

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02152

研究課題名（和文）非相反メタマテリアルの分散設計とビーム走査アンテナへの応用

研究課題名（英文）Dispersion Engineering of Nonreciprocal Metamaterials and Its Application to Beam Scanning Antennas

研究代表者

上田 哲也（Ueda, Tetsuya）

京都工芸繊維大学・電気電子工学系・教授

研究者番号：90293985

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：マルチバンドにおいて、ビーム方向が同一方向を向き、かつビームスクイント（周波数変動によるビーム方向のふらつき）の低減機能を有する漏れ波ビーム走査アンテナの実現を目的として、二周波でDirac点を形成し、かつ非相反移相特性が周波数に比例するデュアルバンド右手/左手系複合（CRLH）線路を提案し、所望の伝送特性が得られていることを数値計算および実験により実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

二周波で電磁界分布の位相勾配がほぼ同じでかつ周波数変動に対して堅牢な非相反メタマテリアル線路構造の設計法を確立し、その位相勾配も一元的に動的操作可能であることを数値計算及び実験により示した。この線路は無線通信システムにおいて、非常に簡素な構成でビーム走査可能なアンテナに応用することができる。従来技術のビーム走査アンテナであるフェーズドアレーアンテナと比較すると、給電構造、制御システムが大幅に簡素化される可能性を有していることから、将来の研究進展により社会貢献するものと期待される。

研究成果の概要（英文）：We have proposed dual-band composite right/left-handed transmission lines with nonreciprocal phase shift proportional to the operational frequencies and designed and fabricated the prototype circuits to demonstrate the transmission characteristics.

研究分野：電磁波工学

キーワード：メタマテリアル 非相反回路 漏れ波アンテナ ビーム走査アンテナ デュアルバンド動作 ビームスクイント低減

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

次世代の高速無線通信システムに用いられるアンテナには、低電力かつ低遅延のビーム走査機能が不可欠となっている。代表的なビーム走査アンテナのフェーズドアレーアンテナは、半波長サイズのアンテナ素子と移相器とからなる複数の基本構成要素が半波長間隔で周期的に並べられ、全体サイズが波長に比べ十分大きなアンテナとなる。ビーム走査の際、各アンテナ素子の位相を独立に電子制御する必要があるため、用途は小型化やシステム負荷低減の要求が厳しくない大型サイズの移動体、基地局等に限定される。一方、携帯電話など小型サイズの移動体端末向けアンテナの場合、低電力かつ低遅延だけでなく、サイズのコンパクト化が要求され、フェーズドアレーアンテナ技術の適用は困難である。

これに対して、簡素な回路構成のビーム走査アンテナとして、漏れ波アンテナが知られている。漏れ波アンテナは、一本の伝送線路に沿って一方向伝搬する進行波が形成する電磁界分布の位相勾配を利用してビームを形成するアンテナで、低電力、低遅延の可能性が期待されるが、小型の移動体端末への適用には解決しなければならない多くの問題がある。例えば、線路内に逆方向伝搬する成分があると、不要な方向にビーム形成されるため、線路終端で無反射となるよう整合回路が取り付けられ、放射に寄与しない成分は消費される。アンテナの寸法に制約がある場合には、高指向性のビームを形成するために、線路の至る箇所まで電磁波が均一に漏れ波放射することが望ましいが、一様電磁界(電流)分布を得ようとすると、放射に寄与せずに終端に到達する信号の割合が増加し、放射効率は低下する。アンテナが小型化するほど、この傾向は顕著となる。

さらに、漏れ波アンテナの抱える本質的な問題として、動作周波数の変化に伴い、放射ビーム方向が必然的に変動してしまう「ビームスクイント」の問題がある。一般に、伝送線路に沿って伝搬する電磁波が漏れ波放射するためには、線路に沿って伝搬する電磁波の「位相速度」が「真空中の光速」より大きい「速波」に設定する必要がある。これに対して、動作帯域内で周波数に依存せず、放射ビーム方向を一定にするためには、電磁波のエネルギー伝搬速度である「群速度」と速波の位相速度を一致させる必要がある。もちろん、これらの条件を両立させることは非物理的なもので、従来の漏れ波アンテナでは、動作周波数の変動に伴い、必然的にビーム方向が変動する結果となる。

上記の一方向伝搬する漏れ波アンテナとは別に、伝送線路の両端に反射素子を挿入した 0 次共振アンテナが提案されている。これは、分散ダイアグラムの 点で線路の実効屈折率がゼロとなる状態を利用した共振で、共振周波数が共振器サイズに依存せず小型化が可能で、共振器内電磁界の大きさと位相分布が自動的に至る所で一様となる結果、ブロードサイド(正面)方向に漏れ波放射ビームを形成する。このアンテナは共振のため放射効率は高くなるが、電磁界の位相分布を自由に操作できず、ビーム走査できない。以上のように、従来の伝送線路からなる漏れ波アンテナは、簡素な回路構成より低電力、低遅延が期待される反面、小型化、高効率、ビーム走査性の要求を同時に満足できない。

