

## ワイヤレス PAN を目指した広帯域アンテナ

倉本 晶夫<sup>†</sup>

Wideband Antenna for Wireless Personal Area Network

Akio KURAMOTO<sup>†</sup>

あらまし 最近, UWB 技術を用いたワイヤレス PAN やワイヤレス USB を実現するための小形・広帯域のアンテナが多数提案されている. UWB 技術を用いたワイヤレス PAN では, 3.1~10.6 GHz の周波数を利用して, 高画質の動画をリアルタイムに転送することができる. また, ワイヤレス USB では, USB によるデータ転送をワイヤレス化するものであり, デジタルカメラなどの大きな動画ファイルも UWB 技術により数秒で転送が可能になる. いずれの用途においても, 小形で広帯域のアンテナが必要になる. 特にワイヤレス USB 端末では, アンテナ放射素子部の最大寸法を 20 mm 程度以下とする要望がある. 本論文は, ワイヤレス PAN やワイヤレス USB を実現するために, 今まで報告されてきた小形・広帯域化技術を取り上げて紹介する. 更に, その中の有力なものについて, その特性と課題について示す.

キーワード UWB, ワイヤレス PAN, ワイヤレス USB, 広帯域アンテナ, ポウタイアンテナ

### 1. ま え が き

近年, UWB (Ultra Wide Band) 技術を用いたワイヤレス PAN (Wireless Personal Area Network) などの高速な無線伝送が提案 [1] されている. その中で最も期待されている実用化技術の一つとして, PC (Personal Computer) による画像や大容量のデータ伝送を目的としたワイヤレス TV やワイヤレス USB への適用がある. UWB 技術を用いた通信方式としては, 現在, モノパルス方式やマルチバンド OFDM 方式が提案されているが, ワイヤレス TV やワイヤレス USB の分野では, マルチバンド OFDM 方式が先行する見込みである.

UWB で用いられる帯域は, FCC により 3.1~10.6 GHz と定義されているが, ワイヤレス PAN の適用分野では, 日本国内で 3.4~4.8 GHz が, 海外を含めて 3.1~4.8 GHz の周波数帯域がはじめに用いられる見通しである. 更に, 5 GHz 帯の無線 LAN 帯域を除いた 6 GHz 以上の周波数を用いる開発 [2], [3] も行われている.

本論文では, 先行する 3.1~4.8 GHz の周波数帯域

を見すえ, これに対応する比帯域 43% をカバーできるアンテナを対象とする. 広帯域な特性を有し, UWB アンテナ発案の出発点となるアンテナ, UWB 用途ではないが応用できそうなアンテナ, 及び近年の発表の中から, ワイヤレス PAN の実用化に有効な広帯域アンテナ [4] を紹介する.

ワイヤレス PAN に用いるアンテナの要件としては, VSWR (リターンロス) の帯域, 使用条件にマッチした放射パターン及び放射パターンの周波数特性, 偏波特性などが重要 [5] であるが, 多くの論文で放射パターンの議論が深く行われていないのが現状である. これは, ワイヤレス PAN 製品全体の実用化検討の遅れなどが影響している. また, UWB で議論される群遅延特性は, マルチバンド OFDM 方式の場合, 影響しない. したがって, 本論文では, VSWR (リターンロス) を中心とした広帯域特性を, どのようなアイデアで実現されているかという観点に重点をおいて解説していく.

まず, 2. で, ワイヤレス PAN 用途に開発された広帯域アンテナを簡単に分類し, 3. 以降, その分類に従って, モノポール系のアンテナ, 4. でダイポールまたはポウタイ系のアンテナ, 5. でループ系のアンテナ, 6. でハーフループ系のアンテナを説明する. 更に, 7. で特に小形化が重要なワイヤレス USB 用の広帯域ア

<sup>†</sup> NEC 株式会社, 川崎市  
NEC Corporation, Kawasaki-shi, 211-8666 Japan

ンテナについて解説し、8. でまとめとする。

なお、近年、非常に多くの広帯域アンテナが報告されており、本論文で紹介する広帯域アンテナは、そのごく一部であり、国内論文を中心に紹介する。

## 2. 広帯域アンテナの分類

古くから多くの広帯域アンテナが提案されているが、ワイヤレス PAN やワイヤレス USB 用途に提案されてきたアンテナ、またはそれらの発案の出発点となっているアンテナは、経験的に以下の四つのタイプと考える。

- (1) モノポール系のアンテナ
- (2) ダイポールまたはボウタイ系のアンテナ
- (3) ループ系のアンテナ
- (4) ループを半分にしたハーフループ系のアンテナ

上記で(4)については、一般的な呼称がないため、ハーフループ系と呼ぶことにする。また(1)と(2)については、視点をどこにおくかで分類が分かれるものもあるが、外觀形状及び発案者の広帯域化の考え方を考慮して分類した。なお、上記以外に、テーパスロットアンテナ等他の広帯域アンテナもあるが、大きさや指向性の観点から、ワイヤレス PAN への応用例は見当たらない。

以下、タイプ別に解説する。

### 3. モノポール系のアンテナ

モノポール系のアンテナは古くから多様な形状のアンテナが提案されている。ワイヤレス PAN やワイヤレス USB で用いるためには、広いグラウンド板の存在は機器内への実装の観点で問題となる。しかし、近年では、グラウンド板が小さく工夫されていたり、大地と平行ではなく、放射素子同様に垂直に配置して機器への実装を容易にした形状のアンテナも多く提案されている。広いグラウンド板の有無についても分類して説明する。

#### 3.1 広いグラウンド板を有するモノポール系のアンテナ

UWB 用途のアンテナの出発点として、非常に多くの論文に参照されているアンテナは、図 1 に示す Volcano Smoke アンテナ [6] と、図 2 に示す円形ディスクモノポールアンテナ [7] である。

Volcano Smoke アンテナは、同軸線路を立体的なモノポール素子である Smoke 部分に給電するため、イ

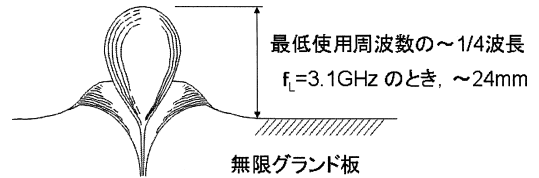


図 1 Volcano Smoke アンテナ

Fig.1 Volcano Smoke antenna.

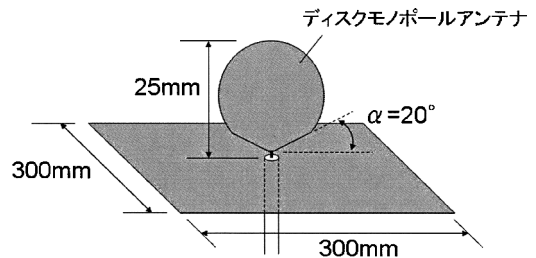


図 2 ディスクモノポールアンテナ

Fig.2 Disk monopole antenna.

