

# 環境条件によるチップアンテナの特性劣化対策

北原 直人\*<sup>1</sup>    日下 洋\*<sup>2</sup>    星野 勇氣\*<sup>3</sup>

The measures against deteriorating the properties of chip antenna  
based on the environmental condition

Naoto KITAHARA \*<sup>1</sup>    Hiroshi KUSAKA \*<sup>2</sup>    Yuuki HOSHINO \*<sup>3</sup>

The mounted chip antennas are used in the portable terminals of wireless personal communication systems. The representative one is an inverted-F antenna with matching circuit. However, the radiation properties of inverted-F antenna are changed by the environmental condition. In this paper, the change of antenna properties used in wireless LAN cards is researched. In results, it is possible to design without the change of antenna shape and conductor pattern of circuit board.

## 1. まえがき

電子情報通信機器の小型高性能化，多機能化へ向けた発達は目覚ましいものであり、携帯電話を始めとする携帯型の端末機器は、日常的に使われる状況となっている。

このような状況のなか、無線通信を行うキーパーツであるアンテナにおいては、モノポールアンテナに代表される立体型から、小型内蔵化を目的とした面実装型のチップアンテナへの移行が進んでいる。

更に、アンテナにおいては、小型化した場合、利得の低下、周波数帯域の減少、指向性の劣化等が必然的に現れる<sup>[1]</sup>にも関わらず、それらの特性の一部を犠牲にしてまでも、チップアンテナの更なる小型化を推し進めている<sup>[2]</sup>。

面実装可能なチップアンテナとしては、整合回路の付加を不要とすることができる逆F型アンテナを、誘電体素体上に形成した逆F型誘電体チップアンテナを基本としたものが、汎用的に用いられている<sup>[3]</sup>。

しかしながら、逆F型アンテナのような $\lambda/4$ 共振を用いたチップアンテナでは、アンテナ周辺の基板形状や基板上の回路部品及び接地導体線の配置、ケースを含めた周辺機器等の影響を、特に受け易く、アンテナ特性の変化を生じる問題がある<sup>[4]</sup>。この対

策として、アンテナの周波数帯域を拡大することも検討されているが<sup>[5]</sup>、実使用上では、使用者の手や頭等の人体の影響によってもアンテナ特性が変化することから、設計段階で、アンテナ特性、特に共振周波数の最適化を図ることが要求されている<sup>[6]</sup>。

そこで、逆F型誘電体チップアンテナを無線LANカードに用いた場合を想定し、周辺環境におけるアンテナ特性の変化と、それに対する対策を検討したので、以下に報告する。

## 2. 基本アンテナと評価系の構成

本論文においては、携帯無線通信機器として、一般的にパソコンに接続する形で用いられる無線LANカードを想定し、アンテナは、内蔵型として最も汎用的に用いられる逆F型誘電体チップアンテナとした。図1に基本構造を示す。実用されている無線LANカードと同一形状となる様、外形 $80 \times 48 \times 0.8\text{mm}$ で、比誘電率2.6の誘電体基板上に比誘電率10.2の誘電体素体で形成した逆F型チップアンテナを搭載した。

また、評価項目としては、図2のイメージ図に示す様に、LANカードを想定した逆F型誘電体チップアンテナを搭載した基板をノートパソコンに装着

\*<sup>1</sup> 東京工芸大学工学部システム電子情報学科講師    \*<sup>2</sup> 同電子工学専攻 2004 年度修了    \*<sup>3</sup> 同電子情報工学科 2004 年度卒業  
2005 年 8 月 31 日受理

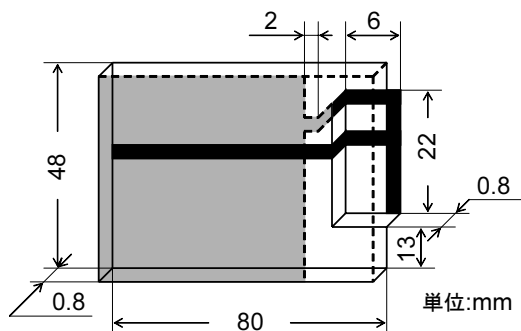


図1. 逆F型誘電体チップアンテナの基本構成

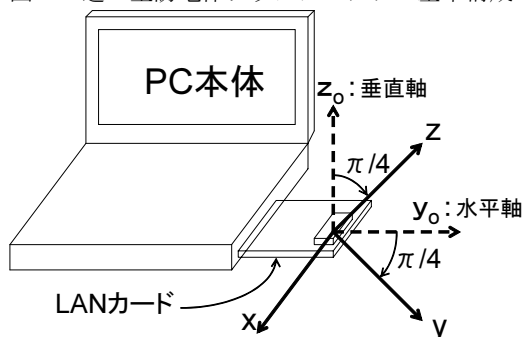


図2. アンテナ特性評価における座標系

した状態における右斜め上方向の放射利得とした。

具体的には、XY 平面を水平面、Z 軸方向を垂直方向とした直交座標系に対し、YZ 平面を時計方向に  $\pi/4$  だけ回転した直交座標系において、ZX 面における Z 軸方向から  $\pm \pi/2$  方向及び YZ 面における Z 軸方向から  $\pm \pi/4$  方向の平均利得を評価項目とした。

