

平成27年度卒業論文

2種類のノイズキャンセリングヘッドホンにおける騒音低減効果の測定と比較

東京情報大学

総合情報学部 情報文化学科

学籍番号 C12009

氏名 鵜澤 星花

指導教員 西村 明

概要

平成25年卒業生・平形大樹の「ノイズキャンセリングヘッドホンにおける騒音低減効果の比較と測定方法の確立」を参考にし、ノイズキャンセリング機能を搭載したヘッドホンの騒音低減効果の測定を行った。過去の研究の問題点として、人ごみの音を騒音として使用したSONY製ヘッドホン測定結果で5kHzと10kHzで、10dB近い騒音低減効果が見られたが、これはANCの特性上ありえない数値である。このような測定結果は信頼性が無い可能性が高いため、改めて実験を行い過去の研究との比較を行い過去の研究結果に信頼性があるか検証することを目的とする。

今回の実験では、過去の研究で使用された音源4つの音源（ピンクノイズ、ホワイトノイズ、人ごみの音、地下鉄の音）を再生し、ダミーヘッドを使って録音した。条件としてヘッドホンを装着していない状態、ANC機能ON・OFF（ヘッドホンを装着しているのみの状態）の3通りを録音した。録音したデータは1/3オクターブバンド周波数分析をし、装着していない状態と装着したのみの状態の差、およびANC機能OFFとONの差を求め、騒音低減効果がどの程度あるかを比較した。

過去の研究では、SONY製ヘッドホンのほうがPioneer製ヘッドホンより騒音低減効果が高く発揮している結果が出たが、今回の研究でも、SONY製ヘッドホンは80～630Hzにおいて最大で12dBほど、Pioneer製ヘッドホンは5dBほどの効果が得られ、過去の研究とほぼ一致した。しかし過去の実験で、人ごみの音を使用したPioneer製ヘッドホンの結果で見られた1kHz以上の騒音低減効果は、今回の実験では得られなかったため過去の実験結果に信頼性がないという結果になった。

今回の実験の問題点として、外来雑音（スピーカーから再生した騒音以外の環境騒音）やヘッドホンの装着具合によって音源ごとの結果に差が出てしまった。今後は自然音や機械音がならない部屋か無響音室で実験を行う必要がある。

過去の研究では、どのようなノイズキャンセリングヘッドホンを使用しても正確な騒音低減効果の測定ができる方法の確立を目的としており、実験には二種類のヘッドホンを使用していたが、Pioneer製ヘッドホンにおいては製品のパンフレットに記述されているほどの効果は、過去の研究や本研究でも見られなかった。過去の研究で得られたPioneer製ヘッドホンの地下鉄の音を使用した結果では8000Hzあたりで-5dBという効果が出たが、本研究でもすべての音源において5000～8000Hzあたりで-5～-10dBという結果が出た。これらはヘッドホンの劣化が原因と考えられる。このpioneer製ヘッドホンは今後使用せず、ヘッドホンを変更して改めて実験を行う必要がある。

目次

1.	はじめに	P1.~2
1. 1	研究背景	
1. 2	研究目的	
1. 3	研究内容	
2.	フィードバック方式・フィードフォワード方式	P3
3.	使用音源について	P4
4.	実験内容	P5~7
4. 1	使用機材	
4. 2	実験方法	
4. 3	分析方法	
5.	実験結果	P8~19
5. 1	ピンクノイズの実験結果	
5. 2	ホワイトノイズの実験結果	
5. 3	人ごみの音の実験結果	
5. 4	地下鉄の音の実験結果	
5. 5	SONY 製ヘッドホンのまとめ	
5. 6	Pioneer 製のヘッドホンのまとめ	
6.	考察	P20
7.	まとめ	P21
8.	参考文献	P22

1. はじめに

1. 1 研究背景

今日、携帯音楽プレイヤーや携帯電話なので簡単に音楽を外へ持ち運べるようになった。外で音楽を楽しむためにはイヤホン・ヘッドホンが必要で、その中にはノイズキャンセリング機能を搭載しているものが存在する。この機能による静音効果は、製品の詳細が表記されたデータのみでは判断がつきにくく、ノイズキャンセリング機能がどの周波数帯域を發揮しているのか比較・評価したデータがないため、今回の研究に至った。

今回の研究では、平成25年卒業生・平形大樹の「ノイズキャンセリングヘッドホンにおける騒音低減効果の比較と測定方法の確立」[1]を参考にした。平形の研究ではフィードバック方式の Sony 製ヘッドホンが4つのどの測定音源でも100~1kHzで低減効果が高く、フィードフォワード方式の Pioneer 製ヘッドホンは4つのどの測定音源でも100Hz~10kHzの周波数帯域でANC機能の効果がほとんど見られなかったという結果であった。しかし、人ごみの音を使用したSONY製ヘッドホン測定結果で5kHzと10kHzで、10dB近い騒音低減効果が見られたが、これはANCの特性上ありえない数値である。このような測定結果は信頼性が無い可能性が高いため、改めて実験を行う必要がある。

1. 2 研究目的

過去の研究を参考にし、ノイズキャンセリング（以下 ANC）機能を搭載したヘッドホンの騒音低減効果の測定を行う。本研究では、改めて過去の研究と同じ条件で測定を行い、過去の測定結果と比較する。平形の研究結果の信頼性を確認する事を目的とし、今回の実験結果で平形の測定結果と同じ結果が得られれば、平形の実験結果は信頼性があると言える。また本研究では、ヘッドホンを装着したのみの状態の遮音効果を測定するためANCヘッドホンを装着しない状態での録音を行う。さらに平形の研究では実験が行われなかった地下鉄の騒音下でのSONY製ANCヘッドホンの測定も行う。

1. 3 研究内容

本研究では、過去の研究で使用された2種類のANCヘッドホンの騒音低減効果を調査するにあたり、ダミーヘッドシステムを使用する。ダミーヘッドは人間の頭部の形をした録音機で、両耳部分にマイクロホンが仕込まれており、人間が聴く音のように全方位から録音をする事ができる。

実験ではこのダミーヘッドにANCヘッドホンを装着し、使用音源を周りから再生し耳のマイクロホンからオーディオインターフェースを介したPCで録音をし、分析を行う。この実験ではヘッドホンを

装着していない状態、ANC 機能 ON・OFF（ヘッドホンを装着しているのみの状態）を測定する。録音したデータは PC で 1/3 オクターブ分析をし、得られた数値をグラフ化して視覚的にわかりやすくする。

