

# 視覚障害者のための風音除去の方法の検討

土 佐 龍 司・茂 木 良 平

## A Study for Suppression of Wind Sound for Visual Impairments

Ryuji TOSA and Ryohei MOTEGI

(平成22年11月26日受理)

We have studied the device to eliminate wind noise for visual impairments. We have examined the sponge rubber which is used as a wind screen. We have investigated whether the sponge rubber block out current of air and how the density of sponge rubber influences the sound characteristic. As a result, it has been found that low density sponge rubber is suitable for the wind sound removal because it intercepts wind but doesn't quite decrease normal sound.

### 1. 緒言

#### 1.1 背景と目的

視覚障害者は、日常生活の上で視覚以外から多くの情報を集めなければならない。白杖などでは、自分の近くの情報しか知ることができず、遠くの情報はほとんどの場合、音によって知ることになる。外出時に風が強く吹いている場合、風音が大きくなり、周囲の状況が把握しづらく危険である。特に台風の際に、視覚障害者を避難させるのはお互いの連絡が取りづらく困難であり、健常者が誘導して避難させている<sup>1)</sup>。そのような中で、私達の研究に協力してくれている盲学校の教員（視覚障害者）から、風の音を消すことができる装置に対する研究の要請があった。このような装置が完成すれば、それは視覚障害者のみならず、風の強い場所で作業をする人などにとっても非常に有用なものになると思われる。そこで、風音を消すための装置の実現方法を研究する。

風音には、高周波音と低周波音の2種類が存在する<sup>2)</sup>。高周波音の風音は、強風の日に聞くことができ、「ヒューヒュー」と聞こえる音である。「風切り音」と呼ばれているものは、高周波音の風音に該当し、建物の壁や窓の隙間で生じることが多い。また、木立や高層建築の近くでは明確な境界がなくても空中からこのような音が聞こえることがある。低周波音の風音は、風があるところであれば簡単に聞くことができ、「ゴーゴー」や「ゴソゴソ」と聞こえる音である。この2つの風音の中で、特に風が耳に当

ることによって起こる「ゴソゴソ」という低周波音が周囲の環境音を聞こえなくしている。また、これは風の流れが耳道に進入することによって生じるとも考えられている<sup>3)</sup>。本研究で主として対象とするのは、この「ゴソゴソ」という低周波音である。

#### 1.2 これまでの研究結果

まず、扇風機を用いて風音に含まれる周波数が調査され、200Hz以下の低周波領域に集中していることが分かった。そして、風音の除去方法として音響マイクで用いられているウインドスクリーンの音響特性が調べられ、風音は低減しながら通常音はほとんど低減されないことが分かった。そこで、ウインドスクリーンとほぼ同等の材料（スポンジゴム）で耳カバーが作製され、この耳カバーによる風音の低減の効果は確認された。しかし、台風時のような強風に対して耳カバーは十分な効果を得られなかった<sup>4)</sup>。その原因は、風がウインドスクリーンに用いられていた素材を突き抜けて耳道へと侵入したことで、ウインドスクリーンを装着したときにそれ自体の構造上の問題で隙間ができてしまいそこから風が侵入したことによるものであると推察された。そこでウインドスクリーンに用いられていたスポンジが連続気泡であったことから、連続気泡のスポンジと独立気泡のスポンジを用意し、気流の通過性を調べると独立気泡のスポンジであれば風の進入を防ぐことが分かった。しかし、風の進入を防ぐことができる代わりに音響に影響を与え、スポンジを通過する音を低減させてしまうことも分かった<sup>5)</sup>。

### 1.2.1 風音の周波数分布

家庭用の扇風機を利用し、マイクによって風音を録音した。風音の測定は風量（「微」[3m/s], 「弱」[4m/s], 「強」[5m/s]）、距離300 [mm]で行った。風音は主に200 [Hz]以下の低い周波数領域に存在し、20~100 [Hz]で最大となりそれ以降では周波数が高くなるにつれて振幅が減少している。20 [kHz]まで振幅を調べたが、1 [kHz]以上でも振幅は減少し続けていた。また、風速が高いほど風音は大きかった。

