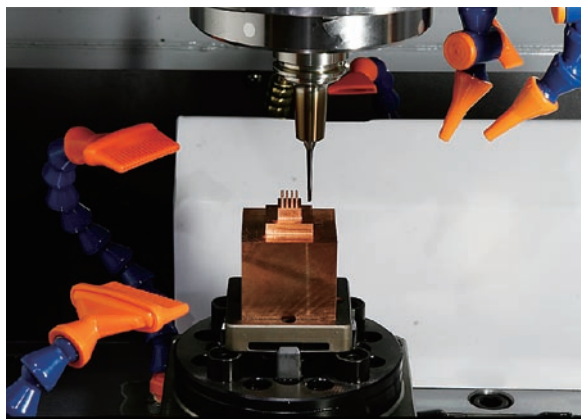


特 集 論 文

新発想の小型精密加工機 μ (マイクロ)V1
の技術と実力Technology of μ V1佐藤 欣 旦^{*1}
Yoshikatsu Sato重川 英 文^{*1}
Hidefumi Omokawa若 名 智 宏^{*1}
Tomohiro Wakana若 本 弘 幸^{*1}
Hiroyuki Wakamoto

1. は じ め に

日本の小型精密加工品，特に金型加工における要求精度は世界のTOPクラスである。最近では量産品であっても $\pm 1 \mu\text{m}$ を要求される事も多くなってきており，余り驚くことがなくなった。このような高精度加工を実現する場合，現状では粗加工を別工程として高精度加工に重点をおいた仕上げ専用機にて高精度加工を行うのが通常である。しかしながら，生産現場からは汎用性を持たせ，かつ段取り替えに伴う誤差を極力減らすために粗加工から仕上げ加工まで1台で実現したいというニーズが強い。このようなニーズに対応しかつ，自動化までも考慮に入れた新発想の小型立形加工機“ μ (マイクロ) V1”を開発したので加工事例とともに紹介する（図1に外観を，表1に主仕様を示す）。

2. 小型立形加工機における加工の現状と問題点

$\pm 1 \mu\text{m}$ レベルの加工を安定して実現しようとした場合，従来のマシニングセンタにおいてはメカニカ

ルな性能の限界を電子制御補正にて精度改善してきたが，その技術のみでは安定して達成することが難しく，メカニカルな性能を向上させることが重要である。そのため μ V1では基本的な設計から見直しを行った。その中でも今回特に注力した3点についてその特徴を述べる。

2. 1 高品位主軸の開発

高精度を実現するためには使用回転数全域で安定した精度とパワーを発揮する高性能の主軸が必要である。低振動でかつ主軸発熱に伴う熱変位量が短時間で安定し，繰返し再現性のある事が主軸に要求される。そのため発熱量に見合った冷却油を供給する主軸内／外部冷却とベアリングを特殊油潤滑（特許出願中）することにより，ベアリング，モータの発熱を徹底して排除することを可能とした。その結果主軸熱変位量も短時間で安定することが確認され，さらに本体への熱

表1 μ V1 主仕様

移動量	X軸 Y軸 Z軸	(mm)	450×350×300
テーブル	主軸端面～テーブル上面	(mm)	150～450
	作業面広さ	(mm)	500×400
	最大ワークサイズ	(mm)	500×500×200
	最大積載質量（等分布）	(kg)	125
	上面形状		T溝幅14mm×3本 100mmピッチ
	床面からテーブル上面	(mm)	850
主 軸	回転速度	(min^{-1})	400～40000
	主軸テーパ穴		HSK-E32
送り速度	早送り速度	(mm/min)	15000
	切削送り速度	(mm/min)	1～15000
自動工具 交換装置	収納本数		18本
	最大工具径	(mm)	$\phi 40$
	最大工具長さ	(mm)	130
機 械 サイズ	高 さ	(mm)	2355
	幅×奥行	(mm)	1920×2054
	質 量	(kg)	5500

図1 μ V1 外観図

*1 工作機械事業部技術部技術開発課

伝達を極力減らすことにもなり、機械トータルとして長時間でも安定して繰返し再現性のあるデータが得られた（図2主軸熱変位）。

また、低速時から高速時まで各部品の熱による変化を極力減らすことができ、部品隙間を最小とすることで高剛性の実現と高速回転時においても安定した状態の回転を得ることができた。全速度域の主軸振動値（X軸、Y軸方向全域 $0.5 \mu\text{mp-p}$ 以下＝実績値）を図3に示す。

