

方形のうず巻き素子付き円偏波変形伝送線路アンテナの特性*

公文保則**
 築地武彦**

A Circularly Polarized Modified Transmission Line Antenna with Parasitic Square Spiral-Loop Element

Yasunori KUMON and Takehiko TSUKIJI

In this paper, we present a study of a novel circularly polarized antenna for a mobile communication. Modified Transmission Line Antenna (MTLA) using closed-spaced parasitic square spiral-loop element above a ground plane is proposed and implemented for circular polarization with broad-band axial ratio.

For found fundamental circularly polarized properties of this antenna, we are analyzed by means of the moment of method (MM) for various size of square spiral-loop element.

It is easily possible to adjust a circularly polarized frequency of this antenna by changing a size of the square spiral element. Particularly, MTLA with a built-in square spiral element is found in good characteristics, achieving the axial ratio ($\leq 3\text{dB}$) criterion is 16.4% and gain is approximately 3.5dB, and this antenna radiates the left-hand circular polarized wave.

Moreover, it is concluded that the MTLA with parasitic square spiral-loop element becomes a circular polarization and a linear polarization, and the radiation pattern characteristics of this antenna are also presented.

Key Words: Mobile Communication, Moment Method, Broadband, Circular Polarization, Modified Transmission Line Antenna

1. まえがき

現在、衛星携帯電話システム、測位システム (GPS) 及び高度道路交通システム (ETC, VICS) で代表されるように、円偏波による移動体通信が急速に普及しており、車載用円偏波アンテナが望まれている [1]。これまでに、線状アンテナ、マイクロストリップアンテナ、自己補対アンテナ等の円偏波アンテナが盛んに研究されているが、円偏波アンテナは、高利得、広帯域な特性が得られることから使用目的に応じて種々の改善が試みられている。

線状素子による円偏波アンテナは、承知のように古くからクロスダイポールアンテナやヘリカルアンテナが知られているが、クロスダイポールアンテナは、分配器や位相器を必要とするなど給電系が複雑となること、また、ヘリカルアンテナは、単一給電であるが、アンテナが比較的大きくなる問題があった [2], [3]。最近ではヘリカルアンテナのように定振幅の進行波電流を基本原理として動作させる単一ループで構成される円偏波アンテナが提案され、報告されている。例えば、ループアンテナにリアクタンスを装荷 [4]、あるいは分岐素子を装荷した円偏波アンテナ [5]、更に、間隙を設けた円偏波フラフープアンテナやカールアンテナがあり [6], [7]、いずれも比較的簡単な構造により円偏波を発生する低姿勢 (小型) な円偏波アンテナである。このような単一給電で動作す

*平成18年11月30日受付

**電子情報工学科通信システム

るループ形状の円偏波アンテナでは、ループ素子への給電線が放射特性へ与える影響を無視できない場合がある。

著者らは、先に自動車電話用の2周波共用アンテナとして変形伝送線路アンテナ (MTLA : Modified Transmission Line Antenna)に逆L型素子を近接配列したものや分岐素子を付けたアンテナを開発し、良好な特性を得ている [8]。MTLA は低姿勢で、利得が比較的高く、また形状が簡単であるため変形して多様化が容易なことから、このような組み合わせアンテナの基本素子としての利用が高い特徴がある。そこで、本論文では、MTLA に無給電の方形のうず巻き素子 (SE:Spiral-loop Element)を配置する方法で円偏波を発生させる可能性について追求する。まず2.では無給電のうず巻き素子付き MTLA の構造を述べ、うず巻き素子を構成するパラメータを変化させたときの軸比とその周波数帯域特性、電流分布及び指向特性等の基本特性についてモーメント法を用いた数値計算により解析する。つづいて、3.では方形のうず巻き素子の一边が2.のときの寸法に比べ小さい場合と大きい場合の2通りの円偏波アンテナについて解析し、提案したアンテナが小型で良好な円偏波が得られることを明らかにする。

