

型彫り放電加工実験を通じた金型人材育成事例

メカニクス系工学専攻 准教授 西藪 和明
研究支援者 蒲生 眞敏
研究支援者 平尾 幸雄

1. はじめに

近畿大学の「金型プロジェクト」で行われている研究開発の成果はプロジェクト終了後に、大阪東部地域の金属プレス・射出成形・鋳造の金型製造業や川下企業に還元し、地域に貢献することを目指しているが、加えて本学学生の人材教育に反映させる必要がある。本プロジェクトの終了後に金型の設計および製造に関する教育的な取り組みを行うことを予定していたが、導入した設備をより早く多くの学生に有効に活用するため本プロジェクトの2年目から教育に取り入れることにした。しかしながら、金型の設計や製造の実務を学部学生の講義や実習に取り入れることは技術的にも時間的にも困難であるため、金型の製造法の基礎を学生に理解してもらうことを目的にした。

現カリキュラムの中で実施できるように、機械工学科2年次の機械工学実験（週1回2コマ、約12名／班）の授業で、「型彫り放電加工実験」を新規テーマとして取り上げ、2年間実施してきた。本稿では、本実験テーマの内容についてまとめ、型彫り放電加工実験を通じた金型人材育成の事例を紹介する。

2. 型彫り放電加工実験の目的・内容

金型や工具などの高硬度・耐熱性の高い難削材の加工には、型彫り放電加工が多用されている。本実験では、型彫り放電加工により、2013年度は「学生個々の印鑑」、2014年度は「近大学園章のスタンプ」の作製を行い、金型の製造法において重要な加工法である型彫り放電加工の基礎的な加工原理や特徴等について理解することを目的とした。また、異なる条件で型彫り放電加工を行った際の加工面の表面粗さに及ぼす影響について調査させた。

本実験は、短時間（約3時間）で、「学生個々の印鑑」または加工条件の異なる「近大学章のスタンプ」を作製できるよう、下記の順に実施した。

- (1) CADソフトによる「印鑑の文字データ」「スタンプ」の形状データの作成（説明）
- (2) CAMソフトによる型彫り放電加工用電極の切削加工データの作成（説明）
- (3) 5軸マシニングセンタによる型彫り放電加工用電極の切削加工（説明）
- (4) 型彫り放電加工による「印鑑」「スタンプ」の作製（異なる加工条件での加工実験）
- (5) 作製した「印鑑」の試用、「スタンプ」の放電加工面の表面粗さ測定（放電加工条件の影響の調査）

3. CADソフトによる「印鑑の文字データ」「スタンプ」の形状データの作成

3. 1 「印鑑」の文字データの作成

図1に示すように、市販のCAD/CAMソフト（アンドール製、CAMCORE handy）を用いて、印鑑の外周・内周および文字入力を行い、文字データを作成した。外径10.5mm、内径9.2mmとし、円の外周部に学生の姓をテキストで入力し、内円の内側に入るサイズになるように調節して、印影を作成し、放電加工用電極の切削加工データに利用した。

