



家庭から宇宙まで、エコチェンジ 

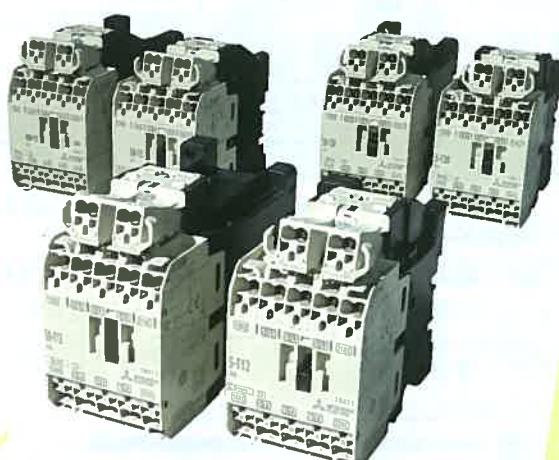
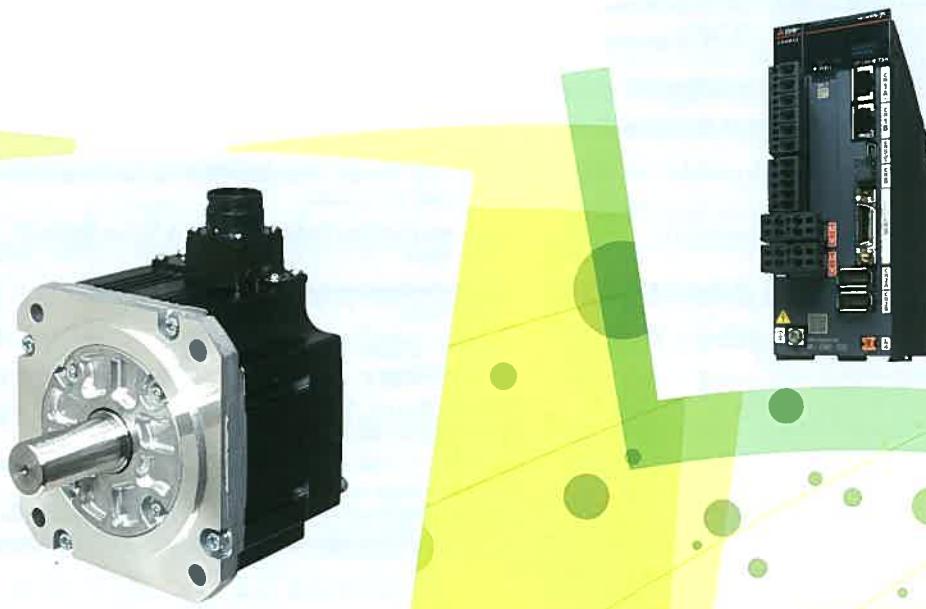
# 三菱電機技報

4

2020

Vol.94 No.4

## 最新のFA製品・技術・システム



# 三菱電機技報

Vol.94 No.4 2020

## 目 次

<b>特集 「最新の FA 製品・技術・システム」</b>	<b>Latest Factory Automation Products, Technologies and Systems</b>
工場のスマート化を支える三菱電機の取組み ..... <b>卷頭言 1</b>	Mitsubishi Electric's Smart Manufacturing Initiatives Yoshikazu Miyata
工場のスマート化を実現する 最新のFA技術と取組み ..... <b>卷頭論文 2</b>	Latest Factory Automation Technologies and Activities for Achieving Smart Factory Kazuhiro Kusunoki
IoT導入レベル“SMKL”適用によるスマート工場 の実現推進と産業用IoT製品の開発&販売促進 ..... 7 藤島光城	Realization of Smart Factory and Development & Sales Promotion of IIoT Products by Applying IIoT Introduction Level "SMKL" Mitsushiro Fujishima
CC-Link IE TSN対応FA製品群 ..... 11 原川 翼・挺屋規宏・高橋雅也	FA Products for CC-Link IE TSN Tsubasa Harakawa, Norihiro Tsuchiya, Masaya Takahashi
CC-Link IE TSN対応モーションユニット "RD78GH/RD78G" ..... 15 三原 弘・衛藤嘉彦	CC-Link IE TSN Compatible Motion Modules "RD78GH/RD78G" Hiroshi Mihara, Yoshihiko Eto
CC-Link IE TSN対応ACサーボアンプ "MELSERVO-J5シリーズ" ..... 19 大平 啓	CC-Link IE TSN Compatible AC Servo Amplifier "MELSERVO-J5 Series" Satoshi Ohdaira
新型サーボモータ“HKシリーズ” ..... 24 小林弘樹・土屋文昭・中村雄一朗・金森大輔・野口琢也	New Servo Motors "HK Series" Hirotaki Kobayashi, Fumiaki Tsuchiya, Yuichiro Nakamura, Daisuke Kanamori, Takuya Noguchi
CC-Link IE TSN対応 "MELSERVO-J5" サーボシステム向けドライブエンジニアリング環境 ..... 28 竹内俊策・國枝重利・田中慎次	Drive Engineering Environment for CC-Link IE TSN Compatible "MELSERVO-J5" Servo System Shunsaku Takeuchi, Shigetoshi Kunieda, Shinji Tanaka
FAアプリケーションパッケージ "iQ Monozukuri工程リモート監視" ..... 32 大小崎紗智・兼子弘也	FA Application Package "iQ Monozukuri PROCESS REMOTE MONITORING" Saki Okojima, Hiroya Kaneko
数値制御装置リモートサービス "iQ Care Remote4U" ..... 36 勝田喬雄	Computerized Numerical Control Remote Service "iQ Care Remote4U" Takao Katsuta
スプリングクランプ端子仕様電磁接触器・電磁継電器 ..... 40 林 亨	Magnetic Contactors and Relays with Spring Clamp Terminals Tohru Hayashi
省エネ支援アプリケーション "EcoAdviser" ..... 44 武田泰治	Energy Saving Support Software "EcoAdviser" Yasuharu Takeda
省施工と品質安定に貢献するスプリングクランプ 端子仕様遮断器・サーキットプロテクタ ..... 48 小池悠太	Circuit Breakers and Circuit Protectors with Spring Clamp Terminal Contributing to Labor Saving and Stable Quality Yuta Kohi
AI技術 "Maisart" を活用した外観検査自動化への取組み ..... 52 松本浩輝・今野有作・峯澤 彰・飯島昌平・式田秀男	Efforts to Automate Visual Inspection Using AI Technology "Maisart" Koki Matsumoto, Yusaku Konno, Akira Minezawa, Shohei Iijima, Hideo Shikida
<b>Webサイト紹介(三菱電機FAサイト) ..... 56</b>	
<b>特許と新案</b>	
「パラメータ選定支援システム、パラメータ選定 支援方法およびパラメータ選定支援プログラム」	
「回路遮断器」 ..... 57	
「時刻同期システム、タイムマスター、管理マスター および時刻同期方法」 ..... 58	

表紙：最新の FA 製品・技術・システム

三菱電機は、先端技術と最高品質をベースとしたFA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”的提供を通じ、世界のものづくりに貢献し、顧客満足OnlyOne FA Supplierへの挑戦を行っている。

本号では、このe-F@ctoryを支える最新のFA技術・システムについて紹介する。

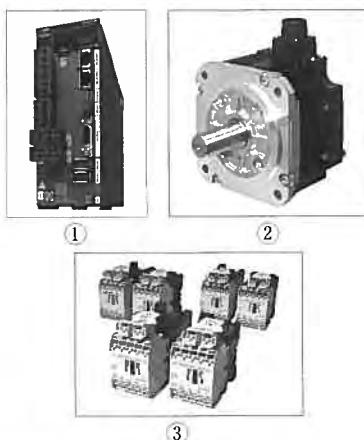
産業用ネットワーク“CC-Link IE TSN”を基軸としたソリューション連携機能を大幅強化し、基本性能、機能についても業界最高クラスを達成した。

### 3. サーボモータ“UKシリーズ”

基本性能を強化し、バッテリーレスエンコーダ搭載や大幅なラインアップ強化を実現した

### ③スプリングタランプ端子仕様電磁接触器

ねじ締め作業において、簡単に確実な電線の接続が可能になる。長期間の使用で  
接触部が緩むことなく、点検時の操作も簡単である。



# 卷頭言

## 工場のスマート化を支える三菱電機の取組み

Mitsubishi Electric's Smart Manufacturing Initiatives



宮田芳和 *Yoshikazu Miyata*

FAシステム事業本部長

*Group President, Factory Automation Systems*

三菱電機は、2020年度に創立100周年を迎えます。長年培った技術によって、暮らしを表すライフ、生活に必要なものを生み出すインダストリ、社会を支えるインフラ、これらをつなぐモビリティという四つの領域で価値創出への取組みを推進し、“Society5.0”的実現や“SDGs”的達成を目指しています。FAシステム事業は、インダストリ領域で、FA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”を実現する製品やサービスを提供することで工場のスマート化を支援します。

日本の製造業は、従来、熟練作業者の勘やノウハウなど人によって支えられてきましたが、少子高齢化による労働人口の減少によって、今までのような人に頼ったモノづくりは期待できなくなっています。このような環境変化に対応するため、日本の“Connected Industries”を始めとしたIoT(Internet of Things)活用による工場のスマート化の取組みが世界各国で進められています。

また、企業のグローバル化や企業間競争の激化に加え、世界的な政治・経済情勢の変化による不透明さが増すなど、企業はますます厳しい経営環境に置かれています。これらの環境変化に対応するために、“デジタルトランスフォーメーション(DX)”の推進による価値創造や迅速な意志決定に加え、従来の“モノ”的提供だけでなく“モノ”を活用したサービスやソリューションである“コト”的提供などビジネスモデルの変革が求められています。

当社は、“IoT”や“DX”という言葉が一般的に使われるようになる以前の2003年から、“e-F@ctory”によるモノづくりの変革をいち早く提唱し、工場のスマート化を支援してきました。

製造立国である日本で、グローバルでの競争激化や“モノ”と“コト”的両方に対応するためには、欧米型のIT・デジタル主導ではなく、日本ならではの技術力やノウハウなどの現場知見を取り入れることが重要なポイントになるとを考えます。

これからの“e-F@ctory”は、生産現場とITシステムとの情報連携に加え、最新のIoT技術やAI(Artificial Intel-

ligence)技術、制御技術、通信技術を取り入れるとともに、現場知見・データ活用技術・エッジコンピューティングを融合させることで工場のスマート化を推進します。

今回の特集では、工場のスマート化を実現するための先端技術の例としてエッジコンピューティング、コンパクトAI、Time Sensitive Networking(TSN)などとともに、これらを取り入れた最新の当社FA製品やソリューションについてご紹介します。

エッジコンピューティングについては、企業・産業の枠を超えたオープンソフトウェアプラットフォーム“Edgecross”を採用しました。それによって、異なるFA用ネットワークを持つ様々な現場設備と容易に通信が可能になり、IT側の様々なソフトウェアと連携するエコシステムを実現しました。

コンパクトAIについては、当社AI技術“Maisart”を用いて、カメラ映像から特定の動作を自動検出して作業分析を効率化するソリューション“骨紋”や高精度に機器異常を検知して機器のダウンタイム削減を実現する診断技術を開発しました。

TSNについては、当社は世界に先駆けて<sup>(注1)</sup>産業用オープンネットワークに適用し、“FAとITの融合”と“高速・高精度な制御”を実現する“CC-Link IE TSN”的規格化に貢献するとともに、多くの対応製品を提供しています。

さらに、当社がこれまでのモノづくりの中で培ってきた知見を生かしたソフトウェアとアプリケーションパッケージ製品“iQ Monozukuri”によるコトづくりについてもご紹介します。“iQ Monozukuri”は、現場のデータ分析や設備診断を支援し、効率的なシステム導入・拡張及び運用・保守を可能にします。

当社は、常に現場を大切にしながら“e-F@ctory”を更に進化させ、工場のスマート化を牽引(けんいん)するとともに、労働力不足の解消に役立つ製品を提供することで、“Society5.0”的実現及び“SDGs”的達成を目指します。

(注1) 2018年11月27日現在、当社調べ

## 工場のスマート化を実現する 最新のFA技術と取組み

Latest Factory Automation Technologies and Activities for Achieving Smart Factory



楠 和浩\*  
Kazuhiko Kusunoki

### 要 旨

IoT(Internet of Things)技術やAI(Artificial Intelligence)技術を活用した工場のスマート化がグローバルに進行する中、三菱電機は生産現場を起点としたFA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”を提供することで、工場のスマート化の実現を支えてきた。

工場のスマート化を実現する当社の最新のFA技術と取組みの事例は次のとおりである。

#### (1) IoT導入レベル“SMKL”

工場のスマート化の現状や将来進むべき方向性を経営層と現場との間で共有するための指標である。

#### (2) 産業用オープンネットワークCC-Link IE TSN<sup>(注1)</sup>

現場改善のための様々な粒度のデータ収集と制御サイクルの高速化の両立を支える。

#### (3) Edgecross<sup>(注2)</sup>対応ソフトウェア“iQ Edgecross”

多様な生産現場を対象に生産現場データの活用を推進するエッジコンピューティング領域のオープンなソフトウェアプラットフォームEdgecrossに対応するソフトウェア製品群である。

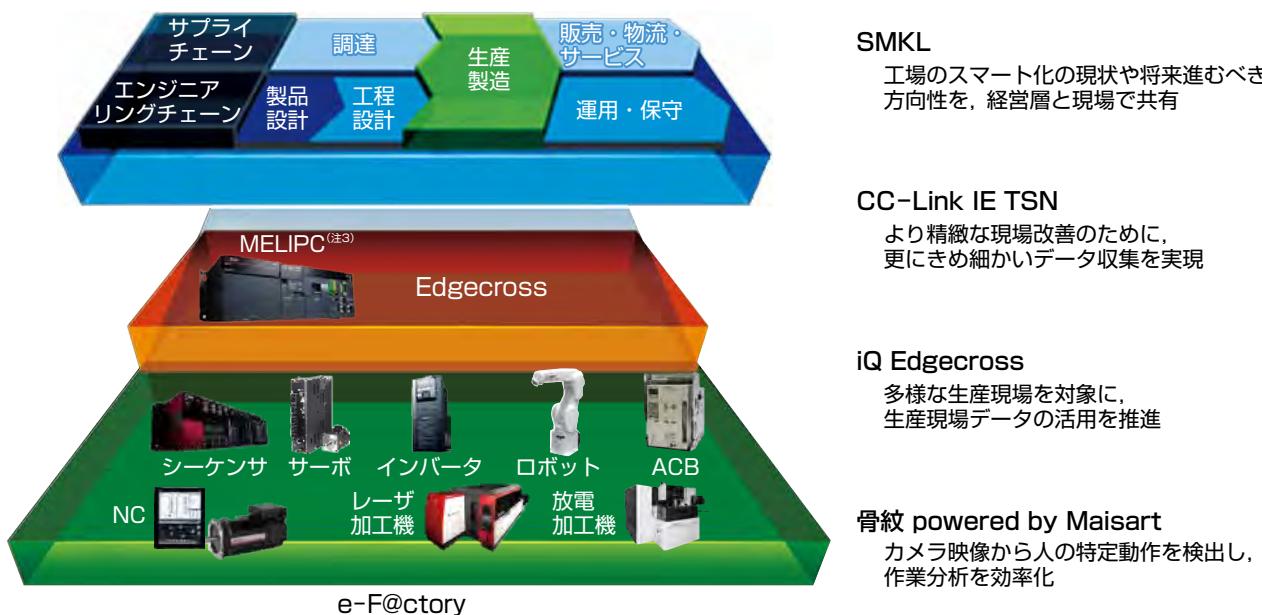
#### (4) 作業分析ソリューション“骨紋(こつもん)”

当社AI技術“Maisart(マイサート)”を用いてカメラ映像から特定の動作を自動検出して作業分析を効率化する。

今後も、最先端のFA技術を継続的に生み出し、e-F@ctoryを進化させていくことで、工場のスマート化実現に貢献していく。

(注1) 一般社団法人 CC-Link協会によって仕様公開されている。

(注2) 一般社団法人 Edgecrossコンソーシアム提供。Edgecrossは一般社団法人 Edgecrossコンソーシアムの登録商標である。



(注3) 当社の産業用パソコン

SMKL : Smart Manufacturing Kaizen Level, TSN : Time Sensitive Networking, NC : Numerical Controller, ACB : Air Circuit Breaker

### FA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”と最新のFA技術・取組み

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・ITの協調”によるフレキシブルなものづくりによって、サプライチェーン、エンジニアリングチェーン全体にわたって工場のスマート化を支援する。また、SMKL、CC-Link IE TSN、iQ Edgecross、Maisartなどの最新のFA技術・取組みを取り入れることで、更なる工場のスマート化を実現する。

## 1. まえがき

IoT技術やAI技術の進展はものづくりにも波及し、それらの技術を利用した工場のスマート化が進んでいる。

当社は、生産現場を起点とするFA-IT統合ソリューションe-F@ctoryを2003年から提供し、グローバルに進むスマート工場の実現を支えてきた。

工場のスマート化は、設備・機械からの生産現場データの収集などの“見える化”，収集したデータの生産管理や予防保全への活用といった“観える化”及び“診える化”的な成果を上げつつある。

一方で、スマート工場の実現に向けて解決すべき課題も多く残っている。

本稿では、それらの課題に対する解決策を中心に、工場のスマート化を実現する最新のFA技術と取組みについて述べる。まず、**2章**で工場のスマート化のグローバル動向と現状の課題を述べ、**3章**でFA-IT統合ソリューションe-F@ctoryについて述べた後、**4章**でスマート工場の実現に向けた課題を解決する当社の最新のFA技術と取組みについて述べる。

## 2. 工場のスマート化

製造業では、顧客ニーズの多様化・高度化を受けて工場のスマート化の動きがグローバルで進展している。具体的には、ドイツが2011年に提唱したIndustry 4.0を始めとし

て、アメリカのIndustrial Internet Consortium、中国の智能製造、日本のConnected Industriesなど様々な取組みが始まっており、また、それぞれの国又は団体が相互に連携しながら進められている。

これらの動きに共通するのが、IoT技術やAI技術を活用したスマート工場の実現である。具体的には、“データの収集・蓄積”“データの分析・予測”“データによる制御・最適化”のステップによって、工場のTCO(Total Cost of Ownership)削減、品質及び生産性の向上、製品の提供価値の向上、出荷後のリスク管理・トレーサビリティ管理などを実現しようとしている。

## 3. FA-IT統合ソリューションe-F@ctory

当社は2003年から、生産現場を起点とし、IoT化によるビッグデータの活用でスマート工場を実現するFA-IT統合ソリューションe-F@ctoryを提唱している<sup>(3)</sup>。e-F@ctoryでは、FA技術とIT技術を最大限に連携させることで開発・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ことで、一歩先のものづくりを実現している。また、“生産性”“品質”“環境性”“安全性”“セキュリティ”的な向上を通して、顧客の業務全体を効率化する。

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層で構成している(図1)。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収集する。エッジコンピューティングでは、生産現場から収集したデータを監

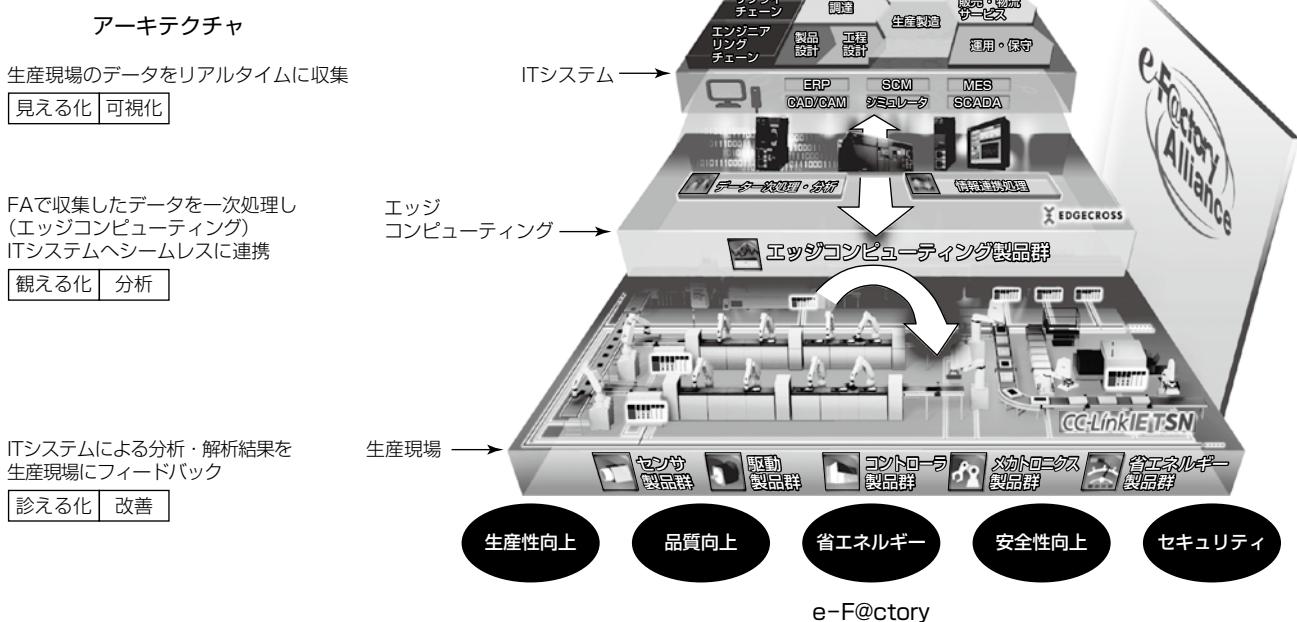


図1. e-F@ctoryのアーキテクチャ

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生成されてしまうような問題を解決できる。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システムへ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。

このアーキテクチャに対して当社では、生産現場向けに、コントローラ製品群やメカトロニクス製品群を始めとする幅広い製品ラインアップを提供している。また、エッジコンピューティング向けとして、産業用パソコンである“MELIPC”を始めとするハードウェア製品群を提供するとともに、Edgecrossコンソーシアムから提供されるオープンなソフトウェアプラットフォームEdgecrossに対応したソフトウェア製品群iQ Edgecrossを提供している。

## 4. 最新のFA技術と取組み

先に述べたように、スマート工場実現に向けて生産現場の“見える化”“観える化”“診える化”については、徐々に実現されつつあるが、次に示すような課題がある。

- (1) スマート工場は厳密には定義が定まっておらず、また、目指すべきIoT化のレベルが経営者や現場管理者などの立場によって異なる場合も多い。したがって、スマート工場の実現に向けてはまず、工場のスマート化の現状や将来進むべき方向性を経営層と現場とで共有できる指標が必要である。
- (2) より詳細な現場データの収集・可視化・分析を行うことで現場改善を進め、更なる生産性向上が期待できる。そのためには、生産現場では、様々な粒度のデータ収集と制御サイクル高速化を実現可能なネットワークが必要になる。
- (3) 製造業では、現場ごとに作られるモノと作るプロセスが変わるために、現場に合わせた数多くのデータ収集方法やデータ可視化・分析方法が必要である。
- (4) 現状、生産性向上のために設備・機械のデータだけを活用していることが多いが、更なる向上に向けて“人”や“作られるモノ”的動きを解析できるようにする必要がある。本章では、これらの課題を解決する当社の最新FA技術と取組みについて述べる。

### 4.1 SMKL

課題(1)に対応した取組みについて述べる。スマート工場

の実現には、工場のスマート化の現状や将来進むべき方向性を経営層と現場とで共有することが重要である。共有することで、スマート工場実現のための適切な投資計画を継続的に立案・実行することが可能になる。

共有のための手段として、ここでは2015年に当社内の指標として作成・運用され、現在ISO/TC184で国際規格として審議中のSMKLについて述べる。

SMKLは、“工場をどうIoT化していかば良いか分からない”という悩みを持つ製造現場のIoT化推進を支援する目的のために作られたものであり、図2のようにIoT導入レベルを四つの“みえる化”レベルと、四つの管理対象レベルで区分けされた16マスで表すことで、対象とする製造現場がどの段階までIoT化が進んでいるかを判断できるものである<sup>(4)</sup>。

縦軸のみえる化レベルは、レベルa“データ収集”，レベルb“見える化(可視化)”，レベルc“観える化(分析)”，レベルd“診える化(改善)”とし、どれも電子化かつ自動化されていることを到達条件としている。また、横軸の管理対象レベルは、ディスクリート系の工場を対象にした場合、レベル1“設備・作業者”，レベル2“ライン全体”，レベル3“工場全体”，レベル4“サプライチェーン全体”とするが、工場の種類に応じた定義を行いう必要がある。

SMKLに基づいて、現状のレベル把握と次に進むべきレベルの決定を行い、そのための投資計画を立案することで、経営層と現場との間で理解を共有しながら継続的に工場のスマート化を前進させることができる。

### 4.2 CC-Link IE TSN

課題(2)に対応した技術であるCC-Link IE TSNについて述べる。CC-Link IE TSNは、一般社団法人CC-Link協会が仕様を公開している産業用オープンネットワークであり<sup>(5)</sup>、当社は、CC-Link IE TSN対応製品の提供を行っている<sup>(6)(7)(8)</sup>。CC-Link IE TSNは、世界に先駆け

レベルd 診える化 (改善) Optimizing				
レベルc 見える化 (分析) Analyzing				
レベルb 見える化 (可視化) Visualizing	16個のマスで表す、製造現場の IIoT化(みえる化／管理対象拡大化) の評価指標(物差し)である			
レベルa データ収集 Collecting				
みえる化 レベル ↑	設備・ 作業者 Installation & Worker	ライン全体 Workstation	工場全体 Factory	サプライ チェーン 全体 Supply Chain
管理対象	レベル1	レベル2	レベル3	レベル4

図2. SMKL

て<sup>(注4)</sup>TSN技術を産業用オープンネットワークに適用することで“FAとITの融合”を実現すると同時に、効率的なプロトコルによって従来のCC-Link IEが持つ性能・機能を更に強化することで“高速・高精度な制御”を実現している。

CC-Link IE TSNは、機器の処理タイミングに合わせて通信周期を設定できるため、それぞれの機器の特性に合わせて通信周期を最適化することが可能になる(図3)。これによって、機器の特性に合わせた粒度でのデータ収集を実現しつつ、不要な通信を省くことによる高速タクトタイムを実現できる。

(注4) 2018年11月27日現在、当社調べ

#### 4.3 iQ Edgecross

課題(3)に対応した取組みについて述べる。作られるモノと作るプロセスが異なる現場に対し、現場に合わせた数多くのデータ収集方法やデータ可視化・分析方法を提供するためには、それを実現するオープンなソフトウェアプラットフォームと、そのプラットフォームに準拠した数多くのソフトウェアの提供が必要である。

そのため、当社は、一般社団法人Edgecrossコンソーシアムが提供するエッジコンピューティング領域のオープンなソフトウェアプラットフォームであるEdgecross<sup>(9)</sup>に対応したソフトウェア製品群iQ Edgecrossによって、様々なデータ収集とデータ分析の手段を提供している。

図4に示すように、Edgecrossは、生産現場からのデータ収集を行う“データコレクタ”と、“エッジアプリケーション”と呼ばれるソフトウェアとの組合せによって、様々なニーズに沿ったスマート工場用ソリューションを実現できる。

当社は、表1に示すデータコレクタと表2に示すエッジアプリケーションを既に提供しており、今後もEdgecross対応ソフトウェア製品を拡充することで、様々な生産現場の工場のスマート化を支援する。

今後は、当社AI技術Maisartを更に活用したエッジアプリケーションを拡充することで、データ分析を通じた価値創出の実現を目指す。

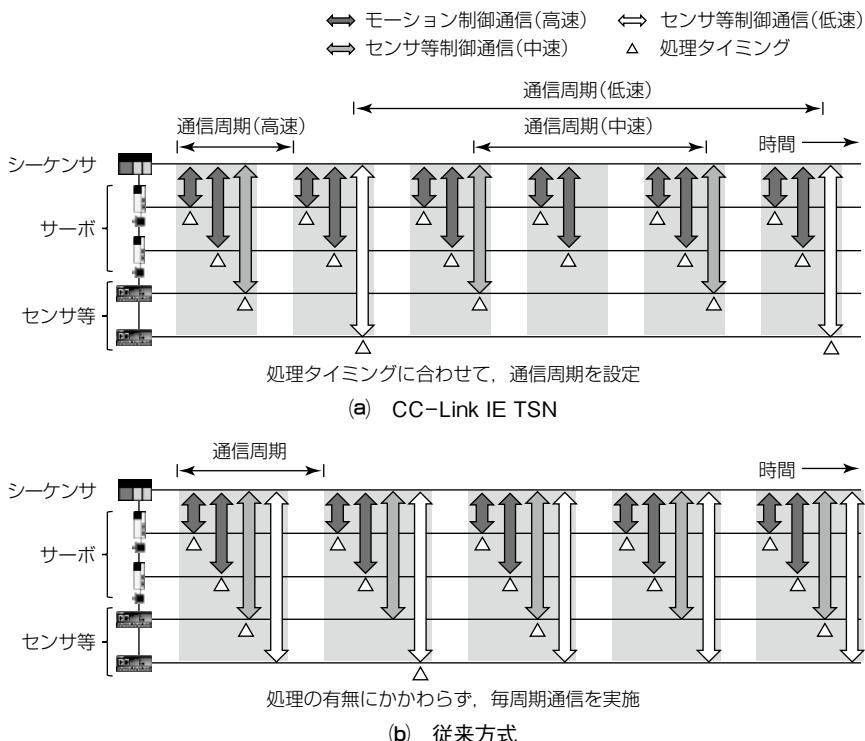


図3. CC-Link IE TSNによる様々な粒度のデータ収集

#### エッジアプリケーション

- 生産現場データの監視や分析、診断など様々な処理を実行
- 豊富なラインアップから用途に応じたアプリケーションを選択可能

#### Edgecross

- エッジコンピューティングで活用するデータの収集、加工、診断、フィードバックの実行を制御
- 生産現場のライン、装置、機器を抽象化して階層的に管理

#### データコレクタ

- 機器メーカーやネットワーク問わず、生産現場のあらゆるデータを収集
- 既存の設備からもデータ収集が可能

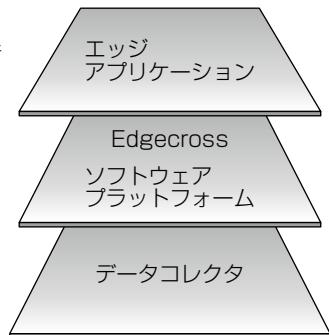


図4. Edgecrossアーキテクチャ<sup>(10)</sup>

表1. 当社製データコレクタ

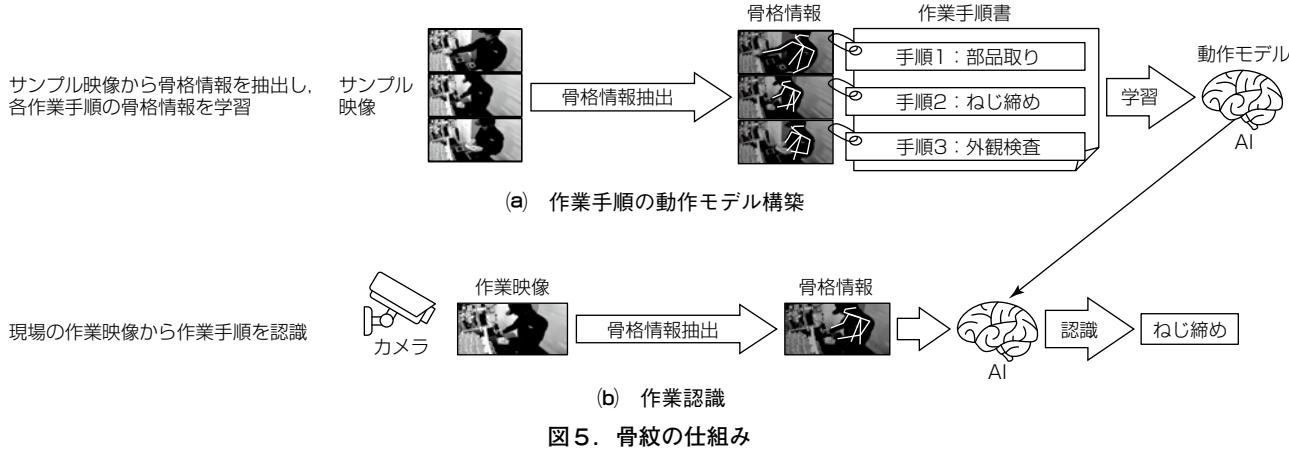
CC-Link IE コントローラネットワークデータコレクタ
CC-Link IE フィールドネットワークデータコレクタ
CC-Link IE TSNデータコレクタ(対応予定)
MTConnect <sup>(注5)</sup> 対応データコレクタ
OPC UAデータコレクタ
SLMPデータコレクタ

(注5) MTConnectは、The Association For Manufacturing Technologyの登録商標である。

UA : Unified Architecture, SLMP : SeamLess Message Protocol

表2. 当社製エッジアプリケーション

製品名	用途
GT Works3(GT SoftGOT2000)	生産現場の見える化
リアルタイムデータアナライザ	データ分析・診断(Maisart活用)
iQ Care Remote4U Edgecross edition	レーザ加工機稼働監視
MC Works64 エッジコンピューティングエディション	工場全体の見える化
NC Machine Tool Optimizer	NC工作機械稼働監視
EcoAdviser	省エネルギー支援



#### 4.4 作業分析ソリューション“骨紋”

課題(4)を解決するための技術である“骨紋”について述べる。先に述べたように、これまでの生産性向上に向けた取組みでは、主に設備・機械から収集されたデータが活用されてきた。しかしながら、更なる生産性向上のためには、現場の“人”や“作られるモノ”からの情報収集と活用が重要である。

当社は“人”からの情報収集と活用に向けた取組みの一つとして、AI技術Maisartを用いて、カメラ映像から人の骨格情報を抽出・分析し、特定の動作を自動検出する作業分析ソリューション“骨紋”を開発した<sup>(11)</sup>。

図5に示すように、骨紋では、サンプル映像から抽出した作業者の骨格情報を、部品取り、ねじ締め、外観検査といった作業手順単位でAIに学習させる。その後、現場の作業映像から同様に骨格情報を抽出し、作業者がどの作業手順を実施中であるかをAIが自動的に認識する。

