卒 業 論 文

音響測定による動物避け警笛の音響特性に関する研究

北海道科学大学 創生工学部
情報フロンティア工学科
2-13-0-106
2-13-0-124
2-13-0-130
2-13-0-131
指導教員　松崎 博季

2017 年 (平成 29 年)2 月

目 次

第 **1** 章　はじめに　**1**

第 **2** 章　動物避け警笛について　**3**

2.1　まえがき 3

2.2　動物避け警笛とは 3

2.3　超音波と動物避け警笛 4

第 **3** 章　車両に装着した警笛の音響特性　**5**

3.1　まえがき 5

3.2　実験器具 5

3.3　警笛の音響測定 6

3.3.1　概要 6

3.3.2　実験方法 6

3.3.3　実験結果 7

3.4　警笛の取り付け位置について 8

3.4.1　実験結果 8

3.5　マイクロフォンの設置位置について 9

3.5.1　実験結果 10

3.6　まとめ 11

第 **4** 章　低騒音下における警笛の音響特性の測定　**12**

4.1　まえがき 12

4.2　実験器具 12

4.2.1　自作回転装置について 13

4.3　貫通型および非貫通型各々の音響特性 14

4.3.1　概要 14

4.3.2　実験方法 14

4.3.3　結果および考察 16

4.4　回転台の形状が警笛音に与える影響について 18

4.5　まとめ 20

第 5 章　結論 **21**

参考文献 **22**

謝 辞 **23**

第1章　はじめに

近年，北海道ではエゾシカと車両との衝突事故が問題となっている [1]．事故はエゾシカが増えると共に年々増加している．エゾシカによる年別の交通事故発生件数の推移（北海道）を図 1.1 に，月別の交通事故発生件数（平成 27 年）を図 1.2 に示す．図 1.1 を見ると，年々エゾシカによる交通事故が増加していること，図 1.2 は 1 年を通して秋頃に 1 番盛んになる事がわかる．事故を減少させるために利用されている製品の 1 つとして動物避け警笛 (以後, 警笛) がある．

図 1.1: エゾシカによる交通事故発生件数の推移（北海道）[1]

図 1.2: エゾシカによる交通事故月別発生件数（平成 27 年）[1]

エゾシカが車道への侵入を防ぐものとして，ワンウェイゲートやアウトジャンプ等がある [2,3]．性能が高くエゾシカが車道への侵入を防ぐ効果はあると言われているが，配置場所が限られる事や，コストがかかるため車両走行時全てに対応するのは難しい．そこで，本研究ではどの車両にも取り付けが容易であり，安価な動物避け警笛を使用した．この警笛は主に車のフロントバンパーに取り付け，車両走行時の風圧により音が鳴るものである．この警笛はエゾシカが狐などの野生動物が警笛音と認識する音を発生し，これらの動物をその場に立ち止まらせる効果があると謳われている．しかし，車両装着時にどのような音が鳴り，どのような動物に効果があるかは不明である．そこで，本研究では，車両に取り付けた警笛からどのような音の成分が鳴っているのか確かめる実験を行い，また車速により警笛音がどのような変化があるのか確かめる実験を試みた結果について報告する．

第2章　動物避け警笛について

2.1　まえがき

本章では，動物避け警笛の概要及び動物への影響，超音波の関係について記述する．

2.2　動物避け警笛とは

動物避け警笛とは，鹿や狐などの動物と車両の衝突事故のリスクを低減することを目的として開発された製品である．警笛は車両のフロントバンパーなどに装着され，車両走行時の風圧により音を発生する．この音が動物には警戒声として捉えられ，この音を聞いた動物はその場に立ち止まり，車両に衝突しなくなるとされる [4]．

本研究では図 2.1 に示す動物避け警笛（以下、警笛と称する）の ES-101（オーストリア製）を使用する．図 2.1 左の警笛正面のイラストに示すように，本警笛は貫通型と非貫通型の 2 種類構成される．これらは，2.3 節で述べるように，それぞれ異なる音量・周波数の超音波を発生させる．

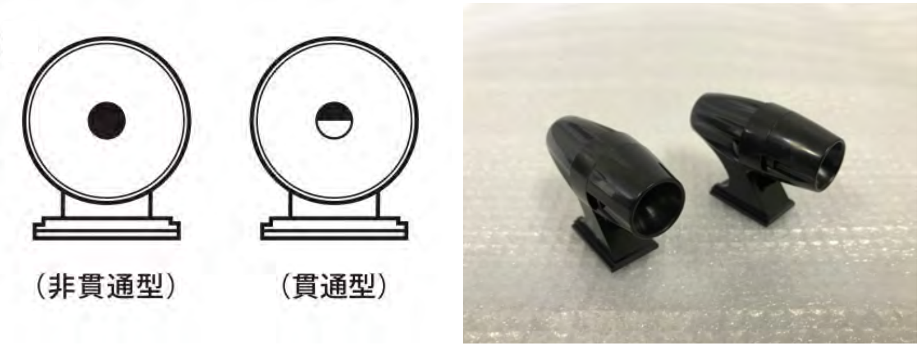


図 2.1: 動物避け警笛 ES-101

2.3　超音波と動物避け警笛

一般に，周波数が 20kHz 以上の音波を超音波と呼ぶ．これは人間が聴こえる周波数の上限といわれる 20kHz を超えた音波という意味からきている [5]．本研究に用いた警笛の取り扱い説明書には車両装着時，50km/h 以上で 16～20kHz の超音波を約 400m 前方に広がるように発生させると記述されている．動物のみが感じられる超音波を発生させる事により，その場に動物を立ち止まらせる事で車両への衝突・接触リスクが低減出来るとされている [4].

