

研究題目	自由音場用受動形消音器の設計	報告書作成者	本田 善久
研究従事者	本田 善久 (京都大学大学院工学研究科精密工学専攻・助手)		
研究目的	<p>近年、機械の静粛性が強く要請されており、これに対応して機械騒音の低減技術や解析手法が活発に開発されている。中でも最近のデジタル信号処理技術の急速な進展を背景に、能動騒音制御 (Active Noise Control) に関する研究が盛んに行われており、配管系の騒音対策などでは能動騒音制御が一部で実用化されている。さらに、配管系のような単純な一次元音場だけではなく、三次元の自由音場での能動騒音制御も意欲的に研究されてきている。三次元の自由音場において騒音低減を図る場合、音場全体に放射される音響パワーの低減量をその指標に採用するのが妥当であると考えられる。ところで、能動騒音制御はその実用化の観点から、その原理的限界、物理的限界、経済的限界を十分に認識し、騒音対策の中での能動騒音制御の適切な役割を設定することが大切であり、そのため従来技術である受動的な手法と対比した議論が必要であると考えられる。ところが、これまでのところ自由音場に放射される音響パワーの低減に関する理論的検討では、付加される二次音源は当初から能動音源として扱われており、消音器のような受動音源を用いることは考慮されていないようである。したがって、受動的な方法による自由音場に放射される音響パワーの低減に関する検討を行うことは、騒音制御技術の進展にとって十分に意義のあることと考えられる。</p> <p>そこで、本研究では、配管系のような一次元の音場における防音に数多く用いられてきたヘルムホルツ共鳴器や分岐管などの受動形消音器の三次元の自由音場への適用を検討し、自由音場の消音に適した消音器の満たすべき条件を明らかにすることを目的とする。配管系の場合とは逆に能動消音技術の検討が先行していた自由音場の場合に関して、受動消音技術の適用可能性とその限界が明らかになれば、問題に応じて両技術を適正に選択するための指針が得られる事になる。また、効果的な自由音場用消音器が実現すれば、放射騒音を遮蔽するための機械装置を覆う防音箱が不必要になるため、機械騒音の低減に資すると同時に、機械設計の可能性が大きく広がるものと期待される。</p>		

研究内容

自由音場に放射される音響パワーの低減に関して、Nelsonらは点音源で構成される能動消音システムについて検討し、音響パワーを最小にする二次音源の強さを一次音源の強さに対する比として求めた。二次音源を受動形消音器に置き換えれば、消音器取付位置に作用する一次音源からの音圧と消音器の音響インピーダンスに応じて、消音器の音源の強さが定まる。したがって、消音器の音響インピーダンスを適切な値に設定することによって、消音器に生じる音源の強さをNelsonらが求めた最適な二次音源の強さに等しくできれば、音響パワーを最小にすることが可能である。このような考えに基づいて、本研究では次のような解析モデルについて検討した(説明書図1参照)。すなわち、無限大バフル上に音源が置かれており、その近傍にバフル面に開口部を有する受動形消音器を取り付ける。音源としては純音を放射する単純な点音源を考え、消音器の開口部は円形で、その半径は波長に比べて十分小さいとする。これらの仮定に基づいて基礎式を導き、音響パワーと消音器の音響インピーダンスの関係を求めた。

点音源だけのときの音響パワーに対する消音器を設置したときの音響パワーの比を音響パワー比(P)と名付け、点音源の放射抵抗を基準にして無次元化した消音器の音響インピーダンス $Z_s (= R_s + iX_s)$ の複素平面上におけるその等高線を求めた(説明書図2参照)。一般に、その等高線は円になり、その中心は音源から消音器までの音波の位相遅れに等しい角度だけ虚軸から傾いた原点を通る直線上に乗ることが分った。特に、音響パワー比を最小にするときの消音器の音響抵抗はその放射抵抗に等しいこと、つまり消音器内部でのエネルギー吸収が無いことが必要であることを明らかにした。また、その音響パワー比 P_0 の最小値は、Nelsonらが求めた能動消音システムによって達成可能な最小値に一致することを確認し、受動形消音器によって能動消音システムと同等の消音が原理的に可能であることを見出した。放射音の波数を k 、音源から消音器までの距離を d としたとき、音響パワー比の最小値 P_0 はそれらの積 kd の関数で与えられ、特に $kd < \pi$ の場合には、消音器を一個用いるとき $P_{01} = (1/3)(kd)^2$ 、音源をはさんで二個を等間隔に配置するとき $P_{02} = (1/45)(kd)^4$ 、音源を中心とした円周上に三個以上を等間隔に配置するとき $P_{0n} = (1/180)(kd)^4$ とそれぞれ近似できることを導いた(説明書図3参照)。

また、受動形消音器として無損失の音響管を用いた場合について解析し、管径と対象の音の波長が与えられたときの音響パワーを最小にする管長を求める式を導き、たとえ開口端補正を施したとしても最適な管長が共鳴条件の1/4波長とは異なることを見出した。さらに、波長の変動に対する音響パワー比の変化について調べ、管を太くするほど十分な消音が可能な波長領域が広がることが分った。一方、音源に純音を放射するスピーカを用いて、一本の音響管による音響パワーの低減効果の検証実験を無響室で行った。音響管としては塩ビ製のパイプを用い、測定には音圧形マイクロホンを用いて、音圧分布から音響パワーを算出した。管径が異なる3種類について測定したところ、定量的な一致はみえていないが、管径と音響パワー比の関係については解析結果と定性的な一致を確認した。

