

修士論文

繭型指向性を有する 室内用壁面設置型アンテナの研究

指導教官 新井 宏之 助教授

平成14年2月12日提出

00DD078 宮崎 功旭

要約

携帯電話の不感知対策，トラヒック分散を目的として現在ビル内移動通信システムが導入されている．このビル内移動通信システムで用いられる室内用基地局アンテナは，IMT-2000 (International Mobile Telecommunication 2000) では窓際に設置され，屋外との指向性のオーバーラップを避けるため高 FB (Front to Back) 比でなければならない．また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型の水平面内指向性が必要とされる．

今までも室内用壁面設置型アンテナの検討がなされているが，厳密な指向性形成が行われておらず，また突起形状のものが多く美観を考慮したアンテナが求められている実際の設置においては適していない．

本研究では以上の点に留意し，平面型アンテナであるパッチアンテナ及び $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナを用いて，IMT-2000 用の室内用壁面設置型アンテナとして適したアンテナ特性を求めるところを目的としている．

はじめに H 面指向性を繭型にするために，二つの平面型寄生素子をパッチアンテナの H 面内に導波器として動作するように設置した寄生素子付きパッチアンテナの解析を行った．その結果，寄生素子の大きさ，放射器からの高さ，距離を大きくすると \pm 約 45° 方向への放射が強くなり，繭型指向性を得ることができたが，低 FB 比のアンテナであった．

つぎに FB 比を増大させるために，寄生素子付きパッチアンテナの地板端部を折り返した寄生素子付き箱型地板パッチアンテナの解析を行った．その結果，FB 比を最大にする最適な地板形状が存在することがわかり，目標とした 20 dB 以上の FB 比を持つ繭型指向性を得ることができた．

さらに寄生素子付き箱型地板パッチアンテナの更なる小型化のために， $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナ (MSA) を素子アンテナとして検討を行った．その結果，パッチアンテナを用いた場合と同様に 20 dB 以上の FB 比を持つ繭型指向性を得ることができ，また長辺方向が 0.72 倍，高さ方向が 2 倍と長辺方向の小型化に成功した．

最後に寄生素子付き箱型地板 $\lambda/4$ 短絡型 MSA の更なる低姿勢化のために，折り返しをジグザグに複数折り返した複数折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA の検討を行った．その結果，最大 FB 比，最小 Lf が得られる最適値は折り返し下部から上部までの距離によって決まることがわかり，目標とした 20 dB 以上の FB 比を持つ繭型指向性を得ることができた．また大きさを総合的に判断すると，複数折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA が最も適しているといえる．

目次

第1章 序論	1
第2章 パッチアンテナ	7
2.1 寄生素子付きパッチアンテナ	7
2.2 寄生素子付き箱型地板パッチアンテナ	11
2.3 寄生素子付き二重箱型地板パッチアンテナ	21
第3章 $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナ	29
3.1 寄生素子付き $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナ	29
3.2 寄生素子付き箱型地板 $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナ	33
3.3 寄生素子付き箱型地板 $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナの低姿勢化	39
3.3.1 二重折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA	39
3.3.2 複数折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA	46
第4章 結論	53
謝辞	55
参考文献	56
発表文献	57

第 1 章

序論

携帯電話(携帯電話, PHS)の普及台数は平成 13 年 12 月末現在で 7,279 万台に達し, 電気・ガス・水道と同様重要なライフラインの一部となっている。これに伴い携帯電話の使用可能エリアは年々拡大しているが, 基地局アンテナのほとんどが屋外に設置されているため, ビルの中心部等の奥まった部分や高層階, 地下においては電波が弱く使用できないエリアが多い。また都心部のようなビルの乱立している地域では, エリア(セル)に対する携帯電話の利用者が多いため, ビルのような元々電波の届きにくいところでは使用できないことが多い。このような不感知対策, トラヒック分散を目的として, 現在ビル内移動通信システムが導入されている。ビル内移動通信システムとはビル内に設置した主装置から光ケーブルを敷設し, 各フロアの廊下などの共用部や駐車場にアンテナを設置することによって, 屋内に快適なモバイル環境を提供するものである(図 1.1 参照)。特に最近のホテルは会議や新製品の発表会, 記者会見等々と多彩な使われ方をしており, ビル内移動通信システムの導入によりホテルの資産価値を高める結果となっている。

以上のビル内移動通信システムにおいて用いられてきた室内用基地局アンテナは, 従来天井か壁の中心に設置され, 無指向性のアンテナが使用されている(図 1.2 参照)。現行の PDC (Personal Digital Cellular system) 方式では室内と屋外を別のセルとみなし, 室内専用周波数帯域を設けている。よって不感知対策用の室内用基地局アンテナは, 元々電波の弱いエリアに設置するため干渉は生じず, トラヒ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, 移動局と異なる周波数帯域を用いるため同じく干渉は発生しない。しかし次世代移動体通信システムである IMT-2000 (International Mobile Telecommunication 2000) は, CDMA (Code Division Multiple Access) 方式であるため隣接セルで同一周波数帯域を用いる。よってトラヒ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た場合, 同一周波数帯域で通信を行うため, 干渉量が増え加入者容量の低減につながってしまう。図 1.3, 1.4 にトラヒ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た場合の干渉メカニズムを示す。

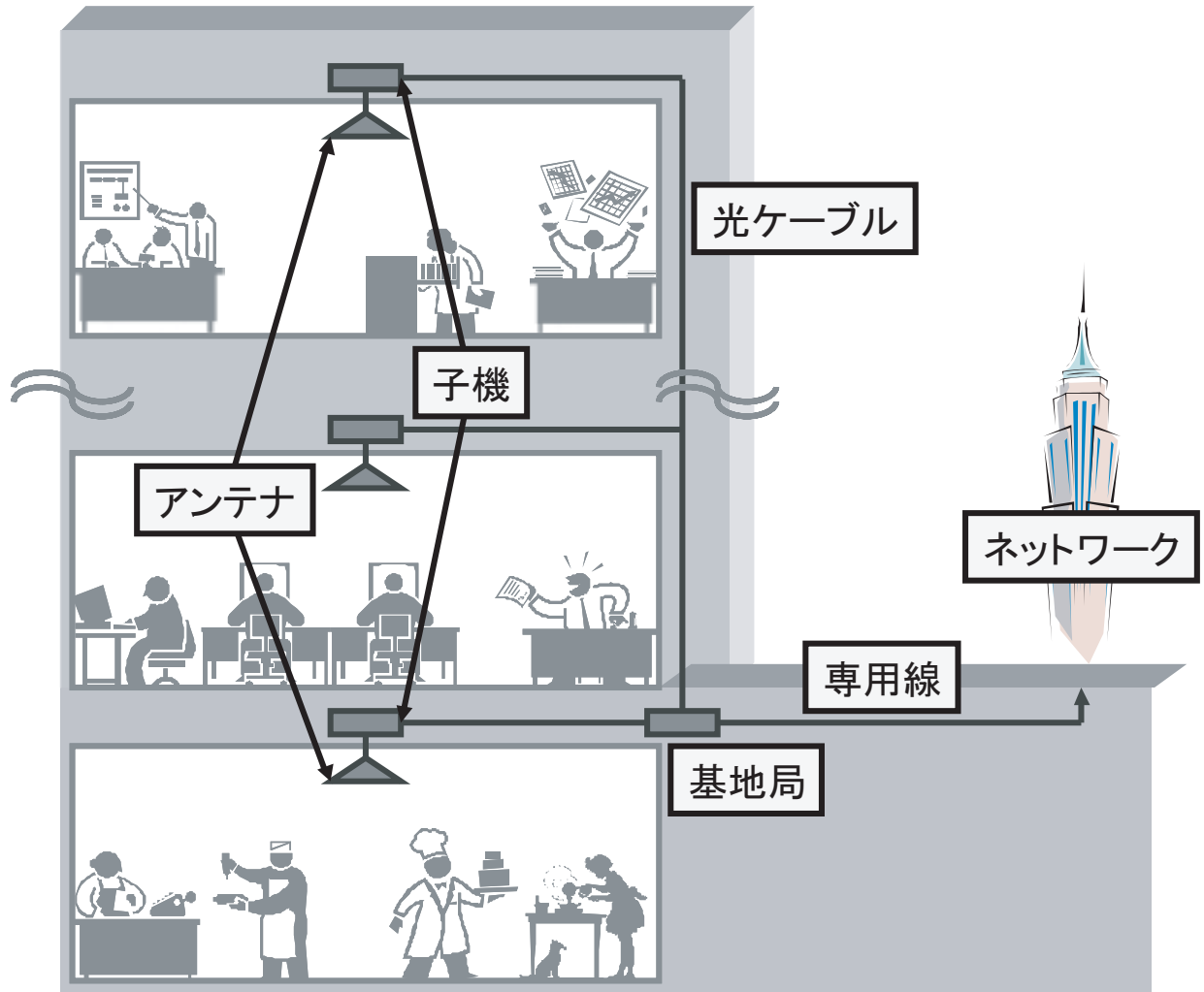


図 1.1 : ビル内移動通信システム



図 1.2 : 従来の室内用壁面設置型アンテナの概観

図 1.3 は無指向性アンテナを窓際に設置した場合の干渉メカニズムであるが、このとき室内用基地局が窓際の移動局と通信した場合、距離が近いため最小電力で通信すればよく、屋外の基地局、移動局との干渉は発生しない。しかし、部屋の中心部の移動局と通信した場合、距離が遠いため最大電力で通信しなければならず、そのため室内用基地局と屋外の移動局間で干渉が発生する。

図 1.4 は無指向性アンテナを部屋の中心部に設置した場合の干渉メカニズムであるが、このとき室内用基地局が部屋の中心部の移動局と通信した場合、距離が近いため最小電力で通信すればよく、屋外の基地局、移動局との干渉は発生しない。しかし、窓際の移動局と通信した場合、距離が遠いため最大電力で通信しなければならず、そのため窓際の移動局と屋外の基地局間で干渉が発生する。

移動局の性質上その指向性は無指向性でなければならないため、無指向性アンテナを部屋の中心部に設置した場合の干渉を抑制することはできない。よって IMT-2000 用の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窓際に設置され、干渉抑制、加入者容量増大のため屋外との指向性のオーバーラップを避ける必要があり、高 FB (Front to Back) 比でなければならない [1]。

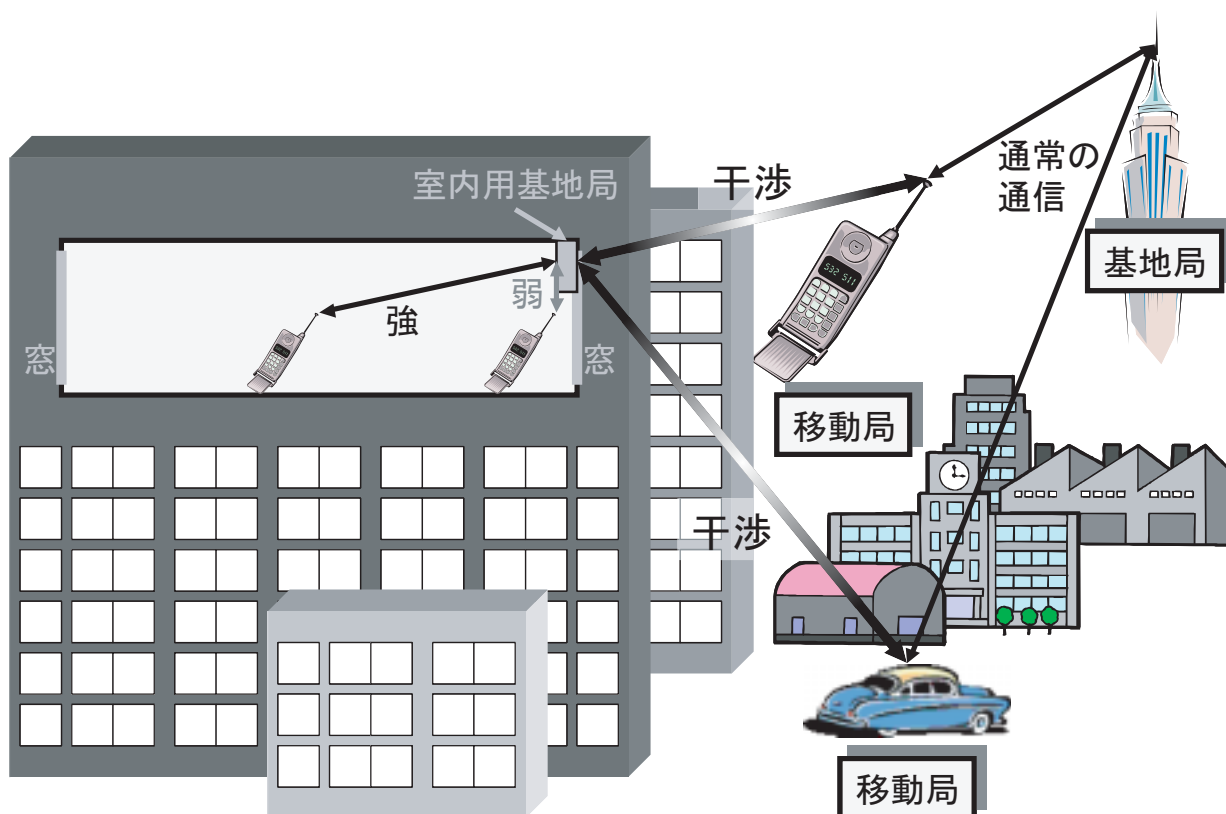


図 1.3 : トラフィック分散を目的とした室内用基地局アンテナとして無指向性アンテナを用いた場合の干渉メカニズム (無指向性アンテナを窓際に設置したとき)

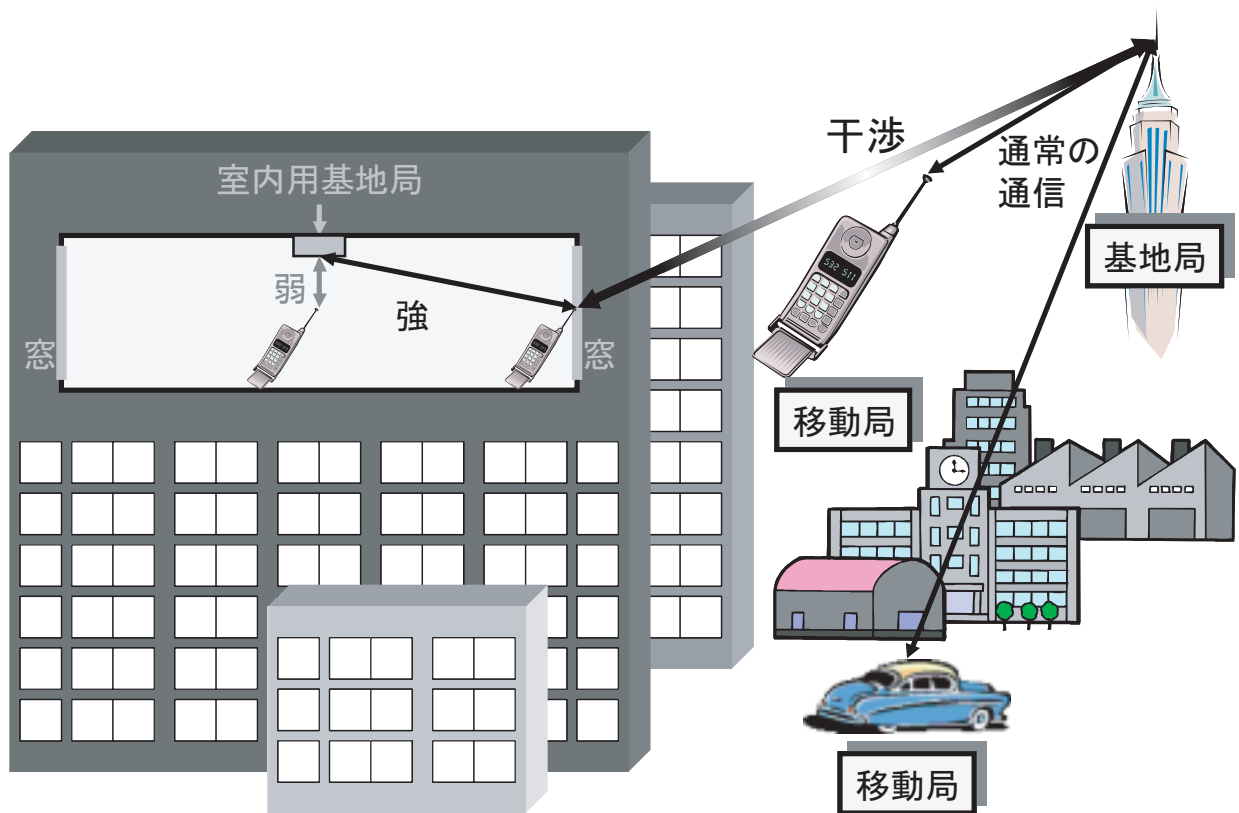


図 1.4 : トラフィック分散を目的とした室内用基地局アンテナとして無指向性アンテナを用いた場合の干渉メカニズム (無指向性アンテナを部屋の中心部に設置したとき)

また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水平面内指向性が必要とされる。本論文ではこのような二つの最大放射方向を持つ指向性を形が繭に似ているので繭型指向性と定義する(図 1.5 参照)。

今までにも室内用壁面設置型アンテナの検討がなされているが、現行の PDC 方式用のアンテナが多く、隣接セル間の指向性のオーバーラップを避けるための厳密な指向性形成が行われていない [2], [3]。図 1.2 の左図に文献 [2] のダイポールアンテナを用いた室内用基地局アンテナを、右図に文献 [3] のスリーブアンテナを用いた室内用基地局アンテナを示すが、このように突起形状のものが多く、美観を考慮したアンテナが求められている実際の設置においては適していない。なおトンネル内通信でのブースターシステムで使用される双指向性アンテナはノッチアンテナを用いたものが使用されている [4]。

本論文では以上の点に留意し、平面型アンテナであるパッチアンテナ及び $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナに寄生素子を設置し、地板端部を折り返すことで、IMT-2000 用の室内用壁面設置型アンテナとして適したアンテナ特性を求めようとしている。また FDTD (Finite Difference Time Domain) 法による詳細な解析を行い、寄生素子や折り返しを持つアンテナの基本特性を明らかにする。