2. うず巻き素子付き円偏波 MTLA

2.1 アンテナの構造

図1は、典型的な変形伝送線路アンテナ (MTLA) の形状を示す。図2、図3は、動作周波数 $f_0=900\text{MHz}$ に設定した MTLA の VSWR, 利得及び指向特性である。MTLA の寸法は $C=18\text{cm}$ ($H=3\text{cm}$, $L=W=4\text{cm}$) であり、これは動作周波数 f_0 の波長 λ_0 に対して、 $C=0.54\lambda_0$ ($H=0.09\lambda_0$, $L=W=0.12\lambda_0$) となる。素子半径は $a=0.5\text{mm}$ である。また、図2で示す VSWR 特性は同軸給電線 $Z_0=50\Omega$ に対するものである。MTLA は、これらの図で示すように、 $\text{VSWR} \leq 2$ の帯域が75MHz (比帯域: 8%)、利得が4.5dBi、水平面内で無指向性を得られる低姿勢アンテナであるが、この MTLA の上部に無給電のうず巻き素子を近接して設置すると、うず巻き素子に対して垂直方向 (Z 軸) に円偏波を放射することを先に報告している [9]。その構造を図4に示す。図4で示すうず巻き素子付き MTLA は、本体の MTLA (#0) が垂直偏波、無給電のうず巻き素子 (#1) が円偏波で動作するアンテナである。このうちうず巻き素子は、地板からの高さ H_1 の位置に設置し、一边の長さが L_1 の正方形で構成され、内側の素子長を B_1 、 L_1 と B_1 の素子間隔を S_1 とすると、その全長は $C_1=4L_1-S_1+B_1$ である。また、MTLA とうず巻き素子の間隔は、 g とする。円偏波アンテナを設計するためには、うず巻き素子の4個の構造パラメータ (L_1 , S_1 , B_1 , 及び H_1) を適当に

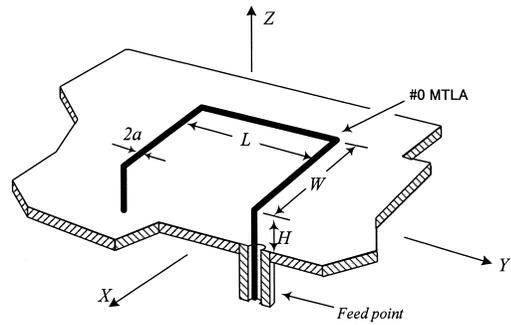


図1 変形伝送線路アンテナ (MTLA)

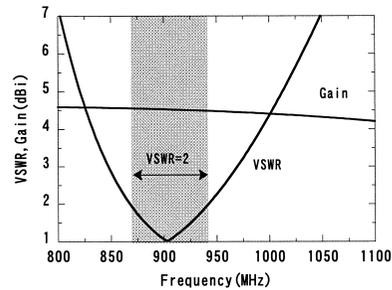


図2 変形伝送線路アンテナの VSWR, 利得特性 (X 軸方向)

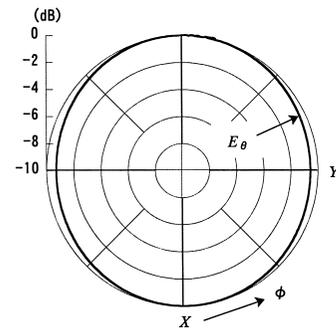


図3 変形伝送線路アンテナの水平面内指向特性 ($f=900\text{MHz}$)

選ぶ必要があるが、まずうず巻き素子の一边の長さ L_1 を約 $\lambda/4$ 程度に設定し、つづいて残りの構造パラメータ3個の寸法をそれぞれ調整することで最良な軸比特性を求めている。以下で L_1 の寸法は、MTLA との相互結合が最も強いと思われる $L(=4\text{cm})$ と同じ 4cm の場合についての特性を詳細に検討する。

2.2 アンテナの特性

図4(a)は、 $L_1=L$ のときのうず巻き素子付きMTLAの形状を示し、(b)がY軸方向から、(c)がZ軸方向から見た図である。本アンテナを上から見ると図(c)で示すようにうず巻き素子のループとMTLAの水平素子(W, L)がちょうど重なった構造となる。

