

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

Examination of the Visualization Device of Skill in Handling the Kitchen Knife Using 6 Axis Motion Sensors

由良 亮*・浜野 純**・萩原勇人***・楠瀬千春****

Makoto YURA, Jun HAMANO, Hayato HAGIWARA, Chiharu KUSUNOSE

要 約

6軸モーションセンサーを用いて包丁操作を記録・解析し、可視化する方法を検討した。

包丁の柄と同程度の大きさのセンサーモジュールを作成した。センサーモジュールは包丁の刃側と柄側の動作を同時に記録することができるように、2個のセンサーを装着した。そして、これを制御するプラットフォームとして用意したRaspberry Pi2 model Bに、I²Cインターフェースで接続し、記録装置を作成した。そして、記録条件を検討した。記録速度を測定したところ、通信速度400 kbpsにおいて、445.03 - 395.10 Hzで記録できることを確認した。この結果から、200 Hz (サンプリングレート 5 msec) で記録条件を設定した。

これを用い、キュウリの小口切り、人参と大根のイチヨウ切り、大根の桂むきの動作を記録した。そして、得られた信号を高速フーリエ変換 (FFT) にかけて、比較を行った。

いずれの操作においても、包丁操作のパワースペクトルは、加速度・角速度共に15 Hzより低い周波数領域に集中していた。また、加速度は刃側と柄側の強度に差異が認められたのに対し、角速度ではわずかだった。

キュウリの小口切りでは、加速度・角速度のパワースペクトルに倍音成分が認められた。人参のイチヨウ切りでは、包丁の切断動作に伴う軸方向で、加速度・角速度スペクトルに特徴的なピークが確認された。しかし、大根のイチヨウ切りでは、一定の傾向は見られなかった。大根の桂むきでは、刃先の円弧運動に相当する角速度スペクトルが特に強く認められた。

以上の結果から、本機を利用することで、包丁操作の特徴を捉え、可視化できる可能性が示された。

Abstract

The recording, analysis and visualization methods of kitchen knife operation by 6 axis motion sensors were examined.

The sensor module with the size as much as the handle of the kitchen knife was made to do. It was embedded 2 sensors which record movement in the module at the same time at both ends (blade and handle) of a kitchen knife. It was connected to the Raspberry Pi2 model B which was prepared as the platform where the module is controlled by I²C interface and recording device was made. And then, recording condition of the device was considered. When recording rate of equipment was measured, it was confirmed that it can be recorded in 445.03 - 395.10 Hz in transmission speed 400 kbps. As the result, recording rate of kitchen knife operation was determined to 200 Hz (sampling rate 5 msec).

The operation of slicing of cucumber, quarter circle cutting of carrot and japanese radish, rotaly slicing of j apanese radish was recorded using the device. And then, The signals were applied to a fast fourier transform ation (FFT) and compared.

Power spectrum of all operation were concentrating at frequency domain lower than about 15 Hz in the acceleration and the angular velocity. There were clearly differences of power between blade and handle side in spectrum of accel but there were slightly differences in angular velocity.

Characteristic overtone ingredient was detected in power spectrum of thin slicing of cucumber of the accel and the angular velocity. The characteristic peaks were detected in accel and angular velocity spectrum on a xial direction in quarter circle cutting of carrot. But characteristic tendency in spectrum was not detected in quarter circle cutting of japanese radish. Angular velocity spectrum of axis equivalent to arc movement of the point of a blade was detected hard in rotaly slicing of japanese radish.

These results showed the device is possible to detect the future and visualize of kitchen knife operations.

* 本学准教授, ** 本学専任講師, *** 東筑紫短期大学, **** 九州栄養福祉大学

キーワード:

6軸モーションセンサー, 可視化, 包丁, 高速フーリエ変換, Raspberry Pi

Key words:

6 axis motion sensor, visualization, kitchen knife, fast fourier transform, Raspberry Pi

I. 緒言

包丁技術の育成は、栄養士養成にあたり、教育者側・学習者共通の必須命題である。しかし、入学までの調理経験が少なく¹⁾、入学後の技術習得が進まない学生も増えてきている²⁾。包丁操作は料理経験に応じて習得できるものの³⁾、多くの「練習」を要する技術という前提がある。そして、ここには教育者・学習者ともに自身の無意識下における所作の違いがあると考えられる。

おそらく熟練者ほど、無意識・無自覚の所作が多くなる。しかし、無自覚であるために、それを学習者に伝えることは難しい。また、学習者もそれに気がつくことは難しい。その結果、技術習得が滞ることにつながる。

包丁技術の違いを明らかにするためには、この無意識・無自覚で行う所作の「見える化」が必要となる。包丁技能の良否判定は、切断物から判断する方法がある^{4,5)}。これは家庭料理技能検定などにも取り入れられ、広く使われている。しかし、この方法では過程を判断する情報が不足している。

