Seeds
電気電子工学系

上田 哲也 教授

お問合せ先
corc@kit.ac.jp
産学公連携推進センター

電波・光の伝搬を自由自在に操る人工構造体ーメタマテリアル

非相反メタマテリアルとビーム走査アンテナ

■キーワード
メタマテリアル　負屈折率媒質　マイクロ波・ミリ波　アンテナ　非相反回路

■研究の概要

メタマテリアルとは、負の屈折、クローキング（透明マント）など、材料固有の特性だけでは実現困難である特異な電磁波伝搬を、波長に比べて小さなスケールの素子からなる人工構造体の構造設計により実現可能とする新しい研究分野です。私たちの研究グループでは、伝搬方向により伝送特性の異なる非相反回路と、このメタマテリアル技術とを組み合わせることにより、新しい概念として「非相反メタマテリアル」を提案しています。非相反メタマテリアルを用いると、電磁波の順方向伝搬に対して正の屈折率を示す一方で、逆方向伝搬に対して負の屈折率を示すことが可能となります。私たちはこの性質を用いて、さらに新電磁気現象の発現、新機能素子／デバイス・アンテナへの応用を目指しています。例えばこれまでに、共振周波数を固定したままで、共振器サイズを自由に変えられる進行波共振器、小型で高放射効率を実現するビーム走査アンテナ、さらにビーム走査だけでなく主偏波の回転制御可能なアンテナなど、比較的簡単な構成で、しかも少ないパラメータで制御可能なマイクロ波回路、高機能アンテナを提案しています。

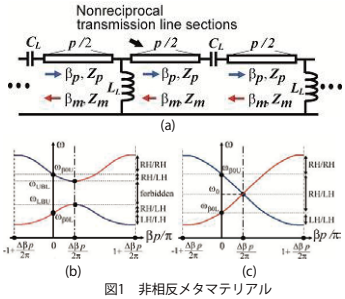

図1　非相反メタマテリアル
(a) 等価回路モデル (b) 分散曲線（バンドギャップあり）
(c) 分散曲線（バンドギャップなし）

■研究・技術のプロセス／研究事例

1）漏れ波アンテナへの応用

非相反メタマテリアルを実現するために、私たちは磁化された磁性体を含む人工構造体を提案し、マイクロ波帯で実証しています。この構造体を漏れ波アンテナ用の伝送線路に用いると、入射波からの漏れ波により形成される前方放射ビームと、放射に寄与せず線路に沿って伝搬し終端反射で逆方向に伝搬する波からの漏れ波により形成される後方放射ビームとが同方向を向くため、不要なサイドローブが発生せず、しかも両者のビームが強め合って干渉する結果、放射ビームの指向性、利得を大幅に改善することが期待できます。

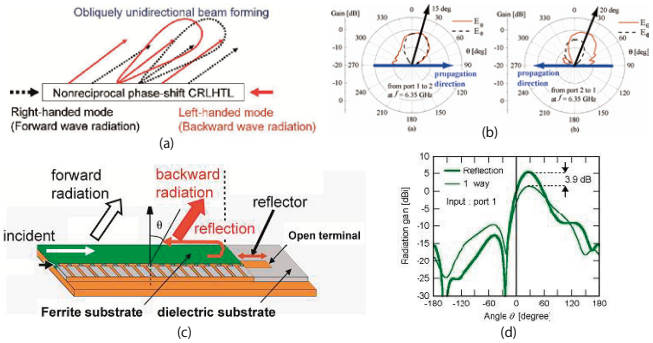

図2　非相反漏れ波アンテナ
(a) 伝搬モードおよび放射方向 (b) 放射パターン（測定結果）
(c) 終端反射を積極的に利用したアンテナ構造 (d) 反射波による利得の改善（計算結果）

2）進行波共振器およびビーム走査アンテナへの応用

非相反メタマテリアルからなる伝送線路の両端に反射器を接続すると、共振器サイズに関係なく共振条件が自動的に満足し、その結果、共振周波数を固定したまま共振器サイズを自由に変えることのできる新しい進行波共振器が構成できます。この共振器上の電磁界分布の位相勾配は、線路の非相反性の大きさに依存し、例えば外部印加磁界を変えることにより連続的に制御することができます。さらに、この進行波共振器をアンテナへ応用することにより、小型で高い放射効率のビーム走査アンテナが構成できます。ビーム方向は外部印加磁界により制御でき、アンテナサイズを大きくすることにより、指向性、利得を大きく改善することもできます。また、この進行波共振器アンテナは、両端反射条件を変えることにより、ビーム走査とは独立に放射波の主偏波方向を連続的に回転制御することもできます。このように、比較的単純な回路構成であるにもかかわらず非相反メタマテリアルの概念により、ビーム走査アンテナに高機能な動作を提供することができます。

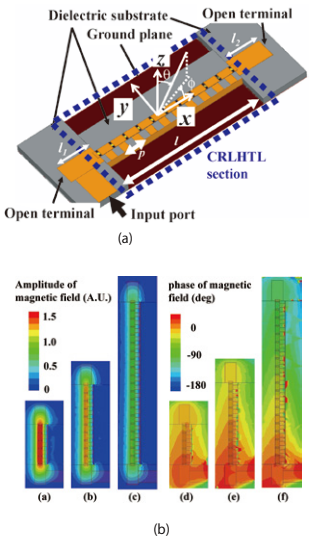

図3　進行波共振器
(a) 設計構造
(b) 電界分布の計算結果（振幅および位相）

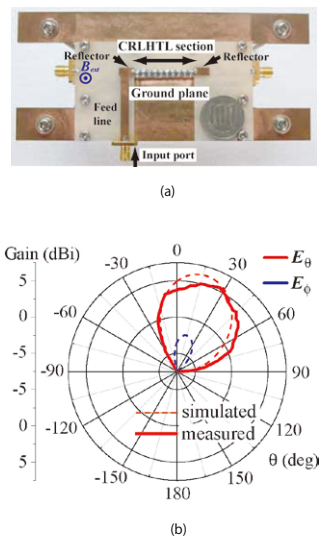

図4　進行波共振器ビーム走査アンテナ
(a) 試作アンテナ
(b) 放射パターン（計算値および測定値）

■セールスポイント

従来の漏れ波ビーム走査アンテナでは、放射効率を高くするためにアンテナサイズを大きく取る必要があり、小型化には不向きでした。本シーズでは共振器構造を採用しているので小型化しても高放射効率が可能となります。

特許情報
特許第5234667号（国立研究開発法人科学技術振興機構）／特許第5655256号（同）／特許第5877193号（同）／特許第6224073号（同）

作成日：2023年4月