



家庭から宇宙まで、エコチエンジ



# 三菱電機技報

4

2015

Vol.89 No.4

## FAシステムを支える機器製品の動向



## 目 次

特集「FAシステムを支える機器製品の動向」	
ものづくりとICTの新たな時代	1
西岡靖之	
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	2
藤田正弘	
三菱シーケンサ "MELSEC iQ-Rシリーズ"	7
志水義信・甲斐啓文・矢木孝浩	
MELSEC iQ-RシリーズC言語コントローラ	
スタンダードモデル "R12CCPU-V"	11
渡部裕史・水野 浩	
"MELSEC iQ-Rシリーズ"サーボシステムコントローラ	15
大野宏幸・安藤友典・末松圭司	
FA統合エンジニアリングソフトウェア	
"TELSOFT iQ Works Version 2"	19
田中修一・濱田慶一・竹内俊策・岩城朝厚	
CC-Link IE内蔵Ethernetユニット "RJ71EN71"	23
市村宇志・荒川智史	
省エネデータ収集サーバ"EcoServerⅢ"	
デマンド監視機能付品	27
鈴木健司・佐藤 圭	
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	31
出口洋平・林 和裕	
エネルギーアシストユニット "MR-EAU100K4"	35
神田善則・今 孝公・三輪真大	
次世代省エネルギー汎用インバータ	
"REQROL-F800シリーズ"	39
近藤 淳・丸本祥太郎・古谷真一	
最新モデルCNC "M800/M80シリーズ"	43
中村直樹・後藤大介・金元裕達	
ファイバーレーザ加工機による最先端加工技術	47
宮本直樹・平野孝幸	
太陽光発電市場対応遮断器・開閉器の製品拡充	51
幸本茂樹・小倉健太郎・渡邊真也	

## 特許と新案

「電源装置」「干渉チェック装置および数値制御装置」	55
「回路遮断器」	56



## 表紙：FAシステムを支える機器製品の動向

FA機器については、市場ニーズの変化にタイムリーに対応する新製品開発に取り組んでいる。

FAの今後を支える次世代主力機として次の3機種を製品化した。

シーケンサには、生産設備の設計・立ち上げ・保守コストの削減に加え、製造品質の安定化や堅牢(けんろう)なセキュリティが求められている。①は、これらの課題を解決するため開発したシーケンサ最上位モデル "MELSEC iQ-Rシリーズ"である。

工作機械の制御装置であるCNCには、生産性の向上、安全性や信頼性の確保に加え、熟練工の減少や作業者の頻繁な入れ替わりを背景に、操作性の向上や工場の自動化への要求が高まっている。②は、これらの市場要求に対応するため開発した最新モデルCNC "M800/M80シリーズ"である。

インバータは、汎用機械・空調・水処理など様々な用途に使用され、省エネルギー効果の大きいファン・ポンプ市場で需要が拡大している。③は、ファン・ポンプに最適な機能を充実させた省エネルギー次世代インバータ "FR-F800シリーズ"である。

## スポットライト

機能安全ユニットと機能安全対応サーボモータ

## 巻/頭/言

## ものづくりとICTの新たな時代

New Era of Manufacturing and ICT

西岡 靖之  
Yasuyuki Nishioka

第4次産業革命が、現在、世界のあらゆる地域で進行中であるという。「えっ、4次？そんなに革命があったっけ？」といった問いに「まず、1回目の産業革命は、…」と説明したくなるこうした状況は、おそらく、新たなコンセプトを全世界へ向けて発信しそれを定着させていくために、既に計算されたものなのかも知れない。技術だけではない、経済だけでもない、ことばとメッセージによって大きな時代の流れを作り出す欧米の底力のようなものが垣間(かいま)見える。

「ほんとに革命なのかが問題だ。もし本物だったら、えらいことになるぞ！」「いや、これは国家レベルの戦略だろう。実際に、相当の予算をかけて動いているらしい。狙いは何だ？徹底的に調査だ。」そうこう言っている間に、ドイツ発のインダストリー4.0というコンセプトが、いま世界中を駆け巡り、ものづくりとICT(Information and Communication Technology)の新しい融合が、企業の垣根を越え、国や産業の垣根を越えて広がっている。精緻な世界を極めてきた我が国のものづくりは、こうした大きなコンセプトに対して、なかなか相いれないこともあってか、まだ関心は低い。ましてや、対抗するコンセプトを発信することも、これまでのところ、どうやらなさそうである。

現在のICTがとても不幸なのは、全く異なる2つのICTが、その区別なく議論されていることによる。1つはモノを動かすためのICT、そしてもう1つは人を動かすためのICTだ。

我が国の製造業の競争力の源泉として、強い現場の存在が挙げられることが多い。品質は現場で作り込まれる。常に改善マインドを持ち、問題の原因、そして原因の更なる原因を追究しながら、生産システム全体として理想形に向かって変化し続ける。ものづくりに対するポジティブな姿勢が、現場のモチベーションとなり、自己研鑽(けんさん)のプロセスとともにそれが製品の品質として具現化されていく。

しかし、こうしたいわゆる日本的なものづくりを地でやってきた現場ほど、ICTとの相性が悪く、当初輝いていたICTへの期待が、みごと裏切られた経験は、一度や二度ではないはずだ。モノはプログラムされたとおりに動くが、人は言われたとおりに動かない。人を動かすICTの世界で、本当に人を動かしたいのなら、モノを動かすICTとは異なる次元の理論が必要となる。

こういった視点で、昨今のインダストリー4.0関連の話題を整理すると面白い。FA(Factory Automation)による制御の世界も、M2M(Machine to Machine)の世界も、一見するとモノがモノを動かすためのICTとして映るが、どこかで人が重要な役割を担っている。西洋的な発想では、人の仕事を全て機械にやらせることを理想とするならば、東洋的な発想では、人と機械とが協調しあうことが究極の姿なのかも知れない。

だとすれば、あえてこうした対極のコンセプトを掲げてもよいように思えるが、いかんせん、人を動かすICTについての知見が、我々にはまだまだ足りないのである。ICTは、あくまでテクノロジーであって、エンジニアリングではないからなのか。いや、テクノロジーであるがこそ、明快な理論が必要である。

様々な信号や記号は、組み合わされてデータとなり、そして特定の業務で利用可能な情報となる。ICTがあろうとなかろうと、情報は存在し、それがなければ業務は進まない。情報をデータ化することで、はじめてICTの恩恵を受けることができるのだが、これまでデータ化にコストがかかっていた。しかし今後、IoT(Internet of Things)つまりモノがインターネットにつながることで、そうした制約がなくなり、一気にブレークスルーが起きるのではないか、というのが大方の予想であろう。ただし、どう転んでも、

①全てのモノはデータにならない、そして

②つながらないデータは価値がない、

のだ。いいかえれば、サイバー空間に、人の要素がどのように関わるかで、ものづくりの明暗が大きく分かれることになる。言い古されたことばではあるが、ICTはあくまで道具なのである。

2015年は、ものづくりやFAにとっても、ICTにとっても、大きな時代的な変化の起点となるのではないか。多くの新しいブレークスルーのネタが、様々な境界で芽吹きはじめている。研究開発も、ビジネスチャンスも、全て境界上(マージナル)あるいは学際的(インターディシプリンアリー)なところで動き出す。ビットとアトムに分かれた2つの世界が、今後どのように再結合していくのか？ものづくりに携わる人間にとって、これから10年が、非常に面白い時代となりそうだ。

# 巻頭論文

## 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



藤田正弘\*

Latest Trends in FA Controller Technologies for Next Generation Manufacturing

Masahiro Fujita

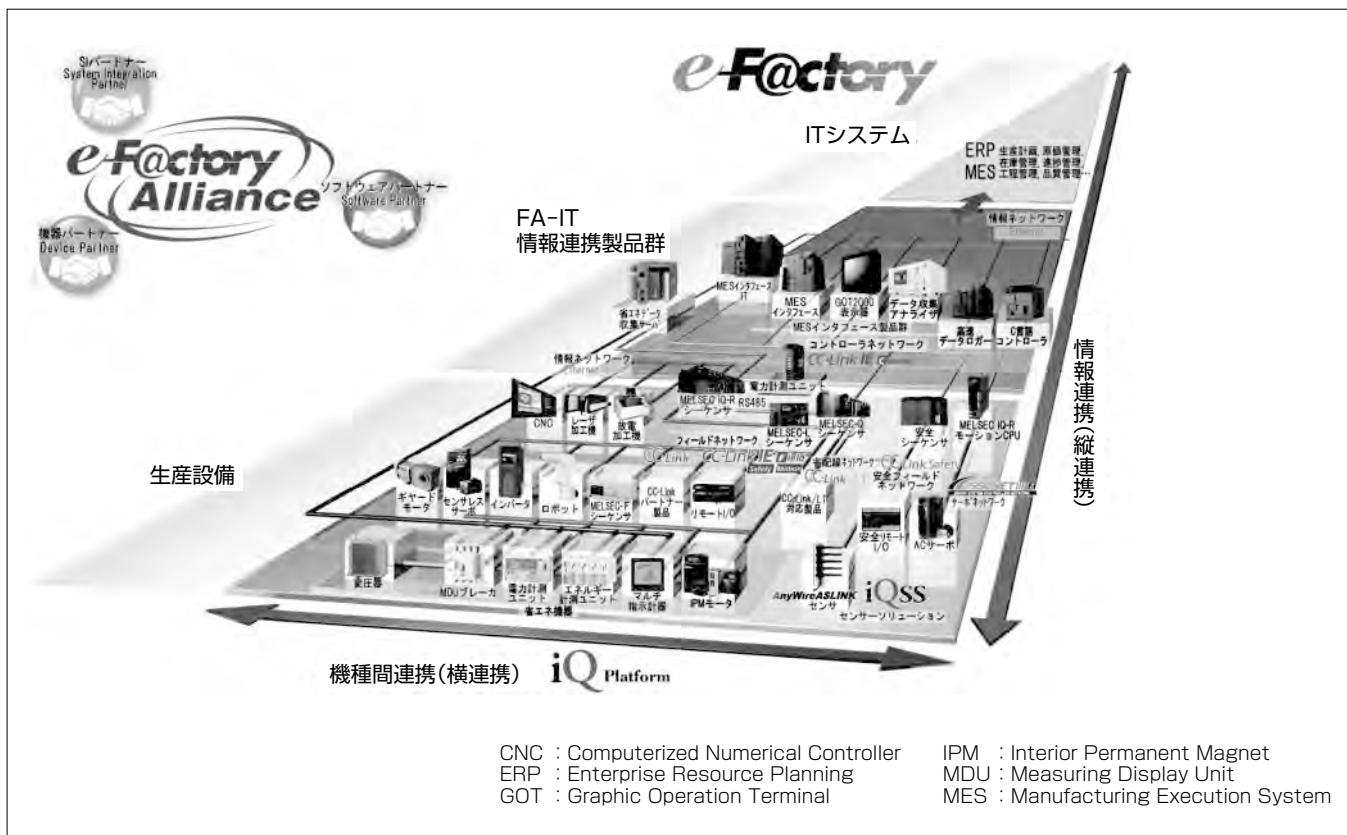
### 要 旨

次世代のものづくりに向けた革新が進む中、製造業を取り巻く環境は更なる変化が予想される。このような変化の中で競争に勝ち残るためには、生産性向上に加え、変化に柔軟に対応できる生産システムの構築が重要となる。さらに、IoT(Internet of Things)によるもののインターネットへの接続、CPS(Cyber Physical System)によるサイバー空間と現実世界の融合に向けて、従来の製造工程間のつながりだけでなく、製造現場から情報システムまでの緊密な接続を実現しなければならない。

このようなニーズに対して、三菱電機はFA統合ソリューション“e-F@ctory”を提唱し、製造現場と情報システムを連携することで現場状況の見える化と生産の最適化を

実現している。e-F@ctoryでは、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接続するネットワークと、FA-IT情報連携製品群を用いて生産システムを構築できる。さらに、“e-F@ctory Alliance”によるパートナーとの連携によって、FA機器、ソフトウェア、及びそれらを組み合わせたシステムを最適に実現可能なトータルソリューションを提供する。

当社FA制御機器では、これらのソリューションに対応したシステム構築を支えるため、FA統合コンセプトである“iQ Platform”を中心に基本性能の向上と、製造現場の情報活用を支援する機能の強化を進めている。本稿ではこれらFA制御機器の最新の技術動向について述べる。



### 最新のFA制御機器

当社のFA制御機器は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、市場の変化に柔軟に対応可能な生産システムの構築を支援する。

## 1. まえがき

次世代のものづくりに向けた革新が進む中、製造業を取り巻く環境は更なる変化が予想される。このような変化の中で競争に勝ち残るために、生産性向上に加え、変化に柔軟に対応できる生産システムの構築が重要となる。さらに、IoTによるもののインターネットへの接続、CPSによるサイバー空間と現実世界の融合に向けて、従来の製造工程間のつながりだけでなく、製造現場から情報システムまでの緊密な接続も実現しなければならない。

当社FA制御機器では、これらの環境変化に対応できる生産システムの構築を支えるため、FA統合コンセプトであるiQ Platformを中心に、基本性能の向上と、製造現場の情報活用を支援する機能の強化を進めている。

本稿ではこれらFA制御機器の最新の技術動向について述べる。

## 2. iQ Platformの最新技術動向

FA制御機器では、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、製造現場の情報活用で中核を担うための機能強化を進めている。ここでは、FA統合コンセプトであるiQ Platformを構成するコントローラ、ネットワーク、エンジニアリング環境に関する技術開発動向を述べる。

### 2.1 コントローラの最新技術動向

#### 2.1.1 統合プラットフォーム

FAコントローラは、製造現場で搬送、組立、加工などのあらゆる製造設備に使用されている。FA統合コンセプトであるiQ Platform<sup>(1)</sup>では、“MELSEC iQ-Rシリーズ”を中心に、HMI(Human Machine Interface)の“GOT2000シリーズ”，駆動機器などを接続して、シーケンス制御、計装制御、モーション制御など、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(図1)。さらに、C言語コントローラによる汎用言語を用いたアプリケーションを通して情報系との連携も容易である。今後、安全制御、CNC制御などの制御処理の拡充やロボットなどの接続機器の拡充を進め、製造設備の効率的な開発を支援していく。

また、MELSEC iQ-Rシリーズ以外にも、ベースレス構

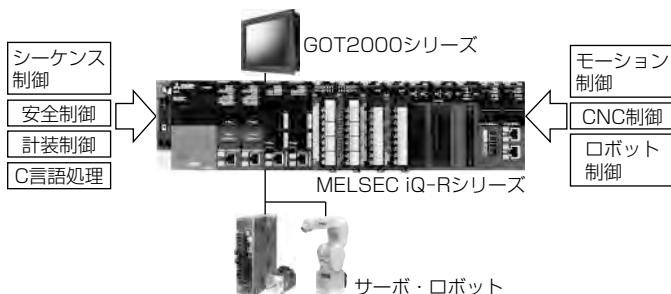


図1. iQ Platform対応コントローラ

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・藤田

造による省スペースな“MELSEC-Lシリーズ”，マイクロシーケンサ“MELSEC iQ-Fシリーズ”などをラインアップしており、様々な製造設備、装置の開発を支援する。

### 2.1.2 制御性能の向上

MELSEC iQ-RシリーズのCPUは、処理性能の向上、システムバスの高速化によって製造装置の高性能化を支援する。さらに、製造装置の高精度化を実現する技術として、ユニット間同期、ネットワーク間同期などの同期機能を搭載する。

MELSEC iQ-RシリーズのシーケンサCPUの基本命令の処理速度は従来比2倍(LD命令0.98ns)であり、複雑な制御を1つのCPUで処理することができる。また、CPUと各種ユニットをつなぐ高速システムバスの通信性能は従来比約40倍で、CPU間のデータ共有やCPUとネットワークユニットの間における大容量のデータ転送を可能にした。これらのシステム性能向上によって、サイクルタイムの短縮を実現できる。

MELSEC iQ-Rシリーズでは高速処理だけでなく、高精度処理を実現するための同期機能を強化した(図2)。ユニット間同期機能によって、シーケンサCPUやモーションCPUの制御プログラムの実行タイミングに同期して、インテリジェント機能ユニットや入出力ユニットを動作させることができる。これによって、動作タイミングのずれがなくなり、装置を高精度に制御することが可能になる。また、ネットワークを通した同期機能として、“CC-Link IEフィールドネットワーク”及び“SSCNET III/H”的同期通信を実現し、ネットワーク上のノード間で動作タイミングの同期を可能にした。これによって、ネットワーク伝送遅れ時間によるばらつきがなくなり、装置規模に関わらず安定したシステムを構築することができる。

マイクロシーケンサMELSEC iQ-Fシリーズも、基本命令の処理速度を従来比1.9倍(LD命令34ns)，システムバスの性能を従来比150倍に高速化するとともに、ネットワーク機能の内蔵、セキュリティ機能強化を進めている。これらシーケンサの性能向上と機能向上によって、サイクルタイムの短縮と装置動作の安定性向上の両面から、システム全体の生産性向上に貢献する。

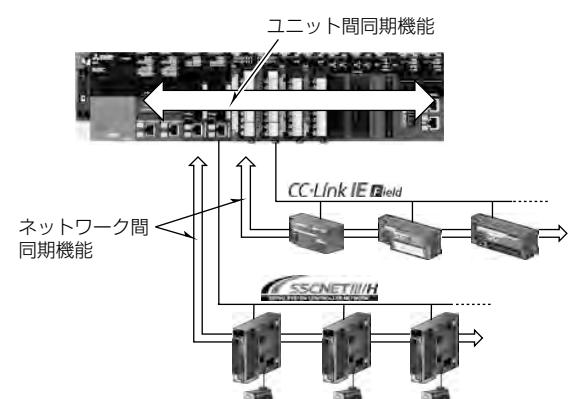


図2. MELSEC iQ-Rシリーズの同期機能

### 2.1.3 情報処理機能の強化

製造現場で扱うデータ量は増加の一途をたどっている。MELSEC iQ-Rシリーズはデータベース機能を内蔵し、従来、外部のパソコンなどで管理していたレシピデータや生産実績データを、シーケンサ内蔵データベースで処理、管理することを可能にした。これによって、制御システム構成がシンプルなものになるだけでなく、データ通信時間の削減による効率化に貢献する。

### 2.1.4 セキュリティの強化

生産拠点のグローバル化や情報システムとの緊密な接続が進む中で、セキュリティ機能の強化は重要な課題となる。特に制御プログラムやデータの不正改ざん、不正流用へのリスク対策は必須となっている。MELSEC iQ-Rシリーズは、プログラムを保護するためのセキュリティキー認証や、制御システムへの不正アクセスを防止するIP(Internet Protocol)フィルタなどのセキュリティ機能を搭載している。

このように、生産システムの中核となるシーケンサでは、制御性能の向上に加えて、データ処理機能、セキュリティ機能などの製造現場の情報化に向けた機能強化が求められており、引き続き性能・機能の強化を進めていく。

## 2.2 ネットワークの最新技術動向

製造現場にIoT、CPSなどの情報技術を導入して生産効率の向上や装置の付加価値の向上を実現するためには、製造現場と情報システムを緊密に連携させる必要がある。CC-Linkファミリは世界標準のオープンフィールドネットワークであり、1,400種類を超えるパートナー製品を接続できる。特に、CC-Link IEファミリでは、1 Gbpsのリアルタイム制御が可能な高速通信を用いて製造現場のコントローラ、各種デバイスを接続した高度な制御ネットワークの構築が可能である。このCC-Link IEファミリを始め、Ethernet<sup>(注1)</sup>、サーボシステムネットワークSSECNET III/H、センサとコントローラを接続するAnyWireASLINK<sup>(注2)</sup>などを用いて、現場にある様々な機器から生産管理などの情報システムまでをシームレスに接続した生産システムを構築することができる(図3)。

ここで、プロトコルとして“SLMP(Seamless Message

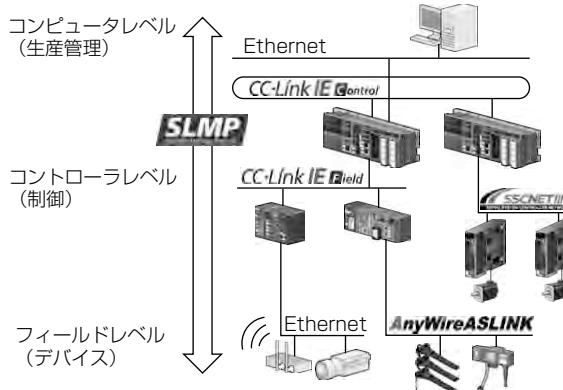


図3. シームレスネットワーク

Protocol)”を使用することで、ネットワークの階層・境界を意識せず、生産管理システム、シーケンサなどのFAコントローラ、フィールドのデバイス機器などをシームレスかつ統一された方法でアクセスできる。これによって、どこからでも簡単に機器のモニタやデータの収集が行えるため、生産管理やメンテナンス作業が容易になる。さらに、ネットワーク上の異常個所特定などの保守機能の充実によって、ダウンタイムの短縮と保守コストの削減を実現している。

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

(注2) AnyWireASLINKは、(株)エニイワイヤの登録商標である。

## 2.3 エンジニアリング環境の最新技術動向

制御システムのエンジニアリング環境はシステム設計、プログラミングだけでなく、制御システムの運用・保守などの全ての段階で重要な役割を果たす。シーケンサ、モーションコントローラ、GOTなどの各種プログラミングソフトウェアを統合した“MELSOFT iQ Works”は、システム管理ソフトウェア“MELSOFT Navigator”を核に各エンジニアリングソフトウェア“GX Works 3”, “MT Works 2”, “GT Works 3”, “RT ToolBox 2 mini”, “FR Configurator 2”を統合した製品で、制御システムの設計・運用・保守を総合的に支援する(図4)。

システム全体を統括するMELSOFT Navigatorでは、大規模ネットワークの構成図を実機から検出して生成することが可能である。これによって、システム構成の確認・変更時間を短縮できる。また、作成した構成図を用いてシステムを構成するFAコントローラのパラメータ設定を一括管理することができる。

シーケンサのエンジニアリング環境であるGX Works 3は、IEC 61131-3に適合した構造化プログラミングによる制御プログラムの開発が可能である。また、直観的な設計とプログラミングを実現し、ユニットを選ぶことによるシステム設計、FB(Function Block)を選択することによる制御プログラム作成など、設計工数の削減を可能とした。今後も引き続き、システム設計、プログラミングの工数削減を行う機能の充実を進めていく。

## 3. 駆動制御機器の最新技術動向

当社では、工作機械や搬送機等の産業機械に用いられる駆動制御機器を製品展開しており、顧客の幅広いニーズに

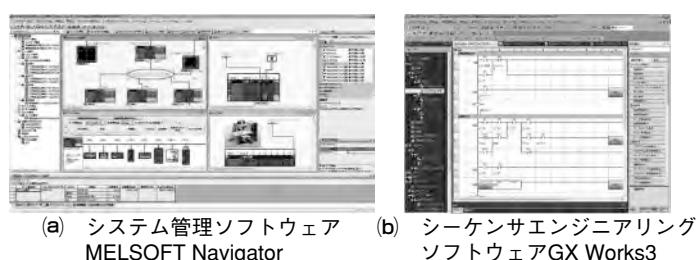


図4. エンジニアリング環境

応えるための製品開発を進めている<sup>(1)</sup>。ここではサーボシステム、NC、汎用インバータに関する技術開発動向を述べる。

### 3.1 サーボシステムコントローラの最新技術動向

産業機械の駆動に用いられる指令を生成するサーボシステムコントローラは、生産性向上や製品品質安定に向けて、世代を追うごとに進化を続けている<sup>(2)</sup>。ここでは当社の最新機種であるMELSEC iQ-Rシリーズのモーションコントローラとシンプルモーションユニット(図5)を例に、最新技術動向を述べる。

#### 3.1.1 モーションコントローラ

MELSEC iQ-Rシリーズでは、従来機種に比べて高速化したシーケンサCPUとモーションCPU(0.222ms周期で指令演算可能な軸数が従来の4軸から6軸に増加)を、高速システムバス(CPU間通信周期が従来の0.888msから0.222msに短縮)で接続している(図6)。コントローラとしてのトータルパフォーマンスの向上によって、装置の生産性向上に貢献する。

また、見やすく理解しやすいフローチャート形式(モーションSFC(Sequential Function Chart))でのモーション制御プログラミングや、ダイレクト位置決め始動命令を活用したシーケンスプログラムだけでのモーション制御によって、1CPU感覚の使いやすさでマルチCPUのパフォーマンスを実現できるようにしてシステム構築の容易性を向上した。

#### 3.1.2 シンプルモーションユニット

シンプルモーションユニットは、シーケンサCPUの制御によって位置決め・同期制御・カム制御・押当て制御などのモーション制御を実行するインテリジェント機能ユニットである。MELSEC iQ-Rシリーズでは、従来機種に比



図5. MELSEC iQ-Rシリーズ サーボシステムコントローラ

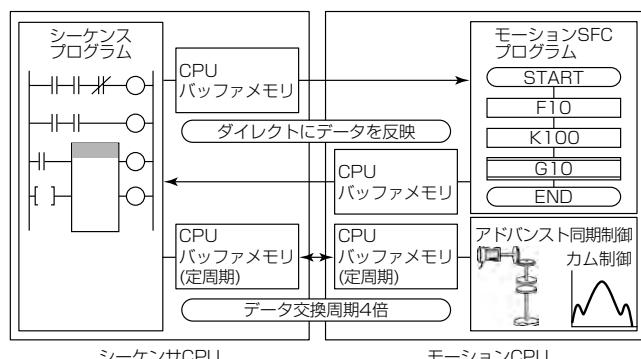


図6. マルチCPU構成でのモーション制御プログラミング

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・藤田

べて演算能力を向上(最短指令周期: 従来0.888→0.444ms)しており、装置のサイクルタイム短縮に貢献する。

シンプルモーションユニットは、シーケンサのエンジニアリング環境であるGX Works 3から設定を行う。グラフィカルな画面での直観的な操作で、ギヤやカムを含む機械の同期制御をプログラムレスで実現した。モーション演算周期に同期したデータ収集と波形表示やサーボアンプの立ち上げ調整もGX Works 3上で実行可能である。

### 3.2 CNCの最新技術動向

工作機械を駆動制御するCNC(数値制御装置)は、熟練作業者が少ない海外におけるスマートフォン筐体(きょうたい)"加工などの短納期大量部品生産ニーズに対応するための、生産性向上・加工精度向上・操作性向上に向けた進化を続けている。ここでは当社の最新機種“M800Wシリーズ(図7)”を例に、最新技術動向を述べる。

#### 3.2.1 生産性向上

M800Wシリーズでは、CNC専用CPUの採用によって演算能力を向上させた(微小線分処理能力: 従来168→270kblock/min, シーケンス制御処理能力: 従来133→200step/μs)。また、CNCと駆動系ドライブユニット間の光通信ネットワークの高速化で、サーボ指令周期や制御周期を従来の半分に高速化した。CNCシステム全体の応答性改善によって、工作機械の生産性向上に貢献する。

#### 3.2.2 加工精度向上

マシニングセンタ向けには、加工形状に併せて最適な加減速制御を行う“SSS(Super Smooth Surface)制御”機能が向上し、加工の高精度化を実現した。旋盤向けには、制御可能な軸数が、従来の4系統16軸から8系統32軸に倍増した。工具計測操作や三次元ワークシミュレーションなどの機能も拡充し、複雑な形状の加工が容易に実現できる。

#### 3.2.3 操作性向上

マルチタッチやタッチジェスチャ操作などスマートフォン感覚で操作できる大型の19型縦置き表示器をラインアップし、直感的な操作による使いやすさを実現した。また、表示器画面上にソフトウェア操作盤機能の搭載やマニュアルの表示が可能であり、柔軟な操作性を実現している。

### 3.3 汎用インバータの最新技術動向

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が、近年では設定・操作の簡略化やシステム対応力



図7. CNCの最新機種M800Wシリーズ

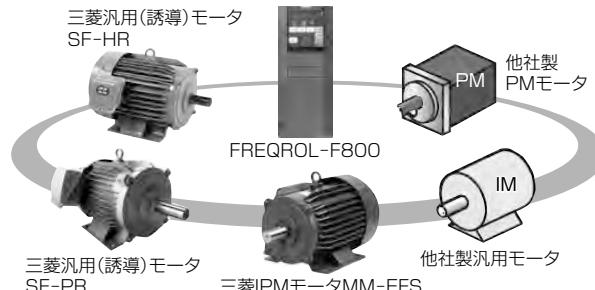


図8. 汎用インバータFREQROL-F800シリーズの適用可能モータ

を強化する機能を備えるようになってきている。ここでは当社の最新機種“FREQROL-F800シリーズ”を例に、汎用インバータの技術動向を述べる。

### 3.3.1 省エネルギー性能の向上

省エネルギーは汎用インバータの重要な性能指標の1つであり、従来主流であった誘導モータより効率の高い永久磁石モータの採用や、新しい制御方式の採用によって性能向上が図られている。F800シリーズでは、励磁電流を常に最適に調整してモータ効率を向上させる最適励磁制御機能を搭載している。さらに、新開発のアドバンスト最適励磁制御では、始動時に大きなトルクを発生させて加速し、モータ効率を最大限に發揮できる一定速運転まで短時間で到達することで省エネルギー運転が可能である。また、モータの回路定数を測定するオートチューニング機能の活用によって、モータ個々の定数にずれがあったり、配線が長い場合や、他社モータの使用時であっても最適な運転特性でモータを運転することができる(図8)。

### 3.3.2 使いやすさの向上

F800シリーズは使いやすさを向上させる各種機能を搭載している。また、通信オプションによって多彩なネットワークに対応しており、ユーザーニーズに応じたシステム構築が可能である。CC-LinkやCC-Link IEフィールドネットワークを通じてiQ Platform対応コントローラに接続可能であり、e-F@ctory環境下での機器・装置とのシームレスな連携を実現する。

また、F800シリーズでは、ファンやポンプの運転に適した各種機能を充実させている。例えば、新しく搭載したPID(Proportional, Integral, Derivative)マルチループ機能(図9)を用いれば、ポンプを駆動するモータのPID制御とバルブなどの別の機器のPID制御を、1台のインバータで実行することが可能であり、システムコストを低減できる。

### 3.3.3 安全・保守性の向上

汎用インバータは駆動性能だけでなく、より安心で安全に使用できるよう進化を続けている。F800シリーズは、IEC 61800-5-2の安全機能であるSTO(Safe Torque Off, SIL2)に標準対応している。

保守に関しては、ユニット内部に搭載したセンサで温度を監視し、制御盤内の冷却ファン故障や不適切な運転条件

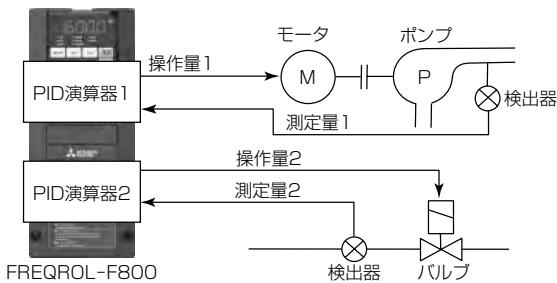


図9. PIDマルチループ機能によるポンプとバルブ制御

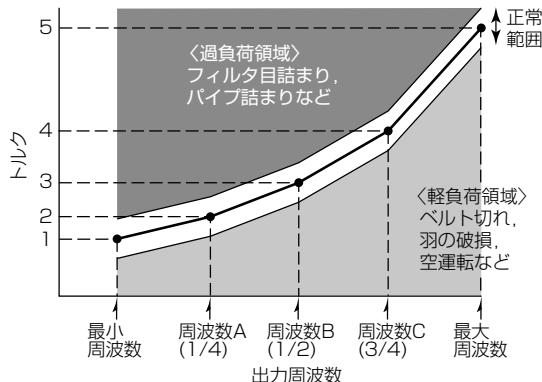


図10. 負荷特性測定機能を用いた異常検知

による温度上昇を検知することができる。また、正常な状態での運転時に記憶しておいた速度とトルクの関係と、現在の速度とトルクの関係とを比較することによって異常を検知する負荷特性測定機能(図10)を搭載している。例えば、ベルト駆動の冷却ファンでは、フィルタ目詰まりやパイプ詰まりはトルクの上昇で、ベルト切れや羽の破損はトルクの低下で検知することができる。

さらに、万が一のトラブル発生時には、保護機能動作直前の出力周波数などの状態データを内蔵RAM(Random Access Memory)に記憶するトレース機能を活用可能である。記憶したデータをUSBメモリを介して外部パソコンに読み出すことで、迅速な原因解析ができる。

## 4. むすび

ものづくりを支えるコントローラ、ネットワーク、エンジニアリング環境、サーボシステム、CNC、汎用インバータなどのFA制御機器の技術動向について述べた。市場の変化に迅速に対応できる柔軟な生産システムの構築に貢献するために、今後もより高性能で使いやすい製品の研究開発を行っていく所存である。

## 参考文献

- (1) 小山健一：FAコントローラ・駆動制御機器の最新技術動向、三菱電機技報、88, No. 4, 220~224 (2014)
- (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)

志水義信\*  
甲斐啓文\*  
矢木孝浩\*

# 三菱シーケンサ “MELSEC iQ-Rシリーズ”

*Mitsubishi Sequencer "MELSEC iQ-R Series"*

Yoshinobu Shimizu, Hirofumi Kai, Takahiro Yagi

## 要 旨

近年の製造業では、製品の高性能化に伴う生産設備の複雑化が進み、生産性の低下のほか、設備の導入・保守コストが増大している。さらに生産拠点の海外移転が進む中、顧客(SI(System Integrator)など)が作成した生産設備の制御プログラムの盗用問題が顕著化してきており、制御プログラムを保護するためのセキュリティ対策も重要な要素になっている。これらの課題を解決するため、機能・性能の飛躍的向上や開発・保守工数の劇的な削減、セキュリティ強化を図る三菱シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”を開発した。主な特長を次に示す。

### (1) 生産性向上

MELSEC iQ-Rシリーズ専用に開発したシステムバスによってユニット間データ転送性能を従来比約40倍の高速化を図った。また、シーケンス演算用LSIで実現したCPUユ

ニットの演算処理性能向上によって命令処理時間をPC MIX値で従来比約7倍の高速化を図り生産性向上を実現する。

### (2) メンテナンス性向上

システムの稼働率向上のため、設備・機器の稼働状況や操作履歴・エラー履歴等のデータを収集し、予期せぬトラブルが発生した際の早期復旧に対応する様々なメンテナンス機能によって、ダウンタイムの短縮に貢献する。

