

圧電フィルムを用いた能動制御型防音 BOX

Sound Insulation Box with Active Sound Transmission Control using Piezoelectric Film

眞田 明・辻 善夫・東山孝治*・田中信雄**

Akira SANADA, Yoshio TSUJI, Kouji HIGASHIYAMA and Nobuo TANAKA

キーワード 能動遮音制御／防音 BOX／パワーモード／圧電フィルム

KEY WORDS Active sound transmission control /Sound insulation box /Power mode /Piezoelectric film

1 はじめに

半導体製造装置や精密計測機器などの高精度化が益々進展する中、それらの精密機器が周辺の音によって振動し、精度低下などの問題を引き起こすケースが増えている。周辺の音の影響を低減するには、対象精密機器を防音 BOX 内部に納め、外部の音を遮断する対策が行われる。ただし、低周波数の音は透過し易いため、十分な遮音効果を得るには、防音 BOX の壁を重くする必要がある。このことから、周辺装置からの音が低周波数成分を多く含んでいる場合、BOX 全体重量が数百キロを超える場合もあり、設置場所や設置方法が限定される問題が発生する。

そこで、著者らは能動制御を用いて壁面を透過する低周波数の音を抑制し、軽い構造で内部を静寂化する能動制御型防音 BOX の開発を進めてきた。従来は、BOX 内部に設置したマイクロホンの信号を用いて壁面の振動を制御していたが、マイクロホンと BOX 内部の機器とが干渉するなどの問題があった。そこで、本研究では、BOX 内部の音を検知するのではなく、圧電フィルムを用いることで壁面の振動を検知する方法により、透過音を抑制する制御法の検討を行った。本報告では、圧電フィルムを用いた能動制御型防音 BOX を試作し、実験を行った結果から、圧電フィルムを用いる場合の利点や問題点について検討した結果を示す。

2 能動制御実験

本研究では、圧電フィルムとして PVDF(ポリフッ化ビニリデン)フィルムを用いた。PVDF フィルム

はピエゾセラミック等と比較して、軽量かつ柔軟で加工性が良いという特徴を有していることから、特定の振動分布を計測するセンサなどへの応用¹⁾に有効である。図 1 に実験システムの概要を示す。ここでは、基本的な制御手法の確立が目標であることから、防音 BOX の上部 1 面のみを制御対象とした。音の波長よりもパネルサイズが十分小さい低周波数において、パネルを透過する音は 1 次のパワーモード²⁾の影響が支配的である。このため、1 次のパワーモードをセンシングして、これを抑制できれば大きな制御効果が得られる。そこで、本研究では、PVDF フィルムを図 2 に示すような形状にカットすることでパワーモードセンサとし、パネルの長手方向の中心線上に貼り付けた。パワーモードセンサの設計には田中ら³⁾の方法¹⁾を用い、低周波数で効果を得るため、設計周波数を 100Hz とした。

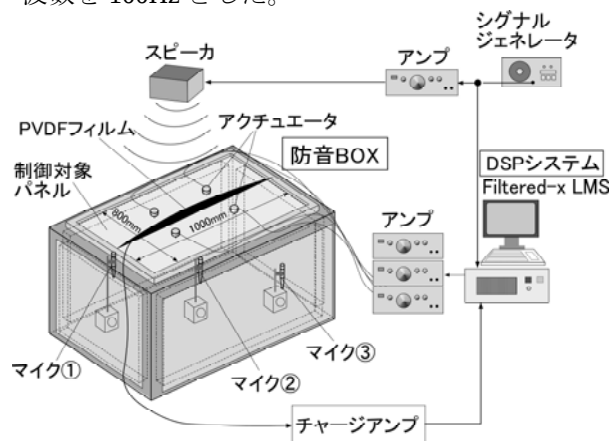


図 1 実験の概要

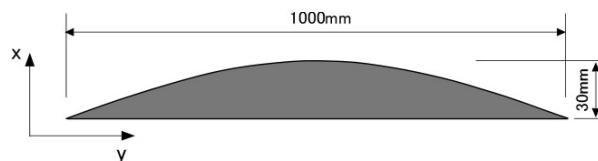


図 2 PVDF フィルムによる 1 次パワーモードセンサの形状

* 倉敷化工 (株)

