卒業論文

超音波を利用した音による

エゾシカと車両の衝突防止に関する研究

北海道科学大学 工学部 情報工学科 2-15-3-015 2-15-3-021 2-15-3-053 指導教員 松﨑 博季 2019年(平成 31 年)2月

目 次

第1章	緒言	1
第2章	パラメトリックスピーカーについて	3
2.1	まえがき.................................	3
2.2	超音波とは	3
2.3	パラメトリックスピーカーとは	3
第3章	超音波を利用したスピーカー作成について	5
3.1	まえがき................................	5
3.2	スピーカーの作成...............................	5
	3.2.1 遠隔操作	8
第4章	スピーカーの周波数特性測定実験	9
4.1	概要	9
4.2	使用機材	9
4.3	実験方法	10
4.4	結果及び考察	11
第5章	車両に搭載したスピーカーが発する音に対するエゾシカの反応実験	13
5.1	まえがき.................................	13
5.2	実験の概要	13
5.3	実験機材	14
5.4	実験で再生する音声	16
5.5	実験方法	18
5.6	実験結果	18
第6章	結論と今後の課題	24
参考文献	Ŕ	25

付	鎉 A	Volumio2 の導入方法	28
	A.1	OS のダウンロード	28
	A.2	OS のインストール	29
		A.2.1 SD カードのアンマウント	29
		A.2.2 SD カードヘコピー	30
	A.3	Volumio の初期設定	31
付	録 B	スピーカーの作製	36
	B.1	CAD ソフトウェア	36
	B.2	Simplfy3D	36
	B.3	3D プリンター	36
	B.4	スピーカーの作製	37
		B.4.1 筐体の設計	37
		B.4.2 CAD データの設定	40
		B.4.3 Lepton2の出力設定	44
		B.4.4 Lepton2 の準備	45
		B.4.5 Lepotn2で出力	46
付	録 C	使用機器の仕様	48
	C.1	Tangband SPEAKERS W2-802E	48
	C.2	秋月電子パラメトリック・スピーカー実験キット	49
	C.3	raspberry pi Zero WH	50
	C.4	JustBoom Amp pHat for Zero	51
	C.5	raspberry pi 3 Model B	51
	C.6	JustBoom JBM-001 DAC HAT	52
	C.7	Erthworks M30	52

謝 辞

 $\mathbf{54}$

第1章 緒言

北海道では動物と車の衝突事故が多数発生している。その中でもエゾシカとの衝突事故は メディアに取り上げられ大きな社会問題となっている。図 1.1 にエゾシカとの衝突事故発生 件数の推移 [1] を示す。



図 1.1: エゾシカとの衝突事故発生件数の推移 [1]

図 1.1 から、エゾシカとの衝突事故は年々増加傾向にあり深刻な問題となっていることが わかる。成獣の雄は、最大で体長 190cm・体重 150kg 程に成長する [1] ので、衝突した際は 車が損傷するだけではなく、ドライバーが負傷することもありえる。こういった問題に対 し、音を発することでエゾシカとの衝突を回避する方法が研究され、一部の音が衝突回避に 有効であると示唆する結果が示されている [2,3]。これらの音は 70 dB を超える大きな可聴 音で、常時音を発すると騒音になってしまう可能性がある。常時音を発しても騒音になりに くい音として人間には聞こえない超音波、あるいは指向性の鋭い超指向性の音が考えられ る。これらの音を用いた研究は既に行われており、エゾシカに対して有効であると示唆する 結果が示されている [4-6]。本研究では車に取り付けることを目的とした超音波および超指 向性の音を再生できるスピーカーを作成し、これらの音に対してエゾシカがどのように反応 を示すのか調査した結果について報告する。

第2章 パラメトリックスピーカーについて

2.1 まえがき

本章では、超音波および超音波を利用して限られた領域のみに音を伝えることのできるパ ラメトリックスピーカーについて記述する。

2.2 超音波とは

周波数が 20kHz 以上の音のことを超音波という。ただし、加齢によって可聴周波数は低下し若い成人の場合でも 20kHz まで聞こえる人はあまり多くない。可聴周波数の上限は十数 kHz~18kHz 程度といわれている [7]。

超音波は気体、液体、固体などの媒体中を伝搬し、真空中では伝搬しない。媒体により伝わりやすさが違い、気体<液体<固体の順で伝搬効率が高くなり、音速も速くなる傾向がある。空気中の音速は約340m/s、水中では約1500m/sになる。減衰しやすい性質を持っており、周波数が高いほど減衰率が高くなるため、可聴音より短い距離しか届かない。これは媒体によっても変化する。一方、可聴音は同心円状に広がって伝わるのに対し、超音波は特定の方向にビーム状に広がるためエネルギーは減衰しにくい。周波数が高いほど指向性も鋭くなり、可聴音よりも音の伝わる範囲が狭くなる [8,9]。

2.3 パラメトリックスピーカーとは

超音波を利用したスピーカーに、パラメトリックスピーカーがある。パラメトリックス ピーカーの原理を図 2.1 に示す。パラメトリックスピーカーは、20kHz 以上の高い周波数で 人間が音として知覚できない超音波を輸送波とし、音声や音楽のオーディオ信号で振幅変調 された変調波を、非線形性が生じる大きな振幅で空気中に放射する。変調波が空気中を伝播 する過程で空気の非線形性により 2 次歪みを生じる。2 次歪みが波長の短い変調波の音場に 沿って生じ、仮想的な音源となって指向性の高い音場が形成できる。超音波帯域の音は人間 の聴覚特性により聞き取ることができず、2 次歪みの中に含まれる可聴帯域のオーディオ信 号のみが復調され聞き取ることができる [10]。



図 2.1: パラメトリックスピーカーの原理について [10]

超音波の鋭い指向性により、図 2.2 に示すように変調波が直進するので極めて狭いエリア でのみ音が聞こえる事になる。ただし、実際にパラメトリックスピーカーを使用する環境や 乱反射によって可聴エリア以外でも聞こえることがある。壁や天井等に反射して伝わると可 聴可能エリアでは反射したその壁や天井から音が鳴っているように聞こえる。



図 2.2: スピーカーの単一指向性について [11]

第3章 超音波を利用したスピーカー作成につ いて

3.1 まえがき

本章では、超音波を利用したスピーカーの作成について記述する。

3.2 スピーカーの作成

超音波および超指向性の音を再生できるスピーカーの作成を行なった。スピーカー作成に 使用した機材を図 3.1 に示す。



(a) スピーカーユニット



(b) 超音波発振子群



(c) ラズベリーパイ



(d) アンプ



(e) 3D プリンタ

図 3.1: 使用器具一覧

超音波の再生には、図 3.1(a) に示すスピーカーユニット (Tangband SPEAKERS W2-802SE)を用いた。超指向性の音を利用するために図 3.1(b) に示す秋月電子のパラメトリック・スピーカー実験キット付属の超音波発振子群 [12]を用いた。車両の外に取り付けることや車内からの遠隔操作を想定し、図 3.1(c) に示す Wi-Fi 及び Bluetooth で無線通信が可能で小型軽量なラズベリーパイ (raspberry pi Zero WH)を用いることにした。アンプには

