FA用コントローラの技術革新と適用分野拡大

名古屋製作所 FAシステム統括部長
森田英昭

1. まえがき

三菱電機はFA事業のメインコンセプトとして顧客のTCO(Total Cost of Ownership)削減を図る“e-F@ctory”(**図1**)を提唱し，工場の自動化，見える化を推進してきた。シーケンサ，モーションコントローラなどのFA用コントローラを始め各種FA用制御機器，それらをつなぐネットワーク群，エンジニアリングツールの提供に加え，パートナーとの連携(e-F@ctory Alliance)を通じてトータルソリューションの実現に取り組んでいる。

本稿では，e-F@ctoryの中核となるFA用コントローラを中心に技術の変遷と将来展望を述べる。

2. FA事業をとりまく環境

今日のものづくりの現場では，製品の高性能化に伴う生産設備の複雑化が進み，設備の設計・立ち上げを含む導入及び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の要求に加え，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課題となっている。これらの課題に対し，FA機器間や情報システムを統合して生産システム全体を最適化することで，設備の生産性向上を図るとともに，設計・立ち上げ・運用・保守コスト削減を実現するトータルソリューションの要求が高まっている。さらにグローバル化によって生産拠点の海外展開が進む中，生産設備の制御プログラムなど顧客の技術(ノウハウ)を保護するためのセキュリティ対策も重要な課題となっている。

3. 技術の変遷

3.1 三菱FAトータルソリューション：e-F@ctory

生産システムの構築と運用管理を最適化するためのコンセプトがe-F@ctoryである。機種間連携(横連携)による制御の高速化，使い勝手の向上及び情報システムと生産現場の情報連携(縦連携)によるTCO削減を実現する。

3.1.1 機種間連携(横連携)：iQ Platform

当社はe-F@ctoryの基盤を形成するFA統合プラットフォームとして“iQ Platform”を提唱している(**図2**)。

iQ Platformとはシーケンサを中心とした先進のコントローラ，エンジニアリング環境，ネットワークを統合し，顧客の設計・立ち上げ・運用・保守の全てのフェーズでコスト削減を実現するものである。

(1) コントローラ統合

同一バス上に装着可能なシーケンサ・モーションコントローラ・CNC・ロボットCPU(マルチCPU)を開発するとともに，各コントローラ間のデータ通信を高速同期する機能を実装し，高速・高精度な制御を実現した。

(2) 統合エンジニアリング環境

複数のコントローラ(シーケンサ，モーションコントローラ，表示器等)のエンジニアリング環境を統合することによって

CNC：Computer Numerical Control
ERP：Enterprize Resource Planning
GOT：Graphic Operation Terminal
IPM：Interior Permanent Magnet
MDU：Measuring Display Unit
MES：Manufacturing Execution System

図1. 三菱FAトータルソリューション：e-F@ctory

設計情報を共有し，プログラミングの効率化を実現した。

(3) ネットワーク

生産設備の複雑化によって，装置間で高速大容量のデータ交換が可能なネットワークが求められており，当社はギガビットEthernet技術を活用したCC-Link IEネットワークを開発した。

また，使用用途に合わせてCC-Link(フィールドネットワーク)・AnyWire(センサネットワーク)・SSCNET Ⅲ/H(サーボネットワーク)など適材適所なネットワークを提供する。

3. 1. 2 情報連携(縦連携)

従来の生産現場では，ネットワークの階層ごとにプロトコルが異なっていたため，末端のデバイスまで生産データを収集するのは困難であった。当社はネットワーク階層を超えて上位から下位までシームレスに接続できるSLMP(Seamless Message Protocol)によって，運用・保守のしやすい最適なシステム構築を実現している。今後は，パートナー製品を含めた接続機器の更なる拡充と，機器のプロファイルやFB(Function Block)を活用した接続容易性の向上を図っていく。また，現場の装置とITシステムの接続にはゲートウェイパソコンの使用と通信プログラムの開発が必要であり，これらの維持，管理コスト削減も課題となっていた。当社は，データベースとダイレクト接続するMESインタフェースユニットによって，生産情報の収集と運用管理を簡単に低コストで実現した。

3. 2 進化と継承

MP(Micro Processor)搭載PLC(Programmable Logic Controller)誕生以前のシーケンス制御の主流は，有接点リレーであったが，設置工事や回路変更の煩雑さなどの問題 点があった。