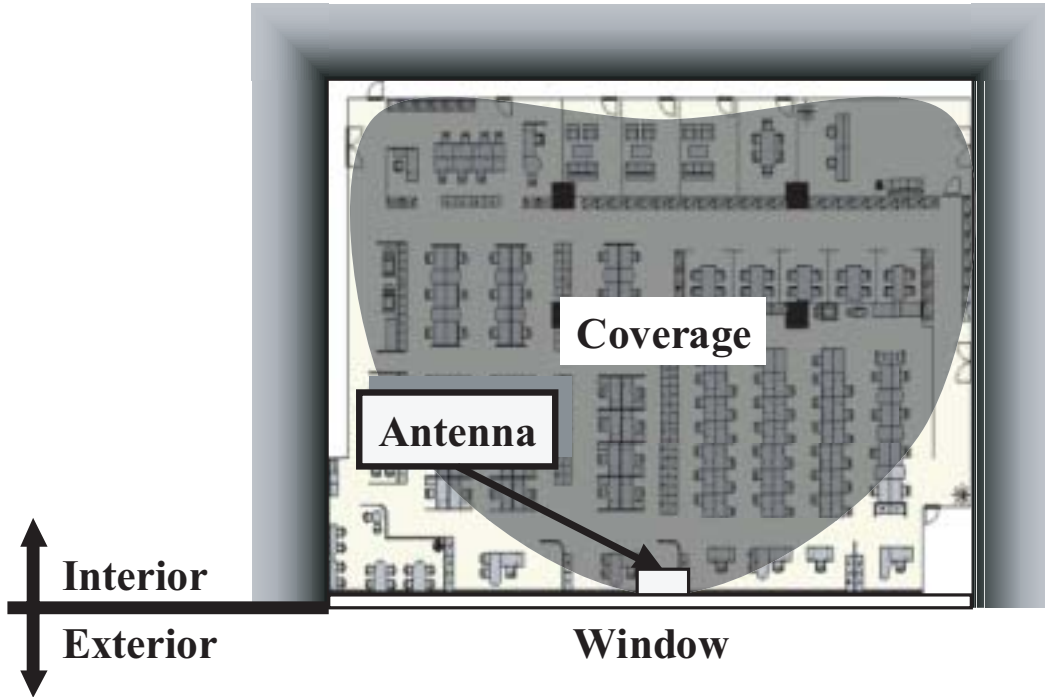


図 1.5 : 繭型指向性

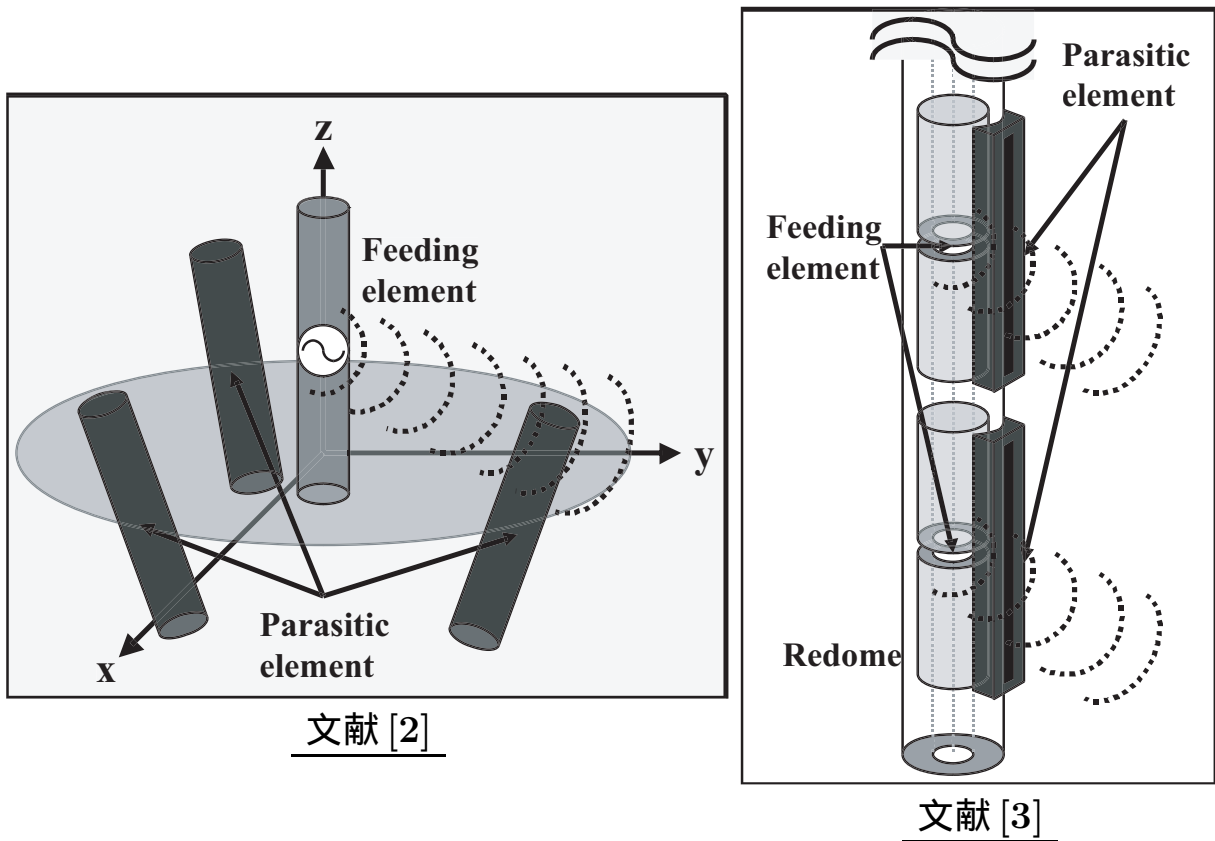


図 1.6 : 文献 [2], 文献 [3] のアンテナ

本論文で水平面内指向性として用いる H 面指向性の目標特性について以下に述べる．まず最大放射方向に関しては，部屋の形状によって方向が決定されるため断定することはできないが，本論文では ±30 から 60° の範囲にあることとする．FB 比に関しては，できるだけ大きいことが望ましいが，本論文では 180±30° の範囲で 20 dB 以上 を目標として検討を行う．

なお周波数帯域に関してはパッチアンテナを用いるため IMT-2000 用の送受信両帯域を含めてカバーすることはできない．よって本アンテナは送受信別のアンテナとして用いることとし，最低でも 20 MHz 程度の帯域を有するもの を目標とする．

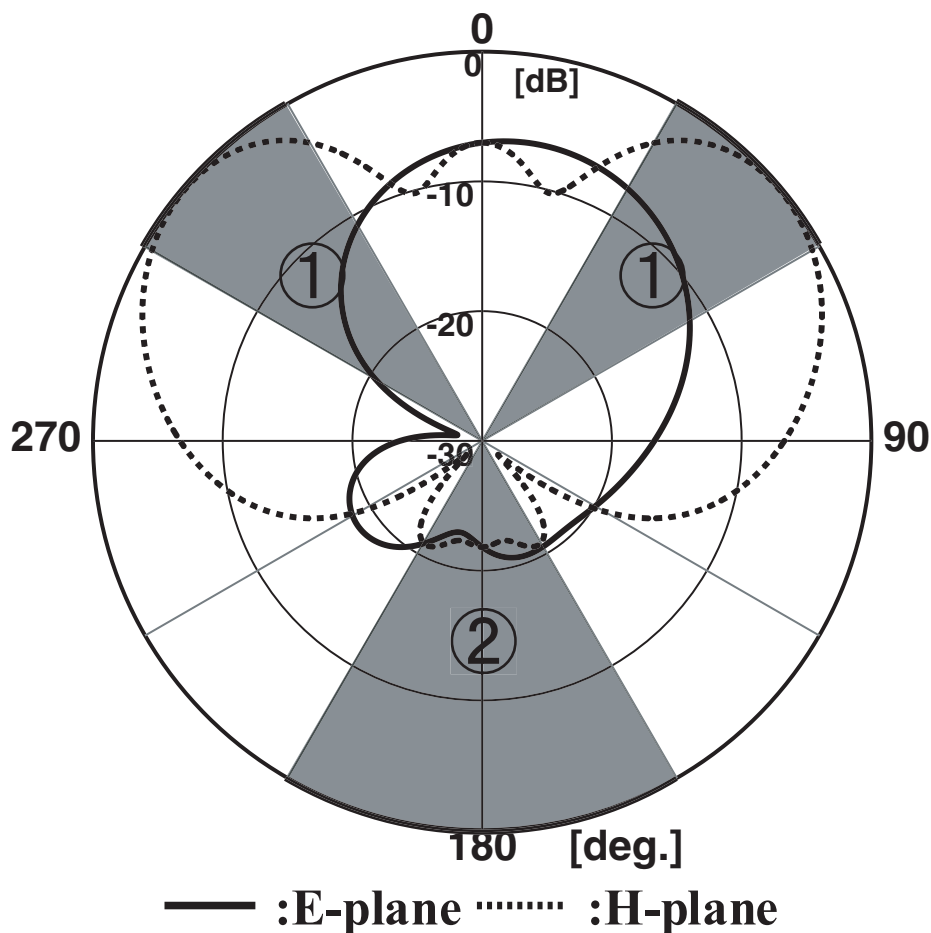


図 1.7 : H 面指向性の目標特性
最大放射方向 : ±30 ~ 60° , FB 比 (180±30°) : 20 dB 以上

第 2 章

パッチアンテナ

本章では典型的な平面型アンテナであるパッチアンテナを素子アンテナとしたアンテナについて取り上げる．はじめに繭型の H 面指向性を持つ寄生素子付きパッチアンテナを報告し，つぎに高 FB 比かつ繭型の H 面指向性を持つ寄生素子付き箱型地板パッチアンテナ，寄生素子付き二重箱型地板パッチアンテナを報告する．

2.1 寄生素子付きパッチアンテナ

はじめに H 面指向性を繭型にするために，二つの平面型寄生素子をパッチアンテナの H 面内に導波器として動作するように設置し，突起形状の寄生素子と同様に導波器として動作するか，その大きさ，位置関係の検討を行った．このような寄生素子付きパッチアンテナの解析モデルを図 2.1 に示す．解析パラメータは寄生素子の大きさ S_p ，放射器からの高さ H_p ，距離 L_p である．解析は FDTD 法を用い，セルサイズを 2 mm，吸収境界条件を 4 層 PML として解析を行った．

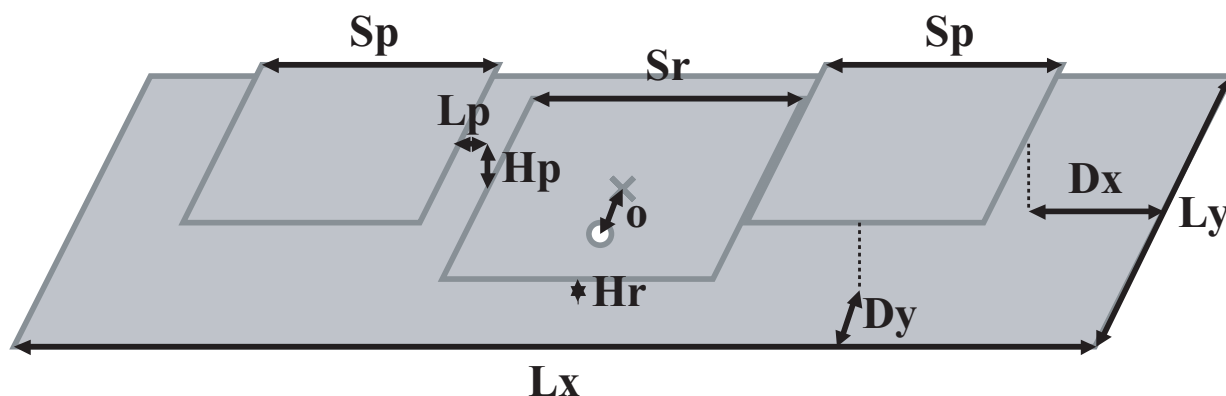


図 2.1 : 寄生素子付きパッチアンテナ ($S_r=64$, $H_r=4$, $D_x=18$, $D_y=18$, $L_x=S_r+2(L_p+S_p+D_x)=2(L_p+S_p)+100$, $L_y=S_p+2D_y=S_p+36$, 単位 = [mm])

S_p , H_p , L_p を変化させたときの H 面指向性を図 2.2 から 2.4 に示す。その結果, S_p , H_p , L_p を大きくすると \pm 約 45° 方向への放射が強くなり, それに伴って 0° 方向への放射が弱くなる。よって指向性は蕨型に近づくが, この三つのパラメータの変化によってリターンロス値が劣化し, 入力インピーダンスの整合が取れなくなるので, 給電オフセットの調整を行わなければならない。

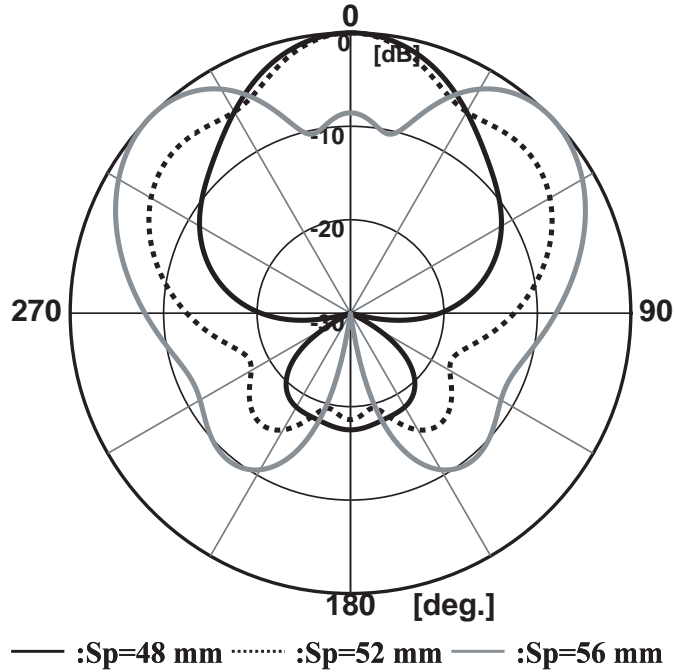


図 2.2 : S_p を変化させたときの H 面指向性 ($H_p=10$ mm, $L_p=0$ mm)

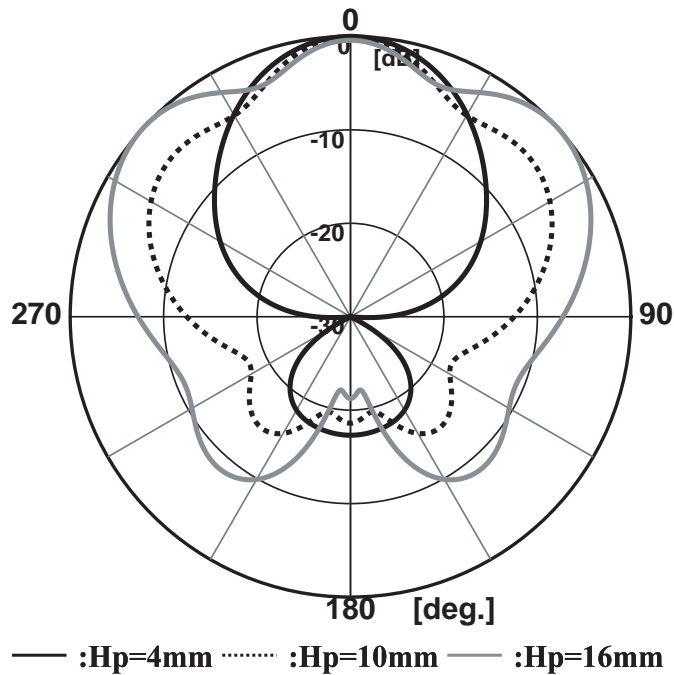
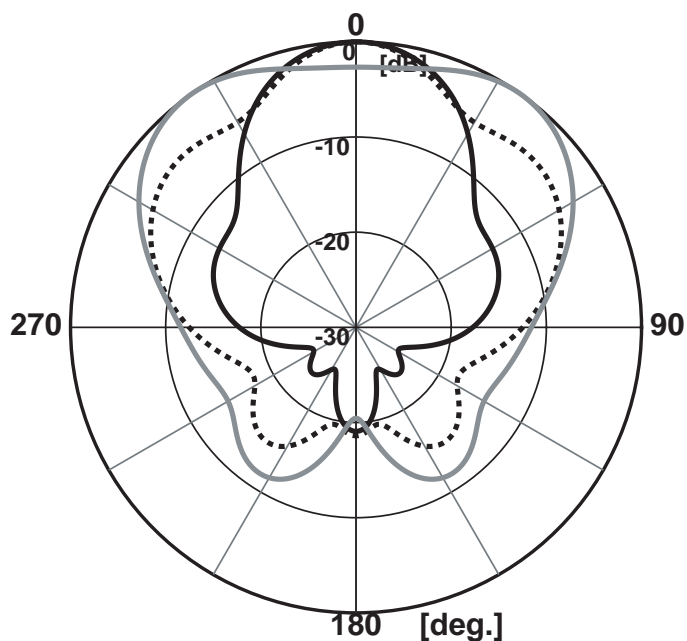


図 2.3 : H_p を変化させたときの H 面指向性 ($S_p=52$ mm, $L_p=0$ mm)



— : $L_p = -16\text{mm}$: $L_p = 0\text{mm}$ - - - : $L_p = 16\text{mm}$

図 2.4 : L_p を変化させたときの H 面指向性 ($S_p = 52\text{ mm}$, $H_p = 10\text{ mm}$)

以上の結果から繭型指向性が得られた最も小さいアンテナ形状 ($S_p = 56\text{ mm}$, $H_p = 8\text{ mm}$, $L_p = 2\text{ mm}$, $o = 12\text{ mm}$ ($L_x = 216\text{ mm}$, $L_y = 92\text{ mm}$)) を図 2.1 に , そのときのリターンロス特性と指向性を図 2.6 に示す . この形状の導出手順は , 最大放射方向が $\pm 45^\circ$ 程度と繭型指向性が得られたものの中から , 入力インピーダンスの整合が取れ , かつ長辺方向 L_x (L_p , S_p によって決まる) が最も小さいものを選択した . 最大放射方向は $\pm 45^\circ$, FB 比は 11.3 dB , 共振周波数は 2.083 GHz , -10 dB 帯域幅は 23 MHz である . 繭型指向性を得ることができたが , 低 FB 比のアンテナとなっている .

