

生産現場のIoT化を支える最新のFA技術

Advanced Factory Automation Technology for Building Internet of Things System
in Production Site



田中博文*
Hirofumi Tanaka

要 旨

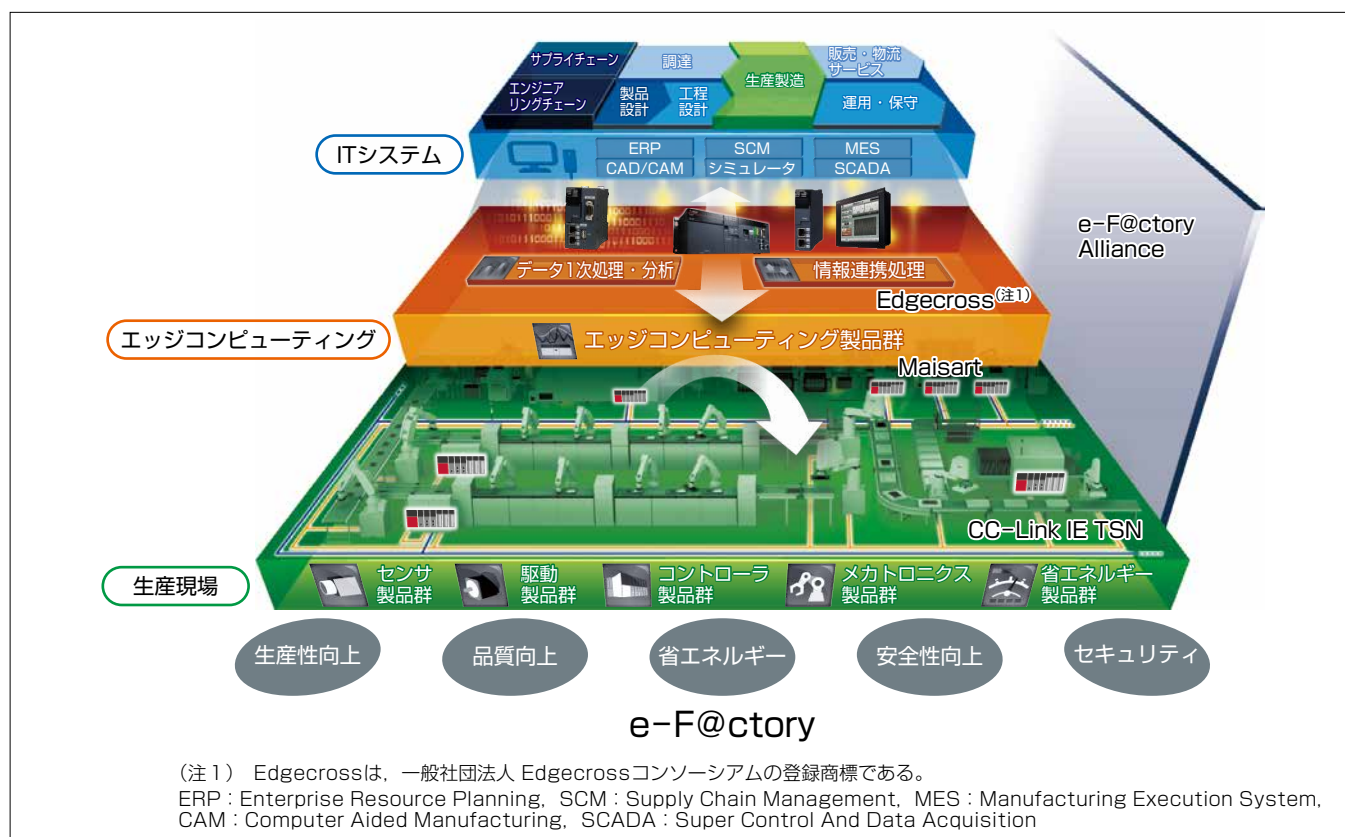
2020年は新型コロナウイルス感染症が流行し、経済社会活動全体に多大な影響を与えた。感染症収束後のニューノーマル時代に向けて、ものづくりの現場でも人との接触を減らすIoT(Internet of Things)化が進む見込みである。

