

# CC-Link IE TSN対応ACサーボアンプ “MELSERVO-J5シリーズ”

大平 聡\*  
Satoshi Ohdaira

CC-Link IE TSN Compatible AC Servo Amplifier "MELSERVO-J5 Series"

## 要 旨

ACサーボシステムは、様々な産業機械の駆動制御に用いられており、その用途拡大に伴い、サーボシステムに対する要求は多様化している。そこで、“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ACサーボアンプ“MELSERVO-J5シリーズ”を開発した。MELSERVO-J5シリーズは産業用ネットワーク“CC-Link IE TSN (Time Sensitive Networking)”を基軸としたソリューション連携機能を大幅強化し、基本性能・機能についても業界最高クラスを達成した。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対応によって指令最小指令通信周期31.25μsを達成。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によって、モーション制御の更なる高速・高精度化を実現。

### (2) 診断機能(保全性)

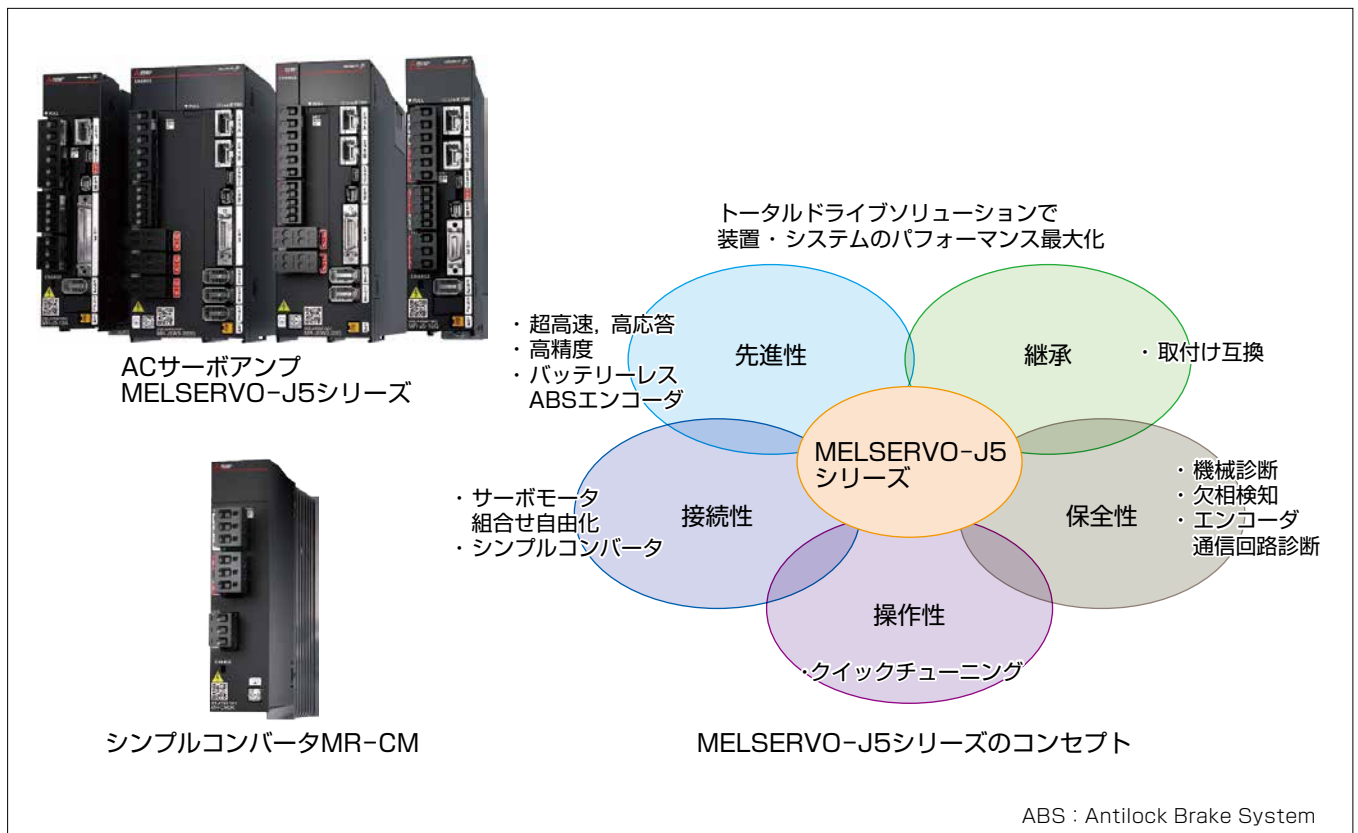
駆動部品の経年劣化を検知する機械診断の対象部品を拡充し、電源入出力欠相やエンコーダ通信回路異常を検知する機能を開発してダウンタイム短縮を実現。

