

## ■ハウリング抑圧に関する参考文献（年代順）

詳細な書誌情報はリンク先をご覧ください（[IEEE Explore](#)、[CiNii](#)、[J-GLOBAL](#)の該当ページへのリンクです）

- 音響系におけるハウリング除去に関する検討  
適応フィルタを用いたハウリング・キャンセラにリミッタ（Limiter、振幅制限回路）を組み込んだ文献で、見つけることの出来た最も古いものです。ブロック・ダイアグラム（図4、図5）中に「LIM」と表記されたブロックがあります。しかし本文ではLIMブロックが何であるかについては一切触れられていません。
- ハウリング：何故発生するか-どう予測し、止めるか  
易しい解説です。
- Steady-state analysis of continuous adaptation in acoustic feedback reduction systems for hearing-aids  
詳細な解析をおこなっていますが、これだけを読んでもなかなか理解しがたいです。
- 適応フィルタと遅延回路によるハウリングキャンセラの拡声装置への適用  
ハウリング問題に真正面から取り組んだ論文です。この論文中のシミュレーション結果は、ハウリング抑圧に興味の無い人にとっては失望させられるものかもしれませんが、専門家にとってはこの時点でこれだけのことをやった／これだけのことが出来たということが分かる貴重な文献です
- 適応フィルタと遅延回路を用いたハウリングキャンセラの改良  
理論的にはハウリング抑圧は解決済みの問題になりました。極論するならば、もはやハウリング抑圧は学術的な研究テーマに成りえません。ただし実用レベルのハウリング・キャンセラを実現出来るかどうかは別の問題（工学的問題）で、多くの課題が残されています。
- フィードバック系の適応フィルタの解析  
数式を使って理論的解析をおこなっていますが、分かりやすく適応フィルタの収束特性を示すグラフ（学習曲線のグラフ）はひとつだけです。
- Fifty Years of Acoustic Feedback Control: State of the Art and Future Challenges  
この論文（総説）の著者の人はシミュレーションしかやらないようで、なぜ実時間動作するハウリング・キャンセラの実現を目指そうとしないのかが不可解です

