

飲料テクスチャに触発された知識埋込みゼラチン識別子

Knowledge embedded gelatin identifier inspired by beverage textures.

長瀬 駿介¹, 小川 純², 渡邊 洋輔,²
 エムディ ナヒン イスラム シブリー², 古川 英光²
 Shunsuke NAGASE¹, Jun OGAWA², Yosuke WATANABE²,
 MD Nahin Islam SHIBLEE², Hidemitsu FURUKAWA²

¹山形大学工学部

²山形大学大学院理工学研究科

¹Faculty of Engineering, Yamagata University

²Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University

【要約】

我々の研究室ではこれまで圧電センサーを用いて飲料のテクスチャ識別を行う装置の開発を行なわれているが、やわらかい材料を使用することで識別の精度を向上させることが可能となった。これらの研究では主にシリコーンを使用したがる、より良い結果を目指すために、水との質量比を調節することで柔らかさを調節できる点に着目し、ゼラチンを採用した。

ゼラチンといえば食品のイメージが強いが、本研究ではゼラチンを識別子として利用した機械学習を行う。識別する時に学習するのは、飲料が入ったゼラチンの容器が振動する波形である。使用するゼラチンの硬さ、形状などを変化させながら学習を続け、これらが飲料のテクスチャ識別においてどのような影響を及ぼすのかを調査する。

キーワード: ゼラチン、キャラクターゼーション、飲料識別、ソムリエ

【Abstract】

Our laboratory has developed a device to identify the texture of beverages using a piezoelectric sensor, and the use of soft materials has improved the accuracy of the identification. In these studies, silicone was mainly used, but for better results, gelatin was employed because its softness can be adjusted by adjusting its mass ratio to water.

Gelatin is often associated with food products, but in this study, machine learning is performed using gelatin as an identifier. The machine learning system uses the waveform of a vibrating gelatin container filled with a beverage as the identifier. We will continue learning while changing the hardness and shape of the gelatin used and investigate how these affect the texture identification of the beverage.

