

卒業研究報告書

聴覚障害者のための音楽情報呈示 -振動スピーカーによる伝達装置の作製-

学籍番号 11317

電子情報工学科 白石 覚也

指導教員：大墳 聡

平成 28 年 2 月 29 日

目次

第 1 章	はじめに	3
第 2 章	複数の振動スピーカ駆動装置の回路の提案	4
2.1	PWM 制御を用いる回路	4
2.2	DA コンバータを用いる回路	5
2.2.1	DA コンバータ(8bit 12ch)を用いる回路	5
2.2.2	DA コンバータ(10bit 8ch)を用いる回路	5
2.3	DA コンバータを回路で作製しアナログ SW とする回路	6
2.4	検討結果	7
第 3 章	振動スピーカ駆動装置の回路の作製	8
3.1	PWM 制御を用いる回路	9
3.1.1	実験結果(PWM 制御回路)	11
3.2	DA コンバータ(8bit 12ch)を用いる回路	16
3.2.1	実験結果(DA コンバータ(8bit 12ch)の回路)	18
3.3	DA コンバータ(10bit 8ch)を用いる回路	22
3.3.1	実験結果(DA コンバータ(10bit 8ch)の回路)	24
第 4 章	多数の振動スピーカ駆動装置の作製	28
第 5 章	まとめ	30
付録		31
付録 A	DA コンバータ(8bit 12ch)を用いる回路の使用方法	31
付録 B	DA コンバータ(10bit 8ch)を用いる回路の使用方法	37
付録 C	発表会での質疑応答	39
付録 D	フォルダの説明	40
謝辞		41
参考文献		42

第 1 章

はじめに

福祉における支援分野の 1 つに、障害者に情報を伝えるために触覚を視覚や聴覚の代行として用いる感覚代行技術がある。これに対して、触覚を感覚代行として利用するのではなく、音楽の音を振動に置き換えて体感できるようなアミューズメント的な利用も考えられる[1]。聴覚障害者に対して音楽を振動によって伝達することができれば、音楽を楽しむことができる。また、聴覚障害者に限らず振動で音楽を提示できれば、迫力や臨場感などが強調できる。

これまで体表点字というシステムを応用し、9 個の振動子による楽曲提示方法の開発[2]や 2 個の振動子で楽曲を提示する装置の開発[3]をしてきた。前者については、振動モータによる振動だけで音階などの認識を行っている。振動に周波数情報を付け加えると認識が良くなると考えた。後者についても音楽に精通した人に試していただいたところ、音の高低は分かる一方で、細かな音階は解りにくいという結果になった。聴覚障害を持つ人に楽譜の情報だけでなく、音楽そのものを体を通して振動によって伝えることで、音楽の楽しさや迫力を感じる事が可能であるとする。そのため音の周波数を複数の振動に分けて伝えることができる装置を開発したい。そこで本研究では、多くの情報を伝えられるようにするため振動スピーカーを 9 個用いて各振動スピーカーで周波数を変えられる装置とプログラムを作製した。まずは複数の回路構成の提案と作製を行い、どの回路が最適なのかを検討した。

第 2 章

複数の振動スピーカ駆動装置の回路の提案

今回の装置を作製するにあたり 4 種類の回路の提案を行った。

2.1 PWM 制御を用いる回路

9 つの振動スピーカを駆動させる回路として 9 個の PIC でそれぞれ PWM 制御をするものを提案した。制御用 PIC は 9 個の振動スピーカ駆動 PIC の周波数選択、ON と OFF の切り替えなどに用いる。通信は I2C を用い、PC などの外部機器との通信は RS-232C 経由で行う。概要図を図 1 に示す。

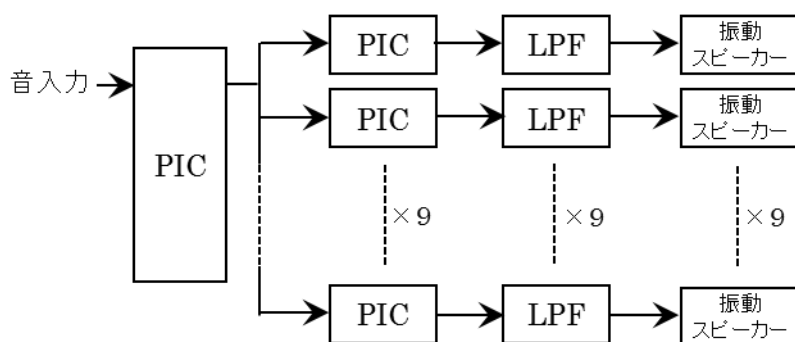


図 1 : PWM 制御を用いる回路の概要図

振動スピーカー駆動 PIC では、PWM 制御に加え LPF を通すことで正弦波を作製する。周波数のデータはテーブルを作製し持つ。

2.2 DA コンバータを用いる回路

DA コンバータは安価で手に入りやすいので、入手できる 2 種類の DA コンバータでそれぞれ検討する。

2.2.1 DA コンバータ(8bit 12ch)を用いる回路

PIC と DA コンバータ(8bit 12ch)を用いる回路である。DA コンバータは M62398P を用いる。正弦波はテーブルか計算のどちらかで持つ。振動スピーカーのアンプがあるので、回路上では不要である。概要図を図 2 に示す。

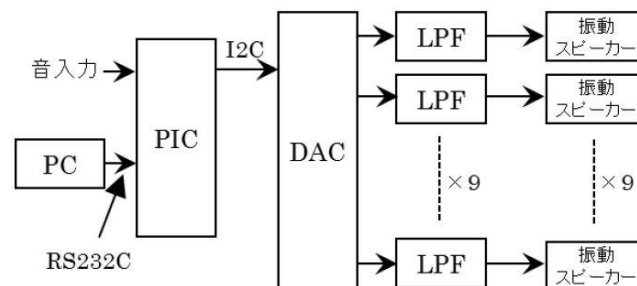


図 2 : DA コンバータ(8bit 12ch)を用いた回路の概要図

2.2.2 DA コンバータ(10bit 8ch)を用いる回路

PIC と DA コンバータ(10bit 8ch)を用いる回路である。DA コンバータは LTC1660 を用いる。内部にラッチ回路がないので、外部にコンデンサをつけてサイクリックに回す必要がある。概要図を図 3 に示す。

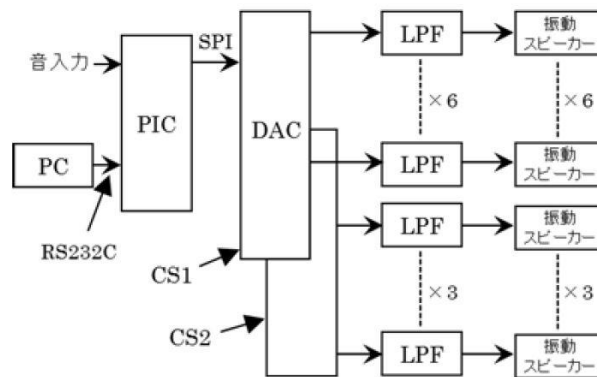


図 3 : DA コンバータ(8bit 12ch)の回路の概要図

2.3 DA コンバータを回路で作製しアナログ SW で切り替える回路

PIC と回路で作製した DA コンバータをアナログスイッチで出力を切り替えてサイクリックに回す回路である。アナログスイッチで切り替えてサイクリック回す必要がある。概要図を図 4 に示す。

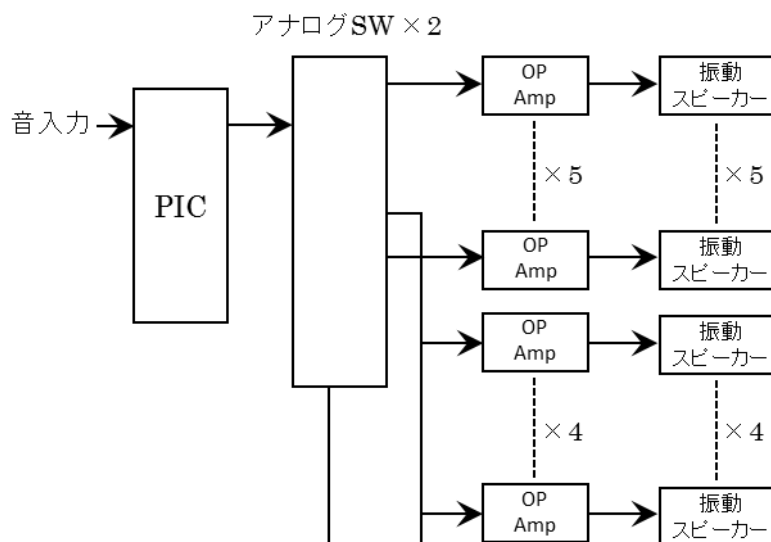


図 4 : DA コンバータを回路で作製しアナログ SW で切り替える回路の概要図

2.4 検討結果

検討した結果、PWM 制御を用いる回路、DA コンバータ(8bit 12ch)を用いる回路、DA コンバータ(10bit 8ch)の 3 種類の回路の作製することとした。DA コンバータを回路で作製しアナログ SW とする回路は、DA コンバータで置き換えられることが出来、スイッチノイズのことも考慮しなければならないので作成は行わない。よって、PWM 制御を用いる回路、DA コンバータ(8bit 12ch)を用いる回路、DA コンバータ(10bit 8ch)を用いる回路の 3 つの回路のうちどれが最適であるのか検討した。

第 3 章

複数の振動スピーカ駆動装置の回路の作製

3.1 PWM 制御を用いる回路

まず、PWM 制御を用いた回路を作製した。この回路では 9 個の振動スピーカを任意の周波数で駆動できるように 9 個の PIC で PWM 制御を行っている。実際に作成したものは PIC が 1 個分の制御回路である。この理由としては、同じ回路が 9 個必要になるため、ひとまず見極めとして 1 個分を検討した。図 5 に装置の概要図を示す。また、図 6 に回路を示す。

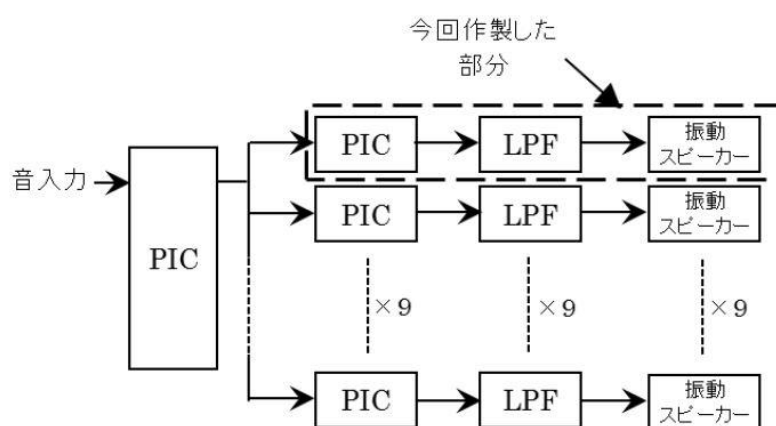


図 5 : PWM 制御の概要図

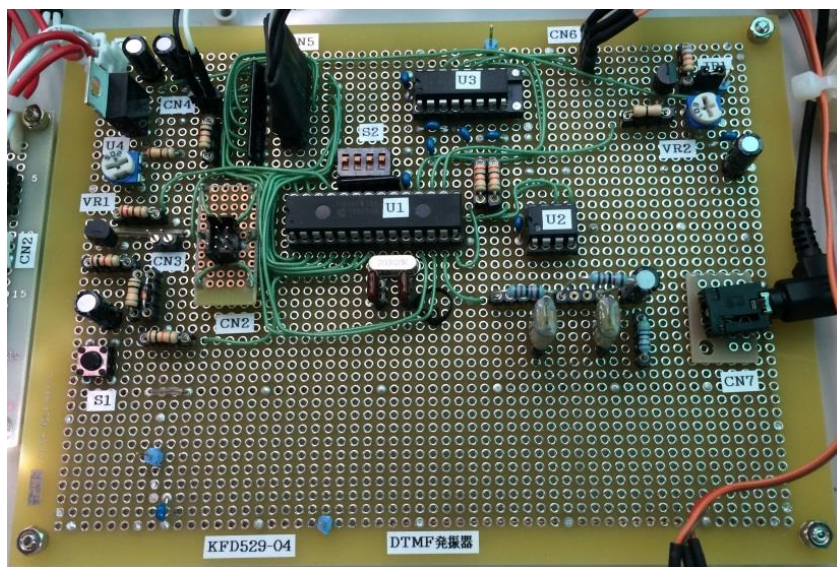
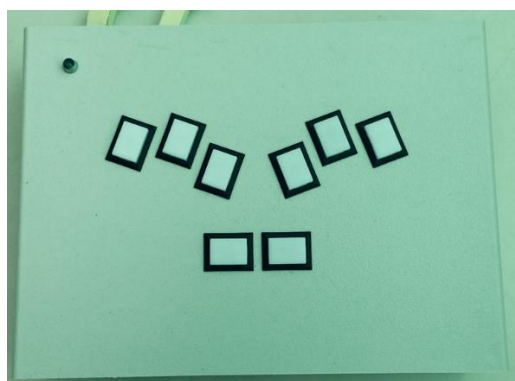


