



家庭から宇宙まで、エコチェンジ



# 三菱電機技報

4

2016

Vol.90 No.4

## e-F@ctoryを支える最新のFA機器



### 目 次

#### 特集「e-F@ctoryを支える最新のFA機器」

The Digital Factory Based on Cyber-physical Systems	巻頭言	1
Joachim Seidelmann		
“e-F@ctory”を支えるFA機器の最新技術動向	巻頭論文	2
中川路哲男		
“MELSEC iQ-Rシリーズ”安全シーケンサ		7
内越正弘		
“MELSEC iQ-Rシリーズ” 高速アナログユニット・高速I/Oユニット		11
湯浅 健・橋本敦史・豊永匡利		
三菱シーケンサ“MELSEC iQ-Fシリーズ”		15
西本雅規・廣川 悠・梅田剛義・堀川 朋		
シーケンサエンジニアリングソフトウェア “MELSOFT GX Works3”		19
山岡孝行・永松博子・岩田秀章・森田将伍		
次世代FA電子マニュアル“e-Manual”		23
天野貢次・長尾大輔・舞田浩子		
グラフィックオペレーションターミナル “GOT2000シリーズ”の新機種・新機能		27
桑森心平・河相英典・山田智子		
CC-Link IEフィールドネットワーク対応サーボシステム		31
竹居寛人・安藤友典・國枝重利・入船義章		
産業用ロボット“MELFA Fシリーズ”		35
宮本昌和		
エネルギー計測ユニット“EcoMonitorPlus”		39
成井徹志		
常時インバータUPSの新機種“FW-S 100V2.0/3.0kVA”		43
丸山晋一郎・藤原賢司		
直流高電圧遮断器の製品拡充		47
小倉健太郎・三好伸郎		
油ワイヤ放電加工機“MX600極細線仕様”の開発による 微細加工市場への対応		51
菊地秀明		

#### FA Products Latest Trend in e-F@ctory System

サイバーフィジカルシステムに基づくデジタルファクトリ  
Joachim Seidelmann

#### Latest Trends on Factory Automation Technologies for “e-F@ctory”

Tetsuo Nakakawaji

#### “MELSEC iQ-R Series” Safety Programmable Logic Controller

Masahiro Uchikoshi

#### “MELSEC iQ-R Series” High-speed Analog-to-Digital Converter Module and High-speed I/O Module

Takeshi Yuasa, Atsushi Hashimoto, Masatoshi Toyonaga

#### Mitsubishi Sequencer “MELSEC iQ-F Series”

Masaki Nishimoto, Hisashi Hirokawa, Takayoshi Umeda, Tomo Horikawa

#### Programmable Controller Engineering Software “MELSOFT GX Works3”

Takayuki Yamakawa, Hiroko Nagamatsu, Hideaki Iwata, Shogo Morita

#### Next-Generation Factory Automation Manual “e-Manual”

Koji Amano, Daisuke Nagao, Hiroko Maida

#### New Model and Function of Graphic Operation Terminal “GOT2000 Series”

Shimpei Kuwamori, Hidenori Kawai, Tomoko Yamada

#### CC-Link IE Field Network Compatible Servo System

Hiroto Takei, Tomonori Ando, Shigetoshi Kunieda, Yoshiaki Iriune

#### Industrial Robots “MELFA F Series”

Masakazu Miyamoto

#### Energy Measuring Unit “EcoMonitorPlus”

Tetsushi Narui

#### New Model of Online Type Uninterruptible Power Supply “FW-S 100V 2.0/3.0kVA”

Shinichiro Maruyama, Kenji Fujiwara

#### Product Expansion of DC High Voltage Circuit Breaker

Kentaro Kokura, Nobuo Miyoshi

#### Expansion of Micromachining Market Share by Developing Oil Wire-cut EDM “MX600 with Ultra-fine Wire Specification”

Hideaki Kikuchi

#### 特許と新案

「放電加工装置」「プログラマブル表示器」	55
「エネルギー計測ユニット」	56

#### スポットライト

省エネデータ収集サーバ“EcoSever III”

#### 表紙：e-F@ctoryを支える最新のFA機器

三菱電機は先端技術と最高品質をベースとしたFA総合ソリューションの提供を通じ、世界のモノ作りに貢献。顧客満足“OnlyOne FA Supplier”への挑戦を行っている。

本号では“生産情報の見える化”“エネルギーの見える化”“安全の見える化”の実現による企業のTCO (Total Cost of Ownership)削減、企業価値向上を支援するe-F@ctoryを支える基幹製品を紹介する。

①当社シーケンサ“MELSEC iQ-R”は、生産設備の設計・立ち上げ・保守コストの削減、製造品質の安定化や堅牢(けんろう)なセキュリティを提供している。今回、同シリーズに安全制御を実現した“安全シーケンサ”を追加した。

②当社表示器は、基本性能、信頼性の高さに加え三菱FA機器との独自連携機能が好評である。今回の中型機種5.7型の充実を図り“GT27モデル”“GT21モデル”の各ラインアップを強化した。

③変種変量生産に対応するため、ロボットによるセル生産への要求が高まっている。当社は“MELFA-F”シリーズのラインアップを充実し顧客の要望に対応した。今回可搬質量20kg以上の下流工程に対応する“RV35F/50F/70Fシリーズ”を開発した。



# 巻/頭/言

## The Digital Factory Based on Cyber-physical Systems

サイバーフィジカルシステムに基づくデジタルファクトリ

Joachim Seidelmann



One of the major challenges for manufacturing industry in the well-developed countries like North America, Europe, and Japan for the next decade will be the transformation from mass production into a production environment which enables manufacturing of highly customized products at the cost the consumer is used from mass production (mass customization). The trend of individualization of products is even accelerated by the appearance of cyber-physical products (Internet of Things, IoT), where a major part of the individualization is done by customer itself via software. Additionally, the manufacturing industry is still driven by the need for more efficient production becoming more sustainable, with regard to energy, material, and work force (mass sustainability).

To tackle the challenges of mass customization and mass sustainability, it seems obvious to apply the concepts and technologies of cyber-physical solutions also to production systems to build cyber-physical production system (CPPS) the basis for the Digital Factory. Digital Factories, as well as Connected Digital Factories or digital value chains, need a high degree of IT-integration in basically three dimensions. The first dimension is the horizontal integration along the value chain, the second dimension is the vertical integration from Enterprise Resource Planning (ERP) level down to the sensor on the shop floor, and the third dimension is the consistent integration of the digital engineering from design, via the manufacturing, the operation and the recycling phases of the life cycle of (cyber-physical) products.

To enable the high degree of IT-integration and communication new types of IT-architectures has

to be deployed to the manufacturing industry. The usage of service-oriented architectures (SOA) on all levels of the ISA 95 pyramid for enterprise control systems integration (ERP level, MES level, and PLC/sensor/actor level) will enable data and service integration overcoming conventional architectures implementing multiple data silos in manufacturing networks. Additionally, applications will be split into more granular services and provisioned out of IT-cloud infrastructures enable the implementation and operation of highly flexible manufacturing IT solution at lower cost. This IT-architecture concept, also used in open source robotics control (industrial ROS) and IoT-platforms, also driven by major players from the IT industry like Google, Intel, and Microsoft with the goal of directly getting access to the data of the end customers shop floor, will enable the data- and knowledge-driven manufacturing needed for mass customized production.

Several national and global initiatives have been started by the industry and the national governments to support the digitalization of the manufacturing industry. Two major tasks have to be fulfilled by these initiatives. The first task is to work on a common understanding of the scope of Digital Factory on a global level. A good way to do so is to develop reference architectures as a basis for the discussion of different concepts and solutions. Based on these discussions standards can be easier developed and implemented into the industry. Second task is to mobilize small and medium sized enterprises (SMEs) as the benefits of the digitalization can only be leveraged in total when all involved parties in manufacturing industry support it.

### 概要

大量生産からマスカスタム生産への変革が製造業における主要課題の1つとなるだろう。マスカスタム生産では、大量生産と同コストで高度にカスタマイズされた製品が生産される。エネルギー、資源、労働力等を対象とする包括的持続可能性の実現も課題である。

マスカスタム生産と包括的持続可能性の実現に向け、サイバーフィジカル生産システムをデジタルファクトリの土台として構築することが望まれる。デジタルファクトリは、バリューチェーンの水平統合、ERPレベルから現場までの垂直統合、製品ライフサイクルに沿ったデジタルエンジ

ニアリングをITとの高度な統合によって実現される。

ITとの高度な統合実現には、製造業向けの新しいITアーキテクチャが必要である。サービス指向アーキテクチャをERPレベルから現場まで適用し、適度な粒度のサービスをクラウド基盤から提供することによって、高度に柔軟な生産ITソリューションが低コストで実現可能となる。

製造業のデジタル化を推進するための取組みが多数行われている。デジタルファクトリに対する共通理解の醸成と、中小企業を含めた全ての製造業関係者の結集が、これらの取組みによって実現されることが望まれる。



中川路哲男\*

## “e-F@ctory”を支えるFA機器の最新技術動向

## Latest Trends on Factory Automation Technologies for "e-F@ctory"

Tetsuo Nakakawaji

## 要 旨

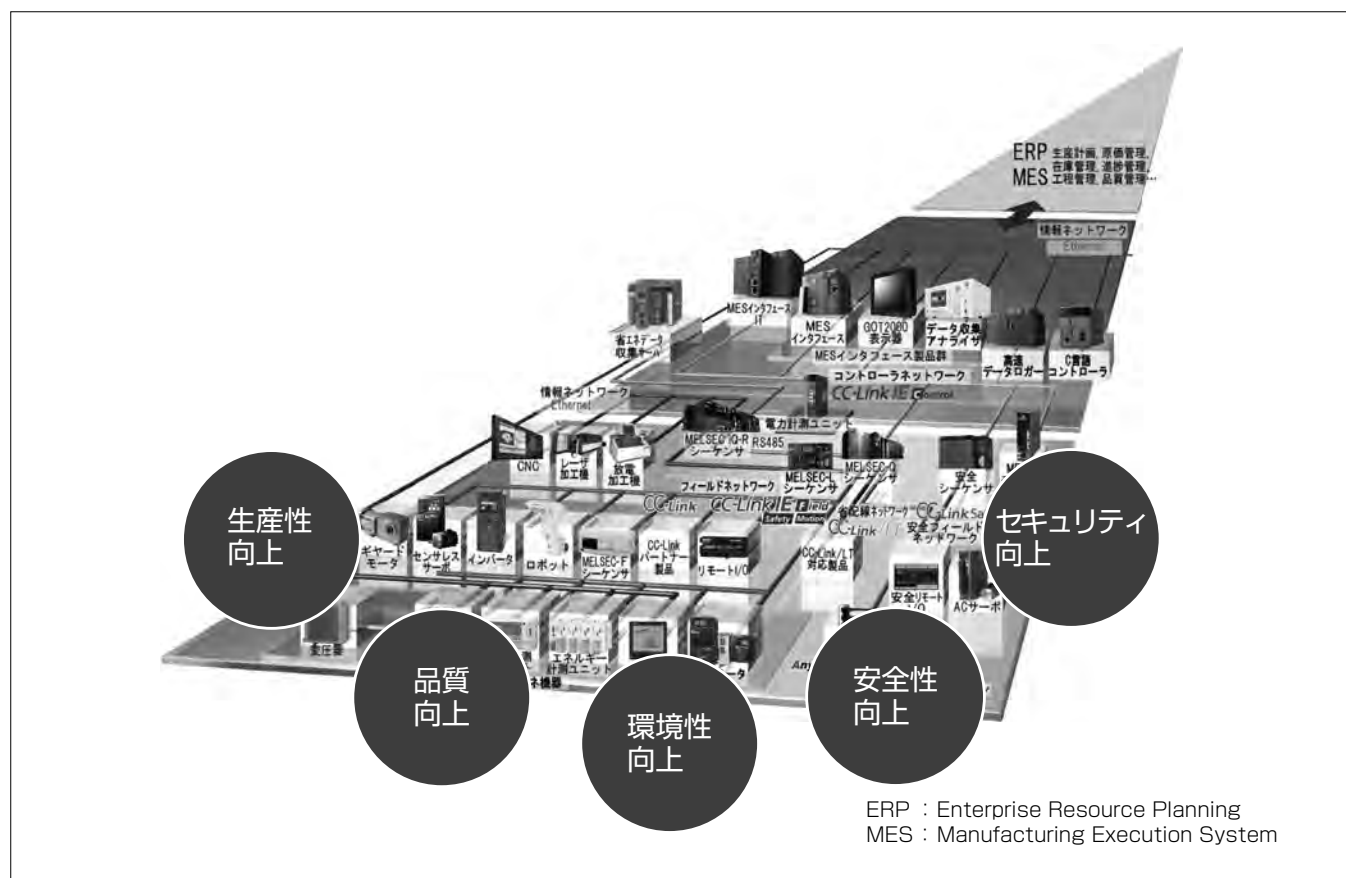
FA統合ソリューション“e-F@ctory”は、三菱電機が2003年に提唱して以来、FA技術とIT技術の活用によって開発・生産・保守全般のTCO(Total Cost of Ownership)を削減して企業価値向上を支援することを基本コンセプトとしてきた。

製造業を取り巻く環境は、継続的に変化している。近年は、多種多様なものをネットワーク化するというモノのインターネット(Internet of Things: IoT)が製造業に導入され、次世代のものづくりに向けた革新が始まっている。

このような変化に対して、e-F@ctoryによる生産現場の最適化で重要となる“見える化”を、“みえる化<sup>3</sup>(キューブ)：

見える化、観える化、診える化”と“使える化”に進化させた。“みえる化<sup>3)</sup>”と“使える化”で、“生産性”“品質”“環境性”“安全性”“セキュリティ”の向上を実現して、従来の基本コンセプトであるTCO削減と企業価値向上支援を強化する。

当社は、e-F@ctoryを支える製品として、FA制御機器では、FA統合コンセプトである“iQ Platform”で多様な制御を統合して生産現場での制御の統合強化を進めている。ネットワークでは、“CC-Link IE”で、エンジニアリング環境では“MELSOFT iQ Works”で統合強化を進めている。さらに、FA-IT情報連携製品群を用いて生産現場と情報システムの連携も可能にしている。



## 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!に基づき、センサデバイスレベルから情報システムレベルまでをシームレスに連携させることで、生産現場の“みえる化<sup>3</sup>：見える化(可視化)、観える化(分析)、診える化(改善)”と“使える化”によって“生産性”“品質”“環境性”“安全性”“セキュリティ”の向上を実現して、TCO削減と企業価値の向上を支援する。

## 1. ま え が き

当社のFA統合ソリューションe-F@ctoryの提唱は、2003年から始まった。それ以来、生産現場の“見える化”の実現で“生産性”“安全性”“環境性”を向上し、企業のTCO削減、企業価値の向上を支援してきた。

製造業を取り巻く環境は、継続的に変化している。IoTというインターネットへの機器の接続といった概念が製造業に導入されることで、次世代のものづくりに向けた革新が始まっている。

IoTなどの変化に対応できる生産現場構築のため、当社FA制御機器では、FA統合コンセプトiQ Platformを中心にシーケンス制御、駆動制御、安全制御の統合強化を進めている。さらに、FA-IT情報連携製品群を用いて、生産現場と情報システムの連携も可能にしている。

## 2. FA統合ソリューションe-F@ctory

### 2.1 生産現場の見える化<sup>3</sup>と使える化

e-F@ctoryの基本コンセプトは、工場最適化による開発・生産・保守の全般にわたる“TCO削減”である。生産現場の最適化実現のため、生産現場データをリアルタイムに収集し、そのデータをITシステムと連携して分析・解析し、結果を生産現場にフィードバックする。

基本コンセプトで提唱している“見える化”は、可視化のための見える化、分析のための観える化、改善のための診える化の3つである。これを“見える化<sup>3</sup>”と表現している。さらに、“見える化<sup>3</sup>”したデータを生産現場で“使える化”する。“見える化<sup>3</sup>”と“使える化”を合わせて、IoTによる次世代のものづくりに対応したe-F@ctory実現のポイントとしている。

### 2.2 生産現場からITシステムまでを統合

生産現場には、生産、品質等に関する様々なデータが存在する。これらのデータをみえる化<sup>3</sup>・使える化するには、各種センサ群、駆動製品群、コントローラ製品群等からリアルタイムにデータを収集する必要がある。

FA-IT情報連携製品群は、生産現場で収集したデータをITシステムに提供して、FA-IT情報連携を実現する。また、ITシステムと連携して分析・解析した結果を生産現場にフィードバックする(図1)。

このように、生産現場とITシステムを連携させることで、生産現場のデータを生産情報、品質情報、環境関連情報、安全関連情報として活用して、“生産性”“品質”“環境性”“安全性”“セキュリティ”を向上させる。

IoT技術の進展に伴い、生産現場を取り巻く環境が大きく変化しようとしている。今後、数多くのセンサや多様な機器がネットワークに接続されるようになると、機器が生

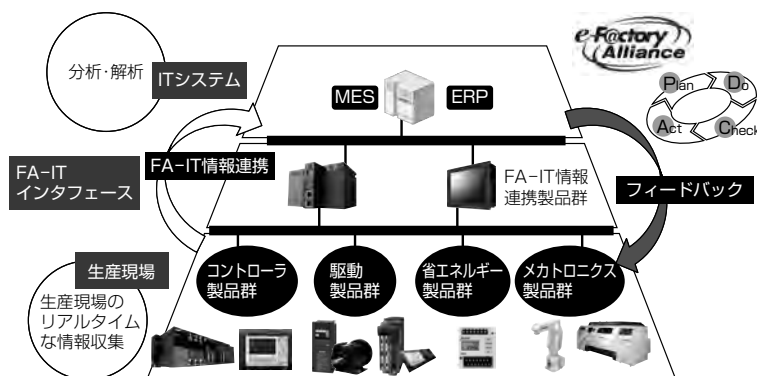


図1. FA-IT情報連携

成するデータ量が大幅に増加することが予想される。また、生産現場で生成されるデータには、現場知識を踏まえることではじめて意味や関係を理解できるものもある。

これまでは、生産現場でのデータ収集とITシステムでの解析という分担で情報を活用してきたが、現場でのデータ量が増加することで、これまでのように全てのデータをITシステムに渡して処理する方法では、データ通信とデータ処理の両面で処理量が増加するため効率が悪い。現場知識を有効活用して使える情報を生み出す上でも、全てのデータをITシステムで分析・解析するのではなく、生産現場で一次処理を進めることが今後重要になる。

## 3. e-F@ctoryを支えるFA機器の最新技術動向

### 3.1 FA統合プラットフォーム

FAコントローラは、製造設備の高度化・複雑化に対応するために機能・性能を向上して、搬送、組立、加工などのあらゆる製造設備に使用されている<sup>(1)</sup>。そのような多様な用途に対する要求に応えるのが、e-F@ctoryの基盤の1つであるFA統合コンセプトiQ Platformである。シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”を中心に、HMI (Human Machine Interface)の“GOT2000シリーズ”などを接続して、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1つのプラットフォーム上で実行できる。

機能・性能の向上に加えて、近年生産現場で重要性を増していることの1つが、機能安全による安全システムの実現である。これまで安全リレー等で構築していた安全システムを、プログラマブルな安全シーケンサで実現するものである。MELSEC iQ-Rシリーズでは、シーケンス制御に加えて、新たに安全制御も1つのプラットフォーム上で実現可能である。これによって、シーケンス制御と安全制御を統合したシステム構成が可能となる。また、従来製品と比較して約1/3の安全応答性能を実現しており、応答性向上によって生産性が改善される。プログラム容量も約3倍となり、高度な安全制御も可能となった(図2)。

今後も、CNC(Computer Numerical Control)制御やロボッ

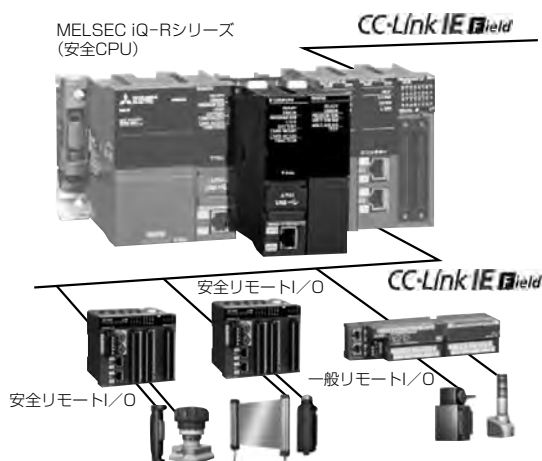


図2. MELSEC iQ-Rシリーズの安全CPU

ト制御など、制御機能の充実化を進めて、製造設備の多様な用途に対応するためのプラットフォームを拡充していく。

### 3.2 ネットワーク

IoTは、モノのインターネット接続であり、機器間で通信を行ってデータ収集することが必須となる。また、ITシステムと生産現場の融合は今後も強力に進んでいくと見込まれ、こちらもデータ通信と収集が必須となる。

これまでも、e-F@ctoryコンセプトでは生産現場とITシステムの連携を重視して、それを実現する要素としてネットワークを重要な要素と位置付けてきた。機器のインターネットへの接続でデータが増加することによってこれまで以上にデータ連係を行うことになる生産現場では、ネットワークが更に重要な位置付けとなる。

Ethernet<sup>(注1)</sup>ベースオープンネットワークである“CC-Link IEファミリー”は、1 Gbpsの高速・大容量ネットワークである。生産現場のコントローラ、各種フィールドデバイスを接続して制御通信を行うと同時に、1 Gbpsという広帯域を活用した情報通信用途にも使用できる制御ネットワークである。CC-Link IEフィールドネットワークは、コントローラの分散制御、I/O制御、モーション制御に加えて、安全制御も可能なネットワークである(図3)。この特長を活用したシステム構築を可能にするため、CC-Link IE対応製品の拡充を進めている。CC-Link IE内蔵のMELSEC iQ-Rシーケンサを始めとして、サーボアンプ“MELSERVO J4”やインバータ“FREQROL A800”，MELSEC iQ-Rのシンプルモーションユニットといった駆動製品、HMIであるGOT2000をCC-Link IE対応製品として追加した。

e-F@ctoryを実現するためのネットワークとして、ほかに、サーボシステムネットワークである“SSCNETⅢ/H”，センサとコントローラを接続する“AnyWireASLINK”などがある。これらのネットワークを用いて、生産現場の様々なセンサ、駆動機器、コントローラから、生産管理や工程管理といったITシステムまでをシームレスに接続したシ

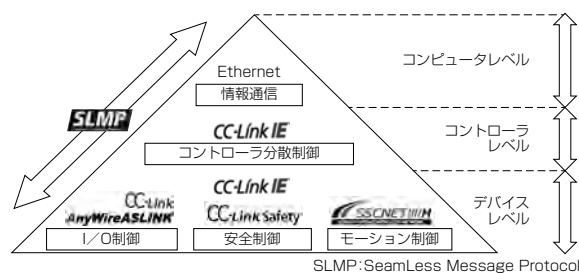


図3. FAネットワーク

ステムを構築可能である。

シームレスな連携を実現するための通信プロトコルは、ネットワークの階層や境界を意識せずに通信することを目的としたSLMPである。SLMPを用いることで、FAコントローラやセンサを始めとするフィールドデバイスに共通プロトコルでアクセスできる。これによって、統一した方法で機器のパラメータ設定や保全情報の収集等を行うことができる。

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

### 3.3 エンジニアリング環境

生産現場では、シーケンサ、モーションコントローラ、HMIなどを接続して制御システムを構成して、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行う。当社は、e-F@ctory実現のためのエンジニアリング環境として、システム管理を行う“Navigator”を核に、シーケンサ用の“GX Works”，モーションコントローラ用の“MT Works”，HMI用の“GT Works”等の各種機器のエンジニアリングツールを統合したエンジニアリング環境“MELSOFT iQ Works”を提供している。MELSOFT iQ Worksを使用して、各種制御機器で実行する制御処理のプログラミングやパラメータの設定、HMIの画面設計などのエンジニアリングを1つの環境で行うことができる(図4)。

MELSEC iQ-Rシリーズでは、シーケンス制御に加えて、新たに安全制御も1つのプラットフォーム上で実現して、シーケンス制御と安全制御を統合したシステム構成が可能である。GX Worksでは、これまでのシーケンス制御プログラムに加えて、安全制御プログラムも1つのプロジェクトとして統合管理できる。また、機器のネットワーク設定等の各種機能を、シーケンス制御機器と安全制御機器に対して同一の環境で行うことができる(図5)。

GX Worksでは、1つのパッケージで日本語、英語、中国語等の各種言語に対応している。グローバル化が進む製造業で世界各地に生産拠点を持つ企業では、海外拠点の現場でメンテナンスする際、作業員が表示を母国語に切り換えることで作業が容易になる(図6)。

### 3.4 駆動機器

e-F@ctoryを実現する製品群の1つとして、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いる。高速性能、高精度性能といった基本性能向上のほか、顧客ニーズに応えるための製品開発を進めている。



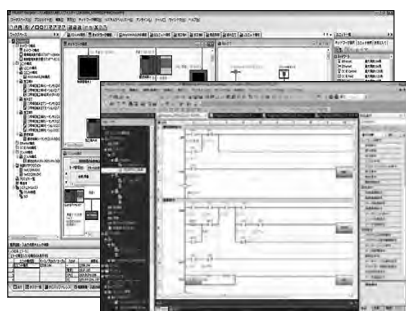


図4. エンジニアリング環境MELSOFT iQ Works



図5. 統合された安全システムのパラメータ設定画面

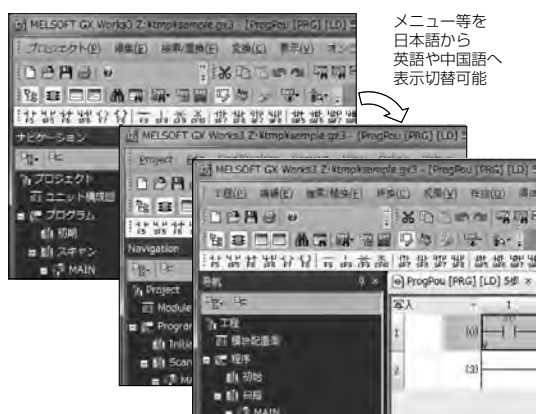


図6. エンジニアリング環境のグローバル対応

次に、サーボシステム、汎用インバータに関する技術開発動向を述べる。

ACサーボ製品であるMELSERVO J4シリーズでは、人・機械・環境との調和をコンセプトとしている。単に高性能であるだけでなく、人や環境への配慮がACサーボ製品には求められている。

MELSERVO J4シリーズでは、サーボアンプの基本性能を向上したことでサーボモータの機械性能が従来製品から16倍向上したことで、高速・高精度な駆動制御が可能である。汎用サーボシステムは対象の産業機械が多岐にわたり、対象ごとにサーボ特性の調整が必要なため、システム構築支援の機能が重要である<sup>(2)</sup>。MELSERVO J4シリーズでは、アドバンスド制振制御Ⅱ機能を始めとするサーボゲインの高度な自動チューニング機能を搭載しており、容易な調整で高精度な制御が可能である。

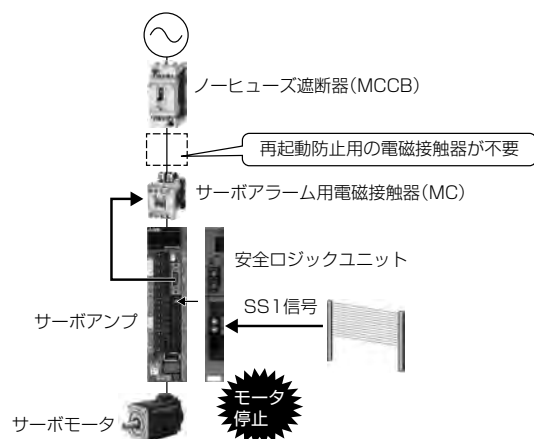


図7. MELSERVO J4シリーズの安全機能

安全・安心は、可動部位を持つ様々な機械装置に用いられる駆動機器だからこそ、非常に重要である。MELSERVO J4シリーズは、世界レベルの安全対応として、IEC(International Electrotechnical Commission)/EN(European Norm)61800-5-2の機能に標準対応している人にやさしいサーボである。機械安全では、危険の原因を取り除くことからはじめ、リスクの評価を行って、リスクを低減する対策をとり、リスクを許容範囲内にしたシステムを構築する。IEC/EN 61800-5-2は、駆動機器に関する安全機能を定めた国際標準である。駆動の安全機能として安全停止等を規定しており、そのうちSTO(Safe Torque Off)とSS1(Safe Stop 1)にMELSERVO J4シリーズは対応している。どちらもサーボを安全に停止させるための機能であり、サーボアンプの制御回路電源を落とす必要がないため、再起動時間の短縮化にもつながる。また、意図せずサーボモータが再起動することを防止するため、これまで設置していた電磁接触器も不要となる(図7)。

MELSERVO J4シリーズ、機能安全ユニットと“MELSEC Qシリーズ”のモーションコントローラを組み合わせることで、SOS(Safe Operating Stop)やSLS(Safely-Limited Speed)といった多彩な駆動安全機能を省配線で実現できる。これによって、駆動安全システムを高度化できる。

汎用インバータは、1980年代初頭に実用化されて以来、省エネルギー性能の向上と高信頼化に向けた開発が進められてきた。近年では、駆動性能だけでなく、より安全・安心に使用できるように安全機能が追加されるようになってきている。対応する駆動安全規格は、サーボシステムと同様にIEC/EN 61800-5-2である。STOに標準対応しており、内蔵オプションを使用することで、SOSやSLS等の駆動安全機能にも対応可能である。

### 3.5 FA-IT情報連携

#### 3.5.1 生産関連

FA-IT情報連携技術は、生産現場で起きている事象を迅速、正確、効率的に把握して、ITシステムと連携して分析・解析した後、その結果を生産現場にフィードバック

する技術である。事象の把握には、生産現場の様々なデータの収集が必要である。また、ITシステムで行った分析・解析結果を生産現場に反映することが必要となる。このような機能を担うのが、FA-IT情報連携製品群である。

製造実行システム(MES)インタフェースユニットを始めとするMESインタフェース製品群はMESへ直接接続でき、収集した作業実績データのMESへの格納や、制御機器への作業指示データの展開が可能である。従来のMELSEC Qシリーズに加えて、MELSEC iQ-Rシリーズに機能と性能の向上を図ったMESインタフェース製品を追加した。MELSEC MESインタフェースITユニットは、MES以外の上位情報システムへの直接接続を可能とする。データロガーユニットは、簡易かつ高速なデータ収集を実現する。どちらも、パソコンレス、プログラムレスで構築できるため、システム構築コストの削減が可能である。

### 3.5.2 環境関連

生産現場で欠かすことができなくなっている環境関連の取組みの1つが、FEMS(Factory Energy Management System)である<sup>(3)</sup>。エネルギーを見える化して省エネルギーを支援する機器が、エネルギー計測ユニットや省エネデータ収集サーバユニットである。エネルギー計測ユニットは、エネルギー使用量をロギングして原単位(生産数当たりのエネルギー使用量)管理することが可能である。省エネデータ収集サーバユニットは、エネルギー情報の収集だけでなく、エネルギー使用量の監視や比較分析も可能である(図8)。

### 3.5.3 将来に向けた取組み

先に述べたような製品群で生産現場の様々なデータを収集した後、ERPやSCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)を始めとするITシステムで分析・解析を行う。ITシステムは、これまでのオンプレミスから、今後はクラウドの活用への期待が高まっている。Webサービス事業者が提供する大規模なデータ管理や処理に対応したサービスプラットフォームを活用したクラウドコンピューティング環境が整ってきている。クラウドコンピューティングを活用することで、IoTによって大幅に増加すると予想される生産現場のデータに対して、複雑な分析処理を短時間で行うことができるという期待がある。今後のFA-IT情報連携では、クラウドとの接続性を考慮することが必要になる。その接続では、セキュリティに十分に配慮することが必要である。

もう1つの方向性として、エッジコンピューティングという考え方がある。データをクラウドに集約する場合、データの生成場所からクラウドへデータが届くまでに通信遅延が発生する。IoTの導入によって、機器から生成されるデータが増大することで、クラウドへの通信路の帯域も逼迫(ひっばく)する。これを解決するのが、小規模なコン

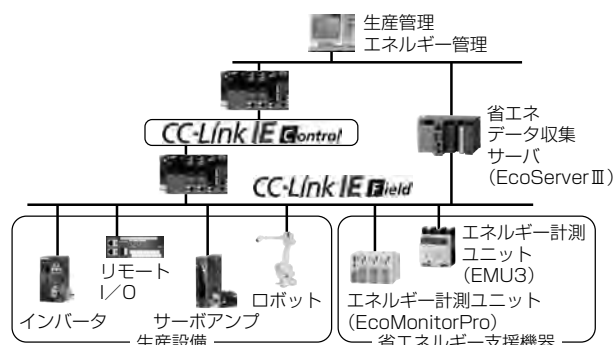


図8. 生産管理情報と環境関連情報の連携

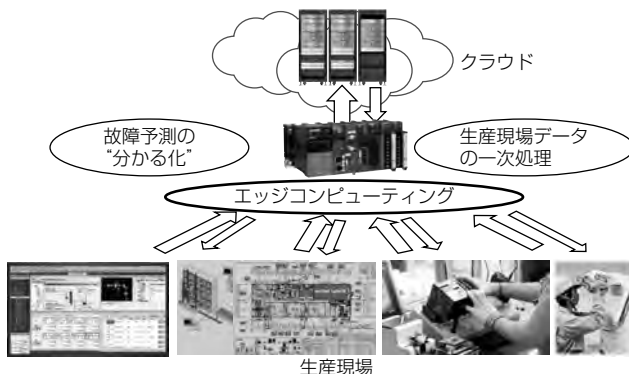


図9. 将来のFA-IT情報連携の方向性

ピューティング能力を分散配置するエッジコンピューティングという考え方であると言われており、生産システムでも有効な考え方である。エッジコンピューティングを生産現場データの分析・解析を行うビッグデータプラットフォームとして活用することに加えて、将来的には故障予測の「分かる化」や、行動分析に基づく事故の削減の可能性も期待できる(図9)。

## 4. む す び

e-F@ctoryを支えるFA機器として、コントローラ、ネットワーク、エンジニアリング環境、駆動機器、FA-IT情報連携の最新技術動向について述べた。IoTの導入といった製造業を取り巻く環境変化に対して、生産現場が柔軟に対応して、TCO削減や企業価値の継続的な向上を可能にするため、今後もe-F@ctoryを支えるFA機器製品の研究・開発・製造を行っていく。

## 参 考 文 献

- (1) 藤田正弘：次世代のものづくりを支えるFA制御機器の最新技術動向，三菱電機技報，89，No.4，206～210 (2015)
- (2) 田中健一，ほか：FA機器・産業用加工機を支えるモーション制御技術，三菱電機技報，86，No.4，206～210 (2012)
- (3) 伏見信也：FAシステムにおける情報通信技術の適用動向，三菱電機技報，87，No.3，148～152 (2013)



