

# 1 性能評価

今回製作できたラジオは、以下のような仕様となった。

1. クリスタルイヤホンを用いてアンプなしでラジオを聞くことができた。
2. 4 段のアンプを用いてスピーカーを駆動することができた。
3. 多少の雑音はあるが、何を話しているのかを聞き取ることができた。
4. 一号機は、ニッポン放送と TBS ラジオと文化放送を受信することが出来たが複数の放送局が同時に聞こえるようになってしまった。二号機は、一号機とほぼ同じ性能だが、音が一号機と比べて小さい。三号機は、全く動作しなかった。
5. 可変抵抗を用いて音量調整を行うことができた。
6. 教室（CAD 室）内のどこでも受信できたが（TBS ラジオと文化放送）、ニッポン放送は窓側でないと聞き取れなかった。
7. 一号機は、直径 24cm、高さ 38cm のループアンテナを用いているため、持ち運びが困難であった。二号機は、直径 6.5cm、高さ 16.5cm のループアンテナを用いているため、持ち運びが容易であった。三号機は、一号機二号機と比べるとかなり小さいが、受信できなかったため使えない。

## 1.1 アンテナ

今回は合計で 3 つのアンテナを用意した（1 号機と 2 号機は製作したもの、3 号機は既製品）。それぞれの仕様を表 1 に示す。また、それぞれの写真を図 1、図 2、図 3 に示す。

表 1: アンテナの各パラメータ

名称	直径 [mm]	巻き数 [turn]	抵抗 [ $\Omega$ ]	長さ [mm]	コア材質	コア長 [mm]
1 号機	240	24	4.6	11	空気	-
2 号機	65	135	0.5	50	空気	-
3 号機	10	70	28.0	12	フェライト	42



図 1: 1号機アンテナの写真



図 2: 2号機アンテナの写真



図 3: 3号機アンテナの写真

まず、受信できる周波数を特定するために、それぞれのインダクタンスを測定した。LCR メータが機能しなかったため、それぞれのインダクタンスの測定は、図 4 のような回路を用いて行った。周波数を変更させて、共振回路間の電圧を測定し、分圧則より共振周波数の場合はインピーダンスがほぼ無限になるため、5V の電圧が測定できる。5V になった周波数から、式 (??) と共振回路内のセラミックコンデンサ 150 pF の値を用いて、インダクタンスを計算した。

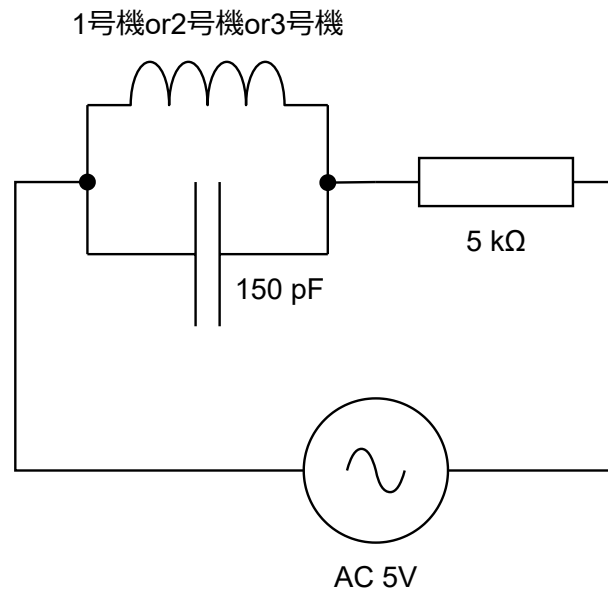


図 4: インダクタンス測定回路

図 5 に、図 4 の測定結果を示す。1 号機 (Unit1) と 2 号機 (Unit2) は 5.00 V が計測できたが、3 号機 (Unit3) は 4.31 V までしか計測できなかった。また、図 5 には載せていないが、3 号機のフェライトを抜いたら共振しなくなり、0 V が観測された。

