

2016年6月16日

有限会社ケプストラム（206-0021東京都多摩市連光寺2-33-1）

マスコミの方からの問い合わせ先 TEL (042)357-0621 担当：山口

本ドキュメント中の図面・グラフ、サウンドデータ、ビデオ等の資料をダウンロード可能ですので、ご自由にご利用ください。（自由に引用可・再配布可・web等への転載可）

ダウンロード先 http://www.cepstrum.co.jp/press_release/

プレスリリース（詳細版） ／ ハウリングキャンセラの開発に成功

1. 要点

- ・長年にわたって音響学の重要課題であったハウリング問題を解決
- ・世界で初めて音量を下げずにハウリングを消すハウリングキャンセラの開発に成功
- ・従来の拡声装置の2倍～3倍の音量でもハウリングしない
- ・中小企業だからこそ出来た5年以上にわたる丹念な実験の積み重ねの成果

2. 発表概要

● 不快なハウリング

拡声装置の音量を上げた時に、キーン、ギャーという大音量の発振音が発生する不快な現象がハウリングです。

● 従来のハウリング対策には限界

長年の間、音響機器の専門家の多くは、拡声装置の利得^{（用語説明1）}が1倍（0dB）を越えると理論的な発振条件を満たすため、利得を1倍（0dB）よりも小さくしなければ不快なハウリング発生を防ぐことは出来ないと考えていました。

ハウリング・サプレッサー、フィードバック・サプレッサー等の名称で市販されているハウリング対策製品がありますが、これらは利得を1倍（0dB）よりも下げる動作をします。指向性マイクロホンを用いたハウリング対策も可能ですが、効果と使い勝手に難点があります。いずれにせよ既存の拡声装置では、十分な拡声音量を維持したままハウリングを抑圧することは困難でした。

● 最近10年間のハウリング対策研究の進展

近年の研究の進展により、現在では適応フィルタ^{（用語説明2）}を用いれば、以前は絶対と考えられていた1倍（0dB）の利得の限界を超えてもハウリング抑圧が可能であることが明らかになっています。適応フィルタを用いたハウリングキャンセラの有効性はすでに無響室^{（用語説明3）}内での実験により実証されています。

しかし、残響のある普通の部屋で動作する実用レベル・製品レベルの性能のハウリングキャンセラはいまだ実現されていませんでした。

● 5年以上にわたる実験によりハウリングキャンセラの実用化に成功

適応フィルタを用いた製品開発の豊富な経験を有する当社では、最近の研究成果に基づいた5年以上にわたる丹念な実験の積み重ねの結果、性能向上のための補助的な処理回路の組み合わせと、システム全体の最適な動作パラメータの設定値を見出し、実用となりうる性能を有するハウリングキャンセラの開発に成功しました。演算精度向上のために24bitハイレゾ処理をおこない、一部に32bit演算を適用するなどの工夫も加えています。

● 従来の拡声装置の2倍～3倍の音量でもハウリングしない

開発したハウリングキャンセラ付きの拡声装置では、従来の拡声装置の2倍～3倍の音量でもハウリングは発生しません。より大きな拡声音量が得られるだけでなく、マイクロホンのセッティングの自由度、拡声装置運用の安定性が向上します。ハウリング発生の心配なく、安心して拡声装置を使うことが出来ます。

用語説明

1：利得

拡声装置には、拡声利得と「回り込み」利得の2種類の利得が考えられます。

拡声利得は話者がマイクに向かって話した声が、聴衆のところでどれだけ大きく聞こえるかを示すものです。通常、拡声利得は1倍（0dB）以上になります。（そうでなければ拡声装置を使う意味がありません）

もうひとつの利得は、「回り込み」利得です。「回り込み」利得はスピーカーから拡声された音声マイク側に回り込んでくる経路の利得です。ハウリングに関する技術的な議論で出てくる利得は、「回り込み」利得のことです。本文の以後の説明中の利得もすべて「回り込み」利得を指します。

従来の拡声装置では「回り込み」利得が1倍以上（0dB以上）になるとハウリングが発生しますが、開発したハウリングキャンセラ付きの拡声装置では「回り込み」利得が大きくてもハウリングは発生しません。

2：適応フィルタ

適応フィルタ（Adaptive Filter）は、携帯電話のエコーキャンセラなどに用いられているデジタル・フィルタです。自動的に学習動作・適応動作をして、所望の最適フィルタ特性を実現可能です。

ここで「学習」・「適応」と表現しているのは、過去のデータを利用した一種のフィードバック・アルゴリズム（適応アルゴリズム）を用いているという意味で、これらの単語を日常用語として用いる場合の人特有の知的な振る舞いを指しているものではありません。人工知能、エキスパート・システムとも異なります。最も基本的な適応フィルタのアルゴリズム（適応アルゴリズム）は数式一行で記述出来ます。

3：無響室

無響室は、楔状の吸音材で壁面を覆って、壁からの反射音を無くした音響実験室です。外部からの音の侵入を防ぐ防音性能にも優れています。

参考図面

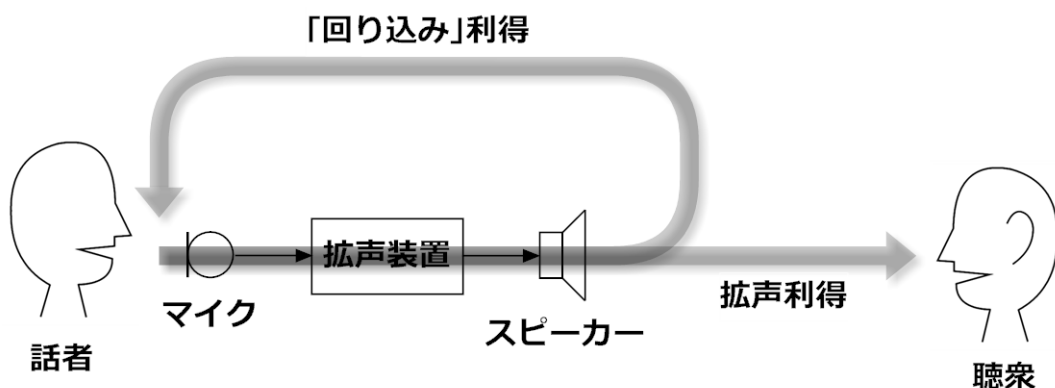


図1 拡声装置の利得

話者の声が拡声装置を使ってどれだけ大きく聴衆に聞こえるかという拡声利得と、スピーカーからの拡声音がマイクに回り込んでくる経路の「回り込み」利得の2つがあります。ハウリングキャンセラが無い場合、「回り込み」利得が1倍（0dB）を超えるとハウリングが発生します。