○軸比特性

図5は、天頂方向(Z軸)の軸比特性を示し、(a)が B_1 をパラメータ、(b)が S_1 をパラメータ、及び(c)が H_1 をパラメータとした場合である。図(a)より、軸比特性は、 B_1 の長さを調整することで良好な円偏波特性が得られることが判明し、例えば $B_1=2.5\text{cm}$ に選べば、軸比 $\leq 3\text{dB}$ の帯域は低域 $f_{3dB L}=1,750\text{MHz}$ から高域 $f_{3dB H}=2,150\text{MHz}$ で得られ、その比帯域が20.5%となり、広帯域な円偏波アンテナが実現されていることが分かる。なお、図(b)で示すように S_1 は、ここで示す範囲では軸比 $\leq 3\text{dB}$ の帯域特性に大きな変化は見られないが、 S_1 を狭くすると若干ではあるが広帯域な特性になることが分かる。一方、図(c)より、 H_1 の高さを低くすると軸比の最小点が高い周波数へ移動する傾向を示すが、高さを $H_1=5.0\text{cm}$ ($g=2.0\text{cm}$)に設定すると最も広帯域特性が得られることが分かる。このように良好な円偏波特性を得るためには、うず巻き素子の B_1 と H_1 は重要なパラメータである。

図6は、軸比 $\leq 3\text{dB}$ の帯域が B_1 に対して変化する状態を示すが、 $H_1=5.0\text{cm}$ でありパラメータは、 S_1 で0.2

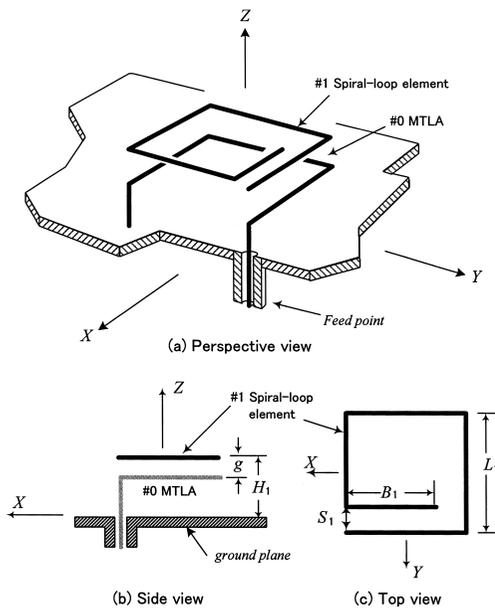
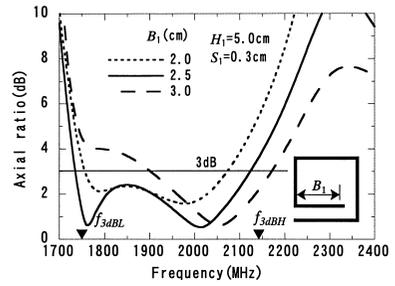
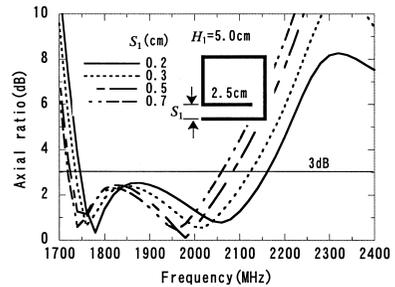


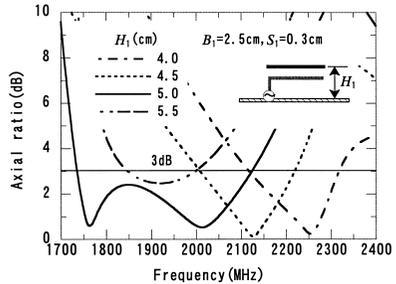
図4 うず巻き素子付き変形伝送線路アンテナ



(a) パラメータ： B_1



(b) パラメータ： S_1



(c) パラメータ： H_1

図5 軸比特性

cm, 0.3cm, 0.5cm 及び1.0cm の場合を示す。図5 (b)でも述べたように、 S_1 は小さくなるほど広帯域な軸比特性が得られるが、例えば $B_1=2.5\text{cm}$ のとき $S_1=0.2\text{cm}$ では21%、 $S_1=0.3\text{cm}$ では20.5%、及び $S_1=0.5\text{cm}$ では19%の帯域が得られ、 S_1 は0.2cm~0.5cmの間隔の範囲で選べば、約20%程度の軸比特性を得ることができる。

以上の結果から、 $L_1=4\text{cm}$ のときの最適うず巻き素子の各寸法は、各々 $B_1=2.5\text{cm}$ 、 $S_1=0.3\text{cm}$ 及び $H_1=5.0\text{cm}$ であり、このときの電流分布、指向特性、インピーダンス特性、及び利得特性について以下で示す。な

