

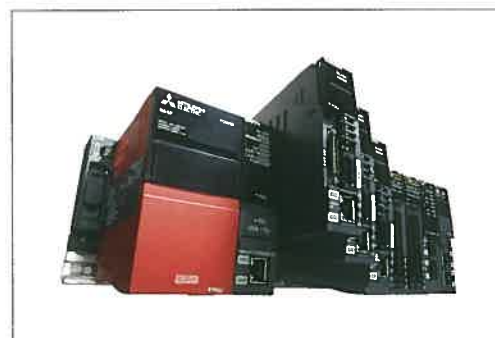
三菱電機技報

4

2017

Vol.91 No.4

e-F@ctoryを支える最新のFA技術



目次

特集「e-F@ctoryを支える最新のFA技術」

超スマート社会を支える新たなものづくり……………**巻頭言 1**
貝原俊也

e-F@ctoryを支える最新のFA技術……………**巻頭論文 2**
藤田正弘

FAアプリケーションパッケージ「iQ Monozukuri」……………**7**
炭崎竜平・堀 健一・増田芳樹・海津雅洋・寺田大祐

エッジコンピューティングプラットフォーム……………**11**
小林 毅

産業用ロボット「MELFA FRシリーズ」……………**15**
宮本昌和

「MELSEC iQ-Rシリーズ」対応計装
エンジニアリング環境と統合監視システム……………**19**
坪根 亮・水野貴之・池田昌平

「e-F@ctory」を支える
CC-Link IEフィールドネットワークBasic……………**23**
上野友義・市村宇志

「MELSEC iQ-Fシリーズ」のCC-Link IEフィールド
ネットワーク対応によるe-F@ctory推進……………**27**
川村 明・松本貴樹

センシングユニット「MR-MT2000シリーズ」による
生産現場のTCO削減……………**31**
鈴木康広・岩丸和文

三菱数値制御装置「C80シリーズ」……………**35**
加藤健二・鈴木浩倫・深江輝昭

新型制御装置搭載ワイヤ放電加工機「MVシリーズ」……………**39**
大飼 賢

EcoMonitorPlusアナログパルス入力ユニット……………**43**
野邊勇樹

IoTを活用した生産技術の革新……………**47**
神原一博・安部潤一郎

FAでのAI技術(機械学習・ビッグデータ分析)の活用……………**51**
三井 聡・嵯山利貞・遠山泰弘

Latest Factory Automation Technologies for e-F@ctory

New Production Paradigm in "Society 5.0" Era
Toshiya Kaihara

Latest Factory Automation Technologies for e-F@ctory
Masahiro Fujita

Application Package "iQ Monozukuri" for Factory Automation
Ryuhei Sumisaki, Kenichi Hori, Yoshiki Masuda, Masahiro Kaizu, Daisuke Terada

Edge Computing Platform
Tsuyoshi Kobayashi

Industrial Robots "MELFA FR Series"
Masakazu Miyamoto

Instrumentation Engineering Environment and Integrated Supervisory System for
"MELSEC iQ-R Series"
Akira Tsubone, Takayuki Mizuno, Masahira Ikeda

CC-Link IE Field Network Basic Supporting "e-F@ctory"
Tomoyoshi Ueno, Takashi Ichimura

Promoting e-F@ctory with "MELSEC iQ-F Series" Support for CC-Link IE Field Network
Akira Kawamura, Takayasu Matsumoto

TCO Reduction of Production Site by Sensing Module "MR-MT2000 Series"
Yasuhiro Suzuki, Kazufumi Iwamaru

MITSUBISHI CNC "C80 Series"
Kenji Kato, Hiromichi Suzuki, Teruaki Fukae

Wire-cut Electrical Discharge Machine "MV Series" with New Controller
Ken Inukai

EcoMonitorPlus Extension Model for Analog/Pulse Input Unit
Yuki Nobe

Innovation of Manufacturing Engineering Based on IoT
Kazuhiro Kambara, Junichiro Abe

AI Technologies (Machine Learning and Big Data Analysis) for Factory Automation
Satoshi Mii, Toshisada Mariyama, Yasuhiro Toyama

特許と新案

「モータ制御システム」「ローラ間搬送制御装置」……………**55**

「負荷系統の電氣的諸量監視システム」……………**56**

スポットライト

Ethernet通信対応インバータFR-A800-E/F800-Eシリーズ

表紙：e-F@ctoryを支える最新のFA技術

三菱電機は2003年からFA統合ソリューションe-F@ctoryで、開発・生産・保守の全般にわたるトータルコスト削減を図ることを最大のコンセプトに、高度な技術の利用と情報の活用によって工場の最適化を図ることで、一歩先のものづくりを実現してきた。

この特集号では、e-F@ctoryを支える最新のFA技術について述べる。

- ①柔軟な生産ラインの実現を強力にサポートするロボット「MELFA FRシリーズ」である。基本性能向上とe-F@ctory/FA機器連携、安全機能の強化、知能化技術を更に進化させ、IIoT(Industrial Internet of Things)時代の次世代ものづくり工場を支える。
- ②シーケンサ、モーションコントローラ、GOT(Graphic Operation Terminal)、ロボットなどのエンジニアリング環境を統合したソフトウェア「MELSOFT iQ Works」である。システム管理ソフトウェアである「Navigator」を核に、システム設計、制御プログラミングに加えて、FAシステムの運用・保守に至るまで、あらゆるフェーズに貢献する。
- ③製造ライン向け最新CNC(Computerized Numerical Control)「C80シリーズ」である。FA統合プラットフォーム「iQ-Platform」に対応し、各種FA機器と連携することによって工場全体の最適化を図り、ユーザーの開発・生産・保守全体にわたるTCO(Total Cost of Ownership)削減に貢献する。



①



②



③

巻/頭/言

超スマート社会を支える新たなものづくり

New Production Paradigm in "Society 5.0" Era

貝原俊也

Toshiya Kaihara



2016年1月22日に日本の2016年度から5年間における科学技術の総合的計画である第5期科学技術基本計画が閣議決定され、その中で新たに“超スマート社会(Society 5.0)”の概念が提唱された。また、この基本計画では、“科学技術イノベーション総合戦略2015”で特定された先行11システムを統合する共通の基盤技術として“超スマート社会サービスプラットフォーム”が示されている。ここで、超スマート社会を支える11システムの1つに“新たなものづくりシステム”が位置付けられており、IoT(Internet of Things)やビッグデータ、AI(Artificial Intelligence)、ロボット等の活用によるサプライチェーン全体にまたがるプラットフォームの構築、及び高品質・高付加価値の製品やサービス提供による産業競争力の強化や経済社会の活性化などが、その実現に向けた重要課題として挙げられている。

一方、海外に目を向けると、IoTを活用した新たなものづくりの動きが急速に進展している。例えば、ドイツ政府が国策として産学官で取り組んでいるインダストリー4.0では、CPS(Cyber Physical System)をベースとしたスマートファクトリをキーコンセプトとして、工場内の設備や機器、部材や製品に関し、工場内はもちろん工場や国境の垣根を越えてダイレクトかつシームレス、セキュアにつなげることで、さらにはその国際標準化を目指している。また、米国では、クラウド環境やビッグデータ解析を駆使し、産業機器のスマート化を目指したIIC(Industrial Internet Consortium)が立ち上がり、産業市場におけるIoT関連のテストベッドやベリフィケーション、デファクト化が進められている。

これらの国内外の動向からも分かるように、これからのものづくりには、IoT環境から得られる膨大なデータの分析・活用や工場システムのセキュアな国内外連携などが必須となり、この特集で述べられるように、FA技術に求められる役割は今まで以上に大きなものとなる。また、知能化や自動化技術とともに、高付加価値の製品やサービス提供の観点からは、従来の高機能・高品質・低価格の追求を目指した交換価値の論理から、ユーザーが真に求める使用

価値を追求するサービスドミナントな価値提供へのパラダイムシフトも今後のものづくりを考える上で重要な課題となる。

筆者らは、現在、内閣府の総合科学技術・イノベーション会議(CSTI)の主導で進められている戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)に参画し、IoT環境下で工場機器や製品が融合するだけでなく、さらに、製品やサービスの作り手と使い手が持続的にインタラクションを行いながら価値を共創する新たなものづくりのシステムについて研究開発を進めている。そこでは、IoTをデジタルデータの通信基盤と捉え、その中に単なるデータ通信だけではなく価値情報のやりとりまでも含めるIoV(Internet of Values)の実践を進めている。使い手の使用価値は超上流の設計情報としてシステムへ内包され、例えば3Dプリンターで価値を提供する人工物へと迅速に展開されていく。これらの使用価値に基づいた設計情報は、作り手にとっての経験価値として蓄積されることになり、この価値循環のスパイラルは、超スマート社会時代の新たなスマートものづくりで、重要な役割を担うであろう。

ここで、第5期科学技術基本計画で提唱された超スマート社会の構築を目指すには、先に一例を示したスマートものづくりシステムを他の10システムへ単につなげるだけでは意味がない。各システムを、シナジー効果が発現されるよう融合させ、今までにないイノベティブな価値創造を可能とすることで、必要なものやサービスが、必要な人へ、必要な時に、必要なだけ提供される超スマート社会の実現が初めて可能となる。このように、新たなものづくりシステムに下支えされた超スマート社会の実現に向け、ビッグデータやAI技術とともに重要となるのが、現在進められている超システムやビッグモデルといったシステムズアプローチへの新たな取組みである。IoTの社会浸透によってシステムの大規模・複雑化が急速に進むのに伴い、ものづくり分野を含む科学技術全般へのシステムズアプローチの持つ重要性が増しており、今後の新たな展開にぜひ注目されたい。



藤田正弘*

e-F@ctoryを支える最新のFA技術

Latest Factory Automation Technologies for e-F@ctory

Masahiro Fujita

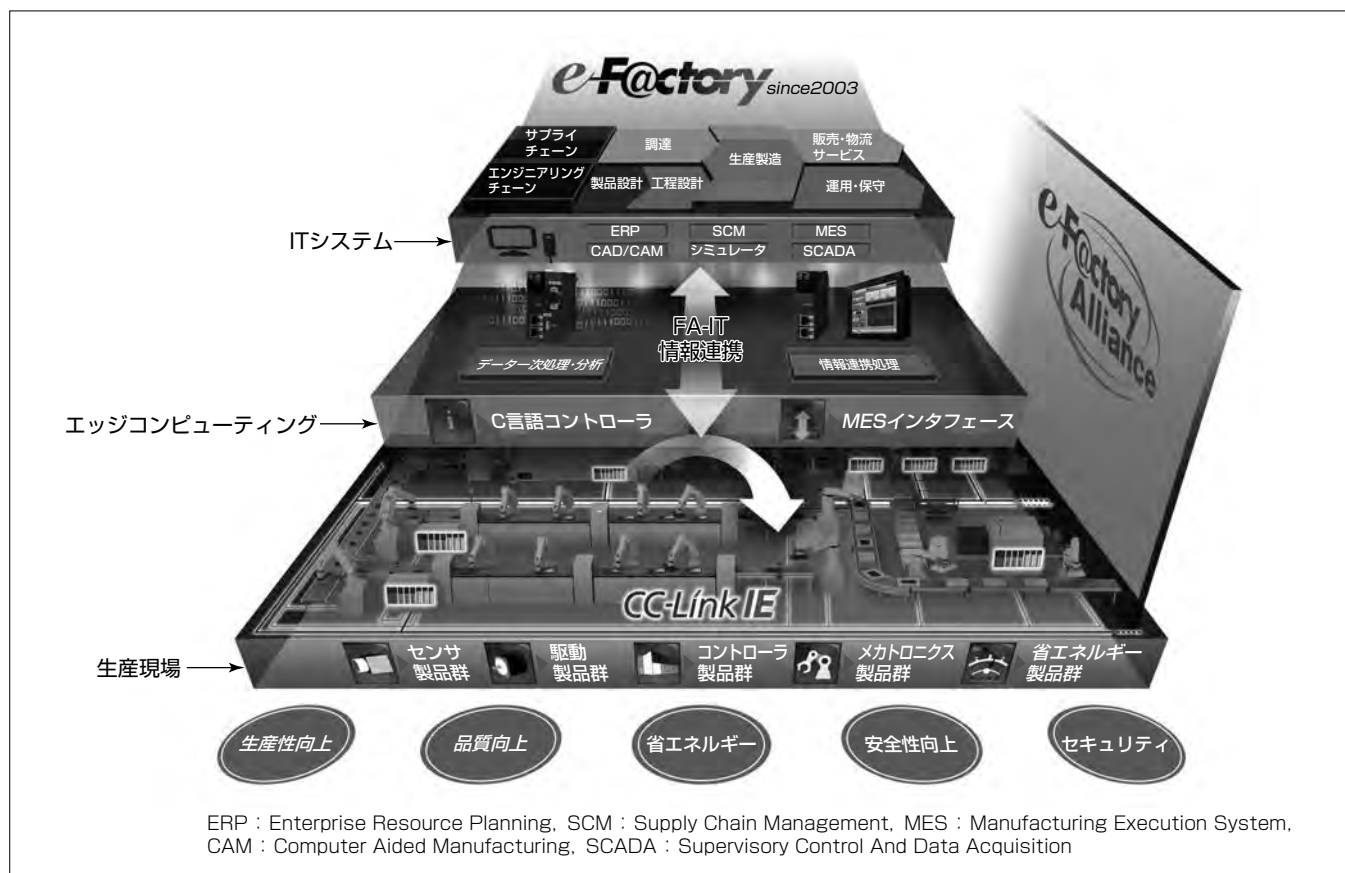
要 旨

近年、ものづくりでは製品ニーズの多様化によって、生産性向上に加えて製造を行う現場の柔軟な対応が重要になってきている。こうした製造業を取り巻く環境の変化の中、競争に勝ち残るためには、迅速で適切な経営判断が必要になる。そのためにはIT技術の利用やIoT(Internet of Things)によるデータ活用が欠かせない。

2003年から三菱電機が提唱してきたFA統合ソリューション“e-F@ctory”で、開発・生産・保守の全般にわたるトータルコスト削減を図ることを最大のコンセプトに、高度な技術の利用と情報の活用によって工場の最適化を図ることで、一歩先のものづくりを実現してきた。e-F@ctoryでは、生産現場とITシステムとの間の情報連携を担う

FA-IT情報連携機器と、センサレベルからITシステムレベルまでをシームレスに接続するネットワークによって生産システムを構築できる。FA-IT情報連携機器では、データの収集・分析や改善を生産現場側で集約して実施するエッジコンピューティングを実現し、収集データをリアルタイムに分析して現場への改善のフィードバックを行うことで無駄を最小限にすることができる。

当社は、e-F@ctoryによるものづくり現場のソリューションを実現するため、コントローラ、駆動制御機器、メカトロニクス機器、FA-IT情報連携機器、ネットワーク等のFA製品を提供している。



FA統合ソリューションe-F@ctory

現場を起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対応することによって、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るトータルコストを削減し、一歩先のものづくりを支援して企業のTCO(Total Cost of Ownership)削減、企業価値向上を支援する。また、エッジコンピューティングによってFAとITを連携させることで、生産現場のデータの収集と分析を簡単に実現し、ものづくり全体の最適化を支援する。

1. ま え が き

製造業では、エンドユーザーの製品に対するニーズが多様化してきており、製造メーカーでは変種変量生産などによって、生産に対して柔軟な対応が必要になってきている。また、そうした中で製品の品質向上や設備稼働率を向上させる予防保全などのために現場から収集したデータを活用する取組みが盛んに行われるようになってきている。こうした対応が求められるものづくりの現場では、生産現場のデータを最大限に活用することが重要である。

これまで当社では、FA統合ソリューションe-F@ctoryのコンセプトを掲げ、開発・生産・保守の全般にわたってトータルでのコスト削減を図るために、FA技術と高度なIT技術を連携させ、データを活用した工場の最適化を図ってきた。当社はe-F@ctoryのコンセプトを適用するための各種FA製品を提供している⁽¹⁾。

本稿では、ものづくりの現場でトータルコストを削減するe-F@ctoryとそれらを支えるFA製品の最新の技術について述べる。

2. FA統合ソリューションe-F@ctory

FA統合ソリューションe-F@ctoryは、当社が2003年から提唱しているコンセプトである。e-F@ctoryのコンセプトでは、FA技術とIT技術を利用することで開発から保守に至るまでのバリューチェーン全体でのコストを削減し、顧客の生産性改善活動を継続して支援するとともに、一歩先のものづくりを指向するソリューションを実現できる。

IoTの進展によって、製造分野でもますますネットワークに接続する機器が増え、機器から収集されるデータを活用した生産の最適化が求められる。これまでe-F@ctoryでは、生産現場とITシステムを連携させる製品群と、センサレベルからITシステムレベルまでをシームレスに接続するネットワークを提供し、生産現場の見える化、及び収集データの分析に基づいた改善を実現してきた。これによって製造分野で生産性向上、品質向上、省エネルギー、安全性向上、セキュリティに貢献し、ものづくりにおけるTCO削減を実現してきた。

3. e-F@ctoryを支える最新FA技術

IoTを活用したソリューションが重要になってきており、それに伴う現場データの増加に対応したエッジコンピューティングが必要になってきている。e-F@ctoryによるエッジコンピューティングと、生産を最適化するためのFA製品の最新の技術について述べる。

3.1 エッジコンピューティング

3.1.1 FAとITの情報連携

従来、生産性向上や品質向上などの課題解決には、熟練

技術者の経験や勘に頼る部分が多かったが、現在ではIT技術を利用して生産現場のデータを活用することで、これらの課題解決が容易になってきている。しかし、今後、IoTの活用が進展し、センサや多くの制御機器から収集されるデータの量が大幅に増加してくると、現場のデータを全てサーバ上のITシステムで分析しては、データ通信の処理量が多くなり、効率が悪くなる。現場で収集されたデータを分析して改善のフィードバックをリアルタイムに行うことで、生産現場の無駄を最小限にすることができる。そのためには、データの収集・分析及び改善は、可能な限り現場で実施し、ITシステムを利用する場合でも現場でデータの一次処理を行い、ITシステムが必要なデータだけを渡すようにすることが重要になる。

3.1.2 FA-IT情報連携機器

生産現場とITシステムとの間の情報連携を行う機器として、当社はC言語コントローラ、MESインタフェースユニット、高速データロガーユニット等のFA-IT情報連携機器を提供している。C言語コントローラは、C/C++言語によるプログラムの開発によって、制御、情報処理、上位通信処理が可能である。MESインタフェースユニットは、MESなどのITシステムのデータベースと生産現場とを簡単に接続し、設定用のソフトウェアで必要なデータを指定するだけでプログラムレスで通信できる。高速データロガーユニットは、各種の測定データを直接収集し、高速・簡単・低コストで正確なデータロギングを実現できる。

FA-IT情報連携機器を活用したエッジコンピューティングによってFAとITを連携させることで、データの収集と分析を生産現場側で簡単に実現し、生産性向上や品質向上を含めたものづくり全体の最適化が可能になる。また、FAシステムにおけるIoT化を簡単に実現することができる。

図1は、FA-IT情報連携機器で実現したエッジコン

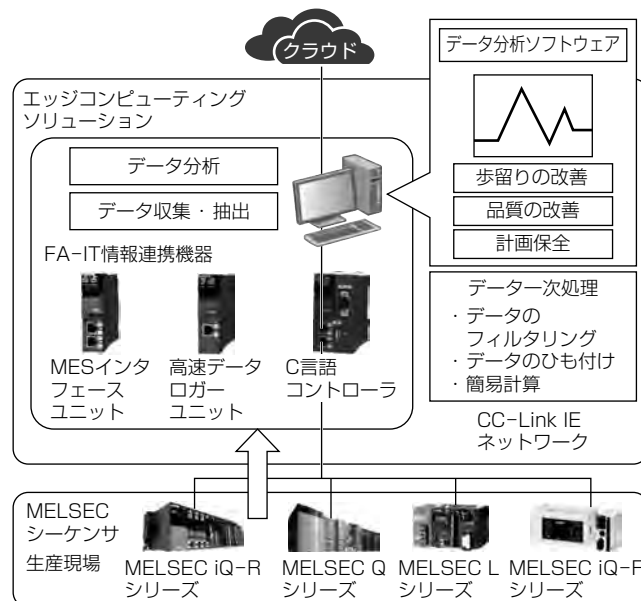


図1. FA-IT情報連携機器によるエッジコンピューティング

ビューティングの活用例である。生産現場から収集した膨大なデータは、FA-IT情報連携機器で、データ分析に必要なデータにフィルタリングされる。FA-IT情報連携機器では、複数データのひも付けや時系列での並べ替えのような簡易計算等の一次処理も行い、データ分析を容易化する。また、生産現場のノウハウが含まれたデータを外部に出さず、エッジコンピューティングによって一次処理してデータ分析ソフトウェアに渡すことで、生産現場のノウハウ流出のリスクが軽減される。

3.2 “iQ Platform”の最新技術

e-F@ctoryを支えるFA制御機器の中核をなすのが、FA統合プラットフォームiQ Platformである。iQ Platformを構成するコントローラ、それらをつなぐネットワーク及びエンジニアリング環境の最新技術について述べる。

3.2.1 コントローラの最新技術

FAコントローラは、生産現場の搬送、組立て、加工などのあらゆる製造設備に使用されている。iQ Platformでは、“MELSEC iQ-Rシリーズ”シーケンサ、モーションコントローラを中心に、“GOT2000シリーズ”のHMI(Human Machine Interface)などを1つのプラットフォームで接続し、シーケンス制御やモーション制御などの多様な制御処理を実行でき、柔軟なシステム構成が可能である⁽²⁾。

MELSEC iQ-Rシリーズでは、シーケンス制御とプロセス制御を可能にするプロセスCPUに二重化機能を付加したMELSEC iQ-Rシリーズ二重化システムを新たに追加した(図2)。従来の“Qシリーズ”二重化システムと比べ、シングルポイント削減(トラッキングケーブル等の二重化対応)による冗長機能強化及び大容量化(プログラム容量5倍、トラッキング容量10倍)によって、FA・PA(Process Automation)分野で更なる高信頼・大規模システムの構築が可能になった。

3.2.2 FA統合ネットワーク

e-F@ctoryを支えるFA統合ネットワークとして、センサレベルのネットワークから、フィールドネットワークのCC-Link IEフィールドネットワーク、フィールドネットワークを束ねる基幹ネットワークのCC-Link IEコントロールネットワークまで幅広く提供している。これらのネットワークは、上位のITシステムからフィールド機器やセンサのレベルまで統合し、シームレスなアクセスを実現している。さらに、小規模設備でもIoT化できるように



図2. MELSEC iQ-Rシリーズ二重化システム

したCC-Link IEフィールドネットワークBasicでは、汎用Ethernet^(注1)を活用して制御系のサイクリック通信と情報系のTCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)通信を混在させることができる(図3)。上位のITシステムから生産現場の機器まで、汎用Ethernetのネットワーク配線だけで接続できるようになり、低コスト化を実現することができる。

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス㈱の登録商標である。

3.2.3 FAエンジニアリング環境

FA統合エンジニアリング環境“MELSOFT iQ Works”は、システム管理ソフトウェアである“Navigator”を核に、シーケンサ、モーションコントローラ、GOT(Graphic Operation Terminal)、ロボットなどのエンジニアリング環境を統合したソフトウェアである。システム設計、制御プログラミングに加えて、FAシステムの運用・保守に至るまで、あらゆるフェーズで有用である(図4)。MELSOFT iQ Worksでは、ネットワークの設定・診断のほか、関連する全ての制御プログラムで共通に使用できるシステムラベルによるデータ連携が可能である。これによって現場データを見える化するシステムを簡単に構築できる。

FA-IT情報連携製品のMESインタフェースユニットの設定ツールでは、ウィザード形式で必要項目を設定するだけでSQL(Structured Query Language)文を自動的に生成するので、SQL等のITの知識がなくてもプログラムレスで簡単に設定して使用できる(図5)。また、C言語コントローラのエンジニアリング環境“CW Workbench”は、プログラミングからデバッグまでの基本機能を備え、シーケンサ等とデータ連携するアプリケーションを容易に開発できる。

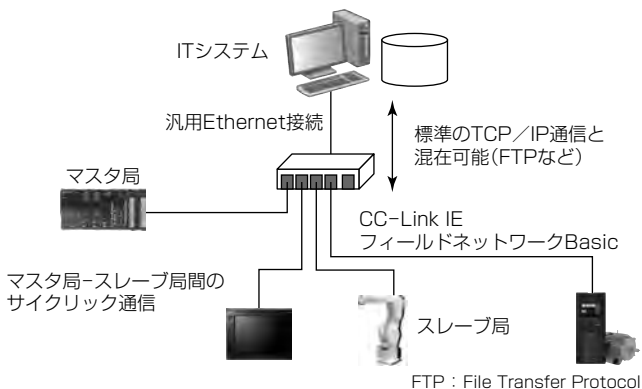


図3. CC-Link IEフィールドネットワークBasic



図4. FA統合エンジニアリング環境MELSOFT iQ Works

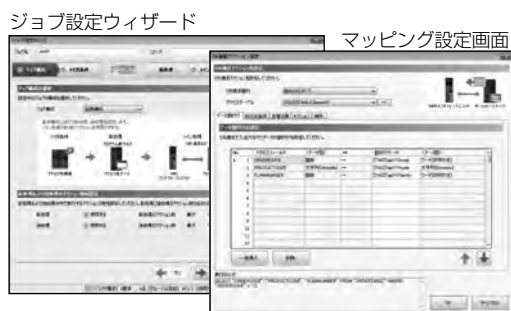


図5. MESインターフェースユニットのプログラムレス設定画面

3.3 駆動制御機器の最新技術

当社は、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。この節では、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。

3.3.1 サーボシステムの最新技術

サーボシステムは、様々な産業用機械の駆動に用いられている。CC-Link IEフィールドネットワーク対応サーボシステムを例に、e-F@ctoryを支える最新技術について述べる。

CC-Link IEフィールドネットワークは、モーション制御に必要な同期性とEthernetの汎用性を両立させ、様々なフィールド機器を接続して多彩なシステムを容易に構成できる。ACサーボアンプ“MR-J4-GF”は、“MR-J4シリーズ”の基本機能を継承しながらCC-Link IEフィールドネットワークに対応している。サーボアンプをモーションモードで動作させ、シンプルモーションユニット“RD77GF”と組み合わせることで、複数軸の補間などの位置決め、同期制御、速度・トルク制御などの高度なモーション制御が可能である。また、シンプルモーションユニットだけでなくCC-Link IE内蔵シーケンサCPUユニットでも駆動できるI/Oモードでは、内蔵したポイントテーブルや簡易カム機能を用いた位置決め制御を行うことができ、柔軟なシステム構成が可能である(図6)。

これらのプログラミングにはファンクションブロック(FB)を利用でき、例えば、PLCopen対応の汎用FBや、コンバーティング用(巻取り巻き出し、張力制御等)のようなアプリケーション特化型FBを利用することでユーザーのプログラミング工数削減に寄与する。

CC-Link IEフィールドネットワークを利用することで、上位コントローラによって製造ライン全体の状況を把握でき、サーボアンプの内部データから消費電力の解析や、装置の摩擦や振動成分の変化を監視することが可能になる。サーボアンプには機械の経年変化をサーボアンプ内で検知する故障警告機能が装備され、これまで装置ごとに作成していた定期診断プログラムや判定値設定作業を不要にしている(図7)。

3.3.2 CNCの最新技術

工作機械を駆動制御するCNCは、国内外の製造ライン

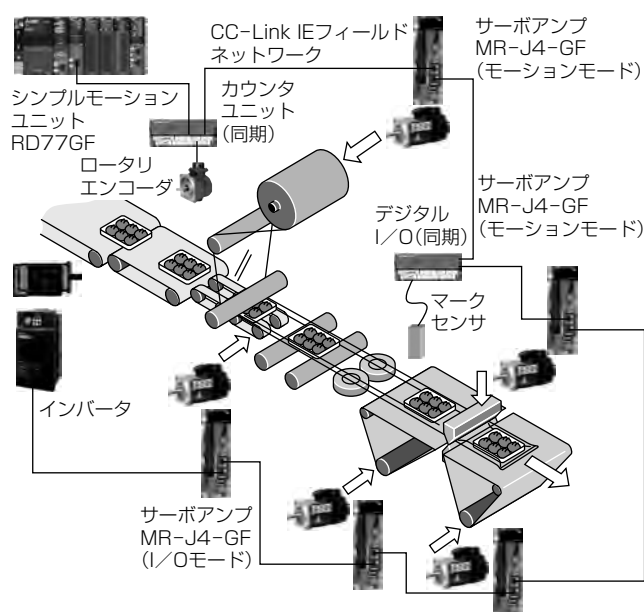


図6. システム構成例(包装ライン)

での部品の短納期化ニーズに応えるための生産性と拡張性の向上、機械故障によるダウンタイムを短縮するための保守性の向上、機能安全規格への対応を進めている。当社の製造ライン向け最新CNCである“C80シリーズ”(図8)を例に最新技術について述べる。

(1) 生産性の向上

CNC専用CPUの採用によって演算能力を向上(当社従来比約1.5倍)し、さらに、新規開発の高速システムバス(当社従来比約40倍)によって大容量データ通信を実現した。これらの性能向上によってタクトタイム短縮を実現し、顧客の製造ラインの生産性向上を支援する。

(2) 拡張性の向上

シーケンサCPUがユニットとして独立しているので、顧客のシステムに合わせてCPU選定が可能である。また、I/O制御やコントローラ間の分散制御のためのCC-Link IEフィールドネットワークに対応し、簡単にシステム拡張が行える。

(3) 保守性の向上

エンジニアリングツール“GX Works3”のシステム診断機能によってパソコンをシーケンサCPUユニットにUSB接続するだけで、CNCのCPUユニットを診断できる。また、表示器GOTのログビューア機能によってサンプリングデータを波形等で診断できる。

(4) グローバル基準の機能安全

CNC、ドライブユニット、I/O、検出器、通信までシステム全体の安全規格対応を大幅に強化し、“スマート安全監視機能”として各種の安全機能を備えている。

3.3.3 ロボットの最新技術

これまで自動化できなかった難易度の高い作業の自動化、省スペースでの自動化、多品種に対応した自動化を実現するため、ロボットを用いた知能化ソリューションの開発を進めている。バラ積み取り出し等のピッキング作業のため

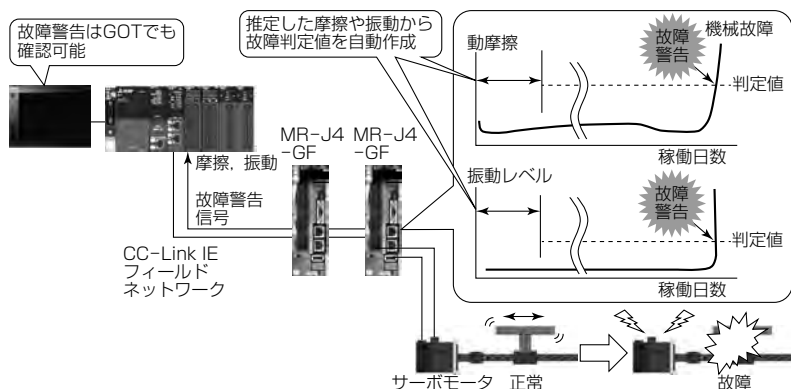


図7. MR-J4-GFの故障検知機能



図8. 製造ライン向けCNC最新機種C80シリーズ

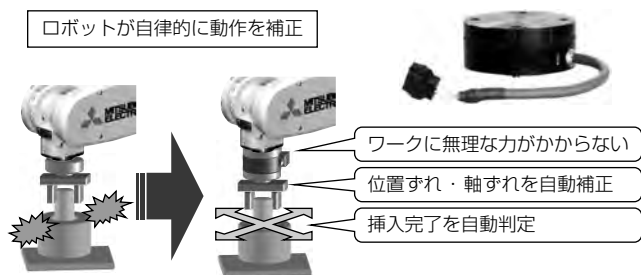


図9. 知能化ソリューションの例(力覚制御)

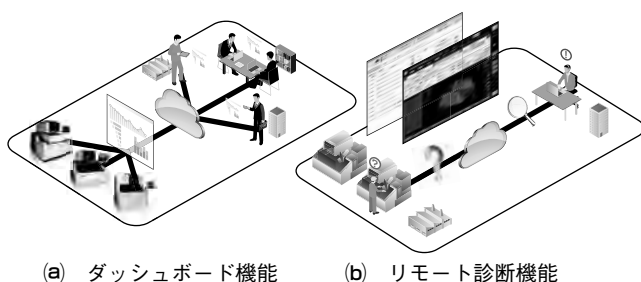


図10. iQ Care Remote4Uの機能

の三次元ビジョンセンサと認識処理技術、ロボット手首部に取り付ける3軸の力とモーメントを測定できる力覚センサの情報を活用する力覚制御機能、国際規格の要求に適合した安全ソリューション等を実現している。

力覚制御機能では、対象物やロボット自身に過大な力がかかることを防止しながらの挿入作業の実現、指定された力での押しつけ作業の実現のほか、部品ばらつきによる位置ずれの影響を自動的に補正できる。さらに、作業中の力覚センサの出力に基づく良否判定、接触位置の検出による教示支援など付加価値の高い作業を実現している(図9)。

こうした知能化ソリューションを用いたシステムの立ち上げ・調整の容易化のため、各種機能を活用したアプリケーションプログラムと立ち上げツールをセットにしたアプリケーションパッケージを提供している。力覚制御機能については、力覚応用とバリ取り・研磨の2つのパッケージがあり、力覚センサ情報を用いた同定結果に基づき、手先に作用する重力の影響の補正を行うことで、力覚制御中にロボット手先の姿勢が大きく変動するバリ取り用途でも高精度な力覚制御が可能である。

3.4 メカトロニクス製品の最新技術

e-F@ctoryによる一歩先のものづくりを実現するツールとして、加工機の生産性向上やランニングコスト低減、保守サービスの向上を実現する“iQ Care Remote4U”の提供を開始した。サービスの特長は次の2点である(図10)。

(1) ダッシュボード機能

市販のパソコンやスマートフォン、タブレットで、専用ソフトウェアなしに加工機の稼働情報や加工予測時間などをリアルタイムで確認可能とし、加工・稼働実績や電力・ガス消費量の収集・蓄積データに基づいた生産プロセスの改善やランニングコスト低減に貢献する。

(2) リモート診断機能

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加工機の状態を遠隔診断して予防保全情報を提供し、故障時にも当社スタッフによる迅速な対応を可能とするとともに、サービスセンターからソフトウェアのバージョンアップや加工条件の変更も可能とし、保全性を向上させる。

4. む す び

e-F@ctoryを支える最新のFA技術として、FA-IT情報連携機器を含むコントローラ、ネットワーク、エンジニアリング環境、サーボシステム、CNC、ロボット、加工機などのFA製品に関わる最新技術について述べた。また、生産現場側でデータの収集・分析や改善を実施して無駄を最小限にするエッジコンピューティングについても述べた。ものづくりの変化に柔軟に対応できる生産システムを実現し、生産全体でのTCO削減に貢献するため、今後もe-F@ctoryを支える製品群の研究開発を行っていく。

