

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：32714

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K12072

研究課題名（和文）圧電素子を用いた嗅覚ディスプレイの開発

研究課題名（英文）Development of an olfactory display using piezoelectric devices

研究代表者

坂内 祐一（Bannai, Yuichi）

神奈川工科大学・情報学部・客員研究員

研究者番号：70622124

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：圧電素子を用いて微細な香料液滴を噴霧し、空気流で気化・運搬することで香気を生じさせる液滴噴霧型嗅覚ディスプレイ開発を目的に、圧電素子噴霧ユニットおよび空気流路の設計を行った。圧電素子噴霧ユニットの性能は従来のインクジェット方式と同等であることを確認した。ユニットの全ての部品を着脱可能とし、メンテナンス性を向上させた。噴霧された香料滴が流路壁に付着せずに気化し、射出口断面で一様な香気濃度分布になるような空気流路の形状を実験的に求めた。これらの成果を反映した卓上型嗅覚ディスプレイの実現は今後の課題となったが、噴霧ユニットをHMDに搭載したウェアラブル嗅覚ディスプレイを試作した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

バーチャルリアリティ（VR）の分野では五感情報の提示、特に触覚・嗅覚・味覚提示は重要な研究課題となっている。香気を生じさせるVRデバイスである嗅覚ディスプレイはさまざまな方式が提案されているが、開発途上であり本命の方式は定まっていない。本研究で提案する液滴噴霧方式は、発生させる香気に含まれる香り成分の量が特定できるという特徴があり、圧電素子を用いて低コストで実現できれば、VRの分野だけでなく嗅覚機能の計測への応用も期待できる。

研究成果の概要（英文）：A piezoelectric element spray unit and air flow path were designed for the purpose of developing a droplet spray type olfactory display that generates fragrance by spraying fine perfume droplets using a piezoelectric element and vaporizing and transporting them with an air flow.

It was confirmed that the performance of the piezoelectric element spray unit is equivalent to that of the conventional inkjet system. All parts of the unit are detachable to improve maintainability. The shape of the air channel was experimentally determined so that the sprayed perfume droplets would vaporize without adhering to the walls of the channel, and the fragrance concentration distribution would be uniform across the cross section of the exit port. Although the realization of a desktop olfactory display based on these results was a future issue, we have prototyped a wearable olfactory display with a spray unit mounted on an HMD.

研究分野：工学

キーワード：バーチャルリアリティ 嗅覚 HMD ウェアラブル 気化 層流

1. 研究開始当初の背景

- (1) バーチャルリアリティ（VR）の分野では五感情報の提示、特に触覚・嗅覚・味覚提示は重要な研究課題となっている。香りを提示する嗅覚ディスプレイは現状様々な方式が提案されており、その特徴も異なり、コンピュータディスプレイのように汎用的に利用できるものはない。本研究担当者らは、液体香料を微細な液滴として噴霧し、ファンからの空気流によって香料滴を気化させユーザの鼻元まで運ぶ液滴噴霧型嗅覚ディスプレイの開発に取り組んできた。
- (2) 液滴噴霧型嗅覚ディスプレイでは、図1に示すようなプリンタのインクジェットユニットを利用する方式があり、微細加工されたノズルから体積数ピコリットルの液滴を射出し、射出量と射出タイミングを正確に制御できることが大きな特徴となっている。しかしながらマルチノズルとタンクが一体加工されているため、ノズルの目詰まりを解消するためのメンテナンス性が悪い、また小型化が困難などの問題がありより簡潔な機構の噴霧ユニットが望まれている。

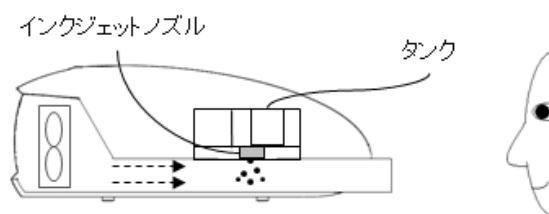


図1 インクジェットユニットを用いた液滴噴霧型嗅覚ディスプレイ

2. 研究の目的

- (1) 本研究担当者らは、インクジェットユニットの代わりに圧電素子を用いた液滴射出型の嗅覚ディスプレイの開発を検討してきた。この方式は、圧電素子に直径数マイクロメートルの微細な孔を設け、高周波の振動によって、微細な液滴を射出する原理である。本研究では、圧電素子と香料タンクが一体となった液滴噴霧ユニットを開発し、インクジェット方式と比較して同等の射出性能であることを確認し、次に噴霧された微細な香料滴を気化・運搬する空気流の流路を設計して、嗅覚ディスプレイとして動作させることを目的とする。
- (2) 上記の動作が確認された嗅覚ディスプレイについて、次の2つの用途を想定した設計を行う。第1には香りの流れをシミュレーションして正確な香気濃度（嗅覚刺激値）を求めることにより、嗅覚の認知特性を調べる心理物理実験の利用を想定した卓上型嗅覚ディスプレイ。第2は、ディスプレイ全体の小型化を図り、ユーザが身体に装着して利用できるようにし、HMD(Head Mounted Display)へ取り付けてVRで利用することを目指すものである。