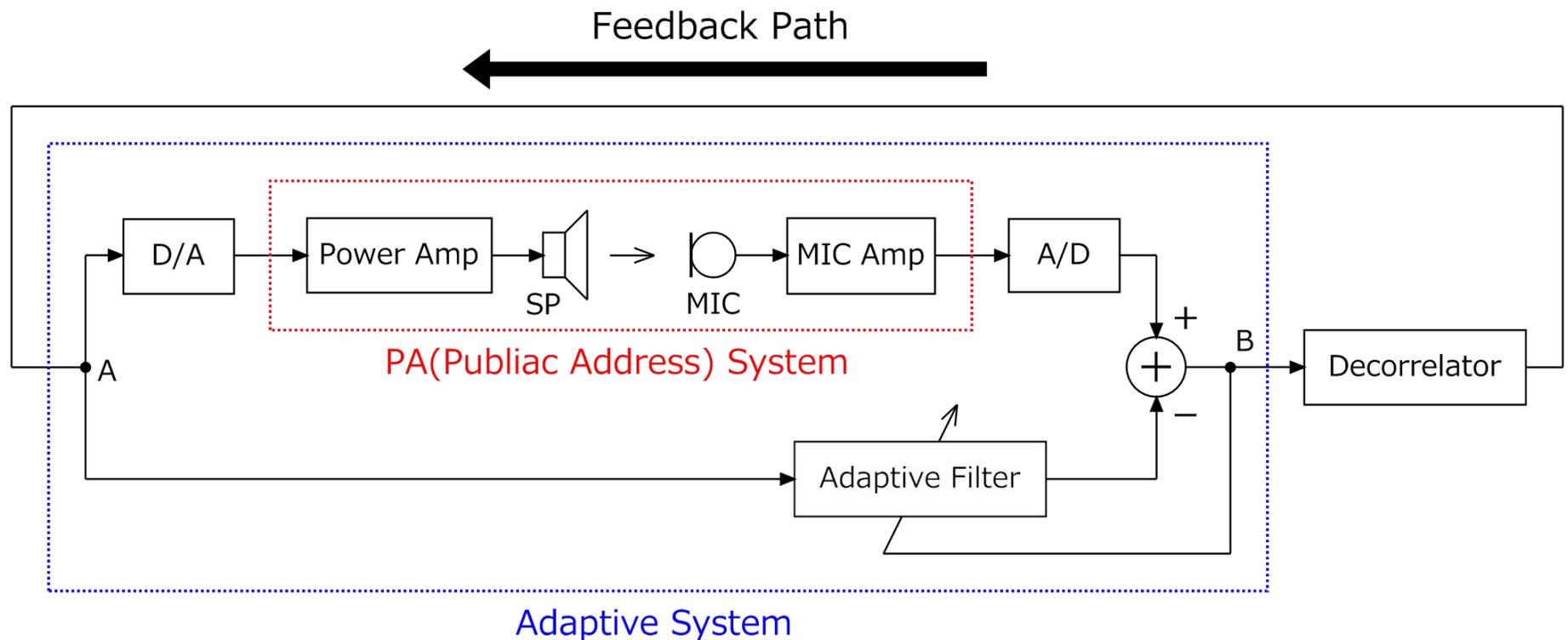
---

# 適応ハウリングキャンセラの 基本原理

有限会社ケプストラム

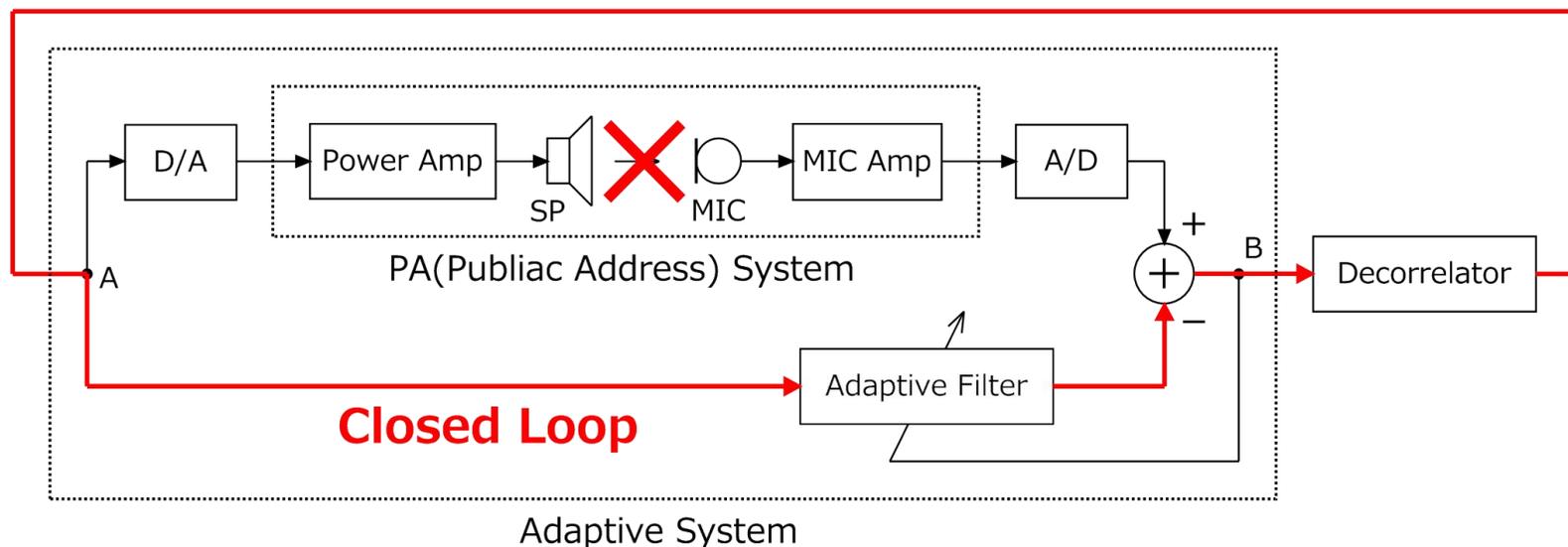
## ■ 適応ハウリング・キャンセラ付きの拡声システムの基本構成

- ・ システム同定の構成の適応システムの入力 (A) から出力 (B) に (Decorrelator を経て) フィードバックがかかっている



## ■ 適応ハウリング・キャンセラ付きの拡声システムの特徴（1/3）

- ・ 音響系（スピーカー/マイク間）の信号経路はフィードバック・パスでは無い
- ・ もし音響系がフィードバック・パスであるならば、音響系の信号伝達を遮断すれば、システムの安定性は保たれるはずである。しかし、音響系を遮断しても適応フィルタを経由する閉じた信号経路が存在するので、システムの安定性を保証することは出来ない。 ⇒ 音響系がフィードバック・パスで無いことは自明