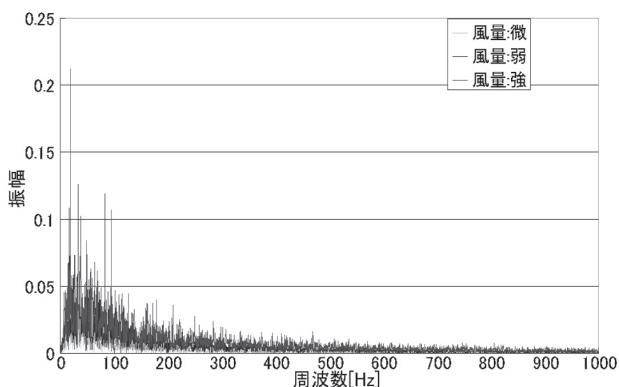


図1 風量とスペクトラムの差異

### 1.2.2 ウィンドスクリーンの特性

マイクにウィンドスクリーンを装着し、風音の録音を行った。ウィンドスクリーンを装着することで全ての周波数範囲で振幅が小さくなり、新しい音も発生しなかった。ウィンドスクリーンを装着した場合と装着していない場合で通常の音波に影響がないか調べる実験を行った。ウィンドスクリーンを装着することによる振幅の変化は、ほとんど生じなかった。

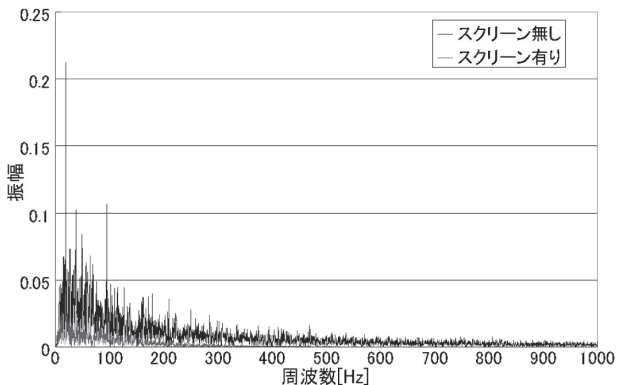


図2 ウィンドスクリーンによる風音の低減

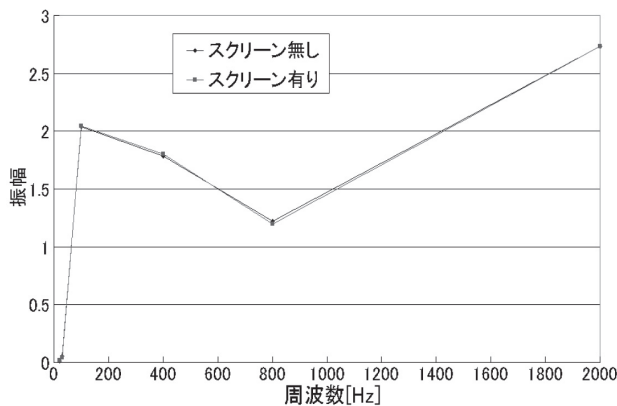


図3 通常の音波での振幅の差異

### 1.2.3 製作した耳カバーの特性

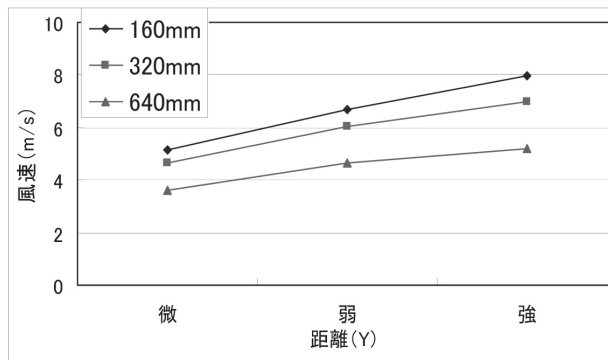
作製した耳カバーは風速 8m/s程度では、風音を低減し周囲の音を聞きやすくなった。しかし風速 19m/s程度の風に対しては、周囲の音を聞き取れる程には風音を低減することはできなかった。また、円筒部に風が当たることで「サー」という音が聞こえることがあった。



