

視覚障害者のための風音の除去方法の検討

奈良 卓・茂木 良平

A Study For Suppression of Wind Sound for Visual Impairments

Taku NARA and Ryohei MOTEGI

(2007年11月30日受理)

We have studied the device eliminating wind noise for visual impairments. They suffer from wind noise because it mask environmental sound and put them in danger. In our research, we confirmed that windscreen reduced wind noise and produced little attenuation of the acoustic wave. We manufactured some ear covers with poly-urethane foam sheet. As a result, we found they were very effective.

1. 緒言

1.1 背景

風のある日に野外で活動をしている時や自転車に乗っている時に風の音が聞こえる。その風の音は、多くの人にとってはほとんど気にならない程度のものであるが、風の音が問題になる場合もある。補聴器をつけている場合は、風の音が増幅されてしまい周囲の音が聞きづらくなるため、風の音を消すための処理がされている補聴器もある¹⁾。

日本には約30万人の視覚障害者がいるといわれている²⁾。彼ら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ない。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。台風などで風の強い日にはその雑音によって周りの状況が分からなくなり、避難行動の際には援助が必要になるという³⁾。実際に、研究に協力して頂いている盲学校の教員の方から、風の音が邪魔になり怖い思いをするという話を聞くことがあった。野外で活動をしていて周囲の音が聞こえにくくなれば不便であるし、車や自転車などの音が聞こえにくくなれば非常に危険である。

1.2 目的

このような背景により、盲学校の教員の方から「風の音を消す装置が欲しい」という要望があった。装置によって風の音を消すことができれば、風の強い場所で作業をする人など、視覚障害者以外にとっ

ても有用なものになると思われる。本研究の目的は、風による妨害音の発生メカニズムを知り、妨害音を除去するための方法を見つけることである。

1.3 研究内容

本研究では以下のことを行った。
(1) まず、風音について調べるための実験として、風源として扇風機を利用し、風音の録音をした。マイクを使っての直接録音と、人間の耳に近い形をした模型の中にマイクを挿入しての録音を行った。録音した風音を周波数解析して、風音の周波数特性や風速による変化について調べた。
(2) 風音を低減する装置であるウインドスクリーンの効果を調べた。また、ウインドスクリーンに風音を低減する効果がある理由について調べた。
(3) 次にウインドスクリーンを人間の耳に応用するために耳カバーを製作した。この耳カバーの効果を調べるために扇風機を風源とした風音の録音と周波数解析を行った。また、これを人間が装着し、風音がどうなるかについても確認をした。
(4) 野外で風音を録音し、ウインドスクリーン、耳カバーの効果について調べた。また、これを人間が装着し、風音がどうなるかについても確認をした。

2. 風音について

2.1 風音の種類

風音には次の二種類があると考えられる。一つは「ゴーゴー」や「ゴソゴソ」と表せる低い周波数の

音である。この音は、風がある場所に行く、自転車に乗る、走行中の車の窓を開けるなどすることで簡単に聞くことができる。また、マイクに息を吹きかけた時にはマイクを通してこの風音を聞くことができる。

もう一つは「ヒューヒュー」という比較的高い周波数の音である。風の強い日に窓を少しだけ開けておくと聞こえることがある風切り音と同様のものである。この音はかなり限定された条件下でしか聞くことができないようで、ほとんど聞くことができなかった。

本研究では、風のある所で簡単に聞くことのできる前者の音が特に重要であると考え、低い周波数の風音を研究対象としている。

2.2 風音の発生メカニズム^{4,5)}

風音が聞こえる時、風音を録音できる時には気流の乱れに伴う圧力変動が、マイクや鼓膜に作用して音として聞こえている。この気流の乱れには二つあり、一つは流れの中に元々存在しているもの、マイクや人間の耳、顔などの物体にぶつかることで二次的に発生しているものがある。前者によって生じる変動圧を流下乱流圧、後者によって生じる変動圧を自己発生乱流圧と呼ぶ。風音の除去のためには、乱流による圧力変動が鼓膜に届かないようにすることや、二次的な乱流の発生を抑制することが必要である。

3. 風音の周波数解析

最初に、風音について調べるための実験を行った。この実験で使用した実験器具を表1に示す。

表1：実験器具

実験器具	説明
マイク	Microphone Madness MM-BSM-5 直径が6 [mm]の小型のマイク
録音機	Roland EDIROL R-09 データサイズ16 [bit], サンプリング周波数44.1 [kHz]
耳型模型	シリコン製の模型
ウインドスクリーン	MM-BSM-5の付属のウインドスクリーン
扇風機	HITACHI H-M301E 直径300 [mm], 出力40 [W]

3.1 扇風機の風速の測定

今回の実験では風源として家庭用の扇風機を利用した。そこでまず、扇風機の風の強さと扇風機からの距離による風速の変化を測定した。パラメーターは扇風機に設定されてある風量の「微」「弱」「強」の三つ、扇風機からの距離300 [mm], 600 [mm]の二つとし、測定は各々五回ずつ行った。扇風機から離れると風速が極端に小さくなると感じられたため、今回は距離を600 [mm] までとした。測定結果を図1に示す。

