

## 機上計測を用いた超精密金型部品の高効率切削加工技術の研究 —(サブテーマ)マシニングセンタの機上計測機能の開発(第2報)—

大塚裕俊\*・水江宏\*・秋国元\*\*・嶽正好\*\*・丸山祐治\*\*\*  
\*機械・金属担当\*\*\*(株)テオリック\*\*\* (株)e-じだい

### Study on end milling hardened steel for molds using an on-machine measurement system —Development of an on-machine profile measurement system used for MC (the 2nd report)—

H.OHTSUKA\*・H.MIZUE\*・G.AKIKUNI\*\*・M.DAKE\*\*・Y.MARUYAMA\*\*\*

\*Mechanical and Metallurgical Engineering Group\*\*Teoric Cooperation\*\*\*E-jidai Cooperation

#### 要 旨

精密金型部品等の切削加工法の合理化については、工程集約を実現すると同時に高精度化が期待できる機上計測機能を備えたマシニングセンタ(MC)が注目されている。本研究では、前年度に引き続き実用的な機上計測機能を備えたMCにより、精密金型部品の効率的加工を実現することを目標として開発を実施した。機上計測システムはMCとそのNC制御装置、ホストPCからなり、レーザプローブを非接触計測装置としてMC機上で精密計測を行うものである。本研究ではそのハード・ソフトのシステム開発・調整と加工物に対する計測機能の検証を実施した。

#### 1. はじめに

精密金型部品等の切削加工法の合理化については、工程集約を実現すると同時に高精度化が期待できる機上計測機能を備えたマシニングセンタ(MC)が注目されている。しかし複雑形状や高精度部品、微細加工部品に対してはまだ実用化に至っていない。本研究では、 $\mu\text{m}$  オーダーまで計測可能な機上計測機能を備え、かつ高硬度材料について同程度の高精度加工を可能とするMCを開発する。

本年度は、精密金型加工専用機(機上計測用レーザプローブを含む)、CNC(制御装置)及びホストPC(機上計測処理用ソフトを含む)の3要素からなる精密金型加工システムの調整と改良を行った。とりわけソフトについては、結合インタフェースの構築と機能的な操作性をもつ機上計測用ソフトウェアの開発と整備を主に行った。

上記の精密金型加工システムにより、円穴・溝・段差などの基本形状に加えて、2次元輪郭形状および3次元形状について加工から計測までの総合評価を行った。

#### 2. システム構築とインタフェース

前述したシステムの3要素は、各種インタフェースや専用ボードなどによって接続され、加工専用機の動作情報や位置情報およびレーザプローブの制御指令やフォーカス時位置情報をお互いにやりとりすることができる。機上計測に必要な加工専用機の位置情報とレーザプローブのフォーカス時位置情報は、ホストPCに集められ計測値として

処理される。CNCとホストPCの通信にはCNC付属のFOCAS II/Ethernet機能が使用されている。

#### 3. 計測システムの機能改良

計測システムの機能改良として、昨年度から問題となっていたレーザプローブ情報の取得不具合の改善、計測時間短縮および計測精度向上について問題解決を図った。

まずレーザプローブ情報の取得不具合については、専用I/FボードをホストPCに追加し、レーザプローブからAFステータスと光量センサー値を直接取得して判定する機能を開発した。これにより、より確実なエッジ判定機能が可能となった。

また計測時間短縮については、粗計測と細計測の改良2段階計測法を採用することにより計測時間が大幅に短縮された。例えば円穴計測では計測時間が前年までの方法に比較して約1/4となった。加えて、エッジ検出時点で移動中断を行って次の計測位置に移動する機能の追加、送り速度・情報取得間隔などのパラメータ調整による高精度計測のための最適送り条件の検討によっても計測時間が大幅に短縮された。

また計測精度向上については、レーザプローブのスキャン方向(円計測では中心への接近角度方向)とレーザの入射・反射方向面の位置関係によって計測誤差が生じるため、これを補正する手法を開発した。これは対象物である角柱を接触式計測装置(タッチプローブ)で計測した結果と、レーザプローブでエッジ計測した結果の誤差より補正量

を求め、これより接近角度方向に応じた補正量をエッジ計測に適用するものである。

#### 4. 形状計測機能

CAD/CAM から出力された NC 加工データ(工具パス)から空間オフセットなどによって自動的に計測データ(計測パス)を作成し、形状計測を行う。これは XYZ-3 軸による機上計測機能として開発されたが、さらにその拡張として、付設された2軸機構テーブルにより加工物に傾斜を与えた場合についても計測パスより傾斜・回転を幾何計算して同時 3 軸+2 軸用に計測パスを作成することができる。

