

# 次世代ACサーボアンプ“MR-J4シリーズ”・ サーボモータ“HGシリーズ”

川尻清成\* 土屋文昭\*  
池田英俊\*\* 吉田憲平\*  
榎本和幸\*

Next Generation Servo Amplifier "MR-J4 Series" and Servo Motor "HG Series"

Kiyonari Kawajiri, Hidetoshi Ikeda, Kazuyuki Enomoto, Fumiaki Tsuchiya, Kempei Yoshida

## 要 旨

汎用ACサーボは、現在、様々な産業機械の駆動制御に用いられており、更なる用途拡大に伴い、サーボに対する要求は多様化している。そこで、従来好評をいただいている“MR-J3”サーボアンプ及び“HF”サーボモータからの互換、継承を基本として、“人・機械・環境との調和”をコンセプトとした次世代“MR-J4シリーズ”アンプ及び“HGシリーズ”モータを開発した。主な特長を次に述べる。

### (1) 超高速・高応答・高精度

- ・速度周波数応答2.5kHz，光ネットワーク150Mbps
- ・400万パルス(4,194,304p/r)の絶対位置エンコーダ
- ・トルクリプルを従来比1/4に低減

### (2) 簡単に機械の性能を引き出す自動調整技術

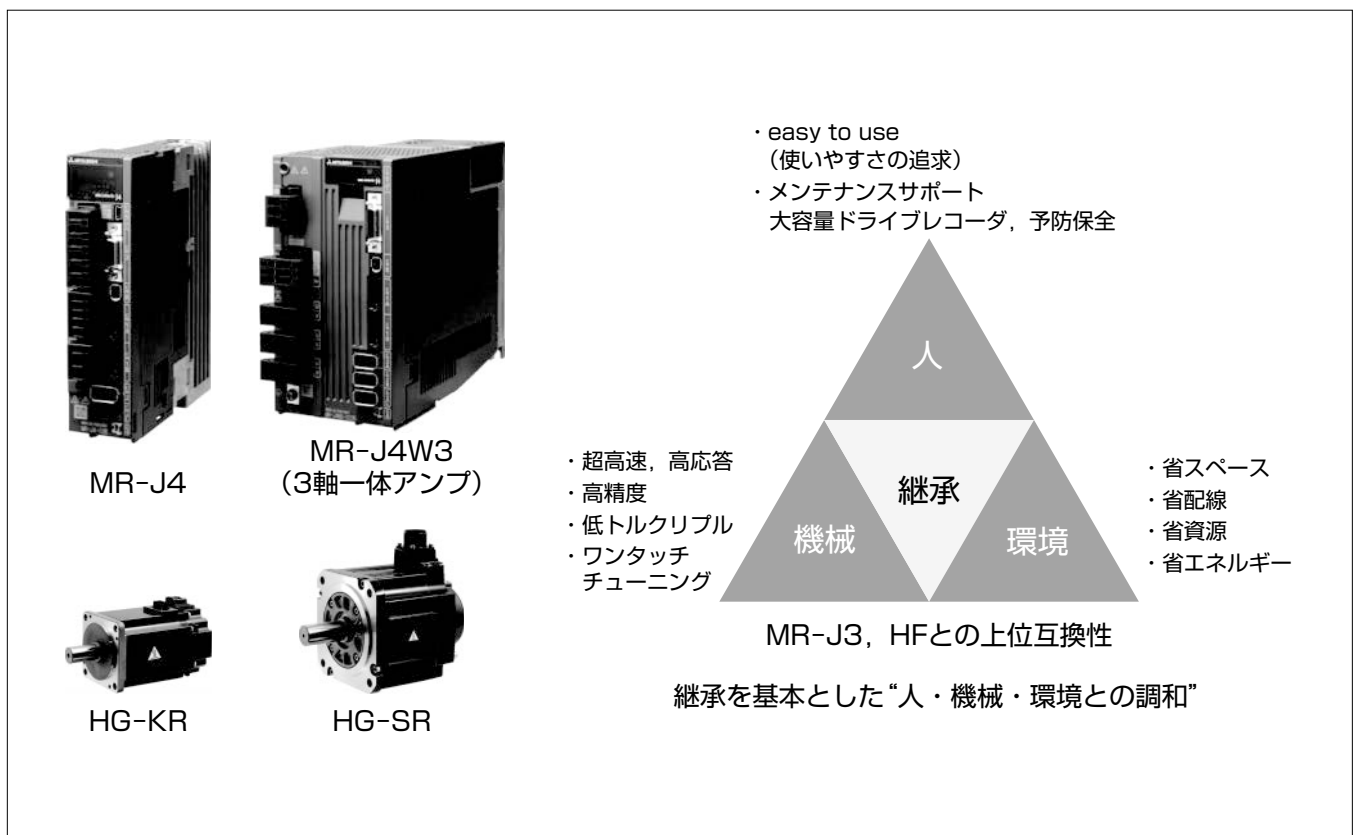
- ・ワンタッチチューニングによる簡単調整
- ・アドバンスト制振制御Ⅱによる機械振動の自動抑制
- ・ロバストフィルタによる大慣性系の安定制御

