

クラスタデジタル空気砲による香り提示機能の検証

待田 航太郎¹⁾, 小川 牧葉¹⁾, 林崎 智和²⁾, 柳田 康幸²⁾, 野間 春生¹⁾

1) 立命館大学

2) 名城大学

あらまし: VRにおける香りディスプレイには、シーンに応じて提示する香りを切り替える性能が求められる。箱型空気砲では、香りの成分が空気砲内部に残ってしまい、香りの切り替えは困難であったが、クラスタデジタル方式空気砲では外部に香りディフューザを取り付けることが可能であるため、空気砲内部に香り成分を残すことなく香りの切り替えを行うことができると考えた。そこで先行研究の結果を元にシミュレーション実験を行い、その結果を踏まえて実機での評価実験を行う。

Verification of Scent Presentation Function by Cluster Digital Vortex Air Cannon

Kotaro Machida¹⁾, Makiba Ogawa¹⁾, Tomokazu Hayashizaki²⁾

Yasuyuki Yanagida²⁾, Haruo Noma¹⁾

1) Ritsumeikan University

2) Meijo University

Abstract: Scent displays in VR require the ability to switch the scent presented according to the scene. In conventional scent displays, it has been difficult to perfectly switch the scent because the material adheres to the surface of device. With the cluster digital air cannon (CDA), however, it is possible to install an external scent-generating device and switch the scent without leaving the scent material on the device. We conducted a computer fluid dynamics (CFD) simulation experiment based on the results of the previous study, and based on the results, we conducted an evaluation experiment using the actual device.

1. はじめに

人間の感覚のひとつである嗅覚は人間の体験において様々な役割を果たしている。香りの知覚は記憶の再認や、感情にさえ影響を与えることが知られている。近年のマルチメディアコンテンツは、視覚提示に加え、香りを提示することで作品をよりリアルに提供している。実際に香りを提示するためには、ユーザの鼻部に外部から香りを直接提示する方法が用いられる。コンピュータによって時間的・空間的に制御された香り提示をするためには、エッセンシャルオイルなどから所望の成分と濃度を有する香りを発生させるだけでなく、その香りを嗅覚器へと搬送する技術が必要である。

特に VR では、仮想空間内で仮想の香り環境をユーザに提示する際に、香り提示ディスプレイにはユーザの動作やコンテンツのシーンに合わせて素早く香りをユーザに搬送することが求められる。

これまでにいくつかの香り搬送方法が提案されているが、その中でも空気砲を用いた香りディスプレイは特定のユーザの顔面に香りを運ぶことができ、またユーザにはなんらかの装置を装着する必要がないため、VRにおける香り提示に適している。広く用いられる箱型の空気砲は、密閉した箱の一面に穴を開け、箱に対して衝撃を与えることで渦輪を発生させる方式が主流である。このタイプの箱型空気砲の欠点としては、穴の大きさによって渦輪の直径が決まってしまう、渦輪の到達可能距離も従属的に決まってしまう。さらに、香りを含んだ空気（香気）を射出するために空気砲内部に香気を充填すると、香気の成分が空気砲内壁に付着し、香りの種類の切り替えが困難である。これまでに空気砲内部ではなく開口部に小筒を設置し渦輪の射出時に香気をすべて飛ばす試作機[1]も製作したが、いったん香気を小筒内部にためる際に同様に香料成分が内壁に付着するため、使

用を続けると残留香が新たに充填した香気と混ざる結果になった。

我々は、香りを時間的・空間的に制御することで、リアルタイムに状況に対応した香りを提示することを目指し、クラスタデジタル方式空気砲(以下略称:CDA)の開発を進めている。本稿では、前述の箱型空気砲での香り搬送に関する課題を解決するために、箱型空気砲と CDA での香り搬送のシミュレーションと実機での香り提示機能の検証について述べる。