当社工場での検証では、作業認識率は、目視と同程度の90%であり、人間による目視作業の代替が可能なレベルにある。認識結果は、作業バランスの確認や作業手順誤りの自動検出など、様々な用途で活用できる。

また、動作研究の先駆者であるギルプレスが提唱した“動作経済の原則”<sup>(注6)</sup>に基づき、骨格の動きを分析することで、作業者の無理・無駄な体の動きの課題を可視化することもできる。これによって、異なる監督者であっても同じ課題を見つけることができるため、属人性を排除した標準的な作業改善が可能になる。

“骨紋”を利用することによって、生産現場の作業者の動きをカメラで撮影するだけで作業内容を認識・特定し、作業時間や作業ミス、無駄を自動検出することで作業分析を効率化でき、生産現場の生産性向上が期待できる。

(注6) 疲労を最も少なくて有効な仕事量を増やす、人間のエネルギーを効率的に活用するための約30項目からなる経験的な法則

## 5. む　す　び

IoT技術やAI技術を活用した工場のスマート化の実現に向けた当社の最新FA技術や取組みの例として、工場のスマート化の指標SMKL、“FAとITの融合”と“高速・高精度な制御”を実現する産業用オープンネットワークCC-Link IE TSN、多様なデータ収集・可視化・分析を実現するEdgecross対応ソフトウェア製品群iQ Edgecross、作業分析ソリューション“骨紋”について述べた。今後も、スマート工場を実現する最先端のFA技術・システムの研究開発を進め、更なる工場のスマート化への貢献に向けた技術の提供を進めていく。

### 参 考 文 献

- (1) 中川路哲男：“Connected Industries”の実現に向けたFA分野へのAI技術適用、三菱電機技報、92、No.4、216～220（2018）
- (2) 水落隆司：FA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”を支える最新のFA技術・システム、三菱電機技報、93、No.4、216～221（2019）
- (3) 三菱電機㈱：e-F@ctoryとは？  
<https://www.mitsubishi-electric.co.jp/fa/sols/efactory/index.html>
- (4) 藤島光城：IoT導入レベル“SMKL”適用によるスマート工場の実現推進と産業用IoT製品の開発＆販売促進、三菱電機技報、94、No.4、211～214（2020）
- (5) 一般社団法人CC-Link協会プレスリリース：CC-Link IE TSN（2018）  
[https://www.cc-link.org/ja/material/documents/20181121\\_tsn\\_pressrelease\\_j.pdf](https://www.cc-link.org/ja/material/documents/20181121_tsn_pressrelease_j.pdf)
- (6) 三菱電機㈱：ネットワーク関連製品  
[https://www.mitsubishi-electric.co.jp/fa/products/cnt/plcnet/pmerit/cclink\\_ie\\_tsn/lineup/master.html](https://www.mitsubishi-electric.co.jp/fa/products/cnt/plcnet/pmerit/cclink_ie_tsn/lineup/master.html)
- (7) 原川 翼、ほか：CC-Link IE TSN対応FA製品群、三菱電機技報、94、No.4、215～218（2020）
- (8) 三原 弘、ほか：CC-Link IE TSN対応モーションユニット“RD78GH/RD78G”，三菱電機技報、94、No.4、219～222（2020）
- (9) 一般社団法人Edgecrossコンソーシアム：Edgecrossの特長  
<https://www.edgexcross.org/ja/solution/feature.html>
- (10) 三菱電機㈱：Edgecross対応ソフトウェア  
<https://www.mitsubishi-electric.co.jp/fa/products/edge/edgsw/pmerit/index.html>
- (11) 清水尚吾、ほか：骨格情報を用いた生産現場における作業者行動分析手法、情報処理学会第81回全国大会講演論文集、2019(1)、9～10（2019）

# 特集論文

## IoT導入レベル“SMKL”適用によるスマート工場の実現推進と産業用IoT製品の開発＆販売促進

藤島光城\*  
Mitsushiro Fujishima

Realization of Smart Factory and Development & Sales Promotion of IIoT Products by Applying IIoT Introduction Level "SMKL"

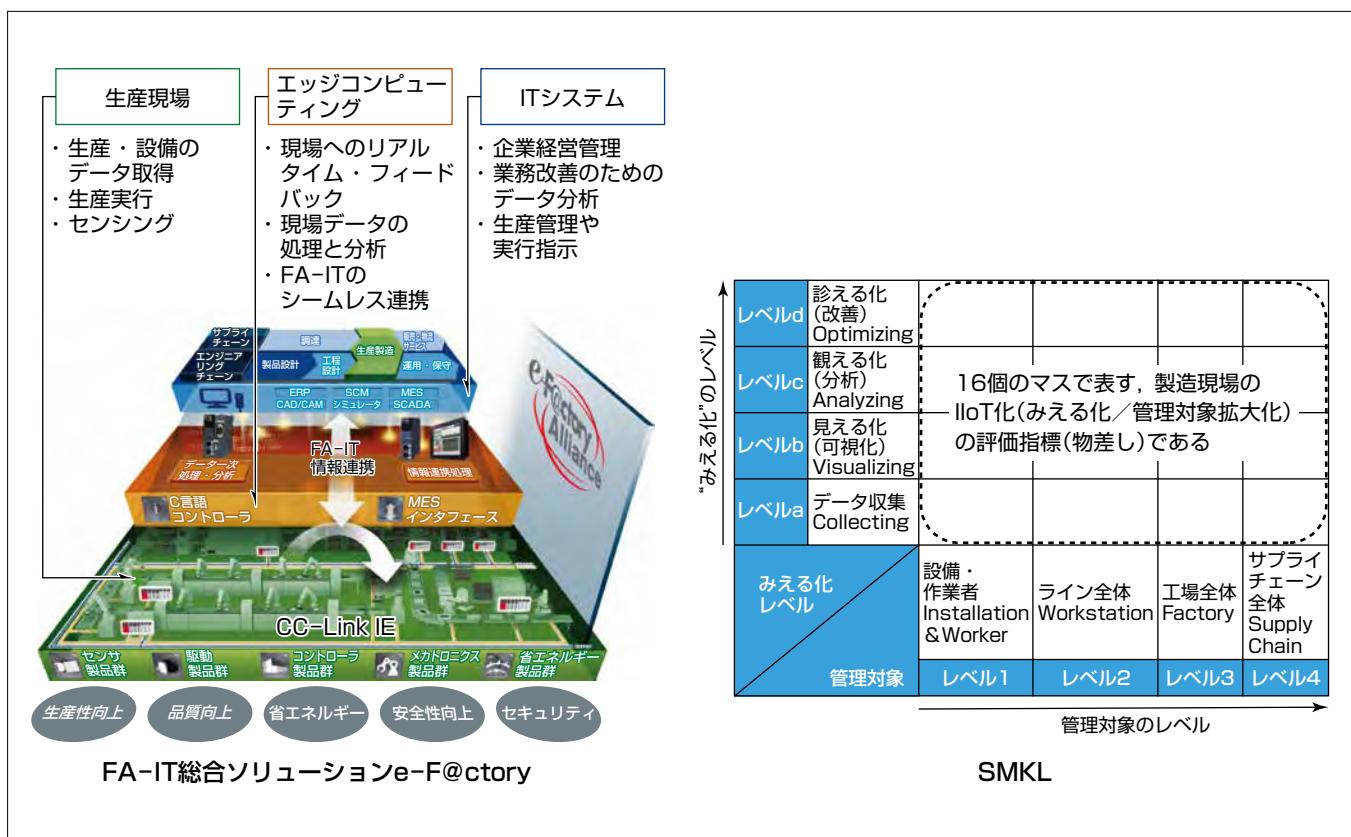
### 要旨

三菱電機では2003年頃からFA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”的コンセプトを打ち出し、生産現場の情報のみえる化によって生産性向上、品質向上、省エネルギー、安全性向上、セキュリティ対応など、あらゆる機器や設備をIoT(Internet of Things)でつなぎ、データを分析・活用することで、ものづくり全体を最適化する取組みを推進してきている。

2011年にドイツがIndustry 4.0を発表すると、この工場のIoT(Industrial IoT : IIoT)化は世界的な潮流となり、現在では独PI4.0や米IIC、日本のRRIやIVIなど、各国で様々なコンソーシアムが立ち上がり、活発な議論やテストベッドと呼ばれる試験、さらにはIIoT関連の国際標準の整理や規格化が進められている。

しかしながら、このIIoTを活用したスマート製造工場を実現するには幾つかの課題がある。一つは、IIoTへの投資に対する効果が分かりづらく、継続的な投資判断が難しいことである。もう一つは中小企業を中心にIIoTの専門家が少なく、相談できるサプライヤーも限られるため、製造現場のIIoT化が進まないことなどである。

そこで、当社内でe-F@ctory導入を推進するために考案したIIoT化の評価指標を“SMKL(Smart Manufacturing Kaizen Level)”としてオープン化し、専門知識がなくても現状のレベルを評価し、改善していく方法について提案する。このSMKLの活用によってIIoTへの継続的な投資判断が可能になるため、中小企業も含めて、将来的にIIoT市場を活性化させることができると期待できる。



### FA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”と“SMKL”

SMKLは、縦軸に4段階の生産現場情報のみえる化レベル、横軸に4段階の管理対象のレベルを表し、合計16個のマスでIIoT化の状況を評価可能な指標である。また、みえる化を行うデータは、生産、品質、在庫管理、保全、環境などの重要業績評価指標(Key Performance Indicator : KPI, ISO222400参照)に基づいている。

## 1. まえがき

Industry 4.0、スマート製造などのIIoT化が進む中で、製造現場では“何を”“いつまでに”“どのくらいの費用を投資したら”“どのレベルまで”IIoT化が推進、及び改善できたかの“みえる化”ができていないため、経営側の継続的な投資判断が難しい。また、工場ではIIoTの専門家も少なく現場担当者もどうしてよいか分からず状況がある。

そこで、SMKLを用いて製造現場のIIoT化(みえる化／管理対象拡大化)を推進し、その推進方向性を評価することによって継続的な投資判断を可能にする。

SMKL活用の副次効果として製造現場のIIoT化によって従来の改善に比べてより早く、より効果が高い改善が期待できる。また、SMKLの応用として顧客の現状のレベルに合ったIIoT化製品(FA製品、FAソリューション、エッジコンピューティング製品など)の開発＆販売や、コンサルタント、システムインテグレータ等を紹介することも期待できる。さらに、SMKLのオープン化は国際標準化を視野に入れ、日本のものづくりの国際的なプレゼンスも向上できる。

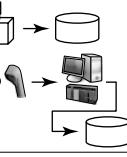
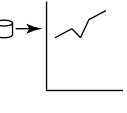
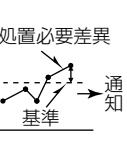
## 2. SMKLの定義

SMKLは縦軸に4段階のみえる化レベル、横軸に4段階の管理対象レベルの16個のマスで表し、製造現場のIIoT化を簡単に評価できる指標である(要旨の図)。

### 2.1 みえる化のレベル

みえる化のレベルは、レベルaを“データ収集”，レベル

表1. みえる化の基準

“みえる化”レベル		評価基準	例
レベルa	データ収集 Collecting	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自動、又は作業者によるバーコードスキャナ等の簡易操作で、管理に必要なデータを電子的に自動収集・蓄積している。(手書き日報等のExcel<sup>(注1)</sup>等への入力は対象外)</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>・データベース管理</li> <li>・CSV等のファイル管理</li> </ul>
レベルb	見える化 (可視化) Visualizing	<ul style="list-style-type: none"> <li>・レベルaのデータ、及び目標(基準)値を表やグラフで自動表示できる。(データを手動でダウンロードし、表やグラフをExcel等で、その都度作成する場合は対象外)</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>・リスト表示</li> <li>・グラフ(ヒストグラム、トレンド)</li> </ul>
レベルc	観える化 (分析) Analyzing	<ul style="list-style-type: none"> <li>・レベルbの状態に、目標(基準)値データも自動表示され、差異の確認ができる。</li> <li>・かつ、差異に対して処置を必要とする差異に対しては、関係者に処置を促す通知を自動で行う。</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>・工程飛び管理</li> <li>・工程忘れ管理</li> <li>・処置警告</li> </ul>
レベルd	診える化 (改善) Optimizing	<ul style="list-style-type: none"> <li>・レベルcの処置を必要とする差異を抑制するために、人、設備、物に対し、自動的にフィードバックを行う。</li> </ul>	 <ul style="list-style-type: none"> <li>・AI活用</li> </ul>

(注1) Excelは、Microsoft Corp.の登録商標である。

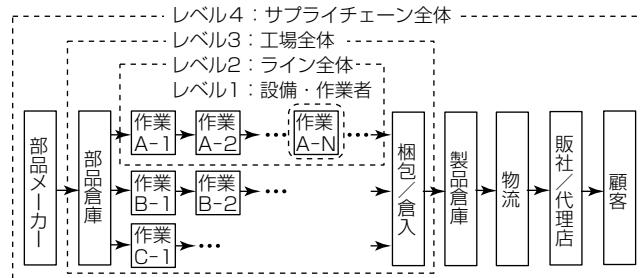


図1. 管理対象の基準

bを“可視化”，レベルcを“分析”，レベルdを“改善”と定義し、製造現場の情報を紙や人手ではなく、電子化&自動化されていることが評価基準となる(表1)。

### 2.2 管理対象のレベル

管理対象のレベルはディスクリート工場<sup>(注2)</sup>を対象とした場合、レベル1を“設備・作業者”，レベル2を“ライン全体”，レベル3を“工場全体”，レベル4を“サプライチェーン全体”と定義する(図1)。

(注2) プロセス工場など他業種では対象を変える必要がある。

## 3. SMKLの活用方法

### 3.1 設備設計者

設備設計者は、管理対象や、管理項目である重要業績評価指標(Key Performance Indicator : KPI, ISO22400参照)を決めて、現状のSMKLレベルの診断をする。そして、現状からレベルUPしたい対象や項目に関するIIoT投資計画書を作成し、経営者の判断を仰ぐ。また費用対効果もこの投資計画書に記載するが、目指すべきSMKLレベルも併せて記載して目標に向けてPDCA(Plan Do Check Action)を実行する(図2)。全体の流れを図3に示す。

### 3.2 工場経営者

工場経営者はSMKLを用いて自社に合った費用対効果の高い対象や項目からIIoT化し、将来的に収益の高いスマート製造工場の実現を目指す(図4)。

## 4. SMKLの標準化

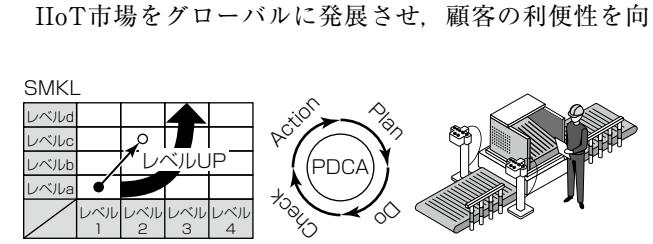


図2. 設備設計者によるSMKLの活用

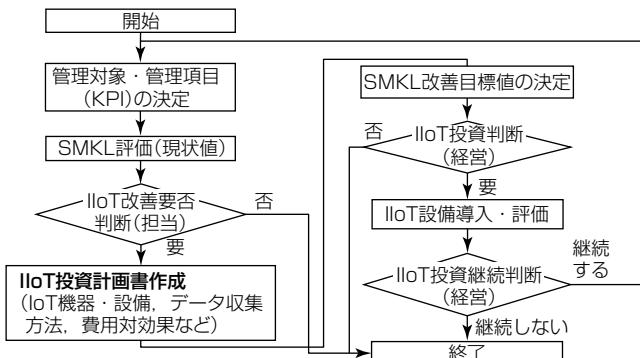


図3. SMKL活用の流れ

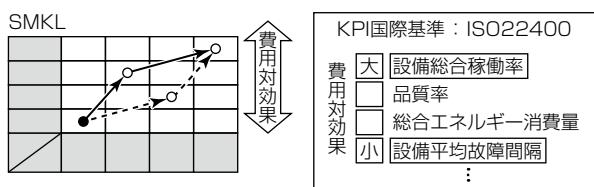


図4. 工場経営者によるSMKLの活用

上させ、IIoT製品の世界的な売上げ規模の拡大を目指すため、現在、デジュール標準化とデファクト標準化に取り組んでいる(図5)。

#### 4.1 デジュール標準化

SMKLの世界的な認知度を上げるために、ISO/TC184で国際標準化に取り組んでいる。一方、既にカーネギーメロン大学が提案したソフトウェア開発・保守の能力成熟度を測定する品質管理基準であるCMM(Capability Maturity Model, ISO/IEC 15504)をベースにした同様の評価指標が欧米や中国、シンガポール等でも検討されているため<sup>(1)</sup>、ISO規格化の難易度は高く、また承認までに時間が掛かることが想定される(3~8年)。したがって、まずは短期間で発行可能な技術報告書(Technical Report : TR)の一例としてSMKLをISO/TC184国内委員会の承認を経て国際委員会へ提案中である。

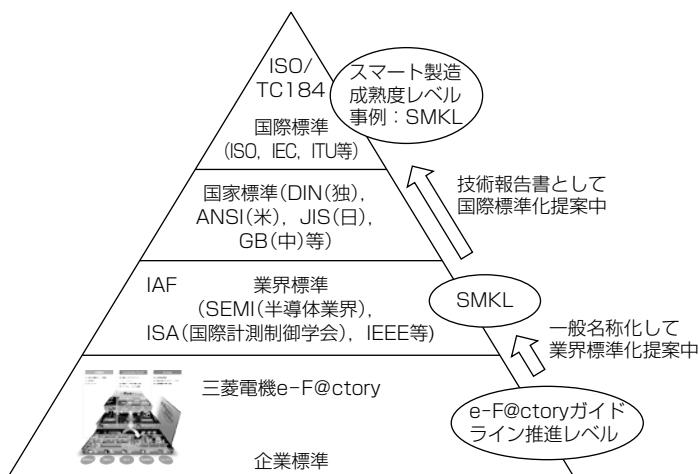


図5. SMKLの標準化戦略

## 4.2 デファクト標準化

また、先に述べたとおりデジュール標準化は時間が掛かるため、IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)学会での論文発表<sup>(1)(2)</sup>や、国内ではKPIを検討しているIAF(Industrial Automation Forum)というコンソーシアムから発表や展示(IIFES2019)をして、SMKLのデファクト標準化を推進している<sup>(3)</sup>。

さらに、5.4節で詳しく述べるように、一般的な営業マンやコンサルタント、システムインテグレータなどが、顧客のIIoT化に適した製品を提案＆販売しやすくするアプリケーションを、e-F@ctoryアライアンス・パートナーメーカーとアジャイルに検討を進めている。

## 5. SMKLの応用について

SMKLはIIoT化に必要なAI(人工知能)やセキュリティ、エッジコンピューティングなど様々な技術のマッピングができる特長がある(図6)。まだ試行段階や検討中の案も多いが、今後SMKLの活用とともにこの特長を利用した様々なSMKLの応用が進めば、IIoT市場の更なる活性化が期待できる。

## 5. 1 IIoT化の技術相談

IIoT化を推進するに当たり、社内に専門家がいない場合は社外の専門家であるコンサルタントやシステムインテグレータ(SI)に相談する必要がある。SMKLで自社の位置を確認し、相談できそうな社外の専門家を探すツールとしてSMKLの活用が期待できる(図7)。

## 5.2 IIoT製品の開発促進

IIoT製品を開発する場合に、SMKLの16個のマスが埋まるように開発を推進することで、漏れなくダブりなく顧

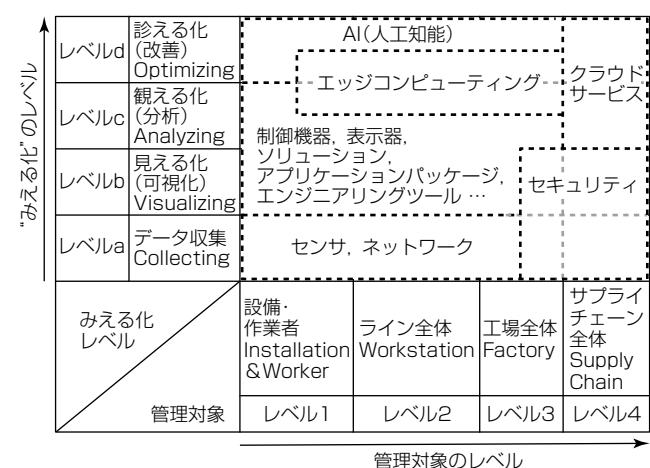


図6. SMKLによる技術マッピング例

客のみえる化・管理対象レベルに合った的確な製品開発が可能になる(図8)。

### 5.3 IIoT製品の販売促進

IIoT製品(FA製品, FAソリューション, エッジコンピューティング製品など)を販売する場合に、電子化が全く進んでない顧客に提案してもすぐには購入してもらえない。SMKLでIIoT化したい対象や項目を聞き出し、顧客のみえる化・管理対象レベルに合った的確な製品提案が可能になる(図9)。

### 5.4 IIoT製品等の説明書管理アプリケーション “トリセツ工場版”

無料で利用できる製品説明書管理アプリケーション(トリセツ工場版、(株)トライグル提供)で、様々なメーカーの機器情報(カタログ、説明書、購入価格、購入日付、CADデータ等)をスマートフォンやパソコンのWebアプリケーションで一元管理ができる(図10)。

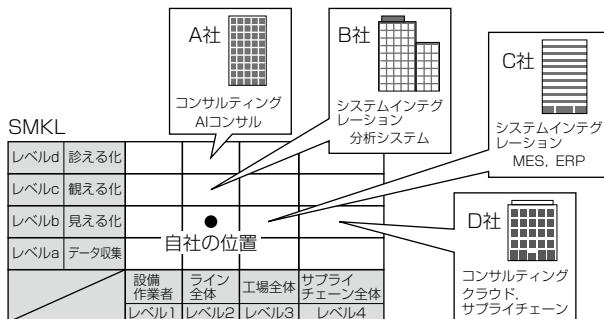


図7. SMKLによる技術相談例

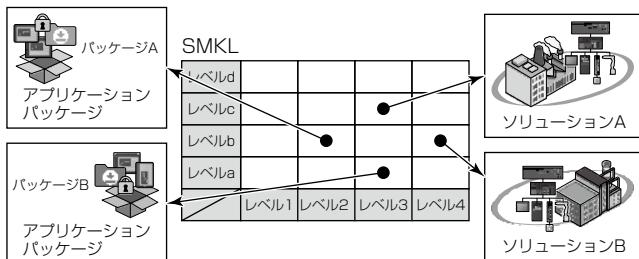


図8. SMKLによるIIoT製品の開発促進

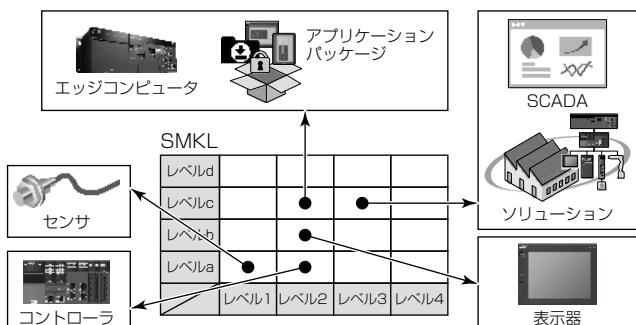
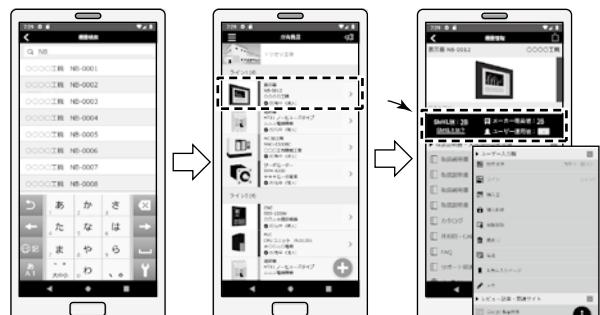


図9. SMKLによるIIoT製品の販売促進



型番を入力するだけで、担当するFA機器を簡単に機器の登録が完了  
顧客ごとに登録・表示  
取扱説明書以外に、販売価格や写真なども登録可能

Web版アプリケーション <https://fa.torisetsu.biz/>

図10. トリセツ工場版とSMKL

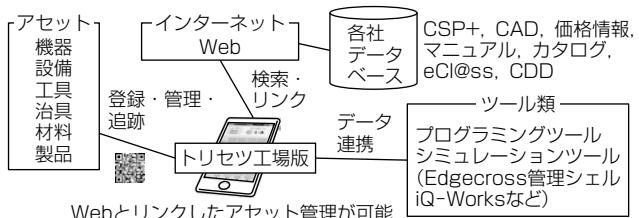


図11. IoTを活用したデータ連携例

このアプリケーションの付帯情報にSMKLレベルが記入できるようになっているため、将来的にはこのアプリケーションで顧客設備のIIoT化のレベルを自動的に判断し、改善事例とともにIIoT関連製品を提案するなど、簡易的な自動コンサルティング支援アプリケーションとしての活用が期待できる。また、IIoTでの様々なデータ連携によるアセット管理アプリケーションとしても将来的に期待ができる(図11)。

## 6. む す び

IIoTを導入するには工場内の様々な電子データの収集が必要であり、またサプライチェーン全体を網羅するためには投資費用も大きく時間もかかる。本稿で述べたSMKLを活用すれば費用対効果を考えながら自社に適したステップで経営者も設備担当者もIIoT化を推進することが可能になる。

またIIoTでは“世界につながる”新製品や新しい価値(サービス)を創出する必要がある。SMKLはその応用も含めて、大きな可能性を秘めている。

## 参 考 文 献

- (1) SHI, X., et al.: A Maturity Model for Sustainable System Implementation in the Era of Smart Manufacturing, 24th IEEE International Conference on ETFA, 1649~1652 (2019)
- (2) SHI, X., et al.: Maturity Assessment:A Case Study toward Sustainable Smart Manufacturing Implementation, SMILE & ISMI 2019, 67~70 (2019)
- (3) IAF CLiC(制御層情報連携意見交換会):製造現場のIoT化/見える化を推進するSMKL指標について, IIFES November 2019 [http://www.mstc.or.jp/iaf/event/iifes2019s/SMKL\\_seminar.pdf](http://www.mstc.or.jp/iaf/event/iifes2019s/SMKL_seminar.pdf)

## CC-Link IE TSN対応FA製品群

FA Products for CC-Link IE TSN

原川 翼\*  
Tsubasa Harakawa  
挺屋規宏\*  
Norihiro Tsuchiya  
高橋雅也\*  
Masaya Takahashi

### 要旨

近年、生産設備では、タクトタイムの短縮及び加工の微細化が進んでおり、高速かつ高精度な通信の必要性が増している。また、IoT(Internet of Things)の急速な普及によって、扱われるデータ量は増加し続けている。このような背景から、生産現場では高速・高精度な定周期通信を実現し、さらに制御通信と情報通信を融合するネットワークが求められている。

“CC-Link IE TSN”は、世界に先駆けてTSN(Time Sensitive Networking)技術に対応した産業用オープンネットワークとして、高速・高精度な定周期通信及び制御通信と情報通信の融合を実現した。三菱電機はその仕様策定に参与し、スマート工場の実現に必要なCC-Link IE TSN対

応FA製品群をいち早く品ぞろえした。

CC-Link IE TSNは、“高速通信によるタクトタイム短縮”“通信周期混在による生産性向上”と“制御通信と情報通信の融合による柔軟なIoTシステムの構築”を実現する。また、ベンダーによるCC-Link IE TSN対応機器開発が容易に行えるように、ソフトウェア開発キットを加えた。さらに、高精度な時刻情報を利用した正確な診断機能で装置トラブルを早期解決することで、生産現場のメンテナンスコストを削減する。

これらによって、上位のITシステムから生産現場のFAシステムまでシームレスに連携し、スマート工場の実現を可能にする。



### CC-Link IE TSN対応FA製品群

当社は、“CC-Link IE TSN”に対応したFA製品群(シーケンサ、産業用パソコン、サーボアンプ、表示器、インバータ、ロボットなど(安全機能対応含む))及びソフトウェア開発キットを品ぞろえした。これらのCC-Link IE TSN対応FA製品群を使用して構築したシステムでは、定時性を実現するTSN技術によって、同一幹線上で複数の異なるネットワークの混在を可能にし、高速・高精度な制御を実現する。

## 1. まえがき

これまでの産業用ネットワークの歴史は、1：1通信であるRS232Cに始まり、1：多通信を実現するRS485、そしてより高速化を実現したEthernet<sup>(注1)</sup>ベースへと変革を遂げてきた。しかし、現在主流のEthernetベース産業用ネットワークでは、モーション制御などの高速・高精度な制御通信を行うネットワークと、IP(Internet Protocol)通信による画像データ転送などの大容量な情報通信を行うネットワークを、別々に敷設する必要がある。

そこで、当社は制御通信と情報通信の融合を実現する新たな産業用オープンネットワークである“CC-Link IE TSN”の策定に参画した。このCC-Link IE TSNは2018年11月にCC-Link協会から発表された、世界に先駆けてTSN技術に対応したネットワークである。定時性が必要な制御通信と大容量通信が必要な情報通信の融合によって、生産現場のFAシステムからリアルタイムにデータを収集し、上位のITシステムへのシームレスな通信を実現する。

さらに、当社はCC-Link IE TSNに対応したFA製品群(シーケンサ、産業用パソコン、サーボアンプ、表示器、インバータ、ロボットなど(安全機能対応含む))及び開発キットもいち早く品ぞろえした。これらの製品群によって、FAとITをつなぐ連携技術を最大限に活用し、工場のスマート化に大きく貢献する。

本稿では、TSNとCC-Link IE TSNの特長及びそれに対応したFA製品群に適用した技術について述べる。

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

## 2. CC-Link IE TSNとは

### 2.1 TSNとは

TSNは、標準Ethernet規格を拡張した“Time Sensitive Networking”的略称であり、IEEE(Institute of Electric and Electronics Engineers)で制定されている規格である。この規格は、多くの産業用オープンネットワークでも対応を表明しており、これからも産業用オープンネットワークの中核を担う技術である。

TSNは、従来のEthernetベース産業用オープンネットワークと同じコネクタとケーブルでありながら、制御通信と情報通信の混在通信を同一幹線上で実現できる。

TSNは複数の規格から成り立っており、CC-Link IE TSNは時刻同期技術を定めるIEEE802.1ASとIEEE1588v2及び時分割制御技術を定めるIEEE802.1Qbvに基づいています。次に、これらの技術について述べる。

### 2.1.1 時刻同期技術

時刻同期技術では、時刻のマスタノードとスレーブノードに分かれ、マスタノードの時刻にスレーブノードの時刻を合わせた後に、互いに同期フレームを送信し合い、その送信時刻と受信時刻から補正量を算出し、同期通信として定期的に同期フレームの送受信を行う。これによって、時刻のずれを常に補正し、高精度な同期を実現する。

### 2.1.2 時分割制御技術

時分割制御技術とは、決められた周期時間を複数の時間に分割し、その分割した時間ごとに、時間幅、その時間で行う通信及び通信の優先度を割り当てて通信する技術である。時分割通信を行うことで、通信の衝突を回避できるため、通信品質の向上につながる。また、通信負荷が高い場合でも、優先度の高い通信は割り当てられた時間で通信を行うため、定時性を保った通信を実現する。

## 2.2 CC-Link IE TSNの通信仕様

表1に、CC-Link IE TSNの通信仕様を示す。

CC-Link IE TSNは、1 Gbpsと100Mbpsの通信速度に対応しており、これまで100Mbpsで稼働してきた既存設備の機器を有効活用できる。

また、実装方式には専用通信LSIだけでなくソフトウェアでの実装も可能にしている。これによって、機器開発を容易にし、CC-Link IE TSN対応製品を充実することで機器選択の幅が広がり、最適なシステムの構築を実現する。

CC-Link IE TSNは、既に述べた時刻同期技術と時分割制御技術をベースに、産業用オープンネットワークにより適したプロトコルになっている。

従来は、制御通信と情報通信といった異なる特性を持つネットワークを別々に敷設する必要があった。しかし、CC-Link IE TSNで構築したシステムでは、同一幹線上で複数のネットワークの混在が可能になるため、省配線・省スペース化を図ることができる。これによって、配線レイアウトの自由度が増し、柔軟なIoTシステムの構築に貢献する(図1)。

表1. CC-Link IE TSNの通信仕様

項目	仕様
通信速度	1 Gbps／100Mbps
実装方式	専用通信LSI／ソフトウェア
通信方式	時分割方式
同期機能	IEEE802.1AS及びIEEE1588v2
トポロジ	ライン、スター、リング
1ネットワークの最大接続ノード数	64,770台
最大サイクリックサイズ	入出力合計で最大4 Gbit (4,294,967,296bit)

