

令和元年6月14日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H03030

研究課題名(和文)咀嚼振動の周波数成分が食感におよぼす影響

研究課題名(英文)Effects of frequency characteristics of vibration in mastication on food texture

研究代表者

西津 貴久(NISHIZU, Takahisa)

岐阜大学・応用生物科学部・教授

研究者番号：40228193

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,300,000円

研究成果の概要(和文)：さまざまな食感をもたらす米菓を用いて咀嚼中に上顎歯列弓に発生する振動を測定し、咀嚼振動は極短時間のスパイク状振動の集合波形であることを明らかにした。さらに因子分析、主成分分析、クラスター分析により、官能評価への寄与が大きいと推測される振動パラメーター候補を決定した。その振動パラメーターを持つスパイク状振動を段階的に欠損させた振動を被験者の上顎歯列弓に与えたときの官能評価から、供試米菓の食感を支配する振動因子を特定した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

破碎性食品の食感は咀嚼振動のスパイク状振動の構成に支配されることを統計的解析だけでなくヒトを使って実証した点に学術的意義がある。食感研究に新しい知見を提供するだけでなく、特定の食感を想定した食品開発や口腔医療分野における実用化研究の進展にも貢献するものと考えられる。また本手法を疑似食感の供与機能を持った入れ歯型ツールに応用することにより、咀嚼能力の低下した方のQOL改善にも寄与できる可能性があるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：The vibrations transmitted to maxillary dental arch during chewing various kinds of rice crackers that provide different textures were measured using an oral device developed by this project. The measurements proved that the mastication vibration consists of a lot of spike-like short-period vibrations. The vibration parameters that may have dominant contributions to sensory evaluation scores were determined with using factor analysis, principle component analysis, and cluster analysis. The modified vibrations whose above-mentioned parameters was degraded were input to a panel's maxillary dental arch to get his sensory evaluations of the vibration stimulation. The factors of mastication vibration were identified according to those tests.

研究分野：食品工学

キーワード：咀嚼振動 破碎性食品 官能評価 ピエゾフィルム アクチュエーター 米菓

### 1. 研究開始当初の背景

食品の二次機能の主要な因子である食感を定量的に評価・測定するために、かたさ、破砕性、付着性、ガム性、粘りなどの食品テクスチャーの種類に対応してさまざまな測定装置が考案されてきた。いずれも、ヒトの歯に相当する金属製または樹脂製の部材で食品試料を変形させた時の抵抗力の経時変化を測定する方式である。しかしこれらの測定結果は、官能評価結果と必ずしも相関しないことが知られている。食感とはそもそも食品の属性ではなく、口腔内で知覚される感覚のことである。従来測定法は口腔を模擬しているものの、測定系にヒトの口腔内触覚評価は入っていない。このことが官能評価結果との乖離を生じさせる根本的な原因である。

本研究は、咀嚼振動をヒトの歯茎または歯肉に与えることで直接ヒトの官能評価（サクミ、パリパリ感、ガリガリ感など）を得ること、つまり測定系にヒトの感覚器を組み入れることで、従来法の問題を解決することが主なねらいである。 Piezofilm を口腔内に設置して、録音した咀嚼振動信号を再生することにより、歯根膜および骨伝導による振動が、あたかも咀嚼中であるかのように思わせることができると考えた。さらにフィルム状の感圧シートにより咀嚼のタイミングを検出して、口の動きに連動させて振動を与えることで、より現実感のある仮想食感を得ることが可能となる。提案するアクティブな食感測定手法は、報告例がなく新規性があり、食感研究に新たな資料と考え方を提供する可能性が高い。

### 2. 研究の目的

破砕性食品のサクミ、パリパリ感、ガリガリ感などに代表される食感は、咀嚼時に歯茎や歯肉に与えられる振動刺激をもとに触覚として知覚される感覚のことである。食感と振動刺激の関係を解明できれば、食品テクスチャーの学問的進展に寄与するだけでなく、食品開発に有効な情報となる。本研究では、以下のことを目的とする。

小型振動体を組み込んだシーネ（プラスチック製口腔力バー）を口腔内におさめ、微弱な振動を歯茎または歯肉に与えて、人工的な咀嚼振動を付与する装置を新規に開発する。

破砕性食材の咀嚼振動の信号解析結果と食感に関する官能検査結果の関係から統計的手法により食感を左右する振動に関する支配的因子を見出す。複数の因子を組み合わせで合成した信号に基づいて歯茎付近を振動させたときの食感評価結果から食感支配因子の重みを決定する。

