

要 旨

マフラーの構造を変更せずに排気音色を調整するため、適応フィルタと音質調整フィルタにより制御される、2次音源を用いたアクティブマフラーを考え、模擬排気騒音に対して適用したときの音質調整の効果をモデル実験により検討した。この結果、指定した周波数帯域のみを能動的に抑制できることが明らかとなった。また、音

1. 緒言

最近では、車の特性として排気音は重要な評価の一つであり、音の大きさだけでなく、ユーザーの好みにあった音色が要求されるようになってきている。また、同じ車種でも、輸出先の国民の音感の相違から要求される排気音色が異なるため、マフラーによる音質調整が必要である。しかし、従来のマフラーは複雑な内部構造を持ち、特性を変化させるためには設計の大幅な変更を必要とし、開発に多くの労力と時間を費やしている。本研究では、構造を変更せずに排気音質を調整する方法として、2次音源を用いた能動消音の技術に着眼し⁽¹⁾⁽²⁾、適応フィルタと音質調整フィルタにより制御されるアクティブマフラーを考え、任意に設定された周波数帯域のみを消去する能動的な音質調整の効果をモデル実験により検討する。

2. 制御手法

能動消音の原理は、音源から放射された音波に対し2次音源から同振幅・逆位相の音波を付加し、両者を干渉させて消去するものである。2次付加音は、制御部の適応フィルタの信号処理により生成される。本研究では、図1に示すような構成の適応フィルタを使用し、フィルタ係数の更新演算はLMSアルゴリズムによって行なう。このとき、音源に相関した参照入力信号 u の音質特性が、快音と感じられる周波数成分 S_j と不快に感じられる周波数成分 N_j からなるとき、誤差信号入力 e は式(1)により表される。

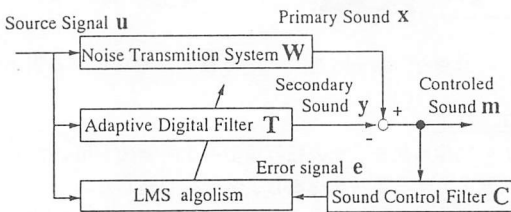


図1 適応フィルタのブロック図

$$e = CS_j(W-T) + CN_j(W-T) \tag{1}$$

ここで、 C :音質調整フィルタの特性、 W :騒音の伝達特性、 T :適応フィルタの特性である。音質調整フィルタにおいて $CS_j=0$ 、すなわち快音成分のみを除去すると、適応フィルタは不快な成分のみを誤差信号として認識し、かつその二乗平均値が最小となるように T を変更していく。 e が0になるとき、 T は W に等しく、結果として制御音 $m=S_j$ となる。従って、 C を任意に設定することにより制御特性を変更することが可能である。また、適応フィルタは騒音の伝達音響特性を推定しながら2次音を出力するので、 W や u の緩やかな変化に能動的に追従することができる。

3. 実験装置及び実験方法

図2に実験装置の概略図を示す。排気管モデルは断面 $100 \times 100 \text{mm}$ の正方形管とした。試験音源として、実際の排気音を想定した模擬音源信号を増幅し、音源スピーカにより出力する。制御部の適応フィルタとLMS演算には、高速な信号処理が必要なためDSPを使用した。また、音質調整フィルタとして、実験では1/3オクターブバンドパスフィルタ(BPF)を使用した。