基準の逆 F 型誘電体チップアンテナ搭載基板の挿入損失特性と、評価対象とした方向の放射特性を図 3 に示す。

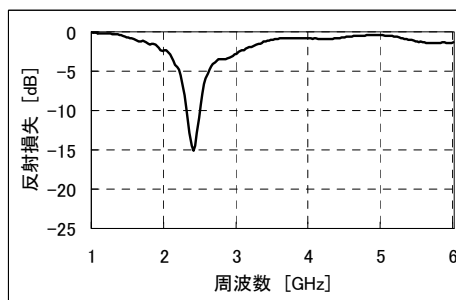
尚、測定周波数は、Bluetooth を想定し、2.4GHz とした。また、逆 F 型アンテナ構造は、上記基板に搭載した場合に最適になるように FDTD 法を用いて設計し、市販の誘電体基板を用いて試作した。

### 3. 環境条件によるアンテナ特性の変化

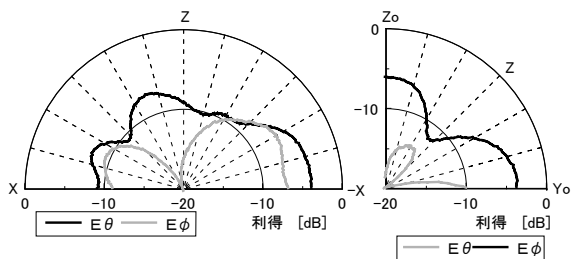
誘電体チップアンテナの周辺環境に対する特性変化を把握するため、図 4 及び以下に示す 8 つのパラメータに対して検討を行った。

a : アンテナと x 方向の素子との距離

b : アンテナと -x 方向の素子との距離



(a) 入力特性



(b) 放射特性

図3. 基準アンテナのアンテナ特性

c : アンテナと  $y_0$  方向の素子との距離

d : アンテナと  $-y_0$  方向の素子との距離

e : アンテナを搭載した基板の幅

f : アンテナと基板裏面 GND との水平方向距離

g : PC 筐体を想定した  $-y_0$  方向の物体の高さ

h : PC 筐体を想定した  $-y_0$  方向の物体との距離

IC 部品や受動部品等の搭載されたチップ部品や PC 筐体を考える場合、必ずしも金属導体で形成されているものではなく、更に接地されているとは限らない。しかしながら、アンテナ特性に対して最も影響を与え易いものの代表として、これらを接地導体として評価することとした。

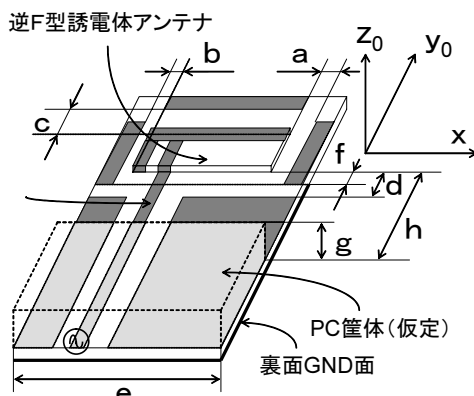


図4. アンテナの周辺環境検討パラメータ

## 3-1. x方向の素子との距離に対する特性変化

図5にアンテナとx方向にある導体との配置図を示す。導体は、基板側面を介して基板裏面のGNDと接続することにより接地されている。ここでは、アンテナとx方向にある接地導体との距離： $a$ を変化させるに当たり、基板形状及びアンテナ位置を固定し、接地導体の幅を変化させることとした。

結果を図6及び表1に示す。

結果より、x方向の接地導体との距離 $a$ が小さくなるに従い、共振周波数が低周波数側にシフトし、整合状態にずれが生じていることが解る。これは、同相モードで逆Fアンテナにおいては、x方向にある接地導体の影響を受け、等価的な終端がシフトすることに起因しているためである。

従って、この様な場合には、第4章に述べる方法により、予め、接地導体があることを見込んだアンテナの導体設計が必要であることが解る。

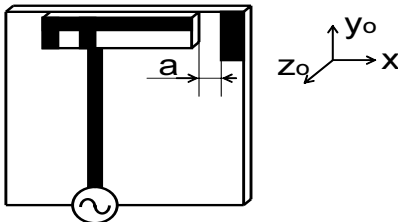
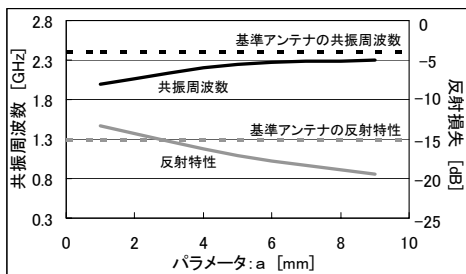
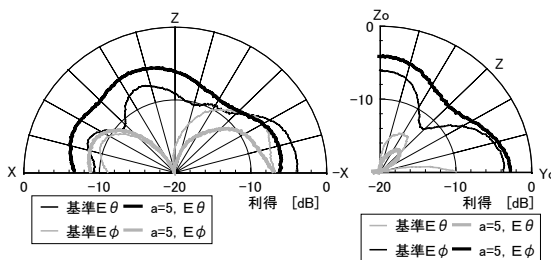