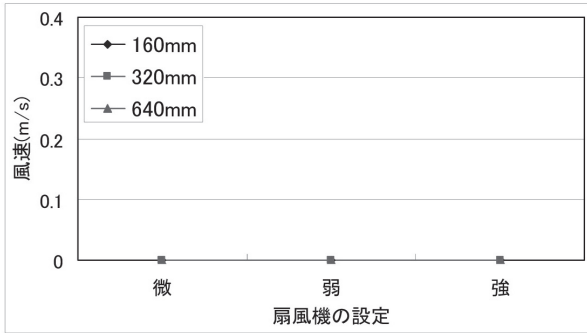
図4 作製した耳カバー

### 1.2.4 気流の通過性の検証

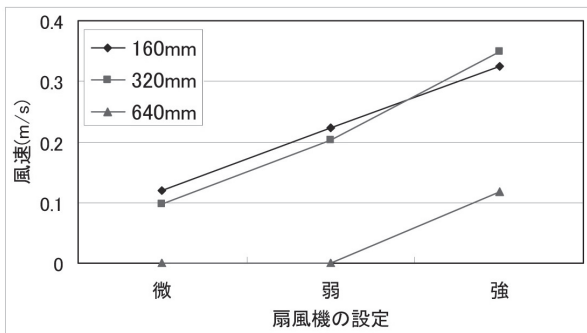
耳カバーにしたウィンドスクリーンは、連続気泡のスポンジであったことから風の一部を通過させていた可能性があった。そこで連続気泡・独立気泡のスポンジに対して気流の通過性を検証した。実験は、



(a) スポンジ無し



(b) 独立気泡のスポンジ



(c) 連続気泡のスポンジ

図 5 気流の通過性実験

塩ビパイプの内部に風速計を固定し、塩ビパイプの両端面にスポンジを貼り付けることで、扇風機を風源とした風がスポンジを通過するかを調べた。

連続気泡のスポンジは、風速を20分の1程度にまで低減したが完全に風を止めることはできなかった。独立気泡のスポンジでは、今回実験した風速であれば完全に風を止めることができた。

### 1.3 本研究の内容

#### 1.3.1 音響特性実験方法の改善

昨年度までの研究では、ウインドスクリーンやスポンジゴムの効果を調査する音響性能実験データにノイズが多く、また音波の干渉も見られ、正確なデータが得られているとは言い難かった。そこで実験機材や測定方法を改善した。

##### 1.3.1.1 測定環境及び装置の改善

狭い実験室内で測定していたので直接受信波と周囲からの反射による音波との干渉の影響が考えられた。そこで、十分に広い場所（廊下や大型教室）へと測定場所を変更した。連続波では、壁面からの反射波等と干渉がおきやすいので3サイクルの正弦パルス波を信号波として、繰返し周期100 [ms] で用いることにした。スピーカーとマイクは床面に近く

(床上12cm) 置かれており、床面からの反射波が干渉しやすくなっていたので、マイクの位置が床より高い位置に固定されるようにマイク台を作製した。前任者の実験では、スピーカーやマイクは小型の簡易的なものだったので音響測定器材を一通り準備した。

##### 1.3.1.2 データ解析方法の改善

デジタルオシロスコープで記録したデータは、高周波のノイズが多かった。そこで記録したデータに対し移動平均法を用いることで高周波のノイズ対策とした。また、FFTをかけた値に  $\frac{\text{全データ長}}{\text{値を持つデータ長}}$  を乗じることで測定時の振幅とほぼ等しくなるようにし、実験値同士の比較を行えるようにした。

#### 1.3.2 スポンジゴムの密度による比較

これまでの実験では、正確さは不十分であったが、次のことが示唆されていた<sup>4)</sup>。すなわち、独立気泡のスポンジを用いることで風の進入を止めることができるが、代わりに通常の音を低減してしまうことがある。これは、実験に使用した独立気泡のスポンジの密度が連続気泡のものに比べて高いことによるものだと考えられた。そこで、スポンジの密度の違いによって音響にどのような影響を与えるのかを調べ、耳カバーに適した素材を選定することにした。

