

# 三菱電機FA統合コントローラ “MELSEC MXコントローラ”

杉山佳大\*  
Yoshihiro Sugiyama  
原田大揮\*  
Daiki Harada  
日下部真吾\*  
Shingo Kusakabe

\*名古屋製作所

Mitsubishi Electric Programmable Automation Controllers "MELSEC MX Controller"

## 要 旨

多様化する製造現場で、要求される制御規模や性能が異なっており、これらの要求を実現可能なコントローラの対応が課題になっている。これまでMELSECで培った制御技術を1ユニットに統合することによって、顧客の要求に対応し、製造現場に更なる変革を起こすための新製品として“MELSEC MXコントローラ”を開発した。

この製品の特長は次のとおりである。

### (1) 多軸設備でも精密な組立て・加工を実現する高精度なモーション制御

多軸で構成された設備で、“高速高精度な加工を必要とするメカ構成”と“要求精度が高くないメカ構成”を異なる制御周期で制御を可能にした。これによって、設備全体の制御の最適化を実現する。

### (2) 工場のIoT化を推進する強化された情報処理

工場のIoT(Internet of Things)化を推進するため、MQTT(Message Queuing Telemetry Transport)やOPC UA<sup>(注1)</sup>といった上位システムで一般的に採用されているプロトコルを内蔵し、上位システムと親和性の高いシステムが構築可能である。また、上位システムとの親和性が高くなるにつれサイバー攻撃のリスクも上がるため、暗号通信やユーザー認証といったサイバーセキュリティ対策機能を搭載し、堅牢(けんろう)なシステムを構築可能にする。

### (3) 顧客の設備規模・用途に合わせたスケーラブルなラインアップ

設備に求められる性能や制御規模は、生産する製品に依存している。それぞれの設備に合ったコントローラが選定できるように、プログラム容量・制御軸数・性能によって、スケーラブルなラインアップを展開している。

(注1) OPC UAは、OPC Foundationの登録商標である。

## 1. ま え が き

昨今、製造現場では、工程の統合による設備の大規模化、プロセスが複雑になることによる設備の高精度化、製造品質・トレーサビリティ性の向上と保全の効率化のためのIoT化推進、工場のサイバーセキュリティ対策強化など、求められることが多様化している。

従来のシーケンサでは、複数のユニットを組み合わせることでフレキシブルなシステムを構築可能な分散型制御によって、市場要求に対応してきた。しかし、多様化する市場要望の中で、規模の大きな設備を制御する多軸高速高精度モーション制御やライン・装置を管理するための大容量データの管理・演算、また上位システムとのデータ通信など、高性能が要求される設備への対応が課題になっている。このような市場要望に対応しつつ、多様化する製造現場に更なる変革を起こすため、MELSECでこれまで培ってきた制御技術を1ユニットに統合したFA統合コントローラMELSEC MXコントローラ(図1)を開発した。

## 2. 製品の特長

MELSEC MXコントローラは、様々な制御や機能の一つのコントローラへ統合することによって、高精度な加工や生産効率の向上を求める顧客や、IoT化を推進しデータの利活用を図りたい顧客に向けて製品力を強化し、設備の規模に合わせた最適な製品を提供するために開発した。

主な特長として“多軸設備でも精密な組立て・加工を実現する高精度なモーション制御”“工場のIoT化推進する強化された情報処理”“顧客の設備規模・用途に合わせたスケーラブルなラインアップ”が挙げられる。



図1-MELSEC MXコントローラ

2.1 多軸設備でも精密な組立て・加工を実現する高精度なモーション制御

大規模で高精度なモーション制御が求められる設備では、100以上の軸を一つのコントローラで制御したいという要望があるが、制御する軸数が多いほど処理負荷が増大し、装置全体の軸の制御周期が長くなってしまいます。制御周期が長くなると、駆動機器からのフィードバックやセンサー入力の遅れ、コントローラからの制御指令の分解能低下によって、高精度な制御が困難になる。そこでMELSEC MXコントローラでは、多軸制御と高精度制御を両立できる複数周期混在制御に対応し、高精度な制御が必要な特定の軸だけを高速周期に割り当てて、それ以外の軸を中速周期や低速周期に割り当てることで、特定の軸の制御精度を保ちつつ、多数の軸の制御を可能にした。

