

卒業論文

地板形状によるパッチアンテナの FB最適化についての研究

指導教官 新井 宏之 助教授

平成14年2月28日提出

9844053 齊藤 俊介

要約

移動通信の普及に伴い、需要の増加による加入者の増加は今なお増加している。このため加入者容量の増大化が大きな課題になっており、現在ある移動通信用基地局アンテナの設置数を増やすのではなく、一つの基地局用アンテナに対しての加入者容量を増大化させることが望まれている。基地局用アンテナのFB比が向上することで、加入者容量が増えることが明らかになっている。また、FB比の向上と共にアンテナの小型化も望まれている。ダイポールアンテナにおいては反射板の形状を変化させ、最適形状を選ぶことでFB比の向上と小型化について考えられることが明らかになっている。このことから、本研究ではパッチアンテナにおいて地板形状を変化させることで、FB比の向上と小型化の最適化を検討した。

まず初めに、2[GHz]で共振するパッチアンテナにおいて、FDTDを用いて様々な地板形状での解析を行った。その結果、地板形状を変化させることでアンテナのFB比が向上した。特にH面を前面に折り曲げ地板では、H面において最大で35.6dBの高FB比が得られた。この地板形状で実験を行い、実際に高FB比が得られることを確認した後、小型最適化について検討を行った。アンテナを可能な限り小型化させても、最適な形状を選ぶことでH面では30[dB]を超えるFB比が得られ、E面でも20[dB]を超えるFB比が得られることがわかった。また、この形状においても実験を行うことで、実際に高FB比が得られることが確認できた。

また、H面を前面に折り曲げた地板を有するパッチアンテナを用いて、IMT-2000用室内用基地局アンテナの検討を行った。二つのアンテナをIMT-2000の送受信の周波数帯でそれぞれ共振するように最適化を行った。それらのアンテナをアレイ化し解析を行った結果、E面配列よりもH面配列の方が相互結合量は小さくなることがわかった。相互結合量が-30[dB]以下になるアンテナの給電点間隔では、FB比の値は20[dB]以上になっていた。実際に製作したモデルでは、相互結合量が-40[dB]となる給電点間隔で実験を行うと、この結合量ではH面のFB比にはほとんど影響がなく、E面のFB比は僅かな劣化のみであった。

目次

第1章 序論	1
第2章 地板形状によるFB比への影響	5
2.1 地板形状によるFB比特性	5
2.1.1 様々な地板形状での解析	5
2.1.2 2重折り曲げ地板	13
2.1.3 実験による確認	17
2.2 上下前面折り曲げ地板の小型最適化	20
第3章 IMT-2000用高FB比パッチアンテナ	26
3.1 解析結果	26
3.2 実験結果	31
第4章 結論	36
謝辞	37
参考文献	38

第 1 章

序論

移動通信の普及に伴い、今なお携帯電話の需要は増加を続け、加入者容量の増大化が重要な課題となっている。有限資源である周波数を有効利用するために、現在ある移動通信基地局用アンテナの設置数を増加させるのではなく、一つの基地局用アンテナに対しての加入者容量を増大化させることが望まれている。基地局用アンテナにおいて、FB (Front to Back) 比が大きいほど加入者容量が増加することが明らかになっており [1]、加入者容量を増加させるためには 20[dB] 程度の FB 比が必要とされている。また、FB 比の向上が望まれる一方で、アンテナの小型化についても考慮する必要がある。

共振周波数が 2GHz のダイポールアンテナでは、反射板を用い、その形状を変化させ、さらにそれぞれの反射板での最適形状を選ぶことで、解析結果のうちでは 20dB 以上の FB 比が得られることがわかっている [2]、[3]。一例として、反射板形状の簡単なモデルと、それらの反射板形状に対して最適化を行った時の反射板の大きさと FB 比をまとめたものを、それぞれ図 1.1 と表 1.1 に示す。

この結果をふまえ、本研究では共振周波数が 2GHz のパッチアンテナにおいて、様々な地板形状に対する FB 比の特性を調べ、反射板付ダイポールアンテナと同様に、FB 比の向上と同時にアンテナの小型化について考えられるかを検討する。

また、室内用基地局アンテナについても検討する。現行の PDC (Personal Digital Cellur System) 方式では室内と屋外を別のセル (エリア) とみなし、室内専用周波数帯域を設けている。このため、従来のように無指向性のアンテナを天井や壁の中心に設置しても、トラフィック分散を目的とした室内用基地局アンテナは、屋外の基地局や移動局とは異なる周波数帯域を用いるため干渉は生じない。しかし、本格的マルチメディア通信を目的とする、第 3 世代方式となる IMT-2000 (International Mobile Telecommunication 2000) では、情報

通信の拡散符号により個別のユーザーを識別する CDMA (Code Division Multiple Access) 方式を用いており、隣接セルで同一周波数帯域を使用する。よって、トラフィック分散を目的とした室内用基地局アンテナとして無指向性アンテナを用いる場合、同一周波数帯で通信を行うため、干渉量が増え加入者容量が低減してしまう。このため、IMT-2000 用のトラフィック分散を目的とする室内用基地局アンテナは、屋外とのオーバーラップを避けるために、窓際に設置し、かつ後方への電波の放射を抑える必要がある。つまり、室内用基地局アンテナは干渉抑制と加入者容量の増大化のために、高 FB 比でなければならない。

このようなアンテナの一例として、図 1.2 のような寄生素子付き箱型パッチアンテナが提案されている。このアンテナは図 1.3 のように、カバーエリアを広く取るために前方には弱く、部屋の角方向に強く電波を放射する繭方をした水平面内指向性となっており、FB 比も屋外とのオーバーラップを避けるために 20[dB] 以上を実現している [4]。

本研究では、前述した地板形状を変化させたパッチアンテナを用いて、ビル内の廊下などの奥まった場所で使用するための室内用基地局アンテナの検討を行う。奥まった場所で使用することから、繭方のような指向性は必要ないため、アンテナの FB 比の向上と小型化に重点を置くものとする。また、送受信アンテナとして使用するために、二つのパッチアンテナをアレイ化した場合の相互結合についても考慮する。

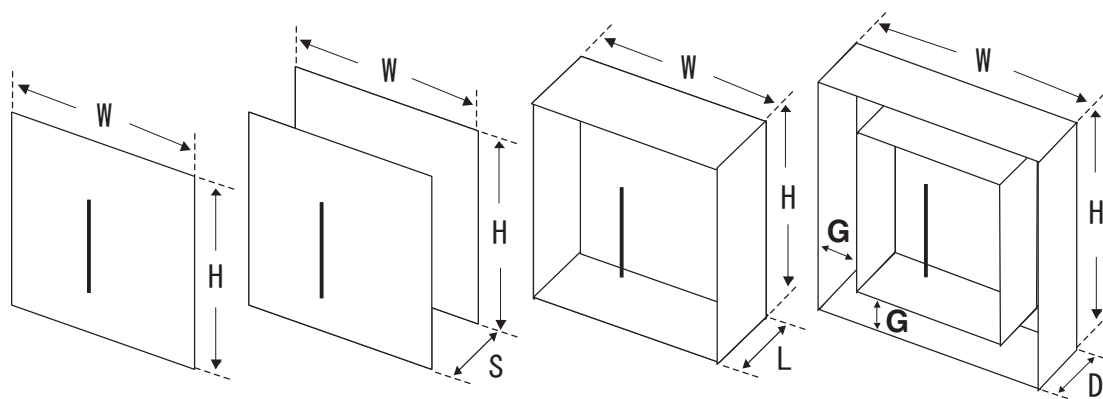


図 1.1 : 反射板形状

反射板形状	大きさ [$\times\lambda$]	FB 比 [dB]
矩形反射板	$H=3/2$	20.9
二重反射板	$H=3/2, S=5/8$	21.5
箱型反射板	$H=7/4, D=1/4$	27.5
二重箱型反射板	$H=7/4, D=1/4$	32.3

表 1.1 : 反射板形状と FB 比 ($W=\lambda/2$)

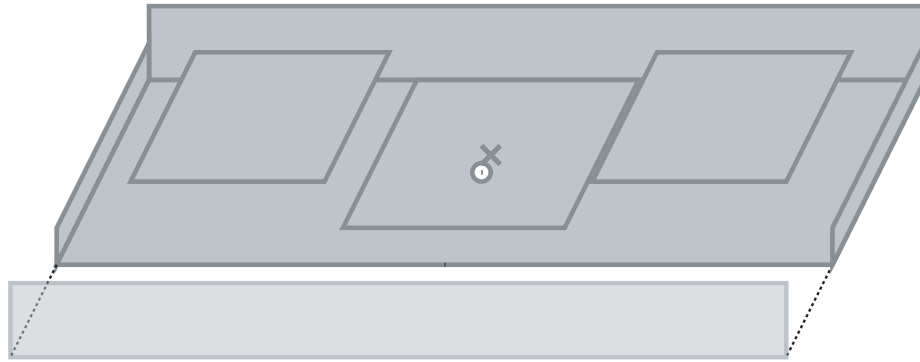


図 1.2 : 寄生素子付き箱型地板パッチアンテナ

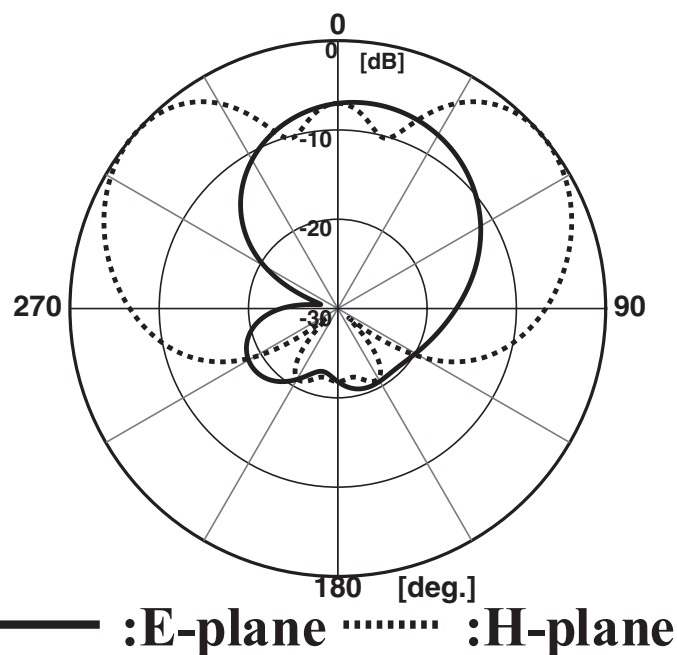
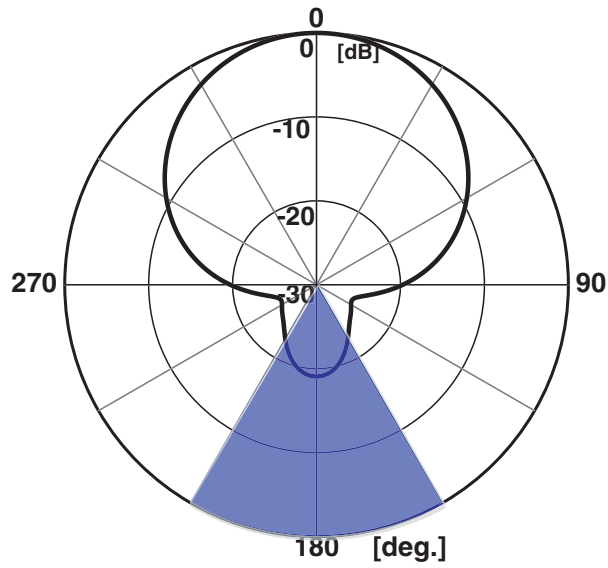


図 1.3 : 寄生素子付き箱型地板パッチアンテナの放射指向性

本研究での解析には、FDTD(Finite Difference Time Domain)法を用いている。FDTD法は、マクスウェルの方程式を時間、空間で差分化し、解析空間の電磁界をリープフロッキングアルゴリズム(電界と磁界を交互に計算する)を用いて時間的に更新して出力点の時間応答を得る方法である [5]。

また、本研究においてFB比は共振周波数の時のものを見ており、図 1.4 に示すような指向性に対して、最大放射方向(0°)と反対側($180 \pm 30^\circ$)のバックローブの最大値の比率とし、20[dB] 以上を目標としている。



FB ratio (180 ± 30 deg.)
 \Rightarrow more than 20 dB

図 1.4 : FB 比の定義

本論分の構成を簡単に示す。第 2 章では地板形状によるパッチアンテナの FB 比への影響を検討し、その結果からアンテナの小型最適化を考える。第 3 章では、第 2 章で得られた結果をもとに IMT-2000 用高 FB 比パッチアンテナの検討を行う。最後に第 4 章で結論を述べる。

第 2 章

地板形状による FB 比への影響

本章では、アンテナの FB 比向上と小型化を目的とし、FDTD 法 (Finite Difference Time Domain method) を用いて 2GHz で共振するようなパッチアンテナの解析を行い、地板の形状・大きさの変化によって FB 比にどのような影響があるかを検討する。この章における解析では、1[cell] を 2[mm] としている。

2.1 地板形状による FB 比特性

まず初めに、様々な地板形状での解析を行い、地板形状により FB 比にどのような違いがあるかを検討する。本節では地板の小型化については考えず、地板の矩形部分のサイズは全て等しくして解析を行っている。

また、解析によって最も良い結果が得られた地板形状においては実際に製作し、実験結果と解析結果の比較・検討をする。

2.1.1 様々な地板形状での解析

まず、図 2.1 に示すようなモデルの解析を行った。アンテナの中心を原点とすると給電点は y 軸上にあり、xz 面が H 面に、yz 面が E 面になっている。

このモデルでのリターンロスと指向性の解析結果をそれぞれ、図 2.2 ~ 図 2.4 に示す。共振周波数は 2.068[GHz] であり、1[cell] を 2[mm] で解析を行ったために 2[GHz] とは少しずれている。図 2.4 の E 面の指向性では、交差偏波はほとんど見られない。指向性から FB 比を求めると、H 面では 19.1[dB]、E 面では 19.0[dB] で、あまり良い値ではない。この矩形地板での FB 比と比較することで、他の地板形状での FB 比について検討を行う。

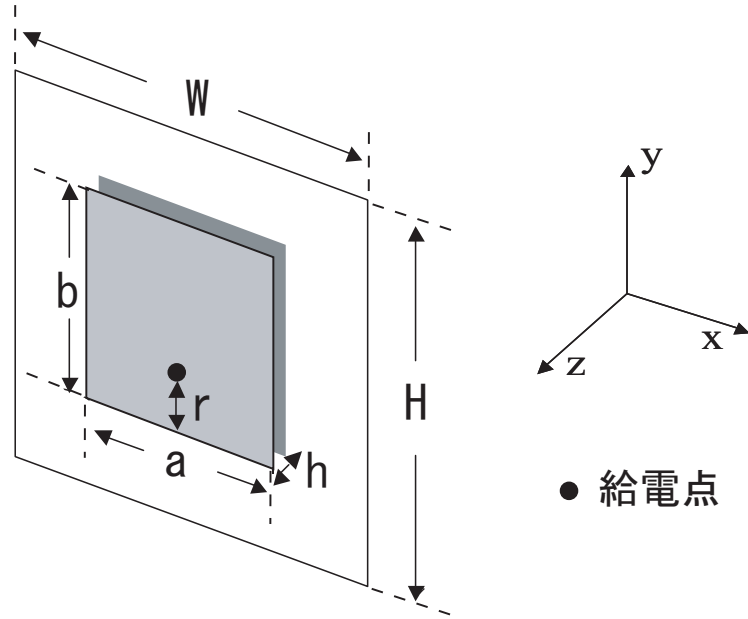


図 2.1 : 解析モデル ~ 矩形地板 ~

$a=b=64$, $r=18$, $h=4$, $H=W=128$ unit:[mm]

