

携帯電話用GPSアンテナ

GPS Chip Antennas for Cellular Phones

青山博志* *Hiroyuki Aoyama*
高木保規* *Yasunori Takaki*
萩原英俊** *Hidetoshi Hagiwara*

携帯電話に内蔵される超小型GPS用チップアンテナを開発した。開発品は高誘電体セラミックスを母材として小型化を図り、逆L型放射電極にインピーダンス整合のための給電線を一体化した独自の構造を有する。開発品のサイズは $6 \times 4 \times 4 \text{mm}$ 、占有面積は 24mm^2 であり、GPS用アンテナとしては世界最小サイズを実現しつつ、広帯域かつ高利得の高い性能を実証した。

Global positioning systems (GPS) are the most popular technology for vehicle navigation systems. Cellular phones do not use GPS ceramic antennas because of their large dimensions and weight. We have developed ceramic chip antennas that use the smallest amount of PCB space in a GPS using our unique ultra-small $6 \text{ mm} \times 4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$ design. These antennas feature a wide frequency range and high gain, permitting highly stable GPS to be carried out.

① 緒 言

GPS (Global Positioning System) とは、地球を周回する24個の人工衛星を利用した、全地球規模の3次元測位システムのことである。GPSは、元々米国国防省により軍事目的として開発されたが、現在では船や航空機の航法システムや、車のナビゲーション・システムなどにも幅広く利用されている。

さらに図1に示すように携帯電話にGPSを搭載し、歩行用ナビゲーション機能として利用するほか、緊急通報支援システムなどと連動し、個人の位置情報をリアルタイムに通知するサービスの利用にも用いられている。

すでに米国では法制化により、北米携帯電話による緊急通報システム (Emergency 911, 略称E911) の搭載が義務付けられ、携帯電話事業者各社において各種の測位方式が検討された。この結果、米国クアルコム (Qualcomm) 社で開発されたCDMA (Code Division Multiple Access, 符号分割多元接続) 方式の携帯電話では、測位精度に優れるCDMA方式に適するGPSが、E911の測位システムとして採用されている。

今後、GPSはCDMA方式以外の携帯電話全般のみならず、例えば物流システムにおけるタグの管理などにも利用されるようになると予想される。

当社では長年にわたり、金属、磁性体、誘電体などの材料開発を手がけており、これらの材料を基盤として、近年、携帯電話の無線回路部に用いられるモジュール部品¹⁾やアイソレータ²⁾を開発し製品を量産中である。

アンテナについても、当社独自の材料と設計技術を融合した小型高性能の内蔵アンテナを開発しており、これまでにBluetooth™ や無線LANのモバイル機器に搭載される小型チップアンテナを製品化した。また、車載用途であるカーナビゲーション用アンテナや、ETC (Electronic Toll Collection) システム用アンテナなども開発してきた³⁾。

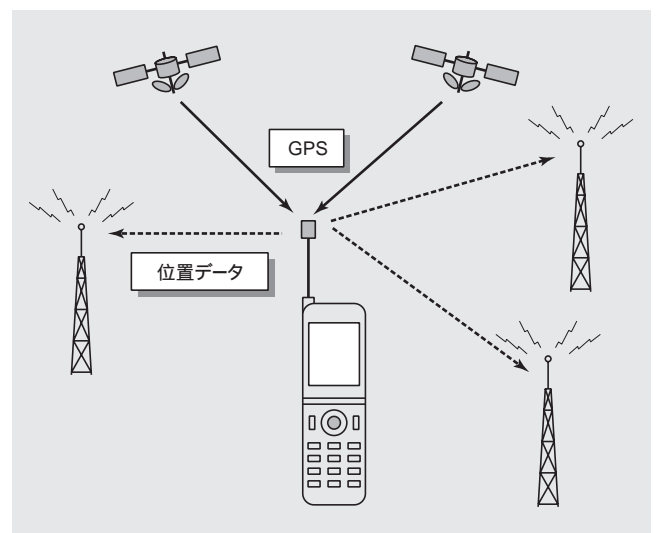


図1 GPSを利用した携帯電話の測位方式

Fig. 1 GPS with cellular-phone built-in.

* 日立金属株式会社 先端エレクトロニクス研究所

** 日立金属株式会社 鳥取工場

* Advanced Electronics Research Laboratory, Hitachi Metals, Ltd.

