

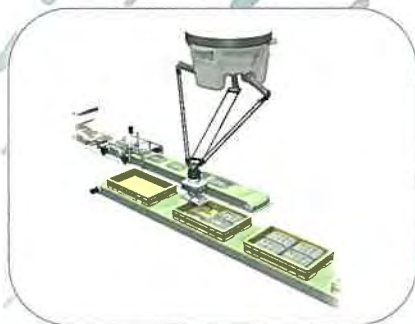
# 三菱電機技報

4

2018

Vol.92 No.4

## 最新のFA技術・システム



## 目次

### 特集「最新のFA技術・システム」

Agile Service Engineering in IIoT Ecosystems	● 巻頭言	1
Thomas Usländer		
“Connected Industries”の実現に向けた FA分野へのAI技術適用	● 巻頭論文	2
中川路哲男		
エッジコンピューティングソリューション		7
松田 規		
省エネルギー分野へのe-F@ctory技術の適用事例		11
北田亮平		
アプリケーションパッケージ “iQ Monozukuri HANDLING”		15
榮石敦生・服部真充・松田辰啓・藤本陽太郎		
アプリケーションパッケージ“iQ Monozukuri ANDON”		19
林 和裕・花本幸宏		
PLMエンジニアリングチェーン連携強化に貢献する FA統合エンジニアリングソフトウェア		23
山川祐明・加藤秀人・久家 諒・中村 勝		
三菱シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”の エントリーモデルCPUユニット		27
松沢祐人・吉川貴支		
多機能回生コンバータ“FR-XCシリーズ”		31
平良 哲・道祖尾竜太		
産業用ロボットFRシリーズ“MELFA Smart Plus”		35
村田健二		
数値制御装置“M800/M80シリーズ”の新技術		39
東 俊博・宇多慶一郎・勝田喬雄		
レーザ穴あけ加工の品質を向上させるミラーの発明		43
小林信高・滝川靖弘・竹野祥瑞・石塚智彦		
電子式電力量計“M2PMシリーズ”		47
植野 岳		
MDUブレーカ“W&WSシリーズ”の ラインアップ拡充と性能向上		51
大橋博章・末澤博敏・山崎晴彦		

関連拠点紹介	55
--------	----

### 特許と新案

「プログラマブルロジックコントローラ」	
「ファイバレーザ加工機」	57
「計測方法および計測装置ならびに回路遮断器」	58

### Latest Factory Automation Technologies and Systems

IIoTエコシステムでのアジャイルサービスエンジニアリング	
Thomas Usländer	
AI Technology Applications in Factory Automation Field for Achieving “Connected Industries”	
Tetsuo Nakakawaji	
Edge Computing Solution	
Nori Matsuda	
Application Cases of e-F@ctory Technology in Field of Energy Conservation	
Ryohhei Kitada	
Application Package “iQ Monozukuri HANDLING”	
Atsuo Haishi, Masamitsu Hattori, Tatsuhiko Matsuda, Yotaro Fujimoto	
Application Package “iQ Monozukuri ANDON”	
Kazuhiro Hayashi, Yukihiko Hanaki	
FA Integrated Engineering Software for Interconnection Reinforcement of PLM Engineering Chain	
Hiroaki Yamakawa, Hidehito Kato, Ryo Kuya, Masaru Nakamura	
Entry-model CPU Module of Mitsubishi Programmable Controller “MELSEC iQ-R Series”	
Yuto Matsuzawa, Takashi Yoshikawa	
Multifunction Regeneration Converter “FR-XC Series”	
Satoshi Taira, Ryuta Saino	
Industrial Robot FR Series “MELFA Smart Plus”	
Kenji Murata	
New Technologies of CNC “M800/M80 Series”	
Toshihiro Azuma, Keiichiro Uta, Takao Katsuta	
Invention of Mirror for Improving Laser Via Drilling Quality	
Nobutaka Kobayashi, Yasuhiro Takigawa, Shozui Takeno, Tomohiko Ishizuka	
Electronic Watthour Meter “M2PM Series”	
Gaku Ueno	
Expansion of Line-up and Performance Improvement of MDU Breaker “W&WS Series”	
Hiroaki Ohashi, Hiroto Suezawa, Haruhiko Yamazaki	

### スポットライト

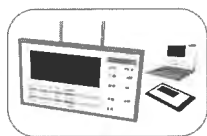
高速同期ネットワークSSCNETⅢ/H対応  
ポジションボード“MR-MC341”

### 表紙：最新のFA技術・システム

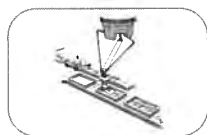
近年、製造業ではIoT(Internet of Things)を活用した生産性・品質向上への取り組みが加速している背景から、当社はIoTを活用した次世代のものづくりを実現するFA統合ソリューション“e-F@ctory”の開発・設計強化を推進し、更なる顧客満足度向上とFA事業の拡大を目指している。

本号は、最新のFA技術・システムについて紹介する。

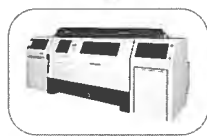
- ①当社GOT2000シリーズを活用しアンドンシステムを簡単に構築できるアプリケーションパッケージiQ Monozukuri ANDONである。製造現場での工程管理や作業者の情報共有の課題を解決し、生産性向上に貢献する。
- ②当社モーションコントローラを使用したロボットシステムの開発・立ち上げをサポートするためのアプリケーションパッケージiQ Monozukuri HANDLINGである。装置立ち上げ時間の短縮、機械設計の容易化を実現した。
- ③多層プリント基板の層間を金属で接続するための穴あけ加工を高速・高精度で実現するプリント基板穴あけ用レーザ加工機である。“加工穴数の増加”、“加工穴の小径化”に対応し、スマートフォンやタブレットPCといった電子機器の小型化、高機能化に貢献する。



①



②



③

## Agile Service Engineering in IIoT Ecosystems

IIoT エコシステムでのアジャイルサービスエンジニアリング



Thomas Usländer

The trend towards the Industrial Internet of Things (IIoT) is very strong and irreversible. Is it driven by customer demand or rather by the idea that the new technological possibilities such as smart sensors and the handling of big data offers new business opportunities? Considering the industrial production domain, up to now, optimization in industrial production has mainly targeted matter, energy and cost. However, the potential of data, information and knowledge in industrial production is still widely unexploited. IIoT technologies, ranging from smart sensors and actuators, edge and cloud-based data storage and analytics up to informed decision support, promises to exploit this potential.

Various initiatives all over the world are aiming to follow this approach. Germany has started this competitive race with its Industrie 4.0 initiative that claims to have disruptive effects on the business level. It may finally lead to the 4th industrial revolution. In Japan, similar ideas are pursued by the Robot Revolution Initiative and the Industrial Value Chain Initiative. There is one common need on the technological level: an open architecture for networked cyber-physical systems with agreed standards for communication (such as OPC UA) and information modeling (such as AutomationML or OPC UA companion specifications). Furthermore, these technological achievements enable the development of so-called product-service systems. This means that in future automation products such as machine tools, robots, sensors or conveyors cannot be sold anymore without being accompanied by software-based services. These services encompass or support capabilities for condition monitoring, preventive maintenance, machine learning or artificial intelligence, either close to the asset (edge processing) or in data centers (cloud processing). However, as the end user wants to use these capabilities for a whole production plant across individual, possibly heterogeneous plant components, the associated services have to perfectly fit together. Furthermore, they even cooperate in order to achieve integrated services for whole

production plants, may be even integrating supply chains.

This has severe consequences for the whole engineering process for product-service systems:

- (1) The analysis and design for product-service systems must encompass the service engineering, too.
- (2) Service engineering has to consider the IIoT platform for which the services will be offered. In particular, this relates to the architecture and generic capabilities of the IIoT platform chosen.
- (3) In order not to be "locked-in" to one IIoT platform vendor, it is preferable to support open standards for the communication and information modelling aspects of the services.
- (4) The service engineering must encompass the whole lifetime of the product including the usage and maintenance phase of the product. As the IIoT platforms undergo revisions, too, an agile service engineering approach is indispensable that is well synchronized with the version management of the associated product.
- (5) Continuous and automated testing of the products including their services must be organized and carried out in order to master the complexity.

Likewise, the IIoT platforms have to be prepared for such a highly flexible and open service ecosystems. There are no fixed use cases that can be clearly analyzed by interrogating the future demands of the customers. The customer base is not fully known and the known customers are not able to express their requirements as they learn from the capabilities of the rapidly emerging IIoT platforms. Hence, a product and development manager needs a service engineering methodology and tool to break down hypothetical use cases to IIoT platform requirements and map them to existing and emerging technologies and IIoT platform products.

The exploitation of the economic potential and promises of the IIoT will only be possible if the strategic importance of systematic engineering is understood, including the specifics of the emerging IIoT ecosystem landscape.

### 〈概要〉

世界各国でIIoT(Industrial IoT)による資源の最適利用への期待が高まっており、戦略的取組みが進んでいる。ドイツのIndustrie4.0戦略はビジネスレベルで飛躍的な効果を目指しており、日本ではRRI(Robot Revolution Initiative)やIVI(Industrial Value-chain Initiative)が同様の取組みを進めている。技術的には通信標準(OPC UA等)や情報モデル標準(AutomationML等)を伴ったサイバーフィジカルシステムのオープンアーキテクチャが必要であり、将来的に多くの自動化機器はソフトウェアで実現されたサービスと連携

していることが当たり前となる。このような時代の製造業は、顧客が想定するユースケースを実現するのではなく、顧客のユースケースの仮説検討・検証を行って高い顧客価値が提供できるサービスを設計できなければならない。このようなサービスは複数の会社の製品が連携することで実現されると想定されるため、柔軟に他社製品と連携した製品・サービスを体系的に設計する方法論をもつことが、競争戦略として重要になってくる。

# 巻頭論文

## “Connected Industries”の実現に向けたFA分野へのAI技術適用



中川路哲男\*

AI Technology Applications in Factory Automation Field for Achieving “Connected Industries”

Tetsuo Nakakawaji

### 要 旨

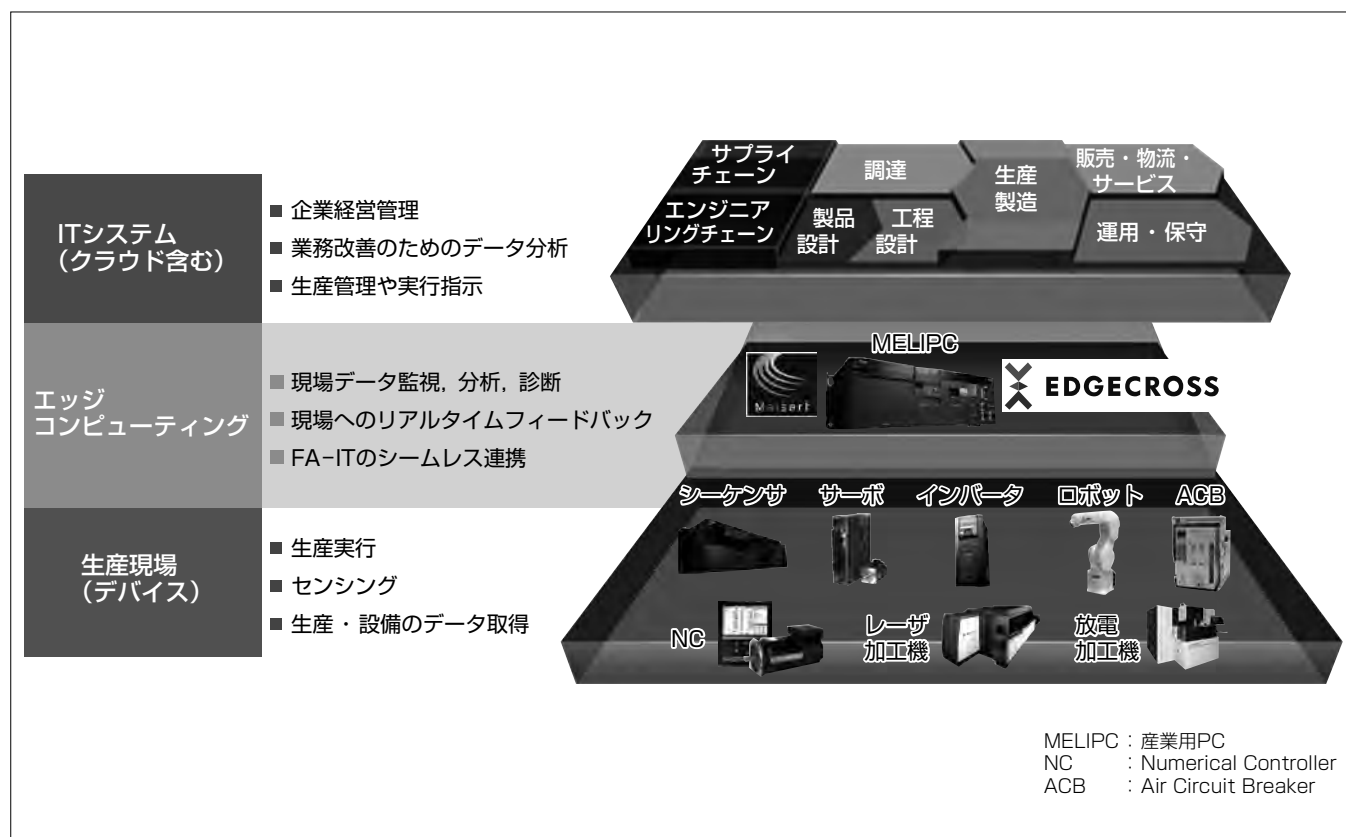
IoT(Internet of Things)技術やAI(人工知能)の活用が進む中、経済産業省は、我が国の産業が目指すべき姿として、様々な業種、企業、人、データ等がつながることによって新たな価値創出を図る“Connected Industries”を提唱している。ものづくり分野での“Connected Industries”の取組みの中では、生産現場とITをつなぐエッジ領域の活用による付加価値の創出が目指す方向となっている。エッジ領域ではFAとITの融合が進んでおり、企業・産業の枠を超えたオープン化の動きがある。2017年11月設立のEdgexcrossコンソーシアムはこのような動きの一例と言える。

三菱電機は2003年から製造業の開発・生産・保守の全般にわたるトータルコスト削減と企業価値の向上を図るた

めに、FA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”のコンセプトを掲げ、生産現場のデータをエッジ領域で加工・集約してITシステムと連携することで工場全体の最適化に貢献してきた。

エッジ領域を活用した付加価値の創出を加速するため、当社はe-F@ctoryでのEdgexcrossの活用を進めており、当社AI技術ブランド“Maisart(マイサート)”の技術をFA分野に特化した用途に適用させる技術開発を進めている。

今後も、当社の強みである装置・機器の強化を継続しながら、エッジ領域にAI技術を活用した最新のFA製品を提供し、生産現場とITの連携強化を実現することで、“Connected Industries”が描く姿を実現するソリューション提供を進めていく。



### FA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”とエッジコンピューティング

e-F@ctoryは、生産現場を起点とした経営改善を目指して、“人・機械・システムの協調”によるフレキシブルなものづくりを実現するソリューションである。生産現場の産業用ロボット・装置・加工機を当社AI技術ブランドMaisartによって強化することに加え、生産現場のデータ分析・診断にもMaisartを活用したソフトウェア製品を提供している。オープンなエッジコンピューティング環境としてはEdgexcrossを活用していく方針である。

## 1. ま え が き

IoT技術の普及、ビッグデータのデータ量増大、データを活用するAI(人工知能)の進化が急速に進んでいる。経済産業省は、日本の産業が目指すべき姿(コンセプト)として、様々な業種、企業、人、データ等がつながることによって新たな価値創出を図る“Connected Industries”を提唱・推進しており、日本の強みを活用した価値創出を目指している。

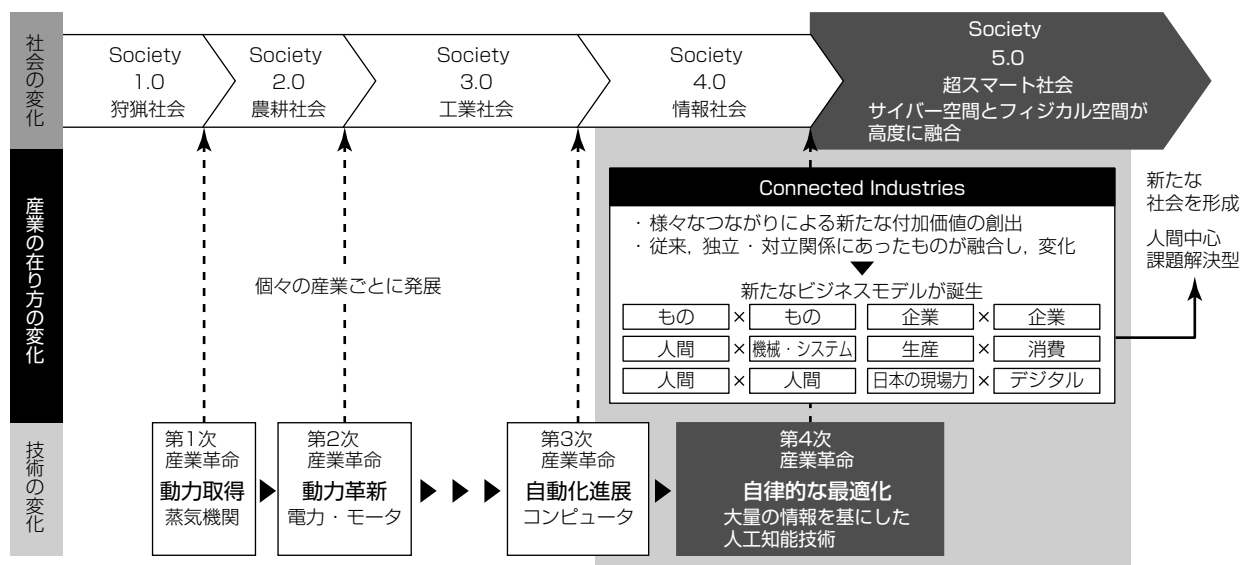
当社は2003年からFA-IT統合ソリューションe-F@ctoryを提唱しており、FA技術とIT技術を活用して開発から保守にいたるまでのバリューチェーン全体のコストを削減し、一歩先のものづくりを指向するソリューション提案を基本コンセプトとしてきた<sup>(1)(2)</sup>。

本稿では、ものづくり分野で“Connected Industries”が描く姿を実現するe-F@ctoryソリューションの例として、当社AI技術ブランドMaisartを生産現場とITをつなぐエッジ領域に適用した実証事例について述べる。

## 2. Connected Industries

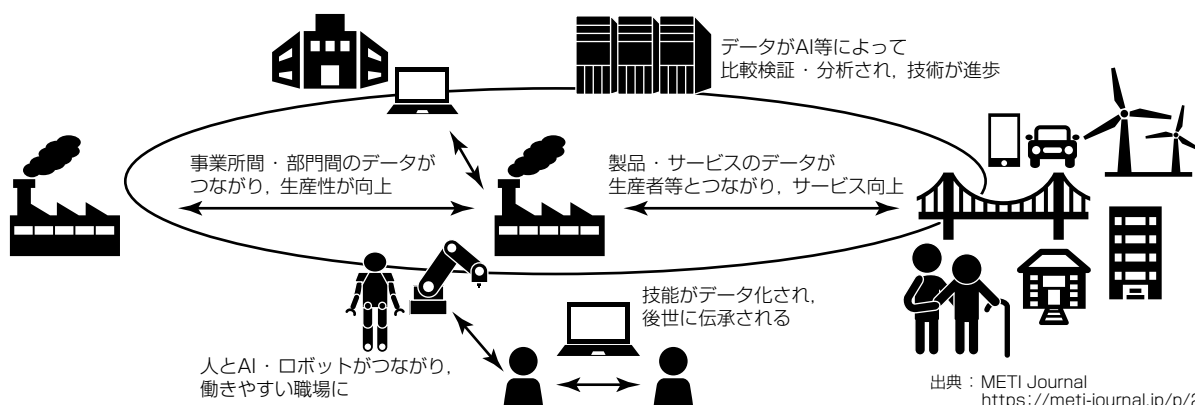
2017年3月に開催されたドイツ情報通信見本市(CeBIT)に日本はパートナー国として参加し、安倍首相から日本が目指す産業の在り方として“Connected Industries”コンセプトのスピーチが行われた。

図1は“社会の変化”“技術の変化”から見た日本のIoT化の取組みを示している。図1の1段目の“社会の変化”を見ると“情報社会”からサイバー空間とフィジカル空間が高度に融合した“超スマート社会”に向かっていることが示されている。この“超スマート社会”を内閣府は“Society5.0”と名付けている。一方、図1の3段目の“技術の変化”では世界経済フォーラムで提示された“第4次産業革命”への移行が示されている。この“技術の変化”を“社会の変化”につなげるための産業の在り方の変化が“Connected Industries”である。従来、独立・対立関係にあったものが融合して変化することによって、新たなビジネスモデルが誕生することが期待されている。



出典：経済産業省新産業構造部会 資料

図1. 日本のIoT化の取組み



出典：METI Journal  
https://meti-journal.jp/p/2

図2. “Connected Industries”が生み出す効果

図2は、“Connected Industries”が生み出す効果を示している。事業所・工場で技術・技能等の電子データ化は進んでいるが、それぞれがバラバラに管理されていて連携されていないという現状に対して、将来的には、それぞれが持つデータがつながって有効活用されることによって、技術革新、生産性向上、技能伝承などが可能となるため、新たなレベルの課題解決が可能になることを示している。

“Connected Industries”は元々、ものづくり分野でデジタル化が進む中、製造業の競争力維持を狙って検討されたものであり、ものづくり分野の日本の強みを活用した価値創出を目指したものであった。

一般的な日本の強みとして、高い“技術力”や高度な“現場力”が挙げられるが、ものづくり分野では、生産現場の装置・機器／生産技術の部分に日本の強みが潜在していると考えられる。つまり、生産現場のデータから“技術力”や“現場力”をデータ分析やAI活用によって抽出し、これら日本の強みを活用したソリューション提供を実現することによって“Connected Industries”が目指す価値創出が実現できることになる。技術的には、生産現場とITをつなぐエッジ領域でデータ分析やAI活用、生産現場へのフィードバックを実現するエッジコンピューティングが重要な役割を果たす。このことは次の二つの生産現場要件から容易に理解できる。

#### (1) リアルタイム性

設備保存等のリアルタイム性が要求される業務では、物理的に生産現場に近い場所でのデータの管理・処理・フィードバックが必要である。

#### (2) セキュリティ

情報の抽象化やフィルタリングによるセキュリティ確保やデータ通信量削減には、工場のデータを外部とやり取りするゲートウェイであるエッジ領域での処理が必要である。

### 3. Edgecross

2017年11月に設立されたEdgecrossコンソーシアムは、エッジコンピューティングが実現する“FAとITの融合”が進んでいく中で、企業・産業を超えたオープン化の動きが出てきたことを示す一例である。

日本発のオープンなエッジコンピューティングプラットフォームの提供を通して、グローバルで需要が高まっているIoT化や、経済産業省が提唱する“Connected Industries”の取組みへの寄与を目指している。

### 4. e-F@ctory

FA-IT統合ソリューションe-F@ctoryは、当社が2003年から提唱しているコンセプトである。e-F@ctoryのコンセプトによって、FA技術とIT技術を活用することで開発・生産・保守の全般にわたるバリューチェーン全体でのコストを削減し、顧客の改善活動を継続して支援するとともに、一歩先のものづくりを指向するソリューション創出が可能である。また、“生産性”“品質”“環境性”“安全性”“セキュリティ”の向上を実現し、顧客のTCO(Total Cost of Ownership)削減と企業価値の向上を支援することが可能である。

e-F@ctoryのアーキテクチャは、生産現場、エッジコンピューティング、ITシステムの3層から構成される(図3)。生産現場は生産を実行すると同時に、センシングによって生産や設備のデータをリアルタイムに取得する。エッジコンピューティングでは、生産現場から取得したデータを監視、分析、診断すると同時に、生産現場へのリアルタイムなフィードバックを実行する。例えば、設備の異常の兆候を捉え、即座に現場へ指示を出すことによって、故障する前に設備を停止したり、設備の異常で不良製品が大量に



図3. e-F@ctoryアーキテクチャとエッジコンピューティング

生成されてしまうような問題を解決できる。エッジコンピューティングではまた、ITシステムが必要とするデータの抽出や指示と結果の紐(ひも)付けを行うなどの処理を実施して、ITシステムとシームレスに連携する。生産管理や実行指示を行うITシステムは、エッジコンピューティングによる支援によって、必要なデータを理解できる(処理可能な)形式で入手できる。

“Connected Industries”が描く姿を実現するためには、企業・産業の枠を超えてモノと情報が“つながる”ことに加え、エッジコンピューティングによる生産現場データのリアルタイムな活用や、ITシステムとの効率的な連携が必要である。そこで、当社はEdgexcrossコンソーシアムに参画し、オープンなエッジコンピューティング環境(ソフトウェアプラットフォーム)としてEdgexcrossの活用を進めている。

## 5. 当社AI技術とFA分野への適用

これまでに述べた技術トレンドに対応するために、当社では様々なAI技術を開発し、FA分野への適用を進めている。この章では最初に当社AI技術ブランドMaisartについて述べたのち、Edgexcrossを活用したe-F@ctoryソリューションと当社FA製品での実証事例について述べる。

### 5.1 Maisart

Maisartは当社AI技術ブランドであり、演算量の削減や機器ドメインの知見を活用した高効率化を通して、機器やエッジのスマート化を実現するものである。AI技術を機器やエッジに搭載するメリットとして、リアルタイム性とセキュリティの2点を挙げることができる(図4)。従来のようにクラウドコンピューティングでAI技術を活用する場合、ネットワークの遅延や切断によるリアルタイムな判断や制御ができないリスクや、情報をサーバにアップロードすることによるセキュリティリスクが存在したが、機器やエッジでAI技術を活用した処理をすることでこれらのリスクを大幅に軽減できる。

	人工知能の搭載場所	リアルタイム性	セキュリティ
従来	クラウドコンピューティング サーバ 様々なデータ 高度な推論 現場の機器	サーバ ネットワークの遅延・切断	サーバ 情報のアップロード
今後	エッジコンピューティング コンパクト AI 現場の機器 現場の機器を賢くする技術	リアルタイムに制御	高セキュリティ(アップロード不要)

図4. AI技術の機器・エッジへの適用メリット

Maisartの適用先は工場、ビル、車など多岐にわたるが、ここでは特に工場、生産現場を対象とした技術及び活用方法について述べる。

生産現場での“生産準備”“段取り・生産・製造”“運用・保守”の各フェーズではそれぞれ、“すぐに動く”“無駄がない”“止まらない”ことが高い価値を生み出す。これらの価値を生み出すために、ディープラーニング、強化学習、ビッグデータ分析を中心とする当社AI技術を適用する(図5)。

#### 5.1.1 ディープラーニング

Maisartのディープラーニングでは、ネットワーク構造の中で重要な枝だけを残すことで演算量を大幅に削減する(図6)。演算量の削減によって、機器やエッジへのディープラーニング適用が可能となる。

#### 5.1.2 強化学習

Maisartの強化学習では、機器の知見に基づき制御結果の“成功度合い”を評価することで、制御パラメータを更新する回数を削減し、学習時間を短縮する(図7)。

#### 5.1.3 ビッグデータ分析

Maisartのビッグデータ分析技術の一つとして、時系列データの分析で、正常時のセンサ出力を部分列に分割・学習して分類することで、検知対象データと正常データとの

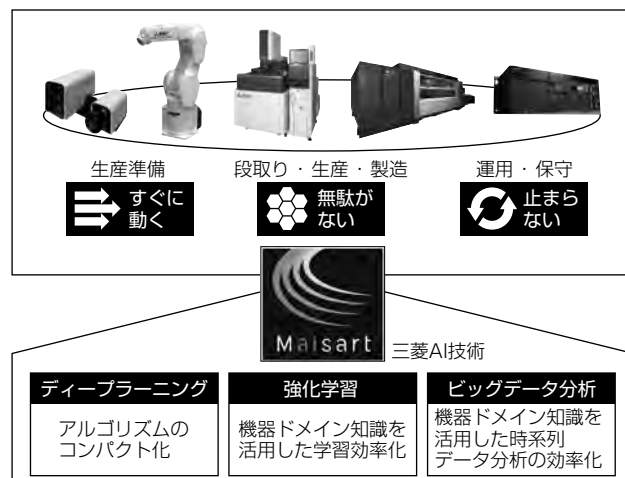


図5. 生産現場へのAI技術適用イメージ

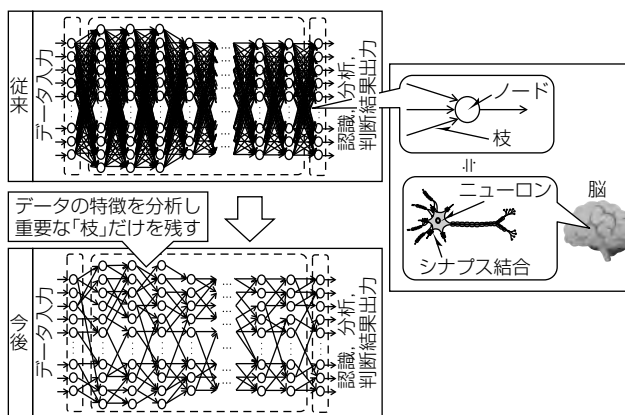


図6. アルゴリズムのコンパクト化



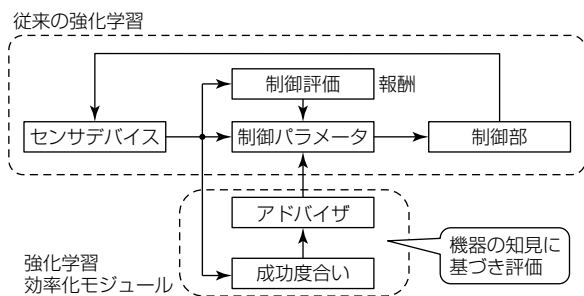


図7. 強化学習の効率化

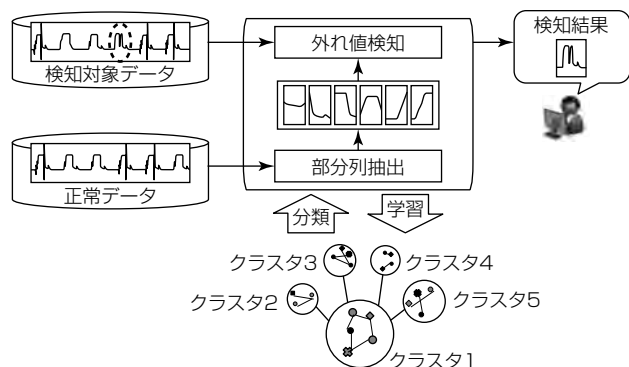


図8. 波形の類似度を算出する時系列データ分析

比較計算量を削減し、検知対象データからの外れ値検知をリアルタイムに実現する類似波形認識技術がある（図8）。

## 5.2 実証事例

### 5.2.1 生産準備への適用

産業用ロボットを用いてばら積み部品取り出しを実現するためには、三次元ビジョンセンサの認識パラメータ調整作業が必要である。従来は半日程度要していた手動調整作業を当社の認識パラメータ自動調整AIによって約1時間に短縮することが可能である。

実現では、デジタル空間での三次元物体認識、認識パラメータの最適値探索といったAI技術に加えて、三次元モデルによるばら積み状態のシミュレーション技術と三次元ビジョンセンサ認識の調整技術といった機器ドメイン知識を加えている。このような高効率な演算処理量と機器ドメインの知見活用はMaisartの特長である。

### 5.2.2 段取り・生産・製造への適用

産業用ロボットを用いたベアリングやコネクタ等の組み付け作業の実現で、力覚センサによって作用力を検出して制御にフィードバックをかける。組み付け作業での速度指令をAIによって自動調整し、きめ細やかな速度指令を出すことで、当社検証事例で作業時間の65%短縮を実現した（図9）。

また、産業用ロボットで用いる力覚センサによる作用力推定の高精度化実現にAIを適用した。AIと物理モデルの併用によって除去すべき外乱を高精度に推定し、その結果を受けてセンサ出力を高精度に補正することで、力覚制御の精度を向上させることに成功した（図10）。