図5. x方向の仮想素子との構成図



(a) 入力特性



(b) 放射特性

図6. x方向の仮想素子によるアンテナ特性変化

表1. x方向の仮想素子によるアンテナ特性変化

パラメータ: $a$	[mm]	基準	9.0	5.0	1.0
共振周波数	[GHz]	2.40	2.30	2.25	2.00
反射損失 $at2.4GHz$	[dB]	-15.13	-10.60	-7.22	-2.45
平均放射利得 $at2.4GHz$	ZX面 $E\theta$	-8.10	-6.75	-6.48	-8.03
	ZX面 $E\phi$	-11.97	-13.86	-14.56	-16.69
	YZ面 $E\theta$	-18.34	-21.26	-19.38	-23.33
	YZ面 $E\phi$	-7.44	-5.37	-5.24	-6.44

## 3-2. -x方向の素子との距離に対する特性変化

図7にアンテナと-x方向にある導体との配置図を示す。前項と同様に、導体は、基板側面を介して接地しており、アンテナと-x方向にある接地導体との距離： $b$ を変化させるに当たり、基板形状及びアンテナ位置は固定した。

結果を図8及び表2に示す。

結果より、-x方向に接地面を設けても、共振周波数は、殆ど変化せず、整合状態は劣化するにも関わらず、所望の方向の利得は逆に向上することが解る。これは、逆Fアンテナの-x方向端部が、接地点となっているため、-x方向に設けた接地導体によって、逆相モードの電気長が変化し、整合状態がずれるものの、所望の方向には放射し易くなったとめと考えられる。

従って、この部分に接地導体を形成することは、アンテナ設計の変更を必要とすることがないと言うより、むしろ好ましく、前項の結果と併せて考えると、アンテナ側面に回路パターン等を形成する場合には、接地点方向に配置することが望ましいことが解る。

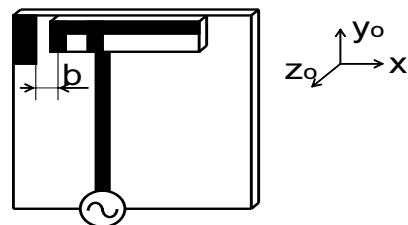


図7. -x方向の仮想素子との構成図

表2. -x方向の仮想素子によるアンテナ特性変化

パラメータ: $b$	[mm]	基準	9.0	5.0	1.0
共振周波数	[GHz]	2.40	2.43	2.43	2.43
反射損失 $at2.4GHz$	[dB]	-15.13	-14.13	-12.46	-13.06
平均放射利得 $at2.4GHz$	ZX面 $E\theta$	-8.10	-7.45	-7.20	-7.13
	ZX面 $E\phi$	-11.97	-14.06	-12.46	-13.06
	YZ面 $E\theta$	-18.34	-18.36	-18.40	-18.68
	YZ面 $E\phi$	-7.44	-6.42	-6.04	-5.78

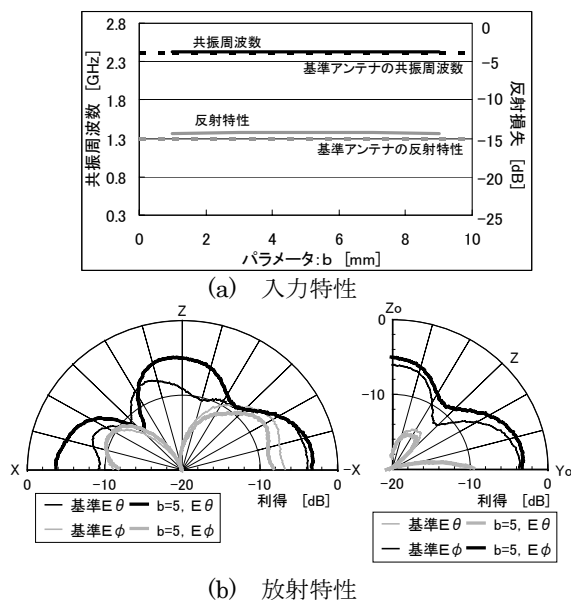


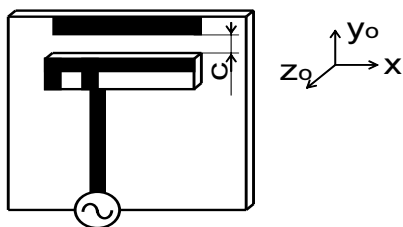
図 8. -x 方向の仮想素子によるアンテナ特性変化

3-3.  $y_0$  方向の素子との距離に対する特性変化

図 9 にアンテナと  $y_0$  方向にある導体との配置図を示す。但し、この導体を GND と接続しようとすると、アンテナの裏面または側面に導体を形成する必要が生じるため、接地はしていない。また、基板形状は固定したが、アンテナ位置は、形成した導体とアンテナとの距離： $c$  に応じて  $-y_0$  方向に移動させた。

