

13 未知形状金型の測定～加工評価システムの構築

前田圭治，西川隆敏，山下弘之

(Study of High Speed and High Accuracy Milling)

Construction of 3D measuring, machining and evaluation system for a forging die without 3D CAD model

MAETA Keiji , NISHIKAWA Takatoshi , YAMASHITA Hiroyuki

Manufacturing process for a forging die without 3D CAD model was examined in order to advance digitalization, technical skill about a forging die that is modified by the handwork. The main results are as follows ;

- (1) Using 3D measuring points data of original forging die makes a CAD model with smooth and precision surface.
- (2) A NC cutting data interpolated by NURBS have shorter cutting time than that by normal interpolations.
- (3) The MQL method has better the surface roughness of machined surface than the cutting by air blow.

キーワード：金型加工，鍛造金型，NURBS 補間，MQL

1 緒 言

熱間鍛造工程で使用される鍛造金型は製造工程においてトライアンドエラーを繰り返し，その修正は手作業で行われている。また，熱間鍛造の性質上，金型には熱的および機械的に強い負荷が加わり損傷がおこる。その場合，肉盛り補修や段下げ加工を行うことになるが，元の形状が不明のため同一形状を再加工することは非常に困難である。このような3次元CADデータのない形状の加工について，当センターでは手縫い針製造用金型を対象に，技能によるものづくりの自動化の観点から，未知形状のデジタイズを行い，CADデータ化された形状による加工を行ってきた¹⁾²⁾。しかしながら，手縫い針製造用金型は微細で比較的なだらかな対称形状なため，一般的な複雑形状をもつ鍛造用金型に対しても適用できるかどうかは不明である。また，高速加工を行うにあたり cutter の NURBS 補間や MQL (Minimal Quantity Lubrication) が導入されつつあるが定量的なデータによる比較が少ないため未だ幅広く普及しているとは言えない。

そこで，本研究では一般的な鍛造用金型を対象に

- 1) 未知形状のデジタイズによって得られた点群データをもとにした CAD データ化および高速切削加工による金型加工
- 2) cutter の違いによる金型の形状評価
- 3) クーラントの違いによる金型の表面状態評価

を行った。これにより昨年度構築した未知形状の形状測定から加工評価まで行うためのシステム¹⁾の検証ならびに cutter の補間方法およびクーラントの違いによる加工面の形状評価を行った。

2 金型の測定およびCADモデル化

2.1 金型の形状測定

写真1に示す鍛造金型(上型 250×150×21mm，下型 250×150×25mm)を接触式3次元スキャニングシステム RENS SCAN200 (レニショー(株))を用いて工作機上で測定し，点群データを求めた。測定した金型の図面上での最小 R が 1.5mm であるためプローブは 3mm 径のものを使用し，測定ピッチは送り方向 0.5mm，ピックフィード方向 1mm とした。ただし，穴部周辺やピックフィード方向に対して比較的勾配が大きい部分では送り方向を変えて測定している。測定して得られた金型(上型)の点群データを図1に示す。