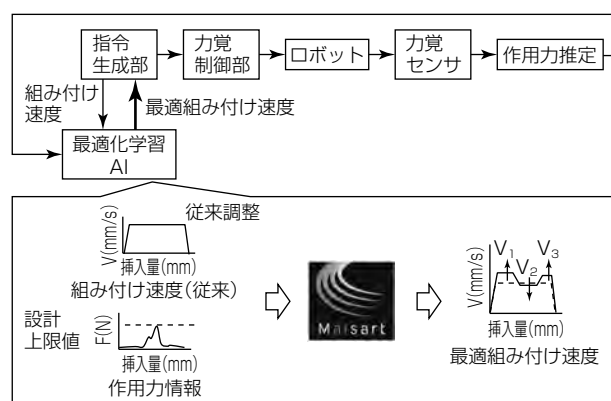


図9. 力覚作業の高速化

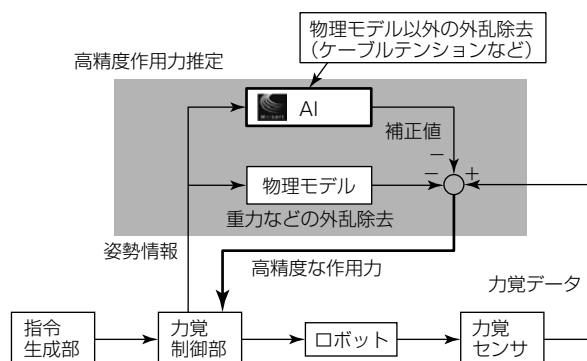


図10. 力覚作業の高精度化

### 5.2.3 運用・保守への適用

5.1.3項で述べた類似波形認識技術を活用することによって、例えば生産現場の各装置に電流センサを設置し、電流値をリアルタイムに監視することで装置の異常を素早く検知し、タイムリーなメンテナンスを実施することが可能になる。

## 6. む す び

“Connected Industries”が描く姿の実現のためには、日本の強みである生産現場／エッジ領域での機器・装置／生産技術を活用した価値創出が重要であり、当社のe-F@ctoryソリューションの適用が可能であること、企業・産業の枠を超えて“つながる”ためにはEdgecrossプラットフォームの活用が有効であることを述べた。また、Edgecrossを活用したe-F@ctoryソリューションの例として、当社AI技術ブランドMaisartをFA分野に適用した実証事例について述べた。今後もe-F@ctory製品群の研究開発によって、“Connected Industries”が描く姿を実現するソリューション提供を進めていく。

## 参 考 文 献

- (1) 藤田正弘：“e-F@ctory”を支える最新のFA技術，三菱電機技報，91，No.4，204～208（2017）
- (2) 中川路哲男：“e-F@ctory”を支えるFA機器の最新技術動向，三菱電機技報，90，No.4，210～214（2016）



# エッジコンピューティングソリューション

松田 規\*

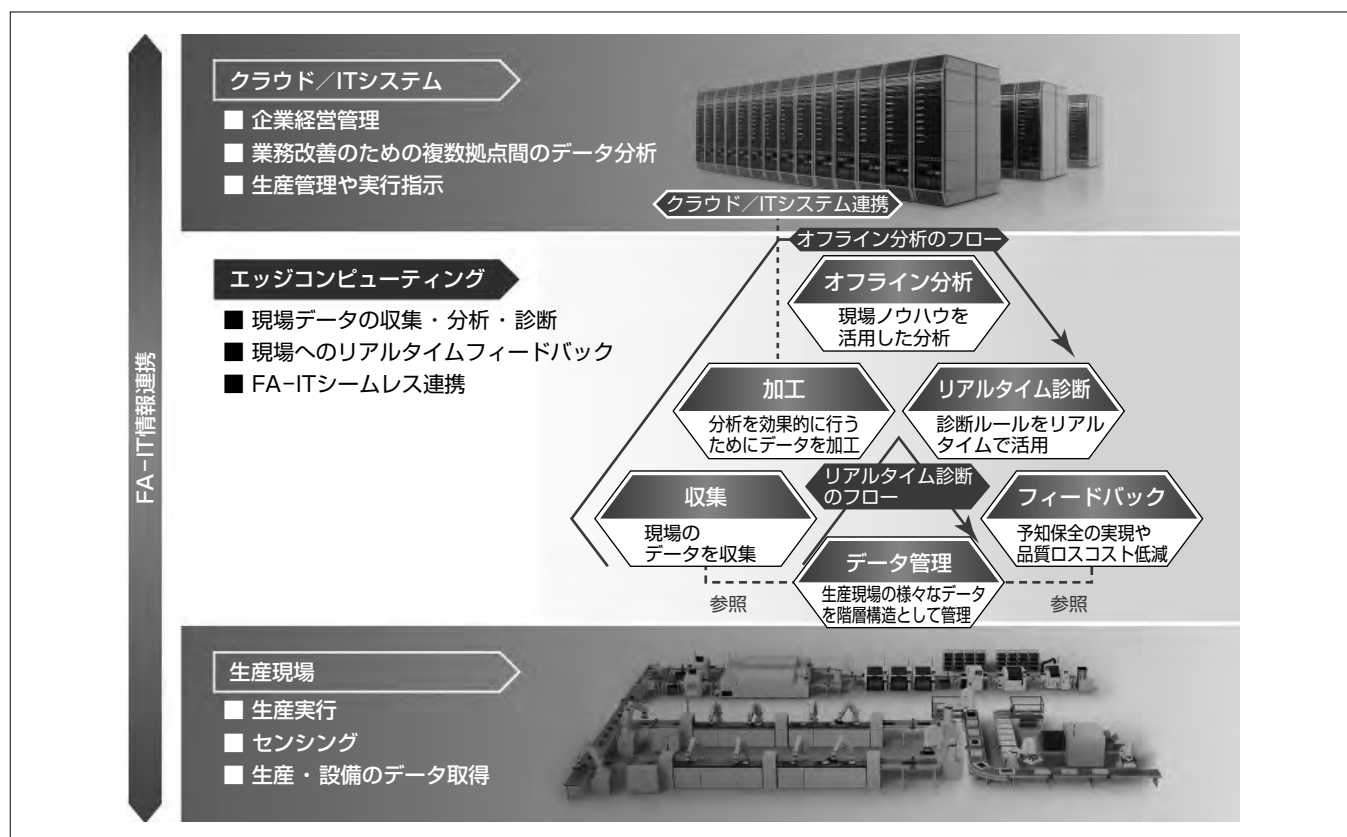
Edge Computing Solution

Nori Matsuda

## 要 旨

三菱電機は、FA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”によって、開発・生産・保守全般にわたるトータルコストを削減する仕組みを2003年から提唱してきた。そのアーキテクチャの特徴は、生産現場とITシステムとの中間にエッジコンピューティング層を設けていることである。近年、生産現場のIoT(Internet of Things)化やAI(Artificial Intelligence)活用が注目されていることから、それに応えるためエッジコンピューティング製品を開発中である。この製品群は、ソフトウェアプラットフォーム“Edgecross”を採用した高速・高信頼の産業用PC“MELIPC”，生産現場のデータをリアルタイム診断が可能なデータ分析ソフトウェア“リアルタイムデータアナライザ”，生産現場の多様なデータの監視が可能な

SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)ソフトウェア“MC Works64エッジコンピューティングエディション”で構成される。この製品群を活用することで、生産現場の設備から電流値・圧力などの現場のデータを収集・加工し、現場ノウハウを生かしてオフライン分析することで設備故障や品質悪化に影響するデータを特定し、予知保全や品質監視のための診断ルールを作成できる。この診断ルールを用いて、生産設備の運用時にリアルタイムにデータを収集・加工し、診断ルールへの適合性を判断することで、リアルタイムに予知保全や品質監視などを行う。これを生産現場や管理室などで監視することで、設備稼働率の向上や品質ロスコストの低減を図ることができる。



## エッジコンピューティングによるデータ活用

生産現場のデータ活用は、①蓄積データから異常診断を行うための診断ルールを作成するオフライン分析フェーズ、②診断ルールに基づいて生産現場のデータをリアルタイムに診断するリアルタイム診断フェーズに分けられる。生産現場では多種多様なデータが生成され、必要に応じてリアルタイムに生産現場にフィードバックを行う必要があるため、生産現場に近いエッジコンピューティングの活用が重要となる。

## 1. ま え が き

近年、製造業を取り巻く環境は大きく変化している。多品種少量生産のニーズ増加、三次元プリンターなどの新しい製造プロセスが台頭しつつある。また、IoT・AIに代表されるデータ分析技術が飛躍的に発展し、製造業への適用が進みつつある。市場からも、生産現場のデータを活用し、予知保全、稼働率向上、品質安定化や歩留り向上などのニーズが聞かれるようになってきた。一方、生産現場には膨大な種類・量のデータが存在することや、生産ノウハウの情報が漏洩(ろうえい)するリスクへのおそれから、クラウドを活用した既存ソリューションに対して懸念を感じるケースも多い。そこで当社は、e-F@ctoryとして3階層アーキテクチャを提唱し、より生産現場に近いエッジコンピューティングを活用することを提案している。

本稿では、当社が開発中のエッジコンピューティング製品について、その製品や特長、活用事例について述べる。

## 2. e-F@ctory

e-F@ctoryは、当社が2003年から提唱してきたFA-IT統合ソリューションである(図1)。FA技術とIT技術を活用することで、開発・生産・保守の全般にわたるバリューチェーン全体でのコストを削減し、顧客の改善活動を継続して支援するとともに、一歩先のものづくりを指向するソリューション創出が可能になる。そのアーキテクチャとしては、生産現場とITシステムとの間にエッジコンピューティング層を設け、大量の生産現場データから必要な情報だけを切り出すなどの一次処理を行うとともに、そのデータに対して意味付けを行うなど、FAとITをシームレスに情報連携させることが特徴である。このエッジコンピューティングがシステム全体の最適化の要となることで、生産現場での生産性、品質、省エネルギー、安全性、セキュリティの向上が可能になる。

一方、実際の生産現場には、当社の機器・装置だけでなく、様々なベンダーが開発した設備が導入されている。同様に、ERP(Enterprise Resource Planning)などのITシステムは、それぞれ異なるベンダーが開発していることが一般的である。また、扱うデータ量や設置

環境に応じて適切なハードウェア(動作環境)の選択が必要である。そのため、e-F@ctoryコンセプトの具現化のためには、動作環境を制約することなく、マルチベンダー環境でも情報連携を可能にするプラットフォームが必要である。

## 3. Edgecross

発起企業として当社が参画したEdgecrossコンソーシアムは、FAとITを協調させる日本発のオープンなエッジコンピューティング領域のソフトウェアプラットフォーム“Edgecross”の仕様策定、及び普及推進を行う団体である。当社を含めた7社が幹事会社となり、Edgecrossコンソーシアムの運営を担っており、企業・産業の枠を超え、誰でもコンソーシアム会員として参加できる。そのソフトウェアプラットフォーム(図2)は、ネットワークの差異を吸収

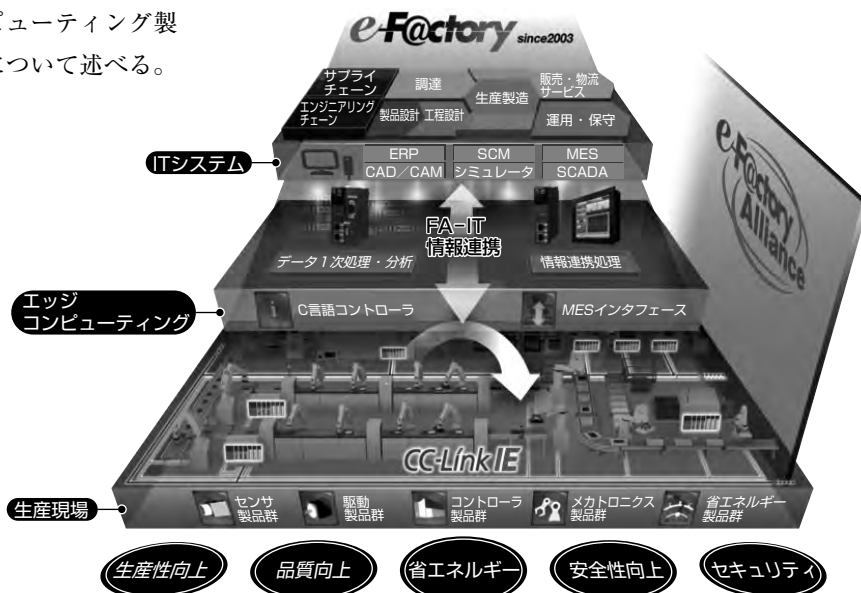
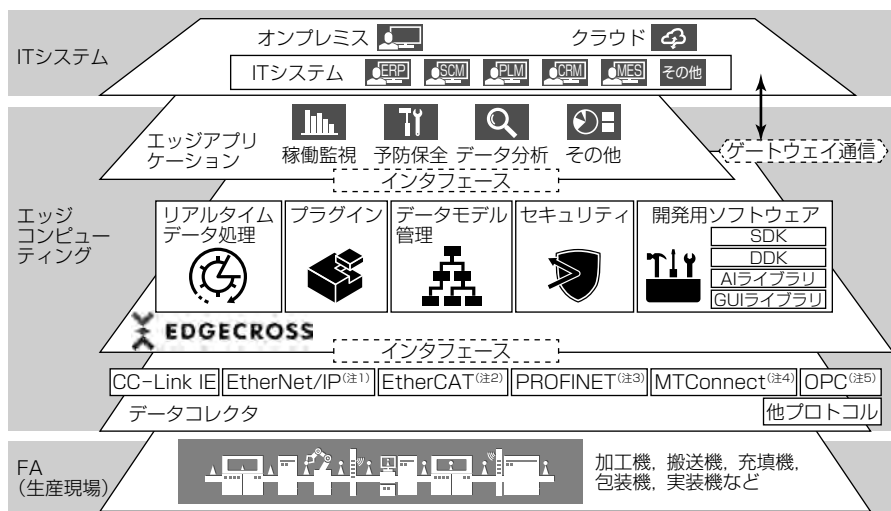


図1. e-F@ctoryの概念



- (注1) EtherNet/IPは、ODVAの登録商標である。  
 (注2) EtherCATは、Beckhoff Automation GmbHの登録商標である。  
 (注3) PROFINETは、PROFIBUS Nutzerorganisation e.V.の登録商標である。  
 (注4) MTConnectは、The Association For Manufacturing Technologyの登録商標である。  
 (注5) OPCは、OPC Foundationの登録商標である。

図2. Edgecrossのアーキテクチャ<sup>(1)</sup>

するデータコレクタや、エッジアプリケーションやITシステムと連携するインタフェースを標準化しており、各ベンダーが対応製品を開発することでマルチベンダー環境に対応できる。また、リアルタイムにデータを処理して生産現場にフィードバックを行うリアルタイムデータ処理機能、現場装置・機器を抽象化した論理モデルで管理できるデータモデル管理機能など、エッジコンピューティングに必要な機能を標準化する。各ベンダーは、コンソーシアムから提供されるSDK(Software Development Kit)を使用し、自由にエッジアプリケーションが開発できる。

#### 4. エッジコンピューティング製品

Edgexcrossを活用した製品によってe-F@ctoryコンセプトの具現化を図るため、生産現場でのデータ活用に適したエッジコンピューティング製品を開発中である。その特長について述べる。

##### 4.1 MELIPC

MELIPC(図3)は、生産現場の多種多量のデータを高速に処理でき、かつ高信頼が必要な用途に向けて開発した産業用PCで、次のような特長を持つ。

- (1) Intel Core i7搭載によって高速処理が可能。また、Windows<sup>(注6)</sup>搭載によって既存Windows資産(アプリケーション)を活用可能。
- (2) 優れた環境性・信頼性・機能性を持ち、消耗品である電源・バッテリー・ファンのメンテナンスも容易。
- (3) CC-Link IEフィールドネットワーク対応で、生産現場の大量のデータを高速かつ高精度に収集可能。

このMELIPCでEdgexcrossを動作させることで、生産現場のデータ活用に向けた環境を容易に構築できる。

(注6) Windowsは、Microsoft Corp.の登録商標である。

##### 4.2 リアルタイムデータアナライザ

リアルタイムデータアナライザは、生産現場で予知保全や品質向上などをGUI(Graphical User Interface)を用いて簡単に実現できるデータ分析・診断ソフトウェアである。このソフトウェアは次のような特長を持つ。

###### (1) リアルタイム診断

FA現場で発生するデータをオフライン分析するだけでなく、データのリアルタイム診断による異常検出が可能。

###### (2) 当社AI技術“Maisart”を搭載

Maisartによって、過去の正常時のデータを学習し、学習結果を用いたリアルタイム診断が可能。

###### (3) 多種多様な分析アルゴリズム

波形データの分析・診断や多種多様な統計手法を簡単に活用でき、予知保全や品質向上が可能。類似波形認識(図4)、相関分析(図5)、重回帰分析、SPC(統計的工程管理)、MT(マハラノビス・タグチ)法など10種以上を搭載。

###### (4) GUIによる簡単設定・表示

AIや統計手法によるリアルタイム診断をプログラムレスで簡単に実現可能。また、分析結果も簡単に表示可能。

このソフトウェアを用いることで、生産現場のニーズに応じて二つのアプローチで課題解決に取り組むことができる。

###### (1) “いつもと違う”を検出するアプローチ

正常時データの分布や波形を学習し、現場の運用時に同じデータを取得・分析して、正常時のデータから逸脱したデータが発生していないかを診断する。このソフトウェアでは、連続データのパターンを診断可能な類似波形認識アルゴリズム、データの相関関係によって診断可能なMT法などで、このアプローチを実現できる。

###### (2) “はかれないもの”を予測するアプローチ

常時計測することが困難な治具劣化度合いなどの目的変数を計測し、常時計測可能なデータから推定する予測式をオフライン分析で算出する。運用時は、予測式を用いて計測可能なデータから目的変数を予測することで診断を行う。このソフトウェアでは、重回帰分析などでこのアプローチを実現できる。

##### 4.3 MC Works64エッジコンピューティングエディション

このソフトウェアは、生産現場の多様なデータを監視することが可能なSCADAソフトウェアで、Edgexcrossによって収集されたデータの二次／三次元表示によるビジュアライズ、Webブラウザやモバイル機器による遠隔監視、可視化が可能であり、次の様な特長を持つ。



図3. MELIPC



図4. 類似波形認識の画面

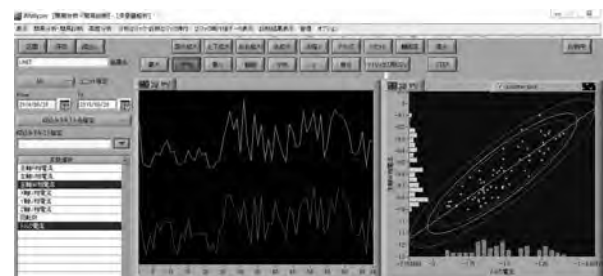


図5. 2変数相関分析の画面

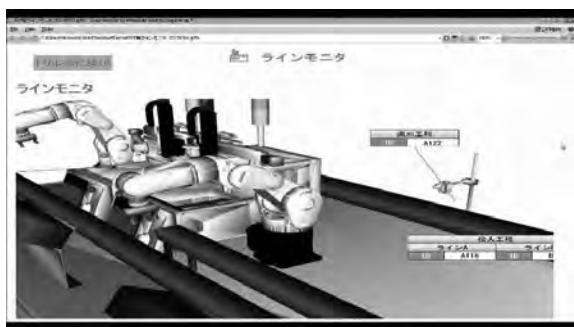


図6. MC Works64の画面

(1) 豊富な画面部品の組合せによる優れた視認性

テンプレートとなる画面部品を活用し、生産設備をイメージできる監視画面を容易に作成できる。二次元だけでなく三次元による立体的表示も可能で、設備全体から装置細部までの監視が可能になる(図6)。

(2) Webブラウザやモバイル機器を活用した遠隔監視

このソフトウェアがWebサーバとなることで、クライアントパソコン上でIE(Internet Explorer)等のWebブラウザを用いて監視が可能だけでなく、タブレット端末やモバイル機器などで監視が可能である。また、アラーム発生時にメールでアラーム情報を通知できる。

(3) Edgecrossと連携した稼働状況や診断結果の可視化

Edgecrossで収集した装置／設備の稼働状況やKPI(Key Performance Indicator)の可視化が可能である。

## 5. 活用事例

エッジコンピューティング製品の活用事例を述べる。

### 5.1 モータに接続された負荷の異常検知

ファンのブレードの欠損など、モータなどの回転機に接続された負荷に異常が起こりはじめると、負荷のバランスが崩れて徐々に偏心が起こる。また、ポンプの目詰まりなどが起こった場合も、ポンプを動かすモータの負荷が上昇する。このようなケースでは、正常時と異常時のデータを比べることで、設備の故障を事前に検知できる。

具体的には、モータやインバータの電流波形を取得して正常時のデータを類似波形認識で学習し、設備を運用する際に同じモータやインバータの電流波形を常時診断し、正常時との類似度を計算する。類似度が徐々に低下しはじめた場合、負荷の異常が起こりつつあることを診断できる。これによって、故障が生じる前のタイミングで問題を把握し、適切な設備保守を行うことができる。

### 5.2 治具交換時期の定量的判断

工作機械では、安価な治具から高価な治具まで様々な治具が使用されている。特に高価な治具の場合、早く交換すると治具費用の増加につながり、交換が遅れるとロット不良による品質ロスが増加してしまうため、より適切なタイミングで交換する必要がある。生産現場によっては、治具

交換時期の判断は熟練工の経験に基づく定性的な判断が必要であり、未熟練工には交換時期の判断が難しいという課題がある。もし熟練工の判断をデータ分析によって形式知化することができれば、適切な治具交換時期を誰でも定量的に判断することが可能になる。

このようなケースでは、治具の使用中に得られたデータとして、加工回数、トルク、電流値、回転速度、加工時間などのデータ、及び熟練工が判断した治具の劣化度合いを数値化して収集する。そして、重回帰分析によって、加工回数やトルクなどのデータから治具の劣化度合いを予測する予測式を作成する。この予測式に基づいて、センサから取得できる加工回数やトルクなどのデータから治具の劣化度合いが予測でき、適切な交換時期を定量的に判断できる。

### 5.3 ベアリングの予知保全

工作機械にはベアリングやボールねじなど、定期的なメンテナンスが必要なパーツが組み込まれており、その故障が設備稼働率の低下を引き起こす。そこで、設備の振動データを類似波形認識で学習し、運用時に振動データを診断することで、設備の故障を事前に検知できる。

これを検証するため、ベアリングを用いて評価を実施した。ベアリングのスラスト方向に負荷をかけた状態でモータを3,000rpmの一定速で回転させ、ベアリングのラジアル方向の振動を、加速度センサを用いて10分おきに1秒間(100μ秒サンプリング)取得した。評価開始1時間後から6回分の振動データを用いてリアルタイムデータアナライザの類似波形認識で学習を行い、その後、ベアリングの異常振動が生じたことを検知できるかどうかを評価した。

その結果、評価開始後56時間40分後で学習データと運用データの類似度が急激に低下した。確認のために運用データをFFT(Fast Fourier Transform)解析したところ、評価開始後56時間20分でベアリング故障を示す振動がわずかに現れ、評価開始後56時間50分で振動が急激に大きくなっていることが分かった。類似波形認識で、ベアリングの故障を初期段階で検知できていることが確認できた。

## 6. む す び

e-F@ctory, Edgecross及びエッジコンピューティング製品に関して、その機能や特長、活用事例について述べた。今後は、当社製造現場での実証評価を通して得られた知見を基に、生産現場のIoT化に必要な機能を拡張していくとともに、製造現場のデータ活用を促進するため、加工機の予知保全、ラインや工場の稼働監視やエネルギー監視など、製品の拡充を図っていく。

## 参 考 文 献

- (1) Edgecrossコンソーシアムのホームページ  
<https://www.edgecross.org/>

# 省エネルギー分野への e-F@ctory技術の適用事例

北田亮平\*

Application Cases of e-F@ctory Technology in Field of Energy Conservation

Ryohei Kitada

## 要 旨

近年、運用改善による省エネルギー推進の手段としてIoT(Internet of Things)や統合制御技術などを活用したエネルギーマネジメントシステムによる改善サイクルの効率化や、エネルギー利用効率の最大化が注目を浴びている。

三菱電機は、2003年からFA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”を提唱しており、当社FA(ファクトリーオートメーション)事業の中核事業所である名古屋製作所では、自らの生産設備や建屋設備、エネルギーインフラに対して積極的にe-F@ctory技術を導入し、生産性・品質向上はもちろんのこと、運用改善によるエネルギー使用の合理化を実現してきた。

これら取組みのうち、省エネルギー分野に重点を置いた次の二つの事例がある。

## (1) 生産工場での事例

汎用シーケンサとオープンネットワーク、センサを活用したエネルギー管理システムを構築し、建屋全体を集中監視制御するとともに、生産設備と空調・換気・局所排気設備との連携制御によるエネルギー削減を実現している。e-F@ctory活用による生産ラインの稼働率向上にも取り組み、建屋全体で従来比30%のエネルギー原単位改善を実現した。

## (2) 事務棟での事例

(1)のシステムを事務所向けに応用展開し、自然換気設備と空調設備との連携制御や、人感センサ情報を活用した空調制御によって、入居者への快適性の維持とエネルギー使用量削減の両立を実現した。

FA機器新生産棟(2013年竣工)



### 建屋概要

建物構造：地上6階建、免震構造  
延床面積：25,800m<sup>2</sup>  
生産品目：FA制御機器及び駆動制御機器用キーパーツ

### e-F@ctoryによる省エネルギー取組み事例

- ・エネルギー管理システムによる集中監視制御
- ・建屋設備と生産設備との連携制御
- ・生産ライン稼働率向上によるエネルギー原単位削減

## (1) 生産工場での事例

第二FA開発センター(2017年竣工)



### 建屋概要

建物構造：地上7階建、免震構造  
延床面積：31,400m<sup>2</sup>  
建物用途：FA機器の開発・設計・評価、共同開発ルーム

### e-F@ctoryによる省エネルギー取組み事例

- ・エネルギー管理システムによる集中監視制御
- ・自然換気システムを活用した最適空調制御
- ・人感センサ情報活用による省エネルギー連携制御

## (2) 事務棟での事例

## 当社名古屋製作所での“e-F@ctory”を活用した省エネルギー事例

新たな生産棟、事務棟では、空調機や熱源、外調機など個々の設備に高効率機器を積極採用するとともに、FA技術とIT技術を連携させた当社FA統合ソリューション“e-F@ctory”を活用したエネルギー管理システムの構築、異なる設備間の連携・協調制御による全体最適運用、生産ライン稼働率向上によるエネルギー原単位改善など、様々な手法による省エネルギー化に取り組んでいる。

\*名古屋製作所

# 1. ま え が き

省エネルギーの推進手法は、高効率設備導入(更新)と運用改善との二つに大別される。資源エネルギー庁とNEDO(国立研究法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構)が策定した“省エネルギー戦略2016”<sup>(1)</sup>では、運用改善に係る部分として“革新的なエネルギーマネジメント技術”が部門横断的な重要技術と位置付けられており、この主要関連技術としてxEMS(Energy Management System)や、IoT、統合制御技術が挙げられている。このように運用改善による省エネルギーの推進手段は、従来の個々の設備・機器に着目した改善から一歩踏み込み、設備・機器間を連携させてシステムとしての全体最適を図る方向へと進化している。

当社は、2003年からFA技術とIT技術を連携させたFA統合ソリューション“e-F@ctory”を提唱しており、名古屋製作所では自らの生産設備や建屋設備、エネルギーインフラに対して積極的にe-F@ctory技術の導入を推進し、生産性・品質向上はもちろんのこと、運用改善によるエネルギー使用の合理化を実現してきた。

本稿では、名古屋製作所でのe-F@ctoryを活用した省エネルギーの二つの取組み事例について述べる。

# 2. e-F@ctory技術適用事例

## 2.1 新生産棟での適用事例<sup>(2)</sup>

2013年に竣工(しゅんこう)したFA機器新生産棟(以下“新生産棟”という。)での取組み事例について述べる。この取組みでは、生産設備を含めた新生産棟全体でのエネルギー原単位を従来比30%改善しており、平成28年度省エネ大賞(省エネ事例部門)で資源エネルギー庁長官賞を受賞した。

### 2.1.1 エネルギー管理システムによる集中監視制御

中～大規模建築物では、照明や空調といった設備をまとめて制御するために集中リモコンを設置し、さらに管理者向けに中央監視システムを構築するケースが多い。しかし集中リモコンは設備ごとに設置する必要がある、監視システムでも設備との接続仕様や設備メーカーの相違によって構築内容の制約が生じることがあった。

新生産棟では、あらゆる設備やエネルギー・環境情報の見える化と生産設備との連携制御実現を目指し、汎用シーケンサといったFA機器とオープンネットワーク、センサを活用したエネルギー管理システムを構築・導入した(図1)。

各設備との接続にネットワークを積極採用することで、従来のデジタル・アナログI/Oでは実現が困難な規模での設備内部情報の見える化を可能にしている。これによって、運用開始後のチューニングによる最適化や連携制御の追加実装を専用コントローラなどに比べて容易に行うことができ、省エネルギー改善活動の推進に多大な効果を発揮する。

ユーザーインターフェースには、入居者が日常使用するた

めのタッチパネル付き表示器“GOT”と、管理者が全体管理・分析を行うためのSCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)ソフトウェア“MC Works64”を採用した。図2に示すような制御画面を持つGOTを、スイッチやリモコンの代わりとして各フロアに数面設置しており、当該フロアの空調・照明・エネルギーの使用状況をグラフィカルに表示し、直感的な操作と一元管理を可能にしている。また、最終退出時にはワンタッチで全ての空調・照明をOFFにすることができ、消灯見回り不要化と徹底した省エネルギーを実現している。さらに、SCADAの導入によって、図3に示すようなWebベースの管理画面を通じて、棟全体の使用状況をリアルタイムで統括管理(監視・制御・記録)できる。

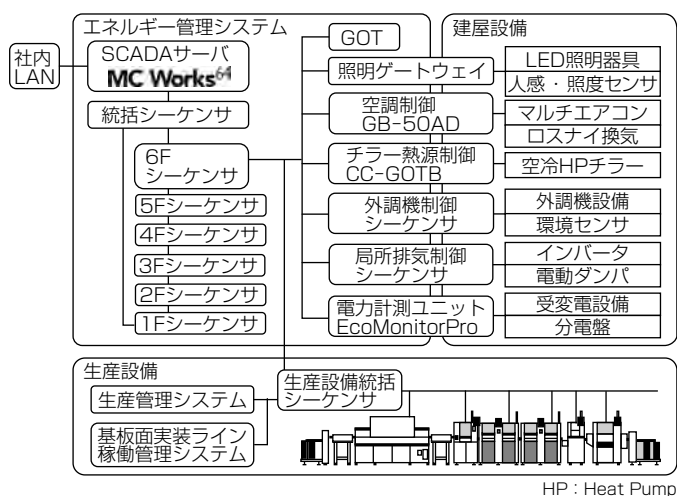


図1. システムの全体構成

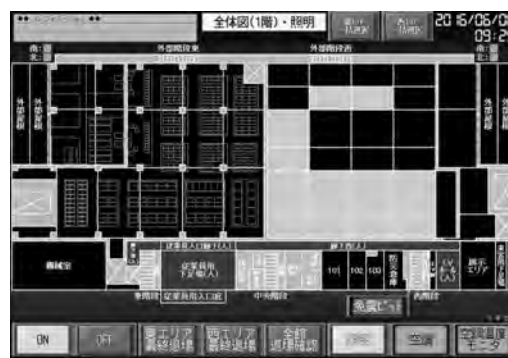


図2. 工場内照明制御画面(GOT)



図3. 工場内空調制御画面(MC Works64)

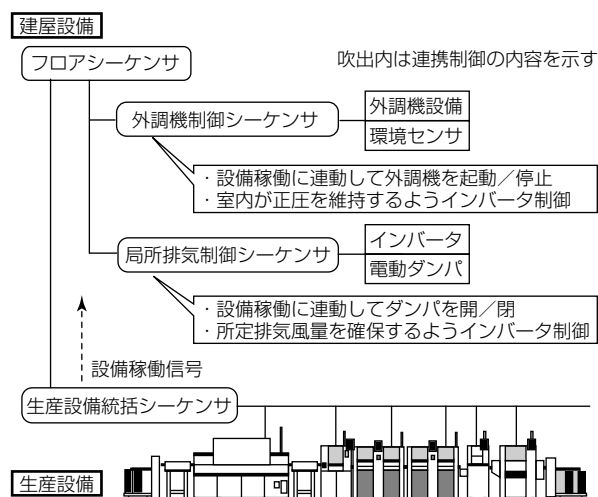


図4. 建屋設備と生産設備との連携制御

### 2. 1. 2 建屋設備と生産設備との連携制御

FA機器とオープンネットワークによって構築したシステムの汎用性を活用し、建屋設備（空調設備、局所排気設備）と生産設備の連携制御を行っている。連携制御に係るシステムの構成を図4に示す。局所排気を必要とする生産設備の稼働信号は、建屋側のエネルギー管理システムに送られる。設備の稼働信号に基づき、建屋側では外調機の起動停止制御、局所排気設備の起動停止及び排気容量制御を行う。外調機は室内が正圧となるよう、また局所排気設備は稼働する生産設備の種類・台数に応じ、それぞれファンのインバータ速度制御を行う。これらの制御によって、生産設備稼働に応じて建屋側設備が必要とときに必要な分だけ稼働する最適制御の仕組みを構築し、空調・換気に要するエネルギーの削減を実現している。

