

機関番号：15301

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2009～2010

課題番号：21760293

研究課題名 (和文)

擬似マルチスケールFDTD法による高周波デバイスへのメタマテリアル適用の研究

研究課題名 (英文)

Research to Apply Metamaterial to Microwave Devices by Pseudo Multiscale FDTD Method

研究代表者

藤森 和博 (FUJIMORI KAZUHIRO)

岡山大学・大学院自然科学研究科・助教

研究者番号：70314705

研究成果の概要 (和文)：

等価回路計算が統合された電磁界解析手法である LE-FDTD 法を拡張し、自然界には存在しない特徴を持つメタマテリアルを解析できるようにすることで、現在期待されているメタマテリアルの高周波デバイスへの適用を容易にすること、メタマテリアルを用いた高周波デバイスを提案することを目的とした研究である。

提案する手法におけるメタマテリアルの解析に成功し、有限要素法に対して時間、メモリ使用量共に約 10 分の 1 程度で同等の解析が可能であることを示した。

研究成果の概要 (英文)：

In this research, the LE-FDTD method that is the electromagnetic field analysis technique integrated to the equivalent circuit calculation is enhanced to analyze the metamaterial with the property that does not exist in the nature. This method is very important for facilitating applications using the metamaterial, and for proposing microwave devices by using them.

As a result, I succeeded in analyzing the metamaterial device by this proposing technique. Furthermore, I reported that only time and the memory of about 1/10 are needed compared with the finite element method.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2010 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 通信・ネットワーク工学

キーワード：アンテナ，マイクロ波回路，メタマテリアル，電磁界解析，FDTD 法

1. 研究開始当初の背景

メタマテリアルとは、その物質を伝搬する波動がその表面で実効的に負の屈折率を示すような物質で、単体としては自然界に存在しないが、様々な人工的複合構造によりある波長領域で実効的にそのような性質を示す媒質の作成が可能である。特に近年注目されているのは、マイクロ波～テラヘルツ波領域において、等価的に誘電率、透磁率が共に負を示す左手系媒質と呼ばれるもので、平面プリントパターンおよび立体配線を用いた準三次元導波路を構成し、それらの導波路そのものが示す性質を利用することで、従来なかった特性を示す高周波デバイスを創成することである。様々な機関でそのような目的の検討がされているが、左手系媒質を用いずとも実現が可能でデバイスの提案にとどまっているのが現状である。メタマテリアルを応用した高周波デバイスを設計開発するためには、高周波デバイスの所望の特性を解析でき、かつメタマテリアルの周期構造そのものをモデリングできる必要があると考えられ、これに基き、ミクロな物性を考慮するためのマルチスケール大規模シミュレーションを実施するケースが増加している。ところが、高周波デバイスとしてのマクロな特性と、メタマテリアルのミクロな特性の双方を同時に議論することはないと言ってよく、結果として、開発の効率が低下することになる。また、マルチスケール大規模シミュレーションには、グリッドコンピューティングシステム、PCクラスタ、旧来からの大型計算機が用いられるが、システム規模の問題からメタマテリアル応用を前提としたシミュレーションツールとして成立しているものは見受けられない。

本申請の代表者は、電波伝搬特性に基く移

動体通信用アンテナの研究開発を行ってきており、特に閉空間内における伝搬、それらの内部で使用するに相応しいアンテナの提案を行ってきた。これに併せてFDTD法のシミュレーションコードを開発し、インターネット上で公開している。また近年では、無線送電用デバイスであるレクテナおよびRF-DC変換回路の提案、それらの設計に適した解析手法であるLE-FDTD法の汎用化と高速化に着手してきた。

本研究課題では、これらの研究成果を最大限に活用した擬似マルチスケール計算技術による新規メタマテリアル設計ツールの開発、ならびにそれにより予測される高周波デバイスの提案と実証を行うことで、メタマテリアル応用に関してブレークスルーをもたらすことを目指す。

2. 研究の目的

所謂「メタマテリアル」は、電磁波に対して負の屈折率を持つなどといった、誘電磁性において特異な性質を示す人工物質を指し、スーパーレンズや透明マントなどを実現するための一原理が発表されて以来、多大な注目を集めている。本研究では、メタマテリアルの高周波デバイスへの適用を容易にするための、新たなシミュレーション技術を開発し、それによって予測されるプロトタイプを作成・実験することで、手法の即効性を明らかにするとともに、原理的に新しい高周波デバイスの創成・提案を目的とする。本研究の2年間での達成目標の要約は以下の3点である。(1) 擬似マルチスケールを実現するため、LE-FDTD法を拡張し、メタマテリアルのマクロ特性を考慮したシミュレーションツールを開発

(2) 上記シミュレーションツールによる1~2次元高周波デバイスの創成と提案(主として平面回路への適用)

(3) 3次元メタマテリアル設計用のシミュレーションツールへのアプローチ(主としてアンテナへの適用)

3. 研究の方法

(1) 平面回路を対象としたシミュレーションコードの開発

ディスクリートデバイスが考慮できるように拡張されたLumped Element FDTD(LE-FDTD)法では、非線形素子であるダイオード、線形素子であるキャパシタ、抵抗の高周波等価回路解析がFDTD法に実装されており、実測結果とも良好に一致することを報告している。この方法は、本来はマイクロに現れるディスクリートデバイス内の諸現象を、マクロな等価回路として取り扱っているため、物理的モデルの基いた擬似マルチスケールシミュレーションと考えることができる。本研究ではこのシミュレーションコードをさらに拡張し、グリッド分割によってモデリングされるFDTD法のセル内に、メタマテリアルの電気的あるいは数学的な等価回路モデルを高密度に埋め込んだコード開発を行う。電気的な等価回路の同定には有限要素法、数学的な等価回路の同定にはニューラルネットワークおよび遺伝的アルゴリズムの適用を検討する。手法の評価には、達成目標の一つとして掲げるメタマテリアルが適用された1~2次元高周波デバイス(例えば、伝送線路、2層基板によるマイクロ波回路)のプロトタイプを実際に作成し、その結果をフィードバックすることで達成される。