### 2. 音響特性実験方法の改善

#### 2.1 音響特性測定環境及び装置の改善

##### 2.1.1 干渉対策

これまでの実験データの顕著な例を以下に示す。

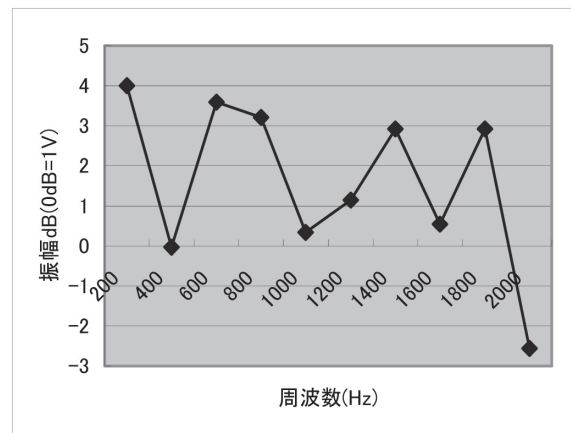


図 6 昨年度の周波数特性 (5m)

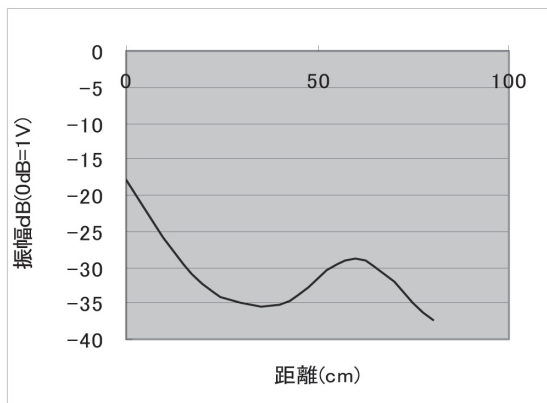


図7 距離特性図 (100Hz)

以前の実験方法では、特定の周波数の感度が高いなどの特性が見られず、複数の周波数で感度の凹凸が見られた。これは、測定上の問題であり、おそらく音波の干渉が生じていると想定された。

当初は、狭い実験室内で測定していたので壁面や、実験テーブル等からの反射による音波との干渉が起きていると考えられたので、十分に広い場所（廊下や大型教室）へと測定場所を変更したが、測定空間を広くするだけでは音波の干渉対策には効果が少なかった。次に述べる送信波のパルス化等の技術を取りこみ、結果としてやや広めの教室を使用することにした。その際、机と椅子整理し片隅に寄せた。

連続波では、壁面からの反射波等と干渉がおきやすく、送信波がノイズに埋もれて見分けがつかなくなりやすいと考え、3サイクルの正弦パルス波を信号波として、繰返し周期100 [ms] で用いることにした。これによって、残響波と測定波の干渉する確率を下げる事ができた。

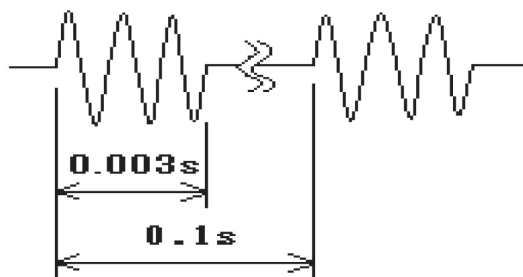


図8 変更後の送信波 (1000Hz)

### 2.1.2 測定位置の正確化

前任者の実験では、スピーカーとマイクは床面に近く（床上12cm）置かれており、床面からの反射波が干渉しやすくなっていた。今回は、マイクの位置が床より高い位置に固定されるようにマイク台を

作製した。床からスピーカーの中心までの高さが99cmの位置にあるので、マイクの中心位置が同じく床から99cmの位置になるように作製した。また水準器を用いて常にマイクが水平になるようにし、一定方向を向くようにアングルに固定した。

