

図-4 電子消音システムの外観

になれば幸いである。

参考文献

- 1) Lueg, P.: Process of Silencing Sound Oscillations, U. S. Patent 20, 043, 416 (1936).
- 2) Conover, W. B.: Fighting Noise with Noise, Noise Control (Mar. 1956).
- 3) 高橋, 浜田: アクティブ消音技術の産業分野への適用例, 電気学会雑誌, Vol.111, No.8 (1991).
- 4) 大沼他: ディーゼルエンジン排気音のアクティブコントロール, 三菱重工技報, Vol.30, No.4 (1993).

(平成10年11月27日受付)

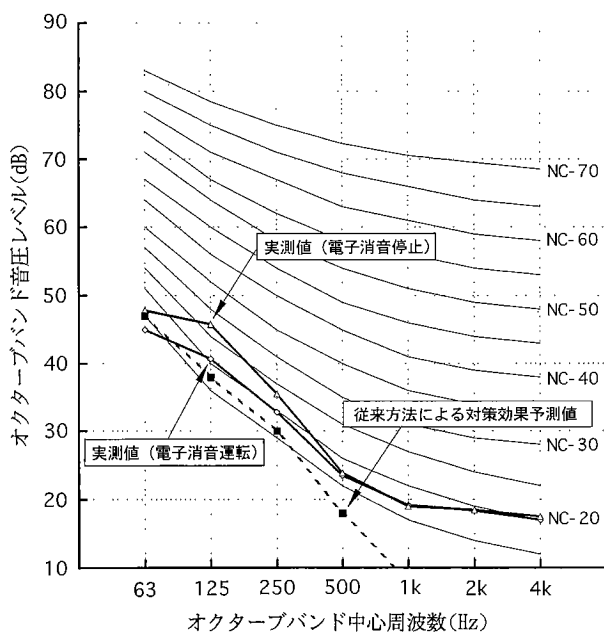


図-5 室内における消音効果

## 2.2 能動制御型防音塀

ニチアス(株) 清水 康男  
青木応用音響(株) 青木 雅夫

### ☆ はじめに

防音塀による遮音の効果はその高さを高くすることにより増大するが、施工性、経済性の問題の他に、景観、日照等の周辺の環境に与える影響も増大する。近年、防音塀の効果をより高めるために能動制御の手法を取り入れた防音塀に関する研究が進められてきている<sup>1)~4)</sup>。

我々は、実際の騒音源に対して塀のエッジポテンシャルを消去する能動制御型防音塀の適用を試みるべく研究開発を進めてきた<sup>5)~7)</sup>。無響室内の縮尺模型実験(1/4程度)では、測定範囲内で数dBから10数dBの遮音効果の増大が認められ、さらに屋外での実験から、防音塀背後の広い範囲において5から6dBの効果を見ることができた。さらに複数の独立なコントロールシステムを併用しても、干渉による悪影響等もみられず、広範囲の対策にも適用の可能性があることが分かった。

ここでは、その内容と実用化に向けて構成したプロトタイプ概要について述べる。

### ☆ モデル実験

能動制御型防音塀の検討は、無響室(3.5m×4.4m×2.4m)において縮尺模型を用いて開始した。模型の縮尺は1/4程度とし、対象とする周波数を250Hz以下(模

