

AromaSynth: 飲料に多様な香りを付与する嗅覚メディア

小平乙寧^{†1} 千田知佳^{†1} 笠原暢仁^{†1} 藤澤秀彦^{†1} 長谷川紗智^{†2} 森口敬介^{†3}
木添博仁^{†4} 田崎秀征^{†2} 宮本靖久^{†2} 細田奈央子^{†2} 宮下芳明^{†1}

本稿では、特定の飲料に対して高い自由度で香り付けを行えるメディア「AromaSynth」を提案する。20種の香料を調合し、味を変えることなく香りのみを操作することで、異なる飲料を飲んでいるかのような体験を創出可能である。QRコードリーダーを搭載し、スマートフォンに表示されたQRコードに基づいて香料を自動調合・出力する。これにより多様なアプリで対応が可能となる。既存飲料の再現や未体験の味の創出を通じて、飲料体験の質的向上と、多様な選択肢の提供に寄与すると考えられる。

1. はじめに

味の知覚において香りは重要な要素である[14]。宮下らのTTTV3[10, 11]やTTTV4[8]では味溶液の混合により様々な食品の味再現やパーソナライズが行われている。しかし、香りの混合や、それによる香りの再現等はあまり行われていない。また、ユーザが香料を混合する装置は開発されているが、アロマディフューザーやリラックス効果を目的としたものが多い[3, 6, 7, 13]。さらに、香りと味を別に提示することにより、健康的な食体験の創出や新しい食体験の拡張等が行われている[1, 5, 9, 12]。しかし、飲料自体に調合した香料を滴下するという手法は一般ユーザ向けの表現手法としてまだあまり行われていない。ユーザが自身の好みや気分に応じて飲料の風味を能動的に調整できることは、既存の製品を選ぶだけの従来の飲料体験に比べて、より個々の嗜好に寄り添った高いカスタマイズ性を提供できると考えられる。そこで本研究では、特定の飲料に対して自由度の高い香り付けを行うことを目的とし、香料を調合して実際に飲料に滴下する嗅覚メディア「AromaSynth」を提案する。本稿では、提案システムのハードウェアとソフトウェアの設計、性能評価について述べ、有用性について議論する。

2. 関連研究

2.1 食体験における表現の拡張手法

宮下ら[10, 11]はポンプ混合式の調味家電であるTTTV3を用い、基本五味や渋味、辛味を提示する溶液を混合して、食品の味を再現する手法を提案している。原材料を使用せず、味を提示する溶液を0.02 ml単位で混合することで、既存の味の再現や未体験の味の創出を可能にしている。また、笠原ら[8]は味のパーソナライズを目的とし、一口ごとに味を変化させるスプーン型デバイスであるTTTV4を提案し

ている。基本五味の溶液混合を行い、実際に食べる人が味溶液の調合を行いながら味を体験することを可能にする。

2.2 香料混合嗅覚ディスプレイ

株式会社レボーン[7]やScentee株式会社[13]は香料をユーザがシステム上で調合し、好きな香りを楽しむことができるディフューザー型のシステムを販売している。これにより香りの専門家ではないユーザもデバイス一つで多様な香りを作り、楽しむことができ、様々なシーンでの応用可能性が示唆されている。

Fuら[6]は一般のユーザが手軽に低価格でパーソナライズされた香りを試し、実際に作成し、保存まで可能にしたAromaBlenzというシステムを提案している。ユーザはスライダーや推薦機能、好みの可視化機能等を用いて、4種類の香りを自由に調合することができる。

