

巻頭論文

FA-IT統合ソリューション“e-F@ctory” を支える最新のFA技術・システム



水落隆司*

Latest Factory Automation Technologies and Systems for FA-IT Integrated Solution "e-F@ctory"

Takashi Mizuochi

要旨

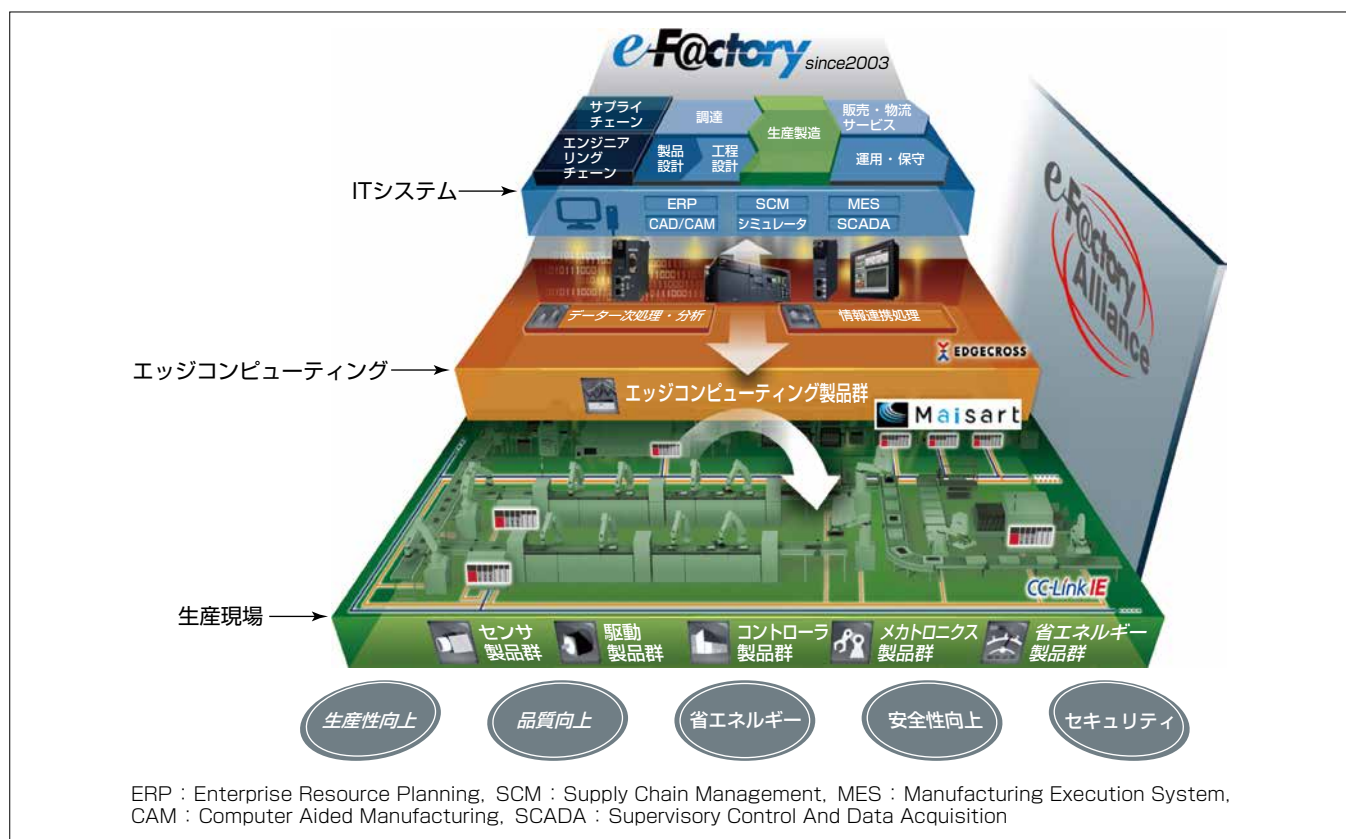
日本が目指すべき未来社会の姿として提唱されたSociety5.0の理念の下、IoT(Internet of Things)化されるものづくりの現場で、三菱電機はTCO(Total Cost of Ownership)の削減と企業価値の向上を実現するFA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”を提供している。本稿では、それを支える最新のFA技術とシステムについて詳述する。