三菱電機はFA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”を提供し、あらゆる機器や設備をIoT技術でつなぎ、エッジコンピュータが収集したデータを分析・活用することで、ものづくり全体の最適化を実現している。

システムの稼働状態をまるごと記録し、簡単にシステムの稼働状態を解析してダウンタイムの大幅低減を実現するシステムレコーダ、駆動機器の最新技術動向として、人とロボットの間の防護柵を必要とせず、より人に近い位置で

運用が可能な協働ロボット“MELFA ASSISTA”，半導体製造装置や部品実装機でヘッドの高速高精度位置決めを可能にする免振制御技術，ロボットを活用したNC(Numerical Control)工作機械の自動化を実現する当社CNC(Computerized Numerical Control)独自の産業用ロボット連携機能，放電加工機，金属3Dプリンターなど最新のFA技術が生産現場のIoT化を支えている。

今後もe-F@ctoryを支える革新的なFA技術を開発し，IoTによって様々な機器や設備がつながることで新しい価値を生み出し続けるものづくり現場を支え，ニューノーマル時代のものづくりに向けて社会貢献を続ける。



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、エンジニアリングチェーン全体にわたって生産現場のIoT化を支援することで企業価値向上を支援する。当社はシステムレコーダによる生産現場データの取得・解析及びIoT技術を活用した駆動制御機器と加工機の高機能化によってFA機器の強化を行っている。

1. ま え が き

IoT技術の進展によって、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、リアルタイムかつ精度の高い様々なデータを取得・分析できるようになってきた。

当社は2003年からFA-IT統合ソリューションe-F@ctoryを提供し、生産現場の最適化を推進してきた⁽¹⁾⁽²⁾。最近では、生産現場で“MELSEC iQ-Rシステムレコーダ”を提供し、異常発生時のシステムの稼働状態を“まるごと記録”し、“かんたんに解析”する事後保全ソリューションを提供し、ダウンタイムの短縮を実現している。また、産業用ロボットでは衝突検知機能を備えた協働ロボット“MELFA ASSISTA”を提供することで製造現場での作業員間の距離確保が可能になる。

本稿では、2章で生産現場をIoT化する上での現状の課題について述べ、3章でFA-IT統合ソリューションe-F@ctoryについて述べる。次に4章で生産現場のIoT化を支えるFA技術に関する取組みについて述べ、5章でIoT技術を用いて駆動機器を高機能化する技術、6章で放電加工機と金属3Dプリンターの最新加工技術について述べる。

2. 生産現場のIoT化⁽³⁾

近年、米中貿易摩擦やCOVID-19の影響によって、グローバル化してきたサプライチェーンの寸断リスクが高まってきており、新たなサプライチェーンの構築を検討す

る必要性が高まってきている。

従来の生産現場では、現場の属人的な改善活動によって、日々改善が進められてきたが、社会の変化へ即時に対応するためには生産現場全体を連携する施策が必要になってきている。

この連携に必要となるのが、IoT技術によるデータ収集・分析・活用である。このIoT技術については、ドイツのIndustry 4.0、日本のConnected Industriesといった概念が提唱され、国際標準規格の制定及びテストベッドによる技術実証が進められてきている。

これらの活動は、様々なデータをつなぎ、有効活用することで技術革新、生産性向上、品質向上、技能伝承などの様々な課題解決が期待されている。例として、Connected Industriesでは、生産現場内外のデータ連携強化を目的とするデータプロファイルの国際標準化、生産現場のデータを共有するためのデータ契約ガイドラインの改訂、ものづくりデジタル人材の育成、デジタル技術を中小企業が積極導入するための支援策などデジタルデータ活用に向けた取組みが強化されてきている。