### (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ゲイン調整を瞬時に行うクイックチューニング機能を開発。

### (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”で共通母線配線を容易化し、装置・システムの省エネルギー・省スペース・省配線を実現。



## ACサーボアンプ“MELSERVO-J5シリーズ”のコンセプト

ACサーボアンプMELSERVO-J5シリーズは、従来機種との互換性を保ち、継承を基本とした“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新製品である。業界最高クラスの超高性能・高精度化だけでなく、使いやすさ、省エネルギー、高機能など高付加価値を追求したサーボアンプである。

## 1. ま え が き

ACサーボシステムは、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(リチウムイオン電池)製造装置、射出成型機、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、省エネルギー性など市場要求も多様化している。

この開発では、多様化する要求に応えるため、従来好評を得ているACサーボアンプ“MELSERVO-J4シリーズ”(以下“MR-J4シリーズ”という。)からの互換・継承を基本として、“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“MELSERVO-J5シリーズ”(以下“MR-J5シリーズ”という。)を開発した。

本稿では、MR-J5シリーズの特長について述べる。

## 2. 基本性能の大幅向上

### 2.1 超高速・高応答・高精度

ACサーボアンプMR-J5シリーズは業界最高クラスの超高速・高応答・高精度を実現している。MR-J5シリーズでは、独自の高速サーボアーキテクチャである専用LSIの採用、エンコーダの演算時間短縮及びエンコーダ通信高速化によって、各演算処理の無駄時間を約50%短縮した。これによって、速度周波数応答が従来の2.5kHzから3.5kHzに向上した。

また、コントローラとの通信はCC-Link IE TSNに対応することで、従来比8倍の全二重1Gbps通信速度、指令最小通信周期31.25 $\mu$ sを実現し、システムの指令応答時間を約70%短縮した。TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)通信をサポートすることでIoT(Internet of Things)との親和性も大幅に向上した。

さらに、対応するサーボモータ“HKシリーズ”では従来の“HGシリーズ”に対して16倍分解能を向上させた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を標準搭載することで高精度と低速での安定性を実現した。

#### 2.1.1 軌跡追従性能向上

軌跡追従性能検証の一例として真円度の測定結果を図1に示す。この測定ではX-Yテーブルを模擬した負荷ありの2軸ボールねじ装置で、一定速での円弧補間駆動を実施した。MR-J5シリーズではMR-J4シリーズに比較して、軌跡追従ばらつきが最大75%低減しており、各種演算無駄

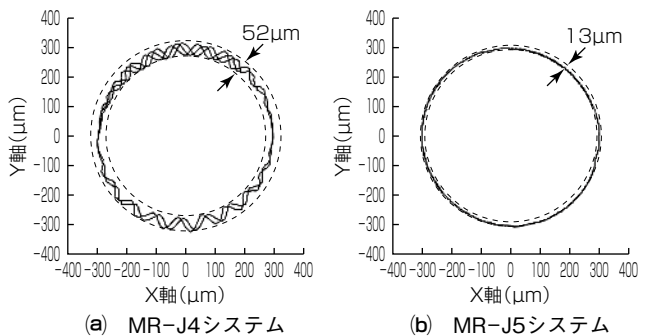


図1. 真円度の測定結果

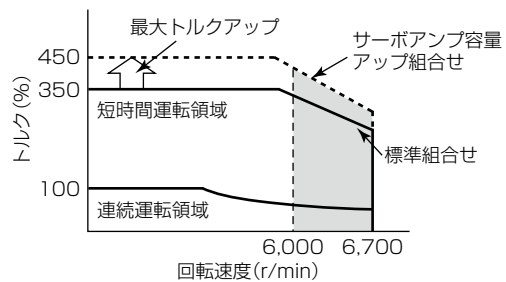


図2. サーボモータ組合せ自由化

時間の短縮による高ゲイン化(約40%向上)と指令通信周期及びエンコーダ通信周期高速化の効果が確認できる。この性能向上によって、顧客の装置・システムのパフォーマンスを最大限引き出すことが期待できる。

