

2次元異方性媒質等価回路モデルの変換音響学への適用

Application of Equivalent Circuit Models for 2-D Full-Tensor Anisotropic Metamaterials to Transformation Acoustics

鹿大 ○永山 務, (B)内田 俊太郎, 福島 誠治, 渡邊 俊夫

Kagoshima Univ., °Tutomu Nagayama, Shuntaro Uchida, Seiji Fukushima, Toshio Watanabe

E-mail: t-nagayama@ieee.org

1. はじめに

覆った物体を見えなくする透明マントやあたかも物体があるかのように見せかけるイリュージョンを実現できることで知られる変換電磁気学の概念[1], [2]に基づく媒質の設計および実現のために, 2次元異方性媒質等価回路モデル[3](図1)が提案されている. 本モデルを用いれば広帯域性と低損失性を示し, かつ, 透磁率テンソルの非対角項を含めた異方性を完全に制御可能な媒質を実現できる[3]. 本稿では等価回路モデルを, 音波に対する透明マントやイリュージョンを実現できる変換音響学[4]–[7]にも適用できるようにするために, 媒質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対応関係を調べる.

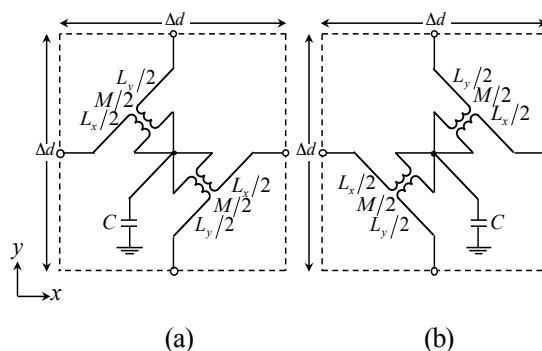


Fig. 1 Equivalent circuit models for 2-D full-tensor anisotropic metamaterials based on transformation electromagnetics[3]. (a) $\mu_{xy} > 0$. (b) $\mu_{xy} < 0$.

2. 変換音響学に基づく媒質の材料パラメータと回路パラメータの対応関係

変換電磁気学に基づく媒質の設計に必要な材料パラメータ(μ_{xx} , μ_{yy} , μ_{yx} , μ_{xy} , ϵ_z)と2次元異方性媒質等価回路モデルの回路パラメータ(L_x , L_y , M , C)は, 連続の式の比較から次のように対応させることができる[3].

$$\begin{bmatrix} \mu_{xx}, \mu_{xy} \\ \mu_{yx}, \mu_{yy}, \epsilon_z \end{bmatrix} \Leftrightarrow \begin{bmatrix} L_y/\Delta d, \pm M/\Delta d, L_x/\Delta d, C/\Delta d \end{bmatrix}. \quad (1)$$

また, 音波に対しても連続の式を比較すれば, 変換電磁気学に必要な材料パラメータと変換音響学に必要な材料パラメータ(ρ_{xx} , ρ_{yy} , ρ_{yx} , ρ_{xy} , K)を次のように対応させることができる[4]–[7].

$$\begin{bmatrix} \mu_{xx}, \mu_{xy} \\ \mu_{yx}, \mu_{yy}, \epsilon_z \end{bmatrix} \Leftrightarrow \begin{bmatrix} \rho_{yy}, -\rho_{yx} \\ -\rho_{xy}, \rho_{xx}, K^{-1} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

したがって, 式(1)および式(2)の対応関係から変換音響学に必要な材料パラメータと回路パラメータを次のように対応させると, 変換音響学に基づく媒質の設計に等価回路モデルを使うことができる.

$$\begin{bmatrix} \rho_{xx}, -\rho_{xy} \\ -\rho_{yx}, \rho_{yy}, K^{-1} \end{bmatrix} \Leftrightarrow \begin{bmatrix} L_x/\Delta d, \pm M/\Delta d, L_y/\Delta d, C/\Delta d \end{bmatrix}. \quad (3)$$

3. まとめ

2次元異方性媒質等価回路モデルの変換音響学への適用を検討し, 材料パラメータと回路パラメータの対応関係を明らかにした. これにより, 変換電磁気学の場合と同様の特性を示す変換音響学に基づく媒質の設計および実現に繋げることができる. 発表では本稿の詳細と等価回路モデルを用いた変換音響学に基づく媒質の設計例, および解析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] J. B. Pendry, et al., *Science*, vol. 312, no. 5781, pp. 1780–1782, June 2006. [2] D. Schurig, et al., *Science*, vol. 314, no. 5801, pp. 977–980, Nov. 2006. [3] T. Nagayama, et al., *IEEE Trans, Microw. Theory Techn.*, vol. MTT–63, no.12, pp. 3851–3861, Dec. 2015. [4] S. A. Cummer, et al., *New J. Phys.*, vol. 9, no. 45, pp. 1–8, Mar. 2007. [5] S. Zhang, et al., *Phy. Rev. Lett.*, vol. 106, no. 2, pp. 1–4, Jan. 2011. [6] B.-I. Popa, et al., *Phy. Rev. Lett.*, vol. 106, no. 25, pp. 1–4, June 2011. [7] L. Zigoneanu, et al., *Nature Mater.*, vol. 13, pp. 352–355, Apr. 2014.