

# 触覚表現のための空気振動を用いた生成方法の提案

國枝彩乃<sup>†1</sup> 串山久美子<sup>†1</sup>

**概要：**近年、バーチャルリアリティ技術の普及に伴って触覚呈示に関する研究がされるようになってきたが、触覚呈示を表現に応用した例は少ない。本論では、スピーカーから出力する波形によって作られた空気振動の触覚と、その応用例を模索し、スピーカーを用いた触覚アート表現の手がかりの一つとして提案する。

## Proposal of Generation Method Using Air Vibration for Tactile Expression

AYANO KUNIEDA<sup>†1</sup> KUMIKO KUSHIYAMA<sup>†1</sup>

**Abstract:** In recent years, a tactile sensation has been studied with growth in technology of a virtual reality. However, few reports about the application of expression using the tactile sensation. In this paper, we aim to research expressions of the tactile sensation of air vibration made from various speaker sounds. Our study shows one of clues of tactile art using a speaker.

### 1. はじめに

近年、バーチャルリアリティ技術の普及に伴って触覚呈示に関する研究がされるようになってきたが、触覚呈示を表現に応用した例は少ない。メディアアートの分野ではスピーカーの振動を利用した空気砲を応用した作品が制作されている。振動の仕方は、主に出力する波形の違いによって異なり、それによって様々な触感や音と組み合わせた表現を作ることが可能である。そこで、本論ではスピーカーから発生する、様々な波形によって作られた空気振動の触覚と、その応用例を模索し、スピーカーを用いた触覚アート表現の手がかりの一つとして提案する。

### 2. 関連研究・作品

低音の再生に特化したウーファースピーカーを利用した空気砲を使用した触覚システムの例として、Disney researchの「Aerial」[1]がある。5個のwhisper wooferを制御して空気の渦を効率よく出している。また、映像とリンクして物体があたかも肌の上に当たったかのように感じさせるため、空気が正確に肌に当たるようにノズル部分も制御している。

次に、スピーカーで生成した空気砲をプログラミング操作したアート作品として、Daniel Schulzeの「for those who see」[2]がある。スピーカーを取り付けた49個の箱の中に煙を充填させて、スピーカーの音を制御することで煙の輪を作り、これらを空中に飛ばすことで視覚的に音を捉える、

視覚と聴覚を重視したアート作品である。

また、他の空気砲を応用した例として、「Fortune Air：空気砲によるおみくじ占いシステムの提案」[3]がある。ユーザーの「占い」の結果に応じて、エアタンクと電磁弁を用いた空気砲が変化するというものである。

スピーカーを用いた空気砲は空気を効率的に出すことや、視覚的に見せる事に重点を置いており、波形の種類によってどのように空気振動の触覚が変化するかを示したものではない。スピーカーの空気砲を用いたアートやプロダクトが作られている昨今、スピーカーから生成した空気振動でどのような表現を作ることができるかを模索することは、新しい触覚表現の手がかりになるという点で価値があると考ええる。

### 3. プロトタイプの作成

スピーカーを用いた空気振動を表現するために、6つのスピーカーを用いた図1のようなインスタレーションを制作する。(図1参照) リレーによってスピーカーのオンオフを操作し、スピーカーごとに異なる空気振動や音を発生させることで、それぞれの触感を体験することができる図2のようなインスタレーションである。(図2参照)

<sup>†1</sup> 首都大学東京  
Tokyo Metropolitan University  
Daniel Schulze HP : <http://www.bitsbeauty.com/for-those-who-see/>  
Disney research HP : <http://disneyresearch.com>

