

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：12605

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K13753

研究課題名（和文）チューナブル素子を装荷したビーム走査アンテナの設計に関する研究

研究課題名（英文）Study on tunable leaky-wave antennas using element-loaded resonators

研究代表者

榑山 祐次郎（Kushiyama, Yujiro）

東京農工大学・工学（系）研究科（研究院）・助教

研究者番号：30780176

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、次世代無線通信システムやレーダー等のセンシングへの応用を目的とし、所望のビーム走査能力を実現する漏れ波アンテナの設計手法の提案を行った。アンテナのパラメータの決定には、アンテナを構成する伝送線路と同じトポロジーを持つフィルタの設計技術を適用し、さらに、伝送線路を構成する共振器に非対称性を導入し、従来にないパラメータの導入と最適な値の決定方法について検討を行った。この新たなパラメータは、これまでに知られていた正面方向のビームの効率低下や、動的なビーム走査のために装荷された素子の損失の影響を軽減するために利用可能であることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義はビーム形成やフィルタの設計に用いられるトップダウン的な合成のアプローチをアンテナの設計に適用することで、アンテナの設計と最適化をより高次元で行うことを可能にし、抽象性の高いパラメータの導入を容易にする点にある。また、結果として要求される仕様を満すアンテナの設計を容易にし、通信環境の向上に貢献することができる。

研究成果の概要（英文）：In this work, a design approach to enhance the bandwidth, broadside radiation, and beam steering capability of a leaky-wave antenna (LWA) is proposed. This approach is based on a filter synthesis technique, and is inspired by the close relationship between a meta-material-based transmission-line and a bandpass filter. The filter synthesis approach is used to design an impedance matching section and determine the circuit element values for a given center frequency and bandwidth. The LWA considered here consists of stepped impedance resonators (SIRs), series capacitors, and shunt inductors. It is shown how the performance can be improved by optimizing the SIR parameters.

研究分野：工学

キーワード：漏れ波アンテナ 右手左手系複合線路

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年の通信需要の増加に伴い、屋内外には多くの通信機器が設置されるようになった。このような状況において、通信端末同士の干渉を抑えるためのメカニズムを搭載した機器の需要が高まっている。干渉を抑えるには高い指向性とビーム方向の動的制御が可能なアンテナ系が必要となる。従来、このようなシステムはフェーズドアレーアンテナと呼ばれる複数のアンテナとアンテナへの給電位相を制御する位相器によって実装されるが、アンテナ素子の増加とともに制御回路が大規模化し、機器への搭載において面積、消費電力、およびコストの面で問題となる。一方、従来とは異なるメカニズムで動的なビーム走査を実現する手法についての研究も行われており、その代表として漏れ波アンテナがあげられる。漏れ波アンテナは伝送線路から漏洩する電磁波でビームを形成するアンテナで、ビーム方向は伝送線路の伝搬定数によって決まる。ビーム方向の制御は線路の伝搬定数の制御によって行うことができ、伝搬定数は線路に搭載された可変素子によって変化させることができる。しかしながら、制御用素子の搭載によってアンテナ効率が低下するなどの問題が存在する。

### 2. 研究の目的

我々は漏れ波アンテナのフィルタ理論にもとづく設計手法を提案し、この手法がアンテナの最適なパラメータの探索に有効であることを実証している。漏れ波アンテナは周期構造からなる伝送線路を用いて構成されることが多い。これは、周期構造を用いる場合、周期構造の最少単位である単位セルの分散関係を求めることでアンテナの特性を予測できるためである。一方、完全な周期構造のみから構成される場合、特性インピーダンスが給電および終端側のインピーダンスと一致せず、効率の低下や不要な放射につながる。そこで、伝送線路において放射部を均一な周期構造とし、入出力端付近を不均一なマッチング構造からなる設計が考えられる。このような構造は高次のバンドパスフィルタと同一のトポロジーを持ち、フィルタの設計手法を適用して要求仕様から素子のパラメータを自動的に導出することができる。漏れ波アンテナが形成するビームの方向は入力される信号の周波数によって変化する。したがって、周波数の変化によるビーム走査が可能であるが、一般的な応用では周波数を固定した状態でのビーム走査が求められる。そこで、周波数を固定した状態でのビーム走査の実現するために、伝送線路の分散関係を電氣的に制御する方法について検討を行う。このとき、アンテナに用いられる線路の分散関係の変化は、線路をバンドパスフィルタと解釈した場合の動作周波数帯の変化と対応付けることができる。そこで、フィルタの設計手法を用いて要求されるビーム角の変化に必要な素子の値を算出しビーム走査に利用する。

