

## 微細・未知形状の測定～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 micro shape without data

MAETA Keiji , NISHIKAWA Takatoshi , YAMASHITA Hiroyuki

In the study, manufacturing process (measuring, design and machining) for micro shape without data was examined in order to advance further automation and digitalization, technical skill about the forging die for needle that is made from the handwork. The main results are as follows ;

- (1) A CAD model with smooth and precision surface made by using 3D measuring points data of original forging die.
- (2) The forging die milled by micro ball end mill under 1.0mm diameter has fine surface roughness and shape which was almost corresponding to the forging die for the needle .
- (3) It became possible to inspect the original forging die by best fitting it to 3D measuring points data of the forging die by milling.

キーワード：金型加工，鍛造金型，極小径工具

### 1 緒 言

針金型に代表される微細金型の加工は、手作業で行なわれている場合が多く、非常に工数を有する。また、金型が損傷した場合、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。そして、この行程が熟練作業者により行われており、高齢化、後継者不足等の課題がある。これらの課題に対し、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鍛造転写により作製した総型電極を用いた放電加工によってその母型（中間型、凸型）を作製することを検討してきた<sup>1),2)</sup>。この方法は、既存の母型を使って簡単に電極が作製でき、放電加工ができる。しかしながら、加工自動化はできるものの業界ニーズの強い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とはなっていなかった。

そこで、本研究では技能・技術のデジタル化をさらに進めるため、手縫い針製造用金型を対象に

- 1) 微細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
- 2) 極小径工具を用いた高速切削加工による金型製作
- 3) 加工した金型の形状評価

を目指した。これにより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の確立を図った。

### 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 に示す針金型（呼び径 2.1mm の手縫い針 2 個取り用）を対象に 1 形状（長さ 25mm × 幅 3mm × 高さ 1mm）を、非接触 3 次元形状測定装置（三鷹光器(株)製 NH-3）で測定し、点群データを求めた。測定ピッチは X 軸 0.02mm，Y 軸 0.05mm である。測定して得られた点群データを図 1 に示す。

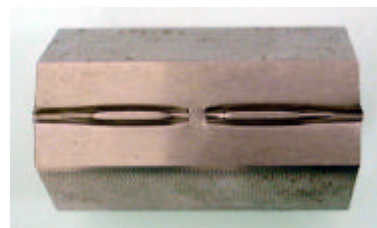


写真 1 測定した針金型（量産型）

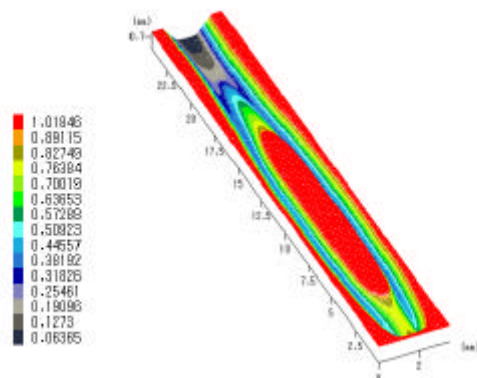


図 1 形状測定結果

## 2.2 CADモデル化

測定点群データより点群データ処理ソフト I-DEAS Freeform (米 Structural Dynamic Research 社製) を用いて, CAD モデルとなるサーフェス作製を試みる。針金型は完全な自由曲面によって形成されているため, 忠実にサーフェスを作製するのは非常に困難である。最も安易な方法はほぼ一面で作製する方法であるが, 針型には穴部があり, かつ急激な変曲点が存在するためかなりのうねりが生じる。そこで, 今回はまず点群データから形状部だけの抽出を行い, 点群デー