# “MELSEC iQ-Rシリーズ”安全シーケンサ

内越正弘\*

"MELSEC iQ-R Series" Safety Programmable Logic Controller

Masahiro Uchikoshi

## 要 旨

近年、FA(Factory Automation)システムに対して一般制御と安全制御を統合した省スペース・省配線・省コスト化の要求がある。従来の安全シーケンサは安全専用システムであり、一般制御とは別にシステムを構築する必要があった。そこで、“一般制御と安全制御の統合”をコンセプトとした“MELSEC iQ-Rシリーズ”安全シーケンサを開発した。

### (1) 製品の特長

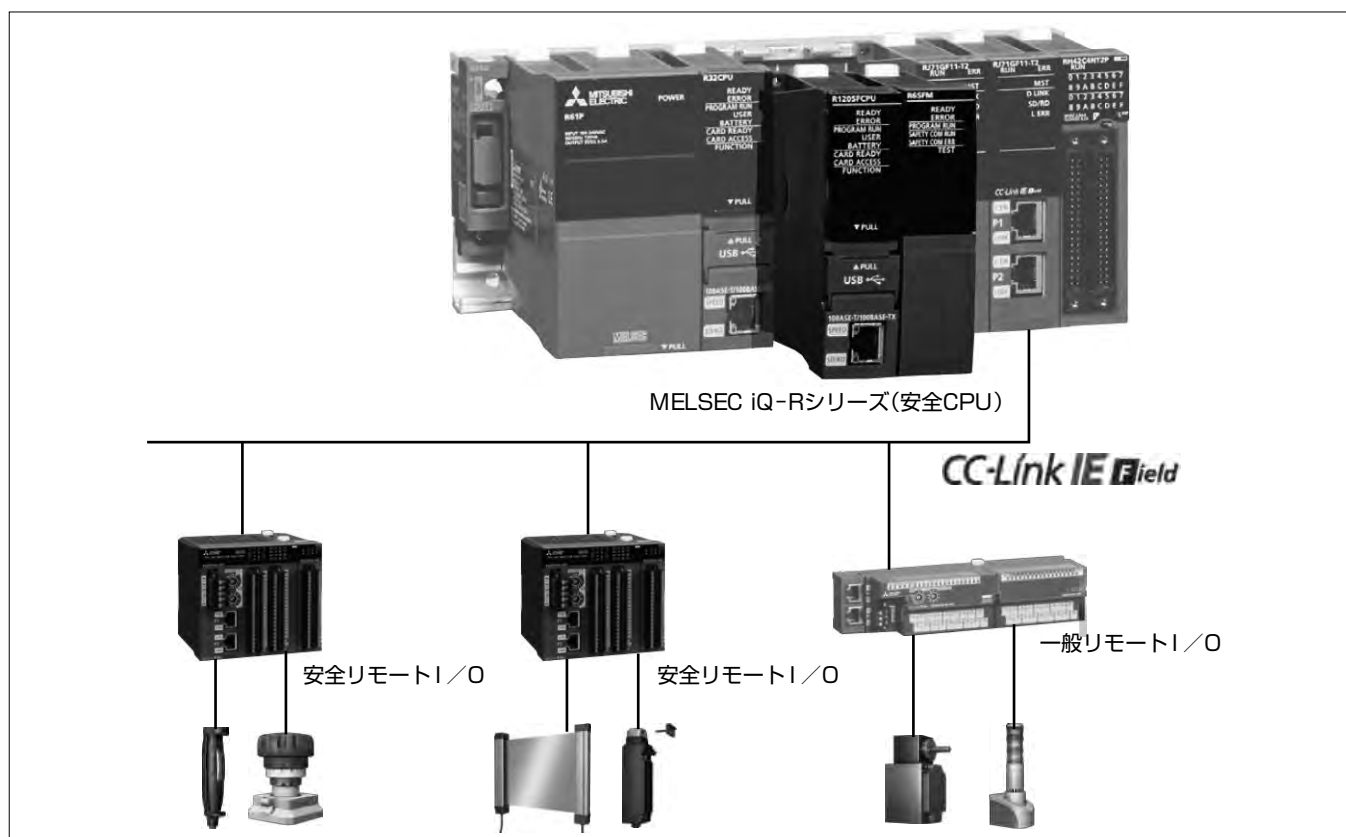
MELSEC iQ-Rシリーズ安全シーケンサでは、一般制御と安全制御を統合して、同一ベースユニット上や同一ネットワーク上で一般制御と安全制御のユニットを混在させ、1つのシステムで一般制御と安全制御を実現する。これによって、MELSEC iQ-Rシリーズで安全ソリューションを容易に構築することができる。また、一般制御

と安全制御を統合することで、e-F@ctoryによる安全ソリューションと情報システムの連携が容易になり、安全の見える化に寄与する。

### (2) 製品コンセプト実現のための技術

一般制御と安全制御の演算処理を同時に実行して、一般制御の演算処理に影響されずに安全制御を実行する。さらに、一般制御部の故障等による安全制御部への不正書き込みを検出する。

また、同一ベースユニット上に一般制御と安全制御のユニットを装着可能にして、安全制御が継続できないような異常や故障が発生した時には、安全ユニットで異常や故障を検出して安全ユニットだけをシャットダウンさせて安全状態へ移行する。



## “MELSEC iQ-Rシリーズ”安全シーケンサ

三菱シーケンサMELSEC iQ-Rシリーズに、安全制御を実現する“安全CPU”と“CC-Link IEフィールドネットワーク ブロックタイプ安全リモートI/O(Input/Output)ユニット”を新たにラインアップに加えた。これらのユニットは、世界有数の第三者認証機関であるTÜV Rheinlandから国際安全規格ISO(International Organization for Standardization) 13849-1 PLeカテゴリ4及び機能安全規格IEC(International Electrotechnical Commission) 61508 SIL(Safety Integrity Level) 3の認証を受けている。

## 1. ま え が き

安全シーケンサとは、国際安全規格の適合認証を取得したシーケンサで、労働災害を防止するための安全システムである。安全入力に応じて安全出力をOFFにする安全制御を行う。安全入力とは、国際安全規格に適合した安全機器(非常停止スイッチ・セーフティライトカーテンなど)からの入力信号を示す。安全出力とは、危険源(モータ、ロボットなど)への動力を確実に遮断するための出力信号を示す。

安全シーケンサの起動時や稼働中には、国際安全規格で要求される高いレベルの自己診断を実施する。安全シーケンサ自体に故障が発生した場合は、自己診断によって故障を検出して安全出力を強制的にOFFする。これによって、故障による安全機能の不動作にならないことが、一般シーケンサとの一番の相違点である。

従来、三菱電機のシーケンサでは“MELSEC QSシリーズ”安全シーケンサがあったが、安全制御専用システムであるため一般制御とは別にシステムを構成する必要があり、FAシステムに対する省スペース・省配線・省コスト化の要求に応えられなかった。そこで、MELSEC iQ-Rシリーズでは、“一般制御と安全制御の統合”をコンセプトとした安全シーケンサを開発した。

本稿では、製品の特長と一般制御と安全制御の統合のための技術について述べる。

## 2. 安全規格

機械安全では対象機械のリスクアセスメントを実施してリスクを定量化するため、リスクの受傷度合い、遭遇可能性及び回避可能性によって分類する安全カテゴリがよく使われている(図1)。安全カテゴリの値が高くなると安全機器に対する要求も厳しくなり、安全カテゴリ3では単一故障で安全機能を損なわないこと、安全カテゴリ4では単一故障は安全機能実行時又はその前に検出されることが要求事項である。したがって、部品の二重化や徹底的な自己診

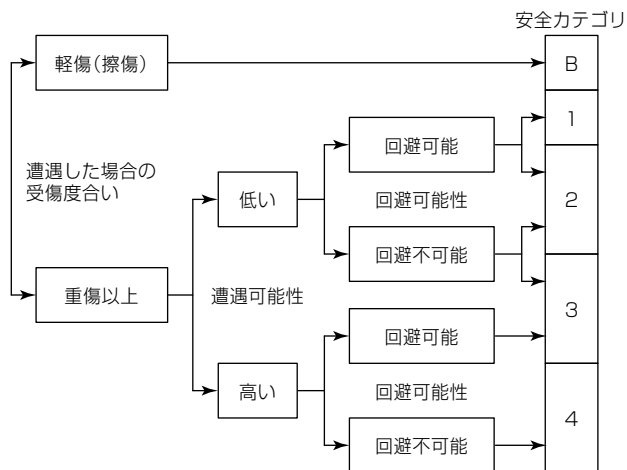


図1. 安全カテゴリによるリスクの定量化(ISO13849-1)

断が必要となる<sup>(1)</sup>。

MELSEC iQ-Rシリーズ安全シーケンサでは、ISO13849-1 PLe カテゴリ 4 及びIEC61508 SIL3の適合認証を得ている。

## 3. 製品の特長

MELSEC iQ-Rシリーズ安全シーケンサの主な特長について、次の3つの観点から示す。

### 3.1 同一ベースユニット上での一般ユニットと安全ユニットの混在

従来、一般制御と安全制御は別のシステム構成とする必要があって2つのシステムになるため、システム購入コストやシステム立ち上げコストが割高であった。また、2つのシステムを収納する必要があるため、制御盤が大きくなっていた。

MELSEC iQ-Rシリーズの安全CPUでは、一般制御用プログラムと安全制御用プログラムを実行できる。これによって、1つのCPUで一般制御と安全制御を統合させて使用できる。

また、一般ユニット(CPU, I/O, アナログ, 位置決め/カウンタユニット), 安全ユニット(安全CPU), 一般/安全共用ユニット(電源, ネットワークユニット)を同一ベースユニット上に装着できる(図2)。これによって、一般制御と安全制御を1つのシステムで構成でき、省スペース・省配線・省コスト化が可能となる。

### 3.2 一般制御と安全制御のネットワーク統合

従来は、一般制御用ネットワーク(一般通信)と安全制御用ネットワーク(安全通信)は別々に敷設する必要があった(図3(a))。このため、ネットワークケーブルの本数が増え、配線スペースの増加やケーブル敷設工数の増加を招いていた。

MELSEC iQ-Rシリーズ安全シーケンサでは、CC-Link

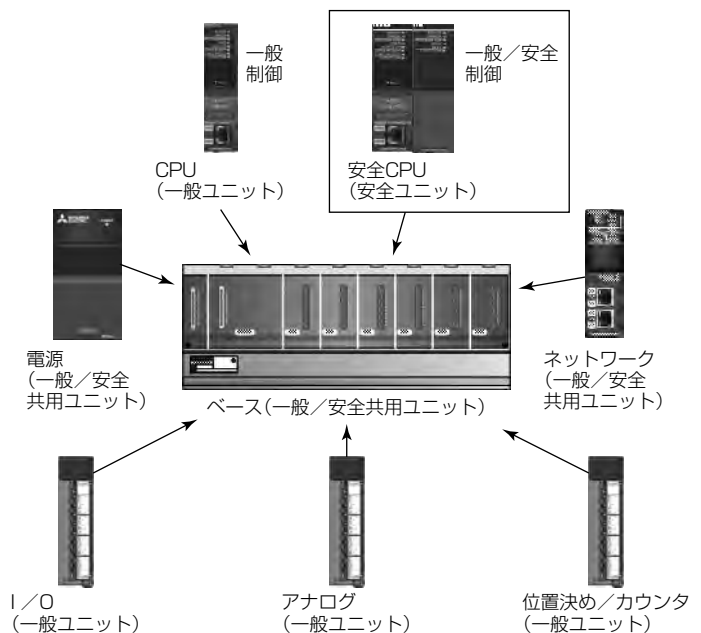


図2. 同一ベースユニット上での一般ユニットと安全ユニットの混在

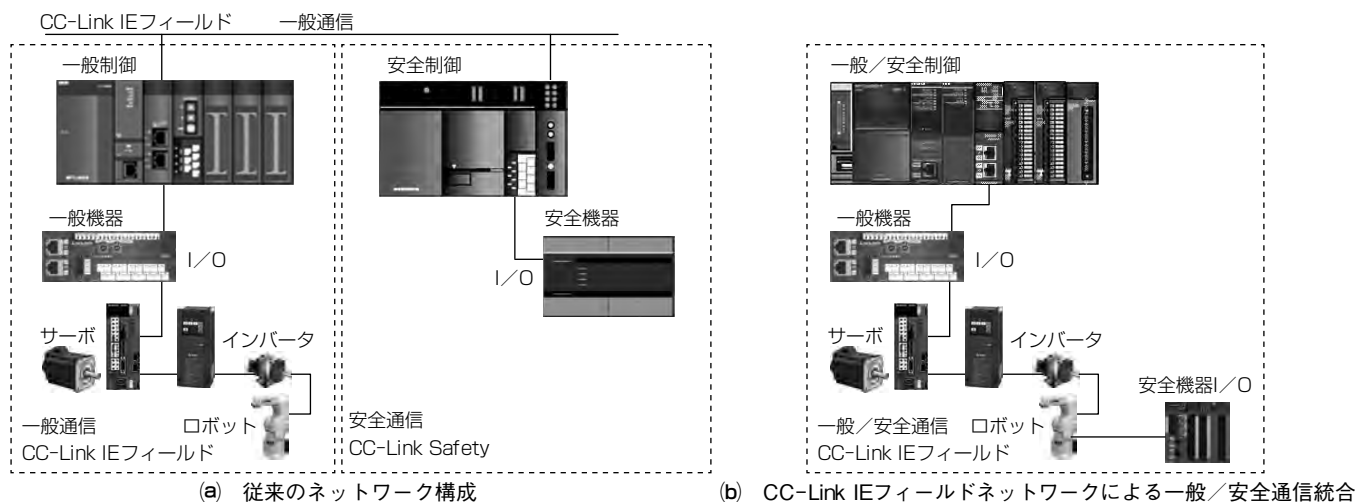


図3. 一般通信と安全通信のネットワーク統合

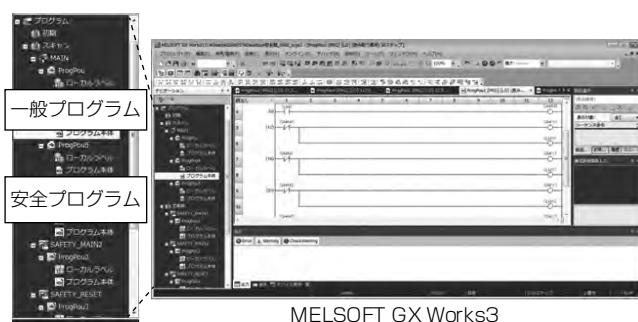


図4. 開発環境の統合

IEフィールドネットワークで一般通信と安全通信を混在させて使用でき(図3(b))、敷設するネットワークはCC-Link IEフィールドネットワーク1本にできる。これによって、配線スペースの削減、ケーブル本数の削減、ケーブル敷設工数削減が可能となり、ネットワーク構築時の省スペース・省配線・省コスト化が可能となる。

### 3.3 開発環境の統合

従来のエンジニアリングソフトウェアは、一般制御用に“MELSOFT GX Works2”を使用して、安全制御用に“MELSOFT GX Developer”を使用していた。

MELSEC iQ-Rシリーズ安全シーケンサでは、エンジニアリングソフトウェア“MELSOFT GX Works3”を使って、一般制御のプログラミングだけではなく安全制御のプログラミングや各種設定操作も一元的に行うことができる(図4)。従来のように2つのエンジニアリングソフトウェアの操作を覚えなければならない煩わしさを軽減できる。

## 4. 一般制御と安全制御統合のための技術

一般制御と安全制御を統合するための3つの主な技術について述べる。

### 4.1 一般制御と安全制御の実行

一般制御と安全制御を統合するためには、安全CPUで一般プログラムと安全プログラムの両方を実行する必要がある。

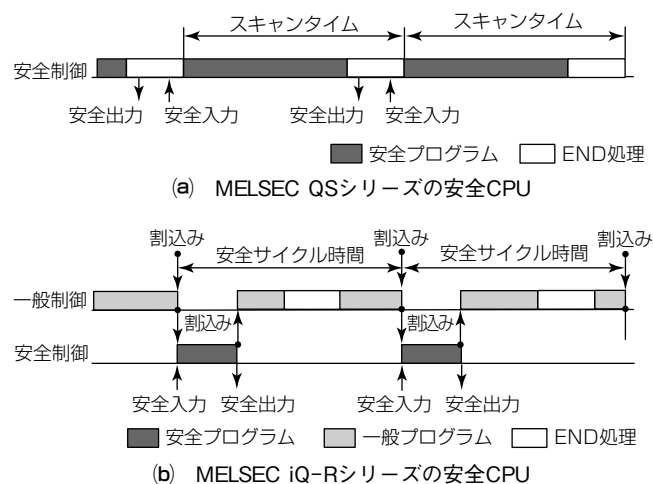


図5. 一般制御と安全制御の実行

従来は、安全プログラムの演算を実行して、END処理内で安全入力/出力処理を実行していた(図5(a))。

しかし、この処理に一般プログラムの演算を加えるとスキャンタイムが延びるため、安全入力/出力の応答性能を確保できない。このため、MELSEC iQ-Rシリーズの安全CPUでは、安全プログラムの演算や安全入力/出力処理を一定周期(安全サイクル時間)の割り込み処理で実行する(図5(b))。

これによって、一般プログラムを実行するスキャンタイムに影響されずに安全プログラムを実行でき、安全入力/出力の応答性能を確保できる。

この技術に加えて、MELSEC iQ-Rシリーズのシステムバス性能の向上、CPUの演算処理性能の向上、CC-Link Safetyより高速なCC-Link IEフィールドの採用によって、従来製品MELSEC QSシリーズと比較すると、安全応答時間(最悪値)が1/3以下に性能向上した(表1)。

### 4.2 一般制御から安全制御への不正書き込み検出

一般制御と安全制御を統合するため、安全CPUで一般プログラムと安全プログラムの両方を実行すると、一般制

表 1. 安全応答時間(最悪値)の比較

項目	(単位: ms)						
	安全リモートI/O接続台数(台)						
	2	8	16	32	42	64	120
MELSEC iQ-Rシリーズ (CC-Link IEフィールド)	26	28	30	34	36	45	68
MELSEC QSシリーズ (CC-Link Safety)	103	103	104	126	127	-	-

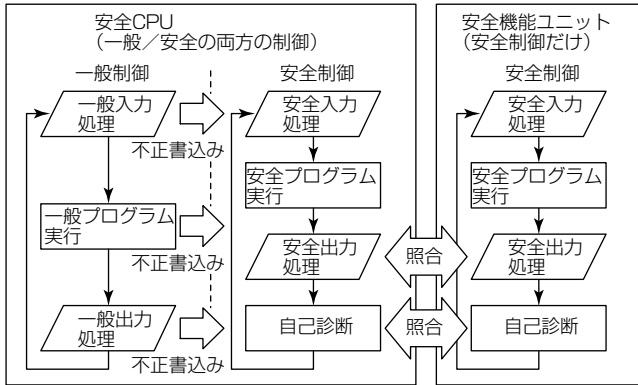


図 6. 一般制御からの不正書き込み検出

御部の故障やメモリのビット化け(ソフトエラー)等で安全制御部への不正書き込みが発生する可能性があり、これを検出する必要がある。

このため、MELSEC iQ-Rシリーズの安全CPUでは、一般制御と安全制御を両方実行する安全CPUと、安全制御だけを実行する安全機能ユニットの2つのユニットで安全プログラムと自己診断を実行して、プログラム実行結果から得られる安全出力値と自己診断結果を照合する(図6)。これによって、安全CPUでの一般制御部からの不正書き込みを検出できる。

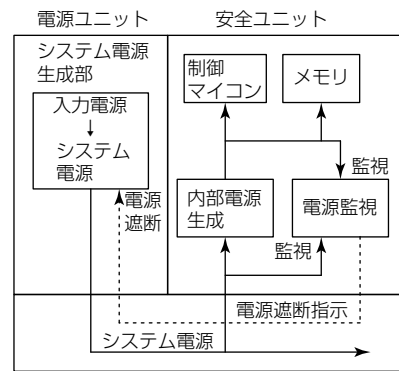
#### 4.3 安全ユニットのシャットダウン

国際安全規格では、安全制御を実行する回路の電源に安全制御を継続できない異常や故障が発生した場合、シャットダウンさせて安全状態へ移行させるなどの手法が必要である。

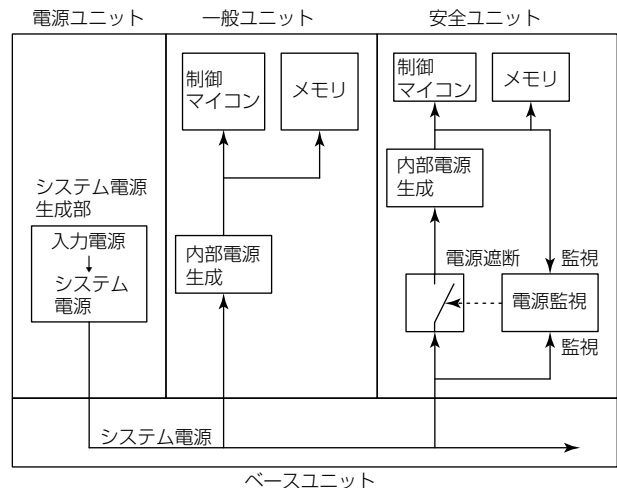
従来のMELSEC QSシリーズの安全シーケンサでは、安全CPUで内部電源とシステム電源を監視して、電圧異常時に安全電源ユニットでシステム電源を遮断することでシャットダウンさせる方法を取っていた(図7(a))。

MELSEC iQ-Rシリーズ安全シーケンサでは、同一ベースユニット上に一般ユニットと安全ユニットが装着され、電源ユニットからシステム電源が供給される。安全制御を実行する回路の電源に安全制御を継続できない異常や故障が発生した場合、安全ユニットをシャットダウンさせて安全状態へ移行する必要がある。さらに、電源ユニットから供給されるシステム電源から安全制御を実行する回路の電源を生成するため、電源ユニットの異常や故障発生時も安全状態へ移行する必要がある。

また、安全ユニットである安全CPUをシャットダウンさせると、安全CPU内の一般制御を継続させることがで



(a) MELSEC QSシリーズ安全シーケンサ



(b) MELSEC iQ-Rシリーズ安全シーケンサ

図 7. 安全ユニットの電源遮断

きない。このため、安全状態へ移行後も情報系処理などの一般制御を継続するシステムでは、一般CPUと安全CPUのマルチCPU構成として、安全CPUのシャットダウン後も一般CPUは動作を継続する必要がある。

したがって、安全ユニットで内部電源とシステム電源を監視して、異常や故障が発生した時には、安全ユニット内部でシステム電源を遮断してシャットダウンさせる(図7(b))。これによって、安全ユニット以外への電源供給が維持され、一般ユニットは制御を継続できる。また、一般ユニットと安全ユニットで電源ユニットを共用できる。

## 5. む す び

一般制御と安全制御を統合させたMELSEC iQ-Rシリーズ安全シーケンサについて、製品の特長と一般制御と安全制御の統合のための技術について述べた。

規格と法制度の整備によって安全シーケンサに対する要望は日増しに増えており、機能・性能・サポートなど多くの要望に応えるため製品力強化を進めていく。

## 参 考 文 献

- (1) 神余浩夫, ほか: 安全シーケンサ“MELSEC Safety”, 三菱電機技報, 81, No.4, 277~280 (2007)

# “MELSEC iQ-Rシリーズ” 高速アナログユニット・高速I/Oユニット

湯浅 健\*  
橋本敦史\*\*  
豊永匡利\*\*

*"MELSEC iQ-R Series" High-speed Analog-to-Digital Converter Module and High-speed I/O Module*  
Takeshi Yuasa, Atsushi Hashimoto, Masatoshi Toyonaga

## 要 旨

今日の生産現場では、生産設備の複雑化、設備の導入・保守コストの増大等様々な問題を抱えている。三菱電機では、これらの問題を解決するため、“Reduce TCO(Total Cost of Ownership)：TCO削減”“Reliability：信頼性”“Reuse：継承”の3つの“R”を追求したシーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”をリリースしている。特に、TCO削減に直結してタクトタイム向上を図る上で重要となる高速性では、演算処理速度、システムバス速度を従来の“MELSEC Qシリーズ”から大幅に向上させている。

今回、タクトタイム向上が求められる高速制御用途、製造品質向上が求められる高速データ収集用途に威力を発揮

する高速アナログユニット及び高速I/O(入出力)ユニットを開発して、MELSEC iQ-Rシリーズのラインアップに加えた。開発したユニットの特長を次に示す。

### (1) 高速化

従来のMELSEC Qシリーズに比べて、高速アナログユニットのサンプリング周期を4倍、高速I/Oユニットの応答速度を2倍(出力ユニット)にそれぞれ高速化した。

### (2) 高機能化

高速アナログユニットで多チャンネル同時変換機能を実装して、複数点のアナログデータを時系列上同時に取り込む機能を実現した。



MELSEC iQ-Rシリーズ  
高速アナログユニット  
R60ADH4



MELSEC iQ-Rシリーズ  
高速I/Oユニット  
RX40PC6H / RX40NC6H  
RY41PT2H / RY41NT2H



## “MELSEC iQ-Rシリーズ”高速アナログユニット・高速I/Oユニット

今回開発したMELSEC iQ-Rシリーズの高速アナログユニット・高速I/Oユニットは、従来のMELSEC Qシリーズに比べて変換速度を高速化した。また、高速アナログユニットでは、従来のMELSEC Qシリーズにはない機能として、複数点のアナログデータを時系列上同時に取り込む“多チャンネル同時変換機能”を搭載している。

## 1. ま え が き

今日の生産現場では、生産設備の複雑化、設備の導入・保守コストの増大等様々な問題を抱えている。当社は、これらの問題を解決するため、“Reduce TCO：TCO削減”“Reliability：信頼性”“Reuse：継承”の3つの“R”を追求したシーケンサMELSEC iQ-Rシリーズをリリースしている。特に、TCO削減に直結してタクトタイム向上を図る上で重要となる高速性では、演算処理速度、システムバス速度を従来のMELSEC Qシリーズから大幅に向上させている<sup>(1)</sup>。

今回、タクトタイム向上が求められる高速制御用途、製造品質向上が求められる高速データ収集用途に威力を発揮する高速アナログユニット及び高速I/Oユニットを開発して、MELSEC iQ-Rシリーズのラインアップに加えた。

本稿では、これらのユニットの特長及び適用した技術について述べる。

## 2. 製品の特長

### 2.1 高速アナログユニット

MELSEC iQ-Rシリーズの高速アナログユニットとして、4チャンネル高速アナログ入力ユニット“R60ADH4”を開発した。このユニットでは、従来のMELSEC Qシリーズ相当品“Q64ADH”に比べてサンプリング周期を4倍(20 $\mu$ s→5 $\mu$ s)に高速化して、加えて高分解能化( $\pm 1/20,000 \rightarrow \pm 1/32,000$ )も実現した(表1)。

また、従来のMELSEC Qシリーズにはない機能として、4チャンネルのアナログデータを時系列上同時に取り込む“多チャンネル同時変換機能”を搭載して、5 $\mu$ s/4CHの高速多点同期データの収集を可能とした。この機能は、複数点のセンサから取得した入力データの同時性を確保できる点の特長であり、各点のアナログデータを高精度に収集・分析が可能となることから、製品の高品質化に有用な機能である。

ユニットのチャンネル数(4チャンネル)を超える多点データの同時取得への拡張も可能であり、3章で述べる“オーバーサンプリング制御を用いた高速ユニット間同期”を用いることで、5チャンネル以上の同時サンプリングも可能である。

### 2.2 高速I/Oユニット

MELSEC iQ-Rシリーズの高速I/Oユニットとして、16点高速入力ユニット(プラスコモンタイプ“RX40PC6H”、マイナスコモンタイプ“RX40NC6H”)と32点高速出力ユニット(ソースタイプ“RY41PT2H”、シンクタイプ“RY41NT2H”)を開発した。

16点高速入力ユニットでは、従来のMELSEC Qシリーズ相当品“QX40H”“QX70H”と同等の応答速度5 $\mu$ sを実現し、さらに、高速域(20 $\mu$ s)の応答速度設定を追加した

表1. 高速アナログユニットの性能比較

	QシリーズQ64ADH	iQ-RシリーズR60ADH4
サンプリング周期	20 $\mu$ s/CH	5 $\mu$ s/4CH
分解能	$\pm 1/20,000$	$\pm 1/32,000$

表2. 高速入力ユニットの性能・機能比較

	Qシリーズ QX40H QX70H	iQ-Rシリーズ RX40PC6H RX40NC6H
設定可能な応答速度	5 $\mu$ s	5 $\mu$ s
	—	20 $\mu$ s
	50 $\mu$ s	50 $\mu$ s
	—	0.1ms
	0.15ms	0.2ms
	0.3ms	0.4ms
	0.6ms	0.6ms
	1 ms	1 ms
応答速度の各点設定	不可	可

表3. 高速出力ユニットの性能比較

		Qシリーズ QY41H	iQ-Rシリーズ RY41PT2H RY41NT2H
応答速度	OFF→ON(MAX)	2 $\mu$ s	1 $\mu$ s
	ON→OFF(MAX)	2 $\mu$ s	2 $\mu$ s

(表2)。また、従来のMELSEC Qシリーズにはない機能として、入力1点ごとの応答速度の設定を可能とした。これによって、このユニット1台に所望応答速度が異なるセンサを同時接続可能となり、システムコスト削減が可能になる。

32点高速出力ユニットでは、従来のMELSEC Qシリーズ相当品“QY41H”に対して、応答速度を2倍(2 $\mu$ s→1 $\mu$ s：ただしOFF→ON)に高速化した(表3)。また、MELSEC QシリーズにはないソースタイプRY41PT2Hもラインアップに加えた。

## 3. 実現のための適用技術

### 3.1 高速アナログユニットの適用技術

#### 3.1.1 高速チャンネル間同期(5 $\mu$ s/4CH)

従来のMELSEC Qシリーズでは、アナログ入力回路に使用するADコンバータ(Analog-to-Digital Converter：ADC)がチャンネル間兼用の方式であり、マルチプレクサによる切換えで所望のチャンネルだけがADコンバータと入力回路が接続される方式であった(図1(a))。このため、チャンネル間での同時サンプリングが不可能であった。

今回開発したMELSEC iQ-Rシリーズの高速アナログユニットでは、“多チャンネル同時変換機能”を実現するため、従来のMELSEC Qシリーズの方式とは異なり、チャンネルごとにADコンバータを搭載する方式を採用した(図1(b))。また、アナログ演算FPGA(Field Programmable Gate Array)から各チャンネルのADコンバータに対してAD変換指示を与えることで、各チャンネルのAD変換タイミングを自由に制御可能としている(図1(b))。

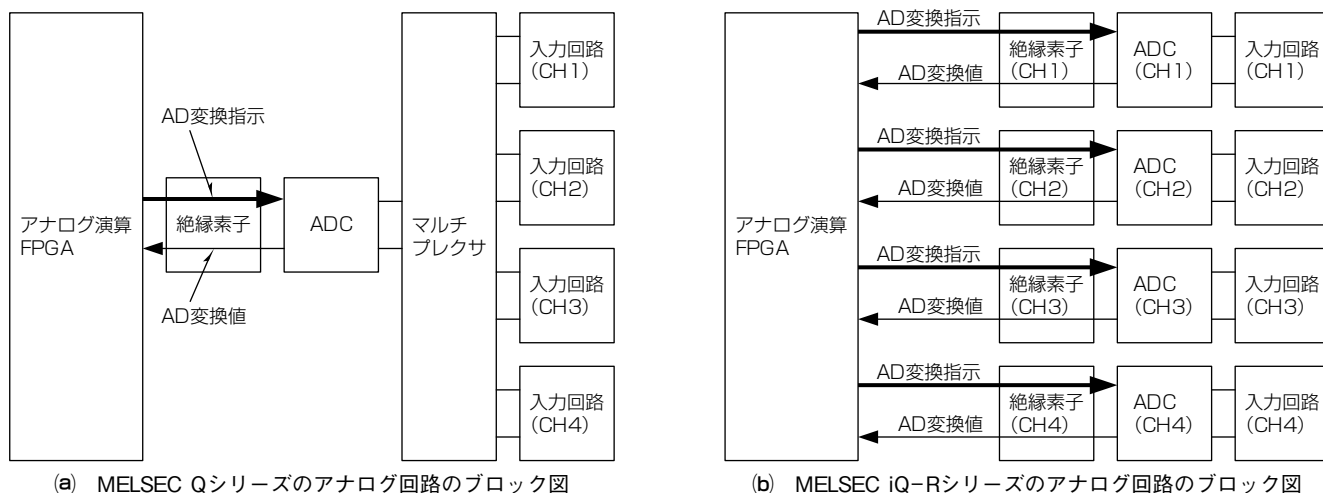


図1. 高速アナログ変換回路のブロック図

図1(b)に示すように、今回採用した方式では外部からのアナログ入力信号がチャンネルごとに独立してADコンバータへ入力できるため、アナログ演算FPGAから各チャンネルに対してAD変換指示を同時に出すことで、ハードウェア制御による正確なチャンネル間同期が実現可能となる。

さらに、採用するADコンバータ自体もサンプリング周期5 $\mu$ sを実現する高速変換回路を採用して、MELSEC Qシリーズに比べて高速化を図っている。

### 3.1.2 オーバーサンプリング制御を用いた高速ユニット間同期(5 $\mu$ s/4CH $\times$ ユニット数)

シーケンサシステム内に分散配置されたユニットを制御する方法の1つとして、MELSEC iQ-Rシリーズでは“ユニット間同期制御機能”を搭載している。これは、シーケンサを制御するバスに一定周期でクロック信号を流して、この信号に同期させて分散配置された各シーケンサが制御を行うという制御手法であり、最速100 $\mu$ sの同期制御周期を実現している。しかし、高速アナログユニットではこの同期制御周期を上回る5 $\mu$ sの高速サンプリングに対応しており、この高速性を十分に活用する同期方式が新たに必要である。

高速サンプリング周期で同期制御を実現する方法として、同期クロックを起点にして同期させる方法がある(図2)。この方式では、起点の同期以降は各ユニットに搭載された制御用プロセッサで制御を行うため、制御用プロセッサ内部の制御周期のばらつきによって、時間経過とともに同期タイミングの遅れが無視できないものになってしまう問題点がある。

今回開発した高速アナログユニットでは、“オーバーサンプリング制御”(図3)を用いてユニット間同期制御での制御周期を補間する方式を採用して、この問題点を解決した。オーバーサンプリング制御は、ユニット間同期制御時の同期クロックをトリガーとして、あらかじめパラメータに設定された回数分だけAD変換を実行する制御方式である。