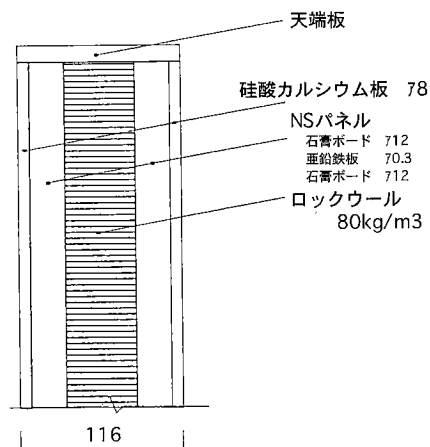


図-1 模型に用いた防音塀

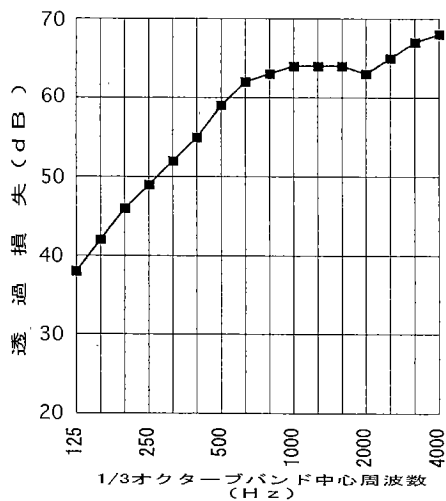


図-2 防音塙の遮音性能

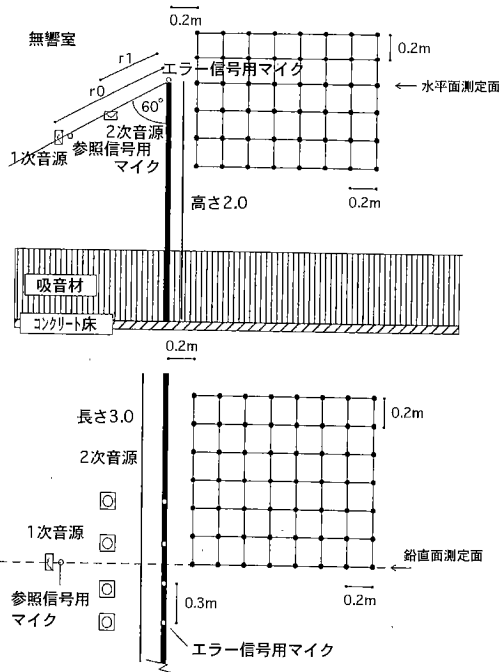


図-3 測定点の配置

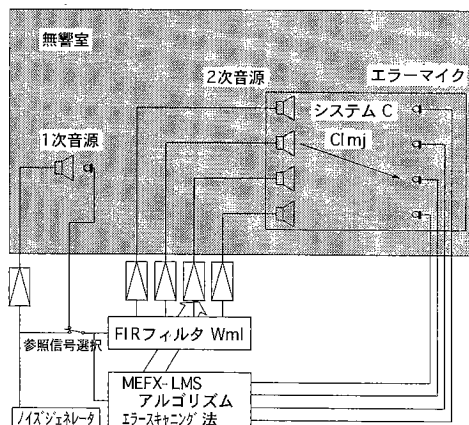


図-4 システムの構成

型実験で1kHz)とした。図-1に実験に用いた防音塙の構造を、図-2にその透過損失を示す。回折減衰、および能動制御による減衰を考慮しても、十分な透過損失を有している。

能動制御のモデル実験は、1次音源1、2次音源4、エラーセンサ4のCASE (1, 4, 4)とし、エラースキミング手法<sup>8)</sup>を用いたMEFX-LMSアルゴリズム<sup>9)</sup>により行った。

音源、エラーセンサ、測定点の配置を図-3に示す。1次音源および2次音源から塙のエッジを望む仰角を30度になるよう設定した。受音点は鉛直断面を1断面、水平断面を1断面設定した。

図-4は、用いた適応処理用のシステムのブロック図である。参照信号は、ノイズジェネレータからの元信号、または1次音源の直前に配置したマイクロホンの信号を選択できるようにした。参照信号用のマイクの出力を用いた場合、2次音源との距離が非常に近い場合を除き、元信号を用いた場合とほとんど変化がなかった。

フィルタ (Wml) のタップ数、システム Clmj のタップ数はそれぞれ64、サンプリング周波数は4kHzとした。

図-5、図-6に、能動制御を行った場合の減衰量の増加分をその効果として求め、鉛直断面、水平断面のコンターを示す。周波数は500Hz (実寸換算125Hz) のオクターブバンドである。

鉛直断面のコンターからは、測定範囲内で6~16dBの効果認められ、その効果は塙による減衰が小さい範囲で大きく、塙による減衰が大きく見込まれる範囲で小さい傾向を示している。

