

# ■CsI(Tl)シンチレータを使った放射能検出器の製作

## I マルチチャンネルアナライザー

エネルギー教育を実践していた頃、「ガンマースカウト」という商品名の簡易放射線検知器を授業で利用したことがあった。個人で購入するには高すぎるので、その頃から自作できないか色々試行錯誤してきた。はじめに手がけたのは空気ガイガーカウンターであった。高圧発生回路の自作に手こずりながら何とか完成したが、すぐに動かなくなって諦めてしまった。PIN ダイオードで放射線を測定出来ることを知っていたが、部品の入手先が分からず、震災後浜松フォトニクスに連絡したが、納期は未定でしかも高価であったので先に進まなかった。

そうこうしているうちに、秋月電子でフォトダイオード(S6775)が 500 円で購入出来るようになった。フォトダイオードでもγ線を検出できるが、シンチレータが手に入ればより性能が上がる。そう思ってネットで探しているうち、シンチレータも秋月で購入出来るようになった。

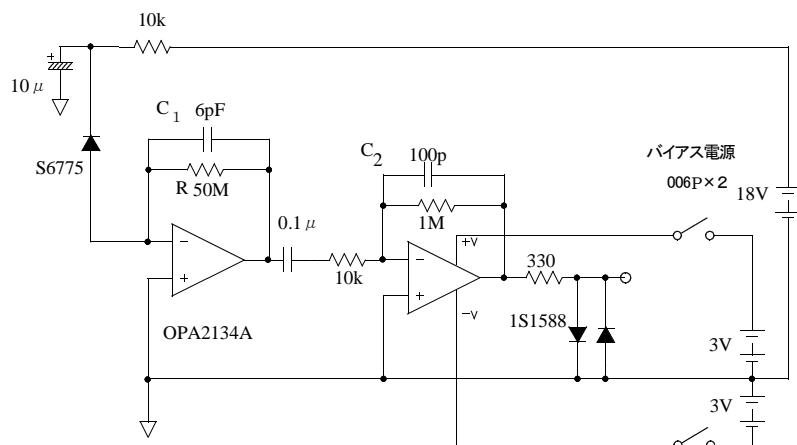
はじめは PIC を使ってマルチチャンネルアナライザー (MCA) を作ろうと計画していたが、パソコンのサウンドカードを使った波高分析ソフト PRA.EXE があることもわかり、結局チャージアンプを作れば MCA が自作できることがわかった。

### 参考資料

1. MCA を製作するにあたって参考になったサイト、大変詳しく説明されている。  
<http://www11.plala.or.jp/jk1hrb/>
2. エネルギースペクトルを測定できるフリーソフト PRA.EXE はシドニー大学の Marek Dolleiser 氏が公開しているフリーウェア。以下のサイトからダウンロード出来る。  
<http://sydney.edu.au/science/physics/~marek/prax/index.html>

## II チャージアンプの設計

普通と逆だが、はじめにディスクリート回路で自作した。FET 入力のオーディオアンプを流用した。IC よりローノイズのはずだが、電源電圧を高めにしたことで電源装置が必要になった。しかし電源装置からのハムを拾い、無視できない大きさなので結局今後の課題として、電池動作の OP アンプを使ったチャージアンプを自作した。

