

特 集 論 文

小型精密5軸加工機 μ V1-5X の高精度化技術と加工事例Technology of High Precision 5-Axis Machining μ V1-5X and Machining Examples若 本 弘 幸^{*1}
Hiroyuki Wakamoto若 名 智 宏^{*1}
Tomohiro Wakana窪 園 拓 真^{*1}
Takuma Kubozono

近年、日本の小型精密加工分野では3軸加工機に求められる加工要求精度 $\pm 1 \mu\text{m}$ が普通になりつつある中、同様に5軸加工機でも $\pm 1 \mu\text{m}$ という加工精度を要求され始めている。しかし、5軸加工機は3軸加工機に比べて構成要素が増え、精度悪化要因も増えるため同等の高精度加工を実現することは困難である。そこで、当社独自の高精度化技術により3軸加工機と同等の高精度加工を実現する小型精密5軸加工機 μ V1-5Xを開発した。この μ V1-5Xにより5軸加工機でなければできない立体的な複雑形状の加工はもちろんのこと、これまで3軸加工機で行っていた高精度加工についても実施することが可能である。

1. は じ め に

近年、日本の小型精密加工分野では金型加工を含めてより高精度化を実現するため5軸加工機の導入検討が盛んになってきている。具体的には段取り替えに伴う加工誤差を極力小さくするため、一回のワーク固定で5面加工できる5軸加工機へのシフトや、ボールエンドミルを多用する精密金型加工においては加工面品位を上げるために周速がゼロになる工具先端での加工を避け、ワークに対して常に工具を傾斜させて加工するなどがあり、またそれに伴いソフトウェアなどの周辺機器も急速に充実してきている。5軸機導入を

促進するためにも3軸機加工精度と同等の高精度5軸加工機を市場投入する必要があり小型精密5軸加工機 μ V1-5Xを開発したので、その高精度技術と性能加工評価について紹介する。

2. μ V1-5X の特長

当社では3軸加工機で実績のある小型精密加工機 μ V1をベースとした小型精密5軸加工機 μ V1-5Xを開発した。 μ V1-5Xの外観図及び主な仕様を図1、表1に示す。 μ V1-5Xの構造形態は、テーブル上に傾斜軸（B軸）と回転軸（C軸）を付加したテーブル旋回形である。図2に μ V1-5Xの機械構造図を示す。傾斜

図1 μ V1-5X 外観図表1 μ V1-5X の仕様

移動量	X, Y, Z軸（直線軸）	450×350×300 mm
	軸（傾斜軸）	130°（-10°～+120°）
	C軸（回転軸）	360°（連続）
テーブル	作業面の大きさ	$\phi 100 \text{ mm}$
	最大ワークサイズ（外径）	$\phi 160 \text{ mm}$ （形状制限有り）
	最大積載質量	20kg
主軸	回転速度	400～40 000 min^{-1}
	主軸テーパ穴	HSK-E32
送り速度	X, Y, Z軸（直線軸）	15 000 mm/min
	B軸（傾斜軸）	75 min^{-1}
	C軸（回転軸）	100 min^{-1}
自動工具交換装置	収納本数	18本（op: 30本）
	最大工具径	$\phi 40 \text{ mm}$
	最大工具長さ	130 mm
機械サイズ	高さ	2 370 mm
	幅×奥行き	1 920×2 054 mm
	質量	5 500 kg

