

レトロネーザルアロマ提示システムの試作

深池 美玖¹⁾, 宮下 芳明¹⁾

1) 明治大学大学院 先端数理科学研究科 先端メディアサイエンス専攻

あらまし: 嗅覚には、外気から鼻腔を通る「オルソネーザル経路」と、口から鼻へ抜ける「レトロネーザル経路」の2つの経路があることが知られている。現状、多くの嗅覚ディスプレイはオルソネーザルアロマに特化しており、レトロネーザルアロマの提示システムはほとんど開発されていない。そこで本稿では、口内に直接香りを放出するレトロネーザルアロマ提示システムを試作した。口内に配置した超音波噴霧器によって香り溶液を微細な霧状に噴霧し、レトロネーザルアロマを実現する。

Prototype retronasal aroma presentation system

Miku Fukaike¹⁾, Homei Miyashita¹⁾

1) Frontier Media Science Program, Graduate School of Advanced Mathematical Sciences, Meiji University

Abstract: It is known that there are two pathways for the sense of aroma, the "orthonasal pathway", which goes from the outside air through the nasal cavity, and the "retronasal pathway", which goes from the mouth to the nose. Currently, most olfactory displays are specialized for orthonasal aroma, and few systems have been developed to present retronasal aroma. Therefore, in this paper, we prototyped a retronasal aroma presentation system that delivers aroma directly to the mouth. By using an ultrasonic atomizer placed in the oral cavity, the aroma solution is atomized into a fine mist, which realizes the retronasal aroma.

1. はじめに

食品の「風味」は味覚だけでなく、嗅覚や触覚などの複数の感覚を統合して形成される複合的な感覚である。特に嗅覚は、食品の風味知覚において重要な役割を担っている。このことは、鼻をつまむと風味をほとんど感じられなくなることから容易に理解できる。

嗅覚には2種類の経路が存在する。外気から鼻腔を通る「オルソネーザル経路」と、口から鼻へ抜ける「レトロネーザル経路」である。食事中に主に関与するのはレトロネーザル経路である。口内の食品から立ち上った香りがこのレトロネーザル経路を通して嗅覚受容体へ到達することで風味が知覚される。

しかし、脳内での知覚情報統合の結果、レトロネーザル嗅覚は特に味覚と頻繁に混同されてしまうため、その重要性については一般にあまり認識されていないという[2][3]。そのため研究においても、多くの嗅覚提示ディスプレイはオルソネーザル経路を対象としており、レトロネーザル経路への嗅覚提示はレトロネーザルの性能に関する実験

用デバイス以外ではほとんど行われていない。

そこで本稿では、口内に設置することでレトロネーザル経路に直接香りを放出する嗅覚提示システムを試作した。このシステムは、小型の超音波噴霧器を用いて香り溶液を微細な霧状にし、口内で噴霧する。今後このシステムを用いた食品の風味を提示できる食体験の実現を目標とし、本稿ではシステムの設計とその性能評価について述べる。

筆者らは過去の研究において、ニンニクを使用せずに味を再現し食べると同時に外界から鼻に対してニンニクの匂いを提示することで、特有の口臭を発することなく食体験を実現する味覚・嗅覚提示システムを開発した[1]。しかし、実験の結果、「口内から感じるニンニクの香りがなく、実際の食体験とは異なる」という意見が得られ、食事中の嗅覚刺激の提示方法について改善の余地があることが明らかになった。本稿の提案システムはこの改善に貢献する可能性がある。

2. 関連研究

2.1 レトロネーザル嗅覚

一般的に、嗅覚といえば外気から鼻腔を經由して嗅覚受容体に到達するオルソネーザル経路が想定される。一方、レトロネーザル経路は口から鼻腔に抜ける別の経路を辿る。食事をする際、香り分子は口内に入った食品から揮発し、鼻腔の奥を通して嗅覚受容体に届く。食べ物の風味知覚においては、このレトロネーザル経路が主要な役割を担っていると考えられている。

脳は、香りが食品由来か非食品由来か、またオルソネーザル経路からかレトロネーザル経路からかによって、異なる領域を使い分けている。レトロネーザル経路から知覚した食品由来の香りは主に報酬を処理する脳領域を活性化するが、オルソネーザル経路から提示された同じ香りは主に嗅覚や認知に関わる脳領域を活性化するという。このことから、嗅覚は空気中の臭気物質の検出と、口内の物体の識別の両方に機能しており外界の対象と体内・口内の対象の両方を感知する唯一の二重感覚モダリティだと示唆されている[5]。