この有接点リレー制御の課題を克服するのが，無接点リレー制御のPLCであり，当社ではシーケンサと命名し，その1号機を1973年に出荷し，1977年から汎用機の市販を始めた。

その後，1980年にシーケンサ“MELSEC-Kシリーズ”を発表して以来，“MELSEC-Aシリーズ”“MELSEC-Qシリーズ”と進化を続け，高速化，小型化を進めつつ高い信頼性と豊富な品ぞろえで生産現場の高度化に貢献してきた(**図3**)。また，MELSEC-Qシリーズでは，専用DCS(Digital Control System)相当の高度なプロセス制御を手軽に実現可能なプロセス・二重化CPU，マイコンやパソコン置き換え用途のC言語コントローラ，国際安全規格に適合した安全シーケンサ・安全コントローラ等，用途の多様化にも対応してきた。

進化し続ける“MELSECシリーズ”は，顧客の設計資産を守るための継承も重視している。従来製品との互換性を確保し，新シリーズへのスムーズな移行を可能としている。

当社は，この進化と継承を更に発展させ，製造業の革新的な進歩を牽引(けんいん)するために，2014年6月に“MELSEC iQ-Rシリーズ”を発売した。

3. 3 MELSEC iQ-Rシリーズのコンセプト

MELSEC iQ-Rシリーズは，Reduce TCO(TCO削減)，Reliability(信頼性)，Reuse(継承)の3つのコンセプトに基づき，7つの課題を解決する(**図4**)。

3. 3. 1 Reduce TCO(TCO削減)

(1) Productivity(生産性)

新開発高速システムバス及びシーケンス演算用LSIで実現した先進的な性能によって，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。

(2) Engineering(プログラム開発)

簡単で直感的なプログラミングが可能な新世代エンジニアリングツール“GX Works3”によって，エンジニアリングコスト削減を実現する。

(3) Maintenance(メンテナンス)

不慮のトラブルを未然に防ぐ予防保全や，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によって，ダウンタイム短縮と顧客の製品品質確保に貢献する。

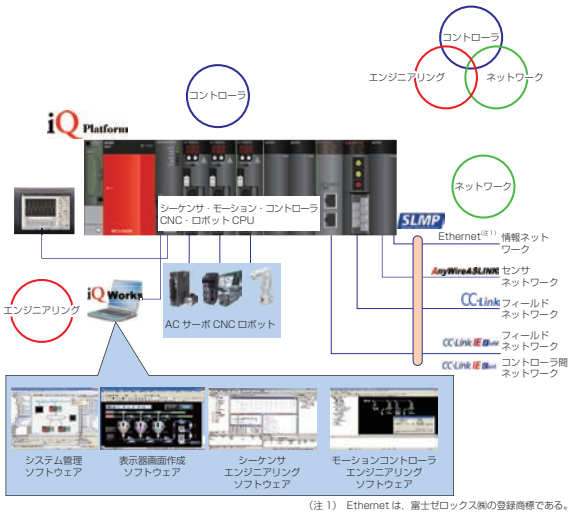

図2．FA統合プラットフォーム：iQ Platform

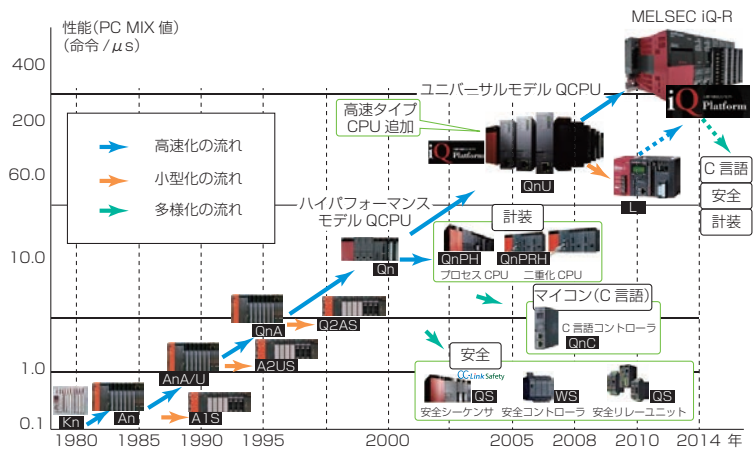

図3．当社シーケンサのロードマップ：進化と継承

(4) Connectivity（ネットワーク）

生産管理レベルからセンサなどのデバイスレベルまで，ネットワーク階層の違いを意識せず，SLMPによるシームレスなデータ通信を可能とすることで，運用・保守コストの削減に貢献する。