### (3) 省スペース，省配線，省資源，省エネルギー

- ・多軸一体アンプ(設置面積30%減，配線50%減)
- ・磁石形状の最適化によって，モータ素材使用量30%減
- ・省エネルギーの見える化(電力モニタ機能)

### (4) メンテナンスサポート機能

- ・大容量ドライブレコーダによるアラームの原因究明
- ・機械診断による機械部品の予防保全支援



## 人・機械・環境と調和するサーボアンプ“MR-J4シリーズ”・サーボモータ“HGシリーズ”

サーボアンプ“MR-J4シリーズ”，サーボモータ“HGシリーズ”は、従来機種との高い互換性を保ち、継承を基本とした“人・機械・環境との調和”をコンセプトとした新製品である。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(easy to use)，省エネルギー，高機能等の高付加価値を追求した次世代サーボである。

## 1. ま え が き

汎用ACサーボは、現在、様々な機械装置の駆動制御に用いられている。代表的な用途は半導体製造装置、印刷機、射出成型機、ロボット、工作機械等多様であり、高性能・高精度化だけでなく、高機能、使いやすさ、省エネルギー等市場の要求も多様化している。

そこで、従来好評をいただいているMR-J3アンプ、HFモータからの互換、継承を基本として、“人・機械・環境との調和”をコンセプトとしたサーボアンプ“MR-J4シリーズ”，サーボモータ“HGシリーズ”を開発した。ここで、その特長について述べる。

- “人” …easy to use(使いやすさの追求), メンテナンスサポート, 予防保全
- “機械”…超高速・高応答・高精度, 低トルクリプル, 高度なサーボゲイン調整をワンタッチで実現
- “環境”…省スペース, 省配線, 省資源, 省エネルギー

## 2. 基本性能の向上

### 2.1 超高速・高応答・高精度

次世代汎用ACサーボアンプMR-J4, HGサーボモータ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-J4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(Large Scale Integration)の採用及びエンコーダの演算時間短縮によって各演算処理の無駄時間を約30%短縮し、速度周波数応答を従来の0.9kHzから2.5kHzに向上させた。一例として、ボールねじ装置の位置決め整定時間がMR-J3に対して約40%短縮できた。

また、コントローラとの光通信ネットワークである“SSCNET(Servo System Controller NETwork)Ⅲ”を更に進化させた“SSCNETⅢ/H”では、従来比3倍の全二重150Mbpsの通信速度を実現し、システムの応答性を飛躍的に向上させた。局間の最大線長が従来比2倍の100mとなり、大規模システムの構築が可能となる。また、MR-J4とJ3が混在したシステムでは、J3と互換の通信が可能である。

さらに、サーボモータHGシリーズでは、従来に対して16倍分解能を高めた400万パルス(4,194,304p/r)の絶対位置エンコーダを標準搭載することによって、高精度と低速での安定性を実現した。

### 2.2 トルクリプル低減

モータのトルクは磁束×電流で発生するが、通常、磁束の高調波成分に起因したトルクリプル(トルクの歪(ひずみ))が発生する。そのため、装置のより滑らかな定速運転を実現するためには、トルクリプルの低減が重要である。従来は磁石をスキュー着磁(軸方向に傾斜を付けて着磁)することでトルクの歪みを低減していたが、その場合、誘起電圧の低下による高トルク化、損失の増加による温度面

での課題があった。

HGモータでは、同相コイルを分配配置し磁石磁束の高調波成分の位相をずらすことで、高調波成分を低減した。

また、鉄心先端が軸方向に傾斜(スキュー)を形成する鉄心形状とすることで誘起電圧を維持しつつトルクリプルを低減した(図1)。これによってHGモータはトルクリプルをHF比で最大75%低減し安定したトルクの発生を可能とした(図2)。