ンピーダンスを徐々に変換するように、Volcano 部分と組み合わせたアンテナである。最低使用周波数  $f_L$  は、Smoke 部分をモノポールと考えれば、Smoke 部分の高さは  $1/4$  波長となる。非常に広帯域な特性を有している [8] が、構造が立体的かつ複雑である。

これに対し、図 2 のディスクモノポールアンテナは、300 mm 四方のグラウンド板上に、直径が 25 mm の薄い円形ディスクの放射素子を配置したシンプルな構造で、2.5 ~ 20 GHz 以上でリターンロス  $-10$  dB 以下の測定結果を得ている。更に、図 2 の  $\alpha = 20^\circ$  で円形ディスクの下側をカットすることで、リターンロスを  $-15$  dB 以下 ( $\sim 12$  GHz) に改善が可能である。このアンテナは垂直偏波で、方位方向にオムニ指向性をもつ。

その後、円形ディスクの代わりに、任意形状の板状素子を用いるアンテナが多数報告 [9], [10] されている。図 3 に、台形の放射素子を用いた例 [9] を示す。板状モノポールには様々な形状があるが、一般に、単純な方形素子を用いるよりも下部から上部に徐々に大きくなる台形素子や五角形素子を用いた方が広帯域となる。これは、放射素子の下部とグラウンド板との距離が徐々に大きくなる構造の方がインピーダンス整合が良好となるからである。このことは、図 1 及び図 2 の構造からも理解できる。図 3 のサイズでは、リターンロス  $-10$  dB 以下の帯域は、1.08 ~ 2.94 GHz となる測定結果が得られている。更に、台形素子のグラウンド側の下底辺に  $20^\circ$  のテーパをつけて五角形にすれば、上限周

波数は 5.41 GHz までカバーできる。

また、半円板の放射素子を円筒状にまるめて構成した円筒型半円モノポールアンテナ [10] を図 4 に示す。放射素子を円形にするよりも幅広の半円の方が若干低姿勢化できる。そして、幅広の半円の素子を円筒状にまるめることで小形化と VSWR 特性の改善を達成している。図 4 の寸法において、0.8 ~ 13 GHz 以上で VSWR1.5 以下の測定結果を得ている。このアンテナは、携帯電話の電波が届かない地下街の天井等に設置される小形基地局アンテナ [11] として用いられている。広帯域な特性をもつため、800 MHz 帯と 1.5 GHz 帯を兼用している。

図 5 に、UWB 用途の基準アンテナを目指した涙滴

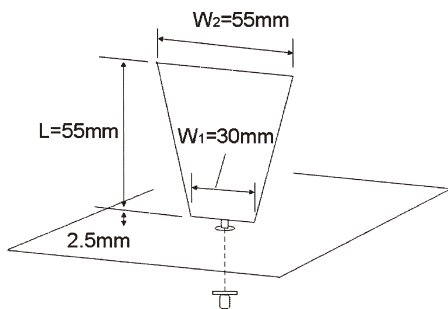


図 3 台形素子を用いた平面モノポールアンテナ  
Fig.3 Trapezoidal planar monopole antenna.

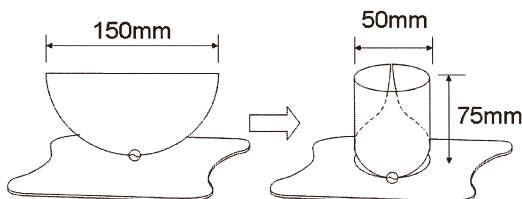


図 4 円筒型半円モノポールアンテナ  
Fig.4 Rounded semi-circular antenna.

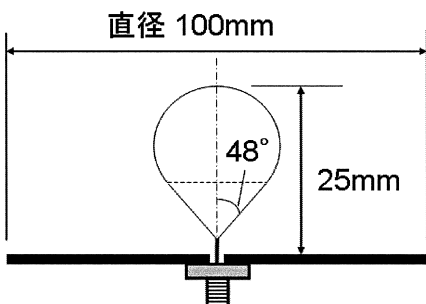


図 5 涙滴型の素子を用いたモノポールアンテナ  
Fig.5 Monopole antenna using teardrop element.

型の素子から構成されるモノポールアンテナ [12] を示す。このアンテナは、導体から構成される円錐と円錐に内接する球を組み合わせたもので、図 1 の Volcano Smoke アンテナを簡素化したものと考えられる。立体的でありながらシンプルかつ容易に再現できる構成となっている。円錐部の開き角を調整してインピーダンス整合をとり、3 ~ 20 GHz 以上で VSWR1.4 以下の測定結果が得られている。

図 1 ~ 図 5 のように、モノポール系のアンテナの場合、広い帯域を得るために整合が重要であるが、この問題を、遺伝的アルゴリズムを用いて外形形状を決定する方法 [13], [14] も提案されている。

インピーダンス整合について、給電点を複数設けることで良好な整合特性を得た方形板状モノポールアンテナ [15] を図 6 に示す。通常、1 箇所で行われる給電部を 3 分岐し、方形板状素子の下端部 3 箇所給電する。給電部の間隔及び高さを調整することで、広帯域で良好な整合特性を得ている。40 mm の正方形素子を用いた場合で、1.376 ~ 11.448 GHz をリターンロス -10 dB 以下でカバーする測定結果が得られている。

広いグラウンド板を機器の筐体と共通化して良好なアンテナ特性を得る方法として、図 7 の円柱状のモノポールアンテナ [16] が提案されている。中空の円筒と円錐を組み合わせた高さ 20 mm のモノポールを、幅 60 mm × 高さ 120 mm のグラウンド板の右肩部に配置した構成である。携帯端末用途のアンテナで、UMTS/WLAN (2.4 GHz 帯&5 GHz 帯) の共用を考え、1.843 ~ 10.613 GHz でリターンロス -10 dB 以下の測定結果が得られている。モノポール部の高さは、最低使用周波数の 1.843 GHz で約 0.12 波長である。グラウンド板を含めた全体の大きさは小形化されてい

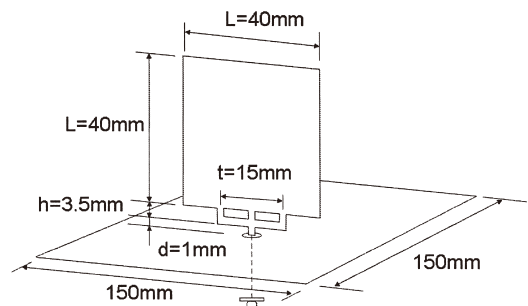


図 6 3 箇所給電した方形板状モノポールアンテナ  
Fig.6 Square planar monopole antenna with a trident-shaped feeding strip.

いが、実装を考慮して検討した点において有効な事例といえる。

図8のアンテナは、グランド板上に、回転形扇形導体素子とその上端周囲に円環状のパッチ素子を4本の導体ピンで支持した構成で、PSPアンテナ(patch with a ring slot and conducting pins antenna) [17], [18] と呼ばれる。図8において、高さ  $H = 10\text{mm}$  で  $2.17 \sim 15.27\text{GHz}$  を  $\text{VSWR}2.0$  以下でカバーする計算結果が得られている。円環状のパッチの直径は  $40\text{mm}$  あるが、高さ  $H$  は最低使用周波数で  $0.072$  波長であり、非常に低姿勢化されている。

### 3.2 広いグランド板を必要としないモノポール系のアンテナ

上記 3.1 では、広いグランド板の存在が、ワイヤレス PAN 機器への実装を困難にしていたが、近年の提案では、小さなグランド板でも有効な性能が得られる

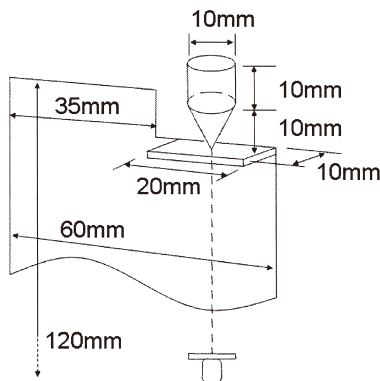


図7 携帯電話用円柱状モノポールアンテナ

Fig. 7 Wideband cylindrical monopole antenna for mobile phone.

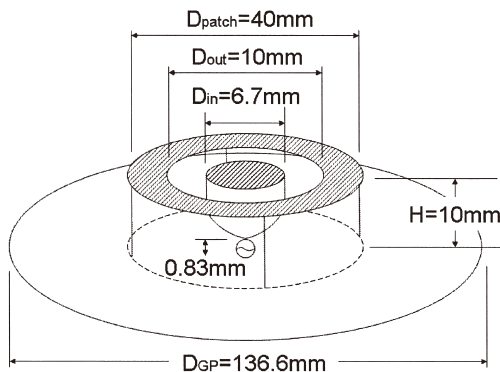


図8 超広帯域 PSP アンテナ

Fig. 8 An extremely wideband PSP antenna.

