

飲料体験を拡張する充電不要な 蓋型嗅覚インターフェースの実現に向けた基礎検討

真弓 大輝^{1,a)} 中村 優吾^{2,b)} 松田 裕貴¹ 三崎 慎也¹ 安本 慶一¹

概要：エネルギーハーベスティング技術を活用したデバイスは、持続可能な IoT の未来に向けて大きな可能性を秘めている。最近では、日常生活で利用可能な様々な嗅覚インターフェースが開発されており、これらは私たちの生活に新たな次元をもたらす。我々の研究グループでは、飲料の甘さを香りで増幅させることで糖分摂取量を低減させる「Kaolid」という蓋型嗅覚インターフェースを開発した。このインターフェースは、口中香によって香り情報を提示し、味の満足度や甘さを大幅に増幅させる機能を持っている。しかし、これまでの「Kaolid」はバッテリーを電力源として使用しており、日常的な使用には定期的な充電が必要であった。そこで、本論文ではエネルギーハーベスティング技術を応用した充電不要な嗅覚インターフェースを提案する。この新しい設計では、デバイスを利用しない時間に太陽光を活用して必要な電力を蓄えることができる。これにより、システムの利便性が拡張され、日常的な使用がより容易になる。本研究では、異なるコンテキストで利用可能な充電不要な嗅覚インターフェースの開発において重要な一歩を踏み出すものである。

1. はじめに

HCI (Human-Computer Interaction) の分野は、近年顕著な発展を遂げており、日常生活のさまざまな側面に深く組み込まれ、直感的なユーザ体験を提供するようになっている。特に、食体験を情報技術で拡張することを目的とした HFI (Human Food Interaction) が国際的な関心を集めている [1], [2], [3].

これまでに人間の五感に働きかけ、食体験を変化または増強させる多感覚体験アプローチに関する多くの研究が提案されてきた [4], [5], [6], [7], [8]. これらの研究は主に視覚、聴覚、触覚、味覚を対象としており、嗅覚インターフェースの開発は、その複雑な構造とデバイス設計の難しさにより進展が遅れていた。しかし、技術の進歩により、日常生活で利用できる嗅覚インターフェースの開発が進んでいる [9], [10], [11]. これらのデバイスは日常的に使いやすいデザインであるものの、電力供給にバッテリーや直接電源を使用しており、日常生活においてはバッテリー充電の必要性がユーザにとって不便となっている。

最近になって様々なバッテリーレスなインターフェース

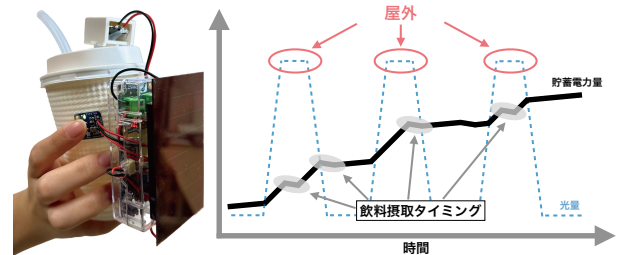


図 1 ソーラーパネルで充電する嗅覚インターフェース

が提案されている [12], [13], [14], [15], [16]. これらのデバイスは小型のソーラーパネルを使用してバッテリーフリーを実現し、日常的な使用に適したデザインを提供している。しかし、嗅覚デバイスに対するエネルギーハーベスティング技術の応用に関する研究はまだ進んでいない。

我々の研究グループでは、私たちの食生活において主要な糖分摂取源となっている糖分入り飲料の摂取量増加を解決するために、香りで味の甘さを増幅させることにより飲料からの糖分摂取量を低減することを目的として、「Kaolid」という蓋型嗅覚インターフェースの開発に取り組んできた [17]. 従来の「Kaolid」はバッテリーを電力源として使用しており、日常的な使用には定期的な充電が必要であった。しかし、この充電の必要性はユーザにとって不便をもたらす、デバイスの持続的な使用を妨げる可能性がある。この問題を解決するため、我々は Kaolid の電源としてソーラーパネルを採用し、エネルギーハーベスティング化を検討する。ソーラーパネルを採用することで、日

