

# 三菱シーケンサ “MELSEC iQ-Rシリーズ”

志水義信\*  
甲斐啓文\*  
矢木孝浩\*

Mitsubishi Sequencer "MELSEC iQ-R Series"

Yoshinobu Shimizu, Hirofumi Kai, Takahiro Yagi

## 要 旨

近年の製造業では、製品の高性能化に伴う生産設備の複雑化が進み、生産性の低下のほか、設備の導入・保守コストが増大している。さらに生産拠点の海外移転が進む中、顧客(SI(System Integrator)など)が作成した生産設備の制御プログラムの盗用問題が顕著化してきており、制御プログラムを保護するためのセキュリティ対策も重要になっている。これらの課題を解決するため、機能・性能の飛躍的向上や開発・保守工数の劇的な削減、セキュリティ強化を図る三菱シーケンサ“MELSEC iQ-Rシリーズ”を開発した。主な特長を次に示す。

### (1) 生産性向上

MELSEC iQ-Rシリーズ専用開発したシステムバスによってユニット間データ転送性能を従来比約40倍の高速化を図った。また、シーケンス演算用LSIで実現したCPUユ

ニットの演算処理性能向上によって命令処理時間をPC MIX値で従来比約7倍の高速化を図り生産性向上を実現する。

### (2) メンテナンス性向上

システムの稼働率向上のため、設備・機器の稼働状況や操作履歴・エラー履歴等のデータを収集し、予期せぬトラブルが発生した際の早期復旧に対応する様々なメンテナンス機能によって、ダウンタイムの短縮に貢献する。

### (3) セキュリティ機能強化

シーケンサに格納する制御プログラム等の技術(ノウハウ)を保護するためのセキュリティキー認証や、制御システムへの不正アクセスを防止するIP(Internet Protocol)フィルタなどのセキュリティ機能によって、設備の模造品の製造や制御プログラムの不正流用を防止する。



## MELSEC iQ-Rシリーズ

新たに開発したMELSEC iQ-Rシリーズは、従来シリーズである“MELSEC-Qシリーズ”に対して、演算性能やシステムバス性能を向上し生産性向上を図っている。また、簡単メンテナンス機能によるダウンタイム短縮と保守コスト削減のほか、顧客の技術(ノウハウ)を保護する強力なセキュリティ機能を備えている。

## 1. ま え が き

近年の製造業では、製品の高性能化に伴う生産設備の複雑化が進み、設備の導入・保守コストが増大している。また、従来のタクトタイム向上や製品サイクル短縮化に伴う変種・変量生産への柔軟な対応が求められている。

このような状況に対し、三菱電機では“e-F@ctory”を提唱し、機種間連携による制御の高速化と使い勝手の向上（横連携：“iQ Platform”）及び情報システムと生産現場の情報連携（縦連携）によって、TCO（Total Cost of Ownership）削減を実現してきた<sup>(1)</sup>。更なるTCO削減を実現するために、iQ Platformの中核を担う当社シーケンサを更に進化させたMELSEC iQ-Rシリーズを開発した。

MELSEC iQ-Rシリーズでは、セキュリティ機能の強化も図っており、本稿では、これらMELSEC iQ-Rシリーズの特長及び適用した技術について述べる。

## 2. MELSEC iQ-Rシリーズの特長

MELSEC iQ-Rシリーズの主な特長について次の3つの観点から述べる。

- (1) 生産性向上
- (2) メンテナンス性向上
- (3) セキュリティ機能強化

MELSEC iQ-Rシリーズは、システムバス性能向上とCPUユニットの命令処理性能向上によって生産性向上を図るとともに、異常発生時の原因調査を加速する機能や、外部機器からのラベルアクセス機能等によるメンテナンス性向上を図っている。さらに、セキュリティ機能の強化も行っている。