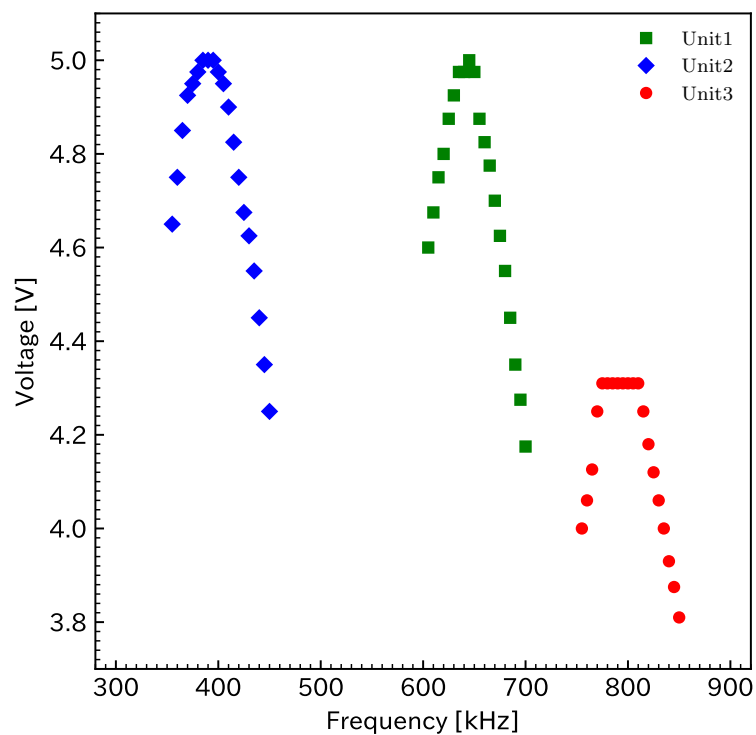


図 5: インダクタンス測定回路の共振

図 5 の結果から、表 2 のように、インダクタンスと受信できる周波数を計算した。受信できる周波数は、図??の 4 pF ~ 260 pF のバリアブルコンデンサ (CBM-113B-1C4) を用いることを想定している。

表 2: インダクタンス測定回路の結果

名称	最大電圧 [V]	共振周波数 [kHz]	インダクタンス [ $\mu\text{H}$ ]	受信できる周波数 [kHz] (理論上)
1 号機	5.00	約 645	405.91	約 489.91 ~ 3949.80
2 号機	5.00	約 390	1110.24	約 296.23 ~ 2388.26
3 号機	4.31	約 790	270.58	約 600.69 ~ 4842.93

表 2 より、一号機と二号機は表??の全ての局を聞くことができるのではないかと考えた。しかし、綺麗に聞くことができなかったため、バリャブルコンデンサが機能していないのではないかと考えた。そこで、今度は図 6 のようにインダクタンスを一号機に固定させて、バリャブルコンデンサの容量を変化させて、受信できる周波数を測定した（こちらも LCR メータが機能しなかった）。バリャブルコンデンサのつまみを最小にしたときと最大にしたときの二種類を測定した。