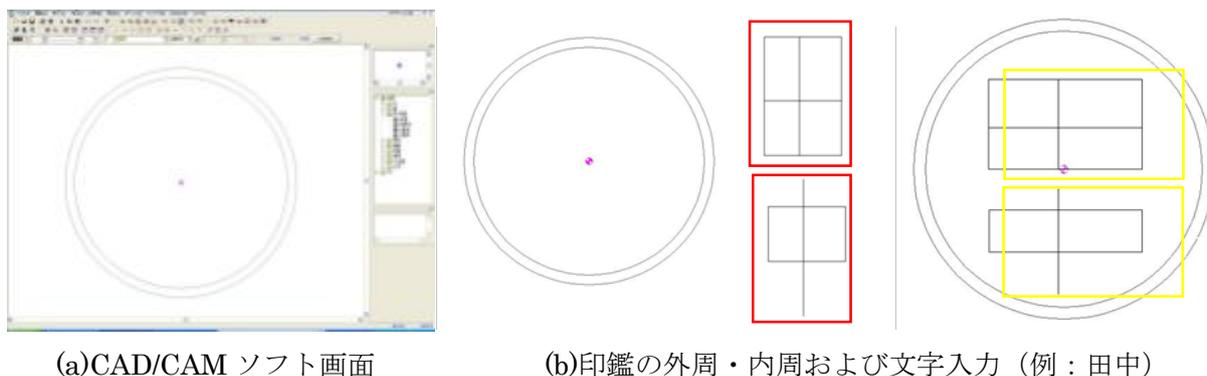


図1 CAD/CAM ソフトによる文字データの作成

3. 2 「スタンプ」の形状データの作成

図2に示すように、三次元モデリングソフト (Rhino[®]) を用いて、近畿大学の学園章を作成した。予め用意した近畿大学の学園章の画像ファイル (ビットマップ形式) (図2(a)) を三次元モデリングソフト (Rhino[®]) にインポートした (図2(b))。曲線ツールを用いて近畿大学の学園章をトレースし、二次元平面上に曲線を描いた (図2(c))。作成した近畿大学の学園章を CAM ソフトにインポートするため DXF 形式で保存し、放電加工用電極の切削加工データに利用した。

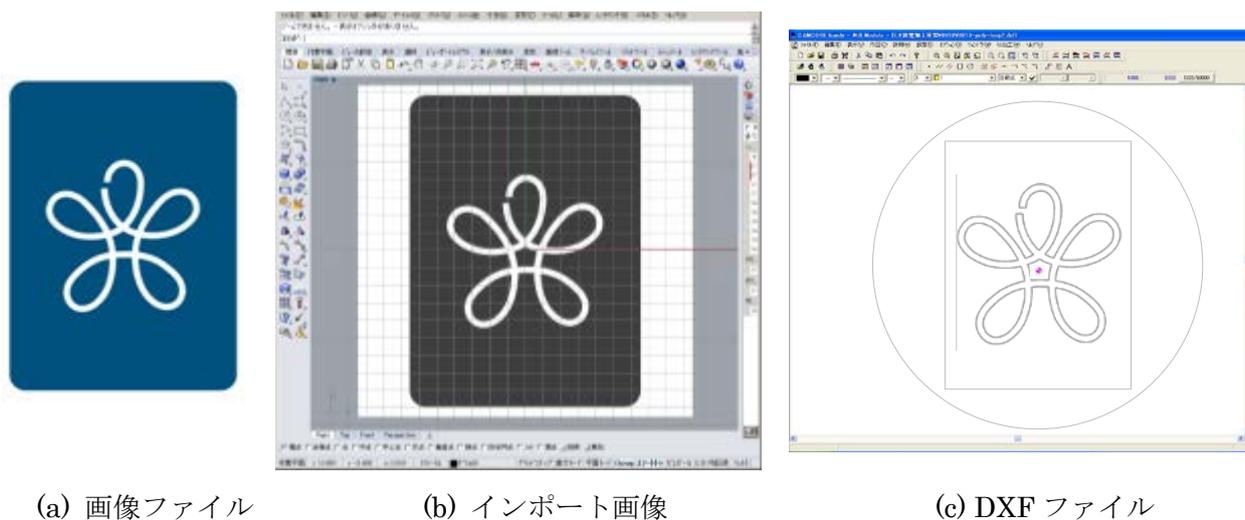


図2 画像ファイルから線画作成の方法

3. CAM ソフトによる型彫り放電加工用電極の切削加工データの作成

前章で作成した文字データまたは近畿大学の学園章のデータを市販の CAD/CAM ソフト (アンドール製, CAMCORE handy) を用いて、型彫り放電加工用電極の切削加工データを作成した。使用した工作機械は5軸マシニングセンタ (安田製, YMC430) で回転数の上限は 40,000rpm, 表1に示すような切削条件とした。使用する切削工具は図3に示すような先端が三角形の彫刻用ビットを用いた。得られたツールパスを図4に示す。