はじめに、生産現場に近い位置で収集したデータを分析・診断し、生産現場へリアルタイムにフィードバックするエッジコンピューティングに関する技術や、それを實現する産業用PC“MELIPCシリーズ”と当社AI(Artificial Intelligence)技術“Maisart”を活用したEdgecross^(注1)対応ソフトウェア“iQ Edgecross”について述べる。また、e-F@ctoryの基盤を形成するFA統合プラットフォーム“iQ

Platform”に関し、コントローラとエンジニアリング環境及び生産現場の設備やセンサ等からデータ収集するためのFA統合ネットワークの最新動向について述べる。駆動制御機器の最新技術動向として、Maisartを活用したサーボシステムコントローラとCNC(数値制御装置)及び産業用ロボットについて述べる。さらに、Maisartを搭載した最新の加工機及び金属3Dプリンターを含むモジュール型金属加工機について述べる。

今後もe-F@ctoryを支える最先端のFA技術・システムを継続的に生み出すことで、経済発展と社会的課題の解決を両立させる社会に価値を提供していく。

(注1) 一般社団法人 Edgecrossコンソーシアムが提供するオープンなエッジコンピューティング領域のソフトウェアプラットフォーム。



ERP : Enterprise Resource Planning, SCM : Supply Chain Management, MES : Manufacturing Execution System, CAM : Computer Aided Manufacturing, SCADA : Supervisory Control And Data Acquisition

FA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”

e-F@ctoryは、生産現場を基点とした経営改善を目指して、“人・機械・ITの協調”によるフレキシブルなものづくりによって、サプライチェーンとエンジニアリングチェーン全体にわたって企業のTCO削減と企業価値向上を支援する。当社はエッジコンピューティングによる生産現場のデータ分析・診断にAI技術Maisartを活用したソフトウェアの提供に加え、MaisartによるFA機器の強化を行っている。

1. ま え が き

現在、日本では科学技術政策の基本方針であるSociety5.0の下、IoTで全ての人とモノをつなげ、新たな価値創出を目指している。一方で製品に対するエンドユーザーのニーズの多様化や製品ライフサイクルの短期化に伴い、製造メーカーで、短時間で変種変量生産に柔軟に対応していくことが重要になってきている。そのため、工場の設備やセンサ等の生産現場のあらゆるものがネットワークに接続されるIoT化が急速に進展し、収集したデータをリアルタイムに生産管理や予防保全に活用する生産改善の取り組みが増えてきている。

当社は2003年にe-F@ctoryのコンセプトを掲げ、FAとITをつなぐ連携技術によってFA機器から収集したデータを活用し、ものづくり全体の最適化を推進してきた⁽¹⁾。また、パートナー企業を通じ、広くグローバル展開も行ってきている。最近では、FAとITとをつなぐエッジコンピューティング領域で、生産現場のデータ分析・診断に当社AI技術Maisartを活用したソフトウェアを提供し、リアルタイムの生産改善を実現するとともに、MaisartでFA機器をインテリジェント化している⁽²⁾。

本稿では、IoT化されるものづくりの現場で、TCOの削減と企業価値の向上を実現するe-F@ctoryと、それを支えるFA技術やシステムの最新技術について述べる。

2. FA-IT統合ソリューションe-F@ctory

FA-IT統合ソリューションe-F@ctoryは、当社が提供するものづくりのソリューションであり、製造業の開発・生産・保守の全般にわたってTCOを削減するため、現場でのFA技術を高度なIT技術と連携させ、工場全体の最適化に貢献するものである。

e-F@ctoryは図1に示すとおり、生産現場、エッジ

コンピューティング、ITシステムの3層で構成される。生産現場では、設備やセンサ等からのデータをリアルタイムに収集するとともに、ITシステムからの生産指示に基づいて生産を実行する。ITシステムは生産現場から収集された生産データ等の情報に基づいて生産管理や経営管理を行う。エッジコンピューティングは、生産現場とITシステムとの間に位置し、迅速な改善が求められる生産現場に近い位置で大量の収集データを分析・診断し、リアルタイムに生産現場へフィードバックして生産改善につなげる。また、生産現場とITシステムとをシームレスに連携する。このように、e-F@ctoryでは、エッジコンピューティングが生産現場とITシステムを結び、生産改善を行う上で重要な役割を果たす。

