



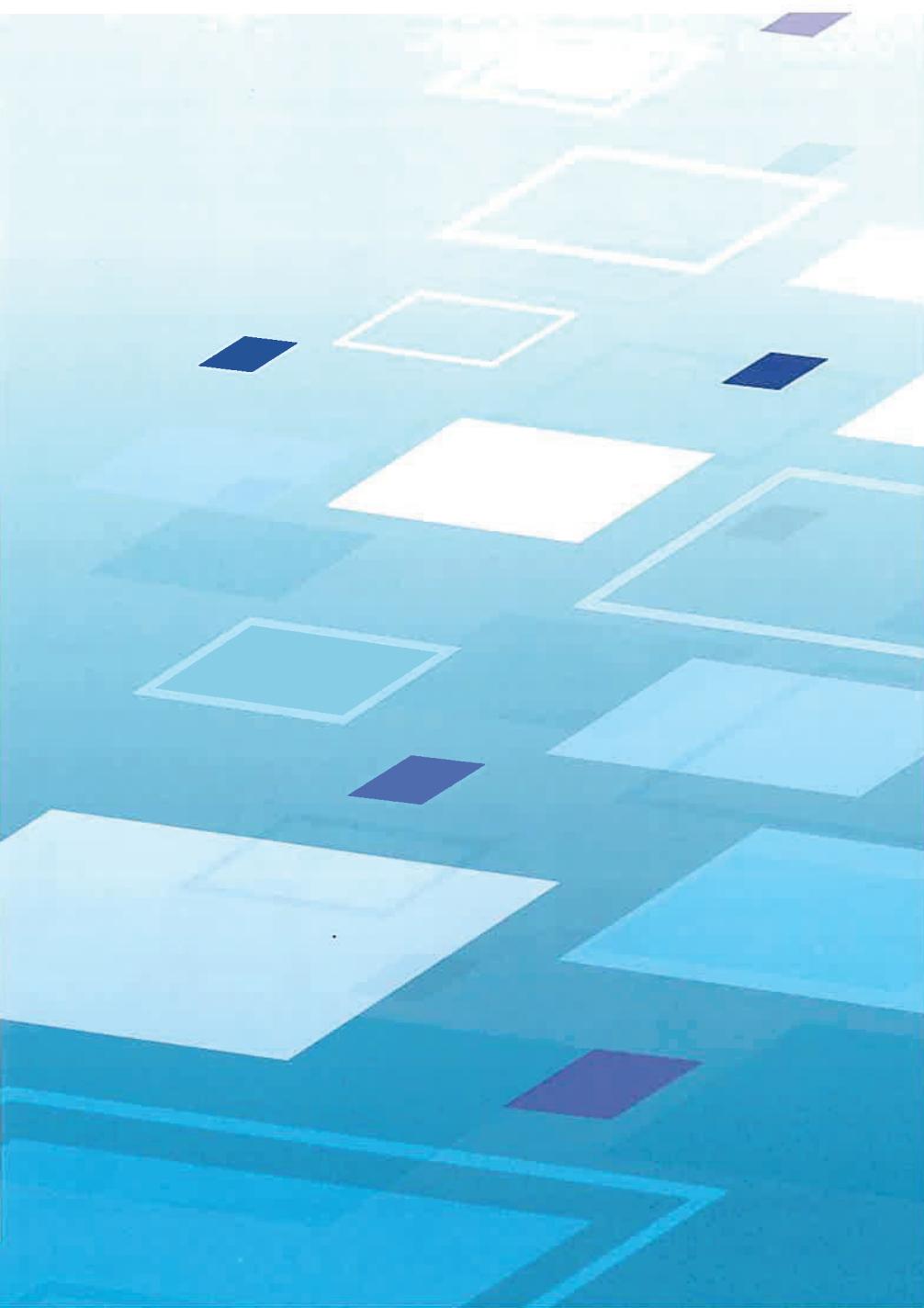
# 三菱電機技報

3

2021

Vol.95 No.3

FA



---

表紙：FA



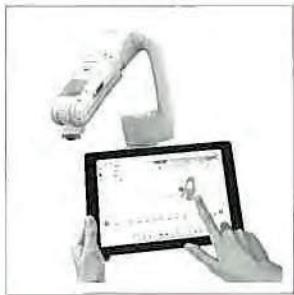
三菱電機は、先端技術と最高品質をベースにしたFA総合ソリューション“e-F@ctory”の提供を通じて、世界のものづくりに貢献。顧客満足度 Only One FA Supplierへの挑戦を行っている。

本号では、このe-F@ctoryを支える最新のFA製品について紹介する。

- ①次世代小型高機能汎用インバータFR-E800シリーズである。次世代産業用オープンネットワーク“CC-Link IE TSN”を始めとしたマルチネットワークへの対応など最新技術採用によって、工場や社会インフラ設備など様々な分野のスマート化に貢献する。
- ②協働ロボット“MELFA ASSISTA”である。直感的な操作が可能なこの製品によって、製造現場での導入が容易になり、事業環境変化への柔軟な対応とTCO(Total Cost of Ownership: 総保有コスト)削減に貢献する。
- ③新型二次元ファイバレーザ加工機GX-Fシリーズである。“高い加工安定性と信頼性”, “高速加工、低ランニングコスト”, “完全自動化、省人化”を開発重点項目として、加工安定性、生産性の向上を実現した。



①



②



③



ライフ



インダストリー



インフラ



モビリティ

## 特 集 FA

## 巻頭 言

進化するFAソリューション  
—その歩みと新たな世界— ..... 4  
宮田芳和

## 巻頭論文

生産現場のIoT化を支える最新のFA技術 ..... 6  
田中博文

三菱電機シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”  
のLinuxとPythonへの対応 ..... 12  
宮丸卓也

生産設備の事後保全向けシステムレコーダ ..... 16  
久保田善幸・高松佳広・巣 一国

グラフィックオペレーションターミナル  
“GOT2000シリーズ”的ビジョンセンサモニタ機能 ..... 20  
安藤直哉・板谷洋平

次世代小型高機能インバータ  
“FREQROL-E800シリーズ” ..... 24  
法名直人・二村智洋・久保 匠・原田崇弘・松永 樹

CC-Link IE TSNの安全通信機能に対応した  
ACサーボアンプ“MR-J5シリーズ” ..... 28  
家田正孝・林 佑磨

数値制御装置の産業用ロボットとの  
連携機能“Direct Robot Control” ..... 32  
馬場健輔

協働ロボット“MELFA ASSISTA” ..... 36  
寺田大祐・市岡紘平・鉢木稔浩

レーザ加工機へのAI適用と最新加工技術 ..... 40  
西脇基晃・山本 韶

省エネ支援アプリケーション“EcoAdviser”  
省エネ分析・診断アプリケーション ..... 44  
松本裕樹・坂本直聰

電子式電力量計“M8FMシリーズ” ..... 48  
平方健吾・前田雄輝

低圧気中遮断器  
“World Super AE Vシリーズ Cクラス” ..... 52  
信太秀夫・江古憲一・岩下説志・相良雄大

くらしのエコテクノロジー ..... 56

Webサイト紹介  
(三菱電機FAサイト) ..... 58

## FA

Continuous Evolution of FA Solution  
—History and New Initiatives—  
Yoshikazu Miyata

Advanced Factory Automation Technology for Building Internet of Things System in Production Site  
Hiroyumi Tanaka

Mitsubishi Programmable Logic Controller “MELSEC iQ-R Series” Supporting for Linux and Python  
Takuya Miyamaru

System Recorder for Post-maintenance of Production Equipment  
Yoshiyuki Kubota, Yoshihiro Takamatsu, Yiguo Yan

Vision Sensor Monitor Function of Graphic Operation Terminal “GOT2000 Series”  
Naoya Ando, Yohei Itaya

Next Generation Compact and High Performance Inverter “FREQROL-E800 Series”  
Naoto Norina, Tomohiro Nimura, Takumi Kubo, Takahiro Harada, Tatsuki Matsunaga

AC Servo Amplifier “MR-J5 Series” Supporting CC-Link IE TSN Safety Communication Function  
Masataka Ieda, Yuma Hayashi

“Direct Robot Control”: Cooperation Function with Industrial Robots of Computerized Numerical Control  
Kensuke Baba

Collaborative Robot “MELFA ASSISTA”  
Daisuke Terada, Kouhei Ichioka, Toshihiro Hachiki

Application of Machine Learning to Laser Processing System and Latest Processing Technique  
Motoaki Nishiwaki, Hibiki Yamamoto

Energy Saving Support Software “EcoAdviser” Energy Saving Data Analysis and Diagnosis Software  
Hiroki Matsumoto, Naotoshi Sakamoto

Electronic Watthour Meter “M8FM Series”  
Kengo Hirakata, Yuki Maeda

Low Voltage Air Circuit Breakers “World Super AE V Series C-class”  
Hideo Shida, Kenichi Ego, Hisashi Iwashita, Yuta Sagara

新型コロナウイルス感染症で亡くなられた方々に謹んでお悔やみを  
申し上げますとともに、罹患(りかん)された皆さまとご家族及び  
関係者の皆さまに心よりお見舞い申し上げます。

# 巻頭言

## 進化するFAソリューション —その歩みと新たな世界—

Continuous Evolution of FA Solution  
— History and New Initiatives —

宮田芳和 *Yoshikazu Miyata*

専務執行役 FAシステム事業本部長

*Senior Vice President, Group President, Factory Automation Systems*



三菱電機は、2021年に創立100周年を迎えます。昨今は少子高齢化による人手不足や熟練工の匠(たくみ)の技とノウハウの継承とともに“不確実性”への対応が製造業の課題になっています。「2020年版 ものづくり白書<sup>(注1)</sup>」の中でもデジタル技術の導入による“企業変革力”的強化が急務であると提起されています。

特にこの一年は、貿易摩擦に加えてコロナ禍(COVID-19)の世界的な蔓延(まんえん)の影響を受けました。保護主義的な動きや人の移動制限などによって、サプライチェーンやビジネスモデル、働き方などの急激な変化を経験し、想定外のことが予想していないスピードで起こり得ることを学びました。

近年、“IoT(Internet of Things)”や“DX(Digital Transformation)”という言葉が注目されています。当社はコンポーネントの進化に併せてFAとITの連携の重要性に着目し、これらの言葉が一般的に使われる以前の2003年から、“e-F@ctory”による“ものづくり”的変革を提唱してきました。

“e-F@ctory”は、FAとITの技術を連携させ、一歩先の“ものづくり”を指向するFA-IT統合ソリューションです。“e-F@ctory”では、これまで築いてきたノウハウに基づき、生産性向上・品質向上・エネルギーの効率的使用を推進することによって開発・生産・保守の全般にわたるトータルコストを削減します。このFAとIT連携には、生産現場から適切なデータを適切なタイミングで収集して処

理できる現場機器と、これを活用するシステムが重要です。

当社は、FA製品を名古屋と福山の二つの製作所を中心に製造しています。

名古屋製作所は、1924年に汎用電動機の生産を開始し、以降、FA事業を創出した電磁開閉器や変圧器、放電加工機、その後の事業の柱になるシーケンサ(Programmable Logic Controller: PLC)を事業化しました。さらに高度なメカトロニクス技術によって生み出された数値制御装置(Computerized Numerical Controller: CNC)を始めとして、レーザ加工機、インバータ、ロボット、ACサーボモータを次々と世の中に送り出したことで、FA事業を躍進させました。

福山製作所は1943年に操業を開始し、ブレーカ(遮断器)やスマートメーター(電子式電力量計)などの配電制御分野の機器や省エネルギー支援を中心としたエネルギー関連製品の開発製造を担っています。

このような豊富な製品群に加えて、加速する製造業のグローバル展開に合わせて、海外での生産販売やサポート体制を整備したことで、世界有数のFA製品ベンダーへと成長しました。

DXの実現には、協調やイノベーションの加速のためのエコシステムと新たな要素技術の開発が必要です。当初、省配線の要求から生まれたFA用フィールドネットワークCC-Linkは、CC-Link IE TSN(Time Sensitive Networking)<sup>(注2)</sup>へと進化し、オープンなグローバルスタン

ダードとして現場のDX化に貢献しています。

エコシステムの観点では，“e-F@ctory Alliance<sup>(注3)</sup>”によるパートナーとの協創、エッジコンピューティング領域のFAオープンプラットフォーム“Edgecross(エッジクロス)<sup>(注4)</sup>”の採用によるデータ活用の充実、“ものづくり”での新事業創出のためのスタートアップ企業とのマッチング企画“アクセラレーションプログラム<sup>(注5)</sup>”を推進しています。要素技術の観点では、現場のあらゆるデータ連携・処理・制御のために必要となる現場起点の技術とデジタル技術の融合による自動化や、IoT、ロボット、AI、第5世代移動通信システム(5G)などの活用に取り組んでいます。具体的には、協働ロボット“MELFA ASSISTA(メルファアシスタ)”による人との協働や省人化、機器に組み込めるコンパクトなAI技術“Maisart(マイサート)<sup>(注6)</sup>”のリアルタイムなデータ分析・診断・処理への活用及びAR(Augmented Reality)／VR(Virtual Reality)、無人搬送車(AGV)、工場のレイアウトフリー化などへの次世代通信5Gの応用を進めています。

さらに、“SDGs(Sustainable Development Goals)”の達成に向けて、FAやAI技術による生産性の向上、働きやすい職場環境の整備、持続可能な産業化の促進と技術革新の拡大、持続可能な生産消費形態の確保等に取り組みます。

これらの取組みをベースにした新たな“ものづくり”と低炭素社会の実現と支援によって、空間と時間の制約を超えた“企業”と“ヒト”をつなぐ社会作りに貢献してまいります。

(注1) 第201回国会(常会)提出 令和元年度ものづくり基盤技術の振興施策  
[https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2020/honbun\\_pdf/pdf/all.pdf](https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2020/honbun_pdf/pdf/all.pdf)

(注2) CC-Link IE TSN  
[https://www.cc-link.org/ja/cclink/cclinkie/cclinkie\\_tsn.html](https://www.cc-link.org/ja/cclink/cclinkie/cclinkie_tsn.html)

(注3) e-F@ctory Alliance  
<https://www.mitsubishi-electric.co.jp/fa/sols/efactory/alliance/index.html>

(注4) Edgecross  
[https://www.edgecross.org/ja/data-download/pdf/Edgecross\\_pamphlet2019.pdf](https://www.edgecross.org/ja/data-download/pdf/Edgecross_pamphlet2019.pdf)

(注5) MITSUBISHI ELECTRIC ACCELERATION 2020-2021  
<https://eiicon.net/about/mitsubishi-electric-acceleration2020-2021/>

(注6) Mitsubishi Electric's AI creates the State-of-the-ART in technologyの略

# 生産現場のIoT化を支える最新のFA技術

Advanced Factory Automation Technology for Building Internet of Things System in Production Site



田中博文\*  
Hirofumi Tanaka

## 要旨

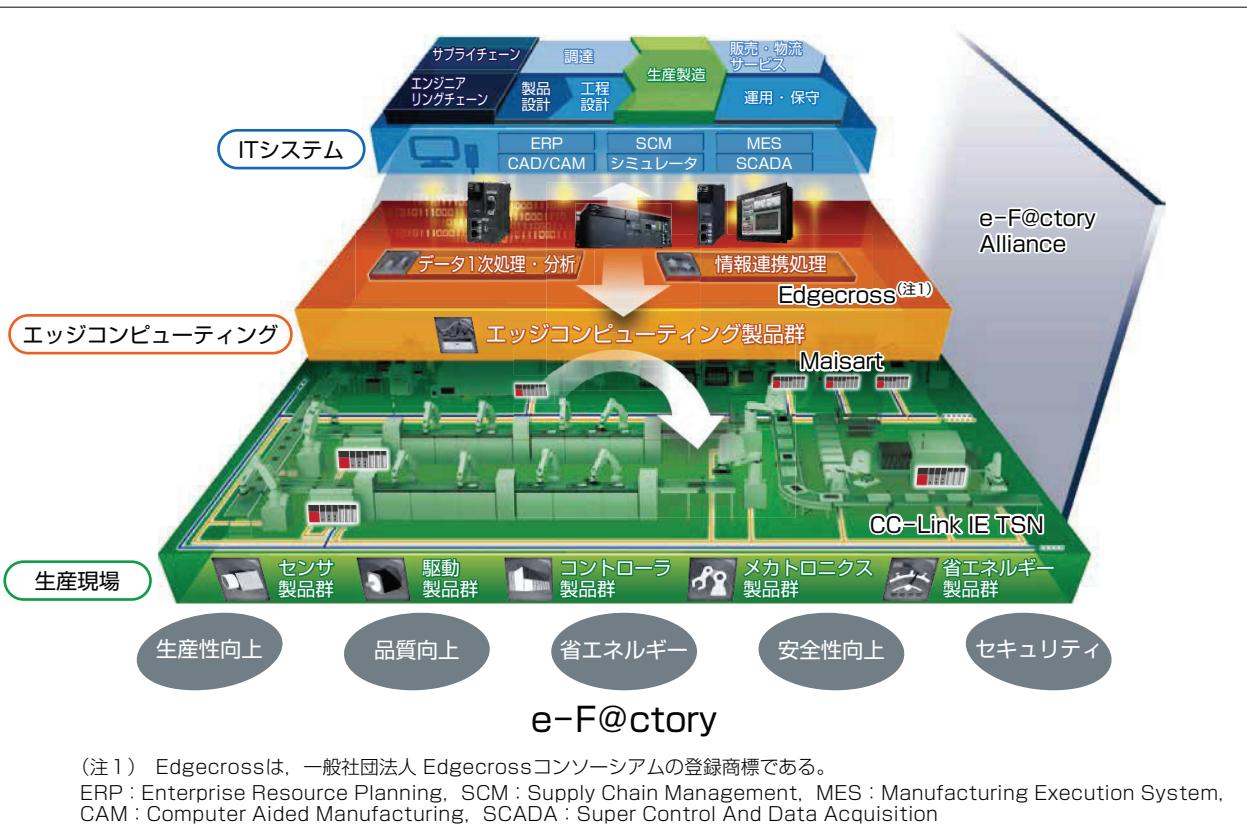
2020年は新型コロナウイルス感染症が流行し、経済社会活動全体に多大な影響を与えた。感染症収束後のニューノーマル時代に向けて、ものづくりの現場でも人との接触を減らすIoT(Internet of Things)化が進む見込みである。

三菱電機はFA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”を提供し、あらゆる機器や設備をIoT技術でつなぎ、エッジコンピュータが収集したデータを分析・活用することで、ものづくり全体の最適化を実現している。

システムの稼働状態をまるごと記録し、簡単にシステムの稼働状態を解析してダウンタイムの大幅低減を実現するシステムレコーダ、駆動機器の最新技術動向として、人とロボットの間の防護柵を必要とせず、より人に近い位置で

運用が可能な協働ロボット“MELFA ASSISTA”，半導体製造装置や部品実装機でヘッドの高速高精度位置決めを可能にする免振制御技術、ロボットを活用したNC(Numerical Control)工作機械の自動化を実現する当社CNC(Computerized Numerical Control)独自の産業用ロボット連携機能、放電加工機、金属3Dプリンターなど最新のFA技術が生産現場のIoT化を支えている。

今後もe-F@ctoryを支える革新的なFA技術を開発し、IoTによって様々な機器や設備がつながることで新しい価値を生み出し続けるものづくり現場を支え、ニューノーマル時代のものづくりに向けて社会貢献を続ける。



## FA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”

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、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生産現場のIoT化を支援することで企業価値向上を支援する。当社はシステムレコーダによる生産現場データの取得・解析及びIoT技術を活用した駆動制御機器と加工機の高機能化によってFA機器の強化を行っている。

## 1. まえがき

IoT技術の進展によって、工場の設備やセンサ等の生産現場のあらゆるものがネットワークに接続され、リアルタイムかつ精度の高い様々なデータを取得・分析できるようになってきた。

当社は2003年からFA-IT統合ソリューションe-F@ctoryを提供し、生産現場の最適化を推進してきた<sup>(1)(2)</sup>。最近では、生産現場で“MELSEC iQ-Rシステムレコーダ”を提供し、異常発生時のシステムの稼働状態を“まるごと記録”し、“かんたんに解析”する事後保全ソリューションを提供し、ダウンタイムの短縮を実現している。また、産業用ロボットでは衝突検知機能を備えた協働ロボット“MELFA ASSISTA”を提供することで製造現場での作業者間の距離確保が可能になる。

本稿では、2章で生産現場をIoT化するまでの現状の課題について述べ、3章でFA-IT統合ソリューションe-F@ctoryについて述べる。次に4章で生産現場のIoT化を支えるFA技術に関する取組みについて述べ、5章でIoT技術を用いて駆動機器を高機能化する技術、6章で放電加工機と金属3Dプリンターの最新加工技術について述べる。

## 2. 生産現場のIoT化<sup>(3)</sup>

近年、米中貿易摩擦やCOVID-19の影響によって、グローバル化してきたサプライチェーンの寸断リスクが高まってきており、新たなサプライチェーンの構築を検討す

る必要性が高まっている。

従来の生産現場では、現場の属人的な改善活動によって、日々改善が進められてきたが、社会の変化へ即時に対応するためには生産現場全体を連携する施策が必要になってきている。

この連携に必要となるのが、IoT技術によるデータ収集・分析・活用である。このIoT技術については、ドイツのIndustry 4.0、日本のConnected Industriesといった概念が提唱され、国際標準規格の制定及びテストベッドによる技術実証が進められてきている。

これらの活動は、様々なデータをつなぎ、有効活用することで技術革新、生産性向上、品質向上、技能伝承などの様々な課題解決が期待されている。例として、Connected Industriesでは、生産現場内外のデータ連携強化を目的とするデータプロファイルの国際標準化、生産現場のデータを共有するためのデータ契約ガイドラインの改訂、ものづくりデジタル人材の育成、デジタル技術を中小企業が積極導入するための支援策などデジタルデータ活用に向けた取組みが強化されてきている。

## 3. FA-IT統合ソリューションe-F@ctory

e-F@ctoryは、生産現場、エッジコンピューティング、ITシステムの3層から構成される(図1)。生産現場では、ITシステムからの指示に基づいて生産を実行し、現場の様々な状況をセンシングし、設備や装置の状態をリアルタイムにITシステムへ通知している。エッジコンピューティングは、生産現場とITシステムの中間に位置し、迅

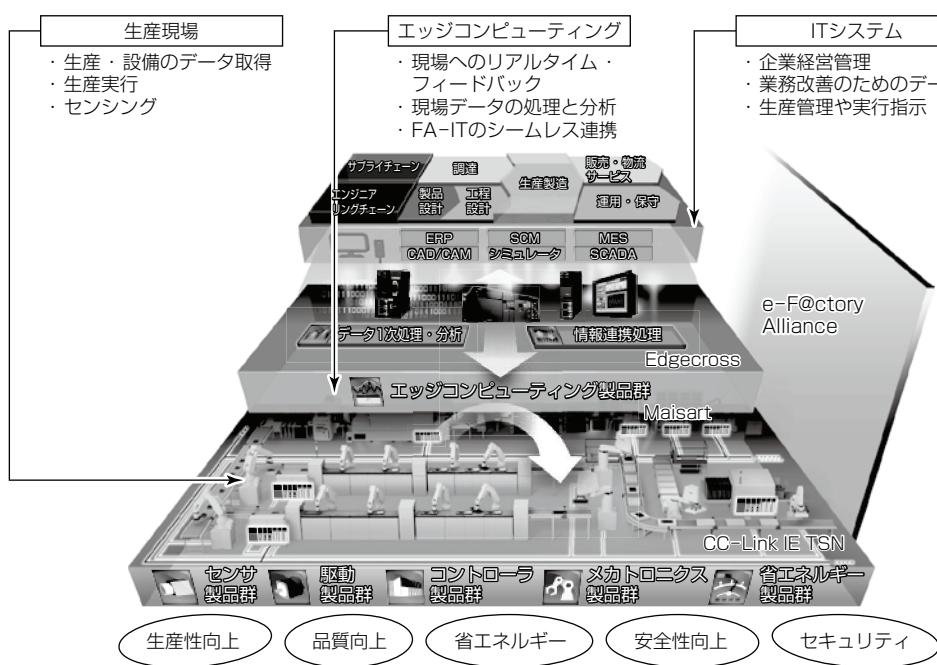


図1. FA-IT統合ソリューションe-F@ctory

速に現場データの処理・解析を実施することで、リアルタイムに生産現場の生産性向上と品質向上に寄与する。また、生産現場から取得した大量のデータを一次処理することで、ITシステムは的確な生産管理及びデータ分析時間の短縮ができる。

e-F@ctoryでは、生産現場とITシステムをシームレスに接続するエッジコンピューティングが、ものづくり全体の最適化に重要な役割を果たしている。当社では、産業用パソコンである“MELIPCシリーズ”及びオープンなエッジコンピューティング領域のソフトウェアプラットフォームである“Edgecross”対応のソフトウェアである“iQ Edgecross”や放電加工機の状態をリモートから診断できる“iQ Care Remote4U”などを提供し、データ活用による生産現場の改善の実現に向けた提案を進めている。

## 4. システムレコーダ

システムレコーダはシーケンサ、サーボシステム、ネットワークカメラの動きを“まるごと記録”し、異常が発生したときに、カメラ映像の再生や動作履歴を時系列に同期させることで“かんたん解析”できる事後保全ソリューションである。

### 4.1 まるごと記録

システムレコーダの“まるごと記録”をサポートする製品として、レコーダユニット、サーボシステムレコーダを提供している。

レコーダユニット“RD81RC96”は、シーケンサと連携して動作し、全ON/OFFデータ、数値、文字列データをプログラム実行周期ごとにタイムスタンプ付きで取得できる(図2)。シーケンサとレコーダユニットを別ユニットでそれぞれ実行することで、シーケンサの負荷を軽減し、スキャンタイムへの影響を最小限に抑えることができる。ま



図2. レコーダユニット、サーボアンプ、モーションユニット

た、ネットワークで接続したサーボアンプ、ロボット、インバータ、リモート機器などのデータも収集でき、装置・ライン全体の状態を確認できる。さらに、レコーダユニットにカメラ映像記録機能を追加したカメラレコーダユニットも提供し、カメラから取得した映像の記録も可能にしている。ロギングデータ及び映像データはSD(Secure Digital)メモリカード又はNAS(Network Attached Storage)やパソコンなどのファイルサーバへ保存できる。

サーボシステムレコーダは、ACサーボアンプ“MR-J5シリーズ”とモーションユニット“RD78GH/RD78G”が連携して動作し、最速125μsごとに全軸の位置・速度指令、位置・速度・トルクフィードバック、エラーコードをプログラムレスに収集できる(図2)。これらのデータはトラブル発生時に自動収集され、タイムスタンプが付いたデータをモーションユニットのSDメモリカードへ保存できる。

### 4.2 かんたん解析

まるごと記録したデータからいつでも、どこでも、誰でもトラブル発生時の状況を再現するために、オフラインモニタ、カメラ映像再生、ログマーカ、データフロー解析機能を提供している。

オフラインモニタは、“GX Works3”“GT Designer3”“GX LogViewer”“GX VideoViewer”を連動させることによって、プログラム、GOT(Graphic Operation Terminal)の操作・アラーム履歴、波形データ、動画データを時刻同期させながら確認できる(図3)。これによって、GOTのアラーム履歴からプログラムや波形の異常箇所との関連が明らかになり、トラブル原因を早期に特定できる。

記録したカメラ映像は、汎用的な動画再生ソフトウェアで表示できるだけでなく、GX VideoViewerを用いて最大4画面を同時に再生して状況を確認できる。また、映像にログマーカと呼ばれる目印を付与し、ログマーカを設定した箇所をすぐに呼び出すことができる。また、複数人でログマーカを共有できたり、ログマーカの色分けやコメントを付与でき、複数人での解析を効率化する機能を提供している。また、設定したログマーカは、GX VideoViewerとGX Works3やGX LogViewerと相互に反映できる。

データフロー解析機能は、GX Works3上で解析対象のデバイス又はラベルを選択することで、これらのデバイスやラベルが変化したときに影響があるデータについて、データフロー図によって視覚的に表示できる(図4)。この機能は、LD(Ladder Diagram), FBD(Function Block Diagram), SFC(Sequential Function Chart), ST(Structured Text)言語に対応している。また、デバイスからデバイスを使用するプログラム位置へジャンプし、前後の処理を確認できる機能を提供し、トラブル原因の早期追究に貢献する。

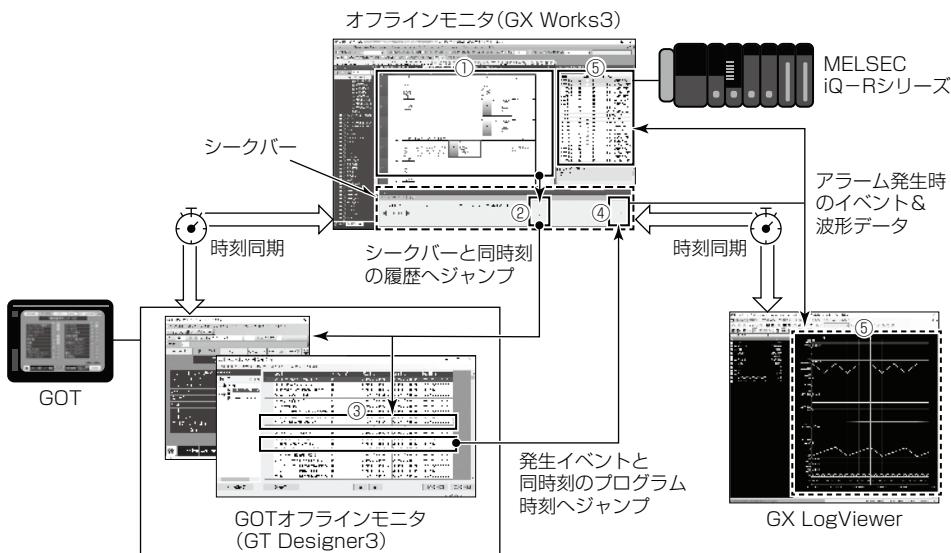


図3. オフラインモニタ機能

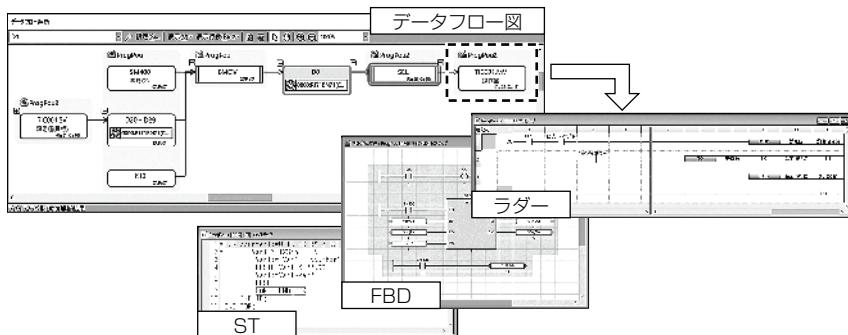


図4. データフロー解析機能

## 5. 駆動制御機器

### 5.1 協働ロボット MELFA ASSISTA

従来、産業用ロボットは、防護柵などによって人との作業空間を分離することが前提とされていた。しかし、近年では、人と空間・時間的に作業領域を共有する協働作業が行われるようになってきている。2020年5月に発売されたMELFA ASSISTAは、それに向けて、手指の挟まれや接触を考慮したデザインによる本質安全と、接触時に発生する力を低減する機能等の機能安全を備えた協働ロボットである。産業用ロボット及び協働ロボットの安全規格であるISO10218-1:2011とISO/TS 15066:2016について第三者認証を取得し、システムのリスクアセスメントを実施するユーザーに対して、高い信頼性を提供している(図5)。