2.2 本体剛性、バランスを配慮した本体設計

機械本体は剛性について十分配慮するだけではなく、環境温度変化に対するサーモロバスト設計を行い、機械の柱となるコラムの前後の鋳物厚さを均等にすると、また左右対象構造にするなど配慮した。さらにスケールフィードバックの取付位置や各ブラケットの設計基準を再考した。各軸の摺動面構造は振動減衰性がある滑り面摺動を採用した。摺動面の油溝形状、油種、油供給を再検討し最適設計化することでスティッ

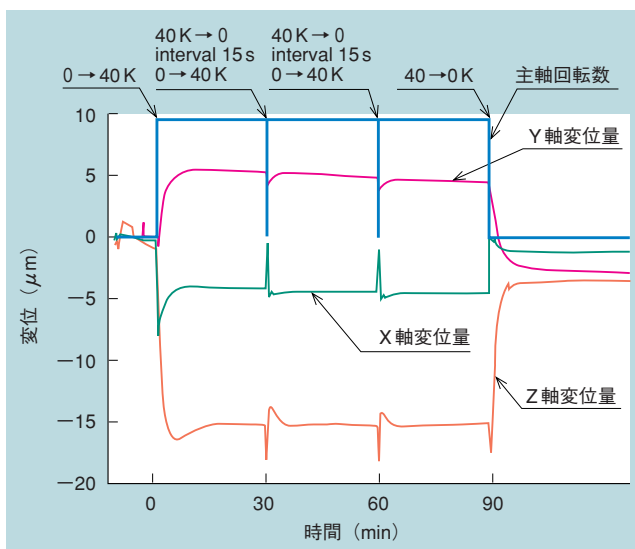


図2 主軸熱変位実績値

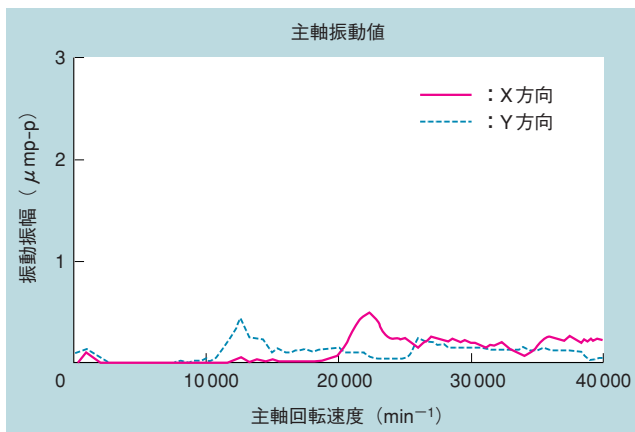


図3 主軸振動値実績

クスリップや姿勢変化などの滑り摺動面特有の問題発生を最小にしておき、各軸サーボモータにおける適正チューニングも精密に行えるようになった。その結果としてX軸、Y軸の同時加工における真円度加工は $1 \mu\text{m}$ レベル以下を実現している（図4 JIS-B6336-7に基づく真円加工結果）。

2.3 周辺機器の高精度化

精密加工には工場温度の変化、床からの振動なども外乱になるが、機械系にも要因がありその要素を可能な限り排除することでより安定した加工を実現することが可能となる。工具長測定も重要な部位で、今回は接触式については内部スイッチを非接触タイプとするなど測定器の繰返し性能と信頼性を向上させた。

さらに撮像式工具長測定装置のオプションを追加予定である。本装置は実加工回転数での各機械要素の変位分を含んだ工具長測定がサブミクロンの精度で連続測定できる。本装置を利用し、姿勢変形が安定するまでの様子を機械にフィードバックすることで、安定状態をオペレータが確認することが可能となるとともに、不安定領域での加工エラーなどが作業者の経験やカンではなく数値で捕らえることができるので、測定誤差に伴う加工誤差は激減することになる。

