

電子工学探究講座

— 不思議と英語が聞こえてくる —

古橋 武

furuhahshi at nuee.nagoya-u.ac.jp

1

本稿では、英語を聞き取りやすくする原理（ただし、筆者の仮説です。）の説明をします。そして、その原理に基づいて、実際に英語を聞き取りやすくする電子回路の作り方を説明します。

英語を聞いて分かるとは？

- 聞き取れること

今日はこちらの話

- 意味を理解すること

2

英語を聞いて分かるとは、聞き取れることと、聞き取った意味を理解することの2段階からなります。本稿は英語を少しでも聞き取りやすくする工学的な工夫のお話です。

英語のリスニング能力は必要

- センター試験
リスニングテスト
- 大学院入試
英語はTOEIC, TOEFLの点数を採用
- 実社会
国際化 英語 は必須

3

英語のリスニング能力は必要ですね。

大学入試センター試験ではリスニングテストが課されます。

大学院入試の英語科目では、多くの大学院が TOEIC や TOEFL の点数を入試判定に採用しています。

実社会では言うまでもなく、国際化の進展により、多くの方が英語を必要としています。前述のように、リスニング能力の基本は聞き取れることです。

しかし、聞き取り能力を伸ばす訓練はなかなか難しいです。聞き取れない英語はどんなに頑張っても、集中力が（筆者の場合5分と）持ちません。もし、集中していなくても、英語が耳に飛び込んでくればどんなにかいいことでしょう。

聞き取れない理由は？

(説1) 日本人は英語の高周波域の子音が聞き取れない。

(疑問)

周波数解析の結果

日本語の子音の周波数も結構高いところにある。1～5kHz帯をカバーする子音も多い。

日本人は日本語の子音は聞き取ることができても、同じ高周波域にある英語の子音は聞き取ることにはできないのでしょうか？

4

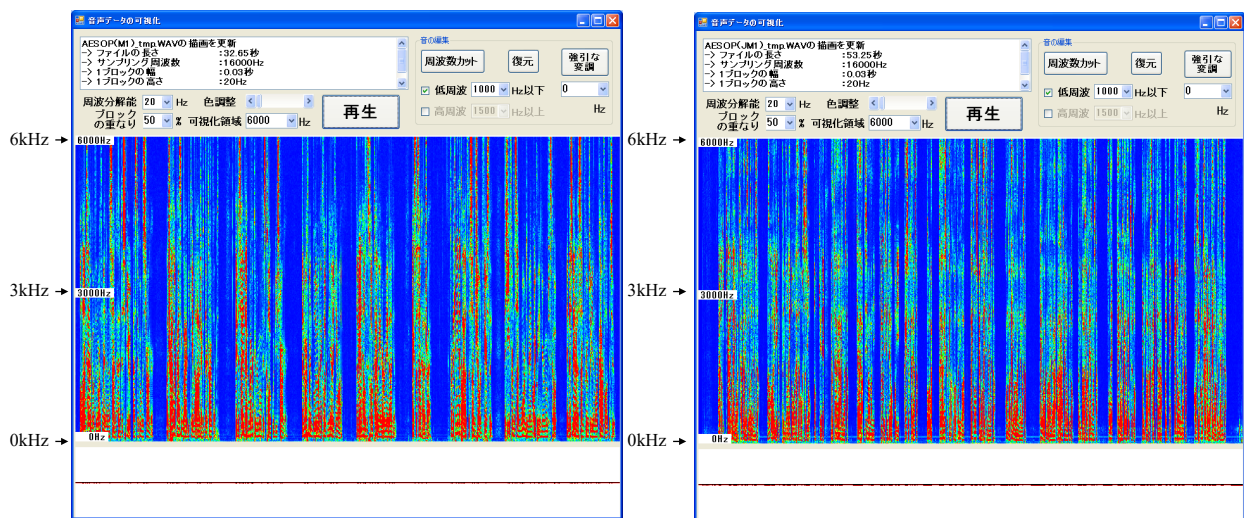
では、なぜ聞き取れないのか？この質問に答えるために、巷の説から始めます。

説1は、日本人は英語の高周波域の子音が聞き取れない、です。

本当かなと思い、実際に周波数解析を行ってみました。

イソップ童話を英語と日本語の両方で読んでいる音源があったので、読み進むにつれて周波数がどう変わっていくのかを可視化してみました。その結果、英語の音声の子音だけでなく、日本語の音声の子音の周波数も結構高いところにあることが分かりました。1～5kHz帯をカバーする子音が多いのです。日本人は日本語の子音は聞き取ることができても、同じ周波数域にある英語の子音は聞き取ることにはできないのでしょうか？

イソップ物語の朗読



英語（男性）

日本語（男性）

日本語にも多くの高周波成分が含まれている。
「(俗説1)日本人は英語の高周波域の子音が聞き取れない。」は、**疑問である。**

5

証拠の可視化結果です。左側がネイティブの人が英語でイソップ物語の「北風と太陽」を朗読している場合です。右側は日本人が日本語で同じ物語を朗読している場合です。どちらも男性です。各図の横軸は時間です。左端が読み始めで右端で読み終わります。縦軸が周波数です。赤い色は周波数成分が大きいところ、赤→黄色→水色→青と成分が小さくなっていきます。日本語の音声では3kHz～6kHzにおいて、赤いところが少なめではありますが、多くの成分が含まれていることが分かります。また、これらの高周波成分は主に子音の音声に含まれていることが、後述のSHやCHの周波数成分に見ることができます。日本語の音声にも英語の音声と同様に多くの高周波成分が含まれています。日本人は英語の高周波域の子音が聞き取れないという説には疑問があります。

(説2) 英語の高周波域の子音を強調すると単語が切れて聞こえるため、英語が聞き取りやすくなる。英語は単語と単語がつながって発音されるため聞き取りにくい。

なぜなぜ

岐阜の「ふ」にあって、福島 of 「ふ」にないものは何か？

八戸の「ち」にあって、千歳 of 「ち」にないものは何か？

習志野の「し」にあって、葛飾 of 「し」にないものは何か？

沖永良部島の「き」にあって、南紀白浜 of 「き」にないものは何か？

鶴岡の「つ」にあって、八代 of 「つ」にないものは何か？

2番目の説は、英語の高周波域の子音を強調すると単語が切れて聞こえるため、英語が聞き取りやすくなる。英語は単語と単語がつながって発音されるため聞き取りにくい、です。本当とも言えますし、少し違うとも言えます。少し違うとする理由は、日本語の音声にも高周波成分が多く含まれているからです。子音を強調するから単語が切れて聞こえるとする根拠は弱いように思います。また、単語と単語がつながって発音されるのは英語だけではなく、日本語でもつながって発音されています。

