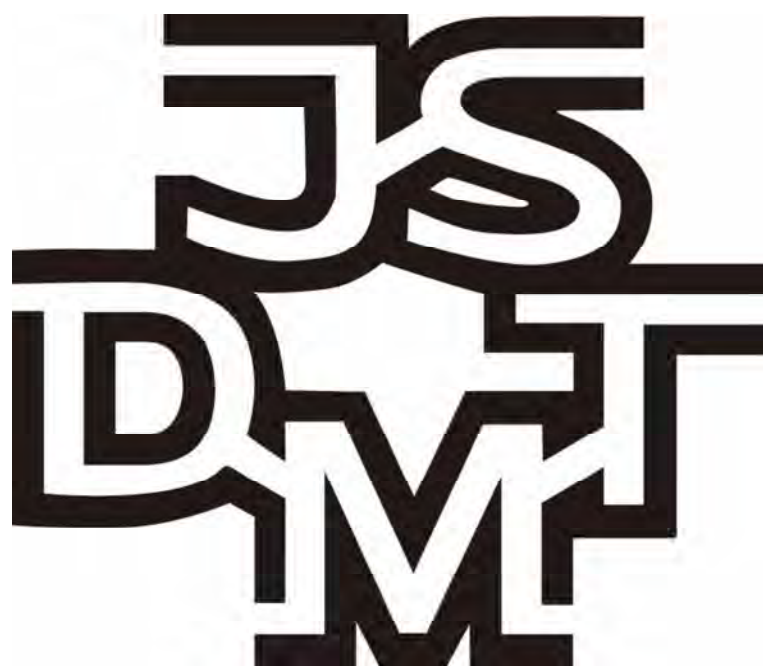


型技術者会議 2021

学生ポスターセッション講演論文集



主催：一般社団法人 型技術協会

型技術者会議 2021

学生ポスターセッション一覧

ポスターNo. 1 (分野: 射出成形)	
題目	3Dプリンタによる簡易金型の製作とその評価
大学・研究室名	芝浦工業大学 安齋研究室
氏名	佐藤茜音

ポスターNo. 2 (分野: 射出成形)	
題目	樹脂材料の二軸バルジ試験による材料モデリングと破断限界
大学・研究室名	東京農工大学 桑原研究室
氏名	大淵慎太郎

ポスターNo. 3 (分野: 工作機械)	
題目	多軸制御工作機械の軸動作の加減速を考慮した経路修正アルゴリズムの開発
大学・研究室名	埼玉大学 機械工作(金子)研究室
氏名	花田悠輝

講演論文
非公開

ポスターNo. 4 (分野: 工作機械)	
題目	実験計画法を用いたパラメータの調整による NC 工作機械の高速高精度化
大学・研究室名	東京農工大学 笹原研究室
氏名	岡田滉平

ポスターNo. 5 (分野: 放電・電解加工)	
題目	細穴放電加工におけるパイプ電極断面形状の違いによる深穴加工特性
大学・研究室名	工学院大学 生産工学(武沢)研究室
氏名	菊池 航

ポスターNo. 6 (分野: 放電・電解加工)	
題目	電解加工を用いた鏡面加工およびテクスチャリング加工
大学・研究室名	東京大学 国枝研究室
氏名	中野 斉

ポスターNo. 7 (分野: CAD/CAM/CAPP)	
題目	機械学習を援用した金型加工の工程設計支援システムの開発に関する研究
大学・研究室名	東京農工大学 中本研究室
氏名	小村尚史

ポスターNo. 8 (分野: 積層造形)	
題目	ワイヤ+アーク放電による AM と仕上げ同時加工を用いた内部組織制御技術の開発
大学・研究室名	埼玉大学 機械工作(阿部)研究室
氏名	仲田 悠

講演論文
非公開

No. 1

3D プリントによる簡易金型の製作とその評価

芝浦工業大学大学 デザイン工学科 形状創製工学(安齋)研究室 佐藤茜音

1. はじめに

現在、射出成形に使用する金型は主に金属を切削加工して製造しているが、これを3Dプリンタによる作製に代替することが実用化されつつある。樹脂型用ではアルミやスチールほどの耐久性はないが多品種少量生産への対応については実用化レベルにある。3Dプリンタで型を作製することでプラスチック製品を得るまでのプロセス全体の迅速化が期待できる。

2. 研究目的

各種3Dプリンタ装置を用いて射出成形用入れ子を作製し、それを用いて射出成形実験を行い、成形品の寸法精度、転写性を明らかにする。また成形不良や入れ子の耐久性の調査を行い改善の検討を行う。

