

研究題目	エバネッセント波を用いた近接センサの基礎的研究	報告書作成者	本郷 哲
研究従事者	本郷 哲		
研究目的	<p>物体が接近したことを検知する近接センサは、様々の機器、ロボット、工場のライン等の中に数多く仕組まれており、重要なセンサデバイスである。現在、距離や近接度を測るセンサとして、光学的な方法・電磁的な方法・超音波パルスエコーによる方法が主に使われている。しかし、光学的な方法では透明体に対する感度劣化、教面反射体に対するレーザ発振の不安定化などの問題がある。電磁的な方法では、電導性のある金属のみしか測定できない。超音波パルスを用いた場合には、検知対象物の依存性は少ないものの、微小な距離範囲における検知が困難である。以上のことから、検知対象物に因らない微小距離範囲における検知が可能な近接検知方式、近接センサの開発が望まれている。</p> <p>薄い板を伝播する屈曲波の音速は、その板の寸法、振動周波数を選ぶことにより、空中音速以下になる。このとき、屈曲振動板周辺にはエバネッセント音場と呼ばれる屈曲振動板から伝播音波を放射しない停留音場が形成される。このエバネッセント音場は、音源（屈曲振動板）と共に振動し、音源の一部と見做すことができるものであり、音源から離れるに従って指数関数的に急速に減衰する性質をもつ。この音場に検知対象物が侵入すると、屈曲振動に大きな影響を与えることが予想される。</p> <p>本研究では、この音場を利用することにより、検知対象物に因らない極微小距離における物体の接近が検知できるのではという着想を得、近接センサを実現するための基礎的な知見を得ることを目的として研究を推し進める。具体的には、屈曲振動子を圧電体で構成あるいは、圧電体で駆動する振動板で構成することにより、振動の変化を電気的インピーダンスの変化として検出し、それを計測することによって近接度を測定する。本研究では、特に以下の点について重点的に研究を行う。</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) エバネッセント音場を形成し得る振動子形状や周波数の調査</li> <li>2) 振動子-検知対象物間距離と圧電屈曲振動子のインピーダンスの関係の追究</li> <li>3) 検知対象物の依存性、測定方法の検討</li> <li>4) 近接センサの理論解析のための等価回路の検討</li> </ol> <p>本研究で検討している近接センサは、従来にない新しいタイプの近接センサであり、開発されれば様々の応用が期待されるものである。このようなエバネッセント音場を利用した近接センサに関する研究は現在のところ国内外を問わず行われておらず、学問的にも大きな意義がある。</p>		

## 研究内容

## (1) エバネッセント波形成のための振動子の条件と近接センサの試作

薄い板を伝播する屈曲波の音速は、その板の寸法、振動周波数を選ぶことにより、空中音速以下になり、その周辺にエバネッセント音場が形成される。エバネッセント音場形成のための屈曲振動子の材料、形状及びその動作周波数の条件を理論的に解析を行い、屈曲波の音速と空中音速の比較を行った。その結果、リン青銅板で屈曲波を形成した場合には、0.3mm以下の厚さで屈曲振動子を作製することが望ましいことがわかった。また、 $\text{LiNbO}_3$  圧電結晶板で屈曲振動板を形成した場合には、エバネッセント音場形成のためには、0.1mm以下の板厚にすることが望ましいことがわかった。そこで、近接センサ実現に適すると考えられるものとして、長さ10mm、幅4mm、厚さ0.1mmの $\text{LiNbO}_3$ 屈曲振動子を選択し、この形状について試作を行った。

$\text{LiNbO}_3$ 140° 回転 Y 板をキュリー点直下で (1130℃付近) 熱処理することにより、+面側の分極が反転する現象がある。この現象を利用して圧電結晶単体の屈曲振動子を作製し、その片端を固定することにより近接センサを構成した。