2. 研究の目的

漏れ波アンテナの抱える問題を解決する方法の一つとして、「非相反メタマテリアル」が注目されている。研究代表者の提案した非相反メタマテリアルを用いると、順方向伝搬の場合は正屈折率、逆方向伝搬の場合は負屈折率を示す伝送線路の構成が可能である。さらに、これを伝送線路共振構造として採用した多重反射(擬似進行波共振)漏れ波アンテナは、共振器内の電磁波伝搬方向(順方向もしくは逆方向)に関係なく、漏れ波ビームが同一方向を向き、不要な方向にサイドローブを形成せず、単峰性のビームが形成される。動作原理は上記の 0 次共振と類似して、動作周波数が共振器サイズに依存せず小型化可能で、電磁界の大きさは一様分布となる。0 次共振との決定的な違いは、線路の非相反性を変えることにより、共振器内電磁界分布において、位相勾配を動的制御できる点にある。従来の漏れ波アンテナでは、放射に寄与せず熱消費されていた信号成分を、共振器両端での多重反射により、所望の方向へのビーム形成に再利用できるため、サイズが小さい場合でも高効率化が図られる。このように、0 次共振漏れ波アンテナに非相反メタマテリアルを適用すると小型化、高効率、ビーム走査性を同時に満足することが可能となる。

また、非相反メタマテリアルからなる擬似進行波共振漏れ波アンテナには、小型で高効率という特徴だけでなく、動作周波数の変動に伴うビーム方向の変化を受けにくい特徴がある。従来の漏れ波アンテナのように、動作点で位相速度と群速度との速度整合条件に束縛されることなく、ビーム方向が線路の非相反性により決まるため、その周波数依存性を自由に設計することができる。最近、研究代表者は、ゼロビームスクイント特性を数値計算および実験により実証し、このアンテナの優位性を示した。しかしながら、非相反メタマテリアル線路からなるビーム走査アンテナにおいては、マルチバンド動作させた実施例はこれまでに報告されていない。

そこで本研究では、非相反メタマテリアル線路からなる擬似進行波共振漏れ波アンテナを二周波動作させ、かつ二周波でビーム方向を一致させながらビーム走査、さらに各動作点でビームスクイントのないアンテナを実現させることを目的としている。

3. 研究の方法

本研究で取り扱う非相反メタ材料による擬似進行波共振漏れ波ビーム走査アンテナの基本動作を図1に、デュアルバンド非相反メタ材料線路の分散ダイアグラムの分類を図2に示す。従来構造の単一周波数動作の擬似進行波共振器においては、同共振器を構成する非相反メタ材料線路の分散曲線の交点であるDirac点を動作点としている。また、このDirac点の周波数を固定したまま、非相反移相特性（位相定数）の値を動的にシフトさせることにより、同構造は共振条件を維持し、電磁界分布の強度分布は一様分布のまま、位相勾配のみを連続的に変化させることができる。この共振器内の位相勾配を動的変化させることにより、高効率でビームスクイントが低減された漏れ波ビーム走査が可能となる（図1(a)参照）。さらに先行研究においては、非相反メタ材料線路のマルチバンド動作の実現例として、二周波でDirac点が形成された線路の構成法が報告されていたが、得られた分散ダイアグラムとしては図2(a)に示すような形状であり、漏れ波放射ビーム方向が二周波でそれぞれ異なる方向を向き、一致させることができなかった。移動体通信においてマルチバンドを占有したまま同一通信相手と通信を継続的に行うためには、全周波数帯においてビーム方向を一致させながらビーム走査する必要がある（図1(b)参照）。このように、マルチバンドでビーム方向を一致させるためには、分散曲線において複数のDirac点が同一直線上にあるように非相反メタ材料線路を設計する必要がある（図2(b)参照）。しかしながら、マルチバンドでビーム方向を一致させることに成功した場合であっても、各点近傍での周波数変動に対してビーム方向も変動してしまうビームスクイントの問題が残されている（図1(c)参照）。これは、非相反移相特性 $\Delta\beta$ の周波数分散によるものである。このように非相反移相特性 $\Delta\beta$ においては、ビーム方向を決定する大きさの設計だけでなく、周波数分散設計も重要となる。二周波に亘りビームスクイントを無くすためには、非相反メタ材料線路の非相反移相特性 $\Delta\beta$ が各動作点付近で周波数に比例するように構造設計する必要がある（図2(c)参照）そこで本研究では、非相反メタ材料線路の分散曲線において、二周波でDirac点を形成し、この2つのDirac点が同一直線上となるように設計、且つ非相反移相特性 $\Delta\beta$ が動作周波数に比例するような非相反メタ材料線路を構成、さらに数値シミュレーションによる構造設計および実験による動作実証を目指した。