### (3) セキュリティ機能強化

シーケンサに格納する制御プログラム等の技術(ノウハウ)を保護するためのセキュリティキー認証や、制御システムへの不正アクセスを防止するIP(Internet Protocol)フィルタなどのセキュリティ機能によって、設備の模造品の製造や制御プログラムの不正流用を防止する。



## MELSEC iQ-Rシリーズ

新たに開発したMELSEC iQ-Rシリーズは、従来シリーズである“MELSEC-Qシリーズ”に対して、演算性能やシステムバス性能を向上し生産性向上を図っている。また、簡単メンテナンス機能によるダウンタイム短縮と保守コスト削減のほか、顧客の技術(ノウハウ)を保護する強力なセキュリティ機能を備えている。

## 1. まえがき

近年の製造業では、製品の高性能化に伴う生産設備の複雑化が進み、設備の導入・保守コストが増大している。また、従来のタクトタイム向上や製品サイクル短縮化に伴う変種・変量生産への柔軟な対応が求められている。

このような状況に対し、三菱電機では“e-F@ctory”を提唱し、機種間連携による制御の高速化と使い勝手の向上(横連携：“iQ Platform”)及び情報システムと生産現場の情報連携(縦連携)によって、TCO(Total Cost of Ownership)削減を実現してきた<sup>(1)</sup>。更なるTCO削減を実現するために、iQ Platformの中核を担う当社シーケンサを更に進化させたMELSEC iQ-Rシリーズを開発した。

MELSEC iQ-Rシリーズでは、セキュリティ機能の強化も図っており、本稿では、これらMELSEC iQ-Rシリーズの特長及び適用した技術について述べる。

## 2. MELSEC iQ-Rシリーズの特長

MELSEC iQ-Rシリーズの主な特長について次の3つの観点から述べる。

- (1) 生産性向上
- (2) メンテナンス性向上
- (3) セキュリティ機能強化

MELSEC iQ-Rシリーズは、システムバス性能向上とCPUユニットの命令処理性能向上によって生産性向上を図るとともに、異常発生時の原因調査を加速する機能や、外部機器からのラベルアクセス機能等によるメンテナンス性向上を図っている。さらに、セキュリティ機能の強化も行っている。

### 2.1 生産性向上

タクトタイムの大幅な短縮を実現するため、MELSEC-Qシリーズのシステムバスを一新し、システムバスの伝送性能を従来の30Mbpsから3Gbpsに高速化を図った。システムバスの高速化によって、ネットワークユニットとのデータ処理は、Qシリーズ比40倍の高速化を実現した。また、マルチCPU間に専用の高速バスを設けることで、シーケンサCPUとモーションCPU間のデータ交換周期を888μsから222μsに高速化を図った。

CPUユニットの主な命令処理時間を表1に示す。PC MIX値<sup>(注1)</sup>で419命令/μsと、Qシリーズ比約7倍の高速化を実現するため、シーケンス演算用LSIを開発し、シーケ

表1. CPUユニットの主な命令処理時間

命令種別	MELSEC iQ-Rシリーズ	MELSEC-Qシリーズ
接点命令	0.98ns	9.5ns
データ転送命令	1.9ns	19.0ns
浮動小数点演算	9.8ns	57.0ns
ST言語(IF命令)	8 ns	1,400ns
PCMIX値	419命令/μs	60命令/μs

ンス制御に最適化した多段パイプライン、データキャッシュ等の技術を搭載した。また、ST(Structured Text)言語やFB(Function Block)の実行方式の革新によって、演算性能を大幅に向上させた(ST言語の判断処理(IF)命令の処理時間はQシリーズ比175倍の高速化)。

これら高速化によって、生産設備のタクトタイムを短縮し、生産性向上を実現する。

(注1) 1μsで実行する基本命令やデータ処理などの平均命令数。数値が大きいほど処理が速い。

### 2.2 メンテナンス性向上

MELSEC iQ-Rシリーズでは、生産ラインの稼働率向上のため、トラブル発生時の早期復旧に対応する様々なメンテナンス機能を備えることで、ダウンタイムの短縮を実現する。MELSEC iQ-Rシリーズで新たに搭載する主なメンテナンス機能を表2に示す。

表2のNo.1~3の機能によって、障害発生時の状況を正確に把握できるため、早期原因究明が可能となる。表2のNo.4のラベルアクセス機能では、GOT(Graphical Operation Terminal)等の外部機器からシーケンサのデバイスを参照する際、参照先のデバイスを割り付けた変数名(ラベル)を指定することができる。これによって、シーケンサ側でデバイスの割り付けが変更された場合でも、外部機器側はラベルとして参照しているため、外部機器側のプログラムを変更することなくデバイスの変更に追従可能であり、メンテナンスコストを削減できる。

### 2.3 セキュリティ機能強化

シーケンサに格納している制御プログラム等の顧客の技術(ノウハウ)はパスワード認証で保護することが一般的だが、パスワードは漏洩(ろうえい)した場合に漏洩範囲が特定できないなどの課題がある。MELSEC iQ-Rシリーズでは、エンジニアリングツール、制御プログラム及びシーケンサのそれぞれにセキュリティキーを登録し、セキュリティキーが一致しないエンジニアリングツールからは、制御プログラムの閲覧・編集を制限するため、顧客の技術の漏洩を防止することができる。また、制御プログラムを実行する際もセキュリティキーが一致しないシーケンサ上では制御プログラムの実行を制限するため、不正コピーによる模倣品製造を防止することができる(図1)。

表2. MELSEC iQ-Rシリーズの主なメンテナンス機能

No.	機能	概要
1	イベント履歴機能	顧客の操作履歴を従来のエラー履歴の情報とともに確認可能
2	メモリダンプ機能	システム異常発生時に、全てのデバイスデータを一括でSDカードに自動保存
3	リアルタイムモニタ機能	監視したいデバイスの現在のデータを波形表示でリアルタイムに確認可能
4	ラベルアクセス機能	外部機器から変数名(ラベル)によるシーケンサへのアクセスを実現

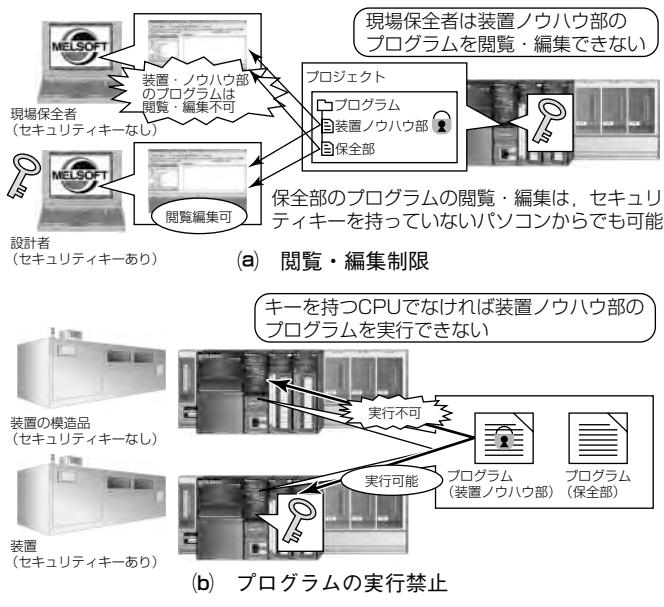


図1. セキュリティキー認証

### 3. 特長実現のための技術

MELSEC iQ-Rシリーズの開発で、2章で述べた特長の実現のために適用した技術について述べる。

#### 3.1 生産性向上の実現に適用した技術

##### 3.1.1 システムバス性能向上

MELSEC iQ-Rシリーズのシステムバスは、伝送速度 3 Gbps の高速シリアルバスを採用した。この伝送速度は、ノイズの多い工場内で長期安定動作が求められる FA 分野では、例のない技術領域であり、伝送設計手法の確立が重要であった。そこで、次に述べる 2 つの設計手法の確立を図った。

###### (1) 基板伝送設計手法

図2に示すような伝送路の構成で高速信号伝送 3 Gbps を実現するため、高速信号に対する基板伝送設計手法を確立した。具体的には、配線長の制約やクロストーク干渉を抑制する配線間隔など、配線設計に対する制約事項を伝送路シミュレーションから得て、伝送設計手法の確立を図った。

伝送路シミュレーションでは、解析精度がポイントとなる。解析精度向上のため、伝送路のモデル化に当たり、ASICパッケージ、バスコネクタ及びベース基板上等に設ける基板ビアは、三次元電極構造に基づいて電磁界解析を実施し、伝送特性を抽出することによって実物に近い各伝送部のモデル化を図った(図3)。

モデル化した各伝送部を図4に示す解析系に用いて伝送路シミュレーションを行い、各ユニット共通部分となる基板設計(バスコネクタからの引き出しパターンやパッドサイズ、ビア仕様、配線長、配線幅、配線間隔及び層構成)について最適値を見いだし、高速伝送のための最適な配線設計値を基準化することで、基板伝送設計手法を確立した。

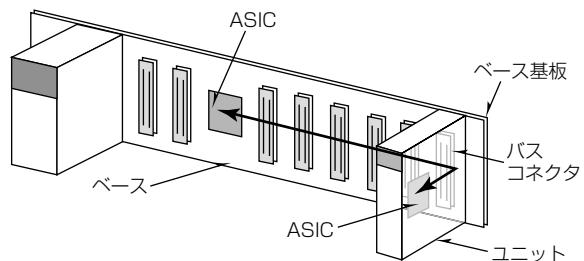


図2. シーケンサシステム

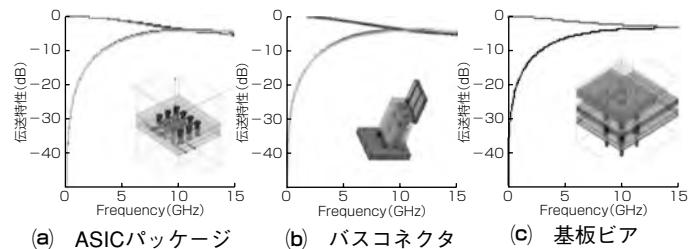


図3. 伝送路モデル

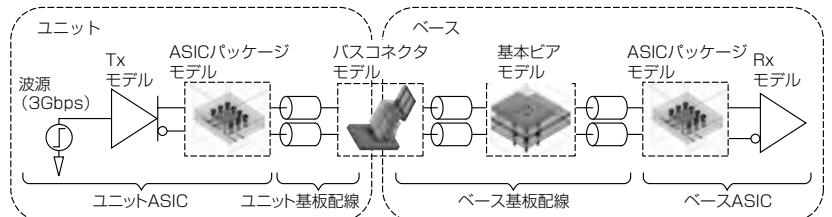


図4. 伝送路シミュレーションの解析系

###### (2) 増設ケーブルを用いた長距離伝送設計手法

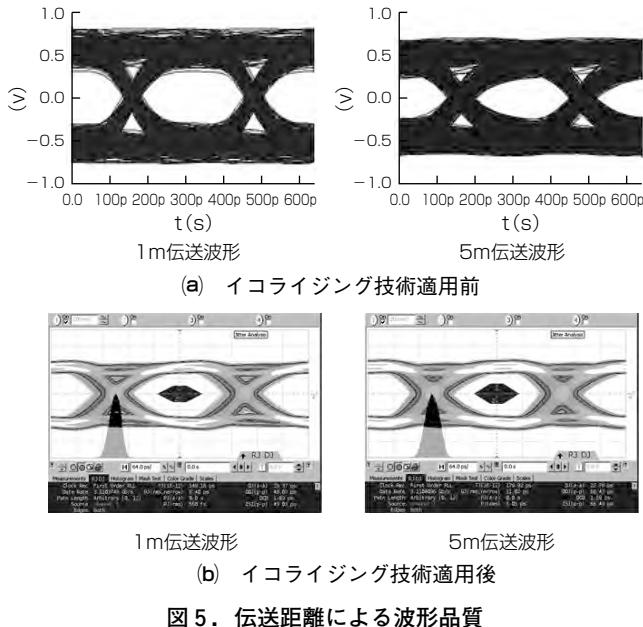
MELSEC iQ-Rシリーズは、MELSEC-Qシリーズ同様に多段接続を可能としているため、増設ケーブルを介した波形品質確保も重要なとなる。

MELSEC iQ-Rシリーズのケーブル長 5 m の増設ケーブルを接続した場合、ケーブルの伝送損失が大きくなり、波形品質が確保できなくなる(図5)。そのため、イコライジング技術を用いて、伝送路の伝送損失を補償し、波形品質劣化の改善を図っている。

また、新規開発した増設ケーブルのケーブルとコネクタとのアセンブリ加工の際、各対シールドの剥がし方やはんだ付けの方法など、加工精度によって伝送特性に影響が生じるため、伝送特性の測定及び波形解析を行い、伝送特性を劣化させない最適なアセンブリ加工方法を実現することで、増設ケーブルを介した高速伝送を可能とした。

###### 3.1.2 演算性能向上の実現に適用した技術

従来のQシリーズでは、ST言語のIF文の分岐動作をソフトウェア命令(分岐処理(JMP)命令等)で実現していたため、命令実行時にオーバーヘッド時間がかかる。また、このJMP命令では、分岐先をポインタ用デバイスで指定するため、その分、顧客が使用できるポインタ用デバイスが減るという課題があった。MELSEC iQ-Rシリーズでは、IF文の分岐動作を専用のハードウェア命令(IF命



令等)で実現することによって、プログラムのステップ数と処理時間の大幅な短縮を実現した(IF命令の処理時間はMELSEC Qシリーズ比175倍の高速化)。また、このIF命令では、分岐先の指定にポインタ用デバイスを用いないため、使用デバイス点数を意識せずにIF文を使用することができる。従来のQシリーズとMELSEC iQ-RシリーズにおけるIF文のマシンコードへの変換例を図6に示す。また、同様に従来ソフトウェア命令で実現していたFBの呼び出し処理に専用のハードウェア命令を用いることによって、FB呼び出し時の実行時間の削減を実現した。

### 3.2 メンテナンス性向上の実現に適用した技術

2.2節で述べたように、メンテナンス性向上のため、外部機器からシーケンサへのラベルアクセス機能を搭載している。この機能は、シーケンサがラベル名による問合せに対し、内蔵データベースに格納したラベルデバイス対応情報を参照し、ラベル名に対応するデバイスの値を応答することで実現している(図7)。しかし、ラベル名から対応するデバイス情報を取得するためにデータベースを検索する処理に時間がかかるため、問合せの都度データベースを検索する方式では、システムで要求される性能スペックを満たせない可能性がある。そこで、初回問合せ時に取得したデバイス情報を外部機器側で保持し、2回目以降の問合せ時には、保持しているデバイス情報で問合せを行うことによって、2回目以降はデータベースを検索する負荷をなくすことができる。当社GOTは、この機能を標準搭載することによって、ラベルによるシーケンサへのアクセスで、従来のデバイスによるアクセスと比較して性能を損なうことなく、メンテナンス性向上を実現した。

### 3.3 セキュリティ機能強化の実現に適用した技術

2.3節で述べたセキュリティキー認証の実現で、拡張SRAMカセットに専用チップを搭載することによって、

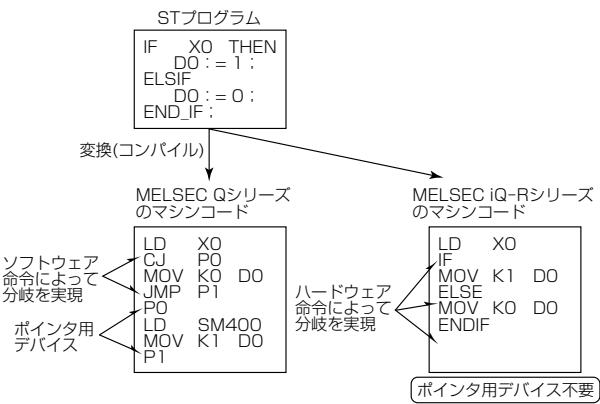


図 6. STプログラム(IF文)のマシンコードへの変換例

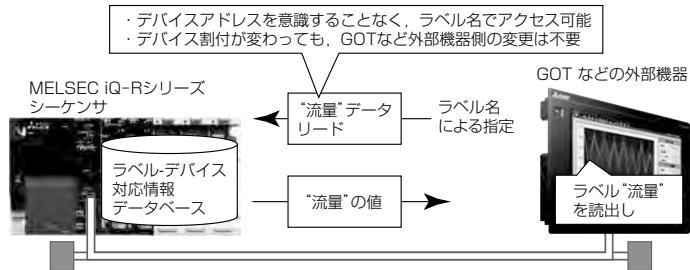


図 7. 外部機器からのラベルによるアクセス

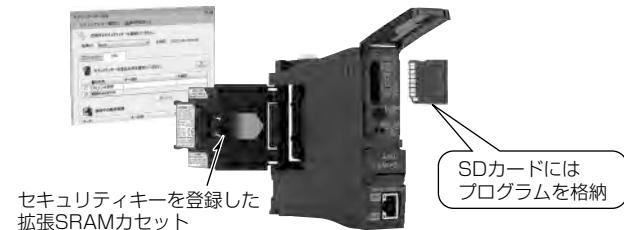


図 8. 拡張SRAMカセットによるセキュリティキー認証

シーケンサ本体だけでなく拡張SRAMカセットにもセキュリティキーを登録できるようにした。これによって、シーケンサ故障による交換時に、拡張SRAMカセットを差し替えるだけで、簡単にシーケンサにセキュリティキーを登録可能となる。さらに、拡張SRAMカセットと併用して、SDカード(又はGOT)にセキュリティキーを登録した制御プログラムを格納することで、セキュリティを保ったままプログラミングツールなしにシーケンサを交換することができる(図8)。これらによって、セキュリティ機能強化と利便性の両立を実現した。

## 4. むすび

MELSEC iQ-Rシリーズの特長とそれらを実現するためには用いた技術について述べた。今後も、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

- 森田英昭：FA用コントローラの技術革新と適用分野拡大，三菱電機技報，88，No.9，508～513（2014）

# MELSEC iQ-RシリーズC言語コントローラ スタンダードモデル“R12CCPU-V”

渡部裕史\*  
水野 浩\*

*MELSEC iQ-R Series Standard Model C Controller Module*

Hiroshi Watanabe, Hiroshi Mizuno

## 要 旨

製造ラインでは、シーケンサだけではなく、パソコンやマイコンボード等が各種制御装置や情報処理に使用されており、採用機種／部品の生産中止・OSの改廃に伴う維持管理コストの増大などが課題となっている。

C言語コントローラは、それらの課題を解消した、リアルタイムOS(Operating System)VxWorks<sup>(注1)</sup>上でC言語プログラミングによって各種処理を実現する製品である。しかしながら、現行のC言語コントローラでは高度なリアルタイム性や制御精度を必要とするマイコンボードの置き換えができないケースがある。また、市場ではコントローラの高性能化による生産性向上(タクトタイムの短縮等)のニーズが高まっている。

今回、従来のシーケンサ“MELSEC Qシリーズ”から“MELSEC iQ-Rシリーズ<sup>(注2)</sup>”へとプラットフォームを刷

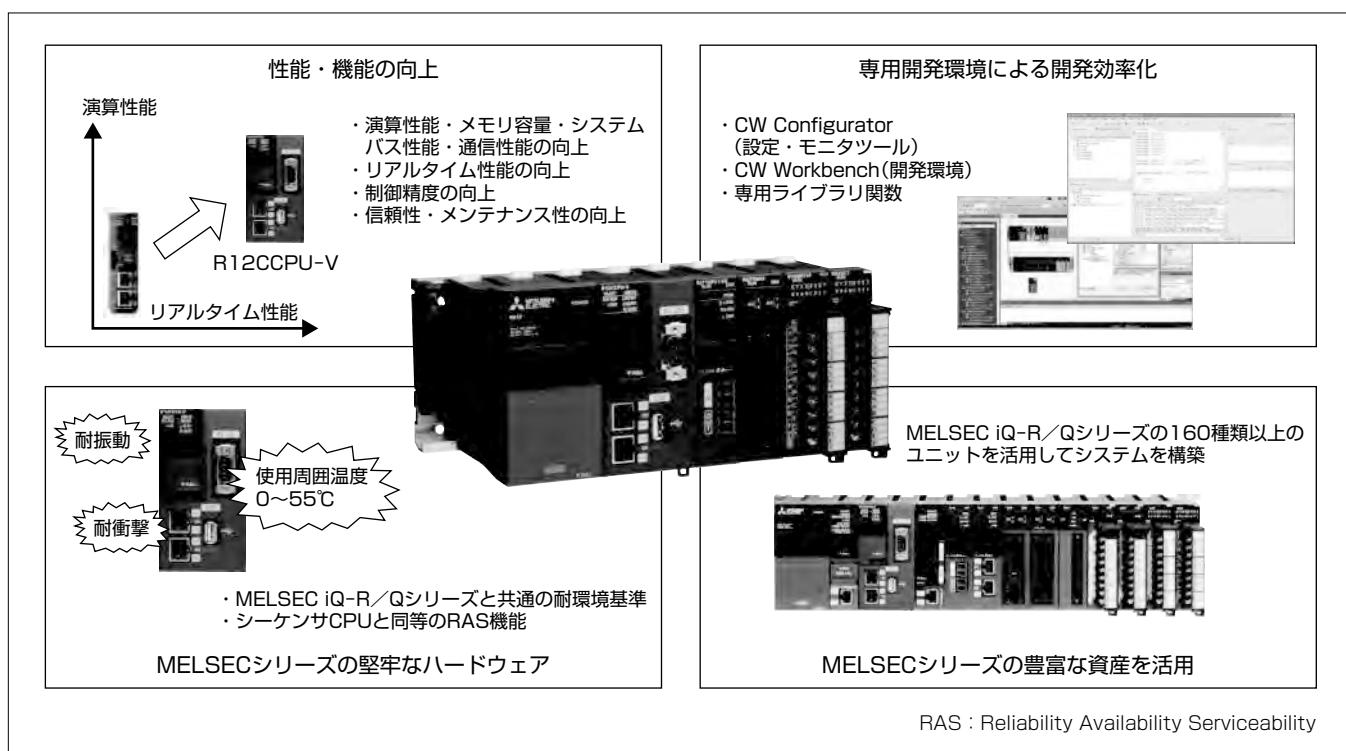
新し、C言語コントローラ“Q12DCCPU-V”的後継機種として、制御性能・機能の強化を図ったMELSEC iQ-RシリーズC言語コントローラスタンダードモデル“R12CCPU-V”的開発を行った。この製品は、従来のC言語コントローラの課題を解決するため、次の特長を備える。

- (1) 演算性能・メインメモリ容量・システムバス性能・通信性能の向上
- (2) リアルタイム性能の向上
- (3) 制御精度の向上
- (4) 信頼性・メンテナンス性の向上

本稿では、今回開発したR12CCPU-Vについて述べる。

(注1) VxWorksは、Wind River Systems, Inc. の登録商標である。

(注2) 2014年6月に発売開始した三菱シーケンサの新シリーズである。新開発した高速バスシステムやエンジニアリングツールによって、製造業におけるTCO(Total Cost of Ownership)削減を実現する。



## MELSEC iQ-RシリーズC言語コントローラスタンダードモデル“R12CCPU-V”的特長

新たに開発したR12CCPU-Vでは、従来機種であるQ12DCCPU-Vに対して、演算性能、メインメモリ容量、システムバス性能、通信性能、リアルタイム性能、制御精度、信頼性、メンテナンス性を向上させた。また、従来機種と同様に、専用開発環境による開発効率化、MELSECシリーズの堅牢なハードウェア、MELSECシリーズの豊富な資産の活用といった特長を備えている。

## 1. まえがき

パソコンやVME(Versa Module Eurocard)ボードに代表されるマイコンボードを使用している製造現場では、採用機種／部品の生産中止・OSの改廃に伴う維持管理コストの増大が課題となっており、今までに開発したC言語の資産を活用しつつ長期安定供給・高信頼な汎用コントローラに置き換えるという要求が高まっている。このような要求に対し、三菱電機では米国ウインドリバーシステムズ社のリアルタイムOS VxWorksを標準搭載したC言語コントローラ“Q06CCPU-V”的2006年発売を皮切りに、表1に示すように、市場ニーズに応える形で性能・機能を強化した製品を順次リリースしてきた。

マイコンボードの置き換えには制御性能の優れたQ12DCCPU-Vが、パソコンの置き換えには情報処理性能の優れたQ24DHCCPU-V／VG／LSが採用されてきた。しかしながら、制御用途では現行のC言語コントローラでは性能不足のために、高度なリアルタイム性や制御精度を必要とするマイコンボードの置き換えるできないケースがある。また、市場からはコントローラの高性能化による生産性向上(タクトタイムの短縮等)のニーズが高まっている。

これらの課題を解決するために、従来のMELSEC QシリーズからMELSEQ iQ-Rシリーズへとプラットフォームを刷新し、制御性能・機能の強化を図ったMELSEC iQ-RシリーズC言語コントローラスタンダードモデル

表1. C言語コントローラのラインアップ

発売年	製品形名	特長
2006年	Q06CCPU-V	初代C言語コントローラ MPU: SH-4, メインメモリ: 32MB
2009年	Q12DCCPU-V	iQ Platform対応制御性能強化モデル MPU: SH-4A, メインメモリ: 128MB
2012年	Q24DHCCPU-V	情報処理性能強化モデル MPU: Intel Atom <sup>(注3)</sup> Processor + SH-4A メインメモリ: 512MB
2013年	Q24DHCCPU-LS	Q24DHCCPU-VのOS非搭載モデル (パートナー提供OSを組み込み可能)
2014年	Q24DHCCPU-VG	Q24DHCCPU-Vに表示ポートを搭載したモデル

MPU: Microprocessor Unit

(注3) Intel ATOMは、Intel Corp. の登録商標である。

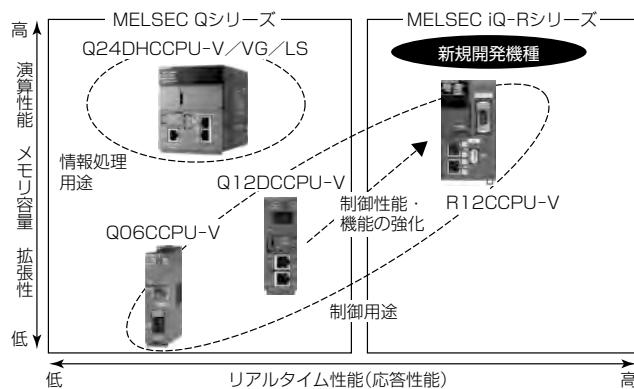


図1. 各製品の位置付け

“R12CCPU-V”的開発を行った。現行製品及び新規開発機種の位置付けを図1に示す。

本稿では、新たに開発したC言語コントローラの特長と、現行製品における課題及び課題解決のためにC言語コントローラに搭載した技術・機能について述べる。

## 2. 現行C言語コントローラの課題

この章では現行のC言語コントローラ“Q12DCCPU-V”が抱える課題について述べる。半導体、FPD(Flat Panel Display)、太陽光パネル等の製造装置では制御性能が重要視されており、これまでリアルタイム性が高く制御性能の優れたQ12DCCPU-Vが数多く採用されてきた。しかし、Q12DCCPU-Vは発売から既に5年が経っており、最新のパソコンやマイコンボードと比べて性能・機能が見劣りしてきている。そのため、次に示す市場からの要求に対応することが困難になってきた。

### 2.1 演算性能・メインメモリ容量・システムバス性能・通信性能の向上

製造装置ではコスト競争力を向上させるために、各工程のタクトタイムの短縮に取り組んでいる。コントローラに對しても処理時間短縮のため、演算性能・メインメモリ容量・システムバス性能・通信性能の強化が求められている。

### 2.2 リアルタイム性能の向上

搬送制御では、リアルタイムOSを搭載したマイコンボードで搬送物のロード／アンロード時の位置決めを行っているケースがある。位置検出後のロード指示や、処理の完了通知からアンロード指示では、数10μs程度で応答する必要があるため、C言語コントローラに置き換える場合は、位置決めユニットからの割り込みによるイベントドリブン型のプログラミングへの対応が求められる。

### 2.3 制御精度の向上

プロセス制御では、製造品質向上のためにマイコンボードを使用して一部の工程の処理時間を均一化しているケースがある。このボードをC言語コントローラに置き換えるためには、I/O制御のジッタ(I/Oの制御指示を呼び出して実際にI/Oが変化するまでのばらつき)を小さくし、制御精度を上げる必要がある。

### 2.4 信頼性・メンテナンス性の向上

製造装置で、生産ラインの稼働率向上は重要なファクタになっており、使用するコントローラへの信頼性向上や、トラブル発生時の早期復旧によるダウンタイム短縮が求められている。

## 3. 新C言語コントローラの仕様と特長

2章の課題を解決するため、MELSEC iQ-RシリーズC言語コントローラスタンダードモデル“R12CCPU-V”を新たに開発した。まずはこの章で仕様と特長を述べ、2章の

課題に対する改善内容を4章で述べる。

### 3.1 仕様

R12CCPU-Vの仕様を表2に、外観を図2に示す。

### 3.2 MELSECシリーズの堅牢なハードウェア

C言語コントローラは、MELSEC iQ-R/Qシリーズの他のユニットと共に耐環境性を持ち、耐久性の低いファンも使用しない。また、シーケンサCPUと同等のRAS機能を持つため、パソコンやマイコンボードを使用したシステムよりも高信頼かつ堅牢なシステムを構築することができる。

### 3.3 MELSECシリーズの豊富な資産を活用

C言語コントローラは、MELSEC iQ-RシリーズのCPUユニットであり、MELSEC iQ-R/Qシリーズの実績ある160種類以上の豊富なユニットを活用してシステムを構築できる。また、シーケンサCPUやモーションCPUとのマルチCPUと連携した高精度な制御や、CC-Link IEによる情報系から生産現場までのシームレスな高速通信が実現可能である。

表2. R12CCPU-Vの仕様

項目	仕様
シリーズ	MELSEC iQ-Rシリーズ
MPU	ARM Cortex <sup>(注4)</sup> -A9(2コア)
メインメモリ	DDR3-SDRAM 256MB
標準ROM	12MB
バックアップRAM	4 MB
通信インターフェース	RS-232:1ch Ethernet <sup>(注5)</sup> :10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T:2ch
外部メモリインターフェース	SD/SDHC
OS	VxWorks 6.9(出荷時組み込み済)
プログラミング環境	CW Workbench, CW Configurator, Wind River Workbench 3.3(Wind River Systems, Inc. 製)
プログラミング言語	C, C++

DDR3-SDRAM : Double Data Rate 3-Synchronous Dynamic Random Access Memory

(注4) Cortexは、ARM Ltd. の登録商標である。

(注5) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

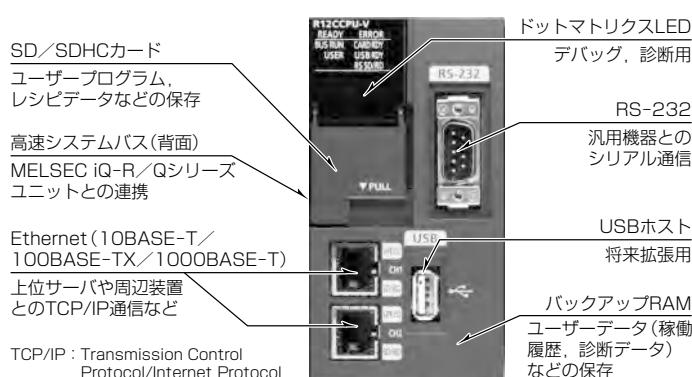


図2. R12CCPU-V



図3. CW Configuratorの画面

### 3.4 専用開発環境による開発効率化

顧客の開発効率向上のため、次に述べるC言語コントローラの専用開発環境を提供している。

#### (1) CW Workbench(プログラミングツール)

CW Workbenchは、ユーザーアプリケーションのプログラミングを行うためのツールである。ウインドリバーシステムズ社のOEM(Original Equipment Manufacturing)製品となり、従来高価であった組み込みシステム開発環境を、低コストで導入することが可能となっている。プログラム編集からコンパイル、ソースコードデバッグまでの基本機能を備えており、アプリケーションを容易に構築可能である。

#### (2) CW Configurator(設定・モニタツール)

C言語コントローラ自身の設定やC言語コントローラユニットが管理するネットワークユニットやインテリジェント機能ユニットをプログラムレスで設定できるツールである。またC言語コントローラで発生したエラーやユーザー-applicationで発生したイベント履歴の確認、ネットワーク診断によるケーブル断線や通信状態などの確認をする診断機能を備えている(図3)。さらに、各装着ユニットの状態のモニタデータ入力による簡易デバッグや動作確認が可能である。このツールによってシステムを容易に構築・保守することが可能となり、開発コストを削減できる。

#### (3) 専用ライブラリ関数

C言語コントローラユニットの制御やMELSEC iQ-R/Qシリーズの各種ユニットにアクセスするための専用ライブラリ関数を提供している。これによってハードウェアを意識することなく、関数をコールするだけでユニットに簡単にアクセスすることができる。ユニットアクセスのためのドライバ開発は不要であり、ドライバ開発に必要な開発コストを削減できる。

### 4. 新C言語コントローラの技術と機能

この章では、2章で述べた課題を解決するために、新たなC言語コントローラに搭載した技術と機能について述べる。以下Q12DCCPU-Vを“従来機種”，R12CCPU-Vを“新機種”という。

#### 4.1 演算性能・メインメモリ容量・システムバス性能・通信性能の向上

##### (1) 演算性能の向上

MPUは高速な演算処理を可能とするため、ARM Cortex-A9(2コア)を採用した。動作周波数・コア数ともに従来機種の2倍となり、演算処理時間の大幅な短縮を実現した。

##### (2) メインメモリ容量の向上

メインメモリには従来機種に比べてアクセス速度2.4倍、容量2倍のDDR3-SDRAMを採用し、プログラム及び大容量データの高速処理を可能にした。

##### (3) システムバス性能の向上

MELSEC iQ-Rシリーズの特長である高速システムバスを搭載し、図4に示すようにMELSEC Qシリーズの従来機種と比較して、CPUユニット間のデータ更新周期を1/4に、各ユニットへのアクセス速度を約40倍に向上した。この高速システムバスによって、C言語コントローラとモーションCPUの連携速度が上がり、より精度の高い駆動制御が実現可能となった。また、各ユニットへのアクセスを高速化することで、システム全体の処理時間を短縮し、タクトタイムの短縮を図っている。

#### (4) 通信性能の向上

従来2ch搭載しているEthernetポートについては、従来機種では最大100Mbpsであった通信速度を最大1Gbpsに高速化した。通信速度向上によって、周辺装置から収集した大容量のデータを随時上位システムに送信してより高度な生産管理を行うことで、生産性・製造品質を向上させることができるとなる。