## (2) 検知対象物—屈曲振動子間距離によるインピーダンス変化

近接センサ及び検知対象物を光学実験台にセットし、対象物—振動子間距離をマイクロメータにより精密に測定を行いながら、インピーダンスアナライザを用いて近接センサの電気端インピーダンスの測定を行った。エバネッセント音場と考えられる領域に検知対象物が侵入すると屈曲振動子の電気端インピーダンスが大きくなり、近接度を検知できることが明らかとなった。また、屈曲振動の周波数から算出した空中波長に比べ極めて小さい距離領域でインピーダンス変化が起こるため、この近接センサは距離分解能が非常に高いことが明らかとなった。

## (3) 検知対象物の依存性の検討

本近接センサは、検知対象物によるエバネッセント波の減衰量を振動子の振動減衰、さらには電気端アドミッタンスの減少として検知するものである。従って、従来の光学的方式・電磁的方式のものに比べ、検知対象物固有の影響は受けにくい可能性がある。そこで、検知対象物を変えながらその距離による変化の測定を行った。検知対象物としては、ガラス、アルミニウム、アクリル板、ビニール膜、真鍮ブロック等様々なものを用いた。測定の結果、検知対象物による検知感度の差異は認められず、本近接センサは検知対象物に影響を受けず、幅広い応用が可能であることが明らかとなった。

## (4) 等価回路による解析の検討

圧電振動子の等価回路、振動板から空中放射した場合の放射インピーダンスの等価回路はよく知られているが、これと独立な、エバネッセント音場における等価回路を考案し、この3種の回路を結合することにより、本測定法の等価回路解析を行った。エバネッセント音場における減衰を、検知対象物—振動子間距離により変化する可変抵抗とみなすことでほぼ解析できることがわかった。

研究のポイント	<p>薄い板を伝播する屈曲波の寸法、振動周波数を選ぶことにより、屈曲振動板周辺にはエバネッセント音場と呼ばれる屈曲振動板から空中へ音波を放射しない音場を形成することができる。このエバネッセント音場は、音源（屈曲振動板）と共に振動し、音源の一部と見做することができるものであり、音場に検知対象物が侵入すると、屈曲振動に大きな影響を与えられられる。</p> <p>本研究においては、検知対象物に因らず極微小距離における物体の接近が検知可能な近接センサを実現するために、このエバネッセント波を利用するというのがポイントである。</p> <p>本研究で検討を行っている近接センサは、従来にはない新しいタイプのものであり、開発されれば様々な応用が期待されるものである。このようなエバネッセント音場を利用した近接センサに関する研究は現在のところ国内外を問わず行われておらず、学問的にも大きな意義がある。</p>
研究結果	<p>リン青銅板を用いて近接センサを作製する場合には、0.3mm以下の厚さが望ましいことがわかった。また、LiNbO<sub>3</sub>圧電結晶板で屈曲振動板を形成した場合には、エバネッセント音場形成のためには、0.1mm以下の板厚にすることが望ましいことがわかった。エバネッセント音場と考えられる領域に検知対象物が侵入すると屈曲振動子の電気端インピーダンスが大きく変化し、近接度を検知できることが明らかとなった。また、屈曲振動の周波数から算出した空中波長に比べ極めて小さい距離領域でインピーダンス変化が起こるため、このエバネッセント波近接センサは距離分解能が非常に高いことが明らかとなった。近接センサの検知対象物としては、ガラス、アルミニウム、アクリル板、ビニール膜、真鍮ブロック等様々なものを試した。その結果、検知対象物による検知感度の差異は認められず、本近接センサは検知対象物に影響を受けず、幅広い応用が可能であることが明らかとなった。エバネッセント音場における減衰を、検知対象物—振動子間距離により変化する可変抵抗とみなすことでほぼ解析できることがわかった。</p>
今後の課題	<p>本研究では、屈曲振動子の屈曲面を利用したエバネッセント波近接センサを作製し、実験を行いその特性を明らかにした。しかし、エバネッセント音場を形成し得る音源は、ピストン振動板等様々のものが考えられる上、屈曲振動子の場合の端部におけるエバネッセント音波を利用することも考えられる。今後は、屈曲振動子端部のエバネッセント音場、ピストン振動子によるエバネッセント音場を利用した近接センサについてもその基礎特性を調査することが期待される。</p> <p>また、エバネッセント波近接センサがエバネッセント音場の減衰を利用している点を考察すれば、本センサが近接センサのみならず、触覚センサ、気圧センサなどへの応用も期待される。これら各種センサへの応用についても今後の研究が期待される。</p>