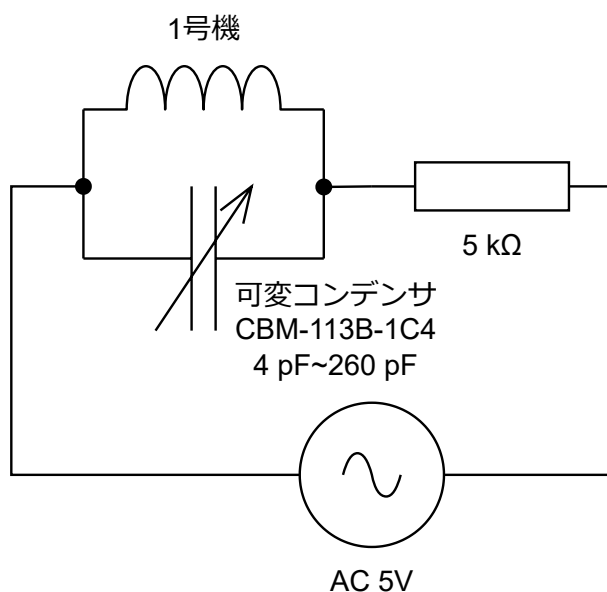


図 6: バリャブルコンデンサ測定回路

図 7 に、図 6 の測定結果を示す。バリャブルコンデンサのつまみを最小 (min) にした場合は、Q 値が高かった。しかし、バリャブルコンデンサのつまみを最大 (max) にした場合は、Q 値が低かった。このため、バリャブルコンデンサのつまみを最大にした場合は、表 2 の 1200 kHz 付近の局が全て聞こえてしまう。実際のところ TBS ラジオと文化放送が混ざって聞こえてしまった。

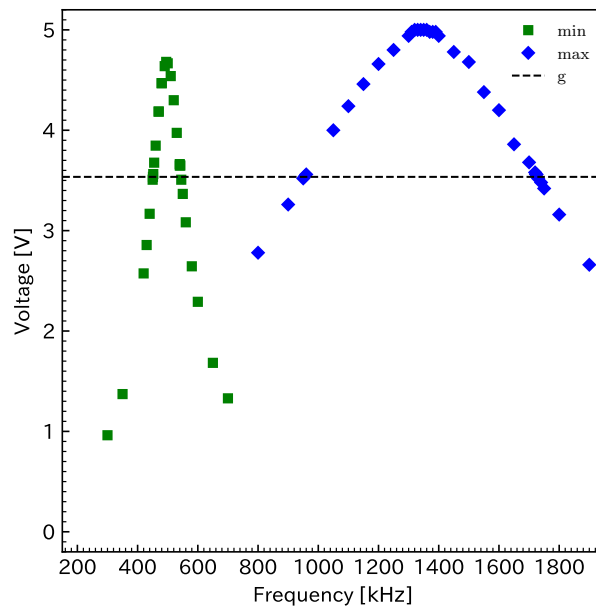


図 7: バリابلコンデンサ測定回路の共振

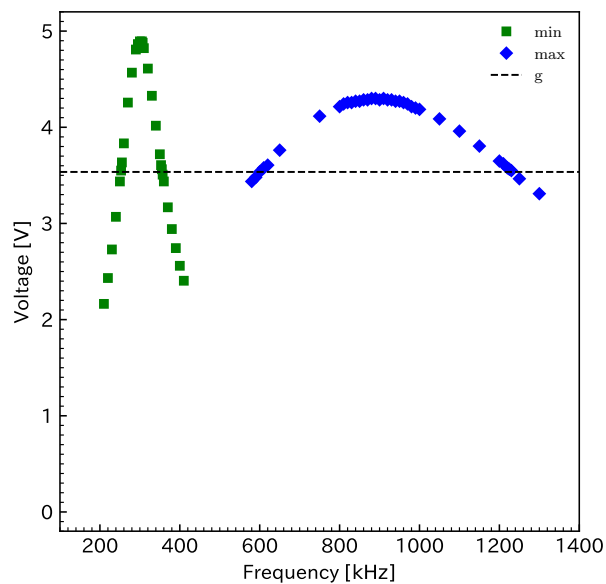


図 8: バリابلコンデンサ測定回路の共振

表 3 に、図 7 の結果から、バリابلコンデンサの最小と最大を計算した。max の共振周波数は、Q 値が低かったため判断が難しかったが、最大電圧が出力された周波数を共振周波数とした（オシロスコープの分解能のせいであまり正確な値は取れなかった）。表 3 より、バリابلコンデンサのつまみを最小にしたときは、理論上の値と実際の値がかなり異なっている。しかし、表 2 のに出ているすべての局を聞くことができる。

