

機関番号：34310

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2010

課題番号：19560359

研究課題名（和文） 人工媒質中の電磁波伝送・漏洩特性解析に基づくミリ波回路素子の開発

研究課題名（英文） DEVELOPMENT OF MILLIMETER-WAVE CIRCUIT COMPONENTS BASED ON TRANSMISSION AND LEAKY PROPERTIES OF THE ELECTROMAGNETIC WAVE IN ARTIFICIAL MEDIA

研究代表者

辻 幹男 (TSUJI MIKIO)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：50148376

研究成果の概要（和文）：本研究では、人工媒質となる右手系左手系複合伝送線路の単位セル形状の提案を行い、これを用いて低サイドローブ特性を有する漏洩波アンテナの開発を行った。また2層構造の平面回路線路の各層に任意形状導体片や欠損が存在する回路を用いたフィルタの設計法を提案し、UWBフィルタを開発した。さらにこの設計法を人工媒質の設計に応用し、人工媒質の設計が可能なることを数值的、実験的に示した。

研究成果の概要（英文）：A unit cell of the composite right/left hand transmission line has been proposed and a leaky-wave antenna with low-sidelobe property based on this unit has been developed. A design method of filters constructed by arbitrary conductor patches and defects on two-layered planar circuit transmission line has been also proposed and the UWB filters have been developed. Furthermore this method is applied to design artificial medium, and its design is successfully performed from the numerical and experimental results.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	900,000	270,000	1,170,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：マイクロ波・ミリ波，左手系媒質，漏洩波アンテナ，右手系/左手系複合線路，コプレーナストリップ線路，多層平面回路，遺伝的アルゴリズム，フィルタ

1. 研究開始当初の背景

近年、ミリ波を利用した通信やセンシングが盛んになってきており、種々の分野で研究開発が進められている。たとえば、ミリ波を用いたLAN、自動車搭載の障害物レーダ、光波では遮蔽されて見ることができない物体内部に存在する金属探知用イメージングなどがその代表的なものであり、これらのシステムを構築するに当たり重要な素子の1つであるアンテナについて、ス

タブ装荷リッジ漏洩導波管構造の高性能漏洩波アンテナの開発を科学研究費（平成16年度終了）にて進めてきた。この種のアンテナは周波数掃引によるビーム走査が行える特徴を持つが、金属導波管であるために重量や大きさに難点があり、しかも走査角度が90度以内の範囲に限られる欠点も有していた。一方、誘電体媒質に関し、最近では自然界に存在しない人工媒質の研究が盛んになり、特に左手系媒質と呼ばれる人

工媒質を用いた伝送線路が注目を集めている。この線路を利用すれば従来にはない各種回路素子の構築が可能となること示されており、今後もこの種の線路の各種回路素子への応用が期待できる。一例としては前述した漏洩波アンテナへの応用があり、左手系媒質を用いた場合には軽量でしかも180度のビーム走査が可能な漏洩波アンテナの実現が可能となる。しかしながら、左手系媒質を含む伝送線路の特性は電磁波漏洩が生じる複雑なものであり、これまでにその特性が十分に解明されたとは言い難く、アンテナを含めて従来にはない機能をもつ種々の回路素子の開発が期待される状況にあった。

2. 研究の目的

このような状況を踏まえ、本研究では先ず申請者が行ってきた漏洩現象解明の実績をもとに左手系媒質を含む伝送線路の漏洩現象についての基礎的研究を進めるとともに、すでに申請者が提案しているヴィアを必要としないコプレーナストリップ線路に基づく左手系媒質を利用して、自動車搭載の障害物レーダ用の漏洩波アンテナの開発を行うことを目的としている。実際の開発にあたっては、複雑な漏洩現象の物理的解明により、設計のための基礎的データを集積するとともに、放射特性の低サイドローブ化を行いアンテナの高性能化を行っていく。

これらと並行して、申請者が任意形状導体素子配列による空間周波数選択板やマイクロストリップフィルタの開発に用いてきた独自の最適化手法を左手系媒質構築に応用することで、上記の漏洩波アンテナをシステムとして動作させるのに必要な回路素子であるフィルタ、結合器、移相器など各種回路素子の開発することも目的の1つである。ここで用いる最適化手法は隣接導体片の電気的接触を安定に保ちつつ任意形状導体の最適化が行えるものであり、導体片による左手系媒質を任意に構成するための強力な手段になり得るものである。

