

刃物製品のブランド力向上のための切れ味評価技術の開発（第2報）

田中泰斗*、田中等幸*

Development of sharpness evaluation method to improve the brand power of cutlery products (II)

TANAKA Taito* and TANAKA Tomoyuki*

刃物の切れ味には形状が密接に関係しており、非破壊による刃物形状の測定が求められている。本研究では、様々な非接触形状測定機により測定した刃物形状を統合し、刃物の微視的な形状から巨視的な形状までを一括して解析・評価することが可能なシステムの開発を目指している。本報告では、試作した刃物形状統合ソフトウェアの概要について述べるとともに、開発ソフトウェアを利用した包丁の評価事例を示す。

1. はじめに

刃物の切れ味には形状が密接に関係しており、刃先部分の小刃角や刃先角度が切れ味や耐久性に影響を及ぼすことが知られている。一般にこれら刃角度は、刃物を切断・研磨することで測定されており、多くの場合、他の試験で刃物を再利用することはできない。

本研究では、様々な非接触形状測定機により測定した刃物形状を統合し、刃物の微視的な形状から巨視的な形状までを一括して解析・評価することが可能なシステムの開発を目指している。

前報では、非接触形状測定機を用いた刃物測定における課題を整理するとともに、刃物形状の統合や解析に必要な要素技術に関する基礎的な検討結果を示した。本報告では、これをもとに試作した刃物形状統合ソフトウェアの概要を示すとともに、その利用事例を示す。

2. 刃物形状統合ソフトウェア

刃物形状統合ソフトウェアを用いた一般的な刃物解析の手順を図1に示す。開発ソフトウェアでは、「②形状の点群化/読み込み」から「⑤外部出力」までの処理を行う。ソフトウェアの開発には python を用い、3次元データ処理ライブラリーである Open3D を利用して各種点群処理および3次元描画等の機能を実装した。

2. 1 点群データ

開発ソフトウェアは、汎用的な3次元データ形式である PCD (Point Cloud Data) 形式、3次元座標テキスト形式および STL 形式のファイル読み込みに対応する。また、独自の機能として、レーザー顕微鏡（株）キーエンス製 VK9700 および VK-X1100）で測定した形状を色付きの PCD 形式ファイルに変換する機能を実装しており、様々な測定機で測定したデータを点群として扱うことができる。形状の外部出力としては、PCD 形式に対応しており、編集した刃物形状を市販の点群処理ソフトウェアにより処理・解析することも可能である。

2. 2 点群からのノイズ除去

本研究で使用したレーザー顕微鏡では、測定対象物が存在しない部分にホワイトノイズが発生するため、側面から刃物を測定した場合、刃先の最先端部に多くのノイズが発生する。刃先の形状を正確に再現するため、最先端部の形状を侵食することなく、ノイズのみを除去する必要があるが、このような処理をレーザー顕微鏡の測定システムで行うためには試行錯誤が必要となる場合が多い。そこで、レーザー顕微鏡で測定した刃先の点群から容易にノイズを除去する機能を実装した。

