

適応ハウリング・キャンセラの性能向上のために、安定動作可能な上限まで利得を上げて実験をおこなっていたところ、定在波に起因する音響系の伝達特性の揺らぎによって歪が発生することが確認されたので概要を記します。 実用レベルの利得設定では音質上の問題となることはありませんが、今まで知られていなかった現象なので少し調べてみました。

音声処理に適応フィルタを用いた場合、収束特性の乱れ・過剰誤差による音質劣化は一般的に処理出力のエコーの増大という形で現れます。

一方、実験で確認された適応ハウリング・キャンセラの歪は、信号がクリップしたかのような耳障りなものです。 初めはプログラムにバグがあるのでは？と疑ったのですが、いろいろ調べてみた結果、室内の定在波による音響系の伝達特性の揺らぎ（共鳴特性の急峻な変動）による適応フィルタ収束の擾乱によって生じた歪であることが判明しました。

拡散性の良く無い、フラッター・エコーの発生も分かるほどの狭い部屋（ダイニング・キッチン）で実験をしていて、定在波の問題は以前から気になっていたのですが、適応ハウリング・キャンセラの動作特性に与える悪影響をはっきり理解できました。

歪の発生状況

歪の発生状況は以下のとおりです。

音響系の利得設定は、安定動作を維持できる上限に近いピーク利得18dBです。 歪の発生量は常に一定では無く長時間連続運転をしても日時によって変動があります。

窓と戸を閉め切って一日中エアコン（冷房）をつけっぱなしにしている時に平均して歪が大きくなります。 エアコンの動作モードは微風、送風方向を変えるフラップの動作はオフにしているので、室内機のファン・ノイズ、送風による乱流の影響は小さいと思われます。 発生する歪はジャジャリという感じで、歪レベルが小さいときにはシャラシャラした変調ノイズのように聞こえます。

エアコンをオフにして窓と戸を開けた状態では歪はあまり耳につかなくなりますが、それでも特定の試験音源を室内で再生した時にはバリバリ歪が発生します。（詳細は後述）

話者の位置を変えて実験すると発生する歪レベルが変化します。

図1左のように壁際で喋ると顕著に歪が発生する場合がありますが、右のように戸をあけて廊下に出て喋ると歪レベルが下がります。 戸の開閉と話者の位置によって定在波の発生状況が異なり、そのために適応ハウリング・キャンセラの歪の大きさも変化すると考えられます。

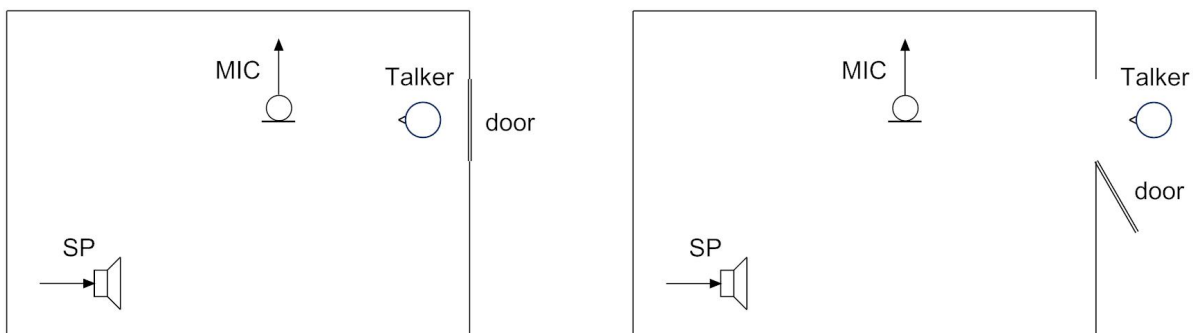


図1 話者の位置による歪レベルの変化
壁際で喋ると歪レベルが大きい、戸を開けて廊下で喋ると歪が減る

室内で試験音源を再生して実験する場合も音源の位置によって歪の発生量が変わります。部屋の四隅に音源を設置すると、壁から音源を離れた時より歪が大きくなります。音源がコーナーにあると定在波の励振レベルが大きくなるために、歪が増大すると考えられます。

