

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K06426

研究課題名(和文)クロスループ構造による零位相分散特性の実現と偏波・周波数が変化するアンテナ開発

研究課題名(英文) Development of a polarization- and frequency-controllable circularly polarized antenna by means of zero-phase-shift line actualized by cross-shape-loop structures

研究代表者

松永 真由美 (Matsunaga, Mayumi)

静岡大学・工学部・准教授

研究者番号：30325360

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)：アンテナをクロスループ構造とすることでもたらされる物理的效果とメカニズム、効果的な応用に関する研究を行った。まず、折り返しループアンテナとクロスループアンテナのインピーダンス特性、電磁界及び電流分布、そして、位相の周波数特性を比較検討した。その結果、クロスループ構造とすることで、従来の折り返しループアンテナにリアクタンス成分が加わり、特定の周波数範囲においては等価的に左手系線路となり、零位相分散特性と同等の電流分布がアンテナエレメント上に流れることが分かった。また、従来は放射に寄与しないと考えられていたモードを利用して円偏波の放射とアンテナサイズの小型化が可能となることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果として、零位相となる周波数前後においてアンテナの偏波特性が、直線->右旋円偏波->左旋円偏波->直線偏波となる多周波多偏波アンテナや、150MHzから2GHzまでの幅広い帯域の複数の周波数で所望の旋回方向の円偏波や直線偏波をもつ多周波多偏波アンテナ、そして、第5世代移動通信システム(5G)用の28GHzで円偏波を所望方向に傾けて放射出来るアンテナの設計に成功した。つまり、高周波化やシグナル制御の高度化が進む移動通信システムに対応した小型かつ高性能なアンテナへ技術を応用する事が可能であり、来るIoT時代を支えるアンテナ技術の一つとなり得る。

研究成果の概要(英文)：Physical effects and principle brought to antennas by constituting them like cross spiral structures have been studied. Moreover, novel antennas have been made by the cross spiral structures as effective applications. First, cross spiral antennas' characteristics: impedance, electric and magnetic fields, current distributions, and phases depending on frequencies, were compared with those of folded dipole/loop antennas. As results of those studies, it was understood that cross spiral structures brought to antennas reactance components for configuring equivalent circuits of a left-handed transmission line at the frequency, in which current distribution appears on the antenna elements as same as that at the zero-phase frequency. Then, the fact that cross loop structures can help to use the radiation mode of folded dipole antennas which are never used conventionally and circularly polarized antennas can be made smaller than those made by using the usual radiation mode has been clarified.

研究分野：電磁波工学

キーワード：アンテナ 零位相分散 左手系線路 小型化 円偏波 ミリ波 第5世代移動通信システム 多偏波制御

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

負の屈折率が人工的に実現できるメタマテリアル構造が注目を浴びて久しい。マイクロ波技術においても、キャパシターとインダクターを周期的に接続した CRLH(Composite Right/Left-Handed)線路により、負の屈折率を有する誘電体中の伝搬現象と同等の左手系線路が実現できる事が発明されて以来、CRLH 線路を応用したアンテナの小型化や、周波数に応じて偏波方向や指向性などが調整可能な数々のアンテナが提案されている。しかしながら、コンデンサーやコイルの様な受動素子を用いた CRLH 線路にしる、マイクロストリップ線路構造等により等価的にキャパシタンスやインダクタンスを生み出した CRLH 線路にしる、有効な零次共振を得るには、十分に広い金属グラウンド板が必要であり、また、立体的かつ大規模な周期構造を形成する必要であった。