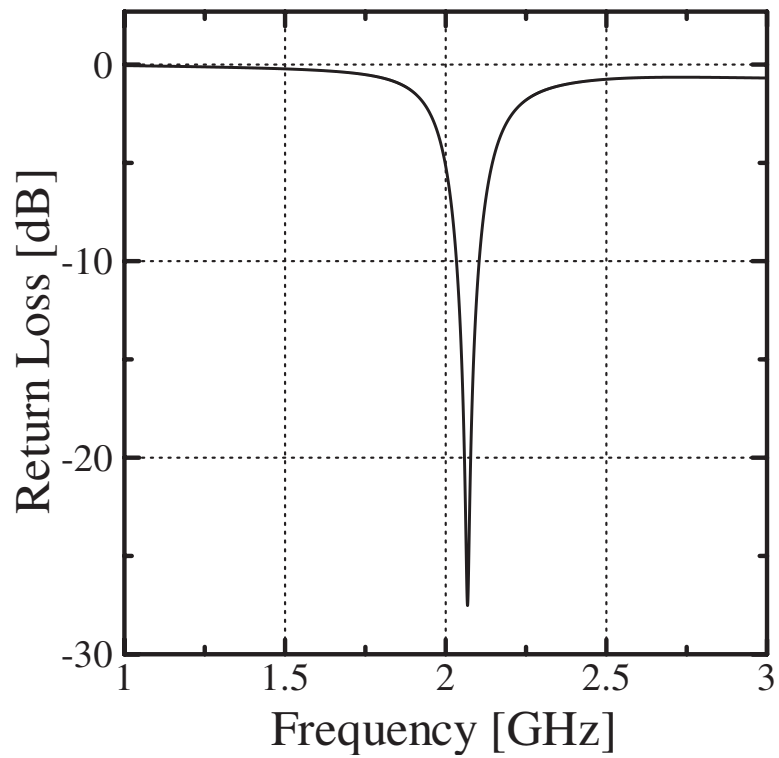


図 2.2 : リターンロス ~ 矩形地板 ~

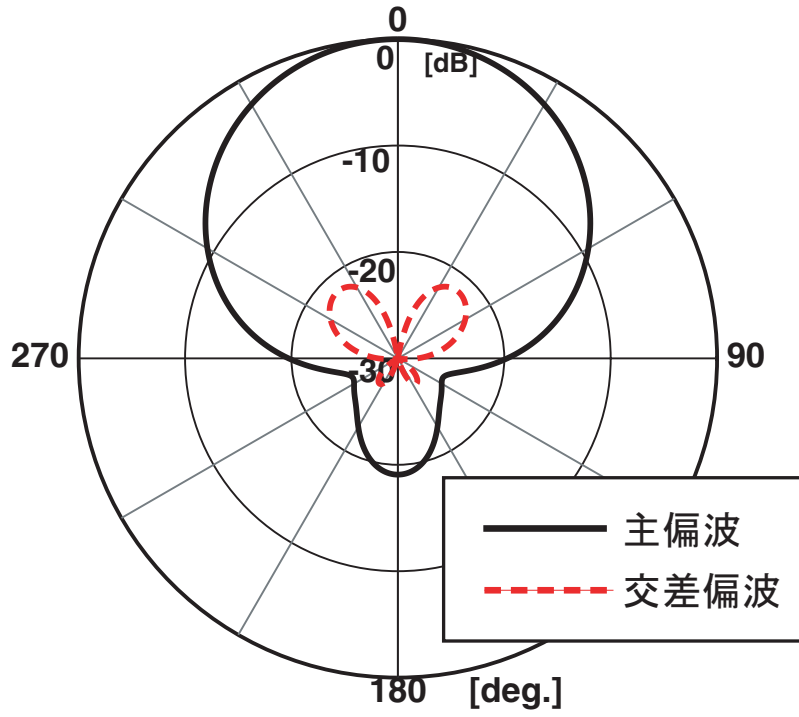


图 2.3 : 指向性 (H 面) ~ 矩形地板 ~

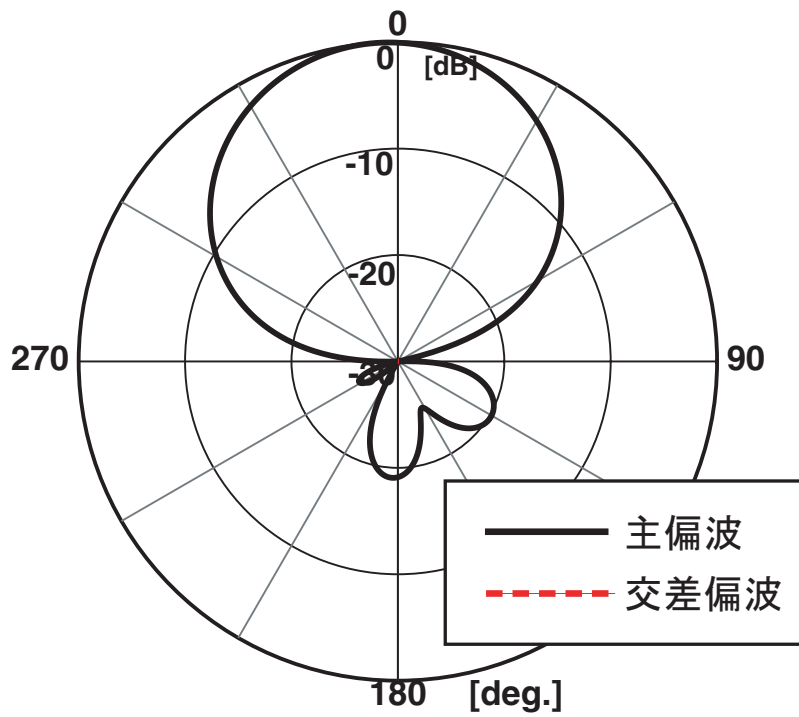


图 2.4 : 指向性 (E 面) ~ 矩形地板 ~

次に、図 2.5 に示すような様々な地板形状のパッチアンテナの解析を行い、矩形地板の場合と比べて、FB 比の値にどのような違いがあるかを検討する。それぞれ、(a) 上下背面折り曲げ地板、(b) 左右背面折り曲げ地板、(c) 上下前面折り曲げ地板、(d) 左右前面折り曲げ地板、(e) 箱型地板、そして (f) 二重地板である。ここでは x 軸の正方向を右、負方向を左、 y 軸の正方向を上、負方向を下、 z 軸の正方向を前面、負方向を背面と定義するものとする。解析を行った地板形状は全てのモデルにおいて、アンテナの放射部、給電点の位置、そして地板の矩形部分のパラメータは図 2.1 に示したものと同じになっている。それぞれ図 2.5 に示してある、折り曲げ幅 L 、または地板間隔 S を変化させて解析を行い、FB 比の特性について検討する。

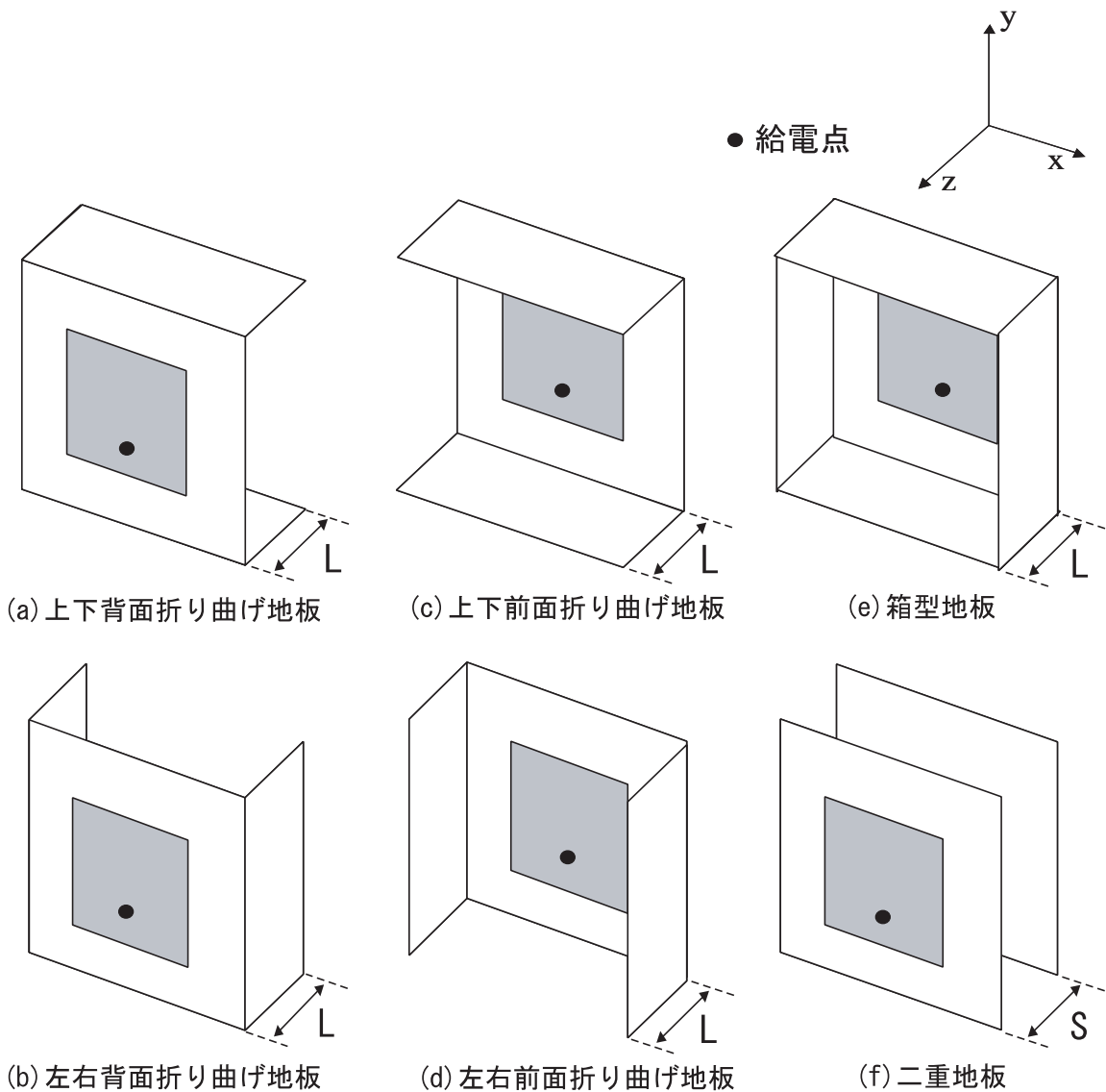


図 2.5 : 地板形状

それぞれの地板形状での FB 比特性のグラフを図 2.6 ~ 図 2.11 に示す。それぞれのグラフにおいて、 $L=0$ または $S=0$ の時に矩形地板の場合の FB 比の値を示している。これらのグラフから、それぞれの地板形状についての検討を行う。まず、図 2.6 の (a) 上下背面折り曲げ地板についてであるが、この形状では H 面と E 面とでほぼ重なるような特性になっており、FB 比の値に少しの変化しか見られず、矩形地板の場合と比べてもほとんど変化がないことがわかる。

図 2.7 の (b) 左右背面折り曲げ地板の場合のグラフは、図 2.6 の上下背面折り曲げ地板の場合のグラフとほぼ同じになっており、FB 比の値には少しの変化しか見られていない。これらのことから、アンテナの背面方向に折り曲げても FB 比の向上は望めないことがわかる。

(c) 上下前面折り曲げ地板での FB 比の値は、図 2.8 のグラフからわかるように、E 面においては $L=20[\text{mm}]$ の時に矩形地板の場合より $2[\text{dB}]$ だけ向上し、その後は L の値が大きくなるにつれて少しずつ劣化している。一方、H 面では、FB 比の値で最大のものと最小のものとの差は大きく、動きの激しい特性になっているが、最大で $L=28[\text{mm}]$ の時に $35.6[\text{dB}]$ という高 FB 比が得られ、今回解析を行った地板形状のなかで最も大きな値となっている。

図 2.9 に示した (d) 左右前面折り曲げ地板の FB 比特性は、上下前面折り曲げ地板と同様に動きの激しい特性になっており、H 面で約 $2[\text{dB}]$ 、E 面では約 $3[\text{dB}]$ の向上が見られるが、H 面と E 面共に、 L の値が大きくなるにつれて目に見えて FB 比の値が劣化している。

次に (e) 箱型地板についてであるが、図 2.10 に示したグラフからわかるように H 面と E 面共に FB 比が向上している。H 面の FB 比の値は、他の地板形状のように上下を繰り返すような特性にはなっておらず、解析を行った範囲では全て、矩形地板の場合より FB 比は大きくなっており、最大で $L=46[\text{mm}]$ の時に $28.5[\text{dB}]$ の FB 比が得られている。E 面においても約 $4[\text{dB}]$ の FB 比の向上が見られる。

最後に (f) 二重地板について検討を行う。図 2.11 からわかるように、H 面と E 面とで FB 比の値・特性は同じようになっており、最大値は、H 面では $S=112[\text{mm}]$ の時に 24.5dB 、E 面では $S=104[\text{mm}]$ の時に 23.5dB で、矩形地板の場合と比べて H 面で約 5dB 、E 面で約 $4[\text{dB}]$ の FB 比の向上が見られる。

