

# NCサーボ・主軸駆動ユニット “MDS-D2/DH2/DM2シリーズ”

田辺 章\*  
澤木 潤\*  
林 良知\*

*Servo & Spindle Drive Units for NC "MDS-D2/DH2/DM2 Series"*

*Akira Tanabe, Jun Sawaki, Yoshitomo Hayashi*

## 要 旨

工作機械において、送り軸や主軸の高速・高精度化は、機械としての性能を左右する重要な要素であり、NC駆動システムの中でもサーボ・主軸駆動ユニットといった駆動部が担う役割は大きい。

また、近年における中華圏や新興市場の進展によって市場環境は大きく変化している。国内・欧州メーカーでは差別化を図るため工作機械としての高付加価値化を推進するとともに、価格競争に生き残るための低コスト化を図る必要があり、駆動部に対する要求もますます厳しいものとなってきている。

このような要求にこたえるために、三菱電機は、NCサーボ・主軸駆動ユニット“MDS-D2/DH2/DM2シリーズ”を開発し、製品化した。

各シリーズのラインアップは、次のとおりである。

- (1) 200V系, MDS-D2シリーズ
  - ・サーボ公称最大電流(peak時) : 20~320A
  - ・主軸容量 : 1.5~55kW
- (2) 400V系, MDS-DH2シリーズ
  - ・サーボ公称最大電流(peak時) : 10~200A
  - ・主軸容量 : 3.7~100kW
- (3) MDS-DM2シリーズ
  - ・サーボ公称最大電流(peak時) : 80, 120A
  - ・主軸容量 : 7.5~15kW

本稿では、これらのシリーズの開発で取り組んだシステム最適設計や、新規の機能設計及び技術について述べる。



## NCサーボ・主軸駆動ユニット“MDS-D2/DH2/DM2シリーズ”

MDS-D2/DH2シリーズは、コンバータ分離型のドライブユニットであり、サーボモータ駆動用のVxシリーズ、主軸モータ駆動用のSPシリーズをラインアップしている。

MDS-DM2シリーズはコンバータ、サーボ・主軸ドライブを一体化したオールインワンタイプである。

### 1. ま え が き

工作機械市場では、近年、機械生産・消費ともに世界第1位となった中国を中心としたアジア市場で急速に規模が増加している。昨今の金融不安などを背景とした一時的な低迷は見られるものの、今後も中華圏を中心に、新興国市場を含めて中長期的な拡大が予想されている。

この市場で、国内・欧米の機械メーカーは、コスト競争力を高めた中級機種への投入や、高精度化や高機能化といった差別化を進めている。一方のアジア・新興国の機械メーカーでも技術力の進展によってその競争は厳しいものとなっている。

よって、CNC(Computerized Numerical Control)・駆動ユニット・アクチュエータを含めたNC駆動システムとしては、機械としての直接的な性能と言える高速・高精度化に加え、高付加価値化を実現することが要求されている。このような要求にこたえるため、当社は新型NCサーボ・主軸駆動ユニットとなるMDS-D2/DH2/DM2シリーズを開発した。

これらのシリーズにおける特長は次のとおりである。

- (1) 高性能化 : 専用制御アーキテクチャ開発
- (2) 安全機能向上 : STO機能対応
- (3) 信頼性向上 : 部品点数削減
- (4) 耐環境性向上 : 電源回生制御方式の最適化

本稿では、これらのシリーズの開発で取り組んだシステム最適設計や、新規の機能設計及び技術導入について述べる。

### 2. システム設計の取組み

#### 2.1 システムLSI設計の最適化

NC駆動ユニットにおける主要機能として、上位コントローラにあたるCNCとのネットワーク処理及びモータの駆動制御(位置・速度・電流)がある。従来機種における制御系LSI構成は、これら主要機能のうち、電流制御コアに専用ASIC(Application Specific Integrated Circuit)を用い、その他の処理については汎用CPUを用いていた。