研究概要報告書

(/)

<p>研究のポイント</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) 自由音場に放射される音響パワーの低減に関して、音源の近傍に設置した受動形消音器によってもたらされる音響放射効率の低下を意図した独創的な研究であること。 2) 受動形消音器の音響特性を無次元音響インピーダンスとして記述し、それと音響パワー比との関係を明らかにすることにより、あらゆる種類の消音器の設計に適用できる普遍的な式を導いたこと。 3) 単一の波長の純音に対しては、受動形消音器によって能動消音システムと全く同等の音響パワーの低減が原理的に可能であることを明らかにしたこと。
<p>研究結果</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) 無限大バフル上に純音を放射する点音源と受動形消音器の開口部が配置されたときの音響放射パワーを消音器の音響インピーダンスを用いて導き、低減量の指標となる音響パワー比と消音器の無次元音響インピーダンスの関係を定式化した。 2) 単一ないし複数の消音器を用いた場合の音響パワー低減量について検討し、音響パワー比を最小とする無次元インピーダンスとその最小値の式を求め、消音器を音源の近傍に設置したときのそれらの近似式を導いた。 3) 受動形消音器として音響管を用いる場合を取り上げ、音響パワー比を最小にするためのその設計式を得た。 4) 音響管による検証実験を行い、解析結果との定性的な一致を確認した。
<p>今後の課題</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1) 本研究で得られた解析結果に基づいて、広い周波数領域(波長領域)で音響パワーの低減に効果的な消音器の形状、材質などについて検討を加える。 2) 検証実験の結果と解析結果の定量的な差違について検討し、追実験などを行い、必要ならば解析モデルを改良して、実際の機械騒音などの低減に資する知見を見出す。

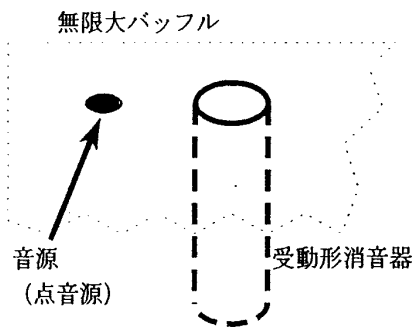


図1 解析モデル

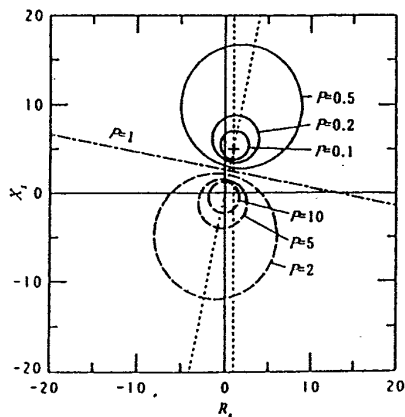


図2 音響パワー比と無次元音響インピーダンスの関係

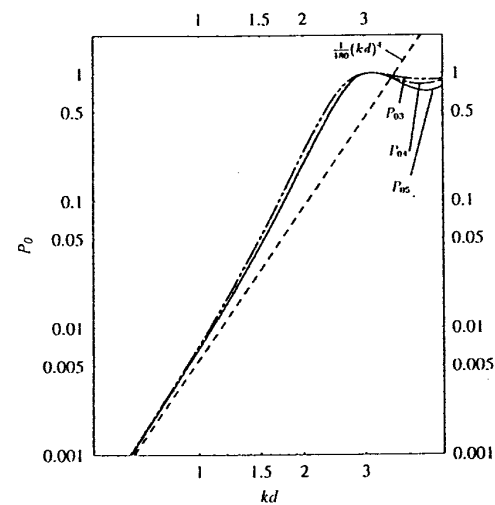
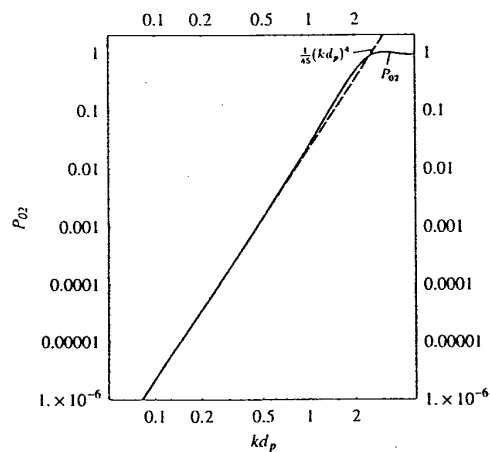
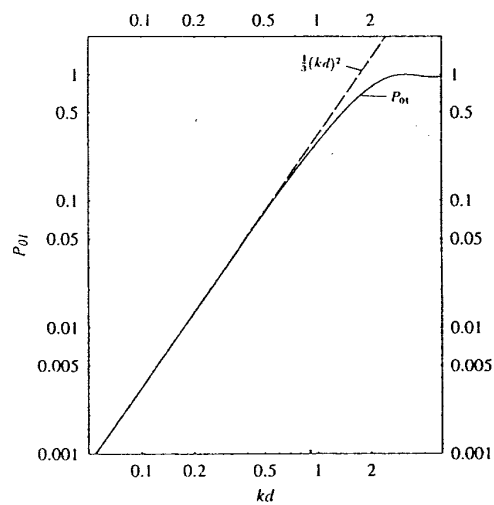


図3 音響パワー比の最小値と波長, 距離の関係

(注: フローチャート図, ブロック図, 構成図, 写真, データ表, グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。)