#### 4.2 リアルタイム性能の向上

MELSEC iQ-Rシリーズでは、インテリジェント機能ユニットがイベントを検知した際に、インテリジェント機能ユニットからC言語コントローラユニットへ割り込み通知を行える機能を追加し、マイコンで一般的なイベントドリブン型のプログラミングに対応した。これによって、従来のポーリング方式で生じていたポーリング周期のジッタが削減されるため、高いリアルタイム性が要求される搬送制御等へのC言語コントローラ適用が可能となる。

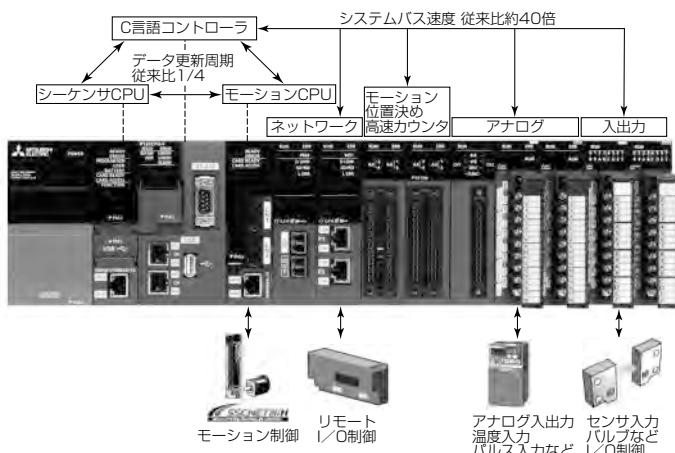


図4. システムバス性能向上のイメージ図

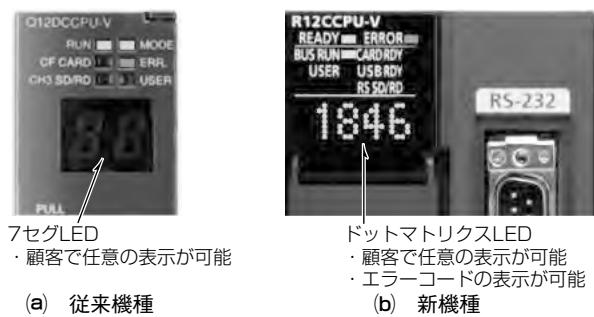


図5. LED表示機能の比較

#### 4.3 制御精度の向上

OSは2コアのMPUに対応しており、タスク及び割り込みごとにどちらのコアで処理するか選択することができる。処理タイミングが重要な特定の処理を常時一方のコアに割り付けることから、安定した処理タイミングで実行することが可能となる。この仕組みによってI/O制御のジッタを少なくすることで、高い制御精度が要求されるプロセス制御等へのC言語コントローラの適用が可能となる。

#### 4.4 信頼性・メンテナンス性の向上

##### (1) ハードウェアECCの搭載

メインメモリであるDDR3 SDRAM及びMPUや各ICの内蔵メモリにハードウェア ECC(Error Checking and Correction：1ビットエラーの検出・自動訂正、2ビット以上のエラー検出)を搭載することで信頼性を向上させ、製造装置の動作異常によるダウンタイムを削減する。ハードウェアECCではECC符号の生成、照合処理を専用回路で実施することによって、アクセス性能を低下させることなく信頼性の向上を実現している。

##### (2) ドットマトリックスLEDによるエラー表示

従来機種では顧客(ユーザープログラム)が任意に表示可能な2桁の7セグLEDを搭載していたが、新機種では縦7×横20のドットマトリックスLEDを搭載し表現力を向上させた(図5)。また、表示内容は、顧客(ユーザープログラム)による任意表示に加え、C言語コントローラで発生しているエラーコード表示を選択できる動作選択モード機能を搭載した。エラーコードの表示によって、診断ツールを接続せずにエラー要因を特定することができるため、装置のダウンタイムを短縮することができる。

##### (3) バッテリー交換不要

従来機種ではバックアップRAMにSRAM(Static Random Access Memory)を採用していたが、新機種では電源OFF時にバッテリーレスでデータ保持が可能なMRAM(Magnetoresistive RAM)を採用したため、従来機種では数年ごとに必要であったバッテリー交換が不要となり、バッテリー交換に伴うメンテナンスコストを削除できる。

## 5. むすび

C言語コントローラの課題とMELSEC iQ-RシリーズC言語コントローラスタンダードモデル“R12CCPU-V”による対応について述べた。MELSEC iQ-Rシリーズに新C言語コントローラを製品ラインアップに追加したことによって、顧客は更なるタクトタイムの短縮・歩留まりの改善・稼働率の向上が図れるようになる。

今後も顧客からのニーズを忠実に反映し、使い勝手と付加価値の向上を目指した製品開発を実施し、“進化と継承”というコンセプトに従ったコントローラを創りあげてゆく所存である。

# “MELSEC iQ-Rシリーズ” サーボシステムコントローラ

大野宏幸\*  
安藤友典\*  
末松圭司\*

MELSEC iQ-R Series Servo System Controller

Hiroyuki Ono, Tomonori Ando, Keiji Suematsu

## 要旨

生産システムが大規模・複雑化する一方、生産にかかるTCO(Total Cost of Ownership)削減、設備のタクトタイム短縮や稼働率の向上は、今までに増して重要になってきている。このような市場環境に応えるため、三菱電機のサーボシステムコントローラは、プラットフォームを刷新した“MELSEC iQ-Rシリーズ”に対応した。その特長を次に示す。

- (1) ユニット間バスの高速シリアル化によってデータ授受を大幅に高速化するとともに、モーション処理タイミングを同期する仕組みを導入。よりきめ細かで精度が高いモーション制御と、大規模多軸同期システムを両立した。
- (2) 処理エンジンをSoC(System on Chip)化して高速化とコスト低減を両立。SDメモリカードにも対応し、大量

のレシピデータや生産情報ログによって多品種生産への対応やデータトレースを強化した。

- (3) ファンクションブロック(FB)やアドオン機能などで、アプリケーションプログラムを部品化、パッケージ化する仕組みを導入。装置立ち上げ工数削減に貢献する。
  - (4) エンジニアリングソフトウェアは、シーケンサCPU用ソフトウェア“GX Works3”だけで多彩なモーション制御を設定できる機能を搭載。操作性も統一して大幅に使い勝手を向上した。
- これらの機能・性能の向上によって、この製品はこれまでのサーボシステムコントローラの集大成ともいべき製品となっている。



MELSEC iQ-Rモーション  
CPUユニット  
R16MTCPU/R32MTCPU



MELSEC iQ-Rシンプル  
モーションユニット  
RD77MS2/RD77MS4/  
RD77MS8/RD77MS16



MELSEC iQ-Rシリーズ



MT Works2の画面

## MELSEC iQ-RモーションCPUユニットとシンプルモーションユニット

当社サーボシステムコントローラは、大別してモーションCPUユニットとシンプルモーションユニットの2種類がある。MELSEC iQ-Rシリーズでは高速バスに対応し、新開発の高速SoCによって従来の“MELSEC Qシリーズ”よりも1.8倍から4倍の高速化を実現し、MELSEC Qシリーズとインターフェースを共通化しつつ高機能化した。“MELSERVO J4シリーズ”やGX Works3、MT Works2との組合せで生産性向上の最大化ソリューションを提供する。

## 1. まえがき

当社のサーボシステムコントローラは、MELSEC Qシリーズ(以下“Qシリーズ”という。)でのマルチCPUシステムによる分散制御(2000年), “iQ Platform”でのCPU間通信高速化(2007年), 位置決め機能と同期制御のシームレス化(2010年), ACサーボMELSERVO J4シリーズ対応(2012年)などによって進化を続けてきた。

また、大規模システム向けのモーションCPUユニットと中～小規模システム向けのシンプルモーションユニットの2種類のコントローラをラインアップし、それぞれの特長を持って発展してきた(図1)。

モーションCPUユニットはシーケンサCPUユニットと組み合わせた当社独自のマルチCPUシステムを構成しており、モーション制御とシーケンス制御を各CPUユニットに負荷分散させることで、安定したシーケンス制御と高精度かつ高応答のモーション制御を両立させている。さらに、ユーザーはソフトウェアのバージョンアップによって新たに追加された新機能を利用できる。

また、シンプルモーションユニットは、シーケンサCPUユニットで直接制御できる位置決めユニットの使いやすさをそのまま継承しつつ、同期制御や速度・トルク制御を可能としたことによって高機能化した。高度なモーション制御を手軽に実現できる点で市場から高い評価を得ている。

このような2種類の製品構成によって、市場の様々な要求に応えてきたが、近年の装置制御の高度化・装置開発期間の短期化によって、次に示す市場の要求も顕在化している。

- (1) モーション演算処理の更なる高応答化の実現、及び制御データの複雑化・大容量化への対応
- (2) シーケンサCPUユニットとの協調制御のためのデータ交換のレイテンシ低減とスループット向上

(3) 制御内容(アプリケーションプログラム)の標準化・パッケージ化

(4) 実機やパソコンがない環境でのデバッグ容易性向上

これらの課題に取り組むため、MELSEC iQ-Rシリーズでは新開発のSoCの搭載、高速システムバスやSDメモリカードへの対応、ファンクションブロック(FB)やアドオン機能によるアプリケーション標準化の仕組みを構築した。さらにエンジニアリングソフトウェアではシミュレーション機能やデータトレース機能を充実化した。

本稿ではそれぞれの概要及び特長について述べる。

## 2. ハードウェア

### 2.1 新開発SoC採用による基本性能向上

新規開発したSoCの高速化した演算コアによってモーション演算周期は従来のQシリーズのモーションCPUユニット“Q173CPUN”比4倍，“Q173DCPU”比1.8倍を実現した。また、サーボネットワーク“SSCNET III/H”に対応した通信制御部をSoCに内蔵することによって部品点数を減らすとともに、低発熱設計によってヒートシンクやファンが不要な自然空冷としている。

### 2.2 バスの高速化とノイズ対応

一方、システムバスの伝送速度を3Gbpsとすることで、ユニット間のデータ交換をQシリーズの40倍に高速化した。さらにマルチCPU間専用の定周期通信バスも4倍の高速化を果たした。さらに、各ユニット間でのクロック同期の仕組みを導入することによってモーションCPUユニットはもとより複数のシンプルモーションユニットを使用して大規模なモーション同期システムを構築することも可能とした。

なお、これらの高速動作と通信を実現する回路の実現には、EMC(電磁両立性)との両立が必要となる。この課題に対しては、基板設計時の電源、GND(GrouND)パターン

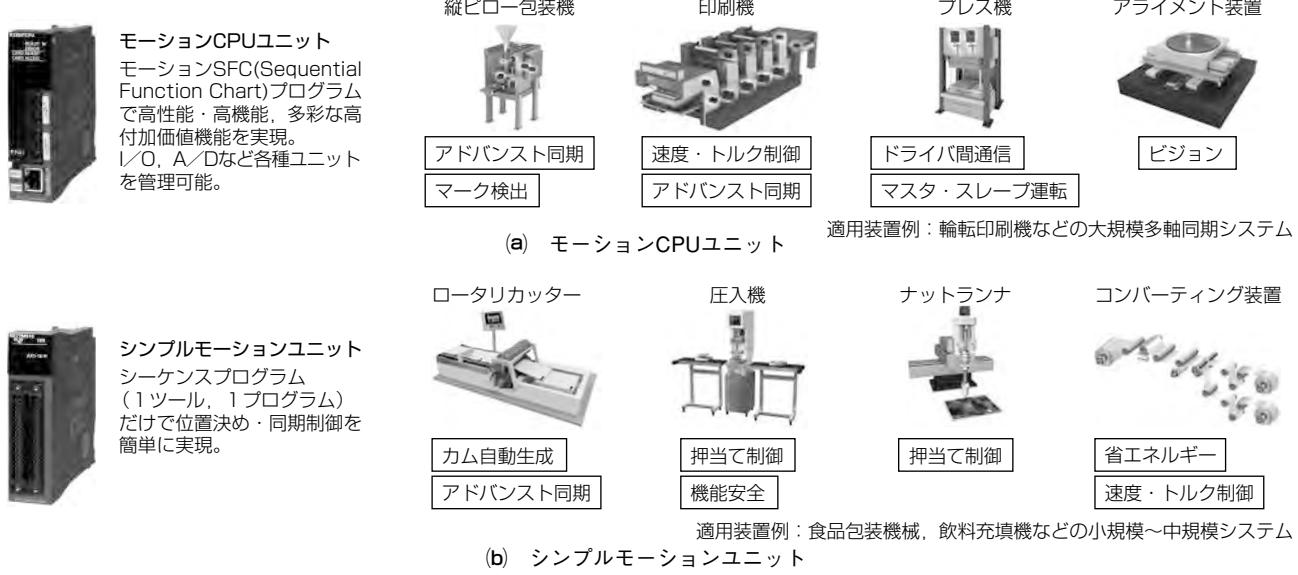


図1. サーボシステムコントローラの種類と用途

のプレーン共振シミュレーションを代表としたフロントローディング設計による適切なパターン・部品配置設計によって、外部からのノイズの影響・不要輻射(ふくしゃ)の低減と高速動作の両立を図った。

## 2.3 その他の機能向上

不揮発メモリとしてFRAM(強誘電体メモリ)を採用し、機械の原点情報などの停電保持用に従来必要であったバッテリーを不要とした。これによって、定期的なバッテリー交換を不要としてメンテナンス性を向上させた。また、モーションCPUユニットはSDメモリカードスロット、ドットマトリックスディスプレイの採用によって、大容量データの扱いや視認性が大幅に向上了。

## 3. ソフトウェア

### 3.1 ユニット間の連携強化

バスアーキテクチャの刷新に伴い、各ユニット間の制御上の連携を強化した。CPUユニット間の連携では、例えば従来機種では、位置決め用プログラムをモーションCPUユニットにあらかじめ書き込んでおく必要があり、プログラミングが煩雑・柔軟性に欠けるという問題があったが、システムバスの速度向上によって、シーケンサCPUユニットからダイレクトに位置決めデータの指令が可能となった。これによって位置決め制御をシーケンサCPUユニットから直接コントロールでき、制御の柔軟さが向上するとともにファンクションブロック(FB)活用によるプログラミング容易化を実現した。

また、装置の高速・高精度化には、サーボ制御とI/O制御、さらにはシーケンスプログラムの実行タイミングの同期が欠かせない。QシリーズではCPUユニット間に限定していた同期クロックの伝達を、システム全体に分配する仕組みを新たに取り入れ、タイミング管理したより高度な制御を行うことが可能となった。

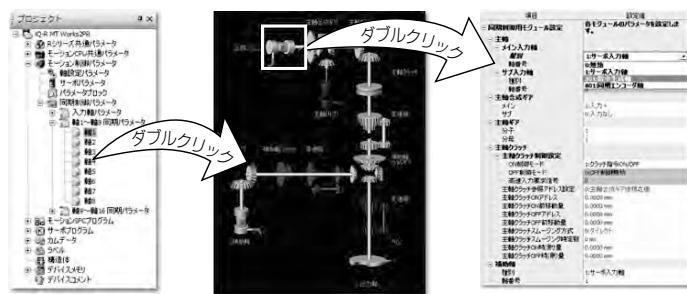


図2. アドバンスト同期制御

表1. アドオン機能

ターゲット装置	パッケージに含まれるアドオン機能
ガントリ制御	タンデム運転、制振フィルタ、干渉チェック
印刷機	張力制御、マーク検出、多軸分散同期
搬送装置	座標変換、干渉チェック

### 3.2 アドバンスト同期制御

当社のサーボシステムコントローラでは、ギヤやクラッチ、カムなどの機械機構を電子制御で簡単に実現できる“アドバンスト同期制御”を全シリーズ共通で展開している(図2)。MELSEC iQ-Rシリーズでは、CPUの性能向上を活用し、従来はオフラインで(エンジニアリングソフトウェア上で)しか作成できなかった複雑なカムパターンをCPUユニット上で動的に作成できるようにし、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可能となった。また、SDメモリカード上のCSV(Comma Separated Value)ファイルを介してカムパターンを読み書きできるようにしたため、より多彩な生産レシピを一度に格納して使用可能となった。

### 3.3 アドオン機能

これまで、特定用途に特化したモーション制御が必要な場合、特殊ソフトウェアで対応していたが、今回、使用頻度の高い特殊機能をモジュール化し、アドオン機能としてユーザーに提供する仕組みを構築した。装置に応じたアドオン機能を組み合わせることによって、様々な制御ソリューション(アプリケーションパッケージ)の提供が可能となった(表1)。

### 3.4 RAS(信頼性・可用性・保守性)向上

システムで発生したイベントやサーボに関連するデータのログ機能を強化することで、従来シリーズと比べRASの大幅向上を実現した。例えば、各ユニットで発生したエラーやユニットへの操作履歴をイベント履歴として1つのログに統合することで、トラブルシューティングが容易となった。サーボシステムコントローラのイベント履歴として、MELSEC iQ-Rシリーズ共通のイベント(制御データの変更や電源状態変化、セキュリティ関連情報など)に加え、サーボネットワークSSCNET III/Hの通信状態、原点復帰要求発生理由なども記録することによって、トラブル発生時の原因究明に役立つようにした。

また、SDメモリカード上のCSVファイルで、データのサンプリング設定やサンプリング結果の蓄積が可能で、エンジニアリングソフトウェアのない生産現場でも、トラブル発生時の波形採取が可能となった。さらに、SDメモリカードを使用したCPUユニット上の制御データのバックアップ・リストアや、プログラムの更新を可能とし、CPUユニット交換時のダウンタイム短縮に貢献する。

また、信頼性の面ではユニット内部の各種メモリへのECC(Error-Correcting Code)の採用や、フラッシュメモリの書換え回数管理、使用セクタ分散化を行うことでメモリ素子のソフトエラーやサイクル寿命への耐性を強化した。

## 4. エンジニアリングソフトウェア

### 4.1 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、シンプルモーションユニット、サーボアン

の各エンジニアリングソフトウェア間の連携を強化した。

これまで各機器専用のエンジニアリングソフトウェアをそれぞれで使用していたため、プログラミング、パラメータ設定、デバッグ、サーボ調整の各作業が繁雑で使い難かったが、連携を強化することによって各ソフトウェア間がシームレスに動作できるようになり、これらの作業がGX Works3だけで行えるようになった。

#### 4.2 シミュレータ連携

GX Works3に共有メモリによってシーケンサシミュレータと連携したシンプルモーションシミュレータを開発した。過去に通信用ライブラリ“EasySocket”によるシミュレーション間連携を開発したがユニット間の通信に時間がかかるうえ、全ての機能が実機通りにはシミュレートできていなかつたため、ユーザープログラムのデバッグでも未対応機能の部分はデバッグできていない状況であった。そこで今回EasySocket通信を共有メモリ間通信に変更することによって高速化し、連携動作の制約を解消した。また、シンプルモーションユニット部のシミュレータではサーボアンプ及びサーボモータも仮想上の動作となるため、実機がない状態でも駆動制御シミュレーションが可能となった。これによってシーケンサから駆動制御までの実機に近いシミュレーションが可能となるため、ユーザーによるデバッグ精度が向上し、現地での立ち上げ工数削減に貢献する(図3)。

#### 4.3 デジタルオシロスコープ機能の強化

モーションCPUユニットではパソコン不要のオフラインサンプリング機能及び二次元の軌跡表示に対応した(図4)。

オフラインサンプリング機能では、これまでモーションCPU用ソフトウェアMT Works2のデジタルオシロスコープはモーションCPUユニットと接続した状態でなければサンプリングを継続することができなかったため、長時間のサンプリングが必要な場合はパソコンを接続状態で設置しておく必要があった。そこでモーションCPUユニットでは、あらかじめデジタルオシロスコープでサンプリング項目、条件などをCPUユニットに転送し、サンプリング開始後は通信ケーブルを外してもサンプリングを継続できるようになったため、サンプリングが完了した時点で再度パソコンを接続してサンプリングデータの読み出しが可能となった。

このほかにもモーションCPUユニットはサンプリングしたデータをSDメモリカードへ保存することができるため、SDメモリカードによる読み出しも可能となった。

また、今までの波形表示は時間軸を基準にした波形であったが、X-Y軸の二次元軌跡表示も実現した。この機能は加工機などの装置で加工作業の事前確認ができるため加工の失敗を減らすことができ、さらにリアルタイム表示にも対応しているためデバッグや調整作業を強力にサポートする。

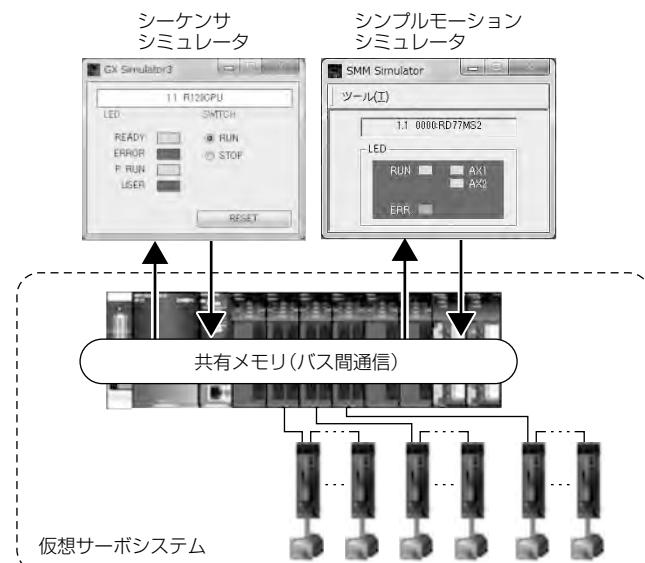


図3. シミュレータ連携

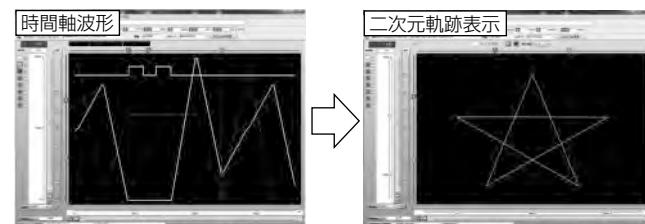


図4. 二次元軌跡表示

#### 4.4 セキュリティ機能

シーケンサCPUユニットとモーションCPUユニット共通のセキュリティ機能を搭載した。ソフトウェアキーをCPUユニットとパソコンに登録して保護するタイプと、CPUユニット内に格納したデータをファイル単位でパスワード登録してデータを保護するタイプの2種類を用意することによって目的に応じたセキュリティ機能を選択することができる。

さらにGX Works3とMT Works2とのセキュリティ機能でも同じ画面、同じ操作に統一している。

## 5. むすび

MELSEC Qシリーズから発展してきた当社独自のマルチCPUシステムは、1CPUユニットでシーケンス・モーション制御を行う他社のシステムに比べて負荷分散による高精度・高安定のモーション制御が可能であることが大きなメリットである。しかし一方で、プロセッサの高クロック化やマルチコアを生かした高速なコントローラも台頭してきているため、更なる高速化・高付加価値化によって応用範囲の拡大を目指していく必要がある。

グローバルに発達するモノづくりの高度化・効率化に対応し、シーケンサやサーボを始めとする当社FA製品の総合力を生かしていくために、サーボシステムコントローラはその中核をなす制御機器となりつつある。今後もサーボシステムコントローラのたゆまぬ発展を主導していく所存である。

# FA統合エンジニアリングソフトウェア “MELSOFT iQ Works Version 2”

田中修一\* 岩城朝厚\*  
濱田慶一\*  
竹内俊策\*

FA Integrated Engineering Software "MELSOFT iQ Works Version 2"

Shuichi Tanaka, Keiichi Hamada, Shunsaku Takeuchi, Tomohiro Iwaki

## 要 旨

近年、FA(Factory Automation)分野では、システム設計からプログラム作成、試験・立ち上げ、運用・保守にいたるまでのFAライフサイクル全てにわたるエンジニアリング業務効率化が求められてきている。

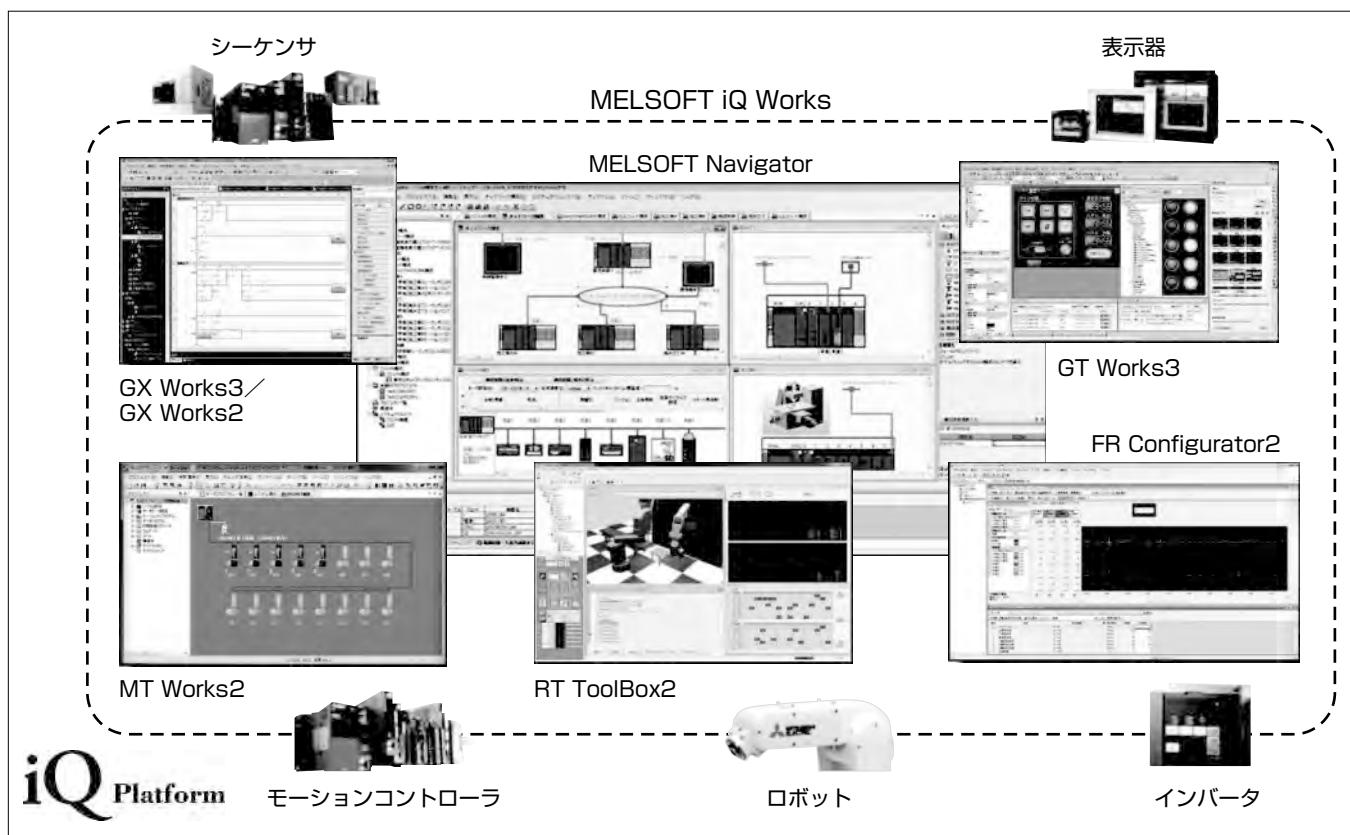
三菱電機は、この要求に応えるために、FA統合エンジニアリングソフトウェア“MELSOFT iQ Works”を市場展開している。MELSOFT iQ Worksは、システム管理ソフトウェア“MELSOFT Navigator”を核に、当社エンジニアリングソフトウェアを統合した製品である。MELSOFT iQ Worksはエンジニアリングソフトウェア間のデータ連携によって、FAライフサイクル全般での効率化を実現し、顧客のTCO(Total Cost of Ownership)削減に貢献している。

当社は2014年、シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”的

市場投入にあわせ、エンジニアリングソフトウェアの連携を更に進化させた“MELSOFT iQ Works Version 2”を開発した。MELSOFT iQ Works Version 2は次の特長を備えている。

- (1) 実システムからのシステム構成図生成やソフトウェア間連携によるシステム構成設定の効率化
- (2) ソフトウェア間連携によるパラメータ設定の効率化
- (3) ラベル共有によるシステム設計の効率化
- (4) シーケンサ・モーションのシミュレーション連携によるフロントローディング開発を支援

本稿では、MELSOFT iQ Works Version 2が新たに提供する機能の仕組みや特長を述べる。



## MELSOFT iQ Works Version 2 の製品構成

“MELSOFT iQ Works”は、システム管理ソフトウェア“MELSOFT Navigator”を核に当社エンジニアリングソフトウェア（“GX Works3”，“MT Works2”，“GT Works3”等）を統合した製品構成となっている。Version 2で更に進化した連携機能によって、顧客の設計作業の効率化や、柔軟な運用・保守に貢献する。

## 1. まえがき

近年、FA分野では、日欧米を中心に、FAシステムの大規模化や高機能化によって、システム設計やプログラム作成、運用・保守といったエンジニアリング業務の人員費増大が課題となってきた。さらに、中国や東南アジアなどの新興国でも、エンジニアの人員費が上昇しており、世界的な課題となりつつある。そこで製造業を中心にエンジニアリング業務の効率化によるTCO削減が求められるようになってきた。

当社はこれらの要求に応えるために、システム設計からプログラム作成、表示器の画面作成、設備の立ち上げから運用・保守にいたるまでを統合的に扱うFA統合エンジニアリングソフトウェア“MELSOFT iQ Works”(以下“iQ Works”という。)を2009年から市場展開している。

iQ Worksは、次の(1)～(6)を統合した製品構成となっている。

- (1) システム管理ソフトウェア“MELSOFT Navigator”(以下“Navigator”という。)
- (2)～(6)の個別エンジニアリングソフトウェア(以下“エンジニアリングS/W”という。)間連携の核となるシステム管理機能を提供する。
- (2) シーケンサエンジニアリングS/W“GX Works2” FA機器の制御を行うシーケンサにおけるプログラム作成、設定、保守を支援する。
- (3) 表示器画面作成エンジニアリングS/W“GT Works3” 表示器の画面作成を支援する。
- (4) モーションコントローラエンジニアリングS/W“MT Works2” サーボモータなどの駆動制御を行うモーションコントローラにおけるプログラム作成、設定、保守を支援する。
- (5) ロボットエンジニアリングS/W“RT ToolBox2” ロボットのプログラム作成、設定、保守を支援する。
- (6) インバータセットアップソフトウェア“FR Configurator2” インバータの設定、調整、保守を支援する。

最近、iQ Worksの普及に伴い、市場から大規模システムでの更なる利便性向上やフロントローディング開発機能の充実が求められるようになってきた。

そこで当社は、新たなシーケンサシリーズ“MELSEC iQ-Rシリーズ”(以下“iQ-R”という。)及びシーケンサエンジニアリングS/W“GX Works3”的市場投入にあわせ、iQ Works Version 2を開発した。

iQ Works Version 2は次の特長を備える。

- (1) 実システムからのシステム構成図生成やソフトウェア間連携によるシステム構成設定の効率化
- (2) ソフトウェア間連携によるパラメータ設定の効率化

- (3) ラベル共有によるシステム設計の効率化
- (4) シーケンサ・モーションのシミュレーション連携によるフロントローディング開発支援

本稿では、iQ Works Version 2が新たに提供する4つの機能を述べ、その仕組みや特長を述べる。

## 2. iQ Works Version 2 の新機能

### 2.1 システム構成設定

iQ Worksでは、シーケンサのユニット接続構成やFAネットワークの接続機器構成といったシステム構成の情報を設定する(図1)。システム設計者はiQ Worksにシステム構成を設定することで、接続構成誤りや接続数上限超過、電源容量不足といったシステム構成誤りの検証を机上で容易に実現できる。

システム構成設定は、Navigatorの提供する“ユニット構成図”と“ネットワーク構成図”という2種類の構成図画面で実現している。構成図で表現する直感的な接続イメージのGUI(Graphical User Interface)は、システム設計者の設計、操作を容易にしている。

また、各構成図から個別エンジニアリングS/Wの対象となる機器を選択し、プログラム作成画面を起動する等の連携操作を可能としている。パートナー機器のエンジニアリングS/Wについても、設定によって、構成図で対象パートナー機器を選択しての起動が可能である。

今回、iQ Works Version 2で、Navigatorがシーケンサとの通信によって実システム構成の接続情報を取得し、ユニット構成図及びネットワーク構成図を自動生成する“接続機器の自動検出”機能を開発した。これによって、システム設計者は実システムの構成を変更しても、自動で構成を取り込むことが可能となり、手動での再設定が不要となる。

また、個別エンジニアリングS/Wで設定したユニット構成やネットワーク構成の情報もNavigatorとの間で反映できるようにした。これによって、エンジニアリングS/Wそれぞれで構成設定をする必要がなくなる。

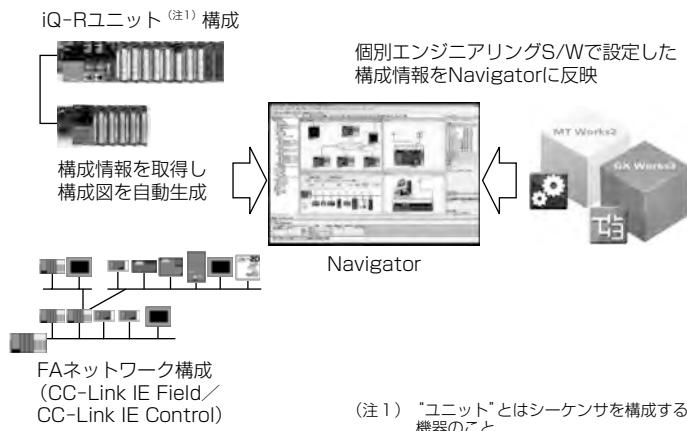


図1. システム構成の設定

さらに、エンジニアリングS/Wで新規機器対応開発を短期間で行うために、機器固有情報を機器単位でエンジニアリングS/Wに取り込める仕組みを開発した。この仕組みによって、当社機器だけでなく、パートナー機器対応も容易となる。今後、この技術を使ったパートナー機器への対応が進んでゆけば、システム設計者の更なる業務効率化が可能となる。

## 2.2 パラメータ設定

シーケンサ、モーションコントローラには、システムに応じて変更する通信設定や動作設定等の各種パラメータがある。これらのパラメータは個別エンジニアリングS/Wを使用して、シーケンサ、モーションコントローラに設定している。

iQ Works Version 2では、これらのパラメータ設定作業の効率化のために“Navigatorから個別エンジニアリングS/Wへのパラメータ一括設定する機能(図2①)”，及び“個別エンジニアリングS/WからNavigatorにパラメータを取り込む機能(図2②)”を提供する。