図 3.1(d) に示すラズベリーパイに対応し、40kHz の音が再生可能な機材 (JustBoom Amp pHat for Zero) を用いた。

これらの機材の持ち運びや機材保護をするため、図 3.1(e) に示す 3D プリンタ (Magna Recta 社製 LEPTON2) を用いてスピーカーボックスを作成した。以後、スピーカーユ ニットや超音波発振子などをハイブリッド化したものをスピーカーとする。

図 3.2 が作成したスピーカーで向かって左側にあるのがパラメトリック・スピーカー実験 キットの超音波発振子群、右側にあるのがスピーカーユニットである。



図 3.2: ハイブリッド化したスピーカー

図 3.3 はスピーカーの内部である。向かって左がスピーカユニット、右奥にあるのが超音 波発振子群、右手前の上段がアンプ、下段がラズベリーパイである。



図 3.3: ハイブリッド化したスピーカーの内部

3.2.1 遠隔操作

スピーカーは、車両の外に取り付けることや車内からの遠隔操作を想定し作成されてい る。ラズベリーパイの OS には、音声再生に特化された Linux ディストリビューションの Volumio2 を用いた。Volumio2 の起動画面を図 3.4 に示す。Volumio2 には、無線 LAN が無 接続状態であれば、アドホックモードと呼ばれる、無線ルータなどの中継機器をアクセスポ イントとして経由せずに、端末機器同士で通信を行うことができる通信方式が用意されてい る [13]。これによりスマートフォンや PC など無線 LAN 接続可能な機器は、直接 Volumio2 にアクセスすることができる。すなわちこれらの機器から音声を遠隔操作することができる。



図 3.4: Volumio2 起動画面

第4章 スピーカーの周波数特性測定実験

4.1 概要

作成したスピーカーの周波数特性ならびに出力される音量を調べる実験を北海学園大学山 鼻キャンパスの無響室にて行なった。その際、Volumio2 での音量設定とスピーカユニット の音圧レベルの関係についても調べた。

4.2 使用機材

実験で使用した機材を図 4.1 に、詳細を表 4.1 に示す。



(a) スピーカー



(d) 騒音計



(b) 音声再生用スマートフォン (c) マイクロフォン





(f) オーディオキャプチャ

図 4.1: 実験機材一覧

(e) 測定用 PC Windows

9

表 4.1: 使用機材	ŀ
-------------	---

使用器具	説明	図番号
スピーカー	ハイブリッド化したスピーカー	(a)
iphone8	スピーカーの遠隔操作	(b)
Erthworks 製 M30	測定用マイクロフォン	(c)
Digital Sound Level Mater	音量測定用騷音計	(d)
Panasonic Let's note CF-S9	音響測定用 PC	(e)
QUAD-CAPTURE USB Audio	アナログ音源を AD 変換器でデジタル化	
Interface (UA-55)	し、PCに取り込むためのオーディオキャ	(f)
	プチャ	

4.3 実験方法

スピーカーから出力される音量を測定する実験方法を以下に示す。

- 1. 無響室内に、マイクロフォンと騒音計をスピーカーから 10cm 離れた所に設置する。また、騒音計を音声再生中の最大音量を記録するように設定する。
- 2. 無響室外に音響測定用 PC を設置し、PC とオーディオキャプチャ、オーディオキャ プチャとマイクロフォン間を有線接続する。
- 3. スピーカー内のラズベリーパイを起動した後、測定者は無響室外へ退出する。
- 4. スマートフォンとスピーカーを無線接続する。スマートフォンで Volumio2 の音量設 定を最大音量 100 にする。
- 5. スマートフォンで音声再生し、測定用 PC で録音を開始する。
- スピーカーユニットから1Hz~30kHzのスイープ音、超音波発信子から40kHzの正弦 波を同時に225秒間再生する。実験に用いた音声データのデータ形式は標本化周波数 が96kHz、量子化ビット数が16、振幅は1、チャンネル数は2(ステレオ)でファイ ル形式はLPCMのMicrosoft WAV形式である。
- 7. 音声の再生が終了後、騒音計の測定値を確認する。

Volumio2の音量設定をそれぞれ80、50、30および20に変更して、同様の実験を繰り返した。

4.4 結果及び考察

騒音計の測定結果から得られた Volumio2 の音量設定に対するスピーカーユニットが発す る音の音圧レベルの関係を図 4.2 に示す。図 4.2 より Volumio2 の音量設定を 80 にすると ジェットエンジン付近の音量に匹敵する 120dB 付近の音圧レベル [14] が計測された。先行 研究 [2,15] では、80 ~ 100dB の大きさの音を用いて実験が行われているので、本研究もそ れらに倣いこれ以降の実験における音の大きさを、Volumio2 の音量設定を 20 として、すな わち約 80dB に設定して実験を行う。



図 4.2: Volumio2 の音量設定に対するスピーカユニットが発する音の音圧レベルの関係

図 4.3 にスピーカーの再生音を Windows 用フリーウェアの高速リアルタイムスペクトルア ナライザー WaveSpectra [16] のピークホールド機能で記録したスペクトルを示す。図 4.3 か ら 160Hz ~ 30kHz と 40kHz の音が出力されていることが分かる。このことからスピーカー ユニットの再生周波数は 160Hz ~ 30kHz 帯ということが分かった。超音波発振子について は 40kHz の音が出力されていることが確認できた。



図 4.3: スピーカーのスペクトル

第5章 車両に搭載したスピーカーが発する音 に対するエゾシカの反応実験

5.1 まえがき

本章では、スピーカーを車両に搭載し、エゾシカの反応を確認する実験を行なった結果に ついて報告する。

5.2 実験の概要

スピーカーから再生される音に対してエゾシカがどのような反応を示すのかを確認する実 験を苫東工業団地臨海部周辺において 2018 年 11 月 26 日、日の出前から 3 時間程度行なっ た。スピーカーの周波数特性実験で使用したラズベリーパイ (raspberry pi Zero WH) およ びアンプ (JustBoom Amp pHat for Zero) が実験を行う前に故障したため代替品としてラズ ベリーパイに raspberry pi 3 Model B を、アンプに JustBoom JBM-001 DAC HAT を用い た。これに伴いこれらの機器とスピーカーユニットを収める図 5.1(a) に示すスピーカーボッ クスを新規に作成した。また、超指向性音をソフトウェアによる変調処理により作成する 予定であったが、この方法では実験に十分な音量を得ることができなかったので、図 5.1(b) に示す研究室が所有する 50 個の超音波発振子を増設したパラメトリック・スピーカー実験 キット (超音波発振子は計 100 個)を実験に用いる事にした。

