

## 2次元音場FDTD法を用いたFeedback ANCシステム解析

### Analysis of Feedback ANC System Using the FDTD Method in the Two-Dimensional Space

中出幸吾 田口健治 柏達也 中垣 淳  
 Kogo NAKADE Kenji TAGUCHI Tatsuya KASHIWA Atsushi NAKAGAKI

北見工大<sup>†</sup>  
 Kitami Institute of Technology

#### 1 はじめに

近年、家庭電化製品や自動車等から発生する低周波騒音の問題が注目されている。この低周波騒音の能動的な消音方法として Active Noise Control (以下、ANC) システムが考案されている。この ANC システムは吸音材等では抑圧しにくい低周波騒音に対して、2次スピーカから同振幅逆位相の波を出すことにより騒音を抑圧するシステムである。

また近年 FDTD (finite-difference time-domain) 法は、純粋に時間領域でのシミュレーションが行えることから音場解析にも用いられている [1]。従来、ANC システムのシミュレーションは、信号処理系と音場系が別々に解析されてきた。本来、2つの系は連携しているので、信号処理系と音場処理系を連携したシミュレーションが重要である。そこで、音場系に FDTD 法を用いて信号処理系と結合させることで ANC システムの直接的なシミュレーションが可能となる [2], [3]。

本研究では、我々が作成した Feedback ANC システムを用いて、2次元の自由空間モデルでの ANC シミュレーションを行った。

#### 2 ANC システム

自動車等の閉空間での局所的な騒音抑圧を考える場合、その騒音源を特定することは難しい。ここでは、2次音源とエラーセンサだけで構成された Feedback ANC システム [4] と誤差経路推定について述べる。

##### 2.1 Feedback ANC

図 1 に本報告で用いた Feedback ANC システムのブロック図を示す。このブロック図は大きく分けて2つの部分で構成されている。図の上部は FDTD 法を用いてシミュレーションを行う音場系である。図の下部は DSP 等で構成された信号処理系である。音場系では騒音源として信号  $x(n)$  を入力し、2次波源信号として  $y_c(n)$  を入力する。そして、エラーセンサにより誤差信号  $e(n)$  として DSP 部へ送られる。一方、DSP 部にある  $W(z)$  は適応フィルタ、 $\hat{C}(z)$  は誤差経路フィルタである。ここでは検出された誤差信号  $e(n)$  が filtered-x LMS algorithm により最小となる2次波源の信号  $y(n)$  を作り出す。

本システムでは FDTD 部におけるタイムステップが  $20[\mu s]$  であるが、DSP におけるサンプリング周期は  $200[\mu s]$  である。そのため、FDTD 部と DSP 部との間でアップサンプリング、ダウンサンプリングを行っている。

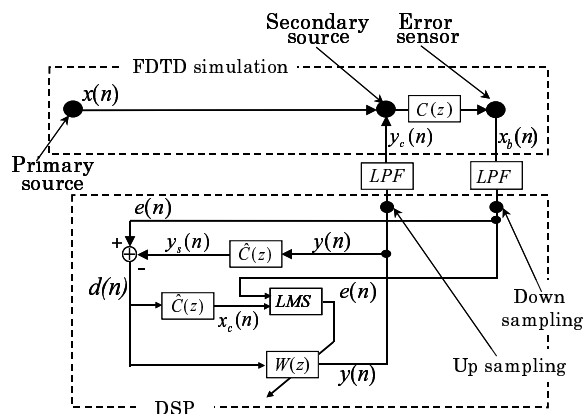


図 1 Feedback ANC システムのブロック図

##### 2.2 誤差経路推定

本 ANC システムの DSP 部には filtered-x LMS algorithm が用いられており、事前に解析する系での推定値を求める必要がある。今回のシミュレーションでは、あらかじめ2次音源からエラーセンサまでの特性を求めることで、誤差経路フィルタ  $\hat{C}(z)$  を構成している。図 2 に誤差経路推定システムのブロック図を示す。誤差経路推定における入力信号  $x(n)$  は、600[Hz] に帯域制限されたガウス性白色雑音を用いた。この入力信号とエラーセンサで検出された信号から LMS algorithm を用いて、適応フィルタ  $W(z)$  を逐次更新していく。そして最終的に得られた  $W(z)$  を、誤差経路フィルタとして  $\hat{C}(z)$  に置き換えてシミュレーションを行う。尚、フィルタ長は 128 とした。

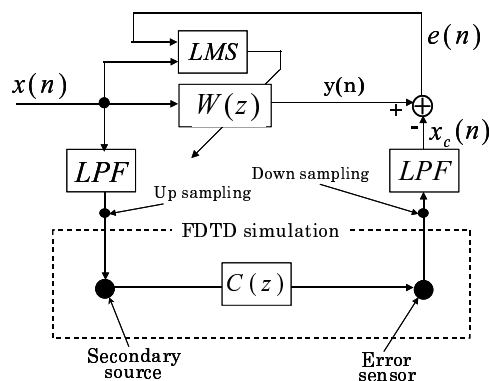


図 2 誤差経路推定システムのブロック図

<sup>†</sup> nakade@klab2.elec.kitami-it.ac.jp  
 北海道北見市公園町 165 番地

### 3 2次元自由空間 ANC モデル

本報告における解析モデルを図3に示す。解析領域の大きさは1.0[m]×1.0[m]で、空間離散間隔を $\Delta = 1.0[\text{cm}]$ とした。騒音源は300[Hz]の正弦波を入力している。尚、本研究では自由空間でのシミュレーションのため、境界条件として解析領域終端に4層のPML(perfectly matched layer)を用いている。