3. 研究の方法

(1) 圧電素子噴霧ユニット

直径約1センチの圧電素子に微細な孔を多数設け、これを100KHzの高周波で振動させることにより、圧電素子上部のタンクに格納されている液体香料が微細な液滴として吐出される圧電素子噴霧ユニットを試作する。PCからインタフェースボックスを介して圧電素子を振動させるドライバソフトを開発して、振動時間（香料射出時間に等しい）および射出タイミングを制御できるようにする。

(2) 空気流路

圧電素子噴霧ユニットから射出された微細な香料の液滴を、気化させてユーザの鼻先まで到達させる空気流を生成するためのファンおよび空気流路の設計を行う。ファンからの風は、流路内で乱流が発生せず、流路断面で空気流の速度分布がなるべく一様になるように空気流路の形状を決める。また圧電素子噴霧ユニットから噴霧された香料滴が完全に気化することを確認する。以上の条件のもと、流路内での空気流の速さを測定し、シミュレータでの結果と比較する。

(3) 嗅覚ディスプレイ

圧電素子噴霧ユニットとファン・空気流路を一体化して嗅覚ディスプレイを試作する。嗅覚特性を測定する卓上型嗅覚ディスプレイとHMDに装着してVRで用いることを想定したウェアラブル嗅覚ディスプレイの2タイプを試作し、評価実験を行う。ウェアラブル型では筐体を小型化する必要があるため、射出ユニットのタンクやファンなど部品の小型化を行い、VRアプリケーションプログラムから利用できるライブラリの開発も行う。

4. 研究成果

(1) 圧電素子噴霧ユニット

図2に示すような圧電素子噴霧ユニットを試作して、噴霧実験を行い、タンク内の液体の残量によらず時間当たり一定量の射出が行われていることが確認できた。香料の表面張力が小さいと圧電素子の孔から液漏れを起こすこと、香料の粘度が高くなると1回の振動あたりの射出量が減少し、孔の目詰まりが起こり易くなることなど、圧電素子の孔径と香料の物性



図2 圧電素子噴霧ユニットと部品

(特に表面張力と粘度)との関係が判明し、香料と溶媒(エタノール、水)の適切な配合比の知見が得られた⁽¹⁾。インクジェットユニットでも液体の物性により射出状況が変化することが知られており、圧電素子噴霧ユニットでインクジェットユニットの機能を代替できることが示された。圧電素子噴霧ユニットは、各部品が簡単に取り外しできるため、洗浄や部品の取替えなどのメンテナンス性がインクジェットユニットに比べて容易になっている。

(2) 空気流路

液滴噴霧型嗅覚ディスプレイでは、空気流路内でできるだけ層流に近い空気流を生成し、射出口において一様の香気濃度分布で射出させることが望ましい。ファンで生成される空気流は乱流であるため、ファンの取付け位置や空気路の形状を工夫する必要がある。ファンの取付けの向きを検討した結果、机上設置面に対して水平にして空気流を90度屈折させ、流れが水平になる部分にベルマウスをつけることで、乱流の状態が改善された。さらに圧電素子噴霧ユニットの手前にメッシュを挿入し、流路断面での空気流速分布が一樣になるようにした⁽²⁾。空気流路の構造を図3に示す。

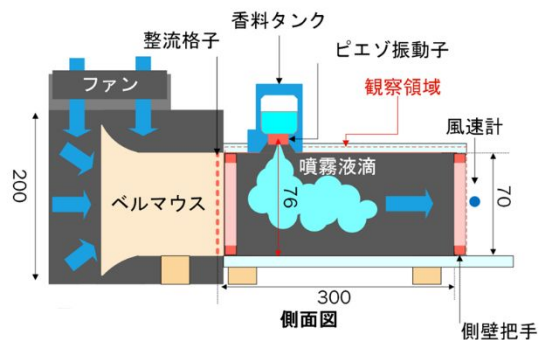


図3 空気流路の構造

この空気流路の3次元モデルを用いて、

Prometech Particleworks 6.2 による粒子法の計算をWindows 10のPCで行ったシミュレーションの結果、圧電素子噴霧ユニット下部の空気流路の窪み部分に香気流の渦が生じることが判明したため、窪み部分が小さくなるような設計とした。

