

音響イリュージョンのための音響メタマテリアルの設計

Design of an Acoustic Metamaterial for an Acoustic Illusion

鹿大 ○十島 明宏, 永山 務, 福島 誠治, 渡邊 俊夫

Kagoshima Univ., °Akihiro Toshima, Tsutomu Nagayama, Seiji Fukushima, Toshio Watanabe

E-mail:k2287369@kadai.jp

1. はじめに

音響メタマテリアルを使って変換された座標系による音波の軌道制御を実現する, 変換音響学と呼ばれる概念が提案されている[1]. この概念に基づき, 非対角項が非零の質量密度テンソルと体積弾性率を持ち, これらが場所ごとに異なる値となる音響メタマテリアルを設計すれば, 音波に対して実際には存在しない物体や散乱面からの散乱波を模擬し, それがあるかのように見せかける音響イリュージョンを実現できる. 本稿では, 2次元分布定数異方性メタマテリアルモデル[2][3]を用いて音響イリュージョンを実現できる音響メタマテリアルを設計し, 回路シミュレーションにより動作を確認する.

2. 音響イリュージョンのための座標変換

いま, 図1(a)のような平らな面上に深さ A の窪みがある, 高さ h と幅 $2p$ の座標系 (x, y) を考え, この領域を同図(b)のような平らな面上の高さと幅が元の座標系と同じ座標系 (x', y') に, 以下に示す式を用いて座標変換を考える[3].

$$x' = x \quad y' = \frac{y+A\left\{1-\left(\frac{x}{p}\right)^2\right\}^2}{h+A\left\{1-\left(\frac{x}{p}\right)^2\right\}^2} h \quad (1)$$

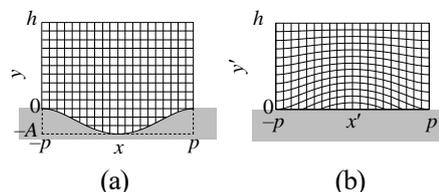


図 1 イリュージョンのための座標変換. (a)元の座標系. (b)変換後の座標系.

以下では, この座標変換を模擬した音響メタマテリアルによる, 窪みからの散乱波を模擬する音響イリュージョンの動作を検証する.

3. 回路シミュレーション

図 1(b)の音響メタマテリアルの大きさを $2p \times h = 20 \Delta d \times 10 \Delta d$ と仮定し, 1 辺が Δd の 2次元分布定数異方性メタマテリアルモデル[2][3]を 20×10 セル並べ, 音響メタマテリアルの材料パラメータ[1]と等価となる回路パラメータを与える. これを $300 \Delta d \times 150 \Delta d$ の領域内の下部中央に配置し, 周囲に空気と等価となる回路パラメータを与えた 1 辺が Δd の 2次元等方性媒質モデル[2][3]を並べる. 下部境界は剛体面からの同相反射を再現するため開放とし, 右側の境界は整合終端とする. この条件で左側と上側の境界すべてに電圧源を接続して, 45 度の入射角度で波長が $20 \Delta d$ の大きさのガウシアンビームを音響メタマテリアルに入射した時の, 各セルの複素電圧分布を回路シミュレーションにより計算した. 図 2(a)と図 2(b)にそれぞれ下部中央に $A=0.3h$ の窪みがある場合と, 音響メタマテリアルを置いた場合の複素電圧分布の計算結果を示す. 同図(a)および(b)を比較すると, 同じ散乱波が発生しており, 設計した音響メタマテリアルによって窪みが模擬されていることが分かる.

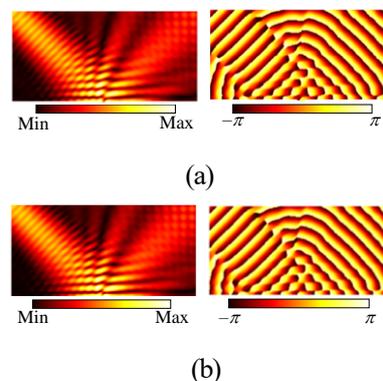


図 2 複素電圧分布計算結果(左:振幅, 右:位相). (a)窪みの場合. (b)イリュージョンの場合.

4. まとめ

2次元分布定数異方性メタマテリアルモデルを用いて音響イリュージョンを実現できる音響メタマテリアルを設計した. 回路シミュレーションにより窪みと音響メタマテリアルに対して波を入射した時の複素電圧分布を計算し, 窪みからの散乱波を模擬する音響イリュージョンの動作を確認した.

謝辞:本研究は鹿児島大学若手研究者支援事業の助成を受けたものである.

参考文献:[1] S. A. Cummer, et al., *New J. Phys.*, Mar. 2007. [2] 永山務他, 応用物理学会秋季講演会, 2019年9月. [3] T. Nagayama, et al., *EPJ Appl. Metamat.*, Nov. 2019.