3. 3. 2 Reliability（信頼性）

(1) Quality（品質）

MELSEC K／A／Qシリーズで培った確かな品質は，生産システムの信頼性向上と製品品質の向上という付加価値を創出する。また，CE，ULなど多種多様な国際規格に幅広く対応し，世界各国で容易に適用可能である。

(2) Security（セキュリティ）

制御プログラム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フィルタなどの強力なセキュリティ機能によって，模造品の製造や制御プログラムの不正流用を防止する。

3. 3. 3 Reuse（継承）

(1) Compatibility（互換性）

MELSEC-Qシリーズのプログラムは，MELSEC iQ-Rシリーズ用のプログラムに変換可能なため，MELSEC-Qシリーズで蓄積した資産を有効活用できる。また，入出力ユニットやアナログユニットのピン配置及びコネクタは，MELSEC-Qシリーズと同一なので，外部機器配線をそのまま使用できる。

3. 4 MELSEC iQ-Rシリーズにおける技術革新

タクトタイムの大幅な短縮を実現するため，高速システムバス，及びシーケンス演算用LSIを開発した。伝送速度3Gbpsの高速システムバスによって，ネットワークユニットとの大容量データ処理の飛躍的な高速化（MELSEC Qシリーズ比40倍）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高速化（MELSEC Qシリーズ比4倍）し，高精度モーション制御を実現した。

さらに，システムバスを一新し，ネットワークの伝送周期（リンクスキャン）と割り込みプログラムの実行周期を同期可能とした。例えばネットワーク上の機器のセンサ入力に応じて，別のネットワーク上の機器のアクチュエータを制御するような場合に，センサ入力→演算→アクチュエータ出力までの時間のばらつきがなくなり，安定した製造品質が実現できる。CPUユニットの命令処理時間を**表1**に示す。PC MIX値で419命令/μsという高速化（MELSEC Qシリーズ比約7倍）を実現するため，シーケ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，分岐予測等の技術を搭載した。ST言語やFB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IF命令の処理時間はMELSEC Qシリーズ比175倍）。これらの高速化によって，複数CPUで分散制御していたシステムを1CPUで集中制御することで，システムコスト削減に貢献する。

また，このように革新的な高速制御を実現したMELSEC iQ-Rシリーズは，高速伝送・高速演算を実現しながら，EMC（電磁環境適合性）試験や各種ノイズ試験など，あらゆる製造シーンを想定した品質評価試験をクリアしており，製造現場の過酷な環境に耐えうる信頼性を確保している。

3. 5 MELSEC iQ-Rシリーズで搭載した新機能

MELSEC iQ-Rシリーズでは，業界初のデータベース内蔵機能，イベント履歴機能，専用ハードウェアを使用したセキュリティ機能を搭載した。

3. 5. 1 データベース内蔵機能

従来，生産現場では，レシピデータや生産実績データをパソコンで管理していたため，シーケンサにレシピデータを設定したり，シーケンサから生産実績データを収集したりするには，顧客がパソコン上で実行するプログラムを開発する必要があった。MELSEC iQ-Rシリーズでは，シーケンサ内にデータベースを内蔵し，このデータベースにア

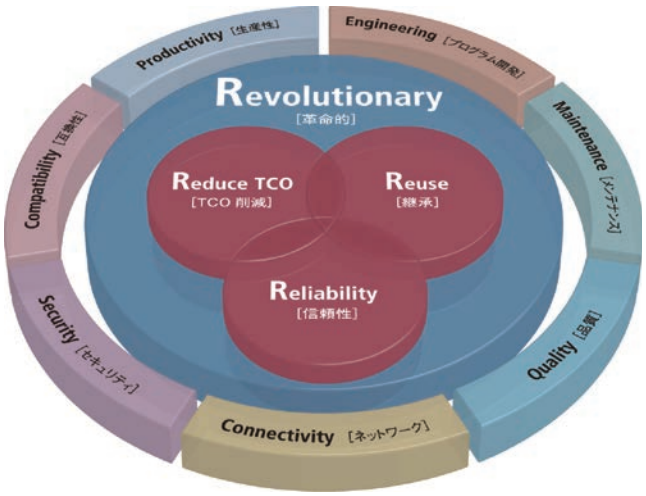

図4．MELSEC iQ-Rシリーズのコンセプト

表1．CPUユニットの命令処理時間

種別	RnCPU（新製品）	QnUDEHCPU（従来製品）
接点命令（ns）	0.98	9.5
データ転送命令（ns）	1.9	19
浮動小数点演算（ns）	9.8	57
ST言語（IF命令）（ns）	8	1,400
PC MIX(注2)（命令/μs）	419	60