さまざまな食感を持つ食材について、前項までの方法で食感支配因子とその重みを決定し、食感の定量化のために最低限必要な因子を特定する。

前項までの結果から振動刺激が食感におよぼす影響についての知見を得る。

### 3. 研究の方法

本研究は主として次の3つの課題からなる。

研究に用いる口腔内装置および駆動用ソフトウェアの設計・開発

供試試料による食感用語と咀嚼振動パターンのグルーピング

咀嚼振動と食感の関係に関する実験的検討

初年度は咀嚼信号検出実験と入力用振動信号の作成および口腔内装置の設計・試作を行った。

2年目には、米菓を用いた口腔内装置による測定と官能評価との比較検討および入力用振動信号と駆動制御ソフトウェアの試作を行った。3年目には、前年度までに整備した入力用振動信号データ生成法、咀嚼振動供与装置とその駆動用ソフトウェアを利用して、破砕性食品の食感について咀嚼振動中の支配的因子の探索を行った。

個々の課題についての進め方は下記の通り。

#### (1) 口腔内装置の設計・試作

当初の計画では、咀嚼時の振動検出と咀嚼振動の供与を同一のフィルム状センサーで行うことを予定していたが、フィルム状センサーを振動子として用いた場合、口腔内での感知レベルが不十分であることから、口腔内装置を振動検出用と振動供与用の2種類に分けることとした。振動検出には Piezofilm を、振動供与には市販の振動アクチュエーターこととし、研究協力者の協力を得て市販品を集め、振動検出と振動感知が可能なセンサー素子の選抜を行った。さらにそれらの Piezofilm 検出信号の増幅と振動アクチュエーター駆動のためのアンプの設計と試作を行った。

#### (2) 検出振動の取得、解析、入力用振動信号の作成、およびアクチュエーター駆動制御ソフトウェアの開発

市販の PC 用の音響入出力デバイスを利用して検出振動の取得と振動信号の出力が可能なソフトウェアを開発した。さらに、咀嚼振動の原波形を小さいスパイク状の振動に分解し、その振幅、持続時間、エネルギーについての頻度（周波数）を計算する機能をそのソフトウェアに付加した。またスパイク状の振動波形の一つ一つの振幅、持続時間等を加工した信号データを作成するプログラムを別途作製した。

#### (3) 口腔内装置の動作確認

テクスチャーアナライザーのプランジャー部にフィルム状センサーを貼付し、プランジャー

の移動量と試料の破碎振動の同期を取って記録できる咀嚼振動検出装置を試作した。市販米菓を試料として振動検出装置により仮想的な咀嚼振動を測定し、周波数領域および時間領域解析を行った。

#### (4) 入力用振動信号データベースの作成

振動由来の食感を特徴とする食材として米菓を用いることとした。官能評価のための言葉出しを行い、それらを早川らの日本語テクスチャー用語体系中の用語に分類整理した後、因子分析により用語のグルーピングを行った。それぞれの咀嚼振動の測定と官能評価実験から食感の支配的因子を決定し、装置入力用の振動信号データベースを作成した。

#### (5) 咀嚼振動供与装置を用いた官能評価実験

グルーピングされた官能評価用語で評価した時にパネルの投票率が高い米菓を選定した。選定した米菓の咀嚼振動データを構成する小さなスパイク状振動（以下、クラックレットと称する）に分解し、そのクラックレットの振幅、持続時間、エネルギーについての頻度（周波数）を計算した。それぞれのパラメーターと官能評価結果の統計的な解析を行い、評価用語との相関が高いパラメーター候補を選定し、そのパラメーターに関係するクラックレットを欠損したデータを作成した。その実行データを咀嚼振動信号として口腔内装置を動作させたときの官能評価を行い、パラメーター候補が官能評価の支配的因子であるかどうかの同定を行った。

### 4. 研究成果

(1) 図1に試作過程の口腔内装置の一例を示す。パネルごとに印象採得の上、樹脂製保護床（シーネ）を製作した。このシーネにピエゾフィルム、または振動アクチュエーターを包埋した。振動検出信号のSN比が最大になるようにセンサーを配置するとともに嘔吐反射が起こらないような信号ケーブルの取り回しが考慮されている。



図1 試作口腔内装置の一例

(2) 研究協力者から提供された10種類の米菓（おかき、せんべい）について複数のパネルによる言葉出しを行い、早川らの日本語テクスチャー用語体系<sup>1)</sup>中の用語に準拠して、9個の言葉（オノマトペ）に整理した。この評価用語について20名のパネル（男性10名、女性10名、20~24歳）による官能評価を行った。因子分析の結果、9個の評価用語を3つのグループに分類できることが明らかとなった。

(3) 米菓のような破碎性食品の咀嚼時に歯茎・歯肉部に伝わる振動は小さなスパイク状の振動波形（クラックレット）の集合体であることが明らかとなった。米菓は多くの空隙を含んだセル構造体であり、咀嚼時には多くの構造壁の破断が同時多発する。その破断により発生する振動がクラックレットに対応するものと考えられる。

