

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24300251

研究課題名(和文)新しい原理と装置に基づいた食品のテクスチャー測定に関する研究

研究課題名(英文)Studies on the measurement of food texture based on a new theory and device

研究代表者

櫻井 直樹 (SAKURAI, NAOKI)

広島大学・生物圏科学研究科・教授

研究者番号：90136010

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,300,000円

研究成果の概要(和文)：青果物などの食感を評価する天秤型食感測定装置を開発した。天秤の両端におもりを置き、片方の錘から棒を垂直に伸ばして先にプローブとセンサーを付けた。左右の錘の重さを変えてプローブを任意の速度でサンプルに突き刺さるようにした。プローブが受ける振動を0～51200Hzまで21の帯域に分けて、数値化した。プローブ速度を非接触のエンコーダでモニターし、プローブがサンプルに挿入する初速度のみならず、挿入後完全に停止するまでの速度変化が検出できた。これにより、食品の食感に関する新たな指標、[食品摩擦係数]を物理的に定義することができた。錘の総重量を変えて大人と子供の感じる食感が区別して評価できた。

研究成果の概要(英文)：Balance type device for the measurement of food texture was developed. One horizontal arm of the device has two weight balances and one edge is connected to a slender column of which end holds a wedge-type probe. An accelerometer sensor was installed between the column and the probe. Output voltage signals of vibration at probe penetration of samples detected by the sensor were divided into 21 frequency bands, 0 to 51200Hz, for the calculation of texture index. Probe penetration speed was controlled by the difference between two balances. Initial probe speed or changes in the speed after probe insertion into food sample was monitored by a non-contact encoder. We physically defined a new food index, food friction index that reflects a new facet of the food texture, by the changes in the probe speed after insertion. Changing the total balance weight from heavy to light allows one to estimate the difference between food textures accepted by adult and child.

研究分野：食品品質評価

キーワード：食品 食感 加速度センサー 摩擦係数 振動

1. 研究開始当初の背景

食感は食品を評価するうえで重要な性質であるが、数値化することが難しかった。被験者に食品を咀嚼させ、その音をマイクロホンで録音する手法が主流であったが、被験者の個人差(唾液の量、咀嚼スピード、口蓋の大きさなど)、及び録音条件(マイクロホンの性能、位置、方向、録音する環境)が千差万別で、同じ食品を検査しても再現性に乏しかった。申請者はプローブを食品にポンプで駆動するピストンで挿入し、プローブが受ける振動を直接圧電素子で検出し、その振動を 21 のフィルターで分け、帯域ごとの振動を評価し指標化した。

しかし、以下の 2 つの問題点が残っていた。

(1) 圧電素子の振動特性；低周波から高周波にかけて出力される電圧に、比例する物理量が変化する。

(2) プローブの総重量；プローブの総重量が確定できればプローブが食品から受け取る振動エネルギーを物理量として定義できるが、ポンプで駆動されるピストンを使用していると、プローブの総重量が確定できない。

そこで、本研究では上記の 2 点を解決する方法を研究した。

2. 研究の目的

食品の食感を正確に指標化するために、以下の 2 つの目的を立て研究を進めた。

(1) 圧電素子に代わるセンサーを選択する。

(2) プローブの総重量が確定できる装置を開発する。

3. 研究の方法

(1) 食感指標の計算

圧電素子の振動特性を確定するために、レーザードップラー振動測定装置 (LV-1520, 小野測器) を用いて、圧電素子を広範囲の周波数で振動させ、その圧電素子からの出力と、レーザードップラー装置からの出力を比較した。

楔形のプローブ(アルミ製、直径 5 ミリ、先端角 30 度)に圧電素子(村田製作所)、あるいは

は加速度ピックアップ(NP-2710, 小野測器)を取り付けサンプルに挿入した。

センサーから出力される電圧信号を、AD 変換機 (AP-001, DreamBassGenie) でアナログ信号に変換したのち、コンピュータに入力した。圧電素子で得られた信号は 21 の帯域 (表 1) にフィルターで分け、以下の式で食感指標を計算した。

帯域	
Hz	番号
0-10	0
10-50	1
50-100	2
100-140	3
140-200	4
200-280	5
280-400	6
400-560	7
560-800	8
800-1120	9
1120-1600	10
1600-2240	11
2240-3200	12
3200-4480	13
4480-6400	14
6400-8920	15
8920-12800	16
12800-17840	17
17840-25600	18
25600-35680	19
35680-51200	20