また香料の種類によっては射出された香料滴が、空気流によってすぐに気化せずにディスプレイの側面や底面に付着する現象が見られたため、香料滴の噴霧・気化状況観察装置を開発して、5種類の香料液と精製水を噴霧させて実験を行い、香料が付着しない空気流路のサイズは、縦700mm、横600mmであった⁽³⁾。

(3) 嗅覚ディスプレイ

空気流路の条件と圧電素子噴霧ユニットとの位置関係がほぼ定まったので、筐体を設計して卓上型嗅覚ディスプレイとして完成させることが今後の課題となった。卓上型の構造はウェアラブル型にそのまま用いるには大きすぎるため、HMD装着型ウェアラブル嗅覚ディスプレイは、圧電素子噴霧ユニットをHMD上部に外付けにして、噴霧された液滴をユーザの鼻付近まで落下させる構造で試作した⁽⁴⁾。嗅覚ディスプレイをウェアラブル装置として実現するには、ユーザの動きや風の影響を考慮する必要がある。そこで4に示すようにHMDを装着したユーザの鼻元までを覆うような形状で試作した(図4)。周囲から風をあてた状態で0.5秒間液滴噴霧ユニットから香料滴を射出して、ユーザが香りを感じるかの評価実験を行った結果、試行回数45回(9人の被験者×5条件)の約95%で、3種類の香りを正しく認識できた。

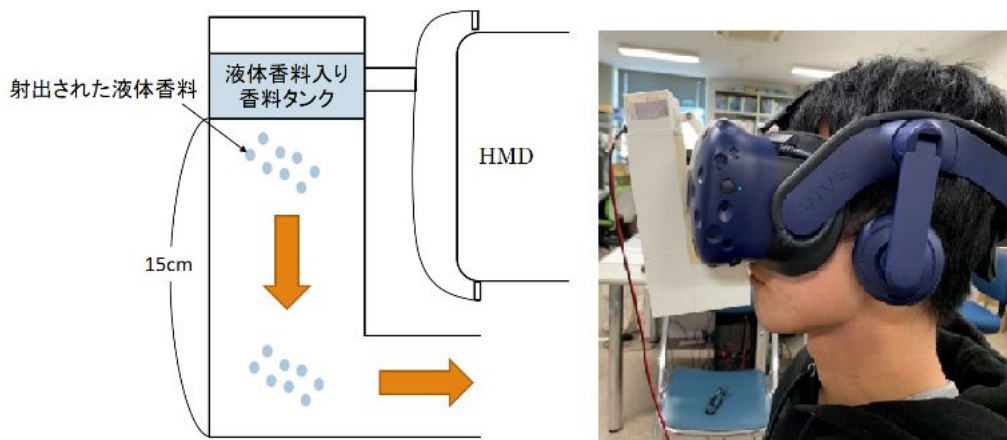


図4 HMD 搭載型ウェアラブル嗅覚ディスプレイ

<引用文献>

- ① 中村重明, 坂内祐一: 圧電素子を用いた嗅覚ディスプレイの開発と嗅覚検知閾値測定, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告 Vol.25, No.SBR2020-1, pp.1-6, 2020
- 瀬田陽平, 森直澄, 牧野光則, 坂内祐一, 服部元史: 液滴噴霧型嗅覚ディスプレイにおける流路内格子の整流効果の比較, 情報処理学会第 84 回全国大会 2F-05
- 瀬田陽平, 森直澄, 牧野光則, 坂内祐一, 服部元史: 液滴噴霧型嗅覚ディスプレイのための簡易風洞を用いた噴霧液滴の可視化, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告 Vol.28 No.SBR2023-3, 2023
- 瀧本法子, 大貫光一, 瀬田陽平, 坂内祐一, 服部元史: HMD に装着する嗅覚ディスプレイ開発への基礎研究, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告 Vol.28 No.SBR2023-4, 2023