（注2） 1μsで実行する基本命令やデータ処理などの平均命令数で，数値が大きいほど処理速度が速いことを示す。
ST：Structured Text

クセスするための専用命令を併せて搭載した。これによって顧客は，制御プログラム上で使用するレシピデータの抽出や生産実績データの追加・更新を容易に行うことが可能となる(**図5**)。また，データベースのインポート／エクスポートが可能なため，利用目的に応じてデータベースを簡単に活用することが可能である。

3. 5. 2　イベント履歴機能

顧客のシステムで障害が発生した場合，関係者に操作履歴などを確認する必要があり原因究明に時間がかかっていた。MELSEC iQ-Rシリーズでは，シーケンサへの制御プログラム変更，RUN／STOP／RESETスイッチ操作，SDカード挿抜操作等，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なイベント履歴機能を各コントローラ(シーケンサ，モーションコントローラなど)に搭載した。これによって障害発生時の状況を正確に把握でき，原因の早期究明が可能となる。

3. 5. 3　セキュリティ機能

シーケンサに格納している制御プログラムなどの顧客の技術(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。近年，海外向けに装置を開発している顧客から，パスワード以外でのセキュリティ機能強化やシーケンサ故障時は現地の保全メンバーだけで，簡単に交換したいという要望も増えてきている。MELSEC iQ-Rシリーズでは，専用のハードウェア(拡張SRAM(カセット)を使用したセキュリティキー認証によって，パスワードを使用しないセキュリティ機能を実現した(**図6**)。

この機能は，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，制御プログラムの読み出し／閲覧を制限する。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。これによって，技術の漏洩，不正コピーによる模倣品製造を防止できる。さらにシーケンサの拡張SRAMカセットにセキュリティキーを登録できるため，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が登録可能となり，高信頼性と利便性の両立を実現した。

3. 6　エンジニアリングツール

FA統合エンジニアリングソフトウェア“MELSOFT iQ Works”によって複雑化するシステムのプログラム開発の効率化を実現する。MELSOFT iQ Worksは，次のソフトウェアで構成している。

(1)　MELSOFT Navigator(システム管理用ツール)
(2)　GX Works3(シーケンサ用ツール)
(3)　MT Works2(モーションコントローラ用ツール)
(4)　GT Works3(表示器画面作成用ツール)

MELSOFT iQ Worksでは，システムを構成する機器及び各ソフトウェア間の機能連携／データ共有によって，従来は機器別に作成していた設計情報の一元管理を可能とし，ソフトウェア開発の効率化を図っている。

MELSEC iQ-Rシリーズ対応のGX Works3ではプログラム部品を選ぶだけの簡単プログラミング(**図7**)によって，次に述べる各開発フェーズのコスト削減を実現する。

3. 6. 1　システム設計

部品選択ウィンドウからアナログ変換ユニットなど必要なユニットを選んで配置する直感的な操作によって，システム構成図作成や各ユニットのパラメータ設定を可能としている。また，システム構成の変更に追従してプログラムやパラメータを自動変更する機能を備え，既存プロジェクトを容易に流用可能としている。