単語のつながりに関連して、なぜなぜを出します。

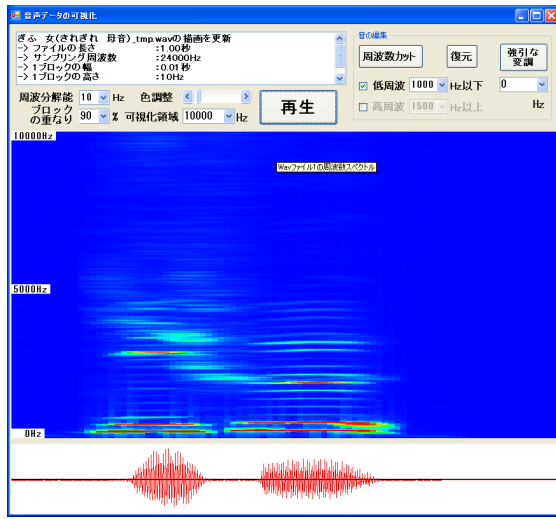
岐阜の「ふ」にあって、福島 of 「ふ」にないものは何か？

八戸の「ち」にあって、千歳 of 「ち」にないものは何か？

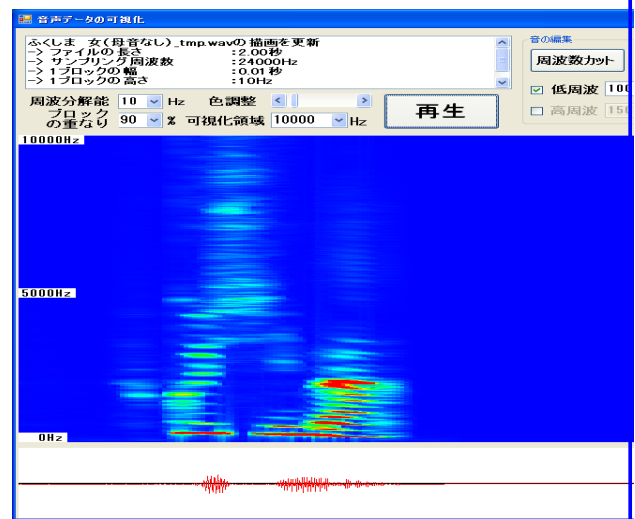
習志野の「し」にあって、葛飾 of 「し」にないものは何か？

沖永良部島の「き」にあって、南紀白浜 of 「き」にないものは何か？

鶴岡の「つ」にあって、八代 of 「つ」にないものは何か？



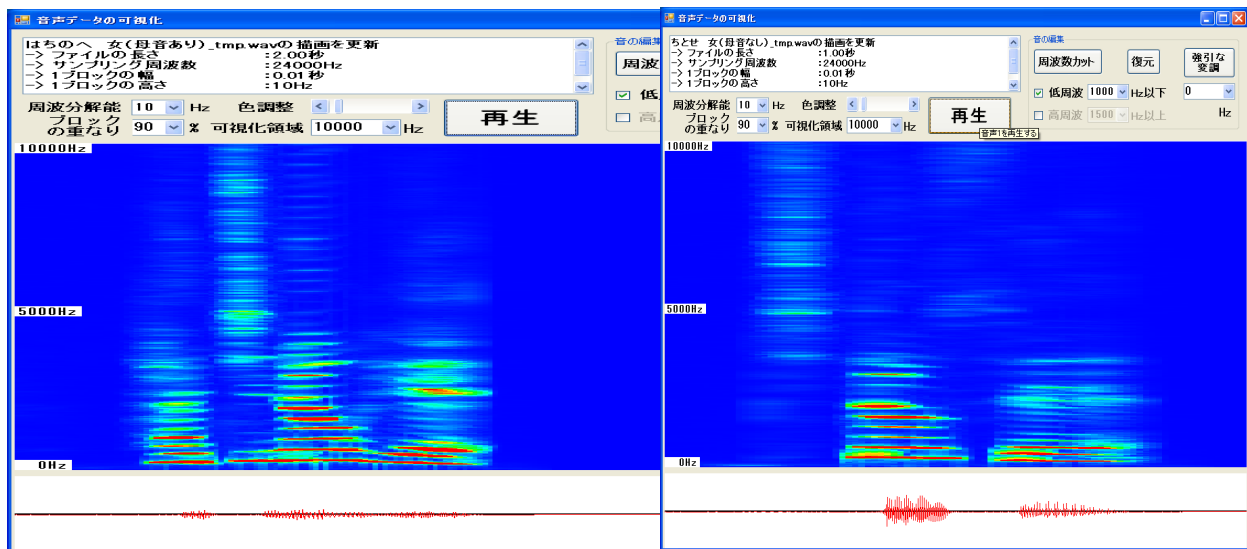
G I F U
岐阜



F KUSHI MA
福島

図の左側は「ぎふ」と筆者が発音したときの周波数解析結果です。右側は「ふくしま」と発音したときの結果です。

GIFU の I の音にはつながりがあるのに対して、FUK・・・の U の音のところでは一瞬音が途切れています。



HA CHINO HE

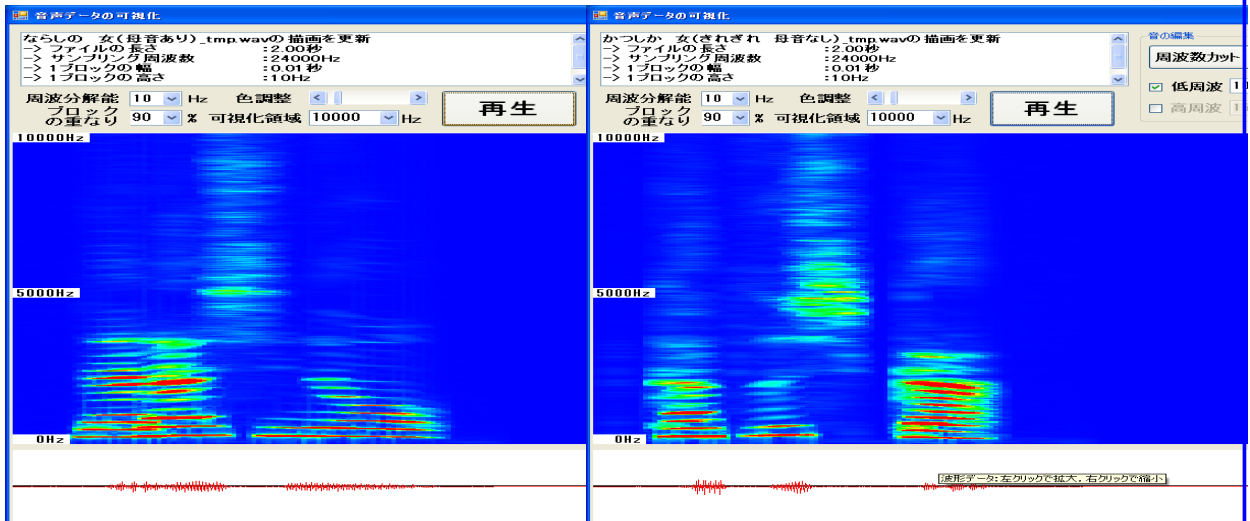
CH TO SE

八戸

千歳

図の左側は「はちのへ」と発音したときの結果、右側は「ちとせ」と発音したときの結果です。

CHINO の I の音にはつながりがあるのに対して、CHITO の I の音のところでは一瞬音が途切れています。



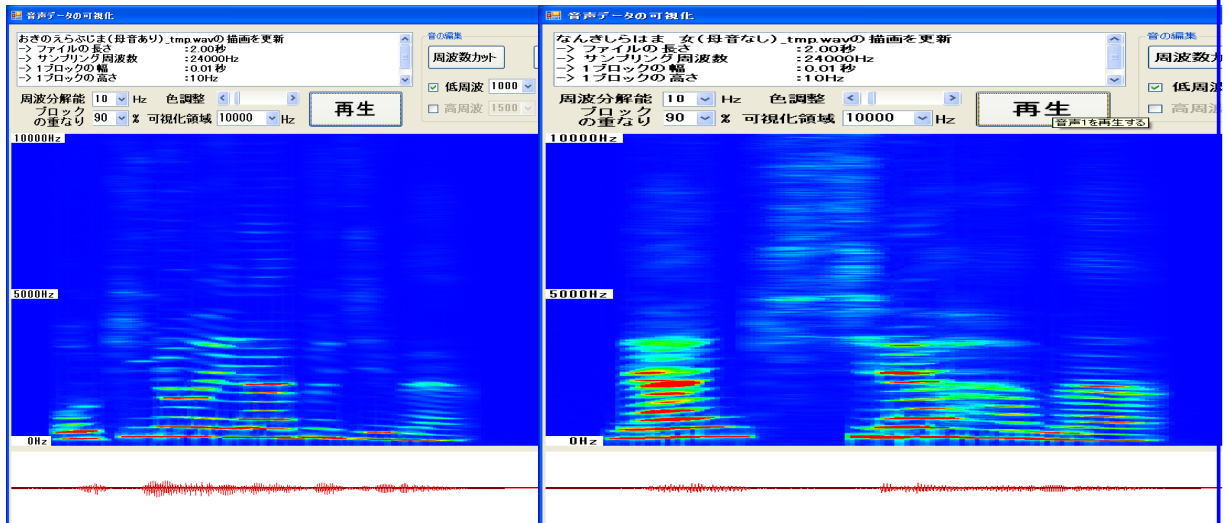
N A R A S H I N O

習志野

K A T S U S H K A

葛飾

SHINO の I の音にはつながりがあるのに対して、SHIKA の I の音のところでは一瞬音が途切れています。



O K I N O E R A B U J I M A

沖永良部島

N A N K S H I R A H A M A

南紀白浜

OKINO の I の音にはつながりがあるのに対して、KISH の I の音のところでは一瞬音が途切れています。

文字と文字の間が切れるのは、次の文字が以下の場合である。

k s t h p py ch sh

例えば、か さ た は ぱ ぴゃ ちゃ しゃ などです。

日本語の音声においても、低周波域では、文字と文字の間は次につづく文字が以下の場合には連続している。

A N M Y R W G Z D B By Gy Jy
あ な ま や ら わ が ざ だ ば びゃ ぎゃ じゃ
などです。

英語の単語においても同様の切れ方をしている。発音の必要性からくる必然か？

11

日本語において文字と文字の間が切れるのは、次の文字が以下の場合です。

k s t h p py ch sh

日本語の音声においても、低周波域では、文字と文字の間は次につづく文字が以下の場合には連続しています。

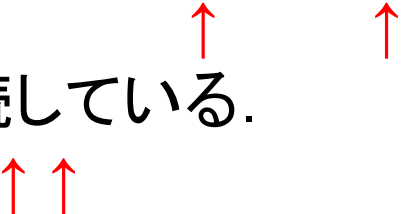
A N M Y R W G Z D B By Gy Jy

英語の音声においても同様の切れ方をしていると予想されます。口の形からくる必然ではないでしょうか？

では、単語と単語の間の切れ方はいかが？

例文

我々の日本語も意外にも、いや、意外で
はないもので連続している。

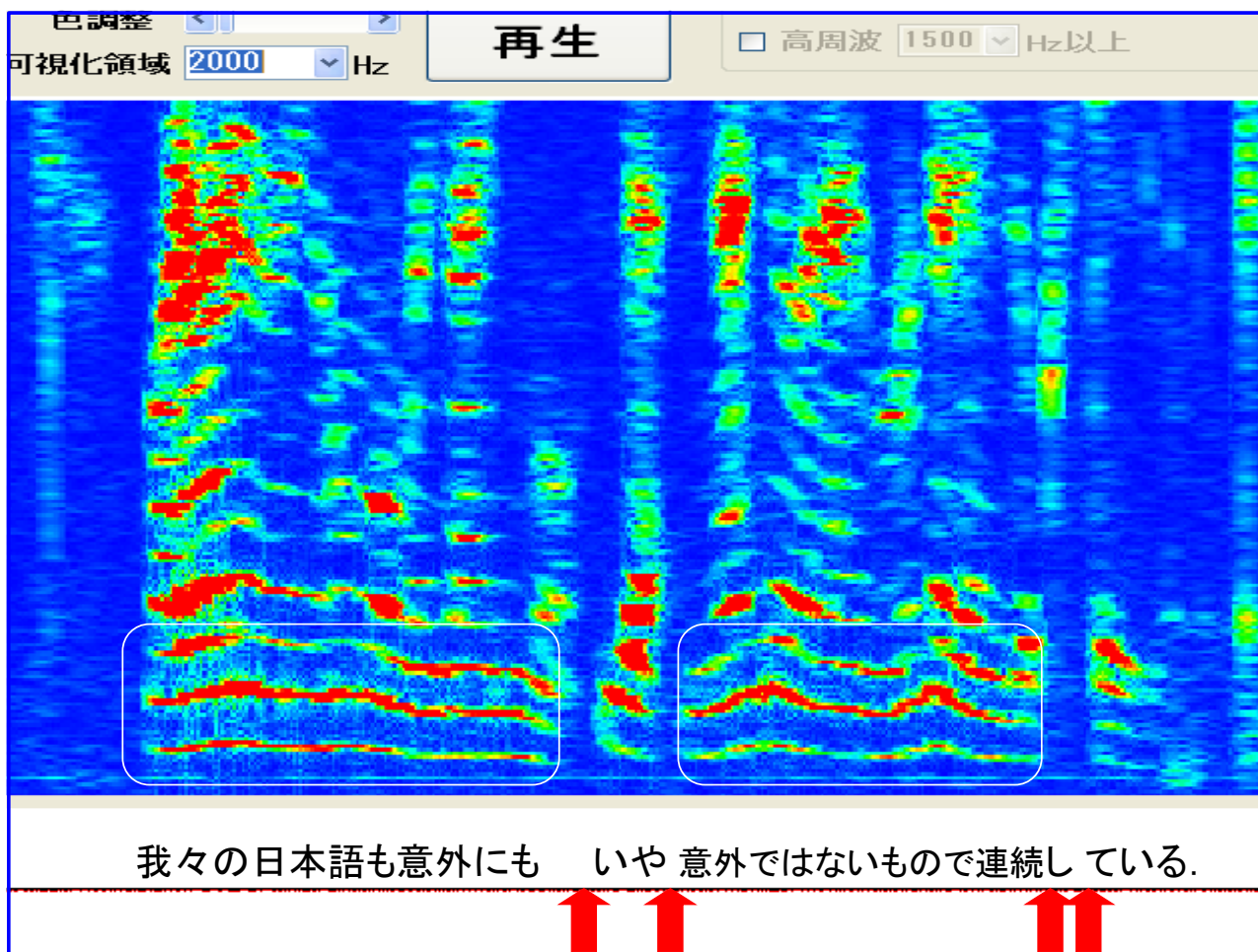


12

では、単語と単語の間の切れ方はどうでしょうか？

次の例文を声を出して呼んでみて下さい。音声はどこで切れるでしょうか？図の↑の場所ではないでしょうか？

「も」と「や」の後は読点です。ここで息継ぎをするのは自然です。もう2箇所、「し」と「て」の前で切れていないでしょうか？



周波数解析をするとよく分かります. 図は筆者が音読した場合の結果です. 図中の白線で囲った中の3本の帯はそれぞれ途切れる箇所がありません. これら3本の帯は,「も」と「や」の後の読点の箇所と,「し」と「て」の前で切れていることが分かります.

では、英語の音声における単語と単語の間の切れ方はどうか？

例文

Can I open the window?



I'm sure that our team will win.