2. 香りディスプレイとしての CDA の特長と課題

前述のように、箱型空気砲では香り提示の際にディフューザによって空気砲内部もしくは空気砲開口部前に設置した香り香気を充填する必要がある。この時、空気砲内部に香気を充填した場合は空気砲内部に残り香として香り成分が残留してしまう。また空気砲開口部前に香気を配した後、香気を巻き込んで渦輪を射出することもできるが、箱型空気砲の空力学的特性として射出直後の反動で外部の香り成分を箱内部に吸い込んでしまう。これにより同様に香気が開口部付近を中心に箱内部に残留する。これらが要因となって、従来の箱型空気砲では香りの切り替えが困難であった。

CDA の射出部は、図 1 のように複数の小形射出孔を有し、それらに高压エアタンクが電磁バルブを介してチューブで接続されている。CDA 全体のシステムを図 2 に示す。電磁バルブの開閉時間を個別に設定して各射出孔から出る空気量を調整することにより、渦輪の大きさ、速度、飛距離等のパラメータを制御した様々な渦輪を、短時間で連射することができる。CDA では高压源を用いて空気を射出孔から射出して薄輪を生成するため、射出直後の反動によって各射出孔への吸い込み現象が発生しない。よってディスプレイ前面に香気を展開して渦輪で射出すると、空気砲内部に香り成分を残すことなく、香りの切り替えや残り香の問題を解決することができる。

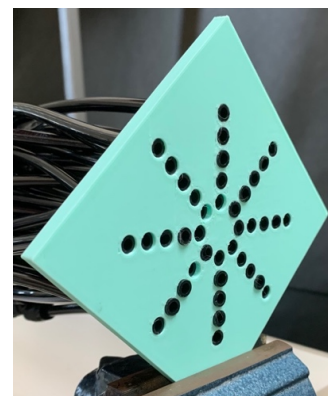


図 1 CDA 射出孔

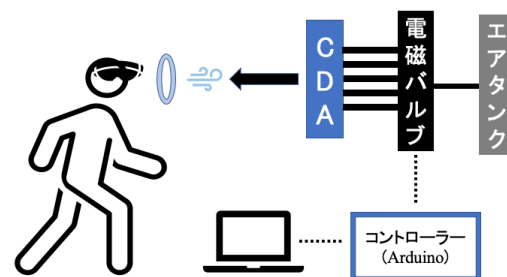


図 2 CDA 全体のシステム

3. 箱型空気砲を想定したシミュレーション

箱型空気砲では、開口部付近の空気が巻き込まれて渦輪として射出される。CDA での香り提示機能と比較するために、まず箱型空気砲での渦輪の粒子の動きを分析した先行研究[2]を示す。ここでは箱型空気砲が生成する渦輪に含まれる粒子が、開口部付近のどこに由来する粒子であるかを流体シミュレーションによって解析した。その結果を図 3 に示す。各図面は右端が箱型空気砲の射出部に相当し、射出後 0.5 秒経過後に渦が 70 cm 進行した時の粒子の密度を濃淡で示す。図 3 -(a)より開口部の縁の箱内側の空気が最も効率よく渦に巻き込まれて搬送されることが分かった。ついで、図 3 -(b)より開口部縁部の外側の空気も同様に渦に巻き込まれて搬送されることが分かった。つまり、この付近に香気を展開することで箱型空気砲では香気を搬送することができると言える。

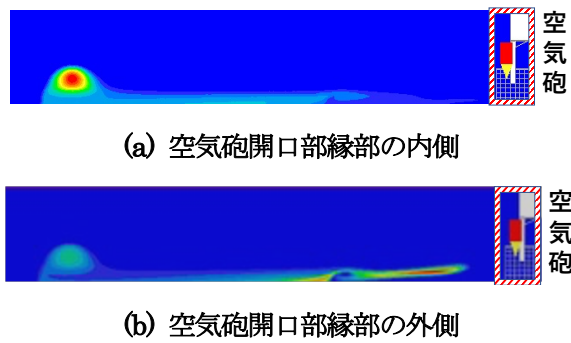


図3 箱型空気砲での搬送結果 [2]

