

平成 22 年 5 月 31 日現在

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2009

課題番号：19560388

研究課題名(和文) メタマテリアルを用いた新しい広帯域円偏波アンテナとそのアレー化および可変特性化

研究課題名(英文) Broadband circularly polarized antenna using metamaterials.

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):広帯域な円偏波アンテナの実現を目指し,そのアレー化をも目指した。まずは,平面基板上に作成されたワイドスロットアンテナにL字形のプロブを組み合わせることで,中心周波数の40%の帯域で円偏波が実現できるアンテナを提案した。しかし,正面方向以外の角度では,交差偏波が強くなり,その改良型として,L字形の曲がり部分を容量で結合し,ほぼ完全で対称な正方形の形をしたスロットアンテナを提案し,広い放射角度において十分な円偏波を40%程度の周波数帯域で実現できることをしめした。次に,背面板を用いて且つ低姿勢なアンテナをめざし,背後に人工磁気導体特性をしめる人工グラウンドの使用を提案した。これを用いたマイクロストリップアンテナの構造を提案し,低姿勢で24%とマイクロストリップアンテナには見られない広帯域な円偏波特性を実現した。さらにこの構造のアレー化について検討した。

研究成果の概要(英文):The author has tried 3 types of circularly polarized broad antennas. In the first structure, a wide-slot antenna using L-shaped probe has been proposed. This antenna has very simple and unique structure but the azimuth range of circular polarization (CP) is narrow. To improve this, a square slot antenna using separated Lprobes has been proposed. This antenna shows broadband axial ratio and wide azimuth range of CP. Finally to realize a low-profile circularly polarized broadband antenna, a patch antenna using artificial ground structure has been proposed. This antenna shows 40% of CP bandwidth at 6 GHz. Finally this antenna is arrayed, and the coupling is investigated.

交付決定額

(金額単位:円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	700,000	210,000	910,000
2008年度	700,000	210,000	910,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,900,000	570,000	2,470,000

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

電波を用いたアンテナ間の通信には、円偏波がしばしば用いられている。例えば衛星を用いた通信はその代表的なものであり、通信エリアをグローバルにカバーできる長所があり、重要な通信手段である。

円偏波は、反射の前後で偏波が直交することが知られており、円偏波を用いたレーダはクラッタの除去にも役立ち、室内で将来使用されるであろう超高速無線 LAN (19 GHz 帯, 60 GHz 帯) においても、マルチパスの軽減に有効である。また、衛星通信は、現在良く使われている Ku 帯等では、周波数資源が不足する状況が近づいており、Ka 帯の高い周波数への移行が検討されている。このような状況では、より簡単な構造でより広帯域な円偏波アンテナの開発が求められる。

### 2. 研究の目的

研究の目的は 上で述べたこの構造にはまだ解決すべき課題がいくつかあり、同時に更なる発展の可能性がある。それらは、1.ポアサイト方向以外では、方向によって交差偏波が若干強く、軸比が落ちる。2.一方向に放射させる場合、背面反射板の使用が有効であるが、4分の1波長ほどの距離で離す必要があり、薄型化の観点からはこれを減らしたい。3.アレー化したい、4.可変化したい 5.スロットの代わりにパッチで可能であるか。ということである。

### 3. 研究の方法

#### (1) 広帯域ワイドスロットアンテナ

研究は、有限要素法のソフトウェアでシミュレーションを行い、電波暗室やネットワークアナライザで測定を行い、検討する方法である。シミュレーションには手持ちのソフトウェアである Ansoft 社の HFSS を用いた。実験は、ネットワークアナライザで入力反射特性と放射指向性、アンテナゲインの測定をおこなった。アンテナの作成は、誘電体基板上にエッチングでパターンを描いて作成した。

研究目標としては、40%以上の帯域で円偏波対応のアンテナの開発、その低姿勢化を意識し、広義のメタ材料である EBG ま

たはその派生の応用とアレー化である。

### 4. 研究成果

(1) 基板上に作成された大きなスロットに L 字形のプロープで励振したアンテナは中心周波数の 40% 程度と極めて広い帯域で円偏波を発生させることを研究代表者によって見出した。その構造を図 1 に示す。