また、包丁操作の記録は、包丁利用時の筋電図測定⁶⁾、動画によるバイオメトリクス的手法⁷⁾、電子天秤による切断圧の変化による解析⁸⁾により行われた例はあるが、包丁自身の運動解析は詳細が不足している。そのため、包丁の運動を計測する意義は大きいと考えられる。

本研究では3軸方向の角速度[°/sec] および加速度[g]を出力する機能を持つ6軸モーションセンサーを利用する。このセンサーはパッケージサイズが5 x 5 mm となっており、様々な手道具に取り付けることが可能である。これにより、包丁操作を妨げることなく、記録することが可能となる。これを用い、包丁操作を記録し、解析を行なって、「見える化」する方法を検討する。

II. 機材と方法

1. 使用機材

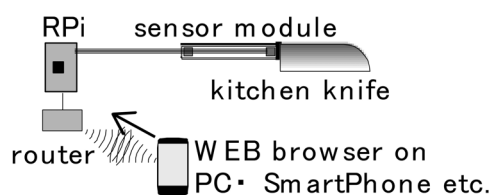


Fig.1 Apparatus for recording operation of kitchen knife.

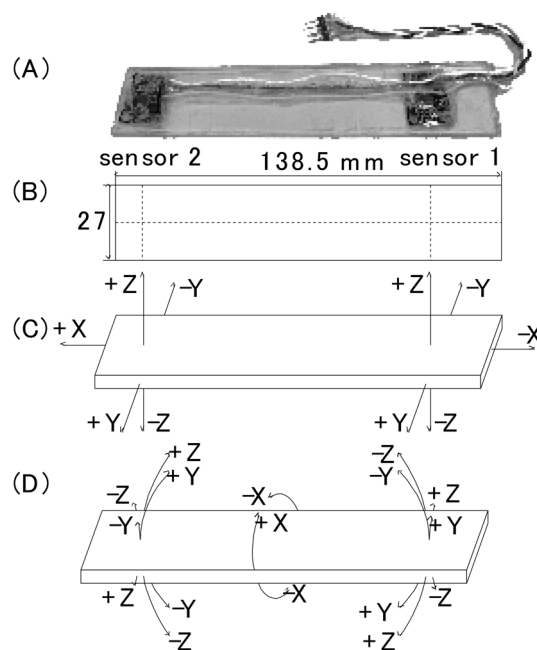


Fig.2 (A) photograph, (B) size (mm), (C) detection direction of accelerometer and (D) gyroscope of the sensor module.

IoTプラットフォームとしてRaspberry Pi 2 model B (Raspberry Pi Foundation, RPi)を用意した。オペレーティングシステム (OS) はDebian Linuxを元にしたRaspbian GNU/Linux 8.0 (jessie)を利用した。そこに計測用Webインターフェースとして、Apache2 Webサーバー (2.4.10), php 5

(5.6.24-0+deb8u1), R (3.3.1) をインストールし、計測環境の構築を行なった。

ここにI²C (I²C) インターフェース⁹⁾を用いて6軸モーションセンサー (InvenSense Inc. MPU-6050)¹⁰⁾を2個デジチェーン方式で接続した (Fig. 1)。センサーはアクリルプレートで作成した筐体内に収め、防水のためポリエチレン樹脂で封入し、センサーモジュールとした (Fig. 2)。なお、測定操作は様々な環境で利用することを考え、Webインターフェースを用意した (Fig. 3)。

なお、開発言語としてC言語を用い、基本計測ソフトウェアを開発した。また、RPIとセンサー間の通信は、C言語汎用入出力 (GPIO) インターフェースライブラリである WiringPi 2¹¹⁾を利用した。

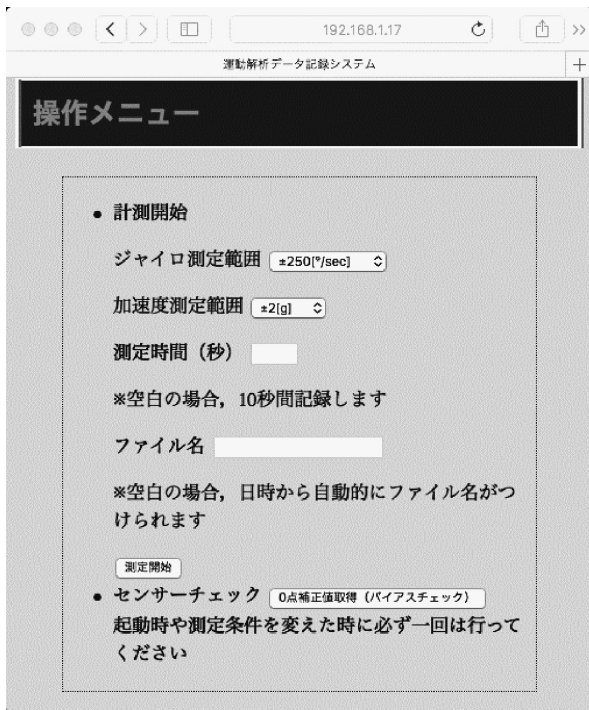


Fig.3 Web interface for control of recording apparatus.

