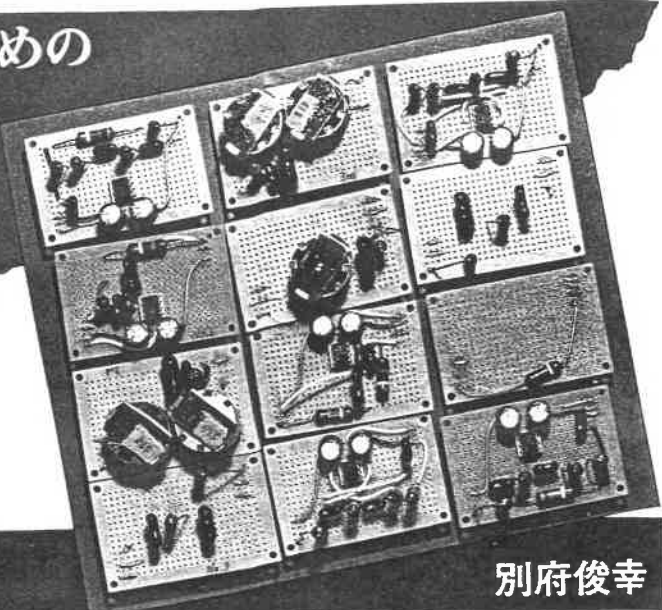


# デジタルオーディオのための アナログフィルタの検討



## 〈後編〉

# 回路方式の比較

別府俊幸

つぎに

前回の実験では、回路方式としてはLCがベストでした。しかし、1+2次のフィルタでは、折返し雑音の除去が十分でなさそうな事もわかりました。今回はLCフィルタを用い、フィルタ次数のみを変更し、帯域外成分の遮断量について検討を加えようと思います。

### LC フィルタ

第1図に比較に使用したフィルタ回路を示します。カットオフ周波数は、今回も40kHz一定とし、遮断特性はバタワースとしています。試聴ではLC2次、3次、4次に加え、CR1次、そして抵抗1本だけの0次フィルタも用いました。

第2図にシミュレーションによる周波数、位相、群遅延特性を示します。I/Vコンバータでの1次フィルタを加え、計算上での156kHzの減衰量は、2次で約-40dB、3次で-52dB、4次で-64dBとなります。

3次、4次ともなってきましたと群遅延特性にかなりのピークを生じてきます。カットオフ周波数での遅延時間の増加は、ステップ応答でのオーバーシュートを発生させますが、20kHzではそれほど遅れては増加していません

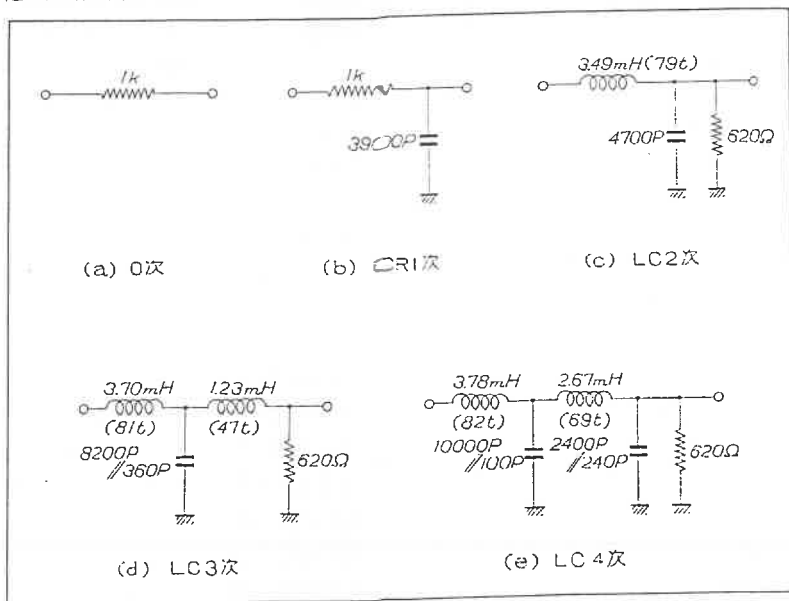
から、問題とはならないでしょう。

第3図に実測による周波数特性を、そして第4図にひずみ率特性を示します。実測では、500kHz辺りから跳ね返りが生じていますが、これはL巻線間の浮遊容量によるものでしょう。残留ノイズによって-70dB以下はわかりませんが、3次、4次の回路とも同様に跳ね返りを生じていると思います。ひずみ率特性も、ほとんど残留ノイズレベルを計っているようなものです。他の回路も計測しましたが、全く同じ

