

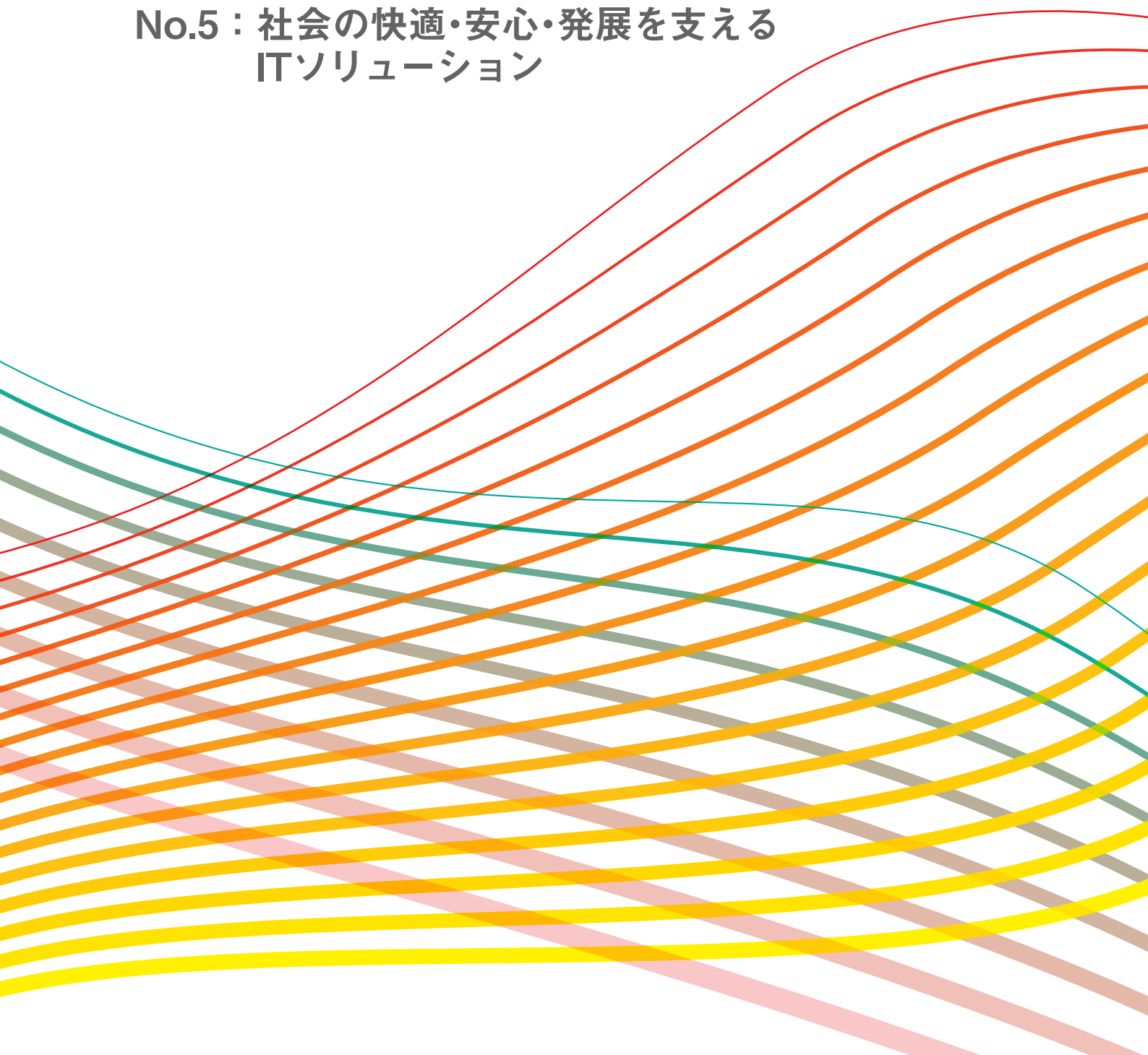
三菱電機技報

4-5

2022
Vol.96 No.4-5

No.4 : FA

No.5 : 社会の快適・安心・発展を支える
ITソリューション



三菱電機では、暮らしを表す“ライフ”，生活に必要なものを生み出す“インダストリー”，社会を支える“インフラ”，これらをつなぐ“モビリティ”という4つの領域において，社会課題の解決に向けた価値創出へ取り組んでいます。

2022年からの三菱電機技報では，これら4つの領域とそれらを支える基盤技術をテーマとして取り上げていきます。

今回の特集ではインダストリー領域の“FA”（4月号），インフラ領域の“社会の快適・安心・発展を支えるITソリューション”（5月号）をご紹介します。

No.4

特集 FA

巻頭言

- 社会インフラストラクチャの情報ネットワークを
支えるこれからの工場…………… 4
木村文彦

巻頭論文

- スマートファクトリーを実現する
最新のFA技術と取組み…………… 5
楠 和浩

- データサイエンスツール“MELSOFT MaiLab”…………… 10
中野翔太・大津裕司

- モバイルアプリケーション活用による
生産現場の見える化ソリューション…………… 14
原 泰裕・兼子貴弘

- 三菱電機シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”の
CPUユニット“WinCPU”…………… 18
増井 翼・渡邊貴弘

- 製造業のスマートファクトリー化を支援する
シミュレータ“NC Virtual Simulator”…………… 22
東 俊博・伊藤裕規・小野俊郎

FA

- Future Factory for Supporting Information Networks in Social Infrastructure
Fumihiko Kimura

- Latest Factory Automation Technologies and Activities for Achieving Smart Factory
Kazuhiro Kusunoki

- Data Science Tool "MELSOFT MaiLab"
Shota Nakano, Hiroshi Otsu

- Production Site Visualization Using Mobile Applications
Yasuhiro Hara, Takahiro Kaneko

- CPU Module "MELSECWinCPU" of Programmable Controller "MELSEC iQ-R Series"
Tsubasa Masui, Takahiro Watanabe

- Simulator "NC Virtual Simulator" to Support Manufacturing Digital Transformation
Toshihiro Azuma, Yuki Ito, Shunro Ono

No.5

特集 社会の快適・安心・発展を支える IT ソリューション

巻頭言

- デジタル通貨の情報通信基盤技術に関する現状と課題…………… 26
櫻井幸一

- 情報セキュリティソリューション
“Mistyシリーズ”のラインアップと基盤技術…………… 27
見市宏敏・高丸祐典・吉田裕美・大江哲浩

- クラウド活用を加速するMIND SD-WANサービス…………… 32
金子 純

- 電子帳簿保存法に対応した電子取引サービス“@Sign”…………… 36
小倉大典・田口拓也・古賀理沙子

- デジタルトランスフォーメーション(DX)
を推進するデータ活用基盤…………… 40
森田 登・鈴木利幸・山方勝則・石山佳雄

- 製造現場のDX化支援に向けたMDIS垂直
統合モデルの中核ソリューション“MELNAVI”…………… 44
深津法保・樋渡亮平

- 製造DX時代の中堅・中小製造業向け
“HYPER SOL QMS 品質管理システム”…………… 48
増田一紀・竹林信博

IT Solutions for Optimized, Secure and Progressive Society

- Current Status and Issues Related to ICT Infrastructure for Digital Currency
Koichi Sakurai

- Lineup of Information Security Solutions "Misty Series" and Base Technologies
Atsutoshi Miichi, Yuusuke Takamaru, Hiromi Yoshida, Akihiro Ooe

- MIND SD-WAN Service Accelerating Cloud Utilization
Jun Kaneko

- Electronic Transaction Service "@Sign" Compatible with Law Concerning Preservation of National Tax Records in Electronic Form
Daisuke Ogura, Takuya Taguchi, Risako Koga

- Data Utilization Platform Promoting Digital Transformation (DX)
Noboru Morita, Toshiyuki Suzuki, Katsunori Yamagata, Yoshio Ishiyama

- Core Solution "MELNAVI" of MDIS Vertically Integrated Model to Support DX Conversion in Manufacturing Floor
Noriyasu Fukatsu, Ryouhei Hiwatashi

- Quality Management System "HYPER SOL QMS" for Small and Medium-sized Manufacturing Industries in Manufacturing Digital Transformation Era
Kazutoshi Masuda, Nobuhiro Takebayashi

巻頭言

社会インフラストラクチャの情報ネットワークを支えるこれからの工場

Future Factory for Supporting Information Networks in Social Infrastructure

木村文彦 Fumihiko Kimura

東京大学名誉教授

Professor Emeritus, The University of Tokyo



手作業による家内生産から動力を用いた工場生産に移行した産業革命から二世紀余りを経て、今、いわゆる工場の役割が大きく変わろうとしている。ここでは、ソフトウェアやサービスも含めて工業製品を企画・設計し市場に提供する製造業としての組織体を広く工場と呼ぶことにする。

これからの工場は、独立して閉じた競争的な従来の組織体から、社会インフラストラクチャの情報ネットワークでの情報提供ハブとして社会に開かれた存在になろうとしている。社会インフラストラクチャの情報ネットワークとは、電力網や交通網、流通網などを支える情報システムを始め、いまだに十分に整備されていない生活支援、医療・福祉、農業などの高度・広域化を支える情報ネットワークを意味する。これからの工場には、どのような背景と意義があるのだろうか。

製造活動が発展途上地域にも浸透し、人口増大とともに人間活動が活発化してきた。将来の世代に健全な地球環境を継承していくために、我々の社会は様々な課題を抱えている。地球持続可能性の観点からplanetary boundariesが議論され、地球温暖化抑制へ向けてIPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)報告に基づく産業・社会活動の改善策が世界的な政策目標として受け入れられている。持続可能性と生活の豊かさQoL(Quality of Life)のバランスを求めて、SDGs(Sustainable Development Goals)が提唱され、全産業分野で世界的な努力が続けられている。

これらの活動の科学的・技術的視点として、物理的・知識的資源の投入量に対するQoLの向上量の比を資源生産性として、資源生産性を徹底して向上させることが追求されている。この向上の基盤技術が工場が担う製造技術であり、近年の情報技術の急激な発展がenablerとして工場の姿を大きく変革しつつある。

工場を取り巻く社会環境として、情報技術による社会変革の様相を見てみよう。CPS(Cyber-Physical System)として、情報世界と実世界を連携させて新たな社会の豊かさを生み出そうとする活動がある。我が国でもSociety 5.0という名称で、産業横断的な施策が実施されようとしている。CPSでは、実世界に既に存在するものについて情報世界から付加的なサービスを提供するだけでなく、まだ存在しないものを情報世界で構想しシミュレーションして、実世界を先導的に

革新していくことも重要である。

このように情報技術を活用して変革を志向する社会では、様々な情報が要求される。CPSでやり取りされるほとんどの情報は、人工物を介して獲得されやり取りされており、その情報自体も人工物に関するものであることが多い。元々は工場や製品利用に関わる情報である。電気自動車の製造情報や利用情報が社会情報ネットワークに提供されて交通管理や電力調整に活用されたり、循環経済を目指して資源のtraceabilityを確立したりすることなどは一例であり、これらの活動によって、資源の無駄を省き、資源生産性の画期的な向上が期待されている。

これからの工場は、先に述べたような情報提供源として位置付けられ、社会インフラストラクチャの情報ネットワークでの情報提供ハブとして社会に開かれた存在になることが期待されているのである。そのために、工場の徹底したデジタル化が要求される。FAの将来の姿と考えることもできる。

工場のデジタル化の基礎は、“To-Be”の視点に基づくあらゆる活動プロセスの再設計とモデル化であり、それに従ってプロセスや製品の情報を技術の現状に従ってできる限りデジタル情報とすることである。いわゆるMBE(Model-Based Engineering)やdigital-twinの考え方を徹底して実装することである。社会インフラストラクチャのための情報として活用できるためにはmodule化とinteroperabilityが必須であり、標準化と併せて、産業領域を超えた情報の活用が可能となる。企業の競争力の源泉として何をコア技術として保持し、何を協調技術として社会と共有するかは重要であり、そのための情報管理の仕組みも必須である。

このような工場のデジタル化によって、工場の資産は社会情報ネットワークから様々な様態で活用可能となり、地球持続可能性やresilienceの向上に資するとともに、人の多様性を許容するQoLの実現に向けて、付加価値の高い新しい産業活動が可能になる。

これからの工場については、構想はされていてもできていないことが多く、社会全体の構造改革やとりわけ人の意識改革が課題となる。しかし、持続可能性やビジネス的な観点から有意であり、技術的にもできることであっても実現していないことは多く、今後の急速な進展が期待される。

スマートファクトリーを実現する最新のFA技術と取組み

Latest Factory Automation Technologies and Activities for Achieving Smart Factory



楠 和浩*
Kazuhiro Kusunoki

要 旨

あらゆる業界で“デジタル化”及び“DX(デジタルトランスフォーメーション)化”が進む中、製造業では、スマートファクトリーが注目を集めている。スマートファクトリーの主要な目的として次の二つがある。

(1) 生産性の向上

工場内の状況をデータ化して可視化し、非効率になっている工程・作業を明確にし、改善して生産性を向上させる。

(2) 人材不足への対応及び人材育成の効率化

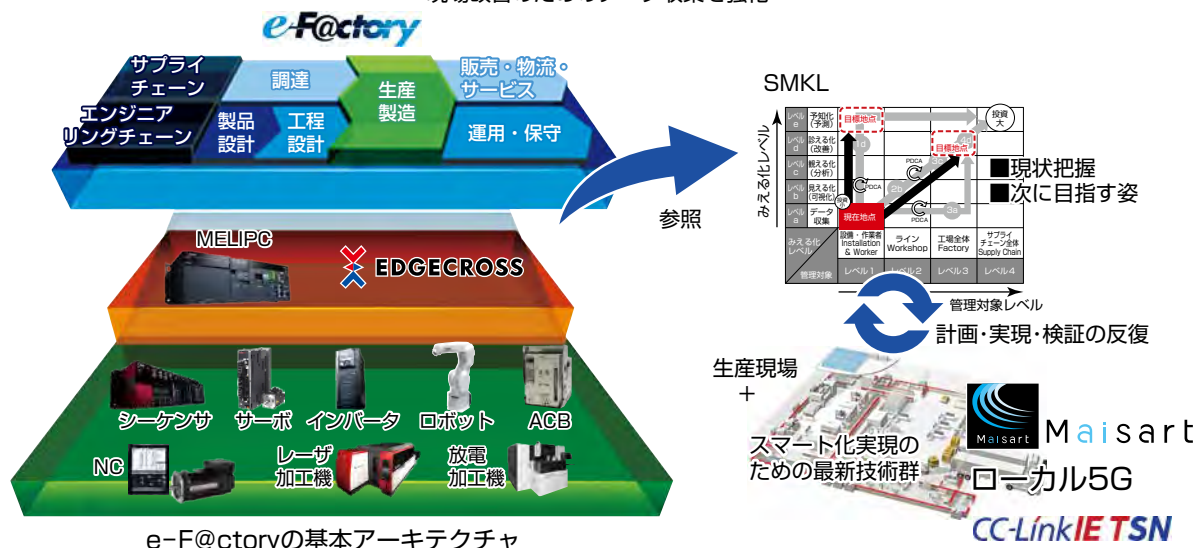
高齢化に伴う人手不足、それと同時に起きる熟練工不足に対応するために、生産現場の設備だけでなく、働く人の動きもデータ化し、そのデータを分析することで技能やノウハウを体系化、さらに技能継承を図る。