結果を図 10 及び表 3 に示す。

結果より、共振周波数は殆ど変化せず、整合状態は、導体の有無により大きく変化するものの、アンテナと導体の距離では変化せず、放射利得も同様の傾向を示している。基準アンテナと放射利得を比較すると、ZX 面の  $E_\theta$  では利得の向上が見られ、YZ 面の  $E_\phi$  では低下している。これは、設置した導体が、前者に対してのみ無給電素子の役割を果たすためと考えられる。

図 9.  $y_0$  方向の仮想素子との構成図表 3.  $y_0$  方向の仮想素子によるアンテナ特性変化

パラメータ:c [mm]	基準	3.0	2.0	1.0
共振周波数 [GHz]	2.40	2.40	2.38	2.40
反射損失 at 2.4GHz [dB]	-15.13	-9.40	-9.49	-9.35
平均放射利得 at 2.4GHz [dB]	ZX面 $E_\theta$	-8.10	-7.35	-7.76
	ZX面 $E_\phi$	-11.97	-14.17	-13.53
	YZ面 $E_\theta$	-18.34	-16.23	-17.08
	YZ面 $E_\phi$	-7.44	-7.79	-7.76

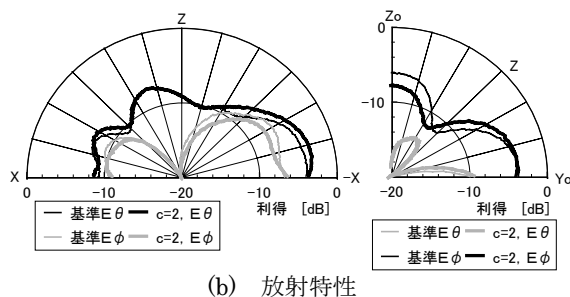
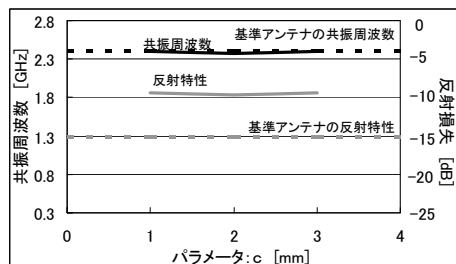
図 10.  $y_0$  方向の仮想素子によるアンテナ特性変化3-4.  $-y_0$  方向の素子との距離に対する特性変化

図 11 にアンテナと  $-y_0$  方向にある導体との距離： $d$  を表す配置図を示す。導体はスルーホールにより裏面 GND と短絡した。また、基板形状及びアンテナ位置は固定した。

結果を図 12 及び表 4 に示す。

裏面 GND とアンテナとの水平方向距離を 2 mm としたため、 $d = 2 \text{ mm}$  の結果において、僅かな共振周波数のずれと放射利得の低下が見られるが、それ以上の場合には、アンテナに対して設置した接

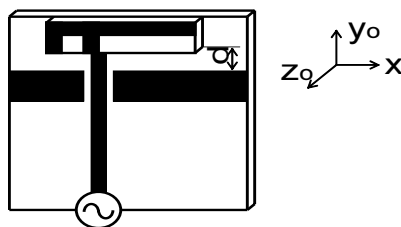
図 11.  $-y_0$  方向の仮想素子との構成図

表 4.  $-y_0$  方向の仮想素子によるアンテナ特性変化

パラメータ:d	[mm]	基準	6.0	4.0	2.0
共振周波数	[GHz]	2.40	2.40	2.40	2.40
反射損失 <sub>at2.4GHz</sub>	[dB]	-15.13	-13.90	-13.86	-13.30
平均放射利得 <sub>at2.4GHz</sub>	ZX面E $\theta$	-8.10	-8.13	-8.20	-8.37
	ZX面E $\phi$	-11.97	-13.16	-12.63	-11.99
	YZ面E $\theta$	-18.34	-17.27	-17.86	-17.21
	YZ面E $\phi$	-7.44	-7.40	-8.06	-7.78

