

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3報）

田中 泰斗、西嶋 隆

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

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いる本多式切れ味試験をベースとした新たな試験機を開発することを目指している。本年度は、昨年度までに考案した各種切れ味試験動作を統合した新たな切れ味試験機を開発するとともに、上位コンピュータ上で動作する計測・制御ソフトウェアを開発し、一連の試験動作を自動化した切れ味試験システムを試作した。また、切れ味試験の標準化を図るための準備として、刃物の切れ味の劣化理論の検討、被削材の切断ストロークまたは切断速度が切れ味に及ぼす影響について基礎的検討を行った。その結果、試作試験機における刃物の切れ味は、被削材への累計切り込み量に応じ劣化すると予想された。また、切断ストロークと初期切れ味は比例関係にあると予想された。

1. はじめに

岐阜県は国内最大の刃物産地であり、関の刃物はその性能と高い意匠性から、国内外で高い評価を受けている。従来、当県刃物製品の輸出先は、欧米が中心であったが、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開拓が期待される。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様々な取り組みが進められている。

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、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。このため、県内刃物産業の持続的発展のためには、人材育成や工程の自動化、生産工程の内製化や効率化など、将来を見据えた取り組みが重要となっている。

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な性能である。国内においては、刃物の切れ味試験として本多式切れ味試験機（以下、本多式試験機）が長年使用されているが、県内企業からは測定自動化や省力化、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、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で、県内刃物産業を支援することを目指している。昨年度までの研究では、試作試験機の基本構造を考案・設計するとともに試験機を試作し、切れ味試験の自動化に向けた、基本動作の確認を行った^{1,2)}。

本年度は、これまでに得た知見をもとに各種動作を統合した切れ味試験システムを試作した。また、試作試験機による切れ味試験の標準化を図るための準備として、

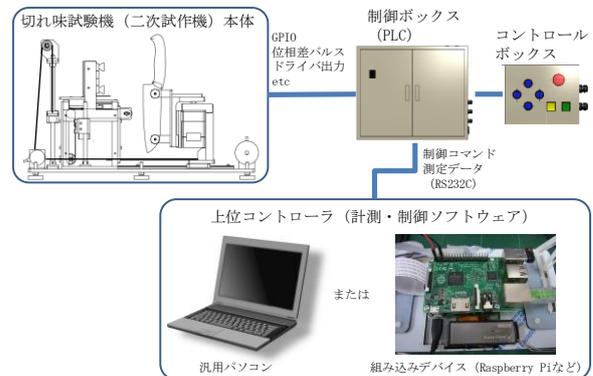


図1 切れ味試験システム

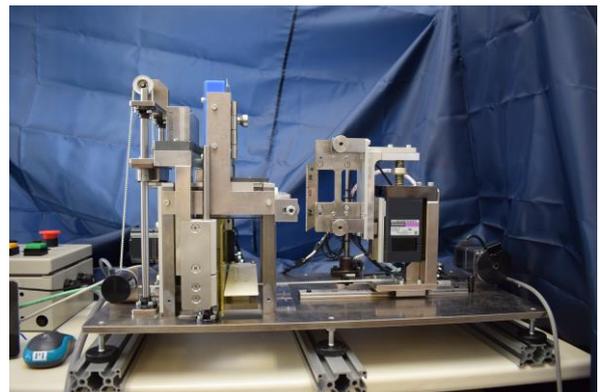


図2 切れ味試験機（二次試作機）の外観

切れ味の劣化理論の検討、被削材の切断ストロークおよび切断速度が切れ味に及ぼす影響について検討を行った。

2. 切れ味試験システム

システムの構成を図1に示す。また、切れ味試験機（二次試作機）の外観を図2に示す。本システムは、

試験動作を全自動化した二次試作機と、試験条件の設定および切れ味測定データの取得、表示、保存を担う計測・制御ソフトウェアから構成される。

2. 1 切れ味試験機 (二次試作機)