三菱電機は2003年から、生産現場を起点として、IoT (Internet of Things) 化によるビッグデータの活用でスマートファクトリーを実現するFA-IT統合ソリューション“e-F@ctory”を提唱している。

当社では、e-F@ctory実現のための最新技術として、工場のスマート化の現状や、将来進むべき方向性を経営層と現場との間で共有するための指標である“SMKL(Smart Manufacturing Kaizen Level)”を考案し、国際標準化に向けた活動を実施している。また、工場のスマート化を実現するための最新技術として、データ収集技術のための第5世代移動通信システム(5G)などの無線技術、現場診断・改善・予知技術を行うためのAI技術を開発している。

スマートファクトリーを実現する最新のFA技術

- SMKL スマートファクトリー化の現状や将来進むべき方向性を、経営層と現場で共有するための指標
- Maisart 設備や機器のセンサデータから故障発生前に予兆を検知
- 5G + CC-Link IE TSN 高い安定性とセキュリティを備え、柔軟な無線環境構築が可能な5Gとオープン統合ネットワークCC-Link IE TSNを併用することで、現場改善のためのデータ収集を強化



e-F@ctoryの基本アーキテクチャ

MELIPC : 三菱電機産業用パソコン, NC : Numerical Controller, ACB : Air Circuit Breaker

FA-IT統合ソリューションe-F@ctory及び最新のFA技術と取組み

e-F@ctoryは、生産現場を起点に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のづくりによって、サプライチェーンとエンジニアリングチェーン全体にわたって工場のスマート化を支援する。また、SMKLや当社AI技術“Maisart”などの最新のFA技術と取組みを取り入れることで、更なる工場のスマート化を実現する。

1. ま え が き

2011年にドイツで提唱されたIndustrie 4.0を契機として、また、最近では製造業DXと絡めた話題として“スマートファクトリー”という言葉が、様々な場面で取り上げられている。

スマートファクトリーの厳密な定義は存在しないが、基本的には、生産現場で生産に関わるものが発生するデータ（例：機器・装置・設備の状態）や、生産されるモノの状態（例：生産数、品質など）及び生産・販売・維持管理に関わる業務プロセス（例：受注・生産計画、配送など）に関わる製造業の全てのデータをIoTなどの先端技術を利用して収集し、分析・活用することで生産プロセス全体を常に最適に保つ柔軟なシステムである。

スマートファクトリー実現のための起点は、生産現場にある。近年、IoT技術やAI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で接続され、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ことで、スマートファクトリーが単なる概念から現実に移行してきていると考えられる。

当社は、生産現場を起点とするFA-IT統合ソリューションe-F@ctoryを2003年から提唱し、グローバルに進むスマートファクトリーの実現を支えてきた。生産現場のスマート化は、設備・機械からの生産現場データの収集などの“見える化”に加え、収集したデータの生産管理や予防

保全への活用といった“観える化”及び“診える化”の取組みが実現されつつあり、一部の製造業では具体的な成果を上げつつある。

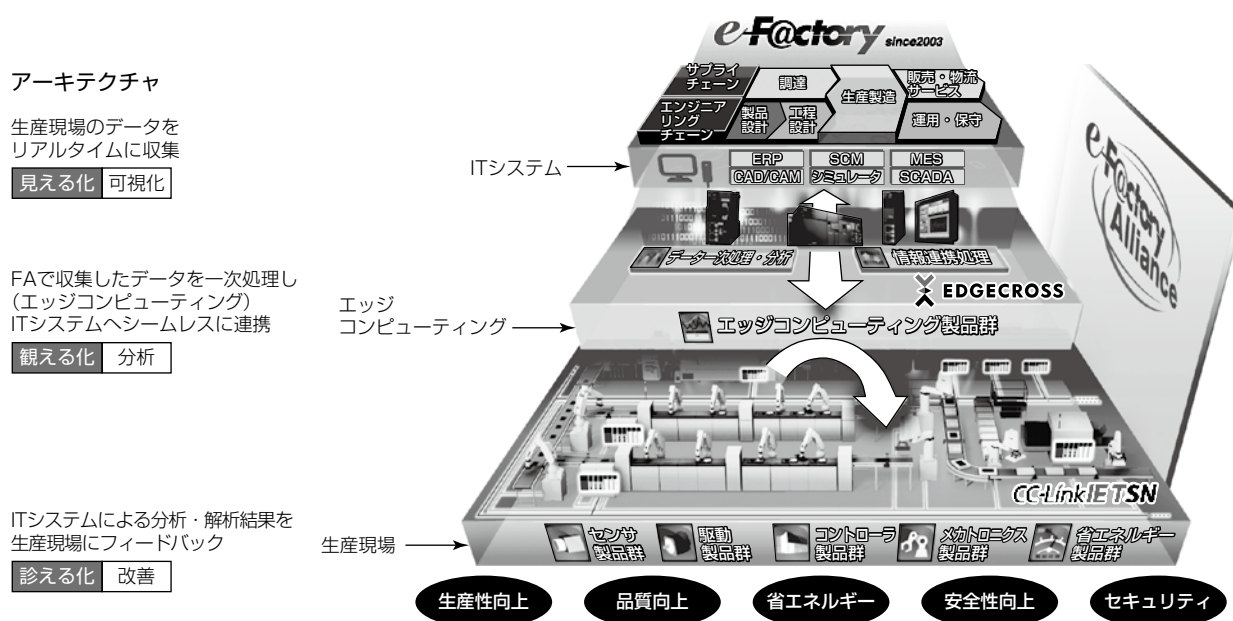
本稿では、**2章**でFA-IT統合ソリューションe-F@ctoryについて述べた後、**3章**でそれを支える当社の最新FA技術及び取組みについて述べる。

2. e-F@ctory

当社は2003年から、生産現場を起点とし、IoT化によるビッグデータの活用でスマートファクトリーを実現するFA-IT統合ソリューションe-F@ctoryを提唱している⁽¹⁾。

e-F@ctoryでは、FA技術とIT技術を最大限に連携させることで開発・生産・保守の全般にわたるバリューチェーン全体でのコストを削減し、顧客の改善活動を継続して支援することで、一歩先のものづくりの実現を提唱している。また、“生産性”“品質”“環境性”“安全性”“セキュリティ”の向上を通して、顧客の業務全体の効率化を目標にしている。

e-F@ctoryのアーキテクチャは、生産現場、エッジコンピューティング、ITシステムの3階層で構成される(図1)。生産現場は生産を実行すると同時に、センシングによって生産や設備のデータをリアルタイムに収集する。エッジコンピューティングでは、生産現場から収集したデータを監視・分析・診断すると同時に、生産現場へのリアルタイムなフィードバックを実行する。例えば、設備の異常の兆候を捉え、即座に現場へ指示を出すことによって、故障する



ERP : Enterprise Resource Planning, SCM : Supply Chain Management, MES : Manufacturing Execution System, CAM : Computer Aided Manufacturing, SCADA : Supervisory Control And Data Acquisition

図 1. e-F@ctoryのアーキテクチャ

前に設備を停止したり、設備の異常で不良製品が大量に生成されてしまうような問題を解決できる。

e-F@ctoryの導入によるスマート工場の実現事例は着実に増えている⁽²⁾。

3. e-F@ctoryを実現するための最新技術

e-F@ctoryを実現するためには、データ収集・分析に関わるIoT及びAI技術、又はネットワーク技術、さらにセキュリティやクラウドなどの各種IT技術が必要である。

3.1 SMK L

生産現場をスマート化、つまりe-F@ctory化しようとする場合に、まず必要なのは、現状を把握し、目指すべき姿を経営者と現場が共有することである。それがなければ、経営層と現場との認識の乖離(かいり)が起こり、スマート化の持続的な実現が難航する。

そこで、当社ではSMKLという指標を提唱し、顧客のスマートファクトリー実現をサポートしている⁽³⁾。SMKL (Smart Manufacturing Kaizen Level)は、2015年に当社内の指標として作成・運用され、それ以来、社内のスマートファクトリー実現のツールの一つとして活用され、最近ではISO/TC184を中心に国際標準化が進められている指標である。

SMKLは、“工場をどうIoT化していけばよいか分からない”という悩みを持つ製造現場のIoT化推進を支援する目的のために作られたものであり、図2のようにIoT化の成熟度を5段階の“見える化”レベルと、4段階の管理対象レベルで区分けされたマトリックスで表すことで、対象とする製造現場がどの段階までスマート化が進んでいるかを判断できるものである。

図2の縦軸の見える化レベルは、レベルa“データ収集”、

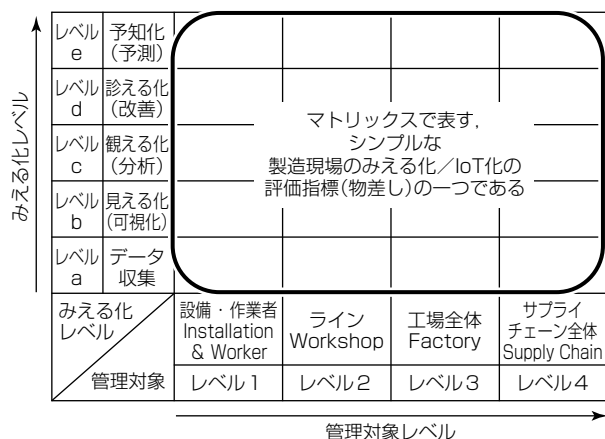


図2. SMK Lの定義

レベルb“見える化(可視化)”，レベルc“観える化(分析)”，レベルd“診える化(改善)”，レベルe“予知化(予測)”で構成される。レベルdとeはAIやデジタルツインといった技術の活用によって、効率的・効果的に到達できる。また、横軸の管理対象レベルは、ディスクリット系の工場を対象とした場合、レベル1“設備・作業員”，レベル2“ライン”，レベル3“工場全体”，レベル4“サプライチェーン全体”となるが、工場の種類に応じた定義を行う必要がある。

標準的なSMKLの活用ステップを、図3を用いて述べる。SMKLの使用者はまず、各自の業務遂行での重要な観点(例：省エネルギー)と、その観点に対する評価指標(例：エネルギー原単位)を定める。その上で、SMKLでの現在地点と目標地点、及び現在と目標のギャップを確認し、目標実現に向けての実現可能な改善手順を設定する。そして、PDCA(Plan Do Check Action)を回しながら持続的な改善を行うことで、SMKLレベルの向上と最終的な目標地点への到達に取り組む。

3.2 データ収集を実現する新しい技術

現状を確認し、経営層と現場が目指す方向を確認した後で、様々なIoT技術などを利用して生産現場のスマート化を図るが、まず基本となるのは、“データ収集”である。

“データ収集”に必要な技術の一つに、ネットワーク技術がある。当社では、生産現場とITシステムを融合するオープン統合ネットワークCC-Link IE TSN(有線ネットワーク)を提供しており、生産現場の様々な機器からリアルタイムにデータを収集し、新たな付加価値の創出をサポートしている。

一方で、今後、スマートファクトリーとして柔軟性、効率性を高めていくためには無線技術の活用も図っていく必要がある。その中でも、近年特に、第5世代移動通信システム(5G)が注目を集めている。

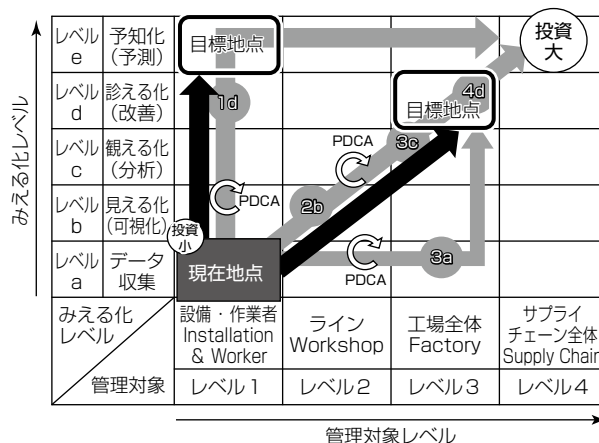


図3. SMK Lの活用例

5Gは、“超高速”“超低遅延”“多数同時接続”という特長を持っており、AI/IoT時代のICT(Information and Communication Technology)基盤として期待されている。さらに、局所的にプライベートネットワークとして構築可能な“ローカル5G”は、高い安定性とセキュリティを備え、柔軟な無線環境構築が可能であり、工場やビルのスマート化、公共施設での活用など様々なユースケース検討が進められている。

当社でも様々な分野での5G技術活用による新たなビジネス、サービスの検討を進めているが、中でもFA分野ではスマートファクトリーを実現する上でのインフラとしてローカル5Gに着目し、将来的にはCC-Link IE TSNと5G技術の融合も視野に入れ、ユースケース検討や性能検証に取り組んでいる。

5G技術は現在も発展途上であり、2020年8月に公開されたリリース16以降、FA機器等の制御に用いられるリアルタイム通信を伝送するために必要な機能について順次規格化が進められている。

当社の現在の取組みとしては、2020年から自社工場内での実証実験を進めているほか、2021年6月には、神奈川県にある当社情報技術総合研究所内に“5G OPEN INNOVATION Lab”としてローカル5Gに関する顧客やパートナー企業との共創の場を開設した。当社の技術実証に加え、この場を活用して新たなビジネスやサービスの創出を図っていく。

また、5Gの今後の高度化・低価格化のトレンドに合わせて、5Gを単なるデータ収集の手段としてだけでなく、次のようにユースケースを段階的に高度化し、新たな価値の創出を目指している。