### 2. 1. 3 生産ライン稼働率向上による原単位削減

新生産棟に配置される生産ラインの中でも、特に使用電力量の多い“基板面実装ライン”に着目した。このラインが消費する電力の約6割はリフローはんだ付け用電気炉が占めており、その使用電力量は稼働時間にほぼ比例することから、ライン全体の稼働率を向上させることができれば、生産性向上と消費電力量削減とを同時に実現できる。

ライン全体の稼働状態を見える化して一元管理するため、図5に示す稼働管理システムを開発した。同システムによってライン各設備の稼働状況を分析した結果、生産機種変更時の段取りによる待ち時間の割合が大きく、稼働率悪化の要因であることが判明したため、段取り改善を進めることにした。稼働管理システムと生産管理システムを連動させ、複数ラインに対する段取りの優先順位付けを行い、作業者に適切な段取り順の指示を行うシステムを開発・導入し、待ち時間の削減を図った。これによって時間当たりの生産高を向上させ、エネルギー原単位を改善した(図6)。

## 2. 2 新事務棟での適用事例

2017年に竣工した“第二FA開発センター”(以下“新事務

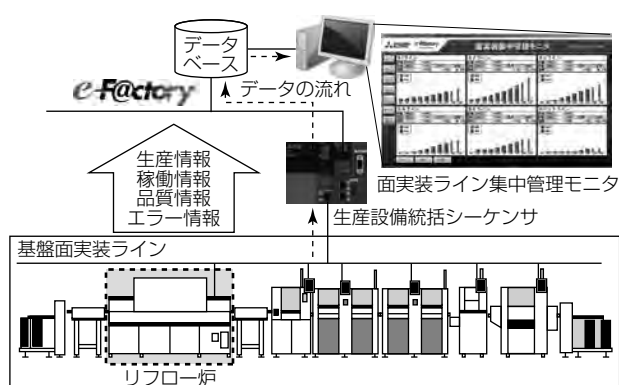


図5. 基板面実装ラインの稼働管理システム

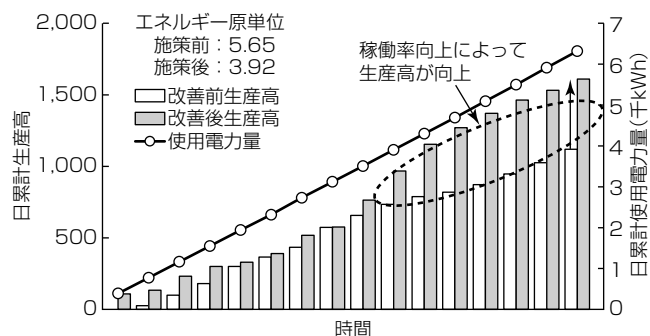


図6. システムを活用した段取り改善の効果

棟”という。)での事例について述べる。この建物は、建築物環境配慮制度であるCASBEE(建築環境総合性能評価システム)名古屋で最高評価のSランクを取得している。

### 2. 2. 1 エネルギー管理システムによる集中監視制御

生産工場では操業時間や空調条件といった運用条件や責任者が比較的固定されているのに対し、事務所では働き方の多様化によって滞在状況が流動的な傾向にあり、照明や空調の要否も刻々と変化する。そこで新事務棟では、新生産棟で構築したシステムをベースに、オフィス用途向けに更なる“ユーザビリティの向上”と“連携制御の強化”に注力したエネルギー管理システムを構築・導入した。

#### (1) ユーザビリティの向上

一般入居者も日常的かつ頻繁に操作することを想定し、SCADAによるWebベースの管理画面を一般入居者にも公開して各自のパソコンから操作可能にした。管理画面では空調や照明の操作のほか、建屋全体及び各フロア、エリアごとのエネルギー使用状況がリアルタイムに確認できる(図7、図8)。またユーザー権限によってアクセス可能範囲を制限しており、一般入居者は入切だけ、管理者は設定変更が可能といった運用上の統制にも配慮している。

#### (2) 連携制御の強化

入居者の操作の手間の省力化や、消し忘れのような人為的要因によるエネルギーロスを削減するため、異なる設備間での運転情報やセンサ情報の共有、それら情報を活用した設備間連携制御を、このシステムによって実現している。

次にその具体的な制御内容について述べる。





図7. オーバービュー画面(MC Works64)



図8. 事務所空調制御画面(MC Works64)

## 2.2.2 自然換気システムを活用した最適空調制御

建物中央部の大きな吹き抜けを活用した自然換気システムを導入した。このシステムは、吹き抜け上部に設けた自然換気窓と各フロアの窓を開放することによって吹き抜け部に生じる煙突効果を利用し、各フロアの窓から外気を導入し、吹き抜け上部の窓から熱気を含む空気を排出することで空調・換気動力を抑制するものである。

自然換気システムによって省エネルギー効果の最大化と入居者の快適性維持を両立させるためには、屋内外環境センサ情報に基づく適切な自然換気適否判定と、空調・外調機設備との連携制御が必要である。

### (1) 自然換気適否判定

新事務棟の屋上には、温湿度・風速・降雨・CO<sub>2</sub>濃度・粉塵(ふんじん)濃度を計測するセンサ群を設置している。自然換気システムでは、これら屋外環境情報に加え屋内環境情報を基に自然換気適否判定を行う。

### (2) 空調機・外調機との協調制御

自然換気が実施可能と判断すると、自然換気システムは窓の開放指令出力とともに、エネルギー管理システムを介して設備連携制御を実施する(図9)。空調機は運転を停止し、外調機は冷温水バルブを閉止するとともにファン回転数をエアバランス上必要最低限の風量へ変更する。

外調機は自然換気の実施中も室内環境(温湿度, CO<sub>2</sub>)を監視しており、一部のフロアで室内環境が設定値を超過した場合は、このフロアだけ外調機を増速し、必要最低限のエネルギーで室内環境維持を図る。これらの条件制御は全

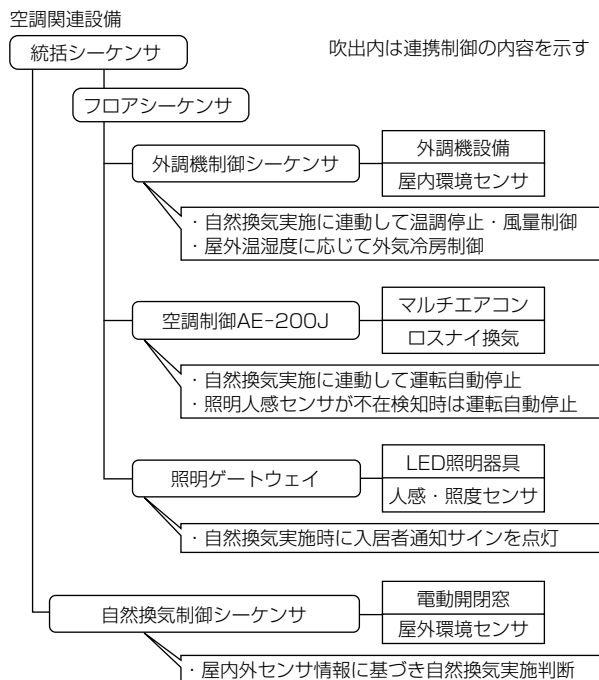


図9. 新事務棟での空調連携制御内容

てエネルギー管理システムを構成するシーケンサとネットワーク対応制御機器間の連携によって実現している。

## 2.2.3 人感センサ情報活用による省エネルギー連携制御

執務室の照明制御システムに画像センサを用いた人感・照度センサを導入した。従来の焦電型赤外線センサでは検出の難しかったパソコン操作時の小さな動きも高精度に検知することができ、在室時に誤消灯することがなく点灯保持時間短縮による省エネルギー効果の向上と入居者の利便性向上を両立させている。また、検知した在／不在、照度、調光率の情報はエネルギー管理システムで共有でき、現在是在／不在の情報を利用した空調運転制御を行っており、天井隠蔽式空調のような空調用的人感センサのない状況でも、人の在室状況に応じた空調制御を実現している。

## 3. む す び

e-F@ctoryの活用で実現した連携制御を始めとする運用改善によって、従来人の手では難しかったような細かな制御による省エネルギーが可能になった。今後もシステムの汎用性を活用し、連携制御の拡大・強化や更なる展開を進めることで、システムを有効活用した全体最適による省エネルギーを推進していく。

## 参 考 文 献

- (1) 経済産業省：“省エネルギー技術戦略2016”を策定しました(2016)  
<http://www.meti.go.jp/press/2016/09/20160916002/20160916002.html>
- (2) 北田亮平：IoT技術を活用した省エネルギー工場の実現，三菱電機技報，91，No.12，675～679(2017)

# アプリケーションパッケージ “iQ Monozukuri HANDLING”

葉石敦生\* 藤本陽太郎\*  
服部真充\*  
松田辰啓\*

Application Package "iQ Monozukuri HANDLING"

Atsuo Haishi, Masamitsu Hattori, Tatsuhiko Matsuda, Yotaro Fujimoto

## 要 旨

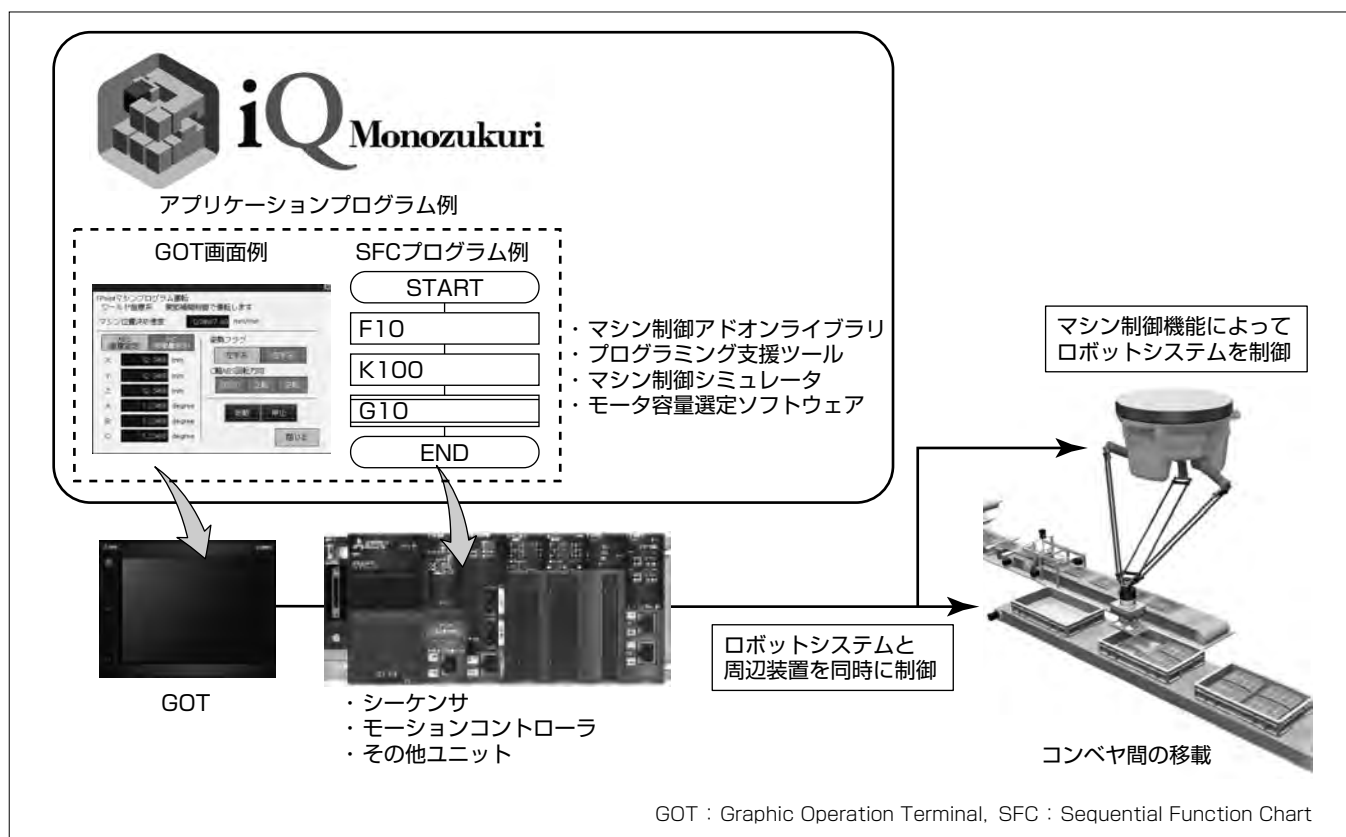
個包装後の箱詰めやコンベヤ間の移載の用途では、ロボット機構とコンベヤ等周辺装置との同期が必要となる。このような用途では、1台のモーションコントローラによって、ロボット機構と周辺装置を同時に制御することが望まれる。

三菱電機のモーションコントローラを使用したロボットシステムの開発・立ち上げをサポートするため、各種のツールをセットにしたアプリケーションパッケージ“iQ Monozukuri HANDLING”を開発した。

iQ Monozukuri HANDLINGに搭載されているソフトウェアは次のとおりである。

- (1) マシン制御アドオンライブラリ
- (2) アプリケーションプログラム例
- (3) プログラミング支援ツール
- (4) マシン制御シミュレータ
- (5) モータ容量選定ソフトウェア

ユーザーが製作するロボット機構の制御を行うためのマシン制御アドオンライブラリや、実際の用途を想定したアプリケーションプログラム例、プログラミング支援ツール、マシン制御シミュレータを使用して装置開発を行うことによって、立ち上げ時間の短縮が図れるとともに、モータ容量選定ソフトウェアによる機械設計の容易化も実現した。



## “iQ Monozukuri HANDLING”を使用したシステム構成例

iQ Monozukuri HANDLINGを使用することによって、モーションコントローラでロボットとコンベヤなどの周辺装置を制御できるため、システムコストの低減が図れる。また、モーションコントローラ一つで装置全体を制御するため、ロボットと周辺装置の同期制御が容易になる。ほかにも、プログラミングを支援するツールや、モータの容量選定ソフトウェアを提供しているので、ロボットの内製化と立ち上げ時間の短縮が可能になる。

# 1. ま え が き

電子部品製造や包装分野での装置間搬送用途で、ロボットを使用するケースが増えている。このような用途では、コストや寸法の自由度、装置との連携などの観点から、ロボット機構を内製化し、モーションコントローラ等の汎用コントローラでシステムを構築したいという要求がある。しかし、独自にロボットシステムを開発する場合は、アーム先端座標を関節軸の角度に変換する座標変換が必要になる。また、運転パターンや搬送物に応じたロボット機構のサーボモータの選定も自身で行う必要があるなど、システム構築は容易ではない点が多い。

このようなユーザーに向け、モーションコントローラでロボットシステムを制御するためのアプリケーションパッケージiQ Monozukuri HANDLINGを開発した。

本稿では、このアプリケーションパッケージのソフトウェア構成及び各ソフトウェアの特長と技術について述べる。

## 2. iQ Monozukuri HANDLINGのソフトウェア構成

当社モーションコントローラはロボットシステムを制御するマシン制御機能を持つが、iQ Monozukuri HANDLINGを使用すると、先に述べたようなハンドリング用途のロボットシステムがより簡単に構築可能となる。

iQ Monozukuri HANDLINGに搭載されているソフトウェアは次のとおりである。

### (1) マシン制御アドオンライブラリ

モーションコントローラが持つマシン制御機能を活用した、ハンドリング用途で使用される代表的な8種類のロボット機構別のアドオンライブラリである。モーションコントローラの機能を追加するライブラリであり、モーションコントローラにインストールして使用する。

### (2) アプリケーションプログラム例

マシンJOG運転やティーチングなど、立ち上げに必要な機能のプログラム例である。

### (3) プログラミング支援ツール

移動経路の追加など、プログラム例を拡張する場合のプログラミングを支援するツールである。

### (4) マシン制御シミュレータ

実機レスでロボット制御のプログラムをシミュレーションでき、装置の製作前でもデバッグが可能である。

### (5) モータ容量選定ソフトウェア

運転パターンや搬送物の質量から、関節に使用するモータを選定するソフトウェアである。

3章から7章で、これら五つのソフトウェアの特長と技術について述べる。

# 3. マシン制御アドオンライブラリ

## 3.1 マシン制御機能

マシン制御機能は、モーションコントローラで、次のような行列計算を用い、ロボットアーム先端のXYZ座標データを各関節に搭載されたサーボモータの回転座標に座標変換し、ロボット機構を制御する機能である。

$$\begin{bmatrix} J_1 \\ J_2 \\ J_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{21} & A_{31} \\ A_{12} & A_{22} & A_{32} \\ A_{13} & A_{23} & A_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

1マシン当たり最大4軸の構成軸をマシン制御用軸として管理し、マシン制御によるロボット機構の制御と、マシン制御機能を使わない周辺装置の制御を、1システムで実現できる。

## 3.2 マシン制御アドオンライブラリ

先に述べた座標変換式をユーザープログラムで作成した場合、コントローラ内のユーザープログラム容量を消費してしまう。またロボット機構が変わるたびにユーザーで変換式も変更する必要があるため煩雑なことから、座標変換式をアドオンライブラリとして提供する。

マシン制御アドオンライブラリ(図1)は直交型、関節型など8種類のロボット機構に対応し、ユーザーは使用する機構に合わせてアドオンライブラリを選定し、モーションコントローラへ追加インストールする。マシン制御機能は、ユーザープログラムで設定したXYZ座標系の目標値や移動量を、ライブラリごとの座標変換式に基づいて変換し各関節のサーボモータ角度として指令を出力する。マシン制御アドオンライブラリによって座標変換をモーションOS内で処理するため、ユーザーは座標変換式を意識することなく、ロボット制御のプログラミングができる。

1台のモーションコントローラで最大8マシンの制御が可能であり、アーム長や可動範囲などのロボット機構の仕様を装置に合わせてユーザーで調整でき、より柔軟なシステム構築が可能である。

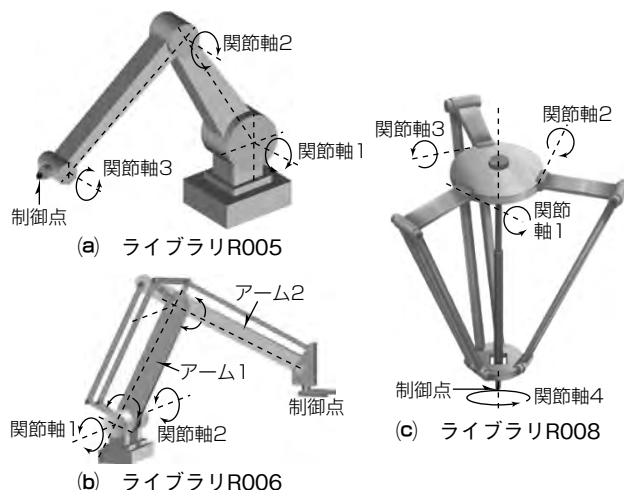


図1. マシン制御アドオンライブラリ例

#### 4. アプリケーションプログラム例

アドオンライブラリを実行するには、モーションコントローラから対象のライブラリをコールし、さらに装置に応じてアプリケーションプログラム例の逐次座標指令制御や近傍通過機能と、マシン制御アドオンライブラリとを組み合わせたプログラムを作成する必要がある。

アプリケーションプログラム例としては、そのほかに必要なマシンJOG運転、移動経路の代表点を登録するティーチング、移動経路の詳細設定をするモーションSFCプログラム例と、各種GOT画面例も用意し、ユーザープログラム開発容易化を実現する。

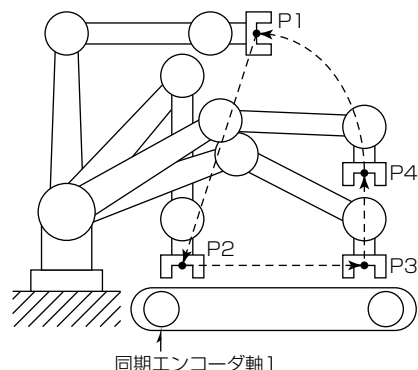
これらプログラム例や画面例をそのまま使用することだけでなく、考え方を参考にユーザーが流用開発することも可能である。

##### 4.1 逐次座標指令制御のプログラム例

コンベヤ上を移動中のワークをつかむロボットの場合、指定した座標ポイントへ制御点を追従させる逐次座標指令制御に、コンベヤの同期エンコーダのデータを入力することでロボットアームの同期を実現する(図2)。

##### 4.2 近傍通過機能のプログラム例

マシン制御で、二つ以上の補間動作を連続して行う場合に、近傍通過機能(図3)を使用して、補間動作間のつなが



- (1) 始点(P1)から追従開始位置(P2)に位置決め
- (2) 追従開始位置(P2)から同期エンコーダ軸1の位置へ追従処理(逐次座標指令)
- (3) 追従終了位置(P3)から待避位置(P4)に位置決め
- (4) 待避位置(P4)から始点(P1)に位置決め

図2. 逐次座標指令制御の動作例

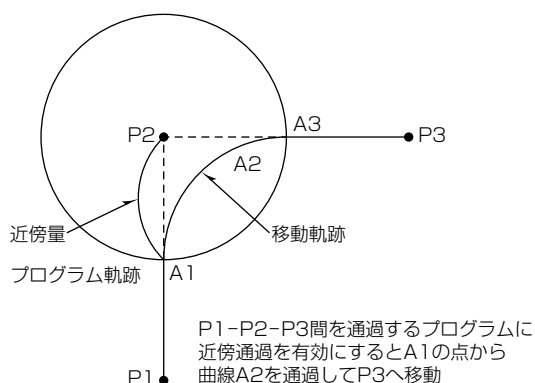


図3. 近傍通過機能

りを円滑に行うことができる。制御点の移動軌跡を短縮できるためタクトタイムを短縮できるほか、カーブ軌跡を設定する必要がないため、ユーザープログラムを簡略化できる。

##### 4.3 GOT画面例

近傍通過機能等のプログラミングに必要な画面例や、ティーチング等のロボット・サーボ調整に必要な画面例もアプリケーションプログラム例として用意している(図4、図5)。

#### 5. プログラミング支援ツール

4章で述べたモーションSFCプログラム例を使用することで簡単にロボットシステムを制御できるが、位置決め点数が多くなる場合にはプログラムの変更が必要となる。特に移動経路が複雑な場合は、モーションSFCプログラム例のソースコードだけでは多数の移動座標・移動経路を管理することが難しくなる。

そこで、このアプリケーションパッケージではプログラミング支援ツール(図6)を提供する。このツールはExcel<sup>(注1)</sup>のマクロ機能を使用し、Excel表に記載した移動座標から、対応するデバイスの先頭アドレスを指定するだけで、モーションSFCプログラムのソースコードを生成するものである。これによって、ロボット制御のためのプログラミング工数を、大幅に削減できる。

(注1) Excelは、Microsoft Corp.の登録商標である。



図4. 移動経路設定画面例

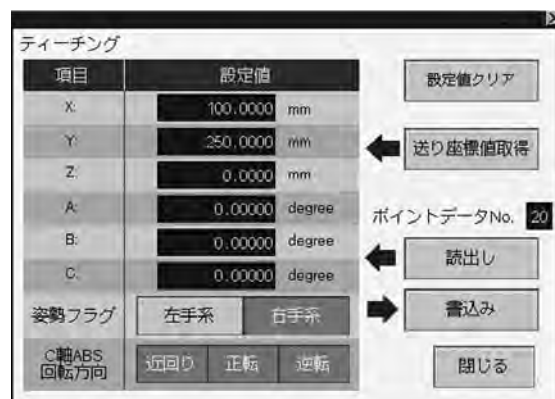
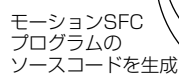


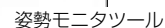
図5. ティーチング画面例



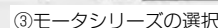
## 6. マシン制御シミュレータ

これらによって、ロボットの実機組立て前にロボットを含むシステム全体のプログラム動作確認を可能とし、立ち上げ工数の削減と安全性の確保を図ることができる。

そこで、ロボット機構を制御する複数軸対象のモータ容量選定ソフトウェアを開発した。このソフトウェアでは、モーションコントローラのマシン制御機能がサポートするロボット機構をライブラリとしてあらかじめ用意しており、マシンタイプを選択することで単一軸の容量選定と同等の操作性で容量選定が可能となる。内部の計算では、入力さ



①マシンタイプの選択      ②運転パターンの設定



れたロボット機構の機械諸元と先端の運転パターンに基づいて逆運動学を用い、各軸の負荷、運転パターンを計算することで、それぞれの軸に最適な機器を選定する。

今後はビジョンセンサと連携したビジョントラッキング機能等を拡充し、このパッケージの適用拡大を目指す。

# アプリケーションパッケージ “iQ Monozukuri アンドン”

林 和裕\*  
花木幸宏\*

Application Package “iQ Monozukuri ANDON”

Kazuhiro Hayashi, Yukihiro Hanaki

## 要 旨

アンドンは、以前から生産の目標値に対する現在の生産数などを示す装置として、日本を中心とした製造現場に導入されてきた。近年、工場の生産現場ではIoT(Internet of Things)化が進み、ITシステムと連携したアンドンシステムへの需要が高まっている。また、設備の自動化によって省人化が進む一方で、設備異常を早期に把握する手段が課題となっている。

これらのアンドンシステムの需要増加や課題に対し、三菱電機は、製造現場での工程管理や作業者間の情報共有の課題を解決し、生産性向上に貢献するアプリケーションパッケージ“iQ Monozukuriアンドン”を開発した。

主な特長は次のとおりである。

### (1) アンドンシステムの簡単導入

表示器“GOT(Graphic Operation Terminal)”がシーケンサ、又は、接点入力から生産実績を取得し、アンドン用モニタなどに生産状況を表示するシステムを提供する。

### (2) アンドン用テンプレート画面による画面設計工数削減

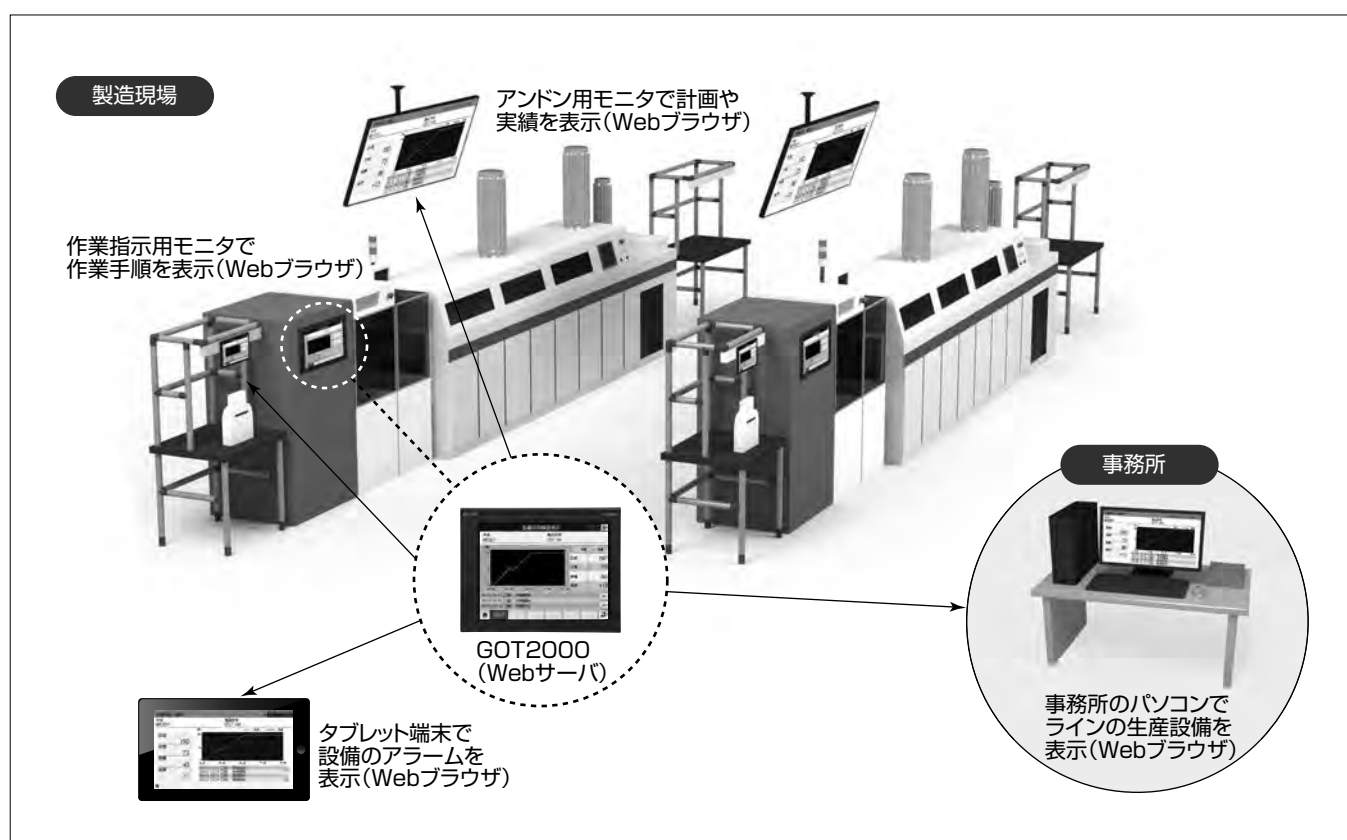
生産状況の進捗確認、設備異常把握、段取り替え通知等のテンプレート画面を提供する。

### (3) アンドン用スケジュールソフトウェアによる簡単運用

アンドンへ表示する画面や時間帯を簡単に設定できるソフトウェアを提供する。

### (4) 製造現場や離れた事務所で見える化を実現

問題発生 of 早期把握を支援し、迅速に対応することで生産性向上に貢献する。



## アプリケーションパッケージ“iQ Monozukuriアンドン”

iQ Monozukuriアンドンは、製造現場の見える化を表示器“GOT2000シリーズ”の活用によって、簡単に実現できるアプリケーションパッケージである。生産設備から取得した情報を基に、GOT2000を通してアンドン用モニタなどに表示することで現場の情報を共有し、生産性向上に貢献する。

## 1. ま え が き

表示器GOT2000シリーズは、“Easy & Flexible”のコンセプトの下に、他社との差別化を図って開発された製品であり、国内外の顧客から高い評価を得ている<sup>(1)</sup>。また、顧客ニーズの多様化、品質要求への更なる高まりに対し、製造現場の課題を解決する手段としてFAアプリケーションパッケージ“iQ Monozukuri”を提供している。

GOT2000を活用し、アンドンシステムを簡単に構築できるソリューションとして、アプリケーションパッケージ“iQ Monozukuriアンドン”を、2017年7月に市場投入した。

## 2. ソリューション強化の背景

### 2.1 アンドン

アandonは、製造現場の生産状況や設備の稼働状況を可視化し、保全担当者や作業管理者に情報を提示するシステムである。アandonから、製造現場の問題点をいち早く把握し、情報共有及び対策を練ることで、製造現場の生産性向上を図ることができる。

アandonは、日本の製造業を中心に導入されており、近年は、変種変量生産などへの対応のため、ITシステムと連携して生産情報や設備状態の見える化を強化したアandonシステムの需要が高まっている。また、海外でも製造現場の見える化を強化するために、アandonシステムへの新規導入需要の増加が見込まれる。

