

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 5 月 31 日現在

機関番号：17301

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22560383

研究課題名（和文） 次世代ユビキタスネット社会のための円偏波用多周波共用平面アンテナの開発

研究課題名（英文） Study on circularly-polarized multi-band microstrip antenna for next generation ubiquitous communication

研究代表者

藤本 孝文 (FUJIMOTO TAKAFUMI)

長崎大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：40264204

研究成果の概要（和文）：本研究では、方形パッチ導体の各辺に 1 対の L 字スリットを装荷した円偏波用 2 周波共用マイクロストリップアンテナ(MSA)および各辺に 2 対のクランク状スリットを装荷した円偏波用 3 周波共用 MSA を提案している。シミュレーションにより、提案するアンテナの動作原理、アンテナ特性を解明している。さらに、得られたアンテナの設計手順により 2 つのアンテナを GPS 用アンテナとして設計し、提案するアンテナの有効性、実現性を評価している。いずれのアンテナも GPS の周波数帯で良好な円偏波特性を有している。

研究成果の概要（英文）：In this study, two multiband-antennas for circular polarization are proposed. One of them is a square microstrip antenna (MSA) with one pair of L-shaped slits and the other is a square MSA with two pairs of crank slits. The operational principles and the antenna characteristics are clarified by simulations. The antennas are designed for GPS application by the design procedures obtained in this study. The two antennas have good performances in circular polarization at the GPS bands.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	2,500,000	750,000	3,250,000
2011 年度	500,000	150,000	650,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 ・通信・ネットワーク工学

キーワード：情報通信工学，マルチバンドアンテナ，円偏波，GPS

1. 研究開始当初の背景

ユビキタスネット社会実現のため、これまでに多くの無線通信技術を利用したアプリケーション（高度道路交通システム (ITS)，携帯電話，無線 LAN，IC タグなど）が提案されてきた。今後は、次世代ユビキタスネット社会とも言うべき「安全・安心かつ環境保全のためのユビキタスネット社会」実現に向けて、より信頼性の高い、そしてより細やか

なサービスを加えた無線通信技術によるアプリケーションシステムを構築していく必要がある。

ユビキタスネット社会を構成するアプリケーションの 1 つに GPS (Global Positioning System) がある。GPS は、人工衛星からの電波を受信して地球のどの場所にあっても、高い精度でその位置情報を得ることがき、人（運転手，歩行者）の安全と、環境保護のた

めに大きく貢献するシステムである。現在、L1 バンド（中心周波数 1.575GHz）が使用されているが、精度向上とサービス向上を目的とし、2012 年より L2 バンド（中心周波数 1.227GHz）、2016 年より L5 バンド（中心周波数 1.176GHz）が開始予定となっている。また現在、低コスト、低資源、低エネルギーを実現するトレーサビリティシステムのための RFID (Radio Frequency Identification) が注目されている。RFID では、電磁誘導方式と電波方式があるが、電波方式では 900MHz 帯および 2.4GHz 帯の電波が利用されており、2 つの周波数帯を利用することにより、より細やかなサービスを提供している。

上記のように GPS や RFID システムではいくつかの周波数帯が使用されており、偏波は「円偏波」が利用されている。円偏波を利用したアプリケーションとしては他にも、ITS の SDARS (Satellite digital audio radio system)、ETC (electric toll collection system) があげられるが、多周波数帯での円偏波を利用したアプリケーションは、次世代ユビキタスネットワーク社会実現のため、今後益々増加することが予想される。

このような背景のもと、1 つのアンテナでいくつかの周波数帯が利用可能な円偏波用の多周波共用アンテナの設計が望まれている。これまでに多くの多周波共用アンテナが提案されているが、いずれも直線偏波用アンテナばかりである。これは円偏波用アンテナの設計が直線偏波用の設計に比べ非常に難しいことに起因している。

