

杉山産業化学研究所研究助成 研究報告書

課題名：磁気式食感センサの小型化と階層ベイズモデルによる食感定量化法の確立

研究期間：2018年4月1日から2019年3月31日

研究責任者：神戸大学 中本裕之

1. 緒言

食物を咀嚼・摂取することは、栄養の摂取による生命機能の維持、咀嚼運動による生理的機能の促進など我々にとって必要不可欠の活動のみならず、食事を通じた満腹感や幸福感を得る精神的な効果も高い。そのため栄養はもとより味、香り、食感に特長をもち、おいしいと感じられる食品が求められている。食品の開発において食品製造業では味と香りの定量評価のため味覚や嗅覚を模倣したセンサの利用が進む一方、食感に関しては評価システムの研究開発と実用化が遅れており、我々が感じている食感表現（サクサク、モチモチなど）に基づいた定量評価が食品製造業界の新商品開発に必要とされている。

この課題に対し本研究では、まず食品の圧縮時の荷重と振動という異種の計測データを取得可能な小型かつ実用的な磁気式食感センサを新たに設計開発した。さらに、その異種計測データから階層ベイズモデルを用いて官能評価値を決定する新たな方法を確立した。両者を組み合わせることにより、新たな食感評価システムを構築し、その有効性を検証した。

2. 磁気式食感センサの開発

食感センサの構造と外観を図1及び2に示す。食感センサは永久磁石を内蔵する接触子と工業用バネとリニアスライダと回路基板から主に構成される。接触子の下部と回路基板との間をバネで固定し、接触子のスムーズな上下運動を可能とするためリニアスライダを用いた。接触子の動作は基板上の磁気抵抗素子とインダクタによって力と振動として計測する。力のみを計測する市販の食感測定器に対し、振動を計測できる点に特徴がある。計測には接触子が食品に触れて押し込まれることが必要であるが硬さの異なる食品に対してはバネ定数の異なるバネを用いる。そこで異なるバネ定数で構成した3種類の食感センサS10、S40、S80を製作した。接触子を2 mm押し込んだ状態を力の最大値としてレンジと分解能を評価した。結果を表1に示す。また1000回の1.5 mmの押し込みを行った際のリファレンス用と力センサと食感センサが計測した力の比較を図3に示す。分解能はレンジの1%以下であり、繰り返しの誤差もS10、S40、S80がそれぞれ0.2、0.3、0.92 Nと小さく、食感センサが高精度で計測でき、耐久性からも実用可能なことを確認した。

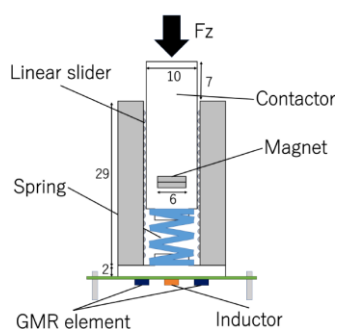


図1 食感センサの構造

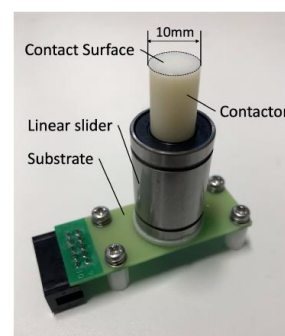


図2 製作した食感センサ

3. 食感強度の推定

食感強度の推定には確率モデルとして二項分布を用いた階層ベイズモデルを用いた。モデルに入力する説明変数をテンプレートデータと力と振動の計測データとの間のDynamic Time Warping (DTW) 距離とした。テンプレートデータにはある特定の食感をもつ計測データから平均データを用いた。モデルが出力する値を食感評価の座標系に線形変換した。実験では7種類のチキンナゲットを対象として6種類の食感表現に関して食品メーカーに勤務する5名の被験者により官能評価を行い、その平均値をモデルの目的変数と