参 考 文 献

- (1) 中川路哲男：“e-F@ctory”を支えるFA機器の最新技術動向，三菱電機技報，90，No.4，210～214（2016）
- (2) 小山健一：FAコントローラ・駆動制御機器の最新技術動向，三菱電機技報，88，No.4，220～224（2014）

FAアプリケーションパッケージ “iQ Monozukuri”

炭崎竜平* 海津雅洋*
堀 健一* 寺田大祐*
増田芳樹*

Application Package “iQ Monozukuri” for Factory Automation

Ryuhei Sumisaki, Kenichi Hori, Yoshiki Masuda, Masahiro Kaizu, Daisuke Terada

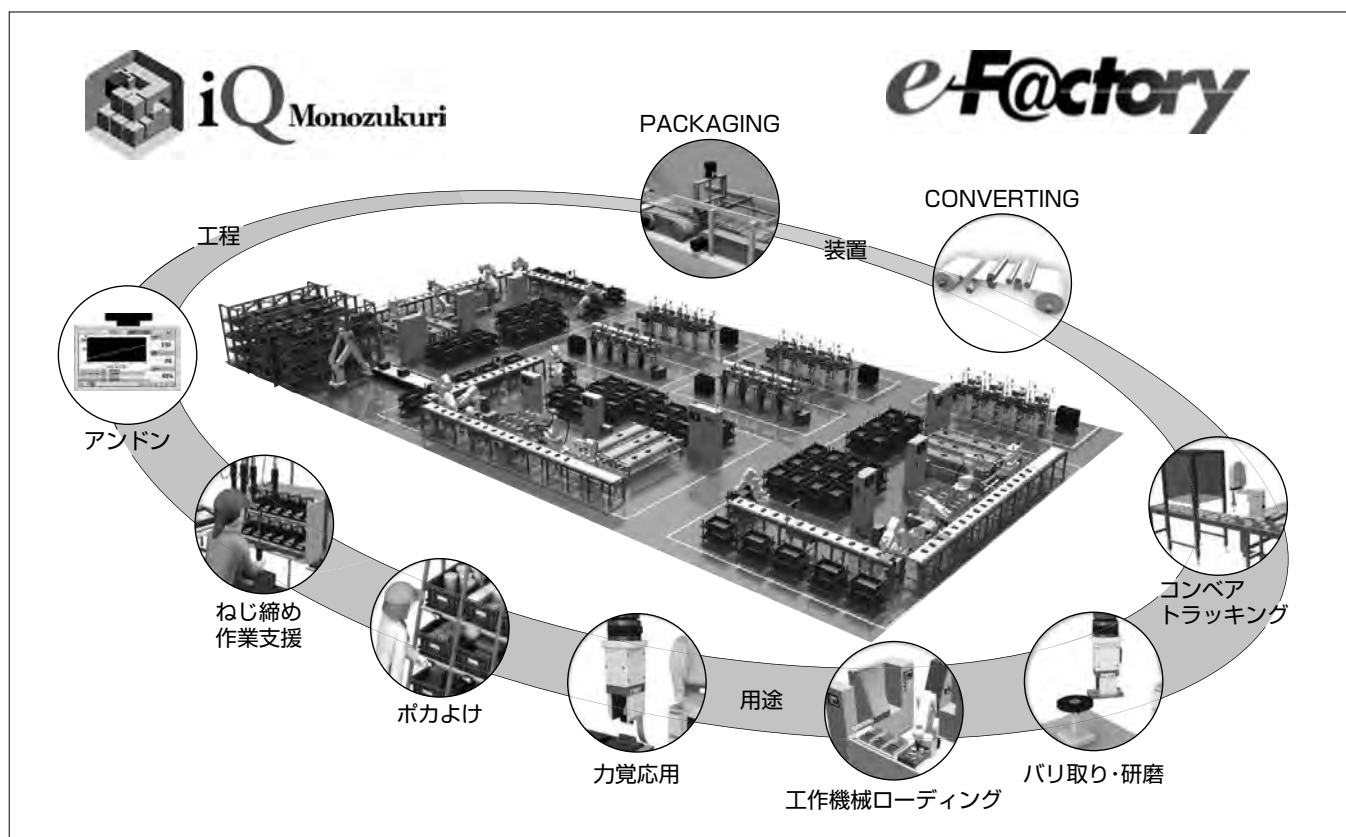
要 旨

近年、とりわけ新興国での潤沢な労働力と低賃金を背景とした労働集約型生産方式が拡大してきた。しかしながら、人件費高騰、作業者流動リスク上昇、顧客ニーズ多様化、製品に対する品質要求の高まりが急速に進む中で、生産方式の抜本的見直しが避けられない状況にある。これに伴い、多品種少量ニーズへの対応に向けたライン自動化、品質レベル維持のためのデータ収集・管理システムなど、局所領域における個別課題に加え、体系的に整理されたソリューション整備が新たな課題として生じている。

三菱電機は、FAとITの連携によって、製造業での業務プロセス全般の効率化及びTCO(Total Cost of Ownership)削減を推進するFA統合ソリューション“e-F@ctory”を提

唱しており、FA機器製品の提供に加え、生産方式及び種々の生産課題に対する解決策となるソリューションを提供している。

アプリケーションパッケージ“iQ Monozukuri”は、製造現場を“工程”“用途”“装置”の観点から俯瞰(ふかん)した上で、それぞれの領域で抽出される課題に対し、当社が培ってきたノウハウに基づく解決策を整備したソリューションである。“想定すべき課題”“実施すべき事項”そして“実現手段”をパッケージ化しているため、課題解決に必要な知識が乏しい場合でも、短期間・簡単に導入できる有効かつ直接的な解決手段である。



アプリケーションパッケージ“iQ Monozukuri”

アプリケーションパッケージ“iQ Monozukuri”は、製造現場を“工程”“用途”“装置”の観点から俯瞰し、それぞれの領域で抽出される課題解決に向け、当社FA製品群、パートナー製品群及び当社が培ってきたノウハウを凝縮した課題解決型のパッケージ製品である。

1. ま え が き

急速な人件費高騰、作業者流動リスク上昇などの労働市場環境の変化に加え、顧客ニーズの多様化、最終製品に対する品質要求の高まりなどの市場環境変化を背景として、これまで、とりわけ新興国で拡大してきた労働集約型生産方式の抜本的な見直しが求められている。

プロセスレベルでの局所的要素に加え、体系的に整理されたソリューション整備が新たな課題として生じる中で、当社は、製造現場を“工程”“用途”“装置”の観点から俯瞰し、それぞれの領域で抽出される課題に対する直接的解決手段としてアプリケーションパッケージ“iQ Monozukuri”を提供している。

本稿では、“iQ Monozukuri”の特長及び提供するソリューションについて述べる。

2. iQ Monozukuriの概要

2.1 iQ Monozukuriのコンセプト

多品種少量生産への柔軟な対応に向けたライン自動化及び品質レベル維持のためのデータ収集管理システムなど、抜本的生産方式の見直しが求められる中で、当社は2003年

からFAとITの連携によって製造業での業務プロセス全般の効率化及びTCO削減を推進するe-F@ctoryを提唱しており、個々のFA機器製品の提供に加え、生産方式及び種々の生産課題に対する解決策となるソリューションを提供している。

e-F@ctoryでのソリューションの1つであるアプリケーションパッケージ“iQ Monozukuri”は、当社が培ってきたノウハウに基づく解決策として、課題解決に当たり“想定すべき課題”“実施すべき事項”そして“実現手段”がパッケージ化されているため、課題解決に必要な知識が乏しい場合にも、短期間で簡単に導入できる有効かつ直接的な解決手段である。

2.2 iQ Monozukuriでの開発の方向性

生産方式全体の見直しに係るソリューション提供を意図することから、製造現場全体を俯瞰することは不可避である。局所的取組みでの課題だけでなく、全体システムとしてのあるべき姿を見据えた上で、周辺との関連性を考慮した解決策及び妥当性評価のためのツールとしてソリューションマップを整備した(図1)。

製造現場を“工程”“用途”“装置”の観点で俯瞰しながら、当社ノウハウに基づき、それぞれの領域で“想定すべき課

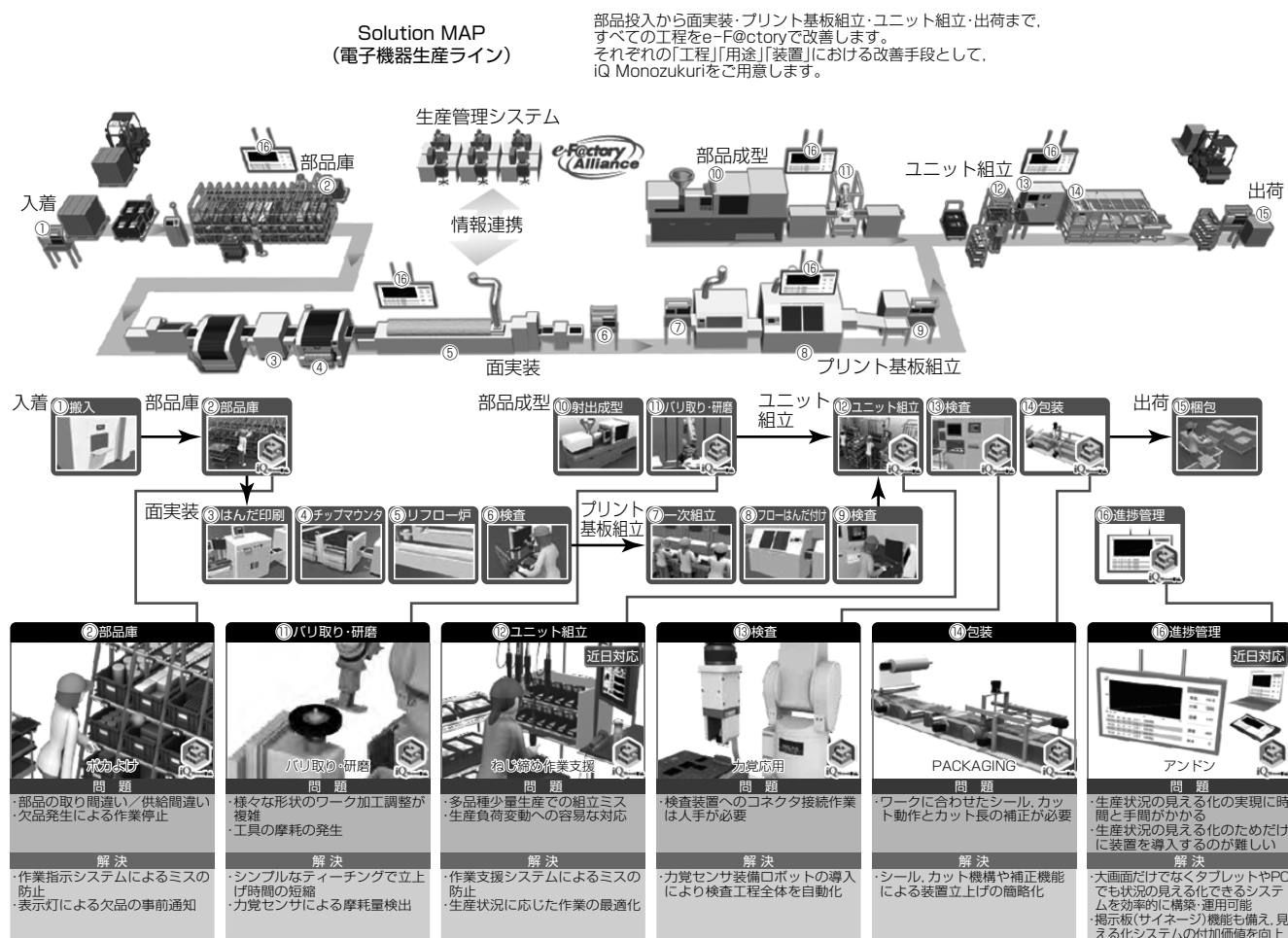


図1. iQ Monozukuriのソリューションマップ

題”“実施すべき事項”を提示し、目的を明確化した上で具体的な実現・解決策として、当社FA機器、パートナー製品に加え、解決のための論理体系をプログラムとして組み合わせたアプリケーションパッケージを順次整備している。

iQ Monozukuriのラインアップを拡充することで、生産現場全体に対するソリューションの提供を目指す。

2.3 iQ Monozukuriの提供価値

開発コスト低減、システム立ち上げ時間短縮など、製造業における業務全般を価値提供の対象とする。

- (1) 設計・調達：選定ツール提供によって、必要とする機器の調達漏れを防止
- (2) プログラミング：制御プログラムや表示器の画面データ提供によって開発コストを削減
- (3) 立ち上げ：設定支援ツールや対話式ウィザートなどの提供によって立ち上げ時間を短縮
- (4) 運用・保守：BI(Business Intelligence)ツールの提供によって生産実績情報の見える化を図り、生産効率改善に貢献

3. アプリケーションパッケージ

代表的な3つのアプリケーションパッケージの機能について述べる。

3.1 ねじ締め作業支援パッケージ⁽¹⁾

作業者の入れ替わりが多い組立て作業現場を中心にスキルの定着が進まず、新人作業者に対する作業支援・品質管理の課題が生じている。同様に、携帯機器・自動車関連産業でも製品サイクルが極めて短くなることで作業支援・品質管理のニーズが高い。

当社名古屋製作所では、e-F@ctoryコンセプトに基づく生産方式改善活動の中で、ねじ締め作業における“ボカよけ”“作業指示”“作業良否判定”“作業実績管理”“トレーサビリティ”を支援するシステムを構築済みである。このシステムの導入によってねじ締め不良の後工程流出防止と作業教育に要する工数の半減を実現している。

このねじ締め作業支援システムを汎用化し、簡単システム構築を支援するアプリケーションパッケージとして“iQ Monozukuriねじ締め作業支援”を開発した(図2)。

このパッケージでは、制御プログラム、作業指示管理の表示器画面データ、設定ツール、実績情報のBI画面を

パッケージ化しており、ユーザーは短時間で簡単にシステムを構築できる。作業手順を設定するツールでは、ねじ締め箇所の指定を製品画像上の任意の位置にマウスカーソルを合わせてクリックすることで設定可能となっている。また、海外展開を前提とした開発を実施し、日本語、英語、中国語(簡体字)での表示に対応している。

3.2 CONVERTINGパッケージ⁽²⁾

ハイブリッドカーや電気自動車等の次世代エネルギー自動車の増加に伴い、リチウムイオン電池等の二次電池市場が拡大している。二次電池の基幹部品は比較的薄くかつ柔軟な素材である高機能フィルムや金属箔(はく)であり、塗布・貼り合わせ・切断などの加工処理を施すコンバーティング装置の需要が急増し、素材に対する加工品質の向上のため張力制御がこの装置における核となる技術である。

当社としてもこの市場の拡大に注目し、制御機器や駆動製品を活用した張力制御を実現するアプリケーションパッケージ“iQ Monozukuri CONVERTING”を開発した。このパッケージでは、素材巻き出しや巻取り制御などの基本的機能をFB(Function Block)によって部品化してあるため張力フィードバック制御を部品の組み合わせで簡単に実現できる。また、装置立ち上げ時に時間を要するフィードバック制御応答性の設定を自動で行う機能も部品化されており、装置立ち上げ時間短縮にも大きく寄与する。従来、3か月程度必要であった、プログラミングから装置立ち上げまでの期間が1週間まで短縮された例もある。これは、FBを用いた部品化によってプログラムが標準化・簡略化されたことに加え、演算部分に、このパッケージが提供する信頼性の高い機能部品を採用することによってプログラミング不具合リスクが低減されたからである。

また、張力制御だけでなく、蛇行補正や巻径演算といったコンバーティング用途に必要な不可欠な機能もFB化して用意しているため、様々な機械に適用できる(図3)。

3.3 バリ取り・研磨パッケージ

機械加工品や成型品にはバリ取り工程や研磨工程が必須とされる場合が多い。現状、加工機械の効率的な運用のため、又は人手でないと作業できない複雑な形状に対応するため、人手によるバリ取り・研磨作業が行われている。

熟練技能の伝承困難、粉塵(ふんじん)など悪環境、また、人員確保などを背景に、さらには品質向上・安定化、時間

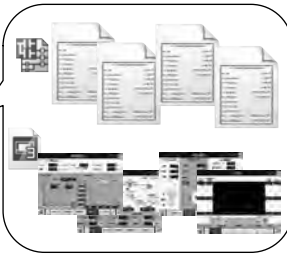


図2. iQ Monozukuriねじ締め作業支援

張力制御用FB, プログラム例, マニュアルを同梱

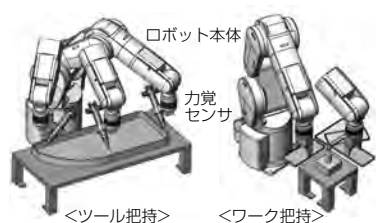


(a) システムの概要



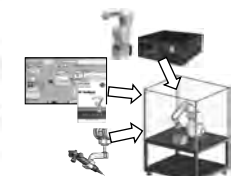
(b) 特長

図3. iQ Monozukuri CONVERTING



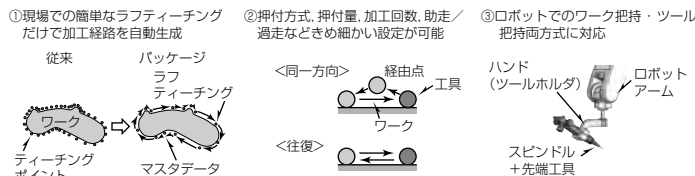
(a) システムの概要

専用ツールによるウィザード形式で簡単立ち上げ。



(b) 立ち上げサポートツール

従来自動化が難しかったバリ取り・研磨作業を自動化。多品種少量生産に対応し、生産性・品質も向上。



(c) 特長

図4. iQ Monozukuriバリ取り・研磨



図5. ねじ締め作業支援パッケージを導入した組立てセル

短縮, 省人化を目指し, 比較的安価で多用途に活用できるロボットによるバリ取り・研磨作業の自動化が求められている。

ロボットによる自動化の課題は, プログラム作成とトライ&エラーの繰り返しに伴う, 膨大な立ち上げ・調整のための労力であり, この課題を解決するアプリケーションパッケージ“iQ Monozukuriバリ取り・研磨”を開発した。

このパッケージはバリ取り・研磨に使用する各種機能を活用したアプリケーションプログラムを標準化し, アプリケーション機能や調整サポートツールを対話型のウィザードとした製品である(図4)。

4. 効果検証

当社の中国の製造工場で, インバータ組立てセルに対してねじ締め作業支援パッケージを導入し, システム構築での立ち上げ時間の短縮及びシステム運用での作業時間ばらつきの改善に関して効果検証を実施した(図5)。

システム構築では, パッケージに含まれる制御プログラム, 表示器画面データ, 設定ツールを利用することで, 作業指示画面の画像加工, データベースシステムなどシステム設定に要する時間が半減し, システム立ち上げの作業時間が約30%短縮された。

システム運用では, 自動収集され, データベースで一元管理された各種作業実績情報に基づく作業ごとの作業時間の

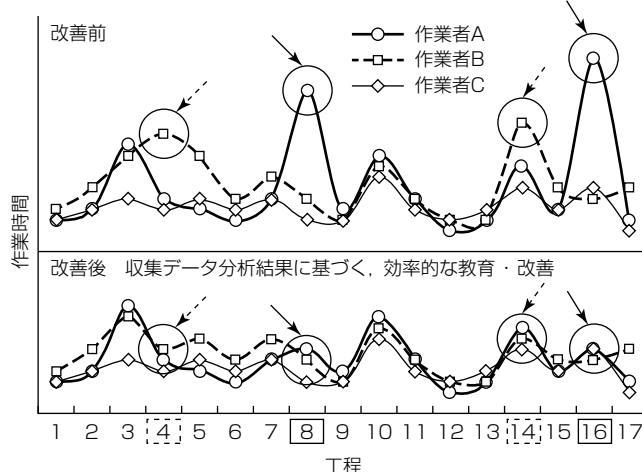


図6. データ分析による作業改善効果

分析から, 作業習熟度合いの確認ができた。特定の工程での作業ばらつきを持つ作業員に対して集中的な教育ができ, 作業時間を平準化することで生産効率の向上を確認した(図6)。

5. むすび

アプリケーションパッケージ“iQ Monozukuri”について, その特長と提供するソリューションについて述べた。今後は, 様々な生産課題に対応したパッケージのラインアップ拡充や改良に取り組み, 一層の顧客満足度向上を目指す。

参考文献

- (1) 渡辺康雄, ほか: ものづくりの将来像とFA統合ソリューション, JEMA「SCF2015特集号」, 780, No.12, 26~31 (2015)
- (2) 溝上嗣康, ほか: 各種制御機器を応用したロールツーロール生産プロセス構築への取り組み, コンバーテック, 44, No.11, 58~61 (2016)

エッジコンピューティングプラットフォーム

小林 毅*

Edge Computing Platform

Tsuyoshi Kobayashi

要 旨

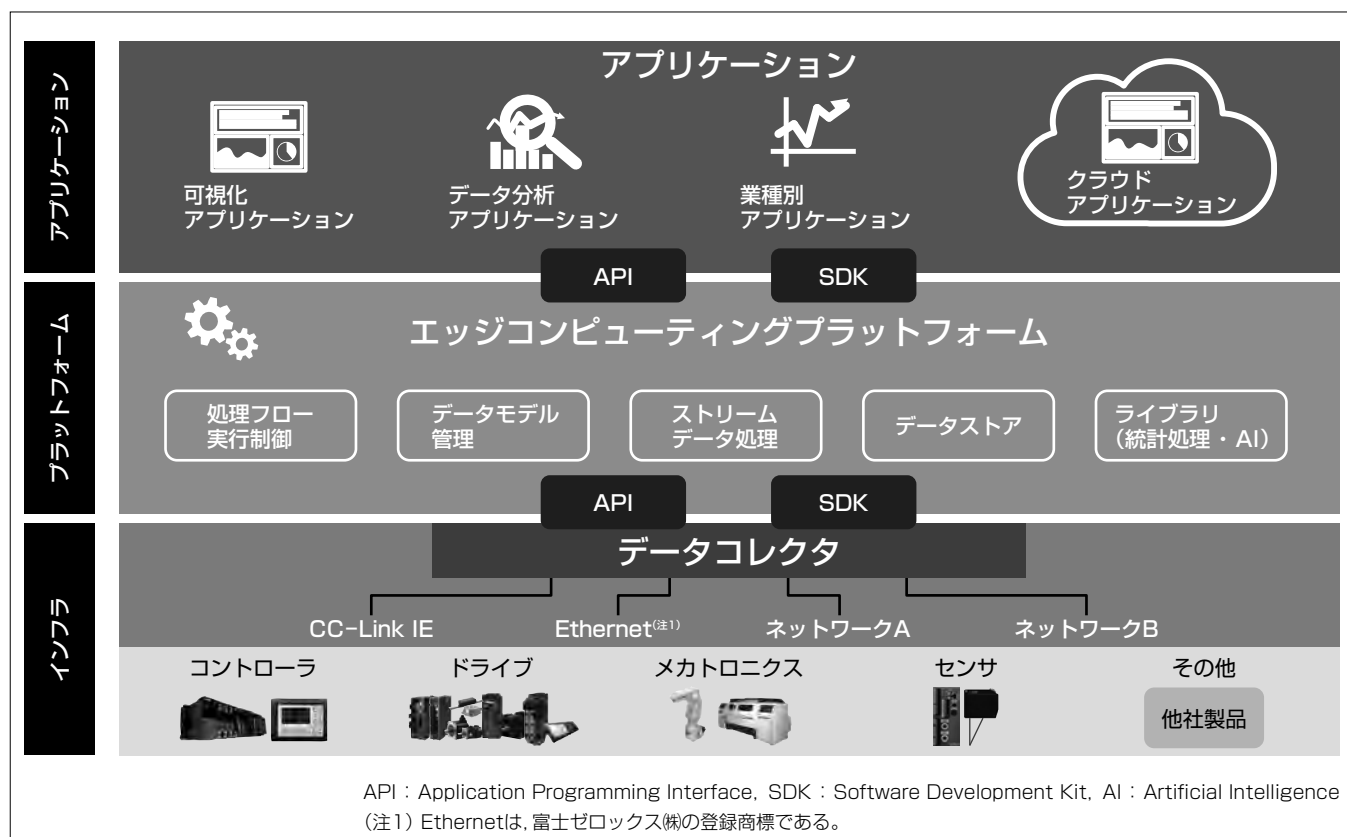
三菱電機はFA統合ソリューション“e-F@ctory”によって、開発・生産・保守全般にわたるトータルコストを削減し、顧客の改善活動を継続して支援してきた。

近年、製造業を取り巻く環境は大きく変化してきている。またIoT(Internet of Things)・ビッグデータに代表されるデータ分析技術の製造業への適用が望まれている。当社に対する顧客の要望でも、“生産現場のデータ分析によって工場全体の生産効率や歩留りを改善したい”“データ分析に基づいた診断によって製造ライン・装置の予防保全及びダウンタイムの削減をしたい”という声が増加している。

製造業でのデータ分析技術の活用には、リアルタイム性

とセキュリティの確保、及び目的・用途に応じた柔軟性の高いシステムの提供が必要である。

これに対して当社は、機器から収集したデータを生産現場側でデータ分析するエッジコンピューティングを実現するマルチベンダー参加型のソフトウェアプラットフォームを提供する予定である。今後、プラットフォームの仕様を策定するとともに、それをソフトウェア実装した製品を提供していく。このプラットフォームによって、インフラからアプリケーションにわたるマルチベンダーのコンポーネントの組み合わせによるエコシステムの構築が可能となる。



エッジコンピューティングプラットフォーム

エッジコンピューティングプラットフォームは、データ分析を行うアプリケーションと分析対象のインフラ(製造ライン・装置・ネットワーク)を結び付け、自由に組み合わせてシステムを構築可能なソフトウェアプラットフォームである。また、プラットフォームの処理フロー実行制御、データモデル管理、ストリームデータ処理等の機能によって、効率的なデータ分析が可能となる。

1. ま え が き

当社はFA統合ソリューション“e-F@ctory”によって、開発・生産・保守の全般にわたるトータルコストを削減し、顧客の改善活動を継続して支援してきた。e-F@ctoryは、生産現場のデータを収集して可視化する“見える化”，収集データを分析する“観（み）える化”，分析結果に基づいた診断によって生産現場へフィードバックを行う“診える化”の“みえる化³（キューブ）”を実現するソリューションである。

近年、製造業を取り巻く環境は大きく変化してきており、多品種少量生産への移行、製品品質に対する市場の意識の高まりへの対応、生産拠点のグローバル化等が必要とされている。また、IoT・ビッグデータに代表されるデータ分析技術が飛躍的に発展してきており、製造業への適用が望まれている。当社に対する顧客の要望でも、“生産現場のデータ分析によって工場全体の生産効率や歩留りを改善したい”“データ分析に基づいた診断によって製造ライン・装置の予防保全及びダウンタイムの削減をしたい”という声が増加している。

本稿では、エッジコンピューティングプラットフォームの特長とアーキテクチャ、及びアプリケーション例について述べる。

2. 解決すべき課題

製造業でデータ分析技術を活用する際には、次の2つの課題が存在する。

2.1 データ分析の実行環境

市場には機器から収集したデータをクラウドでデータ分析するクラウドコンピューティング(図1(a))のソリューションが多数存在している。しかし、製造業でのデータ分析の実行環境としてクラウドを使用すると次の問題があり、適切な実行環境でのデータ分析が必要である。

- ①生産現場には膨大な種類・量のデータが存在し、通信コストが膨大となる。
- ②外部にデータを送信するため、セキュリティ上のリスクがある。
- ③診断結果を生産現場へフィードバックする際のリアルタイム性に欠ける。
- ④クラウド側でのIT技術者主体のデータ分析では、現場の人の知恵を反映しづらい。

一方、機器から収集したデータを生産現場側でデータ分析するエッジコンピューティング(図1(b))では、次のメリットを享受することが可能となる。

- ①現場でのデータ処理によって、通信コストが低減できる。
- ②外部への不要なデータの拡散が防止できる(情報漏洩(ろうえい)リスクが低減できる。)
- ③リアルタイムに設備や人にフィードバックできる。

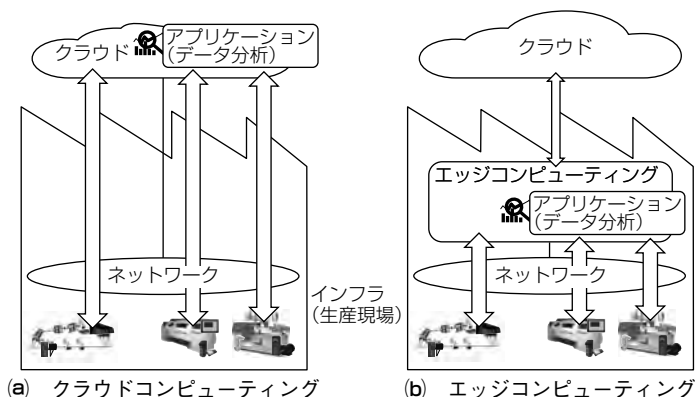


図1. エッジ・クラウドコンピューティング

- ④現場知識を持った人が現場で実施することによって、効率的かつ適確な分析が実現できる。

なお、複数拠点や長期間のデータ分析の場合には、クラウドの活用が有効であり、エッジコンピューティングとの併用が必要である。

2.2 最適なデータ分析システムの提供方法

データ分析の手法は多岐にわたり、対象業種や用途に応じてアプリケーションソフトウェアが異なる。また、エッジコンピューティングを行うハードウェアについて、システム規模や扱うデータ量、設置環境に応じて適切な選択が必要である。加えて、分析対象のデータは生産現場に存在する様々な機器及びネットワーク(インフラ)から収集する必要がある。このため、データ分析システムを構成する各コンポーネントを用途に応じてラインアップする必要があるが、全てのコンポーネントを単一ベンダーが提供することは現実的ではなく、マルチベンダー参加型のエコシステムの構築が不可欠である。エコシステムでは、マルチベンダーのコンポーネントを結び付け、自由に組み合わせてシステム構築可能なプラットフォームが必要である。

3. エッジコンピューティングプラットフォーム

当社は、エッジコンピューティング領域におけるエコシステムを実現するための、エッジコンピューティングプラットフォームの仕様を策定するとともに、それをソフトウェア実装した製品を提供していく。エッジコンピューティングプラットフォームは、データ分析を始めとする各種アプリケーションソフトウェア及びデータ収集ソフトウェア(データコレクタ)を開発・実行するためのソフトウェアプラットフォームである。

3.1 特 長

このプラットフォームには次の特長がある。

- (1) 生産現場のデータを活用する各種アプリケーション向けインタフェースの提供
- (2) 各製造ライン・装置・ネットワークに対応したデータコレクタを作成する仕組みとインタフェースの提供

- (3) クラウド等、他のシステム上のアプリケーションと連携する仕組みの提供
- (4) アプリケーションとデータコレクタの開発効率化が可能なソフトウェア開発キット (SDK) の提供
- (5) データの収集・加工・分析・診断の処理フローを実行制御可能
- (6) 製造ライン・装置をモデル化し効率的にデータ収集・分析可能
- (7) 生産現場から収集するストリームデータを効率的に処理可能
- (8) マルチベンダーのハードウェアに搭載可能

3.2 アーキテクチャ

このプラットフォームのアーキテクチャを図2に示す。エッジコンピューティングプラットフォームは、アプリケーションとのデータ受渡し、及び、データコレクタを介した製造ライン・装置とのデータ授受を行うことで、データ分析等のデータ処理を実現するための各種機能を提供するものである。

アプリケーション向けインタフェース (API) では、分析等の処理に使用するデータ受渡しや診断等の処理の要求のためのインタフェースを提供する。

データコレクタ向けインタフェース (API) では、製造ライン・装置から収集したデータの受け取りや製造ライン・装置へのデータ書き込み要求のためのインタフェースを提供する。データコレクタは、製造ライン・装置とのデータ授受に使用するネットワーク及びネットワークを流れるプロトコルに応じて作成可能となっている。このネットワークとしてCC-Link IEフィールドネットワークやEthernet等が、プロトコルとしてSLMP (SeamLess Message Protocol) 等がある。

SDKは、アプリケーション及びデータコレクタの開発を効率化するもので、これらの開発に使用するプログラミング言語からAPIを利用するための機能等を提供する。

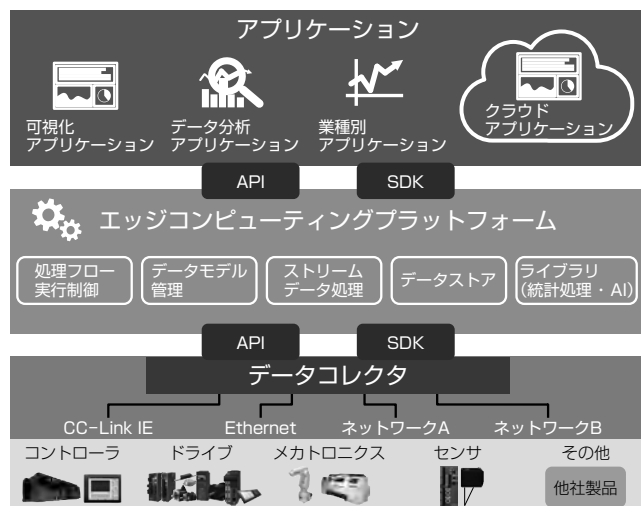


図2. プラットフォームのアーキテクチャ

処理フロー実行制御は、データコレクタを介したデータ収集と複数のアプリケーションでの処理をどう結び付けるかという処理フローを、定義に従って実行する(図3)。分析・診断を行う際には、収集したデータをこれらの処理に渡す前処理としての加工処理が重要であり、複数の加工処理を組み合わせることも多い。この機能によって、目的・用途に応じて、これらの処理フローを組み替えてシステムを実現することが可能となる。

データモデル管理は、生産現場に存在する製造ライン・装置をモデル化し、階層構造で管理する機能である(図4)。これによって、収集対象の製造ライン・装置のデータを階層構造を意識して選択でき、分析時に階層の情報や名前付きでデータが扱えるため、効率的な収集・分析が可能となる。

ストリームデータ処理は、製造ライン・装置で連続的に発生するデータ(ストリームデータ)をデータコレクタから受け取り、アプリケーションに適した形での受渡しを実現する。アプリケーションの必要に応じて、複数のデータを意味のある単位でまとめて受け渡せるため、効率的な処理の実現が可能となる。

データストアは、製造ライン・装置から収集したデータの蓄積先となる。生産現場のリアルタイム診断時には、どう診断するかルール決めや診断に使用する診断モデルの準備を行う分析作業が必要だが、この分析作業に必要な長期間のデータの準備が可能となる。