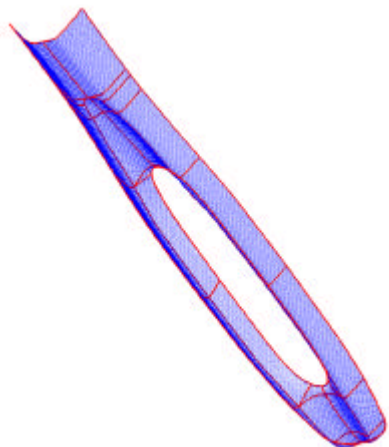


図2 カーブをフィットさせた点群データ



図3 作製したサーフェス

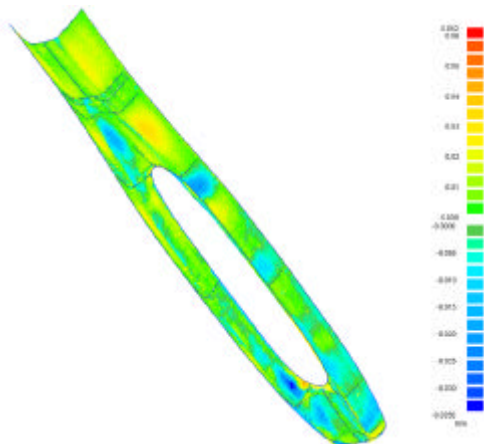


図4 点群データと作製したサーフェスとの誤差

タ上に存在する特徴的な稜線を抽出し, カーブをフィットさせた。カーブは穴周辺部など曲率が大きく変化する領域などで分割を行った。図2に点群データ上にフィットさせたカーブを示す。サーフェスは作製したカーブ4辺とその領域に含まれる点群により作製した。この方法を用いると測定時のノイズなどのエラーと思われる測定点の影響を比較的簡単に排除でき, うねりの比較的少ない滑らかなサーフェスが作製できる。この手順で作製したサーフェス形状を図3に示す。また, 測定点群データと作製したサーフェスとの誤差表示を図4に示す。誤差分布が正規分布とした場合, 99.7%の信頼区間内で約 $\pm 18 \mu\text{m}$ であった。最大誤差は約0.06mmであるが, 測定時のノイズとサーフェスの差であった。針金型としては形状の誤差は十分許容範囲内であり滑らかなサーフェスが作製できた。

## 3 切削加工による針金型の作製

### 3.1 加工対象の検討

測定した針型は写真1に示されているように量産型(凹型)であるが, 量産型は消耗も速く切削加工で作製するのは時間的・コスト的に有効な手段とは言えない。そこで, 本研究においても従来と同様に母型(中間型・凸型)を作製することにした。また, 被削材は実際の金型に使用されているSK5材とした。

### 3.2 加工工程設計および切削条件の選定

凸型を加工するために作製したサーフェス形状を反転し, CAMソフト Space-E Ver.3.0(日立造船情報システム(株)製)を用いてカッタパスを作製した。表1, 表2にそれぞれ切削条件および使用工具を示す。主軸

表1 切削条件

加工行程	切り込み (mm)	主軸回転数 ( $\text{min}^{-1}$ )	送り速度 (mm/min)
荒加工1(等高線)	0.04	47,500	1,700
荒加工2(等高線)	0	47,500	1,425
荒加工3(等高線)	0	47,500	1,425
中仕上加工1(走査線)	0.015	47,500	1,425
仕上加工1(走査線)	0.015	47,500	1,425
中仕上加工2(等高線)	0.015	47,500	1,425
仕上加工2(等高線)	0.015	47,500	1,425

表2 使用工具

加工行程	使用工具径(mm) 2枚刃超硬ボールエンドミル	刃長 (mm)
荒加工1	1 (CrSiNコーティング)	2.5
荒加工2	0.6(TiAlNコーティング)	0.6
荒加工3	0.6(TiAlNコーティング)	0.6
中仕上加工1	0.6(TiAlNコーティング)	0.6
仕上加工1	0.6(TiAlNコーティング)	0.6
中仕上加工2	0.3(TiAlNコーティング)	0.3
仕上加工2	0.3(TiAlNコーティング)	0.3

回転数は全ての工程で  $47,500\text{min}^{-1}$  とし、使用工具は  $1\text{mm}$ 、 $0.6\text{mm}$ 、 $0.3\text{mm}$  の3種類の2枚刃超硬コーティングボールエンドミルをそれぞれ1本ずつ使用した。

工具径が  $0.3\text{mm}$  といった刀具剛性の低い極小径工具の場合 わずかの法線力でも容易に折損し、また、たわみによる加工誤差も無視できないため切削抵抗をできるだけ低く抑え、かつ均一にする必要がある。そこで、荒加工1を行った後、削り残しの段差を除去するために荒加工1と同じ残り代で荒加工2および荒加工3を行うこととした。さらに、中仕上加工2において、仕上加工2と同じ  $0.3\text{mm}$  の工具で  $0.15\text{mm}$  残しの等高線仕上パスを走らせ、可能な限り均一な残り代を作製した。仕上加工2においてピック方向の要求カスは  $3\mu\text{m}$ 、その場合の最大切り込み深さは  $0.02\text{mm}$  に設定した。加工方向はダウンカットとしている。

