

研究題目	電子回路を用いない機械式能動防騒音イヤープロテクタ／ヘッドホンの研究	報告書作成者	一ノ瀬 裕
研究従事者	一ノ瀬 裕		
研究目的	<p>MRI (Magnetic Resonance Imaging) 装置は、病気の診断用として国内だけでも数千台の規模で使用されているほか、脳研究の場でも有用なツールとして使用されている。一方、この装置を動作させる場合には、大きな騒音が発生し、患者や被験者に影響を与えることから、改善が望まれている。また、今後より盛んになると予想される脳研究において、fMRI (functional MRI) を用いて音を刺激とした時の脳の活動を計測する場合には、この騒音の影響を防ぐことが必要不可欠である。</p> <p>騒音源から耳に達するまでの経路で騒音を遮断するには、原理的に重たい(つまり大きい)物で騒音の伝達経路を遮断すればよい。例えば航空機の誘導を行う場合に装着する大型の頑丈なイヤープロテクタで耳を覆えば解決される。しかし、MRI 装置内部の空間は限られていること、原理的に強力な磁場が発生するため磁性材料が使えないことなど、制約が多い。そこで、「物」で遮音するのは別のアプローチが必要になる。例えば、外部の騒音をマイクロホンで拾い、電子回路で逆相の音を作り出し、これによって耳に到達する騒音を打ち消す能動型防騒音ヘッドホンが開発され、既に多数市販され、電車や航空機で音楽を聴く場合などに使用されている。しかし、これは逆相の音を発生する電気音響変換器にコイルや磁石を用いているため、そのままでは MRI 装置の強力な磁場環境で使用することはできない。</p> <p>この問題を解決するために国内外でいろいろな研究が行われているが、ほとんどが電子回路を用いて解決しようとする方法である。</p> <p>そこで本研究では、電子回路を用いず、シーソーの原理を利用して機械的に入力騒音と逆相の音を発生することによって騒音を打ち消し、MRI 装置の強力な磁場環境下で使用可能な小型で騒音抑圧性能の優れたイヤープロテクタやヘッドホンの実現可能性を明らかにすることを目的とする。</p>		

研究内容

本研究では、強力な磁場環境でも動作する(MRI の測定に影響を与えない+磁場の影響を受けない)小型のイヤープロテクタおよびヘッドホンの実現を目指し、非磁性材料の圧電振動板を用いて、シーソーの原理により機械的に逆相の音を発生する構成を検討した。

機械的に逆相の音を発生する構成としては、以下の2種類を製作した。

1. シーソー式: 支点到レバーの中央部を配置し、その両端の一方に騒音を受ける振動板を、他方に逆相の音を発生する振動板をそれぞれ接続した構造である。支点部は、「支持」の条件に近づけるため、 $\phi 2.5$ の球の側面を一部加工して平面にし、先端に球が埋め込まれているボールスクリューで両側から挟む構造とした。また、この部分での音の漏洩を防ぐため、球の両側に接続されたレバーの根元部分に Oリングを装着した。しかし、この構造では、支点部での音の漏洩を防ぐことがほとんどできなかった。

2. カンチレバー式: 支点到レバーの端部を配置し、騒音を受ける振動板と逆相の音を発生する振動板とをレバーの同じ側に配置した構造である。支点到取り付け部分とそれ以外の部分とでレバーの材料・形状を変えてスティフネスに差を設け、支点到「支持」の条件に近づけることを狙った。具体的には、① $\phi 5$ のチタン、② $\phi 2.1$ のステンレス、③ $\phi 1$ のアルミニウムのパイプを使用し、①②はステンレスの薄板を、③は PET の薄板を介して支点部分に固定した。また、実験の都合で、入力騒音はカップラーで印加し、レバーを設置する空気室を開放(容積無限大)とした。振動板としては、周辺に段差を設け、固定条件によるばらつきを小さくできる電話機用のセラミック圧電振動板(振動部の直径 $\phi 28$ 、基本共振周波数 1.1kHz)を用いた。

入力騒音と発生する逆相音との音圧比を計算と実験により求めた。その結果、実験値は計算値より①で 2~3dB、②で 8~10dB 低く(③は計測不能)、耳元にはせいぜい-30dB 程度の音しか発生できないことが分かった。また、①のレバーは頑健な構造で、その質量やスティフネスが系に与える影響が大きく、基本共振周波数は約 1/3 に低下した。これでは、仮にもっと大きな音圧レベルの逆相音を発生できたとしても、使用可能周波数帯域が狭くて実用にはならない。

低い音圧レベルの音しか発生できないのは、使用したセラミック圧電振動板の等価容積が事前の予想よりはるかに小さかった(約 0.7cc)ためである。そこで、当初の目的からははずれるが、振動板の等価容積が圧電振動板よりもはるかに大きな紙コーンの動電型スピーカ(外径 $\phi 57$ 、基本共振周波数 0.4kHz)を用いた実験も行った。実験値は計算値(圧電振動板における計算方法をそのまま適用したが、仮定の一部は成立しない)より 8~13dB 低かったが、セラミック圧電振動板の場合よりは大きな音圧レベルの音が得られた。しかし、逆相にはならなかった。レバーを設置した空間を伝搬する音波が影響しているのではないかと考える。

レバーの支持構造・スティフネス・質量、空気室の密閉方法、振動板の基本共振周波数(使用可能周波数帯域)・等価容積などの問題を総合的に考えると、本提案の実現は残念ながら難しいと言わなければならない。