3. FA-IT統合ソリューションe-F@ctory

e-F@ctoryは、生産現場、エッジコンピューティング、ITシステムの3層から構成される(図1)。生産現場では、ITシステムからの指示に基づいて生産を実行し、現場の様々な状況をセンシングし、設備や装置の状態をリアルタイムにITシステムへ通知している。エッジコンピューティングは、生産現場とITシステムの間位置し、迅

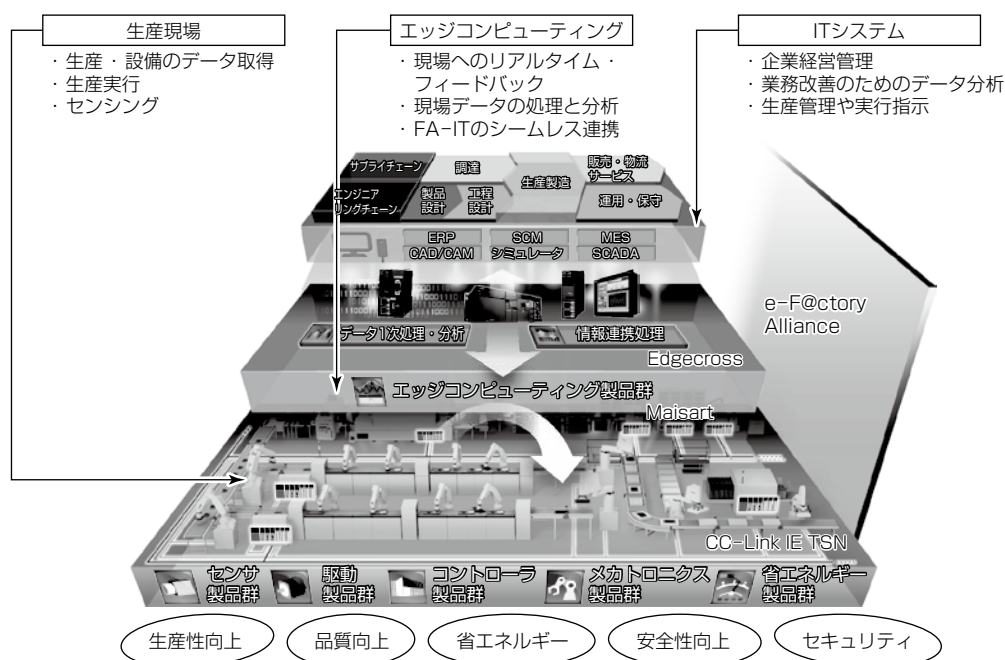


図1. FA-IT統合ソリューションe-F@ctory

速に現場データの処理・解析を実施することで、リアルタイムに生産現場の生産性向上と品質向上に寄与する。また、生産現場から取得した大量のデータを一次処理することで、ITシステムは的確な生産管理及びデータ分析時間の短縮ができる。

e-F@ctoryでは、生産現場とITシステムをシームレスに接続するエッジコンピューティングが、ものづくり全体の最適化に重要な役割を果たしている。当社では、産業用パソコンである“MELIPCシリーズ”及び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である“Edgecross”対応のソフトウェアである“iQ Edgecross”や放電加工機の状態をリモートから診断できる“iQ Care Remote4U”などを提供し、データ活用による生産現場の改善の実現に向けた提案を進めている。

4. システムレコーダ

システムレコーダはシーケンサ、サーボシステム、ネットワークカメラの動きを“まるごと記録”し、異常が発生したときに、カメラ映像の再生や動作履歴を時系列に同期させることで“かんたん解析”できる事後保全ソリューションである。

4.1 まるごと記録

システムレコーダの“まるごと記録”をサポートする製品として、レコーダユニット、サーボシステムレコーダを提供している。

レコーダユニット“RD81RC96”は、シーケンサと連携して動作し、全ON/OFFデータ、数値、文字列データをプログラム実行周期ごとにタイムスタンプ付きで取得できる(図2)。シーケンサとレコーダユニットを別ユニットでそれぞれ実行することで、シーケンサの負荷を軽減し、スキャンタイムへの影響を最小限に抑えることができる。ま

