



香り提示用空気砲の空気量均一化による渦輪生成率の向上

Improving the Rate of Vortex Ring Generation by Equalizing the Air Volume of an Air Cannon for Scent Presentation

待田航太郎 1), 安藤潤人 1), 柳田康幸 2), 野間春生 1)

Kotaro MACHIDA, Mitsuhiro ANDO, Yasuyuki YANAGIDA and Haruo NOMA

1) 立命館大学 情報理工学部 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1, is0475ex@ed.ritsumei.ac.jp)

2) 名城大学 理工学部 (〒468-8503 名古屋市天白区八事山 150 番地, yanagida@meijo-u.ac.jp)

概要: 我々は VR 用の香り提示装置として空気砲に着目し研究を進めている。本研究では多数の射出孔から圧縮空気を射出し渦輪を再現する独自の空気砲を提案している。これまでの試作機では渦輪の生成に失敗することや、渦輪が意図せずに曲がってしまうことがあり、吐出空気量に偏りがあることが原因であると仮定した。そこで各射出孔に個別に電磁弁を配することで吐出空気量の安定性について調査し、空気量の偏りが射出に及ぼす影響を評価した。

キーワード: 香り提示, 空気砲

1. はじめに

VR 映像を含む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表現しているものがある[1]。その様な作品では、香り提示を行うためにユーザの鼻部に香り成分を運ぶ必要がある。その方法として、さまざまな手法が提案されているが、本研究では非装着で局所的な香り提示ができる空気砲の渦輪による香り提示に着目した[2,3]。

空気砲による香り提示の場合、従来の箱に単一の穴を開けて箱の空気を短時間に圧縮する手法が広く用いられているが、この手法では「渦輪の大きさ」や「渦輪の速度」のようなパラメータが空気砲の開閉部の大きさと吐出空気量に依存し一意に決まってしまうため、生成する渦輪のパラメータを必要に応じて変更することは困難であった。そこで、我々は CDA (Cluster Digital Vortex Air Cannon) を提案している (図 1, [4,5])。これまでの研究で渦輪を安定して生成するパラメータの評価実験の結果、90%程度の渦輪生成確率、到達飛距離 2m, 2.7 m/s の速度が得られた。しかし、これらの値は箱型空気砲の渦輪と比べて到達距離や速度、渦輪の生成率において、従来方式に比べて劣っていた。本研究では、次の段階として、渦輪生成率の向上という研究課題に取り組み、CDA の特長を活かした新たな香り提示手法を提案することを目的とする。

現状の CDA には、パラメータの設定によって射出の際に渦輪の生成率が低いという課題がある。箱型空気砲では渦輪の生成時に、適切なパラメータで射出すると生成率は極めて安定していた。しかし、CDA では渦輪が生成された時と同様の手法で射出を行っても渦輪が生成さ

れないことがある。その理由として本研究では、CDA の各射出孔から射出される吐出空気量が均等でないため、渦輪の生成が失敗するとの仮説を考えた。旧型の CDA は 40 個ある射出孔を 8 つで 1 グループとし、1 つのグループを 1 つの電磁弁にて制御していた[5]。1 つの電磁弁から 8 つの射出孔へと圧縮空気を配するためにチューブを介して 3 回分岐している。ここでチューブが分岐する際に、空気が均等に分岐せず吐出空気量に偏りが生じることを確認している[6]。この空気量の偏りを解消することで、上に述べた課題を解決可能であると考えた。

2. CDA の機構と設計

図 2 は CDA 全体図となっている。CDA は電磁弁の開閉によって射出孔から圧縮空気を射出している。射出タイミングの制御は PC から制御しており、Arduino Due を介して信号を送る。その際にレベルコンバータを挟むことで電圧を 3.3 V から 24 V へと電磁弁を動作させるための電圧