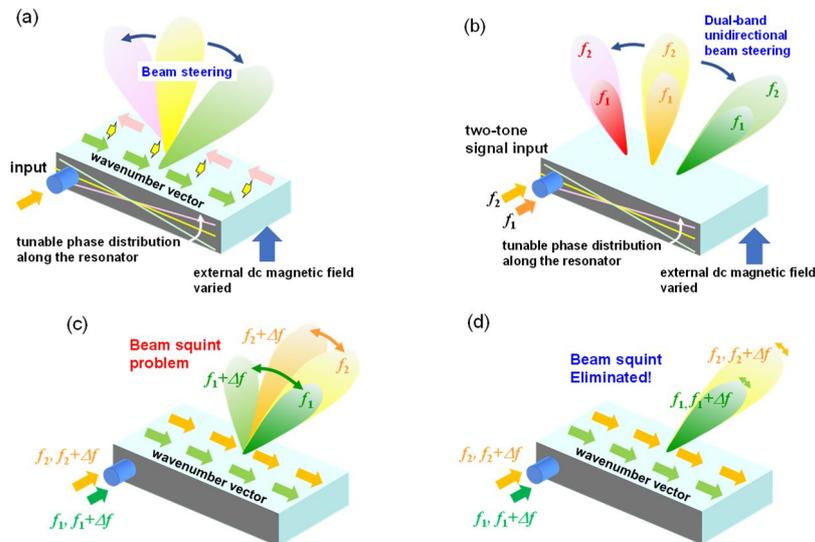


図1 非相反メタ材料による擬似進行波共振漏れ波ビーム走査アンテナの基本動作と概念図 (a)印加磁界によるビーム走査 (b)二周波で同一方向を向くビーム走査 (c)動作周波数変動によるビームスクイント (d)二周波で同一方向かつビームスクイントのないビーム走査

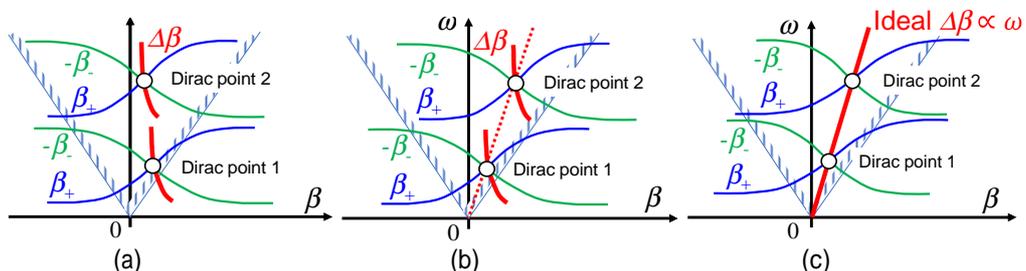


図2 デュアルバンド非相反メタ材料線路の分散ダイアグラム (a)一般的な場合：二周波でビーム方向不一致、ビームスクイントありの場合 (b)二周波でビーム方向が一致するが、ビームスクイントありの場合 (c)二周波でビーム方向一致かつビームスクイントなしの場合

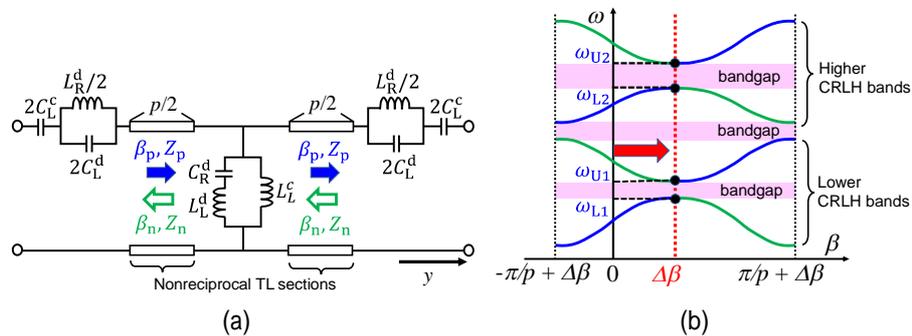


図3 デュアルバンド非相反メタマテリアル線路の等価回路モデルと分散ダイアグラムの概念図 (a)等価回路モデル (b)分散ダイアグラム

デュアルバンド非相反メタマテリアルの等価回路モデルおよび分散曲線の概略図を図3に示す。二周波帯での動作を可能とするために、従来のメタマテリアル線路において、直列枝に並列LC共振回路、シャント枝に直列LC共振回路が追加挿入されている。また、ここには記載しないが、二周波でバンドギャップが消滅し、Dirac点が形成されるための条件式を定式化により求めている。また、線路からの漏れ波放射ビーム方向を二周波において一致させ、且つ各周波数でビームスクイントのないビーム走査を実現するためには、非相反移相特性 $\Delta\beta$ が動作周波数に対して直線的に変化するよう線路構造の設計が必要である。非相反性は、時間反転対称性と空間反転対称性の組み合わせにより発現する。そこで本研究では、非相反性の定式化を行い、Dirac点近傍の $\Delta\beta$ の周波数依存特性を解析的に取り扱うことにより、 $\Delta\beta$ が動作周波数にほぼ比例するような線路構成を実現した。