** Tottori Work, Hitachi Metals, Ltd.

今回はさらに、機器への実装時の占有面積が最小で、周辺部品の配置や人体の近接による影響を受けにくく、使いやすさに優れた携帯電話用GPSアンテナを実用化した。本報告では、実装占有面積が世界最小で超小型(6mm×4mm×4mm厚)、かつ高利得を有するGPS用チップアンテナの開発について説明する。

② アンテナ設計

2.1 アンテナ仕様および課題

表1に、GPSアンテナの代表的な仕様例を示す。

一般的に商業利用で受信されるGPS信号の搬送波の中心周波数は1,575.42MHz、帯域幅は2.046MHzである。アンテナからGPS信号を安定に受信するため、高い利得が望まれるが、携帯電話用アンテナとしては、端末の姿勢によらず複数の衛星からの信号を受信する必要があることから、端末周囲にできるだけ均等な利得分布(無指向性)を持つことが特に要求されている。

従来、車載用GPSアンテナなどでは、図2に示すようなパッチアンテナが主に使われている⁴⁾。GPS衛星から発する右旋円偏波の電界成分をパッチ(Patch)と呼ばれる放射電極で感知することにより、高い利得が得られるためである。しかしながら、パッチアンテナはチップ外形寸法(一辺25mm程度)が大きいため、そのままでは携帯電話のような小型端末への搭載には適さないほか、放射電極と垂直方向に利得が偏在するため、無指向性を満足できない。アンテナ基体の材料である誘電体セラミックスの比誘電率を ϵ_r 、搬送波の波長を $[\lambda]$ とすると、誘電体の波長短縮効果により、放射電極の一辺の長さ $L[\text{mm}]$ は概略次式で表される。

$$L = \frac{\lambda}{2\sqrt{\epsilon_r}}$$

ϵ_r : 実効比誘電率

上式からアンテナを小型化するためには、誘電体の比誘電率を大きくすればよいが、これに伴い帯域幅が減少し、さらに利得が低下することから、パッチアンテナの小型化には限界がある。

一方、携帯電話用GPSアンテナは、図3に示すような1本のホイップアンテナを共用する方式もある。この場合、携帯電話回線に用いられるセルラ(Cellular)の送受信帯域(CDMA方式では一般に800MHz帯使用)と、GPS帯域のアンテナを共用するため、アンテナの後段に共用器、あるいはスイッチを設けることにより、それぞれの周波数帯域に分離される。

表2に、アンテナ方式の比較例を示す。GPS専用アンテナを用いることにより、共用器やスイッチを省いて回路構成を簡素化し、アンテナ直下での挿入損失を著しく低減できるため、GPSの受信感度の増加やセルラの通話性能向上を図りやすくなる。

反面、高利得を維持しながらアンテナの小型化や占有面積の低減を図ることが、アンテナ設計技術における大きな課題であり、次節で述べるような独自のアンテナ構造を立案することによって本課題を解決した。

筆者らは、誘電体セラミックスを用いたチップアンテナの最大の特長である小型化、とりわけ占有面積の低減に着目し、Bluetooth用アンテナやGPS用アンテナの製品開発を行ってきた。図4および図5に、開発した

表1 GPSアンテナの目標仕様例

Table 1 Target specifications of GPS antenna.

項目	仕様
周波数帯域 [MHz]	1,575.42 ± 1.023
平均利得 [dBic]	- 5以上
偏波方向	右旋円偏波
指向性	無指向性
電圧定在波比 (VSWR)	2以下
入カインピーダンス [Ω]	50 (Typ.)
外形寸法 [mm]	φ L) × φ W) × φ H)

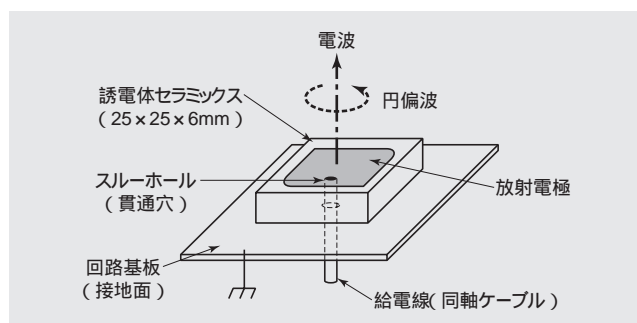


図2 車載用GPSパッチアンテナの構造
Fig. 2 Structure of GPS patch antenna for vehicles.