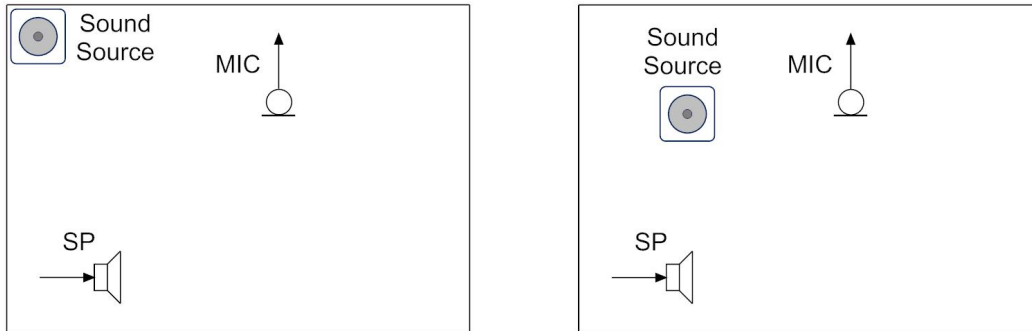


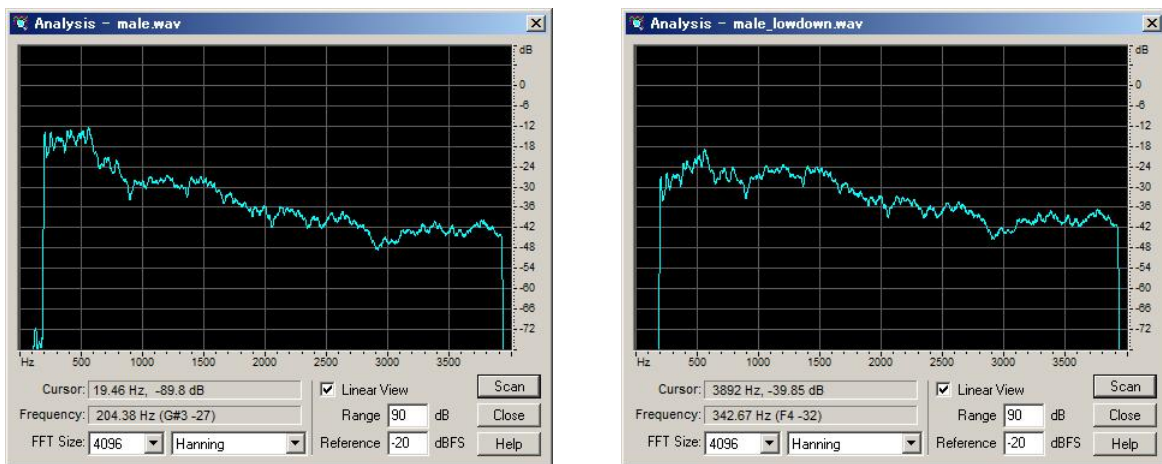
図2 音源の位置による歪レベルの変化
壁際に音源を設置すると歪が大きくなる

音源による歪発生量の違い

様々な試験音源を用いて実験をしたところ、顕著な歪の発生を確認できた音源がありました。20年以上前に購入した音楽・音声素材集CDに収録されていた男声アナウンサーのサンプルを用いると再生音量が小さくても大きな歪が出ます。この音源はかなり強烈にリミッタ/コンプレッサを効かせていて、周波数特性も低域が持ち上がっています。(図3左) 暗騒音が大きい環境でも了解度の高い音声と言えますが、聴感上やや不自然に感じられます。同じ音源から1kHz以下のレベルを下げたデータ(図3右)を作って実験すると歪が減るのがはっきり分かります。