第3章　車両に装着した警笛の音響特性

3.1　まえがき

本章では警笛が装着された状態の車両走行時の音響測定を行うことで，警笛が発する音の解析を試みた結果について報告する．

3.2　実験器具

実験で用いる器具一覧を図 3.1 に示す．警笛の音響測定をするにあたり，車両走行時の雑音を最小限にするため，ハイブリッド車であるモーターのみで走行する TOYOTA プリウス α（以後，車両）を使用した．録音はマイクロフォンに入力された音声信号を USB オーディオインターフェイス（QUAD-CAPTURE）を介して測定用 PC で録音した．録音時のサンプリング周波数は 96kHz，量子化ビット数は 16 とした．

(a) 動物避け警笛 ES-101

(b) プリウス α

(c) マイクロフォン (ECM8000)

(d) 測定用 PC MacBook Air

(e) USB オーディオインターフェース QUAD-CAPTURE（UA-55 Roland）

図 3.1: 実験器具一覧

3.3　警笛の音響測定

北海道三国峠 (上士幌町国道 273 号線) において，警笛の音響測定を行った実験の手順および実験結果を示す．

3.3.1　概要

車両に警笛を取り付け走行した際に，警笛からどのような音が発生しているのか確認するため，実際の使用下に近い状況で音響測定を試みた．また，警笛の音波が約 400m 前方に広がるといわれているため，直線距離が 400m 取れる三国峠の道路上で実験を行った．

3.3.2　実験方法

車両の速度として，警笛の効果が得られるとされている最低速度 50km/h と制限速度の標識や標示がない一般道の最高速度 60km/h の 2 通り実験を行った．

1. 警笛を車両に取り付ける．取り付け位置は図 3.2 に示すようにプリウス α のフロントグリルとする．

図 3.2: 警笛取り付け位置

2. 実験時配置図を図 3.3 に示す．野生の動物が路肩にいる場合を想定し，その位置にマイクロフォンを設置する．マイクロフォンをエゾシカの目線に合わせ，地上から約 80cm の高さにする．マイクロフォンがある位置を 0m 地点の録音終了地点とし，そこから直線距離で 400m 離れた地点を録音開始地点とする．

3. 車両を 50km/h，60km/h のそれぞれ一定速度で録音開始地点から録音終了地点まで走行する．

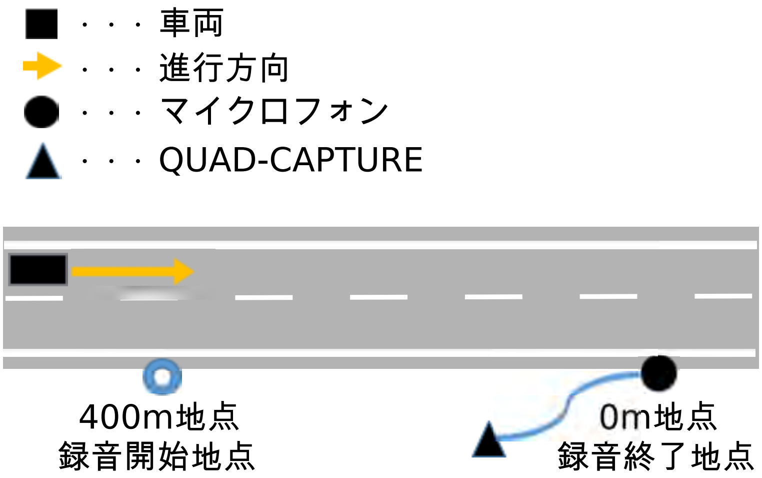


図 3.3: 実験時の配置図

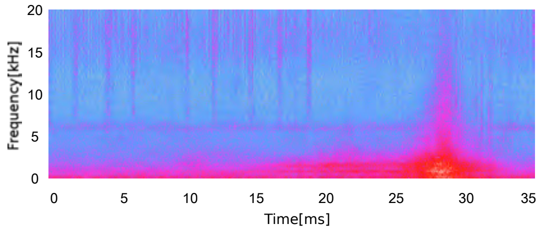
4. 車両が録音開始地点に差し掛かった時点で，マイクロフォンの録音を開始する．

5. 車両が録音終了地点を通過した時点で，録音を終了する．

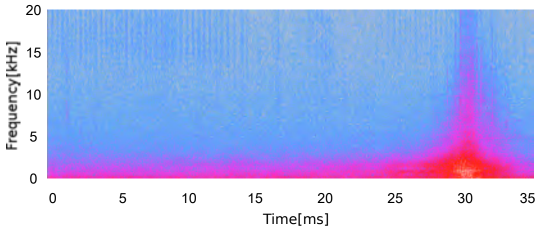
6. 上記の実験を，警笛に風が入り込まないように塞いだ状態でも 1. から行う．

3.3.3　実験結果

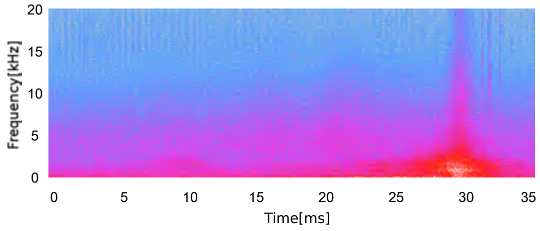
録音された各音声のサウンドスペクトログラムを図 3.4 に示す．図 3.4(a)，(c) は警笛未装



