

持続可能な社会を支える最新のFA技術

State-of-the-art Factory Automation Technologies for Building Sustainable Society



岡 徹*
Toru Oka

*先端技術総合研究所長(工博)

要 旨

製造業では、生産性向上はもとより、環境問題に向けた対応などの社会課題解決への貢献が望まれている。

三菱電機のFA事業では、FA制御・加工機・駆動機器・産業用ロボットなどの豊富な製品群で、継続的に生産性を向上させて、さらにカーボンニュートラルなどの社会課題解決の実現を支えるための技術を、AI(人工知能)などの先進のデジタル技術も活用して開発している。

今後も当社の幅広い事業分野で持つ技術を基に生産性向上や“持続可能性(サステナビリティ)”実現といったFA分野への価値をもたらす製品・ソリューションを継続して提供し続けることで、持続可能な社会の実現に向けたものづくりの進化に貢献していく。

1. ま え が き

2015年に発表されたSDGs(Sustainable Development Goals)や昨今の企業経営で着目されているESG(Environment, Social, and Governance)などに見られるように、サステナビリティが社会で重要な要素になってきている。その一方で、デジタル技術の進展で、データの活用によって新たな価値を生み出すアプローチが注目されている。そのような中、当社はサステナビリティの実現を経営の根幹に据えて、持続可能な社会の実現を目指す循環型デジタル・エンジニアリング企業への変革を掲げて、コアコンポーネント、フィールドナレッジ、先進デジタル技術を組み合わせることでカーボンニュートラルなどの社会課題解決に貢献するための統合ソリューションの提供を推進している。

当社FA事業では、2003年から提唱しているFA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”で進めてきたFA-IT連携やIoT(Internet of Things)化⁽¹⁾を更に発展・進化させ、生産性向上の要求に対応し続けるとともに環境負荷低減や熟練作業員減少への対処といった社会課題解決に向けた製品・ソリューションのための技術開発を行っている。

本稿では、2章で以前から求められている生産性向上の価値をデジタルツインやAIといったデジタル技術で提供する事例について述べて、3章では昨今要求が高まっている環境負荷低減に対して、コンポーネントとその管理運用の両面から解決する製品・ソリューションについて述べた後、4章では将来その重要性が増すと予想される熟練作業員減少や労働人口不足の課題に対して、ものづくりでの“インクルージョン”を実現する技術について述べる。

2. 生産性向上を支える技術

生産性向上は、製造業にとって常に最重要の命題であり、FA製品もそのニーズに対応するため進化を続けてきた。2010年代からは大規模なデジタルデータを用いたシミュレーションやAIによって、段取り・機器動作等の時間短縮や作業効率改善を図るアプローチが注目されている。

当社の先進デジタル技術を活用した生産性向上の事例について、次のとおり述べる。

2.1 サイバー空間でのシミュレーション技術を活用した生産性向上

2016年に内閣府が策定した第5期科学技術基本計画の中で提唱している“Society5.0”では、サイバー空間と現実世界であるフィジカル空間とを高度に融合させたシステムによって、経済発展と社会課題解決を両立する将来像が示されている。製造業でも、現実世界のFA機器の状態をデジタルデータとして取り出してサイバー空間上にシミュレーションモデルを構築し、現実の生産や加工をサイバー空間上で精緻に模擬することを可能にするデジタルツインが提案されている。デジタルツインを用いることによって、サイバー空間上で生産の効率や加工の精度を事前に検証して現実世界では試行錯誤なしに最適な生産や加工を最初から行うことが可能になる。その結果、設備立ち上げ時間の短縮や歩留りの改善といった生産性向上の効果に加えて、生産に伴うロスの削減による電力や廃棄物の削減といった効果も期待できる。