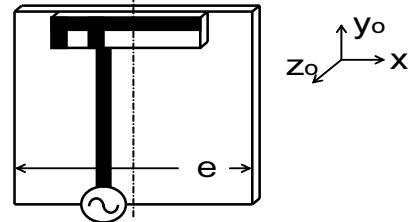
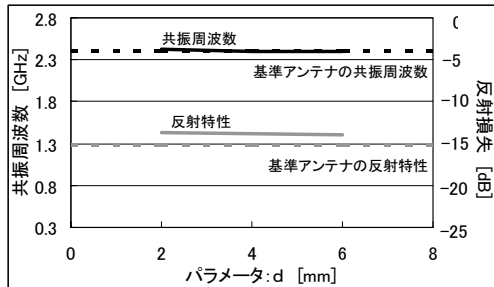
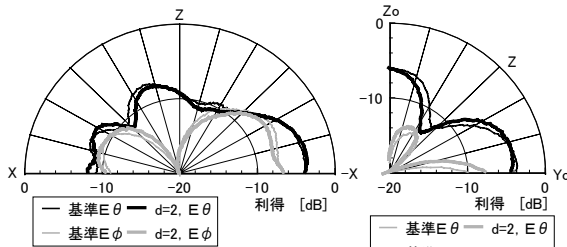


図 13. 基板の幅との関係を示す構成図



(a) 入力特性



(b) 放射特性

図 12.  $-y_0$  方向仮想素子によるアンテナ特性変化

地導体より近傍に裏面 GND があるため、電磁界分布を乱すことがなく、アンテナ特性は殆ど変化しないことが解る。

### 3-5. 基板の幅に対する特性変化

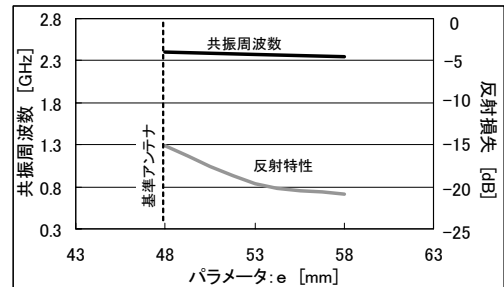
図 13 に基板の幅  $e$  を変化した場合の構成図を示す。基板の幅を変化させた場合のアンテナの位置は、基板中心と素子の中心が一致する様にした。

結果を図 14 及び表 5 に示す。

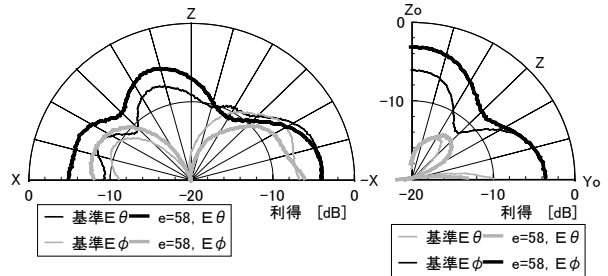
基板を大きくするに従い、共振周波数が僅かに低周波数側にシフトしていることが解る。しかしながら、放射利得は、主偏波である ZX 面の  $E\theta$  及び YZ 面の  $E\phi$  で向上している。これは、小型化のために、一般的に波長の 1.5 倍以上必要とされる地板を確保できていない本構成においては、基板が大きくなるに従い地板が広がったため、そこを流れる電流が広がり、主偏波の利得が向上したと考えられる。

表 5. 基板の幅によるアンテナ特性変化

パラメータ:e	[mm]	48(基準)	53	58
共振周波数	[GHz]	2.40	2.38	2.35
反射損失 <sub>at2.4GHz</sub>	[dB]	-15.13	-16.37	-14.84
平均放射利得 <sub>at2.4GHz</sub>	ZX面E $\theta$	-8.10	-7.11	-6.98
	ZX面E $\phi$	-11.97	-12.94	-12.62
	YZ面E $\theta$	-18.34	-17.25	-16.52
	YZ面E $\phi$	-7.44	-6.35	-5.29



(a) 入力特性



(b) 放射特性

図 14. 基板の幅によるアンテナ特性の変化

### 3-6. 基板裏面 GND との距離に対する特性変化

図 15 に構成図を示す。パラメータ  $f$  は、アンテナ端部と基板裏面 GND との水平方向 ( $y_0$  軸方向) の距離とした。

結果を図 16 及び表 6 に示す。

裏面 GND との距離が大きくなるに従い、共振周波数のずれは僅かではあるが、主偏波の利得が低下していることが解る。これは、放射素子と GND 間の電磁界分布によりエネルギーが放射される逆 F 型