3. 実験方法

3.1 実験に供した金型入れ子

成形に供した入れ子は以下の通りである。

入れ子①：マシニングセンタによる切削加工, NAK55, 49HRC (実型を想定)。

入れ子②：粉末焼結積層造形, ナイロン6+ガラスビーズ (PA6GB), 厚み24mm。

入れ子③：粉末焼結積層造形, ナイロン6+ガラスビーズ (PA6GB), 厚み12mm+銅板接着。

入れ子A: 熱溶解積層法, Nylon12Carbon Fiber, ピッチ0.254mm

入れ子 I : 液層光重合法, エポキシ樹脂SCR739, 積層ピッチ 0.1mm, 銅板接着。

図1に金型用入れ子のCADデータおよび実際に作製した入れ子外観を示す。銅板を接着しているのは冷却のためである。

射出成形機：日精樹脂工業(株) NPX7-1F (型締め力：7ton)。

表1に成形に供した各種プラスチックの成形条件をそれぞれ示す。サーモカップル(HOZAN DT-510), 粗さ測定機(株)ミットヨ SJ-500), 電子ノギス。

3.2 射出成形用供試材

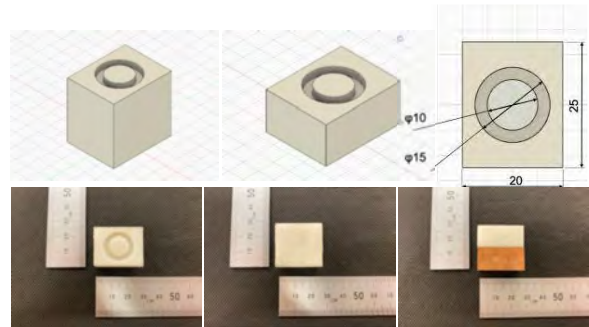
射出成形用樹脂にはポリエチレン (PE), ポリプロピレン (PP), アクリル樹脂 (PMMA) の3種類を供した。成形品の寸法, 表面粗さと成形後の入れ子の表面温度を測定する。寸法は内径, 外径をそれぞれ2箇所ずつ測定しその平均値とする。また表面粗さは3箇所を測定しその平均値とする。本実験では寸法誤差は5%以下を, 表面粗さ誤差は1 μ m以下を基準に設定する。

4. 実験結果

PA6GB を型に使用した場合, 図2に示すように離型できなかったが, 切削加工により平滑化することで使用可能となった。

以下に入れ子②, ③, A, I の4種類の入れ子について結果のみをまとめた。

3Dプリンタで作製したナイロン6+ガラスビーズ (PA6GB) 製入れ子は破損することなくそれぞれ200ショットの射出成形が



可図1 金型入れ子のCADデータと金型外観 (PA6GB12mm+銅板12mmの場合)

表1 各種プラスチックの射出成形条件

	PE	PP	PMMA
射出時間 (s)	6	6	6
冷却時間 (s)	6,10	6,10	6,10
充填速度 (mm/s)	100	100	100
S M 値 (mm)	20	20	20
保圧 (MPa)	30	40	45
V-P 切換位置 (mm)	8	8	8
リミット圧 (MPa)	30	40	55



図2 PA6GB 製入れ子でPEを成形した際の問題点 (1回目の成形で入れ子と成形品が離型できない)

可能であった。また精度も十分であると考えられ, 本実験の金型寸法においては簡易金型の入れ子として使用可能である。また入れ子③では600ショット射出成形を行ったが, 入れ子の破損はなく溶解も小さいため本型として使用できる。

3Dプリンタで作製した入れ子でも, 背面に熱伝導製の良い金属を設置することや表面を切削加工するなどの後処理加工をすることで精度の高い射出成形を行うことができる。PA6GB 製入れ子が成形品と離型しにくかったので入れ子にテーパ付与するなどして剥離し易くする工夫が必要である。また, 入れ子の熱伝導率が成形に大きく影響するため, 更に熱伝導率に優れた樹脂材料や背面に設置する金属材料の検討が必要である。

ナイロン12CFに関しては, エジェクタピンの追加や積層段差の切削加工対策により, 反り, 抜け, 寸法精度には問題ないことが分かった。従って, 射出圧が30MPa以下で, 3 μ mの粗さを許容できる成形品に関しては, 問題なく使用できる。表面粗さに関しては, 既に問題視されていた積層の段差ではなく, 積層の隙間の問題がある。積層の隙間を埋めるなどの対策を行う必要がある。

No. 2

樹脂材料の二軸バルジ試験による材料モデリングと破断限界

東京農工大学・桑原研究室 大淵慎太郎

1. 諸言

近年水道管の老朽化や地震による被害が深刻化している¹⁾。そのため、従来材よりも耐衝撃性に優れた樹脂材料への移行が進んでいるが、その機械的評価は単軸引張試験による簡易なものに限られる²⁾。実際的水道管には、水圧や外力により多軸応力が加わるため、多軸応力状態での材料特性の解明が必要である。本研究では、樹脂円管用の二軸バルジ試験機³⁾を用いて、線形応力経路における HI-PVC の変形挙動を測定した。その結果、材料モデルを同定し、かつ破断限界を実測すること成功したので、その結果を報告する。