防護柵をなくしてスペースの削減ができるだけでなく、ロボットが人の近くや、人と接触しながらでも動作をできることは、システム設計の自由度をもたらす。自動化対象工程中の難易度の高い作業と容易な作業とを切り分け、

協働作業によって人とロボットが作業を分担できれば、実現性、費用共に適度な自動化システムを設計することが可能になる。

また、ロボット導入に対する心理的な障壁を取り除くために、経験がなくても容易に利用できる工夫を行っている。例えば、ロボットの状態を一見して理解するためのアーム上のLEDや、手でアームを直接動かして動作を教えることができるダイレクトティーチング機能によって直感的な操作が可能である。さらに、エンジニアリングソフトウェア“RT VisualBox”を用い、ビジュアルプログラミングによって簡単にロボットの動作を作成できる。このほか、装置立ち上げを容易にするために、協働パートナー各社のハンドやセンサといった製品と連携するなど、ロボットを使用するまでの敷居の高さを取り除くための様々な方策を取っている。

製造現場への省人化・自動化の要求はますます高まっており、安全性と使いやすさを備えたMELFA ASSISTAによって、市場への貢献を図っていく。

### 5.2 CC-Link IE TSN対応サーボシステムによる高機能多軸制御

サーボシステムは様々な産業機械の駆動に用いられ、その用途拡大に伴って複数のモータを複雑に協調させる要求が増えている。当社のシーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”的ーションユニットRD78GH/RD78G及びACサーボアンプMR-J5シリーズは、産業用オープンネット

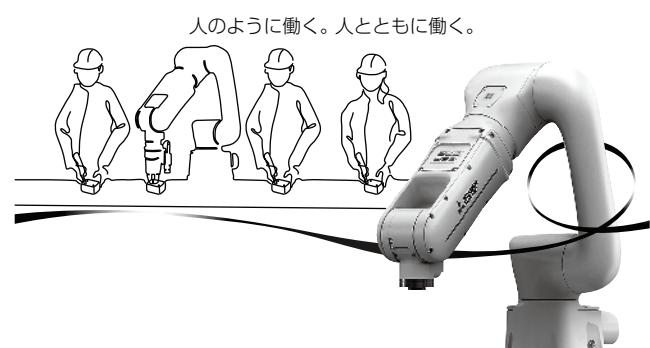


図5. 協働ロボット MELFA ASSISTA

ワークCC-Link IE TSN(Time Sensitive Networking)に対応し、サーボアンプへの位置指令を最小周期31.25μsで演算する高速な多軸同期制御を実現する。またモーションユニットRD78GH／RD78Gは国際的な標準規格であるPLCopen Motion Control FB(ファンクションブロック)や、IEC61131-3 ST言語とラベル(変数)による構造化プログラミングに対応し、高機能な制御を簡単なプログラミングで実現できる。次にその活用例を述べる。

半導体製造装置や部品実装機ではヘッドを高加減速に駆動するとその反力で架台が振動し、高速高精度な位置決めを阻害する。その解決策として、ヘッド駆動軸と並行して錘(おもり)を駆動する免振軸を付加し、ヘッドに同期して免振錘を駆動して架台の振動を抑制することで、ヘッドの高速高精度位置決めを可能にする免振制御を開発した。図6にシステム構成を示す。モーションユニットでヘッド位置指令から架台振動の周波数成分を抽出して振動を相殺するように演算した免振軸位置指令で免振錘を駆動する。図7に示す試験結果から、加速度2.4G、最大速度1.2m/sで高加減速するヘッドに対して質量比0.5倍の軽量な免振錘を可動範囲約50mm以内で駆動して架台の振動を抑制し、位置決め時間の大幅短縮を可能にした。

このように高機能な多軸制御の構築が容易になり、今後、様々な装置の高速高精度化への貢献が期待される。

### 5.3 CNCでの自動化技術

近年、人手不足や人件費の高騰による生産現場の自動化ニーズの高まりを受け、NC工作機械各社から自動化提案がなされている。ロボットの操作になじみのないNC工作機械ユーザーにとっては、NC工作機械への加工ワークの取付け、取り外し作業にロボットを導入する場合、ロボットの設置、設定、操作などの自動化に関わる各種作業が煩雑であり、作業の容易化が強く望まれていた。

今回、当社は、NCコントローラとロボットコントロー

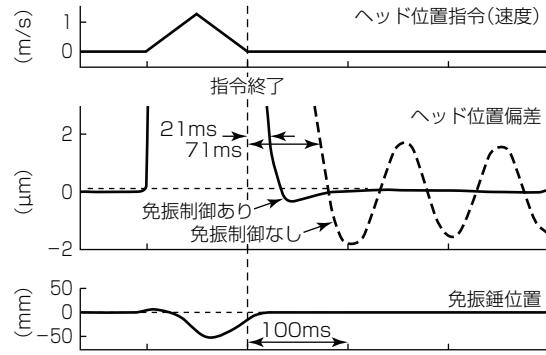


図7. 免振制御の試験結果

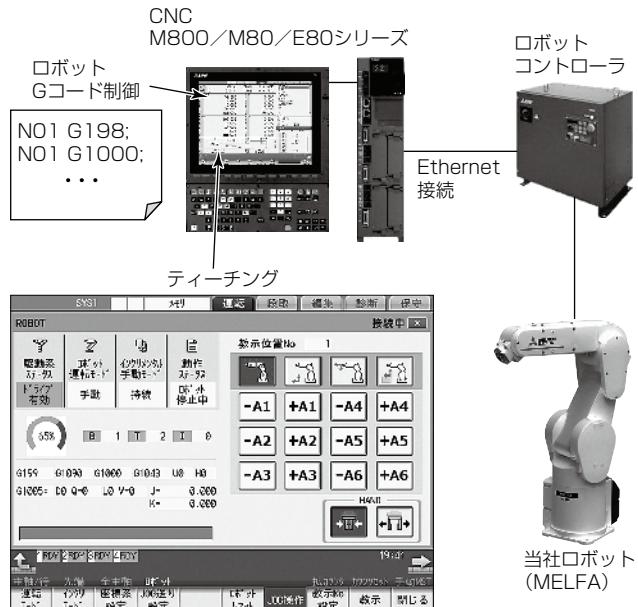


図8. Direct Robot Control

ラをEthernet<sup>(注2)</sup>で接続するシンプルなシステム構成で、NC工作機械ユーザーにとってなじみのあるGコードを用いたロボットの簡単制御を実現するNC工作機械とロボットの連携機能“Direct Robot Control”を開発した(図8)。

この機能は、NC画面上でのロボット動作のプログラミング、ロボット操作を容易に実現することで、NC工作機械で加工するワークの取付け・取り外し作業のほか、加工の残留物であるバリをロボットで除去するなど、各種自動化システムの構築・運用が短期間かつ簡単に実現できるようになる。今後、ロボットを活用した自動化システム構築と生産性の更なる向上を目指して開発に取り組むとともに、製造現場の生産性向上の一助になることを期待している。

(注2) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

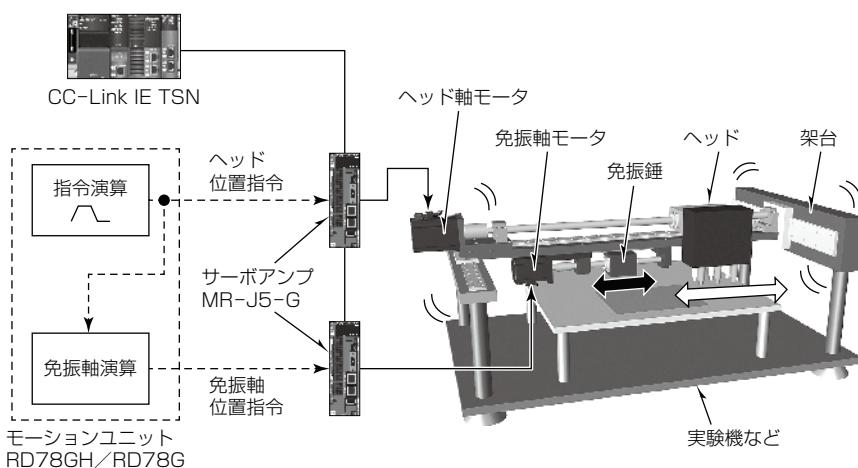


図6. モーションユニットを用いた免振制御のシステム構成

## 6. 加工機

### 6.1 放電加工機

近年、環境への負荷低減の観点から自動車の電動化が加速し、燃費などの性能向上に寄与するEV(Electric Vehicle), HEV(Hybrid Electric Vehicle)用モータの大型化・高性能化が進展している。主要部品であるモータコアの製造には、大型の超高精度金型が用いられるが、同金型製造には、長時間連続の高精度加工が必須になっている。こうした中、高推力シャフトリニアモータと高剛性リニアガイドを組み合わせた高精度駆動システム、サブミクロンの機械摺動(しゅうどう)部の真直精度、熱源を分離して独自の熱変位抑制技術を搭載した超高精度ワイヤ放電加工機“MX900”を開発した(図9)。モータコアの金型加工に必要となる48時間を超える長時間連続加工と治具研削レスの高精度加工を実現している。

またIoT技術でも長時間加工を支援する。“iQ Care Remote4U”は、放電加工機の稼働情報をリアルタイムで確認し、複数台の稼働率・コスト情報をIoTプラットフォームで収集・蓄積して一元管理を行う。見える化とデータ分析によって、生産プロセスの改善・ランニングコスト低減に貢献する。また、リモート診断機能は、当社のサービスセンターに設置した端末から直接顧客の放電加工機へ接続し、装置状態を遠隔確認する。問題発生時には、当社スタッフがアラーム内容と加工条件を確認し、迅速な装置稼働復旧をサポートする。

### 6.2 金属3Dプリンター

近年、製造業の生産効率化やデジタル化を実現する革新的な技術として金属3Dプリンターが注目されている。当



図9. 超高精度油加工液仕様ワイヤ放電加工機“MX900”



図10. 金属3Dプリンターと点造形、線造形サンプル

社では、レーザ照射部に金属ワイヤを直接供給して造形するレーザワイヤDED(Direct Energy Deposition)方式を採用した金属3Dプリンター(図10)を開発している。安価に高密度な造形が可能で、既存部品へ微小単位で材料の附加ができることから、マルチマテリアル化や機能性付与が可能になる。

また、当社独自の点造形技術(レーザとワイヤを間欠的に動作させることで点状の造形を繰り返し行う)を活用することで、複雑形状の造形や、64チタンのような酸化しやすい材料に対しても造形時の酸化を抑制し、高い疲労強度を実現できる。一方で、造形速度の観点から線造形技術(連続的にワイヤ送給して造形)も並行して開発しており、造形形状や造形材質などに応じて線造形と点造形を適材適所で活用する造形技術の開発を進めている。

## 7. むすび

生産現場のIoT化を支える当社の最新FA技術の取組みとして、機器の動きを“まるごと記録”し、異常が発生したときに“かんたん解析”できるシステムレコーダ、人と一緒に作業ができる協働ロボットMELFA ASSISTA、IEC61131-3に準拠したST言語によるプログラミング及びモーションユニットとサーボアンプ間をCC-Link IE TSNで接続することで多軸同期制御できる技術、ロボットを活用したNC工作機械の自動化を実現する当社CNC独自の産業用ロボット連携機能、最新の当社加工機技術について述べた。今後も顧客の生産現場の生産性向上、付加価値向上に向けた技術開発を進めていく。

## 参考文献

- (1) 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)
- (2) 楠 和浩：工場のスマート化を実現する最新のFA技術と取組み、三菱電機技報, 94, No.4, 206~210 (2020)
- (3) 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)

# 三菱電機シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ” のLinuxとPythonへの対応

宮丸卓也\*  
Takuya Miyamaru

Mitsubishi Programmable Logic Controller "MELSEC iQ-R Series" Supporting for Linux and Python

## 要旨

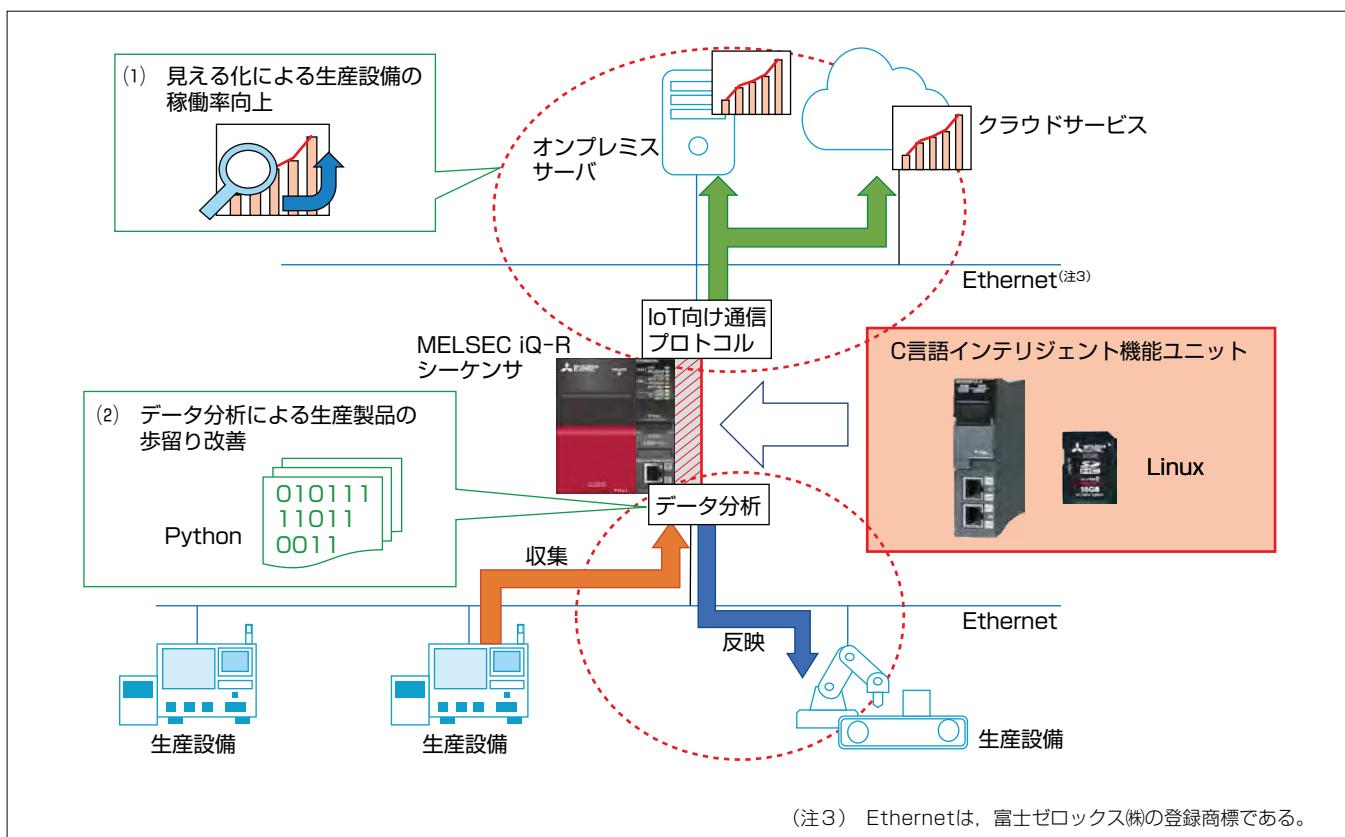
“MELSEC iQ-Rシリーズ”は、TCO(Total Cost of Ownership)削減の視点から製造業の課題を解決するために開発された三菱電機のシーケンサである。製造業の“生産設備の稼働率向上”“生産製品の歩留り改善”等の課題を解決するには、IoT(Internet of Things)やAI(Artificial Intelligence)・データ分析を活用した生産現場データの管理・分析・活用が必要になる。このようなIoT、AI・データ分析需要に対応するため、MELSEC iQ-Rシリーズのうち、C/C++言語による演算を行う“C言語インテリジェント機能ユニット”をLinux<sup>(注1)</sup>に対応させた。

LinuxはIoT、AI・データ分析市場で広く利用されるオペレーティングシステムであり、IoT、AI・データ分析に適したソフトウェアが多数供給されている。Linux対応に

よって、C言語インテリジェント機能ユニットでIoT向け通信プロトコルが利用可能になり、オンプレミスサーバ・クラウドとの接続が容易になった。これによって可視化サービスと連携させ、生産状況の見える化による生産設備の稼働率向上を実現できる。またAI・データ分析分野で利用されるプログラミング言語Python<sup>(注2)</sup>に対応させた。データ収集から分析までをPythonで一括して行い、分析結果から診断ルールを作成し、C言語インテリジェント機能ユニットで実行することで、品質不良の原因究明と不良品を防ぐことができるようになり、生産製品の歩留り改善を実現できる。

(注1) Linuxは、Linus Torvalds氏の登録商標である。

(注2) Pythonは、Python Software Foundationの登録商標である。



## C言語インテリジェント機能ユニットのLinuxとPythonへの対応で実現できること

C言語インテリジェント機能ユニットのLinux対応によって、次の2点を実現した。

- (1) IoT向け通信プロトコルによるオンプレミスサーバ・クラウド接続に対応し、見える化による生産設備の稼働率向上を実現した。
- (2) プログラミング言語Pythonに対応することで、Pythonを使ったデータ分析による生産製品の歩留り改善を実現した。

## 1. まえがき

製造業には“生産設備の稼働率向上”“生産製品の歩留り改善”等の課題がある。近年、これらの課題に対する解決策として、IoTやAI・データ分析技術による生産現場データの管理・分析・活用が注目されている。またIoTやAI・データ分析技術は日々進化しており、利用者は技術進化への追従が必要になる。

製造業で使用される当社シーケンサMELSEC iQ-Rシリーズでも、生産現場データの管理・分析・活用への対応を市場から求められている。当社はMELSEC iQ-RシリーズC言語インテリジェント機能ユニットでLinuxとPythonに対応させることで、このような要望に応えた。LinuxはIoTやAI・データ分析分野で広く利用されるオペレーティングシステム(OS)であり、データの管理・分析・活用に適したソフトウェアが多数供給されている。またLinuxはオープンソースソフトウェアであり、世界中の開発者・企業が開発に参加している。日進月歩で進化するIoTやAI・データ分析技術に対しても追従可能である。

LinuxとPythonへの対応によってIoTやAI・データ分析の活用を推進し、製造業での“生産設備の稼働率向上”“生産製品の歩留り改善”等の課題の解決を図る。

本稿では、C言語インテリジェント機能ユニットと採用Linux、Linuxに対応させるために開発した技術を述べる。またC言語インテリジェント機能ユニットのLinuxとPythonへの対応による製造業の課題解決について述べる。

## 2. MELSEC iQ-Rシリーズ

### 2.1 MELSEC iQ-Rシリーズ

MELSEC iQ-Rシリーズは、TCO削減の観点から製造業の課題を解決するために開発された当社のシーケンサである。シーケンサはFA(Factory Automation)で使われる制御機器であり、機能別の専用ユニットを組み合わせて顧客用途に合わせたシステムを構築する製品である。MELSEC iQ-Rシリーズには様々なユニットがラインアップされており、生産現場データの管理・分析・活用に適した情報連携製品も提供している。本稿では先に挙げた課題を解決するため、情報連携製品のC/C++演算に対応したC言語インテリジェント機能ユニットを取り上げる。

### 2.2 C言語インテリジェント機能ユニット

C言語インテリジェント機能ユニットは、シーケンサのラダープログラムでは実装が難しい複雑な技術計算や通

表1. C言語インテリジェント機能ユニットのラインアップ

型番	RD55UP06-V	RD55UP12-V
外観		
MPU	ARM Cortex A9デュアルコアプロセッサ	
ワークRAM	128MB	1GB
Gigabit Ethernet	1チャネル	2チャネル
メモリカード	SDメモリカード(1スロット)	
OS	VxWorks 6.9(出荷時組込み済み) Debian GNU/Linux(SDメモリカードから起動)	
プログラミング言語	C/C++, Python	

MPU : Micro Processor Unit, RAM : Random Access Memory

信、文字列を扱う処理をC/C++プログラムとして実装可能である。C言語インテリジェント機能ユニットは様々な通信プロトコルに対応し、通信ゲートウェイとして活用可能である。またデータ解析関数や統計解析関数を搭載し、データ分析が可能である。従来パソコン環境で行っていた情報処理のプログラム資産を、堅牢(けんろう)で省コストなシーケンサの環境へ移行できる。

C言語インテリジェント機能ユニットのラインアップを表1に示す。C言語インテリジェント機能ユニットはARM Cortex<sup>(注4)</sup>A9デュアルコアプロセッサを搭載し、C/C++で実装された様々なアプリケーションを実行できる。またGigabit EthernetとSD<sup>(注5)</sup>(Secure Digital)メモリカードスロットを搭載し、Ethernet通信による高速データ収集と多くの収集データの保存が可能である。さらにリアルタイムオペレーティングシステムVxWorks<sup>(注6)</sup>を標準搭載することで、通信やデータ処理のリアルタイム性を確保し、安定したデータ収集・分析を実現できる。

(注4) ARM Cortexは、ARM Ltd.の登録商標である。

(注5) SDは、SD-3C, LLCの登録商標である。

(注6) VxWorksは、Wind River Systems, Inc.の登録商標である。

## 3. Linuxへの対応

### 3.1 採用Linuxの特長

C言語インテリジェント機能ユニットでは、LinuxとしてDebian<sup>(注7)</sup> GNU/Linuxを採用した。Debian GNU/Linuxの特長は次の2点である。一つ目はDebian GNU/Linuxはオープンソースプロジェクトとしてコミュニティ活動が活発であり、IoT, AI・データ分析分野のソフトウェアパッケージが多い点である。二つ目はユーザー数が多く、

インターネットや書籍から活用ノウハウやトラブルシューティング情報を容易に入手できる点である。Debian GNU/Linux(以下“Linux”という。)の採用によって、MELSEC iQ-RシリーズでIoT, AI・データ分析を容易に行うことができるようになる。

(注7) Debianは、Software in the Public Interest, Incの登録商標である。

### 3.2 Linuxの提供形態

図1にLinuxの提供形態を示す。顧客はLinuxイメージファイルを専用Webサイトから無償ダウンロードして使用できる。Linuxの提供とサポートは当社のパートナー企業であるリネオソリューションズ㈱及び米国Timesys社が行う。サポートは有償で提供され、国内顧客のサポートをリネオソリューションズ㈱が行い、海外顧客のサポートをTimesys社が行う。また顧客はLinuxの使い方などの情報をインターネットから無償で入手できる。

### 3.3 SDメモリカードブート機能

今回、Linuxに対応するため、C言語インテリジェント機能ユニットにSDメモリカードブート機能を追加した。SDメモリカードブート機能とは、Linuxイメージファイルが書き込まれたSDメモリカードをC言語インテリジェント機能ユニットのSDメモリカードスロットに装着することで、Linuxを起動できる機能である。従来は内蔵フラッシュメモリ内からのVxWorks起動に対応していたが、この機能の追加によってSDメモリカードからのLinux起動を実現した。

### 3.4 Linuxプログラムとシーケンサとの通信

C言語インテリジェント機能ユニットのLinuxでは、LinuxプログラムとシーケンサCPUユニットとの通信手段としてMELSEC iQ-Rシリーズ通信関数(MDR関数)を提供している。MDR関数はLinuxのC/C++プログラム

から実行可能なライブラリであり、C言語インテリジェント機能ユニットからシーケンサCPUユニットのメモリへのアクセスが可能になる。これによってシーケンサCPUユニットからのデータ収集や書き込みなどの制御が可能になる。

### 3.5 MDR関数のPython対応

今回、MDR関数を利用可能なプログラミング言語として、従来のC/C++に加えてAI・データ分析に適したPythonに対応した。これまで製造業のデータ分析を行うデータサイエンティストにとって、生産設備データの取得手段はラダー又はC/C++に限られていた。Pythonに対応することで、シーケンサCPUユニット内の生産設備データの収集から分析まで一人のデータサイエンティストが一括して行なうことが可能になる。

## 4. LinuxとPythonへの対応による製造業の課題解決

### 4.1 生産設備の稼働率向上

製造業では設備の異常停止による稼働率低下が課題になっている。特に生産設備の個体差によって、同一条件であっても正常に生産ができないという機差による異常停止が問題視されている。稼働率を向上させるためには、生産設備の異常停止期間を可能な限り短縮化することが必要である。そのためには異常停止をいち早く察知し、影響が拡大する前に原因を特定し、処置することが有効になる。また機差による異常停止など単一データで特定が困難な異常に関しては、複数の拠点・生産設備のデータを総合的に分析して、原因究明を行うことが有効になる。

C言語インテリジェント機能ユニットとLinuxでは、図2のようにIoT向け通信プロトコル(Message Queueing Telemetry Transport : MQTT)と、オンプレミスサーバ・クラウド上で動作するIoTデータの可視化サービスとを連携させることで前述の課題に対応する。C言語インテリジェント機能ユニットはMDR関数を用いて、シーケンサCPUユニット内の生産現場データを収集できる。クラウドベンダーやサービスベンダーが用意したMQTT対応IoTクラウドアントやオープンソースソフトウェアのMQTTプロトコルをC言語インテリジェント機能ユニットへ導入することで、収集した生産現場データをオンプレミスサーバ・クラウドに送信・蓄積できる。オンプレミスサーバ・クラウドの可視化サービスは蓄積された生産現場データを見える化できる。これによって、利用者は複数の生産現場データを関連付けて原因分析し、具体的な対策を施すことができる。

従来は生産設備が設置されている場所に出向いて生産現

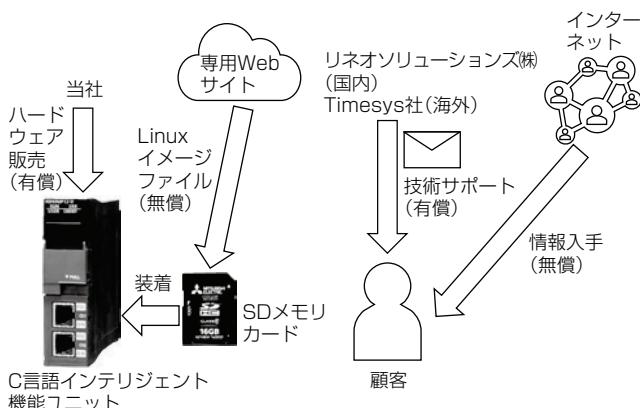


図1. Linuxの提供形態

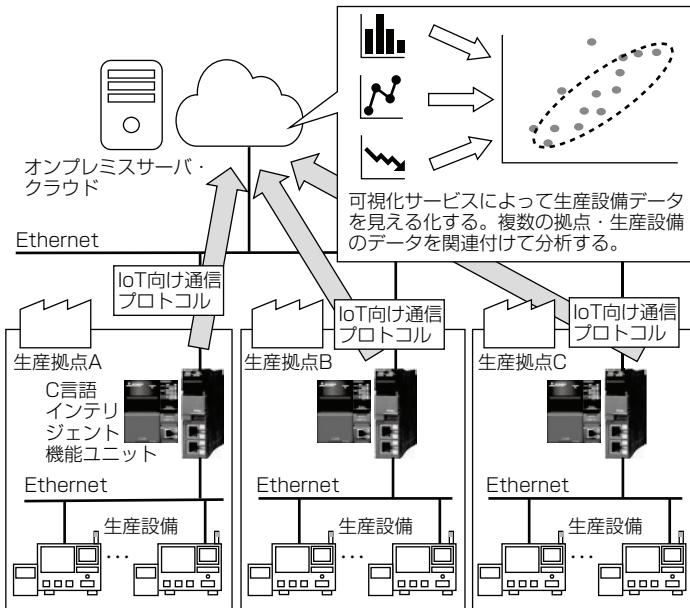


図2. 可視化サービスとの連携

場データを確認していたため、原因データの分析から改善までを迅速に行うことはできず、さらに複数の生産設備・ラインの生産現場データを関連付けて分析を行うことによって一層時間を要した。IoT通信プロトコルと可視化サービスの連携によって、単一データでは原因分析困難であった機差による異常停止について、複数の拠点・生産設備のデータから原因を推定できるようになる。これによって異常発生から復旧までの時間短縮を可能にし、稼働率の向上が実現できる。

#### 4.2 生産製品の歩留り改善

製造業では生産製品の歩留り改善が課題になっている。特に生産設備に使用する工具の劣化を原因とする歩留り低下が問題視されている。工具の劣化の兆候は捉えることが

難しく、品質不良が発生した後に事後対処している。

C言語インテリジェント機能ユニットとLinuxではPythonによる生産設備データ収集と分析、診断ルールの実行によってこの課題に対応する。3.5節で述べたとおり、C言語インテリジェント機能ユニットでは、Pythonを使って一人のデータサイエンティストが生産設備データの収集から分析までを一括して行うことができる。図3に示すとおり、収集した生産設備データをオンプレミスサーバ・クラウドに転送してデータ分析ツールで分析を行うことで、品質不良につながるデータを明らかにできる。また分析した結果から診断ルールを作成し、C言語インテリジェント機能ユニット上で動作させることができる。C言語インテリジェント機能ユニットで生産設備データをリアルタイムに収集し、診断ルールを適用することで、現在のデータから品質不良につながる兆候を検知できる。

従来はデータサイエンティストが生産設備からデータを収集し、オンプレミスサーバ・クラウドへ容易に転送する手段がなく、ラダーの変更や専用プログラムの作成、ゲートウェイパソコンの設置が必要であった。そのため品質不良の原因分析に必要なデータの収集が難しく、歩留り低下の原因究明が困難であった。C言語インテリジェント機能ユニットではPythonを使い、データ収集からオンプレミスサーバ・クラウドへの転送を一括して行う。データサイエンティストはデータ分析に注力し、歩留りの原因を究明できる。

