

5 軸加工の精度改善について

多川 信也^{*1)}

Improvement of 5-axis machining

TAGAWA Shinya^{*1)}

近年、デジタルものづくりによる自動化、高効率化に期待が高まっている。金属加工分野においては、3D データを基に部品を切削加工する 5 軸加工機の利用が有効で、ワンチャッキングにより加工精度と再現性の高い切削加工が出来る。しかしながら、このメリットを更に伸ばす研究は少ない。そこで、加工機に搭載されるタッチプローブを用いて自己完結的な加工精度向上手法を実験したところ、ワンチャッキングで生じる傾き誤差を改善できることがわかった。

1. 緒言

金属加工の分野では設計の合理化に伴う部品の集約化が進み、複雑で高精度な部品でさえも短納期・低コストというニーズが高まっている。5 軸加工機は 1 度チャッキングした素材をそのまま複雑な最終形状にまで切削加工することができる。これはワンチャッキングと呼ばれ、作業時間の短縮と加工精度および再現性を向上させるメリットがある。本研究ではその 1 度のチャッキング時に生じる誤差について、追加工により低減する手法を考案した。

2. 5 軸加工機について

2.1 5 軸加工機の各軸について

5 軸加工機はその名のとおり、5 軸を自在に操ることで様々な角度から加工が出来る特徴を持っている。図 1 に示すように、切削工具の主軸が x-y-z 軸の 3 軸平行移動し、被削材のテーブルが B 軸、C 軸回転する。これらの 5 軸を同時に動かすことにより、1 度チャッキングした素材をそのまま複雑な最終形状にまで切削加工することができる。

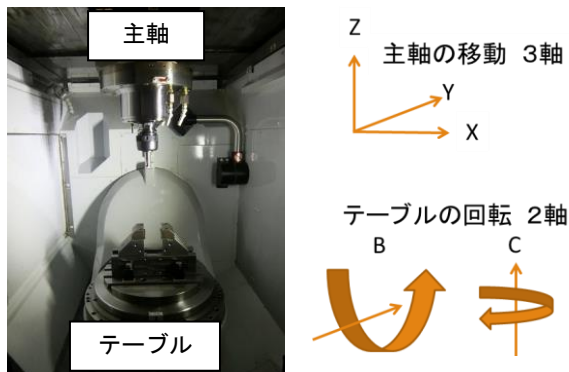


図 1 5 軸加工機の各軸詳細
DMG 森精機製 NMV3000DCG

2.2 加工原理

切削加工の原理を説明するために図 2 を用意した。ここでは工具と被削材(ワークと呼ぶ)の関係が示されている。回転する工具が少しずつワークを削り取りながら進行していくことで、所望の形状を得る加工方法である。工具の回転数、送り速度等は加工精度や表面の仕上がりに関わる重要なパラメータである。

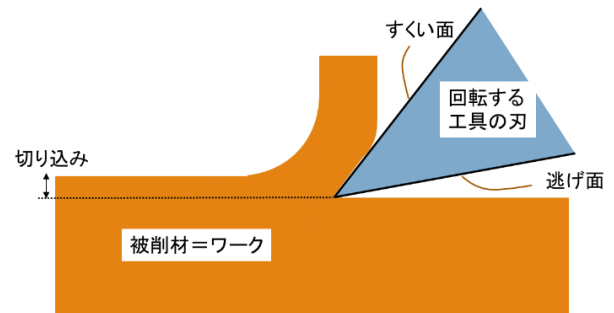


図 2 切削加工の原理

2.3 ワンチャッキングについて

ワンチャッキングによる効果は大きく 2 つあり、取り付け外しの時間の削減と加工精度の向上である。直線軸のみを備えた加工機を 3 軸加工機と言うが、加工面を変更したいときには加工物を取り外してもう一度固定し直さなければならない。図 3 の場合 8 面に対し取り付け外しや取り付けの作業時間が必要となる。さらに、加工物固定位置の誤差が蓄積により、加工精度が安定しないため再現性に課題がある。

一方 5 軸加工機では、加工物や工具を傾けて加工する面を変更することが出来るため、加工物の取り付け外しや取り付けの作業時間は不要となる。更に、固定位置の誤差も無くなり、加工精度が安定し再現性が良いことも 5 軸加工機ならではの特徴と言える。