本機能を用いて、3 次元形状(球面)を加工して機上計測を行う場合の計測パス作成例を示す。Fig.1(左)の淡色線は、XY 平面上に対しジグザグの 3 次元形状加工用の NC データ(X 方向へ切削)でありボールエンドミルで球面を加工するものである。本機能により、その NC データから自動的に計測パスを生成した結果が同図中の濃色線である。X 方向にスキャンする形状計測パスが生成されていることがわかる。なお工具パスのピッチは実際より大きくしている。

さらに加工物を X 軸まわりに 15° 回転させ、さらに加工物が取り付けられた2軸機構テーブルの円テーブルを-15° 回転させる。このときの生成された己字型の計測パスを Fig.1(右)濃色線に示す。これにより加工物の同時 3 軸+2 軸利用による加工物への傾斜角付与の場合に対応した計測用パスの生成が可能となっていることがわかる。

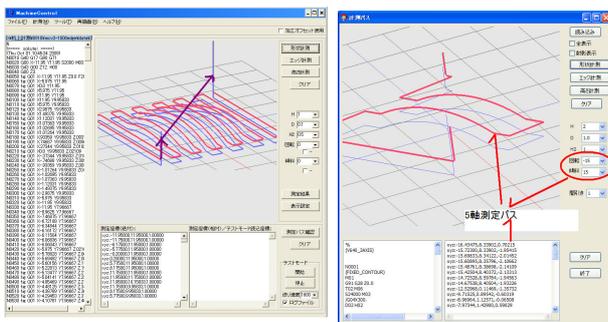


Fig.1 Generated on-machine measuring path(left)  
Measuring path tilted by additional 2 axes(right)

実際に球面モデル(球半径 26mm, 高さ 2mm, 材質 HPM31, 硬度 HRC60)をφ1.0mm 超硬ボールエンドミルにて仕上げ加工(加工ピッチ 0.05mm, 仕上げしろ 0.02mm)したものをワンパスにて機上計測(計測送り速度 F=5mm/min)した結果を Fig.2 に示す。Fig.3 は精密金型加工専用機の外観と加工された球面モデルである。Fig.2 より3次元形状についても誤差 1μm 以内で形状計測が出来ており、当初の目標値を達成できていることがわかる。

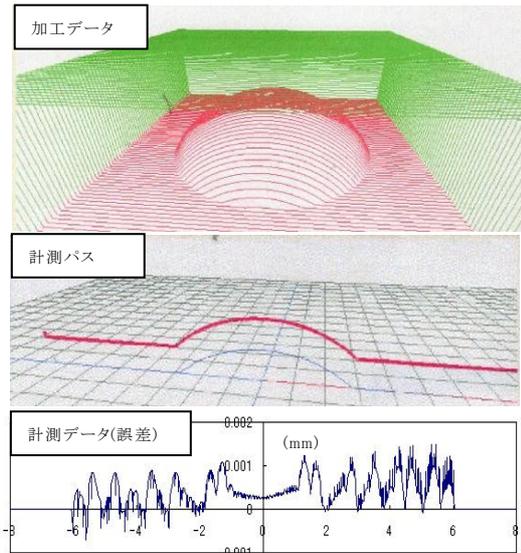


Fig.2 Tool path, measuring path, measured error for sphere shaped model



Fig.3 Developed MC with on-machine measurement system(left)  
Sphere shaped model used for measuring test(right)

#### 5. 輪郭計測機能

時計用の精密小型金型などでは、さまざまな閉じた2次元輪郭形状が凹部を形作っているような幾何的特徴が多く見られ、この輪郭形状の精度の高い加工が求められている。この輪郭形状の計測は輪郭各点でのエッジ検出の連続として計測できる。

本機能は、NC データとして与えられた 2 次元輪郭形状から自動的に輪郭各点でのエッジ検出による一連の計測パスを生成するものである。計測点の間隔、エッジまでの助走距離および隅 R 部や加工誤差の大きくなる工具パス接続部からのオフセット量などは調整できるようになっている。

実際の金型輪郭形状であられる円弧と直線によるモデル形状について本機能を用いた例を示す。Fig.4 はモデル形状の CAD モデルと生成された計測パスであり、Fig.5 はモデル切削加工後の機上計測の実施状況である。この輪郭形状の計測パスは NC データから Fig.6 のように付加的なマニュアル設定と編集を経て生成された。