アンテナが多数提案されており、いくつかの事例について解説する。

はじめに、図9は、プリント基板により構成されたアンテナで、楕円形の放射素子を用いた広帯域楕円形平面アンテナ [19] である。従来、放射素子と直角に配置されていたグランド板を、素子と平行のプリント基板のグランド導体で代用したもので、モノポールアンテナとスリーブアンテナの関係に似ている。この例では、楕円の長軸と短軸の長さの比により帯域が若干変化する。図9で、 $a = 0.8b$  ( $b = 50\text{mm}$ ) の場合、 $1.7 \sim 15.4\text{GHz}$  で  $\text{VSWR}2.0$  以下の測定結果が得られている。この構造においては、広い帯域で良好なインピーダンス整合が難しく、図9における楕円形放射素子下部と裏側グランド導体との境界での微妙な寸法調整が必要 [20] となる。

整合調整の問題をより容易にするために、図10のような裏側グランド導体にV字状の溝を入れ、この部分の寸法調整により整合を行う方法 [21] が提案されている。図10の裏面のV字溝の寸法で、 $L_a = 11.2\text{mm}$ 、

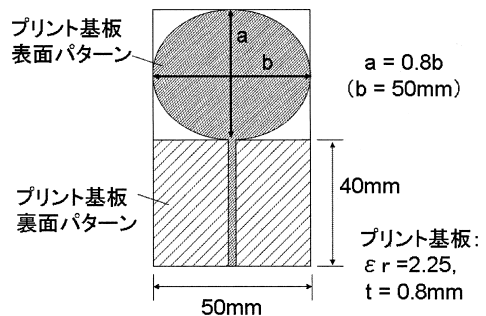


図9 広帯域楕円形平面アンテナ

Fig. 9 Wideband planar elliptical antenna on PCB.

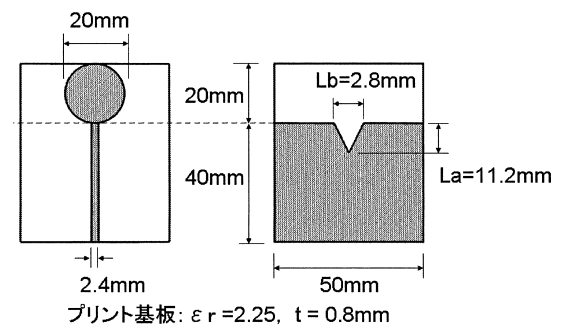


図10 円形プリントモノポールアンテナ

Fig. 10 Printed circular disc monopole antenna.

$L_b = 2.8 \text{ mm}$  としたとき、約 2.6~12 GHz 以上で  $VSWR1.78$  以下の実測値が得られている。

図 11 は、五角形の放射素子の板状モノポールアンテナを、厚さ 0.1 mm のフレキシブル基板で構成した外觀写真 [22] である。図 9 及び図 10 の構造は、グランド導体面積も小さく、スリーブ構造にすることで機器への収納性は良くなっているが、図 11 のように、薄型基板で構成することで、アンテナに柔軟性をもたせることができ、機器への収納性を向上させている。図 11 のアンテナは、同じ厚さ 0.1 mm の FR-4 基板 (比誘電率  $\epsilon_r = 4.4$ ) で製作した場合、2.8~10 GHz 以上を  $VSWR2.2$  以下でカバーする測定結果を得ている。

一方で、PCMCIA カードなどへの実装を考えた場合、図 9~図 11 以外の構成で、図 12 に示すような楕円形リングアンテナ [23] が有効である。楕円形リングアンテナは、板状モノポールの放射素子部分に楕円形のリングを用い、くりぬく楕円形状サイズを適切に選ぶことで、広帯域で良好な  $VSWR$  特性を得るこ

とができる。外形 24 mm×15 mm の楕円素子の内部を、12 mm×7.5 mm の楕円でくりぬくことで、3.1~11 GHz 以上で  $VSWR1.8$  以下の計算結果を得ている。

図 9~図 12 では、グランド導体部は方形であったが、小形化を更に推し進めていくと、グランド側導体部も適切な形状にする必要がでてくる。グランド側導体部の構造を逆 U 字状とし、上部の放射素子を大小 2 枚の構造としたアンテナ [24], [25] を図 13 に示す。図 9~図 12 のような比較的小さなグランド導体の場合、逆 U 字状に電流が分布するため、必要最小の導体として逆 U 字状素子を用いている。また、上側の放射素子は、2 種類の楕円状素子を用いて広帯域な特性を得ている。片側の楕円素子に穴があいているのは、素子間の相互結合を軽減するためである。 $VSWR2.0$  以下の帯域は、実測値で 1.92~11 GHz 以上が得られている。

更に、このアンテナをデスクトップタイプの PC の前面に配置した場合の検討 [26] も行われている。図 14

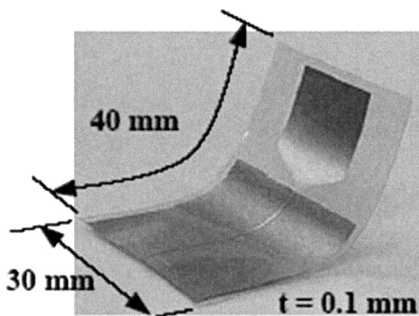


図 11 UWB 用薄型平面アンテナ (フレキシブルアンテナ)  
Fig.11 Planar UWB antenna fabricated on thin films.

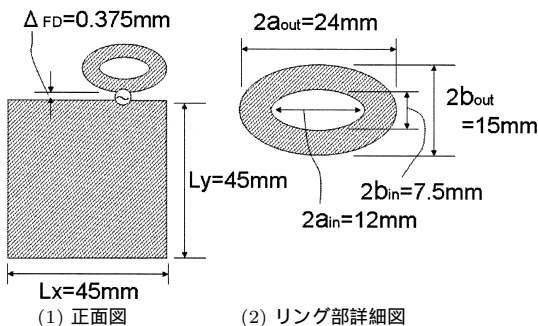


図 12 広帯域楕円形リングアンテナ  
Fig.12 An elliptically shaped ring broadband antenna.

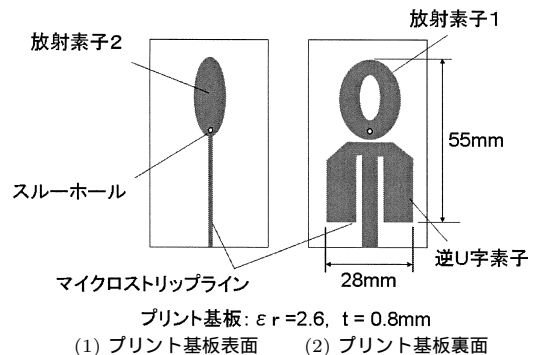


図 13 2 種類の楕円素子を平行に配置した平面型の UWB アンテナ  
Fig.13 Flat type UWB antenna consisting of two kinds of elliptical elements located in parallel.

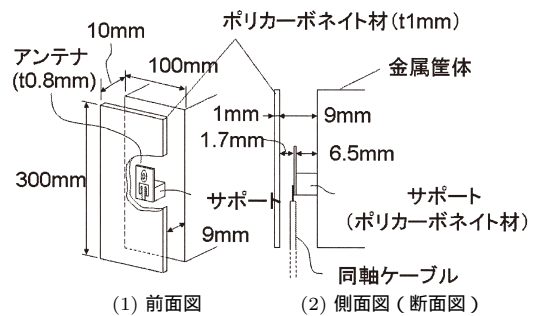


図 14 金属筐体近傍に置かれた平面型の UWB アンテナ  
Fig.14 Flat type UWB antenna located near the metal plate.