た、ネットワークで接続したサーボアンプ、ロボット、インバータ、リモート機器などのデータも収集でき、装置・ライン全体の状態を確認できる。さらに、レコーダユニットにカメラ映像記録機能を追加したカメラレコーダユニットも提供し、カメラから取得した映像の記録も可能にしている。ロギングデータ及び映像データはSD(Secure Digital)メモ리카ード又はNAS(Network Attached Storage)やパソコンなどのファイルサーバへ保存できる。

サーボシステムレコーダは、ACサーボアンプ“MR-J5シリーズ”とモーションユニット“RD78GH/RD78G”が連携して動作し、最速125μsごとに全軸の位置・速度指令、位置・速度・トルクフィードバック、エラーコードをプログラムレスに収集できる(図2)。これらのデータはトラブル発生時に自動収集され、タイムスタンプが付いたデータをモーションユニットのSDメモ리카ードへ保存できる。

4.2 かんたん解析

まるごと記録したデータからいつでも、どこでも、誰でもトラブル発生時の状況を再現するために、オフラインモニタ、カメラ映像再生、ログマーカ、データフロー解析機能を提供している。

オフラインモニタは、“GX Works3”“GT Designer3”“GX LogViewer”“GX VideoViewer”を連動させることによって、プログラム、GOT(Graphic Operation Terminal)の操作・アラーム履歴、波形データ、動画データを時刻同期させながら確認できる(図3)。これによって、GOTのアラーム履歴からプログラムや波形の異常箇所との関連が明らかになり、トラブル原因を早期に特定できる。

記録したカメラ映像は、汎用的な動画再生ソフトウェアで表示できるだけでなく、GX VideoViewerを用いて最大4画面を同時に再生して状況を確認できる。また、映像にログマーカと呼ばれる目印を付与し、ログマーカを設定した箇所をすぐに呼び出すことができる。また、複数人でログマーカを共有できたり、ログマーカの色分けやコメントを付与でき、複数人での解析を効率化する機能を提供している。また、設定したログマーカは、GX VideoViewerとGX Works3やGX LogViewerと相互に反映できる。

データフロー解析機能は、GX Works3上で解析対象のデバイス又はラベルを選択することで、これらのデバイスやラベルが変化したときに影響があるデータについて、データフロー図によって視覚的に表示できる(図4)。この機能は、LD(Ladder Diagram)、FBD(Function Block Diagram)、SFC(Sequential Function Chart)、ST(Structured Text)言語に対応している。また、デバイスからデバイスを使用するプログラム位置へジャンプし、前後の処理を確認できる機能を提供し、トラブル原因の早期追究に貢献する。

