

(410) 情報 その他

Audio Toolbox と 高速 DSP を用いたアクティブノイズコントロール Active Noise Control with Audio Toolbox and High-speed DSP

油木 悠

佐藤 慎太郎

石光 俊介

Yu Aburagi

Shintaro Sato

Shunsuke Ishimitsu

広島市立大学 情報科学部

広島市立大学 情報科学研究科

広島市立大学 情報科学研究科

1 緒言

平成 29 年度に全国の地方公共団体が受理した騒音に係る苦情の件数は 16,115 件もあり、騒音対策が必須となっている。その内訳では建設作業が 35.3%と最も多く、次いで工場・事業所が 27.7%となっている[1]。多くの工場では防音材や吸音材といった Passive Noise Control (PNC)を用いて騒音対策を行っている。PNC は波長の短い高周波数の音に対しては効果的であるが、波長の長い低周波数波の音は防音材などをすり抜けてしまう。PNC の規模を大きくすることで低周波の音の対策もできるが、その分場所を大きくとってしまいコストも大幅にかかってしまう。また、近年工場・事業場から発生する低周波音による騒音苦情も増加傾向になっており、低周波音に対しても騒音対策が必要になっている。

先行研究では、重ね合わせの原理を用いた Active Noise Control (ANC)[2]を用いることで低域の騒音に対して制御を行っていた。本検討では低域から高域までの全帯域を ANC のみで制御し、規模とコストの削減を検討する。一方で Audio Toolbox や高速 DSP の登場により、これまでよりプログラムも簡略化され、より高速に処理を行うことができるようになり、その処理速度の向上により制御帯域の拡大も可能となった。そこで本検討では、高速 DSP(SEAGULL mini)や MATLAB の Audio Toolbox を用いて ANC の低域効果や帯域の拡張などの基本検討を行うこととした。

2 実験方法

2.1 ANC の原理

Active Noise Control(ANC:能動騒音制御)とは、騒音を打ち消すために制御対象の騒音に対して同振幅・逆位相の音を制御スピーカから出力することで元の音を消音する技術である。

ANC の消音原理には波の重ね合わせの原理が用いられている。ホイヘンスの原理によると、図 1(a)において、一次音源(騒音源)の周りに形成される音場と全く同じの音場 Ω を、一次音源を取り囲む空間に閉じた面 Σ 上に分布した二次音源によって形成することができる。そこで、二次音源の位相を反転させた場合、 Ω 内では一次音源で形成される音場と、二次音源で形成される音場が同振幅・逆位相

となり、波の重ね合わせにより完全に音がキャンセルされ音圧が 0 になる。また図 1(b)に示すように、制御対象空間 Ω を囲むように Σ を選ぶと、 Ω 内の音圧を 0 にすることができる。これが音場の ANC の基本原理である[2]。

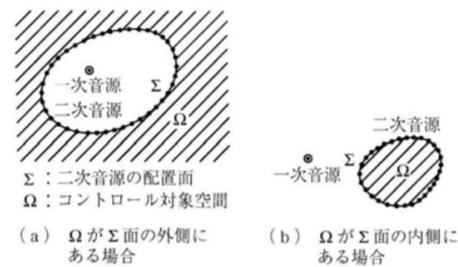


図 1:ANC の基本原理(ホイヘンスの原理)[2]

2.2 使用機器とツール

今回使用する機器およびツールを表 1 にまとめる。

表 1:使用機器とツール

使用する機器	使用するツール
DSP SEAGULL/mini(MTT) CH 数 : 32 ch 最大サンプリング周波数 : 300kHz	Audio Toolbox (MATLAB 2019a)
Function Generator(MCP) 出力周波数帯域 : 0.2 Hz ~ 2M Hz	Simulink(R2017b)

Audio Toolbox は MATLAB R2019a から追加された、オーディオ処理や音声分析、音響測定用のツールであり、リアルタイムオーディオ処理に最適化されている。これは ANC の検討にも有用である。

Simulink はモデリングやシミュレーション、解析のためのシステムである。MATLAB のように何百行もコードを手書きすることなく、ブロックをつなげていくことでプログラムを作成することができ、高速 DSP SEAGULL でのプログラムを作成するために用いた。

2.3 Filtered-X LMS アルゴリズムを用いた ANC

ANC は波の重ね合わせの原理を用いて、騒音に同振幅・逆位相の音を制御することで消音する技術である。そのため、ANC にはフィルタ係数を反復して調整し、騒音と制御音の誤差信号を最小にする LMS(Least Mean Square) アルゴリズムを使う。しかし、LMS アルゴリズムでは二次経路(適応フィルタの出力であるスピーカから誤差マイクへの経路)を考慮していないため、あまり消音できず、逆に悪化してしまうなどの影響を与える可能性がある。そこで、二次経路の影響を補正するために Filtered-x LMS アルゴリズムを使用した[2]。また、騒音制御フィルタには FIR フィルタを用いた。FIR フィルタは係数更新部で得られた重みを係数として用いて畳み込み、その結果を二次音源として出力している。

