

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12595

研究課題名（和文）歯の振動に着目した食品テクスチャの計測および提示

研究課題名（英文）Measurement and presentation of food texture focusing on tooth vibration

研究代表者

竹井 裕介（Takei, Yusuke）

東京大学・大学院情報理工学系研究科・特任助教

研究者番号：00513011

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、歯の振動に着目した食品テクスチャの計測を行った。ヒトは食品を咀嚼する際、噛み応えなどの食感（食品テクスチャ）を歯の根元にある歯根膜で振動として感知している。そこで、ヒトが食品を咀嚼する際の歯の振動を計測することにより、ヒトが感じている噛み応えを直接計測した。本研究では、歯の振動計測用センサとして、シリコンピエゾ抵抗効果を利用したMEMS振動センサを作製した。センサの構造は、MEMS技術により作製した、ピエゾ抵抗効果を利用した長さ200 μm 、幅100 μm 、厚さ0.3 μm のカンチレバー型の力センサを、液体と空気の界面に配置したものである。

研究成果の概要（英文）：In this study, we measured food texture focusing on tooth vibration. When chewing foods, humans perceive the texture of food as vibrations on the periodontal ligament at the root of the tooth. Therefore, by measuring the vibration of the teeth when a human chews food, the chewing response felt by humans was directly measured.

In this study, MEMS vibration sensor based on silicon piezoresistive cantilever was fabricated as a tooth vibration sensor. The structure of the sensor is a cantilever type force sensor with a length of 200 μm , a width of 100 μm , and a thickness of 0.3 μm using a piezoresistance effect, which is made by MEMS technology, which is embedded at the liquid / air interface.

研究分野：MEMS

キーワード：咀嚼音 食品テクスチャ MEMS 振動計測

1. 研究開始当初の背景

少子高齢社会となり高齢者の QOL 向上のための課題として、食事の問題がある。高齢者は咀嚼力、嚥下力が低下するため、医療や介護の現場では、誤嚥が起きにくく弱い咀嚼力でも噛み砕いて嚥下できるように、粘度や硬さを調整した食事を高齢者に提供している。従来の食品テクスチャの定量的評価は、一般的には大掛かりな試験装置で計測するか、実際に人間が口に含んで評価を行う官能評価によって行われている。試験装置での食品の硬さの評価は、世界標準として英 Stable Micro Systems 社の Texture Analyzer などの測定装置を用いて行われている。国内の複数の大手食品会社に聞き取り調査を行ったところ、これらの測定は人間が口に含んで食べる状況とは大きく異なるため、人間の口内環境下で定量的に食感を計測できる方法の開発が求められていることが分かった。また人間による官能評価は、味の評価にばらつきが出ないようにトレーニングを受けた人間が特定のパラメータに関して評価を行う分析型試験と、トレーニングを受けていない人間が食品を食べたときの感想をアンケートとして統計を取り評価を行う官能型試験の 2 種類がある。しかし官能評価は、人間の体調や心理状態など様々な要因が誤差となるため、定量的な評価は困難であった。

2. 研究の目的

本研究では、様々な食品を咀嚼した際の歯の振動を、歯に取り付けた微小サイズの振動計測センサを用いて計測し、噛み応えなどの食品テクスチャと歯の振動との関係を明らかにする(図 1)。本研究の特色は、ヒトが咀嚼時に歯で感知している振動を直接計測することで、歯の振動と噛み応えなどの食感を関連付ける点である。ヒトが食品を咀嚼する際、歯が感じる食品テクスチャは、歯の根元にあ

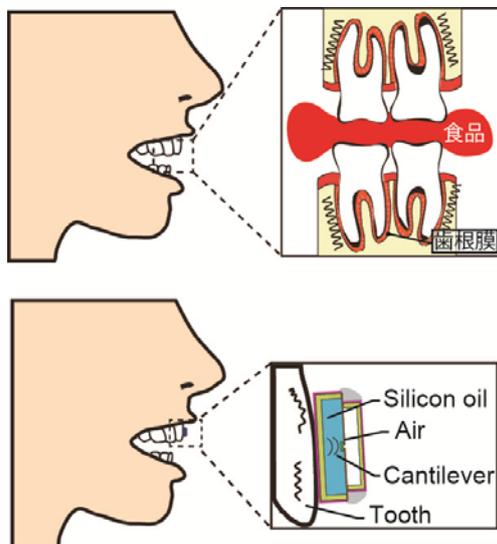


図 1：研究概要

る歯根膜と呼ばれる膜で振動として感知し、脳に信号として伝達されている。そのため、咀嚼時の歯根膜に入力される振動を、歯に取り付けた振動計測センサで計測することで、従来の食品テクスチャ計測手法よりも、ヒトが実際に感じている振動に近い振動計測が可能となる。