### 2.1 生産性向上

タクトタイムの大幅な短縮を実現するため、MELSEC-Qシリーズのシステムバスを一新し、システムバスの伝送性能を従来の30Mbpsから3Gbpsに高速化を図った。システムバスの高速化によって、ネットワークユニットとのデータ処理は、Qシリーズ比40倍の高速化を実現した。また、マルチCPU間に専用の高速バスを設けることで、シーケンサCPUとモーションCPU間のデータ交換周期を888μsから222μsに高速化を図った。

CPUユニットの主な命令処理時間を表1に示す。PC MIX値<sup>(註1)</sup>で419命令/μsと、Qシリーズ比約7倍の高速化を実現するため、シーケンス演算用LSIを開発し、シーケ

表1. CPUユニットの主な命令処理時間

命令種別	MELSEC iQ-Rシリーズ	MELSEC-Qシリーズ
接点命令	0.98ns	9.5ns
データ転送命令	1.9ns	19.0ns
浮動小数点演算	9.8ns	57.0ns
ST言語(IF命令)	8 ns	1,400ns
PC MIX値	419命令/μs	60命令/μs

ンス制御に最適化した多段パイプライン、データキャッシュ等の技術を搭載した。また、ST(Structured Text)言語やFB(Function Block)の実行方式の革新によって、演算性能を大幅に向上させた(ST言語の判断処理(IF)命令の処理時間はQシリーズ比175倍の高速化)。

これら高速化によって、生産設備のタクトタイムを短縮し、生産性向上を実現する。

(注1) 1μsで実行する基本命令やデータ処理などの平均命令数。数値が大きいかほど処理が速い。

### 2.2 メンテナンス性向上

MELSEC iQ-Rシリーズでは、生産ラインの稼働率向上のため、トラブル発生時の早期復旧に対応する様々なメンテナンス機能を備えることで、ダウンタイムの短縮を実現する。MELSEC iQ-Rシリーズで新たに搭載する主なメンテナンス機能を表2に示す。

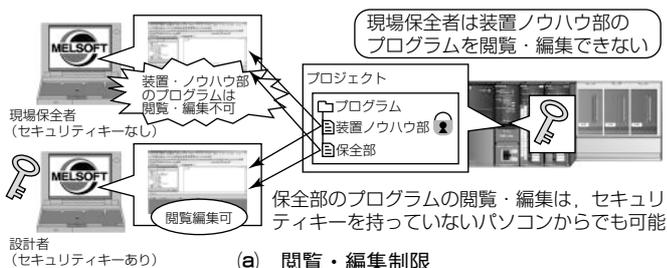
表2のNo.1~3の機能によって、障害発生時の状況を正確に把握できるため、早期原因究明が可能となる。表2のNo.4のラベルアクセス機能では、GOT(Graphical Operation Terminal)等の外部機器からシーケンサのデバイスを参照する際、参照先のデバイスを割り付けた変数名(ラベル)を指定することができる。これによって、シーケンサ側でデバイスの割り付けが変更された場合でも、外部機器側はラベルとして参照しているため、外部機器側のプログラムを変更することなくデバイスの変更に追従可能であり、メンテナンスコストを削減できる。

### 2.3 セキュリティ機能強化

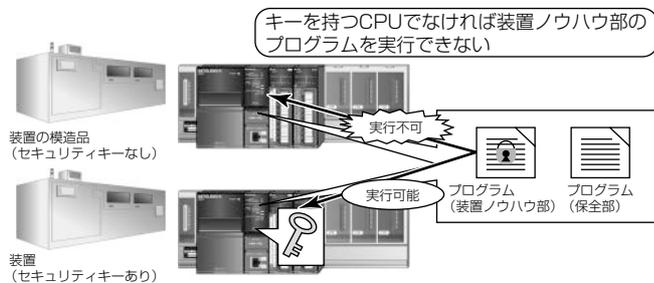
シーケンサに格納している制御プログラム等の顧客の技術(ノウハウ)はパスワード認証で保護することが一般的だが、パスワードは漏洩(ろうえい)した場合に漏洩範囲が特定できないなどの課題がある。MELSEC iQ-Rシリーズでは、エンジニアリングツール、制御プログラム及びシーケンサのそれぞれにセキュリティキーを登録し、セキュリティキーが一致しないエンジニアリングツールからは、制御プログラムの閲覧・編集を制限するため、顧客の技術の漏洩を防止することができる。また、制御プログラムを実行する際もセキュリティキーが一致しないシーケンサ上では制御プログラムの実行を制限するため、不正コピーによる模倣品製造を防止することができる(図1)。