2. 研究の目的

本研究では、次世代ユビキタスネットワーク社会実現に向けた、小型かつ広帯域な円偏波用多周波共用小型平面アンテナの設計・開発を目的としている。具体例として

(1) GPS 用 2 周波共用アンテナ

(2) GPS 用 3 周波共用アンテナ

の設計を行い、提案するアンテナの有効性・実現性を調査する。

3. 研究の方法

本研究では、モーメント法に基づく電磁界シミュレータによる数値解析と、電波暗室・ネットワークアナライザを用いた測定解析により研究を遂行する。

電磁界シミュレータによる数値解析では、アンテナ形状パラメータとアンテナのリターンロス特性および円偏波軸比特性との関係を詳細に調べ、アンテナ上の電流分布によ

りアンテナの動作原理および設計手順法、アンテナ特性の解明を行った。測定解析では、リターンロス、円偏波軸比特性を測定し、数値計算結果と比較検討することで、数値計算精度の確認および有効性を検証した。

4. 研究成果

本研究では以下の円偏波用アンテナの設計を行った。

- (1) L 字スリット付マイクロストリップアンテナ (2 周波共用アンテナ)
- (2) クランク状スリット付マイクロストリップアンテナ (3 周波共用アンテナ)

以下に解析を行った 2 つのアンテナの研究結果をまとめておく。

(1) L 字スリット付 MSA

(1)-① アンテナの構造

図 1 に 2 周波共用アンテナの構造を示す。パッチ導体は $W_T \times W_T$ の方形パッチ導体の各辺に 1 対の L 字スリットを装荷した形状である。方形パッチの横方向と縦方向に入れた L 字スリットおよび L 字スリット装荷によって生じる T 字素子の幅など、各パラメータを x 軸方向と y 軸方向で異なる長さ、位置にし、さらにパッチ導体の対角線上で給電することにより円偏波を放射させている。誘電体基板の一边は $G=80\text{mm}$ 、比誘電率 $\epsilon_r=4.7$ 、誘電正接 $\tan\delta=0.01$ 、厚さ $h_1=3.2\text{mm}$ 、 $h_2=1.6\text{mm}$ である。アンテナは接地導体板背面より L プロブ給電により励振されている。

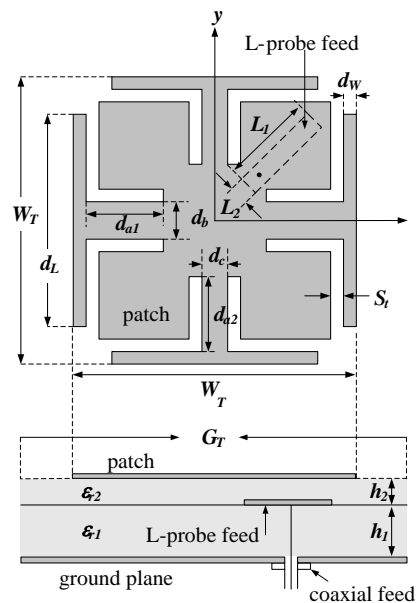


図 1 L 字スリット付マイクロストリップアンテナ

(1)-② アンテナの設計手順

本節で取り扱う 2 つの周波数帯はそれぞれ、GPS の L1band (中心周波数 1.5754GHz) と L2band (中心周波数 1.2276GHz) である。

最初にアンテナ形状と動作周波数、軸比の関係性を明らかにし、円偏波用 2 周波共用アンテナとしての設計手順を得た。その手順は以下の通りである。

○周波数の設定手順

T 字素子の形状パラメータ d_{a1} , d_{a2} , d_w および d_L を変化させ、動作周波数を L1band, L2band に調節

○円偏波軸比の設定手順

d_{a1}/d_{a2} および d_b/d_c で 2 つの周波数帯での最小軸比を調整。

(1)-③ 周波数帯域幅

次に、リターンロス、円偏波軸比の周波数帯域幅についての結果をまとめる。

図 2(a), (b) に、L1band, L2band におけるパッチ上の電流分布を示す。L2band において T 字素子に強く電流が流れており、T 字素子が放射素子となっていることがわかる。また、L1band において、L 字スリット周りの T 素子

