

# 刃物ブランドの維持・向上に資する計測・評価装置の開発研究（第2報）

田中 泰斗、西嶋 隆

## Development of evaluation apparatus for the cutlery, which aim to promote the cutlery brand (II)

Taito Tanaka and Takashi Nishijima

本研究では、県内産刃物製品の品質維持または品質向上を支援するため、国内で広く利用されてきた本多式切れ味試験をベースとした新たな切れ味試験機を開発することを目指している。

本報告では、試作した切れ味試験機の基本構成について述べるとともに、被削材切断枚数の測定精度、切れ味測定の再現性などについて報告する。試作試験機による切れ味試験の結果、切断済み被削材と刃物側面との摩擦は切れ味試験結果に大きな影響を与えており、被削材を湾曲させた状態で固定し切断することにより、切断済み被削材と刃物の摩擦を十分回避することが可能であることを確認した。また、試作試験機では、被削材を取り替えても再現性のある良好な切れ味試験結果が得られており、従来から行われている本多式切れ味試験と比較して、容易かつ詳細に刃物の切れ味の評価が可能であると考えられた。

### 1. はじめに

日本製刃物を代表する関の刃物は、切れ味の良さや耐腐食性、意匠性など様々な面で優れた特徴を有しており、国内のみならず、海外からも高い評価を受けている。従来、当県刃物製品の輸出先は、北米、ヨーロッパが中心であったが、近年はアジア圏での評価も高まっており、さらなる海外市場の拡大が期待される。また、刃物製品のブランド構築という点では、岐阜県関刃物産業連合会が地域団体商標「関の刃物」を取得し、刃物産地としてのブランド力向上に取り組んでいるほか、個別の企業においても自社ブランドの確立に向けた各種取り組みが進められている。

一方、刃物の生産に目を移すと岐阜県内の刃物産業事業者数は、小規模事業所を中心に近年大幅に減少しており、職人の高齢化や後継者不足も相まって、従来どおりの工程分業による刃物生産を維持することは困難になりつつある。このことは、刃物製品の品質低下に直結する恐れがあり、将来を見据えた対応が必要である。

刃物に求められる性能は用途や使い勝手により様々であるが、切れ味とその持続性は最も重要視すべき性能であるといえる。刃物の切れ味試験においては、本多式切れ味試験機（以下、本多式試験機）による評価が国内の主流であるが、本多式試験機は、長年にわたって改良機が開発されておらず、県内企業からは測定の自動化や省力化、耐久試験への対応、測定結果の再現性の改善などを求める声がある。

このような背景を踏まえ、本研究では、県内産刃物製品の品質維持または品質向上を支援するため、刃物の切れ味を定量的に評価可能な試験機を開発することを目指している。昨年度の研究においては、刃物の切れ味評価手法として広く利用されている本多式切れ味試験と ISO8442-5 について試験方法を比較し、本研究で開発す

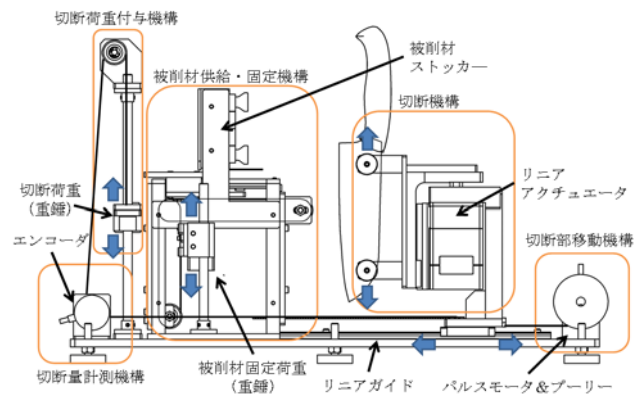


図1 一次試作機の基本構成

る試験機の基本方針を定めた。また、効率的な切れ味耐久試験を実現するため、切れ味試験における被削材の固定方法を考案し、その有効性について基礎的検討を行った<sup>1)</sup>。本年度は、昨年度定めた試験機の基本開発方針を具現化するため、試験機のプロトタイプ（一次試作機）を製作し、動作確認を行った。