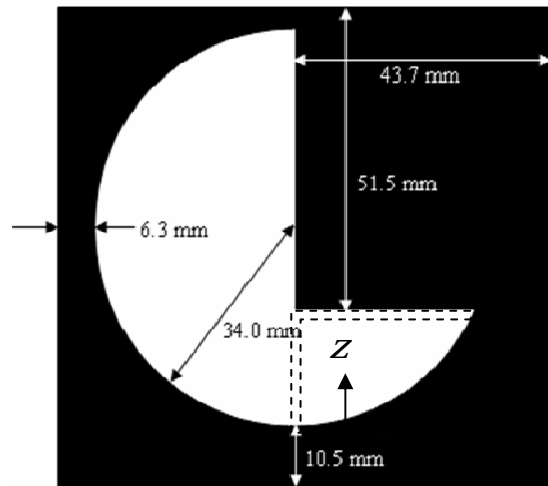


図 1 広帯域円偏波ワイドスロットアンテナ

図の黒い部分が金属であり、白い部分である誘電体基板（厚さ 0.8mm）の背後に金属の L 形プロープがあり、図の中央下部のマイクロストリップ線路構造から給電する。

(2) 分離型 L プロープを用いたアンテナしかし、アンテナの正面方向以外の方向に対しては、交差偏波が大きく、円偏波でなくなる欠点を持っていた。これは、図の円形スロットが非対称な形となっているためであり、その改良形として、スロットを完全な方形とし、L 字のプロープを途中から切り離して、容量結合させることで、電界の垂直成分と水平成分間の位相差を制御する構造を提案した。その構造を次に示す。

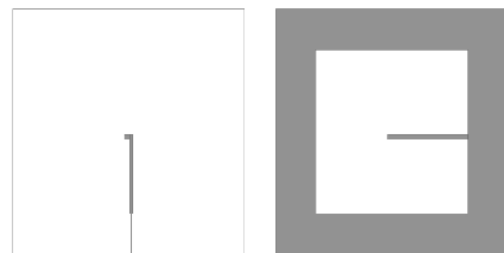


図 2 分離された L 形プロープを用いた広帯域円偏波アンテナ

この構造はスロット部分は完全な正方形であり、構造もシンプルである。プローブは曲がりっぱなの部分において容量結合されているが、これが直接接続されると、水平成分と垂直成分の位相差が大きくなる。この構造は約 90 度以上の角度において十分な円偏波を放射することができる新しい構造である。また、帯域は次のように 40 % 以上の帯域において軸比（円偏波の長軸と短軸の比）が 3 dB 以下になった。

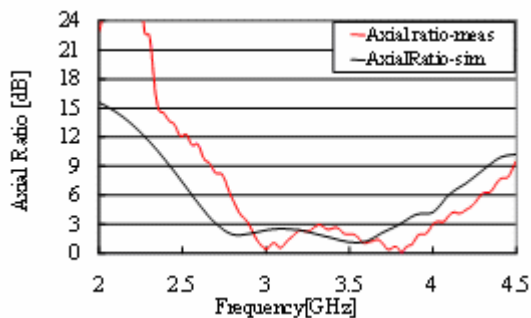


図 3 正面方向の軸比の周波数特性

放射パターンの例を図 4 に示す。ほとんどの角度において、主偏波に対し、交差偏波が小さいことが分かる。

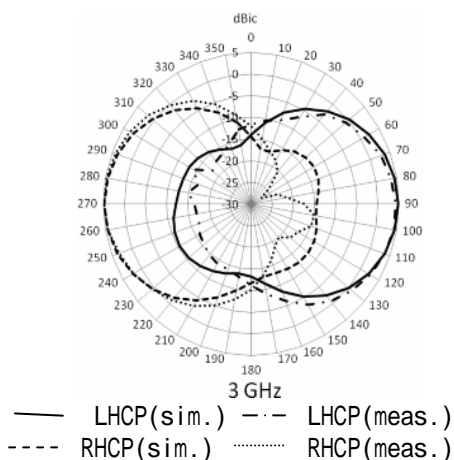


図 4：放射パターンの例

以上のようなアンテナは、UWB (Ultra wide Band) 通信やパルスレーダ等への応用がある。円偏波の性質から、壁などの反射の前後ではその旋回方向が変わることから、マルチパスフェージングの除去効果やレーダのクラッタ除去の効果がある。