2. 二軸バルジ試験法

二軸バルジ試験とは円管試験片に軸力と内圧を負荷することで、試験片中央部に任意の二軸応力を負荷する試験法である。軸力と内圧の測定は、それぞれロードセルと水圧計を使用した。管軸および円周方向ひずみ ε_ϕ 、 ε_θ は、エリアカメラとレーザ変位計により測定した。以下、管軸方向を ϕ 、円周方向を θ とする。応力経路は $\sigma_\phi:\sigma_\theta=1:0, 4:1, 2:1, 4:3, 1:1, 3:4, 1:2, 1:4, 0:1$ の線形応力経路 9 経路とした。供試材は、株式会社クボタケミックス製水道用 HI-PVC とした。

3. 実験結果と考察

測定された応力経路を図 1 に示す。全 9 経路において、指令値に実験値が良好に追従したことを確認した。 $\sigma_\phi:\sigma_\theta=4:1, 2:1, 4:3, 1:1, 3:4, 1:2$ においては成形限界応力(☆印)の測定に成功した。二軸引張応力を受ける供試材の加工硬化特性を定量的に評価するために等塑性仕事面を作成した。まず、管軸方向単軸引張試験の真応力-対数塑性ひずみ線図において、基準塑性ひずみ ε_0^p に達するまでになされた単位体積当たりの塑性仕事 W_0 を算出する。次に他の線形応力経路において、 W_0 と等量の塑性仕事を与えられた時点での真応力($\sigma_\phi, \sigma_\theta$)を主応力平面上にプロットし、等塑性仕事面を決定した。本研究では、すべての応力比で $\varepsilon_0^p=0.40$ までの等塑性仕事面の測定に成功した。作成した等塑性仕事面を図 2 に示す。等塑性仕事面は $\sigma_\phi:\sigma_\theta=1:1$ 方向から $\sigma_\phi:\sigma_\theta=0:1$ 方向にかけて張り出し、異方性を確認した。また、 $\sigma_\phi:\sigma_\theta=1:4, 1:2$ において、 ε_0^p の増加に伴い他の経路より張り出す形状となり、異方硬化挙動を確認した。

$\varepsilon_0^p=0.40$ における等塑性仕事面および von Mises 降伏関数、Hill の 2 次降伏関数、Yld2000-2d 降伏関数の同定結果を図 3 に示す。von Mises 降伏関数、Hill の 2 次降伏関数は $\sigma_\phi:\sigma_\theta=4:1, 2:1, 4:3, 1:1, 3:4$ における応力を過大に評価した。一方、Yld2000-2d 降伏関数は、 $\sigma_\phi:\sigma_\theta=3:4, 1:2$ 近傍で実験値と乖離しているが、等塑性仕事面の全般的な傾向は概ね再現できている。

4. 結言

- (1) $\sigma_\phi:\sigma_\theta=4:1, 2:1, 4:3, 1:1, 3:4, 1:2$ において成形限界ひずみおよび成形限界応力の測定に成功した。
- (2) 全 9 経路の真応力-対数塑性ひずみ線図および $\varepsilon_0^p=0.40$ まで

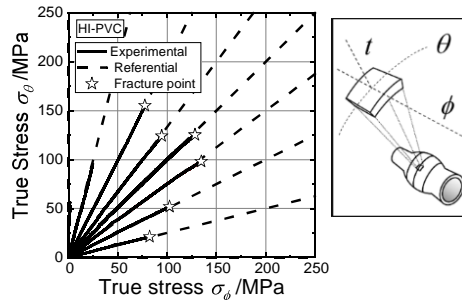


図 1 応力経路と成形限界応力

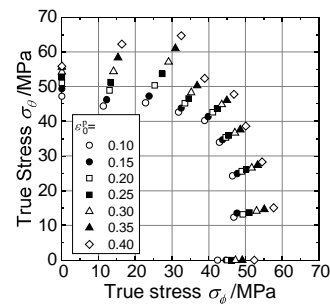


図 2 等塑性仕事面

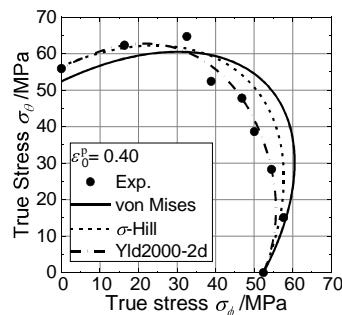


図 3 材料モデルの同定

の等塑性仕事面を作成した。

- (3) $\varepsilon_0^p=0.40$ における等塑性仕事面に対して von Mises 降伏関数、Hill の 2 次降伏関数、Yld2000-2d 降伏関数を同定した。Yld2000-2d 降伏関数が等塑性仕事面の再現に最も優れたが、 $\sigma_\phi:\sigma_\theta=3:4, 1:2$ 近傍で実験値と乖離した。