3. エッジコンピューティング

エッジコンピューティングの領域では生産現場から収集した大量のデータやAI技術等の活用によって、例えば、設備の異常を事前に検知してそれを生産現場へ迅速に通知することで、故障による生産停止の前に対策を講じて生産性の低下を防ぐことができる。また、収集したデータを加工処理し、生産管理を行うITシステムが必要な情報を抽出し、ITシステムとのシームレスな連携を実現する。このようなエッジコンピューティングを実現するために、当社では産業用PCである“MELIPCシリーズ”とその上で実行する各種ソフトウェア製品を提供している。

3.1 産業用PC MELIPCシリーズ

産業用PC MELIPCシリーズは、エッジコンピューティングの領域で生産現場のデータの分析・診断処理を実行する産業用PCである。高性能プロセッサを搭載し、“CC-Link IE”によるリアルタイムデータ処理が可能な図2のハイエンド機種“MI5000”から、ミドルレンジの“MI2000”、小型・低コストの“MI1000”まで、用途に応じたライン

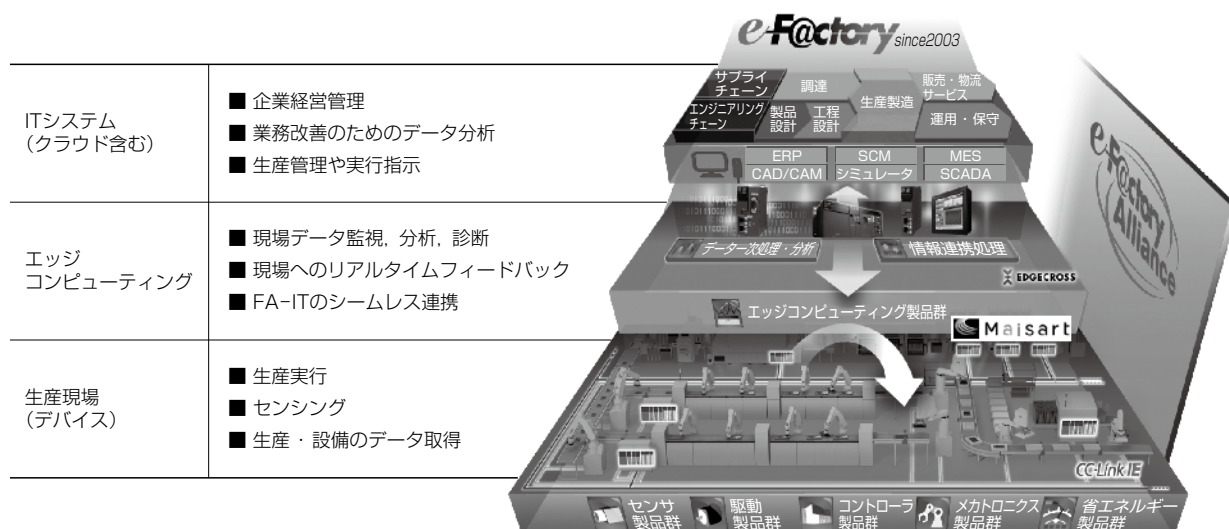


図1. FA-IT統合ソリューションe-F@ctory

アップを提供している。

MI5000は、リアルタイムOSを搭載しており、正確なタイムスタンプが付与された生産現場のデータを高速に収集できる。また、一般社団法人 Edgecrossコンソーシアムが提供するオープンプラットフォームEdgecrossの基本ソフトウェアとCC-Link IEフィールドネットワークに対応した“データコレクタ”をプリインストールしている。各種FA機器とのデータ通信やEdgecross対応アプリケーションの使用が可能になり、エッジコンピューティングシステムの構築を容易に実現できる。