3. 6. 2　プログラミング

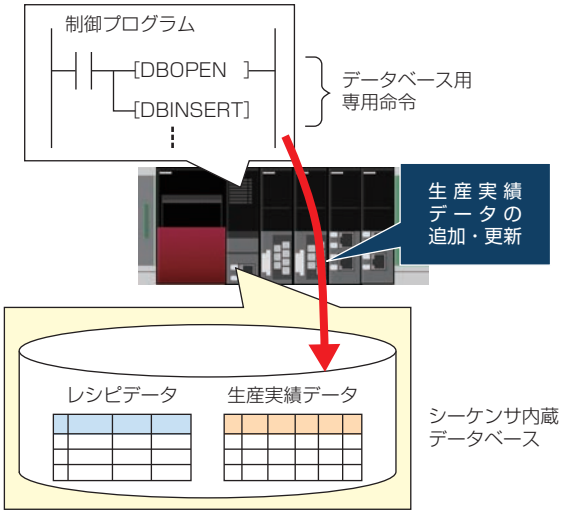

図5．データベース機能

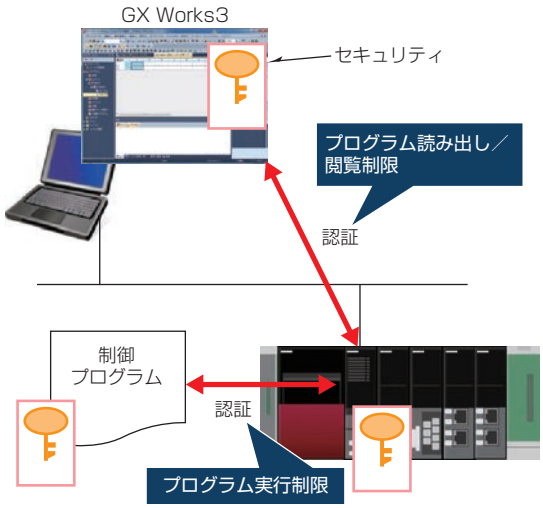

図6．セキュリティ機能

あらかじめ登録されている各ユニットのデータ変数(ユニットラベル)や，プログラム部品(ユニットFB)をプログラムエディタにドラッグ＆ドロップすることで簡単にプログラムが作成できる。

3. 6. 3　デバッグ・運用保守

コントローラとパソコンとのケーブル接続によって，GX Works3の診断画面を自動表示する機能を搭載している。異常発生した原因とその対処方法を診断画面に明示するため，GX Works3の操作に不慣れな現場担当者でも，迅速な一次診断が可能となる。

3. 7　ネットワーク

生産設備の複雑化や生産情報の見える化に対する要求が高まる中で，膨大な制御データや生産データを高速に通信するネットワークが求められている。当社が開発したネットワーク“CC-Link IE”は，1 Gbpsの広帯域を制御通信用と情報通信用に分割することによって，制御通信の定時性を保証しつつ，TCP/IPでは実現できないリアルタイムなデータ収集を実現する。また，ネットワークの異常箇所をビジブルに確認できる簡単診断機能を持ち，システムのダウンタイムを短縮する。

3. 7. 1　ネットワーク技術の進化

CC-Link IEコントローラネットワークは，最大128Kワードの大容量通信と光二重ループによって大規模なコントローラ分散制御を可能としている。CC-Link IEフィールドネットワークは，コントローラ分散制御，I/O制御と安全制御，モーション制御を統合するオールラウンドなネットワークで多様なシステムに対して最適なネットワーク構築が可能である。MELSEC iQ-Rシリーズでは，大規模な同期制御を必要とする生産設備の導入コスト削減のため，CC-Link IEフィールドネットワーク同期通信機能に対応させた。MELSEC iQ-Rシリーズの新規機能であるユニット間同期機能と組み合わせることで，複数のシーケンサシステムによる同期制御を簡単に実現可能とした。また，ラインのリレイアウトや設備の追加に伴う保守コストを削減するため，CC-Link IEコントローラネットワークをメタルケーブルに対応した。ライン型，スター型，リング型配線等のトポロジーが自由に選べ，装置の追加・削除を簡単に行える。

3. 7. 2　ネットワーク全体のシームレスな連携

当社はCC-Link IEに加え，豊富なパートナー製品を利用できるフィールドネットワーク(CC-Link)，高速・高信頼の同期型モーションネットワーク(SSCNET Ⅲ/H)，センサ・アクチュエータを分散制御できるフレキシブルなセンサネットワーク(AnyWire)など，顧客の目的・用途に合わせて適材適所なネットワークを提供している。さらにMELSEC iQ-Rシリーズでは，SLMPによる各ネットワークのシームレスなデータ通信を可能にしている(**図8**)。SLMPは，ネットワークのアプリケーション層に対応するシンプルなクライアントサーバ型の共通プロトコルで，ネットワークの階層・境界を意識せず，どの機器からでも同じ方法でアクセスを可能にする。また，ソフトウェア開発だけで対応製品を開発できるため，市販の様々な機器とも簡単に接続できる。今後，シリアル通信など対応ネットワークを拡充するとともに，機器のプロファイル情報やFBをGOTなど他機器と共有し，ネットワークのどこからでもパラメータ設定やモニタ・診断を可能にするなど，ネットワーク導入・保守の容易化を進める。