### 3. 研究の方法

#### (1) アンテナ効率の低下の軽減

本研究では、はじめに、ビームを正面に向けた場合に放射効率が低下する問題について検討を行った。正面方向のビームの実現には、右手左手系複合線路とよばれる伝送線路の構成が用いられる。右手左手系複合線路は波数が0となる周波数が存在し、この周波数において正面方向のビームが形成されるが、この周波数付近において線路の特性インピーダンスが大きく変化し、マッチングが困難となることが知られている。そこで、単位セルが持つ二つの共振器についてそれぞれ異なるパラメータを設定し、これらの値の変化を通して線路の特性インピーダンスの変化を抑える手法の検討を行った。共振器の構成として、二つの伝送線路からなる線路共振器を用い、線路長や線路幅の組み合わせを変化させアンテナとしての特性を評価した。このような共振器はステップドインピーダンス共振器と呼ばれ、インピーダンスおよびアドミッタンスのスロープパラメータを求めることでフィルタの設計手法を適用することが出来る。そこで、あらかじめフィルタとしての仕様を与え、共振器の線路長と線路幅を変化させた場合のフィルタの構成をアンテナとして評価し最適なものを探索した。検討ではまず伝送線路理論による検討を行い、特性の変化を明らかにしたのち、電磁界シミュレーションでマイクロストリップ線路による実装を評価し、実験にて理論との一致を確認した。

#### (2) 容量可変素子装荷時の走査範囲および効率の改善

つぎに、周波数を固定した状態でのビーム走査について検討を行った。このビーム走査を実現するために、線路に電氣的に特性を変化することのできる素子を装荷する。素子の装荷においてはつぎの2点が重要となる。ひとつは現実的な素子の値の変化範囲で所望のビームの走査範囲をカバーする設計である。ふたつ目は素子の内部損失の影響を最小限にし、アンテナの放射効率の低下を抑制する設計である。本研究では、動作周波数帯域を動的に変化させることのできるチューナブルバンドパスフィルタの回路構成をもとに、アンテナとして利用する際に重要となる前述の2点をコントロールできる回路パラメータの特定を行った。これまでの研究をもとに、この研究においても、共振器として異なる二つの伝送線路からなる共振器を用いた。外部からの

印加電圧によって静電容量を変化することのできる素子を二つ伝送線路の間に装荷し、容量の変化に伴う動作周波数の変化を調べた。さらに、装荷した素子の内部抵抗の影響を最小限に抑える共振器の線路長比について検討を行った。

#### 4. 研究成果

##### (1) アンテナ効率の低下の軽減

図 1 に提案する漏れ波アンテナを示す。線路を構成するシリーズキャパシタとシャントインダクタからの放射量を適切な値に設定しなければ、正面方向のビームの放射効率は大きく低下する。しかしながら、これらの値はキャパシタンスとインダクタンスの実装に依存し、放射量を独立して制御することが困難である。そこで、単位セル内の共振器のパラメータを変化させることで、線路からの放射量が満すべき条件を調整する手法について検討を行い、放射量自体を調整することなく放射の効率の低下を抑えることができることを明かにした。また、単位セルが持つ二つの共振器のパラメータは、それぞれ異なる値を持つとき、大幅な効率の変化が見られた。したがって、非対称性が重要な設計パラメータとして機能することがわかった。また、その結果、最終的に設計されたアンテナは、進行方向に非対称な形状を持ったデザインとなった。



図 1 アンテナ構造

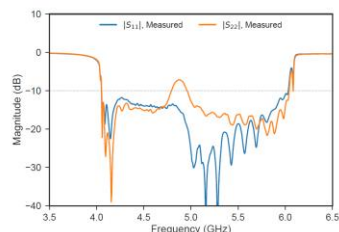


図 2 反射係数

図 2 にこのアンテナの反射係数を示す。構造が非対称であるため、ポート 1 およびポート 2 から見た反射係数が異なる。特に、正面方向のビームが見られる中心周波数において、ポート 1 から見た反射係数が軽減されていることがわかる。

