

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 9 日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560384

研究課題名（和文）小型無線装置のための小型・低姿勢・高機能アンテナの設計方法の構築

研究課題名（英文）Studies on design methods on multifunctional, electrically small and low-profile antenna for small wireless terminals

研究代表者

福迫 武 (FUKUSAKO TAKESHI)

熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授

研究者番号：90295121

研究成果の概要（和文）：小形無線装置の為のいくつかのアンテナに関する設計方法の構築を目指した。主に、電氣的に小形な範囲の大きさと、金属板に近接した低姿勢なアンテナについての研究、さらに高機能アンテナの例として、円偏波アンテナの広帯域化やビーム制御方法、および細長い形状による円偏波アンテナの実現に関する方法について検討した。具体的には、1. 人工グラウンドを用いた円偏波パッチアンテナの広帯域化、2. 導波管形広帯域円偏波アンテナ、3. 円偏波アンテナのビーム制御 4. 容量給電構造を用いた、電氣的小形アンテナ、5. MIMO 用低相関アンテナの設計方法のように細分化される。

研究成果の概要（英文）：In this project, the author's group has aimed to establish the design way for small antennas for mobile handsets. Mainly, they are electrically small antennas, low-profile antennas with a back conductor, multifunctional antennas such as broadband antennas, beam steerable antennas and circularly polarized slender antenna. Followings are details; 1: Broadband circularly polarized patch antenna using artificial ground structure, 2: broadband circularly polarized waveguide antenna, 3: Beam-steerable circularly polarized antenna, 4: electrically small antennas using a capacitive feed structure and 5: MIMO antenna with low-correlation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011 年度	600,000	180,000	780,000
2012 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：電気電子工学

科研費の分科・細目：通信・ネットワーク工学

キーワード：情報通信工学, 先端的通信, 広帯域アンテナ, 円偏波, メタマテリアル

## 1. 研究開始当初の背景

平成 19 年～21 年に亘る研究結果を踏まえて比較的小形でかつ広帯域な円偏波アンテナを提案してきた。それらは、L 形プローブを用いた平面アンテナや、人工グラウンド構造

を用いた円偏波の広帯域である。それを応用して各種小形なアンテナや広帯域円偏波の設計方法についてさらに深くすることで、多くの応用が生まれると考えた。

## 2. 研究の目的

無線技術の発達に伴い、限られた空間に実装されるアンテナには小型化が今なお求められている。一方、円偏波の使用は、指向性のみ合わせておけば、偏波面を気にしなくてよいという利点により、無線タグ等をはじめとして応用が広い。さらに、反射前後で偏波が直交するためマルチパスの軽減や、右旋円偏波、左円偏波の同時使用により、一つの周波数で2つの通信を行える等のメリットがある。そこで、これらのメリットをうまく組み合わせるために、これまで例の少ないアンテナ基礎技術の確立という観点から、円偏波化のような機能も含めた小形で高性能化したアンテナの開発が求められている。これにより、広帯域円偏波アンテナの開発も行うが、パルスレーダでのクラッタ除去や、UWB通信でのマルチパス軽減にも貢献可能である。一方、アンテナの帯域は小形化により狭くなることを考えると、広帯域化の技術はアンテナの小型化へ寄与する技術と考えられる。小形化の一方で、小形末端の多目的化が現在強く求められているため、マルチバンド化や、可変型（周波数、偏波、指向性等）の小型高性能アンテナ開発を目指すに至った。

## 3. 研究の方法

今回のプロジェクトは、応用に応じてさまざまな特性が求められるアンテナについて、これまでなかった特性の実現を目的とする。

まずは、有限要素法にもとづく電磁界シミュレータ(HFSS)を用いて、設計を行う。3次元モデルのシミュレーションであり、より実際的な状況における複雑な形状のシミュレーションが可能である。