Filtered-x LMS アルゴリズムを用いたフィードフォワード型 ANC の構成を図 2 に示す。フィードフォワード型は入力として参照信号を検出する参照マイク、騒音の低減効果を観測する誤差マイク、出力として騒音を打ち消すための擬似騒音を生成する二次音源スピーカをそれぞれ 1 つずつ利用する[2]。図 2 において、参照センサで検出された信号は騒音制御フィルタにより加工されて二次音源スピーカからの擬似騒音となる。そして、誤差センサの位置において、騒音と擬似騒音が互いに打ち消しあうように誤差センサからの誤差信号が最小となるように騒音制御フィルタの係数を調整する。ただし、アルゴリズムの構造からもわかるように二次音源から誤差センサまでの伝達関数である二次経路のモデルが必要であり、そのモデルが誤差を有するとシステムが不安定になる。よって、システムの安定化のためには二次経路モデルのオンライン推定が必須となる。

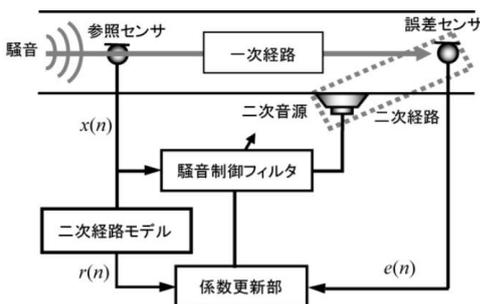


図 2: Filtered-X LMS アルゴリズムを用いたフィードフォワード型 ANC

また、Filtered-x LMS アルゴリズムを用いたフィードバック型 ANC の構成を図 3 に示す。フィードバック型は基本的にはフィードフォワード型と同じだが、参照マイクが不要なため、システムの構成をコンパクトにすることができる[2]。図 3 において、誤差センサで検出された騒音と擬似騒音との差分である誤差信号を最小となるように騒音

制御フィルタが機能する。フィードバック型では信号の予測に基づき制御を行うため、参照信号は騒音信号そのものとなる。しかし、誤差センサで検出される信号は擬似騒音との重ね合わせの差となるため、騒音信号を再合成する必要がある。そのため、誤差信号に騒音制御フィルタの出力信号を二次経路モデルでフィルタリングした信号を加えることで騒音信号を再合成する。フィードバック型においても二次経路のモデルが必要であるため、そのモデル化誤差によりシステムの安定性が左右されるという問題がある。

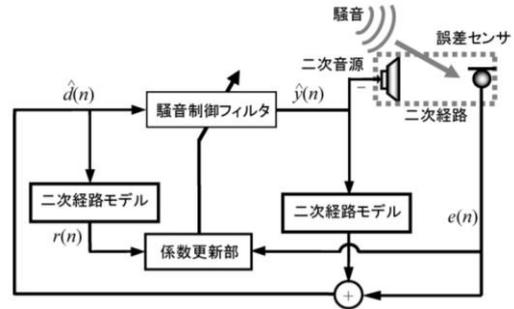


図 3: Filtered-X LMS アルゴリズムを用いたフィードバック型 ANC

3 実験結果

3.1 Audio Toolbox を用いたフィードフォワード型 ANC

本検討は計算機上のシミュレーションとして行い、シミュレーションした空間の伝達関数を図 4 に示す。縦軸を係数の値をプロットし、横軸を時間としている。また、FIR フィルタの次数は 350 とした。入力はどちらも MATLAB 内で生成した。制御対象をランダム位相の正弦波による合成ノイズとし、一次経路に 200~800Hz、二次経路に 160~2000 Hz のインパルス応答を生成するバンドパスフィルタを設定した。シミュレーションの結果を図 5 に示す。また MATLAB 内で生成したため、電力 1 ミリワット(mW) を基準値とするデシベル(dB)の値で表した dBm を縦軸の単位としており、横軸は周波数(Hz)としている。