### 2.2 サーボモータとの組合せ自由化

従来は、例えば、200Wサーボアンプでは200Wサーボモータ駆動というようにサーボアンプ容量とサーボモータ容量の組合せ制約があった。MR-J5シリーズでは、電流検出回路の見直しによって電流検出分解能を従来比約4倍に引き上げることで、組合せ制約緩和を実現した。これによって、サーボモータの最大トルクアップ(図2)を可能にし、装置のタクトタイム短縮への貢献や、1サーボアンプで複数容量のサーボモータ駆動ができることから保用品削減への貢献が期待できる。

## 3. 診断機能

### 3.1 機械診断

サーボが使用される産業機械では、その駆動機構にボールねじやリニアガイド、ベアリングなどの軸受・案内機構や減速機(ギヤ)、ベルト駆動機構が用いられることが多い。これらの駆動機構で異常が発生すると、装置の機能や性能が劣化し、場合によっては駆動機構が破損して正常に動作できなくなる。また、駆動機構の異常によって、サーボアンプでアラームが発生すると、不再現不具合になりやす

く、返却品解析時にアラーム発生原因が特定しづらいという問題もある。そこで、駆動部品の経年劣化を検知し、故障前メンテナンス(予知保全)を可能にする機械診断機能を開発した。MR-J5シリーズではMR-J4シリーズで一部対応済みのボールねじ診断の精度向上に加え、ベルトやギヤ診断についても新たに対応した。

### 3.1.1 ボールねじ診断

ボールねじ診断は、サーボモータに接続されているボールねじ機構の故障を予測する機能である。ボールねじ診断ではサーボアンプ内部データ(電流、速度)から摩擦トルクと振動振幅を推定し、摩擦トルクの変化によって寿命予測を実施し、振動振幅から寿命判断を実施している。MR-J4シリーズでのボールねじ診断機能は運転パターンによって摩擦トルクの推定精度が変化してしまう問題があったので、MR-J5シリーズでは摩擦トルクの推定精度向上を図った。これによって、顧客の運転パターンによらないボールねじ診断を実現した。また、従来は顧客で設定必要であった判定値を自動設定にして使い勝手の向上を図った(図3)。

