

建物換気口に対するアクティブ騒音制御の遮音効果 に及ぼす生活音の影響に関する実験的検討

穴井, 謙
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

志岐, 朋晃
九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻修士課程

平栗, 靖浩
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

藤本, 一壽
九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門

<https://doi.org/10.15017/19117>

出版情報：都市・建築学研究. 14, pp.111-117, 2008-07-15. 九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門
バージョン：
権利関係：

建物換気口に対するアクティブ騒音制御の遮音効果に及ぼす 生活音の影響に関する実験的検討

An Experimental Study on Influence of Living Sound
upon Sound Insulation Capability of Active Noise Control for a Ventilation Opening

穴井 謙*, 志岐朋晃**, 平栗靖浩*, 藤本一壽*

Ken ANAI, Tomoaki SHIKI, Yasuhiro HIRAGURI and Kazutoshi FUJIMOTO

Preservation of silence in the house is important for comfortable living environment. Ventilation openings, which are indispensable to keep indoor air clean, might be a bottleneck in the prevention of noise. This study aims at improving noise reduction of the ventilation openings in low-frequency using active noise control (ANC). In the past, basic performance of the ANC system for ventilation openings has been examined. However, when the living sound is mixed into the ANC system, it is doubtful whether the noise reduction performance of the ANC system will be ensured. In this paper, therefore, some possibilities of tactics with a directional microphone, neural network technique, and so on are investigated to improve the ANC performance decreased by the living sound.

Keywords : *Active Noise Control, Ventilation opening, Neural Network*

アクティブ騒音制御, 換気口, ニューラルネットワーク

1. はじめに

静けさは快適な居住環境のための必要条件であり, 騒音の大きな地域に立地する建物の外周部には屋外騒音の侵入を防ぐために高い遮音性能が求められる。建物外周部に設置される開口部(窓や換気口)は, 外壁に比べて遮音性能が低い。窓については, 高断熱性能を有するペアガラスや気密性サッシを用いることで遮音性能も向上させることができ, また防音を目的とした2重窓を選択するなど, 遮音に対する配慮が可能である。しかしながら, 換気口は通気のために孔を開けておくことが本来の役割であり, 気密性を高めるといふ騒音防止の基本と相反する。したがって, 換気口は建物外周部の遮音性能のボトルネックとなりやすい。近年, ホルムアルデヒドなど高揮発性化学物質の人体に及ぼす悪影響が社会問題となり, 住宅分野ではシックハウス対策が大きな課題となっており, 換気の確保が法的に

も義務付けられているが, 換気口の設置は建物外周部の遮音性能の悪化を招くことが懸念される。したがって, 建物換気口のための効果的な遮音技術の整備が求められる。

換気口の騒音対策として従来から用いられている, キャップ型フードを取り付けるという音響的にパッシブな方法は, 800 Hz以上の高音域の遮音には効果的である¹⁾が, 低音になるに連れて遮音能力が落ちていく傾向にある。一方, 一般的な道路交通騒音のパワースペクトル²⁾は広帯域であり, 800 Hz以上の高音域だけの遮音では屋外騒音の侵入防止対策として十分とは言えない。本研究は, キャップ型フードなどの高音域の遮音に優れたパッシブ手法と組み合わせることを前提に, 一般的に中低音域の騒音制御に優れるとされるアクティブ騒音制御(Active Noise Control; ANC)技術^{3,4)}を適用して, 換気口から室内に侵入する騒音を抑制しようとするものである。これまでに, 基礎実験によってANC技術が換気口の低音域の遮音性能向上に有効であることを検証⁵⁾しており, このようなANCシステムを建物換気口に応用することによって,

* 都市・建築学部門

** 空間システム専攻修士課程

外部騒音の大きな地域に立地する建物の外周部の遮音性能向上を図れるであろうと考えている。しかし、一般的な ANC アルゴリズムは、制御対象である騒音以外の音、例えば人間の活動に伴って発生する生活音などがシステムに混入すると、そのような音に反応して、予期しない制御動作を起こし、その結果、ANC の性能が低下するだけでなく室内に侵入する騒音を増大させてしまう恐れさえある。

そこで、本研究では、室内で発生する生活音が ANC の遮音効果に及ぼす影響を把握するとともに、その改善策を提案することを目的として、次の 3 つの方法、すなわち、(1) 室内側から到来する生活音のシステムへの入力を抑制するため、室内側の感度を抑えた指向性マイクロホンを利用する方法、(2) 屋外と室内の音圧レベルを常に監視して、室内側がある閾値を越えて大きくなったときには生活音が発生したものと判断して ANC アルゴリズムの適応処理を一時的に中断する方法、(3) ニューラルネットワーク⁶⁾ (Neural Network; NN) を利用して、制御すべき騒音の微小時間の音圧変化パターンを学習させ、その音圧変化パターンと一致しない音に対しては ANC アルゴリズムを適応させない方法、について数値実験により検討を行う。

