

平成 29 年 5 月 21 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420361

研究課題名(和文) 空間波動信号処理に向けた平面機能アンテナの研究

研究課題名(英文) Advanced Planar Antennas for Spatial Wave Signal Processing

研究代表者

豊田 一彦 (TOYODA, Ichihiko)

佐賀大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：80612663

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：従来の無線通信では、信号の時間領域パラメータである振幅や周波数、位相を用いて通信を行っていた。しかしながら、電磁波はベクトル量であり、偏波や伝搬方向といった空間領域のパラメータも持っている。本研究では、この空間領域パラメータを積極的に活用することを目的として、空間波動信号をRF帯で処理する新しい機能アンテナについて検討した。

その結果、到来角推定アンテナ、ビーム追尾アンテナなどの新しい平面機能アンテナを非常に簡易な構成で実現した。

研究成果の概要(英文)：In conventional wireless communication systems, only the time domain parameters such as amplitude, frequency and phase are used. However, electromagnetic waves are vector quantity and they have spatial domain parameters, i.e., polarizations and direction of propagation. In this study, new advanced antennas which actively utilize the direction of propagation are investigated to use the spatial parameters effectively.

New advanced planar antennas such as direction-of-arrival (DOA) estimation antennas and beam tracking antennas are realized in a simple structure.

研究分野：通信工学

キーワード：機能アンテナ 空間領域パラメータ 波動信号処理 マイクロ波回路・アンテナ一体複合化

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 無線通信やセンサ、あるいは、レーダ等の電波応用技術のさらなる高機能化に向けた研究を実施する。従来の無線通信は搬送波の振幅・位相・周波数などを情報信号に応じて変調することによって情報伝送を行っている。これはいわば波の時間軸上のパラメータを利用していることになる。しかしながら、空間を伝搬する電磁波は、電界および磁界がそれぞれ向きを持った空間軸上のベクトル量である。加えて、電磁波は伝搬方向というベクトルパラメータも有している。このような空間パラメータを活用するために、従来は複数のアンテナで電波を受信し、これを一度低周波信号に変換したのちデジタル信号処理により偏波を識別したり、電波の到来方向を推定するということが行われてきた。

(2) 我々のグループでは、これまでアンテナとマイクロ波回路を一体複合化する技術について研究を進め、RF 信号の直接変復調技術や偏波変調を用いた通信技術などの研究を進めてきた。その結果、Ku 帯～V 帯の Push-Push 発振器や直線偏波あるいは円偏波切替アンテナなどを実現し、目的に向けて着実に技術を積み上げてきた。実現技術の一例である直線偏波切替アンテナでは、パッチアンテナの角に装荷したダイオードの ON/OFF を切り替えることで水平・垂直偏波を切り替える。基板の両面に配置した伝送線を有機的に組み合わせることにより高周波信号とダイオード切替信号を分離しており、平面アンテナにダイオードを装荷するという非常に簡易な構成で偏波の切替という機能をアンテナに持たせることに成功している。

### 2. 研究の目的

(1) 従来の無線通信では、振幅・位相・周波数といった波の時間軸パラメータを利用して情報を伝送している。これに対して本研究では、偏波の方向あるいは伝搬方向といった空間上のベクトル量を活用する新しい電波利用技術を確立することを目的とする。

(2) 電磁波の空間的波動情報を積極的に利用するため、従来の無線通信で行われているように RF 信号を低周波信号に変換しこれをデジタル処理するのではなく、RF 帯で直接アナログ処理することが有効である。このため、本研究では電磁波の波動的性質を積極的に活用する技術の具体例として、アンテナとマイクロ波回路を一体化した指向性可変アンテナや到来角推定アンテナなどの実現を目指す。

### 3. 研究の方法

電波の波動的性質を積極的に利用した高周波信号処理を実現するために、我々のグループで研究を進めてきた「マイクロ波一体複

合化」技術を発展的に活用することとする。空間波動情報の1つである偏波を制御する技術については良好な結果を得ているが、本研究では、電波の送信方向や到来方向といったもう一つの空間波動情報を活用する回路一体型機能アンテナについて、シミュレーションと試作アンテナを用いた実験により検討する。

