

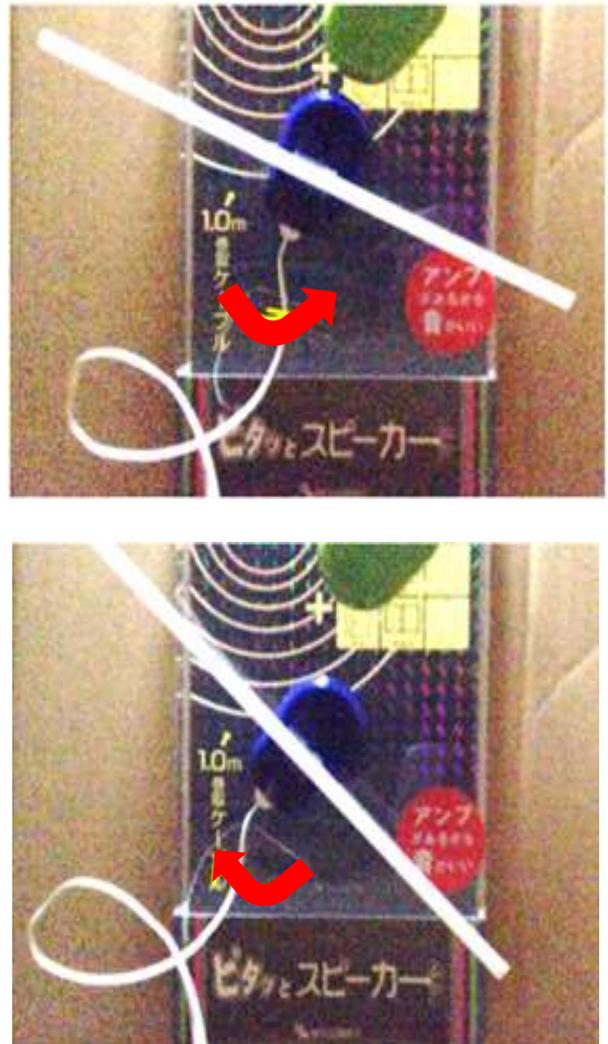
## 振動スピーカーを用いたうなりの研究 Research of Beats by Using the Vibration Speaker

和田純佳 梅川なるみ 小佐井彩花 成松紀佳 森田成美  
Wada Sumika Umekawa Narumi Kosai Ayaka Narimatsu Norika Morita Narumi

According to previous research, two speakers, different frequencies attached to the same board, vibrate in synchronous with the frequency of beats. The mechanism of how they vibrate was studied. Frequency of beats can be confirmed PP sheets, adjusted to different lengths and sandwiched between them. Plus, it was implied that resonance phenomenon is caused by the frequency of beats.

### 1. はじめに

通常のスピーカーは音を出す振動子と音を大きくするためのコーン紙からなっているが、振動子のみからできているスピーカーがある。これは「振動スピーカー」と呼ばれ、振動子を直接、ティッシュ箱や窓など様々な物に貼り付けると、貼り付けた面が振動し、スピーカーにできる。先輩らの先行研究により、周波数の異なる2つの振動スピーカーを同一の板面に載せると、うなりの回数に同期して振動子自体が振動し、ケーブルが左右に振れることが確認された。この現象は「しっぽ振り現象」(図1)と名付けられたが、振動(振幅)が微弱なため、うなりと同期するしくみの解明までには至っていない(2017年3月)。うなりとは、周波数がわずかに異なる2つの波が重ね合わさると、その周波数の差に等しい音の強弱が生じる現象として知られているが、オシロスコープなどの解析装置や解析ソフトがなければうなりを目でみることはできない。加えて、オシロスコープは高価で重いため、学校での実験には不向きである。そこで我々は、先輩らの研究を引き継ぎ、振動スピーカーがうなりの回数にあわせて振動するしくみを解明し、新たにうなりを可視化させる方法を考案させることを目指した。ここでは、独自に考案した“A 粉末法”，“B 地震計法”，“C シート片法”の3つの方法で可視化に挑戦したのでその詳細を説明する。音源は、周波数の異なる2つのデジタル音を生成できるトーンジェネレーター(アプリケーション)を使用した。