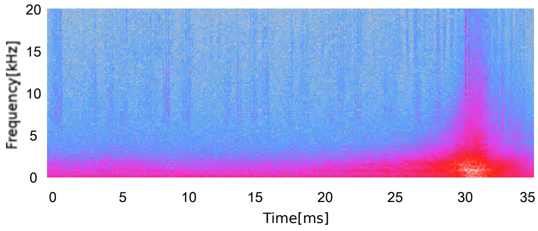
(a) 警笛無 50km/h



(b) 警笛有 50km/h



(c) 警笛無 60km/h



(d) 警笛有 60km/h

図 3.4: 録音音声のサウンドスペクトログラム

着時，図 3.4(b)，(d) は警笛装着時のサウンドスペクトログラムである．図 3.4 すべてに見られる 5kHz 以上の断続的な音の成分は虫の鳴き声である．警笛装着時と未装着時の結果を比較すると，速度によらず両者の特性に差が見られないことから，警笛装着時において警笛音が発生していないと考えられる．これは十分な音量の警笛音が鳴っておらずロードノイズで警笛音がかき消されたか，あるいは全く警笛音が鳴っていないことを意味している．

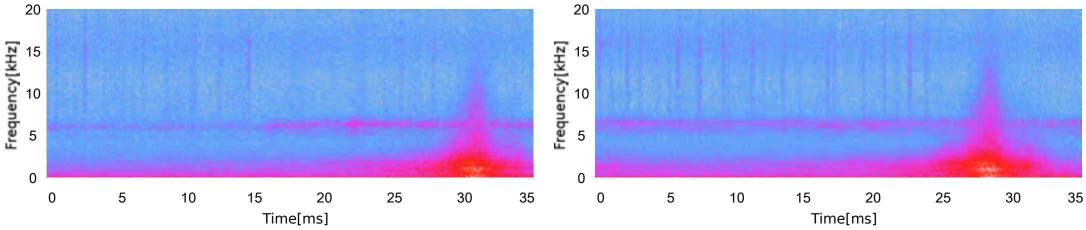
3.4　警笛の取り付け位置について

3.3 節で警笛の音を確認することが出来なかった要因の一つとして，取り付け位置が悪く警笛に十分な風圧が当たっていなかったことが考えられる．そこで，図 3.5 に示すように，警笛の取り付け位置をサイドミラー上，およびボンネット上に変更し同様の実験を行った．

図 3.5: 警笛取り付け位置

3.4.1　実験結果

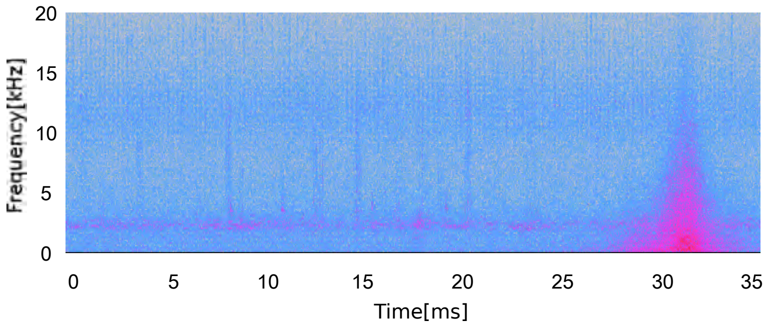
図 3.6 に警笛をボンネット上に取り付けた場合の，図 3.7(a) にサイドミラー上に警笛を取り付けた場合のサウンドスペクトログラムを示す． いずれにおいても，3.3 節と同様に警笛



(a) 50km/h　　(b) 60km/h

図 3.6: 警笛をボンネット上に装着した時のサウンドスペクトログラム

音と思われる成分を見ることができない，ボンネット上やサイドミラー上では十分な風圧が警笛に加えられていると思われるが，それでも警笛音が（ほとんど）発生しないという結果



(a) 60km/h

図 3.7: 警笛をサイドミラー上に装着した時のサウンドスペクトログラム

になった．以上より，本警笛 ES-101 に構造上の問題がある，あるいは車速が 60 km/h 程度では警笛から音を発生させるには不十分であることが考えらえる．

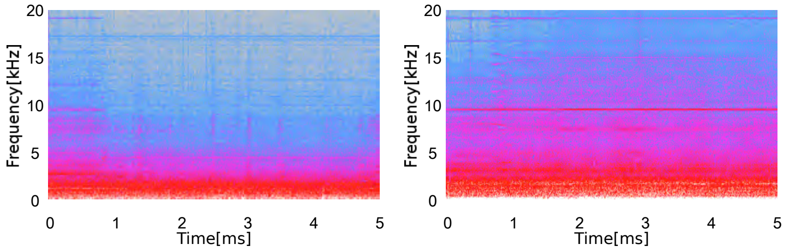
3.5　マイクロフォンの設置位置について

3.3 節および 3.4 節では，どちらも警笛の音を確認することが出来なかった．これは十分な音量の警笛音が鳴っておらずロードノイズで警笛音がかき消されたためと考える．そこで図 3.8 に示すように，マイクロフォンの位置を警笛のすぐ前に設置し車両を 50km/h，60km/h で走行し音響測定を行った．

図 3.8: 警笛取り付け位置

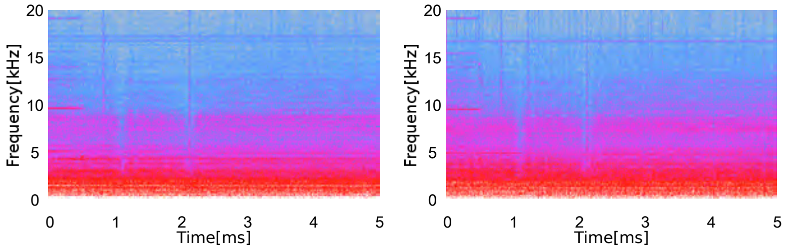
3.5.1　実験結果

マイクロフォンで録音した各音声のサウンドスペクトログラムを図 3.9 および図 3.10 に示す.

