



微細液滴吐出型嗅覚ディスプレイ

Fine Droplet Discharge Type Olfactory Display

有賀安央¹⁾, 中村重明¹⁾, 坂内祐一²⁾

Aoi ARUGA, Shigeaki NAKAMURA, and Yuichi BANNAI

1) 神奈川県立大学大学院 工学研究科 情報工学専攻 (〒243-0292 神奈川県厚木市下荻野 1030, s1885007@cce.kanagawa-it.ac.jp, s1885020@cce.kanagawa-it.ac.jp)

2) 神奈川県立大学 情報学部 情報メディア学科 (〒243-0292 神奈川県厚木市下荻野 1030, bannai@ic.kanagawa-it.ac.jp)

概要: 近年 VR における感覚提示技術は、五感を用いた提示へと発展している。嗅覚についても、VR システムを使用したコンテンツに同期させて提示する試みが多くなされている。我々は、嗅覚刺激提示時に発生する、残り香と順応の問題を極力排除するため、インクジェット式嗅覚ディスプレイを開発してきた。さらに、より機構が簡易で小型化に適した、圧電素子を用いた嗅覚ディスプレイの開発を行っている。これらは液滴の量と射出タイミングを細かく制御できるため、提示香料の量を厳密に調整できる。各ディスプレイの仕様と、それらを使用した実験についてまとめる。

キーワード: 嗅覚ディスプレイ, パルス射出, 圧電素子

1. はじめに

近年、バーチャルリアリティ (VR) における感覚提示技術は、五感を用いた提示へと発展している。視覚や聴覚に続いて、力・触覚提示技術の研究が進み、VR 世界に見えているものを触ることは、特別なことではなくなりつつある[1]。次なる臨場感として、その場の空気を感じられるようになることが注目されている。そこで現在、映像や音楽に合わせて香りを提示する、嗅覚ディスプレイの研究開発が行われている。

我々は空気中に漂うにおい分子を鼻で吸い込むことで、においを感じている。したがって、視聴覚刺激との同期をとるためには、におい分子の種類と量を短時間で変化させなければならない。しかし、一度空気中に放出されたにおい分子を瞬時に消臭・切替えることは極めて困難である。さらに、強いにおい刺激を与えられると順応によりそのにおいを感じなくなってしまう。これら残り香や順応の問題は、嗅覚情報と他の感覚情報のメディア間同期を困難にしている原因となっている[2]。ひとつの解決策として、微小香料を微小時間繰り返し提示する、パルス射出手法が考えられる。この手法はにおいパルスの高さや幅、射出間隔を変化させることにより、においの時間制御を行い、様々なにおいの演出を実現しようとするものである。そこで我々は、微小時間のにおい提示やその提示タイミング、刺激の強さを細かく制御できる、インクジェット方式を用いた嗅覚ディスプレイを開発した。さらに、より簡易なメンテナンスと小型化を目標に、圧電素子を用いた嗅覚ディスプレイを開発している。これらは微細な液滴を噴霧し、気化す

ることでおい刺激を提示する。液滴の量と射出タイミングは細かく制御できる。したがって、その他の嗅覚ディスプレイで用いられている、香り発生物質に空気を通過させてにおい刺激を提示する送風方式[3]と比較して、提示香料の量を厳密にコントロール可能である。

以降 2 章では、現在までに開発してきたインクジェット式嗅覚ディスプレイをまとめる。3 章では、現在開発中である圧電素子式嗅覚ディスプレイを紹介し、最後に 4 章で、嗅覚ディスプレイの開発と今後の展望について述べる。

2. インクジェット式嗅覚ディスプレイ

微小香料の微小時間射出を、短時間に繰り返す、パルス射出が可能な嗅覚ディスプレイを開発してきた。この装置を用いることで、におい提示に関する問題点を解決した状態での、人間の嗅覚特性の調査が可能となっている。パルス射出では微小な時間のみにおいを提示するため、空間に残留する香料の少量化と、順応の影響を生じにくくすることが可能である[4]。また、コンピュータ制御により一定の射出量でにおいを提示できる。以下に開発したインクジェット式嗅覚ディスプレイの仕様と、それを用いた主な実験についてまとめる。