では、英語の音声における単語と単語の間の切れ方はどうでしょうか？

次の例文を声を出して呼んでみて下さい。音声は図の↑の場所で途切れませんか？

低周波域における文字と文字の間の音の切れ方は
日本語と英語で大きな差はないのではないか？

従って

「(説2) 英語の高周波域の子音を強調すると単語が切れて聞こえるため、英語が聞き取りやすくなる。英語は単語と単語がつながって発音されるため聞き取りにくい。」は、疑問である。

16

すなわち、日本語の音声でも英語の音声でも低周波域における単語同士のつながり方に大きな差は無いのではないか、という仮説を立てることができます。

従って

「(説2) 英語の高周波域の子音を強調すると単語が切れて聞こえるため、英語が聞き取りやすくなる。英語は単語と単語がつながって発音されるため聞き取りにくい。」は、疑問です。

しかし、我々は苦もなく日本語なら聞き取ることができるが、英語はできない。

説2は全く間違いとは言えない。私たちは英単語を一つ一つ覚えた。発音も同様にして憶えた。複数の単語をつなげて発音して憶えることはあまりして来なかった。そこで、

(仮説)「英語の音声を単語ごとにぶつ切りにしたら、自分たちが憶えた音に近づき、聞き取りやすくなる」



バンドパスフィルターを通すと英語は聞き取り易くなる。

17

しかし、私たちは苦もなく日本語なら聞き取ることができますが、英語は聞き取れません。説2は全く間違いとは言えない部分があります。それは「英語は単語と単語がつながって発音されるため聞き取りにくい。」の箇所です。私たちは英単語を一つ一つ覚えます。発音も同じです。複数の単語をつなげて発音して憶えることはして来ませんでした。(特に、筆者のような年配者はそうでした。) ですので、「英語の音声を単語ごとにぶつ切りにしたら、自分たちが憶えた音に近づくことで、聞き取りやすくなる」という仮説は成立するのではと筆者も考えています。

さて、バンドパスフィルタを通すと英語は聞き取り易くなります。

車掌さん、なぜ鼻声なの？

電車の車掌さんのアナウンスの声は、どうして鼻にかげたらうな
しやべり方なのでしょう。何か決まりがあるのでしょうか。個性的
な声を聞く一面面白いなあと感じますが、難しくないのかなあとも思
います。

(東京都八王子市 陽田彩子さん 22歳)



省エネ・強調話法

車掌さんの鼻にかかった
声、か。マイクは性能や音
響に關係があるのかな？
電車の車内放送装置製造
の最大手、八幡電機産業
(本社・東京都港区)に聞
いてみたよ。

トンネルや鉄橋、カーブ
……騒音の大ききも様々な
環境で、肝心のアナウンス
が聞こえないと困るし、耳
障りな人も厄介。「うるさ
がられずに聞き取りやすい
車内放送」について、大学
と共同研究に取り組んでこ
て、もう4年目だ。

人間の声は、のどにある
声帯を震わせて音が出る。

また、人の耳の感度を調
べると、高い周波数域の2
~4キロヘルツの音がよく聞
こえる特性があるのだが、
鼻声で話すと、ちょうど2
~4キロヘルツの音の高い周
波の成分が強調される。電
車がトンネル内を通過する
「カーブ」という音、鉄橋な

疑問解決



モンジョー

を運ぶ「カンチャンガンチャ
ン」の低周波成分が
大きいため、音声の低い部
分は聞き取りにくい。それ
で、鼻声は、乗客の耳に入
りやすくなるんだ。

あくまで結果論だけど、
長い時間しゃべり続けなけ
ればならないバスガイドま
んや電車の車掌さんの発声
が鼻声なのは、理屈がな
った話なんだね。ウッキ
ー！

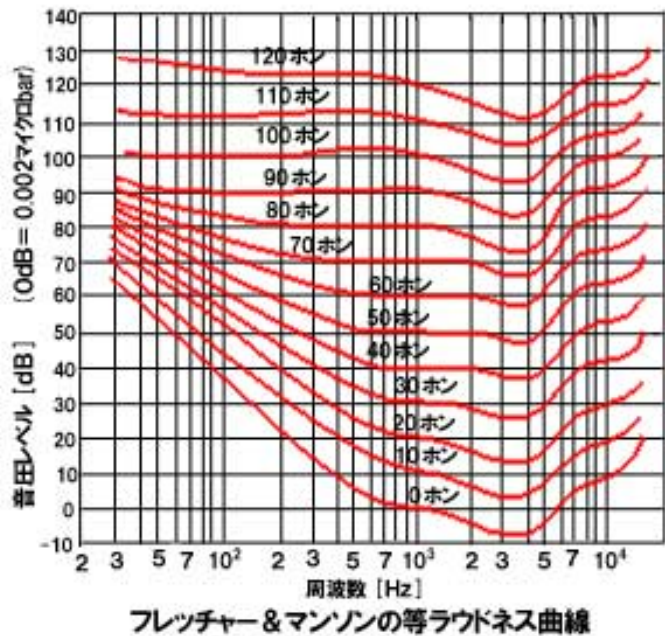
バンドパスフィルターを通す効果について、こんな記事を見つけました。

「また、人の耳の感度を調べると、高い周波数域の2~4 キロヘルツの音がよく聞こえる特性があるのだが、鼻声で話すと、ちょうど2~4 キロヘルツの音の高い周波の成分が強調される。」

人間の聴感曲線

右の図はフレッチャー&マンソンの等ラウドネス曲線という図です。

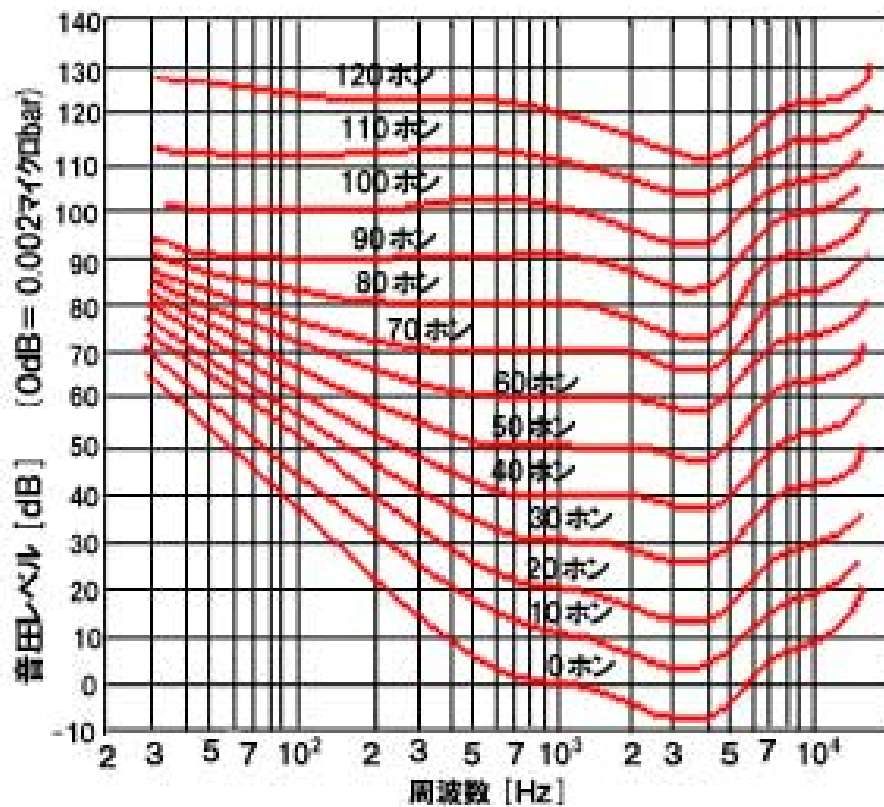
この図の見方は、例えば40フォンの曲線でX軸の100Hzの部分と1kHzがY軸の音圧レベルで100Hzが60dB、1kHzが40dBで交差しています。100Hzが1kHzと同じ音圧を得るには20dBも余計に必要ということが言えます。乱暴に言えば、赤くプロットされた線が上にあるほど感度が悪く、下向きになっているところは感度がよいということになります。



19

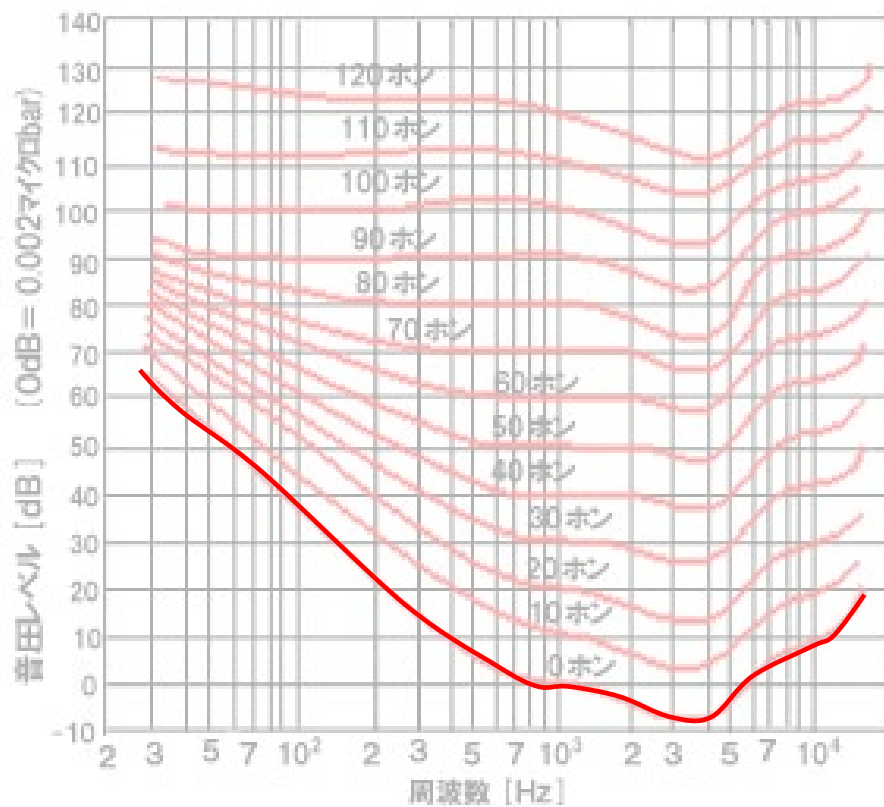
人間の聴感曲線を調べてみました。図はフレッチャー&マンソンの等ラウドネス曲線という図です。

この図の見方は、例えば40フォンの曲線でX軸の100Hzの部分と1kHzがY軸の音圧レベルで100Hzが60dB、1kHzが40dBで交差しています。100Hzが1kHzと同じ音圧を得るには20dBも余計に必要ということが言えます。乱暴に言えば、赤くプロットされた線が上にあるほど感度が悪く、下向きになっているところは感度がよいということになります。