した．それと並行してバネに変更する前の食感センサによってチキンナゲットの圧縮時の力と振動の計測データを取得した．サンプルサイズは20であるが，外れ値を含むデータを除外して，15サンプルの計測データに対してクロスバリデーションにより官能評価値の推定を行った．結果の例を図4に示す．推定値の線は95%予測区間を示す．サクサクはサンプル6を除き官能評価値が推定値の95%信頼区間に収まる推定ができた．また，カリカリはサンプル1と4において官能評価値と推定値に大きな差が生じた．これは計測データにサンプル1，4とサンプル2，3，6との間に差が無いことを示す．一方でサンプル5と7では推定ができており，他のサンプルとの差別化ができた．以上により，食感センサの改良の余地はあるものの，今回の実験の範囲内において食感評価システムの有効性を検証できた．

表1 力の精度評価

センサID	レンジ N	分解能 N	分解能 %
S10	12.8	0.10	0.8
S40	49.1	0.30	0.6
S80	84.9	0.60	0.7

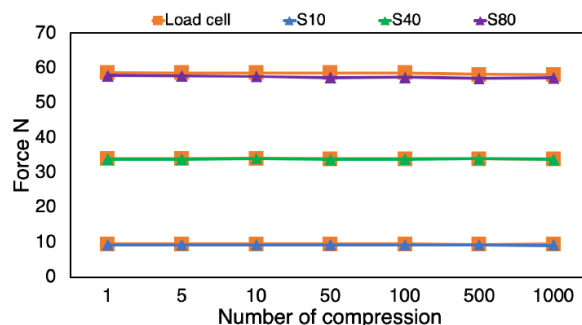
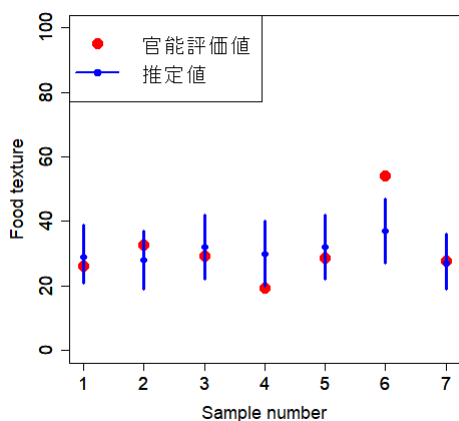
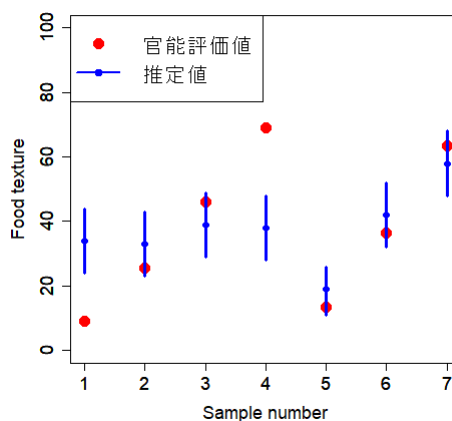


図3 1000回の繰り返しにおける力の変化



(a) サクサク



(b) カリカリ

図4 官能評価値の推定結果

4. 結言

食品の圧縮時に生じる力と振動を計測可能な小型かつ実用的な磁気式食感センサを開発した．評価実験の結果，レンジの1%以下の分解能をもち1000回の使用にも耐えられることを確認した．さらに，力と振動の計測データから階層ベイズモデルを用いて官能評価値を推定する新たな方法を確立した．

謝辞

本研究は一般財団法人杉山産業化学研究所の助成を受けて行いました．ここに謝意を表します．また，実験では株式会社J-オイルミルズの協力をいただいた．ここに感謝いたします．

本研究に係る研究成果発表

- [1] K. Kusumi, H. Nakamoto, F. Kobayashi, Y. Nagahata, Development of Magnetic Food Texture Sensor with Spring and Sliding Mechanism, 2020 IEEE SENSORS Proceedings, 6183, 2020.
- [2] 楠見，中本，小林，長畑，磁気式食感センサの改良と基本特性の評価，第21回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会，pp. 732-734, 2020.
- [3] 土井，中本，小林，長畑，平田，ベイズ推定を用いた荷重・振動データにもとづく食感の推定，第22回日本感性工学会大会，3D11_15_03, 2020.
- [4] 楠見，中本，小林，長畑，磁気式食感センサの耐久性向上とレンジ及び分解能の評価，第64回システム制御情報学会研究発表講演会，pp. 104-105, 2020.