

# 修士論文

## 携帯端末内蔵用小型アンテナの研究

### A Study of Small Built-in Antenna for Hand held Terminal

指導教官 新井宏之 助教授

平成 14 年 2 月 12 日 提出

横浜国立大学 工学研究科

電子情報工学専攻

00DD054 常光 康弘

## 要約

携帯端末内蔵用の小型アンテナに関する研究が近年盛んに行われている。携帯電話基地局から送信される電波は主に垂直偏波であり、端末側には垂直偏波の受信レベルが高いアンテナが求められる。しかし、近年、携帯電話をメール端末などのビューワとして利用する機会が増えており、天頂方向から 60 度～90 度傾けて使用するために、基地局で励振される垂直偏波とは偏波面が一致せず電波の受信レベルが低下する。このため端末を傾けたときにも垂直偏波を放射する構造が望ましいことが報告されている。

本研究では IMT-2000 ( International Mobile Telecommunications-2000 ) で使用される 2GHz 帯を想定し、携帯端末をビューワとして使う場合に有効なアンテナ設置方法を /4 モノポールアンテナと携帯電話サイズ及び PDA ( Personal Digital Assistant ) サイズである 2 種類の地板を用いて FDTD ( Finite Difference Time Domain method ) 解析と実験により検討した。多重波環境での評価の一例として、セラミックファントムを用いて水平面内での垂直偏波と水平偏波の指向性をそれぞれ平均したときの、天頂方向からの携帯端末の傾斜角度 に対しての変化量を評価した。傾斜角度 が大きくなった場合、地板に対してアンテナを平行に設置した場合には垂直偏波の受信レベルが低下するのに対し、地板に対して垂直に設置した場合には受信レベルが上昇することを確認した。したがって、携帯端末をビューワとして用いる傾斜角度  $> 60$  度の範囲では、地板に対してアンテナを垂直にすることが有効な設置方法であることを明らかにした。

次にその有効な設置方法に対して携帯端末に内蔵可能な小型のアンテナを実現するため、誘電体基板を用いた容量装荷型モノポールアンテナについて、製作が容易になるようにアンテナの中央部に穴を開け、その側面に給電構造がプリントできるアンテナを提案し、FDTD 解析と実験より検討した。このアンテナはスタブ構造により整合を取っており、地板に垂直な部分が放射素子として働きモノポールアンテナの放射指向性を得る。なお上板に流れる電流は、地板によって生じるイメージ電流によって相殺されて放射指向性に影響を与えない。比誘電率 3.6 の基板を用いて、アンテナの高さ 2.5mm で共振周波数 2.025GHz、比帯域 2.1% のものを試作した。

以上のように本論文では携帯端末をビューワとして用いる場合のアンテナ設置方法について検討し、有効な設置方法での携帯端末内蔵用の小型アンテナを実現した。

# 目次

1. 序論.....	2
2. 携帯端末へのアンテナ設置方法 .....	6
2.1. 地板サイズと設置方法を変えたときの影響 .....	6
2.1.1. アンテナの設置位置と方法 PDA サイズ地板 .....	6
2.1.2. アンテナの設置位置と方法 携帯電話サイズ地板 .....	14
2.1.3. ファントム（頭部，胸部，腕部）による影響 .....	19
2.2. 携帯端末への有効なアンテナ設置方法 .....	22
2.2.1. リターンロス特性と地板上の電流分布 .....	22
2.2.2. アンテナを地板に平行に設置するときの給電構造 .....	27
2.2.3. ホイップ長と地板の関係 .....	31
3. 携帯端末内蔵用小型アンテナ .....	34
3.1. 穴付容量装荷型モノポールアンテナ解析と実験 .....	34
3.1.1. 誘電体を装荷しない場合の解析と実験 .....	34
3.1.2. プリント基板を用いた実験と解析 .....	37
3.2. 解析と実験の誤差及び実験による諸特性の測定 .....	38
3.2.1. セルサイズの違いによる解析結果の違いと実験 .....	38
3.2.2. 2GHz 帯での解析と試作 .....	42
3.3. モノポールアンテナとの利得比較 .....	45
3.3.1. モノポールと穴付容量装荷型の放射指向性比較 .....	45
3.3.2. モノポールアンテナとの比較 アンテナ単体 .....	48
3.3.3. モノポールアンテナとの比較 ファントム使用 .....	50
4. 結論.....	55
謝辞 .....	56
参考文献 .....	57
発表文献 .....	59
付録 アンテナ設置方法と位置について .....	60

# 1. 序論

近年の情報化社会の到来に伴い、移動体通信では携帯端末に対して、通話するだけではなく、情報を見るためのビューワとしての役割も求められるようになった。携帯電話の契約数は年々増加の一途をたどり、平成 13 年 12 月末の時点で 6710 万台（電気通信事業者協会調べ）に達し、使用する環境や方法の多様化に対応する携帯端末用のアンテナについての研究が盛んになっている。

移動体通信では図 1-1に示すように今後データ通信速度の高速化が進み、ますます携帯端末に対してビューワとしての役割が増加していくと予想される。現在の携帯電話である PDC（Personal Digital Cellular system）のデータ通信速度は 9.6～28.8kbps と低速だが、PHS（Personal Handy-phone System）では 32～64kbps、昨年 10 月より商用サービスが開始された次世代携帯電話 IMT-2000（International Mobile Telecommunications 2000）では 384kbps となりデータ通信速度が向上している。この性能を生かし、携帯端末にカメラを搭載して液晶画面上に話し相手の顔を映し出すテレビ電話として使用する用途も始まっている。IMT-2000 の 2000 は 2000 年代との意味合いのほかに、割り当てられる周波数帯が 2GHz 帯であることに由来する。アップリンク（移動端末から基地局）は 1920-1980MHz であり、ダウンリンク（基地局から移動端末）は 2110-2170MHz である。190MHz 間隔の FDD（Frequency Division Duplex）で使用し、周波数の有効利用を考慮し、最大 2Mbps のデータ通信速度を提供するためには、20MHz 程度（片側）の周波数帯域を確保することが必要になる。IMT-2000 の規格で目標としたことは、規格を世界規模で統一することで世界中どこでも使用できる携帯電話にし、加入電話と同等かそれ以上の通話音質を持ち、マルチメディアに対応できるようにデータ通信速度の向上（静止時 2Mbps、高速移動時 144kbps）を図ることである。

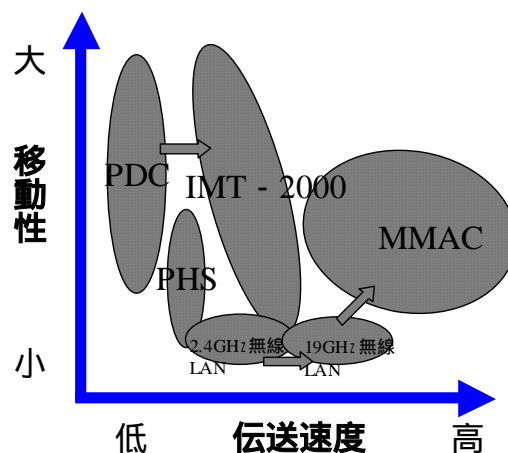


図 1-1 移動体通信の位置付け

データ通信速度の向上を利用したテレビ電話機能だけでなく、Web の閲覧や電子メールなど、図 1-2に示すように液晶画面を覗き込むビューワ端末として利用する機会が増えている。携帯電話基地局で励振される電波は主に送受信に垂直偏波（大地に対して電界面が垂直）を使用しており、端末側に垂直偏波の受信レベルが高いアンテナが求められている。しかし、図 1-3の（a）に示すように通話用として耳に当てる場合は、右側の端末のように地面に対してアンテナが垂直になるため電波を受信する偏波面が合うが、液晶画面を覗き込むビューワとして用いるときは、左側端末のように天頂方向から 60 度～90 度傾けるため、図 1-3の（b）に示すように偏波面が一致せず、電波の受信レベルが低下する。

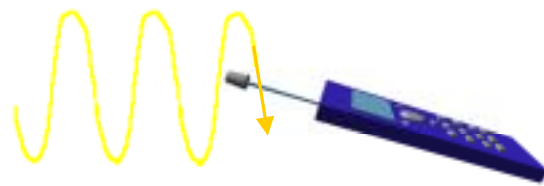
携帯端末を傾斜させたときに受信レベルの低下を抑える方法とし、複数のアンテナを設置してダイバーシチ受信[1][2]を行うことで受信利得を向上させる例がある。電界成分の垂直偏波を V、水平偏波を H としたときに交差偏波比(XPR)は次式で表される。

$$XPR = \frac{V}{H} \quad (1)$$

携帯電話の実際の伝播環境において携帯電話基地局送信される電波の XPR は場所依存性が強く現れ、900MHz 帯移動通信環境では 0～9dB であり[3]、市街地では構造物が多いため 6dB 程度である。XPR が小さくなるに従い、垂直偏波に比べて水平偏波が強くなっていき、携帯端末を傾斜させたときの受信利得に影響する。



図 1-2 音声通話用端末から情報端末（ビューワ用）へ



(a) 携帯端末の傾斜 (b) 垂直偏波の受信

図 1-3 携帯端末の傾斜による偏波面の違い

また、現在の携帯電話のアンテナ設置法は通話として携帯端末を用いるときに垂直偏波を受信しやすいように最適化されている。携帯端末をビューワとして用いる場合には、別の最適な設置方法が考えられ、ビューワとして用いる場合に偏波面が合うように、端末を傾けたときにも垂直偏波を放射する構造が望ましいことが報告されている[4]。携帯端末の使用環境において人体の影響は放射指向性に強く影響する。そこで図 1-4の (a) のように携帯端末に設置するアンテナを理想化したダイポールアンテナとし、模擬人体（セラミックファントム）近傍でのアンテナ設置方法と携帯端末傾斜角度による放射利得の評価[5]が行われた。本研究では、より実際のモデルに近いものとして、図 1-4の (b) のように地板などの影響[6]を考慮するため  $\lambda/4$  モノポールアンテナ[7]を地板に設置し、IMT-2000 で使用される 2GHz 帯で FDTD 解析[8][9][10]と実験を行った。アンテナ設置方法と位置、地板サイズを検討し、セラミックファントムを用いて人体近傍での携帯端末傾斜角度による放射利得を評価する。多重波環境での評価の一例として、セラミックファントムを用いて水平面内 (XY 面) での垂直偏波と水平偏波の指向性をそれぞれ平均したものをパターン平均化利得とし、天頂方向からの携帯端末の傾斜角度 に対しての変化量として評価に用いる。

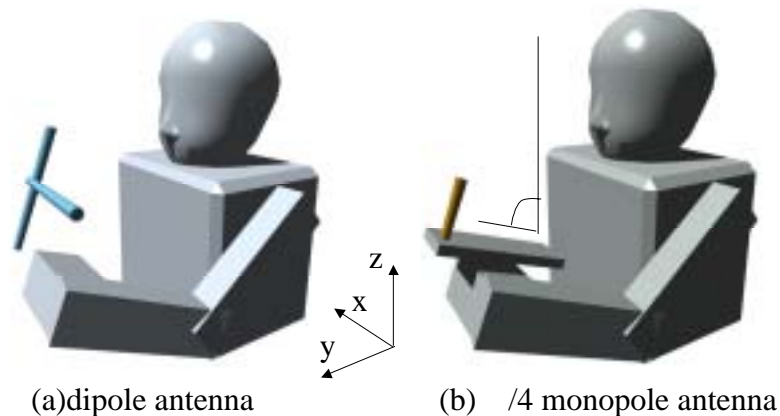


図 1-4 セラミックファントム近傍でのアンテナ評価

携帯端末をビューワとして用いる天頂方向からの傾斜角度  $>60$  度において、垂直偏波を受信するのに有利なアンテナ設置方法の検討結果に基づいた携帯端末内蔵用の小型アンテナとして、内蔵アンテナに誘電体基板を用いた容量装荷型モノポールアンテナを考えたとき[11][12]、製作が容易になるようにアンテナの中央部に穴を開け、その側面に給電構造がプリントできるアンテナについて試作をして検討した[13]。

本論文では、第 2 章でビューワ用携帯端末へのアンテナ設置方法として 2 種類の大きさの地板と地板上のアンテナ設置位置、アンテナを地板に対して垂直に設置する方法と平行に設置する方法について比較し検討する。次に第 3 章では、第 2 章の結果を受けたアンテナ設置方法となり、携帯端末に内蔵可能に小型化した穴付容量装荷型モノポールアンテナを提案し、FDTD 解析と実験により検討する。第 4 章では本論文の結論を示している。

## 2. 携帯端末へのアンテナ設置方法

携帯端末に内蔵する小型アンテナを考えると、携帯端末をビューワとして傾けて使用する場合に携帯電話基地局からの電波を受信しやすいようにする場合での有効なアンテナ設置方法を検討する。第3世代携帯電話 IMT-2000 の利用周波数である 2GHz 帯において、 $1/4$  モノポールアンテナを用い、大きさの異なる地板や設置方法について検討を行った。多くのモデルを使用するため、付録にアンテナ設置モデルの名称規則と一覧を示す。

### 2.1. 地板サイズと設置方法を変えたときの影響

#### 2.1.1. アンテナの設置位置と方法 PDA サイズ地板

携帯端末に設置するアンテナは、地板の大きさや設置方法によって特性に大きな影響が出る。はじめに、携帯端末の一例として PDA(Personal Digital Assistant) サイズ(縦×横=140mm×82mm)の地板を用い、 $1/4$  モノポールアンテナを設置した場合について実験を行った。リターンロス特性、放射指向性、模擬人体ファントムに設置した放射利得測定より、どの設置方法が有効か検討する。

まず図 2-1に示すように PDA サイズの地板の端にアンテナを設置した。地板に対して垂直にアンテナを設置した左の場合を AP1、地板に平行にアンテナを設置した右の場合を BP1 とし、図 2-2にその構造と座標を示す。設置した  $1/4$  モノポールアンテナは、2GHz での一波長(150mm)の  $1/4$  の長さとなる約 36~38mm とした。図 2-3に AP1 について地板に対して垂直にモノポールアンテナが設置されている様子を示す。同軸コネクタを地板の裏側に設置し、同軸給電によってアンテナを励振している。次に地板上の設置位置による影響を検討する為に図 2-4に示すように PDA サイズの地板の角にもアンテナを設置する。これも同様に地板に対して垂直にアンテナを設置した左の場合を AP2、地板に平行にアンテナを設置した右の場合を BP2、図 2-5にその構造と座標を示す。

これらの設置方法でアンテナの特性にどのような影響がでるのかを検討した。図 2-6にアンテナを地板の端に設置した場合とアンテナを地板の角に設置した場合のリターンロス特性を示す。リターンロス特性とは、アンテナが所望の周波数範囲で給電回路と整合しているかを調べるもので、電源からアンテナへ供給される電力が消費されずに全て反射して電源へ戻ってくる場合が 0dB であり、アンテナで放射される電波などになって電力が消費されると、反射して戻ってくる電力は少なくなる。例として、-10dB の場合は供給した電力の  $1/10$ 、



-20dB の場合は供給した電力の 1/100 が電源側に戻ってきてしまうことを意味する。アンテナとして使う場合には、-10dB 以下にすることがひとつの目安となる。図 2-6(a)に示すように PDA サイズ地板の端にアンテナを設置した場合は、AP1 と BP1 の双方ともに良好な整合が取れている。それに対して図 2-6(b)に示すように、PDA サイズ地板の角にアンテナを設置した場合は、AP2 は良好な整合が取れているが、BP2 は角に設置した影響がでて整合が取りづらくなる。

この 4 種類のアンテナ設置方法と位置での垂直偏波の受信レベルを比較する。携帯電話基地局で励振される電波は垂直偏波であり、携帯端末をビューワとして用いる場合は、天頂方向から角度 [deg]傾けて使用する為に偏波面が一致しないことから受信レベルが低下する。携帯端末に設置されたアンテナの利得を比較する場合、人体の近傍で使用するので、図 2-7に示す模擬人体(セラミックファントム)[14]に対して携帯端末に設置されたアンテナを持たせて測定する。セラミックファントムの比誘電率は  $\epsilon_r=40.3$  であり、頭部と胸部と腕を分離して特性を測ることが可能であるが、今回は全てを組み合わせることで人体の上半身の影響として検討している。図 2-8に示すように天頂方向からの携帯端末の傾斜角度 [deg]を 0 度、30 度、60 度、90 度の 4 種類で変化させる。図 2-9 と図 2-10に実際に設置した状況を示す。多重波環境での評価の一例として、セラミックファントムを用いて図 2-7に示す水平面内(xy 面)での垂直偏波と水平偏波の指向性をそれぞれ平均したものをパターン平均化利得とし、天頂方向からの携帯端末の傾斜角度 に対しての変化量として評価に用いる[15]。式は次に示すように、P がアンテナの測定するアンテナの利得で、Pr が標準ダイポールアンテナの利得である。

$$P_{ave} = \frac{\int_0^\pi \int_0^{2\pi} (P(\theta, \phi) - P_r(\theta, \phi)) d\phi d\theta}{\int_0^\pi \int_0^{2\pi} \phi \theta d\phi d\theta} \quad (2)$$

図 2-11に地板の端にアンテナを設置した場合と地板の角にアンテナを設置した場合でのパターン平均化利得を示す。垂直偏波成分を V、水平偏波成分を H とし、それぞれの設置法を示す名称に付け加える。アンテナを端と角のどちらに設置した場合でも、携帯端末をビューワとして用いる傾斜角度  $>60$ [deg]の範囲においては、AP1 と AP2 の方が垂直偏波を受信するレベルが高くなっていることが分かる。評価に用いた放射指向性パターンとして、天頂方向からの携帯端末傾斜角度 による変化量を図 2-12～図 2-15にそれぞれ示す。ファントムは、 $\theta=270$ [deg]の位置にあり利得が低下していることが分かる。

PDA 地板上においてアンテナを地板に垂直に設置した場合と、平行に設置した場合について特性を比較した。携帯端末をビューワとして用いるように傾斜角度を大きくしていくと、AP1、AP2 のようなアンテナを地板に対して垂直に設

置した場合が垂直偏波を受信するレベルが大きくなる事が分かる。また、アンテナを地板の端にした場合や角においてのリターンロス特性より、AP1、AP2は、あまり変化がないが、BP2では地板の角に設置した場合は整合が取りづらくなっていることが分かった。この影響をさらに検討するために次節で地板サイズを小さくした場合について検討する。



(a) AP1 (b) BP1

図 2-1 PDA サイズ地板への設置法 1

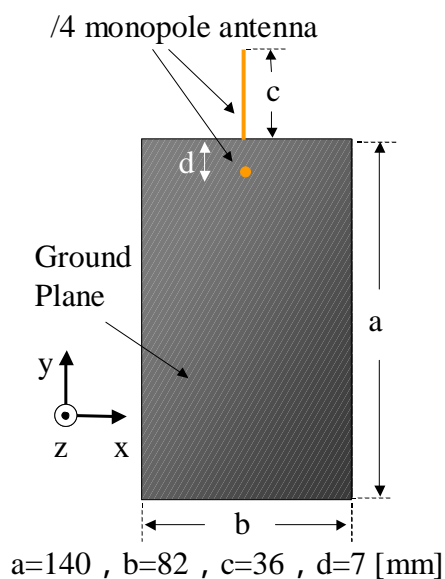


図 2-2 アンテナ及び地板と座標系



図 2-3 AP1 の側面

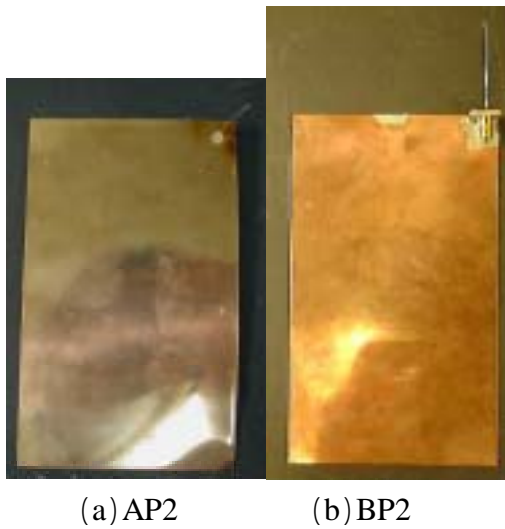


図 2-4 PDA サイズ地板への設置法 2

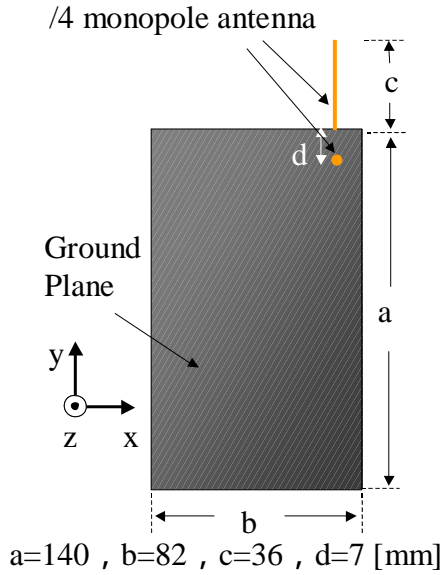


図 2-5 アンテナ及び地板と座標系

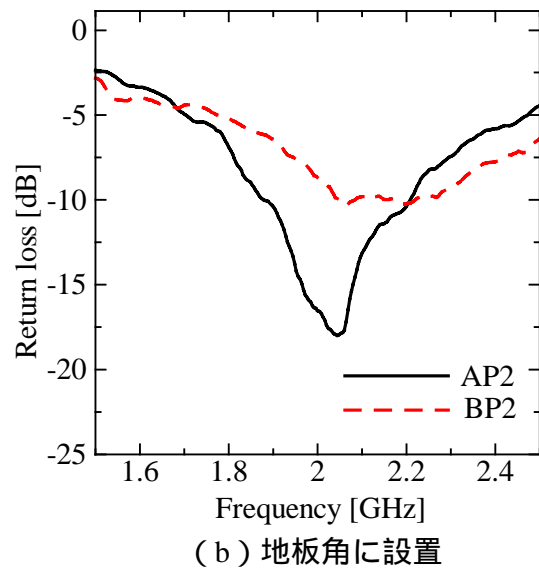
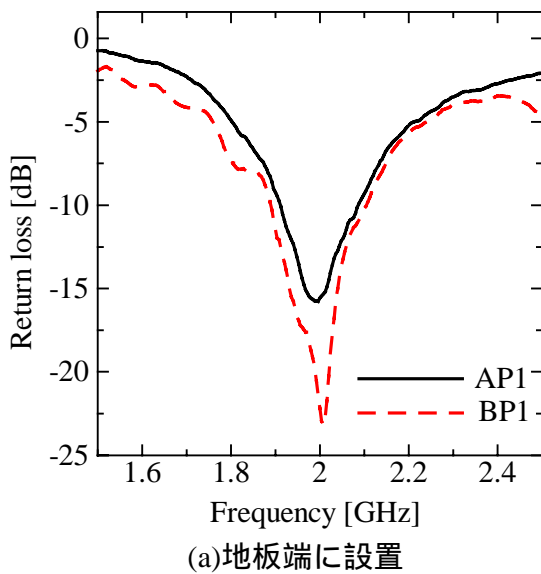