なお、カンチレバー式の実験用治具は岩崎通信機株式会社鴨頭氏に設計して頂いた。感謝します。

<p>研究のポイント</p>	<p>電子回路を用いないで、シーソーの原理を用いて機械的に入力騒音と逆相の音を発生し、これによって騒音を抑圧する構成の実現可能性を検討した。具体的には次の2種類の構成を検討した。</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. シーソー式: 支点の両側のレバーに振動板を接続し、逆相の音を発生させる。 2. カンチレバー式: 片持ち梁状のレバーに振動板を2枚接続し、逆相の音を発生させる。 <p>周辺に段差を持つセラミック圧電振動板と、振動板の等価容積がセラミック圧電振動板よりもはるかに大きな紙コーン動電型スピーカを用い、計算と実験によって、この構成で発生される逆相の音の音圧レベルを検討した。</p>
<p>研究結果</p>	<p>1のシーソー式では、支点部を通して漏洩する音を防ぐことがほとんどできなかった。</p> <p>2のカンチレバー式では、逆相の音を発生することができた。しかし、黄銅板の片側にセラミック圧電素子を貼付した圧電振動板の等価容積は、振動部の直径φ28、基本共振周波数1.1kHzのセラミック圧電振動板では約0.7ccしかなく、この影響が予想以上に大きく、発生する逆相の音の音圧は入力騒音の音圧に対して-30dB程度にしかならないことがわかった。紙コーンの動電型スピーカ(等価容積は100cc以上)を用いるとこれよりも大きな音が発生するが、この機構以外で発生する音の影響が大きく、逆相にはならなかった。</p>
<p>今後の課題</p>	<p>シーソー式は、レバーが軸の周りを極めて微少な角度の範囲ではあるが「ぶれ」無しで回転しなければならない。支点部分での摩擦軽減と音の漏洩防止も不可欠であるが、有効な案は見いだせなかった。</p> <p>カンチレバー式は、支点部分での摩擦を考慮する必要は無いが、支点部でのレバーのスティフネスをできるだけ小さくすることと、それ以外の部分では剛体と見なせるようにすることが必要である。後者を実現するにはどうしても質量が大きくなり、振動板の振動への影響が避けられなくなる。また、振動板としては、等価容積の観点から軽くて柔らかい材料が必要とされるが、柔らかい材料ではレバーとの接続も大きな課題となる。</p> <p>レバーの支持構造・スティフネス・質量、空気室の密閉方法、振動板の基本共振周波数(使用可能周波数帯域)・等価容積などの問題を総合的に考えると、残念ながら本提案の実現は難しい。</p>

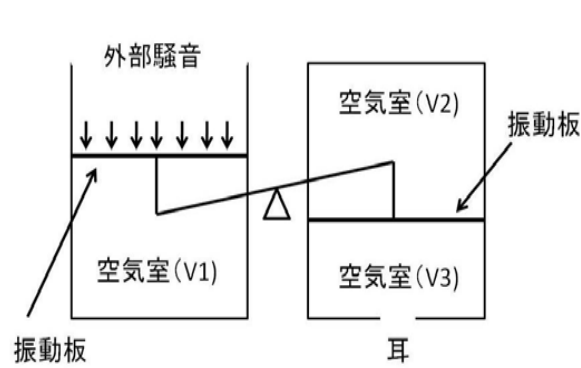


図1 シーソー式の構成図

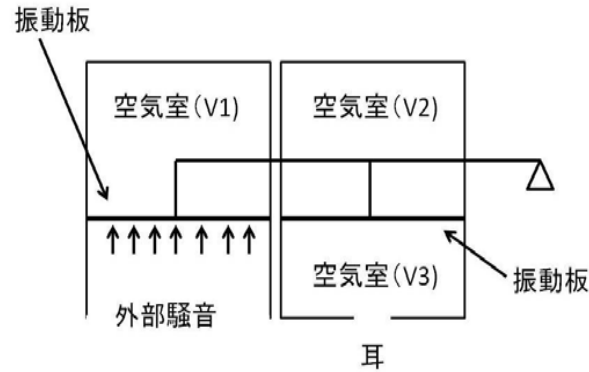


図2 カンチレバー式の構成図

表1 実験結果

振動板	レバー		発生音圧/入力音圧 (dB)	
	材質	比 n	実験値*1 - 計算値	計算値 (6cc) *2
圧電	チタン	2.0	-3	-27
		0.5	-2	-28
	ステンレス	2.0	-10	-27
		0.5	-8	-28
	アルミニウム	2.0	計測不能	-27
		0.5	計測不能	-28
動電*3	チタン	2.0	-13	4
		0.5	-8	-7

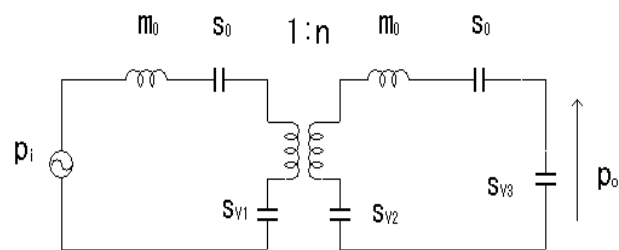


図3 等価回路

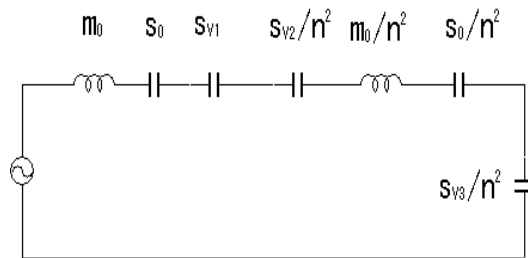


図4 変成器の一次側から見た等価回路

- *1: 圧電の場合は 100Hz、動電の場合は 50Hz での値
- *2: V3 を 6cc とした場合の計算値
- *3: V1, V2 ≫ 振動板等価容積として計算値を求めたが、動電の場合、この条件の成立は難しい。