

共通極を用いたスピーカ特性の 多点イコライゼーションについて*

◎羽田 陽一 牧野 昭二 (NTTヒューマンインタフェース研究所)

1 はじめに

前報[1]において筆者らは、室内の複数の音場伝達関数から室内の共振周波数に対応する極を推定し、これを用いて広い領域で周波数振幅特性を平坦化する共通極イコライゼーションフィルタを提案した。

今回は、スピーカの周波数振幅特性のイコライゼーションへの適用を行なう。スピーカの周波数振幅特性のイコライゼーションは、原音の忠実再生や、拡声系におけるハウリング防止に有効であり、これまで幾つかの報告がなされている。しかし、1箇所測定された特性を補正する方法に対しては、特性補正が測定点に依存するといった問題が指摘されていた[2]。

本報告では、ハウリング抑圧の観点から検討を行ない、同規模の多点逆フィルタによるイコライゼーションと比較する。

2 共通極イコライゼーションと多点逆フィルタ

共通極イコライゼーションは、対象とする音響系の音源/受音点間の伝達特性を、音源/受音点配置 r に依存せず共通である極 $A_c(z)$ と、音源/受音点配置 r に依存する零点 $B(r, z)$ とを用いて表現する共通極・零モデルに基づいている。

$$H(r, z) = \frac{B(r, z)}{A_c(z)} \quad (1)$$

共通極は対象とする音響系に固有な共振周波数に対応しており、この共通極をイコライゼーションフィルタ係数として用いれば、複数の伝達特性に共通に現われる共振系のピークを抑圧できる。

共通極イコライゼーションフィルタ係数は、図1に示すように複数の伝達特性に共通なAR係数として最小2乗推定する[1]。

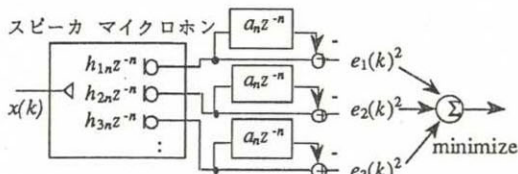


図1. 共通極イコライゼーションフィルタ係数推定原理図

一方、多点逆フィルタは図2に示す様に、複数の伝達特性に共通な逆フィルタとして最小2乗推定する。但し、図で Δ はモデリングディレイである。

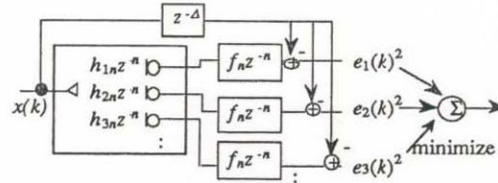


図2. 多点逆フィルタ係数推定原理図

3 スピーカ特性のイコライゼーション

コーン形スピーカの周波数振幅特性は、分割振動などにより共振が生じ、一般に平坦にはならない。この共振系を補正することで平坦化が行なえるが、共振周波数の振幅特性は測定点によって異なる。そこで、複数の測定位置に対し効果的な補正を行なうことが期待できる共通極イコライゼーションフィルタを適用する。以下では、複数の測定点に対し、ハウリングが初めて起こる増幅器利得をイコライザの有無と種類について比較した。

3.1 イコライゼーション実験条件

図3に示すように、スピーカの正面方向に対し -60 度から $+60$ 度まで 15 度おきに 9 個のマイクロホンを設置し、 9 箇所の伝達特性のインパルス応答を実験室で測定した。実験室は $6.7 \times 4.3 \times 3.0 \text{m}^3$ の直方体である。サンプリング周波数は 8kHz 、帯域は 200Hz から 3.4kHz とした。実験室の残響時間は約 250msec であり、測定したインパルス応答には音場の影響も含まれていると考えられる。

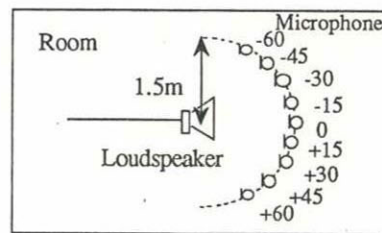


図3. スピーカ・マイクロホン配置

次に測定したインパルス応答から、正面方向のインパルス応答のAR係数と逆フィルタ係数、 9 箇所のインパルス応答の共通極イコライゼーションフィルタ係数と多点逆フィルタ係数、の合計 4 つのイコライゼーションフィルタ係数を求めた。それぞれの次数は 300 とし、モデリングディレイは 150 とした。各フィルタの利得は正面方向での音圧が等しくなるよう調整した。

*Multiple Points Equalization of a Loudspeaker Frequency Response Using Common Acoustical Poles.
By Yoichi Haneda and Shoji Makino. (NTT Human Interface Laboratories)