また、レトロネーザル経路に甘味と一致したバナナなどの甘い香りを提示すると、甘味が増強される[6]。このように、レトロネーザル嗅覚は食体験の向上に重要な役割を果たす。

Isogaiらは、レトロネーザルアロマと味覚を同時に提示すると味覚強度が増強されるが、香りの提示タイミングをずらすと味覚増強効果が大きく減弱することを示した[7]。これは、レトロネーザルの香りとう味覚の統合において、他のクロスモーダル相互作用と同様に時間的同期が必要であることを示唆している。

2.2 嗅覚提示システム

これまでの嗅覚提示ディスプレイはオルソネーザルアロマに特化しているものが多い。Wangらは、眼鏡型およびピアス型嗅覚ウェアラブルデバイスを制作し、より鼻に近い位置で装着可能な嗅覚提示デバイスを提案している[10]。Yanagidaらは空気砲を用いて、顔に何も装着することなく、

鼻に香り付き空気の渦輪を投射することで、鼻の周りの限られた空間に香りを提示できる嗅覚ディスプレイを提案している[11]。これはウェアラブル嗅覚ディスプレイとは異なり、装着の煩わしさがなく、複数ユーザへの選択的な香り提示が可能であるなどの利点を有する。

また Matsukura らは、4つのファンから発生する気流を画面上で衝突させ、その結果生じる気流に香り成分を導入することで、画面上の任意の位置に仮想的な香り源を生成する嗅覚ディスプレイシステムである Smelling Screen を提案している[12]。これは、利用者が仮想的な香り源の位置を知覚し、その周辺で香りを嗅ぐことで、あたかもその位置に実際の香り源が存在するような没入感のある嗅覚体験を実現する。これらをはじめとする嗅覚提示手法の多くはオルソネーザル嗅覚に関するものであり、レトロネーザル経路への提示を想定していない。

2.3 レトロネーザルアロマ提示システム

レトロネーザルアロマ提示システムに関しては、レトロネーザル嗅覚の検証実験用システムとしてレトロネーザル経路に臭気物質を提示できるようにしたシステムが考案されている[9]が、大掛かりな装置であり日常的に利用できるものではない。体外からレトロネーザルアロマを提示するシステムとして Kaolid が挙げられる[4]。このシステムは、飲料と共に香りを提示することを想定しており、ストローから甘い香りを口内へ提示することでレトロネーザルアロマを提供し、甘味を増強させている。同様に Manabe らの研究でも、ストローから出汁の香りを提示することで塩味を増強させることを試みている[13]。この研究では減塩食の嗜好性を改善するために塩味増強のために出汁の香りをレトロネーザル経路に提示することを目的としており、ストローを通して鰹節出汁を加熱することで揮発した香りを味覚刺激と共に吸い込むことができる。この手法を用いて 0.8%食塩水と同じ塩味強度になるようにしたところ、鰹節だしのレトロネーザルアロマは塩味を増強せず、代

わりにうま味知覚を形成することで美味しさを向上させることができたという。

また、拡張現実技術を用いて視覚・嗅覚情報を変化させることで、食品の組成を変えることなく味覚を変化させるシステムである MetaCookie+ は、HMD を装着したユーザがクッキーを口に運ぶ動作をカメラが検出すると、HMD に装着された嗅覚ディスプレイから 30 秒間、設定された香りを最大強度で出力するという形でレトロネーザル嗅覚のシミュレートを試みている[8]。

