで全体としてのソリューションを提供するために“つながる”ことが求められている。更に、変化する社会的要求に継続的に対応するためには、“進化する”ことが必要である。

ここでは、これらの技術について、東芝グループが開発を進めている知能化ロボットを例に挙げて述べるとともに、東芝グループの、かしくく、つながり、進化するモノづくりテクノロジーの、様々な領域への展開について述べる。

## 2. かしくく、つながり、進化する知能化ロボット

東芝グループは、就労人口の減少や顧客ニーズの多様化などの社会的な状況の変化に対応するために、製造現場や物流倉庫の人手作業を自動化する知能化ロボットを開発し、実用化を進めている。

### 2.1 かしくく：様々な作業内容、対象物、環境に対応

近年の製造現場や物流倉庫では、様々な作業内容、対象物、環境に対応することが求められており、従来の教示方式による同じ作業を繰り返すロボットでは、対応が難しくなっている。そのため、同じ作業を繰り返すだけでなく、作業内容、対象物、環境に応じて、自ら考えて動くことが求められる。具体的には、カメラなどのセンサーを用いて、対象物や環境を認識し、それに基づいてどのように動けばよいかの計画を立て、実際にモーターや機構で構成されるアクチュエーターを制御する必要がある。現在、このような、見て、考えて、動くロボットの開発を進めている<sup>(3)</sup>。

ここでは、例として、多様な物品に対応可能な知能化

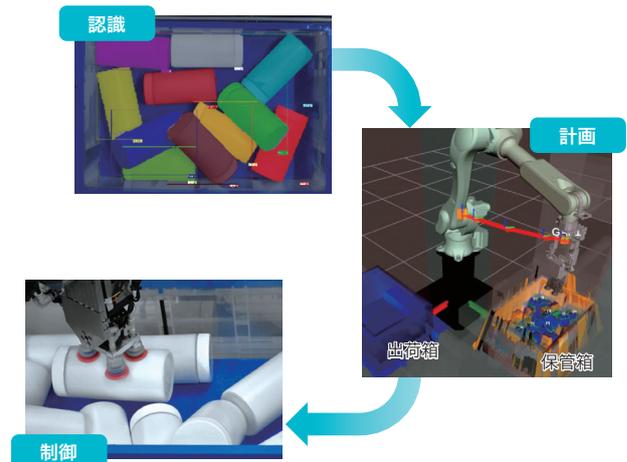


図1. 自律的なピッキング処理の流れ

認識、計画、制御の各工程の技術を組み合わせ、ピッキング作業を自動化する。

Autonomous picking process

ピッキングロボットと熟練作業を自動化する薄膜フィルム搬送装置について述べる。

### 2.1.1 多様な物品に対応可能な知能化ピッキングロボット

物流倉庫では、注文に従って、保管箱に納められた物品を個々の顧客に配送する出荷箱に移載する作業があり、“ピッキング”と呼ばれている。東芝グループは、**図1**に示すような認識、計画、及び制御の技術を組み合わせることで、自律的にピッキングを行う知能化ピッキングロボットを開発している<sup>(4)</sup>。まず、物品の入った保管箱と出荷箱をカメラで撮像し、箱の中にある個々の物品の形状や、位置、姿勢などの状態を認識する。次に、物品の状態に合わせて、出荷箱の中の物品を持つ際の把持動作や、取り出し動作、出荷箱に詰める際に置く動作などの、ロボットアームやハンドなどの機構の動作を計画する。最後に、その計画に従って、ロボットアームやハンドなどの機構を制御することで、注文された物品を保管箱から出荷箱に移載する。