本研究は、耐震性水道管に対する高度な安全性評価指標の確立に重要な役割を果たす。

参考文献

- 1) 野仲伊熊：化学工学, 20-9 (1956), 507-512
- 2) 厚生労働省, 水道局調査, (2017)
- 3) 久保潔太, 桑原利彦, 住山琢哉, 小林卓哉, 古市 謙次, 野々村千里, 塑性と加工 (掲載決定)

No. 4

実験計画法を用いたパラメータの調整による NC 工作機械の高速高精度化

東京農工大学 笹原研究室 岡田 滉平

1. 緒言

NC(数値制御)工作機械は、工作物を所望の精度内でできるだけ速く加工する高速高精度性が要求される。高速高精度性はNC工作機械に設定されている速度制御パラメータおよびサーボパラメータに大きく依存する。これらのパラメータは多数存在し、トレードオフの関係にある速度と精度を所望の水準になるよう調整することは難しい。現在パラメータの調整はメーカーの熟練技術者によって行われている。しかし、人の手による調整には限界があり、最適に調整することは難しい。

本研究では、実速度と最大誤差の観点から高速高精度性を評価し、実験計画法を用いて統計的に多数のパラメータを調整する方法を提案する。

2. 研究手法

実験計画法の直交表に従ってパラメータを変更し、工作機械に2次元経路を指令する。交差格子エンコーダを用いて実速度と最大誤差を測定し、高速高精度性を評価する。

表1に今回調整対象としたパラメータとその現行値及び変更した水準値を示す。速度制御パラメータの水準は、大規模に研究を基に設定した。サーボパラメータの水準は、原則現行値±5%で設定した。直交表はL27直交表を用いた。

テストケースの指令経路は半径25mmの円に内接する正多角形とした。具体的には256角形、128角形、64角形、32角形、16角形、8角形、4角形、8角星形の8つである。線分長が小さく、方向変化角の小さい256角形や128角形は金型加工に、線分長が大きく、方向変化角の大きい4角形や8角星形は部品加工に対応する。指令速度はF10000とした。

現行のパラメータとL27直交表により得られた28通りのテスト条件それぞれにおいて、8個のテストケースのように工作機械を運動させ、実速度と最大誤差を測定した。

実速度 V_m は指令経路の長さ L_c と測定時間 T_m から $V_m = L_c / T_m$ として計算し、平均速度として評価した。最大誤差 E_{max} は、内側コーナー誤差を正確に検出できる内向法²⁾で評価した。高速高精度性は実速度に比例し最大誤差に反比例することから、高速高精度性評価関数 F を次に示すものとした。

$$F = \frac{V_m^n}{E_{max}} \quad (1)$$

表1 調整パラメータとその水準

種類	パラメータ名	現行値	水準1	水準2	水準3
速度制御	補間前加速減速の許容最大加速度 [mm/sec ²]	2083	1666.4	2083	2499.6
速度制御	AI輪郭制御の減速機能における許容加速度 [mm/sec ²]	0	0	1000	2000
速度制御	補間後加速減速の待定数 [msec]	24	16	24	32
速度制御	補間前ベル形加速減速の加速度変化時間 [msec]	48	40	48	56
速度制御	コーナーにおける許容速度差 [mm/min]	300	240	300	360
サーボ	位置ループゲイン [0.01sec ⁻¹]	9000	8550	9000	9450
サーボ	位置フィードフォワード係数 [0.01%]	9900	9405	9900	10000
サーボ	負荷イナーシャ比	384	365	384	403
サーボ	速度ループゲイン倍率 [%]	320	304	320	336
サーボ	速度フィードフォワード係数 [%]	100.150	95.142	100.150	105.158
サーボ	電流ループゲイン倍率 [%]	150	135	143	150
サーボ	加速度フィードバックゲイン	0	0	-5	-10

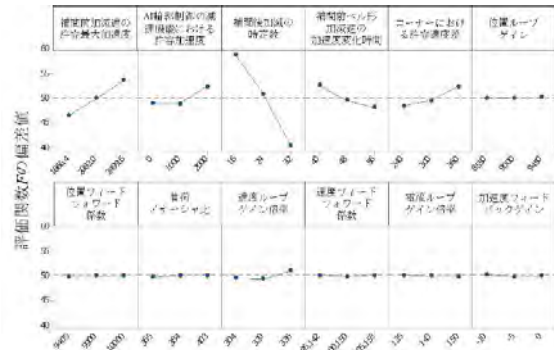


図1 高速高精度性に対する主効果図

表2 現行値と最適水準の高速高精度性応答

テストケース	現行値	最適水準	テストケース	現行値	最適水準
256角形	51.634	75.415	8角形	47.619	78.059
128角形	48.145	70.911	4角形	48.996	63.072
64角形	52.801	66.550	8角星形	46.431	87.686
32角形	48.668	75.513	平均応答	48.979	74.155
16角形	47.538	76.034			

n は正の実数であり、今回の実験では各テストケースにおいて、実速度と最大誤差の幅(最大値/最小値)が揃う n を設定した。各テストケースを同等に扱うため、各テストケースでデータを偏差値化した。