Ariyakulら[3]はSAW素子と電気浸透ポンプを用いて液体香料を霧化させる手法を用い、高精度な8種類の香りの調合を可能にしている。

これらはいずれもシステム上で香りを調合し、人が嗅ぐという形で香りを提供しているものであり、食体験に導入しているものではない。

2.3 香料による味の変化手法

鳴海ら[12]は視覚・嗅覚・味覚間の感覚相互作用を利用して、プレーンクッキーの風味を様々に変化させることを可能にしている。具体的には、HMDを用いてクッキーの見た目を変化させ、ユーザがクッキーを食べている最中にエアポンプを用いて強い匂いを提示することで、チョコレートやストロベリー等の風味提示を可能にしている。

air up株式会社[1]は香りだけで味を感じさせる飲料ボトルを開発し、実際には無味の水に対してフレーバーポッドから放出される香りを鼻から感知させることで、あたかも味がついているかのような錯覚を引き起こす手法を実現している。これにより、新しい飲料体験の創出や、低糖・無

^{†1} 明治大学 総合数理学部 先端メディアサイエンス学科
Department of Frontier Media Science,
School of Interdisciplinary Mathematical Sciences, Meiji University.
^{†2} アサヒグループジャパン株式会社
Asahi Group Japan, Ltd.

^{†3} アサヒ飲料株式会社
Asahi Soft Drinks Co., Ltd.
^{†4} アサヒビール株式会社
ASAHI BREWERIES, LTD.

添加といった健康的な飲料体験を可能にしている。

真弓ら[9]は、コーヒーに甘い香りを提示することで香りが味の甘さを強調し、砂糖の摂取量の削減を目的とした Aromug というシステムを提案している。コップ型のデバイスにコーヒーを入れ、ユーザの動作に合わせてリアルタイムに甘い香りを放出し、ディスプレイに甘いコーヒーの見た目を表示している。

さらに深池ら[5]は、ニンニク料理の味と香りを別々に提示することで、口臭を予防しながらもニンニクを食べる体験を再現している。味は味覚物質の溶液で再現し、ニンニクの香りはフォークの持ち手から鼻に向かって放出され、ユーザがニンニク料理を食べる体験を創出している。

これらの研究は、嗅覚提示装置の装着感が強い等、自然な食体験への統合が困難であることが課題だと考えられる。また、香料は事前に用意されたものを使用することが多く、ユーザによる自由度の高い香料調合は行われていない。

3. AromaSynth の設計

本章では、提案システムである AromaSynth のハードウェア、ソフトウェア、香料の選定、および具体的な使用例について詳述する。システム全体の様子を図 1 に示す。



図 1 提案システムの全体構造



図 2 香料タンク

3.1 ハードウェア

AromaSynth は、先行研究である TTTV3 [10, 11] の設計思想を参考に、安定した香料供給と多様なアプリケーション連携を可能にするハードウェア構成を採用している。主要な制御には Arduino Mega2560 を使用し、香料の精密な調合

を実現するために 20 種類の香料タンクを搭載している (図 2)。各香料の供給には小型のチューブポンプ (RP-Q III A1.5S-3Z-DC3V) を採用し、モータードライバ (TB67H450) を介して高精度に制御される。ポンプの安定的な動作と香料出力の安定化のため、システム全体に AC 電源を供給する設計とした。

香料の混合効率と応答性を向上させるため、香料が通過するチューブの長さを TTTV3 [10, 11] と比較して短く設計した。現在、香料の移送に一部シリコンチューブを使用しているが、香料付着による香りの減衰を防ぐため、ステンレス素材の管を使用している。さらに、調合レシピの保存・共有の利便性を高めるため、QR コードリーダーを実装した。これにより、スマートフォンに表示された QR コードを読み取ることで、香料の出力値を AromaSynth に直接指示することが可能となり、外部アプリケーションとの連携や、香料調合レシピの容易な管理・共有を実現する。この QR コード連携機能は、多様なアプリケーションからの制御を可能にし、AromaSynth の汎用性を大きく向上させることが期待される。

3.2 ソフトウェア



図 3 提案システムのソフトウェア画面



図 4 QR コードリーダーで調合データを読み込む様子

AromaSynth のソフトウェアは、ユーザによる細かな香料調合と、調合レシピの容易な管理を目的として設計されている (図 3)。香料レシピの無線送信には M5stickC Plus2 と Google Pixel 6a を用い、両デバイス間を Bluetooth Low Energy (BLE) で接続する。