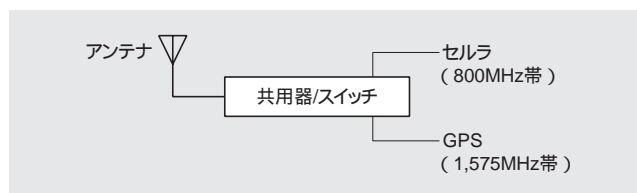


図3 GPSアンテナ共用方式
Fig. 3 GPS antenna with duplexer / switch.

表2 アンテナ方式の比較例

Table 2 Comparison of GPS antenna.

	GPS専用方式	共用方式
帯域分離	アンテナ	共用器/スイッチ
回路の簡素化		
挿入損失		
利得	()	
占有面積		

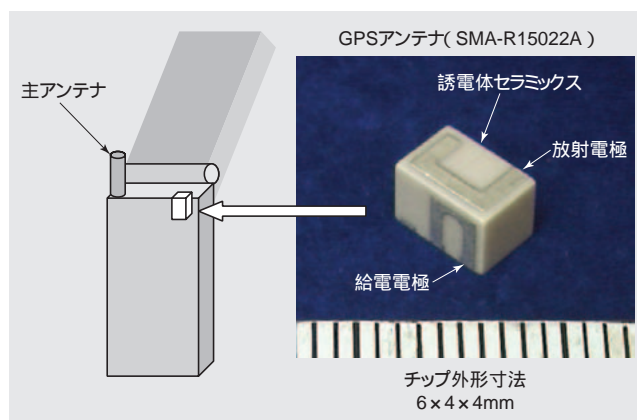


図4 GPSアンテナ開発品の外観
Fig. 4 Appearance of new GPS antenna.

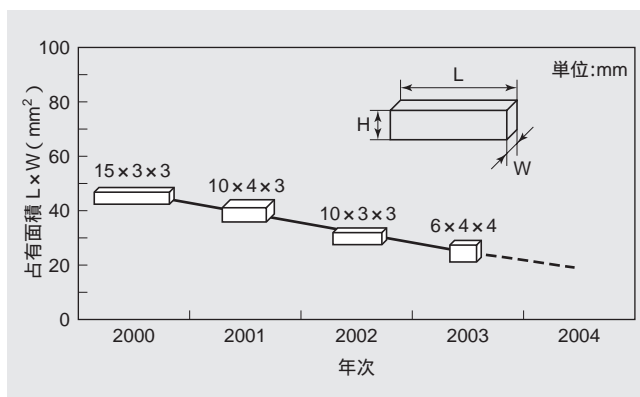


図5 携帯電話内蔵用GPSアンテナの小型化推移
Fig. 5 Miniaturization process for built-in GPS antennas for cellular-phones.

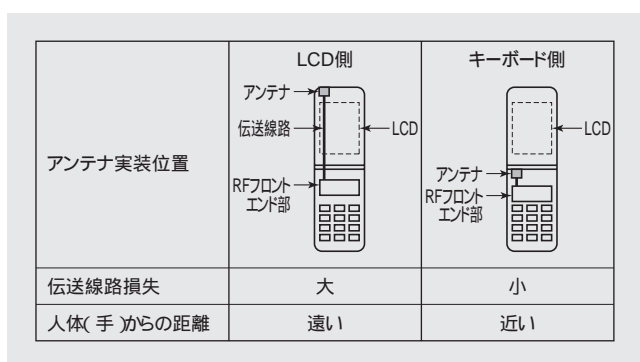


図6 GPSアンテナ搭載位置
Fig. 6 Mounting position of GPS antenna.

携帯電話内蔵用GPSアンテナの概観および当社開発品における小型化推移をそれぞれ示す。

開発品（製品型番SMA-R15022A）のサイズは6×4×4mm、占有面積は24mm²であり、携帯電話用GPSアンテナとしては世界最小クラスを実現している。

最近、携帯電話では通話のほか、電子メールの送受信やカメラ機能まで搭載した機種が人気を集めており、このデザインとして折り畳み式端末が主流となっている。

これにGPS用チップアンテナを搭載する場合、図6に示すような搭載方法が考えられる。アンテナが液晶ディスプレイ（LCD）側に搭載される場合、キーボード側に実装されたRFフロントエンド回路から伝送線路を介してアンテナに給電する必要があるが、この線路の損失（0.5dB程度）が生じるため、表2に示したアンテナ専用方式による低損失の特長が失われてしまう。