ノイズ除去には、Open3D が提供する距離閾値と近接点数を用いたノイズ除去関数を使用することとし、処理

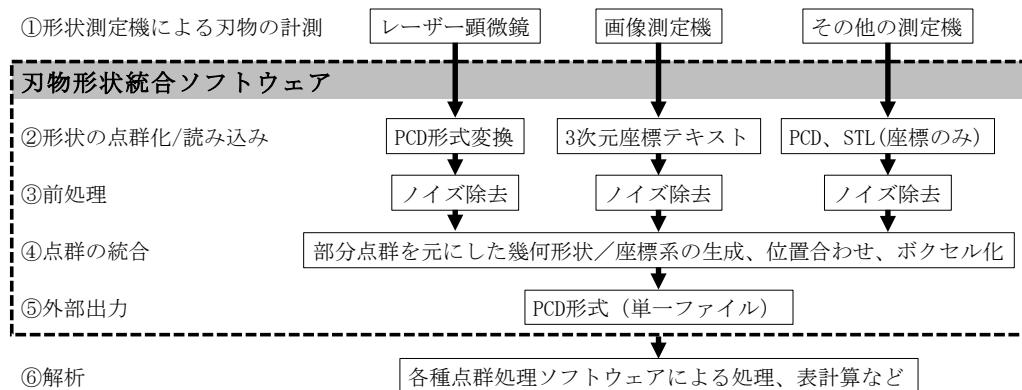


図1 刃物形状統合ソフトウェアを用いた一般的な刃物解析の手順

に必要な最適なパラメータを推定することとした。なお、計算の対象とする点群は、レーザー顕微鏡により刃物をブレード面方向から測定した形状とし、他の方法で測定した形状に適用することはできない。

パラメータの最適値は、刃物の形状的な特徴を利用して推定した。ブレード面方向からレーザー顕微鏡で測定した刃物の形状は平坦であり、点群は2次元平面上に均一に分布することとなる。このような点群における距離閾値と近傍点数は、それぞれ円の半径と円の内部に含まれる格子点の数と概ね等しくなると考えられ、本研究では、円の面積とピックの定理から、ユーザーが指定した近接点数に最適な距離閾値を求めた。

図2にDBSCANクラスタリングによるノイズの除去例を示す。刃先の形状を侵食することなく、ノイズのみが選択的に除去されており、適切な距離閾値が推定できたものと考えられる。

2.3 点群の統合

一般に点群の位置合わせは、参照点群と目標点群の対応関係を見つけ、形状が最も一致する座標を求めることにより行う。この方法は、3次元空間に均一に分布した立体的な点群に対しては有効に働くが、立体的な特徴の乏しい平坦な点群どうしを正確に位置合わせすることは難しく、刃物への適用は困難である。そこで本研究では、参照点群と目標点群それぞれの重複部分に位置合わせ用の座標系を生成し、2つの座標系を一致させる変換により点群を位置合わせすることとした。

2.3.1 幾何形状の生成

位置合わせ用の座標系は、点群から求めた複数の幾何形状から定義することとした。表1に開発ソフトウェアで扱う幾何形状とその計算に必要な要素を示す。なお、幾何形状の計算に使用する点群（以下、部分点群）は、ソフトウェア上のマウス操作により定義、抽出する。

点要素は、部分点群の平均座標から求めることとし、その他の幾何形状については最小二乗法により推定することとした。直線要素については、部分点群のほかに計

算済みの点要素または円要素からも要素を推定できる。

このほか、幾何形状どうしの演算から投影要素、交差要素、中間要素を求める機能を実装しており、平面要素に投影した直線要素、平面要素と直線要素が交差する点など、理論上の要素を生成することができる。

2.3.2 座標系の生成と点群の位置合わせ

位置合わせ用の座標系は、幾何形状を組み合わせることによって生成する。座標系を生成するための幾何形状の組み合わせは多数考えられるが、開発システムでは、2つの軸方向と原点を指定することで定義することとし、軸方向の指定に平面または直線要素を、原点の指定に円または点要素を使用することとした。なお、軸方向が直交していない場合は、指定した軸方向の優先順位に基づき直交座標系を生成することとした。

参照点群と目標点群それぞれの重複部分に点群と対となる座標系を生成し、これらを一致させる変換により参照点群全体を変換することで2つの点群を位置合わせすることができる。