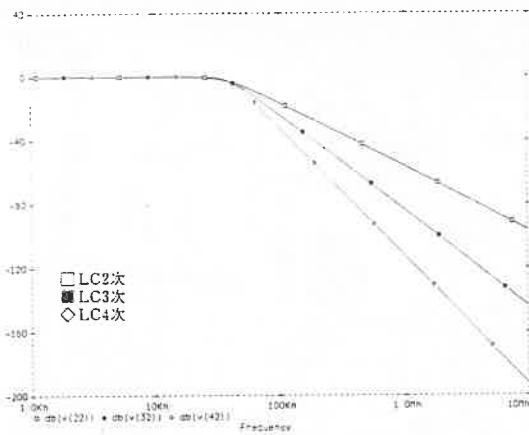
といってもよいような結果でした。ただ1点、LC4次の10kHzにおいて0.8V以上でひずみの増加が見られますが、これについては原因不明です。発振器の出力インピーダンスが600Ωありますので、ドライブ側の問題かも知れません。まあ、実用上は問題はないでしょう。

### 試聴結果

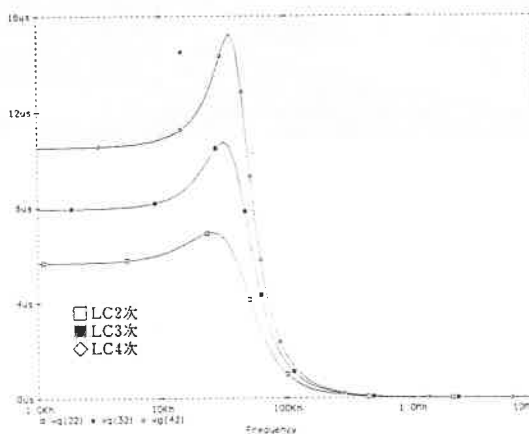
それでは、一気に試聴に入ります。使用したCDはエルガーの、「威風



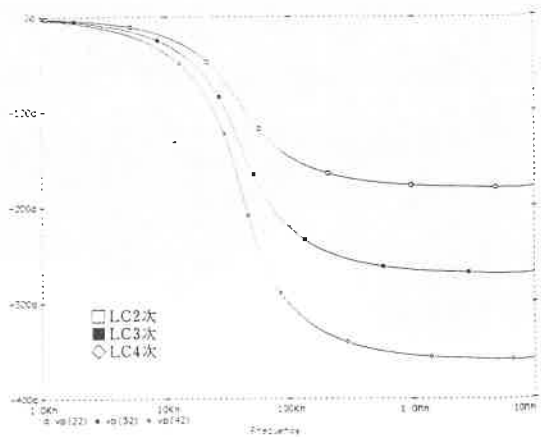
〈第1図〉テストに使用したフィルタ回路



〈第2図〉 シミュレーション・フィルタ特性

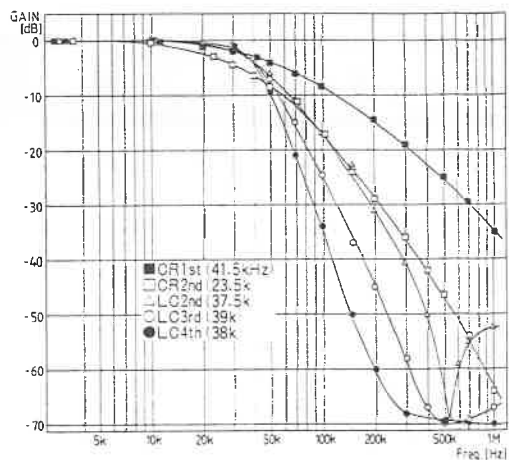


(c)同じく群遅延特性



(a)周波数特性

(b)位相特性



〈第3図〉 実測した周波数特性、( )内はカットオフ周波数

堂々」, バーンスタイン指揮, BBC (DG 413490-2) とオリビア・ニュートン・ジョン, Warm and Tender (Mercury, 日本フォノグラム PPD-9001) です。

傾向は、はっきりとしています。フィルタの次数を減らせば減らすほどうるさくなります。0次(実際にはI/Vの1次)では、にごったような音が、最もひどくなります。デジタルの折返し混ざった音は、濁ったような、ひずみっぽい音にはなりません。アナログ・フィルタでも、もちろんデジタル・フィルタでも、音をよくすることはできません。このノイズを抑えるだけです。もちろん抑えられるのなら抑えたいところです。