ユーザはスマートフォン上のスライダー UI を操作することで、20 種類の香料を自由に調合できる。調合された香りのレシピは QR コードとしてスマートフォンに保存され

(図 3), AromaSynth 本体の QR コードリーダーで読み取ることによって (図 4), 保存されたレシピに基づいた香料の自動調合・出力が可能となる。さらに、頻繁に利用するレシピを登録できるメニュー登録機能も実装し、ユーザはいつでも簡単に好みのレシピを呼び出し、再現性の高い香料調合を行うことができる。これにより、ユーザは香料の調合を容易に試すことができ、多様な味の探索を促進する。

3.3 香料について

本稿ではコーヒーを例として、味の表現を行った。コーヒーを選択した理由は、広く飲用される嗜好性飲料であること、香りが複雑であり風味の種類も多く「自分の好み」を見つけにくいこと、そして専門家やコーヒー通などにより香りの理解分類が進んでいることが挙げられる。コーヒーの香気成分は 1,000 種類以上あるとも言われており、コーヒー豆の産地や品種、精選・焙煎・粉砕・抽出といった工程の違いにより、複雑かつ多層的な香りを生み出している。その中には、香ばしい香りやナッツやチョコレートのような香りなど、コーヒーらしいものもあれば、紅茶や薔薇のような特徴的な香りもある。香気成分には香りの強さ・特徴があり、それらが強いほどコーヒーのキャラクターに影響する。例えば、ゲイシャと呼ばれる主に中南米で栽培される品種のコーヒーは、花や紅茶にも含まれる香気成分を含んでおり、華やかな香りが特徴の高級コーヒーとして知られている。

缶コーヒーなど容器入り飲料の商品開発においては、コーヒーの味を強化し、キャラクターを付与するため「香料」を用いている。コーヒー香料は上述した「コーヒーの特徴香」を抽出または合成した香料製剤であり、様々なコーヒーの風味を表現することができる。商品開発の工程では、コーヒー豆の選定・焙煎・粉砕・抽出に加えて、商品コンセプトに合わせた香料を開発し、様々な風味の容器入りコーヒーを生み出している。例えば、朝に目覚める缶コーヒーだと、キリっとしたコーヒーの苦味と淹れたてのコーヒーの香りをコーヒー豆と香料などで表現している。香料配合の作法は様々だが、コーヒーらしい香りの香料製剤と、キャラクター別香料製剤を組み合わせることで配合することが多い。1つの香料製剤にまとめるのではなく、組み合わせの方が様々な風味を表現できるためである。

今回、特徴的な 9 つの産地のコーヒー豆について、香料による風味表現を試み、12 種類の香料製剤を開発した。内訳は「香ばしい」「ナッツ様」などコーヒーらしい香料と、「華やか」「フルーティー」などキャラクターの強い香料である。これらの香料を組み合わせることでコーヒーに滴下することで、9 つの産地のコーヒーの風味や、産地 A と産地 B をブレンドしたような風味、あるいは未知なるコーヒーの風味を表現することが可能となる。各香料製剤の濃度は、表現したいコーヒーの風味にするための滴下量、および後述するポンプの出力精度を加味して調整した。

3.4 使用例

AromaSynth は、ベースとなる飲料に適切な香料を付与することで、既存飲料の新たな体験や、未体験の味の創出を可能にする。例えば、3.3 で述べたように、特定の産地のコーヒーの味を再現することで、通常は入手困難な希少なコーヒーの味を手軽に楽しむことができる。また、既存の枠にとらわれない新しいコーヒーの味を探索したり、自分好みの香りを持つコーヒーを創り出すことも可能になる。

コーヒー以外にも、水や紅茶といった様々な飲料に香り付けを行うことで、その飲料体験を豊かにする可能性を秘めている。AromaSynth は、飲料体験の質的向上と、ユーザへの多様な選択肢の提供に大きく貢献すると考えられる。