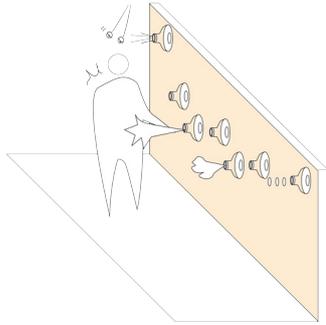


図 1 インスタレーションのイメージ  
Figure 1 : installation image

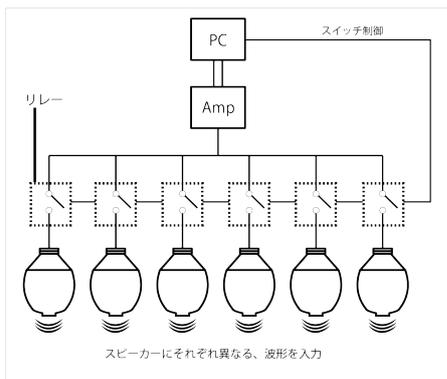


図 2 インスタレーションのシステム図  
Figure 2 : diagram of installation system

### 3.1 プロトタイプ作成

以上のシステムを制作するために、図3のような一つのスピーカーを使った簡易なシステムを制作した。パソコン上で基本波形とサンプル音を用意し、スピーカーから波形を出力した。(図3参照) またスピーカーには、空気を絞るためプラスチックの円形筒を取り付けた。今回は SONY の「MU-A151」のアンプと「F100A42-11 (白) Toptone スピーカー」(入力/最大入力: 30/90W) を使用した。波形の制作には、「Sound Forge」を用いた。

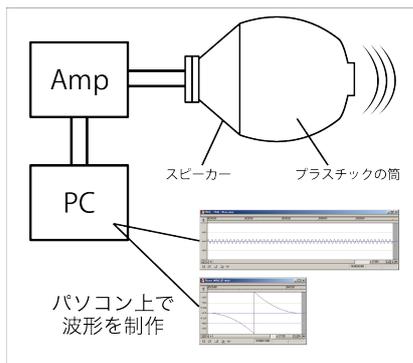


図 3 プロトタイプのシステム図。  
Figure 3 : diagram of prototype system

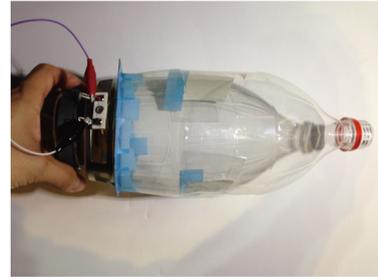


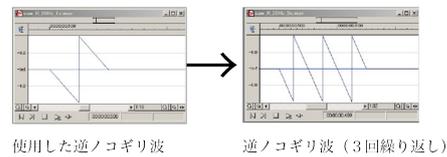
図 4 試作物  
Figure 4 : prototype of the installation

### 3.2 試作

スピーカーから振動を発生させるためには、コーン紙の動きを制御する必要があるため、動きが大きくなると予想できるサイン波・逆ノコギリ波・矩形波・三角波の4つの波形を制作、また音のサンプリングを用意し、触覚の制作を試みた。(1)(2)(3)出力した波形は20Hz、30Wで統一した。(4)のサンプル音の試作では、30W~50Wで出力した。また図4の試作物の共振周波数をファンクションジェネレーターで調べたところ、186Hz前後であったため、今回の入力範囲では共振による影響は見られなかった。

#### (1) 強い風の表現

図5のような20Hzの逆ノコギリ型波形を出力したところ、空気を強く押し出すことが観察できた。波形の立ち上がりの角度が垂直に近いほど、風を強く押し出せることが観察できた。また、一発のみより2発、3発と空気砲の発射を連続で行うことで空気砲の威力が増した。(図5参照) 同様に、矩形波の出力も試したが、空気砲としての威力はあるものの空気の押出に不要な要素も多く、スピーカーとアンプへの負担が大きいため、今回のインスタレーションには使用できないと判断した。



逆ノコギリ波空気砲(3回繰り返し)を発射した様子

図 5 逆ノコギリ波で生成した空気砲  
Figure 5 : air canon made from the reverse sawtooth wave

#### (2) 柔らかな風の表現

柔らかな風を発生させるためには、逆ノコギリ波より立ち上がりがゆるやかな波形である、サイン波が適していることが観察できた。(図6参照)同様に、三角波も似たような効果が得られるが、サイン波より波形のピーク部分が鋭いため、音が強く聞こえる印象があった。

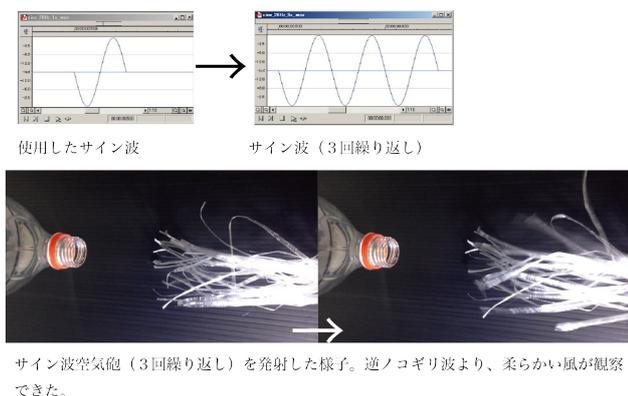


図 6 サイン波で生成した空気砲  
Figure 6: air canon made from the sine wave

### (3) 継続した風の表現

風を継続して出力するために、図7のようなサイン波の連続した波形を制作した。出力時、(2)で制作した要素を持つ柔らかな風を観察することができた。一方で、連続した逆ノコギリ波でも同様の条件で出力したが、音が強く聞こえ、触覚よりも聴覚の印象が強かった。