¹ 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology

² 九州大学
Kyushu University

a) mayumi.daiki.mb9@is.naist.jp

b) y-nakamura@ait.kyushu-u.ac.jp

常生活での利便性が向上し、環境に配慮した持続可能なソリューションの提供を可能にする。さらに太陽光からのエネルギーを効果的に活用するために、デスクワーカーが外に移動することを促すことで、糖分摂取量低減と健康のための運動促進にも貢献する。

本論文では、従来の蓋型嗅覚インターフェース「Kaolid」に新たな機能を追加し、日中の連続使用に対応できる充電不要な嗅覚インターフェースを提案する。本システムはソーラーパネルを用いた電力供給により、日常生活での持続可能な利用を目指す。環境への影響を最小限に抑えつつ、飲料体験を拡張することを目標とする。また実際の生活環境での使用を想定したシミュレーション実験の結果を通じて、エネルギーハーベスティング設計の利便性と効率性を実証する。

2. 関連研究

2.1 食事体験を拡張させるインターフェース

HCI の分野では食事体験を情報技術で拡張する HFI (Human Food Interaction) [1], [2], [3] という分野が注目されており、情報技術を用いて食事体験を拡張する研究が様々な行われている。

塩分摂取量を制限しながら、食品の味を改善するための有効な手段として、口腔内外からの電気味覚刺激 (GTS) を使用して塩味を増強する方法 [4], [18] が提案されている。また Ranasinghe らの研究 [5] では、舌の味覚受容神経系を電気で刺激することで異なる味を誘発する技術が開発されており、食品の味を多様化し、食品アレルギーや健康上の制約がある人にとって新たな食事体験を提供する可能性がある。さらに嗅覚に香りを提示して飲料の味を変化させる研究が行われている [6], [17]。この手法により、飲料の味わいを豊かにし、感覚的な味の満足感や甘さを高める効果が期待される。既存の HCI の研究では、視覚的な要素に焦点が当てられたアプローチも取られ、食べ物の外観や見た目を操作する方法が提案されている。例えば、食事の量を視覚的に変化させることで満腹感をコントロールするシステム [7], [19] や、食品に映像を投影して食環境を変化させるプロジェクションマッピング [20], [21] が提案されている。これらの技術は、食事体験を拡張させるとともに、食行動の改善に寄与する可能性がある。

これらの HFI の分野では、食事体験を豊かにし、食文化や健康に対する新たな視点を提供し、将来的に食に関する習慣や嗜好の変化に大きく貢献することが期待される。

2.2 嗅覚インターフェース

近年、様々な種類の嗅覚デバイスとそれを用いたインタラクションが提案されている。例えば、ウェアラブルデバイスで香りを提示するヘッドマウント・ディスプレイ [22], [23] や首からかけるウェアラブルデバイス [9], [10]

も提案されている。Wang らの研究 [11] では、ピアス型、ネックレス型、顔に装着するオンフェイス型の嗅覚デバイスが提案されている。提案システムは日常生活で容易に使用できる設計であり、社会的受容性、快適性および香りの強度に関する評価が行われている。Amores らの研究 [9] では、スマートフォンから遠隔操作可能で、生体情報や文脈情報に基づいて香りの強度や頻度を調整できるネックレス型嗅覚デバイスを提案している。Dobbelstein らの研究 [10] では、個人の香り通知を受け取ることができるウェアラブル嗅覚デバイスが開発されている。

人間の味覚において、香りが重要な役割を果たしていることが知られており [24], [25], [26]、香りを制御することで味覚を変化させることが可能である。Ranasinghe らの研究 [5], [27] では、AR や VR 空間での飲料体験を拡張することを目的として、電気刺激や香り、視覚効果を実現するデバイスが開発されており、異なる感覚相互作用による味覚の拡張が試みられている。しかし、甘味増幅に関してはまだ課題が残されており、香りの提示方法も日常使用には適していない。我々の研究グループは、香りを用いて甘さを増幅させるマグカップ型の嗅覚インターフェース [6], [28], [29] を提案し、被験者 33 名に対して実証実験を行い、香りによって知覚される味の甘さが増幅されることを確認したが、味の満足度には向上が見られなかった。