このトルク安定化によって、装置に発生する振動を抑制し、制御精度の向上を実現した。

## 3. 簡単に機械の性能を引き出す自動調整技術

### 3.1 アドバンストワンタッチチューニング

サーボの高性能を引き出すためには、装置の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。三菱電機のサーボでは、使いやすさ(easy to use)を追求した“MR-JNシリーズ”で、位置決め運転中にスイッチを押すだけで、最適調整を自動的に完了するワンタッチチューニングを搭載し好評を得た。今回、使いやすさを継承し、調整則の高度化と制御手法の拡充によって、より高性能を引き出す機能を開発した。この機能では、自動的に制御ゲインを変更して発振限界を確認しながら、複数の機械共振フィルタや新開発のロバストフィルタ等を組み合わせた最適調整を行う。また、残留振動を抑制する制振制御を必要に応じて自動適用し、整定時間の短縮を実現する。

例として、この機能をボールねじ装置に適用した結果を図3に示す。2つの共振周波数に対応した機械共振抑制フィルタを適用し、整定幅20μmで整定時間2msを実現する高応答制御が、1分未満の調整時間で実現されている。

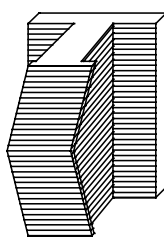


図1. スキュー鉄心

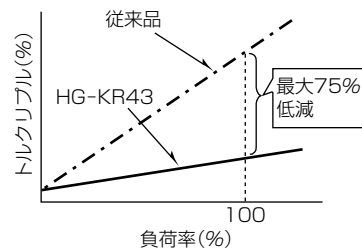


図2. トルクリプル低減

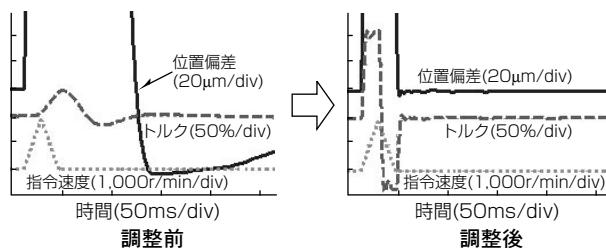


図3. アドバンストワンタッチチューニングの効果

### 3.2 アドバンスト制振制御Ⅱ

部品実装機や半導体検査装置等の位置決めでは、装置の低剛性に起因した停止時の残留振動が最大の問題となる。この抑制を目的として、既にMR-J3シリーズに搭載された制振制御とその自動調整は、位置決め制御に不可欠の機能として利用されている。一方で高速駆動の要求とともに装置の設置性や軽量化への要求も一段と高くなり、例えば、アームなどの可動部だけでなく、モータを取り付ける架台も振動するといった、複数の振動が問題になる場合が少なくない。この複数振動への対策として、仮に制振制御を単純に二重化するような手法を用いると、整定時間が長くなるという課題があった。そこで今回、3つの慣性が弾性的に結合した3慣性系を制御対象モデルと考えることで、2つの振動を抑制しながら高速整定を実現する方式を開発した(図4)。この方式では、サーボアンプ内部の制御系で、振動を抑制するよう動作する3慣性系規範モデルの計算を行い、そのモデルトルクとモデル位置・速度を用いてモータを制御する。さらに、応答波形の目視からは困難な2つの振動特性の推定を自動的に実現する手法を開発し、ワンタッチ操作の自動調整で複数周波数の制振制御を実現可能にした。

図5に実機波形を示す。制振制御を行わない場合に発生していた複雑な振動が、自動調整のアドバンスト制振制御Ⅱによって抑制され、短時間での整定を実現している。

### 3.3 ロバストフィルタ

モータに対する負荷慣性比が大きい場合やベルトやギアで駆動する装置などでは、明確な機械共振とは異なる現象による発振を生じ、高応答制御の実現が容易でない場合があった。この問題に対し、設定を有効にするだけで発振を抑え、制御系の高応答化を容易にするロバストフィルタを開発した。この機能は、従来の自動設定されたローパスフィルタよりも、広い周波数範囲で緩やかなゲインの傾斜で