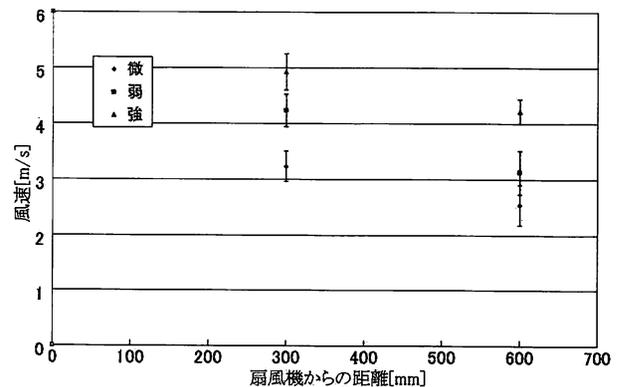


図1 扇風機からの距離に伴う風速の変化

風速測定時には測定値がかなり変動した。測定値の最小値から最大値までを含むようにエラーバーで表現したが、突発的な値は除外した。全体として風速値の変動幅は約0.5~1.0 [m/s] だった。風量「強」で風速値が最大となった場所でも風速は約5 [m/s] しか得られなかった。距離600 [mm], 風量「微」「弱」のときでは風速が3 [m/s] 程度以下となり、弱い風と感じられた。このことから、以降の実験では距離を300 [mm] で固定とした。

3.2 風音の録音

次に、マイクを使って風音を録音した。実験の概要を図2に示す。風音の測定は風量（「微」, 「弱」, 「強」）, 距離300 [mm] で行った。マイクの向きは風の流れに対して垂直と平行の二通りとした。録音フォーマットはWAVとし、サンプルサイズ16 [bit], サンプリング周波数を44.1 [kHz] とした。これらの録音条件は以降の実験でも全て同じにしてある。録音した音をFFTにかけ周波数解析をした。解析ではデータ数を131072（データ長2.97 [s]）とした。この条件での分解能は0.337 [Hz] となる。以降の実験でもデータ数、データ長は同じにする。解析の代表的な結果として、図3にマイクの向きによる風音のスペクトラムの差異を示し、図4に風量

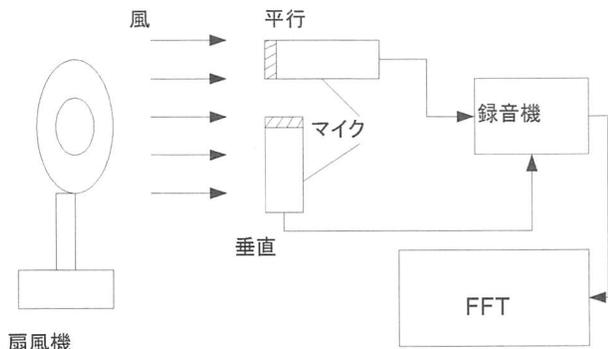


図2：マイクを使った風音の録音

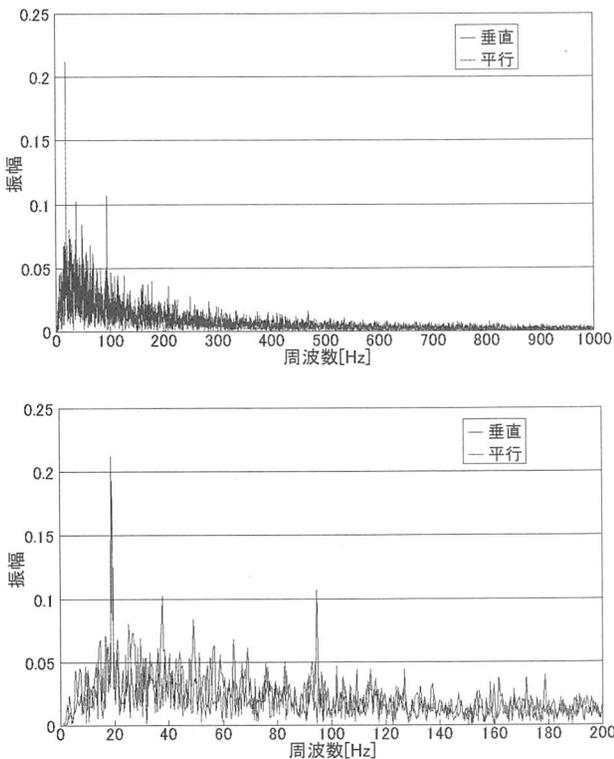


図3：マイクの向きによる風音のスペクトラムの差異 (風量：強)