東芝グループは、知能化ピッキングロボットが自律的にピッキングを行うために、**図2**に示すような、ルールベース型把持動作計画とCNN (Convolutional Neural Network) 型把持動作計画を統合したハイブリッドAI把持動作計画を開発している。ここで、ルールベース型把持動作計画は、対象物品とその周辺の物理的な制約を考慮して、事前にシステム設計者が記述したルールに基づいて、計画を立案するもので、システム設計者の持つ工学的な知見を組み込むことが容易である。一方、CNN型把持動作計画は、事前にシステム設計者がルールを記述するのではなく、機械学習をベースとしたAI技術を用いて計画を立案する。東

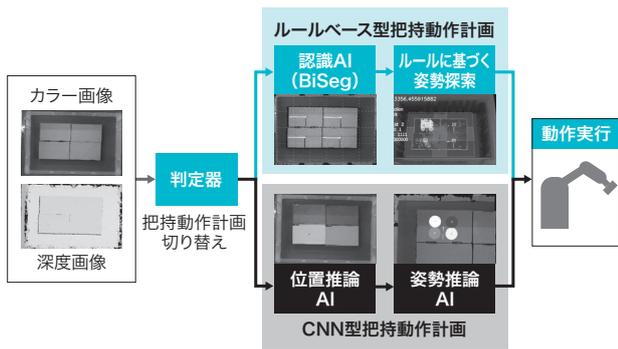


図2. ハイブリッドAI把持動作計画

ルールベース型とCNN型の2種類の把持動作計画を適切に選択することで、多様な物品への対応と高速性を両立する。

Hybrid AI grasp operation planning

芝グループが開発しているCNN型把持動作計画は、大まかな位置推論と詳細な姿勢推論の2段階に分けることで、認識と把持動作計画の立案を短時間に実行できる特長がある。異なる特長を持つルールベース型把持動作計画とCNN型把持動作計画を対象物品に合わせて適切に選択することで、多様な物品への対応と高速性を両立できる<sup>5)</sup>。

### 2.1.2 熟練作業を自動化する薄膜フィルム搬送装置

AI技術を用いた薄膜フィルム搬送装置を、図3に示す。薄膜フィルムは、液晶パネルや電池などの工業製品に加え、医薬品や食品など広い分野で活用されている。薄膜フィルムの加工・検査には、薄膜フィルムの高速搬送や巻き取り作業などが含まれ、専用の装置が開発されている。この装置の制御パラメーターの調整が不十分だと、巻きずれや、しわ、切れなどの品質トラブルを引き起こすことがある。そのため、これまでは熟練者が長年の経験や勘により制御パラメーターの調整を行うことが多かった。

これに対して、東芝グループは、搬送中に得られる薄膜フィルムの搬送速度や、位置、張力などの情報から、外乱の影響を推定して補償するAI制御技術を開発している<sup>6)</sup>。これにより、熟練者の経験や勘に頼ることなく、信頼性の高い安定した搬送動作が可能となる。

## 2.2 つながる：人・ロボット連携によるソリューション

2.1節で述べたように、AI技術を用いた知能化ロボットは、高いレベルで様々な作業内容、対象物、環境に対応できるようになっている。しかし、1台の知能化ロボットで対応できることは限られており、作業者と機械・ロボットとの連携が重要である。これまでも、東芝グループは、製造現場の作業内容を分類し、専用設備や、汎用設備、ロボット、人手作業の支援などの適切な手段で自動化を進めてきた<sup>7)</sup>。工場や物流倉庫の多くの作業を、作業者、機械、ロボットが