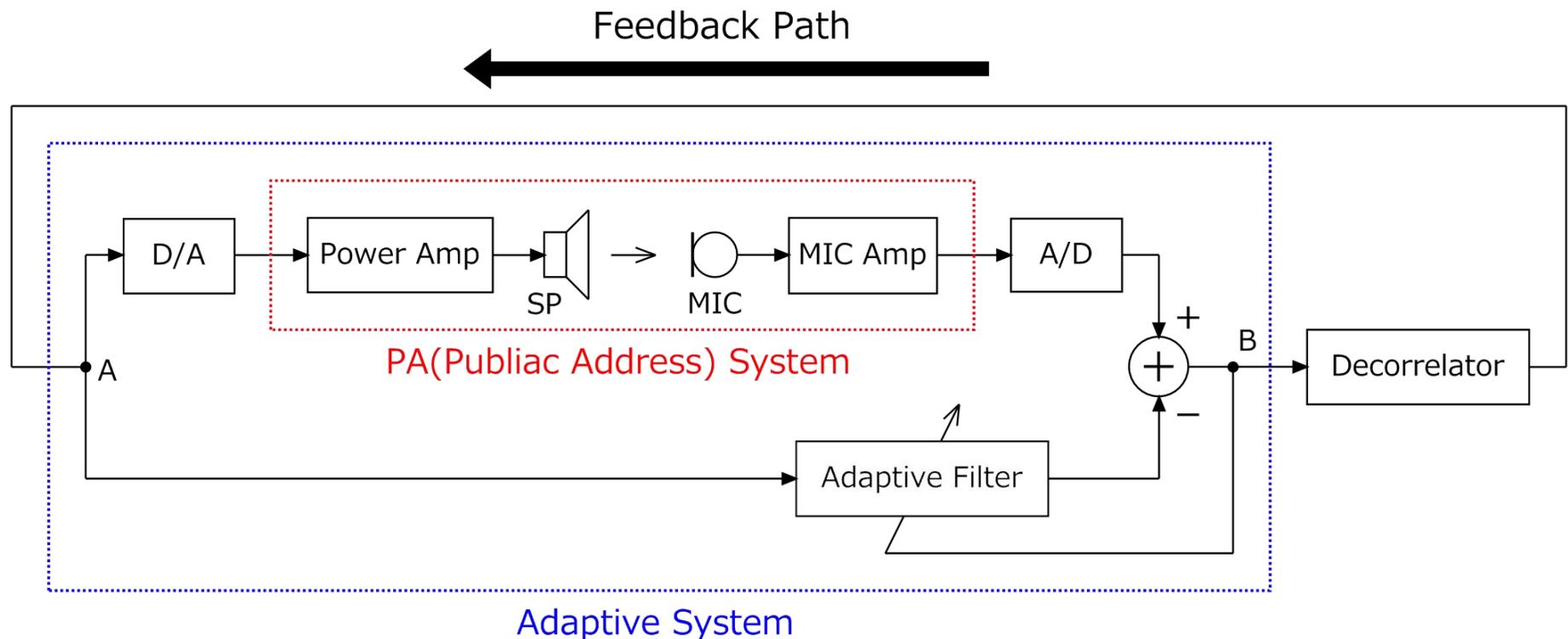


## ■ 適応ハウリング・キャンセラ付きの拡声システムの特徴（2/3）

- ・ 音響系の信号経路の利得は、それ単独ではシステム全体の安定条件とは無関係

⇒ 拡声系の利得が0 dB以上でもハウリングは発生しない

★ 適応ハウリング・キャンセラ無しの拡声装置の過去の常識は通用しない



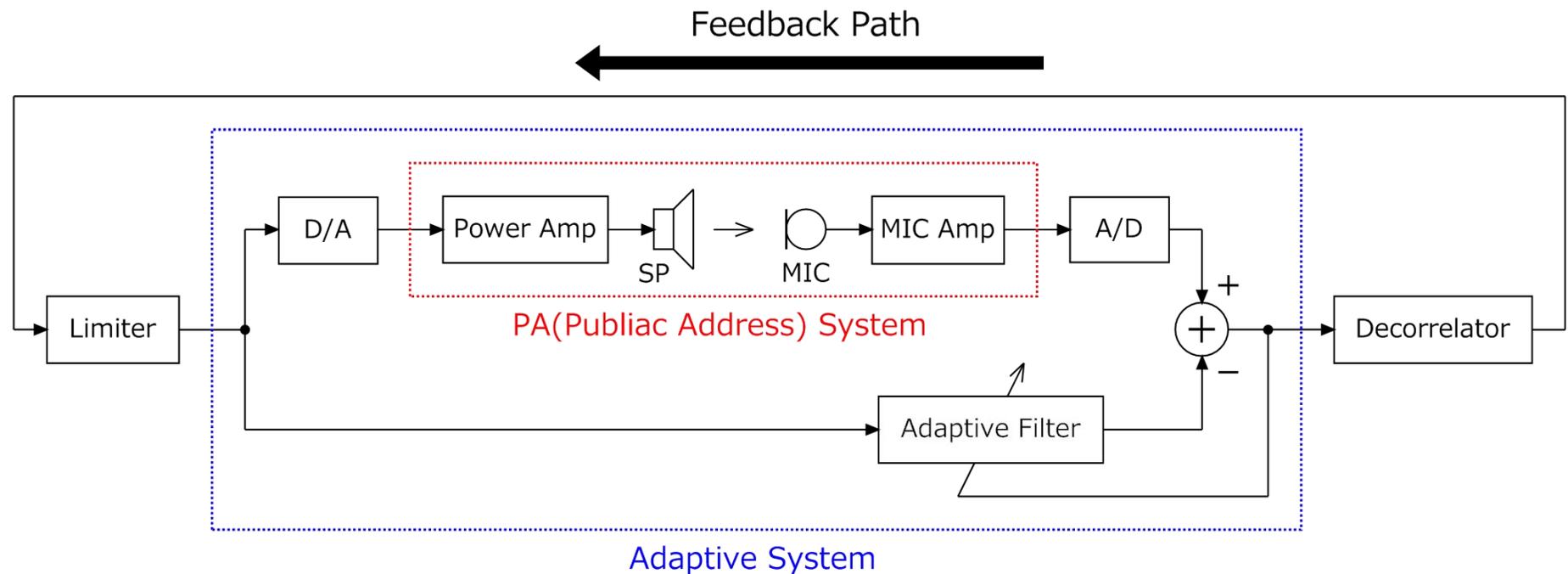
## ■ 適応ハウリング・キャンセラ付きの拡声システムの特徴（3/3）

- ・ D/A変換器、パワーアンプ、スピーカー、マイク、マイクアンプ、A/D変換器は有限振幅特性を有している。（飽和/クリップする）
- ・ システム起動時、初期状態からの適応フィルタの収束には時間がかかる
  - ⇒ 適応フィルタ収束前にハウリングが発生して信号が飽和。発生した歪のために適応フィルタの収束が妨げられる
- ・ 事前に適応フィルタのトレーニングをおこなっていても、起動後に音響系のインパルス・レスポンスの大きな変動が生じれば、適応フィルタの収束が遅れて信号が飽和、歪が発生する
  - ⇒ 適応フィルタの収束を保障できない