表 3: バリابلコンデンサ測定回路の結果

つまみ	最大電圧 [V]	共振周波数 [kHz]	理論上の値 [pF]	実際の値 [pF]
min	5.17	約 495	260	254.7
max	5.23	約 1460	4	29.3

この値を用いて、もう一度表2の受信できる周波数を計算した。それを表4に示す。表4より、二号機の受信できる周波数は、表??よりかなり狭いことがわかる。

表 4: 実際に受信できる周波数帯

名称	インダクタンス [ $\mu\text{H}$ ]	受信できる周波数 [kHz] (理論上)	受信できる周波数 [kHz] (実際)
1号機	405.91	489.91 ~ 3949.80	約 495.0 ~ 1460.0
2号機	1110.24	296.23 ~ 2388.26	約 299.3 ~ 882.4
3号機	270.58	600.69 ~ 4842.93	約 606.3 ~ 1787.5

表4より、受信できる周波数は一号機はほとんど聞くことができ（ラジオの放送局数的に）、二号機は半分ほど聞くことができ、三号機はほとんど聞くことができない（こちらはそもそも同調回路として機能しているのか分からない）。特に、NHKなどは全く聞くことができなかった。原因として、そもそも電波が届いていないのではないかと考えた。ものすごく簡単なレーダー方程式（反射とかは無視、アンテナゲインも無視）式(1)を用いて電波密度を計算する。

$$\text{電力密度} = \frac{P_t}{4\pi R^2} \quad (1)$$

計算した結果と、教室から送信局までの方角を表5に示す。

表 5: それぞれの電力密度と方角

放送局	電力密度 [ $\text{W}/\text{km}^2$ ]	方角（窓は東）
NHK 第1	8.63	北北西
NHK 第2	14.38	北北西
AFN	7.93	北北西
TBS ラジオ	14.29	北北西
文化放送	13.48	北北西
ニッポン放送	7.87	南東
ラジオ日本	65.40	南西

今回ではTBS ラジオ、文化放送、ニッポン放送（こちらは窓に近づけないと聞こえない）が聞くことができた。TBS ラジオと文化放送は、電力密度が  $14 \text{ W}/\text{km}^2$  ほどであり、電力密度が他のものと比べて高い。方角も北北西であり、辛うじて電波が受信できそうな方角である。ラジオ日本が聞こえなかった原因は、方角的に壁が邪魔をしているのではないかと考えられる。逆に電力密度が低いラジオ日本で壁に近づけたら聞こえたのは、南東なので方角的に受信しやすかったのではないかと考えられる。また、NHK 第1とAFNは、電力密度が低いので聞くことができなかったと考えられる（方角も北北西で微妙）。疑問として、NHK 第2は方角も電力密度もTBS ラジオとほとんど変わらないのに聞こえなかったこと。ラジオ日本は、方角が悪いが、電力密度は他の送信所に比べて極端に高いのにも関わらず、聞こえなかったことである。

## 1.2 検波

図9に、ループアンテナアンテナから取り出された電圧を示す。図10に、図9から取り出された電圧を検波回路で検波された電圧を示す。図11に、図10からカップリングコンデンサを通して取り出された電圧を示す。関係ないかもしれないが、図9図10図11すべてオシロスコープの分解能の影響で決まった値しか検出できなかった。図9より、ノイズと思われる部分を含めないで、最大約  $0.02[\text{V}]$  の電圧

が観測された。図 10 より、逆電圧がほとんどないため、ゲルマニウムダイオードの整流作用が働いていることが確認できる。また、図 11 より、図 10 の直流成分 (0.01[V] ぐらい) がカットされていることがわかる。そのため、検波回路は正常に動作していると考えられる。