MDS-D2/DH2/DM2シリーズでは、これまで複数のICで実現していた処理を、SoC(System on Chip)を適用し1チップで可能とした。これによって、基本性能向上を図るとともに、部品点数を削減することを可能とし、製品の信頼性向上を実現した(図1)。

#### 2.2 機能安全への取組み

工作機械における高付加価値機能として、近年、欧州及び国内を中心に安全に関する機能の適用が拡大している。

MDS-D2/DH2/DM2シリーズでは、IEC/EN61800-5-2の安全機能STO(Safe Torque Off:安全トルク停止)機能に標準対応している。動力遮断に必要な電磁開閉器を削減し、制御盤の小型化・省配線化に貢献する。図2はシ

ステム全軸の動力遮断を行う場合であるが、ドライブユニットに搭載されたSTO信号コネクタに停止信号を入力することで主軸だけをトルク停止させるという使い方も可能である(図3)。

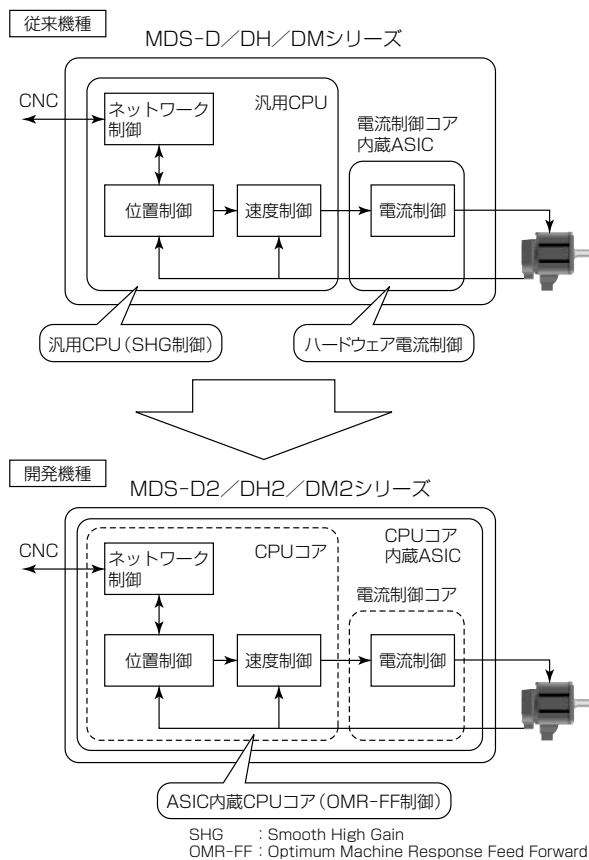


図1. SoCの適用

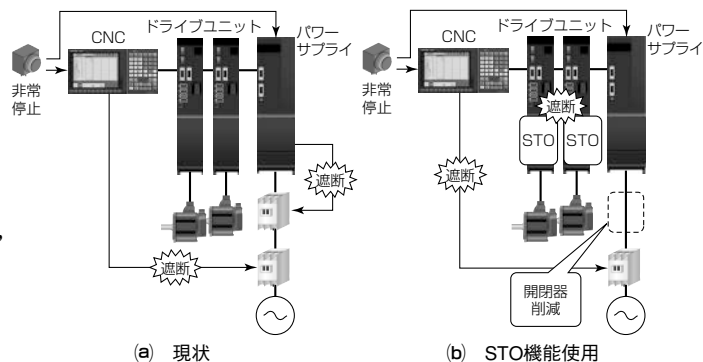


図2. 開閉器の削減例1

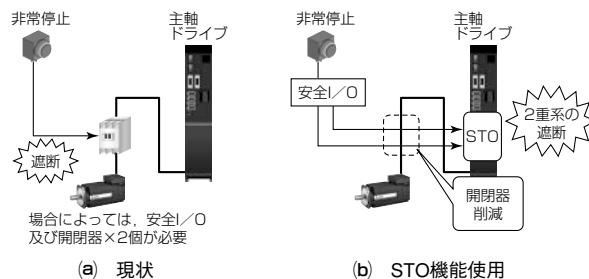


図3. 開閉器の削減例2

### 3. 制御ソフトウェア開発の取組み

#### 3.1 機種統合化

ソフトウェアの仕様面についてもシステム設計の共通化を図った。これによって、MDS-DM2シリーズでは、従来の多軸一体型ユニットでは実現できなかった機能搭載を実現し、MDS-D2/DH2シリーズと同等の高機能化を行った(表1)。