GPSアンテナを端末のキーボード側に搭載すれば給電線路が短いため低損失であるが、アンテナと人体（手）とが近接するなど、周囲環境の変化によりアンテナの性能が大きく変動しやすいという短所があった。この課題の解決策については、次節で詳しく説明する。

2.2 動作原理

図4のGPSアンテナの基本原則を図7に示す。

誘電体（比誘電率 ϵ_r ）の基板上に逆L型の導体を設け、一端を基板の接地部に接続することにより、アンテナ放射電極が形成される。また、給電線の先端も基板に接地

され、放射電極の開放側との給電線との間に装荷容量（ C_g ）が生じることにより、アンテナ付近で生じる共振電流の大部分は破線矢印の経路に沿って流れるため、周囲の人体（手）などによる影響を受け難くなる。

なお、アンテナの利得を向上させるため、放射電極や給電線の基板側裏面には接地導体がない構造である。

アンテナを小型化するためには、 ϵ_r を大きくして放射電極長の短縮と、 C_g の増加を同時に図ればよい。

図7のアンテナ構造を簡単な集中定数素子に置き換えると、図8のような等価回路で表される。この中で給電線はLiおよびLgの直列回路となり、それぞれの線路長を調整することにより、入力インピーダンスを50Ωに整合している。このため、給電側では外付け整合回路を不要とし、簡素かつ低損失なGPS受信専用アンテナを実現できた。

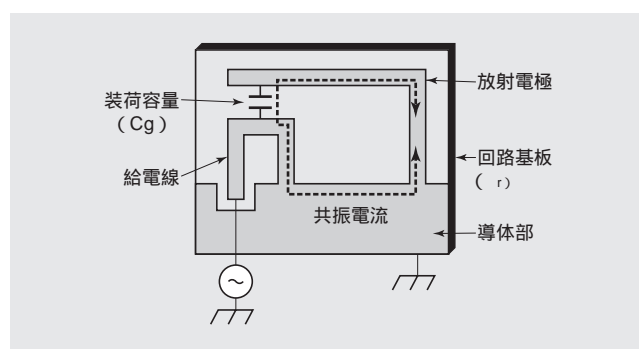


図7 GPSアンテナ基本原則
Fig. 7 Schematic diagram of GPS antenna.

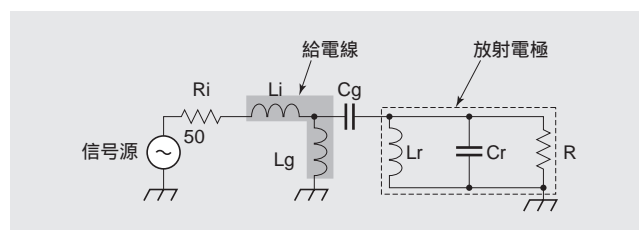


図8 等価回路
Fig. 8 Equivalent circuit.

2.3 電磁界シミュレーション

GPSアンテナの動作原理を検証するため、有限要素法によるシミュレータHFSS™（High Frequency Structure Simulator, 米国アンソフト社）を用いて電磁界や電流等を計算した結果について述べる。

図9は、図4に示したGPSアンテナを、折り畳み式携帯電話に搭載した場合のシミュレーション用モデルである。高誘電体の表面に放射電極と給電線を形成したGPSアンテナを、基板（誘電体と導体で構成）上に実装するとともに、LCDやバッテリー、主アンテナ（すべて導体）をモデルに含むことで解析精度を高めている。

図10に、GPSアンテナ周辺部の電流密度分布の計算結果を示す。図7に示したように、共振電流経路となる放射電極と給電線の一部が赤色で表され、これらの電流密度の高いことがわかる。アンテナ周辺部でも電流密度の