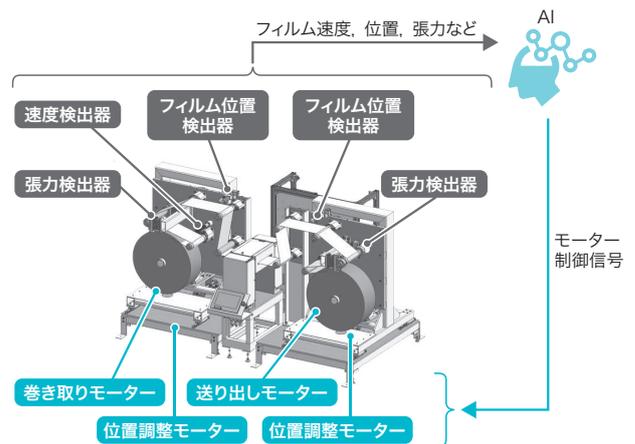


図3. AI技術を用いた薄膜フィルム搬送装置

薄膜フィルムの搬送速度や、位置、張力などから、AI技術により外乱の影響を推定・補償することで、信頼性の高い安定した搬送を実現する。

Thin-film transport system using AI technologies

適切に分担するには、これらがつながって全体として適切に動作するシステムが必要となる。ここでは、事例として、物流倉庫における作業者と知能化ピッキングロボットの連携と、距離的に離れた場所での作業者とロボットの遠隔操作による連携について述べる。

### 2.2.1 作業者と知能化ピッキングロボットの連携

物流倉庫の現場における作業者と知能化ピッキングロボットの連携事例を図4に示す(この特集のp.24-28参照)。2.1.1項で述べた知能化ピッキングロボットは、物流倉庫における全ての商品には対応していないため、ピッキング作業を作業者と知能化ピッキングロボットで分担する必要がある。具体的には、作業者と知能化ピッキングロボットに作業指示を出す役割を持つWES (Warehouse Execution System) が、事前登録された商品属性データと運用履歴を用いて、物品を振り分ける。ここで、商品属性データとは、商品のサイズや、重量、変形のしやすさなど、商品ごとに設定される情報である。そして、運用履歴とは、知能化ピッキングロボットでピッキングした際の一品単位の運用結果の情報であり、成功や失敗などの情報も含まれる。更に、知能化ピッキングロボットがピッキングに失敗した場合は、WESから作業者に対応を指示することで、全ての物品のピッキング作業が適切に行われる。

このように、作業者、知能化ピッキングロボットとWESがつながり、作業を適切に分担することにより、物流倉庫全体の作業の効率化と省人化を実現する。

### 2.2.2 作業者とロボットの遠隔操作による連携

作業者とロボットの連携は、工場や物流倉庫の中だけで

なく、距離的に離れた場所でもつながることも有効である。作業者の経験や勘が必要で、智能化ロボットによる完全な自動化が困難な作業に対しては、作業者がロボットを遠隔で操作することで、効率性や安全性の向上が図れる。具体的には、遠隔地に設置された、機械の突発的トラブルの対応作業や、高所や低温などの人間に不向きな環境での作業が挙げられる。更に、アフターコロナにおける在宅勤務制度の活用拡大などで働き方が変化する中でも、遠隔でロボットを操作する必要性が高まっている<sup>(8)</sup>。このような要求に応じて、東芝グループはロボットの遠隔操作技術を開発している。

図5に、ロボットの遠隔操作の実現に向けた技術開発の例を示す。遠隔地にいる操作者は、インターネットを通して送られてくる現場のカメラ映像を見ながら作業をする。マニピュレーターを用いて緻密な作業をする場合、対象物が見やすいように、カメラの位置と姿勢を移動させることが重要である。東芝グループは、AI技術を活用し、操作者のマニピュレーター操作に合わせ、操作者が見やすいように、自律的に3D（3次元）カメラの位置と姿勢を調整する技術を