図 2-6 地板上で異なる位置に設置したアンテナのリターンロス特性

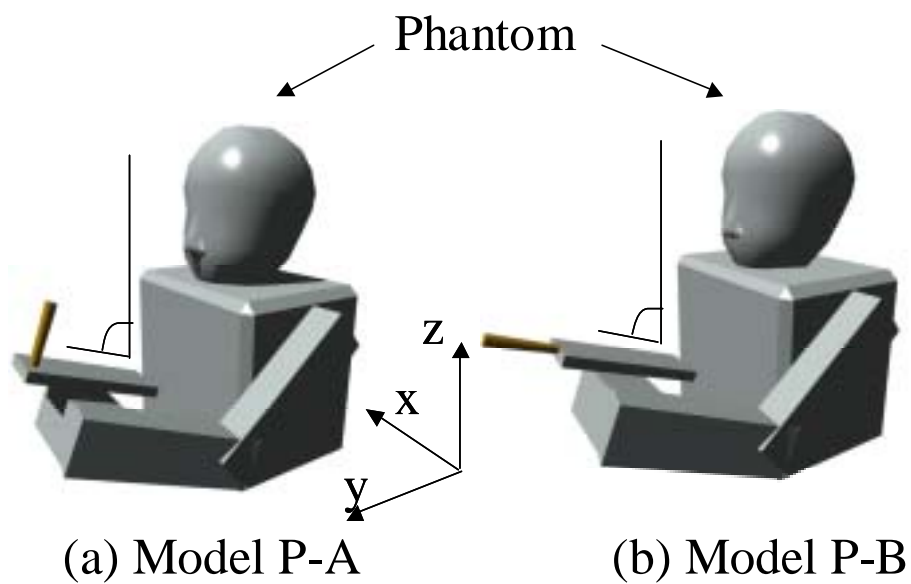


図 2-7 セラミックファントムと天頂方向からの傾斜角度

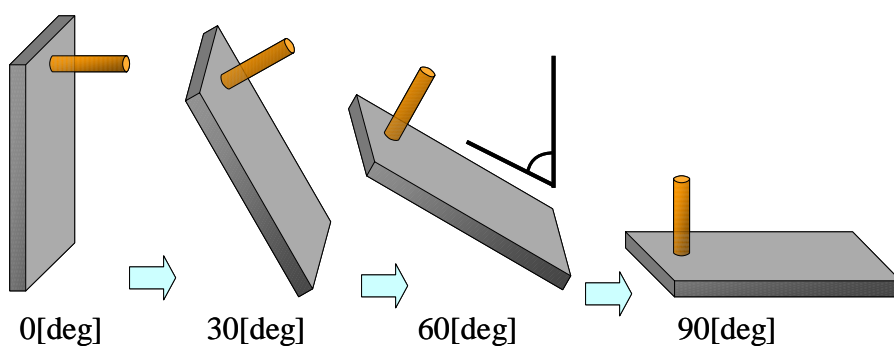


図 2-8 天頂方向からの傾斜角度



図 2-9 ファントムの側面



図 2-10 ファントムの正面

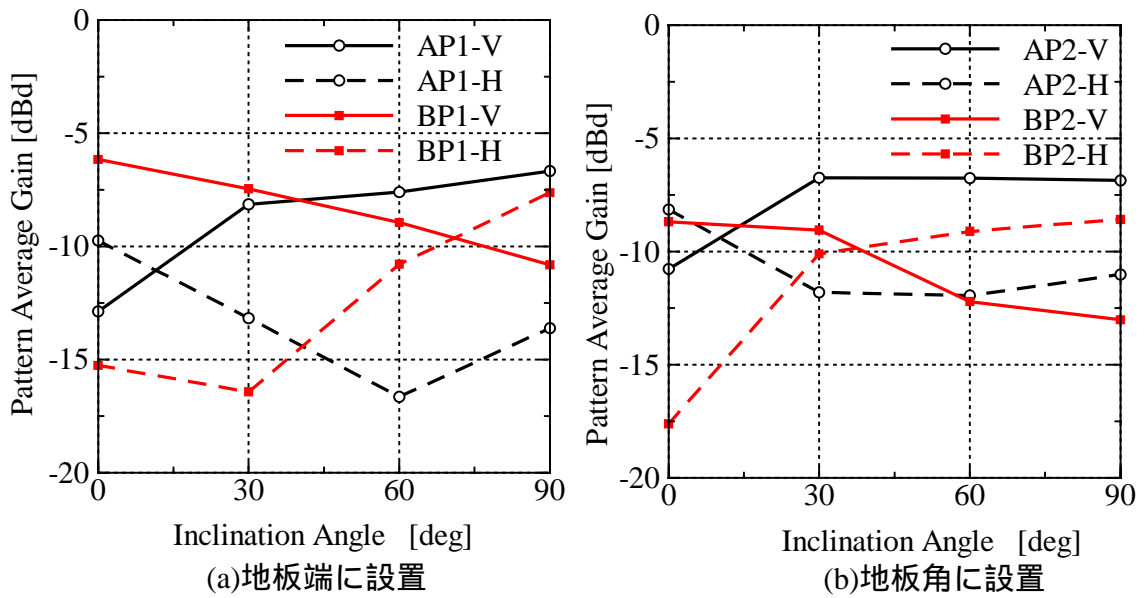


図 2-11 地板上で異なる位置に設置したアンテナのパターン平均化利得

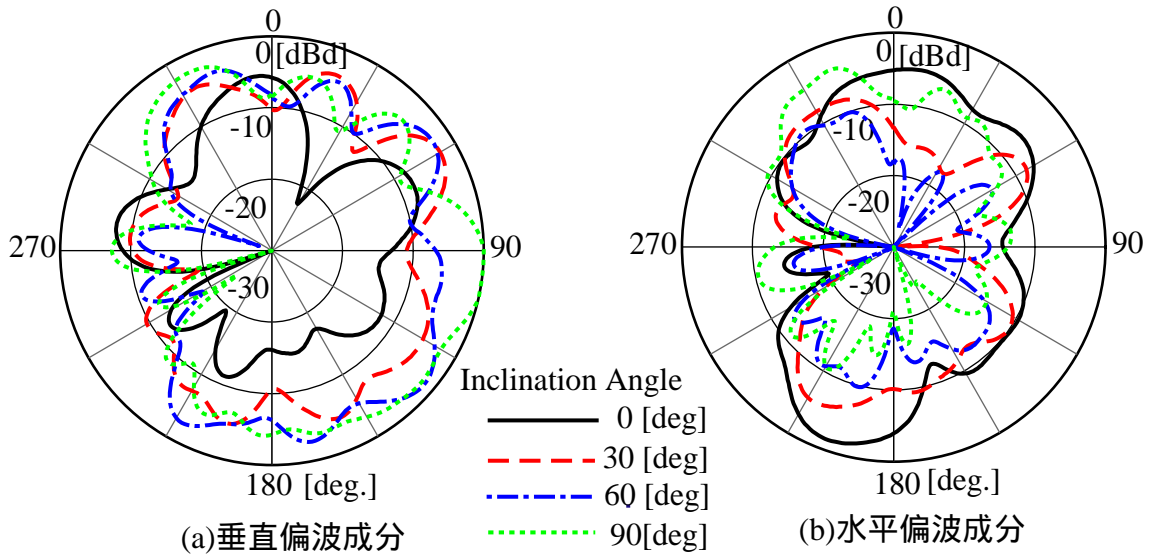


図 2-12 AP1 の xy 面内指向性

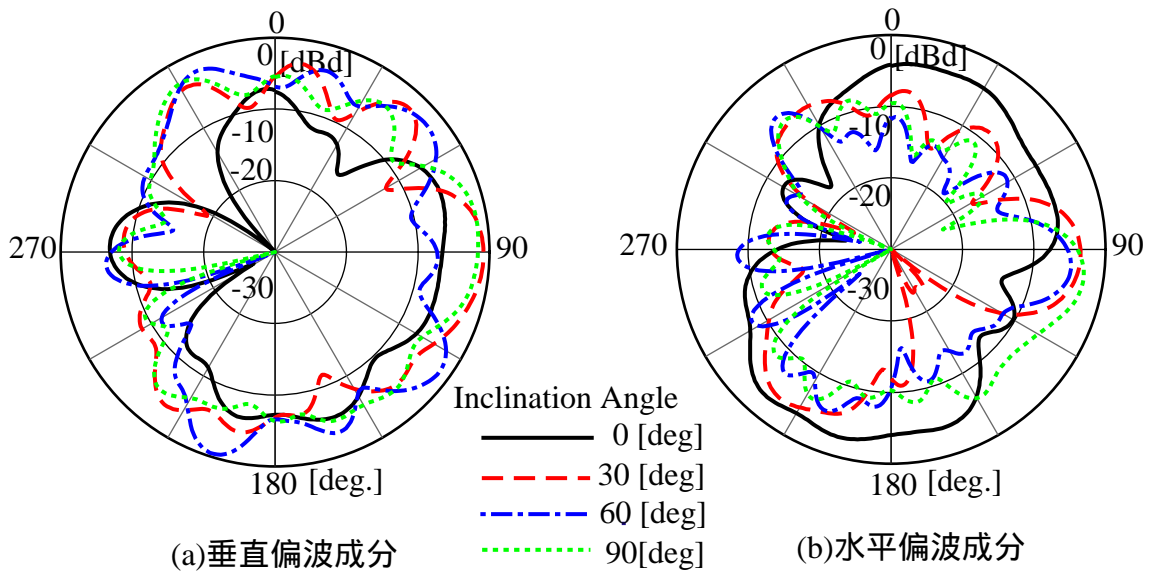


図 2-13 AP2 の xy 面内指向性

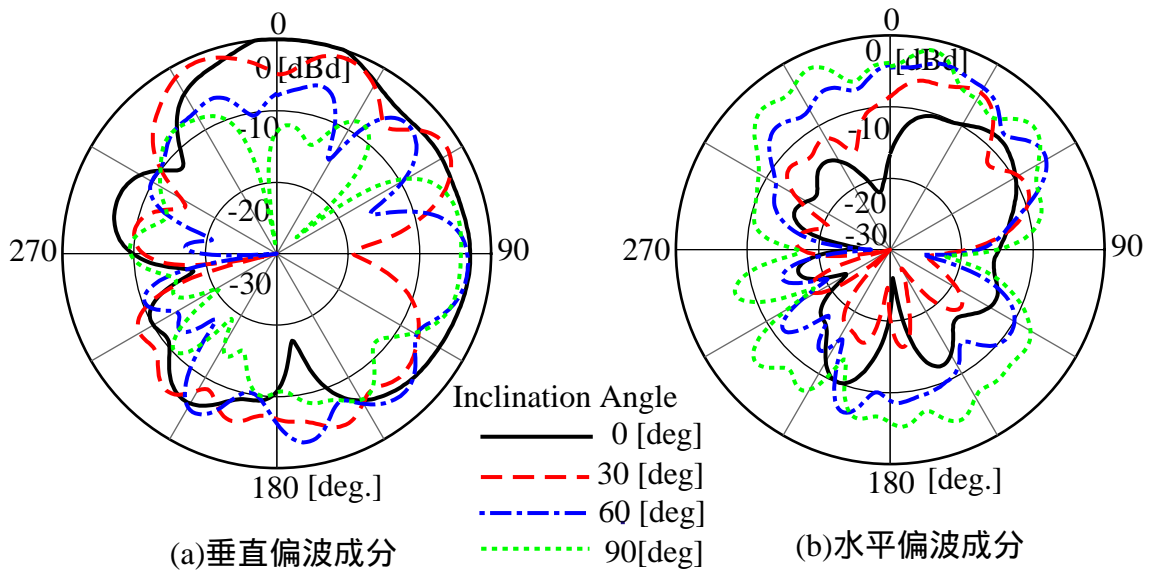


図 2-14 BP1 の xy 面内指向性

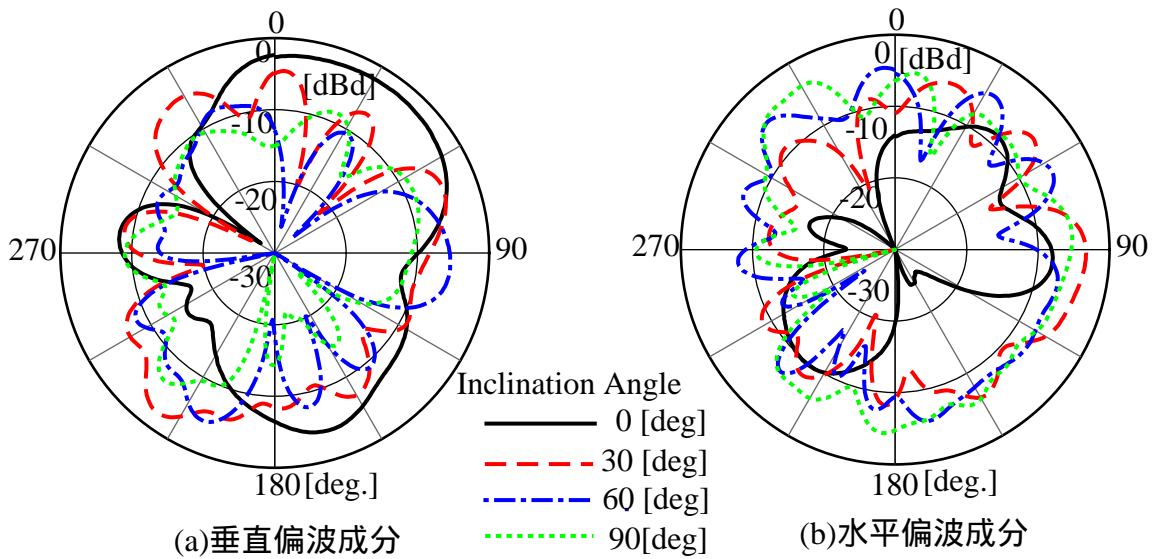


図 2-15 BP2 の xy 面内指向性

## 2.1.2. アンテナの設置位置と方法 携帯電話サイズ地板

携帯端末に設置するアンテナは、地板の大きさや設置方法によって特性に大きな影響が出る。そこで PDA サイズの地板よりも小さい携帯電話サイズ（縦×横=128mm×44mm）の地板を用い、 $1/4$  モノポールアンテナを設置した場合について実験を行った。リターンロス特性、放射指向性、模擬人体ファントムに設置した放射利得測定より、どの設置方法が有効かを検討する。

携帯電話サイズの地板の端にアンテナを設置した例を図 2-16に示す。地板に対して垂直にアンテナを設置した左の場合を AC1、地板に平行にアンテナを設置した右の場合を BC1 とし、その構造と座標系を図 2-17に示す。 $1/4$  モノポールアンテナは、2GHz での一波長 150mm の  $1/4$  の長さとなる約 36~38mm とした。同軸コネクタを地板の裏側に設置し、同軸給電によってアンテナを励振している。次に携帯電話サイズの地板の角にアンテナを設置した例を図 2-18に示す。これも、同様に地板に対して垂直にアンテナを設置した左の場合を AC2、地板に平行にアンテナを設置した右の場合を BC2 とし、その構造と座標系を図 2-19に示す。

これらの設置方法でアンテナの特性にどのような影響がでるのかを検討した。初めにリターンロス特性として、 $1/4$  モノポールアンテナを地板の端に設置した場合と、地板の角に設置した場合を図 2-20に示す。前節の PDA 地板での結果より、地板が小さくなると整合が取りにくくなることが予想された。地板の端と角に設置した両方の場合を見ても、AC1 と AC2 では、特性の劣化が少ないのに対して、BC1 と BC2 では特性の劣化が大きく -10dB 以下の周波数帯域が取れなくなる。今回の携帯電話地板では、さらに小さい地板サイズになったことで、両モデルにおける特性の劣化の差が大きくなった。共振周波数が設置方法によりシフトするので、モノポールアンテナの長さを 1~2mm 程度の幅で再度調整し、2GHz で共振するようにしている。次に多重波環境での評価を行うため、天頂方向からの角度 [deg] を 0 度、30 度、60 度、90 度の 4 種類で変えたときの水平面内のパターン平均化利得として、垂直偏波成分を V、水平偏波成分を H と表して、アンテナを携帯端末サイズの地板の端に設置した場合と地板の角に設置した場合を図 2-21に示す。アンテナを地板の端と角のどちらに設置した場合でも、携帯端末をビューワとして用いる傾斜角度  $>60$ [deg] の範囲においては、地板に対してアンテナを垂直に設置した AC1 と AC2 が垂直偏波を受信するレベルが高くなっている。評価に用いた放射指向性パターンとして、天頂方向からの携帯端末傾斜角度 による変化量を図 2-22~図 2-25に示す。ファントムは、 $\theta = 270$ [deg] の位置にあり、AC1, AC2 では携帯端末の傾斜角度が大きく



なるにつれて放射指向性の利得が上昇し、逆に BC1, BC2 では利得が下がっていることがわかる。

前節までの PDA 地板より小さい、携帯電話サイズの地板を用いて実験を行った。地板を小さくしたことにより、Model B は整合が取りづらくなるが、Model A では、劣化が少ない傾向が明らかになった。傾斜角度が大きくなるにつれて、Model A の方が垂直偏波を受信するレベルが大きくなっていく傾向は、PDA サイズ地板、携帯電話サイズ地板の両者共に同様である。



