

## 熟練技能のデジタル化に関する研究（第1報） 2 やすり目の形状による切削性能予測技術の開発

岩谷稔、長岡孝、藤本直也、伊藤幸一

Research on digitization of industrial work  
Development of Cutting Performance Prediction Technology Based on File Surface Shape

IWATANI Minoru, NAGAOKA Takashi, FUJIMOTO Naoya and ITOH Koichi

In order to maintain manufacturing technology, it is an urgent task to digitize the skills and know-how of skilled workers. Therefore, this study focused on the skilled techniques of file manufacturing, which is a traditional industry in the Kure region. In the past, our center independently developed a technology to quantitatively evaluate the cutting performance of files. The measurement results obtained using that method were used for this prediction. The cutting amount and finish roughness were measured, and a prediction model was created using multiple regression analysis from these results. As a result, the average prediction error for cutting amount was 17.4%, and prediction accuracy of surface roughness was 80%.

キーワード：やすり、表面性状パラメータ、切削、粗さ、重回帰分析

### 1 結 言

当センターでは、やすり切削性能試験機<sup>1)</sup>や往復式摩擦摩耗試験機を用いて、被削材の切削重量や切削抵抗からやすりの性能を評価している。これらの試験で性能を評価するには、やすり1本につき、最大で6時間を要することもある。

やすりの目立てを行う熟練技能者は、目立て後のやすりを目視して、削れるやすりになっているかを判断し、目立て機を微調整しながら作業を行っている。

本研究では、この熟練者の目立て作業時のやすり刃先評価技術をデジタル化し、やすりの切削性能を予測する技術開発を行った。非接触計測によるやすりの目立て後の刃先形状から切削性能が予測できるようになれば、評価時間の短縮ができる。ここでは、やすりの切削性能として、被削材をやすりで切削した時の切削量と、切削後の被削材切削面の表面粗さ（仕上げ精度）の二つを使用した。

### 2 実験方法

#### 2.1 やすりの選定

やすりの種類は、用途、切り目の形状、断面形状、

サイズ、目の粗さによって区別される。データ取得に用いたやすりは、当センターで所有する往復式摩擦摩耗試験機に取付け可能な、平形状のものを対象とした。短時間の試験で切削量のデータを得るため、やすりの目の粗さは荒目とした。やすりの荒目は、やすりの長さにより25mm当たりの目の数が異なっている

<sup>2)</sup>。本研究では、上目の数が25mm当たり35の荒目相当のやすりを使用した。切り目の形状は、一方向だけ目が切られている単目、上目と下目が交叉状に切られている複目、複目にさらに一方向の目が入っている三段目（シャリ目）などがあるが、目の形状が複雑で切削性能の予測が最も難しいシャリ目を本研究の対象とした。シャリ目の加工では下目、中目、上目の3回の目立てを行う。本研究で使用するやすりの目立て加工の条件として下目、中目、上目の目の深さ、下目、中目の目数を変えた15種類のやすりを用いた。15種類のやすりの最大谷深さは約0.18~0.29mm、下目、中目の目数は26~35である。下目、中目、上目の成形でタガネを打ち込む角度（ナバエ角）の条件は15種類のやすり全て同じとした。対象とするやすりには、片面のみ目立てを行い、1本のやすりに2種類の目立てを行っている。また、使用するやすりは、目立て後、焼き入れ処理まで行ったものとした。

データ取得に用いる粗目相当の15種類のやすりの

うち、10種類を予測モデル作成用のやすり、残りの5種類を予測モデルの予測精度の確認テスト用とした。

## 2.2 表面性状パラメータの取得

刃先形状の測定は、株式会社キーエンスのワンショット 3D 形状測定機 VR-3000 を用い、表 1 のような表面性状パラメータ<sup>3)</sup>の計測値を取得した。測定箇所はやすり中央部の縦 9mm、横 12mm の範囲で、図 1 はやすりの表面の三次元形状を示したものである。刃先形状を測定すると表面性状パラメータ以外にも高さデータ、等高カラー画像、テクスチャ画像及び三次元形状データが得られる。これらのデータから新たなパラメータを作成ができるため、やすりの切削性能に影響するパラメータも別途作成した。得られた表面性状パラメータとやすりの切削量、仕上げ精度との相関性を確認し、相関係数が高かった表面性状パラメータの予測モデルを作成して使用した。