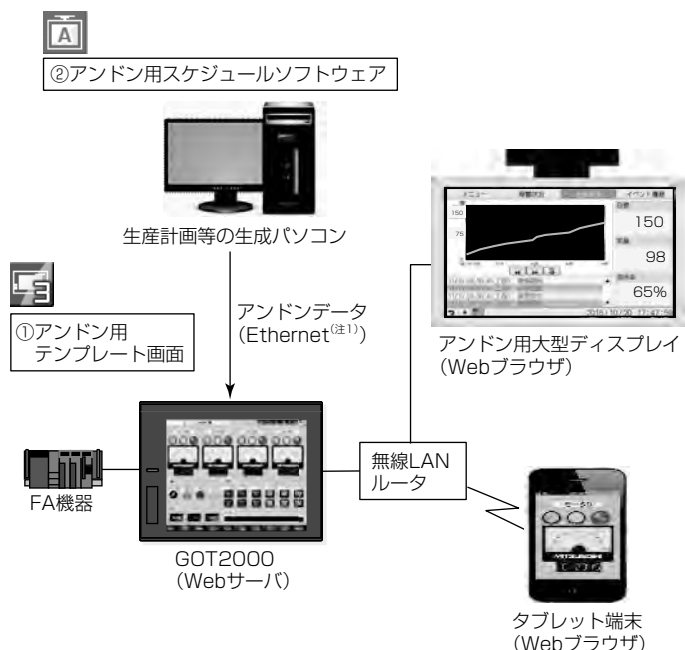
### 2.2 iQ Monozukuriアンドンの狙い

当社は、FAとITの連携によって、製造業での業務全般の効率化及びTCO(Total Cost of Ownership)削減を推進する“e-F@ctory”のコンセプトを実現するために、iQ Monozukuriを展開している<sup>(2)</sup>。iQ Monozukuriは、ものづくりでの顧客の様々な課題解決を支援し、効率的なシステム導入・拡張及び運用・保守を可能とするノウハウを集め、最適化した製品である。

アandonノウハウをパッケージ化したiQ Monozukuriアandonによって、生産設備から取得した情報を基に、GOT2000を通してアandon用モニターなどに表示することで、現場の情報を共有し、生産性向上に貢献する。また、アandonシステムの簡単導入や現場運用の容易性を実現し、システム全体でのコスト削減を図る。

## 3. iQ Monozukuriアンドンの特長

iQ Monozukuriアandonは、GOT2000シリーズと、システム設計時に活用するアandon用テンプレート画面、システム導入後の運用で使用するアandon用スケジュールソフトウェアで構成される(図1)。顧客は、導入ラインの仕様に合わせて、画面デザインや表示するオブジェクトの設計を行う。その際、iQ Monozukuriアandonを使い、ア



(注1) Ethernetは、富士ゼロックス㈱の登録商標である。

図1. iQ Monozukuriアandonシステムの構成

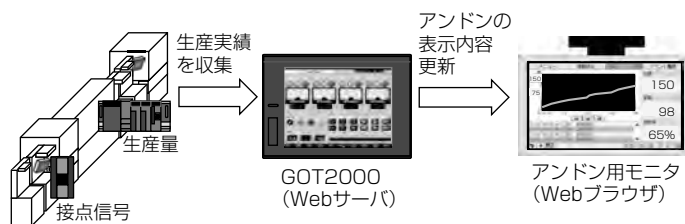


図2. アandonシステムの簡単導入

andonの画面設計に要する工数の削減や、アandon用モニターとサイネージ画面の一元化による、省スペース・低コスト化等を実現できる。

iQ Monozukuriアandonの主な特長を次に述べる。

### 3.1 GOT2000活用によるアandonシステム簡単導入

システム設計者は、GOT2000が持つ多くの通信ドライバを活用し、当社FA機器製品だけではなく他社コントローラやオープンネットワークに接続できるシステムを簡単に構築可能である。そのため、コントローラの種類が異なる既設のラインや装置に対しても、GOT2000を設置することで生産設備にかかわる多彩な情報を集約でき、アandonシステムの構築が簡単に可能となる(図2)。

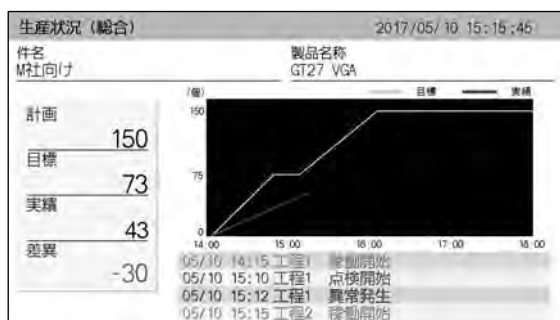
### 3.2 アandon用テンプレート画面による画面設計工数削減

製造ライン・装置の生産状況、稼働状況把握に適した複数の画面をアandon用テンプレート画面として提供する(図3)。

このテンプレート画面は、GOT用画面作成ソフトウェア“GT Designer3”を使ってカスタマイズが可能であるため、アandon画面の更新が簡単であり、画面設計時の工数削減に加え、現場運用者が、製造現場の改善活動をすぐに反映できる特長を持つ(図4)。



生産状況、稼働状況の見える化に加え、管理者呼出し画面(図5)やタブレット端末からアンドン画面を切り換えるリモコン画面(図6)等の現場作業効率化を進める仕組みによって、生産の効率化、設備稼働率向上を図ることができる。



(a) 生産状況 (総合)



(b) 稼働状況

図3. アンドン用テンプレート画面例

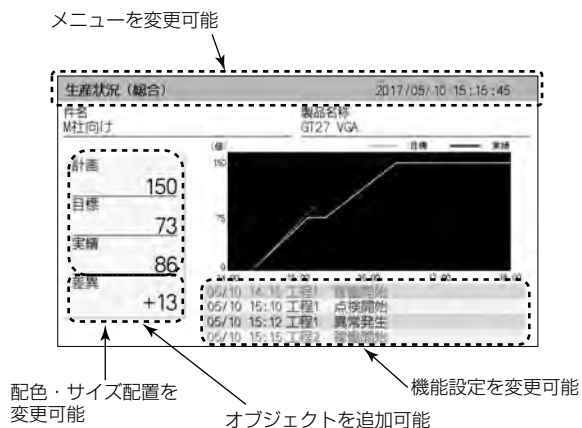
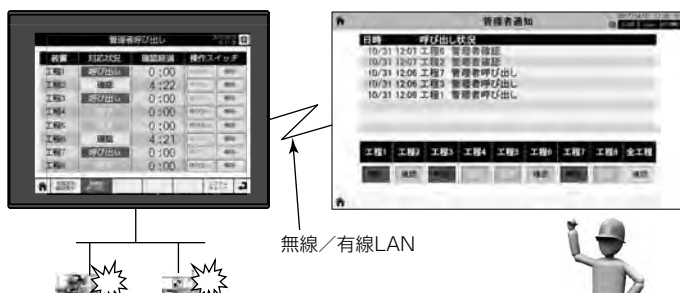


図4. 画面デザイン変更



GOT2000やタブレット端末から  
管理者を呼出し

図5. 管理者呼出し画面

### 3.3 アンドン用スケジュールソフトウェアによる簡単運用

アンドン用スケジュールソフトウェアは市販のスケジュールソフトウェアと同じ操作感で生産計画の追加、削除、変更が可能である(図7)。生産計画に加え、サイネージの設定も可能であるため、製造現場での連絡事項通知や教育資料閲覧にも活用でき、現場の運営効率化を図ることができる(図8)。

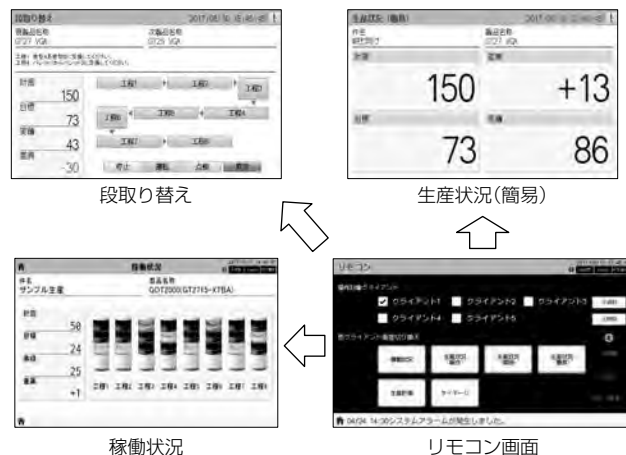


図6. アンドンをリモコン画面で切換え

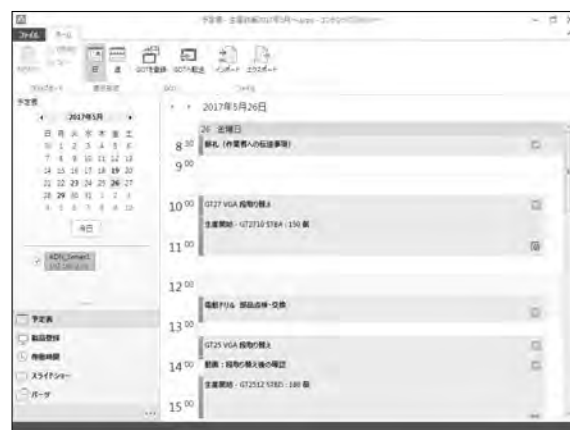


図7. アンドン用スケジュールソフトウェア

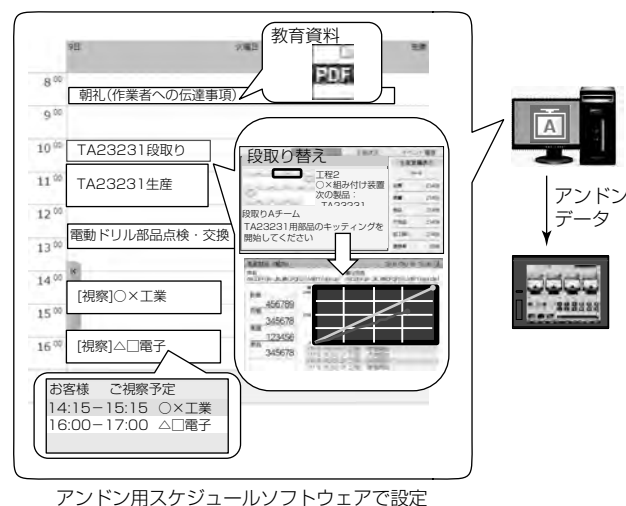


図8. 現場での簡単運用



図9. 複数スケジュール管理設定

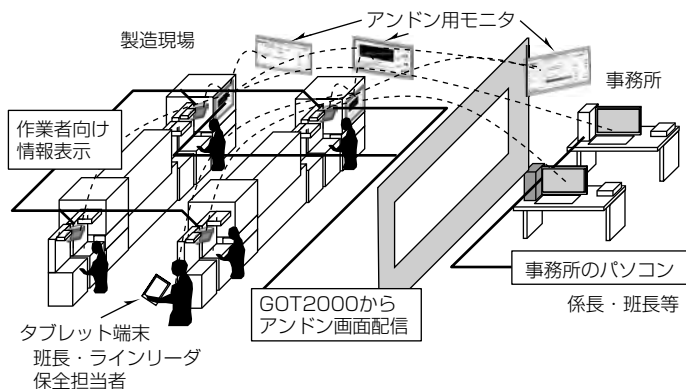


図10. いつでも、どこでも見える化

また、アンドロン用スケジュールソフトウェアは、最大5台のGOT2000を管理可能であり、複数台のGOT2000を使用する中大規模のラインや装置で、まとめてアンドロン管理が可能になる(図9)。

### 3.4 製造現場や離れた事務所で見える化を実現

iQ Monozukuriアンドロンは、“GOT Mobile”機能を活用し、アンドロンの表示サイズの大小にかかわらず、最大5台までのアンドロンの表示内容を管理することができる。

そのため、アンドロン表示を、参照する人や場所に適した表示内容に設定できる。これによって、きめ細かな稼働状況の確認や、問題発生時の迅速な対応ができ、更なる設備稼働率向上を図ることが可能である(図10)。

### 4. 特長実現のための技術

アンドロンに表示するための生産計画や掲示板等のサイネージ情報は、生産の状況や計画によって日々更新される。このような高い更新頻度でも、GOT2000と制御コントローラとの処理に影響を少なく対応できる仕組みとして、アンドロン用モニタに表示する画面、製品の生産計画、サイネージ情報を分離し、個々に管理できる仕組みを構築した。

図11のように、アンドロン用テンプレート画面データは、ほかのGOT2000上に表示する画面データと同じGOT2000の内部メモリ領域に格納するが、アンドロン用画

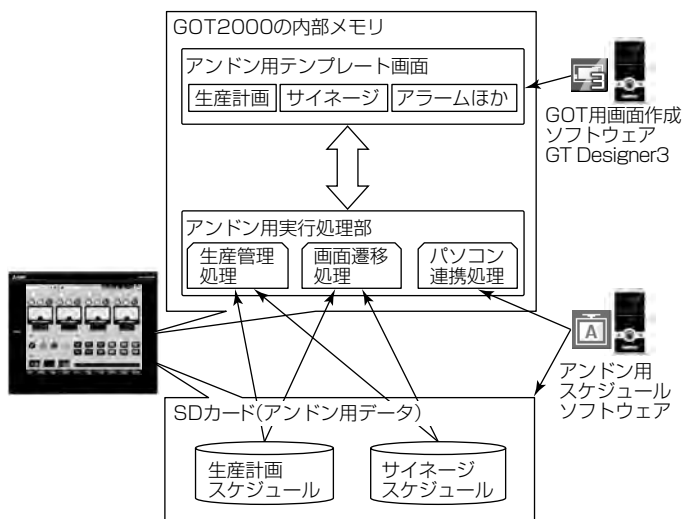


図11. アンドロン用データとアンドロン処理との関係図

面に表示する生産計画やサイネージのスケジュールデータは、SDカード内に格納し、これらのデータをアンドロン用実行処理部が合わせることでアンドロン表示を構成するような仕組みとした。

これらによって、システム設計者はアンドロン用画面を、GOT用画面作成ソフトウェアGT Designer3を使って自由にデザインとカスタマイズができる。一方、現場作業員やアンドロンシステム利用者は、GOT2000に関する画面設計の知識を必要とせずに、生産計画やサイネージのデータをアンドロン用スケジュールソフトウェアで設定すれば、アンドロンシステムの運用が可能となる。この手法によって、GOT2000への影響を最小限にしつつ、現場利用者が使いやすいシステム構成を実現した。

## 5. む す び

FAとITの連携によって、アンドロンシステムを簡単に実現できるアプリケーションパッケージiQ Monozukuriアンドロンについて述べた。今後は、アプリケーションパッケージの更なる拡充に取り組み、製造現場の課題を解決するソリューションを推進することで、顧客への付加価値を提供する。

## 参 考 文 献

- (1) 出口洋平, ほか: グラフィックオペレーションターミナル“GOT2000シリーズ”のトラブルシューティング, 三菱電機技報, **89**, No.4, 235~238 (2015)
- (2) 炭崎竜平, ほか: FAアプリケーションパッケージ“iQ Monozukuri”, 三菱電機技報, **91**, No.4, 209~212 (2017)

# PLMエンジニアリングチェーン連携強化に貢献する FA統合エンジニアリングソフトウェア

山川 紘明\* 中村 勝\*  
加藤 秀人\*  
久家 諒\*

*FA Integrated Engineering Software for Interconnection Reinforcement of PLM Engineering Chain*

*Hiroaki Yamakawa, Hidehito Kato, Ryo Kuya, Masaru Nakamura*

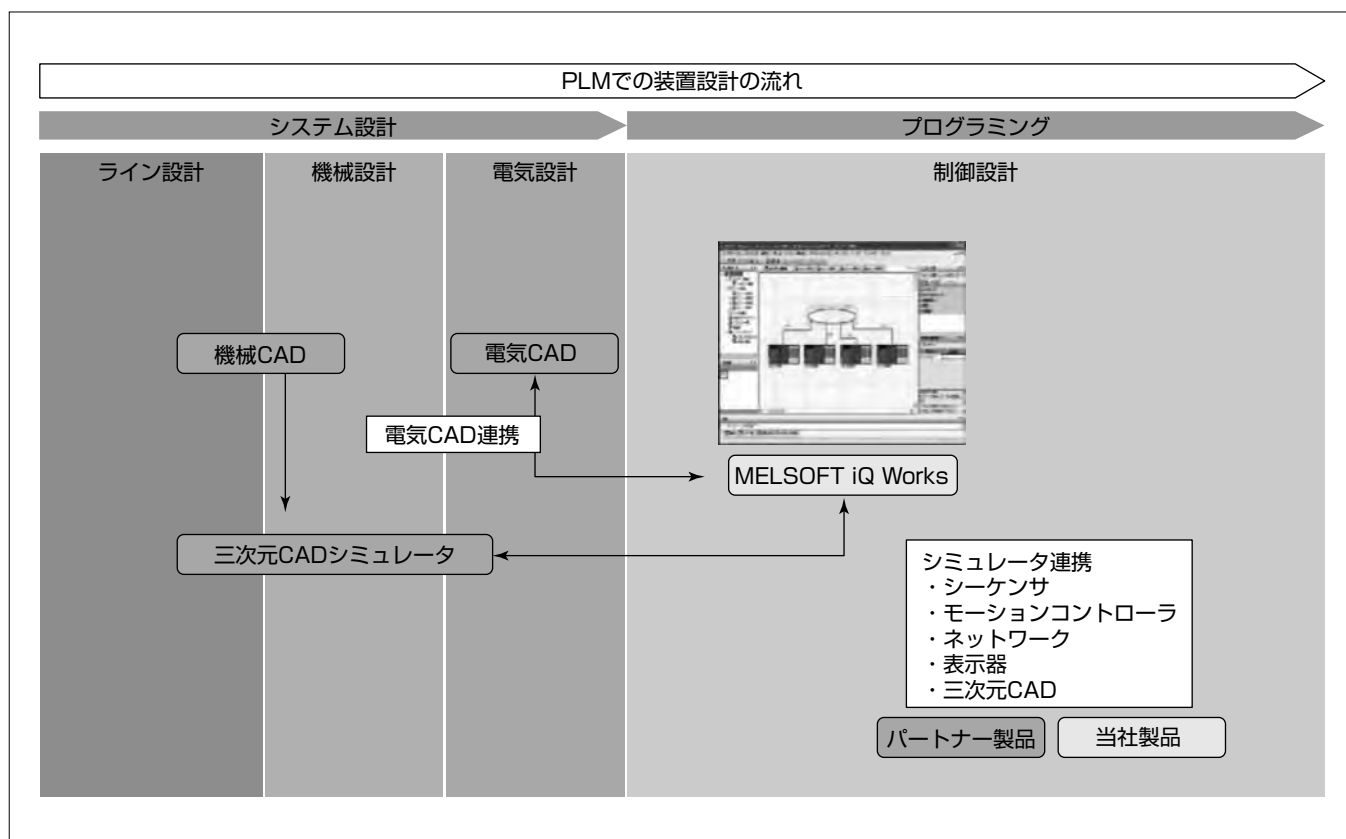
## 要 旨

三菱電機は、シーケンサ・モーションコントローラ・表示器・ロボット・インバータのエンジニアリングツールを統合した、FA(Factory Automation)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り、当社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、PLM(Product Lifecycle Management)での装置設計の効率化に貢献している。

近年、装置設計で機械CAD・電気CADの活用が進み、

機械CAD・電気CADとエンジニアリングソフトウェアの連携要求が高まっている。また、制御設計後の現地調整の工期短縮要求の高まりによって、実機レスでのプログラムデバッグの効率化が望まれている。

これらの要求に応え、MELSOFT iQ Worksで制御設計フェーズにとどまらない設計・デバッグ環境を提供するため、PLMエンジニアリングチェーン連携を強化するための機能を開発し、①シーケンサ・モーションコントローラ・ネットワーク・表示器・三次元CADの連携シミュレーション、②電気CADとMELSOFT iQ Worksのデータ連携を実現した。



## PLMエンジニアリングチェーン連携強化に貢献する“MELSOFT iQ Works”を中核とする機能

PLMでの装置設計の流れを示す。左側が上流であり、ライン設計、機械設計、電気設計、制御設計とフェーズが進む。ライン設計・機械設計フェーズでは機械CADとその動作確認のための三次元CADシミュレータ、電気設計フェーズでは電気CAD、制御設計ではエンジニアリングソフトウェアであるMELSOFT iQ Worksを使用する。PLMエンジニアリングチェーン連携強化のため、電気CADとMELSOFT iQ Worksの連携、三次元CADシミュレータとMELSOFT iQ Worksの連携を実現した。

# 1. ま え が き

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件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、エンジニアの件費が上昇しており、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(Total Cost of Ownership)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、システム設計からプログラム作成、表示器の画面作成、装置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”を2009年から市場展開している。

本稿では、MELSOFT iQ Worksが新たに提供する二つの機能を述べ、その仕組みや特長を述べる。

## 2. MELSOFT iQ Worksの構成と新機能

MELSOFT 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”

(2)～(6)の個別エンジニアリングソフトウェア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ソフトウェア“GX Works3”

FA機器の制御を行うシーケンサでのプログラム作成、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ソフトウェア“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ソフトウェア“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でのプログラム作成、設定、保守を支援する。

(5) ロボットエンジニアリングソフトウェア“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。

近年、装置設計で機械CAD・電気CADの活用が進み、機械CAD・電気CADとエンジニアリングソフトウェアの連携要求が高まっている。また、制御設計後の現地調整の工期短縮要求の高まりによって、実機レスでのプログラムデバッグの効率化が望まれている。これらの要求に応え、MELSOFT iQ Worksで制御設計フェーズにとどまらない設計・デバッグ環境を提供するため、PLMエンジニアリングチェーン連携を強化する機能を開発した。

PLMエンジニアリングチェーン連携強化に貢献する、MELSOFT iQ Worksを中核とする機能を図1に示す。MELSOFT iQ Worksは次の二つの機能を新たに提供する。

(1) シーケンサ・モーションコントローラ・ネットワーク・表示器・三次元CADの連携シミュレーション機能

(2) 電気CADとMELSOFT iQ Worksのデータ連携機能

## 3. 連携シミュレーション

MELSOFT iQ Worksではシミュレーション機能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にし、プログラム作成工数の削減に貢献している。

近年、現地調整時間を更に短縮したいというニーズが高まってきた。このニーズに対し、シーケンサ・モーションコントローラ・ネットワーク・表示器・三次元CADの連携シミュレーション機能を提供、装置全体を机上で動作確認可能とした(図2)。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。

この章では、シーケンサ-モーション連携シミュレーション、ネットワーク連携シミュレーション、及び三次元CADシミュレーション連携について述べる。

### 3.1 シーケンサ-モーション連携シミュレーション

#### 3.1.1 モーションシステム

モーション制御を必要とした装置には、シーケンサCPUとモーションCPUを使用したマルチCPUシステムが用いられることが多い。複雑なモーション制御はモーションCPU、それ以外のシーケンス制

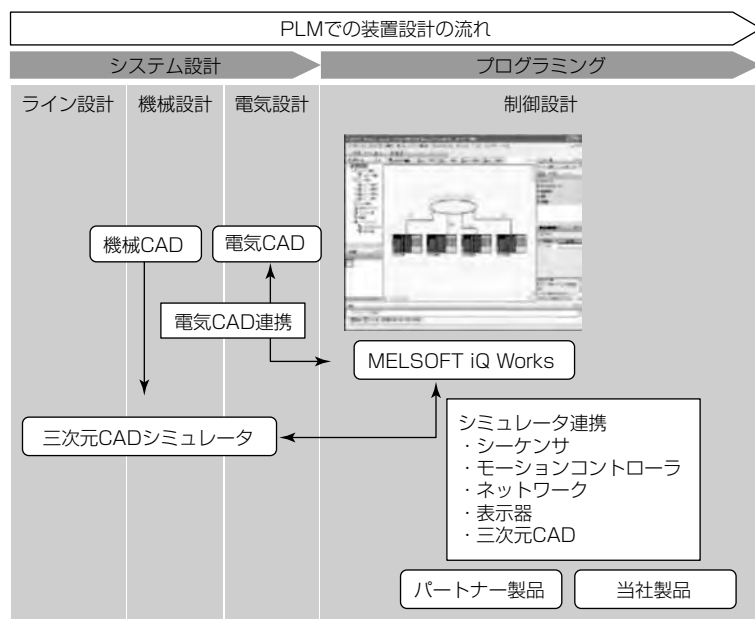


図1. PLMエンジニアリングチェーン連携強化に貢献する、MELSOFT iQ Worksを中核とする機能の概要



## (2) ネットワークユニット模擬機能

ネットワークを構成するネットワークユニットを模擬することによって、管理局(CC-Link IE Control)又はマスタ局(CC-Link IE Field)に設定されたネットワークパラメータを取り扱うことが可能になる。これによって、ネットワークパラメータに設定されたデータ伝送の机上検証機能を実現した。

### 3.3 三次元CADシミュレーション連携

三次元CADシミュレータは、機械設計で機構の動作を確認するソフトウェアである。従来、機械設計の確認は三次元CADシミュレータで実施し、制御設計の確認はシーケンサのシミュレータで実施していたが、それぞれの確認を実施していても機械・制御の組合せ時に不具合が発生し、設計フェーズへの手戻りが発生していた。

この課題に対し、三次元CADシミュレータと3.1節で述べたシステムシミュレーション機能、さらに表示器のシミュレータである“GTシミュレータ”の連携機能を実現した。これによって、次の動作が机上で確認可能になった。

- (1) 機械・制御組合せ時の機構動作
- (2) 機械・制御組合せ時のシーケンス制御の動作
- (3) 表示器とシーケンス制御の組合せ動作

これらの連携機能を実現するため、シーケンサCPUのシミュレータに“EZSocket”インタフェースを実装した。EZSocketは実物のCPUで使用されているインタフェースであり、実物のCPUとCPUシミュレータに対し、同じ手順でアクセスすることが可能になる。

GTシミュレータ、三次元CADシミュレータではこのEZSocketにアクセスするための機能を搭載し、連携動作を実現した。

### 4. MELSOFT iQ Worksでの電気CADデータ連携

電気設計と制御設計では、PLC(Programmable Logic Controller)のユニット構成、ラベルに同じ情報を設定するが、それぞれ電気CAD、MELSOFT iQ Worksと使用するソフトウェアが異なるため、次の課題があった。

- (1) 設定工数が二重に掛かる。
- (2) 作業ミスによって両ソフトウェア間の設定が乖離(かいり)する。

これらの課題を、電気CADとMELSOFT iQ Worksでのデータ連携によって解決した。ユーザーは、電気CAD、MELSOFT iQ Worksのどちらか一方でユニット構成情報、ラベル情報の設定を行い、もう一方のソフトウェアにはデータ連携機能を用いて反映を行うことが可能となる。ユーザーの重複作業を省き、作業効率化を図ることができる。また、人手を介さないため、人的ミスも発生せず、設定誤りや漏れがなくなる。

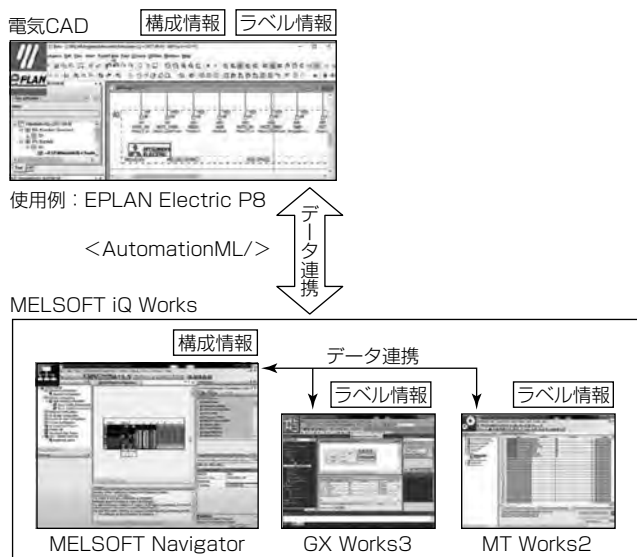


図4. 電気CADとMELSOFT iQ Worksでのデータ連携イメージ

MELSOFT iQ Worksでは、MELSOFT Navigatorで、電気CADとのユニット構成情報、ラベル情報のデータ連携を実現した。MELSOFT Navigatorは、GX Works3及びMT Works2とラベル情報の連携を可能としており、プログラム作成を行うソフトウェアへラベル情報を容易に反映できる仕組みにしている。図4にデータ連携のイメージを示す。

データ連携には、AutomationMLというオープン規格を採用している。AutomationMLとは、エンジニアリングツールをシームレスにつなぐことを目的に開発されたXML(eXtensible Markup Language)形式のデータフォーマットである。CAEX(Computer Aided Engineering EXchange)、PLCOpenXML、COLLADA(COLLABorative Design Activity)等の既存のXML形式データフォーマット規格を組み合わせて、仕様を具体化している。オープン規格を活用することによって、電気CADツール個別の対応が不要となり、AutomationMLに対応した全ての電気CADメーカーと連携が可能となる。現状AutomationMLによるデータ連携に対応している電気CADツールはEPLAN Electric P8(EPLAN社)、E3.series(株図研)であるが、今後も拡大が予測されており、連携できる電気CADツールが増えていくことが見込まれる。

## 5. む す び

FA統合エンジニアリングソフトウェアMELSOFT iQ WorksのPLMエンジニアリングチェーン連携強化として追加した二つの機能について述べた。ここで述べた機能にとどまらず、今後もMELSOFT iQ Worksを顧客のTCO削減に貢献するエンジニアリングソフトウェアとして進化させていく。

# 三菱シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”のエントリーモデルCPUユニット

松沢祐人\*  
 吉川貴支\*

Entry - model CPU Module of Mitsubishi Programmable Controller "MELSEC iQ - R Series"

Yuto Matsuzawa, Takashi Yoshikawa

## 要 旨

シーケンサのミドルレンジ市場の製品力強化のため、三菱シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”のエントリーモデルCPUユニットを開発した。

エントリーモデルCPUユニットは、MELSEC iQ-RシリーズのハイエンドモデルCPUユニットと同様に、Ethernet<sup>(注1)</sup>ポート、SDメモ리카ードインタフェースの搭載、CC-Link IE フィールド Basic内蔵といった特長を持つ。これらに加え、ロギング機能の内蔵によって、従来機種“MELSEC Qシリーズ”では複数のユニットで実現していたロギング機能をCPUユニット単体で実現できるようになり、低コストのシステム構築に貢献する。

また、不揮発性の磁気抵抗メモリ(MRAM)の搭載によって、デバイスデータ保持(バックアップ)用バッテリーが不要となり、バッテリー交換や補用品にかかるメンテナンスコスト削減を実現した。さらには、ミドルレンジ市場向け機種でありながらも、プログラム部品化機能やデバッグ機能でMELSEC iQ-RシリーズのハイエンドモデルCPUユニットと同等の機能を実現し、顧客のプログラム作成やデバッグにかかるエンジニアリングコスト削減を実現した。

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス㈱の登録商標である。



R00CPU  
 (プログラム容量：10Kステップ)

R02CPU  
 (20Kステップ)

R01CPU  
 (15Kステップ)

## “MELSEC iQ-Rシリーズ”のエントリーモデルCPUユニット

MELSEC iQ-RシリーズのエントリーモデルCPUユニットは、MELSEC-Qシリーズでは別にユニットが必要であったEthernet通信機能とデータロギング機能を内蔵しており、低コストでシステム構築が可能になる。また、このエントリーモデルCPUユニットは不揮発性の磁気抵抗メモリを内蔵しているため、デバイスデータ保持(バックアップ)用バッテリーが不要となる。そのため、バッテリー交換や補用品にかかるメンテナンスコストが削減可能となる。



# 1. ま え が き

国内外のシーケンサのミドルレンジ市場では、装置のシステムコスト、メンテナンスコスト、エンジニアリングコストなどに対する厳しいコスト低減要求がある。また、EthernetポートやSDメモ리카ードスロットを標準搭載したCPUユニットの展開が要求されている。

一方で、三菱電機のみドルレンジ市場の主力機種であるMELSEC QシリーズのCPUユニットは、EthernetポートやSDメモ리카ードスロットを搭載していなかったため、市場の要求に応えるため、MELSEC iQ-RシリーズエントリーモデルCPUユニット(以下“エントリーモデルCPUユニット”という。)を開発した。

本稿では、エントリーモデルCPUユニットの特長及び適用した技術について述べる。

## 2. エントリーモデルCPUユニットの特長

当社は、2014年にハイエンド市場向けのMELSEC iQ-RシリーズのCPUユニットを市場投入<sup>(1)</sup>、また、2015年にはローレンジ市場向けである“MELSEC iQ-Fシリーズ”のCPUユニットを市場投入して製品力を強化してきた。今回、エントリーモデルCPUユニットを市場投入することでミドルレンジ市場の製品力を強化した(図1)。