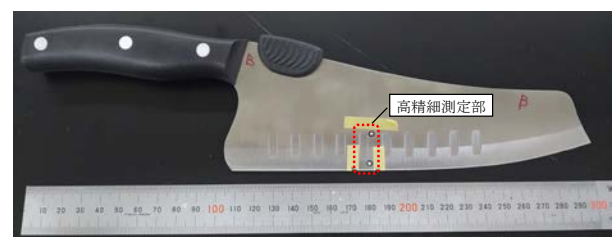
3. 刃物形状の統合と評価事例

3.1 刃物の形状測定と統合

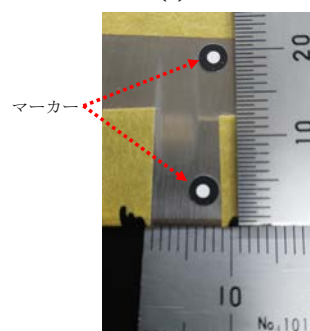
形状の統合実験に使用した刃物を図3に示す。使用したのは、全長300mm、刃渡り200mm、高さ70mmの包

表1 幾何形状と計算に必要な要素

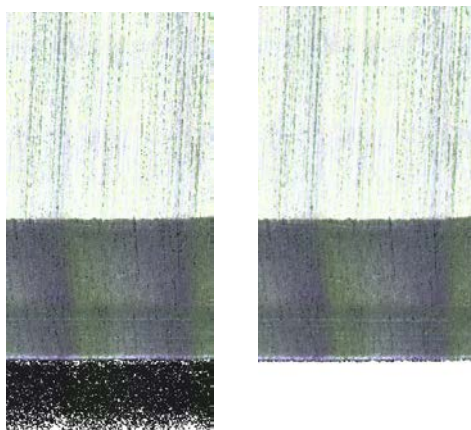
平面要素	点群(3点以上)
直線要素	直線状に分布した点群(2点以上)または点、円
円要素	円周状に分布した点群(3点以上)
点要素	点群(1点以上)



(a) 全体形状



(b) 高精細測定部とマーカー
図3 実験に使用した包丁



(a) ノイズ除去前 (b) ノイズ除去後
図2 推定パラメータによるノイズ除去

丁であり、側面にディンプル加工が施されている。測定時間やデータ量等の制限から包丁全体の形状をレーザー顕微鏡等で高精細に測定することが困難であるため、輪郭形状を画像測定機で測定するとともに切れ味や切り離れに影響する刃先に近い部分（以下、高精細測定部）をレーザー顕微鏡により測定することとした。また、高精細測定部に位置合わせのためマーカを貼り付け、輪郭形状との統合に利用することとした。

3. 1. 1 輪郭形状の測定

輪郭形状の測定には、画像測定機（株）ミツトヨ製 QVH3-H606P1L-C）を使用した。高精細形状との位置合わせのため、画像測定機により図3(b)のマーカ2か所から測定用の座標系を求め、測定座標系を基準とした包丁全体の輪郭形状を測定した。

3. 1. 2 高精細形状の測定

高精細形状は、図3(b)に示した部分の表裏をレーザー顕微鏡により測定することで得た。レーザー顕微鏡の測定ソフトウェアの制限から、全ての測定範囲を一度で測定することはできないため、測定範囲に重なりを持たせながら分割して形状を測定した。レーザー顕微鏡で測定した形状の精度や測定面積は、使用する対物レンズの倍率に依存するため、刃先など高精度な測定が必要な部分と他の部分で異なる倍率のレンズを使用して形状を測定した。

