

デジタル・フィルタ/フィードバック制御…係数更新方法を変えればはたらきも自在に!

# 狙った特性を自動で目指す! 適応フィルタ入門

後編 ハウリング・キャンセラの実現

山口 晶大

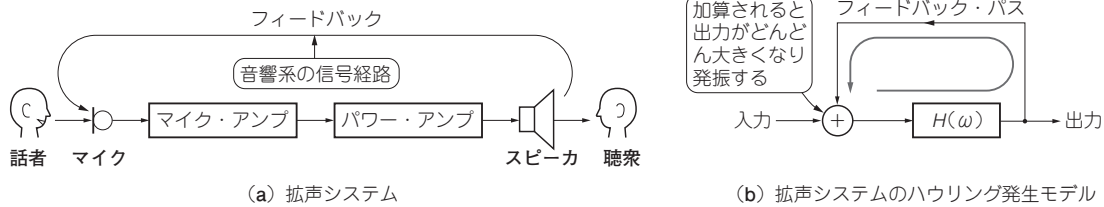


図1 ハウリングはスピーカ出力が加算される位相でマイクに入力されると発生する  
(b)はフィードバック・パスにはゲイン(信号減衰)がないものと単純化して描いている

適応フィルタは、時間をかけて適応(学習)すれば、ノイズ除去や正弦波強調/正弦波除去、任意信号を用いた周波数特性測定といった目的に最も適した係数が演算実行中に自動的に求められるデジタル・フィルタです。前回(2013年2月号)基礎を解説しました。

今回はその応用例としてハウリング・キャンセラについて紹介します。近年、この分野では大きな技術的進歩があり、実用性の高いハウリング・キャンセラを実現することが可能となりました。

入手しやすいDSP評価ボードを用いたデモ・プログラムも紹介するので、読者が実験してみることも可能です。

拡声装置やカラオケで発生するハウリング(howling)がどのような物理現象なのかを調べてみます。

## ハウリングの性質

図1に示すように拡声装置のハウリングは、スピーカから拡声された音声が入力のマイク側にフィードバックすることにより生じます。図1(b)のモデルで考えると、拡声システム $H(\omega)$ のゲインが1(0dB)を超えると、フィードバック・パスを経由して拡声システムを通過する信号がどんどん大きくなる発振現象が生じ、それが大きなハウリング音となります。

なお、図1(b)は、伝達特性 $H(\omega)$ にマイク、アンプ、スピーカの特性格だけではなく、スピーカ-マイク間の音響系の特性も含まれるものとして描いています。

### ● 拡声システムの位相特性の特徴

正確には、 $H(\omega)$ のゲインだけでなく位相特性も発振条件に関係します(位相が逆相なら信号は減衰するため発振しない)。しかし、一般的にはスピーカ-マイク間の音響系の伝播遅延が大きいために位相回転(位相遅れ)も非常に大きく、事実上、利得 $|H(\omega)|$ が1を超えるか否かで安定性が定まると考えてもさしつかえありません。ほとんどの場合、 $1 < |H(\omega)|$ となる周波数帯域内で位相が $360^\circ$ 以上回転するので<sup>注1</sup>、正相でフィードバックがかかる周波数が帯域内に必ず存在することになります(図2)。出力が入力に加算されるため、発振してハウリングが発生します。

▶間違えないように!ハウリングは無限大に発散せず飽和する

実際に拡声システムで発生したハウリングの波形と、電子回路の発振器の出力波形を図3に示します(いずれも微少な雑音をトリガとして発振現象が生じている)。古い書物に

注1: 電気信号の伝送速度は理論的には光速の300000000m/s(30万km/s)だが、音速は340m/sと非常に遅い。周波数1kHzの音波の波長は340[m/s]/1000[Hz]=340[m/s]/1000[1/s]=0.34mなので、スピーカ-マイク間の距離が3mの拡声システムでは1kHzでの位相回転が $360 \times 3/0.34 = 3176^\circ$ にもなる。