デジタルツインの導入で鍵になるのは、サイバー空間でシミュレーションを行う技術である。当社FA製品向けには、生産ラインや装置の動作を立ち上げる前にサイバー空間上で確認できる3Dシミュレーター“MELSOFT Gemini”を提供している。当社のシーケンサーやモーションコントローラー、ロボットのシミュレーターと連携させることで、コンベヤーやロボットアームなどの動作タイミングや干渉の有無を設備の立ち上げの前に簡単かつ正確に確認できる。また、工作機械向けには、加工の時間や加工結果の仕上がり形状をサイバー空間上で確認可能な工作機械シミュレーター“NC Virtual Simulator”を提供している。

工作機械のデジタルツインについては、NC(数値制御)装置での加工プログラムの解析処理やモーション制御のほか、送り駆動系のダイナミクスや、切削加工プロセスといった多岐にわたる要素を考慮したシミュレーションが必要になる。デジタルツインの高度化に向けて、事前のシミュレーションによる確認や条件最適化に加えて、図1に示すように現実世界と並行してこれらのシミュレーションを行い、安定した加工をノウハウレスで行うことを目指した技術開発も行われている⁽²⁾。

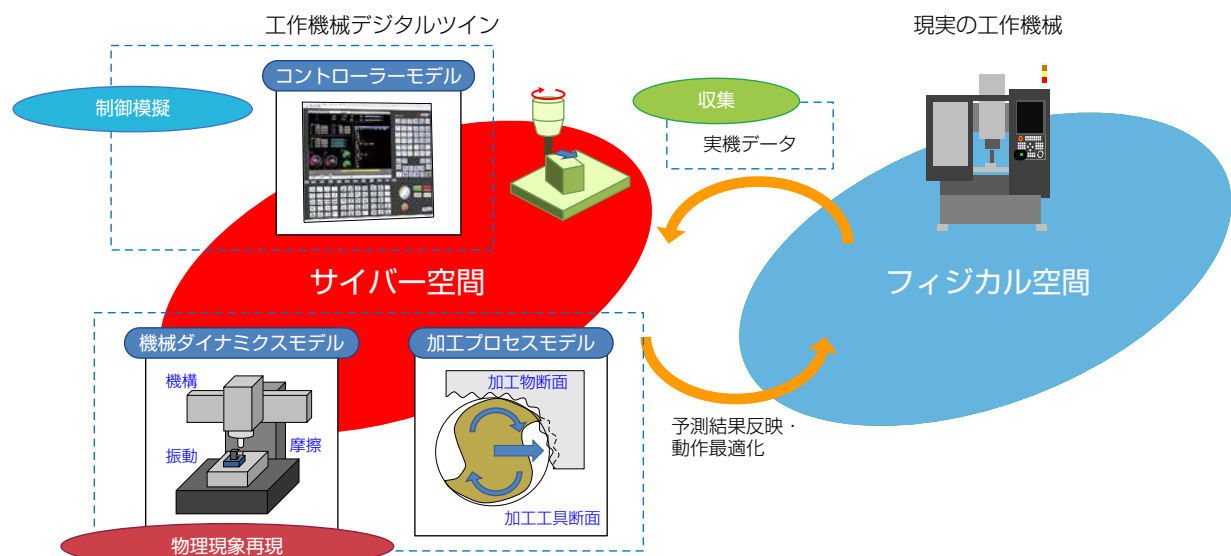


図1. 工作機械デジタルツイン

2.2 信頼できるAIを用いたオンライン制御による高速・高精度化の実現

AIは2000年代に入って急速に技術が発達し、製造業でも2015年頃からAIを適用した製品やソリューションが展示会等で多く見られるようになってきた。一方で、AIは演算量が膨大になるほか、演算結果の精度が事前に準備したデータに依存するために必ずしも正解値が得られるとは限らず、そのためFA機器の制御といったリアルタイムに正確な処理が求められる分野への適用が難しかった。そこで、当社は国立研究開発法人 産業技術総合研究所と連携して、AIが高速で機器の動作や加工中の誤差を高速で推論し、さらに推論結果の信頼度も同時に指標化して、信頼度に応じて機器の動きを適切に制御するオンライン制御技術を当社のAI技術“Maisart”の一つとして開発した。