2. カットモデル野菜とカット方法

包丁のカットモデルとして、きゅうり・人参・大根をローカルスーパーマーケットで購入した。

カット方法は比較的一般的な方法と考えられる方法を選択した (Table 1)。

Table 1 Cutting technique

food samples	technique
cucumber	thin slice
carrot	quarter circle cutting
japanese radish	quarter circle cutting rotaly slice

3. 包丁操作の記録・解析方法

包丁の柄にセンサーモジュールをセロファンテープで固定した。

その包丁を用い、各種野菜の切り込み操作中の経過時間およびセンサーデータ (温度, 3軸角速度, 3軸加速度) をCSVフォーマットで記録した。

そのCSVファイルをR¹²⁾にて展開し、数値解析を行なった。

III. 結果

サンプリング間隔の設定

センサー類は測定時の瞬間的なデータを測定し出力を行う。そのため、理想的には無限小の時間でデータを取得 (サンプリング) できれば、物理学における様々な微分方程式により解析することが可能となる。

しかし、実際のところセンサーの動作速度・プラットフォームとの通信速度・送受信中のデータ損失・プログラムの実行速度などにより制限を受ける。また、そのサンプリング間隔を狭めるほど、データ量は増加する。そのため、適切なサンプリング周波数を決める必要がある。

I²Cインターフェースは標準 (100 kbps) からハイスピードモード (3.4 Mbps) までの通信速度がある。しかし、センサー側の許容動作速度はファーストモード (400 kbps) までである。

I²Cの通信プロトコルでは1 byte の出力を得るために、問い合わせで19 bit, 返答に9 bit を要する。センサーの出力データは1項目につき2 byte (16 bit) である。そのため1項目のデータ読み取りに、その2倍である38 bit を要する (Fig. 4)。

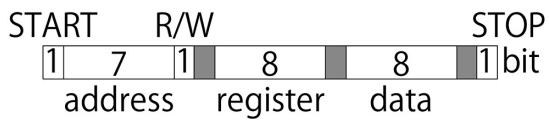


Fig.4 I²C data transfer format. R/W: Read or Write

センサー1つにつき、7種類のデータを持つため、全てのデータ取り込みには406 bitを要することになる。さらに、本研究で使用するセンサーモジュールは2個のセンサーを用いている。そのため、単位時間における通信量は812 bitである。その結果、標準モードでは8.12 msec (123.15 Hz)、ファーストモードでは2.03 msec (492.61 Hz)が、サンプリングレート（周波数）の限界となる。

そこで、計測ソフトウェアを待ち時間無しで稼働させ、通信速度を変更してサンプリングレートを計測した (Fig. 5)。

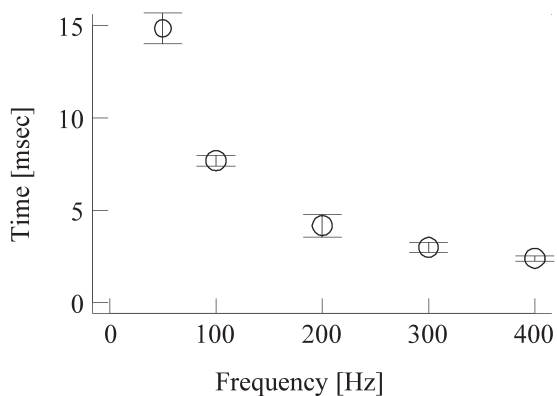


Fig.5 Changes in transmission speed [Hz] on sampling time [msec]. Symbols and error bar indicates mean and standard deviation.