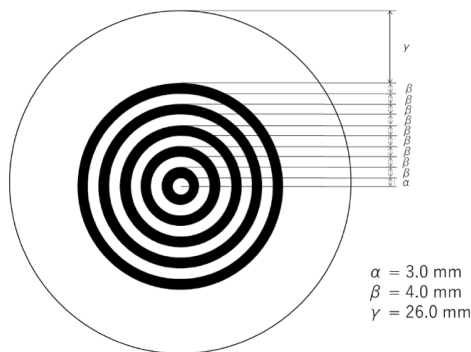


図5 空気射出部

4. CDA での香気搬送シミュレーション

4.1 目的

本章では CDA で香りを効率よく搬送するために香気を配すべき位置を箱型空気砲での検討と同様に流体シミュレーションで検証した。前述のように箱型空気砲では空気砲開口部縁部付近の内側にある空気粒子が最も効率よく渦輪に搬送されることが分かっており、CDA においても同じ部位の粒子の運動の様子を観察した。

4.2 シミュレーション環境

シミュレーション環境を図4に、シミュレーションで用いる空気射出部の詳細を図5に示す。同心円上に黒く塗りつぶされた範囲から空気を射出するものとする。CDA では、それぞれ独立した射出孔から空気を射出するため、厳密には 3D シミュレーションが必要である。しかし 3D シミュレーションでは計算量が膨大になるため、個別の射出孔を環状の射出孔で近似し、図5の2D断面内のシミュレーションを行なった。

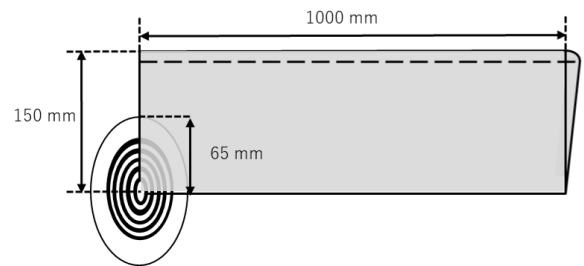


図4 本実験のシミュレーション環境

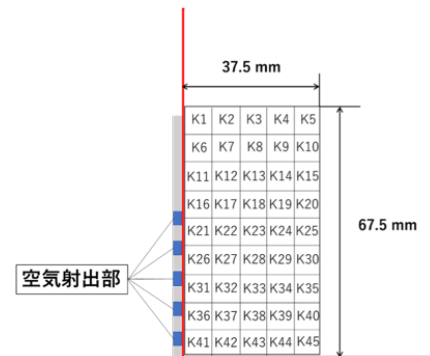


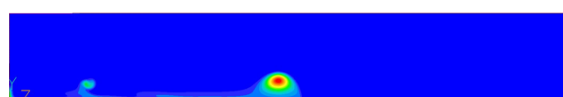
図6 本実験での香り格子内の粒子

CDA 前面の空間のどの領域に由来する粒子が渦輪によって搬送されるかを評価するために、空気砲の全面を図6に示すような小格子領域に分割した。図中の左端が CDA の射出面に相当する。箱型空気砲前面の空間 $37.5 \text{ mm} \times 67.5 \text{ mm}$ を 5×9 に区切り、1つの格子の大きさを 7.5 mm とした。以降のシミュレーションによる結果を評価では、図6に示す呼称を用いて表記する。

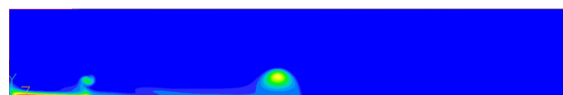
この実験に用いる流体シミュレーションソフトは Concentration Heat and Momentum Limited 社の Phoenix 2019 である。

4.3 結果と考察

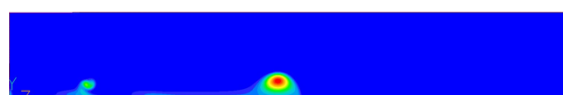
図7に特に着目すべき、K16, K17, K21, K22, K26, K42, K43, K44, K45 の領域の結果を示す。各図面は左端が CDA の射出部に相当し、射出後 0.6 秒経過後の各格子領域の空気粒子の密度を表す。密度が高い箇所は暖色で、密度が低い箇所は寒色にて表示されている。この結果から、空気射出部に近い最外周の格子領域に存在する空気が渦輪に効率よく巻き込まれて搬送されること、



