

Membrane 型ハイドロホンの周波数応答の改善に関する検討

細川 篤* 稲田 裕士**

Improvement of Frequency Response of a Membrane Hydrophone

Atsushi HOSOKAWA, Hiroshi INADA

ABSTRACT

A membrane hydrophone is composed of a piezoelectric polymer film and a rigid frame. In the frequency response of the membrane hydrophone using a circular frame, a periodic variation can be caused by receiving the diffracted waves, which are generated at the inside edge of the frame. In this work, the shape of the frame was experimentally investigated to reduce the influence of the diffracted waves and to improve the frequency response. For the membrane hydrophone with a rounded edge, the influence of the reflected waves from the rounded part, rather than that of the diffracted waves, was clearly observed. Using a square frame, on the other hand, the frequency response was improved because the diffracted waves near the corner of the square were not received.

KEY WORDS: membrane hydrophone, frequency response, diffracted wave, frame

1. はじめに

Membrane 型ハイドロホンは高分子圧電フィルムを用いたハイドロホン的一种であり、理想的には圧電フィルムの両面に電極を取り付けただけの単純な構造のものである。圧電フィルムの音響特性が水に近いいため、Membrane 型ハイドロホンは音場を乱すことが少ないと言われている。しかし実際には、柔軟な圧電フィルムを固定するための頑丈なフレームが必要であり、このフレームが音場に影響を及ぼすと考えられる。

前回の研究¹⁾では、1 MHz 以下の周波数領域において周期的に変動する周波数応答が観測された。さらに、この変動はフレームの内側のエッジで回折した波が受波されることが原因であることが示された。今回は、回折波の影響を軽減し、周波数応答を改善する方法について検討を行った。具体的には、フレームの形状を変えた Membrane 型ハイドロホンを製作し、その周波数応答を従来のものと比較した。

2. 従来の Membrane 型ハイドロホン

2.1 構造

筆者らによる以前の研究¹⁻³⁾において製作した Membrane 型ハイドロホンの構造を図 1 に示す。

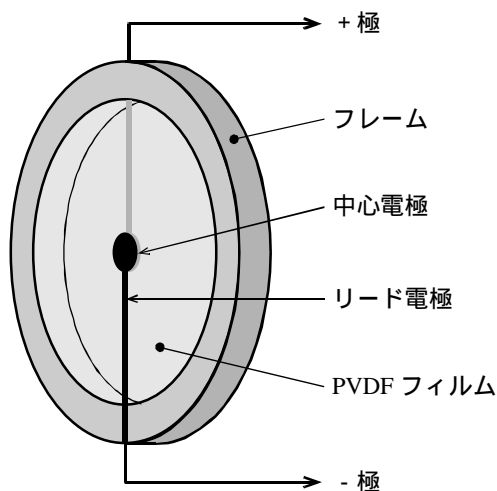


図 1 従来の Membrane 型ハイドロホンの概略図

*電気情報工学科、**明石高専卒業生(現、岡山大学)

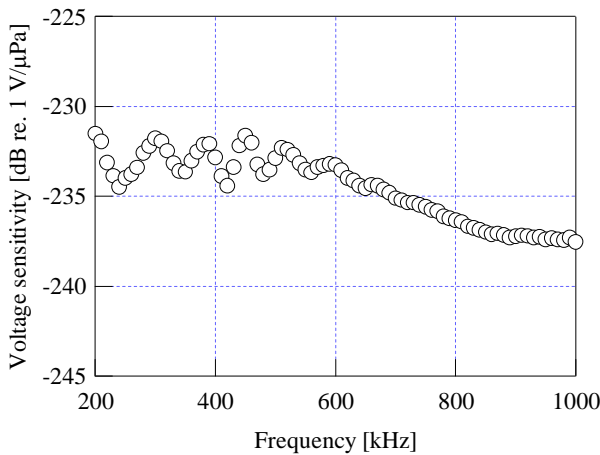
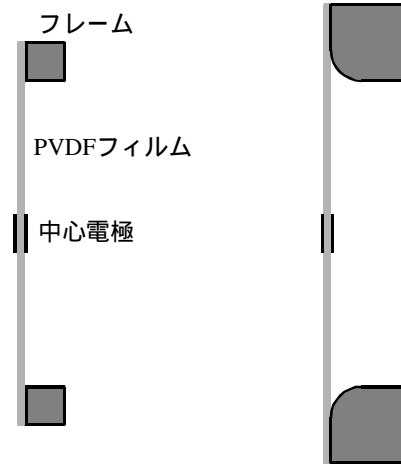