Keywords: Gelatin, characterization, beverage identification, sommelier

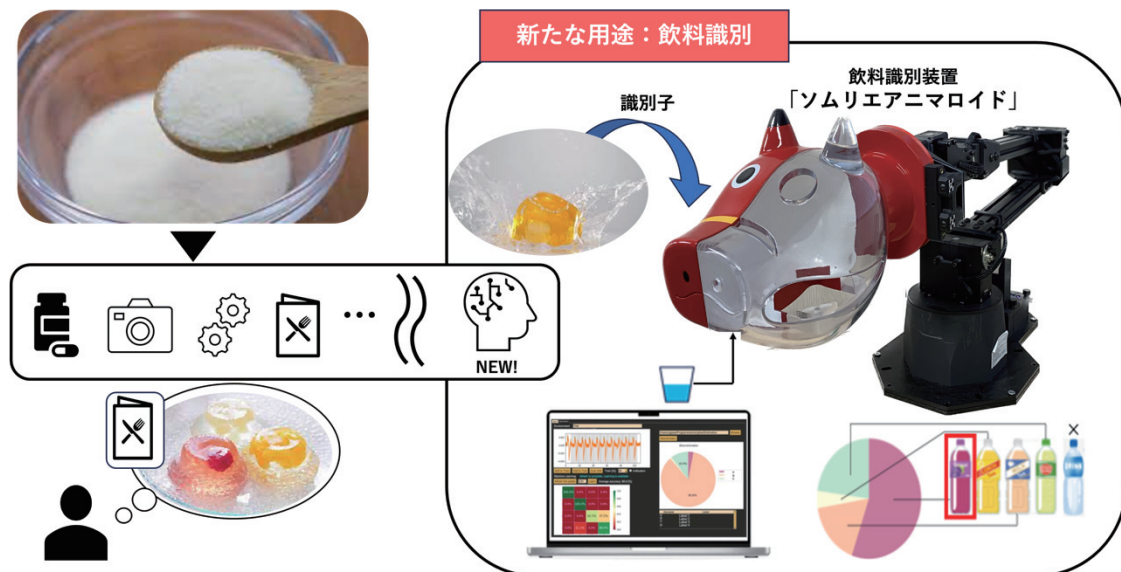


図 1 研究の概略図

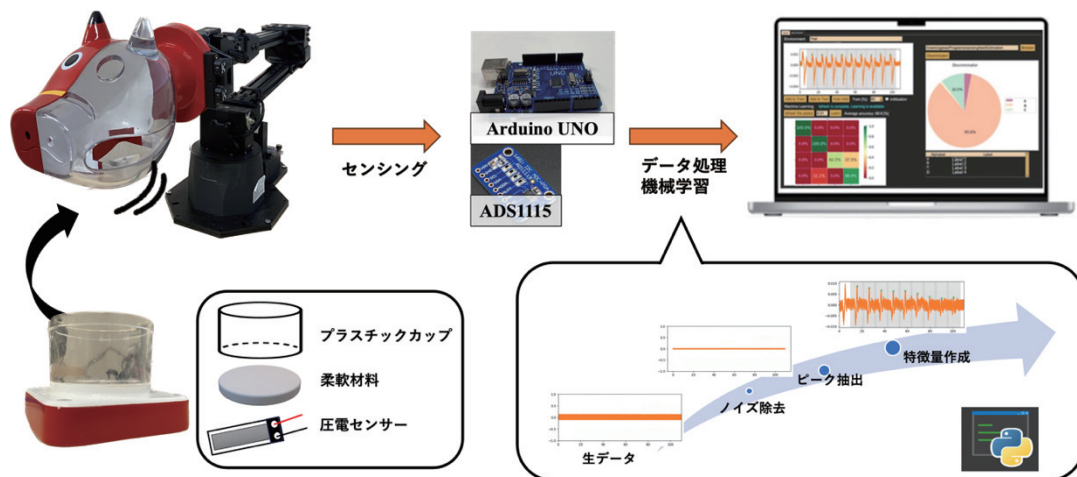


図 2 ソムリエアニマロイド概要図

1. 諸言

本研究の概略を図 1 に示す。

ゼラチンは食用、写真用、医薬用、一般工業といった幅広い分野において使用されており、その効果もゼリー化、起泡作用、接着・結合効果、増粘作用など多岐に及んでいる[1]が、一般的に知られているゼラチンの用途としてはゼリー化を利用した食用ゼラチンであろう。今日にはゼラチンを使用した食品が大量に生産、消費されている。ゼラチンは口の中で溶けるような口当たりや独特のプルプルとしたやわらかさが特徴であるが、本研究ではこの「やわらかさ」に着目し、ゼリーの食用以外の新たな可能性を模索するため研究を行った。

私はこれまで圧電センサーを用いて飲料のテクスチャ識別を行う装置「ソムリエアニマロイド」の開発を行ってきたが、飲料の識別において柔軟材料が大きな効果を与えることが判明している[2].今までは柔軟材料としてシリコンを使用し、特性の異なる飲料の識別や炭酸飲料の時間経過によるテクスチャの変化を捉える実験を行い、高い精度で識別を行うことができた[3].本研究ではより良い結果を目指すためにシリコンに加えてゼリーを使用して識別学習を行い、使用したゼリーの硬さや形状が飲料のテクスチャ識別に及ぼす影響を調査する。

2. 飲料テクスチャ識別装置

「ソムリエアニマロイド」の概要

この章では、私が開発を行なっている飲料のテクスチャ識別装置「ソムリエアニマロイド」の設計と構築、実際に本装置を用いたデータの取得、分析および機械学習の手法について詳述する。図 2 に 2 章の概要図を示す。

2.1 装置設計と構築

我々の提案するソムリエアニマロイドは、人間が飲料を「口で転がす」動作を模倣し、その感覚を人間の代わりに体験し、物理リザーバー計算を利用して

その感覚を分析する装置である。

本装置は 5 軸ロボットアームにより人間の口腔内の飲料の流動と移動を再現しており、先端には赤べこを模したエンドエフェクタが取り付けられている。エンドエフェクタ内部には飲料を格納する取り外し可能な容器が内蔵されており、容器の中には上から飲料を注ぐカップ、ソフト材料 Smooth-On, Inc. 社製の Ecoflex00-30)、圧電センサーが配置されている。本研究では新たな要素として水と粉末ゼラチンを混合し固めたゼリーを飲料を注ぐカップの中に追加した。また、飲料を流動させた振動を圧電センサーによって捉えることによって得られるアナログデータは、Arduino uno と A/D 変換器によってデジタル信号に変換され、機械学習に使用される。