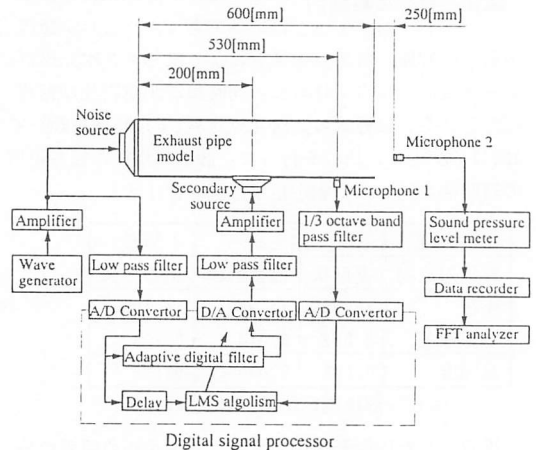


図2. 実験装置の概略

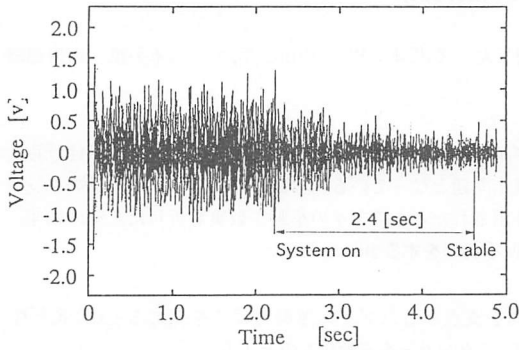


図3 能動消音前後の放射音の時系列波形

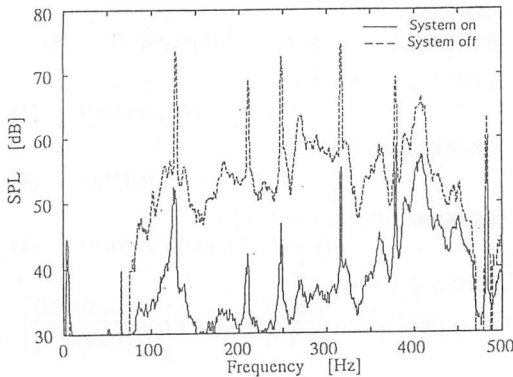


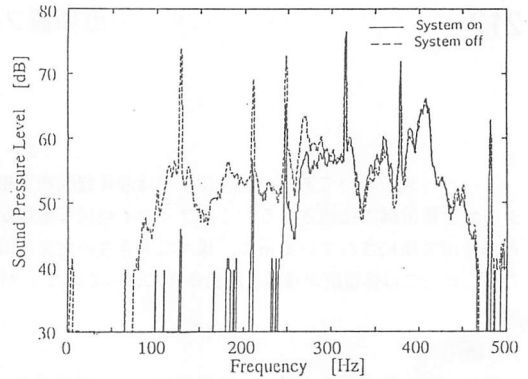
図4 能動消音前後の放射音の周波数特性

従って、 BPF で設定したレンジの周波数帯が不快音として制御部に認識され、放射音(制御音)から除去される。実験結果の評価は、排気管モデルの出口から250mm離れたマイク2により測定した、放射音の周波数特性によって行なう。

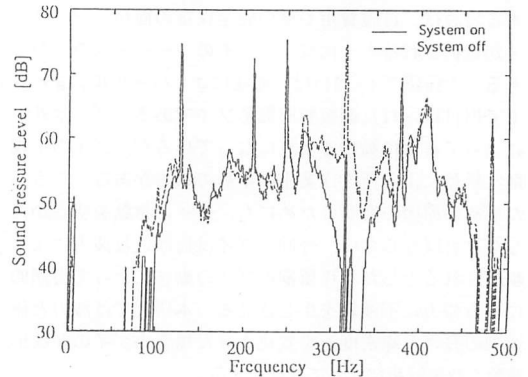
4. 実験結果及び考察

制御系を検討するため、音質調整フィルタを作動させずに能動制御を行なった時の実験結果を図3, 図4に示す。図3より、安定までの時間は2.4秒前後であり、音源の特性のゆるやかな変化に対応できることがわかる。図4に能動消音前後の音圧レベルの周波数特性を示す。周波数に依存するが10dB~25dB程度の減音効果が見られる。

次に、音質調整フィルタとして BPF を使用し、能動制御を行なったときの実験結果を図5(a), (b)に示す。設定した周波数帯の中心周波数では20dB程度の、全体では5~20dB程度の減音効果が得られており、他の周波数帯にはほとんど影響を及ぼしていない。(a)において、 BPF の設定レンジ幅よりも制御効果の周



(a) $BPF=100\sim 160\text{Hz}$, 中心周波数 125Hz



(a) $BPF=250\sim 400\text{Hz}$, 中心周波数 315Hz

図5 能動的音質調整制御前後の放射音の周波数特性

波数帯がやや広いのは、2次音源に使用したスピーカが低周波音を十分に再生できず、制御に影響したものと考えられる。図5の結果から、音質調整フィルタの設定により消音器の特性を設定できることが明らかになっている。

5. 結言

模擬排気音に対し、 BPF を音質調整フィルタとした能動的音質制御を適用する実験を行った結果、指定された周波数帯に対し、5~20dBの減音効果が得られた。また、 BPF の設定により消音器の特性を設定し、放射音の周波数特性を任意に調整できることが明らかになった。

参考文献

- (1)小坂, 山田, “周期性をもつ管内低周波音の能動的消音”, 音響学会誌vol. 41, no. 5, 316-321, 1985
- (2)中路, 木下, “車室内音場特性に着目したこもり音アクティブ制御技術の研究”, 機械学論文集, no. 59, vol. 565, p. 2733-2732, 1993