(a) 上型

(b) 下型

写真1 測定した金型

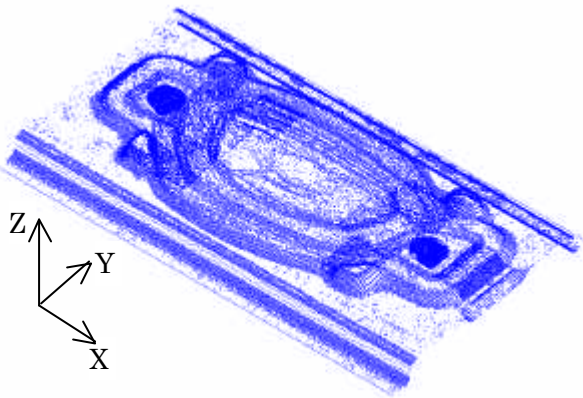


図1 測定点群データ

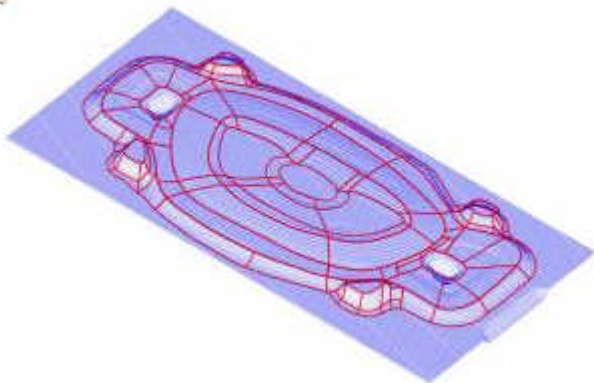


図2 補間した点群データとサーフェス作製用カーブ



図3 CAD モデル

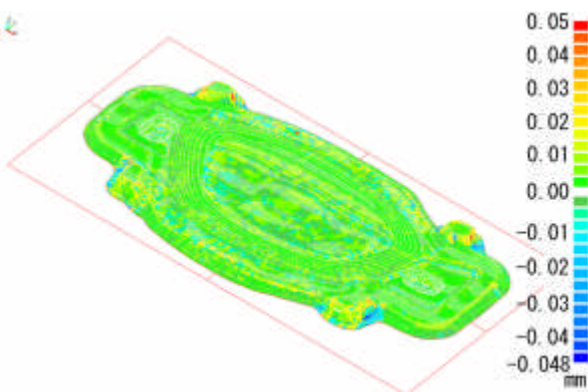


図4 点群データとCAD モデルとの誤差

2.2 CAD モデル化

測定点群をX軸0.5mm、Y軸0.5mmピッチの格子状の点群データに補間して出力し、CADモデルとなるサーフェス作製を行った。点群データ数は約138,000点である。CADモデル化はImageware9(EDS PLM Solutions社)を用いた。サーフェス作製は始めに点群データ上の特徴的な稜線にフィットさせたカーブを作製した。図2に補間した点群データと稜線上にフィットさせたカーブを示す。次に作製したカーブ4辺とその領域に含まれる点群データを用いてサーフェスを作製した。作製するサーフェスデータはカーブ4辺とそれらに囲まれた点群で決定されるため、境界となるカーブの状態によっては折れや段差が生じる。そのため出来る限り密に測定データを取った方が滑らかなCADデータが作製できる。今回は測定データが比較的粗かったため測定ソフトの機能を用いて補完したX軸方向、Y軸方向とも0.1mmピッチのデータ(約3,450,000点)を使用し、カーブをフィットさせた。本研究では作製したサーフェスと点群との製品形状部分における誤差は $\pm 0.03\text{mm}$ を目標にした。作製した上型のCADモデルを図3に示す。また、サーフェス作製に使用した点群データとサーフェスとの誤差表示を図4に示す。最大誤差は0.047mm、製品形状部分では $\pm 0.02\text{mm}$ 以内であり金型再加工用として十分な精度を持つCADモデルが作製できた。

3 金型の高速切削加工

3.1 カッタパス補間方法の違いによる検証

3.1.1 加工条件の選定

カッタパス補間方法の違いによる加工時間、加工面状態および加工精度の検証のためプリハードン鋼NAK55(Hrc40)を被削材としてCADモデルの製品形状部を含む一部分について切削加工を行った。使用した装置を表1に、加工条件を表2に示す。仕上加工には高速加工時の切削負荷低減のため、点群データの

表1 使用装置

工作機械	形式	豊田工機(株)製 マシニングセンタ UH55
	主軸回転数	Max50,000min ⁻¹
	主軸テーパ	HSK-A40(特)
ホルダ	黒田精工(株)製コレットホルダ	

表2 加工条件

加工工程	工具径 (mm)	主軸回転数 (min ⁻¹)	送り速度 (mm/min)
荒加工(等高線)	6	25,000	10,000
中荒加工(走査線)	6	25,000	10,000
中仕上加工(走査線)	2.5	27,500	5,500
仕上加工(走査線)	2.5	30,500	3,660

最小Rより小さい 2.5 の工具を用いた。仕上加工時のピックフィードおよび送り量は送り方向とピックフィード方向の粗さの差が少なく効率的な切削が出来る条件（主軸 1 回転当り送り量（1 刃当り送り量 $f \times$ 刃数 Z ）= ピックフィード pf ）とした。CAM は Space-E Ver.3.2（日立造船情報システム(株)製）を用いた。カットパスは CAM の標準出力である円弧・直線補間、直線補間および NC パス最適化ソフトを用いた NURBS 補間の 3 種類を使用した。NURBS 補間は NC 最適化ソフト MetaCut（Northwood 社製）を用い、Space-E で直線補間として出力したカットパスを NURBS 補間データに最適化させた。カットパス作製時のトレランスは 0.003mm，NURBS 補間データ作製時のトレランスは 0.0031mm とした。NURBS 補間データを用いて加工した加工物を写真 2 に示す。