3.2 Edgecross対応ソフトウェアiQ Edgecross

当社は、オープンなソフトウェアプラットフォームEdgecrossに対応し、MELIPCに搭載して実行するソフトウェア群iQ Edgecrossとして、AI技術Maisartを搭載したデータ分析・診断ソフトウェア“リアルタイムデータアナライザ”，GOT対応HMIソフトウェア“GT Soft GOT”，及び様々な機器からデータを容易に収集できる“データコレクタ”を提供している(図3)。

リアルタイムデータアナライザは、生産現場データのリアルタイム診断とオフライン分析を一つのソフトウェアで実現するデータ分析・診断ソフトウェアであり、予防保全や品質向上の簡便な実現に貢献する。Maisartの類似波形認識技術を活用し、センサ等の波形データを学習・認識することで、リアルタイム診断時に異常兆候検知を可能にし



図2. 産業用PC MELIPC (MI5000)

データ分析・診断ソフトウェア リアルタイムデータアナライザ	<p>Maisart</p>
GOT対応HMIソフトウェア GT SoftGOT	
データコレクタ CC-Link IEフィールドネットワークデータコレクタ SLMPデータコレクタ OPC UAデータコレクタ MTConnectデータコレクタ	

GOT : Graphic Operation Terminal, HMI : Human Machine Interface

図3. Edgecross対応ソフトウェアiQ Edgecross

ている。また、AIに加え、MT(マハラノビス・タグチ)法や重回帰分析等の統計手法を活用し、問題発生時の要因分析を容易化している。

データコレクタは、最速1ms周期のデータ収集が可能なCC-Link IE フィールドネットワークを始めとして、SLMP(Seamless Message Protocol), OPC UA^(注2), MT-Connect^(注3)等の標準プロトコルに対応した製品を提供しており、様々な機器やデバイスからデータを容易に収集することが可能になっている。

iQ Edgecrossによって、生産現場の様々な設備から情報をリアルタイムに収集して分析・診断できるようになり、生産現場での予防保全や品質向上等の多様なニーズに対応し、データ活用による生産現場の改善を実現できる。

(注2) OPC UAは、OPC Foundationの登録商標である。

(注3) MTConnectは、The Association For Manufacturing Technologyの登録商標である。

4. FA統合プラットフォームiQ Platform

iQ Platformはe-F@ctoryの基盤を形成するFA統合プラットフォームであり、生産システムを制御するコントローラ、エンジニアリング環境、ネットワーク等を統合・連携するプラットフォームである。

4.1 コントローラ

e-F@ctoryの要となるコントローラとして“MELSEC iQ-R シリーズ”を始めとするシーケンサのほか、モーションコントローラやC言語コントローラ等を用途に応じて提供している。近年、安心・安全な制御システムが求められることが多く、特に社会インフラ市場では停止時の影響が大きいため二重化システムが必須であり、また、国際安全規格への適合を求められる機会が増加している。そのため、“MELSEC iQ-Rシリーズ二重化シーケンサ”に対して第三者認証機関から国際安全規格の認証を取得し、冗長機能に加えて、計装制御と安全制御の統合によって高性能・高信頼システムのTCO削減に貢献する“IEC61508 SIL2対応二重化シーケンサ”を提供している(図4)。これによって、安全規格に適合した二重化制御システムを構築できる。

コントローラを支えるエンジニアリング環境として、“MELSOFT Navigator”“GX Works3”“MT Works2”“GT



図4. IEC61508 SIL2対応二重化シーケンサ

Works3”等を統合した“iQ Works”を提供している。工場をグローバルに展開している企業では、マザー工場の生産ラインを海外拠点へ展開する場合の流用開発で、過去に作成したプログラム等、資産の効率的な活用が課題となっている。当社は、プロジェクトの流用開発のために、プロジェクトやライブラリを目的ごとに分類して管理するソフトウェア“MELSOFT iQ AppPortal”を提供している(図5)。これによって、最大10,000個の資産を登録できる。資産の変更履歴が蓄積された登録資産の容易な取り出しや、フィルタリングによる素早い検索が可能になり、流用開発を効率化できる。

