

包丁手技訓練を目的とした把持力信号の 自動ストローク切り出し手法の検討

川田智晴†1 岡田一志†1 大井翔†1 松村耕平†1 寒川雅之†2 野間春生 †1

概要：包丁は調理などの際に日常的に使用される道具であるが、人によって包丁手技には大きな差がある。効率よく手技を学ぶ手段として、熟練者から口頭で指導を受けたり、実演を観察したりすることなどが一般的に考えられるが、見るだけでは理解しづらい力加減などの手技を学習することは困難である。そこで、包丁技術の熟練者と非熟練者において、包丁を使用している際の掌にかかる力を、3軸 Micro Electro Mechanical Systems 触覚センサを用いて計測することで、包丁への力の加え方が熟練者と非熟練者でどのような違いがあるか調査するため、計測・分析を行った。さらに、その手法を自動化するため、ストローク波形に周期的な特徴があることに着目し、ストローク波形の自己相関を求めることでストロークを自動的に切り出す手法を提案する。

1. はじめに

包丁は調理などの際に日常的に使用される道具であるが、人によって包丁手技には大きな差がある。包丁手技にはいくつかの種類があり、それは包丁の種類やその握り方、切る食材などによって包丁手技を使い分けている。例えば、和食の料理人であれば三徳包丁、出刃包丁、刺身包丁などの包丁を食材ごとに使い分けて調理を行う。また、魚などの柔らかい食材を切る場合は卓刃法、繊維の固い食材を切る場合は支柱法、野菜を切る場合は全握法など、食材や切り方によって切断しやすい握り型が存在する。

包丁手技の向上を目指す場合、日常的に包丁を使用し十分な調理経験を経ることでその手技は向上するが、効率よく手技を学ぶ手段として、熟練者から口頭で指導を受けたり、実演を観察したりすることなどが一般的に考えられる。しかし、これらの方法では、微妙な力加減などを言語化し

指導することや、動作の観察から把握することが難しいため、そのように見るだけでは理解しづらい手技を学習することは困難である。

学習することが難しい手技を可視化し学習を供するため、先行研究では、包丁本体の動きを計測する研究と、包丁使用者の動きを計測する研究が行われている。包丁本体の計測を行った研究では、慣性センサを用いて包丁の動きを計測し、切断する試料の種類によって包丁の加速度・角速度のスペクトルに違いがあることを示している[1]。一方、包丁使用者の動作を計測する研究では、健康栄養学科の調理学実習における調理技術の効率的な習得のため、包丁使用者の動作解析を行う研究[2]や、包丁操作の効率的な方法を知るため、包丁利用時の筋電図測定をした研究[3]などがある。さらに、指から包丁に加える力を解析に用いた研究[4]では、指サック型の圧力センサを両手親指に装着し、リンゴの皮むき時に包丁の刃と皮を抑える圧力を計測することで、熟練者が非熟練者よりも右手親指の動きによって包丁と皮の動きを制御し、より速く皮をむくことができること

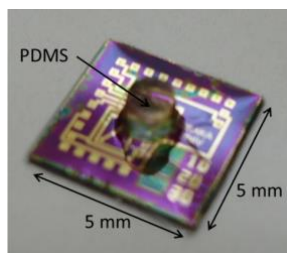


図 1 MEMS 触覚センサ本体

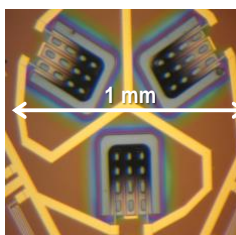


図 2 センサ内部

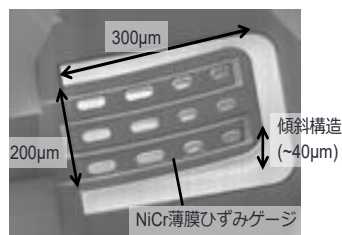


図 3 マイクロカンチレバー構造



図 4 触覚センサ設置部分(上)の囲み部を拡大(下)

†1 立命館大学 情報理工学部

†2 新潟大学 工学部

を示している。しかし、この研究ではリングの皮むきという限定されたシチュエーションで実験を行っており、掌から包丁の柄にかけられる力などの、包丁を実際に操作する力を計測することができない。