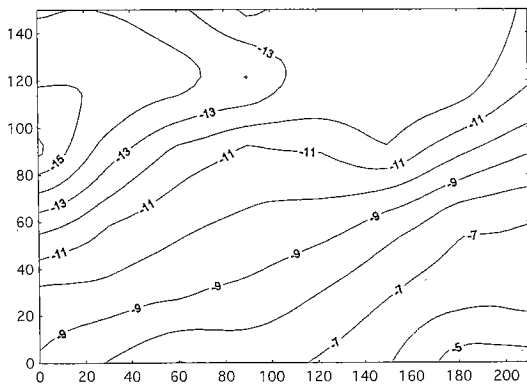
水平断面のコンター図からも、塙による減衰の大小に対応する能動制御の効果の変動の傾向が見られる。また、エラーマイクが配置されている位置のエッジポテンシャルを制御しているが、その配置範囲の2倍以上離れた水平位置においても効果がみられ、制御が広範囲に有効に働いている。

図-7は、実音源として家庭用掃除機を用いた場合の能動制御の効果を示したものである。騒音源、2次音源の位置関係は前述のものと同様である。その結果、主成分である125Hzのバンドで15dB程度の効果がみられる。

## ☆ 屋外での実験

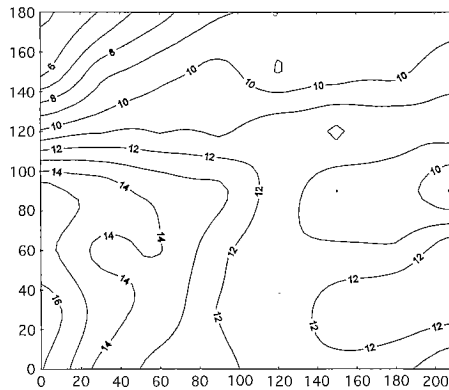
### ダブルシステムによる実験<sup>6)</sup>

無響室内における実験では、能動制御型防音塙の有効性が確認された。そこで、次に、屋外での実験を実施した。また、同時に、異なる2系統の多チャンネルのコントロールシステムを導入し、エッジ上の1m間隔に配置した10点を制御することとした。これは、実際の騒音源



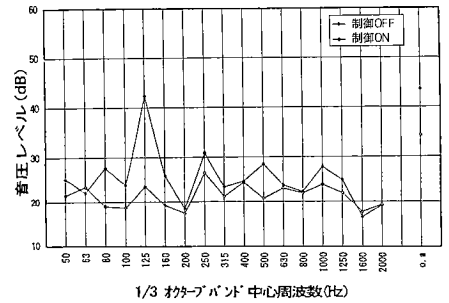
500Hz $1/3$ oct.,  $r_0 = 1.69m$ ,  $r_1 = 0.5m$

図-5 能動制御の効果 (鉛直断面)



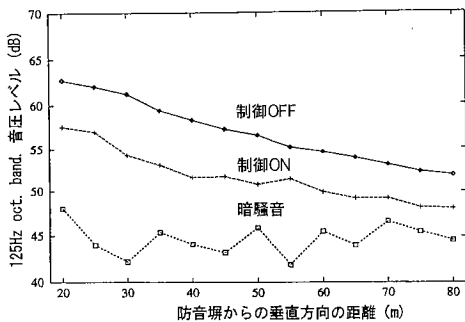
500Hz $1/3$ oct.,  $r_0 = 1.69m$ ,  $r_1 = 0.5m$

図-6 能動制御の効果 (水平断面)



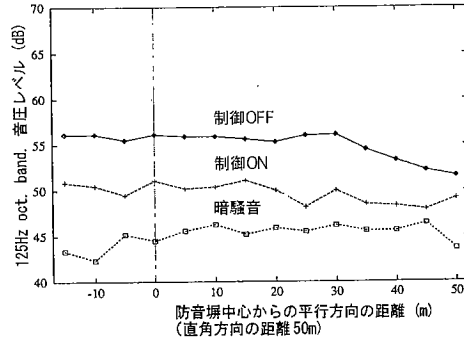
測定点：塀のエッジから水平1.4m, 高さ0.4m

図-7 実音源への適用 (家庭用電気掃除機)



受信点高さ2m

図-8 屋外実験の結果 (ダブルシステム)



受信点高さ2m

図-9 屋外実験の結果 (ダブルシステム)