研究代表者は、小型で簡便な構造でありながら良好な円偏波を放射するアンテナの開発をこれまで行ってきた。なかでも、ループアンテナをクロス形状にしたクロスループ構造は、小型でありながら良好な円偏波を放射する独自発明のアンテナとして脚光を浴びている。ループアンテナを、クロス形状にすると、なぜ、通常のループアンテナよりも小型になるのか？また、円偏波を放射できるのか？これらの点について、更に深く掘り下げて考察したところ、クロスループ構造には、(1)零位相分散特性が表れること、また、その近傍では、(2)零次共振がみられ、結果的に、(3)零次共振が起こる周波数を境に、円偏波の旋回方向が右から左へと変化する事が分かってきた。これが本研究課題の着想に至った経緯である。なお、ここで言う「零位相分散特性」は、ループアンテナの様なマイクロストリップ線路構造とは異なる(つまり広い金属グラウンドを必要としない)アンテナにおける零次共振の結果得られる現象であり、アンテナの小型化や偏波特性の制御技術として有効と考えている。

2. 研究の目的

アンテナをクロスループ構造(クロスループアンテナ)とすることでもたらされる物理的效果と、そのメカニズムを解明し、ループアンテナ等の小型化と、周波数に応じて偏波方向が変化するアンテナを開発する。

クロスループ構造がアンテナの小型化及び円偏波アンテナの実現に有効であることを研究代表者は発見した。また、このような物理現象がもたらされる原理を、メタマテリアルを生み出す零次共振現象によるものと考えている。そこでまず、インピーダンス特性や電流分布、そして、分散特性などを詳細に解析し、この仮説を立証する。次に、本効果が有効にいかされる小型アンテナや偏波方向が変化するアンテナの開発に応用する。

3. 研究の方法

本課題ではまず、電磁界シミュレーションにより、クロスループアンテナのインピーダンス特性、電磁界及び電流分布、そして、位相の周波数特性を検討した。これらの結果を検討することで、クロスループ構造がもたらす効果として分かっている、アンテナの小型化や、円偏波の放射、そして、円偏波の旋回方向の制御が実現できる物理的原理について考察した。その上で、これらが零次共振現象によりものであるかどうかを検討した。原理的な理解を元に、本構造の効果を用いて小型円偏波アンテナや、第5世代移動通信システム用アンテナ、そして、電離圏観測用のアンテナなどへの応用を行った。これらのアンテナについては、全て実際に試作し、その性能を測定して小型化や円偏波制御などの効果が得られていることを確認した。また、電離圏観測用アンテナについては、実際に観測に用いた。

4. 研究成果

まず、折り返しループアンテナとクロスループアンテナのインピーダンス特性、電磁界及び電流分布、そして、位相の周波数特性を比較検討した。その結果、クロスループ構造とすることで、従来の折り返しループアンテナにリアクタンス成分が加わり、特定の周波数範囲においては等価的に左手系線路となり、零位相分散特性と同等の電流分布がアンテナエレメント上に流れることが分かった。また、クロスループ構造とすることで、折り返しループアンテナでは放射に寄与しないモードの利用が可能となり、その結果、クロスループアンテナは、折り返しループアンテナと同等の直線偏波の放射と、従来は放射に寄与しなかったモードを利用した円偏波の放射が共存できることを明らかにした。

効果的な応用として、零位相となる周波数前後においてアンテナの偏波特性が、直線->右旋円偏波->左旋円偏波->直線偏波となる多周波多偏波アンテナ、150MHz から 2GHz までの幅広い帯域の複数の周波数で所望の旋回方向の円偏波や直線偏波をもつ多周波多偏波アンテナ、そして、第5世代移動通信システム(5G)用の 28GHz で円偏波を所望方向に傾けて放射出来るアンテナの設計に成功した。5G 用アンテナについては、携帯端末内蔵用のアンテナ設計にも成功し、携帯機器の筐体や周辺回路の影響を受けにくいアンテナ構造、配置方法、給電方法を提案した。これらの結果については、全て、実証実験によりその性能や特性を確認した。