トルクの高域成分を低減する特性を持ち、従来よりも大きな安定余裕を確保する。また、その特性は、他の制御パラメータから自動計算される。

図6は負荷慣性比が30倍のベルト駆動装置への適用例であり、調整レスで発振を抑制して高速整定を実現している。

## 4. 省スペース、省資源、省エネルギー

### 4.1 2軸一体、3軸一体サーボアンプ

MR-J4シリーズは従来の1軸アンプに加えて1ユニットで2台、3台のサーボモータを駆動できる多軸一体アンプをラインアップした。多軸アンプは軸数が増加するため、処理時間と放熱特性が課題となる。先に述べた専用LSI及び放熱特性を従来比約20%向上させた最適形状のヒートシンクを採用することによって、大幅な小型化を実現した。例として図7に1軸アンプと多軸一体アンプを使用した場合の設置面積の比較を示す。多軸一体アンプによって、設置面積を最大で30%削減できる。また、3軸一体アンプは1軸アンプ3台と比較して電源ケーブルなどの配線数が約50%削減できるので装置の省スペース、省配線、低コスト化に効果を発揮する。

### 4.2 小型、省資源モータ

HGモータでは小型化のため、IPM(Interior Permanent Magnet:埋め込み磁石)構造及び非対称巻線方式を採用し、従来比で全長を最大10%短縮した。

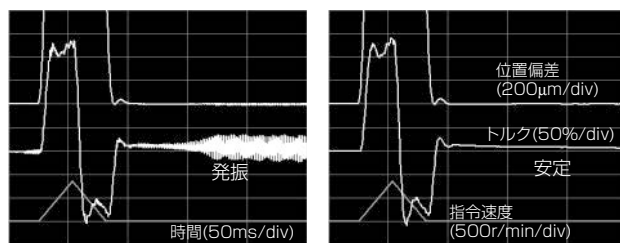


図6. ベルト駆動装置へのロバストフィルタの適用例

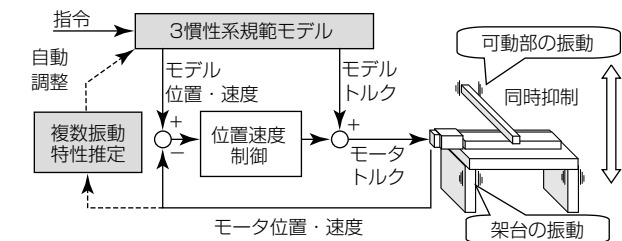


図4. アドバンスト制振制御Ⅱの構成

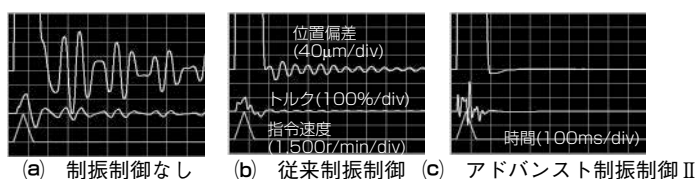


図5. アドバンスト制振制御Ⅱの適用例

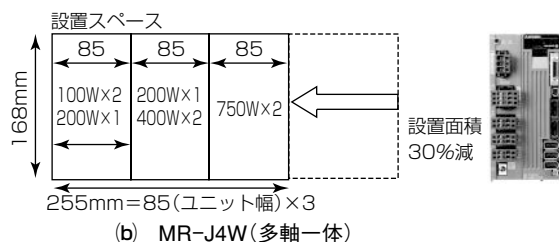
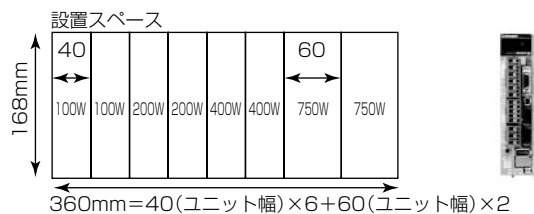


図7. 多軸一体アンプによる省スペース化

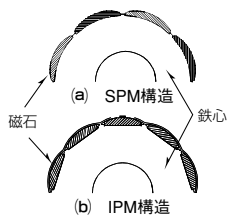


図8. ロータ構造

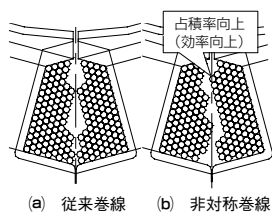


図9. 巻線方式

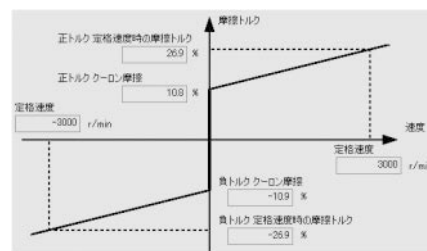


図11. 摩擦推定結果の表示 (MR Configurator2)