開発したオンラインAI制御技術は、高速推論・環境適応・高信頼の特長を持ち、当社の様々なFAアプリケーションで高速・高精度化の価値を提供するものになっている。産業用ロボットを用いた部品搬送では、把持した部品の質量や慣性

モーメントを高速に推論して最適な動作パターンを適用することで、面倒なパラメーター調整作業なしに移動時間を短縮することが可能になる。放電加工では、予測が難しい加工中の加工屑(くず)排出動作のタイミングをAIが学習して、加工状態に適応した最適動作を行うことによって、加工時間の短縮を実現している。さらに、NC工作機械を用いた切削加工では、図2に示すように、機械の駆動要素の特性によって発生する数 μm オーダーの加工誤差をAIで予測し、その予測の信頼度に基づいて補正をすることで、安定して高精度な加工を実現できる。

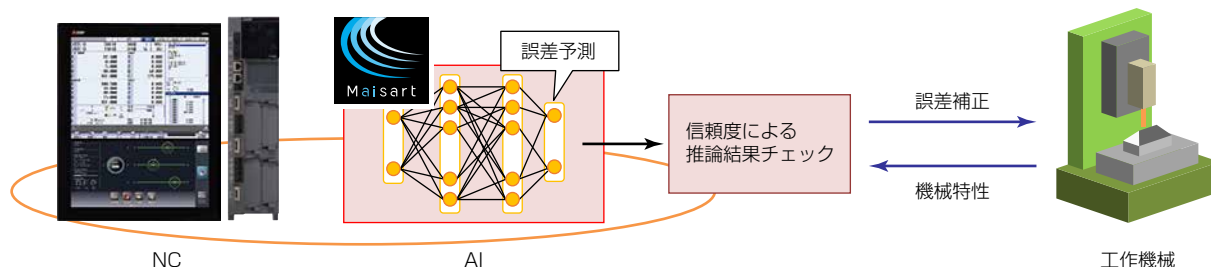


図2. 信頼度を用いたオンラインAI制御の適用例

2.3 行動分析AIによる作業効率化

生産現場での人作業工程の生産性を向上させる新たな取組みとして、AIを用いた自動作業分析による作業者の習熟支援、リアルタイムでの作業内容“みえる化”等が提案されている。しかし、従来手法では正解ラベルデータの作成や対象作業のモデル作成といった人手による事前準備が必要であり、生産現場への導入・運用の際の課題になっていた。

この課題に対して、当社は独自AI技術Maisartを用いた事前準備の不要な行動分析AIによる自動作業分析システムを開発した。行動分析AIは、人の一連の行動を複数の動作要素に自動で分割し、複数回の一連の行動での動作要素を比較することで、他と異なる動作要素を自動で検知できる。

このシステムは、作業行動のデータ計測機能、行動分析AIに基づくデータ分析機能、分析結果に基づく習熟支援やリアルタイムでの作業内容みえる化のための映像表示機能で構成される(図3)。このシステムについて当社工場で実証実験した結果、事前準備なしで正解率約9割の自動作業分析が可能であることを確認できた。