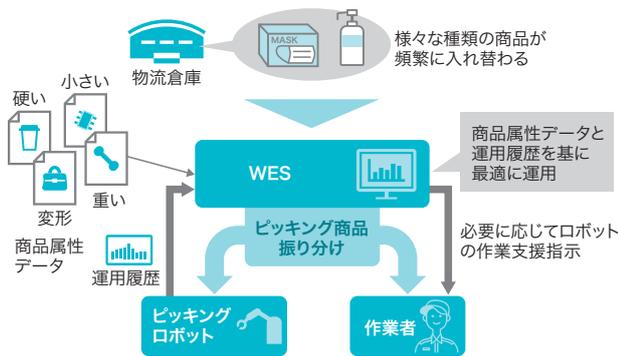


図4. 作業者と智能化ピッキングロボットの連携

WESが、物品を作業者と智能化ピッキングロボットに振り分け、作業を適切に分担することで、物流倉庫全体の作業の効率化と省人化を実現する。

Cooperation between workers and intelligent picking robots

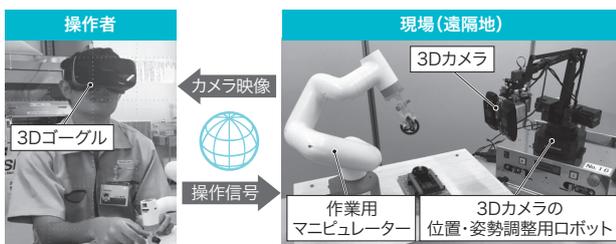


図5. AI技術を用いた3Dカメラによる遠隔操作

操作者が見やすいように、3Dカメラの位置と姿勢を自律移動することで、適切な遠隔操作を可能にする。

Remote 3D vision system using AI technologies

開発している。これにより、遠隔にいる操作者が、現場で対象物を見ているような、違和感の少ない映像を見ることが可能になり、適切な操作の実現に貢献する。

### 2.3 進化する：変化する社会的要求に継続的に対応

2.1節で述べたように、智能化ロボットは、AI技術を含めた各種のソフトウェアで構成されている。一方で、社会的な変化に伴い、智能化ロボットに求められる機能も変化し、新しい技術を短期間に智能化ロボットへ搭載することも求められている。このような、進化する智能化ロボットへの要求に対して、東芝グループは、OSS (Open Source Software) を活用したロボットプラットフォームを智能化ロボットの開発・設計の段階で用いるとともに、現場での稼働開始後も、自ら進化する智能化ロボットの開発を進めている。

#### 2.3.1 東芝グループのロボットプラットフォーム

図6に、OSSであるROS (Robot Operating System)<sup>(9)</sup>をベースに開発した東芝グループのロボットプラットフォームを示す。このプラットフォームは、智能化ロボットに必要な認識、計画、制御などの機能、及び上位システムと連携するためのI/F (インターフェース)やハードウェアを、モジュール化して配置した構成となっている。智能化ロボットの各機能をモジュール化することで、機能ごとの進化を効率的に実現できる。例えば、搬送用移動ロボットでは、搬送対象や走行環境によって異なる要求が存在する。これに対し、図7に示すように、現場に応じて移載や牽引(けんいん)機構などのハードウェアとその制御機能をモジュールとして追加できる。

#### 2.3.2 稼働開始後も進化する智能化ロボット

智能化ロボットのライフサイクル全体を考えると、2.3.1項で述べたような開発・設計の段階だけでなく、現場での稼働開始後も、求められる機能の変化への対応や新技術の導入を続けることが重要である。例えば、2.1.1項で述べたCNN型把持動作計画のように、機械学習をベースとしたシ



図6. 東芝グループのロボットプラットフォーム

ROSをベースに各種の機能モジュールやI/Fを配置することで、機能ごとの進化を効率的に実現できる。

Toshiba Group robot platform



図7. ロボットプラットフォームによる機能拡張

現場の搬送対象に応じた制御機能モジュールを開発・追加することで、機能を拡張する。

Expanding functionality via robot platform

システムでは、MLOps (Machine Learning Operations) などを適用して、現場導入後の安定運用と必要な機能の更新を可能にする仕組みが求められる。これに関連して、東芝グループは、知能化ロボットが作業を通じて、作業内容や、対象物、環境の変化などを学習し、それらに自律的に適応する技術を開発している。この技術により、導入後も現場で運用しながら進化し続ける知能化ロボットが実現できる。