表 1 取得した表面性状パラメータ

取得方法	パラメータ
面粗さに関するパラメータ	Sa、Sz、Str、Sp、Sdr、Sq、Ssk、Sku、Sp、Sv、Sal、Std、Sdq、Spd、Sk、Spk
負荷曲線に関するパラメータ	Svk、Smr1、Smr2、Sxp、Vvv、Vvc、Vmp、Vmc

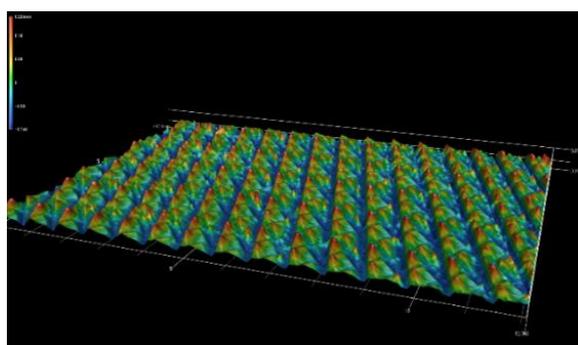


図 1 やすりの 3D 形状測定結果

## 2.3 摩擦摩耗試験

やすりの切削性能データの取得は、新東科学株式会社の摩擦磨耗試験機（トライボギア TYPE40）を用いた。被削材としては、短時間の試験で切削量のデータを得ることを目的に、ABS 樹脂（φ10mm）とした。試

験終了後、被削材切削面の表面粗さのデータを取得した。表 2 に摩擦摩耗試験の試験条件を示す。試験の途中で目詰まりしたやすりのブラシ掛けは実施しなかった。被削材が ABS 樹脂であるため、やすり目の摩滅は確認しなかった。切削量は、試験前に被削材の重量と、試験終了後の被削材の重量の差で評価した。

また、試験終了後の被削材切削面の表面粗さは、株式会社ミツトヨ製の表面粗さ測定機（小型表面粗さ測定機サーフテスト SJ-310）で測定し、仕上げ精度として評価した。表面粗さの測定方法は、丸棒（直径 10mm）の被削材の切削方向に対して直行する方向に粗さ測定機を設置し、直径 8mm の範囲の粗さを測定した。

表 2 摩擦摩耗試験の試験条件

項目	条件
垂直荷重 [gf]	1500
摺動速度 [mm/min]	4500
往復距離 [mm/cycle]	60
摺動距離 [mm]	6000

## 2.4 予測モデル

摩擦摩耗試験により得られたやすりの切削量のデータを応答変量  $y$ 、 $p$  個の表面性状パラメータを説明変量  $x_1, x_2, \dots, x_p$  とし重回帰分析<sup>4)</sup>により回帰式を求め、これを切削量予測モデルとした。

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \varepsilon$$

$\beta_i (i=0, 1, 2, \dots, p)$  : 回帰係数  
 $\varepsilon$  : 誤差

同様に摩擦摩耗試験により得られた被削材切削面の表面粗さデータを応答変量、表面性状パラメータを説明変量とし重回帰分析により回帰式を求め、これを仕上げ精度予測モデルとした。以上の二つの予測モデルを検討した。

## 3 結果考察

### 3.1 表面性状パラメータと切削性能の関係

本研究ではやすりの切削性能として、切削量と仕上げ精度の二つを対象としている。やすりの表面形状測定によって得られた表面性状パラメータと切削量及び仕上げ精度との相関性を確認した。

**表3 表面性状パラメータとの相関性**  
(a) 切削量 (b) 仕上げ精度

表面性状パラメータ	相関係数	表面性状パラメータ	相関係数
Std	-0.69	Std	0.70
Spc	-0.66	Ssk	-0.45
Sdq	-0.50	Sku	-0.41
Sdr	-0.49	Spc	0.39
Sz	-0.38	Sdq	0.29
Ssk	0.35	Sdr	0.27
Sv	-0.35	Vvv	0.25
Vvv	-0.35	Sk	0.23
Sp	-0.34	Vmp	-0.22
Svk	-0.31	Svk	0.20