シミュレーションで良い結果が出たのであれば、実際にアンテナを作成して、電波暗室においてアンテナパラメータの測定を行う。

## 4. 研究成果

### 4.1 人工グラウンドを用いた円偏波パッチアンテナの広帯域化

パッチアンテナに人工グラウンド構造を用いることで、円偏波の帯域が20数%と従来のパッチアンテナに比べて広帯域化することをすでに報告していた。本研究においては、更なる広帯域方法を検討した。今回は、特にグラウンドプレーンをz方向に延長した。その構造を図1に示す。六角形のパッチアンテナはそれだけでも、5.5GHz付近に円偏波を発生できるが、7GHz付近と離れたとほぼx軸に対して45度の直線偏波となる。これは、

グラウンドプレーン上の基板に設けた長方形の周期構造により、45度の直線偏波の反射

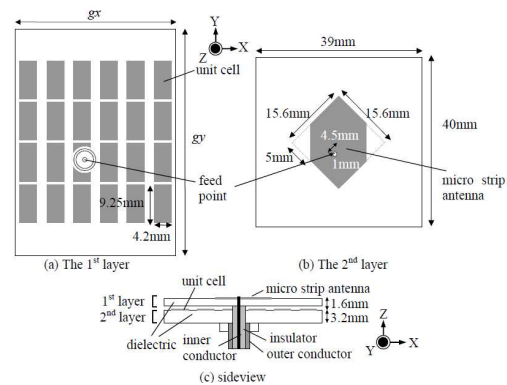


図1:人工グラウンドを用いたパッチアンテナ

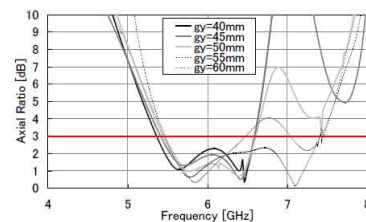


図2:軸比特性

波とパッチからの直接放射される直線偏波との合成により、7GHz付近にも円偏波を発生できるため、円偏波を発生できる帯域が延長できる。後者は周期構造(人工グラウンド)上の表面波による円偏波励振であるが、グラウンドの長さをy方向に長さを選んで延長させることで、広帯域化が見られる。これは、人工グラウンドの端におけるフリッジング効果により表面波の様子が変わるからである。この様子を図2に示す。ポアサイト方向における軸比(AR)が3dB以下になる周波数は、最終的に5.5GHz~7.1GHz程度になり、約40%程度の帯域が実現できたことが分かる。

### 4.2 導波管形広帯域円偏波アンテナ

L形の形状をしたプローブを、断面が正方形または円形の導波管の励振に使用した場合、円偏波が比較的広帯域に亘って励振できることを、著者のグループにより見出されている。円偏波は、正方形導波管であればTE<sub>10</sub>/TE<sub>01</sub>モードであり、円形導波管であれば、TE<sub>11</sub>モードのみが存在する帯域のみの使用になるため、その帯域は20数%のオーダーとなり、それ以上の周波数では、正方形ではTM<sub>11</sub>モード、円形導波管ではTM<sub>10</sub>モードの存在が問題となる。なぜなら、これらのモードは伝搬方

向に電界成分を持ち、かつ周波数依存性を持つために、導波管壁に垂直な成分の分布が周波数により変化し、かつ、給電部の非対称性の影響により、円偏波を励振するための直交する1つのモードの振幅比や位相差が周波数に依存するため、広帯域にならない。よって、高次モードを抑圧する技術が必要となる。

まずは、図3のごとく、正方形導波管の奥に4つの正方形の角柱を追加した。導波管の奥は短絡壁が存在するが、この表面に平行に強い次回分布が存在する。抑圧すべき高次モードである  $TM_{11}$  モードについては、磁界成分にカットオフを与えれば、基本的に抑圧できる。しかし、カットオフ構造を導波管全体に設けると、軸比が広帯域になりにくいと考えられるが、導波管付近はもともと磁界が強く分布するために、この付近のみにカットオフを与えれば  $TM$  モードは抑圧できることを示した。また、軸比をさらに改善させるために、導波管の伝搬方向に平行になるように4隅に細い金属の角柱を挿入した。