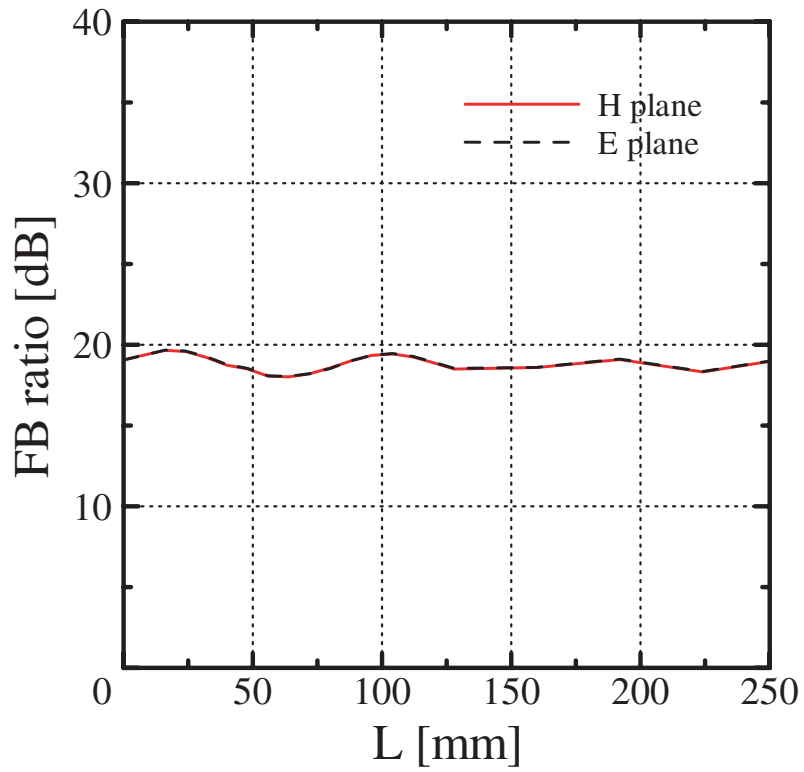


図 2.6 : FB 比特性 ~ (a) 上下背面折り曲げ地板 ~

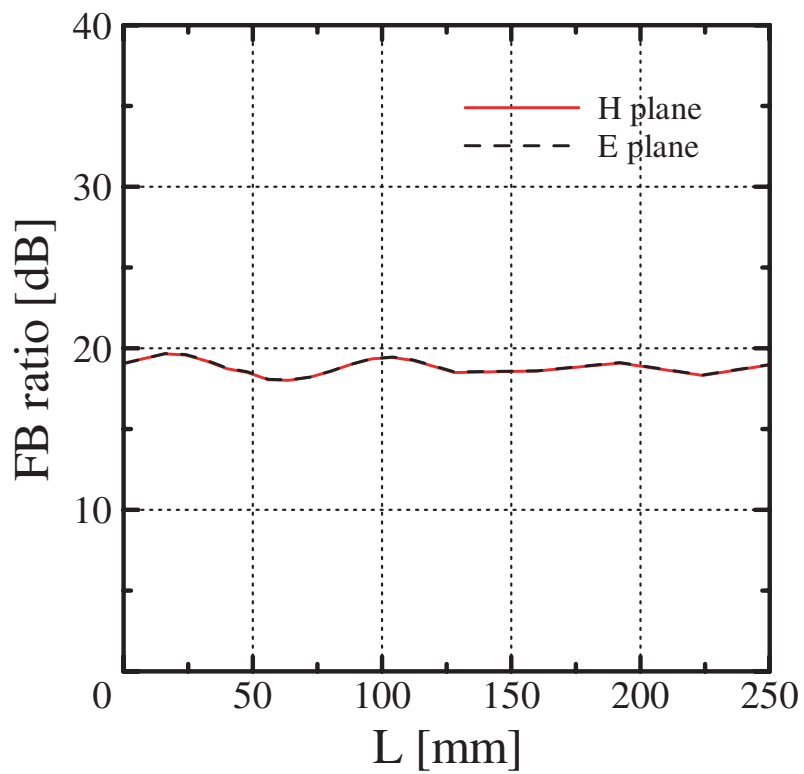


図 2.7 : FB 比特性 ~ (b) 左右背面折り曲げ地板 ~

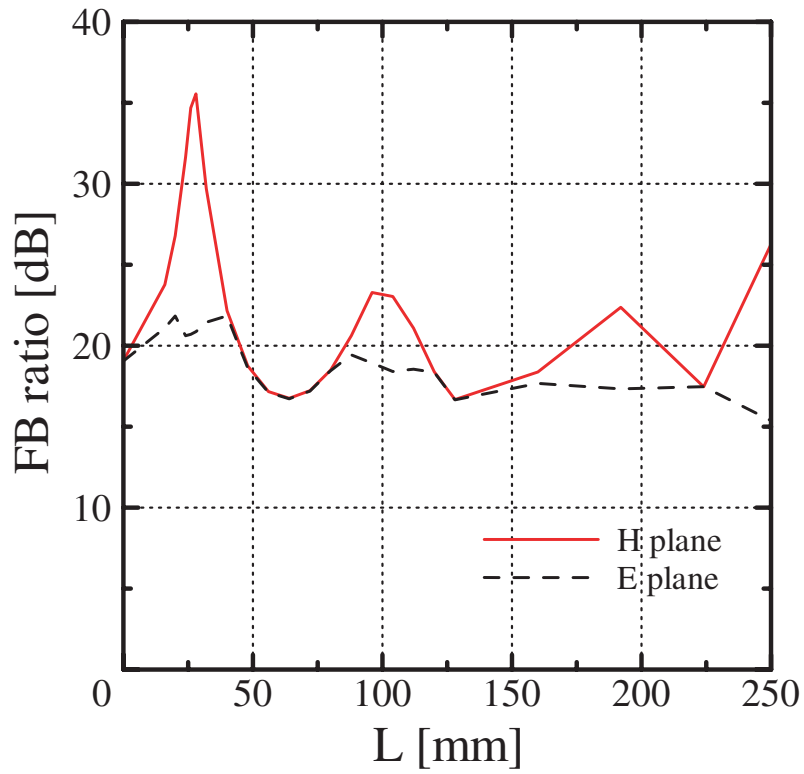


図 2.8 : FB 比特性 ~ (c) 上下前面折り曲げ地板 ~

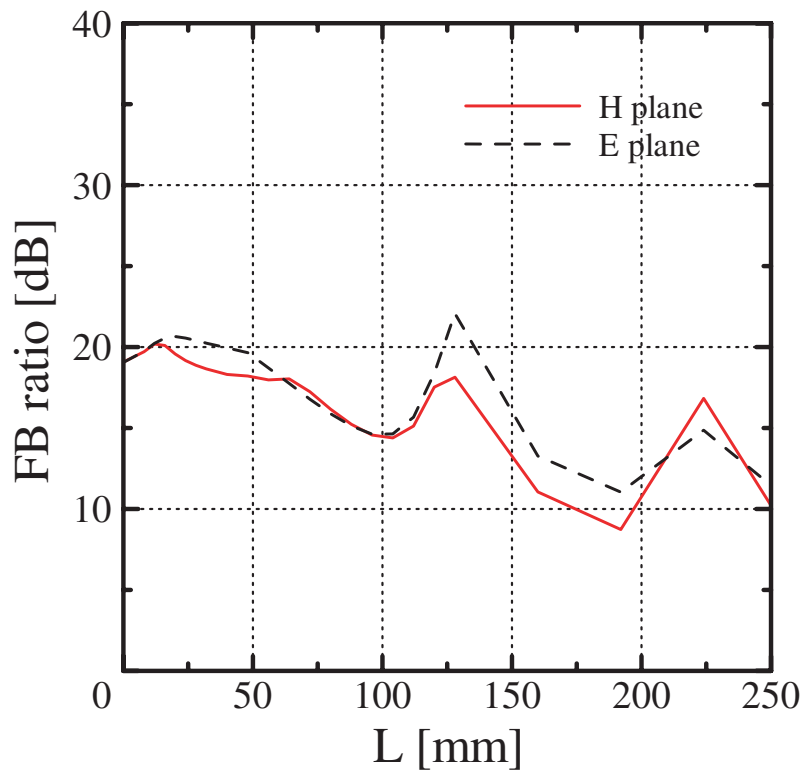


図 2.9 : FB 比特性 ~ (d) 左右前面折り曲げ地板 ~

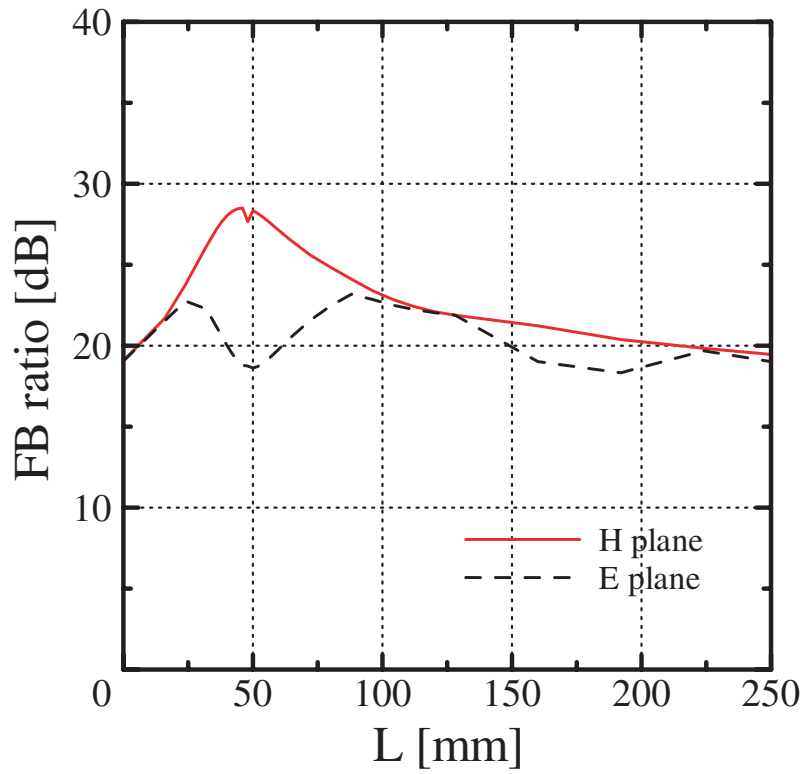


图 2.10 : FB 比特性 ~ (e) 箱型地板地板 ~

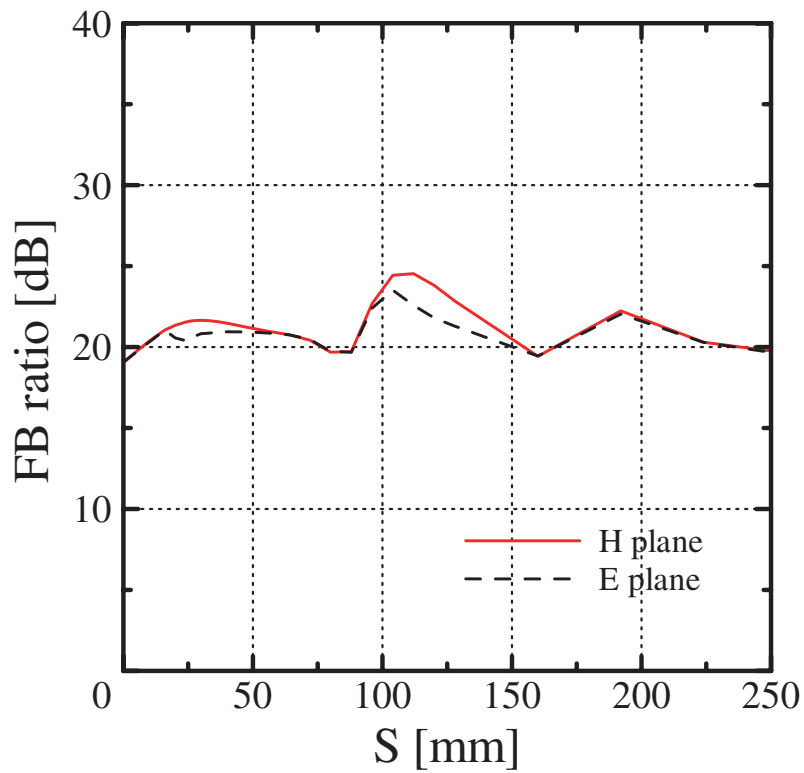


图 2.11 : FB 比特性 ~ (f) 二重地板 ~

表 2.1 : 地板形状ごとの FB 比の最大値

地板形状	H 面		E 面	
	L or S[mm]	FB 比 [dB]	L or S[mm]	FB 比 [dB]
矩形地板		19.1		19.0
(a) 上下背面折り曲げ地板	16	19.7	16	19.7
(b) 左右背面折り曲げ地板	16	19.7	16	19.7
(c) 上下前面折り曲げ地板	28	35.6	20	21.8
(d) 左右前面折り曲げ地板	12	20.2	128	22.1
(e) 箱型地板	46	28.5	88	23.2
(f) 二重地板	112	24.5	104	23.5

それぞれの地板形状での FB 比の最大値と、その時の L または S の値を表 2.1 に示す。

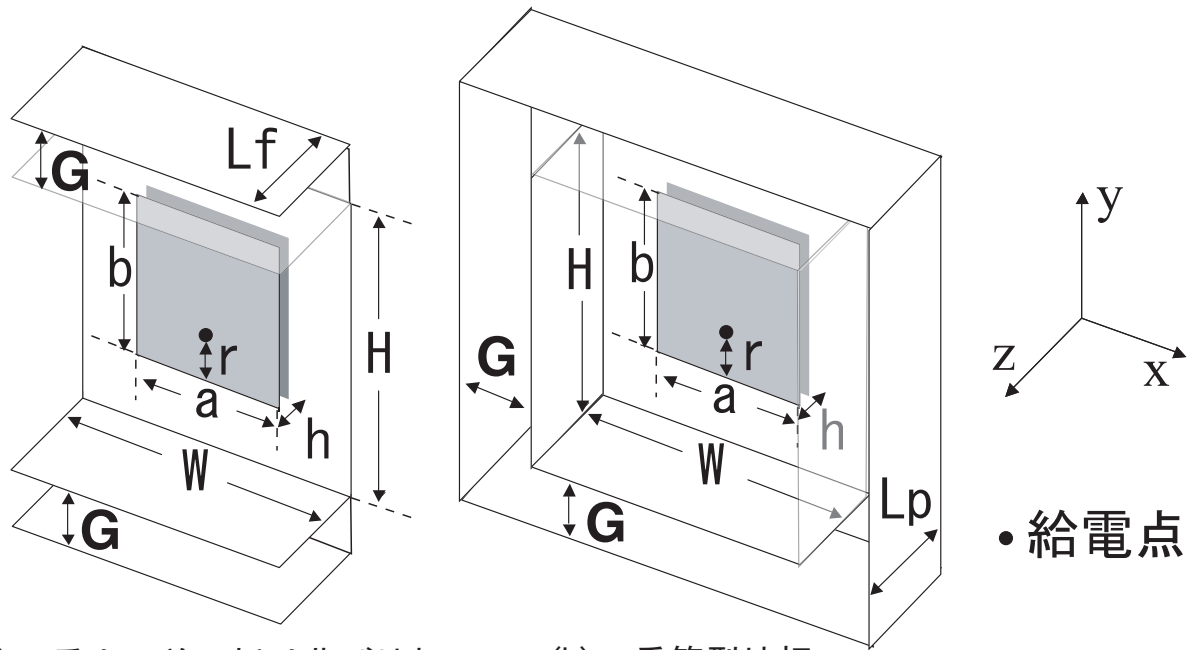
地板を前面に折り曲げている (c) 上下前面折り曲げ地板、(d) 左右前面折り曲げ地板、(e) 箱型地板の FB 比のグラフから、地板の H 面側をアンテナの前面方向に折り曲げることで、H 面の FB 比が飛躍的に向上することがわかる。一方、同様に E 面側を折り曲げると、E 面の FB 比は 3、4[dB] ほど向上するが、E 面の折り曲げは H 面の折り曲げほどアンテナの FB 比に対して影響は大きくないことがわかる。

地板形状を変えて解析を行った結果、(c) 上下折り曲げ地板と (e) 箱型地板において特に良い結果が得られた。次項では、この二つの地板形状においてさらに検討を行う。

2.1.2 2重折り曲げ地板

第 1 章の序論で述べたように、反射板付ダイポールアンテナにおいては、反射板形状を 2 重箱型にすることで箱型の場合よりも FB 比が向上し、最大の FB 比が得られることがわかっている。そこで、解析において FB の向上が見られた図 2.5 の (a) 上下折り曲げ地板と (c) 箱型地板に関して、折り曲げを 2 重にして解析を行い、パッチアンテナでも同様にさらなる FB 比の向上が得られるかを検討する。