(a) AC1 (b) BC1

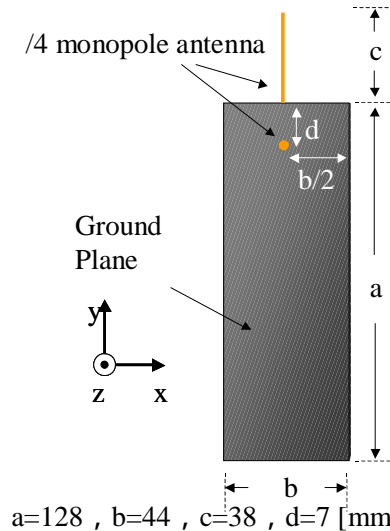


図 2-16 携帯電話サイズ地板への設置法 1 図 2-17 アンテナ及び地板と座標系



(a) AC2 (b) BC2

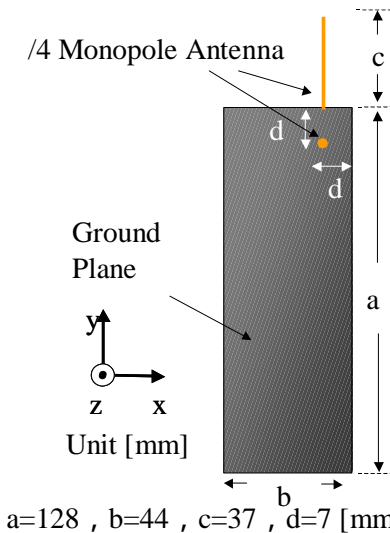


図 2-18 携帯電話サイズ地板への設置法 2 図 2-19 アンテナ及び地板と座標系

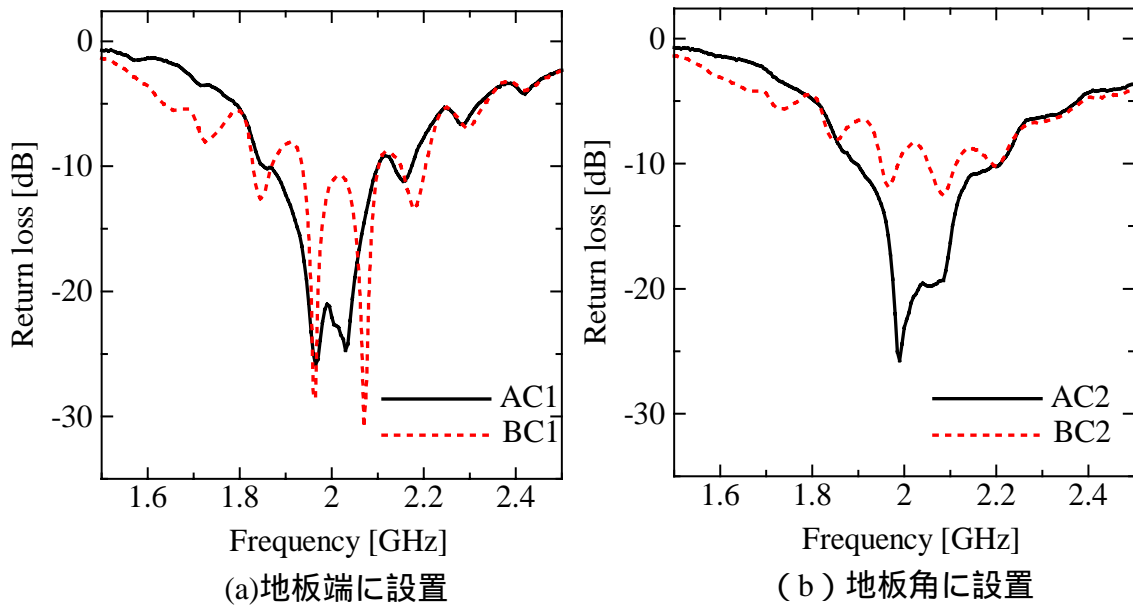


図 2-20 地板上で異なる位置に設置したアンテナのリターンロス特性

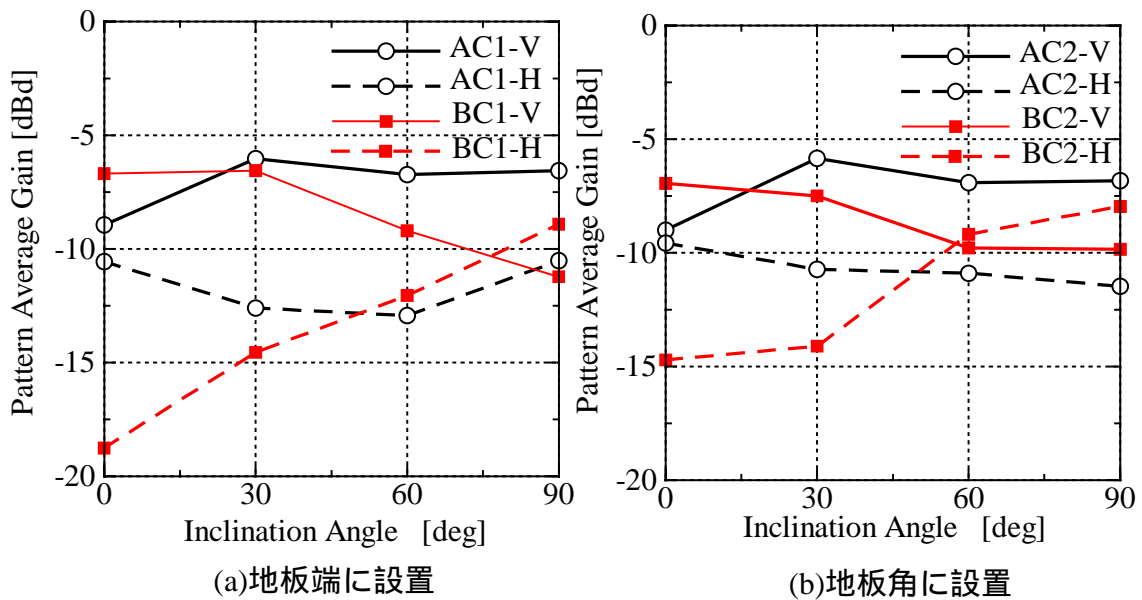


図 2-21 地板上で異なる位置に設置したアンテナのパターン平均化利得

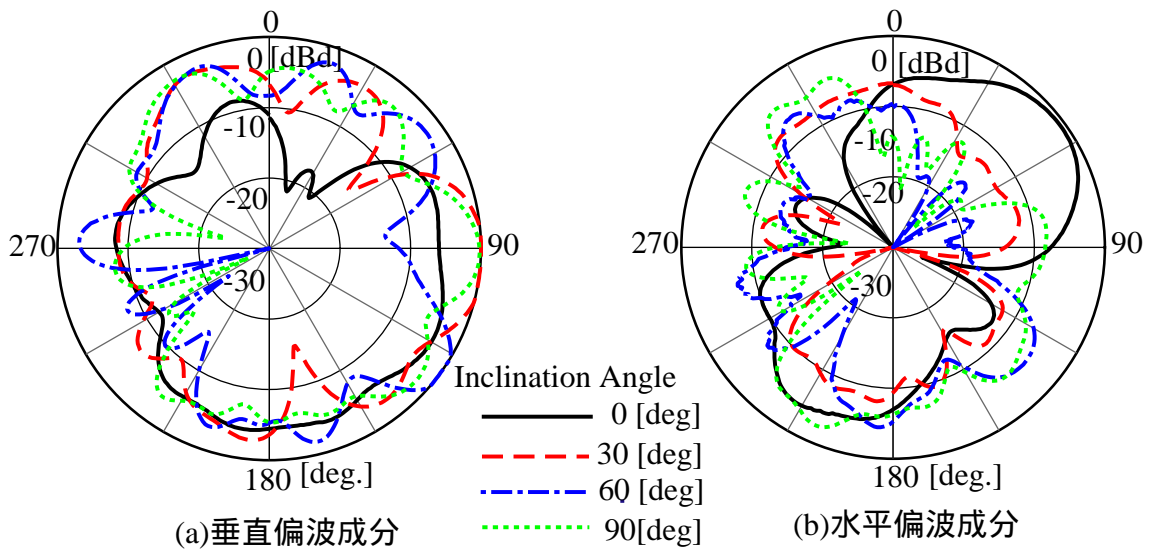


図 2-22 AC1 の xy 面内指向性

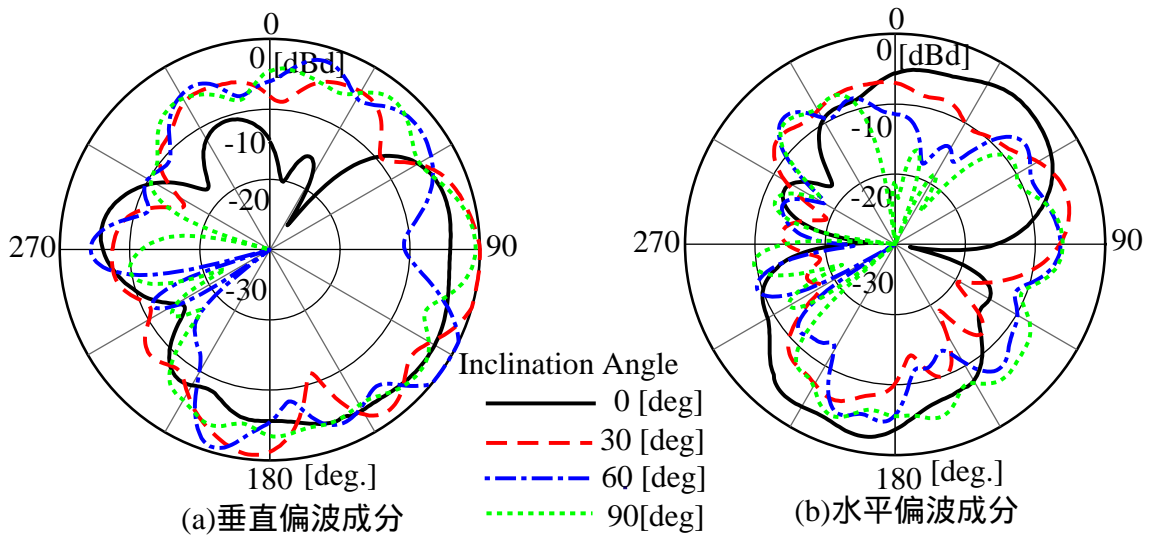


図 2-23 AC2 の xy 面内指向性

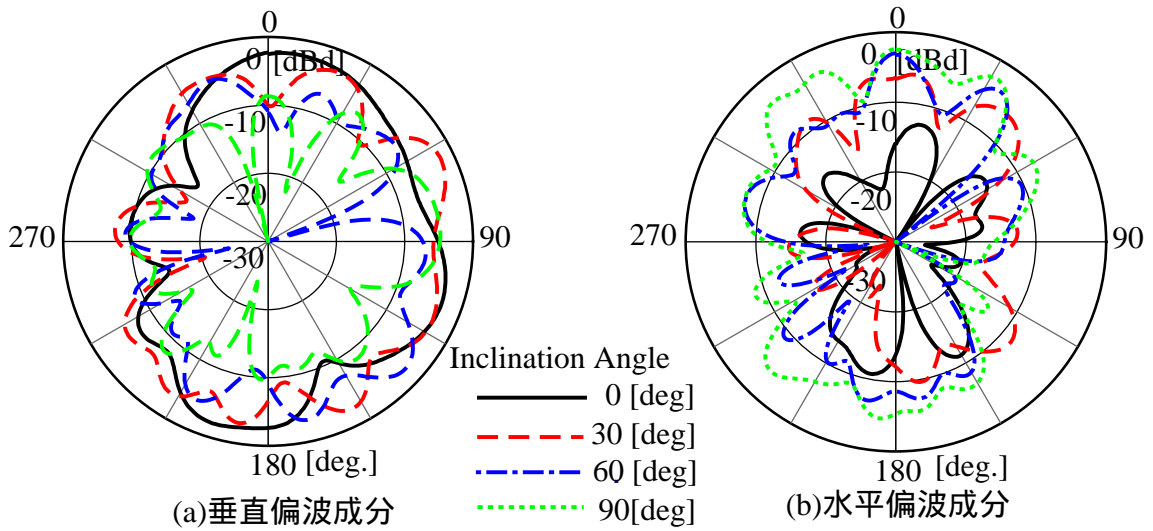


図 2-24 BC1 の xy 面内指向性

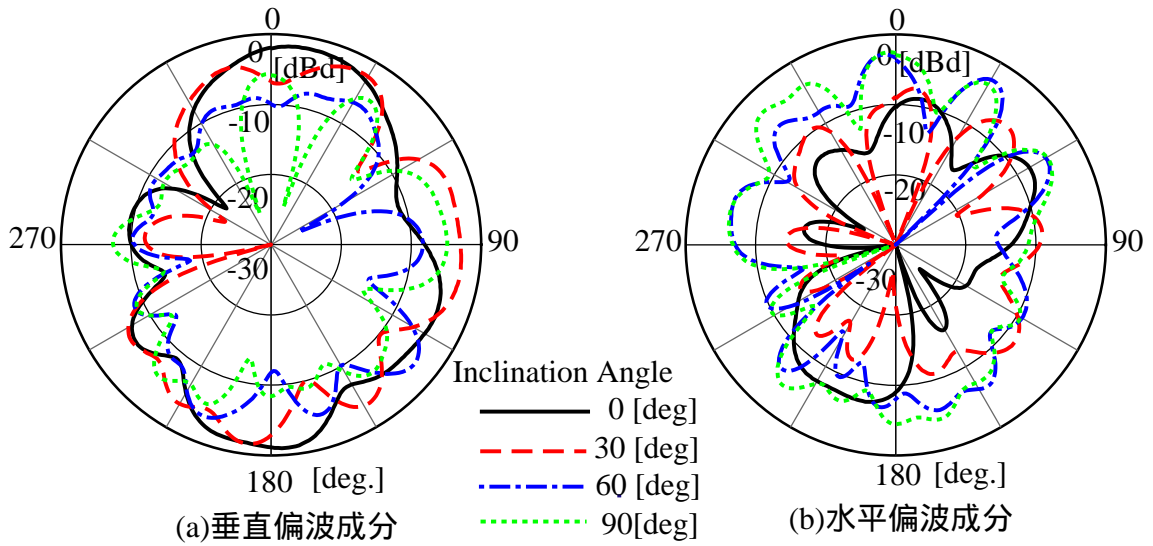


図 2-25 BC2 の xy 面内指向性

### 2.1.3. ファントム（頭部，胸部，腕部）による影響

携帯端末に設置したアンテナの放射指向性を評価する場合，実際に使用する操作者（オペレータ）の存在が大きく影響する．模擬人体としてセラミックファントムを用いて評価しており，体のどの部位がどの程度影響を与えているかを調べる必要がある．一般に携帯電話などを通話として用いる場合は，携帯端末と近い頭部の存在が大きく影響する．しかし，液晶画面を覗き込むようにビューワとして携帯端末を使用する場合の検討も必要である．そこで，ビューワとして携帯端末を用いる場合である天頂方向からの傾斜角度  $\theta = 60[\text{deg}]$  のときに，体のどの部分が放射指向性に影響を与えているかを検討した．ファントムの頭部，胸部，腕部を別々に組み合わせることで図 2-26に示すように 3 種類の場合で実験を行い，どの部位が一番放射指向性に影響を与えるかを検討する．

携帯端末として，前節で使用した携帯電話サイズの地板（縦×横 = 128mm×44mm）に  $\lambda/4$  モノポールアンテナを設置したものをを用いた．地板に垂直にアンテナを設置した場合を AC1 と AC2 とし，地板に平行に設置した場合を BC1 と BC2 とした．

体のどの部位がビューワとして携帯端末を使用する場合に影響を与えるのかを評価するため図 2-26に示すように 3 種類の場合にわけて水平面内放射指向性の垂直偏波成分 V と水平偏波成分 H を比較する．地板に垂直にアンテナを設置した場合を図 2-27～図 2-28に示し，地板に平行にアンテナを設置した場合を図 2-29～図 2-30に示す．この結果より，頭部のみの場合に比べて，胸部や腕の放射指向性への影響が大きいことが分かる．特に胸部の影響が大きく，ファントムが設置されている  $\theta = 270[\text{deg}]$  付近で -10dB 程度放射利得が低下する．

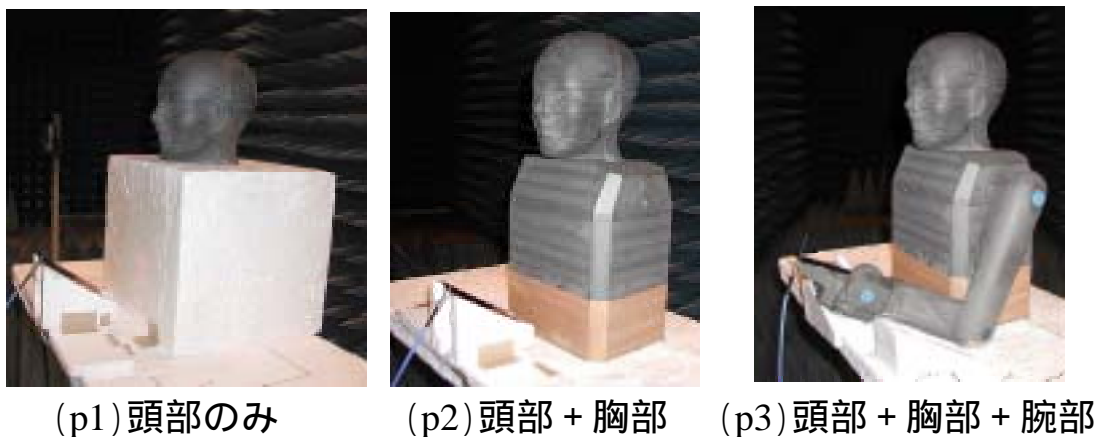


図 2-26 ファントムの部位ごとの組み合わせ

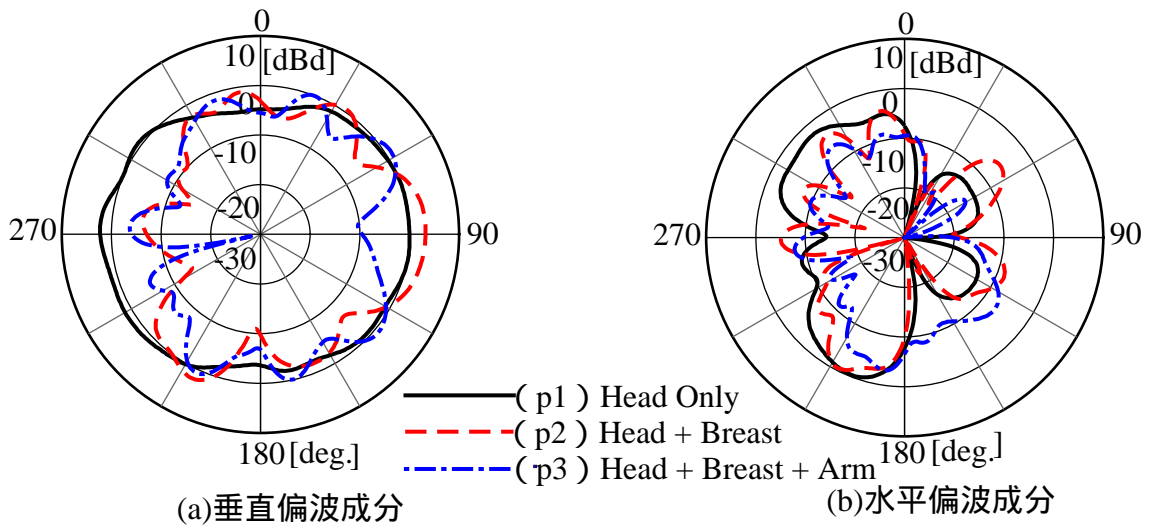


図 2-27 AC1 の xy 面内指向性 =60 度

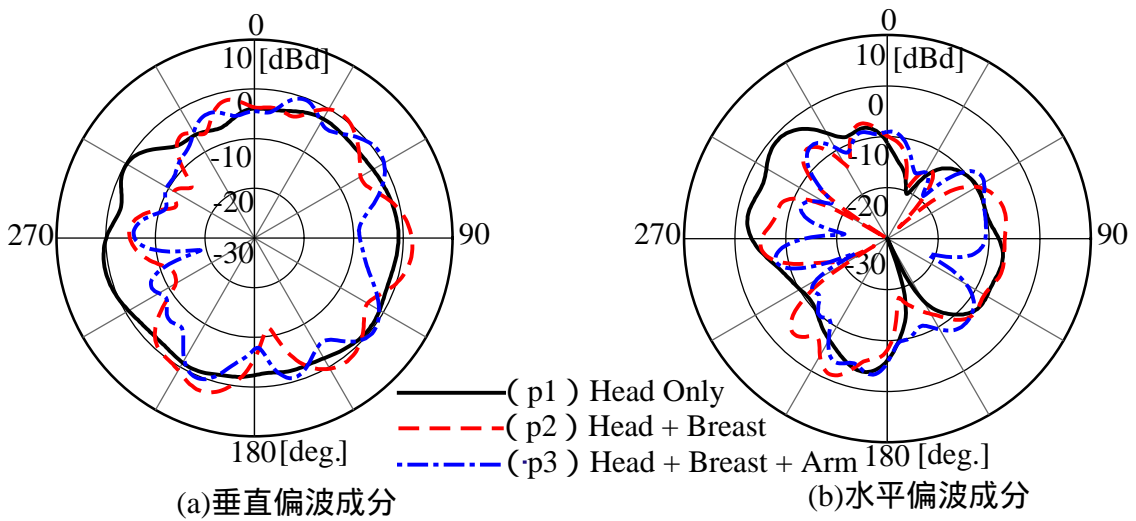


図 2-28 AC2 の xy 面内指向性 =60 度

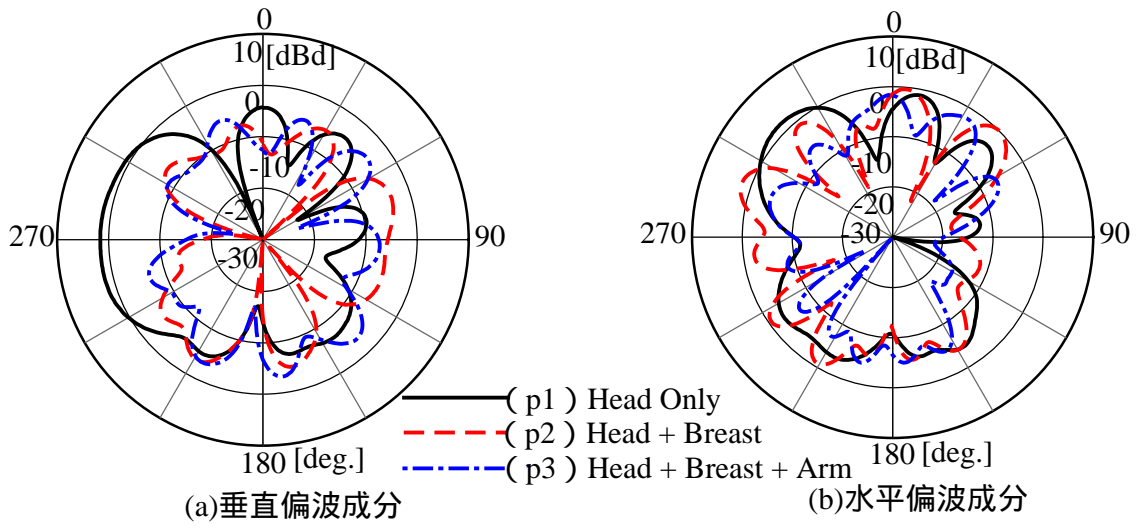


图 2-29 BC1 の xy 面内指向性 =60 度

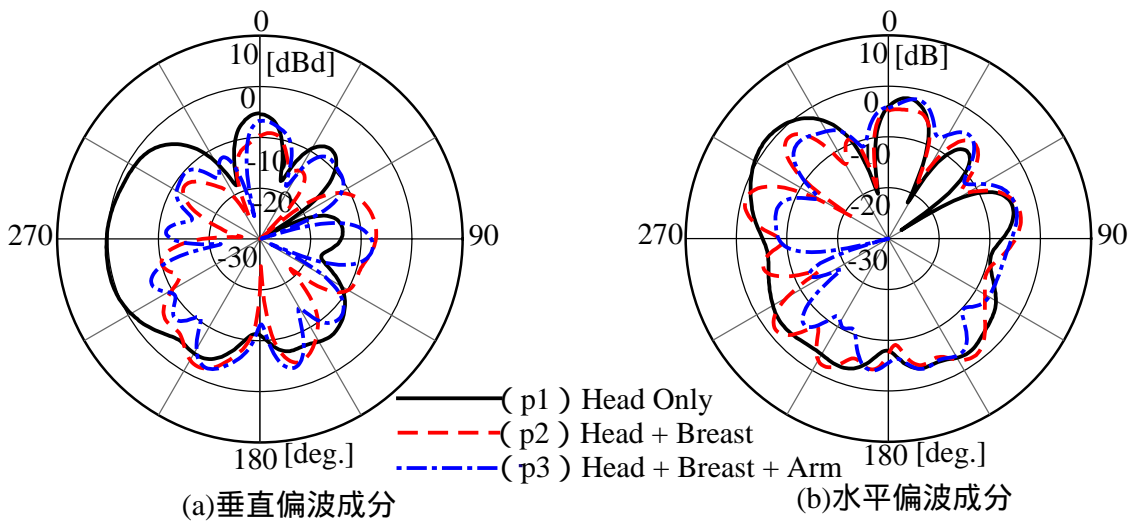


图 2-30 BC2 の xy 面内指向性 =60 度

## 2.2. 携帯端末への有効なアンテナ設置方法

アンテナの設置方法と位置に関して検討を行ってきた。地板へのアンテナ設置方法により特性が変化するが、その主な原因は、地板上に流れる電流分布の変化による。1/4 モノポールアンテナを設置する地板に対しての設置方法によっては地板が十分に地板の役割を果たせずに、アンテナの一部として動作してしまうため整合が取りづらくなる。携帯端末への有効なアンテナ設置方法を考えたとき、実験だけではなくシミュレーションによる比較が必要であり、FDTD 解析 (Finite Difference Time Domain method) により検討する。

### 2.2.1. リターンロス特性と地板上の電流分布

実験結果より、携帯電話サイズの地板では平行にアンテナを設置した場合に整合が取りづらくなることが分かった。これは地板上の電流分布がアンテナ設置方法によって影響されるためである。具体的にどの部分が強い電流分布になるかを調べるため FDTD 解析を行った。リターンロス特性の劣化が少なかった PDA 地板でも同様に解析を行い、地板のサイズとアンテナの設置位置の違いによる影響を比較する。