2.1 Fragrance Jet II [2]

キャノンと慶應義塾大学で開発された嗅覚ディスプレイである (図 1)。装置の寸法は、222.5W×315.5D×121.5H (mm) となっている。香料の射出には、サーマル方式インクジェットプリンタの機構を利用している。これはインクタンクから香料を微小な液滴として空気中に射出する。



図 1: Fragrance Jet II 外観

提示された香料は極めて微細であるため、その大部分が気化することが確認されている。気化した香料は嗅覚ディスプレイ後部に取り付けられたファンからの風により、ユーザの鼻元へと運ばれる。風速はレベル 1~9 の 9 段階から選択できる。レベル 9 の実測値は 1.8m/秒である。嗅覚ディスプレイにはキヤノン社製の PIXUS 80i/i80 iP90 用純正プリントヘッド（カートリッジ）を 1 つ装着出来る。カートリッジには大タンク 1 つと小タンク 3 つが格納される。大タンクに接続する射出ヘッドには 255 個、小タンクに接続する射出ヘッドには 127 個の微細な穴が開いている。同時に射出を行う穴の個数を設定でき、大タンクと小タンクはそれぞれ 0~255 個の 256 段階、または 0~127 個の 128 段階で射出量を変更可能である。香料を同時に射出する穴の個数を「同時射出数」と呼ぶ。微細な穴 1 個当たりの 1 回の平均射出量を「単位平均射出量」と呼び、大タンクに接続する射出ヘッドでは約 7.3 ピコリットル (pL)、小タンクに接続する射出ヘッドでは約 4.7pL である。これは製造元であるキヤノン株式会社の実験において、タンク残量によらずほぼ一定であることが確認されている。

アプリケーションにより制御可能な射出時間の制御単位は処理時間の遅延を避けるために 0.1 秒としているが、ファームウェアでの処理の内部クロックは 667 マイクロ秒 (μ 秒) (駆動周波数 1.5kHz) である。この高速な内部クロックを利用して最小制御時間内の射出回数を 0.1 秒あたり 1~150 回まで調整できるので、アプリケーションから射出回数を指定して濃度制御を行うこともできる。指定された射出回数に対する射出方法を図 2 に示す。0.1 秒を射出回数で割った時間の中央値にパルス射出タイミングを設定し、0.1 秒の時間幅で均等に香料滴が射出されるようにしている。アプリケーションで設定できる同時射出数と射出回数から、0.1 秒あたりの射出量は以下のように計算できる。

射出量 (pL) = 単位平均射出量 (pL/ 個・回) × 同時射出数 (個) × 射出回数 (1~150 回)

香料の射出を制御するために、PC と Fragrance Jet II は USB で接続されている。最短制御可能射出時間である 0.1 秒毎に、同時射出数と射出回数だけでなく、射出する香料が格納されたタンク番号を指定することが可能である。1

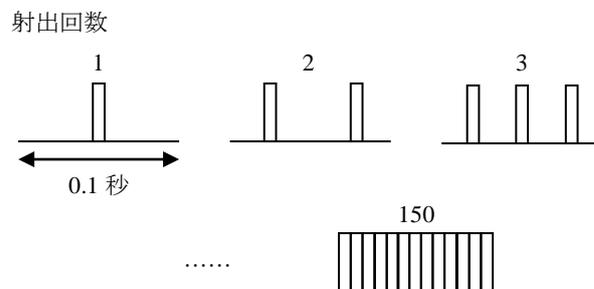


図 2: 単位時間内の射出制御

回のコマンドで複数のタンクを同時に指定することや、タンク毎に同時射出数を独立に指定することが出来るので、4 種類の香料の組合せ (15 通り) とそれぞれの香りの強さを指定 (256 段階と 128 段階) することで、多様な香りを提示することが可能である。また、本体背面に LED が付けられており、香料の射出タイミングを目で確認することが出来る。

