

# 食用金粉を用いた可食回路制作のための マテリアルおよびノズル検討

理学専攻 情報科学コース 2340653 入江有紀 (指導教員：五十嵐悠紀)

## 1 はじめに

近年、食品をインタラクティブな体験に活用する研究が注目されている [1][2]。食品をインターフェース化することで、従来の視覚・触覚に偏りがちなインタラクティブな体験に味覚や嗅覚といった五感を取り入れ、ユーザーに新しい体験価値を提供することが可能になる。こうした研究はエンターテインメントコンピューティングや教育分野での応用が期待されており、食品そのものがデバイスの一部となる「可食回路」はその代表例と言える。

可食回路とは、食べることができる安全な素材を用いて作られる電子回路のことであり、ユーザが「食べる」という行為を通じてシステムに入力を与えたり、インタラクションを体験したりする仕組みである。例えば教育分野では、健康的な生活のために食行動の改善を子ども自身が楽しみながら改善していくこともできる [3]。

その中でも金は、食用素材として古くから食品装飾に使われてきた実績があり、人体に無害であることから安全性が高い。同時に、金は優れた導電性と耐腐食性を備えているため、可食回路における導電材料として極めて有望である。従来、食用の金としては主に「金箔」が利用されてきたが、金箔は非常に薄く、物理的に壊れやすいため、取り扱いや加工が難しい。また、金箔自体に柔軟性が乏しいため、回路の安定性や耐久性に課題が残る。

また、近年、3次元(3D)フードプリンタを用いた食品加工技術は注目されているものの、食用金を用いた回路形成の自動化技術は未だに開発されていない。食品基材ごとに水分量や粘性が異なるため、3Dフードプリンタのパラメータ調整が複雑であり、その配合は明らかになっていない。本研究では、通電可能なマテリアルの最適な組成を特定して、ノズルの選定と食用回路の試作を行った。

## 2 実験

### 2.1 実験準備

まず、食用金粉ペーストの抵抗値を正確かつ安定的に測定するために、専用の実験装置を設計・構築した。ペーストの導電性を評価する際には、ペーストの体積を一定に保ちながら、測定時の接触抵抗を最小限に抑える必要がある。これらの課題を解決するため、本研究では、アクリル板および3Dプリンタを活用した溝付き型を使用した装置を構築した。

金粉ペーストの充填を効率化し、測定時の抵抗値の安定性を確保するため、槽の幅や深さを調整した複数

のモデルを作成し、その性能を比較した。試作した型、4種類を図1(a)(b)(c)(d)(e)に示す。堰き止め型はペーストが漏れ出さない構造を採用した。その結果、抵抗値が安定し、ペースト充填や銅テープの設置も容易となり、作業効率が向上した。アクリルの型は装置の基盤としてアクリル板を使用し、試料の安定した測定環境を構築した。本研究では、図1(d)堰き止め型を採用した。

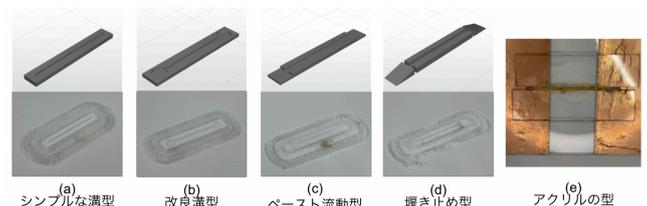


図 1: 型の選定

マテリアルのベースとなる食材としては、水、とろみ粉<sup>1</sup>、グリセリン、ジャム<sup>2</sup>、ハチミツ<sup>3</sup>を選定し、通電検査を行った。

3Dプリンタで作成した型(図1(d))を用いてマテリアルの通電検査を行った。温度を一定にするために食品乾燥機<sup>4</sup>を用い、温度は35度に設定した。この結果、最も抵抗値が低く安定していた水ととろみ粉の配合率を変化させたものおよびジャムをマテリアルのベースの食材として実験を行うこととした。

また、導電性を有する食品用材料として金粉を採用するにあたり、金素材の形状や混合特性を評価した。そのために、金箔を用いた試行と既製品の金粉を使用した試行を行った。結果として、金箔は粉末状にはならず、鱗状または薄片状の粗い粒となることが確認され、一方で既製品の金粉は均一に混合することができた。均一性、測定の安定性、および混合適性の観点から、回路制作の材料として適していると判断されることから、本研究では既製品の金粉を選定し、実験に使用することとした。

### 2.2 抵抗値変動の初期評価

まず、異なる基材(とろみ粉およびジャム)を用い、それぞれに金粉または銀粉を添加したペーストを作成した。銀粉を用いたのは、金粉との違いを比較し、どちらが可食回路に適しているか検討するためである。30分間の測定を1分ごとに行い、通電安定性を評価

<sup>1</sup>日清オイリオグループ トロミアップパーフェクト

<sup>2</sup>アヲハタ 55 イチゴ

<sup>3</sup>サクラ印 ハチミツ

<sup>4</sup>simplus シンプラス フードドライヤー SP-FD01

した。この結果、とろみ粉:水:金が0.67:3.3:1, 1:7:1, 1:10:1, ジャム:金が4:1, 2:1のものが抵抗値が低く安定していたため、この5つの配合に絞って実験を行うこととした。