3. 7. 3　ネットワークのオープン化

CC-Link IEは，既にグローバルスタンダードとなっているCC-Linkと同じCC-Linkファミリーである。オープン化を推進するCC-Link協会のパートナー企業は2,097社(2014年３月末時点)に達しており，CC-Link IE接続機器の拡充を進めている。さらに，半導体・FPD(Flat Panel Display)業界の国際規格(SEMI)，日本標準規格(JIS)，中国国家規格(GB)，国際標準化規格(ISO，IEC)，韓国国家

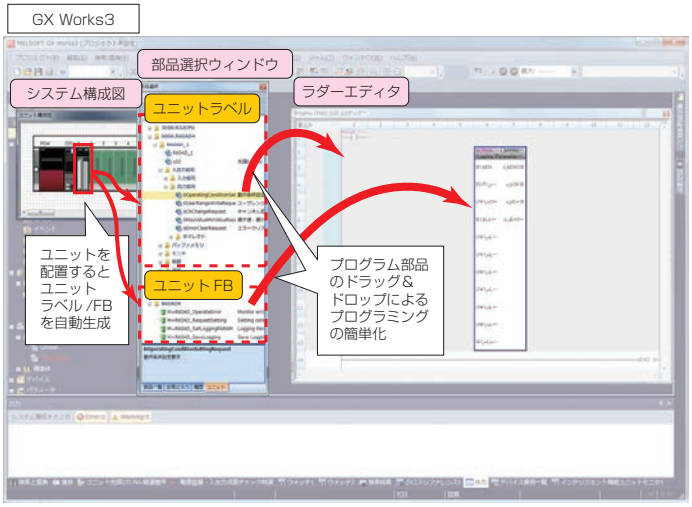

図７．次世代エンジニアリング環境

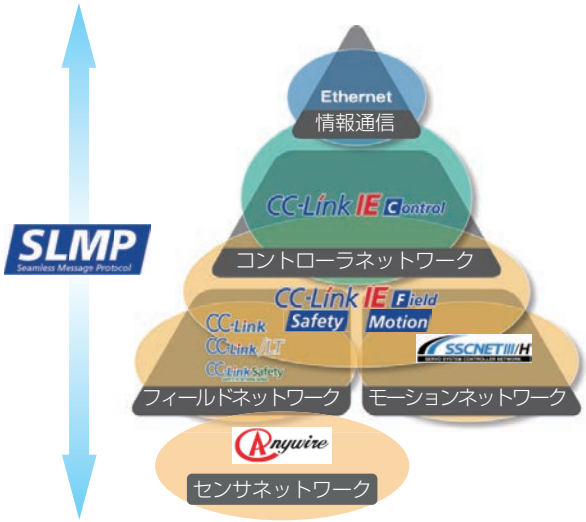

図８．ネットワーク

規格(KS)，台湾規格(CNS)を取得しているCC-Linkに続き，CC-Link IEもSEMIを取得するなど国際標準化規格への対応を推進している。

3. 8　センサ連携

近年の生産現場では製造ラインから様々な情報を収集するセンサの数が膨大となり管理も複雑化している。当社は，生産設備の立ち上げ・運用・保守コスト削減に貢献する“iQ Sensor Solution(iQSS)”を2012年11月に展開開始した(**図9**)。iQSSに基づいたセンサシステムでは，様々なメーカーのセンサの設定と管理が1つのエンジニアリングツール上で一括して行えるため，センサ群の一体運用が可能で，センサ個別の設計は不要でありシステムの立ち上げコストを削減できる。また，センサのパラメータ設定と変更，バックアップ／リストアをエンジニアリングツールから容易に行えるため，センサの運用・保守コスト削減が図れ，生産現場でのトータルコスト削減が可能となる。今後，iQSS対応のセンサ品ぞろえを広げるため国内外のセンサメーカーとのパートナー化を推進するとともに，MELSEC iQ-RシリーズのiQSS対応を進め，多くの生産現場のTCO削減に貢献していく。

3. 9　駆動制御との連携

当社の駆動機器は“MELSERVO J4シリーズ”を始め，多彩なラインアップを実現して幅広い駆動装置への対応を可能としている。さらに，これらの駆動制御にはシーケンサとモーションコントローラを組み合わせた当社独自のマルチCPUシステムによって，駆動制御性能と柔軟なシステム拡張性を両立させてきた。MELSEC iQ-Rシリーズではこのシステムを更に強化し，高速システムバスによるデータ交換周期の高速化(4倍)やモーション制御の高速化(約1.5倍)を実現した。さらにシーケンサ制御との親和性や使いやすさを改善している。