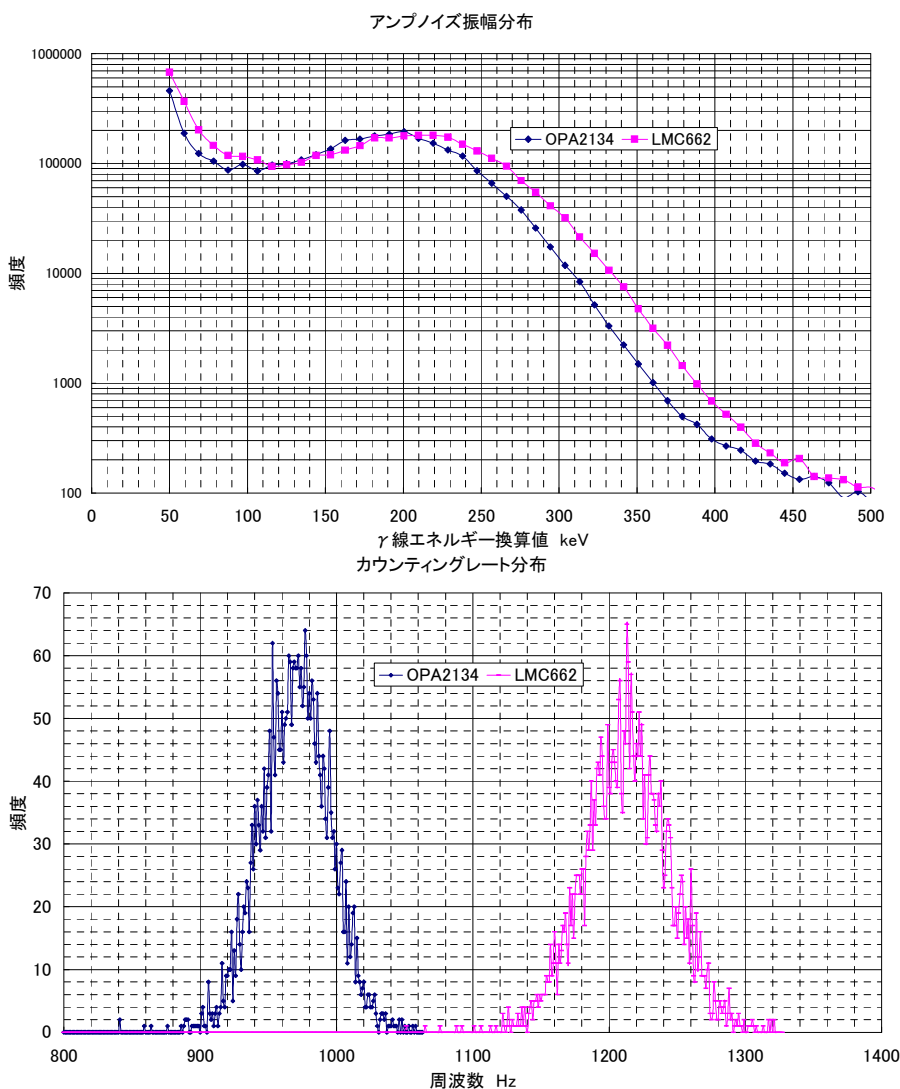


フォトダイオードにバイアス電圧を与えるために 006P を 2 個直列で利用したが、電流は流れないのでスイッチは省略してある。単一電源で設計するのが普通だが、どうせ電池を 4 本使うので、2 本ずつ直列に使い、グランド設定用の分圧回路を省略した。

問題は利用する OP アンプである。参考にしたサイトでは C-MOS タイプの LMC662 が使われていた。しかし、C-MOS はノイズが多いので、オーディオ用 FET 入力 OP アンプである OPA2134 を用意し、どの程度ノイズレベルが違うか確認した。

### OP アンプのノイズの確認

PRA の setting で Threshold を 0 に設定し、チャージアンプの PulseHeight Histogram をそれぞれのオペアンプで測定した。時々自然放射線をカウントしてしまうが、OP アンプのノイズ電圧の波高分布を測定した。同時に CountingRate Histogram を 1 秒単位で表示させてノイズを分析した。



グラフを見てわかるように OPA2134 がローノイズで、ノイズ振幅から  $\gamma$  線のエネルギー換算で 30keV 程度小さい。またカウンティングレート分布を見ると、300Hz

程度小さいことが読み取れる。このことはサウンドカードを利用して自作アンプのひずみ率を測定するためにインストールしたソフト WaveSpectra（高速リアルタイム スペクトラムアナライザ）のノイズスペクトルを見ても、明らかに LMC662 の方が高い周波数帯でノイズが多いことと一致した。

以上のことより OP アンプは OPA2134 を利用することにした。

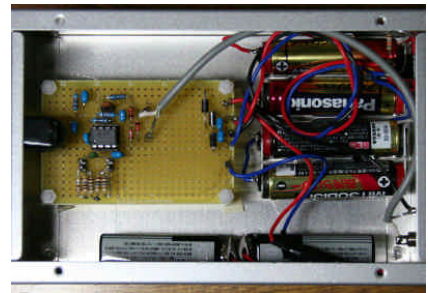
### センサーの製作

秋月電子通商で購入した CsI(Tl) 固体シンチレータ (10x10x10mm) に Si PIN フォトダイオード S6775 をシリコングリスを間に塗って貼り付け、水道用水漏れシールテープ(カンセキで購入)を巻いて固定した。シンチレータは潮解性があるため、薄ゴム手袋をして作業をした。なおシリコングリスは、オリンパス シリコン O リング用グリス PSOLG-2 を利用した。さらに遮光のため黒いビニールテープを巻いた。 $\gamma$  線計測用なので全く問題はない。(写真は CsI(Tl) シンチレータ 5.5x5.5x5.5mm で製作したセンサ)