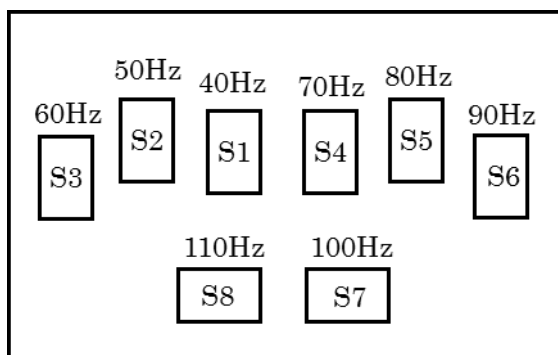
図 6 : PWM 制御の回路

この装置は、PIC により PWM 信号を出力し、RC ローパスフィルタに通すことで正弦波に変換させる 9 個の部分と、それらを制御する 1 つの PIC からなる。制御用の PIC は 16F873A を用いている。

また、以前の卒業研究で開発していた 6 点点字キーボード型入力装置[4]を製品化したものを用いて任意の周波数に対応して振動を出力できるかの調査をした。図 7 に 6 点点字キーボード型入力装置とスイッチの割り振りの図を示す。



(a)6 点点字キーボード型入力装置



(b)スイッチの割り振り

図 7 : 6 点点字キーボード型入力装置

この装置は、高周波と低周波の合成波の DTMF 信号を出力するものである。この装置を用いて、振動スピーカ駆動部の周波数発生プログラムの作製を行った。このプログラムは、振動スピーカに対して、外部からのキー入力 S1～S8 に 10Hz 刻みで 8 つの正弦波を割り振り、押し下げた時にそのキーに対応した正弦波を出力する。出力する周波数は 10Hz～110Hz で設定する。周波数発生プログラムは C 言語で作製した。6 点点字キーボード型入力装置で使っていた DTMF 発生プログラムを 40Hz～110Hz の出力音ができるように書き換える形で作製した。作製したプログラムは、あらかじめ配列に PWM の周期に対応した各波形のテーブルを格納しておき、キー入力をしたときにそれに対応した周波数を設定し、出力する。

周波数を発生させるために用いた PWM 制御とは、デューティ比の大きさによって周波数を発生させる方法である。図 8 にその方法の概要図を示す。

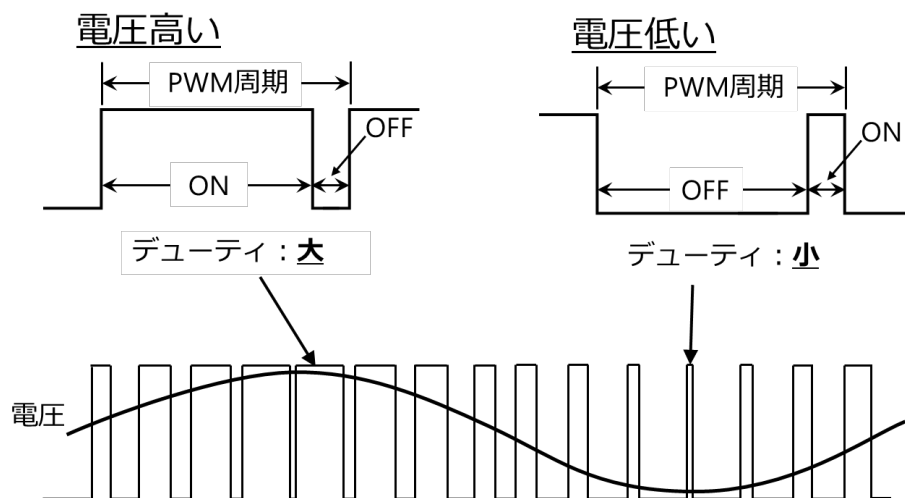


図 8 : PWM 制御の概要図

かける電圧が高い場合は、デューティ比が大きくなり、電圧が低い場合は、デューティ比が小さくなる。これを周期的に組み合わせてローパスフィルタに通すこと、カットオフ周波数より高い周波数成分を減衰させることで、正弦波が作成できる。図 9 にローパスフィルタの回路図を示す。

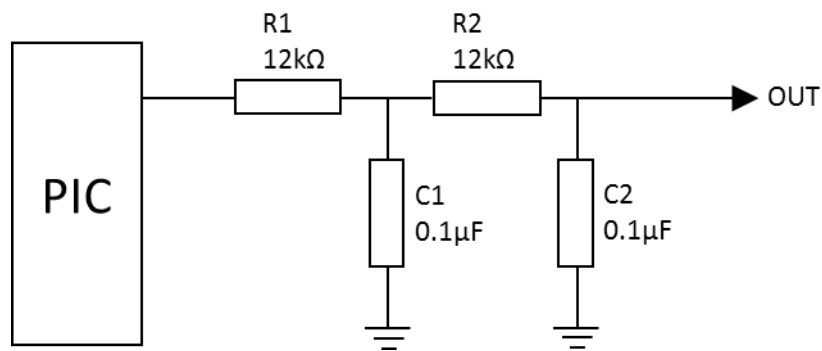
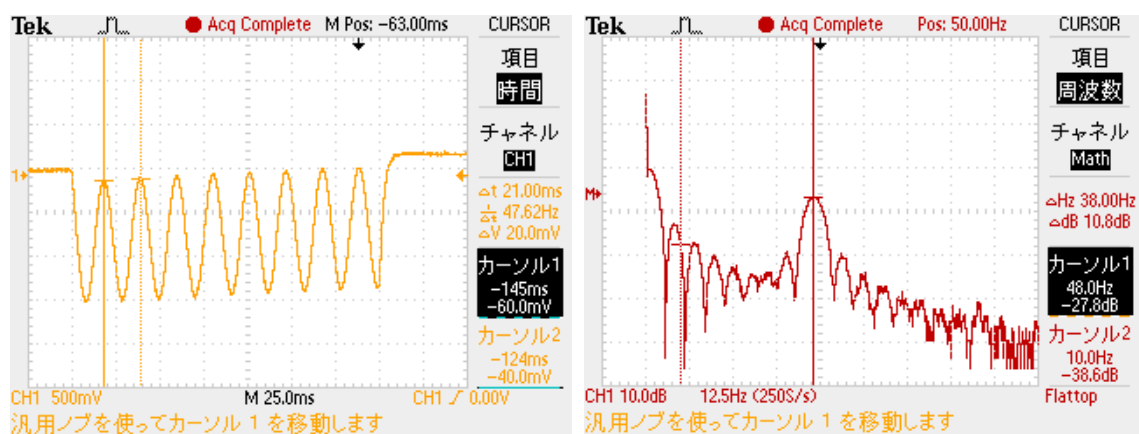


図 9 : ローパスフィルタの回路図

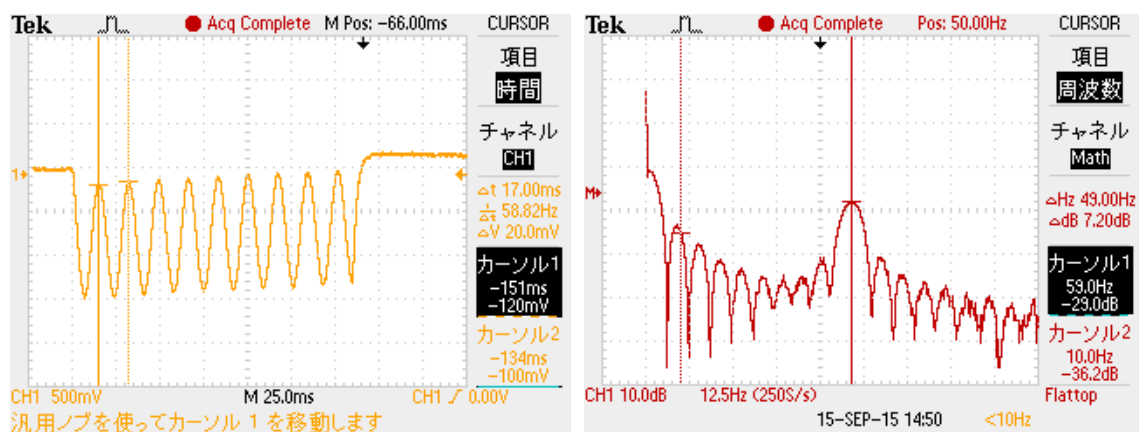
ローパスフィルタは PWM 信号がハイ・レベルでコンデンサは蓄電され、ロー・レベルのときに放電する。ローパスフィルタを 2 回通すことで、アナログ信号が出力される。フィルタの定数は $R=12k\Omega$ 、 $C=0.1\mu F$ とし、これよりカットオフ周波数は $132.6Hz$ となる。今回、最大の周波数は $110Hz$ までしか使用しないので、カットオフ周波数が $132.6Hz$ のローパスフィルタが、最適である。

3.1.1 実験結果(PWM 制御回路)

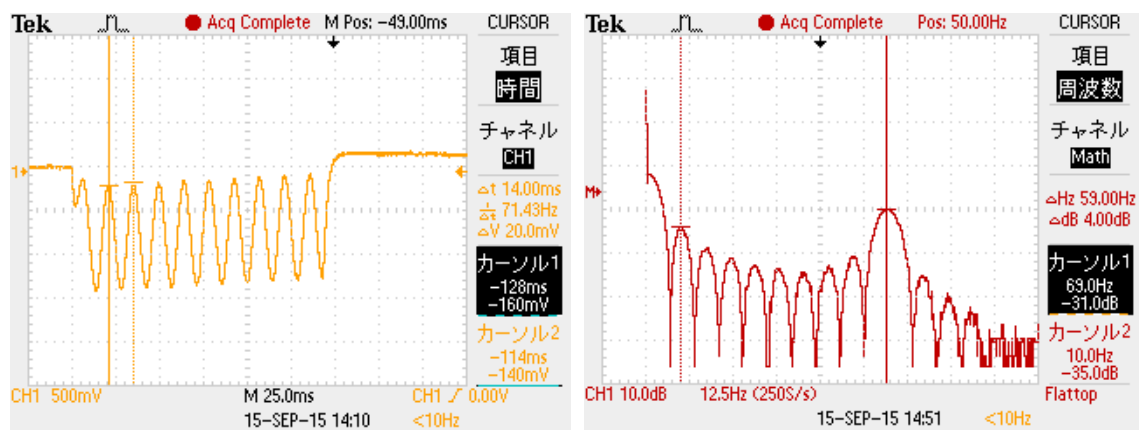
作製したプログラムを実行させた結果、各キーを押したときに対応した周波数が出力された。その出力音を PC スピーカーと振動スピーカおよびデジタルオシロスコープで確認した。図 10 に各キーを押したときデジタルオシロスコープで観測した、波形と FFT 変換した波形を示す。



