

2.4GHz帯モバイル機器内蔵用フィルムアンテナ

Development of 2.4GHz Film Type Antenna for Mobile Devices

池ヶ谷守彦* *Morihiko Ikegaya* 杉山剛博* *Takahiro Sugiyama* 高場進一** *Shinichi Takaba*
 鈴木伸一郎** *Shinichiro Suzuki* 駒木根力男** *Rikio Komagine* 楯 尚史** *Hisashi Tate*

ノートパソコンなどの情報端末機器への内蔵に適した2.4GHz帯の無線情報システム(無線LAN, Bluetooth, HomeRF)用のアンテナを開発した。当社独自のアンテナとして、逆F型アンテナの特長を生かした新規構造を考案した。アンテナの形状は30mm×0.2mmとフィルム状で、機器のカバーと部品との隙間に挿入可能である。実装に必要なスペースは、放射素子部分; 5mm×30mm程度と省スペースで、小形ノートパソコンの液晶パネル内に3本のアンテナを内蔵することが可能である。内蔵時の特性は、帯域200MHz以上と広く、指向性利得の平均も-4dBiと良好である。無線LAN用アンテナとして重要な無指向性も実現し、安定した送受信が可能である。

〔1〕 緒 言

ノート型パーソナルコンピュータ(以下、ノートPCと略す)をはじめとするモバイル情報端末機器(以下、モバイル機器と略す)の小形化や軽量化が進み、機器の移動性も向上している。最近この特長を生かし、無線LAN(IEEE802.11b), Bluetooth, HomeRFなどの2.4GHz帯の無線情報システムを組み込んだモバイル機器が、オフィスや一般家庭で普及し始めている。

筆者らは、先に開発した携帯電話機用内蔵アンテナの経験から¹⁾、無線情報システムにおいても内蔵アンテナが普及すると考え、特にノートPCに着目し、小形で感度などの特性に優れた内蔵アンテナの開発を行った。開発に際し、課題を小形化、指向特性の均一化、そして感度向上の3項目とした。

小形化に関して、実際のアンテナの収納用空間(以下、収納スペースと略す)の広さにより目標を定めた。ノートPCにアンテナを内蔵する場合、スペースとアンテナの効率の点から、液晶ディスプレイパネル(以下、LCDパネルと略す)周囲の枠部分が主に利用されている。LCDパネル周辺の収納スペースは、約8.0mmで長さ40mmから100mm程度の細長い空間が1から2箇所あるのが一般的である。さらに無線LANとBluetoothの両システムを1台のノートPCに搭載する動きも活発で、無線LAN用2本、Bluetooth用1本の計3本のアンテナを収納スペースに搭載する必要性が出ている。そこでこ

のスペースに収納可能で、今後のモバイル機器の小形化や薄型化にも対応し得るアンテナの実現を課題とした。具体的には6mm×30mm程度の空間に実装可能なアンテナサイズを目標とした。

指向特性に関して、無線情報システムの特性から目標を定めた。このシステムでは、アンテナ間で直接電波を送受信するよりも、壁や床、テーブルなどの表面での反射波を受信することが多く、電波の送受信方向は一定ではない。モバイル機器の移動性や使用場所の自由度の更なる向上に対応するには、全方位で送受信状態を安定させる必要がある。そのため、アンテナの指向性は全方位に均一な感度(無指向性)が要求されるので、この無指向性も目標とした。

感度に関して、無線システムの送受信条件とアンテナの構造から目標を定めた。無線LANの場合、障害物のない空間で80m以上の機器間送受信(IEEE802.11bの標準規格)を可能にするには、指向性利得-10dBi以上の感度が必要と言われている。また、ノートPCでの使用時に、内蔵アンテナはアンテナ本体と機器内の送受信モジュールとを細径同軸ケーブルで接続する。このときケーブル長40cmの場合、ケーブルのみで2dB以上の損失が生ずる。さらに同時に無指向性も必要なたため、アンテナ単体での感度は全方位で-6dBi以上を目標とした。