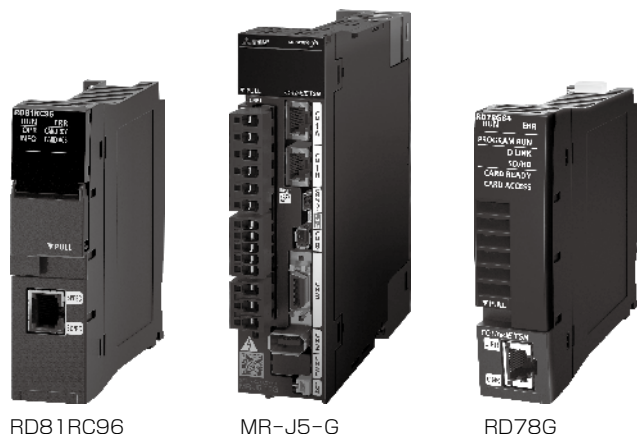


図2. レコーダユニット、サーボアンプ、モーションユニット

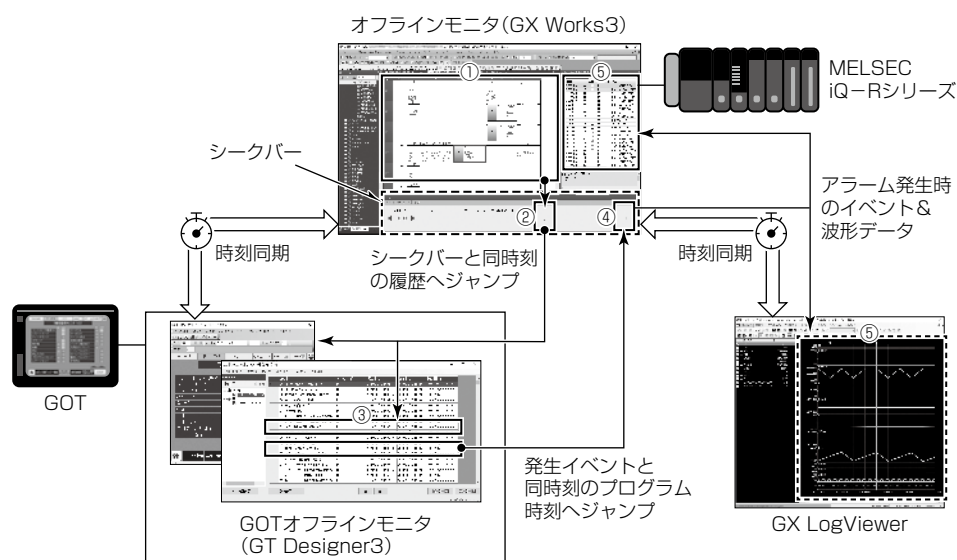


図3. オフラインモニタ機能

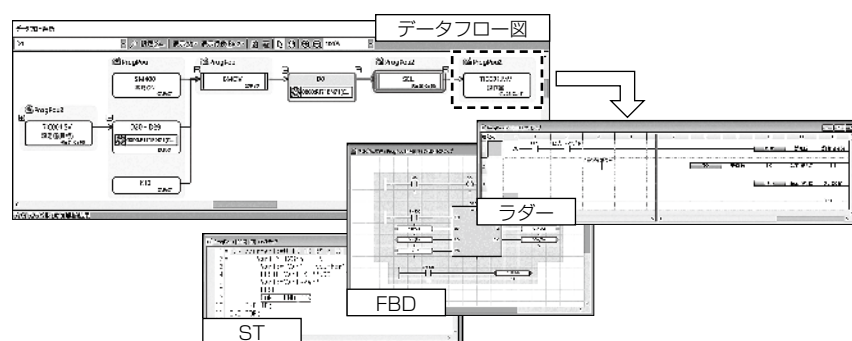


図4. データフロー解析機能

協働作業によって人とロボットが作業を分担できれば、実現性、費用共に適度な自動化システムを設計することが可能になる。

また、ロボット導入に対する心理的な障壁を取り除くために、経験がなくても容易に利用できる工夫を行っている。例えば、ロボットの状態を一見して理解するためのアーム上のLEDや、手でアームを直接動かして動作を教えることができるダイレクトティーチング機能によって直感的な操作が可能である。

さらに、エンジニアリングソフトウェア“RT VisualBox”を用い、ビジュアルプログラミングによって簡単にロボットの動作を作成できる。このほか、装置立ち上げを容易にするために、協働パートナー各社のハンドやセンサといった製品と連携するなど、ロボットを使用する上での敷居の高さを取り除くための様々な方策を取っている。