##### (2) 容量可変素子装荷時の走査範囲および効率の改善

図 3 に外部からの印加電圧によって静電容量を変えることのできる素子を装荷した伝送線路の単位セルを示す。この素子に隣接する伝送線路の長さについての比を  $\alpha$  と定義し、異なる線路長の比  $\alpha$  について装荷素子の容量の変化による動作周波数帯域の変化を調べた。その結果、 $\alpha$  を大きな値に設定することで、静電容量の変化に対し動作周波数帯域の変化を増加させることが可能であることがわかった。しかしながら、 $\alpha$  を大きくすると、装荷した素子の内部抵抗によるエネルギーの吸収量も増加するため、高い放射効率の実現という観点からは  $\alpha$  を小さな値に設定することが望ましい。これらの結果から、走査角の増加と効率の改善はトレードオフの関係があるが、線路長の調整という簡単な方法で要求仕様に近づくことが可能であることがわかった。

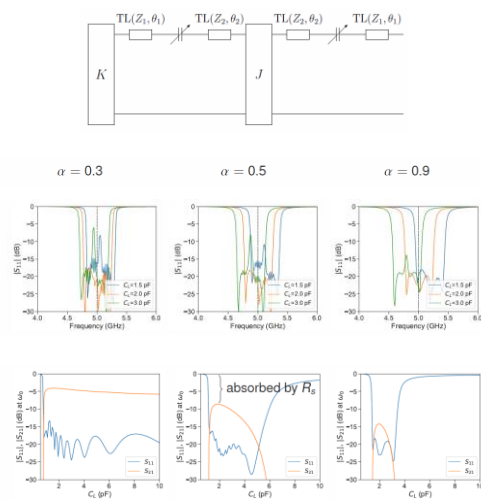


図 3 チューナブル素子を装荷した単位セル

図 4 にマイクロストリップによる実装、Sパラメータおよび放射パターンを示す。装荷した素子の静電容量の変化による線路の動作周波数帯域のシフトがビーム方向の変化と対応していることが確認された。放射パターンは周波数を 5GHz で固定した場合について示している。この結果から、周波数を固定した状態での動的なビーム方向の制御が可能であることが確かめられた。

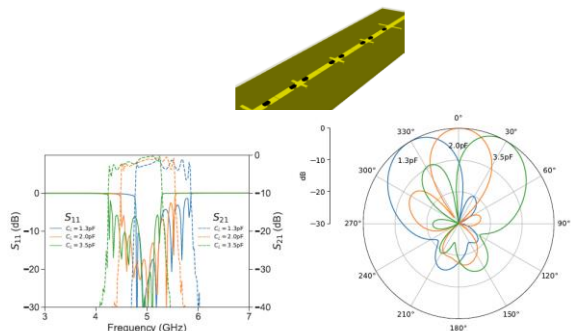


図 4 ビーム走査アンテナ

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

1 . 発表者名 Yujiro Kushiya, Takuji Arima, Toru Uno
2 . 発表標題 Planar CRLH Leaky-wave Antenna with Asymmetric Unit Cells
3 . 学会等名 2018 Progress In Electromagnetic Research Symposium ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Yujiro Kushiya, Takuji Arima, Toru Uno
2 . 発表標題 Design of Transmission Line Resonator Based CRLH Leaky- Wave Antenna
3 . 学会等名 2018 Asia-Pacific Microwave Conference ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Yujiro Kushiya, Takuji Arima, Toru Uno
2 . 発表標題 Study on CRLH Leaky-Wave Antenna Using Variable-Loaded Transmission Line Resonator
3 . 学会等名 2018 International Symposium on Antennas and Propagation ( 国際学会 )
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Yujiro Kushiya, Takuji Arima, Toru Uno
2 . 発表標題 Fabrication Tolerance Study of Transmission Line Resonator Based CRLH Leaky Wave Antennas
3 . 学会等名 2019 International Symposium on Antennas and Propagation ( 国際学会 )
4 . 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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