### 2. 切れ味試験機の構成

一次試作機の基本構成を図1に示す。試作機は、主に次の5つの機構から構成される。

- ・ 切断機構
- ・ 切断部移動機構
- ・ 切断荷重付与機構
- ・ 切断量計測機構
- ・ 被削材供給・固定機構

各機構を構成するアクチュエータは、PLCにより制御し、PLCは上位コントローラからの命令により、順次必要な動作を実行することとした。また、本研究では昨年度同様に1回の切断サイクルによる被削材切断量（以下、DPC：Depth of card cut per cycle）を試験刃物の切れ味と

して定量化する。なお、一次試作機では被削材供給・固定機構の自動化には取り組んでおらず、一連の動きを手動で確認する必要がある。

## 2. 1 切断機構

切断機構は、試験刃物固定用の機構をリニアアクチュエータに取り付けたものであり、装置の基台に対して試験刃物を鉛直方向に往復運動させることにより被削材を切断する。切断動作の最大ストロークは50mmであり、本多式試験機で行う切断運動の再現が可能である。また、切断機構は後述の切断部移動機構及び切断量計測機構と連結されており、機構全体が基台に対して水平方向に移動する。なお、切断速度、ストロークなどは、PLCのプログラムにより、変更可能である。

## 2. 2 切断部移動機構

切断部移動機構は、リニアガイド上に固定された切断機構全体を移動させるための機構である。パルスモータとプーリーにより構成され、プーリーによるワイヤの巻き上げ、巻き下げ動作により切断機構全体を装置の水平方向に移動させる。

## 2. 3 切断荷重付与機構

切断荷重付与機構は、切断機構を一定の力で被削材に押し当てるための機構である。本機構には重錘が取り付けられており、タイミングベルトやアイドラーなどを介し切断機構を一定の張力で引っ張る構成とした。切断機構は、切断部移動機構の巻き上げ動作によりリニアガイド上を移動するが、常に重錘による張力を受けながら移動することとなる。試験時は、切断部移動機構のワイヤ巻き下げ動作により、試験刃物と被削材を接触させ、さらにワイヤを巻き下げて緩める。これにより試験刃物は被削材への切り込み量にかかわらず重錘の重量に応じた一定荷重で被削材と押し付けられることとなる。

### 2. 3. 1 切断荷重と重錘重量

切断機構と切断荷重付与機構は、リニアシステムにより案内されているため、切断機構の移動時には摩擦抵抗が発生し、重錘による荷重と被削材にかかる切断荷重は一致しない。

開発する切れ味試験機においては、刃物の切れ味を被削材への切り込み量で定量化するため、再現性のある試験結果を得るためには切断荷重を一定に保つことが重要である。しかし、使用部品や部品の組み付けは装置毎に異なるため、切れ味試験機の摩擦抵抗は一定の値とならず個別に計測し補正する必要がある。そこで、試作装置における切断荷重の調整方法を把握、検討することを目的に重錘重量と切断荷重の関係を測定した。試験は、荷重計と切断機構を適当なワイヤで接続し、ワイヤに十分な張力がかかった状態の静荷重を測定することにより行った。また、リニアシステムの潤滑油等による粘性抵抗の影響を抑制するため静荷重の測定前に切断機構を10回空運転し、機構全体に適当な振動を加えたうえで荷重を測定した。切断荷重の測定には、フォースゲージ((株)