2.3 エネルギーハーベスティング技術を用いたシステム

持続可能な IoT の未来に向けたデバイス設計において、エネルギーハーベスティング技術を活用したシステムが提案されている。Jasper de Winkel ら [12] は、バッテリーを使用せずに持ち運びが可能なゲームデバイス「ENGAGE」を提案した。このデバイスは、ユーザのボタン操作と太陽光エネルギーを収集し、任天堂ゲームボーイエミュレータを動作させることができる。ENGAGE は、断続的な電源供給にも対応する新しいメモリ保存方式を採用し、バッテリーフリーのゲームプラットフォームとして実際のゲームボーイゲームの連続的なプレイを可能にしている。

またバッテリーを使用しない携帯電話も提案されている [13]。この携帯電話は、RF 信号や光ダイオードから得られる低電力エネルギーのみで動作し、バッテリーなしで Skype 通話が可能であることが実証されている。他にも持続可能なコンピューティングのためのバッテリーレスプログラミング環境 [14], [15] やバッテリーフリーで太陽光からエネルギーを貯蓄する小型無人航空機 (UAV) の開発 [16], [30] など、バッテリーレスでの運用が可能なシステムの研究が進んでいる。

このようにエネルギーハーベスティング技術を用いたシステム開発は多様化し、持続可能な IoT アプリケーションの開発に重要な貢献をしている。

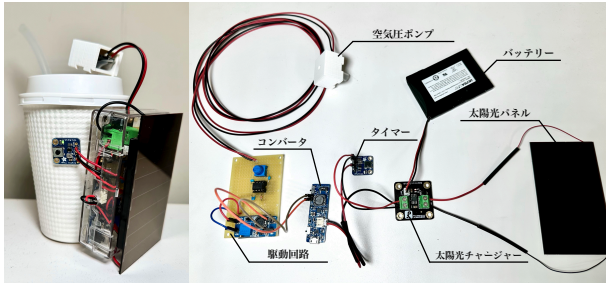


図 2 提案インターフェースの回路図

3. 充電不要な蓋型嗅覚インターフェースのシステム設計

我々の研究グループは、糖分摂取量低減を目的として、香りを用いて飲料の味の甘さを増幅させる蓋型嗅覚インターフェースを開発してきた [17]. しかし、これまでに提案したインターフェースはバッテリーを利用しており、ユーザは定期的に充電をする必要があった. 本章では、エネルギーハーベスティング技術を活用し、充電不要な嗅覚インターフェースのシステム設計を示す.

図 2 に示されているシステムの回路図は、提案した充電不要な嗅覚インターフェースの全体像を表している. システム設計では、充電レスを実現するために、太陽光パネル *1 を組み込み、得られる電力をソーラーチャージャーで管理し、バッテリーを充電する. ソーラーチャージャーからの出力電圧 3.7V を昇圧チョッパを使用して 5V に増幅し、空気圧ポンプの駆動回路に必要な電圧を提供する. またタイマー制御を通じて、空気圧ポンプが動作し、適切なタイミングで香りを噴射する機能を実現した. 通電時には、太陽光パネルによってバッテリーに蓄えられた電力を使用し、空気圧ポンプの駆動回路を通じて空気圧ポンプが作動し、香りが噴射される.

この充電不要なシステムにより、継続的な使用が可能となり、飲料の味覚体験を向上させるとともに、日常生活における持続可能な食習慣への応用が期待される.

4. 充電不要な嗅覚インターフェースを 1 日使う検証実験

「Kaolid」という嗅覚インターフェースを用いて充電不要な嗅覚インターフェースを 1 日間使用するシミュレーション実験について報告する. この実験は、デバイスのエネルギー効率と日常生活への適応性を検証するために行われた. シミュレーション実験では、デバイスが太陽光エネルギーのみで 1 日間の使用をサポートできるかどうかを評価した. 本実験を通じて、Kaolid が味覚の知覚を変化させ、持続可能なエネルギー利用を実現するかを明らかにする.

*1 <https://www.digikey.jp/ja/products/detail/panasonic-bsg/AM-1816CA-DGK-E/2165190>

4.1 検証実験概要

本実験では、提案インターフェースに組み込まれた太陽光パネルを用いて、1 日の利用において充電の必要性を排除することができるかを検証した. 実験は晴天の日に行われ、最高気温 11°C、最低気温 -3°C の条件下で実施した. 実験では、オフィスワーカーがオフィス内と屋外のカフェを行き来するシナリオを想定した. 具体的には、9時から1時間のオフィスでの作業の後、30分間外のカフェに移動して作業を行い、その後再びオフィスに戻るという流れを午後 18 時まで繰り返した. この過程で、本インターフェースが外部の太陽光を利用して充電されるかを検証した.