(図1) ケース上の振動子につながるケーブルの「しっぽ振り現象」。振る角度がわかるように振動子の上にストローが貼り付けてある。

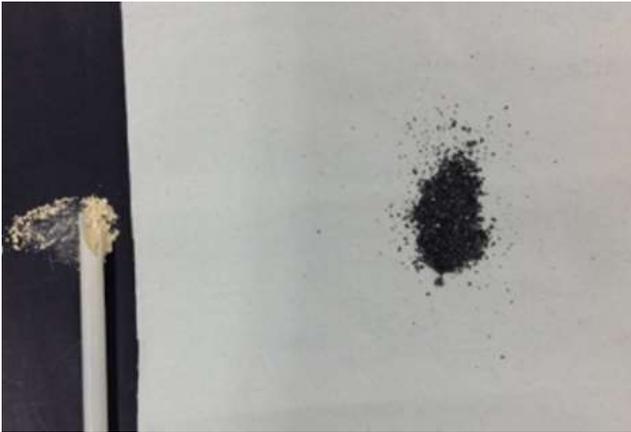
## 2. 実験

まずうなりを可視化するために、独自に考案した3つの方法を下で紹介する。

### <予備実験>

#### A 粉末法

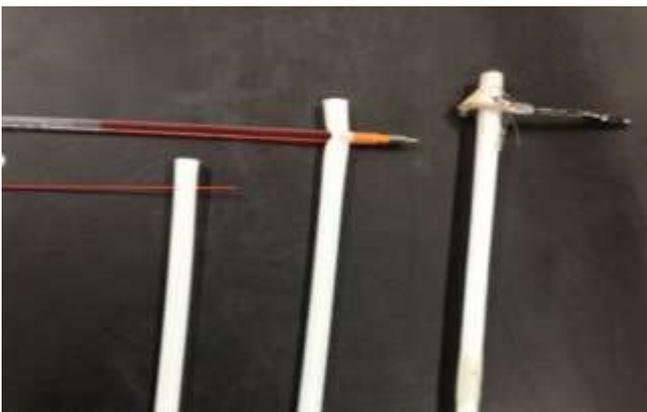
周波数の異なる2つの振動スピーカーを載せる同一板面に粉末(チョークの粉や黒鉛)をまき、粉末の様子を観察した。粉末が同心円状に広がったり規則的な模様を出したりすると予想したが、規則性は何も見いだせず、うなりの可視化は失敗した。(図2)



(図2)予備実験 A 粉末法  
規則的な模様は描けず失敗

#### B 地震計法

うなりの回数に同期して振動する振動スピーカーにストローをとり付け、ストローの先端にシャープペンシルの芯やボールペンの先を取りつけて、様子を観察した。ペン先が地震計のように振動の振幅を記録すると予想したが、筆圧が弱く十分に記録できず、うなりの可視化は失敗した。(図3)



(図3)予備実験 B 地震計法  
筆圧が足らず失敗

#### C シート片法

周波数の異なる2つの振動スピーカーで、ポリプロピレン(PP)シート片を直接挟み込み、シートの先端の動きを観察した。先端の様子をスローモーションカメラで撮影したところ、うなり音と同期してシート片の先端が振動していることが確認できた。つまり、可視化にも成功した。(図4)これ以降の実験は「シート片」を用いて実験を行うことにした。



(図4)予備実験 C シート片法  
うなりにあわせてシート片が振動

### <本実験>

実験1; うなりの回数: 20Hz(固定),  $f_A$ を変化

#### 《条件設定》

- ①シート片の媒質: ポリプロピレン
- ②シート片の幅: 0.75 cm, シートの長さ: 10 cm
- ③振動スピーカーAの振動数:  $f_1=450 < f_1 < 1150$
- ④うなりの回数: 20Hz (振動スピーカーBの振動数 $f_2$ は、うなりの回数が20Hzになるように設定)

$f_1$ を450Hzから1150Hzまで100Hzごとに増やしていき、それぞれの場合でうなりの回数と振動が同期するかを観察する。(図5)

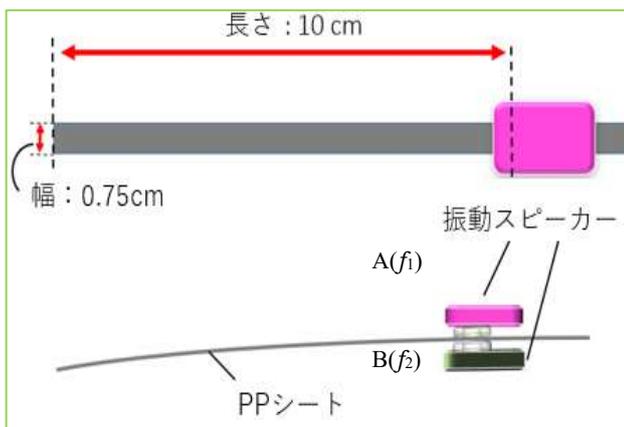
うなりの回数の設定については、先輩の先行研究により、うなりの回数が20Hz以下でしぼり現象が確認できていたこと、また、我々がスローモーションで確認した際、10Hz程度より20Hzの方がうなり音とシート片との同期が見やすかったことから、ここではうなりの回数を20Hzとした。