ここでは、本課題の研究成果として、零次共振が得られる周波数の近傍で旋回方向が変化する円偏波アンテナについての結果を示す。

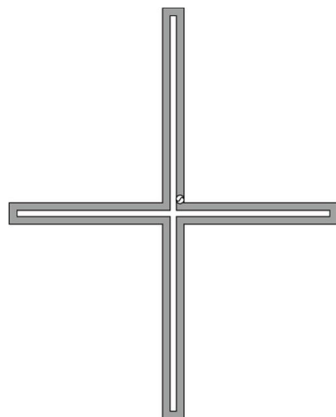


図 1: クロスループ構造

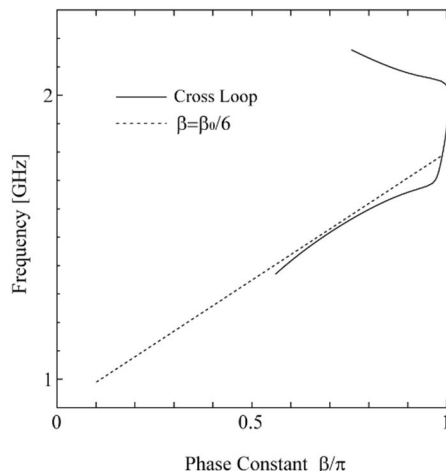


図 2: 分散特性

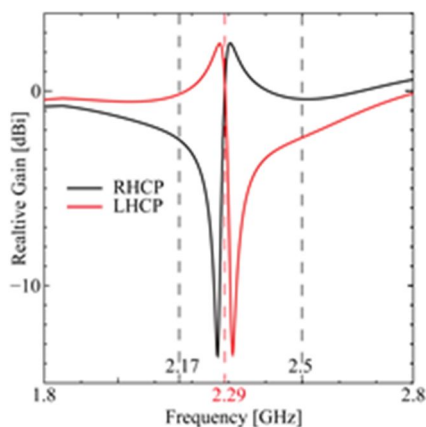


図 3: 円偏波放射利得の周波数特性

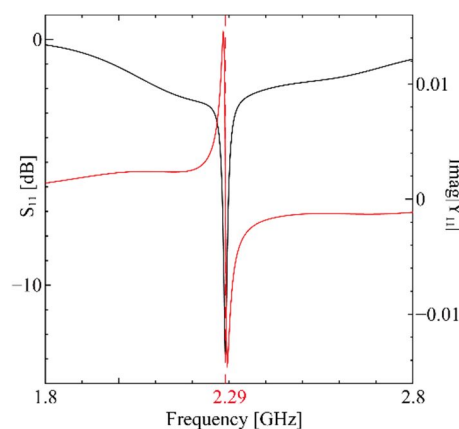


図 4: S_{11} 及び Y_{11} 虚部の周波数特性

図 1 は、クロスループ構造を取り入れたループアンテナの一例である。このようにループアンテナを構成することで、図 2 のような分散特性が得られる事がわかった。つまり、クロス構造により零次共振が得られる時と同等の分散特性が得られる事を示している。その結果、零次共振が得られる周波数の前後では、電磁波の伝搬する方向が変化する。つまり、この周波数の近傍ではアンテナエレメント上に分布する電流が円を描くように流れ、そして、一旦止まった後、向きを変える。つまり、旋回方向が周波数に応じて変化する円偏波アンテナの設計に応用できることが分かった。そこで、2 GHz 近傍で円偏波を放射するようにアンテナ寸法を調整した結果、図 3 と図 4 に示す様な放射やインピーダンス特性を有する円偏波アンテナの設計に成功した。図 3 は、このアンテナが、2.29 GHz を境に、左旋円偏波を放射していたものが、右旋円偏波を放射するように変化している様子を表している。また、図 4 は、この近傍におけるインピーダンスの変化を示しており、共振現象が起こっていることが裏付けられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 E. Narita, Y. Shimizu, M. Matsunaga, N. Shinohara, and J. Miyakoshi	4. 巻 2
2. 論文標題 Effects of ultra-high frequency electromagnetic field at 28 GHz on micronucleus formation in human cell lines	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 URSI Radio Science Letters	6. 最初と最後の頁 1 - 4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.46620/20-0018	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 Mayumi Matsunaga	4. 巻 -
2. 論文標題 Flexible Views without Being Held Back by Fixed Ideas is the Mother of Invention	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of International Symposium on Antennas and Propagation	6. 最初と最後の頁 425 - 426
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.23919/ISAP47053.2021.9391126	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 Mayumi Matsunaga	4. 巻 -
2. 論文標題 A Circularly polarized Antenna with Oblique Radiation Angles for 5G Mobile Communication Devices	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications	6. 最初と最後の頁 63
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/APWC52648.2021.9539715	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 Matsunaga Mayumi	4. 巻 -
2. 論文標題 An Effect of Via-Holes Barriers on Circularly Polarized Patch Antennas for Getting Currents' Phase-Lags	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2018 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting	6. 最初と最後の頁 341 - 342
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/APUSNCURSINRSM.2018.8609370	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 Mayumi Matsunaga and Mamoru Yamamoto	4. 巻 -
2. 論文標題 A Double-Band Circularly Polarized Antenna for Satellite Signal Bands in the Ratio of 3 : 8	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2018 IEEE Conference on Antenna Measurements and Applications	6. 最初と最後の頁 1 - 2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/CAMA.2018.8530515	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 松永真由美	4. 巻 J100-B
2. 論文標題 隣接2周波でそれぞれ左右の円偏波を放射するクロス形状のループアンテナ	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 電子情報通信学会論文誌B	6. 最初と最後の頁 842 - 843
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14923/transcomj.2017APL0004	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 Matsunaga Mayumi	4. 巻 -