に、金属筐体の PC の前面 10 mm の厚さ以内にプラスチックカバーを用いて内蔵する場合の構成を示す。アンテナ自身が無指向性のため、PC 金属筐体からの反射の影響が大きく、3.1~4.9 GHz で VSWR2.3 以下の測定値が得られている。

なお、FCC が定義する UWB バンドは、3.1~10.6 GHz であり、5 GHz 帯の無線 LAN バンドを挟んでいることから、3.1~10.6 GHz をカバーし、かつ、5 GHz 帯にノッチをもたせたアンテナも多数提案されている [27]~[30] が別の機会に譲る。

#### 4. ダイポールまたはボウタイ系のアンテナ

ダイポール及びボウタイアンテナは平衡型であるため、モノポール系のアンテナのように広いグランド板を必要とせず、ワイヤレス PAN 機器の実装には有利である。しかしながら、3.2 に説明したように、モノポール系のアンテナにおいてもグランド導体を小さくして広帯域化が可能になってきており、素子自身の小形化アイデアも重要である。更に、通常のボウタイアンテナでは、入力インピーダンスが 180 Ω 前後と高いため、50 Ω への広帯域な変換整合回路をいかにコンパクトに組み込めるかが重要な課題である。

小形化された広帯域ダイポールアンテナとしては、三角形の板状ダイポール素子を丸めて構成した筒型アンテナ [31] がある。構造を図 15 に示す。小形化という観点で、非常に有効な技術である。構造がやや複雑であるため、製品化の観点では実現に際して工夫が必要である。長さ 400 mm、幅 600 mm の直角三角形の素子を 20 mm の間隔で丸めた場合、350 Ω の給電線に対し、270~450 MHz 以上で VSWR2.0 以下の測定値が得られている。

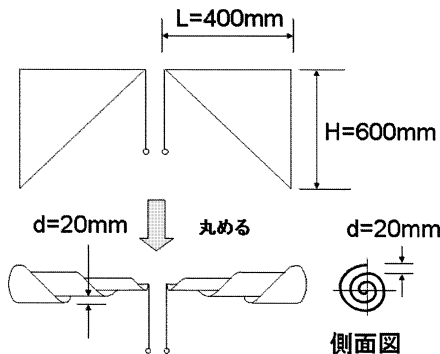


図 15 筒型アンテナ  
Fig. 15 Bamboo type antenna.

次に、50 Ω への変換整合回路をテーパ状のストリップラインで構成し、かつ、そのテーパ整合回路を片方の素子の裏側に配置したアンテナ [32], [33] を図 16 に示す。ひし形の放射素子を用い、素子のある部分とない部分の関係が、有限ながら自己補対構造になっている。この種のアンテナでは、テーパ線路による整合回路がよく用いられるが、下側素子の裏側に配置したことで、全体的に小形化を実現されている。このアンテナは、3~12 GHz でリターンロスが -10 dB 以下となる測定結果が得られている。なお、このアンテナは、群遅延特性を含む伝送特性も検討 [32], [33] されている。

放射素子形状として、台形を用いたアンテナ [34] を図 17 に示す。この台形素子発案の出発点も三角形の頂点を対にした自己補対アンテナである。長さを有限長としたとき、図 17 の  $B_1, B_2 = 0$  では広帯域性が得られなかったため、 $B_1$  及び  $B_2$  に寸法をもたせ、台形とし、広帯域特性を得たものである。更に、上下の台形サイズを変えることで、多様な共振特性をもたせ、

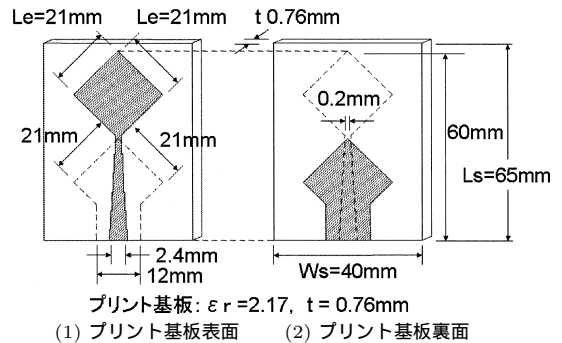


図 16 自己補対放射素子を用いた広帯域プリントダイポールアンテナ

Fig. 16 Broadband printed dipole antenna employing self-complementary radiating element.

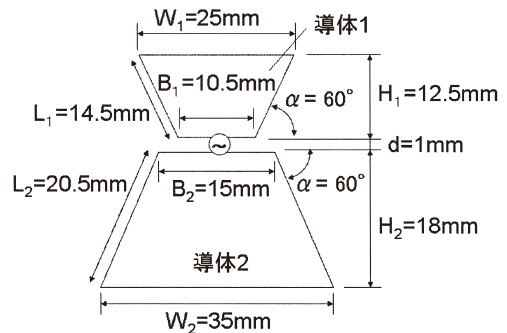


図 17 UWB 用平面ダイポールアンテナ  
Fig. 17 Planar dipole antenna for UWB.

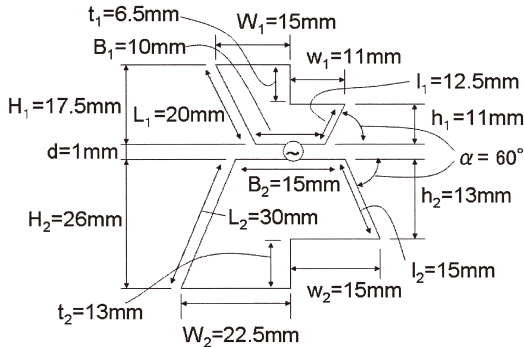


図 18 UWB・無線 LAN 共用平面非対称ダイポールアンテナ  
 Fig. 18 Planar asymmetric dipole antenna for UWB and wireless LAN.

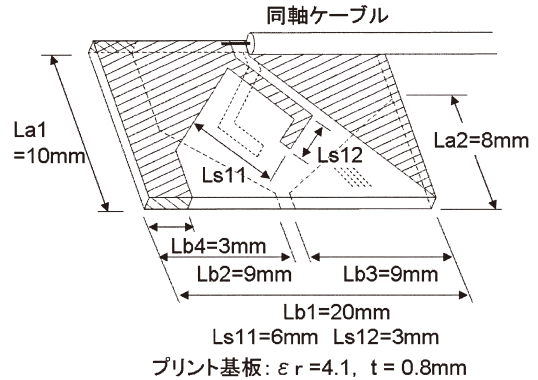


図 20 三角形の素子を組み合わせせた小形 UWB アンテナ  
 Fig. 20 Small UWB antenna using triangular elements.

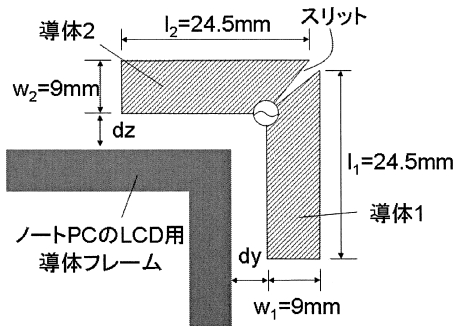


図 19 ノート PC 用小形広帯域アンテナ  
 Fig. 19 Wideband antenna for note-type PC.