図2 従来の Membrane 型マイクロホン周波数応答 (文献1)



従来のマイクロホン エッジを丸めたマイクロホン
図4 エッジを丸めた Membrane 型マイクロホン

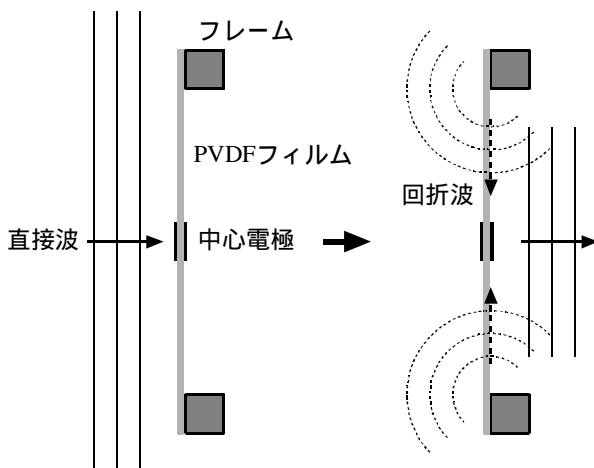


図3 回折波の発生

膜厚 40 μm の PVDF 圧電フィルムが用いられており、たるみが生じないように円形フレームに接着されている。フレームの内径は 40 mm、外径は 50 mm (フレームの厚さは 5 mm)、超音波を受波する中心電極の直径は 5 mm、中心電極から電気信号を導くリード電極の幅は 1 mm である。静電容量が形成されて受波感度が低下しないように、フィルムの表面と裏面のリード電極を重ねずに互いに逆方向に伸ばしている³⁾。

2.2 周波数応答

図1に示した Membrane 型マイクロホンの周波数応答¹⁾を図2に示す。200 kHz から 600 kHz の範囲において、感度の周期的な変動が見られる。この変動の原因は、フレームの内側で発生した回折波である¹⁾。図3に示すように、フレームの内径よりも大きな直径の超音波ビームが入射すると、超音波が中心電極に到達すると同時にフレームのエッジで回折波が発生する。

中心電極に直接到達する波と回折波が干渉して受波されるため、周波数とともに受波波形の振幅すなわち感度が上下に変動する。600 kHz 以上において感度の変動が見られないのは、超音波ビームの直径がフレームの内径より小さくなるからである。

正確な超音波測定を行うためには平坦な周波数応答を有するマイクロホンが望まれるので、図2に見られるような感度の変動は好ましくない。前述のように、この変動はフレームのエッジで発生した回折波が受波されることによって生じる。したがって、周波数応答を改善するためには、フレームのエッジで回折波が発生しないようにするか、回折波が受波されないようにすればよい。

3. 周波数応答の改善

3.1 回折波の発生抑制

フレームのエッジで発生する回折波を抑制する方法として、エッジを丸める方法が前回の研究¹⁾において提案されている。また、Needle 型マイクロホンにおいて、その背極材の円周部分を丸めることによって周波数応答が改善することも報告されている⁴⁾。そこで、エッジを丸める方法の効果を調べるために、図4に示すようにエッジを丸めた Membrane 型マイクロホンを製作した。なお、エッジの曲率半径を 4 mm とした。また、圧電フィルムを接着する部分を大きくするために、フレームの厚さを 10 mm とした。ただし、フレームの内径は 40 mm のままで、外径は 60 mm である。フレームの厚さあるいは外径が周波数応答に影響を及ぼさないことは、エッジを丸めずにフレームの厚さだけを 10 mm とした Membrane 型マイクロホンを製作して確認した。