表2. MELSEC iQ-Rシリーズの主なメンテナンス機能

No.	機能	概要
1	イベント履歴機能	顧客の操作履歴を従来のエラー履歴の情報とともに確認可能
2	メモリダンプ機能	システム異常発生時に、全てのデバイスデータを一括でSDカードに自動保存
3	リアルタイムモニタ機能	監視したいデバイスの現在のデータを波形表示でリアルタイムに確認可能
4	ラベルアクセス機能	外部機器から変数名(ラベル)によるシーケンサへのアクセスを実現



(a) 閲覧・編集制限



(b) プログラムの実行禁止

図1. セキュリティキー認証

### 3. 特長実現のための技術

MELSEC iQ-Rシリーズの開発で、2章で述べた特長の実現のために適用した技術について述べる。

#### 3.1 生産性向上の実現に適用した技術

##### 3.1.1 システムバス性能向上

MELSEC iQ-Rシリーズのシステムバスは、伝送速度3 Gbpsの高速シリアルバスを採用した。この伝送速度は、ノイズの多い工場内で長期安定動作が求められるFA分野では、例のない技術領域であり、伝送設計手法の確立が重要であった。そこで、次に述べる2つの設計手法の確立を図った。

##### (1) 基板伝送設計手法

図2に示すような伝送路の構成で高速信号伝送3 Gbpsを実現するため、高速信号に対する基板伝送設計手法を確立した。具体的には、配線長の制約やクロストーク干渉を抑制する配線間隔など、配線設計に対する制約事項を伝送路シミュレーションから得て、伝送設計手法の確立を図った。

伝送路シミュレーションでは、解析精度がポイントとなる。解析精度向上のため、伝送路のモデル化に当たり、ASICパッケージ、バスコネクタ及びベース基板上等に設ける基板ビアは、三次元電極構造に基づいて電磁界解析を実施し、伝送特性を抽出することによって実物に近い各伝送部のモデル化を図った(図3)。

モデル化した各伝送部を図4に示す解析系に用いて伝送路シミュレーションを行い、各ユニット共通部分となる基板設計(バスコネクタからの引き出しパターンやパッドサイズ、ビア仕様、配線長、配線幅、配線間隔及び層構成)について最適値を見だし、高速伝送のための最適な配線設計値を基準化することで、基板伝送設計手法を確立した。