また、本インターフェースはユーザが定期的に屋外に出ることを促す設計となっており、これによりオフィスワーカーの運動促進が期待される. 太陽光を利用することでエネルギーを得るデザインは、ユーザの健康と環境の持続可能性の両方に寄与するものである.

4.2 検証実験結果

はじめに 1 日利用する場合の消費電力量を計算する. 本研究におけるデバイスの日常的な使用状況を想定し、1 日あたりの消費電力量を算出する. 一般的に 8 オンスの水を 8 回飲むことが理想的であると言われてきたが、これには科学的根拠はないと結論づけられている [31]. 水分摂取量は、個々の活動レベルや年齢、発汗の程度によって異なるが、本シミュレーションでは、オフィスワーカーの 1 日当たり摂取する飲料量は 1.2L とし、これを 8 回に分けて摂取することとする. したがって、本インターフェースを用いた場合、1 回あたりの飲料摂取量は約 150mL となる. また本インターフェースにおける 150mL の飲料摂取時の噴射時間は約 25 秒間であり、これを 1 日に 7~8 回実施すると仮定すると、1 日当たりの総噴射時間は約 200 秒となる. 本インターフェースの駆動に要する入力電圧は 3.7V、電流は 115.6mA である. このため、1 回の使用時の消費電力量 [Ws] は次のように計算される.

$$\begin{aligned} \text{消費電力量 [Ws]} &= \text{電圧 [V]} \times \text{電流 [A]} \times \text{噴射時間 [s]} \\ &= 3.7 [\text{V}] \times (115.6 \times (1/1000)) [\text{A}] \times 25 [\text{s}] \\ &\approx 10.693 [\text{Ws}] \end{aligned} \quad (1)$$

また本インターフェースを 1 日利用する場合の消費電力量は、以下の式で求められる.

$$\begin{aligned} \text{消費電力量 [Ws]} &= 3.7 [\text{V}] \times (115.6 \times (1/1000)) [\text{A}] \times 200 [\text{s}] \\ &\approx 85.544 [\text{Ws}] \end{aligned} \quad (2)$$

この計算により、1 日当たりの総消費電力量が求められ、それを太陽光パネルによる発電量と比較することで、デバイスの持続可能性を評価することができる.

図 3 に本インターフェースを 1 日利用する場合の電力消費量と発電量のシミュレーション実験の結果を示す. 赤線は飲料摂取時のバッテリーへの電力貯蓄量、黒線は飲料摂