ライブラリは、アプリケーション開発に使用可能な統計処理やAI等の機能を提供する。

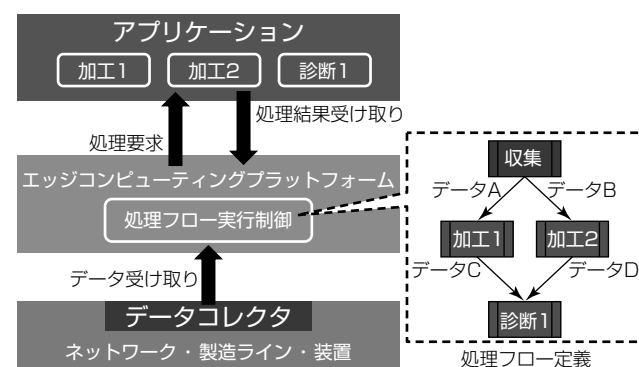


図3. 処理フロー実行制御

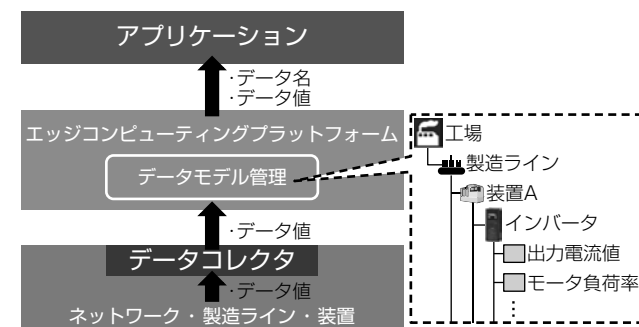


図4. データモデル管理

4. アプリケーション例

エッジコンピューティングプラットフォームにおけるアプリケーションの例について述べる。

4.1 波形比較による予防保全アプリケーション

波形比較による予防保全アプリケーションは、プラットフォームから渡されたストリームデータをリアルタイムに波形比較して診断し、製造ライン・装置の予防保全を実現する。分析時には診断時に使用する正常運転時の波形データを診断モデルとして登録する。診断時には登録された正常波形データとの類似度から現在の波形データの正常／異常を判定する(図5)。複数パターンの正常波形データを使用した判定が可能のため、加工品の違いや季節等によって正常波形データが変化する場合にも、適用することが可能である。

適用例として、真空ポンプの温度変化波形を対象とした診断による、故障前の兆候の検出がある。

4.2 相関度算出による予防保全アプリケーション

相関度算出による予防保全アプリケーションは、収集した複数データの値をリアルタイムに相関度算出して診断し、製造ライン・装置の予防保全を実現する。分析時には運転時のデータ群から、正常時だけ相関が高くなるデータ項目を抽出する。診断時には現在値を基に相関度を数値化し、その数値変化から正常／異常を判定する(図6)。経験では気付けないデータ項目の診断が可能となり、異常の早期発見が可能となる。

適用例として、鉄鋼圧延ラインの複数箇所の圧力を対象とした診断による、ライン異常の予兆検出がある。

4.3 値類推による品質診断アプリケーション

値類推による品質診断アプリケーションは、収集した複数のデータの値をリアルタイムに値類推して診断し、製品の品質診断を実現する。分析時には正常時のデータ群から、診断時に使用する診断モデルを生成する。診断時には現在値を基に診断モデルから品質の正常／異常判定値を類推して判定する(図7)。正常／異常そのものを示すデータなしで他のデータ群からこれを判断するため、後工程でしか検出できなかった不良の早期検出が前工程で検出可能となる。

適用例として、前工程にある外観検査装置で検出したワークの段差・受光量を基にした診断による、ワークの表面状態に起因して後工程で発生する品質不良の早期検出がある。

4.4 乖離度算出による予防保全アプリケーション

乖離(かいり)度算出による予防保全アプリケーションでは、収集した複数データの値をリアルタイムに乖離度算出して診断し、製造ライン・装置の予防保全を実現する。分析時には正常運転時のデータ群から、診断時に使用する診断モデルを生成する。診断時には現在値を基に診断モデルからの乖離度を数値化した値をしきい値判定することで正常／異常を判定する(図8)。異常の予兆が見られた段階であっても正常運転時の診断モデルからの乖離度が大きく変

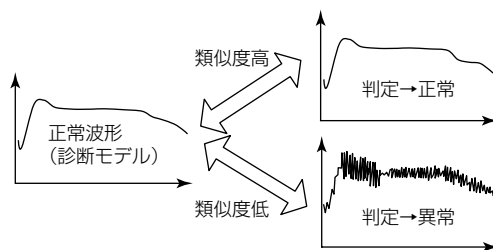


図5. 波形比較によるリアルタイム診断

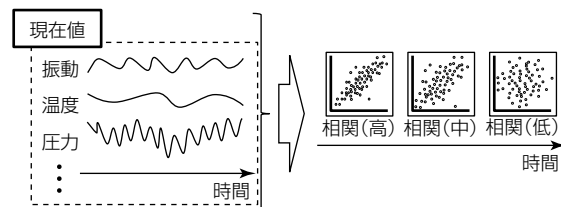


図6. 相関度算出によるリアルタイム診断

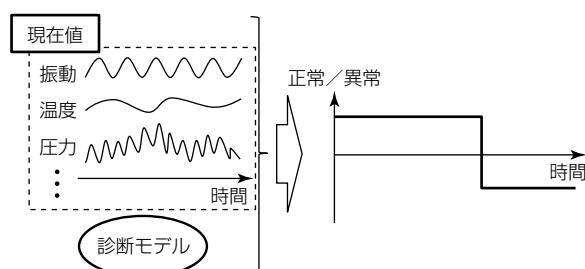


図7. 値類推によるリアルタイム診断

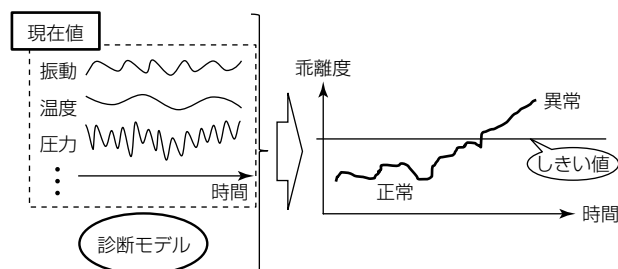


図8. 乖離度算出によるリアルタイム診断

化するため、異常の早期発見が可能となる。

適用例として、切削加工装置の振動・温度・圧力を対象とした診断による、ドリル刃折れの予兆検出がある。

5. む す び

エッジコンピューティングプラットフォームの特長とアーキテクチャ、アプリケーション例について述べた。今後はプラットフォーム及びこれに搭載するアプリケーションを強化することでe-F@ctoryの“みえる化³”を強化し、顧客の改善活動を支援していく。

参 考 文 献

- (1) 中川路哲男：“e-F@ctory”を支えるFA機器の最新技術動向，三菱電機技報，90，No.4，210～214（2016）
- (2) 早川孝之：IoTが実現する未来社会，三菱電機技報，90，No.7，378～382（2016）

産業用ロボット“MELFA FRシリーズ”

宮本昌和*

Industrial Robots "MELFA FR Series"

Masakazu Miyamoto

要 旨

近年、IoT(Internet of Things)の活用や人とロボットが同じエリアで作業をする人協働作業を活用した柔軟な生産ラインの実現が求められている。一方で、ロボットによるセル生産への要求も高まっており、組立て作業といった高度な自動化の実現も求められている。

今回、これらの市場要求に応えるために、ロボットの基本性能向上、FA統合ソリューション“e-F@ctory”/FA機器との連携強化、安全機能の強化、そして知能化技術を更に進化させた産業用ロボット“MELFA FRシリーズ”を開発した。主な特長は次のとおりである。

(1) 基本性能向上

モータの熱でロボットアームが膨張して発生する位置誤

差を補正する機能を搭載し、絶対位置精度を向上した。

(2) e-F@ctory/FA機器との連携の強化

ロボットコントローラの内部デバイスに外部変数や状態変数を割り付け可能とする機能の追加やSLMP(SeamLess Message Protocol)に対応し、ロボットと情報系上位システムとの連携を容易化した。

(3) 安全機能の強化

安全速度監視(SLS)と安全制限位置監視(SLP)の機能を強化し、人協働作業での安全性と使い勝手を向上した。

(4) 知能化技術の強化

力覚センサのデータ取得周期や制御周期を高速化し、より繊細かつ高速な検査や組立て作業を実現した。



産業用ロボット“MELFA FRシリーズ”

基本性能向上、e-F@ctory/FA機器との連携強化、安全機能の強化、知能化技術を更に進化させ、柔軟な生産ラインの実現を強力にサポートするMELFA FRシリーズを開発した。シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”に対応したロボット用CPUも新たにラインアップに加え、産業分野向けのIoTであるIIoT(Industrial IoT)時代の次世代ものづくり工場を支える。

*名古屋製作所

1. ま え が き

社会環境の変化に伴う顧客ニーズの多様化によって、少品種大量生産から多品種少量生産や変種変量生産に移行しつつある。これらに対応するために、多くの製造現場では人によるセル生産が導入されている。しかし、人手不足や人件費の高騰、ヒューマンエラーによる品質のばらつき等の理由で、ロボットによるセル生産への要求が高まっており、組立て等の高度な作業の自動化が求められている。

さらに、近年はIoTの活用や人とロボットが同じエリアで作業をする人協働作業を活用した柔軟な生産ラインの実現も求められている。

今回、これらの市場要求に応えるためにロボットの基本性能向上、e-F@ctory/FA機器との連携強化、安全機能の強化、そして智能化技術を更に進化させた産業用ロボットMELFA FRシリーズを開発した。

本稿では、このMELFA FRシリーズの主な特長について述べる。

2. MELFA FRシリーズの特長

MELFA FRシリーズ(以下“FRシリーズ”という。)の特長について述べる。

2.1 基本性能向上

2.1.1 制御周期・通信周期の高速化

コントローラ性能を向上させ、制御周期を従来比1/2としたことによって軌跡精度を向上させた。また、MELSEC iQ-Rシリーズに対応したロボット用CPUを開発し、システムバス性能の向上によって通信速度を従来比4倍とし、生産設備のタクトタイム短縮を可能にした。

2.1.2 絶対位置精度向上

ロボットアームはモータの熱によって伸縮するため、同一位置への指令を行った場合でも、電源投入直後と暖機運転後で位置誤差が生じる場合がある。特に精度を要求される作業では、ロボットアームの温度を一定とするために本稼働前の暖機運転を推奨していた。

FRシリーズでは、ロボットアームの温度を計測し、熱膨張による位置誤差を自動補正する機能を搭載した(図1)。



図1. ロボットアームの位置誤差補正

これによって、熱膨張による位置誤差を従来比約1/5に抑制し、暖機運転せずに電源投入直後から高精度な動作を可能とした。また、季節や時間帯によって気温が変動しても位置ズレを抑制できる。

2.2 e-F@ctory/FA機器との連携強化

ロボット内部情報を三菱電機のe-F@ctoryの情報系上位システムやFA機器が取得し、指示情報をロボットが受け取る手段として、次の機能を搭載した。

2.2.1 シーケンサデバイス割り付け機能

従来、ロボットの現在位置や電流値などロボットシステムであらかじめ決められた情報だけがロボットコントローラ内のデバイスに割り付けられていた。GOT(Graphic Operation Terminal)などのFA機器からはデバイスを介してこれらのロボットシステム情報にアクセスしていた。一方、各FA機器からロボットプログラム中の生産数や品質情報といった任意のユーザー情報にアクセスする場合には、ロボットプログラムによってデバイスにこれらの情報を書き込む必要があった。

FRシリーズでは、デバイスにプログラム内の変数(任意のユーザー情報を格納)を直接割り付けることを可能とした(図2)。これによって、ロボットと各FA機器との情報共有を容易にした。

2.2.2 SLMP対応

上位システムから下位システムを含むネットワークの階層・境界を意識しないアプリケーション間通信を可能にするSLMPに対応した(図3)。シーケンサデバイス割り付け機能を組み合わせると、上位システムである情報系とシームレスにロボット内部情報やロボットへの指示情報のやり取りが可能となる。

2.3 安全機能の強化

人とロボットが同じエリアで作業をする人協働作業が求められている。それを実現するためには安全機能を備えたロボットとシステム運用に当たってのリスクアセスメントが必須となる。FRシリーズは、最新の安全規格(EN61800-5-2, IEC60204-1)で定められた安全停止監

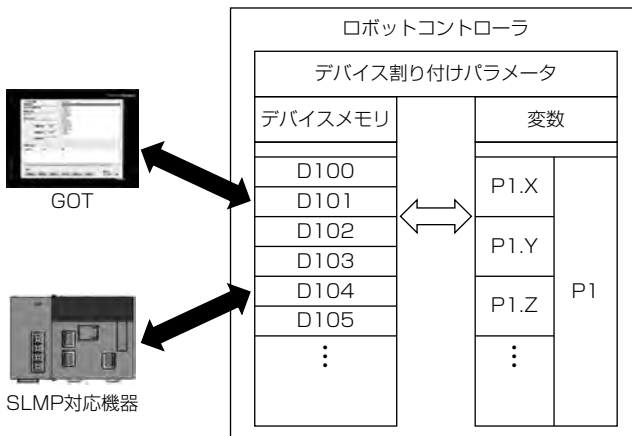


図2. シーケンサデバイス割り付け機能

視(SOS)、安全停止2(SS2)を追加し、安全速度監視(SLS)と安全制限位置監視(SLP)の機能強化も行った。前シリーズである“Fシリーズ”⁽¹⁾との安全機能比較を表1に示す。

次に、安全速度監視と安全制限位置監視の機能強化内容について述べる。

2. 3. 1 安全速度監視の機能強化

(1) 安全速度監視対象の拡張

ロボットには、手先の速度が遅くとも各関節が速く動作する姿勢が存在し、かつ各関節の動作経路を即座に予見することは困難である。そのため、手先以外の速度を監視する必要があった。

FRシリーズでは、ロボットアームの手先に加えて自由な位置に4か所まで安全速度監視対象の指定を可能とした。安全速度監視対象の拡張によって、各関節などの予期せぬ高速動作を未然に防ぐことができ、より安全なシステムの構築が可能となる(図4)。

(2) XYZ軸方向ごとの安全速度監視

安全速度監視対象としてロボットアームの手先の合成速度だけしか指定できなかったため、速度を必要としない方向にも最高速を必要とする方向と同じだけ、安全が確保できる距離が必要であった。

FRシリーズでは、合成速度の速度監視に加え、XYZ軸方向ごとの速度監視を可能とした。これによって、作業者がいる方向だけを監視対象とするといった自由度の高い設定ができるため、より省スペースな設備を構築できる(図5)。

2. 3. 2 安全制限位置監視の機能強化

従来は、自由平面による侵入不可領域の指定だけであったため、ロボットセル内の周辺装置などに対する領域指定ができなかった。

新たに直方体のユーザー定義領域を侵入不可領域として指定して安全／非安全エリアの区分けがより簡単かつ柔軟に設定できるようにした(図6)。

2. 3. 3 安全ロジック編集機能

ロボットコントローラ内で安全機能の作動条件(ロジック)を定義する安全信号のロジック編集機能を開発した(図7)。従来は、ロジックを設定するために安全シーケンサが必要であったが、ロボットの安全ロジック編集機能を活用することで、安全シーケンサがなくてもロジックの設定を可能とした。これによって、安全システムの構築・運用が容易になり、システムコストの削減や設計期間の短縮が可能となる。

2. 4 知能化技術の強化

2. 4. 1 力覚センサのデータ取得性能向上

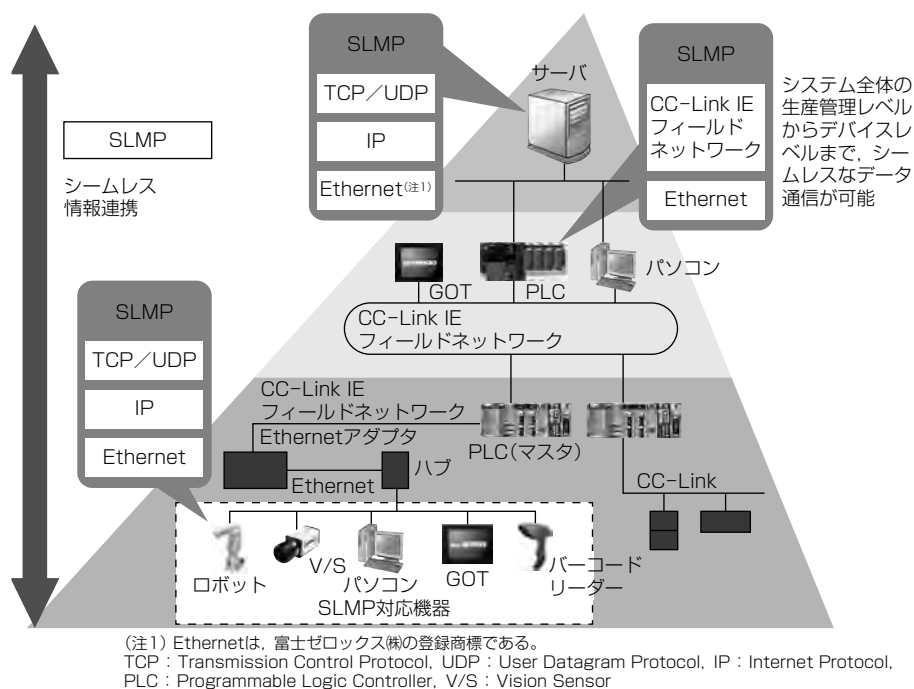
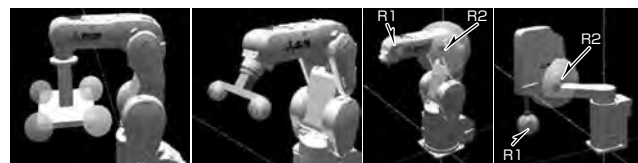


図3. SLMP

表1. 安全機能比較

安全機能	Fシリーズ	FRシリーズ
安全速度監視(SLS)	○	○(注2)
安全制限位置監視(SLP)	○	○(注2)
安全動作停止(SOS)	—	○
安全停止1(SS1)	○	○
安全停止2(SS2)	—	○
安全トルク停止(STO)	○	○

(注2) 機能強化を実施



ロボットアームの手先以外に任意の4か所を監視対象に指定可能

図4. 安全速度監視対象の拡張

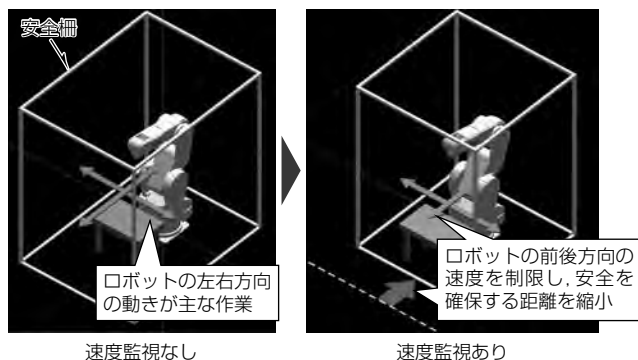


図5. XYZ軸方向ごとの安全速度監視

力覚センサのデータ取得速度を従来比で8倍とし、きめ細やかな力情報を取得できるようにした。これによって、例えば検査作業で、より精度の高い正誤判定が可能となった。また、ロボットコントローラの制御周期も従来比1/2としたため、はめあい作業や加工作業の高速化や作業品質

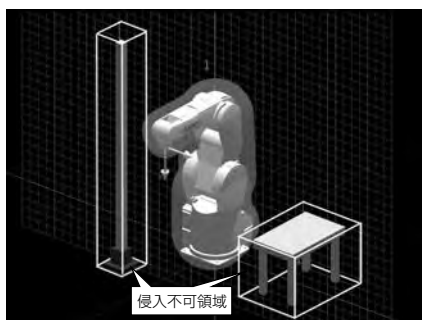


図6. 安全制限位置監視対象の拡張

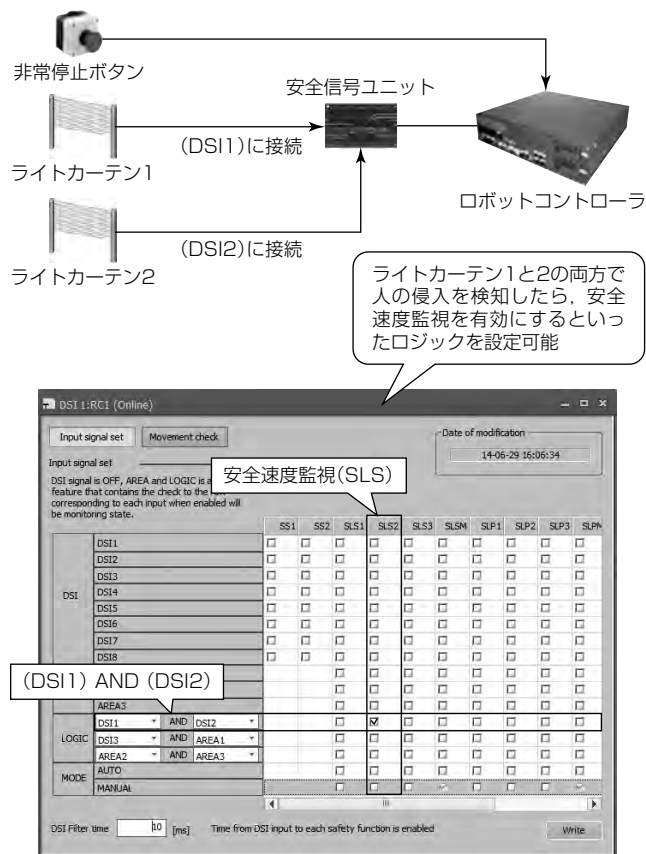


図7. 安全ロジック編集画面

の向上が可能となる(図8)。

2.4.2 付加軸協調制御

ロボットの据付け面の中心を原点とする座標系であるロボット座標系をロボットコントローラで制御する汎用サーボモータの付加軸の動きに同期させて移動させる機能を開発し、付加軸と協調した動作を容易に実現できるようにした(図9)。付加軸協調制御時に、速度一定で動作可能な自由曲線補間も可能としたため、ロボットの動作範囲を超える複雑な形状をした大型ワークの研磨やシーリング作業等に対応できる。これによって、大型ロボットでなければ対応できなかった作業が小型ロボットでも可能となり、作業エリアの省スペース化やシステムコストの削減も可能とした。

2.4.3 ワーク座標キャリブレーション機能

ロボットアームの手先に設置されたビジョンセンサ(ハンドアイ)の情報を用いることで、ロボットとワーク座標

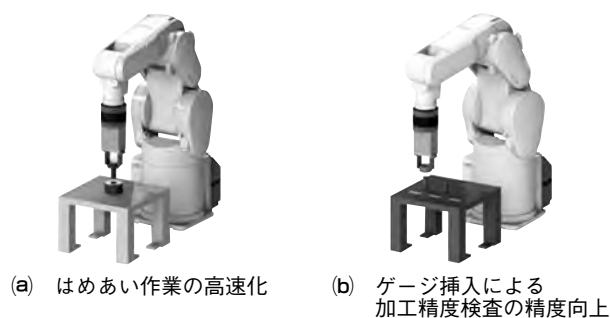


図8. 力覚センサのデータ取得性能向上による効果例

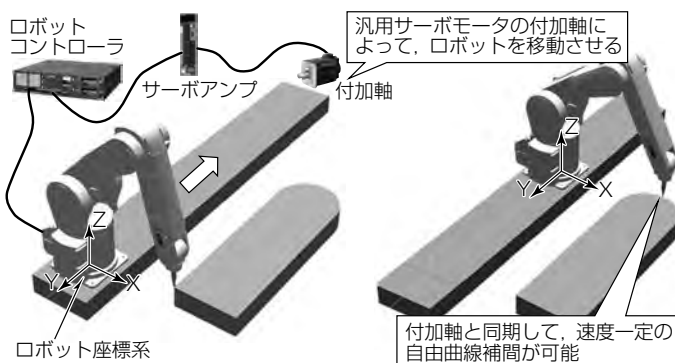


図9. 付加軸協調制御

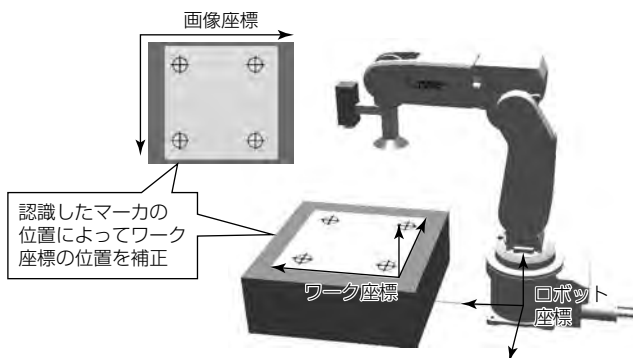


図10. ワーク座標キャリブレーション

のキャリブレーションを容易にする機能を実現した(図10)。これによって、ロボットの移設や無人搬送車(AGV)に搭載した際に発生する位置ズレを補正し、作業安定性の向上を可能とした。

3. む す び

基本性能の向上、e-F@ctory/FA機器との連携強化、安全機能の強化、そして知能化技術を更に進化させたMELFA FRシリーズの特長について述べた。

IIoT時代の次世代ものづくり工場に向けた取組みが世界的に活発化してきている。その要求に応えるために、今後更にIoT技術と人工知能(AI)技術を取り込み、製品力強化に取り組んでいく。

参 考 文 献

- (1) 宮本昌和：産業用ロボット“MELFA Fシリーズ”，三菱電機技報，90，No.4，243～246 (2016)

“MELSEC iQ-Rシリーズ”対応計装エンジニアリング環境と統合監視システム

坪根 亮*
水野貴之*
池田昌平*

Instrumentation Engineering Environment and Integrated Supervisory System for "MELSEC iQ-R Series"

Akira Tsubone, Takayuki Mizuno, Masahira Ikeda

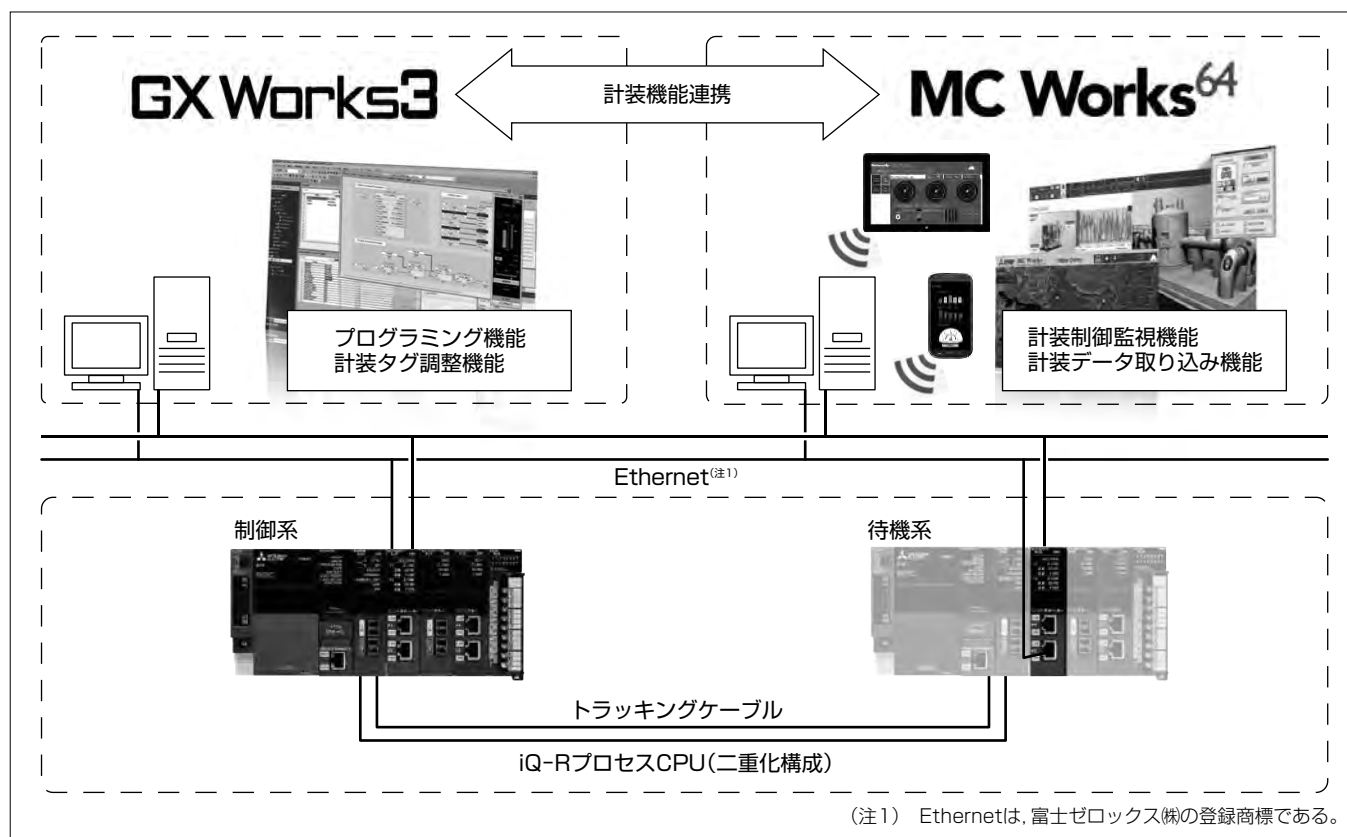
要 旨

三菱電機は汎用シーケンサを用いた計装制御システム“MELSEC計装”を2002年にリリースし、小規模計装制御システムを中心に適用分野を拡大してきた。近年は、大規模計装制御システムへの適用や、老朽化した分散制御システム(DCS)との置き換えへの需要が高まっているが、汎用シーケンサへの置き換えを推進するには、制御機能・性能・冗長性の向上に加えて、エンジニアリングツールの使い勝手向上や監視システムとの連携強化といった要求への対応が必要となる。

これらの要求に応えるため、当社は高度な計装制御機能・冗長化機能と大幅な性能向上を実現する“MELSEC iQ-RプロセスCPU”(以下“iQ-RプロセスCPU”という。)に加えて、計装エンジニアリングとして、シーケンサエン

지니어リングソフトウェア“GX Works3”の環境、及び総合監視システムを構築するSCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)ソフトウェア“MC Works64”の計装対応機能を開発した。

計装制御のプログラミング工数の削減に向けて、GX Works3は電気・計装のツール統合、FBD(Function Block Diagram)言語とラダー言語の混在記述、計装タグFB(Function Block)の追加、計装タグ調整機能の追加を実現した。また、計装監視システムの構築工数削減のため、MC Works64は計装タグ用フェースプレート画面の自動生成機能、iQ-RプロセスCPUとOPC(Object linking and embedding for Process Control)サーバ機能間のイベント型通信機能、計装タグ定義データの取り込み機能を備えた。



MELSEC iQ-Rシリーズ対応“MELSEC計装”の構成

iQ-RプロセスCPUは計装制御システムに必要な高度PID(Proportional, Integral, Derivative)制御と高速シーケンス制御を同時実行できる。シーケンサエンジニアリングソフトウェアGX Works3のプログラミング機能、計装タグ調整機能によって、簡単に計装制御のエンジニアリングができる。SCADAソフトウェアMC Works64との計装機能連携によって、簡単に計装制御監視や計装データの取り込みができる。これら製品によって、MELSEC iQ-Rシリーズ対応の“MELSEC計装”を構成する。

1. ま え が き

計装制御システム“MELSEC計装”は、2002年にリリースして以来、汎用シーケンサの持つ高速性、オープン性や、電気制御と計装制御の機能統合のコンセプトが市場に受け入れられており、小規模計装制御システムを中心に適用分野を拡大してきた⁽¹⁾。

近年は、大規模計装制御システムへの適用や、老朽化したDCSとの置き換えへの需要が高まっているが、汎用シーケンサへの置き換えをするには、制御機能・性能・冗長性の向上に加えて、エンジニアリングツールの使い勝手向上や監視システムとの連携強化といった要求への対応が必要となる。

これらの要求に応えるため、当社は、高度な計装制御機能・冗長化機能と大幅な性能向上を実現するiQ-RプロセスCPUに加えて、シーケンサエンジニアリングソフトウェアGX Works3⁽²⁾及びSCADAソフトウェアMC Works64⁽³⁾の計装対応機能を開発した。

これらの開発によって実現する、iQ-RプロセスCPUを中核としたMELSEC iQ-Rシリーズ対応MELSEC計装の構成を図1に示す。

これら製品によって、より高度な計装制御システムを構築することが可能である。さらに、MC Works64の先進機能によって、設備の稼働率分析や遠隔監視が可能であり、計装分野でもFA総合ソリューション“e-F@ctory”によるTCO(Total Cost of Ownership)削減が期待できる。

本稿では、iQ-RプロセスCPU、GX Works3、MC Works64の機能の特長について述べる。

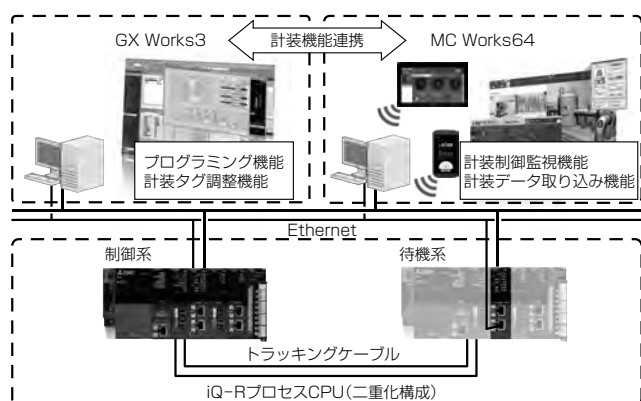


図1. MELSEC iQ-Rシリーズ対応MELSEC計装の構成

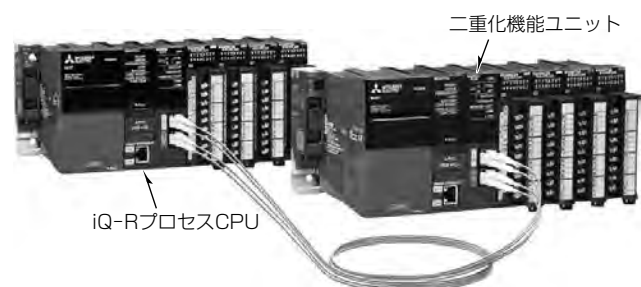


図2. iQ-RプロセスCPUと二重化機能ユニット

2. MELSEC iQ-R対応計装エンジニアリング環境

MELSEC iQ-R対応計装エンジニアリング環境でのiQ-RプロセスCPUと、計装プログラミング／計装タグ調整を実現するシーケンサエンジニアリングツールGX Works3について述べる。

2.1 iQ-RプロセスCPU

当社シーケンサのフラグシップモデルであるMELSEC iQ-RシリーズのラインアップにプロセスCPUを追加した(図2)。このiQ-RプロセスCPUは、MELSEC計装での従来のコントローラである“MELSEC Qシリーズ”と比較し、次の特長を持つ。

- (1) 処理性能の向上
- (2) 大容量から小容量までのラインアップ
- (3) ツールレスオンラインユニット交換に対応
- (4) 二重化機能を強化^(注2)

(注2) iQ-RプロセスCPUは二重化機能ユニットを取り付けることで、二重化CPUとして使用可能。

2.2 GX Works3

シーケンサエンジニアリングツール“GX Works3”は、グラフィカルで直感的な操作性を備えるとともに、システム設計から、プログラミング、デバッグ、保守までの作業を1つのツールで行うことができる開発環境である(図3)。GX Works3は2014年の初版リリース後も、グローバル化するFA市場への対応やエンジニアリングの統合化等、進化を続けている。