3. 研究結果と考察

8個のテストケースの応答値の平均を最大化する分析を行った。図1に高速高精度性に対するパラメータの主効果図を示す。各因子において、応答値の高い水準が本実験条件における最適水準である。

現行値と最適水準で同様の実験を行い、高速高精度性を確認した。表2に現行値と最適水準の応答値を示す。すべてのテストケースで最適水準は現行値よりも優れた応答を示した。

4. 結言

本研究では、実験計画法に基づいてパラメータを調整し、テストケースに適用した。これにより高速高精度性評価関数 F を最大化することに成功した。

NC工作機械はものづくりの根幹を担っている。パラメータ調整により高速高精度性を高めることは、今後ますます重要になることが予想される。高速高精度性以外の要素も含めて、最適にパラメータ調整することについて検討していく予定である。

参考文献

- 1) 大槻俊明, 笹原弘之, 実験計画法と速度・誤差2次元表示によるCNCパラメータ調整方法, 2019年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集(2019) pp601-602
- 2) T. Otsuki, H. Sasahara, R. Sato, A method for the evaluation and magnified representation of two-dimensional contouring error, Precision Engineering, 50 (2017) pp. 433-439

No. 5

細穴放電加工におけるパイプ電極断面形状の違いによる深穴加工特性

工学院大学・生産工学研究室 菊池 航

1. はじめに

高硬度材料でも穴加工が可能な細穴放電加工において、加工深さが深くなると異常放電が頻出して加工速度が低下や停滞が生じることは経験的に知られてきた。所属研究室ではこれまで、細穴用パイプ電極の外周部にストレート溝を追加することで、深穴加工時においても加工速度の停滞が発生しないことを確かめてきた¹⁾。さらに、パイプ電極成形メーカーに特注して断面形状の異なる3種のパイプ電極を入手し、深穴加工特性を調べてきた²⁾。その際、電極内径の大きさが異なるため、加工液噴出のポンプ圧を同一にすると加工液流量が変化することを懸念し、通常パイプ電極（ポンプ圧 5.0 MPa 推奨値）の流量に近づけるため、特注電極使用時にはポンプ圧を 0.5 MPa と設定した。本報告では、4種の電極において加工液噴出のポンプ圧を同一とした場合の深穴加工特性を調べたので報告する。

2. φ1 mm異形状パイプ電極と各種加工条件

加工機はアステック製 A22M 細穴放電加工機を用いた。黄銅製通常パイプ電極は、直径 1 mm、長さ 400 mm であり、その断面形状は図 1 (a) である。同様に3種の異形状パイプ電極断面を図 1 (b) - (d) に示す。円形外周部の狙い値直径はいずれも 1 mm である。ただし、前述の通り内径の大きさが異なる。表 1 に各種寸法を示す。深穴放電加工は、高さ 125 mm の SUS304 に対して加工穴が貫通するまで行った。放電条件を表 2 に示す。

3. 通常および異形状パイプ電極の深穴放電加工特性

過去に行ったポンプ圧の異なる条件における主軸降下量と加工時間の関係では、通常パイプ電極において主軸降下量 200 mm を過ぎたあたりから電極の引き上げ動作が頻出して加工の停滞が生じ、加工時間 70 分を要した²⁾。一方、3種の異形状パイプ電極では、加工速度の停滞は発生せずに 30 分（Triple cut 電極）から 50 分（Single cut 電極）の間で貫通加工が終了していた²⁾。

それに対して今回、ポンプ圧を 1.0 MPa および 2.0 MPa と同一にして同様の貫通加工を行った際的主軸降下量の変化を図 2、図 3 に示す。ポンプ圧 1.0 MPa では 5.0 MPa において加工速度が停滞した通常パイプ電極において加工速度の停滞は発生せず、Single cut 電極よりも早く加工が終了した。ポンプ圧を 2.0 MPa にすると、加工の終盤で加工速度の停滞が発生したが、数回の加工実験のなかには加工速度の停滞が発生しない場合もあった。どちらのポンプ圧においても、Single cut 電極が最も加工時間が長かった。電極内径の大きさの違いから、Single cut 電極では加工液流量が一番多いことを別途実測にて確かめている。加工液流量が多いにもかかわらず加工速度は最も遅いことより、Single cut 電極では断面形状の水平バランスが均一で無いため、加工中に電極が振動するなどの現象が発生し、加工速度に影響していることが考えられる。また、通常パイプ電極においては加工液の噴出圧力が高いと加工速度の低下や停滞が生じやすい傾向が確認された。深穴加工時の底部において、加工粉の挙動が噴射圧力により変化することが考えられる。

4. まとめ

断面形状の異なる4種の直径 1 mm のパイプ電極による深穴放電加工において、同一加工液噴出ポンプ圧による加工を行い主軸降下量の時間変化を比較した。その結果、Single cut 電極において加工液流量が多いにもかかわらず加工速度が最も遅い結果となり、電極の振動等が影響していることが考えられた。

参考文献

- 1) H. Takezawa et al., Effects of Thin Pipe Electrodes with Grooves in Small Deep Hole EDM, Int. J. Electrical Machining, pp.46-53, No.26 (2021).
- 2) 武沢英樹 他, 各種断面形状に成形された細穴放電加工用パイプ電極の効果, 2021 年度精密工学会春季大会論文集, pp.331-332 (2021).