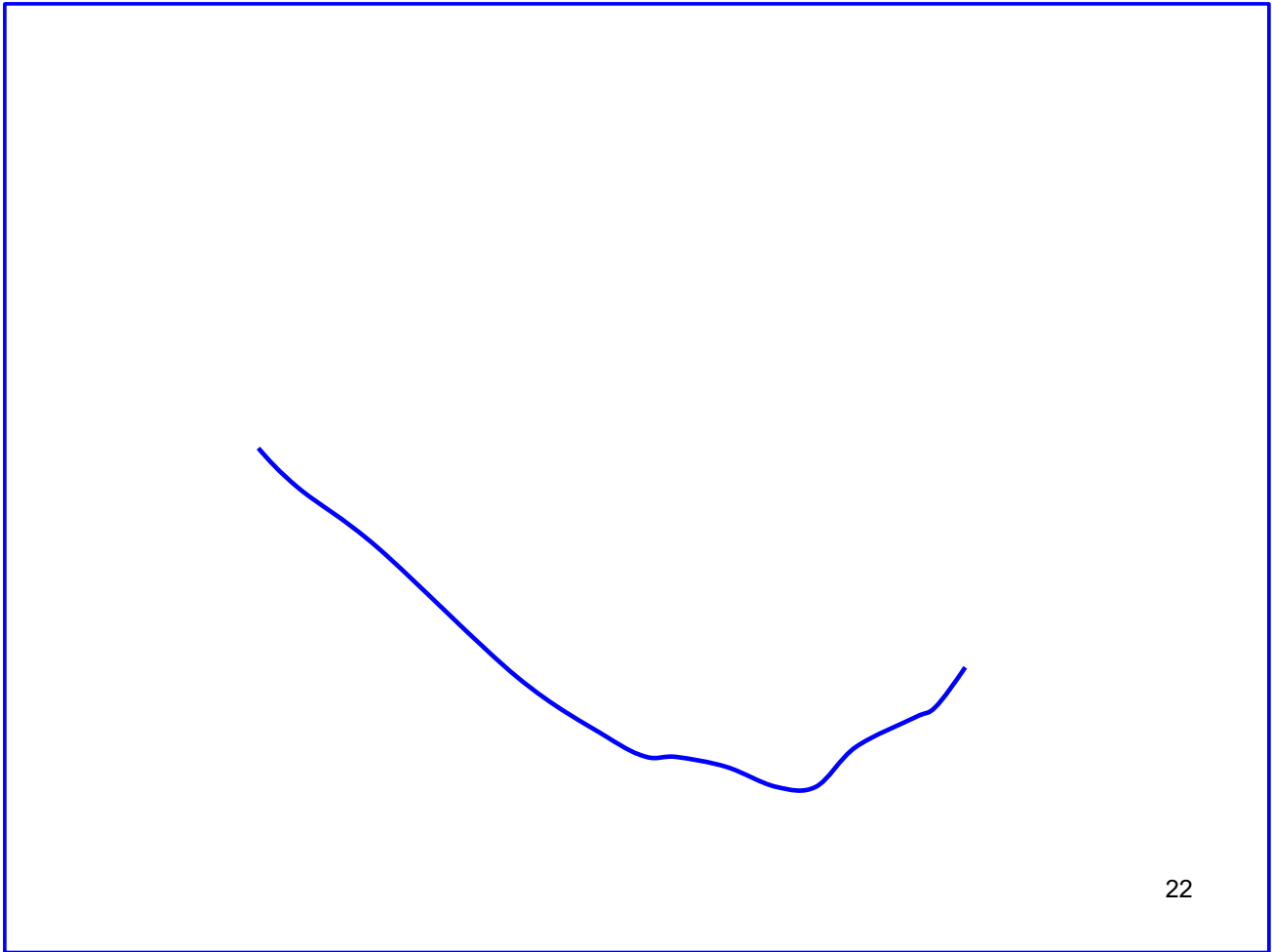
フレッチャー&マンソンの等ラウドネス曲線

図を拡大しました。

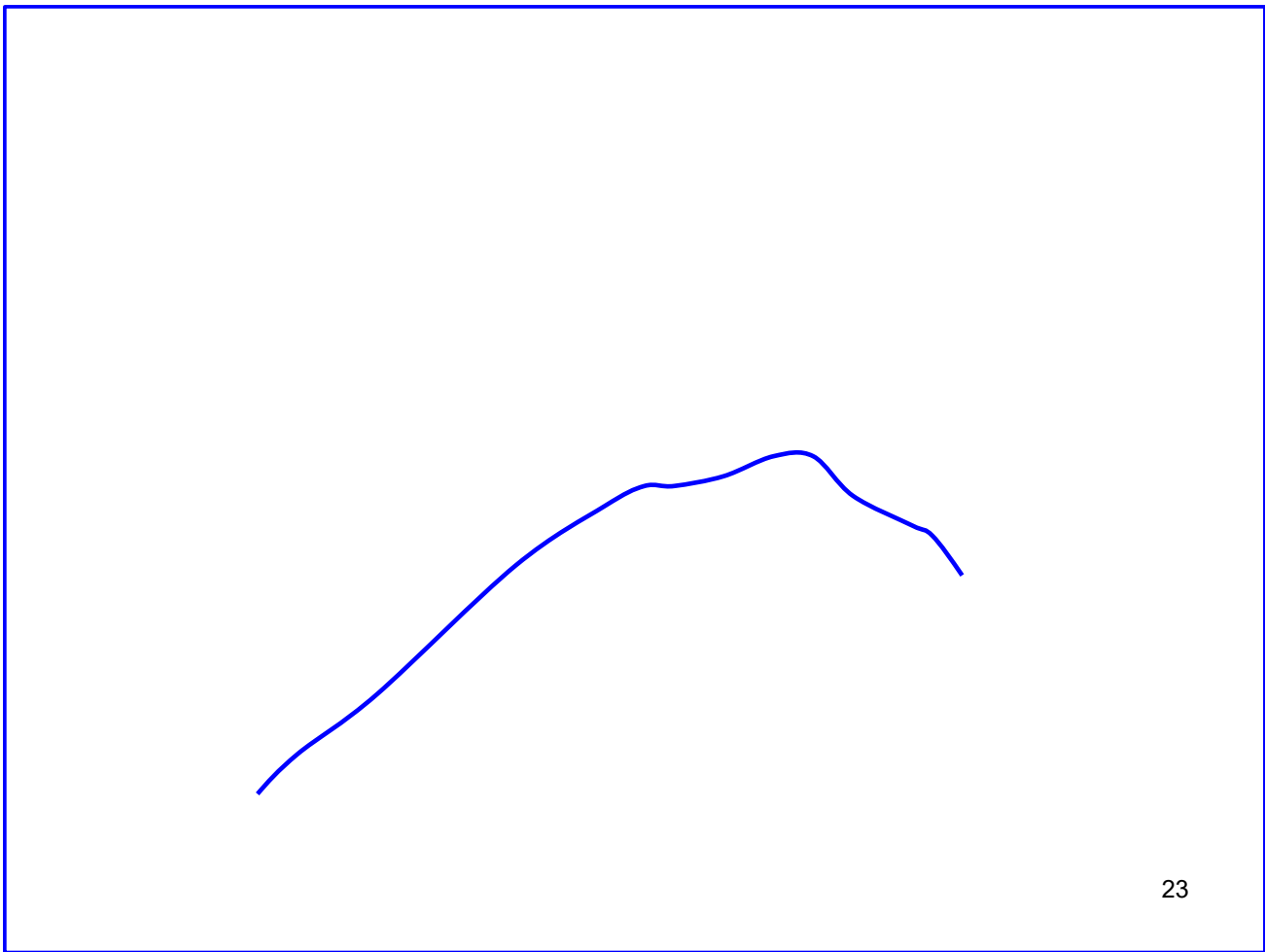


フレッチャー&マンソンの等ラウドネス曲線

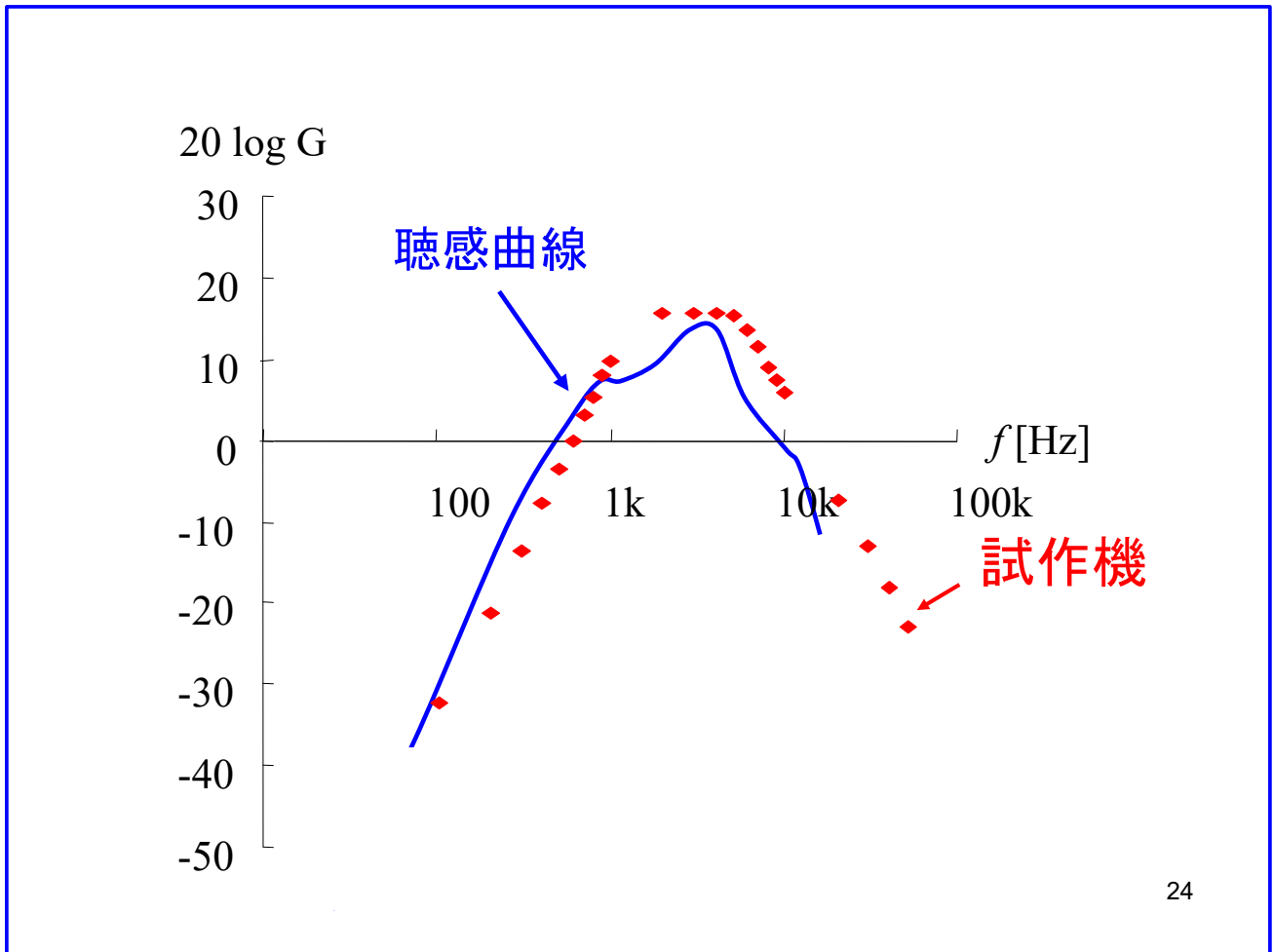
一番感度の良いラインを抜き出します.



一番感度の良いラインのみを残します.



ラインの上下を反転させます.