まず携帯電話サイズの地板 (縦×横 = 128mm×44mm) を用いた。図 2-31 ~ 図 2-34 に示すように、1/4 モノポールアンテナを地板上に垂直に設置したものを Model A、平行に設置したものを Model B とし、位置としては地板上の端と角に設置した計 4 種類ある。FDTD 解析の条件[16]は、セルサイズ 1mm、吸収境界として PML4 層を用いた。電流応答の振幅が  $10^{-5}$  の範囲で小さくなったときに収束したものとした。

FDTD 解析と実験でのリターンロス特性比較として、携帯電話サイズの地板の端に設置した場合と地板の角に設置した場合を図 2-35 に示す。FDTD 解析結果によると実験で観測された振動波形はみられない。しかし、共振周波数や帯域幅は、ほぼ実験と同様の傾向が見られ、アンテナの設置方法や位置によってリターンロス特性に影響を与えることが実験結果だけでなく解析結果からもわかる。このリターンロス特性に影響を与えている携帯電話サイズの地板上の電流分布を図 2-37 に示す。最も電流の振幅が強い部分で正規化して比較している。

AC1, AC2 では、地板の高さ方向とアンテナに近い幅方向の電流の振幅が強いことがわかる。それと比較して、BC1 と BC2 では、地板の高さ方向とアンテナに近い幅方向の電流の振幅が比較的強いことがわかる。地板上の電流分布が強いほどリターンロス特性の結果も劣化している。そこで地板のサイズが大きくなり、リターンロス特性の劣化が少なかった PDA 地板においても同様の傾向がで



るかを比較する。

PDA(Personal Digital Assistant)地板サイズ(縦×横=140mm×82mm)を用いた。アンテナの設置方法，解析の条件，電流分布の見方については，携帯電話地板と同様のものとする。FDTD 解析と実験でのリターンロス特性比較として，PDAサイズの地板の端に設置した場合を図 2-38に示し，地板の角に設置した場合を図 2-39に示す。この結果は，ほぼ同様の傾向を示している。アンテナを地板に対して垂直に設置した場合では端でも角でも，特性に劣化はなく，アンテナを地板に対して平行に設置した場合では，端に置いた場合に特性が劣化するという傾向が解析結果からもわかる。PDA 地板上の電流分布を図 2-40に示す。

端に置いた AP1 の場合はアンテナに近い幅方向のみ，角に置いた AP2 の場合は高さ方向とアンテナに近い幅方向の電流の振幅が強いことがわかる。地板上の電流の振幅が大きくなる角のほうが，リターンロス特性に影響を与えることが解析よりわかる。また，BP1，BP2 では地板の高さ方向とアンテナに近い幅方向に比較的強い電流分布があることがわかる。アンテナを地板の端よりも角に設置した場合の方が地板上の電流の振幅が大きくなる部分が多く，その結果，角に設置した場合にリターンロス特性の結果が劣化している。

地板のサイズとアンテナ設置方法，位置を変えて地板上の電流分布とリターンロス特性の関係を調べた。地板での電流の振幅が大きくなる程，地板自体もアンテナとして働くようになり， $1/4$  モノポールアンテナとしての特性は劣化していくと考えられる。

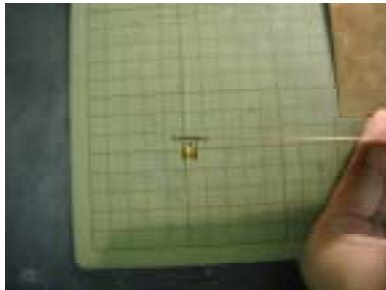


図 2-31 AC1 の写真



図 2-32 AC1 の構造

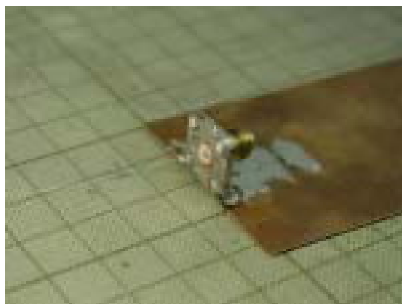


図 2-33 BC1 の写真

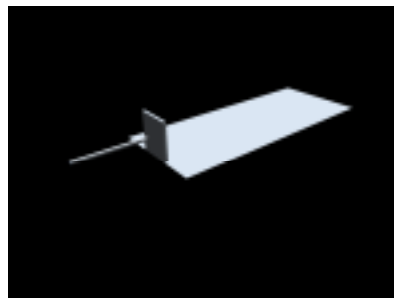


図 2-34 BC1 の構造

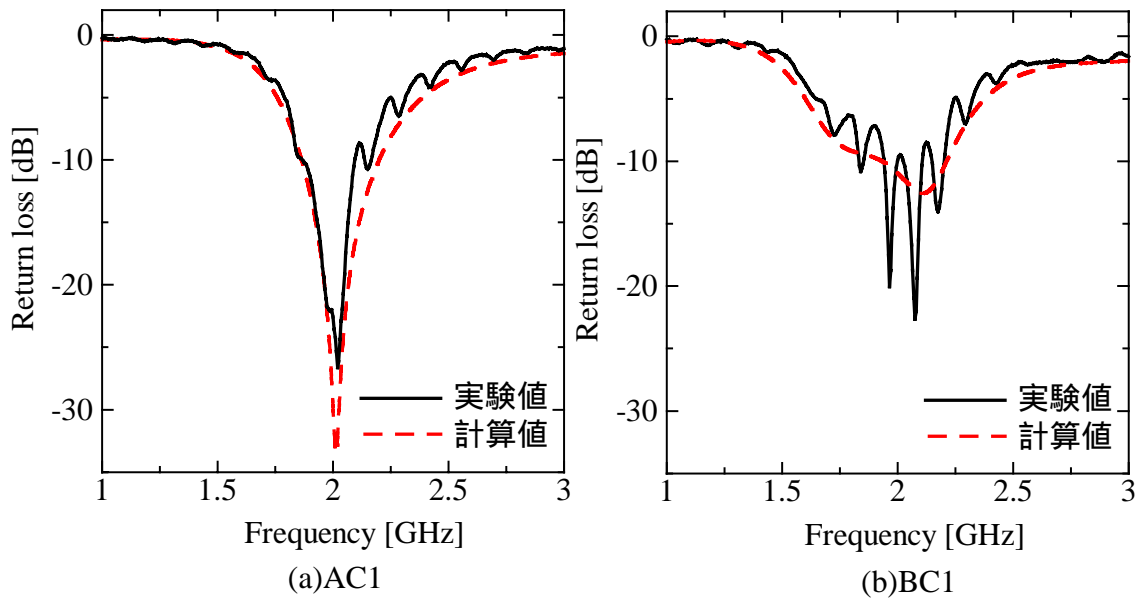


図 2-35 FDTD 解析と実験でのリターンロス特性比較

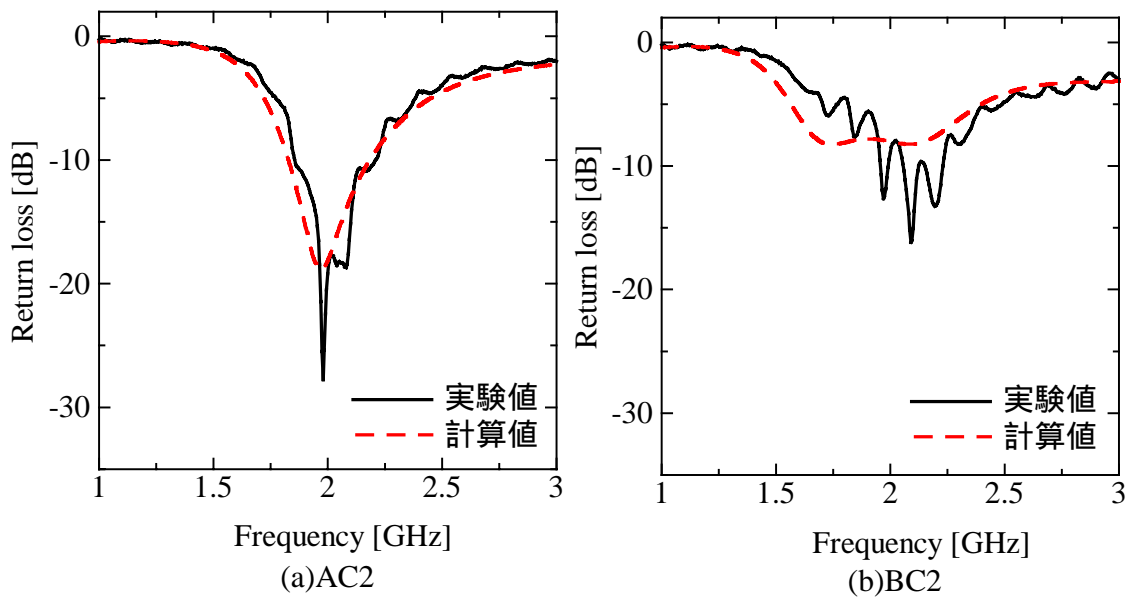


図 2-36 FDTD 解析と実験でのリターンロス特性比較

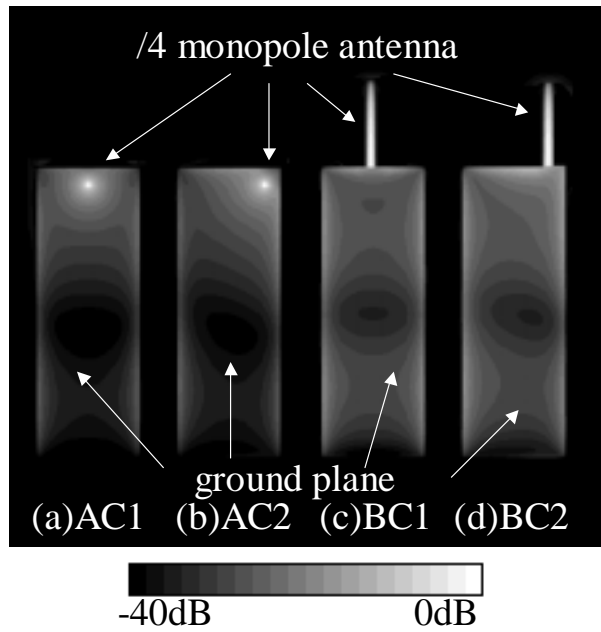


図 2-37 携帯電話サイズの地板上の電流分布

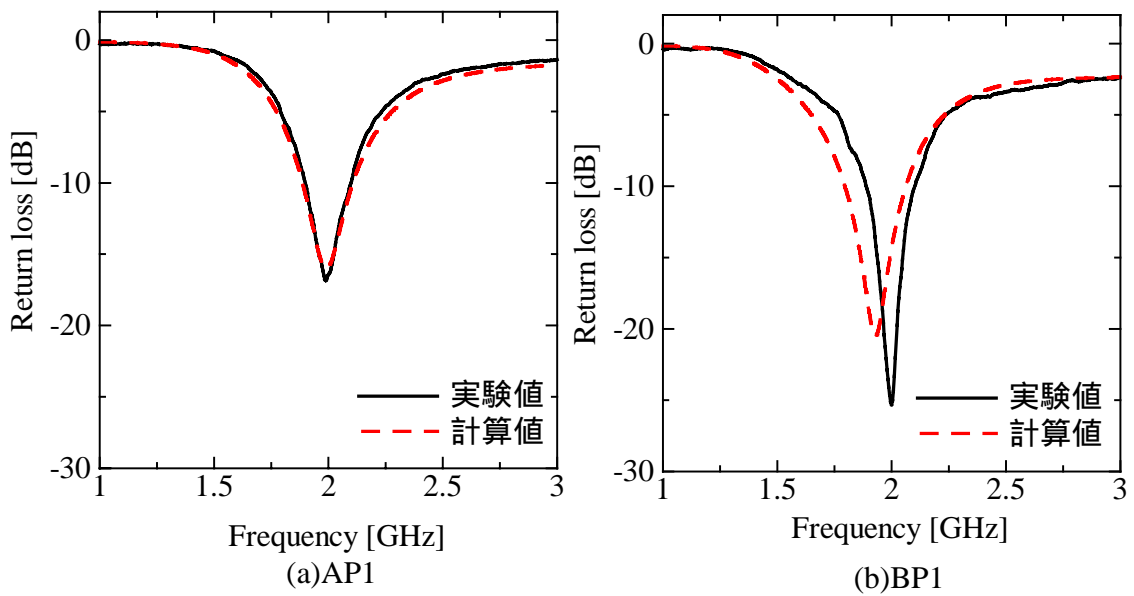


図 2-38 FDTD 解析と実験でのリターンロス特性比較

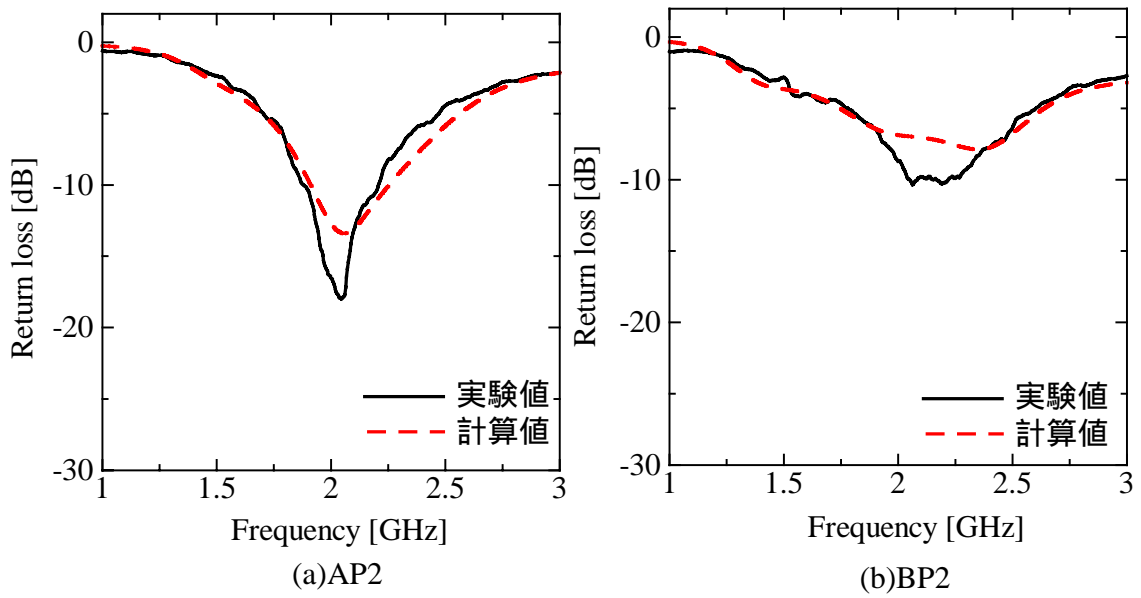


図 2-39 FDTD 解析と実験でのリターンロス特性比較

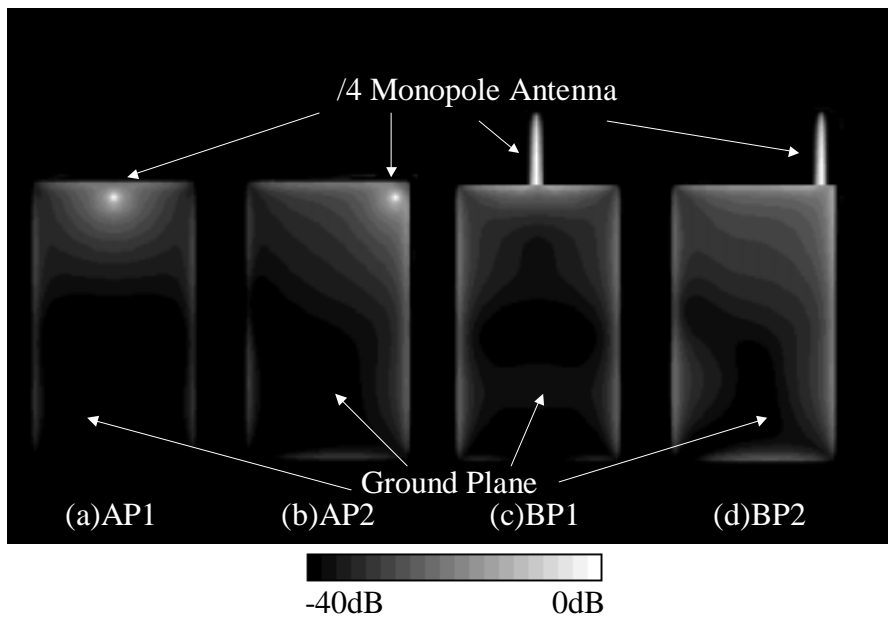


図 2-40 PDA サイズの地板上の電流分布

## 2.2.2. アンテナを地板に平行に設置するときの給電構造

BC1 と BC2 の実験値において給電線に流れる電流の影響から、リターンロス特性に乱れがでてしまう問題を解決するため、図 2-41 に示すように同軸ケーブルを給電部分に用いて実験を行った(coax)。給電コネクタの高さ分だけ地板から離れたタイプ(old)と比較する。

携帯電話サイズの地板(縦×横=128mm×44mm)を用いた。モノポールアンテナを地板上に平行に設置したものを、地板上で設置する位置によって端の場合 BC1、角の場合が BC2 である。FDTD 解析の解析空間は、地板の端に  $1/4$  モノポールアンテナを設置した場合に給電点から PML 吸収境界までの距離が最短でも  $1/4$ (共振周波数である 2GHz において)になるよう解析空間を設定した。電流応答の振幅は  $10^{-5}$  の範囲で収束している。図 2-42 に地板の端における coax と old の実験と解析結果のリターンロス特性を示す。図 2-43 に同様に地板の角での結果を示す。以前に比べて給電線にのる電流の影響が無くなり、解析結果に近い実験結果が得られた。

地板サイズが変わったときにも同様な傾向が出るのかを調べるため、PDA サイズの地板(縦×横=140mm×82mm)を用いた。アンテナの設置方法と解析の条件は、携帯電話地板と同様である。図 2-44 に地板の端に設置した coax と old の実験と解析結果のリターンロス特性を示す。図 2-45 に同様に地板の角に設置したで結果を示す。この場合も、携帯電話地板と同様にリターンロス特性の乱れが抑えられ、解析結果に近い結果が得られるようになった。

アンテナを地板に平行に設置するときには地板と同一平面内にモノポールアンテナを設置するために検討を行い、同軸ケーブルを用いた場合には、FDTD 解析結果とよく合い、また、給電線路に電流がのってしまうことによると思われるリターンロス特性の乱れも抑えられた。

ここで本来の目的である、アンテナの設置方法(地板に垂直か平行か)、アンテナの設置位置(端と角)と地板サイズ(携帯電話サイズと PDA サイズ)による影響の結果をまとめる。アンテナを地板に平行に設置する場合には、アンテナの設置位置が端の場合に比べて角になるとリターンロス特性が劣化する。地板のサイズが大きい場合に比べて、小さくなる場合もリターンロス特性が劣化する。

地板にアンテナを垂直に設置した結果を図 2-46 ~ 図 2-47 に示す。地板に平行にアンテナを設置した場合に比べると地板のサイズやアンテナの設置位置によるリターンロス特性への影響は少ない。その差をみるために携帯電話サイズの地板を用い、アンテナを端に置いた場合で比較すると、BC1、BC2 では-10dB

以下の周波数帯域がほとんど取れていないのに比べて AC1, AC2 ではリターンロス特性の劣化が抑えられて-10dB 以下の周波数帯域が取れている。

以上の結果より, リターンロス特性の劣化が少ない設置方法としては, アンテナを地板垂直に設置する方法が有利である。この設置方法では, 携帯端末をビューワとして用いる場合の設置方法としてファントムを用いてアンテナの傾斜角度を変えたときの検討を行っており, 天頂方向からの角度が 60 度以上の場合においては, 有効であるとの結果がでている。