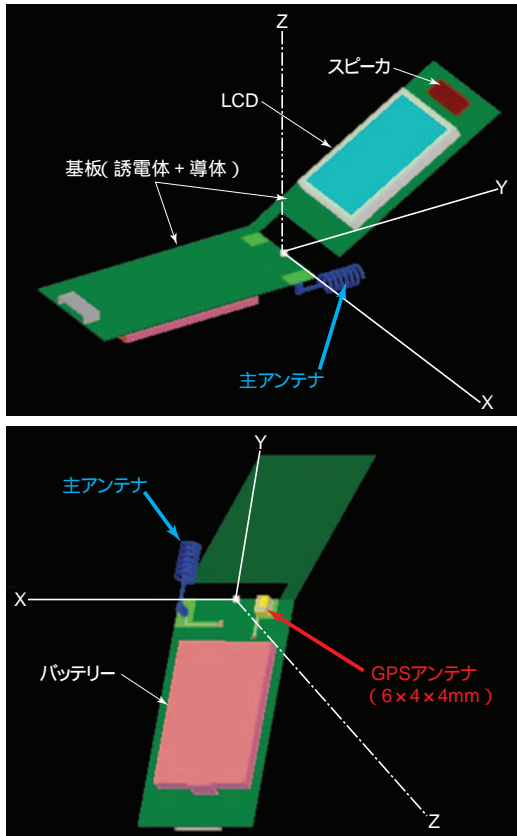


図9 シミュレーション用モデル
Fig. 9 Structural simulation model.

高い部分は狭い範囲に分布していることから、GPSアンテナ周辺部での人体や部品などの近接による影響が小さいことは明らかである。

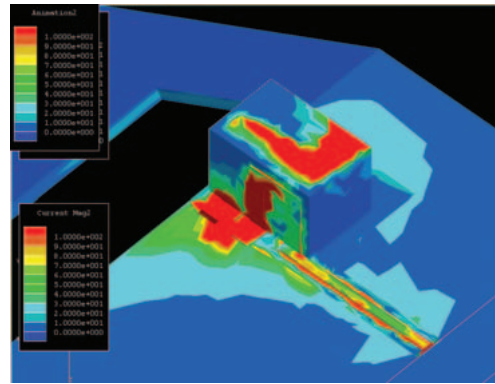
図11に、電界強度 (Y-Z平面) の計算結果を示す。LCD側基板とバッテリー側基板との間に強い電界集中が見られ、それより若干弱いものの両基板の他端にも電界の集中が確認できる。この理由は、GPSアンテナ近傍に流れる共振電流の電磁結合により、微弱ではあるが2つの基板が互いに励振されているためである。この励振動作によって、これら基板(導体部)は長手方向に対しダイポールアンテナとしての役割も果たすため、GPSアンテナのチップサイズを小型化しても、ある程度の利得を維持することが可能となる。

図12は、GPSアンテナおよび主アンテナに、それぞれポート1およびポート2を接続した場合のSパラメータ計算結果を示したものである。このとき、S11およびS22の振幅値はそれぞれGPSアンテナおよび主アンテナの反射損失に相当し、周波数帯域の中心で最小となる。またS21の振幅値が、周波数800MHz帯で -25dB、1,575MHz帯で -15dBが得られることは、主アンテナとGPSアンテナとの相関性が低いことを示しており、主アンテナから発せられる高調波成分をGPS側で受信しにくい望ましい特性であることを表している。

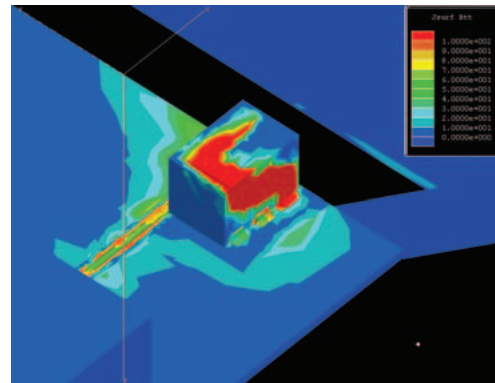
③ 評価結果および考察

3.1 評価結果

開発したGPSアンテナを図9のような折り畳み式携帯



(a) 給電線から見た図



(b) 放射電極から見た図

図10 GPSアンテナ周辺部の電流密度の計算結果
Fig. 10 Current density results.

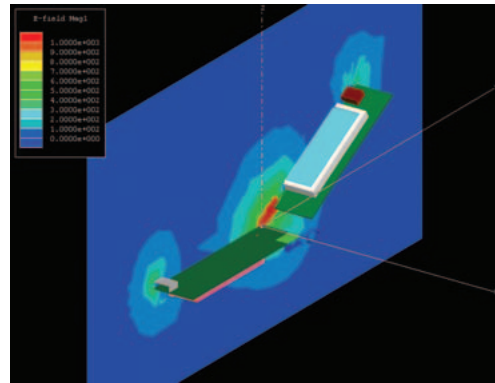


図11 電界強度の計算結果

Fig. 11 E-field magnitude results.