3. 9. 1　高精度同期制御の実現

ユニット間同期機能によって，複数のモーション制御ユニット(シンプルモーションユニット)を同期させることが可能となった(**図10**)。これによって駆動システムの同期精度を損なうことなく制御軸数の拡張も可能である。例えば従来はシンプルモーション1台ごとに最大16軸の同期しかできなかったが，複数台のシンプルモーションで32軸以上の同期制御が可能となる。このため，より大規模なシステムでも同期制御による製造品質の安定化，タクトタイムの短縮につながる。

3. 9. 2　エンジニアリングツールの統合

モーションCPUを使用する場合，シーケンス制御プログラム(例えばラダー)とモーション制御プログラム(モーションSFC(Sequential Function Chart))で別々に制御プログラムやエンジニアリングツールが必要であった。MELSEC iQ-Rシリーズではシーケンス制御命令にモーション専用命令を拡張した。これによって，GX Works3だけでモーション制御のプログラミングが可能となっている。当然ながら，高速なモーション制御が必要な場合は，従来のMT Works2によるモーションSFCを使用した制御プログラムも使用可能である。

4. む　す　び

工場自動化の中核となるMELSEC iQ-Rシリーズの開発及びエンジニアリングツールやFAネットワーク等の周辺製品の最新技術について述べた。今後は，MELSEC iQ-Rシリーズの品ぞろえ拡充(C言語コントローラ，計装コントローラ，安全コントローラ開発等)と耐環境性強化(高温・腐食性ガス耐性の対応等)によって，適用範囲を拡大していく。また，トラブル時の一括データ収集機能強化やパートナー連携によるシミュレーション強化によって，保全性向上及び上流設計での利便性向上など，e-F@ctoryを更に進化させ，TCO削減を推進していく。

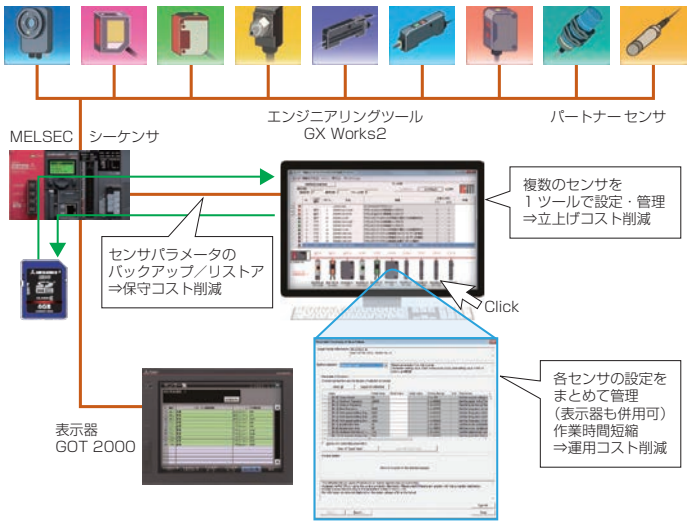

図9．iQSS(iQ Sensor Solution)

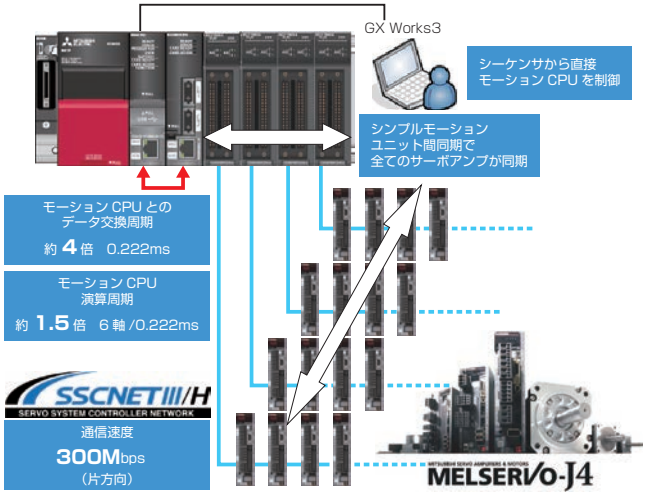

図10．駆動制御との連携