

# 金型磨きの技能獲得と作業評価に関する研究

メカニクス系工学専攻 教授 五百井 清  
メカニクス系工学専攻 准教授 大坪 義一

## 1. 緒言

技能の獲得や保存に関する研究は今までも数多く実施されているが、その背景には熟練技能者の後継者不足の問題がある。金型磨き作業もその一つであり、金型を使用して作る製品の外観や品質を決定する大切な要素である。このため、金型磨き熟練者の作業技能を抽出して、後継者に伝承できる形でアーカイブすることやロボット等の自動機械で実現できる形にトランスレートすることが強く望まれてきた。

ところが、今まで金型磨きの作業データそのものを獲得する有効なツールがなかったため、金型磨きの技能抽出の研究はあまり進展していなかった。そこで、今回新たに、金型磨き専用の作業データ獲得ツールを開発した。さらに、本ツールを用いて金型磨き作業における押付力や姿勢角度等を計測し、熟練者と初心者のデータ特性の比較を行った。

## 2. 金型磨き作業データ獲得ツールの開発

砥石を用いて金型磨き作業を行う際、作業者は砥石の先端を人差し指で押さえ、砥石の後方をその他の指と手のひらで固定するようにして砥石を持つ。この状況を模擬して金型磨き作業中のデータ取得を行うために、金型に対する押付力、加速度、姿勢角度、角速度の4項目を計測可能なツールを製作した。設計したデータ獲得ツールの全体像を図1に示す。作業者の握りやすさを考慮して側面を円弧状とし、全長180[mm]、幅20[mm]の大きさで設計している。

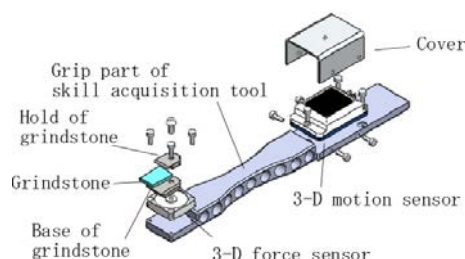


図1 作業データ獲得ツールの外観

金型磨き作業のデータ取得では、力覚センサや慣性センサを砥石先端と金型面の接触点に設置することが望ましいが、両センサをツールの磨き作用点に取り付けることが困難なため、力覚センサと慣性センサはそれぞれ図1のように、ツールの前方と後方に分けて取り付けられた。

なお、砥石の磨き作用点の速度と作用力は、力覚センサと慣性センサの取付け位置を考慮して推定計算を行っている。この推定計算の精度はフォースプレートからの計測結果と比較して確認されている。

## 3. 磨き作業データを利用した熟練者と初心者の技能比較

プラスチック金型磨きの熟練者3名(A~C)とその初心者である学生6名(D~I)の9名を対象に、磨き作業のデータ計測を行った。学生6名には予め熟練者の動きを観察し、それを模倣するよう指示した。試験用金型はプラスチック金型材としてよく使用されるNAK55であり、放電加工機で55[mm]×55[mm]×0.5[mm]のくぼみを作って使用した。磨き作業はそのくぼみ内で、作業データ獲得ツールを用いて行った。その計測結果の数例を以下に示す。

### 3.1 姿勢角度の比較

図2に熟練者A,B,C,初心者G,H,Iの5秒間でのツール角度の推移を示す。初心者も熟練者と同様に、ツール角度の変化が±2.5[deg.]の範囲に保たれている。一方で、熟練者では8~12[Hz]の振動成分が観察され、素人では3~4[Hz]の低周波成分が観察される。これは、ツールを掌で握る際の把持剛性の違いが原因と考えられ、熟練者のほうがツールを強く把持していると推測される。

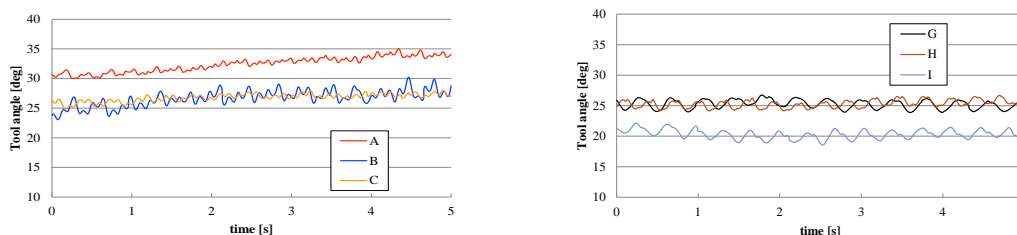


図2 熟練者と初心者のツール把持姿勢角度の比較 (左: 熟練者, 右: 初心者)