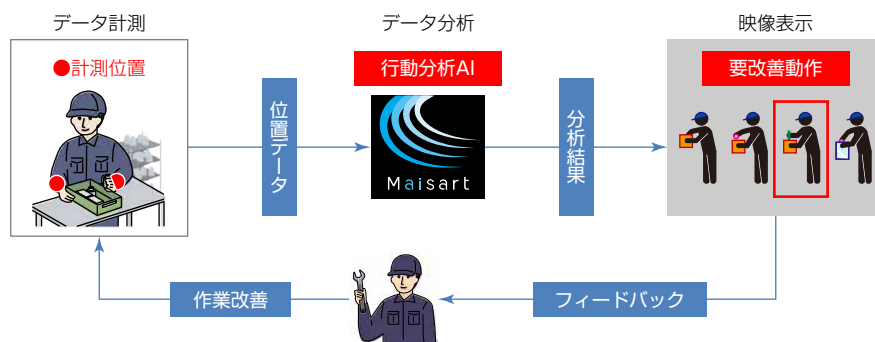


図3. 行動分析AIによる自動作業分析システム

図4(a)は、熟練作業者と新人作業者による作業行動の比較分析結果の例である。特に時間差の大きい動作要素等の映像表示によって、新人作業者は自らの動作の改善点を短時間で把握できる。また図4(b)は、過去の標準的な作業と現在の作業を比較分析した例である。標準的な作業と異なる現在の動作要素、すなわち標準外動作をリアルタイムで検知するとともに、対応する標準的な作業と併せて映像表示することで、作業者は短時間で作業を修正できる。

3. 環境負荷の低いものづくりを支える技術

地球規模の課題である気候変動問題の解決に向けて、日本政府を始め120以上の国と地域が“2050年カーボンニュートラル”の温室効果ガス排出をゼロとする目標を掲げている。目標達成に向けて生産現場で必要になる、環境負荷低減に寄与するコンポーネント技術と運用改善による省エネルギー技術について、当社の取組みを次のとおり述べる。

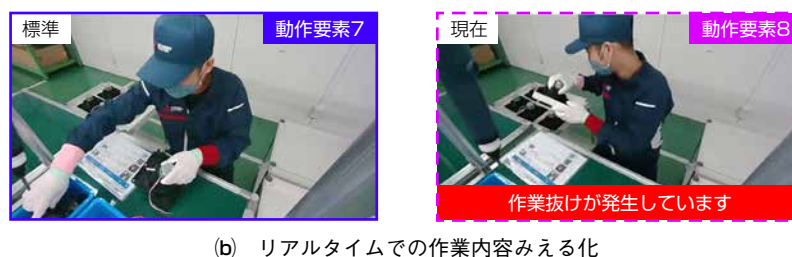
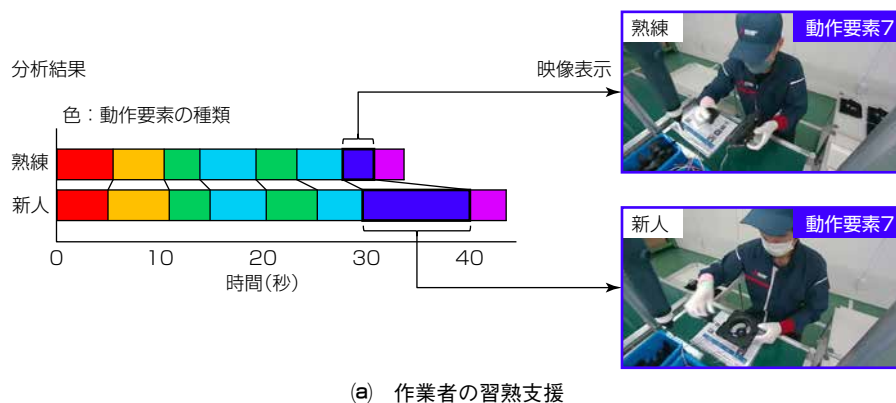


図4. 自動作業分析システムによる比較分析結果の例

3.1 環境負荷低減に向けたコンポーネント技術

3.1.1 モーター設計技術

モーターは電気エネルギーを機械エネルギーに変換する装置であり、近年の省エネルギー志向を背景にモーターの低損失化要求が高まっている。

この項では工作機械の主軸に用いられる高速モーターを対象にモーター損失を低減した事例について述べる。

図5にこの項で対象とする高速モーターの回転部分であるローターの断面図を示す。ローター表面に磁石を設ける表面磁石型モーターであり、磁石の飛散を防止するためにローター外周がCFRP(炭素繊維強化樹脂)で覆われている。高速モーターは高速域の出力を確保するためにモーターインダクタンスを小さくする必要があり、モーター駆動電流のリプル成分に起因する渦電流損失がローターに多く発生し、エネルギーロスが大きくなるという課題があった。