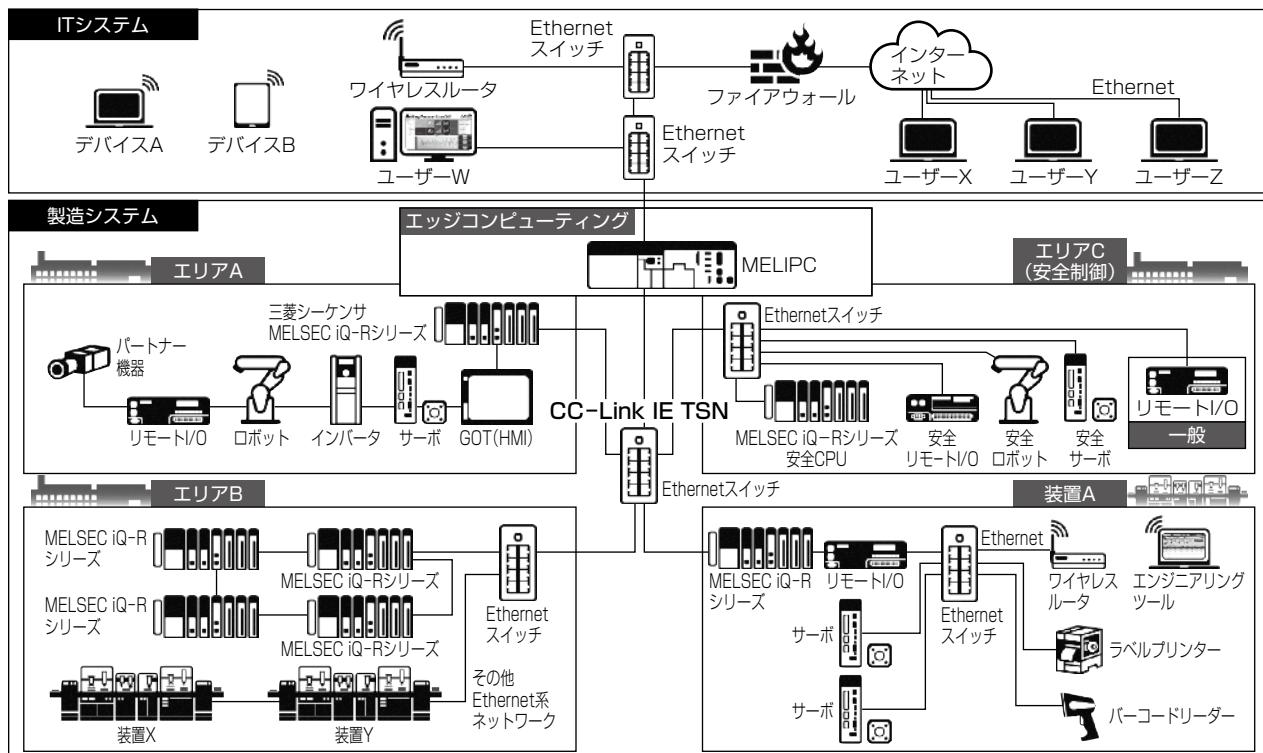


図1. CC-Link IE TSNを使用したシステム構成例

### 3. CC-Link IE TSNの特長

これからの産業用オープンネットワークに求められる要件として、生産性向上や柔軟なIoTシステムの構築に加え、様々なタイプの機器との接続、生産現場のメンテナンスコストの削減などが挙げられる。これらの要件を満足させるため、CC-Link IE TSNは次に述べる特長的な機能を実現している。

#### 3.1 生産性向上と柔軟なIoTシステムの構築の実現

制御通信と情報通信を融合するCC-Link IE TSNでは、次に述べる特長によって生産性の向上と柔軟なIoTシステムの構築を実現する。

##### 3.1.1 高速通信の実現によるタクトタイム短縮

従来は、一方の要求に対して他方の応答を待つトーケンパッシング方式を採用していたが、CC-Link IE TSNでは高速通信を実現するために、他方の応答を待たずに互いに送信し合う時分割方式を採用した(図2)。この方式は、先に述べた時刻同期技術と時分割制御技術を活用することで実現できる。これによって、従来方式に比べて最短通信周期を1/16に短縮した。そのため、通信データの更新が高速になり、タクトタイム短縮に貢献する。

##### 3.1.2 通信周期混在による生産性向上

従来は、定時性を保つための通信周期はネットワーク

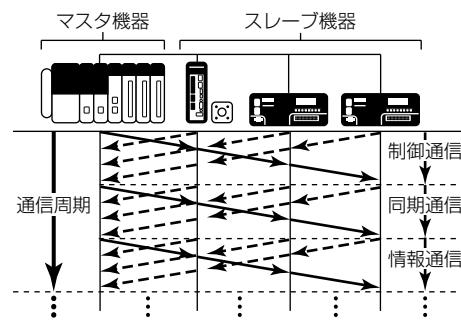


図2. 高速通信の実現方式(時分割方式)

全体で一つであったが、CC-Link IE TSNでは定時性を保ったまま複数の通信周期で運用できる。これによって、高速応答が必要な機器は毎周期通信を行い、高速応答が不要な機器はより遅い周期で通信を行ってネットワークの通信帯域を効率良く使用し、通信負荷を低減する。そのため、高速応答が必要な機器の通信周期を短縮でき、機器の応答性改善を実現し、設備の生産性向上に貢献する(図3)。

##### 3.1.3 制御通信と情報通信の融合による敷設コスト削減

時刻同期技術と時分割制御技術を用いて、全てのノードが分割された時間と割り当てられた通信の設定を共有し、高精度な同期を実現することによって、ある時間は定時性が必要な制御通信を行い、またある時間は大容量の情報通信を行う。これを周期的に繰り返すことで、1本のEthernetケーブル上で、従来は分けて敷設していた制御通信と情報通信のネットワークを、一つのネットワークに統合可能になるため、敷設コストを大幅に削減する。

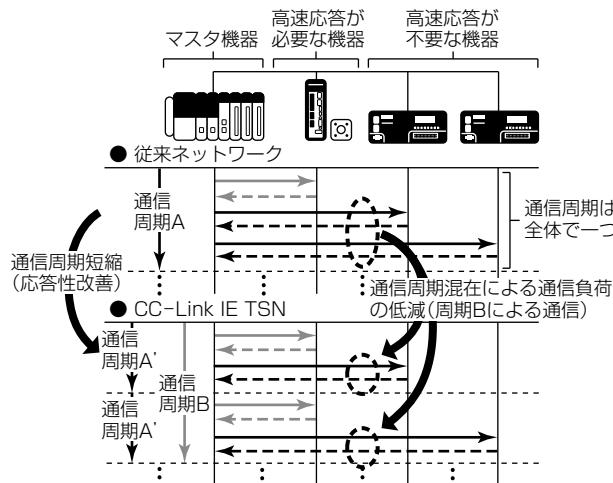


図3. 通信周期の混在

### 3.2 ソフトウェア開発キットの提供

CC-Link IE TSNでは、専用通信LSIに加え、ソフトウェア開発キット(Software Development Kit: SDK)を提供する。従来は、プロトコル仕様上、専用通信LSIによるハードウェア実装が必須であったが、CC-Link IE TSNでは汎用マイコンとソフトウェア実装だけの機器開発も想定されている。任意のリアルタイムOS・TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)スタック用にインターフェースを変更して組み合わせることで、低コスト(専用通信LSI不要・短期開発)かつ容易にCC-Link IE TSN対応機器を開発可能である。そのため、ベンダーによる機器開発が活発になることによって、CC-Link IE TSN対応機器の増加を見込む。

### 3.3 メンテナンスコストの削減

CC-Link IE TSNでは、メンテナンスの面でもユーザーに対して新たなメリットを提供する。

#### 3.3.1 診断機能によるダウントайムを短縮

CC-Link IE TSNでは、既に述べた時刻同期技術によって、同一ネットワーク内にある機器が同期した時刻を持っており、エラーなどのログデータを発生時刻とともに記録している。これを用いることで、システム内で複数のエラーが連鎖的に発生するような複雑な状況でも、発生順を明らかにし、原因の早期特定が容易になる。また、ネットワーク内のログデータは、専用のエンジニアリングツールの診断機能で、機器の状態などと共に閲覧できる。

#### 3.3.2 SNMP対応ツールで一括診断

CC-Link IE TSN対応機器はSNMP(Simple Network Management Protocol)に対応している。SNMPは、ネットワーク監視や機器管理に用いられる一般的な通信プロト

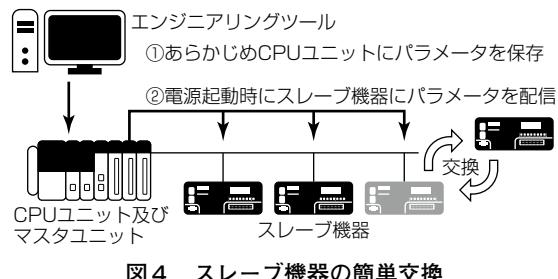


図4. スレーブ機器の簡単交換



図5. スプリングクランプ端子台タイプのリモートユニット

コルであり、クライアントソフトウェアなども世間に広く出回っている。そのため、専用のエンジニアリングツールを導入しなくても、使い慣れた既存の機器管理ツールで、工場のシステムなどの診断を可能にしている。

#### 3.3.3 スレーブ機器の簡単交換

工場内に分散配置されたスレーブ機器を交換するときのパラメータの再設定や制御機器との再配線にかかる工数を削減するために、CC-Link IE TSNでは、あらかじめスレーブ機器のパラメータをCPUユニットに保存し、電源起動時にCPUユニットからマスタユニットを介して各スレーブ機器に対してパラメータを配信する。これによって、パラメータの再設定作業が不要になるため、スレーブ機器の交換時のパラメータ設定工数を削減できる(図4)。

また、リモートI/Oユニット及びアナログユニットでは、省工数・省配線を可能にするロックレバー式スプリングクランプ端子台タイプを品ぞろえした(図5)。

## 4. むすび

CC-Link IE TSNの開発背景、特長、及びそれに対応したFA製品群に適用した技術について述べた。

CC-Link IE TSNは、Ethernet上で時分割通信するTSNの技術を採用し、Ethernet機器の活用を容易にするとともに、高速・高精度通信を実現するネットワークになったことによって、FA分野での一般制御及びモーション制御の性能・機能の向上を実現する。

今後も常に変化し続ける市場やユーザーニーズを的確に把握し、魅力ある製品づくりを推進する。

### 参考文献

- (1) “CC-Link IE TSN”対応FA製品、三菱電機技報、94、No.1、17 (2020)

# CC-Link IE TSN対応モーションユニット “RD78GH／RD78G”

CC-Link IE TSN Compatible Motion Modules "RD78GH/RD78G"

三原 弘\*  
Hiroshi Mihara  
衛藤嘉彦\*  
Yoshihiko Eto

## 要旨

生産設備などに組み込まれて高速・高精度なモーション制御を実現するサーボシステムの新製品として、次世代産業用オープンネットワークCC-Link IE TSNに対応した三菱シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”的モーションユニット“RD78GH／RD78G”を開発した。

モーションユニットの特長は次のとおりである。

### (1) 基本性能の向上

ハードウェア構成を一新するとともにソフトウェア処理の最適化を図って最小演算周期31.25μsを実現し、1ユニット当たりの最大制御軸数を従来の64軸から256軸に拡張して、より高速で大規模なシステムの構築を可能にした。

### (2) 簡単プログラミング

国際的な標準規格であるPLCopen<sup>(注1)</sup> Motion Control

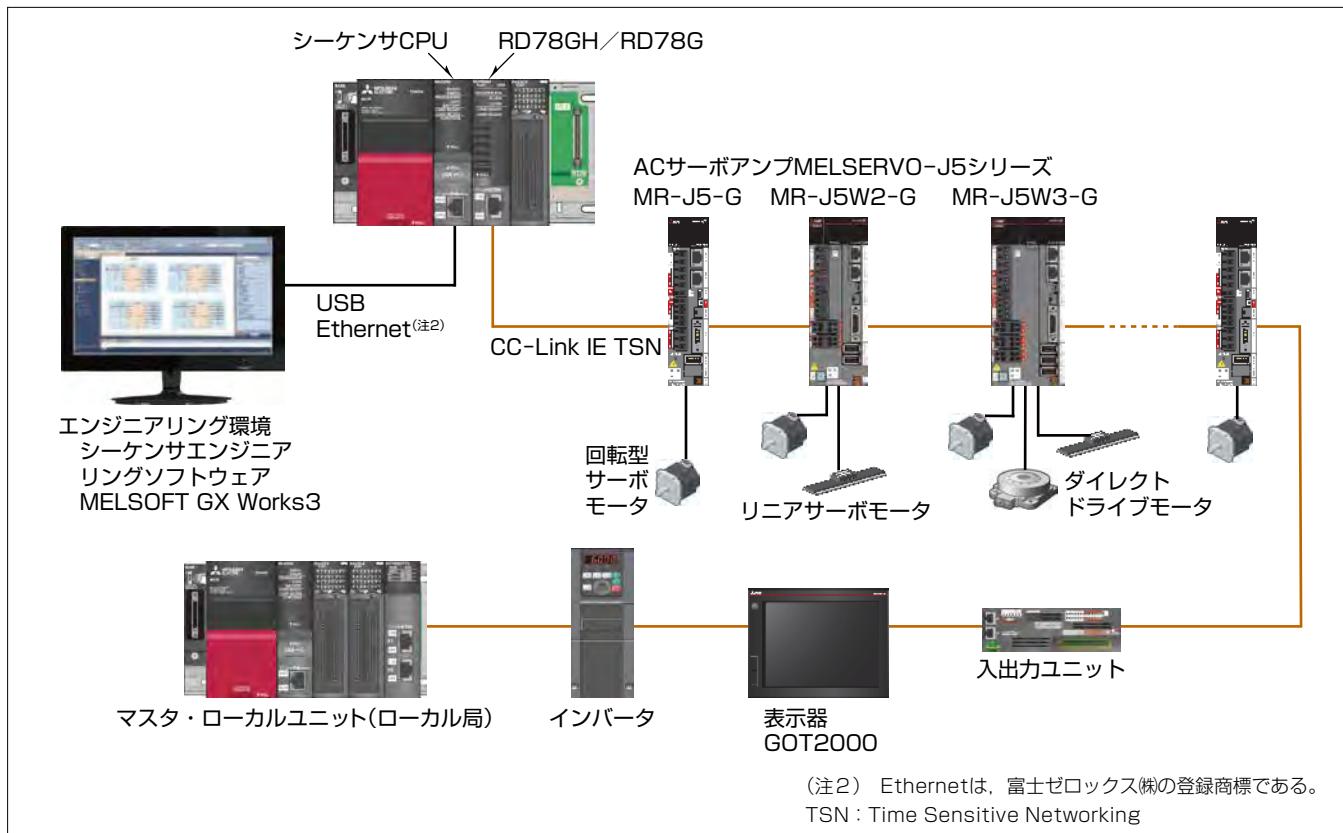
FB(ファンクションブロック)と三菱電機独自のFBを選んで組み合わせるだけで、簡単に高応答な駆動制御を実現できる。

### (3) 時刻同期

モーションユニットと接続している機器の時刻を同期させることで、機器間で発生したイベントの正確な順序を知ることができ、トラブルの発端となった機器を特定できる。

これらの性能、機能、使い勝手の向上によって、生産性向上に貢献していくとともに、新機能のアドオンによる附加価値の提供を進めていくことで、顧客の要求にスピード感を持って適切な対応をしていく。

(注1) PLCopenは、PLCopenの登録商標である。



## 顧客と新たなシステムを共創するCC-Link IE TSN対応モーションユニット“RD78GH／RD78G”

モーションユニット“RD78GH／RD78G”は、従来機種より高速・高性能なモーション制御の性能を維持しつつ、様々なI/O制御等の追加が可能である。また、モーション制御のプログラミング方法は、簡単設計(シーケンサCPUだけでプログラムが完結)から、高応答制御の追求(シーケンサCPUとモーションユニットでプログラムを作成して負荷分散制御)までシームレスに変更できる。

## 1. まえがき

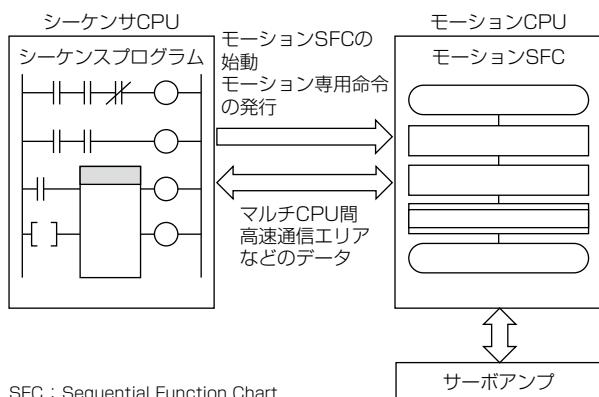
当社のサーボシステムコントローラは、大規模システム向けモーションコントローラと中・小規模システム向けシンプルモーションユニットの2種類のコントローラをライセンスアップし、それぞれの特長を生かして発展してきた<sup>(1)</sup>。

#### (1) モーションコントローラ(モーションCPU)

シーケンサとの組合せによるマルチCPUのシステム構成である。モーション制御とシーケンス制御を高速システムバスでデータ連携し、制御の分散処理を実現する。シングルCPUと比較して、大規模シーケンス制御と高速・高精度なモーション制御の両立が可能である(図1)。

## (2) シンプルモーションユニット

シーケンサとの組合せによるシングルCPUのシステム構成である。高度なモーション制御(同期制御、速度・トルク制御、カム制御など)とシーケンサで直接制御できる位置決めユニットの使いやすさを手軽に実現する。単一のエンジニアリングソフトウェア“MELSOFT GX Works3”で、プログラミング、サーボ調整、運用・保守を行うことができる(図2)。



## SFC : Sequential Function Chart

図1. モーションコントローラのプログラム構成

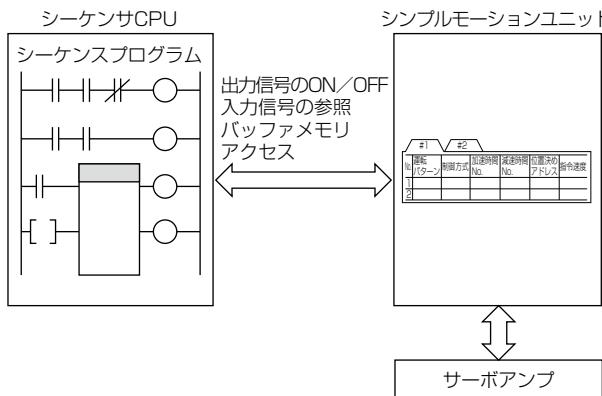


図2. シンプルモーションユニットのプログラム構成



图 6-1-3-2-1

これら2種類の製品構成によって市場の様々な要求に応えてきたが、近年の製造業で次のような要件に対する柔軟な対応も求められている。

- (1) 高速化・高付加価値による装置性能の向上
  - (2) 開発コストとメンテナンスコストの低減
  - (3) 製造現場の見える化と業務効率の改善

これらを満足するため、モーションコントローラの特長(高速・高精度なモーション制御の実現)とシンプルモーションユニットの特長(位置決め制御の扱いやすさ)を持った新製品モーションユニットRD78GH／RD78Gを開発した(図3)。この製品は、装置のネットワーク通信には定期期のリアルタイム通信と非同期・大容量通信が混在可能なオープンネットワークCC-Link IE TSNを採用しており、顧客のスマート工場の実現に貢献していく。

本稿では、モーションユニットの特長と製品構成について述べる。

## 2. 製品の特長

## 2.1 基本性能の向上

高速・高精度が要求されるモーション制御の基本性能として、最大制御軸数256軸/ユニット、最小演算周期31.25μsを実現した。また、Ethernetベースの産業用オープンネットワークであるCC-Link IE TSNの活用によって、TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)通信が混在してもサイクリック通信の定期性が保証されている。そのため、モーション制御とI/O制御の時刻同期によって、装置間の正確な同期動作をさせることができる。また、CANopen(CiA402ドライブプロファイル)に対応した様々な駆動機器との接続が可能になっている。

## 2.2 簡単プログラミング

国際的な標準規格であるPLCopenモーション制御FB

(MCFB)の対応を拡充とともにST(Structured Text)言語とラベル(変数)による構造化プログラミングに対応することで高度なモーション制御を簡単に構築できるようにし、プログラム資産の部品化を推進し、システム構築時の生産性向上に貢献する。

MCFBはモーションユニット内蔵ST言語、及びシーケンサCPUのシーケンスプログラムの両方から同じ使用方法で利用可能にした。これによって、シーケンサCPU上のプログラムでモーション制御を完結させる使い方(プログラミングの容易性やメンテナンス性を重視)から、シーケンサCPUとモーションユニット間で処理負荷を最適化する使い方(大規模制御と高速制御の両立を実現)まで柔軟にプログラミングできる(図4)。

## 2.3 時刻同期

モーションユニットと接続している全ての機器の時刻を同期させることができ、それぞれの機器が検知したイベントの時刻を100万分の1秒以下の精度で取得できる。これによって、機器間で発生したイベントの正確な順序を知ることができるため、例えば一つの機器で発生したトラ

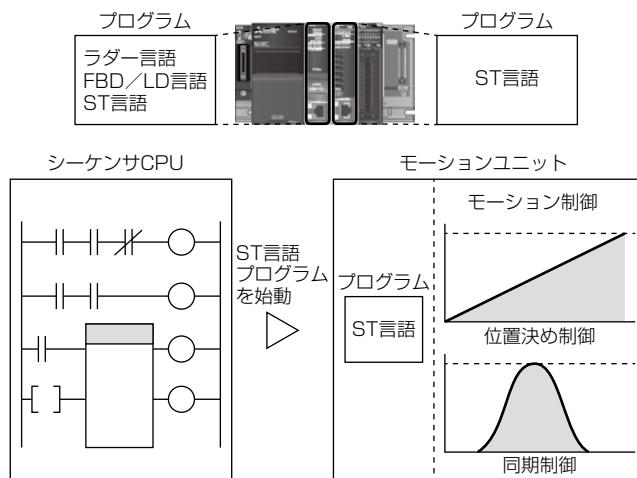


図4. モーションユニットでプログラム分散する例

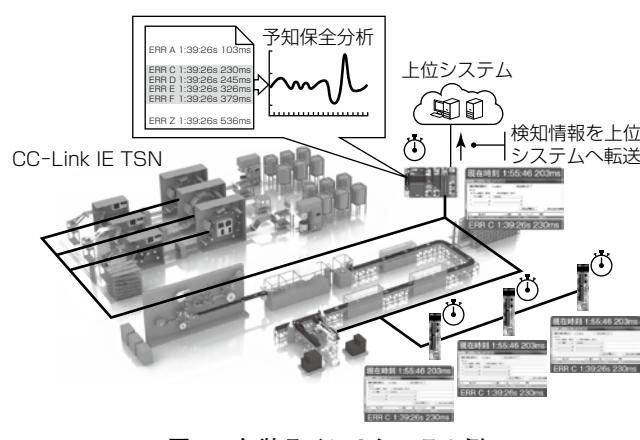


図5. 包装ラインのシステム例

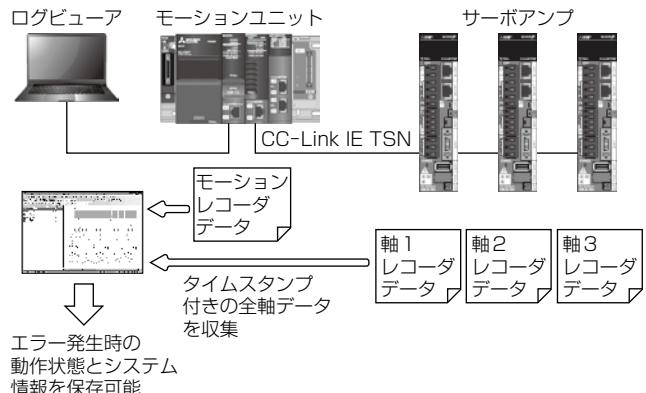


図6. ドライブレコーダ機能を活用したダウンタイム短縮

ブルに付随して複数の機器が同時にエラーを検知した場合でも、トラブルの発端になった機器の特定が可能になる(図5)。

また、サーボアンプのドライブレコーダ機能で収集したアラーム発生前後のデータを収集することによって、エラー発生時の動作状態とシステム情報を保存する機能にも対応予定である。モーションユニットで収集した情報と時間軸を合わせてアラーム原因解析に活用することで、装置のダウンタイム短縮に貢献する(図6)。

## 3. 製品の構成

### 3.1 ハードウェア構成

モーション制御実行用プロセッサは、最大制御軸数256軸/ユニットと最小演算周期31.25μsを満足するデバイスを新規に採用した。また、シーケンサとデータ連携されるための高速システムバスインターフェースやCC-Link IE TSNに対応した機器とのインターフェースを内蔵したASIC (Application Specific Integrated Circuit)を搭載している。これら二つのデバイス間は、大容量データ転送向けのPCI Express<sup>(注3)</sup>と低レイテンシーでシングルアクセスの得意なメモリ(パラレル)バスを並走させており、デバイス間のデータ授受を効率よく実施できる(図7)。モーション制御の基本性能のボトルネックは、モーション制御実行用プロセッサになるように設計しているため、より高性能なデバイスに置き換えることによって、更に高速で高精度なモーション制御を市場に提供できる。

ハードウェアのもう一つの特長として、マルチコアプロセッサを採用した点がある。モーション演算を並列実行して高速化を図るとともに、今後、順次リリースを予定しているアドオン機能(モーションユニットの機能拡張)の実行中でも安定したモーション制御を提供するための負荷分散に活用する。

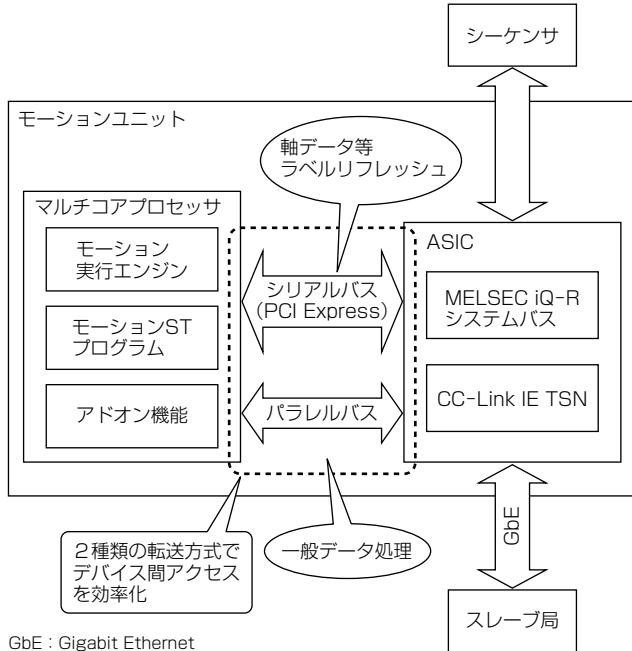


図7. デバイス間のデータ授受

また、ハードウェアの基本性能向上のために採用したギガビット級の高速伝送(CC-Link IE TSN通信、PCI Express、高速システムバス)やマルチコアプロセッサの高速動作・通信品質の安定性を実現するためには、EMC(電磁両立性)の確保が必要である。この課題に対して、基板設計時の電源、GND(GrouND)パターンのブレーン共振シミュレーションを代表としたフロントローディング設計による適切なパターン・部品配置設計によって、外部からのノイズの影響・不要輻射(ふくしゃ)の低減と高速動作の両立を図った。

(注3) PCI Expressは、PCI-SIGの登録商標である。

### 3.2 ソフトウェア構成

多様化する市場のニーズに素早く効率的に対応するべく、モーション制御ソフトウェアの構成を刷新して次のような特長を持たせた(図8)。

#### (1) マルチプラットフォーム

ハードウェア依存部やOS依存部を分離した構成することによって、様々なプラットフォーム(三菱シーケンサ“MELSECシリーズ”や、ボード型コントローラ)への展開を容易化するとともに、パソコン上でのシミュレーション動作も容易に行えるようにした。

#### (2) 機能スケーラブル

ソフトウェアを構成する様々なモジュールをプラグイン化(アドオン)し、様々なアドオン機能を用途に応じて組合せ可能にした。これによってFAアプリケーションパッ

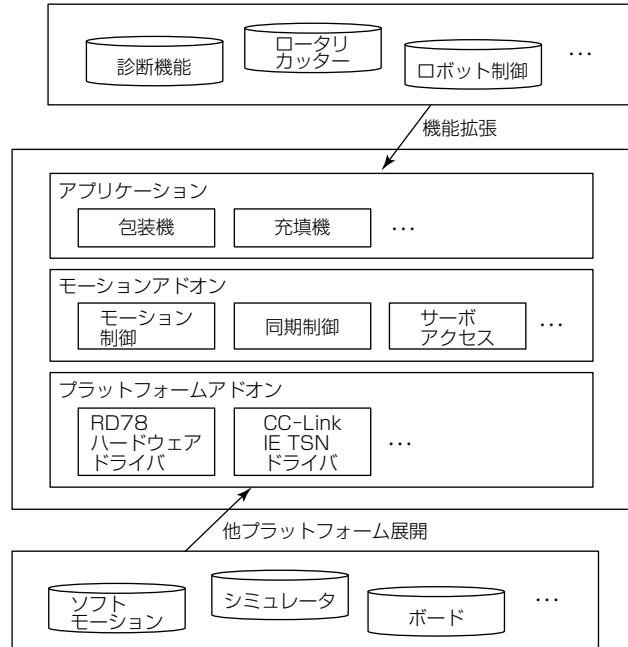


図8. モーション制御ソフトウェアの構成

ケージ“iQ Monozukuri”などの用途特化パッケージの市場投入を加速する。

#### (3) 性能スケーラブル

シーケンサCPUとの負荷分散に加え、モーションユニット内のモーション制御に使用するプロセッサのコア割当てを可変にするとともに、各機能で使用するメモリ使用量をユーザーで調整可能にし、どのような環境でもハードウェア資源を最大限、効率よく使用できるようにした。

## 4. むすび

当社FA製品の総合力を生かした提案を推進していくに当たり、サーボシステムコントローラはその中核を担うキーパーツとなりつつある。今回、“基本性能向上”“簡単プログラミング”及び“時刻同期”的特長を持ったモーションユニットを市場投入した。

今後もグローバルに発達しているモノづくりで、顧客の要求(機能、性能、使い勝手、サービス等)にスピード感を持って適切な対応をしていく必要がある。

技術開発によるサービス提供の基盤を強化していくとともに、それら技術とIoT(Internet of Things)やAI(Artificial Intelligence)との間に生まれるシナジーを提供し、顧客とともに今後の成長路線につなげていく。

## 参考文献

- (1) 大野宏幸、ほか：“MELSEC iQ-Rシリーズ”サーボシステムコントローラ、三菱電機技報、89、No.4、219～222 (2015)

## CC-Link IE TSN対応ACサーボアンプ “MELSERVO-J5シリーズ”

大平 聰\*  
Satoshi Ohdaira

CC-Link IE TSN Compatible AC Servo Amplifier "MELSERVO-J5 Series"

### 要旨

ACサーボシステムは、様々な産業機械の駆動制御に用いられており、その用途拡大に伴い、サーボシステムに対する要求は多様化している。そこで、“トータルドライブソリューションで装置・システムのパフォーマンス最大化”をコンセプトにACサーボアンプ“MELSERVO-J5シリーズ”を開発した。MELSERVO-J5シリーズは産業用ネットワーク“CC-Link IE TSN(Time Sensitive Networking)”を基軸としたソリューション連携機能を大幅強化し、基本性能・機能についても業界最高クラスを達成した。主な特長は次のとおりである。

#### (1) 基本性能の大幅向上(先進性)

CC-Link IE TSN対応によって指令最小指令通信周期31.25μsを達成。また、6,700万パルス(67,108,864p/r)のバッ

テリーレス絶対位置エンコーダ対応や速度周波数応答3.5kHzによって、モーション制御の更なる高速・高精度化を実現。

#### (2) 診断機能(保全性)

駆動部品の経年劣化を検知する機械診断の対象部品を拡充し、電源入出力欠相やエンコーダ通信回路異常を検知する機能を開発してダウンタイム短縮を実現。

#### (3) 瞬時に性能を引き出す調整機能(操作性)

サーボオンするだけで振動やオーバーシュートを抑制してゲイン調整を瞬時に行うクイックチューニング機能を開発。

#### (4) 省エネルギー・省スペース・省配線(接続性)

新規ラインアップのシンプルコンバータ“MR-CM”で共通母線配線を容易化し、装置・システムの省エネルギー・省スペース・省配線を実現。



ACサーボアンプ  
MELSERVO-J5シリーズ



シンプルコンバータMR-CM

トータルドライブソリューションで  
装置・システムのパフォーマンス最大化

#### 先進性

- ・超高速、高応答
- ・高精度
- ・バッテリーレス ABSエンコーダ

#### 継承

- ・取付け互換

MELSERVO-J5  
シリーズ

#### 接続性

- ・サーボモータ組合せ自由化
- ・シンプルコンバータ

#### 操作性

- ・クイックチューニング

- ・機械診断
- ・欠相検知
- ・エンコーダ通信回路診断

MELSERVO-J5シリーズのコンセプト

ABS : Absolute

### ACサーボアンプ“MELSERVO-J5シリーズ”的コンセプト

ACサーボアンプMELSERVO-J5シリーズは、従来機種との互換性を保ち、継承を基本とした“トータルドライブソリューションで装置・システムのパフォーマンス最大化”をコンセプトにした新製品である。業界最高クラスの超高性能・高精度化だけでなく、使いやすさ、省エネルギー、高機能など高付加価値を追求したサーボアンプである。

## 1. まえがき

ACサーボシステムは、様々な産業機械の駆動制御に用いられている。例えば、半導体製造装置、LiB(リチウムイオン電池)製造装置、射出成型機、食品包装機、印刷機、搬送装置、ロボット、工作機械など多様であり、高性能・高精度化だけでなく、高機能、使いやすさ、高メンテナンス性、省エネルギー性など市場要求も多様化している。

この開発では、多様化する要求に応えるため、従来好評を得ているACサーボアンプ“MELSERVO-J4シリーズ”(以下“MR-J4シリーズ”という。)からの互換・継承を基本として、“トータルドライブソリューションで装置・システムのパフォーマンス最大化”をコンセプトにしたACサーボアンプ“MELSERVO-J5シリーズ”(以下“MR-J5シリーズ”という。)を開発した。

本稿では、MR-J5シリーズの特長について述べる。

## 2. 基本性能の大幅向上

### 2.1 超高速・高応答・高精度

ACサーボアンプMR-J5シリーズは業界最高クラスの超高速・高応答・高精度を実現している。MR-J5シリーズでは、独自の高速サーボアーキテクチャである専用LSIの採用、エンコーダの演算時間短縮及びエンコーダ通信高速化によって、各演算処理の無駄時間を約50%短縮した。これによって、速度周波数応答が従来の2.5kHzから3.5kHzに向上した。

また、コントローラとの通信はCC-Link IE TSNに対応することで、従来比8倍の全二重1Gbps通信速度、指令最小通信周期31.25μsを実現し、システムの指令応答時間を約70%短縮した。TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)通信をサポートすることでIoT(Internet of Things)との親和性も大幅に向上した。

さらに、対応するサーボモータ“HKシリーズ”では従来の“HGシリーズ”に対して16倍分解能を向上させた6,700万パルス(67,108,864p/r)のバッテリーレス絶対位置エンコーダを標準搭載することで高精度と低速での安定性を実現した。

#### 2.1.1 軌跡追從性能向上

軌跡追從性検証の一例として真円度の測定結果を図1に示す。この測定ではX-Yテーブルを模擬した負荷ありの2軸ボールねじ装置で、一定速での円弧補間駆動を実施した。MR-J5シリーズではMR-J4シリーズに比較して、軌跡追従ばらつきが最大75%低減しており、各種演算無駄