また、解析結果で得られた素子特性については、常に回路試作、測定を行うことで実験的検証も並行して進めていく。

3. 研究の方法

(1) 漏洩波アンテナの開発

①コプレーナストリップ線路に基づく左手系媒質の伝送・漏洩特性について、種々の線路形状に対する解析結果をもとにした詳細な検討を加え、空間漏洩現象と線路形状との関連を明確にする。

②解析結果により得られた左手系媒質の形状依存性の実験的検証を行うために先ずマ

イクロ波帯における伝送線路をフォトリソグラフにて試作する。そして、その漏洩特性ならびに伝送特性の測定を研究室所有のネットワークアナライザを使用して行うことで、解析結果の妥当性を実験的にも検証する。

③車載レーダ用の漏洩波アンテナの開発に的を絞り前項で得られた特性を基に放射の制御に最適な形状を見出し、基本的な漏洩波アンテナの設計を行う。

④設計値に基づき、その放射特性を数値計算により求めるとともに、マイクロ波にてアンテナを試作し、放射特性の測定を行い、設計値の妥当性を理論的、実験的に検証する。

⑤アンテナの高性能化として低サイドローブをもつアンテナの開発を行うために位相定数は一定で、かつ漏洩定数が可変となる線路形状の数値的検討を行う。

⑥上項の検討をもとに単位セル形状と漏洩定数の関係を示す設計チャートを作成する

⑦設計チャートに基づき、-30dBのテーパー分布のサイドローブをもつアンテナの設計を行い、数値計算により設計の妥当性を確認する。

⑧設計アンテナ形状の妥当性をマイクロ波帯での測定から検証する。

(2) 左手系媒質の構築

①左手系媒質構築の第一歩として、平面回路線路を2層構造とし、各層に任意形状導体片や欠損が存在する場合の伝送・漏洩特性の解析が行える効率的な解析手段の開発を行う。

②開発プログラムにより2層構造のフィルタ回路の開発を行い、プログラムの有用性を検証する。

③回路の製作をフォトリソグラフにて行い、理論値と測定値の比較からプログラムの有用性を実験的にも検証する。

④開発プログラムを用いて、任意の減衰定数および位相定数特性を有する左手系媒質設計法の検討を行う。

⑤媒質の製作をフォトリソグラフにて行い、解析結果と測定結果の比較から設計法の有用性を検証する。

⑥左手系媒質を利用した回路を製作し、その有用性を試作回路の伝送特性測定から検証する。

4. 研究成果

(1) 漏洩波アンテナの開発

コプレーナストリップ線路に基づく左手系媒質の基本形状を示したのが図1であり、その分散特性の一例が図2に示されている。しかしながら、基本形状の構造パラメータを変化させるだけではアンテナの低サイドローブ化のための必須条件である位相定数を一定として漏洩定数を可変にすることは不可能であり、本研究ではストリップ線路の側

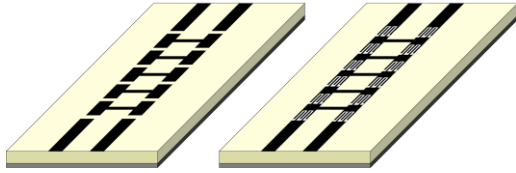


図1 コプレーナストリップ線路に基づく左手系媒質の基本形状

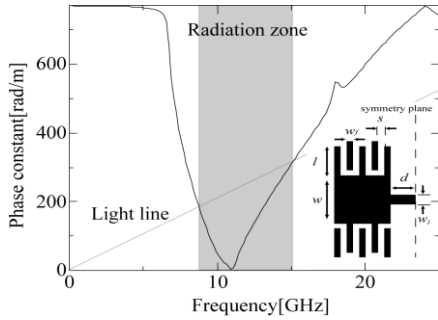


図2 右手系/左手系複合伝送線路の分散特性の一例

面に平行に細いストリップ線路を付加した図3に示す形状が有効であることを見出した。図4は構造パラメータを変化させた場合の伝送特性を示したもので、形状が変化しているにもかかわらず位相特性は変化していないことがわかる。図5はこれらの特性を基に漏洩定数と構造パラメータの関係を示した設計チャートであり、このチャートを用いて-30dBのテイラー分布のサイドローブを持つ漏洩波アンテナを設計し、試作した一例の