5.3 実験機材

実験に使用した機材を図 5.1 に、詳細を表 5.1 に示す。



(a) スピーカーユニット



(b) パラメトリックスピーカー





(d) ラズベリーパイ



(c) 走行車



(f) 録画カメラ



(g) 録画カメラのレンズ

図 5.1: 使用機材一覧



(h) レーザー距離計

(e) アンプ

表 5.1: 使用機材

使用機材	説明	図番号
Tangband SPEAKERS W2- 802SE	スピーカーユニット	(a)
パラメトリックスピーカー	パラメトリック・スピーカー実験キット [11]	(b)
マツダ プレマシー	走行車	(c)
raspberry pi 3 Model B	ラズベリーパイ	(d)
JustBoom JBM-001 DAC HAT	アンプ	(e)
録画カメラ (canon EOS M100)	録画用	(f)
EF-M55-200 IS STM	canon EOS M100 のレンズ	(g)
レーザー距離計 (LASER ACCU-	撮影地点からエゾシカまでの距離を測定	(h)
RACY PINPOINT600)		

5.4 実験で再生する音声

先行研究 [4,5] によると、エゾシカの可聴域はおよそ 115Hz から 54kHz であると推測され ている。また、人間の可聴周波数の上限は十数 kHz~18kHz 程度といわれていることから、 本実験では 15 kHz 以上の音を超音波として以下の音声を使用する。

- 図 5.2 に示す超音波発振子よりエゾシカが警戒した際に発する独特な声の警戒声 [18]
- 図 5.3 に示す枯れ草を踏む音
- 超音波 (40kHz) の連続音
- 図 5.4 に示すスピーカーユニットより 0.3 秒の間に 15kHz~25kHz に純音が線形に変 化するスイープ音と続く 0.3 秒の無音からなる断続音
- 15kHz の純音の連続音

音声データのデータ形式は標本化周波数が96kHz、量子化ビット数が16、チャンネル数は 1(モノラル)で、ファイル形式はLPCMのMicrosoft WAV形式である。



5.5 実験方法

図 5.5 に示すようにスピーカーを走行車 (マツダ プレマシー)のフロントグリルに括り 付けて、走行車が発する音に対するエゾシカの反応を確認する実験を行う予定だった。しか し、エゾシカがトラックの走行音やエゾシカの反応を記録するために降車した人間を警戒 し実験を行う前に逃げてしまった。そのため実験方法を変更し、以下に示すように実験を行 なった。



図 5.5: スピーカー設置位置

- 1. エゾシカ発見後スピーカーをエジシカに向けて車両を停止。
- 撮影班が車両の背後に隠れエゾシカが通常行動になるまで待機する。また、エゾシカの行動の確認は表 5.2 に示すエゾシカの行動カテゴリ [17] に従う。
- 3. 通常行動になった後、撮影地点からエゾシカまでの距離を、レーザー距離計で計測する。
- 4. 撮影(録画)を開始し、スピーカーから音を再生する。

以上の実験を、図 5.2 に示す警戒声 [18]、図 5.3 に示す枯れ草を踏む音、超音波 (40kHz)の 連続音、図 5.4 に示すスイープ音、15kHz の純音の順に再生して実施する。

5.6 実験結果

草原の小高い丘にいる逃げなかったエゾシカを対象に複数回実験を行なった。実験の様子 を図 5.6 に示す。

	静止	頭の方向は走行車に向かずあ たりを注視する
	注目	走行車の方に頭を向けて注視 する
警戒行動	警戒声	警戒声を発する
		警戒声に反応して歩行によっ
	2 13 13 23 22	て様子を伺い遠ざかる
	逃走	走って移動する
	步行行動 B	移動をするために歩行する
	 坂合	歩きながらまたは立ち止まっ
	环皮	て食物を採食する
通堂行動	毛織い	自分や他個体の体を口ですく、
		足で体や頭を掻く
	休息	地面に座って落ち着いている
	その他	他個体に対する反応など

表 5.2: エゾシカの行動カテゴリ [17]

エゾシカと車両の間の距離は、およそ 140 ~ 150m であった。各音声再生時のエゾシカの 反応について以下に述べる。

1. 15kHz の純音の連続音

図 5.7 に反応の様子を示す。5 頭確認できるが右端の個体は音の再生前から警戒行動 [17] を示していたため、この個体を除いた4頭を対象とし、実験を行なった。いずれも通常行動の採食で無反応という結果だった。

2. 40kHz の純音の連続音(パラメトリックスピーカーを使用)

図 5.8 に反応の様子を示す。5 頭確認できるが右端の個体は音の再生前から警戒行動 を示し、左から2番目の個体は音の再生当初は確認できなかったのでこれらの個体を 除いた3頭を対象とし、実験を行なった。右から2頭目の個体が注目、残りの2頭が 採食行動で無反応という結果だった。

3. スイープ音と無音からなる断続音

図 5.9 に反応の様子を示す。3 頭確認できるが右端の個体は音の再生前から警戒行動 を示していたのでこの個体を除いた2 頭を対象とし、実験を行なった。全ての個体が 採食行動で無反応という結果だった。



図 5.6: 実験の様子



図 5.7:15kHz の純音の連続音に対する反応の様子

4. 警戒声 (パラメトリックスピーカーを使用)

図 5.10 に反応の様子を示す。5 頭確認できる。中央で最も奥にいる1 頭が採食行動なのを除いて、いずれも注目、すなわち警戒行動を示した。



図 5.8: 40kHz の純音の連続音に対する反応の様子



図 5.9: スイープ音と無音からなる断続音に対する反応の様子



図 5.10: 警戒声に対する反応の様子

5. 枯れ草を踏む音(パラメトリックスピーカーを使用)

図 5.11 に反応の様子を示す。3 頭確認できるが左端の個体は音を再生する前から車両 の方を注目していたのでこの個体を除いた2 頭を対象とする。いずれも注目、すなわ ち警戒行動を示した。

以上の反応の結果をスピーカーごとにまとめたものを表 5.3 および表 5.4 に示す。



図 5.11: 枯れ草を踏む音に対する反応の様子

	無音	警戒声	枯れ草	超音波
警戒行動あり(匹)	-	4	2	1
警戒行動なし(匹)	-	1	0	3
合計(匹)	-	5	2	4
警戒行動あり(%)	-	80	100	25

表 5.3: 超指向性スピーカーに対するエゾシカの反応

	無音	15kHz sin 波	スイープ音
警戒行動あり(匹)	-	0	0
警戒行動なし(匹)	-	4	2
合計(匹)	-	4	2
警戒行動あり(%)	-	0	0

表 5.4: スピーカーユニットに対する鹿の反応

スピーカーユニットから発する音に対しては、すべての個体が無反応であった。この理由 として、超音波を150m先のエゾシカに対して十分な音量で届ける事ができなかった、ある いは高域の純音には反応しないことが考えられる。パラメトリックスピーカーによる40kHz の音に対しては反応する個体が見られた。また、超指向性の警戒声と枯れ草を踏む音にはほ とんどの個体が警戒行動を示している。これらの結果から、パラメトリックスピーカーは通 常のスピーカーに比べて音を遠くに届けることができる [8,9] ので、本実験のように150m 先の小高い場所にいたエゾシカに対しても十分な音量で音を届けることができたため、エゾ シカが反応したと考えられる。