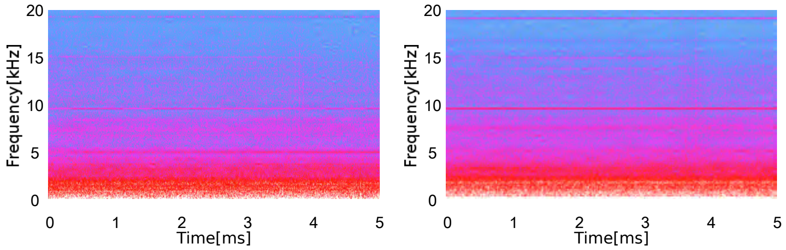


(a) 50km/h　　(b) 60km/h

図 3.9: 警笛無，録音音声のサウンドスペクトログラム



(a) 50km/h，非貫通型　　(b) 50km/h，貫通型



(c) 60km/h，非貫通型　　(d) 60km/h，貫通型

図 3.10: 警笛有，録音音声のサウンドスペクトログラム

警笛が無い状態を示す図 3.9 と警笛がある状態を示す図 3.10 に差が見られず，風切り音による音の成分しか見られない事から，本実験においても警笛が音をほとんど発生していないか，風切り音にかき消されてしまった状態となり，警笛音を確認することが出来なかった.

3.6 まとめ

車両に警笛を取り付けた状態と警笛を塞いだ状態の 2 通りについて車両走行時に音響測定したが，速度によらず両者に音の変化が確認できなかった．原因として，十分な音量の警笛音が鳴っておらずロードノイズで警笛音がかき消されてしまったこと，もしくは警笛から音が鳴っていないことが考えられる．そこで警笛の装着位置をボンネット上，サイドミラー上に変更し同様の音響特性を試みたが，フロントグリル装着時の結果と同様，警笛音を確認することができなかった．

第4章　低騒音下における警笛の音響特性の測定

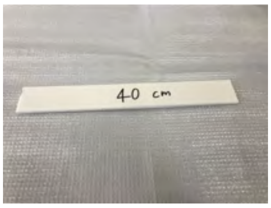
4.1　まえがき

第3章の実験では警笛音は確認できなかった．本章では警笛音を確認するために，ロードノイズや虫の鳴き声等が無い，警笛音のみを録音できる静かな場所で車両走行時に相当する風を警笛に当てる実験を行った結果について報告する．

4.2　実験器具

実験で用いる器具一覧を図4.1に示す．また，小型ギヤードモータの仕様書を表4.1に示す．

(a) 小型ギヤードモータ (MUXN606GL Panasonic)



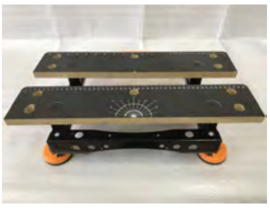
(b) スチレンボード

(c) 動物避け警笛 ES-101

(d) 測定用 PC(MacBook Air)

(e) マイクロフォン (ECM8000)

(f) OCTA-CAPTURE（UA-1010 Roland）



(g) 作業台

図 4.1: 実験器具一覧

表 4.1: 小型ギヤードモータ仕様書

size(mm)	品番	極数 (P)	出力 (W)	電圧 (V)	周　波　数 (Hz)	定格 (分)
60	MUSN606GL	4	6	100	50	連続

<table>
<tr><td>可変速範囲</td><td colspan="2">許容トルク (N・m)</td><td rowspan="2">始動電流 (A)</td><td rowspan="2">始動トルク (N・m)</td><td rowspan="2">コンデンサ容量 (μ F)</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr><td>回 転 速 度 (r/min)</td><td>1200r/min 時</td><td>90r/min 時</td></tr>
<tr><td>90~1400</td><td>0.032</td><td>0.025</td><td>0.30</td><td>0.037</td><td>2.5(200V)</td></tr>
</table>

4.2.1　自作回転装置について

自作回転装置を図 4.2 に示す．車両に警笛を取り付け走行した時と同様の状況にするため，ある一定の速度を保ち警笛を回転させるため回転数を設定できる小型ギヤードモータ (MUXN606GL Panasonic)（以後，モータ）を用いる．また，モータで警笛を回転させるため回転台として，モータに 4cm×40cm の長方形型スチレンボードをグルーガンを用いて取り付ける．その両端に貫通型，非貫通型の警笛を両面テープで固定し，補強としてグルーガンでさらに固定する．長方形型スチレンボードの中心（縦 2cm，横 20cm）にモータの回転軸の直径と同じ 5mm 程の穴を開け，モータの回転軸にグルーガンを使用して固定する．

図 4.2: 自作回転装置

4.3 貫通型および非貫通型各々の音響特性

自作回転装置を使用して警笛の音響測定を行った実験方法及び実験結果を示す.