表 1 各電極直径と内孔面積

	Diameter mm	Inner pipe area mm ²
Normal pipe	1.001	0.141
Single cut	1.006	0.357
Double cut	1.009	0.244
Triple cut	1.016	0.221

表 2 各種放電条件

Fluid pump pressure	1.0 & 2.0 MPa
Discharge Current	4.0 A
Pulse duration	20 μs
Off time	20 μs
Electrode rotation	200 rpm
Capacitor	ON

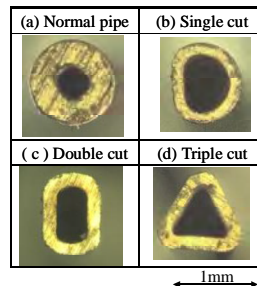


図 1 電極断面形状

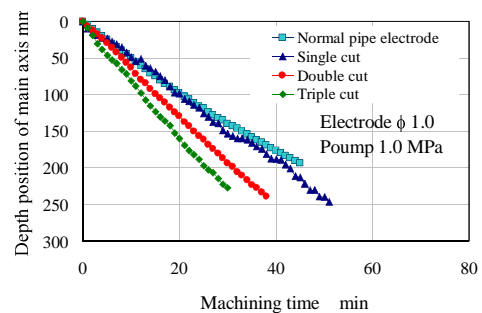


図 2 ポンプ圧 1.0 MPa での主軸降下量と加工時間の関係

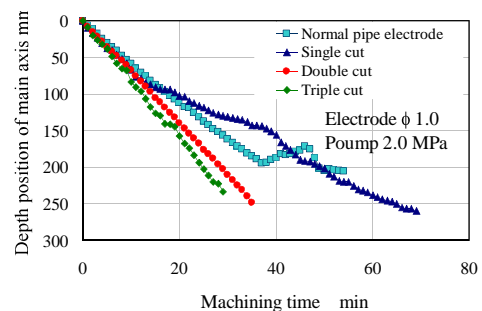


図 3 ポンプ圧 2.0 MPa での主軸降下量と加工時間の関係

No. 6

電解加工を用いた鏡面加工およびテクスチャリング加工

東京大学・国枝研究室 中野 齊

1. ワイヤ電解仕上げ加工（三菱電機株式会社との共同研究）

1.1 研究の目的

ワイヤ放電加工では、熱影響層にクラックや引張残留応力が生じるため、仕上げ加工が必要とされている。本研究ではワイヤ放電加工機で放電加工を行った後、外部回路を接続したうえで、外部から電解液を供給することで、同じセットアップでワイヤ電解仕上げ加工を実施する。

1.2 実験手法

板厚 15mm のステンレス鋼 SUS304 に対し $\phi 0.2\text{mm}$ の黄銅ワイヤを用いワイヤ放電加工を 4th カットまで行い、前加工面を創成した。その後、同じセットアップでワイヤ電解仕上げ加工を実施した。電解加工は放電加工機に自作の外部回路を接続して加工を行っている。定電圧条件の下で、Kawanaka ら[1]の提案する、両極性パルス (+3.0A/-0.6A、周期 250 μs 、デューティ比 40%) を印加した。加工の走査速度は 0.5mm/s である。電解液 (NaNO₃ 0.2wt% 水溶液) をノズルから供給している。仕上げ加工面の表面粗さは、接触式の表面粗さ測定機を用いて板厚方向へスタイラスを送り算術平均粗さ Ra を測定した。加工深さについては、加工送り方向に輪郭測定を行った際の、前加工面を基準とした加工面の高さで定義する。

1.3 加工結果

加工深さと表面粗さの関係を図 1 に示す。放電加工 (4th カット) による面粗さは Ra0.45 μm となっている。電解加工が進むにつれて、最初表面粗さが改善したのち、その後表面粗さが悪化することが確認できる。これは Ogawa ら[2]により確認されていた現象で、加工進展により極間距離が広がり、電解電流が低下すること、金属組織の不均一性が原因で面粗さが悪化すると考えられる。このワイヤ電解仕上げ加工における表面粗さの最小値は、8 回走査 (加工深さ 13 μm) における Ra0.06 μm となっている。

