

フィードバック制御型 ANC システムの試作

鶴岡工業高等専門学校 鈴木 大介

1. はじめに

近年、企業や教育現場、家庭にもコンピュータなどの精密機械が多用されているが、それらの機械から発せられる騒音が問題となっている。このような騒音の中でも低い周波数の騒音が不眠、頭痛、イライラ感など人体へのさまざまな悪影響を及ぼしている。従来のパッシブ消音器は高い周波数の騒音を低減させるには有効な手段となるが、低い周波数の騒音を低減することが困難である。このため、騒音の苦情となりやすい低い周波数の騒音は、ANC(Active Noise Control：能動騒音制御)システムが有効な手段となる。ANCの概略図を図1に示す。ANCとは、騒音に対して同振幅、逆位相の制御音を作り出し、騒音と足し合わせることによって騒音が低減されるという原理を用いている^[1]。

ANCは、能動的に騒音を抑えることができるため、現在では、工場の排気ダクトや自動車内におけるエンジン音やロードノイズの低減などにも応用されている。本研究では、排気ダクトやパソコンなどのファン等から放射される騒音が周期音であることと、精密機器の内部に参照マイクを設置するスペースが無い場合が多いことに着目し、周期音に有効でありシステムが単純であるフィードバック制御型 ANC システムを試作し、単一周波数の周期音に対し騒音制御を行なった。

2. 制御方式の分類^[2]

現在、ANCシステムで用いられている制御技術にはフィードフォワード制御とフィードバック制御に分けられる。本研究のANCシステムではフィードバック制御方式を用いた。これは、対象としている周期信号の騒音に有効であるためである。

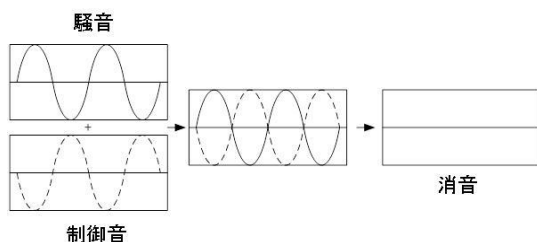


図1 ANCの概略図

さらに、フィードバック制御はフィードフォワード制御に比べ、システムの簡略化が可能という特徴を持っており、コスト削減などの面からフィードバック制御方式を採用した。

3. 使用したアルゴリズム

ANCを実現するアルゴリズムには、消音フィルタの係数を修正するFX-LMSアルゴリズムが知られている^[3]。FX-LMSはLMSアルゴリズムにFX法を導入したものとなる。図2にフィードバック制御を用いたFX-LMSアルゴリズムのブロック図を示す。本研究では、FX-LMSアルゴリズムと学習同定法にFX法を導入したFX-NLMSを適用したフィードバック制御型ANCシステムを作成した。FX-LMSの係数修正式を(1)式に示す。

$$W_k(n+1) = W_k(n) + \mu \cdot e(n) \cdot x'(n-k) \cdots (1)$$

$$k=0,1,2,\dots,K-1$$

ここでのステップサイズパラメータ μ は重み係数であり、 10^{-14} とした。この数値は実験的に求めたものとなっている。次に、FX-NLMSを適応した場合の係数修正式を(2)式に示す。

$$W_k(n+1) = W_k(n) + \mu' \cdot e(n) \cdot x'(n-k) \cdots (2)$$

ただし、

$$\mu' = \frac{a}{S+A} \quad S = \beta \cdot S(-1) + x^2(n)$$

$$\beta=0.999 \quad A=10000.0 \quad a=0.001 \quad k=0,1,2,\dots,M-1$$

ここでの各パラメータ β , A , a は定数である。この数値は実験的に求めたものとなっている。

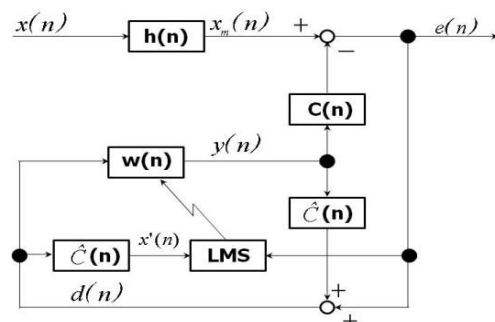


図2 フィードバック制御型FX-LMSアルゴリズムのブロック図

4. 実験方法

ANC システムの実験ブロック図を図 3 に示す。発振器で生成した信号をスピーカに入力し、自作の無響音室¹⁴⁾内にあるダクトに騒音として発生させる。その騒音をマイクロフォンによって検出し、検出したエラー信号を、ローパスフィルタを通して DSK に入力する。DSP 内部では適応フィルタの計算が行われ、制御信号が生成される。DSK からの出力を再度ローパスフィルタに通し、アンプを用いて信号を増幅させ制御スピーカから出力する。マイクロフォンからの信号を PC にも入力し、Realtime Analyzer でスペクトルを確認した。尚、DSP ボードには、TEXAS INSTRUMENTS 社製 TMS320C6713DSK を用いた。