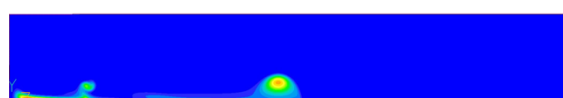
(a) 格子領域 K16



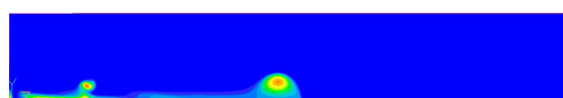
(b) 格子領域 K17



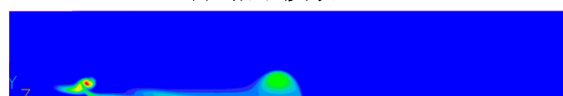
(c) 格子領域 K21



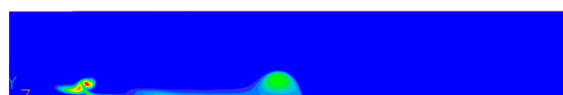
(d) 格子領域 K22



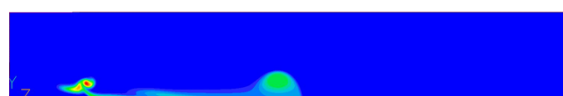
(e) 格子領域 K26



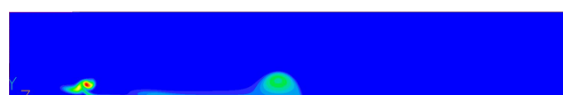
(f) 格子領域 K42



(g) 格子領域 K43



(h) 格子領域 K44



(i) 格子領域 K45

図7 格子領域後との空気粒子の運動

さらに個々の格子位置に伴って粒子の運動に差があることが分かった. この中でも特に K16 と K21 の格子領域に関しては, 渦輪の尾が観測されず,

粒子が残留していない.

空気砲としての機能を考えると, K16 や K21 のような空気射出部に近い最外周の格子領域に香気を展開することで, 全ての香気をユーザに搬送することが可能である. また右図の後方に尾を引いておらず, 空間に残り香もない. 従って, 空気射出部の前面に複数の香りディフューザを設置することで, 高速に香りを切り替えることが可能である. よって CDA を香りディスプレイとして用いることで, 「香りの切り替え」という箱型空気砲での課題が解決可能である.

5. 香り搬送実験

5.1 目的

本章では, シミュレーションの結果を受け, CDA の実機による香りの搬送機能を検証する. 検証項目としては, 「香り付き渦輪による香りの知覚」, 「香りを知覚する継続時間」の2点である.

本機では香りディフューザとしてピエゾ方式インクジェット装置 (クラスターテクノロジー社製, 以下: PIJ) を採用した. この装置はピコリットル単位で液体を1滴ずつ吐出できる. PIJ の吐出部分の画像を図8に示す. タンクに充填した香料をヘッドから微量吐出して, CDA 前面に香気を展開する. PIJ の各値設定については, 波形は A 型, 電圧は 20 V, 周波数は 10000 Hz である. 香料にはレモンの香りオイルを用いた.