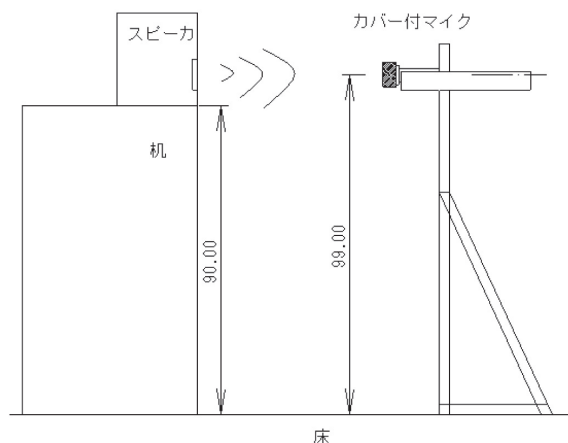


図9 マイク台略図

### 2.1.3 実験装置および実験機材の変更

実験装置配置図を図10に示す。

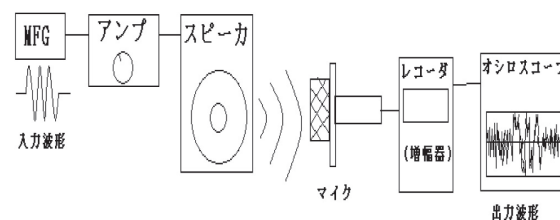


図10 実験装置配置図

実験では、スピーカーの表面からマイクの表面（マイクカバー装着時は、マイクカバーの表面）までの距離を0cmから120cmまで20cm間隔で離してゆき測定を行った。対象周波数は100Hz, 200Hz, 300 Hz, 500Hz, 700Hz, 1000Hz, 2000Hz, とした。

マルチファンクションジェネレータ（MFG）から出力し、それをパワーアンプに入力する。MFGの出力レベルはおよそ、1Vppとした。また出力した信号波は3波の正弦パルス波を切り返し周期100msとした。アンプは電圧を増幅し、信号波をスピーカーに入力した。また、電圧の増幅率は約13倍程度とした。

スピーカーはアンプから送られた信号波を音として出力した。

マイクはスピーカーから発信された信号波を受信し、レコーダーに信号を送った。マイクとスピーカー

表 1 実験機材仕様

機材	会社	型番	仕様
MFG	エヌエフ回路設計 ブロック	WF1973	最高周波数：30MHz（正弦波） 最大出力電圧：20V <sub>pp</sub> 開放
アンプ	YAMAHA	S A700	定格出力（20Hz～20kHz）：90W + 90W8Ω, 105W + 105W6Ω 実用最大出力：140W + 140W8Ω, 160W + 160W6Ω 周波数特性 100kHz（±1.0dB）CD DIRECT AMP ON時, 20Hz～20kHz（±0.5dB） 最大許容入力：2.2V（CD etc, 1kHz 0.019% THD）
スピーカ	YAMAHA	NS B700	インピーダンス：6Ω 再生周波数：65Hz～50kHz（10dB）～100kHz（30dB） 許容入力：30W 最大入力：120W
マイク	オーディオテクニカ	AT9940	周波数特性：40～19000Hz 感度：-36dB（0dB = 1V/1Pa, 1kHz）
レコーダ	ローランド	EDIROL R 09	フォーマット：MP3 サンプリング周波数：441/18kHz ビット数：24bit
デジタルオシロスコープ	IWATSU	DS8844	周波数帯域：150MHz メモリ長：100kポイント FFT演算機能搭載

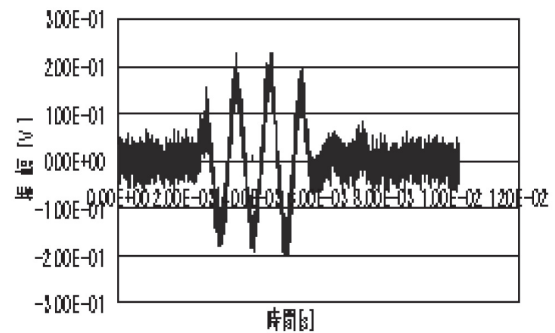
は直線線上に向かい合わせておいた。レコーダーは前置増幅器として使用され、マイクからの信号波を増幅し、デジタルオシロスコープに信号を送った。

オシロスコープでレコーダーから送られた信号波の波形を表示し、その波形をパソコンで編集できる形式で保存した。また、保存するデータのポイント数は6400点とした。前任者の実験では、スピーカやマイクは小型の簡易的なものだったので、今回、音響測定器材を一通り準備した。特に、マルチファンクションジェネレータとスピーカの間アンプを追加したことと、マイクを小型モノラル（φ=7～8mm）から中型ステレオマイク（φ=30mm）に変更したことが重要だったと考える。使用した実験機材を表1に示す。