4. ポンプの出力精度評価

香料は微量であっても匂いの知覚に大きな影響を及ぼすため、本システムに搭載されたポンプの出力精度は重要である。そこで、本章では各ポンプに対して異なる駆動時間での出力量を計測し、出力のばらつきや再現性を評価した。

4.1 評価手法

本システムはポンプの駆動時間を 0 から 10000 ms の範囲で制御可能である。本評価では、AromaSynth に搭載された 20 個のポンプすべてを対象とし、3 種類の駆動時間 (10000 ms, 5000 ms, 500 ms) について、各条件で 5 回ずつ連続して水を吐出させ、出力量を計測した。

測定時には、チューブ内に残留する空気の影響を排除するため、事前にチューブを水で満たした。これは、香料を用いた場合に粘性などの物理特性の違いが出力に影響する可能性を避け、ポンプ本体の性能を純粋に評価するためである。各回の出力量 (mL) は、最小表示 0.001 g の電子天秤を用いて計測し、ポンプごとの平均出力量・標準偏差・変動係数 (CV) を算出した。

4.2 結果

図 5 に各ポンプの駆動時間別平均出力量と標準偏差、表 1 に変動係数の一覧を示す。

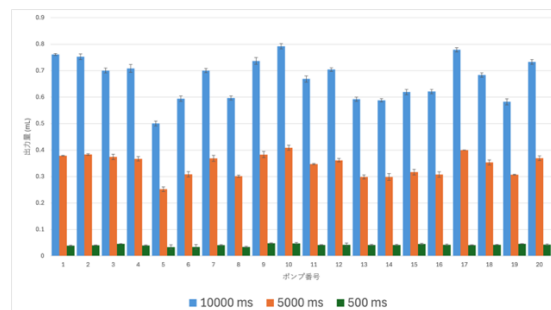


図 5 各ポンプにおける駆動時間別の平均出力量 (エラーバーは標準偏差を表す)

図 5 に示すように、10000 ms 条件では約 0.5~0.8 mL, 5000 ms では約 0.25~0.4 mL, 500 ms では約 0.03~0.05 mL

と、駆動時間の延長に伴って出力量が増加する傾向が明確に確認された。また、ポンプ間の出力量には個体差が見られ、とくにポンプ5は全体的に他と比べて出力量が低い結果となった。さらに、駆動時間が長いほど出力量のばらつきが相対的に小さくなる傾向が確認された。駆動時間が短い 500 ms 条件では一部のポンプにおいてばらつきが顕著に現れた。

表 1 各ポンプにおける駆動時間別の出力量に対する変動係数 (CV)

ポンプ番号	10000 ms	5000 ms	500 ms
1	0.009	0.009	0.073
2	0.029	0.014	0.058
3	0.026	0.009	0.041
4	0.041	0.010	0.052
5	0.038	0.008	0.501
6	0.035	0.006	0.516
7	0.022	0.003	0.092
8	0.026	0.003	0.107
9	0.035	0.004	0.080
10	0.025	0.002	0.163
11	0.035	0.003	0.045
12	0.020	0.002	0.338
13	0.027	0.002	0.085
14	0.021	0.002	0.098
15	0.032	0.002	0.128
16	0.026	0.002	0.120
17	0.020	0.001	0.047
18	0.024	0.001	0.041
19	0.039	0.002	0.042
20	0.025	0.001	0.140

変動係数に注目すると、5000 ms 条件が最も安定しており、ほとんどのポンプで CV が 0.001~0.014 の範囲に収まっていた。一方、500 ms 条件では平均出力量が小さいため、相対的に CV が 0.04~0.51 と大きく、ばらつきが目立つ結果となった。