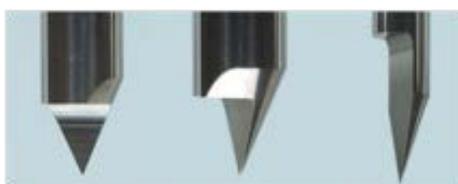


図3 使用した工具

表 1 切削条件

送り速度	500 mm/min
回転数	14000 r.p.m
加工 Z	0.600 mm
Z 分割	10 段
残り代	0 mm
切り込み量	0.06 mm

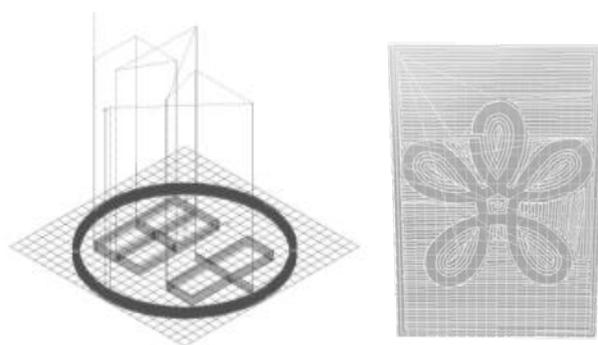


図 4 ツールパス

4. 5 軸マシニングセンタによる型彫り放電加工用電極の切削加工

5 軸マシニングセンタ (図 5) は、3 軸マシニングセンタの X,Y,Z 軸に加え、テーブルに傾斜軸(A 軸)と回転軸(C 軸)が加わった工作機械である。テーブルを傾けることにより、工程数や工程時間の削減、仕上げ面性状の向上など 3 軸マシニングセンタでは困難であった形状の精密加工が可能である。5 軸マシニングセンタの最大のメリットは、加工軸を同時に動かすことにより、従来は加工が困難とされていたため専用機で加工していた部品を汎用機で製造可能になることである。5 軸マシニングセンタは、複雑な形状の部品の加工に対してのみ適していると思われているが、テーブルが回転および傾斜することにより、一度に多面の加工が可能であるため、加工精度や治具の製造上でもメリットがある。