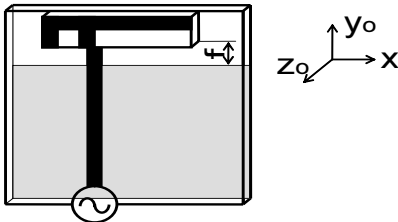


図 15. 基板裏面 GND との関係を示す構成図

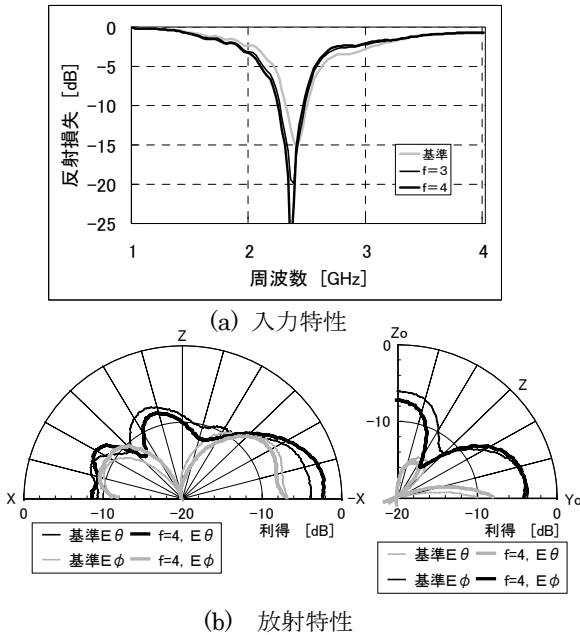


図 16. 基板裏面 GND によるアンテナ特性変化

表 6. 基板裏面 GND によるアンテナ特性変化

パラメータ:f	[mm]	基準	3.0	4.0
共振周波数	[GHz]	2.40	2.38	2.35
反射損失 <sub>at2.4GHz</sub>	[dB]	-15.13	-16.41	-15.51
平均放射利得 at2.4GHz	ZX面Eθ	-8.10	-8.10	-8.46
	ZX面Eφ	-11.97	-12.25	-11.88
	YZ面Eθ	-18.34	-17.58	-17.81
	YZ面Eφ	-7.44	-8.25	-8.50

アンテナにおいては、その電磁界分布が変化するためであると考えられる。但し、このような基板設計を行う必要がある場合は、アンテナに合わせて裏面 GND を近接させることにより、放射利得の低減を抑えることが可能であると考えられる。

### 3-7. -y<sub>0</sub>方向の設置物体による特性変化

図 2 に示した様に、PC 筐体の側面に差し込む形で使われる無線 LAN カードにおける PC 筐体の影響を調査するため、図 17 に示す様に接地した金属

導体の箱を基板に取り付けて、アンテナ特性の変化を調べた。金属箱の厚さ: g に対するアンテナ特性の変化を図 18 及び表 7 に示す。また、アンテナと金属箱の距離: h に対するアンテナ特性の変化を図 19 及び表 8 に示す。

PC 筐体を想定した金属箱がない基準状態と比較して、g = 5 mm, h = 2 mm では、共振周波数が低周波数側にシフトしているにも関わらず、所望の方向の主偏波の利得が向上している。しかしながら、これより g または h が大きくなった場合には、更に共振周波数が低周波数側に大きくシフトし、整合状態も悪化、主偏波の放射利得が低下すると共に、偏波面が変化していることが解る。これらは、PC 筐体が反射板または地板と見なせるために、アンテナ特性が大きく変化したもので、LAN カードの場合には、PC 筐体に挿入した状態で最適となる様に、アンテナ形状を設計する必要があることを示している。但し、PC 筐体への挿入口の垂直方向位置や PC 筐体から突出する長さを適当に合わせることで、放射特性を向上させることも可能であることも解る。

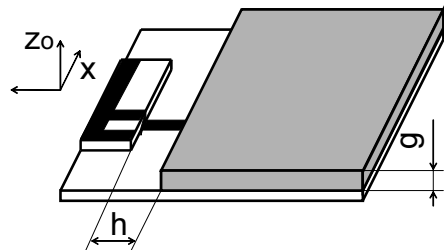


図 17. -y<sub>0</sub>方向の設置物体を示す構成図

表 7. 金属箱の厚さによるアンテナ特性変化

パラメータ:g	[mm]	基準	5.0	10.0
パラメータ:h	[mm]	2.0	2.0	2.0
共振周波数	[GHz]	2.40	2.25	2.08
反射損失 <sub>at2.4GHz</sub>	[dB]	-15.13	-7.13	-2.75
平均放射利得 at2.4GHz	ZX面Eθ	-8.10	-8.00	-17.59
	ZX面Eφ	-11.97	-12.54	-13.32
	YZ面Eθ	-18.34	-13.46	-8.00
	YZ面Eφ	-7.44	-7.15	-15.78

表 8. 金属箱との距離によるアンテナ特性変化

パラメータ:h	[mm]	基準	2.0	4.0	6.0
パラメータ:g	[mm]		5.0	5.0	5.0
共振周波数	[GHz]	2.40	2.25	2.15	2.28
反射損失 <sub>at2.4GHz</sub>	[dB]	-15.13	-7.13	-3.40	-7.28
平均放射利得 at2.4GHz	ZX面Eθ	-8.10	-8.00	-15.52	-10.33
	ZX面Eφ	-11.97	-12.54	-13.44	-12.04
	YZ面Eθ	-18.34	-13.46	-7.36	-11.72
	YZ面Eφ	-7.44	-7.15	-12.05	-9.48

