

音響メタマテリアルによる超音波の伝搬方向変換シミュレーション

Simulation of Ultrasound Propagation Direction Conversion Using Acoustic Metamaterial

杉本 大河[†] 岸本 誠也[†] 大貫 進一郎[†]Taiga Sugimoto[†] Seiya Kishimoto[†] Shinichiro Ohnuki[†][†] 日本大学理工学部電気工学科[†] Department of Electrical Engineering, College of Science and Technology, Nihon University

1. はじめに

近年、超音波を利用した治療技術は人体への影響が少ないことから注目されている。しかし、人体深部への治療には高強度で高指向性の超音波が必要となる。このため、骨や脂肪など患者固有の体組成によっては、既存の機器では十分な治療結果を得られない場合がある。そこで、患者一人一人に向けたオーダーメイド型治療機器の実現を目的とし、小型で迅速かつ安価に作成が可能な音響メタマテリアルによる超音波の指向性制御を検討している[1]。本報告では、FDTD(Finite-Difference Time-Domain)による音場解析を行う。音響メタマテリアルの構造による超音波の伝搬方向変換をシミュレーションする。

2. 解析手法

FDTD は、支配式を差分化し、時間領域で逐次計算を行うことで時間発展させる[2]。解析には、以下に示す音圧に関する連続式と運動方程式を支配式とする。

$$\rho \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial t} = -\nabla P \quad (1)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = -\kappa \left(\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} \right) \quad (2)$$

ここで、 \mathbf{v} は粒子速度、 P は音圧、 κ は体積弾性率、 ρ は密度である。

3. 解析結果

図 1 の解析モデルにおいて、波源から入射された超音波が音響メタマテリアルを透過し、伝搬していく様子をシミュレーションする。解析領域は温度 20°C の空気中とする。この際、透過した超音波が解析領域の端で反射しないよう PML(Perfect Matched Layer)を設定した[3]。図 2 にメタマテリアルの構造を示す。(a)はスリット、(b)は正方形柱から構成されている。どちらも物体の横幅が 0.2mm から 0.05mm まで 0.01mm 間隔で小さくする。入射波形は周波数 1MHz で振幅 1Pa の正弦波を使用した。

図 3 は各観測点における音圧の振幅を示す。(a)の構造では、観測角 -1.1° で振幅が 0.83Pa となり、(b)の構造では、観測角 -4.0° で振幅が 0.59Pa を示す。この結果より、(b)の構造の方が伝搬方向を大きく変えることが可能であることを示す。一方、音圧の振幅は低下し減衰が大きくなる。これは、物体の数に比例して超音波の反射の回数が増えたからだと考えられる。

4. まとめ

本報告では、音響メタマテリアルを配置した場合の音場解析を行った。音響メタマテリアルの構造を 2 種類使用し、伝搬方向変換が可能であることを示した。

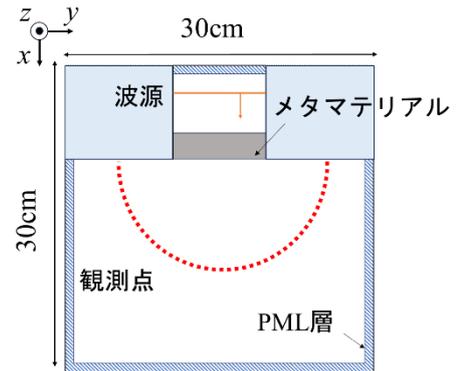


図 1 解析モデル

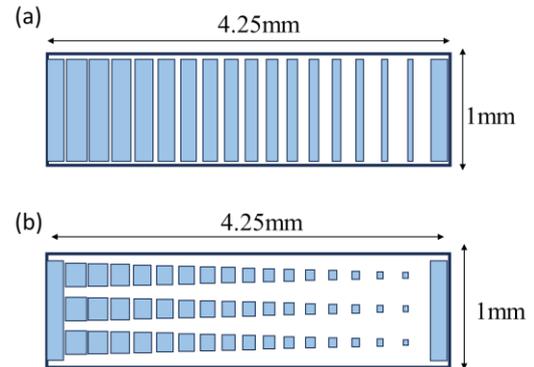


図 2 メタマテリアルの構造

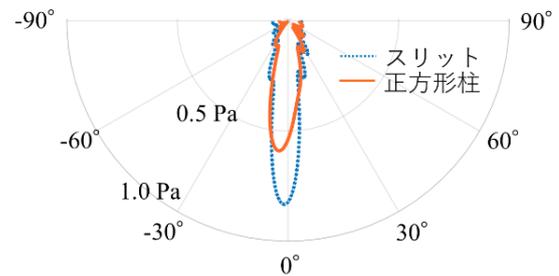


図 3 解析結果

参考文献

- [1] Nansha Gao, et.al, Advanced Materials Technologies, vol.7, no.6, pp. 2100698-1-2100698-23, 2022
- [2] 佐藤正弘, “FDTD 法による弾性振動・波動解析入門”, 森北出版, 2003
- [3] Xiaojun yuan, et.al, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 44, no. 6, pp. 816-822, 1997.