*1 工作機械事業部技術部技術開発課

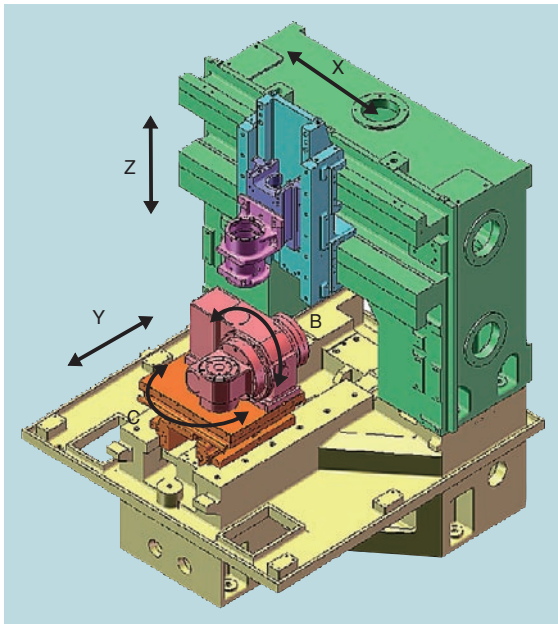


図2 μV1-5X 機械構造図

軸である B 軸は Y 軸に平行に配置し、ワークの長手方向の移動は主に主軸側の X 軸とすることで、ワーク側である B 軸、C 軸と主軸側とは双方の軸移動に対して加工時の加減速による慣性力が加工精度に影響しない構造形態とした。また、この構造形態により加工時に発生する切粉は傾斜円テーブルの前面及び左右へ流されるので切粉の掃けが良く、加工中のワークと工具の位置がオペレータの正面で容易に確認できる利点がある。

3. μV1-5X の高精度化

5 軸加工機では、3 軸加工機が持っている幾何学的偏差（以下、幾何偏差）に傾斜、回転軸の幾何偏差が上乗せされるので、この幾何偏差の累積をいかに抑えるかによって 5 軸加工機の加工精度向上を図ることが可能になる。そこで 3 軸加工機と同等の加工精度を持つ 5 軸加工機 μV1-5X を開発するに当たり、各機械要素の幾何偏差及び位置決め精度について加工精度への影響度をシミュレーション解析し、最適値を算出した。機械構造より主軸側と傾斜円テーブル側の幾何偏差について幾何偏差 13 項目を抽出した。図 3 に主軸側、傾斜円テーブル側の幾何偏差を示す。これに各軸の位置決め精度を加えた計 23 項目に対して、φ80 の同時 5 軸円錐加工で真円度が 2 μm 以下になるように最適値を決めた。この最適値を基に機械の作り込みを行った結果を表 2 に示す。なお、最適値に対して実績値の