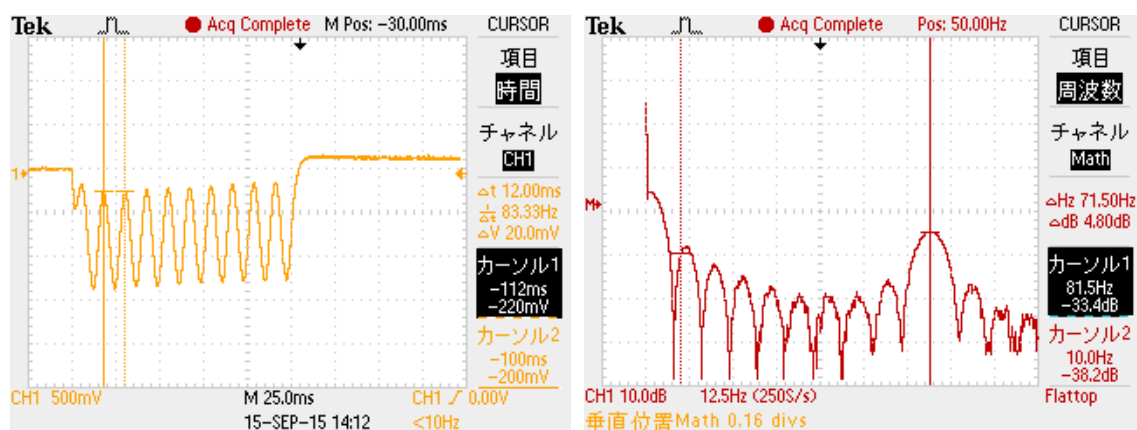
(a)40Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)



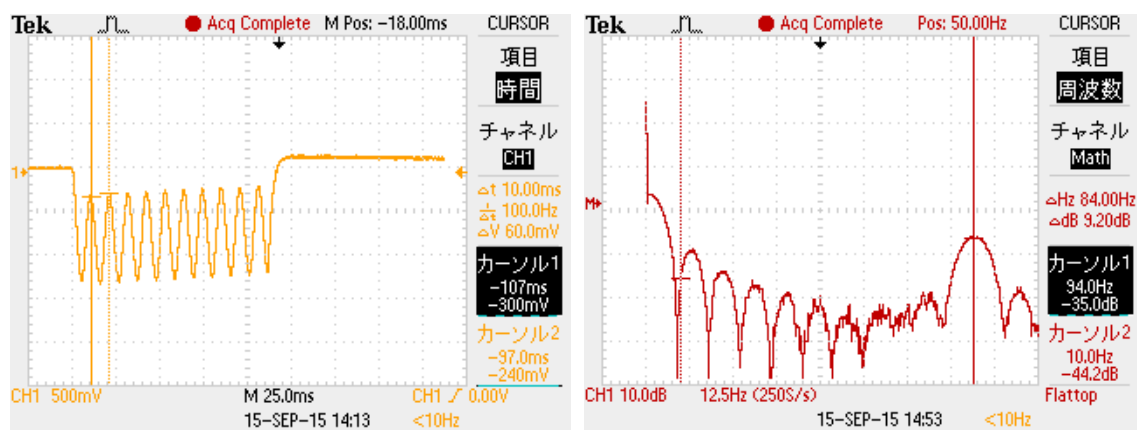
(b)50Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)



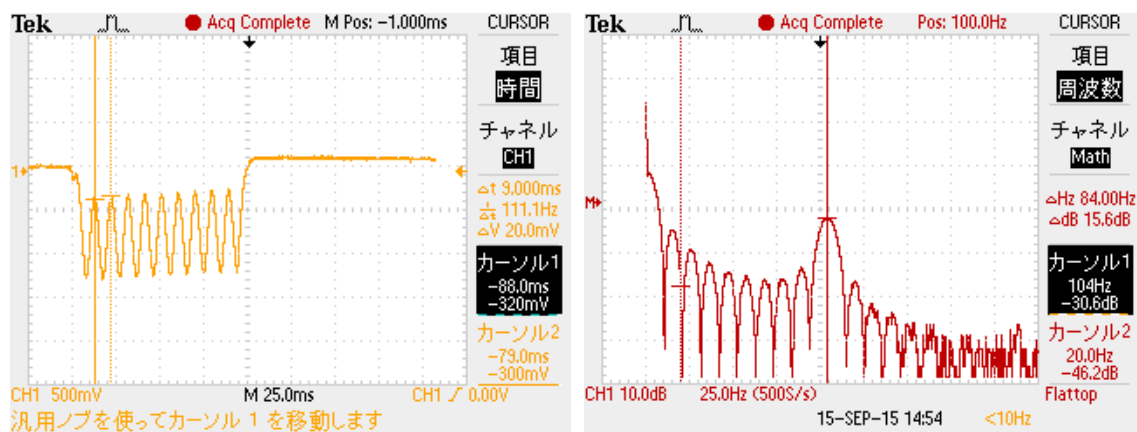
(c)60Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)



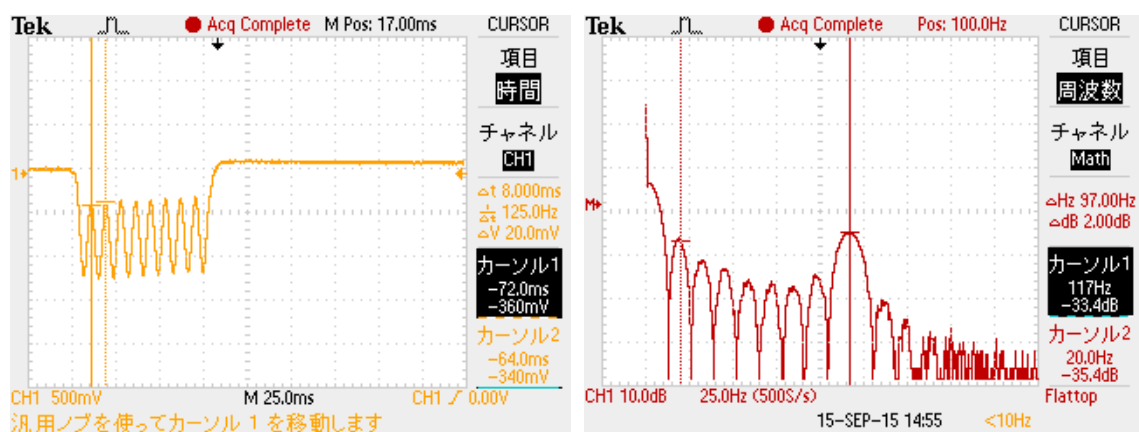
(d)70Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)



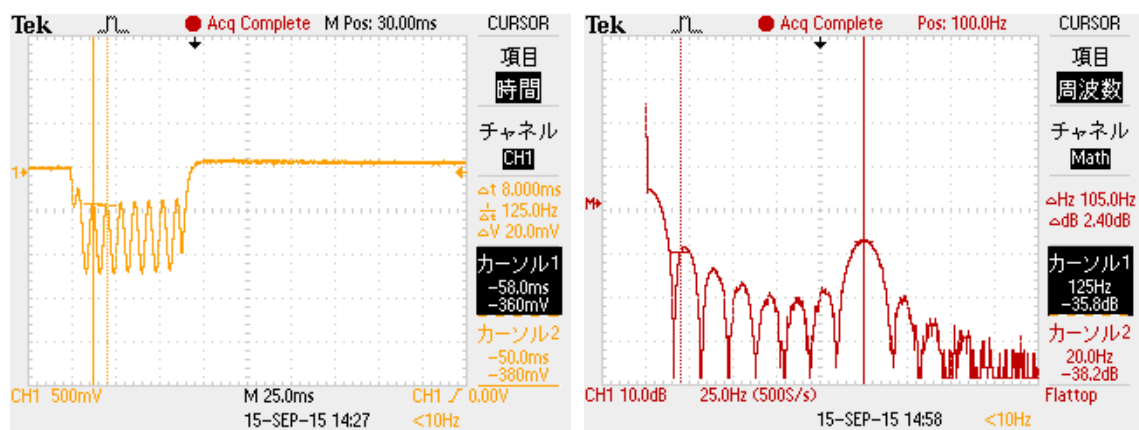
(e)80Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)



(f)90Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)



(g)100Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)



(h)110Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)

図 10 : PWM 制御の回路の観測波形

すべてのキーにおいて、そのキーに対応した周波数成分が観測できた。表 1 に出力結果をまとめ、グラフにしたものを図 11 に示す。

表 1 : PWM 制御回路出力結果

スイッチ	理論値(Hz)	測定値(Hz)	差(Hz)
S1	40	48	8
S2	50	59	9
S3	60	68	8
S4	70	81	11
S5	80	94	14
S6	90	104	14
S7	100	117	17
S8	110	125	15

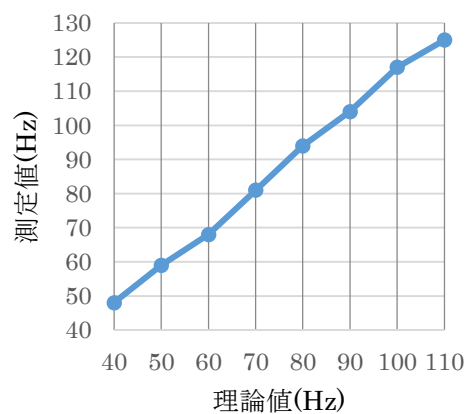


図 11 : PWM 制御回路出力結果のグラフ

8つのキーがそれぞれ周波数を、ほぼ 10Hz 刻みで出力できたことを確認した。ただし、理論値に対して、測定値が 8Hz~17Hz ほど高い周波数が出力された。

3.2 DA コンバータ(8bit 12ch)を用いる回路

PIC と DA コンバータ(8bit 12ch)を用いる回路の作製を行った。この回路では、PC からの外部制御および、キー入力 S1～S8 からの制御により、それぞれ 40Hz～110Hz の正弦波が DA コンバータより出力される。PC 制御は RS232C 経由で DAC のチャンネル切り替えおよび、キー入力により 40Hz～110Hz の選択を行う。キー入力は 6 点字キーボード型入力装置[4]の SW I/F コネクタ部の配線を用いた。また、図 12 に回路を示す。そして、スイッチ接続部を図 13 に示す。