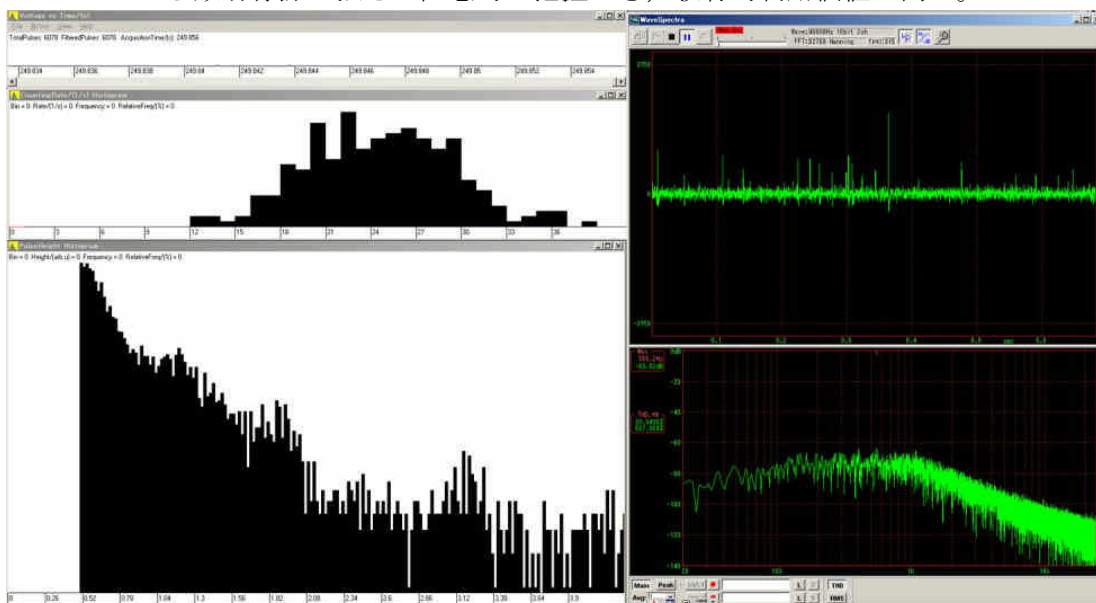
### チャージアンプ

写真がアルミケースに入れたチャージアンプである。カバーをねじ止めしないとノイズを拾ってしまう。回路図の C の値で性能が変化するので、カットアンドトライで決定した。C を小さくすると得られるパルス信号の波高は高くなるが、ノイズレベルも上がってしまう。結局 6 PF で落ち着いた。