そこで筆者らは、熟練者と非熟練者での包丁手技の差異を、触覚センサを用いた掌から柄にかけられる力の計測によって分析する手法の提案[5]を行なった。包丁を動かす力には握る際の圧力だけでなく、上下前後に動かす剪断力も重要であると考えられる。よって、その両方の力を計測することができる触覚センサを使用している。さらに、センサ自体が小型であることから、柄にセンサを設置していても、使用者へ与える影響が少ない。この先行研究は、熟練者の包丁手技を非熟練者にフィードバックすることで、非熟練者の包丁手技を向上させるシステムを開発するための第1段階として行なった研究である。

本稿では、触覚センサを用いた掌から柄にかけられる力の計測で取得した信号における、1ストロークの自動切り出し手法を提案する。また、その手法を用いて切り出したストロークから、熟練者と非熟練者の比較を行う。これらを用いることによって、リアルタイムで評価するためのシステムの構築を目指す。

2. 提案手法

本研究では、我々が開発した3軸 Micro Electro Mechanical Systems(MEMS)触覚センサ(以下触覚センサ)[6, 7]を包丁の柄に設置し、包丁使用者の掌から柄にかけられる力を計測する。ここで、触覚センサ本体の画像を図1、内部構造を図2,3に示す。この触覚センサは直径1mm程の大きさで、MEMS技術で製作した極小マイクロカンチレバーを検知素子としており、カンチレバーの歪みを検出することで、圧力と剪断力の3軸で力を計測することができる。包丁を使用する際の力は、握る圧力だけではなく、包丁使用者に対して前後、あるいは上下に動かす推進力と考えられる、剪断力が大きな役割を果たしていると予想できる。そこで、包丁の柄に触覚センサを設置することで、圧力だけでなく剪断力の計測を行う。

先行研究では、センサで取得した信号を、カメラで撮影した動画から手動で1ストロークごとに切り出し、ストロークごとでの信号の比較を行う。そのようにして熟練者と非熟練者の比較を行なっているため、システムの自動化を行うことができていなかった。そこで本稿では、触覚センサで得られた信号から各ストローク部分の自動切り出しを行うため、全ストローク部分の自己相関を求める。先行研究での実験から、ストロークの信号には周期性があることがわかっており、今回はその周期性に着目し、自己相関関数から各ストロークの周期を算出することでストロークの切り出しを行う。具体的には、Pythonのモジュールであるstatsmodels.apiのtsa.stattools.acf()を使用し、自己相関を算

出する。さらにscipy.apiのsignal.argrelmax()を用いて、その自己相関の周期を求める。求めた周期から先ほどと同じくsignal.argrelmax()を用いてストロークのピークを求めることで、ストロークの自動切り出しを行う。

切り出した各ストローク信号を50Hzカットオフのバターワースフィルタにかけ、Dynamic Time Warping(DTW, 動的時間伸縮法)を用いて、個人間ならびに被験者間での1回のストローク時間で正規化した類似度を算出する。この類似度を距離誤差とみなしてMulti Dimensional Scaling(MDS, 多次元尺度構成法)を用いて各ストロークの類似度でのマッピングを行うことで熟練者および非熟練者での手技の差異を可視化する。

3. 実験

3.1 実験内容

提案手法を用いて熟練者と非熟練者のどちらでもストロークの切り出しを行うことができるか調査するため、切断動作の計測・分析を行った。

被験者には触覚センサを設置した包丁を用いてキュウリとニンジン輪切りにしてもらい、10ストローク以上の切断動作をそれぞれ練習1回、本番1回の計2回行う。その際に掌から柄にかけられる力を計測し、カメラで記録する。キュウリには直径およそ2.5~2.8cmのものを使用し、ニンジンには形による差をできるだけ小さくするため、底面を切断し、厚みが2.5~2.8cmのものを作成、使用した。また、切断時には出来るだけ薄く切断することを指示した。さらに、包丁を全ての指で完全に握る全握法を用いて包丁を握るように指示し、握った際に掌の人差し指の付け根あたりが接触する箇所である柄の右側前部に、触覚センサを1つ設置した。普段の握り方が全握方だった場合は持ち方への指示は行っていない。触覚センサ設置部を図4,5に示す。包丁の持ち方には全握法の他に、卓刃法、支柱法などがあるが、今回の実験では触覚センサの位置が固定であることと、持ち方による差を生じさせないため全握法に指定した。触覚センサ上の突起の直径は2mm、高さは0.3mm程度であるため、包丁を使う際に、触覚センサの設置が包丁手技に及ぼす影響は十分に小さい。