3. 提案手法

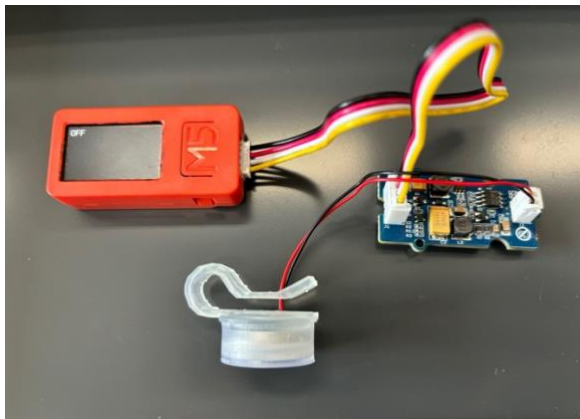


図 1 レトロネーザルアロマ提示システム



図 2 提案システム装着時の様子

3.1 ハードウェア構造

提案システムの外観を図 1 に、装着時の様子を図 2 に示す。提案システムのレトロネーザルアロ

マの提示には、GROVE の噴霧モジュール (seed studio) を使用した。このモジュールは、駆動基板と直径 16mm、駆動周波数 105 kHz (±5 kHz) の超音波振動子から構成され、GROVE ケーブルで接続した M5StickC Plus によって PWM 制御で 256 段階の出力量調整を行っている。超音波振動子は防水性が確保されており、水に触れても問題ない。超音波振動子単体では香料を入れることができないため、口内に漏れないように香料を密閉できるケースを設計し、SLA 方式の 3D プリンタ (Form 3B+, Formlabs) と生体適合素材のレジン (BioMed Clear Resin, Formlabs) で作成した。超音波振動子外側のシリコンリングが丁度入るサイズの直径 20mm カップ型容器を設計し、シリコンリングによって隙間を埋めることで、香料が噴霧口から漏れ出さないことが確認できた。ケース内の超音波振動子に接触する部分にコットンを設置し香料を吸わせることで、液体の漏れ出しをさらに抑制し、出力の持続性を向上させた。

デバイスの設置場所については、上顎への設置はデバイス自体や動線が咀嚼の妨げになり、さらに嗅覚出力時にむせてしまうため不適切であると判断した。一方、右頬・左頬への設置は、咀嚼しても邪魔にならないことから、こちらを採用した。

設置方法についてはまず、粘着型義歯床安定用糊剤・クリーム型である新ポリグリップ Sa (グラクソ・スミスクライン・コンシューマー・ヘルスケア・ジャパン株式会社) での接着を試みたところ、頬への接着が困難であった。また、デバイスに丸型ネオジム磁石 (STAR FOCUS) をつけ、口外から磁石を近づけることで固定する方法も検討したが、磁石自体に重量があり、なおかつ口内に冷覚を感じられてしまうことから、装着時に違和感を与えることが懸念された。そこで、超音波振動子ケースの蓋にクリップを取り付けたモデルを作成した。クリップのモデルデータ[14]をもとに、口内に痛覚を与えないよう挟む幅を広げて設計し、前述のケース同様整体適合素材のレジンで 3D プリントした。

3.2 香料の選定

市販の水溶性香料を使用し噴霧しようとしたところ、目詰まりが発生しやすかった上に、口内に噴霧すると喉に痛みが生じた。これは、噴霧モジュール自体が水以外の液体を噴霧すると目詰まりするのに対し、香料の溶媒がエタノールであったためと考えられる。そこで、より適切に噴霧できるような香料の検討を行った。なお、使用する香料候補については全て直接舐め、味を感じないことを確認している。

まず、先程の市販の水溶性香料を水で薄めた1%香料水溶液を使用したところ、目詰まりなく、喉に痛みも発生せず出力できた。しかし、香りの強度はやや弱くなってしまった。また、水蒸気蒸留法で抽出した芳香蒸留水を使用したところ、目詰まりや喉の痛みを引き起こすことなく噴霧することができ、香りも十分に知覚することができた。しかし、芳香蒸留水は消費速度が非常に速く、数秒で枯渇してしまうという問題が生じた。本稿の性能評価には前者の1%香料水溶液を採用した。

嗅覚順応を考慮して出力時間は500msに設定し、30秒毎に1回出力されるよう実装した。

4. 性能評価

4.1 評価手法

提案手法であるレトロネーザルアロマ提示システムの動作確認と性能評価を行った。評価項目は以下の通りである。

1. レトロネーザル嗅覚として香りを知覚可能か
2. OFFの状態における無香性の確認
3. ONからOFFへの切り替え時における香り強度の急速な減衰と最終的な無香状態への到達
4. 出力量調整機能による香り強度変化の評価
5. 口内の左右両側に異なる香料を配置した際の、2種類の香り知覚特性の評価
6. デバイスを装着した状態で食品を口に入れて咀嚼・嚥下が可能かの確認

