

量産の基盤である金型づくりを支える高速・高精度金型加工機 MVR-FM

High-speed & High-accuracy Precision Die Milling Machine: MVR-FM Developed for Die & Mold Manufacturing as Base of Mass-production



山村 洋之*1
Hiroyuki Yamamura

吉川 睦*2
Mutsumi Yoshikawa

岩田 康二*2
Koji Iwata

富松 桂司*3
Keiji Tomimatsu

津村 憲治*4
Kenji Tsumura

金型加工の加工時間とミガキ工程短縮のため、より高速・高精度でリーズナブルな価格の金型加工機が求められている。当社の門形汎用マシニングセンタMVRをベースに、X軸ツインボールネジ・Z軸直結駆動による高精度な送り系、低振動 $12\,000\text{ min}^{-1}$ 高速主軸の標準装備といった機械系のブラッシュアップに加え、当社独自の高速加工輪郭制御技術であるFM制御を搭載した金型加工機MVR-FMを発売した。これにより産業の基盤である金型加工の発展に寄与できるものとする。

1. はじめに

産業の基盤である金型加工においても、金型製作費用の引き下げ・納期の短縮への要求がより強まっている。

この要求に応え、より賃率の低い海外メーカーとの競争に打ち勝つには、加工時間短縮とミガキ工程短縮が不可欠となる。

加工時間短縮 (= 高速加工) とミガキ工程短縮 (= 高精度加工) を実現するため、門形汎用マシニングセンタMVRをベースマシンとして、コストバリューの高い金型加工機MVR-FMを発売した。以下に高速・高精度加工を実現する技術を中心にMVR-FMを紹介する。

2. 高速・高精度加工を実現する技術

2.1 本機の構成

タイトル図に示すように、前後方向に配置されたベッド上を、テーブルが前後方向 (X軸) に走行する。また二本のコラムとブリッジにより構成されるコラムブリッジ前面ガイド上にクロスレールが取り付けられ、上下 (W軸) に走行する。クロスレール前面をサドルが左右 (Y軸) に走行し、サドル内を貫通したラムが上下 (Z軸) に走行する。各軸はボールネジとリニアスクールにより、精密に駆動される。ラム先端には主軸ユニットがあり、テーブル上に積載された加

工ワークを切削する。

2.2 X軸ツインボールネジ駆動

門形マシニングセンタでは、重量ワークを積載したテーブルをボールネジにより駆動するが、このワーク・テーブルの慣性が大きいため加減速時にボールネジ系にタワミ・ネジレが発生する。タワミ・ネジレは加減速時に位置指令との誤差を生じ、金型加工面の食い込みとなる。また駆動モータの駆動力によりボールネジ系に振動を誘発し金型加工面の加工ピットの乱れとなる。

金型加工用MVR-FMではX軸駆動系に高い剛性が必要であるため、図1に示すように、2本のボールネ

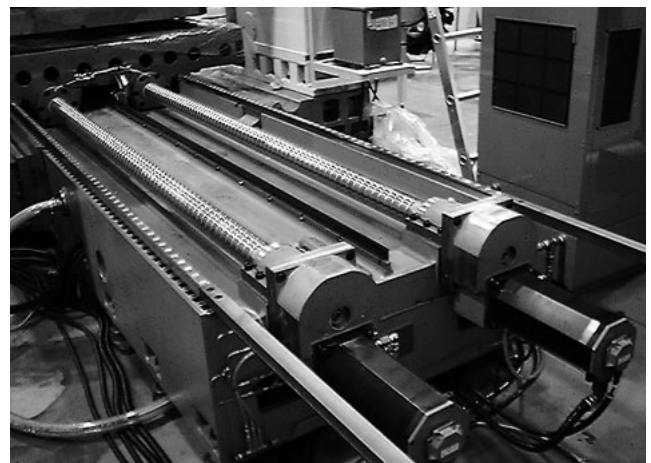


図1 X軸ツインボールネジ ベッドに2本のボールネジを取付けベッド後端のモータで駆動する様子を示す。

*1 工作機械事業部技術部大形機設計課長

*2 工作機械事業部技術部大形機設計課主席

*3 工作機械事業部技術部大形機設計課

*4 MHI工作機械エンジニアリング(株)専門部長

ジと駆動モータによりテーブルを駆動している。これにより通常の2倍の駆動軸剛性が得られる。またボールネジ径を太くして剛性を上げる場合に比べ、駆動系のイナーシャ増加を抑えることができるため高い制御性が得られ、誤差を小さくできる。

