This article is a technical report without peer review, and its polished and/or extended version may be published elsewhere.

第 26 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集（2021 年 9 月）

嗅覚反応時間を考慮した香料提示が可能な嗅覚ディスプレイの性能評価

Performance Evaluation of Olfactory Displays Capable of Presenting Flavors Considering Olfactory Reaction Time

佐藤尚之 [1)]，橋本悠希 [1),2)]
Naoyuki SATO , and Yuki HASHIMOTO

1) 筑波大学 （〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1, n_sato@vrlab.esys.tsukuba.ac.jp, hashimoto@iit.tsukuba.ac.jp）
2) 国立研究開発法人科学技術振興機構　さきがけ（〒102-0076 東京都千代田区五番町 7 K's 五番町）

概要：本研究の目的は，人に対して嗅覚反応時間の限界値近傍における時間幅で香料を提示する際，心拍や発汗などの生理的指標の変化を測定し，香料の効果を検証することである．そのため，香料の提示時間幅を嗅覚反応時間の限界値近傍に設定可能な嗅覚ディスプレイを開発する．また，開発した嗅覚ディスプレイの単位時間あたりの香料出力量及び出力時間の分解能について評価を行う．

キーワード：嗅覚，嗅覚ディスプレイ，嗅覚反応時間

1. 緒言

近年，香りが心身に与える効果に注目が集まっている．香りによる効果を得ることの一つにアロマテラピーがあり，植物から抽出した香り成分である精油を使用し，体温や睡眠，ホルモンの分泌，免疫機能などのバランスを整える自然療法である[1].

一方で，香り効果に関する研究も多く報告されている．Fang らは，シトラスジンジャーの香りを睡眠中に吸入し，唾液中のコルチゾール分泌量を測定することで，心理的な緊張や不安を和らげ，交感神経や内分泌系の活動を高める可能性を示した[2]. Jung らは，心拍数と血圧の低下を確認しすることで，イラン・イランの香りの鎮静効果を検証した[3]. Lekamge らは独自の嗅覚刺激装置を用いて 8 種類の香り効果を心理評価と心電図及び皮膚コンダクタンスレベルの測定によって検証した[4]. このように香り効果を検証するときは実験参加者の心理的指標だけでなく，生理的指標を測定することが一般的である．しかし，香り効果を検証した多くの研究は，分単位や時間単位の時間幅で香料提示を行っているため，ユーザが必要とする以上に香料を出力してしまい，空間に香りが停滞することや順応・疲労が発生してしまうことなどの問題が考えれる．

香料の提示時間幅を秒単位の比較的短期的な時間とし，香り効果を検証した研究も報告されている．Wei らは食品の心地よい香りと不快な香りを 1 秒間提示し，心拍数，皮膚コンダクタンスレベルなどを測定することで反応を検証した[5]. Aline らは嗅覚ペンを用いて数十種類の香りを 2 秒間与え，生理反応（呼吸、皮膚コンダクタンス、顔面筋電図、心拍数）の測定により，香りによる感情を区別する際の感度を比較している[6]. また，時間幅を 33ms として香料提示し，嗅覚特性を測定した研究[7]や時間幅を 200ms とし断続的ににおい刺激を行い，感覚強度の変化を検証した研究[8]などが報告されている．しかし，提示時間幅をミリ秒単位とし，心拍や発汗などの生理的反応を測定することで，香り効果を検証した報告は少ない．

そこで，本研究では提示時間幅をミリ秒単位として香料を提示し，そのときの生理的反応の変化を測定することを試みる．特に提示時間幅は嗅覚の反応時間を考慮し，決定する．ここでは，反応時間を特定の刺激が与えられたときに決まった反応をする簡単反応時間を示す[9]. 嗅覚刺激の反応時間は 200ms 以上とされている[10]ため，我々は嗅覚反応時間の限界値を 200ms とし，提示時間幅をその近傍値に設定し，生理的反応の測定を行う．