相関係数の絶対値により比較し、予測モデル作成用のやすり（10種類）の表面性状パラメータのうち、切削量と仕上げ精度に対して高い相関を示した上位10個を表3(a)、(b)に示した。

また、図2に表面性状パラメータ Spc（山頂点の算術平均曲率）と切削量の関係、図3に Spc と仕上げ精度の関係のグラフを記す。予測モデル作成用のやすり（10種類）の摩擦摩耗試験の結果は、切削量は37.4~100.1mg、仕上げ精度は12.4~32.1μmであった。Spcは表面の山頂点の主曲率の平均を表し、小さいと他の物体と接触する点が丸みを帯びていることを示し、大きいと他の物体と接触する点が尖っていることを示している。本研究で対象とするやすりの Spc 値は26.4~54.6であった。図2より、Spc 値が大きくなり他の物体と接触する点が尖るほど切削量が減少している。一方、図3より、Spc 値が小さく他の物体と接触する点が丸みを帯びるほど被削面の粗さは小さくなっている。

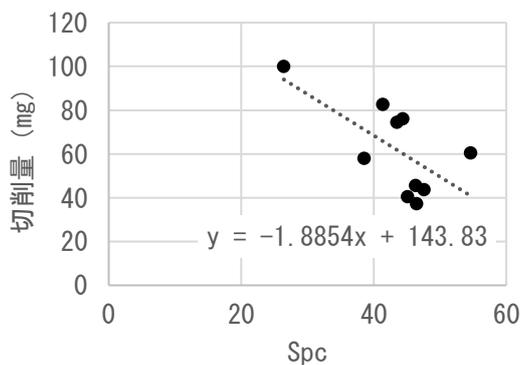


図2 Spc と切削量の関係

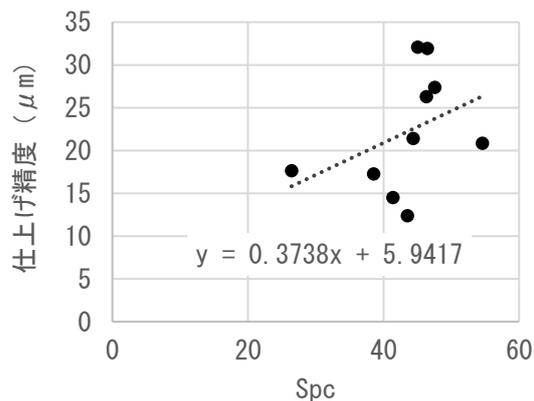


図3 Spc と仕上げ精度の関係

本研究では、切削量、仕上げ精度、それぞれで相関性の高い表面性状パラメータを確認し、それらのパラメータを使用して切削量、仕上げ精度予測モデルを作成した。

### 3.2 切削量予測モデルの作成

予測モデル作成用のやすり（10種類）の切削量のデータより、予測モデルを作成した。切削量との相関の高い表面性状パラメータを高いものから5個、10個、15個の場合を使って切削量予測モデルを作成し、予測結果を比較した。

予測モデルの予測精度の確認テスト用やすり5種類について予測を行い、実測値と比較した結果を図4に示す。実測値と予測値の誤差を5本のやすりについて平均すると、パラメータ5個を用いた予測モデルの平均予測誤差は約19%、パラメータ10個の場合は約20%、パラメータ15個の場合は約17%であった。予測モデルに使用した15個の表面性状パラメータはいずれも絶対値で0.27以上の相関があり、表面性状パラメータを多く用いた予測モデルの予測誤差が一番小さかった。

