



Title	人工メタ表面を用いた電磁界制御と異常伝搬現象に関する研究
Author(s)	加藤, 悠人
Citation	大阪大学, 2020, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/76593
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏名 (加藤 悠人)	
論文題名	人工メタ表面を用いた電磁界制御と異常伝搬現象に関する研究
論文内容の要旨	
<p>本研究は人工メタ表面による電磁界制御を理論と実験の両面から調べたものである。メタ表面は電磁波の波長に比べて十分に小さな人工構造を2次元的に配列したものであり、極薄構造による電磁界制御を可能にする。従来の電磁界制御は、波数空間において一部の伝搬波領域における制御に限定され、Γ点やエバネセント波領域における高度な制御は未開拓であった。本研究では、メタ表面による電磁界制御を波数空間全体に拡張し、それによる異常な伝搬現象を実現した。</p> <p>はじめに、周期メタ表面によるΓ点における電磁界制御を実現した。共振構造中の導波モードの縮退によりΓ点に非ゼロの群速度を導入し、メタ表面の外部結合を増大することで、Γ点制御を電波領域で可能にした。まず、Γ点で縮退した透過型ハイパボリックメタ表面を実現し、垂直入射波の透過率が1を超える異常透過現象を実証した。等価的に拡がった等位相開口面として働くメタ表面により、34 GHzのΓ点において透過率が5 dB増大することを実証した。さらに、単位格子密度による外部結合制御を導入した、Γ点で縮退した反射型メタ表面を実現し、超極薄構造で垂直入射波を完全吸収する異常吸収現象を実証した。メタ表面の外部Q値の独立制御により、臨界結合条件下において波長の1/38の極薄構造による完全吸収体を実現した。</p> <p>続いて、非周期メタ表面による伝搬波領域とエバネセント波領域を含めた波数空間での電磁界制御を実現した。4端子回路網モデルに基づいた設計により、メタ表面の入射側と透過側の両面で自由空間に整合した整合メタ表面による制御技術を実現した。まず、両面で整合した無反射メタ表面による伝搬波領域の位相制御技術を構築し、開口面効率の向上を実現した。さらに、本制御技術をエバネセント波領域に拡張し、複素波動インピーダンスを考慮した近傍界に対する整合設計理論を構築した。本理論に基づくサブ波長集光を2.45 GHz帯において実証した。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏名 (加藤悠人)	
	(職)
論文審査担当者	主査 教授
	副査 教授
	副査 教授
	副査 准教授
	氏名
	眞田篤志
	永妻忠夫
	向山敬
	中田陽介

論文審査の結果の要旨

本論文では、波長に比べて小さい構造体を2次元的に配列して構成したメタ表面に対して、単位素子の構造や配列を設計することで、通常自然の材料が示さない特異な物性を実現し、それを用いたマイクロ波・ミリ波帯の電磁波の新たな制御法を提示している。

まず、2次元周期構造中の面内伝搬波に対して、ブリルアンゾーン中の Γ 点において線形となる分散特性を人工的に実現し、面に垂直に電磁波を入射させた場合の透過波のビーム幅が狭窄化され、正面方向の透過電力の高密度化が図れることを数値的および実験的に示している。また、この現象が、波数が零で群速度が非零である Γ 点面内伝搬波の再放射波によるものであることを突き止めている。次に、 Γ 点で縮退する分散特性を持つ、金属に裏打ちされた2次元周期構造についても取り扱い、入射電磁波と面内伝搬波とが臨界結合条件を満足する場合に、垂直入射波が完全に吸収されることを示すと同時に、ミリ波帯において、この現象を利用した極薄かつ周波数選択性の高い完全電波吸収体を実現している。続いて論文では、2次元非周期構造のメタ表面についても議論している。その中で、開口面アンテナの透過波の位相操作を無反射で行う手法を示し、この手法に基づき設計したX帯大開口実用アンテナの放射ビームのサイドローブ抑制と開口面効率の向上を数値的に確認している。さらに、この概念をエバネセント波領域に拡張し、非周期構造メタ表面を用いて、マイクロ波帯においてエバネセント波の生成と回折限界を超える超解像を実現している。この際、エバネセント波の影響による複素自由空間インピーダンスを考慮したメタ表面の設計指針を与えていた。

これらの知見は、学術的にも独創的で、新たな電磁波応用の領域を開拓するものである。よって本論文を博士(工学)の学位論文として価値のあるものと認める。