筆者は、英語を聞き取りやすくする電子回路（バンドパスフィルタ回路）を各種試作し、英語を聞き取りやすくするフィルタ特性を模索しました。筆者が行き着いた（筆者にとって最も聞き取りやすかった）試作機のバンドパスフィルタの増幅特性と聴感曲線を重ね合わせてみました。横軸は周波数、縦軸は増幅度です。いずれも対数表示です。筆者は自分の耳だけを頼りに、英語が聞き取りやすくなるフィルタ特性を探したのですが、なんと！聴感曲線とほぼ一致しました。耳の感度が良い周波数帯を強調するフィルタを通し、それ以外の帯域を減衰させることで、英語は聞き取りやすくなるようです。ただし、筆者の個人的体験の域を出ていないことはお断りしておきます。

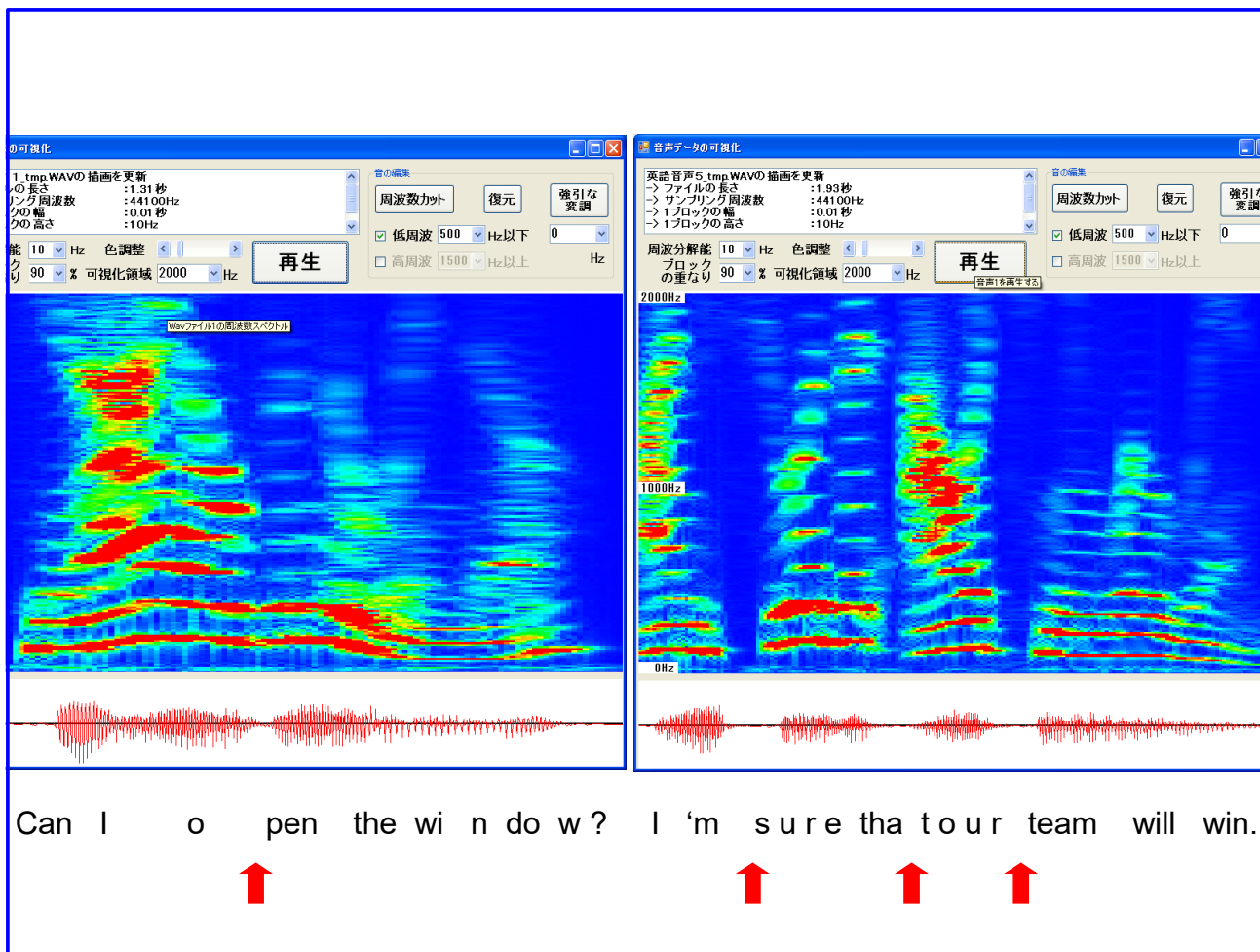
2kHz～5kHz帯を強調することで英語でも日本語でも聞き取りやすくなるようだ.

しかし、特定の周波数帯を強調するだけでは、「単語のつながりをぶつ切りにする」とまでは言えない.

25

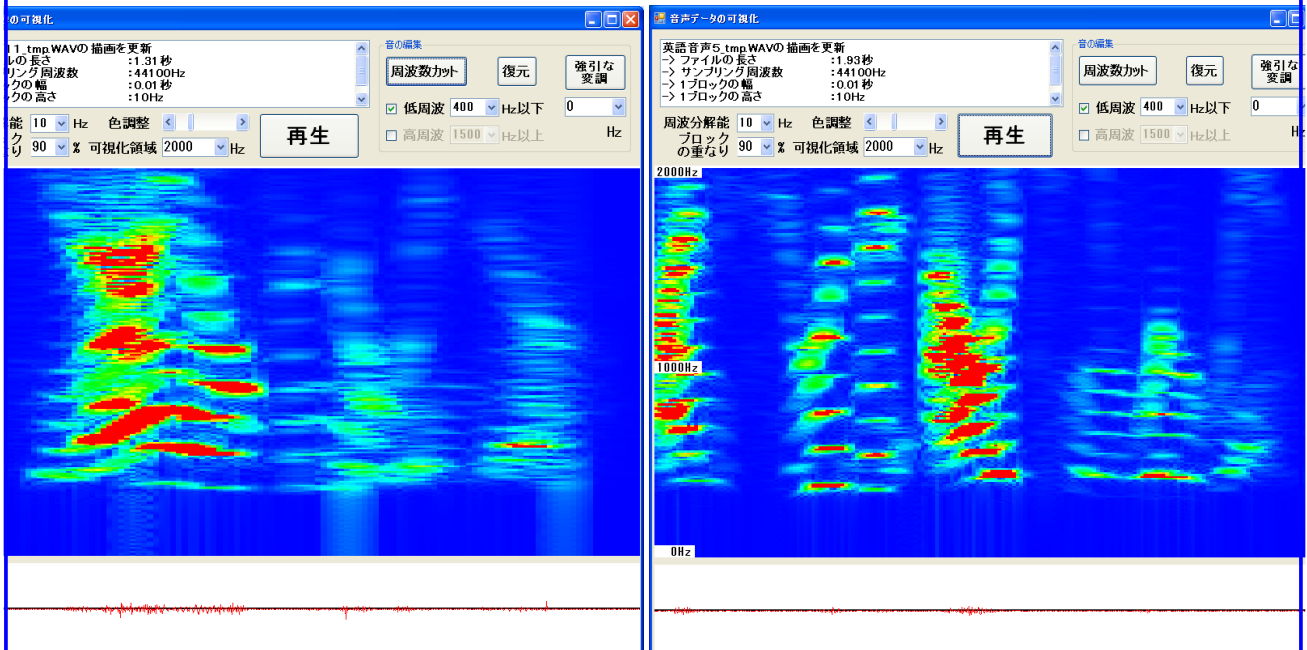
2kHz～5kHz 帯を強調することで英語でも日本語でも聞き取りやすくなるようです.

しかし、特定の周波数帯を強調するだけでは、「単語のつながりをぶつ切りにする」とまでは言えません.



もう一度、英語の音声の周波数解析結果を示します。

バンドパスフィルタは、低周波域をカットする効果もある。



Can I open the window? I'm sure that our team will win.

低周波域をカットすると、文字間の音のつながりは弱くなる。

バンドパスフィルタを通すことは、低周波域をカットする効果もあります。図は200Hz以下をカットした音声の周波数解析結果です。低周波域においてつながっていた2本の帯は完全に消えてしまいます。低周波域をカットすると、文字間の音のつながりは弱くなります。

(仮説) 文字間の音のつながりが弱くなることで、日本人が憶えた音のつながりへと頭の中での照合しやすくなる.

結果として、英語の音声聞き取りやすくなる.