また分析の結果から診断ルールを作成できる。C言語インテリジェント機能ユニット上で収集した生産設備データに診断ルールを適用することによって、工具劣化など品質不良につながる兆候を事前検知できるようになる。品質不良につながる兆候を検出した場合には、不良品を生産しないよう生産設備のパラメータを調整することで生産製品の歩留り改善ができる。

## 5. むすび

MELSEC iQ-RシリーズのC言語インテリジェント機能ユニットのLinuxとPythonへの対応について述べた。LinuxとPythonへの対応によって製造業の課題である“生産設備の稼働率向上”“生産製品の歩留り改善”を実現できる。

Linuxは常に最新技術を取り込みつつ発展を続けていく。今後もC言語インテリジェント機能ユニットとLinuxを活用し、製造業の課題を解決するとともにMELSEC iQ-Rシリーズの適用範囲を拡大していく。

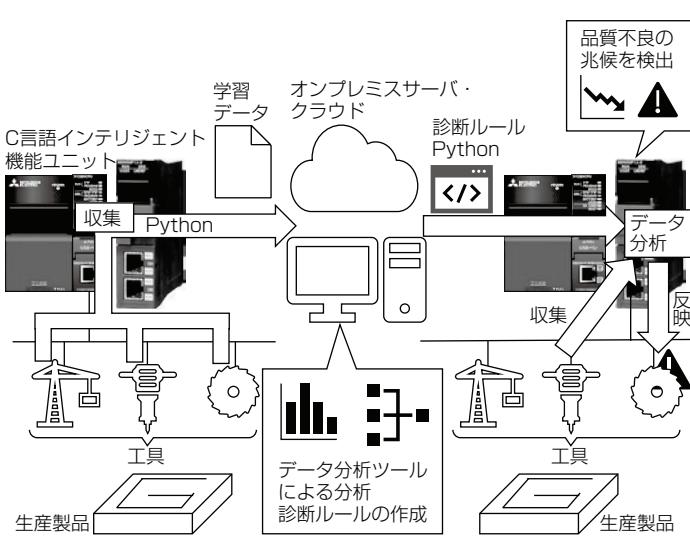


図3. データ分析と診断ルールの実行

## 生産設備の事後保全向けシステムレコーダ

System Recorder for Post-maintenance of Production Equipment

久保田善幸\*  
Yoshiyuki Kubota  
高松佳広\*  
Yoshihiro Takamatsu  
嚴一国\*  
Yiguo Yan

### 要旨

近年、工場の生産設備では更なる生産性の向上が求められている一方、装置を構成する機器が多様化とともに、装置の高機能化、複雑化が増している。そのため、更なる稼働率の向上に向けて、装置異常時の原因究明を迅速化し、ダウンタイムを削減するための保全業務の重要性が増している。

三菱電機では保全業務を全方位的に支援する“トータル保全ソリューション”を提案しており、その中で事後保全を支援するソリューションとして三菱シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”的“システムレコーダ”を開発した。

システムレコーダはシーケンサやモーションコントローラを始めとした各種制御機器、それらの機器に関連する各種エンジニアリングツールで構成しており、機器を横断した装置レベルで生産設備の異常原因を解析する機能を提供している。システムレコーダは生産設備の異常発生時、各制御機器の制御データを“まるごと記録”し、そのデータを再生して異常発生時の装置状態を再現することで“かんたん解析”ができる、異常原因の迅速な究明を実現する。

これによって、設備異常によるダウンタイムの削減を実現し、更なる生産性の向上に貢献する。



### システムレコーダ対応FA機器群とエンジニアリングツール群

システムレコーダはシーケンサ、モーションコントローラなどの各種制御機器、表示器に加え、各機器向けのエンジニアリングツール(“GX Works3” “GX LogViewer” “GX VideoViewer” “GT Designer3”)の組合せによって、装置異常の原因究明を支援し、生産設備のダウンタイム削減に貢献する。

## 1. まえがき

製造業では更なる生産性向上に向けて、生産を停止させることなく、継続させることができますます重要になっている。

一方、工場の生産設備は多数の機器で構成していることに加えて、近年では高機能化・複雑化が更に増している。そのため、設備異常で生産が停止した場合、原因究明に時間がかかり、ダウンタイムが長くなる傾向にあり、ダウンタイム削減に向けた保全業務の重要性が増している。

保全業務は“予知保全”“予防保全”“事後保全”的3種類に分類できる。異常発生時にその原因を究明して異常の解消を図る“事後保全”に加えて、近年では各種統計手法を活用して異常発生前にその兆候を捉える“予知保全”と過去の知見を基に定期的なメンテナンスによって予期しない生産停止を回避する“予防保全”への関心も高まっている。

そこで、生産設備のダウンタイム削減を実現するため、当社では“トータル保全ソリューション”を提案している(図1)。トータル保全ソリューションでは先に述べた三つの保全に対して、工場を構成する“機器”レベル，“装置”レベル、そして“ライン”レベルの三つの階層での保全機能を提供し、全方位的な保全業務を支援している。

さらに、トータル保全ソリューションの中で特に“事後保全”を強化するためのソリューションとして三菱シーケンサ MELSEC iQシリーズの“システムレコーダ”を開発した<sup>(1)</sup>。

システムレコーダの特長、それを構成するFA機器群とエンジニアリングツール群に適用した技術について述べる。

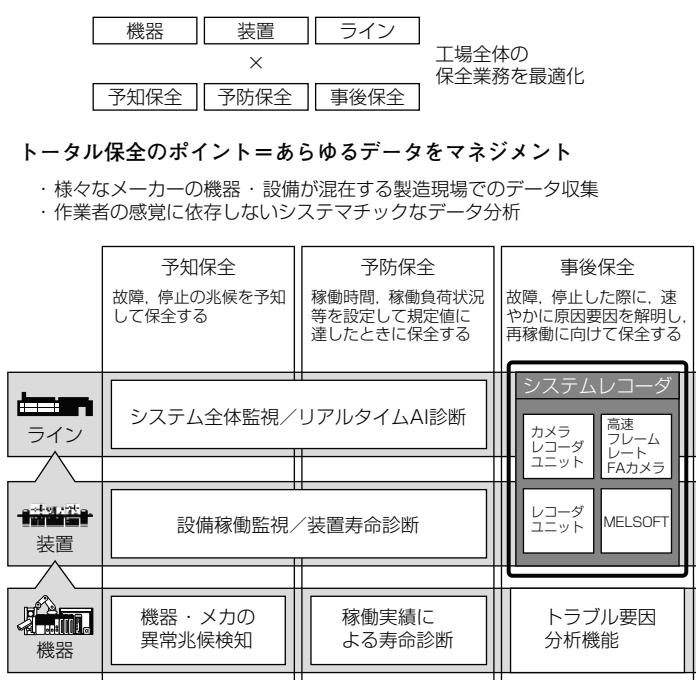


図1. トータル保全ソリューション

## 2. システムレコーダ

システムレコーダは、異常発生時の生産設備の稼働状態を“まるごと記録”し、“かんたん解析”することで迅速な異常原因の究明を支援する事後保全ソリューションであり、シーケンサやモーションコントローラを始めとする各種FA機器、それらの機器に関連する各種エンジニアリングツールの組合せで実現している。

多数の機器を複雑に組み合わせて構成されている生産設備で異常が発生した際、復旧のためには異常発生前後の事実(いつ、どこで、何が起こったか)を突き止める必要がある。従来のFA機器では機器ごとにデータを収集して解析する必要があったため、異常原因が複数の機器間にまたがっている場合、それぞれのデータを突き合わせて解析することが困難であり、原因究明・復旧までに時間がかかるという問題があった。また、異常発生時のデータが残っていない場合には更に復旧に時間がかかっていた。

システムレコーダはシーケンサCPUの制御データやモーションユニットのサーボ軸データに加えて、イベント履歴や表示器の操作履歴も収集対象にしており、装置の稼働状態に加えて、現場オペレータの操作も解析でき、装置異常だけでなくヒューマンエラーに起因する異常も解析できる。また、ネットワークカメラの映像も合わせて収集でき、異常発生時の装置やワークの動き、また作業者の動作も解析できる。

解析時は収集した各種データを連携して再生でき、機器間にまたがる異常であっても簡単に原因を突き止められる。

## 3. システムレコーダの特長

### 3.1 まるごと記録

#### 3.1.1 全デバイス／ラベル収集

シーケンサCPUの全デバイス／ラベルデータの収集(図2)を実現するため、MELSEC iQ-Rシリーズの“レコーダユニット”を開発した。

レコーダユニットはシーケンサCPUの制御周期(スキャニング)ごとに、ユーザーが作成したシーケンスプログラムで使用されている全デバイス／ラベルデータを漏らさず収集できるため、異常発生時の装置の稼働状態を再現できる。

また、シーケンサCPUと別ユニットにすることで、シーケンススキャニングに同期したデバイス／ラベルデータの収集処理をシーケンサCPUで、収集したデバイス／

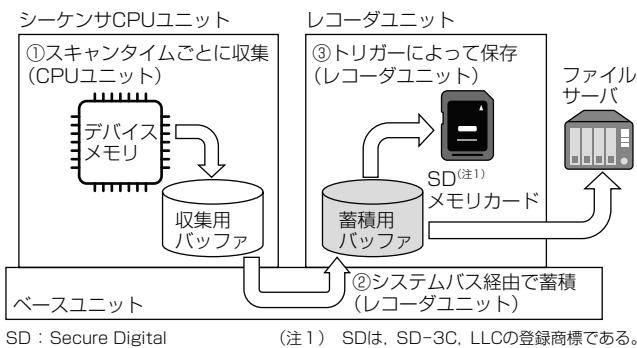


図2. 全デバイス/ラベル収集機能での収集動作

ラベルデータの蓄積・保存処理をレコーダユニットでそれぞれ実行し、収集処理での負荷分散を図っている。これによって、スキャンタイムの延び時間を抑え、装置性能への影響を最小限にしている。

全デバイス/ラベル収集で収集対象にするデバイス/ラベルはエンジニアリングツールが自動で抽出するため、ユーザーは収集対象のデバイス/ラベルを手作業で設定する必要がなく、収集タイミングを決定するトリガー、及び保存先のストレージを設定するだけで装置状態を記録できる。

また、シーケンスプログラムの規模が大きく、使用しているデバイス/ラベルが多い場合、収集時間が長くなってしまうスキャンタイムの延びが大きくなるという問題がある。これに対して、一括して全デバイス/ラベルを収集する機能に加えて、ユーザーが収集対象にしたいデバイス/ラベルを簡単に取捨選択できる機能も提供している。エンジニアリングツールがシーケンスプログラムで使用している全デバイス/ラベルを抽出・表示し、ユーザーは、表示された一覧から収集対象にしたいデバイス/ラベルを簡単に選択でき、必要最低限のデバイス/ラベルだけを収集対象にすることで、スキャンタイムの延びを低減できる。

### 3.1.2 カメラ動画収集

ネットワークカメラをシーケンサシステムに直結できる、MELSEC iQ-Rシリーズの“カメラレコーダユニット”を開発した(図3)。カメラレコーダユニットは先に述べたレコーダユニットの全デバイス/ラベル収集機能に、動画収集機能を追加したユニットである。

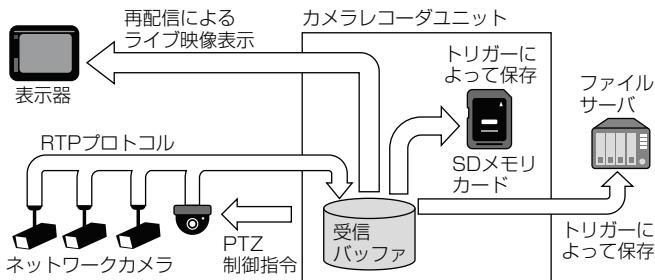


図3. カメラレコーダユニット

カメラレコーダユニットはRTP(Real-time Transport Protocol)に対応することで、ネットワークカメラから動画のストリーミングデータを受信し、デバイス/ラベルデータと合わせて蓄積・保存する。RTPプロトコルに対しては複数セッションの同時受信に対応し、最大4台のネットワークカメラを接続できる。CPUユニット1台当たり最大4台のカメラレコーダユニットを装着できるため、最大16台のネットワークカメラを接続可能である。また、装着したレコーダユニット及びカメラレコーダユニットでトリガーを共有できるようにしたことで、接続した全ネットワークカメラの動画を、異常発生時にデバイス/ラベルデータに同期して保存できるようにした。

さらにネットワークカーメインタフェースの標準規格であるONVIF(Open Network Video Interface Forum)に対応することで、多種多様な汎用ネットワークカメラを接続できるようにした。これによって、ユーザーは用途に応じて最適なネットワークカメラを選定できる。

また、視野制御が可能なPTZ(Pan：左右方向の首振り、Tilt：上下方向の首振り、Zoom：ズームイン/ズームアウト)対応のネットワークカメラと組み合わせることで、シーケンスプログラムからの指令でネットワークカメラのPTZ制御を可能にし、装置や現場オペレータの動作に合わせたフレキシブルな撮影を可能にした。

さらに、RTPで受信したストリーミングデータを当社製表示器に再配信する機能に対応した。これによって、カメラレコーダユニット及び表示器間の簡単な通信設定だけでネットワークカメラのライブ映像を表示器で確認できる。ネットワークカメラの映像を現場でリアルタイムに確認できるため、装置立ち上げ時にネットワークカメラの設置・調整を簡単に行うことができる。

### 3.1.3 高速フレームレートFAカメラ

カメラレコーダユニットは、ONVIF対応汎用ネットワークカメラに加えて、当社製高速フレームレートFAカメラ“FAC-1020/1000”<sup>(2)</sup>に対応させた。

高速フレームレートFAカメラは最大200フレーム/秒で画像データを送出する。カメラレコーダユニットではRTPパケットの受信処理の最適化を行い、高速フレームレートの動画保存を実現した。これによって、高速な生産設備やそのワークの動作を捉えることが可能になる。

さらに、カメラレコーダユニットと高速フレームレートFAカメラ間で時刻同期機能のパラメータ調整を行い、高精度の時刻同期を実現した。これによって、高速な被写体であっても、異常発生時のデバイス/ラベルデータと動画データを同じ時間軸で確認できるようになり、異常発生時の解析を容易にした。

### 3.2 かんたん解析

まるごと記録したデータを、エンジニアリングツールでかんたんに解析できる機能である。

かんたん解析は、映像解析、オフラインモニタ、データフロー解析の三つの機能で構成している(図4)。

#### (1) 映像解析機能

映像解析機能は、次の①、②の特長を持つ映像を再生、確認するツールGX VideoViewerで実現している(図5)。

- ①最大4映像を時刻同期しながら再生し、装置の複数角度からトラブル発生時の状況を確認できる。
- ②正常時と違う動きを示す映像に、保全担当者がコメントと色付きの“しるし(ログマーカ)”を付与し、設計担当者と解析情報を共有できる。

#### (2) オフラインモニタ機能

オフラインモニタ機能は、シーケンサでのプログラム作成・設定・保守を支援するツールのGX Works3と、デバイスロギングデータを表示・分析するツールのGX LogViewerで実現しており、各ツールはそれぞれ次の①と②の特長を持つ(図6)。

- ①トラブル発生時のプログラム遷移を、全デバイスロギングデータだけで、オフラインで再現できる(GX Works3)。



図4. かんたん解析の機能構成



図5. 映像解析機能

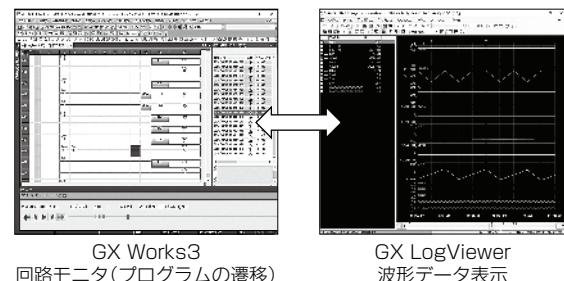


図6. オフラインモニタ機能

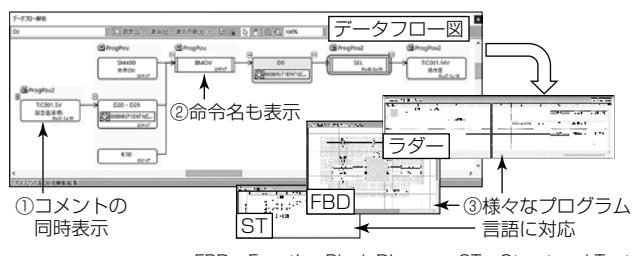


図7. データフロー解析機能

- ②プログラム遷移と同期した波形データを表示し、プログラム遷移とデバイス値変化との関係を示す(GX LogViewer)。

#### (3) データフロー解析機能

データフロー解析機能は、次の特長①を持つGX Works3で実現している(図7)。

- ①プログラム内のデバイス／ラベル間の関係を、コメントと命令名とともに示し、複雑なプログラム内のデバイス／ラベル関係を一目瞭然に表示できる。

これらの三つの機能によって、次の2点を実現し、ダウンタイムの短縮に貢献できる。

- ・まるごと記録したデータだけで、現場に行かなくても、リモートで現場の状況を把握できる。
- ・ログマーカによって、記録データに付加情報を付与でき、現場と設計室の情報共有を簡単に実現する。

## 4. む す び

トータル保全ソリューションでの事後保全を支援するシステムレコーダの開発背景、特長、及びその実現に適用した技術について述べた。

システムレコーダは設備異常の原因追究にかかる時間の削減を実現し、設備の稼働率を向上させることで、生産性の向上に寄与する。今後もシステムレコーダの適用範囲拡大、及びトータル保全ソリューションの拡充を行い、製造業での生産性向上に貢献していく。

## 参 考 文 献

- (1) 三菱電機シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”システムレコーダ、三菱電機技報、95. No.1, 16 (2021)
- (2) 高フレームレートネットワークカメラFAC-1020/1000、三菱電機技報、95. No.1, 77 (2021)

# グラフィックオペレーションターミナル “GOT2000シリーズ”のビジョンセンサモニタ機能

*Vision Sensor Monitor Function of Graphic Operation Terminal "GOT2000 Series"*

安藤直哉\*

Naoya Ando

板谷洋平\*

Yohei Itaya

## 要旨

今日の製造業界では、工場の省人化及び製品に対する高品質化への要求に伴ってビジョンシステムの導入が加速している。ビジョンシステムとは、認識した特徴点を対象ワークと比較することで良否や有無を判断するパターンマッチングと呼ばれる技術をベースにした画像処理検査の仕組みである。分野を問わず生産現場の検査工程や計測工程などを自動化するビジョンシステムのニーズは増加傾向にある。これに伴い、ビジョンシステムと、ビジョンシステムを監視・操作するための表示器とを含めたシステム全体を低コスト、省スペースで実現可能な連携機能が求められている。

従来、三菱電機製グラフィックオペレーションター

ミナル“GOT2000シリーズ”と、当社製ビジョンセンサ“MELSENSOR VSシリーズ”，及びCOGNEX社製ビジョンセンサ“In-Sight<sup>(注1)</sup>シリーズ”は、表示器とビジョンセンサの間に監視・操作を行うための専用装置を設置することで接続連携が可能であった。しかし、専用装置が必須であることから、システム全体のコストアップや設置スペースの肥大化が課題とされていた。

このような市場動向と課題を鑑みて、今回GOT2000シリーズではビジョンシステム連携をより強化するため“簡単、低成本で直接ビジョンセンサを監視・制御できる”をコンセプトに“ビジョンセンサモニタ機能”を開発した。

(注1) In-Sightは、COGNEX Corp.の登録商標である。



(注2) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。

## “GOT2000シリーズ”のビジョンセンサモニタ機能対応のシステム構成

“GOT2000シリーズ”(GT27モデル/GT25モデル)のビジョンセンサモニタ機能は、当社製ビジョンセンサMELSENSOR VS20/VS70/VS80シリーズ、及びCOGNEX社製ビジョンセンサIn-Sight2000/In-Sight7000/In-Sight8000シリーズをEthernetケーブルで接続するだけで、“GOT2000シリーズ”から簡単にビジョンセンサの監視・操作することを可能にする連携機能である。

## 1. まえがき

GOT2000シリーズ(以下“GOT”という。)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器であり、様々なFA機器と接続でき、装置全体の見える化を行えることから国内外で高い評価を得ている。

従来、当社製ビジョンセンサMELSENSOR VSシリーズ、及びCOGNEX社製ビジョンセンサIn-Sightシリーズ(以下“ビジョンセンサ”という。)を監視・操作するためには、Ethernetネットワークに、パソコンを接続する、又は専用装置であるCOGNEX社製VisionView VGA(ビジョンセンサの画面を外部モニタに直接出力するためのアダプタ)を接続し、GOTとVisionView VGAをRGB(Red Green Blue)ケーブル、及びシリアルケーブルで接続するなどの構成にする必要があった(図1)。

VisionView VGAは、市場投入後、GOTとの連携で非常に好評であったものの、発売後約10年経過したこともあり、2020年3月に生産が終了した。これを機に、GOTとビジョンセンサを直接接続して監視・操作が可能なアプリケーション開発の需要が高まった。

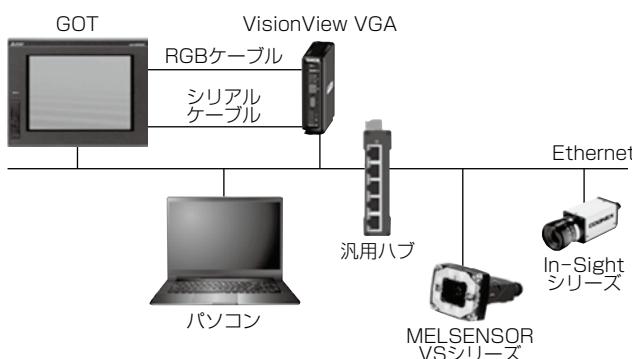
そこでビジョンセンサと簡単に接続できるGOT拡張機能アプリケーション“ビジョンセンサモニタ機能”を2020年5月に市場投入した。

本稿では、“ビジョンセンサモニタ機能”的特長、及び機能実現のための技術、工夫した点について述べる。

## 2. ビジョンセンサモニタ機能の特長

### 2.1 簡単接続

“ビジョンセンサモニタ機能”では、Ethernetネットワークに接続されたビジョンセンサを自動で検出して画面にリスト形式で表示するため、選択するだけで簡単に接続できる。このため、現場でビジョンセンサに設定したIP



(Internet Protocol) アドレスを記憶して手入力するなどの手間をかけずに使用できる(図2)。

### 2.2 検査結果の確認

“ビジョンセンサモニタ機能”的画面にビジョンセンサが撮像した検査対象画像とビジョンセンサの検査結果を图形などで表した画像を重畳して表示することで、検査結果を可視化する機能を備えている。これによって、ワークが良品か不良品か、不良品の場合、ワークのどこに不良があつたのかをGOTの画面上で確認できる(図3)。

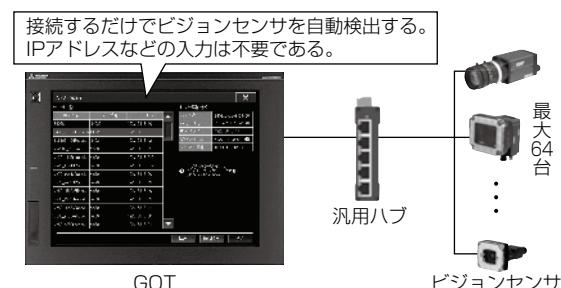
### 2.3 パラメータの確認・変更と保存

“ビジョンセンサモニタ機能”的画面に表示するリストから、ビジョンセンサの様々なパラメータを確認・変更できる。これによって、良品／不良品の累計数の監視や、検査パラメータのしきい値などの細かな設定変更を行うことができる。また、設定変更後は、ビジョンセンサのストレージにジョブファイル(ビジョンセンサの設定ファイルで、検査を実行するための情報が含まれるファイル)として保存できる。

検査結果を確認しながらパラメータ調整が可能なため、現場でのトライアンドエラーによるシステム立ち上げの効率化や、トラブル発生時のダウンタイム削減などに貢献できる。

### 2.4 ジョブファイルの切換え

あらかじめビジョンセンサのストレージに複数のジョブファイルを保存しておくことで、GOTから実行するジョブファイルを選択して切り換えることができる。例えば、



生産ラインで段取り換えが発生した場合、GOTからビジョンセンサの検査内容を変更できる。

### 3. ビジョンセンサモニタ機能の技術

#### 3.1 実現手段

“ビジョンセンサモニタ機能”は、ビジョンセンサにCOGNEX社の技術であるWeb HMI(Human Machine Interface)機能を活用して実現している。

Web HMI機能とは、ビジョンセンサがWebサーバになり、Ethernetネットワークに接続した端末(パソコンやタブレットなど)のWebブラウザをクライアントとして、ビジョンセンサの監視・操作を可能にする仕組みである(図4)。

Webサーバ/Webクライアント間は、JSON(JavaScript Object Notation)形式のデータをHTTP(HyperText Transfer Protocol)通信やWebSocket通信などを行うことによってデータの授受を行う。

#### 3.2 Web HMI機能の仕組み

Web HMI機能の仕組みをシーケンスの一例(図5)で述べる。

Webサーバ(ビジョンセンサ)は、トリガーが成立すると撮像などによって画像を取り込み、取り込まれた画像に対して設定した画像処理検査を実行する。検査が終わると、Webクライアント(GOTなど)に対してWebSocket通信で検査結果を通知する。検査結果には画像のURL(Uniform Resource Locator)、結果を表す図形情報やパラメータ情報などが含まれる。WebクライアントはURLからHTTP通信で画像のペイロード要求を行うことで画

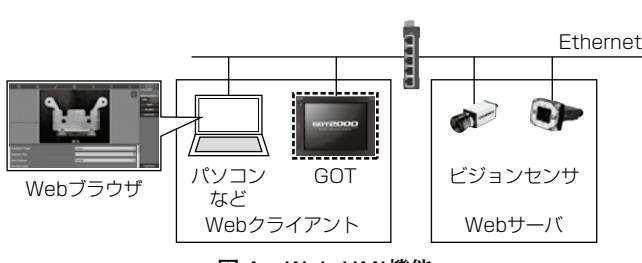
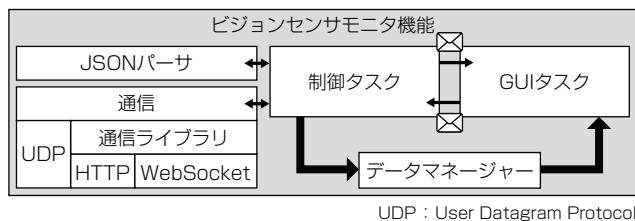
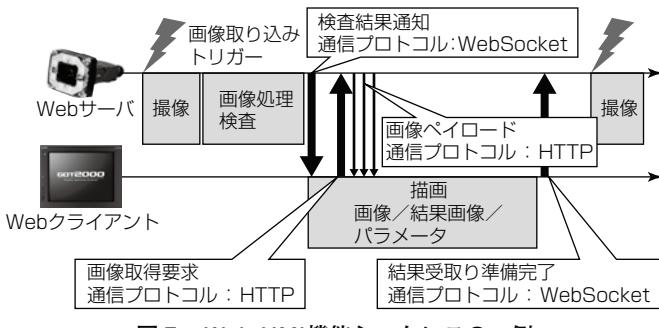


図4. Web HMI機能



UDP : User Datagram Protocol

像を取得し、これらの情報を画面に描画する。描画完了後、WebSocket通信で次の検査結果を受け取る準備が完了したことをWebサーバへ通知する。これらのシーケンスを繰り返すことで、ビジョンセンサに取り込まれた画像、検査結果の図形やパラメータをクライアントの画面上に表示する仕組みである。

#### 3.3 ソフトウェア構成

“ビジョンセンサモニタ機能”的ソフトウェア構成を述べる。機能を実現するため、制御タスク、GUI(Graphical User Interface)タスクの2タスク構成でソフトウェアを構築した。制御タスクは、主にビジョンセンサと通信を行うタスクと位置付け、GOTの操作情報をビジョンセンサへ伝送し、ビジョンセンサからの検査結果情報を解析して描画情報としてGUIタスクへ通知する役割を担う。一方GUIタスクは、制御タスクから通知された描画情報から画面を描画し、GOTの操作を制御タスクへ通知する役割を担う。タスク間は、メッセージや共有メモリによって、調停制御やデータ授受を行うように設計した。

ソフトウェア構成の特徴的な点は、GOTとビジョンセンサ間をHTTP通信やWebSocket通信で行うためのOSS(Open Source Software)としてGOT Mobile機能<sup>(1)</sup>で搭載実績のある通信ライブラリを搭載したこと、JSON形式の通信データをパース(解析)するためのOSSとしてJSONパーサをGOTに初搭載したことである(図6)。

### 4. ビジョンセンサモニタ機能開発の工夫点

“ビジョンセンサモニタ機能”を実現するために工夫した点を2点述べる。

#### 4.1 ターゲット環境の差異を考慮した段階的開発

3章で述べたとおり“ビジョンセンサモニタ機能”に使用する技術であるWeb HMI機能は、Webブラウザ環境をターゲットに開発された機能であり、クライアントソフトウェアはJSON形式データと高い親和性を持つJavaScript言語で実装されている。

Web HMI機能を動作させるため、COGNEX社からJavaScriptで実装されたソフトウェアの提供を受けたが、

GOT環境はJavaScriptに非対応のため、提供されたプログラムを解析し、GOT環境で実行可能なCやC++言語に変換して実装を行う必要があった。

このような差異によって発生し得る様々なリスクを考慮し、開発を3フェーズに分けて実施した。

1フェーズ目は実現性検証フェーズとして、Windows<sup>(注3)</sup>OS(Operating System)環境で動作するプロトタイプを作成し、機能仕様や提供ソフトウェアの不明点の解消、開発に必要な技術要素の洗い出しを行った。2フェーズ目は性能検証フェーズとして、GOT環境で動作するプロトタイプを作成し、GOT環境独自の課題抽出を行った。3フェーズ目に品質を確保するための正規開発を行った。このように目的を分けて開発フェーズを分けたことで、開発環境や開発言語の差異による課題を早期に検出し、前広に手を打ちながら開発を進めることができた。

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

#### 4.2 GOT環境に適したJSON解析手段の選定

JSONとは、XML(eXtensible Markup Language)等と同等のテキストベースのデータフォーマットである。GOT環境では、JSON形式のデータ構造をそのまま読み取ることができないため、データをパースする必要があった。そのため、GOT環境に適合できそうなJSONパーサをOSSから数点候補として挙げ、それぞれを、言語、ライセンス、性能、開発環境、信頼度などの観点で比較評価を行い、一つのJSONパーサを選定した。

