



クラスタ方式空気砲の設計と評価

Design and Evaluation of Vortex Air Cannon Cluster of Sub Air Shooter

園田祐馬 ^{1,a)}, 大井翔 ^{1,b)}, 松村耕平 ^{1,c)}, 柳田康幸 ²⁾, 野間春生 ^{1,b)},

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,

a) ysonoda@mxdlab.net, b) {sho-ooi,hanoma}@fc.ritsumei.ac.jp, c) matsumur@acm.org.)

2) 名城大学 理工学部

(〒468-8502 愛知県名古屋市中天白区塩釜 1-501, yanagida@meijo-u.ac.jp)

概要: VR や 4D 映画などでユーザに香りを提示する手法として、渦輪によって香気を提示する空気砲の開発が行われてきた。従来の空気砲では構造によって渦輪の大きさや速さが一意に決まるため、渦輪のパラメータを変更する場合、筐体そのものの設計も変更する必要がある。本研究では渦輪のパラメータを独立に制御できる空気砲を提案する。試作空気砲では 10cm 角の板面に小型の空気射出孔を複数設け、複数の射出孔をグルーピングして射出する空気の圧力とタイミングを個別制御する。これにより、板面全体で渦輪を形成するための理想的な速度分布を生成し、安定した渦輪を射出できることを確認した。

キーワード: 空気砲, 渦輪, 香りディスプレイ

1. はじめに

香りには種類に応じてリラックス感や高揚感などの感情変化をもたらす効果がある。そのため、映画館などのエンターテインメント施設で映像と同期して香りを提示することで、より臨場感を与えることができる[1]。エンゲンは視覚や聴覚が認識に対する役割と同様に、嗅覚は情緒に対して重要な役割があると述べている[2]。香りをユーザに運ぶ手段として、オフィス等の空間に香りを拡散させる方法、鼻先にスプレーやチューブを通して香りを運ぶ方法、空気砲を用いて渦輪で香りを運ぶ方法がある。我々はユーザが何も装着する必要がなく、局所的に香りを運ぶことができる渦輪に着目し、空気砲の開発を行っている。

従来の空気砲として、橋口らは高圧タンクとバルブを介してチューブを接続するバルブ型空気砲を提案した[3]。タンクに加圧した空気を溜め、タンクと接続されたバルブを短時間開放し、圧縮空気がチューブを通して射出され渦輪を生成する。柳田らはユーザの鼻を追跡し、局所的に香りを提示するデバイスを開発した[4]。この空気砲は 2 自由度雲台に乗せ射出する渦輪の方向を制御した。中泉らは二台の空気砲を用いて渦輪を衝突させ香り場を生成するシステムを提案した[5]。これら従来の空気砲では構造と渦輪の大きさや速さが従属関係にあるため、渦輪のパラメータを

Yuma Sonoda, Sho Ooi, Kohei Matsumura, Yasuyuki Yanagida, Haruo Noma.

変更する場合、筐体そのものの設計も変更する必要がある。

そこで本研究では、クラスタ方式空気砲を提案する。クラスタ方式空気砲の本体を図 1 に示す。試作機では 10cm 角の板面に小型の空気射出孔を複数設け、複数の射出孔をグルーピングすることで射出する空気の圧力とタイミングを個別制御する。そのため機械的な構造を変更することなく渦輪のパラメータを独立に制御できる。本稿では生成される渦輪の安定性や到達距離、目標物に対しての命中率を評価することで、新しい空気砲の有用性を明らかにした。

2. クラスタ方式空気砲について

2.1 クラスタ方式空気砲の構成

本研究で提案する空気砲の構成図を図 2 で示す。この空気砲は 10cm 角の板面に小型の空気射出孔を複数設けた新しい構造である。この新しい構造をクラスタ方式と呼ぶ。