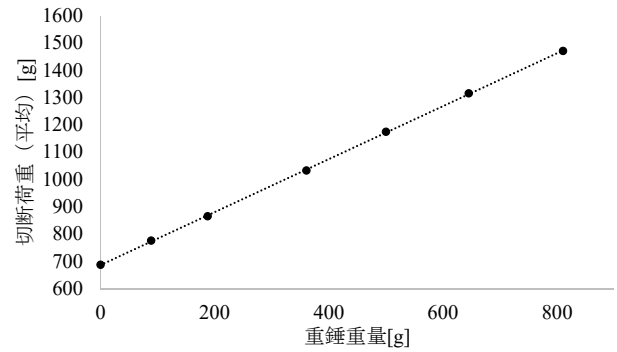


図2 重錘重量と切断荷重の関係

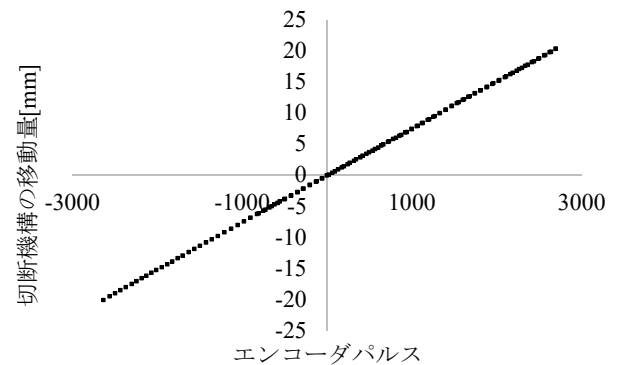


図3 切断機構の移動量とパルスカウント

イマダ製 ZTS-50N)を使用し、切断荷重付与機構に取り付けた7種類の重錘毎に20回の荷重測定を行い、その平均を切断荷重とした。図2に試験結果を示す。図では、初期切断荷重が約700gとなっているが、これは重錘取付部の自重である。一般にリニアシステムにおける摩擦抵抗は、システム固有のシール抵抗と摩擦係数により生じる抵抗の和で表され、シール抵抗は一定の値となる。試作試験機においても、重錘重量と切断荷重は線形関係となっており、同様の構造の試験機であれば数点の重錘重量と切断荷重を測定し、近似直線を求めることにより必要な重錘重量を推定できると考えられる。なお、実験における切断荷重の標準偏差は最大で約7gであった。

## 2. 4 切断量計測機構

試験刃物を被削材に押し当て切断動作を行うことにより、被削材の切断量に相当する距離分、切断機構全体が移動する。試作機では、切断荷重付与機構と切断機構をつなぐベルトの移動量(以後、換算移動量)をロータリエンコーダで計測し、被削材の切断量にすることとした。換算移動量はエンコーダのパルスカウントとロータリエンコーダの分解能、プーリーの歯数、ベルトピッチから求めることができ、試作機における1パルスあたりの単位移動量の理論値は7.5μmである。

### 2. 4. 1 切断量の測定精度

ベルト移動量計測用のエンコーダパルスカウントと切断機構の実移動量の関係を図3に示す。切断機構の実移動量は、レーザ変位計(OPTEXFA製CD4-85J)を用い

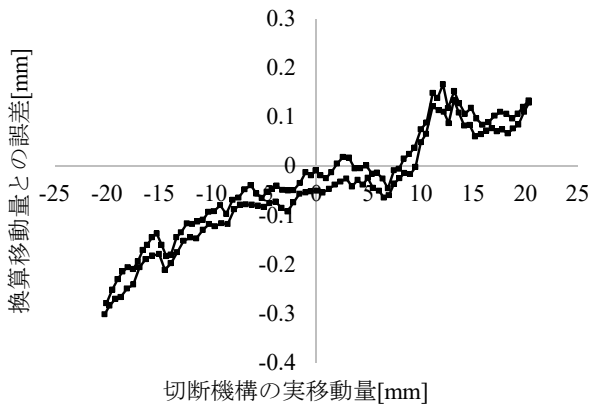


図4 移動量と換算移動量との誤差

て実測した。実験は任意の位置でレーザ変位計とパルスカウントを同時に初期化し、切断機構を-20から+20mmの間を区間往復させることにより行った。図からパルスカウントと実移動量の関係は、比例関係にあることがわかる。同様の試験を5回行い、試験データを一次関数で近似した時の1パルス当たりの移動量は平均で7.57 $\mu$ mであり理論値とよく一致した。

切断機構の実移動量と換算移動量の誤差を図4に示す。図から切断機構の往復により若干のヒステリシスが生じていることがわかる。これは、リニアシステムに生じる摩擦抵抗の影響と考えられる。また、初期化位置からの距離に比例し誤差が増加する傾向が認められ、20mmの測定長に対して約0.3mmの誤差が生じた。一次試験機では、1被削材あたりの累計DPCを最大15mm程度に想定しており、最大で0.2mm程度の誤差が生じる可能性がある。

