

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”

家田正孝*
Masataka Ieda
林 佑磨*
Yuma Hayashi

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

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”の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

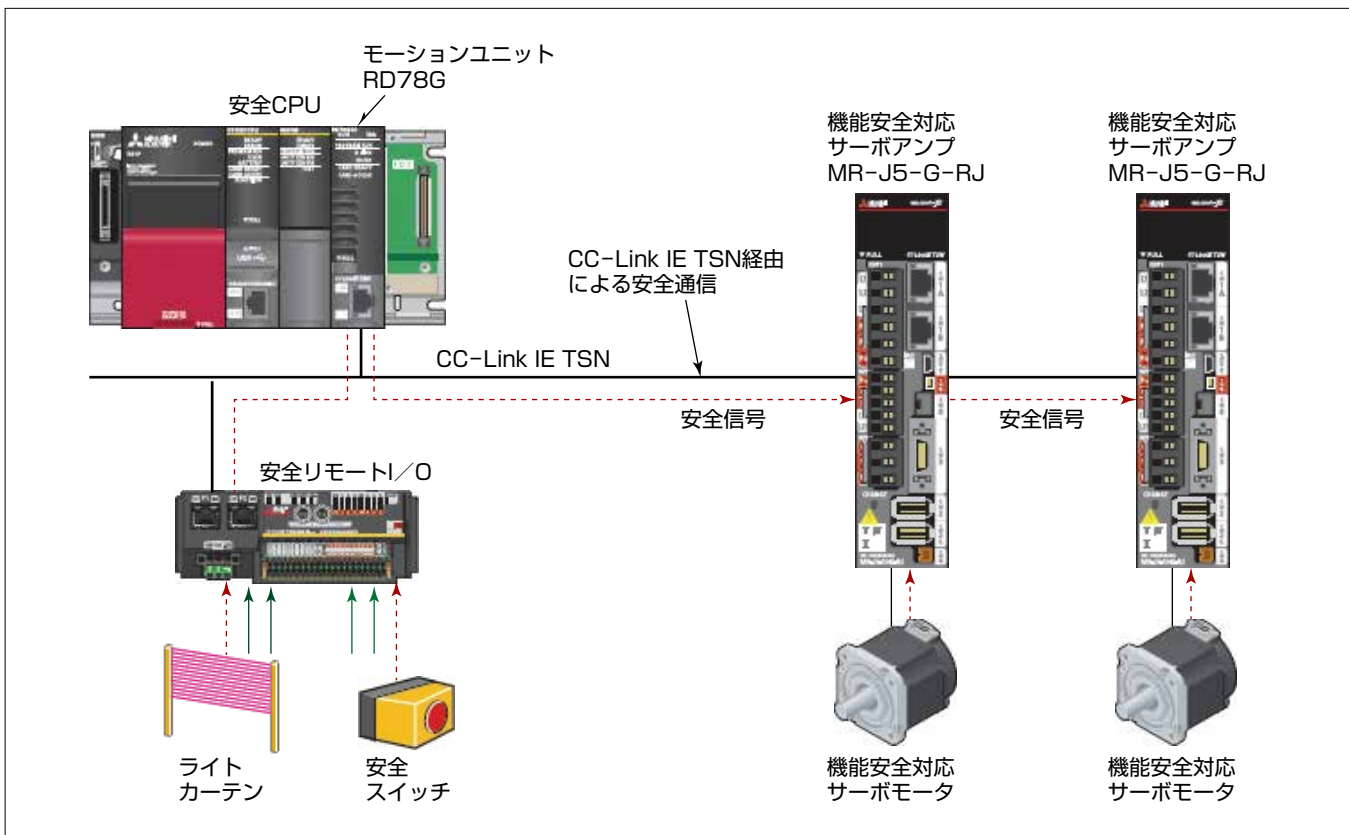
視機能に必要な二重化を達成した。

(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) 機能安全国際規格に準拠

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。従来専用ハードワイヤ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”の特長

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・継承を基本としながらも、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31.25 μ s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 ～保安全性～