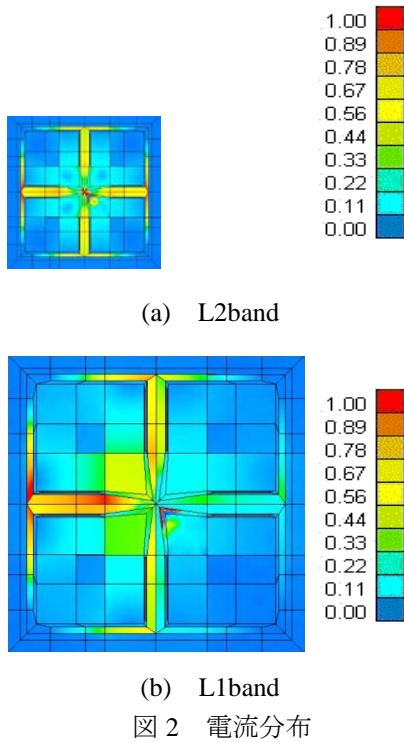


図 2 電流分布

($x_0=y_0=3.0$, $d_{a1}=d_{a2}=11.8$, $d_b=5.18$, $d_c=4.82$, $d_L=35.5$, $d_w=1.0$, $S_r=0.5$, $W_r=38.0$, $L_1=16.0$, $L_2=5.0$; 単位 mm)

および方形パッチに強く電流が流れており、L1band においても T 字素子が放射に大きく影響していることがわかる。これらの結果から、L1band, L2band の周波数帯域幅を広くするために、T 字素子と軸比の周波数帯域幅について検討を行った。

図 3 は、T 字素子幅 d_b と d_c の合計値 (d_b+d_c) を変化させた際の、L1band, L2band の軸比の周波数帯域幅の合計値の変化を示している。

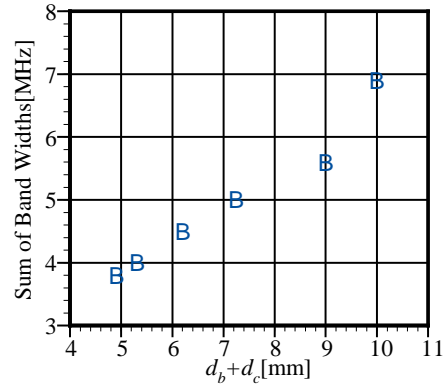


図 3 d_b+d_c と合計軸比帯域幅の関係 ($x_0=y_0=2.5$, $y_0=2.5$, $d_w=1.0$, $S_r=0.5$, $W_r=38$; 単位 mm)

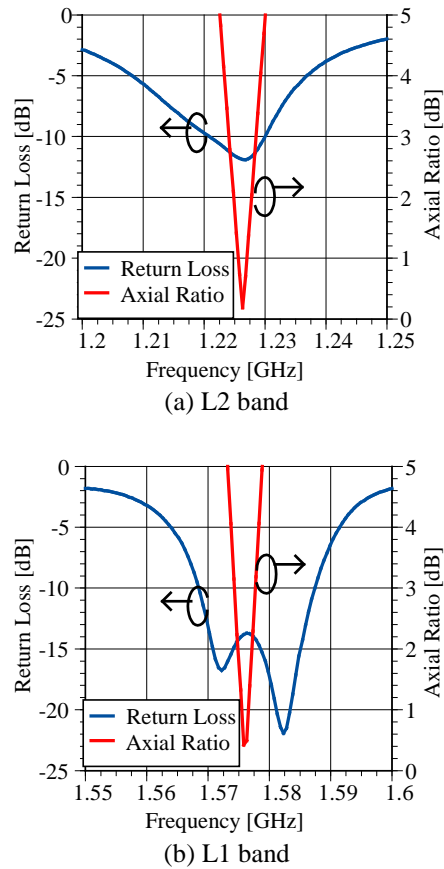


図 4 リターンロス特性、軸比特性 ($x_0=y_0=3.5$, $d_{a1}=d_{a2}=11.8$, $d_b=5.20$, $d_c=4.80$, $d_L=36.3$, $d_w=1.0$, $S_r=0.5$, $W_r=38.0$, $L_1=16.0$, $L_2=5.0$; 単位 mm)