## 2.5 被削材供給・固定機構

被削材供給・固定機構は、ストックに蓄えられた被削材を指定位置に供給、固定した後、使用後の被削材を排出する機構である。機構の詳細な説明は避けるが、供給、固定、排出という一連の動きを基台と平行に設けたテーブルの水平運動で実現するものであり、テーブルは被削材固定用の重錘と接続されている。重錘はリニアブッシュによる案内機構により鉛直方向に移動し、重錘による鉛直方向の荷重は、ベルトとプーリーによってテーブルの水平方向の駆動力になり、被削材を所定位置に固定するための荷重として働く。

### 2.5.1 被削材固定部の構造

前報で報告した被削材固定方法の検討結果を踏まえ、被削材固定部は1つの円筒ピンと2つの紙押さえ用ローラーにより被削材を湾曲・固定する構造とした(図5)。前報では金属製の円筒ピンを紙押さえ部に使用していたため、被削材を円弧状に湾曲させ固定するとき、円弧の外周側の被削材に大きな張力がかかる可能性があった。この問題を回避するため一次試作機では、紙押さえ部をベアリング入りのローラーとし固定時に発生する張力の軽減を図っている。また、被削材押さえ用の円筒ピンと

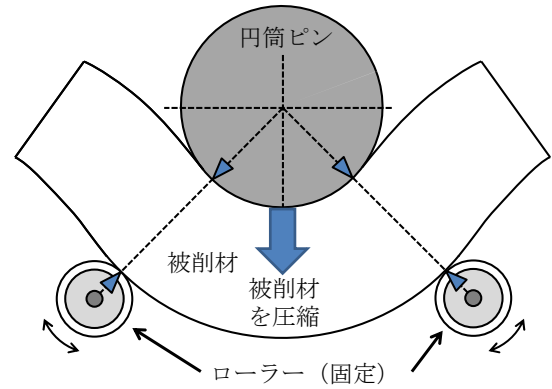


図5 被削材固定部の構造

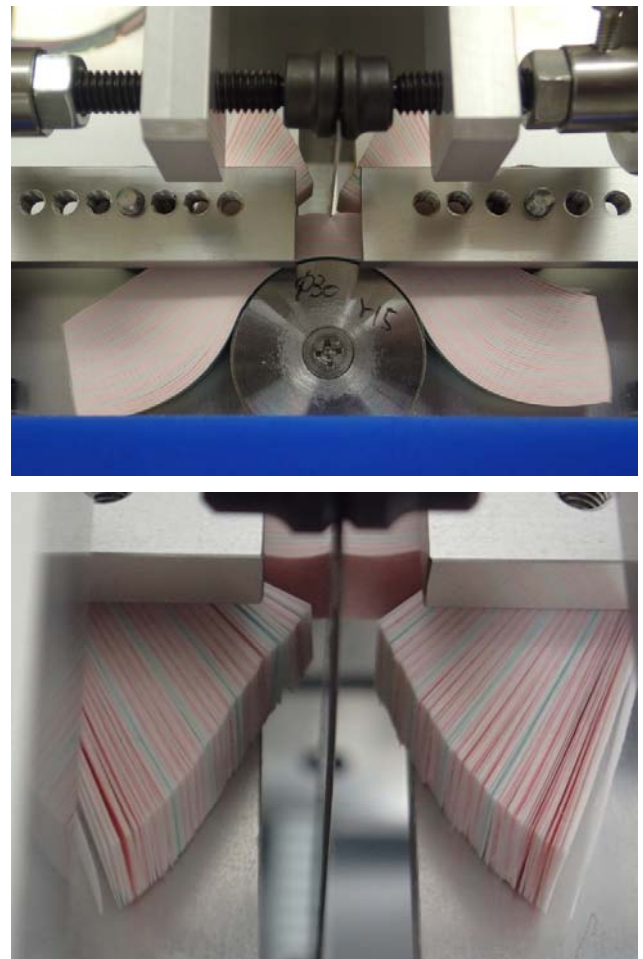


図6 被削材を固定切断した様子

ローラー径、ローラー間隔によって、被削材の湾曲状態や固定状態は変化するため、一次試作機ではこれらの部品とその取り付け位置を変更可能としている。一次試作機により被削材を固定、切断した様子を図6に示す。図から、被削材を湾曲させて固定することによって試験刃物の側面と被削材の摩擦を回避できることがわかる。