2. 数値実験の概要

生活音が ANC に及ぼす影響と、生活音による影響を効果的に除外する方法を検討するために数値実験 (コンピュータ・シミュレーション) を行う。

2.1 ANC システム

制御対象の建物換気口と、ANC に必要な参照点・制御点・2 次音源の位置関係を図 1 に示す。参照点は騒音が到来する屋外側に設置し、制御点は、換気口から室内へ放射される音波が最小になるように制御するために室内側に設置した。なお、2 次音源は参照点の音響信号を打ち消すための信号を放射するものであるが、理論的には制御点における信号をゼロにするよう制御されているもの実際には完全ではなく、その結果、ANC によって騒音が増幅される恐れがある⁵⁾。そのため 2 次音源は屋外に設置するのが良いと考えている。

数値実験のシステムブロック図を図 2 に示す。参照点から制御点までの音場を模擬するために、参照点に入力した騒音 (x) に換気口のインパルス応答 (c) を畳んだ信号 ($x * c$) を制御点に入力した。ANC 機能として、参照点の信号 (x) に適応フィルタ (h) を畳込み、騒音を打ち消すような信号 ($y = x * h$) を生成して 2 次音源から出力し、制御点に付加した ($e = x * c + y$)。さらに、制御点には生活音 (v) が混入する ($e' = e + v$) ことを想定した。適応フィルタは、制御点の信号 (e') を誤差信号とみなして、Normalized LMS アルゴリズム^{7,8)} により逐次更新した。

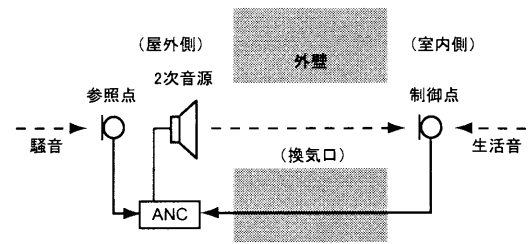


図 1 ANC システムのイメージ図

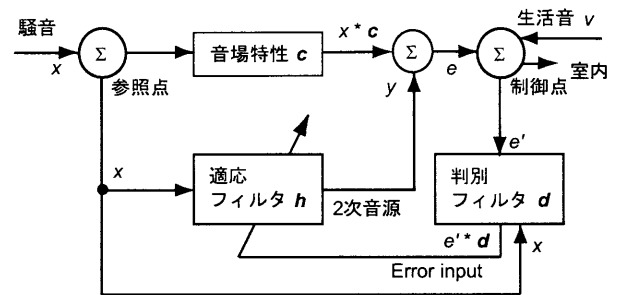


図 2 ANC システムのブロック図

ここで、生活音の混入した信号 (e') が適応フィルタの更新に使用されないように、参照点の信号 (x) と制御点の信号 (e') から生活音の混入の有無を判断する新たな判別フィルタ (d) を導入し、信号 e' に畳込む ($e' * d$) ことで生活音による影響を抑制することができるか否かについて検討した。なお、本研究では 2 次音源から制御点までの音場特性は無視する。また、サンプリング周波数は 8,000 Hz とし、適応フィルタ (h) および判別フィルタ (d) は 1 サンプルごとに更新する。

2.2 騒音と生活音

鉄道騒音や道路交通騒音などの屋外騒音は広帯域で時間的にも変動する。また生活音は、純音成分の多い音から広帯域にわたる音などさまざまであり、時間的にも定常的な音、変動音、衝撃性の音など多様である。

一般に、換気口を通して室内に侵入する騒音は周波数が高いほど大きくなるが、本研究では、研究の第一ステップとして 500 Hz 帯域の騒音の制御を目指すこととし、騒音は中心周波数 500 Hz の 1/3 オクターブバンドノイズとした。また ANC の遮音効果を確認しやすくするために定常音とした。また生活音は、広帯域変動音の代表として音声⁹⁾ (男性の朗読音) を用いることとした。ここで、制御点に入力する生活音の大きさは、参照点に入力する屋外の騒音と比較して著しく過大にならないように留意した。すなわち、125 ms の音圧レベル (相対値) で、騒音は 65.4 ~ 71.3 dB、生活音は 32.0 ~ 80.3 dB とした。なお、ANC で制御可能な中低音のみを検討対象とするため、騒音、生

活音とも 562 Hz (500 Hz の 1/3 オクターブバンドの切断周波数) より高い周波数域は遮断した。

3. 生活音の ANC 効果への影響と生活音による ANC 効果低減の改善方法の検討

初めに生活音が存在しない場合の ANC 効果を確認し、続いて、生活音の ANC 効果への影響をみるために、騒音に対してフィルタ (h) が適応して ANC の効果が現れた後に ANC システムに 3 秒間の生活音 (男性の朗読音) を混入する、というシミュレーションを行う。そして、生活音による ANC 効果の低減を改善するために前述の 3 つの方法について検討する。