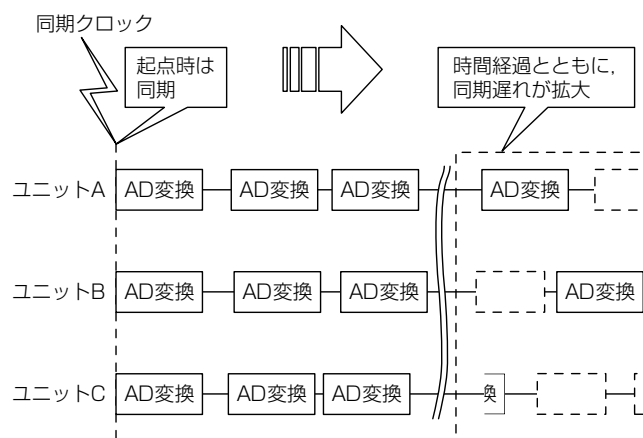


図2. 同期クロックを起点にした同期制御

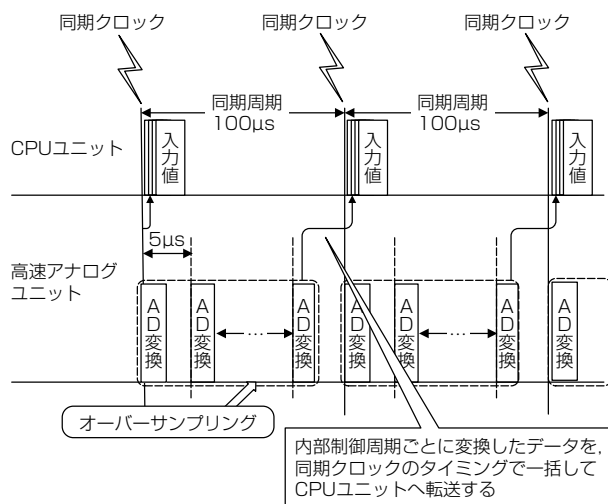


図3. オーバーサンプリング制御

図3の場合では、同期クロックをトリガーとして同期周期100 $\mu$ sの間に20回(5 $\mu$ s間隔)のAD変換を実行して、次の同期クロックタイミングで一括してCPUユニットへ転送する。

オーバーサンプリング制御を用いたユニット間同期制御では、同期クロックのタイミングで制御周期のばらつきが



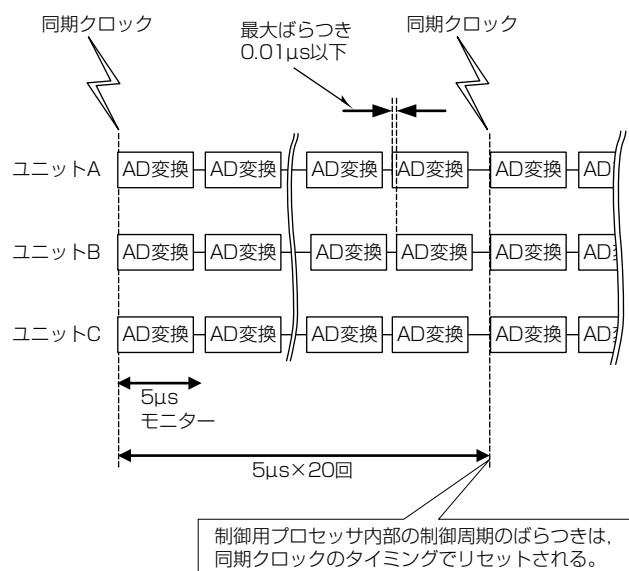


図4. オーバーサンプリング制御を用いた同期制御

リセットされるため、図2で問題となっている時間経過とともに発生する同期タイミングの遅れを解消できる(図4)。同期周期100 $\mu$ s内で発生する最大ばらつきは、使用している水晶発振器の誤差から0.01 $\mu$ s以下であり、5 $\mu$ sのサンプリング周期に対して無視できる数値である。この技術の採用で、ユニットのチャンネル数(4チャンネル)を超える多点データの高速同時取得への拡張が可能になる。

### 3.2 高速I/Oユニットの適用技術

I/Oユニットの応答速度高速化を実現するためには、応答遅れを発生させるキャパシタやフィルタ等の外来ノイズ対策部品の適用が困難になる。このため、これらの対策部品以外でのノイズ耐量強化が必須である。今回開発した高速I/Oユニットでは、ノイズ耐量向上を目的に、電磁界解析を利用して最適な部品配置を行った。

図5は、実際のノイズ試験構成を模擬した電磁界解析モデルであり、試験対象ユニットにノイズを印加した時の電界強度分布を定量化した結果が図6である。図6は、I/Oユニットに搭載されているバスASIC(Application Specific Integrated Circuit)の配置検討で、先に述べた解析を適用した例である。外来ノイズ印加によって、基板配線に沿ってノイズが伝搬しており、このノイズの影響を避ける位置にバスASICを搭載することでノイズ耐量を確保できる設計にした。

この解析技術を適用して外来ノイズに対する適切な部品配置を行うことで、I/Oユニットの高速化を実現した。

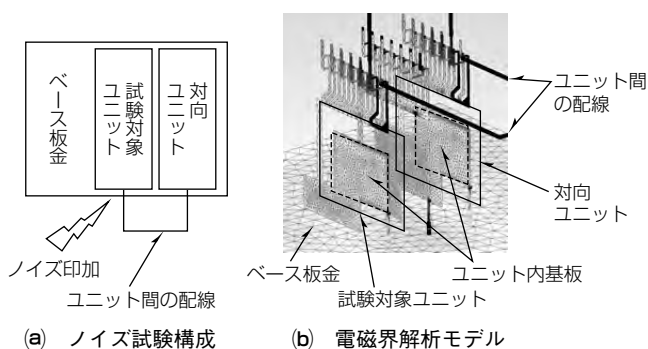


図5. ノイズ試験構成と電磁界解析モデル

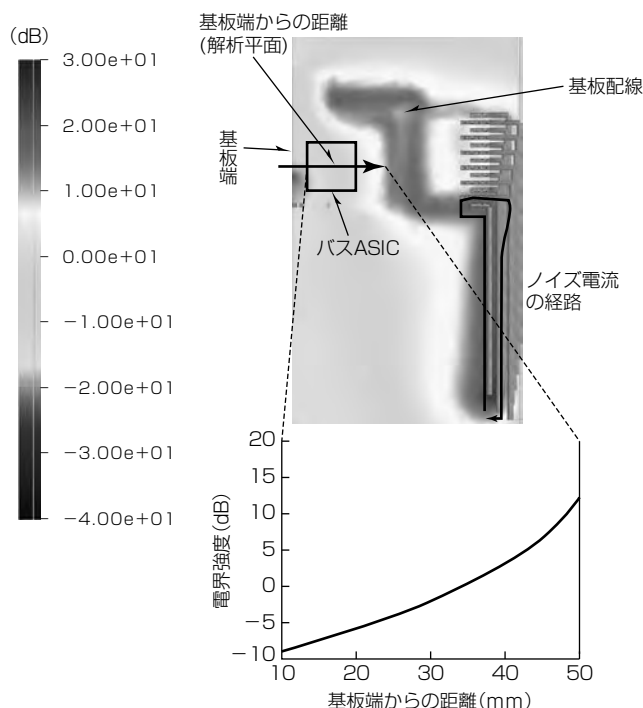


図6. 解析平面上的電界強度分布

## 4. む す び

MELSEC iQ-Rシリーズの高速アナログユニットと高速I/Oユニットの特長及び適用した技術について述べた。

今回の高速化・高機能化によってタクトタイムが飛躍的に向上し、生産現場のTCO削減に大きく貢献できる。

今後も3つの“R”を追求するシーケンサMELSEC iQ-Rシリーズの充実を図っていく。

## 参 考 文 献

- (1) 志水義信, ほか: 三菱シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”, 三菱電機技報, 89, No.4, 211~214 (2015)

# 三菱シーケンサ “MELSEC iQ-Fシリーズ”

西本雅規\* 堀川 朋\*  
廣川 悠\*  
梅田剛義\*

Mitsubishi Sequencer "MELSEC iQ-F Series"

Masaki Nishimoto, Hisashi Hirokawa, Takayoshi Umeda, Tomo Horikawa

## 要 旨

三菱電機は、新型マイクロシーケンサ“MELSEC iQ-Fシリーズ”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、特長を進化させた次世代のマイクロシーケンサである。MELSEC iQ-Fシリーズの主な特長を次に示す。

### (1) 基本性能の向上と内蔵機能の強化

高速システムバスの採用やCPU(Central Processing Unit)性能の向上で、増設ユニットへのアクセス速度を従来比150倍に向上させ、演算速度をPC MIX値<sup>(注1)</sup>で従来比7倍に高速化するなど、従来シリーズから飛躍的な基本性能の向上を実現した。さらに、アナログ入出力を内蔵(“FX5U CPU”のみ)して、Ethernet<sup>(注2)</sup>ポートとSDカードスロットも標準搭載した。

### (2) 駆動機器との連携強化

位置決め機能と高速カウンタ機能を内蔵したLSI(Large Scale Integration)を開発して、CPUユニット内蔵機能を強化した。また、機能拡張のための高速入出力ユニットや、高度な位置決め制御を可能にするシンプルモーションユニットをラインアップした。

### (3) エンジニアリング環境の進化

エンジニアリングソフトウェアは、最新の“MELSOFT GX Works3”に対応した。直観的な操作性、診断機能の強化で、ユーザーのエンジニアリングコスト削減に貢献する。

(注1) 1μs当たりの命令の平均処理数

(注2) Ethernetは、富士ゼロックス株の登録商標である。



## MELSEC iQ-Fシリーズ

MELSEC iQ-F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、特長を進化させた次世代のマイクロシーケンサである。右が端子台タイプの“FX5U”及びシンプルモーションユニット“FX5-4OSSC-S”などを増設した構成で、左がコネクタタイプの“FX5UC”である。ユニットのデザインは当社デザイン研究所と共同で行い、ユニバーサルデザインの視点で使いやすさを追求した。

## 1. ま え が き<sup>(1)</sup>

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産業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。近年、小型機械市場でも、装置全体の機能向上の要求から、これを制御するシーケンサに高機能・高付加価値が求められている。また、人件費の高騰に伴って、装置立ち上げ時のエンジニアリングコストや、故障や調整時のメンテナンスコストの削減が重要課題となっている。

一方、当社は、“iQ-Platform”による機種間での制御の高速化と使い勝手の向上(横連携)、及び情報システムと生産現場の情報連携(縦連携)で、TCO(Total Cost of Ownership)削減を実現するFA(Factory Automation)統合ソリューション“e-F@ctory”を提唱してきた。iQ-Platformの一端を担うマイクロシーケンサにも、製造設備の高度化・複雑化に対応するための性能・機能の向上に加えて生産現場の情報活用のための上位情報系との連携機能強化が求められている。

これらの背景に基づいて、基本性能の向上と内蔵機能の強化、駆動機器との連携強化、エンジニアリング環境の進化をコンセプトに次世代のマイクロシーケンサMELSEC iQ-Fシリーズを開発した。

本稿では、これらコンセプトを実現するために適用した技術とMELSEC iQ-Fシリーズの特長や機能について述べる。

## 2. MELSEC iQ-Fシリーズの特長と新機能

MELSEC iQ-Fシリーズ(以下“iQ-Fシリーズ”という。)の次の特長について述べる。

- (1) 基本性能の向上と内蔵機能強化
- (2) 駆動機器との連携強化
- (3) エンジニアリング環境の進化

### 2.1 基本性能の向上と内蔵機能の強化

iQ-Fシリーズのシステム性能強化として、増設ユニットへのアクセス速度の大幅な向上に加えて、CPU性能の向上、内蔵機能の強化を行った。アナログ入出力やEthernetポート、SDメモ리카ードスロットを新たに標準搭載することで、スタンドアロンユースだけでなくネットワークを含めたシステム提案まで可能にした。さらに、内蔵位置決め、高速カウンタの機能向上、パラメータ設定による使い勝手の向上も行っている。また、性能向上と内蔵機能の強化を行いながらも、LSIの搭載数削減などで従来機種と同等の製品コストを維持した。表1に、iQ-Fシリーズと従来の“MELSEC FXシリーズ(以下“FXシリーズ”という。)”との機能・性能の比較を示す。

#### 2.1.1 増設ユニットへのアクセス速度向上

機能をオプションで追加する増設ユニットの高機能化や

表1. 機能・性能の比較

項目	iQ-Fシリーズ (FX5U CPU)	FXシリーズ (FX3U CPU)
命令処理時間	34ns	65ns
増設バス速度	1.5kワード/ms	9ワード/ms
内蔵通信 インタフェース	Ethernet RS-485	RS-422
内蔵高速カウンタ	最大200kHz	最大100kHz
内蔵パルス出力	最大200kpps	最大100kpps
内蔵アナログ入出力	入力2ch/出力1ch	非対応

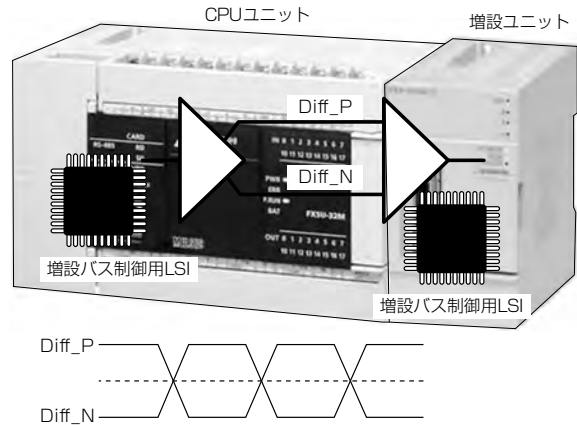


図1. バスシステムのイメージ

表2. 命令処理時間の比較

項目	iQ-Fシリーズ (FX5U CPU)	FXシリーズ (FX3U CPU)	A社	B社
接点命令	34ns	65ns	50ns	100ns
転送命令	34ns	640ns	170ns	300ns
PCMIIX値	14.6命令/μs	2.2命令/μs	—	—

使い勝手向上(リモートI/Oの自動リフレッシュなど)に伴い、増設バス上の通信量も増加する傾向にあった。従来機種では、高機能な増設ユニットを使用した場合、スキャン時間の増大によってシステム性能が低下して基本性能を活用できない課題があった。

iQ-Fシリーズでは、増設バス制御用のLSIを新規に開発して、高速シリアルバスを新たに採用した(図1)。この高速シリアルバスによって従来比150倍のバス速度を実現するとともに、差動信号を採用することでFAで重視される耐ノイズ性や信頼性の向上も行った。このLSIを全ユニットに搭載することで、設計の共通化、原価低減を行った。

#### 2.1.2 CPU性能の向上

シーケンス実行エンジンの強化として、①構造化プログラム、②複数プログラム、③ST(Structured Text)言語、FBD(Function Block Diagram)言語に対応した実行エンジンを搭載した。また、処理速度の向上も行ってマイクロシーケンサの領域でトップクラスの命令処理時間を実現した(表2)。

命令処理時間を向上させるための取組みとして、命令を実行する演算装置をCPUチップに一本化した。従来は、命令ごとに専用LSIとCPUチップで処理を分担していたが、専用LSIとCPUチップとの制御権の受渡しに時間がかかっていたため、ユーザープログラム全体では性能を引き出す

ことができなかった。そこで、CPUチップによる演算方式を一新して、ユーザープログラムに記述されている命令の読み出し回数を大幅に削減した新たな方式を採用した。これによって、CPUチップ単体で従来のLSI以上の演算性能を実現可能となり、ラダープログラム全体の性能向上を達成した。

### 2.1.3 アナログ入出力内蔵

iQ-Fシリーズでは、アナログ入力2ch／アナログ出力1chを標準搭載した(“FX5U CPU”のみ)。さらに、従来機種では各種設定をシーケンスプログラムで行う必要があったが、設定内容をパラメータ化したことで容易にインバータや流量計などへ接続することが可能となった。さらに、CPUユニットに機能を内蔵して一体化することで、A/D(Analog/Digital)変換とD/A変換の高速化を実現した。

### 2.1.4 Ethernetポートの標準搭載

iQ-FシリーズのCPUユニットでは、内蔵する通信ポートとしてパソコンなどに標準的に搭載されているEthernetポートを採用することで、遠隔地からのプログラミング・監視を可能にした。また、SLMP(Seamless Message Protocol)通信<sup>(注3)</sup>を始め、Socket通信、ユーザー独自プロトコルなどの様々なプロトコルに容易に対応可能な通信プロトコル支援機能をサポートすることで、三菱FA機器を始めとする様々な機器との親和性を向上させて、多様な生産現場にフレキシブルに対応することが可能になった。

Ethernetポートを搭載したシーケンサでは、シーケンス演算を行う制御系と、膨大なデータの処理が必要となる通信系の2つの処理が必要とされる。通信負荷が高くなると制御系処理のリアルタイム性に影響があるため、複数のCPUチップを搭載することでこの問題を解決している製品が多くある。iQ-Fシリーズでは、通信負荷が高くなった場合でもリアルタイム性が損なわれないように制御系処理に一定のリソースを割り当てる独自のスケジューラを開発して、単一のCPUチップで制御系及び通信系の処理を実現した。

(注3) 各種Ethernet製品とCC-Link IE対応機器との間で、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プロトコル

### 2.1.5 SDメモ리카ードスロットの標準搭載

iQ-FシリーズのCPUユニットでは、SDメモ리카ードスロットを標準搭載した。パソコンから直接操作可能なSDメモ리카ードに対応することで、シーケンサがない環境でもユーザープログラムの複製が可能となり、同じプログラムを搭載した装置の量産が容易になる。また、各種データのロギング、ファームウェアアップデートなどの機能に新しく対応する予定である。

## 2.2 駆動機器との連携強化

iQ-Fシリーズでは、CPUユニット内蔵機能の強化と高速入出力ユニット、シンプルモーションユニットのラインアップで、駆動機器との連携の強化を図っている。

それぞれの概要と特長について述べる。

### 2.2.1 CPUユニット内蔵機能

iQ-FシリーズのCPUユニットは、最大周波数が200kppsで4軸のパルス出力による位置決め機能と、最大周波数が200kHzで8chのパルス入力による高速カウンタ機能を備えている。特に、位置決め機能では、割り込み運転、簡易直線補間運転、テーブル運転による複数軸同時駆動及び動作中の速度・目標位置変更にも対応して、FXシリーズに比べて大幅に機能を向上させた。また、センサ割り込みなどの外部信号によって、シーケンスプログラムとは非同期で20μsの高速起動が可能のため、タクトタイムの短縮にも貢献する。

### 2.2.2 高速入出力ユニット

CPUユニットに高速入出力ユニットを1台増設することで、2軸の位置決め機能と2chの高速カウンタ機能を拡張でき、1CPUユニット当たり最大で4台(位置決め8軸、高速カウンタ8ch)増設可能である。CPUユニットと同じLSIを採用することで安価にユニットを提供でき、なおかつCPUユニットと同じ使い勝手で軸数・ch数を拡張できる。また、1台のユニットで位置決め機能と高速カウンタ機能の両方を兼ね備えているため、従来機種でのシステム構成に比べて、ユニット台数削減による設置面積の縮小やコスト削減が期待できる(図2)。さらに、これまでシーケンスプログラムを必要としていた動作設定のパラメータ化によってエンジニアリングソフトウェアの専用画面で手軽に設定できるため、簡単なプログラムで容易に装置の立ち上げが可能となる。

### 2.2.3 シンプルモーションユニット

食品・包装機械メーカーなどからの要求仕様として多く挙げられる同期制御が可能なユニットは、従来のFXシリーズにはなく、iQ-Fシリーズでは、モーション制御が可能な4軸のシンプルモーションユニットを開発した。これによって、小型機械でも安価に同期制御可能なシステムを構築できる。サーボ高速同期ネットワーク“SSCNETⅢ/H”通信への対応で装置の高性能化に貢献して、直線補間、2軸円弧補間などの補間制御や同期制御でユーザー装置を止めることなく連続的に動作させることができる。シート

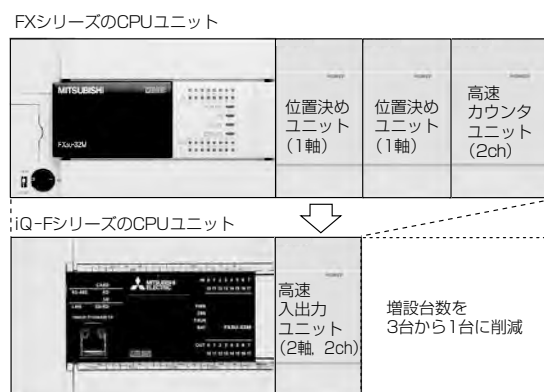


図2. 高速入出力ユニットによる増設台数削減

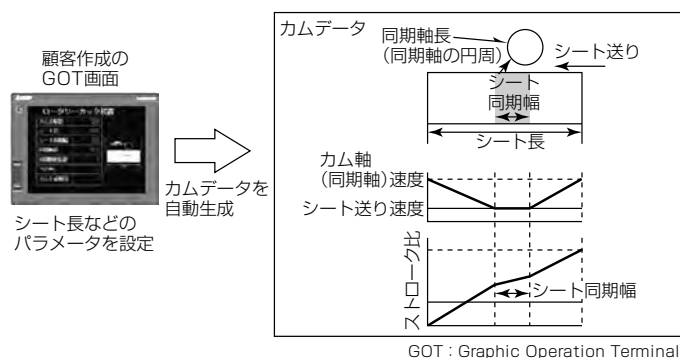


図3. カムデータの自動生成

長などを設定するだけでロータリカッターのカムデータを簡単に自動生成できるといった特長もあり、設計工数を削減できる(図3)。

また、上位機種である“MELSEC iQ-Rシリーズ”のシンプルモーションユニットと基本機能や使い勝手に互換性を持たせているため、ユーザー装置の制御点数や軸数の増減に応じて機種の移行が容易となっている。エンジニアリングソフトウェアで、ユニットのパラメータ、位置決めデータ、サーボアンプのパラメータ設定やサーボ調整なども行えるため、立ち上げ時間・メンテナンス時間を短縮できる。

## 2.3 エンジニアリング環境の進化

iQ-Fシリーズのエンジニアリング環境は、グラフィカルで直観的な操作性、トラブルシュートが容易な診断機能を特長とするエンジニアリングソフトウェア“MELSOFT GX Works3”である。MELSOFT GX Works3の新機能で、従来のFXシリーズから大きく進化した点を中心に述べる。

### 2.3.1 ユニット構成図によるパラメータ設定

MELSOFT GX Works3では、シーケンサのユニット接続構成をグラフィカルに設定できるユニット構成図機能を備えている。この機能によって、ユーザーが作成したユニット構成図から、ユニットの動作パラメータを生成可能である。iQ-Fシリーズは、装着している順番にユニットのI/O番号が割り振られるが、ドラッグ&ドロップによってユニット構成図を作成するだけで割り振られたI/O番号をパラメータに反映できる。

また、各ユニットのパラメータ設定画面を備えており、ユニット構成図上でパラメータの変更を行うユニットを選択することで、容易に各ユニットのパラメータやシステム構成の変更ができる(図4)。

### 2.3.2 診断機能の強化

iQ-Fシリーズは、拡張ボードや拡張アダプタでインタフェースを拡張できるようになっており、これに応じてiQ-Fシリーズのユニット診断では、CPUユニットの異常だけでなくCPUユニットに装着されている拡張ボード、拡張アダプタに対しても異常の原因、処置方法を詳細に表示可能である(図5)。さらに、各種ネットワーク診断にも対応する予定である。ネットワーク診断によってネットワークの異常箇



図4. ユニット構成図によるパラメータ設定

CPUユニットだけでなく拡張ボード、拡張アダプタの異常の原因、処置方法を詳細表示



詳細情報	パラメータ情報	-	-
原因	・ユニットパラメータの設定と対象ユニットが異なっています。	-	-
処置方法	・ユニットパラメータの設定を修正し、再度プロジェクトの書き込みを行ってください。	-	-

図5. 診断機能の強化

所をグラフィカルに表示することで、異常箇所の特定を容易にして、ダウンタイムの短縮に貢献する。

### 2.3.3 従来シリーズとの互換性

iQ-Fシリーズは、従来のFXシリーズと高い互換性を備えており、従来シリーズからの移行が容易である。

iQ-Fシリーズは、FX3シリーズの機能を包含した命令やデバイスをサポートしており、エンジニアリングソフトウェアでFX3シリーズのプログラムをiQ-Fシリーズのプログラムに変換可能である。既存設備のプログラム資産をiQ-Fシリーズに変換することで、ユーザーのプログラム作成コストを大幅に削減する。

さらに、既にFX3シリーズでシステムを構成しているユーザーは、FX3シリーズの増設ユニットを接続するためのバス変換ユニットを使用することで、FX3シリーズのインテリジェント機能ユニットをiQ-Fシリーズのシステムに活用可能となり、エンジニアリングコスト削減に貢献する。

## 3. む す び

MELSEC iQ-Fシリーズのコンセプトを実現するために適用した技術と機能の特長について述べた。今後も、小規模制御に求められるシーケンサを追求して、製造業の革新的な進歩を牽引(けんいん)していく。

## 参 考 文 献

- (1) 志水義信, ほか: 三菱シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”, 三菱電機技報, 89, No.4, 211~214 (2015)

# シーケンサエンジニアリング ソフトウェア“MELSOFT GX Works3”

山岡孝行\* 森田将伍\*\*  
永松博子\*\*  
岩田秀章\*\*

Programmable Controller Engineering Software "MELSOFT GX Works3"

Takayuki Yamaoka, Hiroko Nagamatsu, Hideaki Iwata, Shogo Morita

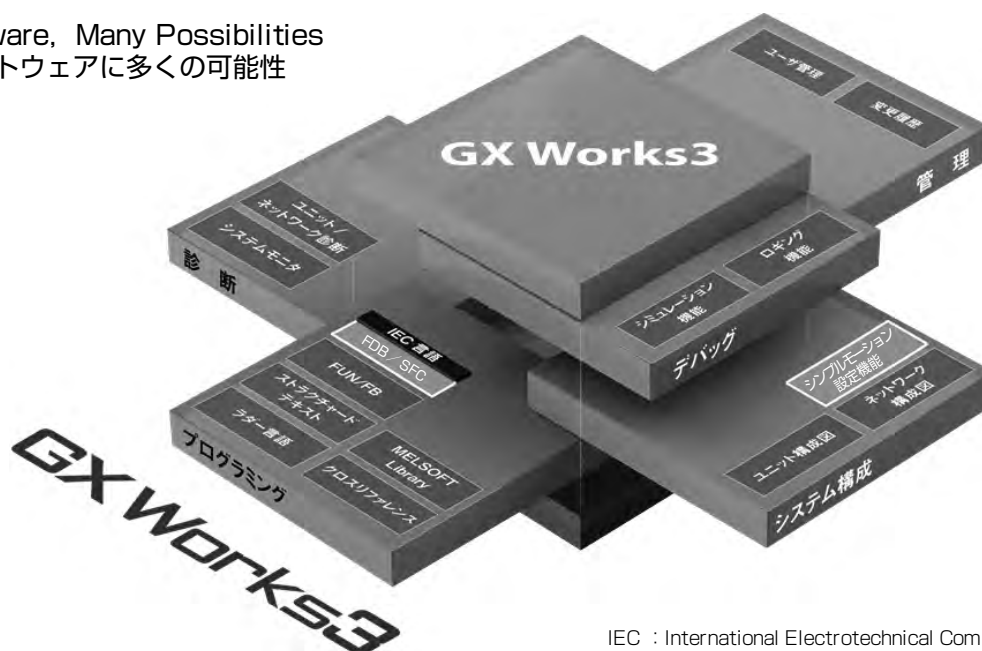
## 要 旨

製造業のグローバル競争が激化するFA(Factory Automation)市場では、生産性を向上させる装置・設備の更なる高速化と設計・立ち上げ・保守コストの削減が求められている。シーケンサエンジニアリングソフトウェア“MELSOFT GX Works3”(以下“GX Works3”という。)は、グラフィカルで直感的な操作性を備えるとともに、設計から保守までの作業を1つのソフトウェアで行うことができる開発環境である。GX Works3は、2014年のリリース後も、グローバル化するFA市場への対応及びエンジニアリングの統合化による進化を続けている。

FA市場のグローバル化に伴い、特に海外では国際規格に基づいたプログラミング言語への対応が求められている。その要求に対して、プログラマブルロジックコント

ローラ向けプログラミング言語の国際規格IEC 61131-3で規定されたFBD(Function Block Diagram)言語とSFC(Sequential Function Chart)言語に対応した機能を開発した。追加した機能では、MELSOFT従来機種の特長を継承した上にフリーレイアウトに対応するなど、更なる操作性の向上に対応した。また、制御システム全体のコスト削減のためには、シーケンス制御、モーション制御などのエンジニアリングを1つのソフトウェアで行う統合環境が求められている。その要求に対して、シーケンス制御とモーション制御を1つのソフトウェア上に統合して、直感的かつ簡単な操作でモーション制御を実現できるシンプルモーション設定機能を開発した。

One Software, Many Possibilities  
1つのソフトウェアに多くの可能性



IEC : International Electrotechnical Commission  
FUN : FUNction  
FB : Function Block  
ST : Structured Text

## シーケンサエンジニアリングソフトウェア“MELSOFT GX Works3”

MELSOFT GX Works3は、三菱シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”“MELSEC iQ-Fシリーズ”の制御システム用に設計した多彩な新機能と技術を備えつつ、簡単で使いやすい新世代のシーケンサエンジニアリングソフトウェアである。グラフィカルで直感的な操作性でプログラミング工数を削減できるとともに、国際規格IEC 61131-3に適合しており、さらにモーション制御用プログラムの作成から保守までを1つのソフトウェアで完結することができる。

## 1. ま え が き

製造業のグローバル競争が激化するFA市場では、生産性を向上させる装置・設備の更なる高速化と設計・立ち上げ・保守コストの削減が求められている。

当社は、そのような課題を解決するため汎用シーケンサMELSEC iQ-RシリーズとそのエンジニアリングソフトウェアであるGX Works3を2014年に開発した。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、設計から保守までの作業を1つのソフトウェアで行うことができる開発環境である。

本稿では、2014年のリリース以降、GX Works3に新たに追加した3つの機能について述べる。FA市場のグローバル化に伴い、特に海外では国際規格に基づいたプログラミング言語への対応が求められている。FBD言語とSFC言語は、プログラマブルロジックコントローラ向けプログラミング言語の国際規格IEC 61131-3で規定された言語であり、これらの言語に対応する機能を開発した(2章、3章)。また、制御システム全体のエンジニアリングコスト削減のためには、シーケンス制御、モーション制御などのエンジニアリングを1つのソフトウェアで行う統合環境が求められている。4章で述べるシンプルモーション設定機能は、シーケンス制御とモーション制御を1つのソフトウェア上に統合した機能である。

## 2. FBD言語対応

### 2.1 FBD言語

FBD言語は、連続的なデータ処理を記述するのに適したグラフィック言語であり、ファンクションブロック、変数、接続線から構成される。ファンクションブロックは複数の制御を部品化したもので、入力パラメータと出力パラメータを持つ。これら3つの部品を自由に配置して接続することで、プログラムを記述できる(図1)。部品の配置と接続からなるFBD言語は、データの流がひと目で分かるという利点を持っている。

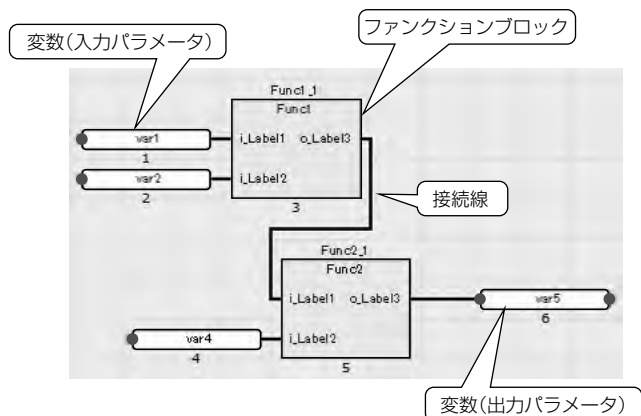


図1. FBD言語によるプログラミング

### 2.2 FBD言語エディタの特長

#### 2.2.1 直感的な操作

FBD言語は、2.1節で述べたとおり、部品を配置することでプログラムを記述するグラフィック言語である。GX Works3のFBD言語エディタでは、プログラムを直感的に記述するための機能を搭載した。

例えば、2つ以上の部品をマウスでドラッグ&ドロップして近づけると、部品を自動接続することができる。また、接続済みの部品を選択した状態でShiftキーを押しながらドラッグ&ドロップすると、接続された回路から部品を抜き取ることができる。これによって、スムーズなプログラミングが可能になった。

FBD言語は部品を上から下の順で実行するが、部品を自由に配置することが可能なため、配置によってはプログラムの実行順序が分かりにくくなることがある。実行順序を間違えて認識したままプログラミングを進めていくと、意図しない動作異常の発生につながる。このような動作異常は検出が難しく、装置開発遅延の原因になる。GX Works3では、実行順序をエディタ画面上に表示するので、処理の流れが直感的にひと目で分かるようになっている(図2)。

#### 2.2.2 GX Works2からの拡張

FBD言語では、部品を自由に配置することでプログラミングの自由度を高めている。しかし、従来のシーケンサエンジニアリングソフトウェア“GX Works2”では、回路を記述するエリアが回路ブロックごとに区切られており、複数の回路ブロックを記述するときはエリアを追加する操作が必要であった(図3)。それに対してGX Works3では、回路ブロックのエリアの概念を撤廃して、1つのワークシートに複数の回路ブロックを自由に配置可能とした(図4)。これによって、より少ない操作数での回路記述ができるようになった。

### 2.3 開発の工夫

FBD言語対応の開発では、ユーザーが操作するエディタ部分にカスタマイズ性の高いコンポーネントソフトウェアを採用した。このコンポーネントソフトウェアは、エディタ共通の基本機能を持っているため、基本機能以外のGX Works2との互換機能やユーザー要望の高い操作性の追加を迅速に行うことができた。これによって、GX Works2のユーザーにも新規のユーザーにも使いやすい操作性を実現できた。

