



# チューブレス CDA を使った安定した渦輪による香り提示

Scent presentation by stable vortex rings using tube-less CDA

角谷美里<sup>1)</sup>, 中野拓哉<sup>2)</sup>, 森田尚樹<sup>2)</sup>, 西川凌<sup>2)</sup>, 安藤潤人<sup>1)</sup>, 柳田康幸<sup>3)</sup>, 野間春生<sup>1)</sup>

Miri SUMIYA, Takuya NAKANO, Naoki MORITA, Ryo NISHIKAWA, Mitsuhito ANDO, Yasuyuki YANAGIDA and Haruo NOMA

- 1) 立命館大学 情報理工学部情報理工学科 (〒525-0058 滋賀県草津市野路東 1-1-1, is0563fe@ed.ritsumei.ac.jp, anmitsu@fc.ritsumei.ac.jp, hnoma@fc.ritsumei.ac.jp)
- 2) 名城大学 理工学部情報工学科 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501, 133441503@ccalumni.meijo-u.ac.jp, 200441167@ccmailg.meijo-u.ac.jp, 200441125@ccmailg.meijo-u.ac.jp)
- 3) 名城大学 情報工学部情報工学科 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501, yanagida@meijo-u.ac.jp)

**概要:** 装置なしで時間的・空間的な局所的な香り提示を行う手法としてクラスタ型デジタル空気砲 (CDA) が提案された。CDA は多数の小口径ノズルで空気砲開口部を構成することにより従来の空気砲と比較して高い自由度向上が期待されている。これまでの研究の結果、吐出空気均一性を維持するために、バルブ吐出口を直接ノズルに結合したチューブレス CDA が提案され、駆動空気圧を高めることなく渦輪速度を向上させることに成功した。しかしその一方で、バルブのサイズによる射出孔配置の制約が課題として挙げられる。

**キーワード:** 香り提示、空気砲、香りプロジェクト

## 1. はじめに

ユーザーに装置を装着させることなく、かつ時間的・空間的に局所的な香り提示を行うため、空気砲から射出される渦輪に香りを閉じ込めて搬送する手法が提案されて以来、さまざまな改良が行われてきた。クラスタ型デジタル空気砲 (CDA: Cluster Digital Air cannon) は、空気砲開口部を多数の小口径ノズルで合成的に構成することにより、従来の箱形空気砲では従属変数だった開口部の流速分布とタイミングを直接制御する方式であり、従来の空気砲と比較して大幅な自由度向上が期待されている。

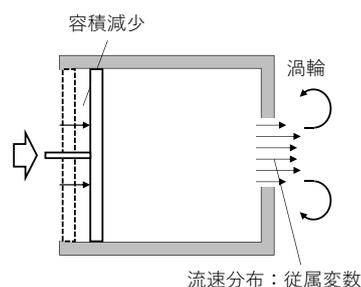
CDA 方式の提案以降、さまざまな技術的課題に取り組み改良が続けられており、最新の構成では空気バルブからチューブを経由することなくバルブ吐出口を直接 CDA のノズルとする、チューブレス CDA が提案された。本稿では、チューブレス CDA の発案に至る経緯と、チューブレス CDA のメリットについて解説する。

## 2. 空気砲を利用した香り提示

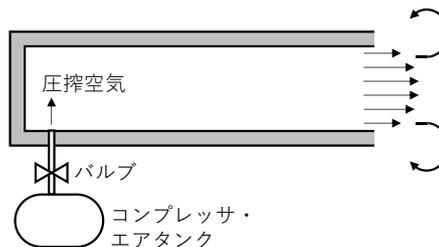
### 2.1 香りプロジェクトの発案

嗅覚ディスプレイ[1]を構成するには、所望の成分を含む香気を発生する技術と、香気をユーザーの嗅覚器へ届ける技術が必要であるが、本研究は後者に関するものである。

VR における視覚提示手法として身体に装着する HMD (Head-Mounted Display) の他に大型スクリーンを利用する方式や裸眼立体ディスプレイなどさまざまな方式が存在

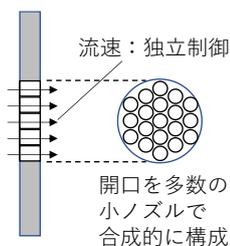


(a) 箱形空気砲 (機械駆動式)

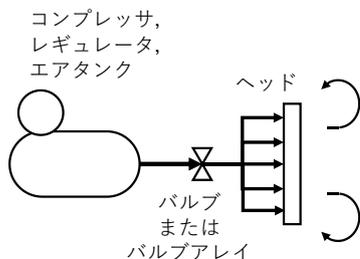


(b) 円筒型空気砲 (空圧駆動式)

