

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年4月1日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22615032

研究課題名（和文） 空気砲に用いた触覚ディスプレイに関する研究

研究課題名（英文） Study of tactile display by vortex air cannon.

研究代表者

竹田 仰（TAKEDA TAKASHI）

九州大学・芸術工学研究院・教授

研究者番号：30155014

研究成果の概要（和文）：

近年、映画館やテーマパークでの VR シアターにおいて、映像や音響の効果に合わせて風や水滴などを提示して触覚情報を与える演出が多くなっている。例えば、乗り物に乗っているときには風を吹き付けたり、波しぶきに合わせて水滴を吹き付けたりする。このように VR シアターにおいて触覚における役割は欠かせないものなりつつあるがまだ普及には至っていない。なぜなら触覚ディスプレイは大掛かりな上に一つの装置で表現できる演出も限られている現状にある。そこで、本研究では風圧を制御し、顔面の任意の場所に空気をあてることで触覚を伝える風圧型顔面触覚ディスプレイの提案を行う。本研究では空気砲の原理に着目し、渦輪と呼ばれる空気の塊（渦輪）を適格な風圧で顔面にあてることで、空気を利用した自由な触覚表現が可能なシステムの実現を目的とする。

そこで、精密な実験を重ねて空気砲を設計し、コンピュータ制御が可能な風圧型顔面触覚ディスプレイを製作した。製作した風圧型顔面触覚ディスプレイで渦輪の特徴的な印象や演出の幅広さを評価し、印象指標を作成した。そして、移動式の大規模スクリーンと組み合わせて使用できるように小型化し、観客に平等な触覚刺激を与える制御システムを製作し、評価した。

研究成果の概要（英文）：

Novel tactile display using vortex air canon system for education or entertainment use called the air pressured facial tactile display is proposed in this paper.

3D image display systems are being used increasingly in schools and special exhibitions for a short term on a limited scale. Under the set up in such circumstances the content being used are limited to images and sounds which can be moved around easily. This study, therefore, focused on a method of using a vortex air cannon as the tactile display that is easy to set up. As the structure and control of a vortex air cannon is simple, it can be easily miniaturized.

This study also focused on the human face as the tactile display area. The human face has a tactile resolution equivalent to the hand. Thus, controlling the pressure of vortex air cannon allows a tactile display generating various impressions. Also, since the human face is always exposed, tactile display by a vortex air cannon can be projected directly onto the surface of the skin. When images are shown in theaters, everyone in the audience is facing the screen. And, a vortex air cannon, as proven in fragrance and fog display studies, has a higher performance in reachable distance and accuracy. If the direction of the vortex air cannon and the air pressure can be controlled, it is possible to display the same tactile stimulation onto their faces regardless of their location.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：時限

科研費の分科・細目：デザイン学

キーワード：空気砲、バーチャルリアリティ、触覚ディスプレイ

1. 研究開始当初の背景

筒の中の空気を急激に押し出して空気の渦輪が発射できる「空気砲」は古くから玩具として利用されてきた。装置が簡単に製作できることや煙を使うことで空気玉（以下、渦輪）が視覚化できるので、エンタテインメント用として現在でも根強い人気がある。これまでの研究成果として、うまく空気砲を製作すれば渦輪ができるが、条件が整わないと空気ジェットになる。この条件を渦輪に関する Kelvin 方程式から導くと、筒の中から押し出される空気の体積が筒の口径  $D$  から長さ  $L$  の空気柱として出されるとして、 $L/D \div 4$  で安定な渦輪ができるということを実験で確認している。このように空気砲を渦輪の理論から紐解いて、空気玉の生成から消滅までを把握した上で設計すると、空気玉を様々な速さや衝撃度、大きさで発射することが可能になる。我々の研究目的は、最新の渦輪の理論式から空気玉の性質を決める近似式を導き、それを実験で確認補正し、コンピュータ制御により様々な用途に応じた空気玉を生成できる空気砲を開発することにある。このような研究を考えるに至った背景には、我々は既に没入感に優れた移動可能な大型スクリーンを設計し活用している。このスクリーンにより、立体映像とサラウンドで、天体運行や地形生成などの理科教育への活用を推進しているが、見る人に向けて、コンピュータ制御された空気砲を場面に応じて観察者に適宜発射すると心理的な効果から、より一層臨場感が深まり教育効果も高まる可能性がある。

2. 研究の目的

VR シアターで使用する触覚ディスプレイは、正確に提示ができ設置が容易であり、幅広い演出ができる必要がある。本研究では空気砲と顔面触覚に着目した「風圧型顔面触覚ディスプレイ」を開発することで問題解決へ取り組むことにした。実験を重ねて精密に風圧型顔面触覚ディスプレイを設計することによって、正確でありかつ幅広い印象を提示