4.2 FA統合ネットワーク

IoT化が進み、ネットワークにつながる生産現場の設備やセンサ等から収集するデータの活用が生産性・品質の向上にますます重要になってきている。当社では、情報系から制御系までシームレスに連携するためのネットワークを取りそろえている(図6)。CC-Link IEは、装置の制御データを生産管理等のための情報データと混在させることができるEthernet^(注4)ベースのオープンネットワークである。生産現場の膨大な生産情報を1 Gbpsの高速通信でリアルタイムに伝送することができる。さらに、オープンなSLMPプロトコルによって、ITシステムからFA機器にシームレスにアクセスし、ビッグデータ解析に必要なリアルタイムなデータ収集を実現できる。また、機器や小規模な装置でもコストをかけずにネットワーク対応を可能



図5. MELSOFT iQ AppPortalの画面

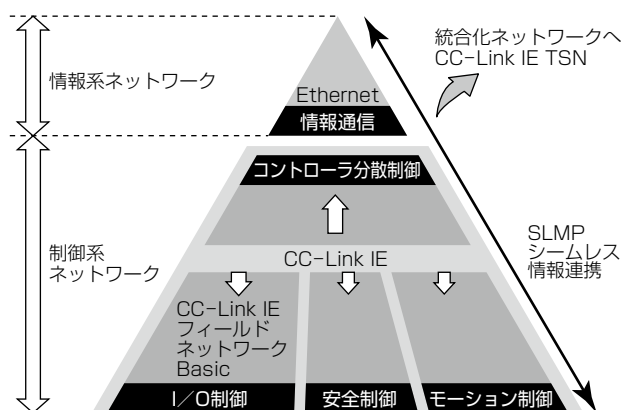


図6. FAオープンネットワーク

にするため、専用ASIC(Application Specific Integrated Circuit)を使用せずにソフトウェアの実装でサイクリック通信を実現する“CC-Link IEフィールドネットワーク Basic”を提供している。

次世代のネットワークとして、Ethernetを拡張したTSN(Time Sensitive Networking)の技術を採用した“CC-Link IE TSN”の仕様が2018年11月にCC-Link協会から公開された。情報系と制御系のネットワークを統合し、時分割通信によって、リアルタイム性が必要な制御通信と非リアルタイムな情報通信を混在させることが可能になる。当社はCC-Link IE TSNに対応したFA製品を開発することで、e-F@ctoryによる工場のスマート化を強力に支援し、製造業の競争力強化に貢献していく。

(注4) Ethernetは、富士ゼロックスの登録商標である。

5. 駆動制御機器

当社では、工作機械や搬送機等の産業機械に用いられる駆動制御機器を製品展開しており、顧客の幅広いニーズに応えるための製品開発を進めている。この章では、サーボシステム、CNC(数値制御装置)、ロボット、メカトロニクス製品に関する最新技術について述べる。

5.1 サーボシステムコントローラ

サーボシステムでも、AIの活用が進展している。装置運用時の予知保全技術への適用が盛んだが、装置立ち上げ時の支援機能も開発されている。ここではサーボシステムの代表用途である高速位置決めのパラメータ調整自動化技術について述べる。

従来は、加速度が矩形(くけい)状の位置指令をフィルタで平滑化しながら位置決め高速化と停止精度の両立を図っていた。これに対し、PC組み込み型サーボシステムコントローラ“MR-MC341”では、図7(a)に示す加速度が台形の指令形状で、各辺に対応する七つの時間長を独立に設定可能な指令生成機能を搭載している。ただし、パラメータ数が多いため手調整が難しく、組合せ数が膨大なため、全ての候補値を試行する調整自動化が困難であった。そこで、機械学習を用いて比較的少ない試行で最適化を行う技術を開発した。図7(b)に部品実装機を対象に自動調整を行った結果を示す。移動距離ごとに約10分の機械学習による調整で、従来に比べ約20%の位置決め時間短縮効果が得られた。今後の製品への応用が期待される。