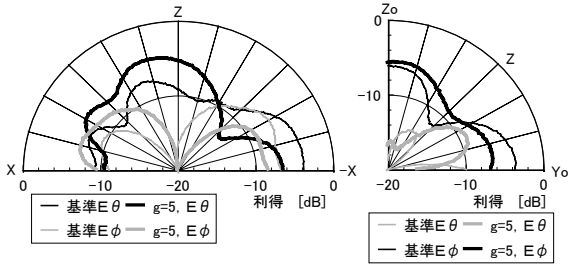
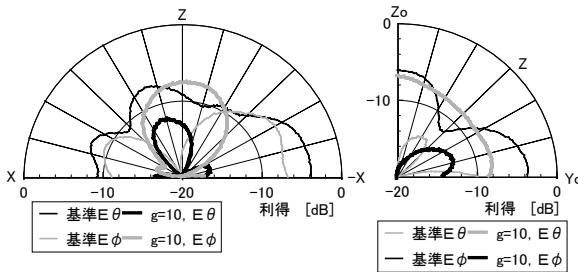
(a)  $g = 5 \text{ mm}$ ,  $h = 2 \text{ mm}$  時の放射特性(b)  $g = 10 \text{ mm}$ ,  $h = 2 \text{ mm}$  時の放射特性

図 18. 金属箱の厚さによるアンテナ放射特性変化

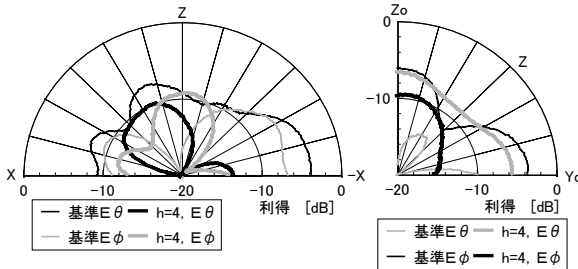
(a)  $g = 5 \text{ mm}$ ,  $h = 4 \text{ mm}$  時の放射特性

図 19. 金属箱との距離によるアンテナ放射特性変化

## 4. 特性変化に対する対策法

前項で述べた様に、チップアンテナにおいては、その周辺環境により、整合状態、放射利得、指向性等のアンテナ特性が変化する。予め、環境条件により特性が変化することが見込める場合であれば、それを考慮してアンテナ素子を設計することが可能であるが、実際には、複数の項目が重なり合って作用するため、予測することは難しい。そのため、基板設計等を行った上で、最終的にアンテナ特性を調整する必要がある、基板配線等の変更をすることなくアンテナ特性の最適化を図ることが望まれる。そこで、素子形状、給電位置、接地配線位置を変更することなく、アンテナ特性を調整する方法を検討した。

### 4-1. 導体パターンの変更による調整

素子形状及び給電、接地配線位置を変更することなくアンテナ特性を調整する方法として、図 20 に示す表面導体パターン上の 3 つのパラメータに対する依存性を調査した。

全てのパラメータは、素子形状を一定としていることから、小さくする方向で検討した。その結果を図 21~23 に示す。

パラメータ  $\beta$  については、基準から小さくするのに従って、整合状態が劣化することが解る。これに対して、 $\alpha$  及び  $\gamma$  は、基準から小さくするのに従い、整合状態が良くなる方向に動きながら、共振周波数では、 $\alpha$  は高周波数側、 $\gamma$  は低周波数側にシフトしていることが解る。

これにより、環境条件により、共振周波数が変化し、整合状態が劣化した場合、表面導体パターンを調整することにより、アンテナ特性の最適化を図ることができることが解る。尚、前項で検討した環境

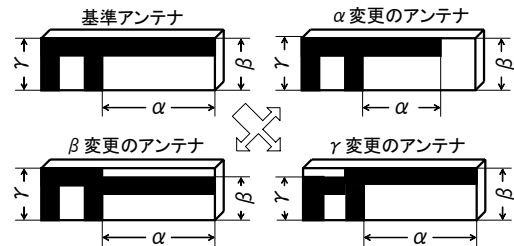
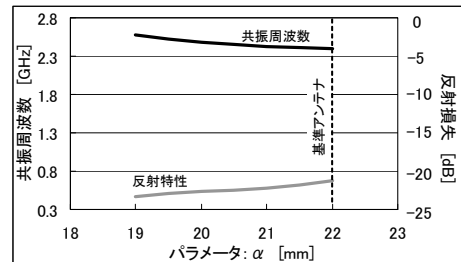
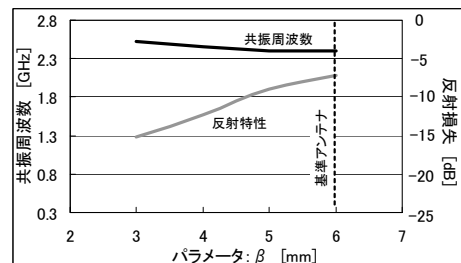
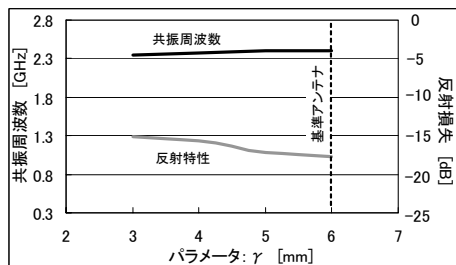