センサの信号計測には、ADコンバータであるNI cDAQ-9147を使用し、分解能は32bit、サンプリング周波数は2kHzで計測を行った。

3.2 被験者

被験者は右利きの男性6名、女性2名である。4名(A,B,C,D)は比較的調理経験が少ないか、全く包丁を扱う習慣がなく、他の4名(E,F,G,H)は日常的に調理を行なっている。特に被験者Hは飲食店での調理を行なっており、高い包丁手技を持っている。

4. 結果と考察

切断に要した時間と、切断したキュウリの重さをグラフにしたものを図5に示す。包丁手技の熟練度の基準として、熟練度が高い場合、切断に要する時間が短く、試料をより薄く切断できることが挙げられる。つまり、図5では、左下に配置されるほど熟練度が高く、右上に行くほど熟練度が低いといえる。

被験者 B(非熟練者), H(熟練者)でのニンジン切断の際に触覚センサで得られた信号を図6, 8に示す。また、2章で述べたように、それぞれの信号を、提案手法を用いて

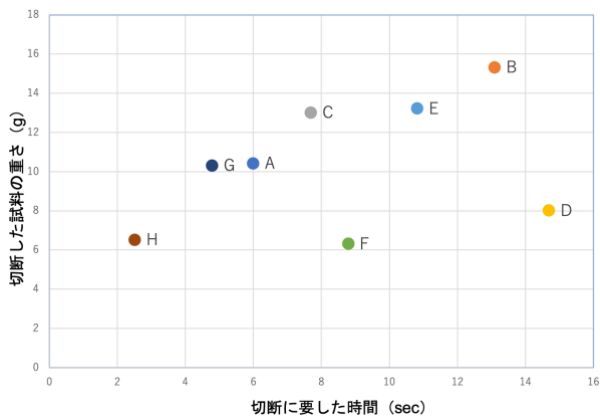


図5 切断に要した時間と切断したキュウリの重さ

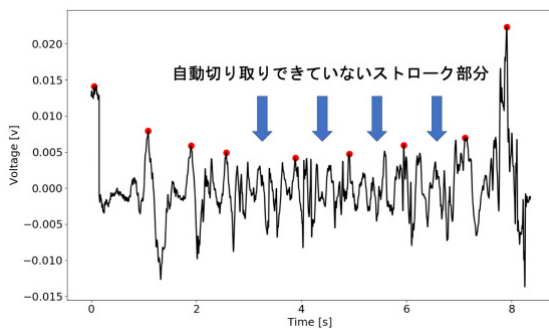


図6 被験者Aのストローク信号（ニンジン切断時）

ストロークごとに切り出し、切り出した各ストロークを重ねたものを図7,9に示す。

ストロークの切り出しでは、その信号に周期的にピークが現れることを前提としているため、図6のようにピークが多数出現する信号ではストロークを全て検出することができなかった。そのため、ストロークではない部分をストロークとみなしてしまっている場合が存在する。

図7, 9の2つのグラフで各ストロークの波形を比較すると、熟練度の低い被験者Aではストローク毎に形にばらつきがあり、ストロークにかかる時間が短い、熟練度の高い被験者Hでは形が均一であり、1回のストロークにかかる時間が長いことがわかる。これは各ストロークの切断動作において、非熟練者は柄に不定な力で時間をかけて行っているが、熟練者は柄に一定な力を加えかつ素早く行っていることを意味する。