3. 一般の方向けの説明

3-1. ハウリング発生メカニズム

ハウリングは拡声装置の音量を上げると、キーン、ギヤーという大音量の発振音が発生する不快な現象です。図2に示すメカニズムでハウリングが生じます。

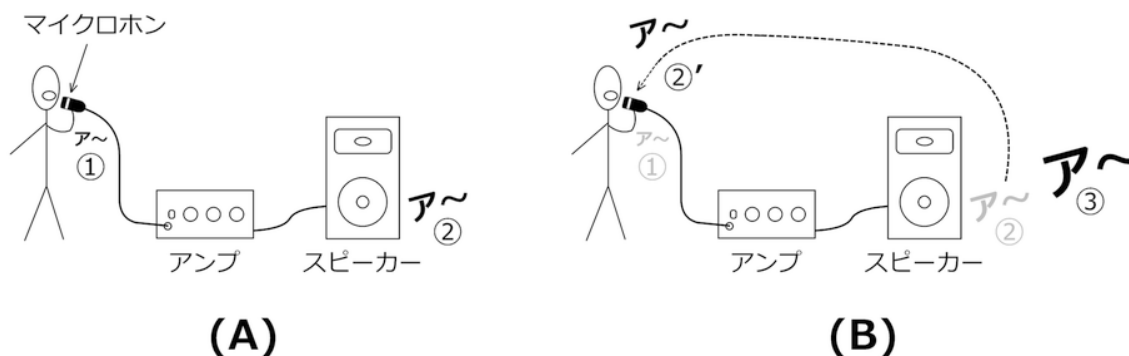


図2 ハウリング発生メカニズム

- (A) ① マイクから入力した音声は
② 増幅されてスピーカーより出力されます。
- (B) ②' スピーカーからの拡声音がマイク入力に回り込むと
③ 回り込んだ音がアンプで増幅されて、さらに大きな音がスピーカーから出力されます。
スピーカーからの拡声音のマイクへの回り込みとアンプによる増幅は際限なくループして続くので、瞬く間に大きなハウリング音が発生します。

3-2. ハウリングキャンセラの動作原理

開発したハウリングキャンセラの動作原理を図3に示します。推測回路を用いてマイクに入力された回り込み音を推測して、引算によりキャンセルしています。推測回路の部分に適応フィルタを用いています。図3では、引き算回路を「+」記号で表現しています。（片方をマイナスして加算なので、引き算を意味します）

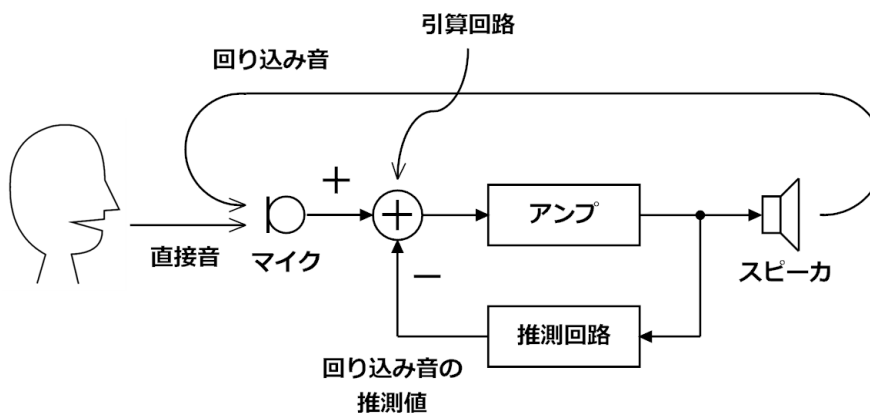


図3 ハウリングキャンセラの動作原理

推測回路を用いて回り込み音成分を推測して、引算により回り込み音をキャンセルしています。

3-3. 拡声装置の性能比較

開発したハウリングキャンセラ付きの拡声装置と従来の拡声装置には以下のような性能の違いがあります。

3-3-1. ハウリングキャンセラ無しの拡声装置

ハウリングキャンセラ無しの拡声装置では利得が1倍（0dB）を超えた周波数でハウリングが発生します。

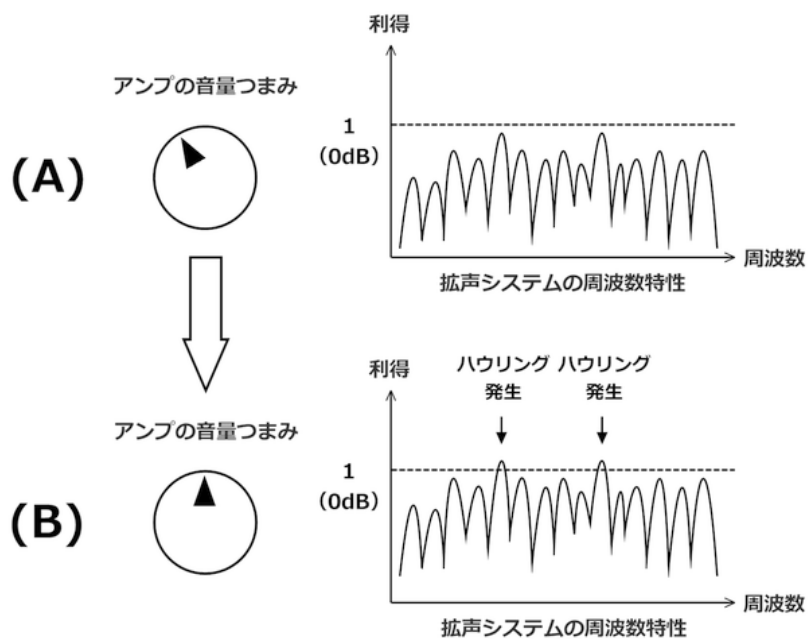


図4 ハウリングキャンセラ無しの拡声装置

- (A) 拡声装置の利得が1以下（0dB以下）であればハウリングは発生しません
- (B) アンプの音量を上げて利得が1以上（0dB以上）の周波数があると、そこでハウリングが発生します