選定したJSONパーサは、DOM(Document Object Model)とSAX(Simple Application Programming Interface for XML)の2通りのパース手段がある。DOMは、JSON形式データをメモリに一括で展開し解析する方法であり、SAXはストリームから文字列を読み取りながら、構文に従って解析を行い、イベントをハンドラに発行する動作を繰り返す解析方法である(図7)。

DOMは、JSON形式データを一括でパースするため、実装量を減らせるという点がメリットであるが、動的に多大なメモリを消費する点がデメリットである。一方、SAXは、解析対象の構文に必要な処理だけ選定して実装するため、メモリ消費量を抑えられる点がメリットであるが、構文解析、イベント、ハンドラを全て実装する必要があるため実装量が多くなってしまう点がデメリットである。どちらを利用すべきか検証するために、処理時間とメモリ消費量をGOT環境で実測した(表1)。

処理時間では、SAXはハンドラの内容で変動するもののDOMとSAXで大きな差は見られなかったが、メモリ消費量で、DOMと比較してSAXは圧倒的に少ないメモリで

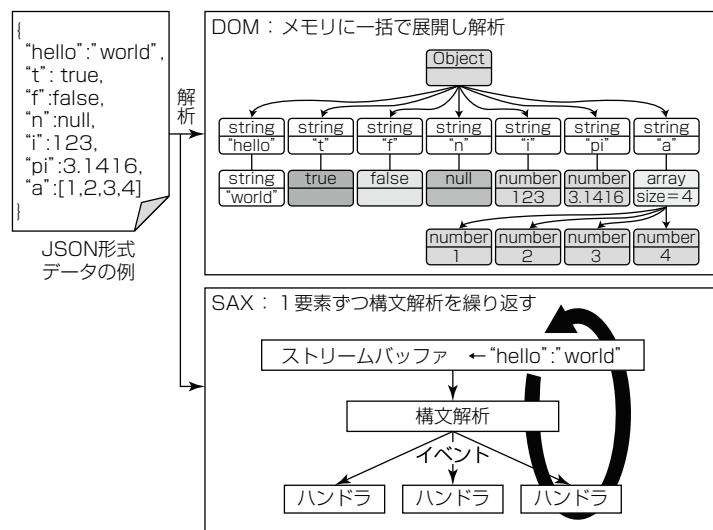


図7. JSON形式データのパース方式の違い

表1. JSON形式データのパース方式の比較結果(GOT環境)

JSONデータ	パース処理時間		
	要素数	DOM	SAX
約5,000		約10ms	約9ms + a <sup>(注3)</sup>
約10,000		約21ms	約17ms + a
約50,000		約102ms	約89ms + a
約100,000		約204ms	約178ms + a

(注3) + aは、ハンドラの内容で変動する。

JSONデータ	パース時のメモリ消費量			
	サイズ	要素数	DOM	SAX
約10MByte	約4,000		約17MByte	約7.2MByte

パースが実現できる結果になった。

GOTは組み込み機器であるため、使用できるメモリ制限が大きい。一つのアプリケーションにメモリを多く消費してしまうと、ユーザーが利用可能なメモリ上限が減ることによる問題が生じる。“ビジョンセンサモニタ機能”でJSON形式データのパース対象要素の量は多くないことも踏まえ、SAXが優位と判断し、SAX方式を選定してJSON形式データのパースを実現した。

## 5. む す び

GOT2000シリーズと当社製MELSENSOR VSシリーズやCOGNEX社製In-Sightシリーズとの連携によって、生産現場で簡単・低コストでビジョンセンサを監視・制御できるGOT2000シリーズの“ビジョンセンサモニタ機能”について述べた。今後は、市場ニーズを更に追求したこのアプリケーションの機能拡充を行う予定である。

## 参 考 文 献

- (1) 桑森心平, ほか: グラフィックオペレーションターミナル“GOT2000シリーズ”的新機種・新機能, 三菱電機技報, 90, No.4, 235~238 (2016)

# 次世代小型高機能インバータ “FREQROL-E800シリーズ”

Next Generation Compact and High Performance Inverter  
"FREQROL-E800 Series"

法名直人\*  
Naoto Norina  
二村智洋\*  
Tomohiro Nimura  
久保 匠\*  
Takumi Kubo

原田崇弘\*  
Takahiro Harada  
松永 樹\*  
Tatsuki Matsunaga

## 要旨

汎用インバータの新ラインアップとして開発した小型高機能インバータ“FREQROL-E800シリーズ（以下“FR-E800シリーズ”という。）”の特長を次に挙げる。

## (1) IoT(Internet of Things)時代への対応

- ①CC-Link IE TSN標準搭載
- ②マルチプロトコル対応
- ③Ethernet<sup>(注1)</sup> 2ポート標準搭載

## (2) 保全機能

- ①AIアラーム診断
- ②金属腐食検知システム“CALAS”
- ③パワーサイクル寿命診断
- ④USB電源供給によるメンテナンス

## (3) 機能安全

- ①機能安全規格(IEC61508, SIL3等)対応
- ②安全通信機能
- ③エンコーダレスSLS機能

## (4) システム対応力

- ①軽負荷／標準負荷の定格対応
- ②高保護構造品(IP67)による盤外設置対応
- ③優れた駆動性能

## (5) 環境適合

- ①環境条件規格対応基板コーティング品
- ②海拔3,000mまでの高所対応
- ③周囲温度範囲の拡大(-20~+60°C)

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。



FR-E800  
(標準仕様品)



FR-E800-E/SCE  
(Ethernet仕様品／安全通信仕様品)

## 次世代小型高機能汎用インバータ“FR-E800シリーズ”

FR-E800シリーズは次世代産業用オープンネットワーク“CC-Link IE TSN”を始めとしたマルチネットワークへの対応に加えて、世界初の金属腐食検知システム“CALAS”や業界初のAI技術活用による診断機能など最新技術を採用して、工場や社会インフラ設備など様々な分野のスマート化に貢献する。同シリーズでは、“FR-E800(標準仕様品)”, “FR-E800-E(Ethernet仕様品)”, “FR-E800-SCE(安全通信仕様品)”をラインアップし、用途に応じて柔軟な選択が可能である。

## 1. まえがき

FR-E800シリーズでは汎用インバータ<sup>(1)</sup>適用用途の更なる拡大のため、機能・性能の向上はもちろん、IoT対応、保守性向上、機能安全、システム対応力、環境適合などの新たなニーズに対応した。

本稿ではFR-E800シリーズで採用した最新技術や機能について述べる。

## 2. FR-E800シリーズ

### 2.1 機種構成

FR-E800シリーズでは標準仕様品、Ethernet仕様品、安全通信仕様品をラインアップした。用途に応じて柔軟な選択が可能である(表1)。

### 2.2 ラインアップの拡大

3相200V／400Vクラスの容量を22kWまで拡張した(従来機種FR-E700シリーズは15kWまで)。同容量のFR-A800シリーズ比で20%のサイズダウンを実現しており装置の省スペース化が可能である。また、575Vクラスを追加して海外電源仕様へのシステム対応力を強化した(表2)。

## 3. IoT時代への対応

### 3.1 CC-Link IE TSN標準搭載

CC-Link IE TSN(Time Sensitive Networking)を標準搭載した。高速で安定した通信によって生産現場のデータ

表1. FR-E800シリーズの機種構成と主な仕様

形名	仕様	通信コネクタ	安全度水準	安全通信
FR-E800	標準仕様品	RS485	SIL2, PLd	-
FR-E800-E	Ethernet仕様品		SIL2, PLd	-
FR-E800-SCE	安全通信仕様品(Ethernet+安全通信)	Ethernet(2ポート)	SIL3, PLe	対応

表2. FR-E800シリーズの容量展開

電源仕様	電圧クラス	容量(kW)
3相	200V	0.1~22
	400V	0.4~22
	575V	0.75~7.5
単相	200V	0.1~2.2
	100V(発売予定)	0.1~0.75

表3. 対応Ethernetプロトコル

形名	CC-Link IE TSN(100Mbps) <sup>(注2)</sup>	CC-Link IEフィールドネットワークBasic	MODBUS/TCP <sup>(注3)</sup>	PROFINET <sup>(注4)</sup>	EtherNet/IP <sup>(注5)</sup>	BACnet/IP <sup>(注6)</sup>	EtherCAT <sup>(注7)</sup>
FR-E800-[]EPA	●	●	●	-	●	●	-
FR-E800-[]EPB	●	●	●	●	-	-	-
FR-E800-[]EPC	-	-	-	-	-	-	○

●対応 ○: 対応予定

(注2) 1Gbpsはオプション対応(対応予定)

(注3) MODBUSは、Schneider Electric USA, Inc.の登録商標である。

(注4) PROFINETは、PROFIBUS Nutzerorganisation e.V.の登録商標である。

をリアルタイムに収集し、生産性向上に貢献する。

### 3.2 マルチプロトコル対応

主要な産業用Ethernetプロトコルを内蔵した機種をラインアップしている(表3)。使用するプロトコルはパラメータ設定で切替え可能であり、使用中のネットワークに合わせて追加オプションなしでインバータを導入できる。

### 3.3 Ethernet2ポート標準搭載

二つのEthernetポートを標準搭載しており、スイッチングハブを使用しないライン型配線が可能である。機器の追加など装置の仕様変更時には、空きポートにケーブルをつなげるだけで簡単にネットワークを構築できる。

## 4. 保全機能

### 4.1 AIアラーム診断

FR-E800はアラーム発生時の時間、電流値、パラメータ設定値等の情報を自動的に蓄積しており、その情報をAI技術を搭載したエンジニアリングツールFR Configurator2でAI解析することによって、開発エンジニアが行うような解析が可能になる(図1)。これによって特別なスキルなしで最短でのトラブルシュートを実現する。

### 4.2 金属腐食検知システム“CALAS”

世界初<sup>(注8)</sup>の“金属腐食検知システムCALAS(Corrosion-Attack-Level Alert System)”で、腐食性ガスに起因したインバータ損傷の予兆を検知できる(図2)。複数の金属腐食センサの合成抵抗値を測定し、大気中の腐食性ガスによる金属部品の腐食進行度を段階的に検知する。

予兆検知によって生産設備の環境改善を促すことで、設備のダウンタイム短縮に貢献する(基板コーティング品だけ対応)。

(注8) 2019年9月10日現在、三菱電機調べ

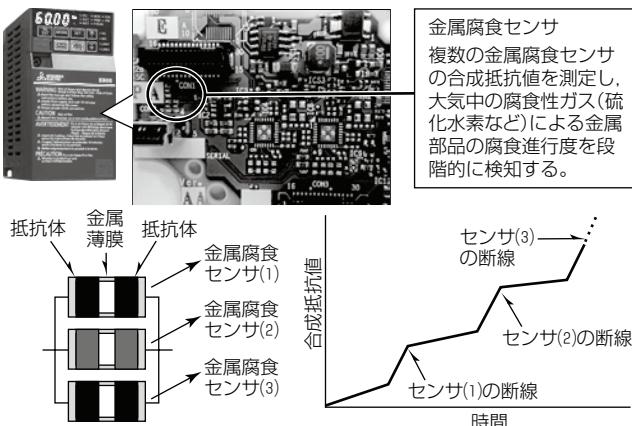
### 4.3 パワーサイクル寿命診断

インバータモジュールに搭載する半導体チップの温度推定技術の向上によっ

(注5) EtherNet/IPは、ODVAの登録商標である。

(注6) BACnetは、ASHRAEの登録商標である。

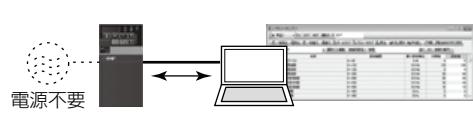
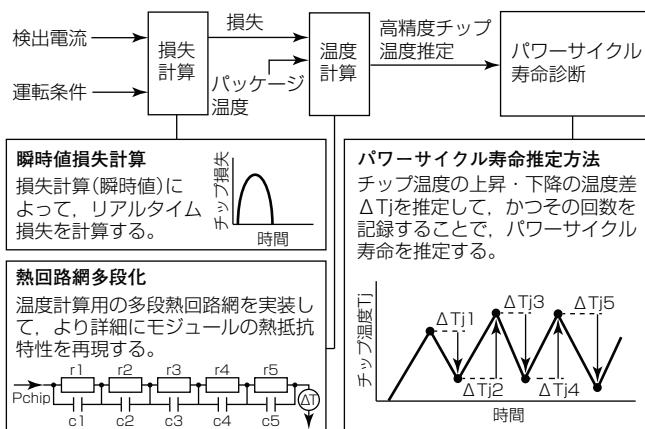
(注7) EtherCATは、Beckhoff Automation GmbHの登録商標である。



て、加熱・冷却時の温度差を高精度で把握できるため、モジュールのパワーサイクル寿命診断が可能になった(図3)。寿命が規定値を下回ると警報信号を出し、装置の予知保全による安定稼働に貢献する。

#### 4.4 USB電源供給によるメンテナンス

パソコンからの電源供給(USBバスパワー接続)で、主回路電源OFFの状態でもFR Configurator2を使用してパラメータ設定が可能であり(図4)，素早く安全にメンテナンスができる。



## 5. 機能安全

### 5.1 機能安全規格対応

機能安全規格(IEC61508, SIL3等)に対応し(表4)，安全認証の導入コストを削減できる。安全トルク遮断(STO)や安全速度制限(SLS)などの安全監視機能規格(IEC61800-5-2)に対応し、外部機器の削減やメンテナンス時間の短縮に貢献する。

### 5.2 安全通信機能

FR-E800-SCEは国際規格に承認されたEthernetベースの安全通信機能に対応する(表5)。ネットワーク経由で安全信号を入力でき、省配線化やI/O機器の削減が可能である。

CC-Link IE TSN安全通信機能を始め多くの安全通信プロトコルに対応しており、使用中のネットワークに合わせた安全制御システムの拡張を容易なものにした。

### 5.3 エンコーダレスSLS機能

FR-E800-SCEは機能安全規格の認証を受けた速度監視回路を実装することによって、エンコーダレスでの安全速度制限機能(SLS(Safely-Limited Speed)機能)に対応している(図5)。エンコーダが不要なため、省配線・省コストな速度監視システムの構築が可能である。

表4. FR-E800シリーズの安全規格対応

形名	安全監視機能	安全度水準
FR-E800	STO	SIL2, Cat.3, PLd
FR-E800-E		
FR-E800-SCE	STO, SS1, SBC, SLS, SSM	SIL3, Cat.3, PLe

表5. 対応する安全通信機能

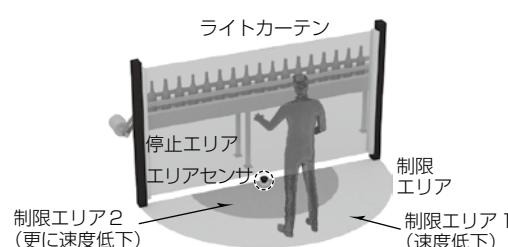
形名	CC-Link IE TSN 安全通信機能	PROFISafe <sup>(注9)</sup>	CIP Safety <sup>(注10)</sup>	FSoE (Safety over EtherCAT <sup>(注11)</sup> )
FR-E800-[]SCEPA	●	-	●	-
FR-E800-[]SCEPB	●	●	-	-
FR-E800-[]SCEPC	-	-	-	○

●：対応 ○：対応予定

(注9) PROFISafeは、Siemens Aktiengesellschaftの登録商標である。

(注10) CIP safetyは、ODVAの登録商標である。

(注11) Safety over EtherCATは、Beckhoff Automation GmbHの登録商標である。



## 6. システム対応力

### 6.1 軽負荷／標準負荷の二重定格対応

熱設計技術の向上によって、3相電源入力仕様品では定格電流・過負荷耐量が異なる二つの定格(LD:ライトデューティ(軽負荷), ND:ノーマルデューティ(標準負荷))に対応する(表6)。

過負荷を必要としない用途では、LD定格でインバータを選定することでインバータを小型化できる(例えば、インバータ22kWのLD定格によって最大30kWのモータを駆動可能である)。

パラメータ設定だけで定格を切替え可能であり、装置の仕様変更に対応でき、在庫の共有化を図ることもできる。

### 6.2 高保護構造品(IP67)による盤外設置対応

新たに高保護構造品(IP67)をラインアップに追加する予定である。多湿・粉塵(ふんじん)等の悪環境下でも使用

表6. 二重定格仕様

負荷	定格	過負荷電流定格
軽負荷	LD定格	120% 60s, 150% 3s(反限時特性)周囲温度50°C
標準負荷	ND定格	150% 60s, 200% 3s(反限時特性)周囲温度50°C

表7. FR-E800シリーズの性能仕様

項目		FR-E700	FR-E800
制御方式	V/F制御	●	●
	アドバンスト磁束ベクトル制御	●	●
	リアルセンサレスベクトル制御	-	●
	ベクトル制御	-	●
	PMセンサレスベクトル制御	-	●
制御モード	速度制御	●	●
	トルク制御	-	●
	位置制御	-	●
出力周波数	V/F制御	0.2~400Hz	0.2~590Hz
	V/F制御以外		0.2~400Hz

●: 対応, -: 非対応

表8. FR-E800シリーズのベクトル制御仕様

項目		内容
速度制御	速度制御範囲	1:1,500(力行・回生共)(注12)
	速度変動率	±0.01%(300r/minに対して)
	速度応答	30Hz
	最大速度	400Hz(ただし、PLGパルス数は102,400pulse/s以下)
トルク制御	トルク制御範囲	1:50
	絶対トルク精度	±10%(注13)
	繰返しトルク精度	±5%(注13)
位置制御	繰返し位置決め精度	±1.5°(モータ軸端)
	位置決め帰還パルス	モータ1回転当たりPLGパルス数(Pr.369)×4倍倍
	電子ギア設定	1/900~900
	位置決め完了幅	0~32,767パルス
	誤差过大	0~400Kパルス

(注12) 回生時は回生ユニット(オプション)が必要である。

(注13) ベクトル制御専用モータ、定格負荷時

PLG: Pulse Generator

でき、ディスコネクトスイッチ、EMC(ElectroMagnetic Compatibility)フィルタ(クラスC2)、通信オプション等の周辺機器を内蔵するため、インバータの盤外設置に対応し、ラインの分散システム化による省配線、省スペース化や、安全通信対応のシステム構築が可能になる。

### 6.3 優れた駆動性能

当社小型インバータ初になる、ベクトル制御(エンコーダ付きベクトル制御)、リアルセンサレスベクトル制御(エンコーダなしベクトル制御)に対応した(表7、表8)。また、プレミアム効率モータ、PMモータに対応し、多様なソリューションの駆動シーンで活躍できる。さらに、鏡面のような精微な加工が要求される工作機械に有効な高速運転にも対応している。

## 7. 環境適合

### 7.1 基板コーティング品対応(3C2適合)

腐食環境下用途に向けて、環境条件規格(IEC60721-3-3 3C2)に適合する基板コーティング品を標準ラインアップに追加した。

### 7.2 海抜3,000mまでの高所対応

IEC61800-5-1(過電圧カテゴリー: III)に準拠した絶縁距離設計によって、海拔3,000m<sup>(注14)</sup>までの設置が可能である(FR-E700シリーズは1,000mまで)。

(注14) 3相575Vクラスは2,000mまで設置可能である。また、1,000mを超える標高に設置する場合、電流低減が必要である。

### 7.3 周囲温度範囲の拡大(-20~+60°C)

制御電源技術、及び熱設計技術の向上によって、使用可能な周囲温度は-20~+60°C<sup>(注15)</sup>に拡大しており、従来機種よりも幅広い環境下で使用できる(FR-E700シリーズは-10~+50°Cに対応する)。

(注15) 3相575Vクラスは-10~+60°Cに対応する。また、周囲温度が50°C以上の場合、電流低減が必要である。

## 8. むすび

次世代小型高機能インバータFR-E800シリーズの最新技術と仕様を述べた。今後も更なる機能性能の向上と高付加価値化を目指した製品開発を進めていく。

### 参 考 文 献

- (1) 田中哲夫, ほか: 次世代高機能汎用インバータ“FREQROL-E800シリーズ”, 三菱電機技報, 88, No.4, 245~248 (2014)

# CC-Link IE TSNの安全通信機能に対応したACサーボアンプ“MR-J5シリーズ”

AC Servo Amplifier "MR-J5 Series" Supporting CC-Link IE TSN Safety Communication Function

家田正孝\*  
Masataka Ieda  
林 佑磨\*  
Yuma Hayashi

## 要旨

近年、ファクトリオートメーション部門では機械による労働災害の防止策として、機能安全・安全通信に対する要求が高まっている。従来は機器単独で機能安全を実現していたが、配線が複雑化することと大規模システムでは高コストになるという課題があり、省配線・低コストのため安全通信を用いた装置間での機能安全が求められている。

そこでACサーボアンプ“MR-J5シリーズ”的バージョンアップとして、機能安全とCC-Link IE TSNの安全通信機能に対応したACサーボアンプを開発した。機能安全・安全通信対応の主な特長は次のとおりである。

### (1) オプションユニット不要で安全監視機能に対応

サーボアンプ内部構成を見直し、メインマイコンのほかにサブマイコンを搭載することで相互監視を行い、安全監

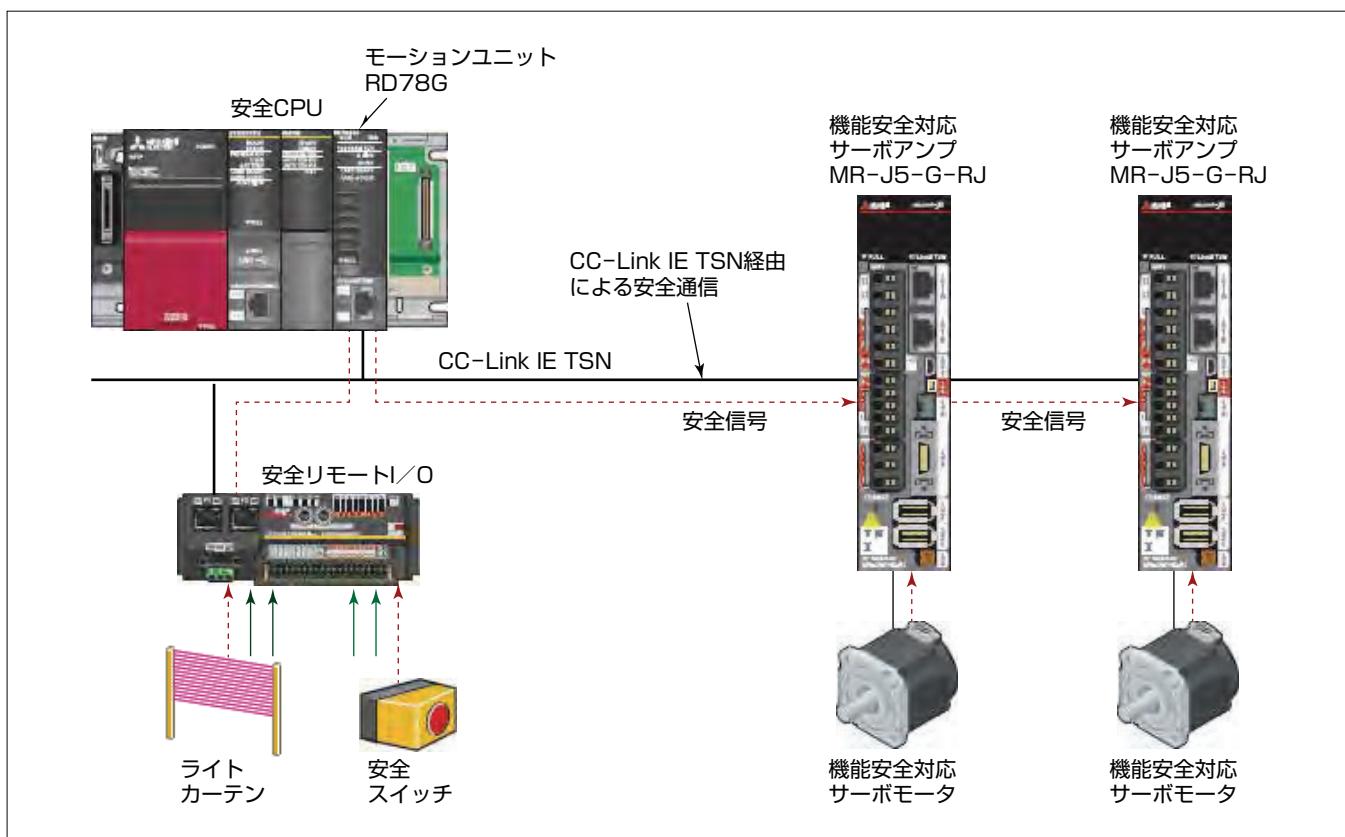
視機能に必要な二重化を達成した。

### (2) CC-Link IE TSNの安全通信機能に対応

CC-Link IE TSN(Time Sensitive Networking)は、サイクリック通信でリアルタイム性を保証した制御を実施しながら、ITシステムとの情報通信が混在可能なネットワークである。CC-Link IE TSNによる安全通信機能に対応することで省配線・低コストを実現できる。

### (3) 機能安全部規格に準拠

制御システムの安全関連部に関する国際規格(IEC(International Electrotechnical Commission)-61508/EN(European Norm)-61800-5-2)に準拠し、安全性レベルのカテゴリ4 PLe、SIL(Safety Integrity Level)3を達成した。



## CC-Link IE TSNの安全通信機能に対応したACサーボアンプ“MR-J5シリーズ”

ACサーボアンプ“MR-J5シリーズ”はCC-Link IE TSN安全通信機能に対応した。CC-Link IE TSN安全通信機能では、一般制御と安全制御を混在させたシステムを構築できる。従来専用ハードウェアで配線していた安全信号の配線が不要になり、省配線が可能になる。

## 1. まえがき

ACサーボは、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(Lithium-ion Battery)製造装置、射出成形機、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、省エネルギーなど市場要求も多様化している。その中で機能安全の要求が高まってきており、装置単独の安全だけでなく、装置間通信の安全対策が求められている。

今回の開発では、多様化する要求に応えるため“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“MR-J5シリーズ”(図1)をバージョンアップし、新たに安全監視機能に対応した。従来機種“MR-J4シリーズ”で安全監視機能に対応するために必須であったオプションユニット“MR-D30”を不要にし、一般制御と安全制御を混在させたシステムを構築できるCC-Link IE TSN安全通信機能に対応することで、MR-J5シリーズの機能安全・安全通信ソリューションに対する訴求力を高めた。

## 2. ACサーボアンプ“MR-J5シリーズ”的特長

MR-J5シリーズ(以下“MR-J5”という。)は以前から好評を得ているMR-J4シリーズ(以下“MR-J4”という。)からの互換・継承を基本しながらも、大幅な機能・性能の向上を実現した。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対応で最小指令通信周期31.25μsを達成した。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で、モーション制御の更なる高速・高精度化を実現した。

### (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た。迅速に故障要因を特定することでダウンタイム削減を実現した。

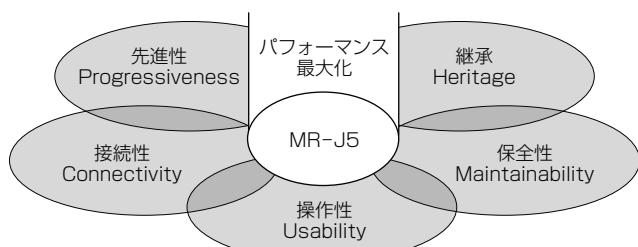


図1. ACサーボアンプ“MR-J5シリーズ”的コンセプト

### (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瞬時にゲイン調整するクイックチューニング機能を開発した。

### (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”によって共通母線配線を容易化し、装置・システムの省エネルギー・省配線・省スペースソリューションを提供する。

## 3. CC-Link IE TSNの安全通信機能

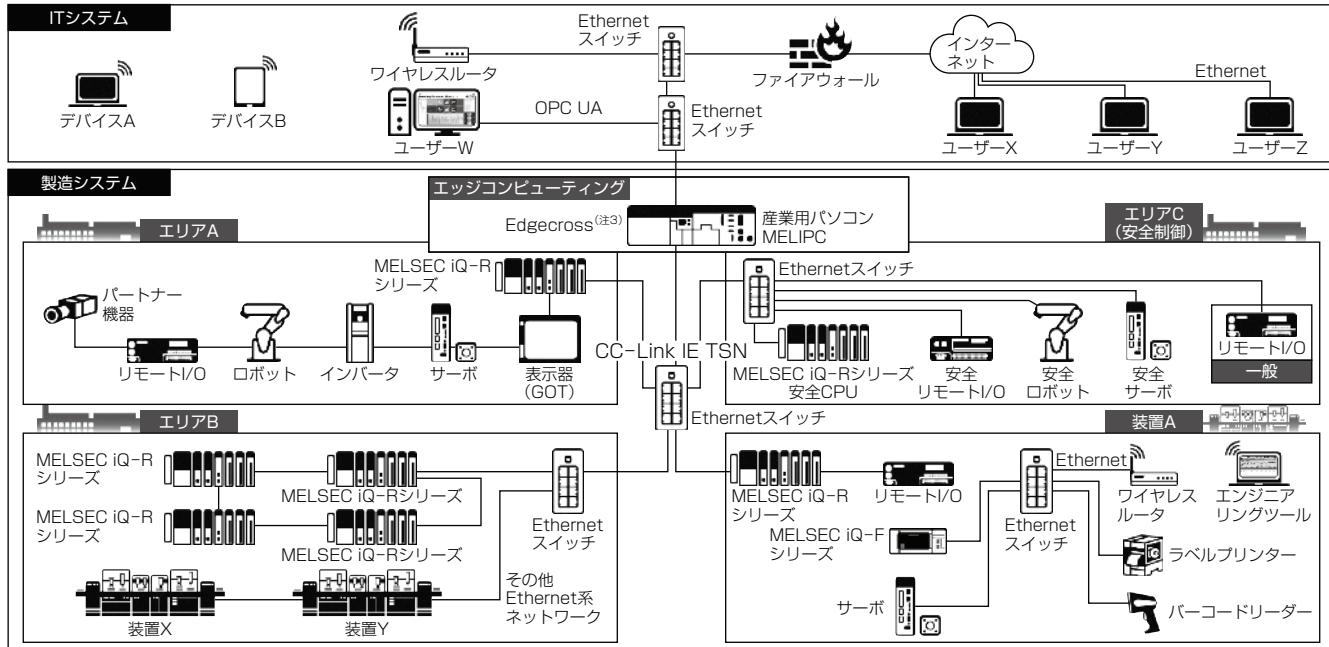
CC-Link IE TSNは一般社団法人CC-Link協会から仕様公開されている産業用オープンネットワークである。三菱電機は仕様策定から参画し、対応製品開発及びプロモーションを推進している。CC-Link IE TSNは、最速31.25μsの高速制御周期と±1μsの高性能時刻同期を実現するプロトコルに、通信帯域の時分割制御を可能にするTSN技術<sup>(注1)</sup>を適用している。これによって、製造システムに必要な制御通信の定時性を維持したまま、ITシステムに必要な情報通信の混在を可能にした(図2)。