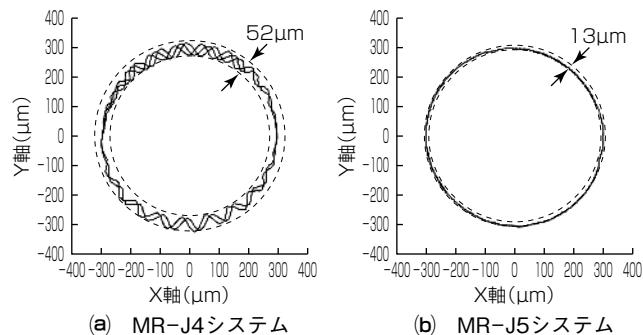


図1. 真円度の測定結果

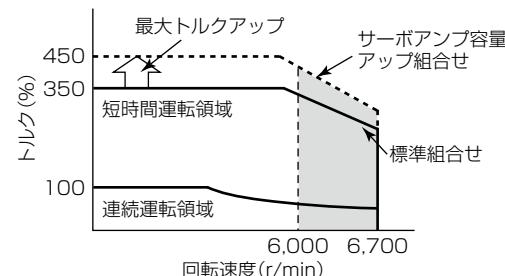


図2. サーボモータ組合せ自由化

時間の短縮による高ゲイン化(約40%向上)と指令通信周期及びエンコーダ通信周期高速化の効果が確認できる。この性能向上によって、顧客の装置・システムのパフォーマンスを最大限引き出すことが期待できる。

### 2.2 サーボモータとの組合せ自由化

従来は、例えば、200Wサーボアンプでは200Wサーボモータ駆動というようにサーボアンプ容量とサーボモータ容量の組合せ制約があった。MR-J5シリーズでは、電流検出回路の見直しによって電流検出分解能を従来比約4倍に引き上げることで、組合せ制約緩和を実現した。これによって、サーボモータの最大トルクアップ(図2)を可能にし、装置のタクトタイム短縮への貢献や、1サーボアンプで複数容量のサーボモータ駆動ができるところから保用品削減への貢献が期待できる。

## 3. 診断機能

### 3.1 機械診断

サーボが使用される産業機械では、その駆動機構にボールねじやリニアガイド、ペアリングなどの軸受・案内機構や減速機(ギヤ)、ベルト駆動機構が用いられることが多い。これらの駆動機構で異常が発生すると、装置の機能や性能が劣化し、場合によっては駆動機構が破損して正常に動作できなくなる。また、駆動機構の異常によって、サーボアンプでアラームが発生すると、不再現不具合になりやす

く、返却品解析時にアラーム発生原因が特定しづらいという問題もある。そこで、駆動部品の経年劣化を検知し、故障前メンテナンス(予知保全)を可能にする機械診断機能を開発した。MR-J5シリーズではMR-J4シリーズで一部対応済みのボールねじ診断の精度向上に加え、ベルトやギヤ診断についても新たに対応した。

### 3.1.1 ボールねじ診断

ボールねじ診断は、サーボモータに接続されているボールねじ機構の故障を予測する機能である。ボールねじ診断ではサーボアンプ内部データ(電流、速度)から摩擦トルクと振動振幅を推定し、摩擦トルクの変化によって寿命予測を実施し、振動振幅から寿命判断を実施している。MR-J4シリーズでのボールねじ診断機能は運転パターンによって摩擦トルクの推定精度が変化してしまう問題があったので、MR-J5シリーズでは摩擦トルクの推定精度向上を図った。これによって、顧客の運転パターンによらないボールねじ診断を実現した。また、従来は顧客で設定必要であった判定値を自動設定にして使い勝手の向上を図った(図3)。

### 3.1.2 ベルト診断

ベルト診断は、サーボモータに接続されているベルト機構の故障を予測する機能である。ベルト診断では静摩擦推定方式と張力推定方式の2方式を開発した。静摩擦推定方式はサーボアンプ内部データ(電流、速度)から静摩擦を推定し、その変化によってベルトの張力低下を推定する。静摩擦の判定値を自動設定できるため、顧客は簡単に使用が可能である。反面、静摩擦が低下したことだけ検知するため、ベルト張力低下検出精度が低く、ベルトの初期伸びで故障を誤検出する可能性がある。一方、張力推定方式はサーボアンプ内部データ(電流、速度)から直接ベルト張力を推定し、張力低下を判断する。顧客でベルト張力と静摩擦との関係をあらかじめパラメータ入力する必要があるが、ベルト張力低下を精度良く検出することが可能である(図4)。

### 3.1.3 ギヤ診断

ギヤ診断は、サーボモータに接続されている減速機等のギヤ機構の故障を予測する機能である。ギヤ診断では、往

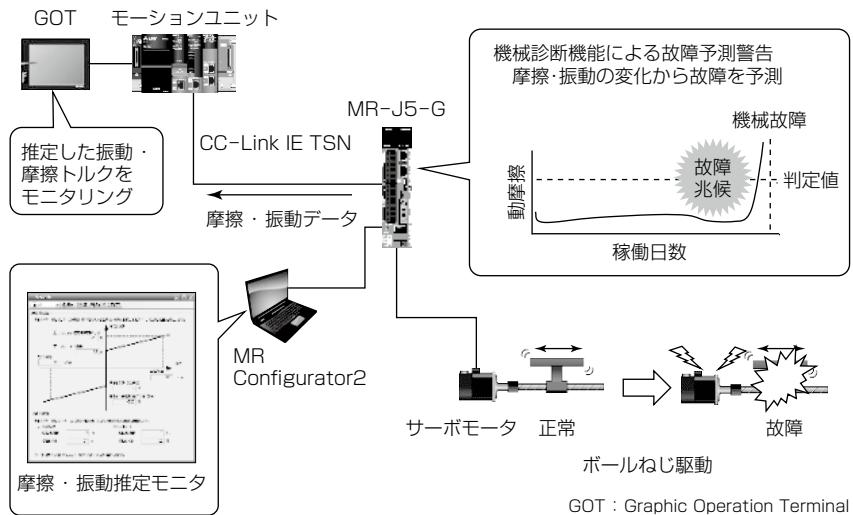


図3. ボールねじ診断

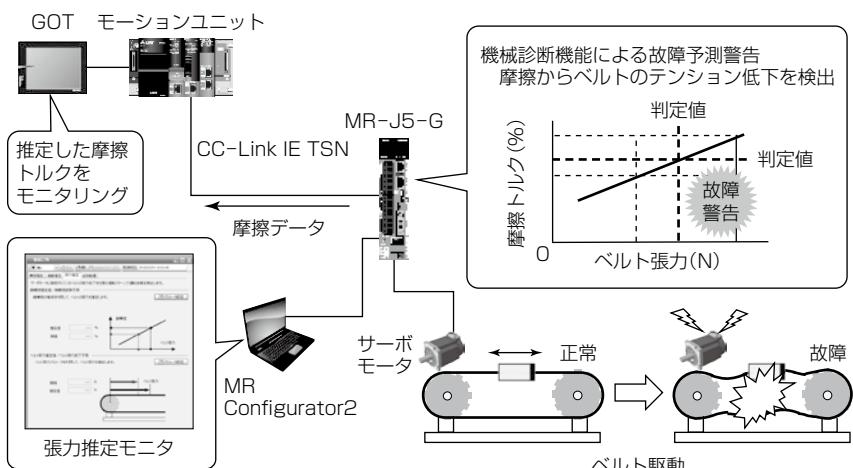


図4. ベルト診断

復位置決め運転時のサーボアンプ内部データ(電流、位置)から、ギヤのバックラッシュ量を推定し、その変化によってギヤ磨耗等の故障を予測する。推定したバックラッシュ量と顧客であらかじめパラメータとして入力されたバックラッシュ量しきい値を比較することで、ギヤ故障を判断する(図5)。

### 3.2 欠相検知

サーボアンプの主回路電源(L1/L2/L3)が欠相し、モータ負荷が大きくなった場合、欠相と直接関係のないアラームが発生する場合がある。また、サーボモータの電源(U/V/W)が欠相した場合、過電流アラームや過負荷アラームが発生する場合がある。これらの故障は原因特定に時間を要している。MR-J5シリーズでは、サーボアンプの主回路電源の欠相を検知する入力欠相検知、サーボモータの電源欠相を検知する出力欠相検知を開発した。この機能によって、過負荷などのアラームと区別可能なため、復旧作業短縮が可能である(図6)。

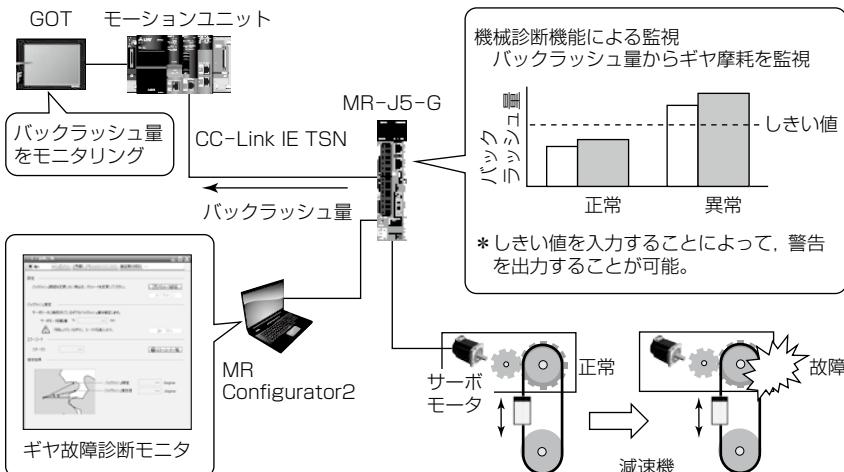


図5. ギヤ診断

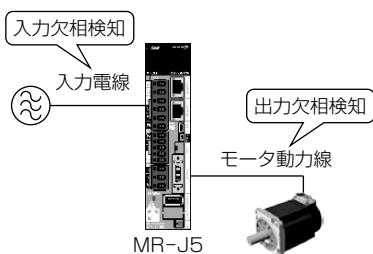


図6. 欠相検知

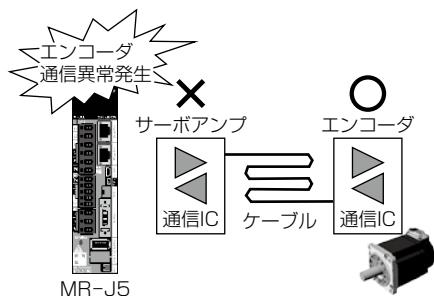


図7. エンコーダ通信回路診断

### 3.3 エンコーダ通信回路診断

エンコーダ通信アラームの要因は、サーボアンプ故障／エンコーダ故障／エンコーダケーブル断線やノイズによる通信データ異常等が多く、原因特定に時間を要している。MR-J5シリーズではサーボアンプ内のエンコーダ通信回路に使用している差動ドライバ・レシーバの故障を診断する機能を搭載することで、サーボアンプ内故障を検出してトラブル原因特定までの時間短縮を実現した(図7)。

## 4. 瞬時に性能を引き出す調整機能

### 4.1 クイックチューニング

装置・システムの性能を引き出すためには、機械特性や

動作仕様に応じて、各種制御パラメータを調整する必要がある。例えば、半導体実装機やダイボンダといった高速・高精度な動作が要求される機械では高度な調整が必要である。MR-J4シリーズでは、ワンタッチ調整機能によって自動で高速・高精度な動作を実現して好評を得ている。一方、応答性や精度を要求しない単純な搬送などの用途にもサーボシステムが使われる場合も多くあり、このような用途では配線するだけで動作するような簡単さが求められている。また、サーボモータに対して非常に大きな負荷が付いている機械では、サーボアンプの出荷時初期設定では制御系が不安定になる場合がある。不安定な状態では、種々の調整機能の適用や高度な調整作業を実施することが困難なため、配線するだけで制御系を安定化させ、低応答であるが動作させられるようになる機能への要求は高い。これらの要求に応えるため、MR-J5シリーズでは、顧客での調整作業不要で、瞬時に安定な制御系と過度に遅くない応答性を得るクイックチューニング機能を開発した。

一例としてボールねじ装置に対してワンタッチチューニングとクイックチューニングを適用した結果を図8及び表1に示す。クイックチューニングではオーバーシュート量110パルスで整定時間91msの調整をサーボオン時の1瞬(0.3秒)で実現できている。

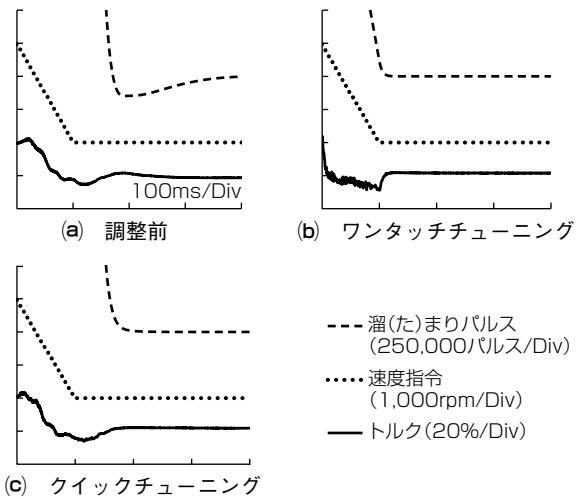


図8. 各種チューニング機能による調整結果

表1. 各種チューニング機能による調整結果

項目	調整前	ワンタッチチューニング	クイックチューニング
調整時間(秒)	—	60.0	0.3
整定時間(ms)	247.04	11.09	91.72
オーバーシュート量(パルス)	243,200	110	110

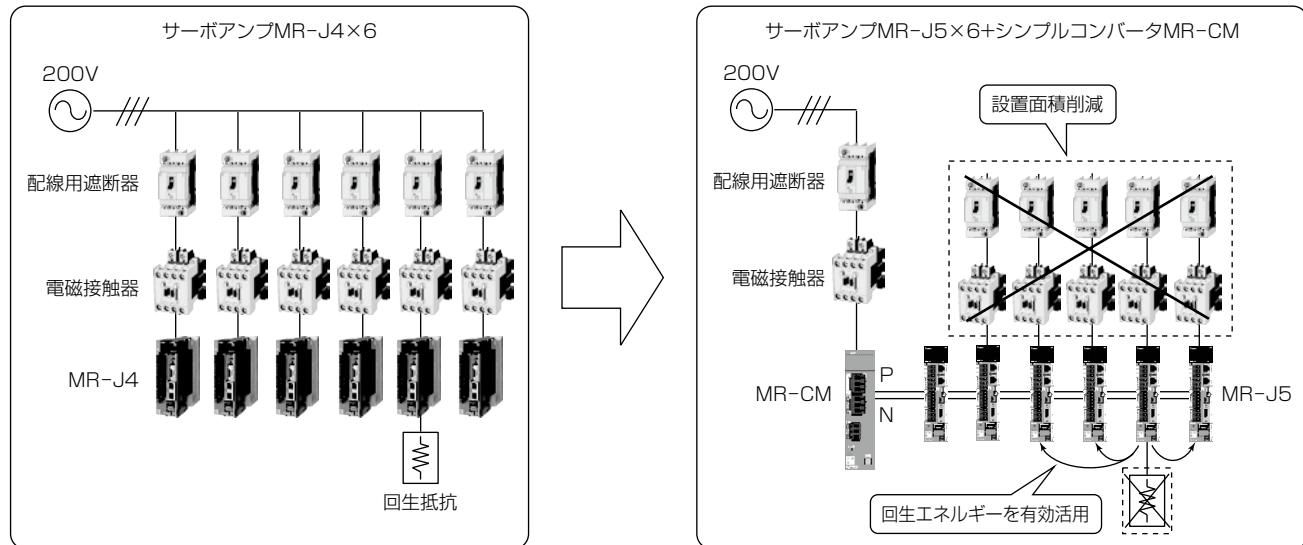


図9. MR-CM活用による母線共通システムの構成例

## 5. 省エネルギー・省スペース・省配線

### 5.1 シンプルコンバータ

近年、省エネルギー性、省スペースや省配線化の要求が更に高まっている。MR-J4シリーズでは、1サーボアンプで複数のサーボモータを駆動する多軸一体サーボアンプで対応していたが、システム構築の柔軟性に課題があった。例えば、容量の大きく異なるサーボモータ組合せが不可や最大軸数が3軸までという制約がある。MR-J5シリーズでは、シンプルコンバータMR-CMを新規に開発して母線共通システムの構築を容易にした。MR-CMの仕様は、最大接続アンプ数6台、定格出力3kW以下である。

母線共通システムを使用することによって、あるサーボモータの回生エネルギーを他サーボモータの力行エネルギーとして再利用するだけではなく、後述の回生協調制御によってサーボアンプ内蔵の回生抵抗を最大限利用可能になる。また、保護機器の削減や回生抵抗の削減によって、制御盤の設置面積削減が可能である(図9)。一例として、MR-J5単軸で6軸システムをMR-CM活用による母線共通システムに置き換えると配線用遮断器と電磁接触機をそれぞれ5台分の削減(設置面積でMR-CM分を考慮しても約38%の削減)とケーブル31本の削減が可能である。

### 5.2 回生協調制御

従来の母線共通システムでは、各サーボアンプの母線電圧検出回路のばらつきや回生オンタイミングのばらつきに

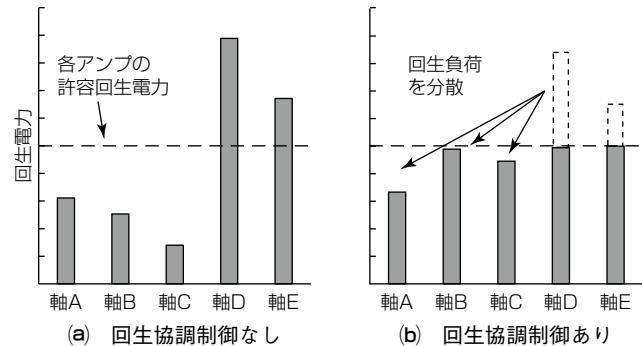


図10. 回生協調制御の効果

よる回生負荷集中が発生する課題があった。この課題に対して、回生協調制御で回生の負荷をシステム全てのサーボアンプで分散することを可能にした。これによって、処理できる回生エネルギーをシステム内の各サーボアンプの回生能力の足し算というるべき姿を実現した。一例として5軸システムでの試験結果を図10に示す。回生協調制御によって、システム内の内蔵回生抵抗だけで回生電力を処理し、外部回生抵抗の削減が実現した。

## 6. むすび

サーボシステムの根幹である高速・高性能だけを追求するだけでなく“トータルドライブソリューションで装置・システムのパフォーマンス最大化”をコンセプトにしたMR-J5シリーズについて述べた。今後も更にニーズを先取りして、多くの顧客の満足を得られる製品開発に努めていく。

# 新型サーボモータ“HKシリーズ”

New Servo Motors "HK Series"

小林弘樹\*  
Hiroki Kobayashi

金森大輔\*  
Daisuke Kanamori

土屋文昭\*  
Fumiaki Tsuchiya

野口琢也\*  
Takuya Noguchi

中村雄一朗†  
Yuichiro Nakamura

## 要旨

近年、ものづくりのグローバル化が進み、サーボモータへの要求は多様化している。それに対応するには、従来の機能・性能面の強化や継承性に加え、ラインアップの拡充や付加価値になる機能の追加が必要である。そこで、従来の三菱電機サーボモータ“HGシリーズ”から基本性能を強化し、バッテリーレス絶対位置エンコーダ搭載や大幅なラインアップ強化を実現した新型サーボモータ“HKシリーズ”を開発した。

モータの小型・高性能化技術について、かしめレス鉄心の採用、磁気ギャップ短縮によって損失を低減した結果、従来比で最大20%の小型化を達成、業界最小クラスのサイズを実現した。

モジュラ設計技術について、モデルをまたいだ全体最適

化設計によって、部品数削減を実現した。ラインアップを拡充するとともに、キーパーツである磁石の種類は従来の20種から9種にした。また、サーボアンプとの組合せ拡充による最大トルクアップと、AC200VとAC400V両方の電源電圧に対応するワイドレンジモータ駆動によって、一つの機種で複数のトルク特性を実現した。

エンコーダ技術について、バッテリーレス絶対位置エンコーダを標準仕様にすることでユーザーのTCO(Total Cost of Ownership)削減に貢献するとともに、バッテリーレス方式及び光学系検出方式の最適化によって、バッテリーレス化を実現した上で、26bitへの高分解能化と小型化を両立させた。



## 新型サーボモータ“HKシリーズ”

新型ACサーボアンプ“MELSERVO-J5シリーズ”対応として、新型サーボモータHKシリーズを開発した。小型化、ラインアップ強化、バッテリーレス絶対位置エンコーダ標準搭載、ONEコネクタ／ワンタッチロック／1ケーブル、サーボアンプとの組合せ拡充といった特長によって、機械に最適なモータでスマートな装置を構築可能である。

## 1. まえがき

サーボモータはFA製品の一つであり、様々な産業機械の駆動に用いられる。当社のサーボモータとしては、従来機種との高い互換性を持ち、継承を基本としたHGシリーズを2012年に発売した。このシリーズは現在の主力製品になっているが、近年のものづくりのグローバル化に伴い、サーボモータへの要求は多様化している。それに対応するには、従来の機能・性能面の強化や継承性に加え、ラインアップの拡充が必要である。また、エンコーダについても近年、電源OFF時にも多回転位置検出可能なシステムが求められており、一般的には、バッテリーを使用して電源OFF時に多回転位置を検出・記録する方法が採用されている。しかし、バッテリー切れやバッテリー交換時等に原点調整作業が必要になることや、航空輸送規制によって、バッテリーを接続しての輸送が困難である等の課題がある。

そこで、磁気設計最適化及び損失低減によって従来の基本性能を強化し、モジュラ設計による部品共用化で大幅にラインアップを拡充した新型サーボモータHKシリーズを開発した。HKシリーズに搭載するエンコーダは、バッテリレス絶対位置エンコーダを標準仕様にすることでユーザーのTCO削減に貢献する。

## 2. 小型・高性能化技術

HKシリーズでは、従来比で最大20%の小型化を達成した。モータ小型化のためには、放熱性の向上と損失(鉄損・銅損)の低減が有効である。HKシリーズでは、損失低減を実現するために、かしめレス鉄心を採用し、モータの鉄損(渦電流損)を低減した。また、ステータとロータ間の磁気ギャップを短縮することで銅損を低減すると同時に、磁気設計最適化によってギャップ短縮時のモータ特性への影響を最小化し、小型化と高性能の両立を実現した。

### 2.1 かしめレス鉄心の採用

かしめレス鉄心を採用することで、従来のかしめ固定と比較して、平均25%の鉄損低減を実現した。かしめ固定(図1(a))は、電磁鋼板の固定方法として一般的であるが、締結箇所で積層間の短絡による渦電流が発生し、鉄損が増加する。HKシリーズでは、巻線だけで電磁鋼板を固定する工法の開発によって、かしめレス(図1(b))を実現した。

### 2.2 磁気ギャップ短縮

磁気ギャップを従来の1.5mmから0.5mmに短縮し(図2)、銅損を従来比で約30%低減した。ステータとロータ間の

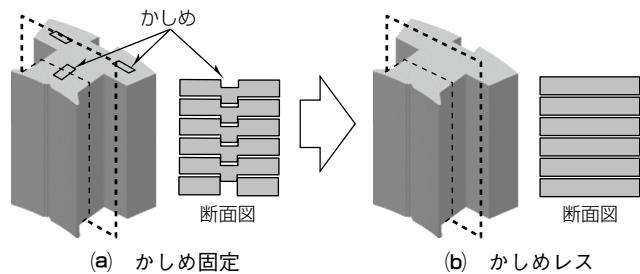


図1. ステータ鉄心固定方法の比較

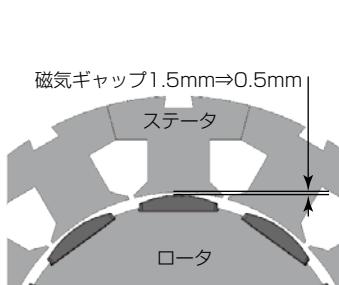


図2. モータ断面構造

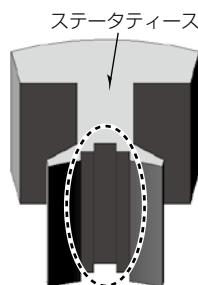


図3. 2段ダミースロット

磁気ギャップは、短縮すると磁気効率が向上して銅損を低減できる一方で、コギングトルクが大きくなる。サーボモータは、ロータに永久磁石を持つため、無通電時でもコギングトルク(トルク脈動)が存在する。コギングトルクは外乱要素になるので、サーボの高性能化のためには、小さくすることが望まれる。コギングトルクは、ロータ磁極数とステータスロット数の組合せ、磁石のばらつき、ステータのばらつき等、複数の要因によって発生する。

HKシリーズでは、磁気ギャップ短縮によるコギングトルク増加の課題に対して、図3に示す2段ダミースロットを採用してコギングトルク低減と銅損低減を両立させた。ステータティース先端に切欠き状のダミースロットを設ける手法はコギングトルク対策の一つとして一般的であるが、通常のダミースロットの場合、設計パラメータがダミースロット幅だけのため、これだけで複数の要因に対して同時に対策することは困難である。2段ダミースロットでは、1段目と2段目の幅を個別に設計することで、複数要因への対策が可能になり、より高いコギングトルク低減効果が得られる。

## 3. モジュラ設計技術

HKシリーズでは、モジュラ設計で部品数を削減すると同時に、従来に比べて58機種を78機種に拡充した。さらに、サーボアンプとの組合せ拡充やワイドレンジモータ駆動で、全体で約270パターンのトルク特性を実現した。

### 3.1 磁石共用化設計

従来のHGシリーズでは、容量帯・イナーシャ帯に応じ

て、主に七つのモデルをそろえているが、個別最適化設計をして、高性能化を実現していた。このような手法では、各モデルで設計が異なることから、ラインアップ拡充時に部品数の増加が課題となる。HKシリーズでは、モデルをまたいだ全体最適化設計によって、部品数削減とラインアップ拡充を両立させた。

モータのキーパーツである磁石については、イナーシャ帯の違いを利用して、異なるモデルに同一磁石を適用する共用化設計によって、従来の20種類から9種類へと削減した。当社のサーボモータは、同一出力で異なるロータ外径を設計することで、イナーシャ帯の違いを実現している。これらを他の容量帯と比較すると、異なるイナーシャ帯でも、容量帯が違うモデルでは、ロータ外径寸法は近い値となる。しかし、従来の個別最適設計では、類似のロータ外径であっても、各モデルで異なる磁石を使用していた。HKシリーズでは、図4に示すようにこれらを共通化設計することで、磁石の種類を削減すると同時に、更なるラインアップ拡充を実現した。例えば、図5に示すように、小容量・低イナーシャモデルと、中容量・超低イナーシャモデルのロータ外径寸法は同一に設計し、同一の磁石を使用している。

### 3.2 サーボアンプとの組合せ拡充

組み合わせるサーボアンプを変更することで、最大トルクアップを可能にした。モータのトルク特性は電流値に依

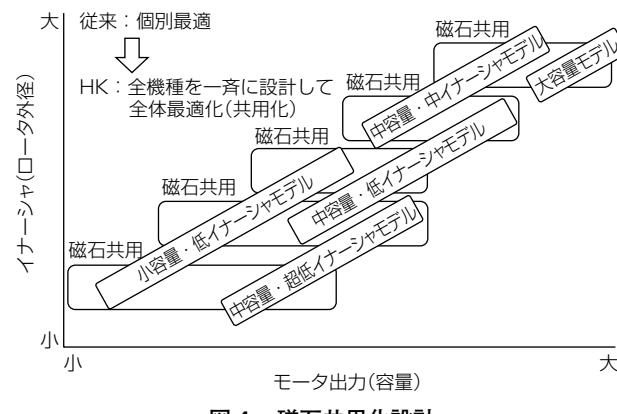


図4. 磁石共用化設計

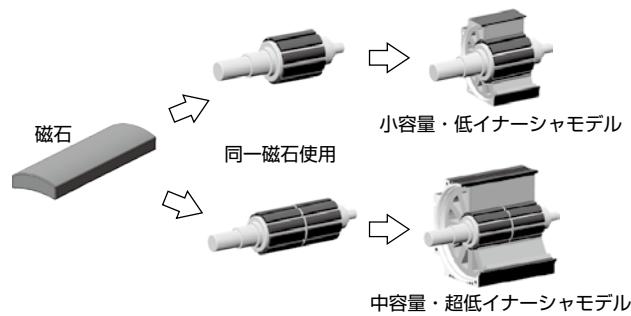


図5. 複数モデルでの磁石共用化

存するため、組み合わせるサーボアンプの許容電流値に制約を受ける。従来は、サーボモータとサーボアンプの組合せは1通りであったため、トルク特性も一意に決まっていた。HKシリーズでは、容量の大きいサーボアンプとの組合せも可能にすることで、最大トルクアップを実現した。これによって、一つの機種でも、組み合わせるサーボアンプを変更することで、2パターンのトルク特性を選択できる(図6)。

### 3.3 ワイドレンジモータ駆動

一つの機種でAC200V/AC400V両方の電源電圧に対応するワイドレンジモータ駆動によって、複数のトルク特性を実現した。サーボモータは高速域で、モータ端子電圧が入力電圧に達する電圧飽和領域が存在することから、トルク特性は入力電圧に制約を受ける。モータ端子電圧はモータの電気設計によるため、入力電圧(=電源電圧-サーボアンプでの電圧降下)に応じた電気設計が必要である。したがって、一つのトルク特性に対して、各電源電圧(AC200V/AC400V)に合わせて設計(A)された二つの機種をラインアップしている。これらは、従来は、どちらか一方の電源電圧(上記(A)で設計した電圧)にだけ対応し、絶縁設計もそれぞれの電圧に応じて個別に実施していました。HKシリーズでは、両方の電源電圧に対応することで、トルク特性での運転領域の拡大(高速化)・縮小(サーボアンプ小容量化)を実現した。また、絶縁解析技術を用いた薄肉絶縁設計によって、200V/400V電源対応での絶縁構造共通化を実現した(図7)。

ワイドレンジモータ駆動対応のHKシリーズでは、標準特性を得られる方の電源電圧(上記(A)で設計した電圧)がAC200Vの場合は形名の末尾に、“W”を、AC400Vの場合は“4W”を付与して区別するため、それぞれ“□Wタイプ”、“□4Wタイプ”と呼称する。□Wタイプをワイドレンジ駆動によってAC400V電源で使用する場合、元の設計より

----- HKシリーズで可能になった組合せ —— 従来の組合せ

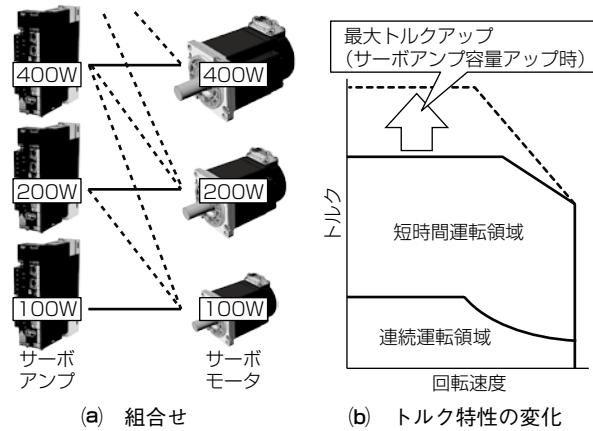


図6. サーボアンプとの組合せ拡充(小容量の場合)

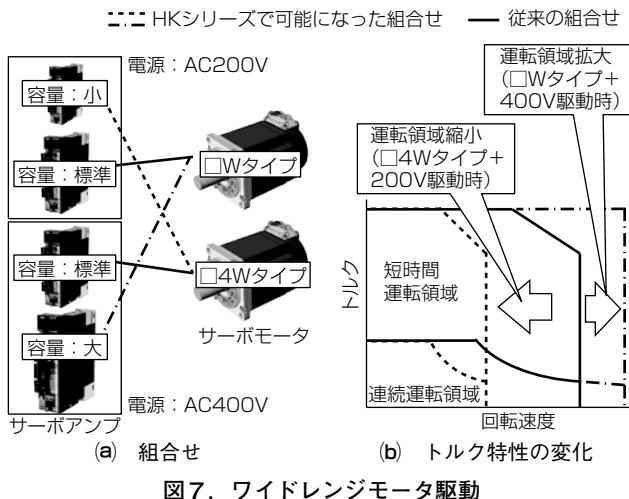


図7. ワイドレンジモータ駆動

組合せ サーボアンプ	□Wタイプ (従来の200Vクラス)		□4Wタイプ (従来の400Vクラス)	
	AC200V電源	AC400V電源 (ワイドレンジ駆動)	AC200V電源 (ワイドレンジ駆動)	AC400V電源
標準 サーボアンプ	標準	運転領域拡大	運転領域縮小	標準
容量アップ サーボアンプ	トルクアップ 運転領域拡大	トルクアップ 運転領域拡大	トルクアップ 運転領域縮小	トルクアップ

■ : HKシリーズで新規に実現したトルク特性

も大きい電圧を印加できるため、トルク特性での運転領域が拡大し、サーボアンプ容量は大きくなるが高速化が可能になる。一方で□4WタイプをAC200V電源で使用する場合、元の設計よりも入力できる電圧が小さいため、運転領域が縮小し、回転速度は低下するがサーボアンプ小容量化が可能になる。3.2節で述べたサーボアンプとの組合せ拡充と、この節で述べたワイドレンジ駆動は双方選択可能なため、一つの機種で最大4パターンのトルク特性を実現できる(表1)。これによって、機械の運転パターンに合わせた最適なサーボモータとサーボアンプの選択が可能になる。

## 4. エンコーダ技術

HKシリーズに搭載するエンコーダは、バッテリーレス絶対位置エンコーダを標準仕様にした。また、バッテリーレス方式及び光学系検出方式の最適化によって、バッテリーレス化に伴うサイズアップを抑制しつつ、モータの小型化や、更なる高分解能化等の基本性能向上を実現した。

### 4.1 バッテリーレス方式

一般的に、バッテリーレスの実現方法としては機械式(ギヤ式)と発電式が挙げられるが、機械式は発電式に比べ、摺動(しゅうどう)部の磨耗によって寿命が短い、検出器が大型化する、電源OFF時にカウント可能な回転数が少ないなどの課題があるため、HKシリーズに搭載するエン