2.2 データの取得・分析と機械学習法

まず、本装置によるデータの取得方法について説明する。2.1 において述べた、飲料を注ぐカップ内に識別する飲料を注入し、赤べこを模したエンドエフェクタに格納する。その後、ロボットアームを駆動させて首を左右に捻るような動きにより飲料を流動させ、その間に起こる振動を柔軟材料と圧電センサーを用いてセンシングする。この首を左右に捻る動きはデータ取得 1 セットにつき 10 回ずつ行い、また、1 回首を捻るごとに 5 秒間の静止時間を儲けることでヒステリシスの影響を低減させている。データ取得 1 セットにかかる時間は約 2 分間であり、その間に発生する全ての振動は圧電センサーによってデータとして取得される。

圧電センサーによって得られるアナログ電圧値は Arduino uno によって取得され、Adafruit ADS1115 を用いて 12bit (データ範囲: -2048~+2048) のデジタル信号に変換され、Python スクリプト上でシリアル通信を介して PC 上に受信される。受信したデータそのままでは機械学習に使用することが困難であるため、データ処理を行う。行う処理はノイズ除去、ピーク抽出、特徴量作成の 3 段階である。

ノイズ除去には線形除去と高速フーリエ変換を用いたローパスフィルタを使用し、カットオフ周波数 10000Hz 以下のデータを除去している。ノイズ除去を行ったデータについて、50 データごとにピークを設定し、その前後 10 データずつを抽出し、tsfresh[4] というライブラリを使用し特徴量を作成する。tsfresh は時系列データから多次元の特徴量を自動的に生成することを可能とするライブラリである。

これらの手順による特徴量作成は、識別対象それぞれのラベルについて行われ、訓練データ 80%、テストデータ 20%に分けられ、機械学習モデルに渡される。ここでは、分類学習の手法としてロジスティック回帰を使用する。[5]

2.3 柔軟材料を使用したフレキシブルセンシング

諸言でも述べたように、柔軟材料を介したフレキシブルセンシングは飲料のテクスチャにおいて有効であることがわかっている。本研究で使用する圧電センサーは飲料が流動することで生じる微小な圧力を検知しているが、センサーと測定対象の間に何も無い、または変形しづらい硬い材料が挟まれている場合、得られるデータの波形は短くなってしまいが、変形しやすい柔軟材料を経由することで微小圧力を材料のダイナミクス変形に変換することでデータの波形を長くすることができる。[6]この差異が識別学習の精度において大きな影響をもたらしている。

須藤らは圧電センサーを用いた接触部位識別装置を開発し、ソフト材料を経由した接触情報によるクラスタ分析が有効であることを示した。[7]また、廣瀬らは、柔軟材料を含む複数の高分子材料と圧電フィルムセンサーからなる咀嚼ロボ「Gel Biter」を開発し、ひとつの食品に対する接触信号を異なる材料から同時取得することが微細なテクスチャーの差異の高精度識別に寄与していることを示している。[8]

3. ゼラチン識別子を用いた識別実験

3.1 形状による影響の調査

本実験ではゼリーの形状が飲料識別に与える影響を調査するために、3 種類の形状のゼリーを用いて 4 種類の飲料の識別実験を行った。また、ゼリーの有無が飲料識別に対して有効の調査も併せて行った。

本実験に使用したゼリーの形状と識別対象となる 4 種類の飲料を図 3 に示す。A は果肉が混ざったオレンジジュースであり、スラリー液である。B は炭酸飲料、C は比較的低粘度である水、D はとろみのある飲むヨーグルトである。

識別子と使用するゼリーは 100mL の水に対して 0.6g の粉末ゼラチンを加え、加熱したのちに冷やすことで作成した。

上記の識別対象と識別子を使用し、2.2 で示した手法でデータの取得、分析、機械学習を行った。また、データの取得は各飲料につき 3 回ずつ行った。図 4 に識別学習を行った結果を示す。