3-3-2. 従来のハウリング対策製品付きの拡声装置

従来のハウリング対策製品付きの拡声装置では自動的に周波数特性が平坦化されますが、利得が1倍（0dB）を超えることは出来ません。

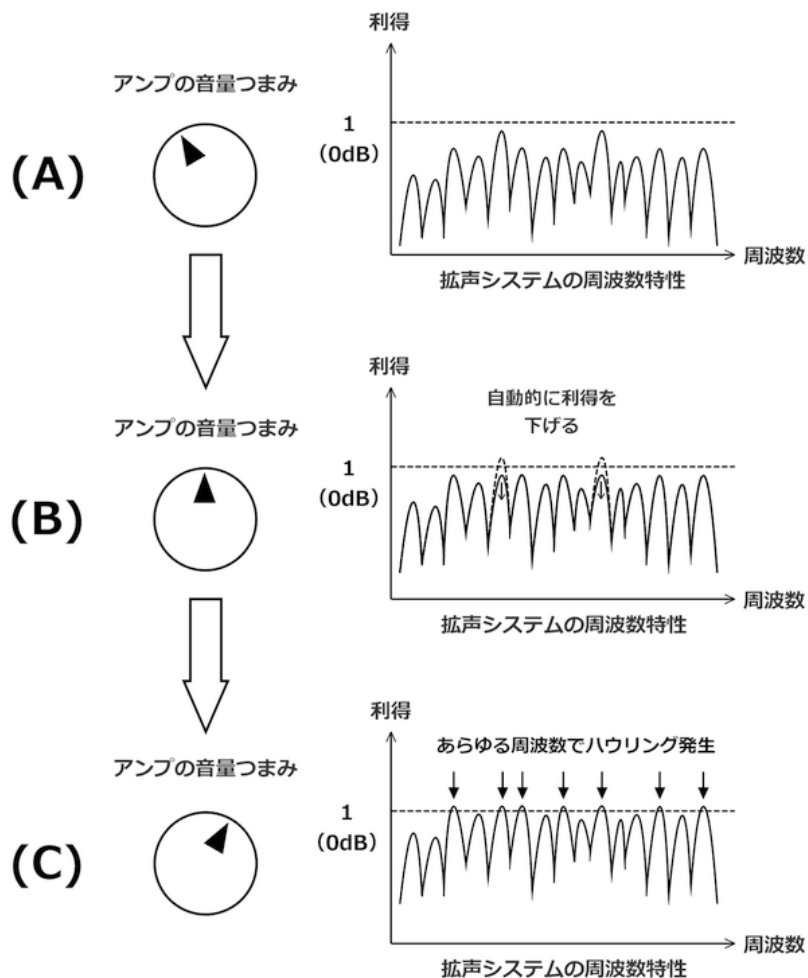


図5 従来のハウリング対策製品付きの拡声装置

- (A) 拡声装置の利得が1以下（0dB以下）であればハウリングは発生しません
- (B) 音量を上げると従来のハウリング対策製品はハウリングの発生した周波数だけ利得を下げます
結果として凸凹がならされて、周波数特性が平坦化されます。
- (C) ハウリングが発生しなくなったからといってさらに音量を上げると、今度はあらゆる周波数でハウリングが発生して対処不能になります

3-3-3. ハウリングキャンセラ付きの拡声装置

開発したハウリングキャンセラ付きの拡声装置では利得が1倍（0dB）を超えてもハウリングは発生しません。利得2倍（6dB）でも安定を維持し、それ以上に利得を上げても急速に大きなハウリング音が発生することはありません。音量を下げずにハウリングを抑圧できるハウリングキャンセラは世界初です。

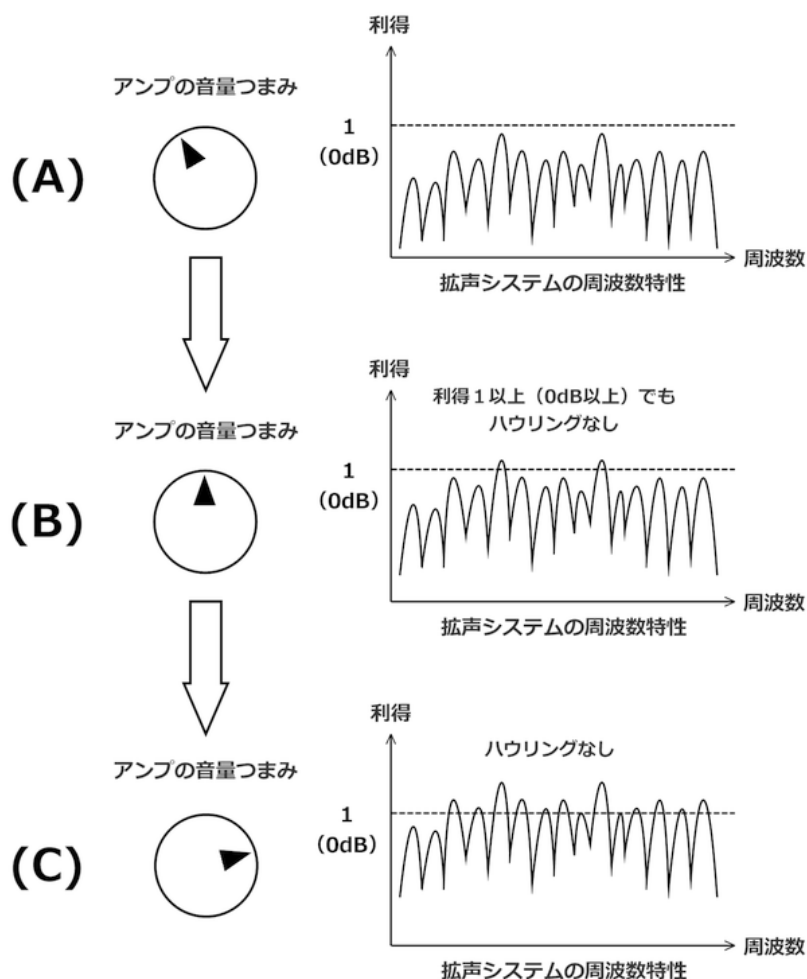


図6 開発したハウリングキャンセラ付きの拡声装置

- (A) 拡声装置の利得が1以下（0dB以下）であればハウリングは発生しません
- (B) ハウリングキャンセラがあると利得が1以上（0dB以上）の周波数があってもハウリングは発生しません
- (C) さらに音量を上げてハウリング無しの拡声装置の2倍～3倍の音量（利得増分6dB～10dB程度）でもハウリングしません。より音量を上げるとヒュンヒュン、ヒョロヒョロという異音が発生しはじめますが、大音量のハウリングに急成長はしないので、音量つまみを下げる時間的余裕が十分にあります。

3-4. ハウリングキャンセラ・デモ機

既存の拡声装置に取り付けて使用できるハウリングキャンセラのデモ機を製作しました。使用しているプロセッサ・ボードの演算性能の制約により、固定電話と中波ラジオ放送（AM放送）の中間程度の音質（周波数帯域上限4kHz）ですが、各所で実験・デモをおこなっています。音響機器メーカーの専門家や大学の研究者の方にもデモをご覧いただいています。



写真1 ハウリングキャンセラ・デモ機

3-5. 今後の展開

さらに性能を上げたデモ機を開発中です。デモ機を用いて様々な使用環境（部屋の残響特性）に応じた動作パラメータの最適値を探るとともに、市販向けの製品開発に取りかかる予定です。

研究機関・教育機関向けの、ハウリングキャンセラの基本動作原理の実験用・研究用の実験キット、実験ソフトウェアはすでに出荷中です。

3-6. 開発者からのコメント

離散時間信号処理（デジタル信号処理）は厳密な数学的原理に基づいたものですが、適応フィルタを用いたハウリングキャンセラでは理論の前提となる線形時不変性が成り立ちません。

苦し紛れとしか表現しようのない、試行錯誤的な実験による細かい改良・改善の積み重ねで技術的に大きな成果を得ることが出来たのは、大変な幸運に恵まれたと言わざるを得ません。動作の安定性の確認実験などは非常に長い時間（最低でも2～3時間、場合によっては8～10時間以上）を要するのには苦労しました。音響系は特性の揺らぎ・変動が大きく、実験のたびに少しずつ異なる結果が出るのですが、繰り返し丹念に実験をおこなった甲斐がありました。

4. 技術的な説明

4-1. 拡声装置の構成

従来の拡声装置と開発したハウリングキャンセラ付きの拡声装置には以下のようなシステム構成の相違があります。両者のもっとも大きな違いは、システムのフィードバック・パスの位置が異なることです。

4-1-1. ハウリングキャンセラ無しの拡声装置の構成

従来の拡声装置の構成を図7に示します。ハウリングが発生しない安定条件は $|G(z)A(z)| < 1$ となります。
($G(z)$: アンプの伝達特性、 $A(z)$: 音響系の伝達特性)