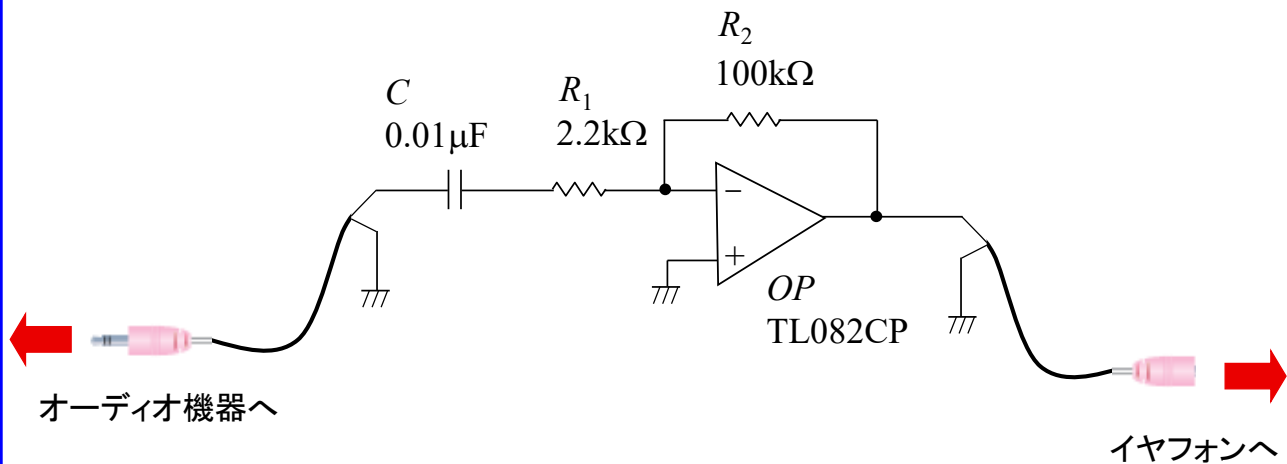
28

そこで、次の仮説を立てます。文字間の音のつながりが弱くなることで、日本人が憶えた音のつながりへと頭の中での照合しやすくなる。

結果として、英語の音声聞き取りやすくなります。

この仮説は実際にフィルタ回路を製作して、ご自分の耳で聞いてみることで確かめてみて下さい。

製作課題 ハイパスフィルタ（英語を聞きやすくする電子回路の試作）



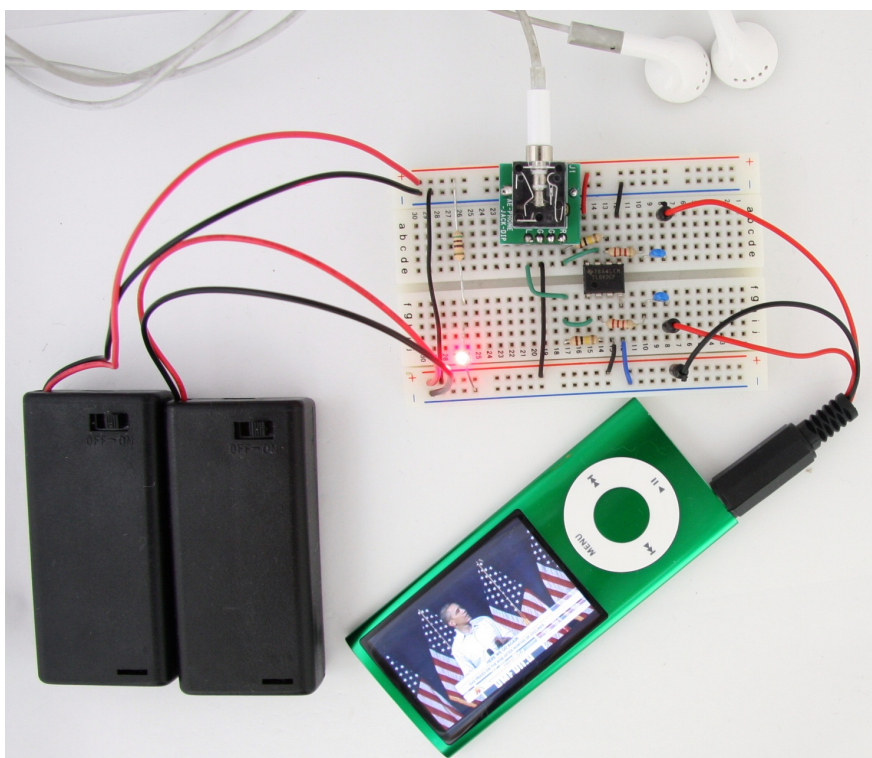
29

「英語の音声をぶつ切りにしたら、自分たちが憶えた音のつながりへと照合しやすくなり、聞き取りやすくなる」という仮説の実証実験は読者の皆さんに委ねます。

英語を聞き取りやすくするフィルタの最大の特徴は、低周波域をカットすることです。そこで、最も回路構成の簡単なハイパスフィルタの製作例を紹介します。

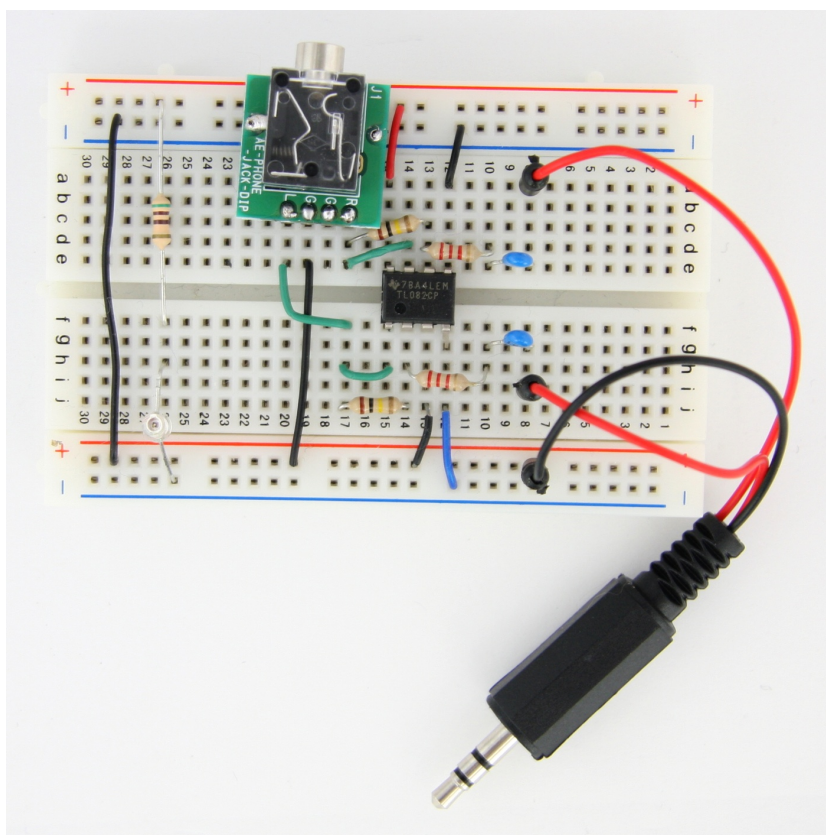
図はオペアンプを用いたハイパスフィルタ回路です。これは1チャンネル分です。ステレオ放送を聞くには、もう一つ同じ回路を必要とします。左側のイヤフォンプラグをオーディオ機器のジャックに挿入し、右側のイヤフォンジャックには、普段使っているイヤフォンのプラグを挿入すれば、耳に聞こえてくる音声は低周波域がカットされたものとなります。

製作課題 ハイパスフィルタ



製作したハイパスフィルタの写真です. 2チャンネル分の回路です.

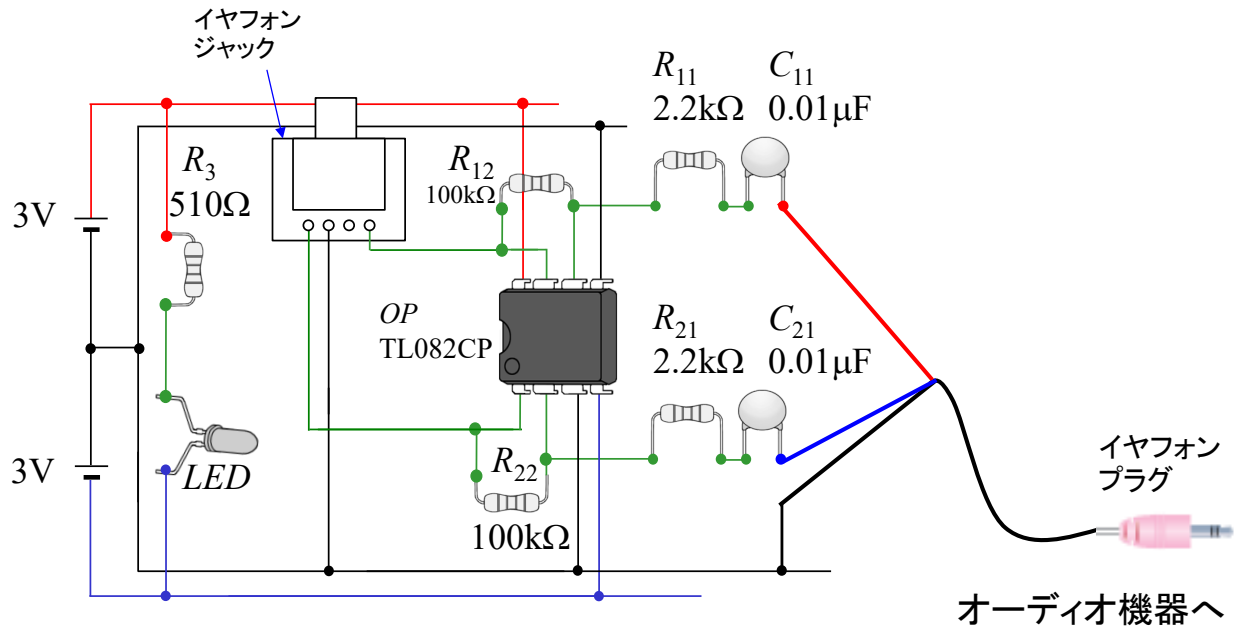
製作課題 ハイパスフィルタ



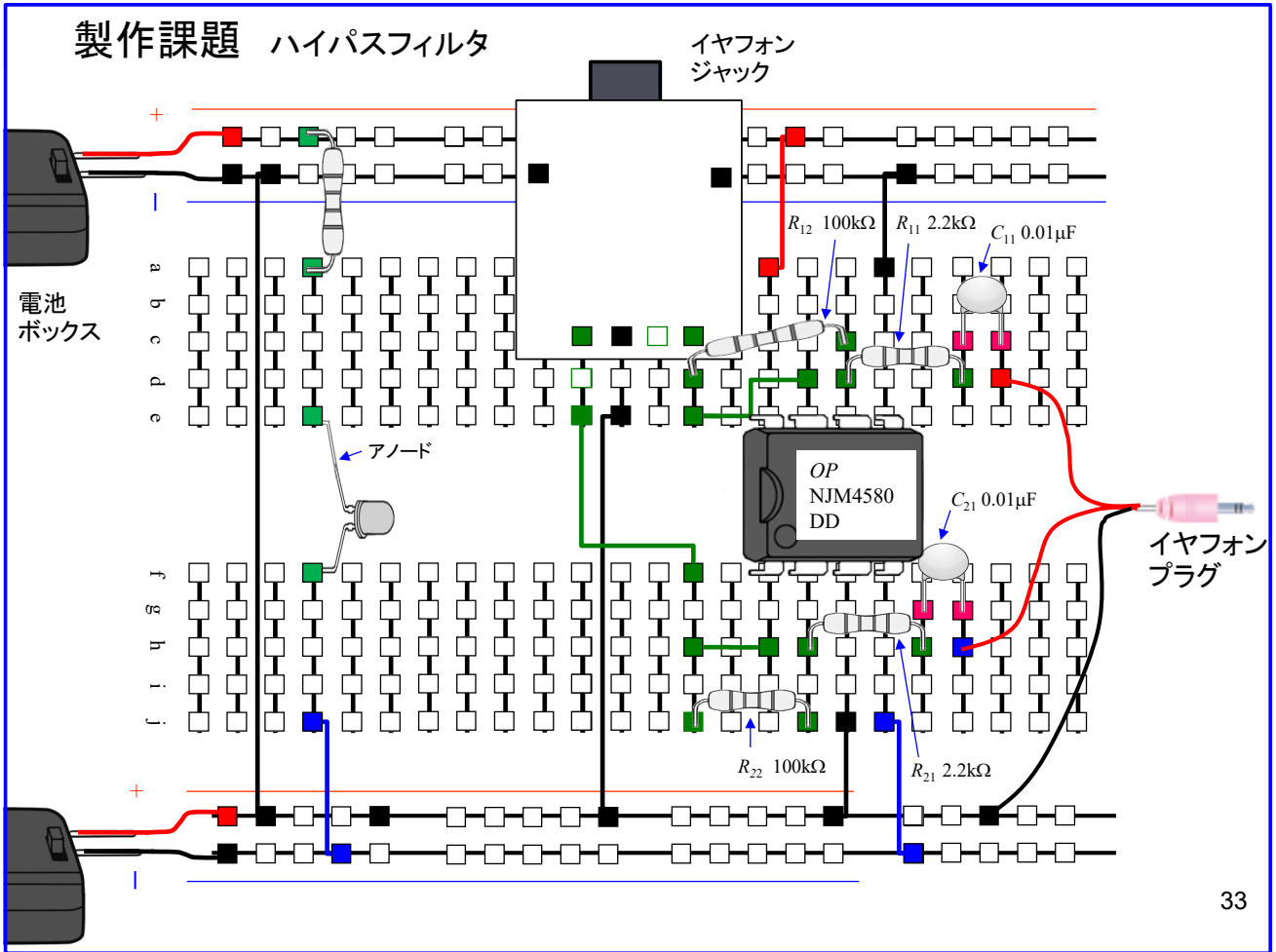
31

電池ボックスを外して、拡大した写真です。ブレッドボードには多くの穴があります。ブレッドボード内部での穴同士の接続の様子は、33 ページの実態配線図および 36 ページのブレッドボードの説明をご覧ください。