制御通信には一般(I/O), モーション、安全の各用途がある。MR-J5は一般及びモーション制御用途については対応済みであったが、安全システムを必要とする自動車分野、半導体分野の顧客から安全対応の要望が高まっていた。そこで今回、最新の安全通信規格IEC61784-3(第3.1版)に準拠し、SIL3までの安全性レベルに対応可能なCC-Link IE TSNの安全通信機能に対応した製品を開発した。

安全通信機能は、過去にCC-Link IEフィールドネットワークでも対応しているが、最新の安全通信規格ではData Integrity, Authenticity, Timeliness, Masqueradeに関するエラー検出に、より高いレベルの要求仕様が含まれている。それに応えるため、CC-Link IE TSNの安全通信機能では、安全通信フレームの多重送信、タイムスタンプ拡張等の対策を実施している。また製品への実装に際しては、一般及びモーション制御のアプリケーション(図3①)に加えて、安全通信機能(図3②)とその上で動作する安全制御アプリケーション(図3③)を実装することで、同一製品上で各制御の共存を可能にしている。

このような安全通信機能に対応することで、CC-Link IE TSN適用システムで、一般、モーション、安全の制御通信と情報通信を同一ネットワーク上で実現可能になる。これによって、省配線・配線容易化を実現するとともに、柔軟なシステムの構築が可能になり、顧客システムへの適用範囲拡大を図ることができる。

また本稿ではMR-J5のCC-Link IE TSN安全通信機能対応について述べているが、安全通信機能のベースとなるソフトウェアを流用して、シーケンサ“MELSEC iQ-Rシ



(注3) Edgecrossは、一般社団法人Edgecrossコンソーシアムの登録商標である。

図2. CC-Link IE TSN適用システムの全体イメージ

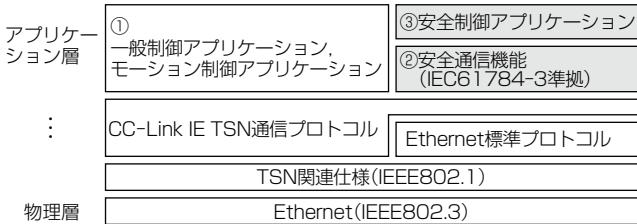


図3. 製品実装イメージ(OSI(Open Systems Interconnection)階層モデル)

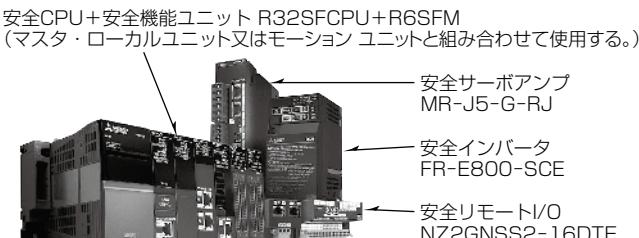


図4. 安全通信機能に対応したCC-Link IE TSN製品群

リーズ”のCPU、リモートI/O、インバータの安全対応製品も同時にラインアップした(図4)。これによって、当社の幅広いFA製品を用いて、様々な装置のニーズにあった安全システムの提供が可能になった。

(注1) IEEEで国際標準化が進んでいる次世代Ethernet<sup>(注2)</sup>技術で、複数の関連する規格から構成されている。

(注2) Ethernetは、富士ゼロックス株の登録商標である。

## 4. MR-J5シリーズ安全監視機能

### 4.1 IEC/EN61800-5-2に準拠する安全監視機能

MR-J4での機能安全対応のオプションユニットMR-D30

で対応していたSTO(Safe Torque Off), SS(Safe Stop)1-t (time controlled), SS2-t, SOS(Safe Operating Stop), SLS(Safely-Limited Speed), SSM(Safe Speed Monitor), SBC(Safe Brake Control)に加えて、MR-J5ではSS1-r (ramp monitored), SS2-r, SDI(Safe DIrection), SLI (Safely Limited Increment), SLT(Safely-Limited Torque)に対応した。また、ダイレクトドライブモータとリニアサーボモータの組合せで安全監視機能(SS1-r, SLS, SSM, SDI, SLT)が使用可能になった(表1)。新たに対応した安全監視機能の特長について述べる。

#### (1) SS1-r機能とSS2-r機能

SS1機能、SS2機能で、

MR-D30で対応していたSS1-tとSS2-tに加えて、SS1-rとSS2-rに対応した。指令入力後、指定した減速度に従つて減速動作をしていることを監視し、正常な減速動作をしていない場合にSTOによってエネルギーを遮断する(図5(a))。

#### (2) SDI機能

SDI機能では、サーボモータの移動方向が指定の方向であることを監視する。移動方向が指定の方向と異なる場

表1. 安全監視機能

安全監視機能	MR-J5		MR-D30					
	回転型サーボモータ	ダイレクトドライブモータ	リニアサーボモータ	機能安全対応サーボモータ	回転型サーボモータ	ダイレクトドライブモータ	リニアサーボモータ	機能安全対応サーボモータ
STO	○	○	○	○	○	○	○	○
SS1-t	○	○	○	○	○	○	○	○
SS1-r	○	○	○	○	×	×	×	×
SS2-t	×	×	×	○	×	×	×	○
SS2-r	×	×	×	○	×	×	×	×
SOS	×	×	×	○	×	×	×	○
SLS	○	○	○	○	○	×	×	○
SSM	○	○	○	○	○	×	×	○
SBC	○	○	○	○	○	○	○	○
SDI	○	○	○	○	×	×	×	×
SLI	×	×	×	○	×	×	×	×
SLT	○	○	○	○	×	×	×	×

○：対応 ×：非対応

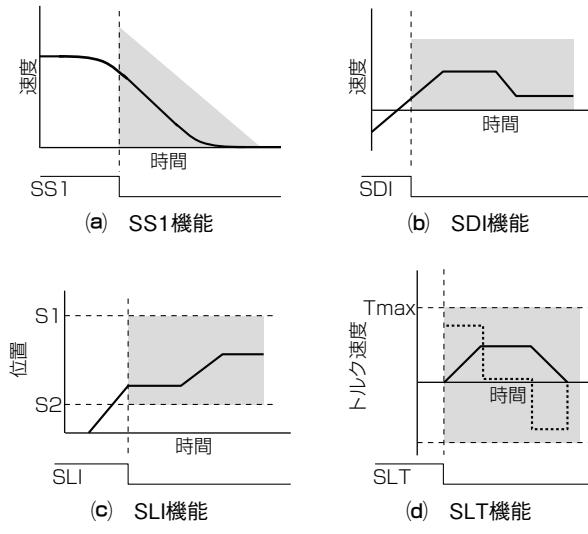


図5. 新規対応の安全監視機能

合に、STOによってエネルギーを遮断する(図5(b))。

### (3) SLI機能

SLI機能ではサーボモータの移動量が指定の範囲を超えないことを監視する。指定の範囲を超えた場合に、STOによってエネルギーを遮断する(図5(c))。

### (4) SLT機能

SLT機能ではトルクが指定の範囲を超えないことを監視する。指定の範囲を超えると、STOによってエネルギーを遮断する(図5(d))。

## 4.2 機能安全対応サーボモータ

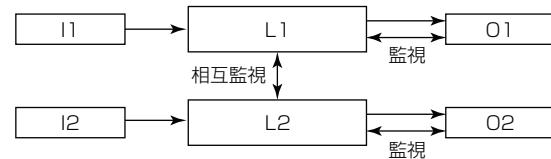
MR-J5の機能安全対応と併せて、速度・位置監視の安全規格に対応する機能安全対応サーボモータ“HK-KT\_WS/HK-ST\_WS”を開発した。

機能安全対応サーボモータに搭載する機能安全対応エンコーダは、光学系検出方式と磁気系検出方式の検出原理が異なる角度位置を二つのCPUで検出し、各CPUで検出した位置及び状態量を相互監視することで二重化を実現し、安全監視機能に必要な位置や速度を、カテゴリ4 PLe及びSIL 3の安全性レベルの認証を取得している。

また、標準サーボモータ“HK-KT/HK-ST”に搭載する標準バッテリーレスエンコーダと同様に、26bitの高分解能化を実現するとともに、従来機種“HGシリーズ”と比較して最大20%の小型化を実現した。

## 4.3 セットアップソフトウェア

MR-J5の立ち上げ、メンテナンスをサポートするセットアップソフトウェアである“MR Configurator2”も新規に安全パラメータ設定に対応した。安全パラメータは、第三者によって設定値が変更されることを防止するため、パスワードによって保護することが可能である。



I1, I2 : 入力 L1, L2 : 論理 O1, O2 : 出力

図6. 安全カテゴリ4

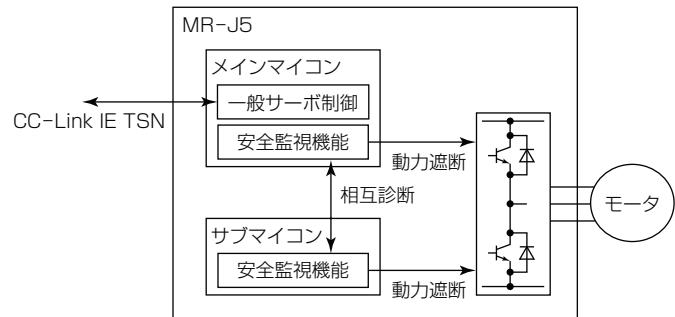


図7. マイコン構成

## 5. MR-J5の機能安全対応アーキテクチャ

MR-J5ではISO13849-1で規定された安全カテゴリ4に対応する。安全カテゴリ4では、図6に示す冗長化された構成を持ち、チャネル間で相互監視することで安全性を確保する。

そこで、MR-J5では、安全監視機能をメインマイコンとサブマイコンに搭載して相互に監視することで、故障が発生した場合でも安全監視機能を喪失することなく、STO機能を作動させ、安全にモータを停止させる。

機能安全対応のオプションユニットMR-D30では、同一のマイコンを2系統搭載することで安全監視機能を実現していたが、MR-J5ではオプションユニットなしで実現するためにサーボアンプ本体に安全監視機能を搭載するに当たり、メインマイコンを、一般サーボ制御と安全監視機能で共用することによって、コストアップを最小限に抑えられることに成功した(図7)。その際に、一般サーボ制御処理が安全監視機能の処理を阻害しないように、それぞれの処理を時間的、空間的に分離した。

## 6. むすび

MR-J5シリーズのコンセプトである“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推し進めるため、CC-Link IE TSN安全通信機能にオプションユニットなしで対応し、省配線・低コストの安全システムの構築を実現した。今後も更にニーズを先取りして、多くの顧客満足が得られる製品開発を進める。

# 数値制御装置の産業用ロボットとの連携機能“Direct Robot Control”

*"Direct Robot Control": Cooperation Function with Industrial Robots of Computerized Numerical Control*

馬場健輔\*  
Kensuke Baba

## 要旨

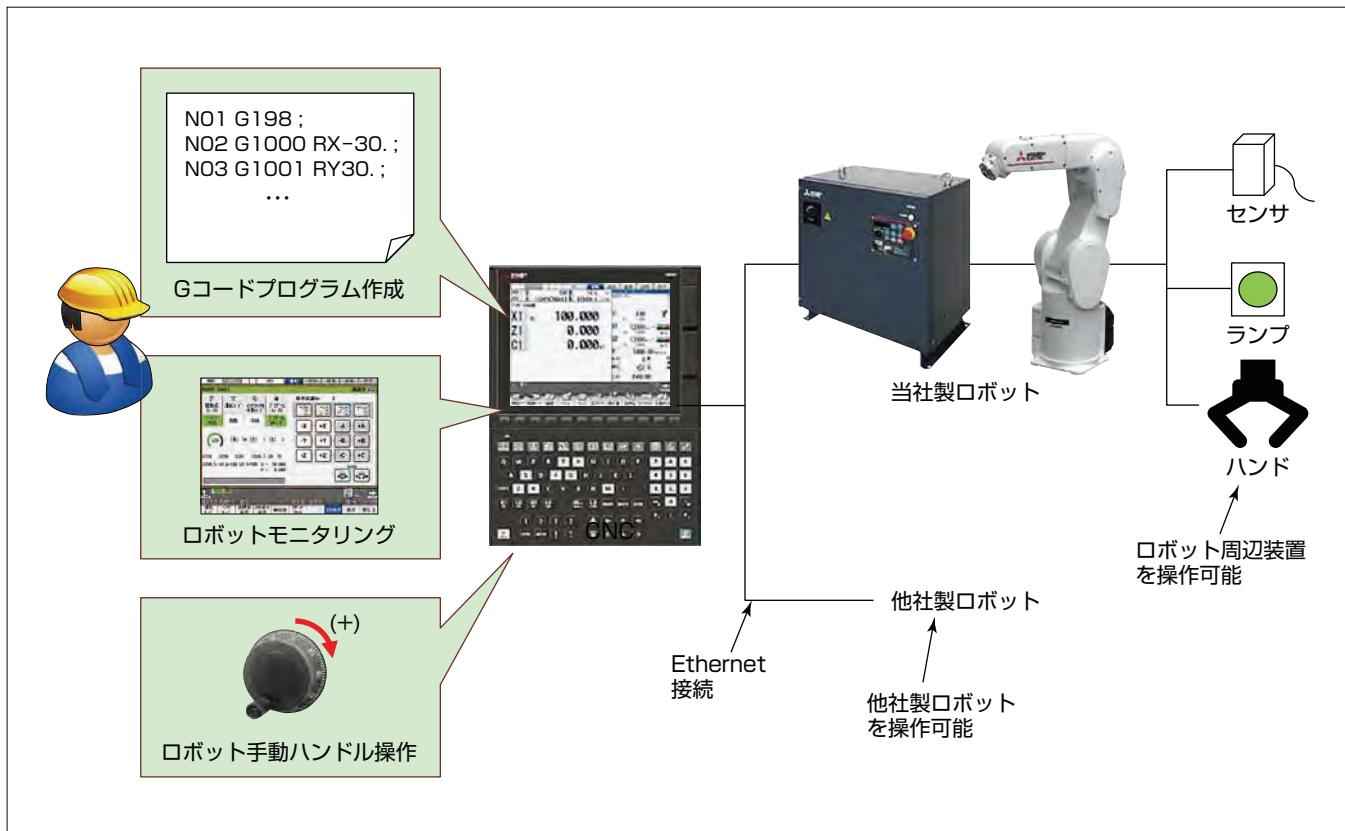
近年、工作機械は自動化システムといった他システムとの連携による更なる生産性向上の実現を目指す流れが顕著になっている。特に、産業用ロボットを活用して工作機械の自動化を実現する事例が展示会等で注目されている。また、産業用ロボットは世界的に需要が増加傾向にあり、これに伴ってロボットを搭載した工作機械の需要も増加している。これらの背景から三菱電機の数値制御装置(Computerized Numerical Control : CNC)独自の産業用ロボットとの連携機能“Direct Robot Control”を開発した。この機能の特長は次のとおりである。

- (1) CNCとロボットコントローラをEthernet<sup>(注1)</sup>接続するシンプルなシステム構成で動作する。従来のロボット

を搭載した工作機械の立ち上げに必要な費用と工数を大幅に削減する。

- (2) Gコードによるロボットの簡単制御、及びロボットの JOG 操作やティーチング等のロボット制御に必要な操作をロボットに慣れていないユーザーも CNC によって容易に実行可能である。また、ロボット制御用 G コードも対話方式で簡単にプログラミングが可能である。
- (3) 従来の CNC 機能を使用することで工作機械とロボットの協調制御が可能である。また、加工時間短縮等の実現が可能である。
- (4) 異なるロボットベンダーのロボットを CNC から同じ操作で同じ動作をさせることが可能である。

(注1) Ethernetは、富士ゼロックス(株)の登録商標である。



## CNCの産業用ロボットとの連携機能“Direct Robot Control”

当社 CNC とロボットコントローラを Ethernet 接続するシンプルなシステム構成で、CNC からロボット制御の実現が可能である。G コード プログラムによるロボット制御、ロボットの状態監視、JOG 操作やティーチング等のロボットに必要な制御を CNC の画面や工作機械に付属する手動ハンドルで実行可能である。ロボットに慣れていない工作機械のユーザーが容易にロボット操作を行うことができる。

## 1. まえがき<sup>(1)(2)</sup>

工作機械は自動車や各種機械、電子機器などの様々な製造業で部品や金型を高精度かつ高能率に加工するために幅広く用いられており、CNCで制御される機械システムとして、長年にわたって加工性能や使い勝手等の進化を遂げてきた。昨今、自動化システムといった他システムとの連携による更なる生産性向上の実現を目指す流れが顕著になっている。

特に、産業用ロボットを活用して工作機械の自動化を実現する事例が展示会等で注目されている。例えば、工作機械に対する加工物の搬入出をロボットで行う事例や工作機械で切削した加工物のバリ取りをロボットで行う事例が挙げられる。また、産業用ロボットは世界的に需要が増加傾向にあり、これに伴ってロボット付きCNC工作機械の需要も増加している。

これらの背景から当社CNC独自の産業用ロボットとの連携機能“Direct Robot Control”を開発した。この機能を活用することで、工作機械上のCNCからGコードで容易にロボット制御、及び工作機械とロボットの協調制御が可能になり、工作機械の自動化に貢献する。

本稿では、“Direct Robot Control”に関する最新の開発技術について述べる。

## 2. Direct Robot Controlのシステム構成<sup>(3)</sup>

“Direct Robot Control”は、CNCとロボットコントローラをEthernet接続するシステム構成で使用する。Ethernet接続に必要なパラメータ(IP(Internet Protocol)アドレス、ポート番号)を設定することでCNCからロボットを直接制御する環境を構築できる(図1)。

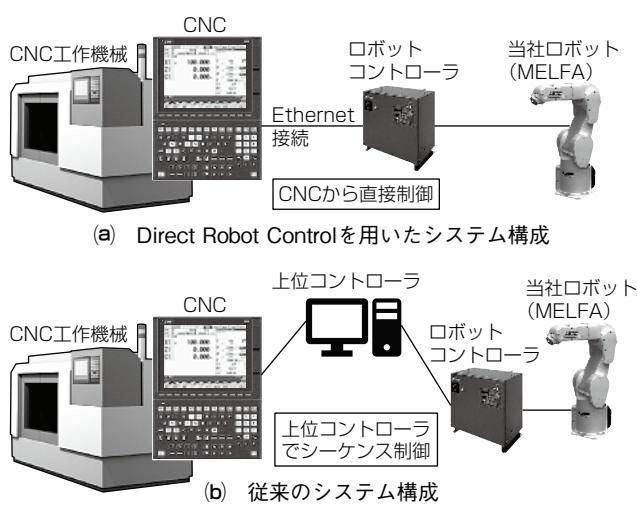


図1. システム構成図

一方、従来はCNCとロボットの協調制御を行うために、CNCとロボットコントローラのシーケンス制御を行う上位コントローラの準備とシーケンスプログラムを作成する必要があったが、この機能を活用することで次の三つのシステム構成に必要な費用と工数の抑制を見込める。

- (1) 上位コントローラの費用
- (2) 上位コントローラ、CNC、ロボットコントローラを接続する配線等の環境構築に必要な費用及び工数
- (3) シーケンスプログラム作成に必要な工数

これらの費用や工数を抑制することで、今まで産業用ロボットを扱ったことのない工作機械メーカー(MTB)がロボットを組み込んだ工作機械の開発に参入するハードルを下げることに貢献できる。

## 3. Direct Robot Controlの機能

### 3.1 Gコードによるロボットの簡単制御<sup>(3)</sup>

CNC側から、ロボット制御用Gコードによって、直接ロボットを制御する。また、CNC上のロボット専用画面からロボットの動作モードの設定やJOG操作などロボットに必要な操作もCNCから実施できる(図2)。

従来は、工作機械とロボットを制御するためには、工作機械のGコードとともに、ロボットプログラミング言語を習得する必要があり、多大な時間を要していた。Direct Robot Controlを活用することで、工作機械の使用経験がある作業者は、従来よりも短時間で産業用ロボットを扱うことができる。

また、ロボットを組み込んだ工作機械の立ち上げを行った際に、Gコード制御、又はロボット専用画面から視覚的に手動操作を行うことができるため、ロボット動作の確認を簡単に行うことができる。そのため、ロボット操作を熟知したシステムインテグレータの手を借りる必要がなくなり、立ち上げと調整に必要な費用の抑制が見込める。

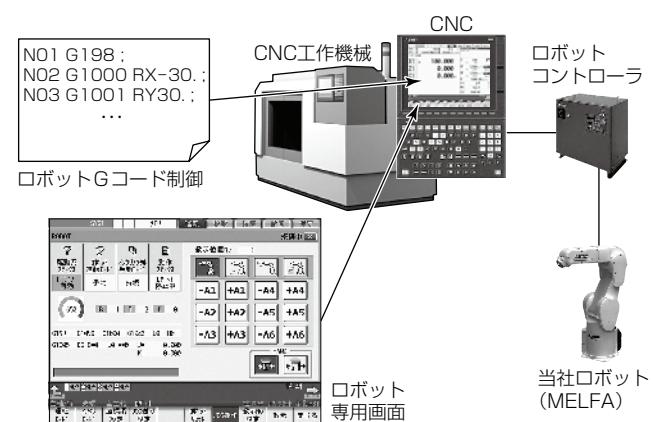


図2. Gコードによるロボット制御

### 3.2 CNCによるロボットのティーチング<sup>(3)</sup>

産業用ロボットは、あらかじめロボットが動作する指令点(位置・姿勢)を記録(ティーチング)し、記録された指令点にロボットを動作させるティーチングプレーバック方式で制御することが多い。

CNCから同様の制御を実現するため、CNC上のロボット専用画面からのティーチングを可能にした。ロボット専用画面では、動作モード設定やJOG操作も実行できるため、従来のロボットに付属するティーチングパッドによるロボット操作と同様の使用感で“ロボットのJOG操作”を行なながら、“ティーチング”を実行できる(図3)。既にロボット操作に慣れているユーザーも違和感なく操作できることを実現している。

### 3.3 対話方式による簡単プログラミング

ロボット制御用Gコードを生成する対話式で直感的なロボットプログラム作成画面を備えた(図4)。

ロボットプログラム作成画面では、ロボット動作を明示した画像、及びガイダンスを確認できるため、ロボット制御のGコードを習得することなく、簡単にプログラムが作成可能である(図5)。

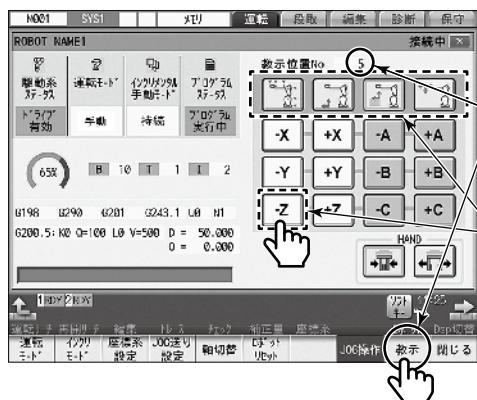


図3. ロボット専用画面

### 3.4 切削加工とロボット制御の協調制御<sup>(3)</sup>

ロボット制御用のプログラムをCNCで実行するため、CNC機能を使用して簡単に工作機械とロボットの協調動作の実現が可能になる。工作機械で未切削ワークの切削加工、ロボットによるワークの搬入出、及び切削済みワークのバリ取り加工を実施する事例を図6に示す。

この事例では、CNCの系統間待ち合わせ機能を使用することでCNCのPLC(Programmable Logic Controller)を変更することなく、CNCの切削加工とロボットのバリ取り加工の同時実行を実現する。また、切削加工を行うた

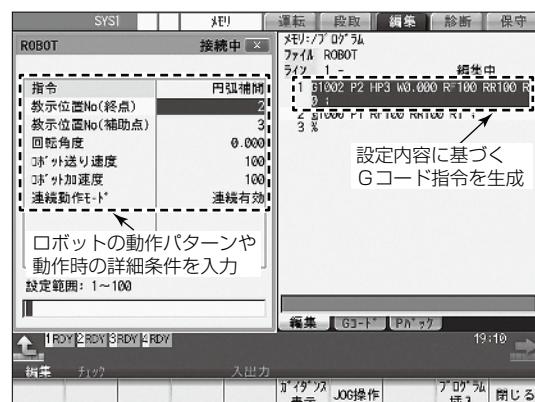


図4. ロボットプログラム作成画面



図5. ロボットプログラム作成画面のガイダンス表示

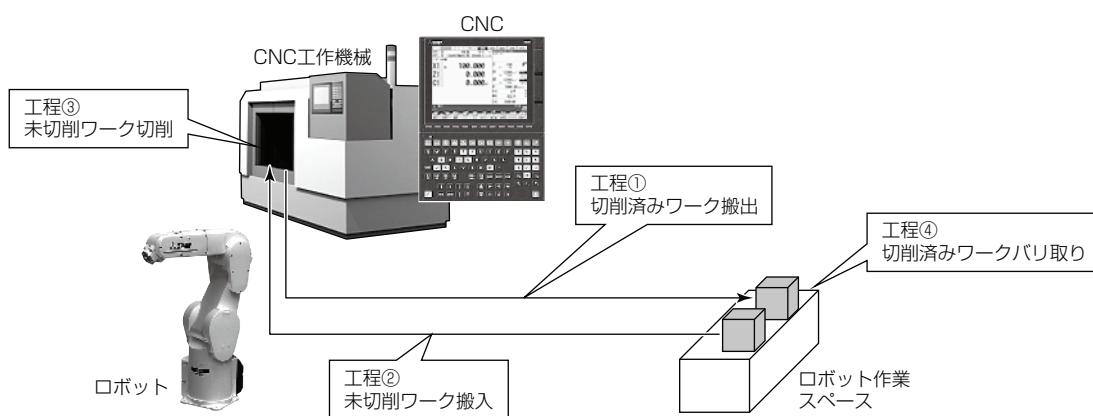
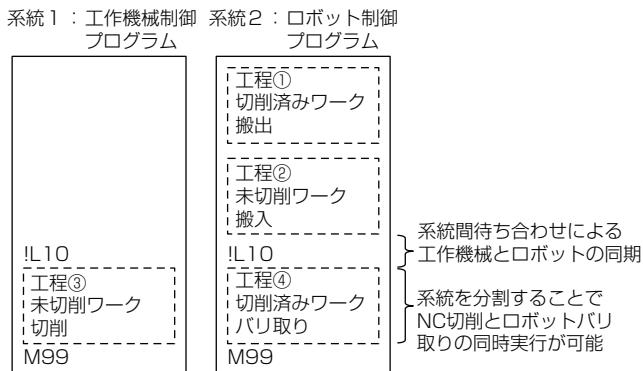


図6. 工作機械とロボットの協調制御の事例



めに必要な前工程(工程①、工程②)の完了を待って、切削加工を開始する(図7)。ユーザーは加工プログラムを変更することで、ロボットを取り入れた効率的な加工を実現できる。

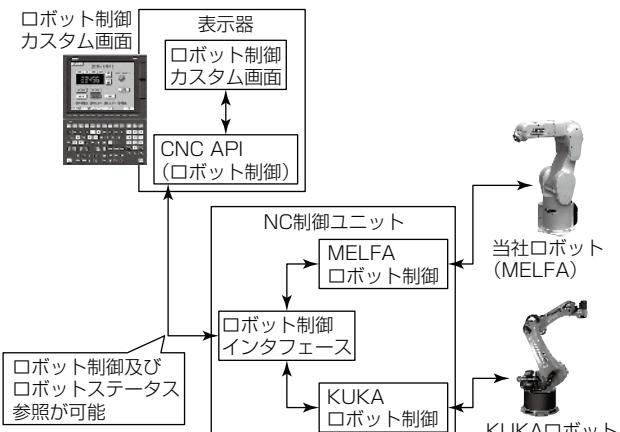
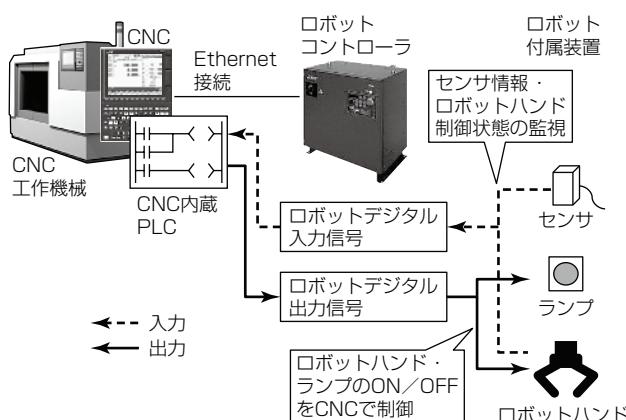
### 3.5 CNCによるロボットコントローラのデバイス制御

CNCとロボットコントローラ間の配線を増やすことなく、ロボットコントローラのデバイス制御をCNCから実行することが可能になる。Ethernet経由でCNCからロボットコントローラへロボットデジタル信号の設定・参照を行う指令を送信することで実現している(図8)。

例えば、ロボットに付属するハンド(ロボットハンド)を活用したロボット制御では、ロボットハンドとロボットコントローラのDI(Digital Input)/DO(Digital Output)接点を接続し、ロボットコントローラのデバイス制御によってロボットハンドの制御や状態確認を実施する。この機能では、先に述べたロボット側の環境を変えず、CNCから直接ロボットハンドの制御と状態確認を実現する。

### 3.6 ロボットの手動ハンドル操作<sup>(3)</sup>

工作機械には手動ハンドル(手動パルス発生器)が取り付けられていることが一般的であり、段取り作業時などに手動ハンドルを操作し、工作機械を構成する軸の制御を行つ



ている。この機能では、ロボットの操作についても同様に工作機械の手動ハンドルで制御することが可能である。

手動ハンドルによるロボット操作は、工作機械の操作と同様に“ハンドルモード”“軸選択”“移動倍率”的設定が可能であり、ロボットを構成する各軸、又は先端位置の位置決め制御が可能である。既存の工作機械ユーザーが容易にロボットの手動操作を行うことに貢献する。