3.1 生活音の ANC 効果への影響

生活音が存在しない場合の、信号 e の音圧レベル (125 ms) 変動を図 3 (ANC-Off; 破線 / ANC-On; 1 点鎖線) に示す。生活音がなければ、ANC-On (1 点鎖線) にすることにより、ANC-Off (破線) の状態から、1.0~2.0s までの 1 秒間の信号 e の平均音圧レベルで比較して 12.9 dB の効果が得られている。

生活音の時間波形とレベル変動を図 4 に、ANC-On で生活音が混入した場合の信号 e の音圧レベル (125 ms) 変動を図 3 (実線) に示す。生活音が混入すると、生活音の音圧変化 (図 4) に対応して ANC の 2 次音源の出力が変動し、1.0~2.0s までの 1 秒間の信号 e の平均音圧レベルで比較すると、生活音がない場合から 16.8 dB 上昇し、ANC を使用することで 3.9 dB 大きくなるという結果となった。以上より、生活音が ANC システムへ混入すると、制御対象の騒音でない誤差信号に応じて適応フィルタが更新されるために、ANC を行わないときより室内の音圧レベルが上昇してしまう恐れがあると言える。

3.2 指向性マイクロホンの利用

生活音は換気口の室内側から到来するのが一般的であるので、図 1 に示す制御点に指向性マイクロホンを用いて室内側の感度を低くすることによって、生活音のシステムへの混入を抑制することができると思われる。ここでは、生活音の音圧レベルを -3 dB, -6 dB, -10 dB に抑えられると想定し、これら 3 つの場合について効果を検討した。それぞれの場合の信号 e の音圧レベル (125 ms) 変動を図 5 に示す。生活音が混入したときの 1.0~2.0s までの 1 秒間の平均音圧レベルを比較すると、生活音を 3 dB 小さくした場合には、指向性マイクロホンを使わない場合に比べて 12.7 dB の劣化 (4.1 dB の改善)、生活音を 6 dB 小さくすると 8.9 dB の劣化 (7.9 dB の改善)、生活音を 10 dB 小さくすると 2.8 dB の劣化 (14.0 dB の改善) に抑えることができた。以上から、騒音と生活音のシステムへの入力レベルの差を小さくする (S/N 比を上げる) に連

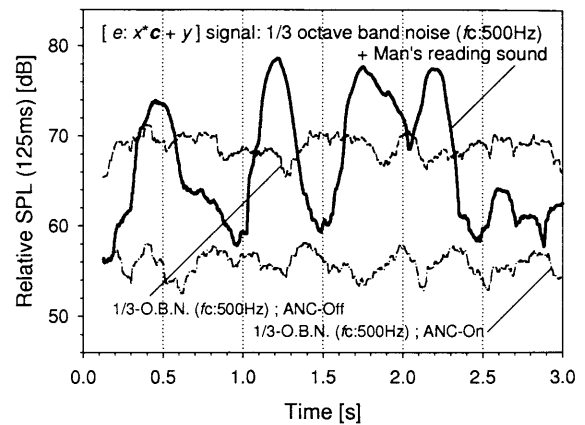


図 3 ANC 効果と生活音の影響のレベル変動

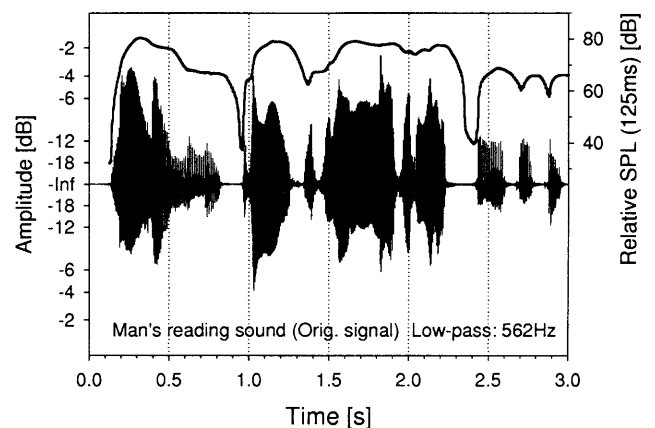


図 4 生活音 (男性の朗読音) の時間波形とレベル変動

れて ANC の効果が大きくなることが確認できた。

市販の単一指向性マイクロホン¹⁰⁾の指向特性 (図 6) を参考にすると、指向軸 (0°) から 60~120° 方向の感度が今回の検討に用いた -3~-10 dB に相当するが、生活音は室内で拡散されて制御点に届くため、指向性マイクロホンへの入力レベルを総合的にどの程度に抑えられるかは一概には判断できない。とはいえ、一般的な住宅の居室のように拡散性の大きくない室であれば、鋭い指向性のマイクロホンを利用することで、生活音の影響を最小限に抑えることが可能であると考えている。