### (3) 人工グラウンド構造を用いたパッチアンテナ

また、背面板を備え、放射パターンの単方向化も重要な課題である。これについては、反射板を用いることで実現可能であるが、ア

ンテナとの距離を  $1/4$  程度離す必要があり、大きな構造となる。それを解決するのに、人工磁気導体の適応が考えられるが、この代表的な構造にマッシュルームの構造をした EBG 構造がある。しかし、通常の正方形パッチを用いたマッシュルーム構造は円偏波の発生には障害になる。そこで、新たに長方形のパッチを持ち、かつマッシュルーム構造にあった、パッチとグラウンド間のビアを取り除いた人工グラウンド構造の適応について検討した。ビアを備えたマッシュルーム構造の場合、人工磁気導体特性を示す周波数付近にバンドギャップを示すが、このため、マッシュルームの表面を伝搬する表面波は周波数に対して大きく位相が変化する。よって、バンドギャップがなく、磁気導体特性を示す構造にするためにビアを取り除いた。また、アンテナ素子は良く使われるパッチアンテナとして、その基本特性を検討することにした。その構造を次に示す。

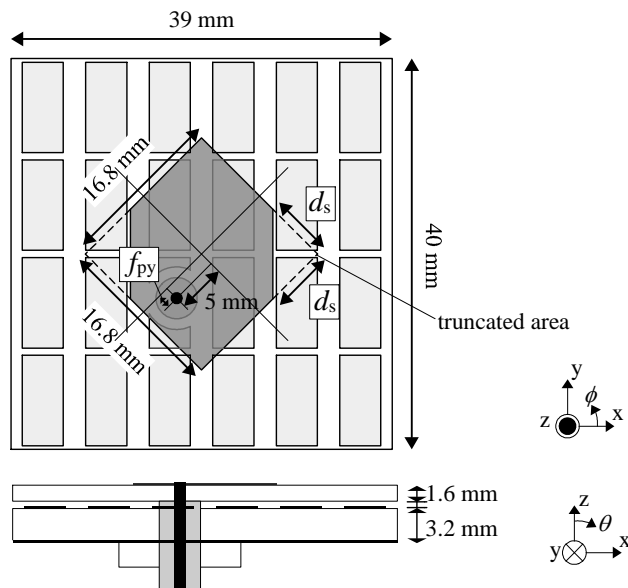


図 5：人工グラウンド構造を用いたパッチアンテナ

正面方向における軸比特性を図 6 に示す。

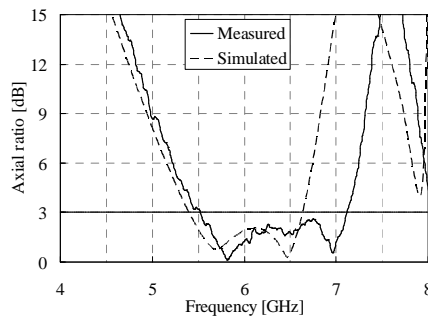


図 6：軸比特性

図 6 より、約 25 % 程度の帯域において、3

d B以下の軸比を持つ円偏波が実現されていることがわかる。これは通常のパッチアンテナの帯域がせいぜい10%程度の円偏波特性しか示せなかったのに対し、かなり広く、かつ低姿勢な構造のアンテナでこれが実現できたことは十分特筆に値する。