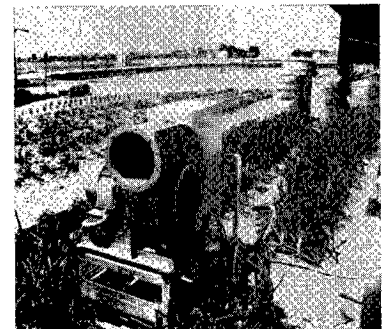


図-10 騒音源としたブロワー

に対しこのシステムを適用する場合、現在開発されているDSP (デジタル信号プロセッサ) の性能から、複数のシステムを用いざるをえず、この場合にそれぞれのシステム間の干渉の有無を確認するためである。

実験は、休耕田に長さ20m、高さ2mの防音塀を設置し、音源として125Hzのバンドノイズを用いて行った。

その結果、それぞれの独立したシステムは、干渉等を起こすことなく安定して働き、広範囲に5～6dBの騒音の減少が確認された。

図-8は、防音塀中央から垂直方向の距離減衰を示したものである。また、図-9は、防音塀からの垂直距離が50mの位置で、塀に平行に騒音の分布をとったものである。

この結果により、20m幅の防音塀上の約10mを能動制御することにより、塀の背後の広い範囲にわたって効果がみられることが分かった。

#### 屋外での実音源による実験<sup>4)</sup>

次に、ブロワーを騒音源として用い、屋外での実験を行った。用いた防音塀は先述のものと同じであるが、実験場所の制約により防音塀の幅は約16mである。用い

たシステムはCASE [1, 6, 6] の1系列のものであり、マイク間隔、2次音源間隔は0.6mである。図-10は、音源として用いたブロワーである。主な騒音の発生高さは約1mであり、塀から2.94m離れた位置に配置した。

音源は、インバータ制御されたブロワーであり、その発生騒音は1/3オクターブバンドの中心周波数160Hzに卓越周波数を持つように調整して実験を行った。

図-11は、防音塀中央背後の騒音の分布を能動制御の有無および能動制御の効果を示したものである。

能動制御有り無しそれぞれ山谷を持つ分布を示している。制御なしの場合の音圧の低い部分では制御の効果が負 (増幅) となっているが、その範囲を除けば3から7dBの効果がみられる。

この結果、十分に実用に適用可能なことが確認された。

#### ☆ プロトタイプによる屋外実験

ここまで、基本的なシステムについて性能を確認しつつ実験を行ってきたが、実用化に向けてのコスト低減を

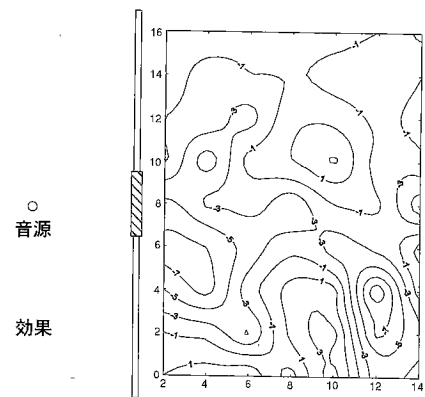
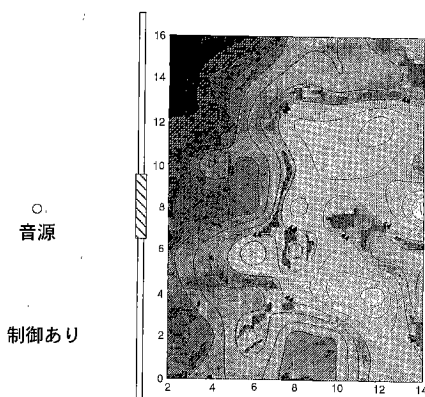
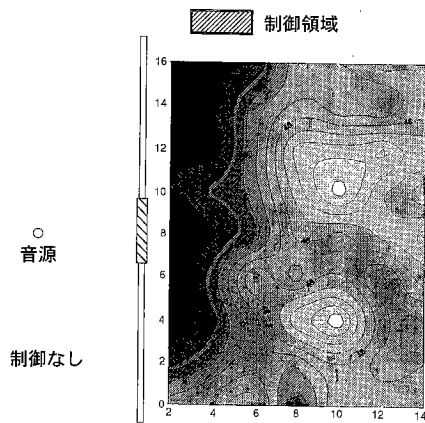


図-11 能動制御の効果 (ブLOWER)