3.2 ハウリング抑圧効果

図4に、正面方向(0度)のインパルス応答から求めたAR係数と逆フィルタ係数をイコライゼーションフィルタとして用いた場合に、増幅器利得を上げて行った時にはじめてハウリングが起こる増幅器利得を示す。縦軸は増幅器利得の相対値で、全ての条件でハウリングの十分起らない増幅器利得を基準利得(0dB)と設定した。横軸はマイクロホン位置である。正面方向(0度)のみのハウリング抑圧を考えた場合には、イコライザーが無い場合には6dBの増幅器利得でハウリングが起こるのに対し、AR係数と逆フィルタ係数を用いた場合には、9dB以上に利得を上げててもハウリングは起こらず効果的であることが分かる。しかし、他の位置では効果的でない場合もあり、例えば-30度では、イコライザーが無い場合に8dBでハウリングが起こらないものを、0度のAR係数と逆フィルタ係数を用いた結果、6dBでハウリングが起こっている。

図5に、特定の1箇所ではなく、9箇所のインパルス応答を全て使用して求めた共通極イコライゼーションフィルタと多点逆フィルタを用いた結果を示す。イコライザーが無い場合には、例えば6dBに利得を設定した場合には0度や+60度の位置でハウリングが起こるが、共通極イコライゼーションフィルタを用いた場合には、8dB程度まで利得を上げてても全てのマイクロホン位置においてハウリングが起こらない。他方、多点逆フィルタも7dB程度まで利得を上げられる。

図6に共通極イコライゼーションフィルタを用いた場合の周波数振幅特性の例を示す。破線はイコライザーの無い場合であり、実線は共通極イコライゼーションフィルタを用いた場合である。2kHz以下のピークが抑圧されているのが分かる。

3.3 反射を多くした場合

図7に、3.1と同じ実験室で反射音の量を増加させ(残響時間380msec)、同様な実験を行なった結果を示す。図から共通極イコライゼーションフィルタは、3.2と同様にハウリングに対し効果的であるが、多点逆フィルタのイコライゼーションは効果的でないことが分かる。これは、共通極イコライゼーションフィルタは、各マイクロホン位置に共通な極のみを補正するのに対し、多点逆フィルタは、壁からの反射音が増えたことで影響が強くなった各マイクロホン位置で共通ではない零点をも補正しようとするためと考えられる。

4. まとめ

実験室で測定した3.4kHz帯域のインパルス応答に対し、スピーカ特性の共通極イコライゼーションを検討した。その結果、多点に対し、広い範囲でイコライゼーションの効果があることを、ハウリング抑圧の効果として確認した。

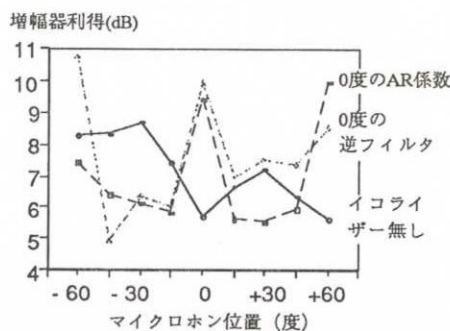


図4. ハウリングが起こる増幅器利得の比較
0度のAR係数、0度の逆フィルタを用いた場合

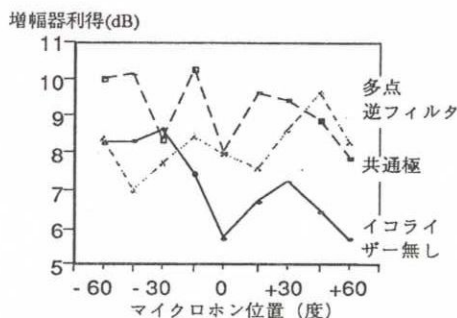


図5. ハウリングが起こる増幅器利得の比較
共通極、多点逆フィルタを用いた場合

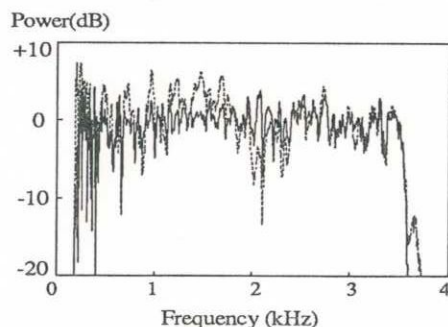


図6. 共通極イコライゼーションの効果

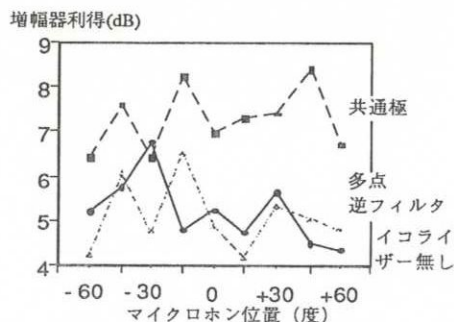


図7. ハウリングが起こる増幅器利得の比較
実験室の反射を多くした場合

参考文献

- [1]羽田, 牧野, "共通極を用いた多点イコライゼーションフィルタについて", 音講論集, 3-9-17, (1993.3).
- [2]中山, 栗山, "DSPのアダプティブスピーカへの応用", 信学技報, EA91-76, (1991.12).