図より、 d_b+d_c の値を大きくすることで、軸比帯域幅の合計値も増加し、周波数帯域幅の拡大も可能であることがわかる。

(1)-④ リターンロスおよび軸比特性

これまでの、アンテナの設定手順、周波数帯域幅の拡大法を用い、GPS用の2周波共用アンテナの設計を行った。図4(a), (b)にリターンロス特性、軸比特性を示す。両バンドにおいて軸比は3dB以下、リターンロスは-10dB以下を達成した。また、軸比の周波数帯域幅に関してもL1bandで6MHz、L2bandで4MHzとなっており、GPSの仕様(2MHz)を十分に満足している。軸比、リターンロスの測定結果は省略するが、軸比は3dB以下、リターンロスは-10dB以下を達した。しかし、最小軸比時の周波数に関しては、計算値と測定値で約10%の誤差があり、この誤差要因について検討を行う必要がある。

パッチの大きさ W_1 はL1bandで0.20波長、L2bandで0.16波長となり、アンテナの小型化にも成功している。

(2) クランク状スリット付MSA

(2)-① アンテナの構造

図5に各辺に2本のクランク状スリットを装荷したアンテナの構造を示す。方形パッチの横方向と縦方向に入れたクランク状スリットをx軸方向とy軸方向で異なる長さ、幅、位置にし、さらにパッチ導体の対角線上で給電することにより円偏波を放射させている。誘電体基板の大きさ、比誘電率、誘電正接、厚さは前節のL字スリット付MSAと同じで

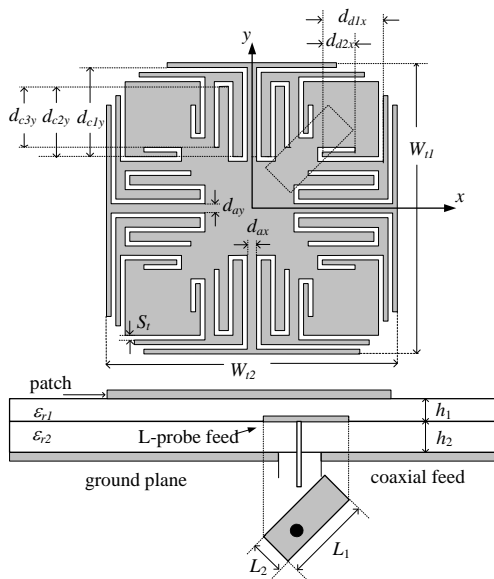
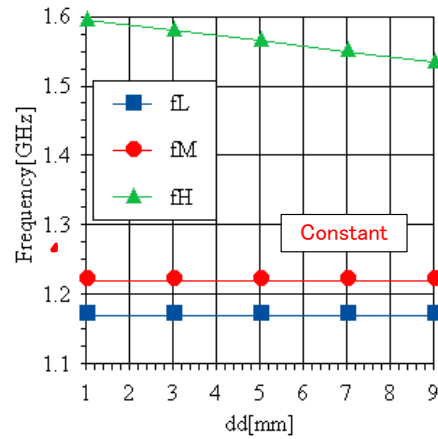


