

研究概要報告書

( 1/3 )

研究題目	MEMS 圧力センサと音響管を用いた小型音源方向定位デバイス	報告書作成者	高畑智之
研究従事者	岩瀬英治、高畑智之		
研究目的	<p>本研究では、小型の音源方向定位デバイスを目指して、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) による圧力差検出カンチレバー型センサ (以下、MEMS 差圧センサ) と音響管を組み合わせた構造の 3 軸方向への配置を目的とする。センサの構造は、小型でありながら音源方向定位を実現しているキリギリスの聴覚構造に着想を得たものである。</p> <p>音波は物体の位置などの周囲の環境情報を取得するための媒体として頻繁に用いられている。中でも、到達した音波の音源方向をセンシングする音源方向定位は生物のみならず、工学的にも重要である。例えば、音源を人が持ちロボットが音源方向定位デバイスを搭載することで、人に付いてまわるロボットが可能となる。このようなパーソナルロボットは、将来的に実現が期待されているものであり、音源定位センサはパーソナルロボットが持つセンサとして必要になるものの 1 つであると考え。これらの用途を考えた場合、音源方向定位デバイスは小型であることが必要であり、また用いる音源は可聴域でなく超音波域であることが望ましい。</p> <p>多くの動物は聴覚器官によって音源方向をセンシングしているが、その手法はスケールによって大きく異なっている。人間などの大型の動物では両耳の間に距離があり、音波の入射する方向によって、両耳間で音波が到達する時間の差 (ITD: Interaural Time Difference) や感じる音波の強度差 (IID: Interaural Intensity Difference) が生じるため、音源定位をすることができる。一方、昆虫などの小型の動物は両耳が空間的に近いので ITD や IID による音源定位は難しい。例えば、キリギリスは鼓膜と気管という単純な器官のみを用いて指向性を実現している。また、キリギリスの聴覚の指向性は音の周波数によって大きく変化することが知られている。そのため、申請者らは、この指向性の周波数による変化を利用することにより、小型でかつ単一のマイクロフォンのみで音源方向定位ができると考えた。</p> <p>このアイデアに基づき事前研究として、アクリルを加工して製作した音響管に MEMS 差圧センサを取り付けたラージスケールのセンサを試作し、原理の確認を行った。その結果、指向性に周波数依存性をもつマイクロフォンを実現し、また音源が最低 3 つの周波数を持てば音源の 2 次元方向の定位ができることを示した。これを 3 軸方向に配置することで、3 次元的な音源定位が可能であると考えられる。そこで、本研究では、小型かつ 3 軸の圧力差が計測可能なデバイスの実現を目的とした。</p>		

## 研究内容

本研究では、音響管と MEMS 差圧センサからなる構造を 3 軸方向に配置した小型 3 軸圧力差計測デバイスの構造を提案し、デバイスの周りの 3 軸方向の圧力差を直径 10 mm のサイズで計測可能なデバイスを実現した。デバイスの有効性を検証するために、センサ周りの圧力分布を風洞の中で空気の流れを作ることで与え、デバイスの圧力差情報から風速ベクトルを算出できることを示した。

本研究で提案する小型 3 軸圧力差計測デバイスは、音響管が配置された上層と下層、および MEMS 差圧センサが配置された中間層の 3 つの部分の積層で構成される(様式-10 図 2)。デバイスの形状は、周りを流れる空気の流れを乱さないように球形とした。センサの内部には互いに直交し、かつ交わらない 3 軸方向に配置された 3 つの音響管がある。それぞれの音響管の中に、音響管の両端の圧力差を測定するための MEMS 差圧センサが、音響管と垂直となるように配置されている。上層と下層はそれぞれ半球であり、3 つの音響管の半分ずつが各層に開けられている。中間層には基板に対して水平方向に、3 つの MEMS 差圧センサが設けられている。それぞれのセンサはピエゾ抵抗型カンチレバーであり、カンチレバーの根元の表面にあるピエゾ抵抗層が表面のひずみに応じた抵抗値の変化を示す。カンチレバーの表裏に圧力差が発生すると、カンチレバーが変形して根元に歪が生じ、抵抗値を計測することで圧力差を知ることができる。3 つの MEMS 差圧センサが対応する 3 軸方向の音響管の上流側と下流側の圧力差を測定することで、音波が到達したときの音源の方向を求めることが可能である。また、同じ構成で、空気の流れがあったときのデバイス周りの風速ベクトルを求めることも可能である。