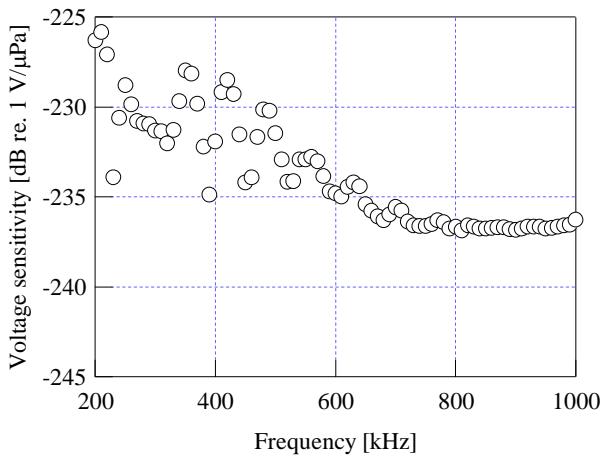
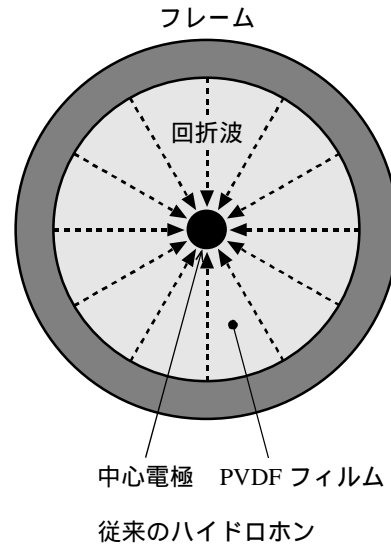
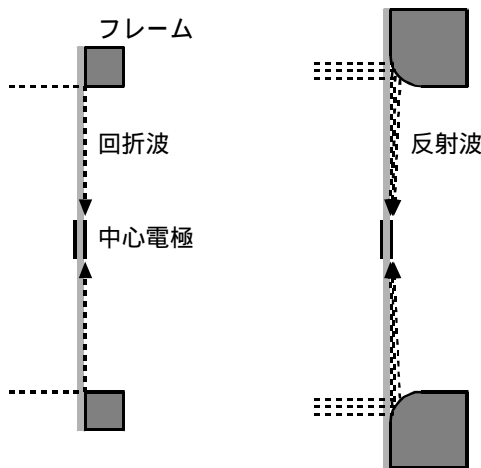


図 5 エッジを丸めた Membrane 型ハイドロホンの周波数応答



中心電極 PVDF フィルム
従来のハイドロホン

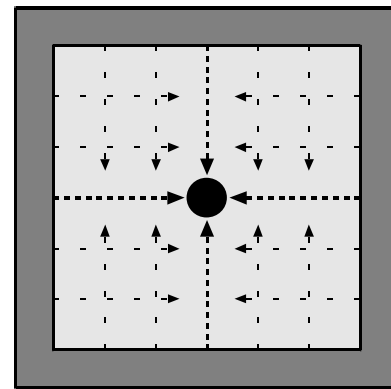


従来のハイドロホン エッジを丸めたハイドロホン

図 6 回折波と反射波

エッジを丸めた Membrane 型ハイドロホンの周波数応答の測定結果を図 5 に示す。図 5 においても従来の周波数応答 (図 2) と同様に、感度の周期的な変動が観測できる。さらに、図 2 における変動の振幅が約 4 dB であるのに対して、図 5 では約 7 dB と大きくなっている。この結果から、エッジを丸めると周波数応答の変動が大きくなる事が分かる。

エッジを丸めることによって回折波の発生を抑えることはできるが、丸めた部分で反射が生じる。図 5 の変動の原因は、丸めた部分からの反射波であると考えられる。図 6 に示すように、従来の Membrane 型ハイドロホンにおける回折波はフレームのエッジすなわち円周線上で発生する。他方、エッジを丸めた Membrane 型ハイドロホンにおける反射波は丸めた部分すなわち幅のある円周面上から生じる。反射波のすべてが受波されるわけではないが、受波される反射