### 3.3 切削加工

切削加工で使用した装置を表3に示す。一般に高回転になるほど刃先の振れは大きくなり、表面粗さ、形状精度、工具寿命に大きく影響する。また、シミュレーションによると振れが  $1.2\mu\text{m}$  までは表面粗さが急激に大きくなるという報告<sup>3)</sup>もある。そのため、刃先の振れは0が望ましいが刃先精度や主轴、ホルダの振れなど複雑な要因が絡んでおり、高速回転中の振れを0にすることは容易ではない。そこで、主轴に工具を取り付けた状態で2枚刃のR中心付近の静的な振れを極力抑えることとし、全ての工具の振れを  $1\mu\text{m}$  以下に調整した。また、一般に主轴は高回転で長時間動作させると発熱により徐々に伸び、停止させると急激に大きく変化する傾向にある。そこで、UH55に装備してある熱変位補正機能を使用して工具交換時や時間経過による加工誤差を極力抑えた。さらに、主轴回転数は  $47,500\text{min}^{-1}$  と高いものの切削境界部の周速は  $0.3\text{mm}$  の場合で  $22.3\text{m/min}$  と低いいため、工具先端部付近の加工の場合切りくず排出性が悪く、溶着が問題となる。そこで潤滑性を上げるため毎時2~10cc程度の極微量な切削油を圧縮空気と混合し、ミスト状にして供給するMQL (Minimal Quantity Lubrication) 加工を用い、切りくずの溶着を防止した。

表3 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
	主轴回転数	$\text{max}50,000\text{min}^{-1}$
	主轴テーパ	HSK-A40(特)
ホルダ	黒田精工(株)製コレットホルダ	

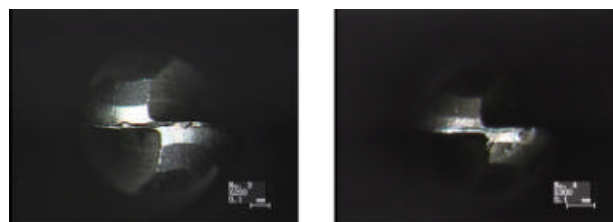
## 4 加工結果および評価

### 4.1 工具損傷評価

加工時間は1形状1時間25分であった。加工後の針金型を写真2に示す。また、2つの形状の加工終了時における  $1\text{mm}$ 、 $0.6\text{mm}$  および  $0.3\text{mm}$  の工具の刃先損傷状態をそれぞれ写真3(a),(b)および(c)に示す。3本の工具ともチッピングなどは発生しておらず、逃げ面摩耗幅VBも  $0.018\text{mm}$ ~ $0.03\text{mm}$  程度であった。したがって、工具損傷の点では設計した加工工程、切削条件および出力したカットパスは適切であった。

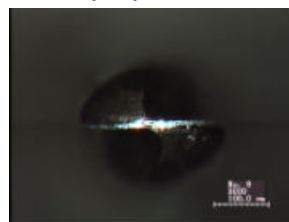


写真2 加工された針金型（母型）



(a)  $1\text{mm}$

(b)  $0.6\text{mm}$



(c)  $0.3\text{mm}$

写真3 工具損傷状態（2形状加工終了時）

### 4.2 加工表面評価

写真4に平坦部の加工表面状態を示す。仕上げ加工1の1刃当たりの送り量は  $0.015\text{mm}$  であるが、送り方向のカッターマークは  $0.03\text{mm}$  間隔の部分が多く見られる。これは静的な振れは  $1\mu\text{m}$  以内に調整してあるものの加工中に生じる刃先の振れによって1枚刃による切削に近い状態になっているものと思われる。また、図5に平坦部の表面粗さ曲線を示す。表面粗さ