Navigatorから個別エンジニアリングS/Wへのパラメータ一括設定はシステムとして統合的に決定する通信設定などのパラメータ設定で使用する。Navigatorで設定した全パラメータを個別エンジニアリングS/Wに一括設定することによって、同一情報を個別エンジニアリングS/Wで手入力する手間を削減し、入力ミスを防ぐことができる。

一方、個別エンジニアリングS/WからNavigatorへのパラメータの取り込みは、設備の立ち上げ段階でパラメータを変更する場合に使用する。個別エンジニアリングS/Wでパラメータを変更した後、Navigatorへの取り込み機能を実行することによって、個別エンジニアリングS/Wで変更したパラメータはNavigatorに自動的に反映される。これによって、エンジニアリングS/W間のデータの不整合を防ぐことができる。

さらに、iQ Works Version 2では、パラメータ設定のエンジニアリングS/W間連携の仕組みとして、パートナー

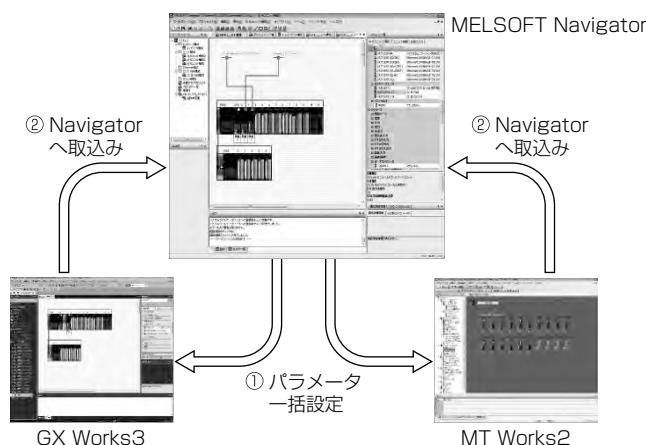


図2. パラメータ設定

製ソフトウェアとも連携可能な仕組みを採用しており、例えばSCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)製品との通信設定を共有することによって、パラメータ設定の効率化を実現可能である。

## 2.3 システムラベル連携

iQ Worksでは、シーケンサ等のメモリアドレスに対して任意の名称(以下“ラベル”という。)を付けることができる。さらに、このラベルをシーケンサ・モーションコントローラ・表示器の間で共有して使用することができる。この共有されたラベルを“システムラベル”と呼ぶ。システム設計者はシステムラベルに分かりやすい名称を付けることで、メモリアドレスを意識せずに設計することが可能となる。

システムラベルは、Navigatorのシステムラベルデータベースで、一括管理される(図3)。システムラベルデータベースは、システムラベル名とメモリアドレスの紐(ひも)付け情報を統括的に管理している。個別エンジニアリングS/Wはシステムラベルデータベースにアクセスすることで、メモリアドレスに対するシステムラベルを使用して、プログラム作成や表示器の画面作成ができる。システムラベルに割り付けられたアドレスが変更された場合でも、“変更通知”機能によって個別エンジニアリングS/W間での整合性を確保している。システム設計者はシステムラベルを使用することで、システム設計段階でのプログラム作成の時間と設定ミスを大幅削減できる。

変更通知機能について、図4に具体例を示して述べる。通常、表示器からシーケンサに対してのアクセスはアドレスを用いて行われている。このため、シーケンサのプログラム変更によってシステムラベルに割り付けられたアドレスを変更する場合、次の(1)～(4)の手順で表示器の画面データとともに変更したアドレス情報を表示器に書き込む(図4(a))。

- (1) GX Works2でシステムラベルに割り付けるアドレスを変更(システムラベルデータベースを更新)

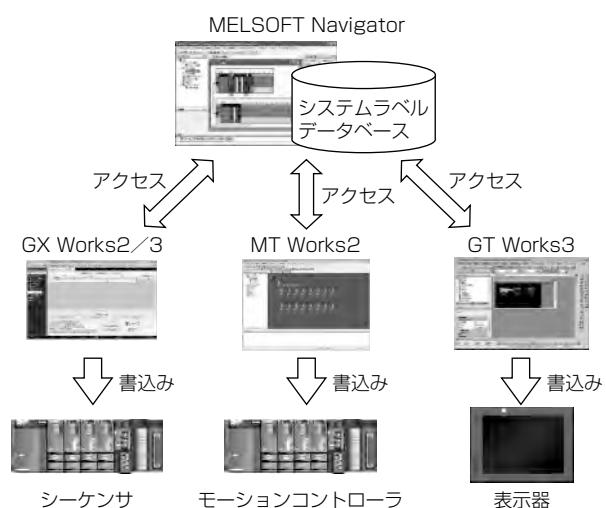
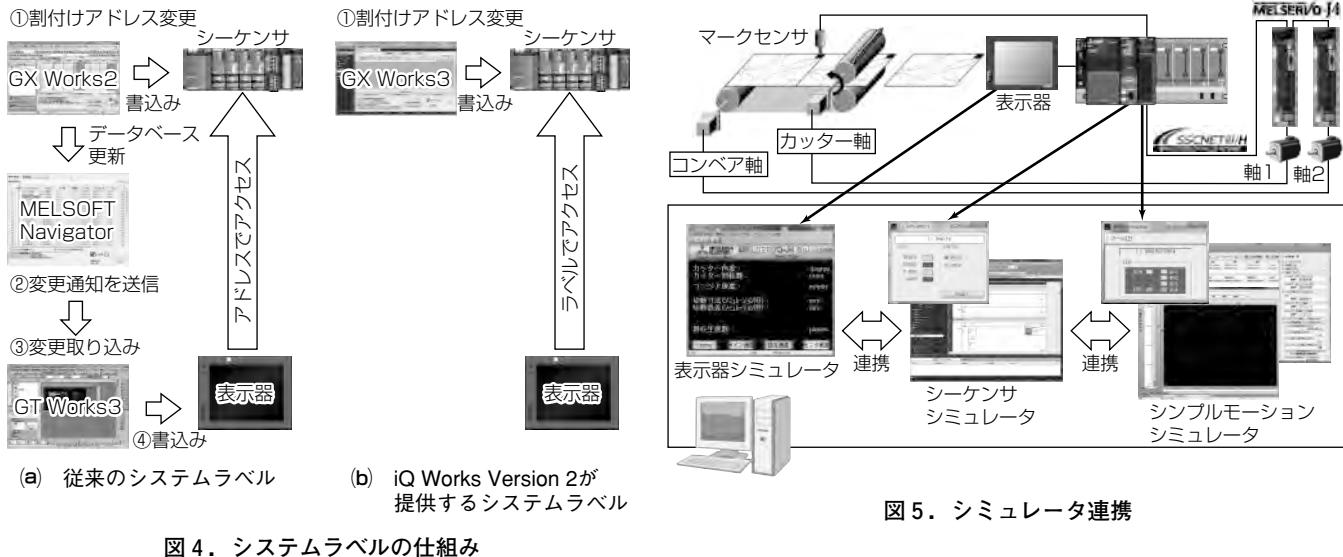


図3. システムラベル連携



- (2) システムラベルデータベースの更新を受け、Navigatorが変更通知をGT Works3に送信
- (3) GT Works3で変更内容を取り込む
- (4) GT Works3で変更されたアドレスを含む画面データを表示器に書き込む

このように、(1)～(4)の操作を行い、アドレスの変更内容を表示器に反映させることで、表示器からシーケンサに対してのアクセスが可能となる。

iQ Works Version 2では、先に述べた変更通知機能を使ったアドレスでの機器間通信の仕組みに加え、システムラベル名だけで機器間の通信が可能な仕組みを搭載した(図4(b))。この新たな仕組みではシステムラベル名で通信を行うため、表示器からシーケンサに対してもシステムラベル名だけでアクセス可能となる。この仕組みによって、シーケンサのシステムラベルに割り付けるアドレスを変更した場合の表示器ヘアドレス反映操作(先に述べた(2)～(4))が不要となり、システム保守の更なる工数低減が期待できる。

#### 2.4 シミュレータ連携

iQ Worksではシミュレーション環境としてシーケンサシミュレータ、モーションシミュレータ、表示器シミュレータを提供している。各シミュレータは、装置を組み上げる前に、システム設計者がプログラムの動作確認を机上で行うことを可能とし、プログラム作成工数の削減に貢献している。

近年、更に現地調整時間を短縮したいというニーズが高まってきた。iQ Works Version 2ではこのニーズに対し、モーションシミュレータとシーケンサシミュレータとの連携機能を提供し、表示器も含めた駆動システム全体を机上で動作確認可能とした(図5)。これによって、システム設計者のプログラム作成工数削減と現地調整前の品質レベルの大幅な向上が期待でき、TCOの削減に貢献する。

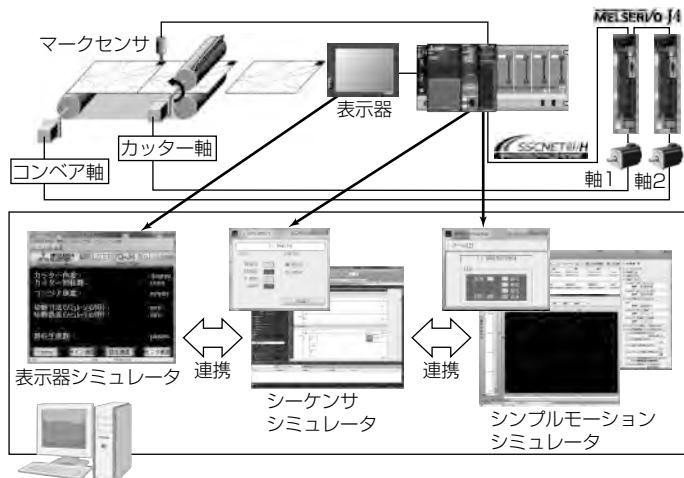


図5. シミュレータ連携

次にシーケンサシミュレータとモーションシミュレータとの連携機能の仕組みについて述べる。

実際の駆動システムを模擬するには、シーケンサシミュレータとモーションシミュレータを並行で動作させ、実システムに近いタイミングで制御情報(位置決め制御、同期制御、シーケンス制御に使う入出力信号や制御データ)を授受することが求められる。そこで、今回、シーケンサシミュレータとモーションシミュレータを時分割制御し、2つのシミュレータを並行で動作させる仕組みを開発した。

この仕組みによって、2つのシミュレータ間で実システムに近いタイミングで制御情報を授受できるようになり、実際の駆動システムを模擬した動作が可能となった。

2014年度はこの技術をiQ-Rシンプルモーションユニットに適用した。2015年度以降にはiQ-Rモーションコントローラへも適用予定である。

#### 3. むすび

iQ Works Version 2で改善した次の4つの機能を述べ、その仕組みや特長を述べた。

- (1) システム構成設定
- (2) パラメータ設定
- (3) システムラベル連携
- (4) シミュレータ連携

これらの機能改善によって、大規模なシステムでのライフサイクルエンジニアリングの更なる効率化による企業のTCO削減に貢献するとともに、パートナーメーカーとの連携強化にも寄与する。また、当社の推し進めるe-F@ctoryによる“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”的実現を支援する。

iQ Worksは今後も進化を計画している。更なる進化によって、継続的に企業のTCO削減、企業価値向上に貢献する所存である。

# CC-Link IE内蔵Ethernetユニット “RJ71EN71”

市村宇志\*  
荒川智史\*

Ethernet Unit Built-in CC-Link IE "RJ71EN71"

Takashi Ichimura, Satoshi Arakawa

## 要旨

近年、Ethernet<sup>(注1)</sup>の汎用性・高速性・将来性・廉価性によって、Ethernet技術を用いた産業用ネットワーク(以下“N/W”という。)が増加している。三菱電機では、CC-Link IE Control N/W、CC-Link IE Field N/WにEthernet技術を適用している。これらのN/Wにはそれぞれ特長があり、顧客の要望に合わせて適材適所で使い分け、組み合わせることで、最適なシステムを構築することが可能である。

N/Wを組み合わせた場合の使い勝手をより良くするため、今回開発したCC-Link IE内蔵Ethernetユニット“RJ71EN71”は、顧客からの要望が多い①コスト削減、②使いやすさ、③通信性能を向上させる次の3つの新機能を搭載している。

### (1) マルチプロトコル機能

1つのユニットで3種類(同時に2種類)のN/Wに接続することが可能である。これによって、システムの立上・保守に必要なユニット数を削減し、コスト削減を実現する。

### (2) 自動ルーティング機能

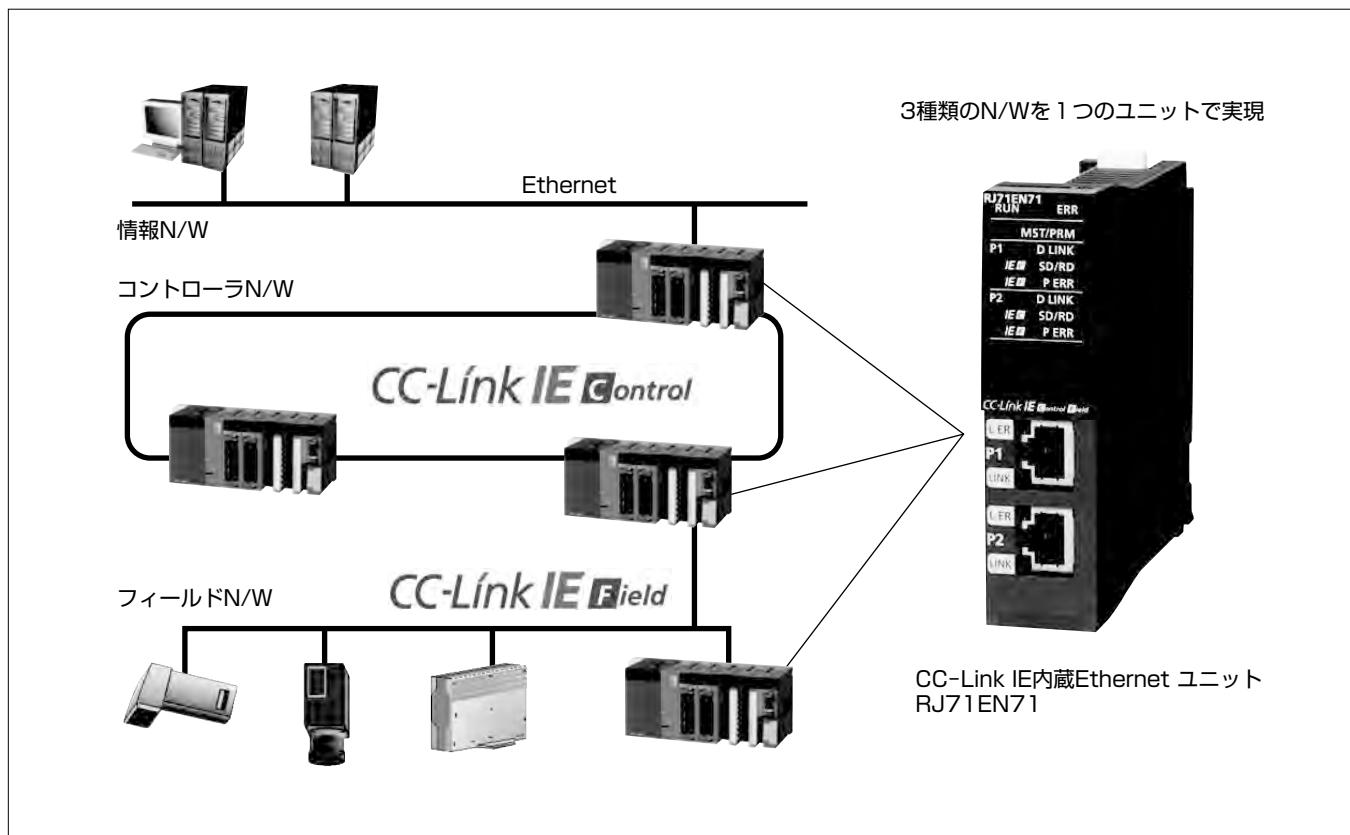
異なるN/W間を中継するための設定をユニットが自動で実施することで、使い勝手を向上させる。

### (3) N/W間ダイレクト中継機能

異なるN/W間を中継して通信する際の処理を高速化することで、システム全体の通信性能を向上させる。

本稿では、CC-Link IE内蔵Ethernetユニットの新機能と、それを実現するための技術について述べる。

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。



## MELSEC iQ-RシリーズのCC-Link IE内蔵Ethernetユニット“RJ71EN71”

“RJ71EN71”は、当社の次世代シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”用のN/Wユニットである。このユニットは、3種類のN/W(Ethernet、CC-Link IE Control N/W、CC-Link IE Field N/W)を切り換えて動作することが可能である。また、2つのポートを異なるN/Wに設定することで、マルチプロトコルのユニットとして動作することも可能である。

## 1. まえがき

近年、Ethernetの汎用性・高速性・将来性・廉価性を理由に、Ethernetベースの産業用N/Wが増加している。当社は、EthernetベースのN/Wユニットとして、Ethernetインターフェースユニット、CC-Link IE Control N/Wユニット、CC-Link IE Field N/Wユニットを開発している。各N/Wの特長を表1に示す。

これらのN/Wを目的・用途に合わせて使い分け、組み合わせることで、顧客のシステムに最適なN/Wを構築することが可能となっている。

## 2. 開発の目的

今回開発したCC-Link IE内蔵Ethernetユニット“RJ71EN71”は、N/Wを組み合わせた場合の使い勝手をより良くすることを目的として、①コスト削減、②使いやすさ、③通信性能の向上のための次の3つの新機能を搭載している。

### (1) マルチプロトコル機能

接続可能なN/Wの種類を切り換えて使用することが可能である。また、1台のユニットで複数のN/Wに接続することが可能である。これによって、システムの立上・保守に必要なユニットの数を減らすことができるため、コスト削減が可能である。

### (2) 自動ルーティング機能

異なるN/W間で通信する場合に必要となる中継のための設定(ルーティング設定)を、N/Wユニットが自動的に行う。これによって、異なるN/W間の通信が簡単に実現可能である。

### (3) N/W間ダイレクト中継機能

異なるN/W間で通信する場合に必要となる中継処理を高速化することで、通信性能が向上する。これによって、システム全体の処理性能を向上させ、生産性を向上させることができる。

## 3. RJ71EN71の新機能

RJ71EN71の3つの新機能とそれを実現するための技術について次に述べる。

### 3.1 マルチプロトコル機能

RJ71EN71は、3種類のN/W(汎用Ethernet、CC-Link IE Control N/W、CC-Link IE Field N/W)を切り換えて動作させることができる。各N/Wの仕様を表2に示す。

従来3種類のN/Wを使用したシステムを実現する場合は3種類のN/Wユニットが必要であったが、このユニットを使用することで1つのN/Wユニットだけでシステムを実現可能である。また、表3に示すように、各ポートを異なるN/Wとして動作させることができる。これに

表1. N/Wの特長

N/W種別	特長／主な用途
Ethernet	接続機器が豊富、パソコンとの通信／汎用Ethernet機器との通信
CC-Link IE Control N/W	高速、大容量、高信頼性／コントローラ間通信(基幹N/W)
CC-Link IE Field N/W	高速、柔軟な配線性／コントローラ間通信、I/O制御、モーション制御、安全通信

表2. N/Wの仕様

項目	Ethernet	CC-Link IE Control N/W	CC-Link IE Field N/W
伝送速度	1 Gbps(Ethernetは100Mbps/10Mbpsにも対応)		
通信媒体	Ethernetケーブル(CC-Link IEは1000BASE-Tカテゴリー5e以上)		
伝送方式	ベースバンド	トーカンパッシング	
トポロジ	スター型	ライン型、スター型、リング型	
サイクリック通信(リンク点数)	-	LB:32K LW:128K LX/LY:8K	RX/RW:16K RW:8K RWw:8K
最大フレームサイズ	1,518バイト	1,920バイト(トランジエント通信)	
最大接続数	128コネクション	120局/239N/W	121局/239N/W

表3. N/Wの組合せ

No.	ポート1	ポート2
1		Ethernet
2	Ethernet	CC-Link IE Control N/W
3		CC-Link IE Field N/W
4	CC-Link IE Control N/W	
5	CC-Link IE Field N/W	

よって、2種類のN/Wに接続が必要な場合であっても、このユニット1台で接続が可能になる。そのため、N/Wを構成するために必要なユニットの数を減らすことで、コスト削減が可能である。

RJ71EN71では、3種類のN/Wに対応するために統合ASIC(Application Specific Integrated Circuit)の開発を行った。統合ASICは、新しい機能としてN/W統合機能と通信高速化機能を搭載している。

### (1) N/W統合機能

統合ASICは、3種類のN/W機能を搭載し、マイコンから制御することができる。さらに、統合ASICは、各N/Wの機能をそれぞれ独立させて実装している。これによって、表3に示すように、例えば、ポート1はEthernet、ポート2はCC-Link IE Field N/Wで使用するような、通信ポート単位でN/Wを5通りに設定できるN/W統合機能を実現している。

### (2) 通信高速化機能

RJ71EN71では、N/W同時動作時に生じるマイコン負荷増大による通信性能低下を防ぐために、統合ASICで通信オーバーヘッドの削減と通信処理並列化を実現している。

#### (a) 通信オーバーヘッドの削減

統合ASICでは、従来2ステップであった通信処理を

1ステップで実現している。図1に示す通り、従来の送信処理では、2ポートメモリが他の処理とのアクセス競合によって低速(1Gbps以下)となるため、1stステップで全ての通信データを中間バッファにコピーする。コピー完了後に、2ndステップで送信を開始することで、2ポートメモリのアクセスが遅くても1Gbpsの送信を可能にしている。送信と同様に、2つのステップで中間バッファを介して受信を行なう。

統合ASICは、2ポートメモリへアクセスが集中した時にも通信ポートへのデータ転送を阻害しない優先制御機能と2ポートメモリ・通信ポート間の高速化によって、1ステップでの通信処理を実現した。これによって、統合ASICでは、2ポートメモリから直接通信を行う1stステップで送受信が可能となり、通信データコピーのオーバーヘッドを削減した。

#### (b) 通信処理並列化

統合ASICでは、従来逐次処理していた送受信データ処理と通信処理を、並列で処理可能にしている。図2に示す通り、従来は、データの一貫性を保つために、送受信中にマイコンが2ポートメモリ上の通信データへアクセスすることは禁止していた。

統合ASICでは、2ポートメモリ上の送信メモリをA面、

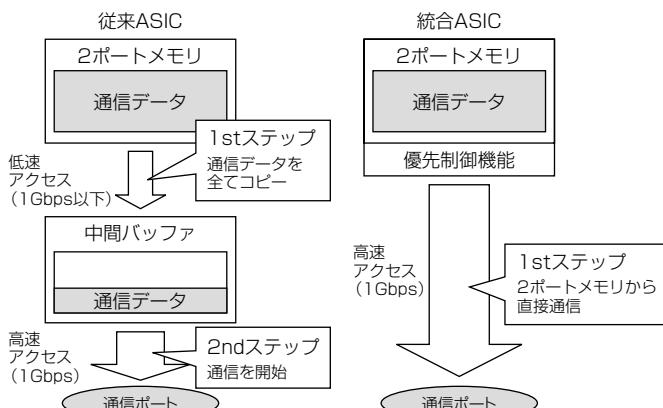


図1. 通信オーバーヘッドの削減

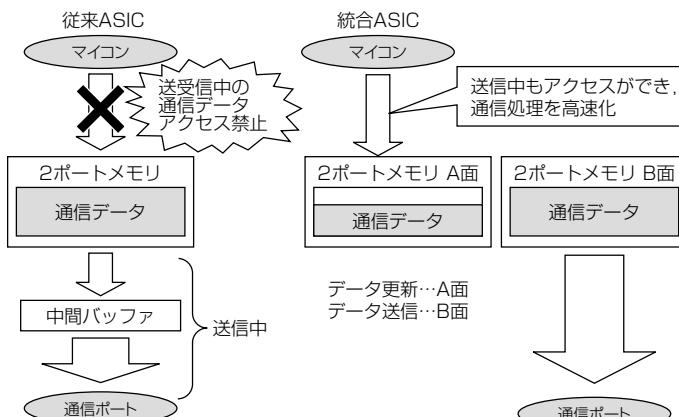


図2. 通信処理並列化

B面の2面用意している。マイコンが片面の通信データを処理している間に、もう一面のメモリから送信することを可能にした。送信と同様に、受信も2ポートメモリを2面用意しており、受信データのマイコン処理と平行した受信が可能である。これによって、マイコンの送受信データ処理と統合ASICの通信処理並列化を実現している。

#### 3.2 自動ルーティング機能

図3のように異なるN/Wを跨(また)ぐ通信は、中継に必要な経路情報(ルーティングパラメータ)をシーケンサCPU(以下“CPU”という。)に設定することで可能になる。

ルーティングパラメータには、最終的な宛先となる“宛先局のN/W No.(宛先N/W)”と、宛先N/Wに到達するために経由する“中継局のN/W No.(中継N/W)”及び“中継局の局番(中継局番)”の組合せを設定する。設定例を図4に示す。このルーティングパラメータを送信局、中継局、受信局にそれぞれを設定することで異なるN/Wを跨ぐ通信が可能になる。

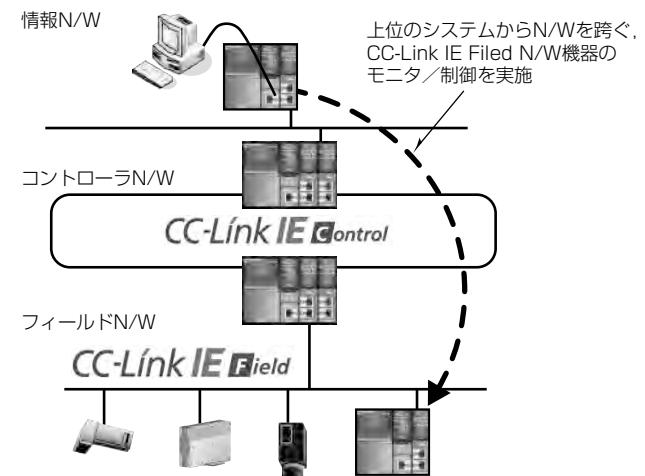


図3. 異なるN/Wを跨ぐ通信

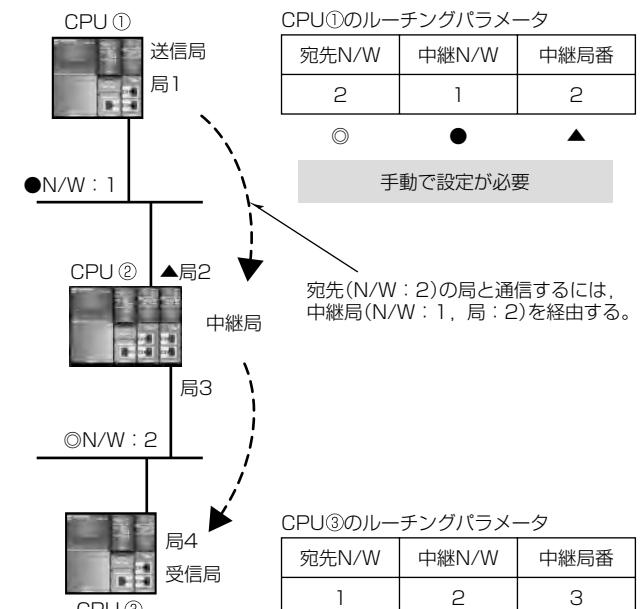


図4. ルーティングパラメータの設定例

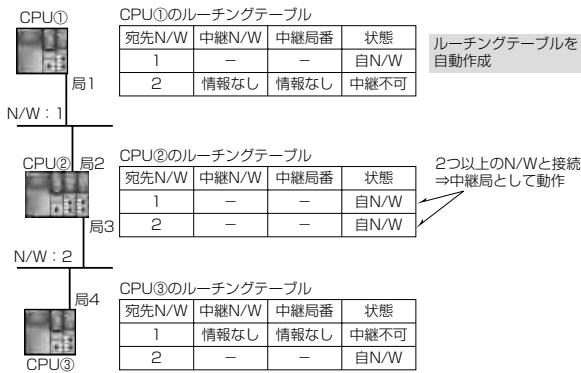


図5. ルーティングテーブルの自動作成



図7. ルーティングテーブルの自動更新

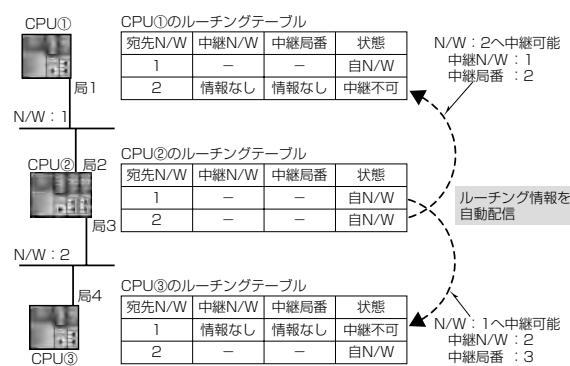


図6. ルーティング情報の自動配信

RJ71EN71は、ユニットがN/Wの構成を認識して、中継に必要な情報(ルーティングテーブル)を自動的に設定する“自動ルーティング機能”を搭載することで、ルーティングパラメータ設定不要で異なるN/W間の通信を可能とした。

自動ルーティング機能の実現方法を次に示す。

#### (1) ルーティングテーブルの自動作成

電源投入時又はN/Wの構成に変化があった場合、ユニットが自局に接続されたN/Wの情報をルーティングテーブル(経路情報のリスト)に自動的に登録する。このとき2つ以上のN/Wと接続された局が中継局と認識される(図5)。

#### (2) ルーティング情報の自動配信

ルーティングテーブルの自動作成・自動更新時に、中継局のユニットは自局で中継可能なN/Wの情報を(ルーティング情報)を自N/Wに対して送信する(図6)。

#### (3) ルーティングテーブルの自動更新

ルーティング情報を受信した局は、自局のルーティングテーブルを更新する(図7)。

以降、中継局のルーティングテーブルが更新されなくなるまで(2)～(3)を繰り返す。

自動ルーティング機能によって、パラメータ設定不要で異なるN/W間の通信が可能になるため、N/Wの構成を意識することなく、簡単に通信することが可能になる。また、ケーブルの異常などによって通信経路が切断されても、別の経路で通信が可能な場合は、自動的にルーティングテーブルを更新して通信を継続することができるため、システム

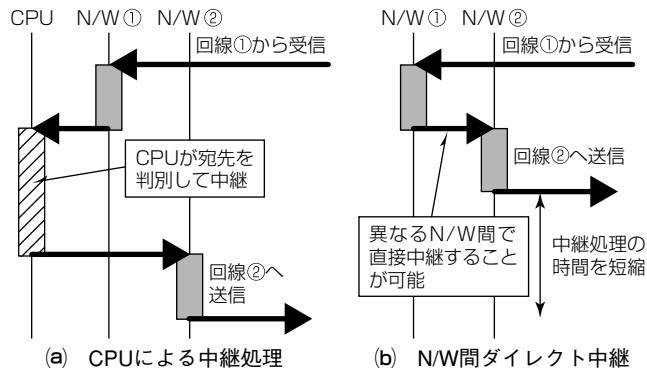


図8. 中継処理の流れ

の稼働率を向上させることができる。

#### 3.3 N/W間ダイレクト中継機能

異なるN/W間で通信を行う場合、中継処理を行う必要がある。中継処理では、通信データの宛先を判別する処理が必要となるが、従来は宛先の判別に必要な経路情報をN/Wユニットが取得する仕組みがなかったため、中継局のCPUが中継処理を行っていた。そのため、通信の性能は中継局のCPUのスキャンタイム(顧客が作成したラダープログラムの処理時間などを含む)の影響を受けていた。

RJ71EN71は自動ルーティング機能によって、経路情報を取得可能なため、CPUを経由せずに、N/Wユニット間(又はユニット内部)で直接通信データを中継することで、異なるN/W間の中継処理を高速化した。図8に中継処理の流れを示す。

N/W間ダイレクト中継によって、中継処理を高速化するだけでなく、CPUの負荷が軽減することによってスキャンタイムが短縮される。これによって、システム全体が高速化し、生産性を向上させることが可能である。

## 4. む す び

今回開発したCC-Link IE内蔵Ethernetユニット“RJ71EN71”は、N/Wを組み合わせた場合の使い勝手の向上を目的として、3つの新機能を実装した。今後も顧客満足を第一に考え、より良い製品を提供できるように開発に取り組んでいく。

# 省エネデータ収集サーバ“EcoServerⅢ” デマンド監視機能付品

鈴木健司\*  
佐藤 圭\*

Energy Saving Data Collecting Server "EcoServerⅢ" with Demand Surveillance

Kenji Suzuki, Kei Sato

## 要 旨

CO<sub>2</sub>削減を目的とした従来の省エネ法に対して、三菱電機は省エネデータ収集サーバ“EcoServerⅢ”を使ったエネルギー使用量の“見える化”による省エネルギー支援を展開してきた。今回、2013年5月の省エネ法改正(2014年4月施行)による電気使用量の多い時間帯(電気需要平準化時間帯)のエネルギー使用量の抑制に対応可能な、EcoServerⅢデマンド監視機能付品(B/NET伝送品“MES3-255B-DM”/CC-Link通信品“MES3-255C-DM”)を開発した。主な特長は次のとおりである。

### (1) デマンド監視機能の拡充

- ①EcoServerⅢにデマンド監視機能を拡充することによって、受電点のデマンド監視・制御とサブ変電所、フィーダでの電力計測を合わせて管理可能
- ②国内電力会社の30分デマンドに加えて、15分と60分デ