解析モデルを図 2.12 示す。折り曲げ以外のパラメータの値は図 2.1 と同値になっている。(g) 二重上下折り曲げ地板と (h) 二重箱型地板の折り曲げ幅を、それぞれ L_f 、 L_p とし、 $L_f=28[\text{mm}]$ 、 $L_p=32[\text{mm}]$ とした。図 2.12 中に示した折り曲げ間隔 G を変化させて解析を行った。 G において、 $G=0$ の時に 1 重の折り曲げ地板になるとし、アンテナの外側方向を正、内側方向を負と定義する。



(g) 二重上下前面折り曲げ地板

(h) 二重箱型地板

図 2.12 : 解析モデル~二重折り曲げ地板~

$a=b=64$, $r=18$, $h=4$, $H=W=128$, $L_f=28$, $L_p=32$ unit:[mm]

この時の解析結果を図 2.13、図 2.14 に示す。図 2.13 は (g) 二重上下前面折り曲げ地板の FB 比特性である。H 面と E 面で同じような特性を示しており、アンテナの内側方向に G を大きくしていった時には、急激に FB 比が劣化している。また、外側方向に G を大きくしていった時には、内側に大きくした時と同様、急激に FB 比が劣化しており、その後緩やかに向上している。これは、折り曲げを二重にした影響ではなく、地板自体の大きくなったことからくる影響だと思われる。このことから、FB 比の値と地板の大きさを考えると、 $G=0$ つまり折り曲げが 1 重の時に最も良い結果であり、上下前面折り曲げ地板においては、折り曲げを 2 重にしても FB 比の向上は得られないことがわかる。

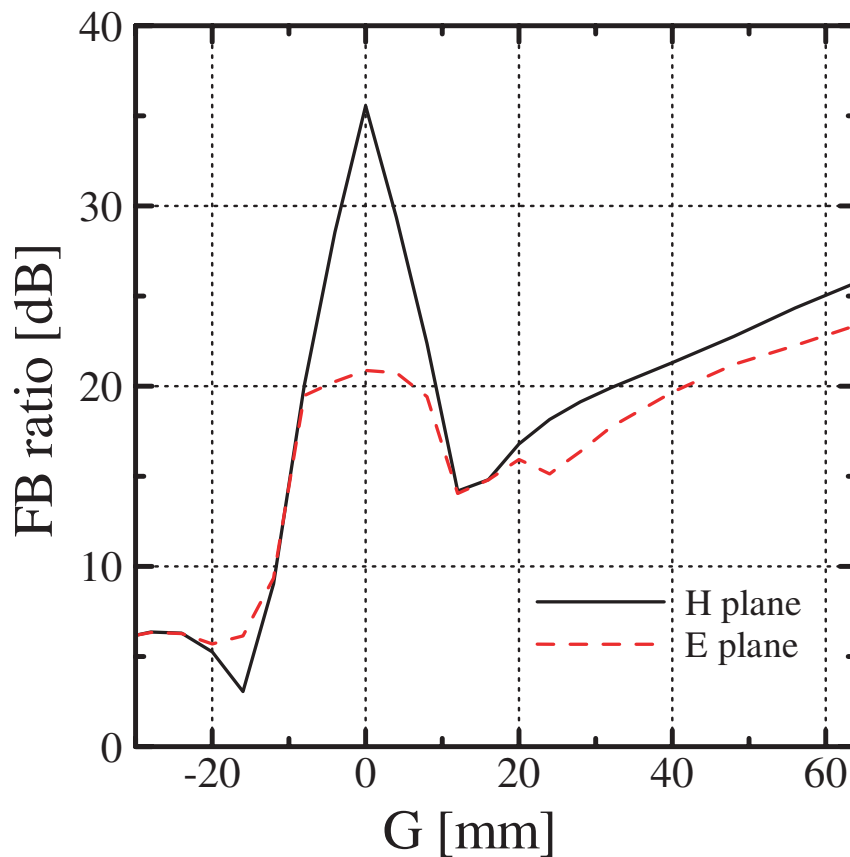


図 2.13 : FB 比特性 ~ (g) 二重上下前面折り曲げ地板地板 ~

次に、図 2.14 に示す (h) 二重箱型地板での FB 比特性について検討する。こちらの地板形状においても H 面と E 面で同じような特性を示しており、(g)2 重上下前面折り曲げ地板の場合と同様に、約 $G=\pm 10$ [mm] までは急激に FB 比が劣化しているが、 $G=10$ [mm] を超えてからまた急激に FB 比が向上し、その後も緩やかに向上している。 $G=48$ [mm] の時には、(e) 箱型地板の時に比べ H 面で 4.3[dB]、E 面で 2.3[dB] 向上している。

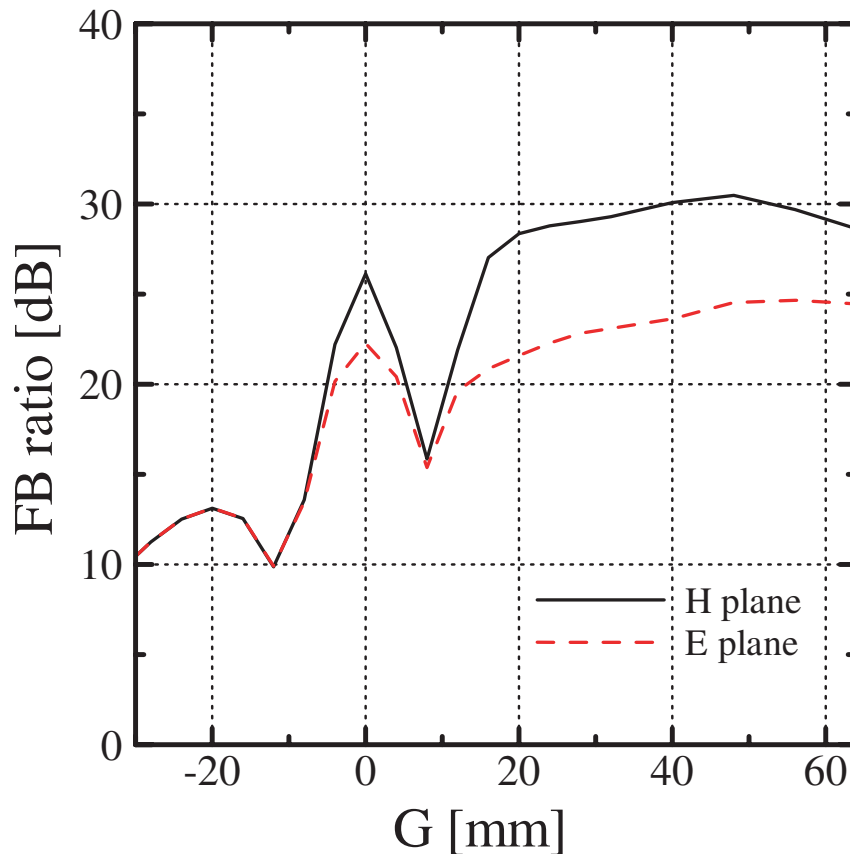


図 2.14 : FB 比特性 ~ (h) 二重箱型地板 ~

以上の解析結果より、パッチアンテナにおいても反射板付ダイポールアンテナと同様に、箱型から二重箱型にすることで FB 比の向上が得られることが確認できた。しかし、ダイポールアンテナとは違い、パッチアンテナでは二重箱型よりも上下前面折り曲げ地板の方が良い結果となっている。

ここまでに、解析結果からパッチアンテナにおける様々な地板形状での FB 比特性について検討してきたが、上下前面折り曲げ地板において最も高い FB 比が得られることがわかった。

2.1.3 実験による確認

解析で最も良い結果が得られた上下前面折り曲げ地板を有するパッチアンテナにおいて、実験でも同様の結果が得られるかを検討する。解析結果の中で、H面とE面両方のFB比を考慮すると、 $L=28[\text{mm}]$ の時に最もFB比が良く、H面で $35.555[\text{dB}]$ 、E面で $20.868[\text{dB}]$ であった。この時のパラメータで実験を行った。実験モデルを図2.15に示す。このモデルの製作には、放射部に厚さ $0.1[\text{mm}]$ の銅板を使用し、地板に厚さ $0.3[\text{mm}]$ の真鍮を使用している。

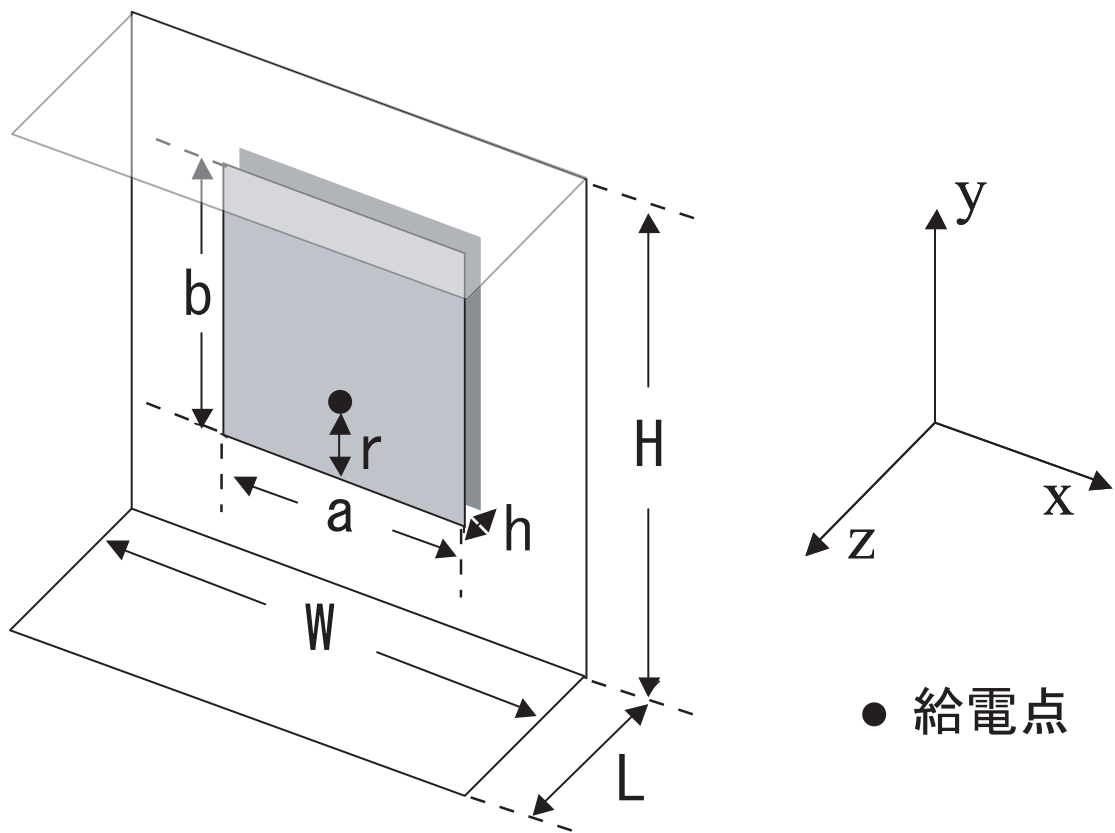


図 2.15 : 実験モデル

$$a=b=64, r=18, h=4, H=W=128, L=28 \quad \text{unit:}[\text{mm}]$$

まず、ネットワークアナライザを用いてリターンロスの測定を行った。解析結果と実験結果を比較したグラフを図2.16に示す。図2.16のグラフでは、解析結果と実験結果のリターンロスはほぼ一致している。実際の値としては、共振周波数では解析値 2.073 [GHz]、実験値 2.076 [GHz] である。また、共振周波数付近でのリターンロスの値は、解析値 -27.2 [dB]、実験値 -24.1 [dB] で実際にほぼ一致していることがわかる。

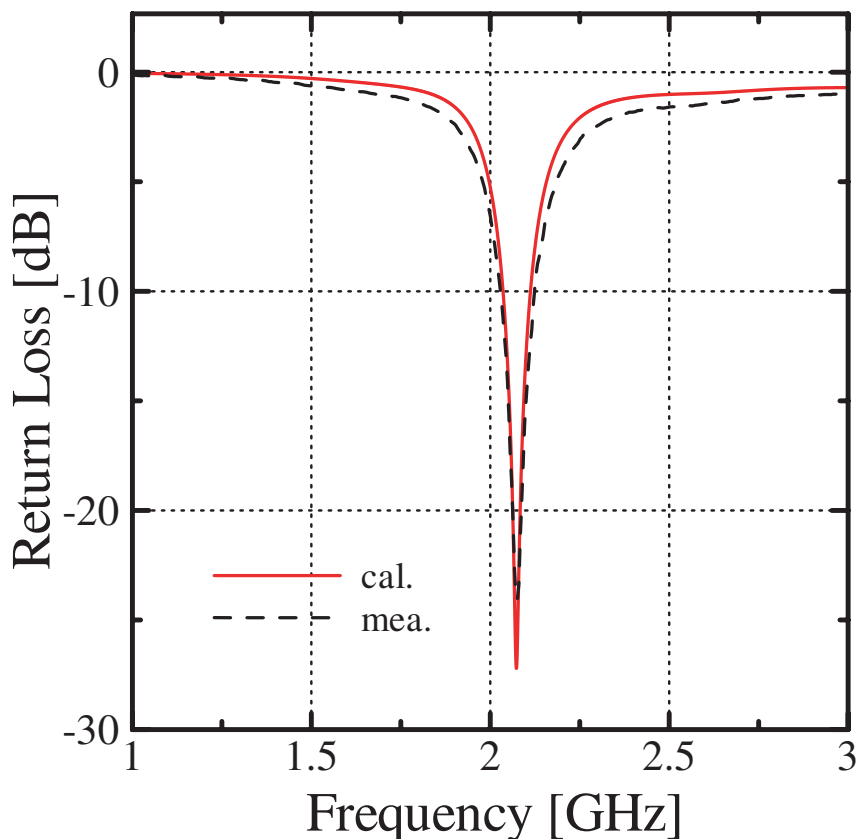


図 2.16 : リターンロス

次にアンテナの指向性の測定を行った。図 2.17 に H 面、図 2.18 に E 面の指向性をそれぞれ示す。図 2.17 の H 面の指向性において解析結果と実験結果を比較すると、少しだけ実験の方が解析の時よりも交差偏波が大きくでているが、全体的にほぼ一致している。一方、図 2.18 に示した E 面の指向性では、解析の時にはほとんど見られなかった交差偏波が実験ではでてしまったが、その点を除けば、実験結果と解析結果でほぼ一致している。指向性から FB 比を求めると、H 面では解析値 35.6 [dB]、実験値 28.0 [dB] で、E 面では解析値 20.9 [dB]、実験値 20.7 [dB] だった。結果としては E 面では解析値と実験値がほぼ一致したが、H 面においては 8 [dB] 程度の誤差があった。これには給電線の影響などが考えられる。しかし、地板の上下を前面に折り曲げることで、実際に高 FB 比が得られることがわかった。