センサの上層と下層は、ともにモールドイングで作製した(様式-10 図 3(a))。まず、モデリングワックスを加工して型を作製し、次に、この型を用いてシリコーンゴム(信越シリコーン、KE-113)を成型した。中間層は SOI (silicon on insulator) ウェハを用いてピエゾ抵抗カンチレバーからなる MEMS 差圧センサを作製した(様式-10 図 3(b))。SOI ウェハの各層の厚さは、デバイスシリコン層が 300 nm、BOX (buried oxide) 層が 400 nm、ハンドルシリコン層が 300  $\mu\text{m}$  である。まず、デバイスシリコン層の表面に不純物を拡散させ、N 型のピエゾ抵抗層を形成した。次に、金の薄膜を成膜し、電極を形成した。さらに、カンチレバーの形状となるように、ICP-RIE (誘導結合プラズマ反応性イオンエッチング) 装置でデバイスシリコン層およびハンドルシリコン層をエッチングした。最後に、BOX 層をフッ化水素酸の蒸気でエッチングし、カンチレバーを基板からリリースした。カンチレバーの一つを電子顕微鏡で観察し、設計した形状が作製できたことを確認した(様式-10 図 3(d))。カンチレバーと基板部分との間隔は 10  $\mu\text{m}$  である。これらの上層、下層および中間層を積層して、一体の 3 軸センサを作製した(様式-10 図 3(c))。以上の製作手法により、デバイス全体として直径 10 mm の球形状で実現した。センサの中間層から、3 つのカンチレバーの出力を読み出すための電極が出ている。

この小型 3 軸圧力差計測デバイスを評価するために、3 軸方法に圧力差を与える実験を行った。手法としては、風洞で一定の風速の空気の流れを作り、その中にデバイスを 2 軸の回転ステージの上に設置し、空気の流れの方向と風速を算出した(様式-10 図 4)。

研究概要報告書

( 3/3 )

<p>研究のポイント</p>	<p>本研究のポイントは、デバイスを3層の積層構造にして3軸方向の音響管の形状を工夫することで、3軸方向に対応した3つのMEMS差圧センサ全てを1つの平面内に配置するようにしたことである。これは、3軸計測用の3つのMEMS差圧センサを1つのSOI基板上に従来のMEMSプロセスによって製作可能であるため、センサの製作手法がシンプルとなり、小型化にとって非常に有益である。</p>
<p>研究結果</p>	<p>直径10mmの球状の小型3軸圧力差計測デバイスを試作した。センサを評価するために風洞で一定の風速の空気の流れを作り、その中にセンサを2軸(<math>\theta</math>, <math>\varphi</math>)の回転ステージの上に設置し、空気の流れの方向と風速を測定する実験を行った(様式-10 図4)。風洞の流れの速度を0 m/s から6 m/s まで変化させて計測した。風速3 m/s において、<math>\varphi</math> を90° に固定して<math>\theta</math> を変化させたとき、および、<math>\theta</math> を0° に固定して<math>\varphi</math> を変化させたときの風速ベクトルの各成分の計測結果を、様式-10 図5(a)および(b)に示す。様式-10 図5(b)の計測結果から風速と流れの方向を推定した結果、二乗平均平方根誤差はそれぞれ0.4 m/s(様式-10 図6)および11°であった。</p>
<p>今後の課題</p>	<p>本研究ではデバイスの形状を球形にすることでデバイスの周りの空気の流れの乱れを最小限に抑えようとした。しかしながら、3軸方向の差圧の信号を読み出すための電極がデバイスから出ており、この電極が計測の精度に影響を与えた。様式-10 図5でx方向およびy方向の風速が0°付近で乱れているのは、この電極に起因するものと考えられる。今後の課題として、空気の流れを乱さないための電極配置、電極の細径化、または無線化の検討が挙げられる。</p>