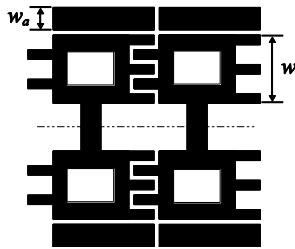


図3 本研究で開発した右手系/左手系複合伝送線路の単位形状

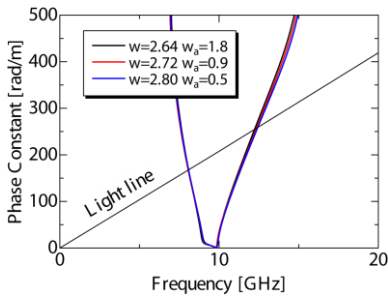
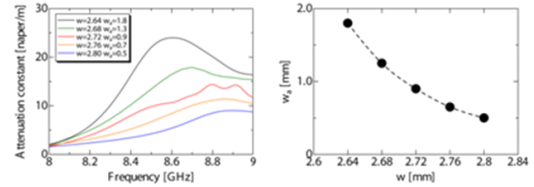


図4 本研究で開発した右手系/左手系複合伝送線路の分散特性



Alpha chart

Chart of w and w_a

図5 本研究で開発した右手系/左手系複合伝送線路の分散特性



図6 -30dBのテイラー分布のサイドローブをもつ試作アンテナの写真

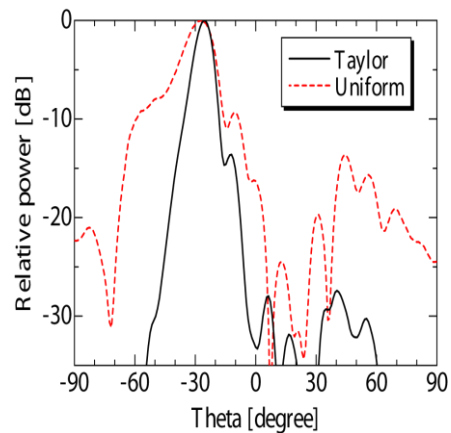


図7 試作アンテナの放射特性

写真が図6である。図7はその放射特性の測定結果であり、サイドローブが抑えられ、周波数掃引によるビーム走査が行えていることが実験的にも検証できている。

このように左手系媒質を含む漏洩線路の減衰定数を制御してサイドローブを抑制した漏洩波アンテナの例はこれまでにない。このアンテナをミリ波帯で用いることは製作精度を確保できれば容易であり、今後自動車搭載の障害物レーダへの応用が大いに期待できる。

(2) 左手系媒質の構築

平面回路線路に任意形状導体片や欠損が存在する場合の伝送・漏洩特性の解析、設計が行える開発プログラムのチェックとして、マイクロストリップ線路のグランド面に任意形状のスロットを設けたフィルタの設計を行った。図8は一例である超広帯域無線用のUWBフィルタの設計形状を示したものであり、図9は数値計算結果とマイクロ波帯での測定結果との比較を示したものである。両者はよく一致しており、開発プログラムの有用性が検証された。次に左手系媒質構築には

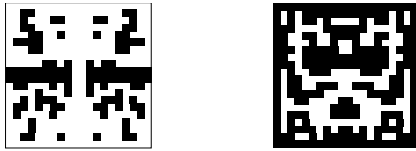


図8 UWBフィルタの一設計例

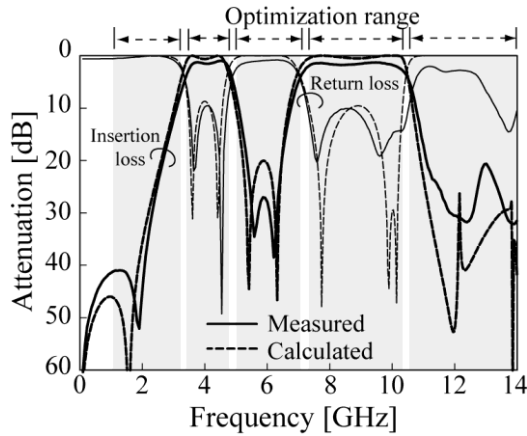


図9 開発したUWBフィルタの伝送特性の測定結果

無限周期の分散特性を評価関数にした最適化による設計法が有用であることを見出した。図10は左手系の通過帯域を変化した場合の設計形状の試作回路(5セル)の写真を示したものであり、図11は解析結果と測定値を比較したものである。両者の傾向は概ね一致しており、設計法の有用性は明らかである。また図12は設計媒質が左手系媒質の特長である位相進みの移相器として働くことを検証したものである。