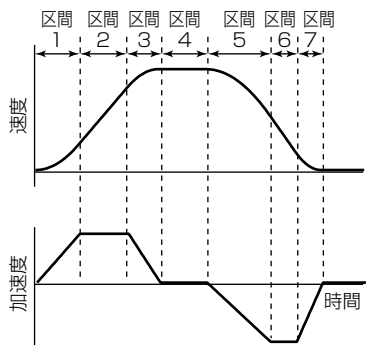
5.2 CNC

工作機械の加工精度を決定する誤差要因には、部品誤差、組立て誤差、部品間の摩擦等、工作機械が元から持っている誤差の他、加工プログラムや治工具等の段取り時に発生する誤差、機械の設置・運転時の環境に依存して発生する誤差がある。機械加工実行時に、これら誤差が複合的に発生し、問題解決に多大な時間を要している。中でも厄介な

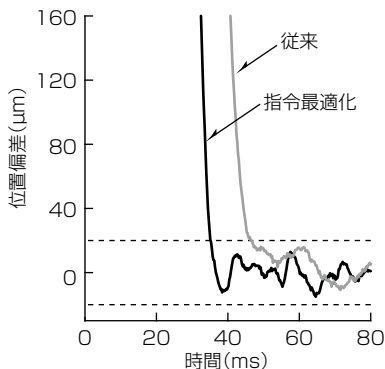
のが、環境依存の変化や加工中に動的に変化する誤差であり、代表的なものとして機械の温度変化による変形がある。

今回、温度センサによって検出した周辺温度や機械動作中の発熱温度を学習データとし、同時にレーザ変位計等で計測した機械の変位量を教師データとしてあらかじめMaisartで学習しておき、加工中には刻々変化する温度から変位量を推定して補正するAI熱変位補正機能を開発した(図8)。

この機能によって様々な運転条件や周辺温度の変化に柔軟に追従する熱変位補正が可能になるため、世界中のあらゆる環境で使用される工作機械に対して、個別に最適な補正ができるようになることを期待している。



(a) 高自由度な指令形状



(b) 部品実装機での試験結果

図7. 高自由度な指令形状の機械学習による最適化

5.3 産業用ロボット

産業用ロボット“MELFA FRシリーズ”で、知能化技術の更なる向上に努めている。ロボットアームの温度を測定し、アームの熱膨張による誤差を自動で補正するロボット機構温度補正機能を開発し、当社測定条件で、熱膨張による位置ずれを約1/5に抑制した。3Dビジョンセンサでは、演算処理方法の見直しと高性能PCとの接続によって、把持位置認識性能を向上させた。さらにMaisartによって、仮想空間上でのパラメータ自動調整を実現した。予防保全では、ロボットの実際の稼働情報と寿命式から減速機、タイミングベルト、グリース等の主要な対象部品の消耗度を算出する消耗度算出機能を開発し、個々の使用条件に合わせたメンテナンス時期の提示が可能になった(図9)。

AIをロボットに適用し、生産準備に要する時間の短縮や作業環境の変化に対応する技術の開発も進めている。コネクタ挿入等の調整時間の短縮と、挿入作業そのものの高速化を実現する力覚制御技術を開発した。さらに、コネクタの位置関係等の状況が変化する場合でも、瞬時に変化を把握して最適な動作を指示するAIを開発した(図10)。これによって、不規則に移動する部品に対し、2秒で0.25mm精度の位置決めが可能になった。