### 3.7 複数のロボットベンダーのロボット制御<sup>(4)</sup>

CNCから複数のベンダーのロボットの制御が可能である。現在、当社製ロボット“MELFAシリーズ”又はKUKA Roboter GmbH製ロボットとの接続が可能であり、同一Gコードで異なるロボットベンダーのロボットを同様に制御可能である。

また、産業用ロボットに必要な制御及び状態監視のAPI(Application Programming Interface)を機械メーカーに提供する。機械メーカーはAPIを活用することで、独自のロボット画面を開発し、工作機械とロボットの使いやすいシステムの構築が可能である(図9)。

## 4. むすび

数値制御装置の産業用ロボットとの連携機能“Direct Robot Control”について述べた。この機能によって、産業用ロボットを活用した工作機械の開発、自動化システム構築の簡略化による生産力向上に貢献する。

今後も変化する市場ニーズに対応しながら、更なる機能の拡充に向けた開発を進めていく。

### 参考文献

- (1) 特集“ロボットSIerになろう”，ニュースダイジェスト社，月刊生産財マーケティング，No.2 (2019)
- (2) 特集“広がる産ロボの領域”，ニュースダイジェスト社，月刊生産財マーケティング，No.12 (2019)
- (3) 特許第6647472号：数値制御装置および数値制御方法
- (4) 三菱電機 産業用ロボットMELFA FRシリーズ カタログ L (名)09092-L(1912)IP (2019)

## 協働ロボット“MELFA ASSISTA”

Collaborative Robot "MELFA ASSISTA"

寺田大祐\*  
Daisuke Terada  
市岡紘平\*  
Kouhei Ichioka  
鉢木稔浩\*  
Toshihiro Hachiki

### 要旨

近年、自動車・電気電子部品業界だけでなく、食品業界や医薬品業界、衛生用品業界など多くの製造現場でロボットを使用した生産ラインの自動化ニーズが高まる中、人とともに作業する協働ロボットの需要が拡大している。また、コロナ禍の中、製造現場では作業者間の距離確保という新たな課題にも直面している。さらにこれまで産業用ロボットを使用したことのない顧客からは、ロボットの導入・立ち上げの容易化も求められており、こうした需要や課題に対応するため、協働ロボット“MELFA ASSISTA”を開発した。

主な特長は次のとおりである。

(1) 人がロボットアームに触れたときに指や手が挟まれな

いようデザインするとともに、第三者認証機関によって認証された安全機能を装備している。また、アーム上に設けたLEDライトで“動作中”“待機中”などロボットの状態把握が可能である。

- (2) 手で直接ロボットアームを動かし、アーム上の操作ボタンを押すだけで動作位置を教示できるようにロボット教示作業を容易化している(ダイレクトティーチング機能)。
- (3) ブロック図を用いた直感的な操作が可能な独自のエンジニアリングソフトウェア(プログラム作成ツール)“RT VisualBox”を同時開発し、専門知識の必要がない容易な導入・立ち上げを実現している。



### 協働ロボット“MELFA ASSISTA”とエンジニアリングソフトウェア“RT VisualBox”

自動車・電気電子部品・食品・医薬品・衛生用品等の業界向けに、衝突検知などの安全機能を備えた、人とともに作業ができる協働ロボット“MELFA ASSISTA”とのロボットの導入・立ち上げを容易にするエンジニアリングソフトウェア“RT VisualBox”を開発した。直感的な操作が可能なこの製品によって、製造現場でのロボット導入が容易になり、事業環境変化への柔軟な対応とTCO(Total Cost of Ownership: 総保有コスト)削減に貢献する。

## 1. まえがき

人手不足・人件費の高騰等を背景に自動車・電気電子部品を始めとする多くの製造現場ではロボットを使用した生産ライン自動化の需要が年々上昇してきた。しかし、これまでロボット技術者が不足していた中堅製造業などではシステム設計・立ち上げ作業などに障壁があってロボットの導入は限定的であった。

近年、安全柵を必要とせずに容易に既存設備に導入することが可能な人とともに作業する協働ロボットが規格化され、ロボット技術者でなくとも簡単に立ち上げを行うことが可能になって様々な用途・業種で協働ロボットの活用が期待されている。

こうした市場要求に応えるため“安全柵レスによる人とロボットの生産エリア共有”, “人からロボットへの簡単置き換え”, “システム設計・立ち上げ作業の容易化”の実現に向けて協働ロボット“MELFA ASSISTA”を開発した。

本稿では、“MELFA ASSISTA”的主な特長について述べる。

## 2. “MELFA ASSISTA”的特長

### 2.1 人と協動作業するための安全対応

“MELFA ASSISTA”は、安全柵の設置なしに人と同じ空間で作業できる5kg可搬の垂直6軸協働ロボットである。次に述べるアームデザインや機能安全規格準拠によって高い安全性を確保している。

#### 2.1.1 アームデザイン

安全柵レスによってロボットの動作中に人と接触する可能性がある。このため、丸みを帯びた外観にデザインすることによってロボットと衝突したときの衝突圧力を軽減している。またロボットの関節部分に空間を確保した構造にすることによってロボットアームに触れたときに指や手を挟まないようにしている。

人とロボットが同じ空間で作業するには、人がロボットの状態を把握することも重要になる。ロボットアーム上のLEDライトでロボットの稼働状態を周囲の人間に示すことによって安心して協動作業することを可能にしている。

アームデザインによる安心・安全確保の工夫を図1に示す。

#### 2.1.2 ISO/TS 15066に準拠した機能安全

“MELFA ASSISTA”は国際規格“ISO 10218-1”“ISO/TS(Technical Specification)15066”に準拠しているほか、



図1. アームデザインによる安心・安全確保

国際的な第三者認証機関による機能安全規格の認証を取得している。機能安全の一つとして、立ち上げ中や自動運転中のロボットアームとの衝突を検知して停止させるためのトルク監視機能(Safe Torque Range : STR)を搭載している。安全監視機能を搭載することによって、安全柵を必要とせずに人と同程度のスペースで、容易に人手作業をロボットに置き換えることを可能にしている(図2)。

### 2.2 操作の容易化

ロボットの立ち上げに必要な作業として、ティーチングボックスを操作してロボットが動く位置を教えこむ教示作業がある。“MELFA ASSISTA”では、アーム上に搭載した操作ボタンやダイレクトティーチング機能によって、これまでロボット操作に必要であったティーチングボックスを不要にし、ロボット操作の習熟度が低い作業者でも短時間で教示作業することを可能にしている。

#### 2.2.1 アーム上操作ボタン

“MELFA ASSISTA”ではロボットアーム上に操作ボタンを搭載した。この操作ボタンを操作することで、プログラム運転の開始・停止が可能なため、ティーチングボックスなどの外部操作デバイスが不要になる。また、ロボットプログラム作成の際は、教示作業、ハンド開閉、ハンド整列(ロボットの手先を垂直・水平にする)、ダイレクトティーチング機能を操作ボタンから行うことで、従来よりも少ない作業手順でロボットプログラムを作成できる。

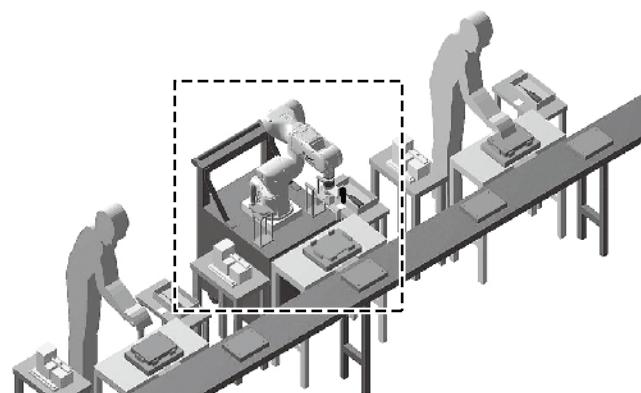


図2. 機能安全による安全柵レス

## 2.2.2 ダイレクトティーチング機能

ダイレクトティーチング機能とは、作業者がロボットアームを直接押し引きしてアームの動作と教示を行う機能であり、ティーチングボックスを使わず簡単に立ち上げをするために協働ロボットには必須の機能になっている。このダイレクトティーチング機能を“MELFA ASSISTA”に初めて搭載した(図3)。他社の協働ロボットではトルクセンサ情報を基にダイレクトティーチング機能を実現していることが多いが、“MELFA ASSISTA”ではトルクセンサを使うことなく、サーボ制御だけで実現している。これによってトルクセンサをアーム内部に実装する必要がないため2.4.1項で述べるアーム内部への配線・配管が可能になり、導入の容易化も実現している。ダイレクトティーチング機能の特長は次のとおりである。

### (1) 直感的な操作

従来、ロボットを操作する際には、ティーチングボックスなどの外部操作デバイスを使用する必要があったが、“MELFA ASSISTA”ではダイレクトティーチング機能によって、外部操作デバイスでの操作なしで直感的にロボットを所望の姿勢に動作させることができ、教示作業の時間を従来の半分以下に短縮できる。また、ハンド取付けのために手先を上向きにする場合や、周辺装置のメンテナンスなどでロボットアームを一時的に退避させる場合など、様々な場面で外部操作デバイスを接続する手間なしに、ロボットを簡単に操作することを可能にしている。

### (2) 三つの動作モード

垂直6軸ロボットは動作の自由度が高く、所望の姿勢にするためには座標系を意識して外部操作デバイスを操作する必要があった。ダイレクトティーチング機能には次の三つの動作モードを用意し、作業者は目的に応じて動作モードを切り替えることで、座標系を意識することなく容易にロボットを所望の姿勢にできる(図4)。

#### ①関節フリーモード

各軸を任意の角度に動作させることができる。

#### ②並進モード

手先の姿勢を維持したまま動作させることができるため、ハンドを一定の姿勢に保ったまま動かすことが可能である。

#### ③回転モード

手先の部分を中心として動作させることができるため、ハンドの位置を動かさずにアームの姿勢を変えることが可能である。

### (3) 安全の確保

作業者がダイレクトティーチングをしているときに、別の作業者が誤って外部からプログラム運転を開始すること



図3. ダイレクトティーチングの様子

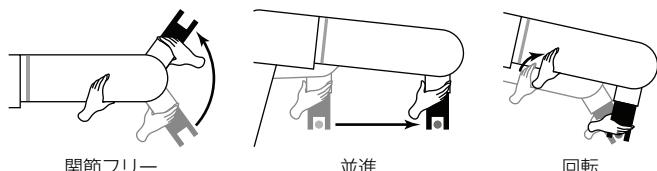


図4. 三つの動作モード

がないように、アーム上操作ボタンで操作権を占有することが可能である。このように安全にダイレクトティーチングが行える機能を備えている。

## 2.3 プログラミングの容易化

従来の産業用ロボットでは目的の動作を設定するためにロボットの専門知識が必要であったが、“MELFA ASSISTA”は専門知識を持っていない新規ユーザーをターゲットにしている。このため、“誰でも簡単に使える”ことを目的に、ビジュアルプログラミングや対話形式の初期設定やビジョン設定などでロボットの専門知識がなくても直感的な画面操作で“見て”“取って”“運ぶ”というロボットの動作を実現する“MELFA ASSISTA”用のロボットエンジニアリングソフトウェア“RT VisualBox”を開発した。

### 2.3.1 ビジュアルプログラミング

当社の産業用ロボット“MELFA FRシリーズ<sup>(1)</sup>”では、プログラムを専用のプログラミング言語“MELFA BASIC”で記述して動作させる。そのためには、この言語仕様を理解して専用の命令を覚える必要があった。この専門知識を習得することなくプログラミングできるようにするために、“RT VisualBox”では専用の命令に対応した命令ブロックを用意した。プログラミングはこれらブロック群の中から目的の動作をするブロックを選んでドラッグアンドドロップで配置するという操作を繰り返すだけで行うことができる。また、命令ブロックごとに詳細設定画面を持たせ、詳細な命令の指定はこの画面から可能にしている。今までロボットを使用したことのないユーザーをターゲットにするため、命令ブロックは、移動、ハンド開閉、信号出力、分岐など基本的な動作命令10個に限定し、動作プログラム

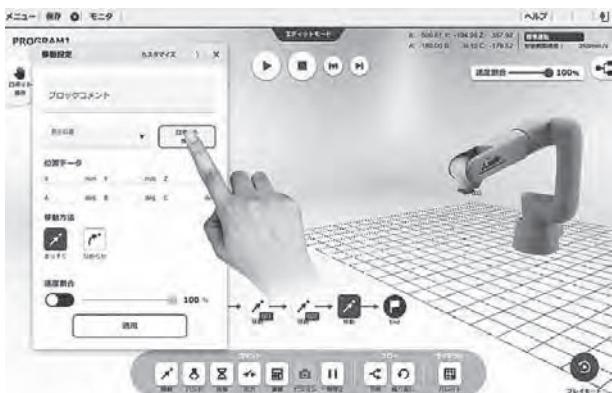


図5. プログラミング画面

を簡単に作成できるようにした。図5にプログラミング画面を示す。

### 2.3.2 対話形式による簡単設定

“MELFA ASSISTA”をユーザーごとの環境(据付け方向や取り付けたハンドなど)で使用してもらうためには、その環境に合わせた適切なパラメータを設定する必要がある。この設定を簡単に行えるように“RT VisualBox”を初めて“MELFA ASSISTA”に接続した場合には、対話形式の初期設定画面を表示し、指示に従って値を設定していくだけで必要な設定が完了する仕組みにした(図6)。例えばハンドの選択画面では、ユーザーが取り付けたハンドを画面から選択することで、ハンド仕様に従ったパラメータが自動で設定される。これによって、ロボットが動作するための各種設定が簡単に行えるようになっている。

またビジョンセンサを使ったワーク認識・把持動作も同様に、ビジョン設定画面に従って設定を進めるだけで実現可能である(図7)。従来はビジョンセンサ専用のエンジニアリングソフトウェアでも設定・プログラムする必要があり、ロボットエンジニアリングソフトウェアと双方のソフトウェアを行き来しながら調整する必要があった。“RT VisualBox”で、当社のビジョンセンサ“MELSENSOR”との組合せでは、ビジョンセンサの認識設定・調整とビジョンを使ったロボット動作プログラムの作成を一つのソフトウェアでできるようにし、立ち上げ工数の削減を可能にしている。

なお複雑なプログラミングや詳細な設定を行う場合には、既存のMELFA FRシリーズ用のロボットエンジニアリングソフトウェア“RT ToolBox3”も使用可能である。

### 2.4 導入の容易化

ロボットはシステムとしての導入が求められるため、ロボットだけではなくシステムとしての立ち上げ容易化も必要とされる。簡単に“MELFA ASSISTA”を導入できるように、次に述べるメカ構造や仕組みを用意した。



図6. 初期設定画面



図7. ビジョン設定画面

#### 2.4.1 アーム内配線・配管

ロボットに様々な作業をさせるために、ロボットに電動ハンドやエアハンド、ビジョンセンサなどを用途に合わせて装着する必要があるが、これらを制御するための配線・配管をロボットアーム内に実装することによって、簡単にハンドやセンサと接続することが可能になっている。

#### 2.4.2 パートナー連携

“MELFA ASSISTA”的発売に伴い、MELFAロボットのパートナー会の一つとして協働ロボット専用のパートナー会を発足した。パートナー各社が開発したハンドやカメラなどの周辺機器との連携や、ユーザーニーズに応える製品開発などを進めて、更なる使い勝手向上を図っていく。

## 3. むすび

今回開発した協働ロボット“MELFA ASSISTA”的特長について述べた。今後は協働ロボットを更に市場に浸透させるために機能の充実化を図っていく。

## 参考文献

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

## レーザ加工機へのAI適用と最新加工技術

Application of Machine Learning to Laser Processing System and Latest Processing Technique

### 要 旨

レーザ加工機は、多くの産業分野に適用されている。また、近年では省エネルギーや生産性向上の観点から、ファイバーレーザ加工機が注目を集めている。一方で、労働人口が減少する中、製造業としても加工作業の省人化と工程の自動化が求められており、周辺システムとの連携でも継続運転と安定加工の維持が重要になる。

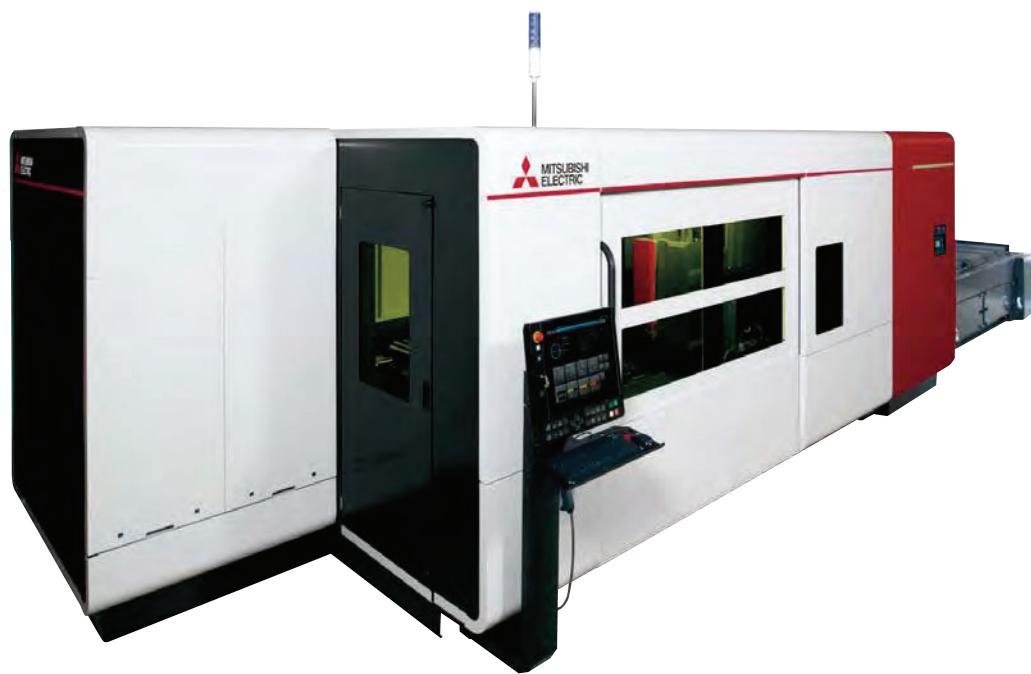
このような市場背景の中、三菱電機は“止まらない加工機”をコンセプトにした新型二次元ファイバーレーザ加工機“ML3015GX-Fシリーズ”（以下“GX-F”という。）を開発した。GX-Fでは、AI技術、新型発振器、ガス流制御技術を差別化技術の三本柱としている。

一つ目のAI技術では“高い加工安定性と信頼性”を実現

するため、加工の良否判定を自動で実施し、その結果に合わせて加工条件を自動修正するAIアシスト機能を開発した。また、加工不良が発生した場合に加工ノズルを観測し、ノズル起因の不良を取り除くAIノズルモニタ機能を開発した。

二つ目の技術の柱である新型発振器は、ズーム光学系を内蔵した加工ヘッドと併用することで、最適なビームを提供し、GX-Fの加工性能を支えている。

三つ目のガス流制御技術では“AGR(Advanced Gas Reduction)-eco”を開発し、加工で必要になるガスの消費量を抑え、ランニングコストを低減する技術を搭載した。



ML3015GX-Fシリーズ

### 新型二次元ファイバーレーザ加工機GX-F

“止まらない加工機”をコンセプトにした新型二次元ファイバーレーザ加工機GX-Fを開発した。GX-Fでは①高い加工安定性と信頼性、②高速加工・低ランニングコスト、③省人化と加工の自動化を開発重点項目とし、加工安定性と生産性の向上を実現した。

## 1. まえがき

二次元レーザ加工機は飛躍的な技術進歩によって、製造現場に不可欠な工作機械としての地位を確立するに至った。さらに加工技術の急速な進歩によって、切断適用範囲が拡大している。

一方、ユーザー環境下では、使用材料の品質差異や消耗品の劣化等によって加工停止が発生する場合があり、レーザ加工機の稼働率を下げる要因になっている。また、近年は労働人口の減少や高齢化に伴い、加工機の操作方法やレーザ加工に精通した熟練工も減少している。そのため、レーザ加工機の生産性を向上させつつ、熟練工に頼らずにその生産性を安定して提供できるレーザ加工機が求められている。

これらの市場要求に対して、当社は高次元な自動化ソリューションの提供を実現する二次元ファイバーレーザ加工機GX-Fを開発した。

本稿では、GX-Fに搭載したAI技術、及び新型発振器とAGR-ecoで実現した最新加工技術について述べる。

## 2. GX-Fシリーズの主な仕様と開発コンセプト

GX-Fの主な仕様を表1に示す。GX-Fでは、“止まらない加工機”をコンセプトに、従来機の“ML3015eX-Fシリーズ”にはなかったAI機能による稼働率向上、新型発振器とAGR-ecoによる生産性向上とランニングコスト低減を実現した。

## 3. レーザ加工機へのAI適用

レーザ加工は、レーザ発振器から出射された光を加工ヘッドで集光し、加工対象に照射することで行われる。レーザ光を加工対象である金属に照射する際に、加工ヘッドの先端に取り付けられているノズルからアシストガスを吹き付け、速度を一定に保ちながら加工を実施する。切断加工は、様々なパラメータによって設定された加工条件にのっとって実施される。加工機には、材質や板厚に適応した標準的な加工条件が設定されているが、加工中の材料へ

の蓄熱によって加工条件が加工対象物に適合しなくなる場合や加工中にノズルがスパッタ等によってダメージを受けた場合に加工不良が発生する。そのため、作業者は加工中の様子を確認し、知識と経験から適宜加工条件を修正して、定期的にノズルを目視確認し、交換することによって生産性を保っていた。

GX-Fでは、加工の良否判定と加工条件の自動修正を行うAIアシスト機能と、加工ノズルの状態判定とノズルの自動交換を行うAIノズルモニタ機能を開発した。

### 3.1 AIアシスト機能

AIアシスト機能は、加工中に発生する光と音から加工良否判定及び加工条件の自動修正をする機能である。この機能を使用中に良加工と判定された場合、生産性を上げるように加工速度を修正する。一方で、加工不良と判定された場合は、自動的にノズルの清掃や交換処理、加工条件へのフィードバックを実施し、加工不良及び加工停止を抑制する(図1)。

AIアシスト機能には、機械学習技術の“教師あり学習”を採用している。加工板厚ごとに良加工と様々な不良加工のデータをあらかじめ大量に取得し、AIに学習させていく。AIアシスト機能では、加工中の発光から良否を判定するAIと発生音から良否を判定するAIの二つのAIを搭載しており、判定結果を複合させて、最終的な評価値として出力する。光から判別するAIの判別器は、ディープラーニングを使用しており、音から判別するAIの判別器は混合ガウスモデルを使用している(図2)。

### 3.2 AIノズルモニタ機能

AIノズルモニタ機能は、ノズルの状態判定を自動で行い、加工に影響あるダメージが発生した場合はノズル交換を自動で行う機能である。ノズル交換や検査を行うことで加工不良を低減すると同時に、作業者の段取り時間を短縮させる。この機能が動作すると、①加工機内のカメラでノズルを撮影し、②撮影画像の切り出し(加工)を行い、③学習済みモデルを読み出してAIによるノズル診断を行うという処理フローで診断を実施する。

AIノズルモニタ機能には、機械学習技術の“教師あり学習(分類)”を採用している。良状態のノズルと傷が入った

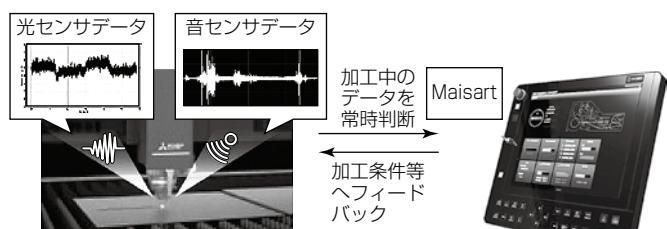


図1. AIを活用した加工良否判定技術

表1. ML3015GX-Fの主な仕様

項目	新機種ML3015GX-F	従来機ML3015eX-F
移動方式	光走査方式	
早送り速度(m/min)	合成170	合成140
加速度	XY : 1.5G Z : 1.5G	XY : 1.0G Z : 1.5G
ストローク (mm)	X軸	3,100
	Y軸	1,550
	Z軸	120
		150

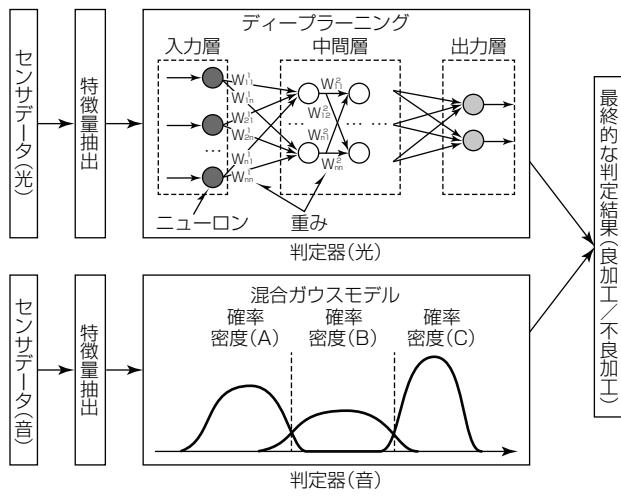


図2. センサデータによる良否判定フロー

不良ノズルの写真を取得し、AIに学習させた。判別するAIの判別器は、画像に特化したニューラルネットワークである畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を使用している。診断結果は0～1(0：正常、1：異常)として出力される。

図3はCNNがスコア算出時に重要視した箇所(判断根拠)をGrad-CAM(Gradient-weighted Class Activation Mapping)によるヒートマップ形式で可視化したものである。白く“もや”がかかっている部分がCNN側で重要だと判定している箇所である。人間との判断箇所と乖離(かいり)しないように判別器の調整やデータ増しを実施しながら製品化を実現した。

### 3.3 AI技術適用による加工安定性向上効果

材料表面状態が悪くて加工不良が発生しやすい素材を加工した際には、加工不良が高頻度で発生して加工後の手直し工程に多くの時間を割かなければならぬ。さらに加工中にノズルが損傷する可能性もあり、加工不良の割合が更に上昇する。

図4はAI技術を適用した場合とそうでない場合の加工安定性向上効果を試算したシミュレーション結果である。時間は加工時間の見積りから算出している。AI技術を適用した場合は、材料表面状態が悪い場合にもAIアシスト機能によって加工速度を低下させ、加工不良発生率を大幅に低減可能になる。加工速度を低下させることで切削時間

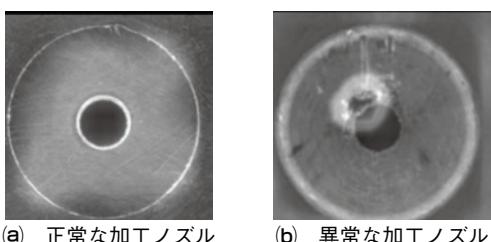


図3. ノズル良否判定の重要な箇所の可視化

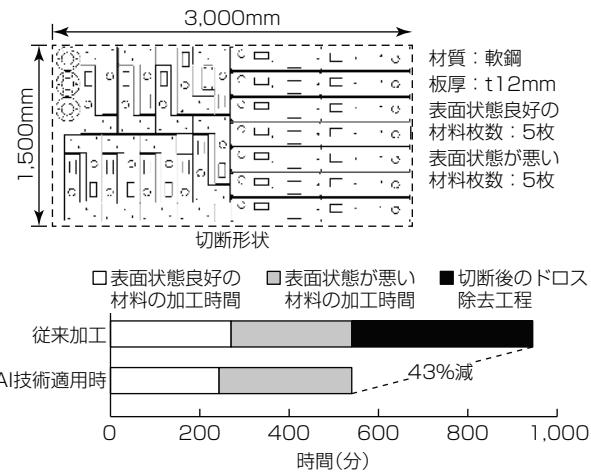


図4. AI技術適用による加工安定性向上効果

は延びるものその後処理が不要になり、トータルでの生産性は向上する。さらに、ノズル損傷による加工不良発生時にもAIアシスト機能による加工不良の検知とAIノズルモニタ機能によってノズルの自動交換が可能になり、加工安定性を大幅に向上させることができることが可能になる。

## 4. 最新加工技術

ここまでGX-Fに搭載したAI技術について重点的に述べたが、GX-Fでは、加工安定性の向上だけではなく、新型発振器とガス流制御技術AGR-ecoによってレーザ加工機の加工能力向上も実現した。この章ではそれら最新の加工技術について具体的に述べる<sup>(1)</sup>。

### 4.1 軟鋼厚板の高速ピアス

中厚板以上の軟鋼酸素加工では、ピアス(切削開始前の穴加工)の時間が長く、総加工時間に占めるピアス時間の割合が大きくなる。特に穴加工が多くピアス回数が多い場合にはその割合が更に増加する。つまり、生産性を向上させるためにはピアス時間の短縮が重要になる。

GX-Fでは新型発振器の高速応答性、ズームヘッドによる高速ビーム制御技術によって、ピアス時間を大幅に短縮した。軟鋼t25mmではピアス時間を従来比77%減の0.8秒まで短縮した(図5)。

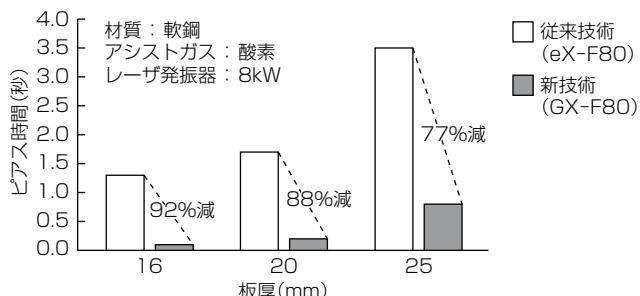


図5. 軟鋼厚板のピアス時間

## 4.2 小穴加工性能の向上

厚板の加工では、レーザ加工機以外にプラズマ切断機とガス切断機が使用されることが一般的である。しかし、プラズマ切断機とガス切断機は切断幅が大きく、切斷材料の板厚が最小加工穴直径の目安になる。例えば板厚25mmの軟鋼の場合には最小加工穴直径は25mm程度になる。そこで小穴加工については切断工程後に機械加工による穴加工が必要になる。一方、レーザ加工は集光されたレーザを用いて加工するため小穴加工が可能であるが、加工部近傍にピアス時の溶融物が堆積し、さらに加工時の入熱によって異常燃焼が発生するため、板厚の約1/2以下の小穴加工は困難であった。GX-Fではプラズマ切断機とガス切断機を凌駕(りょうが)するために、小穴加工性能の更なる向上を図った。軟鋼厚板の高速ピアスによって加工点の入熱量を低減させるだけでなく、小穴加工に最適なビーム成形技術とガス流制御技術によって、軟鋼t25mmで板厚の1/8以下となる直径3mmの小穴加工が可能になった(図6)。