4. 研究成果

非相反移相特性 $\Delta\beta$ が動作周波数にほぼ比例する非相反メタマテリアル線路構造を図4に示す。図4(a)は設計した線路の全体構造の上面図を、図4(b)は単位セルの斜視図を、図4(c)は試作した線路構造の写真を示す。先述の図3に示す等価回路モデルに基づき、さらに非相反移相特性が二周波に亘り、動作周波数にほぼ比例するように線路構造の非対称性が与えられている。

数値シミュレーションにより設計した非相反メタマテリアル線路および試作した回路の透過・反射特性を図5に示す。図5(a)(b)は数値シミュレーション結果、図5(c)(d)は測定結果、図

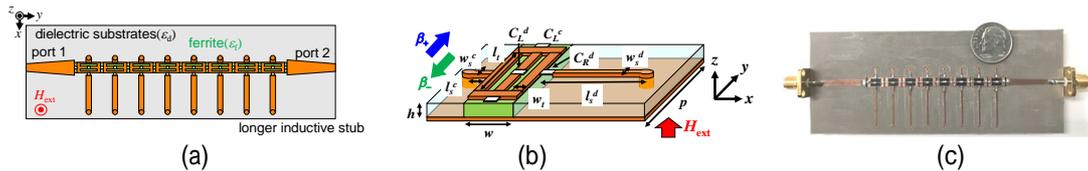


図4 提案構造と試作回路 (a)全体構造の上面図 (b)単位セルの斜視図 (c)試作回路の写真

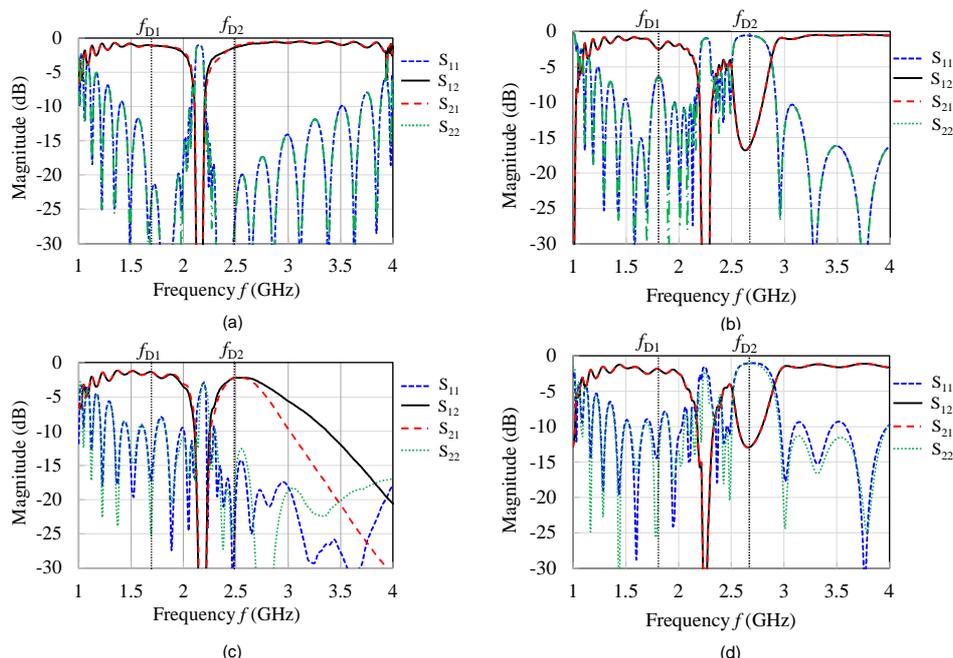


図5 透過・反射特性 (a)(b)数値計算結果、(c)(d)実験結果、(a)(c)印加磁界が320 mTで非相反移相特性が大きな場合、(b)(d)印加磁界が500 mTで非相反移相特性が小さい場合