ここでは、今回開発したGX Works3の計装エンジニアリング機能について述べる。

2.2.1 電気・計装のツール統合

従来のMELSEC計装では、制御種別に合わせた2つのツール(電気制御:“GX Works2”, 計装制御:“PX Developer”)を別々に利用し、プログラミングを行う必要があった。そのため、ラベル(タグ)の定義・管理やプログラムのコンパイル、シーケンサへのプログラム書き込みで煩雑な操作となる問題があった。この問題に対し、GX Works3では計装制御と電気制御を1ツールに統合した。



図3. GX Works3の画面例

これによって、先に述べた煩雑な操作を不要にし、プログラミング工数の削減を可能にした(図4)。

2.2.2 FBD言語とラダー言語の混在記述

計装制御では、PIDループ制御をはじめとしたアナログ量を連続的に処理するロジックの記述が必要である。このようなロジックの記述に適しているプログラミング言語として、IEC61131-3規格のFBD言語が挙げられる。しかし、FBD言語はインタロック回路のように、ON/OFF状態の複雑なAND/OR論理演算を組み合わせたロジックの記述には向いていない。

そこで、GX Works3ではIEC61131-3規格準拠のFBD言語に、接点やコイル等のラダー言語部品の混在記述を可能とした。これによって、FBD言語の苦手とする回路記述を克服し、より簡単にプログラムを作成することを可能にした(図5)。

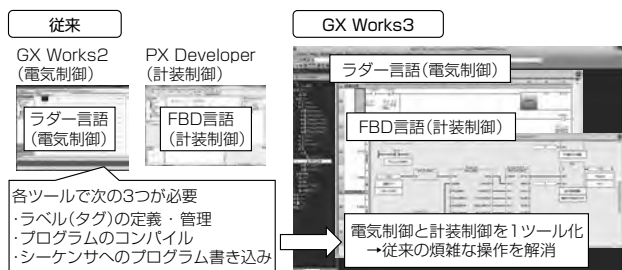


図4. 電気・計装のツール統合

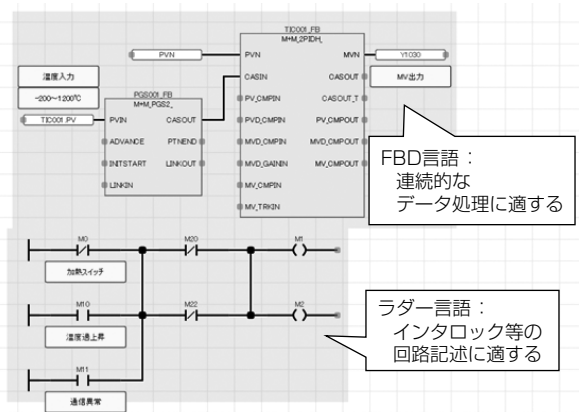


図5. FBDエディタのイメージ

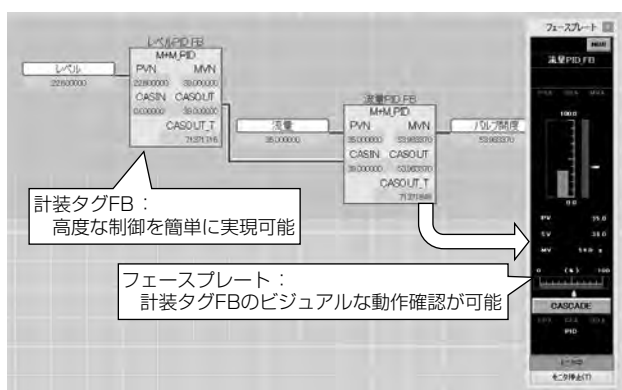


図6. 計装タグFBとフェースプレート

2.2.3 計装タグFBの追加

GX Works3で、カスケード制御やフィードフォワード制御を備えたPIDループのような、計装システムにおける高度な制御を簡単に実現するためのライブラリとして、計装タグFBを追加した。これら計装タグFBはプロパティを設定するだけで動作を詳細に変更できる。そのため、計装タグFBを使用することで、高度な計装制御ロジックを簡単にプログラミングすることを可能にした。

また、計装タグFBはフェースプレートをポップアップ表示することができる。これによって、視覚的にプログラムの動作確認を行うことを可能にした(図6)。

2.2.4 計装タグ調整機能の追加

GX Works3は、計装タグの調整作業で一般的に使用されるフェースプレート、チューニングパネル、トレンドグラフといった標準画面を搭載した計装タグ調整用ツールを同梱(どうこん)している。プログラム作成後、このツールを利用して、即座に計装タグ調整を実施できるため、エンジニアリング工数の削減が可能である。

3. MELSEC iQ-Rシリーズ対応統合監視システム

3.1 MC Works64

MC Works64は、統合監視システムを構築するSCADAソフトウェアであり、製造業を主とした幅広い分野に活用されている(図7)。MC Works64は次の特長を持つ。

- (1) 高精細の二次元・三次元グラフィック画面で製造、品質、エネルギー情報を表示し、製造・品質の問題やエネルギーの無駄を視覚的に発見することが可能
- (2) モバイル端末から設備の稼働状況を確認し、稼働率の向上につなげることが可能
- (3) クラウドを活用したシステム構築に対応し、ハードウェア・ソフトウェア購入等のシステム導入コスト、ハードウェア改修等のメンテナンスコストを削減することが可能

これらによって、生産現場のTCOを削減する。

3.2 MC Works64とGX Works3との連携

3.1節のとおりMC Works64は優れた特長を持つが、計装監視で、MC Works64を適用した監視システム構築には次の課題があった。



図7. MC Works64の監視画面

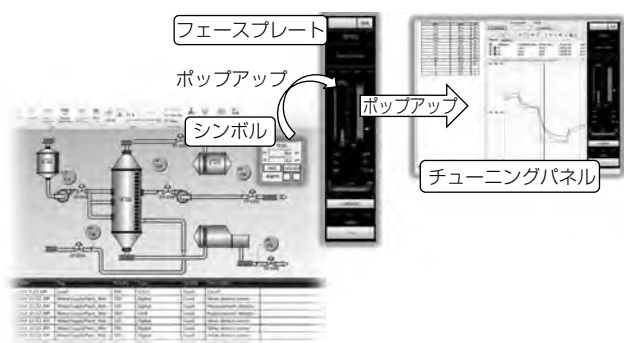


図8. 計装タグ用フェースプレートの画面イメージ

- (1) 計装タグの監視・操作に適した標準画面の提供
 - (2) アラーム等重要なデータ変化の瞬時通知
 - (3) MC Works64の特長を生かした計装監視の容易な設定
- これらの課題に対し、計装タグ用フェースプレート画面の自動生成、iQ-RプロセスCPUとOPCサーバ機能間のイベント型通信、計装タグ定義データの取り込みの機能を開発した。

3.2.1 計装タグ用フェースプレート画面の自動生成

MC Works64は、統合監視システム構築を容易にする監視画面の自動生成機能を標準搭載している。この機能によって、登録したテンプレート画面を用いて、監視する機器に応じた監視画面を自動生成できる。

今回、計装タグの監視・操作及びパラメータ調整用のフェースプレート／チューニングパネルを、テンプレート画面として新たに追加した(図8)。これによって、計装タグの監視・操作画面の作画作業を省くことが可能となる。

3.2.2 iQ-RプロセスCPUとOPCサーバ機能間のイベント型通信

MC Works64はOPCサーバ機能で当社シーケンサとの通信を行っている。従来、この機能はシーケンサに対し、一定間隔でデータ要求を行うポーリング型通信だけに対応していた。しかし、ポーリング型通信では、特に監視点数が多い場合、計装制御システム上で発生するアラームやモード切替えといった重要なイベントの通知が遅れる可能性がある。

そこで、当社計装タグFBにイベント発生時点で該当タグ情報をiQ-RプロセスCPUからOPCサーバ機能に通知するイベント通知機能を持たせるとともに、このOPCサーバ機能にイベント受信機能を追加することで、MC Works64で重要なイベントを瞬時に検出することを可能にした(図9)。

3.2.3 計装タグ定義データの取り込み

MC Works64で計装タグ監視を行うにはタグ通信設定、アラーム設定、データロギング設定が必要となるが、計装タグ数が増えると、これら設定作業の負荷も大きくなる。そこで、GX Works3で作成したプロジェクトから計装タグ定義データをMC Works64に取り込み、各設定に反映する機能を開発した。これによって、MC Works64上での設定作業の負荷を減らすことを可能にした。

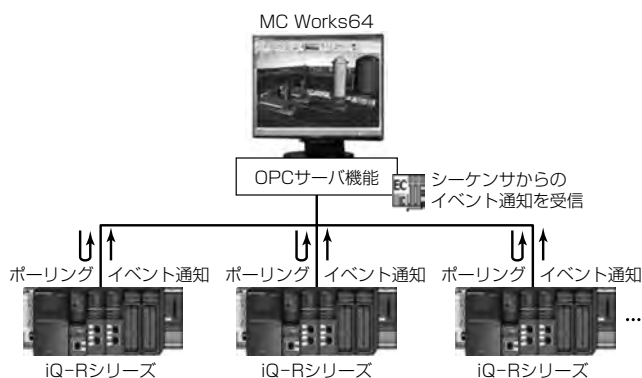


図9. プロセスCPUとOPCサーバ機能間の通信

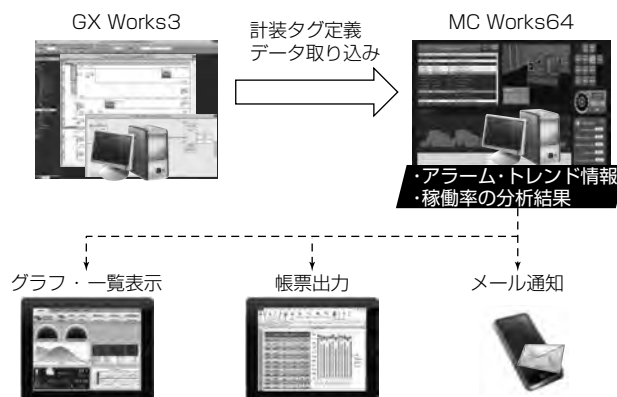


図10. モバイル端末による遠隔監視

また、MC Works64はシーケンサから収集したデータから設備稼働を分析する機能、モバイル端末にアラーム・トレンド情報や稼働率の分析結果をグラフ・一覧表示、帳票出力及びメール通知する機能を持っている。これらの機能を先に述べた計装タグ定義データ取り込みと組み合わせることで、計装監視システムでも、取り込んだ計測データを使用した稼働分析や、その分析結果と計装制御関連データ(アラーム・トレンド等)を容易にモバイル端末で遠隔監視をすることができる(図10)。

4. む す び

MELSEC iQ-Rシリーズ対応計装エンジニアリング環境と統合監視システムについて、主要な構成要素であるiQ-RプロセスCPU、GX Works3、MC Works64について述べた。今後も顧客の要求を多く取り入れ、魅力的品質を実現する製品を開発・提供していく。

参 考 文 献

- (1) 市岡裕嗣：MELSEC計装，三菱電機技報，81，No.4，281～284(2007)
- (2) 山岡孝行，ほか：シーケンサエンジニアリングソフトウェア“MELSOFT GX Works3”，三菱電機技報，90，No.4，227～230(2016)
- (3) 統合監視システム“MC Works64”，三菱電機技報，91，No.1，58(2017)

“e-F@ctory”を支える CC-Link IEフィールドネットワークBasic

上野友義*
市村宇志*

CC-Link IE Field Network Basic Supporting “e-F@ctory”

Tomoyoshi Ueno, Takashi Ichimura

要 旨

近年、Ethernet^(注1)の汎用性・高速性・将来性・廉価性によって、Ethernet技術を用いた産業用ネットワークが増加している。三菱電機では、CC-Link IEネットワークにEthernet技術を適用している。これらのネットワークは高速・大容量の通信を必要とする自動車、液晶・半導体などの製造分野で広がりを見せている。

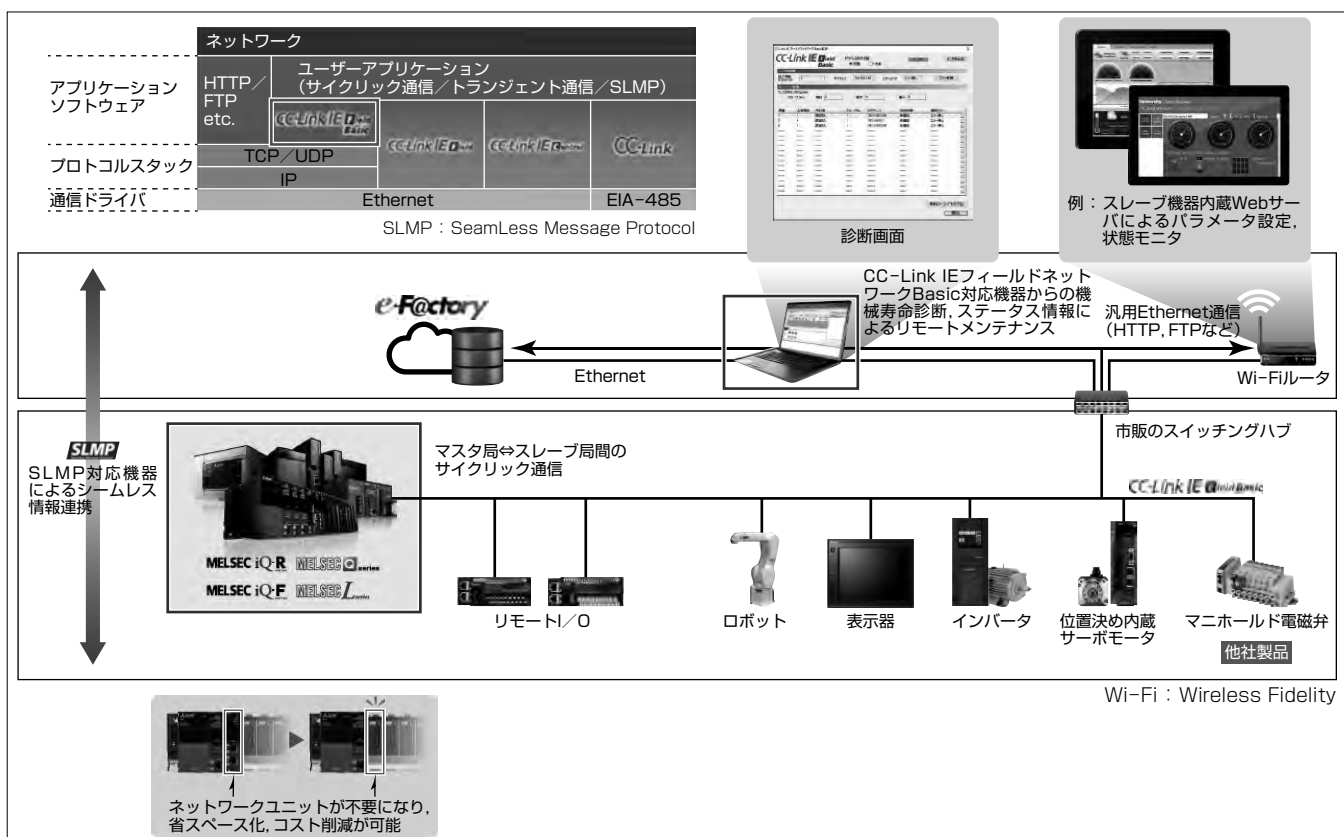
一方で、アジアを始めグローバル市場では、コストパフォーマンスを重視した小規模装置向けの製品に対する要望が増加している。小規模装置では、製品価格はもちろん、設定・立ち上げコストや、保守コストを削減するために使いやすさも求められる。これらの要望に応えるため、“CC-Link IEフィールドネットワークBasic”を開発した。

このネットワークは、UDP(User Datagram Protocol)／IP

(Internet Protocol)上で動作するアプリケーションレイヤの protocols のため、既存の汎用Ethernet機器に簡単に実装可能である。また、FTP(File Transfer Protocol)やHTTP(Hyper Text Transfer Protocol)などのTCP(Transmission Control Protocol)／IP通信との混在が可能である。従来のCC-Link IEネットワークと同様に、パラメータを設定するだけで、汎用Ethernet上で簡単にサイクリック通信^(注2)を実現可能であり、接続機器の情報を収集することによって、ネットワークの状態を診断し、簡単にトラブルシュートを実施できる。

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

(注2) マスタ局と各スレーブ局間で共有する分散共有メモリを定期的に更新する機能である。



CC-Link IEフィールドネットワークBasicの構成

CC-Link IEフィールドネットワークBasicは、汎用Ethernetのアプリケーションレイヤで動作するネットワークで、FTPやHTTPなどTCP/IP通信との混在が可能であり、各種制御機器との通信だけでなく、上位システムまでを1ネットワーク化できる。通信は簡単な設定だけで実現でき、通信状態を確認するための診断機能も備えており、設計・立ち上げ・保守のコストを削減できる。

1. ま え が き

近年、Ethernetの汎用性・高速性・将来性・廉価性によって、Ethernet技術を用いた産業用ネットワークが増加している。当社では、CC-Link IEネットワークにEthernet技術を適用している⁽¹⁾。これらのネットワークは高速・大容量の通信を必要とする自動車、液晶・半導体などの製造分野で広がりを見せている。一方で、アジアを始めグローバル市場では、コストパフォーマンスを重視した小規模装置向けの製品に対する要望が増加している。小規模装置では、製品コストはもちろん、設定・立ち上げコストや、保守コストを削減することも求められており、使いやすさも重要となっている。また、IoT(Internet of Things)の注目度が高まる中、従来は開発工数や費用対効果の面からネットワーク対応が困難であった機器や装置でも、ネットワーク対応要望が増加している。

これらの要望に応えるため、汎用Ethernet上で動作する小規模装置向けのオープンネットワークとして、“CC-Link IEフィールドネットワークBasic”を開発した。CC-Link IEの使い勝手を継承し、上位ITシステムとの親和性を高め、シンプルで簡単なネットワークを実現する(図1)。

本稿では、このネットワークの特長及び適用した技術について述べる。

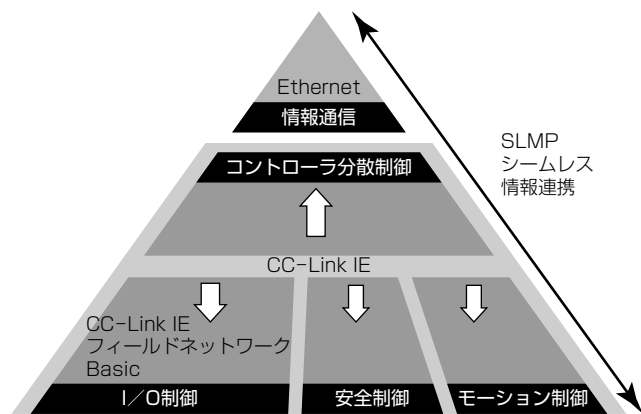


図1. CC-Link IEフィールドネットワークBasicの位置付け

表1. CC-Link IEフィールドネットワークBasicの仕様

項目	仕様
通信速度	100Mbps
実装方式	ソフトウェア
トポロジ	スター、ライン
ケーブル	Ethernetカテゴリ5以上
最大接続局数	64
スレーブ局の占有局数	1～16
サイクリック通信	制御信号(ビットデータ) 最大8,192ビット RX(スレーブ→マスタ) 4,096点 RY(マスタ→スレーブ) 4,096点 制御データ(ワードデータ) 最大4,096ワード RW _r (スレーブ→マスタ) 2,048点 RW _w (マスタ→スレーブ) 2,048点
Ethernet標準プロトコルとの混在	可能

2. CC-Link IEフィールドネットワークBasicの仕様

CC-Link IEフィールドネットワークBasicの仕様を表1に示す。CC-Link IEフィールドネットワークBasicは、汎用Ethernetを活用し、ソフトウェアだけで構築可能なネットワークである。

トポロジは、Ethernetのトポロジに従うため、基本的にはスター型である。ライン型のトポロジは、スイッチ機能(Ethernetポートを2ポート持ち、スイッチ機能付きICでパケット中継を可能とする機能)を内蔵したスレーブ局を使用することで対応できる。

通信は、マスタ局がブロードキャストで要求を送信し、スレーブ局がユニキャストで応答を返すことでサイクリック通信を実現している(図2)。サイクリック通信は、マスタ局(コントローラ)と各スレーブ局(制御対象機器)間で共有する分散共有メモリを定期的に更新する機能である。今回対応したシーケンサCPU“MELSEC iQ-Rシリーズ”では、スレーブ局16台接続時のリンクスキャンタイム(全局の制御データがマスタ局に反映される時間)を10ms以下で実現している。

3. CC-Link IEフィールドネットワークBasicの特長

ローレンジ市場が求める要件として、コスト削減(製品コスト、設計・立ち上げ・保守コストの削減)や、汎用Ethernetとの親和性(TCP/IP通信との混在、汎用Ethernet機能の活用)などが挙げられる。CC-Link IE

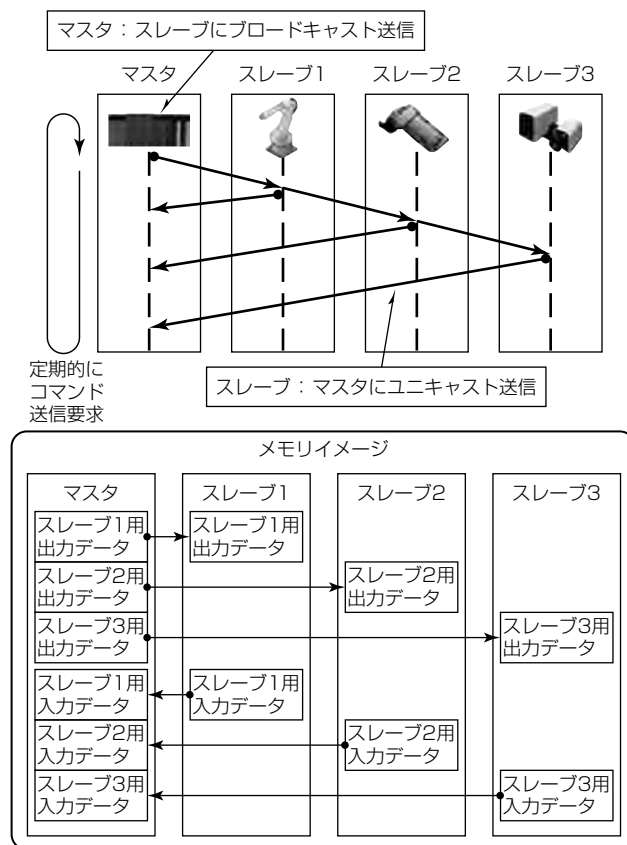


図2. CC-Link IEフィールドネットワークBasicの通信方式

フィールドネットワークBasicは、これらの要件を満たすために、次に示す特長的な機能を実現している。

3.1 シームレスな情報連携

CC-Link IEフィールドネットワークBasicはアプリケーションレイヤのプロトコルであり、アプリケーションレイヤ以下は、汎用Ethernetと同様である(図3)。そのため、汎用Ethernet上で動作するほかのプロトコル(HTTP/FTP/SLMP等)との混在が可能である。また、汎用Ethernetの機能である無線化や、パケット優先制御などを使用できる。これによって、上位ITシステムから生産現場の機械まで1ネットワーク化できる。この特長によって、簡単にe-F@ctoryソリューションを実現できる(図4)。

3.2 コストパフォーマンスの高いシステムの構築

CC-Link IEフィールドネットワークBasicは、汎用Ethernet上に簡単・低コストでサイクリック通信を実現できる。そのため、コストパフォーマンスの高いシステムの構築が可能となる。

3.2.1 TCP/IP通信との混在による省配線化

TCP/IP通信との混在が可能なため、制御用の専用回線が不要となる。そのため、既存のネットワークを活用し

てネットワークの種類を一本化でき、省配線化によってコストを削減できる(図5)。

3.2.2 シーケンサCPUがマスタ局に対応

シーケンサCPU(MELSEC iQ-Rシリーズ、MELSEC iQ-Fシリーズ、MELSEC Qシリーズ、MELSEC Lシリーズ)がCC-Link IEフィールドネットワークBasicのマスタ局機能を内蔵するため、専用のネットワークユニットが不要となり、最小構成でネットワークを構築可能となる(図6)。

3.2.3 100Mbpsの汎用Ethernet製品を使用可能

CC-Link IEフィールドネットワークBasicでは、既設の汎用Ethernet機器を使用できるため、専用のハブやケーブルが不要である。そのため、新たな機器購入が不要となり、低コストでシステム構築が可能となる(図7)。

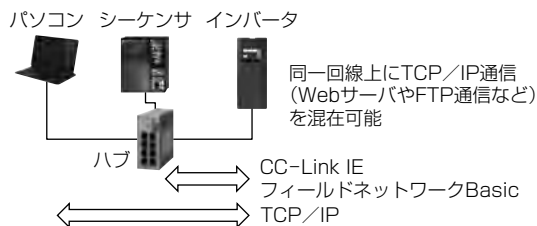


図5. TCP/IP通信との混在による省配線化

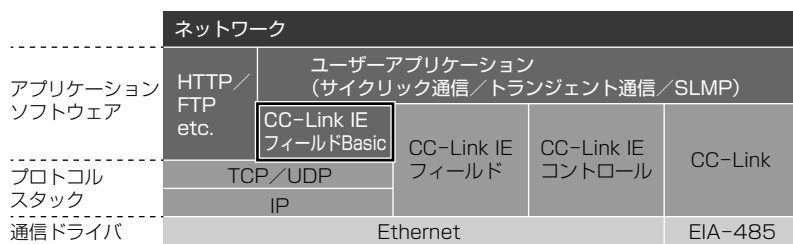


図3. CC-Link IEフィールドネットワークBasicのプロトコル階層

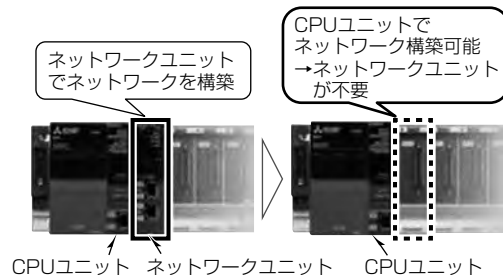


図6. シーケンサCPUがマスタ局に対応

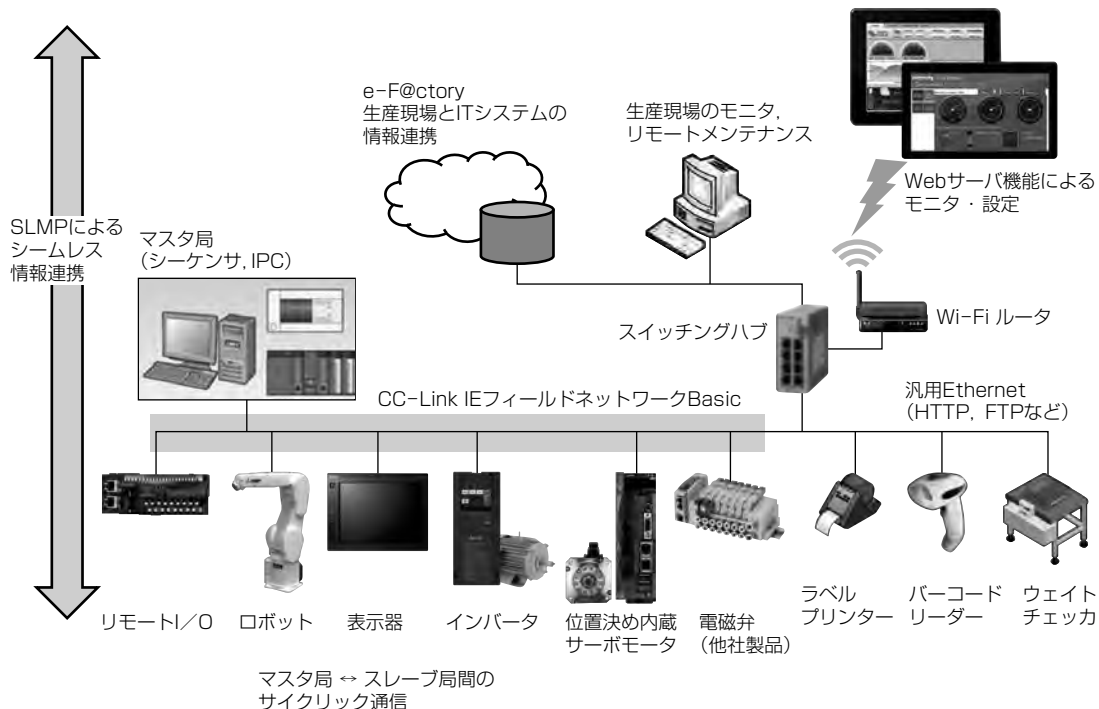


図4. CC-Link IEフィールドネットワークBasicを使用したe-F@ctoryの実現



図7. 汎用Ethernet製品を使用可能

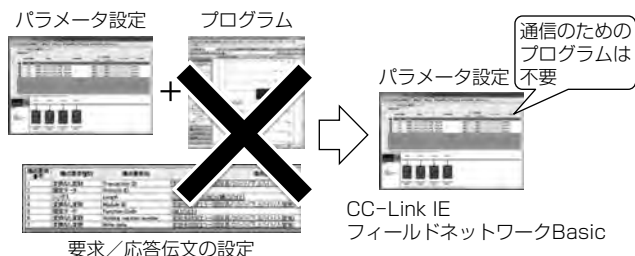


図8. プログラムなしでサイクリック通信を実現

3.3 システム構築時間の短縮

CC-Link IEフィールドネットワークBasicは、簡単なパラメータ設定だけでマスタ局とスレーブ局の通信を実現する。また、パラメータ設定を容易にする機能も搭載している。

3.3.1 プログラムなしでサイクリック通信を実現

従来Ethernetで通信を行う場合は、通信用の要求/応答伝文の設定を行い、プログラムを作成する必要があった。CC-Link IEフィールドネットワークBasicでは、パラメータ設定でマスタ局のIPアドレスとサブネットマスク、スレーブ局のIPアドレス、サブネットマスク、リフレッシュするデバイスを設定することでサイクリック通信が可能となる。そのため、通信用の要求/応答伝文の設定やプロトコルを意識したプログラムは不要となる(図8)。

この特長から、システム構築にかかる時間を短縮でき、また、ユーザーは、データリンク状態の管理を行うだけで、確実にスレーブ機器を制御できるようになり、保守コストも削減できる。

3.3.2 スレーブ機器の簡単設定

パラメータ設定時、エンジニアリングツールからEthernet回線上の対応機器を検出し、接続に必要なIPアドレス等の設定をオンラインで変更できる。また、各スレーブ機器のパラメータ等の情報を記述したCSP+(FA機器をつなぐ共通プロトコル対応の機器プロファイル)を活用し、エンジニアリングツールから、スレーブ機器ごとの固有パラメータもオンラインで変更可能である(図9)。

これによって、マスタ局のパラメータ設定はもちろん、スレーブ局の設定も簡単に行うことができる。

3.4 診断機能でシステムダウンタイムを短縮

CC-Link IEフィールドネットワークBasicでは、サイクリックデータによって、通信状態やスレーブ局の動作状態を取得し、マスタ局で一括管理する。マスタ局で管理する情報は、エンジニアリングツールで診断画面をモニターすることによって確認でき、問題が発生した箇所を一目で分かるようになっている(図10)。

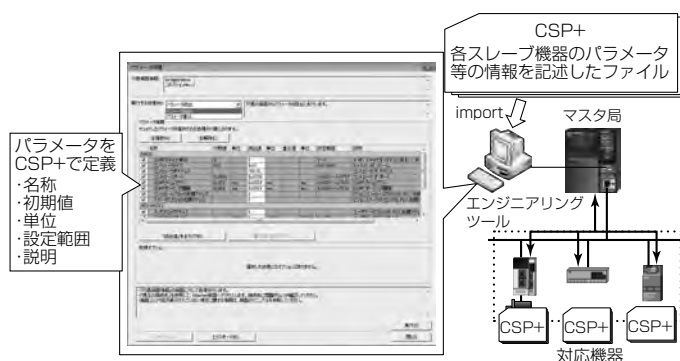


図9. スレーブ機器の簡単設定

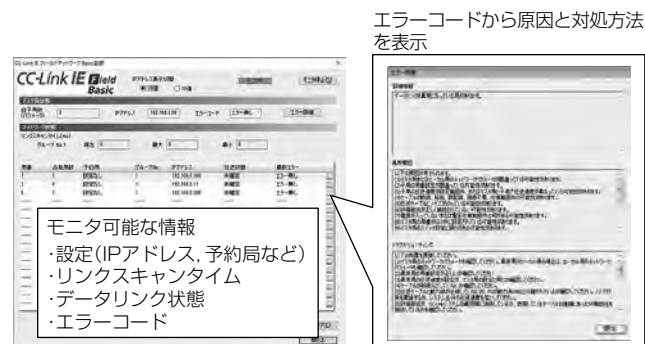


図10. CC-Link IEフィールドネットワークBasic診断画面

トラブル発生時は、診断画面で原因と処置方法を表示することによって、高度な知識なしに、誰でも簡単にトラブルシュートが可能となっている。この特長によって、トラブル発生時のシステムダウンタイムを短縮できる。

3.5 ソフトウェア実装で簡単に対応製品を開発可能

CC-Link IEフィールドネットワークBasicはアプリケーションレイヤのプロトコルのため、汎用Ethernetのハードウェア上に追加実装できる。ソフトウェアだけで実装できるため、開発期間の短縮が可能である。専用ハードウェアを必要としないことからコスト低減にも期待できる。

また、CC-Link IEフィールドネットワークBasicはマスタ仕様を全て開示(サンプルコードの公開等)し、対応機器の急速な拡大を狙っている。

4. む す び

CC-Link IEフィールドネットワークBasicの開発背景、特長及び適用した技術について述べた。このCC-Link IEフィールドネットワークBasicで、小規模装置向け市場を攻略し、CC-Link IEネットワークの更なる拡大を目指す。

今後も、当社FA機器連携を更に強化していくため、常に変化し続ける市場状況やユーザーニーズを的確に把握し、魅力ある製品作りを推進する。

参 考 文 献

- (1) 河本久文：CC-Link IEフィールドネットワーク，三菱電機技報，84，No.3，179～182 (2010)

“MELSEC iQ-Fシリーズ”のCC-Link IEフィールドネットワーク対応によるe-F@ctory推進

川村 明*
松本貴靖*

Promoting e-F@ctory with "MELSEC iQ-F Series" Support for CC-Link IE Field Network