複数周期混在制御を多軸制御及び高精度制御が必要なLiB(リチウムイオンバッテリー)製造装置の一部である巻回機に適用した例を示す(図2)。巻回機は、電極シートの巻出し軸、張力制御軸、カッター制御軸等で構成される。カッター制御は電極シートを正確な位置でカットする必要がある。カット位置のずれは製品不良につながるため、高速周期での制御が必要となる。一方、巻出し部は高慣性であり、その応答性に対して低速周期で十分な装置性能を発揮できる。このように複数周期混在制御を適用することによって、一つのコントローラで装置内の各制御部の要求性能に合致した最適な制御が実現可能になる。

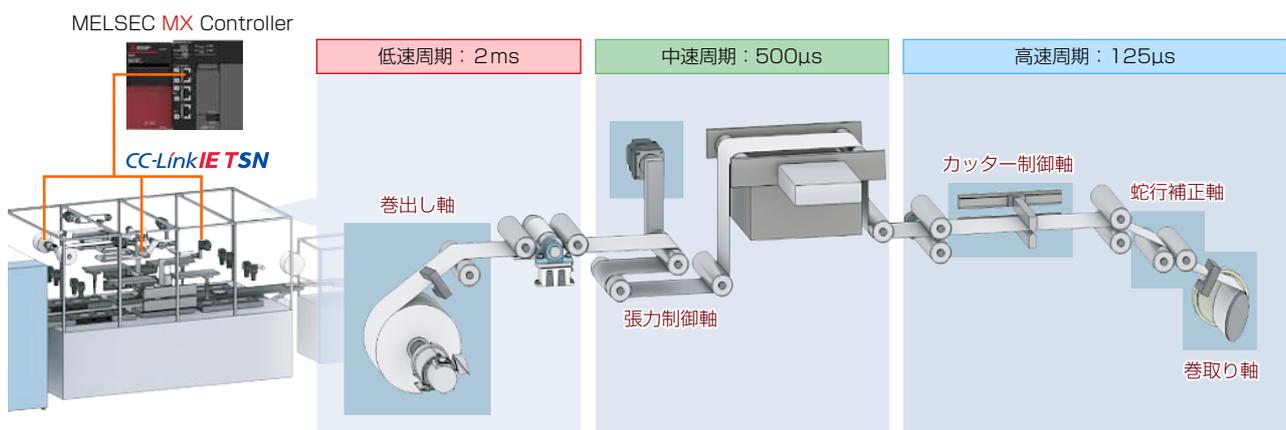


図2-巻回機の装置構成概略と複数周期混在制御適用例

2.2 工場のIoT化推進する強化された情報処理

製造現場では、生産性向上・歩留り改善・設備のメンテナンスコスト削減などが常に課題として挙げられている。近年では、こういった製造現場の課題の改善にもAIが活用されるようになり、データ分析や学習のため、生産設備と上位システムの連携強化が求められている。MELSEC MXコントローラでは、OPC UAやMQTTを内蔵することによって、上

位システムとの連携強化を推進する。特に、OPC UAについては、サーバー機能だけでなく、クライアント機能や情報モデルにも対応し、上位システムとの容易なデータ連携、統括コントローラとして設備内のデータの一元管理を実現する。また、IoT化が推進されていく一方でサイバー攻撃の脅威も増加しており、MELSEC MXコントローラでは、暗号通信やユーザー認証機能をはじめとしたセキュリティ機能を搭載し、堅牢なシステムの構築を可能にする。上位システムとの接続例を図3に示す。