#### 3.2 OMR-FF制御

高速・高加速度の条件下でも指令軌跡に誤差なく追従するための制御としてフィードフォワード制御がある。しかしながら、これまでの制御では機械振動を誘発しやすくフィードフォワードゲインを十分に上げることが困難なケースが多かった。そこで今回、機械の振動特性を補償する機械特性補償部を付加し、機械端の振動を抑制して指令位置に追従させるOMR-FF制御を開発した。また、往復運転時の機械端が動く軌跡の対象性も向上させ、金型加工などにおける切削精度向上、切削時間の短縮を可能とした。

### 4. ハードウェア開発の取組み

#### 4.1 電源回生

電源回生とはモータ減速時に発生する誘導起電力を電源に回生することであり、回生用スイッチング素子を電源位相に合わせてスイッチングさせることで、電源に回生電流を流し昇圧した母線電圧を降圧させる機能であり、電源回生制御では電源位相の検出が最も重要な要素となる。

電源位相の検出は、交流電源の線間電圧を監視しゼロクロス点を検出する方法が一般的である。検出したゼロクロス点を基に電源位相を検出し、回生用スイッチング素子のスイッチングタイミングを算出する。この方式の利点はシステム構成が容易なことであり、欠点は基本的に電源回生の回生タイミングは線間電圧のゼロクロス点とほぼ重なるため、回生のスイッチングによって電源位相を誤検出する可能性があることである(図4)。

今回開発したMDS-D2/DH2/DM2シリーズは、この欠点を克服し正確な電源回生制御を行うことができるように電源位相の検出方法を改良した。交流電源の3相をスター接続して、中性点を基準としたそれぞれの相電圧を作り出している。そして、相電圧のゼロクロス点を基に電源位

表1. MDS-DM2シリーズの主な新機能(MDS-DMシリーズ比)

|         | サーボ  | 主軸   |
|---------|--|--|
| 制御機能    | 高速同期タップ制御(OMR-DD制御)<br>OMR-FF制御                    | 高速同期タップ制御(OMR-DD制御)<br>OMR-FF制御                  |
| 補正機能    | 適応追従型機械共振抑制フィルタ<br>ロストモーション補正タイプ4<br>フルクローズ対象限突起補正 | 適応追従型機械共振抑制フィルタ<br>ロストモーション補正タイプ3<br>主軸モータ温度補正機能 |
| シーケンス機能 | 規定速度出力<br>STO(安全トルク停止)機能                           | 規定速度出力<br>STO(安全トルク停止)機能                         |

OMR-DD: Optimum Machine Response Direct Detect

相を検出し、回生用スイッチング素子のスイッチングタイミングを算出する。相電圧のゼロクロス点は電源回生の回生タイミングと一致しないが、この方法であれば、回生のスイッチングの影響を受けることなく電源位相の検出を行うことができる(図5)。

#### 4.2 SiCパワー半導体モジュール搭載機種の開発

従来のドライブユニットでは、モータ制御用の電力変換に必要なパワーモジュールにSi(シリコン)パワー素子を用いていた。しかし、制御の高速化に伴うスイッチング損失の増加が課題であり、更なる高効率なパワー素子が望まれる。

MDS-DM2シリーズでは、新技術のパワー半導体モジュールとなるSiC(シリコンカーバイド)パワー素子を主軸制御部に搭載した機種をラインアップした(図6, 表2)。

SiCパワー素子搭載によるメリットは、パワー半導体モジュールにおける高速スイッチング化又は低損失化が図れることである。これによってモータの高速化、高トルク化が可能となる。つまり、工作機械における主軸性能向上、生産性向上に貢献することができる(図7)。