Akira Kawamura, Takayasu Matsumoto

要 旨

三菱電機は、マイクロシーケンサ“MELSEC iQ-Fシリーズ”(以下“iQ-Fシリーズ”という。)を開発して、製品化した。このシリーズは、小規模制御装置向けのシステムに特化した機能、特長を持つマイクロシーケンサである。当社が提唱するFA統合ソリューション“e-F@ctory”では、生産現場とITシステムを連携することで現場状況の見える化と生産の最適化の実現を目指している。

iQ-Fシリーズで新たにCC-Link IEフィールドネットワークに対応した機能とその特長は、次のとおりである。

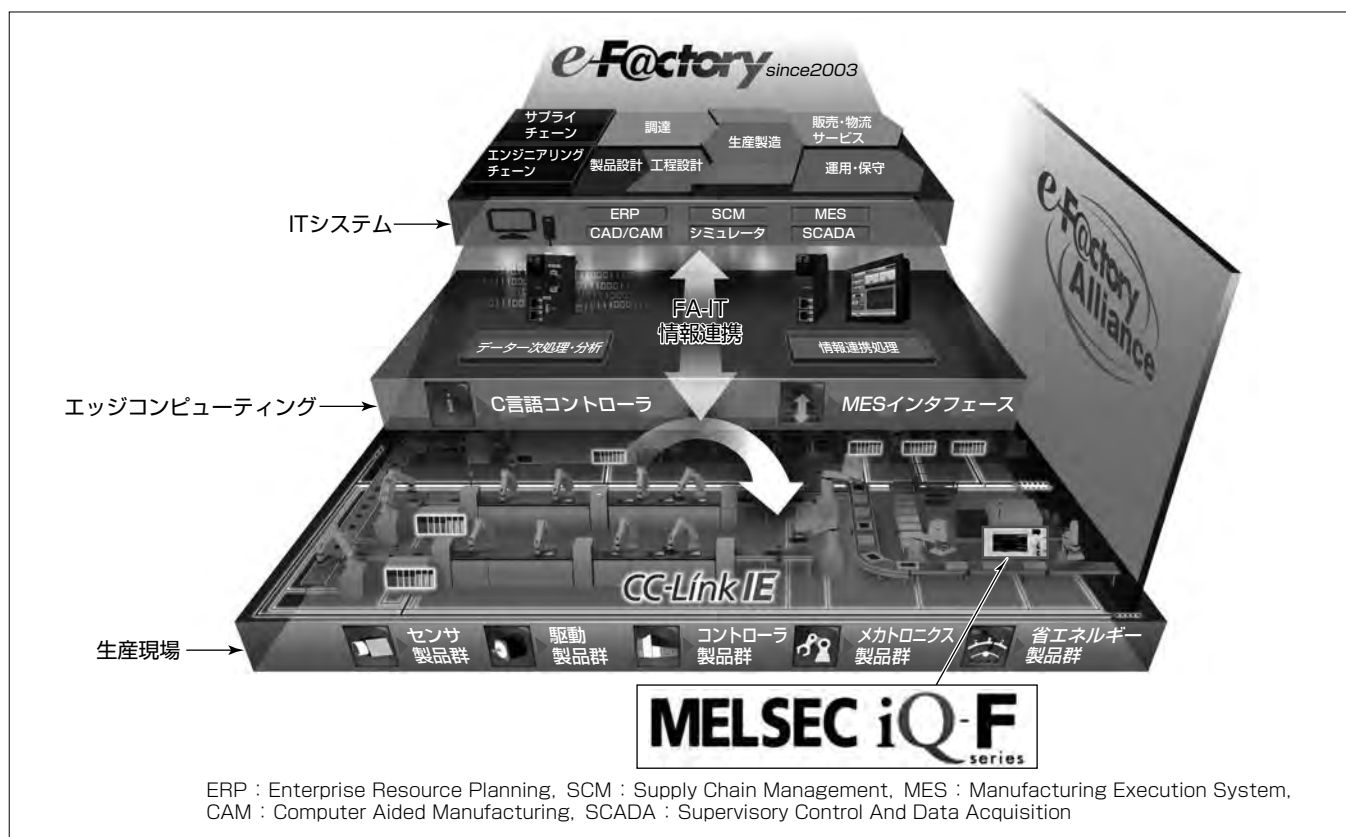
(1) CC-Link IEフィールドネットワーク接続用インテリジェントデバイスユニット“FX5-CCLIEF”

iQ-FシリーズをCC-Link IEフィールドネットワークに接続することで、高速大容量のデータ転送に対応できる。

(2) CC-Link IEフィールドネットワークBasic対応

iQ-FシリーズをCC-Link IEフィールドネットワークBasicに接続することで、生産現場の機器とのネットワークを簡単に構築することが可能となる。

これらの新機能によって生産現場のトレーサビリティ向上が可能となる。生産現場のデータを上位システムと共有することによって生産現場全体を把握できるため、サイクルタイムやチョコ停などのデータを分析することで現場の改善点が発見可能となる。



e-F@ctoryでの“iQ-Fシリーズ”シーケンサの位置付け

iQ-Fシリーズシーケンサは、e-F@ctoryでは生産現場に位置し(図の右下部)、シーケンサや他FA機器とCC-Link IEフィールドネットワークを経由して通信を行うことができる。小規模装置向けのiQ-FシリーズがCC-Link IEフィールドネットワークに対応したことで、生産現場のシステムを手軽に構築できるようになった。

1. ま え が き

シーケンサシステムは、スタンドアロンの制御からネットワークを活用した工場全体の自動化まで広範囲にわたるFA用アプリケーションに用いられ、産業界の飛躍的な発展に貢献してきた。

iQ-Fシリーズは、小規模制御装置向けとして、豊富な内蔵機能を持つマイクロシーケンサである⁽¹⁾。近年、小規模制御装置でも、生産現場の情報を収集・保存し、上位シーケンサやコンピュータへ転送することが求められている。また、FA機器と通信する際の産業用ネットワークは、Ethernet^(注1)技術を活用したネットワークが標準になりつつあり、多種多様な製品と接続できる国際標準規格に準拠したオープンネットワークへの期待が高まっている。

これらのニーズを実現するため、iQ-Fシリーズでは、CPUユニットの機能追加やネットワークユニットの開発を行った。

本稿では、iQ-Fシリーズで開発したユニットや新機能及び適用した技術について述べる。

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

2. MELSEC iQ-Fシリーズの新機能

iQ-Fシリーズで開発したユニットや新機能について、その特長や適用した技術を述べる。

2.1 CC-Link IEフィールドネットワーク接続用インテリジェントデバイスユニットFX5-CCLIEF

インテリジェントデバイスユニットFX5-CCLIEFをCPUユニットに接続することで、Ethernet(1000BASE-T)を使用した高速(1 Gbps)かつ大容量なオープンフィールドネットワークであるCC-Link IEフィールドネットワークのインテリジェントデバイス局として接続できる。生産設備の膨大な生産情報をリアルタイムに伝送でき、また、ITシステムとFA機器間をシームレスにつなぐSLMP(SeamLess Message Protocol)によって、生産現場の分析に必要なリアルタイムなデータ収集を実現できる。

CC-Link IEフィールドネットワークでは一般的な高速I/O制御、コントローラ制御に加え、高精度同期に対応したモーション制御を1ネットワークで構築できる。また、柔軟な配線方法が可能で、信頼性の高いリング接続や、シンプルにシステムを構築できるスター接続、ライン接続に対応しており、設置環境に応じたフレキシブルなシステム構築が実現できる。

CC-Link IEフィールドネットワークユニットでは、高速大容量のデータを送受信するため、通信処理機能は当社が開発した専用ASIC(Application Specific Integrated Circuit)を用いることにした。さらに、大量のデータをFX5-CCLIEFに対して送信した場合でも、受信バッファ

のデータを別のメモリに移動させ、そのデータに対して順次処理を行うことで、受信バッファに空きを増やし、高速大容量のデータ転送を実現した(図1)。

2.2 CC-Link IEフィールドネットワークBasic対応

iQ-Fシリーズのネットワーク機能強化として、CC-Link IEフィールドネットワークBasicのマスタ局に対応した。CC-Link IEフィールドネットワークBasicは、100Mbpsの汎用Ethernet通信を用いた産業用オープンフィールドネットワークのことであり、シーケンサ以外にも、インバータや表示器などが対応している。iQ-FシリーズのCC-Link IEフィールドネットワークBasic対応仕様を表1に示す。

CC-Link IEフィールドネットワークBasicでは、これらのFA機器を図2に示すように、マスタ局とスレーブ局間で定期的(サイクリック伝送)にデータ交換を行う。

サイクリック伝送は、次の①～③の処理を繰り返すことで実現している。

- ①マスタ局は、全スレーブ局への出力データをブロードキャストパケットで送信
- ②各スレーブ局は、自局宛ての出力データを受信し、マスタ局への入力データをユニキャストパケットで送信

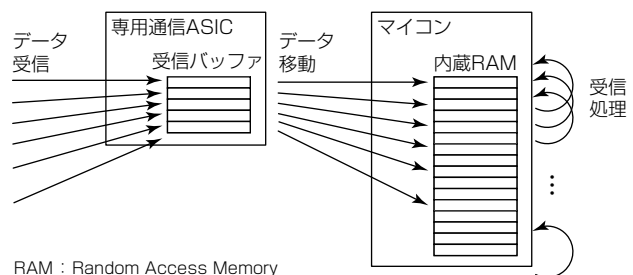


図1. 受信データの流れ

表1. iQ-FシリーズのCC-Link IEフィールドネットワークBasic対応仕様

項目		仕様
1 ネットワークの最大接続局数	スレーブ局	6局
	RX	384点
1 ネットワーク当たりの最大リンク点数	RY	384点
	RWr	192点
	RWw	192点
最小リンクスキャン		20ms

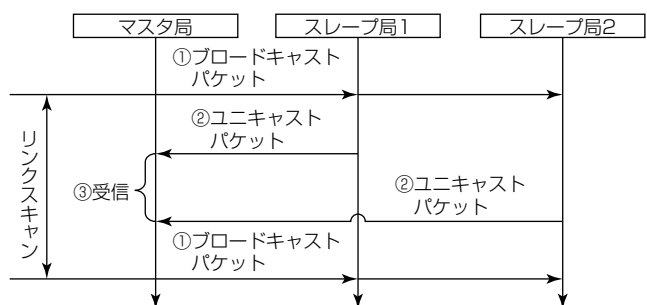


図2. サイクリック伝送によるデータの流れ

③マスタ局は、全スレーブ局からの入力データを受信
 このように、CC-Link IEフィールドネットワーク
 Basicマスタ局はスレーブ局からのユニキャストパケット
 が高頻度で送信されてくるため、パケットを取りこぼさな
 い受信処理を実現した。

iQ-FシリーズのCPUユニットの内部処理はタスク制御
 で動作しており、主なタスクとしては、シーケンス演算や
 I/Oリフレッシュなどを行うメインタスク、SD(Secure
 Digital)メモリカードへの読み書きを行うSDアクセス用
 タスク、内蔵Ethernet機能によってパケットの送受信を
 行うEthernet通信用タスクなどがある。マスタ局として
 高頻度の受信に対応するため、Ethernet通信用タスクと
 は別に、優先度の高いCC-Link IEフィールドネットワー
 クBasic専用受信タスクで受信処理を行う設計とした。こ
 れによって、CC-Link IEフィールドネットワークBasic
 のリンクスキャン性能を確保した。

2.3 データロギング機能とFTPサーバ機能

2.3.1 機能の特長

iQ-FシリーズのCPUユニットは、データ収集機能強
 化として、データロギング機能とFTP(File Transfer
 Protocol)サーバ機能に対応した。データロギング機能に
 よって、指定した間隔又は任意のタイミングで指定したデ
 バイスデータを収集し、収集したデータをSDメモリカー
 ドに保存できる。また、FTPサーバ機能によって、装着
 したSDメモリカードを取り外すことなく、データロギン
 グ機能によって保存されたロギングデータを読み出すこ
 とができる。例えば、データロギング機能によってトラブル
 発生時のデータを保存し、そのデータをFTPサーバ機能
 によってコンピュータへ読み出すことで、事務所等から生
 産現場の情報を収集できる。データロギング機能の仕様と
 しては、トラブル発生時の原因特定などに有用なデータを
 残すため、スキャンごとにデータの収集を可能とし、最小
 収集間隔は10msとした(表2)。

2.3.2 キューを用いたタスク制御

データロギング機能は、メインタスクでロギングデータ
 を内部バッファに書き込み、SDアクセス用タスクで内部
 バッファからSDメモリカードにデータ転送を行うことで
 実現している。また、SDアクセス用タスクは、データロ
 ギング機能やFTPサーバ機能などが使用しており、これ

表2. データロギング機能の仕様

項目	仕様
最大ロギング設定個数	4
最大ロギング点数	512点
最小収集間隔	10ms
ロギング種別	連続ロギング トリガロギング
収集タイミング	毎スキャン 時間指定 データ条件指定

らの機能が、SDメモリカードに読み書きするタイミング
 でメインタスクからSDアクセス用タスクを起動している。

最小収集間隔10msを実現するため、データロギング機
 能の処理が優先されるようにSDアクセス用タスクを実行
 する必要がある。図3(a)に示すような1つのタスク制御権
 で処理を行う方式を採用すると、特定の機能がタスク制御
 権を占有し続けるという問題がある。そこで、図3(b)のよ
 うにSDアクセス用タスクを使用する機能ごとにキューを
 設けて、各キューに対して優先順位を付けることで優先度
 が高いデータロギング機能などから処理を行う方式を採用した。

また、キューを用いたタスク制御では、優先度が高い機
 能からの要求が多い場合、その機能だけが処理し続ける可
 能性がある。そこで、キューに要求を送信してから一定時
 間処理されなければ、その要求の優先度を上げることによ
 って、優先度が低い機能の要求も処理できるようにしている。

2.3.3 FTPサーバ機能の処理分割

FTPサーバ機能はSDアクセスを行うため、データロギ
 ング機能に影響を与える可能性がある。iQ-Fシリーズの
 CPUユニットからFTPサーバへファイル転送する処理は、
 SDメモリカードから内部バッファ、内部バッファから送
 信バッファという順番でファイル転送する。転送するファ
 イルサイズが大きい場合、ファイルを一度に転送しようと
 するとFTPサーバ機能がSDアクセス用タスクを長時間占

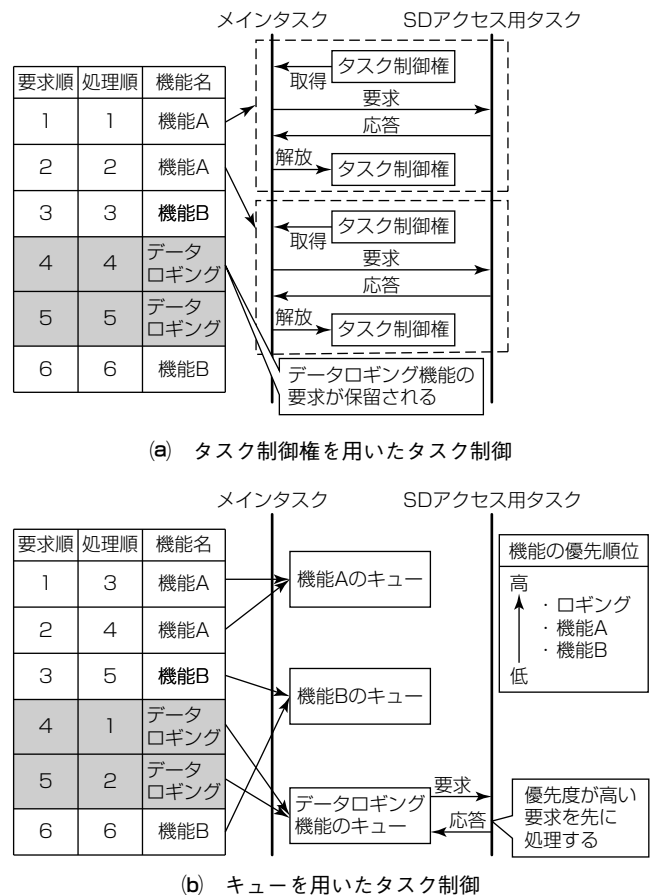


図3. タスク制御方式の違いによる実行順序

有し続けてしまう。そこで、これらのファイル転送を分割して処理することによって、FTPサーバ機能がSDアクセス用タスクを占有し続ける時間を抑え、データロギング機能が性能を満たすためのタスク占有時間を確保した。

3. 適用事例

3.1 システムの概要

生産現場ではトレーサビリティデータの活用による、不具合対応の迅速化や、稼働状況や品質情報のきめ細かな傾向管理の実現が求められている。各生産工程で使用した設備番号や稼働履歴、品質データを蓄積し、各工程を仕掛品が通過するごとに、シリアル番号と加工履歴・検査履歴などをデータベースに送信することによって、リアルタイムに生産状況を把握し、管理する要望が高まっている。

生産現場で仕掛品を現品票などで管理している場合、工程飛ばしや不良品の投入などの問題が起こり得る。仕掛品それぞれに二次元バーコードを利用して固有のIDを付与し、各生産工程の開始前、完了後にIDを読み取り、工程とIDを合わせてデータベースに蓄積することで、各仕掛品の作業状況、生産数などの生産情報を把握できる。これによってそれらの問題を防止でき、また、その情報と検査工程の情報を高速なCC-Link IEフィールドネットワークで結び付けることで、生産から検査までのトレーサビリティがリアルタイムに確保できる。

iQ-FシリーズがCC-Link IEフィールドネットワークに対応したことによって、安価にリアルタイムなシステムを構築可能となった(図4)。

3.2 システムの詳細

各生産工程の開始前にその工程を制御するシーケンサが仕掛品に表示された二次元バーコードを読み取り、仕掛品の固有なIDを取得する。読み取ったIDを工程に割り振られた情報と共に、CC-Link IEフィールドネットワークのリモートデバイスに格納する。CC-Link IEフィールドネットワークではリアルタイムにリモートデバイスの情報を共有しているため、生産システム全体を統合するシーケンサ側ではシーケンサに接続されたCC-Link IEフィール

ドネットワークユニットの共有メモリから情報を取得するだけで、仕掛品の情報を取得できる。

工程完了後にも同様に仕掛品のIDを読み取り、この工程が終了したという情報を合わせてリモートデバイスに格納する。これによって、設備統合シーケンサでは生産ラインの各仕掛品の状況がリアルタイムに把握できる。

また、生産工程の開始前に仕掛品のIDを読み出し、その仕掛品がその前の生産工程を実施した記録と照合することで、工程飛ばしを防ぐことが可能となる。

さらに、検査工程では各仕掛品のIDと検査結果を結び付けて保存しておき、次の生産工程の開始前にその仕掛品の検査結果を確認し、工程投入の判定を行うことで、不良品の次工程への投入を防ぐことが可能となる。

3.3 システムの活用

このようなシステムを導入することで、全ての工程を見える化できるようになるため、蓄積された生産情報によって、生産現場の問題点の分析や改善点の検討を行うことができる。

仕掛品1個単位で生産状況を把握しているため、ラインのチョコ停の時間や頻度、サイクルタイムを正確に把握できる。例えば、従来はトラブルによって生産ラインが止まってから装置の不調などを発見していたが、このシステムでチョコ停の頻度などを監視し、チョコ停の頻度の増加やサイクルタイムの変化、その他の生産情報の履歴によって、ライン停止の前兆の発見ができるため、ライン停止前に対策を検討可能となる。ライン停止した場合でも、蓄積された生産情報から原因の推定も可能となる。また、サイクルタイムを把握しているため、各工程でのサイクルタイムを分析し、どの工程の改善効果が高いか検討できる。さらに、作業者の情報も結び付けることで、その工程の作業の習熟度なども把握でき、習熟度が低い作業者に対して別途教育などを行うなど対策が可能となる。また、教育の効果についても定量的に把握できる。

4. む す び

iQ-Fシリーズで対応した、CC-Link IEフィールドネットワーク、CC-Link IEフィールドネットワークBasic、その他の新機能に適用した技術及びその事例について述べた。これらの機能によって、マイクロシーケンサが使用される小規模制御装置もe-F@ctoryが提唱するようなシステムに容易に加わることができるようになった。

今後も、iQ-Fシリーズの使い勝手向上・機能充実によって、生産現場のFA機器との接続性を高め、顧客の生産の最適化に貢献する。

参 考 文 献

- (1) 西本雅規, ほか: 三菱シーケンサ“MELSEC iQ-Fシリーズ”, 三菱電機技報, 90, No.4, 223~226 (2016)

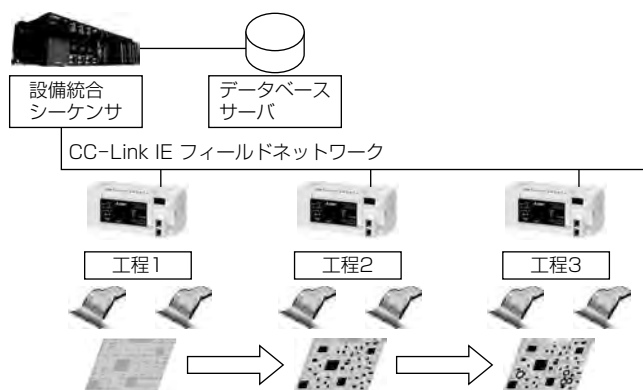


図4. 生産システム構成例

センシングユニット“MR-MT2000シリーズ” による生産現場のTCO削減

鈴木康広*
岩丸和文*

TCO Reduction of Production Site by Sensing Module "MR-MT2000 Series"

Yasuhiro Suzuki, Kazufumi Iwamaru

要 旨

近年、I/O機器やセンサ機器とサーボ製品の連携に対する要求が高まっている。そのため、多様なセンサ信号を高速・高精度、かつサーボ制御と同期して取り込むことが可能なセンシングユニット“MR-MT2000シリーズ”を開発した。

センシングユニットによって、高速・高精度なシステムを実現するとともに、取得したデータの分析を予防保全等に活用することで、生産現場のTCO (Total Cost of Ownership) 削減に貢献する。

センシングユニットは、ネットワーク接続用のヘッドユニットと、サーボ制御と連携して使用されることの多い各種センサ入出力の制御が可能な拡張ユニットを、ユーザーの装置構成に応じ、組み合わせて使用する。

各ユニットの主な特長は次のとおりである。

(1) ヘッドユニット

三菱電機のサーボネットワーク“SSCNET Ⅲ/H”通信用ユニットで、ユーザーの装置構成に応じた拡張ユニットを接続して使用できる。

(2) 入出力ユニット／アナログ入出力ユニット

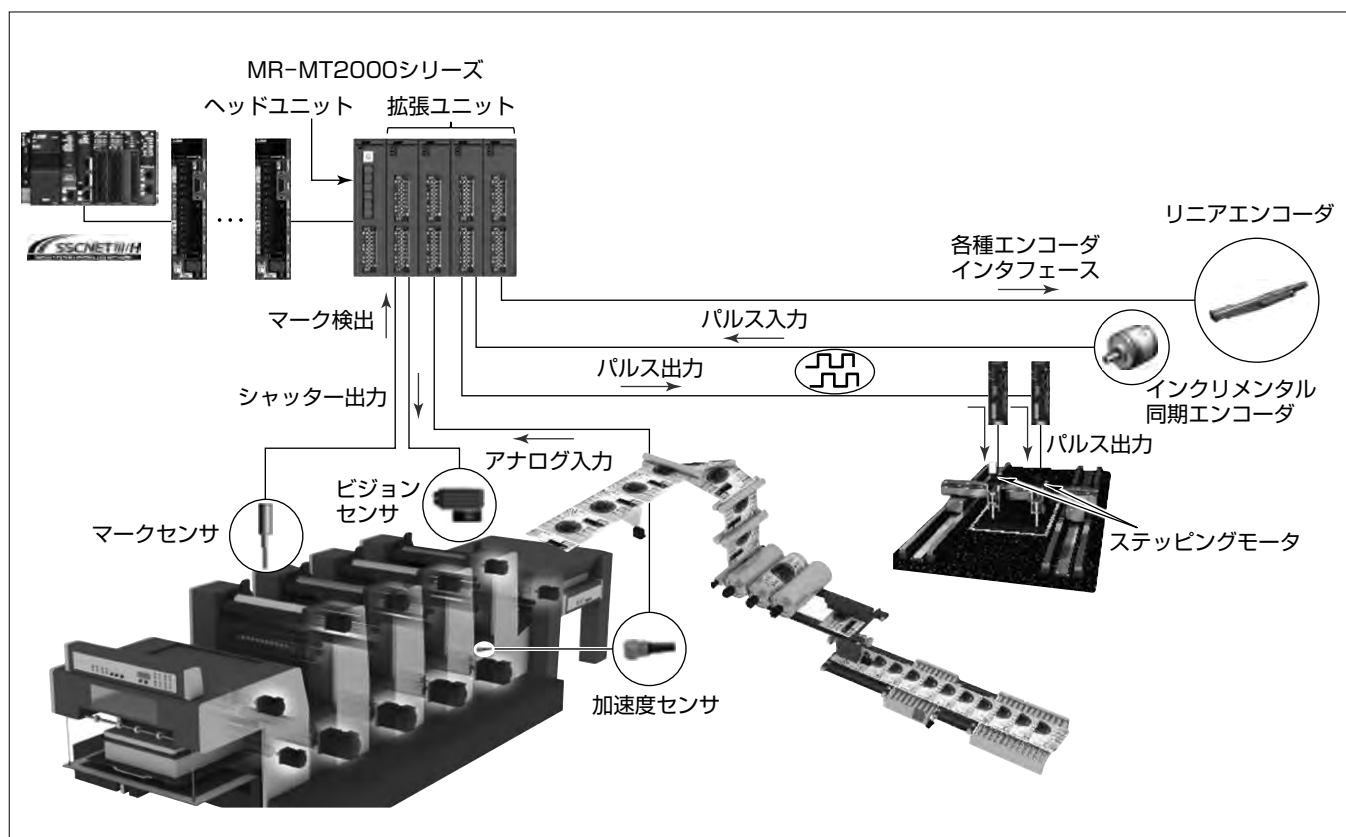
デジタル及びアナログ入出力制御用ユニットで、高速・高精度に取得したデータをサーボ制御や分析に使用できる。

(3) パルス入出力ユニット

汎用パルス列入出力制御用ユニットで、パルスカウンタ値の取得や、汎用パルス列対応ドライバの制御に使用できる。

(4) エンコーダインタフェースユニット

各種エンコーダインタフェースに対応したユニットで、エンコーダから取得したデータをサーボ制御や分析に使用できる。



センシングユニット“MR-MT2000シリーズ”を使用したサーボシステムの構成

当社のサーボネットワークSSCNET Ⅲ/Hにセンシングユニットを接続して使用すると、サーボシステムで使用される多様なセンサを、高速・高精度、かつサーボ制御と同期して取り込むことが可能となる。そのため、装置上に配置したセンサから取得した情報を制御に活用することで、従来よりも高速・高精度な制御、及び精度の高い情報分析によって、機械診断、予防保全が可能となる。

1. ま え が き

近年、装置の生産性向上や機能アップを目的としたサーボ制御の高速・高精度化が進むにつれて、I/O機器やセンサ機器とサーボ製品の連携に対する要求が高まっている。それらの要求に応えるために、多様なセンサ信号をネットワークに同期して取り込むことが可能なセンシングユニット“MR-MT2000シリーズ”を開発した。

センシングユニットで取得した情報をサーボ制御やI/O制御に活用することで、高速・高精度なシステムが実現可能となる。また、サーボ制御に同期して取得した情報を基に、従来よりも精度の高い分析を、装置の機械診断、予防保全等へ活用することで、生産現場のTCO削減に貢献する。

センシングユニット“MR-MT2000シリーズ”の製品ラインアップとして、ネットワーク接続用のヘッドユニットのほか、サーボ制御と連携して使用されることの多いデジタル入出力、アナログ入出力、パルス入出力、エンコーダインタフェースの各種センサ入出力の制御が可能な各ユニットを開発した。

本稿では、これらのユニットの特長、センシングユニットを使用することで実現可能なアプリケーション例及び、生産現場でのTCO削減等のFA総合ソリューション“e-F@ctroy”での活用例について述べる。

2. 製品の特長

2.1 ヘッドユニット“MR-MT2010”

ヘッドユニット“MR-MT2010”は、当社のサーボネットワークSSCNETⅢ/Hに接続するためのインタフェース用ユニットで、2.2節以降で述べる各種センサ入出力が可能な拡張ユニットを接続して使用する。また、このユニットは、2.2節で述べる入出力ユニットと同等性能の入力12点と出力2点を内蔵しているため、少点数の入出力を追加したいユーザーは、単体でも使用可能である。

ヘッドユニットに接続する拡張ユニットの組み合わせは、図1のようにユーザーで自由に選択できるため、ユーザーの装置構成

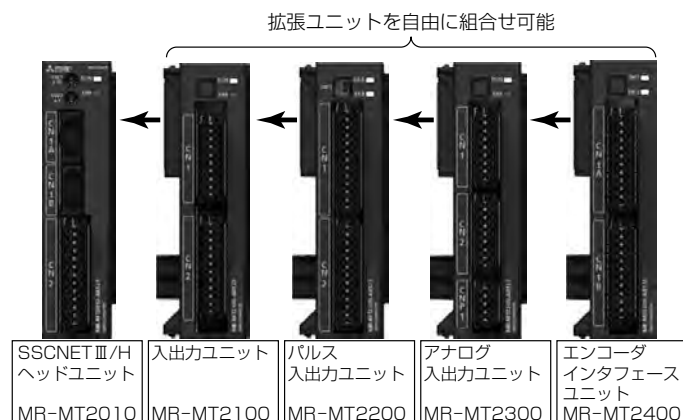


図1. センシングユニットの構成

に合わせて最適な組み合わせで拡張ユニットを選択可能である。

接続した拡張ユニットから取得したセンサ情報を上位コントローラに送信する通信周期は、接続機器構成に依存し、最短222μs周期でのデータ送受信が可能である。

2.2 入出力ユニット“MR-MT2100”

入出力ユニット“MR-MT2100”は高速入出力を持つユニットで、1台で入力16点と出力16点を接続可能である。このユニットでは、少点数で実現可能なアプリケーションを想定しているため、ラインアップは入出力混在のユニットとしている。

通常、サーボ制御に同期して入出力を制御する場合は、サーボアンプの入出力を使用する。その制御ばらつきは最大で±55μsであるが、近年のサーボ制御の高速・高精度化のニーズから、アプリケーション次第では、それよりも高速・高精度な制御が要求される。入出力ユニットでは、それらに対応するための機能であるタイミングラッチ入力機能及びタイミング指定出力機能を、±1μs以内の精度で実現可能とした。

それらの機能を使用すると、搬送物上の基準位置の取り込みやカメラのシャッター用トリガーの出力をサーボ制御に同期して、精度良く実施可能となる。そのため、ラインの速度を落とすことなく、高精度な制御が可能となり、サイクルタイム短縮に大きく貢献する（図2）。

2.3 パルス入出力ユニット“MR-MT2200”

パルス入出力ユニット“MR-MT2200”は汎用パルス列の入出力が可能なユニットで、1台で入力と出力を合わせて最大2チャンネルまで接続可能である。

このユニットでは汎用パルス列で制御する駆動機器を接続し、ネットワークに同期して制御することが可能である（図3）。接続した駆動機器に対するコントローラからの制御指令は、標準のサーボアンプに対する指令と同様であるため、制御プログラムの作成も容易である。

これによって、他社から当社へシステムを置き換える際

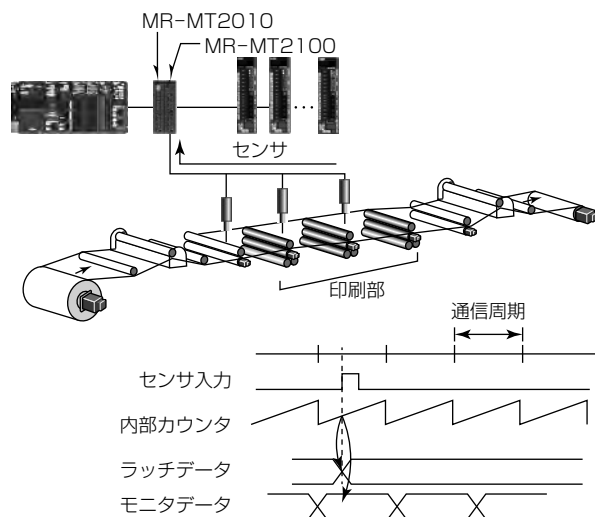


図2. 入出力ユニットの適用事例（タイミングラッチ入力機能）

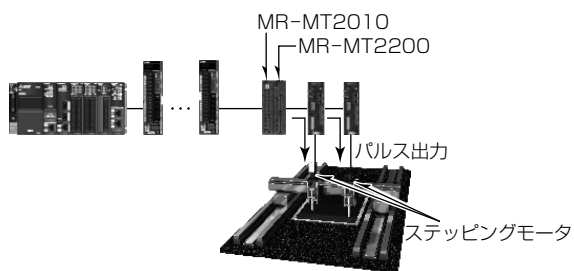


図3. パルス入出力ユニットの適用事例1

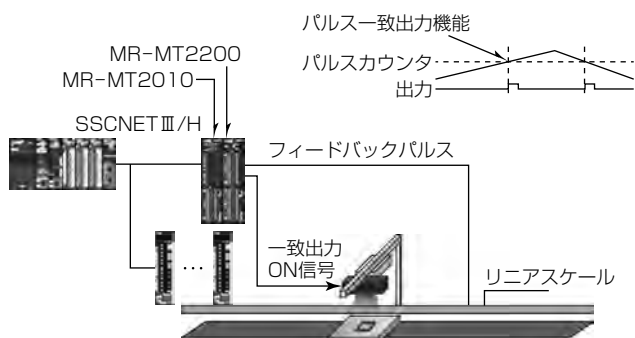


図4. パルス入出力ユニットの適用事例2 (パルス一致出力)

に、当社及びパートナーメーカーでラインアップのない駆動機器を使用する必要がある場合でも、このユニットを使用することで、システム提案が可能となる。

また、装置間の同期用パルス出力やパルスカウンタといった通常の機能に加えて、サーボ制御に応じて変化するパルスカウンタの値が設定値になったときに、出力を制御するパルス一致出力機能や、入力があったタイミングでパルスカウント値をラッチするパルスラッチ機能等、サーボ制御に関連する様々なアプリケーションに対応できる(図4)。

2.4 アナログ入出力ユニット“MR-MT2300”

アナログ入出力ユニット“MR-MT2300”は16ビット分解能でアナログ入出力が可能なユニットで、1台で入力4点と出力4点を接続可能である。

アナログ入力機能では、サーボ制御に同期して取り込んだ高精度なセンサ情報を上位コントローラに送信し、圧力制御等のアナログ信号をフィードバックとして使用する制御を実現することできる(図5)。

また、アナログ出力機能では、アナログ信号で制御する機器に対する高精度な制御指令や、ネットワークに接続された機器のモニタ用のアナログ出力信号として使用できる。

2.5 エンコーダインタフェースユニット“MR-MT2400”

エンコーダインタフェースユニット“MR-MT2400”は当社サーボアンプで直接、取り込むことができないエンコーダプロトコルのうち、SSI(Synchronized Serial Interface)などの汎用エンコーダプロトコルだけでなく、市場でニーズのあるEnDat 2.2^(注1)やHIPERFACE DSL^(注2)などのメーカー専用のエンコーダプロトコルに対応し、スケール等のエンコーダが取得した情報を受信可能なユニットで、1台