この人工磁気導体は次の図7に示すような反射特性を持っている。

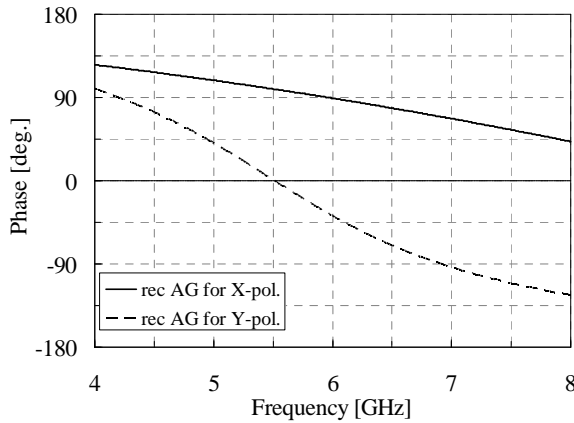


図7：反射位相特性

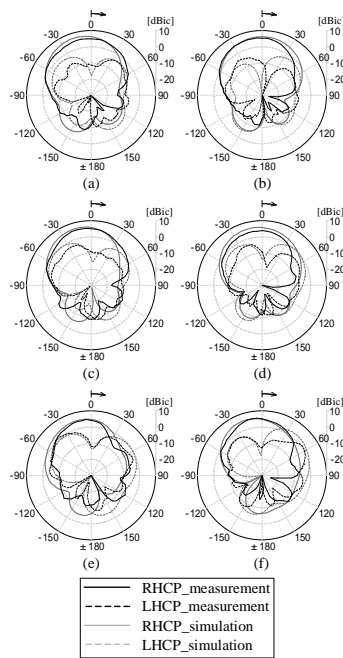


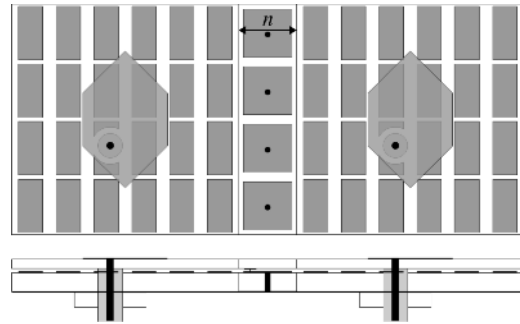
図8：放射パターン

同図より、X方向の偏波とY方向の偏波に対して反射位相が異なるのは、長方形のパッチによる周期構造のためである。このとき、約6.8GHz付近において、双方の偏波に対して、 $\pm 90$ 度付近の反射位相を示しているが、このとき人工グラウンドでの反射で円偏波が発生する。しかし、人工グラウンドにより発生する円偏波は帯域が狭く、パッチアンテナ自身にも円偏波発生構造が必要になってくる。よって、パッチアンテナ自身と人

工グラウンドの組み合わせによって、広帯域な円偏波が実現できることが分かった。以上、広帯域で、しかも図8の放射パターンに示すように単方向の円偏波が低姿勢なアンテナ構造で実現できることを示せたと言える。

この構造はさらにアレー化も目指した。2素子の場合の構造について図9に示す。

図9：アレー化構造



この構造では、人工グラウンド構造のアンテナ間にEBGのパッチを設け、そのバンドギャップによって、アレー間の結合を低減させることを目的とするが、同時にアンテナの軸比やインピーダンスに与える影響も調べた。

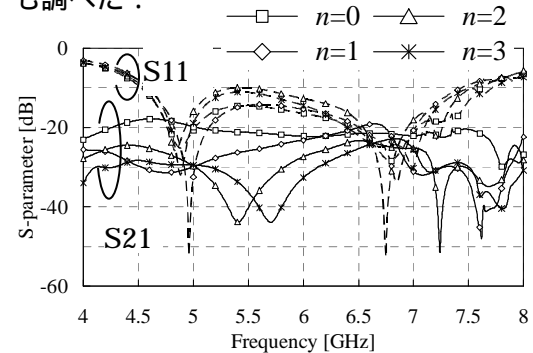


図10 S11特性

アンテナ間にEBGのパッチ列数  $n$  (図9の横方向に対して)を増やした場合、S11には影響は少ないが、S21の結合は減らせていることが分かる。

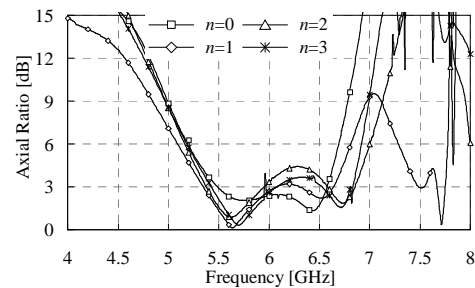


図11：軸比特性

また、図 1 1 に軸比特性への影響を示す。N が増えるとアレー間の結合が減る代わりに、軸比が上昇することが分かる。これにより、アレーの設計とアンテナ素子の設計は同時に行う必要があることが分かる。

本研究では、主に 3 つの構造を提案し、いずれも、他に見られないユニークな構造である。結果として、約 40% 以上の広い帯域でシンプルな構造の円偏波アンテナを提案し、それを改良して交差偏波の小さな構造も提案した。これらは、高速データ伝送に応用できる UWB 通信において、円偏波の反射前後の偏波が直交する性質を利用して、マルチパスフェージングの軽減やパルスレダにおけるクラッタ除去の効果が期待できる。また、単方向化も実現し、さらに低姿勢化を図るために広義のメタマテリアルである人工グラウンド構造を導入した。従来よく使われていたマッシュルーム構造の EBG 反射板では円偏波の対応は難しかったが、この構造で対応可能である。また、低姿勢アンテナの代表であるパッチアンテナは、狭い低域が問題であったが、本人工グラウンド構造の適応において、パッチアンテナの広帯域化ができた。これは、前述の応用の他、高い誘電率材料によってアンテナを小形化しても十分帯域を保つことができることを意味し、小形な衛星通信端末用アンテナとして応用可能である。