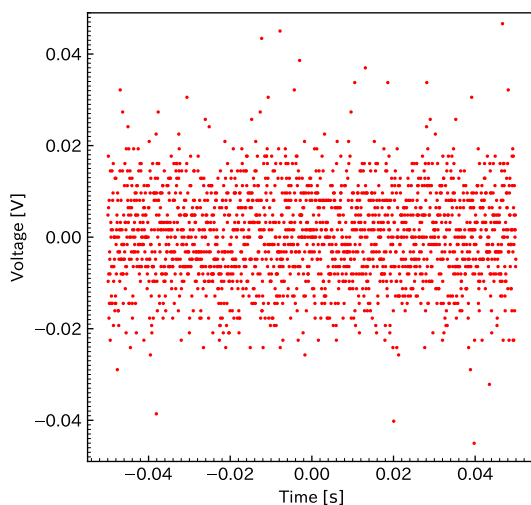


図 9: ループアンテナから取り出された電圧

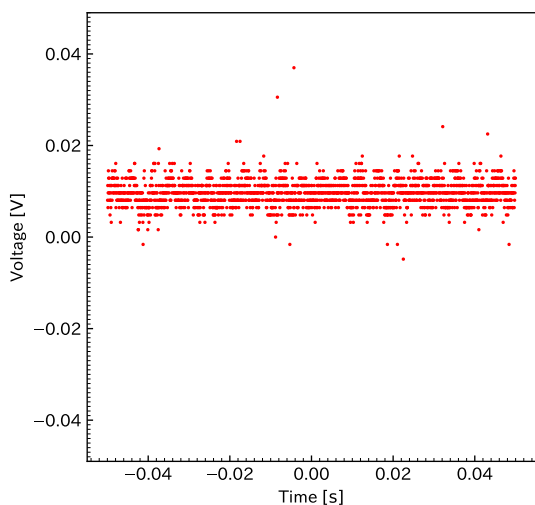


図 10: 検波回路で検波された電圧

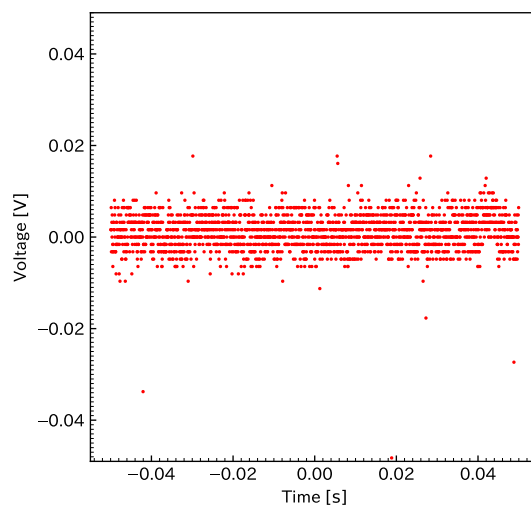


図 11: カップリングコンデンサを通したときの電圧

### 1.3 アンプ

図 12 に、今回用いた増幅回路のゲイン線図を示す。図 12 の Theoretical value が理想値 (5.7 倍、15.1175[dB]) である。Lowest range が人間が聞こえる周波数の最低値 (20[Hz]) である。Highest range が人間が聞こえる周波数の最高値 (20000[Hz]) である。測定値は、オシロスコープから取り出した波形の CSV ファイルから最大値を取り出したものなので、ノイズなどでゲインが少し理想値よりも高くなっている。10<sup>6</sup>[Hz] 付近で、リップルが発生しており、その後に急激に減少している。しかし、この領域は人間が聞こえる周波数の範囲外のため、問題ないと考えられる。逆に、人間が聞こえる周波数の範囲内は、理想値に近い値を取っているため良いと考えられる。