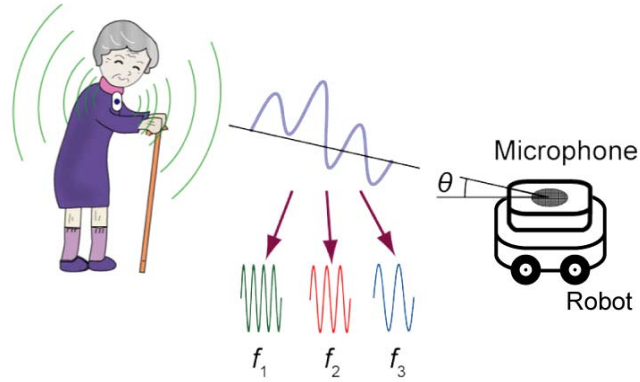


図 1：本提案の音源方向定位センサの活用シーン。

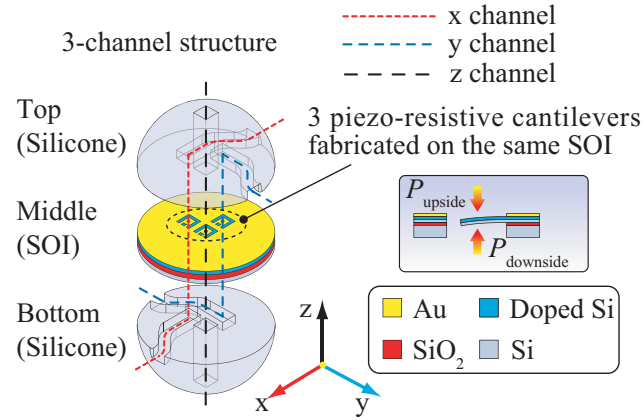


図 2：小型 3 軸圧力差計測デバイスの概要。

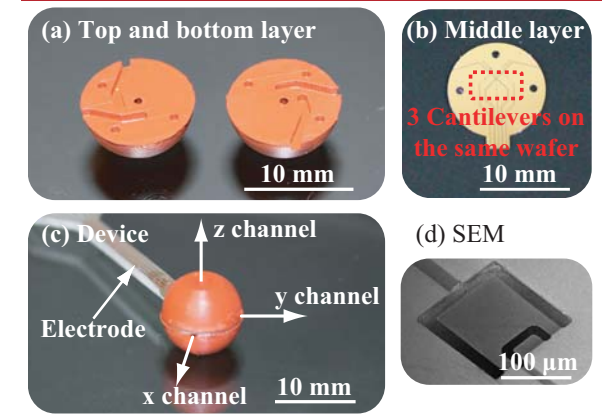


図 3：試作した小型 3 軸圧力差計測デバイス。

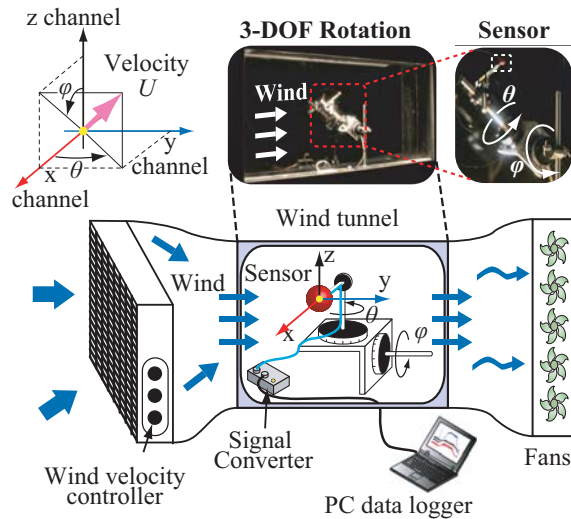


図 4：デバイスの性能評価のためのセットアップ。

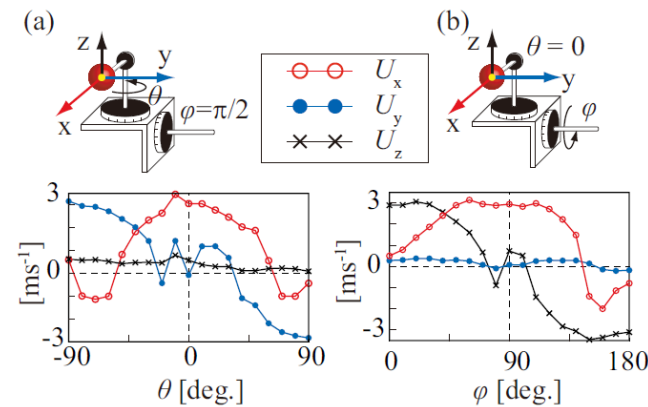


図 5：デバイスの角度を変えたときの風速計測結果。

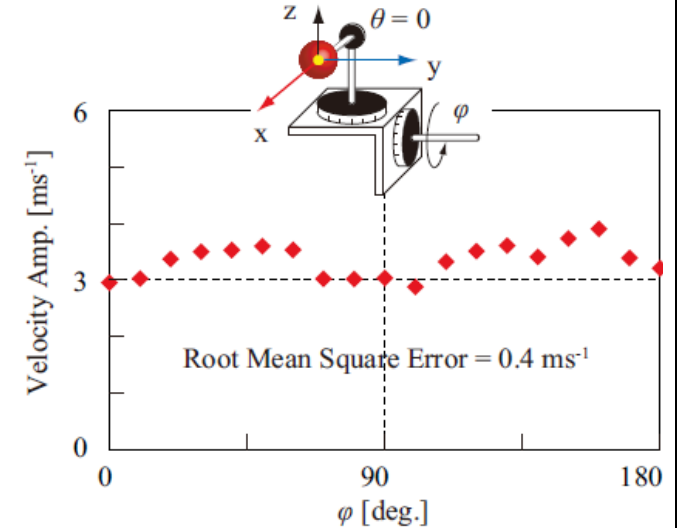


図 6：図 5(b)の計測結果を元にした風速の推定。

(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。)