2. 論文標題 A novel arrangement of cross-shape loop antenna for wider circular polarization band-width	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2017 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting	6. 最初と最後の頁 2465 - 2466
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/APUSNCURSINRSM.2017.8073275	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 Matsunaga Mayumi	4. 巻 -
2. 論文標題 A multiband circularly polarized cross spiral antenna with a dipole feeder	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of 2017 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications	6. 最初と最後の頁 232 - 233
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/APWC.2017.8062288	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 Mayumi Matsunaga	4. 巻 -
2. 論文標題 A 28 GHz Circularly Polarized Antenna with Controllable Tilted Radiation Angles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Conference on Antenna Measurements & Applications	6. 最初と最後の頁 7
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 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10件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Mayumi Matsunaga
2. 発表標題 Flexible Views without Being Held Back by Fixed Ideas is the Mother of Invention
3. 学会等名 International Symposium on Antennas and Propagation 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松永真由美
2. 発表標題 電離圏観測用UHF帯四周波円偏波アンテナ
3. 学会等名 電子情報通信学会無線電力伝送研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mayumi Matsunaga
2. 発表標題 A Circularly polarized Antenna with Oblique Radiation Angles for 5G Mobile Communication Devices
3. 学会等名 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mayumi Matsunaga
2. 発表標題 A Double-Band Circularly Polarized Antenna for Satellite Signal Bands in the Ratio of 3 : 8
3. 学会等名 2018 IEEE Conference on Antenna Measurements and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松永真由美
2. 発表標題 クロススパイラルアンテナの原理ならびに左右両偏波アンテナへの応用
3. 学会等名 電子情報通信学会無線電力伝送研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mayumi Matsunaga
2. 発表標題 A Novel Arrangement of Cross-Shape Loop Antenna for Wider Circular Polarization Band-Width
3. 学会等名 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Mayumi Matsunaga
2. 発表標題 A Multiband Circularly Polarized Cross Spiral Antenna with a Dipole Feeder
3. 学会等名 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Mayumi Matsunaga
2. 発表標題 An Effect of Via-Holes Barriers on Circularly Polarized Patch Antennas for Getting Currents' Phase-Lags
3. 学会等名 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松永真由美
2. 発表標題 クロスバイラルアンテナの原理ならびに左右両偏波アンテナへの応用
3. 学会等名 電子情報通信学会無線電力伝送研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Mayumi Matsunaga
2. 発表標題 A 28 GHz Circularly Polarized Antenna with Controllable Tilted Radiation Angles
3. 学会等名 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

松永研究室ホームページ
<https://mmayumi.lekumo.biz/jp/>

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
--	---------------------------	-----------------------	----

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		
米国	University of Washington	SRI International	