3.3 参照点と制御点のレベル差による判別

騒音と生活音のシステムへの入力レベルの差 (S/N) を確保できない環境においても、参照点と制御点で捉えられる信号の特徴に着目することによって、屋外側から到来する騒音に室内から到来する生活音が混入したか否かを区別することができれば、生活音による ANC 効果の劣化を改善することができると思われる。例えば、生活音がなく ANC が機能しているとき、制御点の音圧レベルは参照点

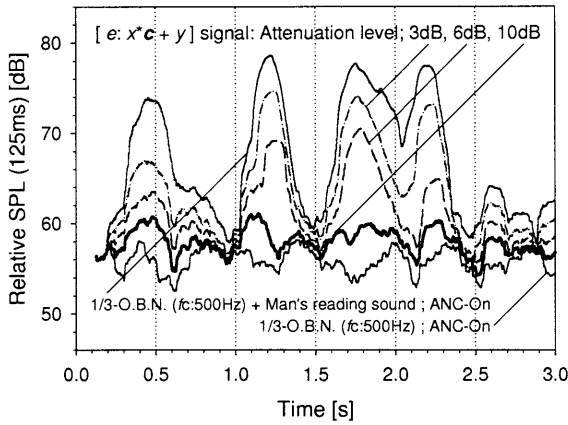


図5 指向性マイクロホンの効果

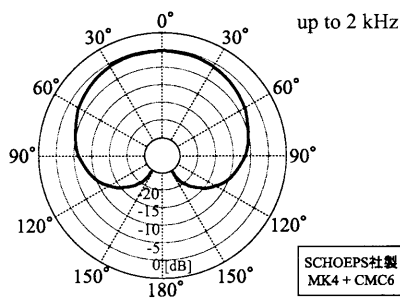


図6 単一指向性マイクロホンの特性

に比べて小さく保たれているが、室内で大きな生活音が発生すると制御点の音圧レベルだけが上昇すると考えられる。誤った信号で適応フィルタが更新されないようにする方法として、生活音が混入したと判断されたときに、誤差信号 (e') を強制的に 0.0 にする判別フィルタ (d) の導入を検討する。

初めに、参照点と制御点の音圧レベル差に着目した方法を検討する。生活音を混入させた場合の、参照点と制御点での音圧レベル (5ms) の変化を図7に示す (生活音の原音の変動も併せて示している)。騒音が1/3オクターブバンド (中心周波数 f_c : 500Hz) の定常音であるため、参照点の信号 (図7; 破線) は一定幅の音圧レベルで推移しているが、一方、制御点 (図7; 実線) の音圧レベルは生活音に連動して、0.3s, 1.1s, 1.6s, 2.2sあたりで上昇していることが分かる。そこで、参照点の音圧レベルを基準に、制御点の音圧レベルがある程度大きくなった場合に適応フィルタを更新しないよう強制的に誤差信号 (e') を0.0にした。この閾値となる音圧レベル差は、実際の騒音や生活音の音圧レベルから調整しなければならないが、ここでは試行として、参照点と制御点の5msの音圧レベル差が3dB以上のときに判別フィルタ (係数) $d = 1.0$, 3dBより小さくなったときに $d = 0.0$ とした。男性の朗

