

無反射メタマテリアルによる電磁波の伝搬制御

長岡技術科学大学 技学研究院
玉山泰宏

1. はじめに

2001年に示された負の屈折率をもつ媒質の実証¹⁾を大きなきっかけの1つとして、メタマテリアルを用いた電磁波制御に関する研究は発展し続けている。メタマテリアルとは電磁波の波長よりも小さな構造の集合体であり、その性質は構造の材料だけでなく形状や配置にも依存するという特徴がある。従来の考え方だと、新しい機能をもつ媒質を創り出すためには新しい材料を開発することが必須だったが、メタマテリアルの考え方をを用いると、材料が既にありふれたものであったとしても、単位構造の形状や配置を工夫することにより新奇な機能を生み出すことができる。実際、冒頭で述べた例においては、それまで自然界には見つかっていなかった負の屈折率という機能が、広く利用可能な材料である銅を用いて実現されている。メタマテリアルの概念が生まれたことにより、材料自身をもつ性質を超えた機能を実現する手法が得られたとすることができるだろう。

ここでは、まず、メタマテリアルとは何かについて入門的事項を述べる。続いて、電磁波の伝搬制御の鍵となる広帯域無反射メタマテリアルの構成法について説明する。そして、無反射メタマテリアルによる複素透過スペクトル制御の例を2つ紹介する。

2. メタマテリアルとは

まずはメタマテリアルの入門的事項として、メタマテリアルによる電磁波制御の考え方について述べる。それに加えて、2次元メタマテリアルであるメタサーフェスの性質についても簡単に述べる。

2-1 電磁波伝搬に関するパラメータ

電磁波の伝搬と直接的に関わるパラメータは屈折率 n と(規格化)波動インピーダンス Z_r である。これらのパラメータによって、電磁波の伝搬に伴う位相変化や異なる媒質の境界面における屈折および反射現象等が記述できる。屈折率と波動インピーダンスは媒質の比誘電率 ϵ_r と比透磁率 μ_r を用いて

$$n = \sqrt{\epsilon_r \mu_r}, \quad Z_r = \frac{\sqrt{\mu_r}}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

と書ける。比誘電率は媒質に電場が印加されたときに分極がどれだけ誘起されるのかを表すパラメータである²⁾。分極は電気双極子モーメントの密度であるので、電場によって電荷が大きく偏る媒質ほど、比誘電率の1からの差は大きくなる。一方、比透磁率は媒質に磁場が印加されたときに磁化がどれだけ誘起されるのかを表すパラメータである²⁾。磁化は磁気(双極子)モーメントの密度である。磁気モーメントの起源は微小環状電流であるので、磁場によって大きな微小環状電流が流れる媒質ほど、比透磁率の1からの差は大きくなる。

電磁波の伝搬を制御するためには屈折率と波動インピーダンスの空間分布を制御すればよい。式(1)からわかるように、屈折率と波動インピーダンスを独立に制御するためには、比誘電率と比透磁率を