実験 2 ; うなりの回数 : 20Hz(固定),  $f_A$  を変化

《条件設定》

- ①シート片の媒質 : ポリプロピレン
- ②シート片の幅 : 0.75 cm, シートの長さ : 10 cm
- ③振動スピーカーA の振動数 :  $f_1=650\text{Hz}$
- ④うなりの回数 :  $5 < |f_1 - f_2| < 40\text{Hz}$   
(振動スピーカーB :  $655\text{Hz} < f_2 < 690\text{Hz}$ )

実験 2 では, うなりの回数を 5Hz から 40Hz まで 5Hz ごとに増やしていき, それぞれの場合でうなりに振動が同期するかを観察する.



(図 5)シート片を振動数の異なる振動スピーカーで挟んで実験

### 3. 結果

- 1) 振動スピーカーの振動数 A が  $650\text{Hz} < f_1 < 950\text{Hz}$  の場合において, うなりの回数とシートの先の振動が同期したことが確認できた(表 1). よって, 実験 2 では振動スピーカーA の振動数を  $f_1=650\text{Hz}$  に固定して実験を行った.
- 2) うなりの回数が 5, 15, 25, 35Hz の場合はうなりの回数とシートの先の振動が同期しなかったが, うなりの回数が 10, 20, 30, 40Hz の場合はうなりの回数とシートの先の振動が同期したことが確認でき規則的な結果が得られた.(表 2)

(表 1) 実験 1 の結果

	$f_1$	$f_2$	$ f_1 - f_2 $	振動の様子
うなりの回数 (Hz)	650	655	5	×
		660	10	○
		665	15	×
		670	20	○
		675	25	×
		680	30	○
		685	35	×
		690	40	○

(表 2) 実験 2 の結果

	$f_1$	$f_2$	振動の様子
振動数 (Hz)	450	470	×
	550	570	×
	650	670	○
	750	770	○
	850	870	○
	950	970	○
	1050	1070	×
	1150	1170	×

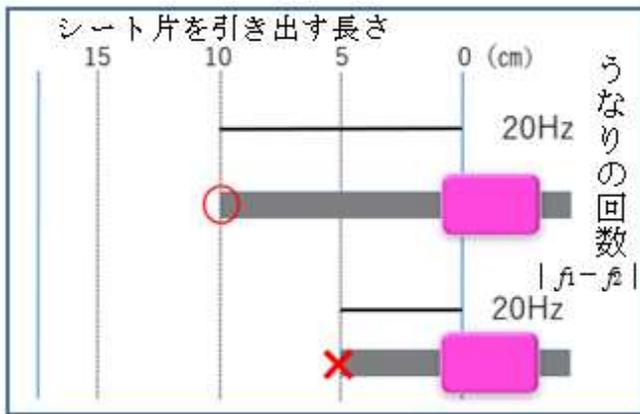
### 4. 考察

表 1 で示したように, 振動の様子に規則性が見られたため, 振動の様子が比較的是っきりと表れた  $f_1=650\text{Hz} \cdot f_2=670\text{Hz} \cdot |f_1 - f_2|=20\text{Hz}$  の場合を例に考察を行った.

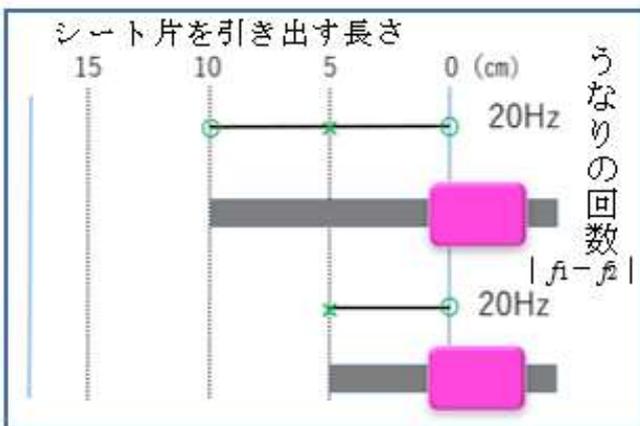
実験 ; うなりの回数 : 20Hz(固定),  $f_1=650\text{Hz}$  (固定)  $\cdot f_2=670\text{Hz}$  (固定), シートの長さを変化