図 1: 空気砲の本体

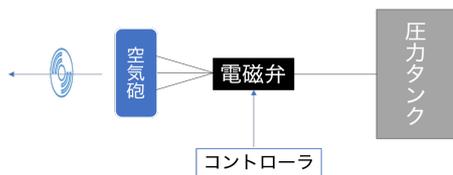


図 2: 空気砲の構成図

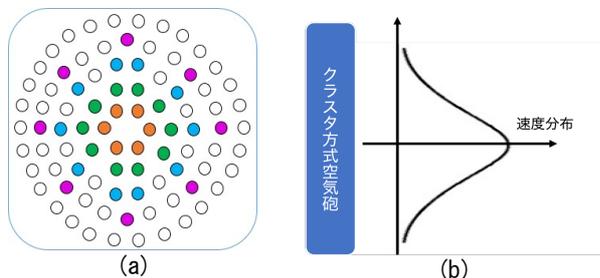


図 3: (a) 空気射出孔の配置図, (b) 空気砲から射出される圧力の分布図

この空気砲では複数の射出孔を同心円状にグルーピングし、グループ毎に最短 5msec で開閉できる電磁弁 (G010M10F, KOGANEI 製) を介して高压タンクに接続している。電磁弁はコントローラ (Arduino) で個別に開口タイミングを制御可能であり、タンク内の圧縮空気が個別のタイミングで空気砲表面の複数の射出孔から射出される。面全体の射出タイミングをグループ毎に制御することで、渦輪を生成するために最適な速度分布を形成し射出する。

2.2 渦輪の生成方法

従来の空気砲では本体の一部に円形の穴を開け、箱の容積を素早く変形させて空気を押し出すことによって渦輪を生成する方法や、長いパイプを用いて圧力変化をパイプ内で安定させて渦輪を生成する方法がある。これらの渦輪生成方法は射出孔の口径に応じて渦輪の大きさや速度、距離が一意に決まるアナログ方式であった。クラスタ方式空気砲では射出孔を小孔の集合とみなし、小孔から射出される空気の圧力を個別制御することによって、理想的な速度分布を形成し渦輪を生成する、いわばデジタル方式である。

クラスタ方式空気砲は、空気砲の前面に図 3 (b) のような理想的な空気の速度分布を形成することにより渦輪を生成する。渦輪の生成方法として以下の 3 パターンがある。

(i) 射出孔の密度を制御

各射出孔から射出される空気量を一定として、空気砲中央部の射出孔の密度を密にし、中心部から離れるに従い密度を減らす。

(ii) 射出孔毎に射出する空気のタイミングを制御

各射出孔から異なるタイミングと開口時間で射出する。空気砲の中心部から外縁部にかけてタイミングを遅らせ、開口時間も短くする。

(iii) 射出孔毎の圧力を制御

外縁に近づくにつれて空気圧を低減させ、射出する空気量を減らす。

本研究では、(i) の射出孔の密度を制御する方法につい

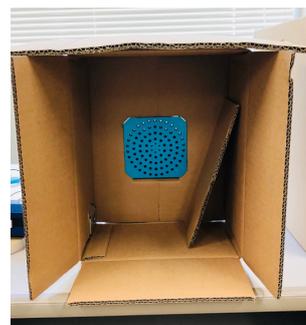


図 4: 渦輪の生成確率実験方法

て着目し、渦輪の安定性や到達距離、目標物に対する命中率を評価する。

3. 射出孔の配置による渦輪の生成評価

3.1 内容

クラスタ方式空気砲における射出孔の配置が渦輪の生成に与える影響を評価した。射出孔は内側から 4 番目まで使用する。評価した射出孔の配置パターンは以下の図 5 に示す 4 条件である。(a) 全て接続する、(b) 外縁のみ 1 つ飛ばしで接続し、残りは全て接続する、(c) 外縁から 1, 2 番目を 1 つ飛ばしで接続し、残りは全て接続する、(d) 最内側のみ全て接続し、残りは 1 つ飛ばしで接続する。電磁弁の開口時間を 40, 50, 60, 70msec に設定し、使用する圧力タンクの圧力は 0.7 mPa である。それぞれ (a) ~ (d) の条件に対し 10 発の空気を射出して渦輪の生成確率を測定した。電磁弁の開口時間を 80msec 以上に設定すると、射出する空気量が多くなり噴出された空気が渦輪の形成を妨害するため、70msec 以下で実験を行った。渦輪の生成状態を確認するために、図 4 のように加工した箱の中に空気砲をセットし、箱の中に煙を溜めることで、射出する渦輪を可視化した。可視化した渦輪をビデオカメラで録画し渦輪の生成回数を目視で測定した。