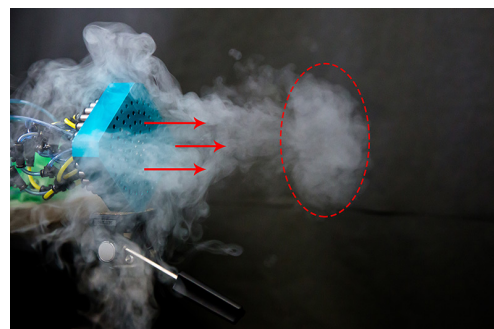


図 1: CDA の射出の様子

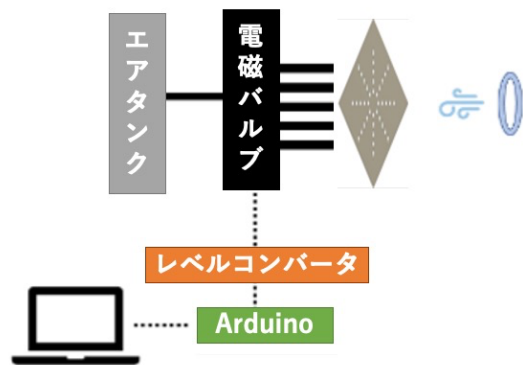


図 2: CDA の全体図

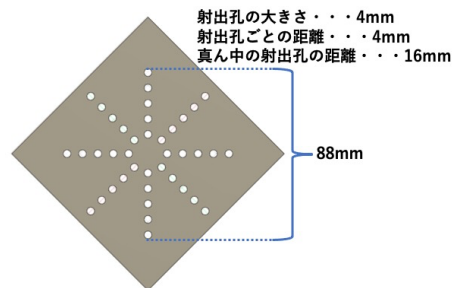


図 3: CDA 射出部

に変換している。電磁弁から射出孔へと直接つなげることで、1つの射出孔に対し1つのチャンネルを割り当てチューブの分岐を無くしている。CDA の射出部は、図 3 に示すように一つの射出孔の大きさが 4 mm、射出孔間の距離が 4 mm である。本実験では分岐回数および射出気圧が渦輪生成率にどのような影響を与えるのか検証する。

3. 水上置換による吐出空気量測定

3.1 実験目的と手順

チューブ内での分岐回数が減少させることで吐出空気量のばらつきに与える影響を検証するため、それぞれの分岐回数ごとの吐出空気量を測定した。

水上置換法によって 1 本のチューブから吐出される空気量を計測する。分岐回数が 3 回, 2 回, 1 回, 0 回, 空気圧は 0.3 MPa, 0.5 MPa, 0.7 MPa それぞれでの環境にて, 30msec

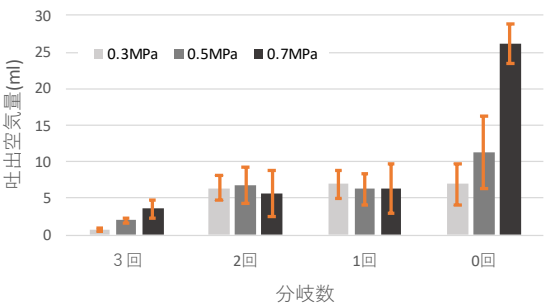


図 4: 分岐数と吐出空気量

電磁弁を開く。これをそれぞれ 5 回ずつ行い、吐出空気量とその標準偏差を算出する。

3.2 実験結果

縦軸を吐出空気量、横軸を分岐回数、として 0.3 MPa, 0.5 MPa, 0.7 MPa それぞれの空気圧における計測結果を図 4 に示す。分岐回数 0, 3 回においては気圧が増加することで吐出空気量が増加する。特に分岐回数 0 回では空気圧 0.5 MPa と 0.7 MPa との間に 2 倍以上の差がある。分岐回数 1, 2 回の吐出空気量は分岐回数 0, 3 と比べ小さい。分岐回数 3 回の標準偏差は分岐回数 0, 1, 2 と比べ小さい。

3.3 考察

本実験の仮説は「分岐回数を減らすことで吐出空気量のばらつきが減少する」であったが、分岐回数を減らしても吐出空気量のばらつきは確認された。また、分岐回数を減らすことで吐出空気量を増加させることが可能である。そこで吐出空気量のばらつきが渦輪生成率に与える影響を検証するため、4 章での実験を行った。

4. 分岐回数ごとの渦輪生成率の比較

4.1 実験目的と手順

本章では、「吐出空気量が均等でないため、渦輪の生成が失敗する」という仮説を立証するために分岐回数ごとの渦輪生成率を比較する実験を行う。検証項目としては「分岐回数による渦輪生成率への影響」「吐出空気量ごとの渦輪生成率の変化」の 2 点である。

表 1: 射出した渦輪のパラメータ

短開口条件			長開口条件		
内側から	1 発目	2 発目	内側から	1 発目	2 発目
1 周目	10ms	7ms	1 周目	30ms	21ms
2 周目	10ms	7ms	2 周目	30ms	21ms
3 周目	12ms	0ms	3 周目	36ms	0ms
4 周目	14ms	0ms	4 周目	42ms	0ms
5 周目	14ms	0ms	5 周目	42ms	0ms