本報では、これらの目標を実現するノートPCに適した小形内蔵アンテナの開発経緯とそのアンテナ特性について述べる。

* 日立電線株式会社 アドバンスリサーチセンタ ** 日立電線株式会社 電機事業本部

【2】 ノートPC内蔵アンテナの基本設計

2.1 従来アンテナの問題点

細長い空間に実装可能なアンテナとして、スリーブアンテナが知られており、ノートPCへの内蔵用として使用され始めた。このアンテナは、放射素子長が使用周波数の波長()の半分($\lambda/2$)となる構造で、2.4GHz帯では放射素子長(アンテナ全長)は約63mmとなる。実用例では、1本、もしくは2本が1台のノートPCに搭載されているが、大形のPCに限定されており、3本の搭載は困難である。またサイズに加え、2方向に電波の送受信できない領域が生じるという、指向特性上の問題もこのスリーブアンテナには存在する。

次に小形アンテナとして、セラミックなどの誘電体材料で構成したチップアンテナが広く提案されている²⁾。一般的な形状は、2.4GHz帯の場合 3mm×10mm程度で1台のノートPCに3個のアンテナを搭載した実例もある。しかし、材料損失が大きく、アンテナ効率が低下するという問題がある。

上記のように、現在使用されているスリーブアンテナ、チップアンテナのいずれも、形状、感度、もしくは指向特性に課題が残されている。今後、無線情報システムの普及に伴い、これらの課題が顕在化する可能性があるため、ノートPC内蔵用に適したアンテナの開発が急務と考えた。

2.2 新アンテナの構造検討

アンテナの開発に際し、まず小形化の検討を行った。小形化で問題となるのは、アンテナの放射素子長である。放射素子長は通常、 n 、 $\lambda/2$ 、 $\lambda/4$ 、 $\lambda/8$ などに設定することが多く、短いほど小形化に有利である。しかし、短すぎると感度低下や帯域減少が発生する場合もあるため、 $\lambda/4$ を適用した。 $\lambda/4$ を用いると2.4GHz帯では放射素子長は約30mmとなり、目標とする形状を満たす。

次に指向特性に関して検討を行った。指向特性はアンテナ放射素子上の電流方向とその分布で決定される。無指向性を実現するには、放射素子上で複数の方向に電流が存在する構造を適用する必要がある。

$\lambda/4$ 長の放射素子で、電流が複数の方向に存在する構造を持つアンテナの1つに、逆F型アンテナがある。図1に逆F型アンテナの基本構造を示す。(a)より、広いグラウンド面に

対し、放射素子が突き出した形状でその途中で信号が入力される構造である。形状がFを倒した形に見えることから逆F型と呼ばれる。放射素子長は約 $\lambda/4$ (31.3mm)で開発目標を満たす。また(b)より、放射素子上の電流方向も複数設けることができ、無指向性も可能と考えられる。しかし、逆F型アンテナは、放射素子に対して大きなグラウンド面が必要で、グラウンド面から放射素子が突出した形状であるため、前述の収納スペースに実装することはできない。

そこで今回、上記問題点を解決し、逆F型アンテナの特長を生かした新規アンテナの開発に着手した。なお筆者らは、これまで開発してきた携帯電話機用内蔵アンテナも板状逆F型構造を用いており、多くの経験と知識を持っている¹⁾。この経験と知識を利用し、ノートPC用内蔵アンテナの基本構造に更なる検討を加えた。

2.3 新たな逆F型アンテナの検討

LCD周辺の収納部に逆F型アンテナを搭載するため、逆F型構造に違う観点からの考察を加えた。まず、この構造ではグラウンド裏面からは放射素子が見えない特長がある。さらに放射素子とグラウンド面の体積を比較した場合、グラウンド面の方が大きいという特長もある。この2つの特長を満たす新たな構造を見いだせば、逆F型アンテナの特長を生かした小形のアンテナの実現が可能になると考察した。

