

環境騒音の低下を目的としたアクティブ騒音制御のための基礎的研究

福井大学工学部 学生会員 ○ 口垣内 淳人
福井大学工学部 正会員 福井 卓雄

1 はじめに

本研究では、環境騒音の低下を目標として、騒音源付近においてアクティブ騒音制御を行なうための基礎的な知見を得ることを目的とする。ここでは、騒音源付近の閉じた空間においてフィードフォワード制御を行なうための制御パラメータの特性について考察し、簡単な予備実験の結果を報告する。

2 フィードフォワード制御

ここで考える騒音の制御は、フィードフォワード制御である。図-1 にその基本的な構成を示す。ある騒音源から発生した音は、マイクで拾いあげられ (p_M)、それを加工した音 c を制御スピーカーから出す。検証点における音圧 p はもとの騒音 p_S から制御音を差し引いた

$$p(\omega) = p_S(\omega) + H(\omega)c(\omega)p_M(\omega) \quad (1)$$

となる。ここで、 H は制御スピーカーから検証点までの音の伝播における伝達関数である。

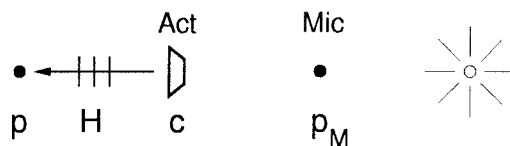


図-1 フィードフォワード騒音制御システム

制御の問題は、検証点における音圧 p をできるだけ小さくするように c を決定することである。評価関数 $J(\omega)$ として、音圧の2乗平均 $E[\bar{p}(\omega)p(\omega)]$ をとることを考えよう。 J は

$$J(\omega) = E[\bar{p}(\omega)p(\omega)] = \bar{c}(\omega)Ac(\omega) + \bar{c}(\omega)B + \bar{B}c(\omega) + C \quad (2)$$

と表せる。ここに、

$$A(\omega) = \bar{H}(\omega)S_{MM}(\omega)H(\omega), \quad B(\omega) = \bar{H}(\omega)S_{MS}(\omega), \quad C(\omega) = S_{SS}(\omega) \quad (3)$$

である。 S_{MM} , S_{SS} は、それぞれ、 p_M , p_S のパワースペクトル、 S_{MS} は p_M と p_S の間のクロスパワースペクトルである。制御変数 $c(\omega)$ の最適値は、 $J(\omega)$ の極値条件から

$$c_{opt}(\omega) = \frac{-S_{MS}(\omega)}{H(\omega)S_{MM}(\omega)} \quad (4)$$

となる。すなわち、最適制御変数は S_{MS} , S_{MM} , H によって決定できる。さらに、 p_M と p_S との間には、

$$p_S(\omega) = H_{MS}(\omega)\frac{p_M(\omega)}{M(\omega)}, \quad S_{MS}(\omega) = \frac{\bar{H}_{MS}(\omega)}{\bar{M}(\omega)}S_{MM}(\omega) \quad (5)$$

の関係があると考えられる。ここに、 M はマイクの特性関数、 H_{MS} はマイクから検証点への音の伝達関数である。上式を (4) に代入すれば、

$$c_{opt}(\omega) = \frac{-\bar{H}_{MS}(\omega)}{H(\omega)\bar{M}(\omega)} \quad (6)$$

となる。 M はマイクに固有のものであり既知であると考えられるから、制御変数の最適値は、伝達関数 H と H_{MS} とによって決定できることになる。すなわち、音場の伝播条件によって制御を最適化できる。

3 予備的な実験

騒音制御について考察するために、予備的な実験を行なってみた。図-2に実験装置の概要を示す。ダクトは段ボール製で、一方の端に音源としてスピーカーをおき、他方は開放している。制御は、マイクで拾った音を反転遅延させて行なっ

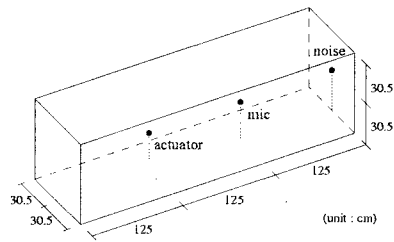


図-2 ダクトにおける消音実験

た。これは、(6)において、 M を無視し、 $\bar{H}_{MS}(\omega)/H(\omega)$ の代わりに遅延特性だけを考慮したものとなっている。音源は正弦波音（160・200・500Hz）とした。

図-3および図-4に160Hzと500Hzにおける計測結果の例を示す。測定はダクトの出口の数ヶ所で行なった。図で明らかにバックグラウンドの騒音レベルはかなり高い。それにもかかわらず、比較的単純な計測であるが、10～20dB程度の消音効果が見られる。消音効果は場所によって異なるが、ダクト中心部よりもむしろ下端に近い位置の方が消音効果が大きいことは興味深い。一般に、周波数が高いほど消音が困難になっているが、音の伝播特性が単なる遅延効果だけではないことが明らかである。

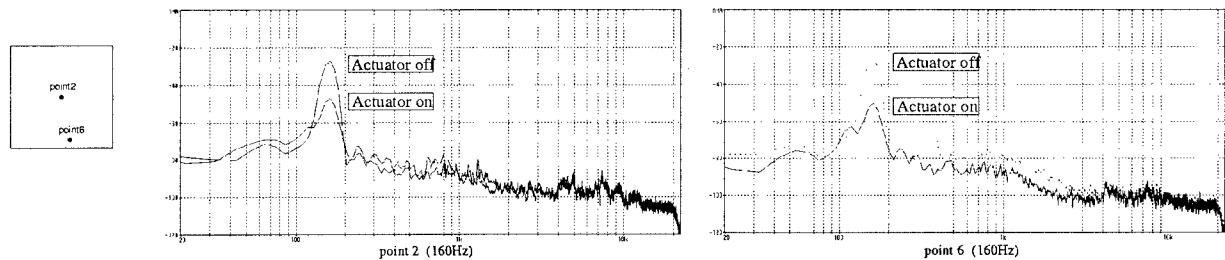


図-3 周波数 160Hz における音圧レベルの低下

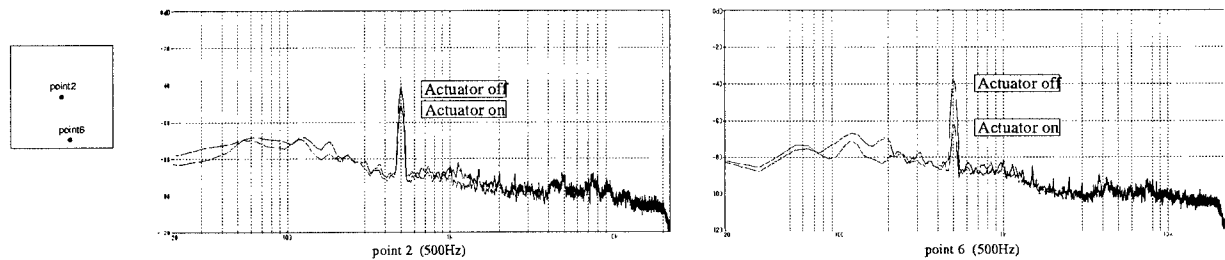


図-4 周波数 500Hz における音圧レベルの低下

4 音場の解析による伝達関数の推定

式(6)で明らかになったように、消音制御はマイク、制御音源、検証点の間の伝達関数で決められる。つまり、制御空間の境界条件にあった制御が必要である。この事実を明らかにし、消音制御のための基礎資料を得るために、境界要素法による音響解析を行なう。現在、数値解析のための準備を勧めている。