これらの成果により、任意の左手系媒質を構築することの可能性を初めて示したものであり、今後のミリ波回路素子開発の新たな展開に大いに寄与するものである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計8件)

- ① Mikio Tsuji, Hiroyuki Deguchi, Masataka Ohira, A New Frequency Selective Window for Constructing Waveguide Bandpass Filters with Multiple Attenuation Poles, Progress In Electromagnetics Research C, 査読有, Vol. 20, No. 3, 2011, pp. 139-153
- ② Tadashi Kido, Hiroyuki Deguchi, Mikio Tsuji, Compact Planar Bandpass Filters with Arbitrarily-Shaped Conductor Patches and Slots, 査読有, IEICE Trans. Electron., Vol.E95-C, No. 6, 2011, pp.1091-1097
- ③ Takeshi Masaoka, Hiroyuki Deguchi, Mikio



図10 設計した左手系媒質の試作回路の写真(5セル)

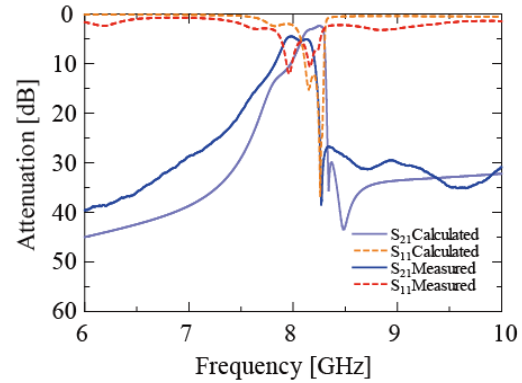


図11 設計した左手系媒質の試作回路の写真(5セル)

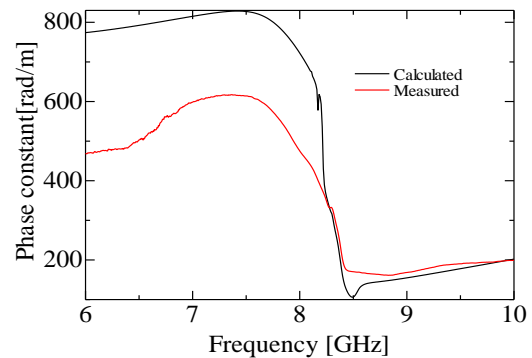


図12 位相推移特性の測定結果

Tsuji, Microstrip Bandpass Filters with Attenuation Poles due to Dual-mode Behaviour, Proceedings of European Microwave Conference, 査読有, Vol. 3, 2009, pp. 1381-1384

- ④ Mikio Tsuji, Akinori Kido, Hiroyuki Deguchi, Masataka Ohira, Multi-Resonator Generation by Genetic Optimization for Application to Planar-Circuit Bandpass Filters, 電気学会論文誌 A, 査読有, Vol. 129A, No. 10, 2009, pp. 681-686
- ⑤ Tadashi Kido, Hiroyuki Deguchi, Mikio Tsuji, Masataka Ohira, Proceedings of European Microwave Conference, 査読有, Vol. 3, 2008, pp. 1165-1168
- ⑥ Fabrizio Frezza, Paolo Lampariello, Ricard Moretti, Paolo Nocito, Mikio Tsuji,

Application of FDTD Method to the Analysis and Design of Leaky-Wave Antennas at Microwaves and Millimeter Waves Intern. J. Infrared Millimeter Wave, 査読有, Vol. 29, No. 5, 2008, pp. 457-464

- ⑦ Akinori Kido, Hiroyuki Deguchi, Mikio Tsuji, Masataka Ohira, Multi-resonator Generation on Arbitrarily-shaped Planar-circuit Filters by Genetic Optimization, Proceedings of European Microwave Conference, 査読有, Vol. 3, 2007, pp. 1241-1244