### 2.5.2 切断済み被削材の退避モデル

被削材固定部で固定された被削材の湾曲状態は、円筒ピン、ローラー径およびローラー間隔によって変わり、試験刃物により切断された被削材と刃物側面との距離も、

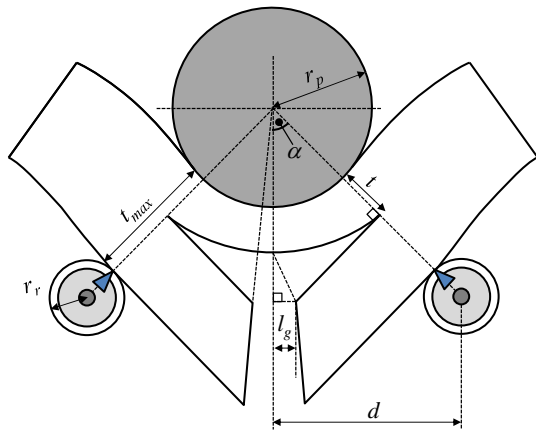


図7 被削材の退避モデル

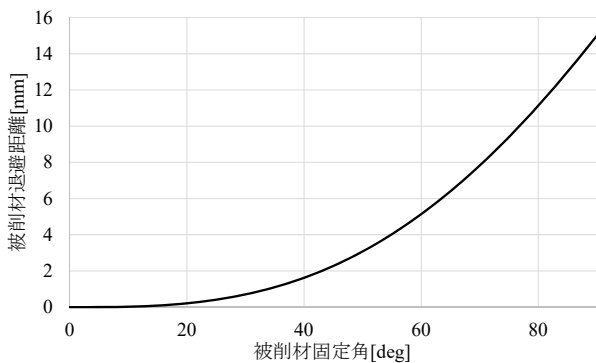


図8 被削材固定角と被削材退避距離

表1 主要試験条件

●被削材	
試験紙	クラフト紙
紙厚と紙幅	紙厚約 40μm, 幅 8mm
積層厚さ、枚数	約 16mm (400 枚)
●切断機構	
切断動作速度波形	正弦波
切断速度	20mm/sec (平均)
切断動作ストローク	20mm
切断荷重 W	750g (設定値)
●被削材供給・固定機構	
被削材固定荷重 $W_c$	—
円筒ピン径 (半径)	15mm
ローラ半径	8mm
ローラ間隔 d	—
●その他の試験条件	
被削材交換条件	DPM 13mm
試験刃物	カッター刃 (大)
被削材と試験刃物の接触速度	3mm/sec

被削材の湾曲状態により変わる。これらの幾何学的関係を図7に示す。ここでは、試験刃物によって切断された被削材が紙押さえローラーの接線方向に伸びるものと仮

定する。図中の  $r_p$  は被削材押さえピンの半径、 $d$  はローラーの固定間隔であり、試作試験機において調整可能なパラメータである。 $t$ 、 $t_{max}$  は、それぞれ切断可能な被削材残量、切断前の被削材厚さであり、 $r_r$  はローラー半径である。このとき、円弧状に固定された被削材の中心角の半角  $\alpha$  (以後、被削材固定角) は式(1)となり、切断済み被削材の刃物側面からの退避距離  $l_g$  は式(2)で表される。

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{d}{r_p + t_{max} + r_r} \quad (1)$$

$$l_g = (\sin \alpha - \alpha \cos \alpha)(r_p + t) \quad (2)$$

図8に  $r_p + t = 15$  としたときの被削材固定角と被削材退避距離の関係を示す。図から、被削材固定角が小さいときの退避距離は非常に小さく、被削材の退避効果を得るためには、少なくとも  $30^\circ$  程度の被削材固定角が必要であることが分かる。また、被削材への切り込み量が大きくなっても切断済み被削材との摩擦が生じないようにするためには、被削材固定角の調整のみではなく試験刃物の厚さに応じ、 $r_p$  を調整する必要がある。