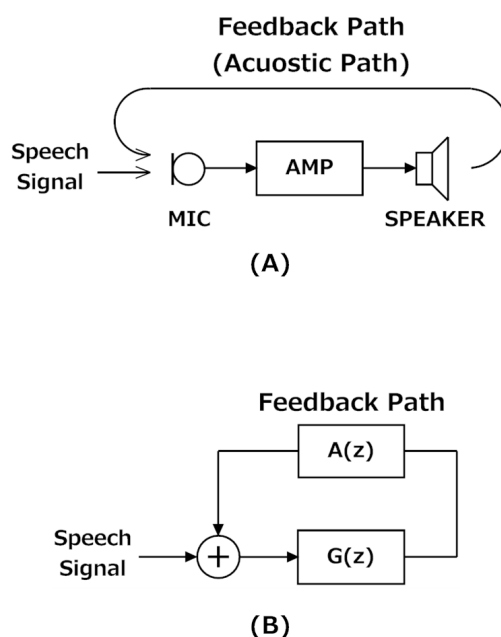
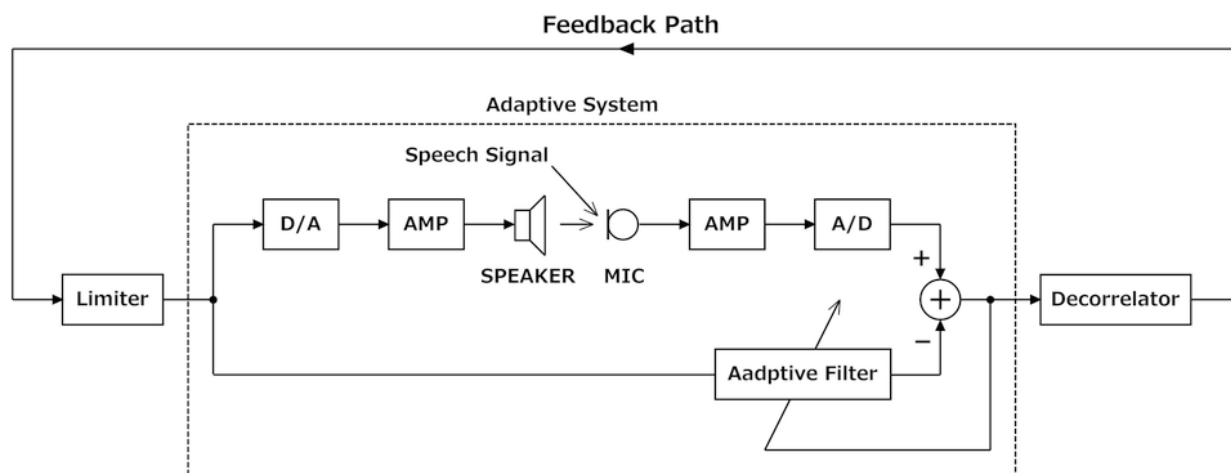


図7 ハウリングキャンセラの無しの拡声装置
(A) 基本構成 (B) ブロック・ダイアグラム

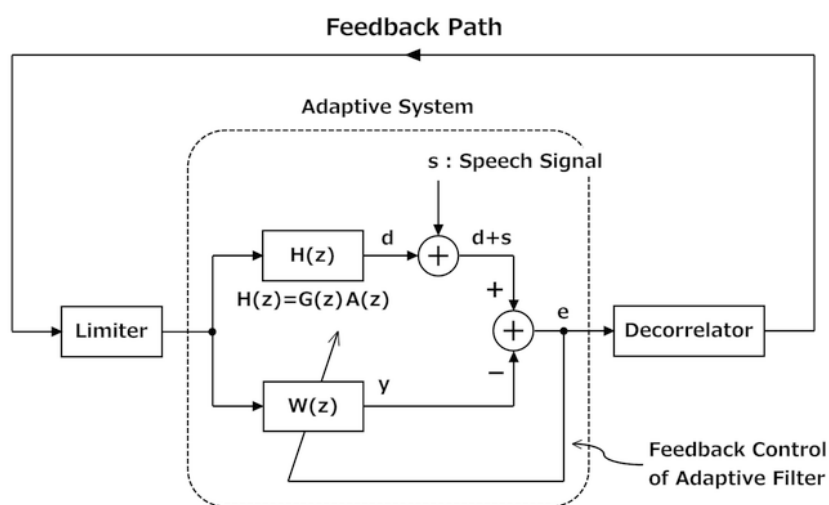
スピーカーからマイクにいたる音響系の信号経路がフィードバック・パスFeedback Pathとなります
アンプの伝達特性を $G(z)$ 、音響系の伝達特性を $A(z)$ とすると、アンプを含む音響系の伝達特性 $G(z)A(z)$ の利得が1以下(0dB以下)ではハウリングは発生しません。(安定条件は $|G(z)A(z)| < 1$)

4-1-2. ハウリングキャンセラ付きの拡声装置の構成

開発したハウリングキャンセラ付きの拡声装置は図8の構成を有しています。（ただし図8は付加回路等の細部を省略）ハウリングキャンセラ無しの拡声装置とはフィードバック・パス（Feedback Path）の位置が異なるため、アンプの利得を含む音響系の伝達特性 $H(z)=G(z)A(z)$ の利得の大小はシステムの安定性とは無関係です。安定条件は $|H(z)-W(z)|<1$ となります。（ $W(z)$ ：適応フィルタAdaptive Filterの伝達特性）



(A)



(B)

図8 ハウリングキャンセラ付きの拡声装置
(A) 基本構成 (B) ブロック・ダイアグラム

ハウリングキャンセラ無しの拡声装置とはフィードバック・パスFeedback Pathの位置が異なります。 $H(z)$ はアンプの利得を含む音響系の伝達特性をあらわします。 $W(z)$ は適応フィルタです。リミッタLimiterはアンプを含む音響系 $H(z)$ と適応フィルタ $W(z)$ が線形領域で動作するように信号の振幅を制限するためのものです。ハウリングが抑圧された安定状態ではリミッタLimiterは働きません。（信号レベルはリミット値以下になります）デコリレータDecorrelatorは適応フィルタの収束動作の安定性を改善するために、入力信号と出力信号の相関を低減する回路です。一般には遅延回路、周波数シフト回路、変調回路等が用いられます。

図 8 (B)において、適応フィルタ $W(z)$ は原理的には $W(z)=H(z)$ となるように収束して、 $W(z)$ の出力 y と $H(z)$ の出力 d とは等しくなり ($y=d$)、安定条件 $|H(z)-W(z)|<1$ も満たされます。マイクには人が喋った音声信号 s とスピーカーから拡声された信号 d が加わった $d+s$ が入力されますが、誤差信号 $e=(d+s)-y=(d+s)-d=s$ となりスピーカーからマイクに回り込んだフィードバック音成分 d は打ち消されてハウリングは生じません。

4-2. ハウリングキャンセラの研究開発の難しさと当社の取り組み

図 8 の適応フィルタを用いたハウリングキャンセラにより、無響室での実験でハウリング抑圧が可能であることは近年の研究で実証されています。(参考文献参照) しかし、残響のある普通の部屋で動作する実用レベルの安定性と音質を有するハウリングキャンセラはいまだに実現されていませんでした。

その理由は、音響系の伝達特性の揺らぎが大きくシステムの時不変性が成り立たず、音響系のアンプやスピーカーの歪、数値演算で発生する演算誤差等により厳密には線形性も成り立たないため、適応ハウリングキャンセラの性能を改善することが技術的に困難だったからです。

