

水中音響レンズに音波が入射した際の多重反射の数値シミュレーション

田邊昭子[†] 佐藤祐治^{††} 若槻尚斗^{†††} 水谷孝一^{†††} 海老原格^{†††}

[†] 筑波大学工学システム学類 ^{††} 筑波大学大学院システム情報工学研究科 ^{†††} 筑波大学システム情報系

1. はじめに

昨今、海洋調査、開発、インフラ維持のために水中ドローンのネットワーク化が急務となっている。しかしながら、有線で実現するには非現実的な規模であるため、無線通信が不可欠である。一方で、既存の水中音響無線通信としては無指向性や、アレイアンテナを用いた送信手法等がある。しかし前者は、コンパクトな通信設備で実現出来るが、消費電力が大きく通信距離が短いという短所がある。また後者は指向性が高く、通信距離が長いという長所があるが、通信設備の規模や消費電力が大きという短所がある。そこで、音響レンズを用いた小型で省電力な水中音響通信を考案した[1]。音響レンズとは周囲との媒質と音速が異なる媒体に音を入射する際に屈折が生じ、この屈折によって音響ビームを集束または発散させることが出来る素子である[2]。

本研究では、音響レンズを実際の水中音響通信で扱うために、FDTD法によるシミュレーション[3]を用いて音響レンズ内での多重反射の影響を評価した。

2. 計測手法

シミュレーションの条件を図1に示す。縦1000 mm、横2000 mm、音源からレンズの中心までの距離を700 mm、送信信号は平面波のインパルス信号とした。通信路における信号の伝搬は、二次元FDTD法を用いて水中内として計算する。レンズは、アクリル製で、音速2730 m/s、曲率半径450 mm、直径200 mm、厚さが最小30 mmを想定した。平面波の入射角は、レンズの軸に対して0、20度の二種類とし、それぞれについてレンズ表面における反射がある場合とない場合における音波伝搬シミュレーションを行い、レンズ焦点付近の音圧のピーク位置を測定点とした。

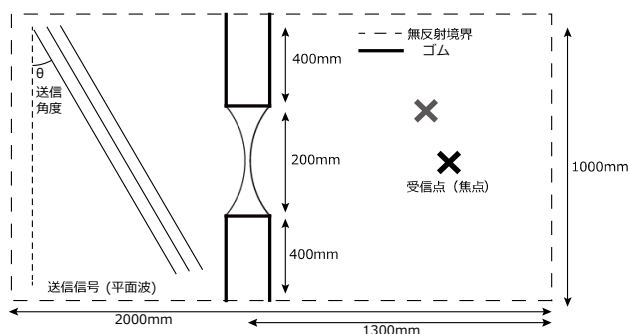


図1. シミュレーション環境

3. 結果・考察

シミュレーションの結果を図2に示す。入射角 θ が0度の音圧分布(反射あり)を図2(a)に、測定点における音圧信号のパワースペクトルを図2(b)に示す。図2(b)で、 θ が0度の時のパワースペクトルは反射有の場合が反射無しに比べて全体的に2dB程度低下し、パワースペクトルの変動は見られなかった。一方で θ が20度の時、 θ が0度の時と比較して反射の有無によらず、パワースペクトルに波打ちが見られた。これはレンズの収差により焦点でも伝搬経路が異なるために、経路長差分の遅延広がりが発生したことによると推測される。このことから、入射角が大きくなるほど遅延広がり広がっていくことが確認された。また、高周波になるほど遅延広がり影響が大きくなりみられているが、これはFDTD法の速度分散による影響も受けている可能性がある。

4. 今後の課題

今後は複数の角度とレンズの厚さの組み合わせにおけるシミュレーションにより、実際の音響レンズ作成に必要な水中特性を明らかにし、水中移動体に適した音響レンズの作製に取り掛かる予定である。

参考文献

- [1]佐藤祐治ら, "音響レンズを用いる水中音響通信とその数値解析," 日本音響学会秋季研究発表会, 2-P-19, 2019.
- [2]松居吉哉, "レンズ設計法," 共立出版, 2018.
- [3]土屋建伸ら, "FDTD法による遷移層を有する浅海海底からの反射パルス波の推定," 超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム講演論文集, 24, 279-280, 2003.

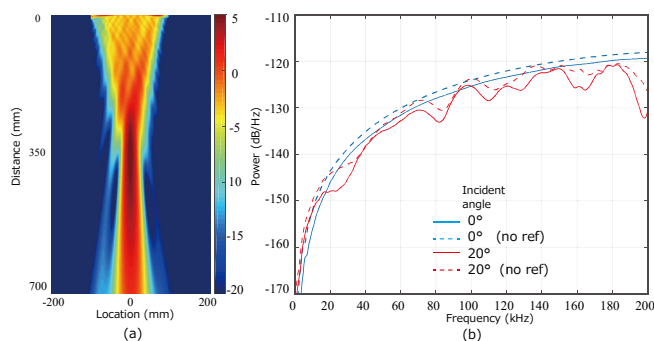


図2.シミュレーションの結果

- 垂直入射($\theta = 0^\circ$)における音圧分布
- 焦点付近におけるパワースペクトル