3.1.2 表面粗さ

図 5 に 3 条件のピックフィード方向および送り方向表面粗さの平均値とその誤差範囲を示す。表面粗さ測定は加工物上の 4 カ所で行った。それぞれの条件とも最大高さ Rz はピックフィード方向で 0.003mm 前後，送り方向で 0.002mm 前後と大きな違いは見られなかった。

3.1.3 加工精度

加工精度の評価は 3 次元測定機用オフラインティーチングソフトウェア PC-DMIS（Brown & Sharpe 社製）を用いて CAD モデル上に測定点を作製し，3 次元測定機（PMM-C700P，Brown & Sharpe 社製）により測定を行い，加工物の実測値と CAD モデルとの誤差比較を行った。測定は領域を 6 つに分け，それぞれに測定パスを作製した。図 6 にそれぞれの領域ごとの最大偏差（誤差の最大値と最小値の差）の平均値とその誤差範囲を示す。それぞれの条件で最大偏差は概ね 0.02mm 以内に入っており，またその差も数 μm 程度とカットパス補間方法による加工誤差の違いは見られなかった。

3.1.4 加工時間

表 3 に仕上加工時における加工時間を示す。NURBS 補間は直線補間に比べ 5% 以上速く，僅かではあるが円弧・直線補間よりも速い。したがって，表面粗さ，加工精度が従来の補間と同様で，かつ加工時間が短くなる NURBS 補間を使用することは加工時間のさらなる短縮に有効であると言える。しかしながら，NURBS 補間は直線補間時に作製される微小線分の処理時間が CNC 装置の演算能力を超えた場合に有効なのであって，比較的トレランスの大きい荒加工では必ずしも NURBS 補間の方が速くなる訳ではない。



写真 2 NURBS 補間カットパスで加工した金型

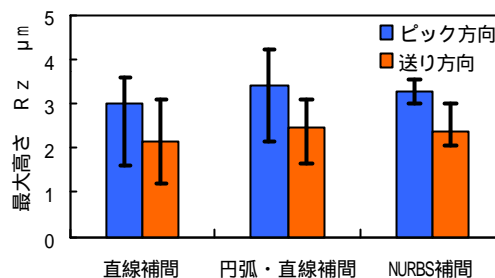


図 5 補間方法の違いによる表面粗さ

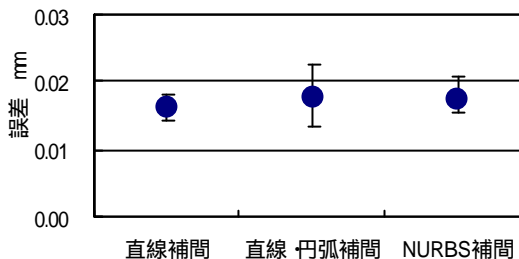


図 6 補間方法の違いによる加工誤差

表 3 補間方法の違いによる加工時間

	加工時間
直線補間	1 時間 10 分 57 秒
円弧・直線補間	1 時間 7 分 54 秒
NURBS 補間	1 時間 7 分 1 秒

また，CNC の演算処理時間は 1 ブロックの文字数や補間方法によっても異なるため，元データに対して NURBS 補間を行った場合，ブロック数が減っていない場合には，演算処理に時間がかかりかえって遅くなる場合があり，使用に際しては注意が必要である。

以上のことからカットパス補間方法の違いによる加工面状態，加工精度の顕著な差は散見されなかった。また，加工時間は NURBS 補間が直線補間に対して明らかに速くなっており，少なくとも仕上加工においては使用する意味はあると考えられる。

3.2 クーラントの違いによる検証

3.2.1 実金型材料の加工条件

実際に使用されている金型材料を加工した場合の表面粗さ，加工精度を検証するために YXR33（Hrc56）を用いて CAD モデル全体に対して加工を行った。切

削条件を表4に示す。補間方法は円弧・直線補間である。また、クーラントの違いによる加工面の状態を検証するために上型を MQL, 下型をドライ(エアのみ)で加工した。仕上加工は上型, 下型とも工具1本のみを使用した。加工した上型を写真3に示す。