図 1: 従来形空気砲



(a) CDA ヘッド



(b) CDA システムの最小構成

図 2: CDA の原理と構成

するのと同様に、嗅覚ディスプレイにおいてもユーザーが装置を身に付けることなく時空間的な香り制御を行う方式も求められるであろうという観点に基づき、環境側に装置を設置しつつごく少量の香りを鼻先へ効率良く届ける方法が模索された。その一つが空気砲から射出される渦輪の利用であり、渦輪の中に香りを閉じ込めて搬送すれば、香りの不必要な拡散を抑えつつ時空間的にピンポイントで香りを提示できる[2]。この方式は「香りプロジェクタ」と名付けられ、さまざまな構成が検討されてきた[3]。

## 2.2 従来形空気砲の課題

空気砲を利用した香り搬送・提示における課題として、静音性、渦輪軌道安定性、香り搬送効率（渦輪軌道上の局所性）などが挙げられる[4]。これらについてはそれぞれ改善が試みられてきたが、その過程で直面したのは、従来の箱形空気砲における制御自由度の乏しさである。空気砲から射出される渦輪の挙動は、開口径と、射出される空気速度分布およびタイミングで決定される。しかし、箱形空気砲で制御可能なのは空気砲全体としての射出空気体積およびその速度であり、開口部流速分布は空気砲形状により決定される従属変数である（図 1 (a)）。

また、空気砲の駆動方式によっては安定した渦輪を射出するために空気砲本体の容積を確保する必要があり、設置上の制約になり得る。たとえば、機械的駆動の場合、扁平化することで容積の削減は可能[5]であるが、開口径より大きな底面積を持つ空間を一時的に確保することが必要である。筒型空気砲を圧搾空気駆動する場合（図 1 (b)）は、バルブから吹き出した空気が一樣な流れとなつて開口から出て行くために、筒の長さを確保することが必要である[6]。

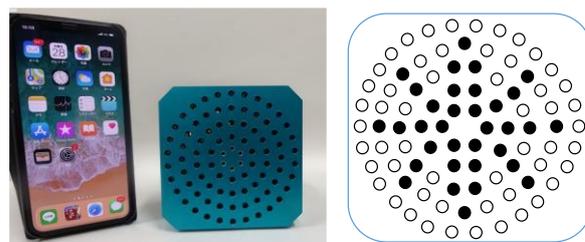


図 3: CDA ヘッド試作機と初期のノズル配置

## 3. CDA: クラスタ型デジタル空気砲

### 3.1 CDA の発案

CDA[7]は、空気砲開口部を多数の小口径ノズルにより合成的に構成するものである（図 2 (a)）。原理的には、個々のノズルから射出される空気速度とタイミングを独立に制御可能である。これにより、従来は従属変数だった空気砲開口部の流速分布を直接的に制御することが可能になる。開口部を構成する小口径ノズルが映像ディスプレイにおけるピクセルに相当し、これらをグループ化して駆動することにより空気砲として機能させることから、クラスタ型デジタル空気砲と名付けた。

CDA の各ノズルから射出する空気流の制御手段は原理的には限定されないが、圧搾空気をバルブ開閉により制御することが現実的な手段と判断された（図 2 (b)）。

### 3.2 CDA の構成

#### 3.2.1 Phase 1: 1 バルブ構成

最初に試みた構成[7]は最もシンプルであり、単一のバルブからチューブと継手で流路を分岐しすべてのノズルへ接続するものである。渦輪の生成は確認されたものの、確実な渦輪生成が実現されたとは言いがたいものであった。試行錯誤を繰り返した結果、経験的にノズルを密に配置せず 8 方向へ放射状に配置した場合（間引き配置：図 3 右で黒く塗りつぶした射出孔のみから空気を射出）に渦輪生成率が高くなったが、それでも成功率は 70%程度であった。

原理的にはノズルを密に配置した方が空気流の軸対称性が良くなるはずであり、間引き配置の方が高い渦輪生成率をもたらす理由を説明できない。この原因を探ったところ、バルブ通過後に流路分岐を行っているため、各ノズルから射出される空気量に大きなばらつきが発生していることが判明した[8]。空圧システムで利用される分岐継手は、通常は圧力がかかった状態で使用される。ところが CDA ではバルブ通過後に開放端へ向けて分岐が行われており、乱流発生の影響を強く受けていたと考えられる。1 バルブで多数のノズルを駆動すると分岐回数が多くなり、その分射出空気のばらつきも顕著になる。チューブ分岐に 2 分岐継手を使用すると、たとえば 100 個のノズルを 1 バルブで駆動するには最大 7 回の分岐が必要になる。

#### 3.2.2 Phase 2: 多バルブ構成

チューブの分岐回数を減らせば、完全ではないものの各ノズルから噴出する空気量のある程度均一化することが

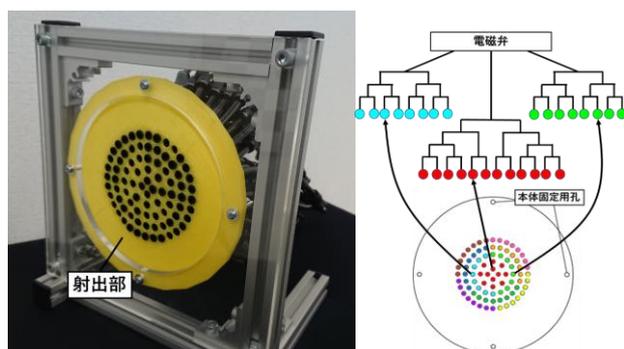


図 5: 多バルブ・全ノズル駆動 CDA

可能と考えられる。その際、チューブ径を太くし分岐部を滑らかな流路とすることによりばらつきを抑制できることも明らかになった。そこで、84ノズルを10バルブで駆動する構成を構築した(図4)。最大3回分岐(多くは2分岐)に抑えられており、この構成で渦輪生成率が100%になることを確認した[8]。