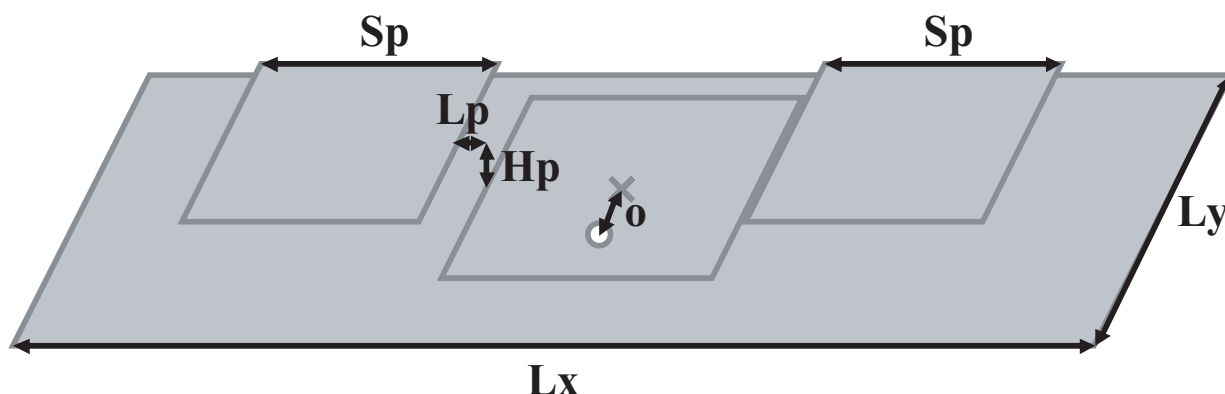


図 2.5 : 最も小さいアンテナ形状 ($S_p = 56$, $H_p = 8$, $L_p = 2$, $o = 12$, $L_x = 216$, $L_y = 92$, 単位 = [mm])

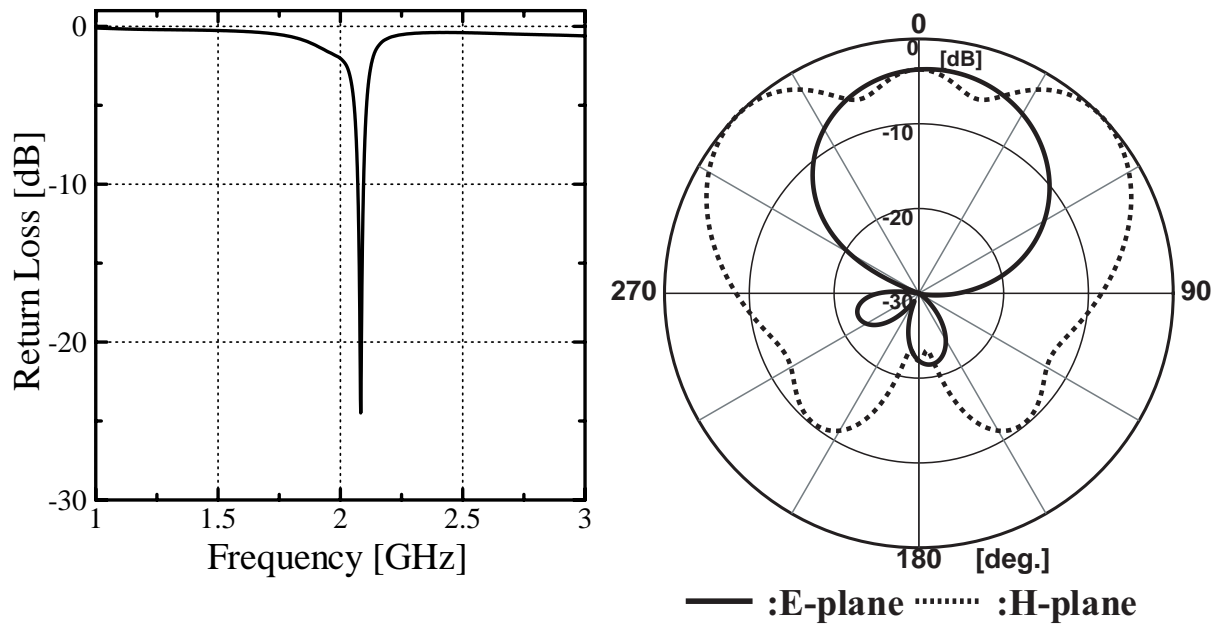


図 2.6 : 最も小さいアンテナ形状でのリターンロス特性と指向性

2.2 寄生素子付き箱型地板パッチアンテナ

FB比は地板の大きさに比例し，理論的には地板の大きさを無限大にすれば，FB比も無限大となる．しかし本論文の目的は高FB比かつ小型のアンテナを実現することであり，地板をできるだけ小さなものとしたい．文献 [5] の半波長ダイポールアンテナを用いた矩形反射板形状によるFB比の検討によれば，ある有限の幅をもつ反射板の高さを高くすると，FB比は最大値まで急激に増大し，その後ある一定値に収束することが明らかにされている（図 2.7 参照）．よって地板の形状をFB比が最大値となる付近で設計すれば，高FB比かつ小型のアンテナが達成できる．また同じく文献 [5] より地板を箱型地板とすることで，FB比が増大することがわかっている．なお文献 [6]，[7] では最大放射方向へのビーム幅の調整のため，地板端部を折り返したアンテナの検討がなされている．

以上を考慮しFB比を増大させるため，寄生素子付きパッチアンテナの地板端部を折り返し，寄生素子付き箱型地板パッチアンテナとして解析を行った．解析モデルを図 2.8 に示す．解析パラメータは放射器及び寄生素子から地板端部までの距離 D_x ， D_y ，折り返しの高さ H_x ， H_y である．ただし長辺方向の大きさをできるだけ小さくするため， D_x は4 mmと固定した．また解析するにあたって放射器及び寄生素子の大きさ，位置関係は前節で求めた最適値を用い，変化させていない．なお前節の寄生素子付きパッチアンテナの解析において，最大放射方向と 0° 方向の値（ L_f と定義する）の関係から L_f を -5 dB程度とすれば最大放射方向が ± 30 から 60° の範囲内にあることがわかり，指向性の形を推測しやすいため， L_f を検討した（図 2.9 参照）．

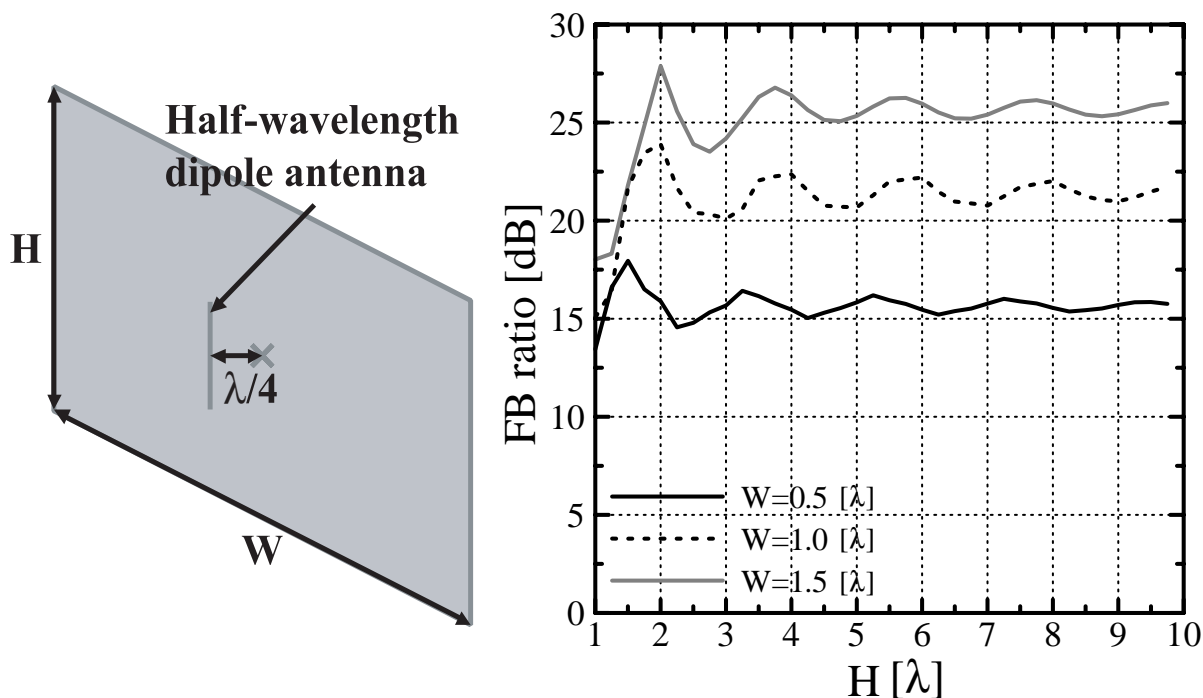


図 2.7：半波長ダイポールアンテナを用いた矩形反射板形状によるFB比

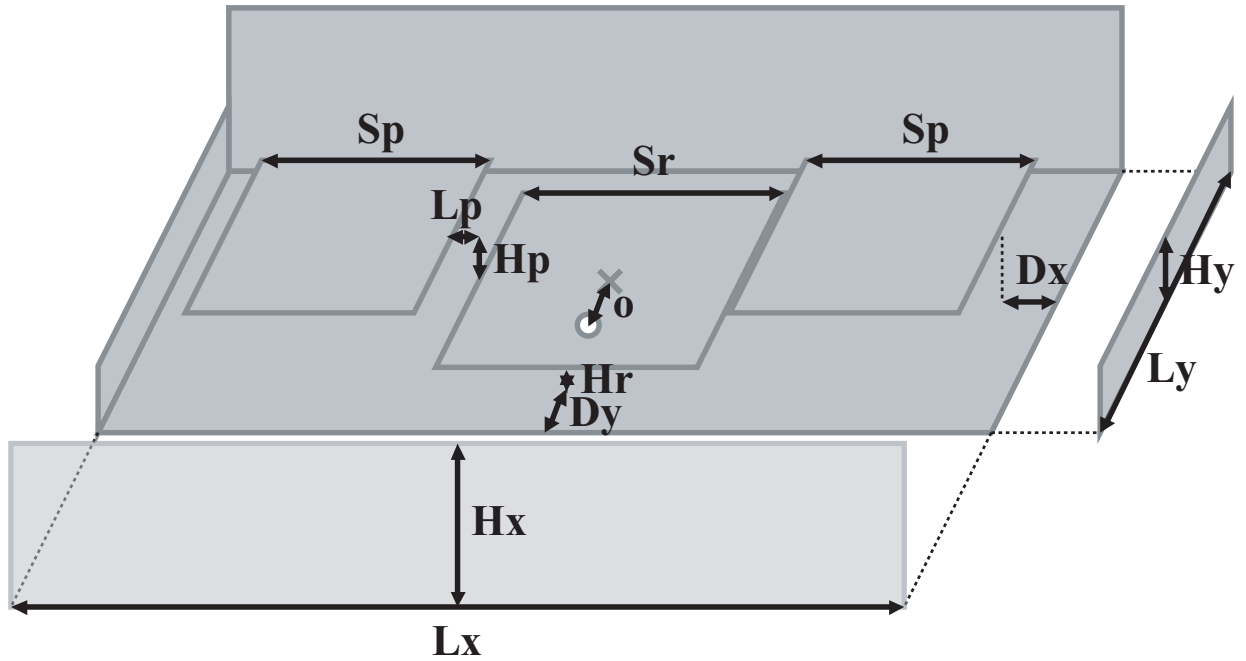


図 2.8 : 寄生素子付き箱型地板パッチアンテナ ($Sr=64$, $Hr=4$, $Sp=56$, $Hp=8$, $Lp=2$, $Dx=4$, $Lx=Sr+2(Lp+Sp+Dx)=188$, $Ly=Sr+2Dy=2Dy+64$, 単位 = [mm])

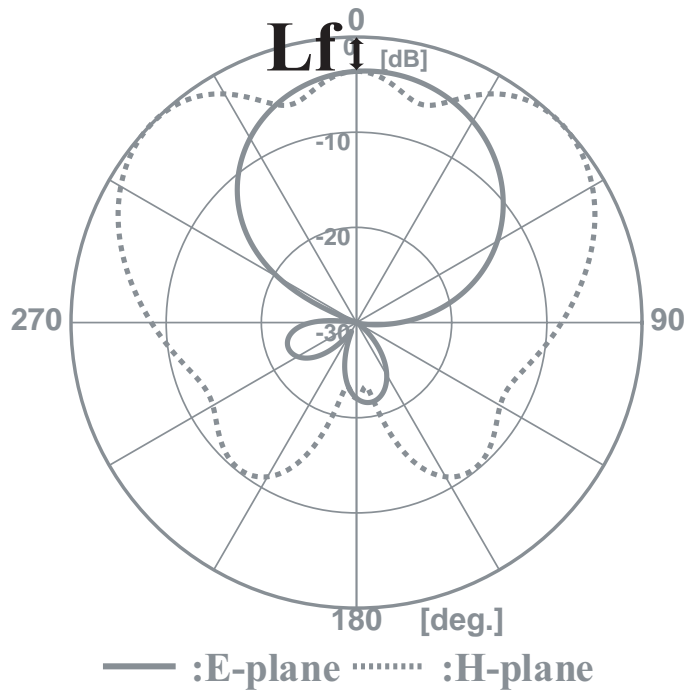


図 2.9 : L_f の定義

D_y , H_x , H_y を変化させたときの FB 比と L_f を図 2.10 から 2.12 に示す . その結果 , D_y , H_x , H_y に関して FB 比を最大にする最適値が存在することがわかり , D_y の変化が最も FB 比を大きく変化させることがわかる . また D_y , H_y を大きくすると L_f が大きくなり , 逆に H_x を大きくすると L_f が小さくなることがわかる .

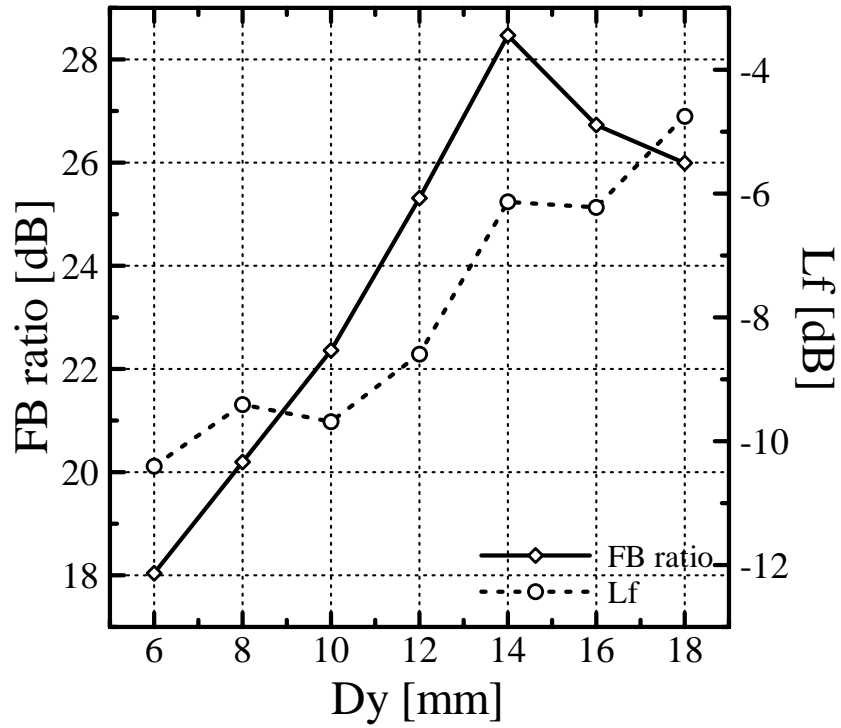


図 2.10 : Dy を変化させたときの FB 比と Lf ($H_x=26$ mm , $H_y=12$ mm)

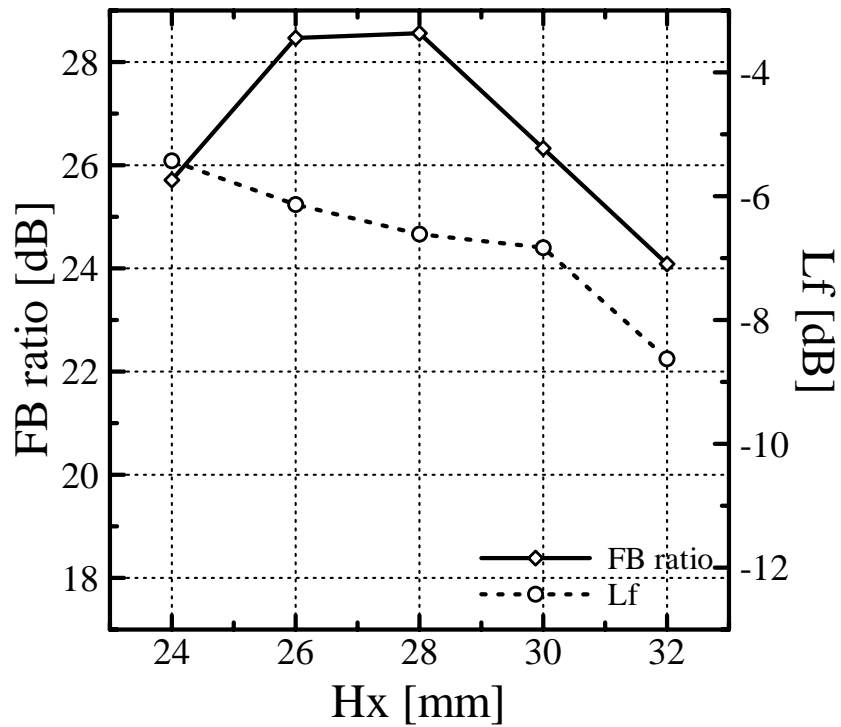


図 2.11 : H_x を変化させたときの FB 比と Lf ($D_y=14$ mm , $H_y=12$ mm)