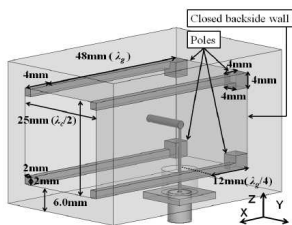


図3 角柱を用いた正方形導波管とL形プローブによる広帯域円偏波アンテナ

結果は、ボアサイト方向において、約40%程度の帯域において、軸比が3dB以下になる円偏波が得られる。しかし、高い周波数帯においては、ボアサイトから外れた角度においては軸比が悪くなる。

この欠点をなくそうとした構造が図4の構造である。この構造では、導波管壁をパラボラ曲面としたものである。

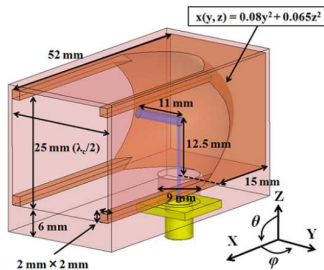


図4 パラボラ曲面をもつ短絡壁を設けた導波管形円偏波アンテナ

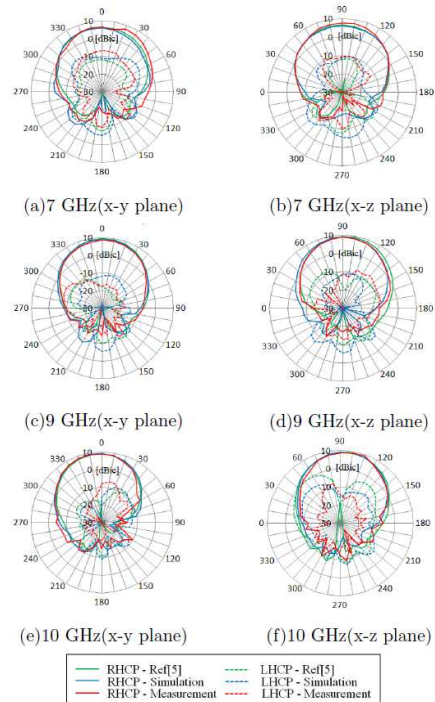


図5 放射パターン

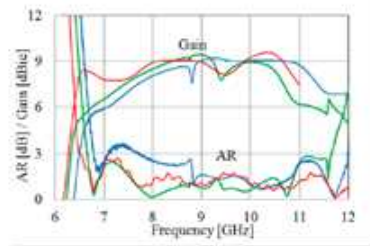


図6 ボアサイトにおけるゲイン特性および軸比特性

図5に放射パターンを示す。9GHz付近の高い周波数においても、右旋円偏波(RHCP)と左旋円偏波(LHCP)との差が見られ、十分な円偏波が広い範囲で放射していることがわかる。

図6には、ボアサイト方向における軸比特性とアンテナゲイン特性を示す。少なくとも、日本におけるUWB(超広帯域無線)ハイバンドに相当する7.25-9.25GHzにおいて、十分に低い軸比と一定のゲイン特性が得られていることが分かる。また、この帯域において、群遅延はほぼ1ns以下であることが確認されており、このアンテナのUWB技術への応用の可能性がうかがえる。