4.3.1 概要

警笛音を録音するにあたり，警笛の有無の音の違いを録音するために警笛装着時と警笛未装着時の 2 通り実験を行った．第 3 章の結果と比較するため初めに車両走行 50～60km/h に相当する速度で実験を行った．50～60km/h では警笛に超音波を発するために必要な風が当たっていないと考えられたため，速度を上昇させ，車両走行 70km/h に相当する速度で実験を行った.

また小型ギヤードモータのスピードコントローラを用いて，計算式（4.1）で車両速度 50km/h～70km/h に相当する速度から 1 分間の回転数を計算して実験を試みた.

$$1\text{分間の回転数} = \frac{\text{回転速度}\,[\mathrm{km/h}] \times 1000}{\text{直径}\,[\mathrm{m}] \times \text{円周率} \times 60} \tag{4.1}$$

4.3.2 実験方法

警笛を取り付けた状態で音響測定を行った．配置図を図 4.3 に示す．実験を行う上で，警笛に風が入り込む箇所を養生テープで塞いだ状態を未装着として，測定対象を，貫通型，非貫通型を一対として装着した場合（以後，装着時），両型を未装着にした場合（以後，未装着時），貫通型のみ装着した場合（以後，貫通型のみ），非貫通型のみを装着した場合（以後，非貫通型のみ）の 4 種類とする.

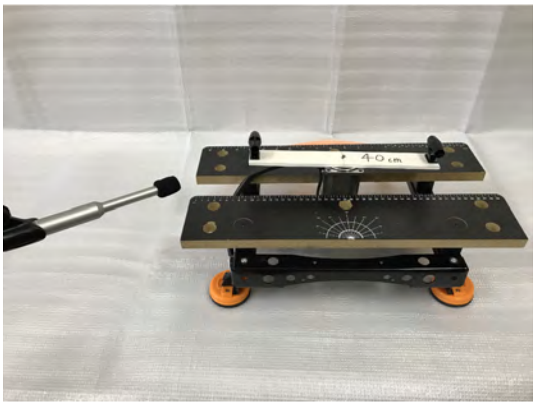
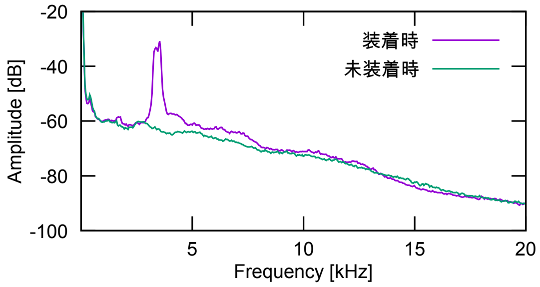


図 4.3: 実験器具配置図

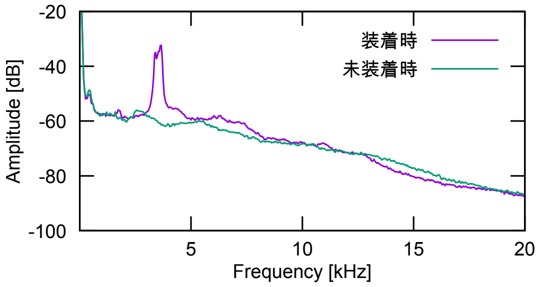
1. 車両走行 50km/h に相当するモータの回転速度をスピードコントローラで設定する．マイクロフォンの位置は回転する警笛から真横 15cm の距離にする．
2. モータを回転させた状態で録音する．
3. 上記の実験を車両走行 55km/h〜70km/h に相当するモータの回転速度の場合も録音する．