香料提示手法として市販のアロマディフューザを用いる[11]，シャーレに精油を滴下する[12]などがあるが，これらの手法は提示時間幅を制御することが困難である．また，濃度や提示時間等を正確に制御可能な手法として，オルファクトメータ[13]があるが高価であり，装置が大掛かりになってしまう．

そこで，本稿では香料の提示時間幅を嗅覚反応時間の限界値近傍に限らず，任意の値に設定可能かつ小型な嗅覚デ

© 2021 日本バーチャルリアリティ学会

ィスプレイを独自に開発する．嗅覚ディスプレイの射出時間幅，充填する液体量，液体の種類をそれぞれ変化させたときの射出量を測定する．単位時間を 1ms と定義し，本嗅覚ディスプレイの単位時間あたりの射出量及び射出時間幅の分解能を評価する．

2. 嗅覚ディスプレイ

今回開発した嗅覚ディスプレイを図 1 に，構成図を図 2 にそれぞれ示す．本嗅覚ディスプレイのサイズは幅 25cm，奥行き 12cm，高さ 7cm である．バイアル瓶には最大で 10ml の液体を充填することが可能である．図 3 に示す振動メッシュトランスデューサ（seeed studio，Grove Water Atomization v1.0）は，円環状の圧電素子を用いており，円錐状のメッシュを振動させることでバイアル瓶に充填した液体状態の香料をエアロゾル化する．図 2 のようにバイアル瓶のキャップ表面に取り付けられた振動メッシュトランスデューサは駆動回路に接続されており，マイクロコントローラーで香料射出のタイミング，射出時間幅，射出周期，繰り返し回数などを任意に設定できる．振動メッシュトランスデューサを接合したキャップ，バイアル瓶，駆動回路は 3 つずつアクリル板に固定されており，射出する香料ごとに使用するバイアル瓶をわけることで，香料の混合を防止する．バイアル瓶はアクリル板に固定された収納ケースから簡単に取り外すことができるため，多種類の香料を扱うことができる．また，嗅覚ディスプレイはフレキシブルアームによって鼻との距離を任意に設定することができる．射出する角度についても任意に設定できるが，今回はバイアル瓶が床面と水平方向になるように固定した．香料を射出するときは，精製水とエタノールで希釈を行った香料希釈液を射出する．