4.3 考察

評価結果より、出力量は駆動時間に比例して増加するものの、個々のポンプで平均出力量および標準偏差にばらつきが存在することが明らかとなった。しかし、相対的な安定性の指標である変動係数に基づいて評価すると、多くのポンプにおいて出力は十分に安定しており、特に 5000 ms 駆動時における再現性が高いことが示された。一方で、500 ms 駆動時に高い変動係数を示すポンプが散見されたが、これは出力量が極めて小さいことによる相対的な影響であり、

ポンプ自体の不安定性を直接示すものではないと考えられる。

総じて、本システムにおけるポンプは、各自の特性に応じた駆動条件下で高い安定性を有しており、実運用においても十分な性能を発揮できると考えられる。ただし、ポンプごとに平均出力量に偏りが見られるため、システム運用においては、個体ごとの特性を考慮したキャリブレーションや制御手法の導入が、システム全体の精度および再現性向上に必要であると考えられる。

5. 議論

本章では、提案システム AromaSynth の現状の評価、その強みと限界、そしてそれらの克服に向けた具体的なアプローチについて議論する。

AromaSynth は、20 種類の香料を調合することで、特定の飲料に対して高い自由度で香り付けを可能にする。これにより、味を変えることなく香りのみを操作し、異なる飲料を飲んでいるかのような体験を創出できる点は本システムの大きな強みである。複数種類の香料を組み合わせることで多様な飲料の味わいを表現できるため、低価格で手軽に飲料体験を豊かにできる可能性を秘めている。香りの操作というアプローチは、既存の飲料体験の拡張に大きく貢献すると考えられる。

しかし、AromaSynth にはいくつかの制約も存在する。現状、20 種類の香料の調合が限界であり、これにより全ての香りを網羅することはできない。この制約を克服するため、将来的にはより多くの香料を扱えるようにシステムを改良し、香りの表現の幅を大幅に広げることが必要である。

また、現在のプロトタイプは温度管理に対応していない点が課題である。アイス、常温、ホットといった飲料の温度は、香料の揮発性や知覚される香りのプロファイルに大きな影響を与えるため、この点が十分に考慮されていないと、温度が異なる飲料に対して最適な味わいの提供が難しい可能性がある。この課題に対し、将来的には同一の装置上で温度調整機能を統合することを検討している。これにより、ユーザは香料だけでなく飲料の温度も自在にカスタマイズできるようになり、より個人に合わせた飲料体験が可能になると考えられる。

さらに、ユーザインターフェースについても検討の余地がある。現状はスライダーUIを基本としているが、より直感的で一般ユーザにとって使いやすいインターフェースの設計が求められる。この改善に向けて、嗅覚体験の専門家との協力を通じて、その使用状況を分析することで、一般ユーザにとって使いやすいインターフェースを検討していく必要がある。

6. 展望

本章では、AromaSynth の将来的な発展可能性と、それが

もたらす新たな飲料体験の創出について述べる。

AromaSynth の応用範囲の拡大は、今後の重要な展望の一つである。今回はコーヒーを例としてその風味表現を行ったが、本システムは水や炭酸水、紅茶など、多様なベース飲料に応用可能性がある。今後、各飲料に対する AromaSynth の有用性を検討し、その可能性を広げていく。

将来的には、各香料の特徴や、特定の飲料の風味プロファイルを AI に学習させることで、AI との対話を通じて飲料の風味をカスタマイズできる可能性がある。これにより、ユーザはより簡単に自分好みの香りを見つけ出すことができるようになるだろう。また、ベースコーヒーの提供から香料の調合までの一連のプロセスを自動化することも、ユーザー体験を一層向上させるための重要なステップとなる。

また、コーヒーの味わいの探索を行うアプリケーションである Coffee Quest[15]との連携も可能である。QR コードを介してデータを受信することで、Coffee Quest で探索したコーヒーの味わいを実際に出力することが可能となる。これにより、ユーザの体験をより多様でインタラクティブなものにできる可能性があると考えられる。