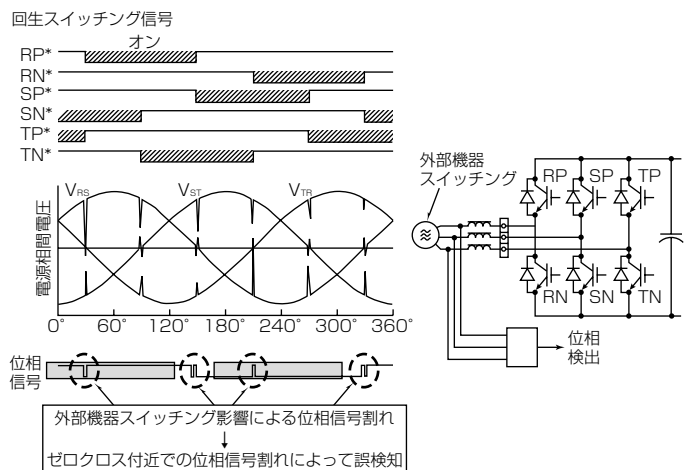


図4. 従来機種における電源位相検出方式

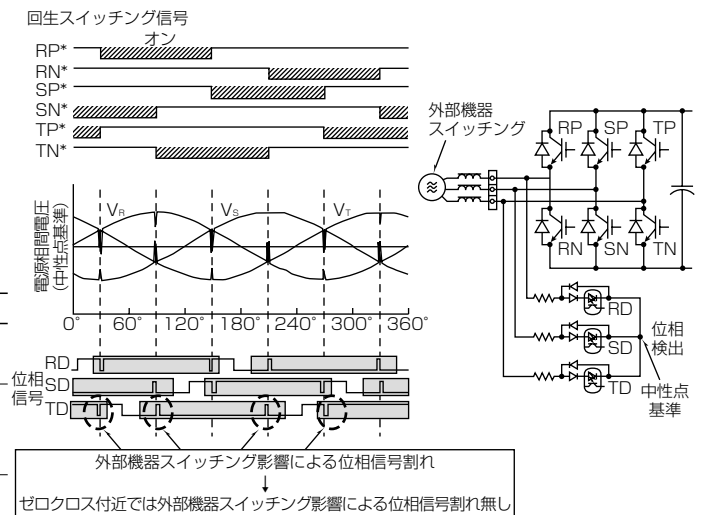


図5. 開発機種における電源位相検出方式



図 6. MDS-DM2シリーズの外観

表 2. SiCパワー素子搭載機種仕様

| 型名                  | MDS-DM2-SPHV3-20080   |                            |
|---------------------|---|----------------------------|
| 主軸公称最大電流(peak時)(A)  | 200   |                            |
| サーボ公称最大電流(peak時)(A) | 80 × 3 軸  |                            |
| 出力                  | 定格電圧(V)   | AC155                      |
|                     | 主軸定格電流(A)   | 63                         |
| 入力                  | サーボ定格電流(A)  | 15.8                       |
|                     | 定格電圧(V)   | AC200~230 電源変動率10%, -15%以内 |
| 制御電源                | 定格電流(A)   | 60                         |
|                     | 電圧(V)   | DC24 ± 10%                 |
| 対応主軸モータ             | SJ-V15-03ZT, SJ-V15-09ZT, SJ-V11-08ZT, SJ-DJ15/80-01, SJ-DL3.7/240, SJ-BG090D/300 |                            |
| 対応サーボモータ            | HF54, HF104, HF154, HF204, HF224, HF223, HF303, HF302                             |                            |
| 質量(kg)              | 15  |                            |
| 外形(mm)              | 260(W) × 380(H) × 278(D)  |                            |