### 3 一次試験機による切れ味試験

#### 3.1 切れ味試験条件

試作切れ味試験機における主要な試験条件を表1に示す。切れ味試験機においては、様々な試験条件が設定可能であるが、本報においては、被削材供給・固定機構の被削材固定荷重とローラー間隔に注目し、他のパラメータは統一し実験を行った。

被削材及び切断機構に関する試験条件は、本多式試験機と同様とし、被削材の切断荷重は、デジタルフォースゲージで調整した。刃物側面と切断済み被削材の摩擦は被削材への切り込み量により変動するため、被削材あたりの累計 DPC (以下、DPM : Depth of card cut per media) の最大値を設定し、DPM が 13mm となる直前に被削材を交換することとした。なお、切断動作の継続、終了は上位コンピュータと簡易ソフトによって、自動的に行った。

#### 3.2 被削材固定荷重と被削材切断量

被削材供給・固定機構は、複数のリニアガイドとリニアブッシュを組み合わせた機構であり、適正な被削材の固定荷重を検討するためには、これらリニアシステムの摩擦抵抗の影響に留意する必要がある。

被削材供給・固定機構の移動時に生じる摩擦抵抗  $R_c$  を調べるため、被削材供給・固定機構の重錘取り付け部に重錘を載せ、被削材固定用のテーブルが動き始める重錘重量を測定した。試験の結果、摩擦抵抗は、被削材固定用のテーブル位置により 600g から 800g 程度の範囲で変動することが分かった。摩擦抵抗の変動幅が比較的大きいのは、テーブルの案内に使用した 2 本のリニアガイドの反りの影響や、取り付け時の平行度による影響と考えられる。



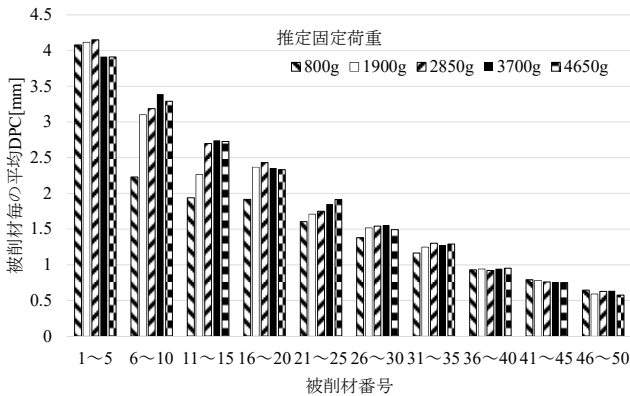


図9 被削材交換回数と被削材毎の平均切断量の関係

切れ味試験を行う際、被削材固定部のテーブルには、被削材固定荷重  $W_c$  と逆向きに切断荷重  $W$  がかかり、被削材の固定に寄与する荷重  $F_c$  は、次式で表される。

$$F_c = W_c - R_c - W \quad (3)$$

式(3)と実験の結果から、一次試作機において被削材を常に圧縮・固定するためには、少なくとも 1550g 以上の重錘を被削材供給・固定機構に取りつける必要があると推定された。

図9に5種類の推定固定荷重で被削材を固定したときの切れ味の変化を示す。ここで、推定固定荷重は  $R_c$  を 800g としたときの  $F_c$  であり重錘により調整した。実験におけるローラー間隔は 50mm であり、被削材固定角は約  $41^\circ$  となる。試験は、被削材の交換タイミングに合わせて5種類の重錘を順番に取り換える作業を1セットとして行い、合計10セット、延べ50個の被削材に対して切れ味を測定した。また、切断サイクル毎の切れ味にはばらつきがあるため、ここでは、被削材毎の平均切断量(以下、平均DPC)を刃物の切れ味とした。

図から、推定固定荷重が小さい場合の平均DPCが相対的に低いことがわかる。推定固定荷重が小さいときの被削材の動きを観察したところ、刃物による切断動作に合わせて被削材が上下動しており、有効な切断ストロークが減少していると予想された。推定固定荷重が 2850g 以上では、切断動作に伴う被削材の上下動は軽微であり、平均DPCにも顕著な違いが認められない。これらのことから、安定した切れ味試験が行えているものと予想される。