製作課題 ハイパスフィルタ

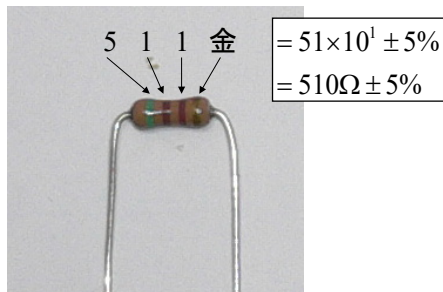


立体配線図です。左右2チャンネル分の回路です。



実態配線図です。

抵抗



抵抗(510Ω)

カラーコード表

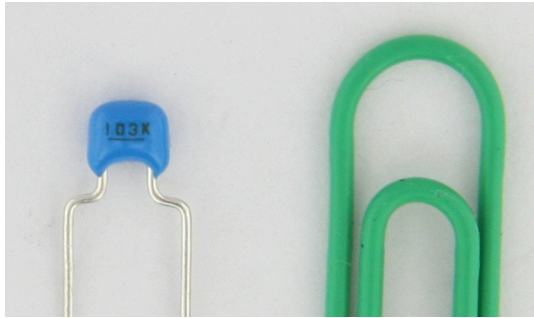
黒 : 0	
茶 : 1	金 : ±5%
赤 : 2	銀 : ±10%
橙 : 3	無し : ±20%
黄 : 4	
緑 : 5	
青 : 6	
紫 : 7	
灰 : 8	
白 : 9	



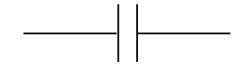
抵抗の記号

以降は各部品の説明です。抵抗の外観写真と、抵抗値を表すカラーコード表です。図は緑、茶、茶、金色の帯のついた抵抗です。カラーコード表によると、緑 = 5、茶 = 1、茶 = 1、金 = ±5%です。すなわち、写真の抵抗は $51 \times 10^1 \pm 5\% [\Omega]$ の抵抗値を持っています。定格が 510 $[\Omega]$ の抵抗ですが、現物は 484 ~ 536 $[\Omega]$ の範囲にあることが保証されています。

コンデンサ

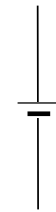
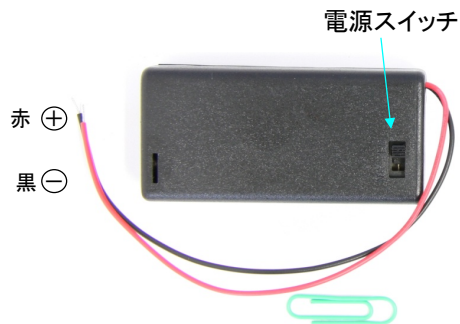


103
= 10×10^3 [pF]
= 10000 [pF]
= 0.01 [μ F]



コンデンサの記号

電池ボックス

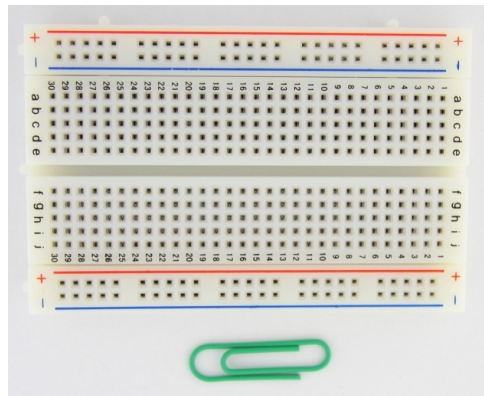


直流電源の記号

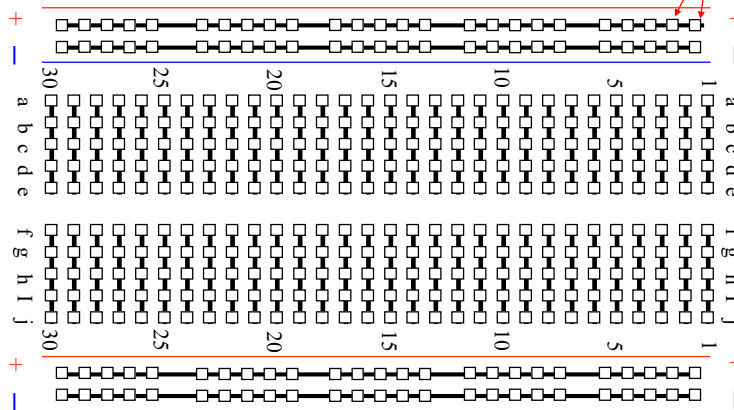
コンデンサの静電容量は写真のように例えば 103 と表示されます。103 = 10×10^3 [pF] = 10000 [pF] = 0.01 [μ F]です。

電子ボックスは単 3 乾電池が 2 本入るタイプです。赤い線が+側です。

ブレッドボード



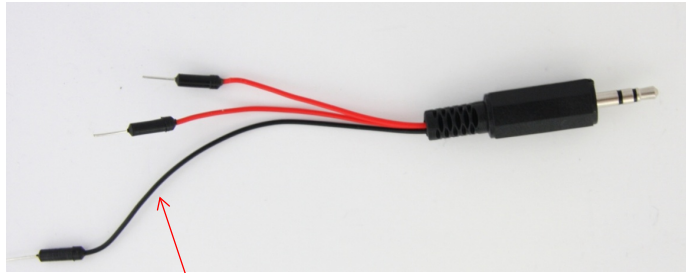
黒い線でつながれた穴同士は内部でつながっている。



ブレッドボードの穴のつながりの様子

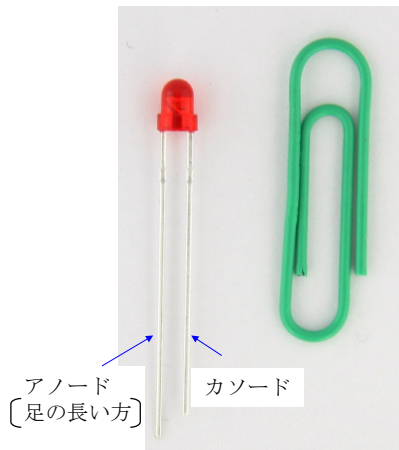
ブレッドボードです。下の図はブレッドボードの穴が内部でどのようにつながれているかを示しています。□が穴を表し、黒い線が内部の接続を表します。黒い線でつながれた穴に差し込まれた部品は電氣的につながります。

イヤフォンプラグ



黒い線を
グラウンドへ

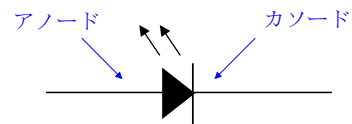
LED



アノード
[足の長い方]

カソード

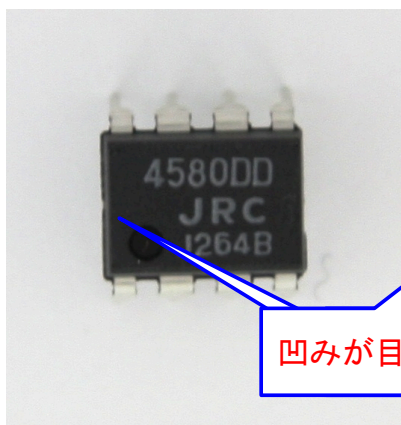
LED (発光ダイオード)



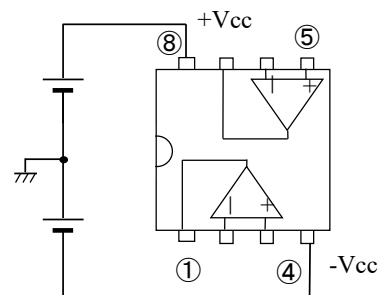
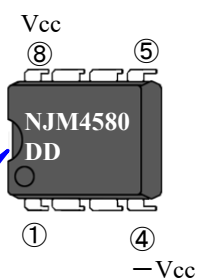
LED(発光ダイオード)の記号

イヤフォンプラグと LED の写真です。LED は電源ランプとして使います。電池ボックスのスイッチが入っている場合に点灯するように使います。アノード側の足（リード線）が長く、このリード線を電池の+側に 510[Ω]の抵抗を介して接続します。

オペアンプ(TL082CP)



凹みが目印

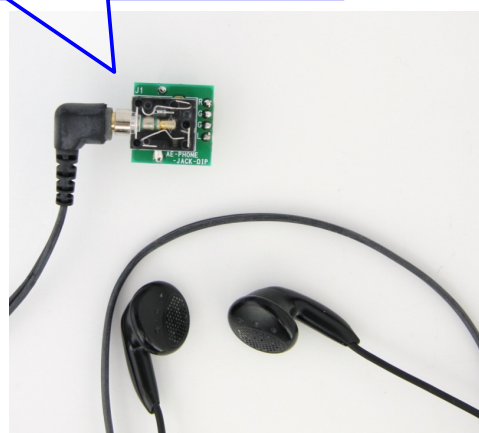
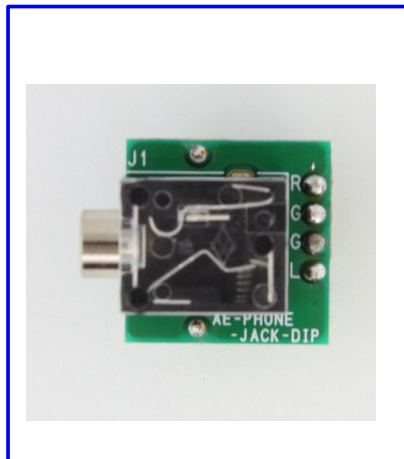


オペアンプ(NJM4580DD)の外観 オペアンプの立体図

オペアンプ(NJM4580DD)
の内部配線

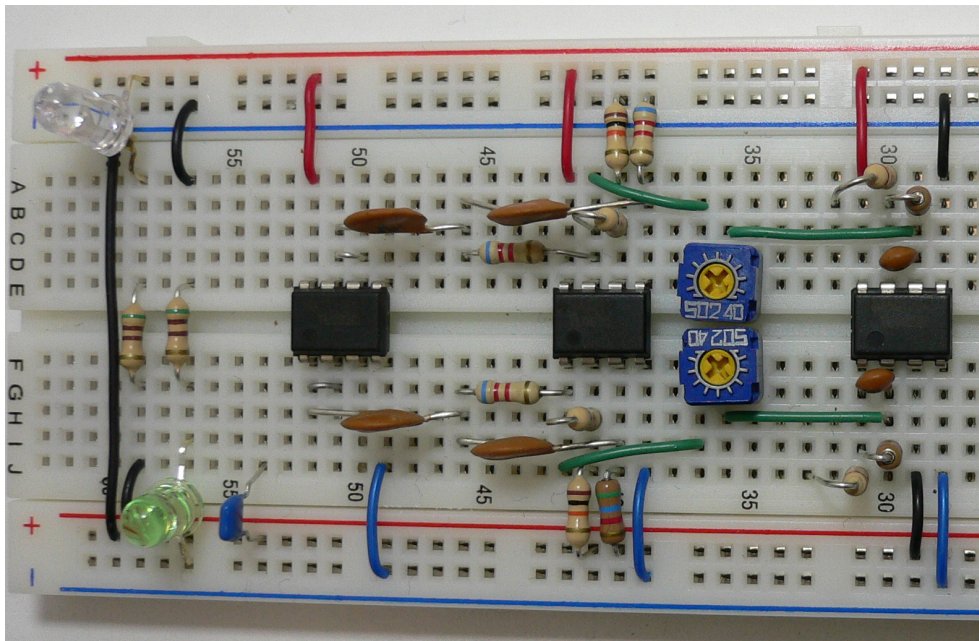
オペアンプの外観写真と立体図および内部の配線図です。この IC にはオペアンプが 2 個入っています。2 チャンネルのハイパスフィルタ回路を、この IC 1 個で作ることができます。ピン番号は、凹みを目印に、図の左下から反時計回りに① → ② → … → ⑧と付けられています。8 番ピンを電池の + 側に接続し、4 番ピンを電池の - 側接続する必要があります。

イヤフォンジャック



イヤフォンジャックの写真です.