Fragrance Jet II は射出する香料液の量と射出タイミングは細かく制御できるため、微小香料を微小時間繰り返し提示するパルス射出が可能である。この手法はにおいてパルスの高さや幅、射出間隔を変化させることにより、においての時間制御を行い、様々なにおいての演出を実現しようとするものである。Fragrance Jet II を用いてパルス射出を行い、においての微小時間提示に対する人間の嗅覚特性を測定した。その結果、パルス射出によって 1 分以上順応せずに香りを感じさせることが可能であること、検知閾値は吸気中の、吸い始め、吸気の途中、吸い終わりのいずれでも変化しないこと、人の安静状態の平均吸気時間である 2 秒のうち、吸い始めから 2/3 までの香り提示を感じられること等を明らかにした[4]。さらに Fragrance Jet II は射出量を細かく設定し、定量的な射出が可能であることから、嗅覚と、視覚から得られる自己移動感覚であるベクシオンとの相互作用を調べる研究に使用されている[5][6][7]。これらの研究の結果、嗅覚とベクシオンとの間には何らかの相互作用があり、特に、ベクシオン刺激が嗅覚へ影響を及ぼすことが強く示唆された。

この嗅覚ディスプレイの問題点は、構造が複雑であり、清掃が容易でない点である。インクタンクから射出された香料はほぼすべて気化することが確認されているが、カートリッジと、ファンからの風が通る空気路を繋ぐ部分や、射出口に香料が付着する。このため、香料を射出していない時においても臭いがしてしまうことがある。さらに、加熱により細い管内の液体に気泡を発生させ、その圧力で射出を行う、サーマル方式を用いているため、熱に弱い香料を用いることができない。

2.2 Fragrance Jet Mobile

上述の Fragrance Jet II を身体に装着できるよう、小型化した嗅覚ディスプレイである (図 3)。ユーザは図 4 のように嗅覚ディスプレイを首からかけて使用する。射出機構は Fragrance Jet II と同様である。そのため、例えば、ヘッ



図 3: Fragrance Jet Mobile 外観



図 4: Fragrance Jet Mobile 装着した様子

ドマウントディスプレイ (HMD) を装着し、頭部や体を動かすコンテンツと同期させて利用することができる。

しかし、本体の寸法が 70W×55D×60H (mm)、重さが 510g と、首から提げて使用するには大きい。長時間使用による疲労や、本体がかさばることが問題として考えられる。

2.3 Fragrance Jet for Medical Checkup[8]

健康診断での利用を想定し、短時間で測定可能な嗅覚能力のスクリーニング検査法を構築するために開発された医療用嗅覚ディスプレイである (図 5)。嗅覚は危険察知に必要な感覚である。また、その衰退はアルツハイマー型認知症などの病気の初期症状と言われており、嗅覚の状態を把握することは病気の早期発見にも繋がる。現在行われている嗅覚検査には、静脈にアリナミン注射液を注入する静脈性嗅覚検査や紙に染み込ませたにおいを嗅がせる T&T オルファクトメーターなどがある。しかし、これらの検査では、測定に必要な濃度の香料を用意する必要があり手間がかかる。さらに、現在主流となっている T&T オルファクトメーターでは、空気中においが拡散しやすく、提示するにおいの不安定さやにおい提示の手間や時間が課題となり、健康診断などで嗅覚検査は行われていない。これらにおいの提示に関する課題を解決するため、精密なおおい制御を行うことが可能な嗅覚ディスプレイが開発された。

装置の寸法は、本体が 108W×160D×110H (mm) となっており、これに 275mm のノズルが装着されている。射出機構は上記 2つの嗅覚ディスプレイと同様である。ただし、この装置はノズルを取り換えることができるようになっている。現在までに、耳鼻科で使用されている、鼻を付