★適応ハウリング・キャンセラの基本構成は実用にならない

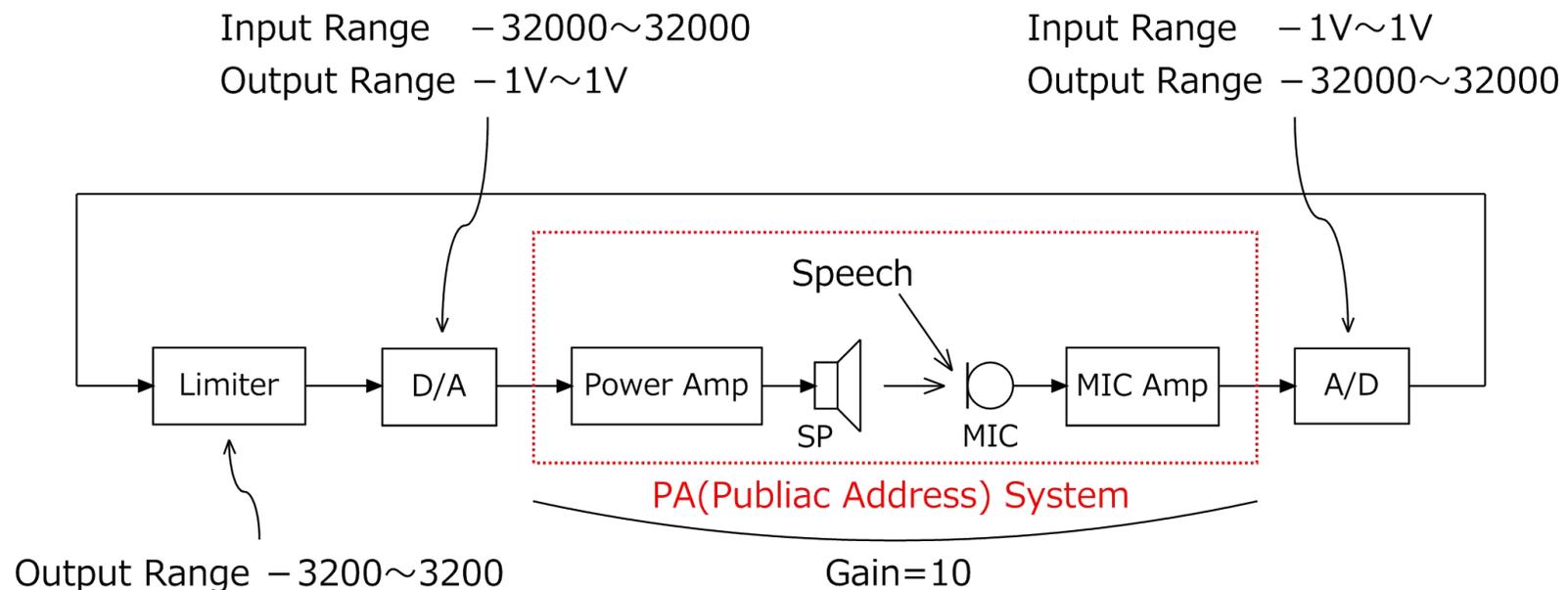
## ■ 収束性を保障された適応ハウリング・キャンセラ（1/2）

- ・ リミッタを追加して、適応システムの線形動作領域内に入力信号の振幅を制限すれば、収束性を保障できる。（D/A変換器、パワーアンプ、スピーカー、マイク、マイクアンプ、A/D変換器が飽和しなければ良い）



