

板状ループアンテナに関する検討

村本 充^{†*} 石井 望[†] 伊藤 精彦[†] 佐々木金見^{††}

A Study on Planar Loop Antenna

Mitsuru MURAMOTO^{†*}, Nozomu ISHII[†], Kiyohiko ITOH[†], and Kanemi SASAKI^{††}

あらまし ページャをはじめとする小形の受信機はその携帯性からさまざまな姿勢(状態)で使用される。従って、携帯機には姿勢の変化あるいは場所の移動が伴い、それにより到来波の受信利得は大きく変動する。本論文では、板状ループアンテナの特性を詳細に調べると共に、板状ループアンテナの短絡位置を切り換えることにより偏波特性を大幅に改善できることを提案している。また、その効果をより現実的に検討するため、切換回路および発振器を内蔵したモデルで偏波特性を測定し検討している。

キーワード ループアンテナ, 偏波, 切換え, ダイバーシチ

1. ま え が き

小形の移動携帯機はさまざまな姿勢(状態)で使用されるが、携帯機の姿勢の是非により到来波の受信利得は大きく変動する。仮に、基地局から送信された電波が垂直偏波で受信機に到来したとする。このとき、受信機のアンテナの偏波方向が垂直に向いていれば到来波を最適に受信可能(偏波整合)であるが、受信アンテナが水平方向に向いている場合の受信感度は著しく劣化する(偏波不整合)。この問題は端末を胸のポケット等に収納する際に、縦に入れるか横に入れるかといった問題と対応する。もう一つの例として、端末を腕時計のように腕に取り付けて歩行している場合を考える。この場合にも、歩行による腕の抑揚(上下)によりアンテナの偏波方向は常に変動することが考えられる。

携帯電話等のように、使用時の端末の姿勢をある程度予測できる場合には、その予測をもとにアンテナの偏波面が使用時において最適になるようにアンテナを設計することが可能である。しかし、ページャ等のように端末の姿勢が定まらない場合には、アンテナの持つ指向性により到来波の受信感度が著しく劣化することがある。また、高速のデータ伝送を行うことを考え

た場合、常に安定した利得を確保することが重要な課題となる。

本論文では、板状ループアンテナの短絡素子を切り換えて用いることを提案する[1]~[4]。すなわち、二つの短絡素子の一方を短絡したときの特性と他の一方を短絡したときの特性が相異なるように設計し、使用時には感度の高いほうの素子を短絡することにより、二つのアンテナを搭載することと同等の働きをし、ダイバーシチ効果が得られる。

2. 板状ループアンテナ

2.1 線状ループアンテナ

ページャ等の受信機では、人体効果を考慮してループアンテナが用いられることが多い[5]。本論文では、ループアンテナの一種である板状ループアンテナを用いるが、まずワイヤのみで構成される通常の線状ループアンテナの特性を調べることにする。図1に示す線状ループアンテナのz軸方向に対する偏波特性($E_{\theta}(\theta=0, 0<\phi<360)$)の計算結果を図3の破線に示した。ここで、偏波特性とはz軸方向から到来し、かつ偏波の向きが ϕ である入射電界の受信利得を意味する。なお、 $l=70\text{ mm}$, $h=6\text{ mm}$ とし、周波数は280 MHzとした。計算にはモーメント法を用い[6],[7]、展開関数および試験関数には区分正弦波を使用した。偏波面はx軸方向(0度, 180度方向)を向いており、y軸方向(90度, 270度方向)にヌルを生じている。すなわち、到来波の偏波方向がx軸方向を向いている場

[†]北海道大学, 札幌市

Hokkaido University Sapporo-shi, 060 Japan

^{††}国際電気(株) 仙台研究所, 仙台市

Sendai Lab. Kokusai Electric Co. LTD, Sendai-shi, 981-32 Japan

*現在, 国際電気(株)

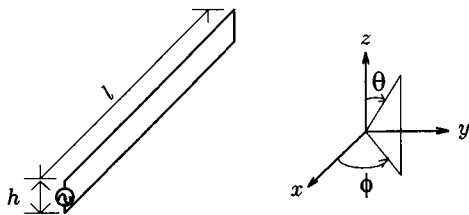


図1 ループアンテナ
Fig. 1 A loop antenna.