3. 1. 3 形状の統合

図4に刃物形状統合ソフトウェアによる形状統合の手順を示す。また、表2に形状統合の各段階における点群の基本情報とデータ処理の内容を示す。

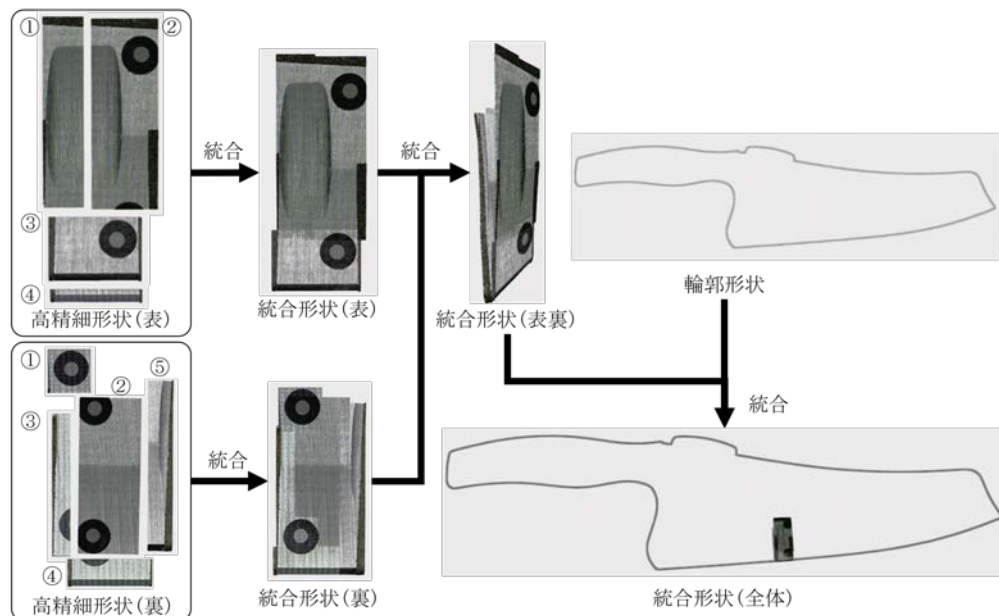


図4 刃物形状統合ソフトウェアによる形状の統合（手順）

表2 点群の基本情報とデータ処理

形状の名称	測定機	元の点群			データ処理後の点群	
		間隔 μm	幅×高さ	点数	点数	データ処理の内容
表①	レーザー顕微鏡	5.512	690×3,246	2,239,740	2,212,099	ノイズ除去
表②		5.512	1,138×3,246	3,693,948	3,630,428	
表③		4.134	2,128×1,538	3,272,864	3,099,647	
表④		2.076	4,214×669	2,819,166	2,591,346	
統合形状(表)	-	-	-	11,533,520	3,999,361	表①～④の位置合わせ、ボクセル化
裏①	レーザー顕微鏡	2.768	1,591×1,630	2,593,330	2,578,328	ノイズ除去
裏②		5.512	1,140×2,923	3,332,220	3,315,317	
裏③		2.768	680×5,313	3,612,840	3,594,242	
裏④		4.137	3,157×1,141	3,602,137	3,412,462	
裏⑤		4.137	621×4,327	2,687,067	2,561,977	
統合形状(裏)	-	-	-	15,462,326	3,540,157	裏①～⑤の位置合わせ、ボクセル化
統合形状(表裏)	-	-	-	7,539,518	7,539,518	統合形状(表)と(裏)の位置合わせ
輪郭形状	画像測定機	500	1×1,429	1,429	-	
統合形状(全体)	-	-	-	7,540,947	7,540,947	統合形状(表裏)と輪郭形状の位置合わせ

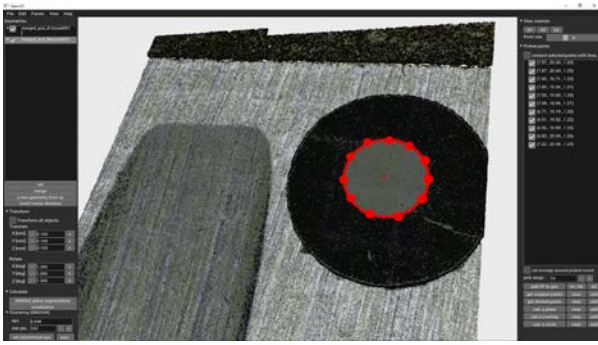


図5 マーカー部に生成した円要素

高精細形状は、色付きの点群として読み込み、前処理としてノイズの除去を行った。形状の統合に必要な幾何形状は、点群の色や模様などを元に生成した。図5に開発ソフトウェアにより、マーカー部に円要素を生成した例を示す。