最終的には、AromaSynth が飲料体験の質的向上にどの程度寄与しているかを確認するためのユーザ評価を実施することも必要である。これにより、本システムの有効性を客観的に評価し、さらなる改善点を見出すことができる。AromaSynth は、飲料体験における選択肢を大幅に広げ、その質的向上に大きく貢献すると考えられる。

参考文献

- 1) air up® Official Website, “Flavored water bottle | Taste through scent,” [https://shop.air-up.com/gb/en(閲覧日)(https://shop.air-up.com/gb/en(閲覧日): 2025 年 5 月 27 日)]
- 2) Judith Amores and Pattie Maes. 2017. Essence: Olfactory Interfaces for Unconscious Influence of Mood and Cognitive Performance. In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '17). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 28–34. https://doi.org/10.1145/3025453.3026004
- 3) Y. Ariyakul and T. Nakamoto, “Improvement of miniaturized olfactory display using electroosmotic pumps and SAW device,” TENCON 2014 - 2014 IEEE Region 10 Conference, Bangkok, Thailand, 2014, pp. 1-5, doi: 10.1109/TENCON.2014.7022484.
- 4) Jas Brooks and Pedro Lopes. 2023. Smell & Paste: Low-Fidelity Prototyping for Olfactory Experiences. In Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '23). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 368, 1–16. https://doi.org/10.1145/3544548.3580680
- 5) Miku, F. and Homei, M.: How To Eat Garlic Without Causing Bad Breath, The 36th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '23 Adjunct), pp. 1–3 (2023).
- 6) Shihan Fu, Jianhao Chen, Yi Cai, and Mingming Fan. 2024. AromaBlendz: An Olfactory System for Crafting Personalized Scents. In Extended Abstracts of the CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI EA '24). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 394, 1–5. https://doi.org/10.1145/3613905.3648670
- 7) “HEAROM(ヒアロム),” 知財図鑑, 2022 年. [https://chizaizukan.com/property/hearom/(閲覧日 2025 年 5 月 27 日)]
- 8) 笠原暢仁, 深池美玖, 宮下芳明. TTTV4:一口ごとに味を提示する味覚のパーソナルメディア. 第 32 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WIS S2024)予稿集, pp.1-6, 2024.
- 9) Daiki Mayumi, Yugo Nakamura, Yuki Matsuda, Shinya Misa ki, and Keiichi Yasumoto. 2023. 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/I SWC '22 Adjunct). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 183–187. https://doi.org/10.1145/3544793.3563402
- 10) 宮下芳明, 村上崇斗, 大友千宙, 深池美玖. “TTTV3 (Transform The Taste and reproduce Varieties): 産地や品種の違いも再現する調味機構と LLM による味覚表現”. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム論文集. 2023, p23 6-243.
- 11) 村上崇斗, 宮下芳明: ポンプ混合式調味家電 TTTV3(Transform The Taste and reproduce Varieties) の設計と実装, 第 28 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集(2023).
- 12) 鳴海拓志, 谷川智洋, 梶波崇, 廣瀬通孝, メタクッキー: 感覚間相互作用を用いた味覚ディスプレイの検討(<特集>香り・人・システム), 日本バーチャルリアリティ学会論文集, 2010, 15 巻, 4 号, p. 579-588, 公開日 2017/02/01, Online ISSN 2423- 9593, Print ISSN 1344-011X, https://doi.org/10.18974/tvrsj.15.4_579,
- 13) 株式会社 Scentee, “Scentee Machina,” [https://scentee-machina.jp/product (閲覧日): 2025 年 5 月 27 日].
- 14) Charles Spence, Marianna Obrist, Carlos Velasco, Nimesha Ranasinghe, Digitizing the chemical senses: Possibilities & pitfalls, International Journal of Human-Computer Studies, Volume 107, 2017, Pages 62-74, ISSN 1071-5819, https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2017.06.003.
- 15) 藤澤秀彦, 小平乙寧, 森口敬介, 宮下芳明. 受動的最適化から能動的探索へ ゲームファイされたフレーバー探索, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2025 論文集, Vol. 2025.