## 4.3 ランニングコスト削減技術

レーザ加工中は、アシストガスをレーザ光と同軸方向に噴射する。アシストガスは加熱・溶融させた材料を切断溝から排出するために使用され、加工の目的や用途によって酸素や窒素などを使い分ける。

近年、ファイバーレーザの高出力化が著しく進んでおり、高出力ファイバーレーザを用いた上でアシストガスに窒素を使用することで加工速度を大幅に向上させることが可能になった。しかし、窒素を用いた加工ではガス代がランニングコストに占める割合が高く、生産コストを増大させてしまうことが課題であった。GX-Fでは、図7に示すように、

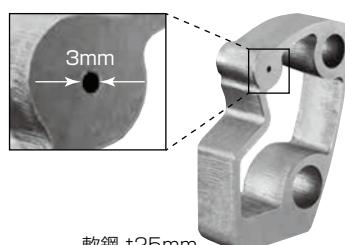


図6. 軟鋼t25mmの小穴加工

加工点のシールドに必要な領域だけ窒素を供給し、それ以外の部分を安価なエアに置き換えた。溶融物の除去に必要なアシストガスの機能を確保しつつ、窒素ガスの消費量を大幅

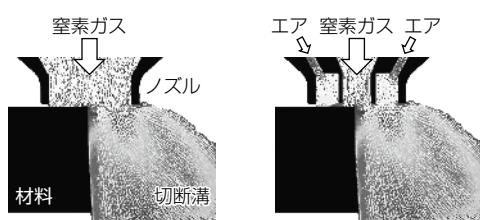


図7. AGR-ecoによる窒素ガス削減方法

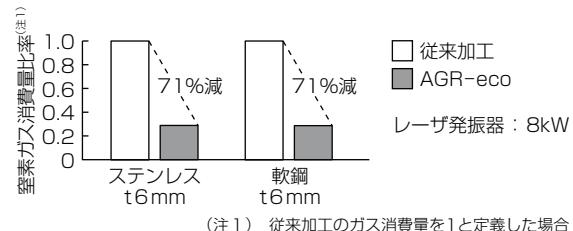


図8. AGR-ecoによる窒素ガス消費量削減効果

各種アシストガスを適用した際の切断面比較

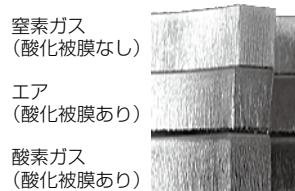


図9. 新型発振器による純銅の窒素切断

に削減可能なガス流制御技術AGR-ecoを開発した。

AGR-ecoはステンレスや軟鋼の窒素切断に適用可能であり、通常のレーザ加工と同様に、薄板から厚板まで適用が可能である。図8にAGR-ecoによる窒素ガス消費量削減効果を示す。軟鋼t6mm、ステンレスt6mmで従来加工と比較して窒素消費量を71%削減可能になった。

## 4.4 純銅の窒素切断

ファイバーレーザで高反射材の銅の切断時には一般的に、アシストガスに酸素やエアを使用する必要がある。一方で銅の切断部品は電気部品等に使用されることが多く、その場合、切断後に酸化被膜を除去する必要がある。窒素を使用することで切断面の酸化を抑制可能だが、加工点からの反射光によって、加工中に加工ヘッドやレーザ発振器が損傷するという課題がある。GX-Fでは反射光除去装置を持つ新型発振器を開発し、さらにノズルの冷却制御も開発することで、純銅の窒素切断を可能にし、レーザ加工の適用範囲拡大を実現した(図9)。

## 5. むすび

新型ファイバーレーザ加工機“ML3015GX-Fシリーズ”に搭載したAI技術と最新の加工技術について述べた。ファイバーレーザ加工機の技術の進歩は著しく、今後も更なる技術革新が進んでいくものと思われる。加工機性能の向上だけでなくユーザーのフレキシブル生産をサポートするために、段取りや仕分などの非加工時間の削減にも着目し、様々な生産現場のニーズに積極的に応えていく。

## 参 考 文 献

- (1) 齊藤善夫：三菱電機における最新レーザ加工技術、第84回レーザ加工学会講演論文集(2016.1), 139~144 (2016)

# 省エネ支援アプリケーション“EcoAdviser”

## 省エネ分析・診断アプリケーション

松本裕樹\*  
Hioki Matsumoto  
坂本直聰\*  
Naotoshi Sakamoto

Energy Saving Support Software "EcoAdviser" Energy Saving Data Analysis and Diagnosis Software

## 要旨

近年、国際的な目標である持続可能な開発目標(SDGs)への取組みがより一層求められている。その中でも製造業での使用エネルギーの削減は重要な取組みの一つである。三菱電機はこれまで、充実したグラフ機能でエネルギー使用量の見える化や分析を容易にした省エネ支援アプリケーション“EcoAdviser”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EcoAdviser“省エネ分析・診断アプリケーション”は、当社のAI技術“Maisart”を活用し、エネルギーロス抽出やエネルギーロス要因診断によって省エネ活動のPDCA(Plan Do Check Action)をトータルサポートする。

省エネ分析・診断アプリケーションは次の三つの機能から成る。

## (1) エネルギーロス抽出機能

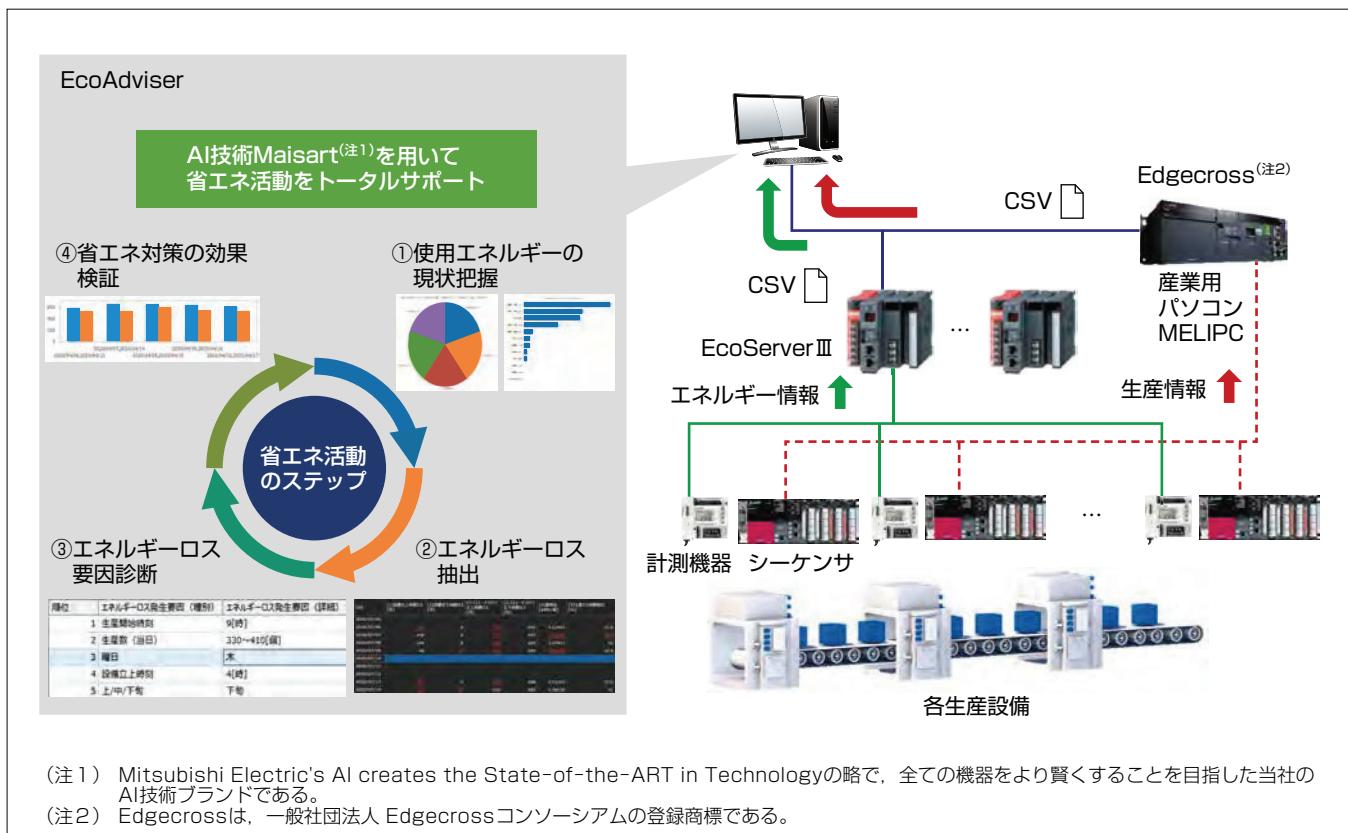
設備の電力量及び生産数の時系列データを自動収集し、“Maisart”で設備の動作状況を推定することで、エネルギーロスを自動で定量化する。

## (2) エネルギーロス要因診断機能

エネルギーロスの発生要因を“Maisart”が自動で診断し、エネルギーと相関が高い項目(日時、設備、製造品目等)をランク表示することで、エネルギーの発生要因を明確化する。

## (3) 省エネ対策の効果検証機能

生産現場での省エネ対策実施後の効果を簡単に把握するために、対策実施前後のグラフ比較・効果表示をする。



## 省エネ分析・診断アプリケーションのシステム構成

EcoAdviserは省エネデータ収集サーバー“EcoServer<sup>III</sup>”又はエッジコンピューティングプラットフォームEdgecrossのCSV(Comma Separated Values)ファイルを自動収集可能で、収集したエネルギー情報・生産情報をグラフやダッシュボード機能によって見える化することで容易に現状把握を可能にした。今回開発した省エネ分析・診断アプリケーションは、当社のAI技術“Maisart”を活用した、エネルギー抽出、エネルギーロス要因診断、省エネ対策の効果検証の三つの機能によって、省エネ活動のPDCAのトータルサポートを可能にする。

## 1. まえがき

近年、国際的な目標である持続可能な開発目標(SDGs)への取組みがより一層求められている。その中でも使用エネルギーの削減はSDGs達成に向けた取組みの一つであり、特にエネルギー消費の大きい製造業での改善は重要な要素である。

当社はこれまで、充実したグラフ機能によってエネルギー使用量の見える化や分析を容易にした省エネ支援アプリケーション“EcoAdviser”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EcoAdviser省エネ分析・診断アプリケーションは、当社のAI技術“Maisart”を活用し、エネルギーロス抽出やエネルギーロス要因診断によって省エネ活動のPDCAをトータルサポートする。

## 2. 省エネ分析・診断アプリケーションの仕様

今回開発した省エネ分析・診断アプリケーションの主な仕様を表1に示す。

表1. 省エネ分析・診断アプリケーションの主な仕様

項目	仕様
接続機器	接続台数 最大20台  対象機器 (収集元) EcoServerⅢとEdgecrossヒストリカルデータインターフェースのCSVファイル
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)
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 グラフパネル(グラフ機能で作成) 診断パネル(エネルギーロス抽出機能、エネルギーロス要因診断機能、省エネ対策の効果検証機能で作成) 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	帳票作成 Excel <sup>(注3)</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)
エネルギーロス抽出機能	機能 設備の電力量及び生産数の時系列データから設備の動作状況を推定し、五つの視点“省エネ重点5視点”によるエネルギーロスを自動算出  登録設備数 最大50点
エネルギーロス要因診断機能	機能 エネルギーロスの発生要因を“Maisart”が自動で診断し、エネルギーロスと相関が高い項目(日時、設備、製造品目等)をランキング表示  追加情報設定登録数 最大20点/設備
省エネ対策の効果検証機能	省エネ対策実施前後のデータを比較し、省エネ対策実施による使用電力量や省エネ視点の改善効果を確認

(注3) Excelは、Microsoft Corp.の登録商標である。  
HTTP : HyperText Transfer Protocol

## 3. 省エネ分析・診断アプリケーションの構成

従来のEcoAdviser<sup>(1)</sup>はEcoServerⅢやEdgecrossのCSVファイルから収集したデータのグラフ化等の機能で使用エネルギーの現状把握を支援することが可能であった。

EcoAdviserの今回開発した省エネ分析・診断アプリケーションは、収集した設備の電力量及び生産数の時系列のデータを基にした次に述べる“エネルギーロス抽出”“エネルギーロス要因診断”“省エネ対策の効果検証”の三つの機能で構成しており、省エネ活動のPDCAを強力にサポートする。

### (1) エネルギーロス抽出機能

従来は、どういった視点でロスを捉えるのかという難しさや、日々変化するロスを発見する手間など、ロスの抽出は非常に困難であった。その課題に対して、設備の電力量及び生産数の時系列データを自動収集し、“Maisart”で設備の動作状況を推定することで、エネルギーロスを自動で抽出して見える化する機能を実現した。

### (2) エネルギーロス要因診断機能

エネルギーロスの発見を具体的な改善につなげるには、現場の詳細な運用状況を、膨大なデータと関連付けて確認する必要があり、人手で行うには限界があった。その課題に対して、エネルギーロスの発生要因を“Maisart”で自動診断する機能を実現した。

### (3) 省エネ対策の効果検証機能

省エネ対策実施前後のデータを比較し、対策実施による使用電力量の削減量や削減金額などの効果を見える化する機能を搭載した。

## 4. 省エネ分析・診断アプリケーションの特長と実現技術

### 4.1 エネルギーロス抽出

当社が長年培ってきたノウハウから五つの視点“省エネ重点5視点”に着目し、エネルギーロスを自動算出することを可能にした。また、エネルギーロスの算出結果に対して、平常時との比較による強調(赤字)表示や各視点でのエネルギーロスの時系列グラフ等、エネルギーロスを簡単に見える化する機能を搭載した。

#### 4.1.1 “省エネ重点5視点”でエネルギーロスを自動算出

設備の電力量及び生産数の時系列データを自動収集し、“Maisart”で設備の動作状況を推定することで、次の省エネ重点5視点での日々のエネルギーロスの自動算出を可能にした(図1)。

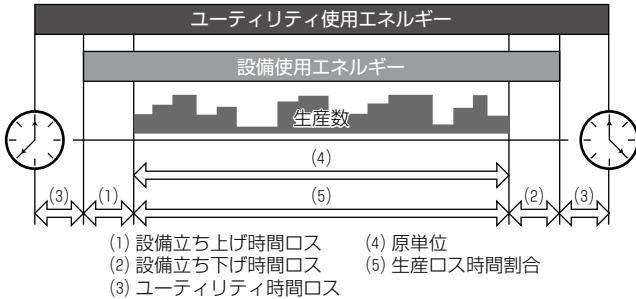


図1. 省エネ重点5視点

- (1) 設備立ち上げ時間ロス：生産設備立ち上げ～生産開始の時間
- (2) 設備立ち下げ時間ロス：生産終了～生産設備立ち下げの時間
- (3) ユーティリティ時間ロス：ユーティリティ立ち上げ～生産設備立ち上げの時間、生産設備立ち下げ～ユーティリティ立ち下げの時間
- (4) 原単位：生産開始～生産終了の原単位
- (5) 生産ロス時間割合：生産開始～生産終了の非生産時間の割合

エネルギーロス抽出機能は省エネ重点5視点によって抽出した日々のエネルギーロスを図2のように表示し、ユーザーのエネルギーロスの把握を簡単にした。

#### 4.1.2 抽出したエネルギーロスの見える化

エネルギーロス抽出機能は図2で示した省エネ重点5視点の結果に加えて、平常時との比較による悪化箇所の強調(赤字)表示機能、各視点でのエネルギーロスの時系列グラフの表示機能及びエネルギーロスの設備順でのランキング表示機能によって、エネルギーロスを簡単に確認可能にした(図3)。

#### 4.2 エネルギーロス要因診断

エネルギーロスの発見を具体的な改善につなげるために、対策すべき要因を明確化するエネルギーロス要因診断機能を搭載した。

また、ユーザーの省エネ活動を支援するため、要因診断の結果として抽出されたそれぞれの項目に対して、改善したときの期待される改善効果を年間換算の金額で表示する、期待改善効果表示機能等の活動支援機能を搭載した。

##### 4.2.1 “エネルギーロス要因診断”で対策を明確化

エネルギーロスの発生要因を“Maisart”が自動で診断し、エネルギーロスと相関が高い項目(日時、設備、製造品目等)をランキング表示することで、エネルギーロスの発生要因を明確化することを可能にした。例えば、設備立ち上げ時間ロスの要因診断を行い、図4のように“月曜日”が項

日付	(1)設備立ち上げ時間ロス [分]	(2)設備立ち下げ時間ロス [分]	(3-1)ユーティリティ 立ち上げ時間ロス [分]	(3-2)ユーティリティ 立ち下げ時間ロス [分]	(4)原単位 [kWh/個]	(5)生産ロス時間割合 [%]
2020/07/05					4,529.45	35.6
2020/07/06	122	0	210	695	4,741.82	47.2
2020/07/07	109	0	210	693	4,598.13	42
2020/07/08	109	0	210	695	4,598.13	42
2020/07/09	98	17	210	699	4,610.08	42.9
2020/07/10						
2020/07/11						
2020/07/12						
2020/07/13	(1)	0	210	698	4,531.91	37.6
2020/07/14	(1)	210	685	4,585.36	41	

図2. エネルギーロスの自動算出画面

エネルギーロスの設備順でのランキング表示  
省エネ重点5視点の結果を表示  
(平常時との比較による悪化箇所の強調(赤字)表示)



図3. エネルギーロス抽出機能の画面レイアウト

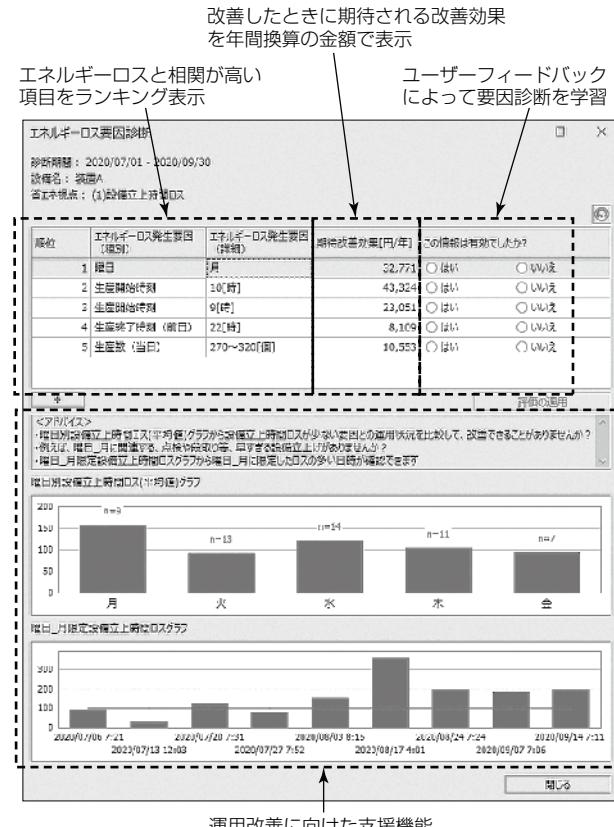


図4. エネルギーロス要因診断機能の画面レイアウト

目として表示された場合、ユーザーは週明けの該当設備の立ち上げの時刻の運用にロスがないかを確認でき、具体的な対策を実施できる。

#### 4.2.2 充実した活動支援機能

ユーザーの省エネ対策を支援するため、エネルギーロス要因診断の結果に加えて、次の付加機能を搭載した。

##### (1) 期待改善効果表示機能

要因診断の結果として抽出されたそれぞれの項目に対して、改善したときの期待される改善効果を年間換算の金額で表示する。

##### (2) ユーザーフィードバックによる要因診断の学習機能

“この情報は有効でしたか？”にユーザーがはい／いいえの評価を行うことで、“Maisart”が有効性を学習し、次回以降の診断へ反映する。これによって、ユーザーの現場に即した要因診断への進化が可能になった。

##### (3) 運用改善に向けた支援機能

例えば“月曜日”を選択した場合、月曜日の運用から想定される運用改善アドバイスの表示をすることで、ユーザーに気づきを与えることを可能にした。また、他の曜日と比較したエネルギーロスの比較グラフの表示や、“月曜日”に限定したエネルギーロスの時系列グラフの表示によって、更なる気づきを与えることを可能にした。

なお、エネルギーロス発生要因として診断する項目を表2に示す。さらに、ユーザーが追加したい任意の情報(生産

表2. 要因診断項目

診断項目	詳細
設備立ち上げ時刻	設備が立ち上がった時刻(0~23時の1時間単位)
設備立ち下げ時刻	設備が立ち下がった時刻(0~23時の1時間単位)
生産開始時刻	生産が立ち上がった時刻(0~23時の1時間単位)
生産終了時刻	生産が立ち下がった時刻(0~23時の1時間単位)
生産終了時刻(前日)	前日の生産が立ち下がった時刻(0~23時の1時間単位)
ユーティリティ立ち上げ時刻	ユーティリティの立ち上げ時刻(0~23時の1時間単位)
ユーティリティ立ち下げ時刻	ユーティリティの立ち下げ時刻(0~23時の1時間単位)
生産ロス時間割合の悪化時刻	生産開始から生産終了までの生産ロス時間割合を1時間区切りで計算したときの最も高い時刻(0~23時の1時間単位)
原単位の悪化時刻	生産開始から生産終了までの原単位を1時間区切りで計算したときの最も高い時刻(0~23時の1時間単位)
曜日	対象日の曜日(月曜、火曜、水曜、木曜、金曜、土曜、日曜)
稼働日種別	“前日：稼働日 翌日：稼働日”， “前日：稼働日 翌日：非稼働日”， “前日：非稼働日 翌日：稼働日”， “前日：非稼働日 翌日：非稼働日”に分類
上／中／下旬	1~10日⇒上旬, 11~20日⇒中旬, 21日⇒下旬
月	対象日の月
生産数(前日)	前日の生産数
生産数	当日の生産数
生産停止回数	当日の生産開始～生産終了まで生産0のまとまりの回数
生産停止時間	当日の生産開始～生産終了まで生産0のまとまりごとの時間の合計値

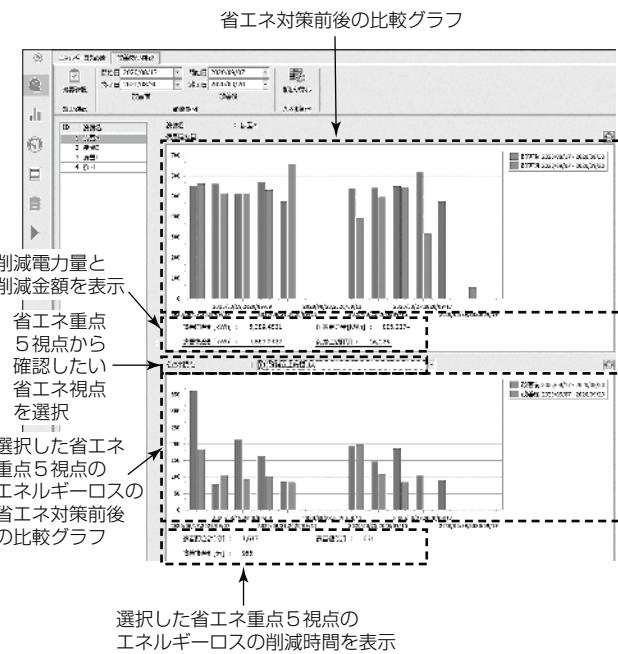


図5. 省エネ対策の効果検証機能の画面レイアウト

品種・エラー情報・温湿度等)も追加設定して診断することを可能にした。様々な項目を診断することで、人手では見つけられない要因の発見に貢献できる。

#### 4.3 省エネ対策の効果検証

従来は省エネ対策前後の効果把握をする際には、膨大なデータから対策前後の期間を抽出して集計及びグラフ作成をする必要があった。それに対して、省エネ対策の効果検証機能は対策実施前後の期間を選択するだけで、対策実施前後の比較グラフや、削減電力量・削減金額・選択した省エネ重点5視点のエネルギーロスの削減時間等を表示する(図5)。

これによって、ユーザーは省エネ対策効果の確認や見直しを行い、省エネ活動を継続的に実施できる。

## 5. むすび

省エネの見える化から自動診断への進化を目指し、エネルギー抽出やエネルギー要因診断などの機能によって省エネ活動のPDCAをトータルサポートする、省エネ支援アプリケーションEcoAdviserの省エネ分析・診断アプリケーションについて述べた。

今後は、クラウド技術とAI技術の連携を行い、多種多様な工場から収集したデータを用いて学習する機能を付与することで、省エネ活動に一層貢献していく。

## 参 考 文 献

- 武田泰治：省エネ支援アプリケーション“EcoAdviser”，三菱電機技報，94，No.4，248~251 (2020)

## 電子式電力量計“M8FMシリーズ”

Electronic Watt-hour Meter "M8FM Series"

平方健吾\*

Kengo Hirakata

前田雄輝\*

Yuki Maeda

### 要旨

近年、人手不足の解消や働き方改革での業務効率化を目的に自動検針システムの需要が高まっている。自動検針システムに対応する電力量計(以下“計器”ともいう。)のラインアップを強化するため、スマートメーター機能(30分値機能、通信機能)を搭載した“M8FMシリーズ”を開発した。主な特長は次のとおりである。

(1) MODBUS<sup>(注1)</sup> RTU(Remote Terminal Unit)通信機能搭載

MODBUS RTU通信によって、上位システム(シーケンサなど)から計測データ(電力量、電流、電圧など)及び計器管理データ(計器の定格、製造番号、誤結線判別情報、検定有効期限など)を取得することが可能である。

(2) 30分ごとの電力量管理

30分ごとの電力量(30分タイムデータ)を保持(当日含め45日分)する機能を搭載した。上位装置からMODBUS RTU通信で取得することで、時間帯別の使用電力量の確認が可能である。

(3) 双方向計量計器のラインアップ

従来、受電電力量と送電電力量を計測する場合、電力量計が2台必要であった。双方向計量計器は、1台で受電電力量と送電電力量を計測することが可能である。

(4) 設置前・更新後の計量値確認が可能

別売の電池モジュールを接続することで、計器が無通電の状態でも、計量値の読み取り及び設定が可能である。

(注1) MODBUSは、Schneider Electric USA, Inc.の登録商標である。



M8FM-N3LTR形  
(单方向計量計器)



M8FM-N3LT形  
(双方向計量計器)

スマートメーター機能(30分値機能、通信機能)搭載  
M8FMシリーズ

### 電子式電力量計“M8FMシリーズ”

M8FMシリーズは、オフィスビル・商業施設の分電盤内に設置され、電気料金取引に使用される計器である。スマートメーターの機能である30分値や通信機能を搭載しており、検針業務の効率化を図る自動検針システムに適応した計器である。

## 1. まえがき

人手不足の解消や働き方改革での業務効率化を目的に自動検針システムの需要が高まっている。自動検針システムに対応する電力量計のラインアップを強化するため、スマートメーター機能(30分値機能、通信機能)を搭載したM8FMシリーズを開発した。この計器は、従来の電子式電力量計“M8UMシリーズ”と取付け互換・配線互換があり、M8UMシリーズからの更新が容易である。

## 2. M8FMシリーズ

### 2.1 M8FMシリーズの仕様

M8FMシリーズの主な仕様を表1に示す。

電子式電力量計“M8UMシリーズ”と同様に、単相2線式、単相3線式、三相3線式をラインアップした。それぞれの定格に対して、单方向計量計器又は双方向計量計器を選択することが可能である。

### 2.2 M8FMシリーズのコンセプト

#### 2.2.1 スマートメーター機能を搭載

スマートメーターの機能である電力量タイムデータ(30分値／10分値／1分値)の保持機能を搭載した。MODBUS RTU通信で電力量タイムデータを取得することで、きめ細かなエネルギー監視・時間帯別計量が可能である(図1)。

表1. M8FMシリーズの主な仕様

形名	M7FM-N3LT(R) <sup>(注2)</sup>		M8FM-N3LT(R) <sup>(注2)</sup>	
相線式	単相2線式			単相3線式、三相3線式
耐候性能	屋内耐候			
定格電流(A)	30	120	/5	30 120 250 /5
計測データ	電力量、電圧、電流、電力、力率			
タイムデータ <sup>(注3)</sup>	30分	30分ごとの計量値指示値を当日含む45日分記憶		
	10分	10分ごとの計量値指示値を当日含む21日分記憶		
	1分	1分ごとの計量値指示値を48時間分記憶		
設定	押しボタンスイッチで設定			
表示	計量値	6桁表示、4方向取付けに対応		
	状態表示	動作・無負荷・逆電流		
表示	誤結線判別	中性線	-	計量値が点滅(単相3線式の場合)
		誤接続相	誤接続がある相を表示	
外形寸法(mm)	W100×H100×D75		W120×H100×D75	W100×H100×D75
質量(kg)	0.5	0.4	0.5	0.9 0.5
停電補償	計量値：停電時に不揮発性メモリに記憶し、復電時に再表示 表示：停電時に消灯 <sup>(注4)</sup> 時計：リチウム電池でバックアップ(累積停電2年間)			

(注2) M7FM-N3LT、M8FM-N3LTは双方計量計器。

M7FM-N3LTR、M8FM-N3LTRは単方向計量計器。

(注3) タイムデータの設定は通信によって行う(初期値:30分)。

(注4) 電池モジュール(別売品)を装着した場合、点灯する。

#### 2.2.2 分電盤の小型化設計に貢献

##### (1) 取付け4方向設定

計器のスイッチ一つでLCD(Liquid Crystal Display)の表示を切り替えることで、縦方向・横方向どちらの向きで取り付けた場合でも、計量値の読み取りが可能である(図2)。

##### (2) 端子ピッチ可変構造(30A/120A定格)

端子ピッチを30mm/25mmで自由に変更することが可能である(図3)。ブレーカの端子ピッチに合わせることで、接続が容易になり、柔軟な盤設計が可能である(出荷時は30mmピッチ)。