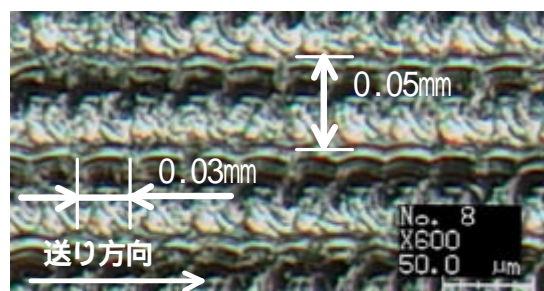


写真4 加工表面状態（平坦部）



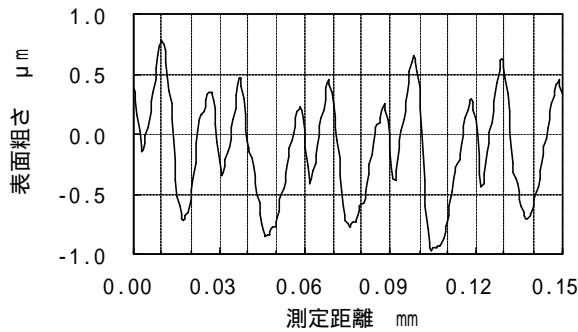


図5 表面粗さ曲線（穴平坦部，送り方向）

曲線では写真4と異なり，2刃のカッターマークが表れているが，その周期は0.03mmであり刃先の振れが確認できる。刃先の振れは切削境界部で最も大きく，刃先中心ほど小さいため測定位置の違いによって写真4でははっきりと確認できない2刃のカッターマークが表れてきていると思われる。しかしながら，針穴平坦部および針穴付近の側面形状部の送り方向表面粗さは算術平均粗さRa=0.3μm 最大高さRz=1.8μmで，ほぼ光沢面が得られており，振れの抑制が加工面粗度向上に繋がることが確認できた。

#### 4.3 加工形状評価

切削加工によって作製した針金型を2.1節と同一の条件で非接触三次元測定装置を用いて測定した。得られた点群データをI-DEAS Freeformに取り込み，形状部のみ抽出した。サーフェスデータとベストフィットした結果を図6に示す。形状全体にわたってよく一致している。誤差は約±6μmで，最大でも0.025mmと非常に高い精度での加工が実現できている。さらにもとにした量産型の測定データとの誤差表示を図7に示す。その誤差は約±18μmであり，もとにした量産型ともよく一致している。よって，本研究で加工された針金型は実際の母型として使用するにあたって大きな問題はなく，現在量産型へ展開中である。写真8に作製した針を示す。

### 5 結 言

技能・技術のデジタル化をさらに進めるため，未知の微細形状モデルをデジタル化によりCADデータ化し，加工，形状評価まで行える生産システムを構築した。その結果は以下である。

1. 金型のデジタル化によって得られた点群データをもとにカーブをフィットさせ複数面によってサーフェス形状を作製することにより滑らかで精度の高いCADモデルを作製することができた。
2. 作製したCADモデルをもとに工具直径1mm以下の極小径工具を使用したカットパスを出力し，高速マシニングセンタによって切削加工を行った。

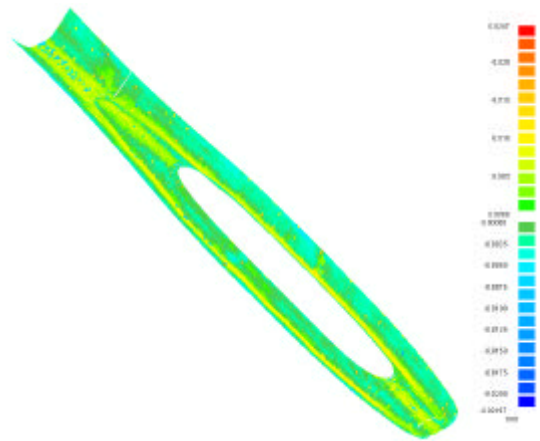


図6 加工後の点群データとサーフェスとの誤差



図7 もとにした点群データと加工後の点群データとの誤差



写真5 作製した針

得られた金型は加工面粗度が非常に良好でもとにした量産型とほぼ同一形状であった。

3. 作製した針金型をデジタル化し，ベストフィットすることによりもとにした形状との比較が可能となった。

今後は，要求加工面粗さの検討によって，加工時間の短縮を目指す。また，現在市販されている最小工具（0.1mmボールエンドミル）を用い，切削加工による限界の形状を検討する。

終わりに，本研究を進めるにあたり，ご協力頂いた萬国製針株式会社，ならびにCAMソフトを使用させていただいた(株)広島テクノプラザに感謝の意を表します。

### 文 献

- 1) 山下，門：広島県西部工技研究報告，42(1999)，40
- 2) 山下，門，高橋：広島県西部工技研究報告，43(2000)，93
- 3) 幸田他：型技術者会議 2001 講演論文集(2001)，72