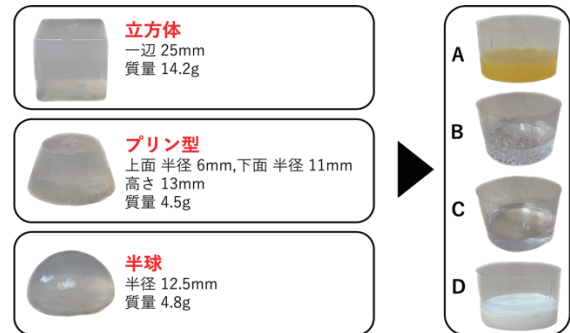


図 3 識別子と識別対象

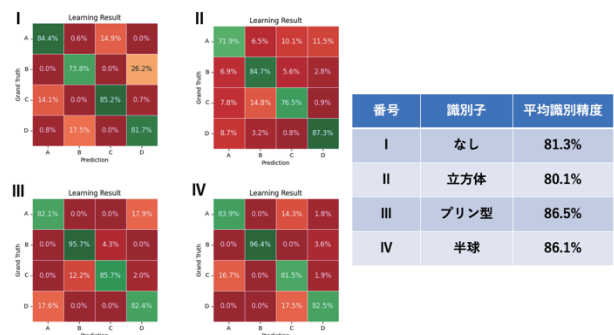


図 4 各形状の識別子による識別結果

図 4 より、識別子としたゼリーの形状 3 つのうち 2 つが識別子を使用しなかった場合よりも平均識別精度が上昇していることがわかる。これは、ゼリーを識別子として使用することは飲料の識別において有効であることを示している。また、プリン型ゼリーと半球型ゼリーの識別結果を見比べてみるとその内容が非常に似通っていることがわかる。これら 2 つの識別子は 形状や質量が近いものであった。対して、形状が大きく異なる立方体型識別子は識別精度が低かった。考えられる理由としては体積の大きさが挙げられる。立方体型識別子は他 2 つの識別子に比べて 3 倍近くの体積を持っており、実験の際もプラスチックカップの大部分を占めていた。そのため、大きすぎる識別子が飲料の流動を妨げていた可能性がある。

以上より、識別子の形状は飲料識別において大きな影響を与えており、適した形状の識別子を使用することで、識別精度を向上させることが可能である。

3.2 硬さによる影響の調査

次に、ゼリーの硬さによる影響を調査するために、3.1 で使用したゼリーの形状のうち、立方体に注目し、ゼリーの硬さを変化させながら識別実験を行った。ゼリーの硬さを変化させる手法としては同量の水に混合させる粉末ゼラチンの量を調節した。今回作成した硬さの異なるゼリーはそれぞれ水 100mL

に対して、粉末ゼラチンを 0.4g, 0.6g, 1.0g, 1.5g 混合した。これらのゼリーのヤング率を示したグラフを図 5 に示す。ゼリーのヤング率は粉末ゼラチンを 0.4g, 0.6g, 1.0g, 1.5g 混合した場合それぞれ 15.34kPa, 52.97kPa, 62.04kPa, 188.6kPa であった。