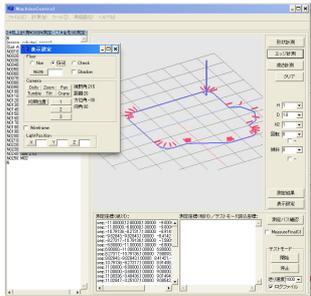
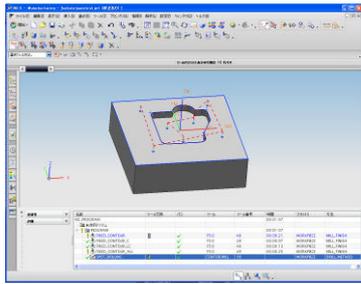


Fig.4 CAD model used for profile measuring,  
Generated measurement path

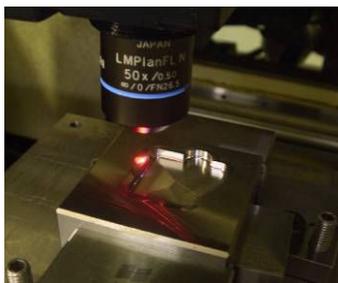


Fig.5 Laser probe unit used for profile measuring

以上により得られた計測結果を Fig.7~8 に示す. これにより直線部や円弧部ではよい加工精度が得られているものの, 工具パスの接続部や狭い内側円弧部では加工誤差が大きくなっていることがわかる. これは工作機械の運動精度の問題や, 局部での切削抵抗によるエンドミル工具の変形(逃げ)などいろいろな要因が影響していると考えられる. このように加工工程から機上計測まで, 被削材を工作機械上に固定したままで一貫した精度評価が行えれば, 修正加工が必要な場合も容易に行うことができる.

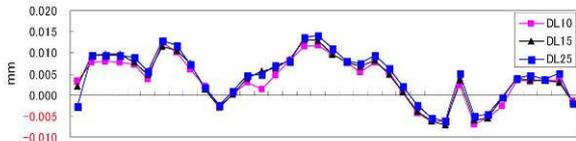


Fig.7 Measured error for the points in fig.8  
(from No.1 point, counterclockwise in order)

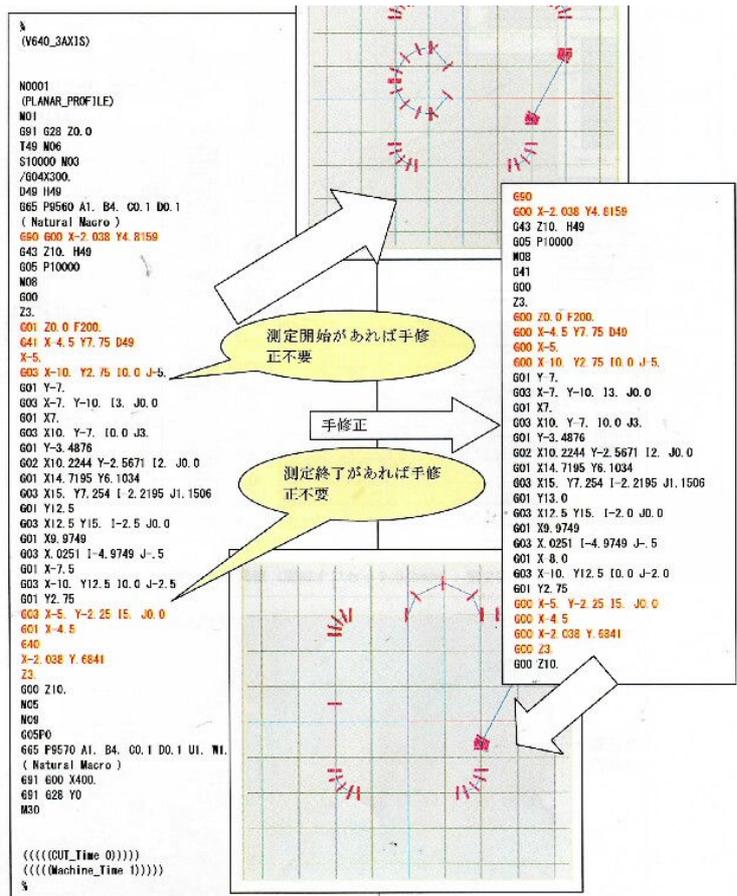


Fig.6 Example of code for profile measuring path  
(Generated from NC data)