- (1) 仮想現実(Virtual Reality：VR)、拡張現実(Augmented Reality：AR)、複合現実(Mixed Reality：MR)活用などによる作業効率化
- (2) 屋内測位、無人搬送車(Automatic Guided Vehicle：AGV)、自律走行搬送ロボット(Autonomous Mobile Robot：AMR)活用などによる協働作業
- (3) マスカスタマイズ、レイアウトフリーなど柔軟な生産環境を実現する自律制御

3.3 データ活用のための技術

一方、3.1節で述べたように、“診える化”及び“予知化”を実現するためには、AI技術の活用が重要となる。ここでは、最新のAI技術について述べる。

一般的に、生産現場に対するAI技術の適用には、二つのやり方がある。一つは、加工精度の向上、製品品質の向上及び安定化、又は、最近では匠(たくみ)の技を自動化して継承するなどの目的のために、製造する機械や装置の

制御にAI技術を適用する場合である。また、もう一つは、工場全体の歩留り向上や生産性向上、又は予防保全による稼働率の向上を目的とし、機械や装置の稼働診断や人の作業診断にAI技術を適用する場合である。ここでは、後者の場合について述べる。

当社ではFAやプラントの様々な事業で、AI技術を活用した異常検知や予防保全のための製品・ソリューションを展開している。それらによって、設備や機器のセンサデータから故障発生前にその予兆を検知し、故障発生前の保全を可能にすることで製造ライン等のダウンタイムを削減し、効率的な保守が可能になることが期待される。

製品製造時や機器運転時に収集される時系列に発生するデータ(以下“時系列データ”という。)から、故障の予兆を検出するためには非常に微細な異常挙動を検出する必要がある。しかし、時系列データはその計測対象や、対象設備や機器の設置環境条件によってデータの特徴が異なるため、異常検知もその特徴に適した手法を選定する必要がある。

ここでは、異なるデータの特徴に対応する技術として、“AIで高精度に機器の異常を検知する診断技術”と“パラメータ設定レス異常検知技術”について述べる。

3.3.1 AIで高精度に機器の異常を検知する診断技術

時系列データの特徴の一つとして、機器・設備の動作モードの変化に連動したデータの挙動の変化がある。

製品製造時の時系列データとして、次の三つの特徴を持つデータの例を示す(図4)。

- (1) それぞれが一製品の製造に対応した類似波形が繰り返して発生
- (2) 一製品製造時に複数の動作モードに対応した状態を遷移
- (3) 状態ごとにデータの特徴が変化

このような時系列データでは、動作モードによって異常の頻度や異常時の波形の乱れ方が異なり、従来の単一条件設定による異常検知では精度向上に限界があった。

そこで当社では、動作による波形の乱れに対応するため、当社AI技術Maisartを用いて時系列データの特徴から動

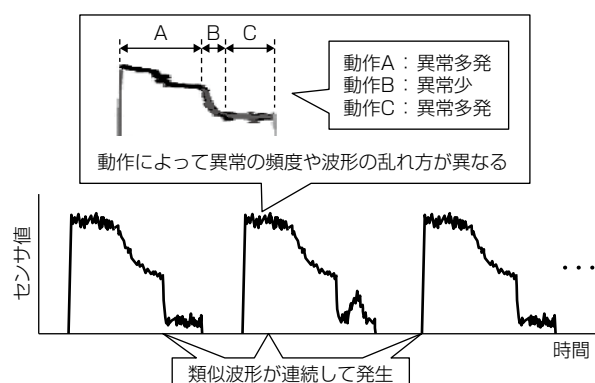


図4. 動作モードの影響を受けるデータの例

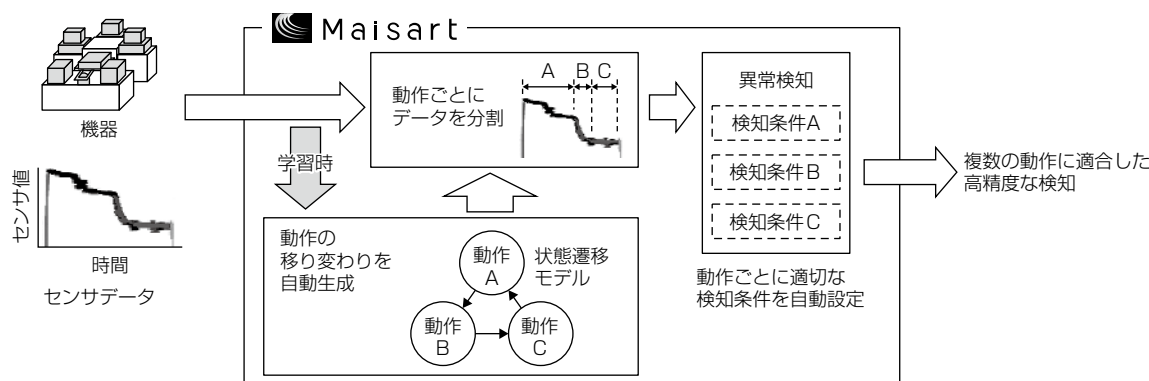


図5. 状態遷移モデル推定による異常検知技術

作状態の遷移を自動で推定し、動作ごとに適切な異常検知条件を自動設定することで、高精度に異常を検知する機器診断技術を開発した(図5)。

この技術によって、機器の動作状態に応じた適切な異常検知条件が設定できるため、機器の異常を高精度に検知することが可能になった。

3.3.2 パラメータ設定レス異常検知技術

時系列データは、機器・設備の動作モード以外の要因によって値が変動する場合がある。そこでは、時系列データから動作モードを判別できないため、代わりに時系列データを固定長の部分列に分割して、部分列に対して機械学習を適用するのが一般的である。

従来の異常検知技術では、機器が正常に動作している期間の部分列から正常時の特徴を学習し、異常診断したい部分列が正常時の特徴から逸脱していた場合に、その部分列を異常と判断する方法がとられていた。この際、部分列長によって検知能力が左右されるため、時系列データの周期性などの情報を基に適切な値を選択する必要があるが、ユーザーがあらかじめそれらの情報を把握して適切な値を選択することは困難であるという課題があった。

そこで当社では部分列長の設定が必要ない異常検知方式⁽⁴⁾を開発した。開発方式では、あらゆる部分列長で従来同様の異常検知方式を実行して異常を列挙することによって、事前のパラメータの設定を不要にしている。ただし、全ての部分列長に対する異常検知を実行すると、実行時間が長くなる。そこで、開発方式では、部分列長を少しずつ長くしながら異常検知し、直前の部分列長での異常検知状態を利用して計算量を削減する工夫を取り入れることで、従来方式よりも50倍以上高速に異常を検知できるアルゴリズムを実現した。

図6に開発方式による異常検知結果の例を示す。図6のグレーの帯はどの部分列長(縦軸)のどの時刻(横軸)で異常を検知した(点線内)かを表している。前半の台形状の反復

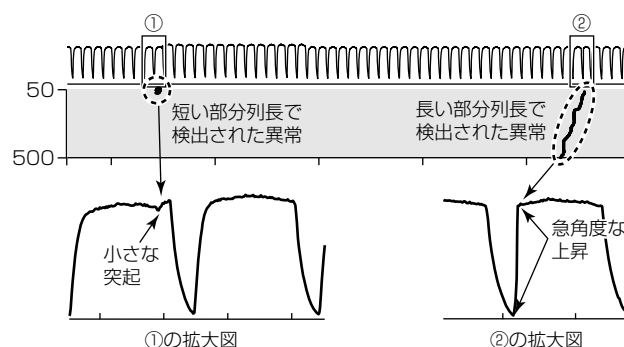


図6. 異常検知結果の例

波形中に現れた小さな突起状の異常は、従来は長い部分列長では検知できなかったが、短い部分列長で探索することで検知できた例である。逆に、後半の急角度な上昇の異常は、従来は短い部分列長では検知できなかったが、長い部分列長で探索することによって検知できた例である。

4. む す び

IoT技術やAI技術を活用したスマートファクトリーの実現に向けた当社の最新FA技術や取組みの例として、スマートファクトリーの指標SMKL、5Gの取組み、AI技術を活用したデータ活用技術について述べた。今後も、スマートファクトリーを実現する最先端のFA技術・システムの研究開発を進め、工場の更なるスマート化への貢献に向けた技術の提供を進めていく。

参考文献

- (1) 三菱電機㈱: FA-IT統合ソリューションe-F@ctory
<https://www.MitsubishiElectric.co.jp/fa/sols/efactory/index.html>
- (2) 三菱電機㈱: 三菱電機FA製品・ソリューション導入事例
<https://www.MitsubishiElectric.co.jp/fa/sols/cases/index.html>
- (3) 王時暁楠ニコル, ほか: IIoT導入レベル“SMKL”で推進するスマートマニュファクチャリング, ITUジャーナル, 52, No.2, 7~10 (2022)
- (4) Nakamura, T., et al.: MERLIN: Parameter-Free Discovery of Arbitrary Length Anomalies in Massive Time Series Archives, 2020 IEEE International Conference on Data Mining (ICDM) (2020)

データサイエンスツール “MELSOFT MaiLab”

中野翔太*
Shota Nakano
大津裕司*
Hiroshi Otsu

Data Science Tool "MELSOFT MaiLab"

要 旨

近年、企業活動でのデータ活用の重要性がますます高まっており、製造業でもデータを基にした生産現場改善への取組みが活発化している。ただし、データ収集や可視化から一歩進んだ高度なデータ分析を行う試みについては、データサイエンティストなど専門知識を持った人材の不足が障害となり、まだ広がっていない。

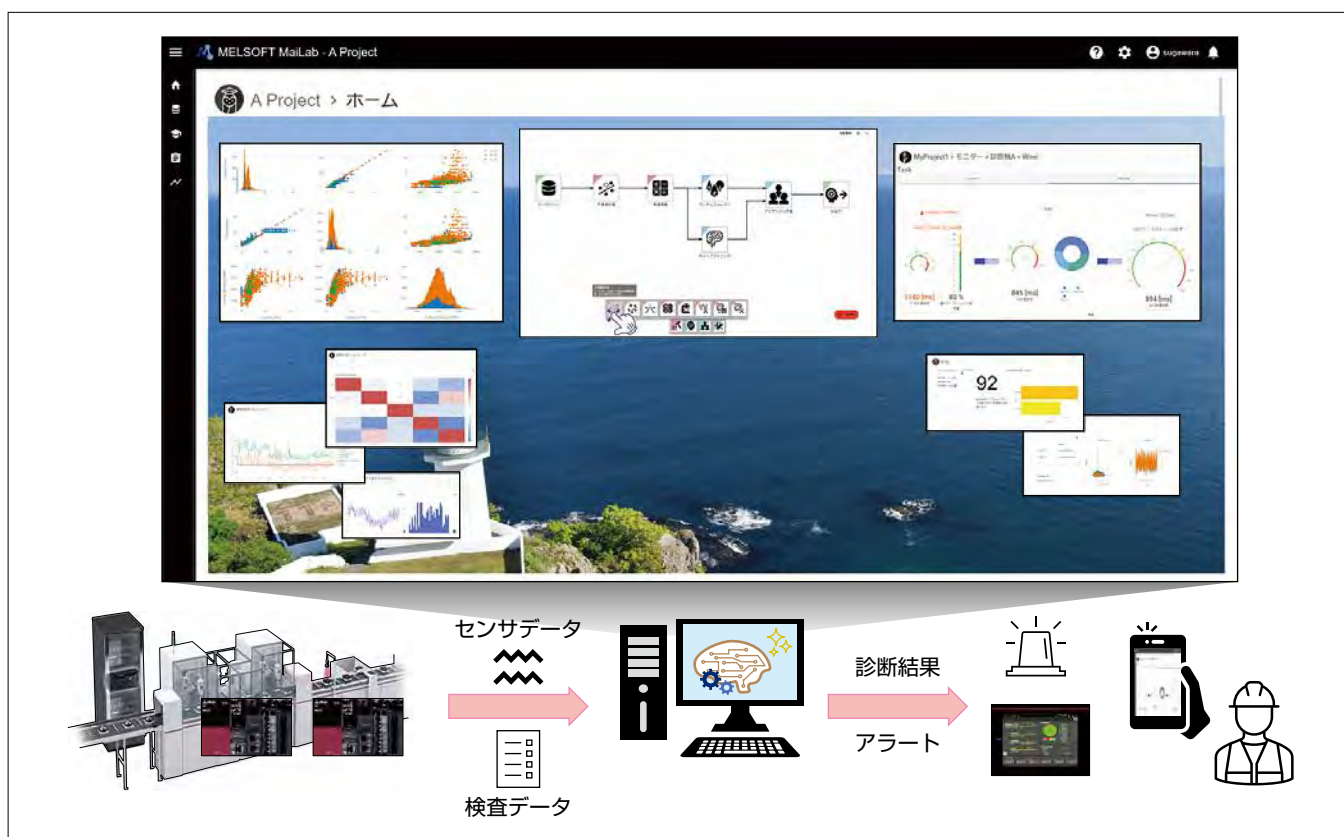
このような市場背景の中、三菱電機では、専門的な知識を必要としない高度なデータ分析を可能にし、分析結果をシームレスに生産現場へ適用するためのソリューションとして、データサイエンスツール“MELSOFT MaiLab”(メルソフトマイラボ)を開発した。

MELSOFT MaiLabは、近年の発展が目覚ましいディープラーニングなどのAI技術を取り入れた上に、専門的な知

識がなくても簡単な操作でAIによる自動学習を行える機能を搭載している。これによって、MELSOFT MaiLab自体が“専属のAIデータサイエンティスト”となって、現場の課題解決や改善を強力にサポートする。

また、AIが自動学習した診断モデルをカスタマイズする機能を備えているため、各生産現場で固有の対応が必要になった場合や、データ分析の有識者が診断モデルの改善を行いたい場合にも、柔軟に対応できる。

MELSOFT MaiLabの利用で、製造業のデータ活用の敷居を下げて誰もがデータを活用した生産現場の改善できるようになり、データ分析の民主化と企業競争力の向上に貢献する。



“MELSOFT MaiLab”の活用イメージ

MELSOFT MaiLabは、初めに生産現場からセンサデータや検査データを収集・蓄積し、AIが自動的に分析して診断モデルを作成する。運用時に生産現場データを診断モデルに入力することで、AIが診断を行い、診断結果やアラートをフィードバックする。データ可視化・診断モデル作成・診断モデル評価等はソフトウェアが自動的に行い、ユーザーは直感的なUI(User Interface)で簡単な操作を行うだけで、これらのデータ活用の仕組みを利用できる。