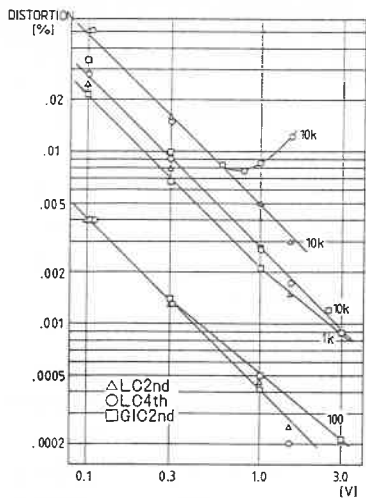
CR1次(実際にはI/Vと併せて2次)では、うるさい感じが抑えられてきますが、高次のフィルタを聞いてしまうと、これでは不十分です。2次のLCでは、なかり落ち着いた、クリアな感じがしてきます。音色に関しては、Lの独特の柔らかさが聞こえ始めます。これはソースを変えても共通の印象で

す。3次のLCとすると、さらに柔らかく、ナチュラルに聞こえます。フィルタ次数の増加によって、情報量が失われる感じはありません。粗さが消えてくる効果の方が、はるかに感じられます。オリビアのヴォーカルは、ここでCR1次にすると、かなり荒れた音に感じます。

3次と4次のLCでは、正直なところ、ブラインド・テストをされたら私には、正確に指摘できないかも知れません。わずかですが、4次の方が美しい音に聞こえます。3次と4次ではCが1つ加わるだけです。直列にLが入るよりも影響は小さいのでしょうか。だとすると、やはり可聴帯域の音質も重要な要素となるのではないのでしょうか(それともコアの重量が加わったことが音質上のメリットとなるのでしよ

う。3次のLCとすると、さらに柔らかく、ナチュラルに聞こえます。フィルタ次数の増加によって、情報量が失われる感じはありません。粗さが消えてくる効果の方が、はるかに感じられます。オリビアのヴォーカルは、ここでCR1次にすると、かなり荒れた音に感じます。

3次と4次のLCでは、正直なところ、ブラインド・テストをされたら私には、正確に指摘できないかも知れません。わずかですが、4次の方が美しい音に聞こえます。3次と4次ではCが1つ加わるだけです。直列にLが入るよりも影響は小さいのでしょうか。だとすると、やはり可聴帯域の音質も重要な要素となるのではないのでしょうか(それともコアの重量が加わったことが音質上のメリットとなるのでしよ



＜第4図＞ひずみ特性、ほぼ残留ノイズを計っているような特性である。図示していない回路もすべて同様であった、ただLC 4次の10 kHzのみ、ひずみの増加が観測された。原因はわかっていない。

うか。ここで再び2次、1次と比較しても、リアルさが失われた印象はありません。Lの音が弱くなってはいますが。

### アナログフィルタに 要求される能力

2回にわたり、D/A アンプ用のアナログ・フィルタについて報告しました。これらの実験からアナログ・フィルタには、

- (1)可聴帯域での音質劣化が少ないこと
- (2)折返し雑音の除去能力が十分あること

以上2点の、試聴を行なうまでもなくごく当たり前とされる、当然の能力が要求されることが判明しました。

音質面からは、オペアンプを使用したアクティブ・フィルタより、良質のパッシブ・フィルタが望ましいところです。オペアンプ・フィルタの場合、段数を重ねると、どうしても音の鮮度が失せてしまい、3次(1つのICで構成できる)位が限度であると話も耳にしています。しかし、ディスクリートの回路でも段数を重ねると、帯域の狭くなったような曇ったような傾向の音になってきます。今回用いたEFバッファも(I/Vとフィルタの間は不要)、外すと音が生き生きしてきます。

また、パッシブ・フィルタの場合も可聴帯域をフラットに保ち、同時に急峻なフィルタリング特性を実現しようと欲張ると、CRでは問題ありです。製作には手数がかかりますが、LCネットワークがベターでしょう。特に、多段のCRフィルタでは、段間にバッファが必要となってきますから、この点からもLCが有利ではないかと思えます。アナログ・ソースを再生し、できるだけ音質劣化の小さな回路方式を探すのも手かも知れません。