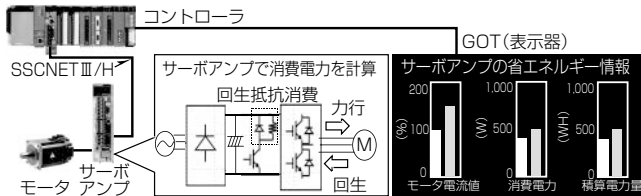


図10. 消費電力モニタ機能

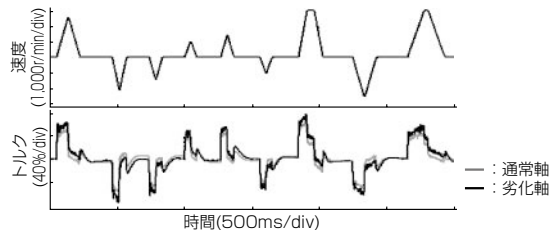


図12. ボールねじスライダの経時劣化の例

(1) IPMロータ構造

従来のSPM(Surface Permanent Magnet:表面磁石)構造に対して、エアギャップを小さくすることで磁石使用効率を向上させた(図8)。

(2) 非対称巻線方式

隣接するティースで異なる巻線配列を施すことによって、巻線占積率を更に向上させ高効率化を可能とした(図9)。

これらによってモータ全長を短縮することで磁石/鉄心使用量の削減を図るとともに750W以下の一部機種では、磁石を従来構造であるリング磁石からセグメント磁石構造とすることで最大30%の磁石使用量削減を実現した。

4.3 省エネルギーと見える化

多軸一体アンプは複数の軸で再生電力を一時的に蓄える電解コンデンサを共有しており、1軸アンプよりも、再利用可能電力が2~3倍増加するため省エネルギーになる。

また、省エネルギーを数値化するために電力計を使用することなく消費電力を算出するには、直接検出できない状態量を高精度に推定することが課題となる。そこで、サーボアンプ内部のモータ電流、速度から消費電力を算出し、温度などの補正をすることによってサーボアンプ消費電力、モータ消費電力、回生抵抗消費電力を約10~20%の精度で推定することが可能となった。

省エネルギーの見える化として、新セットアップソフトウェア“MR Configurator2”又はSSCNETⅢ/Hで上位系に送信して、消費電力をモニタして解析することによって、動作パターンの変更などが可能となり省エネルギーが期待できる(図10)。

5. メンテナンスサポート機能

5.1 大容量ドライブレコーダ

装置にアラームが発生した場合、発生要因の特定が重要であるが、特に再現性の低い場合は特定が困難である。この機能はサーボアンプの内部データ(モータ電流、指令位

置、速度等)を常時メモリに格納しておいて、アラーム発生時にデータを不揮発性メモリに記録するものである。従来に対してアラーム履歴16倍、チャンネル数約2倍、サンプリング点数4倍と大容量化を実現し、更に使いやすくなり、サーボアンプの電源再投入後でも、迅速にアラームの発生原因の究明が可能となる。

5.2 機械診断

近年、サーボで駆動する機械の経年劣化や異常の診断機能に対する要望が高まっている。装置の軸受けや摺動(しゅうどう)部におけるグリース劣化や破損は、摩擦や振動と密接に関係することが知られている。そこで今回、装置が通常運転状態のまま、摩擦特性やトルクの振動振幅を常時推定する機能を開発した。このうち摩擦推定機能は、駆動軸に加わる外乱をクーロン摩擦と粘性摩擦からなるモデルとして推定し、パソコン(MR Configurator2)での表示(図11)や保存、又はSSCNETⅢ/Hを介した上位系での利用が可能である。

図12は、同機種の2つのボールねじスライダで、経年度合いの相違によって片方が劣化した装置の速度トルク波形であり、トルク振幅に若干の相違が生じている。この機能を適用した結果、例えば、クーロン摩擦の推定値に、定格トルク比で16.4%と23.7%の相違があり、劣化度合いを定量的に把握可能であった。このように、通常運転を行いながら摩擦や振動のレベルを把握でき、稼働開始時のデータと比較することで、装置の予防保全への貢献が期待される。

6. む す び

サーボの根幹である高速・高性能のみを追及するだけでなく“人・機械・環境との調和”をコンセプトとした次世代サーボMR-J4、HG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、多くの顧客に満足してもらえる製品開発に努めていく所存である。