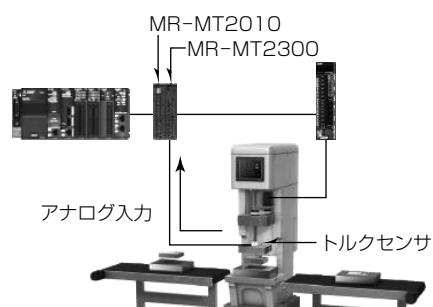


図5. アナログ入出力ユニットの適用事例

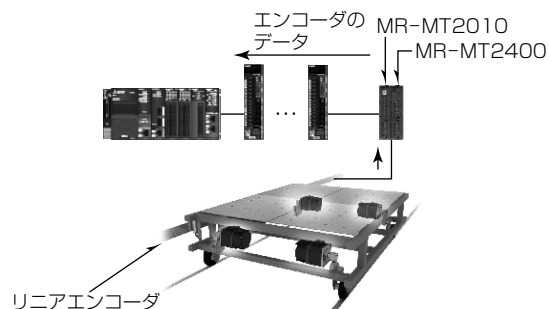


図6. エンコーダインタフェースユニットの適用事例

で2チャネルを接続可能である。

このユニットで取得した位置データを使用し、上位コントローラで、位置管理やフルクロード制御などが可能である。また、エンコーダによっては位置データだけでなく、温度等のセンサ情報も取得できるため、装置の保護等にそれらの情報を使用したシステムを構築できる(図6)。

(注1) EnDatは、DR.JOHANNES HEIDENHAIN GmbHの登録商標である。

(注2) HIPERFACE DSLは、SICK STEGMANN GmbHの登録商標である。

3. マスタースレーブ通信機能

センシングユニットでアナログ入力やエンコーダインタフェースからセンサ情報を取得し、それをサーボ制御に使用する機能について2章で述べた。センサ情報を上位コントローラに送信して制御に使用する場合、図7の(1)に記載のタイミングでセンサ情報をユニット間で受渡しするため、通信周期設定が大きい場合は特に、センサ情報を取得してから制御に反映されるまでの時間が長くなり、それが原因で必要な制御の応答性を得られない可能性がある。

しかし、当社のサーボネットワークSSCNETⅢ/Hでは、上位コントローラを介さずにネットワーク接続機器同士でのデータ送受信が可能なマスタースレーブ通信機能に対応しているため、より高速な応答が必要なアプリケーションでは、この機能を使用することで、より応答性の高い制御を実現できる。

マスタースレーブ通信機能を用いたときのデータの受渡しタイミングは図7の(2)に記載のとおりである。図7の(1)のタイミングと比較して、受信したセンサ情報が制御に反映されるまでの時間のうち、上位コントローラでの処理時間分を短縮できることになり、より応答性の高い制御を実現できる。

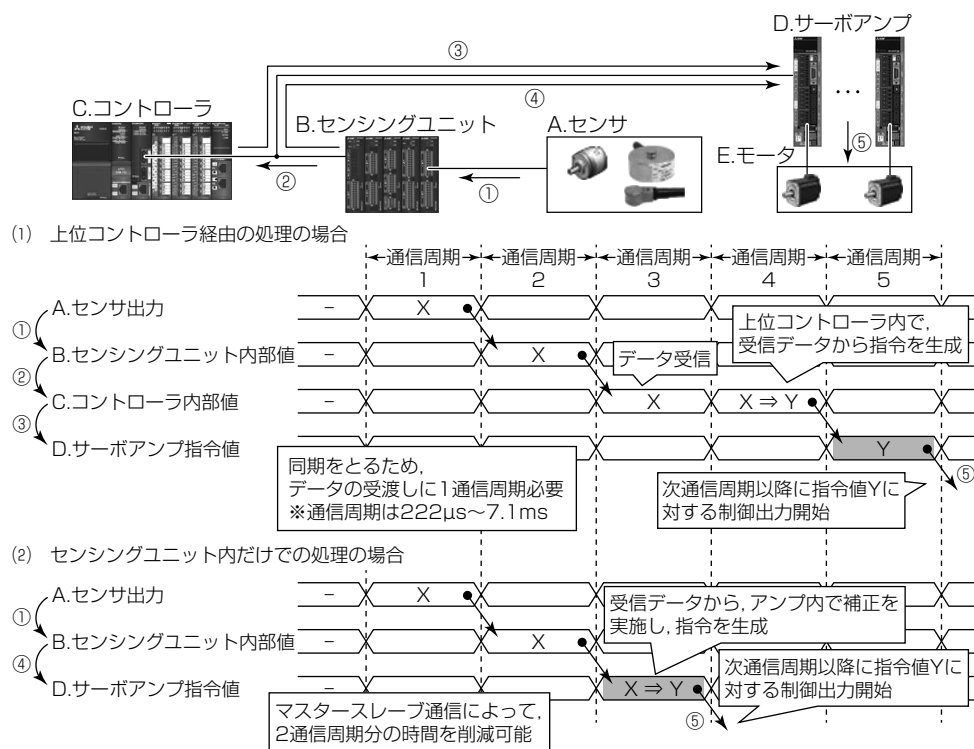
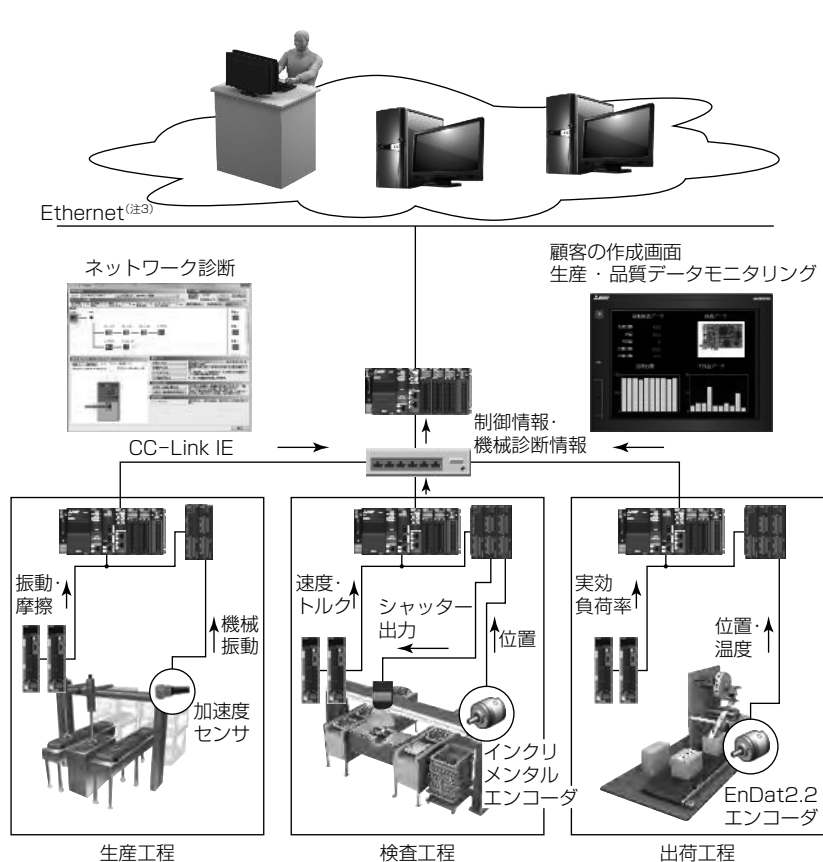


図7. マスタースレーブ通信のタイミングチャート



(注3) Ethernetは、富士ゼロックス㈱の登録商標である。

図8. センシングユニットのe-F@ctoryへの活用イメージ

4. e-F@ctoryへの活用

e-F@ctory導入の目的の1つであるTCO削減に対する取組みとして、当社のサーボアンプでは、サーボで取得できるデータを活用して、機械の摩擦や振動を推定する機能を開発している。この機能を活用することで、可動部の摩耗や、環境ストレスによる経年劣化等に起因する機械特性の変化を検出し、予防保全を実施できる。

この機能は、サーボアンプ内部で検出した電流値や制御対象の速度などの情報を利用して実現しているが、より精度の高い分析を実施するには、サーボアンプ単

体で取得できる情報では不足であり、制御対象に設置したセンサ等の情報から得られる付加情報を利用する必要がある。

センシングユニットを使用することによって、各アプリケーションで使用される多様なセンサ情報を、サーボアンプの内部情報に同期して取得できるため、それらのデータを統合分析することによって、機械診断・予防保全の適用事例の拡大が見込まれる(図8)。

5. むすび

今回開発したセンシングユニット“MR-MT2000シリーズ”の特長及び実現可能な機能について述べた。

センシングユニットを用いることで、装置の高速化・高機能化によるサイクルタイム短縮や、サーボアンプとセンサから得られる情報を用いた精度の高い情報分析による予防保全を実現し、生産現場のTCO削減に貢献できる。

今後は、多様なアプリケーションを顧客に提供するために、センシングユニットの機能充実を図る。

加藤健二*
鈴木浩倫*
深江輝昭*

三菱数値制御装置“C80シリーズ”

MITSUBISHI CNC "C80 Series"

Kenji Kato, Hiromichi Suzuki, Teruaki Fukae

要 旨

自動車などに代表される各種製造ラインでは、生産性が高く、製造品質の安定した自動化システムを容易に構築できることが求められている。また、近年はIoT(Internet of Things)関連の対応要求も高まっており、工場全体の最適化・見える化、生産現場と上位情報系システムとの情報連携など、グローバル市場での要望が多様化してきている。これら多様な市場要求に応えるため、三菱シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”に対応した三菱数値制御装置(Computerized Numerical Control : CNC)“C80シリーズ”を開発した。C80シリーズは、各種FA機器群との連携によって、工場全体の最適化を図り、製造ラインシステムの付加価値向上とユーザーの開発・生産・保守全体にわたるTCO(Total Cost of Ownership)削減に貢献する。

主な特長は次のとおりである。

(1) 生産性

“M800シリーズ”と同様に独自開発のCNC専用CPUを搭載して基本性能を大幅に向上させ、CNC CPUとシーケンサCPU間的高速データ通信と併せてサイクルタイム短縮を実現した。最大3台のCNC CPU(21系統48軸)構成によって、複雑な機械の制御も可能になった。

(2) 操作性

M800シリーズの標準画面と同等の画面表示に刷新し、タッチパネルによる直感的な操作感を実現した。

(3) 安全性

安全規格対応を大幅に強化し、各種安全機能を搭載した。



CNC CPUユニット
(R16NCCPU)

MELSEC iQ-Rシリーズ対応CNC CPUユニット“C80シリーズ”

MELSEC iQ-Rシリーズに対応したCNC CPUユニットC80シリーズは、独自開発のCNC専用CPUを搭載して基本性能を大幅に向上させた。各種FA機器群との連携によって、ユーザーの生産性、安全性、保守性向上に大きく寄与し、製造ラインシステムの付加価値向上とTCO削減を実現する。

1. ま え が き

自動車などに代表される各種製造ラインでは、生産性が高く、製造品質の安定した自動化システムを容易に構築できることが求められている。これまで三菱電機では開発・生産・保守の全般にわたるTCO削減を図ることを最大のコンセプトに、高度な技術と情報を活用し、工場の最適化を図り、ものづくりの将来を支えるFA統合ソリューション“e-F@ctory”を提案してきている。この基盤を形成するFA統合プラットフォームが“iQ-Platform”である。これに対応した、三菱数値制御装置“C70シリーズ”を市場展開し、多くの製造ラインに導入され、高い支持を得ている。

一方で、近年IoT関連の対応要求が高まってきており、工場全体の最適化・見える化、生産現場と上位情報システムとの情報連携など、グローバル市場における要望が高度化、多様化してきている。

そこで、これらの市場要求に応えるため、iQ-Platformの中核を担うMELSEC iQ-Rシリーズに対応した革新的な最新モデルであるCNC C80シリーズを製品化した。C80シリーズは各種FA機器群と連携することによって工場全体の最適化を図り、製造ラインシステムの付加価値向上とユーザーの開発・生産・保守全体にわたるTCO削減に貢献する。

本稿では、このC80シリーズの主な特長について述べる。

2. C80シリーズのシステム構成

2.1 仕様とシステム構成

C80シリーズの仕様とシステム構成を表1と図1に示す。C80シリーズはMELSEC iQ-Rシリーズのベースユニットに搭載するCNCである。1つの基本ベースユニットにCNC CPUを最大3台まで搭載することができ、合計で最大21系統48軸までの複雑な機械を制御することが可能である。表示器には当社製GOT(Graphic Operation Terminal)を使用し、タッチパネルによる直感的な操作感を実現した。さらに、M800シリーズの標準画面と同等の画面をGOT上に表示させることで、三菱数値制御装置としての操作性統一を図っている。

C80シリーズ適用事例としては、マルチCPU構成、多軸多系統という特長を活用して、加工と搬送システムを組み合わせた特殊旋盤システム(2主軸、2刃物台+ワーク搬送ローダ)やマルチステーションマシンへの適用も想定している。

3. C80シリーズの特長

3.1 生産性

C80シリーズにはM800シリーズ⁽¹⁾同様に独自開発のCNC専用CPUを搭載して基本性能を大幅に向上させた。

また、シーケンサCPU処理能力も向上しておりPCMIX値(1μsに実行する基本命令やデータ処理などの平均値)は、C70シリーズ比で約7倍の性能を達成した。さらに、CNC CPUとシーケンサCPU間的高速データ通信によって、Mコード処理能力(CNC加工プログラムの補助指令処理時間を表し、サイクルタイム短縮の指標値)をC70比で約1.5倍を達成した(図2)。

3.2 拡張性

C80シリーズでもMELSECの豊富なユニット群を使用することが可能である。ユーザーの製造ラインの生産規模、用途に合わせて使用する機器を選択することができ、柔軟なシステム構築が可能となっている(図3)。

例えば、MELSECのMES(Manufacturing Execution System)インタフェースユニットを搭載することで、設備の稼働状況や生産実績などを監視することが可能となる。また、高速データロガーユニットを搭載することで設備内の各種機器の状態などをロギングすることが可能となるなど製造ラインの見える化をサポートする。

表1. C80シリーズの仕様

	マシニングセンタ系	旋盤系
最大系統数	7系統	3系統
最大制御軸数	16軸(NC軸+主軸+PLC軸)	16軸(NC軸+主軸+PLC軸)
最大NC軸数	16軸(系統合計)	16軸(系統合計)
最大主軸数	7軸	4軸
最大PLC軸数	8軸	8軸
シーケンサプログラム容量(ステップ)	40K, 80K, 160K, 320K, 1,200K	
表示器サイズ(型)	12.1, 10.4, 8.4, 5.7(SVGA, VGA)	

PLC : Programmable Logic Controller

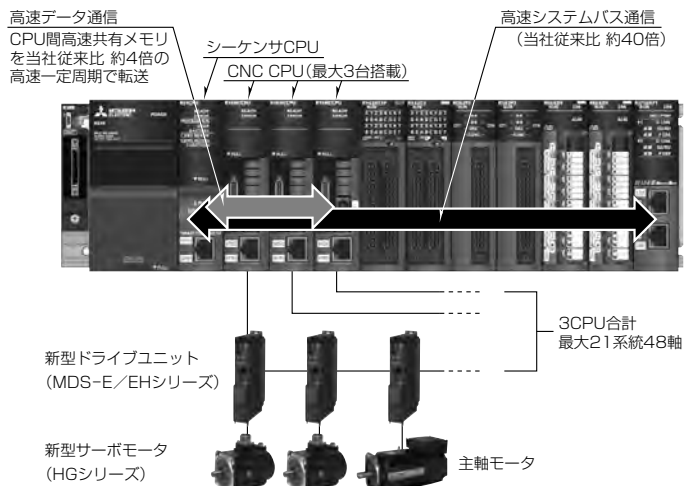


図1. C80シリーズのシステム構成

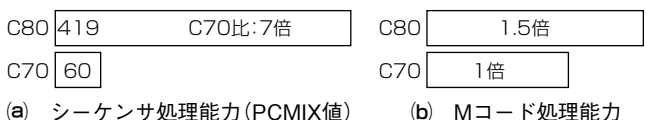


図2. C80シリーズの処理性能

この拡張性を最大限に活用できるようCNC CPUは、シーケンサCPUとの間の情報転送機能を大幅に強化し、C70比で5倍のデータを一括送受信可能となっており、CNCの稼働状態をモニタすることが可能である。これら各種機器の状態は、現場のGOTを通じて、タブレット上のWebブラウザで、現場の状態を確認することが可能となる(図4)。

3.3 操作性

C80シリーズはC70シリーズ同様に表示器としてGOTを使用しており、タッチパネルによる直感的な操作と、ユーザーカスタマブルな画面を利用可能とした。CNCの操作画面は、グラフィカル化などの要望に応え、M800シリーズ標準画面と同等の画面イメージを映し出す“CNCモニタ2”を開発した(図5)。このCNCモニタ2は、C70シリーズではできなかった画面項目のタッチ選択が可能となり、より直感的に画面を操作できる。また、パラメータガイダンスやアラームガイダンス、Gコードガイダンスを標準機能として搭載し、ユーザーの利便性が大幅に向上した(図6)。

プログラム編集画面では、2画面同時編集が可能となり、

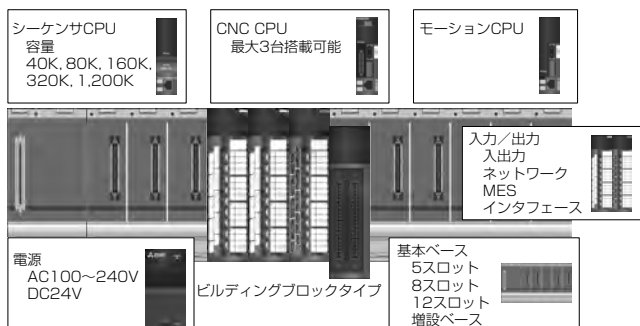


図3. C80シリーズの拡張性



図4. GOT Mobile機能による見える化支援機能



図5. CNCモニタ2

ブロック停止中プログラムのバッファ編集機能、プレーバック編集機能などのサポート機能が充実し、加工プログラムの作成・修正がより容易となった。

各種データの入出力性能も向上し、例えば、保守用データのデータバックアップ時間は、C70シリーズ比で約60%短縮、これによって操作時のストレスが大幅に軽減された。

また、ユーザー作成画面からCNCモニタ2へ切り替える際、従来は、特定画面にしか切り替えることしかできず、CNCモニタ画面に切替後、更に任意画面を選択する必要があった。これをワンタッチで見たい画面を指定できるよう、ダイレクト画面選択機能を搭載し、キータッチ回数を削減した。この機能ではほかに表示系統やキーボード種類も指定可能となっている。CNCモニタ2の表示画面に対して選択肢が広がったことで、従来互換の編集画面や入出力画面のダイレクト表示に加え、NC(Numerical Controller)データサンプリング画面やアラーム表示画面、インタフェース診断画面など任意の画面をユーザー作成画面から即座に呼び出すことが可能となり、ユーザー作成画面とモニタ画面間がワンタッチで連携可能となった(図7)。

また、CNCモニタ2はGOTの解像度SVGA(Super Video Graphics Array)への対応に加え、要望の多かった解像度VGA(Video Graphics Array)にも対応した。解像度VGAに対応したことで表示器の選択肢に幅が生まれ、C80シリーズでは5.7~12.1型の範囲で選択可能である(図8)。



図6. ガイダンス機能の画面例

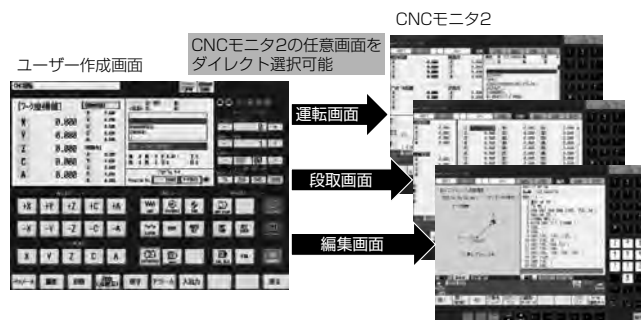


図7. モニタ任意画面のワンタッチ表示



図8. 選択可能な表示器サイズ

表2. 対応安全監視機能一覧

SLS(安全速度監視)	安全関連信号監視
SOS(安全停止監視)	非常停止監視
SBC(安全ブレーキ制御)	STO(安全トルク停止)
SLP(安全制限位置監視)	SS1(安全停止1)
SSM(安全速度モニタ)	SS2(安全停止2)
SCA(安全カム)	—



図9. 安全信号ユニット

表3. 安全信号ユニット仕様

	安全信号ユニット
入力点数	32点×2系統(安全入力20点×2系統) (出力フィードバック入12点×2系統)
出力点数	12点2系統

3.4 保守性

製造ラインでは、設備のダウンタイムを短縮することが求められており、トラブル発生時に早期に異常箇所を特定し、対策することが必要となる。そこで、C80ではユーザーの保守性向上のため、次の特長を備えている。

(1) CNC CPU本体バッテリーレス

内蔵メモリに不揮発性SRAM(Static Random Access Memory)を採用し、バッテリーレス化を実現した。CNC CPUに格納しているパラメータ・加工プログラムなど各種データをバッテリーレスでバックアップが可能である。これによって、バッテリー交換作業ミスや交換忘れによるデータ消失を未然に防ぐことが可能である。また、バッテリーユニットが不要となったため、ユニット配置の省スペース化を実現した。

(2) バックアップリストア機能

CNC CPUに格納しているデータをGOTのメモリカードに保存(バックアップ)・書き込み(リストア)が可能である。トラブル発生時にCPU交換後のデータ復旧が容易であり、ダウンタイム短縮に貢献する。

(3) ログビューア機能

CNC CPUでサンプリングしたデータをGOTのログビューア機能で表示させて各種信号波形の診断をその場でを行い、早期トラブルシューティングを可能にした。

3.5 機能安全対応強化

C80シリーズでは自動車に代表される製造ラインを中心に、要求の高い安全機能についても大幅に強化しており(表2)、最新の安全規格である“EN ISO13849-1:2015(Cat.3, PL d)”“EN 62061:2005/A2:2015(SIL CL2)”にも適合している。

今回、安全関連信号監視機能用に安全信号ユニットを新規に開発した(図9、表3)。この機能はドア信号や非常停止などの安全関連I/Oの制御回路をCNC CPU内で二重化することで、一方の回路が故障したときでも他方の回路が動作していることによって安全性を確保している(図

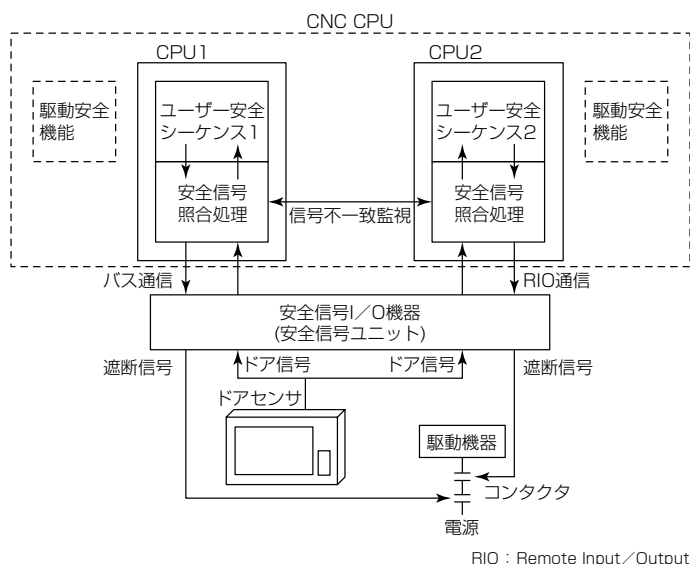


図10. 安全信号監視機能概略

10)。C70シリーズでは、この機能をCNC CPUとシーケンサCPUの間で実現していたため、使用可能なシーケンサCPUに一部制約があった。しかし、C80シリーズではその課題を解決したことで制約はなくなり、これまで以上に柔軟なシステム構築が可能となっている。

4. む す び

MELSEC iQ-Rシリーズ対応の次世代CNC C80シリーズについて述べた。C80シリーズは工場全体の最適化・見える化によって、製造ラインシステムの付加価値向上に寄与する製品である。今後も多様な市場要求に応える製品開発に努めていく。

参 考 文 献

- (1) 中村直樹, ほか: 最新モデルCNC“M800/M80シリーズ”, 三菱電機技報, 89, No.4, 247~250 (2015)

新型制御装置搭載ワイヤ放電加工機 “MVシリーズ”

犬飼 賢*

Wire-cut Electrical Discharge Machine "MV Series" with New Controller

Ken Inukai

要 旨

2012年に販売を開始したワイヤ放電加工機“MVシリーズ”は、国内だけでなく海外でも好評を得ているが、顧客のニーズは電子機器・自動車部品・モバイル機器の高性能化に伴い、生産に用いる金型の製造や部品加工には、高精度化とともに、グローバルでの競争力向上に向けた、短納期、低コストなど生産性向上が求められるようになった。

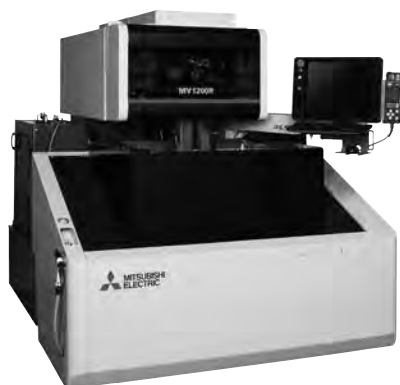
このようなニーズに応えるために、三菱電機数値制御装置“M800W”を放電加工機用に最適化し、加工性能の向上、操作性の向上・ヒューマンエラーの削減など生産性向上を支援する優れた機能を実現した新型制御装置“D-CUBES”を開発し、MVシリーズに搭載した。

また、FA総合ソリューション“e-F@ctory”を適用し

たものづくりを放電加工の現場へも導入することで、IoT (Internet of Things)を活用した生産支援を進めるため、リモートサービス“iQ Care Remote4U”を開始した。

新適応制御“D-CUBES NL制御”の技術によって、2回加工(加工面粗さRa0.8μm)速度を従来比で40%アップさせた。また、制御装置の画面の切替え操作や入力した内容の確定操作などを見直すことで、新型制御装置の画面の操作数を従来比で約40%削減し、操作性の向上とヒューマンエラー削減を実現した。

“iQ Care Remote4U”のサービスの活用によって、稼働率向上やランニングコスト削減を実現している。



D-CUBES MV1200R



D-CUBES MV2400R

形名	MV1200S/MV1200R	MV2400S/MV2400R
各軸移動量 (X×Y×Z) (mm)	400×300×200	600×400×310
各軸移動量 (U×V) (mm)	±60×±60	±75×±75
最大工作物寸法 (mm)	810×700×215	1,050×820×305
使用ワイヤ電極径 (mm)	φ0.1～φ0.3	φ0.1～φ0.3
使用加工液	水	水
設置寸法 (幅×奥行) (mm)	2,025×2,760	2,687×3,030

ワイヤ放電加工機“MV D-CUBESシリーズ”

ワイヤ放電加工機“MVシリーズ”の新シリーズとして、IoT技術を活用したリモートサービス“iQ Care Remote4U”に対応する新型制御装置D-CUBESを搭載し、高精度金型加工から部品加工まで幅広い用途に対応する“MV D-CUBESシリーズ”を開発した。また、生産性向上を支援するため、“iQ Care Remote4U”のコンテンツも同時に開発した。

1. ま え が き

2012年に販売を開始したワイヤ放電加工機MVシリーズは、当社のワイヤ放電加工機の全世界販売の約90%を占め、世界累計販売台数5,000台を超えるなど、国内だけでなく海外でも好評を得ている。加工機に対する顧客のニーズは時代とともに変化しており、昨今では電子機器・自動車部品・モバイル機器の高性能化に伴い、生産に用いる金型の製造や部品加工には、高精度化とともに、グローバルでの競争力向上に向けた、短納期や低コストなど生産性向上が求められるようになった。

このようなニーズに応えるために、当社数値制御装置M800Wを放電加工機用に最適化し、生産性向上に寄与する優れた操作性と機能を、ナビゲーション機能やワイヤ電極極線量リアルタイム検出機能などによって実現した新型制御装置D-CUBESを開発し、MVシリーズに搭載した。

また、2003年から提供している顧客の生産現場に合わせた最適なFA総合ソリューションe-F@ctoryを適用したもののづくりを放電加工の現場へも導入することで、IoTを活用した生産支援を進めるため、リモートサービス“iQ Care Remote4U”を開始し、加工機の稼働状況やメンテナンス状況などをパソコンやスマートフォンなどからリアルタイムで監視する“ダッシュボード機能”と、遠隔地から加工機の画面を操作・確認することで、マシンダウン時間の短縮をする“リモート診断機能”を提供する。

本稿では、新型制御装置D-CUBESとリモートサービス“iQ Care Remote4U”の特長について述べる。

2. D-CUBESの特長

2.1 加工性能による生産性の向上

加工機の実産性向上のためには、加工速度や加工精度など加工性能の向上が不可欠である。新型制御装置搭載MVシリーズでは、制御装置の性能を生かした新加工サーボ“D-CUBES NL制御”を開発した。新制御では、従来の2倍の制御周期で加工速度をフィードバックし、加工寸法の推定を行う。これによって、加工量が最適化されることで、従来の制御で発生していた加工面ごとの取りすぎや取り残しを抑制し、放電ギャップの均一化が可能になった(図1)。この制御による少ない加工回数での面粗さの改善や寸法差の抑制によって、2回加工(加工面粗さRa0.8μm)の速度を従来よりも40%アップした(図2)。

また、D-CUBES NL制御と仕上げ加工用の電源回路である“H-FS回路”によって、8回加工が必要であった加工面粗さRa0.2μmを従来よりも2回少ない6回加工で実現した。

新型制御装置搭載MVシリーズでは、これらの技術による高精度・高速加工で、顧客の生産性向上を実現した。

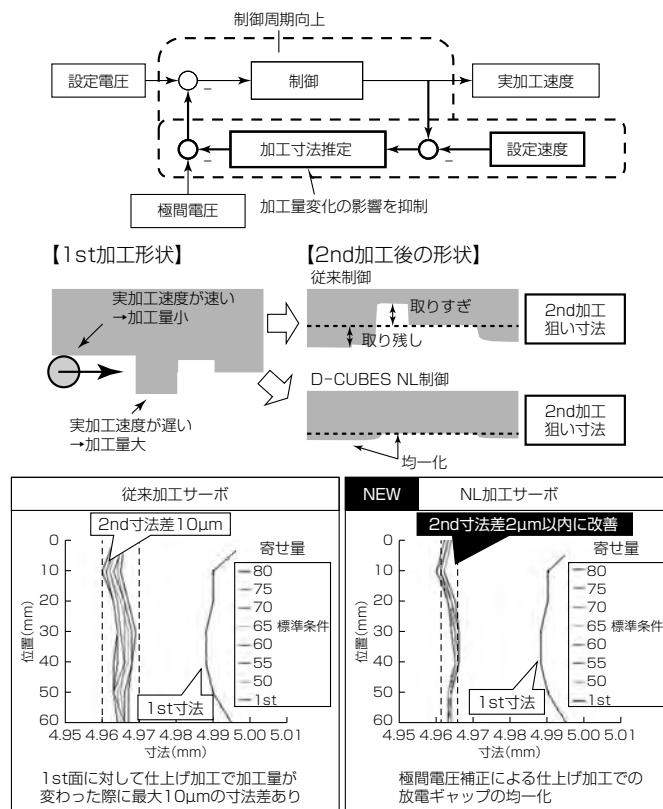


図1. D-CUBES NL制御

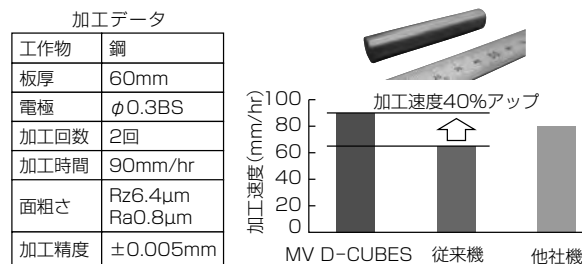


図2. 加工速度の比較

2.2 操作性による生産性の向上

新型制御装置では、“つながる”“簡単操作”“ヒューマンエラー削減”をキーワードに、良いものを早く安く作ることによる顧客の生産性向上の支援を目指した。

“つながる”については後述する“iQ Care Remote4U”のダッシュボードへのデータ通信やリモート診断だけではなく、新型制御装置上で直接ダッシュボードを参照可能とした。

“簡単操作”と“ヒューマンエラー削減”については、次の4つの機能を実現させた。

(1) “HOME画面”からのワンタッチ呼出し機能

新型制御装置は画面サイズを従来の15インチから19インチに大型化し、スマートフォンやタブレット感覚で操作できるタッチパネルを搭載した。画面の大型化に伴って加工中の進捗状況、加工の安定度、消耗品の状態が一目で分かるHOME画面を新規搭載し、また、HOME画面から必要な機能をワンタッチで呼び出す機能も開発した(図3)。

(2) 操作ナビゲーション機能

放電加工機は人による作業が多く、技術を必要とする作業もある。そのため、作業者の育成に時間がかかることや、ヒューマンエラーによる加工不良の発生といった問題がある。この問題に対し、作業手順を明確にし、作業漏れをなくすために、操作ナビゲーション機能を新規開発した。これに合わせて、各作業について、画面の切替え操作や入力した内容の確定操作などを見直し、操作数を以前から約40%削減し作業の効率化を実現した(図4)。

(3) 作業確認リストによる作業漏れチェック機能

作業手順に従来は顧客が独自に作成していた作業確認リストを加工機に取り込み、チェックが漏れている場合は加工スタートのインターロックを取り、作業漏れによる加工不良などヒューマンエラー削減のための機能も組み込んだ(図5)。

(4) 手元操作箱の新機能

段取り作業での使用頻度が高い手元操作箱も一新した。液晶画面を搭載し、ワークや治具との干渉を防止するためのZ軸のソフトリミットやドライラン時の軸移動速度のオーバーライド機能を追加し、作業効率の向上を実現した(図6)。

2.3 ランニングコストの削減

ワイヤ放電加工機は、ワイヤ電極線、加工液フィルタ、



各パネルからワンタッチで画面を呼び出すことができる

図3. HOME画面



メニューを左から順に操作することで、作業者を加工まで導くことができる

図4. 操作ナビゲーション機能

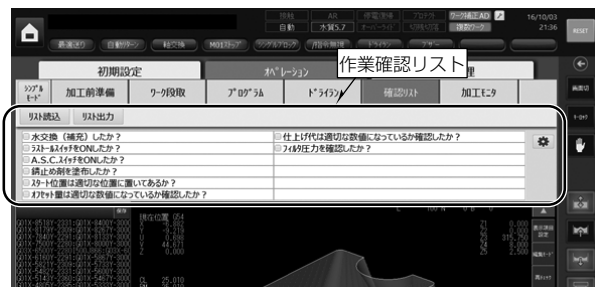
給電ダイス、イオン交換樹脂など多くの消耗品が必要である。これらの消耗品は交換時期を逃すと加工不良や加工機の故障の原因となり、逆に早く交換するとランニングコストが高くなるため適切に管理したいとの要望が多い。