(4) 10種類に米菓について咀嚼振動データを収集し、クラックレットの最大振幅、持続時間、エネルギーについてのヒストグラムを得た。データの縮約をはかるために、まず主成分分析を行った。次に品種別の主成分得点を用いてクラスター分析を行い、品種差がクラスタリング結果に明確反映されている上位品種を選抜することができた。各グループに所属する品種のクラックレットヒストグラムの主成分負荷量から選定した各ヒストグラムの階級に属するクラックレットの振幅などを段階的に加工した振動信号を逆生成した。これを用いてアクチュエーターを駆動し、当該品種の官能評価項目のうち最も得票率の高い評価用語についての官能評価を行った。この結果、咀嚼振動を構成するクラックレットについて、特定のレベルのエネルギーと持続時間を持つクラックレットの発生頻度が米菓に特徴的な食感を与える因子であることを明らかにした。

#### (5) 成果の位置づけと展望

本研究は、破碎性食品の食感研究に、スニッフィング GC/MS 法と同様の手法を導入することになる点に独創性がある。GC/MS を用いた香気成分の定性・定量解析により「におい」の相違は検出できるが、「におい」のもととなる成分を特定できない。スニッフィング（におい嗅ぎ）法は、ヒトを検出器に使うことで「におい」のもとを特定する画期的な方法である。従来から行われてきた咀嚼振動の周波数解析により「食感」の相違は検出できるが、「食感」を生み出す因子は特定できない。特定のパターンをもつ振動をヒトの口腔器官に与えて、ヒトを検出器として用いることで「食感」の影響のある因子を特定するのが本研究で提案する方法のねらいであった。結果、咀嚼振動の注目成分を加減した振動刺激をヒトに与えて官能評価測定を行うことで直接的因果関係の検証が行える可能性をある程度示すことができたと考える。本研究で提案した方法はこれまでに報告例がないことから、学会発表等を通じて国内外から反応があり、何件かの招待講演を受けた。本手法を疑似食感のツールへと応用することにより、咀嚼能力の低

下した方の QOL 改善にも寄与できる可能性があるものとする。

< 引用文献 >

- 1) 早川文代, 日本語テクスチャー用語の体系化と官能評価への利用, 日本食品科学工学会誌, 60 巻, 7 号, 2013, 311-321.

5. 主な発表論文等

[学会発表](計9件)

松原一生, 破砕振動を応用した疑似的食感付与の検討, 日本補綴歯科学会第 128 回学術大会, 2019

西津貴久, 咀嚼振動に着目した食感評価について, 第 3 回触覚コグネティクスワークショップ「触覚再現技術の応用」, 2018

松原一生, 食感を定量化する口腔内振動検出装置, 平成 30 年度日本補綴歯科学会東海支部学術大会, 2018

Wang Xuanpeng, Study on texture of rice crackers by time-domain analysis of chewing vibration, 日本食品科学工学会第 65 回大会, 2018

西津貴久, 食品物性評価と食感評価の関係について, 日本食品科学工学会第 65 回大会シンポジウム 2「食品の一生 見て・聞いて」, 2018

西津貴久, 食品物性からみた食感研究, 第 72 回日本口腔科学会学術集会シンポジウム 2「医工学連携と口腔科学」, 2018

Takahisa Nishizu, Evaluation of Food Crispness by using Sound Emission during Biting/Chewing, FECHNER DAY 2017, 2017

西津貴久, 咀嚼音に関わる食品の構造と物性, 日本食品科学工学会第 64 回大会, 2017

西津貴久, 音でわかる食品のおいしさ, 第 32 回老化促進モデルマウス(SAM)学会学術大会, 2017

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名: 勝野 那嘉子

ローマ字氏名: KATSUNO, nakako

所属研究機関名: 岐阜大学

部局名: 応用生物科学部

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 20743892

研究分担者氏名: 勝又 明敏

ローマ字氏名: KATSUMATA, akitoshi

所属研究機関名: 朝日大学

部局名: 歯学部

職名: 教授

研究者番号(8桁): 30195143

研究分担者氏名: 松下 光次郎

ローマ字氏名: MATSUSHITA, kojiro

所属研究機関名: 岐阜大学

部局名: 工学部

職名: 准教授

研究者番号(8桁): 30531793

(2) 研究協力者

研究協力者氏名: 鶴見 親宏

ローマ字氏名：TSURUMI, chikahiro

研究協力者氏名：後藤 多朗

ローマ字氏名：GOTO, taro

研究協力者氏名：丸山 健太郎

ローマ字氏名：MARUYAMA, kentaro

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。