### 2.3 最適条件の詳細評価

2.2節で得られた結果を踏まえ、抵抗値が特に安定していた試料を選定し、さらなる詳細な評価を行った。

図2の結果から、金粉を2:1の比率で混合したジャムが、抵抗値の低さと通電性の安定性の両面で最も適した条件であることが示された。

### 2.4 ノズル選定のための実験

3Dフードプリンタのノズルを想定して、シリンジ<sup>5</sup>を用い、ノズルは長さ35mmの14G, 16G, 18Gの3種類から選定する。2.1節で選定した型を用い、射出条件として、射出力を5Nおよび10Nに設定し、射出速度を30mmを10秒で射出する条件と30秒で射出する条件で比較を行った。成形後の回路については、30分間の通電検査を実施し、抵抗値を測定した。また、使用したペーストは、2.3節の結果の通りジャムと金粉を2:1の比率で混合したものを採用した。通電検査を行った結果を図3に示した。

この結果より、抵抗値が低く安定している、射出力5N, 射出速度1mm/s, ノズル径14Gの条件, 射出力10N, 射出速度3mm/s, ノズル径16Gの条件, 射出力10N, 射出速度3mm/s, ノズル径14Gの条件が射出に適していることがわかった。

## 3 回路の試作

2.4節で得られたうち、射出力5N, 射出速度1mm/s, およびノズル径14Gの条件を用いて、実際に菓자에装飾されることを想定して、フィナンシェ<sup>6</sup>およびレーズンサンド<sup>7</sup>および表面に回路を試作した。

図4左はフィナンシェ上に回路を成形したものであり、図4右はレーズンサンド上に回路を成形したものである。図4左は、シンプルな直線のみで構成された基本的な回路の例を示す。図4右は、ネコ型の回路の例であり、回路としての機能を持たせつつ、見た目にも装飾的な要素を取り入れることで、食品のデザイン性を高めることが可能な例を示す。いずれの回路も通電を確認した。

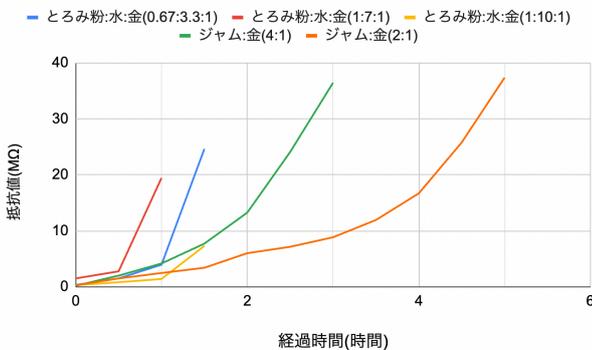


図2: 抵抗値の低い配合を選定し長時間観察した結果

<sup>5</sup>TOUFEIYUAN 1ml シリンジ

<sup>6</sup>ファミリーマート 焦がしバター使用 贅沢フィナンシェ

<sup>7</sup>スリースター製菓株式会社 レーズンサンド

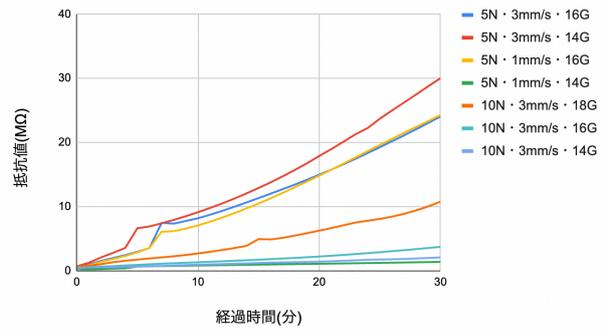


図3: 30分の通電検査の結果

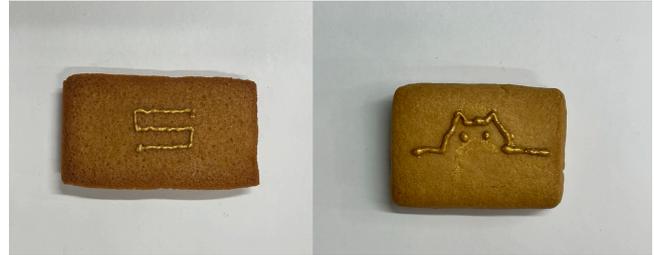


図4: 左: シンプルな回路, 右: ネコ型の回路。

## 4 まとめと今後の展望

本研究では、食用金粉を用いた回路制作において最適な材料の配合と射出条件を明らかにし、試作した回路が通電可能であることを確認した。さらに、食品表面への装飾的かつ機能的な回路形成の可能性を示した。

今後の展望として、3Dフードプリンタを用いた自動化システムの構築により、より精密かつ効率的な回路形成を可能にすることを目指す。また、デザインソフトウェアの開発を行い、ユーザが簡単に金回路を作成できる支援を行いたい。

謝辞: 本研究を進めるにあたってご助言いただいた加藤 邦拓氏, 池松 香氏, 中村 裕美氏, 実験装置構築を補助していただいた的場やすし氏に感謝する。本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金(23K11187), 日揮・実吉奨学会による支援を受けたものである。

### 参考文献

- [1] Dan Maynes-Aminzade, Edible Bits: Seamless Interfaces Between People, Data and Food, Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI' 05) - Extended Abstracts, pp. 2207–2210, 2005.
- [2] Martin Murer, Ilhan Aslan, and Manfred Tschelligi, LOLL io: Exploring Taste as Playful Modality, Proceedings of the 7th International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction, pp. 299–302, 2013.
- [3] 須崎比奈子, 加藤邦拓, 池松香, 中村裕美, 五十嵐悠紀, 他, 可食回路のセンシングを利用した子ども向けの食行動改善アプリケーションの提案, 第86回全国大会講演論文集, vol. 2024, no. 1, pp. 111–112, 2024.