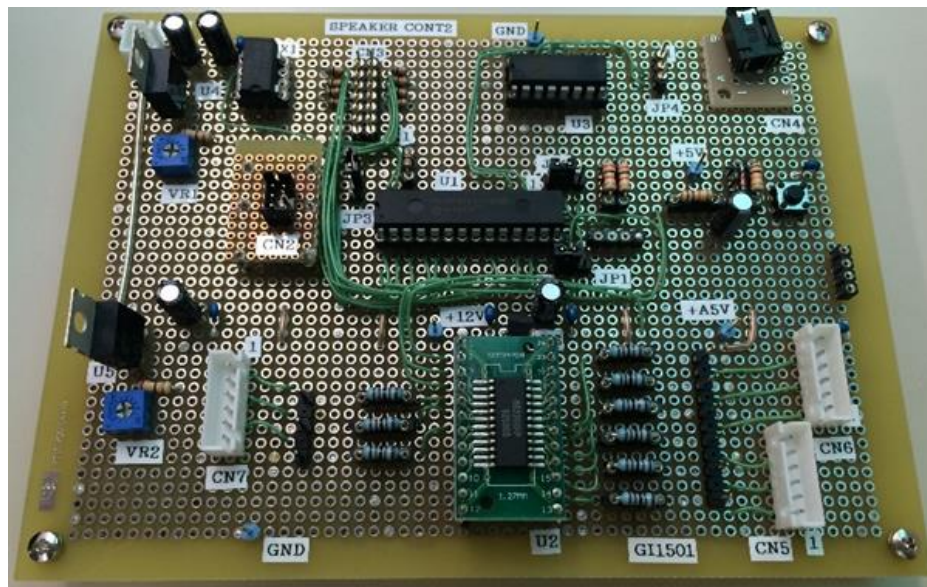


図 12 : DA コンバータ(8bit 12ch)を用いた回路

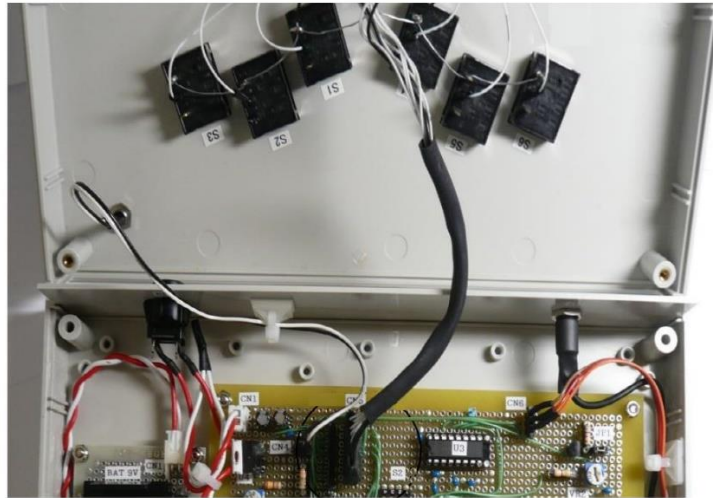


図 13：スイッチ接続部

この装置は、入力されたデジタル信号をアナログ信号に変換する DAC と、それを RC ローパスフィルタに通すことで、正弦波に変える 9 個の部分からなる。IC 間の通信には I2C を用いている。I2C とは送受信用線、クロック線の 2 本で構成される通信規格である。本装置では DAC は M62398FP を用いている。周波数発生プログラムは C 言語で作製した。作製したプログラムは、PC より Tera Term を立ち上げた後、RS232C 経由で M62398FP の正弦波を出力するチャンネルを以下のように選択する。

- 1) M62398FP ch1 選択： 1e 入力
- 2) M62398FP ch2 選択： 2e 入力
- 3) M62398FP ch3 選択： 3e 入力
- 4) M62398FP ch3 選択： 4e 入力
- 5) M62398FP ch5 選択： 5e 入力
- 6) M62398FP ch6 選択： 6e 入力
- 7) M62398FP ch7 選択： 7e 入力
- 8) M62398FP ch8 選択： 8e 入力
- 9) M62398FP ch9 選択： 9e 入力

スイッチから 40Hz～110Hz までを選択しキーを入力したときにそれに対応した周波数を選択したチャンネルから出力する。PC からの接続の概要図を図 14 に示す。

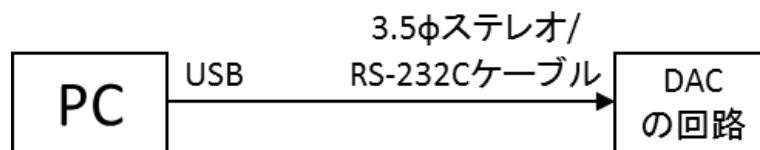
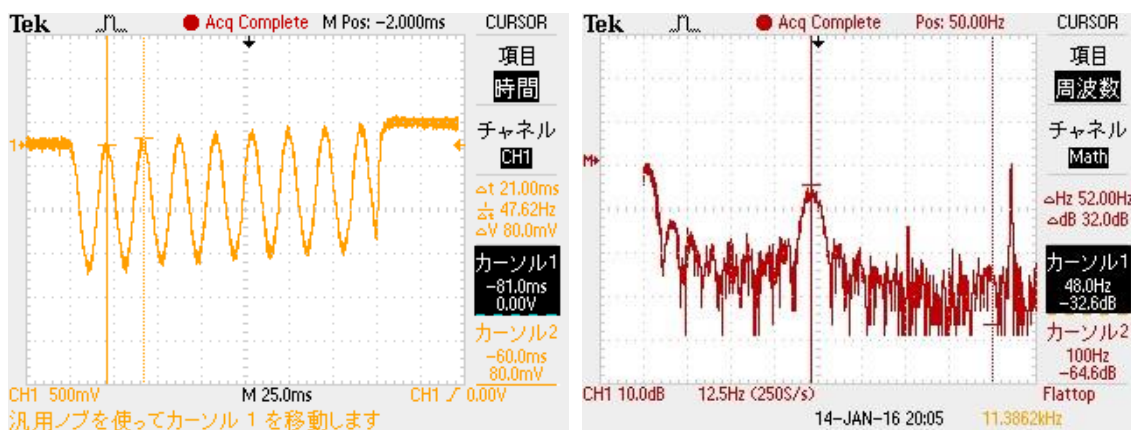


図 14 : PC からの接続の概要図

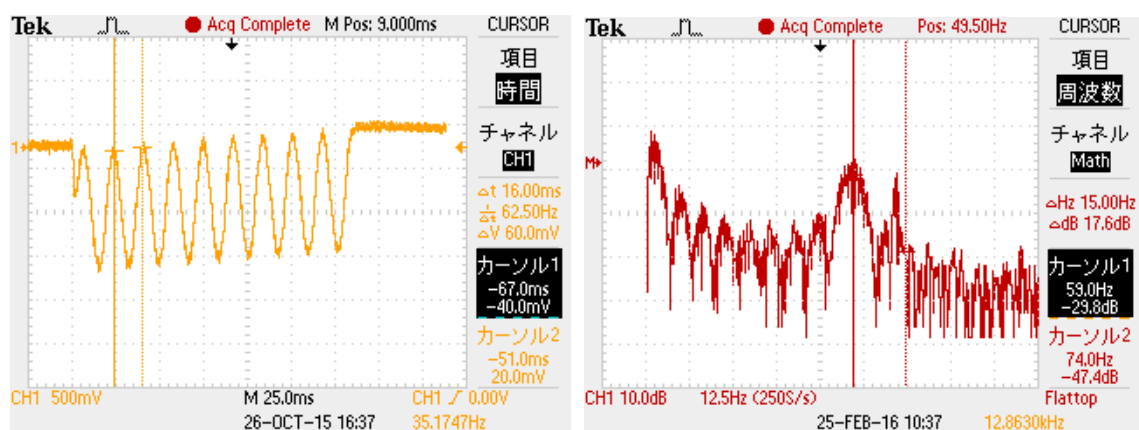
詳しい使用方法是付録 A として報告書末に示す。

3.2.1 実験結果(DA コンバータ(8bit 12ch)の回路)

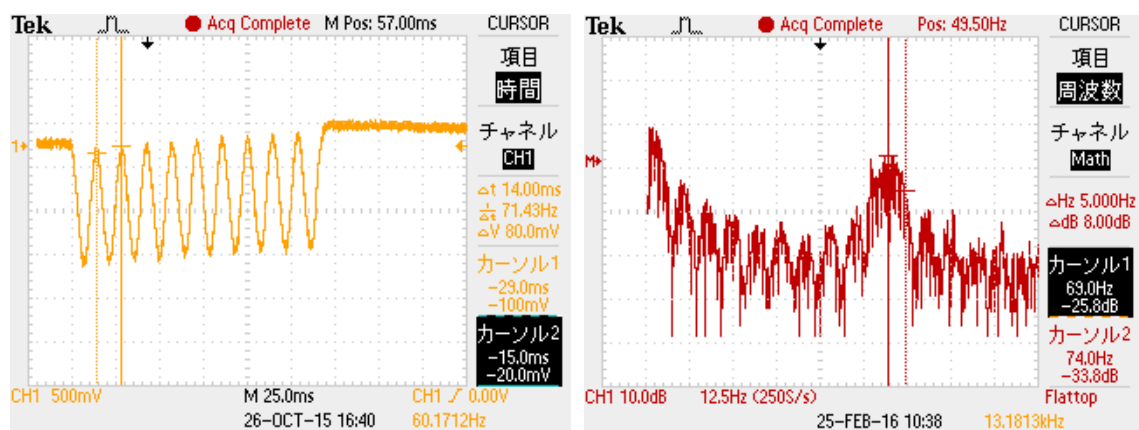
作製したプログラム(付録 A)を実行させた結果、各キーを押したときに周波数が出力された。Ch1 のときの出力音を PC スピーカーと振動スピーカーおよびデジタルオシロスコープで確認した。図 15 に各キーを押したときデジタルオシロスコープで観測した、波形と FFT 変換した波形を示す。



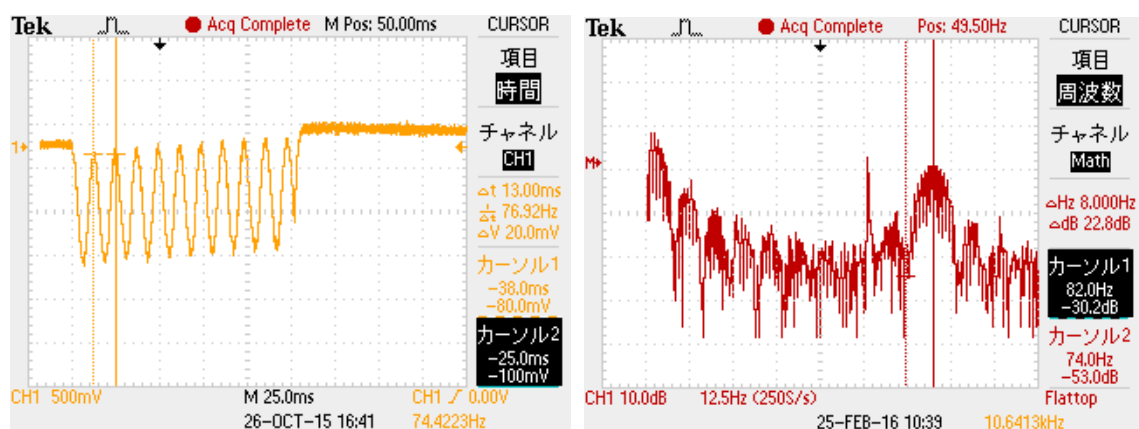
(a)40Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)



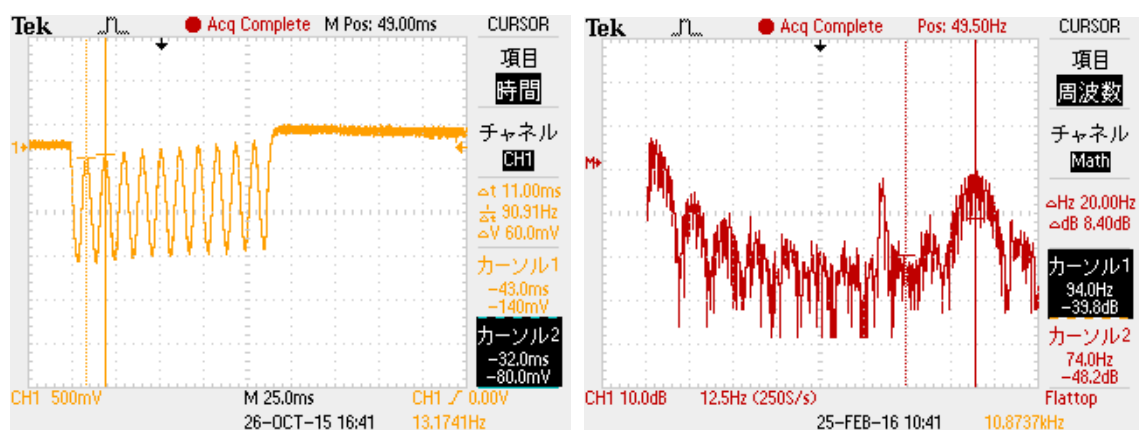
(b)50Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)