広帯域な VSWR 特性を実現している．導体 1 と導体 2 のサイズ比は、0.7 : 1 がほぼ最適であり、図 17 の寸法において、3.1 ~ 9.5 GHz で VSWR2.2 以下となる測定結果を得ている．このアンテナは、後に図 18 のようにサイズを大きくし、左右非対象として更に多くの共振点をもたせることで、2.4 GHz 帯の無線 LAN 帯域を含む 2.29 ~ 10.6 GHz で VSWR2.0 以下の実測結果を得ている．

図 19 のアンテナ [35] は、ノート PC のディスプレイ側面の角部に配置することを目的とした板状ダイポールアンテナの一種である．板状の放射素子を 90 度折り曲げて配置し、折曲げ部の素子間に V 字状のスリットを形成してインピーダンス整合を行っている．このアンテナは、単体で存在した場合、3 ~ 7.5 GHz で VSWR3.0 以下となる計算結果を得ている．更に、ノート PC の LCD 用導体フレームからの距離  $dy$ 、 $dz$  が 5 mm 以上あれば、VSWR は 3.5 以下になる．

ボウタイ素子を折り畳むことで、小形化を達成した

アンテナ [36], [37] を図 20 に示す．平行四辺形の放射素子を重なり部分が少なくなるように折り曲げることで、外形が 10 mm × 20 mm のプリント基板サイズで実現している．裏表に配置された三角形の素子の斜面長の和は、最低使用周波数 3.1 GHz の約 1/2 波長となっている．折畳み構造によって非常に小形化されているが、裏表で重なった素子の影響で十分な VSWR 特性が得られていない．試作品の実測では 3.1 ~ 4.9 GHz を VSWR2.5 以下でカバーしている．

## 5. ループ系のアンテナ

UWB 用途としてのループ系のアンテナはあまり見られないが、比較的の小形で、広帯域な特性のアンテナが提案されている．以下に事例を示して解説する．

図 21 に示すループ状のアンテナは、1956 年に発表された広帯域アンテナ [38] である．縦 500 mm × 横 500 mm サイズで立体的な板状のループを 2 箇所構成している．210 ~ 700 MHz まで、180 ~ 300 Ω の定インピーダンスに近い特性を示す．UWB 帯域の 3.1 GHz ~ で換算すると、33 mm × 33 mm 程度で実現できることになる．反面、構造がやや複雑で立体的である点、50 Ω への変換整合回路が必要なことから、ワイヤレス PAN 用途への適用には工夫が必要である．

図 22 に示す TV-UHF 帯用板状広帯域アンテナ [39] は、構造が非常に簡単で安価にでき、UWB 用途への適用も期待できる．一見ノッチアンテナのように見えるが、ループ素子の導体幅をボウタイのように太くすることで広帯域化した究極的な形である．このアンテナは、地上波デジタルテレビ用受信アンテナ用途と

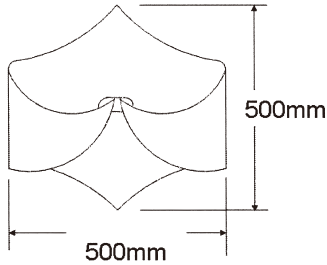


図 21 広帯域ループアンテナ  
Fig. 21 Wideband loop antenna.

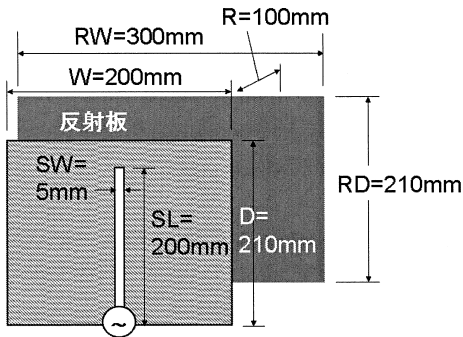


図 22 TV-UHF 帯用板状広帯域アンテナ  
Fig. 22 Tubular broadband antenna for UHF-TV.

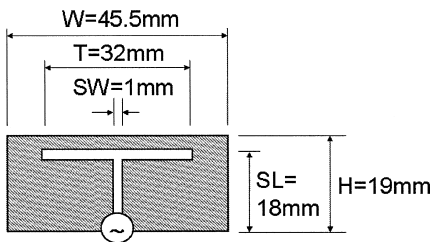
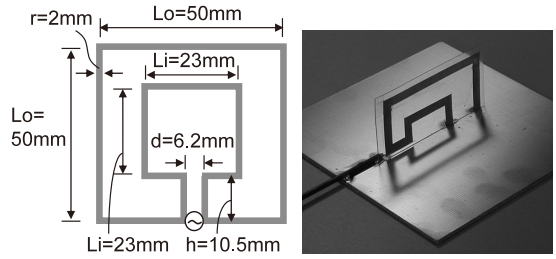


図 23 T 型スリットの板状広帯域アンテナ  
Fig. 23 T-slit type broadband antenna.

して開発され、背面に金属反射板を付加し、75Ω系で見たとき、470~770 MHz の帯域を VSWR2.0 以下、利得 7.6~8.2 dBi の実測値を得ている。なお、最終的に実用化された地上波デジタルテレビ用の受信アンテナ [40] は、スリットを T 型とすることで、図 22 の半分の高さの 100 mm で実現されている。更に、このアンテナの 50Ω 系の事例として、RFID (Radio Frequency Identification) 用途で T 型スリットを用いたアンテナ [41] を図 23 に示す。縦 19 mm×横 45.5 mm の大きさで、2.4~4.8 GHz をリターンロス -10 dB 以下とする測定結果が得られている。

ループアンテナの広帯域化では、大小 2 種類の大



(1) ループのサイズ (2) 実験した試作アンテナ

図 24 広帯域二重正方形ループプリントアンテナ  
Fig. 24 Broadband printed antenna with double rectangular loops.

きさのループ素子を二重化した広帯域二重正方形ループプリントアンテナ [42] もある。構造を図 24 に示す。ループを内側と外側で二重化し、かつループサイズ比  $L_i/L_o$  を最適値の 0.5 前後に選ぶことで、広帯域な特性が得られる。ループを半分にし、片側をグラウンド板イメージとした試作品の測定結果として、3~5.7 GHz 以上でリターンロス -10 dB 以下を得ている。

## 6. ハーフループ系のアンテナ

ハーフループ系のアンテナは、ループアンテナの半分を、グラウンド板を用いてイメージ化したアンテナである。比較的姿勢で垂直偏波を放射できるため、PCMCIA カードなどのカードタイプのユニットに実装するアンテナとして有効である。今後はワイヤレス PAN でも、ダイバーシチや MIMO の機能が搭載される見通しで、水平偏波アンテナとの併用に適していると考えられる。

図 25 は、板状の素子をループ状に形成した UWB 用湾曲板状アンテナ [43] である。図 21 のアンテナの半分を、グラウンド板を用いてイメージ化した構造に近いと考える。幅 30 mm のテーパ状の導体板をループ状に配置している、ループ全長は、最低使用周波数の 3 GHz で 1/2 波長となる 50 mm としている。広いグラウンド板を必要とするが、素子自身は、高さ 12 mm×横幅 18 mm×奥行 30 mm で小形にまとめられている。3~12 GHz 以上でリターンロス -10 dB の解析結果を得ており、実験によっても同等の性能を確認している。水平面内の指向性は、垂直偏波をほぼオムニ状に放射する特性が得られている。

図 26 には、1 枚の板金でループ状の素子を形成したフィン型広帯域アンテナ [44] を示す。放射素子が平板



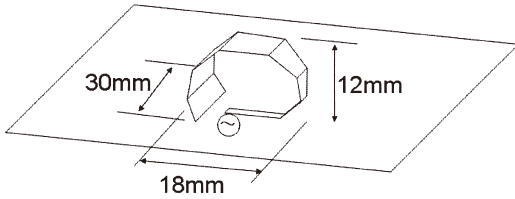


図 25 UWB 用湾曲板状アンテナ  
Fig. 25 Curled plate antenna for UWB.