上記の識別子を使用し、3.1 と同様の手法を用いて識別実験を実施した。結果を図 6 に示す。

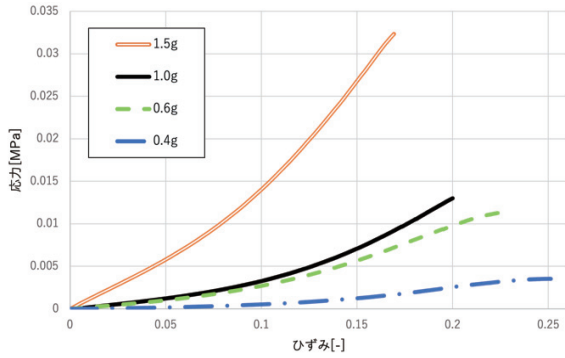


図 5 ゼラチン混合量ごとのゼリーのヤング率

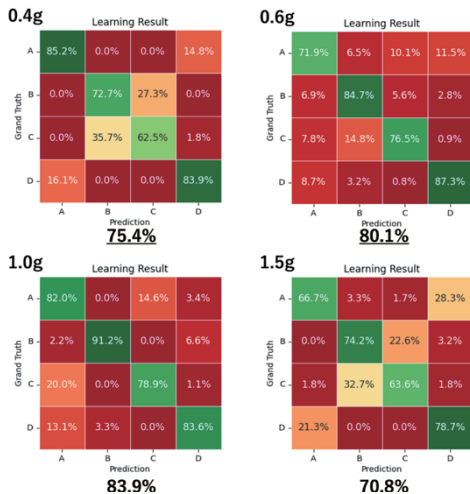


図 6 ゼラチン混合量ごとの識別結果

図 6 より、ゼラチン混合量が異なると、識別精度も変化していることがわかる。しかし、ゼラチン混合量が 0.4g の場合と 1.5g の時の識別精度が低いことから識別子のヤング率と識別精度の相関は単調ではないと言える。また、今回フレキシブルセンシングに使用した柔軟材料である Ecoflex00-30 のヤング率が 60~80[kPa]であり、これに一番近いヤング率を持つゼラチン混合量 1.0g の識別子が最も識別精度が高いことから、飲料の流動による振動を効果的に伝えることができる柔らかさが存在し、その柔らかさに近いヤング率を持つ識別子を使用することが飲料識別において重要であるということが明らかとなった。

4. 結言

本研究では、本来食品として用いられるゼラチンを飲料識別における識別子として使用し、その形状

や硬さが識別精度に与える影響を調査した。研究を通して、適切な形状、硬さの識別子を使用することで識別結果を向上させることができることが判明した。特に、識別子の硬さに関しては、硬さの調節が重要であることから、ゼラチン混合量の調節によって硬さを変化させやすいゼラチンは識別子として非常に有用であることを示した。

今後の展望としては、今回調査して得られた結果をもとに、識別子が飲料の流動を最も効果的に伝えることのできる硬さの特定を行い、さらに高精度の飲料識別を行うことを目指す。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP21H04936, JP22K17972, 管理法人 NEDO の委託業務 (JPNP14004 と JPNP20004) によって支援を受けたものである。

参考文献

1. 白井邦郎. "食用ゼラチン." 調理科学 11.1 (1978): 23-30.
2. 長瀬駿介, 廣瀬航佑, 小川純, 渡邊洋輔, MD Nahin Islam Shiblee, 古川英光, 『口で転がす』機械学習法の提案:柔軟材料を介するフレキシブルセンシングの信号処理に基づく飲料識別, 第 22 回情報科学技術フォーラム(FIT2023), (2023)
3. 長瀬駿介, 廣瀬航佑, MD Nahin, Islam Shiblee, 渡邊洋輔, 小川純, 古川英光, 炭酸飲料の品質評価に向けた実応答型テクスチャ識別装置の検討, 第 41 回日本ロボット学会学術講演会, (2023)
4. M. Christ, N. Braun, J. Neuffer, and A. W. Kempa-Liehr, Time series feature extraction on basis of scalable hypothesis tests (ts-fresh - a python package), Neurocomputing, vol.307, pp. 72-77, (2018).
5. F. Pedregosa et al, Scikit-learn: Machine Learning in Python, Journal of Machine Learning Research, vol.12, pp. 2825-2830, (2011).
6. T. Kameyama, J. Ogawa, Y. Watanabe, M. N. I. Shiblee, A. Khosla, M. Kawakami, H. Furukawa, Soft-Matter Robot That Communicates Humans by Contacting, ECS Transactions, vol. 98, no. 13, pp. 65, (2020).
7. F. I. Sudo, J. Ogawa, Y. Watanabe, A. Khosla, M. Kawakami, H. Furukawa, Local discrimination based on piezoelectric sensing in robots composed of soft matter with different physical properties, Journal of Robotics and Mechatronics, vol. 34, no. 2, pp. 339-350, (2022).
8. K. Hirose, I. Sudo, J. Ogawa, Y. Watanabe, M. N. I. Shiblee, A. Khosla, M. Kawakami, H. Furukawa, Gel Biter: food texture discriminator based on physical reservoir computing with multiple soft materials, Artificial Life and Robotics, vol. 27, pp. 674-683, (2022.)