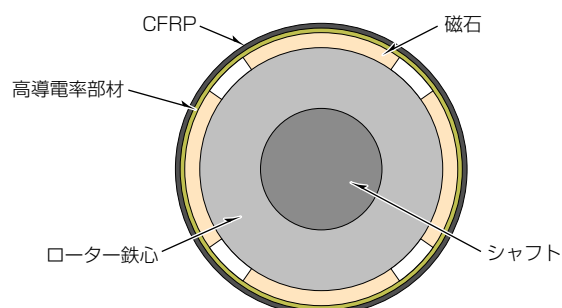


図5. 高速モーターのローター断面図

そこで、磁石外周に高導電率部材を巻き付ける構造を適用した。高導電率部材で発生する渦電流がモーター駆動電流のリプルによる磁束を打ち消すため、高導電率部材よりも内周にある磁石やローター鉄心の渦電流損失が低減される。高導電率部材には渦電流損失は発生するものの抵抗が小さいためその損失は小さい。結果として、ローターで発生する総損失は高導電率部材を設けない場合よりも小さくなる。

高導電率部材による損失低減効果を検証するため、二次元電磁界解析を実施した結果を図6に示す。モーター駆動電流のリプル周波数によって磁界が減衰する距離 d に対する高導電率部材厚み t の比率(t/d)を横軸、高導電率部材がない場合

を1として規格化したローター損失を縦軸としている。図6に示すとおり、高導電率部材の厚みが増すにつれて高導電率部材の損失は増加するが、高導電率部材以外の損失は減少し、両者を合わせたローター全損失は高導電率部材がない場合よりも小さい。この結果を基に製品設計を行い、低損失な高速モーターの製品化を実現している。

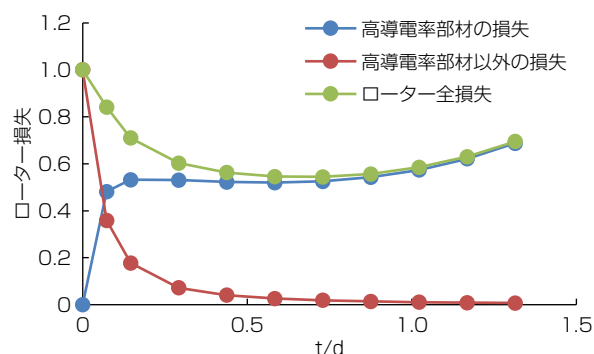


図6. 二次元電磁界解析の結果

3.1.2 環境負荷低減に寄与する加工機技術

環境負荷の低いものづくりに貢献する加工機技術として、金属3DプリンターとCFRPレーザー加工について述べる。

金属3Dプリンター技術は、金属を付加して造形する技術であり、機械部品や金型などの金属素材の加工で従来の主流であった切削加工に比べて、素材を無駄なく使って成形できる点や、補修にも用いることができ製品の高寿命化に寄与できる点で、環境負荷低減への貢献が期待されている。当社では、数ある造形方式の中でも、ワイヤ・レーザーDED (Directed Energy Deposition)方式を採用した加工機AZ600を製品化している。この方式は、金属ワイヤをレーザーで溶融させて直接堆積するものであり、金属粉末を使用する他の方式に比べて取扱いが容易でクリーン、かつ材料供給のほぼ100%が造形物に使用され歩留りが良いといったメリットがある。図7にその造形例を示す。