400 Hzまで読み取りエラーもなく安定して動作し、平均サンプリング間隔は 2.389 ± 0.142 msec (445.03 - 395.10 Hz)となった。これは理論値の84.97%であり、誤差範囲を考慮すると、ほぼ限界に近い速度でデータ取得が可能であることを確認した。

そこで余裕を大きく見て、通信モードを400 kbps、サンプリング間隔を5 msec (200 Hz)で記録するよう、プログラム内の待ち時間を調整した。

包丁操作の記録と解析法の検討

キュウリの小口切り、人参・大根のイチヨウ切り、大根の桂むきについて、研究者自身の包丁操作を記録した。加速度データには重力加速度が含まれるため、RCフィルタにより重力加速度を計算し、これを取り除いた¹³⁾。そして、高速フーリエ変換 (FFT) を行ない、パワースペクトルを得た。なお、相対強度が強い周波数成分は、およそ15 Hz未満に限定されていたため、本稿ではそれ以上の周波数帯についての言及は行わない。

包丁の柄側と刃側において、加速度では違いが確認されたが (Fig. 6 a)、角速度には明確な違いは認められなかった (Fig. 6 b)。

加速度のパワースペクトルでは、どの切り方においても、X、Z軸（手前奥、左右の運動）に大きな違いは認められなかった。しかし、Y軸（上下の運動）については、刃側 (sensor 2) には低周波成分、柄側 (sensor 1) には高周波成分が多く含まれていた。これは、刃側の運動に比べ、柄側の方が鋭い運動をしていることを示している。

キュウリの小口切りは、加速度・角速度のパワースペクトルで共に、4、8、12 Hz付近で倍音成分が認められた。この傾向は加速度では刃の上下運動 (Y軸)、角速度は刃のひねり運動 (X軸) で特に強く認められた。

人参のイチヨウ切りでは、キュウリ同様、倍音成分は認められるものの、その傾向は小さい。特に、加速度のパワースペクトルでは、X、Y軸共に、2 Hz付近に特徴的なピークがあり、4 Hz以上の成分が均一に広がっている印象を受ける。一方、角速度についてはZ軸 (XY平面：刃先の円弧運動) の強度が、他軸に比べて非常に強く出ている。これは操作の過程で、刃先が円弧を描くように運動するのに対し、刃のひねり角度 (X軸) や包丁の角度 (Y軸) に変化が無いことを示している。

大根のイチヨウ切りは、キュウリ・人参と全く異なる傾向が見られた。加速度のパワースペクトルでは0.5 Hz付近にピークがあり、それ以上の周波数領域では徐々にパワーが減少している。加え