##### (3) 250A単独計器のラインアップ

定格電流が250A以下であれば、CT(Current Transformer)の配線が不要である。大容量負荷を計測する場合でも、小型化設計が可能である。

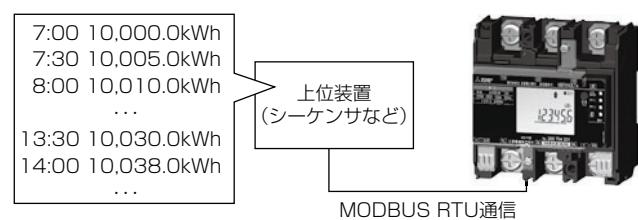


図1. 30分タイムデータ収集

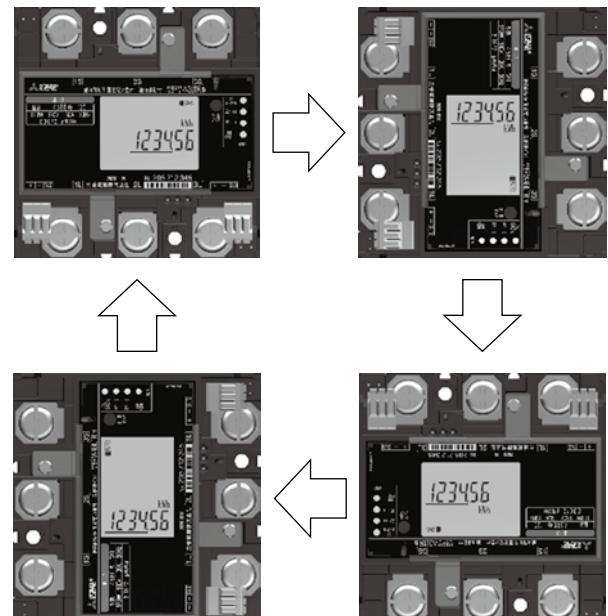


図2. 取付け4方向設定

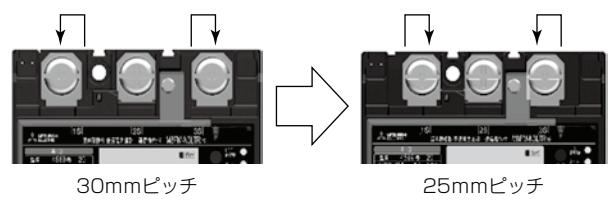


図3. 端子ピッチ可変構造

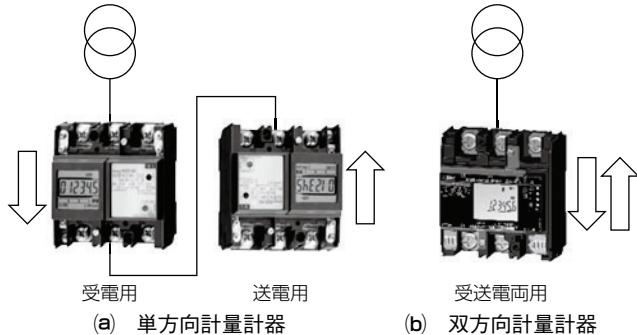


図4. 双方向計量計器のメリット

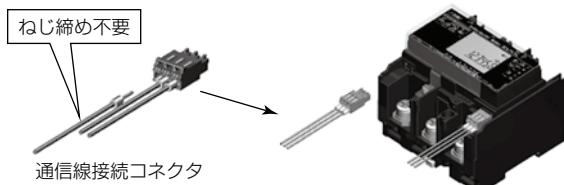


図5. スプリングクランプ端子

①プロードキャストで計器A～Cに  
アドレス設定の電文を一斉送信

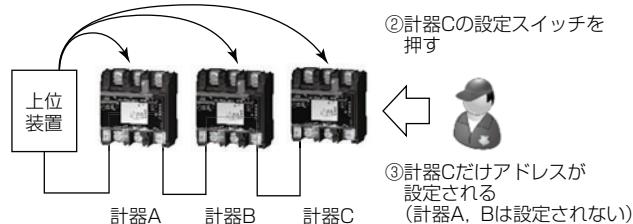


図6. アドレス設定省力化

#### (4) 双方向計量計器のラインアップ

従来、受電電力量と送電電力量を計測する場合、電力量計が2台必要であったが、双方向計量計器では、1台で計測することが可能である（図4）。

### 3. M8FMシリーズの特長及び実現技術

#### 3.1 設置作業の省力化

##### 3.1.1 スプリングクランプ端子の採用

MODBUS RTU通信線接続のコネクタはスプリングクランプ端子を採用した（図5）。単線及びフェルール端子を使用した場合は、ねじ締め不要で、コネクタに差し込むだけであり、通信線の配線作業の省力化に貢献する。

##### 3.1.2 アドレス設定の省力化

MODBUS RTU通信では、端末ごとに別々のアドレスを設定する必要がある。従来、端末1台ずつに対して手作業でアドレスを設定するため、設定作業に時間を要し、設定ミスが発生する可能性があった。M8FMシリーズでは、従来の設定方法に加えて、通信機能を用いた設定方法を実現する。まず、上位装置から設定したいアドレス（電文）をプロードキャストで送信すると、計器の液晶表示が5秒間切り替わる。その間に、計器の設定スイッチを1回押すとアドレスが確定する（図6）。設定スイッチを1回押すだけでアドレスを設定できるため、従来に比べて、アドレス設定作業の省力化を図ることが可能である。

##### 3.1.3 誤接続判別機能の拡張<sup>(1)</sup>

設置時の接続間違いをした場合、正しく計量ができず、課金トラブルが発生する。M8FMシリーズでは、単相3線式での中性線の誤接続や各相の逆電流状態を監視する誤接続判別をサポートする。従来の誤接続判別機能は、液晶表示だけであったため、1台ずつ目視で確認する必要があ

ったが、M8FMシリーズでは、MODBUS RTU通信でも収集可能であるため、誤接続状態を遠隔で一括監視することも可能である。

##### 3.2 封印構造<sup>(1)</sup>

変成器組み合わせ計器の未検定品は、VT(Voltage Transformer)一次電圧／CT一次電流スイッチを2秒間押すことで、設定画面に遷移し、VT一次電圧／CT一次電流の設定を行うことができる。取引・証明用途による検定品計器は、第三者が、勝手に設定を変更できないように、このVT一次電圧／CT一次電流スイッチの封印が必要である。同様に、計器を分解できないように計器内部も封印する必要がある。設定変更の防止と計器分解を防止する封印構造を封印キャップを取り付けることによって可能になる構造にした（図7）。VT一次電圧／CT一次電流スイッチを覆うフロントカバーのリブをスライドさせることで、計器に固定し、封印ねじとリブに検定封印（封印キャップ）を施す。フロントカバーを取り外すためにスライドさせると、フロントカバーのリブがベースの突起に引っ掛かり、一時的に上下方向に持ち上がる。その際、封印キャップがある場合は、リブと封印キャップを干渉させ、上下方向のリブの持ち上がりを制限することで、フロントカバーを取り外せないようにした。仮に、無理やり取り外そうとした場合は、封印キャップが破損する。検定封印での封印キャップが破損されるとその計器の検定は無効になる。

#### 3.3 信頼性向上

##### 3.3.1 不揮発性メモリ2面化による信頼性向上<sup>(1)</sup>

計器の計量値は、電気の料金取引で使用されており、計

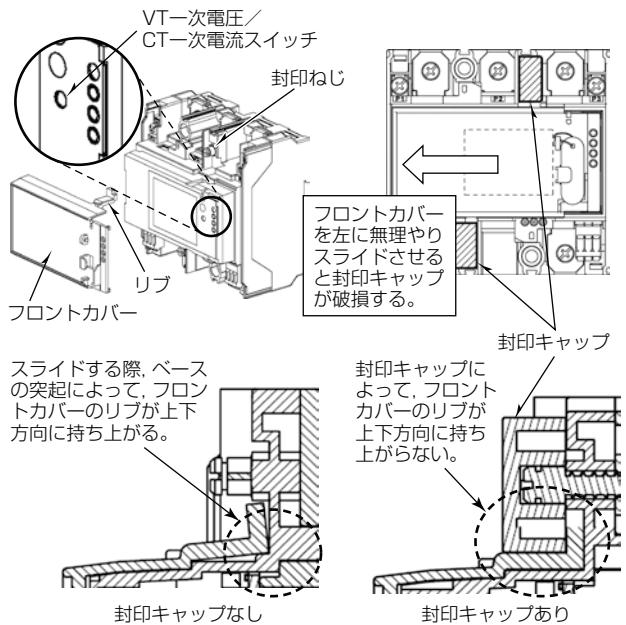


図7. 検定封印構造

量値データが破壊された場合、ユーザーに多大な損害を与えるおそれがある。計量値などのデータを記憶している不揮発性メモリを2面化(ミラーリング)することで、データの信頼性を向上させた(図8)。

### 3.3.2 端子ピッチ可変構造の隙間埋め

従来の端子ピッチ可変構造で、電流線を左右にスライドさせるために、電流線の開口部にわずかな隙間が生じてしまう。そのため、計器内部に異物が混入し、計器の故障や誤動作を引き起こす可能性があった。

M8FMシリーズは、樹脂スペーサという部品を電流線にはめ込み、電流線に合わせてスライドさせることで、開口部の隙間を埋めつつ、端子ピッチ可変構造を実現した。可変ピッチ構造では、電流線をスライドする際、上下方向にもスライドさせる必要がある。樹脂スペーサも上下方向にスライドさせると部品同士が干渉してしまうため、樹脂スペーサの上下方向のスライドはベースのはめ込みによって制限した(図9)。

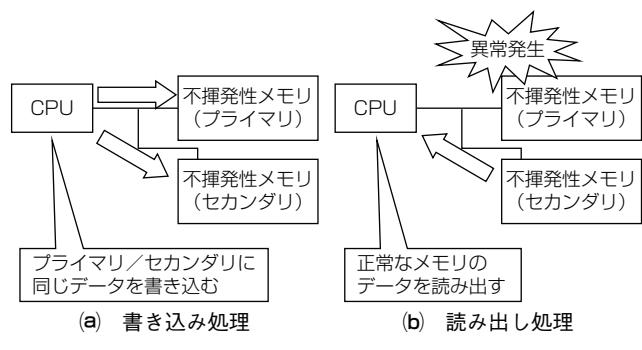


図8. 不揮発性メモリのミラーリング

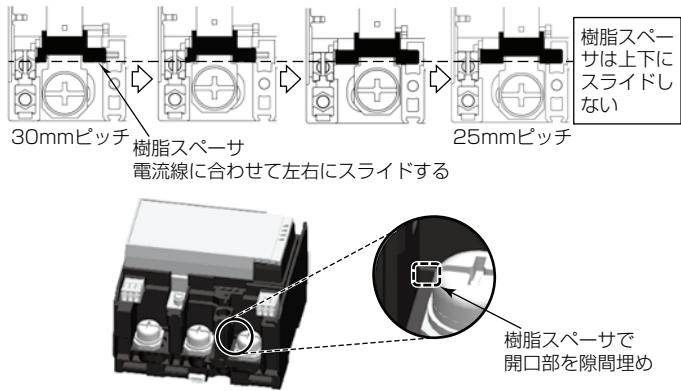


図9. 端子ピッチ可変構造の隙間埋め

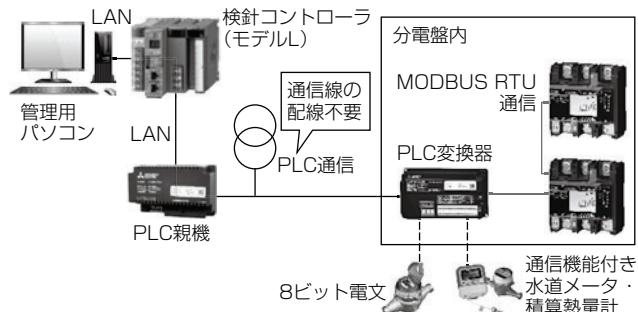


図10. PLC検針システム

### 3.4 PLC検針システム

別売の検針用PLC(Power Line Communication)変換器(以下“PLC変換器”といふ。)、PLC親機、検針コントローラ(モデルL)と組み合わせることによって、PLC通信による検針システムを構築することが可能である(図10)。PLC通信は、電力線を利用した通信方式で、通信線の配線が不要であり、既設のビルで新しく通信線を配線できない場合でも、対応可能である。また、PLC変換器は、愛知時計電機(株)製の通信機能付き水道メータ・積算熱量計からの検針値も収集可能であり、電気・水道・熱量の検針値を一括で管理できる。

## 4. む す び

スマートメーター機能を搭載した電力量計M8FMシリーズについて述べた。今後は、M8FMシリーズのラインアップ拡充やモバイル検針(Bluetooth<sup>(注5)</sup>)、クラウド検針システム対応など機能拡張に取り組んでいく。

(注5) Bluetoothは、Bluetooth SIG, Inc. の登録商標である。

### 参 考 文 献

- (1) 植野 岳：電子式電力量計“M2PMシリーズ”，三菱電機技報，92, No.4, 261～264 (2018)

## 特集論文

# 低圧気中遮断器 “World Super AE Vシリーズ Cクラス”

Low Voltage Air Circuit Breakers "World Super AE V Series C-class"

信太秀夫\*

Hideo Shida

相良雄大†

Yuta Sagara

江古憲一\*

Kenichi Ego

岩下説志\*

Hisashi Iwashita

### 要旨

三菱電機の低圧気中遮断器の現行機種である“World Super AEシリーズ”(以下“AE-SWシリーズ”という。)は、市場投入から10年以上が経過しており、その間、欧州の競合他社はモデルチェンジによる性能アップだけでなく、ローレンジシリーズをラインアップし、ミドル／ローレンジ市場を狙った製品構成を充実させてきた。また、近年では、ビルや生産現場の省エネルギー志向の高まりによって集中監視／制御など、計測・ネットワーク対応の要求とともに、受配電盤製造時の省施工化の要求も高まっている。このような背景から、特に、海外の商業ビル、ホテル、

マンション等、現行機種では参入が難しかった市場をターゲットに、ローレンジモデルでありながら、リモート投入動作を標準化した新形低圧気中遮断器“World Super AE Vシリーズ Cクラス”をラインアップした。

新形低圧気中遮断器の主な特長は次のとおりである。

- (1) リモート投入操作の標準機能化
- (2) 水平垂直切替え端子の採用
- (3) 付属装置(AX(警報スイッチ)/SHT(電圧引き外し装置)/UVT(不足電圧引き外し装置))取付けの容易化
- (4) 消費電力と保守点検部品の削減



引出形



固定形

### 低圧気中遮断器“World Super AE Vシリーズ Cクラス”

World Super AE Vシリーズ Cクラスは、低圧受配電市場では業界初になる電磁ソレノイド式投入機構を採用し、スプリング機構、投入装置、電動投入ばね圧縮機構の機能を一つに集約した。部品点数を削減することで、保守点検時の停電時間の短縮及び保守点検部品の削減を実現した。

## 1. まえがき

当社の低圧気中遮断器の現行機種であるAE-SWシリーズは、市場投入から10年以上が経過しており、その間、欧州の競合他社はモデルチェンジによる性能アップだけでなく、ローレンジシリーズをラインアップし、ミドル／ローレンジ市場を狙った製品構成を充実させてきた。また、近年では、ビルや生産現場の省エネルギー志向の高まりによって集中監視／制御など、計測・ネットワーク対応の要求とともに、受配電盤製造時の省施工化の要求も高まっている。

このような背景から、特に、海外の商業ビル、ホテル、マンション等、現行機種では参入が難しかった市場をターゲットに、ローレンジモデルでありながら、リモート投入動作を標準化した新形低圧気中遮断器“World Super AE Vシリーズ Cクラス”（以下“AE Vシリーズ Cクラス”という。）をラインアップした。

AE Vシリーズ Cクラスの主な特長及び低圧受配電市場では業界初<sup>(注1)</sup>になる電磁ソレノイド式投入機構の技術開発と、短時間耐電流性能実現の解析手法について述べる。

(注1) 2020年11月12日現在、当社調べ

## 2. AE Vシリーズ Cクラスのラインアップと特長

### 2.1 AE Vシリーズ Cクラスのラインアップ

当社の低圧気中遮断器のラインアップを表1に示す。今回ラインアップした新機種は630～1,600Aフレーム（表1の黒太線枠部分）である。

### 2.2 AE Vシリーズ Cクラスの特長

#### 2.2.1 リモート投入操作の標準機能化

受配電盤に使用される低圧気中遮断器は、リモート投入操作のニーズが高く、標準機能化が求められている。現行機種では、投入ばねを用いたばね操作機構に加えて、別途、ばねの蓄勢及び開放操作が必要になる。このため、図1に示すように、付属装置として蓄勢用にモータ、開放用に投

入コイルが用いられていたが、標準機能化にはばね操作機構含めて、これらの機能集約が必要であった。そこで、電磁ソレノイドを用いた操作機構を開発し、これらの機能を集約することでリモート投入操作の標準機能化を実現した。

#### 2.2.2 ユーザーフレンドリ設計

##### (1) 水平垂直切替え端子

受配電盤の急な仕様変更に対応するため、水平垂直切替え端子を開発し、主回路接続端子の水平端子形と垂直端子形への切替えができる構造にした。

##### (2) 付属装置(AX(警報スイッチ)/SHT(電圧引き外し装置)/UVT(不足電圧引き外し装置))取付けの容易化

受配電盤製造時の省施工化の要求を達成するために、低圧気中遮断器で改造頻度の多い付属装置AX、SHT、UVTを本体上部に集約し、該当箇所の本体カバーだけを部分的に着脱できる構造にした（図2）。

#### 2.2.3 消費電力と保守点検部品の削減

現行機種AE-SWシリーズは投入ばねを用いたばね操作機構のため、投入操作前に投入ばねをモータで蓄勢

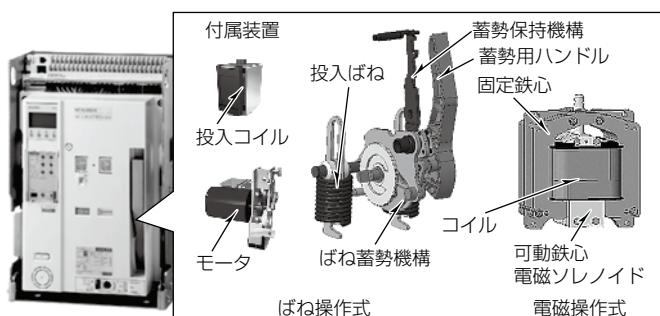


図1. リモート投入操作機構の変更

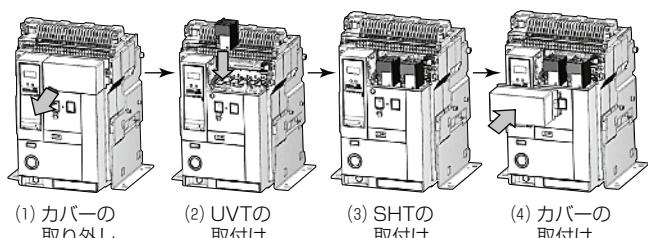


図2. 付属装置の取付け手順

表1. 低圧気中遮断器のラインアップ

アンペア フレーム サイズ	630	1,000	1,250	1,600	2,000	2,500	3,200	4,000	5,000	6,300
AE V シリーズ Cクラス (新機種)	AED630-CV	AED1000-CV	AED1250-CV	AED1600-CV	—	—	—	—	—	—
AE-SW シリーズ (現行機種)	AE630-SW	AE1000-SW	AE1250-SW	AE1600-SW	AE2000-SWA	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	AE2000-SW	AE2500-SW	AE3200-SW	AE4000-SWA	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	AE4000-SW	AE5000-SW	AE6300-SW

(チャージ)する必要があった。AE Vシリーズ Cクラスは、電磁ソレノイド操作機構のため、チャージ操作が不要になり、低消費電力を実現した。同時に、機構部を新規設計することで、保守点検時の停電時間の短縮及び保守点検部品の削減も実現した。

### 3. AE Vシリーズ Cクラスの技術的特長

#### 3.1 電磁ソレノイド操作機構の開発

電磁ソレノイド操作機構の開発は、ソレノイドが受ける機械的反力の最小化(投入機構の最適化)と、ソレノイドの高出力化が課題である。これに対して、ロバスト最小化技術の開発で投入機構を最適化するとともに、電磁ソレノイドの新構造開発で高出力化を達成し、課題を解決した。

##### 3.1.1 投入機構の最適化

投入機構の最適化は、新たに粒子群最適化(PSO)法を活用することで実現した。この手法は、数式化した機構の挙動及び力の釣合いに対して、式(1)に示す、要求仕様との誤差を評価する関数 $J$ を定義して自動で最小化する、つまり、要求仕様に沿った機構配置を自動探索する方法である。このとき、要求仕様の項は複数存在するため、図3に示すとおり、評価関数 $J$ は多次元的な波形になるが、この手法では局所解ではなく全体の最小解を探索可能である。また、評価関数 $J$ には、ソレノイドが受ける機械的反力の項も含んでおり、通常の方法と比較して、全要求仕様含めて、ばらつきを下げるに成功した。

$$J = a_1(L_1 - L_{1\max})^2 + a_2(L_2 - L_{2\max})^2 \cdots + a_n \sum \left( \frac{\partial F}{\partial P_n} \right) \quad (1)$$

$a_i$  : 各要求パラメータの重み係数

$L_i$  : 各要求パラメータ設計値

$L_{i\max}$  : 各要求パラメータ最大値

$F$  : 機械的反力

$P_n$  : 各機構部品の位置

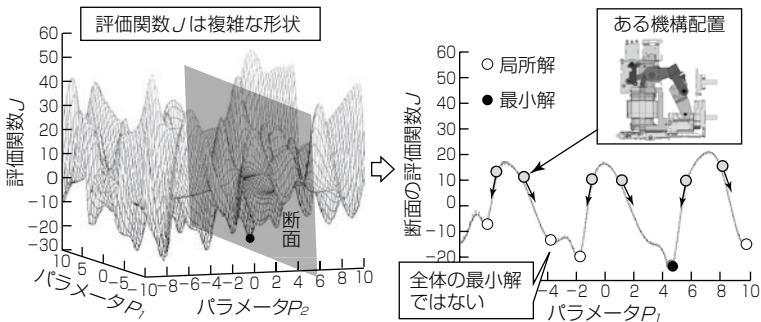


図3. 評価関数のイメージ

#### 3.1.2 電磁ソレノイドの高出力化

電磁ソレノイドの高出力化には、高いコイル電流域での動作が必要になる。図4は典型的なコイル電流波形である。電磁ソレノイドが動作すると、コイルの逆起電力によって電流が低下する。例えば、初動が早い(遅い)電磁ソレノイドの動き出しを点A(A')、動作完了を点B(B')とすると、鉄心が磁気飽和しない場合、出力はおむねコイル電流の二乗に比例するため、高出力化には初動時の電流(初動電流)を増加させることが重要である。

図5に、通常の電磁ソレノイドと開発品の概略図を示す。共通点は、可動鉄心と固定鉄心の吸着面をテーパにした点である。これは、吸着面が平坦(へいたん)な場合に比べて、可動-固定鉄心間の距離 $b$ を短縮して磁気抵抗を低下できるため、コイル電流が一定の場合、初期位置の出力を增加できる。ただし、この構成では、図4のとおり、コイル電流は徐々に増加するため、テーパ形状の場合、平坦形状に比べて初動電流が低下する。

そこで、この課題を解決するために新たに可動鉄心と固定鉄心間に突起部を設けた。これによって、初期位置の可動鉄心には、出力方向に対して逆向きの磁気的吸着力が付与されるため、出力が低下して初動電流が増加する。可動鉄心の動作後は、突起部間の空隙が拡大するため、磁気抵抗が増加して磁気的吸着力は消失するため、出力は改善する。図6は定格操作電圧DC110Vで出力を比較した図である。この構造によって初動電流を約1.7倍(3.0→5.2A)増加させて、通常の電磁ソレノイドに比べて約50%の高出力化を実現した。

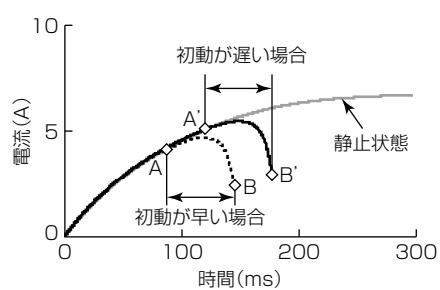


図4. 電磁ソレノイドのコイル電流波形

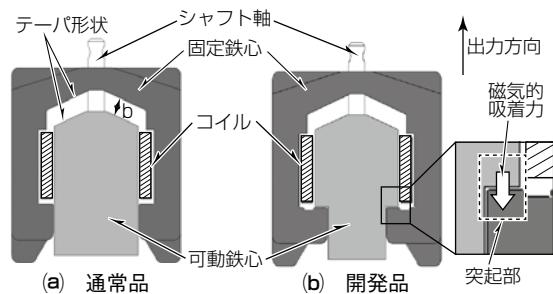


図5. 電磁ソレノイドの概略図

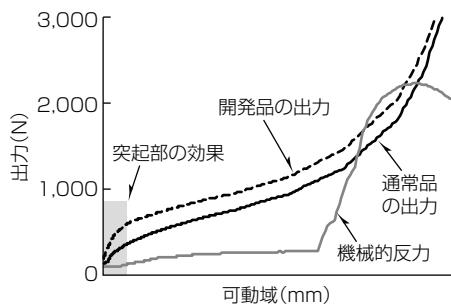


図6. 電磁ソレノイドの出力比較

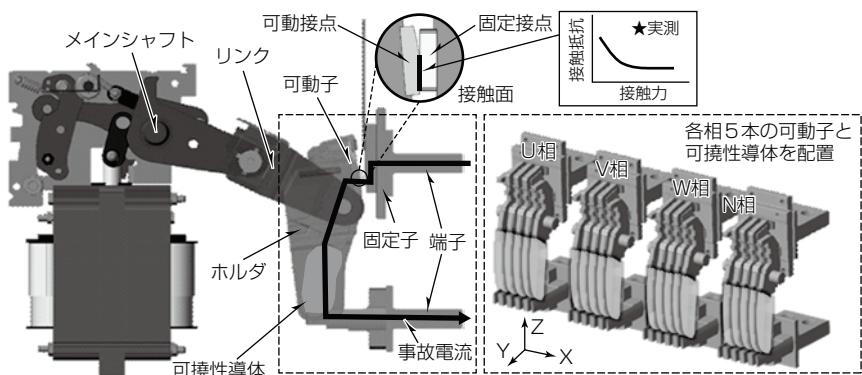


図7. 電磁界解析モデル

### 3.2 短時間耐電流性能実現の解析手法

#### 3.2.1 短時間耐電流性能

短時間耐電流性能とは、事故電流が発生してから他の遮断器等で遮断するまでの間、事故電流を安定して通電する性能である。AE Vシリーズ Cクラスは、事故電流 50kArms で 1 秒間の短時間耐電流性能を持つ。この間、通電導体に発生する数百～数千 N のローレンツ力を制御して、接点間での接触不良による発弧や応力集中による樹脂部品の破損等を防止する必要がある。

そこで、この課題を解決するために電磁界解析と機構解析を連携させ、事故電流通電時の部品の挙動や発生応力を定量化して制御することで短時間耐電流性能を達成した。

#### 3.2.2 短時間耐電流の電磁界解析モデル

電磁界解析ソフトウェアを用いて、事故電流通電時のローレンツ力を定量化した。図7はその解析モデルである。各相に可動子と可動子に接合された可撓(かとう)性導体(以下“可動導体”という。)が 1 極当たり 5 組並列配置される。入力条件は過渡電流を考慮した三相の事故電流 50kArms で、各可動導体に枝分かれする電流(分流)分布を解析して、XYZ 方向に発生するローレンツ力を時刻歴で出力した。各可動導体は、端子部の電流経路による磁場でY方向のローレンツ力を受ける。そのほか、各可動導体は枝分かれした分流電流によって、互いに引き合う向き(X 方向)にローレンツ力が発生する。この X 方向のローレンツ力には、他相を流れる事故電流の磁場の影響も重畠される。

なお、この解析は、各可動導体の電流分布を精度よく解析するため、表皮効果を考慮するとともに可動-固定接点の接触面に生じる接触抵抗は、実測結果を組み込んでいる。

#### 3.2.3 短時間耐電流の機構解析モデル

機構解析については、各可動導体の XYZ 方向のローレンツ力を時刻歴で入力し、部品の弾性変形や運動量を過渡的に解析した。図8はその機構解析モデルである。なお、

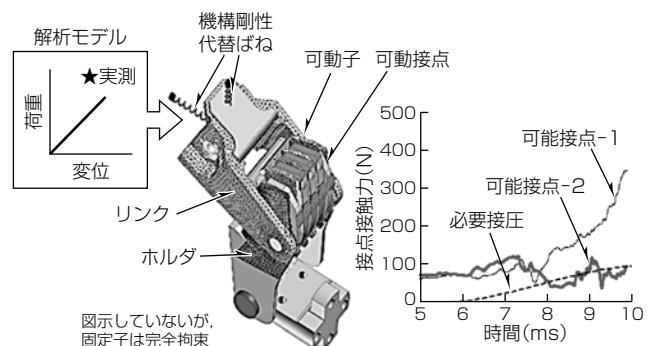


図8. 機構解析モデル

固定子は図示していないが、解析上で完全拘束している。この解析モデルは、計算コストを削減するため、メインシャフトを含めた機構部品をばねで代表させ、ばね定数は実測結果を組み込んでいる。

この解析によって、リンクやホルダに発生する応力だけでなく、可動-固定接点間の接触力を時刻歴で定量評価できる。例として、短時間耐電流中に接点間で発弧したケースの解析例も図8に示す。解析条件は、電流 50kArms の投入位相 V 相ゼロ度である。発弧した U 相で、可動接点 5 個のうち 2 個を抽出して接点接触力を時刻歴で示す。なお、必要接圧は、溶融電圧と接点反発力から算出しており、接点接触力が必要接圧を下回ると接触不良になるとしきい値である。解析結果では、約 8 ms 時点で可動接点-2 の接点接触力が必要接圧を下回っており、実機の発弧タイミングと一致することを確認し、解析結果の妥当性を検証した。

この解析技術を活用することで、各部品の寸法公差や組立てばらつきを考慮した設計が可能になり、短時間で短時間耐電流性能を確立するとともに、高い信頼性を確保できた。

## 4. むすび

低圧気中遮断器の新機種の特長と、それに搭載した電磁ソレノイド操作機構の技術開発と短時間耐電流性能実現の解析手法について述べた。今後、ローレンジ機種の拡充と新形ハイレンジ機種の開発に取り組んでいく。



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50万人/月、会員数約35万人と、当社公式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。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。

<https://www.mitsubishielectric.co.jp/fa/index.html>

## 主なコンテンツ

**製品情報** 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。

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。

**FA羅針盤** 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。

スポーツや芸能など各種業界で活躍している方々のコメントや、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。



▶詳しくはWEBサイトでご覧いただけます。

三菱電機 FA

検索



“仕様から探す”スマートフォンアプリ  
“FA SPEC Search”

を提供しています。

スマートフォンで手軽に、さらにオフラインでも製品の検索や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。