2. フィードバック方式・フィードフォワード方式

・フィードバック方式

フィードバック方式は周囲の騒音を検知するためのマイクをヘッドホン内側に内蔵する方式である。騒音と逆位相の音をドライバーユニットが再生をして騒音と合成されることで騒音が低減される。音を出すドライバーユニットの近くにマイクを置くことで自然なノイズ低減をさせる事が可能となり騒音低減効果も高いとされている。現在はマイクとドライバーユニットが一体化したヘッドホンも存在している。本研究では SONY 製 ANC ヘッドホンを使用する。

・フィードフォワード方式

フィードフォワード方式、周囲の雑音を検知するためのマイクをヘッドホンの外側に配置する方式である。外部からの騒音をハウジング外側に あるマイク部で拾い、さらにハウジング内部に搭載されたマイク部で補正をかけることで騒音を $1/5$ (雑音抑圧量 300Hz で 15dB 以上) に低減する[2]。外側に配置することにより小型化しやすく、音質への影響は少ないがドライバーユニットと離れた位置で騒音を検知するためフィードバック方式より騒音低減効果は少ないとされている。本研究では Pioneer 製 ANC ヘッドホンを使用する。

3. 使用音源について

本研究では4種類の音源を使用し実験を行う。

- ・音源はA特性音圧レベル70dBで再生する。
- ・測定時間は30秒
- ・人ごみ、地下鉄の音は時々刻々と変化する。測定時間帯を条件（ヘッドホンを装着していない状態・装着をしてANC機能OFFの状態・ANC機能ONの状態）間で合わせるため、音源が再生される前に「ピッ」という開始音を付ける。

・ホワイトノイズ

すべての周波数帯域においてエネルギーが均一なノイズ。ホワイトノイズはどの周波数帯域に対して効果が得られるのか検証する際に使用される音源で、「シャー」と聴こえる。

・ピンクノイズ

オクターブ毎のエネルギーが等しい全周波帯ノイズ。パワーが周波数に反比例し、ホワイトノイズと比べると低域が出るため「ザー」と聴こえる。

・人ごみの音

過去の研究にも取り入れられていた音源である。過去の研究に使用された音源は本研究の実験を行う前に入手出来なかったため、今回は別の人ごみの音源を使用し測定をした。

・地下鉄の音

なるべく現実の騒音を再現し測定するため過去の研究でも使用された平成19年度卒業・小林大樹が実際に東京メトロ大手町駅で地下鉄の音を録音したものを使用する。

4. 実験内容

4. 1 使用機材

- ・ANC ヘッドホン

 - ①SONY 製 「MDR-NC60」

 - ②Pioneer 製 「SE-MJ7ns」

- ・測定システム

 - ダミーヘッドシステム

- ・パワーアンプ

 - 「DENON PMA-390IV」

- ・スピーカー

 - 「BOSE MODEL 101MM」

- ・PC

- ・オーディオインターフェース

 - 「M-AUDIO Fast Track Pro」

- ・使用ソフト

 - 録音 : Audacity

 - 分析 : Digi On Sound 5

4. 2 実験方法

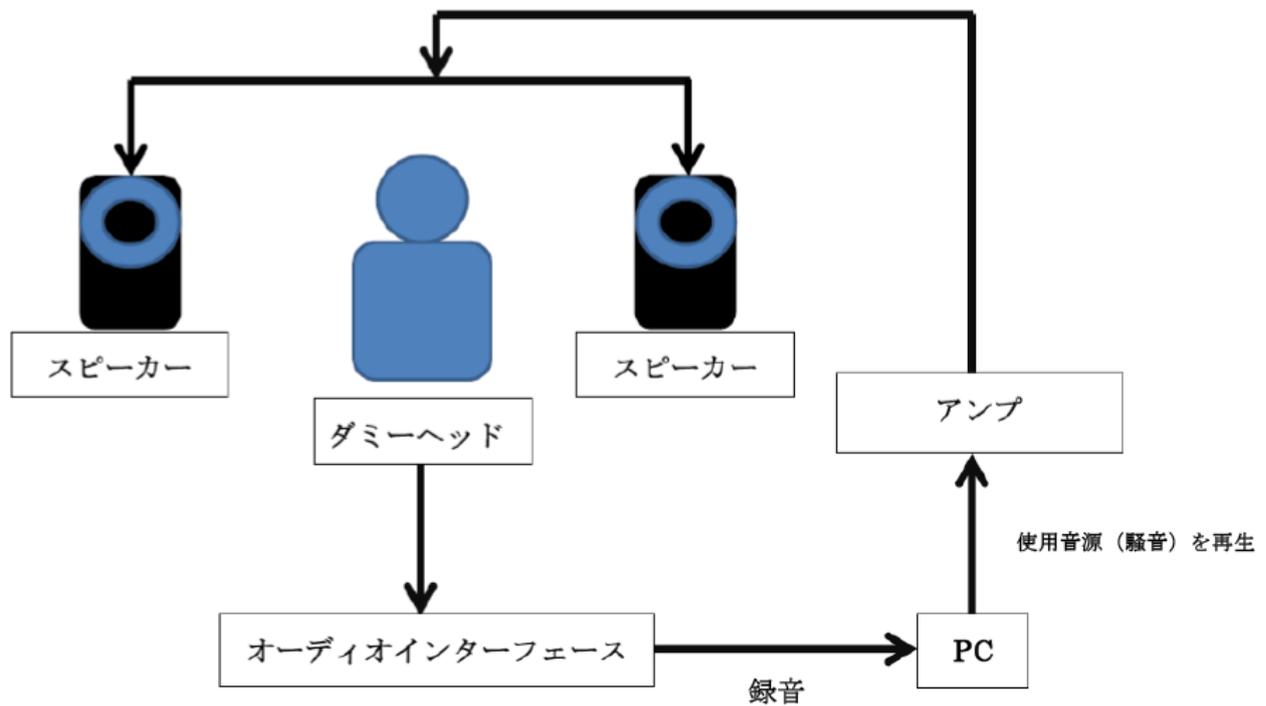


図1 セッティング図

図1のように使用機材をセッティングしてから以下の実験を行う。

- ① PCに Audacity を立ち上げる。
- ② 再生デバイスを PC、録音デバイスをオーディオインターフェースに設定する。
- ③ PC で使用音源をアンプを介してスピーカーから再生し、ダミーヘッドで測定した A 特性音圧レベル 70dB に合わせた状態のアンプの音量つまみの位置をメモする。
- ④ 使用音源を再生し、ANCヘッドホン装着していない状態でダミーヘッドから出力された信号を、オーディオインターフェースを介して PC で録音する。
- ⑤ ③と④を4つすべての音源で繰り返す。
- ⑥ 測定をする ANC ヘッドホンをダミーヘッドに装着し、アンプの音量つまみをそれぞれの音源ごとに③でメモをした位置に設定し、ANC 機能 OFF・ON の状態をそれぞれ録音する。4つすべての音源の録音を行う。
- ⑦ ⑥を終えたらヘッドホンを付け替え⑥を繰り返す。