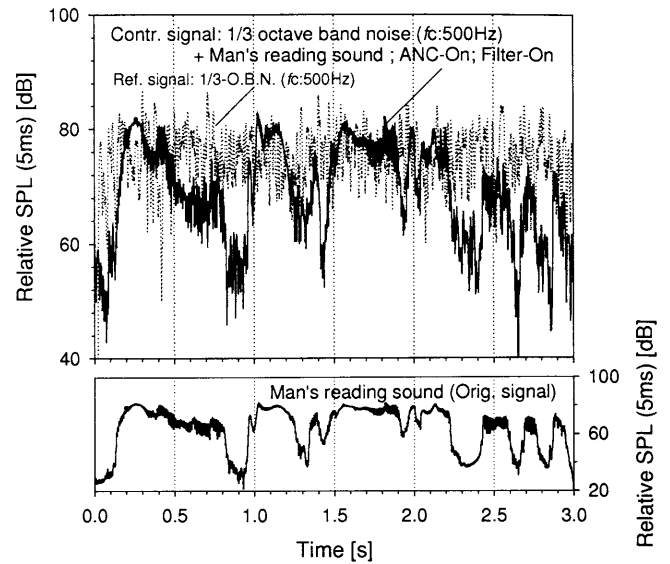


図7 参照点と制御点の音圧レベル変動の違い

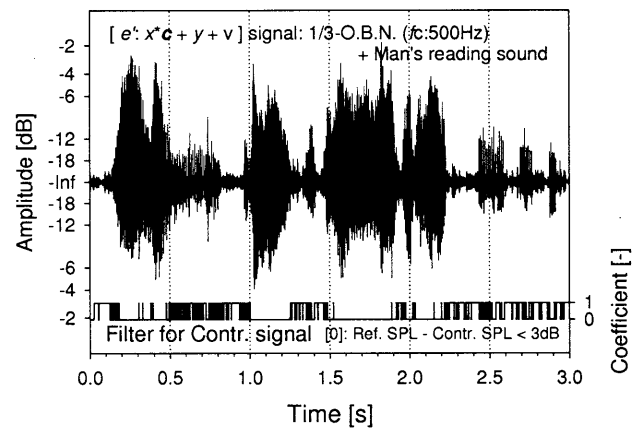


図8 レベル差による判別結果の出力

読音を生活音として混入させた場合の、制御点で捉えた音圧の時間変動 (e') と音圧レベル差による判別結果を併せて図8に示す。信号 e' の大小と係数 d の変化がおおむね同期している。

制御点で捉えた音圧から生活音 (v) を除去して、信号 e の125msの音圧レベルを算出し、音圧レベル差による判別方法を用いた効果 (図9) を確認したところ、1.0~2.0s間の平均音圧レベルで8.2dBの劣化 (8.6dBの改善) に抑えられた。生活音が騒音に比べ閾値以上に大きいときには誤った誤差信号によりANCの適応フィルタが更新されることがないため、生活音によるANC効果の劣化が抑えられていることが分かる。ただし、大きな閾値では生活音の混入を排除できず、過小な閾値を設定するとANCが機能しないことになり、実用の際に適切な閾値を設定することが大きな課題となる。

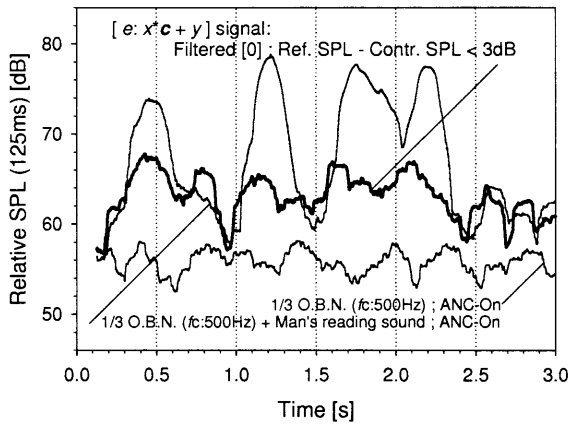


図9 レベル差による判別の効果

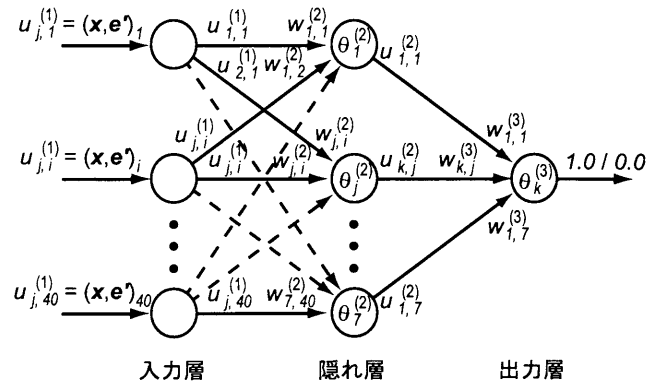


図10 NNのブロック図

3.4 ニューラルネットワークを用いた生活音判別の試み

騒音と生活音は含まれる周波数成分が異なるため微小時間の音圧変化パターンが異なる。したがって、参照点の音響信号と制御点の音響信号の音圧変化パターンに着目することによって、生活音の混入を判別できると期待される。このような観点から、パターン認識に長けたニューラルネットワーク (NN) ⁶⁾ に騒音と生活音の音圧変化パターンを学習させ、参照点と制御点の信号から NN に生活音の有無を判断させることの有効性について検討した。前節で述べた参照点と制御点のレベル差で判別させる検討と同様に、生活音が混入したと判断されたときに誤差信号 e' を 0.0 として適応フィルタの更新を止める判別フィルタ (d) を作成した。NN からの出力値は生活音が混入しているか否かという極めて単純なもの (後述のように 0.0~1.0) であること、ANC ではリアルタイム処理が求められるため演算負荷を可能な限り小さくすべきことから、NN に入力する信号は音圧信号をそのまま用いることとした。

本研究で用いた NN のブロック図を図 10 に示す。3 層から構成される単純なネットワークとし、学習方法は NN で一般的に用いられる誤差逆伝搬法とした。伝達関数も一般的に用いられる $f(x) = 1 / \{1 + \exp(-x)\}$ で表されるシグモイド関数とした。各ユニットから出力される値の計算例として、隠れ層ユニットからの出力値 $u_{k,j}^{(2)}$ を求める計算式を式 (1) に示す。

$$u_{k,j}^{(2)} = f \left(\sum w_{j,i}^{(2)} \cdot u_{j,i}^{(1)} - \theta_j^{(2)} \right) = \frac{1}{1 + \exp \left\{ - \left(\sum w_{j,i}^{(2)} \cdot u_{j,i}^{(1)} - \theta_j^{(2)} \right) \right\}} \quad (1)$$