《条件設定》

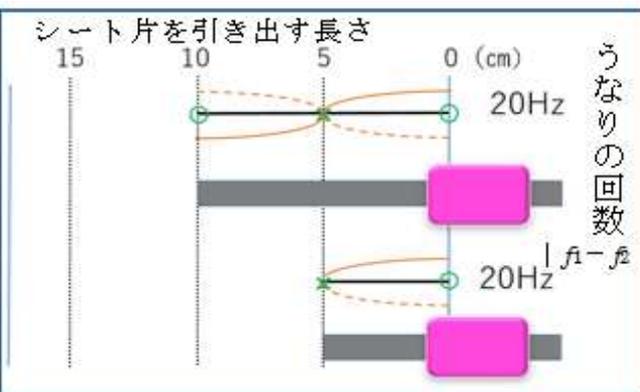
- ①シート片の媒質 : ポリプロピレン
- ②シート片の幅 : 0.75cm,
- ③振動スピーカーA の振動数 :  $f_1=650\text{Hz}$
- ④振動スピーカーB の振動数 :  $f_2=670\text{Hz}$
- ⑤うなりの回数 : 20Hz



(図6) 10cm の場合は振動し、  
5cm の場合は振動しない

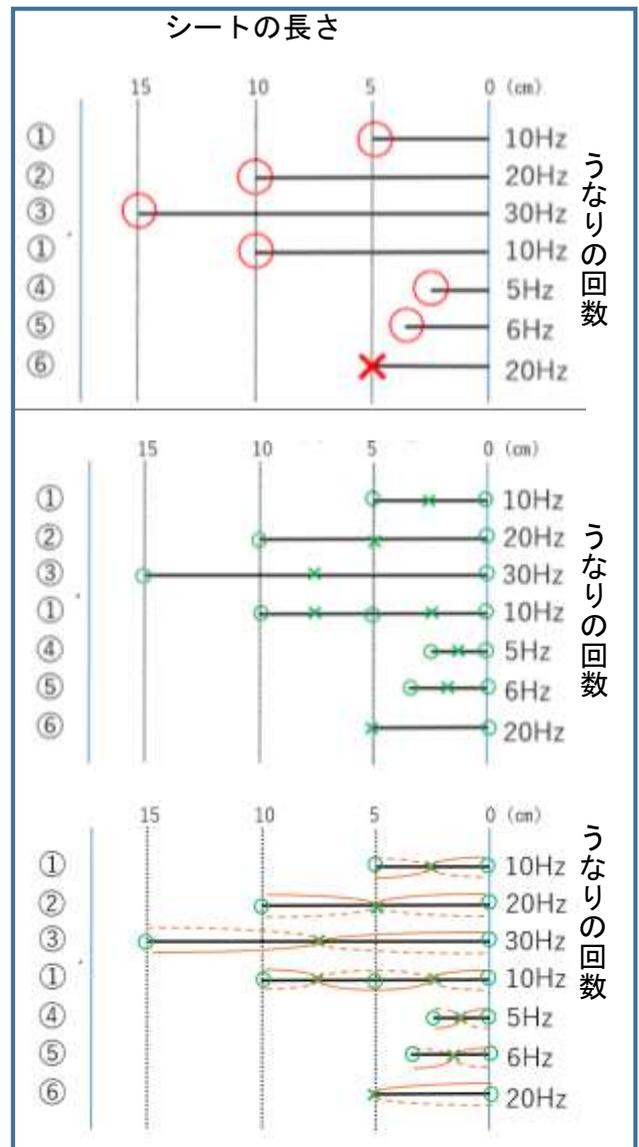


(図7) シート片に腹と節がある



(図8) うなりに同期した定常波

○は、シート片の先端が、うなりの振動数と同期して上下に振動したことを示している。×は、シート片の先端が、うなりの振動数と同期して上下に振動しなかったことを示している。○は、定常波の腹にあたる部分を示している。×は、定常波の節にあたる部分を示している。