#### 4.3 ビーム制御可能な円偏波アンテナ

円偏波でビーム制御可能なアンテナに関する報告は少ない。本研究では、右手系/左手

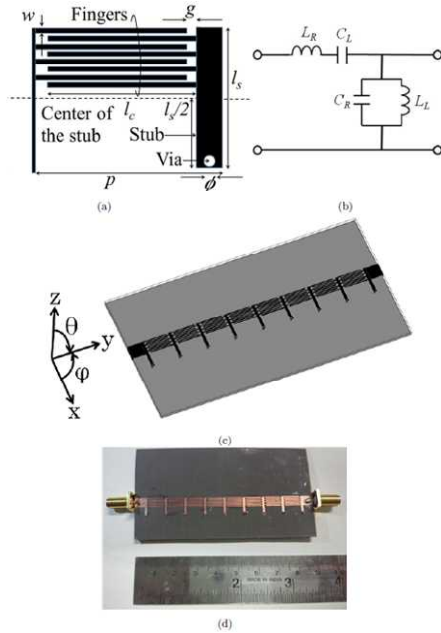


図7 ビーム制御可能な円偏波アンテナ

系の両方の性質を持った伝送線路による漏洩波アンテナに関する研究を行った。本線路には、通常の直列インダクタと並列キャパシタからなる分布乗数線路に加えて、直列のキャパシタをインターディジットにて、さらに並列のインダクタを並列スタブで追加した。これは、直列のキャパシタは負の透磁率、並列のインダクタが負の誘電率に相当する働きをすると考えられるため、電界と磁界の方向から決まる位相ベクトルの向きが通常と逆になるため、これは電界、および磁界に対して、左手系の方向関係となる。左手系を示す周波数においては、電力の向きと位相の向きが逆になるため、漏洩波アンテナにおいては、電力の進む向きに対し逆の方向にビームが向く。また、周波数を変えて右手系の周波数領域では、通常の漏洩波アンテナと同様に進行方向にビームが向く。この性質を利用し

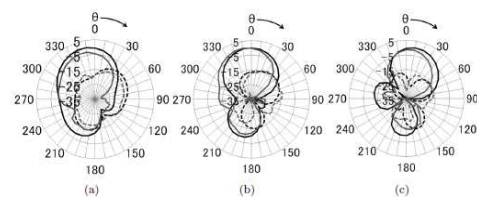


図8 放射パターン (a)2.58GHz, (b) 2.74 GHz, (C)2.99 GHz

たアンテナの図を図7に示す。放射パターンを図8に示す。

#### 4.4 容量給電を用いた小形・低姿勢アンテナ

アンテナの小形化は携帯端末等の作成の際に求められるが、大きさを波長に対して十分小形にし、かつ、金属背面板をあらかじめ近接させた設計は、実装密度の高い最近の携帯端末において重要であると言える。

一般に放射素子に金属板が近接した場合、放射抵抗が金属抵抗に比べて小さくなるために、放射効率が減少する。一方、逆Fアンテナを基礎としたアンテナが小形アンテナの代表格であるが、これは、4分の1波長線路の先端を短絡し、インピーダンスが最大になる周波数より少し高い周波数において誘導性を与えて整合を取るアンテナであるが、電流で給電するために、金属ロスの影響が大きい。そこで本研究では、図9のごとく逆Fアンテナに代わる形で、4分の1波長線路に容量性結合を介して電圧で給電するアンテナを提案し、その効果を検討した。

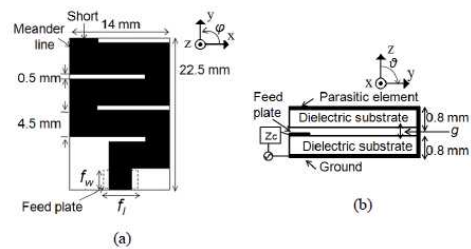


図9 容量給電を用いた電気的小形かつ低姿勢なアンテナ

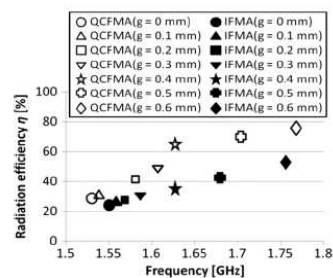


図10 ギャップの放射効率への影響

メアンダ素子の長さは4分の1波長を基本とした長さであり、これに Feed plate を介して電圧で給電する。基板間に 0.4mm 程度のギャップが設けてあるが、これを設けることで、低姿勢かつ小形でありながら 6 7% の放射効率が実現できた。また、誘電体中に空気からなる小さなギャップ (0.4mm) を設ける

と、放射効率率は劇的に上昇することが分かった。これは、本方式が電圧による給電であり、ギャップによる誘電体損の減少が電界の強さに大きく影響するからである。その様子を図10に示す。QCFMAが本方式のアンテナであるが、IFMAは良く知られた逆Fアンテナで同じ大きさと厚みである。本方式の効果が分かる。

また、同じ要領給電構造を用いた円偏波アンテナについて検討した。このアンテナは、通常円偏波とは異なり、細長い形状を持つことを特徴とする。このため、端末等の実装密度の高い状況においても使用できると考えられる