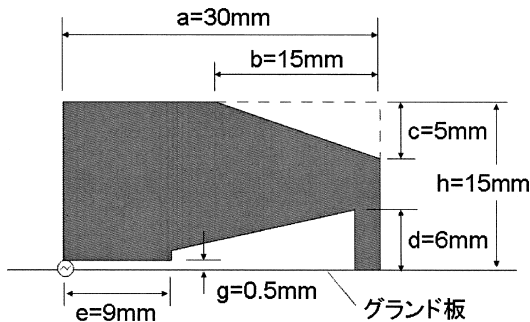


図 26 フィン型広帯域アンテナ  
Fig. 26 Fin-type wideband antenna.

の板金 1 枚で製作可能であるため、製造が簡単になる。高さ 15 mm×長さ 30 mm の大きさで、3.7~11 GHz をリターンロス -10 dB 以下でカバーする測定結果を得ている。水平面内の指向性は、図 25 のアンテナと同様で、ほぼオムニ指向性を示す。形状を調整することで、広い周波数帯域にわたって指向性形状の変化が少ない特性を得ることができる。

他のハーフループ系のアンテナの例としては、米国スカイクロス社で既に実用化されている五角形の板状ループ素子を用いたアンテナ [45] がある。大きさ 26 mm×18.5 mm×4 mm で、3.6~9.1 GHz を VSWR2.0 以下でカバーする。

## 7. ワイヤレス USB 用の広帯域アンテナ

ワイヤレス USB は、PC の USB インタフェースをワイヤレス化するものである。UWB の高速伝送技術を用いることで、デジタルカメラなどに入っている大きな動画データを、デジタルカメラを周辺に置くだけで、ワイヤレスで瞬時に PC に転送が可能となる。ワイヤレス USB では、その用途の手軽さから、PCMCIA カードや USB スティックメモリのサイズに収納した製品化が検討されている。特に、USB スティックメモリサイズで構成する場合、ユニット全体の基板サイズは、市場動向から 10 mm×45 mm 程度

とするのが望ましい。この寸法から、UWB 用 LSI の実装部分を考えてアンテナ部に許容されるサイズを算出すると 10 mm×20 mm 程度の寸法となる。あまり複雑な構造のアンテナは、製品外観を不格好にしたり、価格アップにもつながるため、これらのことを配慮して開発することが重要である。本章では、ワイヤレス USB 用途に有効と考えられる、小形でシンプルなアンテナについて解説する。

### 7.1 ワイヤレス USB 用のアンテナの要件

ワイヤレス USB 用途のアンテナの要件は、一般的なワイヤレス PAN とは少し異なり、実際に使用される状況を考慮した要件が考えられる。

電気的には、所望の周波数帯域 3.1~4.8 GHz で VSWR2.0 以下が目標とされる。VSWR 以外では、偏波特性を考慮する必要がある。すなわち、ワイヤレス USB での接続は、ワイヤレス USB ユニット近傍に接続対象の機器が置かれるだけであるから、それぞれのアンテナにおける偏波特性や指向性は全く考慮されない状況となる。アンテナを小形化するため、指向性は必然的にブロードとなるが、偏波としては、アンテナを垂直においても水平においても接続性を確保できるものが求められる。

物理的には、上述したように、小形かつ薄型でシンプルな構造であることが重要である。アンテナ部の目標寸法は、10 mm×20 mm 程度であり、ユニット全体の基板サイズの目標寸法は、10 mm×45 mm 程度と考えられる。

### 7.2 モノポール系のアンテナ

ワイヤレス USB の用途の小形アンテナとして、図 27 に示すような、台形の放射素子を折り曲げた構造のアンテナ [46] が提案されている。このアンテナは、図 17 のアンテナを折り曲げたイメージと考えればよい。折り曲げたことによって最低使用周波数が若干高くなるため、下側素子にコの字状のスリットを入れて帯域調整をしている。外形サイズが、長さ 30 mm×幅 10 mm×高さ 5 mm において、3.07~8.8 GHz で VSWR2.0 以下の計算結果を得ている。

図 28 に示すアンテナ [47] も図 12 のアンテナを発展 [48] させ、折り曲げて小形化したものである。外形サイズは、長さ約 40 mm×幅 10 mm×高さ 7.5 mm で、2.9~11 GHz 以上で VSWR2.0 以下の計算結果を得ている。

図 27 及び図 28 のアンテナは、下側放射素子部に UWB の LSI を実装すると考えた場合、実装上の制約

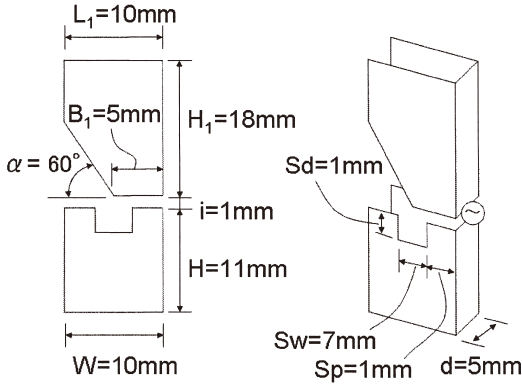


図 27 USB メモリサイズ UWB 用モノポールアンテナ  
Fig. 27 USB memory size monopole antenna for UWB.

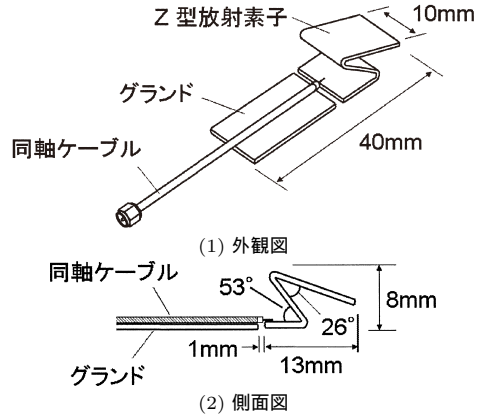


図 29 Z 型の放射素子を用いた小形広帯域アンテナ  
Fig. 29 Small wideband antenna using Z-letter element.

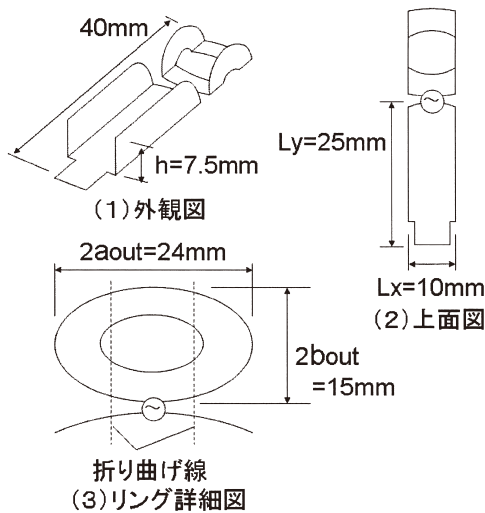


図 28 小形化された広帯域楕円形リングアンテナ  
Fig. 28 An elliptically shaped ring broadband antenna.

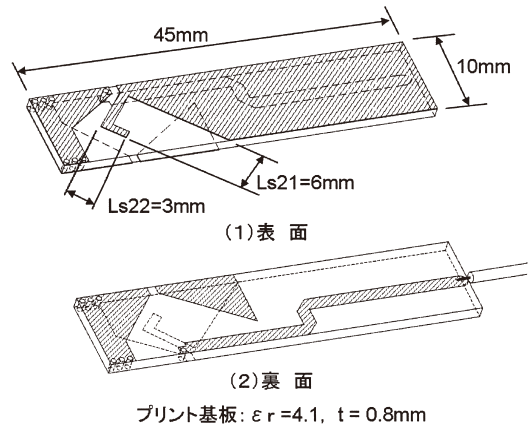


図 30 UWB 用 LSI 搭載部のグラウンドを共有化した三角形の放射素子を用いたアンテナ  
Fig. 30 Small wideband antenna using triangular elements with ground plane.