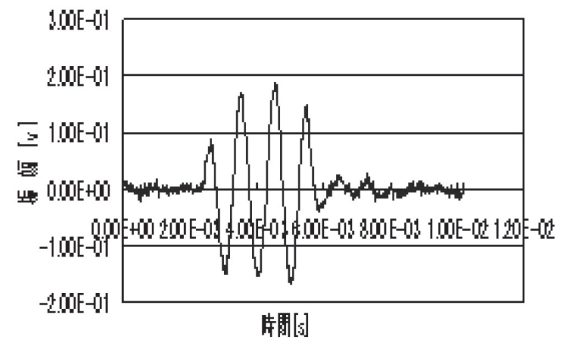
## 2.2 データ解析法の改善

### 2.2.1 移動平均処理

デジタルオシロスコープで記録したデータは、高周波のノイズが多かった。そこで記録したデータに対し20点の移動平均法を用いることで、測定する対象周波数の15～30倍程度より高域の周波数成分の振幅を平滑化し、高周波のノイズ対策とした。



(a) 移動平均処理前

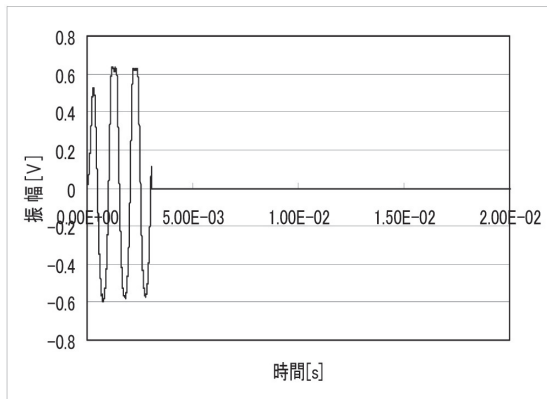


(b) 移動平均処理後

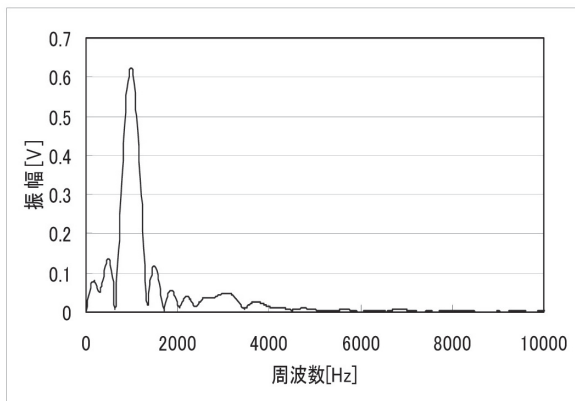
図11 移動平均処理

### 2.2.2 FFT

記録した測定データは移動平均処理を行った後にFFTを用いて周波数解析を行い、対象周波数の振幅値をその電圧とした。また、FFTをかけた値に  $\frac{\text{全データ長}}{\text{値を持つデータ長}}$  を乗じることで測定時の振幅とほぼ等しくなるようにし、実験値同士の比較を行えるようにした。全データ長は、16384個とし、値を持つデータ長は正弦波の3サイクル分のデータ長とした。また、主対象受信波のすぐ後ろに残響等の不要波が存在したので、主対象受信波以外の振幅値はゼロとして周波数解析を行った。その結果、FFT解析結果が比較的単純な特性になり、振幅を読み取ることが容易になった。



(a) データ処理された波形 (0cm, 1000Hz)



(b) (a) を周波解析した結果 (0cm, 1000Hz)

図12 FFTによる周波数解析

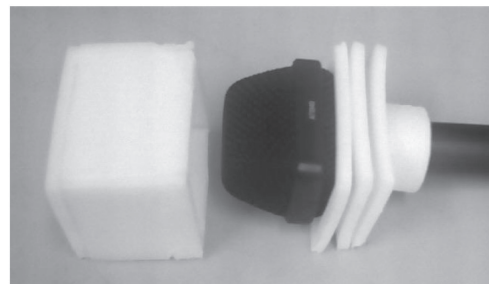
## 3. スポンジゴム密度による音響特性の測定

密度の異なる2種類のスポンジ（独立気泡）を用いてマイクカバーを作製し、それを装着することでスポンジ密度が音響にどのような影響を与えるのか

を調査した。

### 3.1 実験に使用したスポンジ

今回の実験に使用した2種類のスポンジ（密度  $31\text{kg/m}^3$  の低密度スポンジと密度  $197\text{kg/m}^3$  の高密度スポンジ）は、どちらも独立気泡のスポンジであり、風の進入を防ぐことができることを確認した。スポンジの厚さは、どちらも5mmでマイクカバーはスポンジとマイクとの間にあまり隙間が生じないように箱型とした。