効きは軽いもののリミッタ/コンプレッサをかけていると思われるNHKのアナウンサーの音声(男声)でも実験してみましたが、やはり歪が耳につきます。

一方、ある日本語音声コーパスのサンプルとして無償で公開されていた男声データでは、さほど歪感が感じられませんでした。この音声コーパスではダイナミック・レンジを操作するような処理はまったくしていないようです。(聴感上非常に素直な音質です)



PDF添付ファイル test_data1.wav

PDF添付ファイル test_data2.wav

図3 試験音源(男声)の周波数特性
オリジナルのデータ(左)では600Hz以下の低域がやや不自然に持ち上がっている
1kHz以下のレベルを下げた音源(右)では歪が小さくなる

歪成分の確認実験

歪成分がはっきり分かるように図4の構成の適応ハウリング・キャンセラで実験をおこないました。通常の適応ハウリング・キャンセラとは異なり、decorrelator に6秒分の遅延を追加しています。なお、図4はあくまでも基本構成を示したもので各種補助処理は省略して描いています。音響系の利得設定はピーク利得18dBとしました。歪の発生量が大きくなるように、試験音源再生用のスピーカーは部屋の四隅に設置して実験しました。

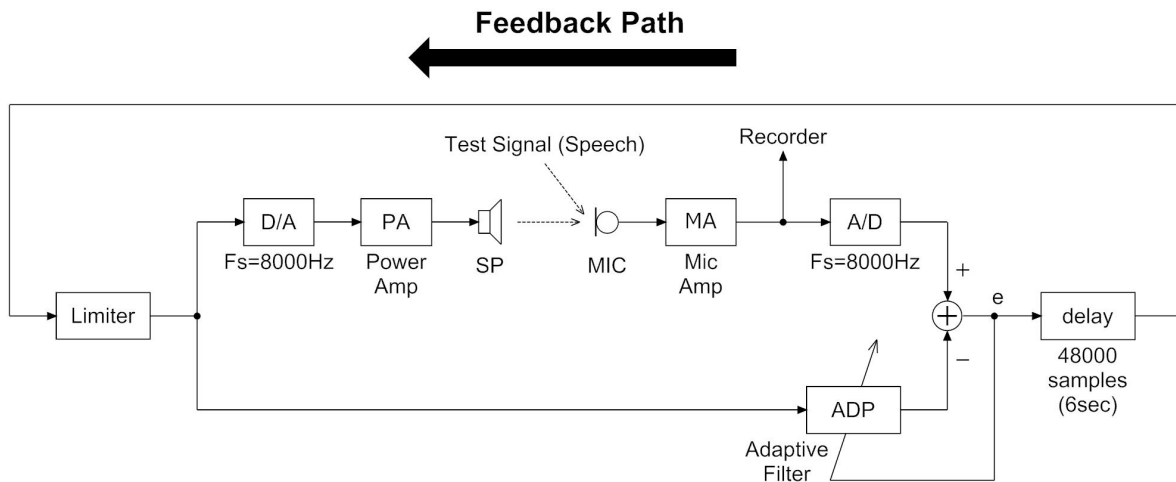


図4 歪確認の実験に用いた適応ハウリング・キャンセラの基本構成
入力信号の周波数特性補正前処理等の補助処理は省略して描いてある
decorrelator には6秒分の遅延を追加している
別のアンプ／スピーカーから試験音源 (Test Signal、Speech) を
再生して、マイク・アンプ (Mic Amp) の出力を録音した

図3左のリミッタ/コンプレッサが効いた男声音源の5秒分を切り出したデータを用いた実験結果を図5に示します。グラフから試験音源が6秒遅れて拡声されていることが分かります。元の音源そのものの低域が持ち上がっているため、定在波が励振されてモコモコともった拡声音に聞こえます。ハウリングは完全に抑圧されていますが、歪を含む抑圧しきれなかったエコー成分がさらに6秒遅れて拡声されています。このエコー成分は音声とは思えないひどい音になります。

