

薄型水中音響レンズの音波透過特性におけるエバネッセント場の影響

SATテクノロジー・ショーケース2022

■ はじめに

複雑な電子回路などを用いずに水中の音波を収束させる音響レンズは、水中カメラやソーナーの小型化や省電力化を実現するデバイスとして着目されている。しかし、音響レンズの性能は、入射角が臨界角を超えない範囲で評価されることが多い。この理由は、幾何光学においては、入射角が臨界角を超えると、凹面レンズでは全反射が発生してしまうからであると考えられる。しかし、レンズの厚さが音波の波長オーダーになると、エバネッセント場の存在が無視できなくなる[1, 2]。よって、レンズが薄型化するにつれ、大入射角においても、レンズに入射した音波があたかも透過するような現象が発生する可能性がある。しかし、そのような影響を検討した例はあまり見られない。

そこで、本研究では、FDTD法によるシミュレーションを用いて、薄型水中音響レンズの音波透過特性を検討した。

■ 活動内容

1. 楔型媒質における入射角と屈折角の関係

音響レンズは水と屈折率の異なる材質の形状や厚さを曲面状に変化させることで、音波を屈折させ、発散または収束させるデバイスである。そこで音響レンズの一部である楔型媒質に、図1に示すように、 0° から 60° の入射角で音波を入射させた。そして、楔型媒質を透過した音波の角度変化 $\theta_2 - \theta_1$ を、2次元FDTD法を用いて計算し、下記の理論式と比較した。

$$\theta_1 - \theta_2 = \begin{cases} \theta_1 - \sin^{-1}\left(\frac{n_1}{n_2} \sin \theta_1\right) - \varphi & (\theta_1 \leq \theta_c) \\ \theta_1 - \sin^{-1}(\cos \varphi \sin \theta_1) - \varphi & (\theta_1 > \theta_c) \end{cases}$$

その結果、図2に示されるとおり、音波は入射角 θ_1 が、臨界角 θ_c を超えても楔型媒質を透過するとともに、図1におけるCase1の条件下ではエバネッセント場を仮定した理論式に従うことが確認できた[3]。

2. 音響レンズの性能評価

2次元FDTD法を用いて臨界角を超える音波がレンズに入射した際の音波透過特性を検討した。検討対象の音響レンズは実際に使用されている両凹レンズとした。シミュレーションの結果、レンズの最小厚みが波長の3分の1程度の薄型音響レンズでは、入射角が臨界角を超えても音波はレンズを透過することが確認された(図3)。従って、厚さ

が波長オーダーの音響レンズは、エバネッセント場の影響が顕著に現れることから、大きな入射角まで音波透過特性を事前に検討する必要があることが明らかになった。

■ 関連情報等(特許関係、施設)

- [1] 吉川, 日本音響学会誌, Vol. 52, No. 12, pp.997-1004,1996.
- [2] 田邊ら, 海音議論集, pp. 49-59 2020.
- [3] Tanabe *et al*, Proc. Symp. Ultrason. Electron, Vol.41, 2020.

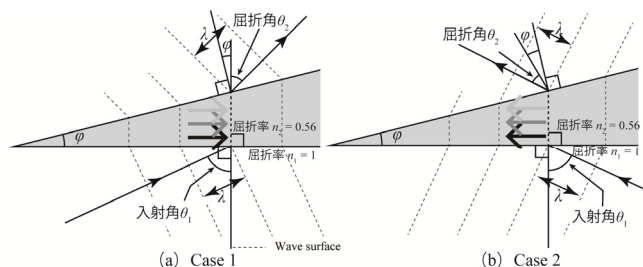


図1. 入射角 θ_1 と屈折角 θ_2 の関係

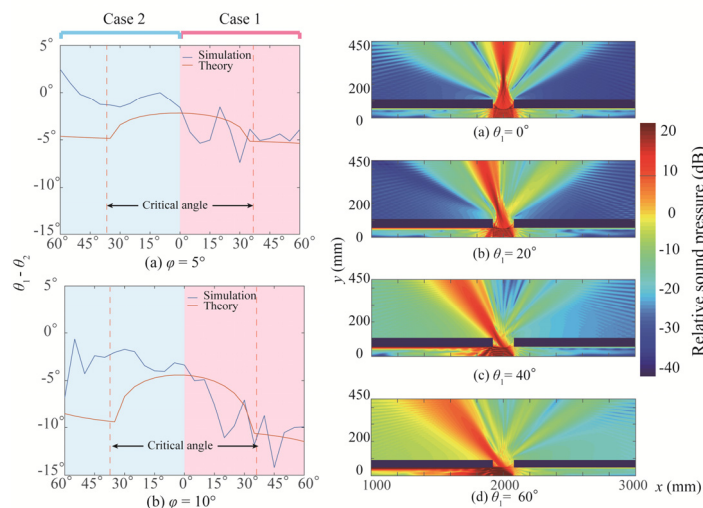


図2. 楔型媒質に音波を入射させた際の角度変化 (臨界角: 34.04°)

図3. レンズの透過特性

代表発表者 田邊 昭子(たなべ しょうこ)
 所属 筑波大学 理工情報生命学院
 システム情報工学研究群
 知能機能システム学位プログラム
 問合せ先 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1
 TEL:029-853-6470 FAX:029-853-6471
 ebihara@iit.tsukuba.ac.jp

■キーワード: (1) 水中音響
 (2) イメージング
 (3) 有限差分時間領域法
 ■共同研究者: 海老原 格 (筑波大学)
 佐藤 裕治 (筑波大学)
 若槻 尚斗 (筑波大学)
 水谷 孝一 (筑波大学)