〈注意する点〉

- ・なるべく環境音の少ない静かな部屋で実験をおこなう。
- ・日をまたぐと機材の位置や環境音の違いにより正確なデータが取れなくなってしまうため、実験は一日で全て終わらせる。
- ・⑥の過程ではヘッドホンは一度装着したらヘッドホンを動かさずに録音をし、4つ全ての音源を録り終えるまではヘッドホンは付け替えない。(ヘッドホンの装着具合によるデータの誤差を防ぐため)
- ・音源のレベルは装着していない状態で A 特性音圧レベル 70dB に合わせる。ヘッドホンを装着した場合もアンプの音量つまみは同じ位置で再生する。

スピーカーは中心部が高さ 1.3m、スピーカーの前面がダミーヘッドの耳から真横左右 1.5m になるように設置する。

ダミーヘッドは、耳の穴の高さが 1.1m になるように設置する。

4. 3 分析方法

- ①PC で録音した音を wav ファイルで保存し、DigiOnSound5 で 1/3 オクターブバンド周波数分析し、表示データの保存を行う。
- ②Excel を使用し周波数ごとの音の強さを表示させる。
- ③ヘッドホンを装着したのみの状態の遮音効果を求めるため、ヘッドホンを装着していない状態の値から、ANC 機能 OFF (ヘッドホンを装着しているのみの状態) の値を引く。
- ③ANC 機能 ON のノイズ低減効果を求める ANC 機能 OFF の値から、ANC 機能 ON の値を引く。

5. 実験効果

5. 1 ピンクノイズの実験結果

人間の可聴領域の 20Hz～20kHz までの周波数帯域の結果をグラフ化した。グラフの縦軸が騒音低減効果 (dB)、横軸は周波数 (Hz) である。分析結果は右耳の結果を示している。図中の ANCOFF はヘッドホンを装着したのみの状態による騒音低減効果である。

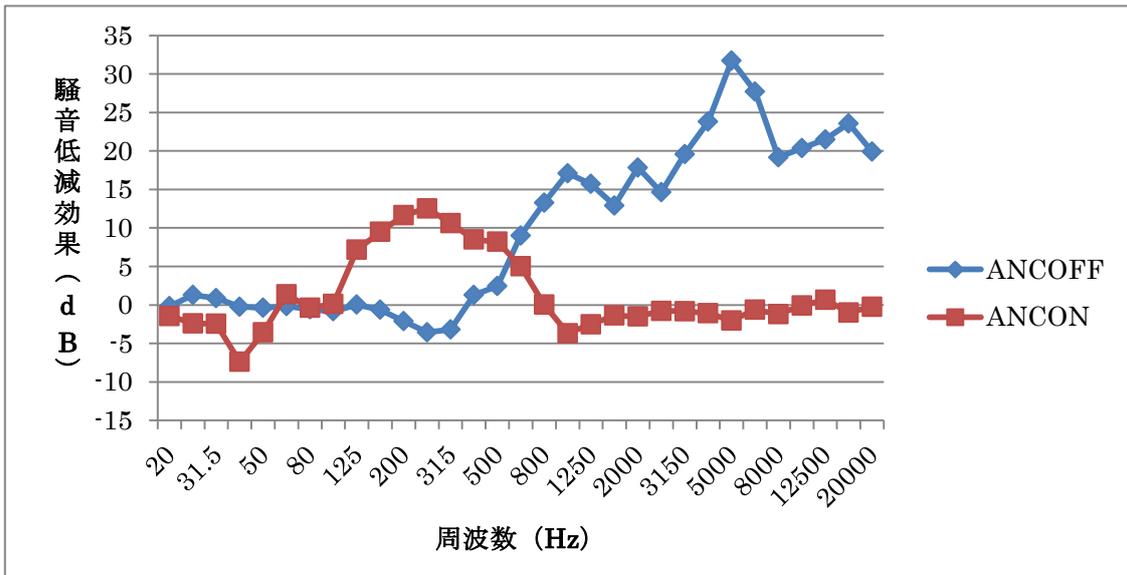


図2 SONY 製ヘッドホン

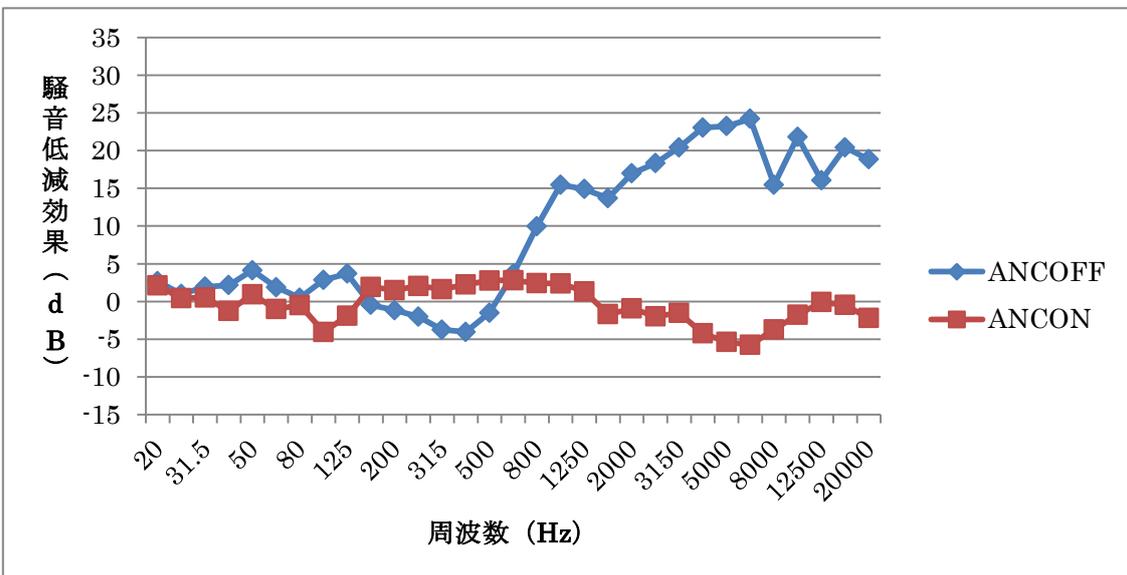


図3 Pioneer 製ヘッドホン

図2はピンクノイズを使用した SONY 製の ANC ヘッドホンの実験結果である。図3はピンクノイズを使用した pioneer 製の ANC ヘッドホンの実験結果である。どちらのヘッドホンも 125～630KHz