主な特長は次のとおりである。

- (1) インタフェース・機能のCPU内蔵化によるシステムコスト低減

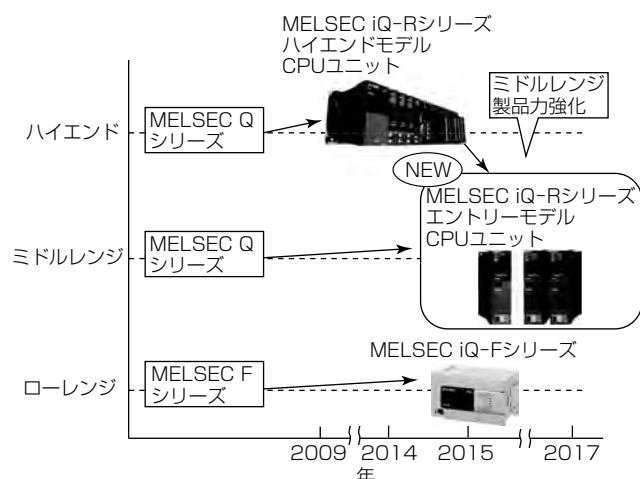


図1. エントリーモデルCPUユニットの位置付け

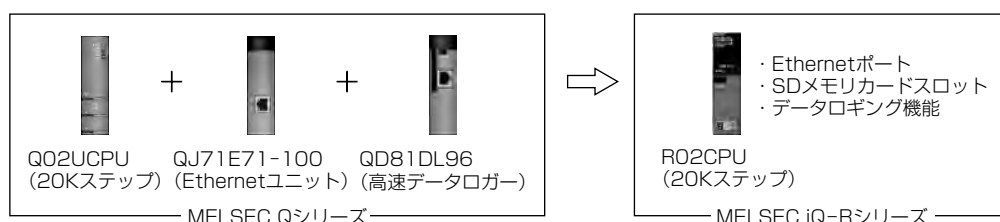


図2. 低コストなシステム例

- (2) バッテリーレスによるメンテナンスコスト削減
- (3) インタフェース・機能の共通化によるエンジニアリングコスト削減

エントリーモデルCPUユニットは、MELSEC iQ-RシリーズハイエンドモデルCPUユニット(以下“ハイエンドモデルCPUユニット”という。)と同等のインタフェースを搭載した。また、デバイスデータ保持用バッテリーを不要にすることで、メンテナンスコスト削減を可能にした。さらに、ハイエンド市場向けのMELSEC iQ-Rシリーズとローレンジ市場向けのMELSEC iQ-FシリーズのCPUユニットとの仕様・操作性の共通化を図り、全ての市場で互換性の高いラインアップを実現した。

### 2.1 インタフェース・機能のCPU内蔵化によるシステムコスト低減

エントリーモデルCPUユニットは、低価格ながらも、Ethernetポートと、SDメモ리카ードスロットを標準搭載しており、またSDメモ리카ードを用いたデータロギング機能を搭載している。これによって、従来機種のMELSEC QシリーズではCPUユニット、Ethernetユニット、高速データロガーで実現していた機能をCPUユニット単体で実現できるため、従来機種の約25%のコストでシステム構築が可能となる(図2)。

### 2.2 バッテリーレスによるメンテナンスコスト低減

エントリーモデルCPUユニットでは、不揮発性の磁気抵抗メモリ(MRAM)を搭載し、デバイスデータ保持用のバッテリーを不要とした。これによって、バッテリー交換や補用品にかかるメンテナンスコストの削減を実現した(図3)。さらに、バッテリー交換時のデータ消失のリスク(交換に3分間以上経過すると、内部コンデンサの電荷がなくなって、デバイスデータが消失する可能性がある)もなくなるためデータ保持の信頼性が向上した。

### 2.3 インタフェース・機能の共通化によるエンジニアリングコスト削減

エントリーモデルCPUユニットでは、小容量・低価格でありながら、ハイエンドモデルCPUユニットとインタフェース・機能を共通化することで市場ニーズに対応し、ハイエンドモデルと同様にプログラム部品化機能や、リアルタイムモニタ機能、メモリダンプ機能などのデバッグ機能の搭載を実現し、顧客のエンジニアリングコスト削減を実現している。

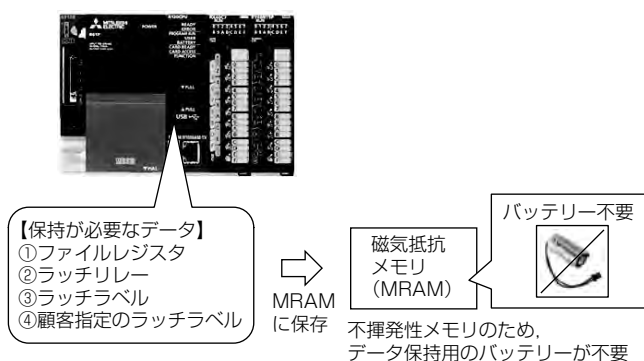


図3. バッテリーレスの実現

### 3. エントリーモデルCPUユニットのコスト削減技術

#### 3.1 システムコスト低減の技術

エントリーモデルCPUユニットは、ハイエンドモデルCPUユニットと同等の外部インタフェースを搭載しつつも、従来のミドルレンジ製品の価格帯と同等にするために、従来2枚基板構成であったCPUユニットを1枚基板構成とし、抜本的にユニットコストを低減した。1枚基板化で部品が密集することになるため、耐熱性の確保と耐ノイズ性の確保が課題となった。

##### 3.1.1 耐熱性の確保

1枚基板化で発熱部品が従来機種よりも密集し、各実装部品の温度が定格温度を超過する懸念があった。そのため、実装部品の配置検討に当たって熱解析の精度向上手法を確立した。

熱解析精度向上のために、“発熱部品の熱伝導モデルの精度”と“部品モデルの精度”がポイントとなった。“発熱部品の熱伝導モデルの精度”については、熱解析モデルのメッシュ(熱解析を計算するための最小単位)を基板厚み方向にも設定することで、発熱部品から基板への熱の伝わり方の精度を向上させた(図4(a))。また、“部品モデルの精度”については、SDメモリカード等の内部にメモリやコントローラを持つ部品については、内部回路まで詳細な熱解析モデルを作成することで、精度を向上させた(図4(b))。これらの手法によって、熱解析の精度を、実機との差異を0.8℃まで高めることができ、最適な部品配置を可能にした。

今回新たに作成した熱解析モデルによって、事前に熱対策が必要な実装部品(SDメモリカード、スーパーキャパシタ)を抽出できた。これらの部品に対し、①発熱部品の影響を受けにくい箇所への配置、②SDカード直下の基板の穴あけ、③装着位置を基板から浮かせてあるスタンドオフタイプのコネクタ採用(図5)の対策を盛り込むことで、十分な耐熱性を確保できた。

##### 3.1.2 耐ノイズ性の確保

エントリーモデルCPUユニットは1枚基板構成で、かつUSBポート、Ethernetポート、SDメモリカードスロット

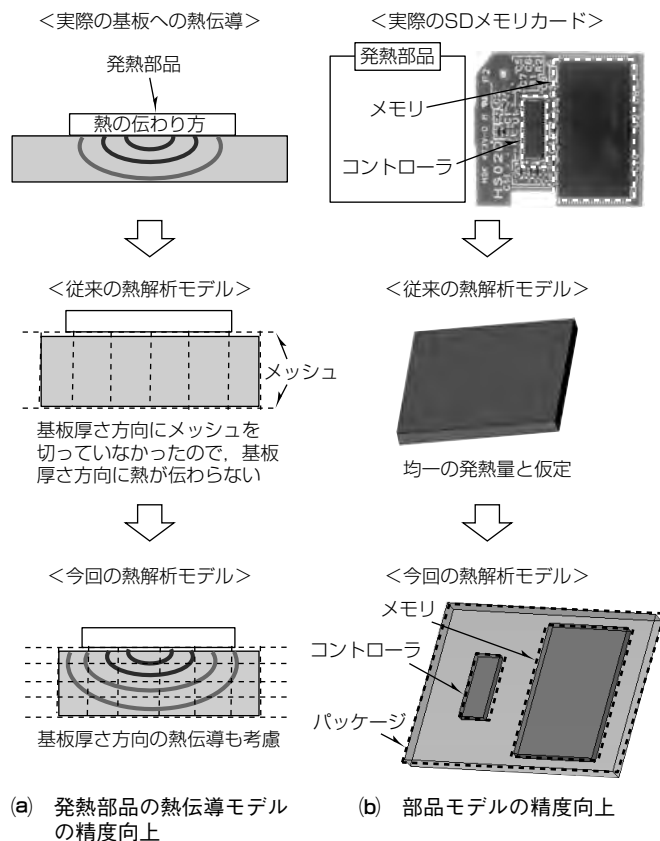


図4. 熱解析精度向上の手法

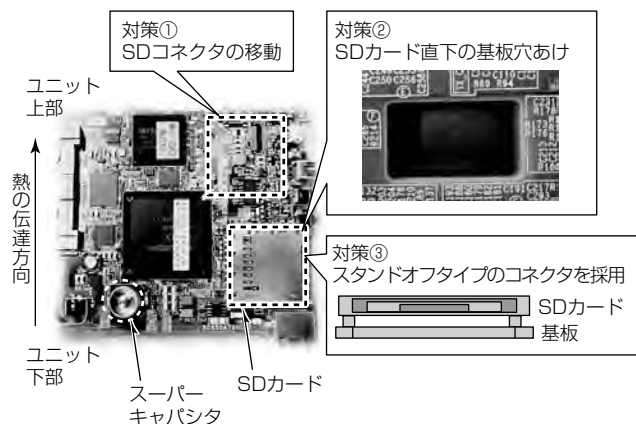


図5. エントリーモデルCPUユニットの熱対策

と、多くの外部インタフェースを持っているため、外部からの印加ノイズが内部回路に与える影響が従来機種よりも大きくなる懸念があった。そのため、耐ノイズ性を確保するために、電磁界解析を実施した。解析結果から、SDメモリカードの周辺に局所的なノイズの影響が見られたため、コンデンサの追加によって対策し(図6)、耐ノイズ性を確保した。

#### 3.2 メンテナンスコスト低減の技術

エントリーモデルCPUユニットのバッテリーレス対応は、データ保持用のメモリに不揮発性メモリを採用することで実現している。不揮発性メモリの選定は、頻繁に書き換わる可能性のあるデータデバイス用のメモリであること、

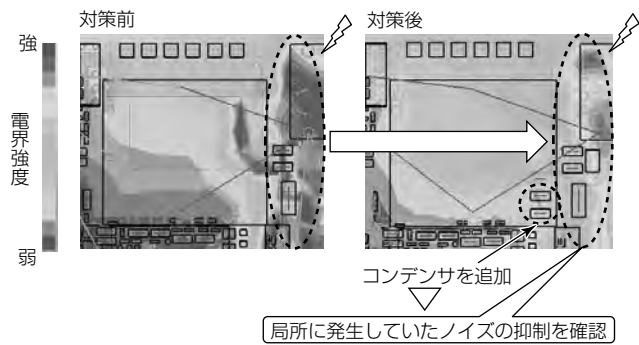


図6. エントリーモデルCPUユニットの電磁界解析結果

表1. 不揮発性メモリの比較

検討項目	現状	変更候補			
	SRAM	MRAM	FRAM	nVSRAM	
書き込み回数制限	なし	なし	あり	なし	
ソフトウェアエラー発生	あり	なし	なし	あり	

またデータデバイスが顧客装置・生産設備の制御に必要なデータであることから、次の条件を要求仕様とした。

- (1) 書き込み回数に制限がないこと
- (2) ソフトウェアエラーが発生しないこと

これらの要求仕様を不揮発性の各メモリで比較し(表1), 要求仕様を満たしている磁気抵抗メモリ(MRAM)を採用した。

### 3.3 エンジニアリングコスト低減の技術

ハイエンドモデルCPUでは、プログラム部品化機能やデバッグ機能を搭載することで、顧客のエンジニアリングコストを低減する。エントリーモデルCPUにも同機能を搭載することで、エンジニアリングコストを低減できる。

そのため、製品開発で、ハイエンドモデルCPUユニットとのメモリ構成などハードウェアの違いを考慮しつつ、ファームウェア構造の共通化を図る必要があった。

既存のMELSEC QシリーズのCPUユニットでファームウェアのモジュール化を実施していたが、各機能で使用する共通処理部に対しては実施していなかった。そのため、機能の削除や変更を実施する際、他機能や他処理への影響を確認して設計していた。例えば、内蔵Ethernet機能の場合、コネクション管理部とSLMP通信機能でデータのやり取りを実施するために共有メモリを介している。そのため、SLMP機能を削除する場合、複数機能で使用するコネクション管理部や共有メモリに対する影響を考慮する必要がある(図7)。

MELSEC iQ-RシリーズのCPUユニットでは、メッセージ通信によってタスク間のデータのやり取りを実施する方式とすることで、共有メモリを介せずにタスク間でデータのやり取りが可能のため、機能を変更する場合、共

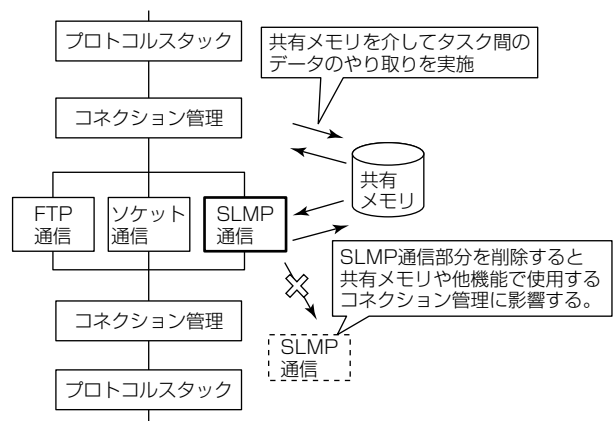


図7. MELSEC Qシリーズでのモジュール化

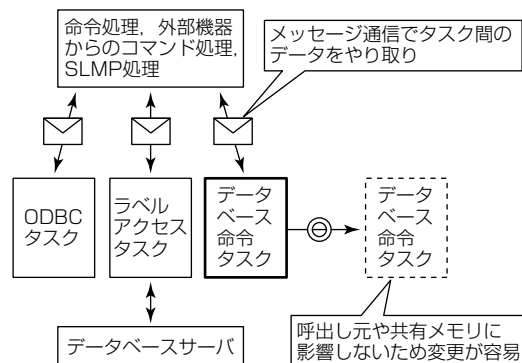


図8. MELSEC iQ-Rシリーズでのモジュール化

有メモリなどへの影響を考慮する必要がなく、メッセージ通信を切るだけで機能変更ができる。例えば、データベース機能では、タスク間のデータのやり取りにメッセージ通信を使用する処理とした。これによって、データベース機能を変更する場合、メッセージ通信を切るだけでよく、呼出し元や共有メモリに影響しない作りとした。その結果、機能の独立性が高くなり、機能変更が容易となった(図8)。

これによって、エントリーモデルCPUでは、ハイエンドモデルCPUユニットとメモリ構成などハードウェアの違いがあっても、ファームウェア構造の共通化を容易に実現できた。

## 4. む す び

MELSEC iQ-RシリーズのエントリーモデルCPUユニットの特長とそれらを実現する技術について述べた。今後も、シーケンサ市場の発展を牽引(けんいん)していく。

## 参 考 文 献

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

# 多機能回生コンバータ“FR-XCシリーズ”

平良 哲\*  
道祖尾竜太\*

Multifunction Regeneration Converter "FR-XC Series"

Satoshi Taira, Ryuta Saino

## 要 旨

インバータでモータを駆動する際、減速時や昇降機の下降時で、モータが発電機となり回生エネルギーが発生する。回生コンバータは、この回生エネルギーを電源に返して再利用することで大きな省エネルギー効果が得られるため、近年の省エネルギー・環境意識の高まりから需要が高まっている。

従来、三菱電機では用途・目的に応じて“FR-CV(共通母線回生コンバータ)”，“FR-RC(回生専用コンバータ)”，“FR-HC2(PWM(Pulse Width Modulation)回生コンバータ)”の3種類の回生コンバータをラインアップしてきた。

今回、これら3種類の回生コンバータの機能を全て包含し、さらに小型化・省配線化を実現してシステム対応力を大幅に強化した多機能回生コンバータ“FR-XCシリーズ”

を新たに開発した。

FR-XCシリーズの特長を次に示す。

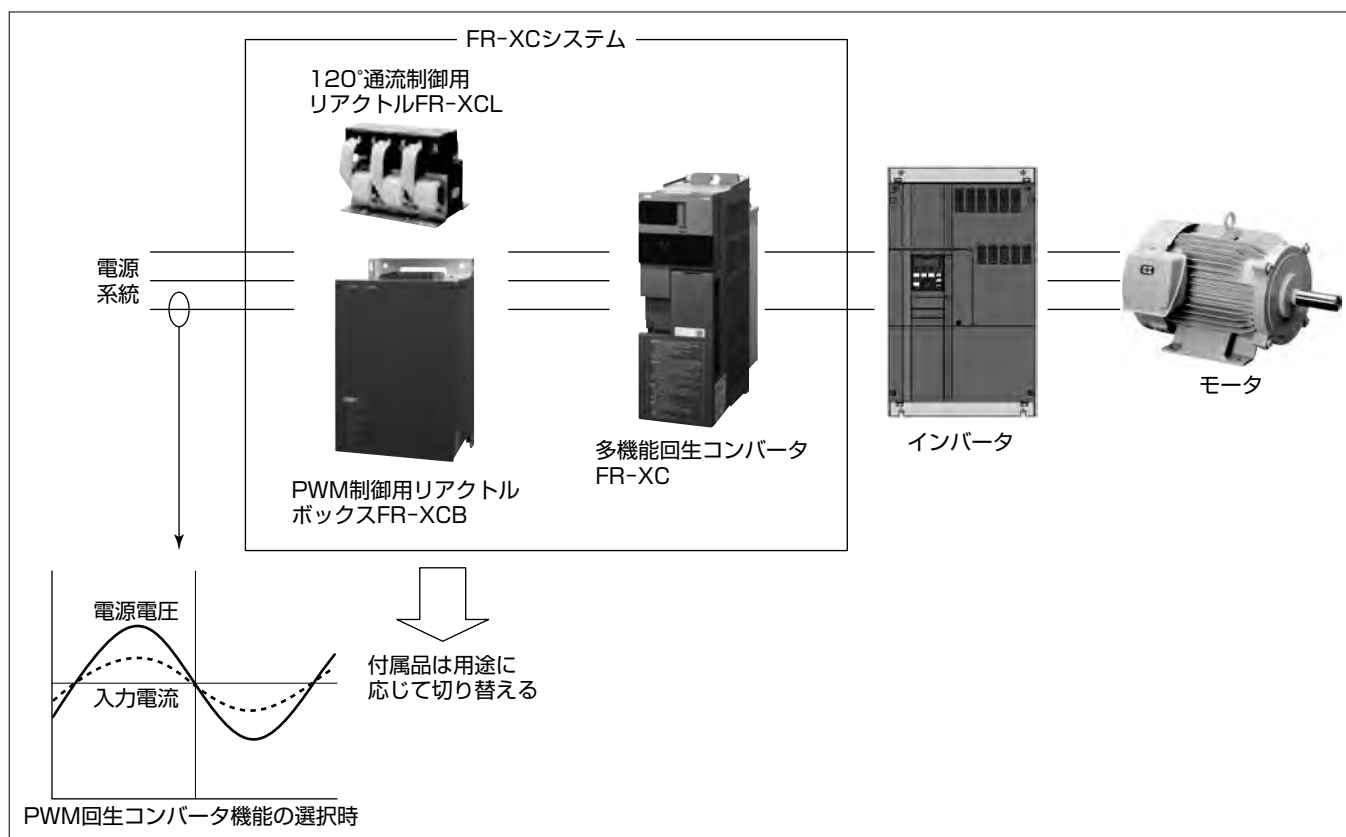
- (1) 三つの回生方式に対応可能な高いシステム対応力
- (2) PWM回生コンバータ機能での小型化と省配線化

新方式フィルタ回路の採用、付属品のワンパッケージ化によって、従来機FR-HC2に比べ、据付け面積58%，配線工数52%を実現。

- (3) 回生専用コンバータ機能での小型化

新方式予備充電回路の採用によって、従来機FR-RCに比べ、据付け面積45%を実現。

とりわけPWM回生コンバータ機能では、機能・性能を維持しながら、従来機種FR-HC2の市場要求(小型化・省配線化)に対応した。



## 3種類の回生コンバータの機能を包含した多機能回生コンバータ“FR-XCシリーズ”

回生エネルギーを処理する方法として、回生コンバータの適用がある。抵抗による回生エネルギーの熱変換方式よりも、回生コンバータを用いることで回生エネルギーを電源側に返して再利用が可能となるため、大幅な省エネルギー効果と大きな制動能力が得られる。従来、当社では用途に応じて3種類の回生コンバータをラインアップしていたが、今回それらの機能を包含し、さらに小型化と省配線化を実現したFR-XCシリーズを開発した。

## 1. ま え が き

インバータでモータを駆動する際、減速時や昇降機の下降時で、モータが発電機となり回生エネルギーが発生する。このような場合に回生コンバータを適用することで、回生エネルギーの再利用によって大きな省エネルギー効果が得られ、またシステムの小型化が図れる。

回生コンバータには用途・目的に応じて、複数の種類が存在する。当社は、これまで3種類の回生コンバータをラインアップしてきたが、これらの回生コンバータの機能を全て包含した多機能回生コンバータFR-XCシリーズを今回新たに開発した。

通常、それぞれの回生コンバータは、その特徴に応じて内部ハードウェア回路構成や必要な付属品などが異なるため、単純に機能を包含するだけでは、コンバータサイズの大型化を招く。そこで今回FR-XCシリーズの開発では、様々な取組みによって、機能を包含しながらも小型化を実現し、さらに従来のPWM回生コンバータで改善が望まれていた省配線化も実現した。

次に、この多機能回生コンバータFR-XCシリーズの特長と開発での取組みについて述べる。

## 2. 回生コンバータの種類と特長

当社は、用途・目的に応じて従来3種類の回生コンバータをラインアップしていた。これらの種類と特長について述べる。

### 2.1 共通母線回生コンバータFR-CV

電源相電圧の最も大きい／小さい相のIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)を120°間ONする120°通流制御方式のコンバータである。高調波抑制機能や力率改善機能はないものの、100%連続回生、及び150%-60sの短時間回生と大きな制動能力が得られ、コンバータ本体と前段のリアクトル1個で構成可能であり、低コスト・小型な回生コンバータである。また、後段に複数台のインバータを接続する共通母線接続が可能であり、力行／回生が混在するシステムでは、更に大きな省エネルギー効果が得られる(図1)。

### 2.2 回生専用コンバータFR-RC

共通母線接続や高調波抑制機能には対応できないが、回生エネルギーだけが回生専用コンバータを通過する接続方式となっており、力行エネルギーに影響されず回生エネルギーだけでコンバータ容量の選定が可能である。例えば、機械ロスが大きいシステムで、力行エネルギーと比較して回生エネルギーが大幅に小さくなる場合があり、回生専用コンバータを適用することで、コストミニマムな電源回生システムが構成できる(図2)。

### 2.3 PWM回生コンバータFR-HC2

100%連続回生、及び150%-60sの短時間回生と大きな

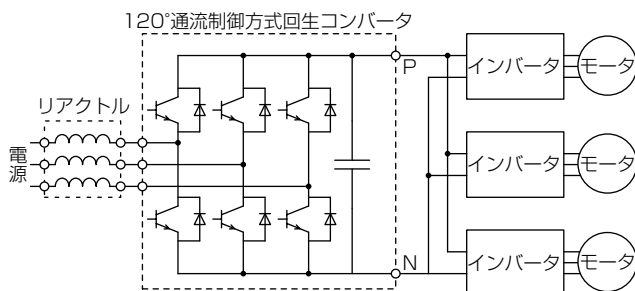


図1. 共通母線回生コンバータの内部回路と基本接続図

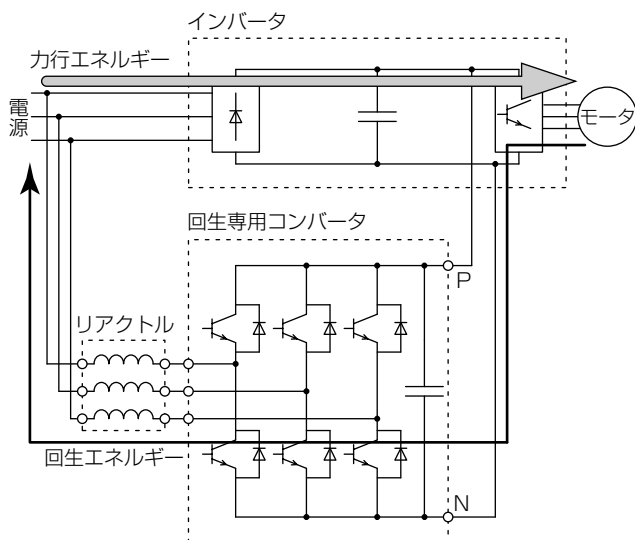


図2. 回生専用コンバータの内部回路と基本接続図

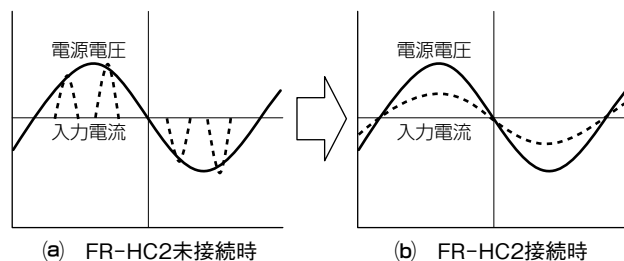


図3. PWM回生コンバータFR-HC2接続による入力電流波形改善

制動能力が得られるほか、大きな特長として高調波電流をほぼゼロにすることができ、特定需要家高調波抑制対策ガイドラインで換算係数 $K5=0$ を適用できる。さらに入力力率をほぼ1に制御できるため電源設備の小型化が可能である(図3)。

一方、PWM回生コンバータ本体の他に2個のリアクトルと、フィルタ用コンデンサ等を搭載した機器の計3個の付属品を接続する必要があるため、据付け面積が大きい、配線工数が多いといった問題もあり、改善が望まれてきた。

## 3. 多機能回生コンバータFR-XCの特長

今回開発した多機能回生コンバータFR-XCは、100%連続回生、150%-60sの短時間回生と大きな制動能力は当然ながら、従来の3種類の回生コンバータの機能を包含し

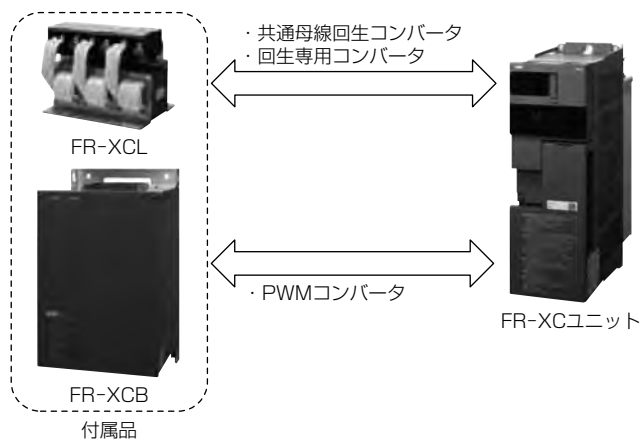


図4. FR-XC機能に応じて接続する付属品

ている。付属品(図4)を付け替えることでFR-CV, FR-RC, FR-HC2の3種類の回生コンバータの機能に対応する。さらに様々な取組みによって、付属品を含めた回生コンバータ機器の小型化・省配線化を実現した。

今回、PWM回生コンバータ機能での小型化・省配線化、及び回生専用コンバータ機能での小型化の取組みについて述べる。

#### 4. PWM回生コンバータ機能での小型化・省配線化

従来のPWM回生コンバータFR-HC2では、コンバータユニットの他に3個の付属品を接続する必要があり、据付け面積が大きい、配線工数が多いといった問題があり改善が望まれてきた。

今回、FR-XCのPWM回生コンバータ機能では、これらの問題を次の二つの手法を用いて改善した。

- (1) 新方式フィルタ回路の適用
- (2) リアクトルの強制空冷によるフィルタ回路のワンパッケージ化

これら二つの取組みの結果、FR-XCのPWM回生コンバータ機能では、従来機種FR-HC2に比べて据付け面積は58%、配線工数は52%と、従来機種で市場から要求されていた大幅な小型化・省配線化を達成した。

##### 4.1 新方式フィルタ回路の適用

PWM回生コンバータは、高周波でスイッチングをするため、キャリア周波数に起因する高周波リプル電流が系統電源に流出しないよう、図5に示すようなローパスフィルタ回路(以下“フィルタ回路”という。)を接続する必要がある。このフィルタ回路の特に主動力電流が流れる2個のリアクトルの外形が大きく、PWM回生コンバータを適用する際の据付け面積増大を招いている。

一般的にリアクトルを小型化するためには、キャリア周波数を高くし、L値を小さくすることが考えられるが、一方でIGBTのスイッチングロスが大きくなり、コンバータユニットが大型化してしまう。

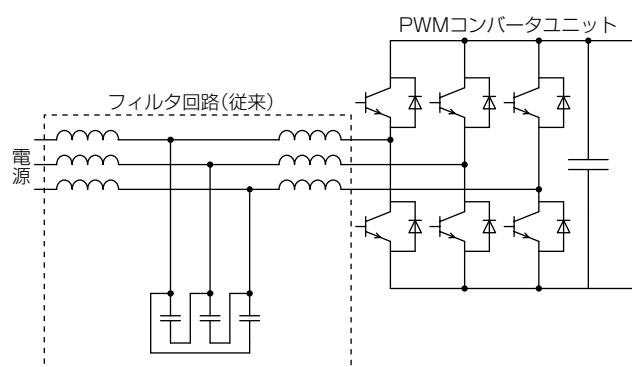


図5. 従来のフィルタ回路の構成

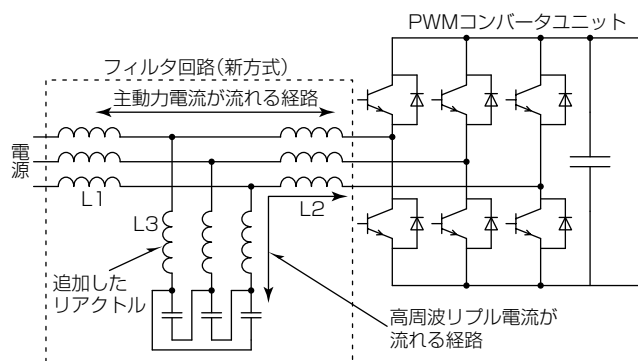


図6. 新方式フィルタ回路の構成

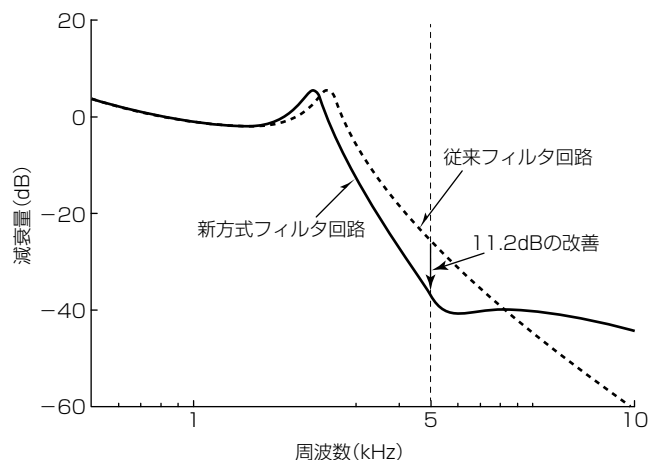


図7. 減衰特性の比較

そこで今回、新方式のフィルタ回路を適用することで、キャリア周波数を高くすることなくL値を小さくすることに成功した。図6は、今回適用した新方式フィルタ回路の構成である。

従来、L-C-L構成となっていたフィルタ回路に対して、Cと直列にリアクトルを追加することで、多段の高次フィルタ回路を構成し、キャリア周波数を高くすることなく、より大きな減衰特性を得ることができる。図7の従来フィルタ回路と新方式フィルタ回路の減衰特性の比較から分かるように、減衰特性を11.2dB改善できる。

なお、主動力電流が流れる経路にあるL1及びL2に対して、今回追加したL3の経路は高周波リプル電流しか流れ

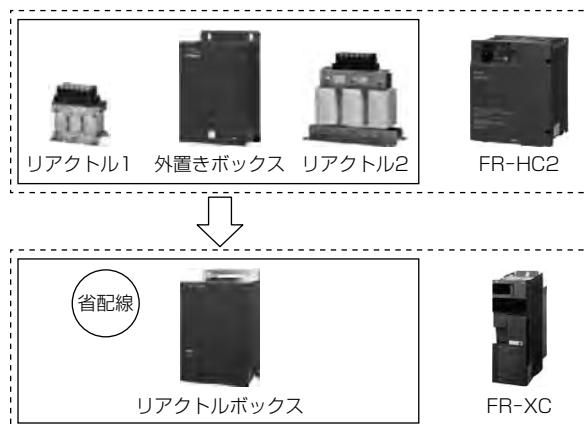


図8. PWM回生コンバータのフィルタ回路ワンパッケージ化

ず、電流実効値としてはおおよそ1/10程度である。そのため、リアクトルの個数は増えているものの、L3が小型であるため、フィルタ回路としては小型化が可能となる。

#### 4.2 リアクトル強制空冷化によるワンパッケージ化

4.1節で述べたように、PWM回生コンバータには複数の分かれたフィルタ回路が必要であり、それらの結線作業が必要なため配線工数の増加を招いていた。

そこで今回、前述した新方式フィルタ回路の適用のほかに、リアクトルを強制空冷方式として更に小型化した上で、従来分かれていた付属品を同一筐体(きょうたい)内に収納してワンパッケージ化(図8)した。