図 5: Fragrance Jet for Medical Checkup 外観

けるタイプの鼻孔型ノズル、医療分野で一般的な形とされる、口と鼻を覆うタイプのマスク型ノズル、射出口の直径が 12mm のプロトタイプノズルを開発している。3つのノズルで装置からのにおいの漏れと同射出量におけるにおいの強さを測定し比較した[9]。においの漏れはプロトタイプが一番弱く、鼻孔型、マスク型と続いた。においの強さは鼻孔型で最も強く、プロトタイプ、マスク型と続いた。プロトタイプノズルで計測した場合の風速は、2.61～3.53m/秒であった。

この装置を用いて、短時間で測定可能な嗅覚能力のスクリーニング検査法の構築を行った。嗅覚ディスプレイを用いて射出量を変化させながら測定した検知閾値と、T&T オルファクトメーターを用いて液体濃度を変化させながら測定した認知閾値の比較を行ったところ、2つの値の間に強い相関があることが明らかとなった。さらに、嗅覚障害度と嗅覚ディスプレイにおける検知閾値との関係からスクリーニング値を選定し、受診者を嗅覚状態により3段階に分類する測定法を構築した。この測定法で検査を行うと2～3分で測定が終了出来ることも確認した。

さらに、自閉スペクトラム症 (ASD) 患者の早期発見を目指し、ASD 児の嗅覚検知能力を測定した[10]。ASD 患者は嗅覚の検知能力や同定能力に特徴が見られている。これにより、子供の頃に嗅覚能力を測定することで ASD 患者を早期に発見できる可能性がある。Fragrance Jet for Medical Checkup と、子供を飽きさせない工夫を施した測定用アプリケーションを用いて ASD 児と非 ASD 児の嗅覚検知能力を5段階で評価し、比較を行った。香料はバナナとパイナップルのにおいを用いた。その結果、ASD 児は非 ASD 児に比べ嗅覚検知能力が低いことが示唆された。また、測定は1人あたり約10分で終わることができ、ASD 児を含めたすべての被験者が最後まで測定を行うことが出来た。このことから、Fragrance Jet for Medical Checkup と、作成したアプリケーションによって ASD 患者の早期発見に向けた短時間のスクリーニング検査の構築に貢献できると期待される。

3. 圧電素子嗅覚ディスプレイ

インクジェット式嗅覚ディスプレイの欠点である、熱を利用した射出方法である点、小型化しにくい点、機構が複雑である点を改善するため、開発している嗅覚ディスプレ

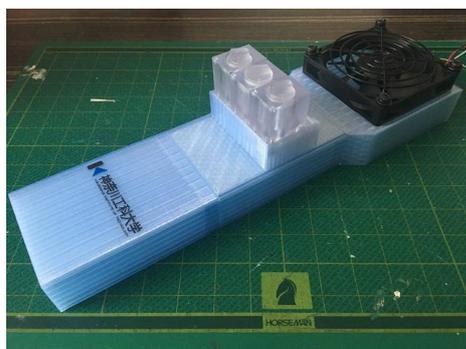


図 6: 圧電素子嗅覚ディスプレイ

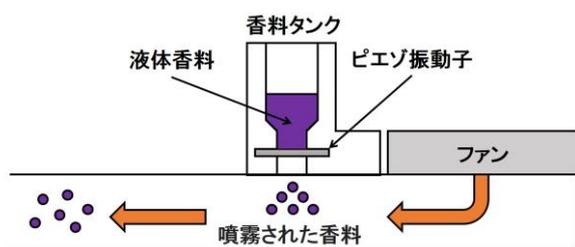


図 7: 圧電素子（ピエゾ振動子）嗅覚ディスプレイの機構

イである（図 6）。この装置は、香料タンクユニットに内蔵された圧電素子が噴霧した液体香料をファンで送風して、ユーザに香りを提示する。その機構を図 7 に示す。

圧電素子には直径 $9\mu\text{m}$ の射出孔が 100 個開いている。香料タンクに充填した液体香料は電圧非印加時には表面張力によって射出孔を通過しないが、電圧印加時には振動によって射出孔から噴霧される。制御用ソフトウェアに振動子の射出孔の直径・射出孔の個数・振動回数を入力することで合計射出量を自動算出し、振動回数の情報を信号変換器がアナログ信号に変換して、圧電素子を、設定した回数分だけ振動させる。圧電素子は $10\mu\text{s}$ につき 1 回振動し、1 回の振動で約 167pL の射出量制御が可能である。ファンの風速は約 $0.7\sim 2.0\text{m/秒}$ の間で調整できる。ファンを用いて噴霧された液体香料に風を当てることで液体香料の揮発を促し、ユーザに香りを提示する。

