



カトラリーを介して手で感じる 食品の触感再現システム

Haptic System for Reproducing Food Tactile Felt by Hand Through Cutlery

王夫君¹⁾, 岡嶋克典²⁾

Fujun WANG, Katsunori OKAJIMA

横浜国立大学大学院 1)環境情報学府 2)環境情報研究院

(〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7, wang-fujun-xz@ynu.jp)

概要: 本研究では、仮想空間内でカトラリーを用いる際の手で感じる食品の触感を再現可能なハプティックシステムを開発した。自動サーボスタンドを用いて実際の食品（豆腐、ケーキ、ステーキ等）のテクスチャー特性を測定し、触覚フィードバックデバイス（PHANTOM 1.0 Premium）の触覚定数に変換し、デバイスにナイフを取り付けて切る動作をすることで、実際に食品を切る触感を精度よくシミュレートできることを示す。

キーワード: ハプティックシステム, 食品の力学特性, 触感シミュレーション

1. はじめに

触覚は人間が世界を認識する上で重要な感覚の1つである[1]。触覚受容器は口腔と指先に数多く存在しており、口の中の触覚は食感（テクスチャー）と呼ばれ、一般的に指先の皮膚感覚を触感と呼んでいる。近年、口腔内の食感のメカニズムを解明するために、食品テクスチャーの機械計測法が開発されている[2]が、その値と主観的な官能評価の間には複雑な関係が存在する[3]。

一方、視聴覚に加え、遠隔操作や仮想空間での情報伝達としても「触覚」は重要であり、触覚提示デバイスも開発されているが、触覚デバイスは複雑で高価であることに加え、その再現性は視聴覚の精度に比べるとかなり低いのが現状である。例えば、Phantom は最もポピュラーな触覚デバイスの1つであるが、触覚が最も敏感な指先にプラスチックが常に触れるため、力覚は再現できるが、微妙な指先の触感を再現できないという問題がある。

そこで本研究では、一般に我々が食品を手で直接触らずカトラリー（ナイフやフォーク等）を使って喫食している[4]ことに着目し、ハプティックデバイス Phantom 1.0 Premium にシルバーのナイフを装着し、3次元仮想空間内でカトラリーを用いる際の手で感じる食品の触感を再現できるシステムを開発し、その有効性を検証した。具体的には、自動サーボスタンドを用いて実際の食品（豆腐、ケーキ、ステーキ等）のテクスチャー特性を測定し、Phantom

の触覚定数に変換し、デバイスにナイフを取り付けて切る動作をさせ、触感を再現できるかを検証した。

2. 提案手法

2.1 自動サーボスタンドを用いた圧縮試験

三つの食品（触感の異なる豆腐、ステーキ、パウンドケーキ）を各2種類ずつ（綿豆腐と絹ごし豆腐、肩ステーキとモモステーキ、パウンドケーキとチョコレートケーキ）計6種選択し、自動縦型サーボスタンドを用いて圧縮試験を行なった。テクスチャー試験プログラム SOP-TEX をソフトウェアとして食品のテクスチャーを定量的に数値化する分析法に基づき、「硬さ」「付着性」「凝集性」「弾力性」「粘着力」等の数値を得た[5]。

2.2 マッチング評価

ナイフで食品を切る際の硬さ、弾力性、粗さと食品テクスチャーの関係を明らかにすることを目的として触感マッチング実験を行なった。実験参加者は、男性6名と女性4名の合計10人(平均年齢:22.4±6.0歳)であった。

ナイフがPhantomに装着され、実際の食品がすぐに包装を出してファントムの下に置かれた。切る際に表面と切る途中の触感が異なるため、実験参加者はPhantomから60cm離れて座り、利き手で食品の表面と内部を切り、表面と内部の触感項目をそれぞれ別々に評価した。

評価項目は、食品の硬さ、弾力性、粗さとした。硬さは

食品を切る際の圧力に対する抵抗力, 切りにくい程度と定義した. 固体が変形して元に戻る程度を弾力性とした. 粗さは切る際に食品の分子や繊維とナイフの表面の間での摩擦力とした. 実物を切る際に硬さ, 弾力性, 粗さを比べ, Phantom の3つのパラメータを調整し, 一番よく似てる値を記録した. そのときの Phantom のパラメータと食品のテクスチャ特徴量で回帰分析を行い, 変換式を導出した.

2.3 Phantom による触覚再生

Unity でサンプルとナイフのモデルを作り, 6 自由度の触覚デバイスである触覚再現の出力として Phantom を使用した. 図 1 に仮想空間で構築した食品と Phantom での操作している様子を示す.