本実験を円滑にまた継続的に行えるように、5 軸マシニングセンタによる一連の作業手順を図説したマニュアル (全 25 頁) を作成した。

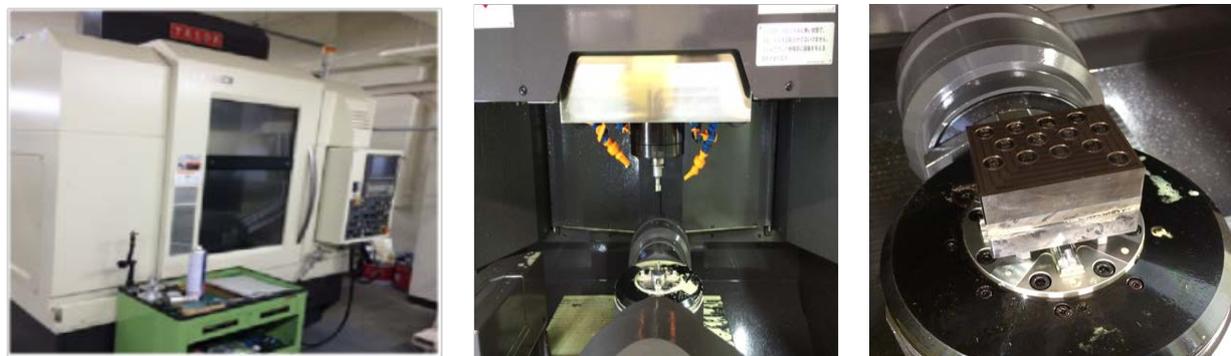


図 5 放電加工用電極の作製に使用した工作機械および切削状況

図 6 に示すように、型彫り放電加工用の電極材料 (銅タンゲステン, Cu-W, 略称: 銅タン) の角材に、一度に複数個 (最大 16 個) の同じ形状の電極を切削加工した。そのため、CAM で作成した加工データをサブルーチンとして、図 7 に示すように 1 つのメインプログラムに連結する NC データに編集して 5 軸マシニングセンタに読み込み、複数個の印鑑の電極を 1 つの銅タンの角材に自動で切削加工することにした。その際、銅タンゲステン角材を固定用治具とロウ付し、図 8 に示すようなセンタリングプレート・チャック (EROWA 製) に締結し、5 軸マシニングセンタの回転テーブルに固定されたテーブル側のエアオペレート・チャック (EROWA 製) に取り付けて切削加工した。切削加工された銅タンゲステン電極をセンタリングプレート・チャックに取り付けた状態で、型彫り放電加工機のクイック・チャック (EROWA 製) に取り付けて放電加工が行える。これにより、高精度な軸位置決めが繰り返し精度 $2\mu\text{m}$ で可能である。