図5 クランク状スリット付マイクロストリップアンテナ

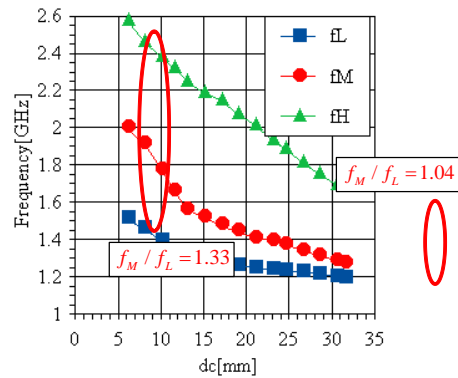
あり、給電方法も接地導体板背面よりLプローブ給電を使用している。

(2)-② 形状パラメータに関する調査

2つのクランク状スリットの長さ、幅、装荷位置などのスリット形状パラメータと3つの中心周波数との関係をシミュレータにより詳細に調査した。図6に、特にアンテナ設計に重要な特性を示す2つのスリットの長さ、と中心周波数の関係を示す。同図(a)は外側のクランク状スリットの長さを変化させた場合の結果であり、3つの周波数のうち、高域周波数(f_H)にのみ影響することがわかる。また、図(b)は内側のクランク状スリットの長さを変化させた場合の結果であり、この形状パラメータは3つの周波数に影響し、特に、中域周波数(f_M)と低域周波数(f_L)の比を調整する場合に有効である。



(a) $d_d=(d_{d1x}+d_{d2x})$

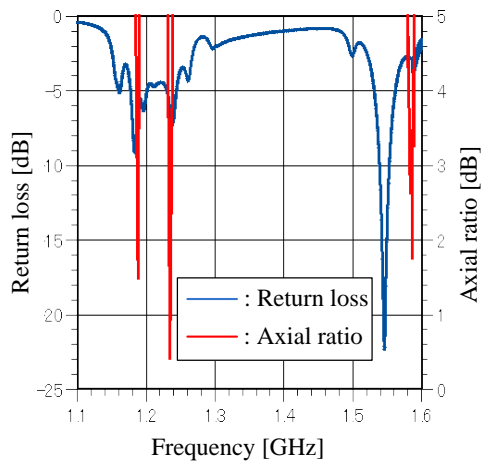


(b) $d_c=(d_{c1x}+d_{c2x}+d_{c3x})$

図6 形状パラメータと中心周波数の関係
($W_{11}=29.1$, $W_{12}=29.9$, $d_{ax}=d_{ay}=0.8$, $S=0.4$, $d_{w1}=d_{w2}=0.4$,
(x_0, y_0)=(6.5, 7.5), $L_{21}=17.0$, $L_2=4.0$; unit:mm)

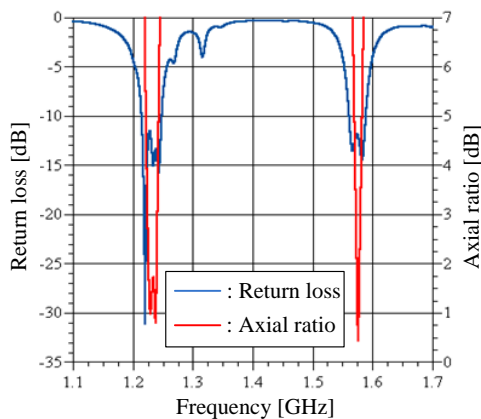
同様に、2つのクランク状スリットの形状パラメータと3つの周波数の軸比の関係性をシミュレータにより詳細に調査した。紙面の都合上その結果は省略するが、2つのクランク状スリットの各パラメータの比 d_{ax}/d_{ay} , d_{c1x}/d_{c1y} , d_{d1x}/d_{d1y} により3つの周波数帯の軸比が調整可能であることを確認した。

(2)-③ リターンロス、軸比および放射指向性
これらの計算結果を踏まえ、GPS用の3周波共用アンテナの設計を行った。3周波共用アンテナでのL2バンドとL5バンドの周波数比、つまり f_M/f_L は1.045となり、前述のように、内側のクランク長 d_c で調整を行った。図7にリターンロスと軸比特性を示す。最小軸比を与える周波数をL1, L2, L5バンドへ調整