切れ味試験機 (二次試作機) の基本構成は既報の一次試作機と同様であるため、詳細については前報に委ねるが、二次試作機では、試験用被削材の供給、固定動作をラックピニオンアクチュエータにより自動化し、使用済み被削材を排出するための機構を追加することで、被削材ストックからの被削材の供給、固定、排出という一連の動作を自動化した。また、切断機構に使用した直動アクチュエータや切断部移動機構で使用したパルスモータなど一次試作機で実装済みのアクチュエータに位置決め用のセンサを追加し、原点出しを伴う正確な位置決めを可能とした。

二次試作機の各種アクチュエータおよびセンサ類は、PLC と接続されており、PLC は上位コンピュータからのコマンドにより、アクチュエータの駆動やセンサ情報の取得などの動作を実行し、上位コンピュータに必要なステータスを返している。

2. 2 計測・制御ソフトウェア

計測・制御ソフトウェアは、切れ味試験機の制御用 PLC とコマンドを送信することで、切れ味試験の一連の試験動作を制御する。ソフトウェアの開発にはオープンソースの汎用プログラミング言語 Python2.7 を使用した。Python は、Microsoft Windows、Linux など多くの主要 OS 上で動作するスクリプト言語であり、プログラムの変更も比較的容易である。また、プラットフォームが変わってもソフトウェアの移植が容易であり、本研究では Windows10 及び Raspberry Pi2 (Raspbian) 上での動作を確認した。

2. 2. 1 切れ味試験の条件設定

計測・制御ソフトウェアの動作画面を図3に示す。計測・制御ソフトウェアでは、次のパラメータを設定することとした。

- ・ 切断動作の自動停止判定切り込み量
- ・ 被削材ストック数
- ・ 試験終了条件

切断動作の自動停止判定切り込み量は、被削材交換タイミングを判定するためのパラメータである。開発試験機では円弧上に湾曲・固定した被削材に試験刃物を一定荷重で押しつけた状態で、切断動作を繰り返すことで切れ味を測定するが、刃物の切れ味は徐々に低下するため、繰り返し可能な最大切断回数は被削材ごとに異なる。そこで、開発ソフトウェアでは、切断動作による切り込み量を1サイクルごとに監視し、被削材に対する切り込み量が、あらかじめ指定された値に到達するまで切断動作を繰り返すことで、効率的な被削材の利用を可能とした。

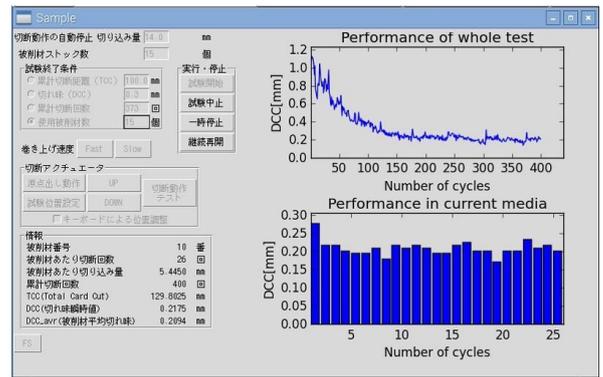


図3 計測・制御ソフトウェア

被削材ストック数は、被削材の残量を管理するためのパラメータであり、指定の被削材を使い切った場合は、試験を一時停止するとともに被削材の補充を要求する。

試験終了は、次の5種類の条件から選択可能とした。計測・制御ソフトウェアは選択した条件を満たすまで被削材の交換と切断動作を繰り返す。

- ・ 累計被削材切断距離
- ・ 切れ味
- ・ 累計切断回数
- ・ 使用被削材数

この他、変更の頻度が低いと予想される試験パラメータについては、設定ファイルで変更することとした。設定ファイルで変更可能な主要パラメータは、RS232C 通信設定、切断アクチュエータの駆動速度及びストローク、被削材交換時における被削材と試験刃物の接触速度などである。