レトロネーザルアロマ提示システムを装着し、各評価項目について確認を行った。香料はバニラの香りを使用した。評価項目5では、口内の左右に異なる香料を配置した際の2種類の香りの知覚特性を評価するため、バニラに加えてガーリックの香料も使用した。これは左右で質的に異なる香りを提示することで、各香料を明確に知覚できるようにするために選定した。

4.2 性能評価結果

4.2.1 レトロネーザル嗅覚として香りを知覚可能か

口を閉じた状態でONにすることで香りを知覚できたかを検証した。知覚できた場合、嗅覚経路は2種類しかなく、口は閉じているのでオルソネーザル経路からの香りではなく、レトロネーザル嗅覚として香りを知覚したという証明になる。結果、デバイスから香りを感じられたため、オルソネーザル嗅覚ではなくレトロネーザル嗅覚により香りが適切に知覚されていることが確認できた。

4.2.2 OFFの状態における無香性の確認

OFFの状態における無香性の確認に関しては、完全な無香状態には至らなかったものの、ONの状態と比較して相対的に香りの知覚強度が低いことが確認された。これは、超音波振動子のケースの密閉性が一定程度保たれていることに起因すると思われる。

4.2.3 ONからOFFへの切り替え時における香り強度の急速な減衰と最終的な無香状態への到達

ONからOFFへの切り替え後、香り強度は5秒程度で急速に減衰した。最終的に完全な無香状態には至らなかったものの、相対的に香りがほとんど知覚できないレベルまで到達した。

4.2.4 出力量調整機能による香り強度変化

性能評価では最大出力の約10%に相当する、26段階目を弱段階の強度として使用したところ、最

大出力と比較して十分知覚可能な強度変化を感じることが確認できた。ただし、PWM 制御によって出力強度を弱めて出力すると、超音波振動子の仕様上、音が発生してしまうという問題が生じた。この点については今後、音の影響を考慮し、発生しないよう別の素子の採用を検討するなどして調整する必要があると考えている。

4.2.5 口内の左右両側に配置した際の、2 種類の香り知覚特性の評価

バニラとガーリックの 2 種類の香料を用いて、口内の左右にそれぞれ 1 個ずつレトロネーザルアロマ提示システムを設置し、左右で異なる香料を出力した。その結果、各香料が別々に知覚されるようなステレオ感はなく、2 つの香料が完全に混ざり合った新たな香りのように知覚されることが確認できた。

4.2.6 デバイスを装着した状態で食品を口に入れて咀嚼・嚥下が可能かの確認

口内にデバイスを装着した状態で、チョコレートを口に入れ、咀嚼および嚥下が可能かを検証したところ、デバイス側の歯でも咀嚼可能であり、嚥下も問題なく行えることが確認された。一方で、食品でデバイス自体が汚れてしまうという問題が生じたため、今後はデバイスの洗浄しやすい構造や使い捨て化についても検討を行う必要がある。

4.3 考察

結果より、提案システムにおける口内での直接的な香り放出手法によって、レトロネーザル嗅覚刺激の実現に一定の有効性が認められた。

また、性能評価中に提案手法を繰り返し使用した際、レトロネーザル嗅覚においても嗅覚疲労が生じる可能性が示唆された。この点については今後検証が必要である。

口内で複数の香料を提示した場合、左右で出力されている香料の違いを認識することはできず、各香料が別々に存在することも知覚できなかった。

先行研究でも、嗅覚は元の要素を残さず完全に混ざり合って知覚されることが指摘されている[3]。

本提案手法の改良に向けて、いくつかの課題が残されている。主な課題として、OFF の状態における無香性の向上、デバイス装着時のケーブルおよび基板による煩わしさや負担の軽減、呼吸タイミングに合わせたレトロネーザルアロマ出力制御の実現が挙げられる。提示する香りの種類についてもより多くの種類の香料で検証したい。

さらに展望として、小型化や口内奥方向へのデバイス配置により、口内に設置可能なデバイスの数を増やすことを検討している。口内により多くのデバイスを設置し、より多くの種類の香料を出力可能にすることで、嗅覚表現の幅を広げることができると考えられる。