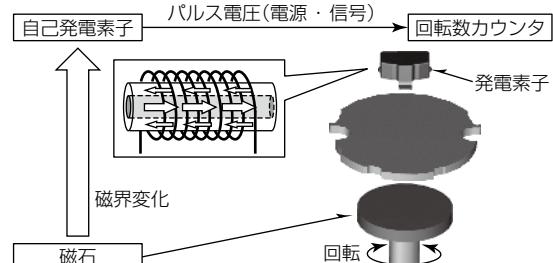


図8. バッテリーレス検出原理

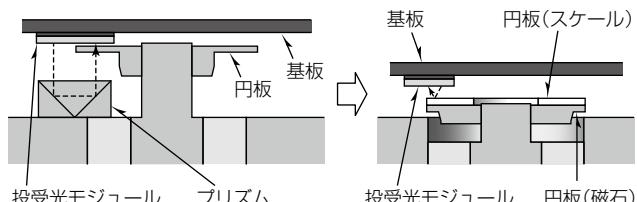


図9. 光学系検出方式の最適化

コーダは、当社独自の自己発電方式を採用した。

自己発電方式は、図8に示すように、モータ軸端の磁石が回転する際に発生する磁界の変化で発電素子に発生するパルス電圧によって位置を検出し、磁界の変化によって発生する電圧を活用して不揮発メモリに位置を記録する。

なお、この方式では回転速度や、駆動頻度が低い場合に、位置情報が消失する懸念があるが、発生するパルス電圧の最適化や、低速時の電圧を考慮した回路構成、専用ASICの開発等を実施することで、駆動条件によらず、約10年の位置検出・記録を可能にした。

### 4.2 光学系検出方式の最適化

4.1節で述べた方式はギヤ式よりも小型になるものの、発電素子を基板上に配置するため、モータ全長が長くなる点が課題になる。そこで、①光学系の検出方式を当社の従来方式である折り返し方式から反射方式への変更による全長短縮(図9)、②モータ部品と連携した構造設計による全長短縮、③磁気／光学の複合円板とし、専用ASICで双方の信号を処理することで、高分解能化を单一の基板／円板で実現した。これによって、バッテリーレス化を実現した上で、22bitから26bitへの高分解能化と、従来比で最大20%の小型化を両立させた。

## 5. むすび

新型サーボモータHKシリーズは、小型・高性能、大幅なラインアップ拡充、ユーザーのTCO削減となる機能追加を実現している。

今後も、先端技術と最高品質をベースにしたサーボモータの開発で、世界のものづくりに貢献していく。

## 特集論文

# CC-Link IE TSN対応“MELSERVO-J5” サーボシステム向けドライブエンジニアリング環境

Drive Engineering Environment for CC-Link IE TSN Compatible  
"MELSERVO-J5" Servo System

竹内俊策\*  
Shunsaku Takeuchi  
國枝重利\*  
Shigetoshi Kunieda  
田中慎次\*  
Shinji Tanaka

### 要旨

産業用オープンネットワークCC-Link IE TSNに対応した“MELSERVO-J5”サーボシステムのシステム設計・プログラミング・立ち上げ・メンテナンスをサポートするエンジニアリングソフトウェアとして，“GX Works3モーション制御設定”“Motorizer”“MR Configurator2”を開発した。

#### (1) GX Works3モーション制御設定

IEC61131-3 ST(Structured Text)言語及びPLCopen<sup>(注1)</sup> Motion Control FB(Function Block)によるプログラミング機能をサポートし、シーケンサ用エンジニアリングソフトウェアである“GX Works3”と1ツール化することでモーション制御プログラムを簡単に作成できる。

#### (2) Motorizer

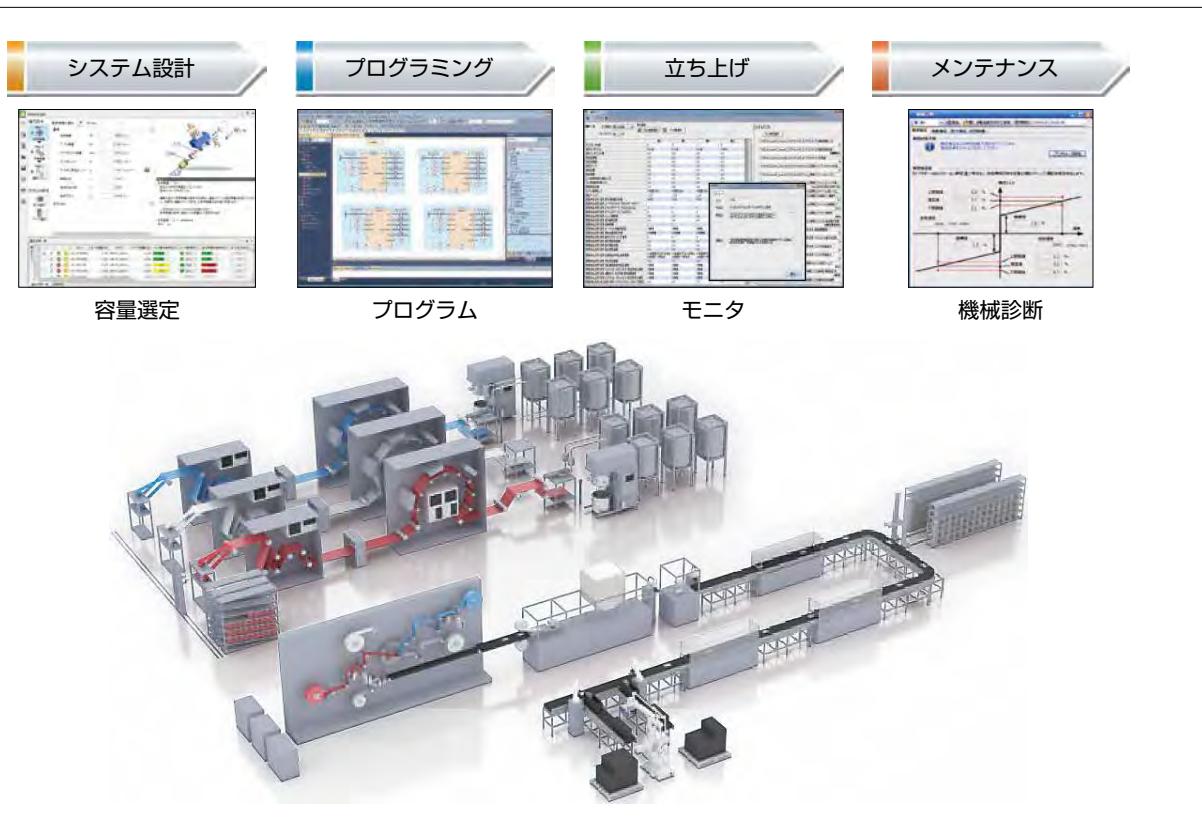
モータシリーズの横断検索に対応しており、統合された

サーボアンプ、インバータ、センサレスサーボの結果を一覧表示できる。またサーボアンプとサーボモータの組合せ自由化に対応し、異なる組合せを比較できる。さらに母線共通システムの省エネルギー効果を表示できる。

#### (3) MR Configurator2

従来の摩擦故障診断・振動故障診断の機械診断機能に加え、ギヤ診断・ベルト診断・エンコーダ通信回路診断に対応した。診断に必要なサーボパラメータを簡単に設定でき、診断結果を視覚的に分かりやすく表示することでギヤの摩耗状態やベルトの経年劣化を効率的に確認でき、駆動部故障トラブルを未然に防止できる。

(注1) PLCopenは、PLCopenの登録商標である。



### “MELSERVO-J5”サーボシステムのシステム設計からメンテナンスまでをサポートするドライブエンジニアリング環境

産業用オープンネットワーク“CC-Link IE TSN”に対応したMELSERVO-J5サーボシステムのシステム設計・プログラミング・立ち上げ・メンテナンスをサポートするドライブエンジニアリングソフトウェアを開発した。

## 1. まえがき

FA市場の動向として、オープン性・汎用性を指向する顧客が増加しており、特に海外ではIEC(International Electrotechnical Commission)規格、PLCopen規格に準拠した製品が好まれている。また、顧客は装置開発に様々な機器を扱う必要があり、エンジニアリングソフトウェアの統合化による学習コストの削減が求められている。さらに近年の市場動向として、ダウンタイムの回避、メンテナンス時間の削減、装置の稼働率向上のためにトラブルシュートの容易化が必要とされている。今回の開発ではこれらの要求に応えるドライブエンジニアリングソフトウェアを開発した。

## 2. GX Works3モーション制御設定

### 2.1 GX Works3モーション制御設定の概要

モーション制御設定は、シーケンサ用のエンジニアリングソフトウェアであるGX Works3に統合され、モーションユニットのシステム設計からメンテナンスまでの全てのフェーズを支援するソフトウェアである。従来サポートしている軸のパラメータ設定、同期制御に使用する演算プロファイルの作成を簡単に設定する機能に加え、IEC61131-3 ST言語及びPLCopen Motion Control FBによるプログラミング機能をサポートすることで三菱電機独自のプログラミング言語、モーション制御命令を学習することなくフレキシブルなモーション制御プログラムを作成可能である。また、立ち上げ、メンテナンス機能としてモニタ、イベント履歴、ロギング機能にも対応している。

### 2.2 モーション制御設定の特長

#### 2.2.1 モーションコントローラとシンプルモーションユニットの統合

モーションユニットはモーションコントローラの特長であるシーケンサと分離した高速制御、負荷分散を実現するプログラミングと、シンプルモーションユニットによる位置決め感覚の簡単プログラミングの両方の方法が可能である。プログラムの作成方法もGX Works3の特長である“書く”から“選ぶ”的方法を継承することでモーションの制御プログラムを簡単に作成する手段を提供する(図1)。

#### 2.2.2 ラベルプログラミング

ラベルとはデータを格納する入れ物につける名前であ

り、軸や演算プロファイル、リミット信号などの外部信号のデータをラベルとして扱うことでネットワークの構成や機器の変更の影響を受けないプログラミングが可能になる。また、データをラベル化することでプログラムが構造化され、プログラムの流用性が向上し、プログラミングコストの削減が可能になる。さらに、これまでのメモリアドレスによるプログラミングの場合、各アドレスを覚えてプログラムを作成することは学習コストがかかり、容易ではなかった。モーションユニットでは必要な全てのデータにラベルでアクセスできることでユーザーの学習コストを削減でき、プログラムの可読性、メンテナンス性が向上する。

#### 2.2.3 シーケンサとモーションユニットのラベル共有

これまでのモーションコントローラとシーケンサ間ではメモリアドレスによるデータ共有をしていたため、各メモリアドレスの意味を覚えて各自でプログラミングする必要があった。モーションユニットでは、そこで定義したラベルをシーケンサ側から同一ラベル名でアクセスできる機能を提供する。シーケンサとモーションユニット間で軸のラベルなどの共有が簡単になり、シーケンサ側プログラムで軸の指定や、軸の状態を監視したプログラムを簡単に作成できる(図2)。

#### 2.2.4 ロギング機能統合

シーケンサとモーションユニットのロギングデータの波形表示機能をロギング機能を持つユニットで収集し、そのデータを表示・分析するソフトウェアである“GX LogViewer”に統合することで、シーケンサとモーションユニットのデ

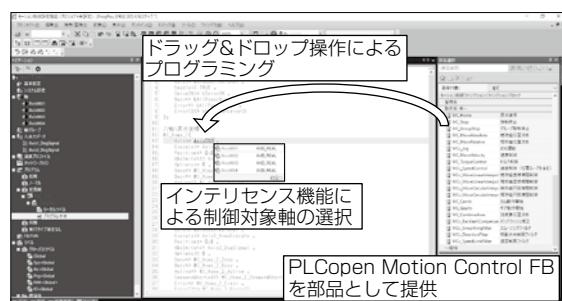


図1. 部品選択による簡単プログラミング



図2. シーケンサとモーションユニットのラベル共有

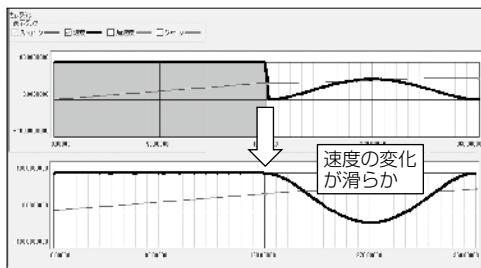


図3. 強化した5次曲線によるカム制御

タを同一ツール上で表示・分析ができるようになり、モーションシステムとしての立ち上げ・メンテナンスコスト削減が可能である。また、今後はGX LogViewerで表示可能なデータをシーケンサとモーションユニットだけにとどまらず、CC-Link IE TSNネットワーク上に接続されているサーボアンプ、インバータなどの機器にも拡張することで、CC-Link IE TSNの時刻情報をもとにした特定時刻でのデータ表示・分析が可能になり、サーボシステム全体のトラブルシューティングが容易になる。

## 2.2.5 カム機能強化

モーション制御設定では従来の5次曲線によるカム制御を強化し、カム曲線のつなぎ目で速度の変化が滑らかになるように調整する機能を開発した(図3)。この機能によって、機械へのショックを低減することが可能になる。

## 3. Motorizer

### 3.1 Motorizerの概要

Motorizerは、機械の構成(質量や付加反抗力など)や、運転パターン(動作時間や加速度など)を設定することで、最適なサーボモータ、サーボアンプ、回生オプションを選定するドライブ容量選定ソフトウェアである。20年以上前に開発されて拡張開発が困難になっている旧ドライブ容量選定ソフトウェアの課題を解決するために、今回新規に開発した。またACサーボアンプ“MELSERVO-J5シリーズ”的リリースに合わせて、サーボアンプとサーボモータの組合せ自由化と、シンプルコンバータを使った多軸構成の容量選定に対応している。

### 3.2 Motorizerの特長

#### 3.2.1 横断検索

旧ドライブ容量選定ソフトウェアでは、容量選定をする前に、モータシリーズを決めておく必要があり、ユーザーは機械に合うモータシリーズの形名をあらかじめ把握しておく必要があった。それに対してMotorizerではモータシ

リーズの横断検索が可能であり、ユーザーがモータシリーズを決める必要がなく、自動で複数のモータシリーズの選定結果が一覧表示されるようになっている。

Motorizerではサーボアンプ、インバータ、センサレスサーボの容量選定を統合しているため、これらを横断検索できる。CC-Link IE TSNでは、同一ネットワークにサーボアンプとインバータが構成可能であることから、両方を同時に容量選定するケースが増えるので、Motorizerだけでサーボアンプとインバータの容量選定に対応することで、顧客の使い勝手が向上する。

さらにサーボアンプとサーボモータの組合せ自由化に対応しており、異なる容量や電源電圧の組合せ結果を一覧表示することが可能である。図4は200Vサーボアンプと400Vクラスサーボモータの組合せ(“HK-KT434W”と“MR-J5-20G”)と、200Vサーボアンプと200Vクラスサーボモータの組合せ(“HK-KT43W”と“MR-J5-40G”)の選定結果である。ともに選定OKとなっていることから、400Vクラスサーボモータと組み合わせることで、サーボアンプの容量を下げられることが簡単に把握できる。

#### 3.2.2 多軸構成の容量選定

母線共通システムの多軸構成では、あるサーボモータの回生エネルギーを他サーボモータの力行エネルギーとして再利用することで、サーボアンプシステム全体で消費されるエネルギーを抑える省エネルギー効果がある。

Motorizerでは母線共通システムのサーボモータ間で有効利用される回生エネルギーを考慮した容量選定が可能になっており、サーボアンプシステム全体の省エネルギー効果を表示できる(図5)。

Motorizerでは、母線共通システムの多軸構成として、電源回生コンバータ、シンプルコンバータ、多軸一体サーボアンプに対応している。多軸構成の省エネルギー効果を表示することで、シンプルコンバータや多軸一体サーボアンプを使用する有効性を確認できる。

選定候補一覧				
	モータ	モータ容量(kW)	ドライブ	ドライブ容量(kW)
<input type="checkbox"/>	HK-KT434W	0.200	MR-J5-20G/A	0.200
<input type="checkbox"/>	HK-KT43W	0.400	MR-J5-40G/A	0.400

✓ : 選定OK

SV : サーボ

図4. 組合せ自由化の横断検索結果

グループ結果詳細	
⚠ 本ソフトウェアは、理論計算式に基づいて計算を行うもので、容量計算結果を保証するものではありません。計算結果に余裕を見込むなどして最終的な容量決定は御社にてお願いします。	
省エネ効果	
シンプルコンバータを使用すると、下記のように電力を抑えることができます。	

図5. シンプルコンバータ使用時の省エネルギー効果

## 4. MR Configurator2

### 4.1 MR Configurator2の概要

MR Configurator2は、サーボアンプの立ち上げからメンテナンスまでの全てのフェーズを支援するサーボセットアップソフトウェアである。サーボパラメータの設定、モニタ表示、テスト運転、サーボゲイン調整を簡単に行うことができ、サーボアンプの性能を十分に引き出すことが可能である。機械診断機能も充実しており、摩擦・振動故障診断から機械部品の経年劣化状況をモニタリングし、メンテナンスを支援する。MELSERVO-J5シリーズでは、ギヤ診断、ベルト診断、エンコーダ通信回路診断にも対応した。

### 4.2 MR Configurator2の特長

#### 4.2.1 予知保全機能

近年、装置のメンテナンスに関する要望は大きく、予知保全機能として経年劣化に伴うギヤの摩耗状態を診断するギヤ故障予測診断、ベルトの張力状態を診断するベルト診断を開発した。

MR Configurator2では、ギヤ故障診断機能からパラメータ設定機能を連携させた。パラメータ設定機能でギヤ故障診断に関連するサーボパラメータをグルーピングして表示しており、簡単にバックラッシュしきい値などのサーボパラメータを設定できる。

また、MR Configurator2から実行したバックラッシュ推定では、バックラッシュしきい値とバックラッシュ推定値を視覚的に分かりやすく表示することで、ギヤの摩耗状態を容易に確認できる(図6)。

ベルト駆動の場合、ベルト張力低下予測機能によって経年劣化によるベルトの寿命を検出できる。MR Configurator2の張力推定画面でもパラメータ設定機能と連携しており、ベルト張力低下しきい値にかかるサーボパラメータを効率的に設定できる。

ベルト張力推定値がしきい値以下となった場合にメンテナントタイミングを示すサーボアンプ警告によってベルトの経年劣化を検知できる。MR Configurator2の機械診断画面ではベルト張力低下しきい値と推定値を表示することで、寿命兆候を事前に確認できる。これは、駆動部故障トラブルの未然防止に有効である(図7)。

#### 4.2.2 エンコーダ通信回路診断機能

エンコーダ通信アラームの要因には、サーボアンプ故障、エンコーダ故障、エンコーダケーブル断線などが多く、原因

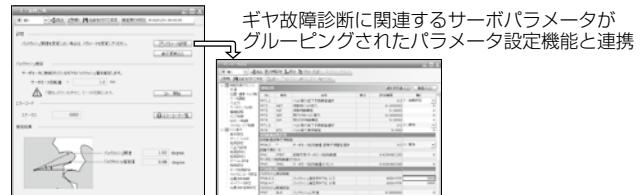


図6. ギヤ故障診断機能

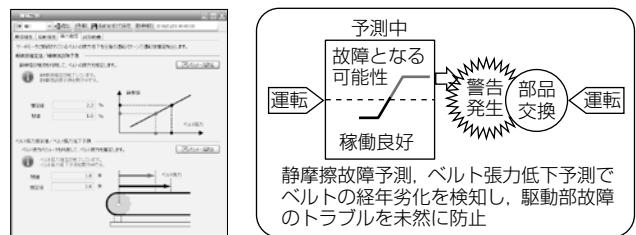


図7. 機械診断機能の張力推定



図8. エンコーダ通信回路診断

特定に時間を使っている。ここで、MR Configurator2からエンコーダ通信回路診断を実行することで、サーボアンプの回路故障、又はケーブル／エンコーダの故障かを容易に判別でき、アラーム発生原因の特定までの時間を短縮できる(図8)。

#### 4.2.3 事後保全機能

サーボアンプの状態を常時監視して、アラーム発生前後の状態遷移を一定時間記録するドライブレコーダもMELSERVO-J5シリーズで進化している。

MR Configurator2では、ドライブレコーダ作動時にグラフ波形データ・トリガー検出時のモニタ情報に加え、システム構成情報、サーボパラメータのデータも確認でき、容易にアラームなどの原因究明が可能である。また、ドライブレコーダ機能と連携したパラメータ設定機能によって、アラームだけでなく任意のデータをトリガー条件として設定できる。

## 5. む す び

MELSERVO-J5サーボシステムのシステム設計からメンテナンスまでのTCO(Total Cost of Ownership)削減をサポートするエンジニアリングソフトウェアを開発した。

今後もこれらエンジニアリングソフトウェアの機能拡充・使い勝手向上を進めるとともに、エンジニアリングソフトウェア間の統合・連携を強化し、更なるTCO削減に貢献していく。

# FAアプリケーションパッケージ “iQ Monozukuri工程リモート監視”

FA Application Package "iQ Monozukuri PROCESS REMOTE MONITORING"

大小嶋紗碧\*

Saki Okojima

兼子弘也\*

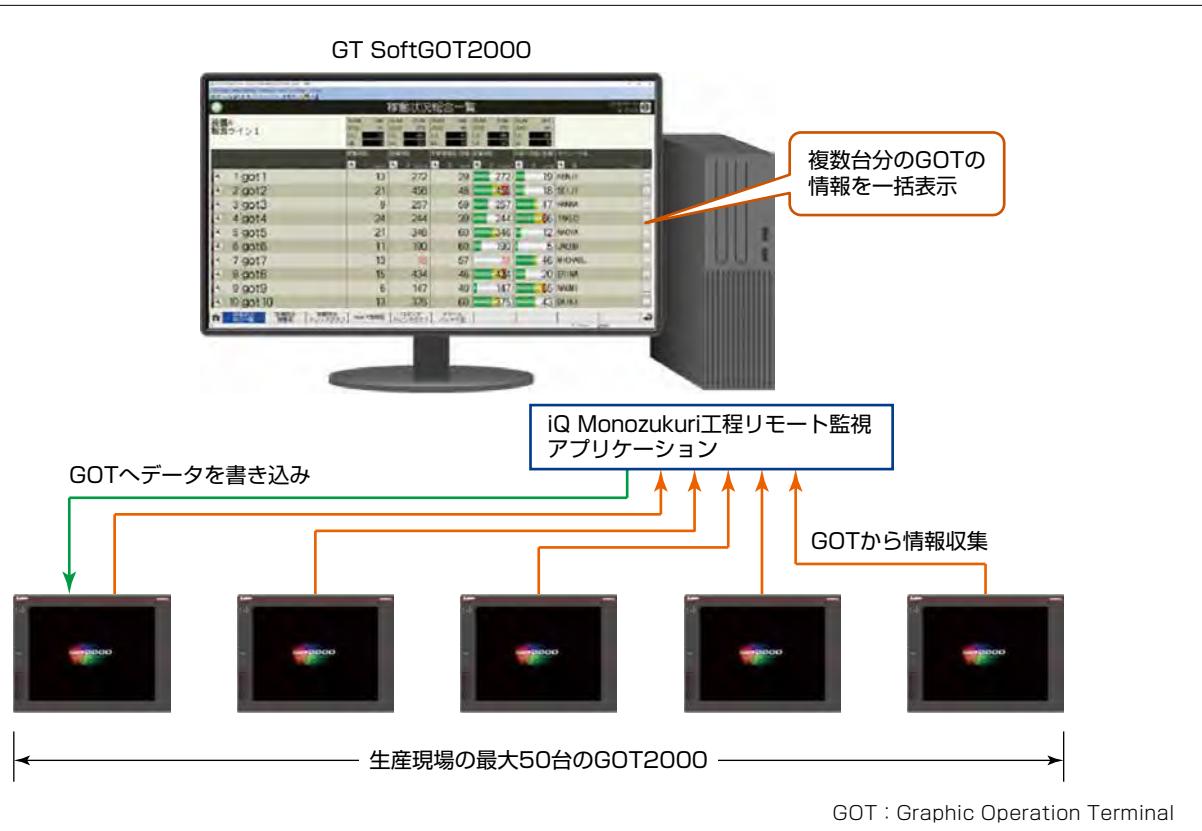
Hiroya Kaneko

## 要旨

今日の製造業界での市場の傾向は、生産性向上のための設備の高効率化を推進する動きや、Industry 4.0に代表されるIoT(Internet of Things)を駆使した次世代産業の構築・確立を目指す動きが活発であり、設備のIoT化が求められている。設備をIoT化するに当たり、まずは設備から情報を収集する“設備の見える化”が必要である。しかしながら、既存の設備には様々なメーカーの機器が搭載されており、一括で情報を収集・管理することが困難であったり、マイコンボードや産業用パソコンによる情報収集が可能な場合であっても、ハードウェアの信頼性やソフトウェアの

開発コストの面で問題が生じたりと、IoT化に踏み出しにくいのが現状である。

これらの現状を踏まえ、三菱電機の生産現場向けグラフィックオペレーションターミナル“GOT2000”と、パソコンをGOT2000のように使えるソフトウェア“GT Soft-GOT2000”を連携させ、専門的な知識がなくても簡単にシステム構築が可能で、複数設備の情報収集、見える化、管理を可能にするFAアプリケーションパッケージ“iQ Monozukuri工程リモート監視”を開発した。



## FAアプリケーションパッケージ“iQ Monozukuri工程リモート監視”

iQ Monozukuri工程リモート監視は、生産現場のIoT化を簡単に実現し、複数設備の情報収集、見える化、管理を可能にするFAアプリケーションパッケージである。既存設備に組み込んで、複数設備の情報を一括収集・管理する。

## 1. まえがき

GOT2000シリーズは、“Easy & Flexible(使いやすく、自由度が高い)”をコンセプトに開発された産業用のタッチパネル付き表示装置であり、国内外から高い評価を得ている。そのGOT2000を通して生産設備の情報をアンドン用モニタに表示し、現場の情報を共有することができるFAアプリケーションパッケージ“iQ Monozukuriアンドン”<sup>(1)</sup>が市場で好評であったことを受け、更なるアプリケーション開発への需要が高まった。

そこでFAアプリケーションパッケージ“iQ Monozukuriシリーズ”の新しいアプリケーションとして、GOT2000とGT SoftGOT2000の連携によって、簡単に生産現場のIoT化を実現できる“iQ Monozukuri工程リモート監視”を、2019年9月に市場投入した。

本稿では、iQ Monozukuri工程リモート監視の特長と機能について述べる。

## 2. iQ Monozukuriシリーズ強化の背景

### 2.1 IoT化とは

近年、IoTという言葉がよく使用されるようになってきたが、IoTとは“Internet of Things”的略で、モノがインターネット経由で通信することを意味する。IoTという言葉ができる以前は、インターネットはコンピュータ同士を接続する手段であったが、近年では身近にあるスマートフォンやタブレット端末など、インターネットに接続できる機器が急速に増えている。

こうしたIoT化の流れは、ものづくりの現場でも例外ではなく、IoT化を通じて設備の情報を収集して管理・分析したり、遠隔で監視したりと設備のIoT化の需要が高まっている。

### 2.2 iQ Monozukuri工程リモート監視のねらい

当社は、FAとITの連携によって、製造業での業務全般の最適化を推進するFA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”的一環として、iQ Monozukuriシリーズを展開している。iQ Monozukuriシリーズは、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・保守を可能にするノウハウを集めて最適化したアプリケーションパッケージである。

生産現場のIoT化を簡単に実現するため、これまで難しかった既存設備の情報収集と見える化、また情報の一括管理を簡単に実現できるFAアプリケーションパッケージ

“iQ Monozukuri工程リモート監視”を開発した。これによって、生産現場全体の工程の改善や、生産性向上を支援することで顧客の課題解決に貢献する。

## 3. iQ Monozukuri工程リモート監視の特長

iQ Monozukuri工程リモート監視は、複数設備からのデータを収集・管理・蓄積する工程リモート監視設定ツールと、収集したデータを可視化、簡易分析するiQ Monozukuri工程リモート監視と連動したGT SoftGOT2000用テンプレート画面、生産現場の設備に組み込まれるGOT2000で構成される(図1)。

設備に組み込まれたGOT2000を介して、生産現場の稼働状況や、設備ごとのアラーム情報などをGT SoftGOT2000用テンプレート画面に表示し、データ分析することで生産現場全体の見える化を実現し、工程改善や生産性向上を支援する。

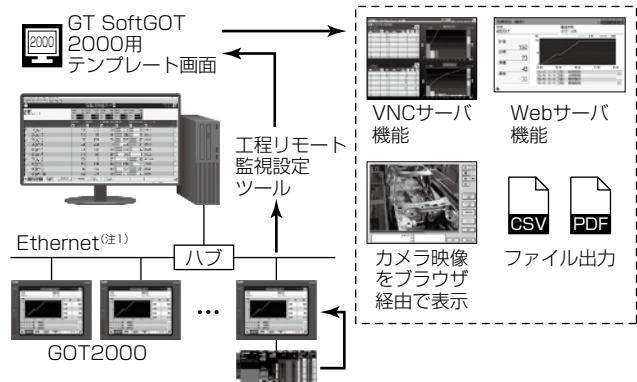
iQ Monozukuri工程リモート監視の主な特長を次に述べる。

### 3.1 見える化システムの簡単導入・簡単立ち上げ

GOT2000は当社製FA機器だけでなく、他社製コントローラやオープンなネットワークにも接続可能である。この特長を活用し、GOT2000をゲートウェイとしてすることで様々なメーカーのコントローラが混在するような設備のラインに対しても簡単に情報を収集できる。また、収集した情報はGT SoftGOT2000用テンプレート画面に表示することで簡単に見える化システムが構築可能になる(図2)。

### 3.2 複数のGOT2000の情報を一括収集・管理

各設備で収集したGOT2000の操作ログ情報や、GOT2000に接続されているコントローラなどのアラーム情報、設備パラメータなどのロギングデータを工程リモート監視設定



(注1) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

VNC : Virtual Network Computing, CSV : Comma Separated Values, PDF : Portable Document Format

図1. iQ Monozukuri工程リモート監視システムの構成例

ツールで一括収集・管理可能である。蓄積したデータから条件に合った情報だけを抽出して、CSVファイルやPDFファイルに出力できる(図3)。

また、工程リモート監視設定ツールで作業者の氏名や、ログインした時刻、操作内容などのオペレータ管理情報を一元管理できる。複数のGOT2000のオペレータ情報の収集・管理・配信を一括して行えるので、オペレータ情報の管理工数を削減できる(図4)。

### 3.3 Webサーバ機能等との連携

パソコン上のGT SoftGOT2000からほかのアプリケーションを連携起動し、生産現場の設備状況を遠隔地から確認できる。例えば、GOT2000のWebサーバ機能を用いて生産現場のGOT2000から設備の稼働状況を閲覧することや、Webブラウザを経由して生産現場に設置されたネットワークカメラなどの映像を確認できる(図5)。

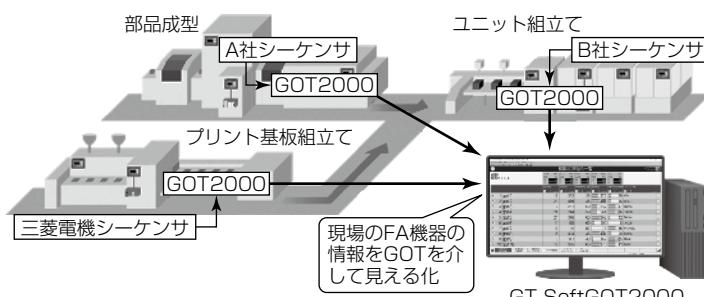


図2. 見える化システムの簡単導入・立ち上げ

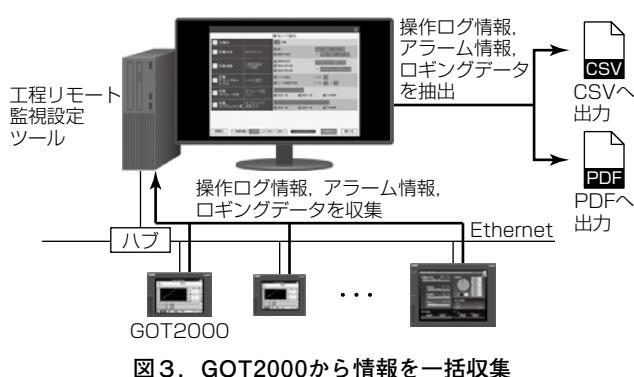


図3. GOT2000から情報を一括収集

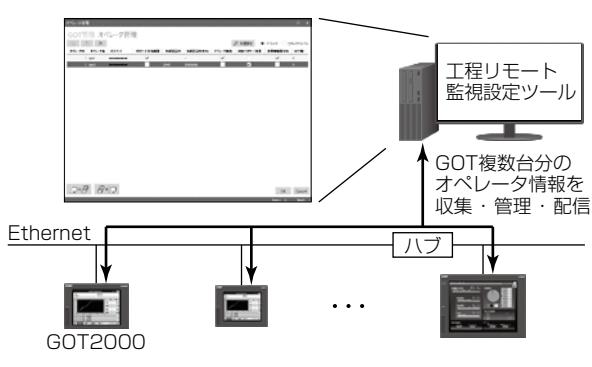


図4. オペレータ情報を一元管理

### 3.4 GT SoftGOT2000用テンプレート画面による一括監視・簡易分析

複数設備のGOT2000を介して工程リモート監視設定ツールが収集・蓄積したデータは、GT SoftGOT2000用テンプレート画面を用いて可視化・簡易分析できる。

#### 3.4.1 見える化テンプレート画面で一括監視

収集した稼働状況などの情報の一覧表示やトレンドグラフ表示などができる、複数の生産ラインの状況を一括監視可能である。また、設備総合稼働率画面では稼働時間や良品数などの情報から各設備の稼働率を自動算出して表示するため、異常の早期発見による稼働率向上に寄与する。

#### 3.4.2 テンプレート画面で簡易分析

製品の重さなどのロギングデータからXbar-R管理図を作成でき、工程ごとのばらつきや、工程平均の傾向を可視化できる。また、管理限界を超えた場合には通知も可能である。さらに、工程能力指数も同時に確認できるため、異常の発生を未然に防止し、品質保証とコストダウンに貢献する(図6)。