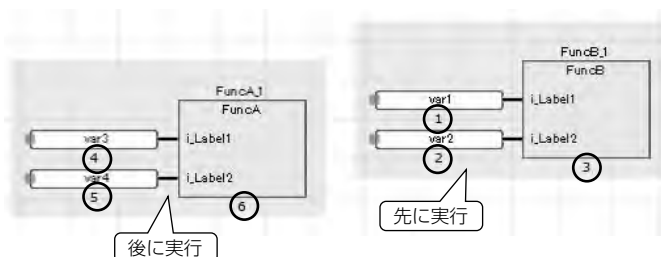


図2. 実行順序の表示



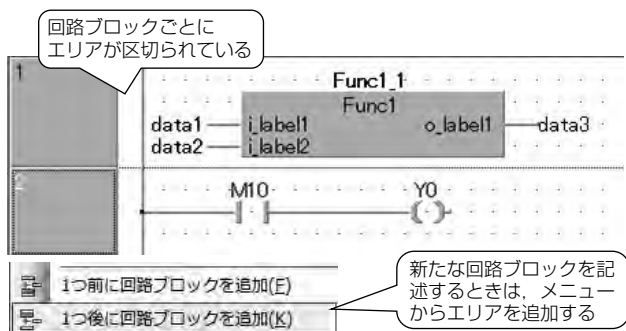


図3. GX Works2のFBD言語エディタ

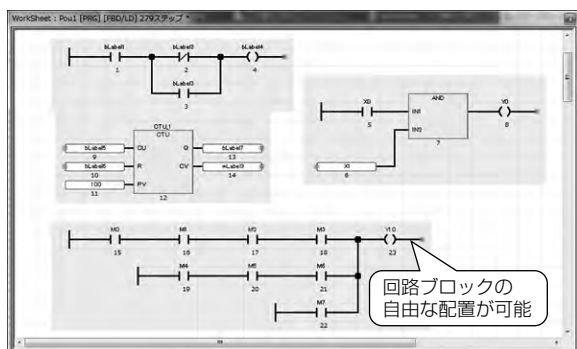


図4. 自由な配置ができるFBD言語エディタ

### 3. SFC言語対応

#### 3.1 SFC言語

SFC言語は、製造ラインなどの状態遷移を記述するのに適したグラフィック言語である。ステップ、移行条件、アクションといった要素から構成される。ステップは工程の状態を表し、移行条件は次のステップへ遷移するための条件を表す。ステップはアクションと呼ばれる実処理を持つ。アクションや移行条件は、ラダー、ST、FBD言語などのプログラミング言語で記述する。また、最初に成立した移行条件の分岐だけを実行する選択分岐や、複数のステップを並列に実行する並列分岐の記述もできる。このように、工程全体の処理をフローチャートのように記述できるため、制御の流れが分かりやすいという利点を持っている(図5)。

#### 3.2 SFC言語エディタの特長

##### 3.2.1 直感的な操作

SFC言語は、ステップと移行条件が交互に現れる。また、選択分岐や並列分岐には、それぞれの分岐に対応する結合を記述する必要がある。GX Works2では、ステップと移行条件を別々の操作で入力する必要があり、分岐と結合はそれぞれ個別に入力する必要があった。それに対して、GX Works3では、ステップを入力すると対応する移行条件が自動的に入力される。また、選択分岐や並列分岐を入力すると対応する結合が自動的に入力される。そのため、ユーザーが意識することなく、常に論理的に正しいSFC言語の図を維持できる。これによって、入力作業の効率化が図れる(図6)。

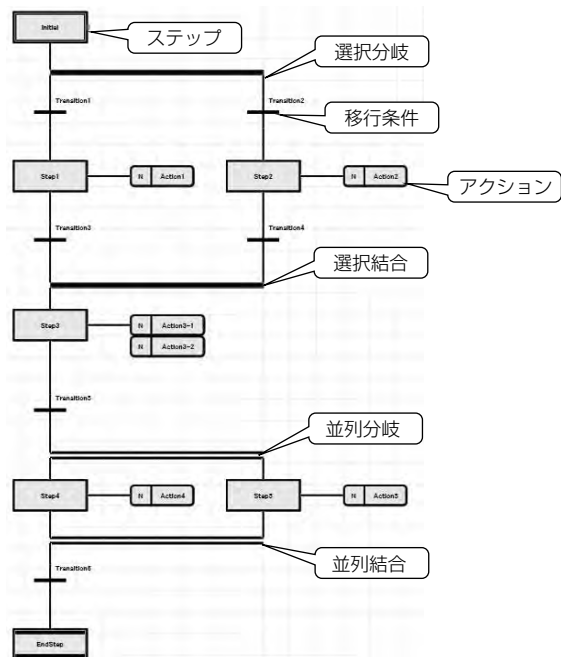


図5. SFC言語

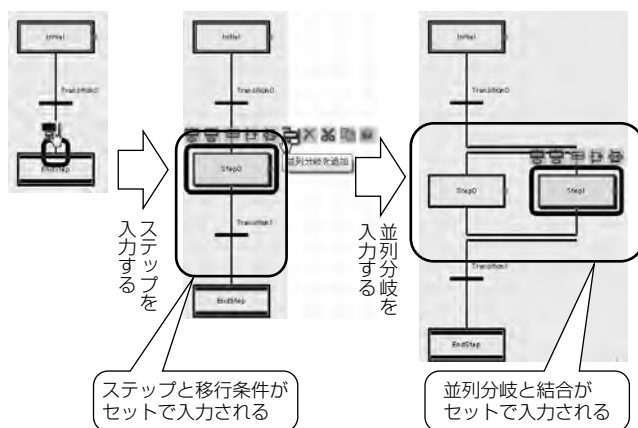


図6. 論理的なSFCの作成

##### 3.2.2 GX Works2からの拡張

SFC言語では、アクションや移行条件に実際の処理を記述する。GX Works2では、ここにラダー言語しか使用できなかった。それに対して、GX Works3では、ラダー、ST、FBD言語での記述を可能にした。ラダー、ST、FBD言語にはそれぞれ適性があるため、処理の種類に適した言語を選択使用できる。これによって、プログラムの可読性やメンテナンス性の向上が期待できる。

また、デバッグや立ち上げ時に動作確認をする際には、工程全体の動作の事前確認として、特定の工程の動作だけを確認したい場合がある。その際、GX Works2では、先頭のステップから順に動作させて各工程の動作を確認する必要があった。それに対して、GX Works3では、指定したステップだけを活性化(動作)させる機能を追加した。これによって、特定の工程だけの動作確認ができるため、デバッグや立ち上げの効率化が期待できる。

### 3.3 開発の工夫

プログラム言語エディタではユーザーの操作性が重要視されるため、開発の早い段階でプロトタイプを実装して、プロトタイプで繰り返し操作性を検証することで、効果的に操作性の改善を行うことができた。また、2.3節で述べた共通コンポーネントを使ったことでFBD言語とSFC言語とで容易に操作性を統一でき、ユーザーが迷わない操作性を実現できた。

## 4. モーション機能対応

### 4.1 シンプルモーション設定機能

シンプルモーション設定機能は、シンプルモーションユニットに対する位置決めデータの作成、同期制御パラメータの設定、カムデータの作成、モニタなどプログラミング・デバッグ・保守まで全てのフェーズに対するエンジニアリングを行うGX Works3の機能の1つである。シンプルモーションユニットは、従来専用のCPUユニットとエンジニアリングソフトウェアが必要であった同期制御や電子カム制御などの高度なモーション制御を位置決め感覚で簡単に実現できるユニットである。GX Works3では、これらのモーション制御の設定をシーケンス制御と同じソフトウェア上で実施できる。

### 4.2 シンプルモーション設定機能の特長

#### 4.2.1 直感的な操作性

同期制御を行うためには、入力軸とそれに同期する1つ又は複数の出力軸の関係をクラッチモジュールパラメータなどのパラメータで設定して、シーケンスプログラムから入力軸だけを動作させる。この同期制御の動作を確認したい場合、回転速度などの数値情報をモニタできるだけでは装置全体の動作の把握が難しい。そこで、入力軸と複数の出力軸の全体構成や、どの出力軸が動作しているのかといった情報が一目で分かる同期制御モニタ機能を用意した。モニタ画面では、どの軸が回転しているのかという情報に加えて、入力軸の速度なども確認できるようにしており、確認したい軸をクリックすることで画面右側にその軸の詳細な情報を表示できる(図7)。

#### 4.2.2 GX Works2からの拡張

MELSEC iQ-Rシリーズから新たにラインアップに追加されたCC-Link IE Fieldネットワーク対応のシンプルモーションユニット“RD77GF”に対して、設定及び診断機能の拡張を行った。

ネットワークのスレーブ機器構成の設定には、CC-Link IE Field構成画面を使用する(図8(a))。従来のCC-Link IE Fieldネットワーク対応のシンプルモーションユニット“QD77GF”に対しては、サーボアンプなどのスレーブ機器構成設定を専用の画面で行う必要があった。RD77GFに対してはネットワークマスターとなる他のユ

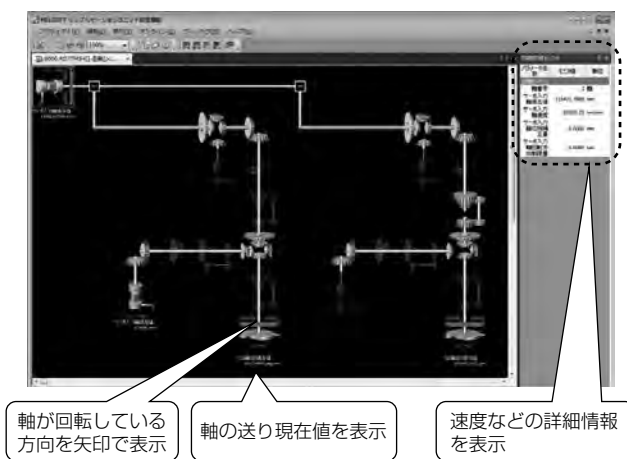


図7. 同期制御モニタ画面



(a) 構成画面 (b) 診断画面

図8. CC-Link IE Field構成画面及び診断画面

ニットと同じようにCC-Link IE Field構成画面でI/Oユニットも含めてビジュアルに設定でき、ネットワーク構成を把握しやすくした。

ネットワークでトラブルが発生した際は、CC-Link IE Field診断機能を使用することができる(図8(b))。パソコンとシーケンサをつなげるだけで、シンプルモーションユニットに接続されたサーボアンプやI/Oユニットのデータリンク状態、異常の発生有無などを1つの画面で確認することができるため、迅速なトラブルシューティングが可能になる。

### 4.3 開発の工夫

RD77GFに接続可能なスレーブ機器としてパートナーメーカーから新たな製品が提供された場合は、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)を登録するだけでスレーブの設定ができる仕組みにした。これによって、GX Works3のバージョンアップをすることなく新しいスレーブ機器を使用できる。

## 5. む す び

FA市場のグローバル化とエンジニアリング環境の統合に対応して、MELSOFT GX Works3に追加した3つの機能について述べた。これらの機能にとどまらず、今後もGX Works3を顧客のエンジニアリングコスト削減に寄与するエンジニアリングソフトウェアとして進化させていく。

# 次世代FA電子マニュアル“e-Manual”

天野貢次\*  
長尾大輔\*\*  
舞田浩子\*\*\*

Next - Generation Factory Automation Manual "e - Manual"

Koji Amano, Daisuke Nagao, Hiroko Maida

## 要 旨

FA(Factory Automation)事業のグローバル化に当たり、製品の使いやすさはますます重要な要素になっている。その中でも、製品の機能仕様や使い方などを示すマニュアルは、システムの立ち上げやトラブルの早期解決に影響する重要な技術サービスの位置付けにあり、顧客満足度にも大きく影響している。

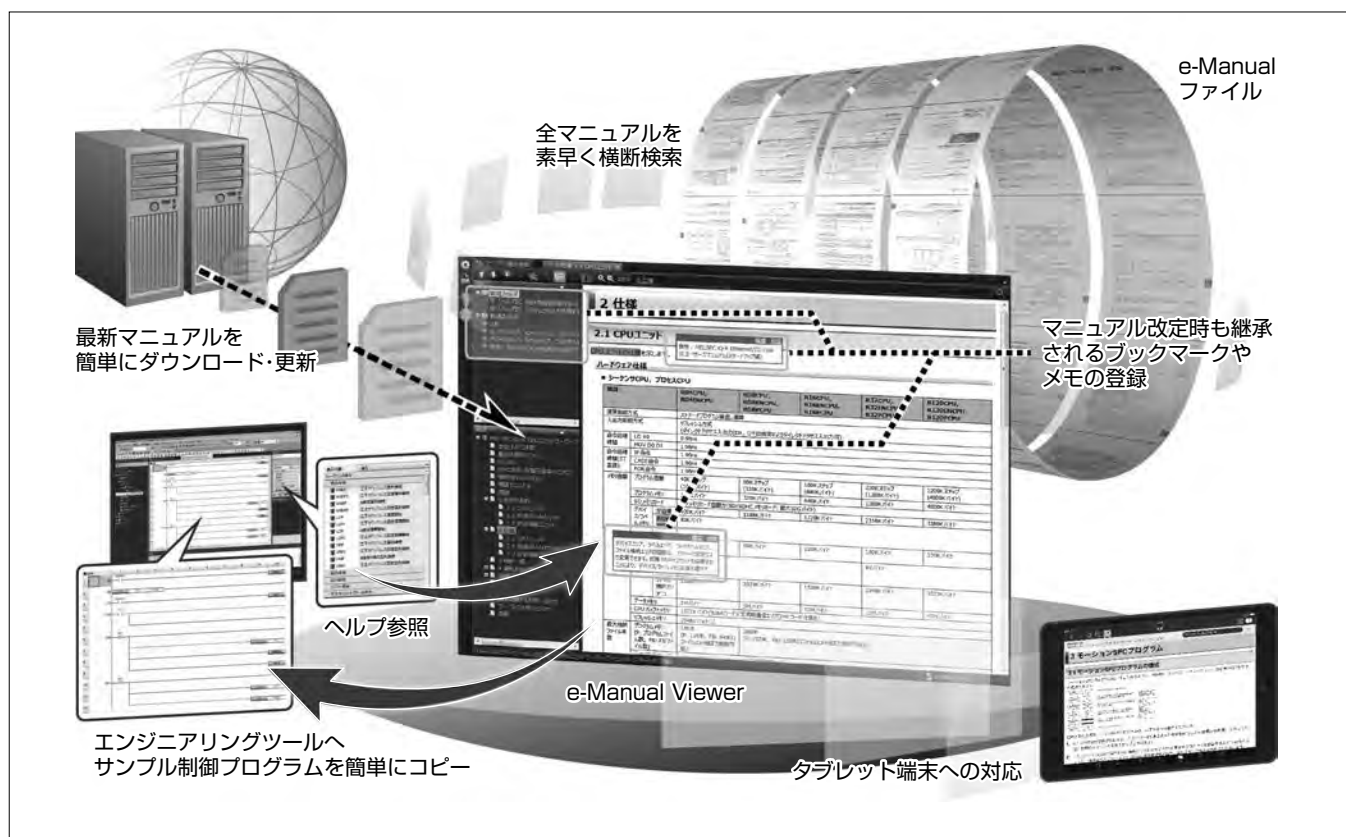
FA製品(例えばシーケンサなど)は、機種数が多く高機能化などによってマニュアルの冊数やページ数が増大しており、また機能・仕様追加などで改定も度々発生している。そのため、ユーザーは、FAシステムを構築する際に大量のマニュアルを所有することになり、それらの大量マニュアル群から所望の最新情報を探すのは負担が大きいという問題があった。

三菱電機が今回開発したFA電子マニュアル“e-Manual”は、これらの問題を解決するために業界初<sup>(注1)</sup>となるマニュアル群のデータベース化とIT技術の活用で、先進的な使いやすさと圧倒的な検索性の向上を実現して、システムの立ち上げやトラブルシュート時間の大幅な削減を可能にした。

e-Manualは次の特長を備える。

- (1) 最新マニュアルの簡単なダウンロード・更新
- (2) 全マニュアルの素早い横断検索
- (3) ブックマークやメモの登録(マニュアル改定時も継承)
- (4) エンジニアリングツール(ソフトウェア)へのサンプル制御プログラムの簡単なコピー
- (5) タブレット端末への対応

(注1) 2016年2月15日現在、三菱電機調べ



## “e-Manual”のコンセプトと特長

e-Manualは、マニュアルに該当する“e-Manualファイル(.ema)”とそれを閲覧するための“e-Manual Viewer”で構成しており、e-Manual ファイル全てを1つのデータベースとして確立させたマニュアルである。e-Manualは、情報データベース化によるスピーディな検索やカスタマイズ性を備えている。またエンジニアリングツール(ソフトウェア)との情報連携インタフェース機能も実装しているため、次世代のテクニカル情報サービスの基盤として活用できる。

## 1. ま え が き

近年、液晶・半導体分野などのFA製造事業では海外の市場規模が急速に拡大しており、FA市場が海外へシフトしていく中、顧客から見た価値の変化(ハードウェアの性能から使いやすさ・サービスへ)も起きている。このような状況の下で、“技術サービス”は製品購入の判断にも大きく影響している。その一方で、海外の顧客に対しては国内同様の手厚い技術サポートが届きにくい部分もある。このような中、製品マニュアルはシステムの立ち上げやトラブルの早期解決に影響する重要な技術サービスの位置付けにあり、顧客満足度や製品展開にも大きく影響する。

従来、FA製品は機種数が多く、また高機能化によって、マニュアルの冊数やページ数が増大している。そのため、紙やPDF(Portable Document Format)マニュアルでは必要な情報を探すのに多大な時間がかかる問題があった。

今回開発したe-Manualは、これらの問題を解決するため、マニュアル群のデータベース化とIT技術の活用によって先進的な使いやすさと圧倒的な検索性の向上を実現して、システムの立ち上げやトラブルシューティング時間の大幅な削減を可能とした。これによって、e-Manualは、多大な生産ラインや装置の立ち上げ・トラブルシューティングなどの場面で製品をより使いやすく支援していくグローバル市場において三菱電機FA製品の有力な技術サービスとなっている。

## 2. e-Manualの特長

### 2.1 いつでも簡単に最新マニュアルを入手

e-Manualは、生産ラインや装置に使用している三菱電機のFA製品のマニュアルを、いつでも簡単にダウンロードしてその場で閲覧できる。また、機能・仕様追加などでマニュアルが改定された場合でも簡単に最新バージョンの照合ができ、常に最新情報へ更新して閲覧できる。

### 2.2 スピーディな情報検索

e-Manualは、マニュアル群をデータベース化しているため、確認したいFA製品を指定するだけで該当する製品マニュアルが全て表示され、マニュアル構成などを意識せず簡単に所望のマニュアルを閲覧できる。また、欲しい情報をキーワードで指定するだけで、格納されている全マニュアルの横断検索ができるため、多くのマニュアルを1冊ごとに探して調べる必要がなく、素早く欲しい情報を入手できる。

FA製品固有の仕様であるエラーコードや命令などに絞り込んだ特定検索もできる。

### 2.3 マニュアルを使いやすいようにカスタマイズ

e-Manualは、設計時の設定方法や現場での保守・トラブルシューティング時など、良く確認する情報をブックマーク登

録したり、顧客の生産ラインや装置で必要な情報をメモとして記録するなど、顧客ごとの環境に応じて使いやすようにカスタマイズができる。登録した内容はマニュアルが改定されても継承されるため、いつまでも情報を有効に活用できる。

### 2.4 エンジニアリングツールと連携した情報支援

e-Manualは、エンジニアリングツールとの情報連携インタフェース機能を実装しているため、マニュアルに記載されているFA製品のサンプル制御プログラムを簡単にエンジニアリングツールへコピー＆ペーストでき、FA製品の試使用動作を簡単かつスピーディに確認できる。また、エンジニアリングツール上でプログラミング作業を行う時にも、命令の使い方などをその場で検索・表示でき、プログラミングを簡単に行えるよう支援している。

### 2.5 タブレット端末対応による現場作業の支援

e-Manualは、設計時からトラブルシューティング・保守までをトータルでサポートするパソコン(Windows<sup>(注2)</sup>)版とともに、現場作業時(トラブルシューティングの一時診断や保守などの時)に手軽に情報を確認できるタブレット端末(Android<sup>(注3)</sup>、iOS<sup>(注4)</sup>)版がある。装置などで使用しているFA製品のマニュアルを現場に何冊も持ち運ぶ煩わしさをなくして、タブレット1つで該当製品に関する必要な情報を現場で確認できるようにしている。

(注2) Windowsは、Microsoft Corp. の登録商標である。

(注3) Androidは、Google Inc. の登録商標である。

(注4) iOSは、Cisco Systems, Inc. の登録商標である。

### 2.6 データ構造改善によるマニュアル制作の効率化

e-Manualでは、リソースとなるマニュアルの原稿データを構造化言語XML(eXtensible Markup Language)で記述するため、テキスト差管理の容易化による多言語翻訳作業の効率化や1ソースからマルチ媒体(印刷物、PDF、e-Manualファイル)への生成が可能であり、マニュアル制作の効率化を実現している。

## 3. 従来マニュアルの課題

FA製品のマニュアルは、情報量の多さや高性能・高機能化に伴った機能追加などの改定によって、情報の検索性や最新マニュアルの照合・入手の容易性など、顧客から、システムの立ち上げやトラブルシューティング時間の短縮に向けた改善要望があり、マニュアルサービスとして次の課題があった。

### 3.1 最新マニュアルの入手容易性の向上

FA製品の高性能・高機能化に伴い、マニュアルの改定や新規追加などが度々行われるため、顧客はメーカーホームページ内で該当製品のマニュアルを探したり、現在所有しているものが最新バージョンなのかを確認する煩わしさがあった。したがって、最新マニュアルを簡単に入手できる手段が必要である。

### 3.2 情報検索性の向上

従来、FA製品のマニュアルは、紙媒体又は電子化され

たデータの形式(≒紙媒体)で提供されていた。また、FAシステムは多くの製品で構成されており、それらを構成する個々の製品は多くの機能を持つという特徴がある。さらに、1つの製品に関する情報が複数のマニュアルに分冊されて記載されている場合があり、顧客はFAシステムを構築する際に大量のマニュアルを所有することになる。

このようなマニュアル群から所望の情報を取り出すことは、顧客にとって負担が大きいという問題があり、これらの問題を解決するために、大量のマニュアルから所望の情報を素早く入手できることが必要である。

### 3.3 カスタマイズ性の向上

顧客の装置の特性などに応じて、使用しているFA製品のマニュアルへノウハウ情報を書き留めたり、トラブルシュートや保守時によく確認する内容などに付箋を使用して次回からすぐに確認できるようにするなど、顧客がマニュアルを使いやすいようにカスタマイズしているケースが多い。しかし、従来のFA製品マニュアルは紙媒体又は電子化されたデータの形式(≒紙媒体)で提供されているため、マニュアルが改定された場合に、旧マニュアルに記録された情報が廃棄されてしまい、製品のライフサイクルに沿った有益な情報資産として残せなかった。そのため、顧客が記録した情報は、マニュアルが改定されても継承できる手段が求められている。

### 3.4 エンジニアリングツールとの情報連携強化

FA製品を使用するに当たり、各パラメータの設定やプログラミングなどにはエンジニアリングツールを使用する。その際、プログラミングの命令などを必要に応じて顧客が仕様を確認できるように、マニュアルに記載されている命令仕様の説明部分を抜粋したエンジニアリングツール専用のヘルプファイルを作成して提供していた。これは、従来の電子化されたマニュアル(≒紙媒体)でもエンジニアリングツール上から直接参照できる仕組みがないため新たに作成する必要がある、余計な工数がかかっていた。

また、マニュアルにはFA製品の使用方法を示したサンプル制御プログラムが記載されているが、これらを作成するには記載例に従って全て手作業でプログラミングする必要がある、入力ミスをおかしやすく手間がかかっていた。このため、エンジニアリングツール上から必要な情報を参照して、サンプル制御プログラムなどを簡単にエンジニアリングツールへコピーできるような情報連携機能が求められる。

### 3.5 多言語マニュアル制作を含めたマニュアル制作の効率化

従来マニュアルの原稿データは、文書と定義付けしたタグ情報などが紐(ひも)づいていない非構造の形式であるため、テキスト情報を効率よく活用できなかった。そのため、多言語マニュアル制作では、原稿データの変更箇所(和文からの変更箇所)の洗い出しを手作業で行う必要があり、非効率で翻訳までに時間がかかっていた。また、非構造の

データ形式ということもあり、多くの用途に対応できる新たな電子マニュアル媒体に対応する場合、別データとして新規作成する必要がある、多大な工数がかかる。これらの問題を解決するため、原稿データの差分管理などを容易にするデータ構造や、1ソースで多用途に使用できるデータ形式に対応していくことが求められている。

## 4. 課題解決のための適用技術

e-Manualは、各製品の仕様・機能などを説明したマニュアルに該当するe-Manualファイル(.ema)とそれらを閲覧するための専用Viewerとなるe-Manual Viewerで構成されている。

3章で述べた課題を解決するためにe-Manualに適用した技術を次に述べる。

### 4.1 IT技術を活用した最新マニュアルの閲覧

e-Manual Viewerでは、インターネット技術を活用して三菱電機のホームページに掲載されているマニュアルのリスト情報(マニュアル名やマニュアルバージョン情報、e-Manualファイルの場所を示すアドレスなど)を取得することで、各FA製品のマニュアルをダウンロードできる。

また、e-Manual Viewer内でマニュアルのバージョン情報が管理できているため、一度入手したマニュアルの最新バージョンの照合も行うことができ、簡単にアップデート可能である。

### 4.2 データベース技術活用による情報検索性の向上

e-Manualファイルは、仕様・機能などの説明文書以外に、対象となる機種やシリーズ名、製品名、またマニュアルのバージョン情報などの属性情報が付与されており、マニュアルの原稿データは検索に適した構造にするとともに、WindowsやAndroid, iOSなどのOS(Operating System)に関係なく共有できるようにSQLiteデータベースを採用して、コンテンツをデータベース化して収録している。

各FA製品のe-ManualファイルをSQLiteデータベースに格納することで、データベース内で製品名とマニュアル情報(目次、本文、索引)が全て紐づけられ、製品指定による関連マニュアルの表示・閲覧や全マニュアルのスピーディな横断検索を実現している(図1)。

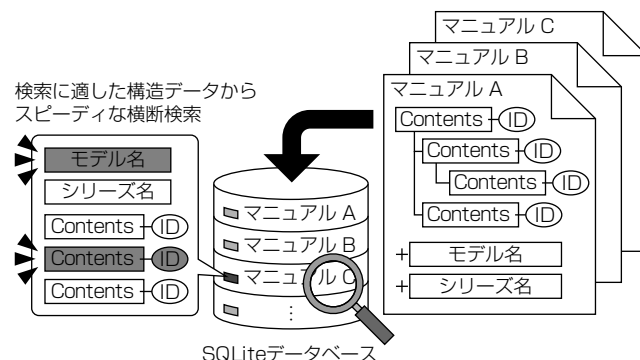


図1. データベース技術活用による検索性向上

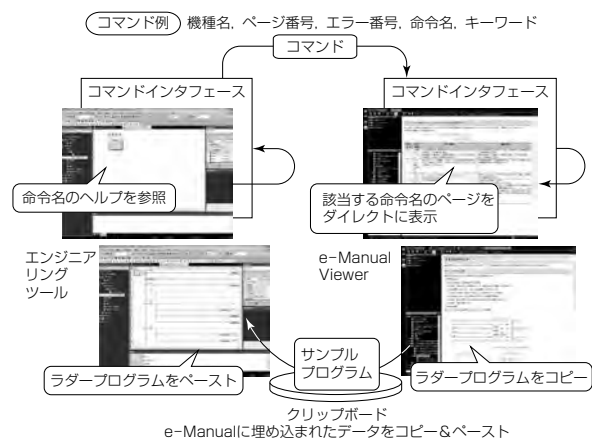


図2. エンジニアリングツールとの情報連携

#### 4.3 文書全体をID管理することで情報資産を継承

e-Manualでは、マニュアルの全文章を固有のIDで管理している。そのため、ブックマークや本文中のメモ情報の管理は、本文のIDと紐付けて保持している。また、一度文章に付与したIDは永続的に不変であり、章・節など途中で文章が追加されても変わらない。このため、マニュアルが改定されても顧客が記録した情報は問題なく継承でき、FA製品のライフサイクルなどに沿った有益な情報資産として残すことができる。

#### 4.4 エンジニアリングツールとの連携機能によるエンジニアリングコストの削減

e-Manual Viewerは、他アプリケーションからの要求に応えるためのコマンドインタフェース機能を備えている。そのため、エンジニアリングツール上からe-Manual Viewer内の全マニュアル情報（命令仕様やツールの操作方法など）を必要に応じて検索して表示させることができる。これによって、従来メーカー側が作成していたエンジニアリングツール専用のヘルプファイルは不要となり、ヘルプファイル作成の工数が削減できる。

また、マニュアルに記載しているサンプル制御プログラムを実データとしてe-Manualファイルに入れることで、e-Manual Viewer上からサンプル制御プログラムのデータを抽出してエンジニアリングツールへ簡単にコピー＆ペーストできるようにした。このように、e-Manualによるマニュアル情報の共有化及びソフトウェアの連携機能を活用することで、エンジニアリングコストを削減できる（図2）。

#### 4.5 文章構造化技術の適用及びAndroid/iOSクロスプラットフォーム開発による効率化

##### 4.5.1 多言語マニュアル改定の効率化

e-Manualは、マニュアルの原稿データに構造化技術を適用して作成する。文章に詳細なタグ情報や属性を付与して定義付けすることで、テキストや書式情報を管理しやすいデータ構造にしている。これによって、テキスト同士の差分比較や1ソースから多様なデータ媒体への変換など、ツールを活用することで従来手作業であった部分を自動化

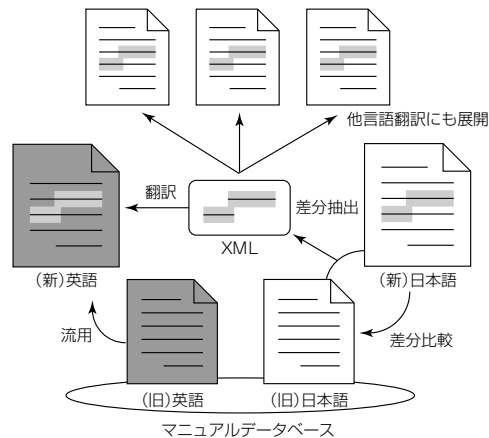


図3. 翻訳箇所抽出による多言語制作の効率化

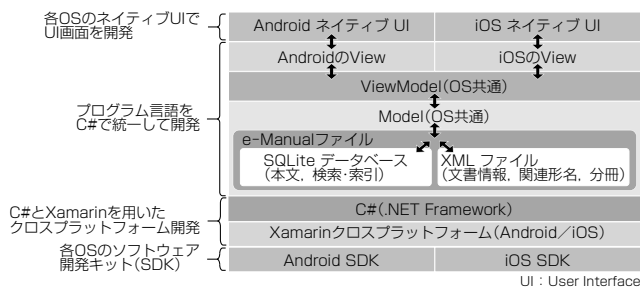


図4. Android/iOSアプリのソフトウェア構成

できる。多言語マニュアル改定の際には、前回の和文原稿からの変更箇所（翻訳対象となる追加・変更箇所）の自動抽出が可能であり、翻訳までの作業工程短縮による多言語マニュアル改定の効率化が可能である（図3）。

##### 4.5.2 Android/iOS対応の開発効率化

e-Manual Viewerのタブレット端末（Android/iOS版）開発に当たっては、“Xamarin<sup>(注5)</sup> クロスプラットフォーム”を採用している。これによって、Android/iOSアプリケーションを同一のプログラミング言語に統一して開発でき、データ制御側のプログラムソースをOS間で共通化できる。そのため、データベース部分や検索処理などの基本機能部分を共有の1ソースで管理して、Android、iOSの各デバイスに依存する部分（画面操作に関する表示部分）だけを切り分けた効率的な開発を実現している（図4）。

（注5） Xamarinは、Xamarin Inc.の登録商標である。

## 5. む す び

従来のマニュアルの課題と次世代FA電子マニュアルe-Manualの適用技術について述べた。e-Manualは、FA製品を使用する上で必要となる技術情報の入手性や検索性などを向上させて、FA製品の使いやすさを強力にサポートするサービスツールである。

今後も、顧客やパートナーなどのニーズに対応して、FA統合ソリューション“e-F@ctroy”を支えるe-Manualサービスを推進して更なる技術サービスの基盤強化を図っていくことで、三菱電機FAグローバルNo. 1を目指していく。

# グラフィックオペレーションターミナル “GOT2000シリーズ”の新機種・新機能

桑森心平\*  
河相英典\*  
山田智子\*

New Model and Function of Graphic Operation Terminal "GOT2000 Series"

Shimpei Kuwamori, Hidenori Kawai, Tomoko Yamada

## 要 旨

グラフィックオペレーションターミナル“GOT2000シリーズ”は、“Easy and Flexible(使いやすく、自由度が高い)”のコンセプトで2013年9月に発売し、市場の変化や要望に対応するため継続的にラインアップの拡充や機能の拡張を行っている。

今回の拡張開発は、次のとおりである。

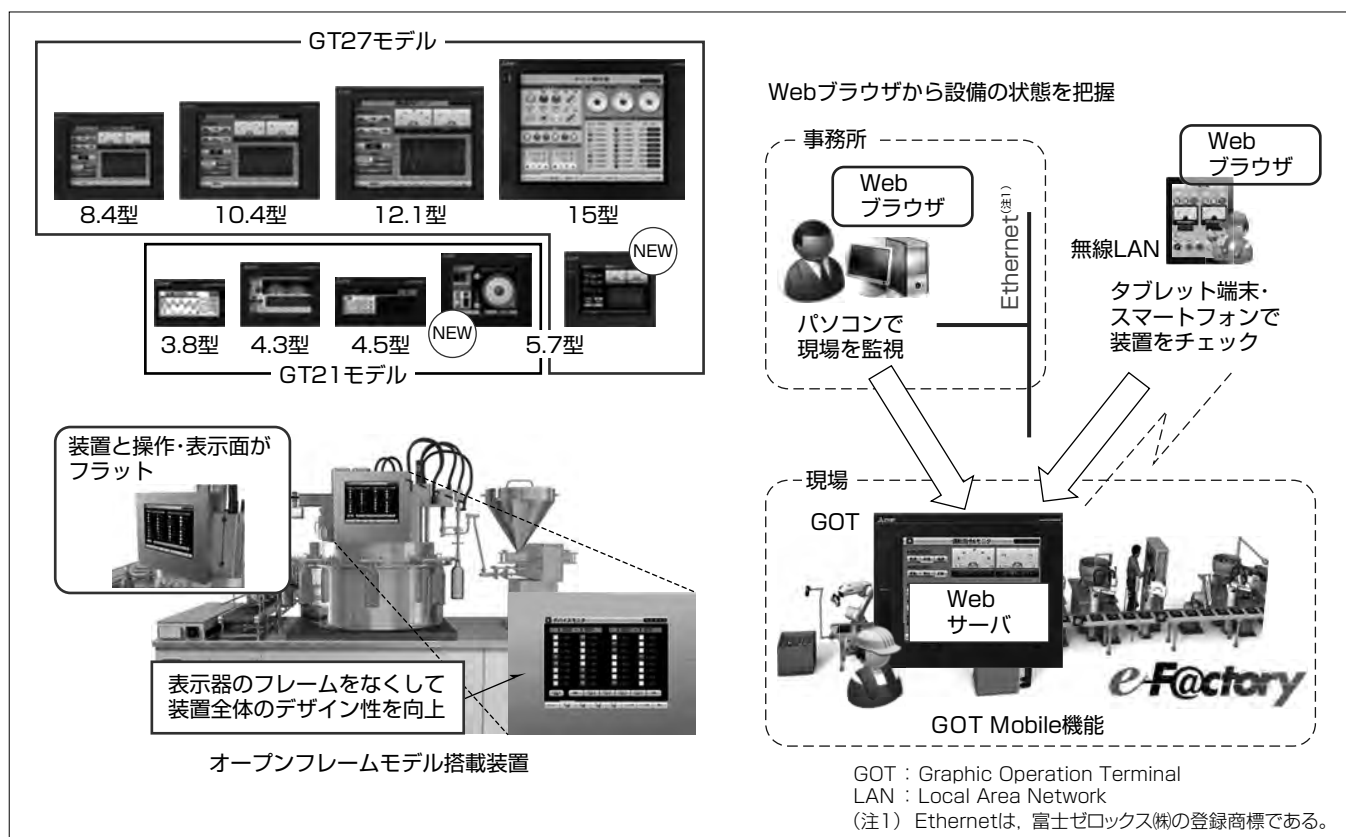
### (1) 新機種開発

GOT2000シリーズは、ハイエンド市場からローレンジ市場までそれぞれの要望に合わせてGT27モデル、GT25モデル、GT21モデルの3モデルをラインアップしている。今回は、GT27モデルとGT21モデルに中型機種に当たる5.7型の拡充開発を行い、ラインアップに追加した。

