

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

研究代表者の専門分野：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. 研究計画の概要

本研究ではまず高周波伝送線路の漏洩現象解明の実績をもとに左手系人工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、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た漏洩波アンテナの開発を目指す。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、低サイドローブ化などアンテナの高性能化も行っていく。また、任意形状導体素子によるマイクロストリップフィルタ開発に用いた最適化手法を左手系媒質構築に組み込むプログラム開発を行う。そして、これを用いてフィルタ、結合器、移相器など各種回路素子の開発を行い、漏洩波アンテナをシステムとして動作させることを最終目的とする。それぞれについての計画の概要は以下の通りである。

##### (1) 漏洩波アンテナの開発

- ①申請者の提案したコプレーナストリップ線路に基づく左手系媒質の伝送・漏洩特性について詳細な検討を加え、その表面波漏洩および空間漏洩機構の線路形状との関連を明確にする。
- ②アンテナ設計に必要な漏洩定数の正確な値の抽出法を確立し、各種形状線路の漏洩定数の導出を行う。
- ③アンテナの低サイドローブ化を図るため、位相定数は一定で、かつ漏洩定数が可変となる

る単位セル形状の開発を行う。

- ④上記で得られた結果の実験的検証としてフォトリソグラフにてマイクロ波帯における伝送線路、アンテナを試作し、その伝送特性ならびに漏洩特性の測定を行う。
- ⑤開発した単位セル形状を用いて低サイドローブ漏洩波アンテナを構成する設計法を確立し、一例について設計を行う。
- ⑥設計アンテナを試作、測定し、その妥当性を実験的に検証する。

##### (2) 任意形状導体素子回路の開発

- ①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・漏洩特性の解析が行える効率的な解析プログラムの開発を行う。
- ②開発した解析プログラムを用いて、フィルタ回路の開発を行う。
- ③開発プログラムを用いて、任意の特性を有する左手系媒質についての設計を検討し、左手系媒質構築の可能性を明確にする。
- ④上記で得られた結果の実験的検証としてフォトリソグラフにてマイクロ波帯におけるフィルタ、左手系媒質を試作し、その伝送特性の測定を行う。
- ⑤平面回路線路を多層化の第一歩として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プログラムの開発を行う。
- ⑥開発した解析プログラムを用いて、高性能フィルタ回路の開発を行う。
- ⑦開発プログラムを用いて、任意の特性を有

する左手系媒質についての設計を検討する。  
⑨上記で得られた結果の実験的検証として  
フォトリソグラフにてマイクロ波帯におけ  
るフィルタ、左手系媒質を試作し、その伝送  
特性の測定を行う。

⑩アンテナシステムに必要な回路素子の開  
発を左手系媒質の特長を活かして行い、実験  
的にもその有用性を検証する。

## 2. 研究の進捗状況

研究計画に基づき、コプレーナストリップ  
線路を用いた左手系媒質漏洩波アンテナの低  
サイドローブ化を図るために、右手系左手系  
複合伝送線路単位セル形状の検討を進めてき  
た。その結果、形状群に要求される位相定数  
が一定で、かつ漏洩定数が可変となる特性を  
満たす構造として、右手系左手系複合伝送線  
路の基本形状に次の3点の変形を加えればよ  
くを見出した。①線路側面に副ストリップ  
線路を付加する。②線路間ギャップをインター  
ディジタル構造とする。③主線路のストリ  
ップに方形ホールを設ける。これらを組み合  
わせ、適切な寸法を選ぶことで、上記の特性  
を満足し、しかも漏洩波アンテナに不可欠な  
条件となる左手系と右手系通過域の間にバン  
ドギャップが生じない特性が得られることも  
明らかにした。また、提案単位セル形状を用  
いた均一セルのアンテナをスケールダウンし  
たマイクロ波帯にて試作し、放射特性の測定  
を行うことで、形状の有用性を実験的にも検  
証した。一方、もう1つの実施計画である任  
意形状導体素子回路の開発については先ず、  
導体基板誘電体層の上に任意形状導体素子  
が存在する場合の解析、設計プログラムを、  
次に導体基板にも任意形状スロットを設けた  
場合の解析、設計プログラムを開発した。更  
には導体基板の裏側にも誘電体層が存在し、  
その表面に任意形状導体素子を設けた3層に  
任意形状素子が存在する場合の解析、設計プ  
ログラムも開発した。これまで、上記2つ開  
発プログラムを用いてUWBフィルタに的を絞  
り、その設計を行いフィルタの高性能化、小  
型化に成功した。また、同じプログラムを用  
いた左手系媒質の構築を試みており、分散特  
性に基づく評価関数を用いた最適化を行えば  
左手系通過域幅をある程度可変にできるこ  
とを明らかにした。フィルタおよび左手系媒質  
構築の検証はマイクロ波帯における試作回路  
の伝送特性の測定比較から行った。

## 3. 現在までの達成度

②おおむね順調に推移している。  
(理由)

漏洩波アンテナの構成については計画通  
り低サイドローブ化に適した単位セル構造  
を見出しており、最終年に向けて順調に推移  
している。また、任意形状導体素子回路につ  
いても設計、解析プログラムの開発は予定通  
り終了し、回路開発に利用できる状況にある。  
強いて言うなら、計算時間の関係から回路開  
発への適用が少し遅れている。

## 4. 今後の研究の推進方策

漏洩波アンテナについては低サイドロー  
ブ特性を持つアンテナの設計チャートを作  
成し、それをもとにアンテナの設計、試作な  
らびに測定を実施していく。また、回路につ  
いては開発プログラムを用いてフィルタお  
よびアンテナ周辺回路開発を行っていく。

## 5. 代表的な研究成果

(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6件)

- ① Takeshi Masaoka, Hiroyuki Deguchi, Mikio Tsuji, Microstrip Bandpass Filters with Attenuation Poles due to Dual-mode Behaviour, Proceedings of European Microwave Conference, Vol. 3, 1381-1384, 2009, 査読有
- ② 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, Vol. 129A, 681-686, 2009, 査読有
- ③ Tadashi Kido, Hiroyuki Deguchi, Mikio Tsuji, Masataka Ohira, Proceedings of European Microwave Conference, Vol. 3, 1165-1168, 2008, 査読有
- ④ 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, Vol. 29, 457-464, 2008, 査読有
- ⑤ 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, Vol. 3, 1241-1244, 2007, 査読有