また、各設備のGOT2000から収集したアラーム情報を用いて発生件数や発生累積時間を基準にアラームパレート図を生成してテンプレート画面に表示する。アラームの発生件数が多い順に見える化でき、アラームの傾向分析や工程改善の要因分析を支援する(図7)。

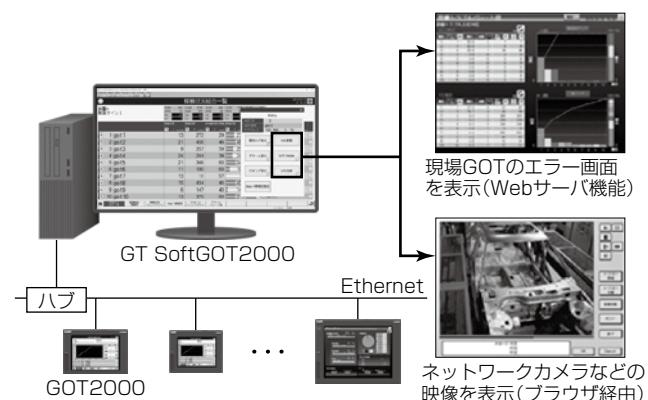


図5. Webサーバ機能連携

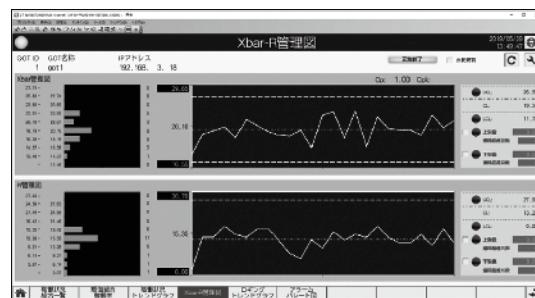


図6. Xbar-R管理図画面

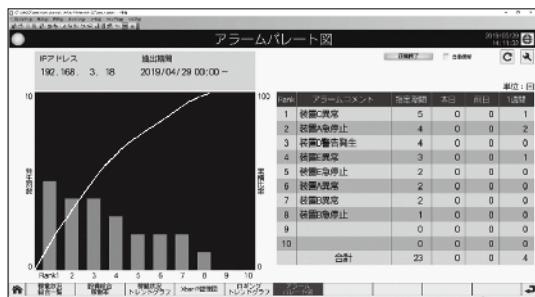


図7. アラームパレート図画面

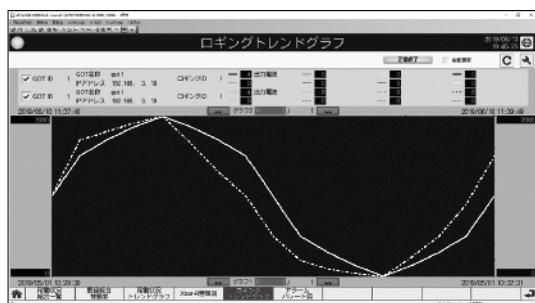


図8. ロギングトレンドグラフ画面

さらに、ロギングトレンドグラフ画面ではGOT2000から収集したパラメータなどのロギングデータを時系列で二つ重ね合わせて表示できる。これによって、同じ時間の異なる設備のロギングデータの比較や、同一設備の正常時と異常時のロギングデータを比較できるため異常の検出や劣化診断などが可能である(図8)。

## 4. iQ Monozukuri工程リモート監視の機能

iQ Monozukuri工程リモート監視が実現する機能は、図9に示すようにデータ収集・管理・蓄積、収集データの可視化、収集データの加工・簡易分析の三つである。これらの機能を稼働中の設備に影響を与えずに効率よく動作させるため、機能ごとに採用する機器やプログラミング言語などを選定して開発を行った。

### 4.1 データの収集・管理・蓄積

GOT2000からのデータの収集・管理・蓄積機能は工程リモート監視設定ツールとして開発した。工程リモート監視設定ツールは、同時に複数のGOT2000と通信を行って効率的にデータの収集・蓄積を行う必要があるため、複数スレッドの通信の管理を得意とするVisual C#言語を採用して開発した。図9のように、工程リモート監視設定ツール内のプロセスを、①設定ツールのGUI(Graphical User Interface)を担うモニタプロセス、②GOT2000と通信を行いデータ収集するコレクタプロセス、③収集したデータを管理・蓄積するデータサービスプロセスの三つに分割し、

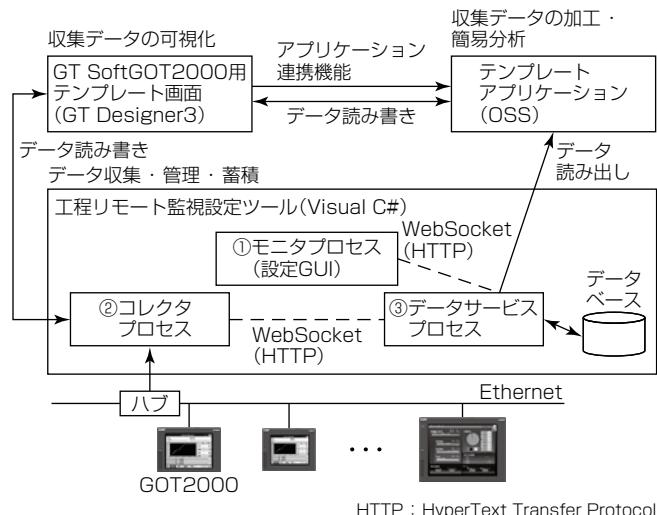


図9. ソフトウェア構成

それぞれが独立して動作できるように設計した。そうすることで、3プロセスそれが他のプロセスの処理に影響を与えることなく、最も効率的に動作できるようになった。

### 4.2 収集データの可視化

収集データの可視化機能は、GT SoftGOT2000用テンプレート画面を用いて実現した。このテンプレート画面はGOT2000の画面作成の際に用いられる作画ソフトウェア“GT Designer3”を使用して作成しており、ユーザーで自由にカスタマイズ可能である。

### 4.3 収集データの加工・簡易分析

収集データの加工・簡易分析を行うテンプレートアプリケーションは、オープンソースソフトウェア(OSS)を用いて開発した。採用したOSSはデータ操作を行うことに長(た)けており、ライブラリも豊富であるため、工程リモート監視設定ツールが蓄積した情報を簡単に効率よく処理でき、将来の拡張性も確保できた。

## 5. むすび

GT SoftGOT2000と生産現場のGOT2000の連携によって、簡単に設備のIoT化を実現できるアプリケーションパッケージ“iQ Monozukuri工程リモート監視”について述べた。

今後は、周辺機器との連携の更なる強化、実用的なテンプレート画面の追加など、ユーザーの使いやすさを更に追求した機能拡充を行っていく。

### 参考文献

- (1) 林 和裕, ほか: アプリケーションパッケージ“iQ Monozukuri アンドン”, 三菱電機技報, 92, No.4, 233~236 (2018)

# 数値制御装置リモートサービス “iQ Care Remote4U”

Computerized Numerical Control Remote Service "iQ Care Remote4U"

勝田喬雄\*  
Takao Katsuta

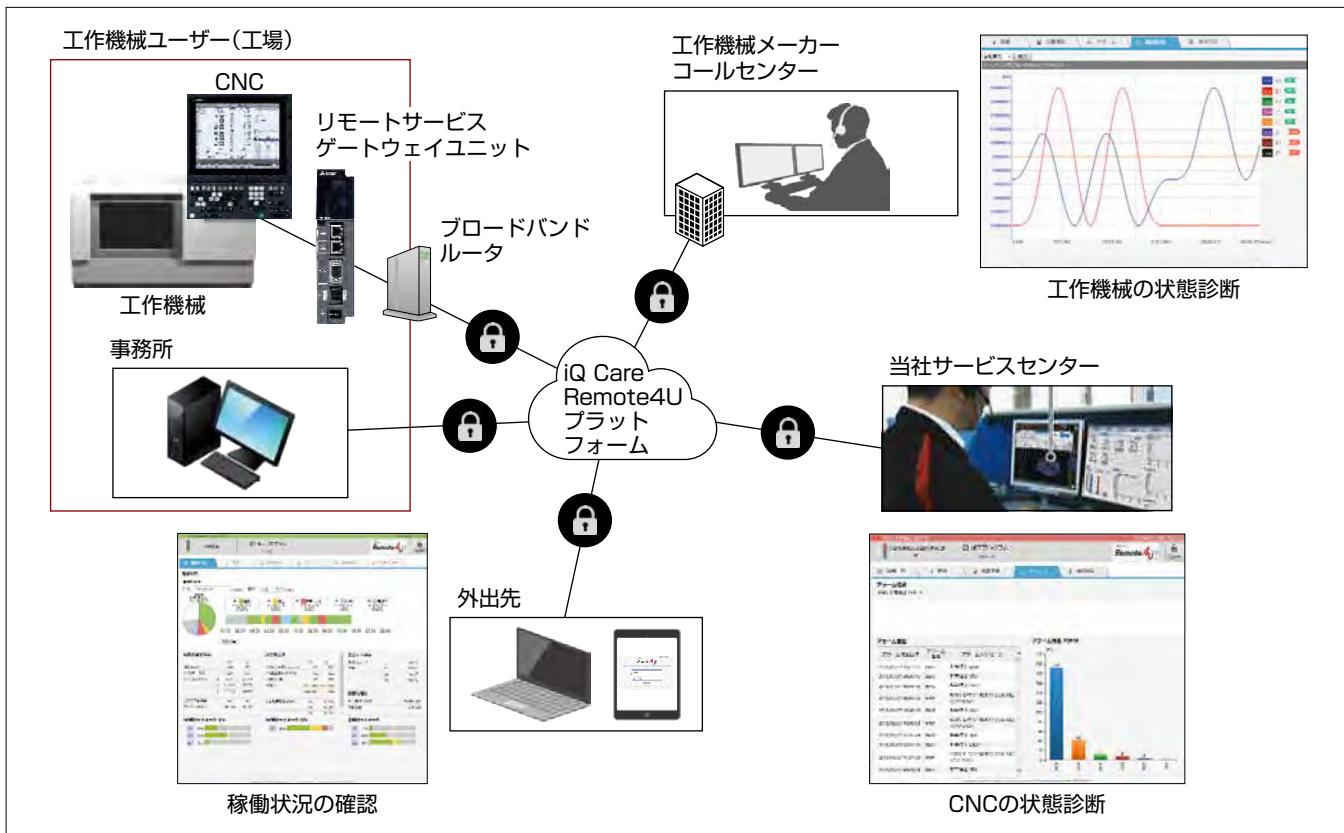
## 要旨

近年IoT(Internet of Things:モノのインターネット)への関心が高まりつつある。また、生産現場では、生産性向上や生産設備のダウンタイム短縮による稼働率向上が課題となっており、課題解決に向けて、IoTを活用した稼働率向上への期待が高まりつつある。この流れを受けて、三菱電機ではレーザ・放電加工機向けリモートサービス“iQ Care Remote4U”を開始しているが、今回当社製の数値制御装置(Computerized Numerical Control:CNC)が搭載された工作機械向けにも、“iQ Care Remote4U”を適用した。その特長は次のとおりである。

- (1) リモートサービスゲートウェイユニットによってネットワークを介してCNCからデータを収集し、暗号化し

てプラットフォームにデータを蓄積する。

- (2) プラットフォームに蓄積された個々の工作機械のアラーム発生状況やデバイスの状態等をWebブラウザに表示することで、サービスセンターからの遠隔診断を可能にし、機械の迅速な診断を支援する。
- (3) 工作機械メーカーにプラットフォームを提供することで、工作機械メーカー独自の遠隔診断サービス構築を支援可能である。
- (4) 稼働状況や診断データをWebブラウザ経由でダウンロードできることによって、工作機械メーカーの診断迅速化やユーザーの生産効率化を支援可能である。



## 数値制御装置リモートサービス“iQ Care Remote4U”

当社独自開発のリモートサービスゲートウェイユニットで工作機械から安全にデータをプラットフォームに蓄積し、蓄積されたデータを活用して遠隔で工作機械とCNCの状態を診断することによって、工作機械の生産性向上と工作機械の復旧の迅速化を支援する。

## 1. まえがき

近年IoTへの関心が高まっている。また、働き手不足や働き方改革への関心も高まり、生産現場では、限られたりソースの中で生産性向上や生産設備のIoTを活用したダウンタイム短縮による稼働率向上実現へのニーズが高まっている。この流れを受けて、2016年に当社レーザ加工機向け、2017年に当社放電加工機向けのリモートサービス“iQ Care Remote4U”を開始した<sup>(1)</sup>。

一方、工作機械の分野でもIoTを活用して、生産効率を向上させたいという要望が増えつつあることを踏まえて、2019年から、当社製CNCが搭載された工作機械向けにも“iQ Care Remote4U”を適用した。

本稿では工作機械向けの数値制御装置リモートサービス“iQ Care Remote4U”での開発技術について述べる。

## 2. iQ Care Remote4Uの構成

### 2.1 システム構成

iQ Care Remote4Uは、プラットフォーム(クラウド)にユーザーの工作機械のデータを蓄積し、工作機械ユーザー、工作機械メーカー、当社サービスセンターとの間でデータを共有化できるシステム構成にしている(図1)。

工作機械に搭載されたCNCと、当社独自開発のリモートサービスゲートウェイユニットをLAN(Local Area Network)ケーブルで接続し、リモートサービスゲートウェイユニットをインターネットに接続することで、工作機械の状態に関するデータをプラットフォームに蓄積する。

工作機械ユーザー、工作機械メーカーのコールセンター、及び当社のサービスセンターは、パソコンやタブレット等の端末をインターネットに接続し、端末のWebブラウザを使って、プラットフォームに蓄積されたデータを閲覧できる。

工作機械からプラットフォームに送信するデータや、蓄積されたデータの閲覧に必要なデータは暗号化され、工作機械ユーザーのデータを保護している。

### 2.2 リモートサービスゲートウェイユニット

“iQ Care Remote4U”では、工作機械のデータをプラットフォームに蓄積するために、専用のリモートサービスゲートウェイユニットを使用する。

リモートサービスゲートウェイユニットとLANケーブル接続に対応しているCNC(主に“M7/M8シリーズ”)を接続することで、工作機械からデータを収集することが可能になる。リモートサービスゲートウェイユニットは、収集したデータをHTTPS(HyperText Transfer Protocol Secure)を用いて暗号化し、インターネット経由でプラットフォームにデータを送信する。これによって、工作機械に関するデータを安全にプラットフォームに蓄積できる。

また、リモートサービスゲートウェイユニットは、図2のように常時送信するデータと、サービスセンターが機械を診断しているときだけ送信するデータに分けて送信するよう送信制御を行い、プラットフォームへの負荷を低減している。

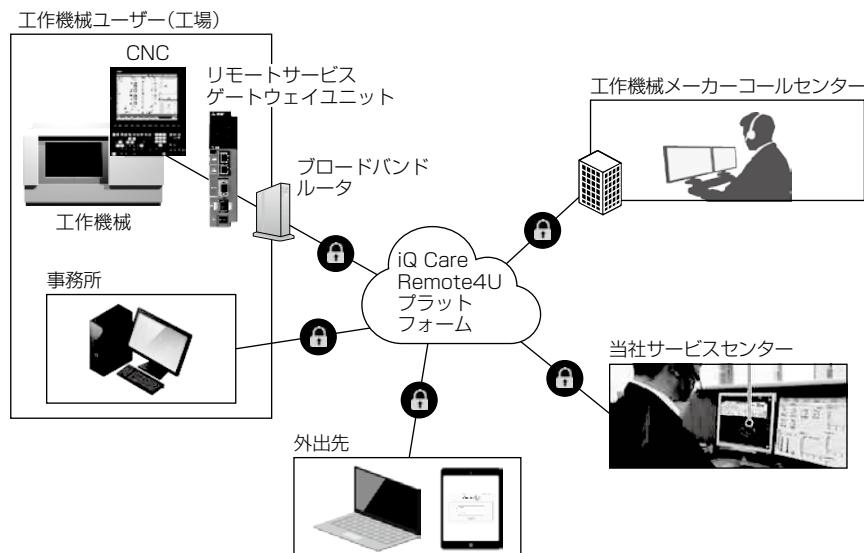


図1. iQ Care Remote4Uのシステム構成

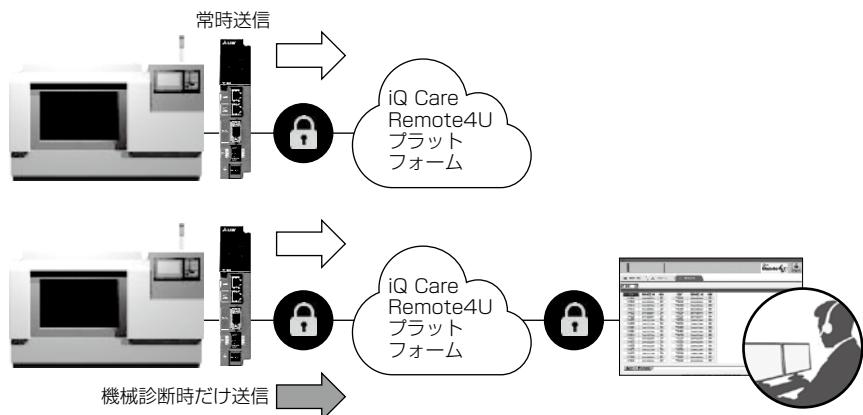


図2. データ送信制御

### 2.3 プラットフォーム

“iQ Care Remote4U”では、当社が展開している“グループクラウド”<sup>(2)</sup>を利用してデータ処理サーバとWebサーバを動作させ、サービスを提供する構成にしている。データ処理サーバには分散処理ミドルウェアを搭載し、多くの工作機械から送信される大量のデータを処理・蓄積できるようにしている。

また、“グループクラウド”では、パブリッククラウド上に、サービス運用に必要な当社独自の環境(ネットワーク機能、標準IaaS(Infrastructure as a Service)機能、セキュリティ対策機能等)があらかじめ準備されている。この環境を利用することで、当社としてのクラウドを利用したサービスを容易に立ち上げができるとともに、サービス運用でのセキュリティリスクを低減できる特長を持つ(図3)。

### 2.4 プラットフォームライセンス

“iQ Care Remote4U”では、工作機械メーカー向けのライセンス“プラットフォームライセンス”を販売しており、工作機械メーカーは、このライセンスを購入することによって、自社のサービスとして工作機械のユーザーに販売できる。

工作機械メーカーは、プラットフォームライセンスの購入によって、独自のシステム構築が不要となり、かつデータ収集に必要な環境を簡単に利用可能になることから、リモートサービスを実現するシステムの構築・維持管理に要するコストを低減できる。

さらに、このプラットフォームに蓄積された工作機械のデータを活用することで、工作機械メーカーは、独自の遠隔診断や保守機能を工作機械のユーザーに展開することも可能になる。

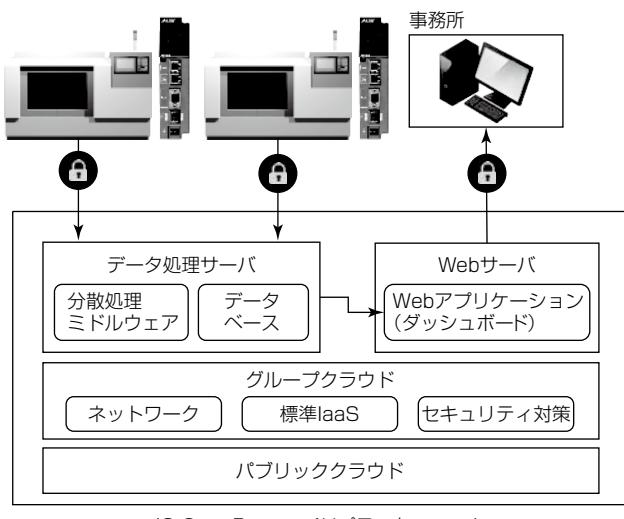


図3. プラットフォームの構成

### 3. サービス提供内容

#### 3.1 稼働監視

“iQ Care Remote4U”では、ユーザーの工作機械の運転状態、運転履歴、加工実績、負荷状況等の稼働状況をWeb画面で確認できる(図4)。

運転履歴については、日ごと、1週間ごと、1ヶ月ごと、6ヶ月ごとにまとめた表示も可能であり、運転履歴の活用によって、工作機械の期間単位の生産状況の把握が容易になる。また、負荷状況も確認できるので機械の保守計画立案の支援にもつながり、工作機械ユーザーの生産効率向上を支援することが可能である。

#### 3.2 遠隔診断

iQ Care Remote4Uでは、工作機械メーカー又は当社が工作機械ユーザーの工作機械で発生しているアラームと、その発生履歴、診断に必要な情報をWeb画面によって入手し、遠隔で診断できる。

##### 3.2.1 アラーム診断

アラーム遠隔診断画面(図5)では、工作機械で現在発生しているアラームと、過去に発生したアラームの履歴を

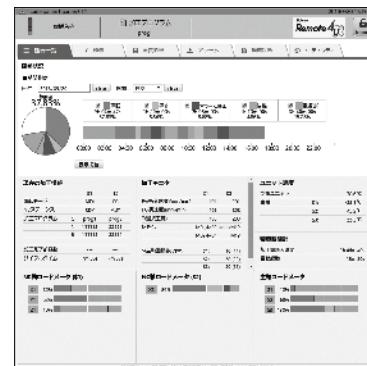


図4. 稼働状況画面



図5. アラーム遠隔診断画面

Web画面で閲覧できる。アラーム履歴では各アラームを多い順にグラフで並べ、発生頻度の高いアラームを確認できる。これらの機能によって、工作機械で発生しているトラブルの要因調査を迅速に進めることができる。

### 3.2.2 機械診断

機械診断機能では、当社製CNCから得られる工作機械の診断に必要な次の情報を遠隔で取得できる。

- (1) CNC及びCNCに接続されている周辺機器の型名
- (2) CNCに搭載されているソフトウェアのバージョン情報
- (3) 工作機械の接点(デバイス)の状態
- (4) CNCのキー操作履歴
- (5) CNCに設定されているパラメータ
- (6) CNCに接続されているサーボモータ・主軸モータの電流値や負荷状況
- (7) 工作機械デバイスのサンプリング結果

例えば、図6のように工作機械メーカーのコールセンターのパソコンのWeb画面に表示された工作機械の特定デバイスの状態とアラーム情報を活用することで診断とそれに基づく対策立案が可能になることから、今まで直接現場に出向いてCNCの画面操作で確認していた作業がセンターのパソコンで対応できることで、診断の迅速化と工作機械の迅速な復旧が期待できる。

### 3.3 ユーティリティ機能

iQ Care Remote4Uでは、工作機械の稼働・診断履歴ファイルをダウンロードできるユーティリティ機能を備えている。

ユーティリティ機能では、日別の稼働履歴、月別の稼働履歴、加工履歴、アラーム履歴、キー操作履歴をCSV(Comma Separated Values)形式のファイルで端末にダウンロードできる。ダウンロードしたCSVファイルを、Excel<sup>(注1)</sup>等の表計算ツールに取り込み、ツールの機能と連携させることで、工作機械のユーザー及びメーカー独自

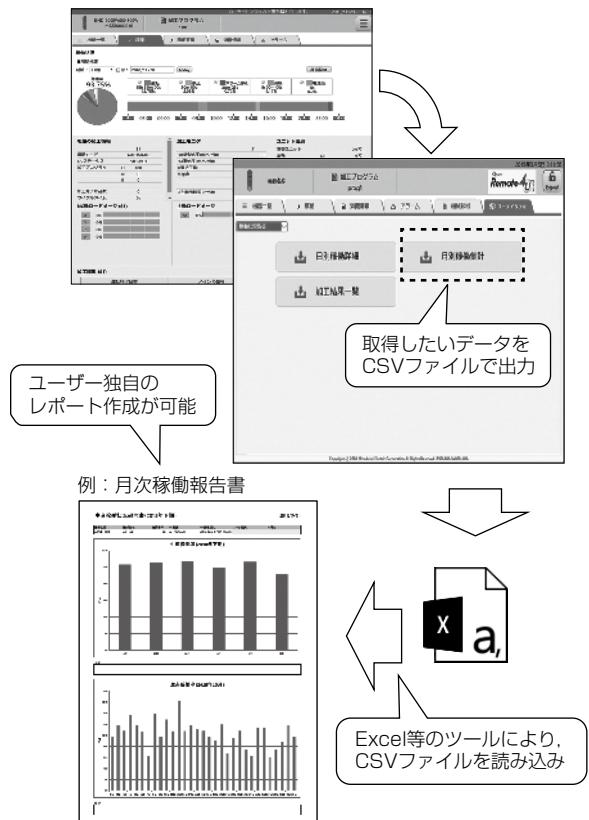


図7. ユーティリティ機能の活用

の実績報告書を作成できる。

例えば、図7のようにWeb画面を介してダウンロードした月次稼働実績のCSVファイルを工作機械ユーザー端末のExcel等の表計算ツールに取り込み、ツールの表計算機能、グラフ作成機能、マクロ等と連携させることで、工作機械ユーザー独自の月次稼働報告書を簡単に作成できる。また、アラーム履歴についても図7の事例と同様に、Web画面からダウンロードしたCSVファイルを工作機械メーカーの端末のツールに取り込むことで、工作機械メーカー独自の様式の診断報告書としてまとめることができる。

(注1) Excelは、Microsoft Corp.の登録商標である。

## 4. むすび

数値制御装置リモートサービス“iQ Care Remote4U”での開発技術について述べた。このサービス提供によってモノづくりのIoT対応を支援していく。また、今後も変化する市場ニーズに対応しながら、サービスの拡充に向けた開発を進めていく。

### 参考文献

- (1) 堂森雄平, ほか: 放電加工機リモートサービス“iQ Care Remote4U”, 三菱電機技報, 93, No.4, 254~257 (2019)
- (2) 板倉健太郎, ほか: 三菱電機グループでのパブリッククラウド活用を支援するグループクラウド, 三菱電機技報, 92, No.12, 694~697 (2018)

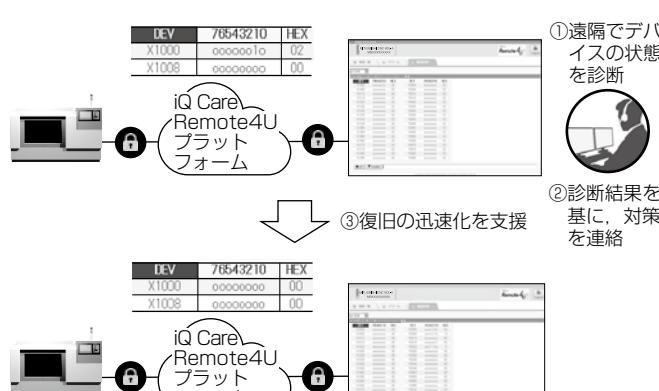


図6. iQ Care Remote4Uによる遠隔診断

# スプリングクランプ端子仕様 電磁接触器・電磁継電器

*Magnetic Contactors and Relays with Spring Clamp Terminals*

林 亨\*  
Tohru Hayashi

## 要旨

三菱電機は2019年11月、電磁接触器と電磁継電器のラインアップに配線性、メンテナンス性に優れるスプリングクランプ端子仕様製品を追加した。

スプリングクランプ端子は従来のねじ締め作業に必要であった高いスキルレベルが必要なく、簡単に確実な電線の接続が可能になる。また、スプリングクランプ端子は長期間の使用でも接続部が緩む心配がなく、点検時の増し締め作業の軽減を可能にする。

スプリングクランプの端子方式はプッシュイン方式を採用した。単線及びフェルールを使用した場合には電線を配線口へ差し込むだけで配線接続が完了する、非常に作業性の優れた端子方式である。

また、主要な国内外規格に標準対応し、グローバル対応可能な製品を実現している。

当社のスプリングクランプ端子仕様電磁接触器・電磁継電器のそのほかの主な特長は次のとおりである。

- (1) スプリングクランプ端子はWAGO製プッシュインケージクランプ(Push-in CAGE CLAMP)<sup>(注1)</sup>を採用
- (2) 電磁接触器は12Aフレームと20Aフレーム、電磁継電器は5極品をラインアップ
- (3) 幅広い適用電線
- (4) ねじ端子製品とほぼ同一外形

(注1) スプリングクランプ端子は、WAGO Kontakttechnik GmbH & Co. KG, Germany(以下“WAGO社”という。)のPush-in CAGE CLAMPを採用している。Push-in CAGE CLAMPはWAGO社の登録商標である。



## スプリングクランプ端子仕様電磁接触器・電磁継電器

スプリングクランプ端子仕様電磁接触器は定格電流12Aフレームと20Aフレームを、電磁継電器は5極品をラインアップしている。外形サイズはねじ端子仕様製品とほぼ同一を実現し、主回路・補助回路定格、操作コイル定格、ねじ取付けピッチはねじ端子仕様製品と同一、コイルサージ吸収器を外形寸法内で後付け可能であることを特長とする。

## 1. まえがき

制御盤や装置への電気機器の設置で、ねじ端子への“電線の接続”には多くの工数がかかり、高品質を維持するために作業者の高いスキルレベルを必要とする。また、電気機器の納入時や点検時でも増し締め等に多くの品質維持工数及びそれに伴うコストを必要とする。

近年の少子高齢化等によって人手不足、熟練作業者の減少が叫ばれており、上記のような工数やコストを削減するため省配線・省メンテナンス性のメリットを生かしたねじなし端子としてスプリングクランプ端子を適用した製品の需要が拡大している。

また、欧州ではスプリングクランプ端子は一般的になつておらず、欧州向け輸出品にはスプリングクランプ端子製品を搭載する場合も多い。

当社は電磁接触器と電磁繼電器のラインアップで従来のねじ端子仕様製品に加えて上記の要求を満たす、スプリングクランプ端子仕様電磁接触器・電磁繼電器を開発した。開発フレームについては販売台数の多い小型フレームをラインアップし、表1に示すとおり12Aと20Aフレームの電磁接触器及び5極品の電磁繼電器とした。

本稿では、今回開発した新ラインアップ製品の特長について述べる。

## 2. 開発製品の特長

### 2.1 配線性<sup>(1)</sup>

今回の開発で採用したスプリングクランプ端子仕様電磁接触器・電磁繼電器の配線の特長は、次のとおりである。

#### (1) 単線、より線、可とうより線、フェルールに対応

スプリングクランプ端子仕様の電磁接触器としては国内で初めて<sup>(注1)</sup>単線、めっき有無にかかわらないより線に対応した。フェルールはより線のばらけを抑制する効果はあるが省施工効果は薄れる。海外ではフェルールを使用しない配線が主流であり、より線への対応はグローバルな対応をする上で重要である。また建屋への電設工事では単線を利用する場合が多く、これから普及するであろうEV(Electric Vehicle)充電機器、V2H(Vehicle to Home)機器設置工事等へも柔軟に対応できる。

#### (2) 各種電線の挿抜方法

単線、フェルールについては被覆をむいた電線をプッシュインするだけの1アクションで接続可能である。より線については操作工具を用いて2アクションで接続ができる。ねじを紛失する心配もなく、省施工に貢献する。

#### (3) 電線配線方向を15°傾斜させて操作性を向上

配線方向を傾斜させることによってダクトへの配線の膨らみを軽減する効果に加え、操作工具の操作方向が盤面に対して垂直になるのでスプリング操作のための力が入れやすい。さらに電源側と負荷側で操作工具の方向を変える手間がいらない。どの端子も一律の方向への操作で挿抜可能という特長があり、作業性向上に大きく寄与する。

#### (4) 電線挿入インジケータ機能を装備

絶縁カラー付きフェルール使用時で、絶縁カラー部が電線挿入口の上面から奥へ入っていれば接続完了となる。電線挿入方向を15°傾斜させているため絶縁カラー部を確認しやすく目視による接続検査工数の低減に貢献する。

#### (5) WAGO社製プッシュインケージクランプを採用

スプリングクランプ端子は、ドイツのスプリング式端子台メーカーWAGO社の長年世界中で使用されて信頼のあるプッシュインケージクランプを採用した。プッシュインケージクランプの“ケージ”は“檻(おり)”を意味し、挿入された電線を檻の中へ閉じ込めるようにしっかりと確実に保持し、単線でもより線でも圧着端子不要で結線できる。具体的には一辺をスプリング、三辺を導体で囲み、電線は四方囲まれた状態になり、導体接触部の面積を小さくすることで単位面積当たりの圧力が増し、より確実な接触と低い接触抵抗を実現している。

(注1) 2019年11月1日現在、当社調べ

### 2.2 その他の特長

#### 2.2.1 製品ラインアップ

スプリングクランプ端子仕様電磁接触器のラインアップとして12Aフレームと20Aフレーム、電磁繼電器のラインアップとして5極品、操作コイルの交流／直流の全6機種を開発した。操作コイル電圧、主回路、補助回路定格、ねじ取付けピッチはねじ端子製品と同一の性能を確保している。形名としては、ねじ端子製品の形名の後に“SQ”を付加する。従来のねじホルダの付いた配線合理化端子“BC”タイプと同感覚で手配可能にした。製品仕様を表1に示す。

#### 2.2.2 幅広い適用電線と全端子統一の電線サイズ

開発製品に適用可能な電線は表2に示すとおり、電線種・電線サイズが幅広い。単線は通信線に一般的に用いられるφ0.8から建屋のIV(Indoor Vinyl)電線で多く用いられるφ2.0までを網羅する。より線は信号線用途の多い0.5mm<sup>2</sup>から複数台の電磁接触器を渡り配線する場合の遮断器からの一次側配線にも適用可能な4.0mm<sup>2</sup>まで対応した。絶縁カラー付きフェルールでは、更に細い0.25mm<sup>2</sup>

表1. 製品仕様

機種		電磁接触器		電磁継電器
操作コイル	交流	S-T12SQ	S-T20SQ	SR-T5SQ
	直流	SD-T12SQ	SD-T20SQ	SRD-T5SQ
定格(AC200V) (ねじ端子製品と同一)		13A(AC-3)	18A(AC-3)	3A(AC-15)
適用電線サイズ (主／補助／操作回路)	単線	$\phi 0.8 \sim \phi 2.0$		
	より線	0.5~4.0mm <sup>2</sup>		
	フェルール	0.25~2.50mm <sup>2</sup>		
外形寸法 (W×H×D(mm))	交流操作	44.0×76.7×78.0(ねじ端子製品と同等) (参考:ねじ端子製品 44.0×75.0×78.0)		
	直流操作	44.0×76.7×100.0(ねじ端子製品と同等) (参考:ねじ端子製品 44.0×75.0×100.0)		
ねじ取付けピッチ(mm)	35×60 他(ねじ端子製品と同一)			