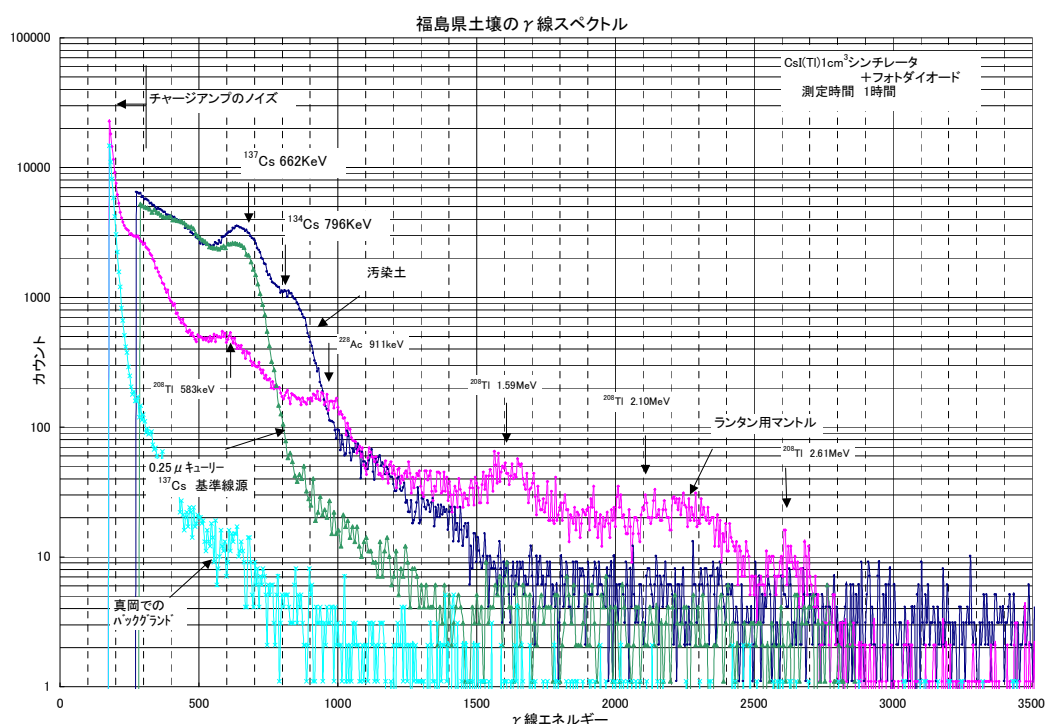
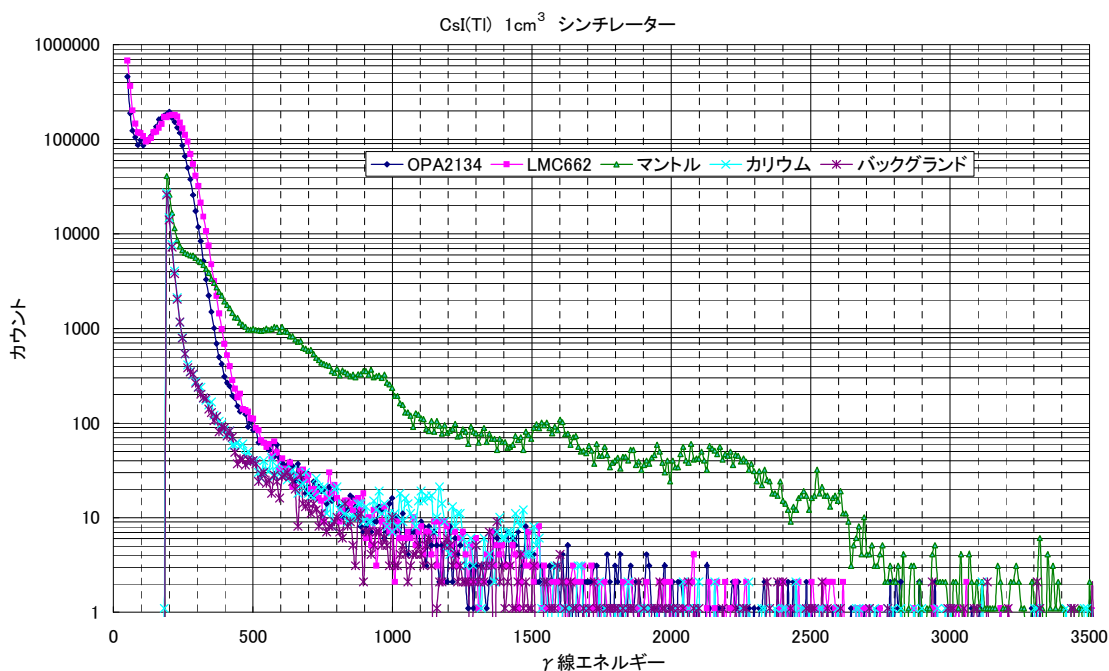
### 測定風景

図は測定時のパソコン画面をキャプチャーしたものである。WaveSpectra でチャージアンプの信号をモニターしながら計測している。WS のスペクトルを観察すると、外部からのノイズの混入などが一目で分かり大変重宝する。またパルスの密度から放射線源の強さが直感的に把握でき、教育的利用価値が高い。