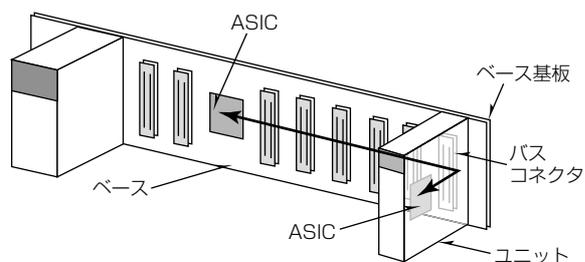


図2. シーケンサシステム

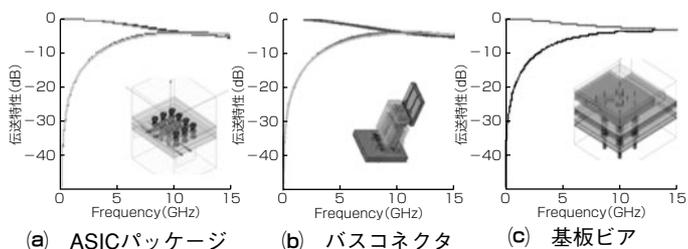


図3. 伝送路モデル

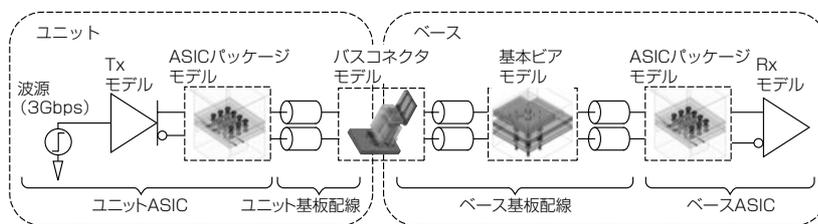


図4. 伝送路シミュレーションの解析系

##### (2) 増設ケーブルを用いた長距離伝送設計手法

MELSEC iQ-Rシリーズは、MELSEC-Qシリーズ同様に多段接続を可能としているため、増設ケーブルを介した波形品質確保も重要となる。

MELSEC iQ-Rシリーズのケーブル長5 mの増設ケーブルを接続した場合、ケーブルの伝送損失が大きくなり、波形品質が確保できなくなる(図5)。そのため、イコライジング技術を用いて、伝送路の伝送損失を補償し、波形品質劣化の改善を図っている。

また、新規開発した増設ケーブルのケーブルとコネクタとのアセンブリ加工の際、各対シールドの剥がし方やはんだ付けの方法など、加工精度によって伝送特性に影響が生じるため、伝送特性の測定及び波形解析を行い、伝送特性を劣化させない最適なアセンブリ加工方法を実現することで、増設ケーブルを介した高速伝送を可能とした。

##### 3.1.2 演算性能向上の実現に適用した技術

従来のQシリーズでは、ST言語のIF文の分岐動作をソフトウェア命令(分岐処理(JMP)命令等)で実現していたため、命令実行時にオーバーヘッド時間がかかっていた。また、このJMP命令では、分岐先をポインタ用デバイスで指定するため、その分、顧客が使用できるポインタ用デバイスが減るという課題があった。MELSEC iQ-Rシリーズでは、IF文の分岐動作を専用のハードウェア命令(IF命

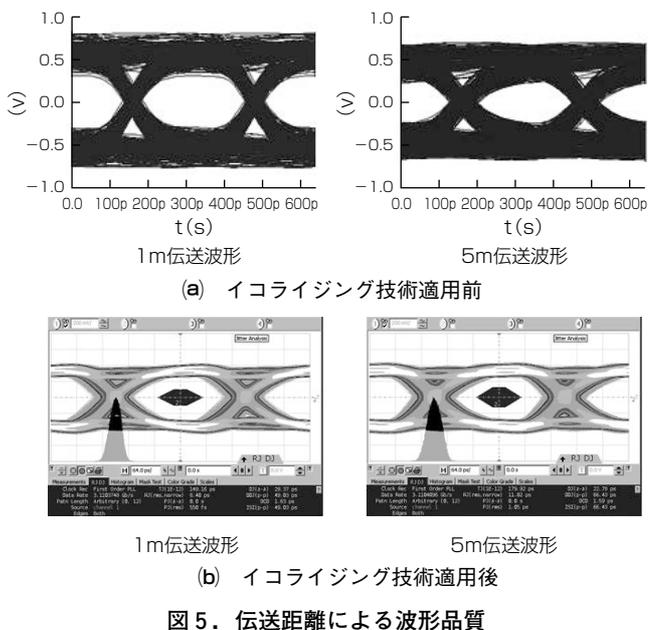


図5. 伝送距離による波形品質

令等)で実現することによって、プログラムのステップ数と処理時間の大幅な短縮を実現した(IF命令の処理時間はMELSEC Qシリーズ比175倍の高速化)。また、このIF命令では、分岐先の指定にポイント用デバイスを用いないため、使用デバイス点数を意識せずにIF文を使用することができる。従来のQシリーズとMELSEC iQ-RシリーズにおけるIF文のマシンコードへの変換例を図6に示す。また、同様に従来ソフトウェア命令で実現していたFBの呼出し処理に専用のハードウェア命令を用いることによって、FB呼出し時の実行時間の削減を実現した。

