

氏名(本籍)	おかだ なおき (群馬県)			
学位の種類	博士(工学)			
学位記番号	博甲第6446号			
学位授与年月日	平成25年3月25日			
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当			
審査研究科	システム情報工学研究科			
学位論文題目	<b>High Accuracy FDTD Algorithms for Metamaterials and Design of Novel Optical Devices</b> (メタ物質に対する高精度 FDTD アルゴリズムと光学デバイスの設計)			
主査	筑波大学教授	工学博士	北川高嗣	
副査	筑波大学教授	工学博士	徳永隆治	
副査	筑波大学教授	博士(工学)	福井和広	
副査	筑波大学准教授	Ph. D. (工学)	蔡東生	
副査	筑波大学准教授	Ph. D. (理学)	James B. Cole	

### 論文の内容の要旨

メタ物質は、自然界にはない光学特性を持つナノ構造である。波長よりも小さい微細構造は、巨視的に物質として光に作用し、自然材料では実現不可能な負の屈折効果を始めとする任意の光制御を実現する。代表的な例は、回折限界を超えて原子といった極小の構造を結像できる超解像レンズや、あらゆる方向の光を誘導し覆った物体を透明化する光学迷彩がある。任意の光経路を実現するメタ物質の構造は、座標変換を用いて容易に設計できる。しかし、座標変換に基づくメタ物質は異方性を伴う複雑な構造であるため、理論解析や試作品の製造・実験が容易ではない。メタ物質の構造を解析するためには、任意の構造を計算できる数値シミュレーションが適している。特に Finite Difference Time Domain (FDTD) 法は、実装がシンプルでありながら時間領域で光の伝搬を計算することができ、過渡現象や共鳴応答の解析に便利である。しかし、現在のコンピュータ性能をもってしても限られたリソースの中ではメタ物質を高精度に計算することは困難であり、また任意の異方性を安定に計算するアルゴリズムも確立されていない。この問題に対して本研究では、FDTD 法の高精度アルゴリズムを開発し、一般の異方性に対する安定な計算法を確立した。加えて本研究では、光学迷彩の設計・解析を行った。従来の光学迷彩は、内側から外側が見えないという問題があった。本研究では、フォトリソグラフィ結晶を利用して特定の波長帯で外を見ることのできる新たな光学迷彩を設計し、FDTD シミュレーションを用いてデバイスの性能を示した。

### 審査の結果の要旨

著者は NS-FDTD (Non-Standard Finite Difference Time Domain: 非標準有限差分時間領域) 法と呼ばれる、高精度数値計算法を用い、従来通常の数値計算法では困難であった、ナノレベルでの光学的囁きの回廊現象のシミュレーションに世界で初めて成功した。このシミュレーションの成功により、囁きの回廊現象をつかったメタ物質の開発がより容易になることが予想される。著者はさらに、通常の FDTD 法を用い、表面プラ

ズモン波、楕円光学クロック、外部と通信可能な光学クロックのシミュレーション法を開発した。これらの、シミュレーション法の開発は、実際にナノ工学的手法で物質を制作することなしに、ナノ物質の開発を可能にし、ナノ光学研究に貴重な知見をあたえる大変有用な研究である。

平成 25 年 1 月 22 日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。