

令和 2 年 5 月 29 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K06385

研究課題名(和文)異常吸収特性を有するメタ表面による高い周波数・角度選択性を持つミリ波反射制御

研究課題名(英文) Millimeter-wave Propagation Control with High-Frequency Selectivity and High-Angle Selectivity using Meta Surface Showing Anomalous Absorption

研究代表者

塩見 英久 (Shiomi, Hidehisa)

大阪大学・基礎工学研究科・助教

研究者番号：00324822

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、散乱体の表面に貼り付けることで所望の周波数・角度において強い選択性を持ち、散乱断面積をほぼ零にするメタ表面を開発した。メタ表面は、物質表面を構成する金属や誘電体に周期構造を設けることによって、電磁波に対して自然界の物質表面とは全く異なる性質を人工的に発現させた材料である。近年、マッシュルーム型メタ表面において、特定の周波数・特定の角度から入射したミリ波を強く、原理的には完全に吸収する異常吸収現象が発見された。この異常吸収特性を利用し、極めて薄いにも関わらず、原理的に、ある角度での反射を完全に抑圧する完全電波吸収体を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の電波吸収体は、素材の抵抗損失による電磁波の吸収作用を利用して反射を抑圧するが、ミリ波帯では素材の表面での反射が比較的大きくなり、反射量が大きくなってしまふ。一方で開発したメタ表面は、異常吸収特性を利用したものであり、極めて薄いにも関わらず、原理的に、ある角度での反射を完全に抑圧することが可能である。

本研究で実現した超薄型完全電波吸収体は、任意の形状の散乱特性を自在にデザインするための基礎技術となるものであり、学術的に有意義である。また、これにより実現される分布型メタ表面は、将来のミリ波応用システムの実現と高性能化に寄与するものであり、実用面での貢献度も高い。

研究成果の概要(英文)：In the present work, we have developed a meta-surface with strong selectivity and almost zero scattering cross-section, which can be attached to the surface of a scatterer at a desired frequency and angle. A metasurface is a material that artificially expresses properties completely different from those of the natural material surface to electromagnetic waves by creating a periodic structure in the metal or dielectric that constitutes the material surface. Recently, anomalous absorption phenomena have been discovered on a mushroom-shaped meta-surface that strongly and in principle completely absorbs millimeter waves incident at a specific frequency and angle. By taking advantage of these abnormal absorption characteristics, we have realized a complete radio wave absorber that, in principle, completely suppresses reflections at a certain angle, even though it is extremely thin.

研究分野：マイクロ波工学・アンテナ工学

キーワード：メタマテリアル

機関番号：14401  
研究種目：基盤研究(C) (一般)  
研究期間：平成29年度～令和元年度  
課題番号：17K06385  
研究課題名(和文) 異常吸収特性を有するメタ表面による高い周波数・角度選択性を持つミリ波反射制御  
研究課題名(英文) Millimeter-wave Propagation Control with High-Frequency Selectivity and High-Angle Selectivity using Meta Surface Showing Anomalous Absorption  
研究代表者 塩見 英久  
(Shiomi Hidehisa)  
研究者番号：00324822  
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000 円

## 研究成果の概要(和文)：

本研究では、散乱体の表面に貼り付けることで所望の周波数・角度において強い選択性を持ち、散乱断面積をほぼ零にするメタ表面を開発した。メタ表面は、物質表面を構成する金属や誘電体に周期構造を設けることによって、電磁波に対して自然界の物質表面とは全く異なる性質を人工的に発現させた材料である。近年、マッシュルーム型メタ表面において、特定の周波数・特定の角度から入射したミリ波を強く、原理的には完全に吸収する異常吸収現象が発見された。この異常吸収特性を利用し、極めて薄いにも関わらず、原理的に、ある角度での反射を完全に抑圧する完全電波吸収体を実現した。

## 研究成果の学術的意義や社会的意義

従来の電波吸収体は、素材の抵抗損失による電磁波の吸収作用を利用して反射を抑圧するが、ミリ波帯では素材の表面での反射が比較的大きくなり、反射量が大きくなってしまう。一方で開発したメタ表面は、異常吸収特性を利用したものであり、極めて薄いにも関わらず、原理的に、ある角度での反射を完全に抑圧することが可能である。