位置合わせの完了した点群には、必要に応じボクセル化を施し、ポイント数を削減するとともに形状が重複する部分の誤差を平均化した。図4の統合形状（表裏）は、これらの操作を繰り返すことで高精細形状を統合した点群である。統合形状（全体）は、画像測定機により輪郭形状を測定した時と同じ座標系を統合形状（表裏）のマーカー部分から求め、輪郭形状と一致させることで生成した。

3. 2 形状の統合精度

刃物形状の統合精度を評価するため、3次元測定機（Carl Zeiss, Inc. Prismo ULTRA 9/13/7）で測定した断面形状と点群から抽出した断面形状の比較を行った。

点群からの断面形状の抽出には、点群処理ソフトウェア（CloudCompare）を使用した。図6にCloudCompareに読み込んだ点群と断面抽出部を示す。

3次元測定機による測定には、スキャニングプローブを用い、図6と同じ個所の断面形状を測定間隔 $50\mu\text{m}$ で測定した。図7に断面形状の比較結果を示す。点群から抽出した断面形状に一部ノイズが認められるが、2つの断面形状はよく一致しており、レーザー顕微鏡で測定した点群が、概ね正確に位置合わせできているものと考えられた。また、刃先最先端から約 0.8mm 区間から推定した刃先角度は、点群から抽出した断面で 35.5° 、3次元測定器で測定した断面で 35.7° であり、殆ど同じ刃先角度が得られた。

点群の連結精度は、形状測定機の測定精度に依存するため、この結果のみで刃物形状統合ソフトウェアを評価することは難しいが、レーザー顕微鏡システム単独では困難な広範囲の刃物形状を高精度に評価できるものと予想される。

4. まとめ

本報告では、刃物形状統合ソフトウェアの概要について述べるとともに、開発ソフトウェアを用いた包丁の評価事例から複数の点群を高精度に統合できることを示した。今後は、刃先角度、刃角度など、一般的な刃物の評価指標を計算する機能を追加するなど、実用に向けたソフトウェアの改良を行う予定である。

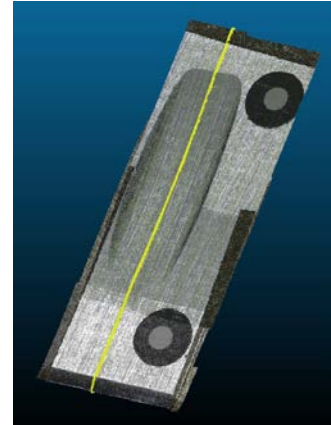


図6 CloudCompareに読み込んだ点群と断面抽出部

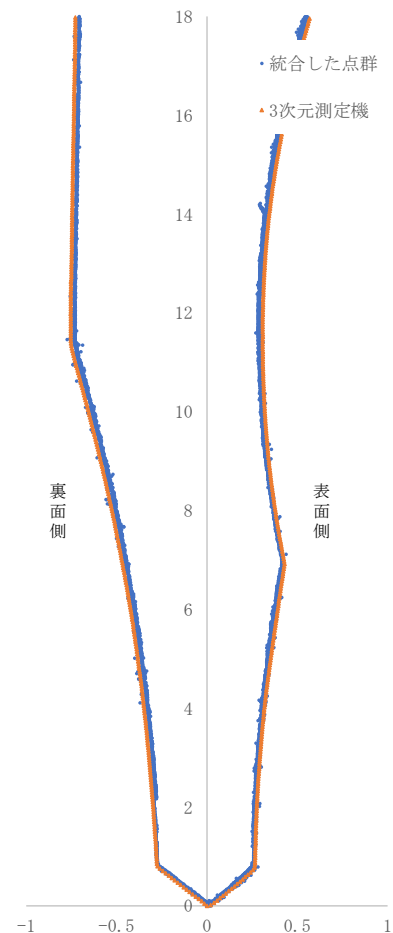


図7 刃物の断面形状