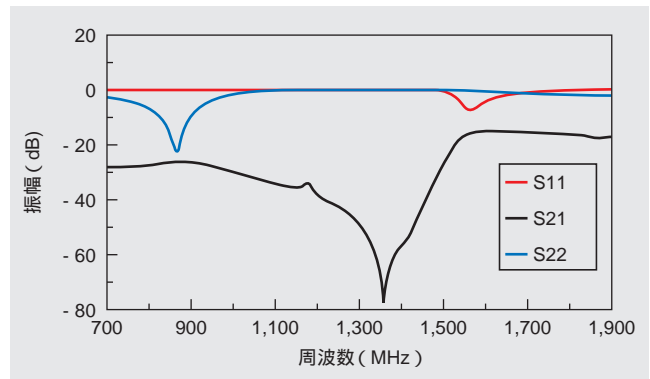


図12 Sパラメータ計算結果

Fig. 12 S-parameters results.

電話に搭載し、図13に示す当社所有のアンテナ専用電波無響室の中で測定した。このとき、テストセットであるGPSアンテナと測定用アンテナ（右旋円偏波型ログ・スパイラル・アンテナ）を3m離し、これらとネットワーク・アナライザの2つのポートをそれぞれ接続することにより給電を行った。

図14に、VSWRの測定結果を示す。GPS帯域においてVSWRは極小であり、表1に示した目標値2以下を十分に満たした。また、VSWR値が2以下となるアンテナ帯域幅は40MHzであり、世界最小サイズを実現しながら、従来の車載用GPSアンテナと同等の帯域幅が得られている。

図15に、GPSアンテナの平均利得の測定結果を示す。周波数1,575MHzにおいて、平均利得の最大値 - 3dBic が得られたとともに、130MHzの広帯域で目標値（ - 5dBic ）を満足した。

周波数1,575MHzにおける、アンテナ指向性の測定結果を図16に示す。XY面内、YZ面内の指向性はいずれも8ノ字の形状を示しており、前章のシミュレーション結果で示したようなGPSアンテナのダイポール動作を立証

している。また、ZX面内の指向性は円心状（無指向性）にはならず、局所的な利得の落込み（ヌル）が1カ所見られるが、XY、YZ、ZX面内いずれも平均利得は高いので実用上は特に問題ない。

ZX面内のヌルについては、携帯電話ケースの内側に塗布したシールド材料に共振電流の一部が流れたことにより、この電流が指向性を乱しヌルを生じた理由が推察される。

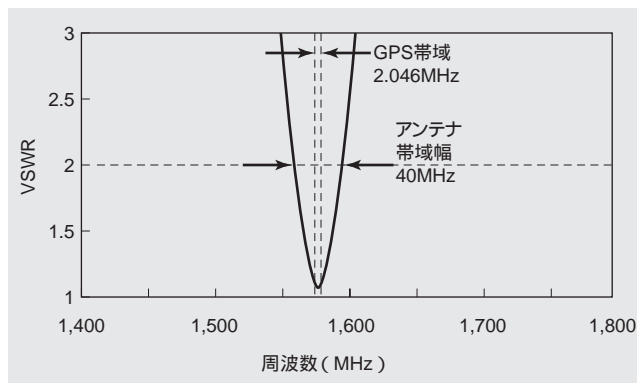


図14 VSWR測定結果
Fig. 14 VSWR measurement results.

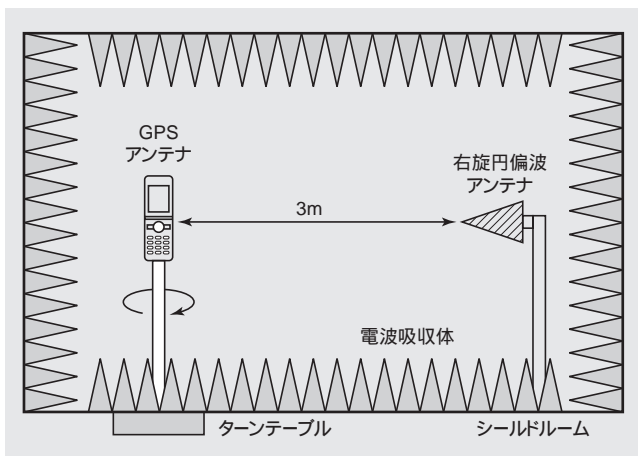


図13 GPSアンテナ測定方法
Fig. 13 GPS antenna measurement method.