本研究で実現した超薄型完全電波吸収体は、任意の形状の散乱特性を自在にデザインするための基礎技術となるものであり、学術的に有意義である。また、これにより実現される分布型メタ表面は、将来のミリ波応用システムの実現と高性能化に寄与するものであり、実用面での貢献度も高い。

## 研究成果の概要(英文)：

In the present work, we have developed a meta-surface with strong selectivity and almost zero scattering cross-section, which can be attached to the surface of a scatterer at a desired frequency and angle. A metasurface is a material that artificially expresses properties completely different from those of the natural material surface to electromagnetic waves by creating a periodic structure in the metal or dielectric that constitutes the material surface. Recently, anomalous absorption phenomena have been discovered on a mushroom-shaped meta-surface that strongly and in principle completely absorbs millimeter waves incident at a specific frequency and angle. By taking advantage of these abnormal absorption characteristics, we have realized a complete radio wave absorber that, in principle, completely suppresses reflections at a certain angle, even though it is extremely thin.

## 研究分野：

マイクロ波工学・アンテナ工学

## キーワード：

メタマテリアル

## 1. 研究開始当初の背景

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

メタ表面は、物質表面を構成する金属や誘電体に周期構造を設けることによって、電磁波に対して自然界の物質表面とは全く異なる性質を人工的に発現させた材料である。反射角・屈折角をスネルの法則から逸脱させた材料など、自然にはない様々な特異な特性を備えた材料を作り出すことが可能である。近年、マッシュルーム型メタ表面において、特定の周波数・特定の角度から入射したミリ波を強く、原理的には完全に吸収する異常吸収現象が発見された。

近い将来普及が見込まれる 5G 通信やミリ波応用システムにおいては、隣接チャネル漏洩などの問題から、特定の角度の電磁波の反射を抑制するという要求がある。一方、分散アンテナを利用したミリ波帯 MIMO 通信などでは、反射波を積極的に利用するという要求も同時に存在する。この問題を解決するためには、入射角度に強い選択性を持つ高機能な電波吸収体が望まれるが、従来の電波吸収体ではそのような動作を実現することは困難である。また、従来の吸収体では、波長の短いミリ波帯では、例えば  $\lambda/10$  以下の薄さで 30dB 以上の大きな吸収を得ることは難しい。また、実際の通信環境においては、様々な形状の散乱体が存在し、これらがそれぞれ異なる反射・散乱波を作る。伝搬環境の改善には、各々の形状に対して適切な反射制御が望まれる。そのための実現手段はこれまで存在しなかった。

### 2. 研究の目的

本研究では、散乱体の表面に貼り付けることで所望の周波数・角度において強い選択性を持ち、散乱断面積をほぼ零にするメタ表面を開発することを目的とする。例えば、円柱状の散乱体に対して、特定の角度からの入射波のみを強く吸収するには、円柱表面の各部位において入射角度が異なるため、それに応じて散乱特性に分布を持たせる必要がある。そこで、本研究では、散乱体の表面をいくつかのセクションに分割し、それぞれについて所望の角度からの入射波に対する吸収特性を持つように構成した分布型メタ表面を開発する。各セクションに対して必要な吸収特性を実現する面内伝搬波の分散特性を個々に設計し、その動作を電磁界シミュレーションにより確認する。さらに、ミリ波帯における試作実験により本設計の妥当性を確認すると共に、分布型メタ表面の有用性を示す。

### 3. 研究の方法

円柱状の散乱体の表面に装着可能な分布型メタ表面の開発は、メタ表面の設計、設計の検証、分布型メタ表面の開発、研究成果の展開の 4 段階で行った。

メタ表面の設計は、1. 入射角度に応じた面内伝搬波の分散特性の算出、2. 単位セル構造の設計、3. 異常吸収特性のシミュレーションの手順で行った。設計の検証は、4. 異常吸収特性の実験により行った。分布型メタ表面の開発は、5. セクション境界における反射の抑制、6. 円柱状散乱体の散乱断面積シミュレーション、7. 円柱状散乱体の散乱断面積測定の手順で行った。今後、研究の展開として、8. 他の形状の散乱体への展開、9. デュアルバンド化への展開、10. 通信環境での伝搬制御実験へ順次展開する予定である。