また、装置の衛生面の向上、装置全体のデザイン性の向上といった要望が挙がっており、これらの要望に応えるため、表示器のフレームをなくしたオープンフレームモデルを開発した。

### (2) 新機能開発

海外市場を中心にリモート監視・リモートメンテナンスへの対応要望が高まっている。さらに、タブレット端末・スマートフォンなどのモバイル端末を活用したソリューションの要望も市場から寄せられるようになってきた。これらの要望に応えるソリューションの1つとして、Webブラウザを利用して装置のリモート監視・操作が可能となるGOT Mobile機能を開発した。



## GOT2000シリーズの新機種・新機能

GOT2000シリーズのGT27、GT21モデルに5.7型機種を開発・投入した。また、医療機器や食品機器等の衛生面の向上やデザイン性が重要となる市場に向けて、オープンフレームモデルを開発した。GOT Mobile機能はWebブラウザを使用したリモート監視・操作機能で、複数の機器から装置に接続して情報を取得可能である。



## 1. ま え が き

三菱電機の表示器は、基本性能の高さ、信頼性の高さ、三菱FA(Factory Automation)機器との独自連携機能で他社との差別化を図り、国内外の顧客から高い評価を得ている。

市場環境・要望は、タブレット端末・スマートフォンなどのタッチパネル搭載機器の普及などによって刻々と変化しているため、“Easy and Flexible”のコンセプトの下に、2013年9月にGOT2000シリーズを発売してラインアップの拡充や機能の拡張を行ってきた<sup>(1)(2)(3)</sup>。

本稿では、GOT2000シリーズの新機種及びリモートメンテナンスのソリューションの1つとして開発したGOT Mobile機能について述べる。

## 2. GOT2000シリーズの新機種

GOT2000シリーズは、ユーザーニーズ・用途に合わせて、各種画面サイズ・解像度の製品をラインアップしている。今回、GOT2000シリーズの最上位であるGT27モデルに5.7型VGA(Video Graphics Array)機種、コストパフォーマンスに優れたGT21モデルに5.7型QVGA(Quarter VGA)機種を追加して、中型サイズのラインアップを拡充した(図1)。

また、医療及び食品関連分野向けに、操作盤に表示部をフラットに取り付けることが可能なオープンフレームモデルを開発した。操作盤と表示部をフラットにすることで、ユーザー装置のデザイン性及び衛生面の向上を図ることができる。

### 2.1 5.7型ラインアップ拡充

GT27モデル5.7型VGA機種(図1(a))では、中型ボディにVGA液晶を搭載して大型機種と同等の表示性能を実現した。また、GT27モデルの特長である領域分割方式のアナログ抵抗膜タッチパネルを採用して、当社の5.7型機種として初めてマルチタッチジェスチャ操作に対応した。この操作で表示画面を拡大・縮小でき、小さい画面でも多くの情報を表示して、操作時は画面を拡大することで、より見やすく快適なキー操作を可能にした。

GT21モデル5.7型QVGA機種(図1(b))は、TFT(Thin Film Transistor)液晶採用による視認性向上や描画性能の向上、前面USBポート搭載によるメンテナンス時の作業性改善を実現した。さらに、SDカードスロットを搭載することで、時系列で収集したデータを保存するロギング機能やシーケンサプログラムのバックアップ/リストア機能といった、ユーザーでのデータ解析や保守管理にも貢献できる製品とした。

### 2.2 オープンフレームモデル

GOT2000シリーズのオープンフレームモデルは、操作盤前面をフラット化するために表示器前面のフレームをなくして、GOTを操作盤の背面から取り付けられる構造に



(a) GT27モデル 5.7型VGA機種



(b) GT21モデル 5.7型QVGA機種

図1. GOT2000シリーズ5.7型機種

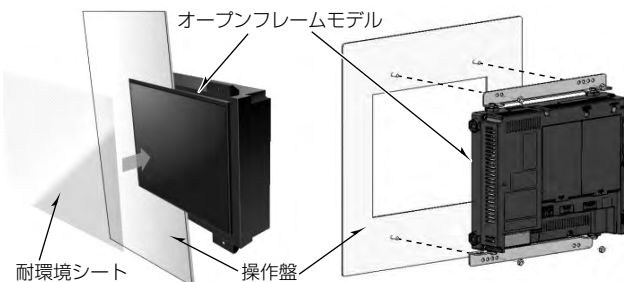


図2. GOTのオープンフレームモデル

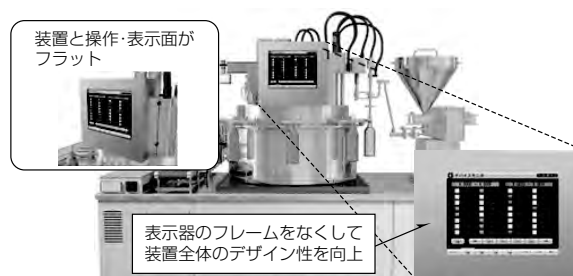


図3. オープンフレームモデル搭載装置

した。耐環境シート(前面シート)を操作盤前面に貼り付けることで、操作盤のデザイン性及び洗浄性を向上させた(図2)。

食品加工装置では、装置の溝やギャップに食品が付着し、衛生上問題になるケースがある。操作盤前面の凹凸をなくすことで洗浄性が向上して、このような問題を解決することができる。また、医療関連装置では装置のデザインを重視する傾向がある。オープンフレームモデルでは、ユーザー装置に合わせたデザインのシートを張り付けることで、装置トータルでデザイン性を向上させることができる(図3)。

## 3. GOT Mobile機能

### 3.1 概 要

海外市場を中心に、リモート監視・リモートメンテナンスへの要望が高まっている。さらに、タブレット端末・スマートフォンといったモバイル端末が工場設備にも普及し始めており、モバイル端末を活用したソリューションに対する要望が市場からも寄せられるようになってきた。このような流れの中で、GOTもリモート監視ソリューションを強化してきた。しかし、複数の端末から同時接続してモニタしたいという要望や、専用ソフトウェアを使わずに機能を使いたいという要望に応えることができなかった。これらの課題を解決してリモートメンテナンスソリュー

ションの幅を広げるために、GOT Mobile機能を開発した。

GOT Mobile機能とは、Webブラウザを利用したリモート監視・操作機能である。GOTに搭載したWebサーバ機能に、タブレット端末やスマートフォンなどのブラウザからアクセスすることで、ブラウザ上でGOTと同じように装置の監視や操作が可能である。モバイル端末用の画面は、GOTの画面作成ソフトウェアである“MELSOFT GT Works3”（以下“GT Works3”という。）を使用して、従来のGOT画面と同じ手順で作成可能である。利用イメージを図4に示す。

GOT Mobile機能によって、現場でGOTを操作中でも事務所でパソコンを使用して生産状況を確認したり、保全担当がモバイル端末を使用して装置の状態チェックを行ったりすることができ、作業の効率化が可能である。次に、GOT Mobile機能の詳細について述べる。

### 3.2 Webブラウザでの画面表示

特別なアプリケーションをインストールせずに装置の監視や操作を行いたいという要望に応えるため、パソコンやモバイル端末などの情報機器の汎用ブラウザ上に装置のモニタ画面を表示する機能を開発した。

ブラウザ上の画面表示に関連する処理は、HTML5 (HyperText Markup Language 5)、CSS3(Cascading Style Sheets 3)、及びJavaScript<sup>(注2)</sup>を用いた。GOTから取得した表示更新情報をもとにJavaScriptでブラウザ上に表示された監視画面の内容を更新している。

(注2) JavaScriptは、Oracle Corp. の登録商標である。

### 3.3 GOT Mobile専用画面

ブラウザ上に表示する画面は、GT Works3で作成する。GOTの作画方法と同様であり、HTMLなどの知識は不要である。また、既存データの流用や、サンプルプロジェクトからの作成も可能として、少ない作画工数でGOT Mobile専用画面を作画できるようにした。また、作画する画面の解像度はモバイル端末に応じて設定可能として、図5に示すように一般的な解像度から選択して設定する。該当する解像度が存在しない場合は、カスタマイズして自由に入力することもできる。これによって、モバイル端末の解像度に応じた作画を実現した。

### 3.4 複数クライアントの同時接続／非同期操作

遠隔地からの監視やメンテナンスなどで、現場とは別の画面をモバイル端末などの情報機器(クライアント)上に表示したいという要望に対応するために、1台のGOTに対して複数のクライアントからの接続と、別の画面の表示・操作を実現する機能を開発した(図6)。

この機能では、GOTの内部でクライアントの接続状態を管理するとともに、接続されたクライアント別に装置の監視処理をして、監視対象の状態に変化があると対応するクライアントに対して表示更新情報を通知する。

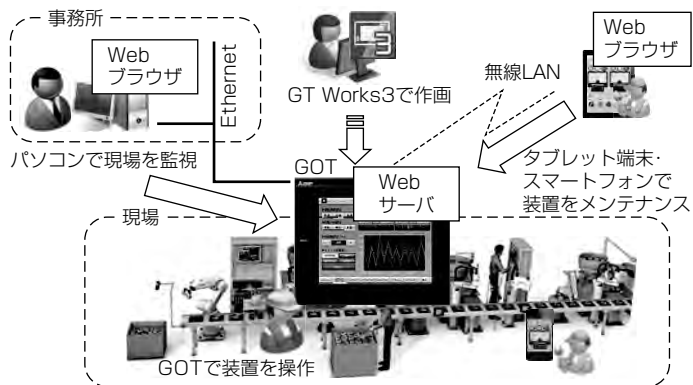


図4. GOT Mobile機能の利用イメージ



図5. モバイル端末画面の解像度設定

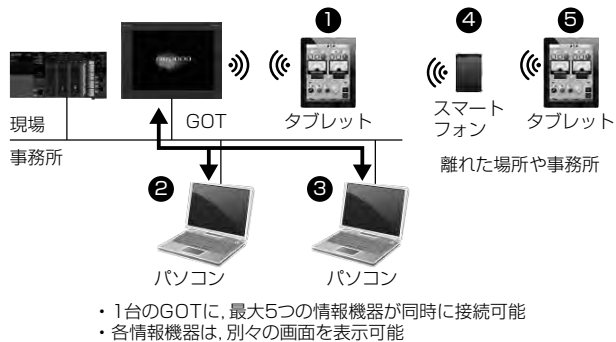


図6. 複数クライアントの接続

さらに、クライアント間で独立した操作を可能にするために、GOT Mobile用のデバイス(以下“GOT Mobileデバイス”という。)の仕組みを実現した。デバイスとは、演算等で扱うデータを記憶するための内部メモリ空間の名称であり、GOTでもGOTデータレジスタ(以下“GD”という。)、GOTビットレジスタ(以下“GB”という。)と呼ばれる内部デバイスを持っている。GOTで画面に表示する情報はデバイスに保持しており、クライアント間で異なる動作とする場合は、それぞれで情報を保持するためのデバイスが必要となる。しかし、表示する情報全てに対してクライアントごとにデバイス設定をするのは、手間がかかる。この課題に対応したのが、GOT Mobileデバイスである。GOT Mobileデバイスに内部デバイスを割り当ててGOT Mobileデータレジスタ(以下“VGD”という。)、GOT Mobileビットレジスタ(以下“VGB”という。)として、クライアントごとの仮想的なデバイスとして使用する。内部デ

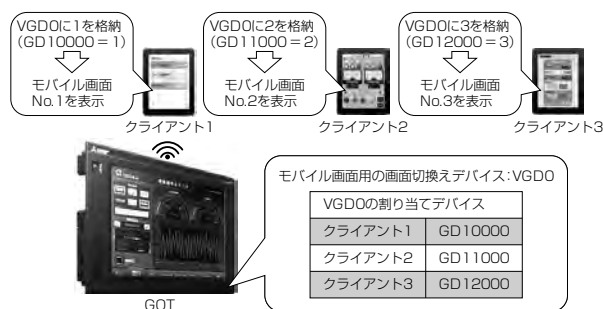


図7. VGD0設定時の動作例

バイスを割り当てたGOT Mobileデバイスをモバイル画面で設定するとクライアントごとに割り当てている内部デバイスを参照するため、クライアント間で独立した操作が可能になる。例えば、クライアント間で異なる画面を表示する場合は、表示する画面を制御する画面切換えデバイスにGOT Mobileデバイスを設定する。図7に画面切換えデバイスとしてVGD0を設定した場合の動作イメージを示す。

図7では、クライアント1のVGD0にGD10000を設定し、同様にクライアント2、3のVGD0にも内部デバイスを設定する。このように設定したVGD0をモバイル画面用の画面切換えデバイスとして設定することで、GD10000に“1”が格納されるとクライアント1にモバイル画面No.1が表示される。同様にGD11000に“2”，GD12000に“3”が格納されるとクライアント2、3で対応するモバイル画面が表示される。

このように、GOT Mobileデバイスを使用することで、クライアントごとに異なる画面表示などが可能になり、より柔軟なリモート作業を実現した。

### 3.5 操作権による排他機能

複数クライアントの同時接続に対応したことで装置に対して同時操作が可能となったが、同時に操作を行うことで意図しない動作になる可能性がある。そこで、複数のクライアントが同時に操作できないようにする、操作の排他機能を開発した。これは、複数のクライアント間で操作権と呼ばれる情報をやり取りして、操作権があるクライアントだけにGOTに対する操作を可能にする機能である。操作権は1つのクライアントだけが取得可能であるため、同時操作を防ぐことができる(図8)。操作権は、GT Works3を使用して画面単位で設定する。例えば、あるクライアントが操作権を取得している状態で他のクライアントが操作権の必要な画面を表示しようとした場合、操作権を取得していないクライアントは画面操作ができない。

操作権が必要な画面では、図9に示すように画面下部にポップアップでメッセージを表示して、そこで操作権の状態の確認や取得を行う。また、操作権が取れない状況で他の画面に遷移できなくなることを防ぐため、ホーム画面に移動するボタンを配置して、あらかじめ設定しておいた画面へ移動できるよう配慮している。



図8. 操作権の排他機能

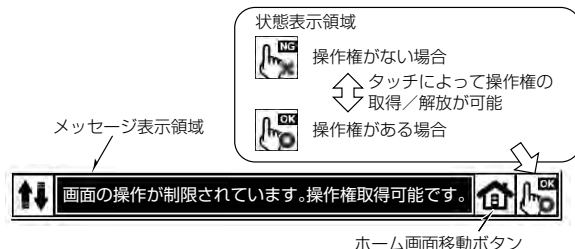


図9. 操作権の排他機能のポップアップ表示

### 3.6 ハイパーリンク機能

GOT Mobile機能ではクライアントとしてモバイル端末を使用する。モバイル端末には、電話やブラウザなど様々な機能があり、それらと連携する機能の1つとしてハイパーリンク機能を開発した。

ハイパーリンクには、WebサイトのURLや電話番号、GOTの公開フォルダのファイルを設定することができる。設定したハイパーリンクを操作すると、関連するモバイル端末のアプリケーションが起動して、WebサイトやPDF(Portable Document Format)等のドキュメントを参照したり、電話をかけたりすることができる。これによって、スムーズなトラブルシュートを実現し、ダウンタイム短縮につなげることができる。

## 4. む す び

“Easy and Flexible”のコンセプトの下、中型ラインアップ拡充のための新機種と、リモートソリューションの幅を広げる新機能であるGOT Mobile機能について述べた。

今後は、当社FA機器連携の更なる強化、一連の製品群とサービスをセットにした、ユーザーへ付加価値を提供するソリューションを推進する。

### 参 考 文 献

- (1) 出口洋平, ほか: グラフィックオペレーションターミナル“GOT2000シリーズ”のトラブルシュートソリューション, 三菱電機技報, 89, No.4, 235~238 (2015)
- (2) 永利裕志, ほか: グラフィックオペレーションターミナル“GOT2000シリーズGT27モデル”, 三菱電機技報, 88, No.4, 237~240 (2014)
- (3) 兼子貴弘, ほか: “GOT1000シリーズ”の新機能・新製品, 三菱電機技報, 86, No.4, 223~226 (2012)

# CC-Link IEフィールドネットワーク 対応サーボシステム

竹居寛人\* 入船義章\*  
安藤友典\*  
國枝重利\*

## CC-Link IE Field Network Compatible Servo System

Hiroto Takei, Tomonori Ando, Shigetoshi Kunieda, Yoshiaki Irifune

### 要 旨

CC-Link IEフィールドネットワーク対応のサーボアンプ“MR-J4-GF”，シンプルモーションユニット“RD77GF”，及びエンジニアリングソフトウェアを開発した。主な特長は次のとおりである。

#### (1) サーボアンプ MR-J4-GF

モーションモード(逐次指令制御)とI/Oモード(ポイントテーブル方式による位置決め制御)に対応して、1台のサーボアンプで用途ごとに使い分け可能とした。また、SLMP(Seamless Message Protocol)通信によって、CC-Link IEフィールドネットワークに加えて、他ネットワークを含めた上位コントローラから直接サーボアンプをモニタできる。

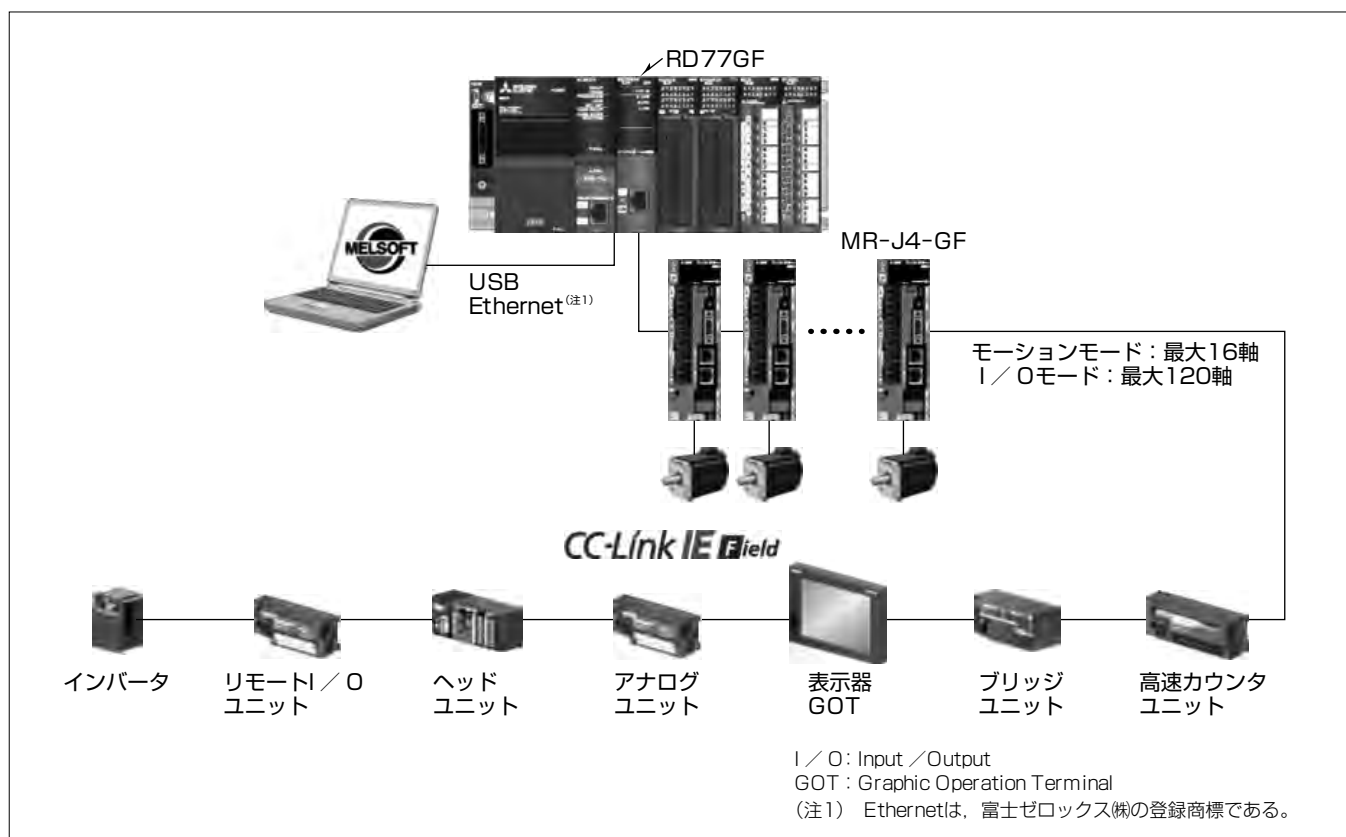
#### (2) シンプルモーションユニットRD77GF

ネットワーク上の入出力機器の状態を位置決め制御や同

期制御に簡単に反映できるようにして、プログラミング工数削減を実現した。また、既存のシンプルモーションユニットやネットワークユニットとの仕様互換性を保ち、プログラム資産の活用を可能とした。

#### (3) エンジニアリングソフトウェア

エンジニアリングソフトウェア“MELSOFT GX Works3”と“MELOSFT MR Configurator2”を連携させることで、システム設定からサーボアンプの設定までをシームレスに行えるようにした。また、MELSOFT GX Works3のシミュレーション機能を使うことで、MR-J4-GFやRD77GFの実機を用いずにプログラムのデバッグができるようにした。これらによって、設計や調整作業の効率を向上できる。



### CC-Link IEフィールドネットワーク対応サーボシステムの構成

EthernetベースのオープンネットワークであるCC-Link IEフィールドネットワーク対応のサーボアンプMR-J4-GF，シンプルモーションユニットRD77GFをラインアップした。サーボアンプ・I/O・インバータなど様々な機器を1つのネットワークに接続可能として、使い勝手を向上させるとともにエンジニアリングソフトウェアの連携を強化した。

# 1. ま え が き

近年のFA(Factory Automation)ネットワークでは、Ethernet技術を活用したネットワークがスタンダードになりつつあり、中でも、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。

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たオープンネットワークであり、三菱電機のFA統合ソリューション“e-F@ctory”の中核を担うネットワークと位置付けている。

このネットワークに対して、接続機器ラインアップ拡充及び使い勝手向上を図った製品を新たに開発した。

本稿では、CC-Link IEフィールドネットワークに対応したサーボアンプMR-J4-GF、シンプルモーションユニットRD77GF、及びエンジニアリングソフトウェアについて述べる。

## 2. CC-Link IEフィールドネットワークの特長

CC-Link IEフィールドネットワークは、Ethernetの汎用性に加えて、一般的なI/O制御、コントローラ間分散制御、高精度同期に対応したモーション制御、セーフティ規格に対応した安全制御を1つのネットワークで構築可能なオープンネットワークである。さらに、生産設備の膨大な情報をリアルタイムに伝送できる1Gbpsの高速・大容量通信と、ITシステムとFA機器間をシームレスにつなぐSLMPによって、ビッグデータ解析に必要な“リアルタイムなデータ収集”を実現できる。また、接続形態としてライン型やスター型、接続機器の部分的な解列・復列に対応した配線自由度が高く、設置環境に応じたフレキシブルなシステム構築を実現する。例えば、図1のように、サーボ

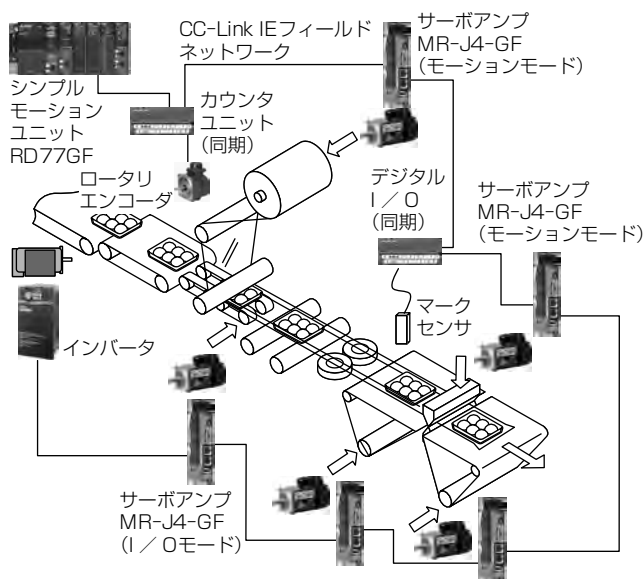


図1. 包装ラインのシステム例

アンプ・I/O・インバータなど様々な機器を、同期通信・非同期通信問わずに1つのネットワークに混在させることができる。

また、コントローラとサーボアンプとの通信には、国際標準規格IEC61800-7(CiA402)に基づくドライブプロファイル(機器間のインタフェースを規定)を採用しており、サーボアンプが持つオブジェクト(各種の制御パラメータやモニタ情報)にSLMPでアクセス可能にしたことで、制御の変更やサーボアンプやモータの状態の収集など、上位コントローラとの連携が容易である。

また、各機器の情報はCSP+(CC-Link Family System Profile Plus)と呼ばれるプロファイル情報に記述されており、エンジニアリング環境から簡単にネットワークの構成設定や診断、機器の自動検出ができるため、システム立ち上げや機器構成の変更が容易であり、ネットワークトラブル時のダウンタイム短縮が図れる。

## 3. MR-J4-GFの概要と主な特長

### 3.1 逐次指令方式と位置決め内蔵方式の両対応

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て通信インタフェースをCC-Link IEフィールドネットワークに対応させた汎用ACサーボアンプである。従来機種との比較を表1に示す。

従来の逐次位置指令制御が可能な“SSCNETⅢ/H”対応のサーボアンプ“MR-J4-B”に対して、MR-J4-GFでは、逐次位置指令制御に対応したモーションモード、ポイントテーブル方式による位置決め機能に対応したI/Oモードの2つの制御方式に対応した。

シンプルモーションユニットと組み合わせた高精度な同期と逐次位置指令制御による複雑な軌跡制御を行う場合はモーションモードで動作させて、搬送軸など簡単な位置決め動作をする場合にはI/Oモードで動作させることでコントローラの負荷を分散させて、装置軸数の増加や通信周期の高速化ができる。

なお、I/OモードはCC-Link IEフィールド内蔵CPU(Central Processing Unit)などのシンプルモーションユニット以外のマスタ局でも駆動できるようにして、1つのサーボアンプでより柔軟なシステム構築を実現した。

また、SLMP通信に対応して、サーボアンプで推定した摩擦・振動データやリレーON回数など故障や寿命に関わる情報を上位システムでリアルタイムにモニタできるよう

表1. サーボアンプの比較

機種	MR-J4-GF		MR-J4-B
	モーションモード	I/Oモード	
項目	同期	非同期	同期
指令方式	逐次指令	終点指令	逐次指令
対応制御モード	位置・速度・トルク	位置決め	位置・速度・トルク
対応モータ	回転型・DD・リニア	回転型・DD・リニア	回転型・DD・リニア

DD : Direct Drive



図2. GOTによるパラメータのバックアップ/リストアにして、予防保全にも貢献する。

### 3.2 バックアップリストア機能

駆動機器の故障が発生した場合などの交換時間短縮のため、グラフィックオペレーションターミナル(GOT)と連携したバックアップリストア機能に対応した(図2)。

バックアップリストア機能は、SLMP通信を介してサーボアンプのパラメータやポイントテーブルのデータをGOTのSDメモ리카ードなどのメモ리카ードに保存してサーボアンプ交換時などにリストアする機能であり、製造現場などのパソコンがない環境でも装置復旧ができる。

また、サーボアンプだけでなく、インバータなど他のCC-Link IEフィールドネットワーク対応機器のパラメータもGOTで一括管理できるようにして、装置のダウンタイム削減などに貢献する。

## 4. RD77GFの概要と主な特長

### 4.1 モーション制御とI/O制御の統合

シンプルモーションユニットRD77GFでは、従来のサーボシステムネットワークSSCNETⅢ/H対応のシンプルモーションユニット“RD77MS”でのモーション制御機能と、CC-Link IEフィールドネットワーク マスタローカルユニット“RJ71GF11-T2”のネットワーク機能を1スロットに集約した。RJ71GF11-T2と同等のリンクデバイス点数、及びネットワークマスタ機能を搭載して、モーション制御だけでなくCC-Link IEフィールドネットワークのメリットを十分に提供できるようにした。

同一ネットワーク上にI/O制御を行うスレーブ機器とモーション制御を行うサーボアンプを合計120台まで接続でき、ケーブルの省配線化、敷設容易化による装置コスト削減ができるほか、2コアのSoC(System on Chip)を採用して(図3)、サイクリック通信(同期通信)やモーション演算のリアルタイム性と、大容量化したトランジェント通信(非定時性データ)の応答性確保を両立させた。

### 4.2 リンクデバイス連携

始動信号や、リミット信号、エンコーダ入力などをネットワーク上のI/O機器に割り付けることができ、プログラムレスで位置決め制御や同期制御の起動を可能にした(図4)。これによって、プログラミング工数削減に貢献できるほか、同期通信対応のI/O機器を使用することで、シーケンサCPUのスキャン性能に左右されずにサーボの指令通信周期に同期した装置制御ができ、装置全体の高精度化・高タクト化に貢献できる。

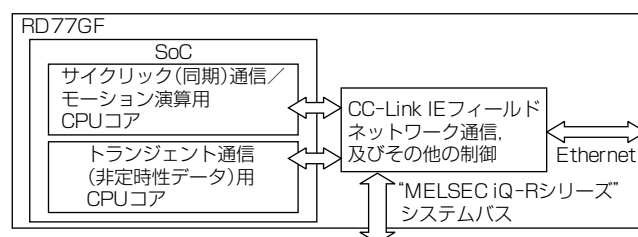


図3. RD77GFのシステムブロック図

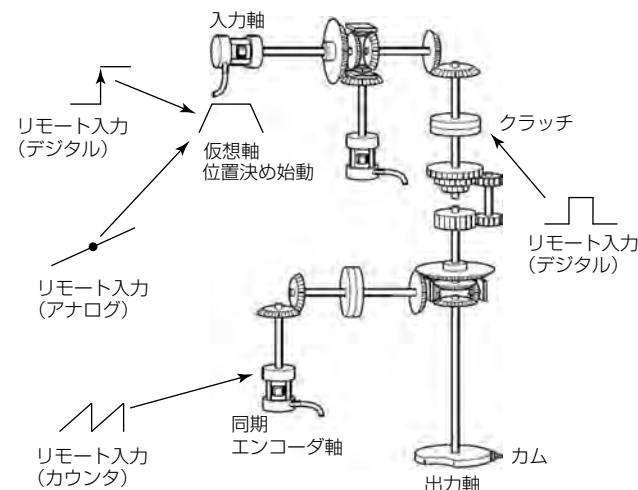


図4. リンクデバイスと同期制御との連携例

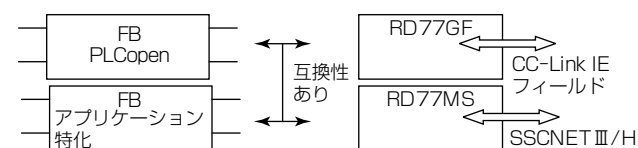


図5. ファンクションブロック(FB)

### 4.3 プログラミング工数削減

従来機種との仕様互換性についても配慮し、同一のファンクションブロック(FB)の使用を可能にすることで、ユーザープログラム資産の活用、ユーザーの利便性向上を図った。例えば、PLCopen対応の汎用FBからコンバーティング用FB(巻取り巻出し、張力制御等)のようなアプリケーション特化型のFBまで、“MELSEC iQ-Rシリーズ”のシンプルモーションユニット共通で利用可能である(図5)。

また、シーケンサCPUとのインタフェースに使用するバッファメモリ(共有メモリ)の容量を大幅に拡張した。これによって、例えば、アドバンス同期制御で使用するカム機能では、複雑なカムパターンをシンプルモーションユニット上で動的に生成でき、表示器などのHMI(Human Machine Interface)を用いたカムパターンの微調整が容易になった。

## 5. エンジニアリングソフトウェアの特長

### 5.1 エンジニアリングソフトウェア間の連携強化

シーケンサのシステム設計、プログラミングからデバッグまで行うエンジニアリングソフトウェア“MELOSOF GX Works3”(以下“GX Work3”という。)では、サーボアンプの設定/調整/保守を行う“MELOSOF MR

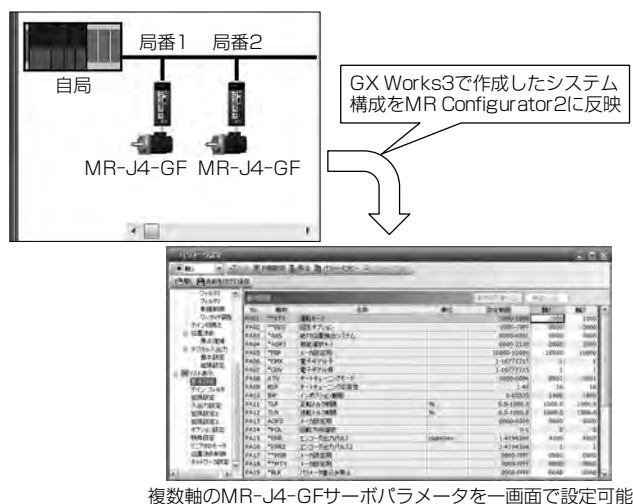


図6. 複数軸のMR-J4-GFサーボパラメータの設定

Configurator2”（以下“MR Configurator2”という。）を連携して使用できる。GX Works3で作成したシステム構成はMR Configurator2にも反映され、システム構成の再設定が不要となる。MR Configurator2のパラメータ設定画面は複数軸構成で表示可能であり、各軸のサーボパラメータを一画面内で設定できる（図6）。MR Configurator2で設定したサーボパラメータは、GX Works3のプロジェクトとして一元管理できる。GX Works3とMR Configurator2がシームレスに連携することで、設定作業効率が向上する。