表2. 適用可能電線サイズの比較

電線種	当社, 他社の適用可能電線サイズ比較(電磁接触器, 継電器)				
単線		$\phi 0.8$	$\phi 1.0$	$\phi 1.6$	$\phi 2.0$
		0.50*	0.75*	1.00*	1.50 2.00 2.50 3.50 4.00
より線(mm <sup>2</sup> )					
絶縁カラー付 フェルール(mm <sup>2</sup> )	0.25 0.34	0.50	0.75 1.00	1.50 2.00	2.50
備考	当社: 太枠内全て適用可 A社: 濃・薄ハッキング部のみ, より線はスズめっき線に限る, *はインシュレーションストップ必須主回路と補助回路で接続可能な電線範囲が異なる B社: 濃ハッキング部のみ				

から動力線にも用いられる2.50mm<sup>2</sup>まで対応している。

また, 全ての端子へ同一のスプリングクランプ端子構造を適用することによって, 接続可能な電線サイズは主回路/補助回路/操作回路及び電磁接触器/電磁継電器を問わず, 全て同一種の電線を接続可能にした。

さらに表2のA社のように, より線の直接続については線種をスズめっき線に限るなど接触抵抗対策を電線側へ委ねる措置を講じている場合もある。2.1節でも述べたが, この開発品で採用しているスプリングクランプ端子は単位面積当たりの接触圧力が高いため, めっきなし裸銅線であっても接触抵抗を常に低く維持することが可能である。

このように幅広い電線種・電線サイズへの対応と, 回路ごと, 機種ごとに制限や異なる適用サイズを設けないことによって, より柔軟な盤設計と装置設計を可能にしている。

### 2.2.3 検電器挿入口と操作性の向上したコイル端子配置

電線の配線について, 插入可能な電線は1端子について2本まで, 各電線を個別に操作可能な工具挿入口を備える。この点は他社製品も同等の機能を持つが, ねじ端子仕様製品と比較すると操作性に違いがある。2本配線後に1本だけ取り外したい場合, ねじ端子仕様製品はねじを緩めると2本とも外れてしまうため1本を締め直さなくてはならないが, スプリングクランプ端子仕様製品は1本ずつ個別に操作可能なため使い勝手が良いという利点がある。

この開発製品では, 図1に示すように端子ごとに検電器挿入口を設けた。他社製品では検電器挿入口は持たない製品もあり, その場合は代用として工具挿入口で検電することになる。工具挿入口は電線の挿抜をするための穴である

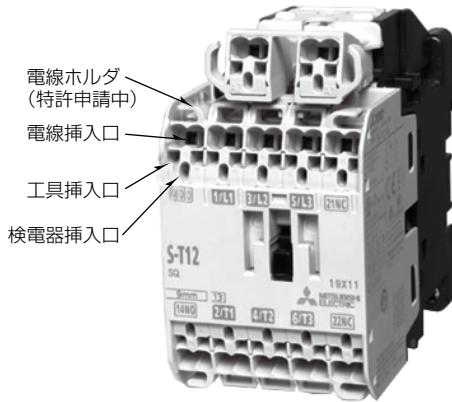


図1. 交流操作形電磁接触器S-T12SQ

ため, 検電のためにテスターを押し込むと電線が外れてしまうか, 又は中途半端に電線が抜けた状態となり事故に至る可能性もある。検電器挿入口であればテスターを押し込んでも電線が抜ける心配がなく, 狹い装置内や奥まった盤内等で不安定に検電する場合でもテスターの押し込み力を心配する必要がない。

また, ねじ端子仕様製品では主端子から奥に配置されていたコイル端子を, スプリングクランプ端子仕様製品では図1に示すとおり主端子とほぼ同一面へ配置した。ねじ端子仕様製品での電線の操作とは違い, スプリングクランプ端子仕様製品では電線挿入口付近まで手で電線を持っていて配線することになる。電線挿入口近くに大きな段差があると配線作業時に段差が障害となって取り扱いにくい。このため主端子とほぼ同一面へコイル端子を配置することによって取扱い性を向上させた。

#### 2.2.4 スマートな配線を可能にする電線ホルダ

今回の開発では新機能として“電線ホルダ”を開発した。電線ホルダ内へ電線を押し込むだけで簡単に電磁接触器に沿わせた配線処理が可能になる。この電線ホルダは2019年12月現在特許を申請中で, 主に次の三つの機能を持つ。

##### (1) 配線された電線のまとめ

スプリングクランプ端子は電線を手前方向から配線するためねじ端子よりも電線の見える範囲が多くて見栄えが良くない。配線した電線を結束帶等でまとめて整理するときれいに収めることができるが, 結束帶の準備, 結束作業, 余分な結束帶の切断等煩雑な作業になる。そのため, 結束帶を用いずとも配線をまとめる機能として電線ホルダ機能を設けた(図2)。この機能は配線前でも配線後でも利用可能である。

##### (2) マークチューブの移動抑制

マークチューブが盤面のダクトへ向かう電線に沿って移動しないように端子近くで配線を結束することがある。結束帶を用いることは一つめの説明でも述べたとおり部品点

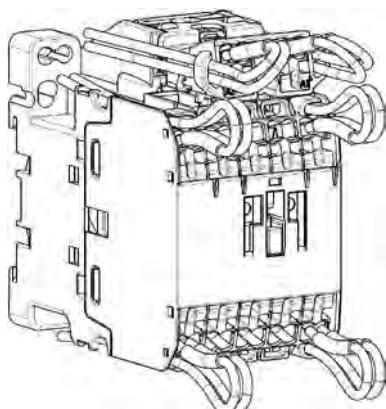


図2. 電線ホルダの利用例

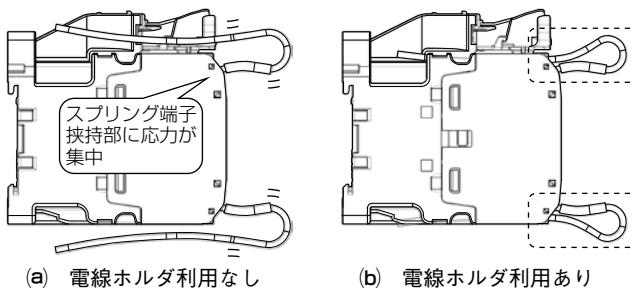


図3. 電線ホルダによる断線抑制

数が増える上、作業が煩雑で、切りくずの処理も必要になる。電線ホルダはホルダ内へ電線を押し込むだけでマークチューブの移動を抑制できる画期的な機能である。

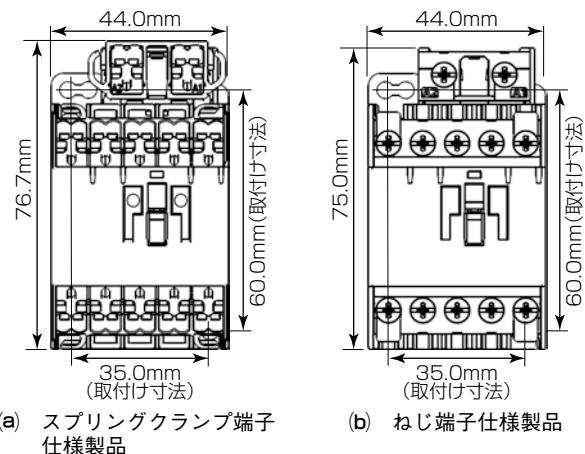
### (3) 電線の断線抑制

電磁接触器は自身が振動する機器である。電線は振動の少ない盤面と振動の多い電磁接触配線部の間に配線されるため、どうしても電線導体のスプリングクランプ端子挾持部に振動応力がかかってしまう(図3(a))。この状態が続くと電線導体部が金属疲労によって断線する可能性がある。盤面からの電線を一旦電線ホルダに通してからスプリングクランプ端子へ配線することによって図3(b)の点線部は電磁接触器と一体になるためスプリングクランプ端子挾持部に応力がかかりにくく、断線を抑制することが可能になる。

### 2.2.5 ねじ端子仕様製品とほぼ同一外形を実現

広く利用されているねじ端子仕様の電磁接触器と電磁繼電器とほぼ同一外形でスプリングクランプ端子仕様製品を開発した(図4)。そのため、既存機種の置き換えも容易になっている。また、盤面へのねじ取付けにもねじ端子仕様製品と同一ピッチで対応し、既存機種の配線工数削減と品質の向上に貢献する。

また、ねじ端子仕様では上下方向へ圧着端子等が出るため上下方向への機器の設置にはある程度の距離を置く必要があったが、スプリングクランプ端子仕様では配線は手前

(a) スプリングクランプ端子  
仕様製品

(b) ねじ端子仕様製品

図4. 外形寸法

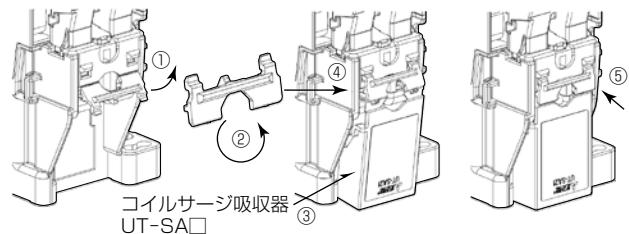


図5. コイルサージ吸収器の取付け

方向のため、電磁接触器上下方向への機器の設置の自由度が増し、盤や装置の小型化に貢献できる。

### 2.2.6 既存のコイルサージ吸収器を適用可能

スプリングクランプ端子仕様電磁接触器のコイルサージ吸収器は専用品ではなく、既存のねじ端子仕様電磁接触器用に既に販売しているUT-SA□シリーズを適用可能にしている。ねじ端子用オプションと共にすることによって手配工数と在庫の削減に貢献できる。

取付けについては図5にも示すとおり、カバーを開けてサージ吸収器を差し込み、カバーを閉じるだけで取付けが完了する。内部の接触はスプリング接触なので、ねじ緩みや取付け不良を心配する必要がない。

## 3. むすび

省施工、省工数、品質の向上に貢献するスプリングクランプ端子仕様電磁接触器・電磁繼電器について述べた。今後も周辺機器の拡充や定格フレームの拡充について顧客のニーズに合わせて引き続き検討していく。

## 参考文献

- 小樋悠太：省施工と品質安定に貢献するスプリングクランプ端子仕様遮断器・サークットプロテクタ、三菱電機技報、94、No.4、252～255（2020）

# 省エネ支援アプリケーション “EcoAdviser”

Energy Saving Support Software "EcoAdviser"

武田泰治\*  
Yasuharu Takeda

## 要旨

近年、国際的な環境課題への対処や低炭素化社会実現に向けて、製造業での省エネへの取組みがより一層求められている。

三菱電機はこれまで、省エネデータ収集サーバ“EcoServerⅢ”によるエネルギー使用量の見える化、エネルギー原単位管理による運用改善での省エネを訴求してきた。

今回開発した省エネ支援アプリケーション“EcoAdviser”は、“省エネ見える化”から“省エネ分析”への進化を目指し、生産活動での更なる省エネ実現のため、分析支援機能の充実化と生産設備とのデータ連携強化を図った。EcoAdviserの主な特長は次のとおりである。

### (1) 見える化機能の強化

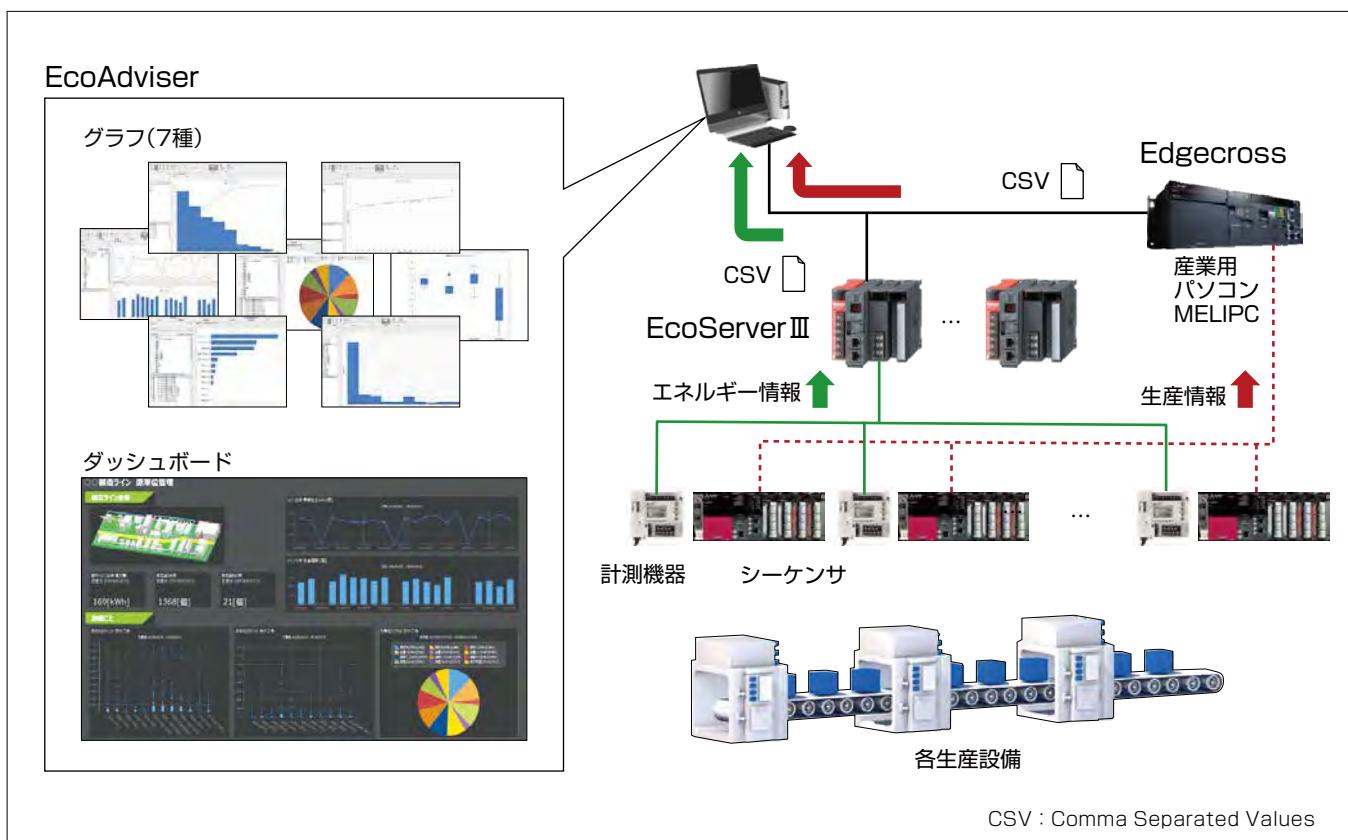
グラフの種類・視点・データ項目を選択するだけで簡単にグラフ作成が可能なグラフ機能の充実化と、グラフレイアウトやサイズを自在にアレンジ可能なダッシュボード機能を実現した。

### (2) 生産情報とエネルギー情報の連携による分析

エッジコンピューティングのプラットフォーム“Edgecross”対応によってエネルギー情報と生産情報を連携させ、製造品種(時間帯)別のデータ抽出、原単位演算等によってエネルギーロスの原因分析を可能にした。

### (3) システム立ち上げの簡単設定

EcoServerⅢとEdgecrossのデータ定義ファイルインポートによるシステム立ち上げの設定簡単化を実現した。



## 省エネ支援アプリケーション“EcoAdviser”的システム構成

省エネ支援アプリケーションEcoAdviserは、EcoServerⅢ又はEdgecrossのCSVファイルを自動収集可能で、時間ごと／日ごと／月ごと／年ごとのデータ集計や原単位を始めとした各種演算を行い、分析グラフやダッシュボード画面を容易に作画可能である。エネルギー情報と生産情報を連携させ、7種のグラフで分析表示を行うことで、省エネ運用改善活動でのデータ分析を支援する。

## 1. まえがき

近年、パリ協定や国連のSDGs(Sustainable Development Goals、持続可能な開発目標)を背景とした、気候変動、資源循環、自然共生を始めとする環境課題の解決や低炭素化社会実現に向けて、製造業での省エネへの継続的な取組みが求められている。

当社はこれまで省エネデータ収集サーバ“EcoServerⅢ”を活用した原単位管理による生産活動でのエネルギー消費見と運用改善を自社工場で実践し、省エネモデル工場として顧客に展開して見える化による運用改善での省エネを訴求してきた。

今後、生産活動での更なる省エネを実現するためには、省エネの見える化から分析への進化が必要であると考え、分析支援機能の充実化と生産設備とのデータ連携を強化し、省エネ運用改善活動でのPDCA(Plan Do Check Action)サイクルの高速化を実現した省エネ支援アプリケーション“EcoAdviser”を開発した。

## 2. EcoAdviserの概要

### 2.1 EcoAdviserの特長

EcoAdviserは、EcoServerⅢ又はエッジコンピューティングプラットフォーム“Edgecross”的CSVファイルを自動収集し、分析グラフ表示やダッシュボード、帳票の作成を容易に実現可能であり、省エネ運用改善に必要なデータ分析を支援するソフトウェアである。EcoAdviserの特長は次のとおりである。

#### (1) 見える化機能の強化

EcoServerⅢでも収集した計測データの管理、見える化は可能であったが、データ分析を行うためには表計算ソフトウェア等を使用したデータ加工・集計が必要であった。そこで、省エネの見える化から分析への進化を目指し、多角的な視点でのデータ集計とグラフ機能を充実化させ、さらにダッシュボード機能による分析結果共有によって各部門での省エネ意識向上を図った。

#### (2) 生産情報とエネルギー情報の連携による分析

生産現場での省エネ分析で、エネルギー情報だけではエネルギー消費の原因発見に至ることは難しい。そこで、生産現場でのエッジコンピューティングのプラットフォームであるEdgecrossに対応することで、生産現場の様々なデータを取り込み、エネルギー情報との連携を可能にし、原単位演算や任意の四則演算に加えて、製造品種(時間帯)別のエネルギー使用量の把握を可能にした。

表1. EcoAdviserの主な仕様

項目	仕様
接続機器	最大接続台数 最大20台
	対象機器(収集元) EcoServerⅢ、Edgecrossヒストリカルデータインターフェース CSVファイル
計測点	収集元計測点 最大5,680点
	手入力計測点 最大256点
	品種時間帯計測点 最大256点
	演算計測点 最大256点
	原単位計測点 最大256点
	グループ 最大256グループ、最大4階層
データ収集機能	ファイル収集 CSVファイルを収集し、内蔵データベースに格納(HTTP通信/フォルダ参照)
	自動収集 可(1時間に1回)
保存期間	時間ごと (15/30/60分) データ 2~10年(デフォルト:10年)
	日ごとデータ 2~10年(デフォルト:10年)
	月ごとデータ 2~10年(デフォルト:10年)
	年ごとデータ 2~10年(デフォルト:10年)
グラフ機能	グラフ種類 時系列グラフ、箱ひげグラフ、円グラフ、順位グラフ、散布図、ヒストグラム、パレート図
	表示間隔 時間ごと、日ごと、月ごと、年ごとから選択
ダッシュボード機能	配置可能なパネル 数値パネル(収集したデータの最新格納値) 画像パネル(画像ファイル:png、jpg、bmp、gif)
	保存数 最大5ファイル、1ファイル当たり最大10シート
	自動出力 可(HTML形式で出力、ファイル保存先パスを指定)
	帳票機能 Excel <sup>(注1)</sup> 形式の日報、月報、年報ファイルを作成 自動出力 可(ファイル保存先パスを指定)

(注1) Excelは、Microsoft Corp.の登録商標である。

HTTP: HyperText Transfer Protocol

#### (3) システム立ち上げの簡単設定

システムの導入ハードルを下げるため、簡単な設定でシステムの立ち上げを可能にした。EcoServerⅢとEdgecrossのデータ定義ファイルをインポートするだけで基本設定は完了し、システム運用を開始できる。また、追加設定や名称変更は設定用Excelシートのエクスポート/インポートで簡単設定できる。

### 2.2 EcoAdviserの仕様

今回開発したEcoAdviserの主な仕様を表1に示す。

## 3. EcoAdviserの特長とその実現技術

### 3.1 見える化機能の強化

収集データの分析支援と分析結果の共有化を実現するため、多角的視点での分析とカスタマイズ性の高い共有画面作成が可能なグラフ及びダッシュボード機能を搭載した。

#### 3.1.1 グラフ機能の充実化

省エネ運用改善での分析シーンを想定した7種類のグラフの作成が可能である(表2)。

グラフ作成手順は“分析手法(グラフ種類)選択”→“視点

表2. グラフの用途・シーン

種類	用途・シーン	
時系列グラフ	用途	データの時間推移による変化を分析
	シーン	例：省エネ対策前後での効果(値の改善傾向)を確認する
箱ひげグラフ	用途	異なる複数のデータのばらつき／安定性を比較分析
	シーン	例：原単位や直行率等の指標値のばらつきを比較し、安定していないもの(=改善対象)を見つける
円グラフ	用途	構成比率を分析
	シーン	例：部門ごとや用途ごと等の比率を明確にし、省エネ取組みの優先順位を付ける
横棒グラフ	用途	上から大きい順に並べ、順位と大きさを分析
	シーン	例：エネルギー使用量や目標値超過回数等をランキング表示し、省エネ取組みの優先順位を付ける
散布図	用途	2項目の関係性(相関)を分析
	シーン	例：エネルギー使用量や原単位と、環境状態(周辺温度等)の相関性を分析し、悪化時の変動要因を見つける
ヒストグラム	用途	区間ごとのデータ分布を分析
	シーン	例：値の区間ごとの分布を把握することで、しきい値(目標値)をいくらくに設定すればよいかの目安とする
パレート図	用途	項目の重要度、優先順位(全体に占める割合)を分析
	シーン	例：チョコ停発生時のエラーコード別の発生回数を分析し、どこを対策すれば効果的かを判断する

(比較方法)選択”→“データ項目選択”的3ステップだけに簡単化した。また、表示期間や表示間隔、項目選択等の変更・追加をマウスでの選択やドラッグ＆ドロップ等の簡単な操作で行える(図1)。

### 3.1.2 ダッシュボード機能の搭載

分析結果の共有による工場内各部門での省エネ意識向上を目的として、ダッシュボード機能を搭載した。ダッシュボードには、グラフ機能で作成・保存した分析グラフや、画像(顧客ロゴや工場レイアウト図等)を任意のサイズ・レイアウトで配置可能にし、カスタマイズ性を高めた。また、ユーザーの部門や役職によって確認したい分析視点が異なるため、複数シートの作成・切替えを可能にし、さらにHTML(HyperText Markup Language)形式での出力を可能にして、それぞれのユーザーに応じたダッシュボード画面をWebブラウザで閲覧可能にした(図2)。

## 3.2 生産情報とエネルギー情報の連携による分析

生産情報とエネルギー情報の突き合わせを行い、エネルギーロスの原因分析を支援するため、Edgecrossとの連携機能や、製造品種(時間帯)別のデータ抽出機能を搭載した。

### 3.2.1 Edgecrossとの連携

EcoAdviserでは生産情報とエネルギー情報の連携を容易化するため、EdgecrossのCSVファイルを収集可能にした。対応するインターフェース及びデータ型を表3に示す。

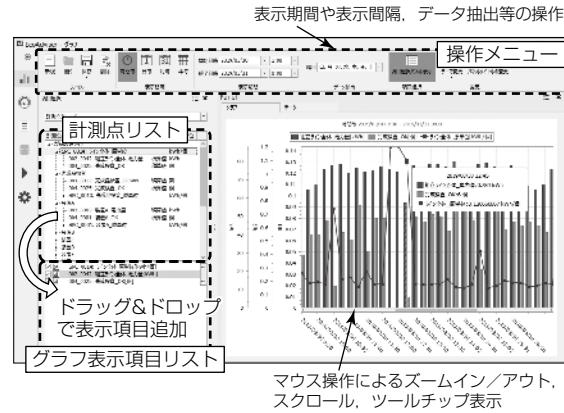


図1. グラフ画面レイアウト

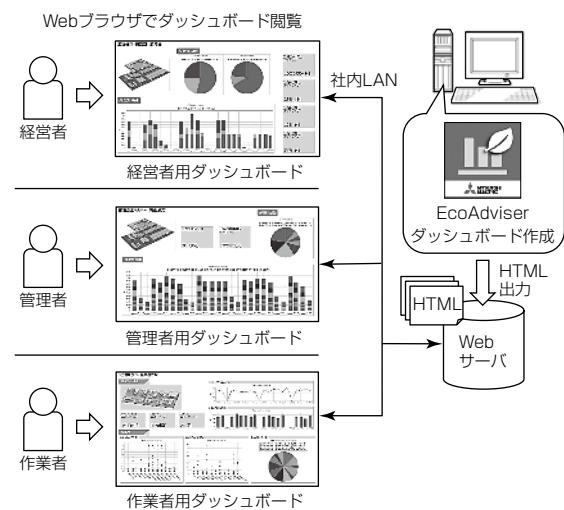


図2. ダッシュボード機能

表3. 対応するEdgecrossインターフェース

項目	仕様
対応インターフェース	ヒストリカルデータアクセスインターフェースファイル(CSV) Ver1.0
対応データ型	BOOL, INT, UINT, DINT, UDINT, REAL, LREAL

これによって、Edgecrossが収集した生産現場の各種情報(生産設備の生産OK数/NG数、停止回数等)を取り込み、EcoAdviser側で時間ごと/日ごと/月ごと/年ごとのデータ集計と各種演算が可能になる。

### 3.2.2 データ抽出・演算機能と品種時間帯演算

生産現場でのエネルギー使用を効率化するためには、エネルギー原単位(=エネルギー使用量÷生産数量)による分析が重要である。EcoAdviserでは原単位演算・データ保存が可能であり、原単位の時間推移を確認することで、原単位が悪化した日時の特定ができる。

さらに、一つのライン・設備で時間帯によって製造品種が異なるケースで、製造品種の違いが原単位悪化に影響するかを分析できるようにするために、表4に示す品種時間帯の設定項目を基に、それぞれの製品を製造している時間帯の計測値を抽出する機能を搭載した(図3)。この機能では、

表4. 品種時間帯の設定項目

設定項目	詳細
製造品種時系列データ選択	対象としている設備の製造品種が時系列に格納されているデータを選択する
計測点選択	抽出元となる計測点を選択する(エネルギー使用量や生産数量等)
製造品種設定	抽出したい製品を製造時の製造品種データの値を設定する(例)「製造していない」を抽出したい → 0 「製品A」を抽出したい → 1 「製品B」を抽出したい → 2 等

対象にしたい設備の製造品種時系列データの中から、抽出したい製造品種の値と一致する時間帯を検索し、その時間帯でのエネルギー使用量や生産数量の差分値を抽出することで製造品種別のデータ集計を可能にした。さらに、製造品種別に抽出したデータを基に原単位を演算することで、どの品種を製造しているときに原単位が悪化しやすいかを比較分析可能にした。

### 3.3 システム立ち上げの簡単設定

簡単な設定だけでシステム立ち上げ、追加・拡張を可能にするため、EcoServerⅢ及びEdgecrossのデータ定義ファイルのインポートによって、計測点登録を簡単化した。なお、Edgecrossのデータ定義ファイルに関しては、集計・演算時にデータを扱いやすくするため、計測種別と単位を追加設定可能にした(表5)。

さらに、上記の追加設定や名称等の変更は、EcoAdviser

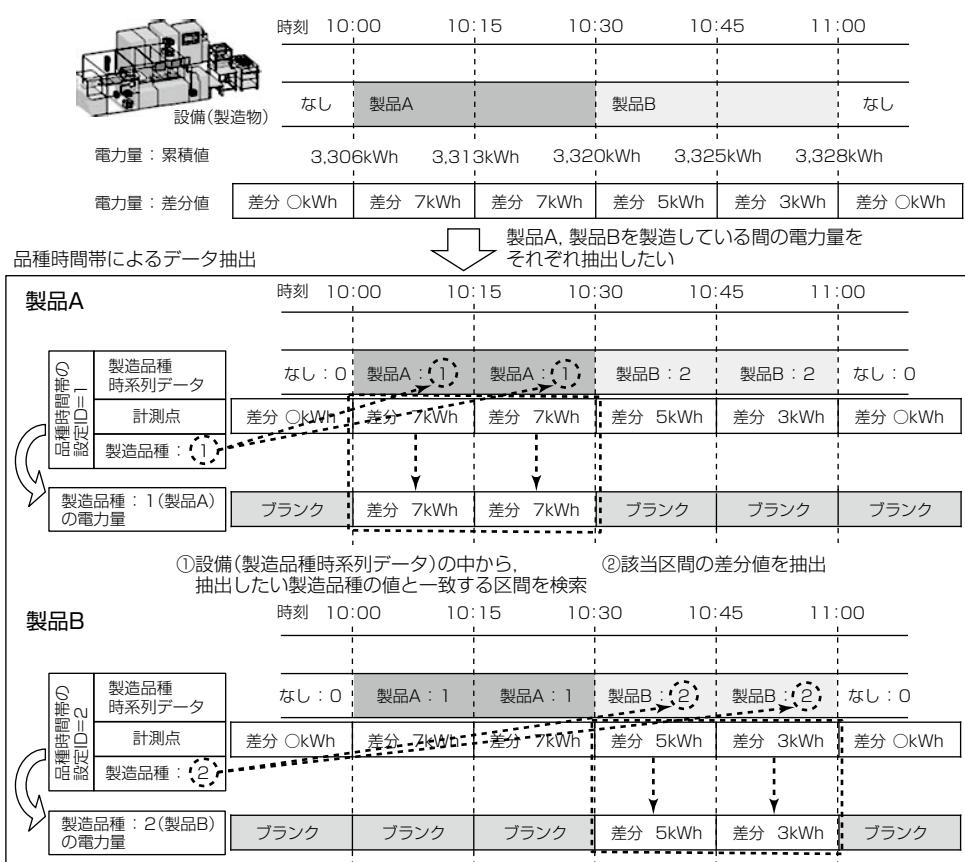


表5. データ定義ファイル中の項目

EcoAdviserに必要な情報	データ定義ファイル中の項目有無	
	EcoServerⅢ	Edgecross
名称	○	○
データ型	— (型固定のため不要)	○
計測種別(パルス、アナログ、力率、接点)	○	追加設定可能
単位	○	追加設定可能
小数点以下桁数	○	○



図4. 設定用Excelシートインポート画面例

設定画面上からの操作だけでなく、設定用Excelシートのエクスポート／インポートによる追加・変更も可能にし、作業の効率化を図った。また、シートインポート時に元の設定状態からの変更箇所を確認できるようにすることで、シート入力誤りによる誤設定を防ぐようにした(図4)。

## 4. むすび

省エネの見える化から分析への進化を目指し、省エネ運用改善活動でのPDCAサイクル高速化に貢献する、省エネ支援アプリケーションEcoAdviserについて述べた。

今後は、当社工場での省エネ運用改善で培ったノウハウを基にしたエネルギー自動抽出機能や、当社のAI(Artificial Intelligence)技術“Maisart”活用によるエネルギー原因診断機能の開発に取り組んで、顧客の省エネ運用改善活動により一層貢献していく。

## 特集論文

# 省施工と品質安定に貢献するスプリングクランプ端子仕様遮断器・サーキットプロテクタ

*Circuit Breakers and Circuit Protectors with Spring Clamp Terminal Contributing to Labor Saving and Stable Quality*

小樋悠太\*  
Yuta Kohi

### 要旨

現在、労働人口の減少による人手不足の深刻化や、それに伴う熟練作業者の減少によって、配線の手間がかからず、若手作業者でも均質な品質確保が可能な省配線対応機種への需要が高まっている。盤の製造工程の中で最も工数のかかる工程は機器同士を接続する配線作業であり、その配線作業は適切に行わなければ端子部の発熱にもつながる影響の大きい工程でもある。従来日本では電線の被覆をむき、圧着端子を取り付け、ねじで締め付ける接続が主流であった。ねじ接続はおねじとめねじの山どうしの摩擦力で締結力を発揮しており、振動や衝撃の加わるような環境での使用や盤の輸送工程で緩みが発生する可能性があり、定期的

な増し締めや据付け現場での再締め付けが必要であった。

これらの課題を解決する接続方式として、欧州では既に一般的となっているスプリングクランプ端子接続がある。スプリングクランプ端子接続方式では電線をばねの力で端子部に押し付けて電気接触を行っており、摩擦力で締結しているねじと比べ、振動や衝撃に強いといった特長がある。また、経年や輸送によって接続部がゆるまないため、定期的な増し締めや据付け現場での再締め付けの手間もなくなる。

三菱電機では、今回省施工と品質安定に貢献するスプリングクランプ端子仕様の小形遮断器とサーキットプロテクタを新たにラインアップした。



小形遮断器NF32-CVF



サーキットプロテクタCP30-BA

### スプリングクランプ端子仕様遮断器

当社では、新たにスプリングクランプ端子仕様の小形遮断器“NF32-CVF/NV32-CVF”とサーキットプロテクタ“CP30-BA”をラインアップした。スキル不要の簡単な接続と増し締めを必要としないメンテナンスフリー構造で盤の省施工及び品質安定に貢献する。

## 1. まえがき

現在、労働人口の減少による人手不足の深刻化や、それに伴う熟練作業者の減少によって、配線の手間がかからず、若手作業者でも均質な品質確保が可能な省配線対応機種への需要が高まっている。従来、日本では電線の被覆をむき、圧着端子を取り付け、ねじで締め付ける接続が主流であったが、ねじ接続はおねじとめねじの山どうしの摩擦力で締結力を発揮しているため、振動や衝撃の加わるような環境での使用や盤の輸送工程によって、緩みが発生する可能性があり、定期的な増し締めや据付け現場での再締め付けが必要とするという問題があった。このような問題を解決するため、当社では新たにスプリングクランプ端子仕様の小形遮断器とサーキットプロテクタをラインアップした。

本稿では、スプリングクランプ端子仕様の小形遮断器とサーキットプロテクタについて述べるとともに、他の省施工タイプの遮断器についても述べる。

## 2. 製品ラインアップと新機種の特長

当社では制御盤や分電盤の分岐用途として高頻度で使用される32Aフレーム以下の製品群の中で、特に小形であり省施工化と小形化の両面のメリットが期待できる、スプリングクランプ端子仕様の小形遮断器とサーキットプロテクタを新たにラインアップした。