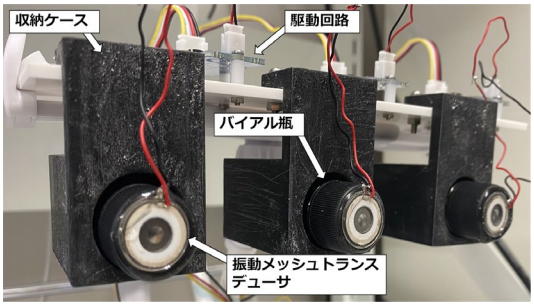

図 1 嗅覚ディスプレイ

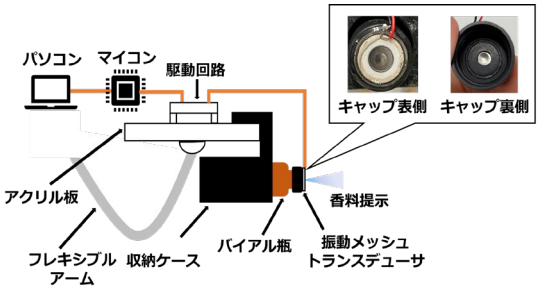

図 2 嗅覚ディスプレイの構成図

表　　裏

図 3 振動メッシュトランスデューサの表裏

3. 嗅覚ディスプレイの性能測定

本章では，開発した嗅覚ディスプレイの射出量に関する性能評価を行うための実験を記載する．

3.1 射出時間幅と射出量の関係

3.1.1 方法，条件

本実験では，設定する射出時間幅を 5ms，10ms，20ms としたときの単位時間あたりの射出量を求める．予備実験により，液体の射出によって振動メッシュトランスデューサの表面に液体が残留してしまうことがわかっており，その液体が振動メッシュトランスデューサの出力口を塞ぐことにより，射出量に影響を及ぼすと判断した．そのため，本実験では射出した液体が振動メッシュトランスデューサ表面から完全に蒸発するような射出周期を時間幅ごとに決定した．また，繰り返し回数についても時間幅ごとに決定した．実験条件を表 1 に示す．射出する液体を高純度精製水とし，バイアル瓶全体の重さが 20.0g となるように毎回液体を充填した．射出前と射出後のバイアル瓶内の液体量の差分を 1/10mg 単位で測定できる電子天秤（A&D，GF-124A）を用いて測定し，単位時間あたりの射出量を算出した．また，測定値のばらつきを確認するため，同条件で 5 回測定を行い，単位時間あたりの射出量の平均値，相対標準偏差を算出した．

表 1　時間幅ごとの周期，繰り返し回数，総出力量

時間幅 (ms)	周期 (s)	繰り返し回数(回)	総出力量 (mg)
5	2	1500	10mg ~ 11mg
10	10	600	10mg ~ 12mg
20	10	600	20mg ~ 22mg

3.1.2 結果

各条件における単位時間あたりの射出量の平均値を算出し，その結果を図 4 に示す．横軸は射出時間幅，縦軸は単位時間あたりの射出量の平均値である．時間幅 5ms では単位時間あたりの射出量が 1.4μg/ms，10ms では 1.8μg/ms，20ms では 1.7μg/ms となり，射出時間幅によって単位時間あたりの射出量の平均値が異なること，時間幅 5ms では他の 2 条件に比べ，単位時間あたりの射出量の平均値が小さいことが確認された．また，各時間幅での単位時間あたり

ⓒ 2021 日本バーチャルリアリティ学会

の射出量の相対標準偏差を表 2 に示す. 時間幅 5ms での相対標準偏差は 6.9%，10ms では 6.6%，20ms では 2.8%となり，20ms では他の条件に比べて相対標準偏差が小さいことが確認された.

表 2　時間幅ごとの単位時間あたりの射出量の相対標準偏差

時間幅 (ms)	相対標準偏差 (%)
5	6.9
10	6.6
20	2.8

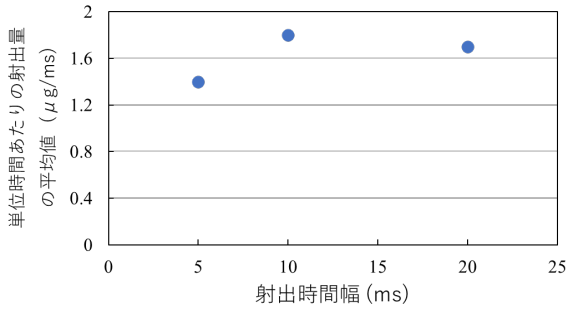

図 4 射出時間幅と単位時間あたりの射出量の平均値の関係

3.2 バイアル瓶内の液体量と射出量の関係

3.2.1　方法，条件

本ディスプレイは，バイアル瓶に液体を入れ，瓶を水平方向にして駆動させる仕組みであるため，瓶内部に入っている液体量によって射出量が変化する可能性が考えられる．そのため，本実験では射出前後の瓶内部の重さの差分を電子天秤で測定することで，バイアル瓶内に充填する液体量を最大充填量の 60%，70%，80%としたときの単位時間あたりの射出量を求める．射出する液体は精製水とし，射出時間幅を 10ms，射出周期を 7 秒，繰り返し回数を 600 回とした.

3.2.2　結果

実験結果を図 5 に示す．横軸はバイアル瓶に充填した液体量の割合，縦軸は単位時間あたりの射出量を示している．図 5 より，どの条件でも単位時間あたりの射出量は

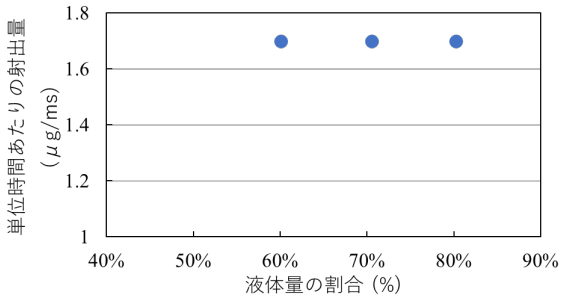

図 5 バイアル瓶内の液体量と単位時間あたりの射出量の関係

1.7μg/ms となり，バイアル瓶に充填する液体量の変化による単位時間あたりの射出量には変化が見られなかった.