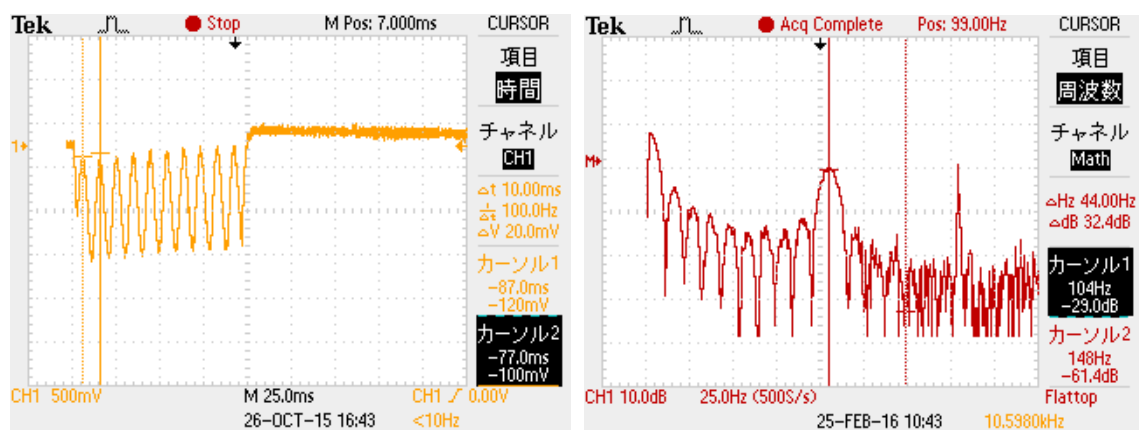
(c)60Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)



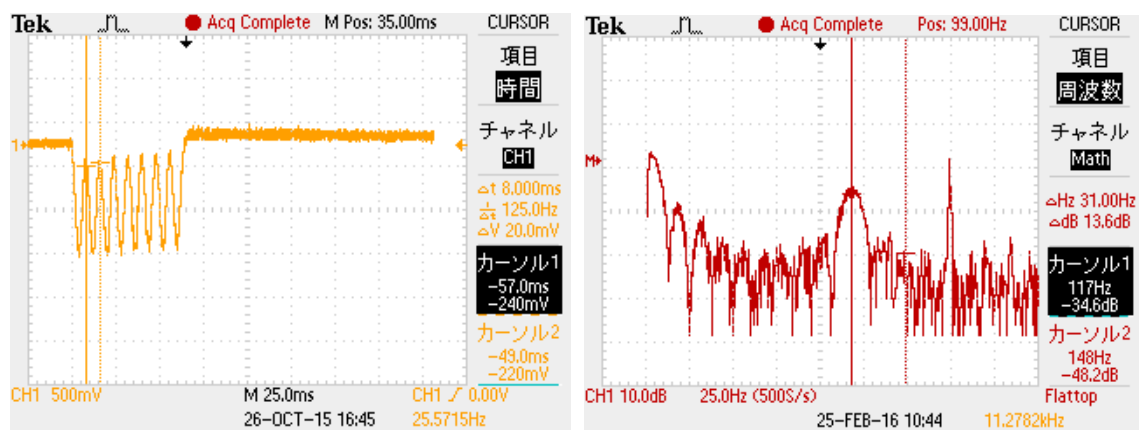
(d)70Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)



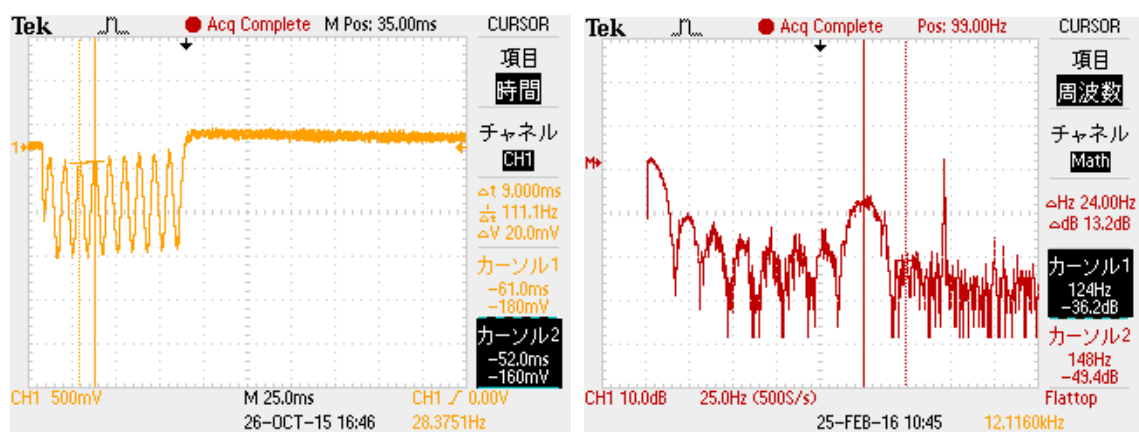
(e)80Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)



(f)90Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)



(g)100Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)



(h)110Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)

図 15 : PWM 制御の回路の観測波形

すべてのキーにおいて、そのキーに対応した周波数成分が観測できた。表 2 に出力結果をまとめ、グラフにしたものを図 16 に示す。

表 2 : DA コンバータ(8bit 12ch)を用いる回路出力結果

スイッチ	理論値(Hz)	測定値(Hz)	差 (Hz)
S1	40	48	8
S2	50	59	9
S3	60	69	9
S4	70	82	12
S5	80	94	14
S6	90	104	14
S7	100	117	17
S8	110	124	14

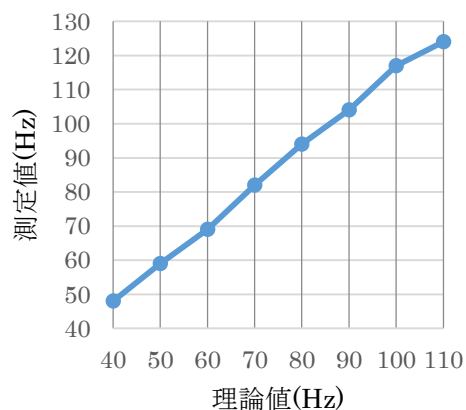


図 16 : DA コンバータ(8bit 12ch)を用いる回路出力結果のグラフ

8つのキーがそれぞれ周波数を、ほぼ 10Hz 刻みで出力できたことを確認した。ただし、理論値に対して、測定値が 8Hz~17Hz ほど高い周波数が出力された。

3.3 DA コンバータ(10bit 8ch)を用いる回路

PIC と DA コンバータ(10bit 8ch)を用いる回路の作製を行った。この回路では、DA コンバータ(8bit 12ch)の回路と同様に、PC からの外部制御および、キー入力 S1~S8 からの制御により、それぞれ 40Hz~110Hz の正弦波が DA コンバータより出力される。PC 制御も、同様に RS232C 経由で DAC のチャンネルの切り替えを行う。図 17 に回路を示す。

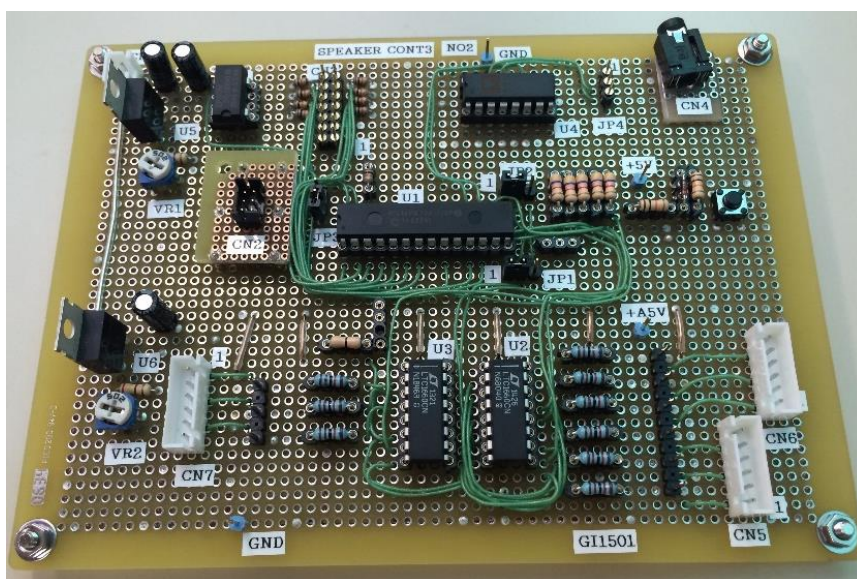


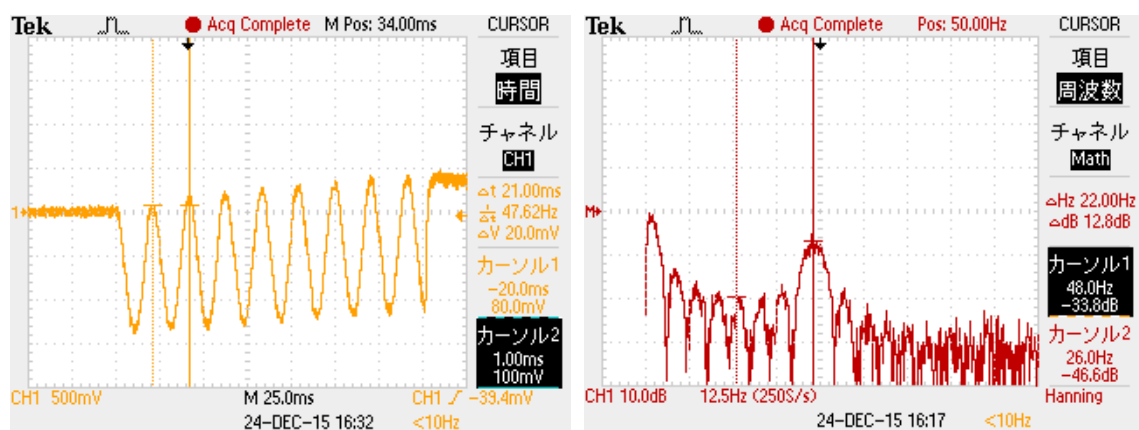
図 17 : DA コンバータ(8bit 12ch)の回路

この装置で用いている DAC は LTC1660CN であり、8ch なので、2 個用いる。PIC 側からは SPI で制御する。SPI とは送信用、受信用、クロック線の 3 本で構成される通信規格である。作製したプログラムは PC より RS232C 経由で LTC1660CN のチップの選択とチャンネルの選択を行い、スイッチから 40Hz~110Hz までを選択する。DA コンバータの出力電圧はゆっくり低下するのでコンデンサを入れて蓄電し、放電する前に定期的に再蓄電し出力電圧を保持しながら正弦波を出力する。