計るために、

- 1) 制御範囲の拡大
  - 2) スピーカの数減少
  - 3) コントローラの能力の最大限の利用
- 等を考慮したシステムの構成の検討を行った。

音源1, 2次スピーカ3, エラーマイク4のCASE [1, 3, 4] の複数システムを1コントローラを用いて制御する方法を検討した。複数システムに分割することにより、コントローラ内部に構築しなければならないデジタルフィルタの数を大幅に減らすことができるためである。たとえばCASE [1, 9, 12] のシステムでのフィルタの数は $9 + 9 \times 12 = 117$ となるのに比べ、CASE [1, 3,

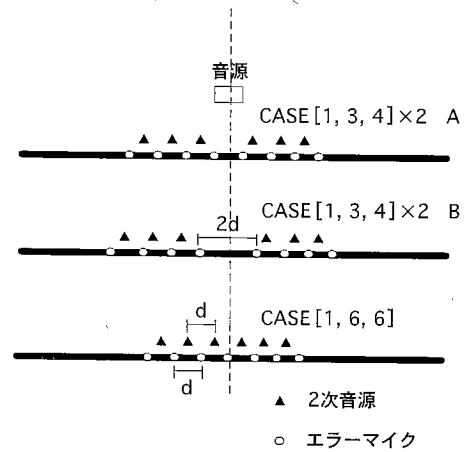


図-12 2次音源とエラーマイクの配置

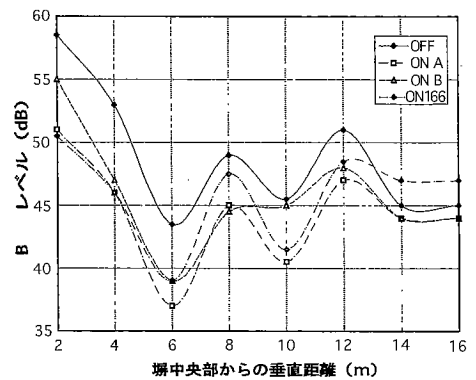


図-13 能動制御の効果

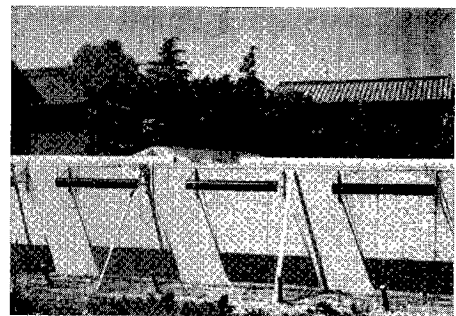


図-14 プロトタイプの設定例

4]  $\times 4$ システムでは、 $(3 + 3 \times 4) \times 4 = 60$ となり半減させることができる。

そこで、スピーカの数エラーマイクの数より2個減らしたCASE [1, 3, 4]  $\times 2$ のシステムと、CASE [1, 6, 6] の2つのシステムの能動制御の効果を屋外で実験した。CASE [1, 3, 4]  $\times 2$ システムについては、2つのセットを離して配置した場合についても検討した(図-12)。

その結果を図-13に示す。防音塀中央部の背後からの騒音の距離減衰で示してある。周波数は125Hzの1/3オクターブバンドである。すべてのケースで山谷を示しながら減衰し、一部を除けば3~7dBの能動制御の効果が