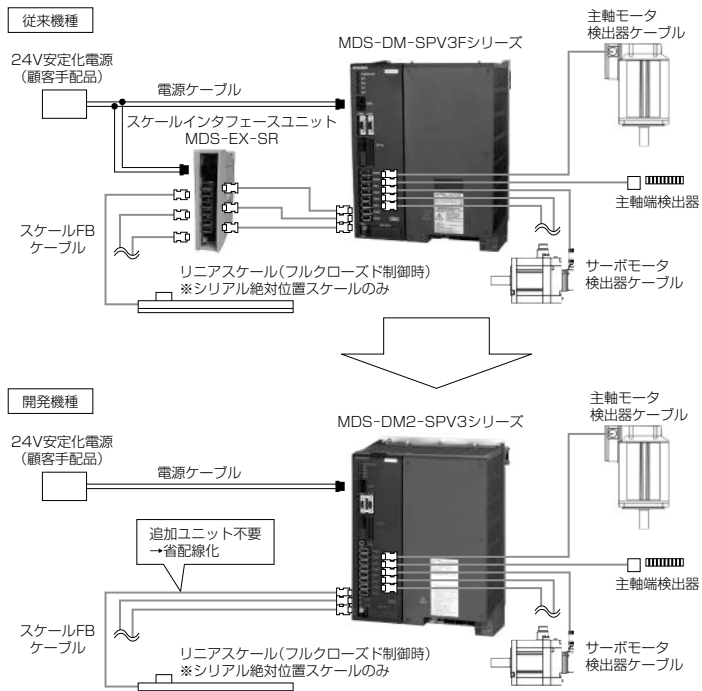


図 9. MDS-DM2シリーズにおける省配線化

### 4.3 省配線化

従来の多軸一体型ドライブユニット“MDS-DMシリーズ<sup>(1)</sup>”では、フルクロードシステムを構成する際に電源供給用のスケールインタフェースユニット“MDS-EX-SR”を接続する必要があった。

MDS-DM2シリーズでは、接続されるスケールへの電源供給をドライブユニットから直接供給可能とするように、内蔵電源回路の供給能力を強化し、フルクロードシステム適用時における機械端からのフィードバック信号用インタフェースを標準実装した。

これによって、従来機種における構成に対して省配線化が可能となり、機械の制御盤における更なる小型化に貢献することができる(図9)。

## 5. むすび

MDS-D2/DH2/DM2シリーズでは、駆動システムにおける主目的となる高速・高精度化、高機能化を推進するとともに、機能安全対応や省エネルギー化、省配線化といった高付加価値を持つ製品開発を行った。

今後は、この開発で得た技術ノウハウの更なるレベルアップを図るとともに、ユーザーニーズを捉えた製品開発に努めていく。

### 参考文献

- (1) 中村和幸, ほか: 主軸 + 3 軸サーボ一体型ユニット “MDS-DMシリーズ”, 三菱電機技報, **83**, No.4, 255 ~ 258 (2009)

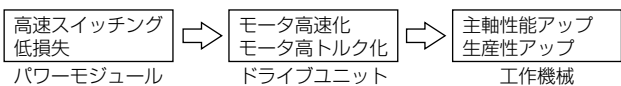
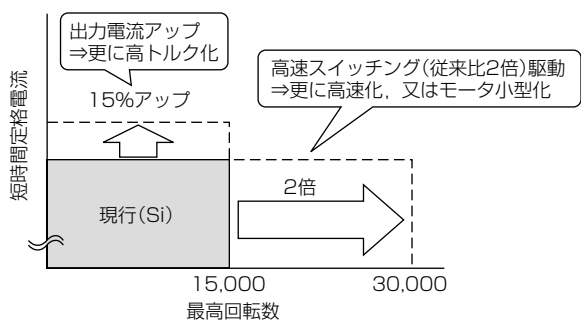


図 7. SiCパワー素子搭載のメリット



立形マシニングセンタの主軸性能アップに効果的

図 8. 主軸駆動ユニットへのSiCパワー素子適用効果

開発機種では、以下を実現した(図8)。

- (1) 高速スイッチング駆動によって、主軸モータの駆動速度が従来比最大2倍
- (2) 低損失化によって発熱量を抑えることで、従来機種と同形状で主軸モータのトルクを従来比最大15%向上