製造現場への省人化・自動化の要求はますます高まっており、安全性と使いやすさを備えたMELFA ASSISTAによって、市場への貢献を図っていく。

5. 駆動制御機器

5.1 協働ロボット MELFA ASSISTA

従来、産業用ロボットは、防護柵などによって人との作業空間を分離することが前提とされていた。しかし、近年では、人と空間・時間的に作業領域を共有する協働作業が行われるようになってきている。2020年5月に発売されたMELFA ASSISTAは、それに向けて、手指の挟まれや接触を考慮したデザインによる本質安全と、接触時に発生する力を低減する機能等の機能安全を備えた協働ロボットである。産業用ロボット及び協働ロボットの安全規格であるISO10218-1:2011とISO/TS 15066:2016について第三者認証を取得し、システムのリスクアセスメントを実施するユーザーに対して、高い信頼性を提供している(図5)。

防護柵をなくしてスペースの削減ができるだけでなく、ロボットが人の近くや、人と接触しながらでも動作をすることは、システム設計の自由度をもたらす。自動化対象工程中の難易度の高い作業と容易な作業とを切り分け、

5.2 CC-Link IE TSN対応サーボシステムによる高機能多軸制御

サーボシステムは様々な産業機械の駆動に用いられ、その用途拡大に伴って複数のモータを複雑に協調させる要求が増えている。当社のシーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”のモーションユニットRD78GH/RD78G及びACサーボアンプMR-J5シリーズは、産業用オープンネット

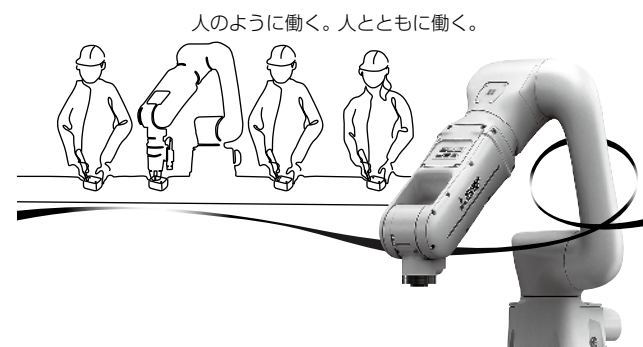


図5. 協働ロボット MELFA ASSISTA

ワークCC-Link IE TSN(Time Sensitive Networking)に対応し、サーボアンプへの位置指令を最小周期31.25 μ sで演算する高速な多軸同期制御を実現する。またモーションユニットRD78GH/RD78Gは国際的な標準規格であるPLCopen Motion Control FB(ファンクションブロック)や、IEC61131-3 ST言語とラベル(変数)による構造化プログラミングに対応し、高機能的な制御を簡単なプログラミングで実現できる。次にその活用例を述べる。

半導体製造装置や部品実装機ではヘッドを高加減速に駆動するとその反力で架台が振動し、高速高精度な位置決めを阻害する。その解決策として、ヘッド駆動軸と並行して錘(おもり)を駆動する免振軸を付加し、ヘッドに同期して免振錘を駆動して架台の振動を抑制することで、ヘッドの高速高精度位置決めを可能にする免振制御を開発した。図6にシステム構成を示す。モーションユニットでヘッド位置指令から架台振動の周波数成分を抽出して振動を相殺するように演算した免振軸位置指令で免振錘を駆動する。図7に示す試験結果から、加速度2.4G、最大速度1.2m/sで高加減速するヘッドに対して質量比0.5倍の軽量の免振錘を可動範囲約50mm以内で駆動して架台の振動を抑制し、位置決め時間の大幅短縮を可能にした。

このように高機能的な多軸制御の構築が容易になり、今後、様々な装置の高速高精度化への貢献が期待される。

5.3 CNCでの自動化技術

近年、人手不足や人件費の高騰による生産現場の自動化ニーズの高まりを受け、NC工作機械各社から自動化提案がなされている。ロボットの操作になじみのないNC工作機械ユーザーにとっては、NC工作機械への加工ワークの取付け、取り外し作業にロボットを導入する場合、ロボットの設置、設定、操作などの自動化に関わる各種作業が煩雑であり、作業の容易化が強く望まれていた。