*1) 機械・電気・材料グループ

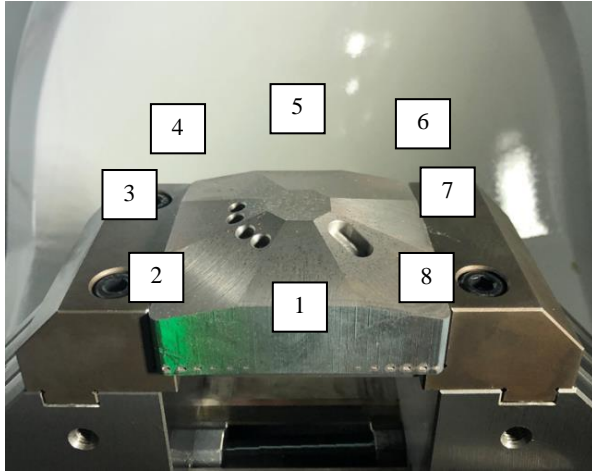


図 3 加工する面の変更が必要な例

3. 実験方法

3.1 加工工程

図 4 に示すように、素材から部品を加工した¹⁾。本研究では傾きに注目して精度改善の評価を行いたいため、縦長のモデルを作成した。前処理をして突起を作成したのはチャッキングを確実にを行うためである。

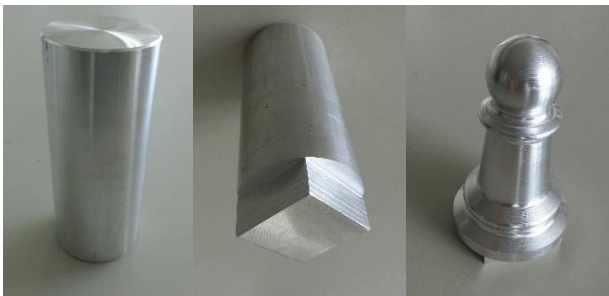


図 4 加工部品

表 1 加工の手順

	手順	概要
設計	製品のデザイン CAD	3DCAD による 3D モデル設計
	工具の選定とパスの作成 CAM	CAM を利用、3DCAD データから加工手順を設計 工具パスのシミュレーションで干渉チェック
加工	前処理	今回は掴むために加工
	空運転→加工	干渉チェックのうえ加工
	追加工	今回の考察ポイント

3.2 加工精度の計測 三次元測定機の利用

チャッキングに起因すると考えられる誤差は、底面とその上部（以下、ボディと表現する）との傾きで表すことが出来ると考え、評価モデルとして図 5 を作成し、底面に対するボディの傾き θ 、及び、モデルの全長を 100 mm とした場合の変位 x を定義した。計測には平成 29 年度機械工業振興補助事業により導入した三次元形状評価装置 ミットヨ製 LEGEX574 を用いた²⁾。計測面を図 6 に、計測結果を表 2 に示す。

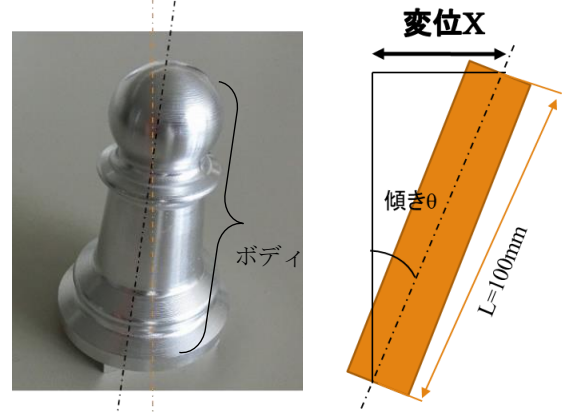


図 5 評価モデル

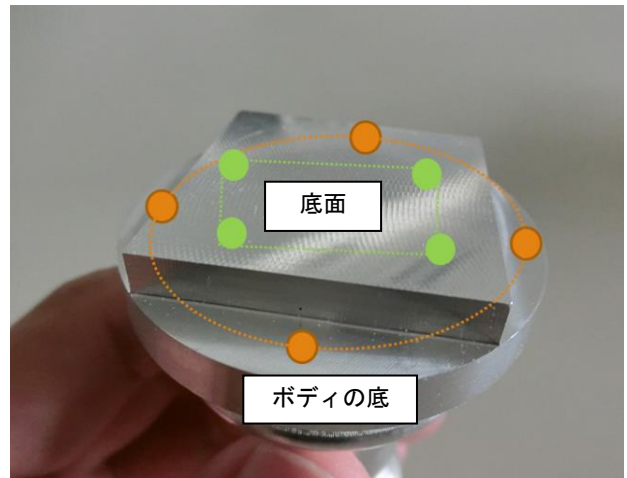


図 6 計測面

表 2 改善前の誤差計測結果

傾き θ (deg)	0.4558
変位 x (mm)	0.7955

4. 精度改善の工夫

4.1 追加工準備

ワンチャッキングは取り付け取り外しを 1 回に減らすことが出来るが、そのメリットを追求するためにその 1 回分の誤差についても追加工により低減したい。

底面とボディとの傾きを取り除くために、底面を上に向けた状態でチャッキングする必要がある。図7のようにチャッキングし直した。その際にボディを傷つけないために、同形状のメス型ジグを利用した。

