

## 複合加工機の現物融合マシンシミュレータの開発

東京農工大学 ○島田 直弥, 東京農工大学大学院 ◎中本 圭一

### 要 旨

複合加工機では主軸や刃物台などが干渉を起こしやすいため、マシンシミュレータの使用が不可欠となっている。一方、従来の市販マシンシミュレータでは、予めモデル化したワークやジグの3次元モデルと現物に差異が生じた場合に予期せぬ干渉の原因となっている。そこで、本研究では、タッチプローブを用いて段取り後のワークやジグの形状や位置を測定して3次元モデルに反映する、現物融合マシンシミュレータを開発し、その有用性を確認した。

### 1. 緒 論

近年の切削加工では、リードタイムの短縮と製品の複雑化に対応するため、多軸化・複合化された工作機械、複合加工機が広く使用され始めている。しかしながら、複合加工機は工具とワークおよびジグなどが干渉を起こしやすいという問題を有している。したがって、未然に干渉を防ぐためにマシンシミュレータの使用が不可欠となっている。一方、従来の市販マシンシミュレータでは、予めワークやジグをモデル化しており、3次元モデルと作業者による段取りに差異が生じた場合に干渉の原因となっている<sup>1)</sup>。そこで本研究では、段取り後のワークやジグの形状や位置を測定して3次元モデルに反映することで、現物融合型マシンシミュレータの開発を目的とする。

### 2. 実験方法

図1に示すように従来の加工までの流れでは干渉の可能性を含んでいるため、マシンシミュレータの3次元モデルが実体と一致するように修正する必要がある。そこで、図2のようにタッチプローブによる机上計測を用いて段取り後のワークやジグを測定してシミュレータへ取り込み、加工動作を再現することで干渉の有無を確認する。以下に本研究で開発する現物融合型マシンシミュレータの流れを示す。

- ワークやジグのモデルに基づいて測定点と測定経路を生成しタッチプローブで測定する。
- 測定情報から実体との差異を修正した新たなモデルを作成する。
- 作成したモデルをマシンシミュレータに取り込み、加工動作を再現する。

(a), (b)で使うアプリケーションはC#を用いて作成する。複合加工機は図3に示すヤマザキマザック製の複合加工機 INTEGREX i200 を使用し、タッチプローブは図4に示す

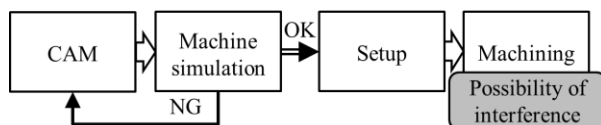


Fig. 1 Conventional machining procedure

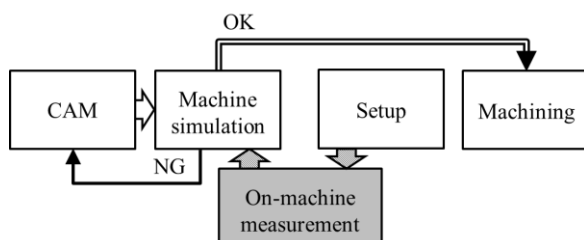


Fig. 2 Proposed machining procedure

RENISHAW 製タッチプローブ RMP600 を用い、図5のように複合加工機にタッチプローブを装着して測定する。(c)のマシンシミュレータには、市販のアイコクアルファ製 G-Navi を使用するが、予め複合加工機のモデリングする必要があるため、図面と実機から3次元モデルを作成した。

### 3. 測定経路の生成

まず、測定物に対して予め作成したモデルに基づいて測定点を決定する。理論上は線や円などの基本形状要素ごとに最少測定点数を満たしていれば形状を決定することができるが、形状のわずかな凹凸により測定精度が低下する<sup>2)</sup>。したがって、測定点は最少測定点数よりも多くなるよう配置し、測定範囲内に均等な間隔で配置して偏りがないようにする。