第6章 結論と今後の課題

本研究では、超音波ならびに超指向性音を発するスピーカーを作成し、このスピーカーを使 用してこれらの音に対するエゾシカの反応を調査する実験を行った結果を報告した。実験結 果は、パラメトリックスピーカーを使用した超指向性音がエゾシカの警戒行動を促すのに有 効であることを示唆するものであった。

本研究を進めるにあたって以下の問題点が存在した。

- 3D プリンターの造形精度の問題で筐体の組み付けにズレが生じる
- 電子機器の扱い方に問題があり静電気やショートによるラズベリーパイなどの故障誘発
- 実験手順の認識不足による時間の浪費
- 実験に対する経験不足と野生生物に対する知識不足による実験の失敗

今後の研究遂行においては、これらの問題を引き起こさない為の事前の十分な知識の獲得と 準備を行う予定である。

本スピーカーを実用化するためには以下の課題を解決する必要がある。

- パラメトリックスピーカーの音響特性の詳細な測定
- 定性的かつ定量的なエゾシカに対する反応実験調査結果の取得
- スピーカーの取り付け位置を考慮した設計と小型化
- 車両のエンジン停止時におけるスピーカーに使用されるコンピューターの安全なシャットダウン

今後は以上の課題を解決することに取り組み、本スピーカーの実用化を目指したい。

参考文献

- [1] 環境生活部環境局生物多様性保全課エゾシカ対策グループ: http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ks/skn/est/.
- [2] 松崎博季,真田博文,和田直史,"スピーカー再生された警笛音に対するエゾシカの反応 調査 (2018) "第17回「野生生物と交通」研究発表会
- [3] 公益財団法人鉄道総合技術研究所"シカト犬の鳴き声を利用した鹿の車両接触事故防止 手法を開発"平成 29 年 11 月 14 日
- [4] https://www.sankeibiz.jp/business/news/180608/bsd1806080630001-n1.htm
- [5] 堂山宗一郎,江口祐輔,上田弘則"ニホンジカの超音波周波数域を含む純音刺激に対する 行動"農研機構報告 西日本農研 17 1-11,(2017)
- [6] 大澤 慶嗣,川口 光夫,別司 啓次,古川 誠,"シカ等忌避装置の研究開発(基礎研究編)=高 サイクル搬送波を利用した電子音に対する野生シカの忌避反応="敦賀商工会議所 エネ ルギー産業起業化研究会 2018 年 4 月 16 日
- [7] 可聴周波数の調査 年齢別調査
- [8] 谷村康行,"絵とき 超音波技術 基礎のきそ Mechatronics Series", 日刊工業新聞 社,2007
- [9] 超音波工業会,"はじめての超音波",工業調査会,2004http://akizukidenshi.com/download/k2617_manual.pdf
- [10] 中島悠輔,吉村健,仲信彦,大矢智之"携帯型超指向性スピーカの試作"http://www.sunfield.ne.jp/~oshima/omosiro/oto/kacyou.html
- [11] 秋月電子通商 パラメトリック・スピーカー実験キット組立説明書

https://www.nttdocomo.co.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/ technical_journal/bn/vol14_1/vol14_1_025jp.pdf

- [12] 秋月電子通商 パラメトリック・スピーカー実験キット http://akizukidenshi.com/catalog/g/gK-02617/
- [13] フレッツ光 ネット用語図鑑

https://bb-navi.jp/netjiten/a16.html

- [14] 日本騒音調査 ソーチョー https://www.skklab.com/standard_value
- [15] 石村智恵, 鹿野たか嶺, 野呂美紗子, 原文宏, 柚原和敏, 杉本加奈子, 柳川久" エゾシカの警 戒声を用いた交通事故防止策の試み (2013 年 2 月 22 日)"第 12 回「野生生物と交通」研 究発表会
- [16] 高速リアルタイム スペクトラムアナライザー WaveSpectra http://efu.jp.net/soft/ws/ws.html
- [17] 石村,他,エゾシカの警戒声を用いた交通事故防止策の試み,野生生物と交通,12-007 (2013)
- [18] http://www7.big.or.jp/~woofwrks/wp/archives/575
- [19] 大重美幸, "詳細! Swift3 iPhone アプリ開発 入門ノート", 株式会社ソーテック社, 2016.
- [20] 音響測定による動物避け警笛の音響特性に関する研究",北海道科学大学論文 (2018)
- [21] AUTODESK FUSION 360 学生・教職員・ダウンロード https://www.autodesk.co.jp/products/fusion-360/ students-teachers-educators
- [22] ここだけは、押さえておきたい! 3D プリンターの基礎知識 https://cweb.canon.jp/solution/biz/trend/3dprinter01.html
- [23] Fusion360の基本操作 https://www.autodesk.co.jp/products/fusion-360/ learn-training-tutorials
- [24] 【Fusion360の使い方】基礎練習 https://www.youtube.com/channel/UCxjvj_Lei8JldNOMLhBnsmA/playlists

[25] Simplfy3D マニュアル

https://dddjapan.com/pages/simplfy-3d-guide-book

- [26] Lepton2 3D プリンター:wiki 解説ページ http://wiki.magnarecta.com/?Lepton2
- [27] 【どんな種類があるの? 今さら聞けない「フィラメント」について 【3D プリン ター】 https://fusion360.3dworks.co.jp/2018/06/04/3dprinter-filament/#i-2
- [28] TangBand W2-802E DATA SHEET http://www.ritlab.jp/shop/product/speaker/data/tangband/w2-802se.html
- [29] 共立エレキショップ Raspberry Pi Zero WH ヘッダーピン実装仕様 http://eleshop.jp/shop/g/gI5L312/
- [30] 共立エレキショップ JustBoom Amp Zero pHAT for the Raspberry Pi Zero アンプ ボード http://eleshop.jp/shop/g/gH3P313/
- [31] 共立エレキショップ シングルボードコンピュータ ラズベリーパイ 3 モデル B http://eleshop.jp/shop/g/gGBH312/
- [32] 共立エレキショップ JustBoom DAC HAT for the Raspberry Pi DAC ボード JBM-001
 http://eleshop.jp/shop/g/gH31311/
- [33] M30 Earthworks Audio https://earthworksaudio.com/wp-content/uploads/2018/07/ Earthworks-M30-Manual.pdf

