

変換電磁気学とその応用

Transformation Electromagnetics and Their Applications

真田 篤志[†] 永山 務[‡]

Atsushi SANADA[†] Tsutomu NAGAYAMA[‡]

^{† ‡} 山口大学理工学研究科 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1

^{† ‡} Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University
2-16-1 Tokiwadai, Ube, Yamaguchi, 755-8611 Japan

E-mail: [†] sanada@ieee.org, [‡] t-nagayama@ieee.org

Abstract

The transformation electromagnetics is a concept based on *the material interpretation of coordinate transformations* that enables high-level controls of electromagnetic waves yielding unusual electromagnetic phenomena such as invisibility phenomenon. In this article, the concept of the transformation electromagnetics is overviewed and their design examples of a cylindrical invisibility cloak and a carpet invisibility cloak are presented. Simulation results based on the circuit theory are also presented to validate the concept.

1. はじめに

相対論において、ローレンツ変換によりマクスウェル方程式は保存され電磁波伝搬が不変となることを示すことができる。一方、任意の座標変換に対してマクスウェル方程式が保存される条件を与えると、構成関係式はこの座標変換に伴うテンソル変換を受けることになる[1-4]。この元来座標変換に伴うテンソル変換を、媒質に対する操作と捉えれば、この操作された媒質により等価的に座標変換が実現でき、座標変換に従った電磁波伝搬制御が実現できることになる。これは座標変換の媒質的解釈と呼ばれている[1-4]。変換電磁気学は、座標変換の媒質的解釈に基づくマクスウェル方程式の構成関係式の操作により電磁波の伝搬制御を行う概念である。変換電磁気学による電磁波の伝搬制御は、従来の鏡やレンズを用いた反射や屈折によるものと比べてはるかに自由度の高い制御が可能となる。変換電磁気学の概念を用いて、透明マント[1,2]やカーペットクロック[3,4]といった不可視化媒質や、あたかもそこに物体があるかのように見せかけるイリュージョン媒質が提案されている。これらの媒質の実現は、異方性や不均質性の高度な制御が必要となるため自然の材料では困難であるが、人工媒質メタマテリアルを用いることで実現可能である。

本稿では、変換電磁気学の概念とその応用例について概説する。まず、座標変換の媒質的解釈[1]について理論的に示し、その概念について簡単に述べる。次に、円筒クロック[1,2]とカーペットクロック[3,4]

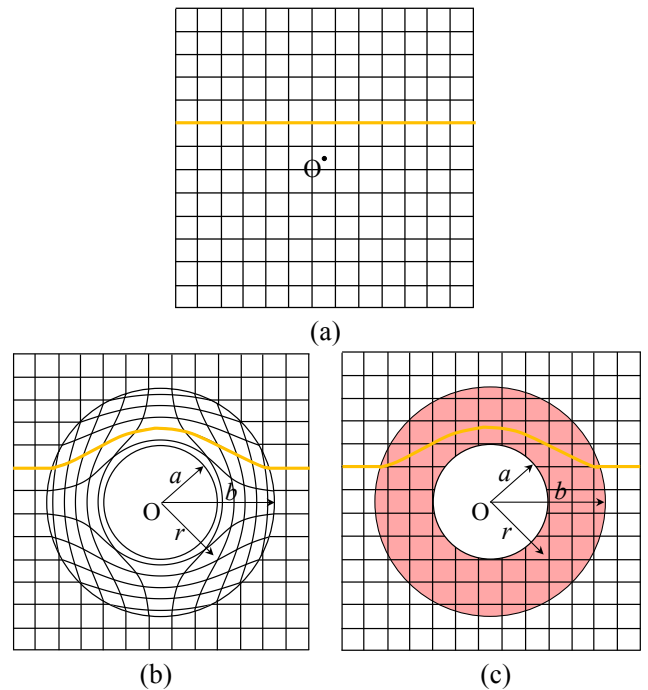


図1 座標変換の媒質的解釈.

(a) 元の座標系. (b) トポロジー的解釈. (c) 媒質的解釈.

を取り上げ、これらの座標変換および座標変換に伴う媒質パラメータを具体的に例示する。さらに、これらの円筒クロックとカーペットクロックを設計し、2次元異方性媒質等価回路モデル[5-7]による理論解析によりこれらの動作を検証する。