3. 研究の方法

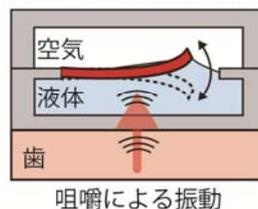
平成 27 年度は、歯に取り付け可能な振動計測センサの製作を行い、歯の振動計測実験を通じてセンサ、配線の形状や材料、歯の面における固定箇所や固定方法を決定する。平成 28 年度は、様々な食品を咀嚼時の歯の振動を計測し、食品テクスチャデータを蓄積していく。

次に歯の振動計測センサについて述べる。センサの構造は、(図 2 (b), (c))にあるように、MEMS 技術により作製した、ピエゾ抵抗効果を利用した長さ 200 μm 、幅 100 μm 、厚さ 0.3 μm のカンチレバー型の力センサを、液体と空気の界面に配置したものである。歯に振動がかかると、センサの歯との接触面に振動が

(a) 試作した振動計測センサ概観



(b) センサの振動計測原理



咀嚼による振動

(c) ピエゾ抵抗カンチレバー

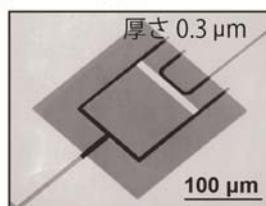


図 2：製作した振動計測センサ



図 3：センサを歯に装着した様子

伝播し、その振動が液体を介してカンチレバーに伝わる。振動によりカンチレバーの根元部分が歪み、長さが局所的に変化することで、電気抵抗が変化する。この電気抵抗変化を計測し、歯の振動を計測する。

4. 研究成果

初年度は、歯に固定して咀嚼時の歯の振動を計測するための、微小サイズ振動計測センサを製作した。また、センサの材料の選定、固定位置や固定方法の検討、信号取り出しのための配線の取り回し方の検討なども併せて行った。図2に製作したセンサを示す。センサは口内に配置されるため、センサを構成する材料は人体に影響がないことが必須である。そのため、被験者の口内に触れる可能性のある部分は、すべて生体親和性の高い医療用の樹脂や接着剤を用いた。具体的には、MEMS センサを封止するケーシングは生体適合性のある樹脂を使用し、3D プリンタで成形した。また、金属配線には金を用い、さらに配線全体を人体に無害なポリマー膜でコーティングした。歯への固定には、義歯を歯茎に固定する際に用いられる、市販の義歯固定用のペーストを用いた。試作したセンサの配線部は厚さ 80 μm であり、上下の前歯の隙間より十分に薄いため、自然な咀嚼・嚥下動作を阻害しないと考え、このような配線形状とした。製作したセンサを被験者の歯に市販の義歯固定用のペーストで固定した様子

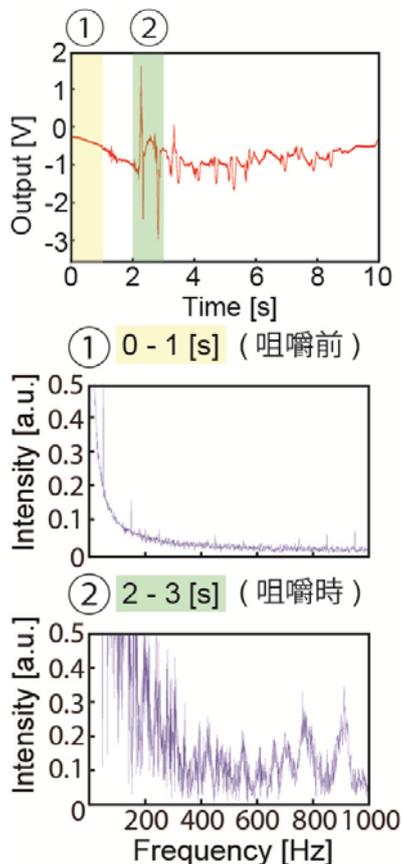


図4：前歯で煎餅を咀嚼した際の前歯の振動データ

を図3に示す。実際に被験者にセンサを歯に固定したまま、嚥下、咀嚼などの動作を行ってもらったところ、センサの剥離は認められず、本方式のセンサ固定方法で十分な固定力が得られることを確認した。