設定の違いによるスペクトラムの差異を示す。上に1 [kHz] までのスペクトラムの概要を示し、下に200 [Hz] までの詳細に読めるデータを示した。

図3に、マイクの向きを垂直にした場合と、平行にした場合のデータをそれぞれ青と赤で示したが、マイクの向きによる違いはほとんどなかった。解析結果を見ると、風音は主に200 [Hz] 程度までの低い周波数の音で構成されていることが分かる。20~100 [Hz] で振幅が最大となり、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。人間の可聴周波数の上限である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。

また図4を見ると、風量が「強」で風音のときに一番大きく、「微」のときに一番小さくなっている。このことから、風速が大きいほど風音の大きさが分かる。右図中に示した f_1, f_2, f_3 は特に振幅が大きい周波数を表している。これは他の条件でも現れている。この周波数をそれぞれ見ると、 f_1 は扇風機の回転数に近い値をとっており、回転数に依存した音であると考えられる (表2)。また f_3 は f_1 の約5倍の周波数となっている。今回使用した扇風機の羽の枚数が5枚であり、回転数の5倍になったと考えられる。 f_2 は f_1 の2倍であり、 f_1 の二次の高調波であることが想定される。これらのピークは、「微」のときには表れなかった。また、距離600 [mm] で実験を行ったところ、「強」、「弱」でも表れなかった。

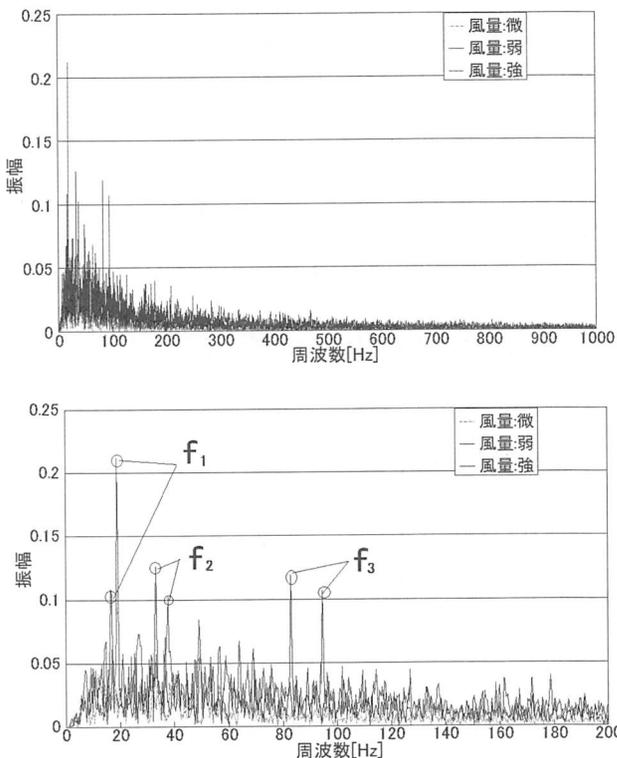


図4：風量設定の違いによるスペクトラムの差異 (向き：垂直)

表2：扇風機の回転数と f_1, f_2, f_3 の関係

	微	弱	強
扇風機の回転数 N [rpm]	810	1020	1180
一秒間当りの回転数 n	13.5	17.0	19.7
f_1 [Hz]		16.5	18.8
f_2 [Hz]		33.0	37.7
f_3 [Hz]		82.8	94.5

3.3 耳型を介した風音の録音

耳の形状などが風音のスペクトラムに与える影響を調べるためにシリコン製の耳型模型を用意した。シリコン製耳型は図5のようなものである。この耳型模型のサイズは高さが約60 [mm] で、小学生の耳の大きさと同じくらいのものである。耳型模型に外耳道としての穴を開け、そこにマイクを挿入して録音した。