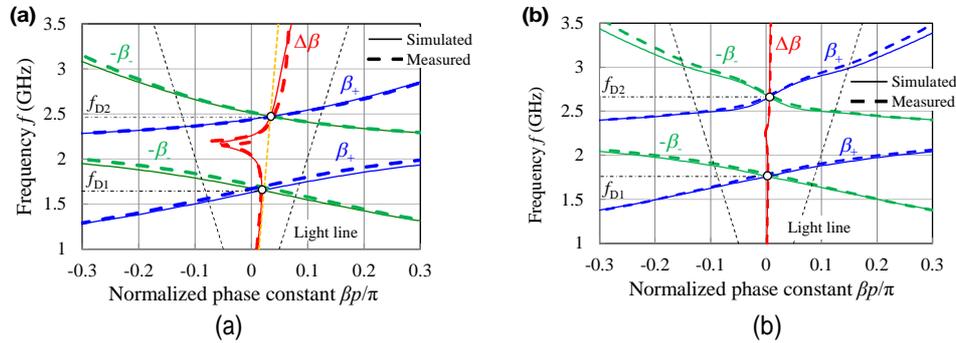


図6 抽出された分散ダイアグラムと非相反移相特性 (a) 印加磁界が 320 mT で非相反性が大きな場合 (b) 印加磁界が 500 mT で非相反性が小さい場合

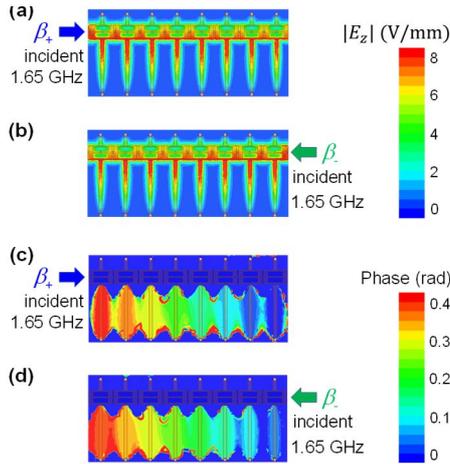


図7 電磁界分布 (低周波動作 $f = 1.65$ GHz) (a)(b) 電磁界強度分布、(c)(d) 位相分布、(a)(c) ポート 1 (左側) から入力した場合、(b)(d) ポート 2 (右側) から入力した場合

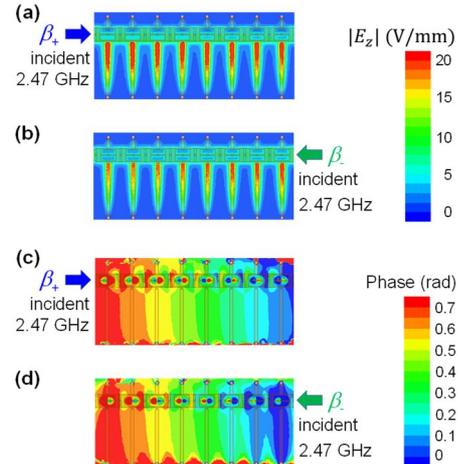


図8 電磁界分布 (高周波動作 $f = 2.47$ GHz) (a)(b) 電磁界強度分布、(c)(d) 位相分布、(a)(c) ポート 1 (左側) から入力した場合、(b)(d) ポート 2 (右側) から入力した場合

5(a)(c)は印加磁界が 300 mT で非相反移相特性が大きい場合を、図 5(c)(d)は印加磁界が 520mT の場合で非相反性がほぼゼロの場合を表している。図 5 中の f_{D1} および f_{D2} はそれぞれ、二周波のうち低周波側および高周波側の Dirac 点が存在する周波数 $f_{D1} = 1.65$ GHz、 $f_{D2} = 2.47$ GHz を表している。また図 5 と同じ伝送特性から抽出された分散曲線を図 6 に示す。図 6(a)は印加磁界が 300 mT で非相反性が大きい場合を、図 6(b)は印加磁界が 520mT で非相反性が小さい場合を表している。それぞれに図において、細い実線は数値シミュレーション結果を、太い破線は実験結果を重ねて表している。図 6 中の非相反移相特性 $\Delta\beta$ の形状を参照すると、2つの Dirac 点近傍において、 $\Delta\beta$ はほぼ同一直線上にあり、 $\Delta\beta$ の周波数依存性が従来構造のそれと比べて小さく抑制されていることが分かる。

最後に、低周波側 $f_{D1} = 1.65$ GHz および高周波側 $f_{D2} = 2.47$ GHz の Dirac 点における電磁界分布をそれぞれ図 7 および図 8 に示す。図 7(a)(b)は電磁界の強度分布を、図 7(c)(d)は位相分布を、図 7(a)(c)はポート 1(左側)から入力した場合、図 7(b)(d)はポート 2(右側)から入力した場合を表す。図 7 の結果から、入力ポートの選択に関係なく、電磁界分布は強度分布だけでなく、位相勾配もよく一致していることが分かる。このとき非相反移相特性 $\Delta\beta$ は漏れ波ビーム角 12.5° に相当する非相反性を有している。高周波側の Dirac 点の電磁界分布を表す図 8 においても、図 7 と同様の結果を得ている。このときの非相反性はビーム角に換算して 14.6° 程度であり、図 7、8 の結果から、2つの Dirac 点でビーム角がほぼ一致していることが分かる。なお、ここでは詳細の結果を示さないが、非相反移相特性 $\Delta\beta$ は一般に、フェライトの磁気特性を表す因子に依存するが、動作周波数が磁気共鳴周波数から離れている場合には、同じ値の因子に従って変化することから、印加磁界を変化させることにより、低周波帯および高周波帯のビーム角はほぼ同じ方向を維持しながらビーム走査することが可能である。