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 2件）

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 坂内 祐一 | 4. 巻 293 |
| 2. 論文標題 嗅覚ディスプレイとその応用 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 香料 | 6. 最初と最後の頁 37-43 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |
| 1. 著者名 瀬田陽平, 牧野光則, 坂内祐一, 服部元史 | 4. 巻 14 |
| 2. 論文標題 粒子法シミュレーションによる嗅覚ディスプレイ性能評価のための芳香気体挙動の可視化 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 ゲーム学会和文論文誌 | 6. 最初と最後の頁 7~12 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |
| 1. 著者名 有賀 安央衣, 坂内 祐一, 妹尾 武治 | 4. 巻 24 |
| 2. 論文標題 HMD提示によるベクション刺激と嗅覚刺激の知覚的相互作用に関する検討 | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 | 6. 最初と最後の頁 361~370 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18974/tvrsj.24.4_361 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |
| 1. 著者名 A. Aruga, Y. Bannai, and T. Seno | 4. 巻 11 |
| 2. 論文標題 Investigation of the Influence of Scent on Self-Motion Feeling by Vection | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of Informatics Society | 6. 最初と最後の頁 65-73 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 該当する |

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 0件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 坂内 祐一 |
| 2. 発表標題 味覚・嗅覚ディスプレイのパルス刺激提示と知覚について |
| 3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会14回香りと味に関する産学フォーラム（招待講演） |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-----------------------------------|
| 1. 発表者名 坂内 祐一 |
| 2. 発表標題 VRにおける味覚・嗅覚について |
| 3. 学会等名 第9回非線形解析プログラム研究会（招待講演） |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 瀬田陽平，牧野光則，坂内祐一，服部元史 |
| 2. 発表標題 流体挙動を考慮した圧電素子型嗅覚ディスプレイ流路構造の提案 |
| 3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会第28回香り・味と生体情報研究会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 瀬田陽平，森直澄，牧野光則，坂内祐一，服部元史 |
| 2. 発表標題 液滴噴霧型嗅覚ディスプレイにおける流路内格子の整流効果の比較 |
| 3. 学会等名 情報処理学会第84回全国大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 坂内祐一 |
| 2. 発表標題 液滴噴霧型嗅覚ディスプレイと射出性能 |
| 3. 学会等名 電気学会研究会資料ケミカルセンサ、バイオ・マイクロシステム合同研究会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 有賀安央衣, 坂内祐一, 妹尾武治 |
| 2. 発表標題 HMD によるベクシオン刺激提示下での嗅覚閾値について |
| 3. 学会等名 情報処理学会第82 回全国大会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 有賀安央衣, 榊優弥, 安田拓径, 澤井明香, 坂内祐一 |
| 2. 発表標題 加齢による嗅覚の変化と認知・運動機能との関係に関する考察 |
| 3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会香り・味と生体情報研究会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 瀬田陽平, 牧野光則, 坂内祐一, 服部元史 |
| 2. 発表標題 ：粒子法シミュレーションによる嗅覚ディスプレイ香りパルスの可視化 |
| 3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会香り・味と生体情報研究会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 中村重明, 坂内祐一 |
| 2. 発表標題 圧電素子を用いた嗅覚ディスプレイの開発と嗅覚検知閾値測定 |
| 3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会香り・味と生体情報研究会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 有賀安央衣, 坂内祐一, 妹尾武治 |
| 2. 発表標題 HMD提示によるベクシオン刺激と嗅覚刺激下における感覚間相互作用 |
| 3. 学会等名 日本認知心理学会第11回多感覚研究会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------|
| 1. 発表者名 有賀安央衣, 中村重明, 坂内祐一 |
| 2. 発表標題 微細液滴吐出型嗅覚ディスプレイ |
| 3. 学会等名 第24回日本バーチャルリアリティ学会大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---------------------------------------|
| 1. 発表者名 有賀安央衣, 坂内祐一, 妹尾武治 |
| 2. 発表標題 ベクシオンと香りの強弱による知覚強度変化の相互作用 |
| 3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会香り・味と生体情報研究会 |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計1件

| | |
|---------------------------------|-----------------|
| 1. 著者名 坂内 祐一 | 4. 発行年 2020年 |
| 2. 出版社 技術情報協会 | 5. 総ページ数 12 |
| 3. 書名 においのセンシング、分析とその可視化、数値化 | |

〔産業財産権〕

〔その他〕

| |
|---|
| Scent on Display https://www.ingentaconnect.com/content/sil/impact/2019/00002019/00000010/art00017 |
|---|

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------|---|--|----|
| 研究分担者 | 服部 元史 (Hattori Motofumi) (00252792) | 神奈川工科大学・情報学部・教授 (32714) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| | |
|---------|---------|
| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|