お、上記の形状パラメータを動作中心周波数 $f_c = 1,950\text{MHz}$ の波長 λ_c で表記すと $L_1 = 0.26 \lambda_c$, $B_1 = 0.16 \lambda_c$, $S_1 = 0.0195 \lambda_c$ 及び $H_1 = 0.325 \lambda_c$, また C_1 は $1.18 \lambda_c$ となる。

○電流分布

図7は、周波数が $f=2,000\text{MHz}$ におけるうず巻素子の電流分布(振幅, 位相)を示す。ただし、MTLAの印加電圧は1Vで計算した。図の横軸は、図中に示すようにうず巻き素子の一端a点から素子に沿った距離であり、途中の▼印はうず巻き素子の角(b,c,d,e), また、破線は自由空間での位相を示す。図より、うず巻き素子上の電流は、一定振幅で進行波電流型の位相の分布が得られており、本アンテナが円偏波アンテナとして動作していることが分かる。また、これより偏波方向は、電流の位相が右上がりであるため左旋偏波となる。

○指向特性

図8は、 $f=2,000\text{MHz}$ の指向特性を示し、(a)がX-Z面内、(b)がY-Z面内の特性である。実線が E_θ 成分、破線が E_ϕ 成分である。図より、天頂方向の電波は、両偏波成分がほぼ等しく放射され、円偏波条件を満たしていることが分かる。なお、(b)のY-Z面内の特性で E_ϕ 成分は-Y軸とY軸方向に強く放射されているが、これはMTLAの2本の垂直素子による配列効果によるものと推測される。

○インピーダンス, 利得特性

図9はインピーダンス特性を示すが、低域 $f_{3dB_L} = 1,750\text{MHz}$ で共振し、その抵抗値が約 50Ω であり、同軸給電線との整合が容易であることが分かる。一方、図10は、天頂方向の利得を示す。図より、利得は、高域 $f_{3dB_H} = 2,150\text{MHz}$ で最大となる傾向を示し、約6dBが得られるが、この周波数では反共振周波数となり、抵抗値が高くなっている。

3. うず巻き素子 L_1 の大きさを変えた特性

ここでは、2の結果を基に、まず L_1 が L より小さい3cmの場合 ($L_1 < L$)、つづいて L_1 が L より大きい5cmの場合 ($L_1 > L$) の形状を例に取り解析する。

3.1 うず巻き素子 $L_1(3\text{cm})$ が MTLA の $L(=W)$ より小さい場合

図11は、 $L_1 < L$ のときで、うず巻き素子が MTLA の水平素子より下部に配置した場合、つまりうず巻き素子を内蔵した MTLA の形状を示す。

図12は、 H_1 をパラメータとした天頂方向の軸比特性である。うず巻き素子の寸法は、 $B_1 = 2.5\text{cm}$, $S_1 = 0.3\text{cm}$ である。図より、 H_1 が1.5cm (うず巻き素子が地板と MTLA の水平素子の丁度中間の位置に設置した場

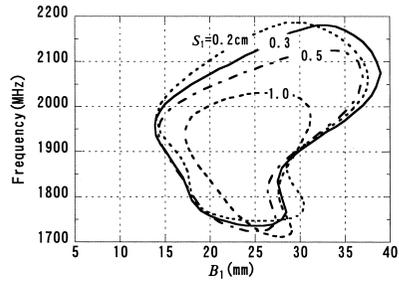


図6 B_1 に対する軸比 $\leq 3\text{dB}$ の帯域 (パラメータ: S_1)

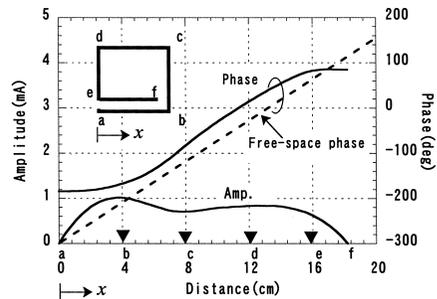


図7 電流分布 ($f=2,000\text{MHz}$)