1. ま え が き

多くの製造業企業が生産現場改善にデータを活用しようとしている。しかし、その約半数が興味はあるものの着手できていない。そのような企業では、データ分析の人材・スキル不足が導入を阻む大きな原因となっているため、容易に導入・活用できるツールを求めている。また、ツールを専門知識なしで使えることを望む一方で、独自課題を解決する自作プログラムとの連携など、カスタマイズ性も求めている。

今回開発したデータサイエンスツールMELSOFT MaiLabは、改善担当者にデータ分析の専門知識がなくとも、ツール自体がデータサイエンティストになり診断モデル生成や生産改善提案を行うことができる。また、直感的なUIや独自プログラムによるカスタマイズ機能を備え、生産現場のデータ活用を促進する。

2. MELSOFT MaiLabの概要

データ活用による生産現場の改善を実現するための大まかな流れは、シーケンサやセンサから“データを集める”，集めたデータを“分析して診断モデルを作成する”，作成した診断モデルを“現場に適用して運用する”となる(図1)。“分析して診断モデルを作成する”フェーズは更に五つのステップがあり、各ステップの作業には手間と時間がかかるとともに、統計学などのデータ分析知識が必要とされ、データ活用の敷居を高くしている要因になっている。

MELSOFT MaiLabは、AIを活用することでデータ分析・診断モデル作成を自動化し、専門知識がなくとも、データ活用による生産現場改善を実現する。また、データ分析・診断モデル作成だけでなく、分析するためのデータの収集や、診断モデルの現場適用・運用監視までを一貫してサポートするソフトウェアである。

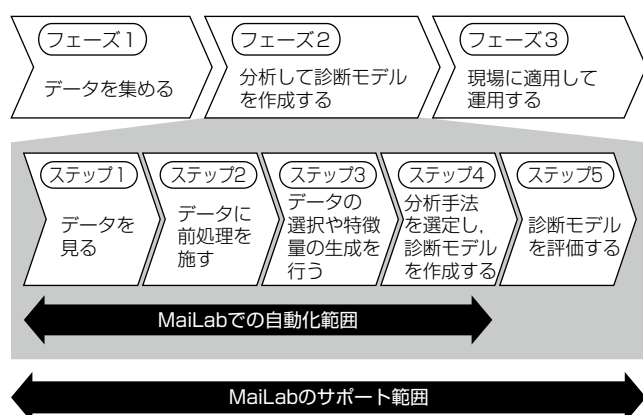


図1. データ活用による改善の流れ

3. MELSOFT MaiLabの特長

3.1 簡単分析

AIによる分析支援の特長の一つが、AutoML(Automated Machine Learning)によるAI自動学習機能であり、誰でも簡単に“データを分析して診断モデルを作成する”を実現している。

“異常を検出”や“未来を予測”などのデータ活用の目的や、“教師データの有無”などの情報について、問いかけに答えていくだけで目的達成に最適な診断モデルを自動作成することが可能である(図2)。

作成した診断モデルの良し悪しを測るために、指標に基づいてスコアリングして、テストデータに対する評価結果をグラフ描画する。診断モデルの生成だけでなく、学習結果や精度を示して運用への適用判断をサポートする(図3)。

3.1.1 高度な前処理機能

診断モデルの精度を良くするには、対象データをきれいな形に整形する、分析に必要なデータに絞り込む、データの特徴を見つけ出すなどのデータ前処理が重要となる。

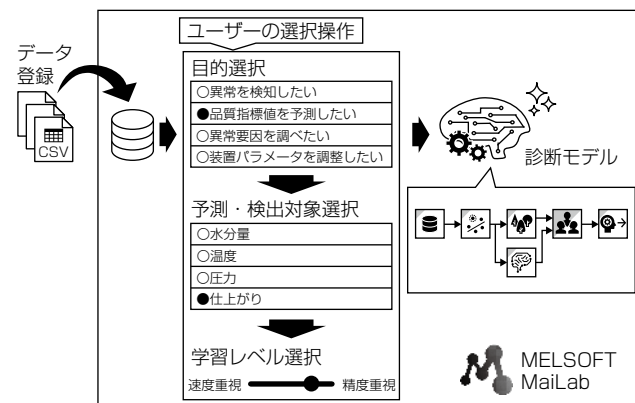


図2. AI自動学習操作手順のイメージ

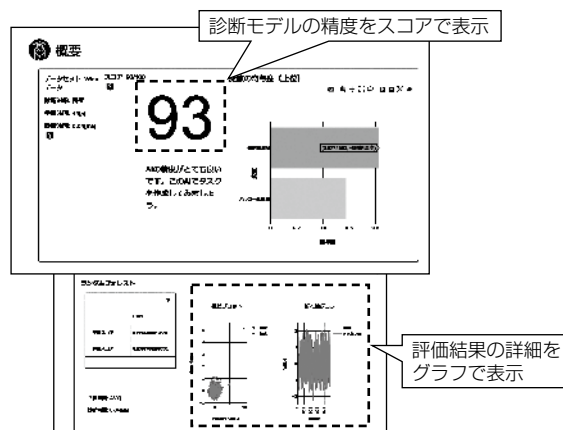


図3. 学習結果の表示画面

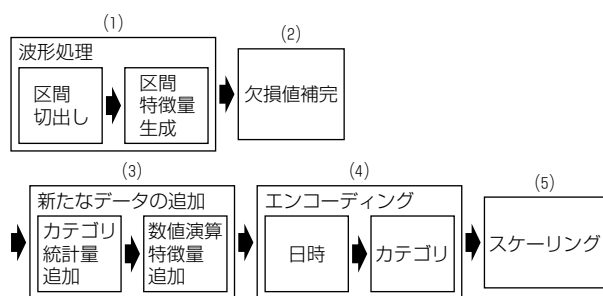


図4. データ前処理の流れ

MELSOFT MaiLabでは次の五つの前処理を自動で行い、データを最適化する(図4)。

(1) 波形処理

センサの計測データなど時系列に変化する波形データに対して、データを区間に区切って切り出し、切り出したデータを特徴量化する。

(2) 欠損値補完

欠損値(センシングできなかった場合の空白など)に対して適切な補完処理を行う。

(3) 新たなデータの追加

診断に対して影響が大きい変数を自動で特定し、特定した変数を統計量化して新たな特徴量として追加する。また、それらの重要度の高い変数同士を演算して新たな特徴量として追加する。

(4) エンコーディング

そのままのデータ形式では学習が行えないデータを、データが持つ特徴はそのままに、学習可能なデータ形式へ変換する。

(5) スケーリング

適切な学習を行うため、また学習結果の評価をしやすくするために、データを同等のスケールに変換する。

3.1.2 効果的かつ高精度な学習

前処理したデータを使って、自動的に学習を行う。ただ自動処理するのではなく、効果的な学習が行えるようにチューニングし、複数の手法を組み合わせる高精度な予測を行えるように学習する。

MELSOFT MaiLabでは次の三つの処理を行い、学習全体を自動化してより良い診断モデルを生成する。

(1) ハイパーパラメータの最適化

ハイパーパラメータとは、分析手法の挙動を制御するための設定値である。設定内容によって予測結果や精度が変わるため、MELSOFT MaiLabでは、探索を行って分析手法ごとの最適化を行う。

(2) 様々な分析手法を搭載

従来活用されている統計的な手法に加えて、ディープラーニングなどの機械学習手法を搭載している。これらの

新しい機械学習手法では、複雑性が高いデータからでも表現力の高い学習を行うことができる。

(3) アンサンブル学習

アンサンブル学習は、予測精度を向上させるために複数の分析手法の予測結果を組み合わせる手法である。分析手法によって計算方法が異なるため、同じデータで学習や予測を行っても、分析手法ごとに結果は異なる。単一の手法で予測した場合、データや手法の特性によって結果に偏りが生じる場合がある。アンサンブル学習によって、それぞれの手法の得意／不得意な傾向を学習し、単一の手法で予測した場合に比べて高い精度の予測が可能になる(図5)。

3.2 診断モデルの自由なカスタマイズ

自動作成した診断モデルは、データ入力から予測結果出力までの流れを、専用のエディタで確認・編集できる(図6)。図中のアイコンは、データ処理方法や分析手法をパッケージ化した機能ブロックを表しており、マウス操作でブロックを配置・結線するだけで、簡単にモデルの編集が行える。

データ加工などの前処理をユーザー自身で工夫し、自動生成された診断モデルの改善を図る。ソフトウェア任せではなく、前処理や診断手法まで一からユーザー自身で作成するなど、ユーザー自身のデータ分析知識を活用して診断モデルを作成することも可能にしている。

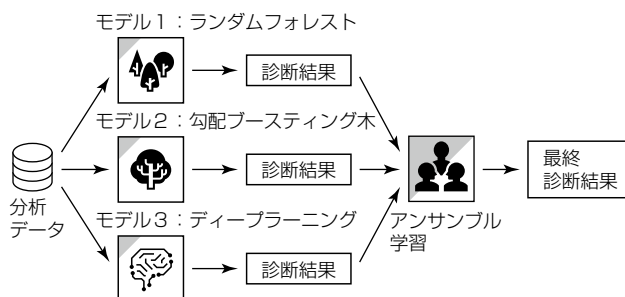
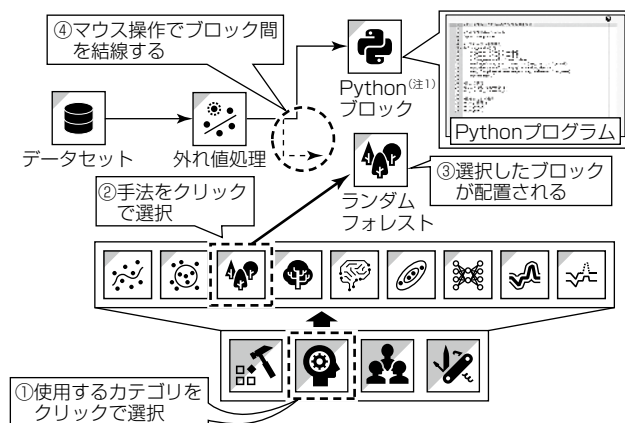
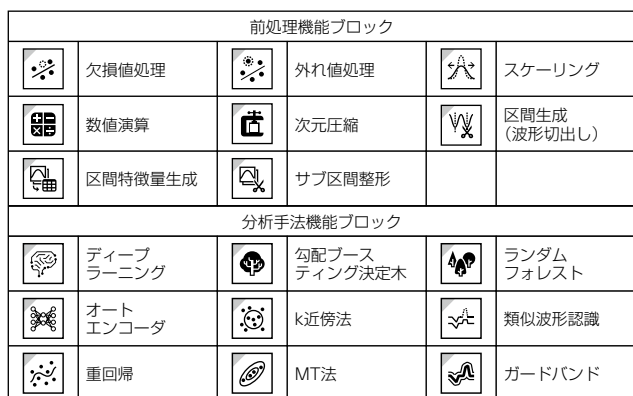


図5. アンサンブル学習のイメージ



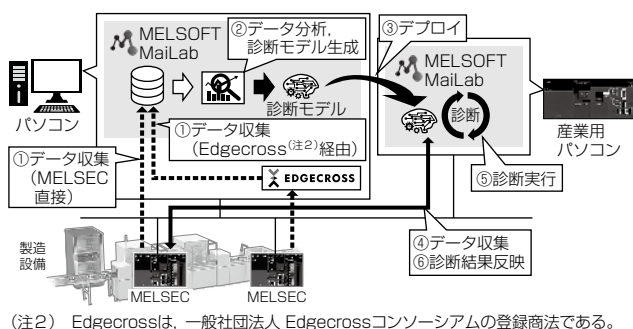
(注1) Pythonは、Python Software Foundationの登録商標である。

図6. エディタでのモデル編集操作



MT: Mahalanobis-Taguchi

図7. 分析用機能ブロック一覧



(注2) Edgecrossは、一般社団法人 Edgecrossコンソーシアムの登録商法である。

図8. システム構成例

また、自作のPythonコードを組み込む機能ブロックも用意しており、ユーザーオリジナルの処理と連携させて診断モデルの精度向上を行える(図7)。

3.3 データ活用での高い利便性

データ活用による生産現場改善のためには、診断モデルを現場に適用し、現場でリアルタイムに発生するデータによる状態監視や予兆検知まで実現する必要がある。一般的なデータ分析ソフトウェアでは診断モデルの運用機能まで持つものは少なく、別途システム構築が必要になる。MELSOFT MaiLabは診断モデルの作成と運用を一つのソフトウェアで実現しており、同一パソコン上又は別パソコン上にデプロイしてそのまま運用が可能である(図8)。

また、三菱電機シーケンサMELSECやEdgecross基本ソフトウェアとのデータ連携機能も持っているため、データ収集システムや診断システムを別途構築する必要がなく、運用までの立ち上げ時間の短縮とコストの削減が可能である。

4. 活用事例

MELSOFT MaiLabによって、データサイエンティストでなくても、ディープラーニングなどの技術を使った診断モデルの作成や現場適用を行える。生産現場でのデータ活用の一例として、多くの製造業が課題にしている熟練工

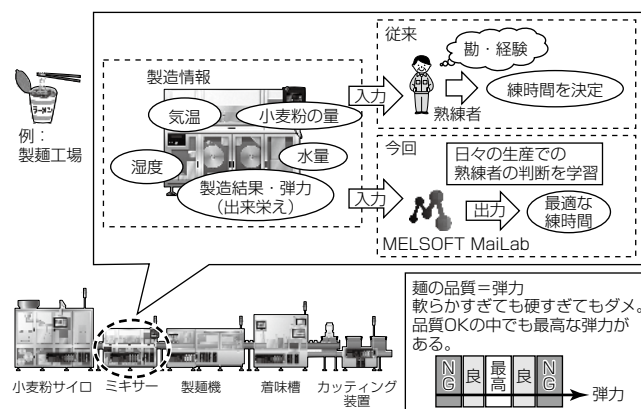


図9. 最適な制御パラメータ提案のユースケース

ノウハウの継承について適用方法を述べる。

4.1 最適な制御パラメータ提案

熟練工は、自身の勘や経験から、その時点で望ましい制御パラメータを判断して設定できる。しかしそのノウハウは暗黙知であり、熟練工のリタイヤによって失われることが問題になっている。