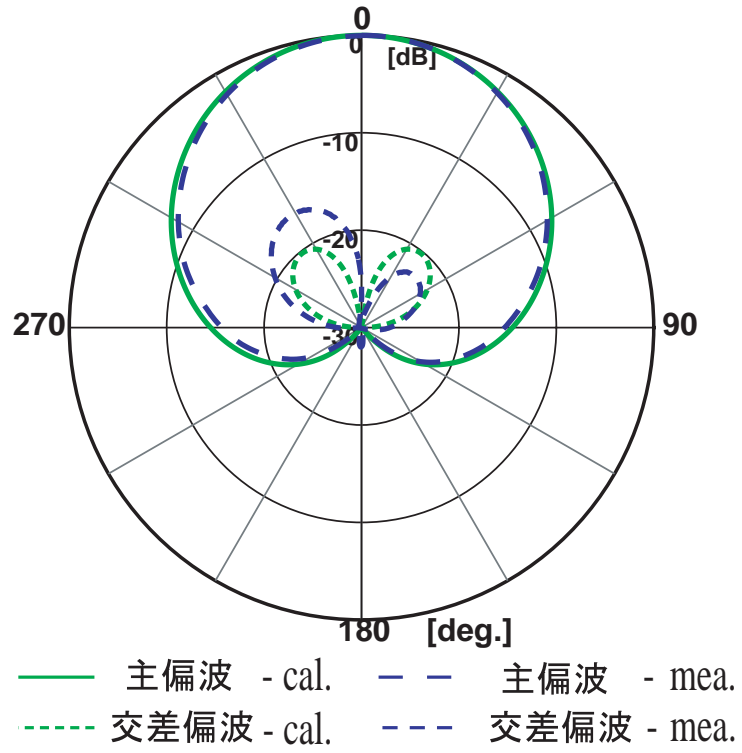


图 2.17 : 指向性 (H 面)

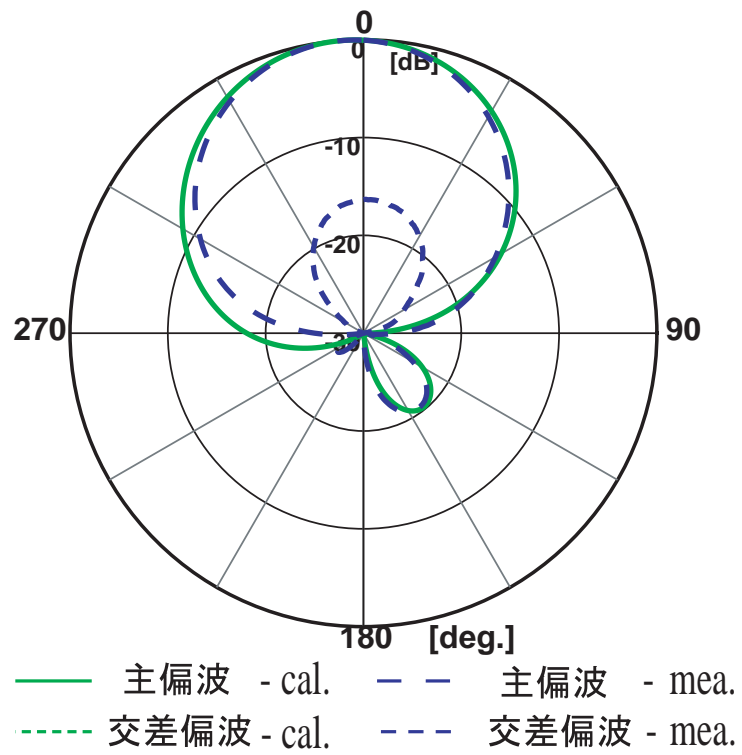


图 2.18 : 指向性 (E 面)

2.2 上下前面折り曲げ地板の小型最適化

前節において、実際に上下前面折り曲げ地板を有するパッチアンテナにおいて、高FB比が得られることがわかったので、この地板形状でのアンテナの小型最適化を検討する。地板を小さくすれば、当然FB比が劣化することが予想される。

まず初めに、 $H=W$ として地板の矩形部分を小さくしていき、折り曲げ幅 L の最適値を求めるとい解析を行った。この解析方法による結果を表 2.2 にまとめた。1[cell] を 2[mm] として解析を行い、表には $H=W$ を 8mm ずつ小さくした時の結果をのせた。H 面においては、地板を小さくしていくに従ってFB比も小さくなっているが、予想していたほどの劣化ではなく、地板を 48[mm] 四方小さくしても、30dB を超える高FB比が得られている。一方、E 面においては、地板を小さくしたにもかかわらず、逆に高いFB比が得られるようになっている。実際に矩形地板においては、地板を小さくしていくとFB比が劣化しており、 $H=W=80$ [mm] の時にはH面で 10.4[dB]、E面で 10.4[dB] になっている。

表 2.2 : $H=W$ として小型化した時のFB比

H,W [mm]	L [mm]	FB比 [dB]	
		H面	E面
128	28	35.6	20.9
120	24	33.9	19.7
112	20	33.1	19.4
104	16	32.2	20.6
96	14	32.2	22.2
88	12	31.6	25.2
80	10	30.2	28.3
72	8	26.4	27.5

次に、 $H=W=80$ [mm]、 $L=10$ [mm] の上下前面折り曲げ地板において、さらに最適化を行った。HとWのどちらか一方を 80[mm] に固定し、もう一方を変化させて解析を行い、より最適な地板形状を求めた。解析結果を図 2.19 と図 2.20 に示す。図 2.19 は $H=80$ [mm] としてWを変化させた場合のFB比特性のグラフである。この特性では、 $H=W=80$ [mm] の時に比べ $W=84$ [mm] の時に、H面で 0.4[dB]、E面で 0.1[dB] という僅かなFB比の向上が見られるが、この程度の向上ならば、より小型である $H=W=80$ [mm] の時の方が最適であると思われる。

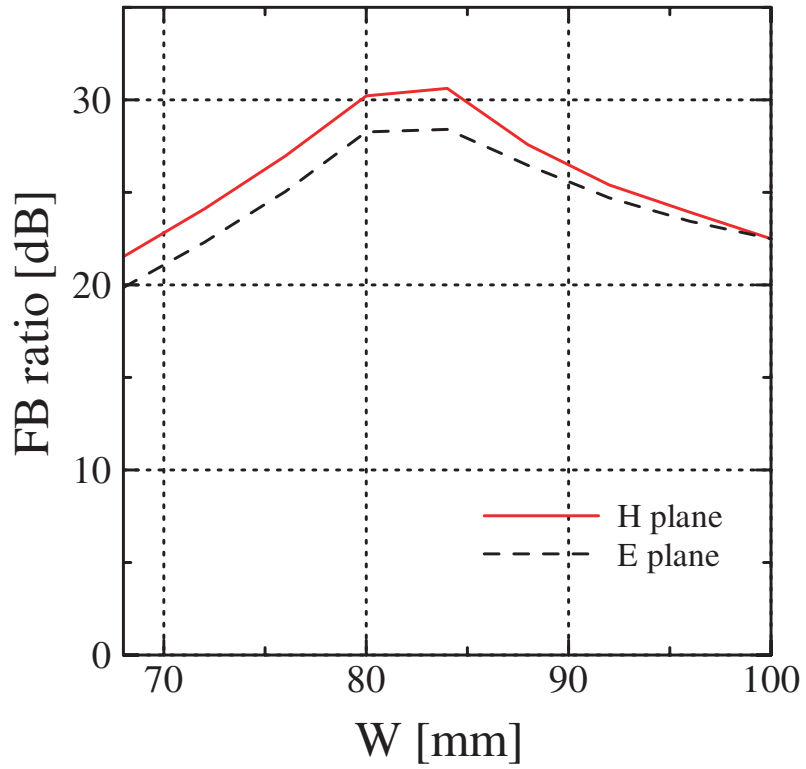


図 2.19 : FB 比特性 (H=80[mm])

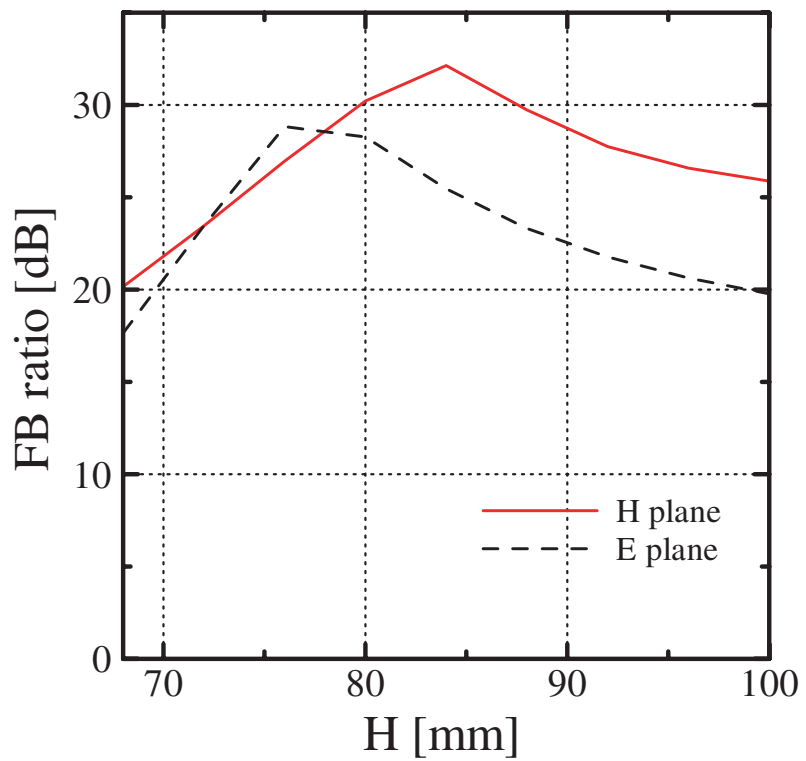


図 2.20 : FB 比特性 (W=80[mm])

図 2.19 は $H=80[\text{mm}]$ として W を変化させた場合の FB 比特性のグラフである。 $H=W=80[\text{mm}]$ の時に比べ、 $H=84[\text{mm}]$ の時に H 面では $2.1[\text{dB}]$ の FB 比の向上が見られたが、E 面では $3.0[\text{dB}]$ の劣化が見られた。逆に、 $H=76[\text{mm}]$ の時に E 面では $0.6[\text{dB}]$ の FB 比の向上が見られたが、H 面では $3.3[\text{dB}]$ の劣化が見られた。このことから、H 面と E 面両方の FB 比考慮する場合には、 $H=W=80[\text{mm}]$ の時が最適だと思われる。

以上、共振周波数が 2GHz のパッチアンテナにおいて、FDTD 法を用いた解析により地板の形状・大きさの小型最適化を検討してきた。その結果から、図 2.21 のモデルを最適のものとする。

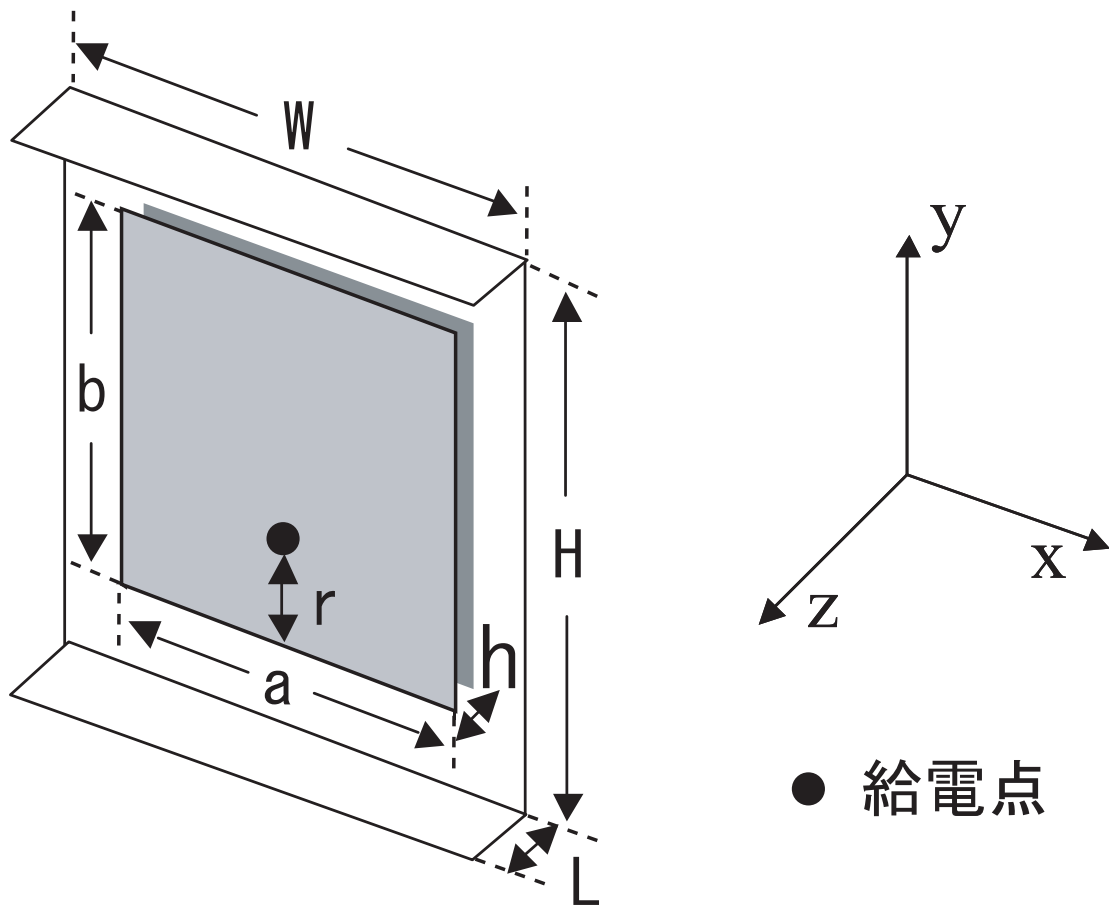


図 2.21 : 小型最適化した時の形状

$a=b=64$, $r=18$, $h=4$, $H=W=80$, $L=10$ unit:[mm]

図 2.21 のモデルにおいても実際に製作し、実験を行い解析結果との比較をした。このモデルの製作には、前項での実験と同様に放射部には厚さ 0.1[mm] の銅板を使用し、地板には厚さ 0.3[mm] の真鍮を使用している。図 2.22 は実際に製作したパッチアンテナである。