また、GX Works3とMR Configurator2を連携させることで、パソコンからシーケンサ経由でサーボアンプと通信可能である。これによって、複数軸の調整を行う場合の機器間のケーブルの差し替えが不要になるため、サーボアンプ各軸に対する調整作業効率が向上する（図7）。

## 5.2 シミュレーション機能

GX Works3のシミュレーション機能によって、RD77GFやMR-J4-GFの実機を用いずにプログラムのデバッグが行える。RD77GFのシンプルモーションシミュレータとシーケンサCPUのシミュレータを連携して実行することで、位置決め制御や同期制御を使ったプログラム動作をシミュレーションして、シミュレーション結果をデジタルオシロスコープで確認できる。また、デジタルオシロスコープは二次元表示に対応しており、軌跡を直感的に確認できる。これによって、ドライブシステムプログラムのデバッグ作業を大幅に効率化できる（図8）。

なお、RD77GFのシミュレータ機能は近日リリース予定である。

## 5.3 CSP+によるエンジニアリング環境の統合

CC-LinkIE対応機器のプロファイルCSP+を活用して、サーボアンプだけでなく、インバータやリモートI/Oユニット、パートナー機器も含めたドライブシステム全体を、GX Works3だけで設定可能である。ユーザーは機器ごと

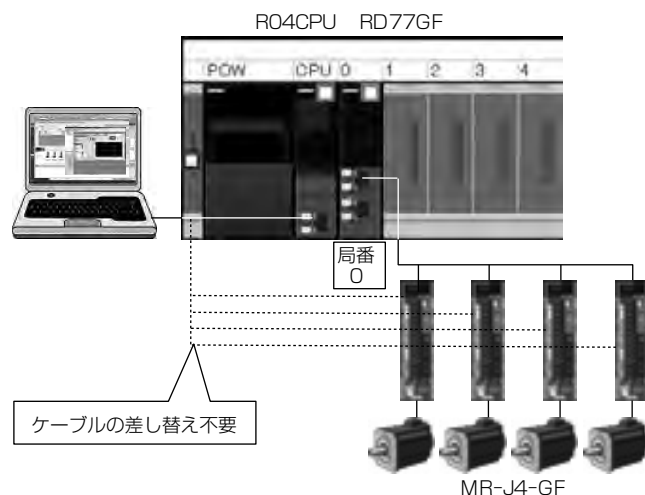
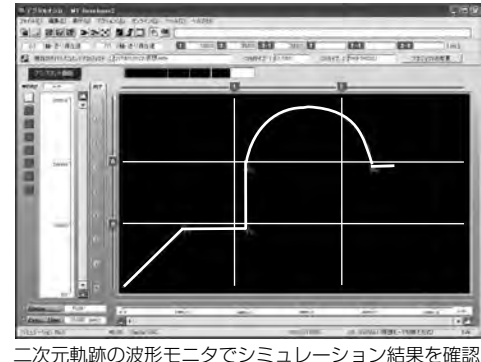
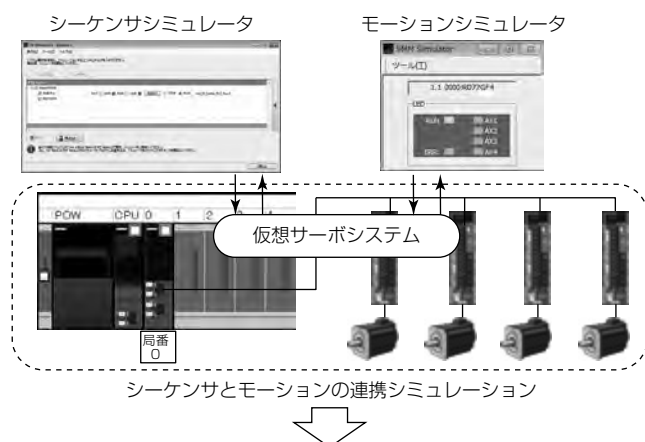


図7. シーケンサ経由でのサーボアンプの調整



二次元軌跡の波形モニターでシミュレーション結果を確認

図8. GX Works3のシミュレーション機能

にエンジニアリングソフトウェアを用いる必要がなく、統一された操作性で設定ができる。

またCSP+登録機能を利用して、GX Works3のバージョンアップなしに新規機器の追加・設定が可能である。

## 6. む す び

今回開発したCC-Link IEフィールドネットワークに対応したサーボアンプMR-J4-GF、シンプルモーションユニットRD77GF及びエンジニアリングソフトウェアの顧客利便性・使い勝手向上について述べた。

今後は、安全通信プロトコルへの対応やGOTとの連携強化など製品適用分野の更なる拡大を図る。



# 産業用ロボット“MELFA Fシリーズ”

宮本昌和\*

Industrial Robots "MELFA F Series"

Masakazu Miyamoto

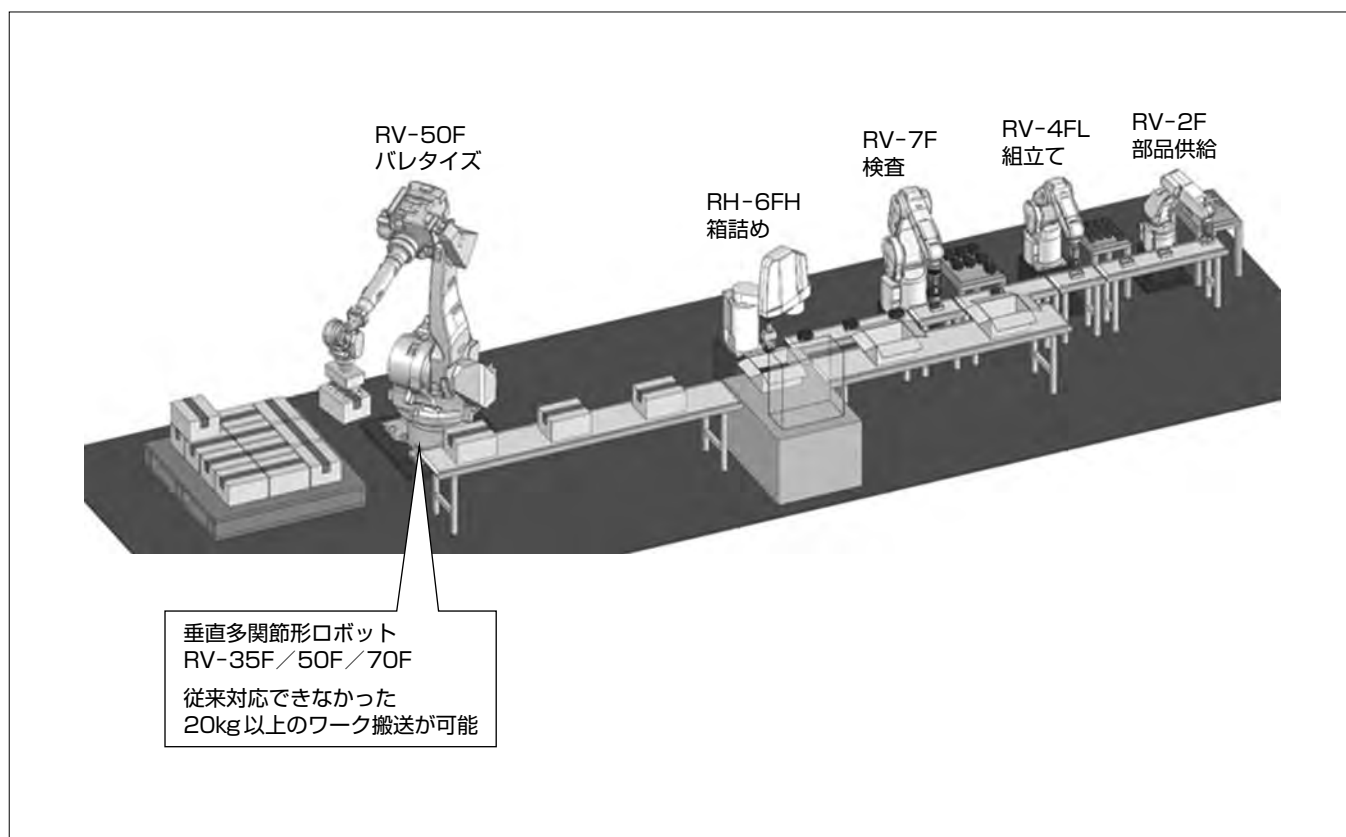
## 要 旨

近年、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及び変種変量生産に移行しつつある。これに対応するため、多くの生産現場では人によるセル生産が導入されているが、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課題がある。ロボットは、人作業に対してランニングコストの低減や作業品質の均一化を可能にするため、ロボットによるセル生産への要求が高まっている。その要求に応えるため、①力覚センサ、②三次元ビジョンセンサ、③複雑協調制御、④干渉回避などの知能化技術を搭載した産業用ロボット“MELFA Fシリーズ”をライアアップしてきた。

三菱電機は電気・電子市場をメインターゲットとしていたため、従来は可搬質量20kgまでのラインアップを用意

しており、部品供給や組立て、検査、箱詰めといった上流から中流までの工程はカバーできていた。しかし、完成品の大型ワークの搬送作業やパレタイズといった工程をカバーできていなかったため、下流工程も含めてMELFA Fシリーズを使用して操作性を統一したいという声が寄せられていた。

今回、新たに可搬質量35/50/70kgの垂直多関節形ロボット“RV-35F/50F/70F”を拡充開発して、上流工程から下流工程まで全てをMELFA Fシリーズでカバーできるようにした。これによって、自動化システム全体でロボットの操作性の統一やメンテナンス効率を向上させるとともに、知能化技術をより多くの工程で活用することが可能となる。



## 上流工程から下流工程まで全てを“MELFA Fシリーズ”でカバーする自動化システム例

可搬質量20kgまでのラインアップに加えて、可搬質量35/50/70kgの垂直多関節形ロボットRV-35F/50F/70Fを拡充した。大型ワークの搬送作業やパレタイズといった、従来カバーできていなかった下流工程に対応できるようになった。FA統合コンセプト“iQ-Platform”によるFA(Factory Automation)機器連携を組み合わせることで、自動化システム全体をトータルで提供可能となる。

# 1. ま え が き

近年、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及び変種変量生産に移行しつつある。これに対応するため、多くの生産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によって、ロボットによるセル生産への要求が高まっている。その要求に応えるために智能化技術を搭載したMELFA Fシリーズを市場に投入し、高い評価を得ている。

一方で、当社は電気・電子市場をメインターゲットとして可搬質量20kgまでのラインアップを用意してきたため、大型ワークの搬送作業やパレタイズといった下流工程をカバーできていなかった。顧客からは、下流工程も含めてMELFA Fシリーズを使用して、操作性を統一したいという声が寄せられていた。

今回、新たに可搬質量20kgを超えるロボットを拡充して、上流工程から下流工程まで全てをMELFA Fシリーズでカバーできるようになった。

本稿では、拡充したMELFA Fシリーズのラインアップ、及びその特長について述べる。

## 2. MELFA Fシリーズのラインアップ

MELFA Fシリーズは、セル生産のような装置が密集する空間に適したスリム&コンパクトなアームでありながら、クラス最高の動作速度・連続動作能力を備え、力覚センサなどの智能化技術を活用することで電気・電子市場での複雑な組立作業などにも対応可能な製品である。

MELFA Fシリーズのラインアップは次のとおりである。

### 2.1 ロボットコントローラ

#### 2.1.1 Qタイプコントローラ

Qタイプコントローラは、生産システムを制御するコントローラ、HMI(Human Machine Interface)、エンジニアリング環境、ネットワークを統合したiQ Platformに対応したロボットコントローラである(図1)。“MELSEC Qシーケンサ”の基本ベースにロボットCPUをスロットイン

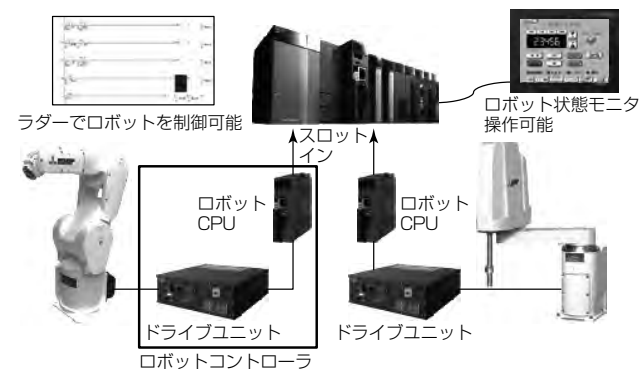


図1. Qタイプコントローラ

してマルチCPU構成とすることで、FA機器との親和性を飛躍的に向上させた。

#### 2.1.2 Dタイプコントローラ

Dタイプコントローラは、スタンドアロンタイプのロボットコントローラである(図2)。各種インタフェースを標準搭載してアプリケーションに合わせた最適なシステムを構築でき、ロボットコントローラを制御の核としたセルの構築が可能である。

### 2.2 ロボットアーム

#### 2.2.1 垂直多関節形ロボット

垂直多関節形ロボットは、6軸の関節を持っており、複雑な組立・加工動作に対応できる腕型のロボットアームである。小さなボディとスリムなアームで大きな作業エリアと可搬質量を実現した3~20kg可搬ロボット、及び大型ワークの搬送作業やパレタイズに最適な35~70kg可搬ロボットをラインアップした(図3)。部品供給、組立て、検査、箱詰め作業からパレタイズまで、全ての工程をカバーできる。

#### 2.2.2 水平多関節形ロボット

水平多関節形ロボットは、4軸の関節を持っており、高速動作が要求される食品/薬品の大量生産から高精度が要求される組立作業まで、幅広い分野に対応できるロボットアームである。豊富な動作領域とバリエーションで様々な用途をカバーできる(図4)。



図2. Dタイプコントローラ

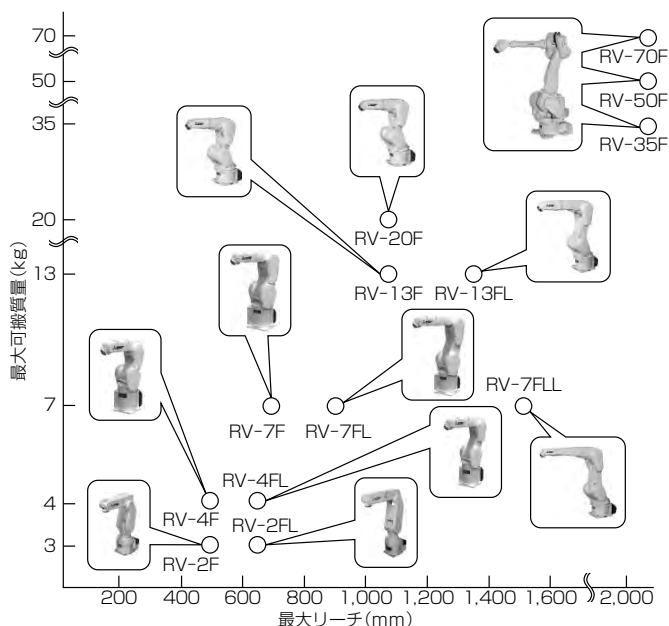


図3. 垂直多関節形ロボットのラインアップ

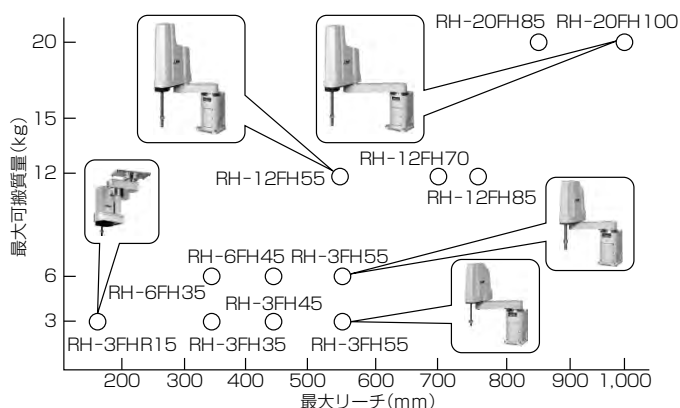


図4. 水平多関節形ロボットのラインアップ

### 3. MELFA Fシリーズの特長

#### 3.1 コンパクトでスリムな3～20kg可搬ロボット

##### 3.1.1 配管・配線の内装化

本体ケーブルを内装化して、ハンド取付け部まで配管・配線を内装可能となっている。これによって、本体ケーブルと周辺機器との干渉領域が最小化でき、配線・配管の絡みによる断線リスクの問題を解消した(図5)。

##### 3.1.2 旋回軸動作範囲の拡大

旋回軸に独自のストップ機構を設けることで、旋回動作範囲が拡大している。背面を含めた全周アクセスが可能になり、スペースの有効活用ができる。これによって、無駄な動作を削減でき、タクトタイムの短縮に貢献する。

##### 3.1.3 手元動作範囲の拡大

フラップ形状のアームを採用することでロボットに近い場所での作業が可能であり、設備のスリム化に貢献する。

#### 3.2 大型ワークの搬送作業やパレタイズに最適な35～70kg可搬ロボット

顧客からの、下流工程も含めてMELFA Fシリーズで統一したいという要望に応えるため、新たに垂直多関節形ロボットRV-35F/50F/70Fをラインアップに追加した(図6)。これらのロボットは、電気・電子市場及び自動車部品市場での、組立て後の大型ワークの搬送作業やパレタイズを主要な用途として見据えている。また、従来の3～20kg可搬ロボットと同様に、知能化技術に対応している。

特長は、次のとおりである。

- (1) どの可搬質量でも同じ構造部品を使用して、搭載する減速機によって複数の可搬質量に対応することで、メンテナンス効率を向上
- (2) J3軸の反転動作が可能で、後方まで広い動作範囲を確保
- (3) 従来機“RV-20F”に比べて、RV-35Fは35倍、RV-50F/70Fは86倍の許容イナーシャを持つため、大型ハンドへの対応が可能
- (4) 配線・配管をロボット機内のベース部からエルボ部まで配線することで、周辺装置との接触による断線リス

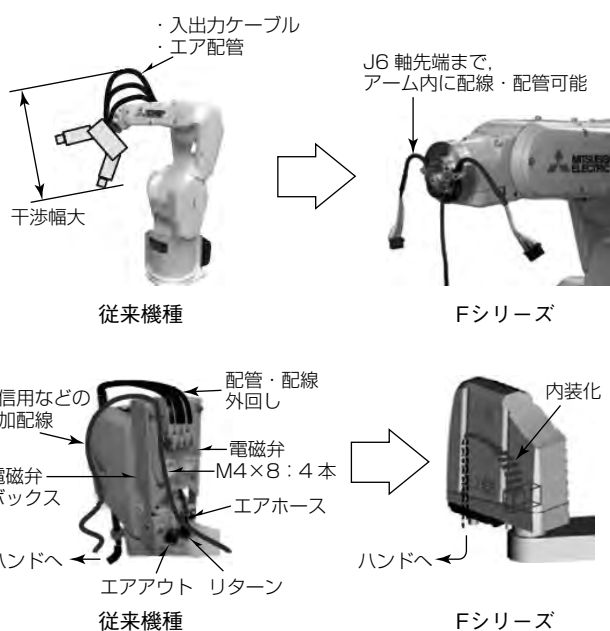


図5. 配管・配線の内装化

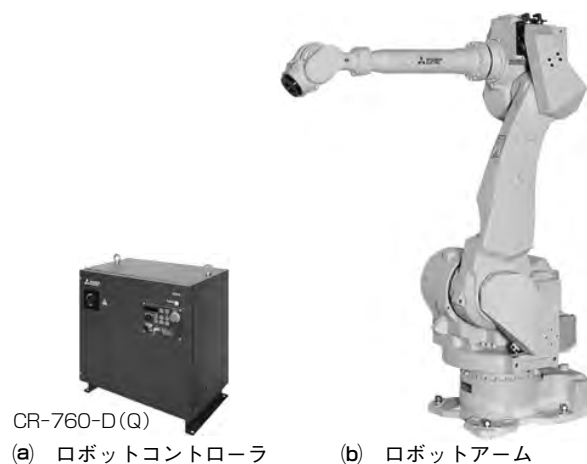


図6. 垂直多関節形RV-35F/50F/70F

クを低減

- (5) 入出力16点基板を搭載することで、複雑なハンドにも対応可能
- (6) 入出力ケーブルを特殊工具なしで加工可能

### 3.3 知能化技術

MELFA Fシリーズは、知能化技術を搭載することで、これまで自動化できなかった難易度の高い作業を自動化できる。

ここでは、力覚センサと三次元ビジョンセンサについて述べる。

#### 3.3.1 力覚センサ

並進力3軸、モーメント3軸の力を検出可能な力覚センサを手先に取り付けることで、複雑な作業を実現できる。力覚センサを使った次の機能を搭載した。

- (1) スティフネス制御：仮想的なばねやダンパがあるように、外力に対する柔軟な動作

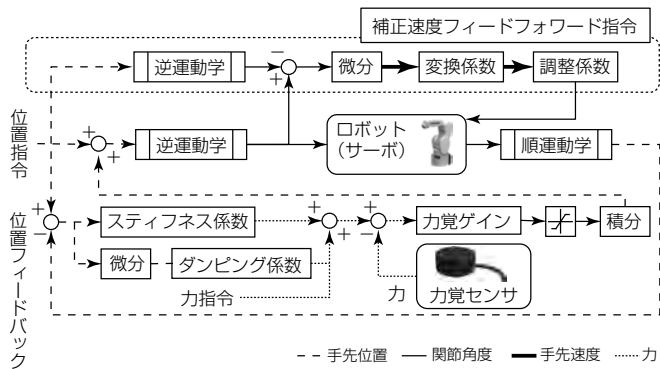


図7. 力覚制御アルゴリズム

- (2) 力制御：任意の方向へ一定の力での押し込み
- (3) 力検知：指定した以上の力を検知した場合に割り込みを発生させ、動作変更やエラー処理が可能
- (4) 制御特性変更：力覚制御ゲイン・力指令値・力検知設定のロボット動作中での切り換え

一般的に、力覚センサが剛体に接触した際に振動してしまう課題がある。これは指令に対するサーボ応答の遅れによって過剰反応してしまうためである。そこで、力覚制御アルゴリズムにフィードフォワード制御を組み込み、サーボ制御系の遅れを小さくすることで振動を低減させ、安定した力覚制御を実現した(図7)。

これらによって、微小な外力に倣いながら部品を傷めずに挿入・組み付けすることや、部品のばらつきによる位置ずれの吸収が可能となっている。

### 3.3.2 三次元ビジョンセンサ

従来の三次元認識技術では、ワーク形状をCADデータで事前に登録して、ワークごとに調整が必要であったため、難易度が高かった。さらに、認識時間も2.0～5.0秒と遅かった。

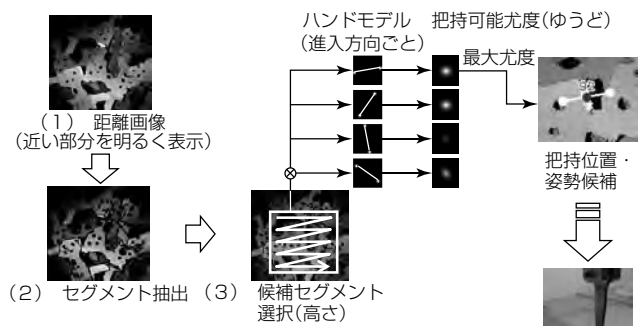
しかし、当社が開発した三次元認識技術は、使用するハンドの爪領域と開き幅だけを設定することで、様々なワークに対応できる。この機能は、バラ積みされたワークの隙間を見つけ、ハンドの爪を挿入してワークを掴(つか)めそのようなハンド位置・角度を探し出す形でワークの把持を実現しているからである(図8)。これによって、立ち上げ時間の大幅な削減が可能となり、認識時間も約1.2秒と高速化できた。

したがって、三次元ビジョンセンサを搭載した1台のロボットで、複数のばら積みされた部品を容易に供給可能となっている。

### 3.4 ロボット安全オプション

欧州で要求の高い安全機能に対応するため、ロボット安全オプションを開発した。

最新の安全規格に適合しており、安全性能SIL(Safety Integrity Level)2、カテゴリ3 PLdを取得している。搭載している安全機能を表1に示す。



把持可能尤度の評価条件

1. ハンドの開き幅内の候補セグメントの面積が大きい
2. 爪先部分との干渉部分が少ない

図8. 三次元ビジョンセンサの認識アルゴリズム

表1. 安全機能

安全機能	概要	関連規格
低速制御	安全入力によってロボット動作速度を指定速度以下に制限する機能	SLS
動作範囲制限機能	顧客が設定した平面をロボットアームが超えないように制限する機能	SLP
トルク監視	モータトルクを監視してロボットと周辺の干渉などを検出する機能	STR
安全入力	安全PLCと接続可能な二重化された安全入力	ISO13849-1
安全トルク遮断 安全停止機能	モータパワーを遮断してロボットを確実に停止させる機能	STO SS1

PLC : Programmable Logic Controller, SLS : Safety-Limited Speed, SLP : Safety-Limited Position, STR : Safe Torque Range, STO : Safe Torque Off, SS1 : Safe Stop 1

従来はロボットを停止させなければ部品供給などができなかったが、これらの安全機能を使用することでロボットを停止することなく作業を行うことが可能となる。したがって、安全を確保しながら生産性を向上させることができる。また、動作範囲制限機能を使用することで、ロボットが動作する範囲を限定し、安全柵を小さくすることができるため、設備コストの削減が可能となる。

## 4. む す び

上流工程から下流工程までをカバーできるようになったMELFA Fシリーズのラインアップ及びその特長について述べた。

市場からの自動化に対する要求は、ロボットの適用範囲の拡大とともに高度化してきており、その要求に応えるために知能化技術の更なる研鑽(けんさん)と、その技術を容易に使いこなすことができる製品力強化を実施していく。

また、人とロボットが共生して作業するという新しいコンセプトのロボット(人協働ロボット)でも、安全機能だけでなく、ロボットと人がよりよい関係を構築できるような製品開発に取り組んでいく。

## 参 考 文 献

- (1) 石川高文：新型産業用ロボット“RV-SQ/SDシリーズ”の特長，三菱電機技報，82，No.3，213～216(2008)

# エネルギー計測ユニット“EcoMonitorPlus”

成井徹志\*

Energy Measuring Unit "EcoMonitorPlus"

Tetsushi Narui

## 要 旨

近年、省エネ法改正による事業所単位のエネルギー管理規制の導入に伴って、エネルギーの計測管理ポイントが細分化しつつある。この状況に対応するため、三菱電機は単回路・表示付きのエネルギー計測ユニット“EcoMonitorLight”の開発に続き、ユニットの増設による拡張が可能な“EcoMonitorPlus”を開発した。主な特長は次のとおりである。

### (1) 最適なユニット構成での増設

ビルディングブロック方式の採用によって、顧客に合わせた最適なユニット構成での計測回路やオプションユニット(B/NET 伝送, CC-Link通信, ロギング)の増設が可能である。

### (2) 多彩なシステム構成への対応

オプションユニット等との組合せで、次の機能を実現した。

①ロギングユニットの活用による、計測データのSDメモ리카ードへの収集

②標準搭載のMODBUS<sup>(注1)</sup> RTU(Remote Terminal Unit)通信(RS-485)と無償データ収集ソフトウェア“EMU4-SW1”による計測データの見せる化

③省エネデータ収集サーバ“EcoServerⅢ”の活用による計測データの中央監視

### (3) 設備の予防保全

絶縁監視品をラインアップしたことで、エネルギー管理に加えて、生産設備の異常(過負荷・漏電)の早期発見・故障の未然防止に貢献可能となった。

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

Eco Monitor Plus

省エネ

+

予防保全



## 三菱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)を計測するエネルギー計測ユニットである。MODBUS RTU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、エネルギーの管理が可能となる。また、計測点の増加の要望等に伴い、段階に応じて計測・ロギング・通信ユニットの増設が可能である。

## 1. ま え が き

近年、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、生産現場での省エネルギーへの取組み強化が求められている。また、原子力発電所停止に伴う火力発電の燃料費大幅増加による電気料金高騰の影響もあり、節電対策のためのピーク電力カットによる使用電力の削減や使用電力の見える化による電力消費量監視のニーズが高まっている。これに伴い、計測管理ポイントは分電盤から、生産ライン、生産設備レベルの制御盤へと細分化しつつある。

当社は、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の開発<sup>(1)</sup>に続き、ユニットの増設による拡張が可能なEcoMonitorPlusを開発した。

## 2. EcoMonitorPlus

### 2.1 製品仕様

EcoMonitorPlusの主な製品仕様を表1に示す。

基本ユニットは、簡単に低コストで電力計測を始めた顧客向けの“電力計測経済品”と高調波計測、警報監視、上下限監視、警報出力やパルス入出力を行いたい顧客向けの“電力計測高機能品”、及び設備の漏洩(ろうえい)電流の計測を行いたい顧客向けの“絶縁監視品”の3機種をライン

アップした。増設ユニットは、同・異電圧の電力計測の要望に応じたユニットの選定を実現するため、“電力計測同電圧系統増設品”と“電力計測異電圧系統増設品”の2機種をラインアップした。オプションユニットは、既に発売済みである先に述べたロギングユニット、通信ユニットに対応した。

### 2.2 EcoMonitorPlusの製品コンセプト

#### (1) エネルギー管理と予防保全を1台で実現

絶縁監視品で漏洩電流を計測することで、設備の安定稼働や故障前の予防保全に活用可能である。増設ユニットと組み合わせることで設備の負荷や消費電力量も計測でき、エネルギー管理と予防保全を1台で実現できる。

#### (2) ユニット増設によるシステム拡張

基本ユニットに増設ユニットを3台まで増設可能なため、計測回路の増加に合わせた拡張が容易である(図1)。

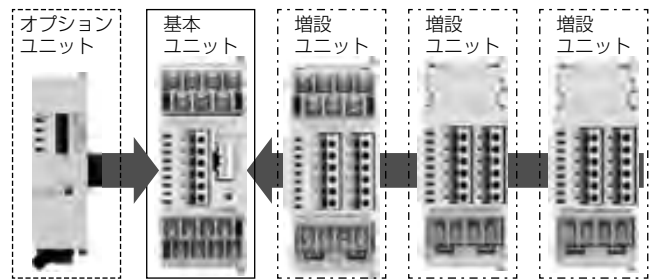


図1. ユニット増設による拡張

表1. EcoMonitorPlusの主な製品仕様

項目			仕様				
型名			EMU4-BM1-MB (電力計測経済品)	EMU4-HM1-MB (電力計測高機能品)	EMU4-A2(電力計測 同電圧系統増設品)	EMU4-VA2(電力計測 異電圧系統増設品)	EMU4-LG1-MB(絶縁監視品)
相線式			単相2線式、単相3線式、三相3線式				
計器 定格	電圧 回路	単相2線式 三相3線式	AC110V、220V 共用				
		単相3線式	AC110V(1-2線間、2-3線間)、 AC220V(1-3線間)				
		三相4線式	—				
	電流回路		AC5A、AC50A、AC100A、AC250A、AC400A、AC600A (専用分割形電流センサを使用。どれも電流センサ一次側の電流値を示す。 AC5A用電流センサは変流器(CT)と組合せた2段階構成で使用し、一次側電流値は 30,000Aまで設定可能)				AC1A(当社零相変流器(ZCT)を使用。 ZCTの一次側電流値を示す。)
	周波数		50/60Hz(周波数自動判別)				
補助電源定格			AC100~240V(+10%、-15%)、50/60Hz				
計測回路数			1 回路		2 回路		1 回路
本体許容差			電流、電圧、電力、無効電力、皮相電力、周波数：±1.0%(定格入力に対して) 力率：±3.0% 電力量：±2.0%(定格の5~100%範囲、力率=1) 無効電力量：±2.5%(定格の10~100%範囲、力率=0) 高調波電流、高調波電圧：±2.5%				低感度モード 漏洩電流I <sub>o</sub> 、抵抗分漏洩電流I <sub>or</sub> ： ±2.5%(定格の10~100%に対して) 漏洩電流I <sub>o</sub> 、抵抗分漏洩電流I <sub>or</sub> ： ±2.5mA(定格の10%以下に対して) 高感度モード 漏洩電流I <sub>o</sub> 、抵抗分漏洩電流I <sub>or</sub> ： ±2.5mA
データ更新周期			100ms(電力量、無効電力量の累積は常時(短サイクル負荷変動にも追従))				2 s
外部入力			—	パルス入力／ 接点入力 1 点	—		
外部出力			—	パルス出力／ 接点出力 1 点	パルス出力／接点出力 2 点(各回路1 点(合計2 点))		接点出力 1 点
通信方式			RS-485(MODBUS RTU通信)				
停電 補償	記憶項目		設定値、電力量(消費・回生)、無効電力量、期間電力量、稼働時間、パルスカウント値、パルス換算値、電力量換算値、最大値、最小値(不揮発性メモリでバックアップ)				設定値、警報発生回数、最大値 (不揮発性メモリでバックアップ)
外形寸法(mm)			37.5(W)×90.0(H)×94.0(D)(突起部を除く)				

オプションであるロギングユニット“EMU4-LM”を基本ユニットに増設することで、基本ユニット、増設ユニットで計測した計測値をSDメモ리카ードへCSV(Comma Separated Values)ファイルとして保存できる。

また、オプションである通信ユニット(B/NET伝送対応品“EMU4-CM-B”，CC-Link通信対応品“EMU4-CM-C”を基本ユニットに増設することでB/NET伝送・CC-Link通信が可能となり、当社省エネデータ収集サーバEcoServerⅢでエネルギーの見える化を実現し、計測データの簡易分析が可能になる。

### (3) MODBUS RTU通信機能の標準搭載

本体内蔵のMODBUS RTU(RS-485)通信によって、シーケンサや表示器(GOT)と接続してエネルギー管理を行うことができる。シーケンサで、エネルギーデータを生産情報等と一元管理することで、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になる。

## 3. 特長及び製品化のための技術

### 3.1 ユニット増設

省エネデータ収集サーバEcoServerⅢ等の上位アプリケーションと通信する際、各回路の計測値を取得するために、計測回路を特定するための情報(回路番号)が必要である。

このため、EcoMonitorPlusでは、次の基本方針で増設ユニットの回路番号を設定する仕組みを開発した。

- (1) 増設ユニットの追加・交換を簡単にするため、ユーザーの設定レスで増設ユニットの挿入位置に応じて各ユニットの回路番号を自動的に設定する。
- (2) 回路番号の設定のためにユニット間のコネクタに通す信号を最低限にする。