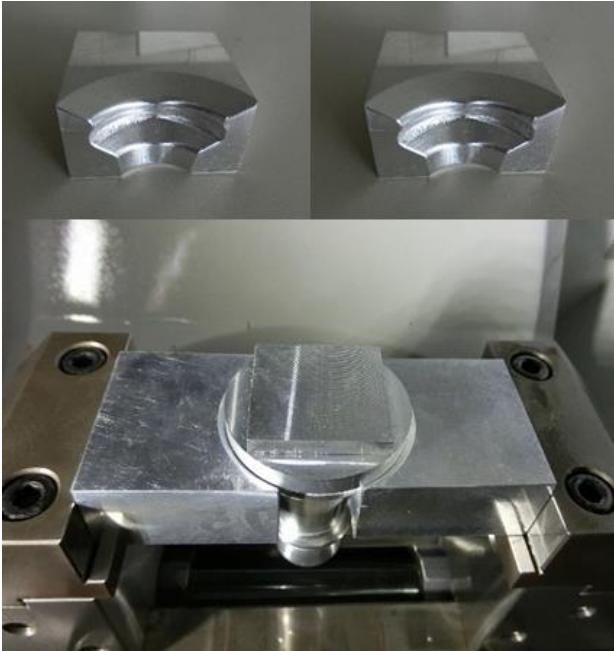


図7 追加工の準備

4.2 自己完結的な手法

基準面として、3.2節で定義したボディの底を用いた。この面と底面の角度が同じになるよう、以下の手法を考案した。

図8のように、チャックした状態で基準面の3点計測することで面を定義し、その面の傾きを算出する。算出された面を5軸加工機の回転2軸により水平にしてから底面を水平に落とすという手順である。

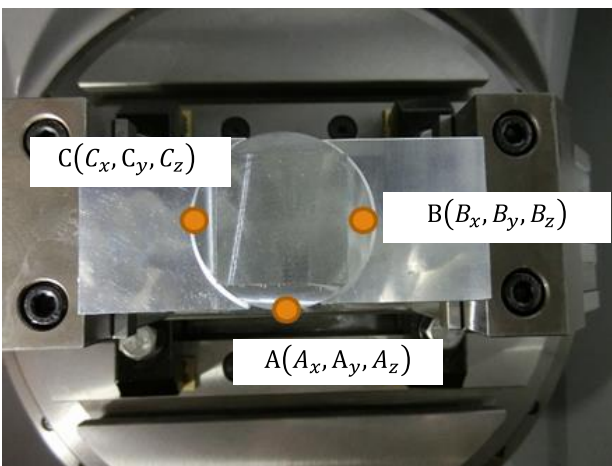


図8 3点計測による面の定義

先ず、3点は次のように表すことができる。

$$\begin{aligned} &A(A_x, A_y, A_z) \\ &B(B_x, B_y, B_z) \\ &C(C_x, C_y, C_z) \end{aligned} \tag{1}$$

点Aを基準にベクトルを表す。

$$\begin{aligned} \vec{AB} &= (B_x - A_x, B_y - A_y, B_z - A_z) \\ \vec{AC} &= (C_x - A_x, C_y - A_y, C_z - A_z) \end{aligned} \tag{2}$$

外積により法線ベクトルを算出することができる。このことを利用し面の向きを補正する。

なお、回転方向の正負を統一するために $r < 0$ の場合は p 及び q の符号を反転させることとする。

$$\begin{aligned} \vec{A} \times \vec{B} &= (p, q, r) \\ p &= (B_y - A_y)(C_z - A_z) - (C_y - A_y)(B_z - A_z) \\ q &= (B_z - A_z)(C_x - A_x) - (C_z - A_z)(B_x - A_x) \\ r &= (B_x - A_x)(C_y - A_y) - (C_x - A_x)(B_y - A_y) \end{aligned} \tag{3}$$