### 3. モノづくりテクノロジーの展開

2章では、かしこく、つながり、進化するモノづくりテクノロジーについて知能化ロボットを例に述べた。東芝グループは、かしこく、つながり、進化するモノづくりテクノロジーの展開を、知能化ロボットだけでなく多くの領域で進めている。

製造プロセスを、かしこく制御するための技術は、これまでも多くの開発と実用化が行われてきた<sup>10)</sup>。最新の技術としては、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> (窒化ケイ素) ベアリングボール製品の脱脂工程における熱処理プロセスを、定式化したマスターカーブに基づいて適正化し、電力消費量を25%削減した例が挙げられる(この特集のp.20-23参照)。また、溶接やクリーニングなどのレーザー加工プロセスにおいて、製品構造や対象物の状態に対して最適な加工を行う技術を開発している。これらの技術を実用化することで、加工品質の向上に加え、使用エネルギーの最小化によるCN (カーボンニュートラル) に貢献できる(同p.16-19参照)。

更に近年では、インダストリー 4.0などの提案でも見られるように、作業や工程単位でのかしこきの追求だけでなく、工場などのより広範囲においてスマート化する取り組みが進められている<sup>11)</sup>。東芝グループでも、工場全体のCPS (サイバーフィジカルシステム) を実現するスマートファクトリー化に向けて、業務プロセスとIT (情報技術) システムの両方でもかしこく、つながることで、生産性とフレキシビリティを向上させる活動を進めている(同p.33-37参照)。この活動で適用したソリューションは、Meisterシリーズとして商材化している<sup>12)</sup>。

多くの場合、スマートファクトリーのベースとなるデータの多くは、フィジカル層である製造現場にある。そのため、製造現場とシステムがつながるためには、製造工程の実データを、正確に効率良く収集し、可視化することが重要となる<sup>13)</sup>。東芝グループは、各工程の能力の実績値と、事前に試算した計画値との乖離(かいり)を可視化する生産能力評価ツールを開発している(同p.12-15参照)。更に、製造現場だけでなく、据付・保守の現場における作業情報を、音声や映像を用いて効率良くデジタル化する技術開発とツール化を進めている(同p.29-32参照)。

このように、工場では、かしこく、つながることによる生産性の改善だけでなく、CNやCE (サーキュラーエコノミー) などの社会的な要求に向けた進化が始まっている。製品設計のフェーズでは、2.3.1項で述べたプラットフォームの考え方に加えて、知識ばらし<sup>TM</sup>を活用して新規技術の開発コストを事前に把握する手法などの活用が始まっている。製品の進化という観点でも重要な技術を開発し、実用化を進めている(同p.8-11参照)。

### 4. 今後の展望

近年、実現すべき価値や目的の実現に対し、ソフトウェアの柔軟性を最大限に生かす“ソフトウェア・ディファインド”(Software Defined)と呼ばれるコンセプトが、注目されている<sup>14)</sup>。これは、社会が変化し続ける中で、その変化に素早く対応し、社会に貢献できる製品やサービスを作り続けることに対する答えの一つとも見られる。

モノづくりの領域における社会的要請とその対応も同じような状況と考えられる。特にモノづくり領域では、ソフトウェアだけでなく、ハードウェアを含めた柔軟性の追求が高く求められている。この特集では、そのような変化への対応を、かしこく、つながり、進化するモノづくりテクノロジーとしてまとめた。東芝グループは、ダイナミックに変化する社会環境に対して、これらの取り組みにより、継続的に価値を創出していく。