付録A Volumio2の導入方法

スピーカー作成に用いたラズベリーパイ用 OS、Volumioの導入方法を以下に示す。

A.1 OSのダウンロード

ラズベリーパイ用 OS、Volumio のダウンロード方法を以下に示す。

1. Volumioの公式ホームページ (https://volumio.org/) 内の DOWNLOAD へ進む。



図 A.1: Volumio 公式ホームページ

- 2. ページ中央の RASPBERRY PIの DOWNLOAD リンクより OS をダウンロードする。
- 3. ダウンロードした zip ファイルを解凍する。
- 4. 解凍が終わると、volumio-2.522-2018-12-30-pi.img という img ファイルが出てくる。 このファイルが Volumio の OS ファイルである。

A.2 OS のインストール

ラズベリーパイ用 OS、Volumio のインストール方法を以下に示す。

A.2.1 SD カードのアンマウント

Volumio をインストールする SD カードのアンマウント方法を以下に示す。この方法は、 macOS での方法である。

1. SD カード装置のデバイス名を特定するために、ターミナルを起動し、 以下のように df コマンドを実行する。

\$ df

起動結果を図A.2で示す。

2. 図 A.2 から SD カードは、disk2s1 に読み込まれていることがわかる。

		👔 K21	153053 — -bash — i	80×24		
Last login: Fi	ri Jan 11 10	0:44:38 on	ttys000			
Hiroki-no-Mac-	-mini-3:~ K2	2153053\$ di	f			[]
Filesystem	512-blocks	Used	Available	Capacit	y iused	ifree
%iused Mount	ted on					
/dev/disk1s1	1953115488	803657640	1145874952	42%	2327420	9223372036852448387
0% /						
devfs	383	383	0	100%	664	0
100% /dev						
/dev/disk1s4	1953115488	2097192	1145874952	1%	1	9223372036854775806
0% /priv	vate/var/vm					
map -hosts	0	0	0	100%	0	0
100% /net						
map auto_home	0	0	0	100%	0	0
100% /home	e					
/dev/disk2s1	123044	74505	48539	61%	0	0
100% /Volu	umes/boot	-				
Hiroki-no-Mac-	-mini-3:~ K2	2153053\$				

図 A.2: df コマンド結果画面

- 3. SD カードをアンマウントするコマンドを入力する。以下のようにコマンドを実行する。
 - \$ sudo diskutil unmont /dev/disk2s1

A.2.2 SD カードヘコピー

アンマウントが完了した SD カードへ Volumio の OS データをコピーする方法をいかに 示す。

1. ターミナルを起動する。解凍した Volumio の img ファイルがあるフォルダまで移動す るために cd コマンドを使用する。以下のようにコマンドを実行する。

\$ cd {path}

{path}には img ファイルがあるフォルダのパスを指定する。

cd コマンドを利用しフォルダの移動が完了したら、img ファイルの有無を確認するために ls コマンドを利用する。以下のようにコマンドを実行する。
 \$ 1s



図 A.3: ls コマンド実行結果

- 3. 図 A.3 からフォルダ内に img ファイルがある事がわかる。
- img ファイルの確認が完了したら、以下のコマンドを実行し SD カードへ img ファイルの書き込みを行う。

\$ sudo dd bs=1m if=imgファイル名 of= SDカード名

今回は以下のようになる。 \$ sudo dd bs=1m if=volumio-2.522-2018-12-30-pi.img of=/dev/rdisk2 注意: SD カード名の部分は SD カード装置のデバイス名を指定するが、dd コマンド では Raw デバイス名を用いるので、"/dev/disk2s1" という論理デバイス名ではな く、"/dev/rdisk2" を指定する。

コピー開始後は、ターミナルに何も表示されない。進捗状況を確認するのは以下のコ マンドを入力する。

contol + T

imgファイルの書き込み結果を図A.4に示す。

[Hiroki-no-Mac-mini-3:Volumio K2153053\$ sudo dd bs=1m if=volumio-2.522-2018-12-30 -pi.img of=/dev/rdisk2 load: 1.41 cmd: dd 12514 uninterruptible 0.01u 1.85s 2440+0 records in 2439+0 records out 2557476864 bytes transferred in 131.584309 secs (19436032 bytes/sec) load: 1.31 cmd: dd 12514 uninterruptible 0.02u 2.03s 2698+0 records in 2697+0 records out 2828009472 bytes transferred in 146.112505 secs (19355013 bytes/sec) 2800+0 records in 2800+0 records in 2800+0 records out 2936012800 bytes transferred in 151.456359 secs (19385207 bytes/sec) Hiroki-no-Mac-mini-3:Volumio K2153053\$

図 A.4: img ファイル書き込み終了画面

A.3 Volumioの初期設定

Volumio の設定方法をいかに示す。

- 1. Rasberry Pi に OS のコピーが完了している SD カード、HDMI ケーブル、キーボード,マウス、LAN ケーブルを接続し、電源を入れる。
- 2. 起動が完了後、ログイン画面が表示される。 volumio login には、volumio と入力し、 Password にも、volumio と入力する。ログインが完了した画面を図 A.5 に示す。

1 KOIN W2600 volumio login: volumio Password: Linux volumio 4.14.71-v7+ #1145 SMP Fri Sep 21 15:38:35 BST 2018 armv71 Free Audiophile Linux Music Player - Version 2.0 C 2015 Michelangelo Guarise - Volumio Team - Volumio.org Volumio Debian GNU/Linux comes with ABSOLUTELY NO WARRANTY, to the extent permitted by applicable law. volumio@volumio:"\$

図 A.5: volumio ログイン画面

3. 以下のコマンドを実行し、Rasberry Piの IP アドレスを調べる。実行結果を図 A.6 に 示す。

\$ ifconfig



図 A.6: ifconfig 実行結果

4. Rasberry Pi 側での操作は以上で終了である。

	(îr	•	あ	水 13:18	駒文彦	Q	3	8
	V	Vi-Fi:	ネッ	トワークを	検索中			
1	v	VI-FI3	ミオフ	にする				
	-1	ンタ	ーネッ	/ト共有				
	h	umi (の iPh	one	•	40	; 🔳	
	√ m	natsu	-labo				(î;	
	0	01D	73B4	17D2			ŝ	
	0	01D	73B4	17D2-1			ŝ	•
	a	term	-ac6a	a47-a				
	a	term	-ac6a	a47-aw			•	
	a	term	-ac6a	a47-g			ŝ	
	a	term	-ac6a	47-gw			•	
	B	UFFA	ALO-2	220B4D			ŝ	
	В	uffal	0-A-7	74D0			•	
n	В	uffal	0-A-0	C9CA		<u></u>	<u> </u>	1
	В	uffal	0-G-(C9CA			<u> </u>	1
	н	IUS_V	Vi-Fi			-	ŝ	1
	n	hlab					(i)	
	n	hlab	-1			-	() ()	
	N	1IRAI	NET				(î)	
	N N		NET-	1			<u> </u>	
	IV C		NEI-	2			?	
		DA20		0E2DEE	2		÷	
	P	CAS(io	-0-305-	2	Δ	-	
		orani	10				~	
n	6	モかの	ネット	ワークに招	£続			
	7	ベット	ワーク	7を作成				
n	";	ネット	ワー	ク"環境設定	を開く			