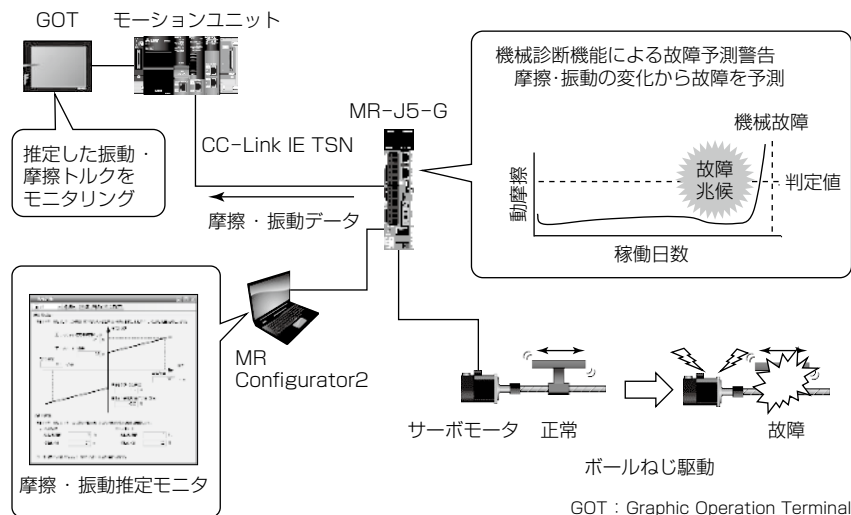


図3. ボールねじ診断

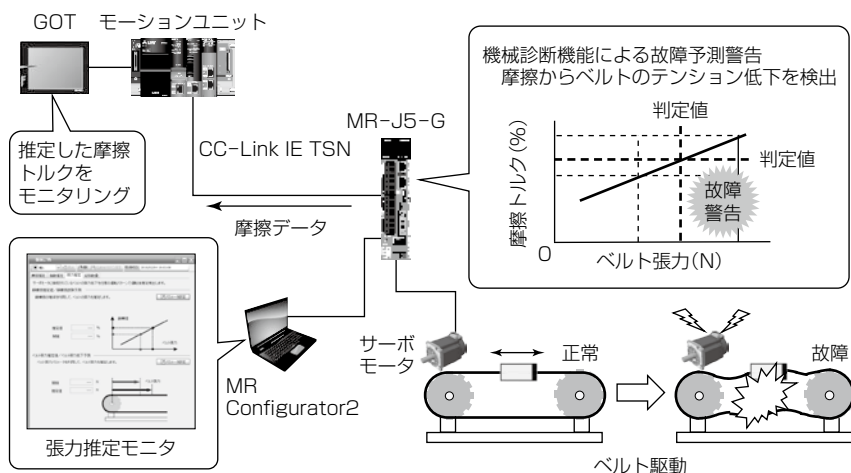


図4. ベルト診断

### 3.1.2 ベルト診断

ベルト診断は、サーボモータに接続されているベルト機構の故障を予測する機能である。ベルト診断では静摩擦推定方式と張力推定方式の2方式を開発した。静摩擦推定方式はサーボアンプ内部データ(電流、速度)から静摩擦を推定し、その変化によってベルトの張力低下を推定する。静摩擦の判定値を自動設定できるため、顧客は簡単に使用が可能である。反面、静摩擦が低下したことだけ検知するため、ベルト張力低下検出精度が低く、ベルトの初期伸びで故障を誤検出する可能性がある。一方、張力推定方式はサーボアンプ内部データ(電流、速度)から直接ベルト張力を推定し、張力低下を判断する。顧客でベルト張力と静摩擦との関係をあらかじめパラメータ入力する必要があるが、ベルト張力低下を精度良く検出することが可能である(図4)。

### 3.1.3 ギヤ診断

ギヤ診断は、サーボモータに接続されている減速機等のギヤ機構の故障を予測する機能である。ギヤ診断では、往

復位置決め運転時のサーボアンプ内部データ(電流、位置)から、ギヤのバックラッシュ量を推定し、その変化によってギヤ磨耗等の故障を予測する。推定したバックラッシュ量と顧客であらかじめパラメータとして入力されたバックラッシュ量しきい値を比較することで、ギヤ故障を判断する(図5)。

## 3.2 欠相検知

サーボアンプの主回路電源(L1/L2/L3)が欠相し、モータ負荷が大きくなった場合、欠相と直接関係のないアラームが発生する場合がある。また、サーボモータの電源(U/V/W)が欠相した場合、過電流アラームや過負荷アラームが発生する場合がある。これらの故障は原因特定に時間を要している。MR-J5シリーズでは、サーボアンプの主回路電源の欠相を検知する入力欠相検知、サーボモータの電源欠相を検知する出力欠相検知を開発した。この機能によって、過負荷などのアラームと区別可能なため、復旧作業短縮が可能である(図6)。