### 3.2.3 Phase 3: バルブ・ノズル直結構成

チューブの分岐を全く行わない構成、すなわちバルブとノズルを分岐のないチューブで直結する構成も試作した。この場合、チューブ分岐に起因する流量のばらつきは原理的に皆無であり、安定した渦輪生成が可能である。一方、この構成はシステムを駆動するためのバルブが極めて多数になり、システムが大がかりになるという制約が存在する。

## 4. チューブレス CDA

### 4.1 チューブによる影響

チューブを使った CDA の構成では、全ての射出孔で均一な空気量を射出でき、渦輪の生成率は維持できたが、渦輪の速度が従来型空気砲に比べ劣るという課題があった。バルブと射出孔をつなぐチューブを空気が通過する際に抵抗を受けることで、射出孔からの空気射出量および射出速度が低下したと考えられる。バルブの射出孔から直接噴出する空気の勢いとチューブを経由した先の射出孔から噴出する空気の勢いを曲げセンサにより計測した結果、チューブ経由では有意な速度低下が発生していることが確認された[9]。

### 4.2 チューブレス CDA の構成

バルブ通過後の空気抵抗を低減するため、電磁弁と射出孔間のチューブを無くした構成、すなわち電磁弁の射出孔そのものが射出面となるチューブレス CDA を試作した[9]。試作機は図○に示すように半径 84.5 mm の円に外接した六角形の基板上に作成し半径 41 mm の位置に射出孔を配置した。チューブレス CDA は、射出孔からの空気の射出タイミングと射出量は、繰り返し精度の点でも、射出孔間でも、均一性が従来の CDA より向上したことを確認できた。また、提案したチューブレス CDA による渦輪の生成は生成率 100% であり、また射出速度も 1バルブ構成の 6倍以上を示した。さらに加圧圧力も従来の 0.75 MPa よりも低い 0.3 MPa でも安定した射出が実現できており、加圧



図 4: チューブレス CDA

圧力による渦輪の速度制御が可能になった。

## 5. むすび

空気砲開口を多数の小口径ノズルで合成的に構成する CDA を提案して以来、実験と理論的な検討を相互に繰り返し、改良を進めてきた。チューブレス CDA は、バルブと射出孔をつなぐチューブによる影響を排除し射出孔から噴出する空気流の制御性能を最優先した構成であり、駆動空気圧を高めることなく渦輪速度を向上させることに成功した。ただし、現状ではバルブ自体のサイズにより射出孔の配置に制約が生じており、ノズルの配置密度の向上は今後の課題である。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP20H04233 の助成を受けたものです。

### 参考文献

- [1] 中本高道(編著): 嗅覚ディスプレイにおいて・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, 2008.
- [2] 柳田康幸, 野間春生, 伴野 明, 鉄谷信二: 非装着かつ局所的な香り提示手法に関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告, MVE2002-82, 2002.
- [3] Y. Yanagida, S. Kawato, H. Noma, A. Tomono, and N. Tetsutani: Projection-Based Olfactory Display with Nose Tracking, Proc. IEEE Virtual Reality 2004, pp. 43–50, 2004.
- [4] 柳田康幸: 渦輪を利用した局所的香り提示技術の現状と課題, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 19, No. 1, pp. 29–36, 2014.
- [5] 田中丸龍哉, 柳田康幸, 永柳博己: 扁平型香りプロジェクタの開発, 日本バーチャルリアリティ学会第 15 回大会論文集, pp. 324–327, 2010.
- [6] 林崎智和, 渡辺久馬, 野間春生, 柳田康幸: 圧縮空気駆動型空気砲における渦輪制御に関する検証, 第 25 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 3D1-4, 2020.

- [7] 園田祐馬, 大井翔, 松村耕平, 柳田康幸, 野間春生 : クラスタ方式空気砲の設計と評価, 第23回日本バーチャリアリティ学会大会論文集, 34B-4, 2018.
- [8] 服部正一, 林崎智和, 野間春生, 柳田康幸 : クラスタデジタル空気砲による渦輪生成安定化のための流路分岐形状検討, 日本バーチャリアリティ学会研究報告, Vol. 26, No. SBR-1, pp. 13-18, 2021.
- [9] 角谷美里, 安藤潤人, 柳田康幸, 野間春生 : 直動弁を使ったチューブレス CDA による渦輪射出の安定化, 第31回香り・味と生体情報研究報告, pp. 13-18, 2023.