(1) ワイヤ電極線のランニングコスト削減

ワイヤ電極線については、従来技術ではワイヤの重さを設定し、ワイヤの送給速度からワイヤの残量を減算することによって管理をしていたが、加工時以外は減算を行わないなど実際のワイヤ残量と合わないため廃棄ワイヤが発生し、ランニングコストが増加するという問題があった。そこで、新型制御装置の開発に合わせ、ワイヤ電極線のポビンの回転数とワイヤ電極線を送給するローラの回転数から、ワイヤ電極の残量をリアルタイムで検出する機能を開発した。この機能によってワイヤの適切な交換時期が分かり、廃棄ワイヤを削減することが可能となり、ランニングコストを削減することができる。機能開発に当たりモニタを実施した顧客の使用例では年間1,000kgのワイヤ電極線使用で60kg(7万円)の削減が可能である⁽¹⁾(図7)。

(2) 加工液フィルタのランニングコスト削減

また、加工液フィルタについては、従来は作業者がフィルタへの供給加工液の液压をメータで読み、フィルタ寿命を判断するか、フィルタの使用時間を事前に設定して時間で管理をしていたが、圧力センサを取り付けて加工機に取り込むことで、時間ではなく圧力で加工機が直接管理する



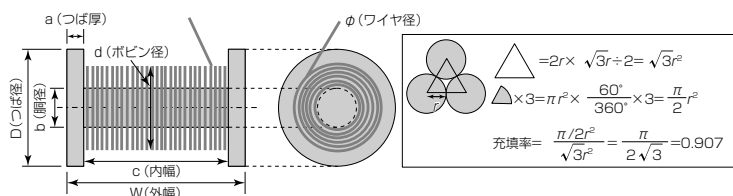
作業確認リストを全てチェックしないと加工がスタートできない
作業確認リストは顧客が作成したテキストファイルを読み込むことができる

図5. 作業確認リスト



液晶画面にソフトウェアキーを搭載
切り替えることで多彩な機能を実現

図6. 手元操作箱



K (空間充填率) : 胴径からボビン径の範囲でワイヤ電極が占める体積割合
(最密充填時の理論値は0.907)

L (ワイヤ送り距離)

残ワイヤ体積 $= \pi \{ (d/2)^2 - (b/2)^2 \} \times c \times K = \pi$
 $(\phi/2)^2 \times L \therefore K' (d^2 - b^2) = L$ ここで、 $K' = c \times K \div \phi^2$

(例) $c=90\text{mm}$, $K=0.7$, $\phi=0.2\text{mm}$ の場合, $K' = 90 \times 0.7 \div 0.2^2 = 1,575(\text{mm}^{-1})$

図7. ワイヤ電極線量の求め方

ことを可能にした。さらに、複数のフィルタに対して、加工液の流路を分けることで圧力管理によるフィルタの自動切替え機能を開発し、フィルタの交換が遅れることによる加工機の故障を防止することを可能にした。フィルタの自動切替えによる長時間の連続運転や、故障時の費用を抑制することによってトータルでの保全コスト削減を実現できる。

3. リモートサービス“iQ Care Remote4U”

3.1 ダッシュボード機能

ダッシュボードは放電加工機の稼働情報、加工予測時間や電力消費量、消耗品の交換時期などを顧客のパソコンやスマートフォン、タブレットでいつでも確認できるサービスである。作業者は加工終了、アラーム情報、ワイヤ残量情報などをメールで受け取ることで加工機の停止時間を削減できる。管理者は複数台の稼働率、コスト情報をIoTプラットフォームで収集・蓄積し、一元管理して分析することで、生産プロセスの改善、ランニングコスト低減に活用できる(図8)。

また、放電加工機の稼働情報だけでなく、作業状況の見える化で、ワークの平面・平行出しや基準位置決めなどの段取り作業の中で時間がかかっている作業を具体的に把握することができ、作業者の教育によるスキルアップや段取り用治具の作成などで時間がかかっている要因を取り除くことが可能となり、稼働率の向上を実現できる⁽²⁾(図9)。

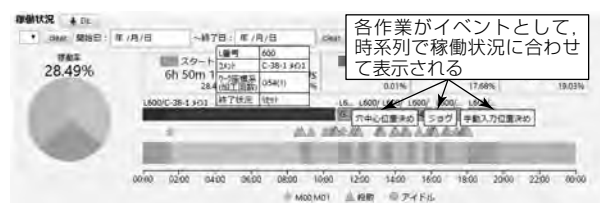
さらに、複数台の加工機を作業員1人で管理する場合には、加工機がストップ状態で放置されることがある。ダッシュボードでストップ状態が長く、無駄があると把握した場合は、加工機の待機電力を最小限にする省電力モードを使用することで、消費電力コストの削減も可能とした。

3.2 リモート診断機能

リモート診断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VPN(Virtual Private Network)で接続し、加工機の状態を遠隔から確認する機能である。サービスセンターからアラーム内容、加工条件を確認し、生産現場と放電加工機の画面や情報を共有することで、迅速な診断でマシンダウン時間を最小化したり、スムーズに加工状況を把握して、加工改善のアドバイスをするなど、顧客の稼働率向上、生産性向上を実現できる。



図8. “iQ Care Remote 4U”のダッシュボード



自動運転を実施する自動モード、段取り作業を実施する手動モード
 手元操作箱からの軸移動指令の入力や、位置決めメニュー等の画面操作から作業者の作業状況を制御装置が自動で判断し、作業状況データを出力する

図9. 作業状況の見える化

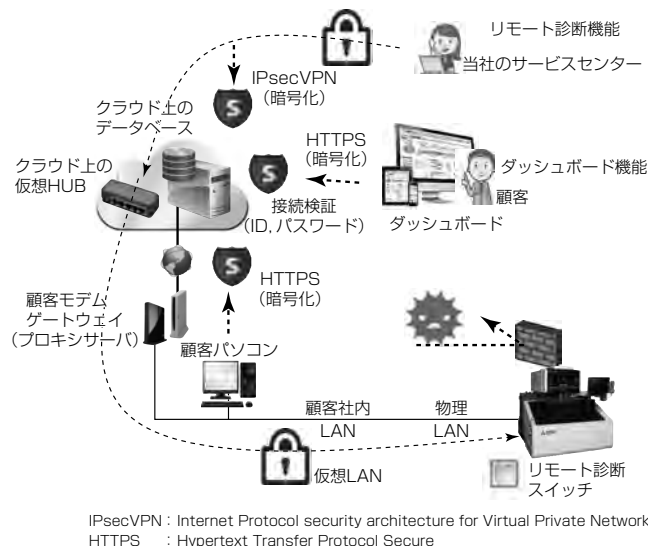


図10. リモートサービスのセキュリティ

情報セキュリティについては、暗号化による安全性に加え、加工機側にリモート診断スイッチを設け、顧客の許可なく加工機への接続ができないように考慮している(図10)。

4. む す び

新型制御装置D-CUBESとリモートサービス“iQ Care Remote4U”の特長について述べた。リモートサービスは開始したばかりであり、今後とも顧客のニーズに応えた製品を開発することで、顧客の生産性向上に貢献していく。

参 考 文 献

- (1) 中川孝幸, ほか: 特許出願番号PCT/JP2016/083760, ワイヤ放電加工機
- (2) 加藤達也, ほか: 特許出願番号PCT/JP2016/083963, 作業状況見える化装置

EcoMonitorPlus アナログ／パルス入力ユニット

野邊勇樹*

EcoMonitorPlus Extension Model for Analog/Pulse Input Unit

Yuki Nobe

要 旨

近年、従来の省エネルギー用途に加え、予防保全や品質管理用途など、生産性向上を目的としたエネルギー計測ニーズが高まっている。この状況に対応するため、各種電気を計測可能なエネルギー計測ユニット“EcoMonitorPlus”の増設ユニットとして、各種センサ(温湿度センサ、振動センサなど)のアナログ信号を計測・監視可能な“アナログ入力ユニット”，及び生産数量や流量(水、エアなど)のパルス信号を計測・監視可能な“パルス入力ユニット”を開発した。主な特長は次のとおりである。

(1) エネルギー管理&予防保全を実現

基本ユニットと増設ユニットを組み合わせることで、電

力量・漏洩(ろうえい)電流・温度・振動・流量(水、エアなど)を同時に計測できるため、エネルギー管理と予防保全を同時に実現可能である。

(2) MODBUS RTU通信機能を標準搭載

MODBUS^(注1)通信(RS-485)機能によって、シーケンサや表示器(GOT)でのデータ収集が可能である。計測したエネルギーデータや各種センサの計測値を生産情報等と一元管理することによって、生産設備ごとのエネルギー消費量計測や、リアルタイム計測による設備の予防保全、生産情報とリンクした品質管理指標への活用などが可能である。

(注1) MODBUSは、AEG Schneider Automation Inc.の登録商標である。



省エネ+予防保全
電力監視に Plusαを

エネルギー計測ユニット“EcoMonitorPlus”

生産ライン・生産設備などの各種エネルギー(電力量、電流、電圧など)、各種センサ(温湿度センサ、振動センサなど)のアナログ信号、及び生産数量や流量(水、エアなど)のパルス信号を計測するエネルギー計測ユニットである。MODBUS RTU(Remote Terminal Unit)通信機能を標準搭載しており、上位システム(シーケンサなど)と接続することで、MODBUS RTU通信によってエネルギーの管理が可能となる。また、増設ユニット方式を採用することで、用途に応じたユニット構成とすることが可能となる。

1. ま え が き

省エネ法改正による事業者単位のエネルギー管理の導入に伴い、生産現場における省エネルギーへの取組み強化が求められている。これによって、ピーク電力カットによる使用電力の削減や、計測ポイントの細分化、エネルギーデータと生産数の一元管理による原単位管理のニーズの高まりなど、計測機器に求められるニーズが変化している。三菱電機は、この状況に対応するため、単回路・表示付きのエネルギー計測ユニット“EcoMonitorLight⁽¹⁾”、及び計測対象によって自由にユニットの構成を変更可能なEcoMonitorPlus⁽²⁾を販売している。

さらに、生産現場では設備の保全コストやダウンタイムの削減のため、予防保全のニーズが高まっている。当社は、この状況に対応するため、各種エネルギーデータ(電力量、電流、電圧など)を計測可能なEcoMonitorPlusの増設ユニットとして、各種センサ(温湿度センサ、振動センサなど)のアナログ信号を取り込み可能な“アナログ入力ユニット”、及び生産数量や流量(水、エアなど)のパルス信号を計測可能な“パルス入力ユニット”を開発した。

2. アナログ・パルス入力ユニット

2.1 製品仕様

アナログ入力ユニット、パルス入力ユニットの主な仕様

表1. アナログ・パルス入力ユニットの主な製品仕様

項目		仕様	
形名		EMU4-AX4(アナログ入力ユニット)	EMU4-PX4(パルス入力ユニット)
入力仕様	入力点数	4点	
	入力信号形式	差動入力(0~5V, 0~20mA)	無電圧接点
	絶縁方式	フォトカプラ絶縁	
	定格電圧・電流	電圧: 0~5V(入力抵抗1MΩ) 電流: 0~20mA(入力抵抗250Ω) 入力レンジ(電圧/電流)は切替え可能 (設定によってチャンネルごとに切替え)	DC6.5V, 10mA(本体から供給)
	入力パルス条件	—	パルス ON時間: 30ms以上, OFF時間: 30ms以上
	計測要素 ^(注2)	AD変換値, スケーリング値, レベル超過回数	パルス入力: パルスカウント値, パルス換算値 接点入力: 稼働時間, 接点状態 外部入力(パルス入力/接点入力)は切替え可能 (設定によってチャンネルごとに切替え)
	計測値の範囲	AD変換値: 0~4,095 スケーリング値: -32,767~+32,767	パルスカウント値: 0~999,999 パルス換算値: 0.001~999,999,000
	精度	AD変換値: 入力定格の±1.0%(23℃ ±10℃)	—
	データ更新周期	1ms×チャンネル数 ^(注3) , 50ms×チャンネル数 ^(注3)	—
出力仕様	出力信号形式	無電圧a接点1出力	
	機能	スケーリング値上下限監視, スケーリング値上限監視, スケーリング値下限監視	パルス換算値上限監視
	警報要素		
	定格閉電圧・電流	DC35V, 75mA又はAC24V, 75mA(力率1)	
絶縁方式		半導体リレー絶縁	
外形寸法(mm)		37.5(W)×90(H)×92.9(D)(突起部を除く)(突起部を含めた最大寸法: 41.5(W)×99(H)×92.9(D))	
適合規格		CE マーキング(EMC: EN61326-1: 2013, 安全: EN-61010-1: 2010), UL: UL61010-1	

(注2) 各要素の計測内容

- ・AD変換値: 入力されたアナログ値を“0~4095”のデジタル値に変換した値(例: “0~100℃”を“0~4095”に変換)
- ・スケーリング値: AD変換値を別のスケールに換算した値(例: “0~4095”を“0~100℃”に換算)
- ・レベル超過回数: 設定したしきい値を超えた回数をカウントした値(3. 2節)
- ・パルスカウント値: 入力されたパルス数をカウントした値
- ・パルス換算値: 入力されたパルス数を別のスケールに換算した値(例: 水の使用量に換算)
- ・稼働時間: 接点が入力(ON)された時間を積算した値(例: 設備稼働状態を接点入力することで、設備の稼働時間を計測)
- ・接点状態: 接点の入力状態(ON/OFF)

(注3) AD変換を許可に設定したチャンネル数

を表1に示す。“設備の温度や振動などを計測することで予防保全を行いたい”顧客向けの“アナログ入力ユニット”及び“生産数量や流量(水・エアなど)の計測を行いたい”顧客向けの“パルス入力ユニット”の2機種を増設ユニットとしてラインアップした。表2の機能と組み合わせることで、測定対象に応じた最適な構成で計測できる。また、計測ニーズの変化に応じてユニット増設による拡張が可能である(図1)。

2.2 製品コンセプト

(1) エネルギー管理+予防保全を1台で実現

従来のEcoMonitorPlusでは、電力量などを活用したエネルギー管理に加え、負荷電流や漏洩電流などの電気量計測を活用した予防保全が可能であった。しかし、故障モードによっては電気量計測だけでは故障の予兆把握が難しく、振動や温度などの情報が必要となる場合がある。そこで、各種センサのアナログ信号を取り込み可能なアナログ入力ユニットを増設ユニットのラインアップに加えることで、従来の電気量計測による予防保全に加え、振動や温度などによる予防保全を可能とした。

(2) 電気量+流量+生産数量の計測を1台で実現

従来のEcoMonitorPlusでは、パルス信号の入力が基本ユニット(高機能品)の1点だけであったため、生産数+流量(水、エアなど)の複数のパルス信号を取り込めなかった。そこで、パルス信号を取り込むパルス入力ユニットを

表2. EcoMonitorPlusの機種

種別	名称	形名
基本ユニット	電力計測経済品	EMU4-BM1-MB
	電力計測高機能品	EMU4-HM1-MB
	絶縁監視品	EMU4-LG1-MB
増設ユニット	同電圧系統増設品	EMU4-A2
	異電圧系統増設品	EMU4-VA2
	アナログ入力ユニット	EMU4-AX4
	パルス入力ユニット	EMU4-PX4
	ロギングユニット	EMU4-LM
オプションユニット	B/NET通信ユニット	EMU4-CM-B
	CC-Link通信ユニット	EMU4-CM-C

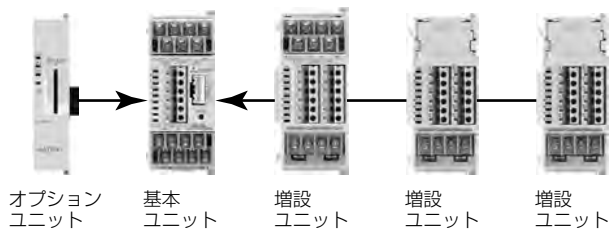


図1. EcoMonitorPlusユニット増設による拡張

増設ユニットのラインアップに加えることで、電気量+流量+生産数量など、設備の情報をトータルで計測可能とした。

3. 特長及び製品化のための技術

3.1 アナログ信号のサンプリング周期と通信時間

3.1.1 アナログ値収集時の課題

アナログ入力ユニットは、振動センサ(変位、速度)による異常を検出するために、サンプリング周期を1msとした。しかし、従来のEcoMonitorPlusでは要求に対して現在値を応答するため、上位システムはサンプリング周期ごとにデータ収集を行う必要があるが、1ms分のデータ収集に76msの通信時間が必要であり、通信が間に合わず欠測が生じる問題があった(図2)。

3.1.2 データ収集方法変更による対策

1ms分のデータは、通信時間の制約によって1電文当たり1データを収集する従来の手法では収集できないため、MODBUS RTUの複数個のデータを一度に送受信する機能を活用し、アナログ入力ユニット内部に記憶した100ms分のデータを一括して送受信する処理を実装した。これによって、100ms分のデータを71msで収集でき、欠測のないアナログ値の収集を実現した(図3)。

3.2 アナログ信号のしきい値監視方法

各種センサによって計測されるアナログ信号は短サイクルで大きく変動するため、単純なしきい値による上下限監視では、“警報発生と復帰”を繰り返し、設備の異常状態などを正しく判定できない。そこで、従来の上下限監視

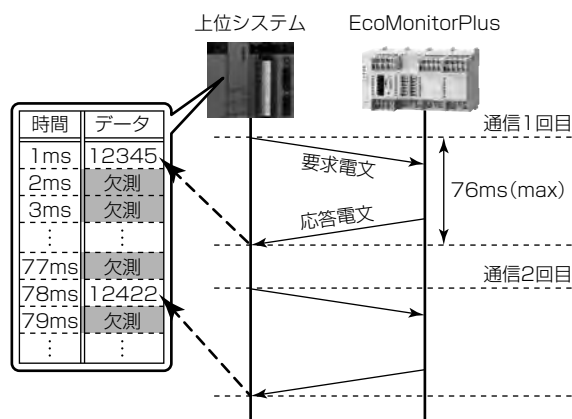


図2. 1ms周期での通信(従来機種)

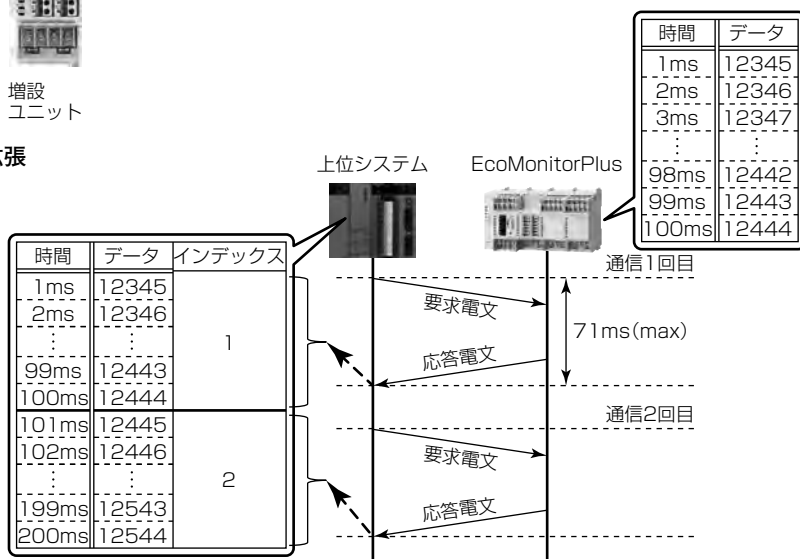


図3. 1ms周期での通信(アナログ入力ユニット)

に加え、“しきい値を超過した発生回数をカウントし、一定回数を超過した回数(レベル超過回数)をカウントする”機能を実装した。この機能では、上下限監視のしきい値(レベル)をA~Dの4段階持ち、それぞれの超過回数をカウントする。超過回数が規定回数に達したかを管理することで、“A：注意段階、B：警戒段階、C：メンテナンス段階、D：設備更新段階”など、段階別に設備の状況を管理でき、計画的な設備保守に貢献可能である(図4)。

4. e-F@ctory連携事例

当社が提唱するFA統合ソリューション“e-F@ctory”との連携事例を述べる。

4.1 シーケンサとの連携

EcoMonitorPlusとシーケンサを活用して、原単位管理による省エネルギー・生産性の改善や、設備の予防保全が実現可能である。また、標準搭載のMODBUS RTU通信機能を活用した各種シーケンサの通信では、ラダープログラムの作成工数を削減するためにファンクションブロック(FB)

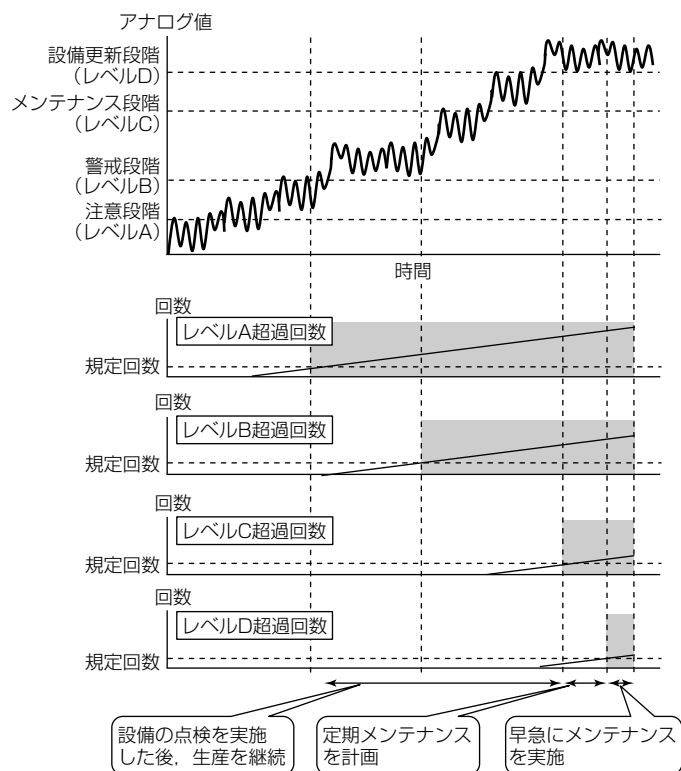


図4. レベル超過回数の使用例

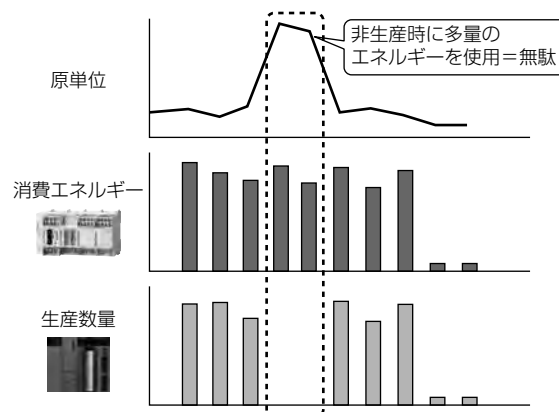


図5. エネルギー情報と生産情報による無駄の発見

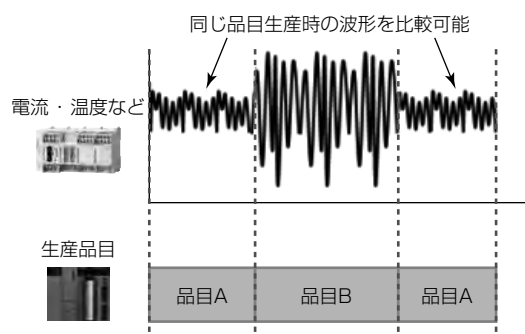


図6. アナログ信号と生産情報による予防保全

を提供している(当社FAサイトから無償ダウンロード可能)。

(1) 原単位管理

EcoMonitorPlusで計測したエネルギー情報(電力量・流量)とシーケンサが持つ生産情報(生産数量・設備稼働状態など)を基に、原単位管理によって無駄を見つけることができる。例えば、生産していない時間帯に多量のエネルギーを消費していた場合、生産工程の見直しや、非生産時の設備電源OFFなどで無駄が削減できる(図5)。

(2) 予防保全

電流や温度などを用いた予防保全を行う場合、設備の生産品目や稼働状況などによって計測値が異なるため、計測値だけでは異常値の判定が難しい。そこで、シーケンサが持つ生産情報(生産品目・設備稼働状態など)と組み合わせた監視を行う。これによって、同じ生産品目を生産している場合の計測値の比較や、設備立ち上げ時などの同じ条件での比較が可能となり、設備の予防保全が実現できる(図6)。

4.2 GOTとの連携

標準搭載のMODBUS RTU通信機能を活用してGOTと通信することで、省エネルギー目的でのエネルギーの見え

る化、予防保全用途での各種アナログ信号の見える化が可能である。また、見える化を実現するためにサンプル画面を提供している(当社FAサイトから無償ダウンロード可能)。

5. む す び

ユニットの増設による拡張が可能なエネルギー計測ユニット“EcoMonitorPlus”の増設ユニットである、“アナログ入力ユニット”と“パルス入力ユニット”について述べた。今後は、この製品の更なる機能向上及び製品ラインアップの充実化によって、顧客の省エネルギーと予防保全に貢献可能なエネルギー計測ユニットの製品開発に取り組んでいく。

参 考 文 献

- (1) 松岡靖教：エネルギー計測ユニット“EcoMonitor Light”，三菱電機技報，88，No.4，269～272 (2014)
- (2) 成井徹志：エネルギー計測ユニット“EcoMonitor Plus”，三菱電機技報，90，No.4，247～250 (2016)

IoTを活用した生産技術の革新

神原一博*
安部潤一郎*

Innovation of Manufacturing Engineering Based on IoT

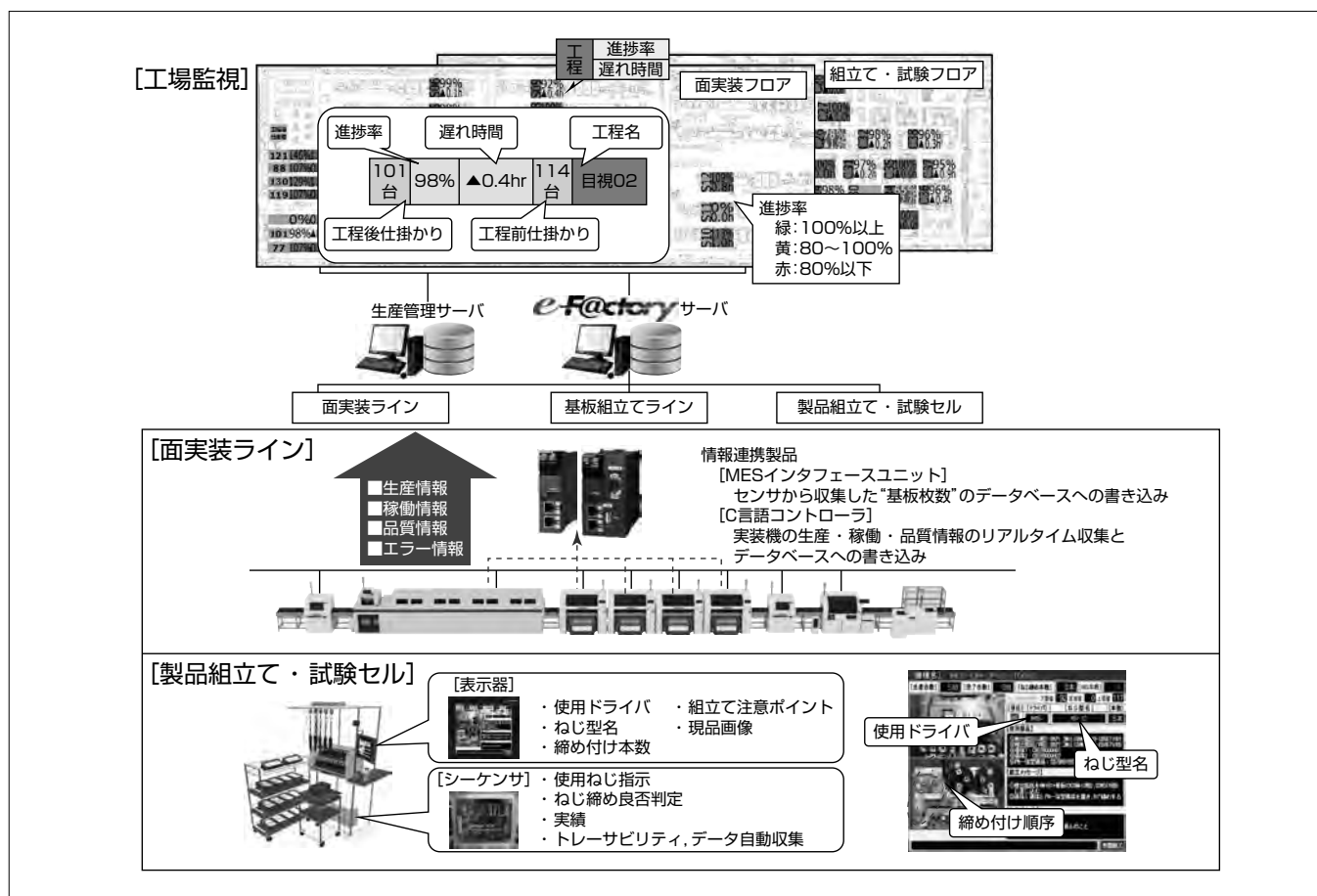
Kazuhiro Kambara, Junichiro Abe

要 旨

近年、ますます高度化・多様化する製品ニーズに対応するため、あらゆる局面でIT・IoT(Internet of Things)の活用が注目されており、ものづくりを取り巻く業務プロセスや環境の最適化は非常に重要なものとなっている。三菱電機では、2003年から当社のFAとITの最新技術を融合したFA統合ソリューション“e-F@ctory”によって、ものづくりの将来像を見据えた生産技術の革新に取り組んでいる。

FA機器を製造している当社名古屋製作所では、国内・海外市場に適応した多様な製品開発と需要変動に対応した

変種変量生産の状況下でも高い品質と生産性の両立が必要となっている。この状況下では、変動要因(生産機種・生産量の変動)に対して生産ラインをいかに即応させるかが重要であり、従来の生産ラインの個別最適化から全体最適化への移行が必要となっている。e-F@ctoryでは、生産現場での人の作業や設備の稼働状況などの各種データをリアルタイムに収集することで、生産現場のPDCA(Plan Do Check Action)サイクルを効率的に高速で回しており、高い品質と生産性の確保や、改善活動に対して蓄積されたデータを即時分析・活用することが可能である。



FA機器製造の全体e-F@ctoryの構成

工場監視では、各種設備で使っているFA機器やセンサを駆使して工場全体の生産進捗をリアルタイムで監視している。面実装ラインでは、設備データを収集し、可視化・分析を行い設備停止ロス最小化や最適サイクルタイム維持を目的とした“面実装稼働管理システム”を実現した。また、製品組立て・試験セルでは、作業ミスの防止と作業教育の効率化のためのデータ収集・分析を活用した“ねじ締め作業支援システム”を実現した。

1. ま え が き

近年、消費者ニーズは多様化しており、製造業は進歩の著しいIT・IoTを活用し、消費者ニーズにいかに対応していくかが重要になってきている。こうした動きに対し、欧米、そしてアジアでも国を挙げての取組みが盛んになってきている¹⁾。

本稿ではこれらの動向を踏まえ、当社が考えるものづくりの将来像及びその実現に向けた取組みであるe-F@ctoryについて具体例を交えて述べる。

2. ものづくり環境とe-F@ctoryの取組み

2.1 ものづくりの将来像

将来のものづくりでは、あらゆる局面でIT・IoTの活用が進む(図1)。市場の情報分析による需要予測や生産設備から収集したビッグデータの活用による予防保全等の実現、生産ラインシミュレータによる機械と人の最適配置や、3Dプリンターによる試作品製作の活用等が挙げられ、各工程の効率化や期間短縮が劇的に進む。

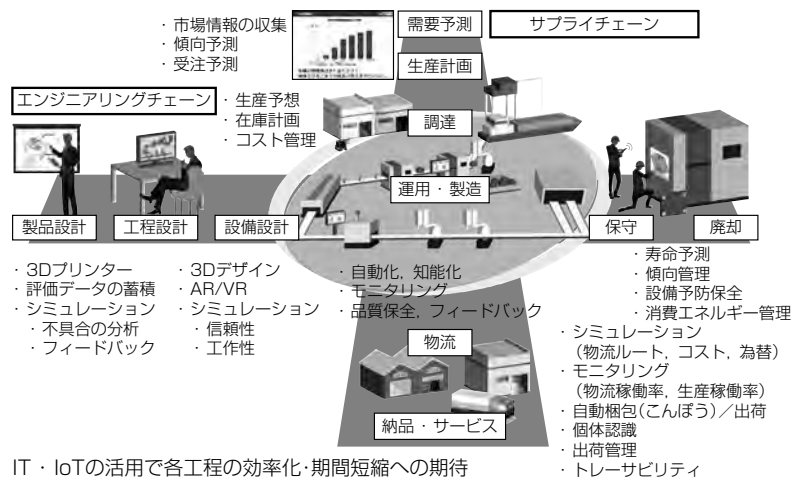
これらの技術が進化し、これまで以上にデータ活用の重要性が増していく中で、ものづくりを取り巻く業務プロセスの最適化は非常に重要なものとなる。昨今ではAI(Artificial Intelligence)を用いた製造工程の自動化や最適化も劇的に進みつつある。しかしながら、シミュレーションの結果と、現実世界のあらゆる環境の変化やばらつきを含めた結果は必ずしも一致しない。結果の是非の判断やルールの検証で“人”の知見とのすり合わせは必須であり、これらを抑えた上で理想を追求することが必要と考える。

そのような状況の中、最新の技術やデータをうまく活用しながら、業務プロセスのPDCAをいかに効率的に高速で回し、ものづくりの工程を最適化していくか、その基盤技術や標準化を含め、仕組みを構築していく必要に迫られている。

当社はものづくりの将来像の実現に向け、2003年からFAとITの最新技術を融合したFA統合ソリューションe-F@ctoryによって、ものづくりの革新に取り組んでいる。

2.2 FA統合ソリューションe-F@ctory

IT・IoTの進展によって、生産現場では、機器から収集されるデータを活用した生産の最適化が求められている。e-F@ctoryでは、生産現場とITシステム(MES(Manufacturing Execution System)やERP(Enterprise Resource Planning)を含む上位情報システム)を連携する製品群と、センサレベルからITシステムレベルまでシームレスに接続するネットワークを提供し、生産現場の可視化と、収集データのリアルタイムな分析に基づいた改善(フィードバック)を実現してきた。これによって、生産現場での“生産性”“品質”“環境性”“安全性”“セキュリティ”の向上と、顧客の



IT・IoTの活用で各工程の効率化・期間短縮への期待

図1. IT・IoTを活用したものづくり

TCO(Total Cost of Ownership)削減を推進してきた。加えて、機種間連携による制御の高速化、ITシステムと生産現場の情報連携、パートナーとの連携“e-F@ctory Alliance”を通じ、一歩先のものづくりを支援するトータルソリューションの実現にも取り組んでいる。