バンドパスフィルタの試作 (1号機)

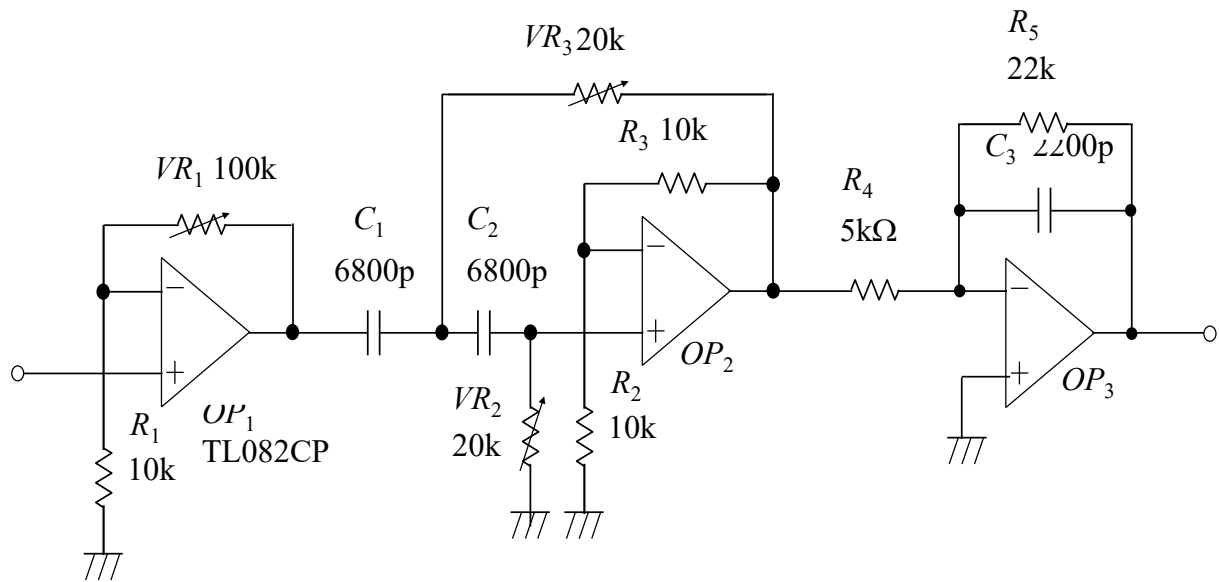


40

ここから先は余談です。

筆者は英語を聞きやすくする電子回路を各種試作してみました。写真は試作(1号)機です。これはバンドパスフィルタ回路です。オペアンプを使っています。

フィルタ回路 (オペアンプ回路)



41

1チャンネル分のバンドパスフィルタ回路です。

試作4号器

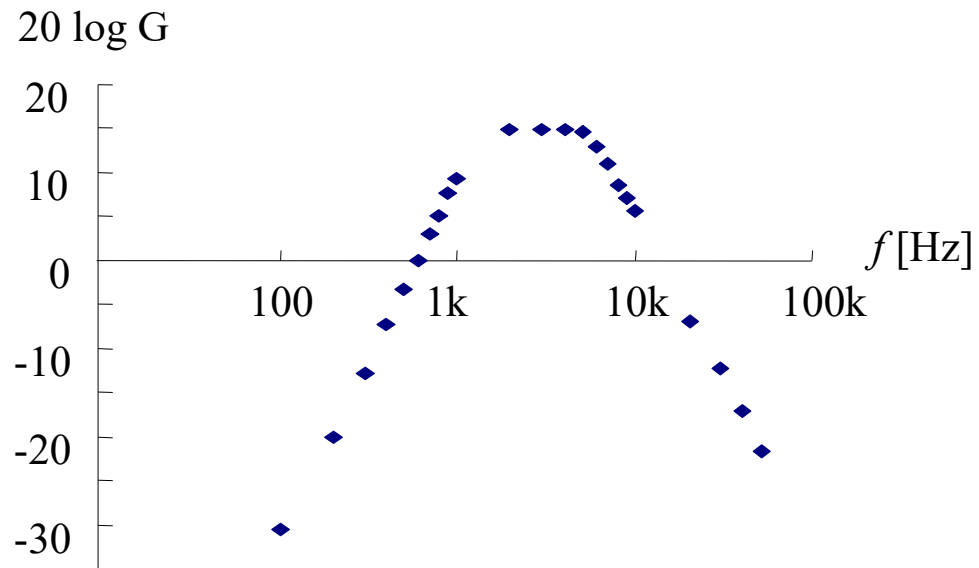


さらにコンパクトに
そして聞きやすく

42

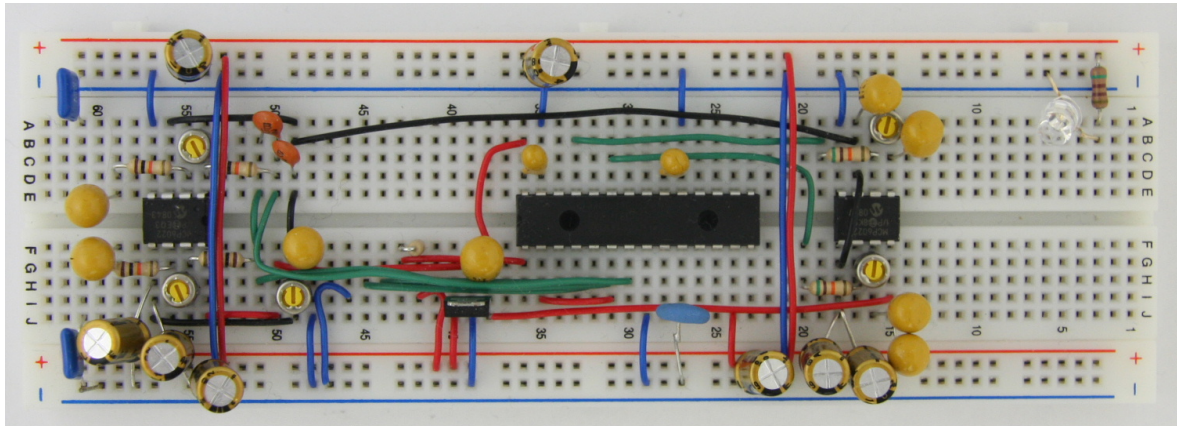
これは持ち運べるようにコンパクトにした試作機の外観です

試作器のフィルタ特性



試行錯誤の末に行き着いたフィルタ特性です.

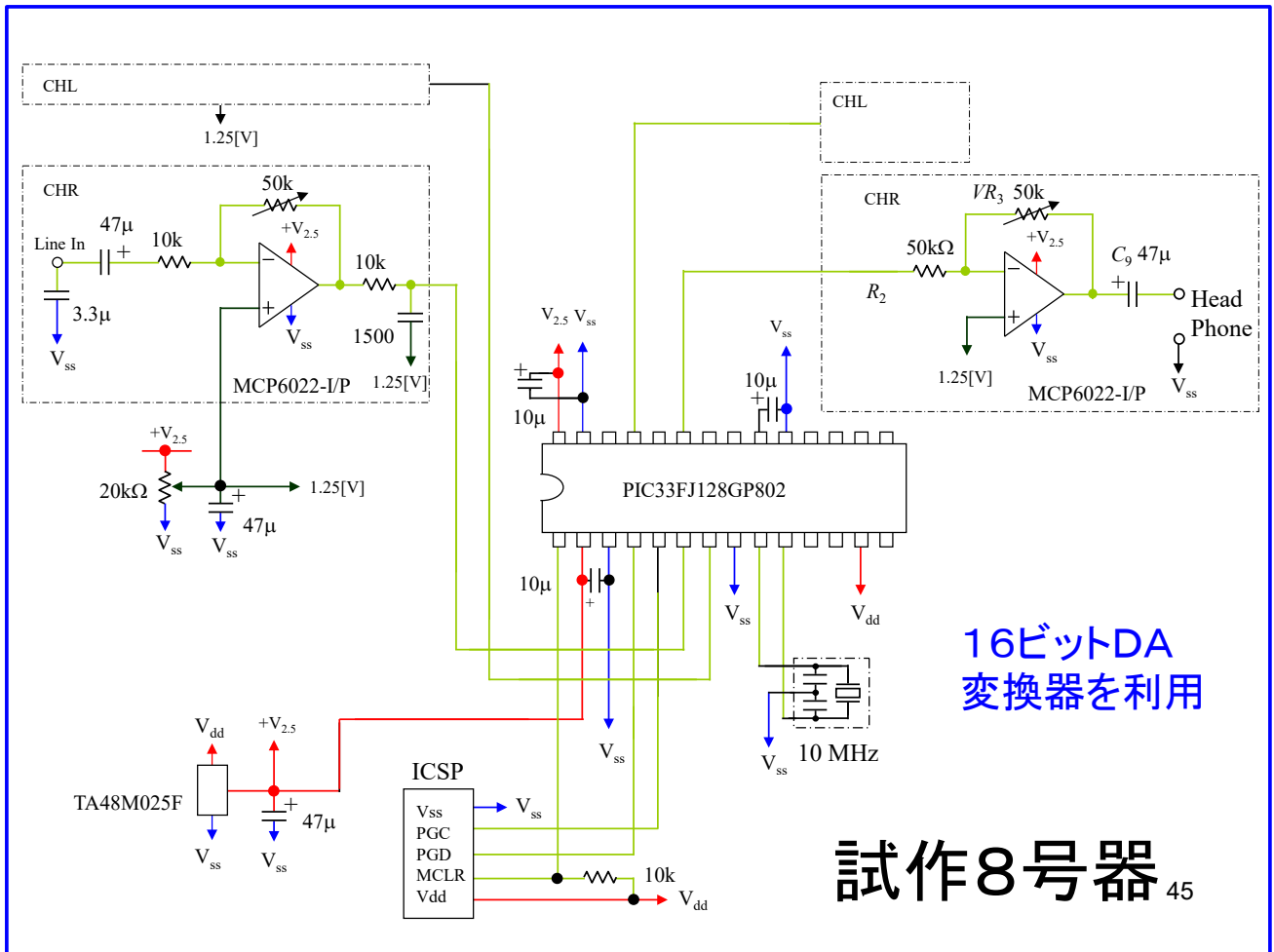
16ビットDA変換器を利用



試作8号器

44

病膏盲に入るといった感じの試作機です。オペアンプでは飽き足らず、PIC マイコンを使ったバンドパスフィルタ回路です



試作機の回路図です。通勤途中に、スマホに本器をつないで、英語放送を聞いています。ぼーっとしていても英語が耳に飛び込んでくるので、意味がついてきます。

2017年11月

著者：古橋武

所属：名古屋大学工学研究科情報・通信工学専攻

連絡先：furuhashi@nuee.nagoya-u.ac.jp