の間で ANC の騒音低減効果が見られた。Pioneer 製が 2~4dB ほどなのに対して SONY 製ヘッドホンでは 300Hz 付近で 12dB 程の効果が出ている。今回の実験ではヘッドホンを装着していない状態から ANC 機能 OFF の値を引いた結果を出したが、SONY 製ヘッドホンでは 630Hz~20000Hz の間で遮音効果が見られ、pioneer 製ヘッドホンでは 800~20000Hz の間で遮音効果が見られる結果となった。

5. 2 ホワイトノイズの実験結果

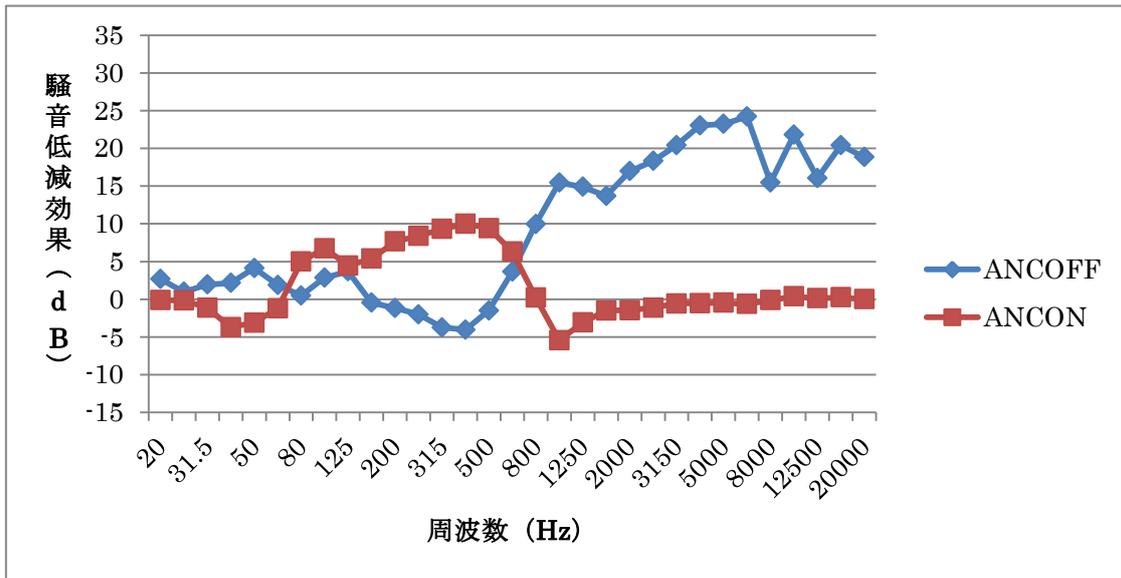


図4 SONY製ヘッドホン

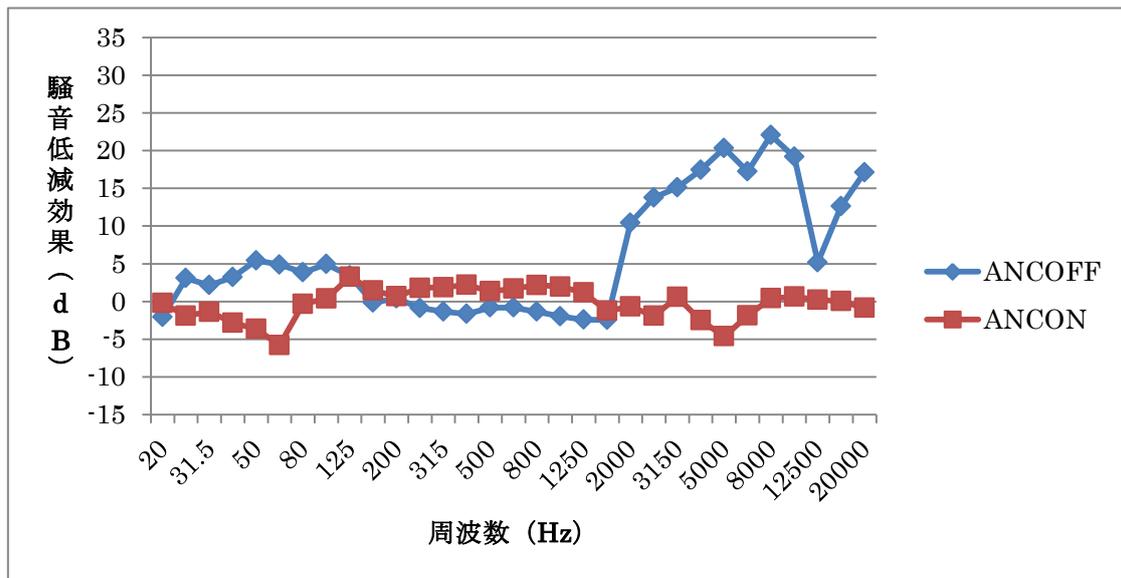


図5 Pioneer製ヘッドホン

図4はホワイトノイズを使用したSONY製のANCヘッドホンの実験結果である。図5はホワイトノイズを使用したpioneer製のANCヘッドホンの実験結果である。

SONY製ヘッドホンは80～630Hzの間で騒音低減効果が見られ、Pioneer製ヘッドホンでは200～1250Hzの間で騒音低減効果が見られた。SONY製ヘッドホンでは1250Hzあたりで-5dB、Pioneer製ヘッドホンでは6000Hzで-5dBと出たが、これはANC機能がOFFの状態よりもうるさくなっていることを表している。

ヘッドホンを装着していない状態から ANC 機能 OFF の値を引いた結果は、SONY 製ヘッドホンでは 630Hz～20000Hz の間で騒音低減効果が見られ、pioneer 製ヘッドホンでは 2000～20000Hz の間で騒音低減効果が見られる結果となった。