### III $\gamma$ 線スペクトルの測定

自作した装置で測定した $\gamma$ 線スペクトルを次に示す。図の OPA2134, LMC662 はこの OP アンプ IC でアンプのノイズを測定する目的でバックグラウンドを測定したスペクトル、マントルとは線源にランタン用マントルを使った場合、カリウムとは商品名「やさしお」(低ナトリウム塩)を線源に使ったときのスペクトルである。OPA2134, LMC662 で 200keV 近傍にあるピークはアンプのノイズによるものである。しかし PRA には、波形によるデジタルフィルターがあり、ある程度ノイズによる影響をキャンセルできる。他のスペクトルは AnalysePulseShape にチェックマークを入れて計測してある。

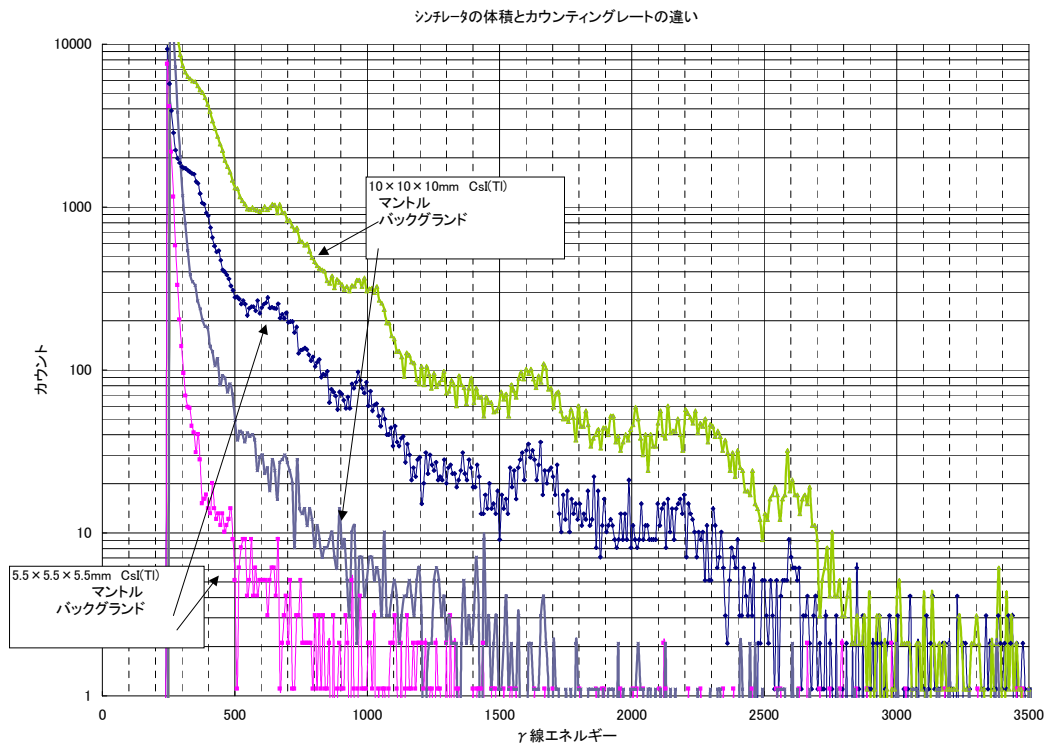


福島県土壌の $\gamma$ 線スペクトルは、福島県で採取した土壌のサンプルをお借りして計測した。セシウム 137 の 662keV、セシウム 134 の 796keV の $\gamma$ 線が測定されている。エネルギーの校正に 0.25  $\mu$  Ci (キューリー, 1Ci=3.7  $\times 10^{10}$  decay/s) のセシウム 137 の線源をお借りして行い、次にランタン用マントルからでるトリウム系列の $\gamma$ 線で校正を行った。

なお、0.25  $\mu$  Ci の線源を自作装置で測定したときの総カウント数は 175,476 であり、土壌の総カウント 390,981 であるので単純に比較すると土壌は 0.56  $\mu$  Ci、つまりおおよそ 2 万ベクレルに相当することになる。

#### IV 小型シンチレータを使った装置

CsI(Tl)シンチレータ 5.5x5.5x5.5mm を利用して、性能は落ちると予想したが小型の測定器を作った。電池寿命を延ばすために、OP アンプは LMC662 をあえて利用した。