次に中継点を決定する。中継点は、工具主軸が高速な早送り移動速度から低速な測定移動速度に切り替わる点とし、測定面の法線方向に一定距離離れた位置に配置する。この点を設けることで、プローブを測定物の法線方向から接近させることができる。プローブが次の測定面へ移動する際には中継点から法線方向に測定物との十分な距離を取ることで、移動によるプローブの干渉を回避する。以上の測定点、中継点を結ぶことに



Fig. 3 Multi-tasking machine tool

Fig. 4 Touch probe

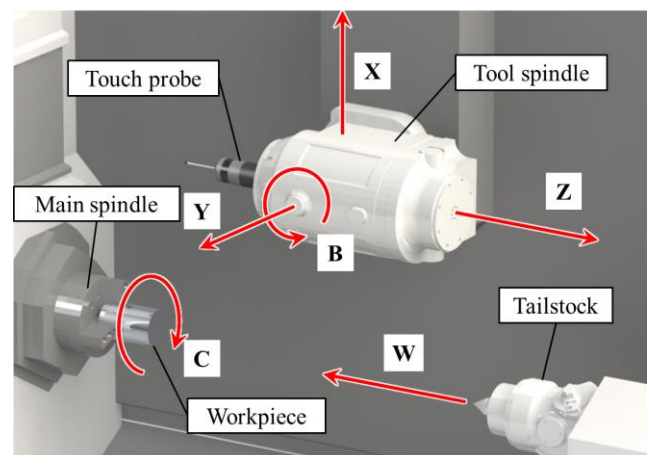


Fig. 5 Machine structure

より測定経路を生成する。これらの点を座標変換することによって複合加工機の機械座標系における測定点、測定経路を得ることができる。最後に生成した測定経路をNCプログラムとして出力することで複合加工機で実際に測定し、測定点座標値を取得する。

#### 4. 現物融合モデルの生成

前章で得た測定点群から元の3次元モデルに基づいて新たな3次元モデルを自動生成する。3次元モデルを生成するには、各形体モデルを平面、円筒面、球面などから決定する必要がある<sup>3)</sup>。この形体モデルに基づいて測定点群から最小二乗法により形体のパラメータを取得することで新たなモデルを作成する。本研究では、まず形体モデルとして平面のみを扱うこととする。 $a, b, c$  を平面法線単位ベクトルとし  $d$  を平面から座標原点までの距離とすると平面の式は次式で表せられる。

$$ax + by + cz + d = 0 \quad (1)$$

また、最小二乗法より  $a, b, c, d$  は以下のように算出でき、 $\alpha, \beta, \gamma$  は式(3)の通りである。

$$\begin{aligned} a &= \alpha / \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2} & b &= \beta / \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2} \\ c &= \gamma / \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2} & d &= 1 / \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + \gamma^2} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum x_i^2 & \sum x_i y_i & \sum x_i z_i \\ \sum x_i y_i & \sum y_i^2 & \sum y_i z_i \\ \sum x_i z_i & \sum y_i z_i & \sum z_i^2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} -\sum x_i \\ -\sum y_i \\ -\sum z_i \end{pmatrix} \quad (3)$$

$i = 1, 2, \dots, n$

以上より決定した平面をつなぎ合わせソリッドモデルを作成する。ここで、タッチプローブでの計測においてNC装置に記憶される座標値と測定点が図6に示すようにプローブの先端球の半径分ずれてしまう。このため、作成したソリッドの各面の法線方向と逆向きにプローブ半径分オフセットする。

最後に生成したモデルをシミュレータに取り込む。G-Naviのバッチ処理機能を用いると、G-Naviを起動からシミュレーション終了まで自動化することができる。これにより、作成したアプリケーションからモデル生成後に処理内容を記述したバッチファイルを実行することで、新たなモデルに基づいた加工動作を確認することができる。

#### 5. ケーススタディ

開発したシミュレータを検証するため、実際にシミュレータのモデルと異なる段取りを行ったワークを想定したケーススタディを実施した。35 mm×35 mmの直方体を測定物として測定経路を図7のように生成した。その後、実際に複合加工機上で測定した。測定時には図8に示す作成したワークとジグを用い、