図 1:ファントムで食品の画像

本研究では, 各段階の異なる硬さ, 弾力性, 粗さを提示するために, Phantom の座標を用いて2つモードを切り替えた. 各モードで触覚変数が異なる. 通常モードでの触覚変数は stiffness, damping, friction, pop-through で, 穿刺深度は pop-through であったが, 穿刺モードでの触覚変数は Punctured Friction, Punctured Damping, Snap distance であった. 図 2 に Phantom の制御プログラムの概要と各触覚変数を示す.

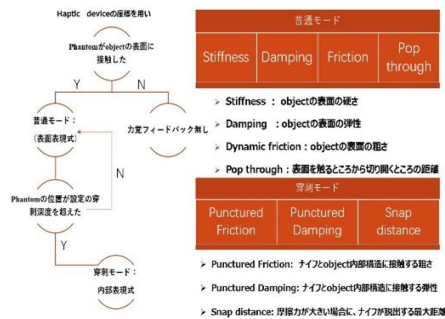


図 2:プログラムと触覚変数の説明

3. 結果と考察

変換式から, 食品の表面を切る際に感じる硬さは食品のテクスチャ特徴量の硬さ, 粘着力と付着性の影響を受け, 切る際に感じる弾力は5種のテクスチャ特性と関連しており, 切る際に感じる摩擦力は硬さと粘着力のみ関連することがわかった. 特に切る途中での弾力はテクスチャー特徴量の弾力性と凝集性に影響を及ぼし, 切る途中での摩擦力は粘着力のみが有意性であった. これらの知見は, カトラリーを用いた食品の触感のシミュレーションだけでなく, 口腔内の食感の解明にも有効な知見といえる.

今回の実験では, 実験参加者の安全のために, 波刃のステーキナイフを使い, 3つのサンプルも同じナイフで切ってもらい, 評価した. 実験結果を図 3 に示す. 図 3 から, Phantom で実際の食品の触感を精度よく再現できていることがわかる. 細かくみると, 若干の差異は見られるが, おおむねよく再現できていることから, 本研究の手法の妥当性が示された.

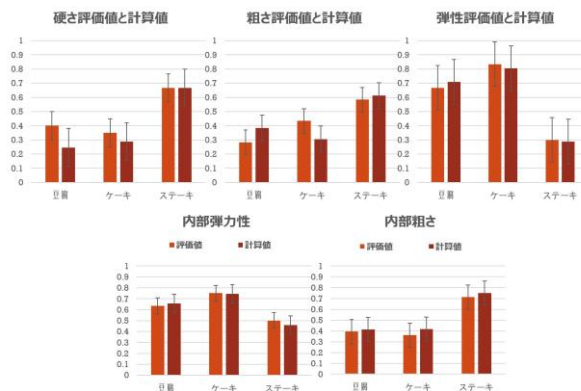


図 3:評価実験の結果

4. まとめ

食品のテクスチャ特徴量を入力として Phantom の触覚変数を出力とし, 金属ナイフで切る食品の硬さ, 粗さ, 弾力の再現できるシステムを開発した. 今後は他の食品にも対応可能かを検討し, さらなる精度の向上を目指す.

参考文献

[1] T. Aktar, J. Chen, R. Ettelaie, M. Holmes, B. Henson: Human roughness perception and possible factors effecting roughness, Journal of Texture Studies, Vol. 48, No. 3, pp. 181-192, 2017.

[2] Sharon Puleo, Marika Valentino, Paolo Masi, Rossella Di Monaco: Hardness sensitivity: Are old, young, female and male subjects all equally sensitive, Food Quality and Preference, Vol. 90, pp. 104118-104127, 2021.

[3] Yasuyuki Sagara: Kansei Measuring Methods for Mechanical Properties and Texture of Foods, Journal of the Japan Society for Food Science and Engineering, Vol. 56, No. 10, pp. 501-512, 2009.

- [4] Min Sung Kim, Nicholas Walters, Ashlie Martini, Helen S.Joyner, Lisa M.Duizer, Alexandra Grygorczyk: Adapting tribology for use in sensory studies on hard food: The case of texture perception in apples, *Food Quality and Preference*, Vol. 86, pp. 103990–104001, 2020.
- [5] Alina Surmacka Szczesniak: Texture is a sensory property, *Food Quality and Preference*, Vol. 13, No. 4, pp. 215–225, 2002.