今回、当社は、NCコントローラとロボットコントロー

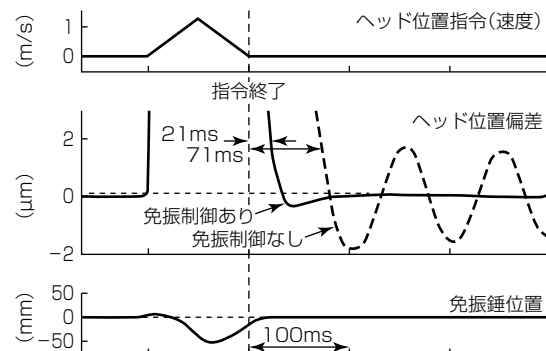


図7. 免振制御の試験結果

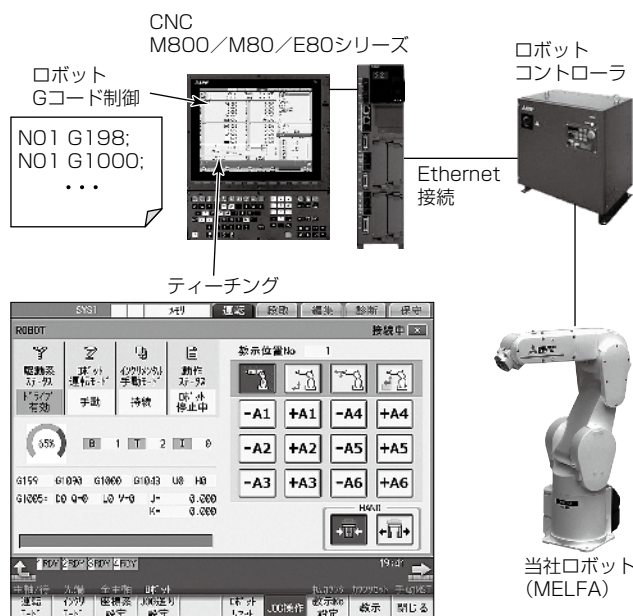


図8. Direct Robot Control

ラをEthernet^(注2)で接続するシンプルなシステム構成で、NC工作機械ユーザーにとってなじみのあるGコードを用いたロボットの簡単制御を実現するNC工作機械とロボットの連携機能“Direct Robot Control”を開発した(図8)。

この機能は、NC画面上でのロボット動作のプログラミング、ロボット操作を容易に実現することで、NC工作機械で加工するワークの取付け・取り外し作業のほか、加工の残留物であるバリをロボットで除去するなど、各種自動化システムの構築・運用が短期間かつ簡単に実現できるようになる。今後、ロボットを活用した自動化システム構築と生産性の更なる向上を目指して開発に取り組むとともに、製造現場の生産性向上の一助になることを期待している。