X-Y平面において、法線ベクトルとX軸のなす角 γ を次式により求める。この角度はC軸回転で補正することができるため、手入力によりX軸に一致するよう $-\gamma$ 補正する。

$$\begin{aligned} \cos \gamma &= \frac{p}{\sqrt{p^2 + q^2}} \\ \gamma &= \cos^{-1} \frac{p}{\sqrt{p^2 + q^2}} \end{aligned} \tag{4}$$

次にZ-X平面においても同様に、法線ベクトルとZ軸のなす角 β を求め、B軸回転によりZ軸に一致するよう $-\beta$ 補正する。

$$\begin{aligned} \cos \beta &= \frac{r}{\sqrt{p^2 + q^2 + r^2}} \\ \beta &= \cos^{-1} \frac{r}{\sqrt{p^2 + q^2 + r^2}} \end{aligned} \tag{5}$$

面の法線ベクトルがZ軸に一致するとき、その面はX-Y平面に一致する。

以上により、(4)式及び(5)式により算出された値を用いてC軸回転→B軸回転の順で補正した後、平面(X-Y)切削で底面を水平に補正した。

5. 結果および考察

5.1 追加工前後の精度変化

追加工前後の計測結果を表3により比較したところ、誤差が約60分の1にまで低減され、加工精度が改善されていることが確認できた。

表3 追加工前後の誤差計測結果

	改善前	改善後
傾き θ (deg)	0.4558	0.0072
変位 x (mm)	0.7956	0.0126

5軸加工における角度については、NAS規格979の手法が一般的で、真円度により評価される。測定ワークは $\phi 216\text{ mm} \times \phi 250\text{ mm} \times 63.5\text{ mm}$ とされていることから、図9により評価モデルの全長を100 mmから63.5 mmへ変換することで真円度による評価を行った。また、表4にその結果を表す。

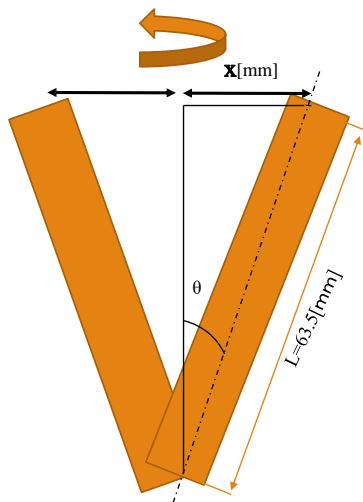


図9 計測面

表4 真円度換算での精度評価

	改善前	改善後
真円度 $2x$ (mm)	1.0103	0.0160

その結果、真円度は約1 mmから16 μm へ低減されたことがわかった。機械本体のNAS規格979評価は8.0 μm とされていることから³⁾、かなり近い値まで低減されたことがわかる。このことから、自己完結的な精度改善手法を用いることで、傾き誤差の影響を殆ど取り去ることが出来る

と考えられる。

積層造形製品の精度出しについては、工作機械による追加工が必須であるが、現在では、積層造形と5軸切削加工が出来る機種(DMG森精機製LASERTEC 65 DED hybrid等)が存在し、ワンチャッキングで両方の工程を実現することが出来る。しかしながら、積層造形手法がパウダーノズル方式に限定されることから、他の方式で造形した部品については本手法が利用可能である。

6. 結言

本研究では、5軸加工によるワンチャッキングの長所を活かすため、垂直方向精度改善方法を検討した。加工機自体を計測機として利用する自己完結的な手法により、チャッキングの際に発生する誤差を低減することでワンチャッキングの長所を更に伸ばすことが出来た。

本研究では、手入力により回転補正を行ったが、自動化すれば、更に効率の高い製造方法を確立することが出来る。計測用の目印を設ける方法等を検討していきたい。

謝辞

本研究にご助言およびご協力頂いた奈良朱雀高校の菊永先生に感謝の意を表します。

本研究で使用した三次元形状評価装置は、公益財団法人JKAの「機械工業振興補助事業」により導入、設置したものである。



参考文献

- 1) 四国地域イノベーション創出協議会，“高精度5軸加工技術マニュアル(改訂版)”(2010)
- 2) 水野 和康，“同時5軸加工機による曲面加工精度について”，愛産研ニュース11月号(2009)
- 3) 安松谷 薫，山本 達也，“ダイレクト・ドライブモーター(DDM)により高速高精度の5軸横形マシニングセンタ”，精密工学会春季大会学術講演会(2008)