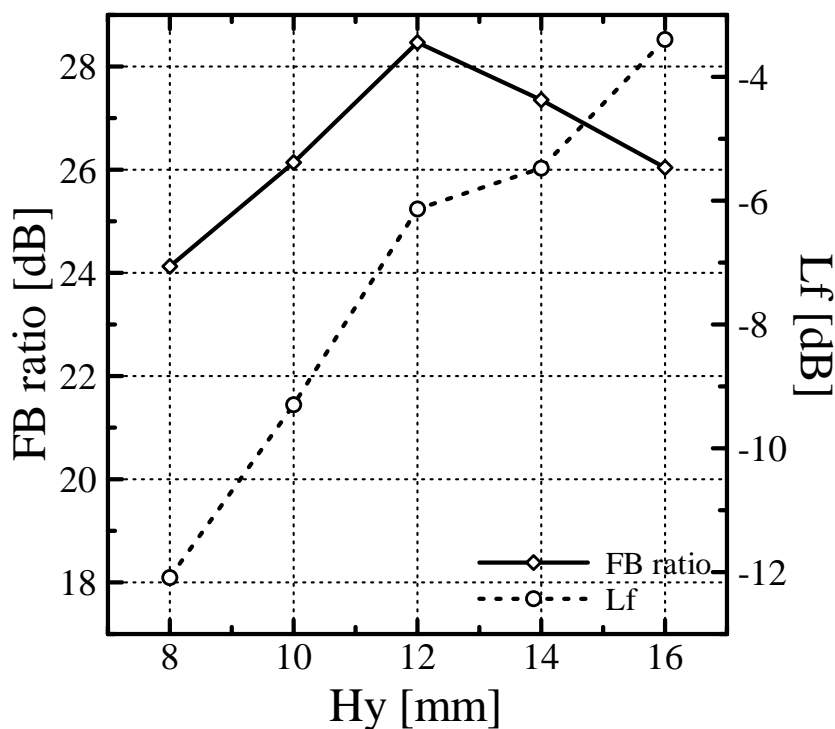


図 2.12 : H_y を変化させたときの FB 比と L_f ($D_y=14$ mm , $H_x=26$ mm)

以上の結果から最も小さいアンテナ地板形状 ($D_y=8$ mm , $H_x=16$ mm , $H_y=8$ mm , $\phi=10$ mm ($L_y=80$ mm)) を図 2.13 に , そのときのリターンロス特性と指向性を図 2.14 に示す . この形状の導出手順は , L_f が -5 dB 程度で 20 dB 以上の FB 比が得られたものの中から , 短辺方向 L_y (D_y によって決まる) が最も小さいものを選択し , その中から高さ H_x が最も小さいものを選択した . FB 比は 20.9 dB , 共振周波数は 2.049 GHz , -10 dB 帯域幅は 31 MHz で , 目標とした 20 dB 以上の FB 比を持つ蘭型指向性を得ることができた .

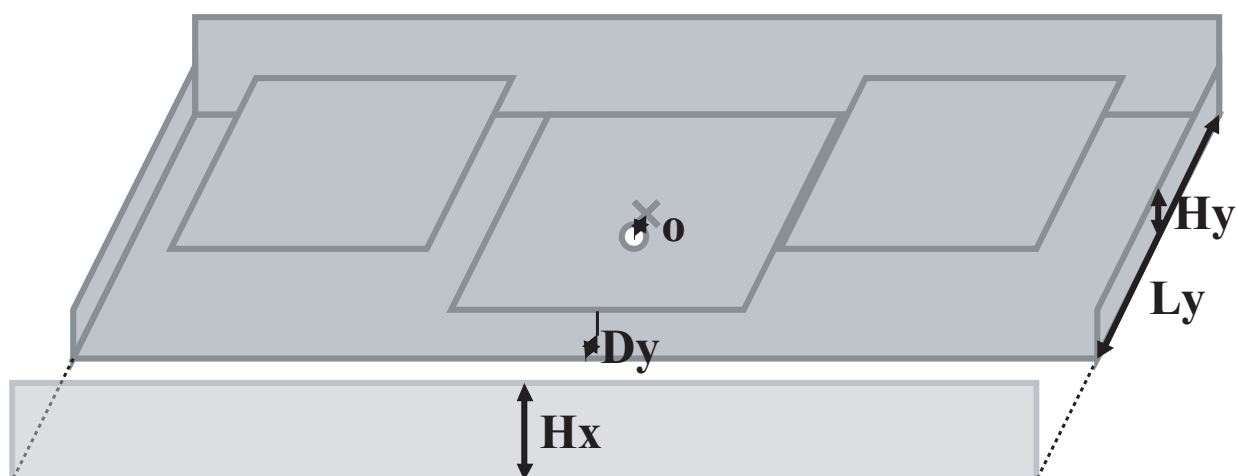


図 2.13 : 最も小さいアンテナ地板形状 ($D_y=8$, $H_x=16$, $H_y=8$, $\phi=10$, $L_y=80$, 単位 = [mm])

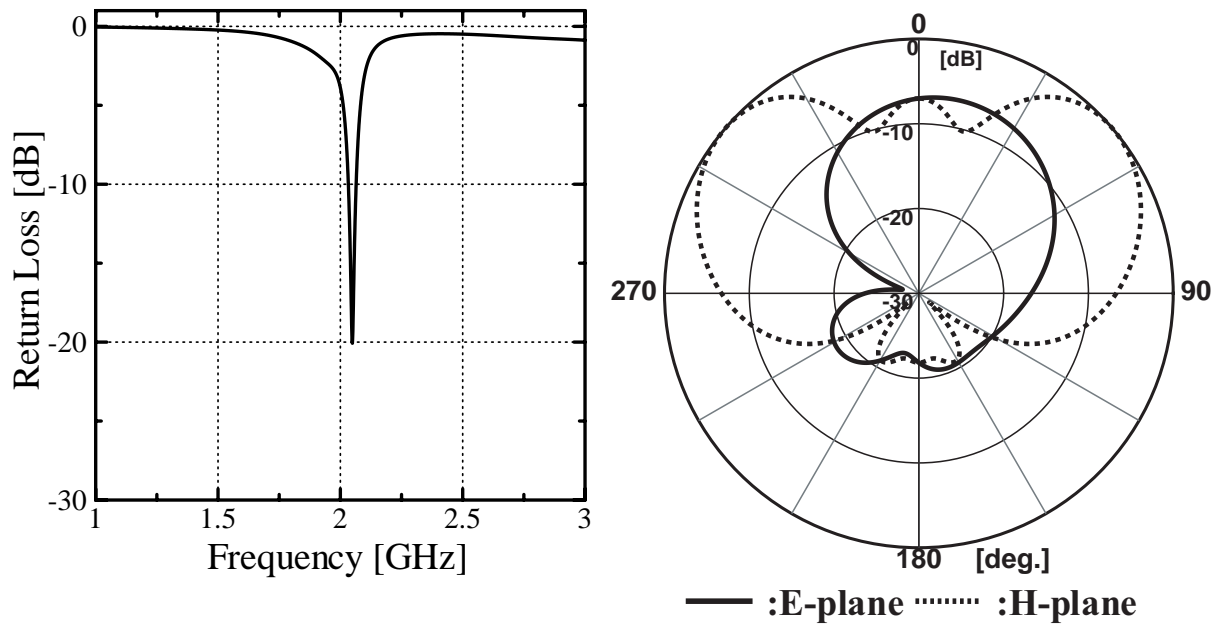


図 2.14 : 最も小さいアンテナ地板形状でのリターンロス特性と指向性

また解析結果を元にアンテナを製作し，測定を行った．製作したアンテナを図 2.15 に示す．測定，解析結果のリターンロス特性と H 面指向性の比較を図 2.16 に，それぞれの詳細な指向性を図 2.17 に示す．測定結果の FB 比は 19.4 dB，共振周波数は 2.050 GHz， -10 dB 帯域幅は 37.5 MHz で，解析結果と測定結果はほぼ一致した．

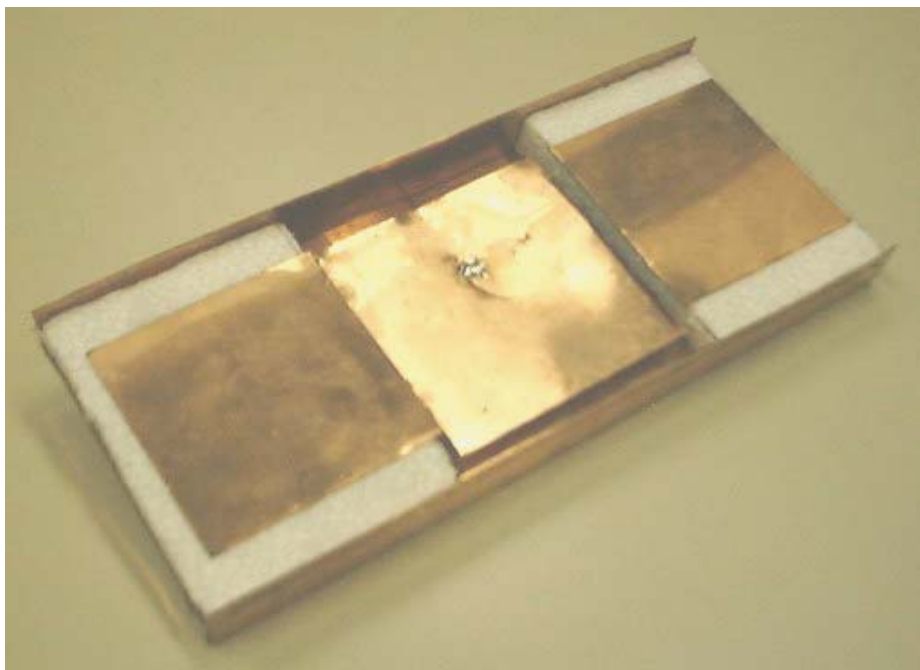


図 2.15 : 製作したアンテナ

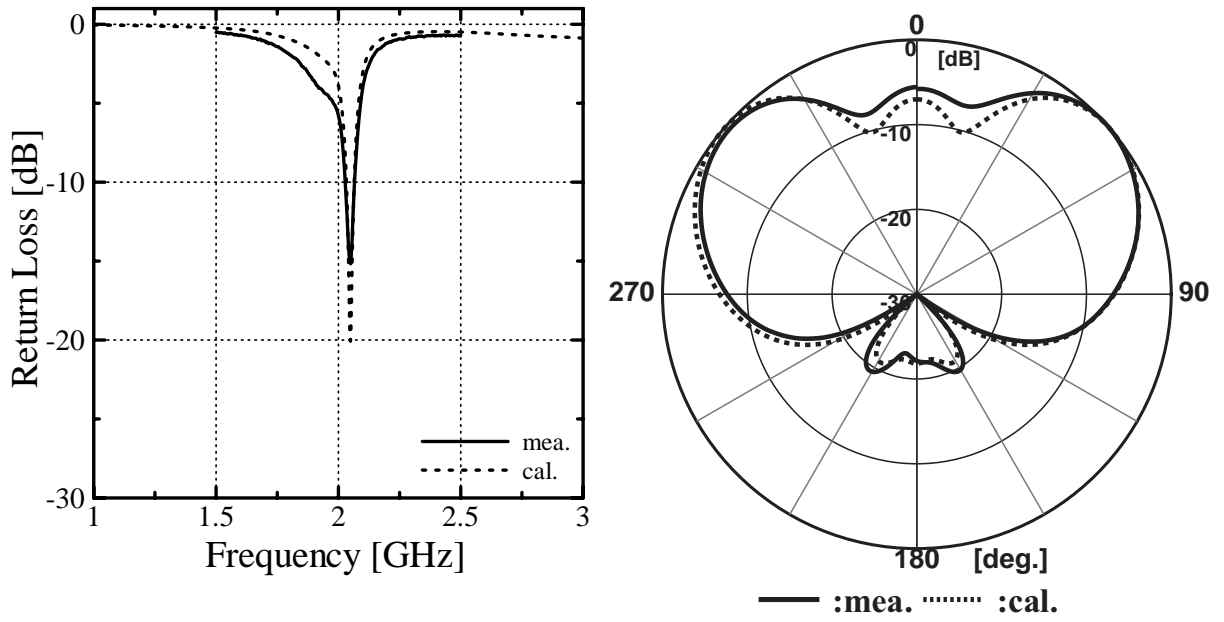


図 2.16 : 測定 , 解析結果のリターンロス特性と H 面指向性の比較

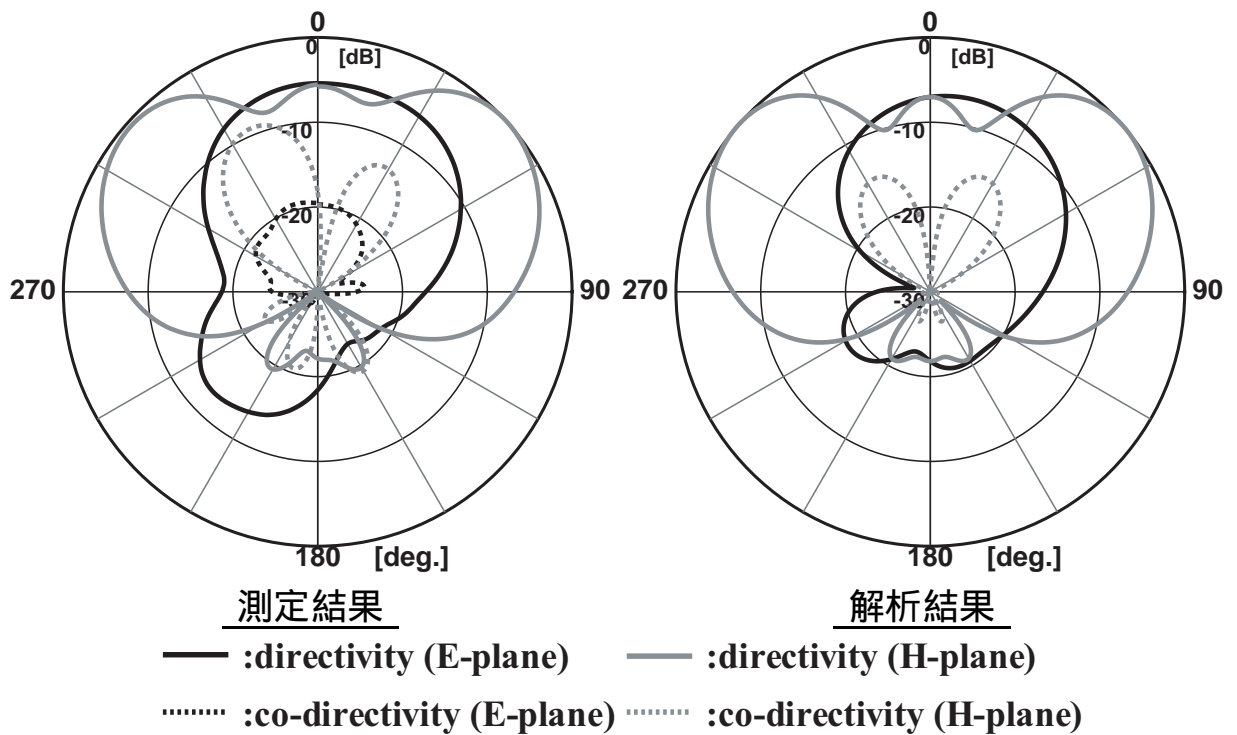


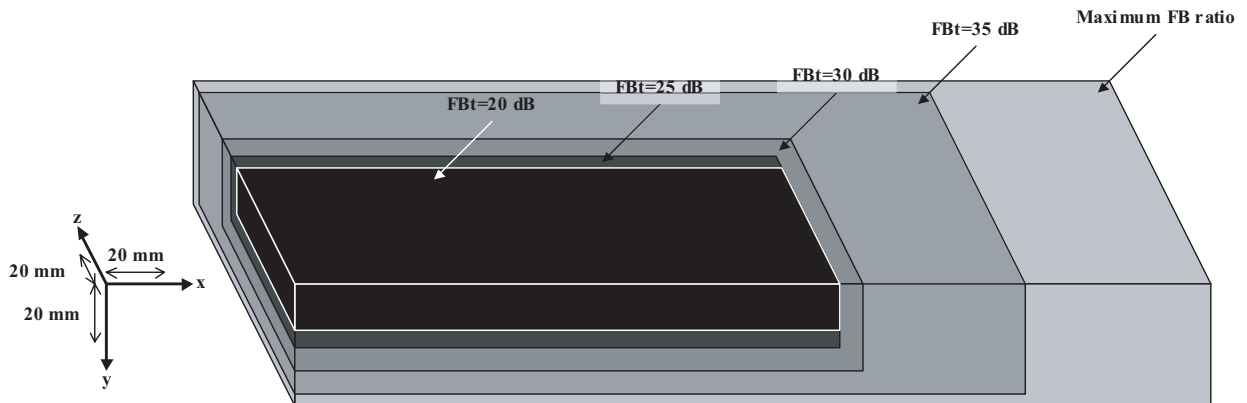
図 2.17 : 測定 , 解析結果の詳細な指向性

さらに目標FB比 (FBt と定義する) を 25, 30 dB と大きくしていったときの最も小さいアンテナ地板形状を求めるため, D_x, D_y, H_x, H_y をさらに大きく変化させて検討を行った. D_x, D_y, H_x, H_y を変化させたときのFB比とLfを図 2.18 から 2.21 に示す. その結果, 図 2.7 のように D_x, D_y, H_x, H_y を大きくするとFB比は最大値まで急激に増大し, その後ある一定値に収束することがわかる.

以上の結果からFBt (20, 25, 30 dB, 最大値) とそれを達成する最も小さいアンテナ地板形状を導出した. アンテナの大きさの比較を表 2.1 に, リターンロス特性とH面指向性の比較を図 2.22 に示す. これらの形状の導出手順は, Lf が -5 dB 程度でFBt 以上のFB比が得られたものの中から, 長辺方向 L_x (D_x によって決まる) が最も小さいものを選択し, その中から短辺方向 L_y (D_y によって決まる) が最も小さいもの, 最後に高さ H_x が最も小さいものを選択しており, それぞれのFBt を達成する繭型指向性を得ることができた. 表 2.1 より 35 dB 以上のFB比を得ようとすると極端にアンテナの大きさが大きくなることわかる. また図 2.22 から寄生素子付き箱型地板パッチアンテナで得られる最大FB比は 39.0 dB であることがわかる.