録音した音を周波数解析した。代表的な解析結果として図6に耳型に挿入したマイクで録音した風の

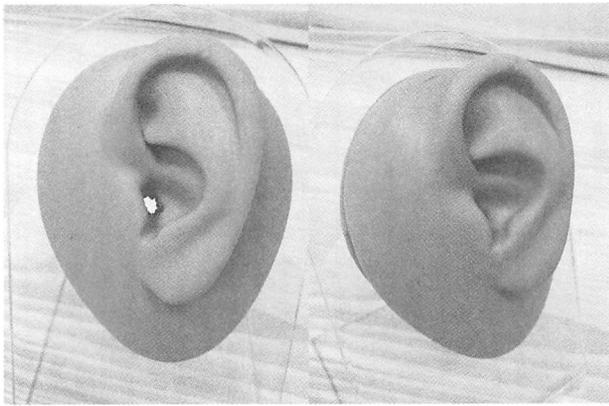


図5：耳型模型

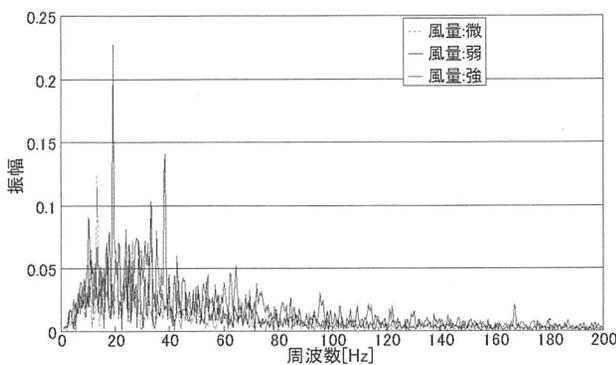
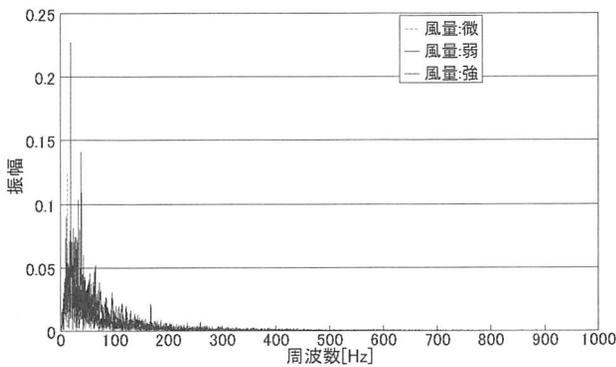


図6：耳型に挿入したマイクで録音した風のスペクトラム（向き：垂直）

スペクトラムを示し、図7に風音をマイクで直接録音した場合とマイクを耳型に挿入して録音した場合のスペクトラムの差異を示し、図8にマイクを耳型に挿入して風音を録音したときにマイクの向きを垂直にした場合と平行にした場合のスペクトラムの差異を示す。

図6より、風音は主に低い周波数の音で構成されていることが分かる。また、風速が大きくなると風音も大きくなっている。図7より、マイクのみで録音した風音と耳型を介して録音した風音には、90 [Hz] 以上の周波数では耳型がある方が振幅が小さくなっていた。

図8は向きが垂直の場合と水平の場合の結果の一例である。本研究では一つの実験条件に対し数回の録音を行っているが、この実験条件では、角度が少し変化するだけで垂直の場合の風音と水平の場合の風音の関係が変化してしまった。ただし、実際の人間の場合は、顔を風に向けた時（マイクの向きが垂直のときと同様）に風音を一番大きく、90度回転さ

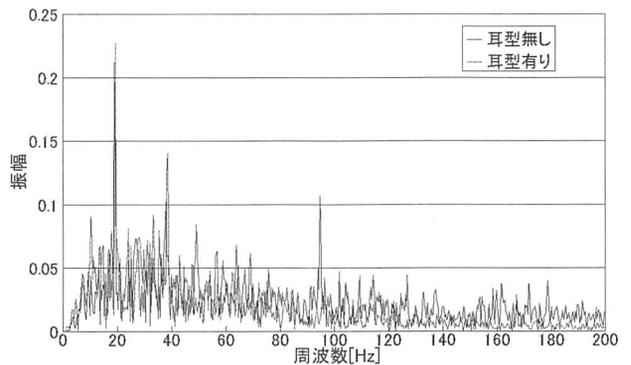


図7：風音をマイクで直接録音した場合とマイクを耳型に挿入して録音した場合のスペクトラムの差異（向き：垂直，風量：強）

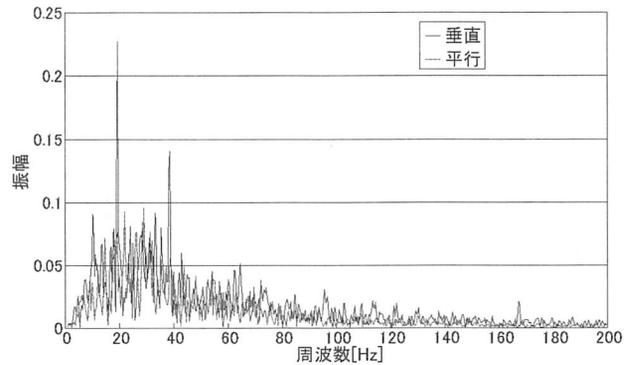


図8：マイクを耳型に挿入して風音を録音したときにマイクの向きを垂直にした場合と平行にした場合のスペクトラムの差異（風量：強）

せた時（マイクの向きを平行にした場合と同様）に一番小さく感じられる。また、多少の角度の変化ではほとんど風音の大きさに変化はないようであった。このような耳型を用いた実験と、実際に人間が経験として感じられるものとの違いは、耳型の形状が人間の耳とは少し違う部分があるからであると思われる。

4. 風音除去方法の検討

本研究では、風音の除去方法としてウインドスクリーンに着目した。ウインドスクリーンは野外で録音などを行う際にマイクに装着するもので、図9のようなものである。ポリウレタンのスポンジでできていて、マイクを覆う形状になっている。



図9：ウインドスクリーン

4.1 ウインドスクリーンの効果

4.1.1 ウインドスクリーンの風音低減効果

実際にウインドスクリーンの効果がどのようなものであるかを調べるために、マイクにウインドスクリーンを装着し、風音の録音を行った。ウインドスクリーンを装着した場合と、ウインドスクリーンを装着していない場合の風音のスペクトラムを図10に示す。ウイ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っていた。また、新しい音が発生していることもないようである。