(図9) 両端を振動スピーカーで振動させたときのうなりに同期した定常波

上記の条件で、2つの振動スピーカーでシート片を挟み込み、シート片に振動を与える部分から先端までの長さを変えた。長さを 10cm にしたところ、シート片の先端は振動したが、5cm では先端は振動しなかった(図6)。このことから、振動しなかった位置は節 (×)、シート片の先端及び振動スピーカーの位置は腹(○)ができると考えられる(図7)。これを整理すると、うなりに同期した両端が自由端の定常波を形成していると考えられることができる(図8)。また、うなりの回数を変えた場合の 6 パターンを調べてみても、同様の規則性を示すことが確認できた(図9)。

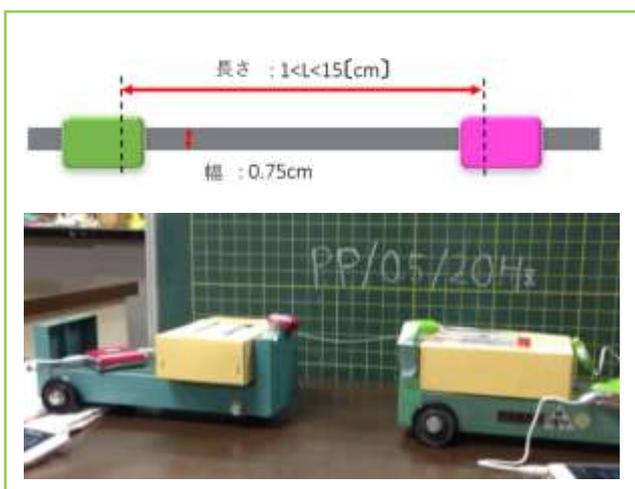
## <追実験>

シート片が長くなると、自重により振動が確認しにくくなるため、シート片上にできる定常波を肉眼でより見やすくする方法を探した。また、実験1, 2では、シート片の1カ所を波源としたが、波源を2カ所にした場合でも同様の規則性が見られるかも確認する必要もある。これらの問題点を解決するため、振動スピーカーを台車に固定し、シート片の長さを自由に調整する方法を考案した(図10)。

### 実験3；うなりの回数：20Hz（固定），シート片の長さを変化

#### 《条件設定》

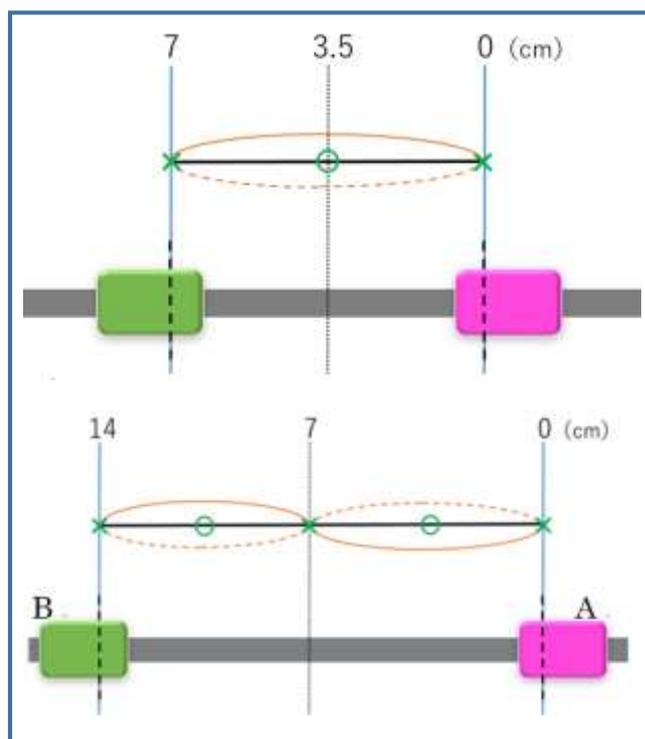
- ①シート片の媒質：ポリプロピレン
- ②シート片の長さ： $1\text{cm} < L < 15\text{cm}$
- ③振動スピーカー： $f_1=550\text{Hz}$ ， $f_2=570\text{Hz}$
- ④うなりの回数：20Hz