3.2.2 表面粗さ

本研究で使用した鍛造型は比較的なだらかな形状であるため実切削速度が0に近くなる工具先端付近での加工が大部分を占める。また Hrc56 と比較的硬いため、工具摩耗が速く進行し、平坦部の表面粗さは切削距離 50m 付近で $6 \mu\text{m}$ 前後(最大高さ)と NAK55 に比べ大きくなっている。写真4(a),(b)および図7(a),(b)にそれぞれ切削距離 150m 付近の加工面状態とピックアップ方向の表面粗さ曲線を示す。切削距離 50m 付近であれば加工面形状の明確な差は見られないが、切削距離 150m 付近になるとエアのみの下型は加工面がむしれている状態になり、かつ表面粗さ曲線もピックアップの凹凸が潰れている。したがって、MQL を用いることにより、工具刃先付近の潤滑性が増し工具摩耗の進行が抑えられることによって加工面状態の向上に寄与できると考えられる。

3.2.3 加工精度

図8に上型の加工誤差を CAD モデル上にプロットしたものを示す。図中の赤い矢印は誤差が 0.01mm を超えた点であるが最大でも 0.015mm で中心付近の製品形状部では誤差も非常に小さく、また標準偏差も 0.003mm 程度である。しかしながら、最大偏差は 0.03mm と NAK55 を被削材とした場合よりはばらつきが大きい。これは被削材が比較的硬く切削距離も長いいため工具摩耗が進行したためであると考えられるが形状精度としては金型使用に問題ない品質で加工できている。なお、サーフェス間のつなぎ目は加工領域全体に渡り確認できなかった。

4 結 言

昨年度構築した未知形状の加工・評価システム¹⁾を一般の鍛造金型に適用範囲を拡大し、システムの検証を行った。また、切削加工の際のカッタパス補間方法およびクーラントの違いによる加工精度、表面粗さの比較を行った。その結果は以下である。

- (1) 昨年度構築したシステムは一般的な鍛造金型にも適用できる。また、測定では CAD モデルと3次元測定機用測定パス作製ソフトの連携により、測定誤差を極力排除し、かつ迅速、高精度な測定が可能となる。
- (2) NURBS 補間カッタパスデータは表面粗さ、加工

精度とも従来の円弧・直線あるいは直線補間と同様であり、かつ加工時間は短くなる。

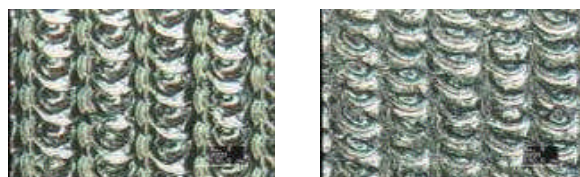
- (3) クーラントは MQL が加工面状態の向上に繋がる。

表4 加工条件

加工工程	工具径 (mm)	主軸回転数 (min^{-1})	送り速度 (mm/min)
荒加工(等高線)	6	10,500	2,100
中荒加工(走査線)	6	10,500	2,100
中仕上加工(走査線)	2.5	27,500	5,500
仕上加工(走査線)	2.5	30,500	3,660

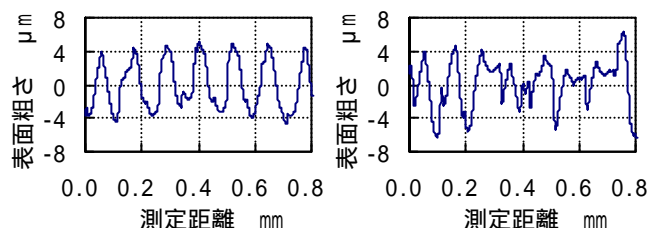


写真3 MQLで加工した上型



(a) 上型(MQL) (b) 下型(ドライ)

写真4 クーラントの違いによる加工表面状態



(a) 上型(MQL) (b) 下型(ドライ)

図7 クーラントの違いによる粗さ曲線

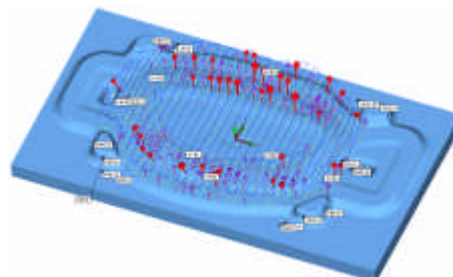


図8 上型(MQL使用)の誤差表示

文 献

- 1) 前田, 西川, 山下: 広島県西部工技研究報告, 45(2002), 76
- 2) 前田, 西川, 山下: 型技術, 17(2002)13, 84