3.2 メンテナンス性向上の実現に適用した技術

2.2節で述べたように、メンテナンス性向上のため、外部機器からシーケンサへのラベルアクセス機能を搭載している。この機能は、シーケンサがラベル名による問合せに対し、内蔵データベースに格納したラベル-デバイス対応情報を参照し、ラベル名に対応するデバイスの値を応答することで実現している(図7)。しかし、ラベル名から対応するデバイス情報を取得するためにデータベースを検索する処理に時間がかかるため、問合せの都度データベースを検索する方式では、システムで要求される性能スペックを満たせない可能性がある。そこで、初回問合せ時に取得したデバイス情報を外部機器側で保持し、2回目以降の問合せ時には、保持しているデバイス情報で問合せを行うことによって、2回目以降はデータベースを検索する負荷をなくすることができる。当社GOTは、この機能を標準搭載することによって、ラベルによるシーケンサへのアクセスで、従来のデバイスによるアクセスと比較して性能を損なうことなく、メンテナンス性向上を実現した。

3.3 セキュリティ機能強化の実現に適用した技術

2.3節で述べたセキュリティキー認証の実現で、拡張SRAMカセットに専用チップを搭載することによって、

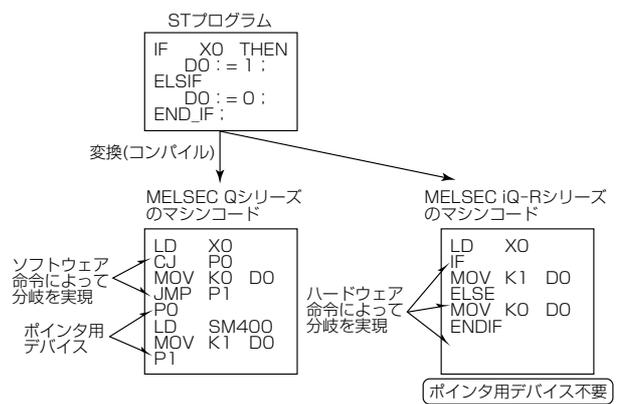


図6. STプログラム(IF文)のマシンコードへの変換例

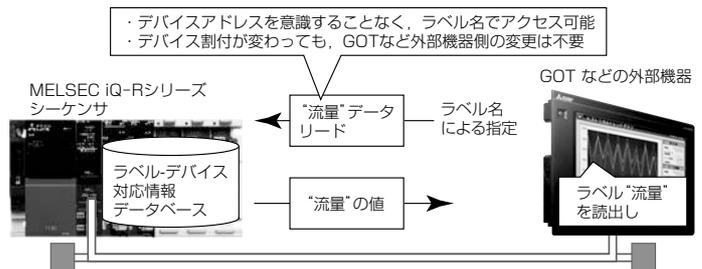


図7. 外部機器からのラベルによるアクセス



図8. 拡張SRAMカセットによるセキュリティキー認証

シーケンサ本体だけでなく拡張SRAMカセットにもセキュリティキーを登録できるようにした。これによって、シーケンサ故障による交換時に、拡張SRAMカセットを差し替えるだけで、簡単にシーケンサにセキュリティキーを登録可能となる。さらに、拡張SRAMカセットと併用して、SDカード(又はGOT)にセキュリティキーを登録した制御プログラムを格納することで、セキュリティを保ったままプログラミングツールなしにシーケンサを交換することができる(図8)。これらによって、セキュリティ機能強化と利便性の両立を実現した。

4. む す び

MELSEC iQ-Rシリーズの特長とそれらを実現するために用いた技術について述べた。今後も、製造業の革新的な進歩を牽引(けんいん)していく。

参 考 文 献

(1) 森田英昭：FA用コントローラの技術革新と適用分野拡大，三菱電機技報，88，No.9，508～513（2014）