マンドに対応。海外のデマンド監視・制御も可能

- ③Ethernet<sup>(注1)</sup>経由でグラフィックオペレーションターミナル(GOT)や表示灯、空調コントローラと連携が可能

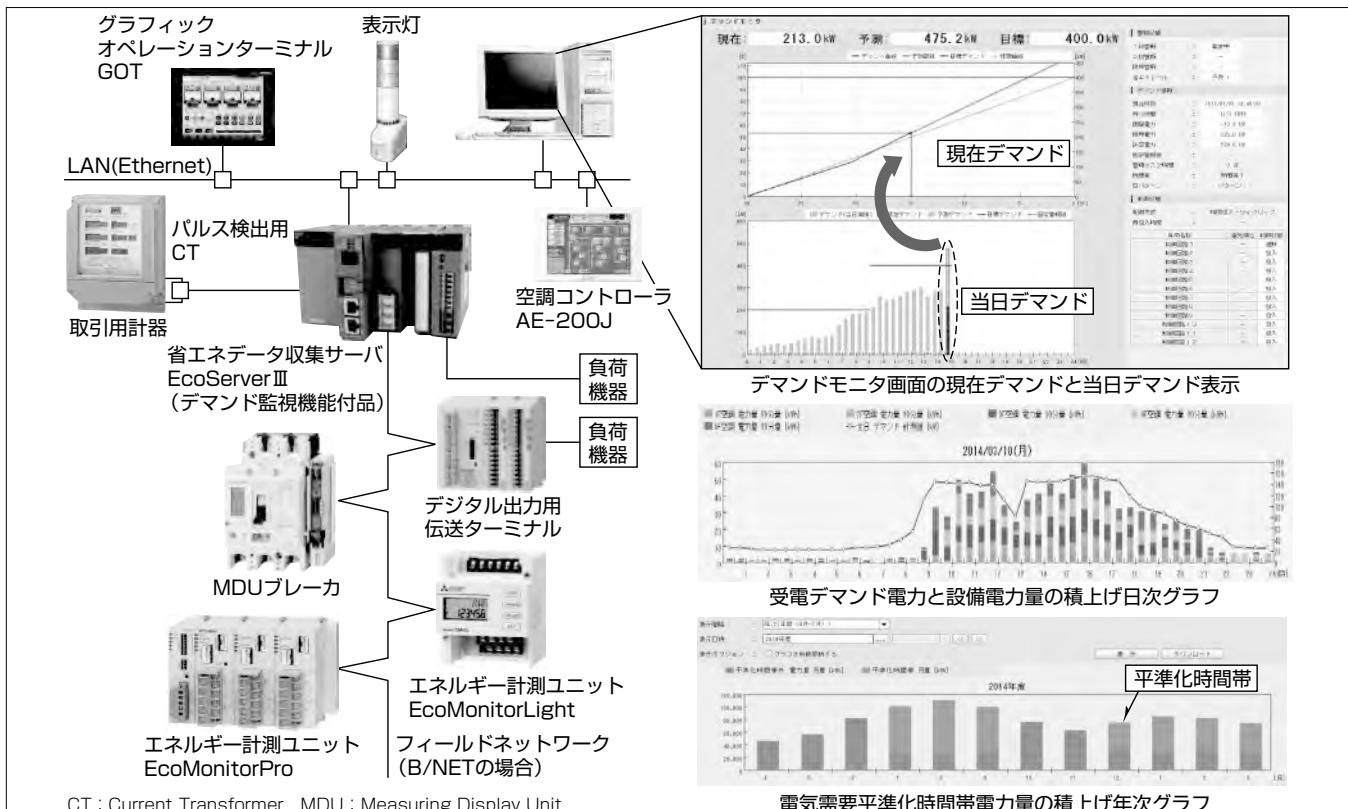
### (2) “見える化”機能の強化

- ①積み上げグラフによって、各負荷設備の電力使用量を同一のグラフで見ることで各負荷設備の電力使用比率を視覚的に表現可能
- ②グラフの自動更新によって現場での省エネルギー監視が可能

### (3) 省エネ法改正への対応

省エネ法の改正で定期報告に必要となった電気需要平準化時間帯の電力量計測が可能

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。



## 省エネデータ収集サーバ“EcoServerⅢ”デマンド監視機能付品のシステム構成と画面表示

デマンド監視機能付品は計測端末によって計測した各サブ変電所や設備の使用電力量をフィールドネットワークによって収集するとともに、受電点の取引用計器からデマンド電力を計測してデマンドの監視・制御を行うことができる。両者を複合グラフや積み上げグラフで連携して見ることで電力ピークの原因把握ができ、電気使用量の多い時間帯(電気需要平準化時間帯)の抑制(ピークカット/ピークシフト)を行うことができる。

## 1. まえがき

2011年の東日本大震災をきっかけに、日本のエネルギー政策は根幹から見直されることになり、化石燃料の使用抑制のための省エネルギーに加え、電力需給バランスに配慮した節電(ピーク電力の抑制)が重要視されるようになった。

2013年5月には省エネ法が改正(2014年4月施行)されて、“電気の需要の平準化”という新たな概念が盛り込まれた。これは、毎年電力需要が高くなる夏季(7~9月)、冬季(12~3月)の8~22時を電気需要平準化時間帯と定め、この時間帯の節電により重みを置くために電気需要平準化時間帯の電力使用量に評価係数1.3を乗じて算出した電気需要平準化評価原単位によって省エネルギー改善効果を評価するものである。

当社はCO<sub>2</sub>削減を目的とした従来の省エネ法に対して、エネルギー使用量の“見える化”を実現するために、省エネデータ収集サーバ(EcoServerⅢ)を開発してきた<sup>(1)</sup>。今回、電気の需要の平準化を目的とした省エネ法の改正に対して、電気需要平準化時間帯の電力使用量抑制に対応可能なEcoServerⅢのデマンド監視機能付品を開発したので、その特長及び製品化への技術について述べる。

## 2. デマンド監視機能付品

### 2.1 特長

図1にEcoServerⅢデマンド監視機能付品(B/NET伝送品)を示す。デマンド監視機能付品は従来のEcoServerⅢに新規に開発したデマンド監視ユニットを組み合わせることで、省エネデータ収集とデマンド監視・制御を1つのコントローラで実現する。次にその特長を述べる。

(1) EcoServerⅢの簡単な設定だけで計測機器から収集した計測データをWebブラウザでグラフ化して、省エネルギーに必要なデータ分析が簡単に実行できる特長をそのままに、デマンド監視・制御機能を追加。これによって、サブ変電所、フィーダでの電力計測と受電点のデマンド電力を

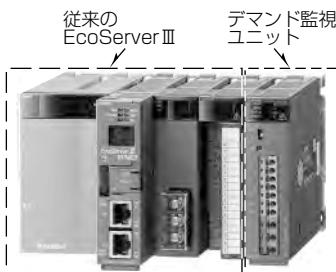


図1. EcoServerⅢデマンド監視機能付品(B/NET伝送品)

合わせて管理可能。

- (2) 国内電力会社の30分デマンドに加えて、15分と60分デマンドに対応し、海外のデマンド監視・制御も可能。また、Ethernet経由でGOTや表示灯、空調コントローラとの連携が可能。
- (3) 積み上げグラフや複合グラフによって、デマンド電力と設備ごとの電力量を同一のグラフで見せることが可能。グラフの自動更新によって現場での省エネルギー監視が可能。
- (4) 省エネ法の改正によって、定期報告に必要になった電気需要平準化時間帯の電力量計測が可能。

### 2.2 製品仕様

EcoServerⅢデマンド監視機能付品の主な仕様を表1に示す。製品はB/NET伝送品(日本語), CC-Link通信品(日本語, 英語, 中國語)をラインアップし, CC-Link通信品は海外規格(UL, CE, KC)に対応している。

## 3. 製品化への技術

### 3.1 省エネルギーデータ収集とデマンド監視・制御の連携

EcoServerⅢデマンド監視機能付品は省エネデータ収集とデマンド監視・制御を1つのコントローラに一体化することで、両者のデータ連携によって、きめ細かなデマンド監視・制御が可能となる。

#### 3.1.1 受電デマンドとサブ変電所／フィーダの電力計測

図2に受電デマンドとサブ変電所／フィーダの電力計測システムの例を示す。EcoServerⅢデマンド監視機能付品は、計測端末で計測した各サブ変電所や設備の使用電力量をフィールドネットワークによって収集するとともに、受電点の取引用計器からデマンド電力を計測してデマンドの監視・制御を行うことができる。

図3に図2のシステムの受電デマンドとフィーダを計測したデータを計測点比較グラフで表示した例を示す。今回、

表1. デマンド監視機能付品の主な仕様

項目	内容	
形名	MES3-255B-DM	MES3-255C-DM(-EN)/(-CN)
通信	B/NET	CC-Link
端末接続台数	最大255台 ※メインB/NETとサブB/NET伝送ラインに接続する端末器の合計台数	リモートI/O局 ……最大64台 リモートデバイス局 最大42台 ローカル局 最大 ……26台
計測点	仮想	最大255点
	原単位	最大128点
ロギング機能	年次	5年分(毎月1回, 指定日, 指定正時の収集)
	月次	5年分(毎日1回, 指定正時ごとの収集)
	日次	6か月分(正時又は30分ごとの収集)
	ズーム	62日分(1分ごとの収集)
表示機能	計測点比較グラフ	最大10グラフ, 最大12計測点の表示が可能(折れ線グラフ/棒グラフ/積上げグラフ)
	日付比較グラフ	最大10グラフ, 最大12計測点の表示が可能(折れ線グラフ/棒グラフ)
	原単位グラフ	最大2点の比較表示が可能
	設備グラフ	最大10点の比較表示が可能(設備の停止時間, 良品数等をグループ登録)
デマンド監視機能	現在値表示	一画面当たり最大10個の計測点を表示
	デマンド周期	15分, 30分, 60分のブロックデマンド
	制御出力	12点の負荷制御(本体出力端子, Ethernet経由シーケンサ, B/NET端末, CC-Link端末)

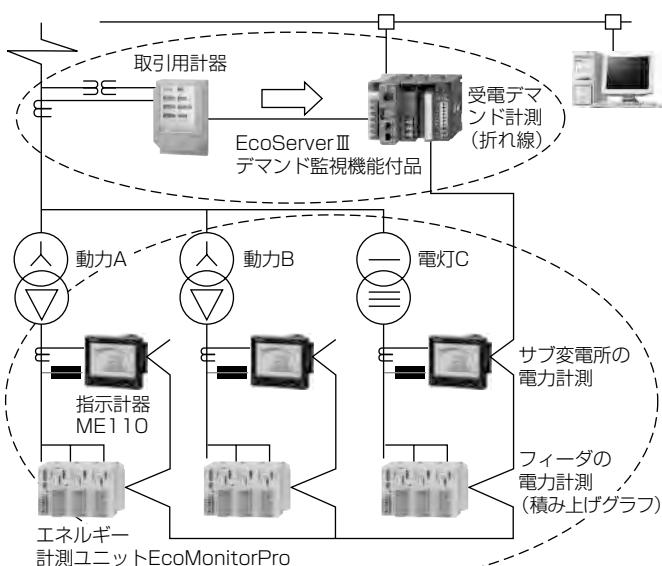


図2. 受電デマンドとサブ変電所／フィーダの電力計測システム

[従来機種]

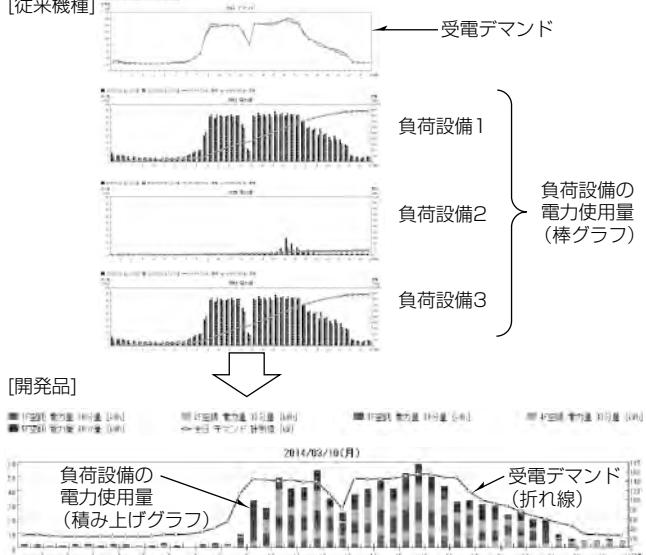


図3. 負荷設備の電力使用量の積み上げグラフ例

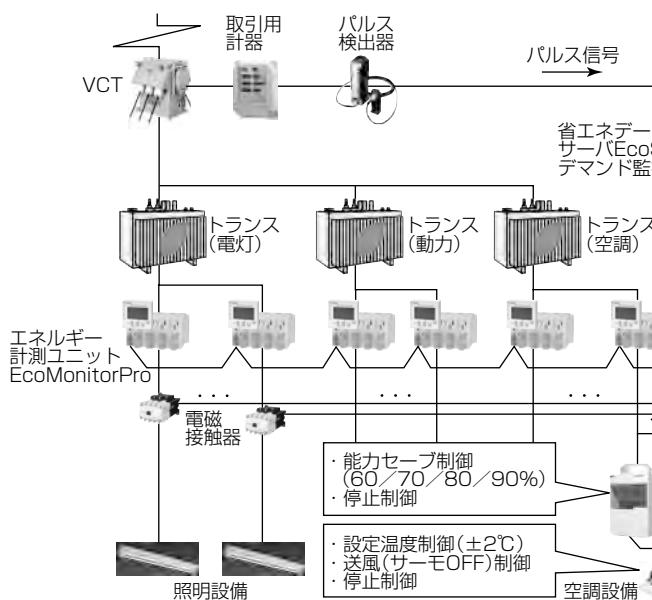


図4. デマンド監視・制御システムの空調連携

フィーダ計測による各負荷設備の電力使用量の比率を視覚的に表現するために、積み上げグラフの機能を開発した。従来は、複数の棒グラフを並べて比較していた電力使用量を1つの積み上げグラフで表示でき、受電デマンドの悪化要因となる負荷設備を特定することが可能となった。

また、積み上げグラフと一緒に受電デマンドを折れ線グラフで表示することで、受電デマンドのピーク原因を把握することができ、電気使用量の多い時間帯(電気需要平準化時間帯)のピークカット／ピークシフトが実現可能である。

### 3.1.2 デマンド監視・制御システムの空調連携

図4にデマンド監視・制御システムの空調連携の例を示す。EcoServer III デマンド監視機能付品と当社の空調コントローラ“AE-200J”が連携することによって、デマンドの省エネルギーレベルに応じた室外機の能力上限セーブ制御や室内機の設定温度制御、室内機の間引き制御を行い、デマンド電力を抑制する省エネルギー運転ができる。

空調連携には空調設備の省エネルギーに対する負荷容量に基づいた設定が必要だが、従来は実際の負荷容量が分からなかったため、空調設備の定格値と能力上限セーブ値や間引き等から負荷容量を推定して省エネルギーレベルのしきい値を設定していた。EcoServer III デマンド監視機能付品では、デマンド抑制の省エネルギー運転を行っている実運用時の空調設備の使用電力量を計測することができるため、使用電力量に基づいた省エネルギーレベルのしきい値を設定することが可能となる。

### 3.2 GOTと表示灯のEthernet接続

デマンド予測や警報を現場で確認できるように、Ethernet経由で当社GOTと株パトライ特製ネットワーク監視表示灯を接続できるようにした。

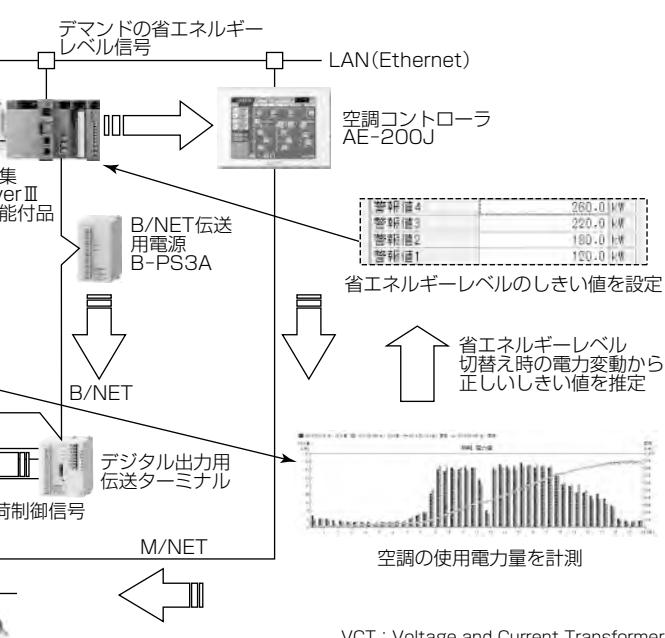




図5. GOTのデマンド予測表示画面

### 3.2.1 GOTの接続

当社GOTのマイコン接続(Ethernet)プロトコルに対応することでEcoServerⅢデマンド監視機能付品から直接GOTの仮想デバイスにデータの書き込み／読み出しができるようにした。図5にこの機能を使ったGOTのデマンド予測表示画面を示す。これによって、現場の作業者にデマンド電力の使用状況を知らせることができ、デマンド管理や省エネルギーの啓蒙(けいもう)ができる。

### 3.2.2 ネットワーク監視表示灯の接続

株パトライト製ネットワーク監視表示灯との通信でサポートしているSLMP(Seamless Message Protocol)に対応することで、表示灯がEcoServerⅢデマンド監視機能付品の仮想デバイスから直接データの読み出しをできるようにした。この機能を使って警報状況を表示灯に点灯でき、現場の管理者にデマンド警報を知らせることで、空調設備の電源を切るなど、デマンド超過を回避する対処ができる。

### 3.3 グラフ表示画面の改善

#### 3.3.1 計測点グラフの統合

従来機種ではデータ種別(電力量・パルス量／アナログ値)と表示間隔(日次／月次／年次／ズーム)ごとに分けていたグラフ表示画面を“計測点比較グラフ”と“日付比較グラフ”的2つの比較目的ごとのグラフ画面に再構成することで画面切換がシンプルになるように改善した。これによって、最大10グラフを比較表示できるため、従来切り換えて表示していたグラフ表示を1画面で見ることが可能である。

#### 3.3.2 デマンドモニタ画面

デマンドの状況を表示するデマンドモニタ画面を図6に示す。デマンド時限内の負荷推移を表すデマンド負荷曲線と当日のデマンド推移を表す当日デマンドトレンドグラフを一括表示できるようにした。当日デマンドトレンドグラフでは、当日のデマンド傾向が把握できるため、その後のデマンド推移を予想することが可能である。

#### 3.3.3 グラフの自動更新

デマンドモニタ画面のリアルタイム表示に合わせてグラフ表示全般を定期的に自動更新する機能を追加した。表示間隔が月次グラフと年次グラフでは1時間間隔で、日次グラフとズームグラフ(5分、1分)では1分間隔で更新する。

### 3.4 電気需要平準化時間帯電力量の計測

省エネ法の改正によって、平成27年度から電気需要平準

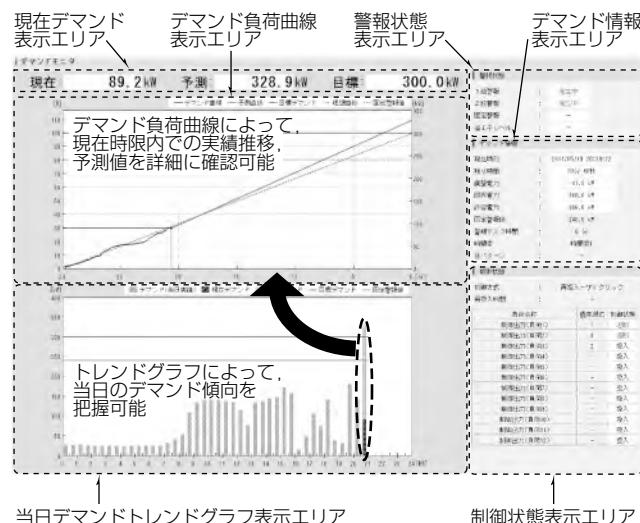
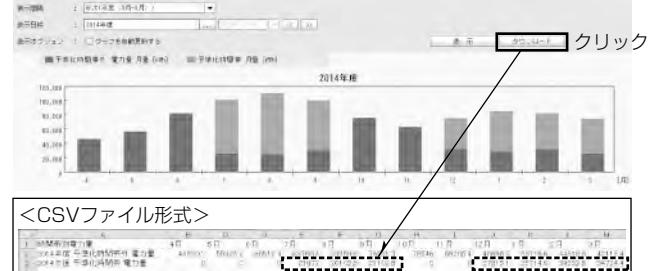


図6. デマンドモニタ画面

#### <年次グラフ>



#### <CSVファイル形式>

1. 年次電力量	2. 年次平均電力量	3. 年次標準偏差電力量
2014年度 年次電力量	414,000 kWh	44,000 kWh
2014年度 年次平均電力量	414,000 kWh	44,000 kWh

図7. 電気需要平準化時間帯電力量の積み上げ年次グラフ

化時間帯の電力量を定期報告書に記載する必要がある。図7に電気需要平準化時間帯電力量の積み上げ年次グラフの例を示す。電気需要平準化時間帯をデマンドカレンダーに設定して計測することで、計測点比較グラフを使って電気需要平準化時間帯電力量を年度(4～3月)表示することができる。また、表示したグラフデータをCSVファイル形式でダウンロードして、Excel<sup>(注2)</sup>等で電気需要平準化時間帯電力量の年度合計を算出することで、省エネ法の定期報告書に必要な“電気需要平準化時間帯電力量”を算出することが可能である。

(注2) Excelは、Microsoft Corp. の登録商標である。

## 4. むすび

省エネデータ収集サーバEcoServerⅢデマンド監視機能付品の開発について述べた。今後も、市場で要求される省エネルギー管理を提供できる省エネルギー支援機器をタイミングにかつ効果的に提供するための製品開発に取り組んでいく所存である。

## 参考文献

- (1) 戸板滋人, ほか:省エネデータ収集サーバ“EcoServerⅢ”, 三菱電機技報, 86, No. 4, 247～250 (2012)

# グラフィックオペレーションターミナル“GOT2000シリーズ”的トラブルシュートソリューション

出口洋平\*  
林 和裕\*

Trouble Shooting Solutions of Graphic Operation Terminal "GOT2000 Series"

Yohei Deguchi, Kazuhiro Hayashi

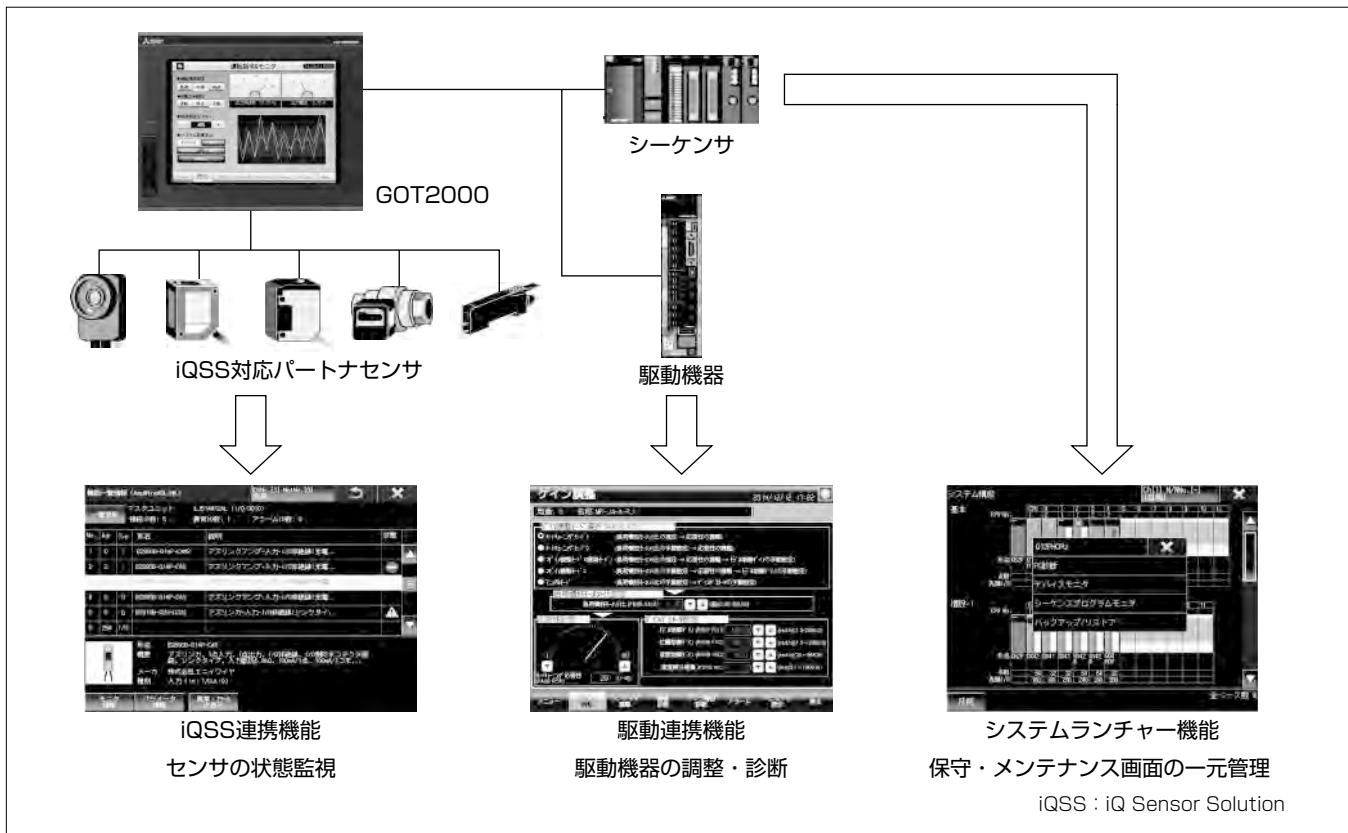
## 要旨

生産及び消費のグローバル化に伴い、世界各地に生産拠点を設けている企業は多い。このような企業では工場立ち上げの際、又は運転中のトラブル発生の際、毎回設備担当者が現地まで出張している場合が多く、年々設備担当者、企業の負担は増大している。また、セキュリティの観点から工場内現場へのパソコン持込みが厳しく制限されている場合が多い。そのため、パソコンレスで現場作業者でも簡単に問題解決が可能なソリューションが求められている。

これらの課題に対応し、“Easy&Flexible”をコンセプトとしたグラフィックオペレーションターミナル“GOT2000シリーズ”を2013年9月から販売している。生産装置に組

み込まれているGOT(Graphic Operation Terminal)は、単にシーケンサ、各種センサなどの装置の操作や状態確認だけでなく、装置に異常が発生した時、問題となっている場所の特定や原因と対処方法の確認を現場で迅速に実施するための多くのソリューションを提供している。

本稿では、パソコンレスをキーワードに、GOTを用いたトラブルシュートソリューションとして、様々なセンサと簡単に接続可能な“iQSS連携機能”，保守・メンテナンス画面の一元管理が可能な“システムランチャー機能”，三菱電機駆動機器との接続が容易となる“駆動連携機能”について述べる。



## “GOT2000シリーズ”的トラブルシュートソリューション

GOT2000シリーズは“Easy&Flexible”をコンセプトとしている。現場で簡単にパソコンレスで装置の立ち上げ作業や保守時のトラブル解決するための手段を実現した。これらのソリューションは、現場での作業効率向上に寄与している。

## 1. まえがき

当社はFA(Factory Automation)向け表示器事業を1992年スタートし、三菱FA機器との親和性を武器に事業拡大を行ってきた。2004年7月に“GOT1000シリーズ”を発売し<sup>(1)</sup>、基本性能の高さ、信頼性の高さ、三菱FA機器との独自連携機能によって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。

しかし、スマートフォンやタブレットといったタッチパネル搭載機器の普及などによって、市場環境・要望は刻々と変化している。これら変化に対応するため、アーキテクチャを刷新し、“Easy&Flexible(使いやすく、自由度が高い)”のコンセプトの下に、2013年9月にGOT2000シリーズを市場投入した<sup>(2)</sup>。

## 2. GOT機能強化の背景

生産装置の異常発生時に、迅速な原因追求や処置によるダウンタイムの短縮が求められ、生産装置の状態をモニタして状況を表示する表示器にはトラブルシューティングのための様々な機能が求められている。生産装置に組み込まれているGOTは、単に装置の操作や状態確認だけでなく、装置に異常が発生した時、問題となっている場所の特定や原因、対処方法の確認を現場で迅速に対応できるようにこれまで多くの機能を開発してきた。

“トラブルシュートソリューション”として、装置異常の原因となっている回路を検索し、チョコ停のような不意なトラブルに対応できる“シーケンスプログラムモニタ機能”，パソコンにあるマニュアルの閲覧など遠隔地にあるパソコンをGOTで操作できる“パソコンリモート操作機能”，GOTで行った操作を時系列で保存し、異常発生時に要因特定や分析に便利な“操作ログ機能”などを提供し、生産現場でのトラブルシューティングに対応している。

“製造管理・連携ソリューション”として、GOTと接続されたFA機器のデータをMES(Manufacturing Execution System)データベースサーバへ、GOTから直接SQL(Structured Query Language)文を送信し、生産情報を蓄積管理できる“MESインターフェース機能”，GOTで収集した情報ファイルや材料の配合条件や加工条件などの生産制御データファイルを事務所から読み書き可能な“FTP(File Transfer Protocol)サーバ機能”を提供してきた。

このような状況の中、セキュリティの観点から現場へのパソコン持込みが厳しく制限されている工場が増え、パソコンレスでの問題解決可能な機能が求められるようになった。

本稿では、パソコンレスで現場の問題を効率的に実施することが可能なトラブルシュートソリューションとして、“iQSS連携機能”“システムランチャー機能”“駆動連携機能”的3つの機能について述べる。

## 3. iQSS連携機能

近年、工場生産現場もIoT(Internet of Things：モノのインターネット)時代が到来し、各種センサでの状態把握が必要となっている。当社ではFA向けセンサ機器の製造・販売は行っていないため、パートナーメーカーの機器をいち早くタイムリーに接続することが求められている。

一方、センサ自身の進化も目覚ましく、例えば従来センサでは感度ボリュームを回転させてON/OFFを調整していたが、デジタルセンサではティーチング(感度設定)，検出距離変更(応答速度変更)等の操作が可能となっている。センサのデジタル化、多機能化によって調整、管理項目が爆発的に増大している。また、センサの設定項目の増大に伴い、正常時の状態を管理・保管する必要が出てきている。そこで簡単に複数台のセンサの管理を現場で行う、iQSS連携機能の開発を行った。

この機能は、センサ機器を始めとするパートナーメーカーの機器の運用状況閲覧、パラメータ参照・編集を可能とする。機器ごとに設けたプロファイル(機器がサポートする機能、パラメータ、機器の製品情報等を定義したファイル)に基づいてこの機能を実現する仕組みを設けている。

GOTではiQSS機器のプロファイルを解釈し、各機器に対応した機能を実現する“iQSSユーティリティ”を提供する。

各機器のプロファイルデータを変換することで、既存システムに組み込まれているGOTを変更することなくパソコンレスでタイムリーに新たに登場したパートナー機器に対応した機能を提供することが可能となる(図1)。

機能面ではシステム立ち上げ時や改造時に、センサの機器一覧情報をグラフィカルに表示し、簡単に確認可能な専用画面を用意、現場でのシステム立ち上げ時や改造時の作業時間短縮を実現している(図2)。

また、表示位置をリボン状に配置することで操作性を統一した専用画面によるセンサのモニタが可能で、各センサ

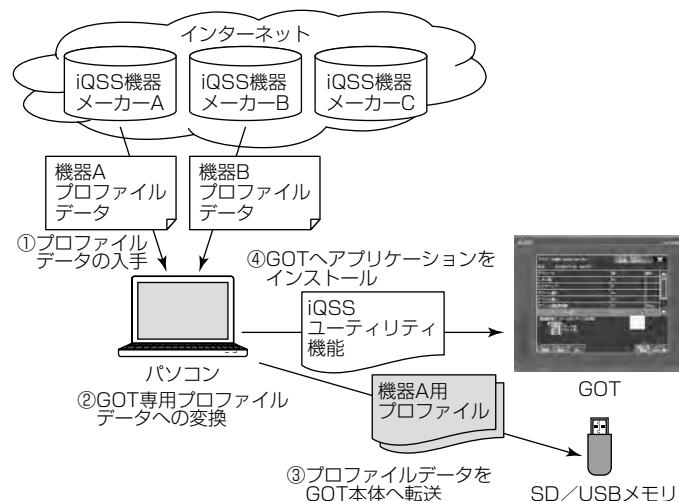


図1. iQSS連携機能実現のためのアーキテクチャ

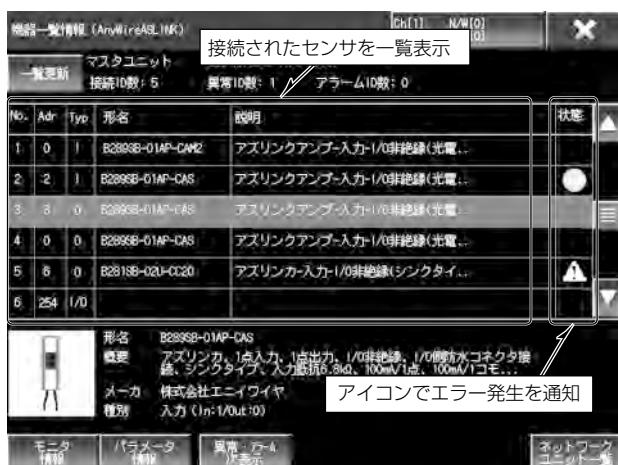


図2. 機器一覧情報画面

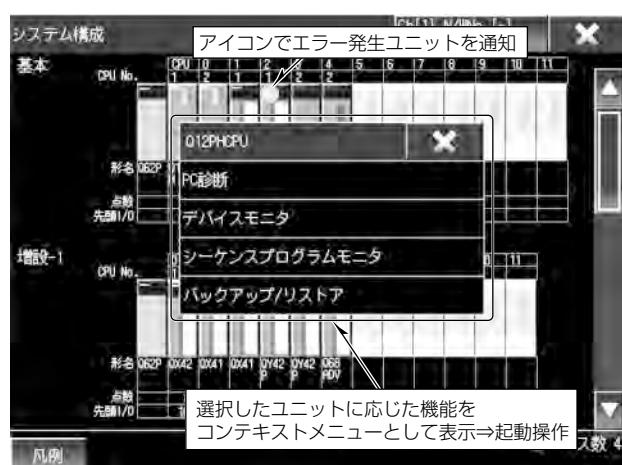


図5. システムランチャー機能画面

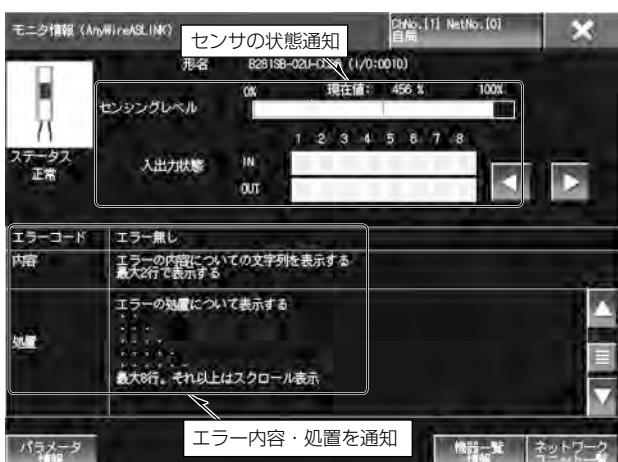


図3. センサ状態モニタ画面

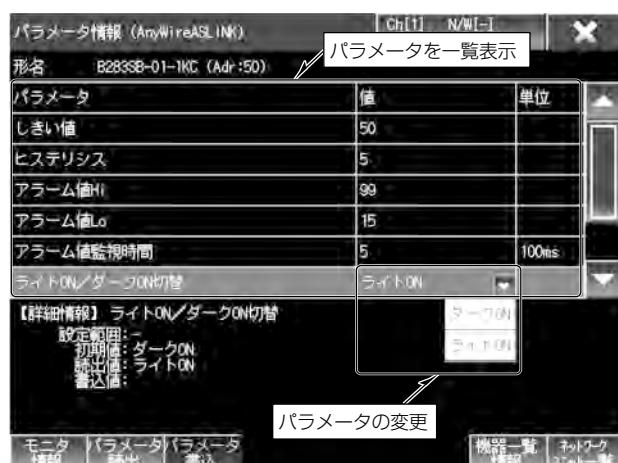


図4. センサ設定値の確認・変更画面

の状態確認によってライントラブル発生時のセンサの状況や交換すべきセンサの特定が現場で容易に可能となった(図3)。

さらに、今までパソコンがなければ調整ができなかったセンサパラメータの設定確認、変更が可能な専用画面を用意した。現場での調整が可能となったため、立ち上げ時、稼働中の調整時間の短縮を実現した(図4)。