折返し雑音は、やはり、できるだけ除去すべきです。除去が不十分であればあるほど、音の濁りとなって聞こえてきます。フィルタ回路の音質劣化が大きい場合には得失の兼ね合いとなるかも知れませんが、良質のLCフィルタを用いた場合には156 kHzで-60

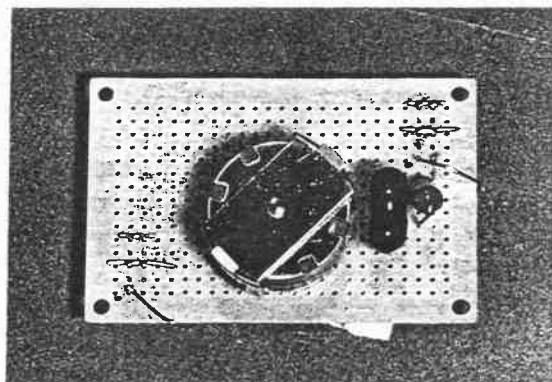
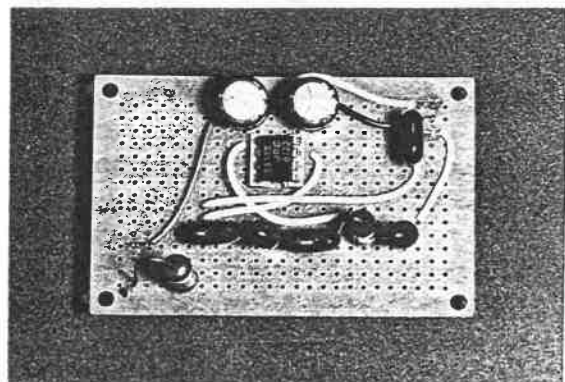
dB以上を確保すべきでしょう。-60 dBの数字に根拠はありませんが、SAA 7220を使用する場合には、その特性(第5図)からこれ以上の減衰量は必要ないからです。

156 kHzで-60 dBの減衰量を確保するためには、I/Vコンバータ回路を1次のフィルタとして利用しても、バターズ特性では、4次は必要です。チェビシェフ特性、または連立チェビシェフ特性とすれば、3次のフィルタで確保できます。が、3次と4次ではどちらも2つのコイルを使用しますので、あえてチェビシェフ、連立チェビシェフ特性を試みる必要はないでしょう。今回の比較でも、3次と4次ではほとんど音質の差はありませんでしたし、フィルタ特性を変化したところで、音は変わらないような印象を持っています。頑張って2次の構成としますと、連立チェビシェフ特性で頑張っても-40 dBがやっとです。また、カットオフ周波数についても検討の余地があるように思いますが、40 kHzを38 kHzにしたところで顕著な差は生じないでしょう。

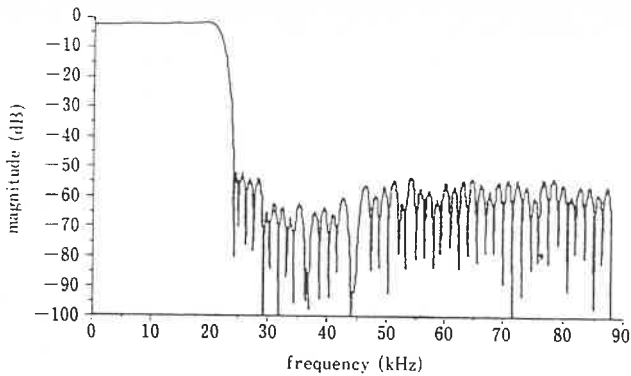
以上のように考えますと、今回の1+4次構成は妥当な組合せだと思います。もちろん、デジタル・フィルタが8倍オーバーサンプリングであったり、流行の1ビットD/Aであれば、当然条件は変わってきます。

さて、どうして折返し雑音が、再生音に影響するのでしょうか。

人間は、20 kHz以上の音は聞こえ



＜テストに使用したアナログ・フィルタ＞



〈5図〉 SAA 7220 A の遮断特性 (データシートより)  
 国産メーカーの DF が、デジタル・オーディオの限界 (-96 dB) まで、減衰量を確保しているのに対し、彼らは…

ないとされています。この説には異論もありますが、それでもせいぜい 30 kHz~40 kHz まで聞こえると思われる範囲です。けれども、4 倍オーバーサンプリングの DF を使用すれば、問題となるのは 150 kHz 以上です。この成分が直接聞こえているとは、ちょっと考え難いものがあります。