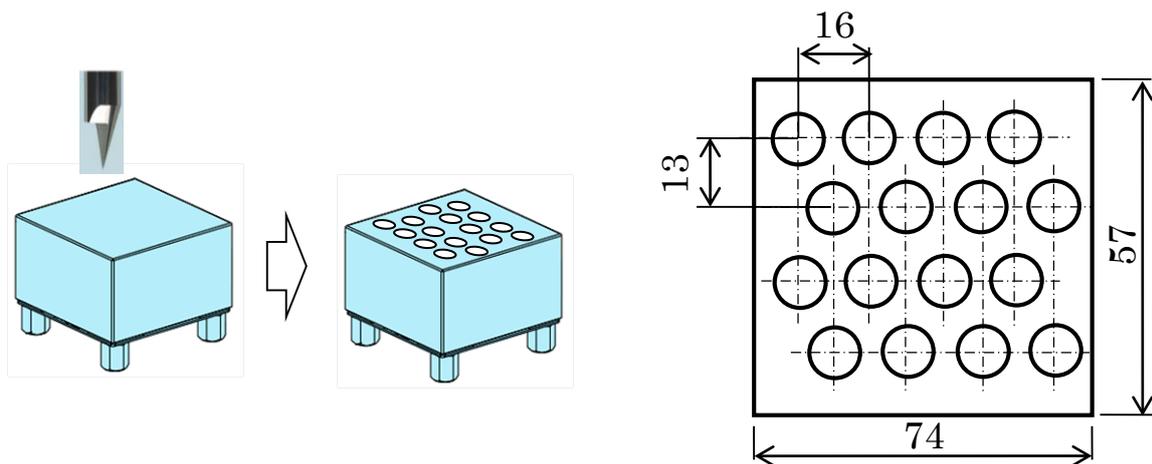


図6 放電加工用電極の切削方法

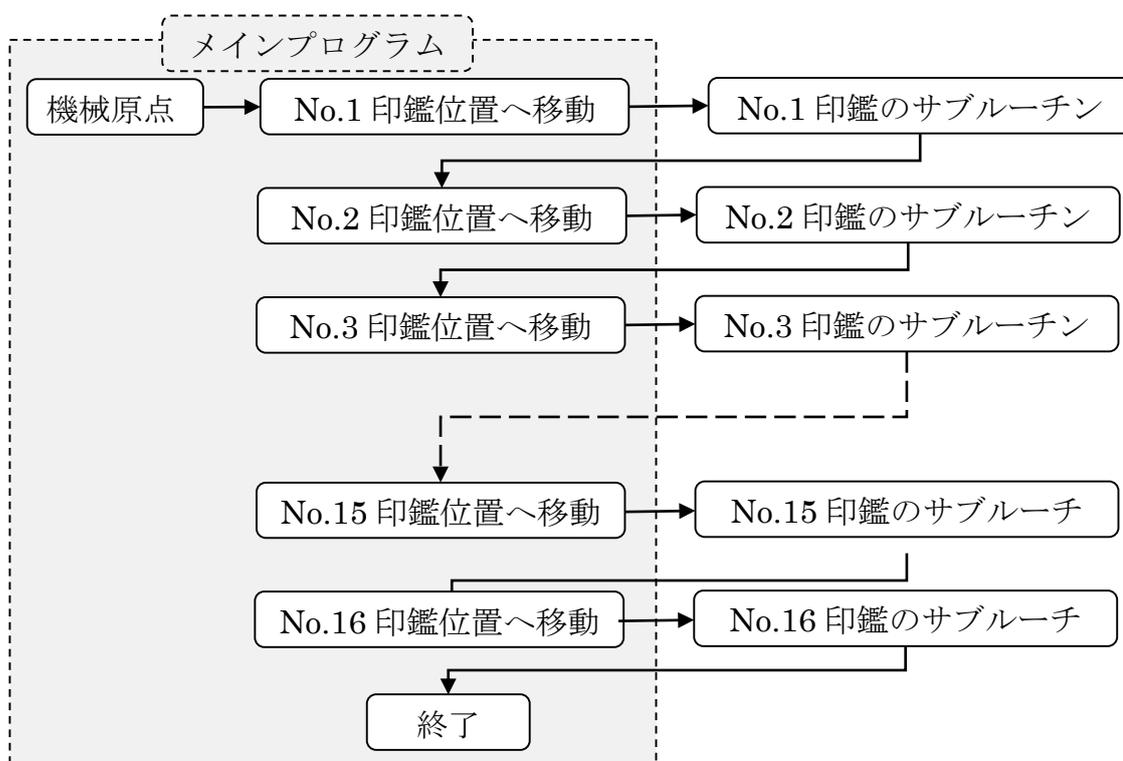


図7 NCデータの構成 (印鑑の場合)