#### 4.5 MIMO 用低相関アレーアンテナ

近年、LTE 技術に代表されるように、MIMO (Multiple Input Multiple Output) 技術による高速な無線伝送技術が注目されている。

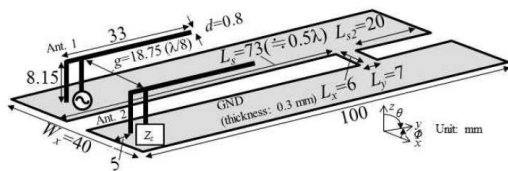


図11 MIMO 用低相関アレーアンテナ

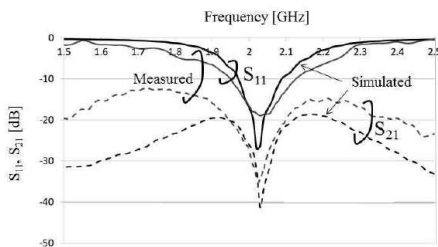


図12 2アンテナの  $S_{11}$  および2アンテナ間の  $S_{21}$  特性

十分な通信路容量を確保するためには、端末に備えたアレーアンテナ素子間の相関を低くすることが重要である。本研究では、その技術として比較的シンプルな構造を提案した。その構造を図11に示す。グラウンドプレーン上に2つの逆Fアンテナが備えられているが、グラウンドは一部の結合線路を除いて分かれている構造になっている。この結合線路が無い場合、グラウンドの端に強い電流が互いに逆向きに流れながら存在するために、強い電界による結合が起こる。これを防ぐために、結合線路を細くすることで、そこ

に電流を集中させ、さらにアンテナの給電部から約2分の1波長程度離れた。この場合、結合線路以外には、2分の1波長隔てたアンテナ近傍に電流が集中することになるが、そこには線路が無い場合、2アンテナ間を結ぶ電流は存在しない。

以上の原理により、アンテナ間の相関は低下する。その様子を図12に示す。端子における反射量  $S_{11}$  が最少となる2GHz付近で整合が取れているのが分かる一方で、アンテナ間の伝送量  $S_{21}$  は、この帯域で-30dB以下になっており、十分低い相関が実現できることを示している。

#### 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9件)

1. (査読有) T. Fukusako and Y. Harada, "A Comprehensive Study on Decoupling between Inverted-F Antennas Using Slitted Ground Plane", Progress In Electromagnetic Research C, Vol. 37, pp. 199-209, Feb. 2013.

2. (査読無) 山浦真悟、福迫 武," L形プロブを用いた導波管形帯域円偏波アンテナの高周波帯における交差偏波低減", 電子情報通信学会技術研究報告(アンテナ・伝播研究会), vol. 112, 384, AP2012-146, pp.131-134, ホテルメリージュ(宮崎市) (平成25年1月18日)

3. (査読無) 田之頭優太、福迫 武," Dogbone構造を用いた表面波アンテナの指向性制御", 電子情報通信学会技術研究報告(アンテナ・伝播研究会), vol.112, no.285, AP2012-105, pp.73-76, 東京電機大学(平成24年11月)

4. (査読有) Y. Saito and T. Fukusako, "Low-Profile and Electrically Small Meander Line Antenna Using a Capacitive Feed Structure", IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters, vol. 11, pp. 1281-1284, Oct. 2012.

5. (査読有) M. Ishii, T. Fukusako and A. Alphones, "Design of leaky wave antenna with composite right/left-handed transmission line structure for circular polarization radiation", Progress In Electromagnetic Research C, Vol. 33, pp.109-121, Oct. 2012.

6. (査読有) T. Fukusako and S. Yamane, "A Patch-loaded Monopole Antenna with Parasitic Elements for Beam Switching", International Journal of Microwave & Optical Technology vol. 7, 5, pp.302-307, Sept. 2012.

7. (査読有) 山浦真悟、福迫 武," L形給

電プローブを用いた導波管形円偏波アンテナの広帯域化”, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J95-B, No. 09, pp.1171-1176, Sept. 2012.

8. (査読有) Y. Tanogashira and T. Fukusako, “Directional Radiation Pattern of Surface Wave Antenna Using Dogbone Structure”, IEICE Communication Express, vol 1, 2, pp.85-88, July 2012.