一般的な信号の入力端子 (source) と出力端子 (sink) を有するシステムとは異なり、特殊な閉ループ構成であるために理論的な解析も困難でした。

適応フィルタを用いた製品開発に豊富な経験を有する当社では、5年以上にわたる丹念な実験の積み重ねにより、安定性と音質を向上させるための付加的処理 (補助フィルタ回路等) の組み合わせと最適なパラメータ設定を試行錯誤的に見出すことに成功しました。完成した実用レベルの性能を有するハウリングキャンセラのデモ機を用いて、残響のある一般的な環境でハウリングを完全に抑圧できることを実証しました。

参考文献

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, 山口晶大,
電子情報通信学会技術研究報告. EA, 応用音響 108(491), 13-18, 2009-03-20
(詳細な書誌情報はこちらのURLでご覧ください → <http://ci.nii.ac.jp/naid/110007328695>)

参考文献中の無響室でのハウリング抑圧実験の動画

<https://youtu.be/ctx3EntCM9>

参考文献以前の古い研究に関しては下記の文献をご覧ください

Fifty Years of Acoustic Feedback Control: State of the Art and Future Challenges
<ftp://ftp.esat.kuleuven.ac.be/pub/pub/stadius/vanwaterschoot/reports/08-13.pdf>

4-3. 実験結果

ハウリングキャンセラの無し・有りの単純な比較実験では、ハウリングするか・しないかの違いしか分かりません。ハウリングの発生状況とハウリングキャンセラの効果が良く分かるように、拡声装置に3秒の遅延回路を付加しておこなった実験の結果をご紹介します。拡声装置の利得は最大6dBに設定しました。

実験の動画、サウンドファイルはYouTubeで視聴出来ます。動画ファイルの音はデジカメ内蔵マイクで録音したので音質は良くありません。サウンドファイルは別のマイクで録音した後、空調騒音等のノイズ除去のためにHPF（カットオフ周波数250Hz）を通したものです。

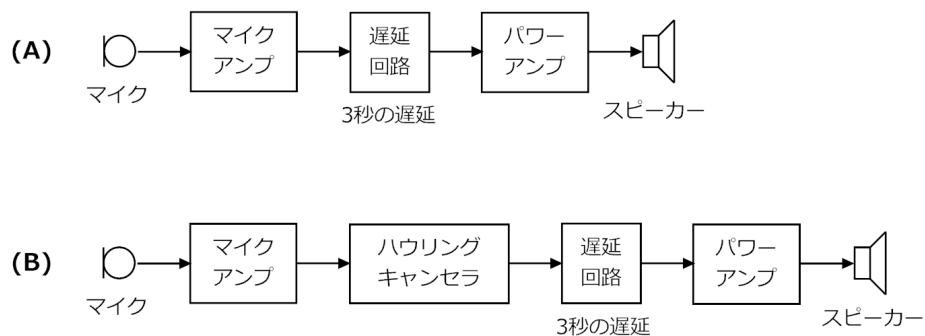


図9 実験時の拡声装置の構成

(A) ハウリングキャンセラ無しの拡声装置

(B) ハウリングキャンセラ付きの拡声装置（細部は省略してあります）

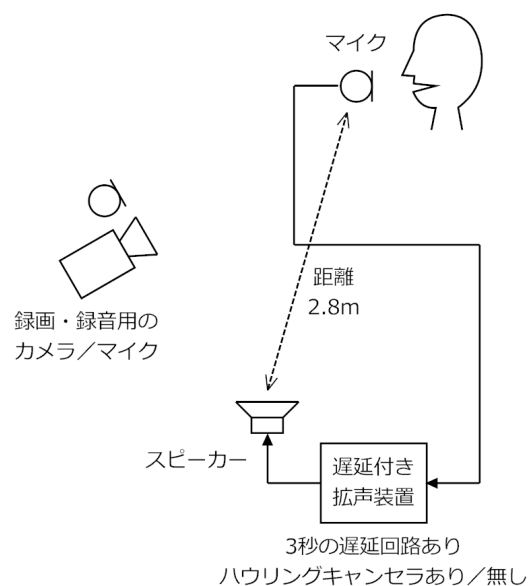


図10 機材配置

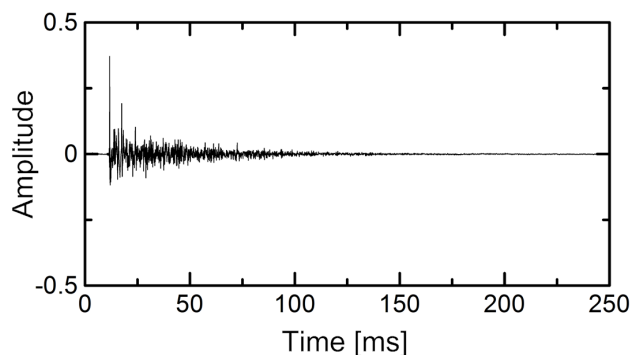


図11 実験時の音響系のインパルスレスポンス

4-3-1. ハウリングキャンセラ無しの拡声装置の実験結果

スピーカーからの拡声音がマイク入力に回り込んでハウリングが発生しています。3秒の遅延がついているので、ゆっくりとハウリング音が成長する様子が分かります。（40秒程度でアンプが飽和して大きな歪が発生しています）遅延無しでは一瞬のうちに大音量のハウリングが発生します。