(a) 低密度スポンジ



(b) 高密度スポンジ

図13 作製したマイクカバー

### 3.2 測定結果

#### 3.2.1 マイクカバーを装着していない場合の音響特性

まず、マイクカバー無しで音の記録を行った。そのデータの周波数解析結果を図14に示す。この図から、近距離では比較的急勾配で減衰し、遠距離では緩やかな勾配で減衰していることが分かる。ただし、概ね、距離が2倍になると6dB程度減衰しており、振幅は距離に反比例している様子が分かる。また、近距離では高い周波数ほど振幅の減衰が少ないことが分かる。これが使用したスピーカーとマイクで構成される音場の持つ特性であると考えられる。

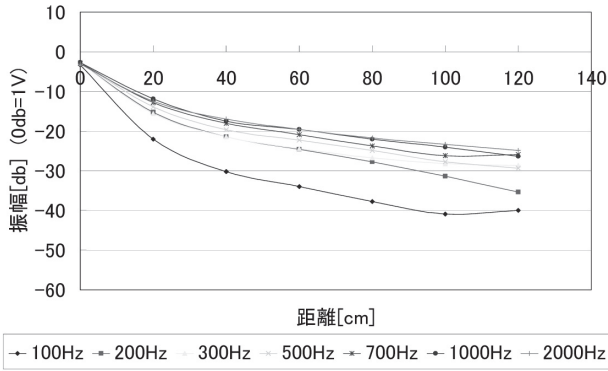


図14 マイクカバー非装着時の距離特性

### 3.2.2 低密度スポンジの音響特性

図15は低密度スポンジによるマイクカバーを装着した時の各距離、各周波数での振幅である。図16は、スピーカーからマイクまでの距離を20cm、40cmとしたときの各周波数での振幅を示したものである。この図からも低密度スポンジによるマイクカバーは、200Hz～500Hzの周波数の音の低減が10db以上低減させるのに対して、700Hz以上の高い周波数では振幅の低減は10db以下となっている。よって低密度スポンジには高い周波数よりも低い周波数を低減させやすいという特性をもっていることが分かる。

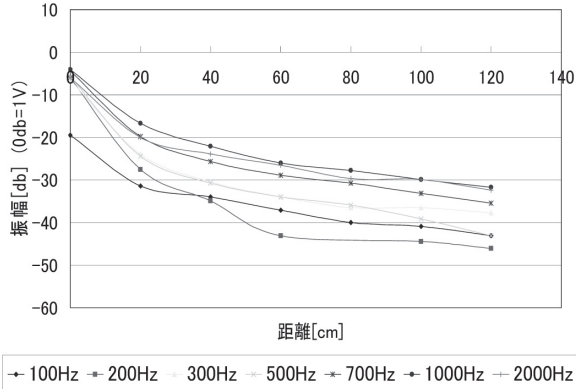


図15 低密度スポンジ装着時の距離特性

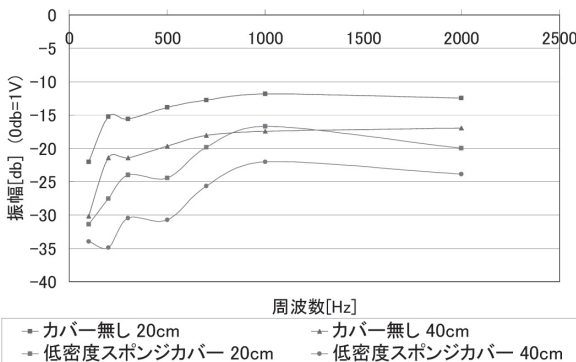


図16 低密度スポンジによるマイクカバー装着時と非装着時での距離20、40cmにおける周波数特性

### 3.2.3 高密度スポンジの音響特性

図17は高密度スポンジによるマイクカバーを装着した時の各距離、各周波数での振幅である。100Hzの振幅は低密度スポンジと大差ないが、特に2000Hzの減衰が顕著であり、高周波領域での減衰が大きくなっていることを伺わせる。図18は、距離を20cm、40cmとしたときの各周波数での振幅を示したものであり、高周波領域の減衰量が顕著である。ただし、200Hz～500Hzの振幅は低密度スポンジより5dBほど減衰量が少ない。以上、高密度スポンジは、500Hz以下の周波数での振幅の低減は5db程度であるが700Hz、1000Hzでは10db程度。2000Hzでは15dbほども低減された。よって、低い周波数よりも高い周波数を低減させやすい特性を持っていることが分かる。