4.1.2 通常の音波に対する影響

次に、ウインドスクリーンを装着することで通常の音波に影響がないかを調べる実験を行った。ここでは、スピーカーから純音を出し、ウインドスクリーンを装着したマイクと装着していないマイクで録音し、それぞれの振幅を比較した。図11に実験の概要を示す。

それぞれの純音に対する振幅の比較を図12に示す。周波数が高くなると若干振幅に違いは出るものの、ウインドスクリーンがある場合と無い場合との違いはほとんど無かった。したがって、ウインドスクリーンを装着しても通常の音波の強度を低減させたりすることがほとんど無いことが分かった。

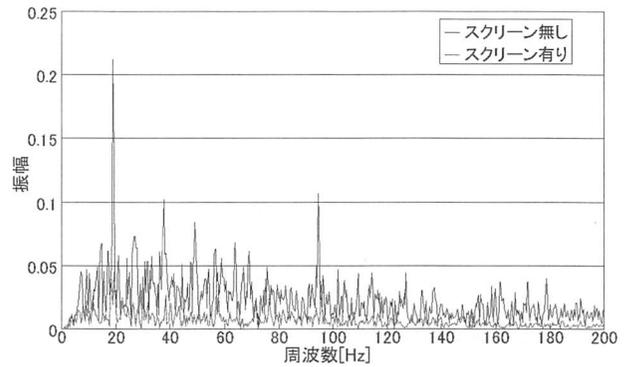
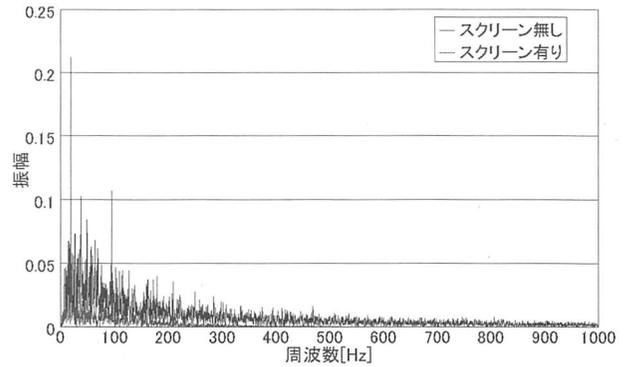


図10：ウインドスクリーンによる風音の低減（向き：垂直、風量：強）

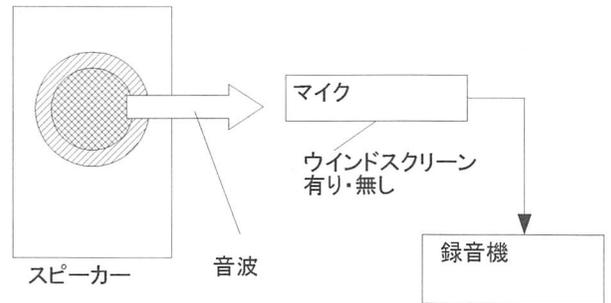


図11：通常の音波に対するウインドスクリーンの影響実験

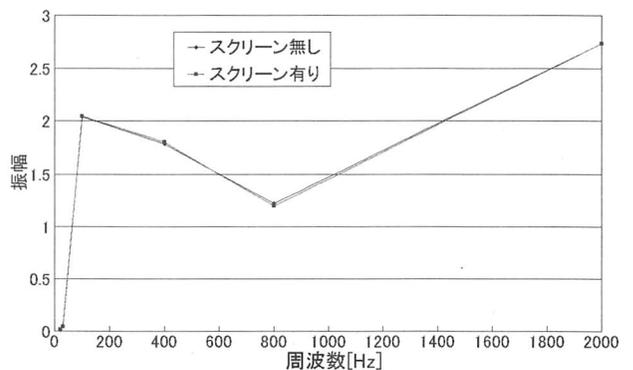


図12：通常の音波を録音した時のウインドスクリーンが有る場合と無い場合での振幅の差異

4.1.3 スポンジによる風速の低減

スポンジの効果を調べるために、スポンジを通った風の風速を測定した。ここでは厚さが5 [mm] のスポンジシートを利用した。実験の概要を図13に示す。まず、扇風機のメッシュカバー面で直接風速を測定し、これを距離0 [mm] のデータとした。次に、スポンジシートを扇風機のメッシュカバーに被せた状態で風速を測定した。プローブをスポンジシートに接触させて風速を測定し、これを距離5 [mm] でのデータとした。そこからメッシュカバーからの距離をパラメータとして5, 10, 20, 40, 80, 160 [mm] の位置で風速を測定した。