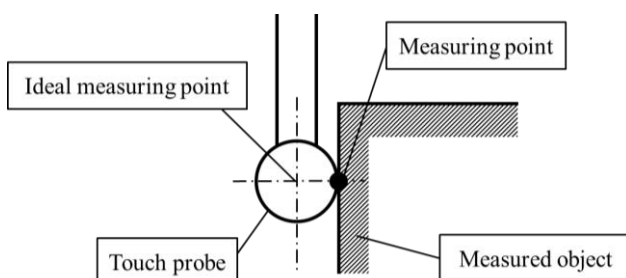


Fig. 6 Correction of probe radius

図9のようにワークを本来の位置の水平となる位置から+C軸方向に5°回転させて段取りをした。最後に測定結果から図10に示すように新しい作成モデルをシミュレータに反映し、加工動作を再現した。生成したモデルが元のモデルと異なる位置にあることがわかる。以上から、現物融合した3次元モデルでマシンシミュレーションが可能になることが確認できた。

#### 6. 結 論

本研究では、タッチプローブを用いて段取り後のワークやジグに対して机上計測を行い、測定結果の3次元モデルをシミュレータに取り込む現物融合型のマシンシミュレータの開発を目的とした。ケーススタディの結果から、提案手法により現物融合した3次元モデルでマシンシミュレーションが可能となることを確認した。

#### 参考文献

- 1) 木村利明ら, 工作機械内衝突防止システムの開発(第2報)シミュレータ連携型工作機械内衝突防止システム, 日本機械学会2009年度年次大会講演論文集, 9巻, 1号, pp. 321-322, (2009)
- 2) 深瀬拓也, モノづくりのための精密測定, 日刊工業新聞社, pp. 85-97, (2007)
- 3) 高増 潔ら, 形体計測の基本概念, 精密工学会誌, 64巻, 1号, pp. 94-98, (1998)

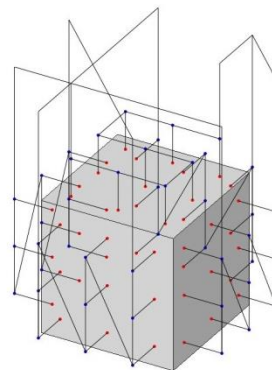


Fig. 7 Measuring path generation

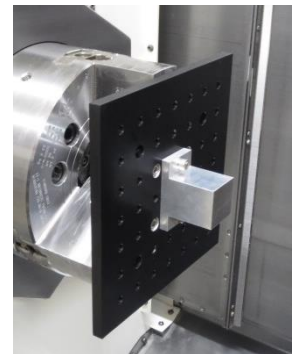


Fig. 8 Workpiece and jig

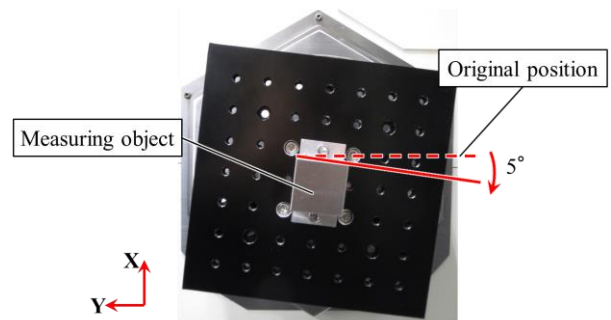


Fig. 9 Setup of workpiece

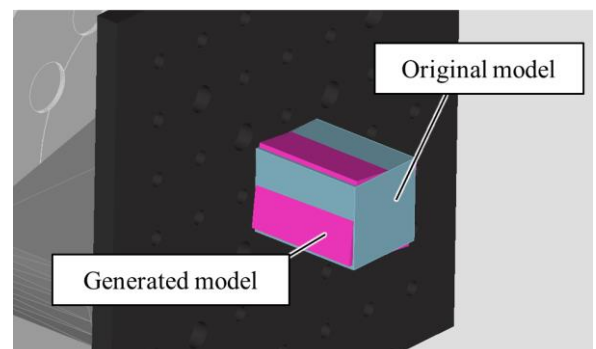


Fig. 10 Result of machine simulation