表 1

FTI (Food Texture Index)

$$= 10 \times \log_{10} (\text{電圧値}^2 / f_1 \times f_u)$$

ここで、 f_1 はある帯域の下限値、 f_u は上限値である。

センサーとして加速度ピックアップを用い、天秤型の装置でプローブの重量を確定できたときは、以下の式で食感指標を計算した。

ETI (Energy Texture Index)

$$= 10 \times \log_{10} \{ (m/2)(f_s/n)(1/f_u)(1/4)^2 \} \times \text{電圧値}^2$$

ここで m は天秤型装置のアーム及び錘などの総重量、 f_s はサンプリング周波数、 n はデータ数である。

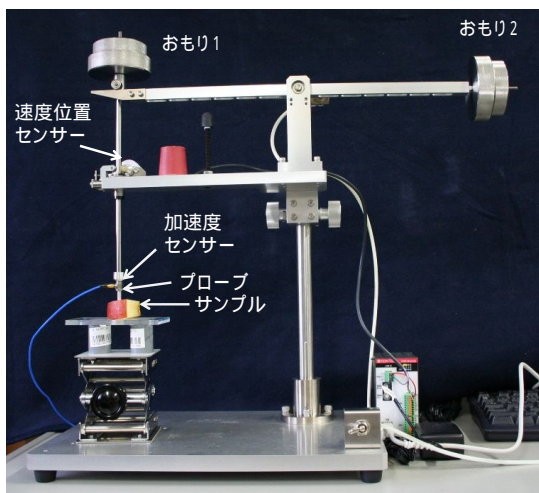
これらの式は、振動をエネルギー値として計算しようとするもので、以下の式に依拠している。

$$E = (1/2)mv^2$$

これらの食感指標は前ページ表1にあるように帯域別に計算し、グラフ化した。

(2) 装置の製作

天秤型装置ではプローブの速度をモニターするために、非接触型のエンコーダー (P1000-50A, Renishaw) を装着した(下図参照)。



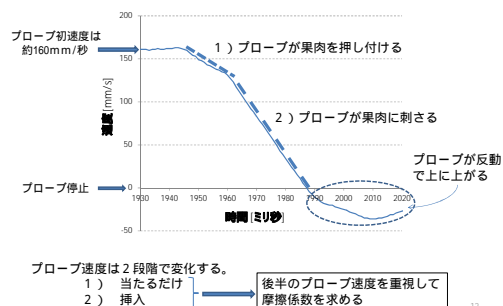
天秤型装置では水平アームの両端に錘1と2を取り付けた。錘1の下には垂直に棒を取り付けその先端に楔形のプローブを取り付けた。楔形のプローブと棒の間に加速度センサーを挟み、プローブの振動を検出した。錘1と垂直棒及びセンサーなどの総重量が錘2の重量より大きくなるようにしておき、錘2を下げて手を放すと錘1及びプローブが下降し、サンプルに突き刺さる。

プローブがサンプルに突き刺さり振動を受け取ると、加速度センサーがその振動を電圧に変換し、アンプ(小野測器)を通して増幅され、信号はAD変換機を通してUSBポートからコンピュータに取り込まれる。

4. 研究成果

プローブの速度をモニターすることにより、当初予測していないことが分かった。当初はプローブがサンプルに挿入される直前の初速度だけが必要と思われたが、プローブがサンプルに挿入されてから止まるまでの

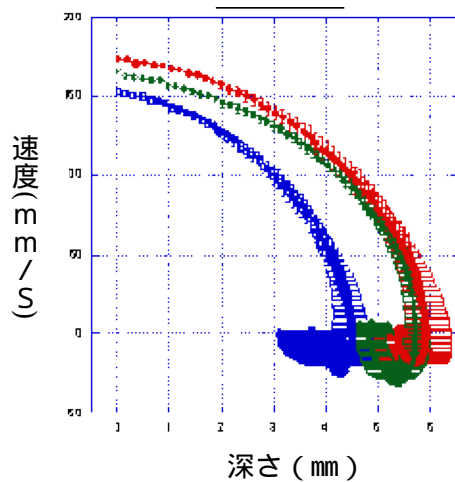
速度減少をモニターできることが分かり、この減少量から摩擦係数が求められることが分かった。