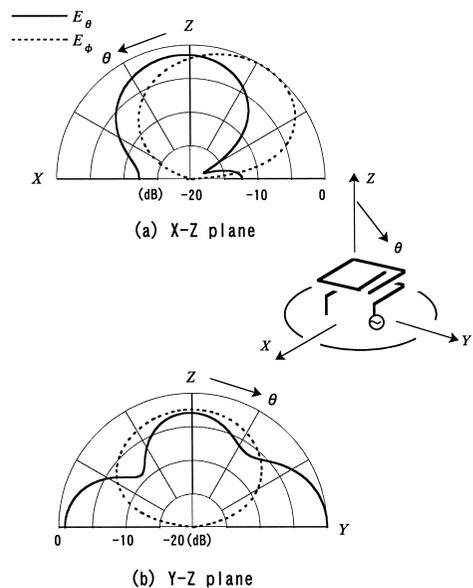


図8 指向特性 ($f=2,000\text{MHz}$)

合) のとき、軸比 ≤ 3 dBの帯域は最も広帯域を示すことが判明した。ちなみに、このとき軸比 ≤ 3 dBの帯域幅は、低域 $f_{3dBL}=2,860$ MHz、高域 $f_{3dBH}=3,370$ MHzが得られ約510MHzとなるが、比帯域で示すと16.4%である。また、この帯域における利得を図13に示すが、軸比が最も良い2点での低域 $f_{gL}=2,900$ MHzと高域 $f_{gH}=3,250$ MHzの利得を見ると、それぞれ約3.5dBと3dBが得られる。

これらの結果は、先の2.で述べた $L_1=L$ のときの特性と比較すると、軸比 ≤ 3 dBの帯域で4%、利得で2dB程度悪くなるが、アンテナの容積で比べると、ここで示したアンテナの方が40%程度小型化したアンテナが得ら

れる。

図14は、垂直面内(X-Z面内、Y-Z面内)の指向特性を示す。図(a)が低域 $f_{gL}=2,900$ MHz、(b)が高域 $f_{gH}=3,200$ MHzの指向性である。図で実線が E_θ 成分、破線が E_ϕ 成分である。図より、いずれの周波数も天頂方向の直交偏波成分は、ほぼ同じ大きさが放射していることが分かるが、特にY-Z面内指向性では天頂方向以外にも両偏波成分の等しい放射が見られており、広い空間で円偏波が放射していると推測される。そこで、Y-Z面内における軸比特性を図15に示す。図で横軸は-Y軸(0°)から天頂方向に向かって目盛っている。図より、軸比 ≤ 3 dBは低域 $f_{gL}=2,900$ MHzで水平面から $\theta=60^\circ$

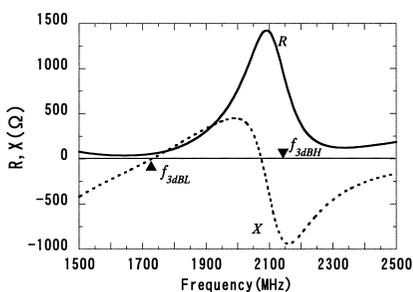


図9 インピーダンス特性

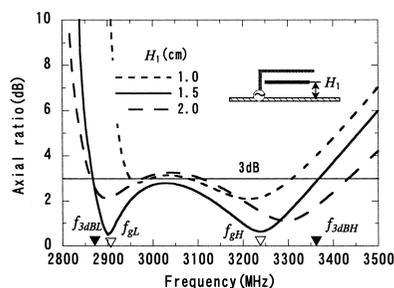


図12 軸比特性 ($L > L_1$)

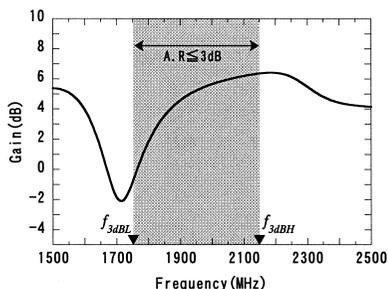


図10 利得特性

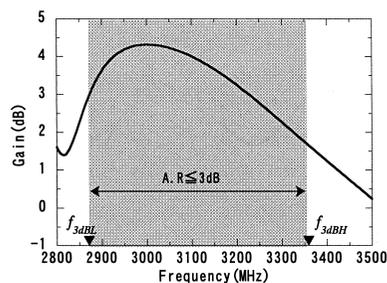


図13 利得特性 ($L > L_1$)

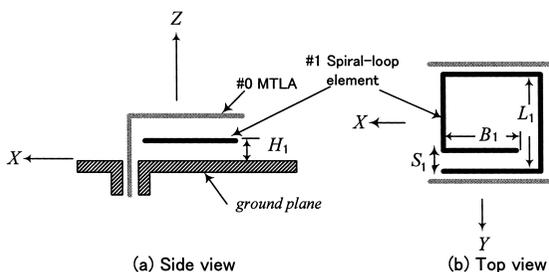


図11 うず巻き素子付き変形伝送線路アンテナ ($L > L_1$)