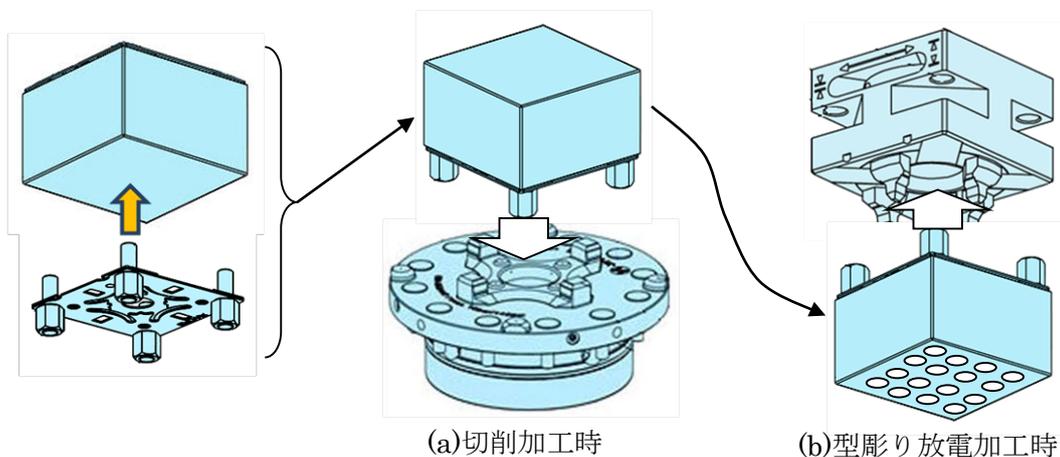


図8 切削加工時および型彫り放電加工時のチャック方法

5. 型彫り放電加工による「印鑑」「スタンプ」の作製

放電加工（Electrical Discharge Machining, EDM）は、電極と被加工物との間に短い周期で繰り返されるアーク放電によって被加工物表面の一部を除去する機械加工法の一つである。主に、切削では加工困難な硬い金属に適用される。放電加工には大別して、型彫り放電加工とワイヤ放電加工の2種類がある。型彫り放電加工は、被加工物に形成したい形状に予め作られた黒鉛（グラファイト）や銅製の電極を油中で被加工物に接近させて、所定の方向に移動することにより徐々に加工する。一方、ワイヤ放電加工は、金属製（主に真鍮（しんちゅう、銅 - 亜鉛合金））の細いワイヤを被加工物に液中（主に水中）で接近させて所定の方向に移動することにより、板状の被加工物を切断およびテーパ加工が行われる。どちらの放電加工でも、放電加工は電極と被加工物間の放電現象を利用した除去加工であり、火花を断続的に飛ばし、金属の溶解・冷却・飛散を繰り返すことにより、金属を彫る加工法であるため、被加工物が電気を通す材質（導体）である必要がある。また、放電加工面は溶解および再凝固を繰り返すため熱影響（脆化）が生じることや、加工時間が長いという欠点もある。

本実験では、5軸マシニングセンタで加工された電極を図9に示すような型彫り放電加工機（Sodick製、AD25L）のクイック・チャック（EROWA製）に固定し、上下の位置を調整し、所定の放電加工条件で放電加工を行った。