これら2つの特長は、一般的に立体的にとらえられやすい。しかしこの特長は、平面的にも実現できると推察できる。そこで、図2の構造を考案した。発想を展開し、逆F型アンテナの放射素子をグラウンド面端部まで移動し、かつ90°回転させ、同一平面に形成した構造である。この構造で、図2の矢印方向から見た場合、放射素子はグラウンド面に隠れて見えない構造となる。またグラウンドの体積は、放射素子に比べて大きくできる。よって図2の構造は、逆F型アンテナの特長を異なった形状で満たしている。一方、この新構造のアンテナは、収納スペースに対して形状が大形となるが、全体の形状がフィルム状であり、LCDパネルと筐(きょう)体ケースとの間にグラウンド部分を挿入できる。収納スペースに放射素子部分だけを収めることでアンテナ特性を満たせる可能性が高く、実際にアンテナを試作して検証した。なお本論では、以後、本アンテナを形状に合わせフィルムアンテナと呼ぶ。

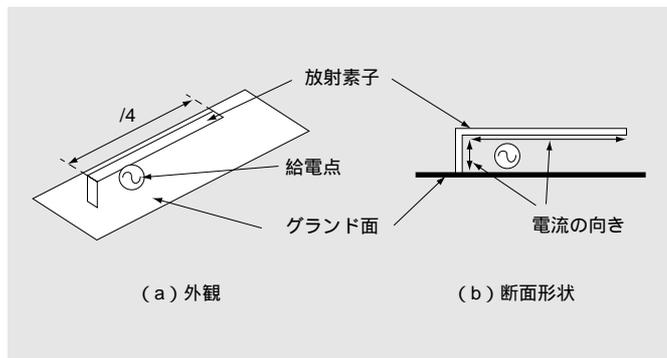


図1 逆F型アンテナ 広いグラウンド面と立体的な放射素子を必要とする。

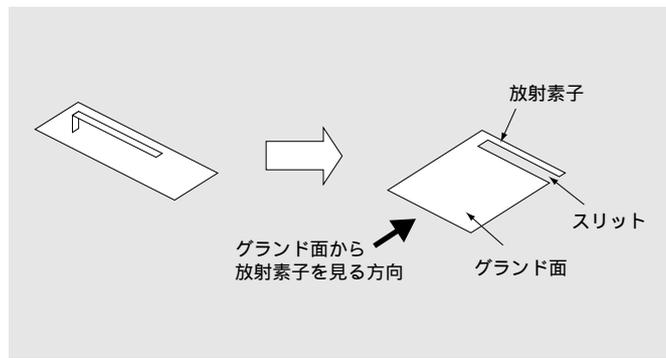


図2 逆F型アンテナの平面化 立体的な構造を同一平面内に置き換える。

〔3〕 フィルムアンテナの開発と特性評価

3.1 アンテナの試作

本フィルムアンテナは、**図2**のようにアンテナ形状が金属平板で放射素子部分が幅の狭いスリット状となる。そこで、アンテナの作製には当社のMFJ(Multi Frame Joiner)技術を使用して、金属板の両面にポリイミド膜を張り付け、放射素子の表面を保護し、スリット部分の変形も防止した。アンテナへの給電には0.8mmの細径同軸ケーブルを使用し、アンテナをノートPCのLCDパネルに実装した場合、キーボード裏面に搭載される通信モジュール部までヒンジ部を通して配線可能とした。以上のように構成したフィルムアンテナの構造を**図3**に示す。

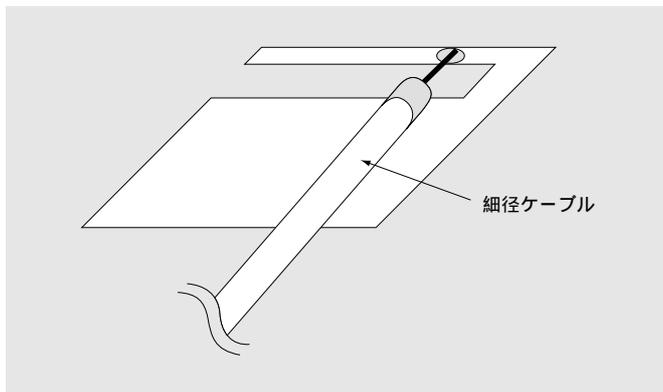


図3 新アンテナ構造 平板アンテナと細径ケーブルだけの簡単な構造。

3.2 アンテナ構造の検証

図3に示した構造の妥当性を検証するため、本アンテナの共振状態(共振周波数、帯域、サブピークの有無)を確認した。**図4**に試作したアンテナの共振周波数特性(リターンロス)の測定結果を示す。このとき放射素子長30mm、放射素子幅2mm、スリット幅2mm、グランド面の長さ30mmとした。図より、2GHz~3GHzの領域で感度低下の一要因であるサブピークがなく、共振状態は良好である。また、帯域幅も200MHz以上と広く、無線LANの送受信領域(80MHz)をカバー