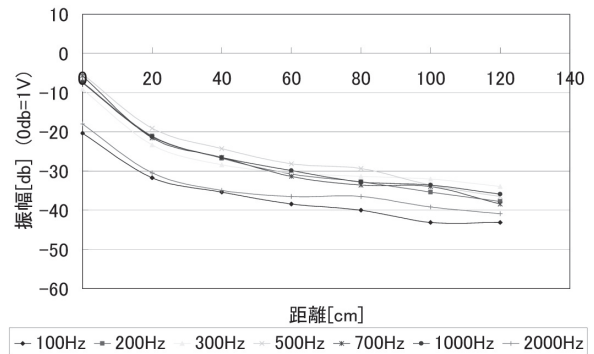


図17 高密度スポンジ装着時の距離特性

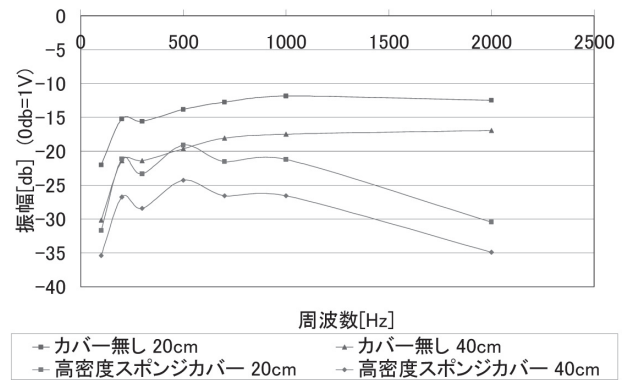


図18 高密度スポンジによるマイクカバー装着時と非装着時での距離20、40cmにおける周波数特性

## 4. 結言

### 4.1 音響特性実験方法の改善

①測定場所を十分広い場所へと変更し、スピーカーとマイクの位置を床から約1mの高さに設置することで、壁面や床面等からの反射による音波の干渉が起りにくくすることができた。

- ②送信波を連続波から3サイクルの正弦パルス波（繰返し周期100 [ms]）に変更することで、周囲からの反射波等との干渉を起こりににくくすることができた。
- ③デジタルオシロスコープで記録したデータに20点の単純移動平均処理を用いることで、高周波のノイズが消え解析結果が、より明瞭なものになった。
- ④受信波形から残響等の不要波を除去することで、FFT解析後に対象周波数成分の振幅を読み取ることが容易になった。
- ⑤FFTをかけた値に $\frac{\text{全データ長}}{\text{値を持つデータ長}}$ を乗じることで、測定時の振幅とほぼ等しい振幅値を読み取れるようになり、各実験値を比較できるようにした。
- 2) スポンジゴムの密度による比較
- ⑥低密度スポンジは、低い周波数を低減させやすいが高い周波数は低減させにくく、高密度スポンジは高い周波数を低減させやすいが低い周波数を低減させにくい性質を持っていることが分かった。
- ⑦除去したいと考えている風音は低い周波数領域（200Hz以下）に存在するので、低密度スポンジが耳カバーの材質に適していると考えられる。

### 参考文献

- 1) 猪井博登：身体障害者の災害時の非難に関する一考察：  
[http://www.civil.eng.osaka-u.ac.jp/plan/staff/inoui/welfare05\\_1.pdf](http://www.civil.eng.osaka-u.ac.jp/plan/staff/inoui/welfare05_1.pdf) 2005年, p.3
- 2) 大和定次：「音作り半世紀 ラジオ・テレビの音響効果」 春秋社 2001年2月, p259-261
- 3) 寺尾道仁：気流中での騒音測定法：騒音制御 Vol.14 No.5 1990年, p258-262
- 4) 奈良 卓：「視覚障害者のための風音の除去方法の検討」, 秋田工業高等専門学校専攻科生産システム工学専攻, 平成19年度特別研究論文
- 5) 戸松悠一郎, 安田龍介：「視覚障害者用風音除去方法の検討」, 秋田工業高等専門学校機械工学科, 平成20年度卒業論文++