研究組織としては、無線システム、マイクロ波回路、アンテナのそれぞれの専門家チームを組み取り組む。

### 4. 研究成果

#### (1) ビーム追尾アンテナ

図1に実現したビーム追尾アンテナの写真を示す。2つのアンテナ素子と2つの移相器、1つのマジックTで構成されている。本アンテナでは、2つのアンテナ素子で受信した信号をRF帯で直接信号処理し、その和信号( )と差信号( )に分離する。電波が正面方向から到来している場合には が最大となり、 が0になるが、到来方向が傾くにつれて が減少し、 が増加する。これは2つのアンテナ素子で受信した信号の位相差に起因するものであり、 信号が0になるように移相器を調整することによりアンテナの主ビームを電波の到来方向に向けることができる。本アンテナでは、 とを得るために、マイクロストリップ線路とスロット線路を活用した両平面回路技術を用いた平面型のマジックTを用いている。また、移相器もマイクロストリップ線路とスロット線路で構成される小型のロンデ型方向性結合器を用いている。これらのマジックTや移相器といったマイクロ波回路をアンテナと一体複合化することにより、コンパクトな構成でビーム追尾アンテナを実現している。試作アンテナによる実験の結果、良好な動作が得られることを確認した。

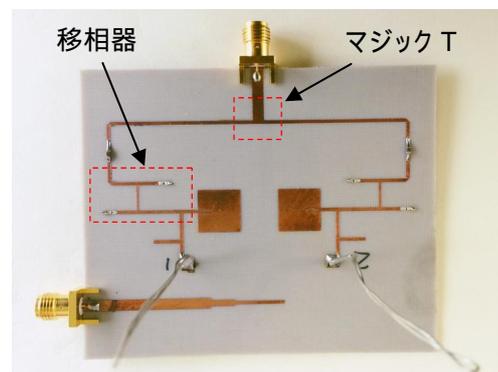


図1：ビーム追尾アンテナ

#### (2) 到来角推定アンテナ

図2に実現した到来角推定アンテナの写真を示す。2つのアンテナ素子がマジックTに接続されており、これが2組並列に接続されている。動作原理は、2つのアンテナ素子で受信した信号をマジックTにより和信号( )

と差信号( )に分離し、これらの振幅比からモノパルス原理により到来角を推定するものである。ビーム追尾アンテナ同様、平面型のマジックTを用いることにより、簡易な構成で到来角推定アンテナを実現している。また、受信感度を向上させるため、増幅器を組み込んだ到来角推定アンテナも試作し、良好な特性が得られることを確認した。

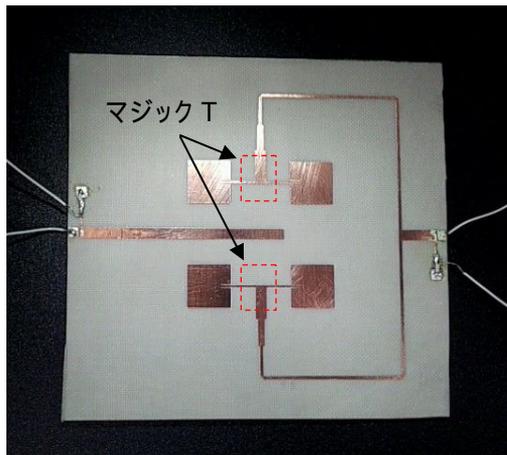


図 2：到来角推定アンテナ

### (3)到来角推定アンテナの広角度化

図 3 にモノパルス方式到来角推定アンテナの広角度化を図るための乗算器組み込みアンテナの図面を示す。(2)の到来角推定アンテナでは、和信号と差信号の大きさのみを用いて到来角を推定するため、到来方向の左右を区別することができず、半球面でしか用いることができなかった。この問題に対して、乗算器により、和信号と差信号の位相関係を評価し、到来方向の左右を区別できるようにし、到来角推定アンテナの広角度化を実現した。