MELSOFT MaiLabでは、製造情報と、熟練工が判断した制御パラメータをセットにして学習することで、熟練工と同じような制御パラメータ設定を提案する診断モデルを作成できる(図9)。これによって、経験の浅い作業員でも熟練工と同じような設定ができるようになる。

4.2 異常の要因推定

装置の故障や製品の不良が発生した場合、異常発生後に過去の事象を調査して要因を推定するが、異常に直面した経験の少ない作業員では、ノウハウが少なく調査に時間を要することもある。

MELSOFT MaiLabでは、過去にどのような状況でどのような種類の異常が発生したかの情報を学習させることで、異常が発生した際の状況を基にその要因を推定できる。これによって、経験やノウハウを必要とする要因調査を支援して調査時間を短くできる。その結果、装置のダウンタイムを短縮し、生産性の向上に寄与できる。

5. むすび

製造現場のデータ活用をトータルサポートするMELSOFT MaiLab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。

データ分析やAIは日進月歩であり、強力な技術が増え続ける一方で、データ分析人材やスキルの不足は深刻化する。今後も、新しい技術の拡充や適用範囲の拡大を行うことで、製造現場の課題解決や生産性向上に貢献していく。

モバイルアプリケーション活用による 生産現場の見える化ソリューション

原 泰裕*
Yasuhiro Hara
兼子貴弘*
Takahiro Kaneko

Production Site Visualization Using Mobile Applications

要 旨

近年、工場の生産現場では省人化で一人の作業者が担当する装置が増加し一つの装置に作業者が常駐することが減少している。さらに新型コロナウイルスのまん延を受け、リモートワーク化が進み、低コストで容易に導入できるリモートソリューションの要求が増加している。同時に設備のIoT化に伴い、リモートソリューションを導入する上で、設備から情報を収集する“生産現場の見える化”が求められている。

これらの現状を踏まえ、リモートワークも視野に入れた三菱電機製タッチパネル付き表示器“GOT2000シリーズ”のリモートソリューションである“GOT Mobile”と連携した

モバイルアプリケーション“Pocket GOT”を開発した。これによって簡単に設備のIoT化を実現できるFAアプリケーションパッケージ“iQ Monozukuri工程リモート監視”⁽¹⁾を活用した生産現場の見える化ソリューションを実現した。

Pocket GOTの特長は次のとおりである。

- (1) 生産現場で発生したアラームを受信し、バイブレーション、音、バナーなどで通知する。
- (2) GOT Mobileと連携し、アラームが発生した現場情報の確認ができる。
- (3) モバイル端末の写真や画像、テキストで登録した現場情報の共有ができる。



モバイルアプリケーション“Pocket GOT”

離れた生産現場で発生したアラームを手元のモバイル端末へ通知し、従来のリモートソリューションであるGOT Mobileと組み合わせることで、異常発生時の現場での対応が更に迅速になる見える化を実現するモバイルアプリケーションである。

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。そのGOTを通じて、遠隔地のパソコンやタブレットなどのモバイル端末から現場の接続機器をモニタ・操作を可能にする当社製リモートソリューションであるGOT Mobile(図1)が市場で好評であったことを受け、機能開発への需要が更に高まった。

一方で、GOT Mobileは遠隔地のパソコンやモバイル端末でWebブラウザを起動していないと現場で異常が発生したことを迅速には把握できないため、常にWebブラウザを起動しておく必要があった。

そこで離れた生産現場の状況をより迅速に把握するため、生産現場で発生したアラームの通知を手元のモバイル端末で受信し、モバイル端末やパソコンから設備の遠隔監視・操作を可能にするGOT Mobileと連携したモバイルアプリケーションPocket GOTを2021年5月に市場投入した。

本稿では、Pocket GOTの特長、機能実現のための技術と工夫した点について述べる。

2. Pocket GOTの特長

2.1 リモートで異常を把握

Pocket GOTは、Android^(注1)版のモバイルアプリケーションGoogle playで無償公開している。Pocket GOTは、離れた生産現場のGOTから送信されたユーザーアラーム発生情報を手元にあるモバイル端末で音、振動、バナーによって受信できる。このため、作業者は従来のようにモバイル端末でWebブラウザを起動しておかなくても生産現場の異常を迅速に把握できる(図2)。

(注1) Androidは、Google LLCの登録商標である。

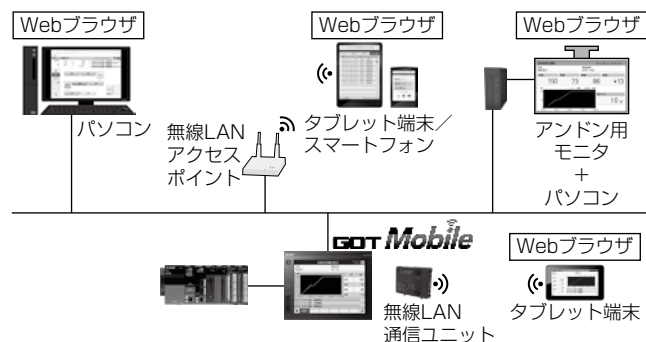


図1. GOT Mobileのシステム構成



図2. リモートでの異常把握

2.2 設備状態とアラーム履歴を確認

当社のリモートソリューションGOT Mobileと連携してPocket GOTからGOT Mobileで使うWebブラウザを起動してGOT Mobile専用画面を表示できる。このため、アラーム通知した現場の情報やアラーム履歴を手元のモバイル端末で確認できる(図3)。

2.3 作業メモの一括表示

Pocket GOTをインストールしているモバイル端末で作成した画像付きの作業メモ(日報や報告書など)をGOTに送信できる。また専門的な知識がなくても簡単にシステム構築が可能で、設備のIoT化を実現できる当社製FAアプリケーションパッケージiQ Monozukuri工程リモート監視を活用して生産現場の各ラインに設置されているGOTから作業メモの収集が可能である。これによって事務所のパソコンで帳票形式の作業メモを一括で表示でき、写真や画像、テキストで登録した現場情報を共有できる(図4)。



図3. 設備状態とアラーム履歴の把握

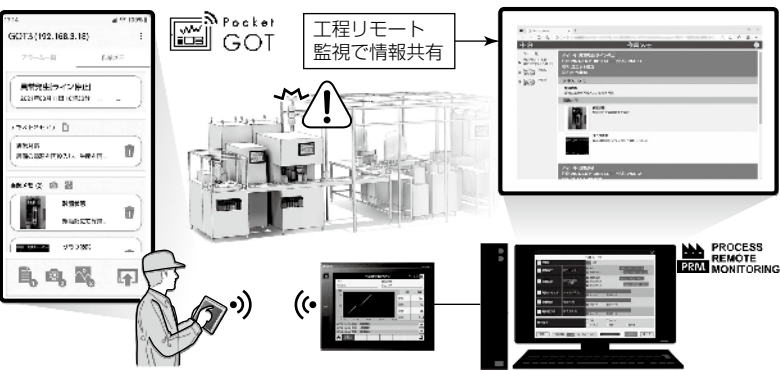


図4. 作業メモの一括表示

見を活用できることや当社の他製品で実績があることからPocket GOTの開発環境としてMicrosoft社のクロスプラットフォーム開発環境であるXamarin⁽⁴⁾を採用した。

- (注3) iOSは、Cisco Technology, Inc.の登録商標である。
- (注4) Visual C#, Visual studio, Xamarinは、Microsoft Corp.の登録商標である。

4. 機能実現のための技術、工夫した点

4.1 システム構成

Pocket GOTのシステム構成を述べる。Pocket GOTは、離れた生産現場の異常を通知する“アラーム通知機能(図5①)”と生産現場の点検結果を作成する“作業メモ機能(図5②)”で構成されている。アラーム通知機能は、同一ポートを使ってサーバ/クライアント形式で通信するHTTP(HyperText Transfer Protocol)通信を活用しており、GOT Mobileで搭載実績のある通信ライブラリによってアラーム要求をHTTP通信で送信し(図5③)、要求を受けたGOT MobileはHTTP通信によってアラーム情報を通知する役割を担う(図5④)。作業メモ機能は、生産現場で記録した文字列や画像から構成されるデータをGOTへFTP(File Transfer Protocol)通信によって送信する役割を担う(図5⑤)。

またパソコンに複数設備の情報の収集と見える化をするFAアプリケーションパッケージiQ Monozukuri工程リモート監視(図5⑥)をインストールしておくことで、GOTから作業メモデータを取得し(図5⑦)、HTML(HyperText Markup Language)形式で一括表示する(図5⑧)ことを可能にした。

4.2 アラーム通知方法

アラーム通知方法には、モバイルアプリケーション内部で通知を発行することで通知をモバイル端末に表示するローカル通知と、インターネットへ接続することでクラウドサーバから発行される通知を受け取りモバイル端末で表

3. Pocket GOTの開発

3.1 アプリケーション形態

モバイルアプリケーションのアプリケーション形態には、アプリケーションのインストールが必要でアプリケーション単体で動作する“ネイティブアプリケーション”、アプリケーションのインストールが不要でWebブラウザ上で動作する“Webアプリケーション”、インストールが必要であるがメイン機能はWebブラウザ上でWebアプリケーションとして実行される“ハイブリッドアプリケーション”の三つが存在する。

Pocket GOTは、生産現場で発生したアラームを手元のモバイル端末で受信するために、常にモバイル端末のバックグラウンドでも動作する処理を実装する必要がある。しかしながら、Webブラウザ上で動作するWebアプリケーションやハイブリッドアプリケーションはバックグラウンドで実装できない機能があるため、バックグラウンドで実装する機能に制限のないネイティブアプリケーションを採用した(表1)。

3.2 開発環境

Pocket GOTをインストールするモバイル端末には、マルチプラットフォーム環境(iOS^(注3), Android)への対応が求められており、Visual C#^(注4)やVisual studio^(注4)の知

表1. モバイルアプリケーション形態比較表

選定ポイント	ネイティブアプリケーション	Webアプリケーション	ハイブリッドアプリケーション	重要度
端末機能制約 ^(注2)	○：制約なし	×：制約あり	△：一部制約あり	高 ↑ 低
ネットワーク接続	○：不要	×：必要	△：一部必要	
システム構成	○：容易	×：複雑	×：複雑	
動作安定性	○：高い	×：環境依存	△：一部環境依存	
端末の汎用性	×：低い	○：高い	×：低い	
プログラムの汎用性	×：低い	○：高い	○：高い	低

(注2) カメラ・通信機能など

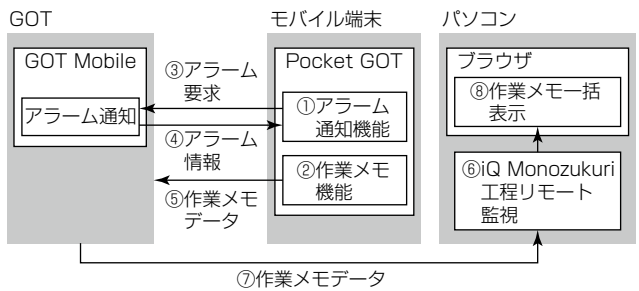


図5. Pocket GOTのシステム構成

示するオンライン通知がある。前者はオフライン端末への通知機能の実装量が少ない点がメリットだが、スリープ時の動作担保の難易度が高い点がデメリットである。後者は、バックグラウンドでの通知で実装が容易な点がメリットだが、インターネットへ接続されていないオフライン端末への通知の実装が不可であり、通知用のサーバが必須で構成が複雑になる点がデメリットである(図6)。

Pocket GOTでは、オフライン端末への通知が可能であり、容易に導入できるローカル通知で実現する手法を取り入れ、Pocket GOTからGOTへアラーム発生状況の要求を送信し、GOTからアラーム情報を受信し、新規アラームがあればPocket GOT内部で通知を生成するシーケンスを採用した(図7)。

4.3 モバイル端末スリープ時の通信処理の分割

モバイル端末がアクティブ状態の場合、フォアグラウンドとバックグラウンドの動作がある。フォアグラウンドは、モバイルアプリケーションの動作が優先される状態であり、基本的に動作に制限はない。バックグラウンドは、モバイルアプリケーションは起動しているが、モバイルアプリケーション画面が表示されていない状態であり、画面に

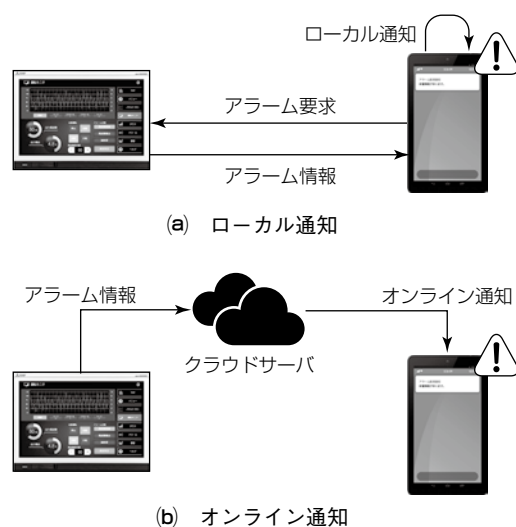


図6. ローカル通知とオンライン通知

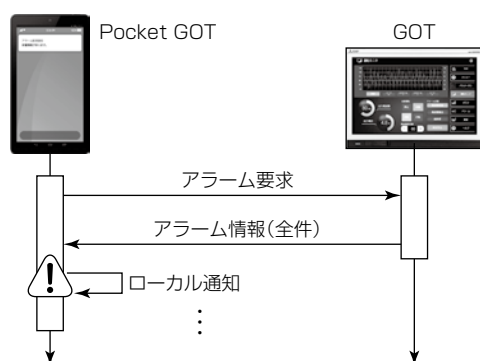


図7. ローカル通知のシーケンス

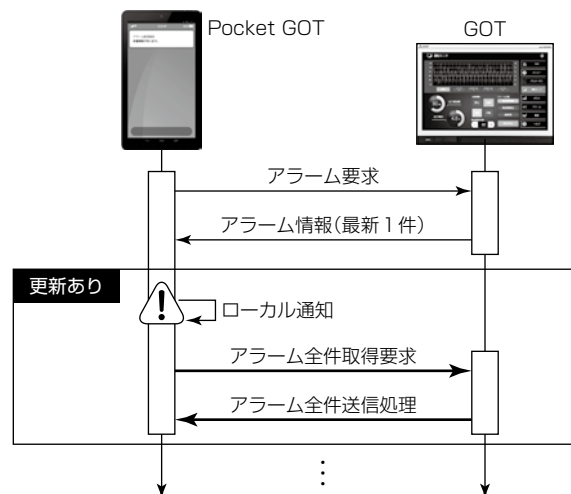


図8. 通信処理の分割

表示されている他のアプリケーションよりも動作の優先度が低いためモバイルアプリケーションの動作に制限がある。またモバイル端末がスリープの場合は、モバイルアプリケーションの動作に強い制限がある。