#### 4. システムランチャー機能

GOTは、シーケンサのラダープログラムを閲覧・編集可能なシーケンスプログラムモニタ機能、シーケンサの動作プログラムをGOTに保管し、万が一のトラブル時のバックアップとするバックアップ／リストア機能など、保守・保全に関する様々な機能を持つ。これら機能はGOTのユーティリティ画面などから個別に呼び出す必要があり、そのたびに通信チャネル・ネットワーク番号等を入力するため、操作が煩雑となっていた。

これら従来機能の付加価値を高めるため、システム構成図をグラフィカルに表示し、表示されたユニットにタッチすることでそのユニットに対して適用可能な保守・保全に関する機能を起動できるシステムランチャー機能を開発した(図5)。

さらに、オンラインユニット交換操作に対応し、現場でのユニット交換操作をパソコンレスで実現可能とした。

#### 5. 駆動連携機能

GOTでは、従来シーケンサとの連携機能を中心に開発してきた。今回、当社駆動機器との連携の強化による国内及び海外での三菱製品群のプレゼンスの更なる強化を目的とし、駆動連携機能を開発した。この機能はFA総合メーカーである当社ならではの機能であり、現場でのトラブルシューティングをより効率的に行うことが可能となった。

駆動連携機能とはパソコンレスでサーボの立ち上げ、調整、保守作業の効率化を目指すものである。具体的には、立ち上げ時に発生するサーボゲインの調整サポートを行う“ワンタッチチューニング機能”，予防保全である“機械診断機能”“アンプ寿命診断機能”をGOTで実現している。それぞれの画面構成は指でのタッチ操作を前提としているため、スキン、メニューの並び等を統一し、各画面で同じ操作性を実現した。

##### 5.1 ワンタッチチューニング機能

ワンタッチチューニング機能は、ボタンをワンクリック

# 特集論文

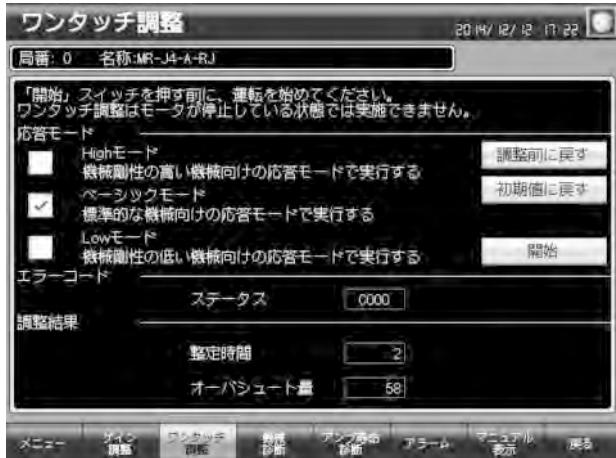


図 6. ワンタッチチューニング画面

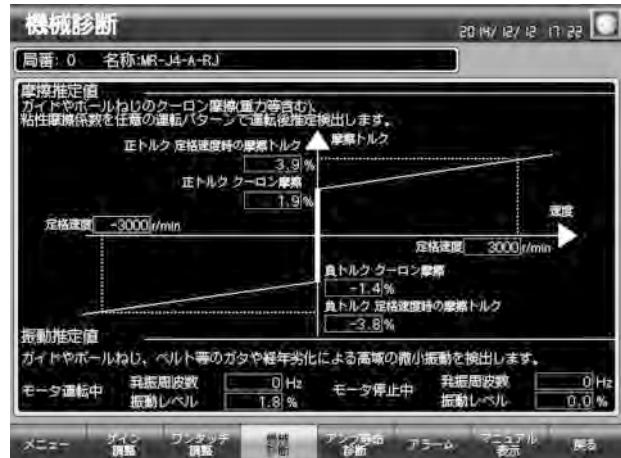


図 8. 機械診断画面



図 7. パラメータ調整画面

するだけで、負荷慣性モーメント比の推定、ゲイン調整、機械の共振制御など、サーボ性能を最大限に引き出すためのパラメータ調整を自動で実施する。調整後には整定時間やオーバーシュート量で調整結果を確認可能である。なお、ワンタッチ調整後にマニュアル設定で、更に性能を追求したい場合には、チューニング画面で制御ゲインを微調整することも可能である(図 6, 図 7)。

## 5.2 機械診断機能

機械診断機能は、サーボアンプの内部データから、装置の摩擦、負荷慣性モーメント、アンバランストルク、振動成分の変化を解析し、機器部品(ボールねじ、ガイド、軸受け、ベルトなど)の変化を検出する。これによって、現場で駆動部の早急なメンテナンスが可能となった(図 8)。

## 5.3 アンプ寿命診断機能

アンプ寿命診断機能によって、通電時間累積や突入りレーのON/OFF回数が確認可能である。これらはサーボアンプの有寿命部品のコンデンサやリレーの交換時期の目安情報として使用可能である(図 9)。

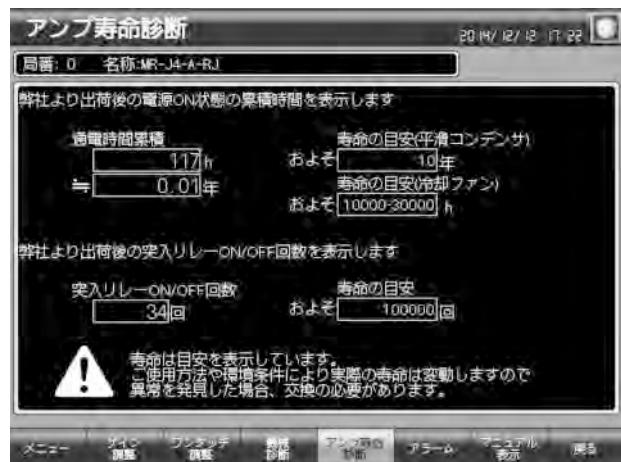


図 9. アンプ寿命診断画面

## 6. むすび

“Easy & Flexible”のコンセプトの下、FA総合メーカーであるメリットを活かし、現場での保全作業に活用可能な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について述べた。

今後は当社FA機器との連携の更なる強化、一連の製品群とサービスをセットとして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) 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)
- (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)

# エネルギーアシストユニット “MR-EAU100K4”

神田善則\*  
今 孝公\*  
三輪真大\*

*Energy Assist Unit "MR-EAU100K4"*

Yoshinori Kanda, Takayuki Kon, Masahiro Miwa

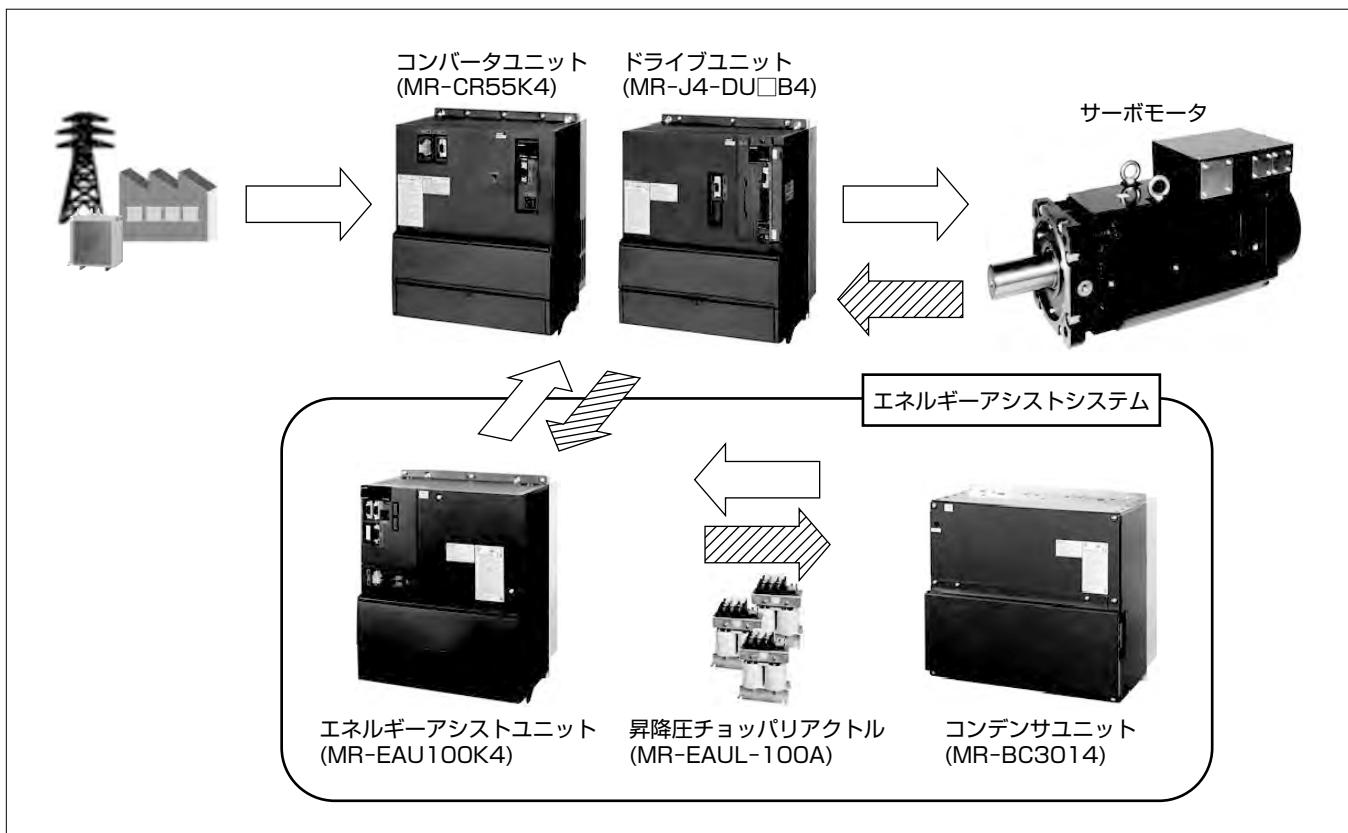
## 要 旨

近年、装置の高性能化、高タクト化の要求から、サーボモータを使用した装置が増加している。サーボモータは瞬時に定格の約3倍のトルクを出力でき、装置の高速化によって産業機械の生産性向上に貢献できる。一方で必要とする瞬時電力も多くなるため、大容量サーボシステムを導入するにあたって既存の電源設備の瞬時電力が不足する場合、電源設備の新設や電源系統の見直しが必要となるという課題がある。

そこで、大容量のサーボシステムを対象とした、電源からの瞬時供給電力を抑制するオプションユニットとしてエネルギーアシストユニット“MR-EAU100K4”を開発した。

エネルギーアシストユニットは昇降圧チョッパ制御用のリアクトル、及びエネルギーをためておくコンデンサユニットで構成(以下“エネルギーアシストシステム”といふ)している。サーボモータが加速(力行)動作する際には、コンデンサのエネルギーを昇圧制御することでドライブユニットに電力を供給し、サーボモータが減速(回生)動作する際に、サーボモータが発生する回生エネルギーを降圧制御することで、コンデンサへ蓄電する仕組みである。

昇圧制御、降圧制御の切換には状態遷移を用いて、サーボの運転状態をエネルギーアシストユニットに伝えることなく、自動的にモードを切り換える機能を備えている。



## 電源供給電力のピークカットの実現

サーボモータは瞬時に定格の約3倍のトルクの出力が可能であるが、大容量化による電源からの瞬時供給電力が非常に大きくなるという課題があった。エネルギーアシストシステムはエネルギーアシストユニット、昇降圧チョッパリアクトル及びコンデンサユニットで構成しており、サーボシステムに取り付けることによって、瞬時の大きな消費電力をアシストすることで電源からの供給電力を低減することを可能とする。

## 1. まえがき

近年、産業機械は装置の高性能化、高タクト化の要求から、三相誘導モータや油圧アクチュエーターのサーボモータへの置き換えが進んでいる。特に大型のプレス装置や射出成形機では、サーボモータ使用による生産性の向上、省エネルギー、オイルフリーなどの利点から、サーボシステムを適用した電動化が進んでいる。

サーボモータは瞬時に定格の約3倍のトルクを出力できるというメリットがある一方、必要とする瞬時電力も増加する。そのため、大容量サーボシステムを導入するにあたって既存の電源設備では瞬時電力が不足する場合があり、電源設備の新設や電源系統の見直しが必要となる。電源設備容量の見直しによる大容量キュービックの導入や契約電力の変更には、非常に高いコストがかかるため、電源設備の小さなユーザーへの大容量サーボを用いた設備の導入は困難であるという課題があった。

そこで、課題を解決するために、電源設備容量の強化をすることなく、サーボモータが瞬時消費電力を必要とする場合でも電源から供給する瞬時電力を抑制することができる、エネルギーアシストユニットを開発した。

## 2. エネルギーアシストシステム

### 2.1 エネルギーアシストシステムとは

エネルギーアシストユニットは大容量サーボシステムを構成するコンバータユニットとモータにPWM(Pulse Width Modulation)電圧指令で正弦波電流を供給するドライブユニットに接続されるため、コンバータユニットやドライブユニットと同様にブックエンドタイプのユニットにすることで両ユニットとの密着取付を可能としている。エネル

ギーアシストユニットは昇降圧を行うためのリニアトロを介してエネルギーを蓄電するコンデンサユニットに接続され、エネルギーアシストシステムを構成する(図1)。

### 2.2 エネルギーアシストシステムの動作

エネルギーアシストユニットはサーボモータの加速時(力行時)にあらかじめコンデンサユニットにためたエネルギーを母線電圧側へ供給することで、モータ駆動に必要な電力をアシストする。

また、モータの減速時(回生時)に発生する回生エネルギーをコンデンサに充電する。ためたエネルギーは次回加速時に再利用するため、従来は回生抵抗で熱消費していたエネルギーを有効活用でき、省エネルギーとしても効果がある(図2)。

## 3. エネルギーアシスト制御

### 3.1 昇降圧チョッパ制御

エネルギーアシストシステムの概略回路は図3のようになっており、エネルギーアシストユニット内の半導体素子と外付けのリニアトロによって昇降圧チョッパ制御を行う。

サーボモータが加速する際のエネルギーをアシストする場合、半導体素子の下アームを制御し、コンデンサユニット内の電圧を母線側へ上昇させる。また、モータ減速時は上アームを制御し、母線電圧を下降させ、コンデンサユニットへ充電する。

エネルギーアシストユニットの制御における大きな特徴としては、図4のように3重チョッパ制御を行っている点であり、これによって半導体素子に対して、大容量のエネルギー供給を行うための電流及びパワーサイクルへの影響を軽減している。また、安定したアシストを実現するため母線電圧側の電圧リップルを抑えるため、位相変更処理を行うことも大きな特徴である。

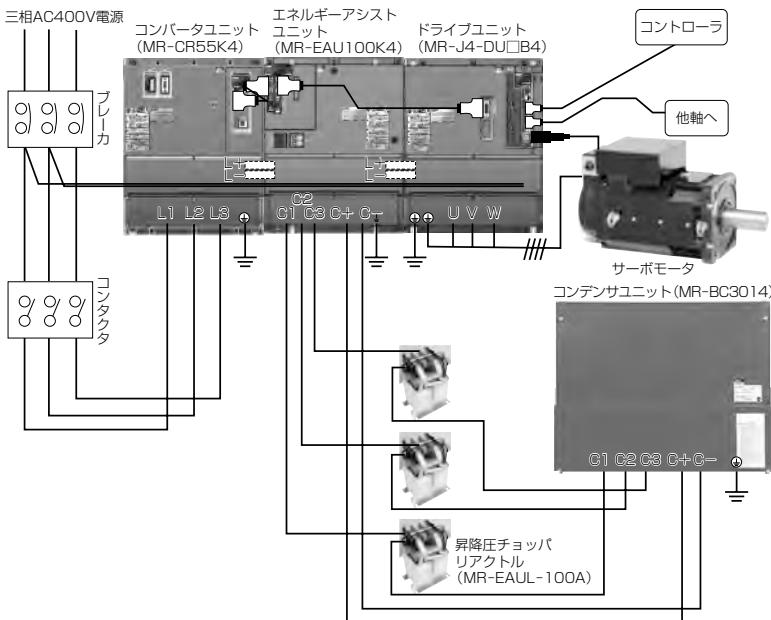


図1. エネルギーアシストシステムの構成

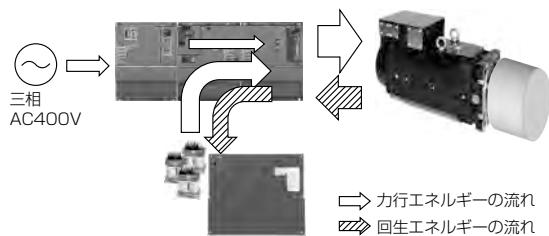


図2. エネルギーアシストシステムとエネルギーの流れ

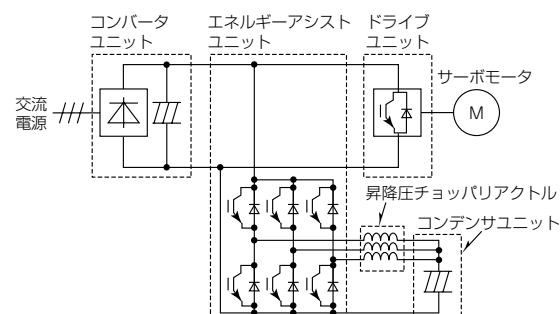


図3. エネルギーアシストシステムの概略回路

### 3.2 エネルギーアシスト制御

図5のようにエネルギーアシストシステムは、初期充電制御モード、アシスト(昇圧)制御モード、回生(降圧)制御モード、補充電制御モードの4つの制御モードからなっており、コンバータ準備が完了後にエネルギーアシスト駆動信号によって初期充電制御モードを経て、その後、サーボモータの力行／回生に応じて自動的にアシスト／回生制御を行う。次に各制御モードについて述べる。

#### 3.2.1 初期充電制御

アシスト動作を実施するためにはまず始めにエネルギーをためることが必要である。

一般的に回生時のエネルギーの有効活用としては母線に大容量のコンデンサを設置することが知られている。しかし母線に大容量のコンデンサを取り付けると電源投入時の突入電流が過大となるため、それを抑制するための大容量の突入抑制回路が必要となり、サイズが大きくなり、充電に時間がかかるという課題がある。また、初回の加速時には回生がない状態のため、十分なエネルギーがなく仕様を満足することができないことも課題である。

これに対しエネルギーアシストは初回のモータ動作の前に高精度な電流制御による初期充電を実施している。これによって、エネルギーアシストシステムに大容量のコンデンサを搭載しても突入抑制回路が不要となり、また初回の動作から仕様どおりのアシスト動作を可能とする。

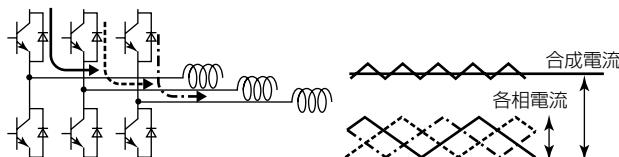


図4. 3重チョッパ回路による電流分散

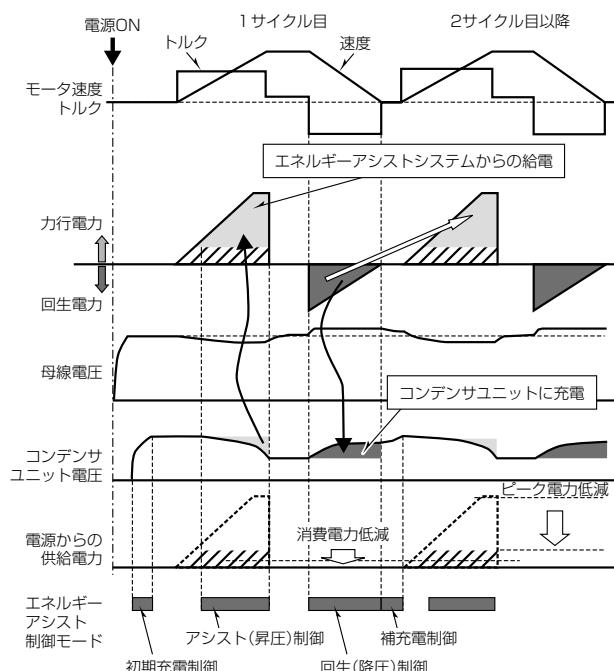


図5. エネルギーアシストシステムの基本動作シーケンス

#### 3.2.2 アシスト(昇圧)制御

アシスト制御は高精度に母線電圧とコンデンサ電圧を検出し、消費エネルギーの増加に伴う、母線電圧の低下量を制御対象とし、電源側からコンバータへ供給される電力が一定となるように制御を実施する。

#### 3.2.3 回生(降圧)制御

サーボモータは瞬時に定格の約3倍のトルクを出力できるため、モータが急減速する際には非常に大きな回生エネルギーが発生し、母線電圧が急激に上昇する。エネルギーアシストユニットは先に述べた高精度な電圧検出とともにモータ駆動の制御周期よりも高速に処理を実施することで約100kWという急峻(きゅうしゅん)かつ大きな回生電力を対しても追従した回生動作を可能にしている。

#### 3.2.4 補充電制御

一般的には装置にはメカ的なロス等があり加速時の必要エネルギーより減速時の回生エネルギーの方が小さくなる。そのためエネルギーアシストユニットは回生制御が終了後に基準となるレベルまで補充電を行い、常に同量のアシスト量を確保して繰り返し精度を保つことができる。

この補充電は射出成形機のように回生が発生しない装置へのピーク電力カットに対しても有効な機能である。

### 4. メンテナンス性

エネルギーアシストを実施する際にはコンデンサユニットに充電されたエネルギーを使用するため、コンデンサユニットの経年劣化を考慮する必要がある。コンデンサの容量が減少しすぎると図6のようにアシストに使用できるエネルギーが不足し、仕様を満足しなくなる可能性がある。

この課題を解決するために、初期充電中にコンデンサ容量を推定し、容量値が仕様を満足していないレベル直前まで低下した際はユーザーに容量不足を知らせる“コンデン

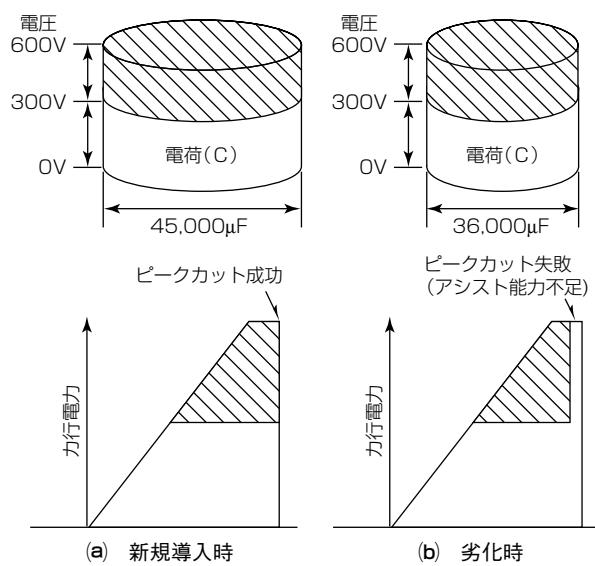


図6. コンデンサ容量劣化イメージ

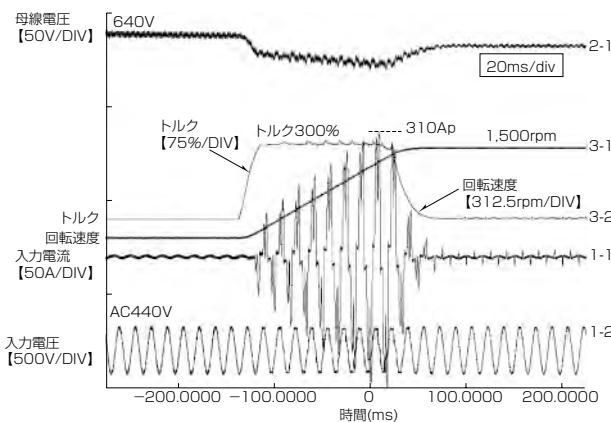


図7. ステップ加速時の従来構成での検証波形

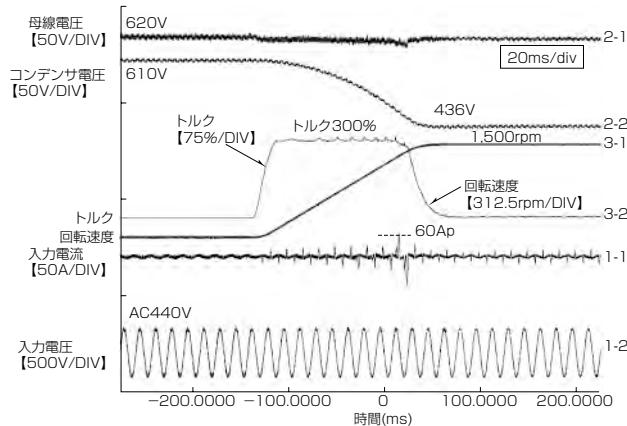


図8. ステップ加速時のエネルギーアシスト導入での検証波形

サ容量推定機能”を開発した。これによって完全に仕様を満たさなくなる前に交換品の準備を可能とする。この機能の特徴は、初期充電中に同時にを行うことで追加の測定装置や専用の推定モードが不要となることである。

## 5. 導入効果

大きな瞬時消費エネルギーを要する動作をさせ、従来のシステム構成とエネルギーアシストを適用した構成でエネルギーアシスト導入の効果を検証した。次にアシスト制御によるピークカット効果と回生制御による回生エネルギーの有効活用効果について述べる。検証は次の条件で実施した。

- (1) 入力電圧：AC440V, モータ“HG-JR55K1M4”
- (2) 定格出力55kW, 定格回転速度1,500r/min
- (3) 慣性モーメント $1,637(10^{-4}kg \cdot m^2)$
- (4) 負荷：負荷慣性モーメント $9,500(10^{-4}kg \cdot m^2)$
- (5) 動作パターン：1,500r/minステップ加減速

### 5.1 ピークカット効果(アシスト制御効果)

図7, 図8に従来のシステムとエネルギーアシストを導入した場合の測定波形を示す。

従来のシステム構成では、図7のように電源の入力電流ピーク値が約310Apとなりピーク電力は約130kWとなる。

一方、エネルギーアシストシステム導入ではピーク電流は60Apとなり電源供給電力は30kWまで低減でき、従来の

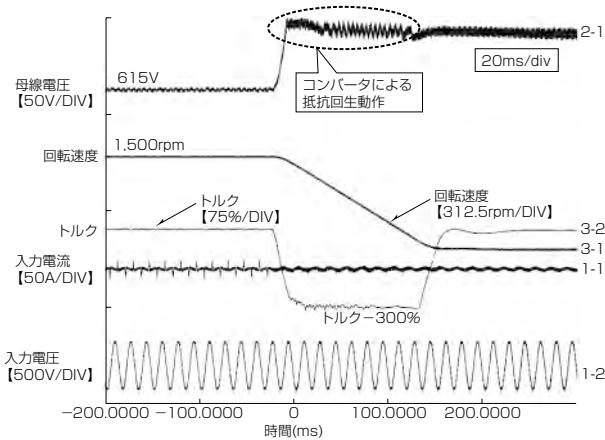


図9. モータ減速時の従来構成での検証波形

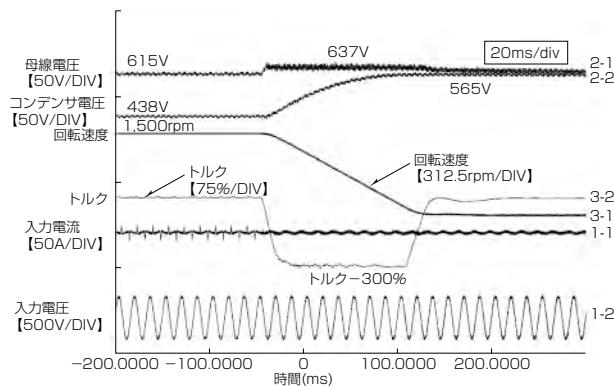


図10. モータ減速時のエネルギーアシスト導入での検証波形

システムと比較し100kWのピークカットを実現できていることが確認できる。

### 5.2 エネルギー有効活用効果(回生制御効果)

図9, 図10は従来のシステムとエネルギーアシストを導入した場合のモータ急減速時の測定波形である。

従来のシステム構成では、図9のように回生エネルギーによって母線電圧が急上昇し、コンバータの回生機能によって回生抵抗でエネルギーの消費(熱として放出)の状態となっている。

一方、エネルギーアシストシステム導入では母線電圧を一定に制御することで、上昇を防ぎ全回生エネルギーをコンデンサユニットに充電することができ、モータ及び負荷の慣性モーメントからの概算回転エネルギー( $E=1/2J\omega^2$ )の約13,000Jのエネルギーを有効活用できていることが分かる。

## 6. むすび

エネルギーアシストシステムを用いることで、従来課題であった大容量サーボシステムの導入時の入力電力ピークカットを実現できるので、電源環境に問題をかかえている顧客に提供していきたい。

また、世の中の様々な装置やニーズを取り入れ、多くの顧客が満足できる製品・機能開発に努めていく所存である。

# 次世代省エネルギー汎用インバータ “FREQROL-F800シリーズ”

近藤 淳\*  
丸本祥太郎\*  
古谷真一\*\*

Next Generation Energy-Saving Inverter "FREQROL-F800 Series"

Atsushi Kondo, Shotaro Marumoto, Shinichi Furutani

## 要 旨

汎用インバータは搬送機械、金属工作機械、繊維機械、空調、水処理など、様々な適用用途の中でも、省エネルギー志向の高まり及び省エネルギー効果の大きさのためファン・ポンプ市場での需要が加速している。三菱電機ではファン・ポンプ用インバータとして好評を博している“FREQROL-F700Pシリーズ”をフルモデルチェンジし、“FREQROL-F800シリーズ”を製品化した。

FREQROL-F800シリーズの主な特長を次に挙げる。

- (1) インバータ化による省エネルギーの追求
  - ・アドバンスト最適励磁制御
  - ・高効率モータ駆動、PM(Permanent Magnet)モータオートチューニング機能
  - ・待機電力削減(セルフパワーマネジメント機能)

- (2) ファン・ポンプに最適な専用機能
  - ・クリーニング機能
  - ・負荷特性測定機能、異常検出機能
  - ・PID(Proportional, Integral, Derivative)機能拡充(マルチポンプ、プリチャージほか)
  - ・エマージェンシードライブ機能

- (3) 使いやすさ
  - ・液晶操作パネルの単位変換、PID目標値の直接設定
- (4) システム対応力
  - ・内蔵シーケンス機能、リアルタイムクロック機能
  - ・BACnet MS/TP対応<sup>(注1)</sup>

(注1) BACnetは、アメリカ暖房冷凍空調学会(ASHRAE)の登録商標である。



FREQROL-F800(標準構造品IP20/00)

### インバータ化による省エネルギーの追求

- ・アドバンスト最適励磁制御
- ・高効率モータ駆動、PMモータオートチューニング機能
- ・待機電力削減(セルフパワーマネジメント機能)

### ファン・ポンプに最適な専用機能

- ・クリーニング機能
- ・負荷特性測定機能、異常検出機能
- ・PID機能拡充(マルチポンプ、プリチャージ他)
- ・エマージェンシードライブ機能

### 使いやすさ

- ・液晶操作パネルの単位変換、PID目標値の直接設定

### システム対応力

- ・内蔵シーケンス機能、リアルタイムクロック機能
- ・BACnet MS/TP対応

## 次世代省エネルギー汎用インバータ “FREQROL-F800シリーズ”

FREQROL-F800シリーズは、200V系は0.75～110kW、400V系は0.75～560kW(355～560kWはインバータ、コンバータ分離構品)の幅広い容量レンジをラインアップしている。始動トルクの向上と省エネルギーを両立させたアドバンスト最適励磁制御、ファン・ポンプに最適な専用機能、使いやすさ、システム対応力向上などのファン・ポンプ・コンプレッサに最適な次世代省エネルギー汎用インバータである。

## 1. まえがき

近年、地球環境保全やエネルギーコスト削減のため省エネルギーに対する関心は世界的にますます高まっており、インバータ化による省エネルギー効果の大きいファン・ポンプ用途はインバータ総需要の約20%を占める最大の市場である。

当社ではファン・ポンプ用省エネルギーインバータとして好評を博している省エネインバータ“FREQROL-F700Pシリーズ”をフルモデルチェンジし、“FREQROL-F800シリーズ”を製品化した<sup>(1)(2)</sup>。

本稿では、FREQROL-F800シリーズ（以下“F800シリーズ”という。）で採用した技術、機能について述べる。

## 2. 機種構成

F800シリーズの機種構成を表1に示す。

従来機種であるFREQROL-F700Pシリーズからの置き換えるに適した標準構造品に加えて、共通母線等の実現に適したインバータ、コンバータ分離構造品を新たにラインアップした。

さらに使用するファン・ポンプの負荷に合わせて2種類の過負荷定格がパラメータで選択できる。空調のような負荷が安定して、過負荷にあまりならない用途では、1ランク容量の大きなモータを駆動することができ、省コストが可能となる（表2）。

## 3. インバータ化による省エネルギーの追求

### 3.1 アドバンスト最適励磁制御

ファン・ポンプ・プロアなど2乗低減トルク負荷の消費電力は回転数の3乗に比例するため、インバータによる回転数制御で風量や吐出量調整を行うことによって、消費電力の低減が可能となる。インバータの最も簡単なV/F（Voltage/Frequency）制御でも、インバータを使用しないダンパ制御等の出力量制御によって消費電力削減が可能であるが、当社ではファン・ポンプ向けインバータFRE QROL-Fシリーズで更なる省エネルギー機能として最適励磁制御を開発し、改善してきている（図1）。