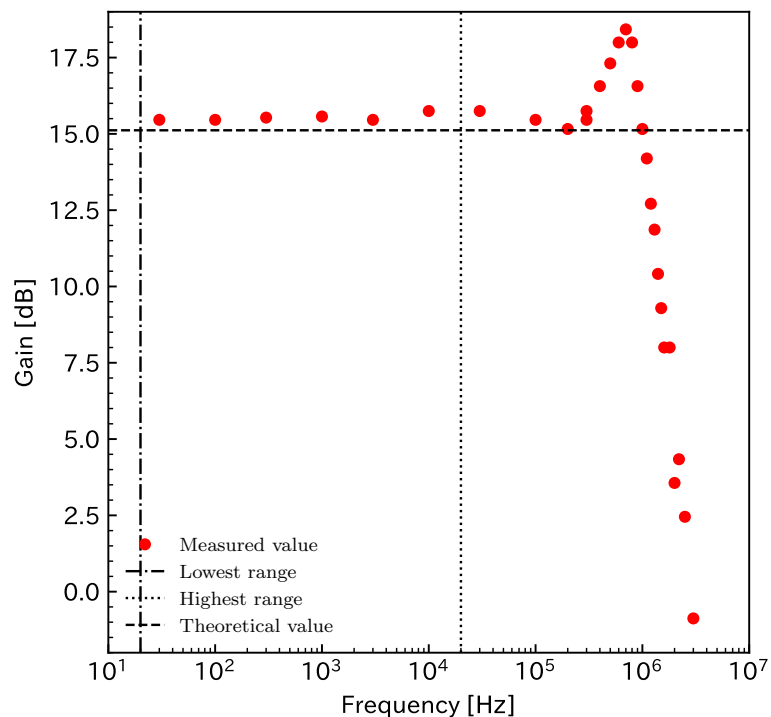


図 12: アンプのゲイン線図

図 13 に 100mV の正弦波を入力したときのアンプ一段二段の出力電圧を示す。アンプ一段では 5.7 (5.7<sup>1</sup>) 倍、アンプ二段では 32.49 (5.7<sup>2</sup>) 倍に増幅される想定で、実際にそのぐらいの付近まで増幅されている。また、ノイズがほとんど乗っていないことがわかる。そのため、アンプは正常に動作していると考えられる。実際にアンプ一段二段を用いてラジオを聞いたところ、音は小さいがかなりクリアに聞き取ることができた。