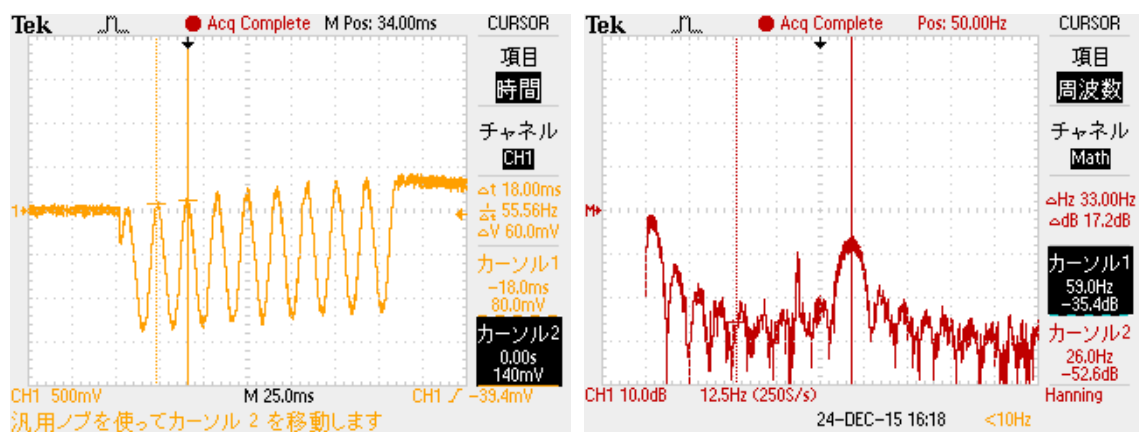
詳しい使用方法是付録 B として報告書末に示す。

3.2.1 実験結果(DA コンバータ(8bit 12ch)の回路)

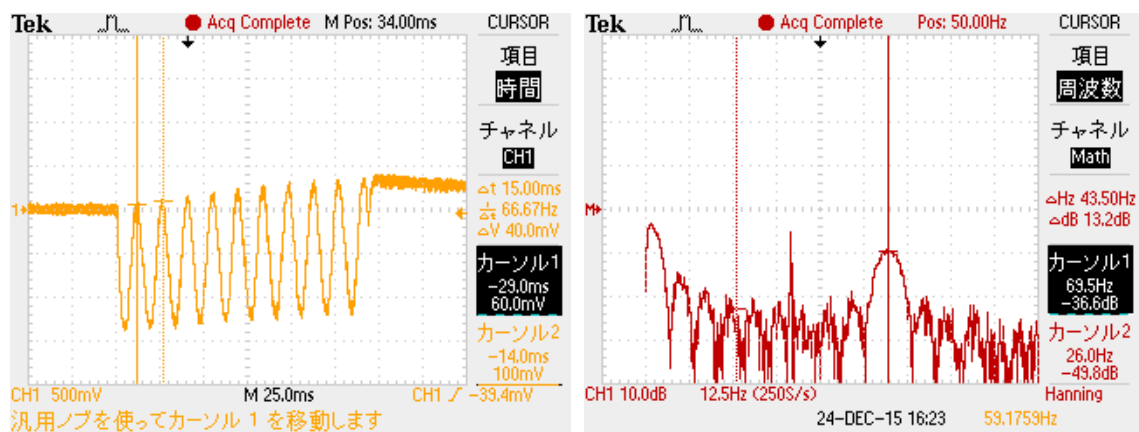
作製したプログラムを実行させた結果、各キーを押したときに周波数が出力された。Ch1 のときの出力音を PC スピーカーと振動スピーカーおよびデジタルオシロスコープで確認した。図 18 に各キーを押したときデジタルオシロスコープで観測した、波形と FFT 変換した波形を示す。



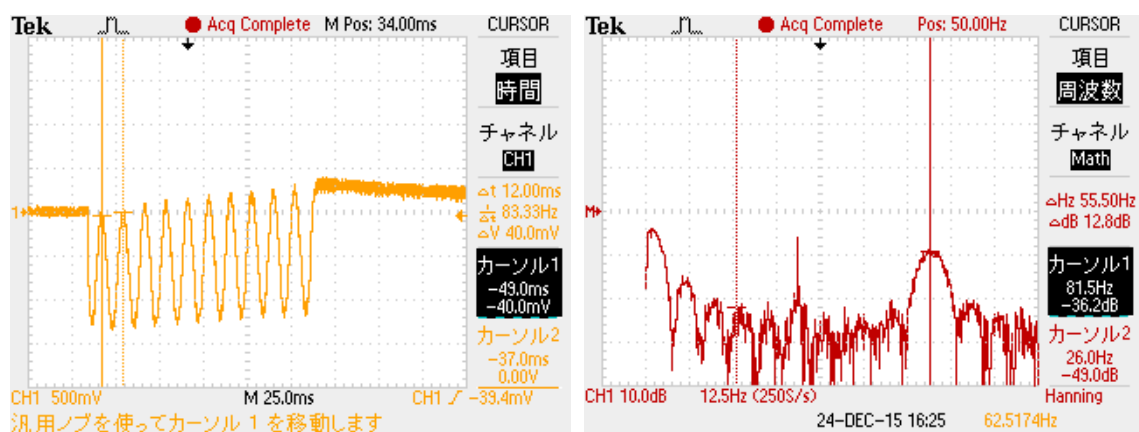
(a)40Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)



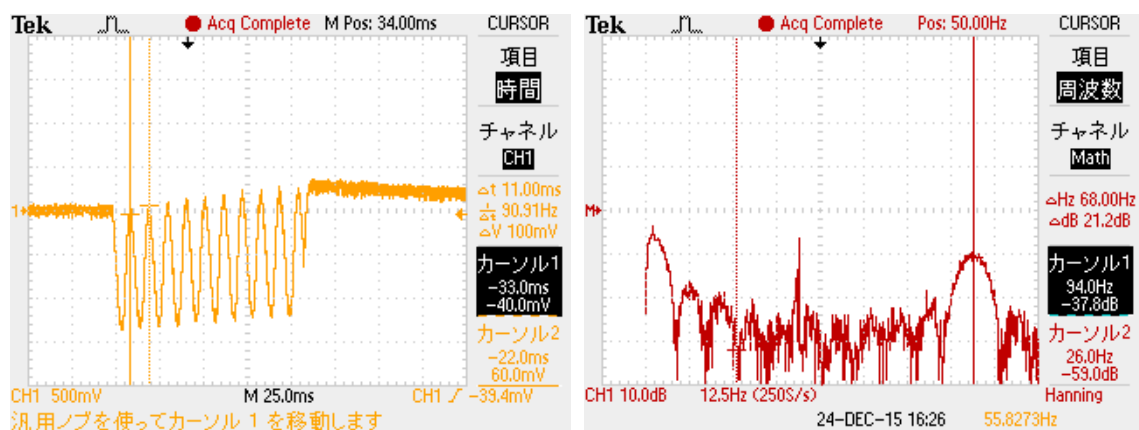
(b)50Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)



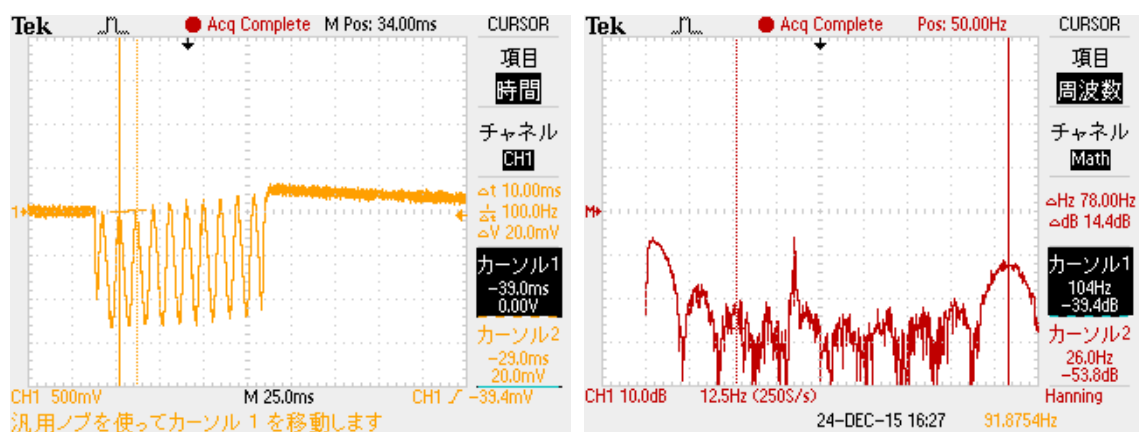
(c)60Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)



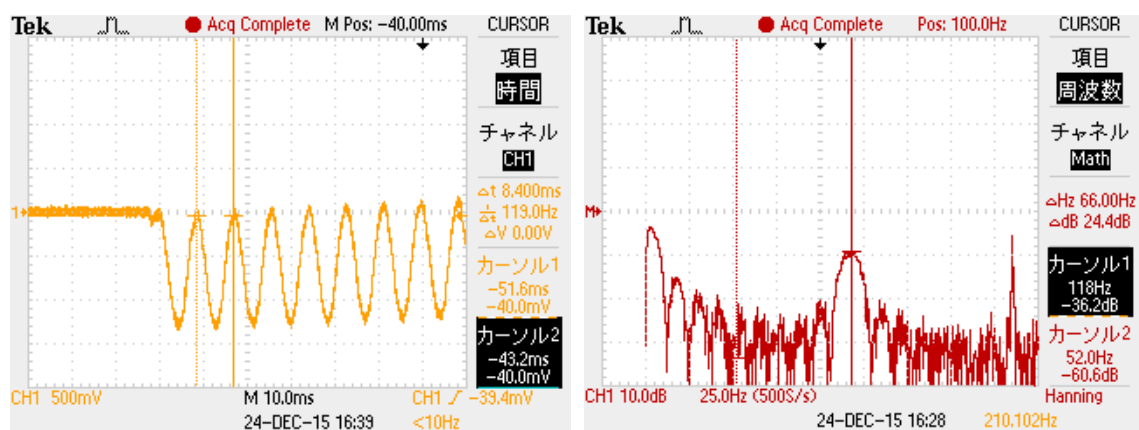
(d)70Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)



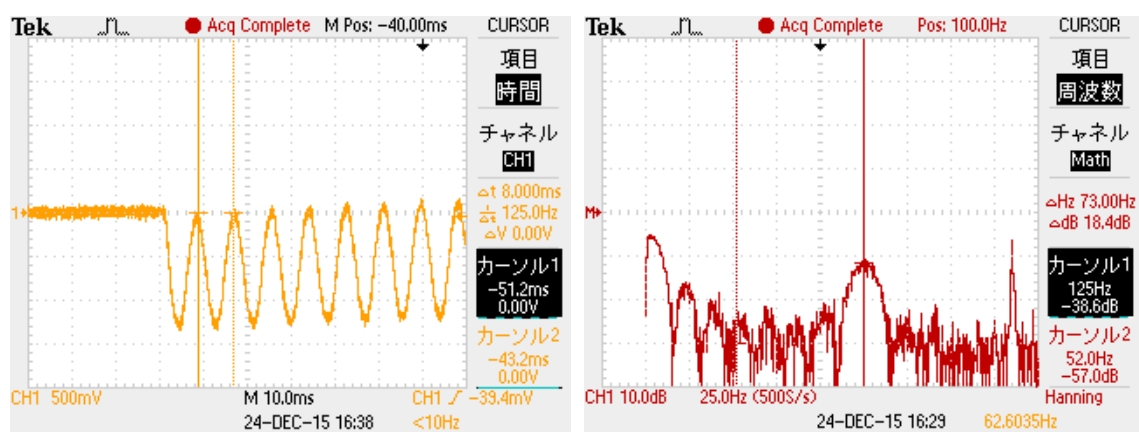
(e)80Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)



(f)90Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)



(g)100Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)



(h)110Hz のときの波形(左)と FFT 変換波形(右)

図 18 : PWM 制御の回路の観測波形

すべてのキーにおいて、そのキーに対応した周波数成分が観測できた。表 3 に出力結果をまとめ、グラフにしたものを図 19 に示す。

表 3 : DA コンバータ(10bit 8ch)を用いる回路出力結果

スイッチ	理論値(Hz)	測定値(Hz)	差(Hz)
S1	40	48	8
S2	50	59	9
S3	60	69	9
S4	70	81	11
S5	80	94	14
14S6	90	104	14
S7	100	118	18
S8	110	125	15