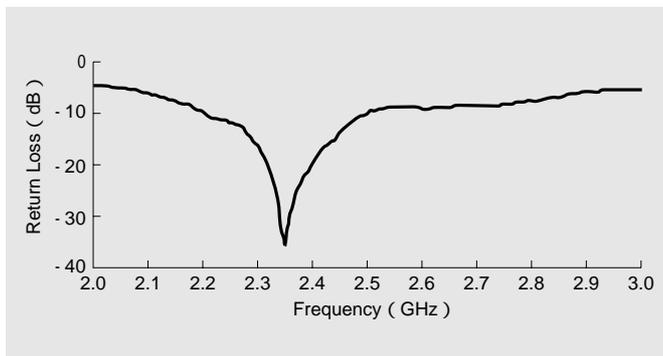


図4 試作アンテナの共振特性(リターンロス) 良好な共振状態と広帯域を実現している。

ーしている。

本測定結果から、無線LAN用アンテナとしての基本特性が良好であることから、以後、放射素子形状の最適化を行い、感度や放射特性の評価を行った。なお、あらかじめ行った予備実験の結果から、後述するように、LCDパネルへの実装時にはABSカバーの誘導率の影響で共振周波数が100MHz程度低周波数側へシフトすることがわかったため、アンテナ単体での共振周波数は、2.6GHz前後に設定した。

3.3 アンテナ構造の最適化

本フィルムアンテナの構造に関して、放射素子の長さや幅、スリット幅、グランド面の長さを、評価結果に基づき最適化した。

まず放射素子長と共振周波数の関係を**図5**に示す。図より、放射素子長で共振周波数が調整できることがわかる。アンテナ単体で2.6GHzで共振させるには、放射素子長を27mmにすればよいこともわかる。

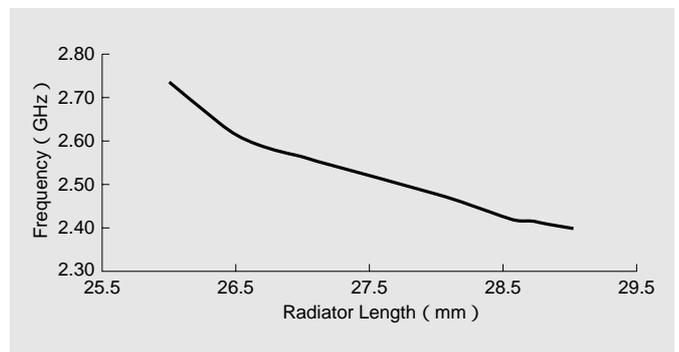


図5 放射素子長の変化に伴う共振周波数 放射素子長の変化で共振周波数の調整が容易。

次に放射素子長とグランド面の長さの関係について示す。**図5**の結果より放射素子長27mmとし、グランド面の長さを変化させたときの指向特性を**図6**に示す。図より、グランド面の長さの変化に伴い、指向特性が変化することがわかる。これは、放射素子とグランドを同一平面に構成したことにより、放射素子のほかに異なるアンテナ素子がフィルムアンテナ上に形成され、これが整合回路の役割を果たすためと考えられる。この電氣的構造を**図7**に示す。図では、(a)の本来の放射素子のほかに、(b)のアンテナ部が電氣的に存在していることを示している。(b)は、給電点を境に2つの素子が直角に接続され、グランド面の長さにより両素子の長さの比が変化する。この比が電氣的な整合性を決定し、結果的に放射特性を決定すると推測できる。なお本アンテナは、この電氣的特性を生かす構造の選択によって、実用上整合回路なしに安定した特性が得られることがわかっている。