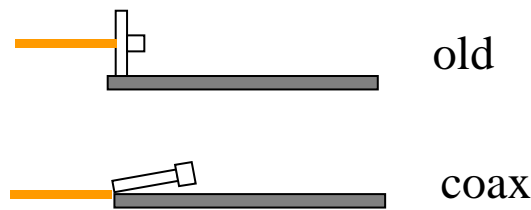


図 2-41 地板に平行にアンテナを設置する給電構造

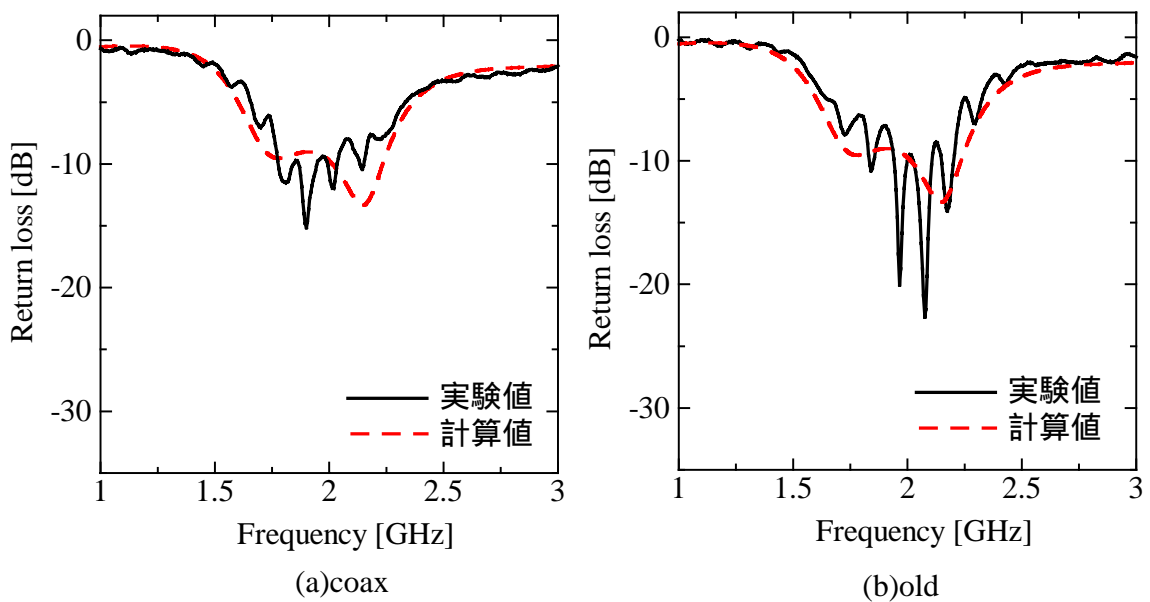


図 2-42 BC1 での給電構造による影響

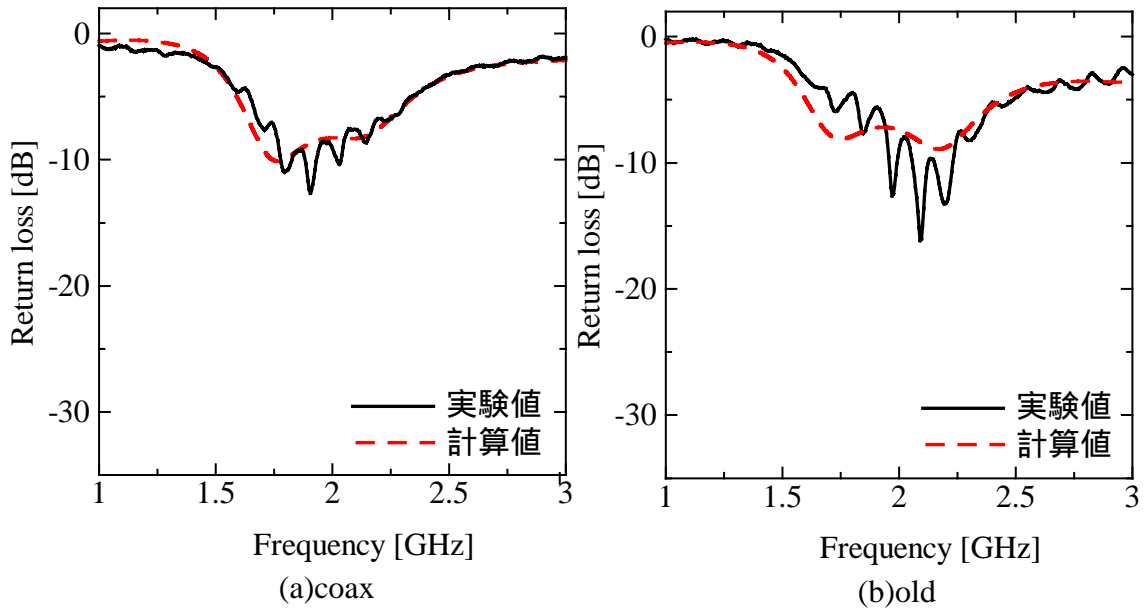


図 2-43 BC2 での給電構造による影響

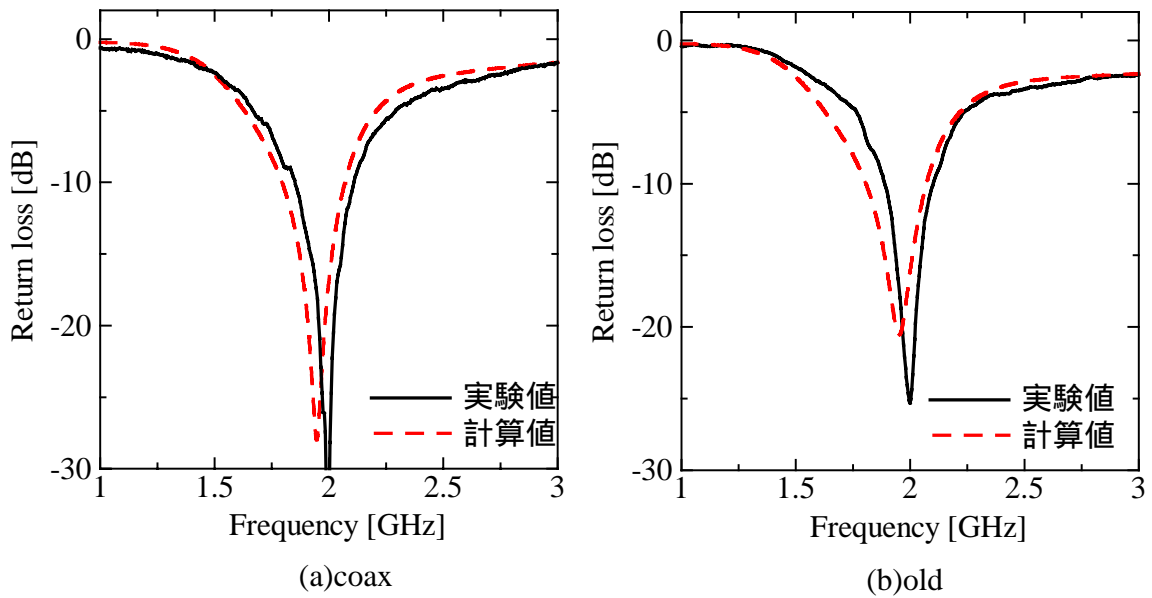


図 2-44 BP1 での給電構造による影響

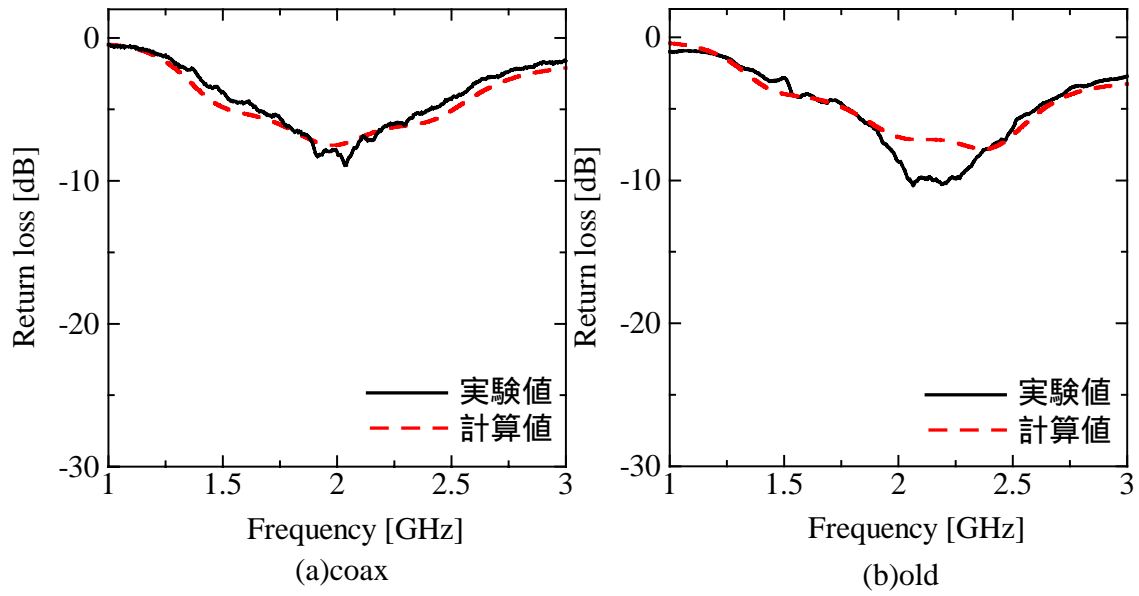


図 2-45 BP2 での給電構造による影響

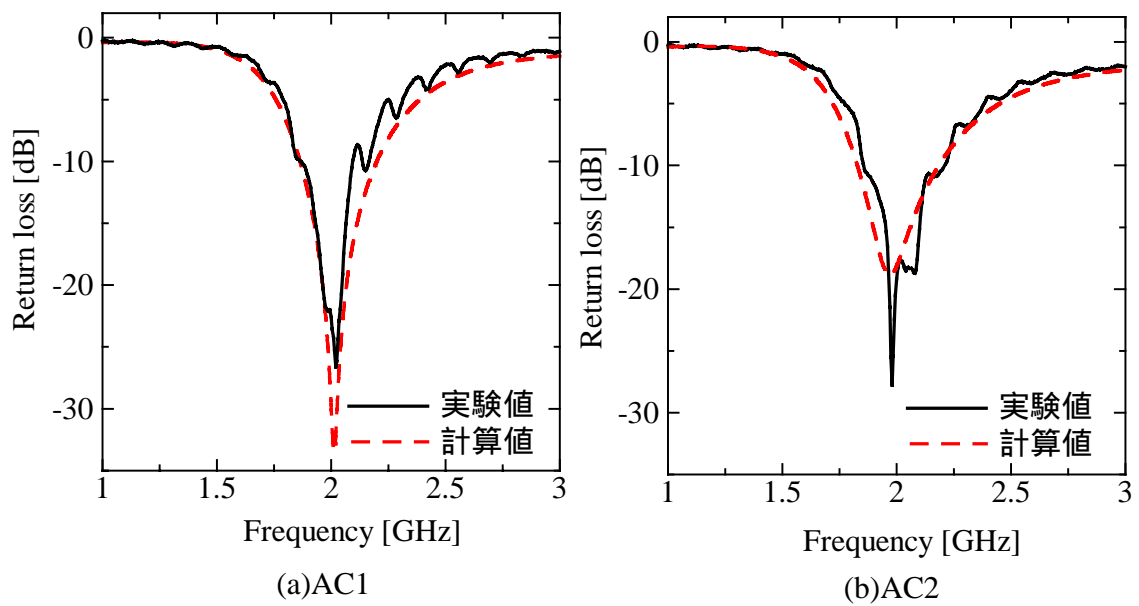


図 2-46 FDTD 解析と実験でのリターンロス特性比較



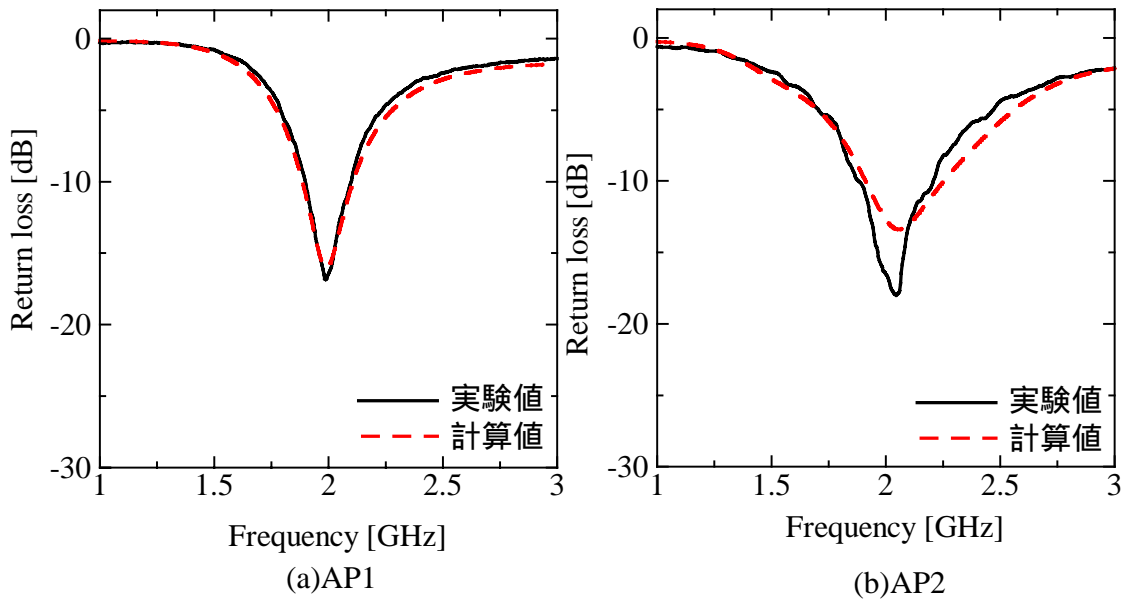


図 2-47 FDTD 解析と実験でのリターンロス特性比較

### 2.2.3. ホイップ長と地板の関係

前節の結果より，地板上の電流分布がアンテナの特性に影響することがわかった．そこでアンテナのホイップ長を変化させることで共振周波数を変えたときのリターンロス特性を比較することで，地板の大きさとアンテナの共振周波数との関係を検討する．

図 2-48に示すように，地板が携帯電話サイズの AC1 と BC1 では，2GHz 付近で BC1 のリターンロス特性が劣化することを示してきた．電流の振幅が大きくなる，給電点から地板の下部までの長さを  $L_g$ (Length of ground)とする．この劣化の原因は，地板に平行にアンテナを設置した場合に地板上に流れる電流の振幅が大きくなるによるものと思われるが，地板がどう影響しているかについてホイップ長を変化させて共振周波数を変化させて検討してみた．

ホイップ長を 24mm ~ 56mm まで変化させたときのリターンロス特性の傾向を示すものとして，それぞれの共振周波数付近におけるリターンロスの最小値をプロットしたものを評価に用いる．携帯電話サイズの地板へアンテナを垂直に設置した場合での結果は，図 2-49に示すように 2GHz 付近での劣化はみられない．しかし地板にアンテナを平行に設置した場合は，図 2-50(a)に示すように劣化が見られる．この場合は地板に対してアンテナが平行なため，垂直に設

置した場合に比べて地板により大きな電流振幅がおこる．携帯電話サイズの地板の場合， $L_g$  が 150mm になり，2GHz 時の一波長に相当し，地板に強く電流がのるために劣化すると考えられる．これより， $L_g$  が共振周波数の一波長になる場合にリターンロス特性の劣化が起こると仮定すると，地板のサイズを変えると同じような傾向が得られるはずである．そこで，地板サイズを大きくした PDA サイズの地板を用いて同様の検討を行ってみた．PDA サイズの場合の  $L_g$  は 182mm であり，1.7GHz 時が一波長になる．図 2-50(b)に示すように 1.7GHz 付近でリターンロス特性の劣化が起こっており，劣化の原因は，地板のサイズ  $L_g$  が一波長になる場合に地板上の電流振幅が大きくなるためといえる．

以上より，2GHz 帯において地板サイズにより受けるリターンロス特性の影響として Model B に比べて Model A では，-10dB 以下で整合された周波数帯域を得やすいことが分かった．携帯端末をビューワとして用いる場合（ $>60[\text{deg}]$ ）において Model A の設置方法は Model B に比べて 3～5dB 程度垂直偏波を受信するレベルが高くなる．ビューワ用携帯端末へのアンテナ設置方法として Model A が有効であるので，次に携帯端末へ実装しやすいように小型化を図る必要がある．

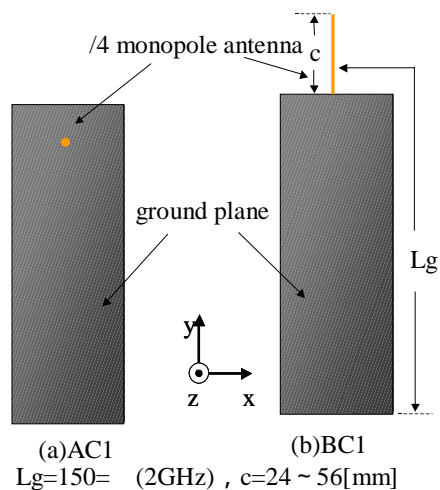


図 2-48  $L_g$  で電流の振幅が大きい

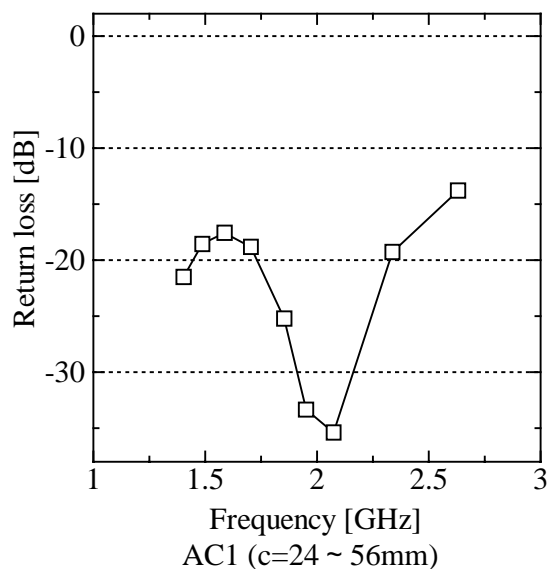


図 2-49 アンテナ長変化による影響

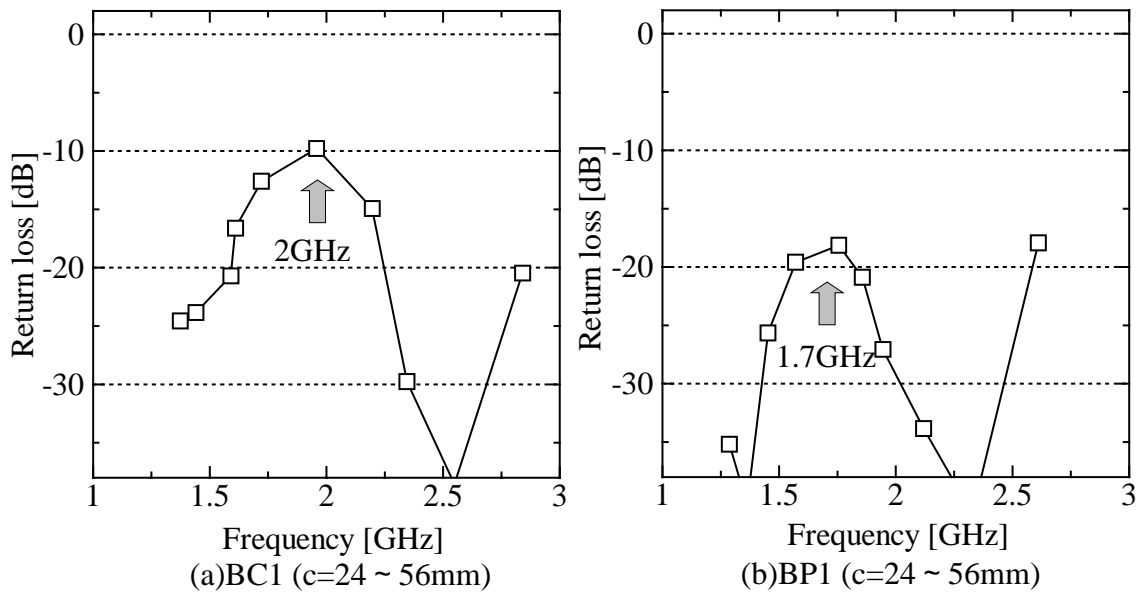


図 2-50 地板サイズとアンテナ長変化による影響

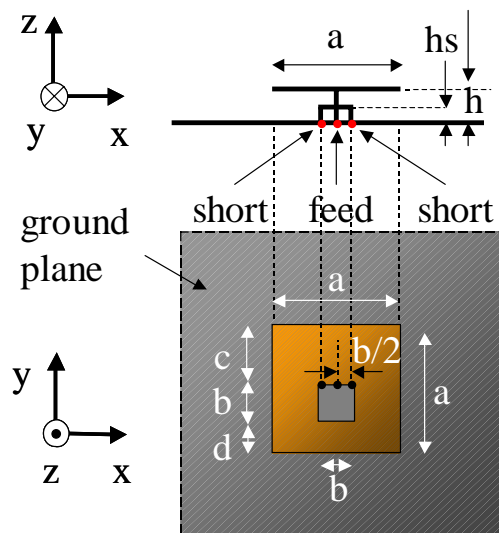
### 3. 携帯端末内蔵用小型アンテナ

ビューワとして携帯端末を用いる場合に有効であるモノポールアンテナの設置方法を検討してきた。携帯端末に内蔵可能な小型アンテナについて検討を行う。

#### 3.1. 穴付容量装荷型モノポールアンテナ解析と実験

##### 3.1.1. 誘電体を装荷しない場合の解析と実験

不等間隔メッシュを用いた FDTD 法によって穴付容量装荷型モノポールアンテナを解析した。図 3-1 に示した解析モデルを一辺 100mm の正方形地板の中央に設置した。粗い部分のセルサイズは 1mm，細かいメッシュのセルサイズは 0.5mm である。CPU Athlon800MHz で解析時間は 3 時間 30 分であった。実際に試作して正方形地板の中央に設置した例を図 3-2 に AS1 として示す。アンテナ部分の拡大図を図 3-3 に，給電部のスタブ構造を図 3-4 に示す。実験と FDTD 解析のリターンロス特性を図 3-5 に示す。実験でも同様の傾向のリターンロス特性になる。しかし比帯域が解析と実験では若干違うという問題がある。 $-10\text{dB}$  以下の比帯域といった場合には， $(-10\text{dB}$  の範囲での高い周波数 - 低い周波数)  $\div$  共振周波数で表されるもので，アンテナとして使える周波数範囲を表す目安になる。試作モデルは約 2.83GHz で最も共振し，比帯域は約 3.9% である。実験の放射指向性を図 3-6 に xy 面 (H 面)，図 3-7 に yz 面 (E 面)，図 3-8 に zx 面 (E 面) として示す。地板の一辺が より少し小さい程度の大きさしかないため E 面の最大放射方向は地板より上を向く。地板に対して垂直にモノポールアンテナを立てた Model A と同様の放射指向性になる。



$a=16, b=4, c=8, d=4, h=2, hs=1$  [mm]