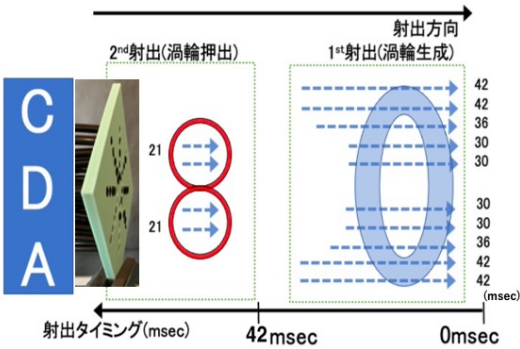


図 5: 長開口条件での射出パラメータ

分岐回数が3回, 2回, 1回, 0回, 空気圧は0.3 MPa, 0.5 MPa, 0.7 MPa それぞれでの環境にて20回づつ射出を行い渦輪生成率の平均を取る。また空気量による変化を観測するため短開口条件および長開口条件の2通りの射出時間にて検証を行なう。

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射の連続射出によって生成した。射出するパラメータ比率は上から順に、同心円上に広がった射出孔の内側からのパラメータとなる。それぞれの射出パラメータを表1に示す。同心円上に配置した各射出孔の開口時間を、短開口条件では第1射は内側から順に10, 10, 12, 14, 14 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7, 7, 0, 0, 0 msecとした第2射を射出している。長開口条件では第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射を射出している。この連続射出で生成される渦輪は射出後に1つの渦輪となる。例として長開口条件での射出パラメータの様子を図5に示す。

4.2 実験結果

短開口条件での射出空気圧ごとの渦輪生成率を図6に示す。長開口条件での射出空気圧ごとの渦輪生成率を図7に示す。3章の吐出空気量計測結果と組み合わせて吐出空気量と渦輪生成率のグラフを図8に示す。3章の吐出空気量計測結果の標準偏差と組み合わせて吐出空気量の標準偏差と渦輪生成率のグラフを図9に示す。

図6より分岐回数0回では射出空気圧が増加するほどに渦輪生成率が減少している。分岐回数1,2回において渦輪生成率は射出空気圧による影響をあまり受けていない。分

岐回数3回では射出空気圧が増加するほどに渦輪生成率が上昇している。図7より射出する際の空気圧が増加するほど渦輪生成率は低下した。図8より分岐回数が増加すると、吐出空気量に対する渦輪生成率への影響が小さくなる。図9より吐出空気量の標準偏差が小さいほど渦輪生成率は増加した。

4.3 考察

短開口条件と長開口条件での実験結果を比較する。図6と図7は開口時間の倍率のみが異なるので、短開口条件0.7 MPaと長開口条件0.3 MPaを比較して考える。分岐回数0, 3回では射出空気圧に対して渦輪生成率の最適条件が存在する可能性がある。分岐回数1,2回において渦輪生成率の変化量が他と比べ少ないのは、最適条件から大きくずれた空気圧条件となったことが原因だと考える。

また、射出する際の空気圧を増加させると渦輪生成率は低下することが示されているが、予測に反して図8では分岐回数が増加すると吐出空気量に対する渦輪生成率への影響が小さくなることが分かった。つまり、高い射出空気圧にて渦輪形成を行う際は分岐回数を0回にして行うことで、分岐回数1, 2, 3回と比べ、渦輪生成率の減少を抑えて射出を行うことができる。

また図9の結果から吐出空気量の標準偏差が大きいほど渦輪生成率が低下したことから、吐出される空気量のばらつきが大きいほど渦輪生成率が低下することがわかる。つまり、空気量バランスが崩れると渦輪生成が失敗するという仮説については、この結果が支持している。