2.3 Z軸直結駆動による高精度ラム駆動

自動車のボンネット・ドアなど外板部品の金型加工では、Z軸駆動系に歯車の歯当りのような周期的な変動要因が微小でも存在すると、金型加工面に等高線模様の乱れが発生する。このためMVR-FMでは駆動モータとボールネジを直結とした上で、ラム重量を補償する油圧バランスを装備し高精度な駆動を実現した。

2.4 高速・低振動主軸による高い生産性

MVR-FMでは 12000 min^{-1} 高速主軸を標準装備している。この主軸はビルトインモータ直結のため低振動でトルク変動が少なく、金型の仕上げ加工時間短縮と加工面の向上に寄与している。

2.5 高速加工輪郭制御 (FM制御)

高精度な金型を加工するためには機械系の誤差を小

さくするだけでは十分でなく、制御系の遅れによる誤差等を補正する必要がある。MVR-FMは当社独自の高速加工輪郭制御 (FM制御) を装備し高速・高精度な輪郭制御を行っている。

一般にNCフライス盤などの、NC制御工作機械は、プログラム指令の軌跡の通りに動くと思われているが、実際は送り軸のサーボ特性による軌跡の誤差が生じる。その誤差は、軌跡の曲率が大きいほど、また速度が速いほど誤差量が大きくなる。フライス加工、穴あけ加工などの、位置決め、直線加工においては問題ないが、金型加工においては曲線加工となるため加工速度を上げると形状がくずれ、加工形状を精度良く加工しようとする加工速度を落とさざるを得ないというジレンマに陥る。

この問題の改善に、形状誤差を小さくしようとするフィードフォワード制御という手法があるが、本機は、この形状誤差を小さくするのではなく、0 (ゼロ) にする設計思想で、加工速度を上げて加工形状誤差が生じない機械を開発した。