DTWとMDSを用いた各ストロークの類似性のマッピングでは、解析データには本番時の10ストローク中における中央の計8ストロークでの計測信号を使用した。これは計測開始直後と計測終了直後のデータには、薄く切る必要があることや回数が決まっていることなど、被験者が実験の条件に合わせようとする意識が力加減に影響を及ぼす可能性を排除するためである。この処理の結果として、キュウリを切断した際のストロークでのマッピングを図10、ニ

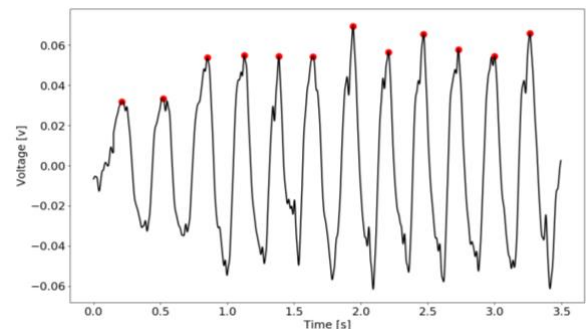


図8 被験者Hのストローク信号（ニンジン切断時）

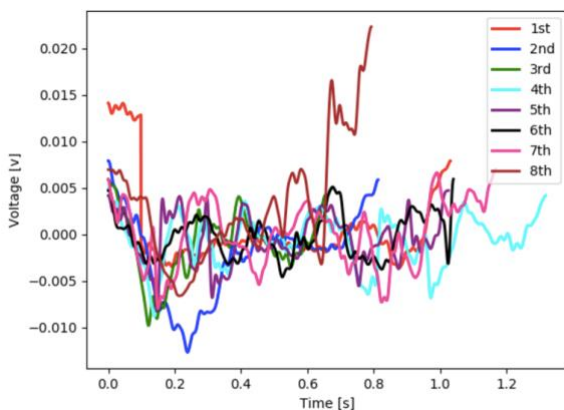


図7 図6から切り出した各ストローク信号を重ねた波形

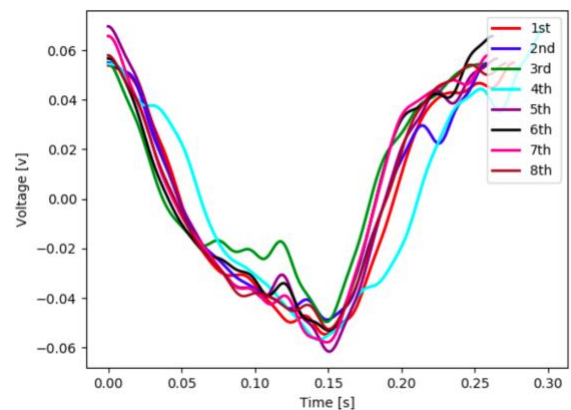


図9 図8から切り出した各ストローク信号を重ねた波形

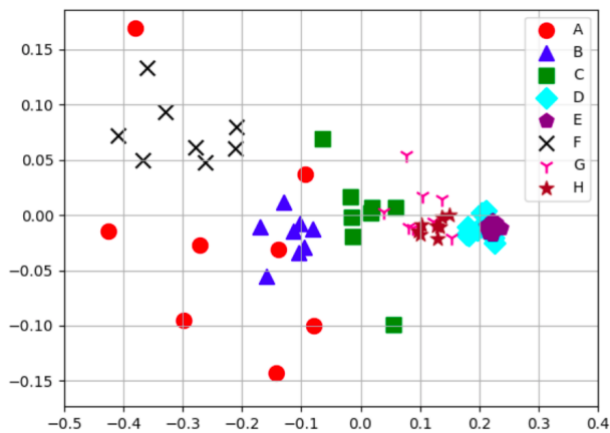


図 10 MDS でマッピングした散布図（キュウリ切断時）

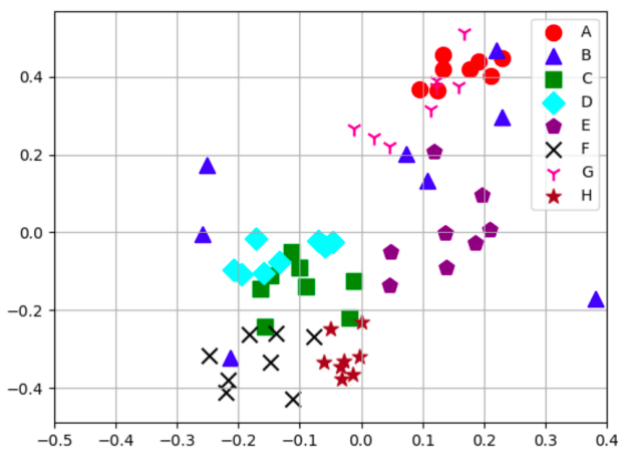


図 11 MDS でマッピングした散布図（ニンジン切断時）

ンジンを切断した際のストロークでのマッピングを図 11 に示す。図 10 と図 11 を比較すると、ストロークごとの類似度において、被験者 B,D,E,G,H はキュウリを切断した場合よりニンジン切断した場合の方が、類似度が低く離れてマッピングされていることがわかる。さらに縦軸の目盛り幅が、図 10 では 0.05 なのに対し、図 11 では 0.2 となっていることから類似度に大きな差が生まれていることがわかる。これらの原因としては、ニンジンの方がキュウリよりも硬度が高く、厚みも大きいので、切断動作を行う難度が高くなっていることが考えられる。

5. まとめと展望

触覚センサを用いて包丁を握る力を計測し、切断動作における各ストロークの自動切り出しを行い、そのストロー

クデータから熟練者と非熟練者の包丁への力の加え方の可視化を行うことができ、リアルタイムで評価するためのシステムに必要な要素を構築することができた。

しかし、結果と考察でも述べたように、ストロークの個人差によって波形には大きな差異があるため、ピークが多く出現するような切断動作では、正しいストローク部分を切り出すことができなかった。そのため、特徴的なピークが現れないようなストロークを切り出すためには他のセンサを併用して包丁の動きを計測するなどの方法をとる必要があると考える。