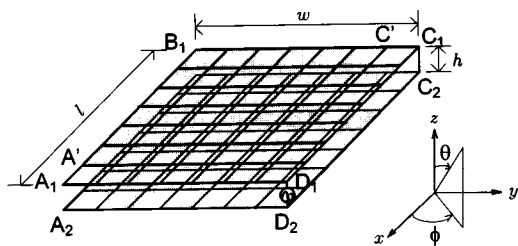


図2 板状ループアンテナとそのワイヤグリッドモデル
Fig. 2 A planar loop antenna and its wire-grid model.

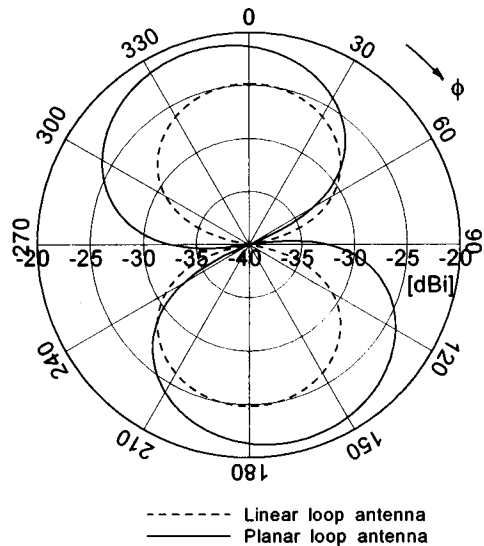


図3 線状および板状ループアンテナの偏波パターン
Fig. 3 Polarization patterns of the linear and planar loop antennas.

合には入射電界とアンテナの偏波面が一致（偏波効率=1, 偏波整合）しており, この到来波を最適に受信可能であるが, y 軸方向の偏波成分は偏波不整合のため受信できないことを意味する。

2.2 板状ループアンテナの基本特性

線状ループアンテナのワイヤの一部を導体板で置き換えることで構成されるアンテナは板状ループアンテナと呼ばれる。本論文では, 図1の線状ループアンテナの長さ方向 (x 軸方向) に対応するワイヤを導体板で置き換えることにした。この様子を図2に示す。板状ループアンテナは, 後で示すように線状ループアンテナよりも利得が大きいという長所をもつ。また, アンテナ導体板を無線機筐体と兼用することが可能であると共に, アンテナ内部に存在する回路がアンテナの諸特性に及ぼす影響が少ないという特徴も持っている。

板状アンテナの解析にはモーメント法を用い, 板状部分は図2に図示したように1cm間隔のワイヤグリッドで近似した。

図2の板状ループアンテナにおいて, $l=70$ mm, $w=70$ mm, $h=6$ mmとしたときの z 軸方向に対する偏波特性の計算値を図3に実線で示した。線状アンテナとの比較から, ワイヤを導体板で置き換えることにより利得が約4dB上昇していることがわかる。この理由として, ワイヤを導体板に置き換えたことによりアンテナ面積が増大し電流が流れやすくなったこと

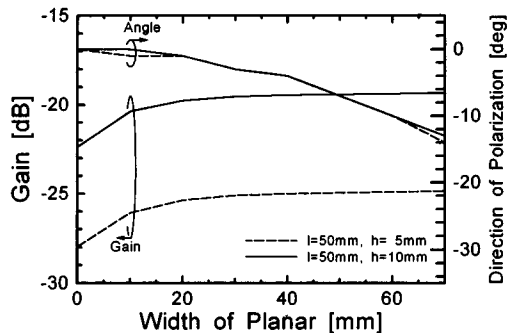


図4 導体板の幅と利得および偏波の傾斜角の関係
Fig. 4 Relations of the width of the plalar and the maximum gain and its direction.