最適励磁制御では、図2のようにモータ効率が最大となるように励磁電流を制御し、出力電圧を決定する。

表1. F800シリーズの機種構成

機種構成	ラインアップ	
標準構造品	3相 200V	0.75~110kW
	3相 400V	0.75~315kW
インバータ、コンバータ分離構造品	3相 400V	355~560kW

表2. F800シリーズの多重定格対応

負荷	過負荷電流定格
超軽負荷	110% 60s, 120% 3s 周囲温度40°C
軽負荷	120% 60s, 150% 3s 周囲温度50°C

従来の最適励磁制御は、低速運転でトルクが低くなるV/F制御をベースに励磁電流を制御しているため、始動時に高トルクが必要な用途には適用できないという課題があった。

当社の高性能汎用インバータでは、V/F制御の始動トルクが低い欠点を改善した制御方式としてアドバンスト磁束ベクトル制御を搭載している。これは負荷トルクに見合ったモータ電流を流せるように電圧と周波数の補正を行うことによって、低速トルクを向上させる制御方式である。

F800シリーズでは、アドバンスト磁束ベクトル制御をベースとして最適励磁制御をすることで、図2、図3のようにモータ効率は従来と同等でありながら、始動時は大きなトルクを得ることができる。面倒なパラメータ調整不要で、インバータの大きいファンの加速時間短縮など、インバータを適用できるアプリケーションの範囲を広げることが可能となる。

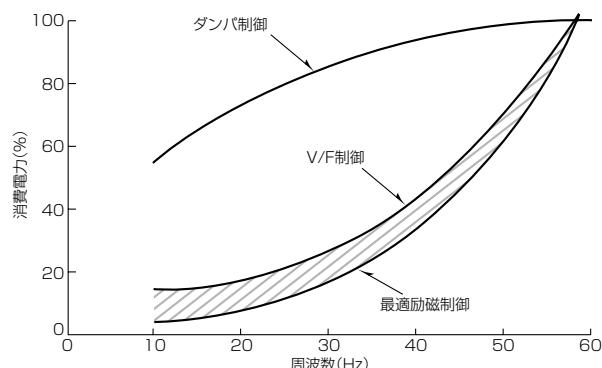


図1. 制御方式の消費電力比較

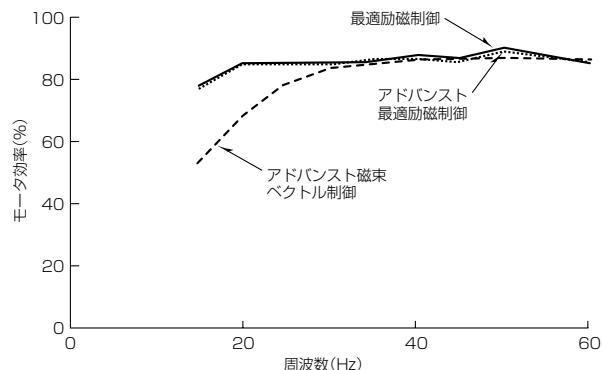


図2. モータ効率

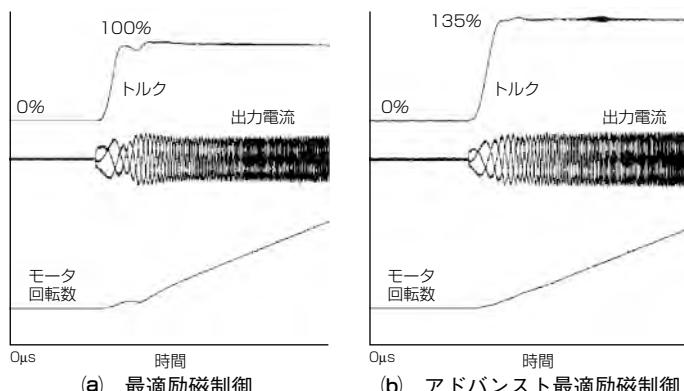


図3. 最適励磁制御とアドバンスト最適励磁制御

### 3.2 高効率モータ駆動, PMモータオートチューニング機能

国際的な地球温暖化防止を背景に、世界各国で高効率モータの製造・販売を義務付ける法規制の導入が進んでいる。効率基準の国際標準として、2008年10月にIEC60034-30(単一測度三相かご形誘導機の効率クラス)が制定された。この中でIE1～IE4に効率がクラス分けされており、数値が大きいほど効率が高いことを示す。

F800シリーズではIE3, IE4相当の当社モータを標準サポートすることで、パラメータ設定不要で高効率な運転を実現し、省エネルギー運転による電気料金の削減に貢献する。

IE3(プレミアム効率)に相当する当社汎用モータである“スーパーラインプレミアムシリーズ(SF-PR)”は、IE1(標準効率)相当の当社標準モータ“SF-JR”と取り付け寸法互換があり、すべり量調整機能によってSF-JRからのスムーズな切換えが可能である。

またアドバンスト磁束ベクトル制御での100%連続トルクは、IE2(高効率)相当の当社モータ“SF-HR”は6Hz以上であるところ、SF-PRは0.5Hz以上と、定トルク領域が低速域まで広がったことによって、省エネルギー性能向上だけでなく、適用可能なアプリケーションの拡大も実現する。

IE4(スーパープレミアム効率)に相当する当社IPM(Interior PM)モータ“MM-EFS/MM-THE4”も標準でサポートしている。IPMモータは永久磁石を回転子に埋め込んでおり、回転子(二次側)に電流が流れないと二次銅損がなく、永久磁石によって磁束が発生するため、モータ電流が少なくなる(図4)。

F800シリーズでは、回路定数を測定するオフラインオ

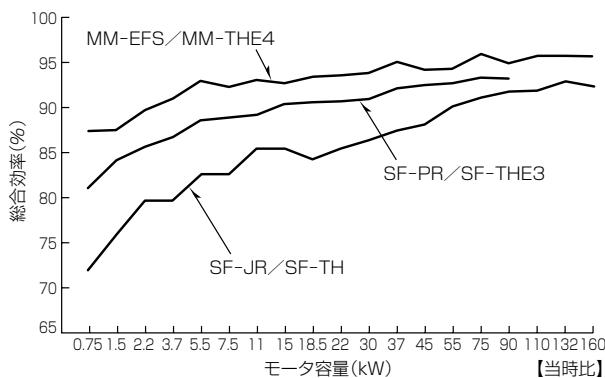


図4. MM-EFS, SF-PR, SF-JRの容量と効率

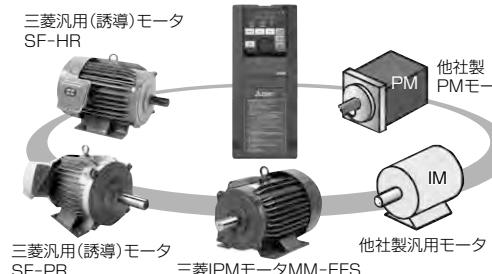


図5. F800シリーズの適用可能モータ

ートチューニング機能で、図5に示す様々なモータの性能を最大限に引き出し、最適に制御できる。PMモータの磁気飽和特性を利用したパルス電圧印加方式によってインダクタンス推定を行う、PMオートチューニング方式によって、他社製PMモータのセンサレス制御が可能である。

先に述べた当社製汎用モータ、PMモータ以外に、他社製汎用モータ、他社製PMモータもセンサレスで運転できる。

### 3.3 待機電力削減

インバータ停止中の待機電力は、運転中に比べるとわずかな電力量だが、それさえも極限まで減らすための機能をF800シリーズでは導入した。

インバータは、外部電源(DC24V)を供給されることで、主回路の入力側に取り付けられた電磁接触器(MC)を信号で制御でき、モータ停止後にMCをOFF、モータ駆動前にMCをONすることで待機電力の削減が可能となる(図6)。

インバータ冷却ファンは、インバータ冷却フィンの温度に応じて制御され、インバータはそのファン動作に併せて信号を出力し、盤などに設置したファンを制御することで、停止中の無駄な電力消費を削減できる。

## 4. ファン・ポンプに最適な専用機能

近年のインバータへの要求として、汎用ではなく、各アプリケーションに特化した機能の充実が求められており、ファン・ポンプに特有の問題解決、利便性の向上を図った。特にフィードバックありのPID制御を行多いため、PID制御の機能を拡充した。

### 4.1 クリーニング機能

モータの正転・逆転と停止を繰り返して、ポンプのインペラやファンについた異物を取り除くことができる。端子入力時や一定時間ごとだけでなく、4.2節で述べる負荷特性測定で正常範囲から外れた(過負荷)場合に、自動的に動作させることも可能である。

### 4.2 負荷特性測定、異常検出機能

低減トルク負荷は定トルク負荷と異なり、出力周波数に対して一定のトルク制限では異常を検出できない。そこで図7のように故障などのない状態で速度(出力周波数)-トルクの関係を記憶し、現在の負荷状態と記憶した負荷特性

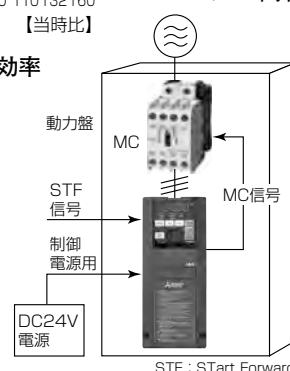


図6. セルフパワーマネジメント

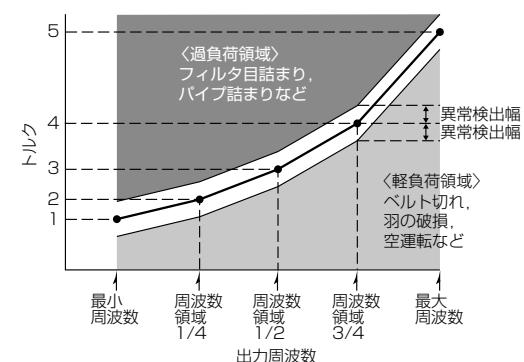


図7. 負荷特性測定、異常検出

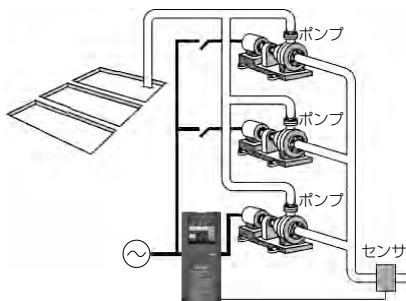


図8. マルチポンプ機能

を比較し、正常範囲から外れた場合にエラー・警告を出力する。フィルタ目詰まりやベルト切れなど装置の異常検出、メンテナンスが容易になる。

#### 4.3 PIDマルチポンプ機能

図8のようにインバータ1台で、並列接続されたポンプ(最大4台)をPID制御することで、水量などの調節ができる。並列接続されたポンプのうち1台をインバータ駆動し、それ以外のポンプについては商用駆動させるために各ポンプ一次側のMCをインバータが制御する。商用駆動するポンプの数は、水量に応じて自動で調整する。

インバータ駆動するポンプを順次変更することで、複数ポンプの駆動時間を均一にし、ポンプの長寿命化を図る。

#### 4.4 PIDゲインチューニング

PID制御の操作量を変更し、PID制御の応答を測定することによって、自動的にPID制御に最適な定数を設定することができる。ステップ応答法とリミットサイクル法からチューニング方式を選択できる。

#### 4.5 PIDマルチループ

PID演算機を2個内蔵しており、インバータでモータの動作をPID制御しながら、外部機器のPID制御も可能である。外部のPIDコントローラを使用することなく外部機器の制御が可能なため、システムコストを低減できる。

#### 4.6 PIDプリチャージ機能

PID動作の前に測定値(圧力等)が設定レベルに到達するまで一定速でモータ運転し、パイプへの注水を制御する。パイプが空の状態からのPID動作による急加減速運転を回避し、ウォーターハンマー等を防止する。長いポンプで水を流す制御などで、ポンプ内に水が溜(た)まるまでPID制御させたくない場合にも有効である。

ポンプには水平型と垂直型があり、水平型の加速では垂直型は圧力が上がっていかないため、垂直型はユーザーが調整可能な加速パターンを設定できる。

#### 4.7 エマージェンシードライブ機能

通常、過負荷等が発生した場合、インバータ自身を保護するためモータを停止させるが、この機能はモータ停止をさせないで、強制的に運転を継続する。排煙ファンの駆動等で、火災時にインバータ保護が働いても、エラーリセット、運転再開を自動で繰り返し、ファンによる排煙継続を試みる。インバータが破損にいたる異常が発生した場合に、商用運転に切り換えて運転継続することもできる。

## 5. 使いやすさ

### 5.1 液晶操作パネルの単位変換、PID目標値の直接設定

オプションの液晶操作パネル“FR-LU08”で工場出荷の%単位表示を視認しやすい単位に変換できる。インバータで標準となる出力周波数や回転数ではなく、風量、温度などの各ユーザーになじみのある単位表示によって、メンテナンス・調整が容易となる。43種類の単位に対応し、あらゆるPID制御アプリケーションで使いやすい単位を選択できる。

さらに通常インバータのパラメータに設定するPID目標値を操作パネルで直接設定できる。

## 6. システム対応力

### 6.1 内蔵シーケンス機能、リアルタイムクロック機能

内蔵シーケンス機能によって、入力信号に対するインバータの動作や、インバータの運転状態に応じた信号出力、モニタ出力といったインバータの制御を機械の仕様に合わせて自由にカスタマイズできる。

ユーザーのシーケンスプログラムからパラメータや設定周波数の変更が可能となる。そのプログラミングにはインバータセットアップソフトウェアを使用する。

インバータと接続された機器の制御を、オプションのFR-LU08のリアルタイムクロック機能と併せて使用することで、時間に応じた運転ができ、システムの分散制御が可能になる。

### 6.2 BACnet MS/TP対応

標準装備のRS-485端子台で三菱インバータプロトコル、Modbus<sup>(注2)</sup>-RTU(Remote Terminal Unit)プロトコルに加えて、主に北米の空調用途で使用されるBACnet MS/TPに対応している。

(注2) Modbusは、Schneider Automation Inc. の登録商標である。

## 7. むすび

次世代省エネルギー汎用インバータFREQROL-F800シリーズの技術、機能について述べた。今後も更なる機能・性能の向上と、高付加価値を目指した製品開発に努めていく。

## 参考文献

- (1) 白石康裕, ほか: 次世代省エネインバータ“FREQROL-F700シリーズ”, 三菱電機技報, 79, No.3, 189~192 (2005)
- (2) 田中哲夫, ほか: 次世代高機能汎用インバータ“FREQROL-A800シリーズ”, 三菱電機技報, 88, No.4, 245~248 (2014)

中村直樹\*  
後藤大介\*  
金元裕達\*

# 最新モデルCNC “M800/M80シリーズ”

*Brand-new Model of CNC "M800/M80 Series"*

Naoki Nakamura, Daisuke Goto, Yuutatsu Kanemoto

## 要旨

アジア諸国の経済成長、及び近年の航空機産業向けの需要増加やEMS(Electronics Manufacturing Service)企業関係の旺盛な設備投資に伴い、工作機械の需要は伸長を続けている。工作機械の制御装置であるCNC(Computerized Numerical Controller)には、生産性の向上、安全性や信頼性の確保に加え、熟練工の減少や作業者の頻繁な入れ代わりを背景に、操作性の向上や工場の自動化への要求が高まっている。

これらの市場要求に応えるため、最新モデルCNC “M800/M80シリーズ”を開発した。M800/M80シリーズは、圧倒的な基本性能による高生産性を実現するとともに、ユーザビリティやフレキシビリティの強化も図り、加工現場に革新的な価値をもたらす製品である。

主な特長は、次のとおりである。

- (1) 独自開発のCNC専用CPUを搭載し、圧倒的な基本性能と豊富な制御機能で生産性向上を実現
- (2) 新ドライブシステムによって、より高精度な加工が可能
- (3) 先進的かつ高級感のあるフラット形状の薄型表示器によって、工作機械のデザイン性向上が可能
- (4) ユニバーサルデザインの操作画面と、タッチパネル表示器による直感的かつ革新的な操作性を実現
- (5) 幅広い自動化ニーズに対応したトレーサビリティ機能によって、工場全体の見える化を支援
- (6) 安全規格対応を大幅に強化し、機能安全システムを簡単に構築でき、工作機械のトータルコスト削減が可能



M800シリーズ

M80シリーズ

## 最新モデルCNC “M800/M80シリーズ”

加工現場に革新的な価値をもたらす最新モデルのCNCである。画期的な処理性能を持つ独自開発のCNC専用CPUを搭載し、圧倒的な基本性能による高生産性を実現するとともに、ユーザビリティやフレキシビリティの強化も図り、工作機械の生産性、信頼性、操作性の向上を実現した。

## 1. まえがき

アジア諸国の経済成長、及び近年の航空機産業向けの需要増加やEMS企業関係の旺盛な設備投資に伴い、工作機械の需要は伸長を続けている。このような状況下で、工作機械の制御装置であるCNCには、生産性の向上、安全性や信頼性の確保が求められる。三菱電機はこれらの市場要求に応えるために、これまで“M700V/M70Vシリーズ”を市場に展開し、高い評価を受けている。一方、熟練工の減少や作業者の頻繁な入れ代わりを背景に、未熟練者でも簡単に操作できる使いやすさや、工場の自動化システムの構築、生産管理や品質管理を目的とした生産管理システムとの親和性向上という新たな要求も高まっている。

そこで、M700V/M70Vシリーズが備える高生産性、使いやすさ、柔軟性をレベルアップするとともに、加工現場に革新的な価値をもたらす最新モデル“M800/M80シリーズ”を開発し、市場への提供を開始した。

本稿では、この最新モデルであるM800/M80シリーズの主な特長について述べる。

## 2. M800/M80シリーズのラインアップ

M800/M80シリーズは、圧倒的な基本性能による高生産性を実現するとともに、ユーザビリティやフレキシビリティの強化を図った製品である。

M800/M80シリーズのラインアップは次のとおりである(図1、表1)。

### (1) M800Wシリーズ

高い基本性能と、Windows<sup>(注1)</sup>を搭載した表示器による高い拡張性と柔軟性を備えたプレミアムモデル。



(a) M800Wシリーズ (b) M800Sシリーズ (c) M80シリーズ

図1. M800/M80シリーズのラインアップ

表1. M800/M80シリーズのラインアップ比較

シリーズ	M800W	M800S	M80
タイプ	制御装置と表示器独立の分離タイプ	制御装置と表示器が一体のパネルインタイプ	
表示器OS	Windows8	リアルタイムOS	
表示器サイズ	19型／15型	15型／10.4型	15型／10.4型／8.4型
加工プログラム処理能力		270kBPM	135kBPM

kBPM : kブロック/分

### (2) M800Sシリーズ

高い基本性能はそのままに、Windows非搭載でM800Wシリーズとユーザーインターフェースを共通化したハイグレードモデル。

### (3) M80シリーズ

高生産性と使いやすさを兼ね備えたスタンダードモデル。

(注1) Windowsは、Microsoft Corp. の登録商標である。

## 3. M800/M80シリーズの特長

### 3.1 画期的な高速処理性能を備えたCNC専用CPU搭載

M800/M80シリーズには、独自開発したCNC専用CPUを搭載している。画期的な高速処理性能を持つCNC専用CPUによって、高生産性を支える高い加工プログラム処理性能、大規模なラダープログラムを高速処理可能なPLC(Programmable Logic Controller)処理性能を実現した。さらに、基本性能を向上させた新ドライブシステムとの光通信速度も高速化し、システム全体のパフォーマンスも向上させ、より高精度な加工をより短い時間で行うことができる(図2)。

### 3.2 先進的なデザイン

表示器、キーボードのデザインを刷新した。操作盤の外側の厚みは9.5mm(突起部は除く)と薄型とし、先進的な構造と高級感のあるフラットな形状によって、工作機械のデザインをワンランク上へと押し上げる(図3)。

また、M800Wシリーズでは19型表示器を縦置きでラインアップした。顧客に自由にカスタマイズしてもらえる2分割マルチ画面とし、工作機械の付加価値向上を図った。

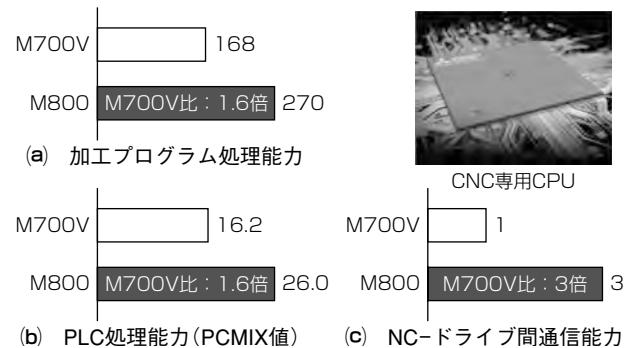


図2. M800/M80シリーズの処理性能

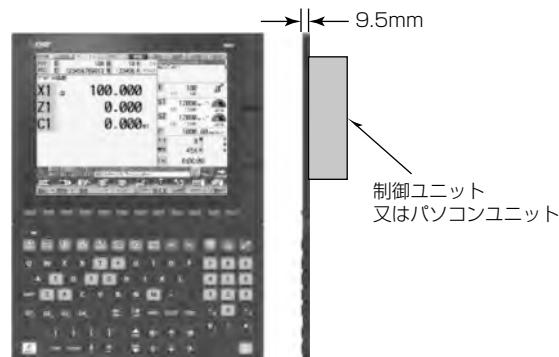


図3. 表示器のデザイン

### 3.3 タッチパネル表示器がもたらす革新的な操作性

10.4型以上の表示器ではタッチパネルを標準搭載した。静電容量式を採用し、長寿命化とともにスマートフォンのような直感的なタッチパネル操作を可能とした(図4)。

また、操作画面には先進的なユニバーサルデザインを採用し、市場から使いやすさで高評価を得ているM700V/M70Vシリーズのユーザーインターフェースを、更に見やすく、使いやすく進化させた。

### 3.4 高生産性を支える豊富な機能

#### 3.4.1 旋盤系

旋盤系では、ミーリング加工機能、多軸多系統制御機能を重点的に強化した。また、オペレータの使いやすさも向上させ、より複雑化する加工を簡単かつ高効率に実現する機能の充実化を図った(表2、図5)。



図4. タッチパネルによる直感的操作

表2. 旋盤系機能の主な強化ポイント

強化ポイント	主な機能
オペレータの使いやすさ	(1) 工具計測操作性改善 (2) ワーク座標系シフト (3) バリアチェックパラメータ簡単設定 (4) 情報量を絞ったシンプル運転画面
対話プログラミング	(1) 多系統待合せプログラム編集 (2) 対話式サイクル挿入 (3) 3Dグラフィックチェック
ミーリング加工機能	(1) 高速高精度制御／SSS制御 (2) 主軸型サーボモータ制御
多軸多系統制御機能	(1) 8系統32軸8主軸まで対応 (2) サブ系統制御によるローダ制御 (3) 主軸重畠、3軸重畠、複数組主軸同期 (4) 系統間同期制御
大型機向け機能	(1) 再ねじ切り・ねじ切りオーバライド (2) 大型表示器 (3) リアルタイムチューニング



図5. 多軸多系統制御機能

### 3.4.2 マシニングセンタ系

マシニングセンタ系に向けては、当社独自の高速・高精度・高品位加工制御機能である“SSS制御”をレベルアップし“SSS-4G(Super Smooth Surface-4th Generation)制御”を搭載した。各軸の特性に合わせた最適加減速などタクトタイム短縮を図る機能を搭載し、さらに高速加工を行っても機械振動を抑制できるようにした。その結果、従来のSSS制御を使用した場合と比較して、同一加工時間であれば加工精度を向上でき、同一加工精度であれば加工時間を短くすることができる(図6)。

### 3.5 工場全体の見える化を支援

工場の自動化システムの構築に向けて、周辺機器・装置との接続を可能とする各種フィールドネットワーク(CC-Link, PROFIBUS<sup>(注2)</sup>-DP, EtherNet/IP<sup>(注3)</sup>)に対応した。さらに、生産管理システム上のデータベースに対して、加工完了時やアラーム発生時にCNCが自発的にSQL(Structured Query Language)文でデータ送信するMES(Manufacturing Execution System)インターフェース機能を搭載し、生産管理や品質管理を目的としたシステム構築を容易とした(図7)。また、当社消費電力モニタ“EcoMoni-

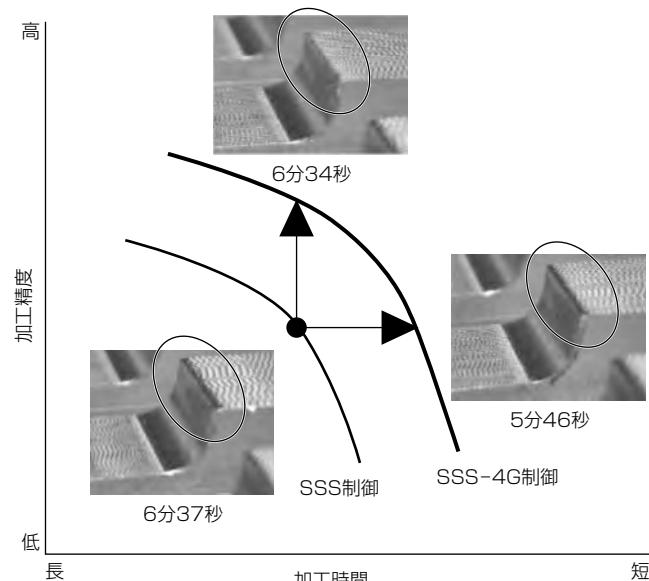


図6. SSS-4G制御の効果



図7. 工場全体の見える化

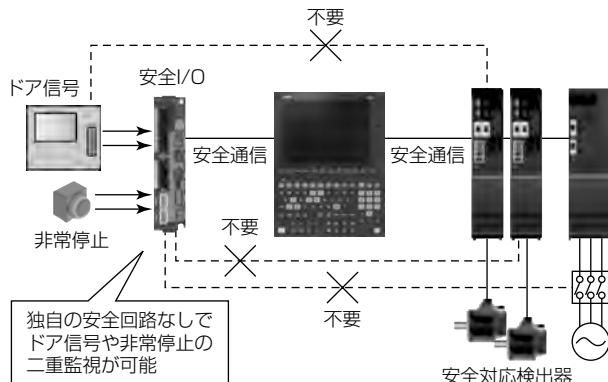


図8. 機能安全システム

“torLight”とも直結可能とし、CNCの状態だけではなく、工作機械全体の消費電力の見える化も可能とした。

(注2) PROFIBUSは、PROFIBUS User Organizationの登録商標である。

(注3) EtherNet/IPは、Open DeviceNet Vendor Association Inc.の登録商標である。

### 3.6 省部品・省配線で構築可能な機能安全システム

M800/M80シリーズは、欧州を中心に需要の高い安全規格対応も大幅に強化し、機能安全システムを簡単に構築でき、工作機械のトータルコスト削減を可能とした(図8)。

- (1) 最新の安全規格“EN ISO 13849-1(PL d, Cat.3)” “EN 62061: 2005(SIL CL 2)”に適合。
- (2) 安全PLCや安全通信に対応する安全I/Oや安全対応検出器をラインアップすることで、省部品・省配線で安全規格への対応が可能。
- (3) 安全機能の充実化も図っており、SLS(安全速度監視)やSTO(安全トルク停止)に加え、SLP(安全位置監視)やSBC(安全ブレーキ制御)にも対応。

## 4. ドライブシステムの特長

### 4.1 高精度で高応答動作が可能な“MDS-Eシリーズ”

M800/M80シリーズと一緒に、高性能サーボ・主軸ドライブユニット“MDS-Eシリーズ”，多軸一体ドライブユニット“MDS-EMシリーズ”，及びオールインワン小型ドライブユニット“MDS-EJシリーズ”を開発した(図9)。

新ドライブユニットMDS-E/EM/EJシリーズではサーボ指令周期・制御周期を従来比2倍に向上させ、CNC-ドライブ間の光通信速度も高速化することで、システム全体のパフォーマンスも向上し、より高精度な加工を可能とした。

モータ単体の真円精度で比較した場合、基本性能の向上と、当社独自の機能である“OMR-FF(Optimum Machine

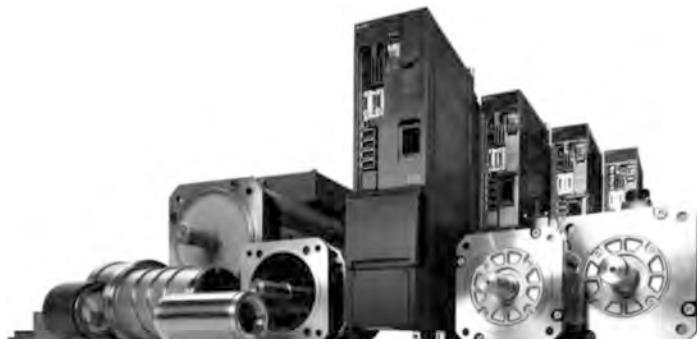


図9. 高精度・高応答ドライブシステム

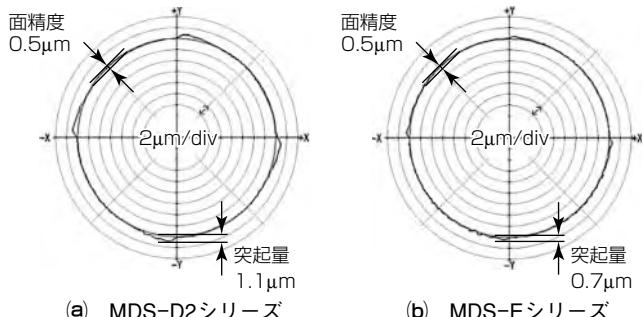
図10. 真円精度比較( $R=50mm$ ,  $F=10,000mm/min$ )

表3. サーボモータ検出器分解能の比較

HFシリーズ(従来)		HGシリーズ	
形名	分解能	形名	分解能
A48	26万p/rev	D48	100万p/rev
A51	100万p/rev	D51	400万p/rev
A74	1,600万p/rev	D74	6,700万p/rev

Response Feed Forward)制御”を組み合わせることで、真円精度を従来比36%向上した(図10)。なお、OMR-FF制御では各軸で最適な位置ループゲインの調整が可能となり、工作機械の能力を最大限に活用することができる。

### 4.2 高精度加工を支えるサーボモータ“HGシリーズ”

CNC制御装置、ドライブユニットに加え、高速・高トルクで高精度加工を実現するサーボモータも“HGシリーズ”を新ラインアップした。検出器分解能を従来比4倍に向上させ、更に滑らかな加工が実現可能となる(表3)。

また、位置検出を二重化し、安全規格対応も行った。

## 5. むすび

CNCの最新モデル“M800/M80シリーズ”について述べた。モノづくりの根幹を支える工作機械をワンランクアップできる製品である。また、今後も変化する市場ニーズに対応した製品開発に努めていく所存である。

# ファイバレーザ加工機による最先端加工技術

宮本直樹\*  
平野孝幸\*

*Cutting-edge Technology with Fiber Laser Processing Machine*

Naoki Miyamoto, Takayuki Hirano

## 要 旨

二次元レーザ加工機は、任意軌跡の切断が可能な工作機械として、現在では多くの産業分野で単品試作から大量生産まで適用されている。その中で、レーザ加工機に使用している発振器は、省エネルギーと生産性の向上の観点から、炭酸ガスレーザに代わりファイバレーザが注目されている。

ファイバレーザ加工機の特長は、炭酸ガスレーザ加工機に比べて、①レーザの発振効率が高く省電力、②ビームの集光性が高く薄板の高速加工が可能、③ファイバ伝送可能なため光路のメンテナンスが不要な点である。市場投入当初、薄板の加工に強みを發揮していたファイバレーザ加工機だが、加工技術の進歩による厚板加工性能の向上によって、ファイバレーザの切断適用板厚範囲が拡大している。

このような市場の変化に対して、①High Speed、

②Ecology、③High Qualityをコンセプトとし2.5kWファイバレーザ発振器を搭載した“ML3015NX-F”<sup>(1)</sup>をベースに4kW発振器を搭載した新型二次元ファイバレーザ加工機“ML3015NX-F40”を開発した。

ML3015NX-F40では、従来機に比べ最大加工板厚を30%拡大した。また、軟鋼厚板では、ピアス時間を大幅に短縮するとともに面品質を改善し、ステンレスやアルミニウムでは、高品質なピアスを実現した。さらに、開発中の技術ではあるが、軟鋼・ステンレス・アルミニウム合金の各材質で25mmの切断を実現した。

本稿では、ML3015NX-F40の3つのコンセプトと最新のレーザ加工技術について述べる。



## 高出力二次元ファイバレーザ加工機“ML3015NX-F40”

①High Speed、②Ecology、③High QualityをコンセプトとしたML3015NX-Fをベースに4kWファイバレーザ発振器を搭載することで生産性向上、加工性能の向上を実現した。

## 1. まえがき

二次元レーザ加工機は、任意軌跡の切断が可能な工作機械として、現在では多くの産業分野で単品試作から大量生産まで適用されている。近年では、国内や中国、米国、欧州主要国における板金切断用加工機で、レーザ加工機の年間導入台数がタレットパンチプレスの台数を大幅にしのぐ状況が続いている。一方、電力料金のアップや労働人口が減少する中、製造業としても消費電力の削減、労働時間の短縮、生産性の向上が大きな課題となっており、ファイバーレーザ加工機が注目されている。

ファイバーレーザ加工機の特長は、炭酸ガスレーザ加工機に比べて①発振効率が高く省電力、②ビームの集光性が高く薄板の高速加工が可能、③ファイバ伝送可能なため光路のメンテナンスが不要な点である。市場導入当初は、薄板の加工に強みを発揮していたため、発振器出力も2.5kWで十分と考えられていた。しかしながら、ファイバーレーザの特長である低ランニングコスト、高生産性が評価されるとともに、加工技術の急速な進歩によって厚板の加工性能が向上し、ファイバーレーザの切削適用板厚範囲が拡大している。

## 2. 製品仕様とコンセプト

先に述べた市場要求に対して、2.5kW二次元ファイバーレーザ加工機ML3015NX-F(以下“NX-F”という。)の3つのコンセプト①High Speed、②Ecology、③High Qualityを踏襲しつつ、4kWファイバーレーザ発振器を搭載することで、生産性の向上、加工性能の向上を実現した“ML3015NX-F40”(以下“NX-F40”という。)を開発した(表1)。ここでは、この3つのコンセプトについて述べる。

### 2.1 High Speed

ファイバーレーザは炭酸ガスレーザに比べ波長が短いため金属への吸収率が高く、集光性も良いという特長を持っている。また、高出力化に伴い、中板厚でも高速な加工が可能になった。NX-F40では、このような特長を最大限に活用する光学系を持つ新型の加工ヘッドを開発した。これによって、厚み1mmのステンレス材の加工速度は従来機で達成していた炭酸ガスレーザ比3倍を維持し、中板厚では出力比以上の加工性能を実現した(図1)。