~120°と130°~160°の2個の範囲, また, 高域 $f_{gH} = 3,200\text{MHz}$ では $\theta = 30^\circ \sim 100^\circ$ の範囲で得られ, 比較的広い範囲で円偏波を放射していることが分かる. 一方, 利得はいずれの周波数も天頂方向では3dB程度, また, 最大利得は, 低域 f_{gL} では $\theta = 60^\circ$ 方向で6dB, 高域 f_{gH} では $\theta = 40^\circ$ 方向で8dBが得られている. このように, 特に高域 f_{gH} では, 仰角が低い水平方向から到来する円偏波に対しても有効なアンテナといえる. ここでは, うず巻き素子の一边が $L_1 = 3.0\text{cm}$ のとき, 残りの寸法は $B_1 = 2.5\text{cm}$, $S_1 = 0.3\text{cm}$, 及び $H_1 = 1.5\text{cm}$ となったが, これを低域 f_{dBLL} と高域 f_{dBHL} の帯域中心周波数 $f_c = 3,115\text{MHz}$ の波長 λ_c で書き換えると, $L_1 = 0.31\lambda_c$, $B_1 = 0.26\lambda_c$, $S_1 = 0.031\lambda_c$, $H_1 = 0.156\lambda_c$ 及び $C_1 = 1.47\lambda_c$ である. なお, ここでは, MTLA ($f = 900\text{MHz}$) の部分の特性については示していないが, 図2と図3とほぼ同じ, VSWR, 利得及び指向特性を得ており, MTLA にうず巻き素子を内蔵しても MTLA の本来の特性に与える影響が小さいことが判明し, 本アンテナは $f = 3,100\text{MHz}$ では円偏波, $f = 900\text{MHz}$ では垂直偏波で動作する二周波共用アンテナとなる.

3.2 うず巻き素子 $L_1(5\text{cm})$ が MTLA の $L(=W)$ より大きい場合

図16は, $L_1 > L$ のときのうず巻き素子付き MTLA の形状を示す. 図(b)は, Z軸から見た場合のうず巻き素子と MTLA の位置関係を示す.

図17は, 軸比と利得特性を示す. うず巻き素子の寸法は, $H_1 = 5.0\text{cm}$, $B_1 = 4.0\text{cm}$, 及び $S_1 = 0.3\text{cm}$ である.

図より, 軸比 $\leq 3\text{dB}$ の帯域は低域 $f_{3dBLL} = 1,455\text{MHz}$ から高域 $f_{3dBHL} = 1,510\text{MHz}$ まで得られ約55MHzとなるが, 比帯域で示すと3.7%である. 一方, この帯域での利得は5~6dBである. また, 軸比が最も良い周波数 f_g は1,480MHzとなる.

図18は $f_g = 1,480\text{MHz}$ における指向特性を示す. これより, 天頂方向に対しては E_θ 成分と E_ϕ 成分の両偏波がほぼ等しく放射され円偏波の動作が確認できる. また, 水平面内を見ても E_θ 成分が比較的強く放射されており, この面内では垂直偏波による利用も期待できると考えられる. ちなみに, -Y軸方向の利得は, 4dBである.

4. むすび

本論文では, 移動体通信用の円偏波アンテナの開発を目的として, 先に報告した変形伝送線路アンテナ(MTLA)に無給電のうず巻き素子を近接配置したアンテナを提案し, その基本特性について解析した.

具体的には, $f_0 = 900\text{MHz}$ で動作する MTLA 寸法 $C = 18\text{cm}$ ($H = 3\text{cm}$, $L = W = 4\text{cm}$) に, 方形のうず巻き素子を配置した円偏波アンテナについて軸比とその周波数帯域, 電流分布, 及び指向特性等の特性を調べた. うず巻き素子の大きさは, 一边が $L_1 = 4.0\text{cm}$, $L_1 = 3.0\text{cm}$, 及び $L_1 = 5.0\text{cm}$ の長さの形状を例に取り比較, 検討した.