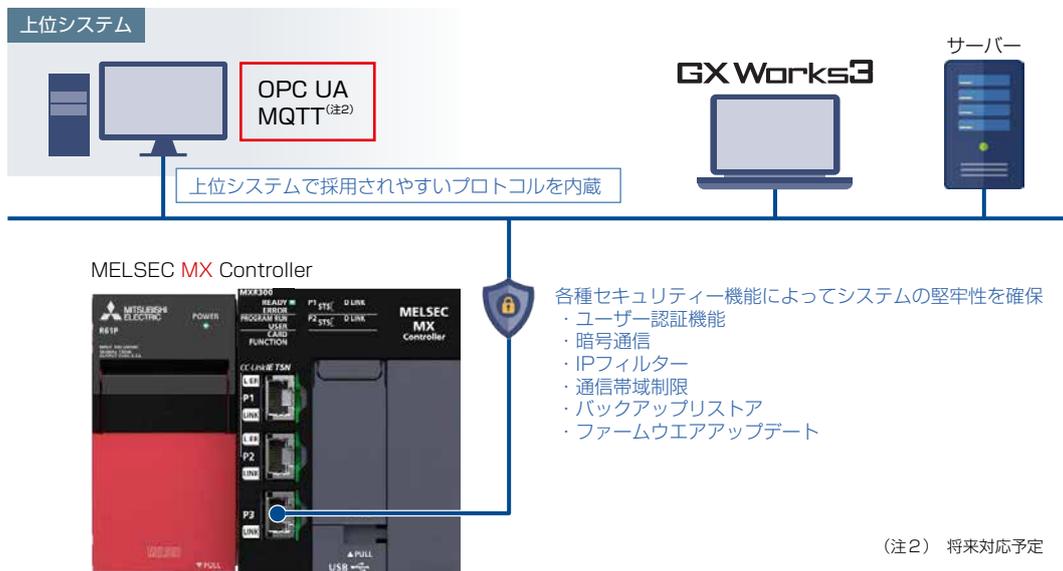


図3-上位システムとの接続例

### 2.3 顧客の設備規模・用途に合わせたスケーラブルなラインアップ

シーケンス制御では、設備の制御規模を基準として機種選定が行われており、MELSECシーケンサの各シリーズのCPUユニットでは、プログラムメモリー容量の異なるラインアップを展開していた。しかし、モーション制御では、それぞれの設備に必要とされる軸数は設備のメカ構成によって少軸から多軸まで様々であり、要求される制御性能については、使用する軸数や制御規模にかかわらず、生産する製品の加工精度や要求される生産量に依存している。

MELSEC MXコントローラでは、顧客の要求する性能に対応できるようにスケーラブルなラインアップ展開をしている。

## 3. 実現のための技術

MELSEC MXコントローラの開発で、適用した技術について述べる。

### 3.1 多軸高精度モーション制御に適用した技術

MELSEC MXコントローラでは、単一周期だけで動作する従来機種の演算処理を複数周期混在に対応させるため、演算処理を高速周期、中速周期、低速周期の三つに分割し、それぞれを異なる実行周期と優先度で実行する必要がある。さらに今回採用したマルチコアCPUを最大限活用するため、複数コアが連携する並列実行にも対応する必要があった。

そこで、単一周期での動作を前提としていた従来の演算処理を、単に三つの周期に分割するだけでなく、データ構造や処理アルゴリズム、処理スケジューリングを並列処理向けに最適化した。特に、各周期の演算処理間で多くの共有データにアクセスすると競合やCPUキャッシュ効率悪化を招き、並列化による性能向上が限定的になるだけでなく、並列化のスケーラビリティも低下してしまう。そこで例えばデータの局所性を向上する目的のローカル化を実施することで、データアクセス時の排他処理の削減やCPUキャッシュ効率の向上による高速化を実現した(図4)。