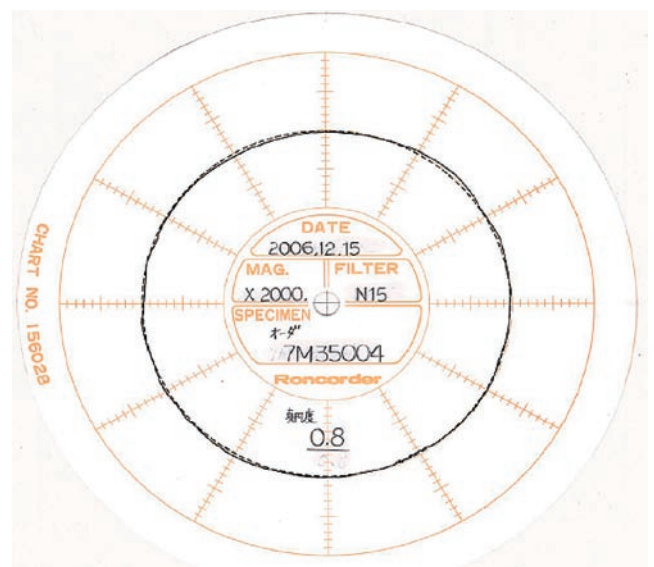


図4 JIS-B6336-7に基づく真円加工結果

3. 加工評価

本機の総合的な評価として四角柱の上部に半球加工を行い、さらに同一球面上に等高線加工にて文字を彫り込む加工テストを実施した（図5、図6、図7）。半球粗加工と仕上げ文字加工は異なる工具を異なる回転数（粗加工： $30\,000 \text{ min}^{-1}$ 、仕上げ加工： $40\,000 \text{ min}^{-1}$ ）で使用し加工したものである。その結

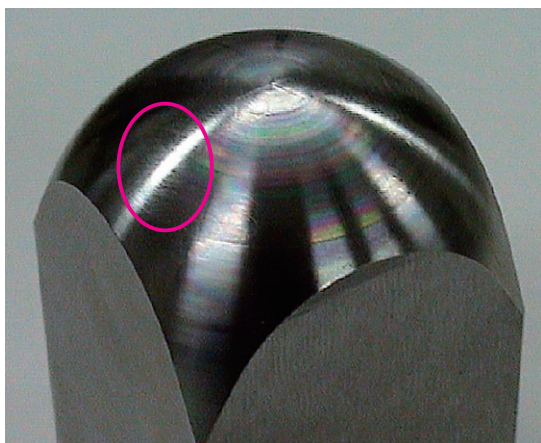


図5 検証ワーク外観



図6 検証ワークモデル図

果仕上げ加工は粗加工に対して $1\ \mu\text{m}$ 以下の再現性で球面加工を実現していることがわかる（図8，加工粗さが異なるので山の高さの中心値での比較）。さらに機械の追従性とチューニング技術が求められる文字部分の $1\ \mu\text{m}$ 掘り込み加工も加工実現しており本機の性能が極めて高いことが証明された。

4. 小型立形加工機の今後

今後さらに安定した高精度加工機の要求が出てくると考えられるので機械のみならず工具，周辺機器をどのように使うことで安定した高精度を実現できるか総合的な目で取組んでいき，さらに安定した高精度加工を実現していきたい。

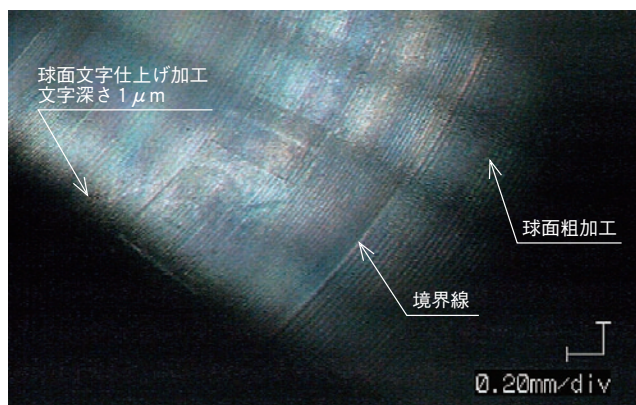


図7 文字仕上げ加工詳細（図5円部詳細）

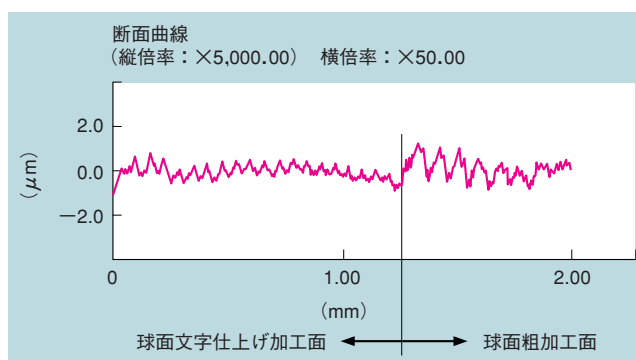


図8 球面加工表面段差測定結果

5. ま と め

本機で得られた技術を今後シリーズ展開し世界の先端加工に寄与していきたい。



佐藤欣且



重川英文



若名智宏



若本弘幸