があることが課題となりそうである。

一方、下側の放射素子を平板導体としたアンテナとして、Z 型の放射素子を用いたアンテナ [49] がある。構造を図 29 に示す。Z 型に折り曲げられた放射素子の全長は、最低使用周波数の約 1/4 波長の長さであり、もともとの形状は、長方形の板状導体を二つ用いたポウタイアンテナである。片側素子を Z 型に折り曲げることで、小形化と、入力インピーダンスを下げ、50Ω で給電できるように工夫している。片側の素子を立体的な Z 型にすることで、水平成分のみでなく、垂直成分も放射するようになっている。大きさは、長さ約 40 mm×幅 10 mm×高さ 8 mm で、3.1~4.8 GHz

及び 5.8~11 GHz 以上で VSWR2.0 以下の実測値が得られている。

### 7.3 ポウタイ系のアンテナ

ワイヤレス USB 用途の小形のポウタイ系アンテナの例 [50], [51] を図 30 に示す。このアンテナは、図 20 のアンテナの片側素子を、UWB 用 LSI 実装基板のグラウンド導体と接続した構造となっている。図 20 の構造では、良好な VSWR は得られなかったが、図 30 のように、LSI 実装部のグラウンドを共有することで VSWR を改善できる。このアンテナのリターンロス特性の測定値を図 31 に示す。図 20 のアンテナに比べ、リターンロスを -7.4 dB から -11 dB 以下 (VSWR2.5→1.8) に改善することが可能となる。LSI 実装部を含んだ大

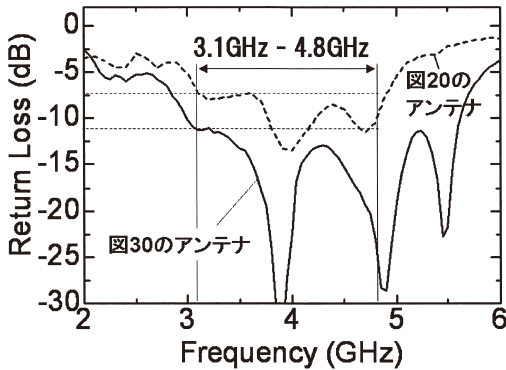
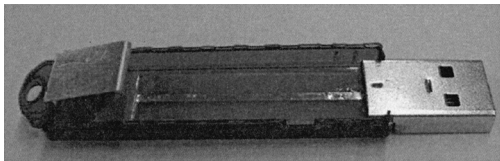
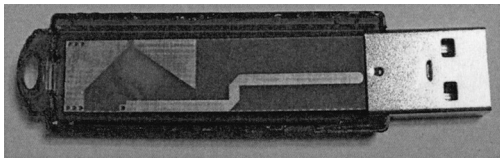


図 31 リターンロス特性 (実測値)  
Fig. 31 Measured return loss.



(1) Z 型の放射素子を有するアンテナ



(2) 三角形の放射素子を有するアンテナ

図 32 ワイヤレス USB ユニットのイメージ  
Fig. 32 Image of wireless USB unit.

きさは、45 mm×10 mm×t0.8 mm である。図 29 の Z 型のアンテナと比べると、プリント基板 1 枚で安価に製作できる反面、垂直偏波成分をもたない点、周波数帯域が高域まで延びていないというデメリットもある。

図 29 及び図 30 のアンテナをワイヤレス USB の筐体に入れたイメージの外観を図 32 に示す。図 32 でプリント基板中心を通っているマイクロストリップラインはアンテナ評価のためのもので、将来的には UWB の LSI が実装される部分である。

#### 7.4 ワイヤレス USB 用アンテナの今後の課題

ワイヤレス USB に有効なアンテナを解説したが、いずれのアンテナにおいても、USB スティックメモリサイズで実現するには、UWB 用 LSI の実装部分を、アンテナのグランドまたは放射素子の一部として共用する必要がでてくる。よって、図 27～図 30 の構成でアンテナとしてベストの性能が得られていても、実効的には、LSI 実装やそのための回路パターン形成、更

に周辺チップ部品の搭載により、アンテナとしての動作状態は変わってくる。よって、最終的な構成でアンテナのインピーダンス調整を行うとともに、実際に伝搬評価を行って、良否を判断する必要がある。

## 8. む す び

ワイヤレス PAN 及びワイヤレス USB に焦点を当て、近年 UWB 用途に開発されたアンテナ、UWB 用途に応用できそうなアンテナ及びそれらの考案の出発点となるアンテナについて解説した。

ワイヤレス PAN の搭載機器は家電製品も多く、横型のハードディスクレコーダや縦型の大画面テレビ、小形のワイヤレス UWB ユニットなど多様である。筐体の大きな機器では、グランド板の大きなアンテナでも有効である可能性があり、搭載されるアンテナは、上記筐体形状や収納スペース、アンテナの偏波特性を考慮して適切に選定されるべきである。

UWB 技術を用いた様々なサービスの実用化も近く、上記に示すようなユニークで高性能なアンテナが数多く採用されることを期待する。

また、上記に示した多様な広帯域アンテナは、UWB 用途のみならず、これからますます増えるだろうマルチバンドシステムや多様な無線共用システム、ソフトウェア無線などの用途に応用できるものである。広帯域アンテナの研究は、今後更に重要になっていくものとする。

## 文 献

- [1] 阪田史郎, UWB/ワイヤレス USB 教科書, インプレス ネットビジネスカンパニー, 2006.
- [2] 小林岳彦, “超広帯域 (UWB) ワイヤレス技術の動向,” ITU ジャーナル, vol.36, no.3, pp.43-45, March 2006.
- [3] 新田隆夫, “UWB の技術の技術基準策定を巡る国際動向について,” ITU ジャーナル, vol.35, no.12, pp.10-13, Dec. 2005.
- [4] 堀 俊和, “広帯域・マルチバンドプリントアンテナ,” 信学論 (B), vol.J87-B, no.9, pp.1130-1139, Sept. 2004.
- [5] 前田忠彦, “UWB アンテナ技術: ユビキタス超高速通信のためのアンテナ伝搬・評価技術と展望,” 信学論 (B), vol.J88-B, no.9, pp.1586-1600, Sept. 2005.
- [6] J.D. Kraus, Antennas, 2nd ed., pp.692-694, McGraw-Hill, New York, 1988.
- [7] S. Honda, M. Ito, H. Seki, and Y. Jimbo, “A disk monopole antenna with 1:8 impedance bandwidth and omnidirectional radiation pattern,” Proc. ISAP'92, pp.1145-1148, Sapporo, 1992.
- [8] L. Paulsen, J.B. West, W.F. Perger, and J. Kraus, “Recent investigations on the volcano smoke antenna,” IEEE AP-S, Int. Symp., vol.3, pp.845-848,