5. 4 人ごみの音の実験結果

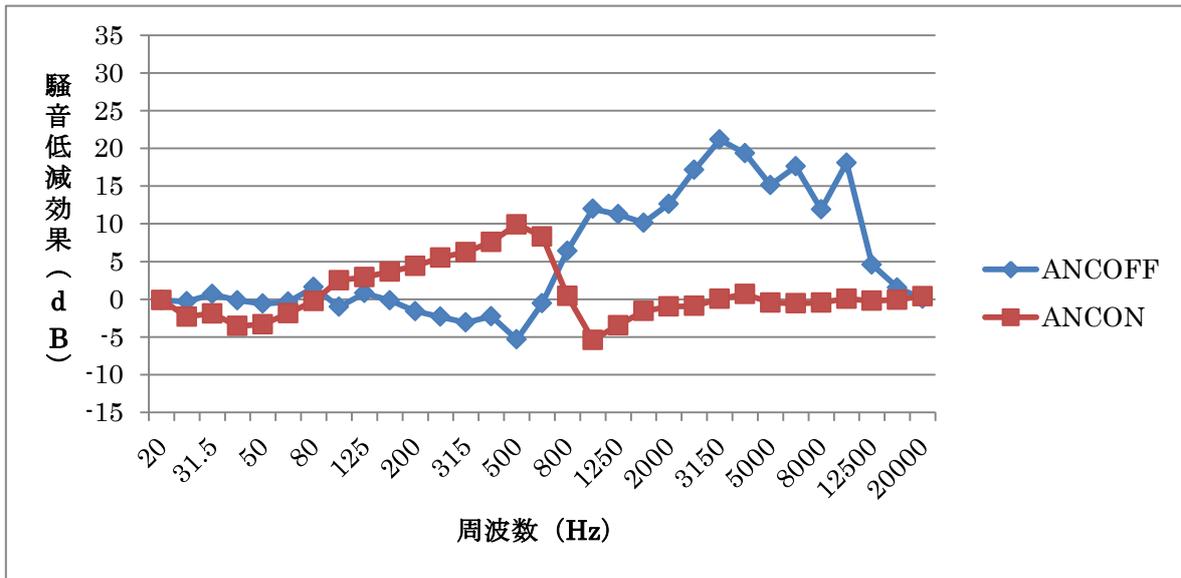


図6 SONY製ヘッドホン

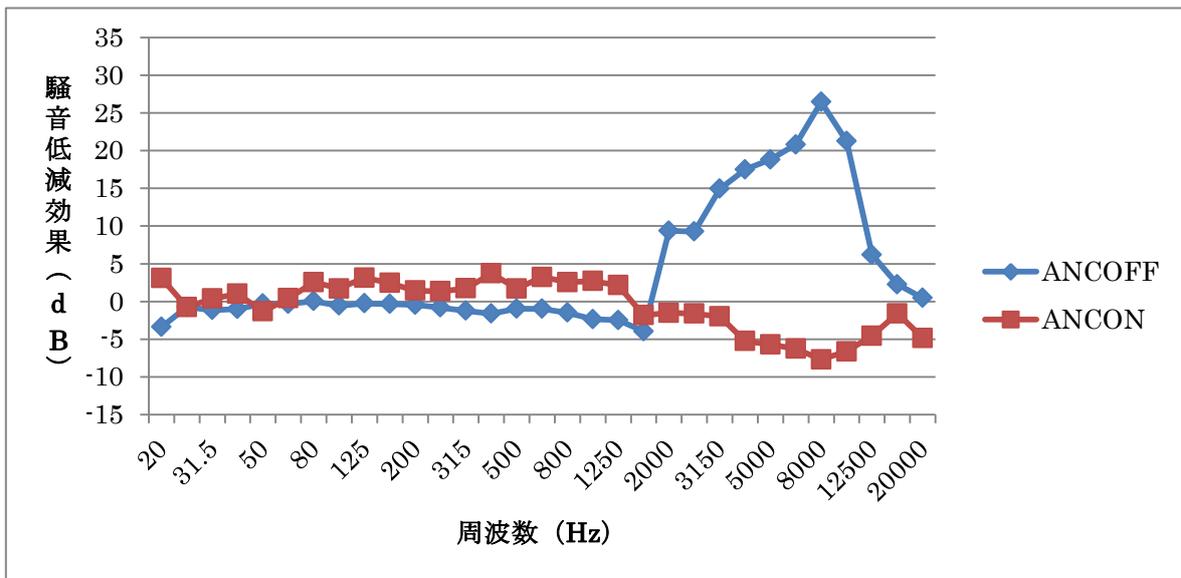


図7 Pioneer製ヘッドホン

図6は人ごみの音を使用したSONY製のANCヘッドホンの実験結果である。図7は人ごみの音を使用したpioneer製のANCヘッドホンの実験結果である。

SONY製ヘッドホンでは300~630Hzの間で5~10dB程の騒音低減効果が見られ、pioneer製ヘッドホンでは100~1250Hzの間で1~5dB程の効果が発揮されたが、過去の研究[1]ではSONY製ヘッドホンでは500~800Hzの周波数帯域で15dBもの効果が見られ、pioneer製では200~800Hz付近で5dBほどの効果が出ていた。過去の研究とは違う音源を使用したことが結果の違いの原因と考えられ

る。また、ここでも SONY 製ヘッドホンでは 1250Hz あたりで-5dB、Pioneer 製ヘッドホンでは 6000Hz で-5dB という効果が出た。

ヘッドホンを装着していない状態から ANC 機能 OFF の値を引いた値は、SONY 製ヘッドホンでは 630Hz～20000Hz の間で騒音低減効果が見られ、pioneer 製ヘッドホンでは 2000～12500Hz の間で騒音低減効果が見られる結果となった。