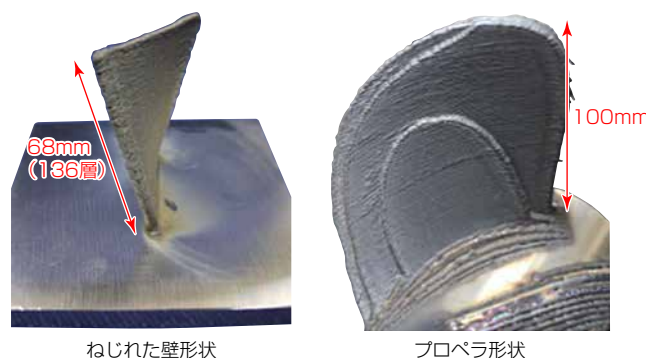


図7. 金属3Dプリンターの造形例

CFRPレーザー加工は、軽量かつ高強度な素材CFRPを効率良く切断加工でき、自動車などの燃費向上による環境負荷低減に貢献するものである。レーザーによるCFRP加工は、機械加工やウォータージェットといった他の方式に比べて高速加工の実現が可能であるが、レーザーの熱によって切断エッジ付近の樹脂が溶融してしまい、切断面の品位が低下する課題があった。そこで、当社独自のクロスフローレーザー発振器で発振段と増幅段の構成を工夫することでCFRPを高速・高品位に切断可能な最適パルスCO₂レーザーを開発し、当社加工機CVシリーズに搭載した。図8に示すように、他工法では難しいシャープなエッジの加工を実現している。

3.2 カーボンニュートラルの実現に向けた省エネルギー支援技術

当社は、3.1節で述べた低環境負荷なモーターや加工機などのコンポーネント技術に加えて、データマネジメント (データ収集・可視化・分析・診断)による継続的な運用改善を支援するソリューションを提供している(図9)。

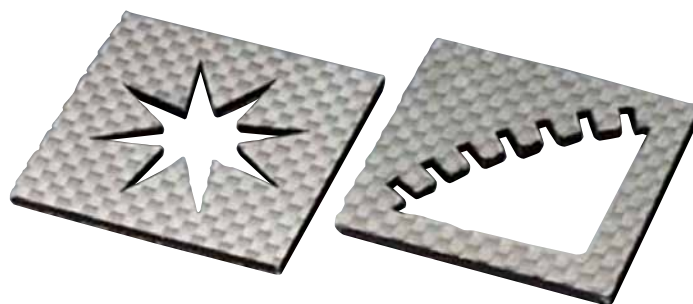
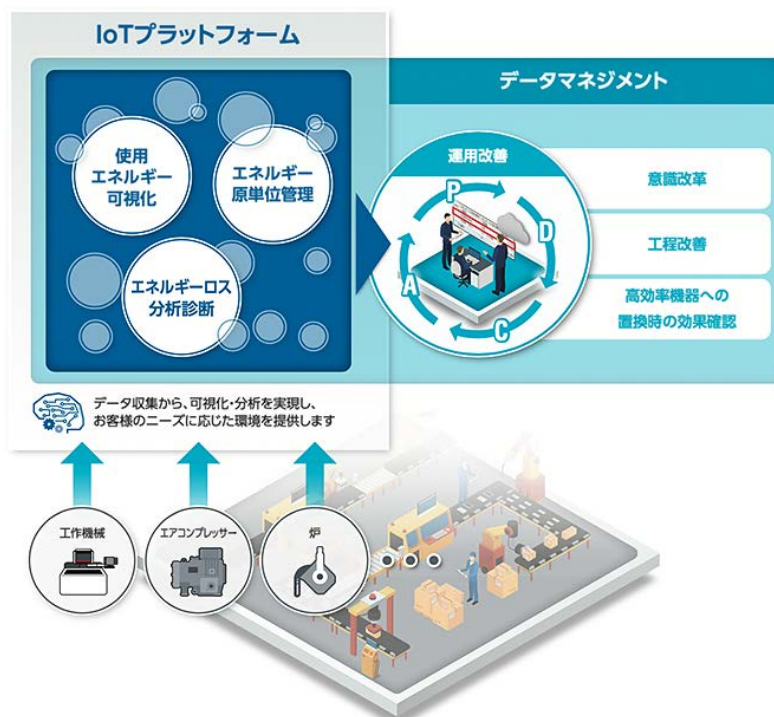