- June 2003.
- [9] J.A. Evans and M.J. Ammann, "Planar trapezoidal and pentagonal monopoles with impedance bandwidths in excess of 10:1," *IEEE AP-S Int. Symp.*, vol.3, pp.1558-1561, July 1999.
- [10] T. Ihara and K. Tsunekawa, "Broadband characteristics of rounded semi-circular antenna," *Proc. ISAP'96*, vol.3, pp.513-516, Chiba, Aug. 1996.
- [11] 井原泰介, 常川光一, "円筒型半円素子を用いた移動通信用屋内設置型アンテナ," *信学技報*, A-P97-70, July 1997.
- [12] T. Taniguchi and T. Kobayashi, "An omnidirectional and low-VSWR antenna for the FCC-approved UWB frequency band," *IEEE AP-S Int. Symp.* vol.3, pp.460-463, Columbus, June 2003.
- [13] 嶋田将大, 堀 俊和, 藤元美俊, "GAを用いた広帯域板状モノポールアンテナの設計," 2004 信学ソ大(通信), B-1-70, Sept. 2004.
- [14] 嶋田将大, 堀 俊和, 藤元美俊, "特性インピーダンスを考慮した板状モノポールアンテナの設計," 2005 信学総大, B-1-71, March 2005.
- [15] K.-L. Wong, C.-H. Wu, and S.-W. Su, "Ultrawideband square planar metal-plate monopole antenna with a trident-shaped feeding strip," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.53, no.4, pp.1262-1269, April 2005.
- [16] K.-L. Wong and S.-L. Chien, "Wide-band cylindrical monopole antenna for mobile phone," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.53, no.8, pp.2756-2758, Aug. 2005.
- [17] 岩岡英明, 山内潤治, 中野久松, "超広帯域 PSP アンテナ," 2006 信学総大, B-1-100, March 2006.
- [18] H. Nakano, H. Iwaoka, and J. Yamauchi, "A wide-band BOR-PARP antenna," *EuCAP*, OA12b (4A3), 345644, Nice, Nov. 2006.
- [19] 笹森崇行, 小林弘幸, 戸花照雄, 阿部紘士, "プリント基板を用いた広帯域楕円形平面アンテナ," 2005 信学総大, B-1-62, March 2005.
- [20] T. Sasamori, H. Kobayashi, T. Tobana, and K. Abe, "A printed elliptical disc monopole antenna for UWB communications," *Proc. ISAP2005*, vol.3, pp.961-964, Seoul, Aug. 2005.
- [21] 小林弘幸, 笹森崇行, 戸花照雄, 阿部紘士, "円形プリントモノポールアンテナの広帯域化の一検討," 2006 信学総大, B-1-114, March 2006.
- [22] 岩田英樹, 倉島茂美, 柳 政宏, 柚葉誉嗣, 有田 隆, 小林岳彦, "UWB 平面アンテナの薄型化," 2006 信学総大, B-1-123, March 2006.
- [23] 服部 聡, 近藤隆明, 山内潤治, 中野久松, "広帯域楕円形リングアンテナ," 2005 信学総大, B-1-104, March 2005.
- [24] 倉本晶夫, "平面型の UWB アンテナ," *NEC 技報*, vol.58, no.2, pp.68-73, 2005.
- [25] 倉本晶夫, "2 種類の楕円状素子を平行に配置した平面型の UWB アンテナ," *信学論 (B)*, vol.J88-B, no.9, pp.1710-1717, Sept. 2005.
- [26] A. Kuramoto, "Performance of flat type UWB antenna located near the metal plate," *Proc. ISAP2005*, vol.3, pp.953-956, Seoul, Aug. 2005.
- [27] 陸田裕子, 河野隆二, "UWB 用二周波共用直交平面モノポールアンテナ," 2004 信学総大, B-1-72, March 2004.
- [28] 日下 洋, 久我宣裕, "阻止域を有する地板端部設置広帯域板状モノポールアンテナ," *信学論 (B)*, vol.J87-B, no.9, pp.1317-1326, Sept. 2004.
- [29] 中村年宏, 岩崎久雄, "阻止帯域を有する UWB 用平面モノポールアンテナ," *信学論 (B)*, vol.J89-B, no.9, pp.1624-1632, Sept. 2006.
- [30] 笹森崇行, 猪原 聡, 小林弘幸, 戸花輝雄, 阿部紘士, "帯域阻止特性を有するプリントディスクモノポールアンテナ," 2006 信学総大, B-1-184, March 2006.
- [31] J.R. McDougal, 毛利 宏, 安達三郎, 虫明康人, "筒型アンテナの素子について," *電気四学会連合大*, 612, April 1957 (S32).
- [32] 飴谷充隆, 山本 学, 野島俊雄, 伊藤精彦, "自己補対放射素子を用いたマイクロストリップ給電広帯域プリントダイポールアンテナ," *信学論 (B)*, vol.J88-B, no.9, pp.1662-1673, Sept. 2005.
- [33] 飴谷充隆, 山本 学, 野島俊雄, 伊藤精彦, "BER シミュレーションによる広帯域プリントダイポールアンテナの特性評価," 2005 信学ソ大(通信), B-1-160, Sept. 2005.
- [34] 堀田 篤, 岩崎久雄, "UWB・無線 LAN 対応広帯域平面ダイポールアンテナの検討," *信学論 (B)*, vol.J89-B, no.9, pp.1633-1640, Sept. 2006.
- [35] 溝口 聡, 島崎 寛, 手嶋正雄, 天野 隆, "両偏波広帯域アンテナの一検討," 2005 信学総大, B-1-75, March 2005.
- [36] 倉本晶夫, "三角形の素子を組み合わせた小型 UWB アンテナ," 2006 信学総大, B-1-124, March 2006.
- [37] A. Kuramoto, "Small UWB antenna using triangular elements," *Digest of IEEE AP-S*, vol.4, pp.3715-3718, Albuquerque, July 2006.
- [38] 岡村史良, 角田 稔, "新型広帯域アンテナの諸特性," *電気三学会連合大*, 559, 1956 (S31).
- [39] 岡野好伸, "TV-UHF 帯用板状広帯域アンテナの開発," *信学論 (B)*, vol.J85-B, no.8, pp.1426-1433, Aug. 2002.
- [40] 坂内功治, 萩原修二, 金子 敦, "ツインパネル型 UHF アンテナ UwPA (ウーバ) の開発," *日立国際電気技報*, no.5, pp.34-42, 2004.
- [41] Y. Okano, "A simple shape broadband planar antenna adaptable to RFID-tag," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol.54, no.6, pp.1885-1888, June 2006.
- [42] 田中敏司, 堀 俊和, 藤元美俊, "広帯域二重方形ループプリントアンテナ," *信学技報*, A-P2003-246, Jan. 2004.
- [43] 坂口浩一, 長澤幸二, 長谷部望, "UWB 用湾曲板状アンテナ," 2005 信学ソ大(通信), B-1-156, Sept. 2005.
- [44] 坂口浩一, "フィン型広帯域アンテナ," 2006 信学ソ大(通信), BS-1-10, Sept. 2006.
- [45] Skycross 社 Home Page, <http://www.skycross.com/Products/PDFs/SMT-3TO10M-A.pdf>
- [46] 松崎慶悟, 岩崎久雄, "USB メモリサイズ UWB 用モノポールアンテナの検討," 2006 信学ソ大(通信), B-1-76, Sept. 2006.

- [47] 服部 聡, 山内潤治, 中野久松, “広帯域楕円形リングアンテナ第 4 報” 2006 信学ソ大 (通信), B-1-155, Sept. 2006.
- [48] 服部 聡, 山内潤治, 中野久松, “広帯域楕円形リングアンテナ第 3 報” 2006 信学総大, B-1-165, March 2006.
- [49] 倉本晶夫, “Z 型の放射素子を用いた小型広帯域アンテナ” 2006 信学ソ大 (通信), BS-1-8, Sept. 2006.
- [50] 倉本晶夫, “三角形の素子を組み合わせた小型広帯域アンテナと特性” 信学技報, A-P2006-71, Sept. 2006.
- [51] A. Kuramoto, “Small UWB antenna using triangular elements on UWB unit,” EuCAP, OA27 (5A5), 345472, Nice, Nov. 2006.

(平成 19 年 1 月 22 日受付, 4 月 5 日再受付)



倉本 晶夫 (正員)

昭 58 日大・理工・電子卒・昭 60 同大大学院修士課程了。同年 NEC (株) 入社。以来, 研究開発部門において, 移動体通信用アンテナ, 小形・平面アンテナ, 広帯域アンテナの研究開発に従事。