2. 2. 2 切れ味試験の結果出力

開発ソフトウェアでは、試験の進捗状況を随時確認可能とするため、1サイクルの切断動作の度に切れ味の瞬時値や平均値とともに切れ味曲線をグラフ表示することとした。

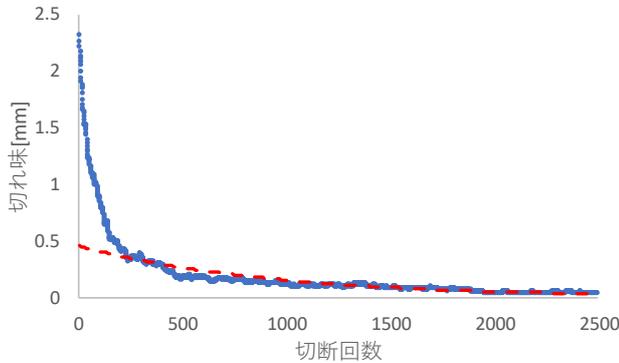
ユーザ独自の方法で切れ味の評価を行うことを容易にするため、最終的な試験結果は、Microsoft Excel 形式で出力することとした。出力ファイルには、被削材切断回数毎の切れ味及び累計切り込み量のほか、使用した被削材数、被削材ごとの平均切れ味が保存される。また、試験結果を可視化するため、切断回数と切れ味の関係と被削材への累計切り込み量と切れ味の関係をエクセルファイル内で自動的にグラフ化する。

3. 切れ味の劣化理論

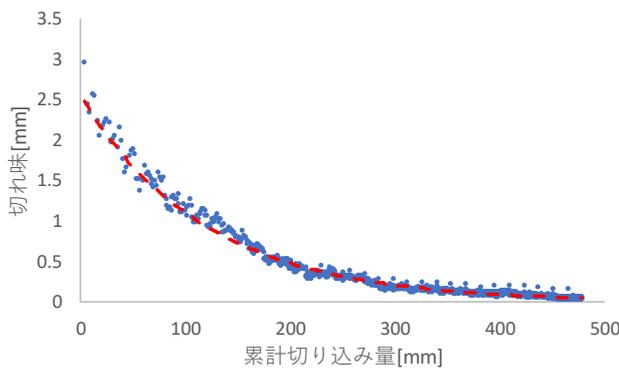
刃物の切れ味評価方法としては、ISO8442-5 と本多式試験が広く知られているが、初期切れ味と被削材への累計切り込み量を評価指標としている点は、何れの試験も同じである。本多式試験においては、離散的な切れ味データから、理論に基づく近似曲線を求め、累計切り込み量を推定する試みがあるが、装置の制約から多数の切れ

表1 切れ味劣化理論の検討実験の条件

試験刃物	カッター刃
切断ストローク	10mm
平均切断速度	20mm/sec



(a)



(b)

図4 切れ味曲線の近似

味データを測定することが困難であるとともに、ばらつきも多いことから、切れ味の劣化理論の十分な実証が行われていない。開発試験機においては1サイクルごとの切断動作に伴う全ての切れ味を測定することが可能であり、初期切れ味と累計切り込み量の両方を実測することが可能である。また、ある程度のばらつきを含むデータの中から、正しい刃物の性能を評価するためには理論の裏付けがあることが望ましい。そこで、本研究で試作した切れ味試験システムによる切れ味試験データを用い、切れ味の劣化理論の検討を行った。

3.1 切れ味劣化理論の検討実験

切れ味劣化理論の検討には、表1の条件で測定した切れ味データを用いた。試験終了時の切断回数は約2500回、累計切り込み量は約480mmであり、切れ味は約0.04mmまで劣化しており、十分切れ味が劣化するまで試験を行ったデータと考えられる。