4.3.3　結果および考察

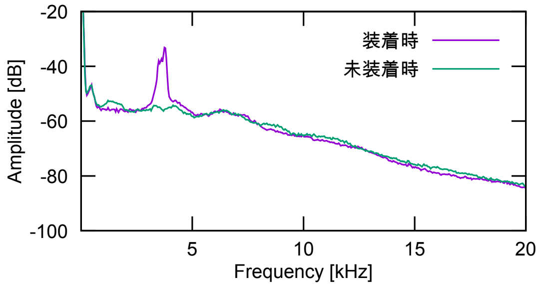
各録音音声のスペクトルを図 4.4 および図 4.5 に示す．



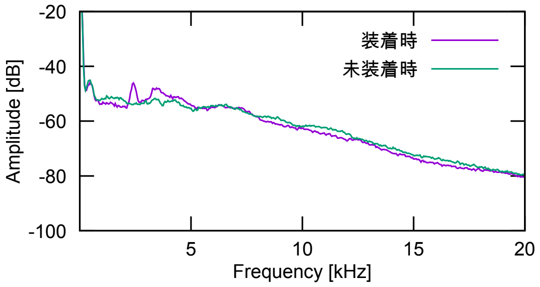
(a) 50km/h



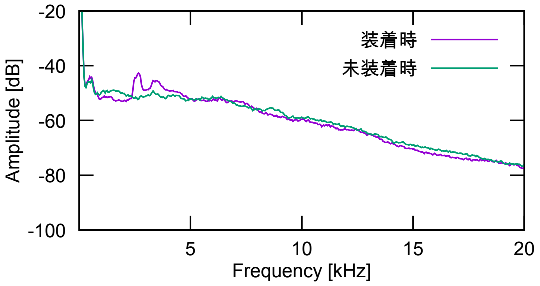
(b) 55km/h



(c) 60km/h

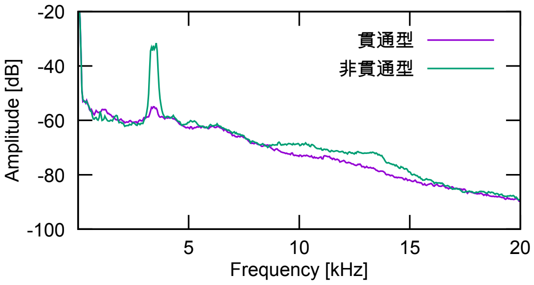


(d) 65km/h

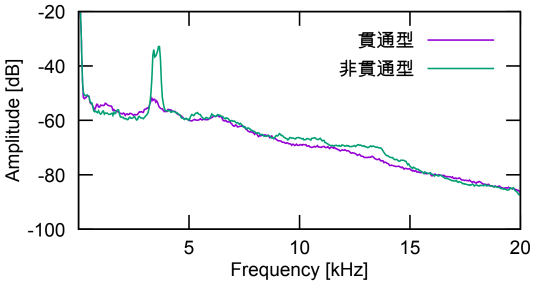


(e) 70km/h

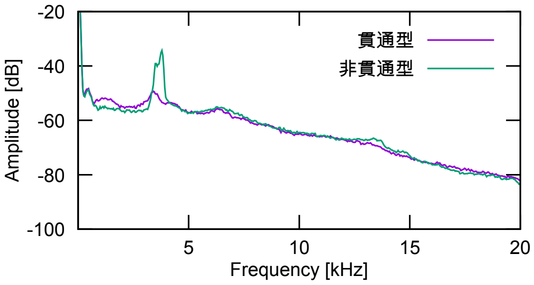
図 4.4: 装着時，未装着時のスペクトル



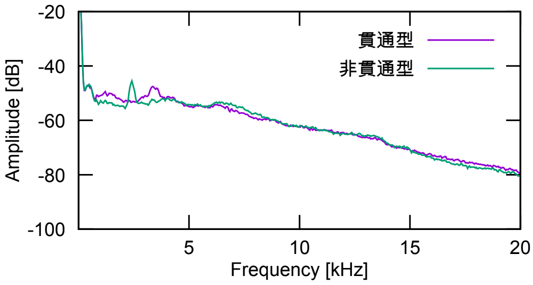
(a) 50km/h



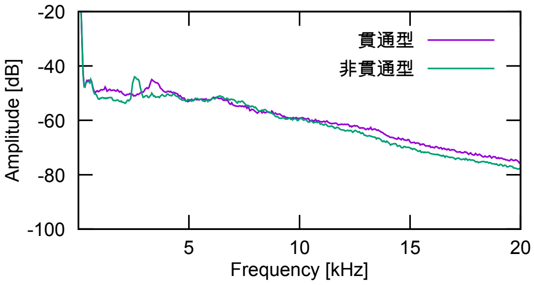
(b) 55km/h



(c) 60km/h



(d) 65km/h



(e) 70km/h

図 4.5: 貫通型のみ，非貫通型のみのスペクトル

図 4.4 は装着時と未装着時の車両走行各速度に相当する回転速度で回転させた時の警笛音を表しているスペクトルである．図 4.4（a）,（b）,（c）より，装着時と未装着時のスペクトルを比較すると，3.5kHz 付近の成分が確認できた．図 4.4（d）,（e）より，装着時の 3.5kHz の成分の振幅は小さく，車両走行 65km/h〜70km/h に相当する速度では警笛音がそれより低速の 50km/h〜60km/h よりも小さくなってしまうことがわかる．

図 4.5 は貫通型のみ，非貫通型のみの車両走行各速度に相当するモータの回転速度を表しているスペクトルである．図 4.5（a）,（b）,（c）より，3.5kHz 付近の成分は非貫通型によるもので，貫通型はほとんど音を発していないことがわかる．また，図 4.5（d）,（e）より，65km/h〜70km/h になると警笛の型によらずほとんど音を発生しなくなることがわかる．

4.4　回転台の形状が警笛音に与える影響について

前節までの結果において，回転速度が速くなるにつれて警笛が音を発しにくくなる傾向がみられた．速度が速くなることにより音が発生しにくくなる要因の一つとして，回転速度が速くなるとスチレンボードが空気を乱しやすくなり，結果として警笛に十分な空気が当たらなくなったことが考えられる．そこで，空気を乱しにくいと思われる 2 種類の回転台をスチレンボードで作成し，同様の実験を試みた．作成した回転台を図 4.6 および図 4.7 に示す．図 4.6 は前節までに用いたスチレンボードの空気の当たる面を極力少なくなるように側面を約 -10 度の傾きを加えて作成した，また図 4.7 は空気の当たる面が無い円板状の回転台である．

各録音音声のスペクトルを図 4.8〜図 4.10 に示す．図 4.8〜図 4.10 より，スチレンボードに変更を加え音響測定を試みたところ，4.3 節と比較し車両走行 65km/h に相当する速度で円形スチレンボードのスペクトルの 3.5kHz 付近に成分が確認できた．しかし，超音波領域に警笛音の成分を確認できなかった．