また、図 1 に挿入した写真のように、曲率半径 1mm~10mm の四面・凸面へも仕上げ加工を行い、平面と同等の仕上げ面粗さが得られた。

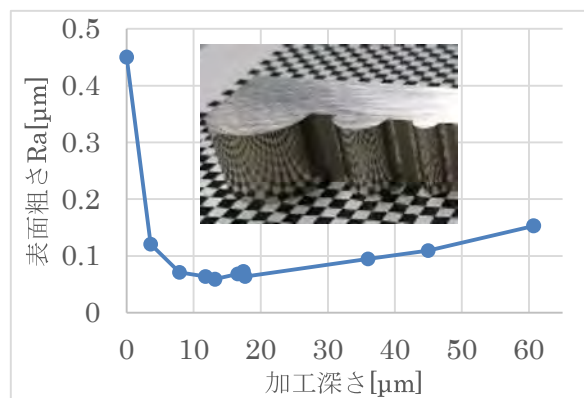


図1 加工深さと表面粗さの関係および曲面加工の写真

2. 電解液ジェット加工を用いた抗菌表面加工（イタリア・パルマ大学 Prof. Luca Romoli との共同研究）

2.1 研究の目的

電解液ジェット加工は、ノズルから噴流した電解液のジェットを通して電流を流しジェット直下のみを選択的に電解加工する方法である。電流密度やジェットの位置・速度を制御することで金属表面に微細加工や表面テクスチャリングを施し、撥水性や抗菌性といった有用な機能を付与することができる。

2.2 実験手法と考察

Jing ら[3]は電流密度や走査速度を変えながら、図 2 に示す構造のスリットノズルから噴出するフラットジェットを用い、ステンレス鋼 SUS316L にテクスチャリングを施した。それにより加工面には図 3 に示すようなポーラス状微細構造が生じ、撥水性の表面が得られた。電流密度と走査速度が大きくなるほど表面粗さは減少し、撥水性は向上した。

また表面性状の異なる 3 つの加工面に 4 種類の細菌の付着試験を ISO22196 と ISO27447 に則って行ったところ、図 4 に示すように、テクスチャリングを施していない、ピーク密度の小さい標準試験片 ($S_{pd} 8.7 \times 10^{-4} \mu\text{m}^{-1}$) に比べて残留細菌数は大幅に減少した。電流密度 18A/cm²、走査速度 8m/s の条件で加工した、ピーク密度の最も大きい面 ($S_{pd} 1.26 \mu\text{m}^{-1}$) が、最も高い抗菌性を示した。これは微細構造のピークのピッチが細菌細胞よりも小さいために、細菌が付着しにくくなるからだと考えられる。



図2 スリットノズルとフラットジェットの概念図

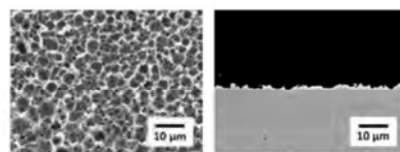
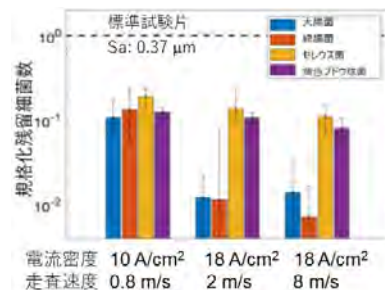
図3 加工面と断面形状 (電流密度 18A/cm², 走査速度 2 m/s)

図4 標準試験片に対する規格化残留細菌数

[1] Takuma Kawanaka, Masanori Kunieda, Mirror-like finishing by electrolyte jet machining, CIRP Annals, 64, 1, (2015) 237-240

[2] Masahiro Ogawa, Shuntaro Wako, Masanori Kunieda, Takayuki Nakagawa, Research on ECM Finishing Process using Wire Electrode, Proc. of ISEM 2020

[3] Heyi Jing, Masanori Kunieda, Surface Texturing and Microfabrication Using Electrolyte Jet Machining, Precision Engineering 70(2021) 145-154

No. 7

機械学習を援用した金型加工の工程設計支援システムの開発に関する研究

東京農工大学大学院・中本研究室 小村 尚史

1. はじめに

複雑な意匠面を有する金型の切削加工には、高度な加工技術が要求される。一方で、加工工程を計画する工程設計は、未だに熟練作業者に依存しており、加工準備時間を削減する妨げとなっている。このため、熟練者の卓越した加工ノウハウの伝承しつつ、工程設計の標準化に向けた工程設計支援システムの開発が望まれている。先行研究では、仕上げ加工を対象として、機械学習により金型意匠面の工具経路パターンを推定する工程設計支援システムが開発されている。そこで本研究では、使用工具や加工方法を順次変えながら素材を目標形状に近づける荒加工を対象に、機械学習を用いて除去領域を分類する工程設計支援システムの開発を目的とする。

