

## 2次元異方性音響メタマテリアルのための媒質モデルについて

### On Medium Models for 2-D Full-Tensor Anisotropic Acoustic Metamaterials

鹿大 <sup>○</sup>永山 務, 福島 誠治, 渡邊 俊夫

Kagoshima Univ., <sup>○</sup>Tsutomu Nagayama, Seiji Fukushima, Toshio Watanabe

E-mail: t-nagayama@ieee.org

#### 1. はじめに

これまでに音の透明マント[1]の構成に必要な2次元異方性音響メタマテリアルを等価回路モデルを用いて設計・解析する手法が提案されているが[2], 実装には解析シミュレータなどの膨大な計算リソースと蓄積された経験が必要であった。我々は, 等価回路モデルの回路素子を分布定数線路に置き換えた電磁波に対する2次元異方性メタマテリアルの形状を一意に決められる媒質モデル[3]を, 音響メタマテリアルに導入する。2次元異方性音響メタマテリアルの材料パラメータと等価回路モデルの回路パラメータの関係[2]を媒質モデルの設計式[3]に適用して得た, 2次元異方性音響メタマテリアルの設計式について報告する。

#### 2. 媒質モデルの設計式と2次元異方性音響メタマテリアルの材料パラメータ

文献[3]によれば, 等価回路モデルの回路素子( $L_x, L_y, M, C$ )の値から媒質モデル(紙面の都合上, 回路図は省略)の分布定数線路の特性インピーダンス( $Z_{0x}, Z_{0y}, Z_{0M}$ )と電気長( $\beta l, \beta_M l_M$ )を算出するための設計式は, 両者のZ行列の比較から以下のようになる。なお, 5つのパラメータの内の一つを自由度とすることで解が求まる。

$$L_x - M = \frac{2Z_{0x}}{\omega} \tan(\beta l / 2) \quad (1) \quad L_y - M = \frac{2Z_{0y}}{\omega} \tan(\beta l / 2) \quad (2)$$

$$M = 2 \left[ \frac{Z_{0M}^2 (Y_{0x} + Y_{0y}) \tan(\beta l / 2) + Z_{0M} \{ \operatorname{cosec}(\beta_M l_M) - \cot(\beta_M l_M) \}}{\omega \{ \cos^2(\beta l / 2) + Z_{0M} (Y_{0x} + Y_{0y}) \sin(\beta l) \cot(\beta_M l_M) - Z_{0M}^2 (Y_{0x} + Y_{0y})^2 \sin^2(\beta l / 2) \}} \right] \quad (3)$$

$$C = \frac{1}{\omega} \left\{ (Y_{0x} + Y_{0y}) \sin(\beta l) \cos(\beta_M l_M) + Y_{0M} \cos^2(\beta l / 2) \sin(\beta_M l_M) - Z_{0M} (Y_{0x} + Y_{0y})^2 \sin^2(\beta l / 2) \sin(\beta_M l_M) \right\} \quad (4)$$

一方, 文献[2]によれば, 等価回路モデルを構成する回路素子と2次元異方性音響メタマテリアルの質量密度テンソル( $\rho_{xx}, \rho_{xy}, \rho_{yx}, \rho_{yy}$ )および体積弾性率  $K$  の関係は, 回路方程式と音響方程式の双対性から以下のようになる。

$$[L_x, \pm M, L_y, C] \Leftrightarrow [\rho_{xx}, -\rho_{xy} = -\rho_{yx}, \rho_{yy}, K^{-1}] \quad (M > 0 \text{ で, } \rho_{xy} < 0 \text{ の時は} +M, \rho_{xy} > 0 \text{ の時は} -M \text{ に対応}). \quad (5)$$

したがって, 式(5)から質量密度テンソルおよび体積弾性率と等価な回路素子値を算出し, これらを式(1)–式(4)の設計式に代入すれば媒質モデルの線路のパラメータを算出できる。線路のパラメータが決まれば, 例えばこれらと等価となるように長さ, 幅, および高さを決めた音響導波路からなる平面構造を用いることで, 音響透明マントを実装することが可能となる。

#### 3. まとめ

音の透明マントの構成に必要な2次元異方性音響メタマテリアルの形状を一意に決めるために, 光や電磁波に対する2次元異方性メタマテリアルのための媒質モデルを2次元音響メタマテリアルに導入した。等価回路モデルと2次元異方性音響メタマテリアルの材料パラメータの関係を設計式に代入し, 材料パラメータから媒質モデルを構成する分布定数線路の特性インピーダンスと電気長を算出可能にした。発表では本稿の妥当性の確認のために, 音の透明マントの実現に必要なパラメータを実際に媒質モデルに与え, シミュレータを用いて解析した音の透明マントの動作結果を報告する予定である。

謝辞: 本研究はJSPS 科研費 JP18K14132 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, 2018 年 9 月。

[3] T. Nagayama, et al., *IEEE Trans, Microw. Theory Techn.*, Dec. 2015.