(1)、(2)を実現するため、基本ユニットから増設ユニットに対して回路番号設定電文を送信する処理を新規に作成した。また、基本ユニット・増設ユニットの各計測CPU(Central Processing Unit)間に回路番号設定用の信号線を接続して、各計測CPUは回路番号設定電文を受信した際に、回路番号設定用の信号線の状態を確認して自身の回路番号を確定させる設計にした。基本ユニットが回路番号設定電文を送信する通信インタフェースには表示ユニットインタフェースを使用することとしたため、各ユニット間に回路番号設定用信号線を1本追加するだけで回路番号の自動設定を可能にした(図2)。

これによって、ユーザーの設定レスで増設ユニットの回路番号を一意に決めることができ、増設ユニットの追加・交換の簡単化を実現した。

### 3.2 予防保全への適用

- (1) 漏洩電流の計測

絶縁監視品“EMU4-LG1-MB”は、計測分解能を0.01mAとすることで微小な漏洩電流の計測ができ、モータなどの設備単位での漏洩電流の計測を可能にした。また、抵抗分漏洩電流( $I_{or}$ )の計測が可能で、漏洩電流( $I_o$ )では絶縁監視が困難であったコンデンサ成分漏洩電流( $I_{oc}$ )が多いインバータ回路などでも絶縁劣化による漏洩電流の正確な監視が可能である(図3)。

また、電力計測品と絶縁監視品を組み合わせることで、設備の負荷電流と漏洩電流の監視が1台で可能になり、設備の省スペース化にも貢献可能である

### (2) 計測周期の高速化

生産設備の寿命診断や予防保全用途へ適用しやすくするため、電力計測品(経済品“EMU4-BM1-MB”，高機能品“EMU4-HM1-MB”，同電圧系統増設品“EMU4-A2”，異電圧系統増設品“EMU4-VA2”)の計測データの更新周期を高速化する必要があった。従来のEcoMonitorLightでは、当社が独自開発した計測ASICとユニット外部との通信などを管理する管理CPUの2チップ構成としていたが(図4)，計測ASICと管理CPU間の通信がボトルネックとなり、計測データ更新周期の高速化が困難であった。

このため、EcoMonitorPlusでは、管理CPUと計測ASICの機能を1つのCPUに集約(1チップ化)することで、管理

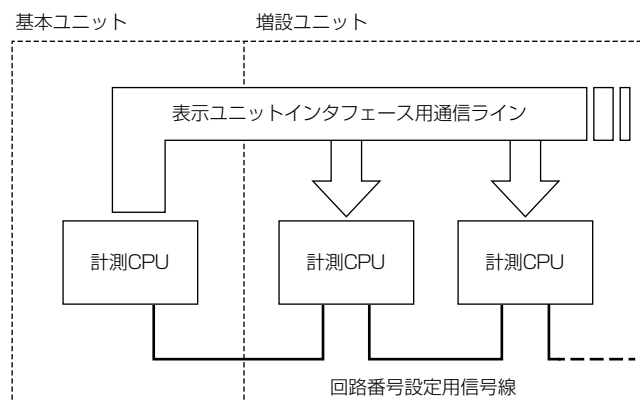
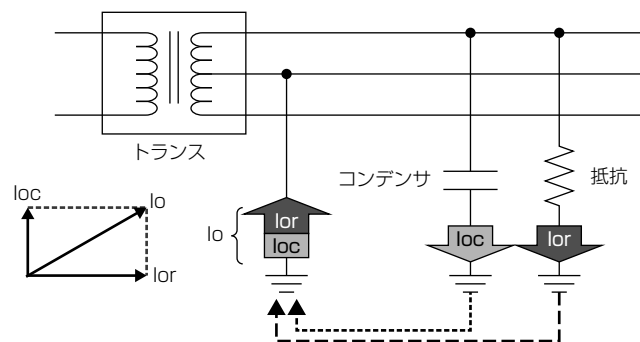


図2. 回路番号の自動設定



$I_{or}$  : 絶縁劣化によって流れる漏洩電流(抵抗成分の漏洩電流)  
 $I_{oc}$  : 絶縁状態が健全でも流れる漏洩電流(静電容量分の漏洩電流)  
 $I_o$  :  $I_{or}$ と $I_{oc}$ を合成した漏洩電流(ベクトル合成)

図3. 漏洩電流の計測方式( $I_o$ 計測と $I_{or}$ 計測)

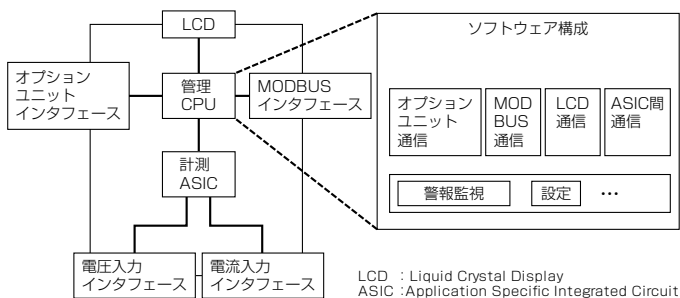


図4. EcoMonitorLightの回路構成とソフトウェア構成

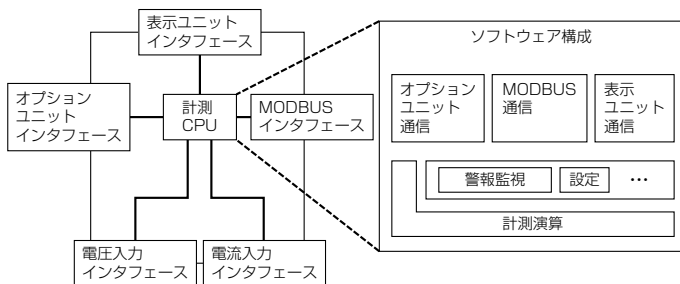


図5. EcoMonitorPlusの回路構成とソフトウェア構成

CPUと計測ASIC間の通信自体をなくし、さらに、ユニット外部との通信タイミングを最適化することで更新周期の高速化を図った(図5)。これによって、EcoMonitorLightと比較して2.5倍(250ms→100ms)の高速化を実現した。

### 3.3 海外規格対応

海外顧客及び海外向け機械装置組み込み用途での海外規格要求に対応するため、CEマーキング、ULマークの海外規格を取得した。

### 3.4 エンジニアリング環境整備

#### (1) 専用ソフトウェアによるデータ収集

簡易的かつ低コストで計測値を収集できるようにするため、MODBUS RTU通信対応のデータ収集ソフトウェア“EMU4-SW1”(三菱電機FA(Factory Automation)サイトから無償でダウンロード可能)にEcoMonitorPlusを対応させた。データ収集ソフトウェアを使用することで、計測値の現在値表示、計測データのロギング、ロギングデータをもとにした帳票作成、設定値の設定等が可能である。

#### (2) ロギングユニットの設定・帳票作成の簡単化

ロギングユニットのロギング要素・ロギング周期の設定や、SDメモ리카ード内に保存したロギングデータをもとに帳票を作成する“ロギングユニットユーティリティ”(三菱電機FAサイトから無償ダウンロード可能)を新規開発した(図6)。帳票作成は、指定条件のデータを帳票マスタファイルに貼り付ける仕様とした。帳票マスタファイルは顧客が自由に作成できるため、顧客のオリジナルな帳票マスタファイルを使用することで、自由な形式の帳票を作成できる。

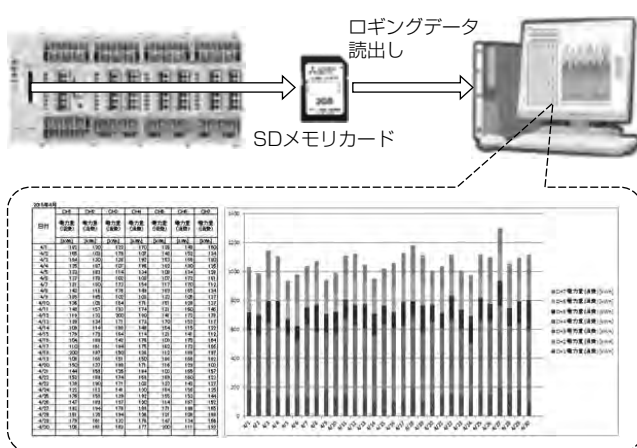


図6. ロギングユニットユーティリティによる帳票作成例

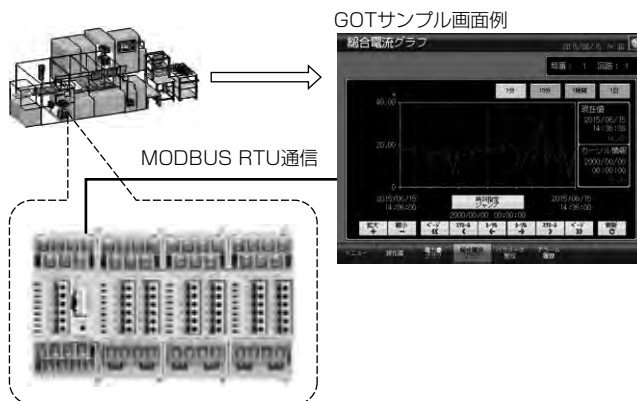


図7. データ収集ソフトウェアによるデータ収集

### (3) 表示器(GOT)によるデータの見える化

製造現場で、エネルギーの見える化や、負荷電流や漏洩電流を管理できるようにするため、MODBUS RTU通信機能を使用してGOTにダイレクトに接続できるようにした。また、GOTを使用して簡単に見える化を実現するため、当社“GOT1000シリーズ”(GT14□□-Q)、“GOT2000シリーズ”(GT27□□-V)用のサンプル画面を作成して、三菱電機FAサイトからダウンロードできるようにした。このサンプル画面の例を図7に示す。

## 4. む す び

ユニットの増設によって拡張が可能なエネルギー計測ユニット“EcoMonitorPlus”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)



# 常時インバータUPSの新機種 “FW-S 100V2.0／3.0kVA”

丸山晋一郎\*  
 藤原賢司\*\*

New Model of Online Type Uninterruptible Power Supply “FW-S 100V 2.0/3.0kVA”

Shinichiro Maruyama, Kenji Fujiwara

## 要 旨

安定した電力供給が求められるFA(Factory Autom-ation)機器や通信機器といった重要設備用のUPS(Uninterruptible Power Supply)でも、近年の省エネルギー志向の高まりから高い電力効率が求められている。

FA環境は、過大な電源電圧変動・電圧歪(ひず)みや、過大な突入電流・不平衡電流・高調波電流などの過酷な電源負荷環境下にあるが、このようなFA環境でも安心して使用するために、従来の常時インバータUPSの耐電源・耐負荷特性を維持して高効率化する必要がある。

耐電源・耐負荷特性を維持して高効率を実現した常時インバータUPS“FW-S 100V 2.0／3.0kVA”を開発した。その特長は次のとおりである。

(1) 3レベルインバータ回路方式の採用とAC／DCコン

バータ回路電圧制御最適化で電力損失低減を図り、総合効率91%を実現(従来品効率85%)した。

(2) 多彩な外部入出力信号で、UPSや負荷設備の状態監視機能を強化した。

(3) 縦置き(タワー)／横置き(ラックマウント)共用構造によって設置性を向上した。

(4) 商用電源起動・バッテリー起動の双方に対応して、電源環境に応じた利用用途を拡大した。

①商用電源起動：バッテリー劣化や過放電時でも商用電源でUPSの起動が可能である。

②バッテリー起動：停電状態でもバッテリーのエネルギーで起動して、停電時の非常用電源として活用可能である。



縦置き(タワー)



横置き(ラックマウント)

## 常時インバータUPS“FW-S 100V 2.0／3.0kVA”の設置例

常時インバータUPS FW-S 100V 2.0／3.0kVAは、FA環境に適合した高耐電源・高耐負荷特性を維持しながら高効率化を実現した。縦置き(タワー)、横置き(ラックマウント)両方の設置が可能である。

## 1. ま え が き

FA市場でも電子化及び自動化が更に進み、高性能・高精度製造装置が増加して安定した連続稼働が求められており、厳しい電源環境や多様な負荷に対応するバックアップ電源として常時インバータUPSが存在する<sup>(1)</sup>。常時インバータUPSは優れた耐電源環境性能を持つが、常に電力変換しているため電力損失が多く、あらゆる機器に対して省エネルギーが求められている近年では損失低減が大きな課題となっている。

そこで、耐電源環境性能・過負荷耐量を維持して電力変換効率を改善した常時インバータUPS FW-S 100V 2.0/3.0kVAを開発した。

本稿では、開発品の特長・適用例及び高効率化技術について述べる。

## 2. 製品の特長

### 2.1 自在な電源出力

- (1) 出力電圧を100Vから120Vまでの範囲で、ユーザーによる1V単位での変更が可能
- (2) 電源の電圧・周波数に影響されずにユーザーが設定した電圧・周波数で出力可能であるため、電源周波数変換器としての適用が可能

### 2.2 高効率化

耐電源環境性能・過負荷耐量を維持しつつ、通常運転時(入力電圧100V)の総合効率91%以上を実現した。詳細は3章で述べる。

### 2.3 FA環境・FA機器との適合性進化

#### 2.3.1 高い耐電源負荷環境性能

FA市場では、動力系の負荷設備で消費される電力が間欠的で変動が大きく、また、突入電流や不平衡電流が発生しやすく、パワーエレクトロニクス機器から発生する高調波高周波電圧、電流が過大である。そのため、電源での電源電圧変動、周波数変動、電圧歪みが大きくなる。

このような厳しい電源負荷環境に対応するため、常時インバータUPS“FW-Sシリーズ”では電源環境と負荷環境を分離するために、電源から電力を得る電源パワー回路(AC/DCコンバータ部)と負荷設備に電力を供給する負荷側パワー部(インバータ部)を独立させて相互の影響を少なくできる常時インバータ給電方式を採用した。

#### 2.3.2 FA機器との連携強化

多彩な外部入出力信号で、UPSや負荷設備の状態監視機能を強化した(図1)。

##### (1) ブレーカ連動機能

通常、負荷設備は上位のブレーカのオンオフで起動停止できるのに対して、UPSを設置した場合は、負荷設備を起動停止させるためにUPSの起動停止操作が必要になる。

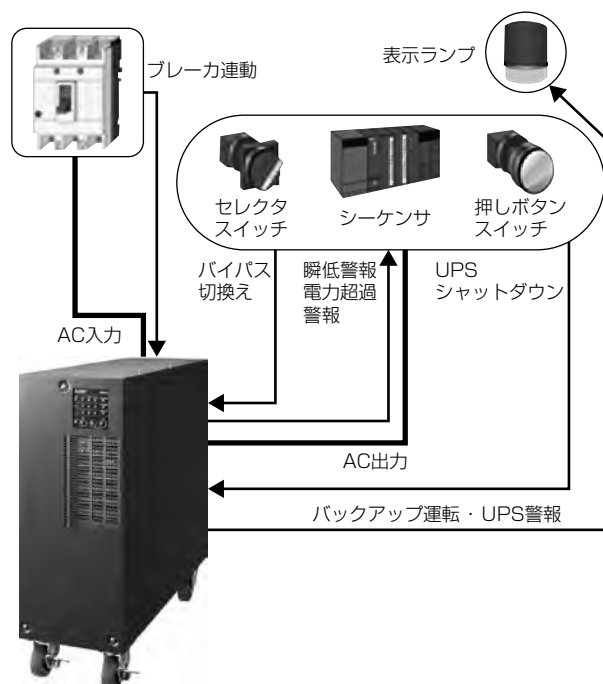


図1. FA機器との接続の例

このため、ブレーカのオンオフ操作で負荷設備を起動停止できるように、ブレーカの補助接点信号の状態を検出して電源異常による停電とユーザーのブレーカオフ操作による停電とを区別して、ブレーカオフ操作の場合はUPSを停止することで、不要なバックアップ運転を防止できる。

##### (2) 遠隔バイパス切換え機能

UPSの保守時に、UPSの入出力を保守バイパス回路でバイパスするためには、UPSをバイパス運転にして入出力電圧を同一にしておく必要がある。遠隔バイパス指令入力を設けて、保守時はこの入力を有効にしておくことで確実な保守作業が行える。

##### (3) 瞬低警報

瞬低発生時は、負荷設備の停止を伴わずに生産品にダメージを与えるおそれがある。UPSで瞬低保護をしている設備は瞬低の影響を受けないため、瞬低の発生を特に検知する必要はないが、UPSを設置していない周辺の設備では適切な処置をする必要があり、瞬低発生を把握することは重要である。負荷設備の瞬低耐量に相当するレベル(瞬低電圧・瞬低時間)を設定して、そのレベルを超える瞬低が発生した場合には瞬低警報信号を接点出力することで処置が必要な瞬低発生を把握できる。

##### (4) 電力超過警報機能

接続する負荷設備の消費電力に応じて警報を出力する値を設定しておくことで、劣化や故障で負荷設備の消費電力が異常に大きくなった場合に警報を出力して、負荷設備の消費電力をきめ細かく監視することができる。

## 2.4 縦置き／横置き共用構造による設置性向上

縦置き(タワー)と横置き(ラックマウント)の両方が可能

であり、設置スペースによって設置姿勢を選択できるようにした。

## 2.5 商用電源起動・バッテリー起動対応

バッテリー劣化時や過放電時でも商用電源でUPSの起動が可能で、かつ停電状態でUPSが停止している状態からでもバッテリーのエネルギーで起動して停電時の非常用電源として活用できるようにバッテリー起動回路を搭載した。

## 3. 高効率化技術

総合効率91%を実現した高効率化技術について述べる。

常時インバータUPSの回路構成を図2に示す。UPSには、大別して4つの運転モードがある。入力電圧が印加された状態で負荷設備に電力を供給していない“出力停止”と入力電圧が印加された状態でAC/DCコンバータ・インバータを介して負荷設備に電力を供給する“通常運転（商用運転）”と入力電圧が印加された状態で入力電圧をそのまま負荷設備へ供給する“バイパス運転”，停電・瞬低時などの電源異常時にバッテリーからコンバータ・インバータを介して負荷設備に電力供給する“バックアップ運転”の4つである。このUPSの稼働時間で、そのほとんどを占める通常運転の高効率化を検討した。

通常運転時に発生する損失は、負荷設備に電力を供給するインバータ回路部と電源から電力を得るAC/DCコンバータ回路部の導通損失、スイッチング損失、フィルタ部損失が大部分を占めるため、インバータ回路部とAC/DCコンバータ部に着目して損失低減を実施した。

### 3.1 インバータ回路の高効率化

#### 3.1.1 インバータ回路の3レベル化

従来の常時インバータ方式では、ハーフブリッジ2レベルインバータを採用してきたが、スイッチングする電圧が大きくスイッチング損失が大きいため、インバータ回路の3レベル化でスイッチング電圧を下げてスイッチング損失の改善やフィルタ回路の小型化を行った。

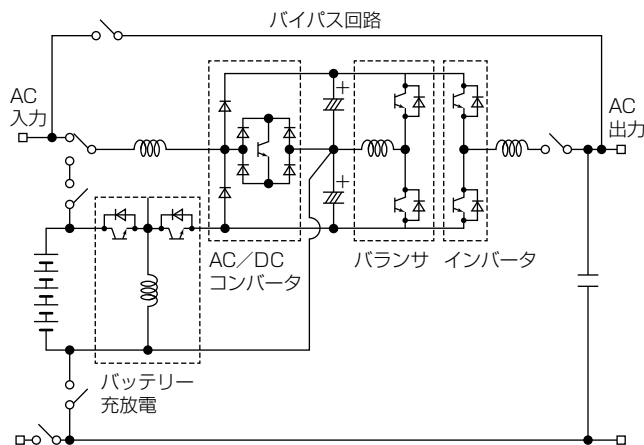


図2. 常時インバータUPS回路構成(従来品)

また、実装面積等を考慮して、従来品からの増加素子数が少ない中性点スイッチタイプの3レベルインバータを採用した(図3)。

#### 3.1.2 インバータ回路3レベル化の課題

インバータ回路の3レベル化によって、スイッチング損失とフィルタ部損失を低減して効率改善が可能となるが、整流器負荷などの場合、出力電流のゼロクロス近傍での出力電圧波形歪みが発生する(図4)。

#### 3.1.3 出力電圧波形歪みの対策

開発当初の3レベルインバータは、インバータの目標出力電圧と目標出力電流に応じてインバータの出力極性を決定していた。インバータの出力極性を固定するとインバータの出力電圧範囲が限定されるため、ゼロクロス近傍で出力電流の電流制御性能が低下して、図4に示すように出力電圧波形歪みが発生していた。

出力電圧波形歪みを低減するため、インバータの目標出力電圧と目標出力電流の2要素に加えて、出力電流誤差極性(インバータの目標出力電流とインバータ電流検出値の誤差)を条件に取り入れた3レベルインバータ出力極性切換え判定方式を採用した。

この方式では、出力電流誤差極性の判定を高速に行うため、極性判定部分をPLD(Programmable Logic Device)へ移植した。これによって、線形負荷と整流器負荷のどち

方式	2レベル(従来品)	3レベル(開発品)
回路		
波形		
メリット	部品数少	スイッチング損失小
デメリット	スイッチング損失大	部品数増/制御複雑化

図3. インバータ回路方式の比較

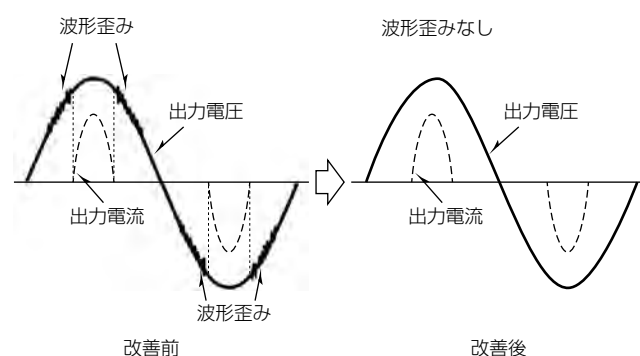


図4. 出力電圧波形歪みの改善効果

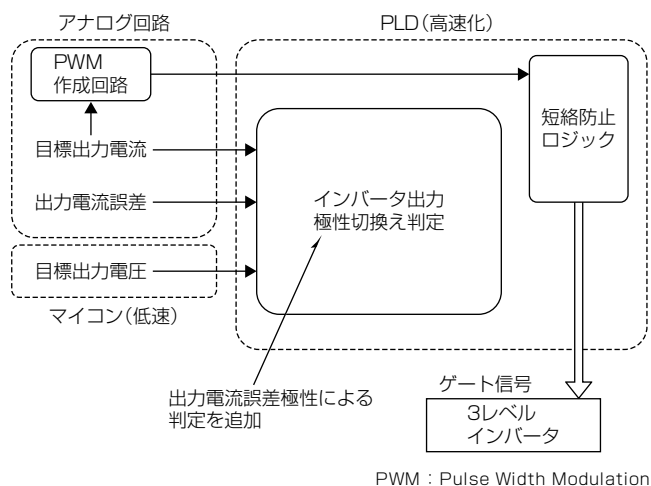


図5. インバータ出力極性切換え判定

らでも出力電圧波形歪みを抑制でき、低高調波の出力を実現できる(図5)。

### 3.2 AC/DCコンバータの高効率化

#### 3.2.1 DCリンク電圧の低減効果と課題

AC/DCコンバータ回路部は、AC入力電圧のピークより高いDCリンク電圧(コンデンサ電圧)へ電圧変換している。そのため、DCリンク電圧を下げるとAC/DCコンバータの昇圧率が下がり、損失低減が見込める。

しかし、停電でのバックアップ運転への切換え中にDCリンク電圧を下げると、出力電圧ピークを出力するための電圧レベルが不足して出力電圧のピーク付近の波形が歪み、負荷設備に影響を与えてしまうおそれがある。このため、従来品では切換え時の電圧低下を考慮してDCリンク電圧の目標値を高めに設定していた。

#### 3.2.2 バックアップ運転切換え時の電圧制御

FW-S100V 2.0/3.0kVAでは、バッテリーからDCリンク電圧(コンデンサ)を充電するための昇圧回路部分は図6に示すように、2つの昇圧回路が上側と下側のコンデンサをそれぞれ充電して、バランス回路で同電圧になるように制御している。

昇圧回路1は通常運転からバックアップ運転への切り換え時にメカニカルリレーの切換え待ち時間があるため、その間に電圧が下がってDCリンク電圧の低下を抑制することができないが、昇圧回路2はメカニカルリレーの切換えがないため、停電検出直後の昇圧開始が可能である。短時間であれば昇圧回路2だけでも定格負荷相当の電力を供給可能であるため、これを利用して、バックアップ運転切換え時のDCリンク電圧の低下を抑制した。

従来は昇圧回路1, 2ともに目標電圧に対するフィード

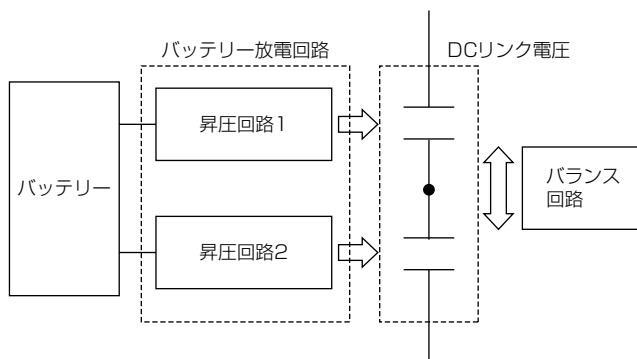


図6. 昇圧回路の構成

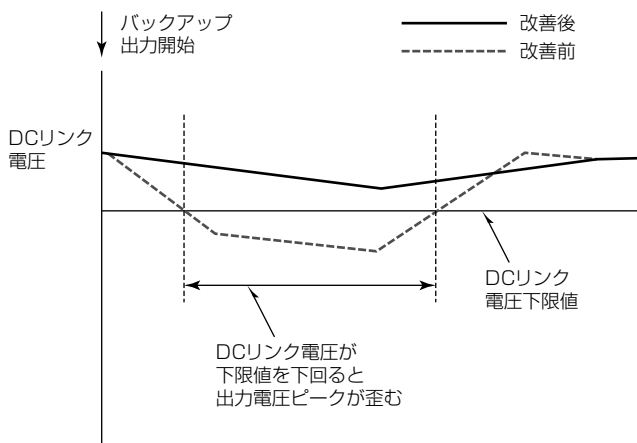


図7. バックアップ切換え時の電圧制御

バック制御だけであったが、昇圧回路2の制御に負荷率を考慮したフィードフォワード制御を追加することで、バックアップ運転切換え時に昇圧回路2から下側のコンデンサを急速に充電してバランス回路で下側から上側のコンデンサを充電する。これによって、図7に示すようにバックアップ運転切換え時のDCリンク電圧を下限値以上に維持することが可能である。

## 4. む す び

FA市場に対応できる常時インバータUPS“FW-S 100V 2.0/3.0kVA”の特長及びUPSの通常運転モードでの高効率化技術について述べた。

今回確立した技術を今後の常時インバータ開発機種にも適用して、UPSの高効率化を推進していく。

## 参 考 文 献

- (1) 畠山善博, ほか: F Aに適合した新形常時インバータ方式UPS“FW-Sシリーズ”, 三菱電機技報, 85, No.4, 261~264 (2011)

# 直流高電圧遮断器の製品拡充

小倉健太郎\*  
三好伸郎\*

Product Expansion of DC High Voltage Circuit Breaker

Kentaro Kokura, Nobuo Miyoshi

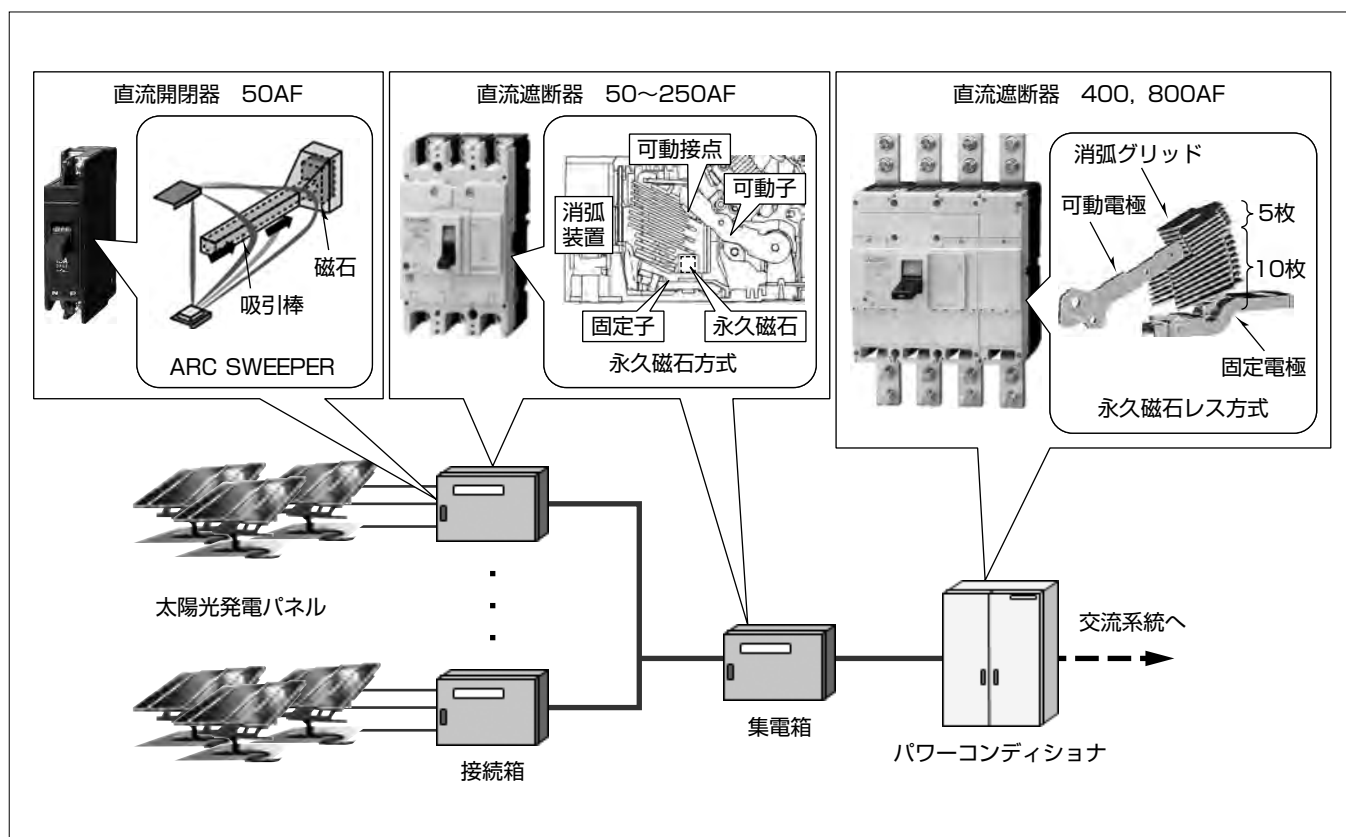
## 要 旨

近年、地球温暖化や東日本大震災を背景に、太陽光や風力、水力、地熱、バイオマスなどの再生可能エネルギーを利用した発電システムの普及・拡大が進められている。中でも太陽光発電(Photovoltaics: PV)システムは、クリーンエネルギーの代表格として、国や自治体による法制度・助成制度の整備、ソーラーパネルの性能向上などもあり、大規模な導入が進められてきた。その中で、2012年7月に電力の固定価格買取制度が施行されたことを機に、1 MWを超える大型システムの建設が各地で盛んに行われ、発電効率向上を図った高電圧化の要求が高まっている。これを受けて、従来の製品ラインアップに加えて新たにDC1,000Vの直流高電圧設備に対応した125, 250AF

(Ampere Frame)の直流高電圧遮断器を開発し、高電圧化が進むPVシステム市場に向けた製品拡充を行った。

直流は電流零点がないため交流と比較して電流遮断が困難であり、高電圧になるに従ってその難易度が増大する。今回のDC1,000Vに対応する125, 250AFの直流遮断器は、DC600V遮断器の消弧室に搭載しているアークの磁気駆動制御をする永久磁石の配置を改良したものであり、限られた消弧空間で効率的にアークを伸長することで遮断性能を高めて、直流高電圧回路で信頼性の高い性能を実現した。

これによって、PVシステム市場で要求のある接続箱や集電箱、パワーコンディショナ向けの直流高電圧開閉器・遮断器の幅広いラインアップを構築した。



## 太陽光発電システムへの直流高電圧開閉器・遮断器の適用

大規模太陽光発電設備の普及拡大に伴い、高電圧大容量のパワーコンディショナ・集電箱・接続箱に搭載する直流高電圧対応の開閉器・遮断器の製品拡充を行った。従来品との取付け互換性を確保しつつ、電線の接続を逆接続可能にすることで、省施工・配線の効率化に貢献できる。

## 1. ま え が き

近年、地球温暖化や東日本大震災を背景に、太陽光や風力、水力、地熱、バイオマスなどの再生可能エネルギーを利用した発電システムの普及・拡大が進められている。中でも太陽光発電(PV)システムは、クリーンエネルギーの代表格として、国や自治体による法制度・助成制度の整備、ソーラーパネルの性能向上などもあり、大規模な導入が進められてきた。そのような状況の中、2012年7月の電力の固定価格買取制度の施行を機に、1 MWを超える大型システムの建設が各地で盛んに行われ、直流高電圧に対応した開閉保護機器が必要になってきた。

三菱電機は、従来の製品ラインアップに加えて新たにDC1,000Vのシステムに対応可能な125, 250AFの直流高電圧遮断器を開発して、高電圧システムへの対応力を更に強化した。

## 2. 直流高電圧開閉器・遮断器の特長

当社の直流高電圧回路用の開閉器・遮断器のラインアップを表1に示す。直流開閉器・遮断器は400~800AFの機種を除いて、アークの磁気駆動制御に永久磁石を利用した遮断方式を適用している。接続箱に用いられる“KB-HD”“KB-HDA”の直流開閉器は、当社独自技術である“ARC SWEEPER”方式<sup>(1)(2)</sup>を採用している。この技術は、狭い消弧空間で効率的にアークを伸長させることが可能であり、さらに、電流通電方向が反転する逆接にも対応して高い遮断信頼性を実現しているため、高い評価を得ている。一方、接続箱、集電箱に用いられる125, 250AFの直流遮断器は、接点空間近傍に永久磁石を配置して消弧グリッドにアークを駆動して分断冷却する方式である<sup>(3)(4)</sup>。今回開発したDC1,000V対応の“HDVAシリーズ”は、DC750V遮断器(250V/極×3極)の極数を3極から4極にすること