図2は、サーボ特性の遅れを速度フィードフォー

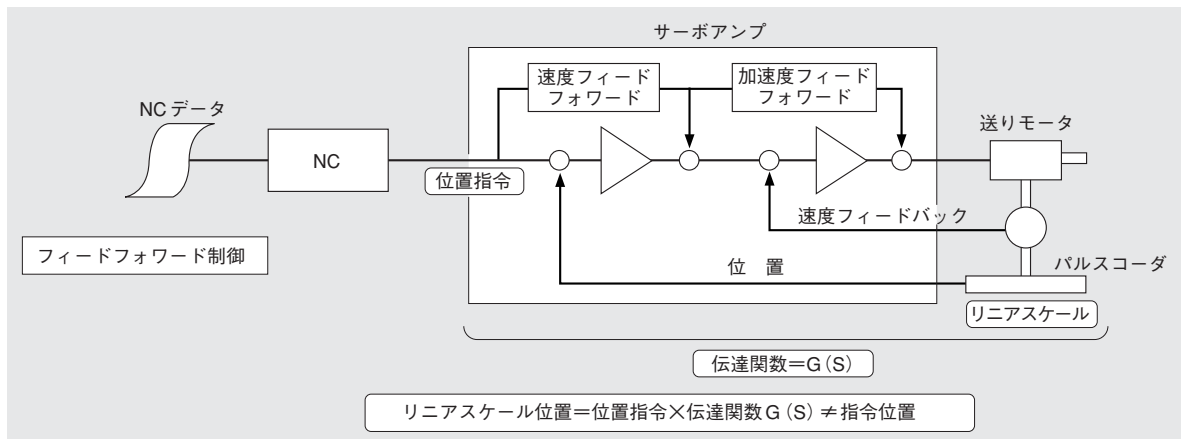


図2 フィードフォワード方式 ブロック図 フィードフォワード制御の場合。

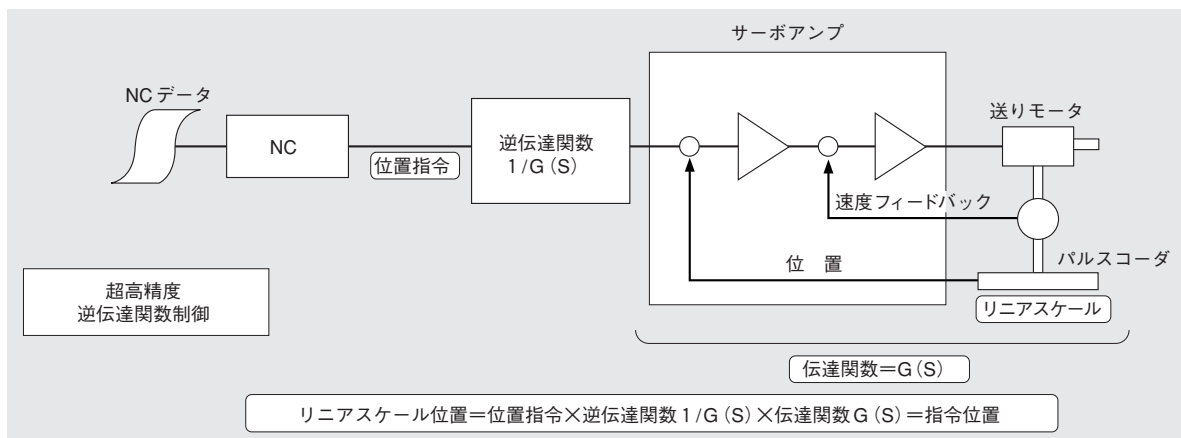


図3 超高精度逆伝達関数方式 ブロック図 超高精度逆伝達関数制御の場合。

ドと加速度フィードフォワードで形状誤差の改善を行うフィードフォワード方式のブロック図である。R形状加工時の形状誤差は、必ず内回りとなり、その内回り誤差 (ΔR) は、機械特性により定まる加減速時定数 (T_1)、ポジションループゲイン (KP) の逆数 (T_2) を含む定数項に加工速度 (V) の2乗に比例し、仮想半径 (R) に反比例する式

$$\Delta R = \frac{(T_1^2 + T_2^2) V^2}{2R}$$

で表される。したがって、仮想半径が小さい程 (曲率が大きい程)、形状精度を確保するために速度を落とす必要があった。

図3は、サーボ特性の遅れをキャンセルし、形状誤差を0とする超高精度逆伝達関数方式のブロック図である。サーボ特性の伝達関数を $G(s)$ とした時、位置指令にその逆伝達関数 $1/G(s)$ を掛けてサーボに出力すると更にサーボ伝達関数 $G(s)$ を掛けた結果が機械位置 (= リニアスケール検出位置) となる。即ち、機械位置 = 位置指令 $\times 1/G(s) \times G(s)$ = 指令位置となり、形状の曲率や、加工速度に関係なく、形状誤差0の加工が実現できる。

基本原理は前記の通りであるが、実用のため更に以下の機能を付加している。

(1) 多ブロック加減速機能

金型加工の加工プログラムは点群データ (曲面を



主軸：12000 min⁻¹
送り速度：8 m/min
φ30 ボールエンドミル
ピック：0.5mm

図4 アウター金型加工例 自動車外板部品の金型加工例で加工ピックの乱れの少ない高品位な加工面を示す。

短い線分で近似したデータ) のため、処理ブロック数が制限されると目標速度に達しないうちに減速することになる。加速に必要な移動距離分のデータを常に確保するために、加減速を多ブロックに渡って実行する。

(2) 自動形状追従速度制御機能

コーナ形状部や曲率が非常に大きい (仮想半径が極めて小さい) 形状部において発生する加速度が、許容加速度を超えると、機械振動要因となり、加工面精度が劣化する。したがって、事前に加工形状のコーナ部検出と曲率演算を行い、加速度を許容加速度以内にする速度制御を行う。