### 3.3 ローラー間隔と被削材切断量

図10にローラー間隔  $d$  を変化させた時の切れ味変化を示す。実験時の推定固定荷重は 3700g とした。図中のDPC増減率は、各被削材において切断開始から2回目の切断動作によるDPCを基準とし、各DPCを百分率で表した値である。2回目の切断動作を基準とした理由は、1回目のDPCは被削材の固定状態により変化しやすく、高い値となる傾向が認められたためである。

$d=50\text{mm}$  以上のときは、DPMが変化してもDPC増減率に大きな違いはなく、刃物側面と切断済み被削材の摩

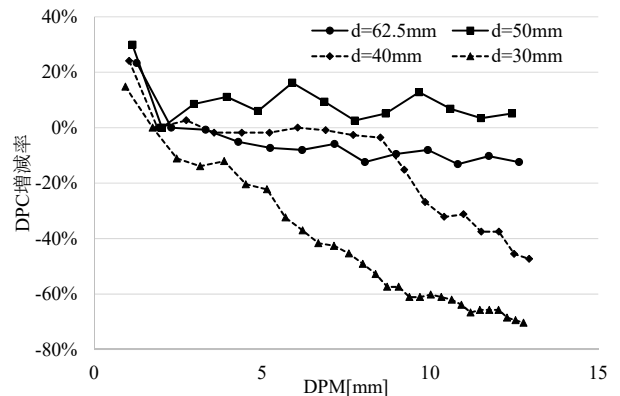


図10 切れ味の変化とローラー間隔の影響

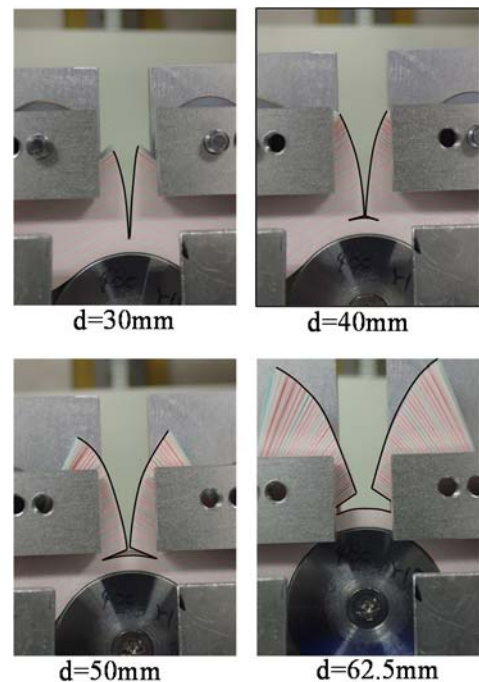


図11 ローラー間隔と切断された被削材の様子

擦を回避できていることがわかる。 $d=40\text{mm}$  では、DPCが約 9mm になるまでは刃物側面と切断済み被削材の摩擦が回避できおり、9mm 以上の DPM において摩擦が回避できなくなったことがわかる。 $d=30\text{mm}$  では、試験開始直後から切断済み被削材との摩擦はほとんど回避できず、最終的に当初の DPC の 3 割近くまで切れ味が減少したことがわかる。

図11に切断された被削材の様子を示す。ローラー間隔が狭い場合、切断済み被削材の広がり小さく試験刃物との摩擦が十分回避できないことが容易に類推できる。また、 $d=50\text{mm}$  以上では、約 13mm 切り込んだ位置においても切断済み被削材の中央部に隙間が認められ、被削材と試験刃物の摩擦が回避できていることが分かる。

以上の結果から、試験刃物側面に生じる摩擦力を回避するためには、適切な円筒ピンの径、ローラー間隔などを選択することが重要であり、このことに留意すれば単一の被削材に対し、連続的に切断動作を行っても正しく