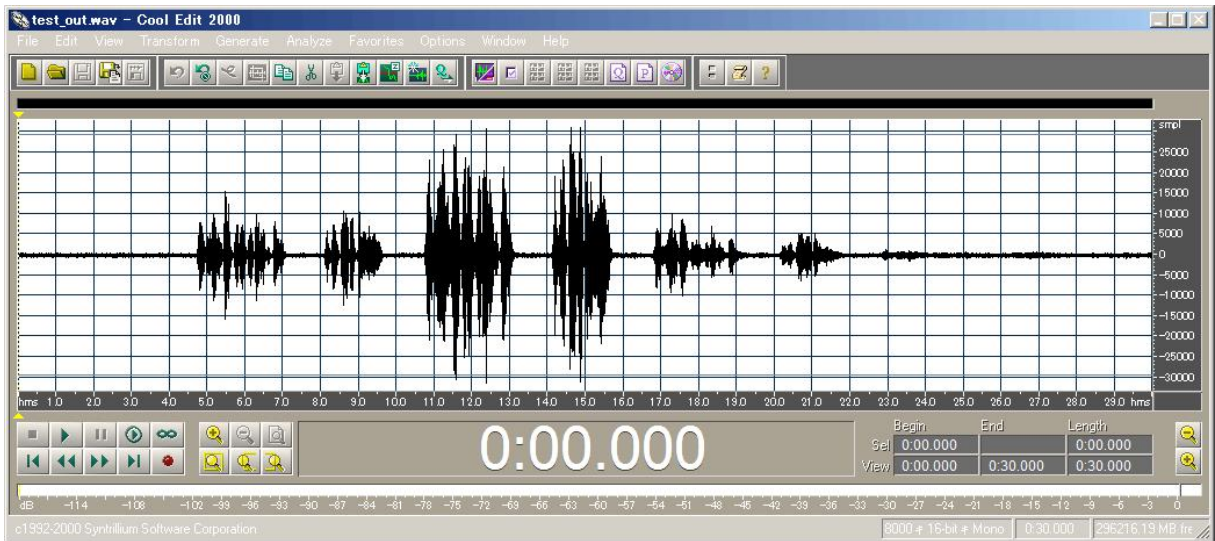



図5 適応ハウリング・キャンセラの歪確認の実験結果（その1） PDF添付ファイル test_result1.wav 
 図4のマイク・アンプ（Mic Amp）の出力を録音したものの試験音源には図3左の低域が強調された男声を用いている5秒分の入力信号が6秒遅れて拡声され、さらに6秒遅れて大きな歪を含むエコー成分が出力される

図3右の低域のレベルを下げたデータを使った実験結果は図6のようになります。歪が発生することには変わりはありませんが、歪レベル（エコー成分、16～21秒）は図5より小さくなっています。マイクに直接入力された試験音源部分（4～9秒）を見ても、室内に発生した定在波のレベルが小さいために振幅の不規則な変動が少ないことが分かります。