このような動作制限によって発生し得る様々なリスクを考慮し、Pocket GOTをバックグラウンドやスリープ時でも、処理としてはフォアグラウンドとして動作させる仕組みにした。しかし、モバイル端末がスリープ時にPocket GOTからGOTへ定期的にはアラームを要求する処理に遅延が発生する課題が顕在化した。

そこでPocket GOTは、GOTへ送信したアラーム要求に対して、GOTから最新1件のアラーム情報だけを受信し、Pocket GOT内部で前回受信時のアラーム情報と比較して通知処理が必要か判定する処理に変更することで、スリープ中の処理を削減し、周期性を確保した。この通信処理の分割によってスリープ時も含めバックグラウンドでのPocket GOTの処理を定期的に行うことができる仕組みを実現した(図8)。

5. む す び

GOT2000シリーズとGOT Mobile, iQ Monozukuri工程リモート監視との連携によって、異常発生時の現場での対応が更に迅速になる見える化ソリューションを生産現場で簡単・低コストで導入できるモバイルアプリケーションPocket GOTについて述べた。

今後は、ユーザーの使いやすさを更に追求し、機能拡充を行っていく。

参考文献

- (1) 大小嶋紗碧, ほか: FAアプリケーションパッケージ“iQ Monozukuri工程リモート監視”, 三菱電機技報, 94, No.4, 236~239 (2020)

三菱電機シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ” のCPUユニット“WinCPU”

増井 翼*
Tsubasa Masui
渡邊貴弘*
Takahiro Watanabe

CPU Module "MELSECWinCPU" of Programmable Controller "MELSEC iQ-R Series"

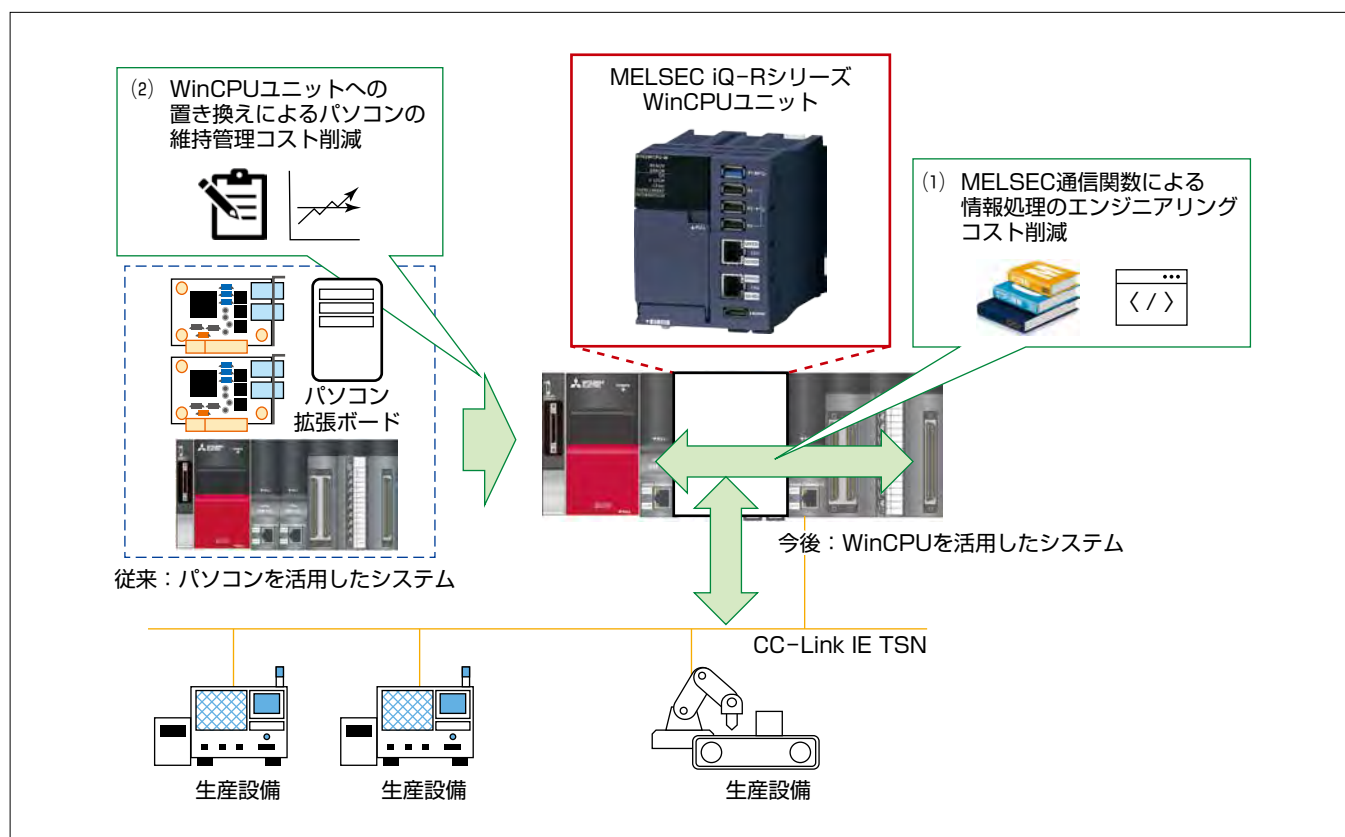
要 旨

三菱電機シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”は、TCO (Total Cost of Ownership)削減の観点から製造業の課題を解決するために開発した三菱電機のシーケンサである。労働人口の減少や働き方改革の浸透によって、製造業でも現場で扱う情報のデジタル化が推進されており、パソコン活用による情報のデジタル化のニーズが増えている中、“情報処理のエンジニアリングコスト削減”“パソコンの維持管理コスト削減”などが課題になっている。これらの課題を解決するため、オペレーティングシステムにMicrosoft Windows^(注1)10 IoT Enterprise LTSC 2019を採用したMELSEC iQ-RシリーズのCPUユニット“WinCPU”(以下

“WinCPUユニット”という。)を開発した。

WinCPUユニットは、Windows OSを搭載し、複雑なプログラミングが不要でシーケンサと連携可能なCPUユニットである。WinCPUユニットにプリインストールしているライブラリ“MELSEC通信関数”によって、Windows OSからシーケンサ各種ユニットと簡単に連携可能にして情報処理のエンジニアリングコストの削減を実現した。また、MELSEC iQ-Rシリーズの豊富な各種ユニットとWinCPUユニットを連携させることで、パソコンが抱える維持管理コストの削減を実現した。

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



MELSEC iQ-RシリーズのWinCPUユニットで実現できること

オペレーティングシステムにWindows OSを搭載したWinCPUユニットによって、次のコスト削減を実現する。

- (1) プリインストールしているMELSEC通信関数によって情報処理のエンジニアリングコストを削減
- (2) 接続性検証済みの豊富なMELSEC iQ-Rシリーズのユニットを活用することで、パソコンの維持管理コストを削減

1. ま え が き

少子高齢化に伴う生産年齢人口の減少や働く人々のニーズの多様化を背景にして、製造業にも働き方改革の推進が求められており、対応策の一つとして“時間当たりの生産性の向上”が挙げられている。この対応策を実施する上では、現場で扱う情報のデジタル化が欠かせない。そのため、パソコン活用による情報のデジタル化のニーズが増えているが、“情報処理のエンジニアリングコスト削減”“パソコンの維持管理コスト削減”などが課題になっている。

これらの課題を解決するために、三菱電機シーケンサ MELSEC iQ-Rシリーズでは、生産現場の情報を収集・分析できる製品をリリースしている(表1)。各用途に特化してプログラムの作成を不要にすることで導入に要するエンジニアリングコストを削減できる製品になっている。また、MELSEC iQ-Rシリーズの特長である耐環境性と長期安定供給によって維持管理コストを削減できる。

一方で、情報のデジタル化のニーズは多様化・高度化しており、データの管理・分析・活用を顧客の製造現場に最適化することが求められている。このようなニーズを実現するため、自前でアプリケーションを開発したり、豊富なアプリケーションを活用したりすることが可能なWindows OSを搭載したMELSEC iQ-RシリーズのWinCPUユニットを開発した。

WinCPUユニットは、シーケンサの他のユニットと連携することで、IoT(Internet of Things)やAI、データ分析の活用を推進し、製造業での“情報処理のエンジニアリングコスト削減”“パソコンの維持管理コスト削減”など、課題の解決を図る。

表1. MELSEC iQ-Rシリーズの情報連携製品

製品名	特長
MESインタフェースユニット	シーケンス制御システムとITシステムのデータベースをプログラムレスで連携
OPC UAサーバユニット	シーケンサのベースユニットに装着可能な組込みOPC UAサーバ
レコーダユニット、カメラレコーダユニット	事後保全ソリューション システムレコーダのレコーディング専用ユニット。問題発生前後の全デバイス/ラベルデータを毎シーケンススキャン、タイムスタンプ付きで収集
高速データロガーユニット、高速データコミュニケーションユニット	生産状況などをシーケンススキャンに同期して高速に収集し、加工・集計しやすい形で記録
C言語インテリジェント機能ユニット	OSにVxWorks ^(注2) を搭載し、C/C++プログラムの実行が可能。またLinux ^(注3) に対応しており、各社クラウドサービスとの連携やPython ^(注4) によるプログラミングが可能

MES : Manufacturing Execution System

OPC : Open Platform Communications

UA : Unified Architecture

(注2) VxWorksは、Wind River Systems, Inc.の登録商標である。

(注3) Linuxは、Linus Torvalds氏の登録商標である。

(注4) Pythonは、Python Software Foundationの登録商標である。

本稿では、MELSEC iQ-RシリーズのWinCPUユニットについて述べた後に、WinCPUユニット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 WinCPUユニット

2.1 MELSEC iQ-Rシリーズ

MELSEC iQ-Rシリーズは、TCO削減の視点から製造業の課題を解決するために開発した当社のシーケンサである。シーケンサはFA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る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シリーズの実績ある豊富なユニットを活用してシステムを構築できる。また、シーケンサCPUやモーションCPUと連携した高精度な制御や、オープン統合ネットワークCC-Link IE TSNによる情報系から生産現場までのシームレスな高速通信が実現可能である。

2.2 WinCPUユニット

WinCPUユニットは、オペレーティングシステムにWindows OSを採用しており、パソコン環境で行うような情報処理をシーケンサの環境で実施できる。WinCPUユニットの仕様を表2に示す。WinCPUユニットはWindows OS上で様々なアプリケーションを実行できる。また、C/C++, Visual Basic^(注9), C#でアプリケーションの開発が可能である。また、パソコンに搭載されている一般的なインタフェースを搭載しており、パソコンの多種多様な周辺機器と組み合わせることで用途に合わせた構成にできる。

(注9) Visual Basicは、Microsoft Corp.の登録商標である。

表2. WinCPUユニットの仕様

項目	内容
OS	Windows 10 IoT Enterprise LTSC 2019
プログラミング言語	C/C++, Visual Basic, C#
MPU	Intel Atom ^(注5) E3930 Dual Core
メインメモリ	4 GB
内部ストレージ	60GB
外部インタフェース	USB3.0 : 1 ch, USB2.0 : 3 ch
	Ethernet ^(注6) (1000BASE-T) : 2 ch
	RS232 : 1 ch
表示インタフェース	HDMI ^(注7)
メモリアインタフェース	SDHC, CFast ^(注8)

LTSC : Long-Term Servicing Channel

MPU : Micro Processing Unit

SDHC : SD High Capacity

(注5) Intel Atomは、Intel Corp.の登録商標である。

(注6) Ethernetは、富士フイルムビジネスイノベーション(株)の登録商標である。

(注7) HDMIは、HDMI Licensing Administrator, Inc.の登録商標である。

(注8) CFastは、CompactFlash Associationの登録商標である。

3. WinCPUユニットの特長

3.1 Windows単独再起動機能

Windows OSをシーケンサシステム上で動作させる際の問題の一つとして、Windows OS上で動作しているアプリケーションのアップデートやハングアップによってOSを再起動した場合、シーケンサシステム全体の動作が停止する点があった。この問題を解決するために、WinCPUユニットにはWindows OSから独立したシステム制御機能を搭載しており、システム上の他のユニットの動作を継続した状態でWindows OSの再起動が可能である。この機能によって、マルチCPUシステム構成でシーケンサCPUやモーションCPUによる制御を停止させることなくWindows OSを再起動できるため、システムの稼働率が向上する(図1)。

3.2 Windows 10 IoT Enterprise LTSC 2019の採用

WinCPUユニットではOSにWindows 10 IoT Enterprise LTSC 2019を採用している。通常のWindows 10では、新機能の追加を目的にした機能更新プログラムと、セキュリティの脆弱性や不具合の修正を目的にした品質更新プログラムが提供されている。Windows 10 IoT Enterprise LTSC 2019では機能更新プログラムは提供されず、品質更新プログラムだけが提供されている。これによって、最新の状態を保ちながら、システムを安定して稼働させることができる。

3.3 シーケンサ各種ユニットに簡単にアクセス可能

WinCPUユニットでは、Windowsプログラムとシーケンサ各種ユニットとの通信手段としてMELSEC通信関数を提供している。MELSEC通信関数はWindows OS上のC/C++, Visual Basic, C#プログラムから実行可能な

ライブラリであり、WinCPUユニットからシーケンサ各種ユニットへのアクセスが可能になる。MELSEC通信関数は、同一のベースユニットに接続されているシーケンサ各種ユニットへのアクセスに加えて、ネットワークを経由したCPUユニットへのアクセスも可能である。また、MELSEC通信関数の使用時はこれらの通信経路に依存しない通信ライブラリとして提供しているため、アクセス対象ユニットのスロット番号やネットワークNo.など、アクセス対象ユニットを特定する引数を指定するだけで簡単に利用が可能である。これによって、Windows OSのアプリケーションや周辺機器などの豊富な資産とシーケンサ各種ユニットが簡単に連携可能になる。また、プログラムを開発する開発環境としてはVisual Studio^(注10)をサポートしているため、使いなれた環境での開発が可能になる。