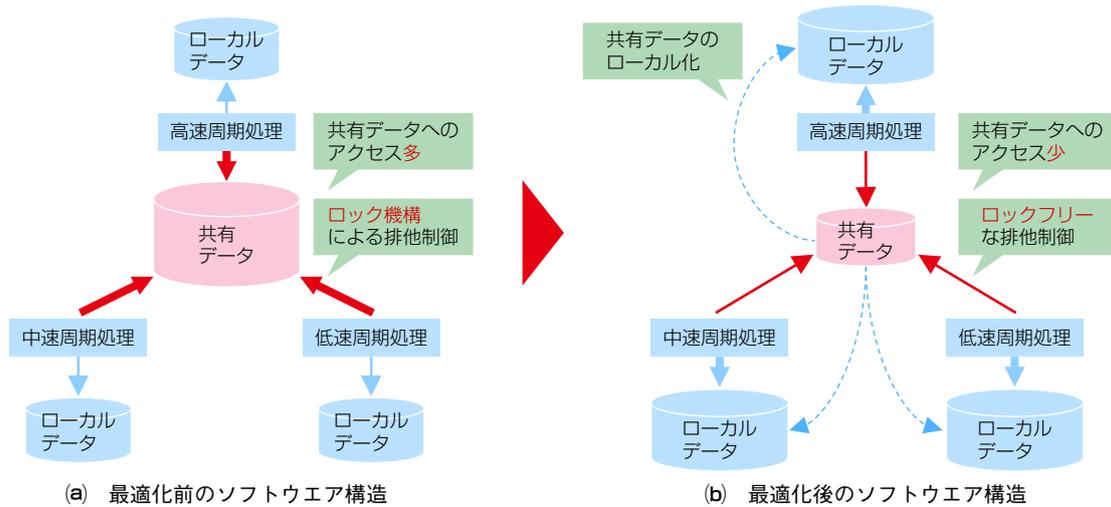


図4-ソフトウェア構造の最適化

### 3.2 工場のIoT化推進に適した技術

工場のIoT化推進には、上位システムとの連携強化が必須である。そのため、MELSEC MXコントローラの情報処理部には、上位システム側で採用されやすいオープンネットワークや汎用技術の取り込みが容易で、迅速な脆弱(ぜいじゃく)性対応も可能なLinux<sup>(注3)</sup>を採用した。一方、シーケンス制御やモーション制御などリアルタイム性が要求される制御処理では、処理のジッターによるタイミングのずれが設備の加工精度やタクトに影響を与えるため、制御処理部にはリアルタイムOSを採用した。これによって、情報処理部・制御処理部それぞれで機能や性能を実現しやすくなったが、情報処理部から制御処理部で管理するリソース(デバイス/ラベルデータなど)へアクセスした際のリアルタイム制御への影響を極小化することが課題であった。

この課題を解決するため、ハードウェアやOSに合わせた作り込みを行うドライバー層、制御処理部や情報処理部へ共通処理を提供するサービス層、制御処理部や情報処理部など機能を実装するアプリケーション層から成るレイヤードアーキテクチャを採用した(図5)。このアーキテクチャでは、サービス層で低オーバーヘッドの排他処理を採用するとともに、アプリケーション層からサービス層が提供する共通API(Application Programming Interface)を呼び出す際に、呼出し元によって共有メモリアクセスの優先度や順序などをコントロールし、リアルタイム制御への影響を低減した。