同様な検討を放射素子の幅やスリットの幅を変化させた場合でも実施した。その結果、実用性を考慮して決定したアンテナの最適値は、放射素子長27mm、幅1mm、スリット幅2mm、グランド面の長さ27mmである。以上の検討結果に基づき作製したフィルムアンテナの外観を**図8**に示す。

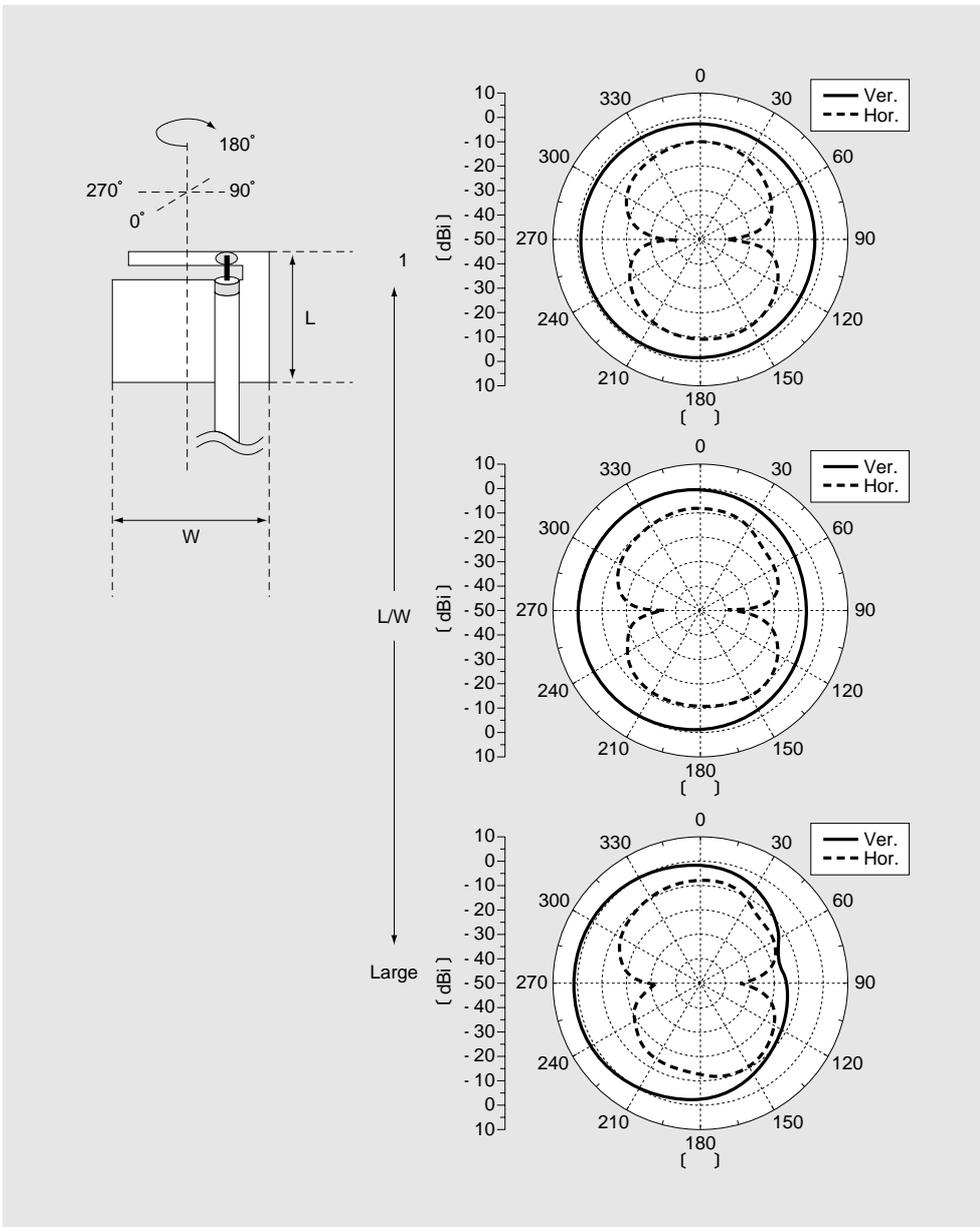


図6 グランド面の長さ変化による指向特性変化 グランド面の長さの調整だけで、指向特性の変形が可能。

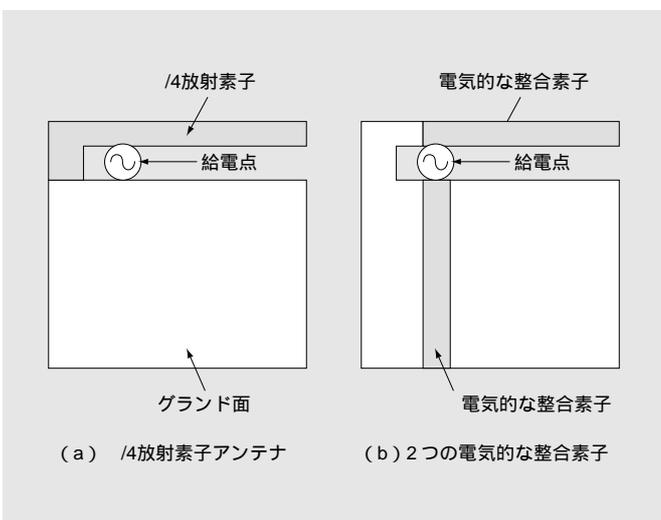


図7 新アンテナの電気的構造 複数のアンテナ素子の複合構造により、安定した特性を実現。

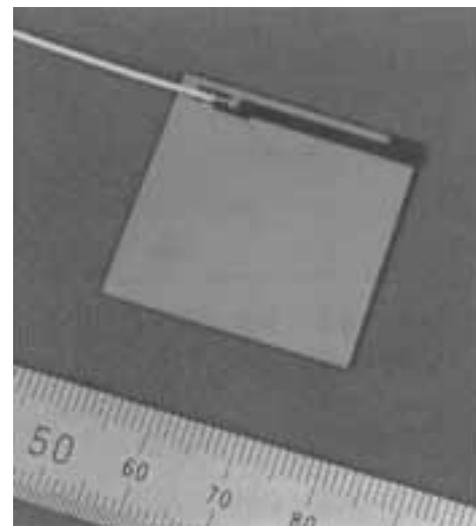


図8 フィルムアンテナの外観 サイズ：30.0mm x 30.0mm x 0.2mm。小形で薄型。

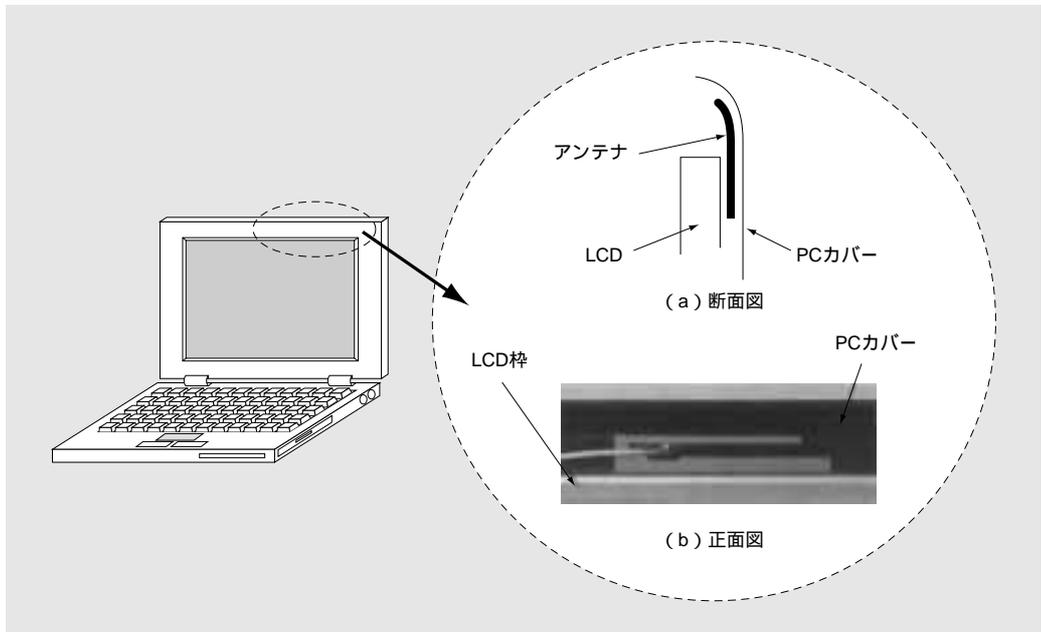


図9 LCD上部に内蔵されたフィルムアンテナ 省スペースでの内蔵を可能としている。

3.4 モバイル機器内蔵時のアンテナ特性

開発したフィルムアンテナをノートPCのLCDパネルに内蔵し、アンテナ特性を評価した。アンテナ特性は、LCDパネルの形状や材質の影響を強く受ける。一般的な評価結果を得るため、本論ではABSで作成したカバーと、SUS板を加工して作成したLCD部を組み合わせ、A4サイズの模擬LCDパネルを作製し使用した。図9に模擬LCDパネルとフィルムアンテナの実装状態を示す。アンテナ収納スペースに、放射素子部を収めるため、LCDからアンテナを5mm出し、ほかの部分はLCDパネルの裏側に挿入している。

リターンロスの測定結果を図10に示す。図より、内蔵時の共振周波数は2.45GHzに制御できており、帯域も200MHz以上と広いことが確認できる。次に、指向特性の評価結果を図11に示す。図より、垂直偏波および水平偏波の両者で、ほぼ無指向性の放射特性が得られている。またこの特性は、単体のときと比べ、水平偏波が大きく出力されていることもわかる。これは、LCDの金属枠により水平偏波に対するグラウンドの見通し距離が広がったためと考えられる。また、感度は、全方位の95%以上の領域で指向性利得 - 8dBi以上とな