図 20. アンテナ素子の導体パターン変更方法

図 21. パラメータ  $\alpha$  によるアンテナ特性変化図 22. パラメータ  $\beta$  によるアンテナ特性変化

図 23. パラメータ  $\gamma$  によるアンテナ特性変化

条件による共振周波数の変化が、低周波数側にシフトする場合が多いことを考慮すると、パラメータ  $\alpha$  による最適化が最も有効であると言える。

#### 4-2. 環境条件によるアンテナ特性劣化対策例

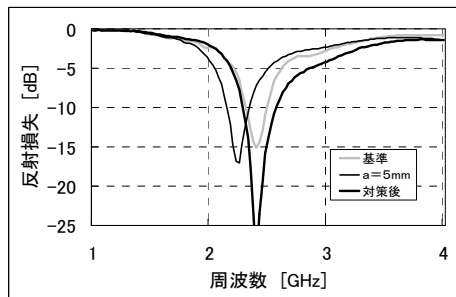
前項で述べた環境条件によるアンテナ特性劣化対策の一例として、3-1 項における  $a = 5 \text{ mm}$  に接地導体がある場合の対策例を以下に示す。

表 1 及び図 6 に示す様に、この場合には、整合状態は劣化していないが、共振周波数が低周波数方向に  $0.25 \text{ GHz}$  シフトしたために、 $2.40 \text{ GHz}$  における反射損失は大きくなっている。

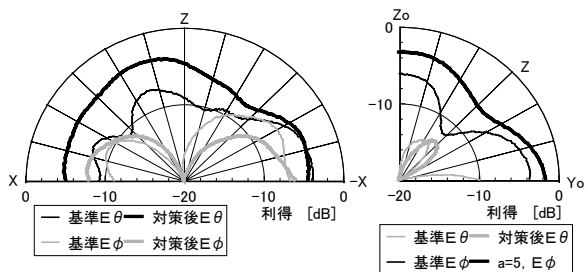
これに対して、図 21 より算出される様に、パラメータ  $\alpha$  を基準の  $22 \text{ mm}$  から  $19.25 \text{ mm}$  とした場合のアンテナ特性を図 24 に示す。この結果より、アンテナ素子の表面導体パターンを最適化することにより、放射特性を改善することができており、適切な対策であると言えることができる。

## 5. まとめ

無線通信システム用携帯型端末機器用アンテナとして、小型内蔵化の目的で多く用いられる逆 F 型誘電体チップアンテナの、周辺環境によるアンテナ特性の変化の程度を把握し、アンテナ素子形状及び給電、接地配線位置を変更しない対策法を検討した。その結果、基板配線パターンによる特性変化には、充分に対応できることを明らかとした。更に、無線 LAN カードを想定し、PC 筐体に接続した場合には、その PC 筐体により偏波面が変わることもあるが、PC 筐体との距離及びアンテナ搭載基板から PC 筐体上部までの高さを最適化することにより、放射特性を改善できることも明らかとした。



(a) 入力特性



(b) 放射特性

図 24. アンテナ特性劣化対策実施効果

## 参考文献

- 1) 遠藤一雄, 新井宏之, 土岐政弘, 後藤尚久, “板状アンテナの整合法と帯域, 電気的体積, 利得の関係” 信学技報, A.P90-20, June, 1990
- 2) 新井宏之, “小型アンテナ: 小型化手法とその評価法” 信学論 B, Vol.J87-B, No.9, pp.1140-1148, Sept. 2004
- 3) 春木宏志, 小林敦, “携帯無線機用逆 F アンテナ” 昭 57 信学総全大, 分冊 3, No.613, pp.66, March 1982
- 4) 常川光一, “小型筐体に接地された逆 F アンテナの帯域特性” 1996 信学ソ大, 分冊 2, No.B-84, pp.84, Sept.1996
- 5) T. Taga and K. Tsunekawa, “Performance analysis of a built-in planer inverted F antenna for 800MHz band portable radio units”, IEEE J. Sel. Areas Commun., vol.SAC-5, no.5, pp.921-929, 1987
- 6) 関根秀一, 伊藤敬義, 大館紀章, 村上康, 庄木裕樹, “並列共振を用いた広帯域逆 F アンテナの設計”, 信学論 B, Vol.J86-B, No.9, pp.1806-1815, Sept. 2003