結果は、200~800Hz の騒音が低減されており、最大で約 35dB 低減することができた。

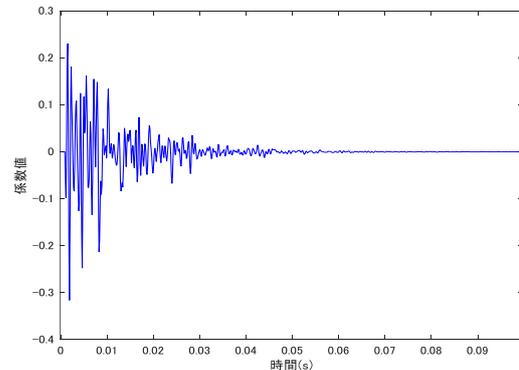


図 4: シミュレーションした空間の伝達関数

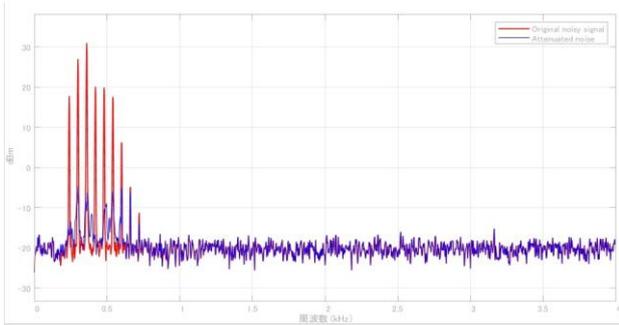


図 5: Audio Toolbox を用いた ANC の Audio Toolbox の画面

3.2 高速 DSP を用いたフィードバック型 ANC

本検討は DSP 内でのシミュレーションとして行った. 図 6 に本システムで用いた伝達関数を示す. 縦軸を振幅, 横軸を周波数としている. また, FIR フィルタの次数は 50 とした. まず Simulink を用いてプログラムを作成し, 入力高速 DSP SEAGULL を用いて正弦波を入力し, 出力として結果を画面に表示した. 入力は 200, 2k, 20kHz の周波数の異なる 3 つの正弦波を用いた. SEAGULL のサンプリング周波数(F_s)はサンプリング定理により元の信号に含まれる周波数成分の 2 倍より高い周波数でサンプリングする必要がある. そのため, 正弦波 200Hz の場合は SEAGULL の F_s を 1kHz, 正弦波 2kHz の場合は F_s を 5kHz, 正弦波 20kHz の場合は F_s を 50kHz とした. 正弦波が 20kHz, SEAGULL のサンプリング周波数が 50kHz の時の結果として ANC OFF を図 7 に, ANC ON を図 8 に示す. 縦軸は振幅, 横軸は時間(s)となっているが, 横軸の時間については追従していないため, 図 7, 8 共に同じ範囲となっている.

高速 DSP により, 2kHz から 20kHz までの正弦波を低減することができ, 正弦波が 20kHz の時では約 12dB 低減することができた.

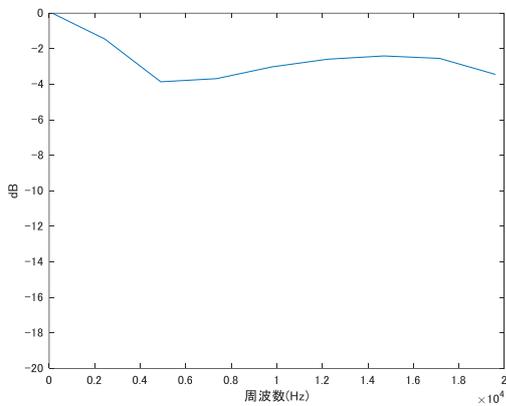


図 6: シミュレーションした空間の周波数特性

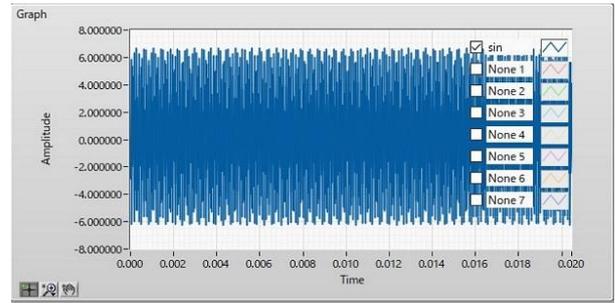


図 7: 高速 DSP 用いた ANC OFF 時の SEAGULL の画面

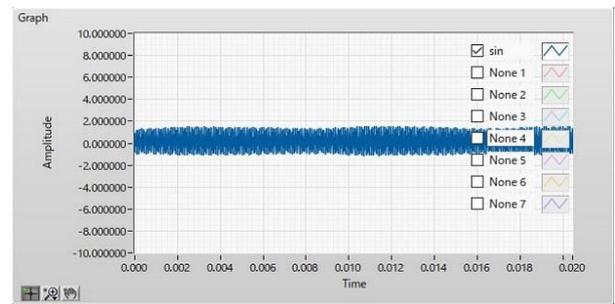


図 8: 高速 DSP を用いた ANC ON 時の SEAGULL の画面

4 結言

今回の実験を通して Audio Toolbox と Simulink の両方で ANC を実現し, その有効性を確認した. また, ANC は従来 500Hz までが実現できる限界であったが, 高速 DSP を用いた ANC では, 20kHz までの正弦波を低減することができた. 人間の可聴域は高くても 15kHz から 20kHz までであるため, 広帯域の ANC を行うには十分な結果を得ることができた[3]. 今後は実際の騒音を制御するための空間制御の検討を進めていく予定である.

参考文献

- [1] 環境省水・待機環境局大気生活環境室, “平成 29 年度騒音規制法等施行状況調査の結果について”
https://www.env.go.jp/air/H29souon_gaiyo.pdf
- [2] 西村正治, 梶川嘉延, “電子情報通信学会「知識の森」 2 群(画像・音・言語)-6 編(音響信号処理) 6 章 アクティブノイズコントロール”
http://www.ieice-hbkb.org/files/02/02gun_06hen_06.pdf
- [3] 国立研究開発法人産業技術総合研究所[JP], “人間の耳に合わせた国際基準?”
https://www.aist.go.jp/science_town/living/living_10/living_10_02.html