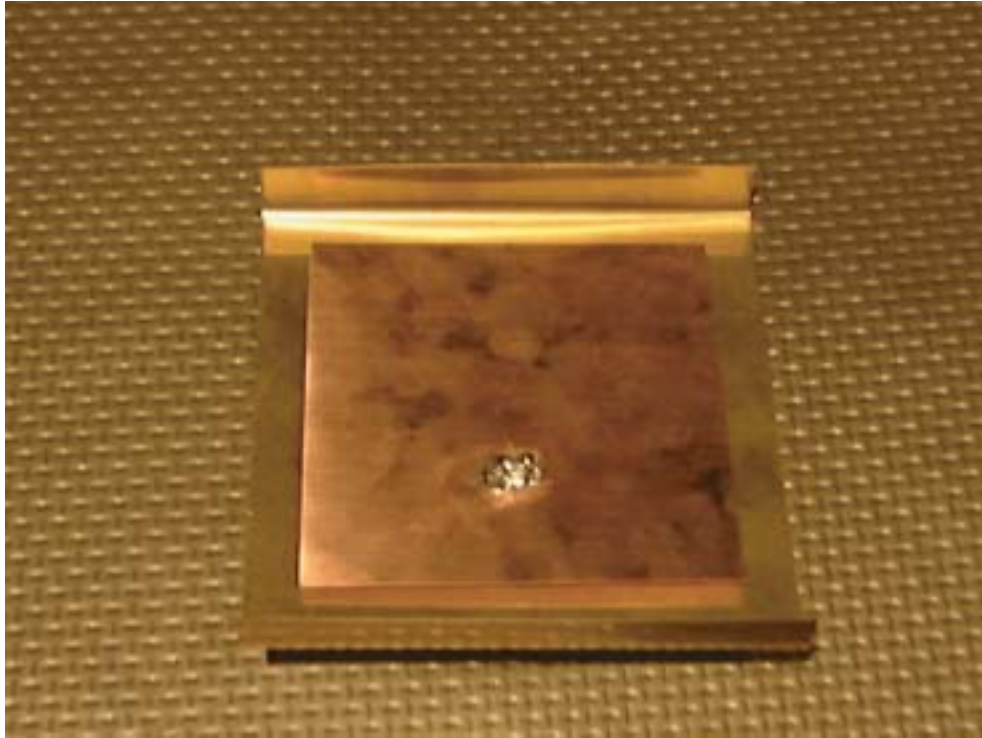


図 2.22 : 製作した実験モデル

図 2.23 にリターンロスのグラフを示す。解析結果の値と実験結果の値の比較を行うと、共振周波数は解析値 2.034GHz、実験値 2.084[GHz] だった。また、共振周波数付近でのリターンロスの値は、解析値 -41.6[dB]、実験値 -22.3[dB] だった。共振周波数には 50[MHz] のずれがあり、共振周波数付近でのリターンロスの値にいたっては、実験結果では解析値の半分の値しか得られていない。これは、アンテナの製作において、図 2.21 中で h と示したアンテナの放射部と地板の距離が、少し長くなってしまった影響だと思われる。解析結果とは一致しなかったが、リターンロスの値として -22.3[dB] は十分な値なので、このまま実験を続けた。

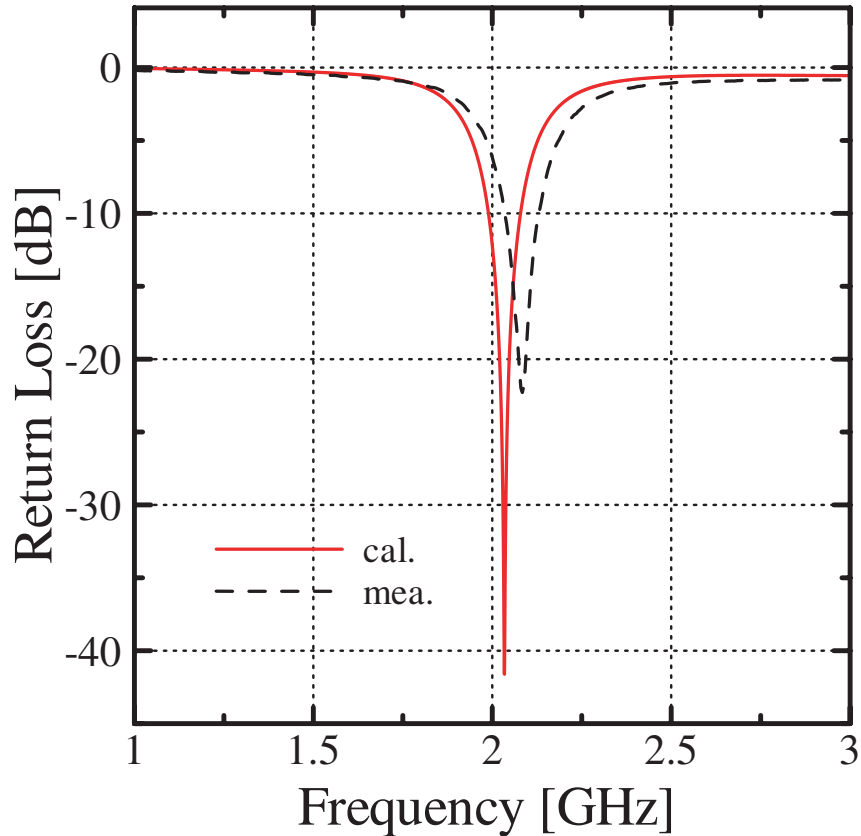


図 2.23 : リターンロス

次に、指向性において解析結果と実験結果の比較を行う。H面の指向性を図 2.24 に、E面の指向性を図 2.25 に示す。H面の指向性では、解析でほとんど見られなかった交差偏波が生じている。主偏波はほぼ一致しているが、実験では、ちょうど 180[deg.] 付近で僅かながら放射している。また、E面の指向性においても似たような結果となっており、主偏波において、アンテナの前面方向ではほぼ一致しているが、150~210[deg.] 方向での放射が少し大きくなっている。FB比の値はH面では解析値 30.2[dB]、実験値 26.4[dB]、E面では解析値 28.3[dB]、実験値 22.2[dB] で、実験においても高FB比が得られた。

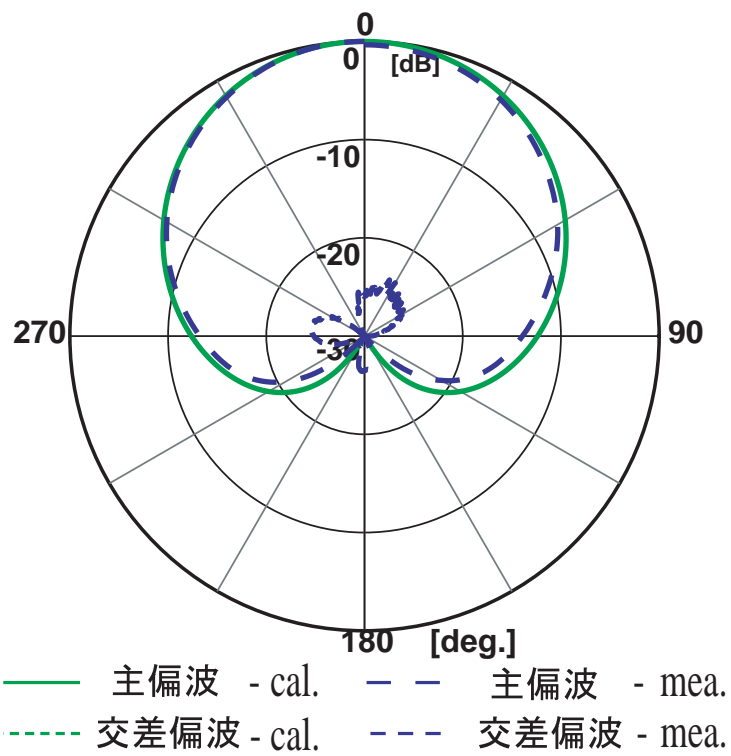


图 2.24 : 指向性 (H 面)

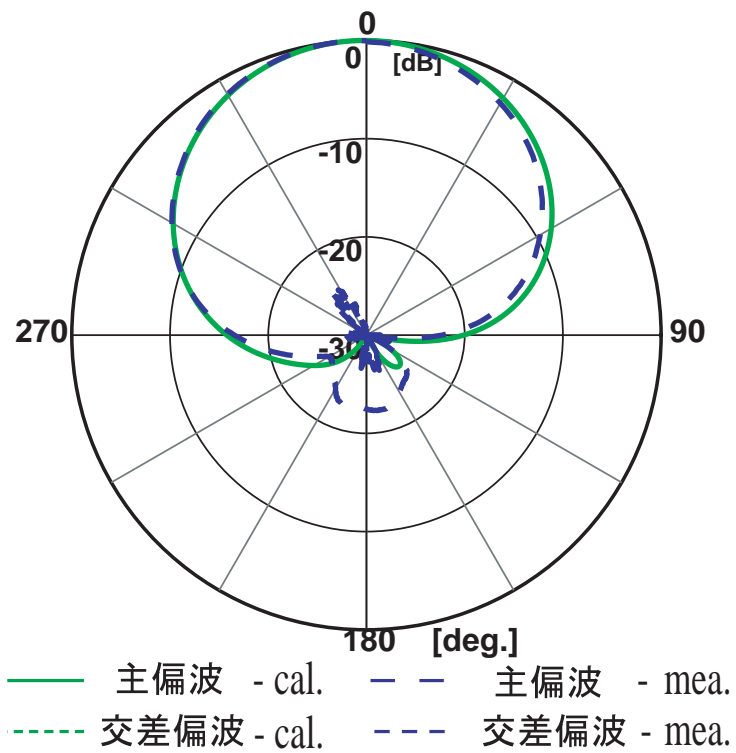


图 2.25 : 指向性 (E 面)

第 3 章

IMT-2000 用高 FB 比パッチアンテナ

本章では、前章において高 FB 比が得られることがわかった上下前面折り曲げ地板を有するパッチアンテナを用いて、IMT-2000 の端末から基地局までの上り方向 (1.92 ~ 1.98[GHz]) と、基地局から端末までの下り方向 (2.11 ~ 2.17[GHz]) の周波数に対応する送受信用のアンテナの検討を行う。

3.1 解析結果

まず初めに、上下前面折り曲げ地板を有するパッチアンテナを単体で解析を行い、IMT-2000 の上り方向の周波数帯で共振するものと、下り方向の周波数帯で共振するものの最適なパラメータを求めた。ここでは、IMT-2000 の周波数帯で共振することを前提とし、さらに高 FB 比が得られ、できる限り小型であるものを最適であるとしている。解析には、前章に引き続き FDTD 法を用いており、細かくパラメータの値を変化させるために、1[cell] を 1[mm] としている。

アンテナの共振周波数は放射部の大きさによって決まるわけだが、解析を行うことで、放射部と地板間の距離や地板の大きさによっても影響を受けていることがわかった。IMT-2000 の周波数帯の範囲は、上り方向と下り方向どちらも 60[MHz] でとても狭く、前章で行った解析のように、先に放射部の大きさ決めてから地板の小型最適化を行うと、IMT-2000 の周波数帯からずれてしまう。このため、全てのパラメータを 1[mm] 単位で変化させて解析を行い、アンテナ全体のサイズ、共振周波数、共振周波数でのリターンロス、FB 比の全てを考慮して最適なモデルを検討した。

解析の結果から、図 3.1 示す二つのモデルのアンテナ形状を最適なものとする。モデル 1 が IMT-2000 の上り方向の周波数 (1.92 ~ 1.98[GHz]) に対応しており、モデル 2 が下り方向の周波数 (2.11 ~ 2.17[GHz]) に対応している。モデル 1 とモデル 2 の解析結果をまとめたものを表 3.1 に示す。

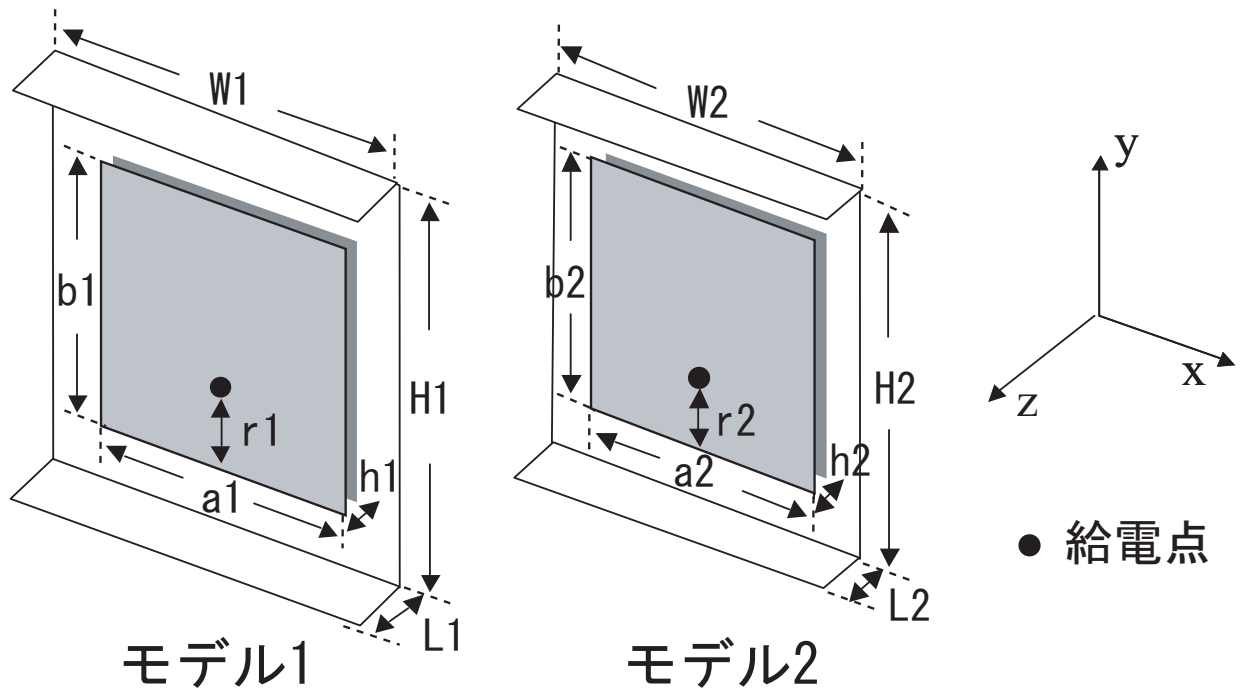


図 3.1 : 解析に使用したモデル (unit:[mm])

モデル 1 $a_1=b_1=70$, $r_1=21$, $h_1=3$, $H_1=W_1=88$, $L_1=12$

モデル 2 $a_2=b_2=62$, $r_2=18$, $h_2=3$, $H_2=W_2=80$, $L_2=11$

表 3.1 : モデル 1 , モデル 2 の解析結果

	共振周波数 [GHz]	リターンロス [dB]	FB 比 [dB]	
			H 面	E 面
モデル 1	1.929	22.4	30.3	22.4
モデル 2	2.164	23.0	33.3	27.2

次に、図 3.1 のモデル 1 とモデル 2 を用いて IMT-2000 用の送受信アンテナの解析を行う。二つのアンテナをアレイ化して送受信のアンテナとして使用するので、アンテナ間の相互結合を検討しなければならない。そこで、二つのアンテナを E 面配列にした場合と H 面配列にした場合において解析を行い、相互結合量にどのような違いがあるか、また、実際に使用可能なのかを検討する。

解析モデルを図 3.2 に示す。図 3.2 中の給電点間隔 D を変化させて解析を行った。相互結合量だけではなく、 D の値によって、モデル 1 とモデル 2 の FB 比に対して、それぞれどの程度の影響があるかを検討する。