入力層のユニット数は、騒音と想定している 1/3 オクターブバンドノイズの 1 波、すなわち中心周波数 $f_c : 500 \text{ Hz}$ の 1/3 オクターブバンドの切断周波数 (下限値) である

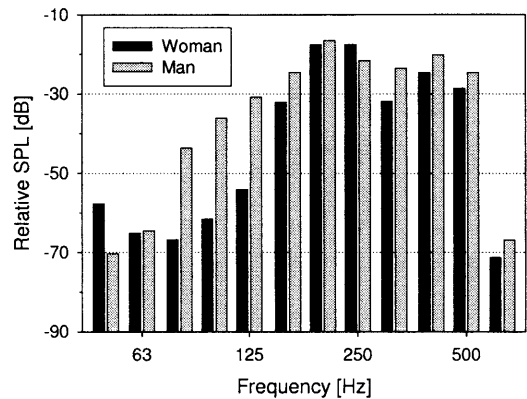


図11 生活音の周波数特性

447 Hz の 1 波が収まるように、参照点と制御点を各 20 サンプル (2.5 ms 分) とし、それらを並べて入力できる 40 ユニットとした。入力層の各ユニットには振幅を 2 乗して 0.0 以上の実数に変換して入力した。出力層は 1 ユニットで、制御すべき騒音と判断した場合は 1.0、生活音が含まれていると判断した場合は 0.0 と、1.0~0.0 の実数が出力されるようにした。演算負荷を小さくしリアルタイムに処理するには、NN 全体のユニット数はできるだけ少ないほうが良い。したがって、隠れ層のユニット数は、処理に要する時間と生活音混入の判別精度から最適な数が決まると思われるが、ここでは試行錯誤の結果から試行的に 7 ユニットとしている。

教師信号は、1/3 オクターブバンドノイズ ($f_c : 500 \text{ Hz}$) の音圧変化パターンの代表として 500 Hz の純音を用い、制御点より参照点に大きな振幅の信号を入れたときに 1.0、制御点の方が振幅が大きい場合に 0.0 と学習させた。また、音声の周波数特性 (図 11) は広帯域であるが、ここでは生活音の音圧変化パターンの代表として 250 Hz 純音を用い、制御点のみに大小さまざまな振幅の波を入れたときに 0.0 と学習させた。教師信号の全組み合わせは 42,240 組で

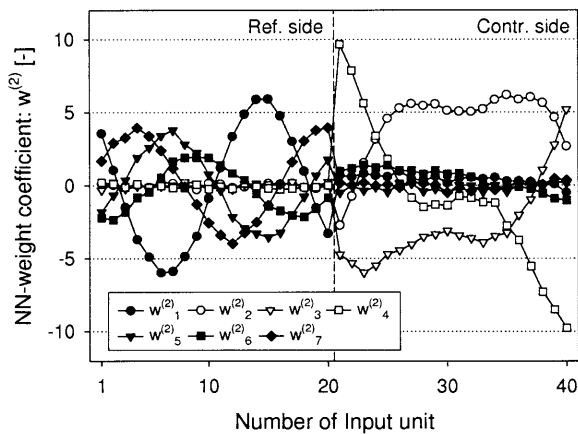


図 12 NN の重み係数

あり、誤回答が少なくなるまで1,180回学習させた。

NNは物理現象を理論的に捉えて判断を下すわけではなく、あくまでパターン認識として経験的・直感的に解を導き出す手法であるが、今後の研究の展開のために、NN内部で使用される重み係数(一部)について確認した。学習後のNNの重み係数(入力層と隠れ層の間の係数 $w_{j,i}^{(2)}$)を図12に示す。係数 $w_{1,i}^{(2)}$, $w_{5,i}^{(2)}$, $w_{6,i}^{(2)}$, $w_{7,i}^{(2)}$ は、参照点からの入力データに乗じる $i = 1 \sim 20$ 番までの $w_{j,1}^{(2)} \sim w_{j,20}^{(2)}$ の値が500 Hz周期で変化し、制御点からの入力データに乗じる $i = 21 \sim 40$ 番までの $w_{j,21}^{(2)} \sim w_{j,40}^{(2)}$ は0.0に近い値となることから、主に参照点(屋外側)から届く信号のパターン認識に使われていると推測される。また、係数 $w_{2,i}^{(2)}$, $w_{3,i}^{(2)}$, $w_{4,i}^{(2)}$ では、参照点側は0.0に近く、制御点側は500 Hzと250 Hzの波形を重ねたような変化を示すことから、主に制御点(室内側)から届く信号のパターン認識の役割を担っていると思われる。なお、その他の重み係数(隠れ層と出力層の間の係数; $w_{k,j}^{(3)}$)や閾値($\theta_j^{(2)}$, $\theta_k^{(3)}$)と、教師信号との関連は現時点では検討していない。