(a) 3周波アンテナとして設計した場合

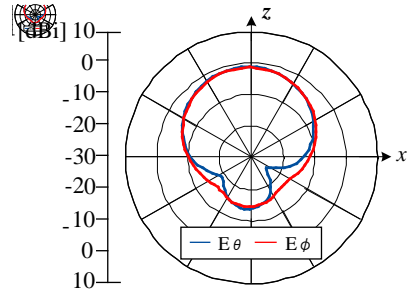
($W_{l1}=29.1$, $W_{l2}=29.9$, $d_{ax}=d_{ay}=0.8$, $d_{c1y}=12$, $d_{c1x}=11.8$, $d_{c1y}=12$, $d_{c2x}=d_{c2y}=10.9$, $d_{c3x}=d_{c3y}=1.5$, $d_{d1x}=7.6$, $d_{d1y}=6.8$, $d_{d2x}=4.8$, $d_{d2y}=4.2$, $d_{l2}=13$, $S_r=0.4$, $d_{w1}=d_{w2}=0.4$, $(x_0, y_0)=(6.5, 7.5)$, $L_1=17.0$, $L_2=4.0$; unit:mm)



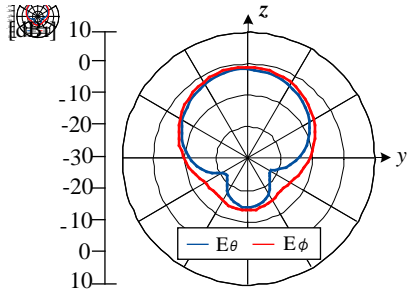
(b) 2周波アンテナとして設計した場合

($W_{l1}=29.1$, $W_{l2}=29.9$, $d_{ax}=d_{ay}=0.8$, $d_{c1y}=12$, $d_{c1x}=11.8$, $d_{c1y}=12$, $d_{c2x}=d_{c2y}=10.9$, $d_{c3x}=d_{c3y}=9.5$, $d_{d1x}=7.8$, $d_{d1y}=7.2$, $d_{d2x}=4.8$, $d_{d2y}=4.2$, $d_{l2}=13$, $S_r=0.4$, $d_{w1}=d_{w2}=0.4$, $(x_0, y_0)=(6.5, 7.5)$, $L_1=17.0$, $L_2=4.0$; unit:mm)

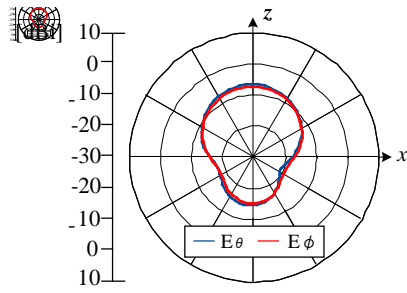
図7 リターンロスと軸比特性



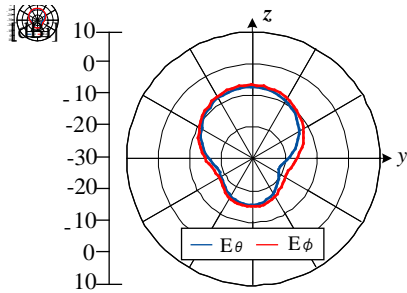
(a) xz面@L1バンド



(b) yz面@L1バンド



(c) xz面@L2バンド



(d) yz面@L2バンド

図8 2周波アンテナとして設計した場合の放射指向性

($W_{l1}=29.1$, $W_{l2}=29.9$, $d_{ax}=d_{ay}=0.8$, $d_{c1y}=12$, $d_{c1x}=11.8$, $d_{c1y}=12$, $d_{c2x}=d_{c2y}=10.9$, $d_{c3x}=d_{c3y}=9.5$, $d_{d1x}=7.8$, $d_{d1y}=7.2$, $d_{d2x}=4.8$, $d_{d2y}=4.2$, $d_{l2}=13$, $S_r=0.4$, $d_{w1}=d_{w2}=0.4$, $(x_0, y_0)=(6.5, 7.5)$, $L_1=17.0$, $L_2=4.0$; unit:mm)

でき、また最小軸比も 2dB 以下となり、軸比の設計が可能であることがわかる。しかし、リターンロスは、軸比 3dB 以下の周波帯で -10dB 以下となっていない。インピーダンスマッチングについては更なる調整が必要である。