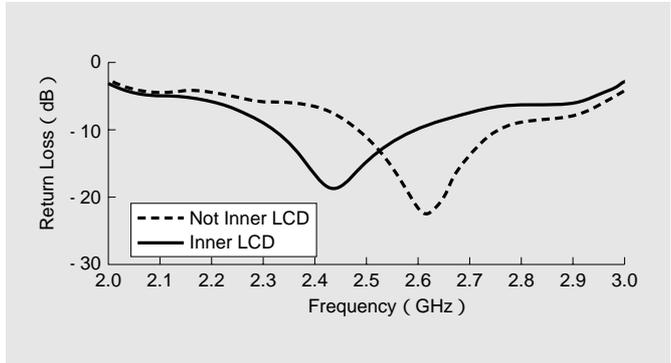


図10 内蔵時の共振周波数の変化 安定した共振特性と広い帯域を実現している。

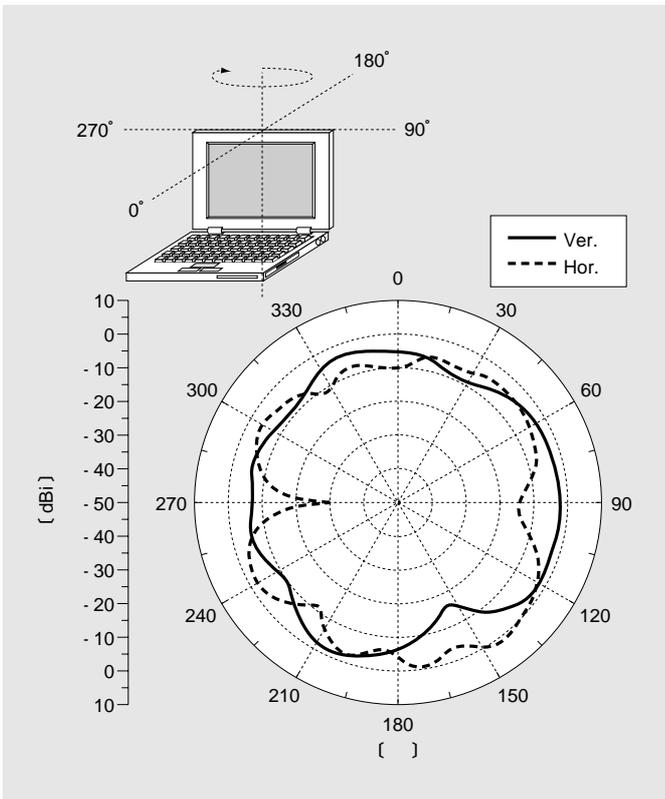


図11 LCD上部に内蔵したときのアンテナ特性 良好な指向特性と高い効率を実現している。

り、全方位の平均値も目標の - 6dBiを上回る - 4dBiとなった。

3.5 複数のアンテナ内蔵

図12は、1台のモバイル機器に無線LAN用に2本、Bluetooth用に1本、計3本のフィルムアンテナをLCD上部に内蔵した一例である。アンテナ特性は、前項の測定結果と同様となり、3本のアンテナをA4サイズのモバイルノートPCに実装できることも確認された。

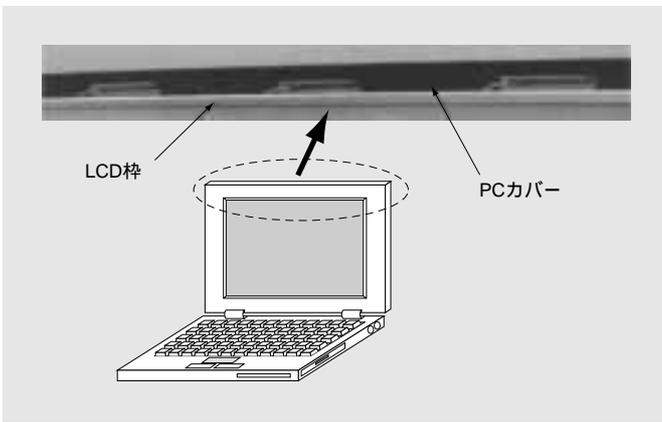


図12 複数のフィルムアンテナ内蔵例 省スペースに複数のアンテナ実装を可能にしている。

〔 4 〕 結 言

逆F型アンテナの特長を生かした独自のフィルム状アンテナを開発した。アンテナ形状は、 $30\text{mm} \times 0.2\text{mm}$ と薄膜構造であり、モバイル機器への実装性を高めた。アンテナの搭載に必要な実際のスペースは、 $5\text{mm} \times 30\text{mm}$ 程度であり、小形ノートPCのLCDパネルに3本のアンテナを実装できる。

装置への実装後の共振周波数は、2.4GHz帯に制御されており、帯域も200MHz以上と広い。全方位の平均利得は-4dBiと高く、無指向性も実現している。