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。

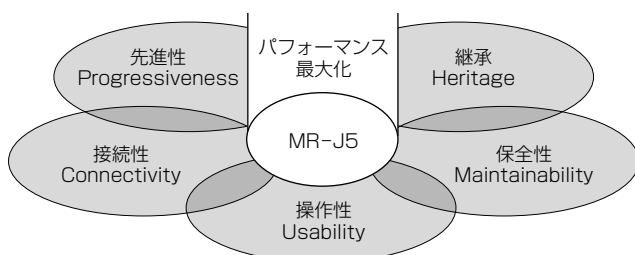


図1. ACサーボアンプ“MR-J5シリーズ”のコンセプト

(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

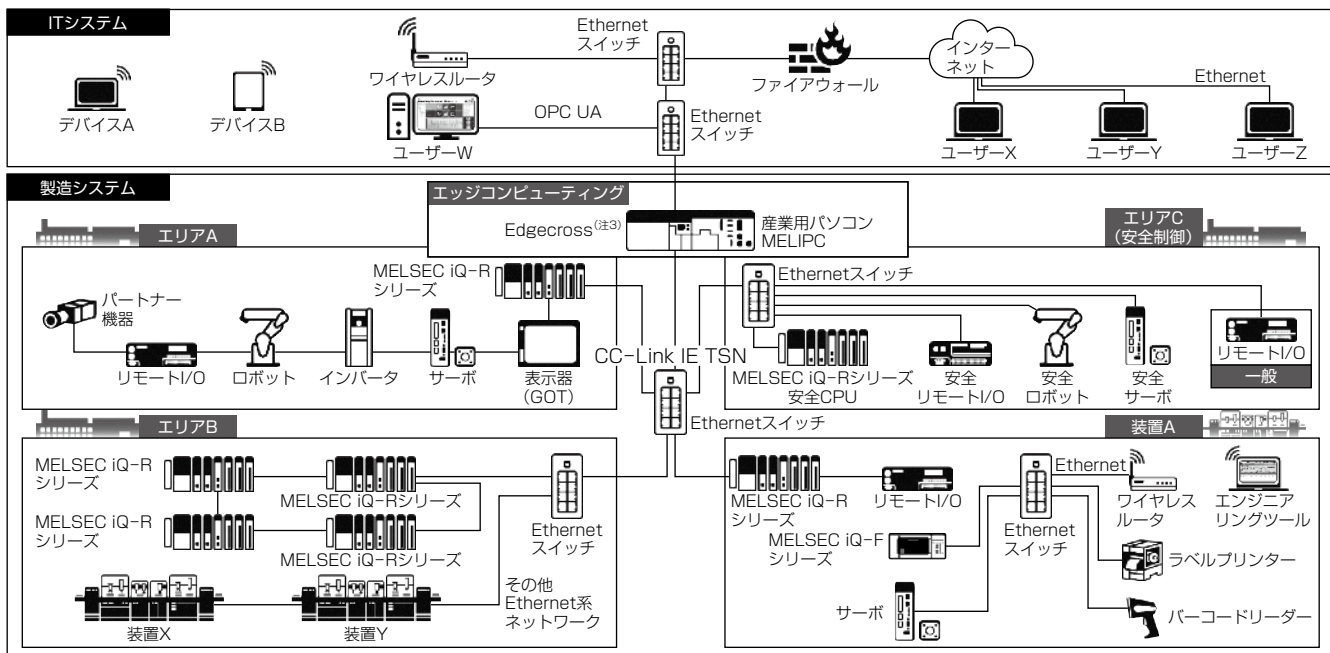
CC-Link IE TSNは一般社団法人CC-Link協会から仕様公開されている産業用オープンネットワークである。三菱電機は仕様策定から参画し、対応製品開発及びプロモーションを推進している。CC-Link IE TSNは、最速31.25 μ sの高速制御周期と $\pm 1 \mu$ sの高性能時刻同期を実現するプロトコルに、通信帯域の時分割制御を可能にするTSN技術^(注1)を適用している。これによって、製造システムに必要な制御通信の定時性を維持したまま、ITシステムに必要な情報通信の混在を可能にした(図2)。

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。これに応えるため、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