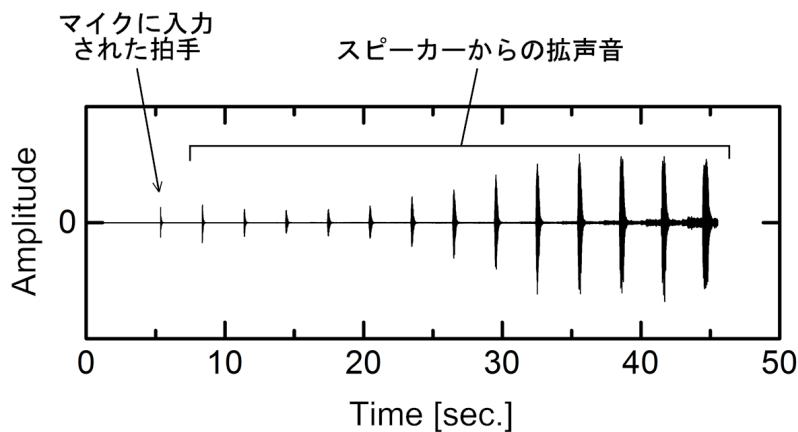


図 1 2 ハウリングキャンセラ無しの実験結果（その 1）

動画ファイル 1 <https://youtu.be/YymAUMft0dI>

サウンドファイル 1 <https://youtu.be/TThrqzvuwuk>

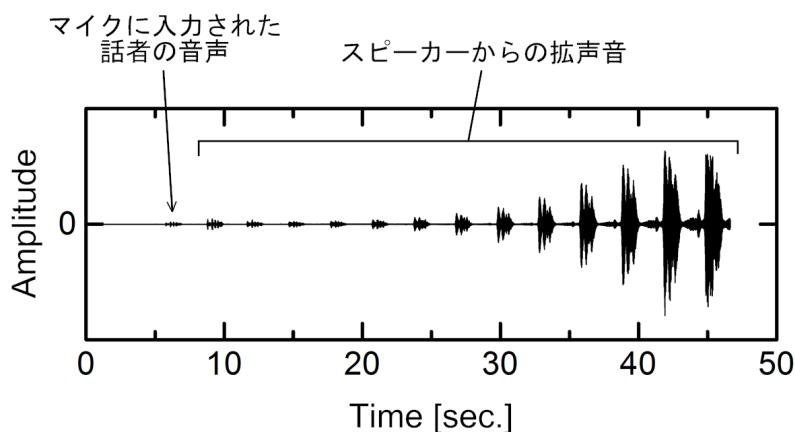


図 1 3 ハウリングキャンセラ無しの実験結果（その 2）

動画ファイル 2 <https://youtu.be/Vu-DVJMn9MQ>

サウンドファイル 2 https://youtu.be/hEC3o00df_w

実験動画のYouTube視聴画面



4-3-2. ハウリングキャンセラ付きの拡声装置の実験結果

ハウリングは発生しません。 信号レベルの大きい拍手が入力された時は、完全に除去出来なかった回り込み音成分がエコーとして聞こえます。

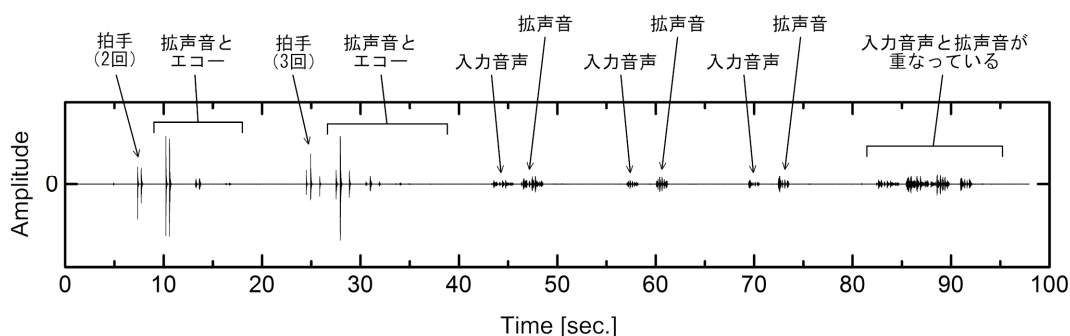


図 14 ハウリングキャンセラ付きの実験結果
動画ファイル 3 <https://youtu.be/0sn1mGavmx4>
サウンドファイル 3 <https://youtu.be/wdzhKaf0qs4>

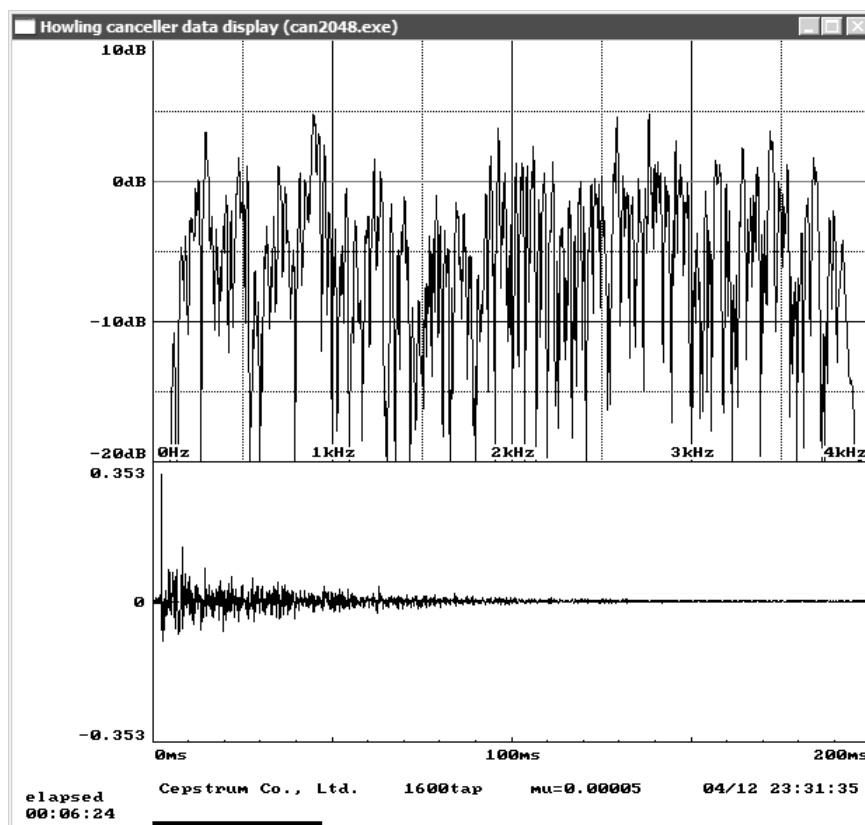


図 15 実験時の適応フィルタの収束状況

上段：適応フィルタ $W(z)$ の周波数特性は音響系 $H(z)$ の周波数特性とほぼ等しくなります。
広い周波数で利得が0dB（1倍）を超えていることが分かります。
この状態でハウリングは完全に抑圧されています。

下段：適応フィルタ $W(z)$ のフィルタ係数。 音響系 $H(z)$ のインパルスレスポンス（図 1 1）とほぼ等しくなっています。

4-4. 拡声装置のマイクロホンの使い方

開発したハウリングキャンセラを用いた拡声装置は、従来の拡声装置とは異なったマイクロホンの使い方が可能です。そのために拡声装置運用上の様々なメリットが得られます。もっとも大きなメリットは指向性マイクロホンに頼ったハウリング対策が不要であることです。

拡声装置に用いられるマイクロホンには、おもに図16に示す接話型指向性マイクロホンと無指向性（全指向性）マイクロホンの二種類があります。指向性マイクロホンは従来の拡声装置のハウリング対策に用いられています。

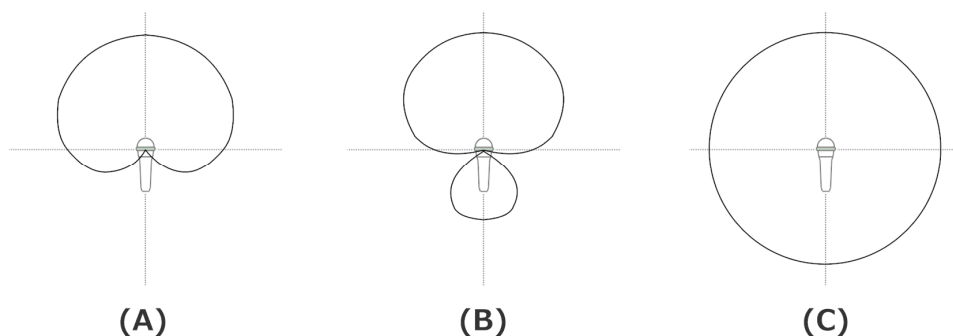


図16 マイクロホンの指向特性

- (A) 指向性マイクロホン（後方～側面の感度が低いタイプ）
- (B) 指向性マイクロホン（側面の感度が低いタイプ）
- (C) 無指向性（全指向性）マイクロホン