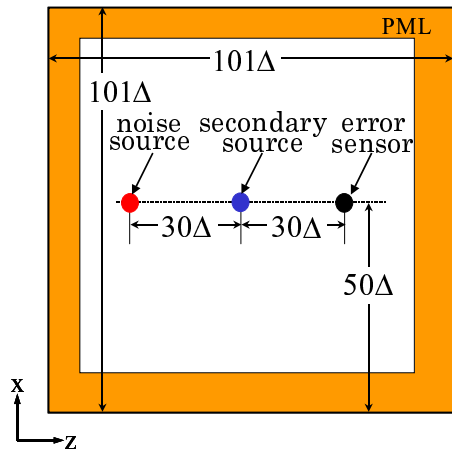


図3 2次元自由空間 ANC モデル

### 4 シミュレーション結果

図4はANCがoffの時のフィールドの音圧分布である。一方、図5はANCをonにした時のフィールドの音圧分布である。両者を比較すると、2次波源より右側において音圧振幅値が抑圧されている様子がわかる。

次にエラーセンサで観測した音圧の時間波形を図6に示す。この波形を見ると時間経過と共に徐々に音圧が減衰して行き、元の音圧の半分以下にまで抑えていることがわかる。

本シミュレーションではLMS algorithmを用いている為、LMSの修正係数を増加させるにつれて収束が早くなるが発散してしまうという欠点がある。このため、修正係数の値は入力値に対して適切な値を設定する必要がある。

### 5 むすび

本報告ではFeedback ANCを用いた2次元自由空間モデルを用いたシミュレーションを行った。今後は実車モデルでのANCシミュレーションを行っていく予定である。

### 参考文献

- [1] 千葉, 柏, 霜田, 鏡, 深井, "リープフロッグアルゴリズムに基づく時間依存差分法による3次元音場解析," 日本音響学会誌 49巻8号 pp. 551-562, Aug. 1993.
- [2] T. Morishita, T. Aoki, T. Tanaka and M. Taki, "Numerical simulation of adaptive active noise control system in a duct using FDTD method," Proc. Inter Noise, Vol. 99, No. 2, pp. 683-686, 1999.
- [3] 中出, 田口, 柏, 中垣, "アクティブノイズコントロールの2次元FDTD音場解析," 電気関係学会北海道支部連合大会, 122, Oct. 2003.
- [4] S. M. Kuo, and D. R. Morgan, Active Noise Control Systems: algorithms and DSP implementations, John Wiley Sone, 1996.

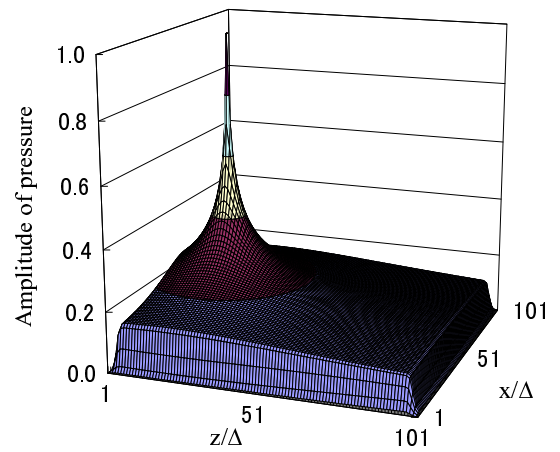


図4 ANC-off時の音圧のフィールド分布

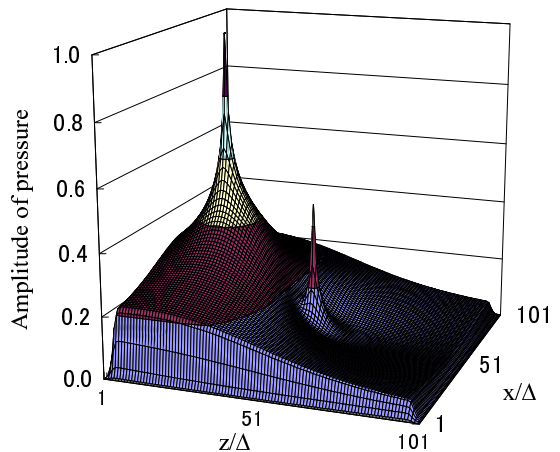


図5 ANC-on時の音圧のフィールド分布

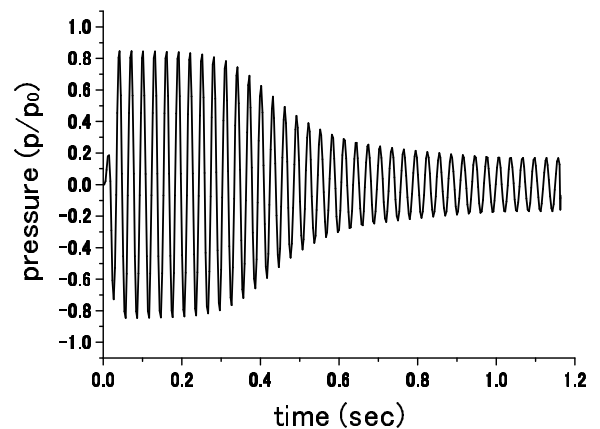


図6 エラーセンサ位置における音圧の時間応答