## 文 献

- (1) 経済産業省, ほか, “就業者数の動向及び就業者の構成”. 令和4年度ものづくり基盤技術の振興施策. 経済産業省, 2023, p.42-43. <<https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2023/pdf/all.pdf>>, (参照 2023-08-21).
- (2) 総務省, “「誰一人取り残さない」デジタル化の実現に向けて”. 令和3年版 情報通信白書 ICT白書 デジタルで支える暮らしと経済. 総務省, 2021, p.224-233. <<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/r03/pdf/01honpen.pdf>>, (参照 2023-09-09).
- (3) 宮内 孝, ほか, CPSの実現に向かうロボット技術の高度化と実用化. 東芝レビュー. 2019, **74**, 4, p.2-7. <[https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2019/04/74\\_04pdf/a02.pdf](https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2019/04/74_04pdf/a02.pdf)>, (参照 2023-09-11).
- (4) 小川昭人, ほか, 多様な物品の処理で物流現場の自動化に貢献する知能化ピッキングロボット. 東芝レビュー. 2021, **76**, 6, p.51-54. <<https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/jp/technology/corporate/review/2021/06/f06.pdf>>, (参照 2023-09-11).
- (5) 古茂田和馬, ほか, “規則ベースおよびCNN型学習に基づくハイブリッドAI把持計画の開発”. 第23回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2022) 講演論文集. 千葉, 2022-12, 計測自動制御学会SI部門. 2022, p.1486-1490.
- (6) 山口龍太郎, ほか, “機械学習を用いたウェブ搬送装置の制御技術開発”. 第66回自動制御連合講演会 講演論文集. 仙台, 2023-10, 計測自動制御学会. 2023, 1H2-3.
- (7) 宮内 孝, ほか, 製造工程の特性に応じた自動化機器・製造設備の適用による合理化. 東芝レビュー. 2018, **73**, 1, p.11-15. <[https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2018/01/73\\_01pdf/a04.pdf](https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2018/01/73_01pdf/a04.pdf)>, (参照 2023-09-11).
- (8) ROS-Industrial. "ROS-Industrial". ROS-Industrial. <<https://rosindustrial.org>>, (accessed 2023-09-11).
- (9) 三島一孝, “広がる遠隔操作ロボットの世界、川崎重工とソニー、オカムラ、ホンダなどが本格化”. MONOist. <<https://monoist.itmedia.co.jp/mn/articles/2204/08/news093.html>>, (参照 2023-09-10).
- (10) 坂井哲男, 織田達広, CPSを活用した製造プロセスの自律制御システム. 東芝レビュー. 2021, **76**, 1, p.24-27. <<https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/jp/technology/corporate/review/2021/01/a07.pdf>>, (参照 2023-09-11).
- (11) 総務省, “インダストリー 4.0”. 平成30年版 情報通信白書 ICT白書 人口減少時代のICTによる持続的成長. 総務省, 2018, p.143-145. <<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/pdf/n3500000.pdf>>, (参照 2023-08-25).
- (12) 中村公弘, インダストリアルIoTの動向と東芝グループの取り組み. 東芝レビュー. 2017, **72**, 4, p.2-6. <[https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2017/04/72\\_04pdf/a02.pdf](https://www.global.toshiba/content/dam/toshiba/migration/corp/techReviewAssets/tech/review/2017/04/72_04pdf/a02.pdf)>, (参照 2023-09-11).
- (13) 高納政敏, 蚊戸健浩, 人(匠の技, 知)とデジタル技術をつなぐIoP (Internet of People). IEレビュー. 2022, **63**, 1, p.39-45.
- (14) 東芝, “ソフトウェア・デファインドで、信頼のハードを生かす【前編】～価値のつくり方を再定義し、製品づくりを変革する!”. Toshiba Clip. <<https://www.toshiba-clip.com/detail/p=8310>>. (参照 2023-08-30).



宮内 孝 MIYAUCHI Takashi, Ph.D.  
生産技術センター  
博士(工学)  
日本機械学会・日本ロボット学会・日本設備管理学会会員  
Corporate Manufacturing Engineering Center



牛島 彰 USHIJIMA Akira  
生産技術センター 業務プロセス変革推進領域  
日本機械学会会員  
Business Process Innovation Div.