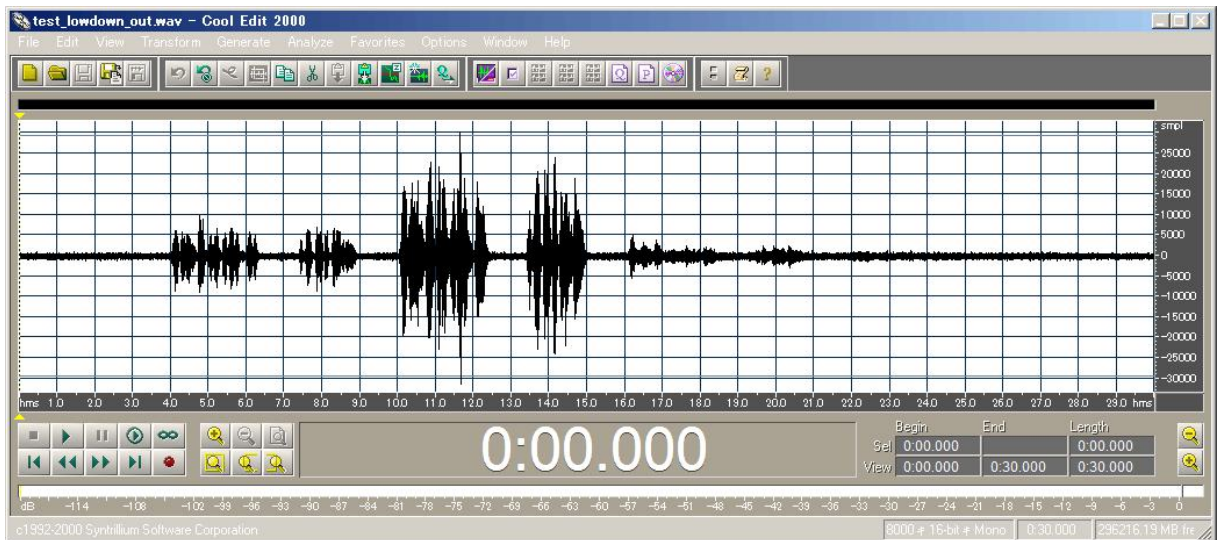



図6 適応ハウリング・キャンセラの歪確認の実験結果（その2） PDF添付ファイル test_result2.wav 
 図4のマイク・アンプ（Mic Amp）の出力を録音したものの試験音源には図3右の低域のレベルを下げたものを用いている歪を含むエコー成分（16～21秒）が小さくなっている

定在波に起因する歪の影響

適応ハウリング・キャンセラ付きの拡声システムの通常の使用状態では、ピーク利得の設定は 6dB~12dB 程度と想定されるので、定在波に起因する歪に音質劣化が大きな問題となることは無いと考えられます。適応ハウリング・キャンセラ向けに設計した指向性マイクロホン（二項アレイ etc）を併用すれば、おそらくピーク利得 20dB 程度でも歪による顕著な音質劣化無しに補聴器代用として利用出来るものと期待されます。

ハウリング・キャンセラ無しの拡声装置で、定在波の発生が顕著な環境ではハウリングが発生しやすいことは既知です。適応ハウリング・キャンセラの安定動作のためには、たとえ歪レベルが低くても室内の音響特性の改善が重要であると考えられます。室容積が小さい場合、拡声システムのスピーカー／マイク位置の設定にも十分な配慮が必要でしょう。

いわゆるオーディオ・マニアには、一般家庭の容積の小さいリスニングルームで定在波の発生状況が音質に大きな影響を与えることを理解していない人が多いようです。そのようなマニアは音質向上に効果があると称する様々なお手軽ギミックに凝ることも多いのですが、音響の専門家はそのようなギミックなど無視して第一に定在波を問題にします。オーディオ雑誌・音楽雑誌の読者のリスニングルーム・クリニックなどという記事で、室内音響設計の専門家が最初に調べるのは部屋の形状・寸法によって決まる定在波の状態です。

この資料でご説明した適応ハウリング・キャンセラの歪の問題は、オーディオ・マニアでも音質の違いを聞き分けられない定在波の悪影響が、顕著な歪の発生という形で誰にでも理解できる珍しい事例と言えるでしょう。

PDF添付ファイル

test_data1.wav 歪発生量の多い図3左の音源（男声）
test_data2.wav 歪発生量の少ない図3右の音源（男声）

test_result1.wav 歪成分の確認実験結果（図5）
test_result2.wav 歪成分の確認実験結果（図6）

上記ファイルはお使いのPDFリーダーの添付ファイルのオプションで確認してください。