3.3 射出する液体の種類と射出量の関係

3.3.1　方法，条件

本実験では，射出前後の瓶内部の重さの差分を電子天秤で測定することで，射出する液体を精製水，エタノール水溶液，精油希釈液としたときの射出量を求める．射出時間幅は 20ms，射出周期は 10 秒とし，繰り返し回数を 400 回とした．エタノール水溶液はエタノールと精製水を 1:9 の割合で混合した．精油希釈液はラベンダーティートゥリー精油（生活の木），ローズマリー・シネオール精油（生活の木）の 2 種類を用いて，精油，エタノール，精製水を 1:10:90 の割合で混ぜ合わせ，希釈を行った.

3.3.2　結果

結果を表 3 に示す．どの条件でも単位時間あたりの射出量は 1.5μg/ms となり，液体の種類による単位時間あたりの射出量に差はなかった.

表 3　射出する液体の種類と単位時間あたりの射出量

液体の種類	単位時間あたりの射出量 (μg/ms)
精製水	1.5
エタノール水溶液	1.5
ラベンダー希釈液	1.5
ローズマリー希釈液	1.5

4. 考察

射出時間幅によって単位時間あたりの射出量が異なる結果が得られた．嗅覚ディスプレイには日ごとの性能差があり，射出時間幅によって測定日を分けたことが影響している可能性がある．この結果より，香料を与える際には射出時間幅ごとに射出量を測定する必要があることが明らかになった．時間幅 5ms のときの単位時間あたりの射出量の平均値が他の条件より小さいことに関しては，駆動回路の特性も考えられ，今後その影響を明らかにしていく必要がある．時間幅 20ms における相対標準偏差が他の 2 条件と比較して小さくなったことに関して，表 1 にある 1 回の測定での総出力量が他の 2 条件と比較し，大きかったことが要因ではないかと推測する．今回測定した射出時間幅の最低値は 5ms であったため，本嗅覚ディスプレイの射出時間の分解能は 5ms と決定する．今後は，さらに短い射出時間幅での射出量の測定を行うことが課題である.

バイアル瓶内に充填する液体量によって単位時間あたりの射出量には差が見られなかったため，充填する液体量による圧力差の影響は極めて低いと推測する.

射出する液体の種類によって単位時間あたりの射出量に変化は見られなかった．精製水に比べ，エタノール精製水の粘性は高いが，希釈濃度が 10%であれば，液体の粘性が射出量に及ぼす影響は低いことがわかった．また，精油を希釈した液体を射出する場合についても，精製水，エタ

ⓒ 2021 日本バーチャルリアリティ学会

ノール水溶液に比べ液体の粘性は高いが，希釈濃度が0.99%と低いことが単位時間あたりの射出量に影響しなかった要因だと推察する．

また，射出液体の種類と射出量の関係より，本嗅覚ディスプレイを用いて 1 回の香料の射出で与えることが可能な香料成分の量を算出する．射出時間幅によって射出量が異なること，香料ごとに射出量が異なることがわかっているため，射出可能な香料量は式(1)を用いて算出を行った．

$$\text{香料量} = \text{希釈濃度} \times \text{精油に含まれる香料成分の割合} \times \text{射出時間幅ごとの射出量} \quad (1)$$

射出時間幅 20ms，希釈濃度を 0.99%としたときに，今回使用したローズマリー・シネオール精油の主成分である 1,8 シネオールであれば 0.13μg，ラベンダーティートゥリー精油の主成分であるリナロールであれば 0.13μg を与えることが可能であることが明らかとなった．