できるようにする。また、小型化設計し持ち運び可能にし、移動可能な VR シアターと組み合わせる。実際に VR シアターに応用することによって、風圧型顔面触覚ディスプレイでの演出の有用性を明らかにする。

3. 研究の方法

① 顔面の触覚と渦輪の性質の調査

顔面の触覚特性では顔面を 27 部位にわけ、2 点弁関を計測した。また、渦輪の性質を文献調査し、図 1 のように実際に顔面に当たったときの様子を観察することでどのような触覚表現が可能であるかを考察した。

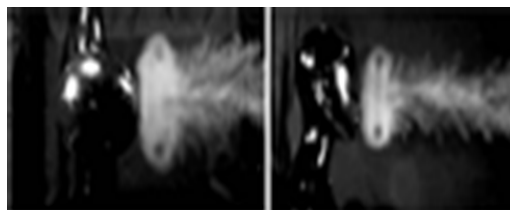


図 1 渦輪が顔面に当たる様子  
(ハイスピードカメラによって撮影)

② 実験用空気砲による基本設計と実用向け空気砲の製作

実験用ピストン式空気砲（図 2 左）を用いて渦輪の性質を明らかにする基礎実験を行った。基礎実験より、渦輪の理論を参考にした基本設計を行った。また、シアターで使用するために、制御性・安定性を向上させ、連射可能な実用向けバルブ式空気砲（図 2 右）を製作した。

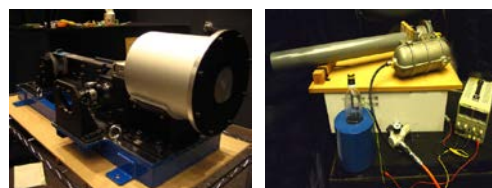


図 2 製作した空気砲  
(左：実験用ピストン空気砲、  
右：実用向けバルブ式空気砲)

### ③ 空気砲の印象評価

製作した実用向けバルブ式空気砲を用いて、顔面に当たったときの印象評価を行った。実験方法は、アトラクションで最も多く使用されている送風機やエアードスターガンと空気砲での触覚印象を比較し、空気砲での触覚表現の特性を明らかにした。

### ④ 空気砲による風圧型顔面触覚ディスプレイのVRシアターへ応用

空気砲を小型化し、16個の風圧型顔面触覚ディスプレイを製作した。16個をそれぞれのタイミングで発射できるように制御し、観客に同じ印象を与えるために距離による補正を行った。そして、実際に図3のようにVRシアターを組み合わせ、コンテンツを演出した効果を明らかにした。演出手法としては、印象評価を行った結果をもとに印象指標を作成し、演出したい印象を渦輪の速度で決定できるようにした。



図3 VRシアターへの応用

## 4. 研究成果

### ① 顔面の触覚と渦輪の性質の調査

- ・顔面は目より下が敏感であり、シアターで立体視用メガネをかけた場合でも触覚解像度の高い部位には影響しない。
- ・渦輪は幅広い演出ができる可能性がある
- ・渦輪が頬をそって耳の付近で崩壊することがわかり、「突き抜ける」ような感覚が得られる可能性がある。

### ② 実験用空気砲による基本設計と実用向け空気砲の製作

- ・渦輪の進行速度は風圧の大小に係わる。ピストン方式ではピストンの速度  $V$  に比例する。バルブ方式では、タンク圧に比例する。
- ・孔径  $D=70[\text{mm}]$  から渦輪を発射すると渦輪の大きさは顔の横幅と同じ  $150[\text{mm}]$  程度となった。また、一度成長した渦輪の大きさが変わらない。
- ・顔位置での命中度は、ピストン方式よりバルブ方式の方が良好で、 $L/D$  値  $\geq 4$  以上の広い範囲で安定している。

### ③ 空気砲の印象評価

- ・「激しい」－「優しい」などの衝撃度に関する項目は、他の装置よりも幅広く表現できる。
- ・「突き抜けるような」や「塊のような」といった、空気砲特有の印象を与えられる。
- ・空気砲は「広い」や「全体的な」といった印象の評価が低く、提示範囲が狭いことがわかった。
- ・空気砲でも「怖い」「緊迫した」「驚く」の印象が与えられるので、ホラーコンテンツなどにも使用できる。
- ・図4のように空気砲では、幅広い触覚印象表現が可能であることがわかる。