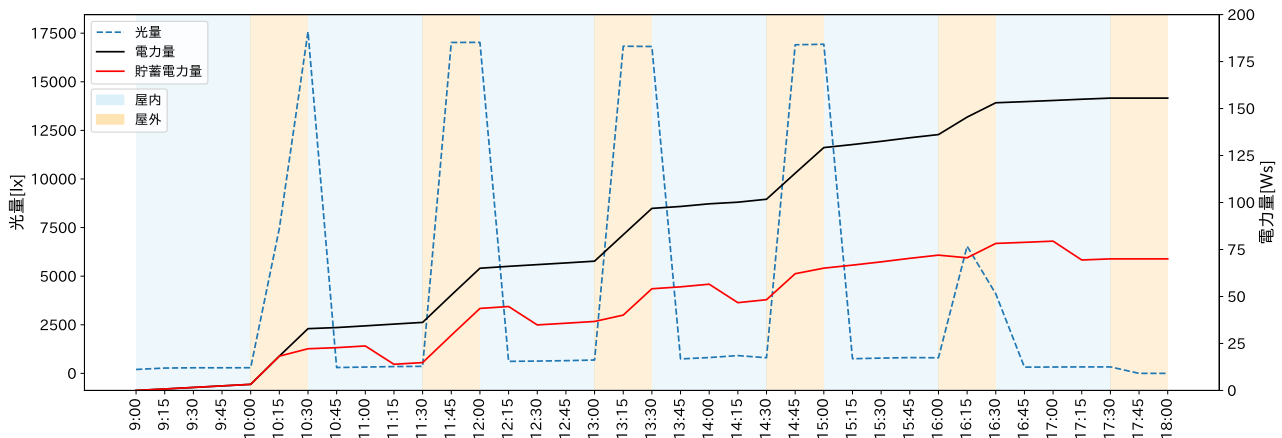


図 3 シミュレーション実験の結果

取を行わない状態でのバッテリーに充電される電力量をそれぞれ示している。青線は日中の光量を表している。

青線のデータによれば、日中の光量は比較的高いが、16時以降はピーク時の半分程度に減少し、17時以降はほぼ検出されない。これに対し、黒線からは日中の屋外での太陽光パネルによる電力貯蓄が可能であったことが読み取れる。結果として、1日を通じて約 156Ws の電力が貯蓄され、これはデバイスの1日の使用に必要な電力量 (85.544Ws) をカバーすることが可能であることを示している。

赤線のシミュレーション結果によると、15分間の屋外での充電により、デバイスの1回分の電力を貯めることができ、1日を通じて利用可能であることが確認された。しかし、屋内での利用ではデバイスに必要な電力を充電することは困難であるため、屋外での充電が必須となる。

これら結果より、本デバイスを利用するためには屋外への移動が必要であり、結果的にオフィスワーカーに運動を促進させる効果が期待できる。このデバイスは、運動不足を解消し、行動変容を促す効果的なツールであると言える。

5. 考察と限界

5.1 実験環境

本インターフェースを用いたシミュレーション実験の結果、デバイスの1日当たりの総電力需給を充足できることが確認された。しかし、これらの結果に関する考察として、はじめに実験の環境依存性について深く掘り下げる必要がある。実験は、日本の1月に行われ、晴天下での最高気温は 11℃、最低気温は -3℃であった。したがって、曇天や降雨時の日光量の低下が、異なる結果をもたらすことが予想される。図3に示されるように、日本の冬季は日照時間が短く、特に16時以降は光量が少ないため、太陽光による電力貯蔵量は限られていた。これに対し、日照時間が長い環境 (例えば日本の夏季や降水量の少ない国々) では、本実験よりも多量の電力を貯蔵できる可能性がある。今後の研究では、本インターフェースの普遍性を検証するため、日本の冬の気候条件下での結果が、夏季や異なる気候を持

つ国々での使用と比べてどのように変わるかについて、実際のデータに基づく分析が必要となる。

本実験では、オフィスワーカーを想定したシミュレーションを実施したが、屋内環境では十分な電力を貯蓄することが困難であることが判明した。しかし、窓際など光量の高い場所での使用に関しては、別途のシミュレーションが必要である。屋外の日照条件だけでなく、屋内の照明条件下での太陽光パネルの性能を詳細に分析し、様々な光源の強度とその発電効率を比較することが求められる。さらに、デバイスの屋内での使用を前提とした場合、窓際などの光が豊富な場所での充電効率を高めるための実験設計も必要となる。

5.2 インターフェースの改良

また本インターフェースに用いた太陽光パネルは、屋内光でも発電可能であるが、その発電できる電力量は光の種類や強度によって異なる。一般的に、屋内光の強度は自然光よりも低いいため、屋外での発電量に比べて屋内での発電量は低い。特に、本実験で使用された蛍光灯の場合、直射日光や強い人工光に比べて生成される電力量は少なかった可能性が高い。つまり、現在の太陽光パネルでは屋外での使用が想定されているため、屋内照明に適した太陽光パネルの開発や既存のパネルを改良することが求められる。これは、屋内での発電量を最大化するためのパネルの感度や発電効率の向上が見込まれる。同様に、エネルギー消費を最小限に抑えることを目的とした嗅覚デバイスの回路設計への改良も重要となる。これには、消費電力の最適化だけでなく、デバイスの機能を維持しつつも省エネルギーを実現するための新しい設計原理が必要となる。

今後、屋内外での使用に対するデバイスの適応性を高めるために、どのような改良が可能かを探る必要がある。最終的には、これらの分析を通じて、エネルギーハーベスティング技術を用いた持続可能なシステム的设计に対する理解を深め、実際の使用環境での効率的な運用を実現することが目標となる。