表 2.1 : FBt とそれを達成する最も小さいアンテナ地板形状の比較

FBt [dB]	D_x (L_x) [mm]	D_y (L_y) [mm]	H_x [mm]	H_y [mm]
20	4 (188)	8 (80)	16	8
25	4 (188)	12 (88)	22	12
30	8 (196)	18 (100)	30	16
35	36 (252)	34 (132)	38	20
Maximum	68 (316)	38 (140)	42	18



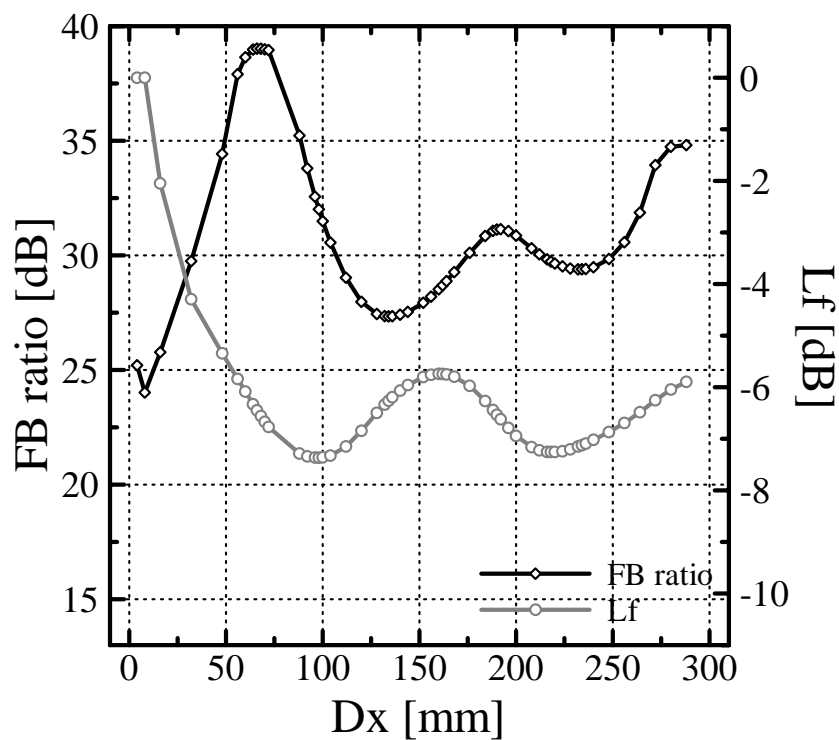


図 2.18 : D_x を変化させたときの FB 比と L_f ($D_y=38$ mm , $H_x=42$ mm , $H_y=18$ mm)

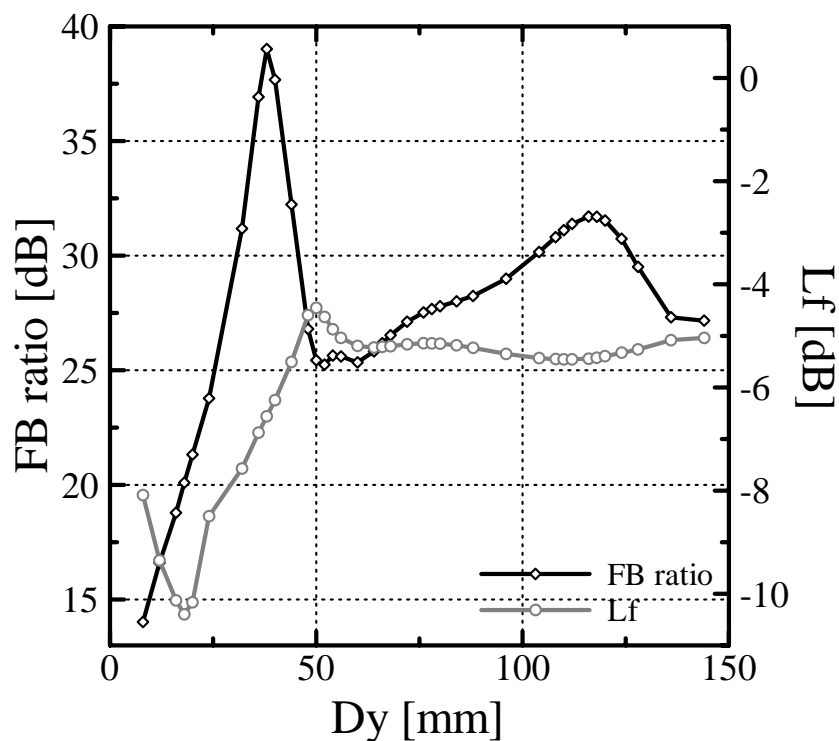


図 2.19 : D_y を変化させたときの FB 比と L_f ($D_x=68$ mm , $H_x=42$ mm , $H_y=18$ mm)

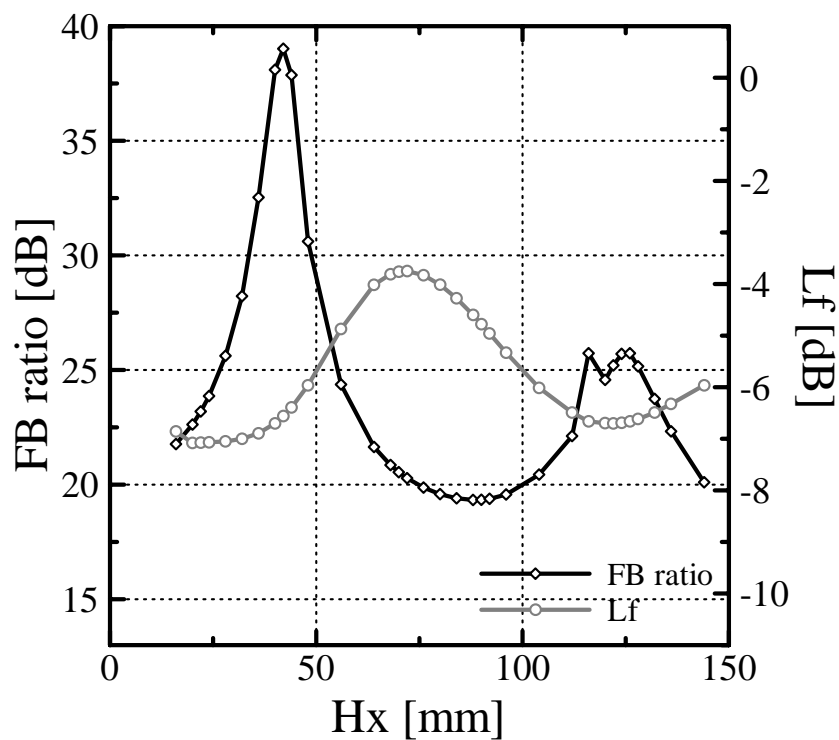


図 2.20 : H_x を変化させたときの FB 比と L_f ($D_x=68$ mm , $D_y=38$ mm , $H_y=18$ mm)

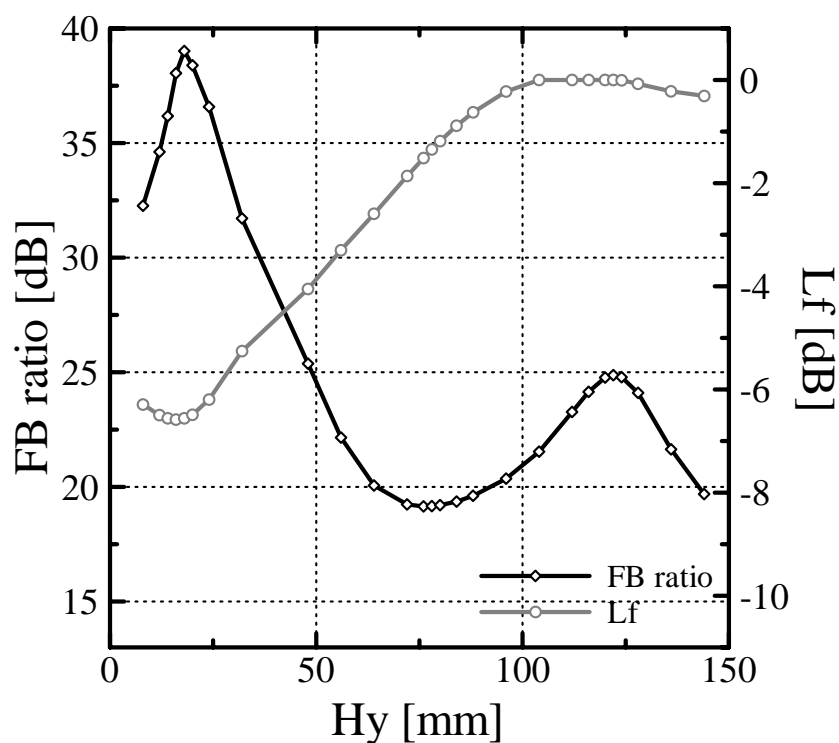
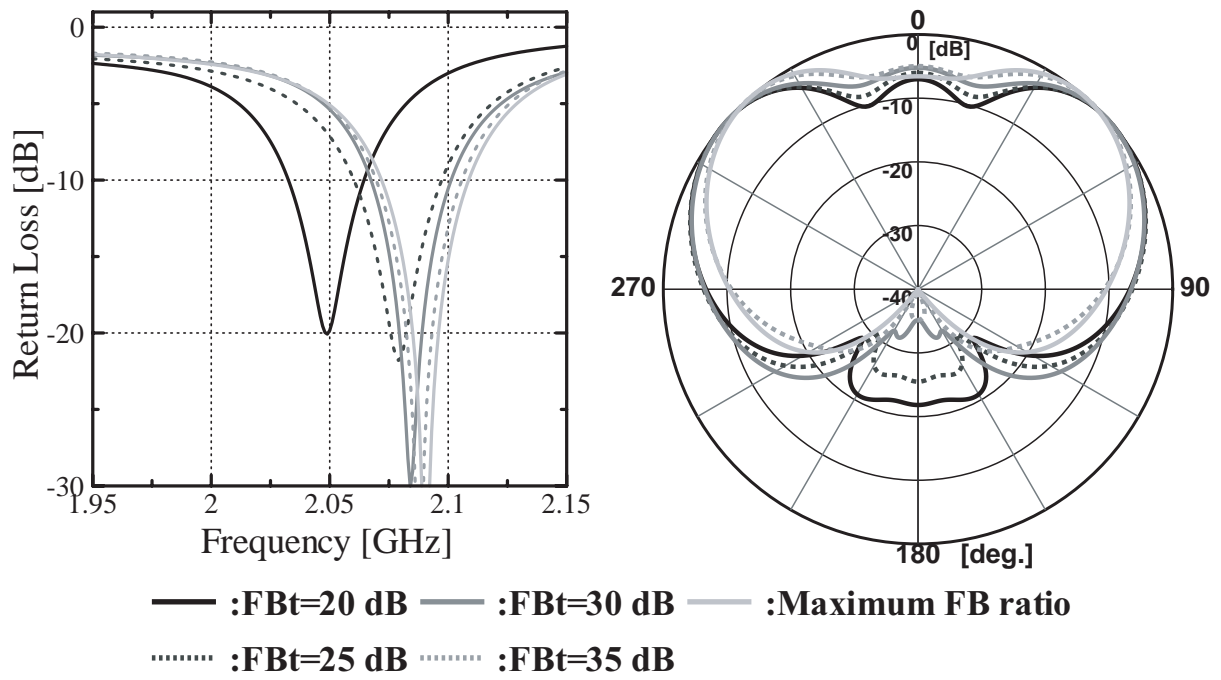


図 2.21 : H_y を変化させたときの FB 比と L_f ($D_x=68$ mm , $D_y=38$ mm , $H_x=42$ mm)



FBt [dB]	Center freq. [GHz]	Bandwidth [MHz]	FB ratio [dB]
20	2.049	31	20.9
25	2.079	36	25.5
30	2.084	33	31.8
35	2.088	35	35.2
Maximum	2.090	36	39.0

図 2.22 : FBt とそれを達成する最も小さいアンテナ地板形状でのリターンロス特性と H 面指向性の比較

2.3 寄生素子付き二重箱型地板パッチアンテナ

箱型地板を二重箱型地板とすることでFB比が増大することが知られている [5], [10]. そこで寄生素子付き箱型地板パッチアンテナの地板形状を二重箱型地板として解析を行った.

まず寄生素子付き二重箱型地板パッチアンテナの解析を行う前に, 内側の箱型地板形状の検討を行う. 解析モデルは前節と同様, 図 2.8 である. ただしアンテナの大きさをできるだけ小さくするため, 放射器及び寄生素子から地板端部までの距離 D_x, D_y をともに 4 mm と固定し ($L_x=188$ mm, $L_y=72$ mm), 折り返しの高さ H_x, H_y を解析パラメータとして解析を行った. また解析するにあたって放射器及び寄生素子の大きさ, 位置関係は寄生素子付きパッチアンテナの解析で求めた最適値を用い, 変化させていない.

解析の結果, $H_x=22$ mm, $H_y=14$ mm, $\phi=12$ mm のとき, 最大FB比を持つ蘭型指向性を得ることができた. そのときのリターンロス特性と指向性を図 2.23 に示す. FB比は 16.5 dB, 共振周波数は 1.996 GHz, -10 dB 帯域幅は 32 MHz である. 以上の結果から寄生素子付き二重箱型地板パッチアンテナの内側の箱型地板形状として, $D_x, D_y=4$ mm, $H_x=22$ mm, $H_y=14$ mm を用いることとする.

つぎに寄生素子付き二重箱型地板パッチアンテナの解析モデルを図 2.24 に示す. 図 2.24 に示す Model-A は, 同一地板上に折り返しを二重に設けており, Model-B は寄生素子付き箱型地板パッチアンテナを別の箱型地板で覆った形状となっている. 解析パラメータは Model-A, Model-B とともに外側の折り返しの高さ H_x', H_y' である. ただしアンテナの大きさをできるだけ小さくするため, 内側から外側の折り返しまでの距離 D_x', D_y' をともに 4 mm と固定した ($L_x'=196$ mm, $L_y'=80$ mm).

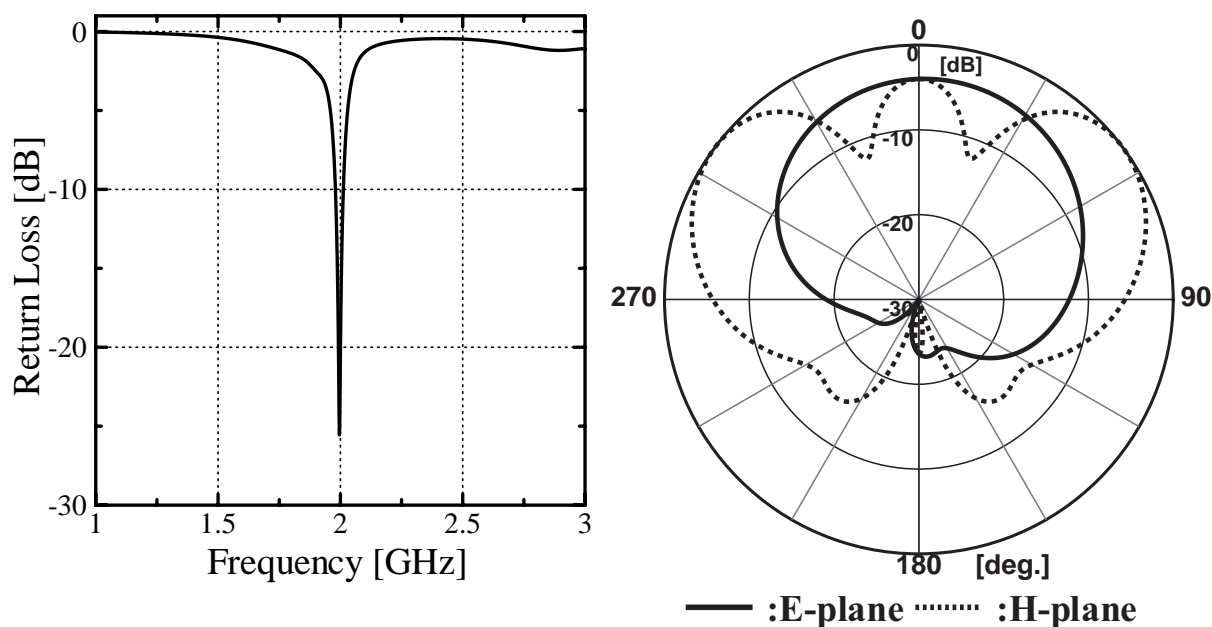


図 2.23 : $D_x, D_y=4$ mm, $H_x=22$ mm, $H_y=14$ mm ($L_x=188$ mm, $L_y=72$ mm) でのリターンロス特性と指向性