5. MacOS で、画面右上の wi-fi 設定ボタンより図 A.7 に示すように Volumio を選択する。

図 A.7: wifi 設定画面

- 6. ブラウザを起動し、ifconfing コマンドにて調べた ip アドレスを入力し Volumio に接 続する。
- 7. Language 画面で、言語を日本語に選択する。
- 8. Name 画面で、Volumio の名前を決めることができるので自分がわかりやすい名前に 設定する。今回は、そのまま Volumio を設定した。
- Output 画面では、オーディオアンプの有無を設定することができる。オーディオアンプを使用する場合は Rasberry Pi にオーディオアンプを接続し、I have an I2S DACをYES に選択する。オーディオアンプを使用しない場合は、Select your audio outputに Audio Jack を選択する。
- 10. Network 画面では、無線 LAN の接続設定を行う。接続する無線 LAN を選択し、パス ワードが要求された場合はパスワードを入力し接続する。
- 11. Music 画面では、オーディオを保存するドライブの追加の設定を行うことができる。

12. Done 画面では、寄付をすることができる。寄付をする場合は、金額を指定し Donate を クリックする。寄付をしない場合は、右下の Done をクリックし初期設定は完了する。



13. 図 A.8 と同じく Volumio のホーム画面が表示されれば初期設定は終了である。

図 A.8: volumio 起動画面

付録B スピーカーの作製

スピーカー作製に用いた CAD ソフトウェア、3D プリンターの制御ソフトウェア、3D プリ ンターならびにスピーカー作製過程について述べる。

B.1 CADソフトウェア

スピーカーの筐体を設計するために、AUTODESK 社の Fusion360 を用いた。Fusion360 は、クラウドデータベースの 3D CAD/CAM ソフトウェアである。クラウドにデータが保存 できるので複数のパソコンでデータを共有することができる。設計から 3D プリンターデー タの出力まで行うことができる。学生・教職員は 3 年間無償で利用できる教育機関限定のラ イセンス [21] を提供しているのでこのライセンスを取得した。

B.2 Simplfy3D

3D プリンターを制御するために Simplify3D 社の Simplify3D を用いた。Simplfy3D は 3D モデルのスライスおよび 3D プリンターをコントロールする機能が統合されたオールインワ ンソフトウェアである。Fusion360 で作成した CAD データの印刷のために Simplify3D を用 いた。

B.3 3D プリンター

3D プリンターには、MagnaRecta 社の Lepton2 を用いた。Lepton2 は、熱溶解積層方式 (Fused Deposition Modeling, FDM) という造型方式のプリンターである。熱溶解積層方式 とは、ABS 樹脂や PLA (ポリ乳酸) といった熱可塑性樹脂(フィラメント)を融解させ、 0.1mm~0.8mm 程度の細いノズルの先端から溶解した樹脂を吐出し、積層する造成方式で ある [22]。

B.4 スピーカーの作製

B.4.1 筐体の設計

Fusion360 で筐体の設計を行う。Fusion360 のホームページに基本操作の説明 [23] がある が、YouTube に投稿されている【Fusion360 の使い方】基礎練習 [24] がより分かりやすく 説明されているのでこちらを参考に操作方法を学んだ。

図 B.1 に示す、松﨑教授から頂いたパラメトリックスピーカー実験キット付属の超音波発振子群を収納する筐体の CAD データを元にハイブリッドスピーカーの設計を行う。



図 B.1: 松﨑教授から頂いた CAD データ

精密な形状データを得るため、筐体に設置する機材の寸法をノギスで測定する。測定デー タを基に筐体の設計を Fusion360 で行う。図 B.2 に Fusion360 で生成した物体の大きさを、 寸法を直接入力して設定する例を示す。



図 B.2: 直方体の寸法入力画面

スピーカーユニット、ラズベリーパイ、超音波発振子群をネジで筐体に固定するため、筐体にネジ穴を設ける。ネジ穴の設定を行う際に、ネジの設定画面図 B.3 のモデル化にチェックを入れないで出力するとネジ穴にならないため注意が必要である。

● ねじ		
面	▶ 1 選択済み ×	
モデル化		
全体の長		
ねじのタ	ISO メートル プロファイル 🔻	
サイズ	3.0 mm 🔻	•
表示記号	M3x0.5	
クラス	6Н 🔻	
方向	右手]
サイズを		
0	OK キャンセノ	L

図 B.3: ネジの設定画面

図 B.1 にスピーカーユニットの筐体部を追加し、ハイブリッド化した筐体を図 B.4 に示 す。3D プリンターで出力された造型物は、わずかだが歪んでしまうことが多いため蓋など は、0.1mm ほど小さく設計する。

作成された筐体の大きさは長さ170.386(mm)×幅 77(mm)×高さ 64(mm)となった。



(b) 裏面



B.4.2 CAD データの設定

Fusion360 から Simplfy3D に CAD データを転送する。Simplfy3D で筐体と蓋を読み込ん だ状態が図 B.5 である。



図 B.5: Simplfy3D で読み込んだ CAD データ

筐体と蓋が重なっていると出力ができないため配置を変更する。配置を変更した物を図 B.6 に示す。



図 B.6: Simplfy3D で読み込んだ CAD データ

この状態で印刷してしまうと、超音波発振子群をはめ込む部分やスピーカーユニットの ホーンの上部の積層においては、下部に支えとなる層が無く空中にフィラメントを射出して 層にならずに崩れてしまう。そのためにサポート(支え)材が必要となる。Simplify3D で は自動および手動でサポート材を生成できる。Simplify3D のサポート材生成設定画面を図 B.7 に示す。

\mathbf{x}	サポート材生成	
自動配置		
サポートタイプ ノーマ	IL .	2
サポート柱の解像度	2.00	mm
最大オーバーハング角度	45	度
	自動サポートを生成	
手動配置		
新	しいサポート構造体を追	加
Ę	既存のサポートを削除する	3
サポート構造を保存		
サポート材をインポー	トする サポート	材をエクスポートする
すべてのサポート材をク	リアにする	完了

図 B.7: サポート材生成設定画面

「サポート柱の解像度」は、サポート材の太さ設定である。「最大オーバーハング角度」 は、アーチ状の部分やせり出した部分にサポートが必要かの設定である。本筐体の印刷にお いては、Simplfy3Dマニュアル [25] サイトで最大オーバーハング角度は45度が推奨されて いたので、45度に設定した。自動サポートを生成をクリックすると、サポート柱の解像度 と最大オーバーハング角度の設定を元にサポート材を生成される。図 B.6 のデータにサポー ト材を自動生成した結果を図 B.8 に示す。