が考えられる。また, 給電点から短絡点への直線的な経路以外の電流経路が発生することにより, 偏波面が約15度傾斜している。

導体板の大きさ利得および偏波面の傾斜角の関係を図4に示した。横軸は導体板の幅方向の長さ w で, 縦軸は偏波特性の最大利得およびその方向（偏波面の傾斜角）を示す。ワイヤを導体板に置き換えると利得は上昇する。しかし, 特性を最も大きく左右する最短経路となるループ部分 ($D_1-C_1-C_2-D_2-D_1$) は変化していないため, 導体板の幅による利得の増加は飽和する。また, 導体板の大きさが大きくなるにつれ, 偏波面は x 軸方向 (0度方向) から傾いていく。

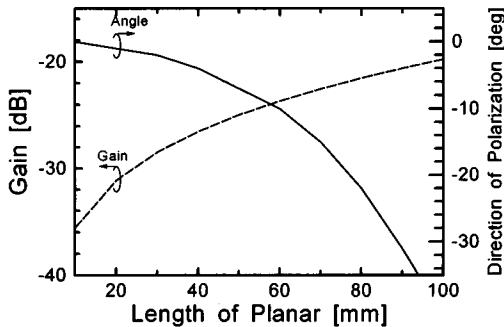


図5 導体板の大きさと利得および偏波の傾斜角の関係
Fig. 5 Relations of size of the planar and the maximum gain and its direction.

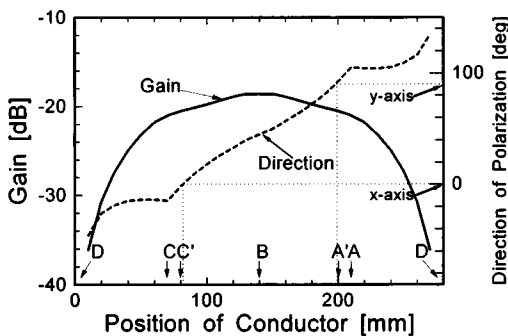


図6 短絡位置と利得・偏波および傾斜角の関係
Fig. 6 Relations of the short position and the maximum gain and its direction.

図5は、導体板の形状を正方形に固定し、アンテナの大きさを変化させた場合の利得と偏波面の傾斜角の関係を示したものである。横軸は導体板の辺の長さ $l (= w)$ を示し、縦軸は偏波特性の最大利得およびその方向（偏波面の傾斜角）を示す。この場合にも、アンテナが大きくなるにつれ偏波面の傾斜角が大きくなることわかる。

2.3 短絡位置による特性変化

アンテナを縦横 70 mm、高さ 6 mm ($l = w = 70$ mm, $h = 6$ mm) とし、短絡位置を板の周囲に沿って移動させ、利得および偏波面の傾斜角の変化を調べた結果を図6に示す[4]。横軸は、給電点 D から短絡点までの距離で、板の周囲を反時計回りに測定する。例えば、C 点で短絡した場合が 70 mm、B 点で短絡した場合が 140 mm、A 点で短絡した場合が 210 mm に対応する。縦軸は、 z 軸方向における偏波特性の最大利得およびその方向（偏波面の傾斜角）を示す。

給電点から短絡点を通り給電点に戻る最短経路を

ループ長と呼ぶことにすると、利得の大きさはこのループ長に大きく依存する。図6の利得において、DC 間と CB 間とで傾きが大きく異なるのは、短絡点が DC 間にあるときと CB 間にあるときとでループ長の変化の割合が異なるためである。C 点を短絡した場合と B 点を短絡した場合との利得の差は約 2.5 dB である。

短絡位置が板の周囲を 1 周するとき、偏波角は 180 度回転する。特に、C から A にかけては単調な変化をする。また、偏波面が 0 度あるいは 90 度方向を向くのは、角部 A、C からそれぞれ 10 mm 程度 B 点に近い位置 (A', C') で短絡した場合であることがわかる。