5. 4 地下鉄の音の実験結果

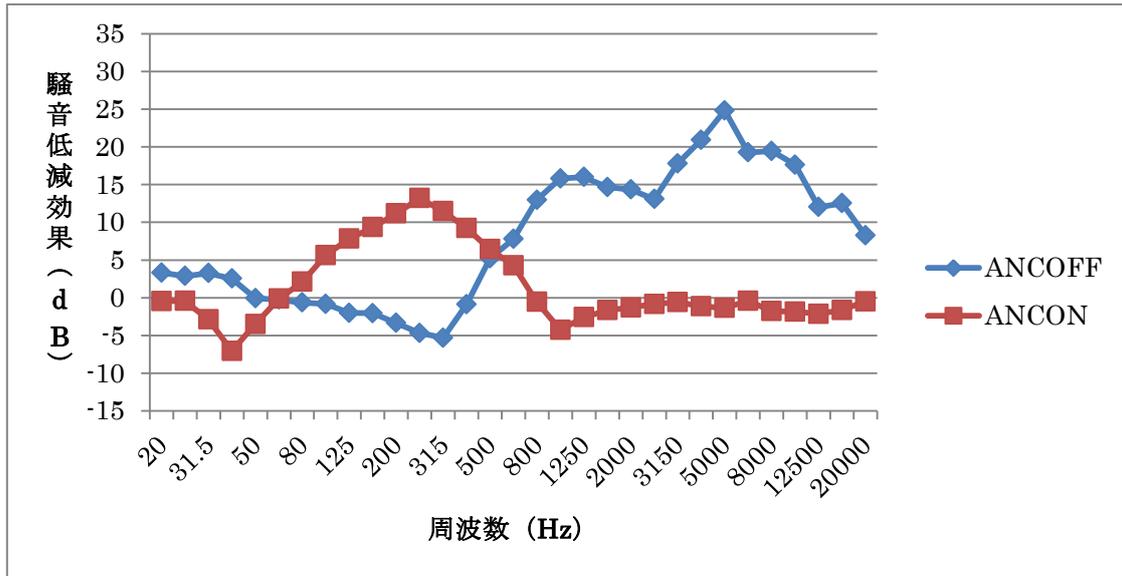


図8 SONY 製ヘッドホン

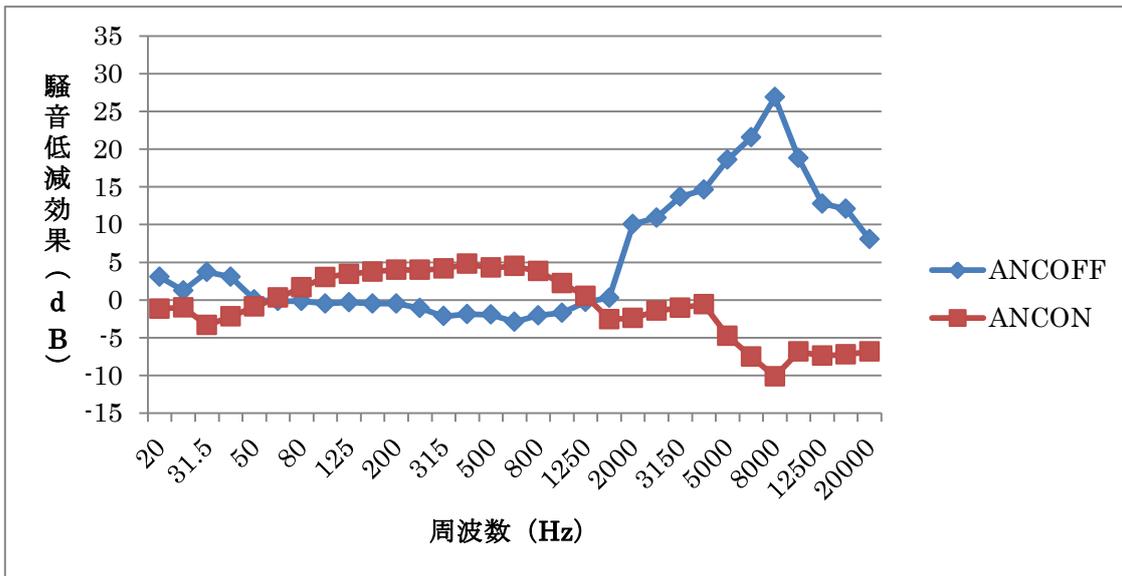


図9 Pioneer 製ヘッドホン

図8は地下鉄の音を使用した SONY 製の ANC ヘッドホンの実験結果である。図9は地下鉄の音を使用した pioneer 製の ANC ヘッドホンの実験結果である。SONY 製ヘッドホンでは 125~630Hz の間で騒音低減効果が見られた。Pioneer 製は 3~6dB ほどの効果なのに対して SONY 製ヘッドホンでは 300Hz 付近で 15dB 程の効果が出ている。ヘッドホンを装着していない状態から ANC 機能 OFF の値を引いた結果は、SONY 製ヘッドホンでは 100Hz~700Hz の間で騒音低減効果が見られ、pioneer 製ヘッドホンでは 100~1250Hz の間で騒音低減効果が見られる結果となった。SONY 製ヘッドホンでは 1250Hz あたりで-5dB、Pioneer 製ヘッドホンでは 10000Hz で-10dB と出た。Pioneer 製ヘッドホンに

おいては過去の研究でも述べられているように ANC ユニットから動作ノイズが発生している事が原因と考えられる。

ヘッドホンを装着していない状態から ANC 機能 OFF の値を引いた結果は、SONY 製ヘッドホンでは 500Hz～20000Hz の間で騒音低減効果が見られ、pioneer 製ヘッドホンでは 2000～20000Hz の間で騒音低減効果が見られる結果となった。