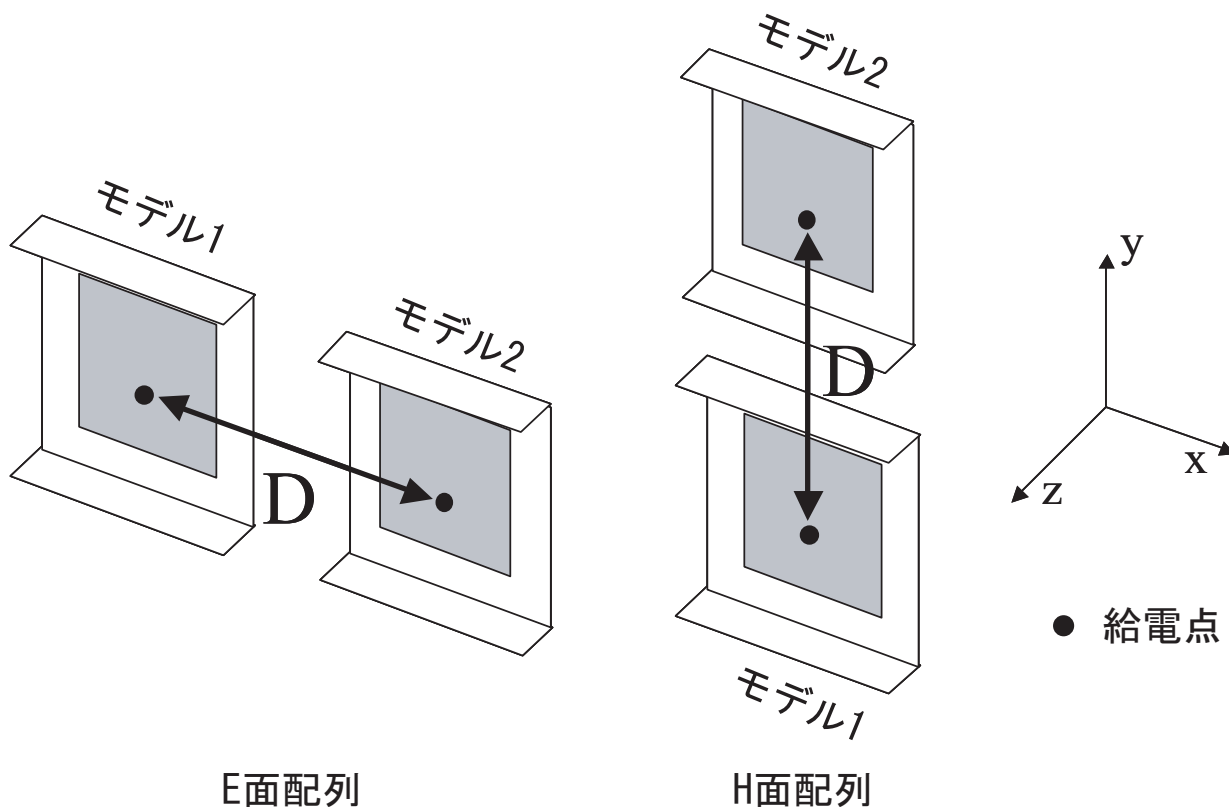


図 3.2 : 解析モデル

図 3.3 に給電点間隔 D を変化させたときの相互結合を示す。実線がアンテナを E 面配列にした場合で、点線が H 面配列にした場合である。E 面配列にした場合と H 面配列にした場合共に、相互結合量は距離に対してほぼ単調に減少している。E 面配列の場合には $D > 95[\text{mm}]$ 、H 面配列の場合には $D > 85[\text{mm}]$ で相互結合量が $-20[\text{dB}]$ 以下となって、ほぼ無視できる値となることがわかる。全体的に、E 面配列の場合よりも H 面配列の場合の方が相互結合量が小さくなっており、H 面配列の場合、地板の折り曲げが重なるのが $D=83[\text{mm}]$ の時であるから、相互結合量だけを考えると、あまりアンテナ間の距離を考えなくて良いように思われる。

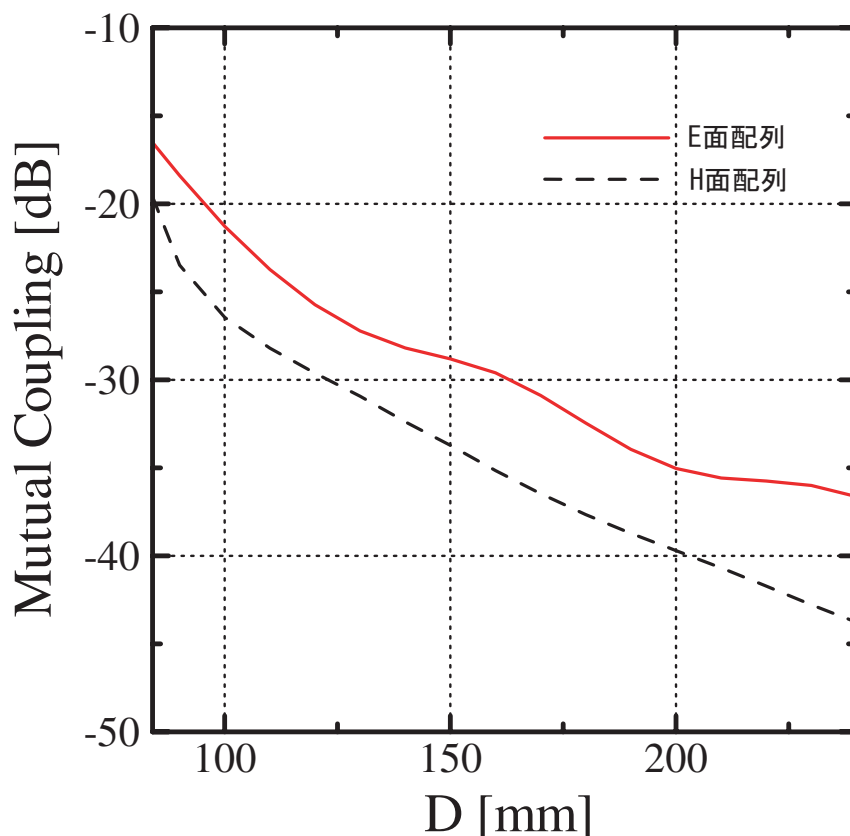


図 3.3 : アンテナ間の相互結合

図 3.4 にアンテナを E 面配列にした場合、図 3.5 に H 面配列にした場合の給電点間隔 D を変化させた時の FB 比を示す。図 3.4 のアンテナを E 面配列にした場合には、モデル 1 の FB 比とモデル 2 の FB 比で同じような特性が見られる。H 面の FB 比は、 D が増加するにつれて相互結合量は単調に減少しているにもかかわらず、一度大きく減少してから、再び増加している。E 面の FB 比は D に対して増加している。全体としては個別に解析した時の値よりも小さくなっている。

図 3.5 のアンテナを H 面配列にした場合には、地板の折り曲げが重なり合う距離では全体的に FB 比が大きく劣化しているが、 D の増加に伴い FB 比も増加しており、個別に解析をした時と近い値が得られている。相互結合量と同様に、FB 比においてもアンテナを E 面配列にした場合よりも、H 面配列にした場合の方が良い値が得られている。

相互結合量だけではなく、FB 比についても考慮すると、アンテナを H 面配列にした場合においても、やはり給電点間の距離によるアンテナへの影響は大きいと言える。しかし、実験において解析と同様の値が得られるのならば、実際に使用可能であると言える。

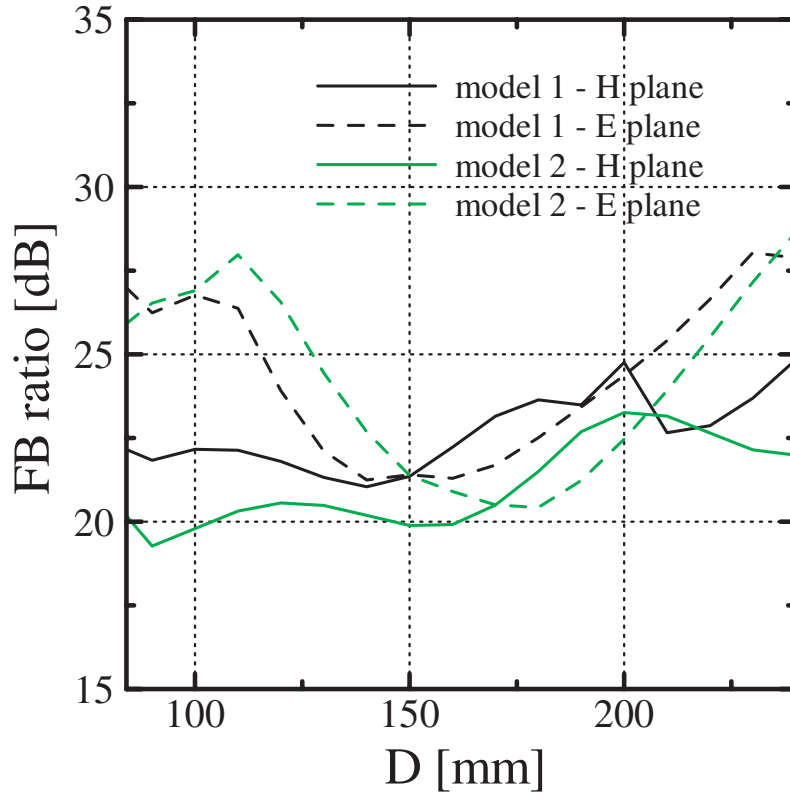


図 3.4 : FB 比 ~ E 面配列 ~

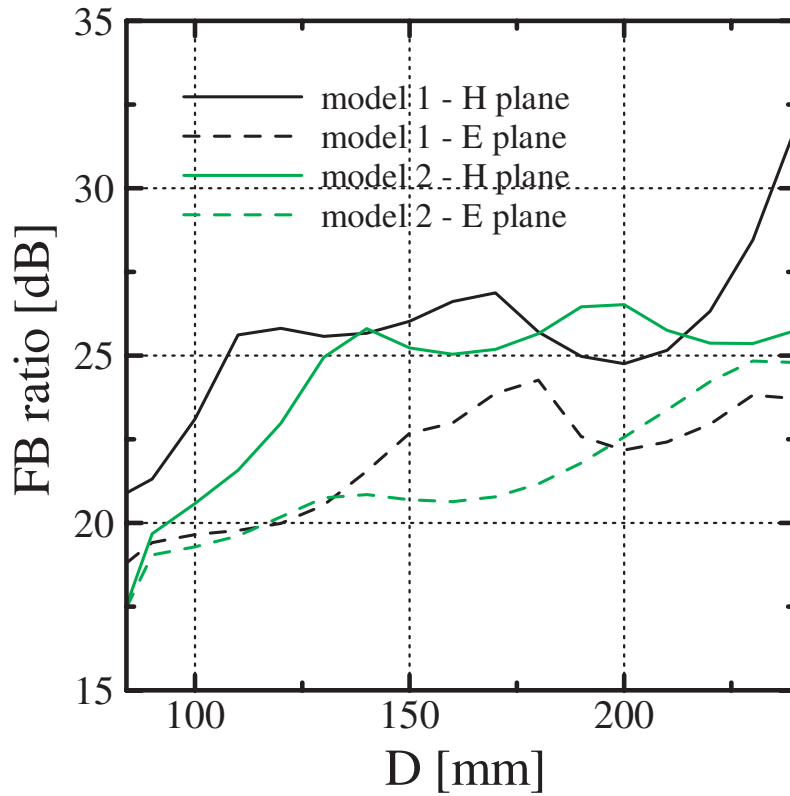


図 3.5 : FB 比 ~ H 面配列 ~

3.2 実験結果

前節で述べたように、アンテナを H 面配列にすることで良い解析結果が得られたので、図 3.1 の二つのモデルを製作し実験を行った。製作には今まで同様、放射部には厚さ 0.1[mm] の銅板を使用し、地板には厚さ 0.3[mm] の真鍮を使用している。

図 3.6 に二つのアンテナを個別に測定した時のリターンロスを示す。モデル 1 では二重共振していることがわかる。また、解析結果と比較すると、二つとも共振周波数が大きくなっていることがわかる。解析結果での共振周波数は、モデル 1 では 1.929[GHz]、モデル 2 では 2.164[GHz] だったのに対し、実験結果においては、モデル 1 のリターンロスの大きく落ちている方では 1.969[GHz]、モデル 2 では 2.221[GHz] となっている。実験モデル 1 においては共振周波数がずれはしたものの、IMT-2000 の上り方向の周波数 (1.92 ~ 1.98[GHz]) の範囲に入っているが、実験モデル 2 は下り方向の周波数 (2.11 ~ 2.17[GHz]) の範囲からずれてしまっている。これは、実験モデル 1、実験モデル 2 共に、僅かに実際のモデルよりも大きく製作してしまったためだと思われる。

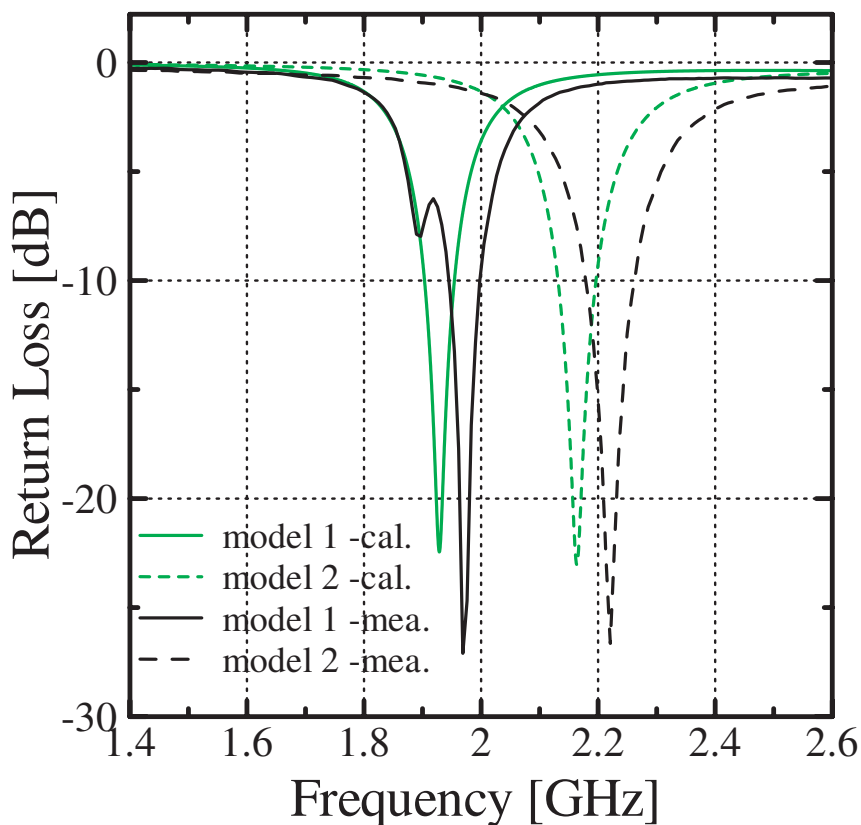


図 3.6 : リターンロス

今回製作したアンテナにおいては共振周波数がずれてしまったが、このアンテナを用いて、二つのアンテナの給電点間隔 D を変化させて相互結合量と指向性を測定し、どのような影響があるかを検討する。また、指向性から求めた FB 比においても検討を行う。アンテナは H 面配列にして実験を行った。実際の実験モデルを図 3.7 示す。下が実験モデル 1、上が実験モデル 2 である。