(注3) Linuxは、Linus Torvalds氏の登録商標である。

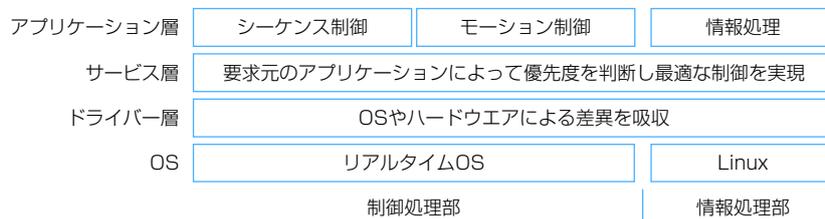


図5-MELSEC MXコントローラのアーキテクチャ

### 3.3 スケーラブルなラインアップに適した技術

MELSEC MXコントローラのスケラブルなラインアップを実現するため、シーケンサとデータ連携させるためのシステムバスインターフェースやCC-Link IE TSNに対応した機器とのインターフェースに加えて、マルチコアプロセッサ及び汎用バス(PCI Express<sup>(注4)</sup>)を内蔵した専用ICを開発した。専用ICはPCI Expressによって汎用ICと接続することで、容易にCPUの機能・性能を拡張でき、ソフトウェアが実装しやすい柔軟なハードウェア構成を可能にした(図6)。

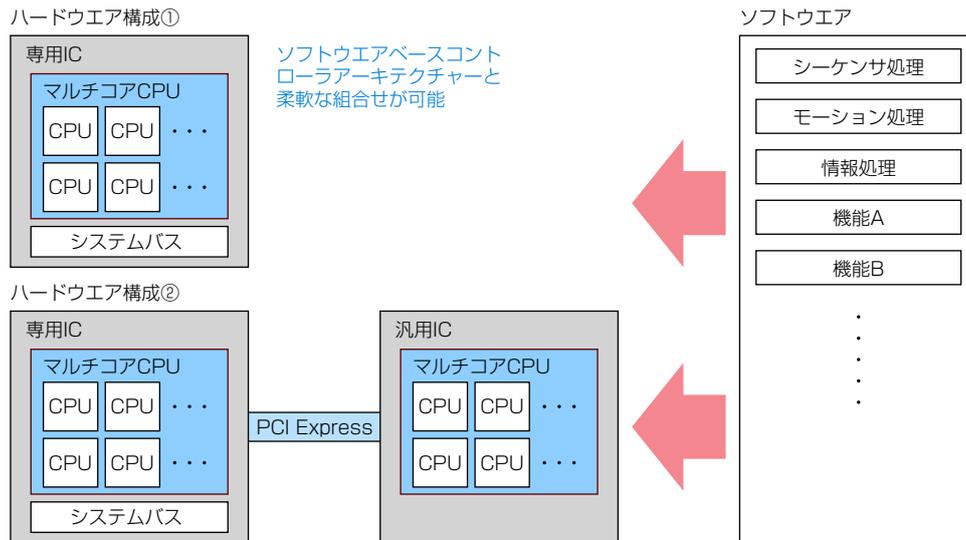


図6-MELSEC MXコントローラのハードウェア構成

マルチコアプロセッサを実装する専用ICの開発では、各CPUの並列演算の効率と高性能化に伴う消費電力が課題となる。各CPUの並列演算の効率に対しては、動作シミュレーションやプロト検証を代表とするフロントローディング設計によって、内部バスの構成とPCI Expressの各ポートに対するソフトウェア処理の割当てを最適化し、マルチコアCPUの並列演算の効率を最大化した。消費電力に対しては、各機能を個別に電源遮断可能な回路を実装し、適応するハードウェア構成や実装されるソフトウェアに応じた電力管理を実施することで、ICの高性能化と低消費電力化を両立した。

専用ICの拡張性・柔軟性によって、顧客の設備規模や用途に合わせて、最適な情報処理部・制御処理部の機能・性能を実現し、多様化する市場ニーズや技術トレンドへの迅速な対応を可能にした。

(注4) PCI Expressは、PCI-SIGの登録商標である。

## 4. む す び

MELSEC MXコントローラの特長及びその実現に適用した技術について述べた。MELSEC MXコントローラによって、従来は生産する製品の加工精度が生産タクトに優先度を付けてライン・設備設計を行っていたところ、その両方を選択することが可能になり、設備のコストパフォーマンス向上を実現できる。今後も、技術の進歩や顧客の要望の変化をしっかりと捉えて、製造現場の変革を牽引していく。