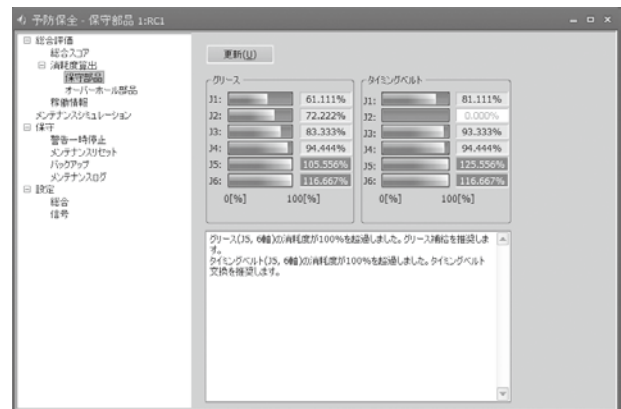


図9. 消耗度算出機能の画面

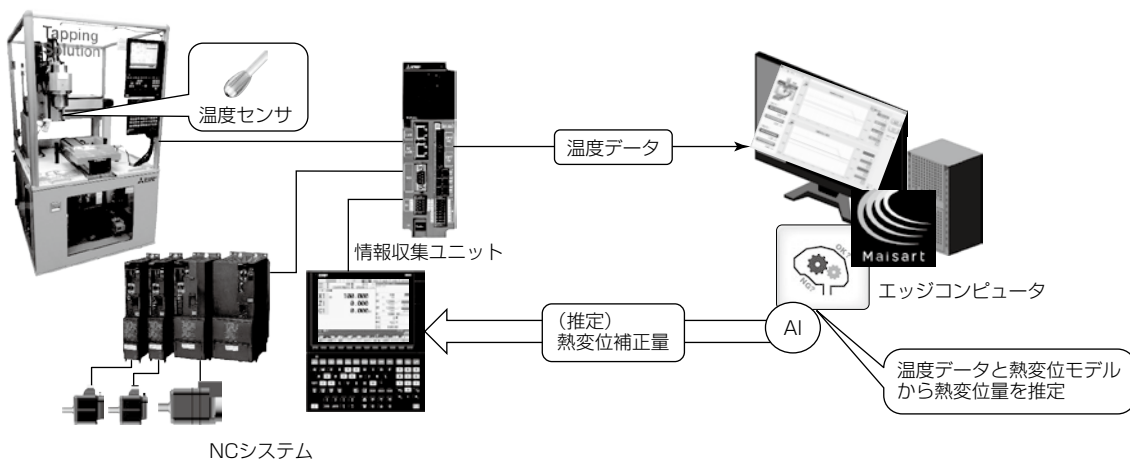


図8. MaisartによるAI熱変位補正

NC : Numerical Control

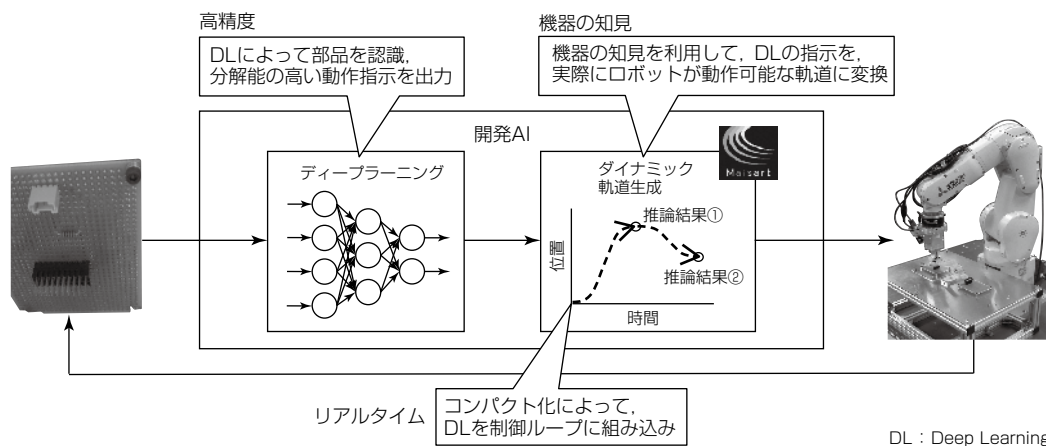


図10. AIによるコネクタ挿入作業

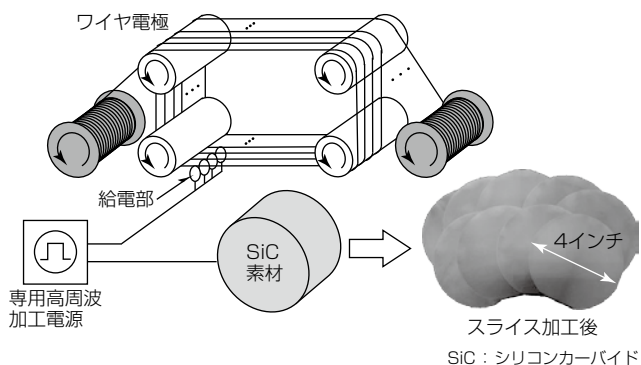


図11. マルチワイヤ放電スライス技術

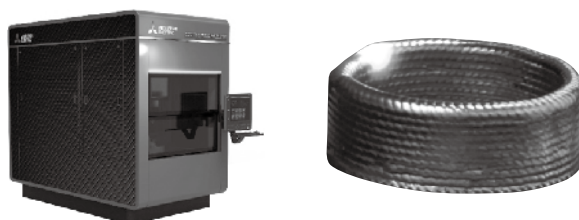


図12. 金属3Dプリンターと点造形技術

料造形を可能にした(図12)。当社独自の点造形技術^(注5)を開発し、造形物の酸化の抑制を実現している。

(注5) パルス状のレーザー照射、金属ワイヤと造形位置等を同期制御して点状の造形を繰り返す独自の点造形技術。

6. 加工機

半導体材料の進化に伴い、SiC(シリコンカーバイド)、GaN(窒化ガリウム)等の硬脆(こうぜい)材が使用されるようになり、生産方法が大きく変わろうとしている。硬脆材は、その名が示すとおり硬くて割れやすいという特徴を持つため、ウェーハの製造過程で加工時間と割れによる歩留り低下が大きな課題となっている。そこで、従来の接触式の切断加工から非接触式の放電加工を用いたマルチワイヤ放電スライス技術を開発した(図11)。ワイヤ放電加工に必要な給電は、同時マルチ給電を可能にして加工速度の低下を抑えている。