本実験を円滑にまた継続的に行えるように、型彫り放電加工機による一連の作業手順を図説したマニュアル（全13頁）を作成した。

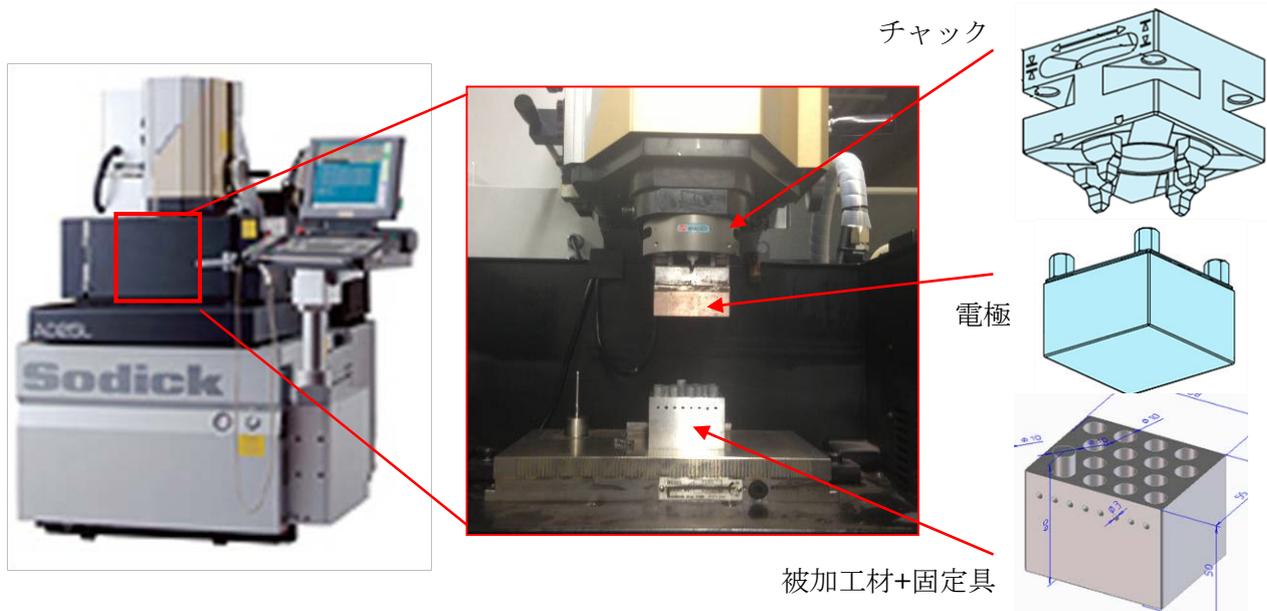


図9 型彫り放電加工の方法

放電加工条件の違いが放電加工後の表面粗さに及ぼす影響を調査するため、図10に示すように電極を移動させて、表2のように放電加工条件を変化させて加工した形跡が残るように工夫した。すべての加工後に、学生が加工表面を目視観察および手で触り、また表面粗さ測定を行い、放電加工条件の違いによる表面粗さの影響をグラフ化して結果を整理させ、レポート指導の差異に考察を行い、理解を深めさせた。放電加工条件は、第1工程から第4工程まで、サーボ基準電圧は74V一定とし、放電電流ピーク値、1パルスの放電時間および放電休止時間を電極位置が下降するにつれて徐々に低下させて、粗彫りから仕上げ面が得られるように設定した。すべての工程に必要な放電加工時間は約30~50分程度であり、授業時間内に十分に完了するような条件を選択した。