5. 結言

本稿では振動メッシュトランスデューサを用いて射出時間幅，周期，繰り返し回数，鼻との距離などを任意に設定できる嗅覚ディスプレイの開発を行い，嗅覚ディスプレイの射出量を評価するための実験を行った．射出時間幅によって単位時間あたりの射出量が異なること，バイアル瓶に充填する液体量による単位時間あたりの射出量に差はなかったことが確認された．また，液体の種類による射出量には差がなかったことも明らかになった．

今後は今回実験を行っていない射出時間幅での単位時間あたりの射出量の測定を行う，測定回数を増やすことなどを実施していく．また，日による嗅覚ディスプレイの性能差の検証や駆動回路の特性が嗅覚ディスプレイの射出量に及ぼす影響を調査する．

謝辞 本研究の一部は，JST AIP-PRISM(JSMJCR1)，科研費(21K19779, 21H04909)の支援を受けたものである．

参考文献

[1] 公益社団法人 日本アロマ環境協会．アロマテラピーとは．https://www.aromakankyo.or.jp/basics/introduction/, 2021.

[2] F.Jiang, T.Kobayashi, T.Ichihashi, K.Ito and S.Nomura : The Effect of Citrus Ginger Aroma on Heart Rate and Salivary Cortisol Level during Sleep at Home, IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol.14, No.4, pp.623-629, 2019.

[3] Da-Jung Jung, Jun-Youl Cha, Sung-Eun Kim, Il-Gyu Ko and Yong-Seok Jee :Effects of Ylang-Ylang aroma on blood pressure and heart rate in healthy men, Journal of Exercise Rehabilitation, Vol.9, No.2, pp.250-255, 2013.

[4] Sugeeswari LEKAMGE, Masaki NAKACHI, Shu SATO, Kanetoshi ITO and Shusaku NOMURA: Psychophysiological Effects of Aroma Inhalation during a Short-term Cognitive Stressor: A Preliminary Study using Eight Different Aromas, International Journal of Affective Engineering, Vol.16, No.3, pp.213-220, 2017.

[5] Wei He, Sanne Boesveldt, Cees de Graaf and René A de Wijk :Dynamics of autonomic nervous system responses and facial expressions to odors, Frontiers in Psychology, Vol.5, Article 110, pp1-8, 2014.

[6] Aline M.Pichon, GéraldineCoppin, IsabelleCayeux, ChristellePorcherot, DavidSander and SylvainDelplanque; Sensitivity of Physiological Emotional Measures to Odors Depends on the Product and the Pleasantness Ranges Used Frontiers in Psychology, Vol.6, Article 1821, 2015.

[7] 門脇亜美，野口大介，杉本沙友美，坂内祐一，岡田謙一：超微細なパルス射出に対する嗅覚の時間応答特性と時間分解能の測定，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，15 巻，4 号，pp.545-551，2010.

[8] 小林 剛史，小早川 達，秋山 幸代，戸田 英樹，斉藤幸子；断続提示されるにおい刺激に対する感覚強度変化：認知的要因と学習効果，におい・かおり環境学会誌，36 巻，1 号，pp.23-30，2005.

[9] 大山正：反応時間研究の歴史と現状，人間工学，21 巻，2 号，1985.

[10] Welford, A.T.: Reaction Times. London, Academic Press, 1980.

[11] 下地伸司，竹生寛恵，大嶌理紗，川浪雅光，菅谷勉：健全な若年成人における歯周基本治療時のアロマテラ ピーの効果；日本歯科保存学雑誌，第 61 巻，第 5 号，pp.282-291，2018.

[12] O.V. Filiptsova, L.V. Gazzavi-Rogozina, I.A. Timoshyna, O.I. Naboka, Ye.V. Dyomina and A.V. Ochkur: The effect of the essential oils of lavender and rosemary on the human short-term memory; Alexandria Journal of Medicine, Vol.54, No.1, pp.41-44, 2018.

[13] 株式会社フィジオテック．嗅覚刺激装置 Olfactometer. http://www.physio-tech.co.jp/products/ett/olfactometer.html, 2021.

ⓒ 2021 日本バーチャルリアリティ学会