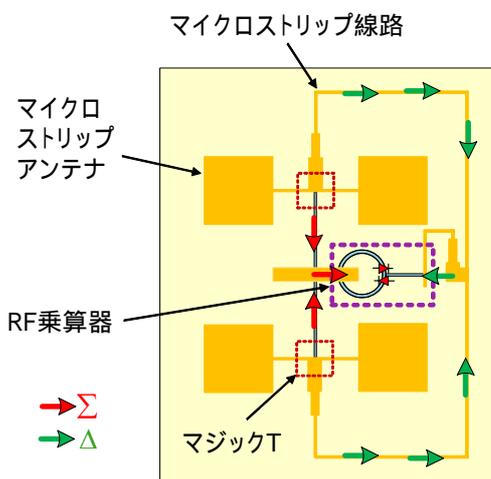


図 3：広角度化到来角推定アンテナ

### (4)到来角推定アンテナの2次元化

図 4 は実現した2次元到来角推定アンテナの模式図である。(2)の到来角推定アンテナ

は横方向の角度のみを検出することができた。図 4 のアンテナでは、マイクロストリップアンテナの代わりにリングスロットアンテナを用い、基板を張り合わせることでよりリングスロットアンテナの両面に給電回路を設けている。給電回路は(2)の到来角推定アンテナで用いたものと同様のものだが、表裏で給電回路の向きを90度回転させて配置することにより、縦方向および横方向の到来角推定を可能にした。本アンテナにおいても、マイクロストリップ線路とスロット線路を有機的に組み合わせてアンテナと一体化することにより1つのアンテナアレーで2次元到来角推定を実現した。

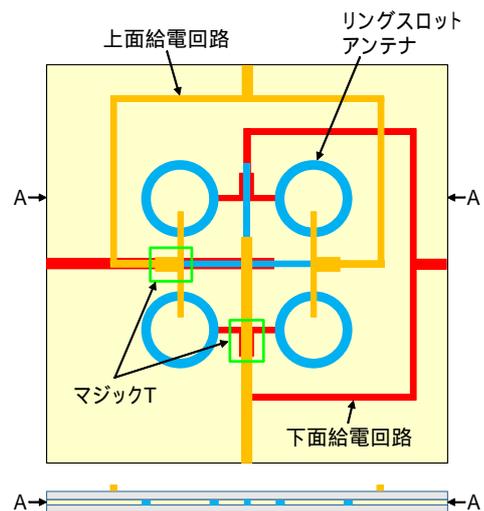


図 4：2次元到来角推定アンテナ

### (5)ビーム可変アンテナ

(2)に示した到来角推定アンテナは受信電波により到来方向を推定するものであるが、これを送信アンテナに用いることにより放射ビームの方向を変化させることができる。到来角推定アンテナでは、受信信号を和信号と差信号に分離してその振幅比から到来方向を推定しているが、逆に振幅比を制御した2つの信号をアンテナに入力することによりビームの放射方向を変えることができる。これについても試作アンテナにより良好な結果が得られた。

以上のとおり、電磁波の空間領域パラメータの一つである伝搬方向を活用した種々の新しい平面機能アンテナを考案し、試作アンテナによりその動作を検証した。その結果、いずれのアンテナも、動作原理通りの良好な特性を示すことを確認した。これらのアンテナは、マイクロ波回路とアンテナを一体複合化し、RF帯で直接信号処理するというコンセプトに基づいたものであり、将来の無線通信に対して新しい知見を与えるものである。そして、これらの技術を活用することにより我々の生活にパラダイムシフトを起こすような技術開発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)

[学会発表](計 18 件)