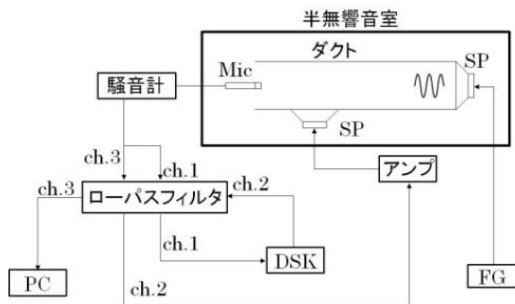
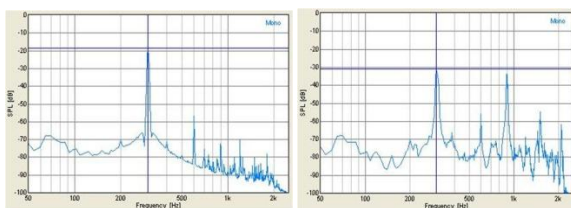


図 3 ANC システムの実験ブロック図

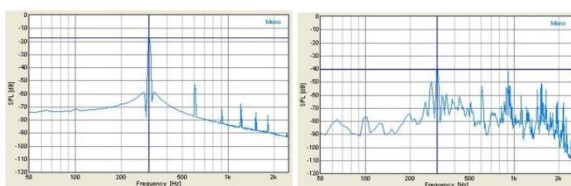
5. 実験結果

300[Hz]の周波数音を発生させ、FX-LMS アルゴリズムを用いた時の ANC を OFF にした時と ON にした時のスペクトルの結果を図 4 に示す。また、FX-NLMS アルゴリズムを用いた時の ANC を OFF にした時と ON にした時のスペクトルの結果を図 5 に示す。



(a) ANC-OFF (b) ANC-ON

図 4 FX-LMS の ANC 前後のスペクトル



(a) ANC-OFF (b) ANC-ON

図 5 FX-NLMS の ANC 前後のスペクトル

それぞれの図の横軸は周波数[Hz]、縦軸は音圧レベル[dB]を表している。各図(a)に示すスペクトルは、発振器から 300[Hz]の信号を出力し、音をマイクロフォンで検出したときのスペクトルである。制御前のスペクトルで最も高いピークとなっているのが 300[Hz]である。このピークが下がることによって、減音効果が確認される。図 4(a)の ANC を OFF にした時のピーク値は $-18.57[\text{dB}]$ となり、図 4(b)の ON にした時のピーク値は $-31.13[\text{dB}]$ となった。よって、 $12.56[\text{dB}]$ の減衰が確認できた。尚、この結果は、制御開始から約 90 秒後の結果となっている。一方、図 5(a)の ANC を OFF にした時のピーク値は $-17.49[\text{dB}]$ となり、図 5(b)の ON にした時のピーク値は $-40.94[\text{dB}]$ となった。よって、 $23.45[\text{dB}]$ の減衰が確認できた。この結果は、制御開始から約 30 秒後の結果となっている。FX-NLMS アルゴリズムのほうが、FX-LMS アルゴリズムを用いて計算を行なった場合よりも大きな減衰が確認できた。

6. まとめ

フィードバック制御型 ANC システムの試作を行なった。ANC システムを実現させるために、FX-LMS アルゴリズムと FX-NLMS アルゴリズムの 2つのアルゴリズムを用いたプログラムによって音の減衰を確認した。これにより、フィードバック制御による周期音の減音効果を確認できた。

7. 参考文献

- [1] 大賀寿朗, 山崎芳男, 金田豊, “音響システムとデジタル処理”, pp219–229, 社団法人電子情報通信学会, (1995)
- [2] 青柳裕大, “Active Noise Control の小型化に関する研究”, pp3–4, 鶴岡工業高等専門学校卒業論文, (2007)
- [3] 三上直樹, “Code Composer Studio を使った DSP プログラミング C 言語によるデジタル信号処理入門”, pp128–144, CQ 出版社, (2002)
- [4] 天口英和, “簡易無響音室の製作とその性能測定”, pp2–8, 鶴岡工業高等専門学校卒業論文, (2006)