やはり折返し雑音は、直接には聞こえていないと考えるべきでしょう。D/A アンプ内部のアナログ回路、あるいはパワー・アンプを通過する際に折返し成分が、なんらかの形で可聴帯域に影響を及ぼしているのでしょう。川西哲夫氏の指筒<sup>2)</sup>にもありますように、高周波ノイズがなんらかのメカニズムで、可聴帯域に変調音を発生させているのかも知れません。しかも川西氏の報告では、数 M~数 10 MHz のノイズを問題とされているのですから、8 倍、16 倍…、と高次の折返し雑音の影

響も大きいのかも知れませんが。

あくまでも私の直観ですが、変調と呼ぶよりも、検波と呼ぶべきメカニズムによって、可聴帯域に影響が及んでいるのではないのでしょうか。アンプの内部には半導体がたくさんありますし、読者諸兄もご存知のとおり、状況によっては普通のステレオでもラジオ放送が聞こえることがあるのです。

さて、どのような発生メカニズムであろうと、折返し成分は、現実には音の濁りとなって聞こえてきます。アナログ・フィルタを強力にすれば、以後の回路では問題はないでしょう。しかし I/V コンバータは、常に折返し雑音にされています。場合によっては、DF によってデジタル的に除去する方法が有利なのかも知れません。ただしこの場合、アナログよりも音質劣化の少ないデジタル・フィルタを開発できれば、との条件を付帯しておきます。

ついでにもう一言。

量子化雑音 (折返し雑音とは異なり、周波数に関わらず一様に分布する) を、デジタル的に可聴帯域外にシフトし、アナログ・フィルタを除去しようとする形式の D/A コンバータ、早い話が 1 ビット D/A は、アナログ回路が高周波雑音にさらされる面からは、最悪と考えられます。

## おわりに

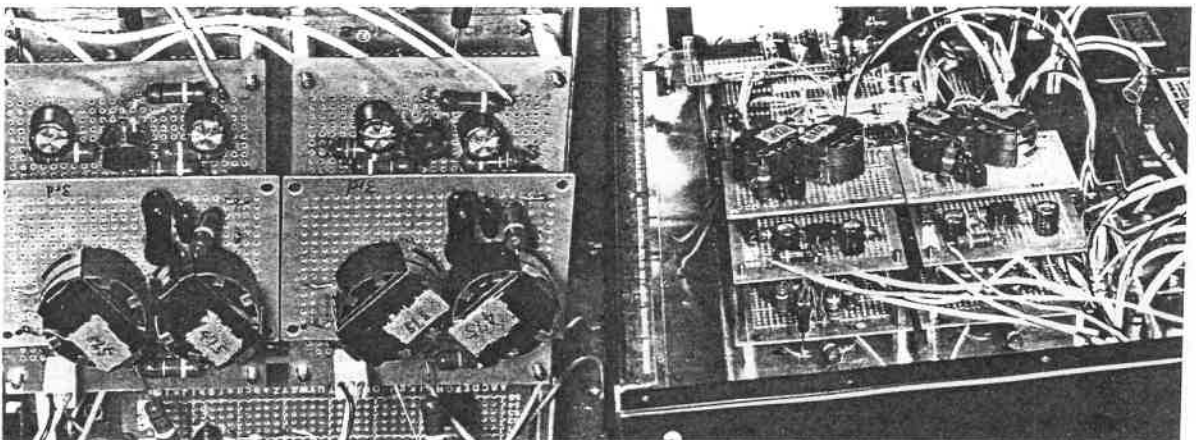
AF は、まじめに作れば悪くありません。デジタル・フィルタ化に比して劣るとも思えません。ある程度音質をコントロールできますし、劣化の程度を試すこともできますから、自作派にとってはむしろ、DF よりも有利かもしれません。コスト的には高くつきますが。

ただしオーバーサンプリング DF を用いないでアナログ・フィルタだけとすると、20~24 kHz の間で大きな減衰量を実現しなければならず、やはり困難かもしれません。優れた 4 倍オーバーサンプリング DF+AF と、9~13 次の AF の対決も面白いテーマとは思いますが…

☆

## (参考文献)

- 1) SAA 7220 データシート, Philips
- 2) 川西哲夫, 2 段階還増幅器の高調波変調メカニズム, 日本音響学会誌 44 (4), 310-319, 1988



〈テスト回路と基板例〉