### 5. 回生専用コンバータ機能での小型化

回生専用コンバータ機能を包含する際、従来の予備充電回路を流用するとコンバータユニットが大型化する。今回対策として適用した、新方式の予備充電回路について述べる。

#### 5.1 新方式予備充電回路の適用

従来の回生専用コンバータFR-RCでは、電源投入時の初期充電電流を抑制するための回路が大型となっている。図9に回生専用コンバータFR-RCの初期充電電流の経路を示す。

回生専用コンバータの入力側を通るルート(初期充電電流経路B)とは別に、インバータ側を経由して回生専用コンバータのコンデンサを充電するルート(初期充電電流経路A)も存在するため、この経路にもマグネットコンタクト(以下“MC”という。)を追加する必要がある、結果的にコンバータユニット内にMCが3個存在することになる。

そこで、今回対策として、図10に示す新方式の予備充電回路を適用した。ダイオードが接続された回生専用コンバータ用P端子を追加し、また回生専用コンバータの予備充電回路の位置を変更した。

これによって、初期充電電流経路A及びBの双方に対して、回生専用コンバータ内の予備充電回路で初期充電電流

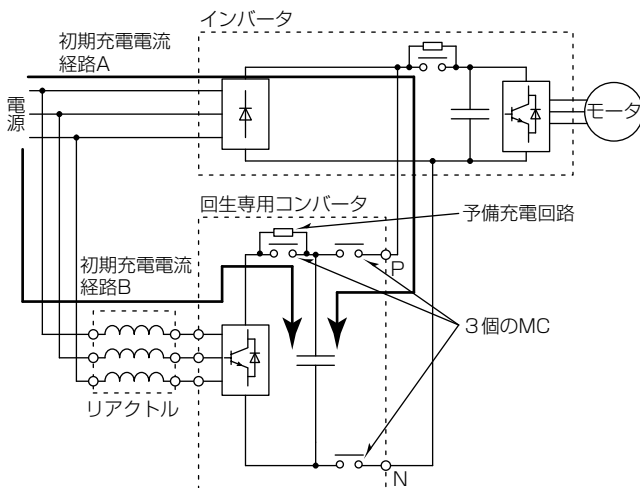


図9. FR-RCでの予備充電回路とMC

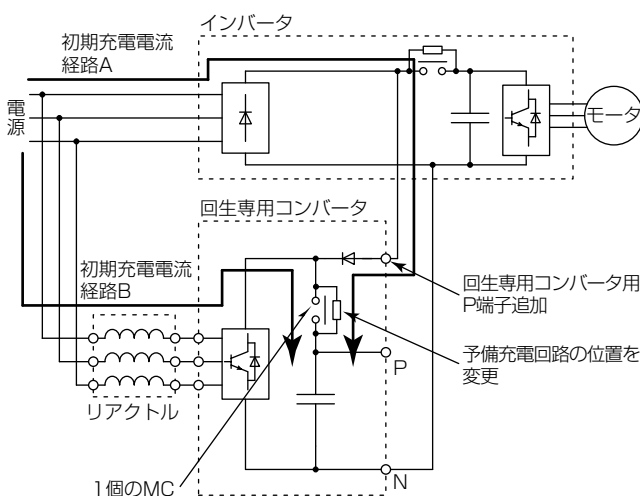


図10. FR-XCでの新方式予備充電回路とMC

の抑制が可能であり、従来3個あったMCを1個に削減できる。また、必要となるMCコイル駆動用電源容量も小さくできるため、電源生成用プリント基板の数やサイズも削減できる。

新方式予備充電回路を適用したことでFR-XCでは、従来機種FR-RCに比べて据付け面積は45%、体積は30%と大幅な小型化を達成した。

### 6. む す び

従来、目的・用途ごとにラインアップしていた3種類の回生コンバータの機能を、ユニットサイズを大きくすることなく多機能回生コンバータFR-XCシリーズに包含できた。

とりわけ、PWM回生コンバータ機能では、高い制動能力、高調波抑制機能や力率改善機能はそのままに、従来のFR-HC2で改善が望まれていた大幅な小型化と省配線化も達成した。

今後も市場ニーズに応じて、回生コンバータの容量拡張・対応電圧拡大開発を推進していく。



# 産業用ロボットFRシリーズ “MELFA Smart Plus”

村田健二\*

Industrial Robot FR Series "MELFA Smart Plus"

Kenji Murata

## 要 旨

消費者ニーズの多様化や、グローバル化によって、製造業は大きな改革を迎えようとしている。産業用ロボットは従来の単一作業ではなく、より高度な作業に簡単にに対応できる性能や柔軟性が求められている。

このような市場環境に応えるため、産業用ロボット“MELFA FRシリーズ”のオプションに、新たに“MELFA Smart Plus”をラインアップした。

“MELFA Smart Plus”は、導入の容易化と高度な作業の自動化を支援する機能オプションである。

その主要機能は、次のとおりである。

### (1) ロボット機構温度補正機能

ロボットアームの熱膨張による位置誤差を補正する機能を搭載し、高精度作業の安定性向上。

### (2) キャリブレーション支援機能

“ロボット-ビジョンセンサ”“ロボット-ワーク”“ロボット-ロボット”間のキャリブレーション作業の自動化を実現。

### (3) 付加軸協調機能

付加軸とロボットとの協調制御による生産性向上と対応ワークの拡大。



**MELFA FR**  
SERIES

**MELFA Smart Plus**



ロボットコントローラ  
CR800



MELFA Smart Plus  
カード(2F-DQ51X)



### ロボット機構温度補正機能

ロボットアームの熱膨張を補正し位置精度を向上

### キャリブレーション支援機能

- ・自動キャリブレーション  
ビジョンセンサの座標を自動的に補正し位置精度を向上
- ・ワーク座標キャリブレーション  
ビジョンセンサによってロボット座標とワーク座標の補正を自動的に実行し位置精度を向上
- ・ロボット間相対キャリブレーション  
ビジョンセンサによってロボット複数台間の位置を自動補正。協調動作時の位置精度を向上



### 付加軸協調制御

ロボットと走行台を連携させ、速度を指定した加工・組立てを実現

## 産業用ロボットFRシリーズ“MELFA Smart Plus”

柔軟な生産ラインの実現を強力にサポートするMELFA FRシリーズの新オプションMELFA Smart Plusを開発した。MELFA Smart Plusは、顧客の設計・立ち上げ・運用・保守の全てのフェーズで、先進の機能を提供する。これらの機能は、ロボットコントローラ“CR800”にMELFA Smart Plusカードを挿入することで有効化される。

## 1. ま え が き

モノづくりの現場で、グローバル競争に対応するための次世代生産システムとして、産業用ロボットの活用が進んでいる。その背景として、①工場の安定的な労働力確保のための自動化推進、②消費者嗜好(しこう)の多様化による変種変量生産に適応したセル生産システムへの移行、③安価にかつ短期間で設計・稼働ができる生産システムへの要求、④高精度組立て、柔軟物搬送、高速ハンドリング等の高度な作業の自動化要求が挙げられる。

三菱電機はこれらに応えるため、知能化機能を進化させた産業用ロボットMELFA FRシリーズを開発した<sup>(1)(2)</sup>。このシリーズでは、従来の“力覚センサ”や“三次元ビジョンセンサ”を活用した知能化技術に加え、高度な作業の自動化を容易に導入できる新機能“MELFA Smart Plus”をオプションとしてラインアップすることで、自動化の妨げとなる各種課題に対するソリューション提案力を強化した。

本稿では、“MELFA Smart Plus”に含まれる代表的な機能と応用例について述べる。

## 2. MELFA Smart Plus機能

MELFA Smart Plusは、各種センサとの連携機能、自律的な立ち上げ調整機能など、顧客の設計・立ち上げ・運用・保守の全てのフェーズに先進の機能を提供する機能オプションである。MELFA Smart Plusの各種機能は、図1に示すように、“MELFA Smart Plusカード”をロボットコントローラCR800に挿入することで有効化される。

次にMELFA Smart Plusの機能の内、“ロボット機構温度補正機能”“キャリブレーション支援機能”“付加軸協調制御機能”について述べる。

### 2.1 ロボット機構温度補正機能

ロボット機構温度補正機能は、ロボットアームの温度をリアルタイムに推定し、アームの熱膨張による位置誤差を自動補正する機能である。

組立て・加工など、高精度な作業をロボットが行う場合は、ロボットアームの熱膨張による位置誤差が安定稼働の妨げとなる場合がある。従来、熱膨張の影響を軽減するため、生産前に暖機運転を行うことを推奨していたが、この

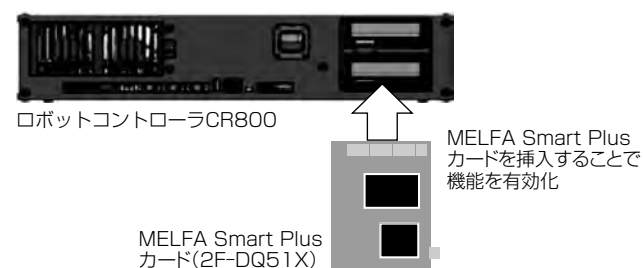


図1. MELFA Smart Plus機能の有効化

機能の搭載によって、熱膨張による位置ズレを約1/5に抑制することが可能となるため(図2)、暖機運転や教示位置の補正を行わずに、高精度な作業を行えるようになる。

熱膨張によるアームの変位は、各軸のモータ(エンコーダ)に搭載されている温度センサのデータを用いた多項式で近似される。この式によってアーム先端位置の変位量を随時計算し、その影響を相殺する補正指令を各軸モータの位置指令に加算している。

この方式によって、顧客は、ポジションデータを変更することなく、アーム熱膨張による影響を自動的に除去することが可能になる。

### 2.2 キャリブレーション支援機能

キャリブレーション支援機能は、“自動キャリブレーション機能”“ワーク座標キャリブレーション機能”“ロボット間相対キャリブレーション機能”で構成される。

#### 2.2.1 自動キャリブレーション機能

自動キャリブレーション機能は、煩雑で時間のかかるビジョンセンサの画像座標とロボット座標とのキャリブレーション作業(位置合わせ作業)を自動化する機能である(図3)。

従来、このようなキャリブレーション作業は、手作業によって行われていたため、システムの立ち上げ時や移設時に多くの時間を要していた。また、作業のばらつきによって、安定したキャリブレーションの精度を出すのが困難であった。

自動キャリブレーション機能によって、エンジニアリングツール“RT ToolBox3”の専用画面(図4)に従い、必要

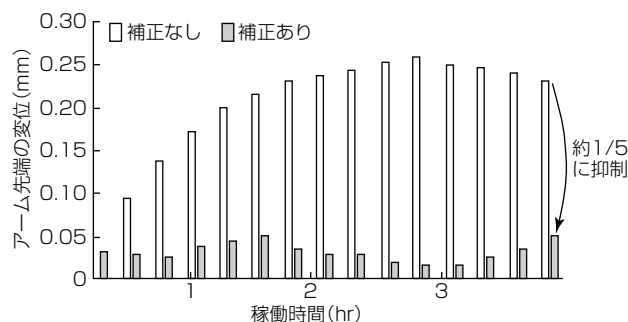


図2. 稼働時間とアーム先端位置の変位

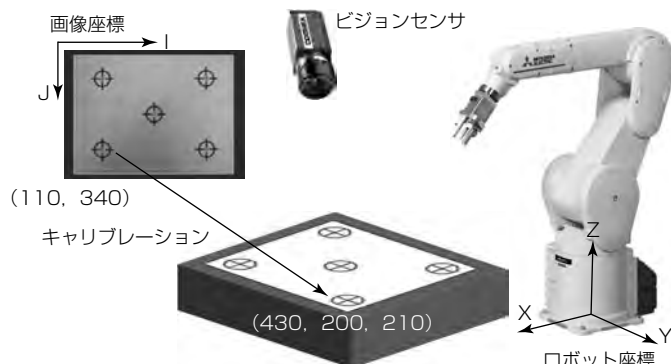


図3. ビジョンセンサとロボットのキャリブレーション

事項を入力するだけで、キャリブレーションを自動的に行うことが可能になる。また、一度作成したキャリブレーション動作をロボットプログラムとして保持できるため、同じ精度のキャリブレーション作業を何度でも再現できる。

同一システムを何台も立ち上げる場合や、トラブル発生によって再キャリブレーションが必要になった場合は、プログラムの再利用によって、再現性の高いキャリブレーションを容易に行える。

## 2.2.2 ワーク座標キャリブレーション機能

ワーク座標キャリブレーションは、ロボット手先に設置された二次元ビジョンセンサの情報を用いて、ロボットと作業対象物(ロボット座標とワーク座標)の位置合わせを行う機能である。この機能を搭載することで、ロボットと作業対象物に生じる位置ズレを自律的に補正するシステムを構築できる。

ワーク座標キャリブレーションを行うには、図5に示すような基準マークとワーク座標系原点との位置関係が既知である“キャリブレーションシート”を作業領域内に設置す



図4. 自動キャリブレーション専用画面

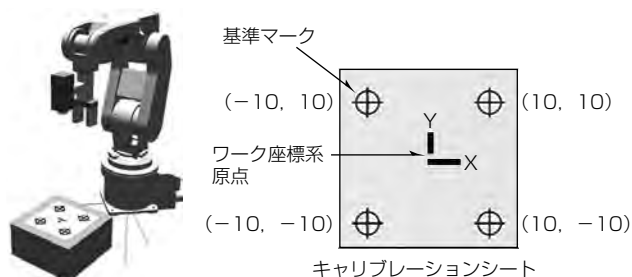


図5. ワーク座標キャリブレーション

る必要がある。専用プログラムを実行すると、多視点の撮像データとロボットの位置データから、キャリブレーションシートの三次元的な傾きと、ワーク座標系原点の位置を自動的に計測し、ロボット座標から見たワーク座標を算出する。

## 2.2.3 ロボット間相対キャリブレーション機能

ロボット間相対キャリブレーション機能は、複数のロボットが協調して作業するシステムで、ロボット間の設置誤差を補正する機能である。

図6に示すように、ロボット1とワーク座標のキャリブレーションとロボット2とワーク座標のキャリブレーションをそれぞれ行うことで、ロボット1, 2間の相対位置関係が算出される。

## 2.3 付加軸協調制御機能

付加軸協調制御機能は、ロボットと直動軸の協調制御を実現する機能であり、ベース座標系協調制御機能と付加軸トラッキング機能で構成される。

### 2.3.1 ベース座標系協調制御機能

ベース座標系協調制御機能は、走行軸(直動軸)を用いて、連続加工できる動作範囲を拡大する機能である。

この機能を搭載することによって、今まで動作範囲不足によって大型ロボットでなければ対応できなかった作業が、小型ロボットと走行軸の組合せでも対応できるようになるため、作業エリアの省スペース化やシステムコストの削減が可能になる。

図7に示すように、大型ワークの外周を加工するような動作の場合、ロボットのベース座標(ワールド座標から見たロボット座標の位置)を直動軸の動作に連動してリアルタイムに変更することで、連続した動作を実現している。

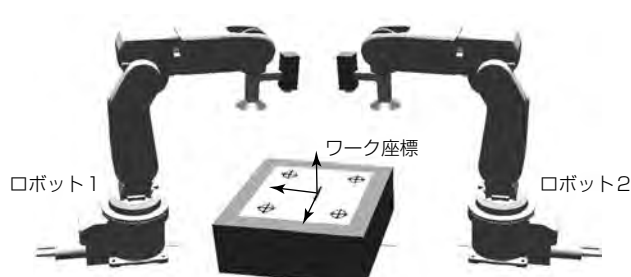


図6. ロボット間相対キャリブレーション

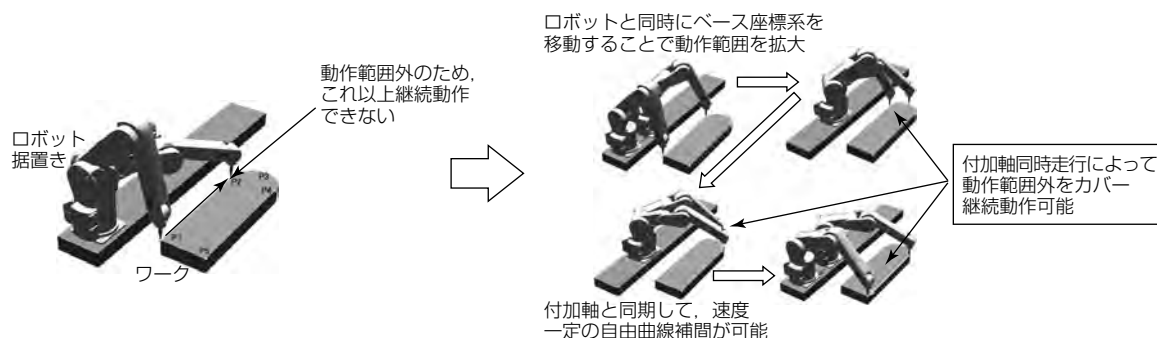


図7. ベース座標系協調制御

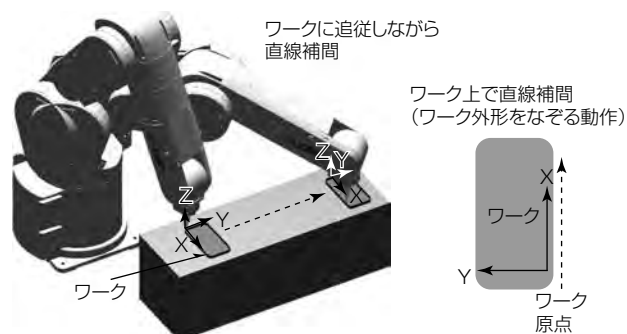


図8. 付加軸トラッキング

### 2.3.2 付加軸トラッキング機能

付加軸トラッキング機能は、付加軸を用いて搬送中のワークに追従しながら組立て・加工等の作業を行う機能である。

図8のように、付加軸(直動軸)を用いて移動しているワークにロボットが追いつき、ワークとロボットツールの相対速度がゼロになるようリアルタイム制御を行っているため、止まっているワークに対して行う作業と同様の作業を、移動中のワークに対しても行えるようになる。

従来はワークの動きを止めてから加工・組立て等の作業を行う必要があったが、この機能を搭載することで、その必要はなくなり、搬送と作業の両立が可能となるため、タクトタイムを大幅に短縮できる。

## 3. 応 用 例

MELFA Smart Plus機能を活用した応用例を次に述べる。

### 3.1 コピーセル<sup>(注1)</sup>への適用

図9に示すように、立ち上げ調整済みのマスターセルと同一のセルを複製するような場合、従来は、セルごとにキャリブレーション作業や教示作業を行う必要があったが、“MELFA Smart Plus”によって提供される“ロボット機構温度補正機能”と“自動キャリブレーション機能”によって、各セル間の機体差を自動的に補正することが可能になる。これによって、マスターセルの変更情報を離れた場所のセルにも同様に展開できるようになり、マスターセルと各セル間の連携的な運用が可能となる。

(注1) セル生産で、同一工程のセルを複製することである。

### 3.2 移動ロボットへの適用

無人搬送車(AGV)や移動カートにロボットを搭載して装置間を搬送するシステムの場合、搬送先での搬送車(又はカート)の停止位置誤差によって作業精度が低下する。このような場合、MELFA Smart Plusのキャリブレーション支援機能が有効である。

ワーク座標キャリブレーション機能を用いて、周辺装置

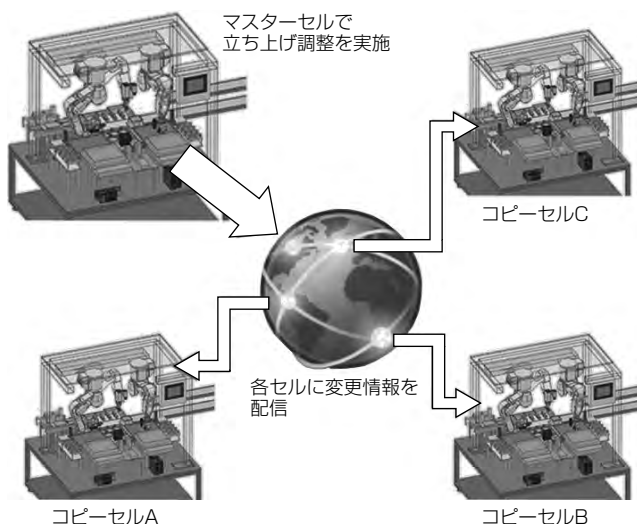


図9. コピーセルの適用例

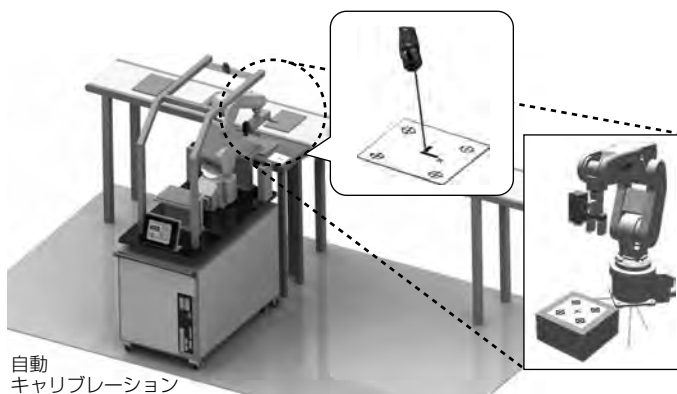


図10. 移動台車ロボット適用例

とロボットの三次元的な位置ズレを自動補正できるため、搬送車ごとにロボットプログラムや教示位置を変更することなく運用することが可能になる(図10)。

## 4. む す び

MELFA FRシリーズのオプションである“MELFA Smart Plus”について、ロボット本体の熱膨張による位置誤差の補正や、周辺装置とロボットのキャリブレーションの自動化、周辺軸(付加軸)との協調制御について述べた。

MELFA Smart Plusは、今後、センシング技術やAI技術も取り入れ、設計・立ち上げ・運用・保守の全てのフェーズで、自動化の課題を克服する機能を随時展開していく予定である。

## 参 考 文 献

- (1) 宮本昌和：産業用ロボット“MELFA Fシリーズ”，三菱電機技報，90，No.4，243～246（2016）
- (2) 宮本昌和：産業用ロボット“MELFA FRシリーズ”，三菱電機技報，91，No.4，217～220（2017）

# 数値制御装置“M800／M80シリーズ”の 新技術

東 俊博\*  
宇多慶一郎\*  
勝田喬雄\*

New Technologies of CNC "M800/M80 Series"

Toshihiro Azuma, Keiichiro Uta, Takao Katsuta

## 要 旨

三菱電機では、2014年に発表した数値制御装置(CNC)“M800／M80シリーズ”で独自CPUによる高い加工性能や快適な操作性を提供している。一方で、製造現場では、熟練工の減少や作業者の頻繁な入れ替わりを背景に、慣れない作業でも容易に生産性の高い加工を可能とする機能が従来以上に求められている。このようなユーザーニーズに応えるため、使いやすさや生産性の観点から、次の機能拡充を行った。

### (1) プログラム編集機能の拡充

加工プログラムの設計工程を容易にするために①対話式サイクル挿入機能、②仕上がり形状表示機能を開発した。

### (2) シミュレーション機能の拡充

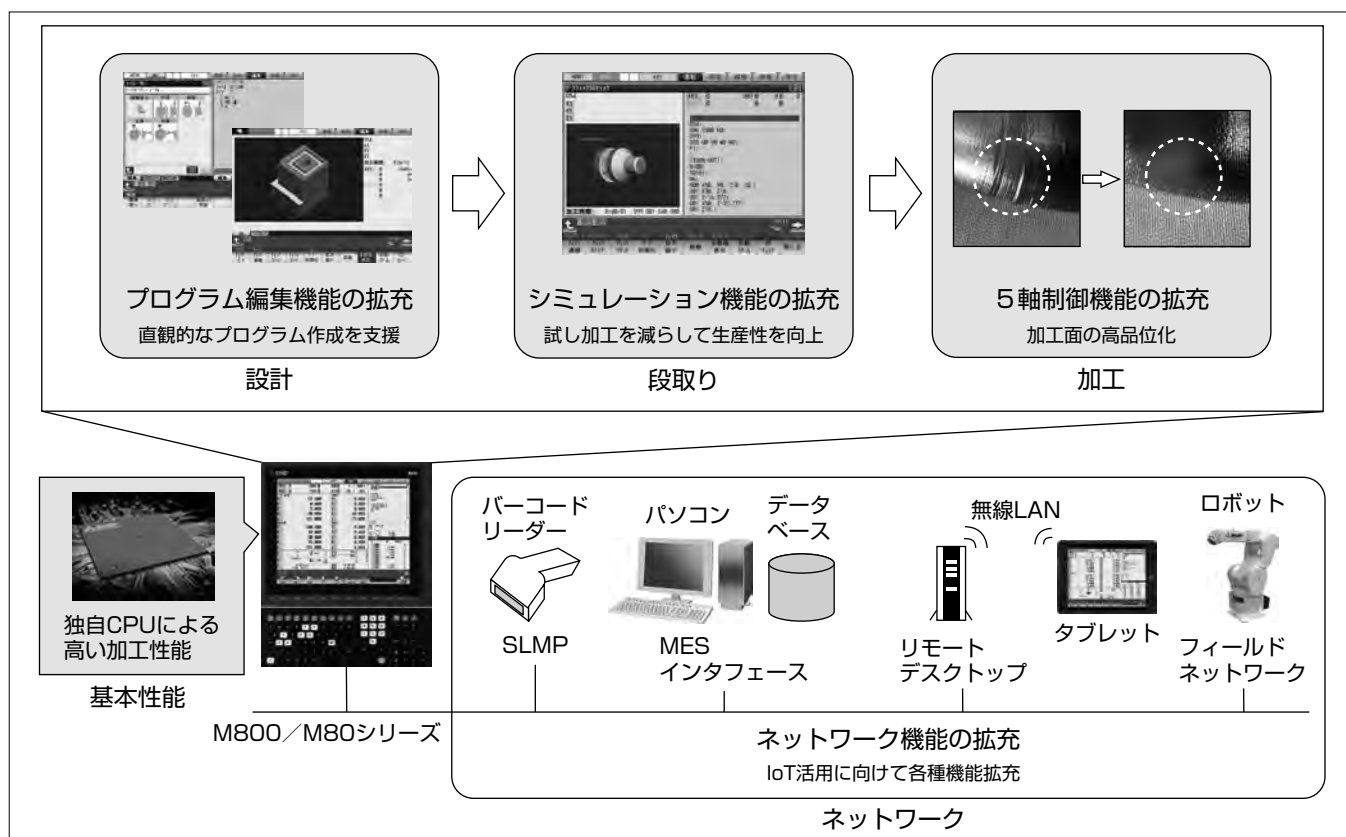
本番の加工前の試し加工を減らすために、段取り工程でプログラムをチェックする3Dソリッドプログラムチェック機能を開発した。

### (3) 5軸制御機能の拡充

加工工程で高速・高精度化を実現するためにスプライン補間機能を強化した。

### (4) ネットワーク機能の拡充

IoT(Internet of Things)を活用した工場の自動化や生産効率化のニーズに対応するために①MES(Manufacturing Execution System)インタフェース、②SLMP(Seamless Message Protocol)サーバ、③リモートデスクトップ、④フィールドネットワークの四つの機能を開発した。



## CNC“M800／M80シリーズ”の新技術

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、製造プロセス各工程での機能拡充によって、ユーザビリティやフレキシビリティの強化を図り、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(Electronics Manufacturing Service)企業関係の旺盛(おうせい)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、加工性能の向上、安全性や信頼性の確保が求められる。一方、熟練工の減少や作業者の頻繁な入れ替わりを背景に、生産性の高い加工を容易に実現することが求められてきており、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きている。

当社は、2014年に最新モデルCNC“M800/M80シリーズ”<sup>(1)</sup>を発表し、加工性能、操作性でユーザーから好評を得ているが、近年の生産性向上のニーズに対応するための機能の拡充を実施している。

本稿では、多様な機能の中から生産性向上に大きく寄与する機能として、M800/M80シリーズのプログラム編集機能、シミュレーション機能、5軸制御機能、ネットワーク機能での最新の開発技術について述べる。

## 2. M800/M80シリーズの特長

### 2.1 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。

### 2.2 多様なニーズに応える幅広いラインアップ

M800/M80シリーズのラインアップを図1に示す。なお、スタンダードモデルで“M80Wシリーズ”を2016年に新たにラインアップに加えた。表示器と制御器を分離した構成にして表示器レイアウトの柔軟性を持たせるとともに、

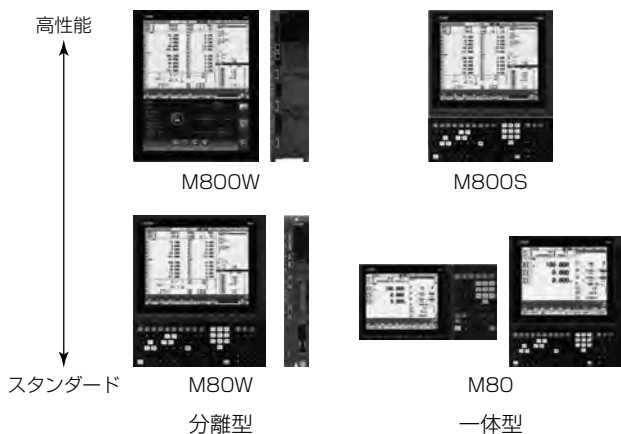


図1. M800/M80シリーズのラインアップ

拡張カードスロット数をM80より増やしてスタンダードモデルでの拡張性を高めている。

## 3. 支援機能の拡充

M800/M80シリーズでは、近年特に強く求められる、ユーザーの使いやすさを向上させるため、製造プロセスの各工程での作業支援機能の拡充を行っている(図2)。設計工程では、加工プログラムの作成を容易にするために、対話式サイクル挿入機能や仕上がり形状表示機能を追加した。段取り工程では、本番の加工前の試し加工を減らすために、段取り工程でプログラムをチェックする3Dソリッドプログラムチェック機能を開発した。加工工程では、高速・高精度な5軸加工を実現するために、5軸制御機能の拡張・強化を実施した。また、近年注目されているIoTを活用した工場の自動化や生産効率化のニーズにも対応するための、ネットワーク機能の拡充を図っている。

### 3.1 プログラム編集機能の拡充

M800/M80シリーズのプログラム編集機能として、編集集中の加工プログラムに対して、加工や段取りを支援するサイクルを対話形式で挿入できる対話式サイクル挿入機能と、加工プログラムの切削結果を即座に三次元表示する仕上がり形状表示機能を追加した。これらの機能を用いることで、加工プログラムを直観的に作成可能であり、ユーザーの入力ミスも即座に三次元で表示されるので、プログラム作成時間を短縮できる。

ユーザーがCNCに工作機械の動作を指令する際には、加工プログラムで三次元空間内の工具の通過する位置や工具の動作パターンを指定する必要があるが、対話式サイクル挿入機能では、形状の種類とその寸法の指定によって、加工プログラムを自動生成するので、ユーザーが直観的にプログラムを作成できる(図3)。また、ユーザーの指定した任意の形状に対する加工プログラムの生成や、図面データからのプログラム作成も可能である。特に多品種少量生産を行うことが多い欧州のユーザーなどには、CNC上で対話的に加工プログラムを作成する機能が好まれている。