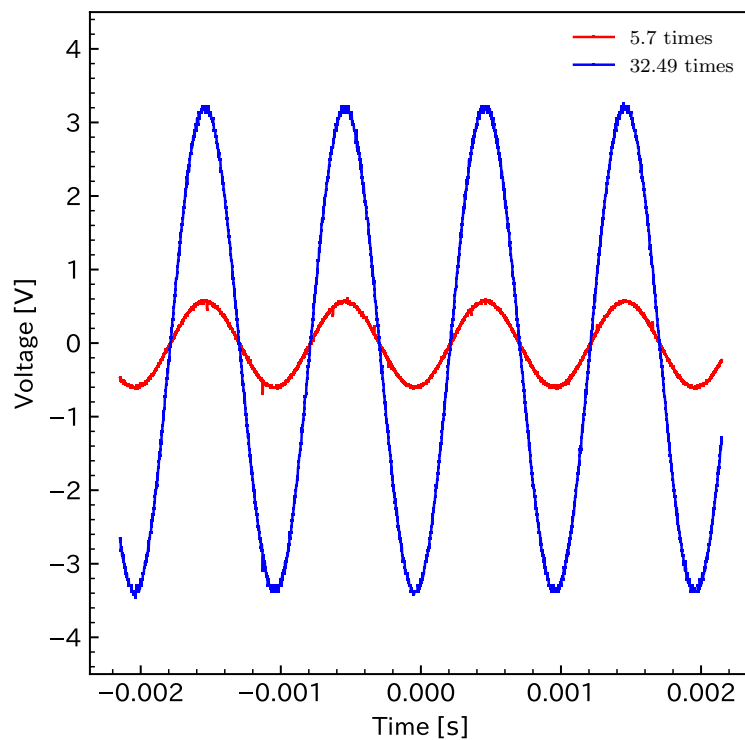


図 13: 100mV の正弦波を入力したときのアンプ一段二段の出力電圧



図 14 に 100mV の正弦波を入力したときのアンプ三段四段の出力電圧を示す。アンプ三段では 185.193 ( $5.7^3$ ) 倍に増幅される想定で、 $\pm 7$  V 付近で飽和している。アンプ四段では 1055.6001 ( $5.7^4$ ) 倍に増幅される想定で、 $-7, +8$  V 付近で飽和している。飽和している原因として、オペアンプの電源が 9 V なので、そこで限界が来たのではないかと考えられる。アンプ四段はアンプ三段に比べて 0.5 V ほどバイアス電圧（電圧の直流成分）が発生していることがわかる。飽和している部分を見ると、図 13 と比較して、ノイズが増えている。これは、アンプが増えたことによって、アンプによって発生するノイズが増えたためだと考えられる。

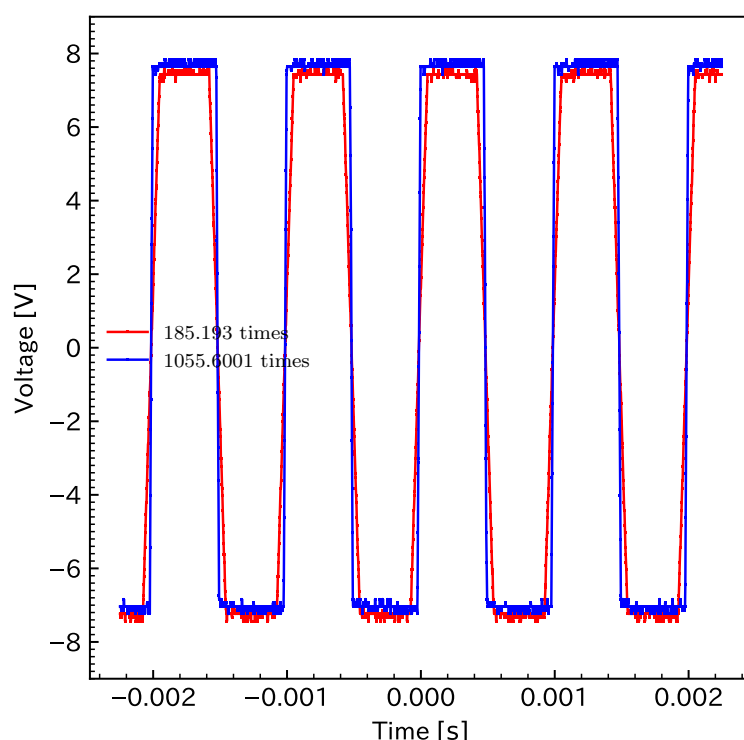


図 14: 100mV の正弦波を入力したときのアンプ三段四段の出力電圧

図 14 では、入力電圧が高かったため、飽和してしまった。正弦波の全体を見るために、1mV の正弦波を入力したときのアンプ三段四段の出力電圧を図 15 に示す。アンプ三段目、四段目共に、ノイズが激しく、正弦波の外形は見えるが、最大値を読むとき、正確な値は計測できない。大まかにみると、アンプ三段の最小電圧は約-0.2 V、最大電圧は約 0.4 V である。アンプ四段の最小電圧は約-1 V、最大電圧は約 2 V である。両方とも、バイアス電圧が発生していることがわかる。また、両方とも電圧の増幅率はおおよそ正しいように見える。アンプ三段よりもアンプ四段の方が、ノイズが大きいのが、これは三段目までのノイズが四段目で増幅されたためだと考えられる。