**首都大学東京システムデザイン学部

パネルの加振には、慣性型アクチュエータを 4 つ用いた。アクチュエータの配置は、著者らが考案した参考文献(3)の方法により決定した。

制御対象のパネルは厚さ 5mm のアルミ板とし、単純支持条件となるようにナイフエッジで挟み込む構造とした。それ以外の壁面(側壁)は上面と比べて十分高い遮音性能となるように二重壁構造とした。制御方法は、適応フィードフォワード制御とし、エラー信号として PVDF フィルムからの信号を用いた。制御アルゴリズムは、Filtered-X LMS を用いた。シグナルジェネレータによって 800Hz 以下のホワイトノイズを発生させ、スピーカから音を放射した。スピーカは、パネル中央上部、パネルから約 0.8m の位置に下向きに設置した。参照信号は、シグナルジェネレータの信号を直接用いた。サンプリング周波数、タップ数は、それぞれ 3kHz、1000 とした。また、制御効果を評価するために、図1に示すように BOX 内に3つのマイクロホン配置した。

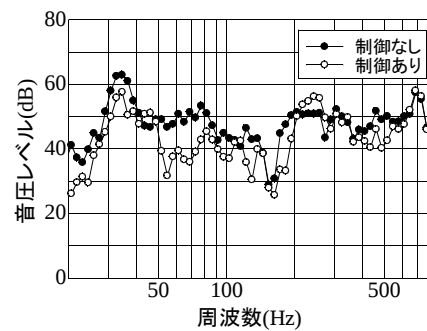
3 実験結果

BOX 内部の音圧レベルの実験結果を図 3 に示す。(a)、(b)、(c)は、それぞれ評価用マイク①、②、③の測定結果である。この結果を見ると、200Hz 以下の低周波数で制御効果が得られており、PVDF フィルムの信号をエラー信号として用いる方法により、理論どおりに制御効果が得られることが実証された。また、すべてのマイク位置で概ね音が抑制されており、PVDF フィルムを用いた場合、BOX 内全体の音が低減できることが分かった。

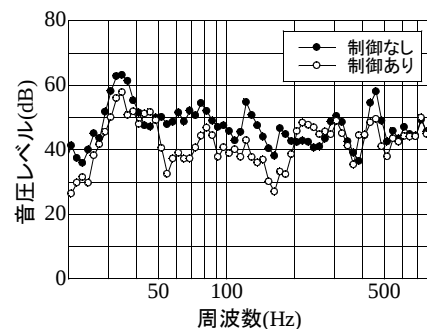
ただし、実験結果において、40 ~ 50Hz 及び 200 ~ 260Hz で制御することで音が大きくなる現象が見られる。まず、40 ~ 50Hz については、(1,2)モードなどの(奇数,奇数)次以外の振動モードの影響と考えられる。長方形パネルの中心に対称な4点にアクチュエータを配置する現在の制御方法では、理論的に(奇数,奇数)次モードしかコントロールできない。このため、(奇数,偶数)、(偶数,奇数)、(偶数,偶数)次モードによる音は抑制できない。今後、(奇数,奇数)次モード以外の振動モードにも対応できる制御方法を検討する必要がある。また、200 ~ 260Hz の制御効果の悪化については、フィルム形状(設計周波数:100Hz)が1次のパワーモードの形状からずれたためと考えられる。パワーモードの形状のずれによる制御効果の悪化を防ぐには、制御対象周波数を低周波数に限定するなどの対策が必要である。

4 まとめ

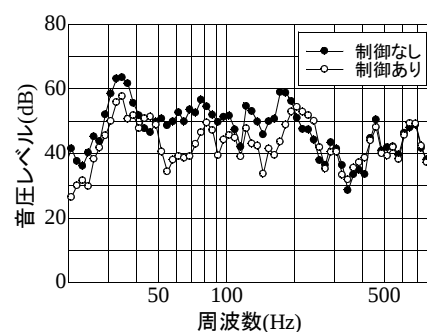
PVDF フィルムを用いたパワーモードセンサを能動制御型防音 BOX に適用することで、BOX 内部全体



(a) 評価用マイクロホン①



(b) 評価用マイクロホン②



(c) 評価用マイクロホン③

図 3 防音 BOX 内部音圧レベル実験結果

の音を抑制可能であることを実証した。BOX 内部にマイクロホンを設置する必要がなくなれば、機器への干渉がなくなり、また、構造も簡単になるため能動制御型防音 BOX の実用化に有効と考えられる。

文献

- 1)田中ら：日本機械学会論文集 C, 60-573, 16461653 (1994)
- 2)眞田, 田中：日本機械学会論文集 C, 74-741, 1287-1294 (2008)
- 3)Akira Sanada, Nobuo Tanaka: Proceeding of The 9th International Conference on Motion and Vibration Control, (2008)