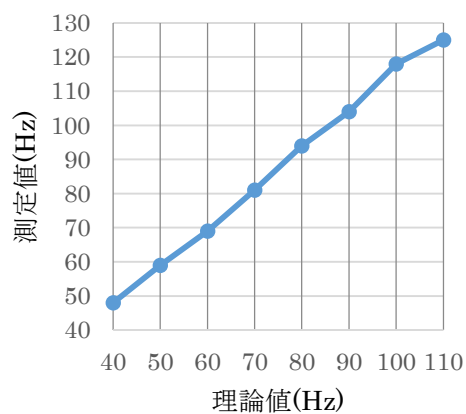


図 19 : DA コンバータ(10bit 8ch)を用いる回路出力結果のグラフ

8つのキーがそれぞれ周波数を、ほぼ 10Hz 刻みで出力できたことを確認した。ただし、理論値に対して、測定値が 8Hz~18Hz ほど高い周波数が出力された。

第 4 章

多数の振動スピーカ駆動装置の作製

ここまでで、3 種類の回路を作製したが、DA コンバータ(8bit 12ch)の回路が最適であるとした。PWM 制御を用いる回路では、PIC を 9 個も使用しなければならず、回路の規模が大きくなってしまった。もう一種類の DA コンバータ(10bit 8ch)の回路は DA コンバータを 2 個使用しているのですが、切り替えの必要がある。一方、DA コンバータ(8bit 12ch)の回路は I2C を使用しており SPI より通信速度に制限があるが、制御のしやすさ、また DA コンバータは 1 個で済むので切り替えの制御が不要である。以上から、DA コンバータ(8bit 12ch)の回路が最適であると考えた。

DA コンバータ(8bit 12ch)の回路を用いて、多数の振動スピーカ駆動装置を作製した。この多数の振動スピーカ駆動装置は RS232C 経由で PC より装置内 DAC チャンネル出力制御、および正弦波テーブルを選択して、外部に接続した 9 個の振動スピーカを振動させる振動周波数発生装置である。図 20 に装置の外観を示す。装置を使用するときの接続関係の概要図を図 21 に示す。



図 20：多数の振動スピーカー駆動装置

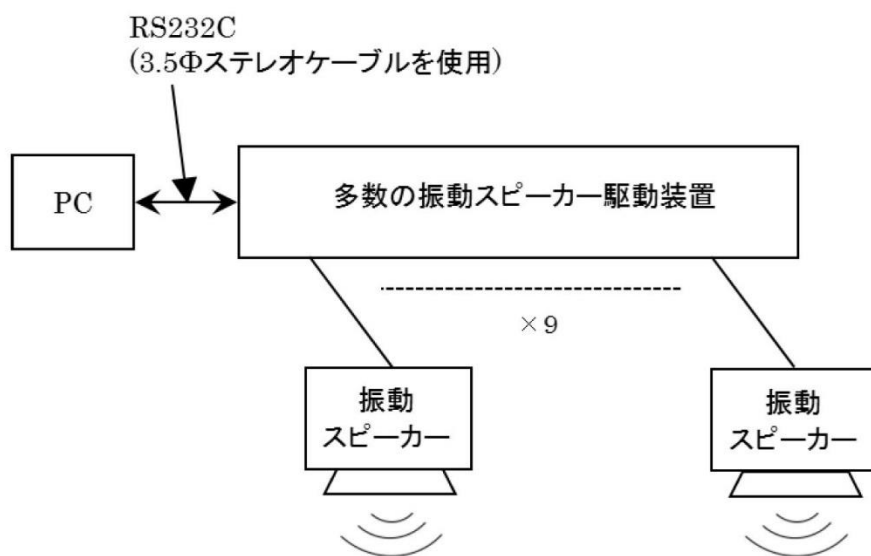


図 21：多数の振動スピーカー駆動装置の概要図

第 5 章

まとめ

これまでは振動子を用いて音楽情報を呈示していたが、細かい音階が分かりにくいなどが問題点であった。そこで、振動子よりもより多くの情報を伝えられる振動スピーカーを用いた装置を検討し、作成した。この装置で周波数を細かく分けて出力できたことを確認した。

今後は、PWM 制御で出力される正弦波の理論値と測定値の差の原因を明らかにし、より精度が高い周波数を出力できるようにする。さらに、9 個の振動スピーカーからどのようにして音の情報を分りやすく伝えられるかなどの検討が必要である。

付録

付録 A DA コンバータ(8bit 12ch)を用いる回路の使用方法

DA コンバータ(8bit 12ch)を用いる回路と PC の接続関係の様子を図 A1 に示す。

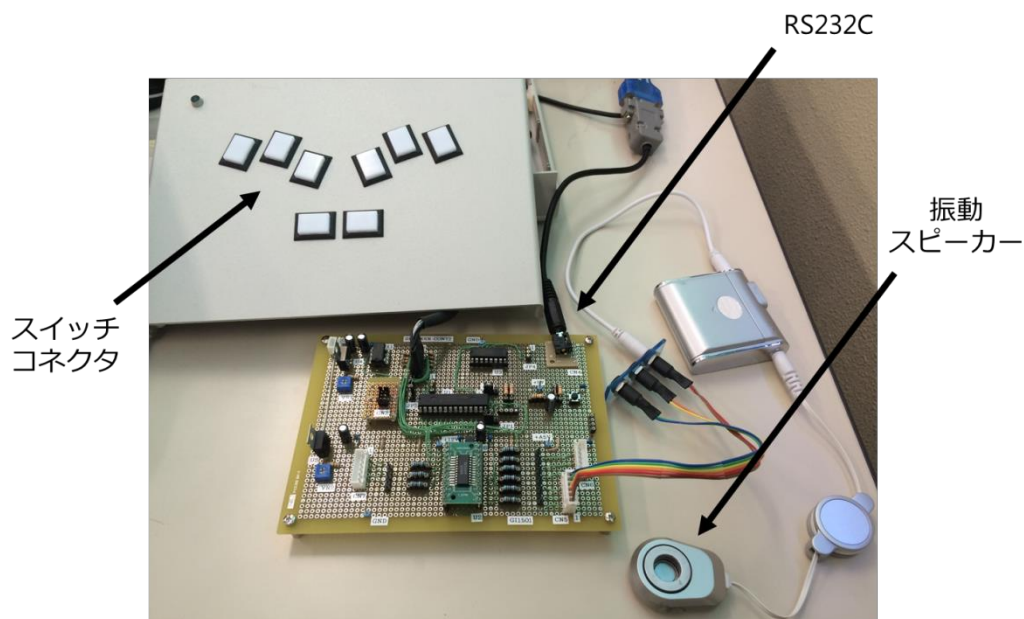


図 A1 : PC と DA コンバータ(8bit 12ch)を用いる回路の接続

PC より PIC 経由で DAC(8bit 12ch)チャンネルを I2C で制御を行う。

PC より通信ソフト(TeraTerm)で ASCII コードで文字出力を行う。応答として、PC に入力

文字を表示する。DAC から出ているチャンネルを I2C で制御し、キー入力で S1～S8 を選択する。

S1 : 40Hz

S2 : 50Hz

S3 : 60Hz

S4 : 70Hz

S5 : 80Hz

S6 : 90Hz

S7 : 100Hz

S8 : 110Hz

正弦波は PIC 内テーブルを選択している。実行している TeraTerm の画面を図 A2 に示す。

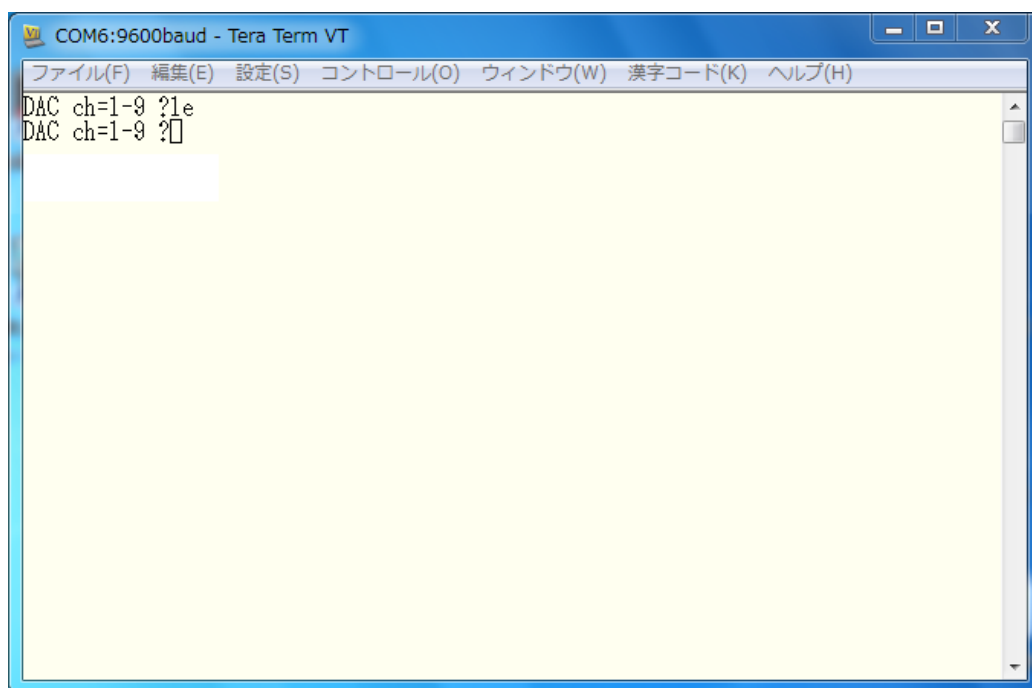


図 A2 : TeraTerm 実行画面

TeraTerm を起動すると、PC 表示で

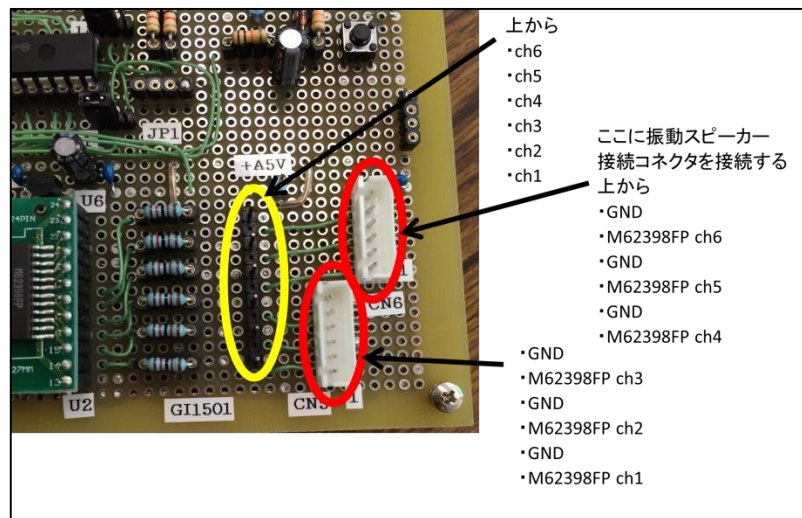
DAC ch=1-9 ?