レーザー加工機や放電加工機でも、IoT化とAI適用が着実に進んでいる。e-F@ctoryとMaisartを搭載した加工機を開発してラインアップしている。IoT技術を活用した“iQ Care Remote4U”では生産・保守をとりまく製造現場を支援するためのサービスを提供している。AIを活用した形彫放電加工機“SV-Pシリーズ”では加工状態に合わせて最適制御を行い、高精度安定加工を実現している。

次世代生産方式として、金属3Dプリンターを含むモジュール型金属加工機を開発している。新たな製造方法となる金属3DプリンターにはレーザーワイヤDED(Directed Energy Deposition)方式を採用し、高速造形と材料供給にワイヤを用いることで、高密度でかつ安価、多品種の材

7. むすび

e-F@ctoryを支える最新のFA技術・システムとして、生産現場のデータを活用するためのエッジコンピューティングに関する技術やそれを実現する産業用PC MELIPCシリーズとEdgecross対応ソフトウェアiQ Edgecrossについて述べた。また、iQ Platformの最新動向として、コントローラ、エンジニアリング環境とFA統合ネットワークについて述べた。駆動制御機器の最新技術動向として、サーボシステムコントローラとCNC及び産業用ロボットについて述べた。さらに、最新の加工機について述べた。多くの製品でAI技術Maisartが活躍する。今後もe-F@ctoryを支える最先端のFA技術・システムを継続的に生み出すことで、Society5.0のIoT化されるものづくりを実現するソリューションを開発し、経済発展と社会的課題の解決を両立させる社会に価値を提供していく。

参考文献

- (1) 藤田正弘：“e-F@ctory”を支える最新のFA技術，三菱電機技報，91，No.4，204～208（2017）
- (2) 中川路哲男：“Connected Industries”の実現に向けたFA分野へのAI技術適用，三菱電機技報，92，No.4，216～220（2018）