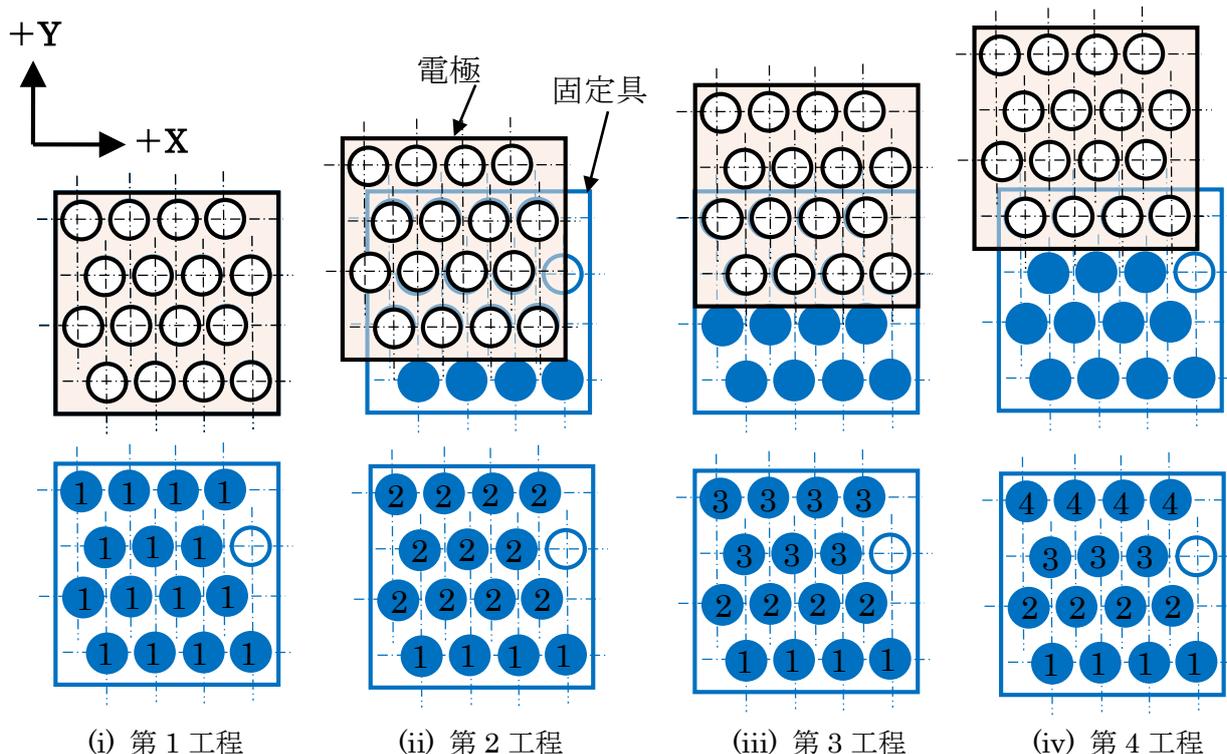


図 10 型彫り放電加工時の電極の移動

表 2 各工程の型彫り放電加工条件

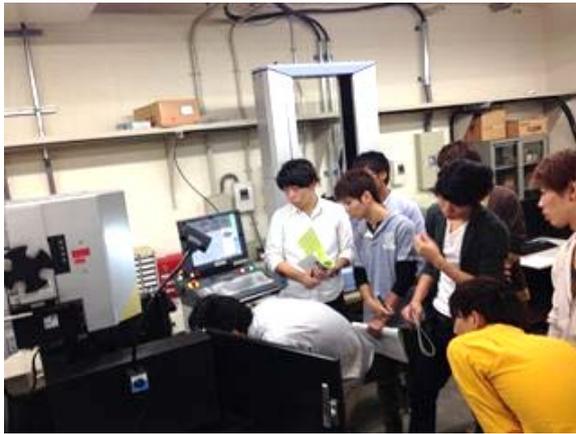
	(i) 第 1 工程	(ii) 第 2 工程	(iii) 第 3 工程	(iv) 第 4 工程
放電電流ピーク値 (A)	13.8	7.7	5.2	2.5
放電時間 (μs)	115	55	23	9
放電休止時間 (μs)	33	23	15	10
サーボ基準電圧 (V)	72	72	72	72
電極位置 (mm)	0.1246	0.0765	0.0385	0.0000

6. 作製した「印鑑」の試用, 「スタンプ」の放電加工面の表面粗さ測定

図 11 に実験風景および作製した「印鑑」および放電加工後の電極を示す。学生が自分の印鑑を用いて試用させて、モノづくりの達成感を実感させたところ、大半の学生が自分自身の姓を刻んだ世界でたった 1 つのオリジナル印鑑を持ち帰れる喜びを感じていた。

一方、型彫り放電加工により作製された「スタンプ」と未放電面、および型彫り放電加工に使用した電極の切削面の表面粗さを現場型の表面粗さ測定機（ミットヨ機製 SJ-201P）を用いて行い、切削加工面と放電加工面の表面粗さの差異、さらに型彫り放電加工条件が加工面の表面粗さに及ぼす影響を調査させ、加工時間と仕上げ面粗さの関係を理解させた。近大の学園章を刻んだオリジナル「スタンプ」も学生に提供したところ、印鑑の場合ほどは感激する度合いはやや低いものの、その使用方法を模索しながら全員持ち帰り、レポート作成を行ったようである。

本型彫り放電加工を体験することにより、金型の製造すべてを理解させることは到底できたとはいえないが、金型部品を切削加工以外の製造法で製作することができることを理解したように思われる。軟らかい銅で硬い鋼を精密に時間をかけて削れることの利点と欠点を体験により感じたようである。



(a) 実験風景



(b) 学生金型グランプリ出場学生による実演



(c) 型彫り放電加工後の印鑑



(d) 型彫り放電加工後の電極



(e) 作製した印鑑による試用



(f) 自作した印鑑を持った学生

図 11 実験風景および放電加工後の印鑑と電極

7. まとめ

金型製造にとって重要な型彫り放電加工を週1回2コマの機械工学科実験のテーマとして実施できるように、学生自身の姓の印鑑製作および近大学園章のスタンプ製作を選択して、教材およびテキストを準備した。長い加工時間を要する型彫り放電加工を授業で実施するため、また1台の工作機械を多人数の学生に活用するためには、授業準備の負担が非常に大きい、実現可能であることを示せた。

8. 参考文献

- [1] 西籾和明, 型彫り放電加工, 2013年度機械工学実験テキスト (2013)
- [2] 西籾和明, 型彫り放電加工, 2014年度機械工学実験テキスト (2014)