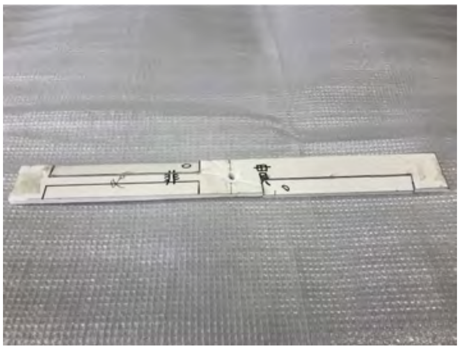


図 4.6: 傾きを持つ回転台

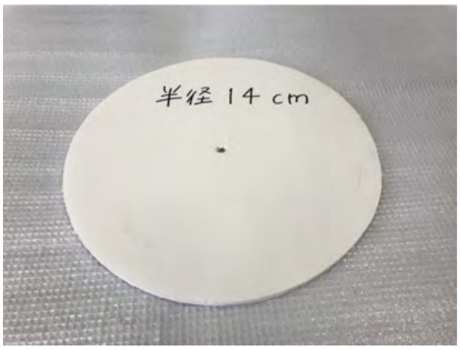


図 4.7: 円形状回転台

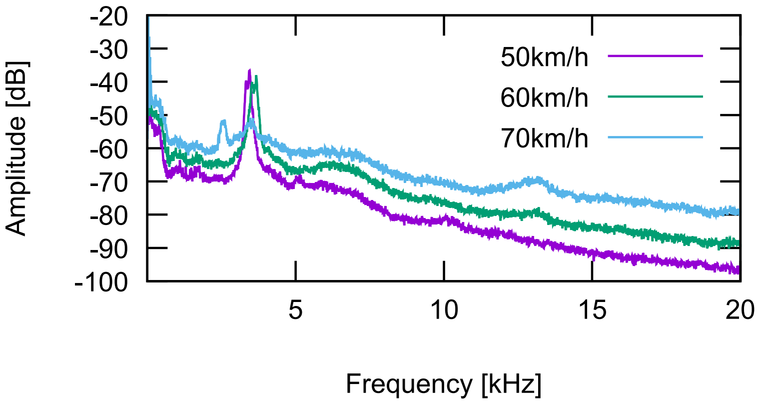
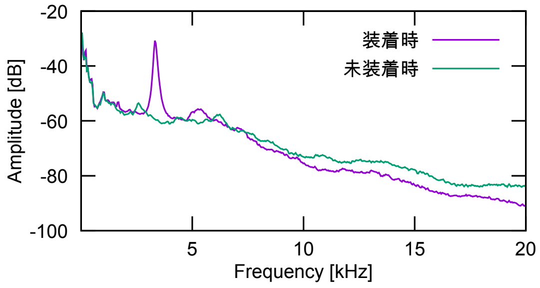
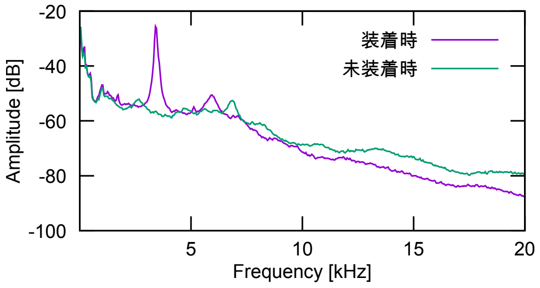