3.2 切れ味の劣化と近似モデル

本多式試験機の考案者である本多らは、刃物の切れ味

は切断回数によって減少し、式(1)に示す指数関数で表されるとしている。

$$N = N_0 e^{-kn} \quad (1)$$

ここで、 N は切れ味、 N_0 は初期切れ味、 k は切れ味の減少係数、 n は切断回数である。

図4(a)に開発試験機で測定した切れ味曲線と指数関数による近似曲線を示す。図からわかるように、切れ味曲線と近似曲線は一致しておらず、特に切断回数が少なく切れ味が大きい状態における急激な切れ味の減少を近似できていないことがわかる。

図4(b)は、同じデータにおける被削材への累計切り込み量と切れ味の関係である。図中の破線で示した指数関数と測定値はよく一致しており、開発試験機における切れ味は被削材への累計切り込み量 l_n によって減少し、式(2)に従うと予想された。

$$N = N_0 e^{-kl_n} \quad (2)$$

なお、切れ味試験データは累計切り込み量の増加に伴い密になるため、近似曲線を求めるためには、被削材ごとの平均切れ味とその累計切り込み量を使用するなど、データの粗密の影響に配慮する必要がある。

4. 切れ味試験条件と切れ味の推定

切れ味試験においては、試験条件として被削材切断時の動作速度と切断ストロークが規定されている。切断速度やストロークを短縮した試験結果から、指定された条件の切れ味を推定することができれば、試験サイクルの短縮による試験の効率化が可能である。そこで、切断速度と切断ストロークが切れ味に及ぼす影響を把握するため試作システムによる基礎的な実験を行った。

4.1 切断ストロークと切れ味

図5に、切断ストロークを変更した切れ味曲線を示す。試験には市販のカッター刃を使用した。切断動作は汎用コントローラの位置決め動作により行うこととし、その平均切断速度は20mm/sec一定とした。刃物ごとに初期の切れ味や耐久性は異なるため、試験には単一の刃物を使用し、切断ストロークが重ならないように刃物を3つの領域に分けて切れ味試験を行った。

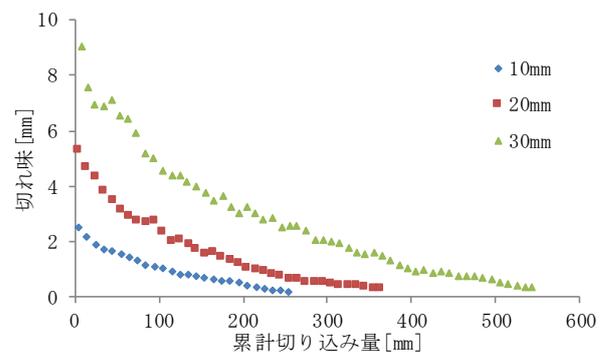


図5 切断速度と切れ味の関係

表2 切断ストロークと切れ味パラメータ

ストローク	初期切れ味 N_0	減少係数 k
10mm	2.62	0.009
20mm	5.37	0.008
30mm	9.08	0.005

表2に図5の切れ味曲線それぞれを指数関数で近似し求めた、式(2)に基づく切れ味パラメータを示す。

表からわかるように初期切れ味については、概ね切断ストロークに比例して増加する結果となっており、異なる切断ストロークの初期切れ味を推定できる可能性がある。切断ストロークと減少係数の関係は定かではないが、切断ストロークの両端では被削材と刃物が接触しながら移動する距離が短くなるため、ストロークの中央部と両端部で切れ味の劣化速度が異なると考えられ、このことを考慮した検討が必要と考えられる。

