招待論文　FoodSkin: 食用金箔を用いた食品上への回路作成

加藤 邦拓 *†　池松 香 *‡　中村 裕美 §　須崎 比奈子 ¶　五十嵐 悠紀 ¶

概要.　本研究では食品表面に金箔回路を作成し，食品にインタラクティブな要素を追加する技術である FoodSkin を提案する．提案手法により，乾燥食品と回路を統合することで，電気味覚の提示やユーザの食事行動の推定といった機能を提供できる．評価実験として，金箔回路の耐久性，様々な性質の食品表面への金箔回路の適用性，および金箔回路の接着が元の食品の味・食感におよぼす影響について調査した．また，ワークショップを実施し，提案したファブリケーション手法のアクセシビリティについて評価を行った．

1　はじめに

食べ物は人間生活において不可欠な存在であり，栄養源としてだけでなく，味覚，視覚，食感など嗜好に基づく多様な満足感を提供する要素としても役割を果たしている．Human-Computer Interaction (HCI) の研究分野では，日常の食体験を拡張することを目的とし，音響フィードバックの提示 [3, 7] や，視覚情報の提示 [2]，口腔内への電気味覚の提示 [5] をするなど様々な研究がなされてきた．これらの研究は食品を電気回路の一部として利用することで，食品自体にインタラクティブな機能を組み込むことを可能とした．しかし既存研究の多くは，含有水分量が多く，電気を流すことのできる食品にしか適用できないといった制約があった．こうした問題を解決するため，食用金箔を用いて食品の表面に電極や回路を作成する手法が提案されてきたものの，任意形状の回路を作成できない [6]，チョコレートなど溶ける特性を持つ食品にしか適用できない [1] といった制約があった．これに対し本研究では，クッキーなどの乾燥した食品や，チョコレートのような油分を多く含む食品など，様々な特性を持つ食品に対して任意形状の電極や回路形成を可能とする手法である FoodSkin を提案した [4]．提案手法では，食用金箔を含む無味・無臭の可食素材を用いることで，元の食品の味や食感を阻害することなく，食品上に多様なディスプレイ機能（電気味覚の提示（図 1(a)），電熱線による食品表面の加熱（図 1(b–c))，およびセンシング機能（導体の接触による静電容量の変化（図 1(d))，回路の部分的破断による抵抗値の変化（図 1(e))）を実装可能である．

Copyright is held by the author(s). This paper is nonrefereed and non-archival.

* The first two authors contributed equally.

† 東京工科大学
‡ LINE ヤフー株式会社
§ 東京大学
¶ お茶の水女子大学

図 1. FoodSkin の応用例．(a) 電気味覚の多点刺激，電熱線を用いた (b) 食品表面加熱による香りの増強および (c) 食品内部加熱によるチョコレートの保温・溶解状態保持，(d) 舌の接触検知による音響フィードバックの提示，(e) 回路トレースの破断による咀嚼検知．

2　FoodSkin

図 2 に FoodSkin のファブリケーション手順を示す．まず，デザインサポートシステムを用いて食品上に貼り付ける回路パターンを作成する．ユーザがプリセットメニューに表示された食品一覧から食品と実装したい機能を選択すると，システム上に食品の 3D モデルが表示される（図 2(a–b)）．またカーソル操作によって 3D モデル上の任意箇所を矩形選択することで，範囲内に回路パターンがプレビューされる．回路パターンは 3D モデル上でのカーソル操作によって配置の変更，2D エディタ上での配線の長さや電極の配置の調整などの編集を可能とする（図 2(c)）．またシステムは，いくつかのデザインアシスト機能を備える．例えば，ユーザの操作によって配線が細くなりすぎた場合や，金箔トレースが食品の角に貼り付けられた場合に断線のリスクが高まるなど，食品上に金箔を貼り付ける際に生じる物理

図 2. ファブリケーション手順．(a–d) デザインサポートシステムによる回路パターンの作成，(e–j) 回路トレースの作成．

的な制約に基づいて，警告メッセージが表示される．このほか，アプリケーションごとに適切な抵抗値を一定に保つよう，配線の長さや電極の配置の変更に応じて，配線の幅が自動で調整される．システムでの編集を終了すると，回路パターンのパスデータがPDF ファイルとして出力される（図 2(d)）．

金箔は薄く（0.01 mm 程度），脆い素材であるため，素手での扱いが非常に困難となる．そこで本研究では，オブラートなどの可食シートを用い，金箔の裏打ちを行ったうえで，レーザカッターを用いて回路トレースを切り出す（図 2(e–f)）．切り出し工程中，オブラートの一部がレーザの熱によって溶けて加工ベッドに貼り付いてしまい，取り出す際に回路が破損してしまうことが確認された．この問題を防ぐため，事前にクッキングシートを 2 枚重ねて加工ベッドに貼り付け，回路パターンと同じ形状の穴を開ける工程を設けた．この工程によって作成した，穴の空いた 2 枚のクッキングシートに，裏打ちを行った金箔を挟み込むことで，オブラートの貼り付きを軽減し回路の破損に対処した（図 2(g–i)）．最後に，とろみ粉（水溶き片栗粉など）を接着層として用い，切り出した回路トレースを手作業で食品上に貼り付ける（図 2(j)）．接着層が完全に乾燥すると，金箔部を電極や配線として使用することができる．