拡声装置向けの指向性マイクロホンは口に近づけて使用することを前提に設計されていますが、無指向性（全指向性）マイクロホンにはそのような使用条件の制約はありません。

従来の拡声装置では指向性マイクロホンを使用してハウリング問題に対処していました。指向性マイクロホンの感度が低い方向（後方または側面）にスピーカーを設置すると、ハウリングが発生しにくくなります。

4-4-1. ハウリングキャンセラ無しの拡声装置のマイクロホンの使い方

従来の拡声装置では、ハウリング対策におもに接話型の指向性マイクロホンを用いていました。接話型マイクロホンは常に口元にあてて使用しなければなりません。マイクロホンの指向性を利用してハウリングに対処しているので、マイクロホンの取り扱いには細心の注意が必要です。

ハウリングキャンセラ無しの拡声装置は以下のような点が不便です。

1. 手持ちマイクの場合、片手が塞がるので手に持った書類を見ながら話すのが難しい。
2. マイクを口元から離すと十分な音量が得られない・音質が劣化する。
3. 指向性マイクをスピーカーに向けると、すぐさまハウリングが発生する。

拡声装置の運用・管理担当者がいても、話者が手に持っているマイクの取り扱いには管理が及びません。（話者が指示どおりに丁寧にマイクを扱ってくれない場合があります）

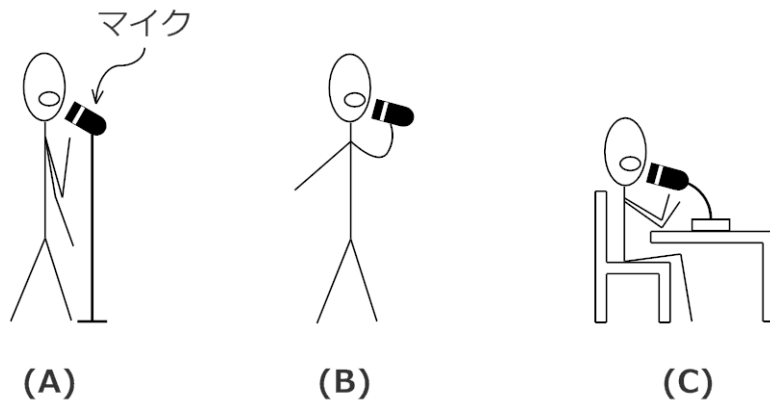


図 17 従来の拡声装置の運用形態（マイクロホンの使い方）

- (A) スタンドマイク（固定マイク）では人がマイクに口（顔・頭）を近づける必要があります。
- (B) ハンドマイクでは常に口元にくるようにマイクを持たなければなりません。
- (C) グースネック・マイクを使用した場合、マイクを口元に近づけなければならないので、机の上に書類を開いたりノート・パソコンを置くスペースが取れません。
（グースネック＝ガチョウの首、グースネック・マイク→長い首のついたマイク）

4-4-2. ハウリングキャンセラ付きの拡声装置のマイクロホンの使い方

音質の良い無指向性（全指向性）マイクロホンを使用出来ます。マイクロホンを口元から離して使ってもハウリングは生じません。マイクロホンを常に口（顔）に向けておく必要もありません。電子部品として量産されている廉価な無指向性マイクロホンやシリコン・マイクを用いても問題ありません。

専用設計の指向性マイクロホン・アレイとの併用も可能です。指向性マイクロホン・アレイを用いると、暗騒音の影響を軽減することが可能です。

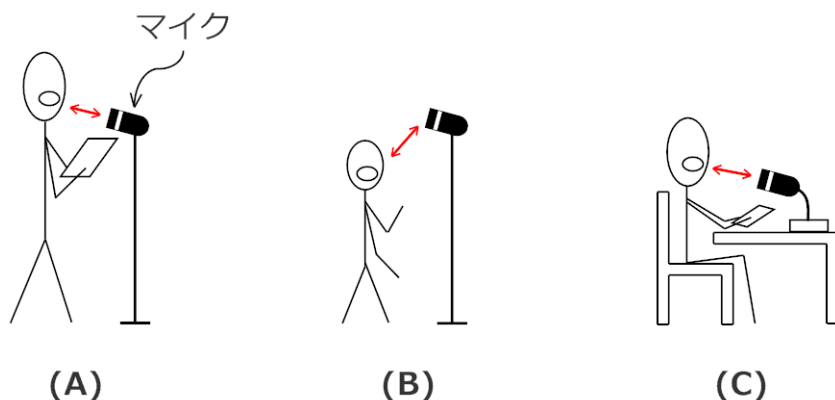


図 18 開発したハウリングキャンセラ付きの拡声装置の運用形態（マイクロホンの使い方）その 1

- (A) 口（顔・頭）とマイクが離れても良いので、手で書類を持って読み上げるのが楽です。（両手が使えます）
- (B) 小中学校などで、児童・生徒の身長に合わせてスタンドマイクの高さを細かく調節する必要がありません
- (C) ゲースネック・マイクを使用した場合、口元から離して置けるので机の上を広く使えます

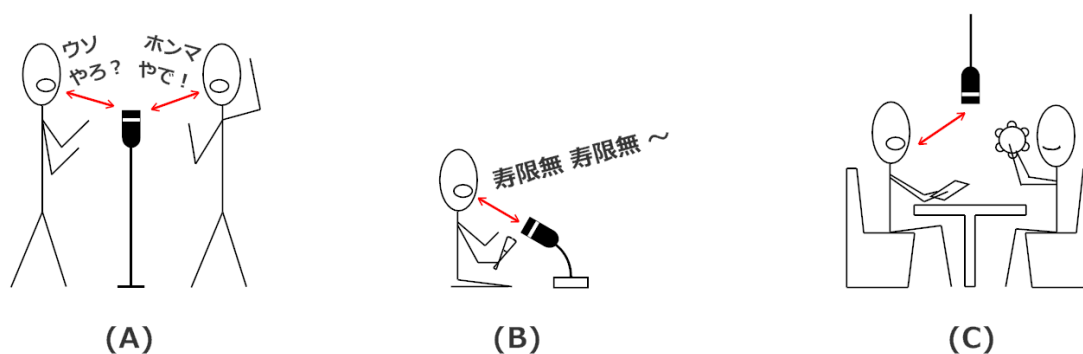


図 19 開発したハウリングキャンセラ付きの拡声装置の運用形態（マイクロホンの使い方）その 2

- (A), (B) 舞台演芸の拡声装置でもマイクのセッティング、運用の自由度が上がります。頭（口）とマイクの位置が離れていても、ハウリングせずに十分な拡声音量が得られます。
- (C) 固定式の吊り下げマイクでカラオケに対応可能です。マイクの汚損・破損の危険性が小さくなります。天井からケーブル経由で電源供給が可能なので電池不要・電池交換不要です。

5. 離散時間信号処理（デジタル信号処理）の専門家向けの説明

適応信号処理・適応アルゴリズムの専門家、特にエコーキャンセラの専門家の方は、残響のある部屋で適応フィルタを用いた実用レベルの性能のハウリングキャンセラを実現できるなど信じがたいと思われるかもしれません。そのような疑義をお持ちの方には、以下の事実を指摘したいと思います。

1. エコーキャンセラは20dB～30dB、場合によっては40dBというエコー抑圧量が必要とされるが、ハウリングキャンセラはただか6dB～10dB程度の過剰ゲインに対処出来れば良い。