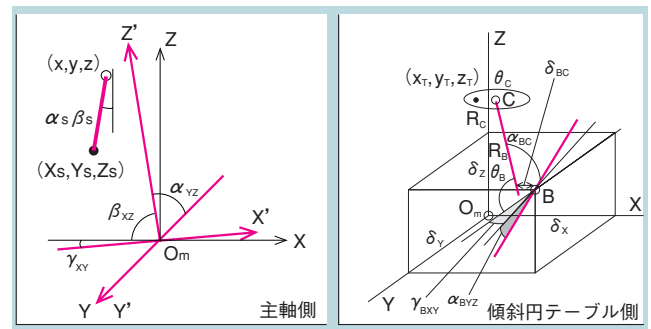


図3 主軸、傾斜円テーブルの幾何公差

表2 幾何公差と位置決め精度

幾何偏差と各軸位置決め精度		最適値	実績値
加工精度	真円度（目標精度）	2.1 μm/φ80mm	1.95 μm/φ80mm
a YZ	YZ 平面内における Y 軸と Z 軸の直角度	2 μm/200mm	2 μm/200mm
a ZS	YZ 平面内における Z 軸と主軸の平行度	1 μm/100mm	1 μm/100mm
β XZ	XZ 平面内における X 軸と Z 軸の直角度	2 μm/200mm	1 μm/200mm
β ZS	XZ 平面内における Z 軸と主軸の平行度	3 μm/300mm	3 μm/300mm
γ XY	XY 平面内における X 軸と Y 軸の直角度	3 μm/300mm	2 μm/300mm
ΔX	X 軸位置決め精度	±1 μm	±0.25 μm
ΔY	Y 軸位置決め精度	±1 μm	±0.35 μm
ΔZ	Z 軸位置決め精度	±1 μm	±1.0 μm
BRX	X 軸のバックラッシュ量	1 μm	0.2 μm
BRY	Y 軸のバックラッシュ量	1 μm	0.1 μm
BRZ	Z 軸のバックラッシュ量	1 μm	0.4 μm
a BC	YZ 平面内における B 軸と C 軸の直角度	3 μm/300mm	3.8 μm/300mm
a BYZ	YZ 平面内における B 軸と Y 軸の平行度	3 μm/300mm	1.4 μm/300mm
β BXZ	B 軸傾斜角度の原点	1 μm/100mm	4 μm/100mm
γ BXY	XY 平面内における B 軸と Y 軸の平行度	3 μm/300mm	3 μm/300mm
δ BC	XZ 平面内における B 軸と C 軸の一致度	3 μm	8 μm
δ X	B 軸傾斜中心座標の位置度 (X 軸方向)	1 μm	—
δ Y	B 軸傾斜中心座標の位置度 (Y 軸方向)	1 μm	—
δ Z	B 軸傾斜中心座標の位置度 (Z 軸方向)	1 μm	—
ΔB	B 軸の割出精度	±2 秒	±1.9 秒
ΔC	C 軸の割出精度	±2 秒	±1.4 秒
BRB	B 軸のバックラッシュ	2 秒	2 秒
BRC	C 軸のバックラッシュ	2 秒	2 秒

方が悪い項目が3項目あるが、それ以外の項目において精度向上を図り対応しており、加工精度の結果は次の加工事例で紹介する。

4. μ V1-5X による加工事例

4. 1 同時5軸円錐加工

5軸加工機において、精度評価方法についてのJIS規格は現在提案中の状態であり、規格がないが、一般的にはNAS979 (National Aerospace Standard) による円錐台仕上げ加工がよく知られており、 μ V1-5Xの高精度5軸加工の加工評価としても本規格に基づいた同時5軸円錐加工 (外径 ϕ 80mm) にて評価を実施したので紹介する。まず、同時5軸円錐加工は3つの直線軸 (X, Y, Z 軸) と2つの回転軸 (B 軸, C 軸) をそれぞれ同時制御して円錐台形状工作物の側面を仕上げたときの断面の真円度を評価するものである。円錐加工の様子を図4、円錐加工による真円度結果を図5に示す。真円度結果より5軸すべての誤差要因を含んだ同時5軸加工で、先に紹介した高精度化技術による機械の作り込みにより目標加工精度と同レベルの真円度 $1.95 \mu\text{m}/\phi$ 80 mm を実現することができた。参考までに同じ機械による X, Y 軸による2軸加工による真円度は $1.5 \mu\text{m}/\phi$ 40 mm であり、加工径は異なるが直線2軸の加工精度と同等の精度が同時5軸加工