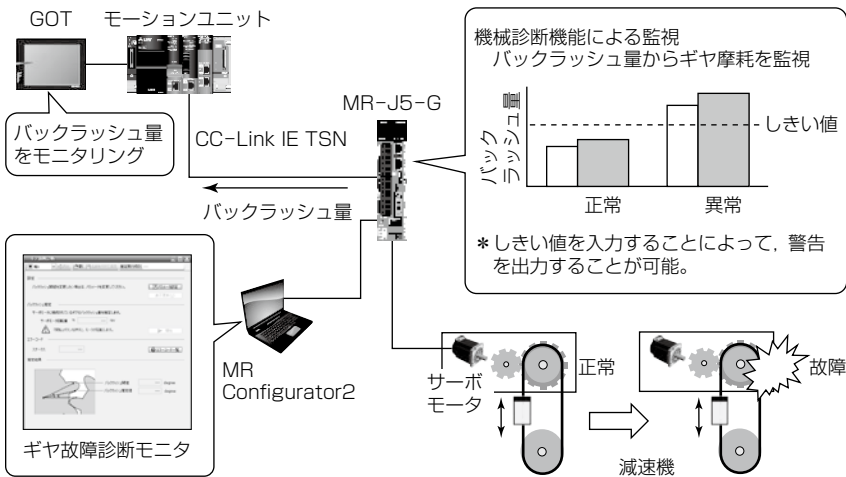


図5. ギヤ診断

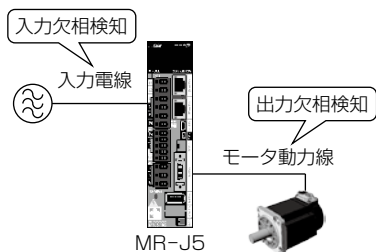


図6. 欠相検知

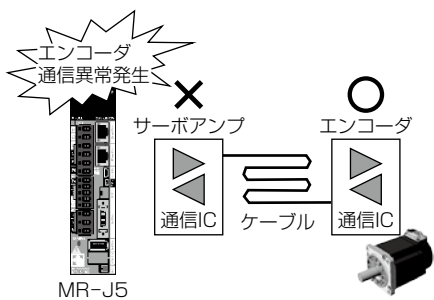


図7. エンコーダ通信回路診断

### 3.3 エンコーダ通信回路診断

エンコーダ通信アラームの要因は、サーボアンプ故障／エンコーダ故障／エンコーダケーブル断線やノイズによる通信データ異常等が多く、原因特定に時間を要している。MR-J5シリーズではサーボアンプ内のエンコーダ通信回路に使用している差動ドライバ・レシーバの故障を診断する機能を搭載することで、サーボアンプ内故障を検出してトラブル原因特定までの時間短縮を実現した(図7)。

## 4. 瞬時に性能を引き出す調整機能

### 4.1 クイックチューニング

装置・システムの性能を引き出すためには、機械特性や

動作仕様に応じて、各種制御パラメータを調整する必要がある。例えば、半導体実装機やダイボンダといった高速・高精度な動作が要求される機械では高度な調整が必要である。MR-J4シリーズでは、ワンタッチ調整機能によって自動で高速・高精度な動作を実現して好評を得ている。一方、応答性や精度を要求しない単純な搬送などの用途にもサーボシステムが使われる場合も多くあり、このような用途では配線するだけで動作するような簡単さが求められている。また、サーボモータに対して非常に大きな負荷が付

いている機械では、サーボアンプの出荷時初期設定では制御系が不安定になる場合がある。不安定な状態では、種々の調整機能の適用や高度な調整作業を実施することが困難なため、配線するだけで制御系を安定化させ、低応答であるが動作させられるようになる機能への要求は高い。これらの要求に応えるため、MR-J5シリーズでは、顧客での調整作業不要で、瞬時に安定な制御系と過度に遅くない応答性を得るクイックチューニング機能を開発した。

一例としてボールねじ装置に対してワンタッチチューニングとクイックチューニングを適用した結果を図8及び表1に示す。クイックチューニングではオーバーシュート量110パルスで整定時間91msの調整をサーボオン時の一瞬(0.3秒)で実現できている。

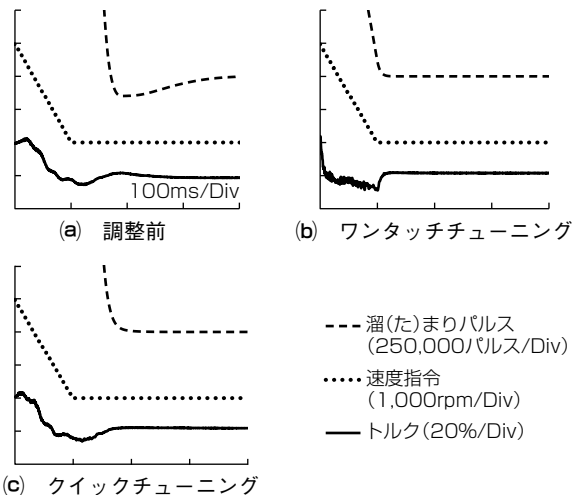


図8. 各種チューニング機能による調整結果

表1. 各種チューニング機能による調整結果

項目	調整前	ワンタッチチューニング	クイックチューニング
調整時間(秒)	—	60.0	0.3
整定時間(ms)	247.04	11.09	91.72
オーバーシュート量(パルス)	243.200	110	110