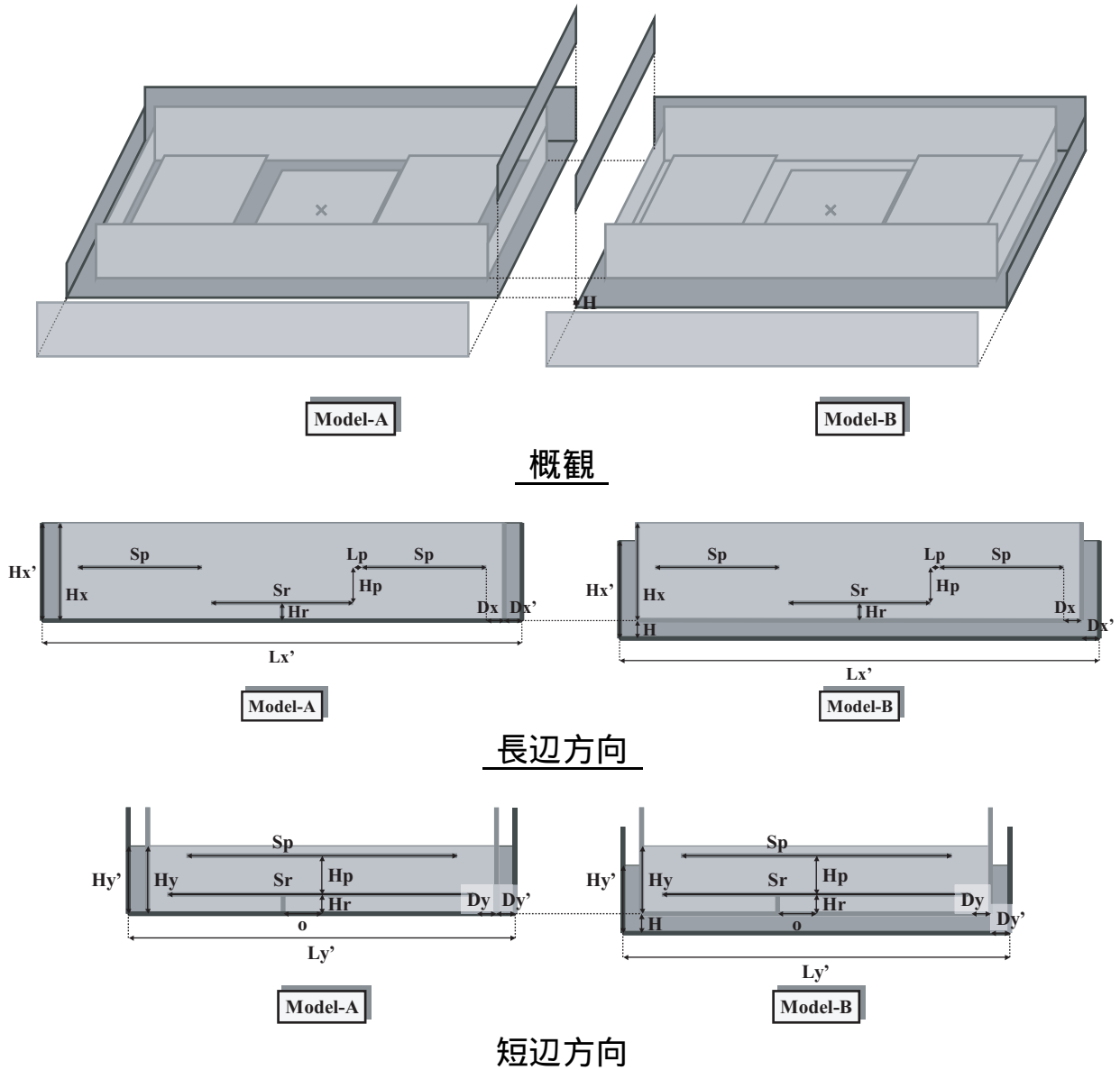


図 2.24 : 寄生素子付き二重箱型地板パッチアンテナ ($Sr=64$, $Hr=4$, $Sp=56$, $Hp=8$, $Lp=2$, $Dx=4$, $Dy=4$, $Hx=22$, $Hy=14$, $Dx'=4$, $Dy'=4$, $Lx'=196$, $Ly'=80$, 単位 = [mm])

Model-A に関して Hx' , Hy' を変化させたときの FB 比を図 2.25, Lf を図 2.26, また Model-B に関して Hx' , Hy' を変化させたときの FB 比を図 2.27, Lf を図 2.28 に示す. なお Model-B に関しては, 内側の地板の高さを基準とするため $Hx'-4$ mm, $Hy'-4$ mm の値をプロットしている. その結果, 寄生素子付き箱型地板パッチアンテナと同様に Hx' , Hy' に関して FB 比を最大, Lf を最小にする最適値が存在することがわかる. また Model-A よりも Model-B のほうが FB 比を増大させることがわかる. また図 2.25 から Hy' が 0 mm のとき最大 FB 比が得られるので, Model-A では短辺側の外側の折り返しを必要としないことがわかる.

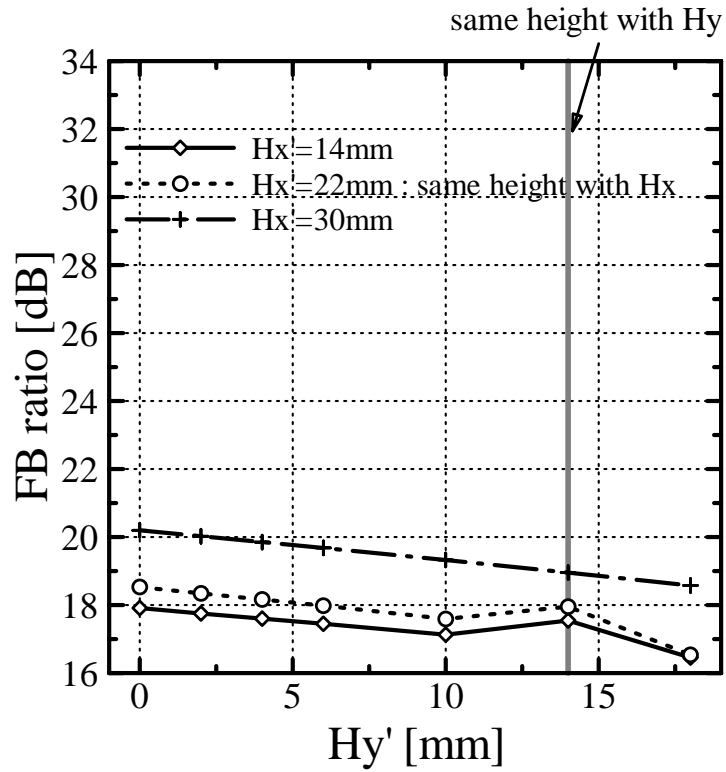


図 2.25 : $H_{x'}$, $H_{y'}$ を変化させたときの FB 比 (Model-A)

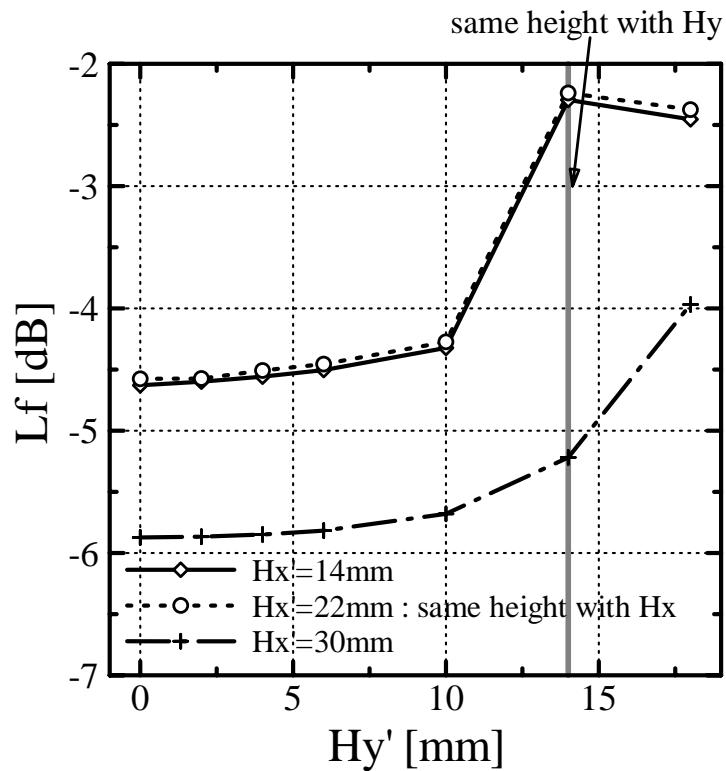


図 2.26 : $H_{x'}$, $H_{y'}$ を変化させたときの L_f (Model-A)

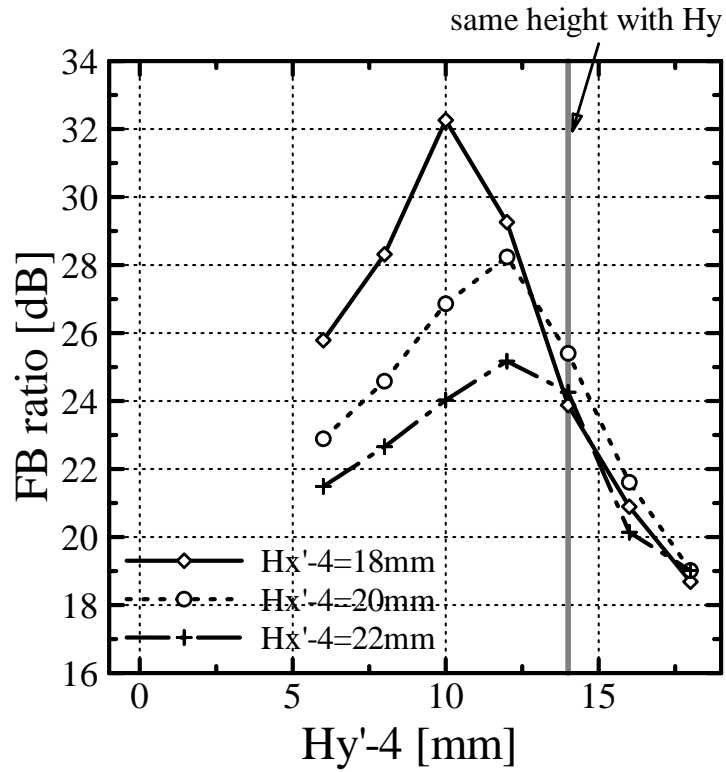


図 2.27 : $H_{x'}$, $H_{y'}$ を変化させたときの FB 比 (Model-B)

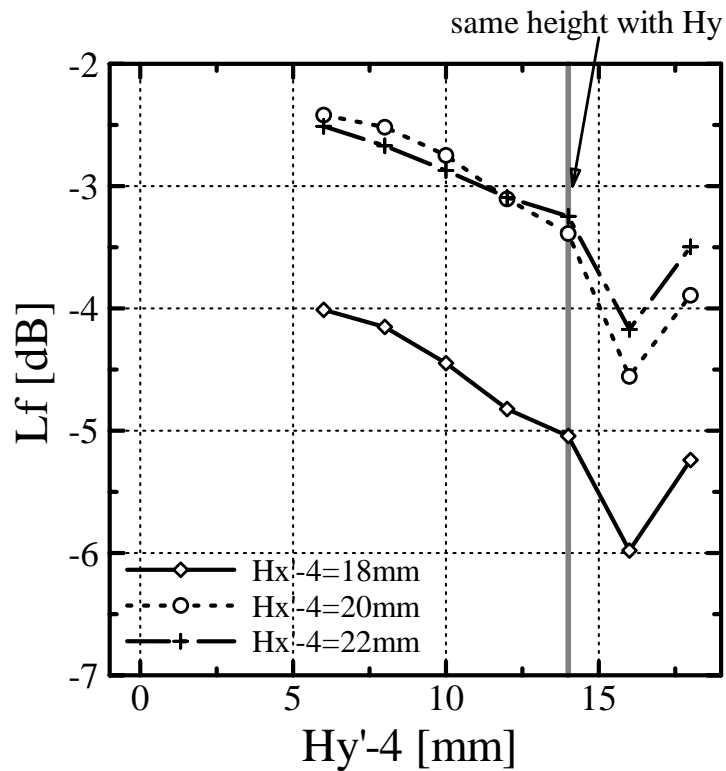


図 2.28 : $H_{x'}$, $H_{y'}$ を変化させたときの Lf (Model-B)

以上の結果から最も低いアンテナ地板形状(Model-A : $H_x'=28$ mm , $H_y'=0$ mm , $\phi=12$ mm , Model-B : $H_x'=22$ mm , $H_y'=18$ mm , $\phi=14$ mm)を Model-A に関しては図 2.29 に , Model-B に関しては図 2.31 に示す . またそのときのリターンロス特性と指向性を Model-A に関しては図 2.30 に , Model-B に関しては図 2.32 に示す . これらの形状の導出手順は , L_f が -5 dB 程度で 20 dB 以上の FB 比が得られたものの中から , 高さ H_x' が最も小さいものを選択した . Model-A の FB 比は 20.3 dB , 共振周波数は 1.999 GHz , -10 dB 帯域幅は 37 MHz であり , Model-B の FB 比は 24.0 dB , 共振周波数は 2.002 GHz , -10 dB 帯域幅は 31 MHz で , それぞれ目標とした 20 dB 以上の FB 比を持つ繭型指向性を得ることができた . しかし導出したこれらの寄生素子付き二重箱型地板パッチアンテナは , 寄生素子付き箱型地板パッチアンテナの大きさと比較すると , 長辺方向 , 高さともにより大きく , より複雑な形状となっているので , 寄生素子付き箱型地板パッチアンテナのほうが優れているといえる .

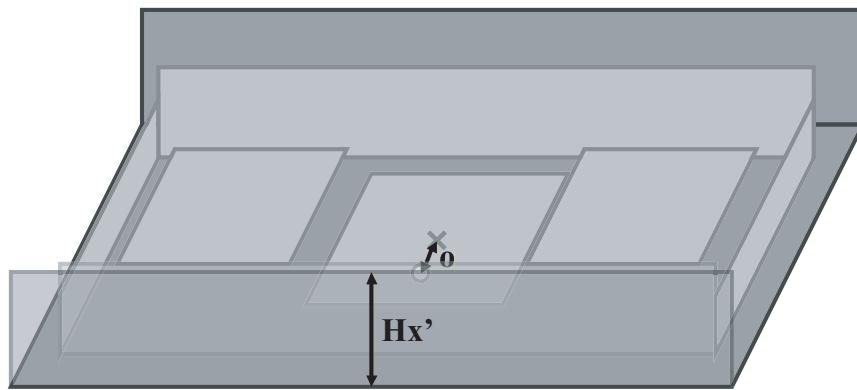


図 2.29 : Model-A の最も低いアンテナ地板形状 ($H_x'=28$, $H_y'=0$, $\phi=12$, 単位 = [mm])

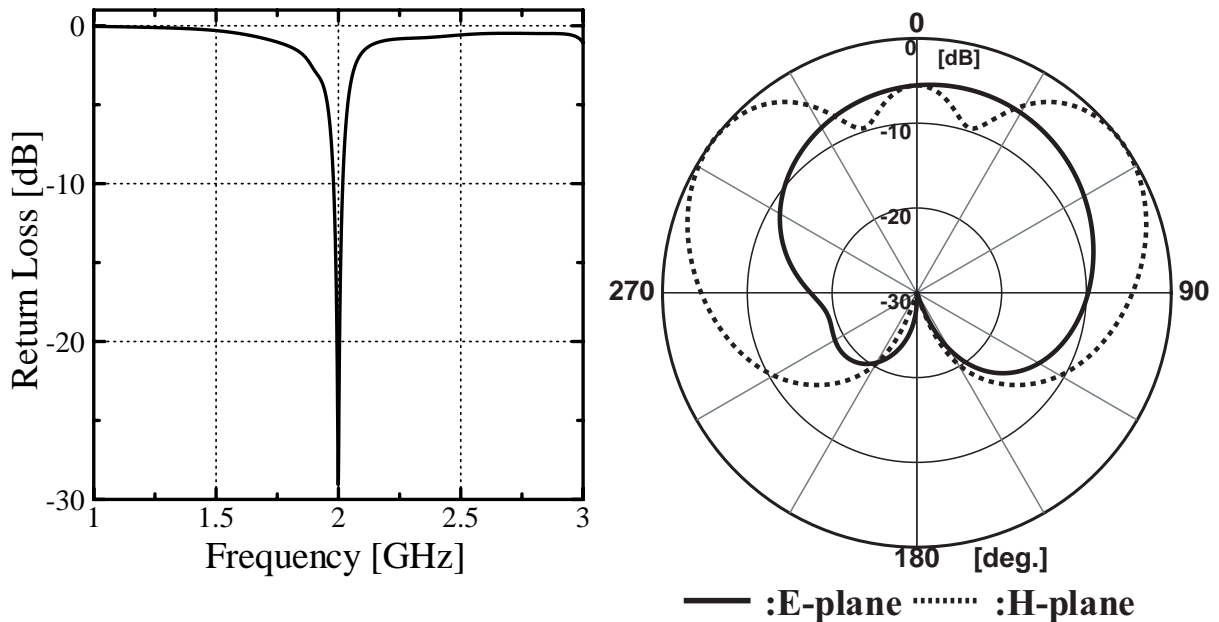


図 2.30 : Model-A の最も低いアンテナ地板形状でのリターンロス特性と指向性

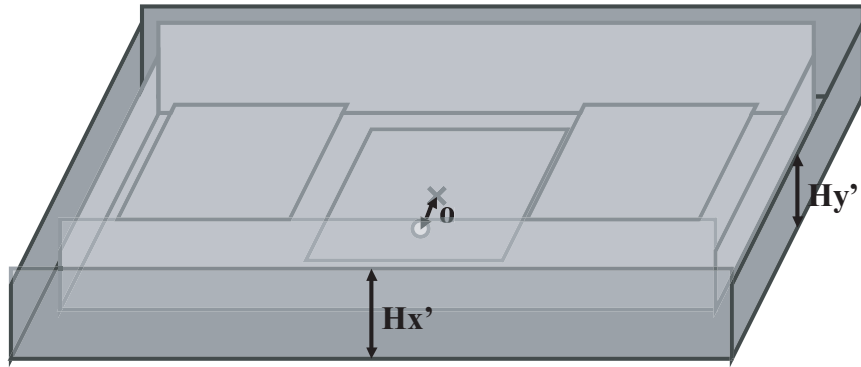


図 2.31 : Model-B の最も低いアンテナ地板形状 ($H_x'=22$, $H_y'=18$, $o=14$, 単位 = [mm])