(3) スムージング機能

点群データの近似が粗い場合に生じる多角形状を滑らかな加工形状とするため、点群データ間を曲線で補間する。これにより高品位な加工面を得られると共に、加工速度も向上する。

3. 金型加工例

MVR-FMのような門形金型加工機は主に自動車用プレス金型に使用される場合が多く、特に自動車外板部品の金型 (通称アウター) は高品位な加工面・高速加工への要求も高い。

図4はハッチバック車のリアトランクの金型を主軸 12000 min⁻¹、送り速度 8 m/min で加工したもので、加工ピックの乱れの少ない加工面が得られている。加工面の乱れを定量化した往復加工ピックの深さの差 (往復段差) は当社従来比 50 % 向上、また加工速度は 30 % 以上向上している。

図5は自動車の内側板金部品金型 (通称インナー) でアウター程高品位な加工面・高速加工は必要ないが、複雑な形状が多く、MVR-FMのユニバーサルヘッドを始めとする様々なアタッチメントとクロスレールを任意の位置に精密に位置決めできることによる加



主軸：
3200 min⁻¹
送り速度：
1.6 m/min
φ20 ボールエンド
ミル超硬
ピック：
0.4mm

図5 インナー金型加工例 自動車内側部品の金型加工例で複雑な形状加工を示す。

表1 主要仕様一覧

			MVR25-FM	MVR30-FM	MVR35-FM
テーブル作業面	幅	(mm)	1500	2000	2500
	長さ	(mm)	3000~5000	3000~5000	4000~5000
コラム門内幅		(mm)	2000	2500	3200
各軸移動量	X: テーブル	(mm)	テーブル長さ+200		
	Y: ヘッド左右		2500	3000	3500
	Z: ラム		700	←	700
	クロス		800	←	1100
各軸早送り	X	(m/min)	30	←	22
	Y		30	←	22
	Z ラム		10	←	10
	クロス		3	←	3
最大切削送り		(m/min)	XY軸15 Z軸10		
許容平均切削送り		(m/min)	6		
ATC	収納本数	(本)	50 (OP.60,80,100,120)		
	工具最大長さ	(mm)	標準:400 (特殊:500)		
	工具最大重量	(kg)	25		
	工具交換時間		5秒(6秒) (Tool to Tool)		
ATT	装着可能な ATT		標準: ダミープレート	30kW/12000min ⁻¹	
			RH	30kW/6000min ⁻¹	
			OP: エクステンション	22kW/6000min ⁻¹	
			OP: ユニバーサルヘッド 15kW/5000min ⁻¹ (自動割出し5度毎 OP: 1度毎)		
AACラック			2個用+上下式ラック		
NC装置			FANUC 18i		

工自由度の高さにより、高生産性と省力化が実現できる。

4. 仕様

MVR-FMはFM制御技術などの技術開発により、自動車板金部品の金型を始めとする多様な金型加工に対応している。テーブルサイズ巾1.5~2.5m、長さ3~6mとニーズにあわせた豊富な機械サイズとオプション機能を準備しており表1に主な仕様を紹介する。

5. まとめ

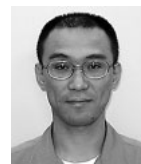
当社独自のFM制御技術と高精度・高剛性の送り系の採用により、加工データに対する高い追従性を得た。これにより当社従来機に比べ加工面品位（往復段差）の50%向上を実現し、金型磨き工程の大幅な短縮が可能となる。また上記送り系の技術と12000min⁻¹高速主軸により、アウター加工時間を30%短縮し、

金型づくりの生産性向上を実現できる。

コストバリューに優れた高速・高精度金型加工機MVR-FMによって、産業の基盤である金型加工の発展に寄与できるものとする。



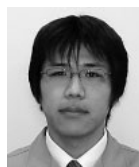
山村洋之



吉川陸



岩田康二



富松桂司



津村憲治