図 3-1 穴付容量装荷型モノポールアンテナの構造と座標系

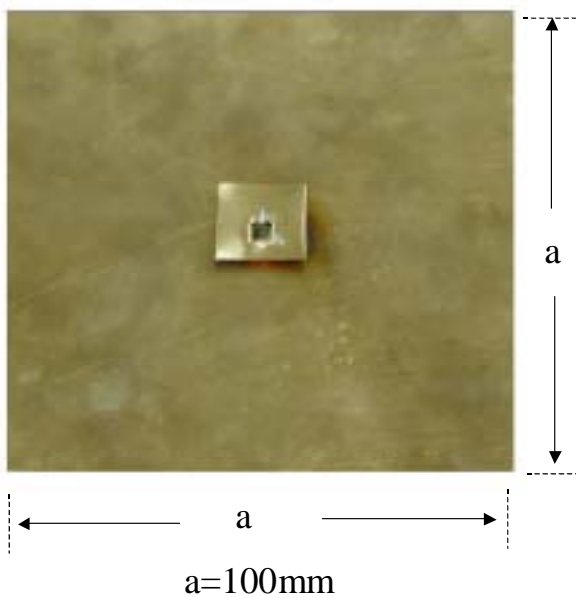


図 3-2 正方形地板へ設置 AS1

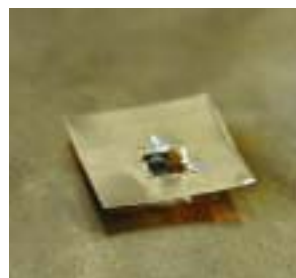


図 3-3 アンテナ部分



図 3-4 スタブ構造

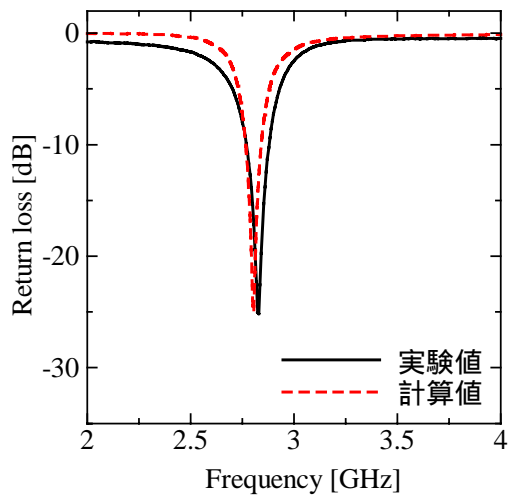


図 3-5 AS1 のリターンロス特性

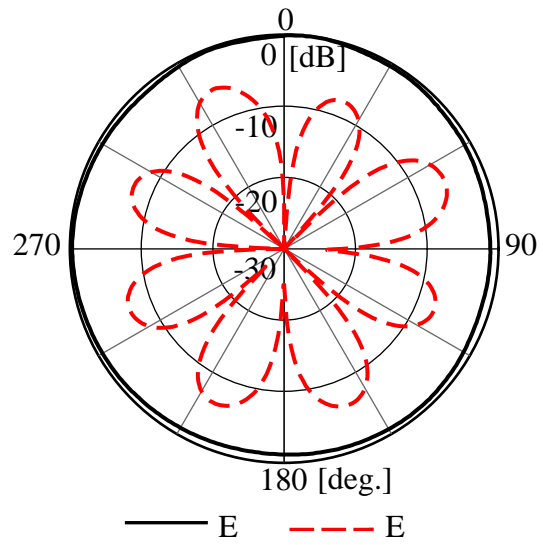


図 3-6 AS1 の xy 面内指向性

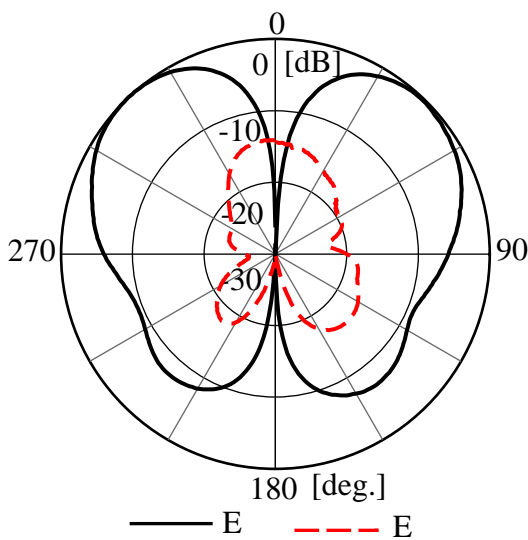


図 3-7 AS1 の yz 面内指向性

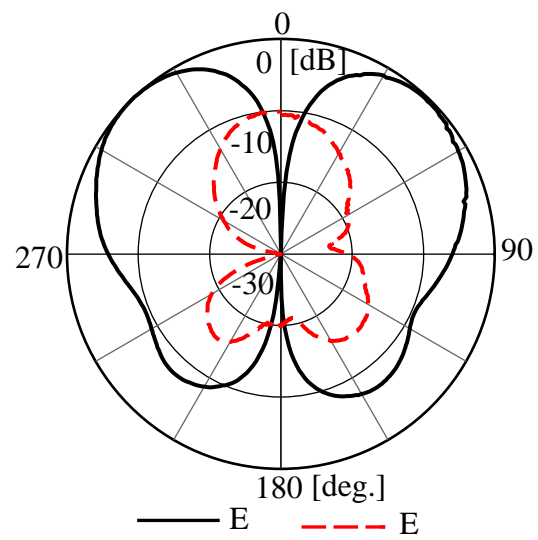


図 3-8 AS1 の zx 面内指向性

### 3.1.2. プリント基板を用いた実験と解析

誘電体を装荷することにより同じ構造のアンテナの共振周波数を低い周波数へシフトすることができ、アンテナの小型化になる。前節で試作したアンテナに比誘電率 2.6 の穴付誘電体プリント基板を装荷した。誘電体を装荷した場合での不等間隔メッシュ法を用いた FDTD 解析結果と実験結果を比較する。

誘電体基板は比誘電率 2.6 のものを用いた。試作したモデルの給電構造部分を図 3-9に示し、地板に設置したものを図 3-10に示すように AS2 とする。このアンテナの構造と座標を図 3-11に示す。スタブ構造を取り出しやすい別の基板で加工し、給電部分、ショート部分を地板に導体テープで接続したあとに、穴付の誘電体ブロックを装荷し、一番上に、誘電体基板上に加工した上板をのせて接続する。スタブ構造の線幅は 0.2mm である。比誘電率 2.6 の基板は厚さが 1.0mm のものを 2 枚重ね合わせて所望のアンテナの高さ 2mm を実現している。

整合を取るために給電構造に用いているスタブ構造は細かい構造なので等間隔メッシュの FDTD で解析を行うと解析時間が長くなる。そこで、アンテナ構造を細かいメッシュで設定し、その外側の地板や自由空間を粗いメッシュで設定することで解析時間を早くできる不等間隔メッシュを用いた FDTD 法により、誘電体が装荷されている図 3-11に示す穴付容量装荷型モノポールアンテナを解析した。線路幅は考慮に入れていない。誘電体なしの場合と比べて共振周波数は低いほうへシフトしており、2GHz 付近で整合が取れる。誘電体によってアンテナが小型化されたといえる。試作モデルの実験値と FDTD 解析値はだいたい同じであるが、帯域幅は、若干実験値の方が広く出ており、次節で検討する。

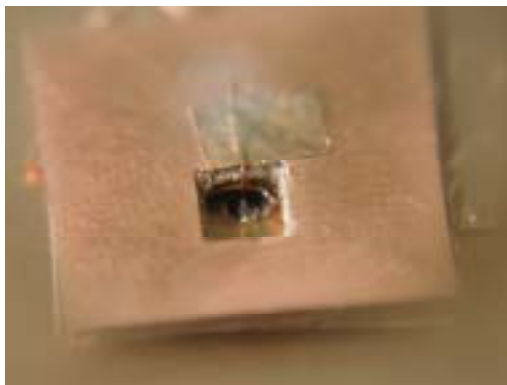


図 3-9 給電構造拡大

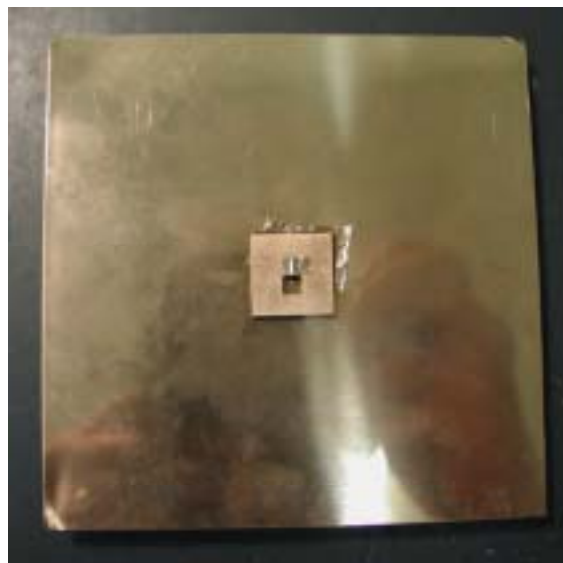
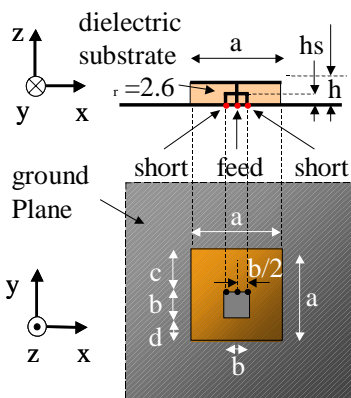


図 3-10 地板の中央に設置 AS2



$a=16, b=4, c=8, d=4, h=2, hs=1$  [mm]

図 3-11 アンテナの構造と座標系

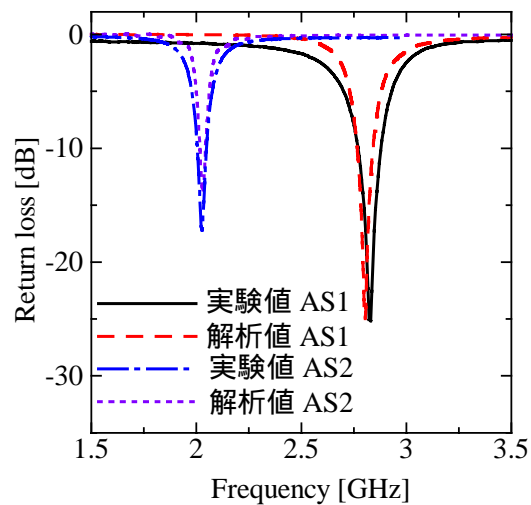


図 3-12 誘電体装荷による小型化

## 3.2. 解析と実験の誤差及び実験による諸特性の測定

### 3.2.1. セルサイズの違いによる解析結果の違いと実験

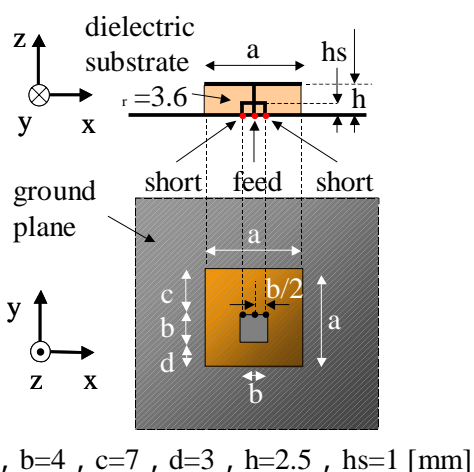
前節までの結果では FDTD 解析と実験結果では比帯域が異なる結果になっていた。そこで、FDTD 解析においてアンテナの構造を設定するのにセルサイズが十分細かくなっていないためと考え、細かいセルサイズが 0.5mm の場合と 0.25mm の場合で等間隔メッシュの FDTD 解析により比較する。次にアンテナをさらに正確に試作した実験と解析で比較をする。

図 3-13に示すように等間隔メッシュの FDTD 解析により比誘電率 3.6 の基板に穴をあけた穴付容量装荷型モノポールアンテナを解析した。今まではセルサイズ 0.5mm であったが、より精度良くアンテナ構造を設定するために、セルサイズをその半分の 0.25mm にして解析を行った。図 3-14に試作に用いた誘電体基板とスタブ構造の拡大図を示し、図 3-15に試作したアンテナを示す。セルサイズが異なる場合の電流分布は、図 3-16に示すように、セルサイズが細かい方が粗いものに比べて正確に表現できている。この差がリターンロス特性と帯域幅に誤差として表れる。図 3-17にセルサイズの違う解析結果と、正確に試作した実験結果のリターンロス特性を示す。セルサイズの違いだけで、共振周波数



と帯域幅に変化がでており，今回の実験結果とセルサイズの細かい解析結果は一致した．この理由としては，電流分布の違いを見ても分かるように給電部分のスタブ構造がより詳細に設定できたためであると考える．試作に使った誘電体基板は比誘電率 3.6 のものを用いており，前回までの比誘電率 2.6 の基板と比較して歪みにくく，基板を重ねたときのアンテナの高さに関して誤差を少なく試作できる．放射指向性を図 3-18 ~ 図 3-20 に示すように解析と実験は一致する．

FDTD 解析において給電部を設定するセルサイズが十分細かくなっていなかったことが実験と解析の帯域幅が一致しなかった原因である．導体は，少なくとも 2 cell セルで設定していたが，今回の結果より給電構造などの部分ではより細かい 4 cell で設定することにより，より精度の高い解析ができるようになることを示した．



$a=14, b=4, c=7, d=3, h=2.5, hs=1$  [mm]

図 3-13 アンテナ構造と座標系

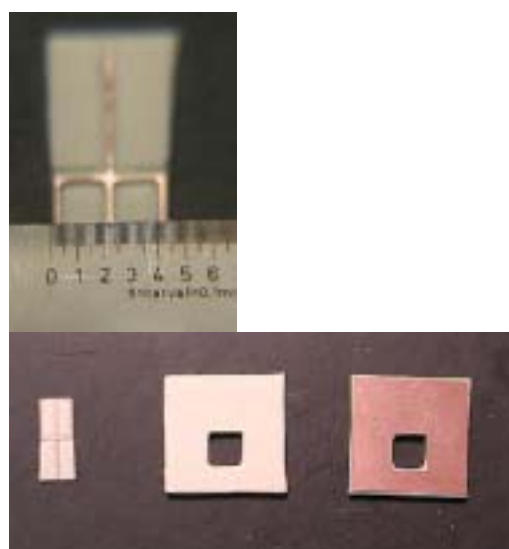


図 3-14 スタブ構造と部品

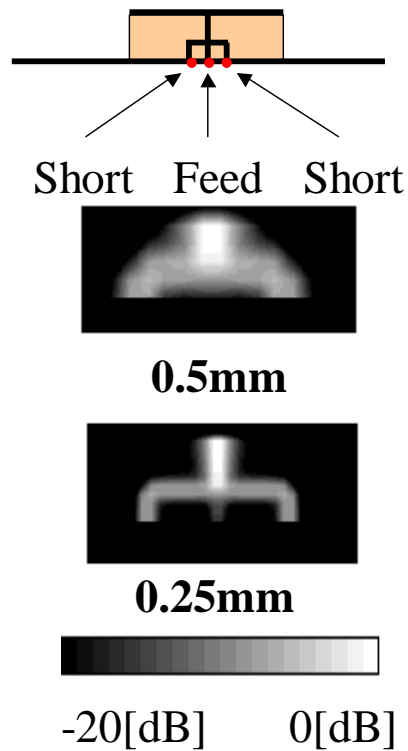
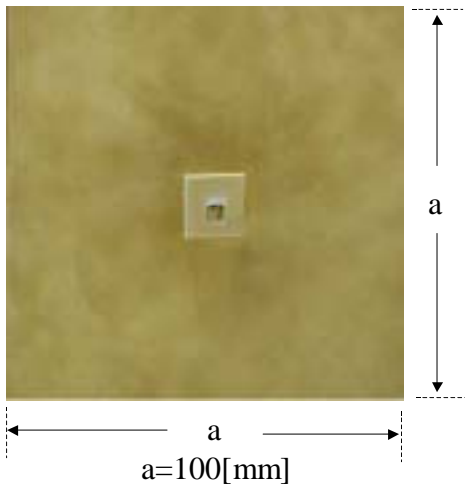


図 3-15 AS3 の拡大図と設置例

図 3-16 セルサイズによる違い

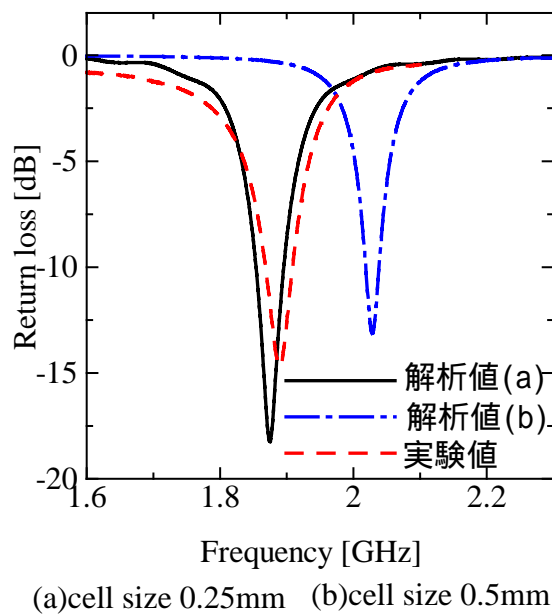


図 3-17 セルサイズによる共振周波数と帯域幅の違い

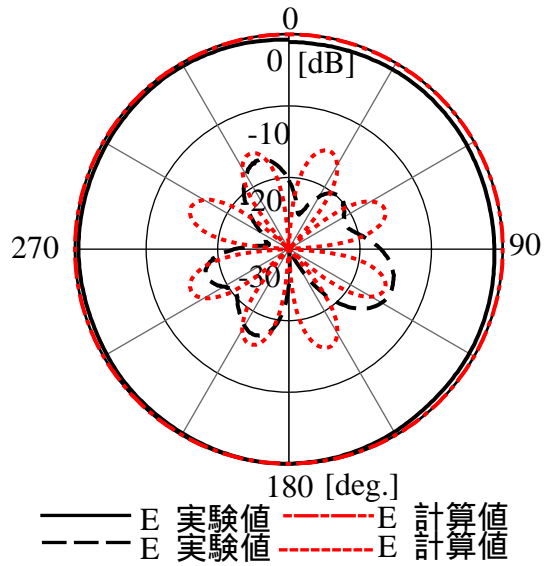


図 3-18 AS4 の xy 面内指向性

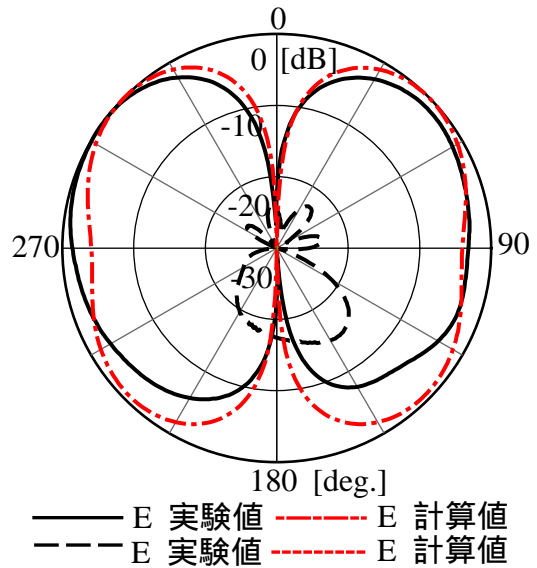


図 3-19 AS4 の yz 面内指向性

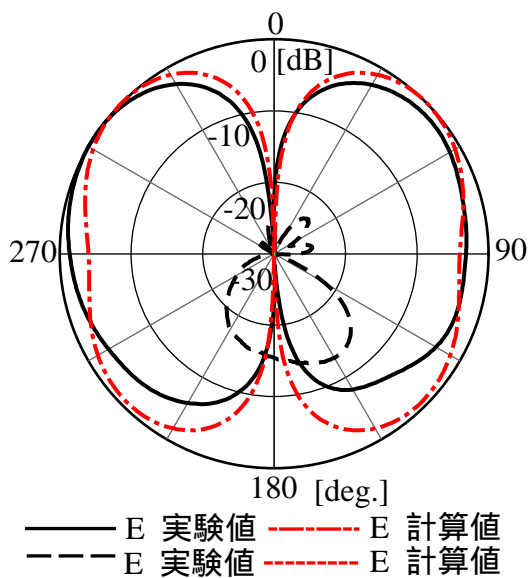


図 3-20 AS4 の zx 面内指向性

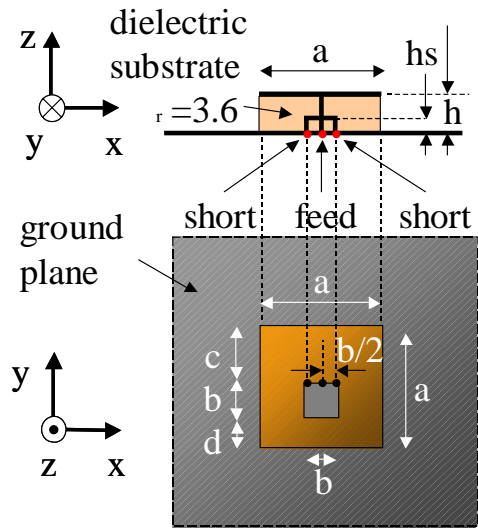
### 3.2.2. 2GHz 帯での解析と試作

FDTD 解析と実験での帯域幅の違いについて検討した。次に，IMT-2000 で使用される 2GHz 帯で共振するように FDTD 解析と実験から検討した。

図 3-21 に FDTD 解析と実験に用いたパラメータを示す。解析は等間隔メッシュで行い，セルサイズは 0.25mm で地板サイズは一辺 100mm の正方形地板を用いた。共振周波数 1.875GHz のタイプモデルから上板の一辺を 14mm から 13mm へとアンテナを小さくして 2.025GHz で共振するようにした。解析時間は CPU Athlon XP 1.4GHz で 71 時間 34 分であった。図 3-22 に実験と解析のリターンロス特性を示す。-10dB 以下の帯域幅は，解析 42MHz，実験 39MHz である。比帯域で表すと解析 2.1%，実験 1.9% となり。解析と実験はよく一致している。図 3-23 に実験で正方形地板の中央に設置したものを AS5 として示す。図 3-24 に穴付容量装荷型モノポールアンテナ部分と，誘電体基板に開けられた穴の側面に給電構造を示す。給電構造の線幅は 0.2mm である。図 3-25 に FDTD 解析によるアンテナと地板上の電流分布を示す。スタブ構造と上板の部分に強く電流がのって共振してアンテナとして動作している。上板に乗っている電流は地板によるイメージ電流が生じるために打ち消されて放射指向性には寄与しない。FDTD 解析結果より正方形地板上の電流分布は範囲を -70dB 程度にしないと判別が難しいほど少ない。

図 3-26 ~ 図 3-28 に放射指向性を示す。解析と実験はモノポールアンテナの指向性と同様になり一致している。天頂方向からの携帯端末の角度を変化させ，傾斜角度と垂直偏波の受信レベルの関係を図 3-29 に示す。ビューワとして携帯端末を覗き込む角度は，およそ 60 度 ~ 90 度である。ファントムがない場合とある場合をそれぞれ測定して比較した。ビューワとして用いる角度に近づくにつれて垂直偏波を受信するレベルが上がる。また，ファントムが存在するために，全体的にアンテナの放射利得が低下している。

2GHz 帯で穴付容量装荷型モノポールアンテナの解析と実験を行い，両者の結果は一致した。携帯端末をビューワとしてもちいるために傾けた場合の放射利得を測定するために水平面内の垂直偏波と水平偏波について受信レベルを平均して評価した。設計どおりビューワとして用いる傾斜角度の場合は受信レベルが上昇し，ファントムがある場合と無い場合での放射利得の差についても確認した。