構築したNNフィルタが、教師信号に対して正しい回答を導き出すことから、2.5 ms間の2つの信号を用いて、各々に含まれている500 Hz純音の音圧の大小や、250 Hz純音が含まれているか否かをある程度判断させることができると考えている。また、NNを用いた方法では、式(1)に示すとおり積和演算と指数演算により判別フィルタを構成することができ、リアルタイム性の高い処理が可能であり、ANCへの適用に相応しい手法であると考えている。

上述の学習を行ったNNを図2に示す判別フィルタ(d)として用いて、生活音の混入を判断させた。生活音として男性の朗読音を混入させた場合の、制御点の音圧(e')の時間変動とNNフィルタの判別結果を併せて図13に示す。振幅が大きくなっている箇所(例えば1.5~1.8s)は生活音が混入しているところで、そのときNNフィルタ

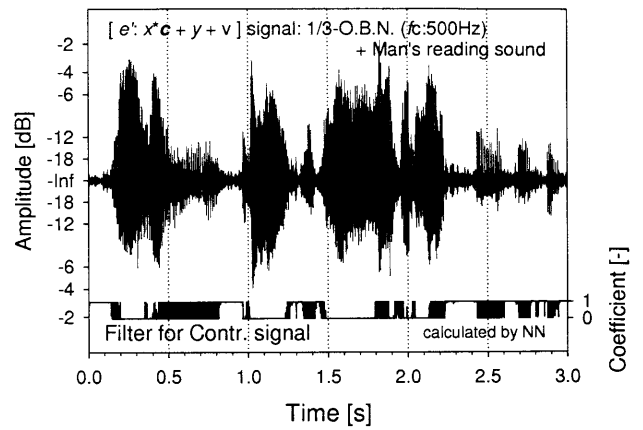


図 13 NN による判別フィルタ d の出力

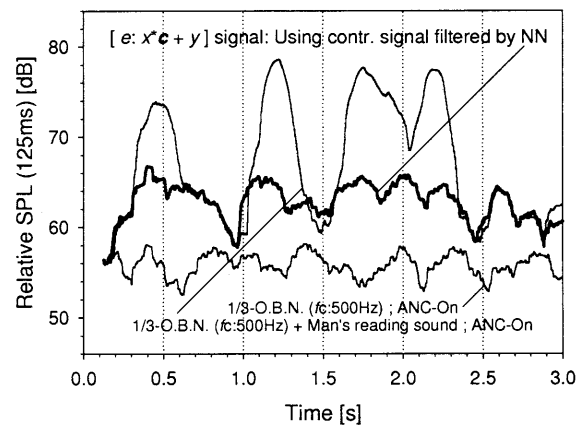


図 14 NN を用いた判別の効果

からは0.0に近い値が出力され、また、生活音が小さい箇所(例えば2.3~2.4s)ではNNフィルタから1.0に近い値が出力されており、およそ正しい判別ができていると思われる。

制御点の音圧から生活音(v)の影響を除去した信号(e)の125 msの音圧レベルを算出し(図14)、NNフィルタの効果を確認した。全般的に、混入した生活音に反応して出力される2次音源からの音が抑えられ、1.0~2.0sの平均音圧レベルで8.0 dBの劣化(8.8 dBの改善)に抑えられた。本研究では適応フィルタのアルゴリズムとしてNormalized LMSアルゴリズムを使用しているため、適応フィルタの更新を長時間止めると忘却係数⁸⁾によって適応フィルタが0.0に近づき、制御能力がなくなってしまうが、生活音によって誤った適応フィルタ(h)が構成されてしまうのを防ぐことを優先すべきであると考え、瞬間的に更新を中断することは止むを得ないと考えている。しかし、NNフィルタを導入する前より音圧レベルが上昇する箇所もあり(例えば1.5s前後)、適応フィルタの更新によってANCが逆効果になる恐れもある。