この装置では、ファンを上方に取り付けて、風の流れを垂直に曲行させることでノズル先端での風速のばらつきを少なくしているため、香料タンクを並列に 3 個並べて、どのタンクから香料を噴霧した場合でも香りの提示時間に差異が出ないようにしている。

また、嗅覚ディスプレイなどの香料を扱うデバイスは、本体に香りが残ることがある。これは香料がデバイスの隙間や電子部品などの洗浄できないパーツに付着して起こると考えられる。そこで、圧電素子嗅覚ディスプレイでは、インクジェット式嗅覚ディスプレイより機構を簡素にし、ユニットごとの分解や電子部品の取り外しを容易にすることで、香料が付着する可能性のあるパーツを洗浄できるよう設計している。

4. おわりに

本稿では、射出する液滴の量とタイミングを正確に制御し、微小香料の微小時間射出を短時間に繰り返すことができる、微小液滴吐出型嗅覚ディスプレイについて述べてきた。人間の嗅覚特性については、視覚や聴覚に比べてほとんど研究が進んでいない。香料射出量や射出時間を精密に調整して、におい刺激を提示することで、再現性の高い実験を実施できると考えられる。また、現在は十分な小型化まで達成できていないが、身体に装着して持ち運べるようになることで、現在 VR コンテンツの主流である HMD との併用も容易になる。コンテンツとの併用利用が手軽になることで、新たな表現方法の開発に繋がると思われる。

参考文献

- [1] 柳田康幸: マルチモーダルインタフェース～移動感覚, 嗅覚を中心として～; 知能と情報, 19(4), (2007.8)
- [2] 外池光雄: 香りと五感; フレグランスジャーナル社, 東京, (2016.12)
- [3] 中本孝道: 嗅覚ディスプレイ—におい・香りのマルチメディアツール; フレグランスジャーナル社, 東京, (2016.12)
- [4] 佐藤淳太, 門脇亜美, 大津香織, 坂内祐一, 岡田謙一: 順応効果を軽減できるパルス射出による香り提示手法; 情報処理学会論文誌, 49 (8), 2922-2929 (2008.8)
- [5] 有賀安央衣, 坂内祐一: 香りパルス—対比較によるベクションが香り知覚へ及ぼす影響の検討; 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 23 (2), 55-64 (2018.6)
- [6] Aruga, A., Bannai, Y., Seno, T.: Experiments to investigate the effects of scents on vection perception; Proceedings of International Workshop on Informatics, 77-82 (2018.9)
- [7] 有賀安央衣, 坂内祐一, 妹尾武治: ベクションと香りの強弱による知覚強度変化の相互作用; 日本バーチャルリアリティ学会研究報告, 24 (SBR2019-8), 17-22 (2019.6)
- [8] 本間秀太郎, 松浦絵里, 岡田謙一: 短時間で測定可能な嗅覚能力のスクリーニング検査法; 情報処理学会論文誌, 57 (3), 1089-1096 (2016.3)
- [9] 岡田謙一, 重野寛: 医療用嗅覚ディスプレイの開発と嗅覚測定システムの構築; 科学研究費補助金研究成果報告書, (2017.5)
- [10] 松浦絵里, 鈴木理沙, 本間秀太郎, 熊崎博一, 岡田謙一: 医療用嗅覚ディスプレイを用いた自閉スペクトラム症児の嗅覚検知能力測定; 情報処理学会論文誌, 57 (2), 803-810 (2016.2)