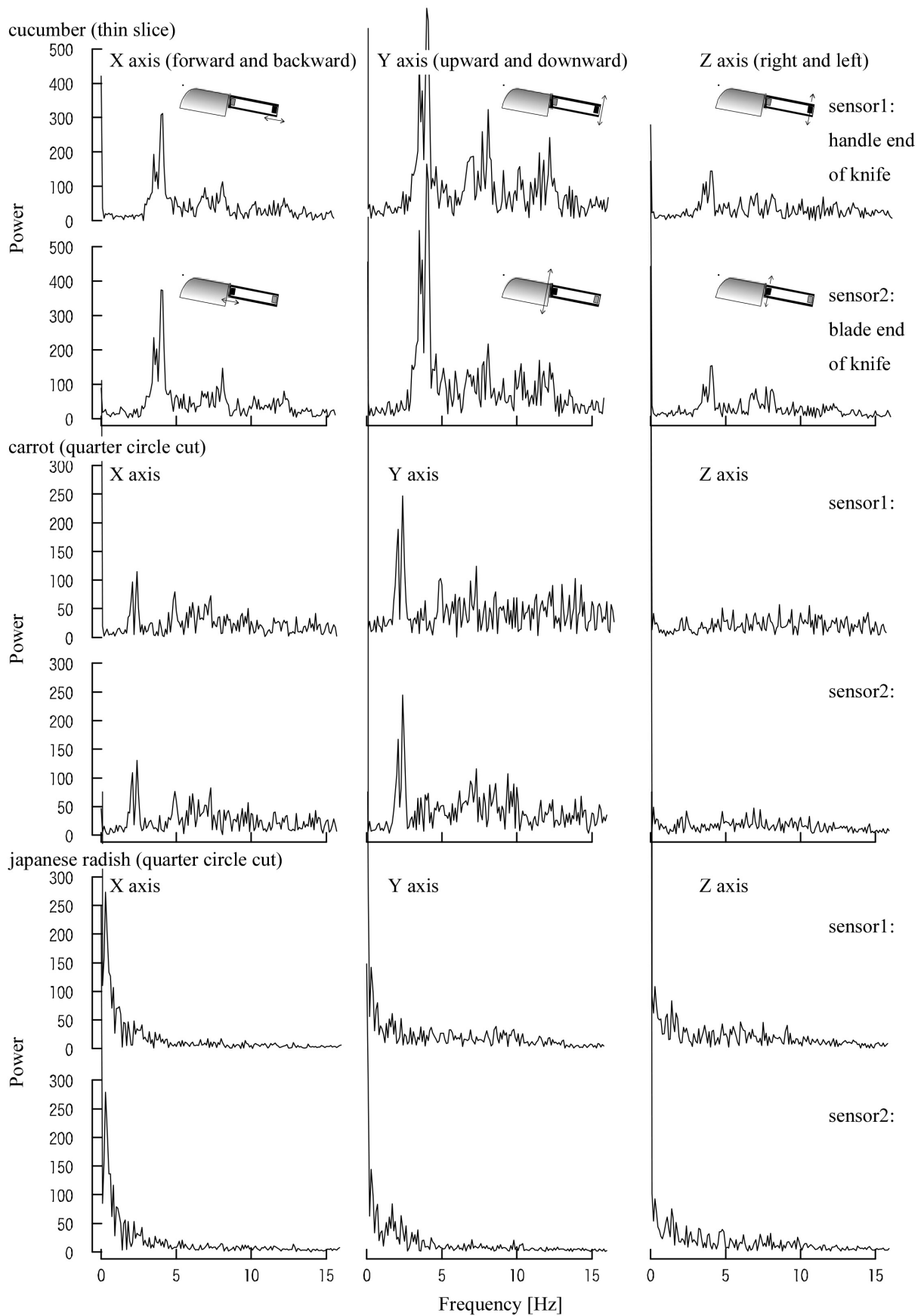


Fig.6a Power spectrum of accel in kitchen knife operation by FFT

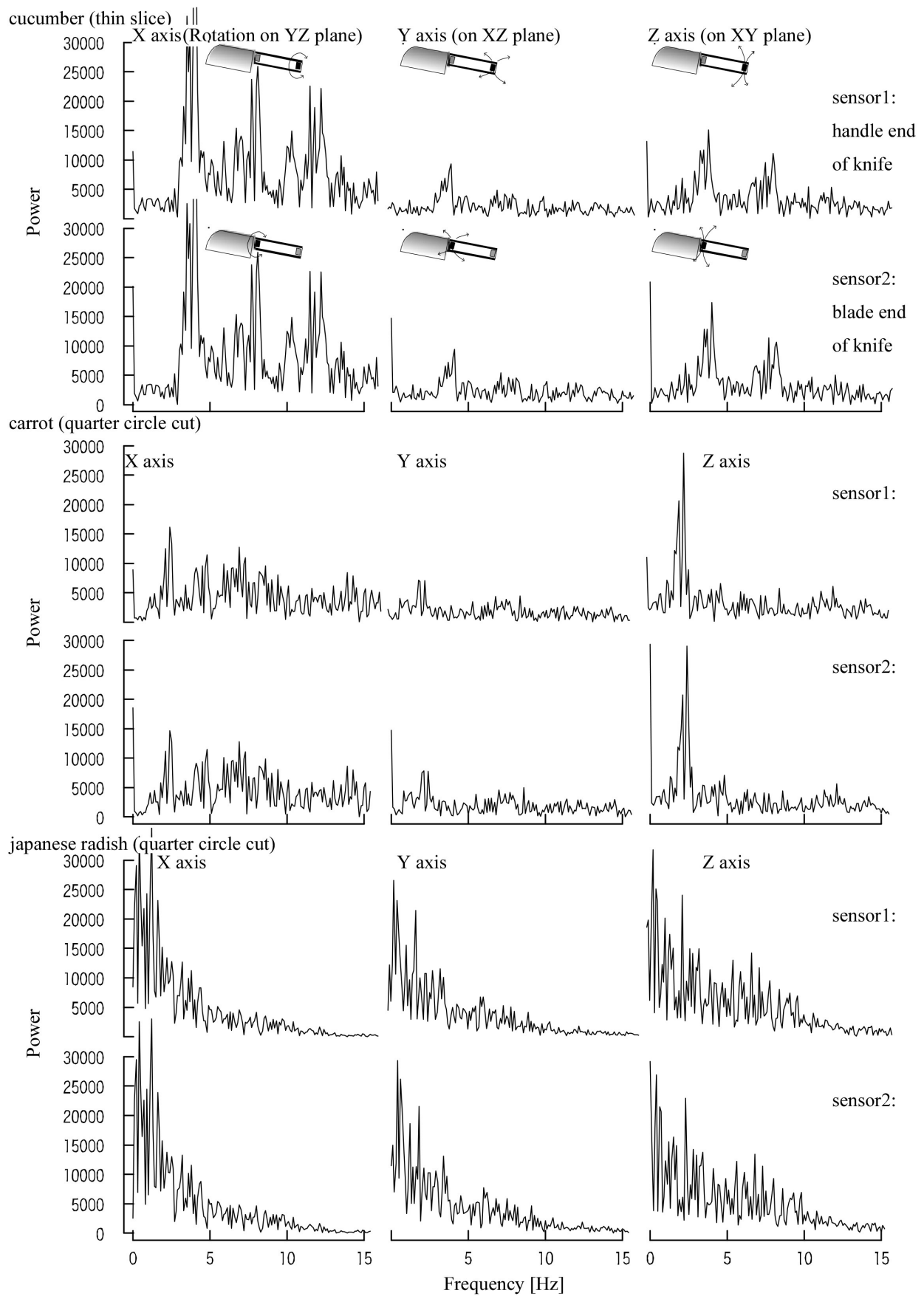


Fig.6b Power spectrum of angular velocity in kitchen knife operation by FFT