5.2 実験環境

発射する渦輪は, 渦輪本体を形成する第1射と直後にその渦輪本体を後押しする第2射の連続射

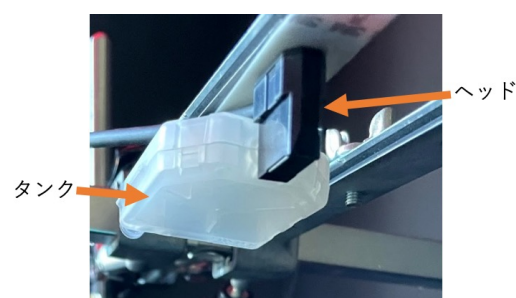


図8 PIJ 吐出部分

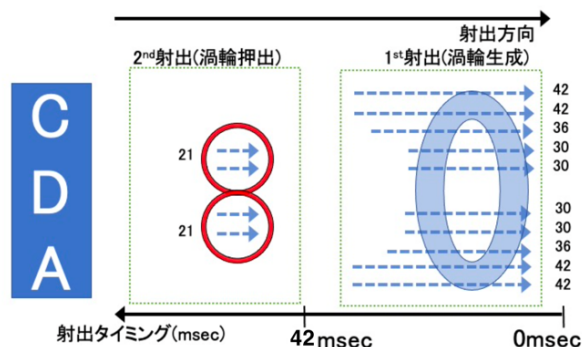


図 9 発射する渦輪

出して生成した。それぞれの射出条件は、同心円上に配置した各射出孔の開口時間を。図 9 に示すように、第 1 射は内側から順に 30, 30, 36, 42, 42 msec として渦輪本体を形成し、その直後に同じく開口時間を 21, 21, 0, 0, 0 msec とした第 2 射を射出した。この連続射出で生成される渦輪は射出後に 2.0 m/s で進む 1 つの渦輪となる。図 10 に PIJ を装着した CDA の射出部を示す。また、CDA と被験者との距離は 1 m とした。

5.3 実験手順

香りを含んだ渦輪による香りの搬送と香り提示機能を検証するために、“香りのある渦輪”、“香りのない渦輪”、“香りはあるが遮蔽物を用いて意図的に潰した渦輪”の 3 種類の条件で、各条件それぞれ 5 試行ずつを、被験者ごとにランダムに提示した。渦輪を発射するたびに被験者に対して①香りを感じたか ②香りを感じた場合何秒間香りが継続したか ③渦輪は顔のどこに衝突したか、の 3 点を質問した。香りの継続時間は被験者にストップウォッチを持ってもらい計測した。被験者は嗅覚に異常のない 10 名を採用した。

5.4 結果と考察

香り提示に対してのそれぞれの応答の結果を表 1 に示す。香りを含んだ渦輪に対して、香りを知覚した割合は 78%であった。「渦輪を意図的に潰した条件」では 1 度も香りが知覚されなかった。また、「香りなしでの条件」は 50 試行あったが、

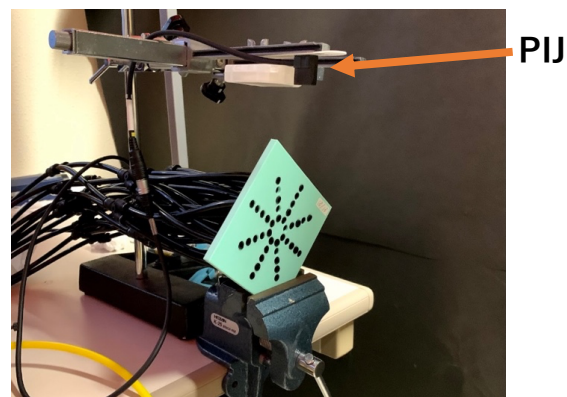


図 10 PIJ と CDA

そのうち 16 試行香りが知覚されていた。これらの結果から、CDA は生成した渦輪に香りを乗せてユーザに届けることができ、香り提示装置として十分に機能することが分かった。さらに、「渦輪を意図的に潰した条件」では 1 度も香り知覚が見られなかったことから、香り成分は渦輪にのみ乗っていることが示された。しかし「香りなしでの条件」にて香り知覚したとの回答が 32%あったことについては、渦輪の尾や実験継続回数の影響で実験空間に香り成分が残留したことが影響したと考えた。これらの結果から CDA では、香気を展開する領域の調整などを施すことで、この残留香気の低減し高速に香りの提示をすること、複数のディフューザによって複数の香りの切り替えができると考える。