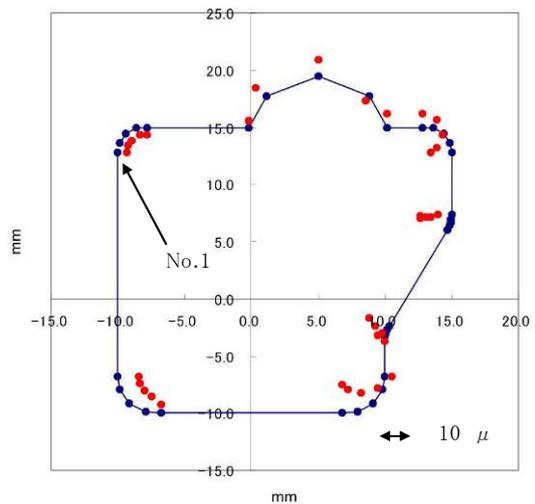


Fig.8 Measured points and measured error  
in profile measuring

## 6. 高さ計測機能

同様にして、時計用の精密小型金型などでは、さまざまな平面形状が棚田状に構成されているような幾何的特徴があり、この各部分の Z 高さ計測が求められることが多い。この計測は各平面部での Z 高さ計測の連続動作として処理できる。

まず高さ計測の単位要素として、ある点の Z 高さ計測機能について次のような開発を行った。計測点について、それを中心とする近傍の 4 点計測を行いその平均値を算出する。ただし 4 点の計測では、計測物の表面状況によりレーザープローブのオートフォーカス終了信号が取得できない場合があるので、レーザープローブの UP/DOWN 動作を各測定間で行い、オートフォーカス終了信号取得を確実にする。昨年度までの Z 高さ計測機能では、オートフォーカス信号終了信号の取得が確実でなく誤動作が多かったが、これで大幅に改善された。以上のような、ある点の近傍 4 点計測法による Z 高さ計測機能を Fig.9(左)に、異なる高さの平面群に対しての計測パスの例(移動パスを除く)を Fig.9(右)に示す。

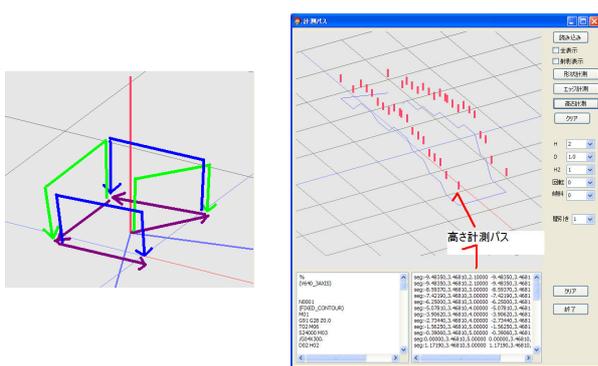


Fig.9 Averaged height measuring method(left)  
Example of height measuring path(right)

## 7. 今後の課題

以上のとおり、本研究「機上計測を用いた超精密金型部品の高効率切削加工技術の研究」では、 $\mu\text{m}$  オーダーまで計測可能な実用的機上計測機能を備え、かつ高精度加工を可能とする精密金型加工システムを開発することがで

きた。これにより精密金型部品の高精度加工がほぼ可能となり、総合評価では加工から計測までの計測精度 $\pm 1\mu\text{m}$ 以下が確保することができた。

研究課題としては、本研究で用いたレーザープローブによる計測は非接触計測であり、加工物表面品質の影響やレーザーの入射・反射方向の影響などを受けやすいため、その計測精度の向上と安定化について検討する必要がある。加えて一層の計測時間の短縮、機上計測用ソフトウェアの機能向上などが課題である。しかしレーザープローブによる計測は、微小な形状計測が可能であり、非接触での高精度計測が可能であるため加工物の形状によっては優位性が高いので、本研究での事例以上に適用範囲は大きいと考えられる。

今後は、加工物の傾斜角付与による計測機能や修正加工技術の確立など、開発された精密金型加工システムを中心とした技術展開についてさらに検討していく必要がある。

## 8. おわりに

実用的な機上計測機能を備えたMCによる精密金型部品の効率的加工技術について研究開発を継続して実施し、次の結果を得た。

- (1) 精密金型加工専用機、CNC 及びホスト PC からなる精密金型加工システムの調整と改良を、結合インターフェースと機上計測用ソフトウェアの整備を中心に行いほぼ完成をみた。
- (2) 計測システムについて、レーザープローブの情報処理改善、計測時間短縮および計測精度向上の面から機能改良を行った。
- (3) 計測システムの主な機能は、形状計測機能、輪郭計測機能および高さ計測機能であり、それぞれ検証実験を行って当初の目標値である  $\mu\text{m}$  オーダーの計測精度を達成できた。

## 追記

本研究は、平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業によって実施しました。