さらに、仕上がり形状表示機能によって、加工プログラムが変化するたびに、作成中の加工プログラムの切削結果

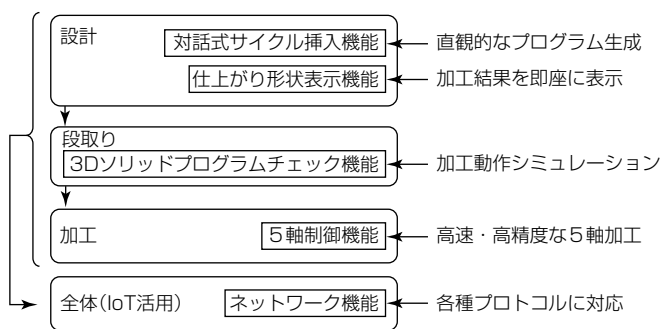


図2. 製造プロセスの各工程での作業支援機能の拡充

を三次元で表示するので、ユーザーは誤入力にすぐに気付くことができる(図4)。

なお、一般に加工プログラムでは、徐々に素材を削っていき最終形状を作成するが、これら全てをシミュレーションすると形状表示のための幾何演算の時間が増大し、画面表示の応答性が悪化する問題がある。仕上がり形状表示機能では、対話式サイクル挿入機能で作成された加工プログラムから、最終形状にかかわる動作だけを抽出して形状表示することでユーザーが即座に入力結果を確認することを可能にしている。

### 3.2 シミュレーション機能の拡充

M800/M80シリーズでは、加工プログラムの作成ミスや段取りのミスをなくすために、3Dソリッドプログラムチェック機能などのシミュレーション機能を追加した。

3Dソリッドプログラムチェック機能は、実際に工作機械を動作させることなくグラフィック描画だけで加工プログラムの実行結果を三次元で確認することができる機能であり(図5)、ユーザーが本番の加工を行う前の試し加工を減らすことが可能となる。

なお、リアルタイム性が求められる機器では、あらかじめ割り当てられたメモリ領域を用いて演算することが多いが、その場合、複雑な形状のシミュレーションではメモリが不足する問題がある。3Dソリッドプログラムチェック機能では、あらかじめメモリ領域を割り当ててではなく、ほかの機能とメモリ領域を共有して動的に割り当てる技術を開発し、メモリ増設を行うことなしに複雑な形状のシミュレーションを可能にしている。



図3. 対話式サイクル挿入機能

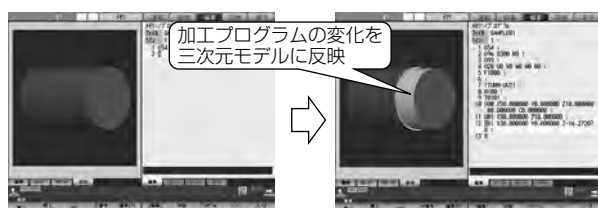


図4. 仕上がり形状表示機能

### 3.3 5軸制御機能の拡充

M800/M80シリーズでは、CAM(Computer Aided Manufacturing)で生成した微小線分プログラムに含まれる不要な段差形状などのノイズを除去して滑らかな加工を実現するために、スプライン補間機能の強化を行った。

今回強化した機能では、指定したトレランス(許容誤差)の範囲内を滑らかに通過する曲線上で工具を動作させるので、微小線分プログラムに不要な段差形状などのノイズが含まれている場合でも、加工面に傷を生じさせることなく高品位な加工面を実現できる。同時5軸制御にも対応しており、工具先端点制御中に、工具先端点と工具姿勢の両方をトレランス内で滑らかに動作させることができる。このため、加工物に対する工具の位置や姿勢が複雑に変化する同時5軸加工でも、ユーザーによる加工プログラムの修正なしで、スプライン補間機能によって傷のない滑らかな加工面を得ることができる(図6)。

なお、単純にトレランスの範囲内に収まるように曲線を生成した場合、往復動作での経路が異なり傷の要因となるという問題がある。この機能では、コーナーなど形状の特



図5. 3Dソリッドプログラムチェック機能

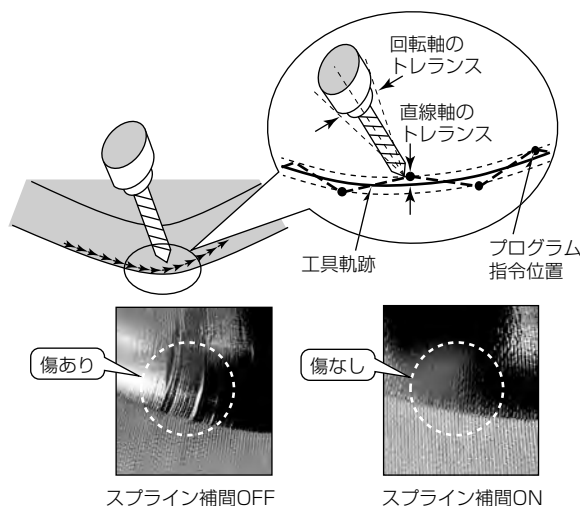


図6. 5軸スプライン補間機能

徴を評価しつつ、往復動作での経路が同一となるように曲線を生成するアルゴリズムを開発することでこの問題を解決し、傷のない滑らかな加工面を実現している。

### 3.4 ネットワーク機能の拡充

近年、IoTへの注目が高まり、工作機械を取り巻く現場でもネットワークを活用した機能への需要が高まっている。この需要に応えるため、M800/M80シリーズではネットワークを活用した機能を開発し、順次拡充を進めている。

ここではその中の四つの機能について述べる。

#### 3.4.1 MESインタフェース

加工完了時やアラーム発生時などのイベント発生時に、自動的にCNCから機械の稼働状況データをデータベースに送信するMES(Manufacturing Execution System)インタフェース機能を開発した。これによって、機械稼働状況の可視化を簡単に実行できるとともに、トラブルの早期復旧や未然防止、工程ごとのきめ細かい品質管理が可能となり、生産性の改善につなげることができる(図7)。

#### 3.4.2 SLMPサーバ

イーサネット<sup>(注1)</sup>を介して周辺機器からCNCにデータを伝達可能なSLMP(Seamless Message Protocol)サーバ機能を開発した。この機能によってLANケーブルだけで工作機械とSLMP対応周辺機器を簡単にネットワーク接続することが可能になる。また、SLMPはTCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)通信との混在が可能であるため、CNCと周辺機器と上位システムを一種類のインタフェースで接続可能になり、上位システムと周辺機器とのシームレスなデータ連携も可能になる。

例えば、SLMPに対応したバーコードリーダーをLANケーブルでCNCと上位システムに接続すれば、加工物のワークIDをCNCだけでなく、生産管理システムにも伝達できる。これによって、生産管理システムで加工物に関する情報の見える化が可能になり、工場内の生産効率化に貢献できる(図7)。

(注1) イーサネットは、富士ゼロックス㈱の登録商標である。

#### 3.4.3 リモートデスクトップ

ネットワークを通じてCNCの画面を遠隔で別のコンピュータに呼び出して操作できるリモートデスクトップ機能を開発した。この機能によって、工場の事務室に設置されたパソコン、又はタブレットで現場の工作機械の操作画面を閲覧・操作することが可能になることから、工作機械の診断工数削減に寄与できる(図8)。

#### 3.4.4 フィールドネットワーク拡張カード

近年、工場内の自動化に向けて、ロボットやセンサなどの周辺機器の接続に対する需要が高まっている。接続に必要なフィールドネットワークは周辺機器の使用環境によって異なるため、M800/M80シリーズではフィールドネットワークのラインアップを順次拡充している。今回、拡

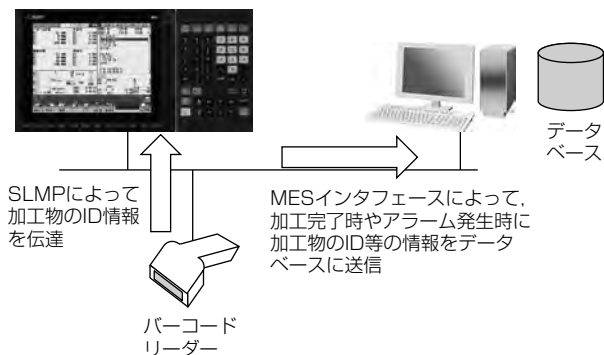


図7. MESインタフェースとSLMPサーバ活用例

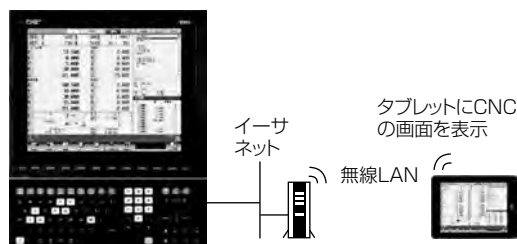


図8. リモートデスクトップの活用例

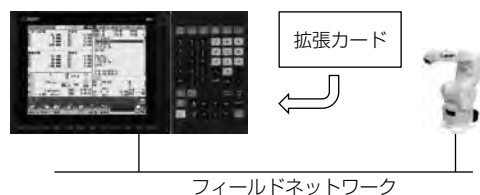


図9. 拡張カードによるフィールドネットワーク対応

張カードを開発してRS-485シリアルインタフェースを用いたフィールドネットワーク(PROFIBUS-DP<sup>(注2)</sup>、CC-Link)に対応した。

さらに、近年イーサネットを使った高速に信号伝達可能なフィールドネットワーク(CC-Link IE Field, EtherNet/IP)の普及も進んでおり、従来のシリアルインタフェースからのイーサネット系インタフェースへの置き換えも想定されるため、今後イーサネット系の各種フィールドネットワークに順次対応予定である(図9)。

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

## 4. 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するのに貢献できると考える。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。

## 参 考 文 献

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



# レーザ穴あけ加工の品質を向上させるミラーの発明

小林信高\* 石塚智彦\*\*\*  
滝川靖弘\*  
竹野祥瑞\*\*

*Invention of Mirror for Improving Laser Via Drilling Quality*

*Nobutaka Kobayashi, Yasuhiro Takigawa, Shozui Takeno, Tomohiko Ishizuka*

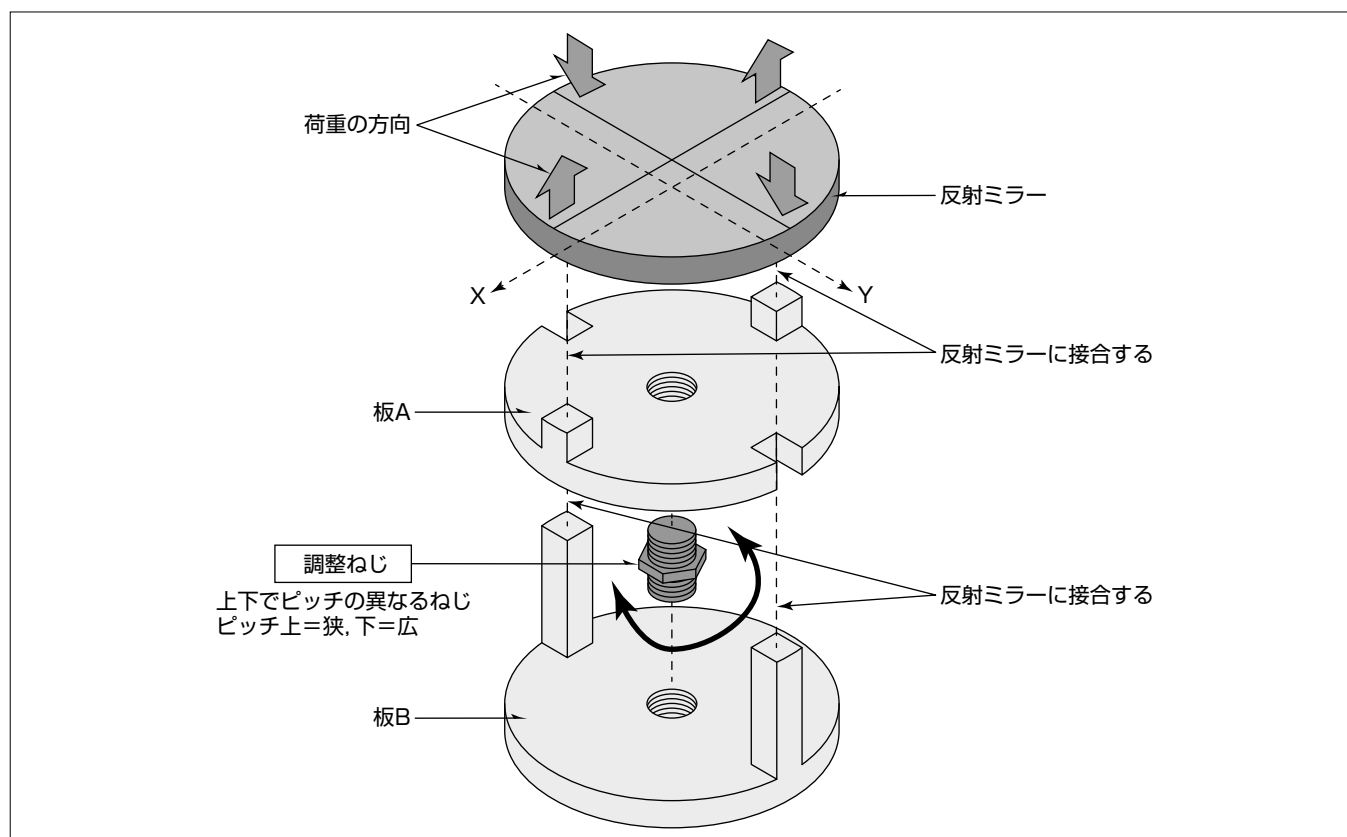
## 要 旨

スマートフォン等に内蔵されるプリント基板は多層構造をしており、各層はレーザで加工された微細な穴で電気的につながっている。近年のIT機器の小型高機能化に伴う高密度実装によって、爆発的な穴数の増加と加工穴の小径化が進んできた。穴数の増加は穴あけの高速化のニーズにつながる。そこで、一つのレンズに2本のレーザビームを通して2か所同時に加工するマルチビーム方式を発案したが、光路を構成するミラーなどの枚数増が不可避であった。レーザ加工機では、光路中のレンズやミラーの形状誤差によってレーザビームに歪(ゆが)み(収差)が生じ、収差が大きいと加工穴の品質が低下する。マルチビーム方式はミラーなどの枚数増によって形状誤差が多く累積し、品質確保が困難な状況であった。また加工穴の小径化にはプリン

ト基板上に細く集光したレーザビームが必要であり、細いビームほど収差が顕著に加工穴の品質に現れる。

そこで、光路中のミラーを変形させ、収差を補正することにした。穴形状が楕円(だえん)になりやすいことに着目し、鞍(くら)形の変形によって補正可能なことを見いだした。さらに、誰にでも簡単に補正できるよう、ミラー裏面の中央に両端でピッチの異なるねじを一つ設けただけの構造とし、ねじを回すことでミラー形状をX方向に凹、Y方向に凸の鞍形に変形させ、穴形状を円形に修正する収差補正ミラーを発明した。

収差補正ミラーの適用によって、加工穴の品質低下のため高速化が困難であった $\phi 50\mu\text{m}$ の小径穴で、不足していた光軸方向の加工裕度の確保に成功して1.6倍の高速化を実現した。



## 収差補正ミラーの構造

収差補正ミラーは、プリント基板穴あけ用レーザ加工機に搭載され、加工穴の真円率を改善するミラーである。反射ミラーに接合された板Aと板Bの間にある、上下でピッチの異なる調整ねじを回すと、反射ミラーが鞍形に変形する。この鞍形によって、レーザビームの非点収差が補正される。加工穴の真円率を改善したことで、小径穴( $\phi 50\mu\text{m}$ )の光軸方向の加工裕度確保に成功した。

## 1. ま え が き

近年、電子機器に搭載されるプリント基板には、無数の微細な穴がレーザーによって加工されている。例えば、現在のスマートフォンでは1台当たり数10万個もの穴が存在する。このような高密度化に伴って、 $\phi 50\mu\text{m}$ 以下の小径穴の割合も増えている。小径穴の品質確保は困難であったため、今回レーザービームの歪み(収差)を補正して加工穴の品質を向上させる収差補正ミラーを発明した。このミラーが活用される機会は広がっており、2017年度の全国発明表彰では特許庁長官賞を受賞した。

本稿では、このミラーが搭載されるプリント基板穴あけ用レーザー加工機と、このミラーの動きやその効果について述べる。

## 2. プリント基板の穴あけ加工

### 2.1 レーザビアとその動向

現在、スマートフォンなどの電子機器に内蔵されるプリント基板は、図1のような多層構造をしている。立体的に配線することで、基板表面のマイコンやコンデンサ等の電子部品をより密に実装できる。各層を電気的につなぐ層間接続穴はレーザーで加工され、レーザービアと呼ばれる。絶縁層である樹脂にレーザーを照射して除去した後、加工された穴をめっきすることで、電気を通すようになる。

近年のIT機器の小型高機能化に伴い、配線密度の向上、つまり基板1枚当たりのレーザービアの爆発的な穴数の増加と加工穴の小径化が進んできた。図2に、この20年間のレーザービアの穴数と穴径の推移を示す。穴数は基板1層当

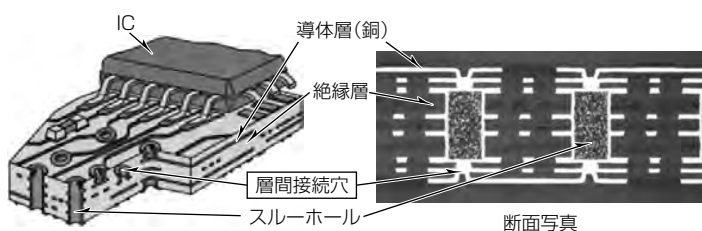


図1. プリント基板の構造

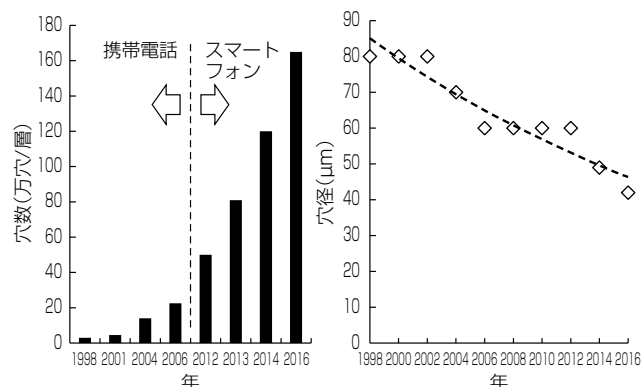


図2. レーザビアの穴数と穴径の推移

たり100万穴を超え、穴径は $50\mu\text{m}$ を下回るところまでできている。

### 2.2 レーザ加工機

図3に示すプリント基板穴あけ用レーザー加工機は、複数のキーパーツから構成される。発振器から射出されたレーザービームは、2本のガルバノスキャナの先端に取り付けられた2枚のガルバノミラーによってX方向とY方向の二次元にスキャンされ、 $f\theta$ レンズによってプリント基板上に集光される。ガルバノスキャナは1秒間に2,500か所もの位置決め(加速・減速・停止)をし、高速加工を可能にしているが、更なる高速化は容易でなかった。そこで穴数の増加の市場要求に応えるため、一つの $f\theta$ レンズに2本のレーザービームを通し、2か所同時に穴あけをする図4のマルチビーム方式を考案した<sup>(1)</sup>。

### 2.3 新たな課題

マルチビーム方式では、レーザービームを光路途中で2本に分岐するため、ミラー等の光学部品の増加が不可避であった。レーザー加工機では、発振器から基板までの光路中に配置されるレンズやミラーの透過面や反射面の形状誤差によってレーザービームに歪み(収差)が生じ、この歪みが大きいと加工穴の品質(真円率)が低下する。マルチビーム方式では、光学部品の増加に伴い、形状誤差が多く累積することで、収差が増大していった。

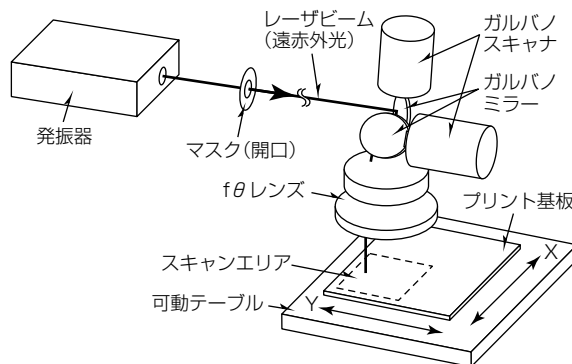


図3. プリント基板穴あけ用レーザー加工機の構成

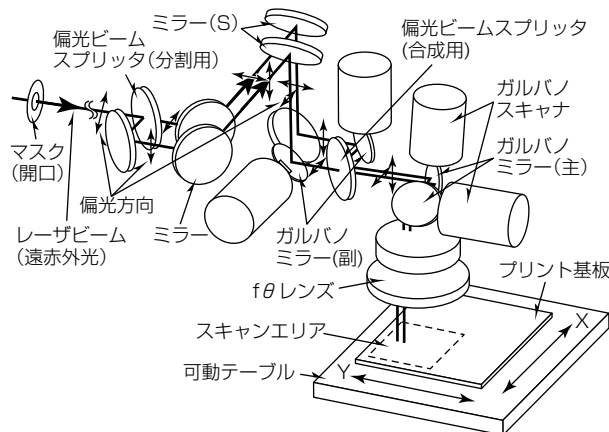


図4. マルチビーム方式の光路構成

また加工穴の小径化では、基板上にレーザービームをより細く集光するため、大きな収束角度でレーザービームを絞り込む。このため、焦点(ジャストフォーカス)から光軸方向に少しずれるだけでレーザービームが広がり、光軸方向の加工裕度が狭くなる。

このように、マルチビーム方式によって収差が増大した上に、さらに加工穴の小径化で加工裕度が狭くなり、加工穴の品質確保が困難な状況にあった。また、先に述べたとおり収差の増大は各光学部品の形状誤差の累積が原因だが、レンズやミラーの形状誤差は既に $0.3\mu\text{m}$ 以下と小さく、研磨等の製造の限界にあった。

このため、レーザービームの収差を補正する新たな光学部品が強く求められていた。

### 3. 収差補正ミラー

#### 3.1 変形形状“鞍形”

2. 3節で述べた課題に対し、光路中の1枚のミラーに能動的に変形を与え、変形形状と変形量を制御することで、光路全体が持つ収差を相殺する方法がある。

このような収差補正ミラーを開発するに当たり、マルチビーム方式では、図5に示すように基板上で焦点を光軸方向に振ると、穴形状が楕円に崩れやすく、かつ、焦点の上下で楕円の長軸方向が直交することを見いだした。図5の横軸はスキャンエリア内の異なる位置の加工穴になっており、縦軸は光軸方向に焦点を変化させている。レーザー加工機に求められる光軸方向の加工裕度、 $60\mu\text{m}$ (= 6列分)に満たないことが分かる。

焦点の上下で直交する楕円となる収差を非点収差という。非点収差は光軸を含む異なる二つの断面で、焦点の絞れる位置が光軸方向にずれていることによって生じる。このため、光路中のミラーを平面から図6に示す馬の鞍形に変化させることで補正、つまり加工穴の真円率を改善できる。鞍形とは、ミラー形状がX方向は凹、Y方向は凸の直交する2方向で逆に反った形であり、ミラー裏面のX方向の両端に押す力を、Y方向の両端に引く力を加えることで実現できる。

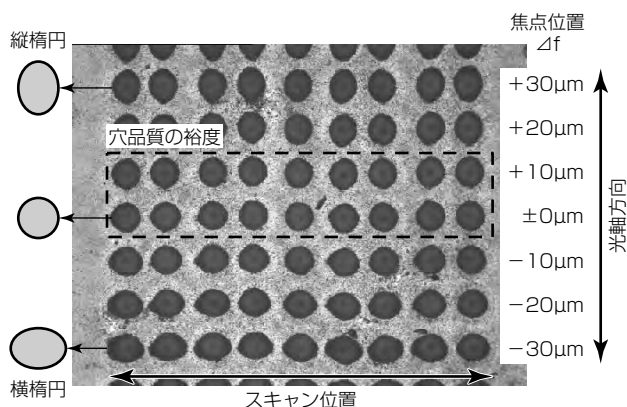


図5. マルチビーム方式で生じた加工穴の歪み

すなわち、この収差補正ミラーでは補正対象を非点収差に限定し、実現すべき変形形状を鞍形ただ一つに絞った。

#### 3.2 構造と動作

次に、収差補正ミラーに必要とされる変形量を見積った。図4に示した各光学部品について、形状誤差(平面度)の仕様値からその部品によって発生する非点収差の量を算出する。そして、システム全体の非点収差の量が最大になるよう、光路に沿った全部品の非点収差を積み上げ、これを相殺するために必要な収差補正ミラーの最大変形量、 $5\mu\text{m}$ を算出した。

図7にこの収差補正ミラーの構造を示す。加工穴の楕円形状が時間変化をしないことに着目し、荷重の生成にはねじを用いることにした。さらに、現場や客先での調整を念頭に誰にでも簡単に操作できるよう、ねじ1本だけで変形させるようにした。

反射ミラーは裏面側に板Aと板Bを備える。板AはX方向の両端で、板BはY方向の両端で、反射ミラーの裏面に接合される。板Aと板Bの間には、 $5\mu\text{m}$ という微小な変形を実現するために、差動式マイクロメータに用いられている上下でピッチの異なるねじ(調整ねじ)を設けた。

図8に示すように、中立状態から調整ねじを左に回転さ

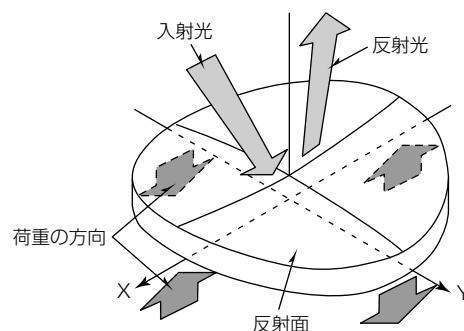


図6. 収差補正ミラーの変形形状

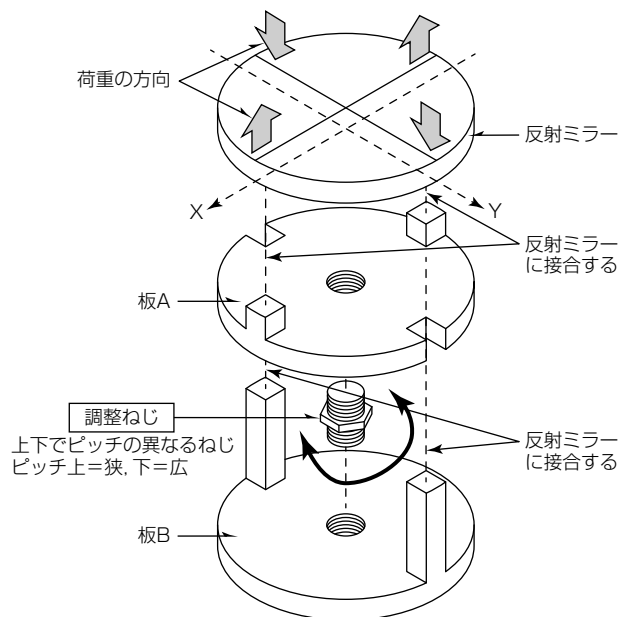


図7. 収差補正ミラーの構造

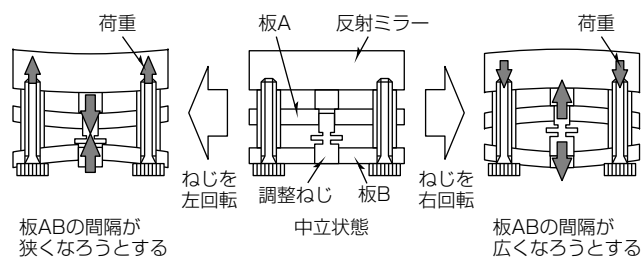


図8. 収差補正ミラーの動作

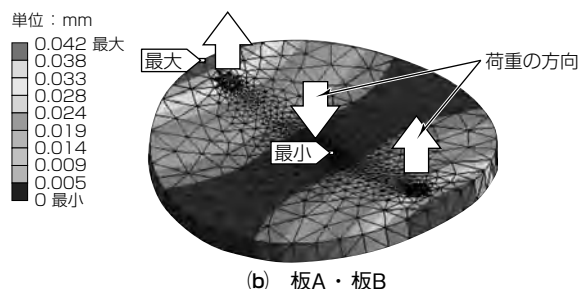
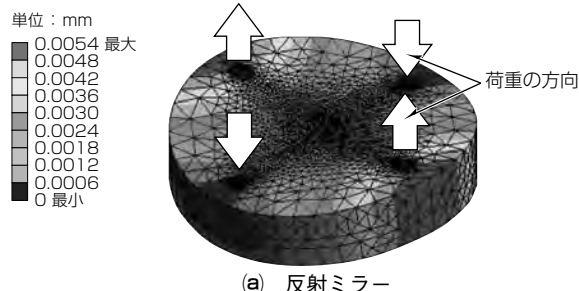


図9. 変形量の解析

せると、上下でねじの進む量が異なるため、板Aと板Bの間隔は狭くなろうとする。このため、反射ミラーの板Aに接合された部分と、板Bに接合された部分で逆方向の荷重が発生し、反射ミラーは鞍形に変形する。逆に、調整ねじを右に回転させると、X方向とY方向で凸と凹が入れ替わった逆の鞍形になる。

### 3.3 変形感度の適正化

変形量は最大で5  $\mu\text{m}$ のため、実際には0.1  $\mu\text{m}$ レベルで変形を制御する必要がある。調整ねじを少し回しただけで収差補正ミラーが $\mu\text{m}$ レベル以上で大きく変形すると、穴の真円率の調整は困難になる。そこで、調整ねじの回転に対する変形量、つまり変形感度の調整を図った。

図9のように、構造解析を用いて、反射ミラーと板A・板Bの板厚バランスを調整し、反射ミラーよりも板A・板Bの変形の方が大きくなるようにした。すなわち、調整ねじのピッチ差の大半を板Aと板Bの変形で受け止め、反射ミラーの変形が緩やかになるようにした。その結果、調整ねじ0.5周でミラー変形量5  $\mu\text{m}$ の制御を実現した。

### 4. 加工品質の改善

図10に収差補正ミラーの外観を、図11に干渉計によって測定した変形前後の反射ミラーの形状を示す。狙いどおり鞍形が生み出せていることが分かる。

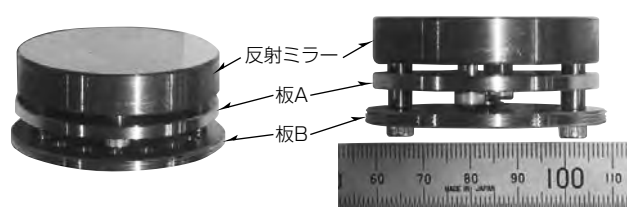


図10. 収差補正鏡の外観

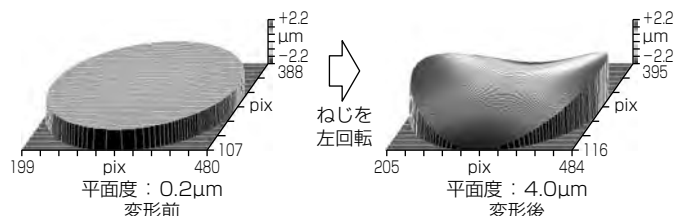


図11. 実測形状

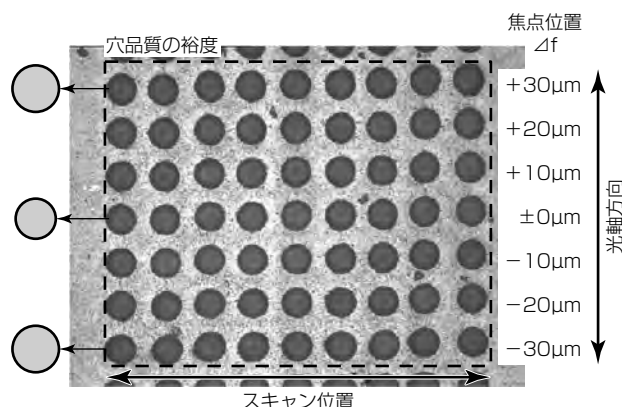


図12. 収差補正ミラーによる穴形状の改善

図4に示したマルチビーム方式の光学部品のうち、ミラー(S)の部分にこの収差補正ミラーを適用し、その変形量を調整した後の加工穴を図12に示す。図5に比べ、光軸方向の裕度が大幅に拡大している。

不足していた加工裕度の必要量の確保に成功したことで、1.6倍の高速化と $\phi 50 \mu\text{m}$ の小径化を両立させるレーザ加工機を実現した。

## 5. む す び

最近、配線自由度の高さから空間を節約でき、電子機器の小型軽量化に有効なフレキシブル基板が多用されるようになってきた。フレキシブル基板はポリイミド樹脂からなり、紫外光(UV)レーザで加工される。このため、UVレーザ加工機のニーズが高まっている。

またUVレーザの波長は従来の炭酸ガス( $\text{CO}_2$ )レーザの1/30であり、更なる小径化の可能性も持っている。今後、UVレーザ加工機で用いられる、ミラー基材が石英の収差補正ミラーも開発していく必要がある。