〔学会発表〕(計 20 件)

- ① 乾晴恵, 出口博之, 辻幹男, スロット装荷パッチ素子を用いた超薄型導波管有極フィルタ, 電気学会電磁界理論研究会, 2010年11月13日, リステル猪苗代
- ② 井狩苑子, 出口博之, 辻幹男, GAによる右手/左手系複合伝送線路の一構成法, 電気学会電磁界理論研究会, 2010年11月12日, リステル猪苗代
- ③ Ryosuke Ogaki, Hiroyuki Deguchi, Mikio Tsuji, New Unit-Cell Structures of CRLH-TL for Antenna Application, Asia Pacific Radio Science Conference, 2010年9月26日, 富山国際会議場
- ④ 大垣亮祐, 出口博之, 辻幹男, バランス条件実現のための右手系/左手系複合伝送線路単位セル形状の一検討, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2010年9月14日, 大阪府立大学
- ⑤ 青木裕樹, 出口博之, 辻幹男, GAにより設計された任意形状素子で構成するリフレクトアレーアンテナ, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2010年9月14日, 大阪府立大学
- ⑥ ⑥ 青木裕樹, 出口博之, 辻幹男, GAにより最適化された任意形状素子で構成するリフレクトアレー, 電子情報通信学会アンテナ伝播研究会, 2010年7月22日, 北見工業大学
- ⑦ 稲田大輝, 出口博之, 辻幹男, 右手系/左手系複合伝送線路による低サイドローブ漏洩波アンテナの一構成法, 電子情報通信学会総合全国, 2010年3月19日, 東北大学
- ⑧ 大垣亮祐, 出口博之, 辻幹男, バランス条件実現のための右手系/左手系複合伝送線路単位セル形状の一検討, 電子情報通信学会総合全国, 2010年3月19日, 東北大学
- ⑨ 稲田大輝, 出口博之, 辻幹男, 低サイドローブ漏洩波アンテナを構成する右手系/左手系複合伝送線路の漏洩特性, 電子情報通信学会アンテナ伝播研究会, 2010年1月21日, 山口大学

- ⑩ 長福隆広, 出口博之, 辻幹男, 4段コプレーナ共振器フィルタを用いたスプリアス応答抑制の広帯域化, 電子情報通信学会マイクロ波研究会, 2010年1月13日, 機械振興会館(東京都)
- ⑪ 長福隆広, 出口博之, 辻幹男, スプリアス応答抑圧のための4段コプレーナ共振器フィルタ, 電気関係学会関西支部連合大会, 2009年11月8日, 大阪大学
- ⑫ 稲田大輝, 出口博之, 辻幹男, 右手/左手系複合伝送線路における複素伝搬定数の制御について, 電気関係学会関西支部連合大会, 2009年11月8日, 大阪大学
- ⑬ 稲田大輝, 出口博之, 辻幹男, 低サイドローブ漏洩波アンテナに適した右手系/左手系複合伝送線路について, 電気学会電磁界理論研究会, 2008年11月20日, 高山市民文化会館
- ⑭ 川崎雅司, 出口博之, 辻幹男, 任意形状導体パッチ素子及びスロット素子で構成された平面回路UWBフィルタの実験的検討, 電気関係学会関西支部連合大会, 2008年11月8日, 京都工芸繊維大学
- ⑮ 辻幹男, 導体基板付CPSで構成された漏洩波アンテナ, 電気関係学会関西支部連合大会, 2008年11月8日, 京都工芸繊維大学
- ⑯ 川崎雅司, 出口博之, 辻幹男, 任意形状導体パッチ素子及びスロット素子を持つ平面回路UWBフィルタの特性改善, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2008年9月19日, 京都工芸繊維大学
- ⑰ 辻幹男, 出口博之, 辻幹男, 遺伝的アルゴリズムによる平面回路素子設計, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2007年9月14日, 鳥取大学鳥取キャンパス

〔その他〕

研究室ホームページ

<http://www1.doshisha.ac.jp/~hdeguchi/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

辻 幹男 (TSUJI MIKIO)

同志社大学・理工学部・教授

研究者番号：50148376