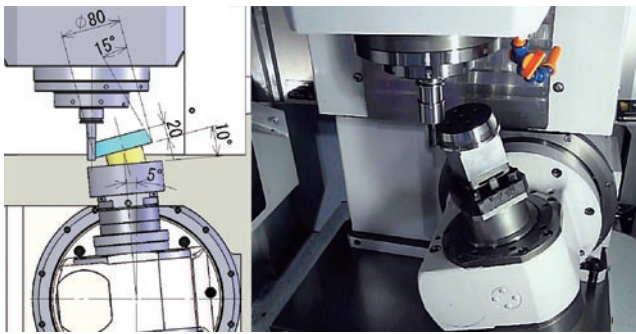


図4 同時5軸円錐加工

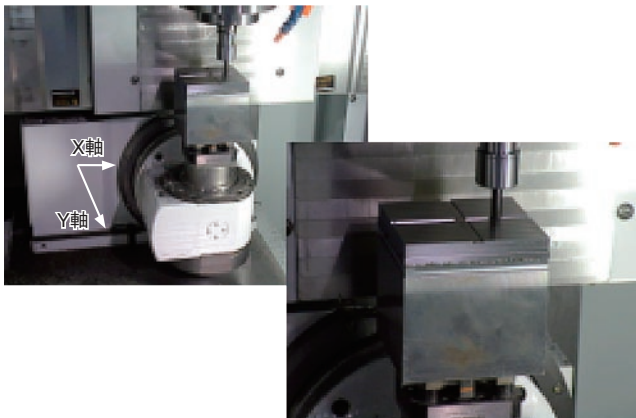


図6 溝入れ荒加工

でも得られた。

4. 2 溝入れ荒加工

次に μ V1-5Xが単に高精度な仕上げ専用5軸加工機ではなく、荒加工まで実現できる加工事例として、 ϕ 8エンドミルの溝入れ荒加工を紹介する。溝入れ荒加工は、工具保持機構 HSK-E32 を採用した高速高精度主軸において ϕ 8エンドミルを使った場合の HSK-E32 の加工限界である切込量 1 mm とした。加工の様子を図6、切削条件を表3、真直度計測結果を表4にそれぞれ示す。表4の計測結果より X, Y 軸方向ともに真直度 $2 \mu\text{m}$ 台 (面粗度含む) とびびりなく加工できており、 μ V1-5X が荒加工に耐える高剛性な機械であることが判る。また、 μ V1-5X はこれ以外にもこのクラスで一般的に使われている自動チャックの治具プレート取付ねじサイズの M 6 ねじ穴が加工で

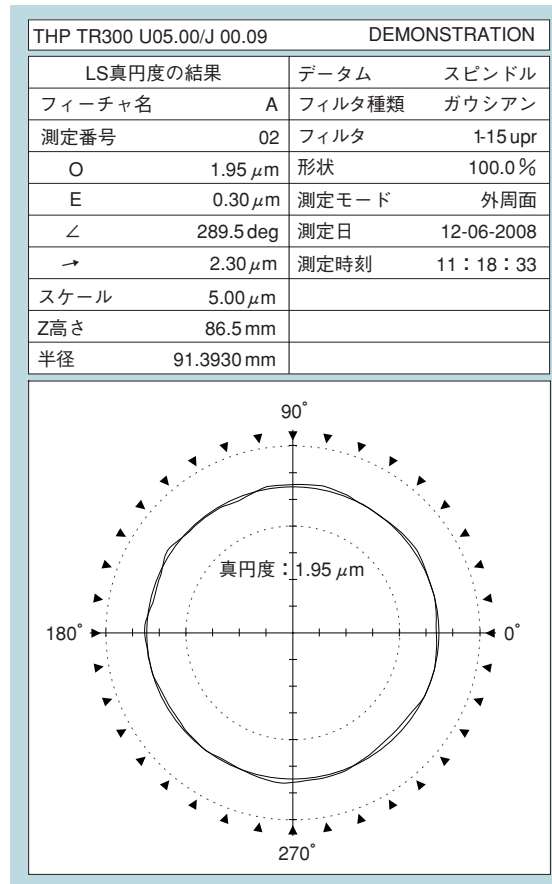


図5 同時5軸錐加工の真円度結果

表3 溝入れ荒加工の切削条件

主軸回転数 (min^{-1})	6000
送り速度 (mm/min)	960
切込み量 (mm)	1
工具	ϕ 8超硬4枚刃エンドミル
工具突出し (mm)	25
ワーク材質	NAX55
外部給油	ドライ

表4 溝入れ荒加工の真直度結果

X軸方向	Y軸方向
2.7 μ m	2.0 μ m

きるなどワークの治具取付はもちろんのこと、荒加工から仕上げ加工まで、この機械1台ですべての加工ができる能力を有している。

5. ま と め

各機械要素の最適化を図り開発した μ V1-5Xは、従来の5軸加工機にない高精度加工が可能であることを

紹介した。今後は、ワークの段取り支援装置など周辺装置による作業性の効率化を図っていく。最後に、機械加工をされるお客様の高精度加工、高付加価値加工、高能率加工を支援するため、今後も理想の機械を追求しご提案していく所存である。



若本弘幸



若名智宏



窪園拓真