3 評価実験

本研究では，金箔回路の技術評価，心理物理実験，ワークショップによるユーザ調査の 3 種類の評価実験を実施した．

技術評価では，金箔回路トレースの耐久性および，様々な食品への適用性を調査した．ここでは金箔の裏打ちに使用する可食シートの違いによる影響も調査するため，厚さ 0.01 mm（主に医薬品に使用），0.03 mm（お菓子の包紙に使用），0.2 mm（食品の装飾に使用）の 3 種類を用いた回路トレースを用意した．耐久性の調査としては，回路トレースの引き伸ばしへの耐性，凹凸面への貼り付けへの耐性，長期間の保存を想定した回路トレースの経時劣化（常温・冷蔵・冷凍条件下において一週間）について評価を行った．結果，回路トレースは引き伸ばし，粗い凹凸面への貼り付けに対する耐久性が低く，抵抗値の上昇または断線が確認された．これらは厚みのある可食シートを用いることで，金箔の破損が軽減できることを確認した．また常温・冷蔵・冷凍のいずれの条件においても，抵抗値に顕著は変化は確認されなかった．適用性の調査では，異なる特性（水溶性，表面凹凸，柔軟性）を持つ 9 種類の食品を用意し，回路トレースの貼り付けを行った．結果，すべての食品に対して提案手法を適用可能であるが，配線が細すぎる，食品表面の凹凸が大きすぎる場合に断線が生じるリスクが高まることを確認した．

心理物理実験では，貼り付けた回路トレースが，食品の元の味や食感におよぼす影響を調査した．参加者に対し，回路トレースの貼り付けを行った食品（加工済条件）と，貼り付けを行っていない食品（未加工条件）の味・食感についてそれぞれ個別に記憶してもらった後に，いずれかの食品をランダムに提供し，口にした食品がどちらの条件であったかを回答させた．なお，回答は味・食感のいずれか指定された観点について個別に行う．ここでは正解率が 50%（チャンスレート）に近づくほど，加工済・未加工条件の食品の区別が難しく，回路トレースを貼り付けた食品は，食品の元の味・食感に近いことが示される．結果，正解率は 65–78.8%であり，提案手法による回路トレースの貼り付けは，食品の元の味・食感に大きな影響を与えないことが示唆された．なお本実験はお茶の水女子大学生物医学的研究の倫理特別委員会での承認をうけている（承認番号 2023–6）．

最後に，提案手法のアクセシビリティの評価を目的としてワークショップを実施した．結果，すべての参加者が指定された時間内に回路作成作業を完了することができた．また提案手法を体験したことのないユーザであっても，デザインサポートシステムを使った回路パターンの作成ができ，数十分程度の練習で提案手法を習得可能であることを示した．本研究の詳細については，ACM CHI’24 掲載の論文 [4] を参照していただきたい．

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP23K11187 の助成を受けたものである．また本研究の一部は，JST 未来プログラム JPMJMI21J6 および，JST 若手研究 JP20K19842 の助成を受けたものである．

参考文献

[1] T. Cheng, T. Tabb, J. W. Park, E. M. Gallo, A. Maheshwari, G. D. Abowd, H. Oh, and A. Danielescu. Functional Destruction: Utilizing Sustainable Materials' Physical Transiency for Electronics Applications. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '23, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery.

[2] A. Ishii, K. Ikematsu, and I. Siio. Designing Electrolysis Ion Display on Everyday Open Wet Surfaces. In *Proceedings of the 2022 ACM Designing Interactive Systems Conference*, DIS '22, pp. 1020–1034, New York, NY, USA, June 2022. Association for Computing Machinery.

[3] A. Kadomura, R. Nakamori, K. Tsukada, and I. Siio. EaTheremin. In *SIGGRAPH Asia 2011 Emerging Technologies*, SA '11, New York, NY, USA, 2011. Association for Computing Machinery.

[4] K. Kato, K. Ikematsu, H. Nakamura, H. Suzaki, and Y. Igarashi. FoodSkin: Fabricating Edible Gold Leaf Circuits on Food Surfaces. In *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, CHI '24, New York, NY, USA, 2024. Association for Computing Machinery.

[5] H. Nakamura and H. Miyashita. Controlling Saltiness without Salt: Evaluation of Taste Change by Applying and Releasing Cathodal Current. In *Proceedings of the 5th International Workshop on Multimedia for Cooking & Eating Activities*, CEA '13, p. 9–14, New York, NY, USA, 2013. Association for Computing Machinery.

[6] P. Punpongsanon and H. Ishizuka. EdiSensor: Facilitating Food Electricity for Eating Habits Analysis. In *2021 IEEE 3rd Global Conference on Life Sciences and Technologies (LifeTech)*, pp. 104–105, 2021.

[7] Y. Wang, Z. Li, R. S. Jarvis, J. La Delfa, R. A. Khot, and F. F. Mueller. WeScream!: Toward Understanding the Design of Playful Social Gustosonic Experiences with Ice Cream. In *Proceedings of the 2020 ACM Designing Interactive Systems Conference*, DIS '20, pp. 951–963, New York, NY, USA, July 2020. Association for Computing Machinery.