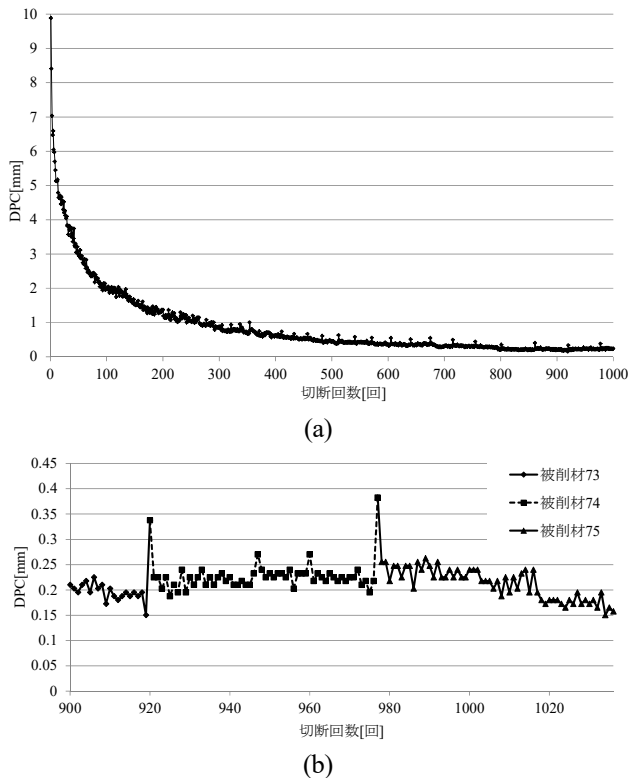


図1 2 被削材切断回数とDPCの関係

DPCを計測できることが分かった。ただし、ローラー間隔を極端に大きくとった場合、切断動作の度に被削材が上下に動き、被削材の固定が困難になる場合や被削材の切断量が減少する場合が認められた。これは、ローラーと被削材の接点と試験刃物による切断位置は、力学的な支点と作用点の関係にあり、ローラー間の距離が増大したことによって、被削材の上下動を抑制することが困難になったものと考えられる。

3. 4 被削材の連続切断と結果の連続性

試作試験機により被削材を連続切断したときの、切断サイクル数とDPCの関係を図1 2に例示する。実験は、推定固定荷重 3700g、ローラー固定間隔 50mmで行った。図に示した例では、被削材を 76 回交換しており、この間に 1036 回の切断サイクルを実行している。初期切れ味は約 10mm であり、非常によく切れる状態の刃物であるといえる。図 1 2(a)から切断サイクルを繰り返すに従い、切れ味が劣化していく様子がよくわかる。

切断サイクル 900 回から 1036 回における DPC の変化を図 1 2 (b)に示す。被削材交換直後に DPC が大きくなるが、被削材を交換しても DPC に大きな変化が認められず、微視的に見ても再現性のある切れ味試験ができていたものと考えられる。なお、被削材交換直後に DPC が大きくなる原因としては、被削材固定直後は被削材中央部に浮きが生じていること、被削材と刃物が平行に接触していないこと、被削材に対する刃物の食い込み状態の影響などが考えられる。

4. まとめ

本報では、試作した切れ味試験機の基本構成について述べるとともに、実際に被削材を切断し、安定した切れ味試験の実現に向けた基礎的実験を行った。

試作試験機は、本多式切れ味試験の切断運動を再現可能であり、刃物の切れ味を被削材への切り込み量で評価する。試作試験機の評価実験の結果、切断済み被削材と刃物側面との摩擦が切れ味試験結果に大きな影響を与えており、被削材を湾曲させた状態で固定し切断することにより、切断済み被削材と刃物の摩擦を回避することが可能であることを確認した。また、試作試験機による切断回数 1000 回以上の被削材切断試験の結果、従来から行われている本多式切れ味試験と比較して、容易かつ詳細に刃物の切れ味を評価することが可能であると予想された。

今後は、本年度試作した切れ味試験機の問題点を洗い出し、必要な改良を図るとともに、被削材供給・固定機構の自動化を図る。また、切れ味試験の完全自動化を実現するため、上位コントローラと連動した計測・制御ソフトウェアの開発に取り組む。

【謝 辞】

本研究の遂行にあたり、各種治具の設計製作並びに試験機の自動化についてご協力いただきました(株)丸富精工様に深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) 田中ら, 岐阜県工業技術研究所研究報告 第3号, pp1-pp4,2017