2. 機械学習を援用した工程設計支援システム

本研究では、畳込みニューラルネットワークを基礎とした3D u-net²⁾を用いている。ここでは、図1のように目標形状のボクセルモデルを3D u-netに入力して除去領域に含まれるボクセルを分類し、推定結果の不確実性を合わせて表示する。なお、ワーク形状は1辺128ボクセルの立方体と想定している。除去領域は図2のように使用する工具径などの工具や、切削加工と放電加工などの加工方法の違いに応じて赤、青、緑の3種類の色にボクセルを塗り分けて表示する。また、推定結果の不確実性を青から赤のグラデーションで表現し、不確実性が高いほど赤に近い色で表示する。機械学習のライブラリには Google の TensorFlow2 および Keras を使用している。

3. ケーススタディ

機械学習を援用して除去領域を分類する加工ノウハウを再現し、除去領域を分類した推定結果を評価するケーススタディを

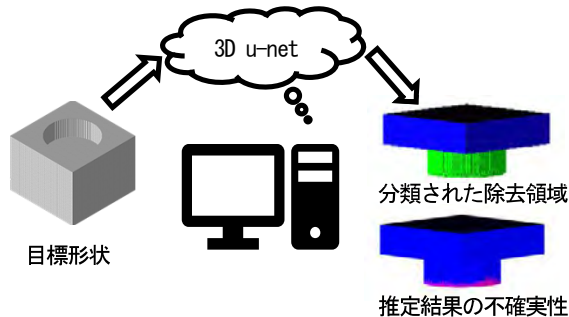


図1 開発した工程設計支援システムの概要

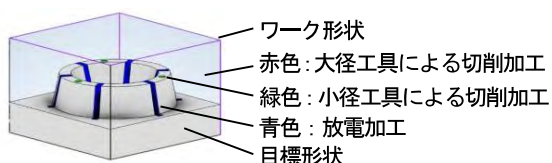


図2 工具や加工方法の違いによる除去領域分類の例

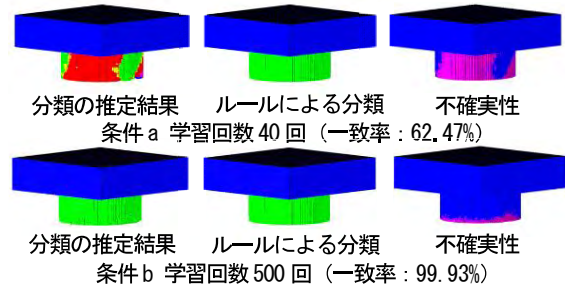


図3 除去領域分類の推定結果および不確実性

実施した。このケーススタディでは、加工ノウハウを模した人為的なルールに従って、学習およびテスト用のモデル群を生成した。また、条件aでは学習回数を40回、条件bでは学習回数を500回とした。なお、テスト用モデルはモデル群の中から選択したが学習時には使用していない。

機械学習で推定されたボクセルの色を人為的なルールに基づく着色と比較し、着色が同じボクセルの割合である一致率で評価する。また、推定結果の不確実性と一致率の関係を検証する。

ケーススタディの結果、テスト用モデルの一致率の平均は条件aで62.47%、条件bで99.93%となった。図3に各条件での除去領域の推定結果をそれぞれ示す。条件aは一致率が低く、さらに人為的なルールと異なる色が表示されている領域で不確実性が高いことから、学習が不十分であることが分かる。一方、条件bは一致率が高く、不確実性も格段に低下していることから、人為的な加工ノウハウが再現できたと言える。

以上より、開発した工程設計支援システムにおいて構築したネットワーク構造により、熟練者の加工ノウハウが再現でき、さらに推定結果の不確実性を評価できることを確認した。

4. まとめ

荒加工の工程設計に関わる熟練者の加工ノウハウの再現を目指して、新たな機械学習のネットワーク構造を構築して工程設計支援システムを開発した。使用工具や加工方法に応じて除去領域を分類する加工ノウハウに注目し、それを模した人為的なルールに従ってボクセルモデルを生成して、学習後の推定結果を評価した。ケーススタディの結果、学習用モデルに内在する人為的なルールと同様に目標形状から除去領域を分類できると、およびその不確実性を明らかにできることを確認した。

参考文献

- 1) M. Hashimoto, and K. Nakamoto, Process Planning for Die and Mold Machining Based on Pattern Recognition and Deep Learning, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, 15, 2 (2021) 1-13.
- 2) O. Cicek, A. Abdulkadir, S. S. Lienkamp, T. Brox, and O. Ronneberger, 3d U-Net: Learning Dense Volumetric Segmentation from Sparse Annotation, arXiv:1606.06650, (2016).

2021年6月10日

編集者 一般社団法人 型技術協会
発行者 一般社団法人 型技術協会
〒231-0011 神奈川県横浜市中区太田町 6-79
アブソルート横濱馬車道ビル 201 号室
電話 045-224-6081

(無断複写・転載を禁ず)