$a=13$  ,  $b=4$  ,  $c=6.5$  ,  
 $d=2.5$  ,  $h=2.5$  ,  $hs=1$  [mm]

図 3-21 アンテナ構造と座標系

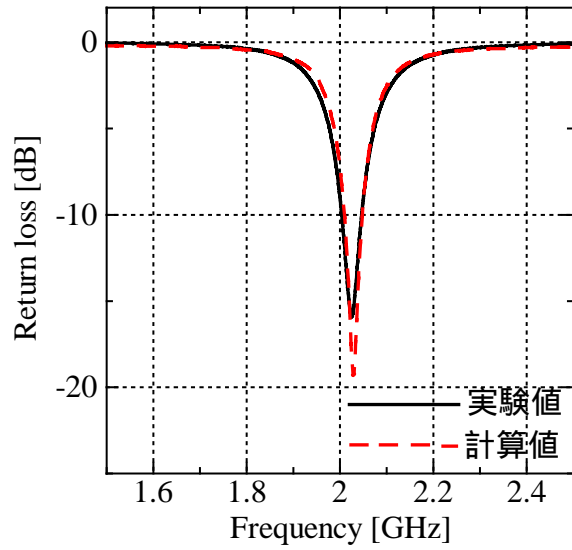


図 3-22 リターンロス特性

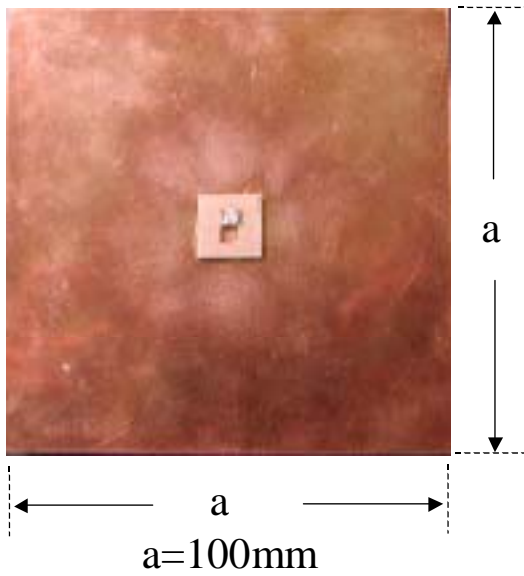


図 3-23 正方形地板に設置 AS5



図 3-24 スタブ構造

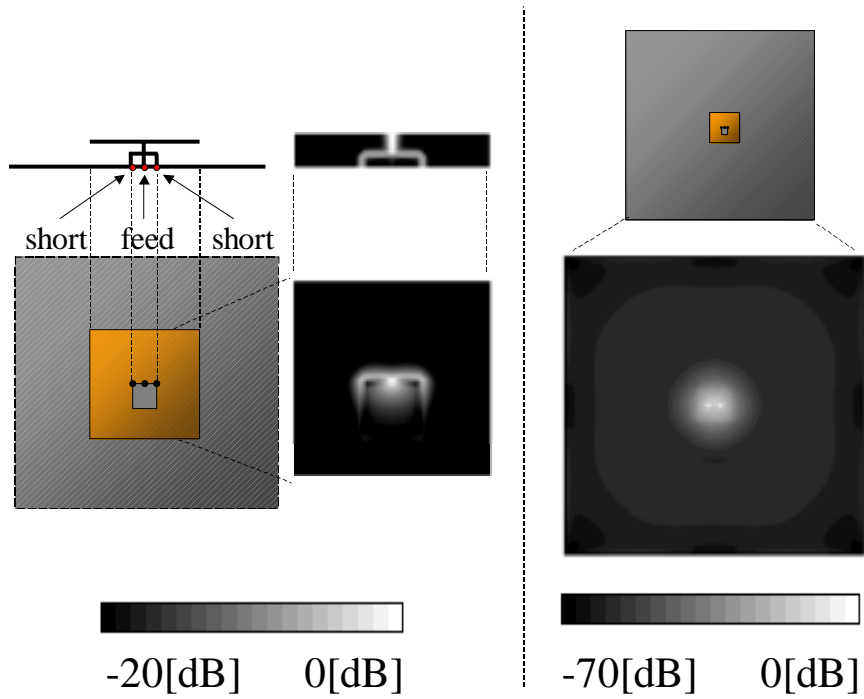


図 3-25 電流分布

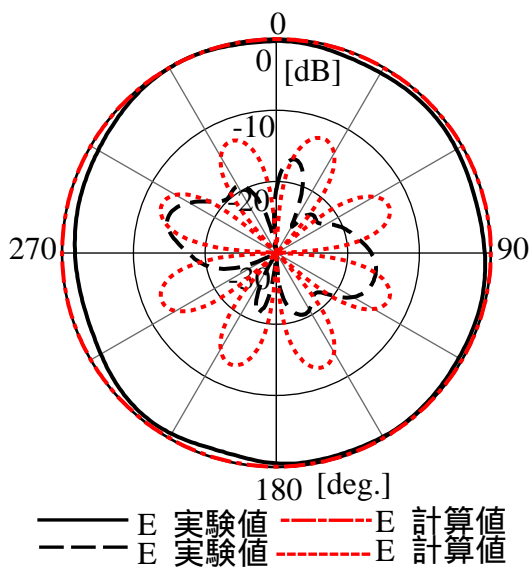


図 3-26 AS5 の xy 面内指向性

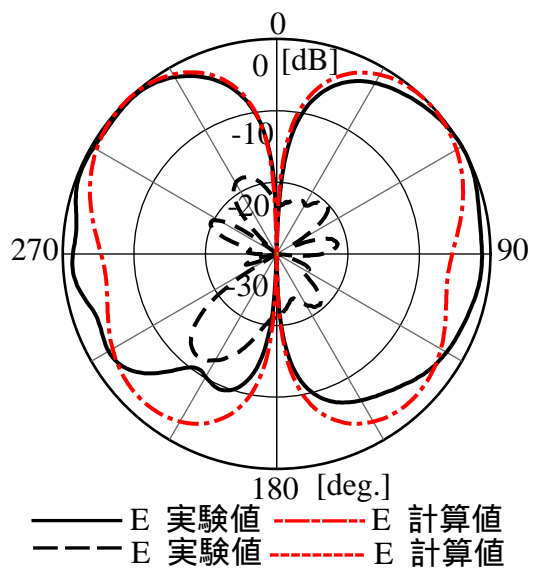


図 3-27 AS5 の yz 面内指向性

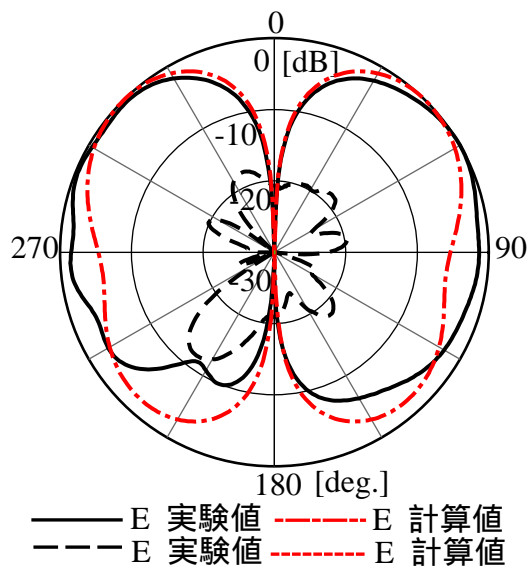


図 3-28 AS5 の zx 面内指向性

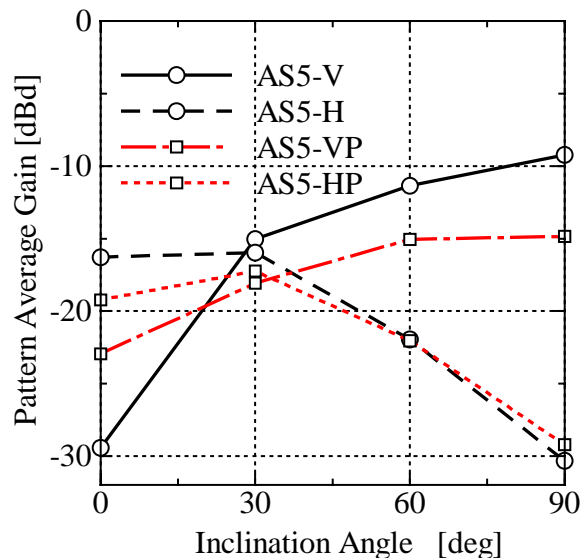


図 3-29 AS5 の傾斜角度による利得変化

### 3.3. モノポールアンテナとの利得比較

#### 3.3.1. モノポールと穴付容量装荷型の放射指向性比較

図 3-30に示すように，2章では試作が容易である  $\lambda/4$  モノポールアンテナを穴付容量装荷型モノポールアンテナの変わりに用いて，携帯端末へのアンテナ設置方法を評価した．ビューワとして携帯端末を用いる場合には，Model A の設置方法が有効との結果より，低姿勢化を図って携帯端末に内蔵可能なように穴付容量装荷型モノポールアンテナを提案した．PDA サイズの地板上に穴付容量装荷型モノポールアンテナを設置した実験結果と，同じ給電位置に  $\lambda/4$  モノポールアンテナを設置した時の FDTD 解析結果とを比較する．

図 3-31に示すように，PDA 地板上に穴付容量装荷型モノポールアンテナを設置した実験結果と，同じ場所に  $\lambda/4$  モノポールアンテナを設置した FDTD 解析結果とを比較する．等間隔メッシュの FDTD 解析を用い，セルサイズは 1mm，アンテナ給電部分から PML 吸収境界まで少なくとも  $\lambda/4$  の解析空間を取った．

図 3-33に両者のリターンロス特性を示す .両者とも 2GHz 付近で共振しており , 構造の違いから穴付容量装荷型モノポールアンテナの方が周波数帯域は狭くなる . それぞれ整合が取れている周波数での放射指向性を実験と解析結果として 図 3-34 ~ 図 3-36に示す . 両者の結果はよく合っており , 穴付容量装荷型モノポールアンテナの放射指向性とモノポールアンテナの放射指向性は一致する .

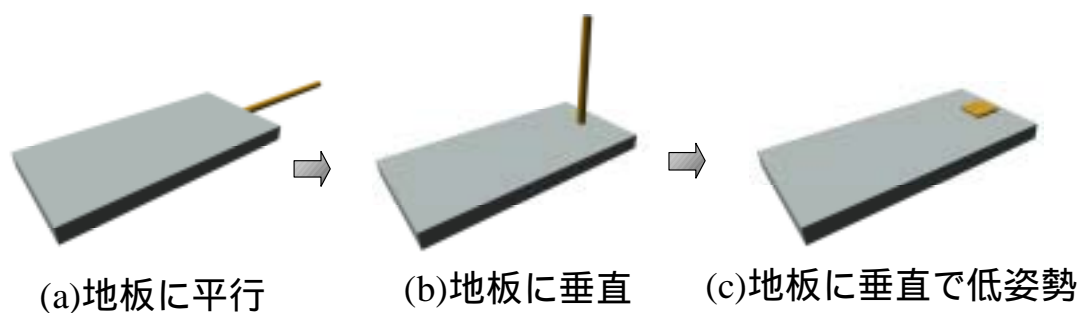


図 3-30 設計の流れ

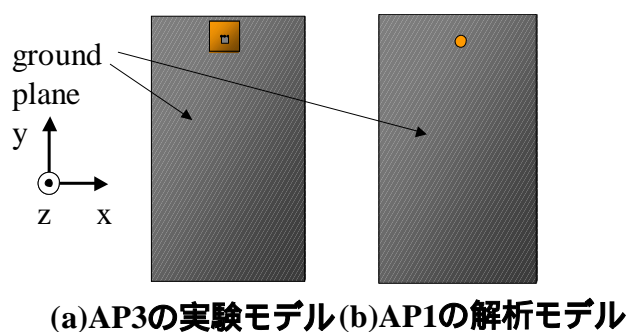


図 3-31 アンテナの設置位置と座標



図 3-32 AP3 の設置



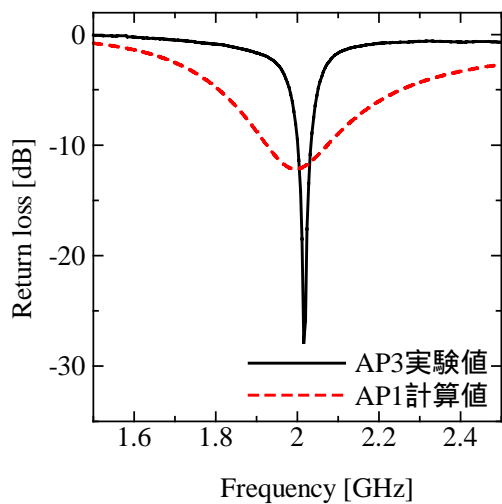


図 3-33 リターンロス特性

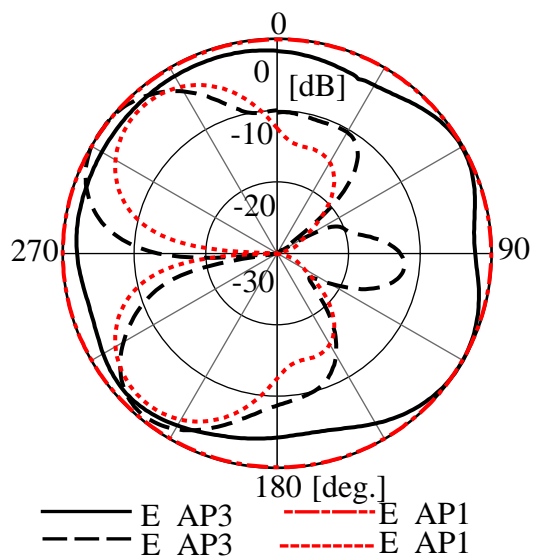


図 3-34 AP1 と AP3 の xy 面内指向性

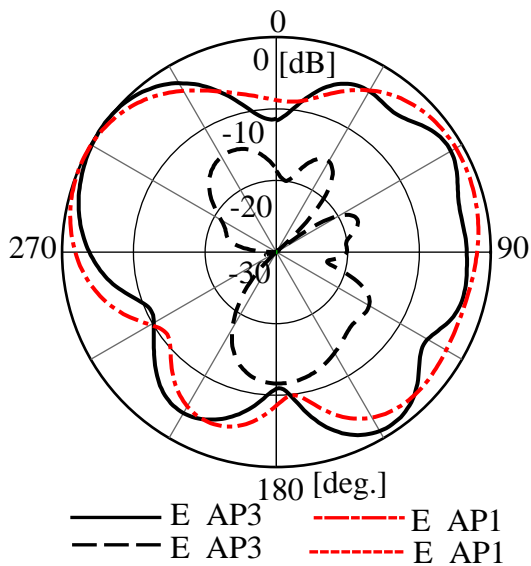


図 3-35 AP1 と AP3 の yz 面内指向性

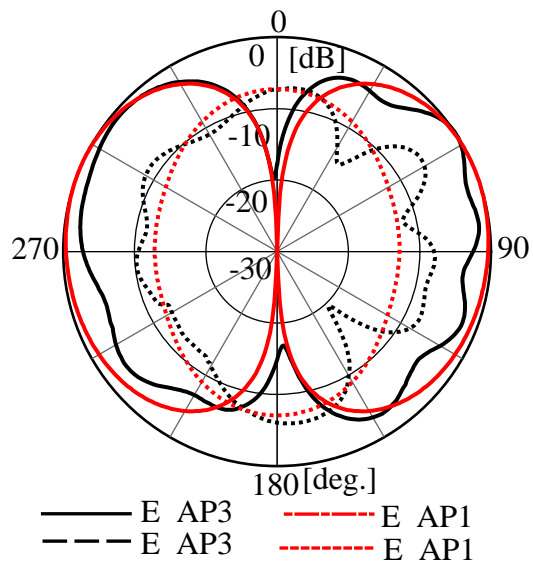


図 3-36 AP1 と AP3 の zx 面内指向性

### 3.3.2. モノポールアンテナとの比較 アンテナ単体

穴付容量装荷型モノポールアンテナ(AP4)と  $\lambda/4$  モノポールアンテナ(BP1)の垂直偏波を受信するレベルの比較を行う。穴付容量装荷型モノポールアンテナを図 3-37に示す。地板は、PDA(Personal Digital Assistant)サイズ(縦×横=140mm×82mm)の地板を用い、それぞれのアンテナモデルを図 3-38と図 3-39に示す。

リターンロス特性を図 3-40に示す。容量装荷型アンテナとモノポールアンテナの利得を比較する周波数は 2.052GHz である。傾斜角度は天頂方向からの角度 [deg]を変えて 0 度、30 度、60 度、90 度の 4 種類で水平面内の垂直偏波成分と水平偏波成分を測定した。ビューワとして端末を使用する傾斜角度 =60[deg]付近では、2~5dB 程度穴付容量装荷型モノポールアンテナの方が垂直偏波を受信するのに有効である。実際には携帯端末は人体近傍で使用するため、模擬人体(セラミックファントム)を用いて評価する必要があるので次節で検討を行った。

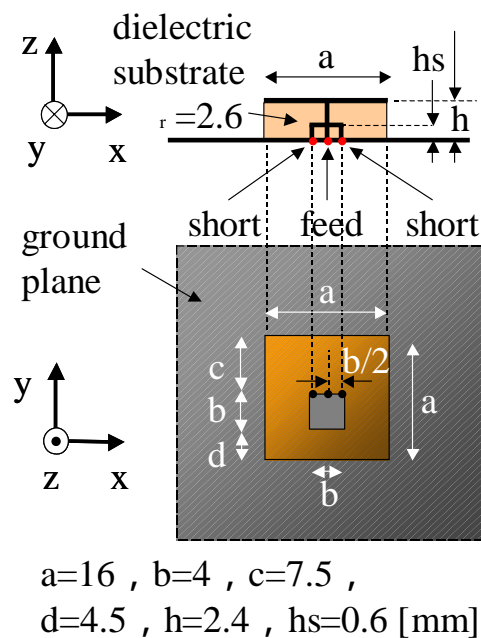


図 3-37 アンテナ構造と座標系

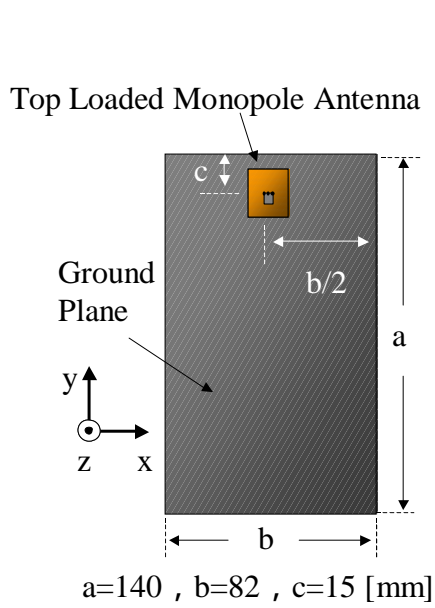


図 3-38 穴付容量装荷型 AP4

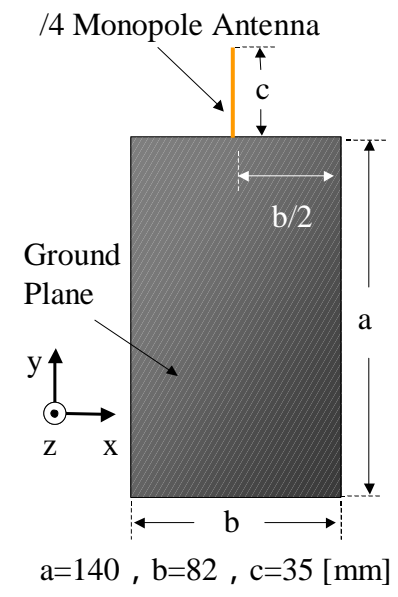


図 3-39 1/4 モノポールアンテナ BP1

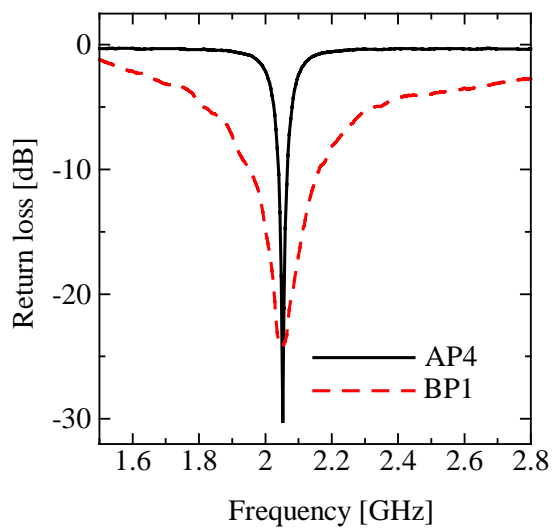


図 3-40 AP4 と BP1 のリターンロス特性

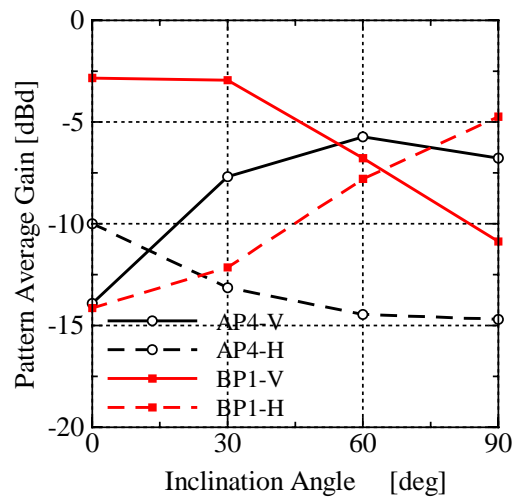


図 3-41 傾斜角度による利得変化

### 3.3.3. モノポールアンテナとの比較 ファントム使用

携帯端末は人体近傍で使用するため、模擬人体（セラミックファントム）を用いて評価する必要がある。前節で単体（セラミックファントム無し）の場合での結果は、2章で行った結果と同じになり、穴付容量装荷型モノポールアンテナでも同様の傾向になった。そこでセラミックファントムを用いて2GHz帯における実験を行った。

実験に用いたモデルを図 3-42に示す。図 3-43のように設置し、図 3-44に実験に使ったアンテナを示す。図 3-45に両者のリターンロス特性を示す。Model Aは、同じ構造のものを試作したが、試作上の若干の誤差から共振周波数は前節のモデルからシフトし、1.992GHzとなった。model Aの比帯域は約1.7パーセントである。それにあわせて、Model Bのモノポールアンテナも36mm～35mmにした。