また、これらの結果に表れていないが、分岐回数0回では他と比べ渦輪の速度が分岐回数3回と比べ2倍以上速く、観測された最大到達距離は約4 mと長かったことも

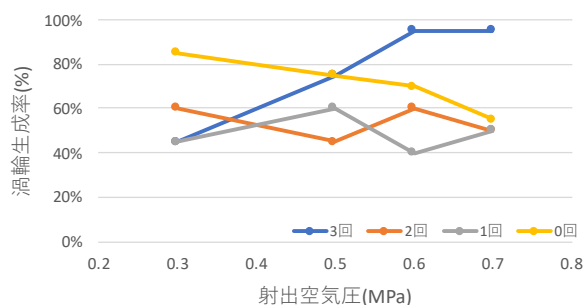


図6: 短開口条件での空気圧と渦輪生成率

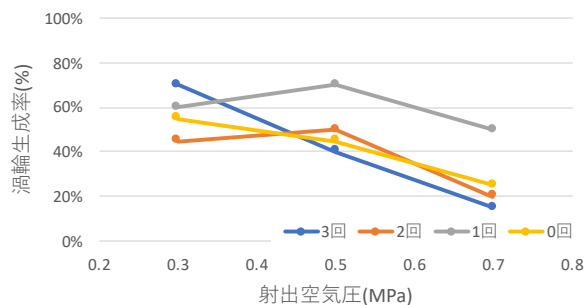


図7: 長開口条件での空気圧と渦輪生成率

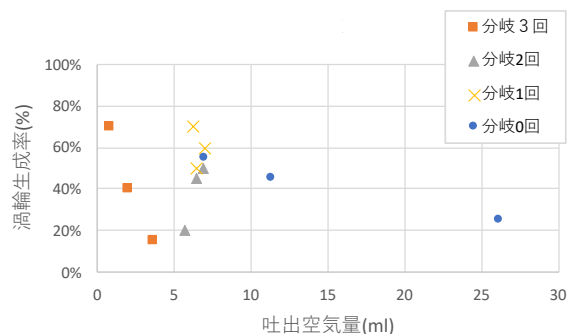


図8: 吐出空気量と渦輪生成率

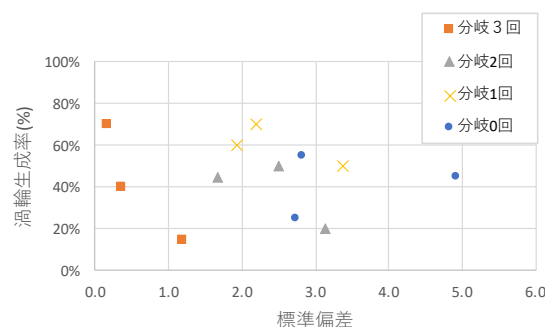


図9: 吐出空気量の標準偏差と渦輪生成率

観測された。

以上の結果を踏まえて、今後はより安定した生成率で、長距離・高速飛翔可能な渦輪の生成を実現する為に、分岐回数 0 回における吐出量安定化の技術について研究を進める。また、CDA においては渦輪生成のパラメータの設定が重要であることも分かっており、最適条件を満たす射出空気圧、吐出空気量のばらつきを抑えるという 2 点の実現を目指す。

5. おわりに

本稿では渦輪生成に関する課題として、射出孔の空気バランスと渦輪生成率の関係について実験を行った。具体的には、CDA によって安定射出を実現する為に、「分岐回数を減らすことで吐出空気量のばらつきを低減する」、「吐出空気量のばらつきを低減することで渦輪生成率を上昇させる」という 2 つの検証実験を行った。CDA の分岐回数を減らすことで吐出空気量のばらつきを低減することはできなかったが、吐出空気量のばらつきを低減することで渦輪生成率が上昇することを確認した。

今後は分岐回数 0 回での渦輪形成をするために、最適条件を満たす射出空気圧、吐出空気量のばらつきを抑えるという 2 点を満たすパラメータを検証していく必要がある。

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] 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, Vol. 9, No. 3, pp.23-27 (2004.9)
- [2] 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 巻, No. 1, pp.29-36 (2014.3)
- [3] 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)
- [4] 小原光二, 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を用いた香りブレンディングマシンの開発, インタラクシオン 2019 論文集, pp. 765-766 (2019.2)
- [5] 小川牧葉, 待田航太郎, 大井翔, 松村耕平, 柳田康幸, 野間春生, クラスタデジタル方式空気砲の時間制御による速度向上, 情報処理学会インタラクシオン 2021, pp. 287-289 (2021.3)
- [6] 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, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告, Vol. 26, No. SBR-1, pp. 13-18 (2021.3)
- [7] 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. Vol. 102, No. 445, pp.87-92 (2002.11)
- [8] 待田航太郎, 小川牧葉, 林崎智和, 柳田康幸, 野間春生, クラスタデジタル空気砲による香り提示機能の検証, 日本バーチャルリアリティ学会研究報告, Vol. 26, No. SBR-1, pp. 7-12 (2021.3)
- [9] Totomu Kambe, Toshiharu Takao, Motion of Distorted Voltex Rings, J. Phys. Soc. Jpn. 31, pp. 591-599 (1971.3)
- [10] 前川 尚輝, 近本 智行, 李 明香, 北村 邦彦, 松永 淳, 江藤 美緒, 空調用の長距離空気砲・カノン (Kanon) の開発・実証 (第 2 報) 渦輪の PIV 解析と風速測定による気流特性検証, Vol. 3, pp. 69-72 (2016.3)