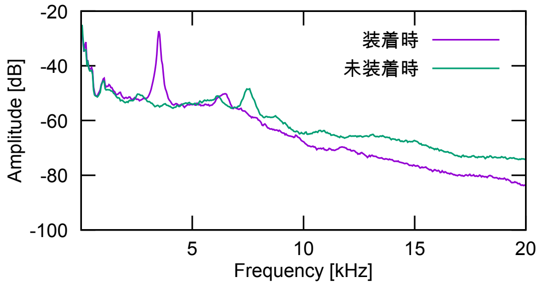
図 4.8: 傾きを持つ回転台を使用した時のスペクトル



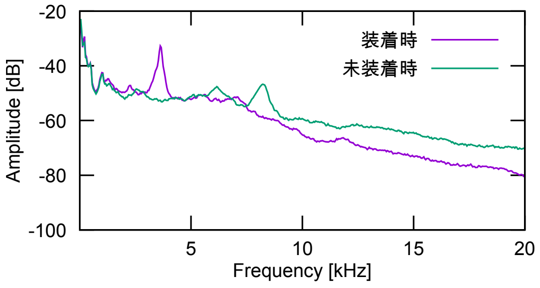
(a) 50km/h



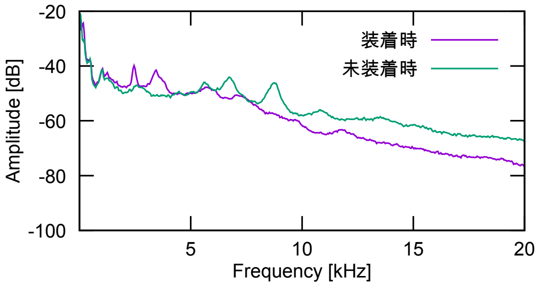
(b) 55km/h



(c) 60km/h

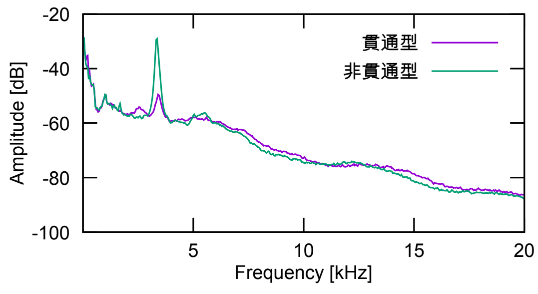


(d) 65km/h

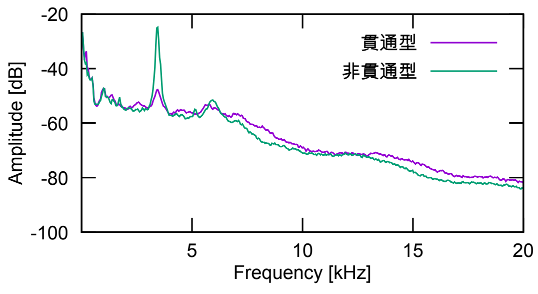


(e) 70km/h

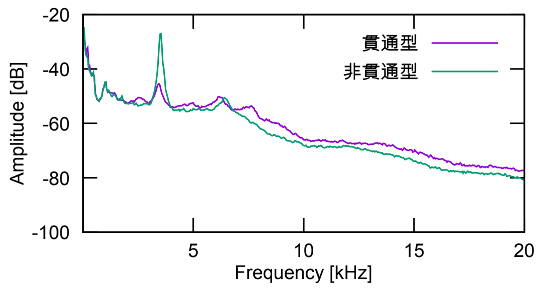
図 4.9: 装着時，未装着時のスペクトル



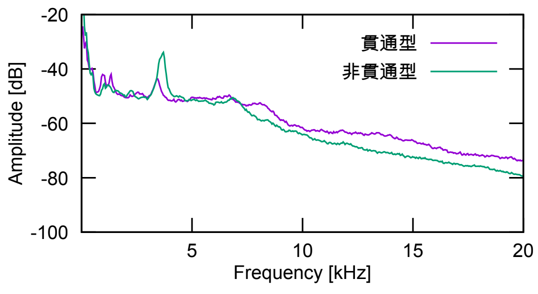
(a) 50km/h



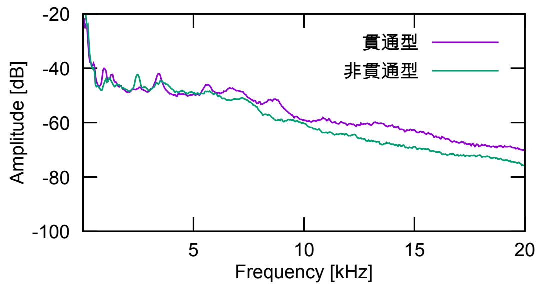
(b) 55km/h



(c) 60km/h



(d) 65km/h



(e) 70km/h

図 4.10: 貫通型のみ，非貫通型のみのスペクトル

4.5　まとめ

回転速度を速くしていくにつれ警笛の音と思われる成分は小さくなってしまった．そこで，回転台を変更して同様の実験を試みたところ，円形状回転台を使用した時のみ他の回転台では見られなかった 65km/h の時に警笛の音の成分を確認できたが，速度が速くなるにつれて警笛音が小さくなることに変わりはなかった．この要因として警笛を回転させる方法では，風が警笛に上手く当たらず警笛音が発せられない，または警笛の構造上に何か問題があるのではないかと考えられる．警笛が十分に音を発することができなかったためか，いずれの実験においても速度によらず超音波領域の音は表れていなかった．

第5章　結論

本章では，車両に装着した警笛の音響特性，低騒音下における警笛の音響特性の測定の結論，まとめを記述する．

警笛を車両に装着時と未装着時の2通りについて車両走行時に音響測定したが，両者に音の変化が確認できなかった．原因として，ロードノイズに警笛の音がかき消されてしまったこと，もしくは警笛から音が鳴っていないことが考えられる．これは警笛の装着位置を比較しても，同様の傾向を示した．そこで自作回転装置を用い，回転速度を変更しつつ警笛を回転させると，実際に音は確認できたが超音波領域の音はどの方法を用いても確認できなかった．一方，文献 [6] より警笛に直接風を当てると警笛音が鳴ることが記述されている．このことから警笛への風の当たり方や風圧によって警笛音の鳴り方が変わると考えられる．これは警笛を適切に装着しなければ本来の性能が得られないことを意味する．今後の課題として，警笛の適切な車両の装着位置の検証や警笛の構造上の問題点を探る必要があるだろう．

参考文献

[1] 釧路開発建設部,，道路計画課，シカ事故発生マップ
http://www.ks.hkd.mlit.go.jp/road/etc/shika/shika_top.html

[2] NETIS 新技術情報提供システム
http://www.netis.mlit.go.jp/NetisRev/Search/NtDetail1.asp?REG_NO=HK-120033

[3] 野生鹿ロードキル防止対策,「スルース ワンウェイゲート（PDF）」
http://www.hkd.mlit.go.jp/topics/netis_skip/h24pdf/01.pdf

[4] 株式会社アバ,「動物避け警笛（ES-101）商品紹介」
http://aba-japan.com/edo-sta/animal.html

[5] 平原達也，音と入門，コロナ社，p.4（2013）

[6] 能登 ほのか，小關 花那，"動物避け警笛の音響特性の測定と動物への影響に関する研究"，北海道科学大学卒業論文，pp.5–16（2016）

謝 辞

本研究は，筆者が北海道科学大学在学中に，北海道科学大学創成工学部情報フロンティア工学科松崎研究室において 2016 年 7 月から 2017 年 1 月まで行ったものである．

*

本研究を進めるにあたり，終始，御指導，御鞭撻をいただいた北海道科学大学創成工学部情報フロンティア工学科松崎博季教授に心より感謝致します．

本研究の遂行にあたり，研究材料，実験場所等のご提供，多大なご協力を頂いた株式会社アバ社長 後藤嘉木様に心より深く感謝致します．

最後に本研究の遂行にあたり著者を常に支援し応援してくれた両親，並びに親族のみなさまに心より感謝申し上げます．