図 3-46に傾斜角度は天頂方向からの角度 [deg]を変えて0度、30度、60度、90度の4種類で水平面内の垂直偏波成分と水平偏波成分を測定し、それぞれ平均をとってから垂直偏波のダイポールアンテナの利得で正規化したパターン平均化利得を示す。セラミックファントムが存在する場合も、AP7はビューワとして用いる傾斜角度に近づくにつれて利得が上がり、BP1は下がっていく。全体的にセラミックファントムが無い場合に比べて利得は下がる。図 3-47に示すようにセラミックファントムの部位ごとの影響も調べた。

図 3-48～図 3-49に天頂方向からの角度を変えたときの水平面内放射指向性を示す。ファントムは、水平面内の  $\phi=270$ [deg]の位置にある。傾斜角度が大きくなるにつれて Model A では垂直偏波の利得が上がり、Model B では、垂直偏波の利得が下がっているのが分かる。図 3-50～図 3-51にビューワとして使用する  $\theta=60$ [deg]のときに、図 3-47に示すように頭部と胸部と腕を組み合わせて取り付けたときの放射指向性を示す。ビューワ端末として使う場合には、ファントムの頭部の影響は少なく、-10dB程度胸部によって利得が低下する。

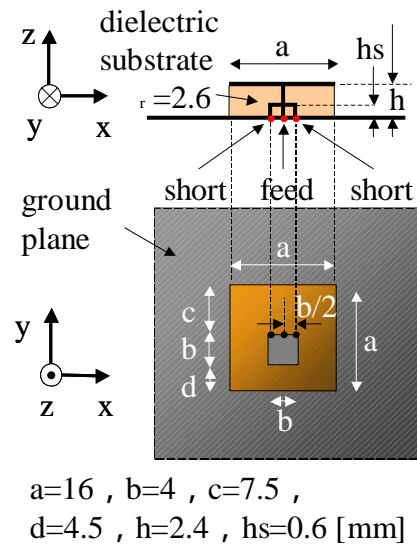
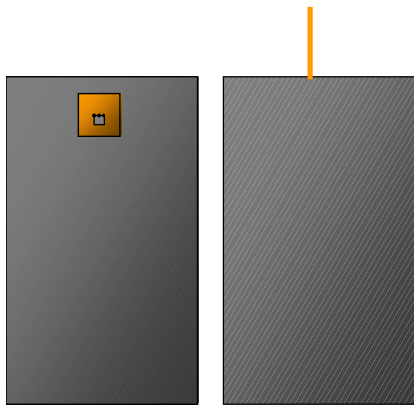


図 3-42 穴付容量装荷型モノポールアンテナ



(a) AP7 (b) BP1

図 3-43 アンテナ設置位置と方法



(a) AP7 (b) BP1

図 3-44 アンテナ設置

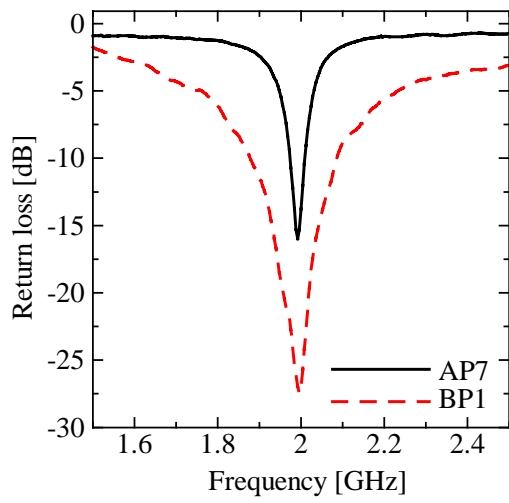


図 3-45 リターンロス特性

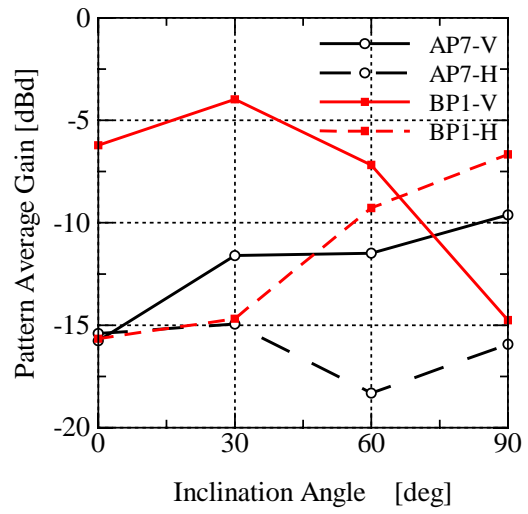


図 3-46 傾斜角度による利得評価



(p1) 頭部のみ

(p2) 頭部 + 胸部

(p3) 頭部 + 胸部 + 腕部

図 3-47 セラミックファントムの部位ごとの影響

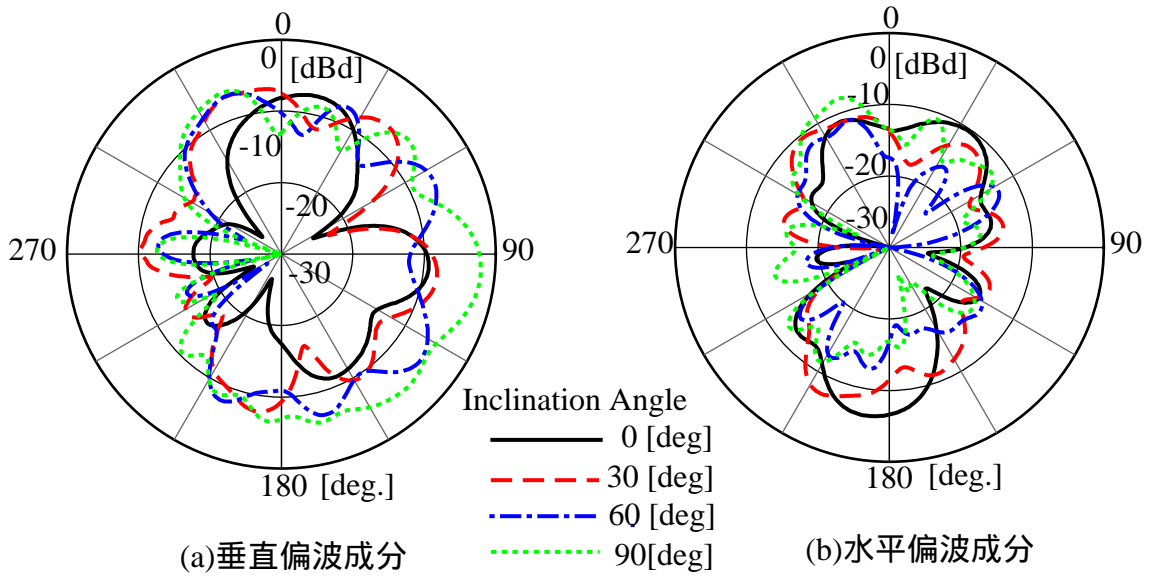


図 3-48 AP7 の xy 面内指向性

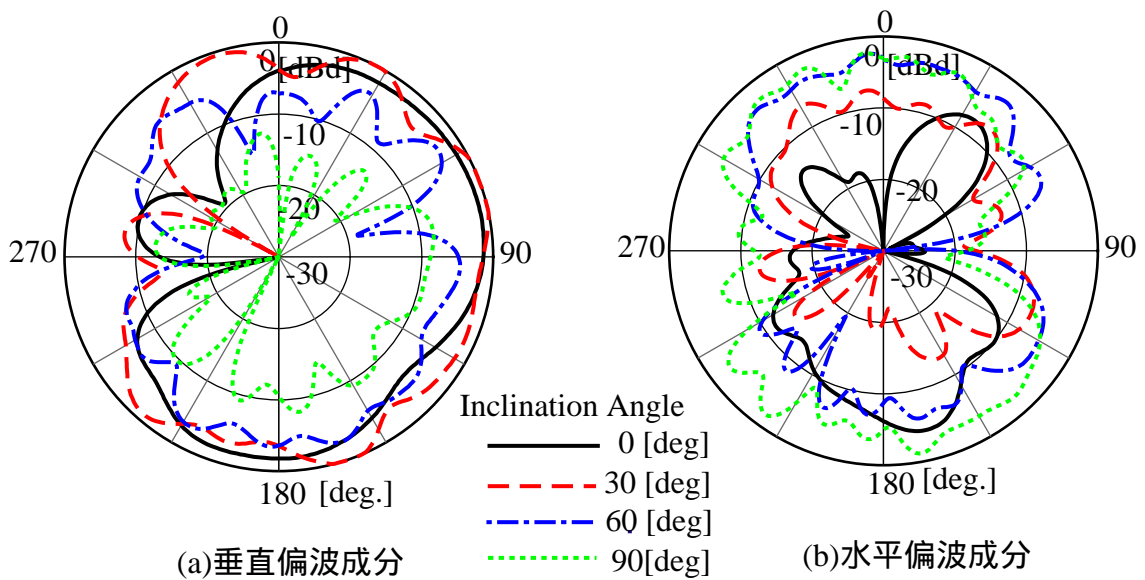


図 3-49 BP1 の xy 面内指向性

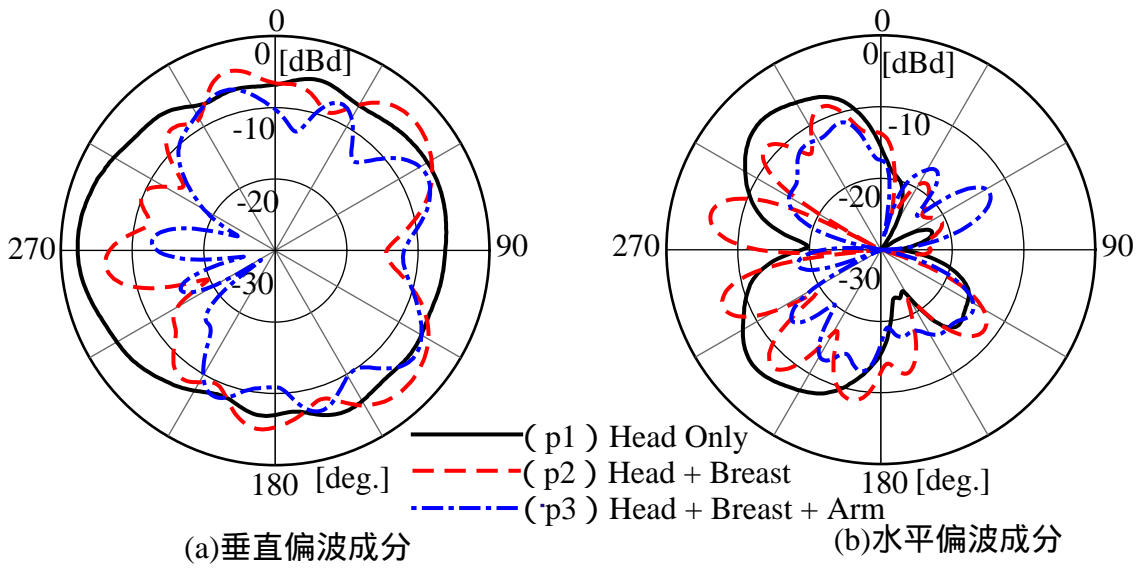


図 3-50 AP7 の xy 面内指向性

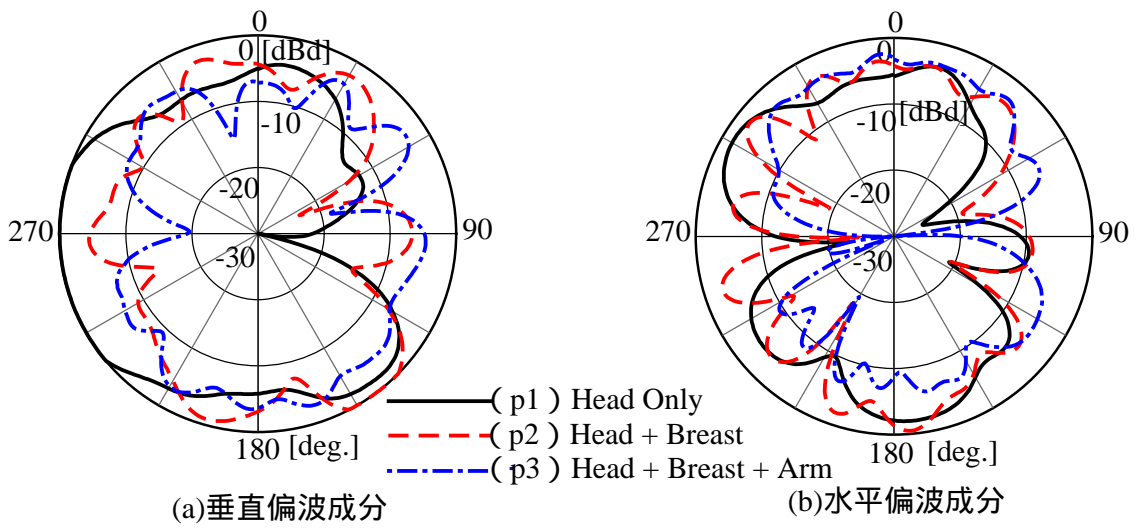


図 3-51 BP1 の xy 面内指向性



## 4. 結論

携帯端末へのアンテナ設置方法について検討した。まず初めに通話用として設計されている現在の携帯端末へのアンテナ設置方法に対し、近年増加しているビューワ端末として使用する場合に適するアンテナ設置方法を 2 種類の地板（携帯電話サイズと PDA サイズ）と 2 種類の  $\lambda/4$  モノポールアンテナの設置方法（Model A と Model B）を用いて検討した。2 種類の地板のサイズを用いることで、 $\lambda/4$  モノポールアンテナを設置したときに、地板が大きいほうが -10dB 以下の周波数範囲の整合を取りやすいことを示した。また、地板のサイズにかかわらず、アンテナを地板に垂直に設置する方法では、アンテナを地板に平行に設置する場合に比べて整合を取りやすく、地板の大きさによる電流分布の変化の影響を受けづらいことを FDTD 解析と実験から明らかにした。

また、模擬人体としてセラミックファントムを用い、多重波環境での評価の一例として水平面内での垂直偏波と水平偏波の指向性を平均したときの、天頂方向からの携帯端末の傾斜角度による放射利得の変化を実験した。が大きくなるにつれて Model B では垂直偏波の受信レベルが低下するのに対し、Model A では受信レベルが上昇する。携帯端末をビューワとして用いる  $> 60$  度の範囲においては、3 ~ 5dB 程度 Model A では垂直偏波の利得が向上し、有効な設置方法であることを明らかにした。

携帯端末をビューワとして用いる場合に有効であるアンテナ設置方法となる携帯端末内蔵用小型アンテナを FDTD 解析と実験により検討した。比誘電率 3.6 の基板を使用し、1 辺 100mm の正方形地板の中央に設置した場合、共振周波数は 2.025GHz、-10dB 以下での比帯域は約 2.1% で、解析と実験はよく一致しており、モノポールアンテナの指向性を持つ。また、携帯端末への設置例として比誘電率 2.6 の誘電体基板を用いた穴付容量装荷型モノポールアンテナを PDA サイズの地板（縦×横=140mm×82mm）に設置したものを Model A とし、モノポールアンテナを地板に平行に設置した Model B としたときの利得について、パターン平均化利得により評価し、ビューワとして用いるように天頂方向からの角度  $> 60$ deg の範囲では、3 ~ 5dB の利得の向上が見られた。

携帯端末をビューワとしてもちいる場合のアンテナ設置方法について検討し、有効な設置方法での携帯端末内蔵用の小型アンテナを実現した。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり，熱心にご指導くださった新井宏之助教授に深く感謝致します．また，研究生生活全般に渡ってご指導くださった新井研究室の諸先輩方に深く感謝致します．最後に研究生生活を共に過ごした新井研究室の皆様に深く感謝致します．

## 参考文献

- [1]Ogawa, Matsuyoshi and Monma : "An Analysis of the Performance of a Handset Diversity Antenna Influenced by Head, Hand, and Shoulder Effects at 900MHz: Part1- Effective Gain Characteristics", IEEE VTS, pp.830-844 , May. 2000
- [2]Ogawa, Matsuyoshi and Monma : "An Analysis of the Performance of a Handset Diversity Antenna Influenced by Head, Hand, and Shoulder Effects at 900MHz: Part2- Correlation Characteristics", IEEE VTS, pp.845-853 , May. 2000
- [3]H.Arai , N.Igi , and H.Hanaoka : " Antenna-gain measurement of handheld terminals at 900MHz " IEEE Trans. Veh.Tech., vol.VT-46, no.3, pp.537-543 , August. 1997
- [4]武藤 輝 , 新井 宏之 : " ビューワ端末を想定したダイポールアンテナの 2.0GHz,5.4GHz における人体の影響 " ,信学ソ大 , B-1-124, 2000
- [5]武藤 輝 : " 人体ファントム近傍に設置された携帯端末用アンテナの特性に関する研究 " , 平成 12 年度修士論文 , Feb. 2001
- [6]新井 宏之 : " 新アンテナ工学 " , 総合電子 , 1996
- [7]後藤 尚久 : " 図説・アンテナ " , 電子情報通信学会 , 1995
- [8]宇野 亨 : " FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析 , コロナ社 , 1998
- [9]FDTD 解析シミュレータ  
<http://www.micro.elec.okayama-u.ac.jp/~fujimori/FDTD/index.html>
- [10]新井 宏之 : " FDTD 法によるアンテナ解析の実際 " , 電子情報通信学会 , 2000
- [11]蒋 恵玲, 新井 宏之 : " 整合ピン付き容量装荷型モノポールアンテナの FDTD 解析 " 信学技報, AP99-36, Jun. 1999

- [12]電子情報通信学会：“アンテナ工学ハンドブック”，オーム社，1980
- [13]常光 康弘，新井 宏之：“穴付誘電体基板を用いた容量装荷型モノポールアンテナ”，信学ソ大，B-1-47，Sep. 2001
- [14]武藤 輝，新井 宏之：“ビューワ端末を想定した場合の人体近傍に置かれたダイポールアンテナの指向性”，信学総大，B-1-197，Mar. 2000
- [15]A.Mutou，H.Arai：“Antenna Pattern Measurement Using Phantom For Handset Phone As Viewer Terminal”，Proc. of APMC, pp.1440-1443，Dec. 2000
- [16]山本 大輔：“有限地板上アンテナ特性のFDTD解析法に関する研究”，平成12年度修士論文，Feb. 2001

## 発表文献

常光康弘 新井宏之, “ 穴付誘電体基板を用いた容量装荷型モノポールアンテナ ”, 信学ソ大, B-1-47, Sep. 2001 .

常光康弘, 新井宏之, “ 穴付容量装荷型モノポールアンテナの FDTD 解析 ”, 信学総大, B-1-133, Mar. 2002 . ( 発表予定 )

## 付録 アンテナ設置方法と位置について

詳しい寸法などは本文中で説明する．ここでは，携帯端末へのアンテナ設置方法と位置ごとに設定した名称を一覧にする．

それぞれのモデル名は英語 2 文字と数字 1 文字から構成されている．1 文字目が A の場合は，アンテナが地板に対して垂直に設置されていることを示し，B の場合は，アンテナが地板に平行に設置されていることを示す．2 文字目は地板のサイズを表す．P の場合は PDA サイズ（縦×横=140mm×82mm）であり，C の場合は携帯電話（cellular）サイズ（縦×横=128mm×44mm），S の場合は一辺 100mm の正方形(square)を表している．3 文字目の数字は，英字 2 文字で表される設置法に対して地板の端や角にアンテナ設置位置を変えた場合を区別するためと，穴付容量装荷型モノポールアンテナをモデルごとに区別するために用いる．

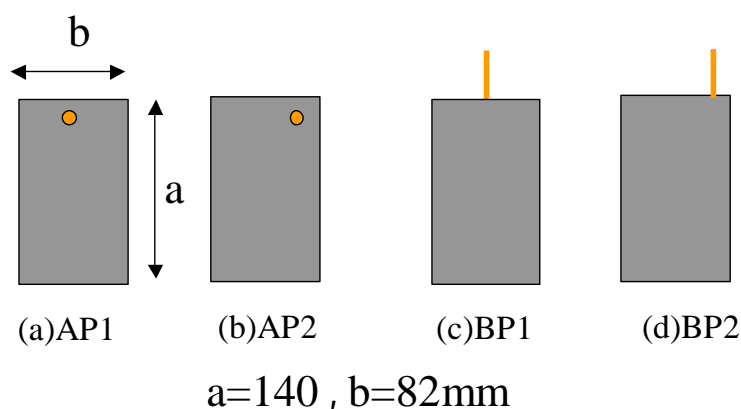


図 付.1: PDA サイズの地板に 1/4 モノポールアンテナ設置

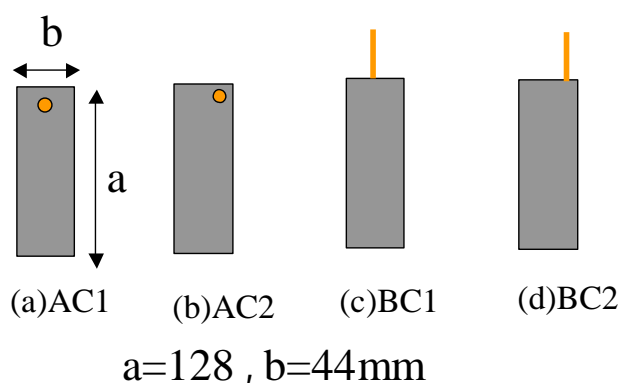
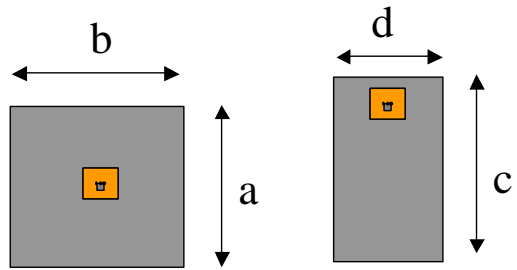


図 付.2: 携帯電話サイズ(縦×横=128mm×44mm)の地板に 1/4 モノポールアンテナ設置



(a)AS1 ~ AS6

(b)AP3 ~ AP7

$$a=100, b=100, c=140, d=82[\text{mm}]$$

図 付.3: 穴付容量装荷型モノポールアンテナを正方形と携帯電話サイズに設置