サイン波の波形に図7のような強弱をつけることで、風の強弱を表現することができた。この風の強弱は、場の臨場感を作る時などに利用できると考える。

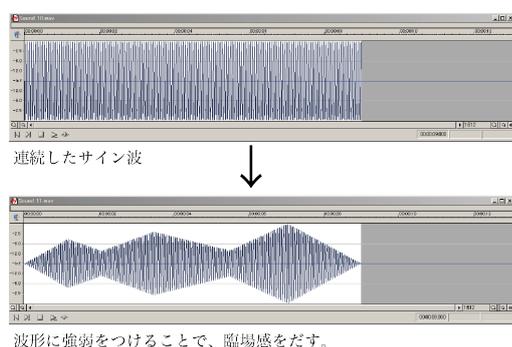


図 7 出力した波形  
Figure 7: sine wave for making wind

### (4) サンプル音を用いた表現

サンプル音として、太鼓、ベース、電子音、体から発生する音(おならやげっぷ)を出力したところ、バスドラムのような低い周波数の音が、空気砲に適していることが観察できた。また空気砲として機能しなかった音も、図8のように基本波形(逆ノコギリ波もしくはサイン波)とサンプル音(空気砲に適していない音)を合成することで、音に

触覚を加えることができた。基本波形は 20Hz と低く、音として認識しにくいいため、聞こえる音への影響は少ない。

(図8参照)この方法を利用することで、聴覚と触覚を組み合わせた臨場感のある触覚を表現できる可能性がある。

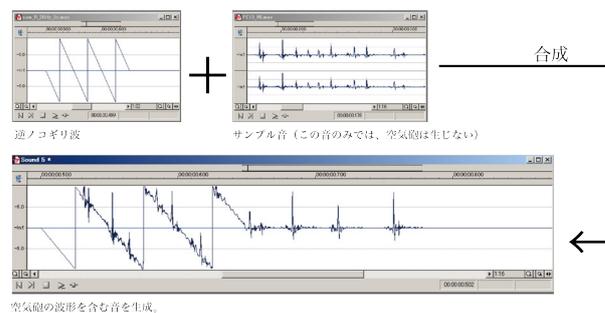


図 8 合成した波形

Figure 8: waveform made from a reverse sawtooth wave and a sample sound

## 4. 考察

空気砲だけではなく、音と空気砲を一緒に出すことができる点で、音と触覚をより密接に感じることができると考える。このインスタレーションは、触覚や聴覚に関係することから、暗い場所で行われるエンターテイメントや、視覚障害者のためのサイン、「Dialog in the dark」などのワークショップ、触覚デザインに応用できると考える。また、基本波形と音を合成することで、空気砲を出力するタイミングを操作できるため、新しい音楽の制作にも役立つ可能性がある。

## 5. おわりに

本実験は、スピーカーやアンプの性能により表現の質や幅が変わってくるものの、波形の違いによってどのような振動の違いが見られるのか、おおまかな検討をつける素材になるだろう。今回は主観的な観察しか行えなかったため、今後は展示などを通してデータを収集したい。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、多大な助言をして頂いた國枝学氏に感謝致します。

## 参考文献

- [1] “AIREAL: Interactive Tactile Experiences in Free Air”  
[https://s3-us-west-1.amazonaws.com/disneyresearch/wp-content/uploads/20140805133604/Aireal\\_FNL1.pdf](https://s3-us-west-1.amazonaws.com/disneyresearch/wp-content/uploads/20140805133604/Aireal_FNL1.pdf) (参照 2016-12-14).
- [2] “Daniel Schulze - For Those Who See (2010)”  
<http://www.bitsbeauty.com/for-those-who-see/> (参照 2016-12-14)
- [3] 早川智彦, 松井茂, 渡邊淳司. オノマトペを利用した触り心地の分類方法.
- [4] 神山直都, 上岡 玲子. Fortune Air: 空気砲によるおみくじ占いシステムの提案.
- [5] Toptone 東京コーン紙製作所  
<http://www.toptone.co.jp/products/full/F100A42-11.html> (参照 2016-12-24).