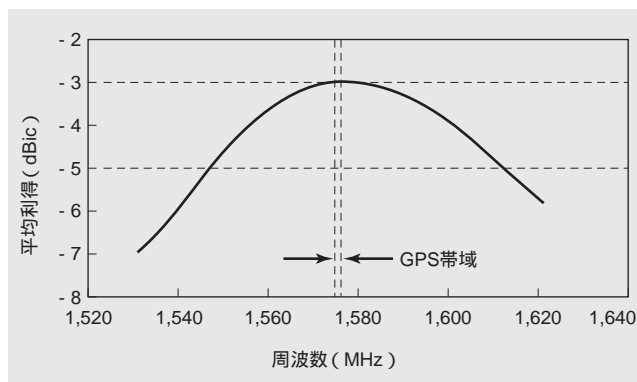


図15 平均利得測定結果
Fig. 15 Average gain measurement results.

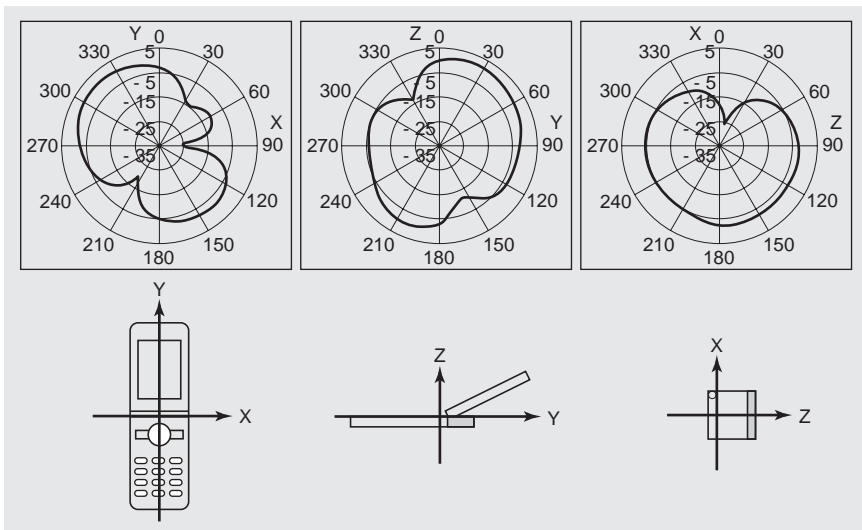


図16 アンテナ指向性測定結果
Fig. 16 Radiation pattern measurement results.

④ 結 言

携帯電話用部品の高度な設計技術と低損失な高誘電体セラミックスを応用し、従来の逆L型の放射電極にインピーダンス整合のための独自構造の給電線を一体化した、携帯電話用GPSチップアンテナを開発した。

開発品（製品型番SMA-R15022A）のサイズは $6 \times 4 \times 4$ mm、占有面積は 24mm^2 であり、GPS用アンテナとしては世界最小クラスを実現した。

さらに携帯電話を含めた電磁界シミュレーションを通じ、チップアンテナ周囲に生じる共振電流から搭載基板が励振され、この結果ダイポールアンテナとしての動作が生じるメカニズムを明らかにした。

今後は、さらなる小型化や広帯域化などの開発を推進していきたいと考える。

この研究を行うにあたり、東北大学 電気通信研究所 坪内和夫教授に有益なご助言をいただきました。また、株式会社 日立製作所 中央研究所の武井健主任研究員にご討論いただきました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鈿持, 他: 日立金属技報, 17 (2001), 63
- 2) S. Takeda, IEEE MTT-S Digest WE2E-2 (1998), 621
- 3) 青山, 他: 日立金属技報, 17 (2001), 67
- 4) 羽石, 他: 「小形・平面アンテナ」, 電子情報通信学会 (1996), 36



青山博志

Hiroyuki Aoyama

日立金属株式会社 先端エレクトロニクス研究所



高木保規

Yasunori Takaki

日立金属株式会社 先端エレクトロニクス研究所



萩原英俊

Hidetoshi Hagiwara

日立金属株式会社 鳥取工場