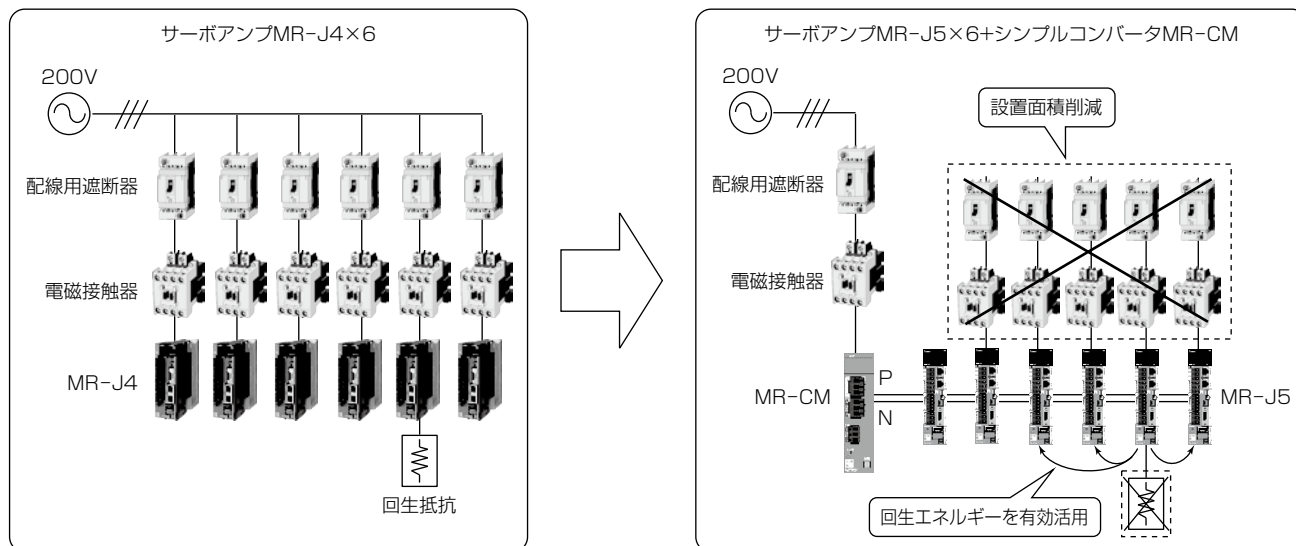


図9. MR-CM活用による母線共通システムの構成例

## 5. 省エネルギー・省スペース・省配線

### 5.1 シンプルコンバータ

近年、省エネルギー性、省スペースや省配線化の要求が更に高まっている。MR-J4シリーズでは、1サーボアンプで複数のサーボモータを駆動する多軸一体サーボアンプで対応していたが、システム構築の柔軟性に課題があった。例えば、容量の大きく異なるサーボモータ組合せが不可や最大軸数が3軸までという制約がある。MR-J5シリーズでは、シンプルコンバータMR-CMを新規に開発して母線共通システムの構築を容易にした。MR-CMの仕様は、最大接続アンプ数6台、定格出力3kW以下である。

母線共通システムを使用することによって、あるサーボモータの回生エネルギーを他サーボモータの力行エネルギーとして再利用するだけでなく、後述の回生協調制御によってサーボアンプ内蔵の回生抵抗を最大限利用可能になる。また、保護機器の削減や回生抵抗の削減によって、制御盤の設置面積削減が可能である(図9)。一例として、MR-J5単軸で6軸システムをMR-CM活用による母線共通システムに置き換えると配線用遮断器と電磁接触機をそれぞれ5台分の削減(設置面積でMR-CM分を考慮しても約38%の削減)とケーブル31本の削減が可能である。

### 5.2 回生協調制御

従来の母線共通システムでは、各サーボアンプの母線電圧検出回路のばらつきや回生オンタイミングのばらつきに

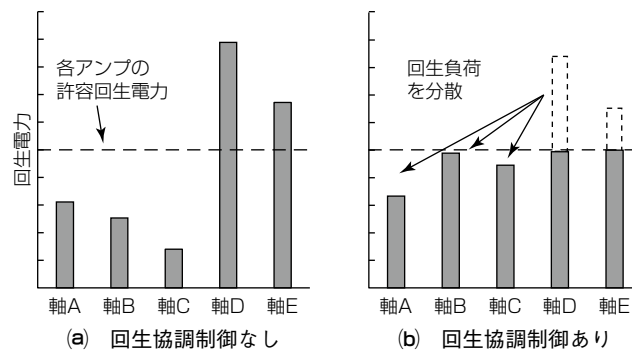


図10. 回生協調制御の効果

よる回生負荷集中が発生する課題があった。この課題に対して、回生協調制御で回生の負荷をシステム全てのサーボアンプで分散することを可能にした。これによって、処理できる回生エネルギーをシステム内の各サーボアンプの回生能力の足し算というあるべき姿を実現した。一例として5軸システムでの試験結果を図10に示す。回生協調制御によって、システム内の内蔵回生抵抗だけで回生電力を処理し、外部回生抵抗の削減が実現した。

## 6. む す び

サーボシステムの根幹である高速・高性能だけを追求するだけでなく“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MR-J5シリーズについて述べた。今後も更にニーズを先取りして、多くの顧客の満足を得られる製品開発に努めていく。