9. (査読有) Y. Zhang and T. Fukusako, “Design of Circularly Polarized Low-profile and Slender Antenna with a Helical Element”, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 11, pp.523-526, May 2012.

[学会発表] (計 13 件)

1. Y. Zhang and T. Fukusako, “Gain Enhancement of Circularly Polarized Slender Antenna Using a Wider Helical Element”, Progress In Electromagnetic Research Symposium (PIERS) Proceedings 2013 in Taipei, pp.225-227, Taipei, Taiwan, 平成 25 年 3 月 25 日.

2. Y. Saito and T. Fukusako, “A Comparison of Feed Methods for Electrically Small and Low-Profile Meander Line Antennas”, proc 2012 International Symposium on Antennas and Propagation, 4A3-5, 名古屋国際会議場、平成 24 年 11 月 2 日.

3. (招待講演) T. Fukusako, Y. Saito, and H. Maema, “Capacitive feed structures for low-profile small antennas” proc. 9th Asia-Pacific Engineering Research Forum on Microwaves and Electromagnetic Theory, 福岡工業大学, 平成 24 年 10 月 26 日.

4. (招待講演) T. Fukusako and S. Yamaura, “Design and Bandwidth Enhancement of Circularly Polarized Aperture Antennas using L-shaped Probe”, proc. 2012 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC), pp.371-374, Cape Town, South Africa, 平成 24 年 9 月 4 日.

5. M. Ishii and T. Fukusako, “Circularly Polarized Leaky Wave Antenna Using Composite Right/left-handed Transmission Line” Progress In Electromagnetic Research Symposium (PIERS) Proceedings 2012 in Moscow, pp.966-969, Moscow, Russia, 平成 24 年 8 月 22 日.

6. S. Yamaura and T. Fukusako, “Reduction of Cross Polarization in Circularly Polarized Broadband Waveguide Antenna Using an L-shaped Probe” Progress In Electromagnetic Research Symposium (PIERS) Proceedings 2012 in Moscow,

pp.953-956, Moscow, Russia, 平成 24 年 8 月 22 日.

7. T. Fukusako, Y. Saito, and H. Maema, “An Evaluation of Capacitive Feed Methods for Electrically Small and Low-profile Meander Line Antennas”, Progress In Electromagnetic Research Symposium (PIERS) Proceedings 2012 in Moscow, pp.240-244, Moscow, Russia, 平成 24 年 8 月 22 日.

8. S. Yamaura and T. Fukusako, “Circularly Polarized Broadband Antenna Using Waveguide and an L-shaped Feed Probe”, 2012 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC/URSI National Radio Science Meeting, 460.7 with 4-page electric paper, Chicago, USA, 平成 24 年 7 月 12 日.

9. T. Fukusako, R. Nobe, S. Maruyama, “Effect of Ground Plane on Circularly Polarized Microstrip Antenna Using Artificial Ground Structure”, 2012 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC/URSI National Radio Science Meeting, IF23.5 with 4-page electric paper, Chicago, USA, 平成 24 年 7 月 10 日.

10. R. Nobe and T. Fukusako, “Bandwidth Enhancement of Microstrip Antenna Using Artificial Ground Structure With Rectangular Unit Cells,” Proc. 2011 International Symposium on Antennas & Propagation (ISAP2011), WeE3-2, Jeju, Korea, 平成 23 年 10 月 26 日.

11. (招待講演) T. Fukusako, Y. Zhang, K. Ide, “A Circularly Polarized Planar and Slender Antenna Using Helical Element and Back Conductor”, The 7th IEEE International Workshop on Antenna Technology, pp.132-135, Hong Kong, China, 平成 23 年 3 月 8 日.

12. (招待講演) T. Fukusako, “Circularly polarized microstrip patch antenna using artificial ground structure with rectangular unit cells”, Proceedings of the 8th Asia-Pacific Engineering Research Forum on Microwaves and Electromagnetic Theory, pp.26-34, 福岡工業大学, 平成 22 年 11 月 20 日.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

福迫 武 (FUKUSAKO TAKESHI)

熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授  
研究者番号：90295121