5. 5 SONY 製ヘッドホンのまとめ

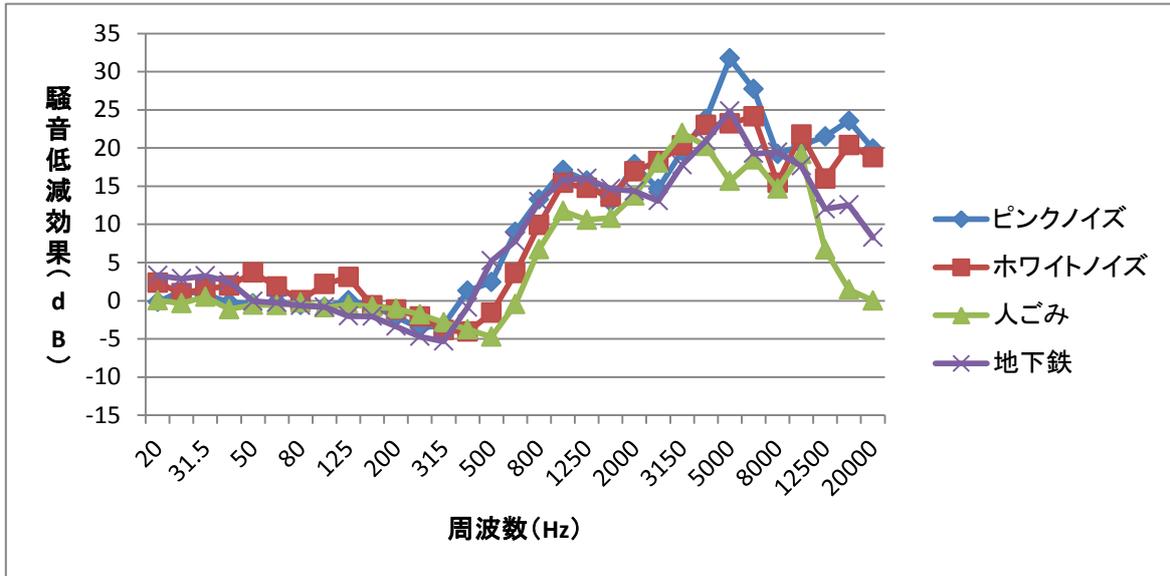


図 1 0 SONY 製ヘッドホンを装着したのみの状態の遮音効果

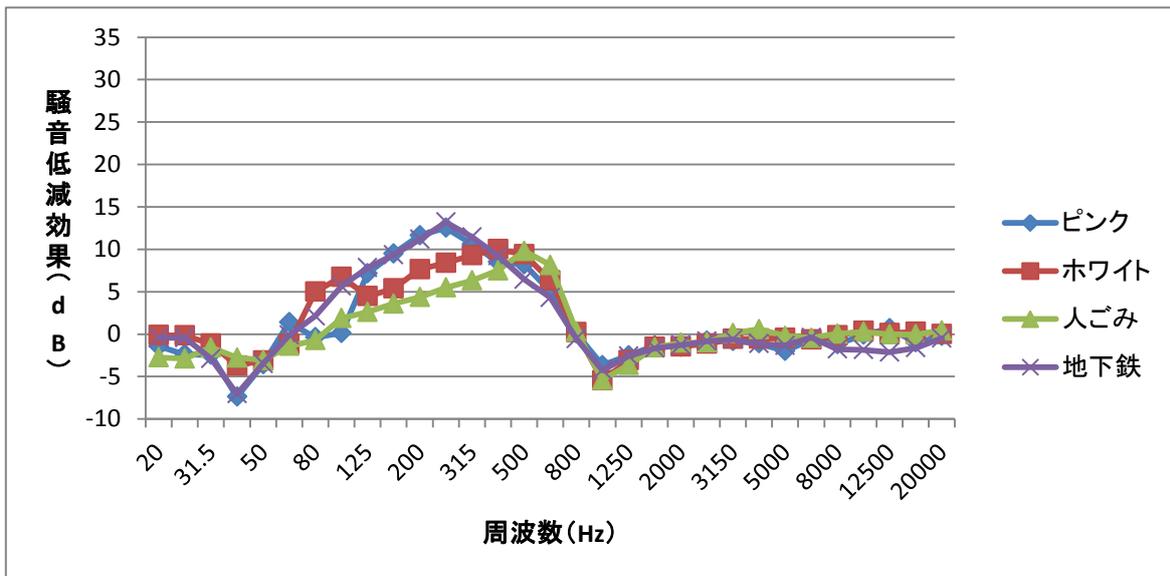


図 1 1 Sony 製ヘッドホンの ANC 機能を ON にした状態のノイズ低減効果

図 1 0 は SONY 製ヘッドホンを装着していない状態の数値から ANC 機能 OFF の数値を引いた値を音源ごとにまとめたグラフである。すべての音源において 300~600Hz の間で -5dB、人ごみの音は 3150Hz あたりで 20dB、それ以外の音源は 5000Hz あたりで 25dB~33dB ほどの騒音低減効果が得られた。また 4000Hz~20000Hz 間で音源ごとに結果に差があるのは、外来雑音（スピーカーから再生した騒音以外の環境騒音）が原因と考えられる。

図 1 1 は SONY 製ヘッドホンに ANC 機能 OFF の状態の数値から ON の状態の数値を引いた値を音源ごとにまとめたグラフである。すべての音源において 30~60Hz において-1~-8dB、80Hz~630Hz で 5~10dB、1000Hz あたりで-5dB、ピンクノイズと地下鉄の音は 300Hz あたりで 13dB ほどの騒音低減効果が得られた。また 80Hz~400Hz 間で音源ごとに結果に差があるのは、音源ごとに ANC 機能の特徴の違いが現れた可能性と、外来雑音が原因と考えられる。