(2) メタマテリアルが用いられた1~2次元高周波デバイスの創成と提案

上記のツールによって予測された高周波デ

バイスのプロトタイプ作成、実測による検証を実施する。積層された構造で実現される伝送線路、レイヤ状のメタマテリアルと相互作用して動作するマイクロ波回路等のプロトタイプ作成のために多層プレス機が必要となる。パッチアンテナのパッチとしてメタマテリアルを使用したアンテナでは、縦横の周期配列によって同サイズのパッチアンテナでは周波数2.5GHzとなる共振周波数が、600MHz付近となり、メタマテリアルの効果が有効に現れた一例であるが、この特性は実験的に得られたもので、解析困難な高周波デバイスの一つでもある。この初年度では、このような平面アンテナを含めた伝送線路および2次元マイクロ波回路にスポットし、プロトタイプの作成、提案を実施する。

(3) 3次元メタマテリアル設計用のシミュレーションツールへのアプローチ

22年度には主として、初年度に開発したシミュレーションツールを3次元メタマテリアル設計に向けた拡張とその効果に関する検討を実施する。初年度に着手したシミュレーション技術をさらに進化させ、積層構造に対応するコード開発を行うとともに、コンパイラおよびその周辺ツールを導入することで、2次元構造までに対応するコードを最適化し、研究活動の活性化を図る。また、1~2次元構造のメタマテリアル応用については継続的に実施する。3次元構造のメタマテリアルを適用したプロトタイプの作成・提案は、初年度に導入する多層プレス機によって作成が可能な範囲内(8層までという制約有り)にとどまることになるが、シミュレーション技術の開発には十分であるし、メタマテリアルによるレンズ、ミラー等の作成まで勘案しても、プロトタイプを提案するには十分であると判断する。

4. 研究成果

21年度は、LE-FDTD法のシミュレーションコードを作成し、さらに拡張として、周期構造を持つメタマテリアルを構成する1セルの等価回路を組み込むことに成功した。学会発表において、LE-FDTD法に組み込まれた等価回路を隙間なく配置することが従来のモデリング法では不可能であることを示し、その一解決法を提案すると共に、伝送線路型メタマテリアルを対象に、実測結果、有限要素法による解析結果と比較することで、その有効性を示した。また、同形状のメタマテリアルの特性解析において、解析時間、使用メモリを有限要素法と比較した結果、約10分の1程度であることも示した。一方で、LE-FDTD法におけるモデリング上の制約から、不要なリアクタンス成分が含まれ、結果として周波数特性が低域にシフトするという潜在的な問題が含まれていることがわかった。

22年度は、21年度に開発したシミュレーションツールを3次元メタマテリアル設計に向けた拡張とその効果に関する検討を実施した。昨年度着手したシミュレーション技術をさらに進化させるとともに、新たに明らかとなった解析手法固有の問題を解決し、積層構造に対応するコード開発を行った。また、1~2次元構造のメタマテリアル応用については継続的に実施した。1次元メタマテリアルの一応用である伝送線路型メタマテリアルによる漏れ波アンテナでは、同一形状の1ユニットを周期的に配列した構造であることから、各ユニットにおける入力に対する放射量、透過量は同一となる。伝送線路型という構造であることから、各ユニットに対する入力は相対的に減少し、結果、ユニット相互で比較した場合の放射量に傾斜が生じ、電磁波の放射方向に制約が生じることになる。今年度はこのこと

をシミュレーションによって明らかにするとともに、その一改善方法を提案する段階にまで昇華することができた。また、弾性波に対するLE-FDTD法についてもコード開発に着手し、弾性波2次元メタマテリアル実現の可能性を解析的、実験的に示すことに成功した。なお、この成果の一部を含めた報告を雑誌論文に投稿中である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

- ① T. Yamamoto, K. Fujimori, M. Sanagi, S. Nogi, Design of Highly Efficient and Compact RF-DC Conversion Circuit at mW-Class by LE-FDTD Method, IEICE Trans. Electron., 査読有, vol. E93-C, no. 8, Aug. 2010, pp. 1323-1332.
- ② T. Yamamoto, K. Fujimori, M. Sanagi, S. Nogi, Efficient Antenna Miniaturization Technique by Cut Off of Chromosome-Length in Genetic Algorithm, Proc. of Asia-Pacific Microwave Conference, 査読有, 2009.
- ③ T. Tsukagoshi, K. Fujimori, M. Sanagi, S. Nogi, A Metamaterial Mirror with Multiple CRLH Transmission Lines and its Imaging Quality, Proc. of European Microwave Week 2009, 査読有, 2009, pp. 201-204.

[学会発表] (計2件)

- ① 藤森和博, 伝送線路型CRLHメタマテリアルの特性解析を目的としたLE-FDTD法におけるモデリング, 平成21年度電気・情報関連学会中国支部第60回連合大会, 2009年10月17日, 広島.
- ② 藤森和博, LE-FDTD法を用いた伝送線路形CRLHによる2次元構造メタマテリアルの特性解析, The 11th Hiroshima Student Symposium, 2009年11月21~22日, 山口.

[図書] (計0件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤森 和博 (FUJIMORI KAZUHIRO)
岡山大学・大学院自然科学研究科・助教
研究者番号：70314705