6. 終わりに

本研究では、糖分摂取量低減を補助する蓋型嗅覚インターフェース「Kaolid」にエネルギーハーベスティング技術を活用した充電不要なインターフェースへの基礎検討を行った。エネルギーハーベスティング技術を活用し、充電不要な環境適応型デバイスを設計した。太陽光パネルを活用したシミュレーション実験により、デバイスが1日の使用に必要な電力量を自給自足可能であることが確認された。今後は異なる実験環境下でのシミュレーションを行い、本インターフェースの汎用性および実用性をさらに検証する予定である。さらに、本実験はオフィスワーカーを想定したシミュレーションを行い、デバイス利用がユーザの運動促進に寄与し、座位習慣に変化をもたらす可能性が示された。つまり、行動変容の面から見ても本提案インターフェースは重要な意義を持つと考えられる。

本研究は、持続可能なIoTデバイスおよび嗅覚インターフェースの発展に貢献し、オフィスワーカーの健康促進という観点からも重要な提案である。

謝辞

本研究は、JST さきがけ (JPMJPR21P7) の助成によって行われた。

参考文献

- [1] Carlos Velasco, Anton Nijholt, Marianna Obrist, Katsunori Okajima, Rick Schifferstein, and Charles Spence. Mhfi 2017: 2nd international workshop on multisensorial approaches to human-food interaction (workshop summary). In *Proceedings of the 19th ACM International Conference on Multimodal Interaction, ICMI '17*, p. 674–676, New York, NY, USA, 2017. Association for Computing Machinery.
- [2] Anton Nijholt, Carlos Velasco, Marianna Obrist, Katsunori Okajima, and Charles Spence. 3rd international workshop on multisensory approaches to human-food interaction. In *Proceedings of the 20th ACM International Conference on Multimodal Interaction, ICMI '18*, p. 657–659, New York, NY, USA, 2018. Association for Computing Machinery.
- [3] Ferran Altarriba Bertran, Samvid Jhaveri, Rosa Lutz, Katherine Isbister, and Danielle Wilde. Making sense of human-food interaction. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '19*, p. 1–13, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [4] Hiromi Nakamura, Tomohiro Amemiya, Jun Rekimoto, Hideyuki Ando, and Kazuma Aoyama. Anodal galvanic taste stimulation to the chin enhances salty taste of nacl water solution. *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol. 33, No. 5, pp. 1128–1134, 10 2021.
- [5] Nimesha Ranasinghe, Meetha Nesam James, Michael Gecawicz, Jonathan Bland, and David Smith. Influence of electric taste, smell, color, and thermal sensory modalities on the liking and mediated emotions of virtual flavor perception. In *Proceedings of the 2020 International Conference on Multimodal Interaction*, pp. 296–304, 2020.
- [6] Daiki Mayumi, Yugo Nakamura, Shinya Misaki, Yuki Matsuda, and Keiichi Yasumoto. Aromug: Mug-type olfactory interface to assist in reducing sugar intake. In *Adjunct Proceedings of the 2022 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and the 2022 ACM International Symposium on Wearable Computers, UbiComp/ISWC '22 Adjunct*, p. 183–187. Association for Computing Machinery, 2022.
- [7] Takuji Narumi, Yuki Ban, Takashi Kajinami, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose. Augmented perception of satiety: Controlling food consumption by changing apparent size of food with augmented reality. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '12*, p. 109–118, New York, NY, USA, 2012. Association for Computing Machinery.
- [8] Rebecca Kleinberger, Akito Oshiro Van Troyer, and Qian Janice Wang. Auditory seasoning filters: Altering food perception via augmented sonic feedback of chewing sounds. In *Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI '23*, New York, NY, USA, 2023. Association for Computing Machinery.
- [9] Judith Amores and Pattie Maes. Essence: Olfactory interfaces for unconscious influence of mood and cognitive performance. In *Proceedings of the 2017 CHI conference on human factors in computing systems*, pp. 28–34, 2017.
- [10] David Dobbelstein, Steffen Herrdum, and Enrico Rukzio. inscent: A wearable olfactory display as an amplification for mobile notifications. In *Proceedings of the 2017 ACM International Symposium on Wearable Computers*, pp. 130–137, 2017.
- [11] Yanan Wang, Judith Amores, and Pattie Maes. On-face olfactory interfaces. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–9, 2020.
- [12] Jasper de Winkel, Vito Kortbeek, Josiah Hester, and Przemysław Pawełczak. Battery-free game boy. *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, Vol. 4, No. 3, sep 2020.
- [13] Vamsi Talla, Bryce Kellogg, Shyamnath Gollakota, and Joshua R. Smith. Battery-free cellphone. *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, Vol. 1, No. 2, jun 2017.
- [14] Christopher Kraemer, Amy Guo, Saad Ahmed, and Josiah Hester. Battery-free makecode: Accessible programming for intermittent computing. *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, Vol. 6, No. 1, mar 2022.
- [15] Vito Kortbeek, Abu Bakar, Stefany Cruz, Kasim Sinan Yildirim, Przemysław Pawełczak, and Josiah Hester. Bfree: Enabling battery-free sensor prototyping with python. *Proc. ACM Interact. Mob. Wearable Ubiquitous Technol.*, Vol. 4, No. 4, dec 2020.
- [16] Ariel Perez-Rosado, Hugh A. Bruck, and Satyandra K. Gupta. Integrating Solar Cells Into Flapping Wing Air Vehicles for Enhanced Flight Endurance. *Journal of Mechanisms and Robotics*, Vol. 8, No. 5, p. 051006, 05 2016.
- [17] Daiki Mayumi, Yugo Nakamura, Yuki Matsuda, Kentaro Ueda, Shinya Misaki, and Keiichi Yasumoto. Kaolid: Lid-type olfactory interface to improve taste of beverages with ortho-retronasal smell. In *2023 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops and other Affiliated Events (PerCom*