その結果, まず, 2. ではうず巻き素子 $L_1(4\text{cm})$ が MTLA の $L(=W)$ と等しい場合について示し, うず巻

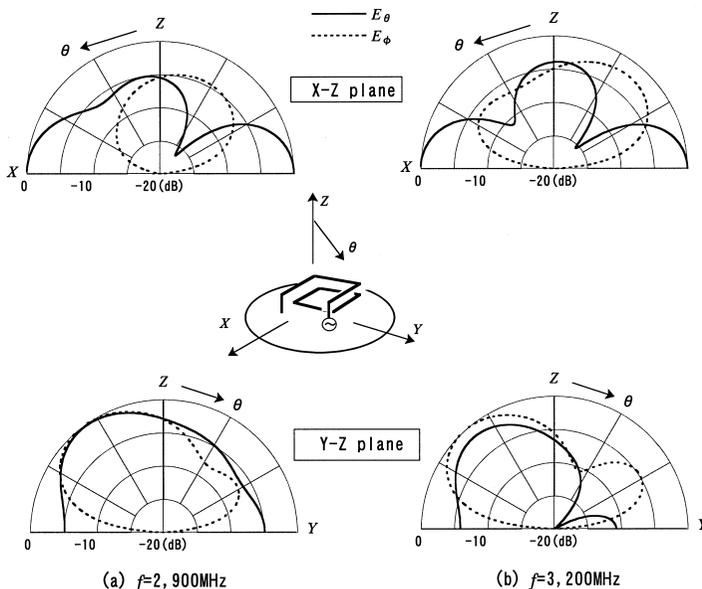


図14 指向特性 ($L > L_1$)

き素子の寸法が $C_1=18.2\text{cm}$ ($B_1=2.5\text{cm}$, $S_1=0.3\text{cm}$) を、高さ $H_1=5.0\text{cm}$ に配置すると、約 $f=2,000\text{MHz}$ 付近で円偏波を放射し、軸比 $\leq 3\text{dB}$ の比帯域が 20.5% 、利得が約 6dB 得られ、広帯域な円偏波アンテナを実現できた。また、電流分布より本アンテナが円偏波として動作することや左旋円偏波を放射することを明らかにした。

次に、3. ではうず巻き素子 L_1 が MTLA の $L(=W)$ より小さい場合と大きい場合について示し、まず、 $L_1(3\text{cm}) < L(=W)$ のときは、うず巻き素子の寸法が $C_1=18.2\text{cm}$ ($B_1=2.5\text{cm}$, $S_1=0.3\text{cm}$) を、高さ $H_1=1.5\text{cm}$

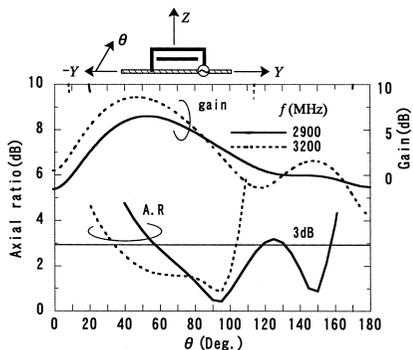


図15 Y-Z面内の軸比特性

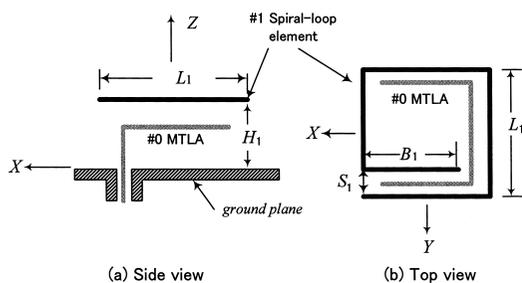


図16 うず巻き素子付き変形伝送線路アンテナ ($L < L_1$)

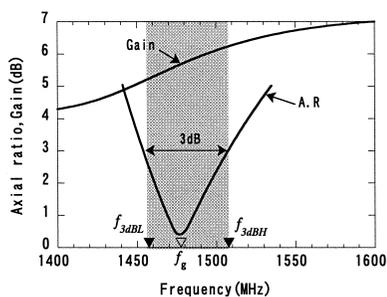


図17 軸比、利得特性 ($L_1=5.0\text{cm}$)