図 B.8: サポート材が追加された CAD データ

サポート材が生成されていることが確認できる。

B.4.3 Lepton2の出力設定

Lepton2の設定を行うには、Genkeiの Wiki ページ [26] が参考になる。Simplfy3D トッ プ画面のプロセス設定の編集をクリックすると 3D プリンターの設定画面が図 B.9 のように 表示される。

				FFF 設定				
プロセス名:	Process1							
プロファイルを選択:	Lepton2 Toolchange (modi	ied)		2 ブ	ロファイルを	更新 新邦	見保存	削除
マテリアルの自動設定			プリントクオリティの自動設定			エクストルーダーの自動設定		
PLA	0	•	Medium	C	•	Prime Extruder Onl	у	0
一般設定								
インフィルの割合: -	0					10%	ラフトを含む	🔽 サポート材を生
	エクストルーダー レイヤー	追加機能	インフィル サポート材	温度 冷却 GCode	スクリプト	スピード その作	き 高度な設定	
エクストルーダー Prime Extruder	·リスト(クリックして設定を編集	Pri	me Extruder ツ-	-ルヘッド				
Sub Extruder		г	クストルーダーツールヘッドイ	ンデックス ツール 0				
		,	ズルの直径 0.40	0 mm				
		射	出量の調節(乗数) 0.96	0				
		射	出幅 自動 💿 手動 0.40	D 🗘 mm				
		εU	みコントロール					
		12 U	^{みコントロール} リトラクション	リトラクション(引き抜き)跀	巨難 5.	50 🗘 mm		
		12 U.	^{みコントロール}	リトラクション(引き抜き)路 余分なリスタート距離	E離 5. 0.	50 C mm 00 C mm		
		الت الت الت ا	みコントロール リトラクション	リトラクション(引き抜き)囲 余分なリスタート距離 リトラクション時のノズル§	E離 5. 0. 昇降動作 0.	50 0 mm 00 0 mm 20 0 mm		
		42 U.	み⊐≻トロール リトラクション	リトラクション(引き抜き)周 余分なリスタート距離 リトラクション時のノズル4 リトラクションスピード	E難 5. 0. 昇降動作 0. 25	50 0 mm 00 0 mm 20 0 mm 500.0 0 mm/źł		
			みコントロール リトラクション ループ最終点から余分に移動	リトラクション(引き抜き)頃 余分なリスタート距離 リトラクション時のノズル! リトラクションスピード 情走距離	E離 5. 0. 昇降動作 0. 25 0.	50 0 mm 00 0 mm 20 0 mm 500.0 0 mm/分		

図 B.9: サポート材が設定された CAD データ

使用するフィラメントに合わせて温度設定や出力速度の設定を変更する。本研究では、フィ ラメントに PLA を用いるため、ホットエンド温度を 190~220 ℃、ヒートベッド温度を 60 ℃に設定した。PLA は ABS と比べると、低い温度での出力が可能で、造型中の冷えによっ て起こる歪みやソリに強く、出力が安定しているため用いた [27]。ホットエンドは、フィラ メントを加熱し融解させる機構である。ヒートベッドは造形物が乗るテーブルである。

B.4.4 Lepton2の準備

パソコンと Lepton2 を USB で接続し、Simplfy3D で Lepton2 の制御や印刷準備を行う。 3D プリンターを制御するマシンコントロールパネルを図 B.10 に示す。マシンコントロール パネルで 3D プリンターの全ての制御が可能である。



図 B.10: マシンコントロールパネル

正しく造形物を印刷するには、ヒートベッドとノズルが水平かつヒートベッドとノズルの 間の間隔を 0.8mm 未満に設定する必要がある。これらの間隔が狭すぎても開きすぎてもと フィラメントが正しく積層されず印刷が失敗してしまう。

B.4.5 Lepotn2で出力

プレビューモード画面の「USB 経由でプリントを開始」をクリックするとホットノズル やヒートベットが加熱され、設定温度まで達すると出力が開始される。プレビューモード画 面を図 B.11 に示す



ライン 1から 471346までファイルをプレビュー(層1 から 350まで)

図 B.11: プレビューモード画面

左上に構築時間が記載されているが、この時間が長いほど実際の構築時間はさらに大きく なる傾向がある。構築中に形が崩れてきた場合は、マシンコントロールパネル図 B.10 の右 上にある「EMERGNCY STOP」で強制停止できる。

付 録 C 使用機器の仕様

C.1 Tangband SPEAKERS W2-802E

Tangband SPEAKES W2-802E の仕様表および周波数特性 [28] を図 C.1 および図 C.2 を 示す。

DIAPHRAGM MTL	PPM
SURROUND MTL	TPR
NOMINAL IMPEDANCE	8 W
DCR IMPEDANCE	6 W
SENSITIVITY 1W/1m	86 dB
FREQUENCY RESPONSE	160-20K Hz
FREE AIR RESONANCE	160 Hz
VOICE COIL DIAMETER	20.4 mm
AIR GAP HEIGHT	3 mm
RATED POWER INPUT	8 W
MAXIMUM POWER INPUT	16 W
FORCE FACTOR, BL	3.58 TM
MAGNET WEIGHT (oz)	Neodymium
MOVING MASS	1 g
FERRO FLUID ENHANCED	No
SUSPENSION COMPL.	1487 uMN ⁻¹
EFFEC.PISTON AREA	0.0013 M ²
Levc	0.037 mH
Zo	66 ohm
X-max	1 mm
Vas	0.36 Litr.
Qts	0.33
Qms	3.53

Qes

0.36

図 C.1: 仕様表 [28]



図 C.2: 周波数特性 [28]

C.2 秋月電子パラメトリック・スピーカー実験キット

秋月電子パラメトリック・スピーカー実験キットの仕様表および制御基板の説明図 [11] を 図 C.3 および図 C.4 に示す。

CPU	PIC16F819 20MHzクロック (周波数カウンター、超音波出力コントロール)
超音波発振子	日本セラミック製 AT40-10PB3トランスデューサー 50個パラレル接続 (100個まで可)
出力周波数	搬送波発振周波数 403KHzb 29-±01KHz
入 カ	モノラル。 35mmステレオ・ミ・プラグにて入力。
変調方式	FM (周波数変調)特許出願中
無変調時	約5秒で搬送波停止機能
使用環境条件	室内 (屋外で使用の場合は防滴、結露対策を十分行う事)
電源	12VDC 約300mA平均, ピーク600mA (12V1A程度の電源をご使用下さい)
基板寸法	制御基板: 99mmx 65mm 1.6両面ガラススルホール基板
	スピーカー基板: 98mmx 55mm 1.6両面ガラススルホール基板

図 C.3: 仕様表 [11]



図 C.4: 制御基板の説明図 [11]