スポンジによる風速の低減の実験結果を図14に示す。スポンジシートを通すことで風速が10分の1程度まで大きく低下していることが分かる。スポンジを通過した後の風速は1 [m/s] 以下であり、これは風として感じない程度の風速である。また、スポンジシートを通った後では風速の変動が顕著に小さくなっており、測定値にはほとんど変動が無かった。風を通さないことにより乱流の進入を防ぎ、マイクに風がぶつかることによる二次的な乱流の発生をも防ぐことができるために風音を低減できると考えられる。

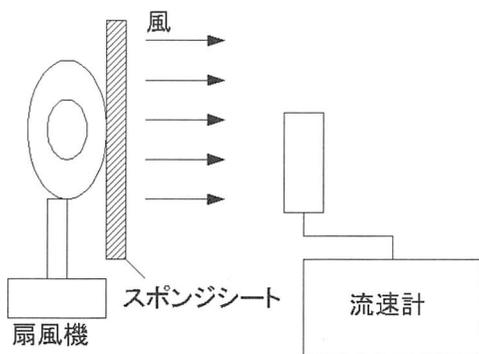


図13：スポンジによる風音低減の実験

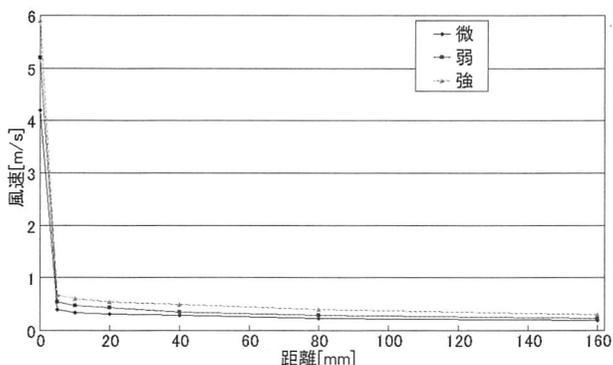
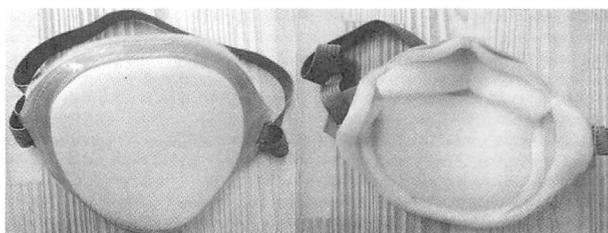


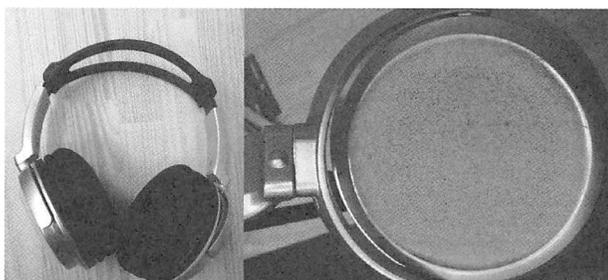
図14：スポンジによる風速の低減

4.2 耳カバーの製作

前章の実験から、風音除去方法としてのウインドスクリーンの有用性が分かった。そこで、風音を除去するために人間の耳に装着できるウインドスクリーンとして、スポンジシートを利用した耳カバーを製作した。製作した耳カバーはヘッドホンを加工し、ヘッドホンの側面に穴を開け、スポンジシートを貼り付けたものである。また、市販のスポンジでできた防塵マスクも耳用のウインドスクリーンとして利用できそうだったので、耳カバーとして採用した。今回製作したヘッドホンタイプスクリーンの写真を図15(a)に、防塵マスクの写真を図15(b)に示す。



(a) 防塵マスク



(b) ヘッドホンタイプスクリーン

図：15 耳カバー

4.3 耳カバーの効果

4.3.1 耳カバーの風音低減効果

耳カバーを耳型に装着することで風音のスペクトラムがどう変化するかを調べる実験を行った。録音した風音のスペクトラムを図16に示す。耳型に挿入したマイクで直接風音を録音した場合と比較すると、耳カバーを装着した場合の風音の振幅は全ての周波数領域で低減され、およそ4~6分の1程度になっていた。この実験結果より、耳カバーを装着することで、風音を低減できることが分かった。

実際に、我々が耳に耳カバーを装着して効果を確かめてみると、風音が顕著に小さくなっていると感じられた。はっきりと風音が聞こえる状況下でも、耳カバーを装着することで全く気にならないまでになった。しかし、ヘッドホンタイプスクリーンを装着したときに「サー」というホワイトノイズのよう