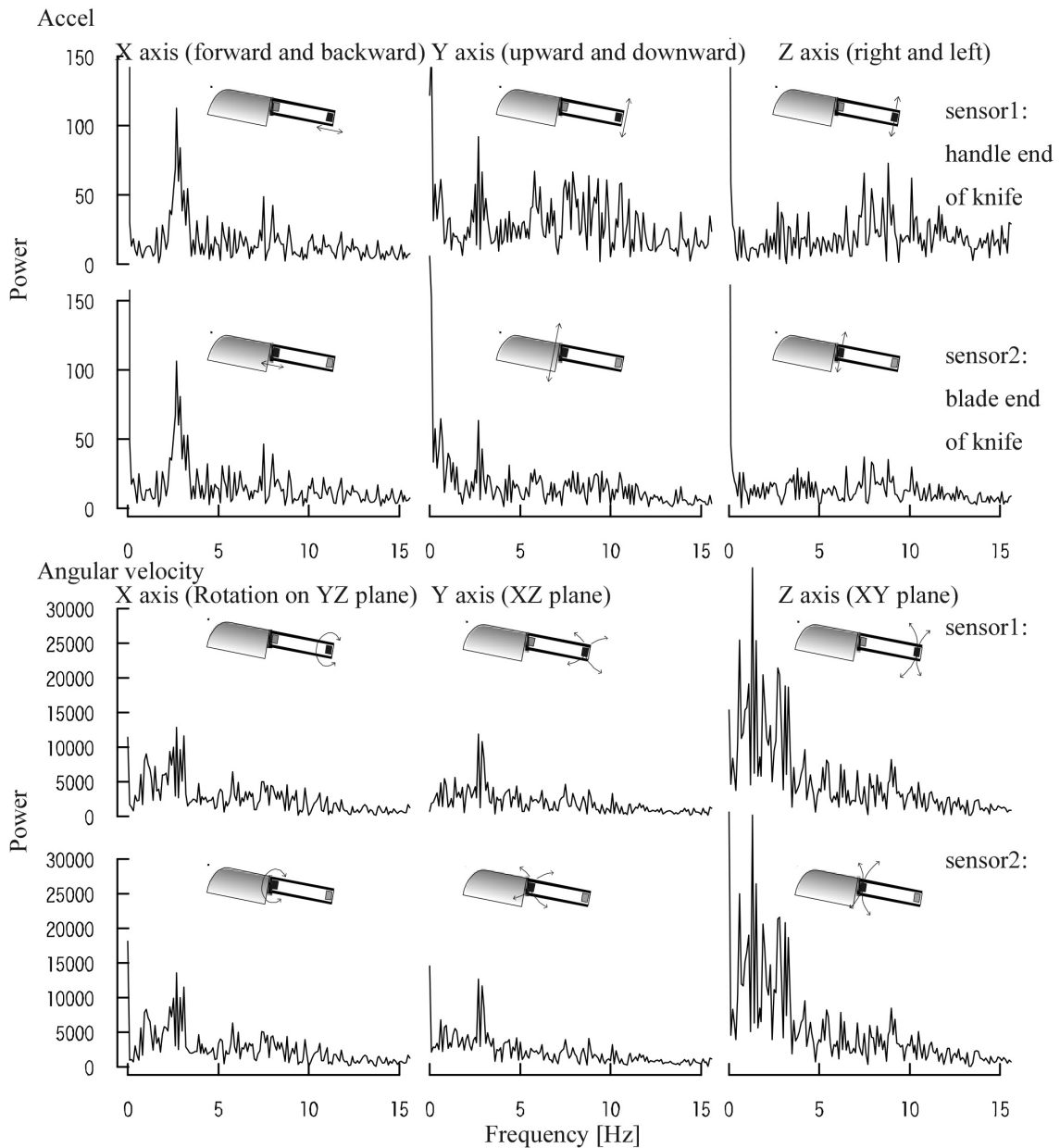


Fig.7 Power spectrum of accel and angular velocity in rotary slicing of kitchen knife operation by FFT

て、キュウリ・人参では刃の上下運動（Y軸）が、最も強いスペクトル強度を示すのに対し、刃の前後運動（X軸）が最も強くなった。また、角速度のスペクトルはひねり運動（X軸）が強いものの、他軸のスペクトルとの違いは小さかった。