に配置すると、約 $f=3,100\text{MHz}$ 付近で円偏波を放射し、軸比 $\leq 3\text{dB}$ の比帯域が 16.4% 得られ、比較的広帯域な円偏波アンテナとなる。また、円偏波は、天頂方向ばかりではなく、特に Y-Z 面内では $\theta=30^\circ \sim 100^\circ$ の広い範囲で円偏波の放射が得られることや、うず巻き素子を MTLA の内部収納により、アンテナの小型化が可能できる利点等を考慮すると、本アンテナの応用範囲は広いと思われる。次に、 $L_1(5\text{cm}) > L(=W)$ のときは、うず巻き素子の寸法が $C_1=28.7\text{cm}$ ($B_1=4.0\text{cm}$, $S_1=0.3\text{cm}$) を、高さ $H_1=5.0\text{cm}$ に配置すると、約 $f=1,500\text{MHz}$ 付近で円偏波を放射し、軸比 $\leq 3\text{dB}$ の比帯域が 3.7% 、利得が 6dB 得られる。軸比は広帯域ではないが円偏波アンテナとして利用できることを示した。

本アンテナの構造が比較的複雑であるためアンテナの設計基準を明確にできなかったが、モーメント法による解析結果から、一辺の長さ L_1 が異なるうず巻き素子に対して、 B_1 , S_1 , 及び H_1 を適当に選ぶと提案したアンテナが円偏波アンテナとして動作することが判明し、円偏波アンテナ設計の基礎資料を得ることができた。また、本論文ではうず巻き素子による円偏波特性を重点的に検討したが、方形のうず巻き素子が MTLA の特性に与える影響が小さいことも判明しており、うず巻き素子付き MTLA は、垂直と円偏波を共有する偏波供用のアンテナとして利用できることを明らかにした。なお、今後は、うず巻き素子の支持方法や、うず巻き素子を複数配置した円偏波多周共用アンテナの開発を行って行きたい。

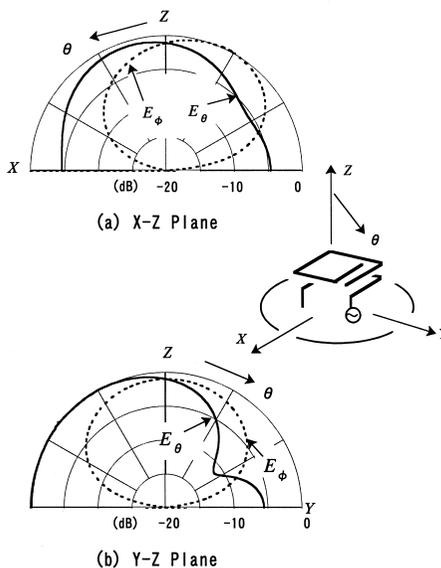


図18 垂直面内指向特性 ($f=1,480\text{MHz}$)

参 考 文 献

- [1] 匂坂敦志, “ITS 車載マルチバンドアンテナに関する一検討,” 信学技報, AP2001-167, pp.49-54, Jan. 2002.
- [2] 塩川孝泰, 唐沢好男, “軸モードヘリカルアンテナの放射特性,” 信学論(B), vol.J63-B, no.2, pp.143-150, Feb.1980.
- [3] T. Tsukiji, M. Yamasaki and K. Miyahara, “Normal mode helical antenna for wireless LAN,” Proceedings of the International ITG-Conference on Antennas, vol.178, pp.195-198, Sep. 2003.
- [4] 大久保茂, 徳丸仁, “反射板付リアクタンス装荷ループ円偏波アンテナ,” 信学論(B), vol.J69-B, no.8, pp.1044-1051, Aug. 1982.
- [5] 中村隆, 横川泉二, “円偏波用分岐導体付ループアンテナ,” 信学論(B), vol.J65-B, no.8, pp.624-630, June. 1986.
- [6] H. Nakano, S. Okuzawa, K. ohishi, H. Mimaki, and J. Yamauchi, “A Curl Antenna,” IEEE Trans. On Antennas and Propag., vol.41, no.11, pp.1570-1575, Nov. 1993.
- [7] 飯塚友嗣, 森下久, 長尾司, “円偏波フラフープ形アンテナ,” 信学技報, A・P94-101, pp.39-44, June. 1995.
- [8] 公文保則, 築地武彦, “近接無給電素子による多周波共用の自動車電話用変形伝送線路アンテナの特性,” 信学論(B-II), vol.J80-B-II, no.3, pp.296-300, March. 1997.
- [9] 公文保則, 築地武彦, “無給電素子付き円偏波変形伝送線路アンテナについて,” 第54回九支連大, no.1529, pp.807, Oct. 2001.