また、今回使用した触覚センサで計測した信号は 3 軸あるうちの 1 軸のみを使用している。このままでは圧力と剪断力が混合した値のみの計測となっているため、3 軸での計測を行い、計測値を圧力と剪断力に変換する必要がある。展望として、包丁手技の熟練度の数量化、リアルタイムの評価手段を研究し、それらを応用して包丁手技向上のための自動アドバイス機能の実現を目指す。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 18H03314 の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 由良亮, 浜野純. 6 軸モーションセンサーを用いた包丁技術の可視化装置の検討. 中京学院大学中京短期大学部研究紀要. 47 巻 1 号, pp. 1-10, 2017
- [2] 林知子, 柳沢幸江. 動作解析法を用いての熟練度による「切る」操作の検討. 日本調理科学会誌. 37 巻 3 号, pp. 299-305, 2004
- [3] 上野ヨウコ, 桑本千賀子, 山本郁也. 包丁操作に関する筋電学的分析. 日本家政学会誌 42 巻 9 号, pp. 775-781, 1991.
- [4] 太田沙織, 曾我真人. りんごの皮むきスキルの熟練者と非熟練者の比較分析. 教育システム情報学会全国大会講演論文集. 35 巻, pp. 357-358, 2010.
- [5] 川田智晴, 岡田一志, 大井翔, 松村耕平, 寒川雅之, 野間春生. MEMS 触覚センサを用いた包丁手技での熟練者と非熟練者の比較. 日本バーチャルリアリティ学会研究報告. 24 巻, pp. 33-36, 2019
- [6] 橘弘人, 釜鳴志朗, 美馬達也, 寒川雅之, 岳金島, 奥山雅則, 山下馨, 野田実, 野間春生, 樋口誠良. 3 方向カンチレバーを用いた多軸触覚センサの作製と基礎特性. 電気学会論文誌. E, センサ・マイクロマシン専門誌, Vol. 130, No.6, pp. 223-229, 2010.
- [7] Ryoma Araki, Takashi Abe, Haruo Noma, and Masayuki Sohawa. Miniaturization and high-density arrangement of microcantilevers in proximity and tactile sensor for dexterous gripping control. Micromachines, Vol.9, No.6, 2018