なお、これらの切り方は、ほぼ同様の動作によって行われる。そこで、切り方が異なる大根の桂むきとの比較も行なった（Fig. 7）。

加速度のスペクトルは、キュウリの小口切り同様、刃側（センサー2）に比べ、柄側（センサー

1）の方が高周波成分を多く含んでいた。この傾向は刃の進行方向（Y軸）で特に顕著であり、手の動きに対し、刃の動きが緩慢であることを示している。

また、刃の前後運動（X軸）のスペクトルでは4 Hz、刃の傾き運動（Z軸）では弱いものの8 Hzにピークがあり、互いに倍音の関係が見られる。刃の前後と傾きの運動が連動し、操作されていることが示唆される。

一方、角速度のスペクトルでは、他の切り方同

様、センサー間に違いは認められなかった。角速度スペクトルの特徴としては、人参のイチョウ切りと同様に刃先の円弧運動（Z軸）の強度が強いが、大根のイチョウ切り同様に、特徴的な周波数成分は認められなかった。

IV. 考察

記録装置の性能評価

本研究により、サンプリング周波数を200Hzとして設定した。60秒間記録を行うことを考えた場合、FFTの

最大周波数 $f_{max} = 200 \text{ [Hz]} / 2 = 100 \text{ [Hz]}$

周波数分解能 $f_s = 1 / 60.00 \text{ [sec]} = 16.67 \text{ [mHz]}$

となる。

機械などの振動解析や電気信号の解析では高周波成分の解析が非常に重要となるため、kHz、MHzオーダーの広い周波数領域に渡って解析を行う。しかし、人間の動作はそれに比較すれば緩慢である。

最も分布が広がっていた人参のイチョウ切りのY軸加速度スペクトルでも50 Hz以上の周波数領域では、特徴となるような傾向は認められなかった (Fig. 8)。

また、iPhone (Apple Inc.) 等スマートフォンに内蔵されているモーションセンサーは、最大で100 Hzのサンプリング周波数である^{13,14)}。これは本装置よりも2倍遅い。そして、プログラミングガイドによれば、「激しく振る」などの操作以外は60 Hzで十分であると記載されている。

以上を踏まえれば、本機は包丁操作の記録・解析に十分な性能を備えていると考えられる。

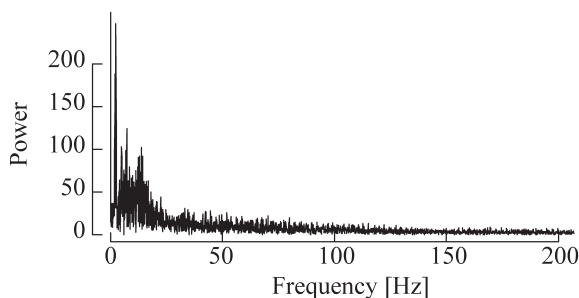


Fig.8 Power spectrum of accel on y axis in quarter circle cutting of carrot.

包丁操作の対象と解析結果の検討

加速度スペクトルは2個のセンサー間に違いが認められたが、角速度スペクトルではわずかだった。しかし、原波形の振幅には違いが見られた。例えば、人参のイチョウ切りを行なった時のZ軸（刃と同じ面上の運動）の角速度変化は、刃側（センサー2）の振幅の方が柄側（センサー1）よりも大きい。波形そのものの違いは認められなかった (Fig. 9)。

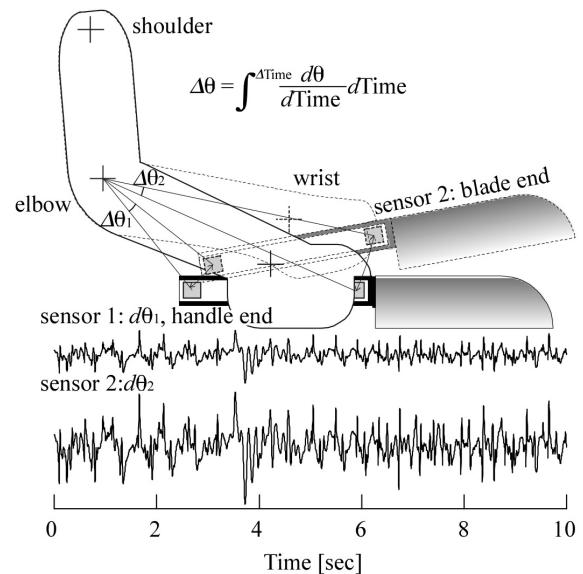


Fig.9 Change in angular velocity of z axis during quarter circle cutting of carrot.