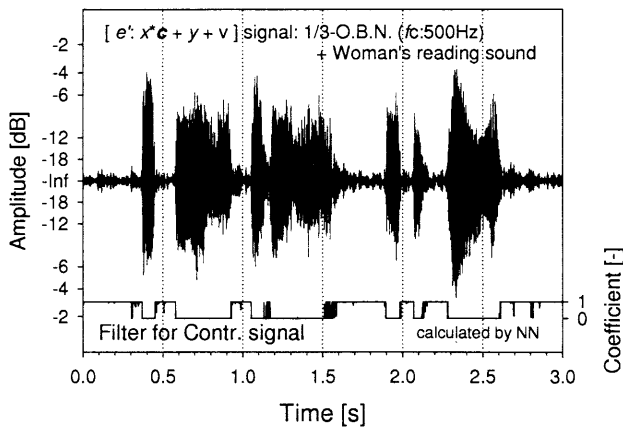


図 15 女性の朗読音に対する判別フィルタ d の出力

なお、NN フィルタの動作を確認するための補足的検討として、男性の朗読音の判別に使用したものと全く同じ NN フィルタを用いて、生活音として女性の朗読音を混入させた場合の判別結果を検討した。制御点での音圧 (e') の時間変動と併せて、NN フィルタの判別結果を図 15 に示す。図 11 に示すように、女性の朗読音は男性に比べて 250 Hz 成分がより多く含まれるため、構築した NN フィルタは女性の朗読音を男性の場合よりも明確に判別していることが確認できた。今後、より広帯域の音圧変化パターンを NN に学習させることで、音声を含めさまざまな生活音の存在を判別できるフィルタが構築できるのではないかと考えている。

4. まとめ

室内で発生する生活音が ANC の遮音効果に及ぼす影響を把握し、その改善策を提案することを目的として、騒音を 1/3 オクターブバンドノイズ ($f_c : 500 \text{ Hz}$) の定常音、生活音を男性の朗読音とした単純なモデルを想定して、建物換気口のアクティブ騒音制御を模擬した数値実験を行った。制御点に生活音が混入すると、それに応じて適応フィルタが更新され、制御対象である騒音への干渉音以外の音が 2 次音源から出力されてしまい、アクティブに制御しないときより室内の音圧レベルが上昇してしまう恐れがあることが明らかになった。そのため、建物換気口のための ANC システムは、生活音の混入を防ぐことができるシステムが望ましいと考え、生活音による ANC 効果低減を改善する 3 つの方法について検討を行った。

制御点のマイクロホンを指向性にするることにより、生活音に比べて制御対象の屋外からの騒音が相対的に大きくなる (S/N が上がる) ため、ANC 効果の低減を抑えられることが確認できた。実際の居室における指向性マイクロホンの効果の検討は今後の課題であるが、少なくとも逆効

果に働くことはないと思われ、実効性の高い方法と考えている。また、S/N が確保できない環境でも、参照点および制御点で得られた信号を用いて生活音の混入を検知し、その影響を抑えることができないか検討し、音圧レベル差に着目した方法と、ニューラルネットワークを利用して音圧変化のパターンにより判別させる方法を提案した。生活音がシステムに混入した際に ANC の適応フィルタの更新を中断するという方法であるため、結果的に ANC の性能を犠牲にする可能性も内包しているが、いずれも 9 dB 近い効果を確認でき、引き続き検討を進めるべき有用な方法と考えている。

今後の課題として、広帯域の変動騒音に対しても ANC が有効に働くことを確認した上で、生活音混入の判別フィルタを拡張し、純音で構成されるものから広帯域のものまで、時間変動も定常的なものや変動するもの、あるいは衝撃的なものなどさまざまな生活音に対応させる必要があると考えている。そして、判別フィルタが適応フィルタの更新を中断しても、アクティブに制御しない場合より室内の騒音が大きくなることのない、安全な ANC システムの提案に向け、さらに検討を重ねていく予定である。

参考文献

- 1) 例えば、(株) シルファー: 換気口総合カタログ 2005, <<http://www.sylpha.co.jp/>>.
- 2) 日本音響学会道路交通騒音調査研究委員会: 道路交通騒音の予測モデル“ASJ RTN-Model 2003” 付属資料 1 自動車走行騒音の周波数特性, 日本音響学会誌, 60 巻 4 号, pp. 223-225, 2004.
- 3) 西村正治: アクティブ制御今昔 - これまでと今後の展望 -, 日本音響学会誌 59 巻, pp. 399-400, 2003.
- 4) P. A. Nelson and S. J. Elliott: *Active Control of Sound*, Academic Press Ltd., pp. 161-203, 1992.
- 5) 穴井 謙, 財津洋介, 藤本一壽: 建物換気口に対するアクティブ騒音制御の遮音効果に関する実験的検討, 都市・建築学研究 (九州大学大学院人間環境学研究院紀要), 第 10 号, pp. 65-70, 2006.
- 6) 平野廣美: C でつくるニューラルネットワーク, パーソナルメディア, 1991.
- 7) サイモン・ヘイキン (武部 幹 訳): 適応フィルタ入門, 現代工学社, pp. 119-122, 1987.
- 8) 飯國洋二: 適応信号処理アルゴリズム, 培風館, pp. 49-51, 2000.
- 9) 日本建築学会編: 建築と環境のサウンドライブラリ, 技報堂出版, 2004.
- 10) SCHOEPS MIKROFONE in Germany: MK 4 + CMC 6, <<http://www.schoeps.de/>>.

(受理:平成 20 年 6 月 5 日)