### 2.2 Ecology

レーザ加工機のランニングコストで最大の要素は消費電力である。NX-F40では低損失な当社製NC、駆動機器と発振効率に優れたファイバーレーザ発振器の搭載によって消費電力を低減し、図2に示すとおり、当社製炭酸ガスレーザ加工機“NX-45CF-R”に対して消費電力を約60%削減した。また、待機時の電力を抑制するecoモードも搭載した。これは、加工機停止時の不要なパージガスの停止や発振器・冷却装置といった機器の停止を段階的に行う技術であ

る。これによって消費電力はecoモードを使用しない状態に比べて消費電力を70%削減することが可能である。また、停止から復帰までの動作もスムーズで、作業効率が悪化することなく、環境にもやさしいレーザ加工機システムを実現した。

### 2.3 High Quality

炭酸ガスレーザ加工機では、高品質で安定的な加工を行うため出力制御機能を採用している。NX-Fではこの機能をファイバーレーザにも採用し、レーザ出力安定度±1%を達成した。これは、マイコンでの加工出力の制御によって、レーザ出力を高速に安定させる技術で、これによって、高速加工時の加工材料の裏面に発生するドロス(付着物)を低減した。また、4kWの出力を最大限活用するため、加工ヘッドを新規開発した。

表1. ML3015NX-F40の主な仕様

項目	ML3015NX-F40
移動方式	光走査方式
X軸	3,200
ストローク(mm)	Y軸 1,600 Z軸 150
早送り速度(m/min)	X, Y軸 合成170
位置決め精度(mm)	0.05/500(X, Y軸)
繰り返し精度(mm)	±0.01(X, Y軸)
発振器定格出力(W)	4,000
出力安定度	±1%以下

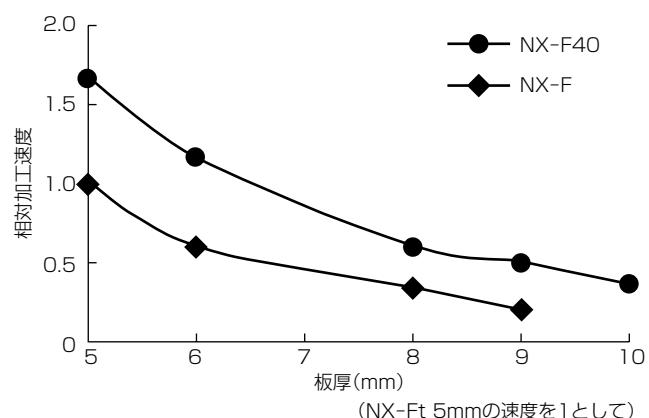


図1. ステンレス材(SUS304)の加工速度比較

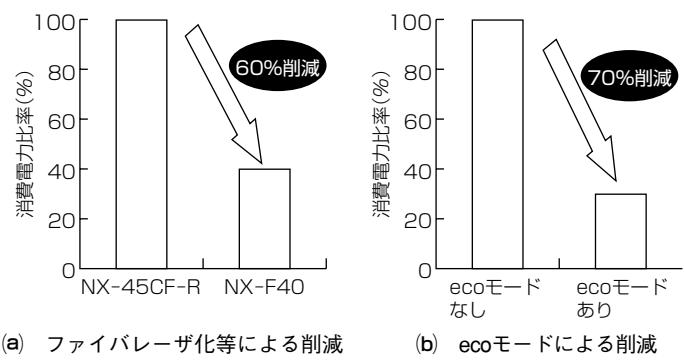


図2. NX-F40の消費電力削減

### 3. 最新加工技術

ファイバーレーザは市場導入当初、その波長による高収束性を活かした薄板の高速切断や微細加工、高反射材の加工が特長であった(図3)。しかしながら、発振器の高出力化と加工技術の急速な進歩によって、厚板の加工でも炭酸ガスレーザに迫る性能を發揮するようになった。ここでは、最新の加工技術について述べる。

#### 3.1 最大加工板厚の拡大

NX-F40では発振器の高出力化及び光学系の改良によって切断可能な板厚を拡大した。表2にNX-FとNX-F40の各種材質における切断能力の比較を示す。NX-F40における切断最大能力は、軟鋼で板厚22mm、ステンレスで板厚22mm、アルミニウム合金で板厚18mmとなり、NX-Fと比較して最大加工板厚を約30%拡大した。また、炭酸ガスレーザの同出力相当と比較して約25%向上した。

#### 3.2 “F-CUT”適用板厚の拡大

従来機NX-Fではファイバーレーザの持つ集光性や吸収率の特性を十分に活用するために軸停止なしの加工を実現するF-CUTと、このF-CUTの効果を最大限に活用する加工経路最適化ソフトウェア(FRG)などの技術を開発し、任意の切断形状に対して最大の生産性向上効果が得られるレーザ加工システムを実現した。NX-F40では高出力化に伴い、この適用板厚を2.0mmから3.0mmに拡大し、板厚

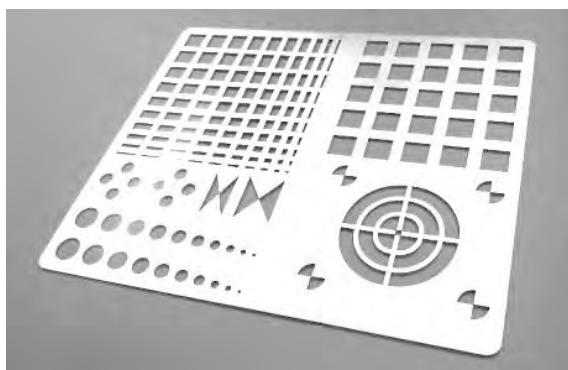


図3. ファイバーレーザの加工例

表2. 各種材質における切断能力比較

加工機	材質	アシストガス	板厚(mm)									
			2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
NX-F	軟鋼	酸素										
	ステンレス	窒素										
	アルミニウム合金	窒素										
	銅	酸素										
	黄銅	窒素										
NX-F40	軟鋼	酸素										
	ステンレス	窒素										
	アルミニウム合金	窒素										
	銅	酸素										
	黄銅	窒素										

3 mmの加工時間をNX-Fと比べて52%短縮した(図4)。

#### 3.3 切断面品質の向上

一般に軟鋼の酸素切断では、加工速度2 m/min前後をしきい値として切断現象が変化することが知られている。切断速度2 m/min以下では、母材の溶融に対して鉄の酸化燃焼反応によるエネルギーが大きく寄与しており、十分な流量の酸素供給が必要とされる。一方、2 m/min以上の加工では、レーザ出力が母材の溶融に大きく寄与するため、周期的な酸化燃焼反応によって形成される条痕が目立たなくなり、切断面粗さが低減する傾向にある。表3に軟鋼9 mmの切断面を炭酸ガスレーザNX-45CF-Rと比較した結果を示す。NX-F40では、発振器の高出力化及び新しく開発した加工ヘッドによって加工速度をNX-F比約150%向上させ、切断面粗さを大幅に低減し、炭酸ガスレーザと同等の切断面品質を実現した。

#### 3.4 新ピアス技術による加工時間短縮

中厚板以上の軟鋼加工ではピアス加工(開始点の穴あけ加工)時間の総加工時間に占める割合が大きくなる。そこでNX-F40ではハイピークピアスを新たに搭載し、板厚19mmまでの軟鋼で更なる加工時間短縮を実現した。ハイピークピアスとは、強力なサイドブローによるバーニング

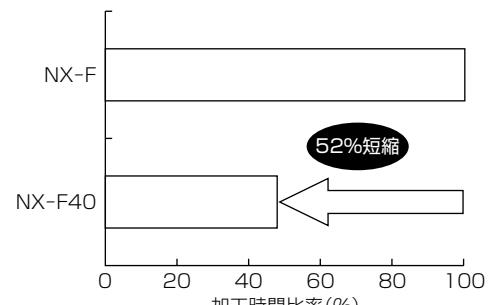


図4. F-CUTの時間短縮

表3. 加工品質比較

機種	ファイバーレーザ(NX-F40)	炭酸ガスレーザ(NX-45CF-R)
切斷面		
面粗度(μm)	25	30
加工速度(mm/min)	2,100	2,100

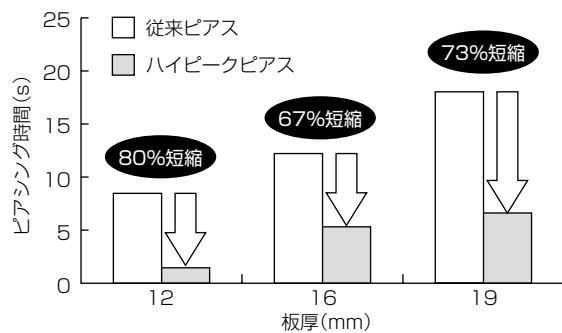


図5. 各板厚でのピアス能力比較

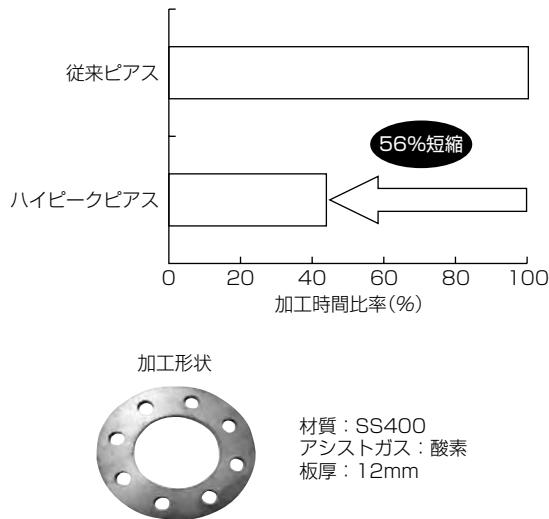


図6. ハイピークピアス使用時の加工時間比較

抑制と発振器の高速応答性を利用したピアス技術である。図5に板厚19mmまでの軟鋼でのピアス能力比較と図6に板厚12mmでこの技術を適用した場合の実加工時間比較を示す。ピアス時間の短縮に加えて、ピアスから切断に移行するアプローチの制御に新たな方式を導入し、全体加工時間は56%短縮された。

### 3.5 スパッタ低減ピアス技術

ステンレスやアルミニウム合金の窒素切断ではピアス時に発生するスパッタがワーク表面に広範囲にわたって付着し、加工不良の原因となることが多い。従来はスパッタの付着を防止するために加工前に界面活性剤を塗布する方法を採用していたが、加工後に界面活性剤を除去する工程が発生するため、市場で改善要望が強かった。スパッタ付着は主に加工点で発生するレーザ誘起プラズマに起因する。レーザ誘起プラズマはレーザ光が照射された際、非常に高圧で発生するためピアス時の溶融金属は排出を妨げられ、ワーク表面にスパッタとして強固に付着する。NX-F40ではレーザ誘起プラズマの発生を抑えるために集光性とパルス応答性及び加工点におけるガス密度を最適化することによって、ステンレス板厚6mmまでのスパッタ低減ピアスを実現した。図7にステンレス6mmに対して $\phi 5.0\text{mm}$ の穴加工をした際の加工例を示す。

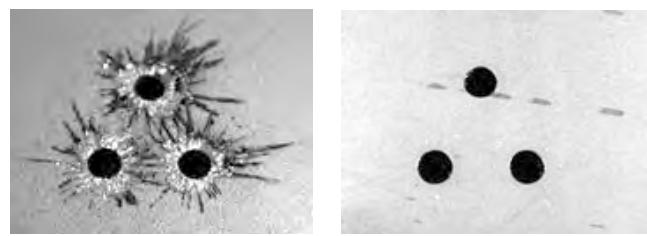


図7. スパッタ低減ピアス加工

表4. 厚板の加工事例

材質	板厚	切断サンプル	切断面
軟鋼 (SS400)	25mm		
ステンレス (SUS304)	25mm		
アルミニウム 合金 (A5052)	25mm		

### 3.6 厚板切断技術

ファイバレーザ加工による厚板切断の技術向上の進歩は急速であるが、その加工品質はどのメーカーのファイバレーザ加工機も既存の炭酸ガスレーザには到達できていない。ファイバレーザ加工機で薄板から厚板まで高品質加工可能なシステムを実現するため、当社の30年以上にわたる炭酸ガスレーザの開発で培った技術を搭載した光学系の最適化、アシストガス流れの最適化によって開発中の技術ではあるが、軟鋼の酸素切断で25mm、ステンレス、アルミニウム合金の窒素切断で25mmの高品位切断が達成できた(表4)。

## 4. むすび

新型ファイバ二次元レーザ加工機ML3015NX-F40のコンセプトと最新の加工技術について述べた。ファイバレーザの加工技術の進歩は著しく、今後も更なる技術革新が進んでいくものと思われる。また、ますます高度化、多様化するユーザーニーズを満たすために、総合レーザ加工機メーカーとして更なる性能向上を目指し、様々な生産現場の各種ニーズに積極的に応えていく所存である。

## 参考文献

- (1) 腰前利樹, ほか: 新型ファイバレーザ加工機“NX-Fシリーズ”, 三菱電機技報, 87, No.3, 177~180 (2013)

# 太陽光発電市場対応遮断器・開閉器の製品拡充

幸本茂樹\*  
小倉健太郎\*  
渡邊真也\*\*

*Expansion of Circuit-breaker and Switch Lineup for Photovoltaics Market*

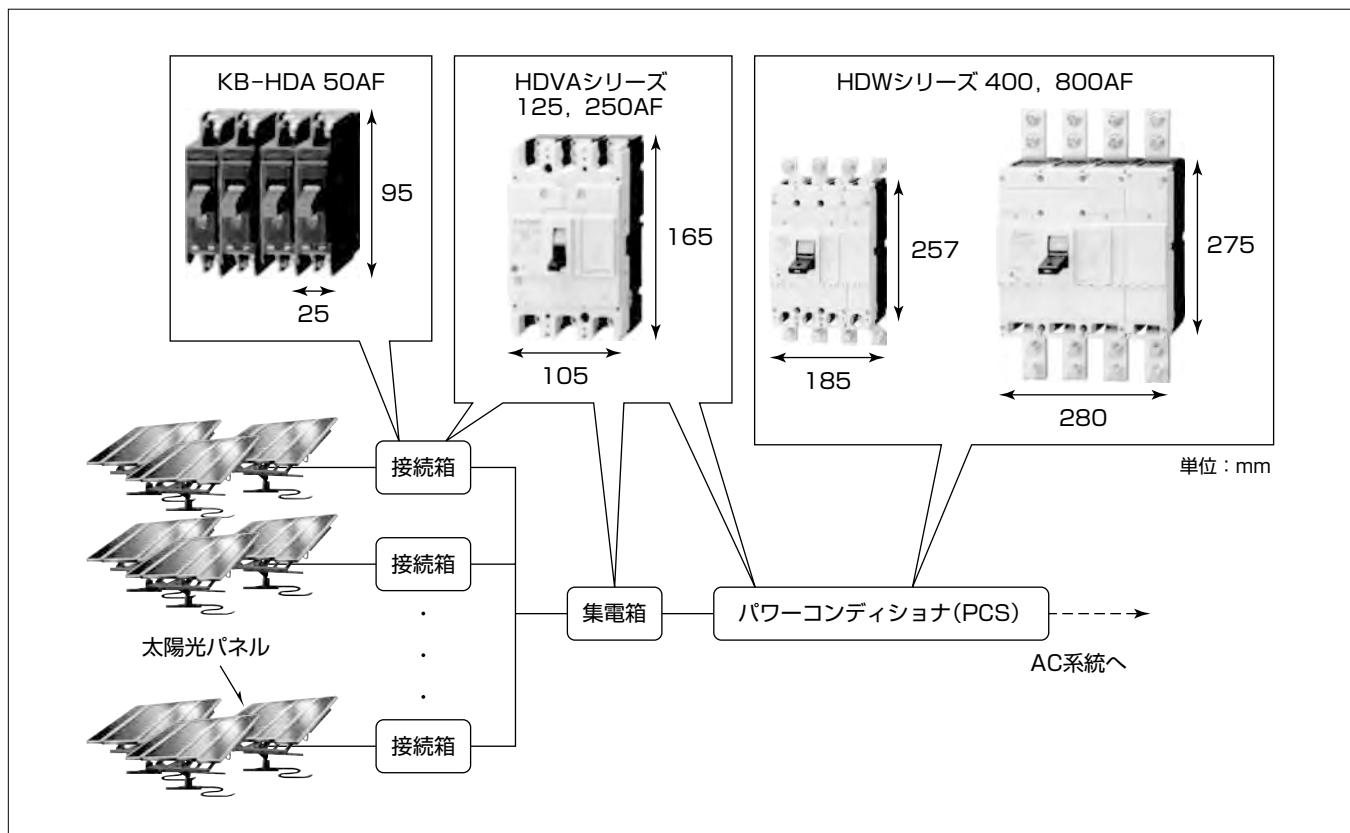
Shigeki Koumoto, Kentaro Kokura, Shinya Watanabe

## 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による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って大規模な導入が進められてきた。2012年7月に固定価格買取制度が施行されたのを機にメガソーラー級の建設設計画が各地で盛んに行われるようになり、これに対応したDC750／1,000Vクラスの直流高電圧の設備が必要となってきた。今回、この直流高電圧設備に対応した新形遮断器・開閉器を開発し、太陽光発電(Photovoltaics: PV)

市場への製品拡充を行った。

直流の遮断は、電流零点がないため交流の場合と比較して難しい。この直流高電圧遮断を可能にするためには、接点開極時に発生する直流のアーカ（高温のプラズマ）を確実に消滅させる必要がある。新形遮断器に関しては、消弧室内の積層鉄板の形状や枚数、接点周辺の絶縁物の配置を改良することで、直流高電圧回路で信頼性の高い遮断性能を実現した。一方、新形開閉器に関しては、三菱電機独自のアーカ伸長方式に改良を加え、高電圧化に対応した。これら消弧室構造の採用によって、多様な結線方法にも対応可能になり、省施工・配線の効率化に貢献できるようになった。



## 太陽光発電システムへの遮断器・開閉器の適用

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遮断器・開閉器の製品拡充を行った。従来形との取付け互換性は確保しつつ、電線の接続を逆接続可能とすることで、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による発電システムの普及・拡大が進められている。中でも太陽光発電システム(以下“PVシステム”という。)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って大規模な導入が進められてきた。2012年7月に固定価格買取制度が施行されたのを機にメガソーラー級の建設計画が各地で盛んに行われるようになり、直流高電圧に対応した開閉保護機器が必要となってきた。そこで、当社はこれまでDC600V以下のシステムに対応した直流高電圧遮断器、開閉器を開発してきた。ここ数年では、PVシステムに代表される直流高電圧給電システムの需要拡大に伴い、更に高い電圧に対応した遮断器、開閉器の需要も高まっており、今回、DC750/1,000Vのシステムに対応した直流高電圧遮断器・開閉器を開発した。

本稿では、新たに開発したDC750/1,000VのPVシステムに最適な直流高電圧遮断器・開閉器について、特長及び適用した直流遮断技術について述べる。

## 2. 直流高電圧遮断器・開閉器の特長

開発した直流高電圧回路用の遮断器・開閉器の仕様を表1、表2に示す。今回、DC750/1,000Vの高電圧に対応した3つのシリーズを開発した。同シリーズは図1に示したPVシステムへの適用に最適であり、各シリーズの特長を次に述べる。

### (1) DC750/1,000V対応の遮断器“HDWシリーズ”

大容量パワーコンディショナ(PCS)に最適なDC750/1,000Vに対応しており、最大定格電流が400Aの“NF400-HDW”，800Aの“NF800-HDW”をラインアップしている。いずれも3極品でDC750V、4極品でDC1,000V回路に適用でき、逆接続が可能で施工性の向上と省配線に貢献できる。

表1. 製品仕様(遮断器)

形名	NF125-HDVA			NF250-HDVA		NF400-HDW		NF800-HDW	
定格電流 基準周囲温度	DC A 40°C	50, 60, 75, 100	125	125, 150, 175, 200, 225	250	250, 300, 350, 400	500, 600, 630, 700, 800	500, 600, 630, 700, 800	500, 600, 630, 700, 800
極数	3			3		3	4	3	4
定格絶縁電圧 Ui	DC V	800			800		800	1,000	800
定格遮断容量 (kA)	DC V	1,000V	-	-	-	-	10/5	-	10/5
定格遮断容量 (kA)	JIS C 8201-2-1 Ann.1	750V	-	-	-	-	10/10	10/10	10/10
	JIS C 8201-2-1 Ann.2 <sup>(注1)</sup>	600V	-	-	-	-	-	-	-
	IEC 60947-2	400V	-	-	-	-	-	-	-
	GB14048.2 (Icu/Ics)	750V	10	10		-	-	-	-
開閉寿命(回)	JIS C 8201-2-1 Ann.2 (Icu)	600V	-	-	-	-	-	-	-
定格インパルス耐電圧 Uimp		1,500	1,000	1,000	1,000	1,000	500	8	
逆接続	可								
外形寸法 (mm)	a	105			140	185	210	280	
	b	165			257	275			
	c	68			109	109			
	ca	92			161	161			

(注1) DC1,000V品はAnn.1のみ

この機種では電流遮断部で永久磁石を使用せずにアーケを伸長させることで高電圧化に対応した。その内容については3章で述べる。

### (2) DC750V対応の遮断器“HDVAシリーズ”

接続箱や集電箱、小型PCSに最適な遮断器“NF125-HDVA”，“NF250-HDVA”は、永久磁石とグリッド配置の見直しを行い遮断性能を向上させ、既存ラインアップであるDC600V対応“HDVシリーズ”と同じ3極外形でのDC750V対応を可能にしており、外形標準化によって施工性の向上と配線の効率化に貢献している。

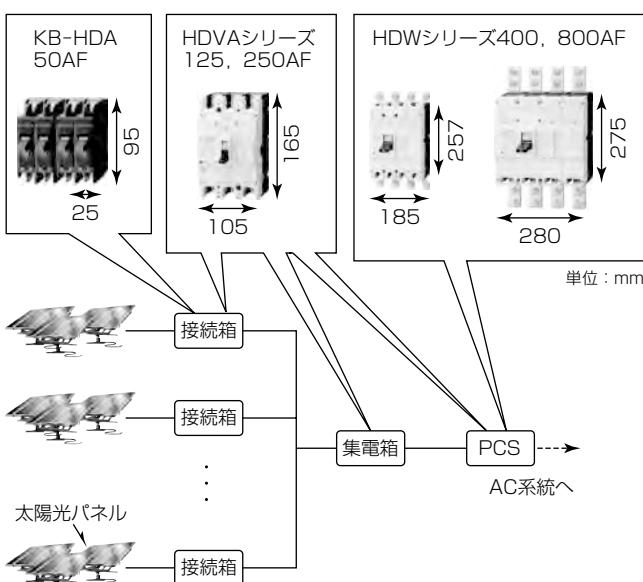


図1. PVシステムへの適用

表2. 製品仕様(開閉器)

形名	KB-HDA	
定格電流 基準周囲温度	DC A 40°C	15
極数	2	
定格絶縁電圧 Ui	DC V	800
定格使用電圧 Ue	DC V	750
使用負荷種別 JIS C 8201-3	DC750V DC400V	DC-21B DC-22A
投入電流 遮断電流 時定数	22.5 22.5	
開閉回数	1	
投入遮断容量 JIS C 8201-3	DC400V	60
	DC750V	60
	DC400V	2.5
	DC750V	5
短絡特性 JIS C 8201-3	短時間耐電流 Icw s	180 1
	短絡投入容量 Icm	DC A 180
開閉寿命 DC750V DC400V	機械的	2,000
	電気的	300
	機械的	10,000
	電気的	1,500
定格インパルス耐電圧 Uimp	kV	6
逆接続	可	
極性	L極：N(-) R極：P(+)	
外形寸法 (mm)	a	25
	b	95
	c	60
	ca	77

### (3) DC750V対応の開閉器“KB-HDA”

ストリングごとの開閉を行い、配線をまとめる接続箱に最適な開閉器であり、開放電圧がDC600Vまで適用できる既存の“KB-HD”に加えてラインアップした。KB-HDとも外形互換性のある幅25mm、縦寸法95mmの小型化を実現しており、接続箱のコンパクト化に貢献することができる。また、新たにIEC 35mmレールへの取付けと、逆接続に対応していることから、施工性の向上と省配線を可能にした。JIS C 8201-3に適合し、端子部の絶縁保護、及び目視での取付けねじ締結確認が可能なように、透明端子カバー(別売り)の取付けも可能となっている。

## 3. PV向け遮断器・開閉器の直流高電圧遮断技術

### 3.1 大容量PCS向け遮断器の直流高電圧遮断技術

PCSに搭載する直流遮断器HDWシリーズには、PCS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を超える事故電流にいたる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。広範囲の電流域での遮断性能を確保するには、デアイオン式遮断方式<sup>(1)</sup>が特に有効となる。デアイオン式遮断方式は、U字形状の積層鉄板から構成される消弧グリッドと呼ばれる消弧部品(図2(a))を使用してアーケを消弧する。この方式では、アーケの伸長だけでは困難な大電流の遮断でも、アーケを消弧グリッドに押し込んで分割することでアーケ内部に高い電圧降下(アーケ電圧)を引き起こし遮断することができる。

今回、消弧グリッドと、固定電極をアーケから保護する絶縁カバーの改良によって直流遮断器のDC1,000Vへの対応を実現させた。次に、これらの改良内容について述べる。

高電圧化するために重要となるのが、消弧グリッド配置条件(枚数、間隔など)の選定である。この条件選定のため、アーケ電圧実験式(消弧室設計値とアーケ電圧の関係式)<sup>(2)</sup>を用いて、消弧室サイズ、電極間隔等を考慮して必要な消弧グリッド枚数を見積った結果、DC1,000Vへの対応には10枚以上の消弧グリッドが必要であると推定した。

図3はこの結果に基づき設計した消弧グリッドの配置図である。少なくとも10枚の消弧グリッドを確実に利用できるようにするために、安定したアーケの分割が可能な固定-可動電極間に10枚配置し、可動電極の先端付近には更に5枚配置している。

図2(a)、図2(b)はそれぞれ改良構造を適用した消弧グリッドと絶縁カバーを示している。消弧グリッドには、アーケに対する磁気吸引力<sup>(2)</sup>が高まるように設計したアーケ引込み溝と、消弧グリッド奥側(図3の右側)に排気形状を追加している。これら形状の採用によって、アーケを消弧グリッド奥側に引き込むための電磁力が助長されるとともに、引き込んだアーケに対して負圧が発生してアーケの分

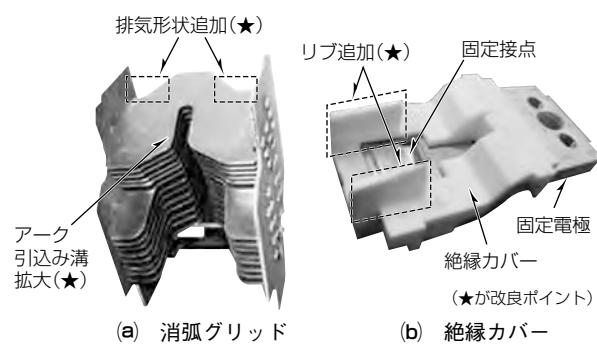


図2. アーケ伸長・駆動制御の改良構造

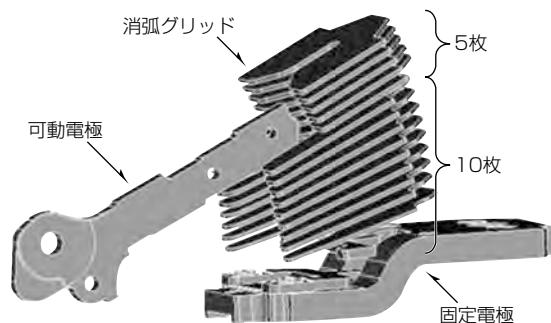


図3. 消弧室内部の消弧グリッド配置

割が促進されるようになる。一方、絶縁カバーには固定-可動接点間を挟み込むように樹脂製のリブを設けている。このリブはアーケとの熱反応で絶縁性の溶発ガスが噴出するようになっており、消弧グリッドに向かってアーケを押し込むガス流が生成されると同時に、接点間の空間絶縁性が高まるため、一旦、消弧グリッド内に引き込まれたアーケが接点間で短絡することを防止できる。

図4はこの改良構造を適用した場合の遮断時のアーケ挙動を観測した映像である。改良後ではアーケを消弧グリッド内に容易に引き込めるようになり、DC1,000V回路での数A～10kAの広範囲の電流域で信頼性の高い遮断を実現した。

### 3.2 接続箱向け開閉器の直流高電圧遮断技術

PVシステムの接続箱内には、太陽電池の入力ストリングを開閉するための開閉器が搭載される。入力ストリング数が多い接続箱では、同時に数十個の開閉器を並べて配置する必要があるため、省スペースで配置可能な小型開閉器が要求される。また、この要求と併せて、施工時に誤配線(+-を逆に接続)した場合でも事故を招くことがないように、開閉器には通電方向に係なく直流高電圧を遮断できる性能も求められている。当社では、これらの市場要求に応えるため、通電方向に依存しないアーケの伸長制御を可能とした直流高電圧遮断技術“ARC SWEEPER”を開発し、業界最小クラスで、逆接続も可能とする直流開閉器を実現した。今回、この新技术の改良によって直流開閉器をDC750Vまでの電圧範囲に対応可能としたので、この改良点について次に述べる。

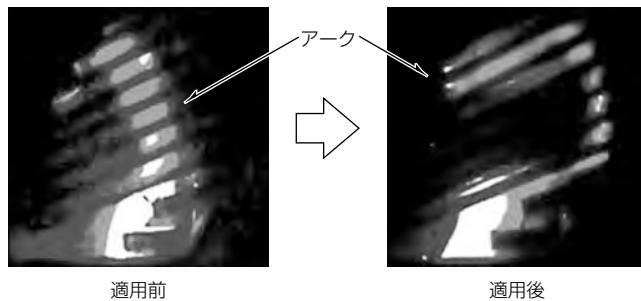


図4. 改良構造適用前後のアーカ観測映像

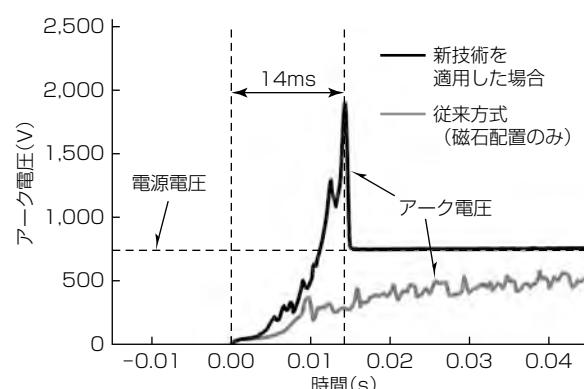


図7. 新技術及び従来方式における遮断性能の比較

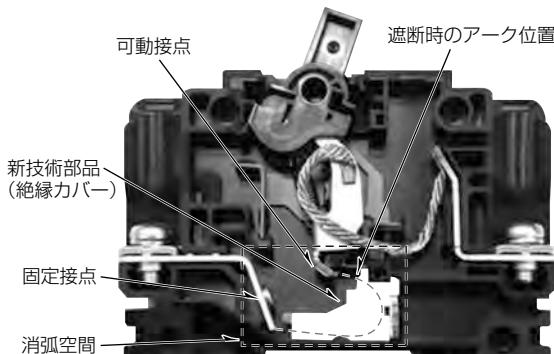


図5. KB-HDAの内部構造

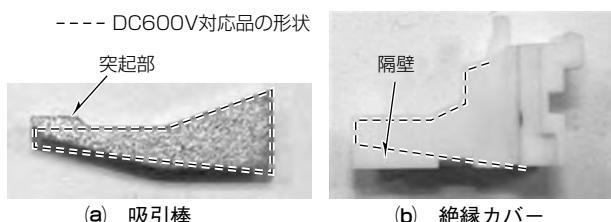


図6. 新技術の改良点

図5は新技術を適用した直流開閉器KB-HDAの内部構造である。消弧空間に絶縁カバーを配置し、この絶縁カバー内部に磁石と磁界を制御する棒状鉄心(吸引棒)を搭載している。遮断時に接点間でアーカが発生すると、吸引棒から放出される漏れ磁束がアーカと作用し、アーカは絶縁カバーの側面へ引き込まれて伸長する。また、通電方向が逆転した場合でも、絶縁カバーの他方の側面側からアーカを引き伸ばすことができる<sup>(3)(4)</sup>。

図6はDC750V対応品(KB-HDA)の吸引棒と絶縁カバーである。ここで、同図の破線部はDC600V対応品(KB-HD)の吸引棒と絶縁カバーのそれぞれの形状を示している。DC750V対応品では吸引棒の先端部を突起させ、接点間にこの突起部を近接させた形状を採用している。この突起部によって遮断開始時でアーカに作用する磁気効果が強化され、以前よりもアーカを高速に絶縁カバーの側面に引き込むことができる。一方、絶縁カバーについては、カバ

ー下部を拡大し、カバー両側面(紙面手前と奥側)に位置する空間を隔てる隔壁を追加している。この隔壁によってアーカ周囲で発生する高温(導電性)ガスの拡散を抑える効果が得られ、アーカの伸長状態を安定的に保持することが可能になる。

図7はDC750V20Aの直流回路で、開閉器に新技術を適用した場合と従来方式を用いた場合の、それぞれの遮断性能を比較した例である。ここで、従来方式とは接点近傍に大形の磁石を配置し、磁石だけのアーカ伸長作用でアーカを消弧する方式である。各方式を適用した場合のアーカ電圧を比較すると、従来方式では約500Vまで上昇するが電源電圧以上のアーカ電圧を発生できず遮断不能となる。一方、新技術を適用した場合では遮断開始時から0.01秒程度でアーカ電圧が電源電圧を超えて約0.014秒で遮断を完了している。

このように、改良した新技術を適用することで、従来方式では困難であったDC750Vに対応した。

#### 4. む す び

太陽光発電市場対応の直流高電圧遮断器・開閉器の特長及びそれに搭載した遮断技術について述べた。今後更に適用機種の拡大と使用電圧範囲の拡大、及びユーザーニーズに対応した製品の開発に取り組んでいく所存である。

#### 参 考 文 献

- (1) 三菱電機株：三菱ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器、技術資料集, 5-3 (2013)
- (2) 渡邊真也, ほか：大電流気中アーカにおける消弧グリッド配置時の電圧特性および消弧グリッドの有効利用度改善に向けた検討、電気学会論文誌B, 133, No.11, 806~817 (2013)
- (3) 渡邊真也, ほか：直流アーカ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)
- (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)