3. 偏波切換えアンテナ

3.1 原理

図7のように二つの短絡点をもった板状ループアンテナを考える。但し、二つの短絡点のうちどちらか一方だけが有効であるものとする。図6からわかるように、短絡位置を角部から約 10 mm ずらすことにより偏波面は x, y 軸と平行な方向を向く。すなわち、A' を短絡したとき偏波面は y 軸方向を向き (図8の破線)、C' を短絡したとき偏波面は x 軸方向を向く (図8の実線)。従って、この二つの短絡点を制御することができるならば、二つのアンテナを搭載したのと同等の効果 (偏波ダイバーシチ) が得られる [1]~[4]。図8に A' および C' をそれぞれ短絡したときの偏波特性を示した。図中、丸印は測定値を示す。測定の方法については次節で述べるが、測定値と計算値とはほぼ一致している。

3.2 基礎実験

二つの短絡点 A', C' に切換えスイッチを設け、どちらか一方のみを短絡した場合に、前節で示したように偏波面の切換えが実際に可能であるかどうかを実験的に検討する [4]。本論文では基礎実験として、短絡位置を一定周期で交互に切り換えたときの偏波特性を測定する。そのため、図7で示したアンテナにおいて、2枚の導体板の間に回路基板、電池を配置する。また、この回路基板には、発振器 (280 MHz)、制御回路、スイッチ (GaAs FET) および整合回路を組み込む。この回路構成の概略を図9に示した。本実験では、導体板の形状が正方形であり、また、給電点から二つの短絡点までの距離が等しいため、どちらの短絡点を短絡した場合にも入力インピーダンスがほぼ等しく整合回路を切り換える必要はない。

一般には指向性の測定は受信特性が評価されるこ

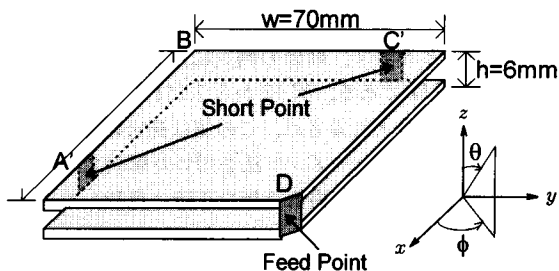


図7 二つの短絡点をもつ板状ループアンテナ
Fig.7 A planar loop antenna with two short elements.

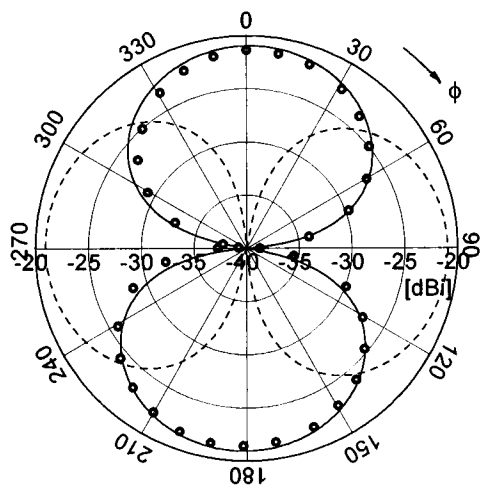


図8 板状ループアンテナの偏波特性
Fig.8 Polarization pattern of the planar loop antenna.

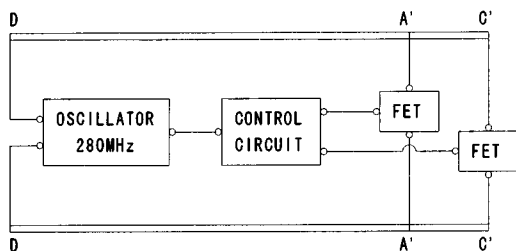


図9 回路の概略
Fig.9 A circuit.

とが多い。しかし、受信特性の測定では測定アンテナ(板状ループアンテナ)にケーブルをつなぐ必要があるが、波長に比べ極めて小さな小形アンテナの場合にはケーブルに生じる電流が無視できなく、正確な測定結

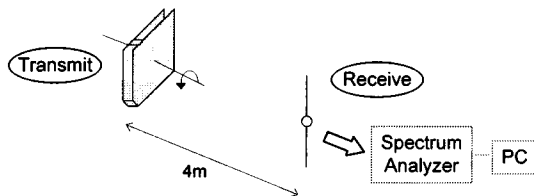


図10 測定環境
Fig.10 An environment of measurement.