4.2 切断速度と切れ味

切断速度の影響評価実験にあたっては、数回程度の被削材切断動作では大きな切れ味の変化が起こらない程度まで切れ味を調整した刃物を用いるとともに、切断動作の度に切断速度を順次変更しながら切れ味を測定することとした。また、被削材交換直後の切れ味は大きな値となる傾向があるため、被削材交換後2度目以降の切断動作から切断速度を順次変更した。湾曲固定した被削材の内周部と外周部で切れ味が異なる可能性が考えられる。そのため、評価を行う被削材と刃物の位置関係を可能な限り統一することを目的に各切断速度での切れ味評価は、被削材ごとに1度のみ行うこととし、複数の被削材で切れ味の変化を測定した。これらの処理により、切断速度以外の要因が切れ味に及ぼす影響のみを極力排除した。試験刃物の切れ味は劣化していくため、切断速度25mm/secにおける切れ味に対する各切断速度での切れ味の割合を被削材ごとに求め、その平均値で切断速度と切れ味の関係を評価することとした。

図6に被削材の切断速度と切れ味の関係を示す。切断速度10mm/sec以上では、切断速度の増加に伴い切れ味は線形的に増加する傾向が認められ、刃物の材質が変わっても同様の結果が得られた。5.0mm/sec未満の切断速度における切れ味はこの傾向と一致しなかった。

一般に本多式試験機による切れ味は、被削材に刃物を押し込むことによる切断効果(以下、押切)と、被削材への切り込み方向と直角方向にスライドする切断効果

(以下、引き切り)が複合して現れるとされている³⁾。低速の切断速度において切れ味が大きくなった理由は定かではないが、被削材と刃物の接触時間が長くなることで、徐々に刃物が被削材に強く食い込むなど時間的な遅延を伴う押切の影響が大きくなったことが考えられる。

切断速度と切れ味の関係については、刃先角度や刃先の粗さなど様々な要因の影響が考えられるため、今後も

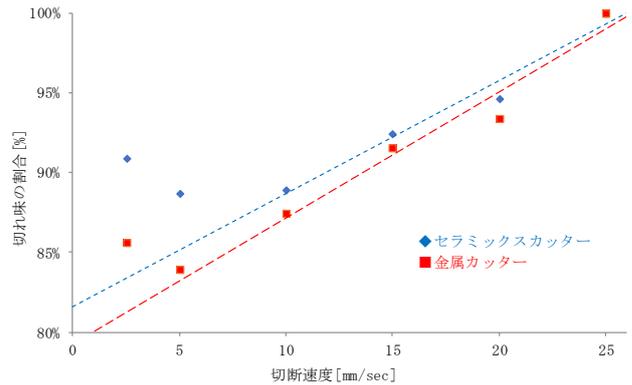


図6 被削材切断速度と切れ味の関係

様々な刃先形状の刃物で評価を行い、関係の有無を見出す必要がある。

5. まとめ

本報では、昨年度までに考案した切れ味試験機の動作を統合した切れ味試験機(二次試作機)と切れ味データを収集する計測・制御ソフトウェア、さらにはこれらを統合し一連の試験動作を自動化した切れ味試験システムについて概要を報告した。また、切れ味試験の標準化を図るための準備として、刃物の切れ味の劣化理論の検討、被削材の切断ストロークまたは切断速度が切れ味に及ぼす影響について基礎的検討を行った。

本研究で開発した切れ味試験機により、1サイクルごとの切れ味を正確に測定することが可能になった。本報で報告した切れ味の劣化理論や切れ味試験条件の影響は、従来式試験機では評価することが非常に困難であったものであり、刃物の切れ味を評価・解析するうえで開発試験機は有効であると考えられる。

今後は、開発試験機を用い様々な刃物の切れ味試験データを蓄積・評価し、試験の再現性の向上、試験方法の標準化に向けた取り組みを推進するとともに、刃物の切れ味の理論化を進める予定である。

【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制作・自動化にご協力いただきました株式会社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, 2015
- 2) 田中ら, 岐阜県工業技術研究所研究報告 第4号, pp3-pp8, 2016
- 3) 加藤ら, 刃物あれこれ, アグネ技術センター, pp86-87, 2013