### 参 考 文 献

- (1) 竹野祥瑞, ほか: マルチビーム光学系によるプリント配線板穴あけ用レーザ加工機の高速度化, 三菱電機技報, 84, No.12, 697~700 (2010)

# 電子式電力量計“M2PMシリーズ”

植野 岳\*

Electronic Watthour Meter "M2PM Series"

Gaku Ueno

## 要 旨

一般産業用途向けの電力量計はオフィスビル、商業施設等に設置され、電気の料金取引に使用される計器である。従来機種の誘導形電力量計では、設置時の結線間違い、検針時の計量値の読み間違い・書き間違い・入力間違いによる課金トラブルが発生しており、ビルオーナー、ビル管理会社(ユーザー)から誤結線防止・誤検針防止の要望がある。

これらのニーズに対応するため、三菱電機はモバイル端末のBluetooth(注1)通信によるモバイル検針や誤結線判別が可能な電子式電力量計M2PMシリーズを開発した。主な機能は次のとおりである。

### (1) モバイル検針“モバ検”

誤検針防止のために、ユーザーが導入容易な手段としてモバイル用検針モジュールを取り付けることでモバイル端

末(タブレット端末・スマートフォン)を用いてBluetooth通信によって検針可能な機能を搭載した。

### (2) 誤結線判別機能

設置時の結線間違いを防止するために、計量の状態を電力量計の液晶画面に表示する機能を搭載した。

### (3) 停電時表示機能

電池モジュールを取り付けることで停電時でも液晶画面に計量値を表示できるため、通電されていない電力量計の設置前、更新後の計量値の読み取りが可能である。

### (4) 普通耐候

耐候性能を従来機種である誘導形電力量計“M2LM形”と同じ普通耐候とした。

(注1) Bluetoothは、Bluetooth SIG, Inc.の登録商標である。



## M2PMシリーズのモバイル検針“モバ検”

Bluetooth通信を利用した検針が可能な電子式電力量計M2PMシリーズによってモバイル端末で計量値のデータを取得することで計量値の“読み間違い”“書き間違い”“入力間違い”を防止し、検針データの管理をサポートする。

# 1. ま え が き

電力量計で従来機種の誘導形電力量計では、設置時の結線間違い、検針時の計量値の読み間違い・書き間違いによる課金トラブルが発生しており、ビルオーナー、ビル管理会社から誤結線防止、誤検針防止の要望がある。これに対応して当社は、モバイル端末のBluetooth通信によるモバイル検針や誤結線判別が可能な電子式電力量計M2PMシリーズ(表面形)を開発した。この電力量計は誘導形電力量計M2LM形との取付け互換及び配線互換があるため改造工事不要で置き換えが可能である。

# 2. M2PMシリーズ

## 2.1 製品仕様

M2PMシリーズの主な製品仕様を表1に示す。

誘導形電力量計“M2LM形”と同様の表面形の単相2線式、単相3線式、三相3線式の定格をラインアップした。誘導形電力量計の仕様に加え、細かな計量を行いたいユーザー向けにパルスの出力単位を指定可能にした。また、ニーズに応じてモジュールの追加による機能拡張が可能である。

## 2.2 製品機能

### (1) モバイル検針による誤検針の防止(オプション)

オプションのモバイル用検針モジュールを電力量計に取り付け、検針用のアプリケーションを使用することでモバイル端末を用いた検針が可能である。取得したデータはモバイル端末のメール機能によってパソコンに送信でき、検針データの管理をサポートする。検針用のアプリケーション(無料)はApp Store<sup>(注4)</sup>、Google Play<sup>(注5)</sup>から入手が可能である。

### (2) 誤結線判別機能

誤結線は、検針時の計量値の変化を確認するだけでは判

別が難しく、発見が遅れる場合が多い。全相の計量状態に加えて、各相の計量状態を液晶画面に表示することで、判別できる誤結線の種類を大幅に増加させた。

### (3) 停電時表示機能(オプション)

オプションの電池モジュールを取り付けることで停電時でも計量値を液晶画面に表示できる。これによって、電力量計の設置前、更新後の計量値の読み取りが可能である。

### (4) オプションの後付けによる機能拡張

モバイル用検針モジュール、電池モジュールなどのオプションのモジュールを後付けできるため、運用状況によって機能拡張が可能である。またモジュールを筐体(きょうたい)内に封印可能な構造とすることでモジュールの盗難防止、セキュリティを確保している。

### (5) 普通耐候

耐候性能を誘導形電力量計M2LM形と同じ普通耐候とした。普通耐候の電力量計は屋外の雨線内又は屋内で、直射日光を受けにくい環境に設置できる(図1)。

### (6) 停電補償

計量値は不揮発性メモリに記憶するため、停電時でもデータを保持する。また、電力量計は電気の料金取引に利用するためデータの信頼性が非常に重要であり、M2PMシリーズではデータの多重化等を実装している。

(注4) App Storeは、Apple Inc. のサービスマークである。

(注5) Google Playは、Google LLC. の登録商標である。

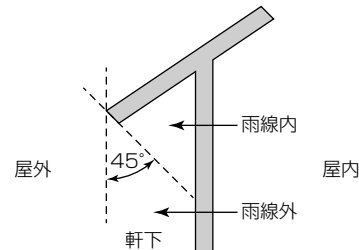


図1. 普通耐候の環境(雨線内)

表1. M2PMシリーズ(表面形)の主な製品仕様

項目		M2PMシリーズ(表面形)の仕様							
形名		M1PM-R, M1PM-S34R(発信装置付き)				M2PM-R, M2PM-S34R(発信装置付き)			
取付け・接続方法		表面取付け・表面接続							
相線式		単相2線式				単相3線式, 三相3線式			
定格電流(A)		30	120	5	30	60	120	5	
耐候性能		普通耐候		屋内耐候	普通耐候			屋内耐候	
外形寸法(mm)	幅	119.0	119.0	119.0	154.0		166.4	154.0	
	高さ	159.1	172.0	159.1	202.1		217.1	202.1	
	奥行き <sup>(注2)</sup>	90	90	90	90		90	90	
質量(kg) <sup>(注3)</sup>		0.6	1.0	0.6	0.9	1.0	1.5	0.8	
表示	計量値	6桁表示							
	状態	動作・無負荷・逆電流							
	誤結線判別	誤結線の可能性がある相を表示							
発信装置パルス出力単位(kWh/パルス)		電力量計の乗率×10, ×1, ×1/10, ×1/100							
オプション		モバイル用検針モジュール, 電池モジュール							
停電補償		計量値: 不揮発性メモリに記憶し, 復電時に再表示 表示: 停電時消灯(電池モジュールを接続することで停電時も計量値表示が可能)							

(注2) 誘導形電力量計M2LM形と比較して薄形。例としてM2LM単相3線式120Aが奥行き131.5mm。

(注3) 誘導形電力量計M2LM形と比較して軽量。例としてM2LM単相3線式120Aが質量4.0kg。

### 3. 特長及び製品化のための技術

#### 3.1 モバイル検針

従来の検針では、検針員は各部屋又は電気室にまとめて設置された多数の電力量計の表示を目視で読み取り、計量値を紙に書き込んでいる。モバイル検針を用いることで、目視による読み取り、書き込み作業を廃止し、検針作業をサポートする(図2)。

##### (1) モバイル検針アプリケーション

検針に使用する検針用のアプリケーションは検針データ一覧表示などの視認性を考慮した画面構成とし、また操作数を削減できるようユーザーインターフェースを設計した(図3)。

##### (2) BLE通信の適用

モバイル検針の通信は、モバイル用検針モジュールやモバイル端末の通信処理の消費電流を抑えることができ、目視検針をサポートするために十分な通信距離(通信可能範囲半径10m)を持つBLE(Bluetooth Low Energy)を採用した。

電力量計は複数台がまとめて設置される場合があり、同

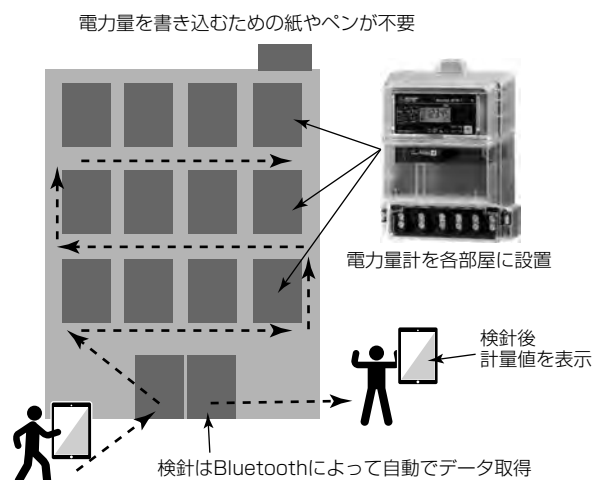


図2. モバイル検針

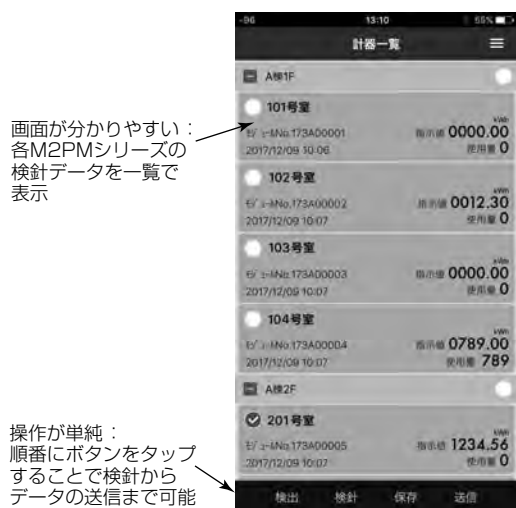


図3. モバイル検針アプリケーション画面

時に通信すると電波が混信して通信できないおそれがある。モバイル用検針モジュールでは個々のモジュールの電波送信間隔を変化させることで混信を回避した。これによって、同一通信圏内で同時に20台の検針を可能にした。

##### (3) 検針データの管理

取得したデータはCSV(Comma Separated Value)ファイル形式で出力できる(図4)。モバイル端末のメール送信機能を使用することで、検針したその場でユーザーのパソコンにデータを送信できる仕組みとした。受け取ったユーザーはパソコンの表計算ソフトウェア等を用いてデータを編集することで、検針データ管理や請求書の作成が可能である。

#### 3.2 誤結線判別機能

従来の誘導形電力量計では、設置時に結線間違いした場合、正確な電力測定ができず課金トラブルにつながっている。M2PMシリーズでは各相の電圧、電力を監視し、計測の状態を液晶画面に表示することで誤結線判別をサポートする機能を搭載した。

誘導形電力量計では円板の回転状態で無計量や逆電流を判別できるが、単相3線での第1相だけの接続間違い等は検出できなかった。M2PMシリーズでは各相の逆電流を検出するため、各相の誤結線の判別が可能である(図5)。

連番	グループ名称	計器名称	検針日付	指示値	今回使用量
50	A棟 5F	505号室	2017/02/19 10:35	144105	887
49	A棟 5F	504号室	2017/02/19 10:35	164519	650
48	A棟 5F	503号室	2017/02/19 10:34	186814	400
47	A棟 5F	502号室	2017/02/19 10:22	159840	721

： 指示値  
： 検針した電力量  
今回使用量： 前回検針時の電力量との差

図4. 検針データの出力ファイル



図5. 誤結線判別表示

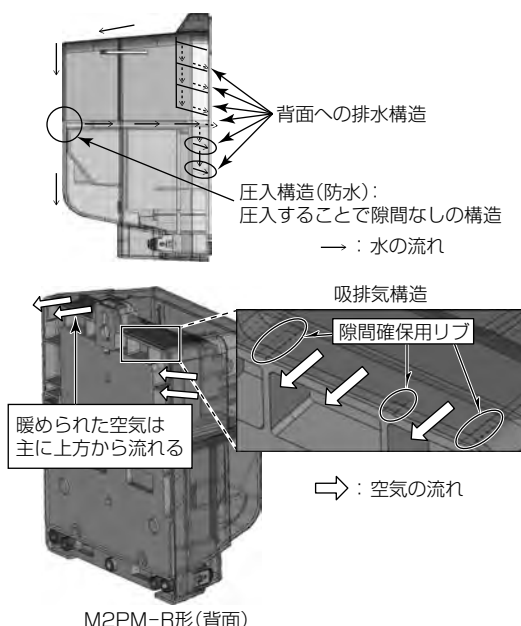


図6. 防水・排水構造と吸排気構造



図7. 需要家封印の構造

### 3.3 普通耐候

#### (1) 普通耐候の課題

誘導形電力量計M2LM形は金属製の筐体で、筐体の隙間をゴムパッキンとねじ締めによって密閉することで防水性能を確保していた。M2PMシリーズでは部品点数を削減し、組立てを容易にするために、樹脂製の筐体かつゴムパッキンレス、ねじレスとしたため、密閉性を確保することが困難であった。

#### (2) 防水・排水構造と吸排気構造

耐候性能を向上させるため、防水構造、浸入する水の排水経路、電力量計内部にたまった湿気が時間経過で抜けるように吸排気の構造を検討した。筐体の合わせ面の段差、圧入構造によって防水性能を向上させ、電力量計内部に浸入する水を背面に排水し、かつ表面張力が発生しにくい構造にすることで排水性能を向上させた。また、筐体にリブを設けることで隙間を確保し、十分に吸排気可能な構造とした(図6)。

### 3.4 オプション取付け構造

#### (1) 後付け構造のメリット

電力量計本体にオプションの電池モジュールやモバイル用検針モジュールを後付け可能な構造にすることで、製品発注時の煩雑さを解消し、ユーザーで必要な機能を必要な時期に取り付けできる拡張性を備え、ユーザーの使い勝手を大幅に向上させた。

#### (2) 後付け構造の実現

オプションのモジュールは、ユーザーで取り付け／取り外しが可能、かつ盗難防止やセキュリティの確保が要求されるため、後付け可能な構造の実現が課題となる。

電気の料金取引に使用される電力量計は公正な計量を

担保するため、第三者による分解を防止する封印構造を具備しており、封印構造には検定封印と需要家(ユーザー)封印がある。検定封印は電力量計の計量に係る重要な機構を封印するため、封印後にユーザーが封印を操作することはできない。一方、需要家封印は、意図的な盗電や誤結線などの防止を目的に端子カバーを封印するもので、ユーザーが封印を操作・管理することが可能である。

そこでM2PMシリーズでは、需要家封印の範囲を拡大し、端子カバー内にモジュールを取り付け可能な構造にすることで課題を克服した(図7)。

### 3.5 データの多重化とログ機能

電力量計は電気の料金取引に利用するためデータの信頼性が非常に重要である。料金取引に使用されるデータが破壊された場合、ユーザーに損害を与えるおそれがある。

そこで、内部データ(計量値等)を多重に持ち、各データの正常性を確認し、正常なデータを採用することでデータの信頼性を大幅に向上させる仕様にした。

また、電源監視、リセット監視等のログを記録する機能を搭載したため、問題発生時にログを解析することで、原因究明を早急に行える。

## 4. むすび

モバイル端末のBluetooth通信によるモバイル検針と誤結線判別が可能な電子式電力量計M2PMシリーズについて述べた。

今後はM2PMシリーズのラインアップの拡充(三相4線式、埋め込み形の追加)やモバイル検針の機能拡張に取り組んでいく。



# MDUブレーカ“W&WSシリーズ”の ラインアップ拡充と性能向上

大橋博章\*  
 末澤博敏\*  
 山崎晴彦\*

*Expansion of Line-up and Performance Improvement of MDU Breaker "W&WS Series"*

*Hiroaki Oohashi, Hirotoshi Suezawa, Haruhiko Yamazaki*

## 要 旨

地球温暖化の要因の一つである温室効果ガスの排出削減のため省エネルギー活動が活発化する中、エネルギー管理活動を支援する省エネルギー支援機器の一つとして、三菱電機はMDU(Measuring Display Unit)ブレーカを提供している。MDUブレーカは、遮断器本体に計測用CT(Current Transformer)・VT(Voltage Transformer)を内蔵し、負荷電流・線間電圧・電力・電力量等の各種電氣量を計測でき、省スペース・省施工、高機能・多機能を特長としている。近年では、電力需要平準化の推進など、更に一歩進んだエネルギー管理活動を行うに当たり、高機能・多機能を維持した上で、より使いやすい製品ラインアップの要求が高まっている。このような背景から、MDUブレーカ“W&WSシリーズ”として、LCD表示タイプの400~800Aフレーム機種を新たにラインアップし、表

示画面の視認性の向上及び表示機能の充実化を図った。

W&WSシリーズの主な特長は、

- (1) 高輝度白色バックライトを搭載したLCD表示
- (2) 表示機能の充実化
  - ① 設定値の一覧表示機能
  - ② 任意要素表示機能
  - ③ 電流／電圧要素の三相(四相)一括表示機能
  - ④ 警報発生時赤色バックライト表示機能

であり、技術的な課題とその対策は、

- (1) LCDバックライトの設計効率改善
  - (2) EMI(ElectroMagnetic Interference)対策のフロントローディング
- である。



NF400-SEWMB 本体取付け



NF400-SEWMB 内蔵表示

## MDUブレーカ“W&WSシリーズ”

MDUブレーカの新機種(W&WSシリーズ)ノーヒューズブレーカ400Aフレームの本体取付け仕様と内蔵表示仕様の製品外観を示す。

## 1. ま え が き

地球温暖化の要因の一つである温室効果ガスの排出削減のため省エネルギー活動が活発化する中、エネルギー管理活動を支援する省エネルギー支援機器の一つとして、当社はMDUブレーカを提供している。MDUブレーカは、遮断器本体内に計測用CT・VTを内蔵し、負荷電流・線間電圧・電力・電力量等の各種電気を計測でき、

- (1) 省スペース・省施工
- (2) 高機能・多機能

を特長としている。近年は電力需要平準化の推進など、更に一歩進んだエネルギー管理活動が求められており、更なる性能向上を織り込んで新機種であるW&WSシリーズを開発した。今回の開発では使いやすさの向上を目的として、

- (1) 視認性の向上
- (2) 表示機能の充実化

の二つに重点を置いて設計した。

本稿では、W&WSシリーズの新機種の主な特長と、技術的課題と対策について述べる。

## 2. 製品ラインアップと新機種の特長

### 2.1 製品ラインアップ

製品ラインアップを表1に示す。今回ラインアップした新機種(表1の黒枠部分)では、225/250AフレームLCD表示タイプと合わせてパネルカット内で表示できる仕様(内蔵表示)を追加し、7セグメントLED 6桁表示タイプと同様の本体取付け仕様もニーズに合わせて選定可能にした。

### 2.2 新機種の特長

使いやすさの向上を目的とし、新機種のW&WSシリーズでは視認性の向上及び表示機能の充実化を図った。

#### 2.2.1 視認性の向上

高輝度白色バックライトを採用したLCD表示を搭載した。使用環境に応じ、通常表示(図1(a))と反転表示(図1(b))を選択可能にした。

#### 2.2.2 表示機能の充実化

LCD表示の機能を活用し、次の表示機能を搭載した。

- (1) 設定値の一覧表示機能(本体取付け仕様だけ)

過負荷・短絡保護特性設定(遮断器本体で設定)値一覧などを、表示画面で確認できる表示機能(図2)を搭載した。

- (2) 任意要素表示機能(本体取付け仕様だけ)

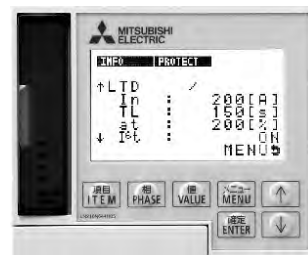
必要な計測要素を任意に登録し、確認できる任意要素表示機能(図3)を搭載した。



(a) 通常表示(三相表示)

(b) 反転表示(三相表示)

図1. LCD表示画面



上下ボタンの押下で、  
・長限時動作設定(LTD)  
・短限時動作設定(STD)  
・瞬時動作設定(INST)  
の設定値確認が可能

図2. 設定値一覧表示機能のLTD設定値画面

表1. 製品ラインアップ

フレーム	表示タイプ	7セグメントLED 6桁表示タイプ	LCD表示タイプ
225/250A フレーム	ノーヒューズ遮断器	NF225-SWM	NF250-SEVM/HEVM
	漏電遮断器	NV225-SWM	NV250-SEVM/HEVM
	漏電アラーム遮断器	NF225-ZSWM	NF250-ZEVM
400A フレーム	ノーヒューズ遮断器	NF400-SEPMA/HEPMA	NF400-SEWMB/HEWMB
	漏電遮断器	NV400-SEPMA/HEPMA	NV400-SEWMB/HEWMB
	漏電アラーム遮断器	NF400-ZEPMA	NF400-ZEWMB
600/630A フレーム	ノーヒューズ遮断器	NF600-SEPMA/HEPMA	NF630-SEWMB/HEWMB
	漏電遮断器	NV600-SEPMA/HEPMA	NV630-SEWMB/HEWMB
	漏電アラーム遮断器	NF600-ZEPMA	NF630-ZEWMB
800A フレーム	ノーヒューズ遮断器	NF800-SEPMA/HEPMA	NF800-SEWMB/HEWMB
	漏電遮断器	NV800-SEPMA/HEPMA	NV800-SEWMB/HEWMB
	漏電アラーム遮断器	NF800-ZEPMA	NF800-ZEWMB
本体計測 許容差	・負荷電流、線間電圧 ・電力 ・高調波電流、漏洩電流、 高調波含有漏洩電流 ・電力量 ・力率	: ±2.5% (計測定格に対して) : ±2.5% (計測定格に対して) : ±2.5% (計測定格に対して) : ±2.5% (定格5~100%, pf=1) : ±5.0% (90°電気角に対して)	今回の開発機種 ・負荷電流、線間電圧 : ±1.0% (計測定格に対して) ・電力 : ±1.5% (計測定格に対して) ・無効電力、高調波電流、 漏洩電流、周波数、 高調波含有漏洩電流 : ±2.5% (計測定格に対して) ・電力量 : ±2.0% (定格5~100%, pf=1) ・無効電力量 : ±3.0% (定格10~100%, pf=0) ・力率 : ±5.0% (90°電気角に対して)



図3. 任意要素表示画面

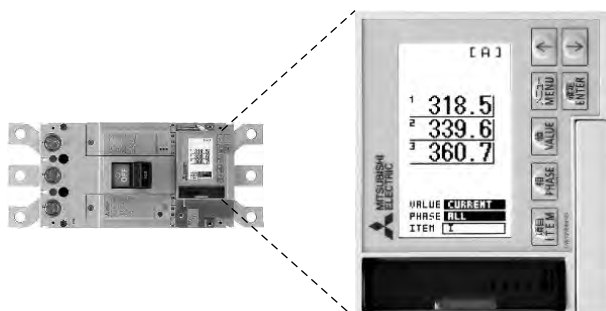


図4. 三相一括表示画面(ブレーカ横取付け時)



図5. 警報発生時の赤色バックライト表示画面

### (3) 三相(四相)一括表示機能

計測要素(電流・電圧)について、各相の一括表示機能(図4)を搭載した。また遮断器横取付け時に表示方向を変更できる仕様とした。

### (4) 警報発生時の赤色バックライト表示機能

警報発生時にバックライト色を赤色とすることで、遠方からの異常察知を容易にした(図5)。さらに赤色バックライトの表示方法(点灯/点滅)を選択できる仕様にした。

## 3. 技術的課題とその対策

### 3.1 LCDバックライトの設計効率改善

LCDの視認性を向上させるため、導光板を用いたバックライト方式を採用した。ここで、バックライト色は白色/赤色の2種類である。シミュレーションを活用することでトライ&エラーを減らし、効率的に高輝度でむらの少ない設計を行った。具体的には、導光板の入射端面・表面形状と、バックライト用LEDの実装位置・必要点数、また反射/拡散シートの形状などの条件を振り、LCD全体の輝度が高く、かつむらの少なくなる条件を割り出した。

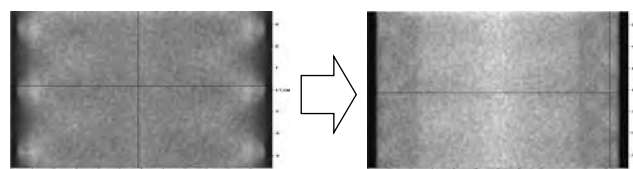


図6. LCD用バックライト設計のシミュレーション結果

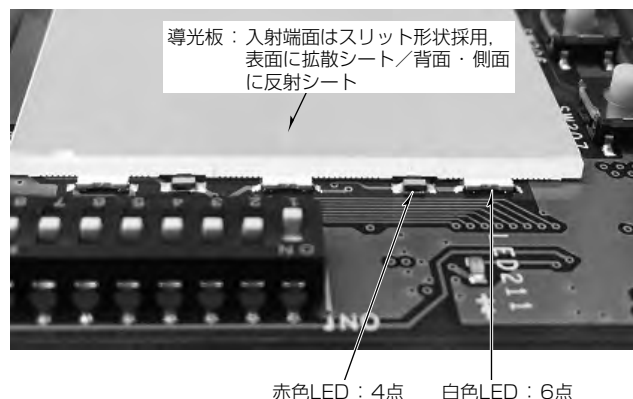


図7. バックライト用LED実装基板と導光板

シミュレーション結果を図6、バックライト用LEDを実装した基板と導光板を図7に示す。

### 3.2 EMI対策のフロントローディング

電気機器から放出される電氣的ノイズは、空間を介して、又は電線路を伝搬して、他の電気機器や無線設備などの動作に影響を与えることがあるため、エミッションレベルを基準値以下にすることが求められる。特に実装面積で制約の多い製品開発の場合、開発後期である評価段階での見直し(部品追加/変更、基板パターン変更など)は制約の多い条件下での再設計に加えて変更に伴う再評価が必要になり、開発工期に与えるインパクトが大きい。ここでは、開発初期である回路設計、及び基板設計フェーズに実施した伝導及び放射ノイズ対策に対して実施したフロントローディングについて述べる。

#### 3.2.1 伝導ノイズ対策のフロントローディング

##### (1) 回路解析モデルの検討

伝導ノイズ対策として入れた電源回路入力段のノイズフィルタ回路(CRパッシブフィルタ)によって、ノイズレベルを基準値以下に抑制する必要がある。実装制約が多いのでフィルタ段数の追加等による回路の見直しは、後戻りが大きく納期遅延の要因となる。そこで、伝導ノイズの原因となるノーマルノイズ及びコモンノイズはいずれも電源回路のスイッチングトランスが伝搬経路になることに着目し、スイッチングトランスの高精度な等価回路を織り込んだ回路解析モデルを用いたシミュレーションで回路検討を行った。スイッチングトランスの等価回路を図8に示す。

スイッチングトランスの等価回路定数(漏インダクタンスや巻線浮遊容量等)については、採用部品のインピーダンスを測定して算出した値を採用している。

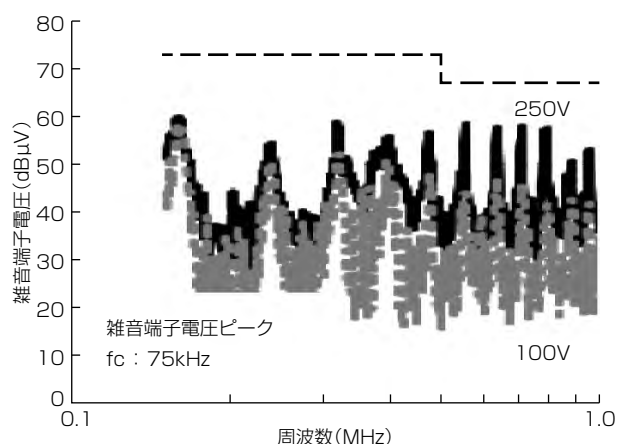
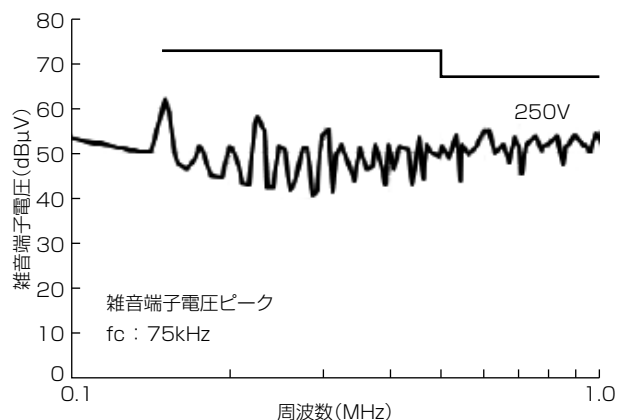
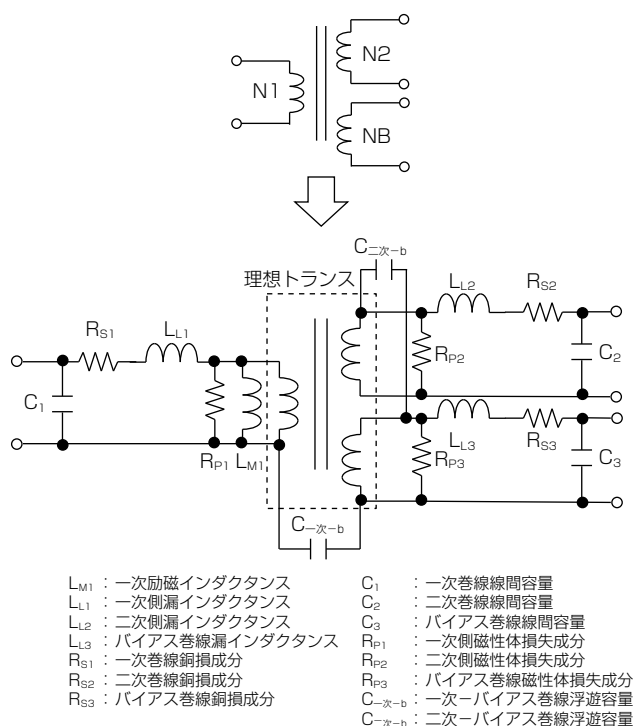
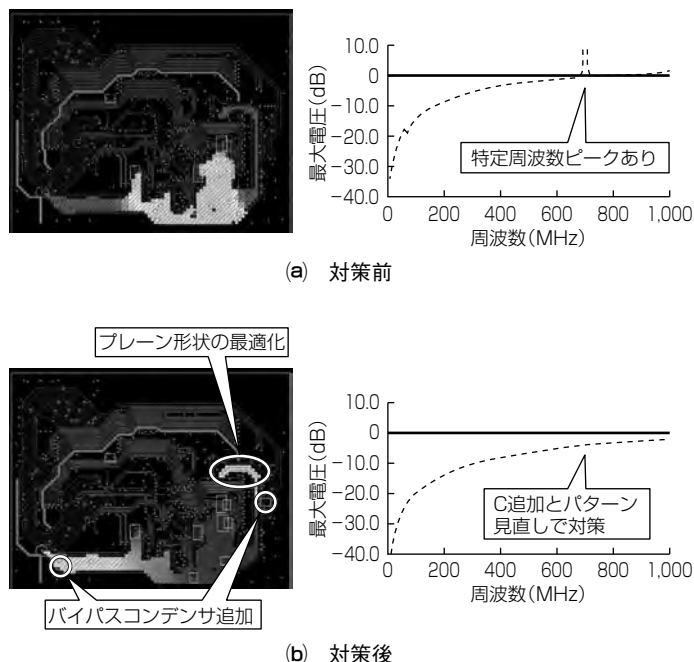


図9. 伝導ノイズの評価



## (2) シミュレーション結果と実測データ

設計初期段階で、高精度な等価回路解析モデルによるシミュレーションでノイズレベルを基準値以下となるようにフィルタ段数及び部品定数を決定した。ここで、スイッチング電源のキャリア周波数( $f_c$ )は、設計値である75kHzとして行っている。続いてこの回路条件で試作品の製作を行い、実機測定を行った結果、良好な評価が得られた。すなわち設計初期段階に高精度のシミュレーションによって必要なフィルタ構成を確認するというフロントローディングによって、開発工期短縮を実現した。伝導ノイズシミュレーション結果を図9(a)、また実機での測定結果を図9(b)に示す。

### 3.2.2 放射ノイズ対策のフロントローディング

放射ノイズ対策として、基板設計の段階で放射ノイズの発生原因となる電源-グランドプレーン間の共振解析を行い、電源-グランドプレーン形状の最適化及びバイパスコンデンサ追加を取り入れた。これによって、特定周波数のピーク抑制、及びノイズ電圧レベルを基準値以下に抑制する設計にした。放射ノイズの対策前と対策後の基板共振解析結果を図10に示す。

## 4. む す び

MDUブレーカの新機種の特長と、技術的課題とその対策について述べた。今後ともユーザーニーズに対応した高品質の製品開発に取り組んでいく。