正方形フレームのハイドロホン

図 7 正方形フレームの Membrane 型ハイドロホン

波の振幅は回折波よりも明らかに大きい。したがって、周波数応答の変動の振幅は大きくなる。

前回の研究では、エッジを丸めるだけでなく、その部分に吸音材を充填する方法が考えられている¹⁾。しかし、充填できる部分は小さいので大きな効果は期待できない。

3.2 回折波の受波の軽減

従来の Membrane 型ハイドロホンのように円形フレームの中心に超音波を受波する電極を設けると、エッジで発生したすべての回折波が同時に受波される (図 7 参照)。フレームの形状を正方形にすると、各辺の中央のエッジで発生した回折波しか受波されない。したがって、正方形のフレームの Membrane 型ハイドロホンでは回折波の影響は少なくなると予想される。そこで、内辺 40 mm、外辺 50 mm (厚さ 5 mm) の正方形フレームの Membrane 型ハイドロホンを製作し、その効果について調べた。

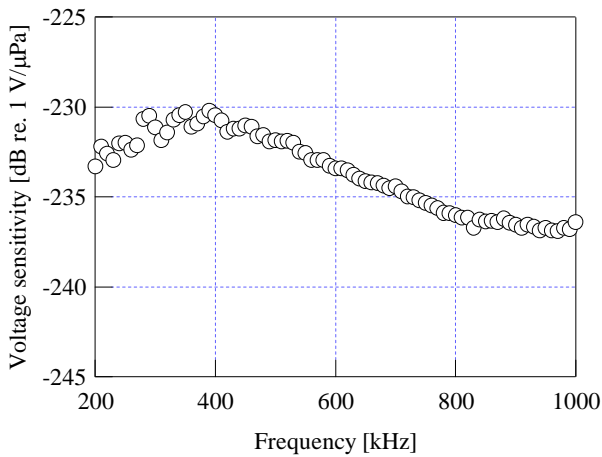


図8 正方形フレームの Membrane 型マイクロホンの周波数応答

正方形フレームの Membrane 型マイクロホンの周波数応答を図8に示す。変動の振幅は2 dB以下であり、従来の周波数応答の変動(約4 dB)よりも小さい。このように、フレームの形状を正方形にすることによって周波数応答が改善されることが示された。また、三角形フレームを用いれば、回折波の影響はより少なくなると予想される。しかし、ほとんどの場合において超音波ビームの断面が円形であることを考えれば、三角形フレームは不適當である。同様に、非対称形状のフレームも不適當である。

回折波の影響を軽減する方法として、回折波が受波される時間を分散させる方法も考えられる。具体的には、超音波を受波する電極の位置をフレームの中心からずらして回折波の受波時間に差が生じるようにする、

エッジに凹凸をつけて回折波を散乱させるなどが考えられる。

4. まとめ

Membrane 型マイクロホンの周波数応答は、フレームのエッジで発生する回折波の影響によって周期的な変動を示す。今回の研究では、回折波の影響を軽減することができるフレームの形状について検討した。まず、回折波の発生を抑えるためにエッジを丸めたフレームを用いた。その結果、丸めた部分から反射波が生じ、反射波の影響は回折波よりも大きくなった。次に、回折波の受波を減らすために正方形のフレームを用いた。その結果、回折波の影響が少なくなり、周波数応答が改善された。さらに、回折波の受波時間を分散させる方法も提案した。

参考文献

- 1) 細川篤、清水裕量：“ Membrane 型マイクロホンの周波数応答に対するフレームの影響について ”、明石高専研究紀要、第46号、51-56頁 (2003)。
- 2) 細川篤、真崎敦史：“ Membrane 型マイクロホンの指向特性について ”、明石高専研究紀要、第46号、57-61頁 (2003)。
- 3) 細川篤、中道大介：“ Membrane 型マイクロホンの周波数特性 ”、明石高専研究紀要、第45号、69-73頁 (2002)。
- 4) 中村安宏：“ 高分子圧電膜マイクロホンの周波数応答の解析と指向特性に関する研究 ”、同志社大学博士論文、104-119頁 (1993)。