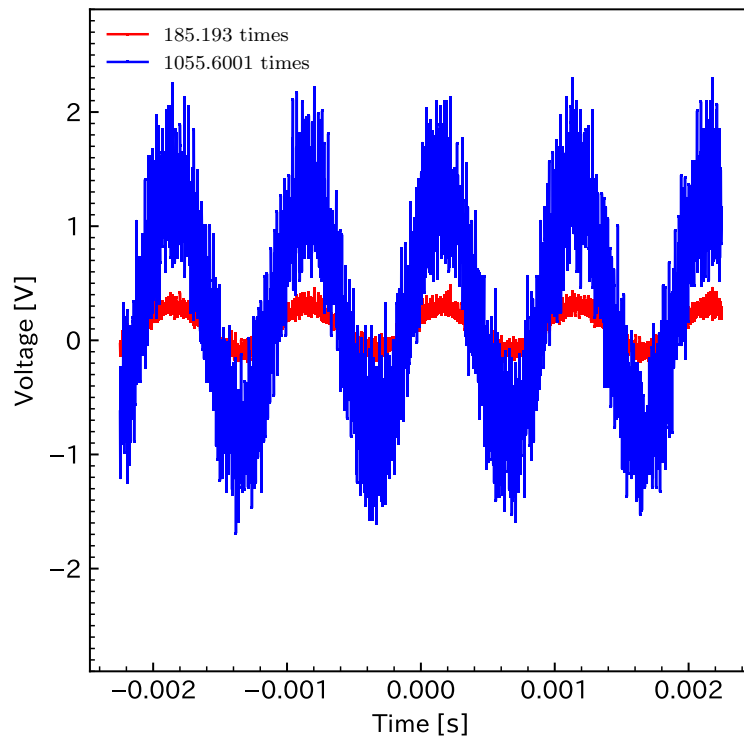


図 15: 1mV の正弦波を入力したときのアンプ三段四段の出力電圧

#### 1.4 音量調整

音量調整は、10 k $\Omega$ A カーブの可変抵抗を用いて行った。図 16 に、改変抵抗の抵抗値と、そのときの電圧の関係を示す。図 16 より、抵抗値が大きくなるにつれて、比例的に電圧が小さくなっていることがわかる。そのため、可変抵抗を用いて音量調整がしっかりと行われていることがわかる。実際に、可変抵抗を回して音量調整を行ったところ、音量が変化することが確認できた。

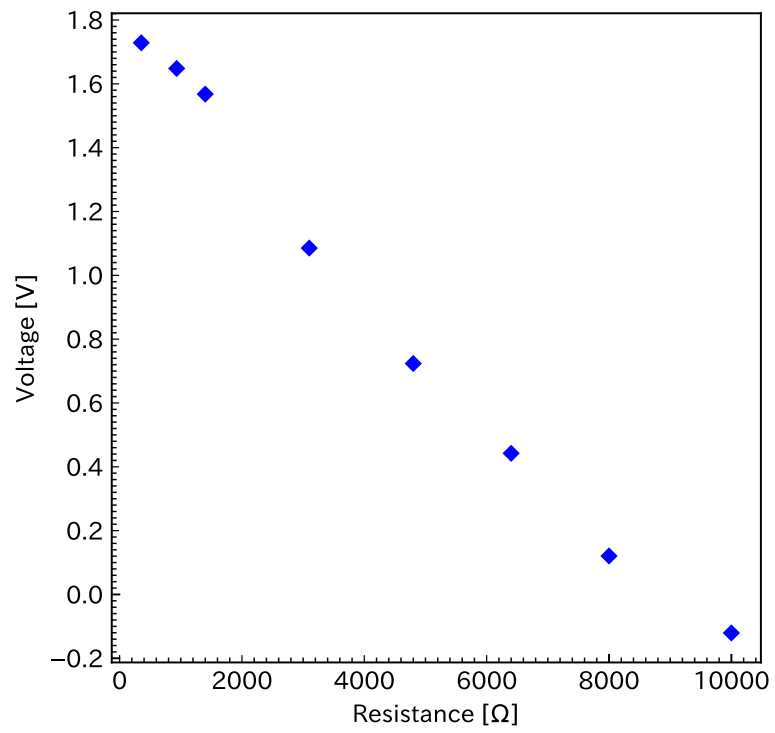


図 16: 音量調節が来ているか