図8. CVシリーズによるCFRP(厚さ2mm)の切断加工例



出典元 : https://www.MitsubishiElectric.co.jp/fa/sols/sol/carbon_neutral/index.html

図9. 当社のカーボンニュートラルソリューション

データ収集・可視化に関しては、CC-Link、B/NETなどのフィールドネットワークに接続した計測機器からの計測データと当社シーケンサーの持つ生産情報データを、ソフトウェアの追加手配なしに簡単な設定だけで収集可能なデータ収集サーバーEcoServerⅢを活用した、原単位管理による生産活動での運用改善に向けた省エネルギー支援技術を提供している。

データ分析・診断に関しては、当社のAI技術Maisartによって現状把握からエネルギーロスの抽出・要因診断、省エネルギー対策の効果検証に至るまでの省エネルギー活動をトータルサポートするアプリケーションEcoAdviserを提供している(図10)。



図10. 当社の省エネルギー支援製品(EcoServerⅢ, EcoAdviser)

国際的な温室効果ガス排出量の算定・報告基準であるGHG(GreenHouse Gas)プロトコルでは、生産現場での排出量であるScope1, 2に加えて、調達・輸送・販売・使用・廃棄といったサプライチェーン全体にわたる排出量であるScope3が定められている。これらScope3の算定には企業間のデータ共有が必要と考えられ、欧州を中心にIDSA, GAIA-X, Catena-Xといった自律分散型のデータ共有ネットワークの取組みが推進されている。当社はGreen × DigitalコンソーシアムやIVI(Industrial Value Chain Initiative), IAF(Industrial Automation Forum)などで他社と連携し、IAFでは排出量計測システムとGAIA-Xとの接続検証を実施するなど、サプライチェーン全体での省エネルギー支援技術の開発にも取り組んでいる。

4. ものづくりでのインクルージョンを支える技術

製造業では、機械化や自動化によって生産性の向上が図られてきたが、昨今では消費者ニーズの多様化に伴い、必要なものを必要なだけ適時に生産する変種変量生産のような柔軟なものづくりへの注目が高まっている。そのため、機械の正確さと人の柔軟性を適所に組み合わせることが望まれるが、一方で熟練技能者の減少や、日本では高齢化社会の到来によって労働人口が不足するといった社会課題に直面している。そこで、当社では将来も持続的に製造業が発展成長していくことを目指して、様々な“人”がものづくりに関わり、高付加価値な生産活動を行うことを可能にするインクルージョンとしてのものづくりに向けた研究開発を行っている。

“人”との関わりを対象とした技術の一例としては、非熟練者の作業習熟を支援するための、デジタルトリプレットを活用した作業支援システム⁽³⁾を開発している。デジタルトリプレットは、2.1節で述べたサイバー空間でのシミュレーションや予測によってフィジカル空間の生産性を向上させるデジタルツインと、“人”である作業者の知的活動とを一体で構築するものである。従来は熟練技能者が知識や経験に基づいて行っていた作業プロセスをモデルとして記述し、サイバー空間での情報分析と組み合わせることで、フィジカル空間での作業で非熟練者が何を基準にどのように判断するか意思決定の支援を可能にする。機械加工のような熟練技能を必要とする作業に適用することで、加工工程のロス削減による生産性向上に加えて、高度な加工技術ノウハウの伝承を容易化して持続的な産業競争力強化に寄与する。

5. む す び

持続可能な社会の実現に向けた最新FA技術として、デジタル技術やAIの活用による生産性向上、環境負荷低減と脱炭素社会の実現に向けたモーター技術や加工機技術とデータマネジメントによる省エネルギー支援技術、将来のものづくりでのインクルージョンに寄与する技術について述べた。

今後も当社の幅広い事業分野で持つ技術を基にFA分野への価値をもたらす製品・ソリューションを継続して提供し続けることで、ものづくりの進化に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 田中博文：生産現場のIoT化を支える最新のFA技術，三菱電機技報，95，No.3，166～171（2021）
- (2) 藤田智哉，ほか：FA-IT統合ソリューションによる工作機械デジタルツインの実現，日本機械学会誌，124，No.1231，22～25（2021）
- (3) 佐藤 剛，ほか：デジタルトリプレットを活用した作業支援システム，三菱電機技報，95，No.4，268～271（2021）