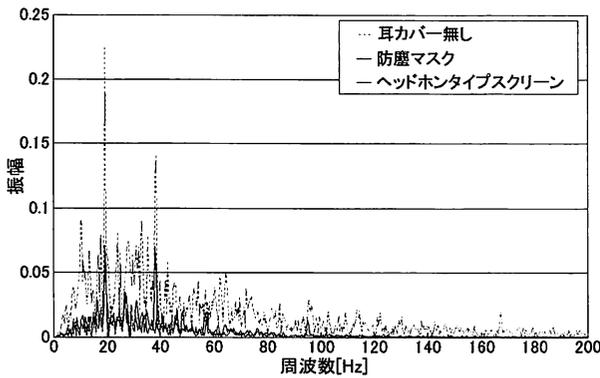


図16：耳カバーによる風音の低減効果（向き：垂直，風量：強）

なそれまでは聞こえなかった音が聞こえるようになった。この音は、装着する前に存在していた風音に比べればかなり小さい音ではあるが、耳が良い人であればはっきり聞こえる音量であった。ただし、20 [kHz] までのデータではこの音に相当すると思われる特徴的なスペクトルは見当たらなかった。

4.3.2 通常の音波に対する影響

耳カバーを装着することで通常の音波に影響がないかどうかを調べるために、第4章1節2項の実験と同様の実験を行った。今回は、耳カバーがある場合とない場合で比較した。それぞれの純音に対して観測された振幅の比較を図17に示す。耳型に防塵マスクをつけた場合、ヘッドホンタイプスクリーンを装着した場合のどちらでも、観測された振幅の違いはほとんど無かった。このことから、耳カバーを装着しても通常の音波に特別な影響を与えないことが分かった。

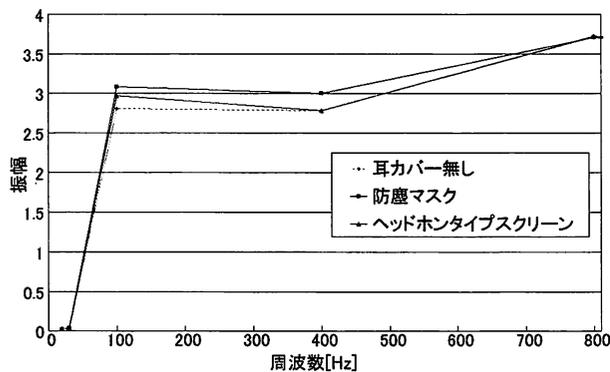


図17：通常の音波を録音した時の耳カバーが有る場合と無い場合での振幅の差異

5. フィールド実験

ここでは、扇風機の風を使うのではなく、野外で自然の風があるところで行った実験について述べる。フィールド実験では耳型を使った実験と、人間の耳を使った実験を行った。実験地は秋田県男鹿半島の寒風山である。

5.1 耳カバーの効果

耳型を介して自然の風による風音を録音する実験を行った（平成19年9月19日）。この実験は、自然の風に対する耳カバーの風音低減能力を調べるためのものである。フィールド実験では風速や風向きが一定にはならないため、比較を行うために耳カバーを装着した場合と装着していない場合の風音の録音を二つ同時に行った。実験の概要を図18に、耳カバーを装着した場合と装着していない場合の風音のスペクトラムの比較を図19に示す。この日実験した時の最大風速は8 [m/s] 程度であった。

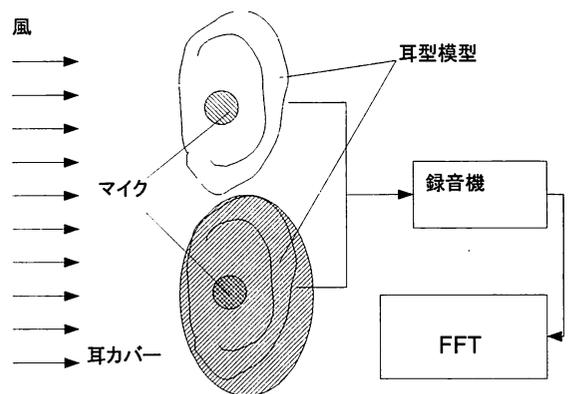
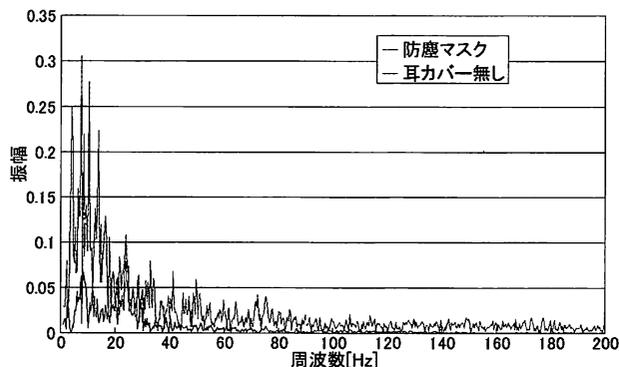