- R. Rashid, M. A. Hossain, E. Nishiyama, and I. Toyoda, "Proposal of a Two-Dimensional DOA Estimation Antenna Using Multilayer Structure," Proc. 2017 IEICE General Conf., B-1-130, Mar. 2017.
- 田中裕喜, 西山英輔, 田中高行, 豊田一彦, "入力振幅比制御指向性可変アンテナの給電位相誤差に対する特性変動の検討," 映情学技報, BCT2017-5, Jan. 2017.
- R. Rashid, D. Hattori, E. Nishiyama, and I. Toyoda, "An RF Multiplier Integrated Planar Antenna for DOA Estimation," Proc. 2016 Int'l Symp. Antennas and Propag. (ISAP2016), pp. 438-439, POS1-77, Okinawa, Japan, Oct. 2016.
- R. Rashid, E. Nishiyama, and I. Toyoda, "Theoretical Evaluation of an Extended Monopulse DOA Estimation Antenna Integrating RF Multiplier," Proc. 2016 IEICE Society Conf., B-1-83, Sep. 2016.
- 田中裕喜, 西山英輔, 田中高行, 豊田一彦, "同相/逆相 3 給電アンテナを用いた 2 次元指向性可変アレーアンテナの試作評価," 2016 信学ソ大, B-1-50, Sep. 2016.
- R. Rashid, E. Nishiyama, and I. Toyoda, "Performance Analysis of Magic-T Integrated Array Antennas in Two Different Configurations," Proc. 2016 IEICE General Conf., B-1-187, Mar. 2016.
- 田中裕喜, 西山英輔, 田中高行, 豊田一彦, "スロット T 分岐型マジック T の H 面指向性可変アレーアンテナへの応用," 2016 信学総大, B-1-60, Mar. 2016.
- 田中裕喜, 西山英輔, 田中高行, 豊田一彦, "スロット T 分岐型マジック T を用いた 2 給電平面アレーアンテナの基本検討," 映情学技報, Vol. 40, No. 1, BCT2016-4, pp. 13-16, Jan. 2016.
- R. Rashid, E. Nishiyama, and I. Toyoda, "Prototype Evaluation of a Beam Tracking Antenna Using Magic-T," Proc. 2015 Int'l Symp. on Antennas and Propag. (ISAP2015), S3.12.1, pp. 940-943, Hobart, Australia, Nov. 2015.
- R. Rashid, E. Nishiyama, and I. Toyoda, "Theoretical Approach of a Beam Tracking Antenna Using Magic-T," Proc. 2015 IEICE Society Conf., B-1-50, Sep. 2015.
- E. Nishiyama, R. Tanaka, and I. Toyoda, "Experimental Study of an Improved

- Mono-Pulse DOA Estimation Antenna by Integrating Microwave Circuits," 2015 Thailand-Japan Microwave (TJMW2015), FR2-06, Aug. 2015.
- R. Rashid, E. Nishiyama, and I. Toyoda, "Basic Study of a Beam Tracking Antenna Using a Planar Magic-T," 信学技報, SRW2015-11, Aug. 2015.
- 田中諒, 西山英輔, 豊田一彦, "増幅回路を組み込んだモノパルス方式到来角推定アンテナの特性評価," 映情学技報, Vol. 39, No. 4, pp. 41-44, BCT2015-11, Jan. 2015.
- R. Tanaka, E. Nishiyama, and I. Toyoda, "Estimation Error of a Mono-pulse DOA Estimation Antenna for Two Incident Waves," 2014 Int'l Symp. on Antennas and Propag. (ISAP2014), WE3A-06, Kaohsiung, Dec. 2014.
- 豊田一彦, "マイクロ波回路とアンテナを融合した高機能平面アンテナの基礎," 2014 Microwave Workshops & Exhibition (MWE2014), 基礎講座 TL03-01, Dec. 2014.
- I. Toyoda and E. Nishiyama, "Advanced Planar Antennas Integrated with Microwave Circuits for RF Signal Processing Applications (Invited)," Proc. 10th Asia-Pacific Eng. Res. Forum on Microwaves and Electromagnetic Theory (APMET2014), pp. 111-115, Nov. 2014.
- I. Toyoda, "Technology Prospects of Advanced Planar Antennas Integrated With Microwave Circuits (Keynote Speech)," The 9th Int'l Forum on Strategic Technology 2014 (IFOST2014), Cox's Bazar, Oct. 2014.
- 田中諒, 西山英輔, 豊田一彦, "モノパルス方式到来角推定アンテナの不要波による推定誤差の検討," 2014 信学ソ大, B-1-176, Sep. 2014.

[その他]

ホームページ等

<http://www.ceng.ec.saga-u.ac.jp/>

<https://www.facebook.com/ceng.sagauniv/>

展示会

"マイクロ波回路とアンテナを一体複合化した高機能平面アンテナ技術," 2016 Microwave Workshops & Exhibition (MWE2016) 大学展示, パシフィコ横浜, Nov.-Dec. 2016.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

豊田 一彦 (TOYODA, Ichihiko)

佐賀大学 大学院工学系研究科・教授

研究者番号: 80612663

(2)研究分担者

田中 高行 (TANAKA, Takayuki)  
佐賀大学 大学院工学系研究科・准教授  
研究者番号：60207107

西山 英輔 (NISHIYAMA, Eisuke)  
佐賀大学 大学院工学系研究科・助教  
研究者番号：30295026