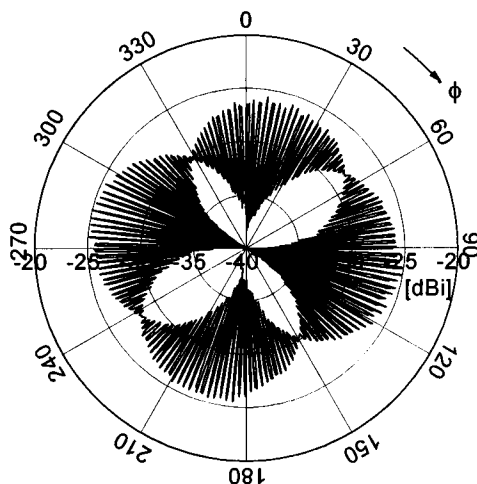


図11 切換えアンテナの偏波特性
Fig.11 Polarization pattern of the switching antenna.

果が得られない。そこで、本論文ではスペクトラムアナライザを用いて送信特性を評価した[8]。すなわち、板状ループアンテナに内蔵した発振器により280MHzで送信し、それを4m離れた位置にある基準ダイポールで受信し、スペクトラムアナライザ(HP8592A)を用いて測定した(図10)。

図11に測定結果を示す。図から、短絡点A', C'が交互に切り換わっている様子がわかり、二つの8の字特性が推測できる。言い換えると、測定された特性はA'およびC'をそれぞれ短絡したときの偏波特性を合成した形となっている。

測定結果から板状ループアンテナに設けた二つの短絡位置のどちらか一方のみを短絡した場合のアンテナの放射特性は、短絡していないもう一方の短絡ピンの影響をほとんど受けないことが明らかになった。従って、二つの短絡位置のうち利得の高いほうを判別し適当な切換えを行うことによって偏波ダイバーシチ効果が得られ、切換えを行わない場合に存在するヌルを改善できる。また、このとき偏波特性の最大値と最小値

の差を 3dB 程度におさえることが可能である。これにより、携帯機の姿勢によらず安定した受信利得を確保することが可能となる。また、最近の通信方式では受信機のバッテリーを節約するために間欠受信を行うことが一般的となっており、常に信号を受信しているわけではないので、受信直前に利得の高い短絡位置を選択する等の方法が適用可能である。

偏波ダイバーシチを行った場合に顕著に現れる効果として、図 7 のアンテナを辺 CD, 辺 AD のどちらが垂直方向になっているときにも受信利得が同じであることがあげられる。このことは、図 7 の形状の端末を胸のポケット等に入れる場合の入れる向きに対応する。

なお、本論文では二つの短絡位置の切り換えを行ったが、二つ以上の短絡位置を切り換えることにより更に特性を向上させることも可能である。

本論文では導体板を正方形とし、二つの短絡位置を切り換えることにより偏波面の方向を 90 度異なるように設計したが、導体板が長方形の場合にも短絡位置を適当に選ぶことで同様の切り換えが可能である [1],[2]。

3.3 素子抵抗と利得低下

前節では切り換えを行うことにより偏波特性におけるヌルをなくすことができることを示したが、切換素子(今回は FET)の内部抵抗により利得が劣化する欠点ももつ [4]。切り換えを行った場合の最大利得は図 11 から約 -25 dB で、図 8 に示す切換素子 (FET) を用いない場合に比べ約 4~5 dB 劣化している。

つぎに、素子の内部抵抗による利得低下の割合を検討するため、モーメント法 [6],[7] を用いたシミュレーションを行う。図 2 に示した計算モデルにおいて点 C' に集中定数を付加することで素子抵抗を表現する。図 12 は素子抵抗を 0Ω から 2.0Ω まで変化させたときの

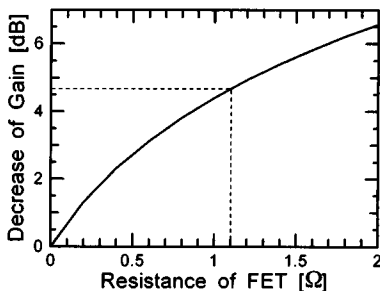


図 12 素子抵抗と利得低下の関係

Fig. 12 Relations of the inner resistance and the decline of the gain.