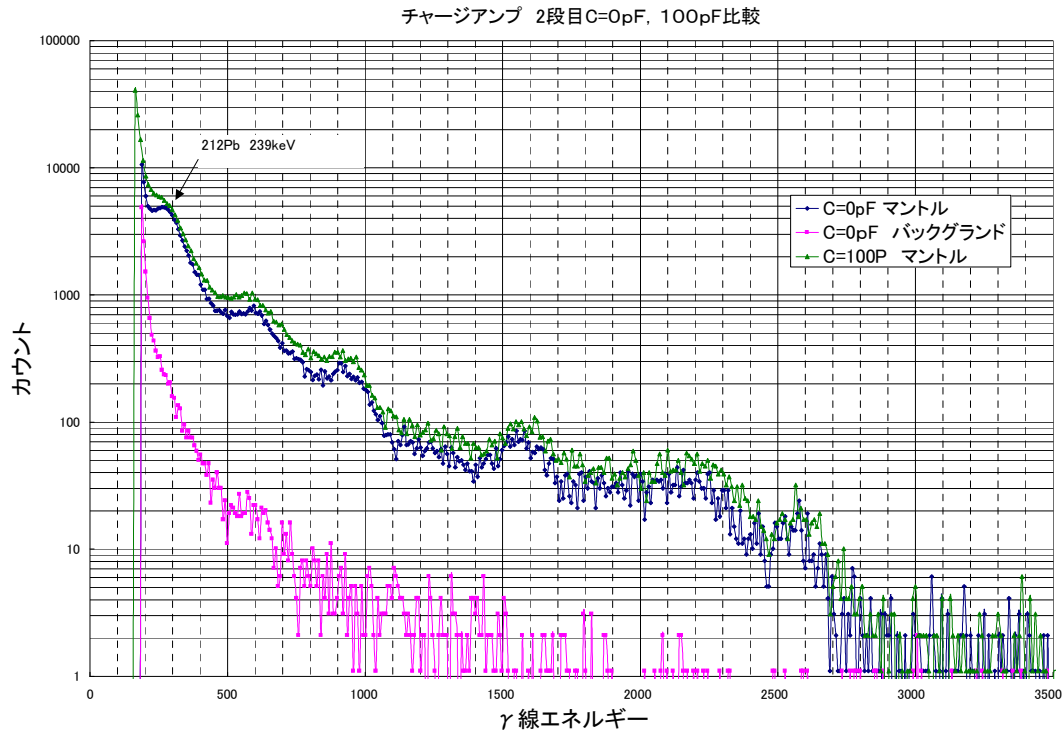
このスペクトルが大きさの違うシンチレーターの違いを示している。総カウント数の違いを比較すると大型 (10x10x10mm) と小型 (5.5x5.5x5.5mm) のシンチレータでは、小型は大型の 0.28 倍の感度であった。スペクトルを見てもアンプノイズの影響がないエネルギーで、カウント数がほぼ 3 分の 1 になっていることがわかる。

#### V チャージアンプの調整

小型シンチレータ用のチャージアンプを製作し動作確認をしたところ、感度が悪く、サウンドカードのゲインをかなり上昇させる必要があった。原因は回路図の C<sub>2</sub> に間違えて 1000pF を取り付けたためであった。100pF に交換したあとは予想した性能が出た。参考にしたサイトや、トランジスタ技術 2012 年 2 月号の記事などに、帰還抵抗にコンデ

ンサを抱かせて高域を落とした方が、アンプノイズには有利であると判断できる記述があり、深く考えずにつけたコンデンサーである。よくよく考えてみると、 $\gamma$ 線を計測したときのパルス波は、高域までスペクトルは伸びている。しかし対してアンプノイズは  $1/f$  ノイズが多い。この結果、高域を落とすと、信号がなまりパルスの振幅は落ちるが、ノイズ振幅はその割には落ちない。あえて高域を落とすと S/N 比の悪化につながる事が予想できる。この点を確認するために  $C_2$  の値を変えてマントルを測定した。

次のスペクトルがそのときの結果である。 $C_2$  をゼロにすると、信号の振幅が増えるの



で PRA の PulseThreshold の値を大きく再調整の必要がある。これはアンプのノイズが増加したことを意味する。しかし、 $\gamma$ 線の信号はより大きくなっているため、スペクトルを見ると、今まで明確には現れなかった  $^{212}\text{Pb}$  の  $239\text{keV}$  のピークがはっきり観測できるようになった。このことから、2 段目のアンプの高域特性を下げる必要はない事がわかる。

続く…