#### 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 1 件)

T. Fukusako, R. Sakami and K. Iwata, "Circularly Polarized Broadband Antenna with L-shaped Probe and Partially Covered Circular Wide-slot", International Journal of Microwave and Optical Technology, vol. 3, 4, pp.481-486, Sept. 2008(査読有)

[学会発表](計 13 件)

中尾周平, ロナルドジョセフ, 福迫 武, "L 型プローブを用いた円偏波スロットアンテナの広帯域化", 映像情報メディア学会技術研究報告(放送技術)BCT2010-6, 佐賀大, pp.21-24 (平成 22 年 1 月 28 日)  
中村輝久, 福迫 武, "長方形 AG 構造を用いた広帯域円偏波パッチアンテナの一検討", 電子情報通信学会技術研究報告(アンテナ・伝播研究会) A・P2009-160, 山口大, pp.27-32, (平成 22 年 1 月 21 日)

R. Joseph and T. Fukusako, "Circularly Polarized Circular Slot Antenna with

Separated L-probes for Broadband Characteristics," IEICE Technical Report (電子情報通信学会技術研究報告アンテナ・伝播研究会), A・P2009-167, 山口大, pp.69-74, (平成 22 年 1 月 21 日)

T. Nakamura and T. Fukusako, "Broadband Design of Circularly Polarized Microstrip antenna Using EBG Structure with Rectangular Unit Cells", Proc. 2009 International symposium on antennas and propagation (ISAP2009), pp.759-762, The imperial Queen's Park, Bangkok, Thailand, 23th Oct. 2009.

中村輝久, 福迫 武, "長方形人工グラウンド構造を用いた広帯域円偏波パッチアンテナ" 2009 年電子情報通信学会ソサイエティ大会, 新潟大, BS-1-1 (平成 21 年 9 月 17 日)

R. Joseph and T. Fukusako, "A Novel Circularly Polarized Broadband Antenna with Separated L-Probe", 2009 IEEE International Symposium on Antennas & Propagation and USNC/URSI National Radio Science Meeting, Embassy Suites Convention Center, Charleston (SC), USA, 506.4 (4-page-CDROM paper), 5<sup>th</sup> June 2009

Ronald Joseph and T. Fukusako, "A Modified Square Slotted Circularly Polarized Antenna with Separated L-probes for Broadband Characteristics," IEICE Technical Report (電子情報通信学会技術研究報告), AP2009-16, 熊本大, pp.31-35, Kumamoto, Japan, 21th May 2009

Ronald Joseph and T. Fukusako, "A Novel Circularly Polarized Broadband Antenna with Separated L-probes", 2009 年電子情報通信学会総合大会, 愛媛大, B-1-149, (平成 21 年 3 月 20 日)

T. Fukusako, R. Sakami and K. Iwata, "Broadband circularly polarized planar antenna using partially covered circular wide-slot and L-probe", Proc. 2008 Asia-Pacific Microwave Conference, Hong Kong Convention and Exhibition Center, Hong Kong and Macau, China, E3-07(4-page electric paper), 18<sup>th</sup> Dec. 2008.

福迫 武, 酒見 遼, 岩田一樹, "L 型プローブと部分的に切り欠いた円形スロットによる広帯域円偏波アンテナ", 電気関係学会九州支部連合大会論文集, 11-1A-08, 大分大(平成 20 年 9 月 24 日)

T. Fukusako, "Generation of Broadband Circular Polarization Using L-shaped

Probe (invited)", 2008 Japan-Indo Workshop on Microwaves, Photonics, and Communication Systems, WS-M2(4-page CD-ROM paper), Tokyo Tech., Japan, 4<sup>th</sup> July 2008

酒見 遼, 村本裕一, 福迫 武, "切り欠いた円形スロットを用いた広帯域円偏波アンテナ", 映像情報メディア学会技術研究報告, vol.32, 1, BCT2008-8, 長崎県立美術館, pp.29-32 (2008年1月16日)  
Yuichi Muramoto and Takeshi Fukusako, "Axial Ratio Characteristics of Circularly Polarized Broadband Antenna using L-Shaped Probe and L-Shaped Wide-Slot", 電気関係学会九州支部連合大会論文集 (国際セッション), 琉球大, 04-2A-02, (2007年9月19日)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1件)

名称：平面アンテナおよび平面アンテナの偏波方式

発明者：中村輝久, 福迫 武

権利者：熊本大学

種類：特許

番号：特願2009-199314

出願年月日：平成21年8月31日

国内外の別：国内

## 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