(注10) Visual Studioは、Microsoft Corp.の登録商標である。

3.4 堅牢なハードウェア

WinCPUユニットには冷却ファンやディスクドライブなどの駆動部品を使用しておらず、MELSEC iQ-Rシリーズの他のユニットと共通の耐環境性を持つ。また、MELSEC iQ-Rシリーズの特長である耐環境性と長期安定供給によって維持管理コストを削減できる。さらに、シーケンサCPUと同等のRAS(Reliability Availability Serviceability)機能を持つため、パソコンを使用したシステムよりも高信頼かつ堅牢(けんろう)なシステムを構築できる。

4. WinCPUユニットによる製造業の課題解決

4.1 情報処理のエンジニアリングコスト削減

製造業では情報処理と制御処理を連携させるためのエンジニアリングコストの削減が課題になっている。製造業で主に使われているラダー言語は、シーケンス制御のような制御処理を得意としている。一方、C言語などの高級言語は、シーケンス制御は得意ではないが、数値解析処理のように複雑な演算が必要になる情報処理が得意である。そのため、情報処理と制御処理を両方必要とするシステムでは、情報処理が得意なパソコンと制御処理が得意なシーケンサシステムを連携させる場合がある。

しかし、パソコンとシーケンサシステムを連携させる場合、通信プログラムが双方に必要であるため、通信プログラム開発によるエンジニアリングコストが増大する。また、通信プログラムがシーケンサシステムの制御に及ぼす影響を考慮した開発など、本来開発したい設備や装置の付加価値以外の開発が必要になり、エンジニアリングコストが余分にかかっていた。

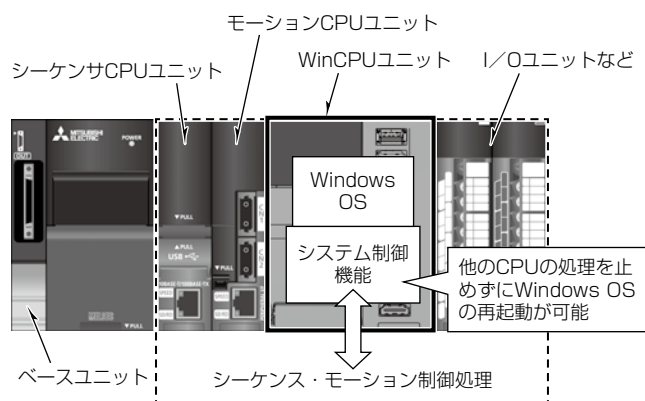


図1. Windows単独再起動機能

WinCPUユニットでは、MELSEC通信関数を用いてシーケンサシステムと連携させることでこれらの課題に対応する。MELSEC通信関数によって、既存のシーケンサシステム側の通信プログラムが不要でシーケンサ各種ユニットと簡単に連携できる。これによって、既存の設備に情報処理を追加する際は、既存のシーケンサシステムに対してWinCPUユニットを追加することで、設備の制御処理は従来どおりのシーケンサ各種ユニットで実現し、情報処理はWinCPUユニットで実現が可能になる。このため、設備や装置の付加価値となる機能の開発に注力でき、情報処理と制御処理を連携させるためのエンジニアリングコストを削減できる(図2)。

4.2 パソコンの維持管理コスト削減

製造業では、情報処理や制御処理に使うパソコンの維持管理コストの削減も課題になっている。発生する主な維持管理コストとしては、パソコン及びパソコン用拡張ボードの生産中止によるハードウェア、ソフトウェアの開発コストやOSの意図しない機能更新による既存プログラムへの影響に対する処置コストなどがある。

パソコン及びパソコン用拡張ボードはライフサイクルが比較的短く、安定的に入手することが難しい。また、パソコンでI/O制御、アナログ制御やモーション制御をする際に多く使用されるパソコン用拡張ボードは、それぞれ製

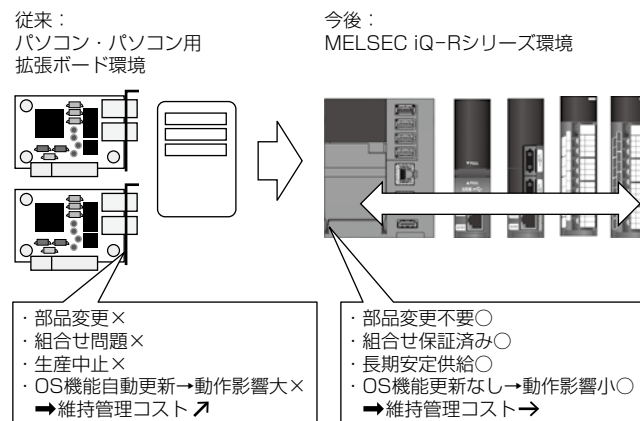


図3. パソコンとWinCPU運用時の維持管理コスト

造メーカーが異なる場合が多くあることから相性問題が発生したり、細かいチューニングを実施したりする場合がある。これらの部品が生産中止や仕様変更される場合は変更に対するハードウェア、ソフトウェアの開発が必要になるため、維持管理コストが多くなっている。また、OSの機能更新が自動的に行われることで、これまで動作していたプログラムに影響を及ぼす場合があり、Windows OSをFA用途で運用する際の維持管理コストも問題となっている。

WinCPUユニットは豊富なMELSEC iQ-Rシリーズの各種ユニットを用いること、及びWindows 10 IoT Enterprise LTSCの活用によって先に述べた課題に対応する。

MELSEC iQ-Rシリーズの各種ユニットは長期安定供給可能である。WinCPUユニットはシーケンサ各種ユニットとの連携が可能であり、組合せ保証済みの各種ユニットが調達可能である。これによって、従来変更時にかかっていた維持管理のエンジニアリングコストの削減が可能である。また、Windows 10 IoT Enterprise LTSCの採用によって、機能更新プログラムは提供されず、品質更新プログラムだけが提供されるため、既存の設備への影響を最小限にできる(図3)。

5. む す び

MELSEC iQ-RシリーズのWinCPUユニットについて述べた。WinCPUユニットによってシーケンサの環境でWindows OSを利用することが可能になり、パソコンを利用して情報のデジタル化を行う際の課題になっていた“情報処理のエンジニアリングコスト削減”“パソコンの維持管理コスト削減”を解決できる。

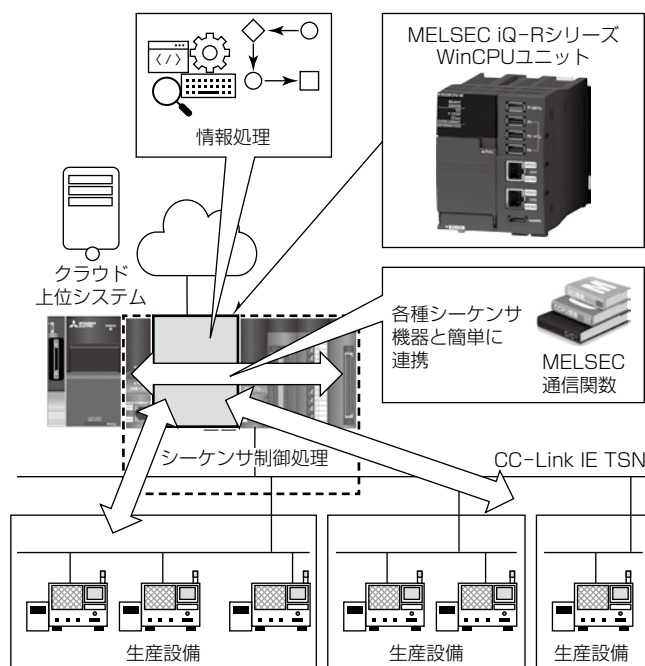


図2. 情報処理とシーケンサ制御処理の連携

製造業のスマートファクトリー化を支援するシミュレータ“NC Virtual Simulator”

東 俊博*
Toshihiro Azuma
伊藤裕規*
Yuki Ito
小野俊郎*
Shunro Ono

Simulator "NC Virtual Simulator" to Support Manufacturing Digital Transformation

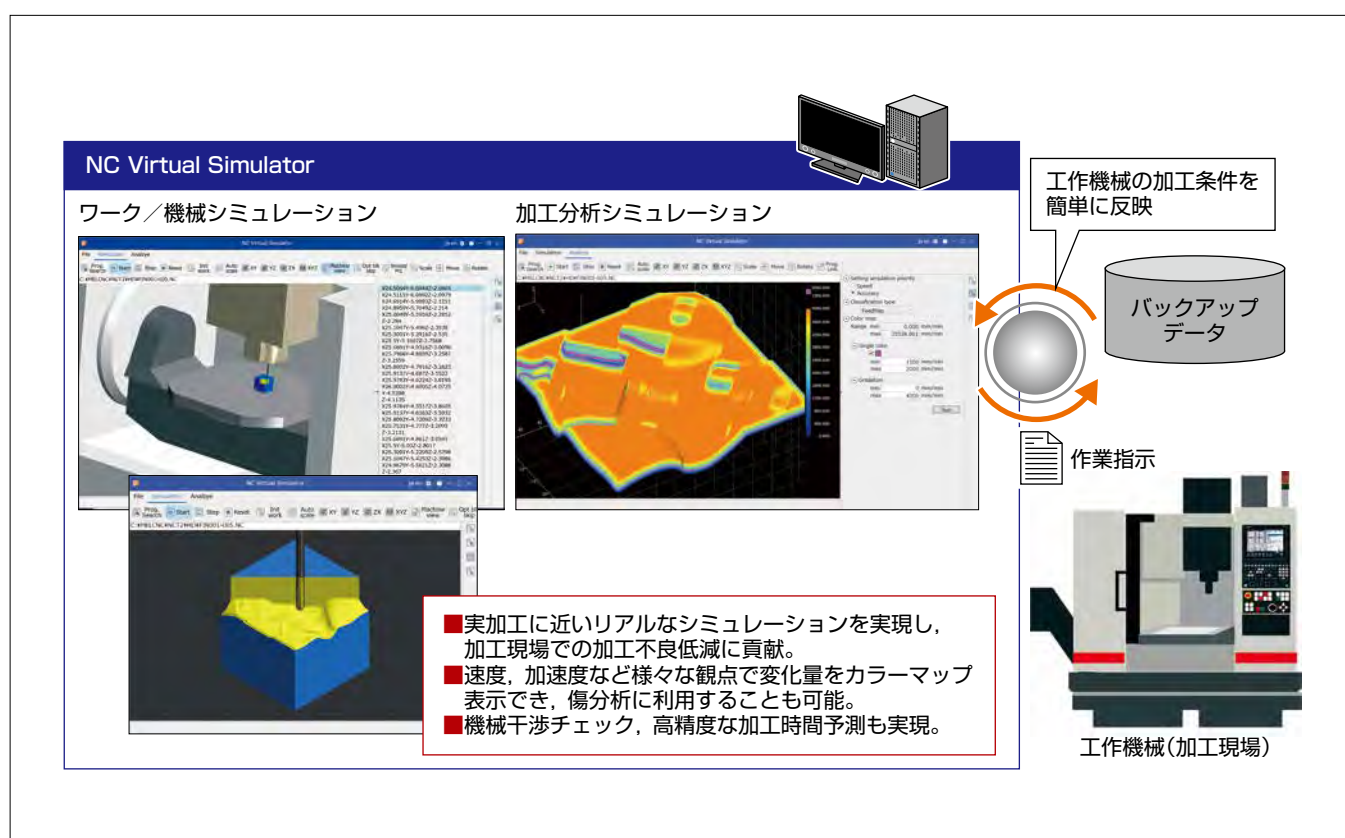
要 旨

近年の製造業の動向として、IoT(Internet of Things)やAIなどの先進技術の活用、製造工程のデジタル化やデータ連携の本格化、少子高齢化による熟練技術者不足への対応などがあり、世界規模での無人化・自動化・遠隔化が進んでいる。これを受け、三菱電機では設備設計、生産、運用保守の各プロセスをデジタル空間上でモデル化し、バリューチェーン全体の最適化を支援するデジタルツインシステムの開発に取り組んでいる。今回、その一環で、エンジニアリングチェーンでの製品設計から試作加工までのプロセスをデジタル化して作業効率・生産性の向上に貢献する高精度なシミュレータとして“NC Virtual Simulator”を開発した。

NC Virtual Simulatorでは、NC工作機械に搭載されて

いるシステムと同等のシステムをWindows^(注1)上で動作させ、さらにドライブユニットのフィードバックループをデジタル空間上で仮想的に模擬することで、シミュレーション上で実加工と同様の工具軌跡を再現している。それによって従来は試作加工の段階で見つかった加工不良などを、設計段階で事前確認可能にしている。具体的な機能としては、加工中の形状や仕上がり形状を三次元表示で確認可能なワークシミュレーション機能、機械部品同士の干渉をチェックする機械シミュレーション機能、加工不良につながる問題パスをカラーマップ表示とプログラム連携表示で可視化する加工分析シミュレーション機能などを持つ。

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



NC Virtual Simulator

NC Virtual Simulatorは、工作機械と同じ加工条件をそのまま利用して、スムージングや加減速、サーボ応答遅れに至るCNC(Computerized Numerical Control)の動きをリアルに再現することで、工作機械を占有することなく高精度でリアルなシミュレーションをデジタル空間(パソコン)上に実現したWindowsアプリケーションである。

1. ま え が き

近年製造業でIoTやAIなど先進技術の活用が加速し、製造工程のデジタル化やデータ連携によって生産性の向上を目指す動きが本格化している。また急速に需給が変化する中で変種変量生産に対応する生産体制の構築が求められる一方、少子高齢化による熟練技術者の不足などによって加工ノウハウ等の数値化・平準化と事前検証の効率化への取り組みが要求されている。さらにコロナ禍によって工場での人的活動が制限される状況下で、世界規模で無人化・自動化・遠隔化の対応が急務になっている。

このような中、当社では設備設計、生産、運用保守の各プロセスを仮想空間上にモデル化し、バリューチェーン全体の最適化を支援するデジタルツインシステムの開発に取り組んでいる⁽¹⁾。今回、NC工作機械の動作をリアルにデジタル空間上に再現し、実際の機械と同じ条件で高精度なシミュレーションを実現するNC Virtual Simulatorを開発した。