また、FA-IT間の中間層はシームレスな連携だけでなく、システム全体の最適化の役割も担っている。当社はこの中間層を“エッジコンピューティング”と呼び、e-F@ctoryの大きな特長として位置付けている。

このアーキテクチャの下、FAとITの連携及びデータの活用によって、ものづくりの進化と企業価値を向上させるソリューションが“e-F@ctory”である。

3. e-F@ctoryの適用事例

国内・海外市場に適応した多様な製品開発と需要変動に対応した変種変量生産の状況下でも高い品質と生産性の両立が必要となっている。この状況下では、変動要因(生産機種・生産量の変動)に対して生産ラインをいかに即応させるかが重要であり、従来の生産ラインの個別最適化から全体最適化への移行が必要となっている。

e-F@ctoryでは、生産現場での人の作業や設備の稼働状況などの各種データをリアルタイムに収集することで、生産現場のPDCAサイクルを効率的に高速で回しており、高い品質と生産性の確保や、改善活動に対して蓄積されたデータをすぐさま分析・活用することが可能である。

ここでは、当社のFA機器の製造現場を対象に変種変量生産に対応したフレキシブル生産を実現する取組み事例について述べる。

3.1 工場監視

FA機器の1つであるシーケンサの生産は、主に基板実装(面実装、基板組立て)、製品組立て・試験の工程からなり、約3,000種類ある製品機種が、各工程にある複数の設備や試験機をわたって生産される。

その中で、製品の高い品質と生産性を維持するためには、決められた生産方法を遵守し、定められた品質基準を満たす必要があり、常に同じ作業を一定の間隔で繰り返すことが最良である。しかし、日々の生産の中では、緊急オーダーや、設備トラブル、作業遅れなどに起因した生産変動が少なからず発生し、これら変化点に対しすみやかな対応が必要となる。シーケンサ工場では、工場全体の生産進捗のリアルタイムな監視(図2)と、設備稼働情報や試験直行率など変動要素を一元的に可視化し、分析・評価できる体制を構築している。また、これら生産情報は各工程、設備の生産スケジュールの立案・調整にも活用し、生産進捗や設備稼働情報に、部材の在庫情報、人員配置など生産リソースの制約を組み合わせ、精度の高い生産スケジュールを作成している。その結果、生産遅れや、品質トラブルが発生したとしても、迅速な生産リソースの組み替えが可能となり、ライン停止時間を最小限に抑え、高い生産性と品質を確保している。

3.2 面実装ラインの全体最適化

面実装ラインは、プリント基板の表面に電子部品を高速に実装するために自動化した生産ラインであり、高い生産性を期待される。変種変量生産で、常に変化する生産機種や生産量に対して効率的な生産をフレキシブルに行う必要がある。これを実現するために設備データを収集して可視化・分析を行い設備停止ロス最小化や最適サイクルタイム維持を目的とした“面実装稼働管理システム”を導入している(図3)。

主要設備である実装機では、設備の稼働状況や部品単位での実装情報をFA機器によってリアルタイムに収集し、集中監視している。この機能の主要4項目について述べる。

3.2.1 稼働率向上

リアルタイムに設備停止要因の見える化を実施し、段取り時間、実装時間(設備停止ロス)のどこに問題点があるかを見える化している。段取り時間短縮には工場内の部品所在管理と各ラインの段取り進捗状況を見える化することによって、生産計画に対して機種切替えのタイミングを割り出し、複数ある面実装ラインに対する段取りの優先付けを行っている。作業者はこの優先指示に基づき、段取り台車に部品をあらかじめセットすることで、最小限のライン停止の中で機種切替えが可能となっている。段取り作業の進捗はリアルタイムに可視化され、作業遅れに対しては他作業者の応援を指示し、早期対応を促すことで、計画どおりの作業遂行を可能としている。

3.2.2 設備停止ロス削減

稼働中の設備停止を未然に防止するため、生産計画と部品装着機内の部品残数をリアルタイムで収集し、補充部品の事前準備を実施している。また、定期的な設備メンテナンス(治工具、設備パラメータ)が必要な箇所には、リアルタイムに収集した設備情報を用いた傾向管理によって予防保全を計画的に行う体制を構築している。

3.2.3 設備タクトバランスの向上

面実装ラインを構成する設備間のタクトバランスが均衡となるよう工程設計しているが、生産プロダクトミックスの変動によって、タクトバランスが崩れ、スループットの低下を招くリスクがある。そこで、設備ごとのタクトバランス率を統計的に管理し、例えば、複数ある実装機間のバランスが崩れていることが分かれば、設備間が受け持つ部品配置を見直すことで、部品搭載数の設備間分散によるサイクルタイムの維持・向上を図っている。

3.2.4 品質向上

各設備で発生する不具合情報の傾向管理によって原因を

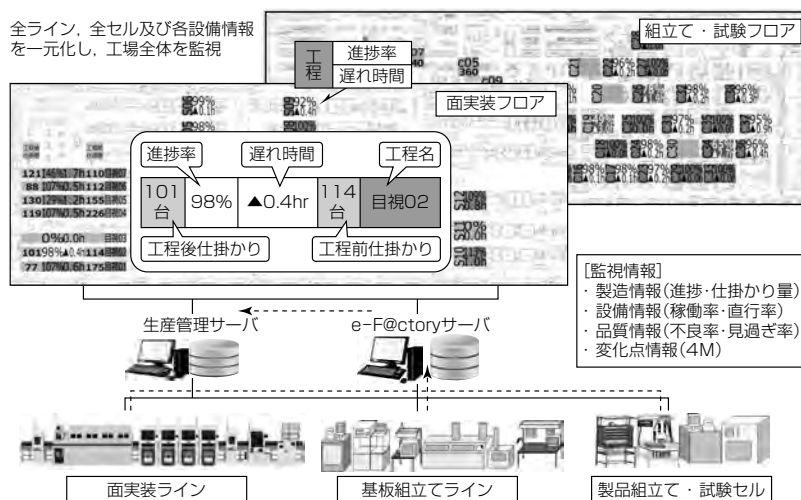


図2. 工場まるごと見える化

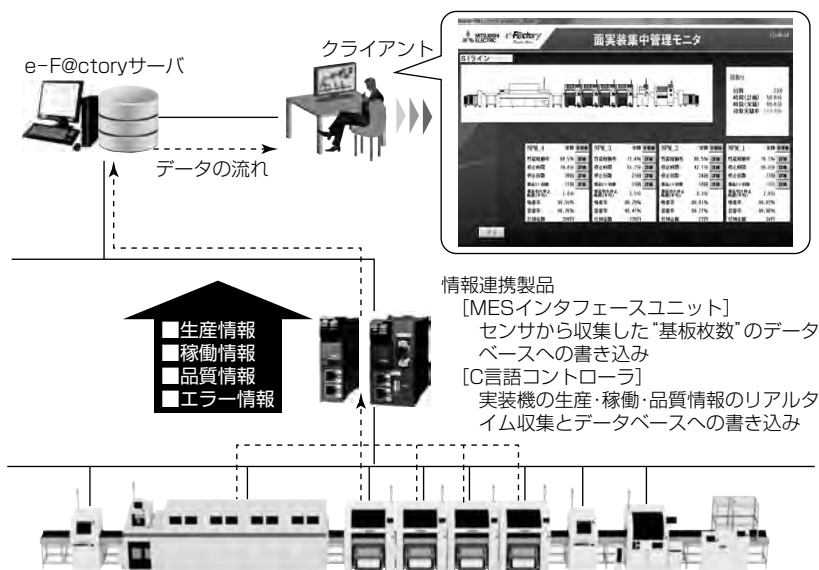


図3. 面実装稼働管理システムの構成

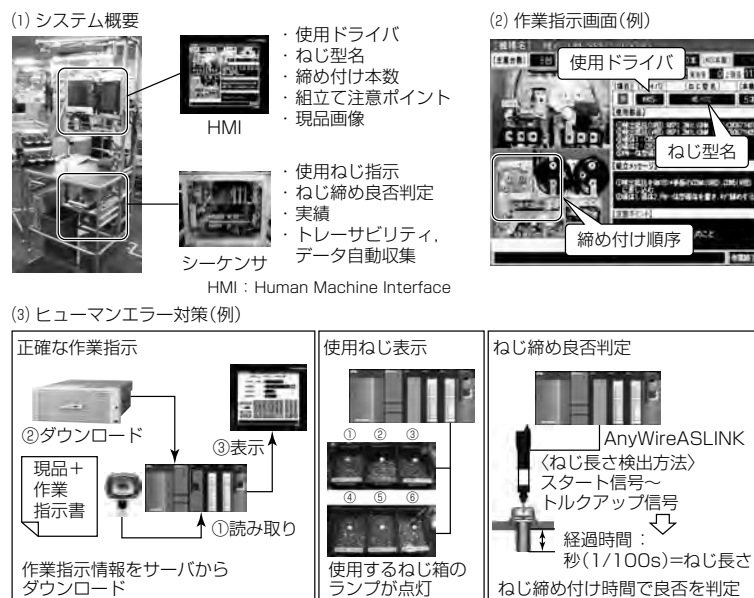


図4. ねじ締め作業支援システム

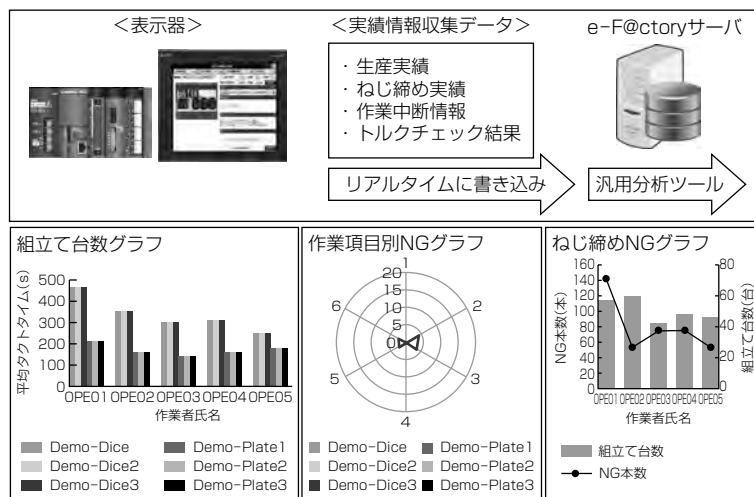


図5. 作業分析ツール

追究し、品質の作り込みを実施している。外観検査機では、目視検査で収集した実不良実績結果を分析し、検査判定式を見直すことで見過ぎ率を改善させ、真の不良を早期に捉える取組みを実施している。また、はんだ付け検査機では、不良検出結果を分析し、各設備の生産条件へフィードバックすることで作り込み品質の向上を図っている。さらに、製造トレーサビリティとして基板に印字した製品シリアル番号と部品・基板の生産ロット、検査・試験結果のひも付けを実施し、生産履歴と変化点管理の体制を構築している。

3.3 製品組立てセルにおける作業支援システム

シーケンサを組み立てる生産現場では、多品種を短納期で生産するため、小ロット多サイクルに対応しやすい人によるセル組立て生産方式(人セル)を用いている。人セルでは生産性や品質が作業者の習熟度に依存する 경우가多く、作業ミスの防止と教育の効率化が課題となっている。

“ねじ締め作業支援システム”では、システム制御用シーケンサが各作業手順を表示器に示し、表示内容に従って人

が部材組み付けやねじ締め作業を行うシステムとなっている。ねじ締め作業では、ねじ締めを行う位置、ねじの種類、及び使用する電動ドライバなどの情報が表示器上に示されるため、指示どおりに作業を行うことができる。電動ドライバの作動状態はシーケンサで常時監視されており、指定どおりのドライバを用いて必要数量のねじを締め、ねじは合っているかなどが自動チェックされ、作業ミス防止となっている(図4)。

また、多品種化に対応するために作業指示手順書の作成時間の短縮が必要となるが、製品設計時に作成する設計データの活用及び専用の手順書作成ツールの活用によって、作成時間短縮を実現している。

電動ドライバの作動情報は作業記録として、データベースに自動収集されている。作業記録は汎用分析ツールを用いて可視化し、組立てセルの工程ごとの作業手順や作業者ごとの作業時間を容易に分析することができる(図5)。作業時間の変化から、部品間違いの検知、部品に起因する品質不具合の未然防止につなげている。また、作業者ごとの時間分析からは、作業習熟度合いの確認や不得意作業の抽出が可能で、指導ポイントを的確に把握することができるため、作業者の教育期間は従来の約50%に削減できる。

4. む す び

製造現場でのITを活用した生産革新をテーマに、当社が考えるものづくりの将来像と、e-F@ctoryを適用した面実装ラインと製品組立てセルの取組み事例について述べた。いずれも製造現場から収

集・蓄積した増大なデータをひも付け、分析することによって従来では検知できなかったデータ間の相関関係を見だし、一段高い生産技術の革新を目指した取組みである。

今後の活動でも、製造現場に潜在化する問題をデータ解析技術によって事前に顕在化させることは重要であり、未然防止と再発防止を兼ねた予防管理型のものであり、積極的な変革を進めていく。まだ独立して存在している各種データを有機的に結び付け、従来の三現主義を軸とした現場の知恵と、最新のIT技術を融合させて改善したPDCAサイクルを効率的かつ短期的に回すことで、止まらない、不良を出さない信頼性の高い製造現場の実現を目指していく。

参 考 文 献

- (1) 経済産業省製造産業局：IoTによるものづくりの変革(2015)
<http://www.nisc.go.jp/conference/cs/kenkyu/dai01/pdf/01shiryou0604.pdf>

FAでのAI技術 (機械学習・ビッグデータ分析)の活用

三井 聡*
 毬山利貞**
 遠山泰弘*

AI Technologies (Machine Learning and Big Data Analysis) for Factory Automation

Satoshi Mii, Toshisada Mariyama, Yasuhiro Toyama

要 旨

近年、製造業に対するモノのインターネット(Internet of Things: IoT)導入の流れが加速し、生産現場で発生する多種多様なデータを簡単に収集することが可能になりつつある。これらのデータに機械学習やビッグデータ分析等のAI(Artificial Intelligence: 人工知能)を適用して生産性や品質の向上につなげる取組みも活発化している。

三菱電機では、FAとITの連携及びデータの情報化と活用によってものづくりを進化させるFA統合ソリューション“e-F@ctory”で、生産現場での可視化・分析・改善を実現し、企業のTCO(Total Cost of Ownership)削減と企業価値の向上を支援している。可視化・分析・改善の実現には人・機械・ITの協調が重要であり、特に分析・改善のための要素技術の1つとしてAI技術の開発に取り組んでいる。

製造業でよく用いられる指標の1つである総合設備効率

(Overall Equipment Efficiency: OEE)を向上させるという観点において、例えば以下に示すAI技術の活用事例がある。

(1) 生産性向上を実現するAI技術

ロボットアームのティーチング作業による教示作業の認識に用いるディープラーニング技術。

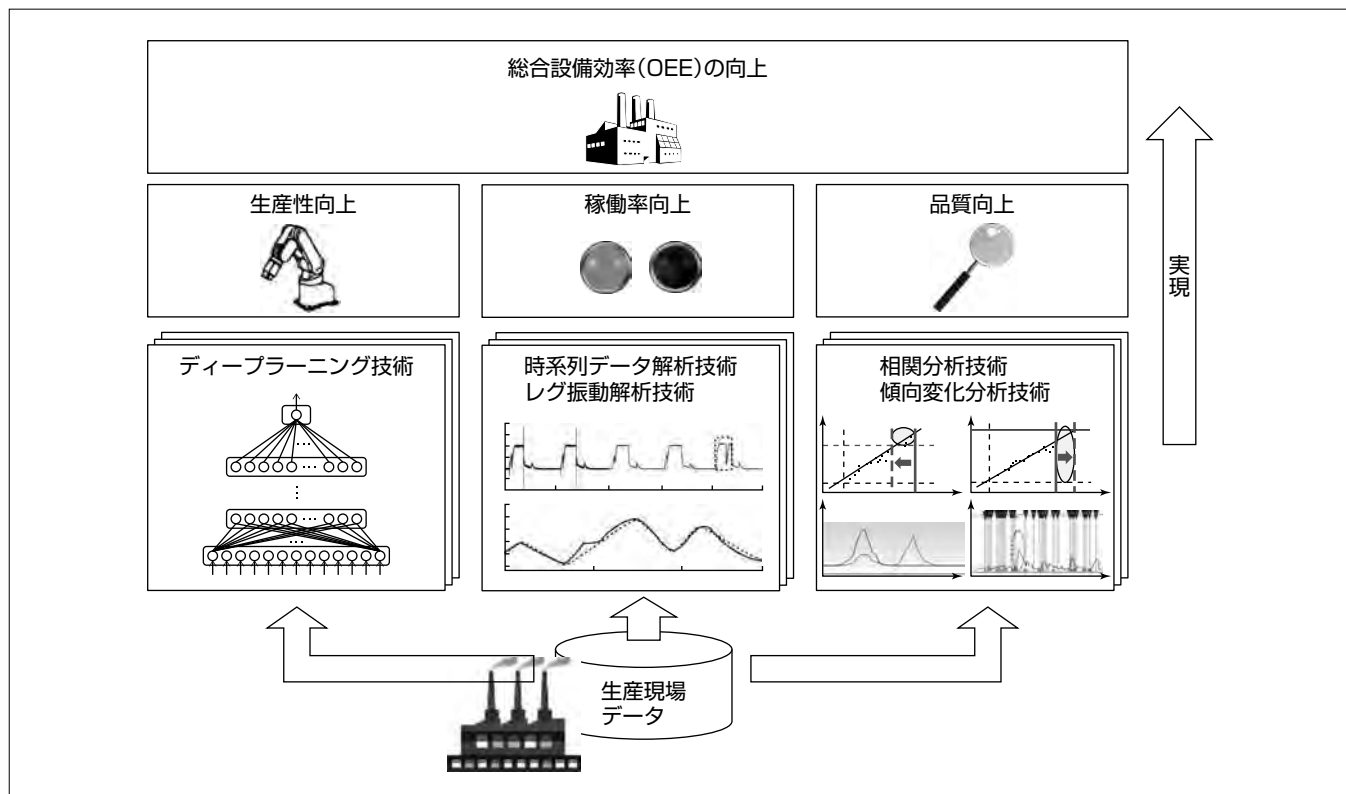
(2) 稼働率向上を実現するAI技術

製造装置の故障予兆検知に用いる時系列データ解析技術とレグ振動解析技術。

(3) 品質向上を実現するAI技術

適切な検査基準値設定を支援する相関分析技術と、不具合製造を未然防止する傾向変化分析技術。

これらのAI技術は、産業用ロボットやエッジコンピューティング等に搭載可能な要素技術である。



総合設備効率向上に寄与するAI技術の例

総合設備効率を向上させるためには、生産性向上、稼働率向上、品質向上を実現する必要がある。当社では、これらの向上実現に向けて様々なAI技術を開発している。AI技術の一例として、ロボットアームのティーチング作業による教示作業の認識に用いるディープラーニング技術、稼働率向上に向けた時系列データ解析技術とレグ振動解析技術、品質向上に向けた相関分析技術と傾向変化分析技術がある。

1. ま え が き

近年、製造業におけるIoT導入の加速に伴い、生産現場から発生する多種多様なデータに対してAI技術を適用して生産性や品質の向上につなげる取組みが注目を集めている。当社も、FAとITの連携及びデータの情報化と活用によってものづくりを進化させるFA総合ソリューションe-F@ctoryの要素技術の1つとして、AI技術の開発に取り組んでいる。

本稿では、総合設備効率向上のための生産性向上、稼働率向上及び品質向上を実現するAI技術について述べる。

2. 生産性向上

ティーチング作業はロボットアームを稼働させる上で不可欠な作業であるが、ティーチング作業者がロボットアームに組立て作業を実施してみせて、その認識が可能になれば、ティーチング作業は大幅に軽減される。人の作業を認識するにはモーションキャプチャが適しているが、その中でカメラ映像を活用する手段が最も負担が少ない方法と考えられる。カメラ映像から作業を認識するためには、ディープラーニング技術を活用することが盛んになっているが、計算量が膨大になるため、サーバ又はGPU(Graphics Processing Unit)を使った計算機が必要となる。導入コスト面を考えると、汎用のパソコンで実現することが重要となるため、ディープラーニングの計算量を削減する開発に取り組んでいる。

ディープラーニングは、脳の神経回路をノードと枝からなる数理モデルで表現したもので、古くはニューラルネットワークと言われるAI技術の1つである(図1)。多次元情報処理に適したCNN(Convolutional Neural Network)と呼ばれるものや、時系列処理に適したRNN(Recurrent

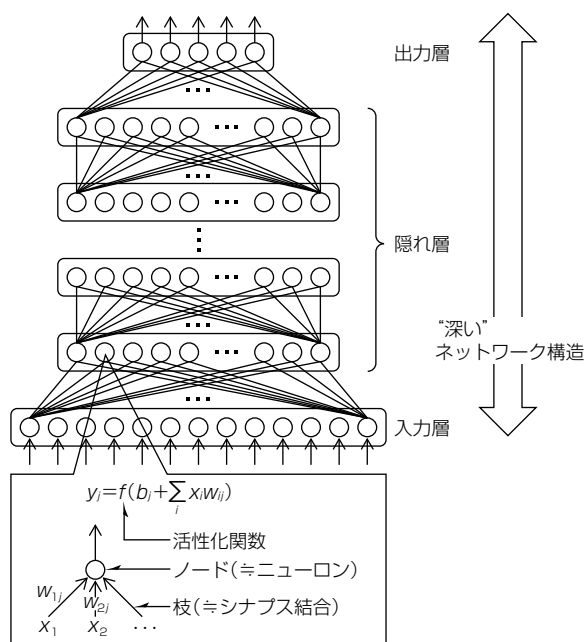


図1. ディープラーニングのネットワークモデル例

Neural Network)と呼ばれるものがあるが、どちらもノードと枝からなるネットワーク構造を持っている。

通常は、より複雑な状況を理解しようとするれば、入力層にはより多くのノードが必要となり、ノードの数が増えると、枝の数も大きく増える。枝は積和計算が必要となるため、枝が多くなることは計算量が大きくなることを意味している。当社は、この枝をできるだけ多く削減しつつも、認識結果を維持する技術を開発している(図2)。

これによって、ディープラーニングを汎用のパソコンに搭載することが可能になり、少ない導入コストでティーチング作業者の言わば“お手本”を数値化してロボットアームに教示することが可能になる。図3に、このディープラーニングを実装した試作機を示し、図4に作業者の左右の手が物体をつかんで作業する映像から作業を認識・分析した事例を示す。

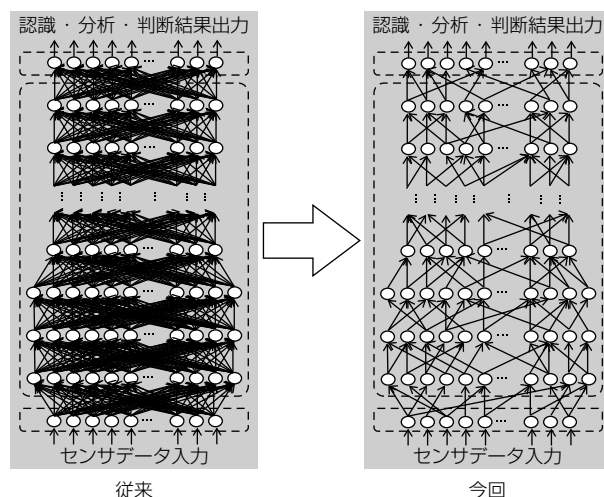


図2. 計算量を削減したディープラーニング

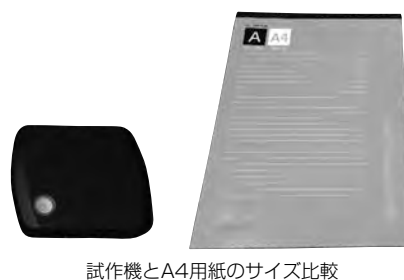


図3. ディープラーニングを実装した試作機

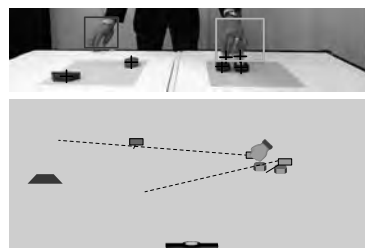


図4. ディープラーニングでの認識・分析事例

3. 稼働率向上

製造装置の予防保全による稼働率向上のためのデータ分析技術について述べる。製造工場で、製造装置が稼働中に故障・停止すると、損害額が数千万円規模と大きくなる場合がある。そのような現場では故障の予兆となる異常検知へのニーズが大きい。そこで、このような装置における故障直前の温度や電流データから、いつもと異なるデータの動きを検知することで故障予兆を検知する技術を開発した。この技術は、時系列データの時間的変化の微小な差異の検知や、上昇・下降傾向のルールベースでの検知を可能にする。この技術によって、時系列データの収集が可能な製造装置であれば、故障の予兆検知が可能になる。

3.1 時系列データ解析技術

製造装置では、装置の保全のために、センサから収集されるデータから故障予兆に関連する異常を検知したいというニーズがある。ここで異常検知に対して、以下の要請がある。

- (1) 製造装置では大きな障害が通常は発生しないことから、“学習のための異常データがなくても異常を検知できなければならない”。
- (2) 製造ラインの設備には温度、熱量、圧力、振動、電圧などの様々な特性をもつ多様かつ多数のセンサがあるが、従来の多くの異常検知アルゴリズムはセンサの特性ごとに設定を必要とするため、“センサの特性ごとにチューニングする手間を不要にしたい”。

異常検知に関しては様々なアルゴリズムが知られているが、これらニーズを満たす技術として、入力された時系列データから通常と異なる部分列を発見するアルゴリズム Discord方式⁽¹⁾がある。Discord方式は、次の手順で異常を検知する。

- (1) 異常を含まないと仮定されるデータ(学習データ)と、異常検知の対象とするデータ(テストデータ)を準備する。
- (2) 学習データ全体にスライディングウィンドウを適用し、部分列を作成する。
- (3) テストデータについても同様に部分列を作成する。
- (4) テストデータの部分列と学習データの部分列との距離を総当たりで計算し、計算された距離の中で最も小さい距離を基準として、異常の度合いを定義する。

すなわち、学習データ中のどの部分列とも似ていないテストデータの部分列を、異常な部分列として抽出することで、わずかな差異に対しても高精度に検出することが可能である。一方で、異常検知処理に要する時間が、学習データの長さに比例するという問題がある。

これに対し当社は、学習データの部分列の中から、典型的な特徴を持つ部分列(以下“標本部分列”という。)を選択し、標本部分列とだけ距離を比較する高速化手法を開発した。この手法によって、従来の総当たりの手法よりも

40倍程度高速に異常な部分列を検索することができ、リアルタイムに異常を検知可能となる。図5に異常検知の例を示す。これらの2つの例は、周期的に変化するデータに含まれる、異常挙動を検知できた例を示している。

3.2 レグ振動解析技術

製造装置の保全業務では、異常を検出するため、不規則に変動するセンサからの時系列データに対して、ある一定の振幅を超える上下変動の頻度を算出したいというニーズがある。次に上下変動の例を示す。

- (1) 空調機が正常の場合、部屋の実測温度はある一定時間後に設定温度に収束するが、センサや制御系に異常がある場合には、設定温度より高い温度と低い温度の間を振動し続ける(ハンチング現象)。
- (2) 配管詰まりがある場合、圧力が急激に上昇/下降する。

不規則に変動する時系列の上下変動を扱った従来技術として、データ工学分野ではレグを利用した技術がある。レグは、図6の点線に示すように、不規則な上下変動があっても全体として上昇、又は下降している部分列のことをいう。従来技術では、単独のレグによって上昇/下降傾向の異

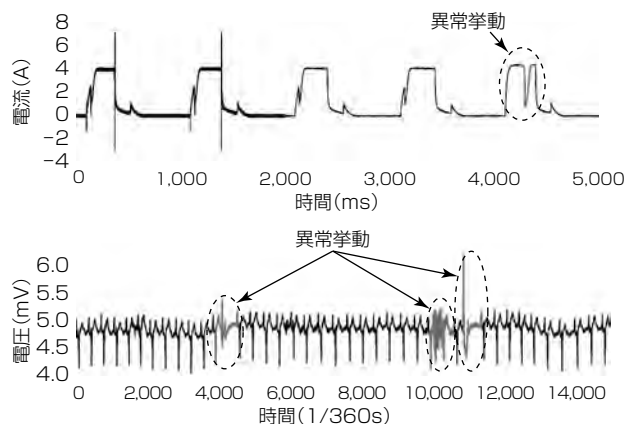


図5. 時系列データ解析技術による異常検知の例

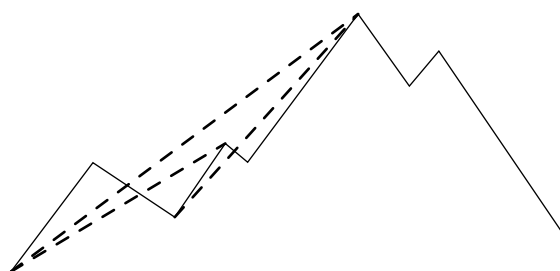


図6. レグの概念図

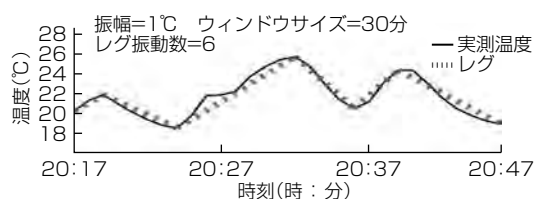


図7. レグ振動解析技術による異常検知の例

常を検知するため、上下変動の例のようなケースを検知できなかった。当社は、上昇傾向と下降傾向のレグが交互に出現するレグ振動を高速に検知するレグ振動解析技術を開発した。レグ振動解析技術を利用することで、図7に示すような“30分間に温度が1℃以上の幅で4回以上振動したら異常”といった複雑な条件の異常を検知可能になる。

4. 品質向上

工場の製造ラインは複数の工程で構成されており、各工程では品質に関する複数の検査が実施されている。ここでは、各検査で取得される情報を“製造データ”と呼ぶ。製造ラインでの歩留り向上や製造原価の低減を目的とした製造データの分析として品質分析がある。品質分析は古くからある手法で、例えばQC7つ道具(パレート図、特性要因図、管理図を含めたグラフ、チェックシート、ヒストグラム、散布図、層別)と呼ばれるデータ分析ツールを用いて情報を正しく分析し、品質改善活動を行ってきた。しかし、これらの手法は問題が発生した後に、問題の発見、原因把握、解消確認を行うためのものであり、品質問題の発生を事前に予測することは困難であった。そこで、品質向上、問題発生予測を目的として、当社は次の2つの技術を開発した。

- (1) 工程間に存在する関係性から、適切な検査基準値の設定を支援する相関分析技術
- (2) データ特性の傾向変化と不具合の関係から、不具合製造を未然に防止する傾向変化分析技術

4.1 相関分析技術

検査間の製造データに相関がある場合、ある工程の合格を判定する検査基準値の変更による後工程への影響を把握できるため、検査基準の最適化に利用できる。当社は、検査間の相関分析技術によって最適な検査基準値を求める“強化推薦手法”“緩和推薦手法”の2つの手法を開発した。

“強化推薦手法”は、基準値の強化によって、後工程での不合格の削減を目的としている(図8(a))。一方“緩和推薦手法”は、基準値の緩和によって、前工程での不必要な不合格の削減を目的としている(図8(b))。

4.2 傾向変化分析技術

製造時期や、保守・点検などのイベントによる製造データ特性の傾向変化を求めることで、検査における不合格発生頻度増加等の不具合製造に寄与する条件を抽出する。これによって、製造条件やイベントごとに、不具合製造の未然防止策を検討できる。

この技術では、不合格発生頻度を、製造データの時系列的な変化量、任意の検査項目の測定値をロット名・製造時期・製品仕様といった条件ごとに抽出した頻度分布を比較することで、様々な条件による製造データの分布の差異を確認できる。これによって、保守イベントや製造時期による不合格発生頻度の増加の兆候を発見し、不具合製造の未然防止や時期ごとの傾向に応じた検査基準値の厳格化が可能となる(図9)。

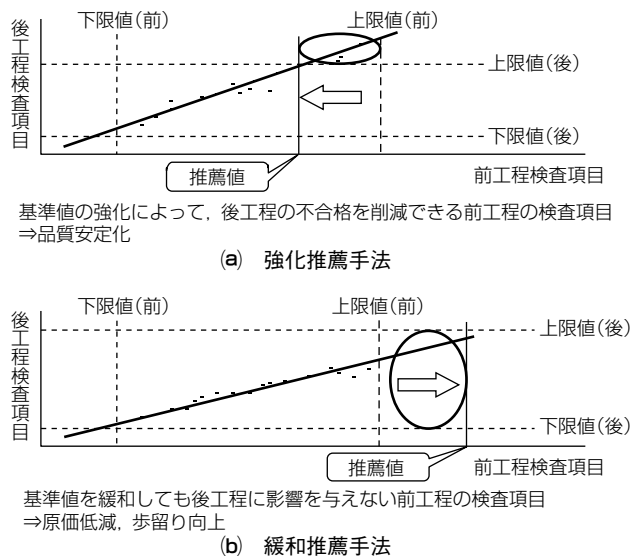


図8. 相関分析技術

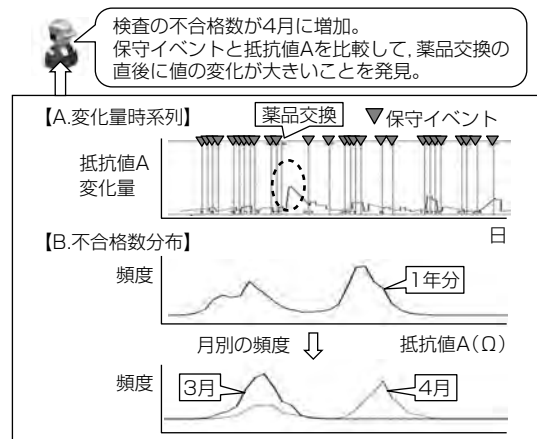


図9. 傾向変化分析技術

5. む す び

FAでのAI技術の活用事例について述べた。これらの技術を適用して生産性や稼働率、品質の向上を実現するには、本稿で述べた技術を単に適用するだけでは不十分で、対象とする生産設備や生産のプロセスについての知識、いわゆるドメイン知識が不可欠である。今後は、ドメイン知識の観点も考慮した、生産現場ごとに適用しやすいAI技術の開発に取り組む。

参 考 文 献

- (1) Rakthanmanon, T., et al.: Searching and Mining Trillions of Time Series Subsequences under Dynamic Time Warping, SIGKDD 2012, 262~270 (2012)
- (2) 中川路哲男: “e-F@ctory”を支えるFA機器の最新技術動向, 三菱電機技報, 90, No.4, 210~214 (2016)
- (3) 早川孝之: IoTが実現する未来社会, 三菱電機技報, 90, No.7, 378~382 (2016)
- (4) 平井規郎, ほか: 設備維持管理向けデータ分析技術, 三菱電機技報, 90, No.7, 416~420 (2016)