また、味覚との同時提示についても検討の余地がある。レトロネーザルアロマは味覚と密接に関連していることが知られている。本提案手法と味覚提示システムを組み合わせることで、より複合的な味嗅覚体験を実現できる可能性が考えられる。例えば、食品を口に含んでからレトロネーザルアロマの出力を動的に変化させることで、一口の中で複数の風味を連続して味わうことができるようになるかもしれない。また、口内空気に香りを提示することから提示する香料の量を減らすことができるため、独特の強い香りを持ち周囲に迷惑をかけてしまうような食品について、必要最低限の香料を口内に噴霧することで周囲への影響を最小限に抑えて味わえるようになるかもしれない。先行研究では、甘い香りを提示することで甘味を増強し、糖分摂取量を抑制できることが示唆されている[4]。本手法を用いることで同様の効果が期待できる。油の風味に関しても、油特有の香りや、バター、オリーブオイル、胡麻油といった特徴的な香りをレトロネーザルアロマで提示することで脂質摂取量を抑制し、肥満や脂質異常症をはじめとする生活習慣病のリスクを低減する食体験につながる可能性も考えられる。

5. おわりに

本稿で開発した提案システムは、レトロネーザルアラロマ提示の実現に有効であることが示された。本稿の課題や可能性を踏まえて提案システムのさらなる改良と応用に取り組み、新たな嗅覚体験の発展を進めていきたいと考えている。

参考文献

- [1] M. Fukaike, H. Miyashita: 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)
- [2] P. Rozin: "Taste-smell confusions" and the duality of the olfactory sense; Perception & psychophysics, Vol.31, No.4, pp.397-401 (1982)
- [3] J. Prescott: Chemosensory learning and flavour: perception, preference and intake; Physiology & behavior, Vol.107, No.4, pp.553-559 (2012)
- [4] D. Mayumi, Y. Nakamura, Y. Matsuda, S. Misaki, and K. Yasumoto: Kaolid: a Lid-type Olfactory Interface to Present Retronasal Smell towards Beverage Flavor Augmentation; Proceedings of the 13th International Conference on the Internet of Things (IoT '23), Association for Computing Machinery, pp.1-8 (2024)
- [5] D. M. Small, J. C. Gerber, Y. E. Mak, and T. Hummel: Differential neural responses evoked by orthonasal versus retronasal odorant perception in humans; Neuron, Vol.47, No.4, pp.593-605 (2005)
- [6] Y. Kakutani, T. Narumi, T. Kobayakawa, et al.: Taste of breath: the temporal order of taste and smell synchronized with breathing as a determinant for taste and olfactory integration; Scientific reports, Vol.7,1, 8922, pp.1-10 (2017)
- [7] T. Isogai, and P. M. Wise: The Effects of Odor Quality and Temporal Asynchrony on Modulation of Taste Intensity by Retronasal Odor; Chemical senses, Vol. 41,7, pp.557-566 (2016)
- [8] T. Narumi, S. Nishizaka, T. Kajinami, T. Tanikawa, and M. Hirose: Meta Cookie+ An Illusion-Based Gustatory Display: Virtual and Mixed Reality - New Trends - International Conference, Virtual and Mixed Reality 2011, Vol. 6773, pp.260-269 (2011)
- [9] S. Heilmann, and T. Hummel: A new method for comparing orthonasal and retronasal olfaction; Behavioral neuroscience, Vol. 118, No. 2, pp. 412-419 (2004)
- [10] Y. Wang, J. Amores, and P. Maes: On-Face Olfactory Interfaces; In Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '20). Association for Computing Machinery, pp.1-9 (2020)
- [11] Y. Yanagida, S. Kawato, H. Noma, A. Tomono, and N. Tesutani: Projection-Based Olfactory Display with Nose Tracking; IEEE Virtual Reality 2004, pp. 43-50 (2004)
- [12] H. Matsukura, T. Yoneda and H. Ishida: Smelling Screen: Development and Evaluation of an Olfactory Display System for Presenting a Virtual Odor Source; in IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 19, No. 4, pp. 606-615 (2013)
- [13] M. Manabe, S. Ishizaki, U. Yamagishi, T. Yoshioka, and N. Oginome: Retronasal odor of dried bonito stock induces umami taste and improves the palatability of saltiness; Journal of food science, Vol. 79, No.9 (2014)
- [14] CGTrader: Misc Clip free 3D print model; <https://www.cgtrader.com/free-3d-print-models/house/other/misc-clip> (accessed May 23, 2024).