以上のことから、本研究課題では、非相反メタマテリアル線路の分散曲線において、二周波で Dirac 点を形成し、この 2つの Dirac 点在同一直線上となるように設計、且つ非相反移相特性 $\Delta\beta$ が動作周波数に比例するような非相反メタマテリアル線路を構成、さらに数値シミュレーションおよび実験により動作を実証した。今後の検討課題としては、同線路からの漏れ波放射特性を詳細に調べ、さらに擬似進行波共振アンテナに応用することにより、二周波においてビームが同一方向となるよう維持し、且つビームスクイントが小さいビーム走査アンテナの実験的動作検証を行うことが挙げられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ueda Tetsuya	4. 巻 23
2. 論文標題 Passive-Circuit-Based Nonreciprocal Metamaterials: Controlling the Phase Gradient of Fields in Resonators and Antennas	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Microwave Magazine	6. 最初と最後の頁 64 ~ 81
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/MMM.2022.3196413	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 -
1. 著者名 Kaneda Takumi, Ueda Tetsuya	4. 巻 11
2. 論文標題 Dual-band composite right/left-handed metamaterial lines with dynamically controllable nonreciprocal phase shift proportional to operating frequency	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nanophotonics	6. 最初と最後の頁 2097 ~ 2106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1515/nanoph-2021-0783	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Oshima Mikiya, Kondo Takumi, Ideguchi Takumu, Kurosawa Hiroyuki, Ueda Tetsuya	4. 巻 1
2. 論文標題 Enhancement of Nonreciprocal Phase Shift in Curved Composite Right/Left-Handed Metamaterial Lines by Using Corrugation Structures	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2022 Asia-Pacific Microwave Conference	6. 最初と最後の頁 818 ~ 820
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/APMC55665.2022.10000048	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 -
1. 著者名 Ueda Tetsuya, Kamino Masaki, Kondo Takumi, Itoh Tatsuo	4. 巻 70
2. 論文標題 Two-Degree-of-Freedom Control of Field Distribution on Nonreciprocal Metamaterial-Line Resonators and Its Applications to Polarization-Plane-Rotation and Beam- Scanning Leaky-Wave Antennas	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques	6. 最初と最後の頁 50 ~ 61
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMTT.2021.3124249	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 該当する

1. 著者名 Ueda Tetsuya	4. 巻 141
2. 論文標題 Recent Progress on Microwave Applications of Nonreciprocal Metamaterials using Yttrium Iron Garnet Ferrites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Fundamentals and Materials	6. 最初と最後の頁 289 ~ 294
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejfms.141.289	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 -

1. 著者名 Yasuda Hidefumi, Ueda Tetsuya, Kodera Toshiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Nonreciprocal CRLH Transmission Line Using Active Circuit-Loaded Ring Resonators	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021 IEEE Asia-Pacific Microwave Conference	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/APMC52720.2021.9661722	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 -

1. 著者名 Ideguchi Takumu, Ueda Tetsuya	4. 巻 -
2. 論文標題 Equivalent Circuit Model of Nonreciprocal Composite Right/Left-Handed Coupled Line	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021 IEEE Asia-Pacific Microwave Conference	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/APMC52720.2021.9661685	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 -

1. 著者名 上田哲也	4. 巻 400
2. 論文標題 メタマテリアルによる漏れ波ビーム走査アンテナのビームスクイント低減化	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 月刊EMC	6. 最初と最後の頁 pp. 75-85
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 Kamino Masaki, Ueda Tetsuya, Itoh Tatsuo	4. 巻 -
2. 論文標題 Polarization Plane Controllable Beam Scanning Leaky Wave Antenna based on Pseudo-Traveling-Wave Resonance Using Nonreciprocal Metamaterials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 2020 Asia Pacific Microwave Conference (APMC2020)	6. 最初と最後の頁 pp. 131-133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/APMC47863.2020.9331515	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 該当する

1. 著者名 Ideguchi Takumu, Ueda Tetsuya	4. 巻 -
2. 論文標題 Nonreciprocal Metamaterial Coupled Line for Leaky Wave Antennas in Full-Duplex Communication Systems	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 2023 Asia Pacific Microwave Conference (APMC2023)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/APMC57107.2023.10439703	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 -

1. 著者名 Nakanishi Yusuke, Kurosawa Hiroyuki, Ueda Tetsuya	4. 巻 -
2. 論文標題 Enhancement Phase-shifting Nonreciprocity by Asymmetry Series Interdigital Capacitors in Normally Magnetized Ferrite Microstrip Lines	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 2023 Asia Pacific Microwave Conference (APMC2023)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/APMC57107.2023.10439734	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 -