ここから、角速度の変化を積分し、角度の変化量を見積もることができれば、運動の支点を求めることが可能となる。この例の場合は、ヒジを支点に、包丁の刃を上げた状態から切り始め、刃の先端が弧を描くように、刃を引きながら切断していると、導くことができる。

切断対象の違いでは、キュウリの小口切りでは、倍音成分がはっきり現れているが、他には見られない。

両者の違いは、小口径と硬さにあると考えられる。しかし、小口径は、人参も大根もイチョウ切りで行なっており、それほど大きな違いが出るとは考えにくい。

一方、硬さは両者の間で明らかに異なる。キュウリは刃が当たる瞬間にのみ、抵抗を感じる。し

かし、人参では切り進む過程において常に抵抗が感じられる。

キュウリの場合は柔らかいため、手の動きに連動して、刃も同等に運動することが可能となる。しかし、人参のような硬い組織の場合、手の動きに対して、刃が組織の抵抗に阻まれ、追従できない状況にあると考えられる。この時、無意識に力のかけ方を操作し、刃を追従させることで、刃を切り進めていると考えられる。

これは大根のイチヨウ切りの特徴にも現れている。

大根は人参ほど硬くはないが、比較的高密度の組織である。切り進む過程では、摩擦が発生し、常に大きな抵抗がかかる。微小時間単位で考えた場合、組織の抵抗に伴い減速、抵抗を回避して加速を不規則に繰り返している。その結果、周波数特性が連続的だったと考えられる。

この説明は、人参の角速度スペクトルにおいて、Z軸(刃先の円弧運動)のみ、ピークが突出していることにもつながる。

人参に刃面が当たった瞬間に、硬さにより刃の進入が止まる。しかし、柄は進行するため、柄側は人参との接触点を中心に下向きに回転する。しかし、これを回避するために、手首を回転して、刃先を押し下げる。この繰り返しが、強い周波数成分として現れていると考えられる。

強い抵抗がかかった時に、それを回避するために、「無意識」に何をしているのか、つまり個人の「くせ」が、この結果から伺える。

熟練者は包丁の刃面を滑らせながら、切断操作を行う。これにより、切断対象の断面の損傷を防ぐことができる⁸⁾。その結果、食味に優れたものとなる。しかし、この運動は上腕の運動なしには成し得ない。

包丁操作では、握り方や包丁の種類によるものの、上腕・前腕・手掌すべてが活動している⁹⁾。どの筋肉を使うのかによっても、包丁の軌跡は違ったものになる。包丁の軌跡を辿れば、腕全体の動きを推測することができ、より深く包丁技術を探ることが可能となる。

現在のところ、測定サンプルが研究者本人のみであるため、今後更なる検証が必要となる。しかし、本装置を用いたデータ処理方法が確立すれば、包丁取り扱い時の、全身運動を推定することも可能となり、より明確にこれらを可視化できると考えられる。

文献(引用文献)

- 1) Omori K: Relationships between Knowledge, Cooking Technique, Self-Efficacy and Behavior for Healthy Eating among Japanese Senior High School Students. J. Home Econ. Jpn. 54 (2003) pp. 993-1005
- 2) 大学調理教育研究グループ北九州: "大学における調理実習教育の現状と担当教員の把握する学生の実態" 日本調理科学会誌 45 (2012) pp. 255-264
- 3) 堀 光代, 平島 円, 磯部 由香, 長野 宏子: "大学生の調理に対する意識調査" 岐阜市立女子短期大学研究紀要 57 (2008) pp. 61-5
- 4) 福本 タミ子: "胡瓜の薄切りテストの検討" 大谷女子短期大学紀要 24 (1981) pp. 72-82
- 5) 池田 博子: "きゅうりの薄切り実技テストにみる学生の包丁技術の変化と教育効果" 日本調理学会誌 46 (2013) pp. 121-128
- 6) 上野 ヨウコ, 桑本 千賀子, 山本 郁也: "包丁操作に関する筋電図学的分析" 日本家政学会誌 42 (1991) pp. 775-781
- 7) 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 (2004) pp. 299-305
- 8) 関 佐知, 清水 徹, 福岡美香, 水島弘史, 酒井昇: "切断操作が及ぼす食材へのダメージ評価" 日本食品科学工学会誌 61 (2014) pp. 47-53
- 9) "I²Cバス仕様およびユーザーマニュアル Rev. 5.0J" NXP社
- 10) MPU-6000/MPU-6050 Product Specification Revision 3.1 InvenSense Inc.
- 11) Wiring Pi GPIO Interface library for the Raspberry Pi: <http://wiringpi.com>
- 12) R Core Team (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.: <https://www.R-project.org/>.
- 13) Developer.android.com: https://developer.android.com/guide/topics/sensors/sensors_motion.html#sensors-motion-accel

- 14) Developer.apple.com : "イベント処理ガイド" URL
<https://developer.apple.com/jp/documentation/EventHandlingiPhoneOS.pdf>