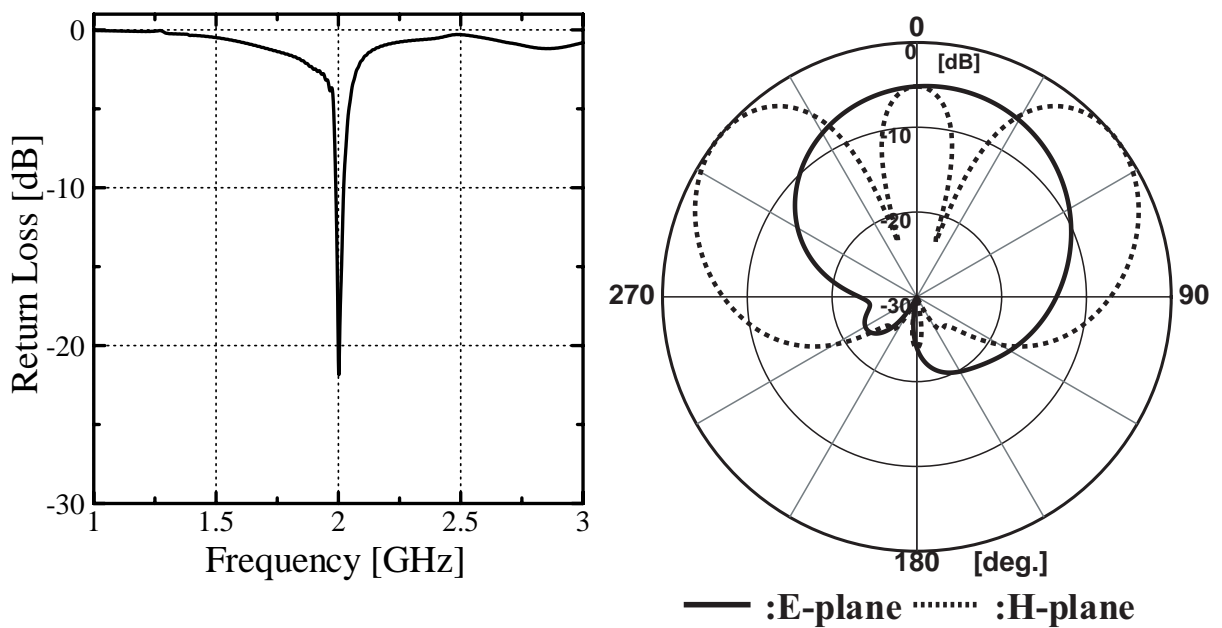


図 2.32 : Model-B の最も低いアンテナ地板形状でのリターンロス特性と指向性

また Model-A に関して解析結果を元にアンテナを製作し，測定を行った．製作したアンテナを図 2.33 に示す．測定，解析結果のリターンロス特性と H 面指向性の比較を図 2.34 に，それぞれの詳細な指向性を図 2.35 に示す．測定結果の FB 比は 20.3 dB，共振周波数は 2.009 GHz，-10 dB 帯域幅は 34 MHz で，解析結果と測定結果はほぼ一致した．



図 2.33 : 製作したアンテナ

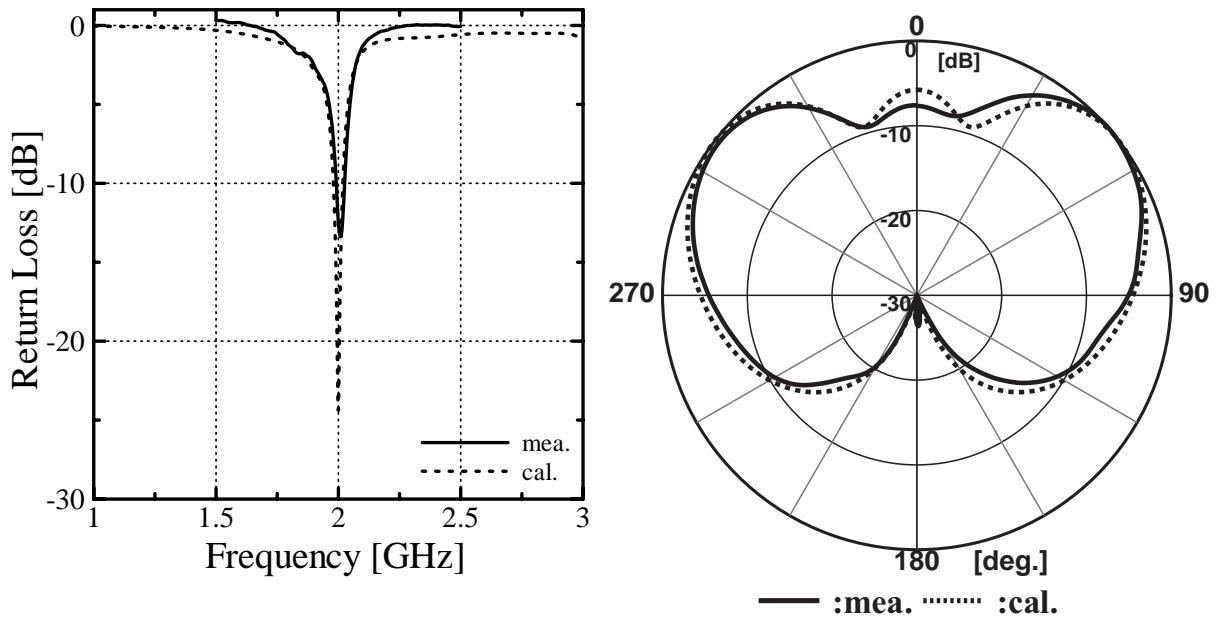
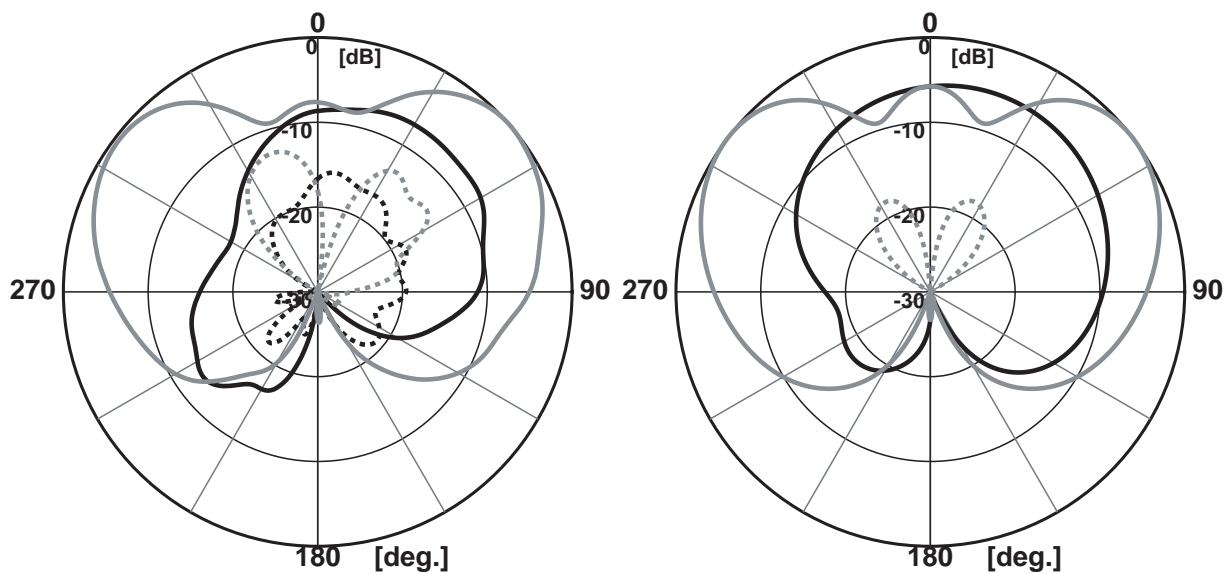


図 2.34 : 測定 , 解析結果のリターンロス特性と H 面指向性の比較



測定結果

解析結果

—— :directivity (E-plane)

—— :directivity (H-plane)

······ :co-directivity (E-plane)

······ :co-directivity (H-plane)

図 2.35 : 測定 , 解析結果の詳細な指向性

第 3 章

$\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナ

本章では前章まで検討を行ってきた寄生素子付き箱型地板パッチアンテナの更なる小型化のため、 $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナを素子アンテナとしたアンテナについて取り上げる。はじめに繭型の H 面指向性を持つ寄生素子付き $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナを報告し、つぎに高 FB 比かつ繭型の H 面指向性を持つ寄生素子付き箱型地板 $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナを報告する。最後に寄生素子付き箱型地板 $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナを停姿勢化した二重、複数返し付き $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナを報告する。

3.1 寄生素子付き $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナ

はじめに H 面指向性を繭型にするために、パッチアンテナを用いた場合と同様に寄生素子付き $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナの解析を行った。解析モデルを図 3.1 に示す。解析パラメータは寄生素子の大きさ S_p 、放射器からの高さ H_p 、距離 L_p であり、放射器と同様に寄生素子も短絡されている。

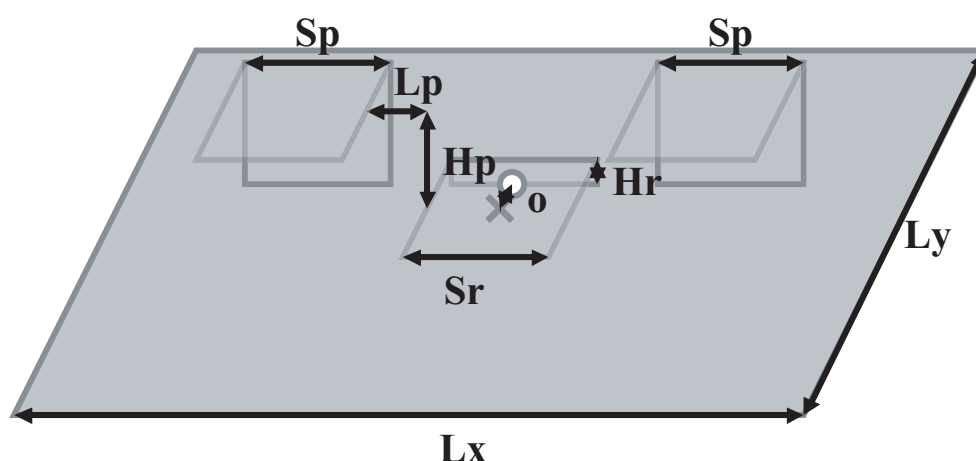


図 3.1: 寄生素子付き $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナ ($S_r=32$, $H_r=4$, $L_x=160$, $L_y=120$, 単位 = [mm])

S_p , H_p , L_p を変化させたときの H 面指向性を図 3.2 から 3.4 に示す。その結果, S_p , H_p , L_p に関して \pm 約 45° 方向に強く電波を放射させ, L_f を最小にする最適値が存在することがわかる。しかしこの三つのパラメータの変化によってリターンロスの値が劣化し, 入力インピーダンスの整合が取れなくなるので, 給電オフセットの調整を行わなければならない。

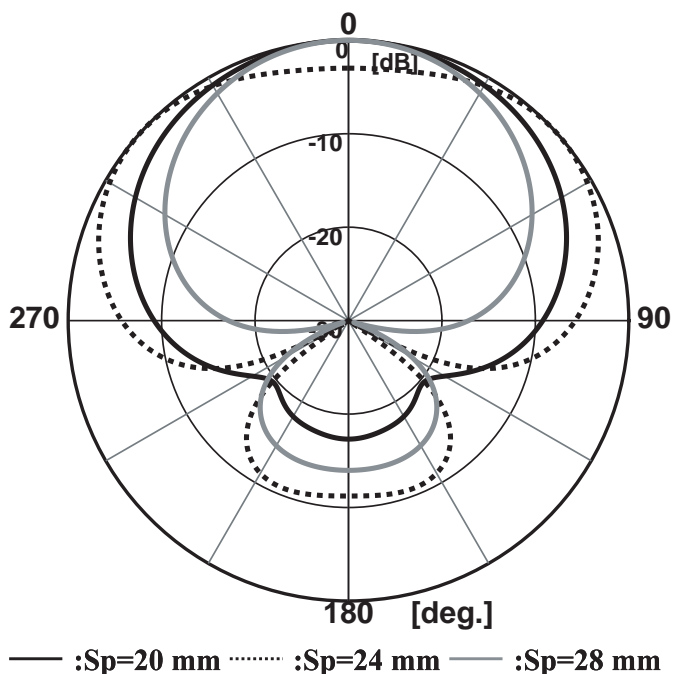


図 3.2 : S_p を変化させたときの H 面指向性 ($H_p=8$ mm, $L_p=12$ mm)

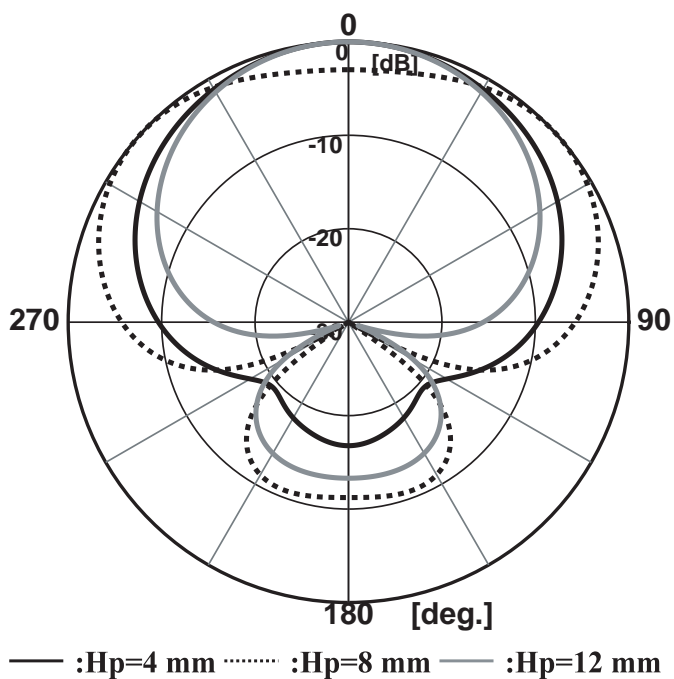


図 3.3 : H_p を変化させたときの H 面指向性 ($S_p=24$ mm, $L_p=12$ mm)

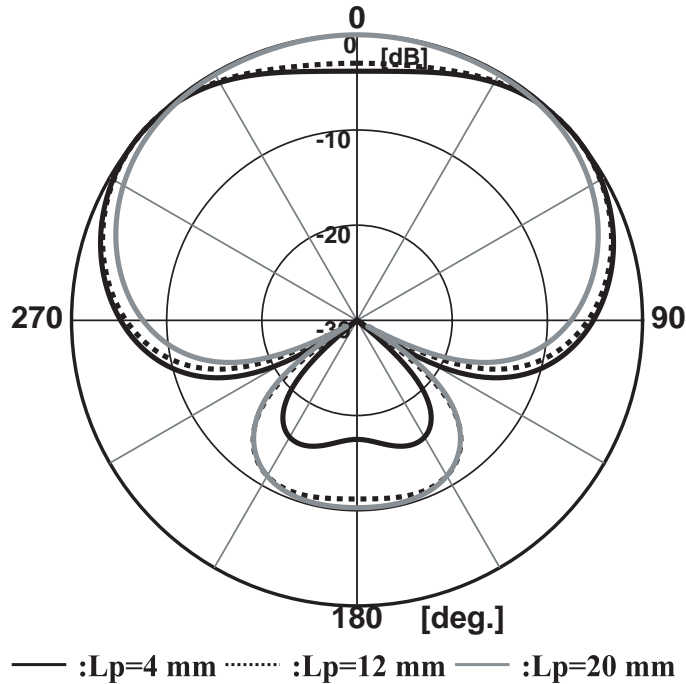


図 3.4 : L_p を変化させたときの H 面指向性 ($S_p=24$ mm , $H_p=8$ mm)

以上の結果から繭型指向性が得られた最も小さいアンテナ形状 ($S_p=24$ mm , $H_p=8$ mm , $L_p=14$ mm , $o=12$ mm) を図 3.5 に , そのときのリターンロス特性と指向性を図 3.6 に示す . この形状の導出手順は , L_f が -5 dB 程度と繭型指向性が得られたものの中から , 入力インピーダンスの整合が取れ , かつ長辺方向の長さを決める $S_r+2(L_p+S_p)$, つまり L_p+S_p の値が最も小さいものを選択した . 最大放射方向は $\pm 52^\circ$, FB 比は 12.8 dB , 共振周波数は 1.973 GHz , -10 dB 帯域幅は 19 MHz である . パッチアンテナを用いた場合と同様に繭型指向性を得ることができたが , 低 FB 比のアンテナとなっている . なお $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナを用いているため , H 面指向性の交差偏波が大きく , -10 dB 帯域幅の小さいものとなっている (寄生素子付きパッチアンテナでの -10 dB 帯域幅は 23 MHz) . しかし長辺方向の長さを決める $S_r+2(L_p+S_p)$ は寄生素子付きパッチアンテナでは 180 mm であったのに対し 108 mm , 短辺方向の長さを決める S_r は 64 mm であったのに対し 32 mm と大きく小型化されている .