知覚継続時間は図 11 に示すように、その平均値が被験者ごとに異なることが分かった。また、被験者ごとの知覚継続時間の標準偏差はほぼ各自の知覚継続時間に比して大きくなることが分かった。図 12 では渦輪が衝突した被験者の顔の部位ごとの知覚継続時間を示す。これによると「渦輪が顔に命中した試行」においては、「渦輪が鼻より下に当たった試行」と「渦輪が鼻より上に当たった試行」では、前者の平均香り知覚時間が長かった。しかしこの結果に対し T 検定をした結果、 $p = 0.49$ となり有意差は見られなかった。箱型空気砲では、鼻より上に渦輪が当たることで香りがしないが[3]、CDA では部位による差が見られないこ

表 1 香り提示に対しての知覚

		応答		Precision	Recall	F スコア
		香りを 感じる	香りを 感じない			
提示	香りあり (n=50)	39	11	78%	78%	22%
	香りなし (n=50)	16	34	68%	84%	32%
	渦輪渡し (n=50)	0	50	100%		0%
	試行全体 (n=150)	55	95	82%	82%	18%

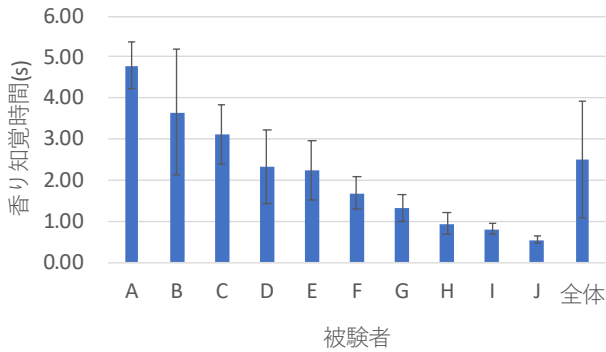


図 11 香りありの条件での香り知覚時間

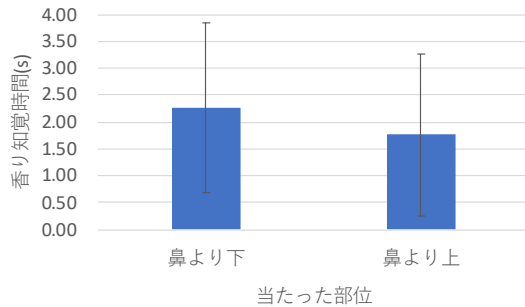


図 12 部位ごとの平均香り知覚時間

とは、渦輪の大きさが大きくかつ、渦輪に香りが十分に乘っていたことなどが要因と考えられる。

6. まとめ

本稿では香り搬送に関する課題を CDA によって解決するために、箱型空気砲と CDA での香り搬送のシミュレーションと実機での香り提示機能の検証を行った。まず、シミュレーションの結果から箱型空気砲と同様に、CDA も空気射出部に近い最外周の領域の空気粒子が効率よく渦輪に乗っ

て香気を搬送可能であること、つまりこの位置に香気を展開することで、残り香をほとんど出さずに香り提示が可能であると考えた。次に実機の CDA を用いて、空気射出部に近い最外周の領域に展開した香気を搬送する実験から、CDA により渦輪に香りを乗せて飛ばすことが可能であることを実証した。

これらにより、CDA は箱型空気砲での香り搬送に関する課題を解決することができ、前述の実験結果から、CDA での連続射出の機能とインクジェット型の香りディフューザの組み合わせによって、香り提示をした直後に別の香り提示をしても香り同士が混ざることなく、香りの切り替えを行うことが可能であると考えられる。

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] Y.Yanagida, S.Kawato, H.Noma, A.Tomono, and N.Tetsutani, "Projection based olfactory display with nose tracking," IEEE Virtual Reality 2004, pp.43-50 (2004.3)
- [2] 西尾泰輔, 柳田康幸, 渦輪による香り搬送効率に対する充填位置の影響 ~流体シミュレーションによる解析~, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告, Vol.18 (2013.3)
- [3] 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. MVE, 102 巻, 445 号, pp.87-92 (2002.11)
- [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, 19 巻, 1 号, pp.29-36 (2014.3)
- [5] 岡田謙一, VR 空間と香り, 日本バーチャルリアリティ学会誌, 9 巻, 3 号, pp.23-27 (2004.9)