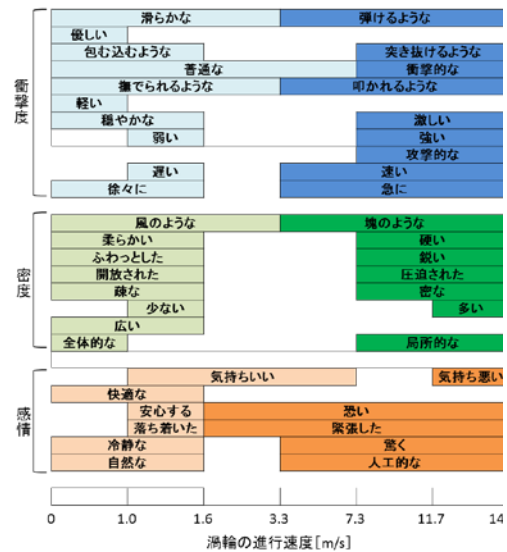


図4 空気砲の印象指標

### ④ 空気砲による風圧型顔面触覚ディスプレイのVRシアターへ応用

- ・空気砲の制御は、それぞれの発射のタイミングと風圧を制御できる。
- ・時間差補正を行い、どの場所に位置しても同じ風圧を提示できるようにした。
- ・印象評価の結果から風圧印象指標を作成し、演出を渦輪の速度より設定できる。
- ・図4右のホラーコンテンツの演出に用いた場合、臨場感向上の効果が得られた。
- ・図4左の「突き抜けるような」演出においても、臨場感向上の効果が得られた。

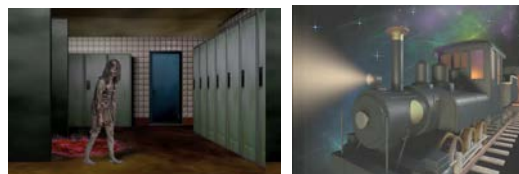


図4 コンテンツ応用  
(右図：ホラーコンテンツ、左図：突き抜ける演出ができるコンテンツ)

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

①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, 査読有, Vol.14, No.4, pp.73-80, 2012.

②橋口哲志, 高森文子, 上岡玲子, 竹田仰: 空気砲による風圧型顔面触覚ディスプレイの印象評価, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 査読有, Vol.14, No.4, pp.1-8, 2012.

③橋口哲志, 大森奈央, 山本修平, 上岡玲子, 竹田仰: 風圧型顔面触覚ディスプレイの VR シアターへの応用, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 査読有, Vol.17, No.4, pp.393-398, 2012.

[学会発表] (計 10 件)

### 【国際会議における発表】

①Nao Omori, Shuhei Yamamoto, Ryoko Ueoka, Takashi Takeda, Application to the 3D theater using a air pressured facial tactile display, 2012 ADADA & TADMD, 査読有, pp.118-121, 2012.

### 【国内学会における発表】

②小杉知己, 高森文子, 橋口哲志, 竹田仰: 触覚提示ディスプレイとしての空気砲の設計とその有用性についての考察, 日本バーチャルリアリティ学会第13回大会論文集, 査読無, 2A2-6, 2008.

③高森文子, 小杉知己, 橋口哲志, 竹田仰: エンタテイメント向け空気砲の研究, 第16回電子情報通信学会九州支部学生会, 査読無, 2008.

④高森文子, 橋口哲志, 竹田仰: 空気砲を用いた触覚ディスプレイの制御とその有用性に関する研究, 日本バーチャルリアリティ学会第14回大会論文集, 査読無, 2009.

⑤高森文子, 鶴山のぞみ, 竹田仰: 空気砲による渦輪が触覚の印象に与える影響について, HCG シンポジウム 2010, 査読無, 2010.

⑥高森文子, 鶴山のぞみ, 竹田仰: 空気砲を用いた触覚ディスプレイが頬に与える影響について, 日本バーチャルリアリティ学会

第15回大会論文集, 査読無, 3D3-3, 2010.

⑦鶴山のぞみ, 山本修平, 張帥, 竹田仰: 空気砲を用いた触覚ディスプレイの小型化と制御に関する研究, 日本バーチャルリアリティ学会第16回大会論文集, 査読無, 33E-5, 2011.

⑧橋口哲志, 張帥, 山本修平, 上岡玲子, 竹田仰: 空気砲を用いた触覚ディスプレイの印象評価, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, Vol.112, No.106, pp.97-102, 2012.

⑨張帥, 山本修平, 橋口哲志, 上岡玲子, 竹田仰: エンタテイメント用顔面風圧ディスプレイの活用について, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2012, 査読無, 2135S, 2012.

⑩山本修平, 張帥, 橋口哲志, 上岡玲子, 竹田仰: 風圧型顔面触覚ディスプレイシステムの制御と活用について, 日本バーチャルリアリティ学会第17回大会論文集, 査読無, 2012.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

竹田仰 (TAKEDA TAKASHI)

九州大学大学院・芸術工学研究院・教授

研究者番号: 30155014