となるので、1e を入力する。するとエコー表示で

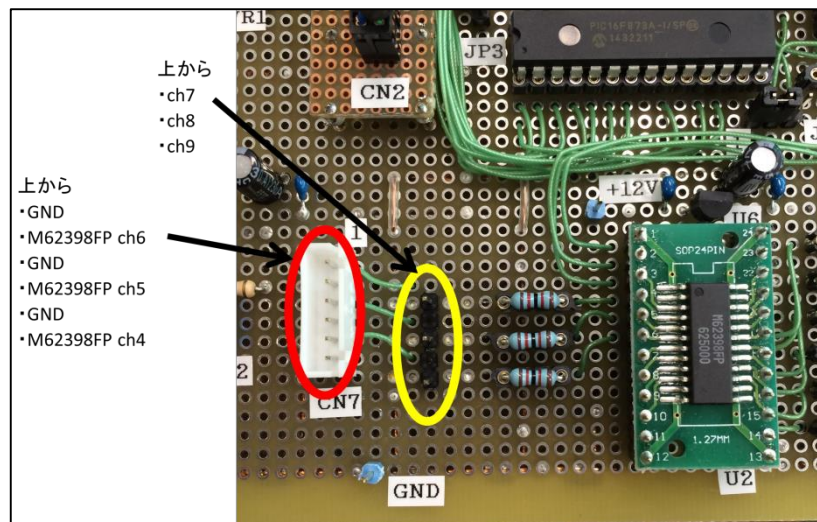
1e

となる。これは DAC の 1ch を I2C 制御で選択したということである。

次にキー入力で S1 を押すと、DAC ch1 に 40Hz 正弦波が出力される。DAC のピン接続の割り振りを図 A3 に示す。また、振動スピーカーとの接続に使用するコネクタとピンの関係を図 A4 に示す。



(a) ch1 から ch6 までのピン



(b)ch7 から ch9 までのピン

図 A3 : DAC チャンネルの割り振り



図 A4 : 振動スピーカー接続コネクタ部分

出力する正弦波テーブルはあらかじめ用意しておく。以下に図 A5 として使用した正弦波テーブルを示す。

```

1 //40Hz
2 static const unsigned char sinrow1[40] = {
3     148, 167, 186, 203, 218, 231, 241, 249, 253, 255,
4     253, 249, 241, 231, 218, 203, 186, 167, 148, 128,
5     108, 89, 71, 54, 38, 25, 15, 7, 3, 1,
6     3, 7, 15, 25, 38, 53, 70, 88, 108, kEndDataMark
7 };
8
9 //50Hz
10 static const unsigned char sinrow2[33] = {
11     154, 177, 198, 217, 232, 244, 252, 255, 254, 248, 238,
12     223, 206, 186, 163, 140, 116, 92, 70, 49, 32
13     18, 8, 2, 1, 4, 12, 24, 40, 58, 80
14     103, kEndDataMark
15 };
16
17 //60Hz
18 static const unsigned char sinrow3[28] = {
19     154, 181, 205, 226, 242, 251, 255, 252, 243, 228, 208,
20     185, 158, 129, 101, 74, 50, 29, 14, 4, 1,
21     4, 13, 28, 48, 72, 99, kEndDataMark
22 };
23
24 //70Hz
25 static const unsigned char sinrow4[24] = {
26     160, 191, 217, 238, 250, 255, 251, 238, 218, 192, 162,
27     129, 96, 65, 39, 19, 6, 1, 5, 17, 37,
28     63, 94, kEndDataMark
29 };
30
31 //80Hz
32 static const unsigned char sinrow5[21] = {
33     167, 200, 228, 247, 255, 252, 238, 214, 183, 147, 109,
34     73, 42, 18, 4, 1, 9, 28, 55, 89, kEndDataMark
35 };
36
37 //90Hz
38 static const unsigned char sinrow6[19] = {
39     167, 204, 233, 250, 255, 245, 223, 190, 151, 109, 69,
40     36, 12, 2, 4, 21, 49, 85, kEndDataMark
41 };
42
43 //100Hz
44 static const unsigned char sinrow7[17] = {
45     173, 213, 241, 254, 250, 230, 196, 152, 106, 62, 27,
46     6, 1, 14, 42, 81, kEndDataMark
47 };
48 };
49
50 //110Hz
51 static const unsigned char sinrow8[16] = {
52     173, 215, 244, 255, 247, 220, 179, 131, 82, 40, 11,
53     1, 10, 37, 79, kEndDataMark
54 };

```

図 A5 : 正弦波テーブル

作製したプログラムでは、まず RS232C の設定を行う。図 A6 にソースコードの一部を示す。

```

1 char icmd[24];
2 int n_cmd=0;
3
4 #int_rda
5 void isr_rcv()
6 {
7     char data;
8     data=getc();
9     do {
10         if(n_cmd < 20) {
11             icmd[n_cmd]=data;
12             n_cmd++;
13         }
14         data=getc();
15     } while(data != 'e');
16     icmd[n_cmd]='e';
17     n_cmd++;

```

図 A6 : RS232 の設定部分

1、2 行目は、シリアルから読みこんだデータの格納バッファとバッファ内の文字数である。

10 行目でバッファ内の文字数は最大 30 文字に制限している。16 行目で e を最後に追加している。

RS232C の PC 操作に関する設定の部分のソースコードを図 A7 に示す。

```

1 printf("¥r¥nDAC ch=1-9 ?");
2 int j;
3 enable_interrupts(INT_RDA);
4 enable_interrupts(GLOBAL);
5
6 while(1)
7 {
8     KeyScan();
9     if(n_cmd!=0) {
10         for(j=0;j<n_cmd;j++) {
11             ;
12             printf("%c", icmd[j]);
13         }
14
15         if((icmd[0] > '9') || (icmd[0] < '1')){
16             printf(" Command Error?¥r¥n");
17             n_cmd=0;
18         }
19         else
20             switch (icmd[0])
21             {
22                 case '1': Address = 1; break;
23                 case '2': Address = 2; break;
24                 case '3': Address = 3; break;
25                 case '4': Address = 4; break;
26                 case '5': Address = 5; break;
27                 case '6': Address = 6; break;
28                 case '7': Address = 7; break;
29                 case '8': Address = 8; break;
30                 case '9': Address = 9; break;
31                 default : break;
32             }
33             printf("¥r¥nDAC ch=1-9 ?");
34             n_cmd=0;
35         }
36     }
37     return 0;
38 }

```

図 A7 : PC からの RS232C 制御

3 行目でシリアル割り込みを許可する。4 行目で割り込みの許可。8 行目からコマンド解析を行っていく。12 行目の `printf` でエコー表示を出力する。20 行目から 32 行目までで DAC のチャンネルを選びセットする。

付録 B DA コンバータ(10bit 8ch)を用いる回路の使用法

DA コンバータ(8bit 12ch)を用いる回路では、接続関係や PC の通信ソフト(TeraTerm)

上での操作は、DA コンバータ(8bit 12ch)を用いた回路と同じである。また振動スピーカ
接続コネクタのピンの位置も同じである。

以下に図 B1 として使用した正弦波テーブルを示す。

```
1 //40Hz
2 static const long int sinrow1[40] = {
3     592, 670, 744, 812, 873, 925, 967, 998, 1017, 1023,
4     1017, 998, 967, 926, 874, 813, 744, 670, 592, 512,
5     432, 355, 280, 212, 151, 99, 57, 26, 7, 1,
6     7, 26, 56, 98, 150, 211, 279, 353, 431, kEndDataMark
7 };
8
9 //50Hz
10 static const long int sinrow2[32] = {
11     709, 794, 870, 932, 980, 1010, 1023, 1017, 993, 952,
12     895, 824, 742, 652, 557, 460, 365, 275, 194, 124,
13     68, 29, 6, 2, 16, 47, 96, 160, 236, 322,
14     415, kEndDataMark
15 };
16
17 //60Hz
18 static const long int sinrow3[27] = {
19     725, 824, 906, 969, 1008, 1023, 1012, 975, 916, 836,
20     739, 631, 517, 403, 295, 197, 115, 53, 15, 1,
21     13, 50, 111, 192, 289, 397, kEndDataMark
22 };
23
24 //70Hz
25 static const long int sinrow4[23] = {
26     766, 872, 954, 1005, 1023, 1006, 955, 874, 769, 646,
27     513, 381, 258, 152, 70, 19, 1, 18, 69, 150,
28     256, 379, kEndDataMark
29 };
30
31 //80Hz
32 static const long int sinrow5[20] = {
33     804, 914, 989, 1022, 1009, 953, 857, 731, 586, 434,
34     289, 163, 69, 14, 2, 36, 113, 224, 361, kEndDataMark
35 };
36
37 //90Hz
38 static const long int sinrow6[18] = {
39     817, 934, 1005, 1022, 983, 893, 761, 603, 434, 274,
40     139, 46, 3, 16, 83, 196, 345, kEndDataMark
41 };
42
43 //100Hz
44 static const long int sinrow7[16] = {
45     853, 968, 1020, 1005, 922, 784, 609, 421, 245, 106,
46     21, 3, 54, 166, 326, kEndDataMark
47 };
48
49 //110Hz
50 static const long int sinrow8[15] = {
51     862, 978, 1023, 989, 881, 717, 521, 324, 156, 42,
52     1, 38, 149, 315, kEndDataMark
53 };
```

図 B1 : 正弦波テーブル

付録 C 発表会での質疑応答

付録 C.1 中間発表 (2015 年 10 月 19 日)

- ・ 9 チャンネル使う意味は何か？(木村先生)

A. 現在は音の周波数を出力するという研究であるが、将来的には先行研究でもあるように「ド、レ、ミ、ファ、ソ、ラ、シ、半音、オクターブ」の出力方法も対応したいと検討しているため。

- ・ 10Hz 刻みで振動させる意味は何か？(川本先生)

A. 現段階では、周波数を分けて出力する回路を主として検討していたので、ひとまず 10Hz 刻みで出力させた場合、その周波数が 10Hz ごとに正確に出力されるかどうかという検討を行ったため。

付録 C.2 本発表 (2016 年 1 月 25 日)

- ・ 線形の周波数間隔でよいのか。対数なのか線形なのか周波数の知覚についてどう考えているのか？(川本先生)

A. 本研究の目的は、装置の作製であったため、音の周波数の分け方や振動が人にどうのように感じるかは、これから検討していく。

- ・ 正弦波の必然性は？(大豆生田先生)

A. 一番基本的で簡単な波形であり、ほかの波形を使用したいときもすべて正弦波の重ね合わせで作ることができるため、正弦波での検証を行った。

付録 D フォルダの説明

卒業研究フォルダ内には以下のフォルダとファイルがある。

- ・ 中間発表フォルダ

中間発表の予稿の PDF、パワーポイントのスライドのデータ、質疑応答のテキストファイルが入っている。

- ・ 本発表フォルダ

本発表の予稿の PDF、パワーポイントのスライドのデータ、質疑応答のテキストファイルが入っている。

- ・ 卒論フォルダ

本論文の PDF ファイルが入っている。

- ・ 3 種類の回路フォルダ

初めに検討した pdf と 3 種類の回路のフォルダが入っている。「PWM 制御を用いる回路」、「DA コンバータ(8bit 12ch)を用いる回路」、「DA コンバータ(10bit 8ch)を用いる回路」のフォルダが入っていて、それぞれフォルダに PIC に関する資料、正弦波計算の資料、仕様書の資料、試作実験結果の資料、図面の資料、プログラムが入っている。

- ・ 多数の振動スピーカ駆動装置フォルダ

最終的に検討した、「DA コンバータ(8bit 12ch)を用いる回路」を使用した装置に関する資料、仕様書、取説、図面、プログラムが入っている。

謝辞

本研究に際して、1年間丁寧なご指導を頂きました大埴聡先生、石井研究所の石井一嘉氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] 坂尻正次, 三好茂樹, 中邑賢龍, 福島智, 伊福部達: “触覚フィードバックを用いた音声ピッチ制御方式による盲ろう者の歌唱訓練”, ライフサポート Vol.22 No.4, pp.138-145, 2010.
- [2] 大墳聡, 佐々木信之, 四戸彩子, 長谷川貞夫, 原川哲美: “体表点字を用いた振動による楽譜呈示”, 第 35 回感覚代行シンポジウム講演集, pp.47-50, 2009.
- [3] 佐々木信之, 大墳聡, 福永克己, 長谷川貞夫, 原川哲美: “2 点振動子を用いた振動による楽曲呈示”, 第 38 回感覚代行シンポジウム, pp.51-54, 2012.
- [4] 栃原直哉: “Skype を用いた体表点字によるヘレンケラーホンシステムの改良”, 平成 23 年度 卒業研究報告書, pp.20-21, 2011.