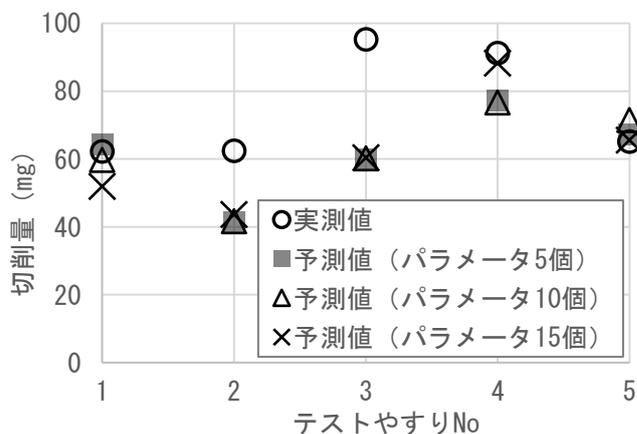


図4 切削量の予測結果

### 3.3 仕上げ精度予測モデル

仕上げ精度の予測モデルは将来的に細目、中目、荒目の3分類を予測することを目標としている。本研究では荒目しか対象としていないため、予測モデル作成用やすり（10種類）の仕上げ精度のデータにより、最小値の12.4 $\mu\text{m}$ と最大値の32.1 $\mu\text{m}$ を基準に以下のようにやすりを3分類し、それぞれに分類できる予測モデルを作成した。

RA1：仕上げ精度が19 $\mu\text{m}$ より小さい

RA2：仕上げ精度が19 $\mu\text{m}$ 以上、25.5 $\mu\text{m}$ 以下

RA3：仕上げ精度が25.5 $\mu\text{m}$ より大きい

仕上げ精度との相関の高い表面性状パラメータを高いものから5個、10個、15個の場合について仕上げ精度予測モデルを作成し、予測結果を比較した。

予測モデルの予測精度の確認テスト用やすり5種類について3分類の予測を行い、実測値の3分類と比較した結果を表4に示す。表4の実測RA1、実測RA2、実測RA3が実測の分類、予測RA1、予測RA2、予測RA3が予測の分類で、黄色の塗りつぶしは実測と予測の分類が同じ結果の箇所になる。テスト用やすりのうち実測RA1に該当するやすりは3種類あるが、表面性状パラメータ5個及び15個で作成した予測モデルでは3分類の結果が1種類しか予測と実測の分類が一致しなかった（表4(a)、表4(c)）が、10個で作成した予測モデルでは2種類について実測と予測の分類が

合った。（表4(b)）実測RA2、実測RA3に該当するやすりについてはいずれの予測モデルも実測、予測とも分類の結果が同じであった。仕上げ精度の3分類について、実測と予想の一致した個数を比較した結果、パラメータ5個及び15個の予測モデルは5個中3個（予測精度60%）が、パラメータ10個の予測モデルは5個中4個（予測精度80%）が致しており、表面性状パラメータを10個使った予測モデルが最も高い予測精度であった。

## 4 結 言

本研究ではやすりの刃先形状を測定して得られる表面性状パラメータから、切削量、仕上げ精度の予測をした結果、以下の知見を得た。

- (1) やすりの刃先形状の表面性状パラメータには、切削量、仕上げ精度との相関性の高いものがある。
- (2) Spc（表面の山頂点の主曲率の平均）が大きいと切削量が減少し、小さいと被削面の粗さは小さくなる。
- (3) 切削量、仕上げ精度の予測に使用する表面性状パラメータの相関の高さにより予測精度が変わる。

本研究は三段目（シャリ目）のやすりを対象に切削量、仕上げ精度の予測を行ったが、今後は複目のやすりの予測を行う予定である。

表4 仕上げ精度の3分類の予測結果

(a)表面性状パラメータ5個

	実測 RA1	実測 RA2	実測 RA3
予測 RA1	1	0	0
予測 RA2	1	1	0
予測 RA3	1	0	1

(b)表面性状パラメータ10個

	実測 RA1	実測 RA2	実測 RA3
予測 RA1	2	0	0
予測 RA2	1	1	0
予測 RA3	0	0	1

(c)表面性状パラメータ15個

	実測 RA1	実測 RA2	実測 RA3
予測 RA1	1	0	0
予測 RA2	1	1	0
予測 RA3	1	0	1

## 謝 辞

本研究を実施するに当たり、やすりの製作で株式会社ワタオカの皆様には多大なご協力をいただきました。ここに感謝の意を表します。

## 文 献

- 1) 片岡他：広島県呉工業試験場報告、25(1982)9
- 2) 日本工業規格：B4703-1966「鉄工やすり」（1966）
- 3) 日本工業規格：JISB0681-2「製品の幾何特性仕様（GPS）－表面性状：三次元－第2部：用語、定義及び表面性状パラメータ」（2018）
- 4) 脇本他：多変量グラフ解析法、(1983)20