エコーキャンセラは $|H(z) - W(z)| = 0$ となることを求められているが、ハウリングキャンセラは $|H(z) - W(z)| < 1$ を満たしさえすればハウリング抑圧ができるし、完全にフィードバック音成分を除去出来ずにエコーが残っても実用上の問題は無い。（ $H(z)$ ：音響系の伝達特性、 $W(z)$ ：適応フィルタの伝達特性）部屋の残響よりも遅延が短いので、聴感的にはエコーではなく音量が上がったように感じられ、見かけの拡声利得が増大するので実用上はプラスの効果になる。

2. 適応フィルタを用いたハウリングキャンセラは、従来のエコーキャンセラとは根本的に異なる特性を有している。エコーキャンセラで常識と考えられていたことは、必ずしもハウリングキャンセラにはあてはまらない。

ハウリングキャンセラの特異な性質の一例をあげると、（原理的には）音響系の利得が大きいほど適応フィルタの収束特性が向上する。適応ハウリングキャンセラのループを切り開いた図20のオープンループ・モデルにおいて、音声信号 s は加法性雑音として適応システムに入力される。したがって音響系 $H(z)$ の利得が大きいほど、 $H(z)$ の出力信号 d に対して加法性雑音 s の信号レベルは相対的に小さくなり、収束特性が向上する。（もちろん実時間動作するハウリングキャンセラでは $H(z)$ の揺らぎの影響などがあるために、利得が大きいほど適応フィルタの収束特性が向上するわけではない）

3. ハウリングキャンセラの安定性向上・収束特性向上のために、時変処理や入力信号に変調がかかるような処理を併用せざるをえないが、これらの付加的処理にもハウリング抑圧の効果がある。適応フィルタと時変・変調処理の相乗効果によってハウリング抑圧性能は向上する。

4. 当社が販売しているハウリングキャンセラ実験キット／実験ソフトを用い、複数の大学研究室・研究機関で基本動作に問題が無い・ハウリング抑圧が可能であることを追試済みである。

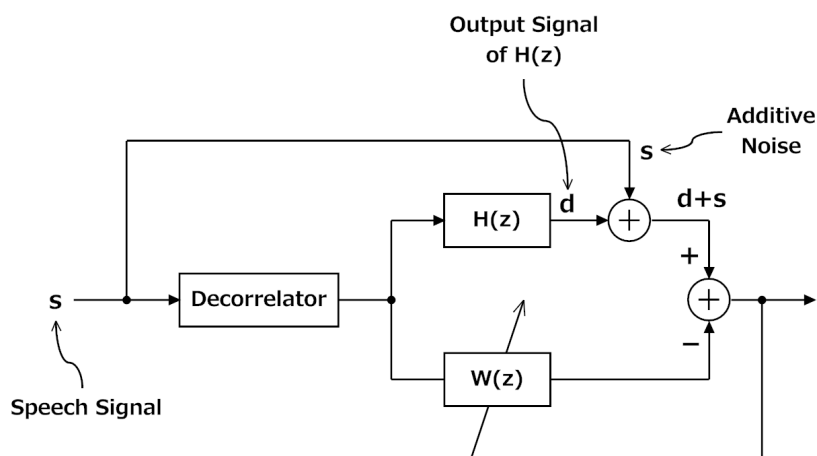


図20 ハウリングキャンセラのオープンループ・モデル

$H(z)$ ：音響系の伝達特性 $W(z)$ ：適応フィルタの伝達特性

2. の事実はシミュレーションによって容易に確認できます。 図 2 2 に示すとうり、音響系 $H(z)$ の利得が大きい方ほどハウリングキャンセラの適応フィルタの収束特性は向上します。

シミュレーション・プログラムは下記URLよりダウンロード可能です。 フリーのシミュレーション・ソフト Scilab用のプログラムです。 Windows用のScilab5. 5. 2で動作確認をおこなっています。 Scilabはいわゆる MATLABクローンとしても知られている処理系なので、MATLABへのプログラム移植も容易です。

Scilabシミュレーションプログラム 1 http://www.cepstrum.co.jp/press_release/sim6db.sce

Scilabシミュレーションプログラム 2 http://www.cepstrum.co.jp/press_release/sim60db.sce

Scilabホームページ <http://www.scilab.org/>

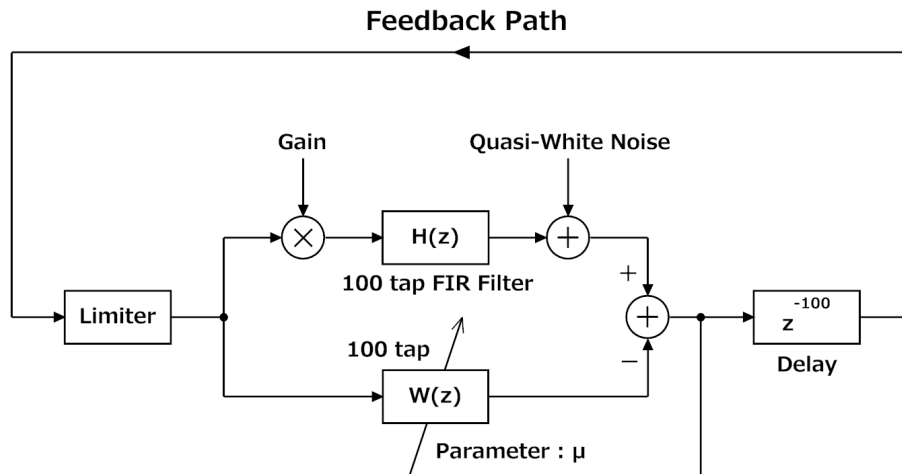


図 2 1 シミュレーション・モデル

音響系の信号経路の利得Gainと適応フィルタのステップサイズパラメータ μ のみを変化させてシミュレーションをおこなった。

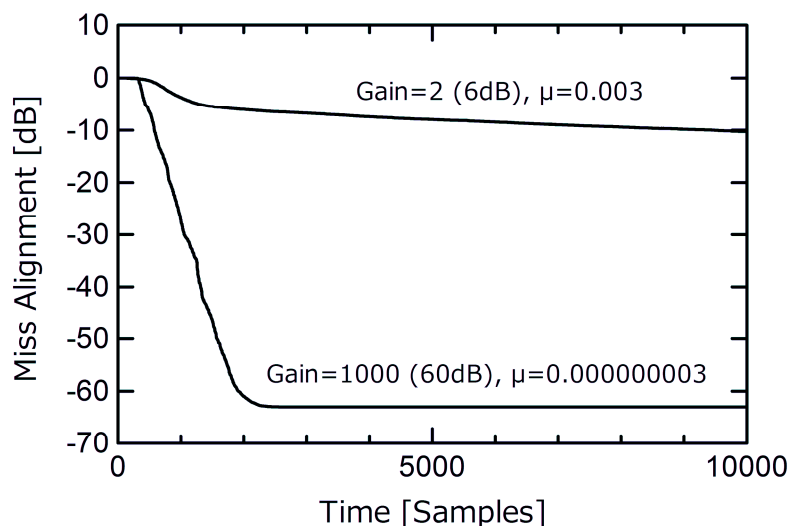


図 2 2 シミュレーション結果

利得2倍（6dB）よりも、1000倍（60dB）の方が収束特性が良い。