図18：野外での風音の録音

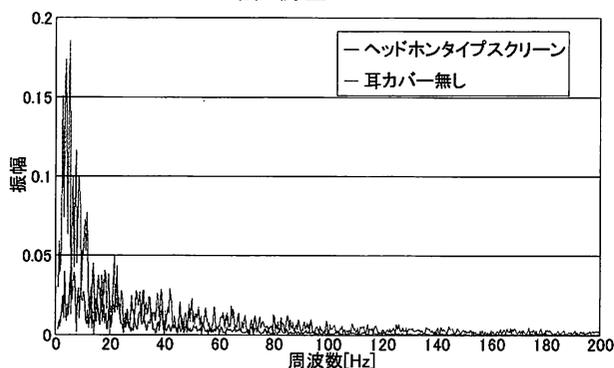
扇風機の風を利用した場合に比べて、振幅が最大となる周波数が低くはなっているものの、風音が200 [Hz] 程度までの低い周波数の音で構成されていることは変わらなかった。耳カバーの効果も同様で、フィールド実験でも全ての周波数の音を低減できていることが分かる。

5.2 人間が耳カバーを装着した感想

実際に人間が耳カバーを装着した場合にどう聞こえるかを確かめる実験を行った（平成19年8月7日）。盲人に協力してもらい、耳カバーを装着することで風音がどうなるか、また周囲の音はどう聞こえるか、などについての感想を聞いた。また、自分でも同様のことを行い確認した。その日の風速は最大で



(a) 防塵マスク



(b) ヘッドホンタイプスクリーン

図：19 野外での耳カバーによる風音の低減

も 4 [m/s] 程度であったと思われた。

今回の実験では、協力者の感想と自分の感想は同じになった。実験を行った結果、どちらの耳カバーを装着しても風音が低減されることが分かった。風音が小さくなることにより、相対的に周囲の音が大きくなり、周囲の音がよく聞こえるようになった。例としては、周囲の小さな虫の鳴き声や鳥の鳴き声、遠くの機械の回転音などがはっきりと聞こえるようになった。ただし、フィールド実験においてもヘッドホンタイプの耳カバーでは風に顔を向けた時に「サー」というホワイトノイズのような音が出てしまった。ヘッドホンの張り出している円筒部側面を手で覆って風が当たらないようにするとその音が聞こえなくなったため、ヘッドホンの円筒部側面に風が当たって音が発生したものと考えられる。風が強くなるとさらにこの音が気になることが考えられ、防塵マスクの方が耳カバーとしてより適していると思われる。

6. 今後の課題

今回の実験ではフィールド実験を風がそれほど強くない日に行った。そのため、より風の強い日にも

行いたいと考えている。強い風のある場合での耳型の効果と周囲の音がどうなっているかを調べることが目的である。参考文献2では「風に音が流される」という表現があったため、それについても確認が必要であると考えられる。

また、冬に使うファーのついた耳あてでも実験を行いたいと考えている。

7. 結言

(1) 風音について調べるための実験として、風源として扇風機を利用し、風音の録音をした。マイクを使っでの録音と、人間の耳に近い形をした模型を介しての録音を行った。録音した風音を周波数解析して、風音の周波数特性や風速、向きによる変化について調べた。周波数解析により、マイクのみを使った場合でも、耳型を介した場合でも、風音は主に 200 [Hz] 程度までの低い周波数の音で構成されていることが分かった。また、風速が大きくなるほど風音も大きくなることが分かった。

(2) 風音を低減する装置であるウインドスクリーンの効果を調べた。ウインドスクリーンを装着したマイクで風音を録音し、それを周波数解析した結果、全ての周波数において、風音の振幅が小さくなっていることが分かった。一方で通常の音波に対する影響を調べたところ、ウインドスクリーンを装着してもほとんど影響がないことが分かった。

(3) ウインドスクリーンの働きを人間の耳に応用するためにスポンジシートを使った耳カバーを製作した。この耳カバーの効果を調べるために扇風機を風源とした風音の録音と周波数解析を行った。耳カバーを装着することで風音を低減することができた。また、通常の音波への影響がほとんどないことも分かった。

(4) 野外で風音の録音をした。ウインドスクリーン、耳カバーのどちらでも風音を低減する効果を確認できた。人間が耳カバーを装着して風音を確認したところ、風音が顕著に低減されていることが感じられた。ただし、ヘッドホンタイプスクリーンの場合は、向きによって「サー」という音が聞こえることがあった。防塵マスクの場合は向きが変わっても新しい音が聞こえることはなかった。この違いは形状によるものであると思われた。ヘッドホンタイプスクリーンでは、大きく張り出している部分があり、そこに風が当たることによって新しい音が発生していることが考えられた。

参考文献

- 1) Panasonic Aya passion:
<http://panasonic.jp/phocho/ayapas.html>
- 2) 楠 敏雄：知っていますか？視覚障害者の暮らし一問一答 解放出版社, p.9-10 (1997)
- 3) 猪井博登：身体障害者の災害時の避難に関する一考察 http://www.civil.eng.osaka-u.ac.jp/plan/staff/inoi/welfare05_1.pdf, p.3 (2005)
- 4) P.D. Schomer, etc.: "Methods for detecting low-frequency signals in the presence of strong winds" USACERL Technical Report N-90/09 May 1990. p.4
- 5) 寺尾道仁：気流中での騒音測定法：騒音制御 Vol.14 No.5 p.258-262 (1990)