2. NC Virtual Simulatorの目的と特長

NC Virtual Simulatorは、エンジニアリングチェーンでの製品設計から試作加工までのプロセスをよりデジタル化することで加工現場の負荷を減らし、作業効率・生産性の向上に貢献するアプリケーションである(図1)。

このシミュレータは、主に機械ユーザーの工程設計や加工プログラム作成を担う設計部門での活用を想定したWindowsアプリケーションで、設計部門と加工現場をよりスムーズに受け渡しできるように実加工環境をデジタル空間上で再現した。このシミュレータではNC工作機械と同じシステムデータ(加工条件パラメータや補正量、機能オプションなど)を使用し、位置制御だけでなく、スレージングや加減速、サーボ応答遅れに至るCNCの動きをリ

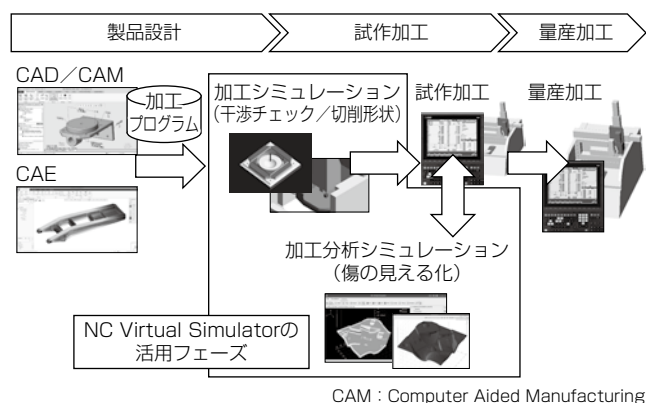


図1. NC Virtual Simulatorの活用フェーズ

アルに再現した高精度な3Dシミュレーションを実現している。これによって、試作加工でしか判明しなかった様々な加工不良がデジタル空間(パソコン)上で検出できるようになる特長を持っている。

また、既存製品であるカスタム開発サポートトレーニングアプリケーション“NC Trainer2 plus”と連携した機械モデルシミュレーションにも対応し、NC工作機械メーカーの機械設計(CADによる機械モデル設計)やラダー開発の利便性の向上に役立つアイテムとしても利用できる。

2.1 デジタル空間上でのNC工作機械動作の再現機能

NC Virtual Simulatorでは、実機CNCと同一のソフトウェアをWindows上で動作させ、ドライブユニットのフィードバックループをデジタル空間上で仮想的に模擬し、実機CNCのシステムデータと同期する機能によって、実機CNCの動作をデジタル空間上で再現している(図2)。これらの機能によって、実機CNCでの工具移動軌跡の忠実なシミュレーションが可能になるほか、実機CNCで生じるアラームなどもデジタル空間上で確認できる。

また、CAD/CAMの指令値レベルのシミュレーションでは再現できない加工不良の再現や、NCの設定ミスの検出なども事前に検出することが可能になるため、加工現場から設計部門への手戻り作業も削減され、加工現場の負荷削減にもつながる。

2.1.1 NC指令位置生成のシミュレーション

NC Virtual Simulatorは、CAD/CAMでの加工プログラムのブロックレベルでのシミュレーションとは異なり、実機CNCに搭載するCNCソフトウェアをそのまま動作させることで、加減速なども反映したNCの指令位置生成を厳密に再現したシミュレーションを可能にしている。具体的には、CNCソフトウェアが動作しているリアルタイムOSの動作をCPUの命令レベルでエミュレーションする

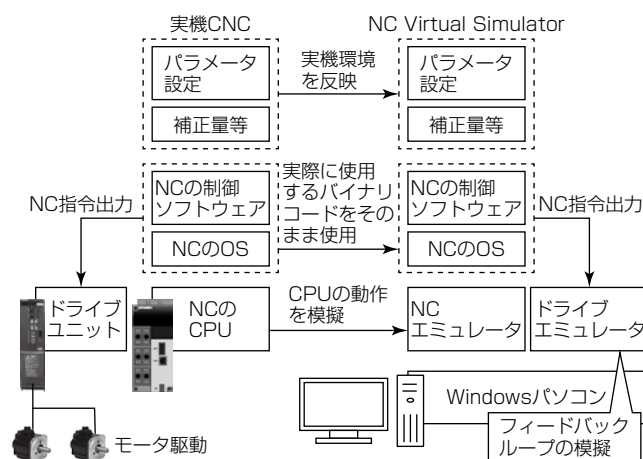


図2. デジタル空間上でのNC工作機械動作の再現

ことで、CNCソフトウェアでの定周期割り込みやタスク遷移の順序などを正確に再現している。これによって、スレーシングや加減速なども含めた指令位置の生成処理をデジタル空間上で正確にシミュレーションできる。

後述の3D加工シミュレーション機能や加工分析シミュレーション機能と組み合わせることで、CAD/CAMのシミュレーションでは表現できないような加工不良も事前に検出が可能になるため、ユーザーは、従来は試作加工の結果に基づいて行っていた加工現場での微調整(加工プログラム上の微小段差の修正や加減速などのパラメータ調整など)を設計段階で実施できる。

2.1.2 ドライブ応答シミュレーション

CNCの指令位置だけではなくドライブユニットの応答遅れによる影響も加味した表面精度を再現するため、NC Virtual Simulatorではドライブユニットでのフィードバック処理をデジタル空間上で模擬する機能も備えている。ドライブユニットでのフィードバックの応答遅れも模擬することで、CNCの指令経路からのわずかな内回りなどの影響も再現できるようになる。

これによって、ユーザーの設計段階での事前検証をより確かなものとし、設計段階の後に現場で問題が発生して手戻りになることを防ぐことが可能になる。

2.1.3 NC工作機械との連携

NC Virtual Simulatorでは、実機CNCから出力したシステムデータ(加工条件パラメータや補正量、機能オプションなど)を一度に読み込んで設定を反映させることができるため、ユーザーは、手動での設定をしなくても、NC Virtual Simulatorの各種設定(加工プログラムやNCのパラメータなど)を実機CNCと同一の状態に簡単に合わせることができる。

また、ネットワークを介したNCとのデータ通信の機能も開発中であり、NC Virtual Simulator側で加工プログラムの修正やパラメータの調整などを実施した場合も、実機CNCに変更内容を反映できるため、手動で実機CNC側へ反映する場合に生じる可能性がある設定ミスや反映漏れなどの問題を解消できるようになる。

2.2 3D加工シミュレーション機能

NC Virtual Simulatorでの3D加工シミュレーション機能には、ワークの加工中の形状や仕上がり形状を三次元モデルで表示するワークシミュレーションと、機械部品の動作の表示や部品同士の干渉を検出する機械シミュレーションがある。

ワークシミュレーション(図3)では、ワークが削られて

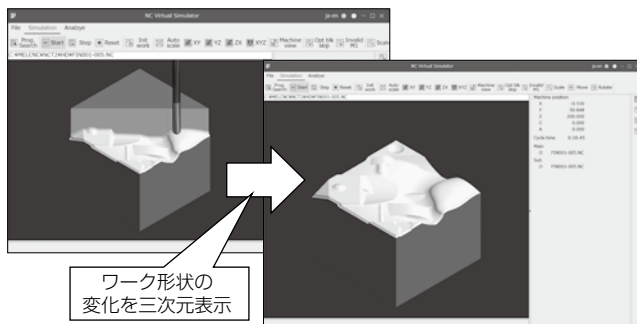


図3. ワークシミュレーション

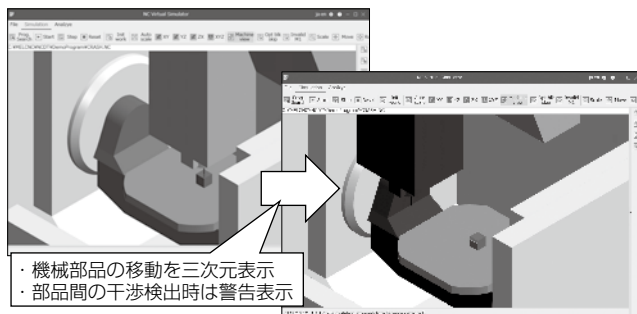


図4. 機械シミュレーション

いく様子や仕上がり形状を三次元表示で確認可能であり、工程漏れなどによる削り残しなどがいないかを確認できるほか、加工予測時間も確認できる。

機械シミュレーション(図4)では、機械部品の軸移動動作を三次元で確認できるほか、部品同士、部品と工具、工具とワーク等の機械干渉もチェックして、干渉した場合に警告停止する機能も持っている。

これらの機能によって、ユーザーは実機CNCを動作させなくても、シミュレーション上で安全かつ高速に加工プログラムの動作確認やパラメータ設定の確認・修正が可能になる。

2.3 加工分析シミュレーション機能

加工分析シミュレーション機能では、微小な線分長の単位で位置や速度、加速度等を変化量に応じて色分けするカラーマップ表示で表現し、突発的な変化量を視覚的に容易に判断できるようにしている。また、その形状パスが加工プログラムの何ブロックに対応するかも分かるように、各線分と対応するブロックとの連携表示もできる。

これによって、ユーザーは、微細な変化も容易に視覚的に判別でき、微細な加工面傷の原因分析と加工プログラムの修正などが可能になる。

2.3.1 カラーマップ表示

加工分析シミュレーション機能のカラーマップ表示(図5)では、速度や加速度などの値を256色カラーに振り分けて表示する。

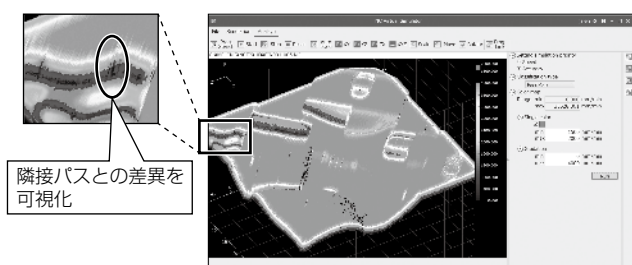


図5. カラーマップ表示

これによって、例えば、隣り合うパスの中で周囲と加速の異なるパスなどを視覚的に容易に判別できるため、ユーザーは該当箇所の加工プログラムに問題がないか(微小な段差が含まれていないか、線分長が周囲と異ならないかなど)を確認した上での修正が可能になる。

また、特定の範囲の値の強調表示も可能であり、速度や加速度が許容外の値になっていないかを確認した上で、パラメータ設定を見直すことなども可能である。

2.3.2 プログラム連携表示

NC Virtual Simulatorでは、NCが生成する指令位置情報に加工プログラムのブロックと紐(ひも)づけるための情報を追加し、三次元表示されているパスをクリックしたときに、加工プログラムの該当するブロックの表示を可能にした(図6)。

ユーザーは2.3.1項のカラーマップ表示で見つけた問題パスについて、加工プログラムの該当箇所の確認と修正が容易に実施できる。

2.4 速度優先と精度優先の切り替え機能

NC Virtual Simulatorは、2.3節までで述べたように、実機CNCの動作を正確に再現することを特長にしているが、一方で、簡易的に素早く仕上がり形状に問題がないか(工程漏れなどによる削り残しがないか)、機械干渉が発生しないかなどを確認したいケースも存在する。

そこで、速度優先モードを選択可能にし、NCが出力す

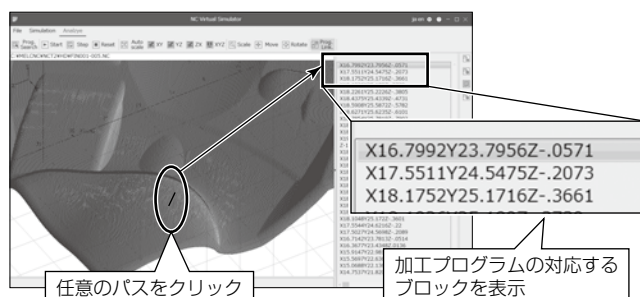


図6. プログラム連携表示

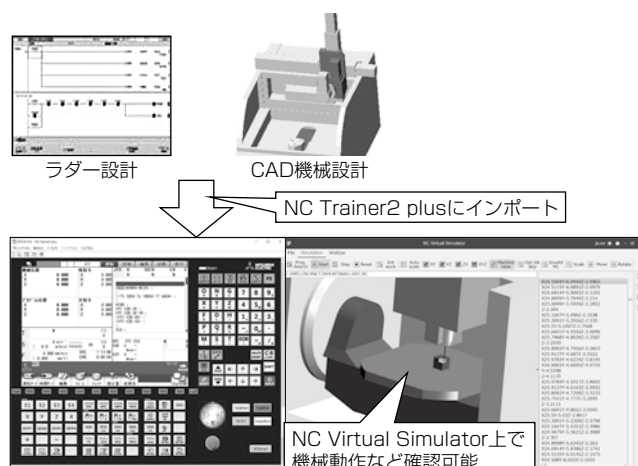


図7. NC Trainer2 plusとの連携機能

る指令位置を全て再現せず、許容範囲内で間引くなどしてシミュレーション速度を向上させることを可能にした。

この機能を使えば、最初に速度優先モードで工程漏れや機械干渉などの大きな問題を解消した後、精度優先モードで細かな加工不良を解消するといったことも可能である。

2.5 NC Trainer2 plusとの連携機能

機械操作のトレーニングや、機械メーカーのラダー回路作成やカスタム画面の開発用ツールに使用する当社既存アプリケーションNC Trainer2 plusとの連携機能も開発中である(図7)。具体的な仕組みとしては、NC Trainer2 plusの操作と連動してNC Virtual Simulatorでのシミュレーションの実行が可能である。

これによって、例えば、機械メーカーの設計者がラダーを開発する際に、NC Virtual Simulatorの機械干渉チェック機能を使いながら動作確認するといったことも可能になる。

3. む す び

デジタル空間上にNC工作機械の加工を現実に近い形で再現することで、試作加工でしか分からなかった加工不良や段取りミスを事前に見つけ、加工現場の生産性向上に寄与できるツールとして開発した“NC Virtual Simulator”の機能について述べた。今後も製造業の更なるスマートファクトリー化に貢献できるよう、様々な市場ニーズを取り込み、より一層の利用価値を提供する製品の開発を進めていく。

参考文献

- (1) 藤田智哉, ほか: FA-IT統合ソリューションによる工作機械デジタルツインの実現, 日本機械学会誌, 124, No.1231, 22~25 (2021)