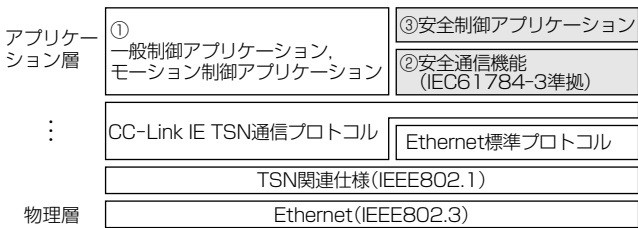


図3. 製品実装イメージ (OSI (Open Systems Interconnection) 階層モデル)

安全CPU+安全機能ユニット R32SFCPU+R6SFM
(マスタ・ローカルユニット又はモーションユニットと組み合わせて使用する。)

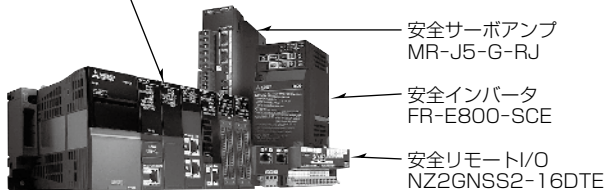


図4. 安全通信機能に対応したCC-Link IE TSN製品群

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(注2)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っ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	リニアサーボモータ	回転型サーボモータ	リニアサーボモータ
STO	○	○	○	○
SS1-t	○	○	○	○
SS1-r	○	○	×	×
SS2-t	×	×	○	○
SS2-r	×	×	○	○
SOS	×	×	○	○
SLS	○	○	○	○
SSM	○	○	○	○
SBC	○	○	○	○
SDI	○	○	○	○
SLI	×	×	○	○
SLT	○	○	○	○

○: 対応 ×: 非対応

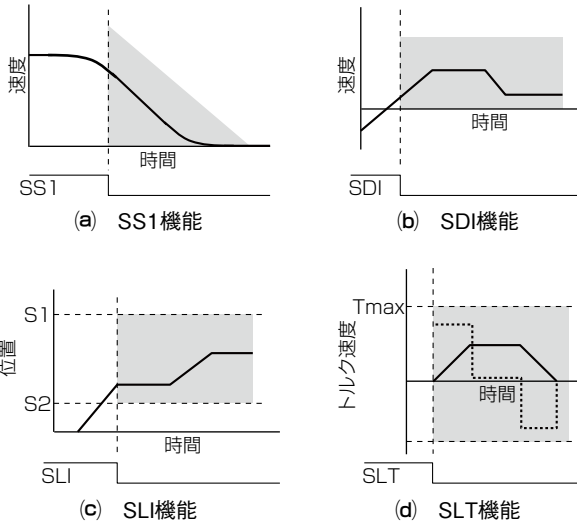


図5. 新規対応の安全監視機能

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

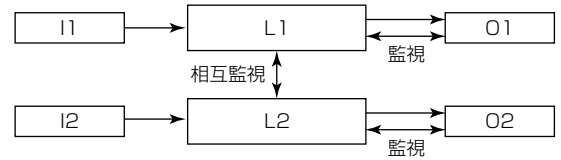
MR-J5の機能安全対応と併せて、速度・位置監視の安全規格に対応する機能安全対応サーボモータ“HK-KT_WS/HK-ST_WS”を開発した。

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

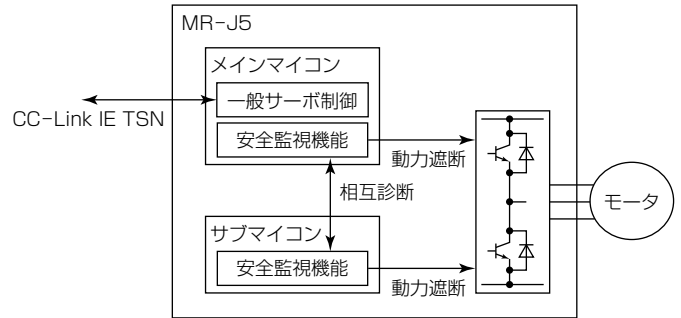


図7. マイコン構成

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、チャン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。