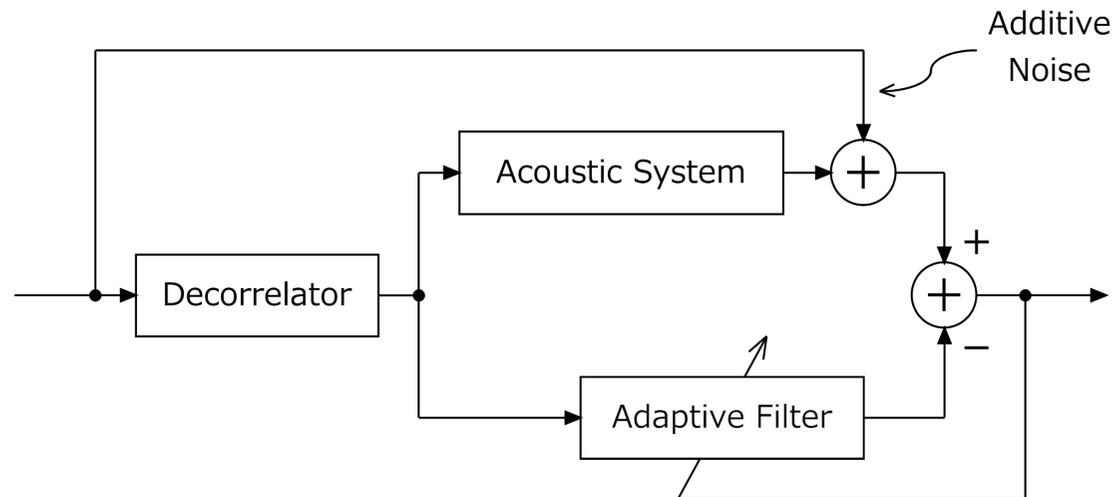
## ■ 収束性を保障された適応ハウリング・キャンセラ（2/2）

- ・ パワーアンプ、スピーカー、マイク、マイクアンプに十分なダイナミックレンジがあれば、D/A・A/Dの入出力特性により適応システムの線形動作領域が定まる。
- ・ D/A・A/Dの入出力信号レンジがともに  $\pm 32000$ （デジタル）、 $\pm 1V$ （アナログ）、拡声システムの利得が10倍であれば、リミッタのリミット値は  $\pm 32000/10 = \pm 3200$  とすれば良い。  
（厳密には最適なりミット値は  $\pm 3200$  より小さいが問題ない）



## ■ デコリレータ (Decorrelator) の働き

- ・ フィードバック・ループを切り開いた、オープンループ・モデル (下図) で考えると、マイクに入力される音声信号は適応システムに加わる加法性雑音と考えられる。
- ・ デコリレータは適応システムへの入力信号と加法性雑音との相関を低減して、適応フィルタの収束特性の低下を防ぐ働きを有する。
- ・ 一般的にはデコリレータには、遅延回路、周波数シフト回路、各種変調回路が用いられる。



## ■ ハウリング・キャンセラ実現は「難しい」のか？

- ・ 拡声系の伝達特性を $H(\omega)$ 、適応フィルタの伝達特性を $W(\omega)$ とする
- ・ エコー・キャンセラでは  $|H(\omega) - W(\omega)| = 0$  となることを期待されるが、ハウリング・キャンセラでは  $|H(\omega) - W(\omega)| < 1$  を満たしさえすればハウリングしない。
- ・  $\max |H(\omega)| = 2$  (拡声系の最大利得6dB) とすると、  
 $1 < |W(\omega)| < 3$  であれば安定条件  $|H(\omega) - W(\omega)| < 1$  を満たす。  
したがって適応フィルタ  $W(\omega)$  には3倍、およそ10dBの利得変動の余裕がある。(ただし位相特性無視の大まかな議論)

⇒ 考えようによっては適応フィルタを用いたハウリング・キャンセラは技術的に楽勝！？

(現実には揺らぎを有する音響系の長大なインパルス・レスポンスとの闘い。音質と動作の安定性も解決すべき問題)