### 3.2 磨き力の比較

図3に熟練者A,B,C, 初心者D,E,Fの1.2秒間での磨き力（金型面に沿った方向の力）の推移を示す。熟練者は磨き力に関して、押し引き動作で3[N]~5[N]程度を保持しているが、初心者はそれに比較して小さい。また共に、押し動作が引き動作より強いことが確認できる。これはツールを把持する人の掌形状に起因している。さらに、初心者は砥石を押し瞬間にのみ急激な力が加わり、引き動作時の磨き力が小さくなる傾向がある。熟練者は、押し引き力を大きな一定値に保っていることが見て取れる。

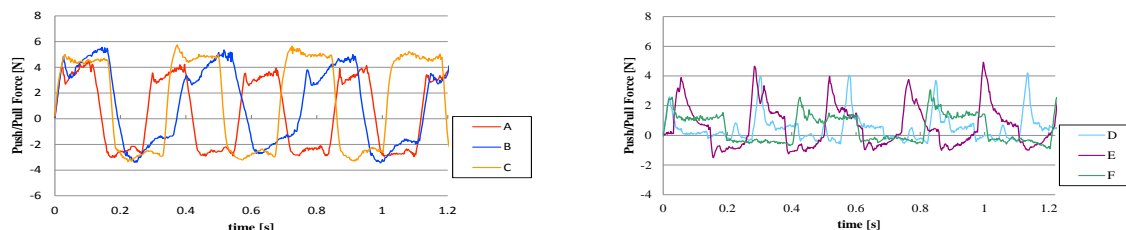


図3 熟練者と初心者の磨き力の比較（左：熟練者，右：初心者）

### 3.3 磨き速度の比較

磨きの速度に関して、熟練者も初心者も共に前後往復の周期運動を繰り返している。初心者の速度波形は押し引きの差異が少ない単振動に近かった。一方、熟練者の速度波形には押し引き動作中に停止に近い動作が入ることが確認された。その熟練者A,B,Cの速度波形を図4に示す。熟練者は押し動作と引き動作の途中で緩急をつけて磨いていると推測される。

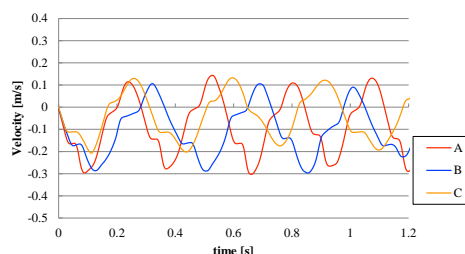


図4 熟練者の磨き速度波形

### 3.4 平均仕事率の比較

磨き作業の1周期が各人により異なるため、仕事率（磨き速度と磨き力の内積）の時間積分を周期で除した平均仕事率を求める。平均仕事率の結果を表1に示す。熟練者の平均仕事率はいずれも0.40[J]より大きく、初心者はこれらに比べて小さい。初心者の1周期にかかる時間は熟練者と大差ないため、熟練者の磨き力が平均仕事率に寄与していると考えられる。一般に、大きな力の持続は人間に強い疲労を与えるが、熟練者は疲労しにくい磨き作業スキルを身に付けていると推測される。

表1 平均仕事率の比較

	Work[J]	Period[sec]	Mean power[J/s]
A	0.133	0.302	0.44
B	0.151	0.374	0.40
C	0.134	0.336	0.40
D	0.021	0.268	0.08
E	0.082	0.236	0.35
F	0.037	0.400	0.09
G	0.084	0.362	0.23
H	0.044	0.388	0.11
I	0.08	0.316	0.25

## 4. 結言

金型磨き作業に適したデータ獲得ツールを開発した。複数の熟練者と初心者とそのツールを使用して磨き作業を行ってもらい、得られたデータから磨き動作の差異に着目した評価を行った。その結果から、熟練者の把持特性や磨き動作の特徴などを推測した。今後は、定量的・科学的考察を進める予定である。また、熟練磨き動作の特性を抽出してロボット等に移植できる形とすることも課題である。

## 5. 参考文献

- [1] 児玉謙介, 神橋清訓, 五百井清, 大坪義一: 金型磨きにおける技能者と初心者の作業特性, 第14回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会概要集, 2I1-5 (2013)
- [2] 神橋清訓, 五百井清, 大坪義一: 金型磨き専用ツールによる特徴量の推定, 第31回日本ロボット学会学術講演会概要集, 2F1-03 (2013)
- [3] K.Ioi, K.Kanbashi, Y.Ohtsubo: Evaluation of Mold-Polishing Skills Using a New Skill Acquisition Tool, Proc. of International Conference on Advances in Science and Technology, pp.236-242 (2014)
- [4] 児玉謙介, 辻合真也, 渡邊将寛, 五百井清, 大坪義一: スキル獲得ツールを使った金型磨きスキルの評価, 第15回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会概要集, pp.797-801 (2014)