3.2 結果と考察

渦輪の生成確率を図 6 に示す。射出孔の配置が (a), (b), (c) の場合、電磁弁の開口時間によらず渦輪の生成確率は 20% 以下であった。射出孔の配置が (d) で電磁弁の開口時

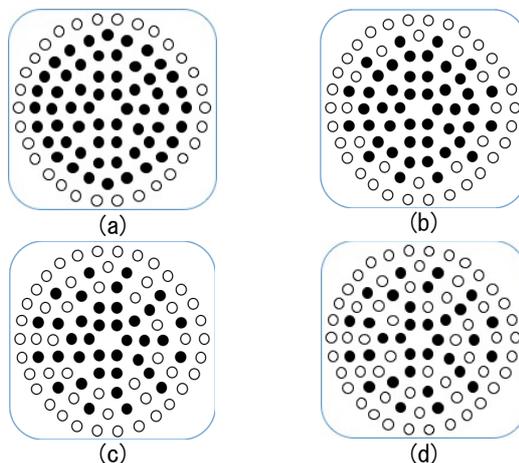


図 5: 射出孔の配置図

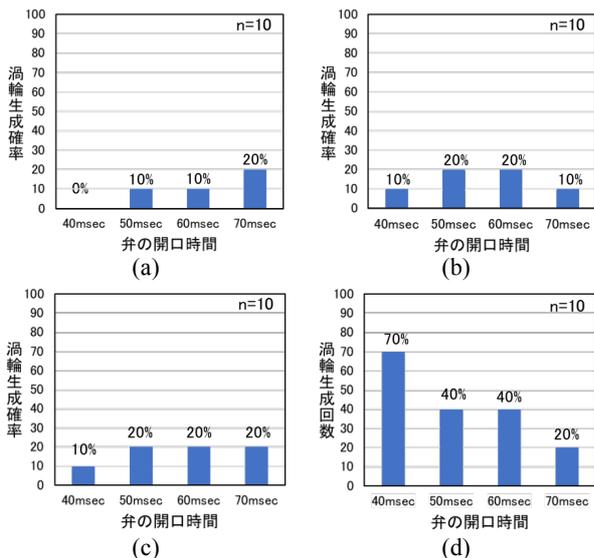


図 6: 射出孔の配置による渦輪の生成確率の結果

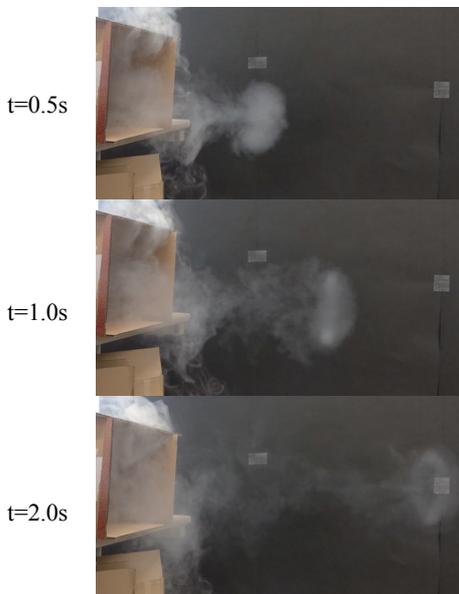


図 7: 渦輪を可視化した様子

間が 40msec の場合は 70%, 50, 60msec の場合は 40% の確率で渦輪を生成することができ、射出孔の配置(a), (b), (c) より高い確率で渦輪を生成することができた。

これらの射出孔の配置で渦輪を生成できなかった理由として、(a) (b) では中心部と外縁部の空気量が変わらず理想的な速度分布を形成できなかったため渦輪が生成できなかったと考えられる。また、(c), (d) では左右の面が左右対称ではないために射出する空気量に差が生じ、渦輪が生成できなかったと考えられる。