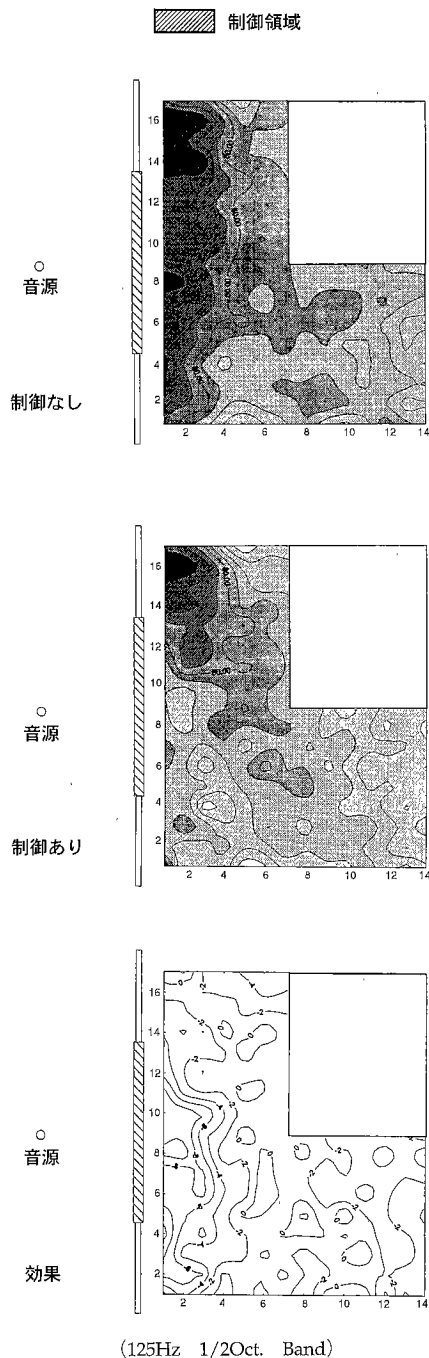


図-15 プロトタイプ of 能動制御の効果

みられる。測定点の密度があまり高くない実験ではあるが、CASE [1, 3, 4] × 2 の効果はCASE [1, 6, 6] と比べて差は大きくなく、むしろ制御の効果がよい範囲もある。CASE [1, 3, 4] のセットの間隔を通常の間隔の2倍とした場合でも大きな効果の現象はみられない。

次に、現在使用しているコントローラにより、CASE [1, 3, 4] のセットを最大個数制御するために、ソフトウェアおよび、専用のデジタルフィルタチップの使用方法等を試行錯誤し、現在では、1コントローラで、4セットの制御が可能となっている。これは、当初計画の約2倍の処理能力を有することになった。

これまで検討してきた事項を踏まえ、図-14に示すように、塀の頂上には、降雨、風切雑音の除去を目的としたアルミ繊維吸音材により制作したカバー内部にマイクロホンが設置されている。騒音音源側に取付金物によって支持された2次スピーカが設けられている。スピーカボックスの中には3個のスピーカが取り付けられており、このスピーカも防水構造となっている。

図-15は、このプロトタイプでの能動制御効果を示したものである。

なお、使用しているサンプリング条件等は以下に示す通りである。

- 対象周波数 250Hz以下
- サンプリング周波数 1kHz
- タップ長  $c$  最大256 (可変長)
- $w$  最大256 (可変長)
- 入力 (AD) 17ch
- 出力 (DA) 9ch
- スピーカ間隔 (d) 0.6m (一部1.2m)
- マイク間隔 (d) 0.6m

制御可能な上限周波数を決定する  $d$  は、250Hz 1/3 オクターブバンドの上限周波数280Hzの半波長とした<sup>2)</sup>。

### ☆ 今後の課題

3次元空間の騒音抑制に適応システムを用いた能動制御による騒音低減の技術は現在では、ごく限られた空間(音波の波長の数分の1程度)に対してしか効果がないとされている。

本研究開発テーマである障壁を介した能動制御の手法は、防音塀の背後の広範囲にその効果が認められ、騒音対策上非常に有用であることが、これまでの実験・検討からも明らかになった。

さらに今後、周辺条件(反射構造物の影響、地表面の性状)、囲いがたの防音塀への適用等、より現実的な条件下での検討を行っていきたい。

#### 参考文献

- 1) 尾本 章他: 防音塀エッジポテンシャルの能動消去, 日本音響学会誌, Vol.47, No.11 (1991).
- 2) 尾本 章他: 能動制御型防音塀に関する基礎研究—3次元音場における実測例について—, 日本音響学会騒音研究会資料, No.N-92-06 (1992).
- 3) 伊勢史郎他: 塀の遮音に対するアクティブ制御の試み, 日音騒制工学会講演集 (Sep. 1989).
- 4) 尾本 章: 障壁による回折音の能動制御に関する研究, 東京大学学位論文 (Jan. 1995).
- 5) 清水康男他: 能動制御型防音塀の効果について, 日本騒音制御工学会講演論文 (Sep. 1993).
- 6) 尾本 章, 清水康男他: 障壁による回折音の能動制御に関する研究—屋外での実験結果について—, 日本音響学会応用音響研究会, EA-93-76 (Nov. 1993).
- 7) Omoto, A. and Shimizu, Y. et al.: Active Suppression of Sound Diffracted by Barrier: — Experiment in the Outdoors — INTER-NOISE