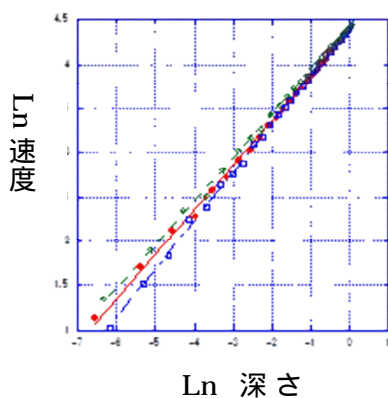
天秤型のプローブを果実の果肉などのサンプルに挿入すると、上図のような速度変化をすることが分かった。縦軸がプローブ速度で、横軸は経過時間である。この例では、プローブの初速度は約160ミリ/秒であった。プローブはサンプルに挿入されたのち止まるが、実際は速度が0になるのではなく、反動で上昇するので、速度がマイナスを取る。経過時間1980ミリ秒以降はこの状態を示している。完全にプローブが停止すると、プローブ速度は0となる。この図からプローブ速度が減少するパターンが2つに分かれることが分かった。前半と後半である。前半はプローブが果肉に刺さるのではなく、押すだけで、実際にプローブが刺さるのはそのあとであることが振動データから推測された。しかし、いずれにしてもプローブの初速度が決定できたので、プローブの運動エネルギーを確定することができた。

この図から、前半はプローブがまだサンプルに挿入されていない部分で、後半は実際にプローブがサンプルに挿入されて速度が減衰する様子をとらえていると思われる。

上の図を、横軸を経過時間ではなく、変位(プローブ移動距離)でとると、次ページの図のようになる。

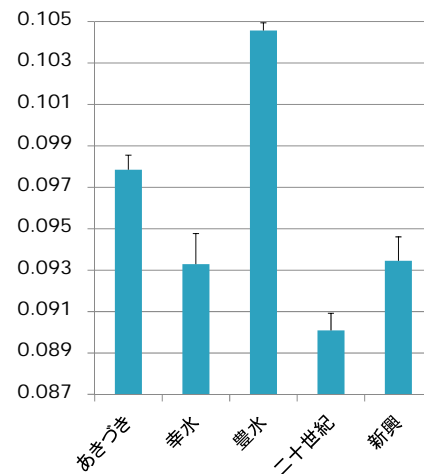


サンプルはリンゴ（‘フジ’）、ナシ（‘二十世紀’）、カキ（‘富有’）である。この図では、速度位置センサーでとらえられたプローブの速度の変化と位置の変化をそれぞれY軸とX軸にとった図を示している。このグラフではリンゴ（‘フジ’）、カキ（‘富有’）及びナシ（‘二十世紀’）の結果を示した。プローブの挿入初速度はおおよそ 150~175mm/秒であった。プローブの侵入深さが増すにつれて、プローブの速度が減少する様子が詳細に測定できた。グラフで速度がマイナスになる場合があるが、これはプローブが最も深い位置に到達した（速度 0）のちに、反動で上昇することを示している。挿入深度は、6 ミリから 4 ミリであった。侵入深さが少ないのは硬い果肉であることを示す。二十世紀は‘フジ’や‘富有’に比べて果肉が硬いことを示している。このデータから、プローブ速度が 0 になるまでの変位と速度の自然対数を取ると、下図のような直線が得られた。

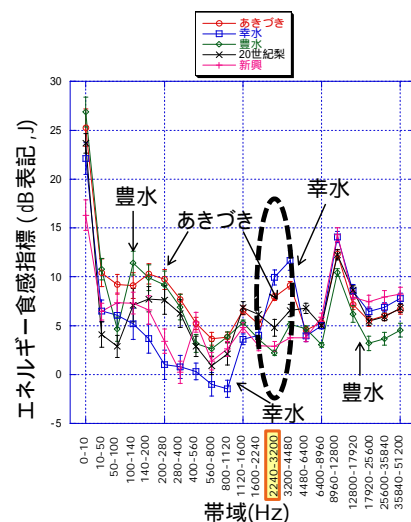


この図から Y 軸の切片を決定し、プローブにかかる全質量をかけると摩擦係数が求まる。

これは、プローブが最も深く挿入された位置から 1 ミリ上の位置での速度に相当する。果肉の場合、摩擦係数が大きいものは歯にまとわりつき、小さいものは割れやすく歯から離れやすい性質を示すと考えられる。この図より最も摩擦係数が小さいのはフジであり、他の果実より割れやすいことを示すと考えられる。また、このようにして得られた摩擦係数及びこれまでの振動エネルギーの両方をプロットすることにより果実が示す多様な肉質を詳細に評価することができるようになった。