(注2) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

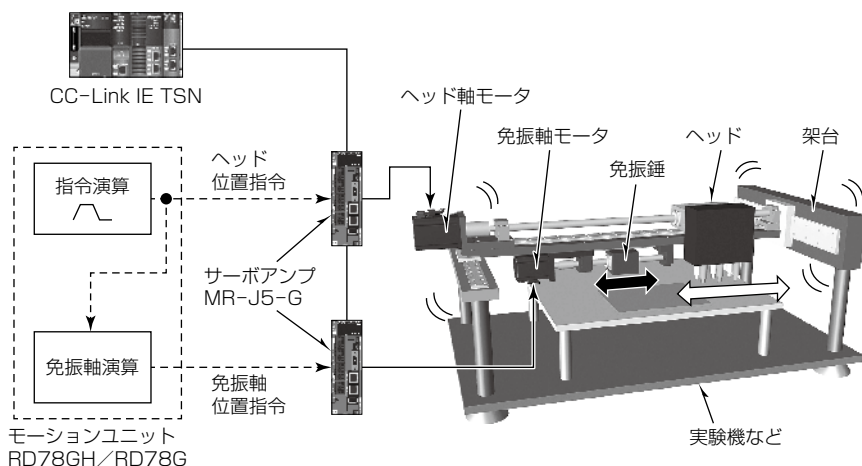


図6. モーションユニットを用いた免振制御のシステム構成

6. 加工機

6.1 放電加工機

近年、環境への負荷低減の観点から自動車の電動化が加速し、燃費などの性能向上に寄与するEV(Electric Vehicle)、HEV(Hybrid Electric Vehicle)用モータの大型化・高性能化が進展している。主要部品であるモータコアの製造には、大型の超高精度金型が用いられるが、同金型製造には、長時間連続の高精度加工が必須になっている。こうした中、高推力シャフトリニアモータと高剛性リニアガイドを組み合わせた高精度駆動システム、サブミクロンの機械摺動(しゅうどう)部の真直精度、熱源を分離して独自の熱変位抑制技術を搭載した超高精度ワイヤ放電加工機“MX900”を開発した(図9)。モータコアの金型加工に必要なとなる48時間を超える長時間連続加工と治具研削レスの高精度加工を実現している。

またIoT技術でも長時間加工を支援する。“iQ Care Remote4U”は、放電加工機の稼働情報をリアルタイムで確認し、複数台の稼働率・コスト情報をIoTプラットフォームで収集・蓄積して一元管理を行う。見える化とデータ分析によって、生産プロセスの改善・ランニングコスト低減に貢献する。また、リモート診断機能は、当社のサービスセンターに設置した端末から直接顧客の放電加工機へ接続し、装置状態を遠隔確認する。問題発生時には、当社スタッフがアラーム内容と加工条件を確認し、迅速な装置稼働復旧をサポートする。

6.2 金属3Dプリンター

近年、製造業の生産効率化やデジタル化を実現する革新的な技術として金属3Dプリンターが注目されている。当



図9. 超高精度油加工液仕様ワイヤ放電加工機“MX900”



図10. 金属3Dプリンターと点造形、線造形サンプル

社では、レーザ照射部に金属ワイヤを直接供給して造形するレーザワイヤDED(Direct Energy Deposition)方式を採用した金属3Dプリンター(図10)を開発している。安価に高密度な造形が可能で、既存部品へ微小単位で材料の付加ができることから、マルチマテリアル化や機能性付与が可能になる。

また、当社独自の点造形技術(レーザとワイヤを間欠的に動作させることで点状の造形を繰り返し行う)を活用することで、複雑形状の造形や、64チタンのような酸化しやすい材料に対しても造形時の酸化を抑制し、高い疲労強度を実現できる。一方で、造形速度の観点から線造形技術(連続的にワイヤ送給して造形)も並行して開発しており、造形形状や造形材質などに応じて線造形と点造形を適材適所で活用する造形技術の開発を進めている。

7. む す び

生産現場のIoT化を支える当社の最新FA技術の取組みとして、機器の動きを“まるごと記録”し、異常が発生したときに“かんたん解析”できるシステムレコーダ、人と一緒に作業ができる協働ロボットMELFA ASSISTA、IEC61131-3に準拠したST言語によるプログラミング及びモーションユニットとサーボアンプ間をCC-Link IE TSNで接続することで多軸同期制御できる技術、ロボットを活用したNC工作機械の自動化を実現する当社CNC独自の産業用ロボット連携機能、最新の当社加工機技術について述べた。今後も顧客の生産現場の生産性向上、付加価値向上に向けた技術開発を進めていく。

参考文献

- (1) 水落隆司：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、三菱電機技報, 93, No.4, 216～221 (2019)
- (2) 楠 和浩：工場のスマート化を実現する最新のFA技術と取組み、三菱電機技報, 94, No.4, 206～210 (2020)
- (3) 藤島光城：IoT導入レベル“SMKL”適用によるスマート工場の実現推進と産業用IoT製品の開発&販売促進、三菱電機技報, 94, No.4, 211～214 (2020)