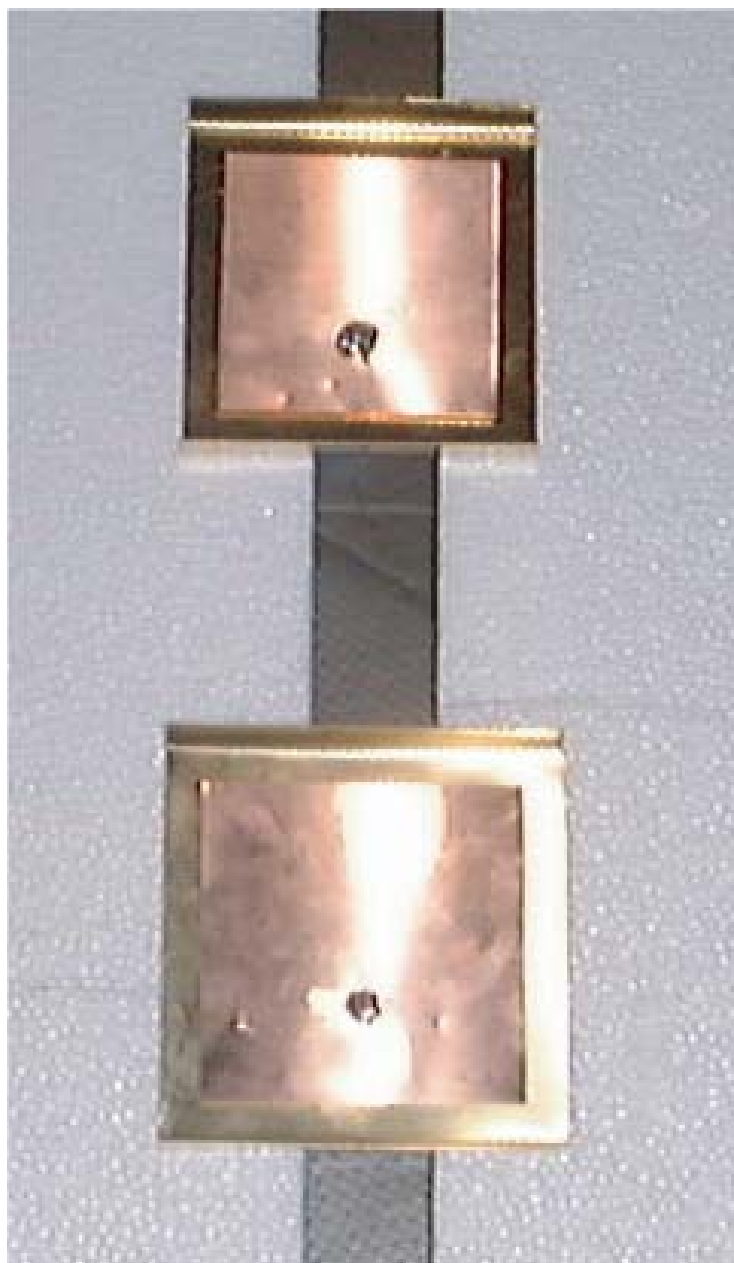


図 3.7 : アンテナ間の相互結合

図 3.8 にアンテナの給電点間隔 D を変化させた時の相互結合を示す。相互結合量の測定にはネットワークアナライザを使用し、実際に給電点間の距離を変化させて実験を行った。相互結合量は、 D の増加に伴い単調に減少しており、約 -43 [dB] まで減少してから収束していている。

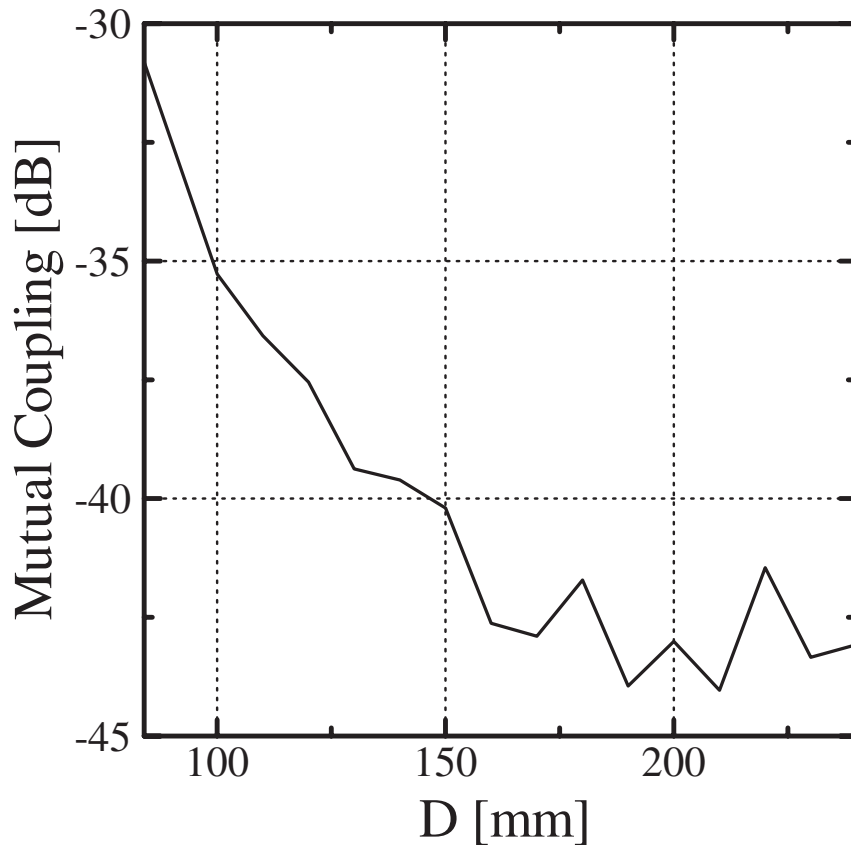


図 3.8 : アンテナ間の相互結合

アンテナの給電点間隔 D を 150 [mm] としてアンテナの指向性を測定し、二つのアンテナをアレイ化せずに個別に測定した場合の指向性と比較する。 $D=150$ [mm] の時には -40.2 [dB] の相互結合量が得られている。

図 3.9 と図 3.10 に実験モデル 1 と実験モデル 2 を、それぞれ単体で測定した場合とアレイ化した場合の二通りの指向性を示す。実験モデル 1 では単体の場合の方がアレイ化した場合よりも交差偏波が小さくなっているが、実験モデル 2 では逆に大きくなっている。単体のものとアレイ化したもので、アンテナ前面方向の主偏波はほとんど変化はないが、アンテナ背面方向の主偏波には僅かに指向性の違いが見られる。

実験モデル 1 と実験モデル 2 の FB 比をまとめたものを表 3.2 に示す。モデル 1、モデル 2 共に H 面の FB 比にはほとんど変化はなく、E 面の FB 比においても僅かな劣化のみで、アレイ化した場合においても 20[dB] を超える高 FB 比が得られた。

表 3.2 : モデル 1 , モデル 2 の FB 比

	単体の場合の FB 比 [dB]		アレイ化した場合の FB 比 [dB]	
	H 面	E 面	H 面	E 面
モデル 1	27.2	26.8	27.7	25.2
モデル 2	24.9	23.4	24.1	20.2

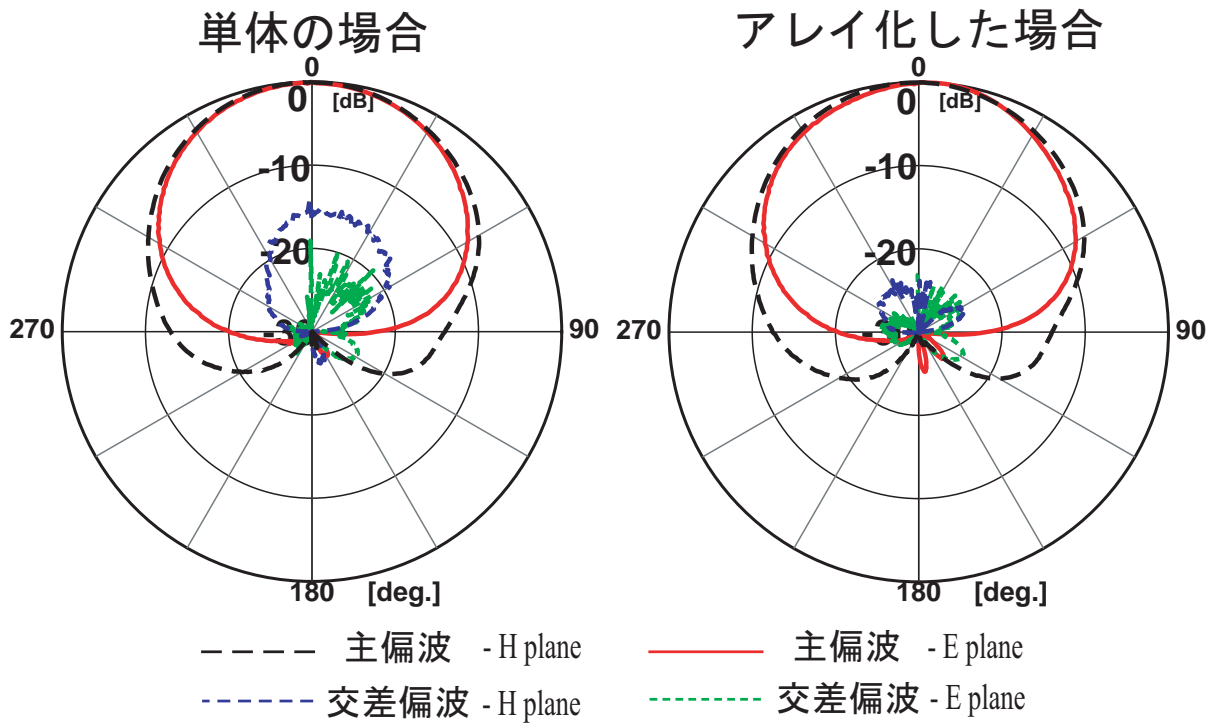


図 3.9 : 実験モデル 1 の指向性

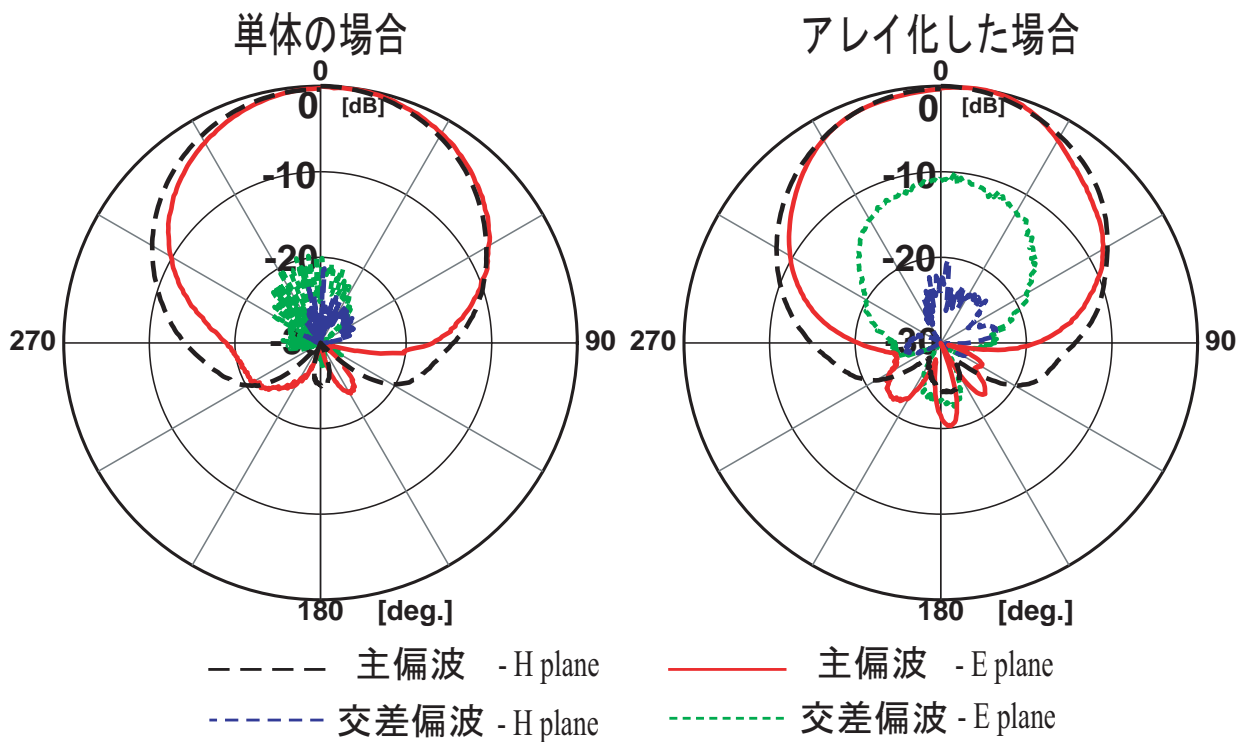


図 3.10 : 実験モデル 2 の指向性

第 4 章

結論

パッチアンテナにおいて FB 比向上と小型化を目的とし、地板形状による FB 比への影響を検討した。

まず初めに、2[GHz] で共振するパッチアンテナの地板形状を変化させ、FDTD 法を用いて解析を行った。地板の縦と横の長さを 128[mm] で一定の値とし、それぞれの形状ごとに FB 比にどのような特性があるかを検討した。その結果、地板形状を変化させることで、矩形地板の場合に比べアンテナの FB 比が向上することがわかり、特に上下前面折り曲げ地板においては、最大で H 面において約 16[dB] もの向上が見られた。この時の地板形状で実験を行うと、H 面で 28.0[dB]、E 面で 20.7[dB] の FB 比が得られ、実際に上下前面折り曲げ地板で高 FB 比が得られることわかった。

次に、上下前面折り曲げ地板の小型最適化を検討した。解析結果では、 $H=W=80$ [mm]、 $L=10$ [mm] の時が最適であり、H 面で 30.2[dB]、E 面で 28.3[dB] の FB 比が得られた。この時の地板形状で実験を行うと、FB 比は H 面で 26.4[dB]、E 面で 22.231[dB] となり、解析結果とは一致しなかったが、小型最適化した地板形状においても高 FB 比が得られた。

また、IMT-2000 用高 FB 比アンテナについて検討した。まず、上下前面折り曲げ地板を有する二つのパッチアンテナをそれぞれ、IMT-2000 の送受信の周波数に対応するように小型最適化した。次に、それらをアレイ化し、E 面配列の場合と H 面配列の場合において解析を行い、アンテナの給電点間隔により相互結合と FB 比の値にどのような影響があるかを検討した。その結果、H 面配列の方がアンテナの給電点間隔の影響を抑えられることがわかった。給電点間隔を 130[mm] 以上とすることで、相互結合量は -30 [dB] 以下になり、FB 比の値も 20[dB] 以上になっている。実際にモデルを製作をすると、周波数がずれてしまっただが、相互結合量が -40 [dB] となる給電点間隔で実験を行うことで、この相互結合量では H 面の FB にはほとんど影響がなく、E 面の FB 比は僅かに劣化するのみであった。

今後の課題としては、正確に IMT-2000 の周波数帯の範囲で共振するパッチアンテナを製作し、実験を行うことが挙げられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、厳しくかつ丁寧に御指導下さった新井宏之助教授に深く感謝致します。

また研究生活全般に渡って御指導下さった D2 の陸田裕子氏、D1 の道下尚文氏に深く感謝致します。

最後に研究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] 恵比根佳雄、“次世代移動通信用 (IMT-2000) 基地局アンテナの設計,”、信学技報、A・P2000-4、April. 2000.
- [2] 陸田裕子、新井宏之、恵比根佳雄、“反射板によるダイポールアンテナのFB比への影響,”、2001 信学総大、B-1-135、Mar. 2001.
- [3] 陸田裕子、新井宏之、恵比根佳雄、“反射板付ダイポールアンテナのFB比に対する反射板形状の最適化,”、信学技報、A・P2001-27、pp.47-52、May. 2001.
- [4] 宮崎功旭、“繭型指向性を有する壁面設置型アンテナの最適化,”、信学技報、A・P2001-79、pp.39-46、Oct. 2001.
- [5] 新井宏之、新アンテナ工学、総合電子出版社、1996.