本フィルムアンテナは、ノートPCなどのモバイル端末への内蔵が可能であり、無線LAN(IEEE802.11b)、Bluetooth、HomeRFなどの2.4GHz帯の無線情報システム用アンテナとして最適である。

今後は、キーボード側への内蔵アンテナや今後普及が見込まれる無線LAN規格IEEE802.11aへの対応も実施していく予定である。

参考文献

- 1) H.Tate et al. : "Development of Internal Antenna Suitable for Mobile Phone", Hitachi Cable Review, No. 20(2001)
- 2) Nikkei Electronics, No. 768, pp. 49-56, Apr. 24, 2000



池ヶ谷守彦(いけがや もりひこ)
アドバンスリサーチセンタ 半導体研究部
平成4年4月入社
平面アンテナの研究開発に従事
電子情報通信学会会員



杉山剛博(すぎやま たかひろ)
アドバンスリサーチセンタ 半導体研究部
平成5年4月入社
平面アンテナの研究開発に従事
電子情報通信学会会員



高場進一(たかば しんいち)
電機事業本部 機器電線設計部
平成3年4月入社
MIDアンテナの設計に従事



鈴木伸一(すずき しんいちろう)
電機事業本部 機器電線設計部
平成9年4月入社
MIDアンテナの設計に従事



駒木根力男(こまぎね りきお)
電機事業本部 機器電線製造部
昭和58年4月入社
MIDアンテナの製造に従事



楯尚史(たて ひさし)
電機事業本部 機器電線設計部
昭和60年4月入社
ワイヤレスコミュニケーション用アンテナの開発・設計に従事