4. 上下左右対称配置による渦輪の生成確率の評価

4.1 内容

3章の実験結果より、射出孔の外縁部を疎にし、さらに上下左右対称に配置することで理想的な速度分布が形成できると考え、図 3 (a) のように配置し実験を行った。電磁弁の開口時間は 3章の実験と同様に設定し、それぞれの開口時間に対し 50 発の空気を射出して渦輪の生成確率を

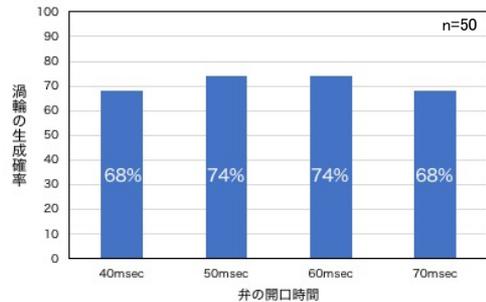


図 8: 渦輪の生成回数



図 9: 渦輪の到達回数と命中率の実験方法

測定した。また、可視化した渦輪をビデオカメラで録画し渦輪の生成回数を目視で測定した。

4.2 結果と考察

渦輪を可視化した様子（電磁弁の開口時間は 60msec、空気射出時を $t=0s$ とする）を図 7 に、渦輪の生成確率を図 8 に示す。電磁弁の開口時間が 40msec の場合は 34 回、50msec の場合は 37 回、60msec の場合は 37 回、70msec の場合は 34 回と渦輪の生成確率はそれぞれ 70% 前後となり、電磁弁の開口時間による渦輪生成確率の差は 6% であった。

渦輪の生成確率が 70% 前後になった理由として、外縁部の射出孔の配置が疎でありすぎたため、全体として形成した速度分布にムラが生じてしまったと考えられる。これは外縁部の射出孔の密度を上げつつ、射出孔毎に射出する空気のタイミングを制御方法と射出孔毎の圧力を制御する方法を併用することによって実現できると考える。

5. 渦輪の到達距離と命中率の評価

5.1 内容

4章で得た射出孔の配置条件で渦輪の到達距離と命中率を評価した。評価方法として、図 9 のように台に 20cm 間隔で紐を垂らし、人の顔を想定した直径 18cm の的を空気砲の中心と同じ高さになるように設置する。スモークマシンによって可視化された渦輪を 10 回ずつ生成し、渦輪が目標物のどの位置に当たるのかを測定することによって渦輪の到達回数と命中率を評価した。