1. 著者名 Oshima Mikiya, Kobayashi Hiroto, Ueda Tetsuya	4. 巻 -
2. 論文標題 Demonstration of Enhanced Nonreciprocal Phase Shift in Curved Metamaterial Lines by Using Corrugation Structures	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 2023 Asia Pacific Microwave Conference (APMC2023)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/APMC57107.2023.10439687	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 -

1. 著者名 Ueno Yutaro, Ideguchi Takumu, Kurosawa Hiroyuki, Ueda Tetsuya	4. 巻 -
2. 論文標題 Enhancement of Phase Shifting Nonreciprocity in Composite Right/Left-Handed Metamaterial Transmission Lines with U-Shaped Microstrip Resonators	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 2023 Asia Pacific Microwave Conference (APMC2023)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/APMC57107.2023.10439912	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 -

1. 著者名 Yasuda Hidefumi, Ueda Tetsuya	4. 巻 -
2. 論文標題 Electronic control of structural asymmetry for tunable nonreciprocal phase shift in CRLH transmission lines	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 to be published in the 2024 IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (IMS2024)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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33件 (うち招待講演 6件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 上田哲也
2. 発表標題 [招待講演]非相反右手/左手系複合メタマテリアル線路の周波数分散設計
3. 学会等名 電子情報通信学会マイクロ波研究会技術報告, vol. 122, no. 35, MW2022-15, pp. 3-7, 2022年5月 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tetsuya Ueda
2. 発表標題 (Invited) Design of Nonreciprocal Phase Shift in Composite Right/Left-Handed Metamaterials and Their Applications
3. 学会等名 Abstract of URSI-JRSM 2022, Tokyo, Sept. 2022. (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大島幹矢, 近藤 巧, 井手口拓夢, 黒澤裕之, 上田哲也
2. 発表標題 曲率を持つCRLH線路のコルゲーション構造による非相反性増大
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-2-17, 2022年9月
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 井手口拓夢, 上田哲也
2. 発表標題 分布定数線路を用いた非相反メタマテリアル結合線路の等価回路モデル
3. 学会等名 電子情報通信学会 電磁界理論研究会技術報告, vol. 122, no. 256, EMT2022-61, pp. 93-98, 2022年11月.
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安田秀史, 上田哲也
2. 発表標題 2次元非相反メタマテリアルの等価回路
3. 学会等名 電子情報通信学会 電磁界理論研究会技術報告, vol. 122, no. 256, EMT2022-62, pp. 99-104, 2022年11月.
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大島幹矢, 近藤 巧, 井手口拓夢, 黒澤裕之, 上田哲也
2. 発表標題 曲率を持つCRLHメタマテリアル線路のコルゲーション構造による非相反性の増大
3. 学会等名 電子情報通信学会 電磁界理論研究会技術報告, vol. 122, no. 351, EMT2022-71, pp. 12-16, 2023年1月.
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 安田秀史, 上田哲也
2. 発表標題 CRLH伝送線路における非相反性の電子制御
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, C-2-50, 2023年3月
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Ueda and T. Itoh
2. 発表標題 Dispersion engineering of non-reciprocal composite right-left-handed metamaterials and their applications
3. 学会等名 2021 IEEE MTT-S International Microwave Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Ueda
2. 発表標題 Nonreciprocal metamaterials and their antenna applications
3. 学会等名 The 5th A3 Metamaterials Forum, Virtual Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 上田哲也
2. 発表標題 [チュートリアル講演] 電磁メタマテリアル共振器とアンテナ応用
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, アンテナ伝播研究会, AP2021-59, pp. 14-17
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安田秀史, 上田哲也, 小寺敏郎
2. 発表標題 能動素子装荷リング共振器を用いた非相反CRLH線路
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-2-48
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近藤 巧, 上田哲也
2. 発表標題 コルゲーション装荷金属ストリップを用いた右手/左手系複合伝送線路の等価回路モデル
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-2-49
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井手口拓夢, 上田哲也
2. 発表標題 非相反右手/左手系複合結合線路の等価回路モデル
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-2-50
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井手口拓夢, 上田哲也
2. 発表標題 垂直磁化フェライト基板非相反右手/左手系複合結合線路の等価回路モデル
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, 電磁界理論研究会, EMT2021-39, pp. 56-61
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 安田秀史, 上田哲也, 小寺敏郎
2. 発表標題 非磁性素子を用いた非相反右手/左手系複合線路
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, 電磁界理論研究会, EMT2021-40, pp. 62-66