C.3 raspberry pi Zero WH

raspberry pi Zero WH の仕様およびインターフェース [29] を以下に示す。

- SoC : Broadcom BCM2835
- CPU: 1000MHz シングルコア ARM1176JZ-F(ARMv6)
- GPU:デュアルコア VideoCore IV(R) 250MHz OpenGL ES 2.0 対応、ハードウェ

ア OpenVG 対応、1080p30 H.264 high-profile デコード 1G ピクセル/秒、1.5G テク

セル/秒、または24G FLOP の性能を持つ

- メモリー : 512MB DDR2 低電圧 SDRAM
- 電源: Micro USB B ソケット 5V 1A / 2.54mm ピンヘッダー
- ・ サイズ: $30(W) \times 5(H) \times 65(D)mm$
- 生産国:英国

【インターフェース】

- イーサネット:なし (EDIMAX USB 2.0 Fast Ethernet Adapter 等で対応可能)
- Wi-Fi(無線 LAN): IEEE 802.11 b/g/n 2.4GHz
- Bluetooth(低消費電力近距離無線通信): Bluetooth 4.1, Bluetooth Low Energy(BLE)
- ビデオ出力: mini HDMI(rev.1.3、1.4)
- オーディオ出力:mini HDMI(ビデオ出力と共有)、I2S ピンヘッダー
- USB : USB 2.0(microUSB、USB OTG) × 1

- CSI(Piカメラ専用ポート): 22 ピン MIPI 2-Lane × 1 Pi 3 などで使われている 15 ピン CSI コネクターとは異なるコネクターです。 Pi カメラ、NoIR カメラをご使用 になる際には、専用 15-22 ピン変換ケーブルが必要となります。 Pi カメラ V1、V2 の両方に対応しています。
- GPIO コネクター: 40 ピン 2.54mm ピンヘッダー実装済 GPIO × 26、3.3V 16mA、 UART、I2C、SPI、I2S、PWM、5V(使用電源に依存) 3.3V 50mA(GPIO との総和)
- メモリーカードスロット: micro SD メモリーカード (SDIO)

C.4 JustBoom Amp pHat for Zero

JustBoom Amp pHat for Zero の仕様 [30] を以下に示す。

- Raspberry Pi Zero、Pi Zero Wireless 対応
- 高品質オーディオ:192kHz 32bit
- 高度な ESD 保護
- 使いやすいプラグアンドプレイ対応
- Raspberry Piのハードウェア音量コントロール
- ハンダ付不要
- Raspberry Pi GPIO ヘッダーを搭載
- 取り付け用ハードウェア付属
- オプションの IR レシーバ付属
- Raspbian/NOOBS の完全なドライバサポート
- ・ class-D デジタルオーディオ AMP : TAS5756
- 138mW ヘッドフォンアンプ: TPA6133A2
- 最大出力:30W(RMS)/55W(ピーク)
- 「alsamixer」やALSA 互換アプリケーションを介して完全に統合されたハードウェア ボリュームミキシング
- SNR : 112dBR
- THD : 93dB

C.5 raspberry pi 3 Model B

raspberry pi 3 Model B の仕様 [31] を以下に示す。

- ・ CPU: 64bit 1.2GHz クアッドコア ARM Cortex-A53
- GPU : Broadcom VideoCore IV 3D graphics core(@ 400MHz)
- メモリ (LPDDR2):1GB
- Wi-Fi 802.11 b/g/n Wireless LAN
- Bluetooth(4.1/BLE) ※無線機能は日本国内に於いて使用する際に必要な技適取得済 です。
- HD 1080p ビデオ出力
- コンポジットビデオ (PAL/NTSC) 出力

- ステレオオーディオ出力
- USB ポート: 4(USB2.0)
- GPIO:40本
- カメラインターフェイス (CSI)
- ディスプレイ インターフェイス (DSI)
- Full HDMI 1.3/1.4 ビデオ/オーディオソケット
- \$ \$ 3.5mm 4 極オーディオ/コンポジットビデオ出力ジャックソケット
- ネットワーク: RJ45 10/100Mbps Ethernet
- ストレージ: MicroSD メモリーカード
- 電源:5V 2.5A

C.6 JustBoom JBM-001 DAC HAT

JustBoom JBM-001 DAC HAT の仕様 [32] を以下に示す。

- 高品質オーディオ:最大 192kHz/32bit 出力 (384kHz/32bit DAC チップ搭載)
- DAC とヘッドフォンアンプ搭載
- ラインレベル (RCA) およびヘッドフォン用 ø 3.5mm 出力
- 使いやすいプラグアンドプレイ対応
- Raspberry Piからハードウェア&ソフトウェアボリュームコントロール
- ハンダ付不要
- Raspberry PiGPIO ヘッダを搭載
- 対応: Raspberry Pi A +/B +/2B/3B
- 取り付け用のハードウェアが含まれています
- オプション:赤外線受光モジュール(付属)
- DAC HAT の上に重ねて簡単に出力増幅できる JustBoom Amp(別売) に対応※ご注

意:Amp HAT ではありません

- Raspberry Piの全 GPIO ピンは、未使用の拡張ヘッダでアクセス可能
- HAT 完全準拠
- Raspbian でのフルドライバサポート
- OSMC/Max2Play/RuneAudio/Volumio/Moode/PiCorePlayer/PiMusicBox/OpenELEC などのメディアセンターに対応

C.7 Erthworks M30

Erthworks M30 の仕様表 [33] を図 C.5 を示す。

Frequency Response: 3Hz to 30kHz ±1/-3dB

Polar Pattern: Omnidirectional

Sensitivity: 34mV/Pa (-29dBV/Pa)

Power Requirements: 24 - 48V Phantom, 10mA

Max Acoustic Input: 140dB SPL

Output: XLR (pin 2+)

Output Impedance: 65Ω balanced (between pins 2 & 3)

Min Output Load: 600Ω between pins 2 & 3

Noise: 20dB SPL equivalent (A weighted)

Dimensions L x D: 229mm x 22mm (9 x .860 inches)

Weight: .5 lb. (225g)

図 C.5: 仕様表 [33]

謝 辞

本研究は,筆者が北海道科学大学在学中に,北海道科学大学工学部情報工学科松崎研究室に おいて 2018 年より約1年間に行なったものである。

 \diamond

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工学部 情報工学科松崎教授に心より感謝致します。

本研究の遂行にあたり、無響室の使用を許可していただいた北海学園大学工学部電子情報 工学科 元木邦俊様に御礼を申し上げます。

本研究の遂行にあたり、実験場所の御提供をいただいた株式会社苫東様に心より感謝致し ます.

本研究の遂行にあたり、多大なるご協力、実験器具の御提供、数々の御助言をくださいま した株式会社アバ代表取締役 後藤嘉木様に御礼を申し上げます。

本研究の遂行にあたり、過去の論文を提供していただいた北海道開発技術センター 鹿野 たか嶺、野呂美紗子、佐藤真人様に深く感謝致します.

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あげます.