5. 6 Pioneer 製ヘッドホンのまとめ

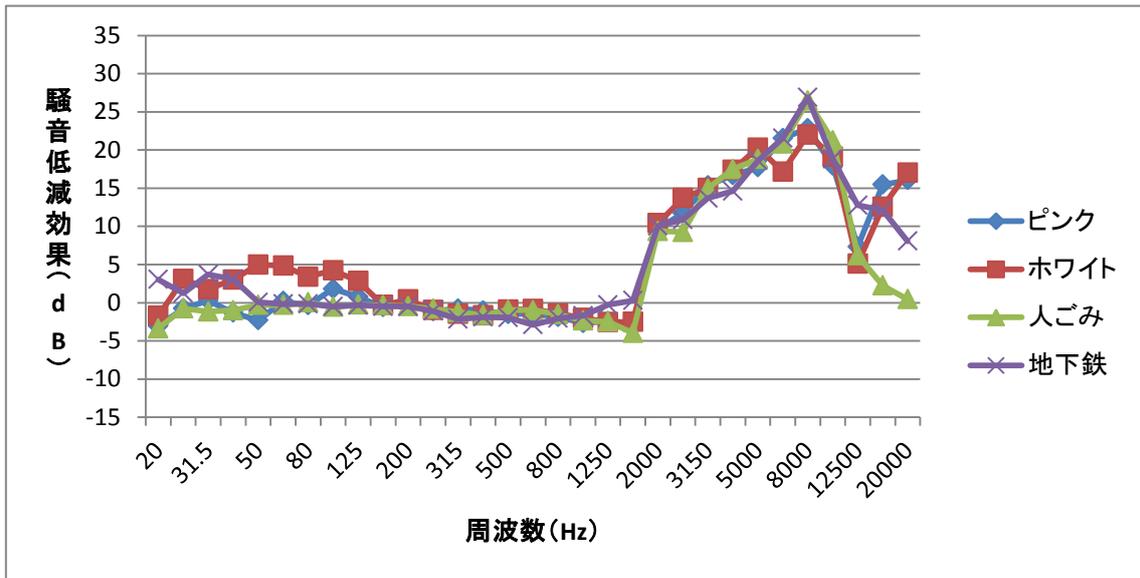


図 1.2 Pioneer 製ヘッドホン装着時のみの状態の遮音効果

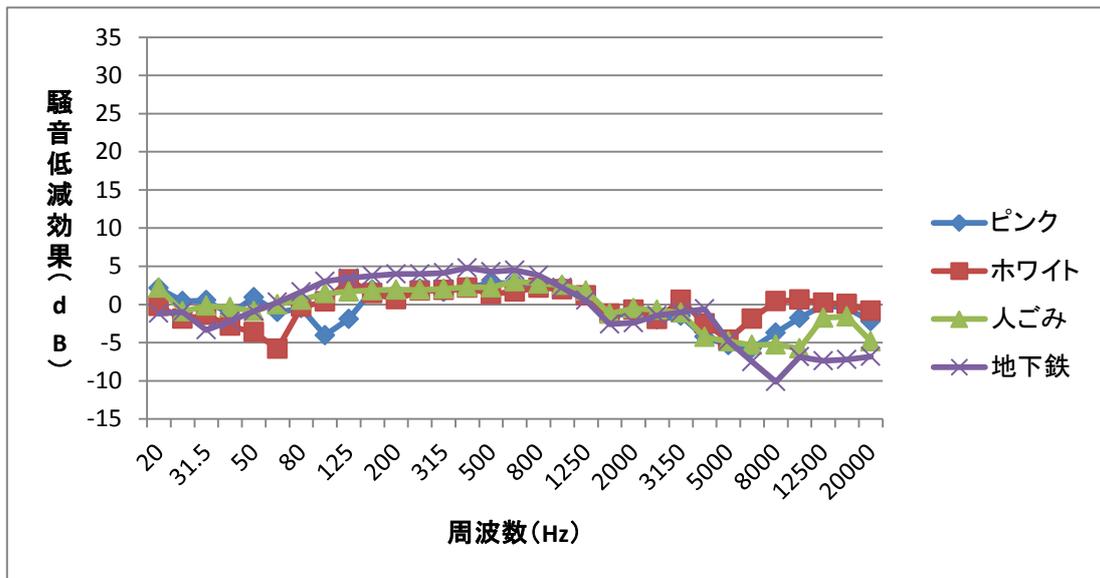


図 1.4 Pioneer 製ヘッドホンの ANC 機能を ON にした状態のノイズ低減効果

図 1.2 は Pioneer 製ヘッドホン装着していない状態の数値から ANC 機能 OFF の数値を引いた値を音源ごとにまとめたグラフである。すべての音源において 150Hz~1900Hz で 0~-5dB、2000Hz~10000Hz で 10~25dB、ホワイトノイズは 50Hz あたりで 5dB ほどの騒音低減効果が得られた。また、12500Hz~20000Hz で音源ごとの結果に差が出たのは外来雑音が原因と考えられる。

図 1 4 は Pioneer 製ヘッドホンに ANC 機能を OFF の状態の数値から ON の状態の数値を引いた値を音源ごとにまとめたグラフである。すべての音源において 200Hz～1250Hz で 1～5dB、5000Hz で-5dB、地下鉄の音では 8000Hz で-10dB ほどの騒音低減効果が得られた。また 7000Hz～20000Hz で音源ごとの結果に差が出たのは、音源ごとに ANC 機能の特徴の違いが現れた可能性と外来雑音が原因と考えられる。

6 考察

過去の研究では、どちらのヘッドホンも 100～1 KHz の間で騒音低減効果が見られた。Pioneer 製が 2～4dB ほどなのに対して SONY 製ヘッドホンでは 300Hz 付近で 13dB 程の効果が見られ、SONY 製ヘッドホンのほうが Pioneer 製ヘッドホンより騒音低減効果が高く発揮している結果となった。これらの実験結果は本研究の実験結果でもほぼ一致した。しかし、過去の研究では人ごみの音を使用した SONY 製ヘッドホンの測定結果で 1 kHz 以上での騒音低減効果が得られたが、これは ANC の特性上ありえない数値であるため、実験結果に信頼性が無い可能性がある。本研究では 1 kHz あたりで騒音低減効果は得られなかったため、平形の研究には信頼性がないと言える。

本研究では音源ごとの結果に差が出でしまっている。これは外来雑音やヘッドホンの装着具合の違いが原因と考えられる。今回の実験でもなるべく静かな部屋で実験を行ったが、今後は自然音や機械音がならない部屋か無響音室で実験を行う必要がある。ANC 機能を ON にした状態のノイズ低減効果が音源ごとに差が出てしまった原因としては、音源ごとに ANC 機能の特徴の違いが現れた可能性があげられる。

また過去の研究や本研究では、すべての音源を録り終えるまではヘッドホンを取り外さないように実験を行ったが、ANC 機能のスイッチを入れる際にヘッドホンの装着具合が変わってしまった可能性がある。装着具合の違いによってどの程度遮音効果に違いが出るのかを明確にするためにも、今後はヘッドホンを実験が終わるまで取り外さない実験と、実験中にヘッドホンを取り外した実験の両方を行い、実験結果を比較する事が必要であると言える。Pioneer 製ヘッドホンにおいてはパンフレット[2]に記述されているほどの効果は、過去の研究や本研究でも見られなかった。また過去の研究で得られた Pioneer 製ヘッドホンの地下鉄の音を使用した結果では 8000Hz あたりで -5dB という効果が出たが、本研究でもすべての音源において 5000～8000Hz あたりで -5～-10dB という結果が出た。これらはヘッドホンの劣化が原因と考えられる。過去の研究では、どのようなノイズキャンセリングヘッドホンを使用しても正確な騒音低減効果の測定ができる方法の確立を目的としており、二種類のヘッドホンを使用していたが、この pioneer 製ヘッドホンは今後使用せずヘッドホンを変更して改めて実験を行う必要がある。

7 まとめ

本研究は過去の研究を参考し、SONY 製と Pioneer 製のノイズキャンセリングヘッドホンの騒音低減効果の測定を行った。過去の研究では十分に騒音低減効果が得られているという結果であったが、過去の研究結果に信頼性があるか、実験方法などを確認し改めて実験を行い過去の実験結果と比較する事を目的とし実験を行った。

過去の研究では地下鉄の音を使用した Pioneer 製ヘッドホンの結果で、1kHz 以上の帯域で 10dB ほどの騒音低減効果が得られていたが、これは ANC の特性上ありえない数値である。本研究では 1kHz 以上の帯域で騒音低減効果が得られなかったため、平形の研究結果に信頼性がないと言える。Pioneer 製ヘッドホンの騒音低減効果においては、人ごみの音と地下鉄の音では 8000Hz 付近で-5~-10dB という結果が得られたが、過去の研究でも同様の結果が得られていた。また過去の研究では、SONY 製ヘッドホンのほうが Pioneer 製ヘッドホンより騒音低減効果が高く発揮している結果が出たが、今回の研究でも、SONY 製ヘッドホンは 80~630Hz に最大で 12dB ほど、Pioneer 製ヘッドホンは 5dB ほどの効果が得られ、過去の研究とほぼ一致した。

8. 参考文献

[1] “ノイズキャンセリングヘッドホンにおける騒音低減効果の比較と、測定方法の確立”

東京情報大学 総合情報学部 情報文化学科 C10080 平形大樹 平成 25 年度卒業論文

[2] “Pioneer SE-MJ7ns 報道資料”

http://pioneer.jp/topec/pdf/2006_prs/20061026_SE-MJ7NS.pdf

東北パイオニア株式会社 2006 年 10 月 26 年 2015 年 12 月 21 日 (アクセス)