### 4. 研究成果

ビアを用いないメタ表面の設計過程で、表面波の伝搬方向により右手系・左手系と全く異なった性質を示す不定媒質メタ表面の構造を見出し、設計・試作・測定を行なった。その結果、解析結果と同様の特徴を示す測定結果が得られた。これにより得られた知見は、所望の方向に異常吸収特性を発現させるメタ表面の設計に有用な手がかりとなる。これにより、円柱状の散乱体に対して特定の角度からの入射波のみを強く吸収するような特殊な吸収体を実現するための基礎データが得られた。具体的には、所望の角度で入射した電波とメタ表面上を伝搬する表面波が結合するには、波数の整合が必要であるが、従来は、異なる入射角度に対応するために周期構造の再設計が必要であり、多くの設計労力が求められていたところを、得られた基礎データから、不定メタ表面を回転させるだけで所望の波数が得られる可能性が示された。また、メタ表面を効率的に設計解析するための環境を構築した。不定媒質メタ表面を回転させて任意の入射角度で波数整合をとる手法について詳しく検討したが、入射偏波面の制御に大きな課題が残ることが判明したため、将来の課題とすることにし、当初予定していた手法で取り組むこととした。また、MEMS 構造の導入による選択制御向上についても、駆動電力源を始めとした実験装置の不足から、本格検討を見送ることとした。しかしながら、試作した縦横比 1:1 の不定媒質メタ表面を測定評価することで、二次元的に対称な分散曲線を得ることに成功した。また、より強い電波吸収特性を得るためのセル構造の最適化にも取り組み、山字形変形エルサレムクロス構造にて臨界結合状態を示す設計指針が得られた。

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

Y. Kato, S. Morita, H. Shiomi and A. Sanada, "Ultrathin Perfect Absorbers for Normal Incident Waves Using Dirac Cone Metasurfaces With Critical External Coupling," in IEEE Microwave and Wireless Components Letters, vol. 30, no. 4, pp. 383-386, April 2020, doi: 10.1109/LMWC.2020.2979708.

〔学会発表〕 (計 件)

H. Shiomi and A. Sanada, "Planar Via-Free Medium with 2-D Negative Refractive Index Properties," 2018 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), Kyoto, 2018, pp. 1040-1042, doi: 10.23919/APMC.2018.8617576.

H. Shiomi and A. Sanada, "Reflection characteristics of a 2-D indefinite medium," 2017 IEEE Asia Pacific Microwave Conference (APMC), Kuala Lumpur, 2017, pp. 1341-1344, doi: 10.1109/APMC.2017.8251711.

Y. Kato, M. Horibe, H. Shiomi, H. Murata and A. Sanada, "Characteristics of a double-sided dirac cone metamaterial," 2017 IEEE Asia Pacific Microwave Conference (APMC), Kuala Lumpur, 2017, pp. 1149-1152, doi: 10.1109/APMC.2017.8251660.

S. Morita, H. Shiomi, H. Murata and A. Sanada, "Highly angle and frequency selective absorption by mushroom metasurfaces for indoor propagation control," 2017 IEEE MTT-S International Conference on Microwaves for Intelligent Mobility (ICMIM), Nagoya, 2017, pp. 68-70, doi: 10.1109/ICMIM.2017.7918858.

〔図書〕 (計 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

○取得状況 (計 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号 (8桁)：

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

(2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kato Yuto, Morita Subaru, Shiomi Hidehisa, Sanada Atsushi	4. 巻 30
2. 論文標題 Ultrathin Perfect Absorbers for Normal Incident Waves Using Dirac Cone Metasurfaces With Critical External Coupling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Microwave and Wireless Components Letters	6. 最初と最後の頁 383 ~ 386
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LMWC.2020.2979708	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Hidehisa Shiomi
2. 発表標題 Planar Via-Free Medium with 2-D Negative Refractive Index Properties
3. 学会等名 2018 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hidehisa Shiomi
2. 発表標題 Reflection characteristics of a 2-D indefinite medium
3. 学会等名 2017 IEEE Asia Pacific Microwave Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Yuto Kato
2. 発表標題 Characteristics of a double-sided dirac cone metamaterial
3. 学会等名 2017 IEEE Asia Pacific Microwave Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Subaru Morita
2. 発表標題 Highly angle and frequency selective absorption by mushroom metasurfaces for indoor propagation control
3. 学会等名 2017 IEEE MTT-S International Conference on Microwaves for Intelligent Mobility (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----