クランク長 d_c を調整し、中域周波数 (f_M) と低域周波数 (f_L) を合わせることにより、2 周波共用 (L1, L2 バンド) アンテナの広帯域化を図った。この場合 $f_M/f_L \approx 1.0$ となる。図 7(b) にリターンロス、軸比の周波数特性を示す。軸比 3dB 以下かつリターンロス -10dB 以下となる周波数帯域幅は L1 バンドで 8MHz, L2 バンドで 17MHz であり、前節の L 字スリット付 MSA の場合に比べ、L2 バンドで 4 倍以上の広帯域化に成功している。

図 8 にクランク状スリット付 MSA を 2 周波共用アンテナとして設計した場合の放射指向性を示す。L1, L2 バンドにおいて、主放射方向が天長方向であり、良好な放射パターンを有している。前節の L 字スリット付 MSA およびクランク状スリット付 MSA を 3 周波共用アンテナとして設計した場合においても同様な結果が得られた。

図 7(a), (b) に示す 2 周波および 3 周波共用アンテナのパッチの大きさ $(W_{l1} + W_{l2})/2$ は、共に L1band で 0.17 波長, L2 バンドで 0.13 波長であり、3 周波共用アンテナでは、L5 バンドで 0.11 波長となる。前節の L 字スリット付 MSA に比べ更なる小型化を達成している。

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 2 件)

- ① Y. Tagawa and T. Fujimoto, Dual-band circularly-polarized small microstrip antenna, Proceedings of International symposium on antennas and propagation, 査読有, 2011, No. Frp2-08, 4 ページ [CD-ROM].
- ② T. Fujimoto and Y. Tagawa, Triple band circularly polarized small microstrip antenna, Proceedings of IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, 査読有, 2010, No. IF517-2, 4 ページ, [CD-ROM].

[学会発表] (計 10 件)

- ① T. Fujimoto and A. Tanaka, Triple-band circularly polarized small microstrip antenna with crank

slits, Progress in Electromagnetics Research Symposium, 台北市 (台湾) 2013 年 3 月 25 日.

- ② 田中明賢, 藤本孝文, 円偏波用 3 周波共用小型マイクロストリップアンテナ, 映像情報メディア学会, 熊本市, 2013 年 1 月 31 日
- ③ 田中明賢, 藤本孝文, 円偏波用 2 周波共用マイクロストリップアンテナ, 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 富山市, 2012 年 9 月 13 日
- ④ 田中明賢, 藤本孝文, 円偏波用 2 周波共用マイクロストリップアンテナ, 電気関係学会九州支部連合大会, 長崎市, 2012 年 9 月 25 日
- ⑤ 田川遊人, 田中明賢, 藤本孝文, 円偏波用 2 周波共用小型マイクロストリップアンテナ, 電子情報通信学会アンテナ・伝搬研究会, 北九州市, 2012 年 1 月 20 日
- ⑥ Y. Tagawa and T. Fujimoto, Dual-band circularly-polarized small microstrip antenna, International symposium on antennas and propagation, 済州 (大韓民国) 2011 年 10 月 28 日
- ⑦ 田中明賢, 藤本孝文, 円偏波用 3 周波共用マイクロストリップアンテナの解析, 電気関係学会九州支部連合大会, 佐賀市, 2011 年 9 月 27 日
- ⑧ 田川遊人, 藤本孝文, Dual Band Circularly Polarized Small Microstrip Antenna, 電気関係学会九州支部連合大会, 佐賀市, 2011 年 9 月 26 日
- ⑨ 田川遊人, 藤本孝文, 電子情報通信学会総合大会, 円偏波用 2 周波共用小型マイクロストリップアンテナの解析 - 第 2 報 -, 東京都, 2011 年 3 月 17 日
- ⑩ T. Fujimoto, Y. Tagawa, Triple band circularly polarized small microstrip antenna, IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, トロント市 (カナダ) 2010 年 7 月 16 日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤本 孝文 (FUJIMOTO TAKAFUMI)
長崎大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号: 40264204