5.2 結果と考察

渦輪の到達距離と命中率を図 10 に示す。この実験では渦輪の生成確率は評価せず、渦輪が生成できなかった場合でも到達回数と命中率を評価する。渦輪が的に当たった回

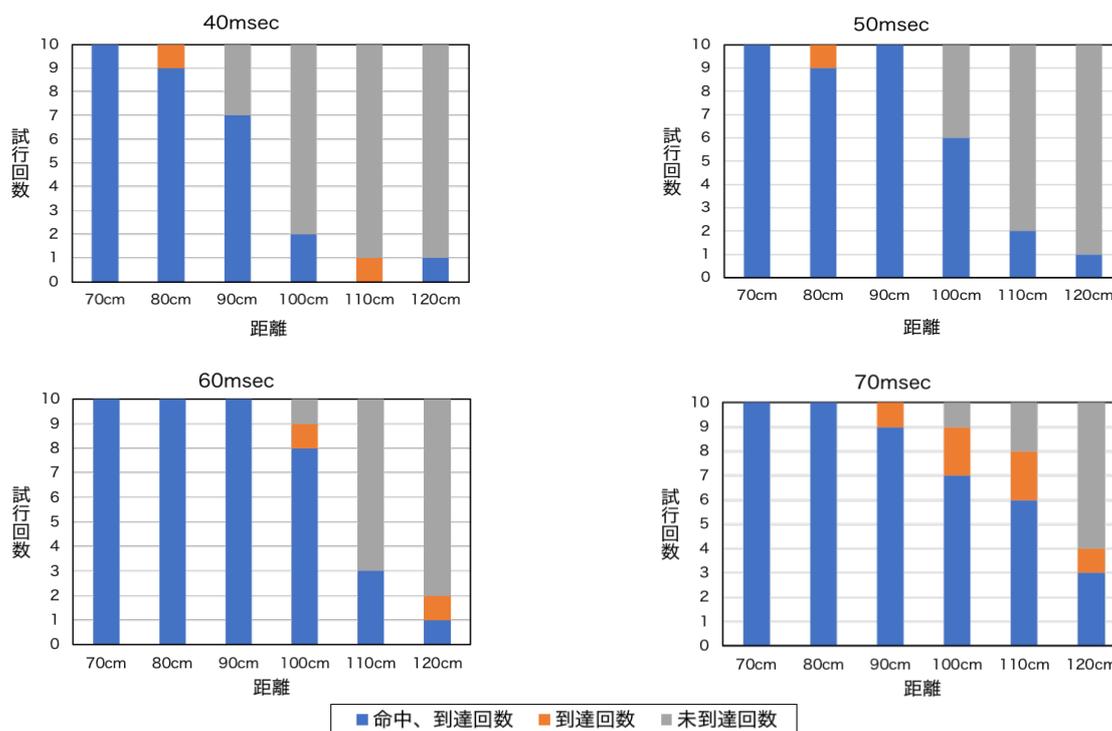


図 10: 渦輪の到達距離と命中率

数を「命中、到達回数」、紐のみに当たった回数を「到達回数」、当たらなかった回数を「未到達回数」として評価した。

図 10 の結果より電磁弁の開口時間を長くするほど渦輪の到達距離が長くなり、命中率が上昇することが分かった。しかし、電磁弁の開口時間が 70msec の時に評価位置までは到達するが的に当たらないといった結果が多く見られた。これは電磁弁の開口時間が長いことにより空気の噴出状態が続き、渦輪の生成を阻害しているためであると考えられる。

6. まとめ

本研究では香りの提示手法として、機械的な構造を変更することなく渦輪のパラメータを独立に制御できるクラスター方式空気砲を提案し、この空気砲によって生成される渦輪の安定性や到達距離、目標物に対しての命中率を評価した。この結果、電磁弁の開口時間を 40～70msec に設定、射出孔の外縁部を疎、上下左右対称に配置することで、渦輪の生成確率は 70%前後に向上し、電磁弁の開口時間を長くするほど渦輪の到達距離が伸びることが分かった。しかし、渦輪の生成確率が 70%前後ということもあり、空気射出時に渦輪を生成できず噴出状態となり空気が発散し、目標距離まで到達するが的に当たらない現象が見られた。

今後の課題としては、渦輪の生成確率を上昇させること、目標物に対して正確に渦輪を命中させるなどが含まれる。

そのため、今回実験で用いた射出孔の密度を制御する方法に加え、射出孔毎に射出する空気のタイミングを制御する方法や射出孔毎の圧力を制御する方法を用いることにより、渦輪の生成確率や命中率に与える影響を検証していく。また、渦輪に香りを含ませる方法の検討など香り提示システムとしての評価も行っていく。

参考文献

- [1] 大島千佳, 中山功一, 安藤広志: 画像の臨場感を高める香りに関する研究, 情報通信研究機構季報, Vol. 56, Nos. 1/2, pp. 137-145, 2010.
- [2] エンゲン T, 吉田正昭: 匂いの心理学, 西村書店.
- [3] 橋口哲志, 高森文子, 上岡玲子, 竹田仰: 風圧顔面触覚提示のための空気砲の設計と評価, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol. 14, No. 4, pp. 375-382, 2012.
- [4] Yasuyuki Yanagida, Shinjiro Kawato, Haruo Noma, Nobuyuki Tetsutani: "Projection-Based Olfactory Display with Nose Tracking.", IEEE VR 2004, pp. 43-50, 2004.
- [5] Fumitaka Nakaizumi, Yasuyuki Yanagida, Haruo Noma, Kenichi Hosaka: "SpotScents: A novel method of natural scent delivery using multiple scent projectors.", IEEE VR 2006, pp. 207-212, 2006.