利得低下量を示している。但し、0Ω は集中定数を付加しないことを表す。前節の測定に用いた FET の内部抵抗は 1.1Ω である。図 12 から 1.1Ω における利得低下量は 4.7 dB と計算され、この値は測定結果と一致する。これより、モーメント法を用いた解析で切換素子の内部抵抗による利得低下量を正確に見積もることが可能であることが明らかになった。

4. ま と め

薄形板状ループアンテナについて検討した。特に、通常のループアンテナと板状ループアンテナとの相違を検討した。また、環境により利得が大幅に落ち込むのを防ぐため、偏波切換えアンテナを提案し、その基礎実験を行った。FET を用いて短絡位置を交互に切り換えたときの偏波パターン特性を測定し、偏波切換えの可能性を明らかにし、偏波ダイバーシチアンテナを実現できることを示した。また、切換素子の内部抵抗の影響を考察し、モーメント法による解析が可能であることを示した。

今後は、フィールド評価等を行っていく予定である。

謝辞 本研究の一部は文部省科学研究費補助金基盤研究 (A)(2)07405019 により行われた。

文 献

- [1] 村本 充, 石井 望, 伊藤精彦, “切替可能な短絡素子付きカードページ用小形アンテナ,” 1994 信学秋大, B-33.
- [2] 村本 充, 石井 望, 伊藤精彦, “薄型板状アンテナの偏波切替に関する実験的検討,” 1995 信学ソ大, B-37.
- [3] 村本 充, 石井 望, 伊藤精彦, “切替素子付き板状アンテナの偏波切替の基礎実験,” 1996 信学総大, B-155.
- [4] M. Muramoto, N. Ishii, and K. Itoh, “A proposal of a small planar loop antenna whose polarization direction can be switched electrically,” 1996 IEEE AP-S International Symposium, 1, pp.726-729, 1996.
- [5] K. Fujimoto, A. Henderson, K. Hirasawa, and J.R. James, Small Antennas, pp.112-116, Research Studies Press, 1987.
- [6] N. Ishii and K. Itoh, “Analysis on small planar antenna in a paging system,” IEICE Trans., vol.E-74, no.10, pp.3233-3240, 1991.
- [7] N. Ishii and K. Itoh, “A consideration of the thin planar antenna with wire-grid model,” IEICE Trans., Commun., vol.E76-B, no.12, pp.1518-1525, 1993.
- [8] 齊藤広隆, 佐々木金見, 大宮 学, 伊藤精彦, “板状ループアンテナの放射指向特性に関する実験的考察および NEC2 による解析,” 1994 信学秋大, B-74.

(平成 8 年 9 月 6 日受付, 11 月 18 日再受付)



村本 充 (正員)

平4北大・工・電子卒。平6同大大学院修士課程了。同年国際電気(株)入社。平9同大大学院博士課程了。この間、小形アンテナの解析および測定に従事。現在、同社千歳工場無線技術開発センタ勤務。工博、IEEE会員。



石井 望 (正員)

平元北大・工・電子卒。平3同大大学院修士課程了。同年同大・工・電子・助手、現在に至る。この間、小形アンテナの数値解析ならびに測定に従事。工博、平6学術奨励賞受賞。IEEE会員。



伊藤 精彦 (正員)

昭38北大・工・電気卒。昭40同大大学院修士課程了。同年同大・工・電子・講師、昭41同助教授、昭54同教授、現在に至る。この間、電磁波、アンテナ、情報伝送、放送衛星による時刻と周波数の精密比較、スーパーリゾリューション法を用いた電磁波測定、太陽発電衛星等の研究に従事。昭45~46米・シラキユース大にてアンテナシステムに関する研究に従事。工博。昭43年度米沢賞、平3SPS論文賞受賞。IEEE、テレビジョン学会各会員。



佐々木金見

昭46青森県立五所川原高校・電気卒。同年国際電気(株)入社、現在に至る。この間、高周波フィルタおよび移動体通信用小形アンテナに関する研究に従事。