(図10) 実験3 両端を振動スピーカーで振動させ、定常波の出現の有無を調べる。

## <追実験の結果>

肉眼でもうなりとシート片が同期していることが確認しやすくなった。シート片の長さが7cmの場合、シート片の中央が最も振動したため、3.5cmの所に腹があると推測できる。さらに長くしていくと、シート片の長さが2倍の14cmのとき、シート片の中央は振動せず、3.5cmと10.5cmの所で最も振幅が大きく振動した。そのため、節と腹が等間隔に並び、波源が2カ所でもうなりとシート片の同期が確認できたことがわかる(図11)。この実験の場合は、振動スピーカーで押さえている部分が節の位置、つまり、固定端にあたるため、弦の定常波のような振動現象が生じていると考えることができる。



(図11) 両端を振動スピーカーで振動させたときのうなりに同期した定常波

ポリプロピレン/幅0.5		長さ (cm)															うなりの回数 (Hz)	
		1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10	11	12	13	14	15		
振動数 (Hz)	550	×	×	×	×	×	×	△	△	△	△	○	△	×	×	×	10	
		×	×	×	×	×	△	△	△	△	△	○	△	△	△	△	70	
	650	×	×	×	×	×	△	△	△	△	△	○	×	×	×	×	10	
		×	×	×	×	×	×	×	×	△	○	△	×	×	×	×	20	
	750	×	×	×	×	×	×	×	×	△	○	△	△	△	△	△	10	
		×	×	×	×	×	×	×	×	△	△	△	○	△	×	×	20	
	850	×	×	×	×	×	×	×	×	△	△	○	△	△	△	×	10	
		×	×	×	×	×	△	△	△	○	△	△	△	△	×	×	20	
	950	×	×	×	×	×	×	×	△	○	△	△	△	△	×	×	10	
		×	×	×	×	×	×	×	△	△	○	△	×	×	×	×	70	

(表3) 追実験の結果 (○：もっとも振動した点, △：少し振動した点, ×：振動しなかった点)

## 6. 結論

異なる2つの振動数を持つ振動スピーカーをシート片に当てると、シート片がうなりの回数と同期して振動していることが確認できた。スローモーションカメラでも確認できたため、うなりの可視化に成功したと言える。我々が考案した「シート片うなり観察装置」は、オシロスコープに代わって、直感的でわかりやすく、安価で簡単にうなりを可視化させる装置になると考えている。また、一般的に、うなりと共振とは直接関係はないとされているが、シート片上うなりに同期した定常波が形成されていることが新たに分かり、うなりによって共振現象が起こることを初めて捉えることができた。

今後の課題としては、うなりのどの回数にも瞬時に対応できる装置を目指したい。今、工業の世界に不思議音というものがある。発生原因として、人為的なもの、設備系のもの、気温変化や風などの自然現象に起因するものなどがあり、音の発生時刻、発生間隔、大きさ、音質などは様々である。このような不思議音は、条件が満たされなければ発生せず、しかも、その条件が不明であることが多い。したがって、調査を行うにしても、測定器をセットして、音の発生を辛抱強く待つなど、多くの時間が必要である。また、居住者が実際に生活している状態での対応となるため、調査を行うこと自体も居住者にストレスを与えることから、できるかぎり短時間で原因を特定、あるいは推定し、早急に対策を施すことが必要となる。人間にはただのノイズとして聞こえる。その不思議音が低周期の音であるならば、応用例としては、この発見がその不思議音の解明につながると考えている。

また、人間の可聴域未満の音の可視化を、現在既にある聴覚に障害を持つ人のための装置である骨電動を利用した装置を応用して耳が聴こえない人だけでなく、健常者の人でも可聴域以外の音を振動として楽しめる装置の開発が期待できる。

さらに、これまで集計してきたデータをもとにして、うなりの回数や振動スピーカーの振動数、シートの長さを求める公式も作ることが出来るだろう。

## 7. 参考文献

- [1]「うなりの可視化と振動の記録 ～振動スピーカーによるしぼ振り現象～」(2016.4月-2017.3月)宇土高等学校 SSH 成果研究発表会 SS コース前田ら他4名
- [2]「不思議音の発生原因と対策事例」日本建築学会大会 学術講演 山内ら  
<http://www.cbl.or.jp/tbtl/memoir/2005/40052.pdf>
- [3]「不思議音の測定方法について」日本音響エンジニアリング株式会社 (技術ニュース第18号 2002年6月発行) <https://www.noe.co.jp/technology/18/18inv2.html>
- [4]「集合住宅における不思議音の発生と対策」  
<https://www.ad-hzm.co.jp/trr/ando/rd/report/2008/03.pdf>

## 8. 謝辞

本研究を行うにあたり、宇土高校教諭の梶尾滝宏先生からご指導をいただきました。感謝申し上げます。