で高電圧化に対応したものであり、この消弧室は先行リリースしたDC600V対応の“HDVシリーズ”の永久磁石の配置を見直して高電圧化したものである。その内容は、3章で述べる。パワーコンディショナに搭載する“HDWシリーズ”の400~800AFの遮断器は、パワーコンディショナに接続されるPVシステム全ての電力を遮断する能力が要求されるため、小電流から数kAを超える事故電流までの幅広い電流域に対応できる直流遮断技術が必要となる。これに関しては、遮断器の筐体(きょうたい)自体が大きく十分な接点開離距離が確保できるため、永久磁石を利用せず磁性体である消弧グリッドの磁気吸引力を利用してアークを制御する方式を採用している。

## 3. DC1,000V対応の125, 250AF直流遮断器

### 3.1 HDVAシリーズの消弧室構造

図1にHDVAシリーズの消弧室側面の断面図を、図2に消弧室に搭載された消弧装置の斜視図を示す。図1は、可動子が開極の状態(接点OFF)を示したものであり、遮断時は接点間に発生したアークを図1の左方にある消弧装置に取り込んで遮断する。消弧装置はU字形の消弧グリッドを積層配置したものであり、アークを分断することでアーク内部に高い電圧降下(アーク電圧)を発生させる。直流遮断では、アークを接点空間から消弧グリッドにすみやかに駆動して遮断完了まで安定的にアークの分断状態を維持するか、又はアークを伸長させるなどの対応によって高いアーク電圧を発生させることが重要である。このシリーズは、DC600V対応のHDVシリーズの消弧室が母体であり、遮断可能電圧を高電圧化するため、単極あたりに発生させるアーク電圧を200Vから250Vへ増大させる必要があった。次に、アーク電圧の高電圧化を狙った大電流、小電流領域に対する遮断性能の改善内容を述べる。

表1. 直流高電圧開閉器・遮断器のラインアップ

	最大使用電圧		
	DC600V	DC750V	DC1,000V
パワーコンディショナ盤 (大容量)	NF400-SW, NF630-SW NF800-SDW, NF1250-SDW		NF400-HDW NF800-HDW
パワーコンディショナ盤 (中容量)	NF125-HDV 	NF125-HDVA  NF250-HDVA	<div> NF125-HDVA NF250-HDVA 新発売  </div>
パワーコンディショナ盤 (小容量)	NF63-HDV 	NF125-HDVA  NF250-HDVA	
集電箱	NF63-HDV  NF125-HDV NF250-HDV	NF125-HDVA  NF250-HDVA	
接続箱	KB-HD 	KB-HDA 	

### (1) 大電流領域での遮断性能改善

消弧装置への駆動では、大電流領域では電流の自己磁場を利用してアークに磁気駆動力を発生させることが可能であるため、消弧装置で発生させるアーク電圧の高電圧化が課題である。一般的に、消弧グリッド1枚当たりの電圧降下は約20~30Vであり、消弧装置内に取り込んだ場合のアーク電圧は消弧グリッドの枚数に依存する。したがって、図1に示すように、HDVAシリーズでは消弧グリッド枚数を9枚から12枚に増大させるとともに、枚数増大に伴う橋絡問題に対して消弧グリッドの厚み、間隔等も最適化したことで高電圧大電流の遮断性能を確立した。

### (2) 小電流領域での遮断性能改善

小電流領域では、アークを接点空間で伸長してアーク内部の抵抗を増大させ、アーク電圧を高めることが有効である。ただし、電流が小さいことからアーク制御に電流の自己磁場を利用できないため、永久磁石の磁場を利用してアークに磁気駆動力を発生させて制御することが一般的である。HDVシリーズでは、永久磁石を接点空間の片側側面に、固定接点に対して磁極面を向けて配置した。そのため、逆接続時の電流方向反転によって消弧グリッドへの駆動が得られず、250V/極のアーク電圧向上が見込めなかった。今回のHDVAシリーズでは、図2に示すように、接

点空間の両側面に配置してアークに対して鎖交する永久磁石の磁束密度を2倍に増加させ、更なるアーク伸長を可能にした。次に、小電流遮断時のアーク制御について述べる。

### 3.2 小電流領域におけるアーク制御技術

図3、図4は、消弧装置内部の磁場分布、及び磁気駆動力を受けて接点空間に伸長したアークの形態を示したものである。上面図は消弧装置の上から固定子方向への視点、正面図は可動子側から消弧装置方向への視点である。図3は通電方向が固定子から可動子に流れる正接続で、図4は可動子から固定子に流れる逆接続の状態を示している。永久磁石A、Bは、高温のアークから保護するために熱硬化樹脂材で保護支持しており、それぞれN極の磁極面を接点空間へ向けて配置している。アークに対して磁力線(A1、A2、B1、B2)が鎖交すると、各磁力線に垂直に磁気駆動力が発生する。遮断器の接続が正接続の場合、磁力線A2、B1はN極とS極の境界に駆動する方向に、磁力線A1、B2はN極とS極の境界から遠ざける方向に作用する。この結果、磁力線B1はアークを反発して磁力線A1方向に駆動し、永久磁石A側へ駆動される。また、磁力線A2はアークを反発して磁力線B2の方向に駆動し、永久磁石B側へ駆動される。

このような条件の下、正接続で可動子が完全開極した

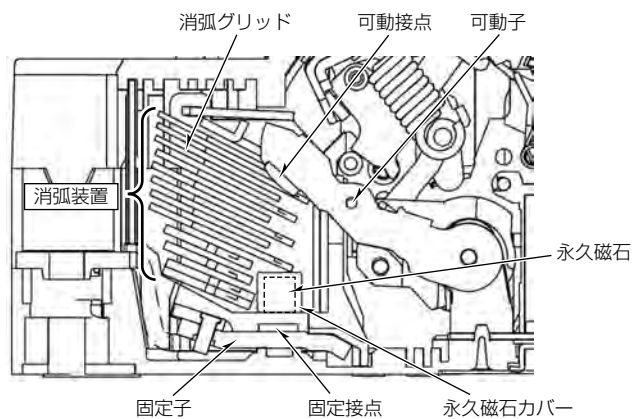


図1. HDVAシリーズ消弧室側面の断面(開極状態)

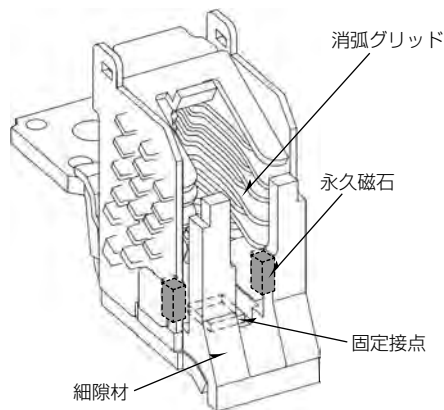


図2. HDVAシリーズの消弧装置

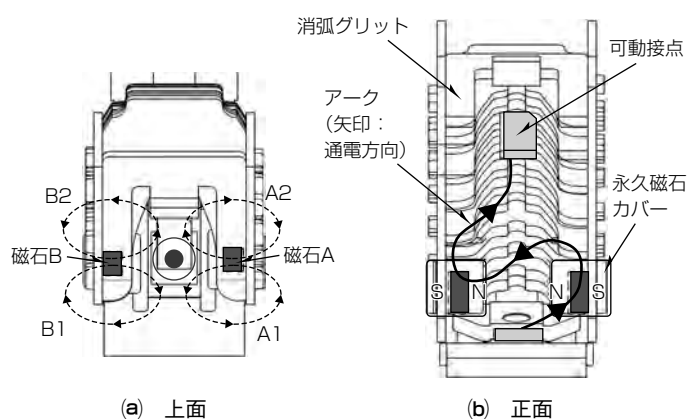


図3. 磁場分布、磁気駆動アークの形態(正接続)

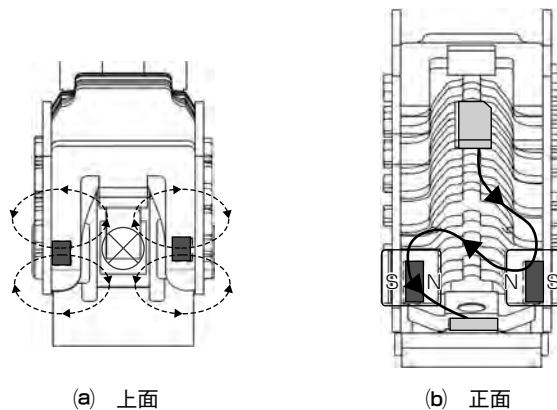


図4. 磁場分布、磁気駆動アークの形態(逆接続)

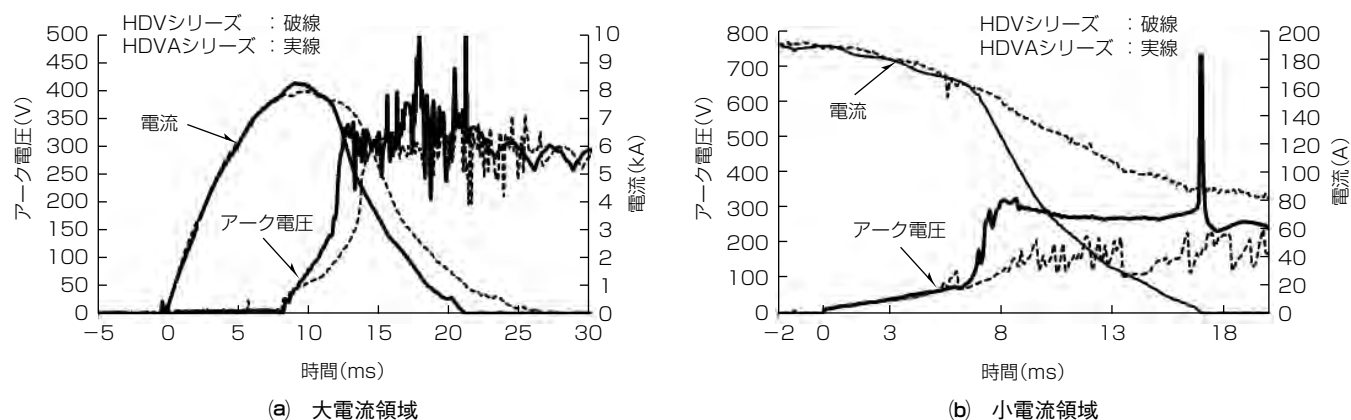


図5. 改良構造適用前後の遮断波形

状態になると、固定接点から発生したアークは永久磁石AのA1側へ駆動されて永久磁石カバーに衝突する。永久磁石カバーは高温のアークにさらされることでアブレーションガスが発生して、アブレーションガスによってアークが圧縮され、冷却効果によってアーク電圧が上昇する。アークの衝突後、永久磁石B側へ駆動されて永久磁石カバーに衝突した後、可動接点にいたる(図3(b))。逆接続の場合、アークは正接続での挙動と逆方向に駆動されるが、同様に伸長と永久磁石カバーへの衝突を経て可動接点から固定接点にいたる(図4(b))。

これらのことから、正接続時、逆接続時ともに、アークの伸長、永久磁石カバーへの衝突を発生させることで、アーク電圧は更に上昇する。

### 3.3 遮断性能の改善結果

図5は、HDV、HDVAシリーズの大電流遮断時、小電流遮断時のアーク電圧、電流波形を比較したものである。

大電流遮断試験は、単極のDC275V/10kA遮断で行った(図5(a))。この結果、HDVシリーズではアーク電圧が約300Vまで上昇して約26msで遮断完了した。引き続き実施した2回目は、遮断不能であった。一方、HDVAシリーズではアーク電圧が約350Vまで上昇して、約21msで遮断完了した。2回目もほぼ同じ時間で遮断に成功した。消弧グリッドの枚数増による高いアーク電圧の発生で短時間遮断が可能となり、遮断による消弧室内部の損耗が抑制されて多数回の遮断が可能な信頼性の高い消弧室を実現した。

小電流遮断試験は、2極でDC500V/200A遮断で行った(図5(b))。図のアーク電圧は、1極分の結果だけを示

したものである。この結果から、HDVAシリーズでは約6msからアーク電圧が急上昇して、その後のアーク維持電圧もHDVシリーズより1.5倍ほど高く、アーク伸長の効果が確認できる。HDVAシリーズは約20msで遮断完了し、HDVシリーズは図に示していないが74msで遮断完了した。このアーク伸長の効果から、100A以下の電流領域では単極当たり360Vの遮断性能を確立できた。

## 4. む す び

PV市場対応の直流高電圧開閉器・遮断器の製品ラインアップ拡充について述べた。今後はPVシステムに代表される直流給電市場の動向を注視していくとともに、一連の直流開閉器・遮断器の開発で得たアーク制御技術の知見を他製品群に拡大適用していく。

## 参 考 文 献

- (1) 渡邊真也, ほか: 直流アークの無極性駆動制御方式の開発, 電気学会全国大会論文集, No.6, 526~527 (2014)
- (2) 渡邊真也, ほか: 太陽光発電用開閉器向け直流高電圧遮断技術, 放電学会年次大会講演論文集, B-1-6 (2014)
- (3) 三菱電機: 三菱ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器技術資料集, 5-3 (2013)
- (4) 杉本康浩, ほか: 高電圧直流遮断器・開閉器の遮断技術, 三菱電機技報, 88, No.4, 261~264 (2014)



# 油ワイヤ放電加工機“MX600極細線仕様”の開発による微細加工市場への対応

菊地秀明\*

Expansion of Micromachining Market Share by Developing Oil Wire – cut EDM "MX600 with Ultra – fine Wire Specification"  
 Hideaki Kikuchi

## 要 旨

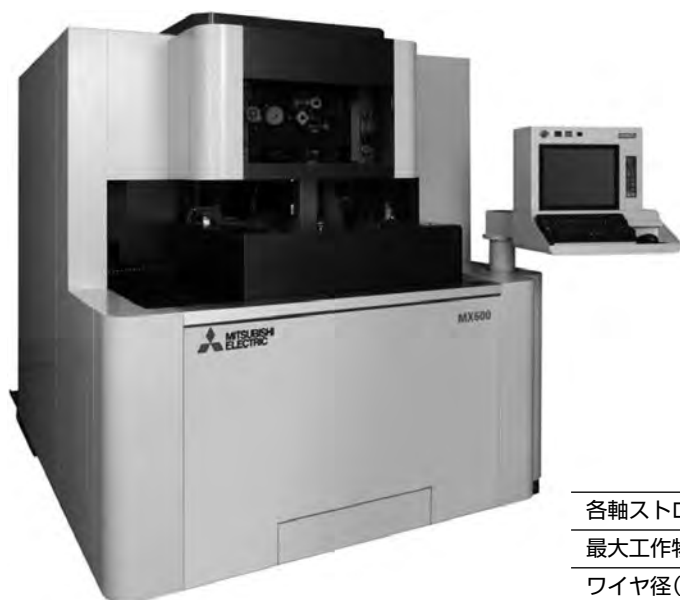
国内の金型市場は、一部復調の兆しが見えるものの依然海外メーカーとの競争が厳しく、放電加工機(Electrical Discharge Machine：EDM)でも一層の高付加価値、高精度化が求められている。

近年、金型市場では、高精度金型の微細化や型寿命向上のため超硬材の使用が増加しており、超硬材が腐食しない油を加工液にしたワイヤ放電加工機の要求が高まっている。三菱電機は、このような市場の要求に応えるため、油ワイヤ放電加工機“MX600”を開発して、2013年4月に発売した。

MX600は、加工性能の向上を目的として、油加工専用電源であるnPV(ナノパルスV)電源を搭載してサブマイクロメートルの面粗さを実現した。精度、安定性に関し

ては、機械と加工ワークの温度管理を行うとともに、RIS(Rigidity & Isolation Structure)機械構造とODS(Opt Drive System)を採用することで機械精度の再現性を向上させ、±2.0μmの精度保証を実現した。

また、高付加価値、高精度なワイヤ放電加工を行う市場分野として、極細線ワイヤ(ワイヤ径φ0.02~0.03mm)を用いた時計歯車などの微細加工部品や化繊ノズルのノズル部などの加工を行う微細加工市場がある。この市場でのMX600のシェア拡大を目的に、極細線ワイヤへ対応した信頼性の高い自動結線装置を開発して、MX600の極細線仕様オプションとして市場投入した。



MX600の極細線仕様

各軸ストローク(X×Y×Z)(mm)	300×200×180
最大工作物寸法(幅×奥行き×高さ)(mm)	640×610×100
ワイヤ径(※極細線仕様オプション時)(mm)	φ0.02~0.2

## 油ワイヤ放電加工機“MX600”の極細線仕様

油ワイヤ放電加工機MX600は、油加工専用電源のnPV電源でサブマイクロメートルの面粗さを実現するとともに、RIS機械構造とODSを採用することで機械精度を向上させた。また、オプション仕様として極細線ワイヤ(φ0.02~0.03mm)に対応することで、狭スリットや微小コーナーRなどの微細加工形状の加工が可能となった。

## 1. ま え が き

近年、国内の金型市場では、海外メーカーとの競争が厳しくなる中、金型の高付加価値・高精度化が求められている。

金型の高付加価値化として、金型の微細化や型寿命向上のために金型材料への超硬材の使用が増える中、当社では、ワイヤ放電加工機に水加工液を用いて高速加工と高精度加工を両立させてきた。超硬材の長時間加工時の腐食・さびといった課題に対しても、水加工液の生産性を活用するため、当社独自の技術で水加工液を改質して、腐食・さびを抑制した高効率な生産を行うための機能開発を行ってきた。しかし、放電ギャップが小さく微細な加工が容易に行えること、加工の再現性が高いこと、加工液に対して簡便な管理が行えることなどの特長を持つ油加工仕様ワイヤ放電加工機（以下“油ワイヤ放電加工機”という。）を指定する金型メーカーが増えてきたこともあり、当社でも、油ワイヤ放電加工機MX600を開発して、市場投入を行った<sup>(1)</sup>。

また、高付加価値、高精度なワイヤ放電加工を行う市場分野として、微細加工部品や化繊ノズル等の加工を行う微細加工市場がある。この市場では、微細加工のために極細線ワイヤ（ワイヤ径： $\phi 0.02 \sim 0.03 \text{mm}$ ）を用いたワイヤ放電加工を行っている。従来、極細線ワイヤは、ワイヤの細さや強度の低さによって安定した自動結線が行えず、自動運転時の機械運用が困難という課題があった。このため、微細加工市場でのシェア拡大を目的に、極細線ワイヤへ対応した信頼性の高い極細線仕様対応自動結線装置（以下“極細線AT(Automatic Threader)装置”という。）の開発を行い、MX600の極細線仕様オプションとして市場投入を行った。

本稿では、油ワイヤ放電加工機MX600の特長、MX600極細線仕様及び加工事例について述べる。

## 2. 油ワイヤ放電加工機MX600の特長

### 2.1 油加工液専用電源による高品位加工面

油加工液による加工は、水加工液に比べて加工速度が劣るという課題がある。そこで当社では、“油加工液専用nPV電源”を開発した。これまでの水加工で培ってきた高速加工技術と形彫放電加工で培ってきた油加工特有の電源制御技術を融合させた。従来技術では工作物表面に微小なクラックや硬化層が形成されていたが、nPV電源は従来よりも微小なエネルギーの放電を高い周波数で発生させることができる。微小なエネルギーでの加工によって、クラックを抑制して加工面品質を大幅に改善できた。また、高い周波数での加工によって平均加工エネルギーの低下を抑制し、トータル加工速度の向上に成功した（図1）。

また、nPV電源は、加工中に放電状態の変化を検出して、放電状態が不安定になりやすいコーナー部などの加工でも素早く放電状態を制御することで加工寸法精度を向上

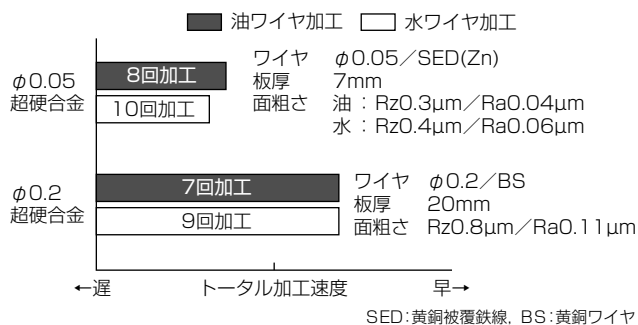


図1. 加工速度の比較

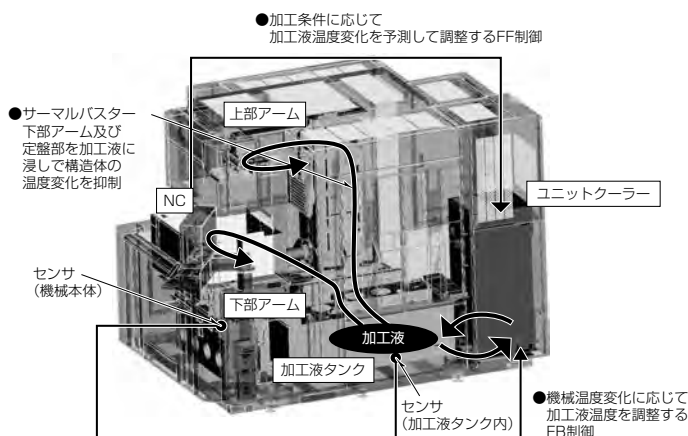


図2. 加工液温制御の模式図

させている。さらに、絶縁定盤構造を採用することで電氣的絶縁と熱影響を抑えることが可能となり、長時間安定的な高精度加工を実現した。

### 2.2 加工液温度の安定化による加工精度安定化

MX600は、加工液の温度変化による加工ワークの寸法精度への影響を抑制するため、温度制御システムとして、機械本体・加工槽内・加工液タンク内の3点温度センサによるフィードバック(FB)制御を行っている（図2）。また、加工条件に応じて加工液温度変化を予測してユニットクーラー冷却量を調整するフィードフォワード(FF)制御を行っている。

機械本体の温度管理は、“サーマルバスター機能”を搭載することで構造体温度を加工液温度と同調管理し、高精度加工の妨げになる熱変位を抑制した。これによって、加工槽内の温度変動を従来比最大1/3に、相対熱変位を1/2～1/3程度に改善した。

### 2.3 高精度を実現する高剛性機械構造

機械本体には構造体に高剛性材料を採用して、当社汎用機と比較して機械剛性を30%向上させた。また、機械加工精度向上とリニアガイドの高精度化を図るとともに、ADVANCE制御装置とサーボアンプとシャフトリニアモータを高速光通信ケーブルで接続して構築した高応答サーボシステム“オプトドライブシステム(ODS)”（図3）で機械を駆動することによって、形状精度・ピッチ精度を向上させて、当社基準で $\pm 2.0 \mu\text{m}$ の精度保証を実現した。

また、機械構造は左右対称構造にして、振動源(ポンプ)

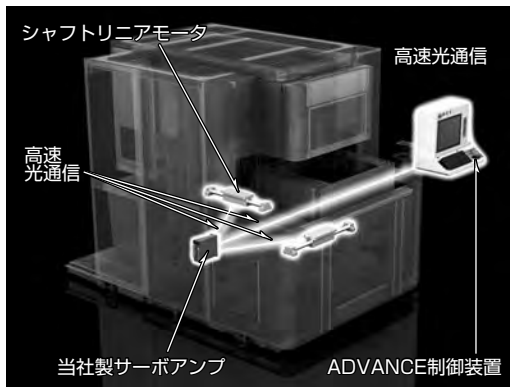


図3. オプトドライブシステム

と熱源(電源)を分離したアイソレート構造を採用している。さらに、機械本体・電源・タンク間を断熱して熱源を機械本体から分離させ、装置全体は“オイルパン付ワンパレット構造：RIS機械構造”を採用することで据付時の配線・配管作業が省略されて工場出荷状態を維持し、機械精度の再現性を向上させた。

### 3. MX600極細線仕様

#### 3.1 微細加工市場

微細加工市場の加工対象分野として、時計部品などの微細加工部品、ICリードフレームや化繊ノズル等(図4)などの微細金型加工が挙げられる。微細形状の加工部には狭スリット加工(スリット幅：50 $\mu$ m以下)や微小コーナR(コーナR：30 $\mu$ m以下)が存在し、 $\phi$ 0.02~0.03mmの極細線ワイヤを用いたワイヤ放電加工を行う必要がある。また、加工では複数の加工箇所を連続して加工することもあるため、極細線ワイヤの安定的な自動結線による長時間安定稼働が求められている。

#### 3.2 極細線AT装置の開発

極細線ワイヤは、標準( $\phi$ 0.05~0.2mm)のワイヤに比べてワイヤ径が細く強度が低いため、従来の自動結線装置では部品隙間からのワイヤのはみ出しや、ワイヤの強度不足によるワイヤ走行時断線などの問題があり、自動結線時の信頼性を確保することが困難であった。極細線ワイヤを使用した際、ワイヤの走行経路(ワイヤ走行パネル、メインテンションパネル、AT装置、上部ガイド、下部ガイド、ワイヤ回収装置)で発生する課題を図5に示す。

極細線AT装置の開発では、AT装置を含むワイヤ走行系全体で、図5で挙げた各課題に対して対策を行うことで、極細線ワイヤの自動結線に対応したAT装置を開発した。表1に極細線AT装置開発での実施項目を示す。次に、極細線ワイヤを扱う上で特に重要な要素技術について述べる。

##### (1) AT装置ワイヤ切断ユニットの極細線ワイヤへの対応

自動結線時には、AT装置内のワイヤ切断ユニットでワイヤを切断する。切断ユニット内でワイヤを保持する通電子パッドと通電子間に隙間が発生した場合、ワイヤのすっ

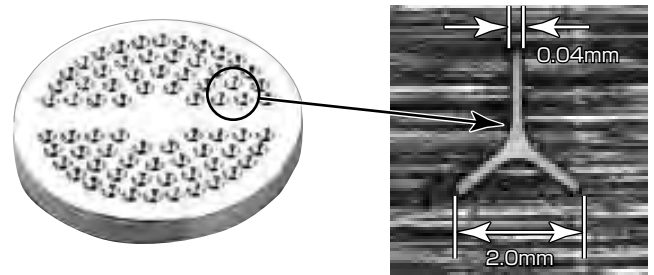


図4. 微細加工例(化繊ノズル)

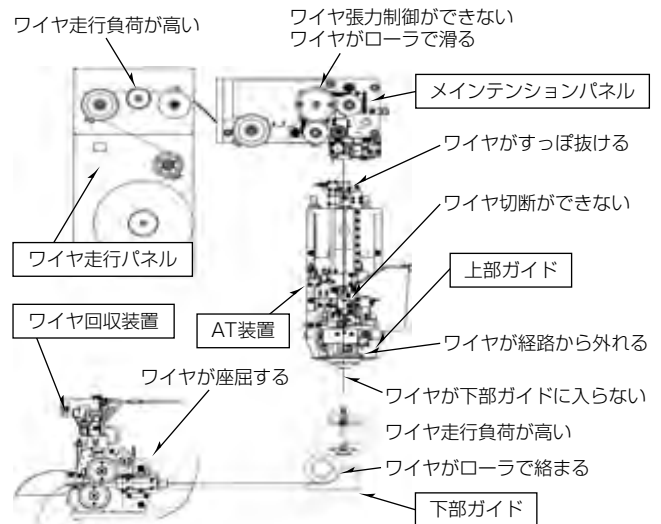


図5. ワイヤ走行系での極細線の課題

表1. 極細線対応の実施項目

ユニット名	不具合内容	対策
ワイヤ走行パネル	ワイヤ負荷が高い	フェルトローラ変更(ワイヤ負荷低減)
メインテンションパネル	ワイヤがローラで滑る	メンテナンスローラ変更(ワイヤ滑り防止)
	ワイヤの張力制御が困難	ピンチローラ位置変更(ワイヤ張力制御域拡大)
AT装置	ワイヤがすっぽ抜ける	すっぽ抜け防止機構追加(すっぽ抜け防止)
	ワイヤを切断できない	ワイヤ切断部機構変更(切断信頼性向上) ワイヤ切断部清掃機構追加(切断信頼性向上)
上部ガイド	ワイヤが経路から外れる	ワイヤガイド機構追加(ワイヤ経路外れ防止) ワイヤトラック変更(ワイヤ経路外れ防止) サブガイド延長(ワイヤ経路外れ防止)
	ワイヤが下部ガイドに入らない	ダイヤモンドダイス構造変更(結線率向上) ダイヤモンドダイス先端延長(結線率向上)
下部ガイド	ワイヤ負荷が高い	下部ローラ位置変更(ワイヤ負荷低減)
	ワイヤがローラで絡まる	下部ローラ位置変更(ワイヤ絡み付き防止)
ワイヤ回収装置	ワイヤが座屈する	ワイヤ回収装置変更(ワイヤ座屈防止)

ぽ抜けや、接触不十分で電流が流れず、切断不良となることがある。極細線ワイヤはワイヤ径が $\phi$ 0.02~0.03mmと細く、この現象が発生しやすい(図6(a))。

この対策として、通電子パッドの先端を球体ベアリングによって可動性を持たせた構造にすることで、通電子パッドと通電子が常に隙間なくワイヤを保持できるように改善した(図6(b))。

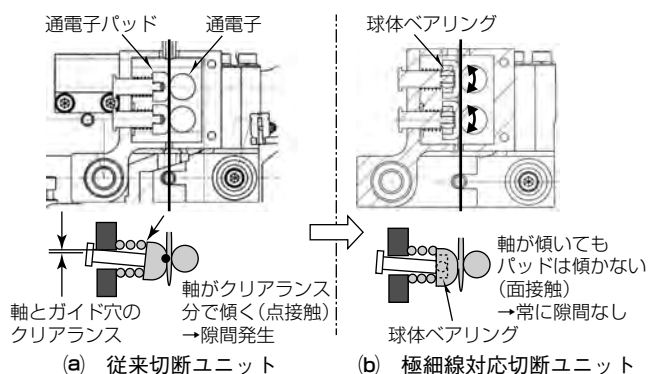


図6. AT装置のワイヤ切断ユニット

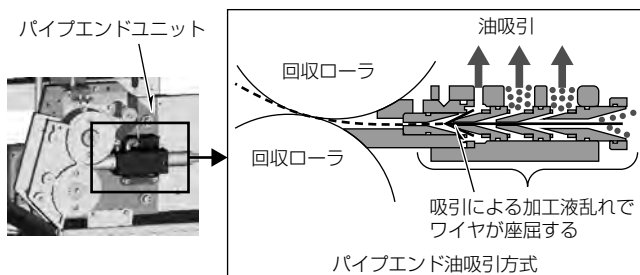


図7. MX600標準仕様のワイヤ回収装置

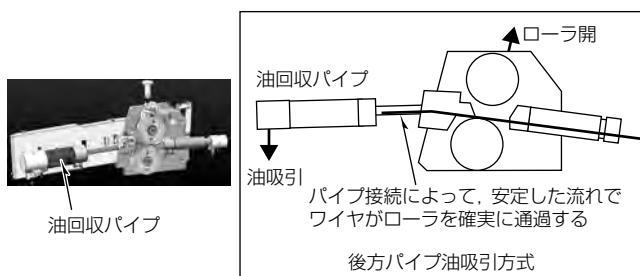


図8. MX600極細線仕様のワイヤ回収装置

## (2) ワイヤ回収装置の極細線ワイヤへの対応

MX600の標準仕様のワイヤ回収ローラ手前には、油加工液を吸引するパイプエンドユニットが設けられている。しかし、極細線ワイヤは吸引力でワイヤが座屈してしまい、回収ローラまでワイヤが到達せずに結線率が低下する問題があった(図7)。

この対策として、吸引パイプ式回収装置(図8)を開発した。この装置は、油回収パイプを回収ローラ後方に配置して、ワイヤを油加工液の流れで回収ローラ後方まで搬送する構造とした。この構造によって、ワイヤの剛性や径路内の加工液の状態によらない座屈のない安定したワイヤ搬送が可能となり、自動結線時の信頼性を確保した。

## 3.3 極細線ワイヤによる自動結線

極細線AT装置での極細線ワイヤの結線事例を図9に示す。従来AT装置では自動結線が困難であった小径( $\phi 0.5\text{mm}$ 以下)ワークスタート穴、ノズル離れ状態(ワークが上下ノズルから離れている状態)でも、極細線AT装置で極細線による安定した自動結線が可能となった。また、評価試験に際しては、客先から実使用ワークを借用して、実際の客先使用状態

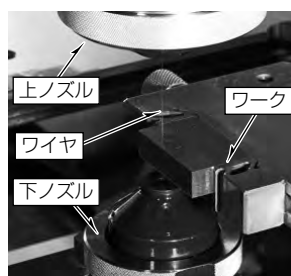


図9. 極細線ワイヤ自動結線の例

■結線率	
従来機	MX600
20%以下	90%以上

■自動結線緒元(例)	
ワイヤ線径	$\phi 0.02\text{mm}$ タングステン
ワーク穴径	$\phi 0.15\text{mm}$
ワーク板厚	10mm
ノズル状態	5mm離れ

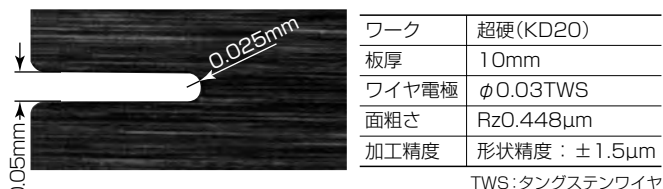


図10. 極細線ワイヤ加工事例(狭スリット加工)

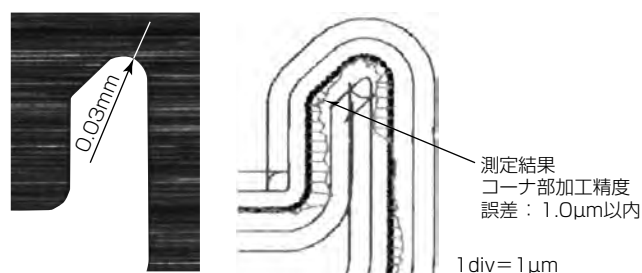


図11. 極細線ワイヤ加工事例(微小コーナR形状加工)

でも極細線による自動結線が可能であることを確認した。

## 4. 加工事例

図10, 図11に極細線ワイヤを用いた油加工による微小加工サンプルの加工事例を示す。nPV電源、加工液温度FB・FF制御等の制御技術と、従来技術を継承したコーナ制御(CM3)、極細線AT装置による極細線ワイヤの自動結線によって、狭スリット加工(図10)、微小コーナR等の微細加工(図11)でも安定した加工が可能である。

## 5. む す び

加工液に油を使用した油ワイヤ放電加工機MX600の特長と、今後伸長が見込まれる微細加工市場に対応したMX600極細線仕様及び加工事例について述べた。今後も市場ニーズに応えるため、新技術と製品の開発に取り組んでいく。

## 参 考 文 献

- (1) 鶴飼佳和：油加工液仕様ワイヤ放電加工機「MX600」－高精度ワイヤ放電加工機の最新技術－，機械技術，61，No.6，51～53(2013)