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近藤 巧, 上田哲也
2. 発表標題 コルゲーション装荷金属ストリップを用いた非相反メタマテリアル伝送線路
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告, マイクロ波研究会, MW2021-98, pp. 79-84
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近藤 巧, 上田哲也
2. 発表標題 非相反CRLHメタマテリアル線路の誘導性スタブからの放射利得改善
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, B-1-134
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 神野雅喜, 上田哲也, 黒澤裕之, 伊藤龍男
2. 発表標題 非相反メタマテリアルからなる擬似進行波共振ビーム走査アンテナの偏波回転制御の実験
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-2-34
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 神野雅喜, 上田哲也, 黒澤裕之, 伊藤龍男
2. 発表標題 擬似進行波共振による偏波面回転制御ビーム走査アンテナ
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告 電磁界理論研究会, EMT2020-43, pp. 86-91
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田健太, 山上航平, 上田哲也, 黒澤裕之, 伊藤龍男
2. 発表標題 非相反メタマテリアル結合線路を用いた4ポートサーキュレータ
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告 電磁界理論研究会, EMT2020-42, pp. 81-85
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山田健太, 上田哲也, 山上航平, 黒澤裕之, 伊藤龍男
2. 発表標題 非相反CRLH結合線路によるデュアルバンド 4 ポートサーキュレータ
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, C-2-23
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tetsuya Ueda
2. 発表標題 Passive-Circuit-based Nonreciprocal Metamaterials and Their Applications
3. 学会等名 2023 Asian Workshop on Antennas and Propagation (AWAP2023) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tetsuya Ueda
2. 発表標題 Nonreciprocal metamaterial line resonators and their application to polarization plane rotation and beam scanning leaky wave antennas
3. 学会等名 The 7th A3 Metamaterials Forum 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 安田秀史, 上田哲也
2. 発表標題 CRLHメタマテリアル線路における非相反性の電子制御
3. 学会等名 電子情報通信学会 技術研究報告書 マイクロ波研究会, vol. 123, no. 35, MW2023-19, pp. 55-59
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中西悠介, 上田哲也
2. 発表標題 不均一インターデジタルキャパシタ装荷メタマテリアル線路の非相反性
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-2-30
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大島幹矢, 小林央人, 上田哲也
2. 発表標題 曲率を持つコルゲーション装荷メタマテリアル線路の非相反性増大の実験的検証
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-2-31
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 上野祐太郎, 井手口拓夢, 上田哲也
2. 発表標題 半波長共振器を装荷した非相反右手/左手系複合伝送線路
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-2-32
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 安田秀史, 近藤 巧, 上田哲也
2. 発表標題 終端反射素子の電子制御による非相反CRLH線路ビーム走査漏れ波アンテナの偏波面回転
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-2-33
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中西悠介, 上田哲也
2. 発表標題 非対称なインターデジタルキャパシタを装荷した非相反メタマテリアル線路
3. 学会等名 電子情報通信学会 技術研究報告書, 電磁界理論研究会, vol. 123, no. 251, EMT2023-71, pp. 47-51
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 安田秀史, 近藤 巧, 上田哲也
2. 発表標題 非相反メタマテリアル線路ビーム走査アンテナにおける偏波面回転の電子制御
3. 学会等名 電子情報通信学会 技術研究報告書, 電磁界理論研究会, vol. 123, no. 251, EMT2023-72, pp. 52-57
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 大島幹矢, 上田哲也
2. 発表標題 コルゲーション構造による曲率を持つメタマテリアル線路の非相反性増大の実験的検証
3. 学会等名 電子情報通信学会 技術研究報告書, マイクロ波研究会, vol. 123, no. 268, MW2023-131, pp. 27-32
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 島田翔悟, 大島幹矢, 安田秀史, 上田哲也
2. 発表標題 二次元非相反メタマテリアルからの漏れ波放射とビーム走査
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, C-2B-02
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 安田秀史, 上田哲也
2. 発表標題 非相反メタマテリアル線路の電子制御と非相反性増大
3. 学会等名 電子情報通信学会総合大会, C-2B-03
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 執筆者: 54名、技術情報協会	4. 発行年 2022年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 508
3. 書名 メタマテリアルの設計、作製と新材料、デバイス開発への応用	

1. 著者名 Editors: Akinobu Yamaguchi, Atsufumi Hirohata, Bethanie Stadler	4. 発行年 2021年
2. 出版社 Elsevier	5. 総ページ数 812
3. 書名 Nanomagnetic Materials Fabrication, Characterization and Application	

1. 著者名 監修 川西哲也	4. 発行年 2023年
2. 出版社 S&T出版	5. 総ページ数 238
3. 書名 6G / 7Gのキーデバイス	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>京都工芸繊維大学 電気電子工学系 先進電磁波動工学研究室 http://www.cis.kit.ac.jp/~ueda/</p>
--

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
研究分担者	小寺 敏郎 (Kodera Toshiro) (90340603)	明星大学・理工学部・教授 (32685)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究 分 担 者	黒澤 裕之 (Kurosawa Hiroyuki) (20708367)	京都工芸繊維大学・電気電子工学系・助教 (14303)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関