### 2.1 製品ラインアップ

製品仕様を表1に示す。表中の小形遮断器NF32-CVF/

NV32-CVFは、母体になるねじ端子品が2018年6月発売と、比較的新しい製品である。製品の特長としては、同価格帯、同性能品と比較して幅方向の小形化を実現し、盤の小形化に貢献した。また、開閉式小形端子カバーを標準装備し、更なる安全性の確保、施工の省力化が可能になった。標準でIEC35mmレール取付けに対応し、取り外しが工具不要でワンタッチで可能と施工性も高い。そのため、このスプリングクランプ端子仕様のラインアップによって更なる省施工効果が期待できる。また、表中のサーキットプロテクタCP30-BAは機器保護に適した製品で、接続・保護する機器によって動作特性を選択できる。製品外形は、1極当たり幅17.5mmで3極の場合でも幅52.5mmと非常に小形の製品である。

### 2.2 新製品の特長

#### 2.2.1 工数の節約

対応する電線の種類は、フェルール端子(欧州式棒端子)だけでなく、スプリングクランプ端子仕様の遮断器としては国内で初めて<sup>(注1)</sup>、より線及び単線による素線接続にも対応した。単線、フェルール端子ではプッシュインによる1アクション、より線の場合は工具によってスプリングを開いて電線を挿入し、工具を抜くことで接続が完了する(図1)。素線接続では圧着作業が不要になるため、トータルの作業時間はフェルール端子に比べて更に削減される。参考までに、一般社団法人 日本配電制御システム工業会(JSIA)の調査<sup>(1)</sup>での非熟練者による配線作業時間の比較を図2に示す。

(注1) 2019年4月23日現在、当社調べ

表1. 製品仕様

製品名		小形遮断器			サーキットプロテクタ					
形名		NF32-CVF		NV32-CVF		CP30-BA				
極数		2	3	2	3	1	2	3		
定格使用電圧(最大)		AC 440V		AC 240V		AC 250V/ DC 65V	AC 250V/ DC 125V	AC 250V		
定格電流		3~32A		JIS品: 5~32A CE・CCC品: 5~30A		0.1~20A				
定格感度電流		-		15, 30, 100mA		-	-	-		
適用電線 サイズ	主回路端子	単線	$\phi 1.6, \phi 2.0$			$\phi 1.6, \phi 2.0$				
		より線	1.0~10mm <sup>2</sup>			0.75~4 mm <sup>2</sup>				
		フェルール	1.0~6 mm <sup>2</sup>			0.75~2.5 mm <sup>2</sup>				
適用電線 サイズ	付属回路端子	単線	$\phi 1.6, \phi 2.0$			$\phi 1.6$				
		より線	0.5~2 mm <sup>2</sup>			0.5~2 mm <sup>2</sup>				
		フェルール	0.5~2 mm <sup>2</sup>			0.5~2 mm <sup>2</sup>				
外形寸法 (mm)	a	36		54		17.5	35	52.5		
	b	140			99					
	c	52			65					
	ca	65			65					
W配線接続		○ 差込口2か所								

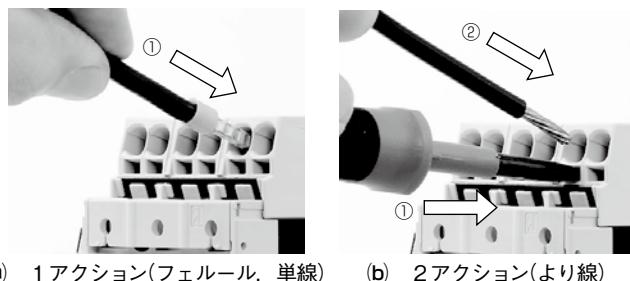
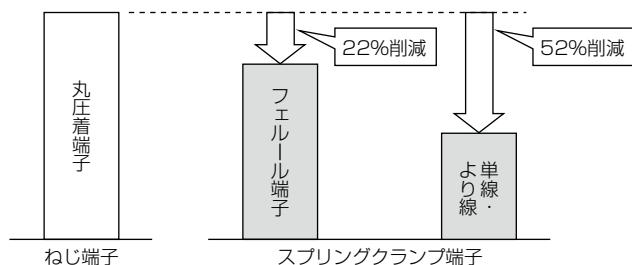


図1. 2種類の配線方法

図2. 非熟練者(作業経験2年)の配線作業時間比較<sup>(1)</sup>

## 2.2.2 配線の容易性

フェルール端子による配線の場合、端子の絶縁カラー部が電線挿入口の上面より奥にあれば接続完了になる配線インジケータ機能(図3)によって、目視による接続チェックが容易になる。また、電線挿入方向が正面からになることで配線膨らみがねじ端子仕様と比較して大きくなるが、この製品では電線挿入口が本体正面に対し15°傾斜しており、配線膨らみの軽減に貢献している(図4)。

また、ねじ端子仕様で渡り配線などで1極に複数電線を接続する場合、圧着端子を取り付けた電線を表裏で重ねて締め付ける必要があってその分の手間が発生するが、この



図3. 配線インジケータ機能

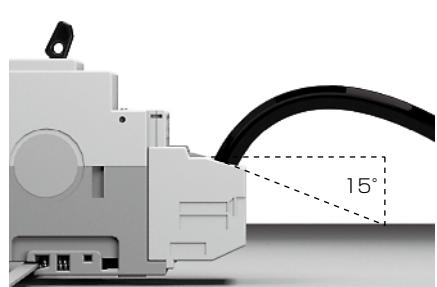


図4. 電線挿入口の傾斜による配線膨らみ軽減



図5. 仕様のバリエーション例

製品では各極端子にそれぞれ電線挿入口を二つずつ備えており、渡り配線が容易な構造になっている。

## 2.2.3 品質安定

ねじ締め作業スキルが不要であり、作業者や使用工具によるばらつきがないため接続品質が一律に保てるほか、スプリングによって常に一定の圧力が加わっているため、ねじ端子のように振動、衝撃、長期使用による緩みが発生せず増し締め作業やトルク管理が不要である(メンテナンスフリー)。なお端子部は銅導体用端子台(ねじなし締め付け具)としてIEC60947-7-1に対応した第三者認証を取得しており、安心安全に使用できる製品になっている。

## 2.2.4 フレキシブルな仕様

電源側端子、負荷側端子の両方にスプリングクランプ端子にした標準的な仕様に加え、電源側(負荷側)をねじ端子仕様にした片側スプリングクランプ端子仕様にも対応した。電源側に断面積10mm<sup>2</sup>を超える太い電線を接続する必要がある場合や、顧客配線箇所にねじ指定がある場合などに活用できる。また、スプリングクランプ端子仕様の付属端子台についてはねじ端子仕様の本体に組み込むことも可能である。これによって、“主回路への適用は通電容量が大きく不安なため、まずは付属端子台で試してみたい”といったニーズにも対応できる(図5)。

## 3. スプリングクランプ端子の技術的特長

スプリングクランプ端子はいわゆるねじなし式に区分される端子で、海外(特に欧州)では早くから普及していた。端子は主に二つの部品(導体及び板ばね)からなり、板ばねによって電線を導体に強く押し付けることで導通させる。端子構造の例としてスプリングクランプ端子仕様遮断器NF32-CVFの端子構造を図6に示す。挿入した電線は一辺を板ばね、三辺を導体によって四方を囲まれ、板ばね

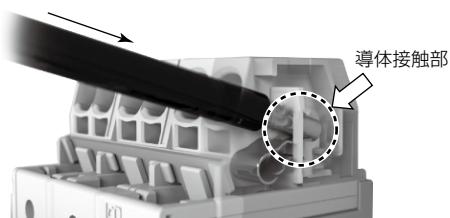


図6. NF32-CVFの端子構造



図7. 適用可能線種

によって導体接触部へと圧力が加えられる。特に接触部については接触面積を構造的に制限することで小さい面積に大きな力を加え、必要十分な接触圧力と低い接触抵抗を実現している。

また、各電線種への柔軟な対応も重視すべきポイントである。フェルール端子によるプッシュインは多くの場合省施工効果を生むが、施工者が日頃から素線での接続を行っている場合、フェルール端子や圧着工具の購入・管理、圧着作業などは省施工という観点からはマイナス要素になり得る。今回ラインアップした製品では、十分なばね力を確保することでフェルール端子に加えて単線・より線などの素線も使用可能であり、更なる省施工化に貢献する製品になっている(図7)。

#### 4. その他の省施工タイプの遮断器

##### 4.1 配電盤用プラグイン仕様遮断器

配電盤用プラグイン仕様遮断器は、主母線(ブスバー)に直結できるプラグイン遮断器である(図8)。接続はワンタッチ(差し込むだけ)であり、増し締めも不要である。複数極を同時に差し込むため、作業時間を大きく短縮できる。また、分岐導体が不要であって省スペースにも貢献できる。125Aフレームから630Aフレームまで遮断器取付け面からフロントパネルカット面までの寸法(124mm)を統一しており、盤設計の標準化も可能である。また全機種に接続表示用インジケータを標準装備している。

##### 4.2 分電盤用ノーヒューズ遮断器・漏電遮断器

###### 4.2.1 電源側プラグイン仕様遮断器

分電盤用途の小形遮断器で、ブスバー直結タイプの電源

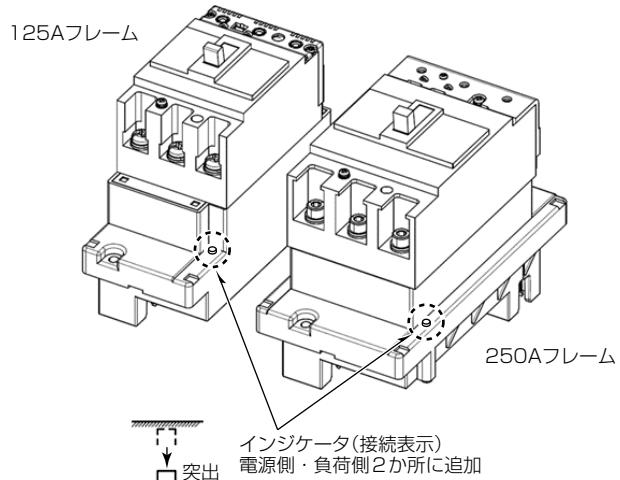


図8. 配電盤用プラグイン仕様遮断器

電源側プラグイン仕様	
分電盤用ノーヒューズ遮断器	分電盤用漏電遮断器
BH-CP1	BV-CP1

図9. 分電盤用電源側プラグイン仕様遮断器

負荷側速結端子仕様(QT)	
分電盤用ノーヒューズ遮断器	分電盤用漏電遮断器
BH-C1 QT	BV-CP2 QT

図10. 分電盤用負荷側速結端子仕様遮断器

側プラグイン仕様遮断器をラインアップした(図9)。配電盤プラグイン仕様同様にワンタッチでの取付けが可能であり、作業時間が短縮できる。電源側の増し締め作業も不要になり、分電盤製作工数の短縮、メンテナンスの手間の省略が可能である。

###### 4.2.2 負荷側速結端子仕様遮断器

分電盤用負荷側速結端子仕様遮断器は、スプリングクランプ端子仕様遮断器と同様に、電線を挿入する1アクションだけで端子への接続が可能である(図10)。電線は単線が使用可能で、適用電線サイズは $\phi 1.6$ から $\phi 2.6$ までである。また、接続表示機能を標準装備している。

## 5. むすび

省施工、品質安定に貢献するスプリングクランプ端子仕様遮断器、及びその他の省施工タイプ遮断器について述べた。今後はスプリングクランプ端子適用機種の拡大や、更なる省施工タイプ遮断器の検討など、ユーザーニーズに合致する製品の開発に引き続き取り組んでいく。

## 参 考 文 献

- (1) JSIA制御・情報システム委員会：制御盤製作の省コスト化の調査研究#1配線接続の合理化に関する調査報告書(2014)

# AI技術“Maisart”を活用した外観検査自動化への取組み

Efforts to Automate Visual Inspection Using AI Technology "Maisart"

松本浩輝\*  
Koki Matsumoto  
今野有作\*  
Yusaku Konno  
峯澤 彰†  
Akira Minezawa

飯島昌平†  
Shohei Iijima  
式田秀男‡  
Hideo Shikida

## 要旨

三菱電機は、FA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”のコンセプトに基づきIoT(Internet of Things)化を推進する製品を多数市場に供給してきた。また、“生産準備”“段取り・生産・製造”“運用・保守”といった各プロセスに合わせたFA向けAI(Artificial Intelligence)技術を開発している。顧客の生産現場の自動化・IoT化推進を支援する上で、AI技術活用の効果の検証と課題抽出も重要である。

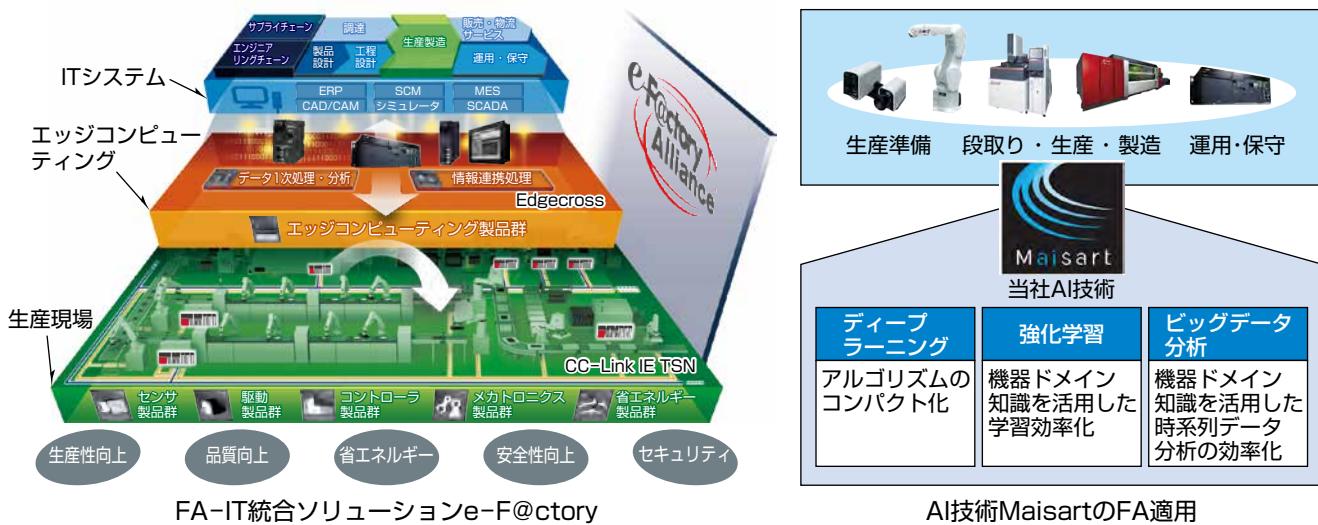
今回、当社のAI技術“Maisart(Mitsubishi Electric's AI creates the State-of-the-ART in technology)”を搭載し

た外観検査システムを開発し、電磁開閉器を生産する当社名古屋製作所可児工場で稼働を開始した。

検査工程は品質管理の基本であることはもとより、生産効率や品質改善のための分析データを収集可能にするIoT化の重要な工程である。特に、検査工程の中でも目視検査は、全人作業工程の7%（社内調査）を占め、その自動化は生産規模変動に対する人材確保という経営的課題に対しても重要なである。

## 外観検査システムへの当社技術の活用

- ・産業用ロボットMELFAの活用で多品種対応
- ・Maisartの画像技術による自動判定
- ・データ管理システムによるメンテナンス性向上



## FA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”とAI技術“Maisart”のFA適用

e-F@ctoryは、生産現場を基点とした経営改善を目指して“人・機械・ITの協調”によるフレキシブルなものづくりによって、企業のTCO(Total Cost of Ownership)削減と企業価値向上を支援する。Maisartは当社AI技術の総称であり、FA分野では、“生産準備”“段取り・生産・製造”“運用・保守”的な様々なシーンに適用され、作業者の技能に影響されない柔軟で効率的な生産現場を実現する。今回開発した外観検査システムでは、当社の産業用ロボット“MELFA”，Maisartの画像技術及びデータ管理システムを活用している。

## 1. まえがき

労働人口減少等の社会環境変化によって、工場内の人作業の自動化が推進されている。しかし、組立て等の人作業を自動化できても、組立て後のワークの人による目視検査等の自動化は断念することが多かった。一方、人による目視検査は判断基準のばらつきやヒューマンエラーによる見逃しリスクが付きまとった。さらに、多品種生産の自動化は投資コストがかかって自動化困難な場合が多い。

今回、多品種生産の人による目視検査の自動化をAI技術の活用で実現した外観検査システムを開発し、当社名古屋製作所可児工場に導入した。

本稿では、外観検査システムと多品種生産への自動化アプローチ等について述べる。

## 2. 開発の背景と要件

可児工場は、電磁開閉器の製造工場であり、その生産量の多さから自動化率の高い工場である。図1に示すように電磁開閉器の品種は様々で、さらに顧客対応でオプション部品の追加等が必要な場合があり、人作業による組立て・検査工程が存在している。

それらの工程に対しては品質管理を徹底しているもののヒューマンエラーのリスクは残存している。そのため目視検査の自動化を実現することにした。

従来画像処理を活用した外観検査装置による自動化によって、人件費、ヒューマンエラー抑制の取組みはなされている。しかし、品種ごとに検査パラメータを調整する必要があり、しかもその調整には画像処理のノウハウが必要になる。そこでAI技術を活用して学習サンプルを準備するだけで自動化を実現し、画像処理のノウハウを習得する必要なく多品種対応の自動化を実現することにした。特に多品種生産では品種ごとに学習用不良品サンプルを収集することが困難なため、正常データだけで判定できるAI技術が必要である。

検査工程を自動化するために、次の3点の開発を行った。

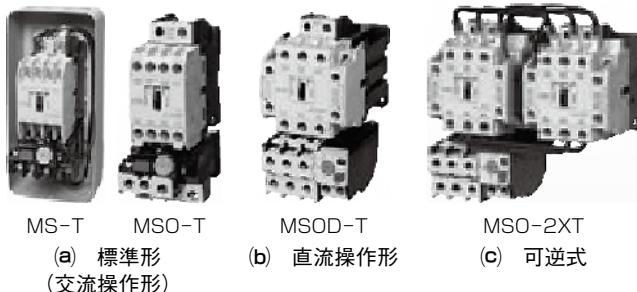


図1. 電磁開閉器の品種例

- (1) 外形寸法が異なるワークに対する撮影の自動化
- (2) AIによる判定の自動化
- (3) 多品種に対するデータ管理システム

## 3. 撮影の自動化

開発した外観検査装置は生産のボリュームに合わせ、1人又は2人の作業者が個別にワークを組み立て、その後ワークを各々検査装置に投入できるように、二つの検査ラインを持つ(図2)。多品種対応のため複数の外形寸法、検査面を撮影する必要があり、中央に位置する1台の産業用ロボットMELFAのアーム先端にカメラとLED照明を搭載して移動しながら撮影する構成にした(図3)。

QRコード<sup>(注1)</sup>リーダーで製品仕様を確認し、検査面を撮影する。撮影した画像はAIによって自動判定され、正常品と不良品は別の排出口に搬送される。また、外観検査装置の表示器に、異常箇所と異常度スコアを表示することで作業者による異常原因診断を支援する。QRコードで品種を読み取ることで異なる外形寸法の品種が連続で流品されても自動で撮影される。

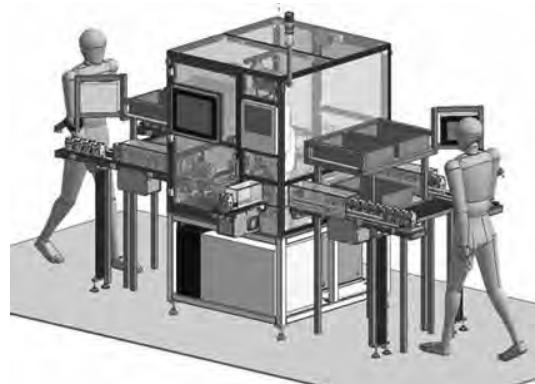


図2. 外観検査装置のイメージ

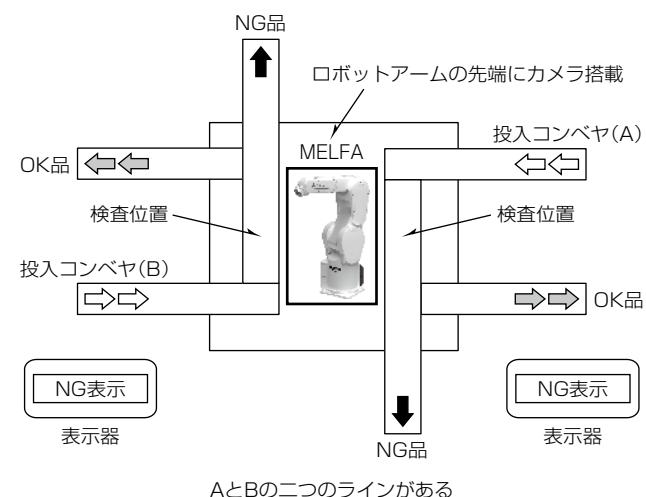


図3. 外観検査装置の構成(上面図)

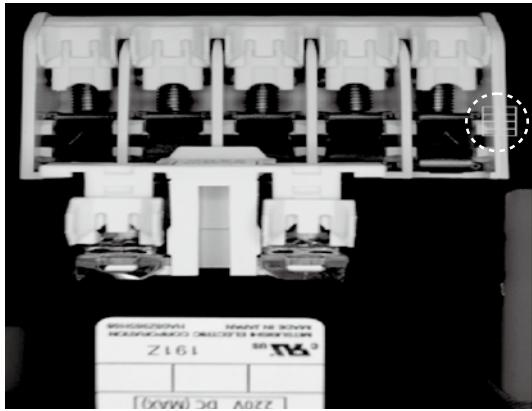


図4. 背景の誤判定の例

メンテナンス性も配慮し、他の製造装置と同様に、装置全体の制御にはシーケンサを用いた。

光学系とライン間差という撮影上の2点の課題に対して次の対応を行った。

#### (1) 光学系の改善

電磁開閉器の金属部品の光沢のばらつき抑制のために、偏光板挿入による乱反射光のカット、照明用LED照度、カメラ露光時間調整を実施した。図4に示すように電磁開閉器の形状の特性上、背景が映り込むために検査品とは無関係な過検出が発生してしまう。このため、映り込みの影響を除去するために撮影時に黒色のスクリーンを自動挿入することで過検出を抑制した。

#### (2) ライン間差の解消

二つの検査ライン間で撮影の位置誤差があるため、それぞれ学習モデルを作成すると時間がかかる。そのため、ロボットを用いて撮影誤差相当のばらつき画像を自動で撮影し、画像処理によって位置ずれ画像の水増しをすることで学習モデルをライン間で共有した。

(注1) QRコードは、(株)デンソーウェーブの登録商標である。

## 4. AIによる判定の自動化

画像自動判定の性能を評価するには限度見本になる不良品のサンプルを用意する必要がある。図5に不良品画像の

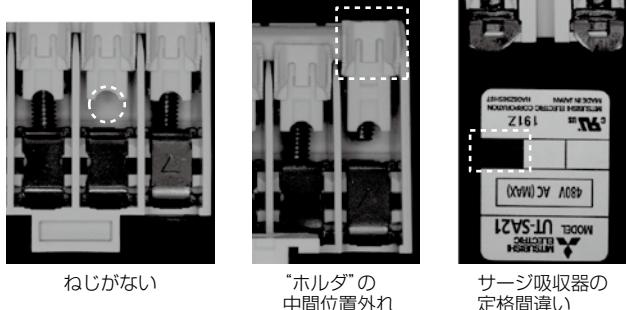


図5. 不良品画像の例

例を示す。ここにあるようにねじや部品の付け忘れや取付け部品の定格間違いなどが不良要因としてある。このAIは品種ごとに撮影した良品の画像を全て学習し、検査時に学習済みの良品からの差異を異常として求める方法(良品学習による検査)を用いている。

### 4.1 AIによる学習と検査のフロー

図6にAIによる学習と検査(推論)の処理フローを示す。

まず、学習段階では事前に撮影したばらつきを含む正常画像群を学習する。学習は入力に対して出力が同一になるように学習モデルを更新し、全ての正常画像群を記憶した学習モデルを構築する。

次に検査段階では撮影した検査画像を学習済みモデルに入力する。出力画像として正常品(既知のばらつき範囲内)の場合は、入力と同じ出力画像が生成される。一方、不良品(既知のばらつきの範囲外)の場合は、入力と異なる出力画像が生成される。未知の不良品が学習モデルに入力されると画像合成に失敗するためにそこに差異が生じる。入力画像と出力画像を比較することによって不良品の場合だけ差異を不良品として検出することが可能になる。

### 4.2 学習と性能評価の条件

学習には正常品ワークの個体差や撮影環境などのばらつきを含む画像データが多数必要であり、今回は20個体に対して、撮影条件を変えた100枚の画像データを学習してモデルを生成した。評価には学習に用いていない品種の良品画像と不良品画像をそれぞれ20枚用意した。

### 4.3 学習精度の検証方法と追加学習の方法

検査結果の評価方法として、表1に混同行列を示す。

縦軸に入力内容、横軸に検査結果を示している。ケース

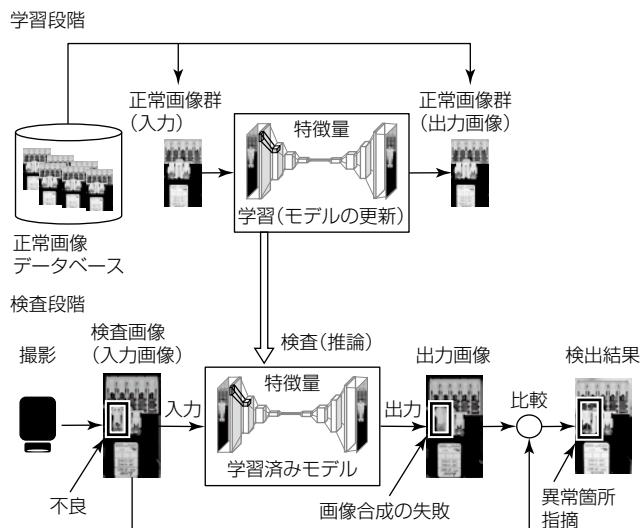


図6. AIによる学習と検査(推論)の処理フロー

表1. 検査結果に対する処理

		検査結果	
		良品	不良品
入力内容	良品	(a)正常処理 →追加学習の対象	(b)異常処理 →追加学習の対象
	不良品	(c)異常処理 →学習モデルの見直し	(d)正常処理

(a), (d)のように良品を良品、不良品を不良品と判定した場合は正常処理を行う。ケース(b)のように良品を不良品と判定する場合は、過検出になり、このデータに関しては追加学習の対象になる。ケース(c)のように不良品を良品と判定する場合は異常処理として学習モデルの見直しが必要になる。具体的にはこのケースは学習用正常画像群に不良品が含まれていることが考えられ、学習画像群の見直しが必要になる。

#### 4.4 マスクによる検査領域の指定

部品位置のばらつきや、製品番号などの変化文字は事前にデータを準備するのが困難な場合がある。運用上ばらつき箇所が検査ポイントでない場合は、その領域をマスクして検査領域から外すこととした。これによって結果的に学習に必要なデータ数が少なくて済み、装置の稼働を早めることができた。

#### 4.5 評価結果

4.2節で用意した評価用の良品20個体については過検出率0(0/20枚)%, 不良品20個体については見逃し率0(0/20枚)%を達成できた。

さらに試稼働開始後に正常品にも関わらず異常判定したデータを収集して追加学習することで運用しながら検出精度の向上を可能にする。

### 5. データ管理システムの構築

外観検査装置の導入目的は、省力化や生産規模変動への対応力向上であるが、それ以外にも検査仕様や検査対象物、検査結果がデータベース化されることによって期待される効果がある。例えば、多品種対応の容易化、不良発生工程の特定と改善、トレーサビリティの実現、AIの精度向上である。

これらの実現に向けて、この検査装置のデータ管理システムでは、表2に示すように①レシピ、②画像、③検査結果の三つの管理データを体系的に管理する構造にした。

これらのデータは識別子(ID)で関連性を把握できるため容易に検索や分析が可能になる(図7)。具体的には、不良判定が多い機種の特定だけでなく、不良判定箇所から不良発生工程や原因を推測できる。

表2. 検査装置が管理するデータ

管理データ	説明
①レシピ	検査装置に設定する検査仕様情報。学習・撮影・検査のパラメータを規定のフォーマットでまとめたもので検査設計の担当者がワーク種別ごとに設計・設定する。検査装置はレシピを読み込み仕様に従って検査する
②画像	(1)学習画像：学習モデルを生成するための正常品の画像。稼働前に学習に必要な量をワーク種別ごとに撮影する (2)学習済みモデル：検査に使用するモデル。ワーク種別ごとに学習画像からAIが生成する (3)検査画像：検査時にワークを撮影した画像。レシピに設定された仕様で撮影されワークごとに保存される
③検査結果	検査結果にかかる情報。使用したレシピや画像、検査結果や異常判定箇所等をまとめたもので検査装置が自動で生成する

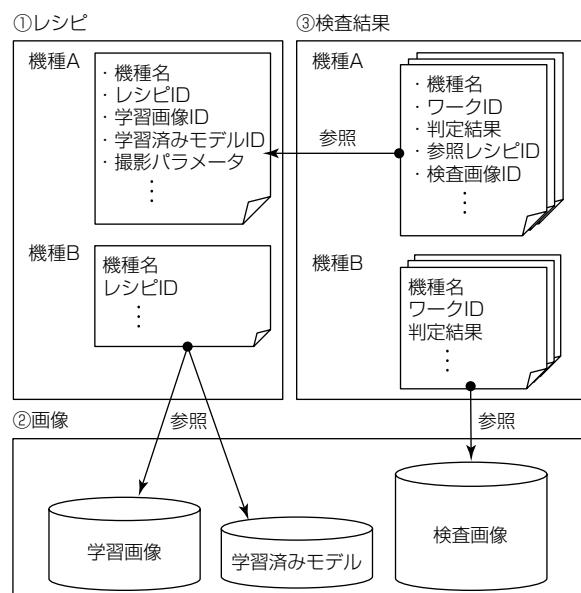


図7. 体系的なデータの管理

また、稼働中に取得した正常品の検査画像を再学習に活用することで検査精度を向上させることができる。さらに不良判定画像を再学習時の評価に用いることで性能劣化の検証も可能になる。

### 6. むすび

AI技術Maisartを活用した電磁開閉器の外観検査システムについて述べた。AI機能を外観検査システムに組み込み、目視検査の自動化や、品質改善に向けたアプローチに対する課題を分析して対応した。これらはAI技術Maisartや、ロボットによる自動化技術、e-F@ctoryというIoT技術を総合的に持つ当社ならではの取組みである。

外観検査システムの適用には学習用画像の効率的な収集や追加学習による検査性能の確認などいまだ多くの課題が残っているため、電磁開閉器向けのシステムを改善すると同時に、社内の多くの目視検査の自動化を推進することで、更に効率的な開発や運用を可能にする改善を進めていく。最終的には、工場全体の省人化や無駄のない工場管理の実現を目指す。



三菱電機のFA製品やFA業界のトレンド情報の宝庫

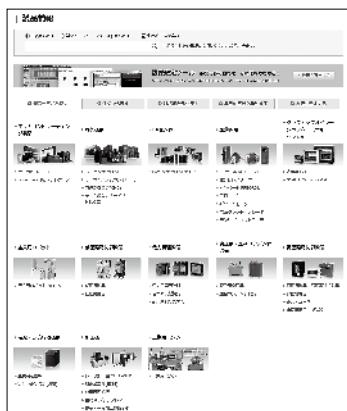
# 三菱電機FAサイト

三菱電機のFactory Automation製品に関する情報を掲載した、通称“FAサイト”は、総ページ閲覧数約650万PV/月、訪問者数約50万人/月、会員数約35万人と、三菱電機公式Webサイトの中でも随一のアクセス件数を誇るWebサイトです。第三者機関が、国内の約200のBtoBサイトを対象に、ユーザーからのアンケートを元に多角的に評価する“BtoBサイト調査”では、毎年トップランクに位置づけられており、情報量や使い勝手についてお客様から高い評価を得ています。Webサイトには、製品に関する情報はもちろんのこと、ビジネスパーソンに役立つ情報まで幅広い情報を掲載しています。

## 主なコンテンツ

**製品情報** 当初“技術情報サイト”としてスタートしたFAサイトは、36カテゴリの製品群に関する技術情報の宝庫です。製品仕様はもちろん、マニュアル、外形図、ソフトウェアサンプル等のダウンロードデータも豊富に掲載しています。また、三菱電機製品を初めてお使いになるお客様のために、100コースを超えるe-Learningをラインアップしており、日本語だけでなく17言語に対応しています。加えて、約500本の各種動画も各国語で掲載しています。製品選定のご参考、動画による学習等様々なシーンでご活用いただけます。

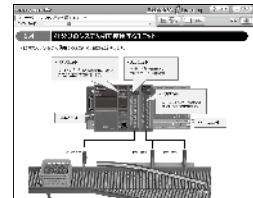
さらに、“マイページ”には、Webページ、マニュアル／カタログ、機種選定ツールでの選定結果等を保存でき、お客様だけの“情報庫”としてお使いいただけます。



製品情報



機種選定ツール例



FAeラーニング



製品の情報だけでなく、業界の最新トレンドや様々な情報を届けるデジタルメディア“FA羅針盤”も好評です。スポーツや芸能他の各種業界で活躍されている方々のビジネスコラムや、ビジネスシーンで役立つ文化、教養に関する記事も多数掲載しています。



スマートフォンアプリ “製品検索、比較”をスマートフォンアプリ “FA SPEC Search”にしました。スマホで手軽に、しかもオフラインでも製品の検索と仕様の比較ができます。



## 三菱電機 FA SPEC Search

“仕様から探す”がスマートフォンアプリで登場。FA製品情報を手元で手軽にご覧いただけます。



App Store  
で無料  
ダウンロード



Google Play  
で無料  
ダウンロード

\*App Storeは、Apple Inc.のサービスマークです。  
\*Google PlayはGoogle LLC の商標です。

▶詳しくはWEBサイトをご覧いただけます。

三菱電機 FA

検索