- Workshops*), pp. 303–305, Los Alamitos, CA, USA, mar 2023. IEEE Computer Society.
- [18] Hiromi Nakamura and Homei 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.
- [19] Junya Ueda and Katsunori Okajima. Ar food changer using deep learning and cross-modal effects. In *2019 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*, pp. 110–1107, 2019.
- [20] Sho Sakurai, Takuji Narumi, Yuki Ban, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose. Calibratable: Tabletop system for influencing eating behavior. In *SIGGRAPH Asia 2015 Emerging Technologies*, SA '15, New York, NY, USA, 2015. Association for Computing Machinery.
- [21] Kei Kobayashi, Kazuma Nagata, and Junichi Hoshino. Table-based interactive system for augmenting japanese food culture experience. In *Proceedings of the 27th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, VRST '21, New York, NY, USA, 2021. Association for Computing Machinery.
- [22] Tomoya Yamada, Satoshi Yokoyama, Tomohiro Tanikawa, Koichi Hirota, and Michitaka Hirose. Wearable olfactory display: Using odor in outdoor environment. In *IEEE Virtual Reality Conference (VR 2006)*, pp. 199–206. IEEE, 2006.
- [23] Takuji Narumi, Shinya Nishizaka, Takashi Kajinami, Tomohiro Tanikawa, and Michitaka Hirose. Augmented reality flavors: gustatory display based on edible marker and cross-modal interaction. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pp. 93–102, 2011.
- [24] B. Lyman. *A psychology of food: More than a matter of taste*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [25] Lawrence D Rosenblum. *See what I'm saying: The extraordinary powers of our five senses*. WW Norton & Company, 2011.
- [26] Barb Stuckey. *Taste what you're missing: the passionate eater's guide to why good food tastes good*. Simon and Schuster, 2012.
- [27] Nimesha Ranasinghe, Gajan Suthokumar, Kuan-Yi Lee, and Ellen Yi-Luen Do. Digital flavor: towards digitally simulating virtual flavors. In *Proceedings of the 2015 ACM on international conference on multimodal interaction*, pp. 139–146, 2015.
- [28] 真弓大輝, 中村優吾, 松田裕貴, 安本慶一. Aromug: 糖分摂取量低減を補助するスマートマグカップの検討. 情報処理学会 IoT 行動変容学研究グループ キックオフシンポジウム, pp. 1–4, 2022.
- [29] 真弓大輝, 中村優吾, 三崎慎也, 松田裕貴, 安本慶一. Aromug: 糖分摂取量低減を補助するスマートマグカップの設計と基礎評価. マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO 2022) シンポジウム論文集, pp. 981–988, 2022.
- [30] *Enhancing the Design of Solar-Powered Flapping Wing Air Vehicles Using Multifunctional Structural Components*, Vol. Volume 5B: 39th Mechanisms and Robotics Conference of *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, 08 2015.
- [31] Heinz and Valtin. “drink at least eight glasses of water a day.” really? is there scientific evidence for “8 × 8”? *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, Vol. 283, No. 5, pp. R993–R1004, 2002. PMID: 12376390.