## 2.3 アクティブノイズコントロールのオーディオへの応用

### —新幹線「Max」のシートオーディオシステム—

松下電器産業(株) 橋本 裕之 寺井 賢一

#### ☆はじめに

航空機, 列車等のオーディオサービスには, ヘッドホンやイヤホンが用いられているが, 装着感が不快である, あるいは有償であるという理由から利用率が低い. この対策としてスピーカによるサービスが考えられるが, 周囲への音もれが問題となり, ほとんど実用化されなかった. また最近では, 軽量化された客室内での騒音が大きな問題となっている. このような状況において, 従来の音響的な対策では低周波領域に対して効果を上げようとすると重厚長大な材料が必要となり, 高速化指向の移動体においてはとうてい不可能なことであった.

このため, 我々は, デジタル技術の進歩により実用段階に入ったアクティブ騒音制御技術を用いて, 隣接席

からのもれ音を含む複数の騒音源からの到来騒音に対して, 複数点を同時に制御する適応フィルタの可能性について検討した. その結果, オーディオシステムの応用としても例のない製品を開発した<sup>1)</sup>.

#### ☆シートオーディオシステムへの応用

##### アクティブクロストークコントロール (ACC)

図-1に本システムのブロック図を示す. 隣接席からのもれ音は $G_{LL}$ ,  $G_{LR}$ ,  $G_{RL}$ ,  $G_{RR}$ の4系統の伝達関数を経て自席に到達する. 一方, 隣接席のオーディオ入力処理する適応フィルタ $H_{LL}$ ,  $H_{LR}$ ,  $H_{RL}$ ,  $H_{RR}$ の出力は自席のオーディオ信号と加算され, 自席のスピーカより制

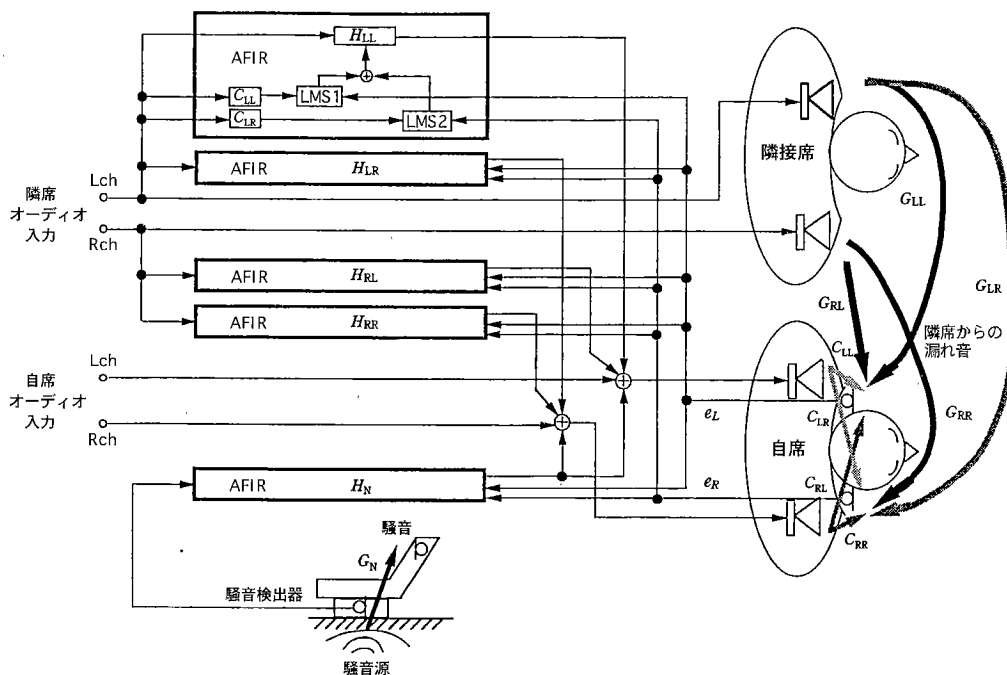


図-1 システムブロック図