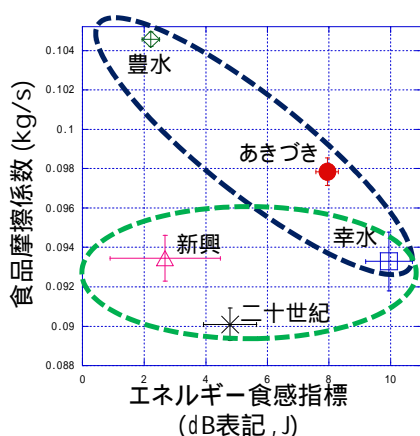


上図は和ナシ 5 品種の摩擦係数を比較したものである。二十世紀は最もサクサクした食感を示すナシで、豊水は最も肉質が軟らかいナシである。摩擦係数でみると、サクサクしたナシである二十世紀が最も摩擦係数が低く、軟らかいナシである豊水がもっとも高い摩擦係数を示した。品種‘あきづき’は中間の値を示した。同じナシ 5 品種の振動データから算出したエネルギー食感指標を下図に示した。



縦軸はエネルギー食感指標で、振動強度が高いほど大きな値を示す。横軸は帯域で、左は低い振動帯域を右は高い振動帯域を示す。この図から読み取れることは、軟らかい豊水は低い振動数の強度が高く、幸水は高い振動数の強度が高いということである。しかしほかの品種の特徴はよくわからない。

そこで、前ページ下の破線の楕円で囲んだ2240-3200Hzの帯域のデータを横軸にとり、摩擦係数を縦軸にとったグラフを描くと下図のようになる。



この図では豊水は左上にプロットされ、摩擦係数は高いが、食感指標は低いことが分かる。逆に幸水は摩擦係数が低く、この帯域では最も食感指標が高い。あきづきは親に幸水と豊水を持ちこの食感が豊水と幸水の間に位置することは興味深い。

次に二十世紀は最も食品摩擦係数が低く、サクサクした即ち割れやすい食感を表しているが、新興と幸水はこれと同じような摩擦係数を持つ。しかし、新興は最も食感指標が低く、幸水は最も高く、二十世紀がその中間であることが下図からわかる。すなわち、この図は食品の全く異なる2つの性質を抽出したものであるため、この軸で2元配置すると、食品の食感が明瞭に区別されるものと思われる。

5. 主な発表論文等 (研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

- 〔雑誌論文〕(計 4 件)
1. 鈴木哲也・新川猛・櫻井直樹, 1 - M C P 処理およびポリエチレン包装によるカキ '太秋' の食感保持技術の開発, 園芸学研究, 13 巻, 査読無, 2014, pp275-282
 2. 櫻井直樹, 食感測定装置による食物の食感評価法の開発について, 日本バーチャルリアリティ学会誌, 18 巻, 査読無, 2013, pp34-38
 3. Iwatani, S., H. Akimoto and N. Sakurai, Acoustic vibration method for food texture evaluation using an accelerometer sensor. J. Food Engineering, 115, 査読有, 2013, pp26-32. doi:10.1016/j.jfoodeng.2012.09.015
 4. 鈴木哲也・新川猛・櫻井直樹, 音響振動法によるカキ '太秋' の食感測定, 園芸学研究, 12 巻, 査読無, 2013, pp433-438

- 〔学会発表〕(計 5 件)
1. 櫻井直樹・秋元秀美・山崎友, 青果物の新しい肉質食感測定法 - 天秤型測定装置の開発 -, 園芸学会平成 27 年度春季大会, 平成 27 年 3 月 29 日, 千葉大学西千葉キャンパス, 千葉県千葉市
 2. 秋元秀美・山崎友・櫻井直樹, 天秤型食感測定装置の開発と新しい食感指標の検証, 第 61 回日本食品科学工学会, 平成 26 年 8 月 29 日, 中村学園大学, 福岡県福岡市
 3. Sakurai, N. A New Method for Measurement of Fruit Texture, 29th International Horticultural Congress, August.17-22, 2014, Brisbane, Australia
 4. 秋元秀美・櫻井直樹, 新しい原理による自由滑走型食感測定装置, 第 60 回日本食品科学工学会, 平成 25 年 8 月 29 日, 実践女子大学, 東京都日野市
 5. Sakurai, N. Vibrational Measurement of Food, BIT2nd Annual Conference and EXPO of AnalytiX-2013, March.21-23, 2013, Suzhou, Jiangsu, China

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 1 件)

名称: 天秤型の食感測定装置
発明者: 櫻井直樹・秋元秀美
権利者: 広島大学
種類: 特許
番号: 特願 2014-171731
出願年月日: 2014 年 8 月 26 日
国内外の別: 国内

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕
ホームページ等

6．研究組織

(1)研究代表者

櫻井 直樹 (SAKURAI NAOKI)

広島大学・大学院生物圏科学研究科・教授

研究者番号：90136010