次に本センサを歯に固定し、食品を咀嚼した際の歯の振動計測結果について述べる。本実験では、咀嚼の際に歯に振動がはっきりと発生する食材として煎餅を用いた。また、センサを固定する歯として、食品を噛み切るのに主に使用される前歯、食品を切り裂くナイフのような役割を果たす犬歯、そして食品を細かくすりつぶす奥歯(臼歯)の3種類を選択した。

図4に前歯にセンサを固定した状態で、前歯で煎餅を複数回咀嚼し嚥下までの計測データを示す。口に煎餅を含み、最初の一回目の咀嚼で、大きな煎餅から一口量を噛み切る際に大きな信号が計測された。またそれ以降、咀嚼が進むにつれて信号の強度が弱くなっていくことが確認された。これは、咀嚼された煎餅が細かい粒状になり、さらに唾液と混ぜ合わさることでペースト状になっていくことを示していると考えられる。また、この計測データに関して、煎餅を口に入れる前のセンサ出力および、咀嚼時のセンサ出力を抽出し、周波数解析を行った(図4)。煎餅を

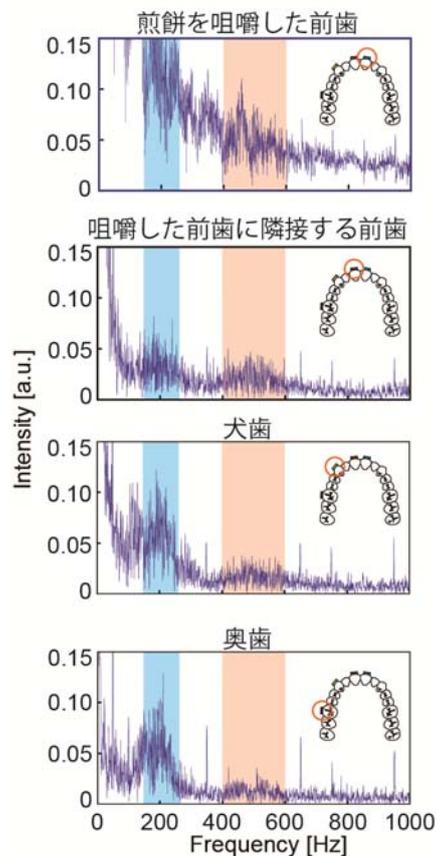


図5：煎餅を前歯で咀嚼した際の隣接する前歯、犬歯、奥歯の振動解析結果

咀嚼した際に、200Hz~1kHz 程度の周波数成分が含まれていることが分かった。このように歯の振動は、咀嚼している食品のテクスチャと深い関連があることが分かった。

次に、前歯で煎餅を咀嚼している際の、咀嚼している前歯、隣接する前歯、犬歯および奥歯の振動計測データを周波数解析した結果を図5に示す。前歯で咀嚼した場合、その振動が、歯や歯茎を通じて隣接する歯や犬歯、奥歯に伝播することが計測結果から分かった。また、前歯で煎餅を咀嚼した際に、前歯では500Hzの周波数が強く出ているのに対して、奥歯の方へ伝播するにしたがって200Hzの振動が強まっていくことが分かった。この結果は、前歯で咀嚼した際に、前歯と奥歯で感じている食品テクスチャが異なる可能性が高いことを示唆している。

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 3 件)

[1] Yusuke Takei, Ryo Aoki, Nguyen Minh-Dung, Tomoyuki Takahata, Kiyoshi Matsumoto and Isao Shimoyama, "MEMS Mechanomyogram Sensor," The 7th Japan-China-Korea Joint Conference on MEMS/NEMS 2016, Sept.21-23, Sapporo, Japan.

[2] Kenei Matsudaira, Nguyen Minh-Dung, Yusuke Takei, Tomoyuki Takahata, Kiyoshi Matsumoto, and Isao Shimoyama, "Wood Monitoring Using MEMS Acoustic Sensor," The 29th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS2016), Shanghai, China, 24-28 January, 2016.

[3] 竹井裕介、鈴木智絵、野田堅太郎、高畑智之、松本潔、下山勲、“MEMS センサを用いた摂食・嚥下の評価”、電気学会バイオ・マイクロシステム研究会、BMS-15-10、中央大学、東京、May.29, 2015.

6. 研究組織

(1)研究代表者

竹井 裕介 (TAKEI, Yusuke)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・特任助教

研究者番号：00513011