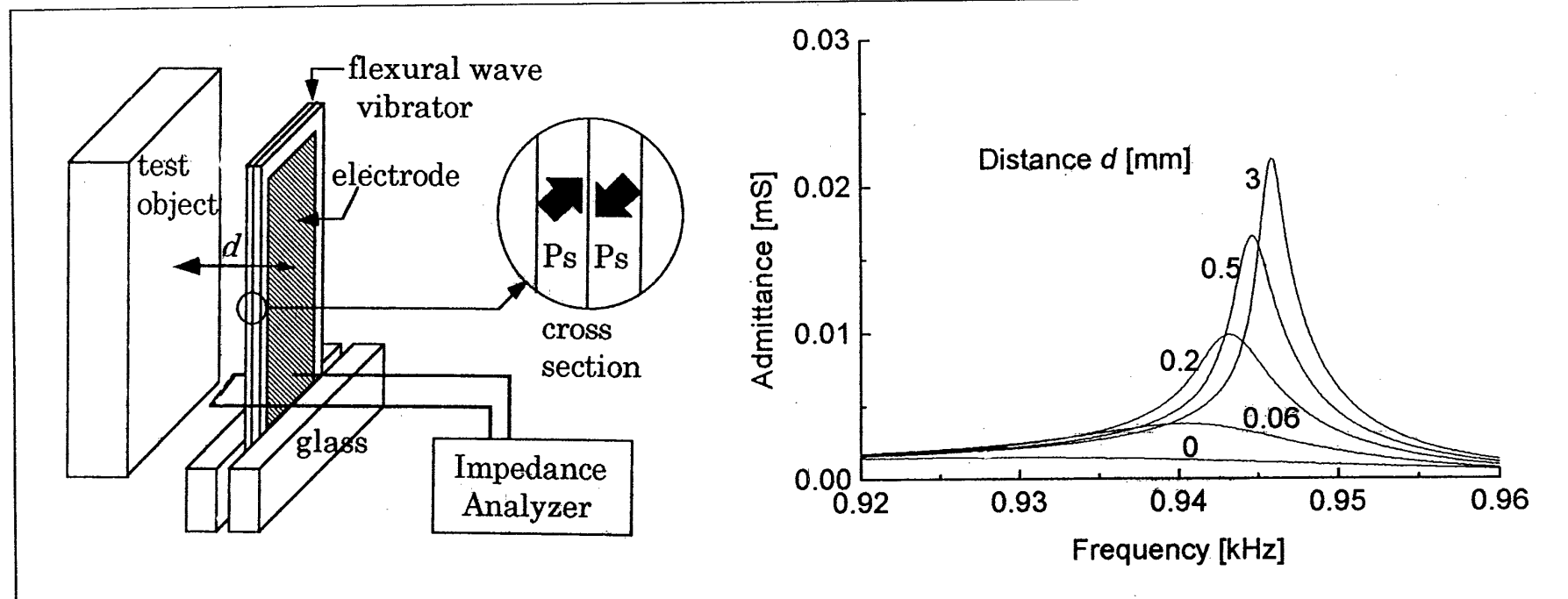


図1 エバネッセント近接センサ実験概念図

図2 距離によるアドミタンス特性の変化

図1に示すように片端固定の屈曲振動子によりエバネッセント波近接センサを構成し、検知対象物を近づけることによりその近接度を検知する。簡単な測定結果を図2に示す。振動子と検知対象物間の距離が減少するに従って、アドミタンス（複素抵抗の逆数）が減少していることが確認された。これは、エバネッセント音場に検知対象物が侵入するために生ずる粘性抵抗が圧電振動子を通し電気抵抗として感知するためであると考えられる。この変化を利用し、本研究では、近接センサを得るための基礎的な研究を行った。

(注: フローチャート、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。)