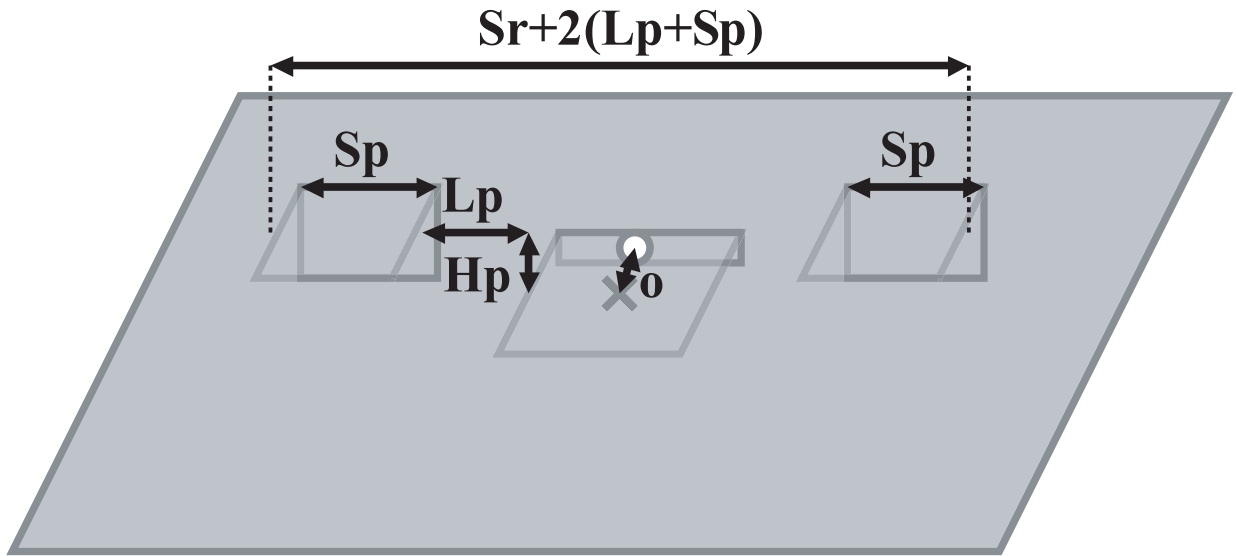


図 3.5 : 最も小さいアンテナ形状 ($S_p=24$, $H_p=8$, $L_p=14$, $o=12$, 単位 = [mm])

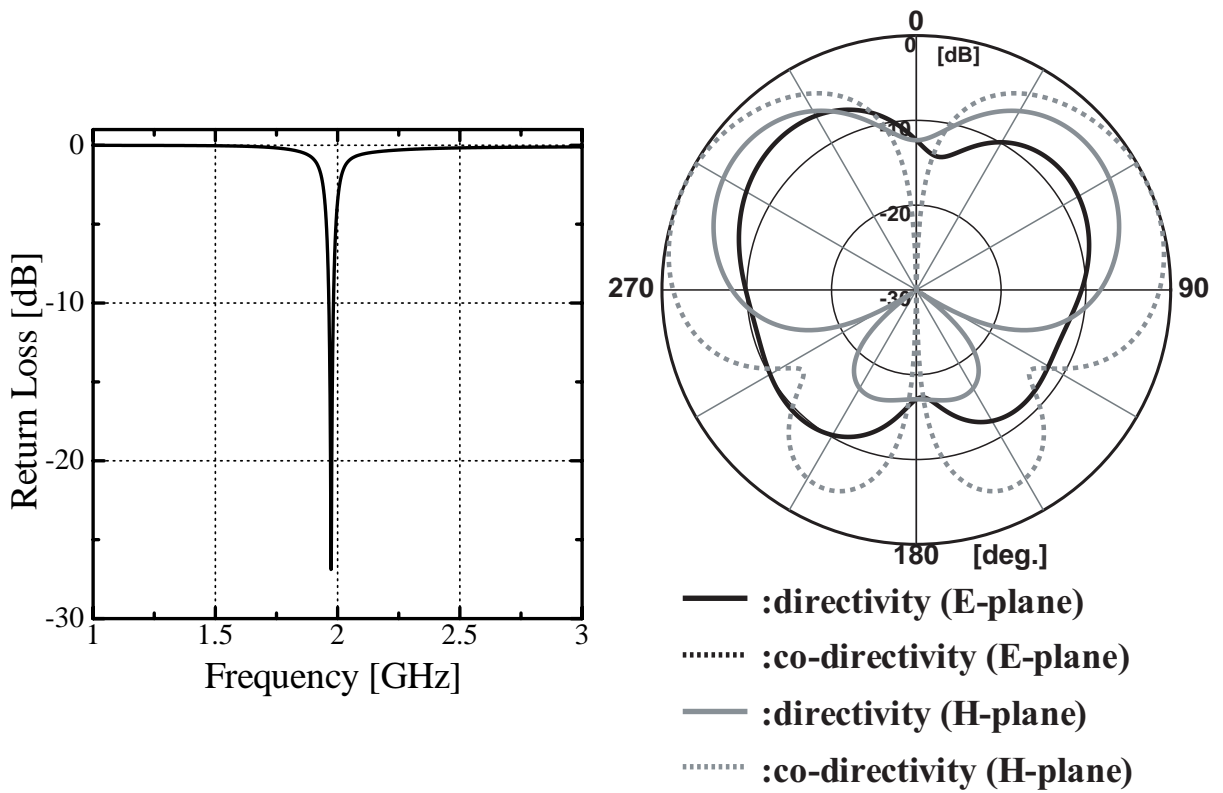


図 3.6 : 最も小さいアンテナ形状でのリターンロス特性と指向性

3.2 寄生素子付き箱型地板

$\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナ

つぎにFB比を増大させるために、パッチアンテナを用いた場合と同様に寄生素子付き箱型地板 $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナの解析を行った。解析モデルを図 3.7 に示す。解析パラメータは放射器及び寄生素子から地板端部までの距離 D_x , D_y , 折り返しの高さ H_x , H_y である。また解析するにあたって放射器及び寄生素子の大きさ、位置関係は前節で求めた最適値を用い、変化させていない。

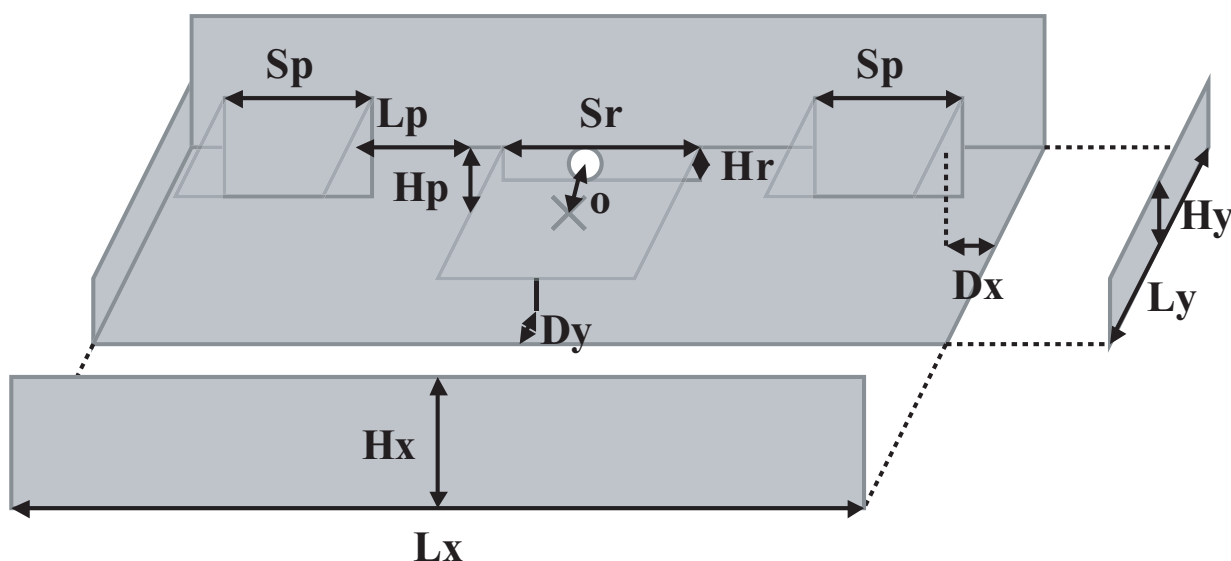


図 3.7 : 寄生素子付き箱型地板 $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナ ($S_r=32$, $H_r=4$, $S_p=24$, $H_p=8$, $L_p=14$, $L_x=S_r+2(L_p+S_p+D_x)=2D_x+108$, $L_y=S_r+2D_y=2D_y+32$, 単位 = [mm])

まず長辺方向の大きさをできるだけ小さくするため、 D_x を 4 mm と固定し、 D_y , H_x , H_y を変化させて解析を行った。その結果、寄生素子付き箱型地板パッチアンテナでは D_x を 4 mm と固定して解析を行い、20 dB 以上の FB 比を得ることができたが、このアンテナでは D_y を 8, 16, 24 mm, H_x を 12~120 mm, H_y を 8~24 mm と大きく変化させて解析を行ったにもかかわらず、20 dB 以上の FB 比を得ることができなかった。結局長辺方向の大きさは大きくなってしまいが、 D_x を変化させて解析を行わなければならない。

D_x , D_y , H_x , H_y を変化させたときの FB 比と L_f を図 3.8 から 3.11 に示す。その結果、 D_x , D_y , H_x , H_y に関して FB 比を最大にする最適値が存在することがわかり、 D_x , D_y , H_x の変化が FB 比を大きく変化させ、 H_y を変化させてもあまり FB 比には影響しないことがわかる。また前面への放射については D_x を大きくすると弱くなり、 D_y の影響が大きく、 H_x , H_y の影響が小さいことがわかる。

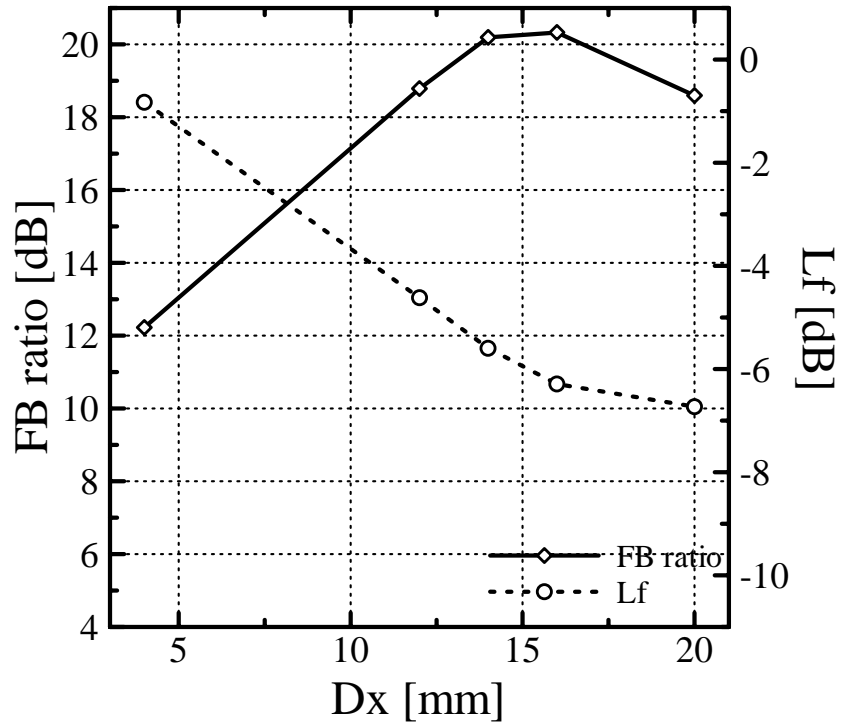


図 3.8 : Dx を変化させたときの FB 比と Lf (Dy=24 mm , Hx=32 mm , Hy=0 mm)

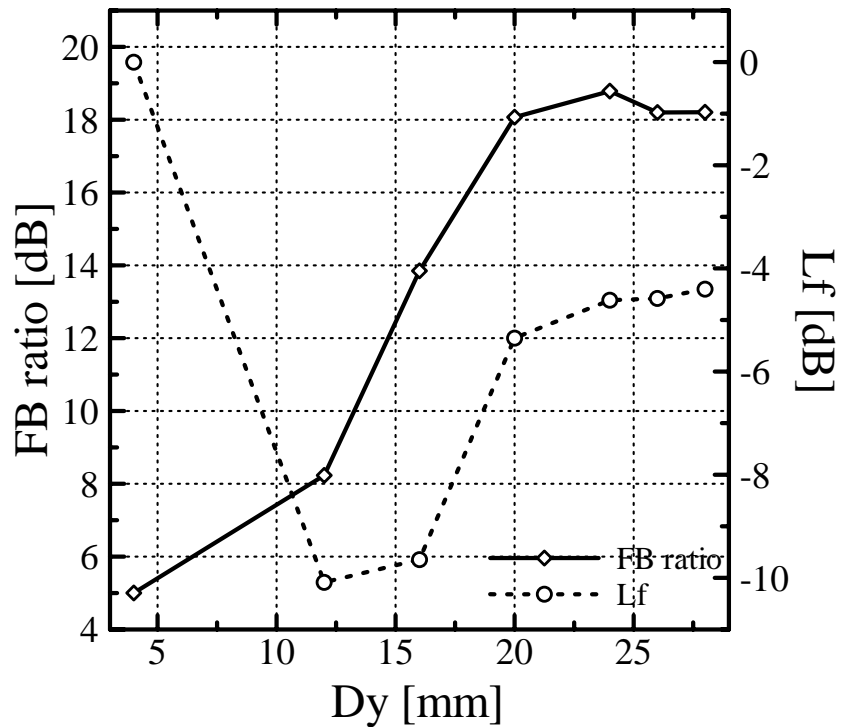


図 3.9 : Dy を変化させたときの FB 比と Lf (Dx=12 mm , Hx=32 mm , Hy=0 mm)

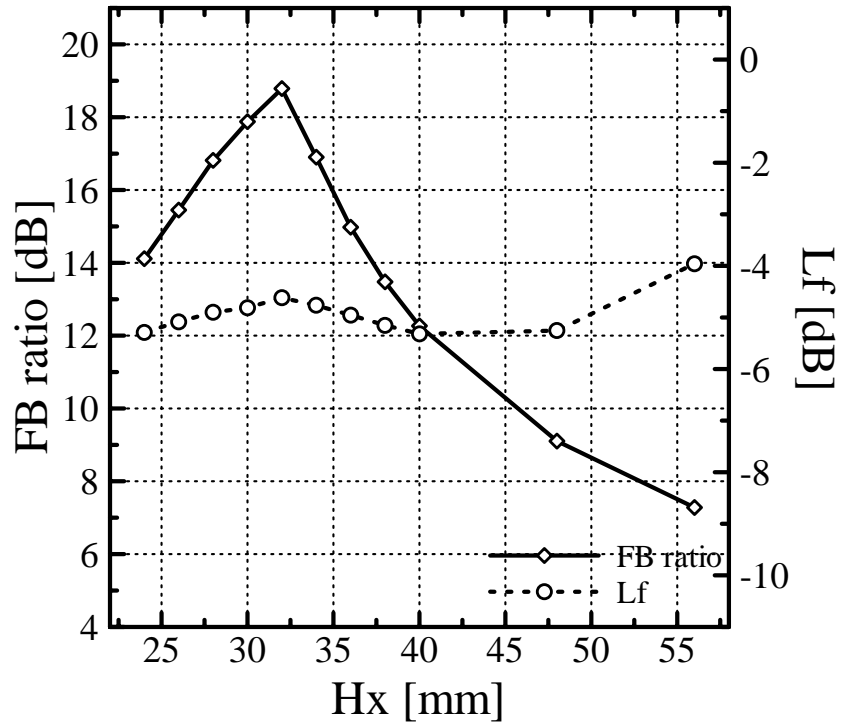


図 3.10 : H_x を変化させたときの FB 比と L_f ($D_x=12$ mm , $D_y=24$ mm , $H_y=0$ mm)

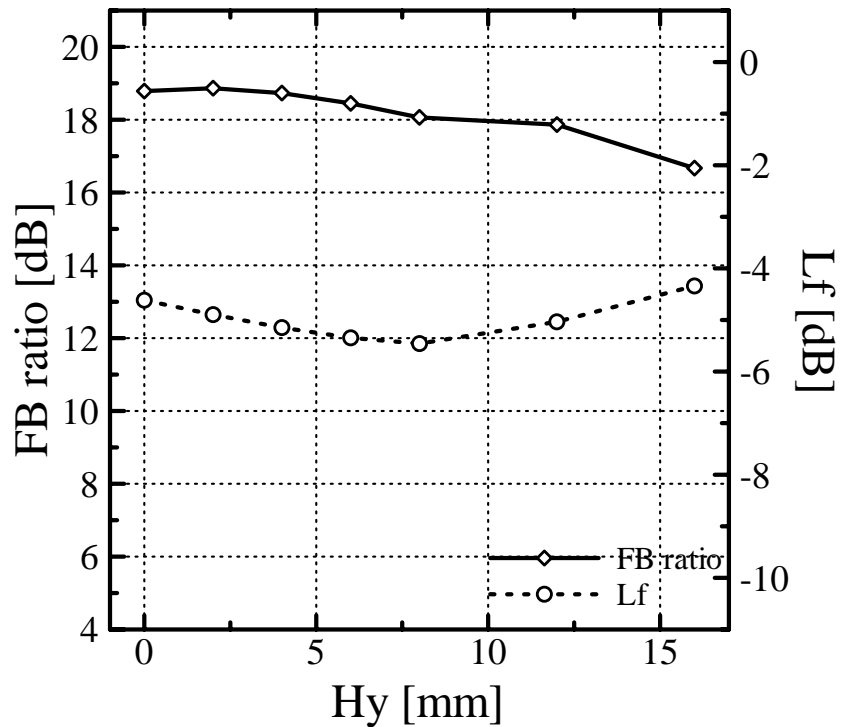


図 3.11 : H_y を変化させたときの FB 比と L_f ($D_x=12$ mm , $D_y=24$ mm , $H_x=32$ mm)

以上の結果から最も小さいアンテナ地板形状 ($D_x=14$ mm, $D_y=24$ mm, $H_x=32$ mm, $H_y=2$ mm, $o=12$ mm ($L_x=136$ mm, $L_y=80$ mm)) を図 3.12 に, そのときのリターンロス特性と指向性を図 3.13 に示す. この形状の導出手順は, L_f が -5 dB 程度で 20 dB 以上の FB 比が得られたものの中から, 長辺方向 L_x (D_x によって決まる) が最も小さいものを選択し, その中から短辺方向 L_y (D_y によって決まる) が最も小さいもの, 最後に高さ H_x が最も小さいものを選択した. FB 比は 20.0 dB, 共振周波数は 1.974 GHz, -10 dB 帯域幅は 20 MHz で, 目標とした 20 dB 以上の FB 比を持つ蘭型指向性を得ることができた. 寄生素子付き箱型地板パッチアンテナの大きさと比較すると, 長辺方向が 0.72 倍, 短辺方向が 1 倍, 高さ方向が 2 倍となっており, 長辺方向の小型化に成功した. 高さ方向が大きくなってしまったが, 32 mm と実用上問題ない大きさと考えられる.

また解析結果を元にアンテナを製作し, 測定を行った. 製作したアンテナを図 3.14 に示す. 測定, 解析結果のリターンロス特性と H 面指向性の比較を図 3.15 に, それぞれの詳細な指向性を図 3.16 に示す. 測定結果の FB 比は 22.8 dB, 共振周波数は 1.965 GHz, -10 dB 帯域幅は 20.0 MHz で, 解析結果と測定結果はほぼ一致した.

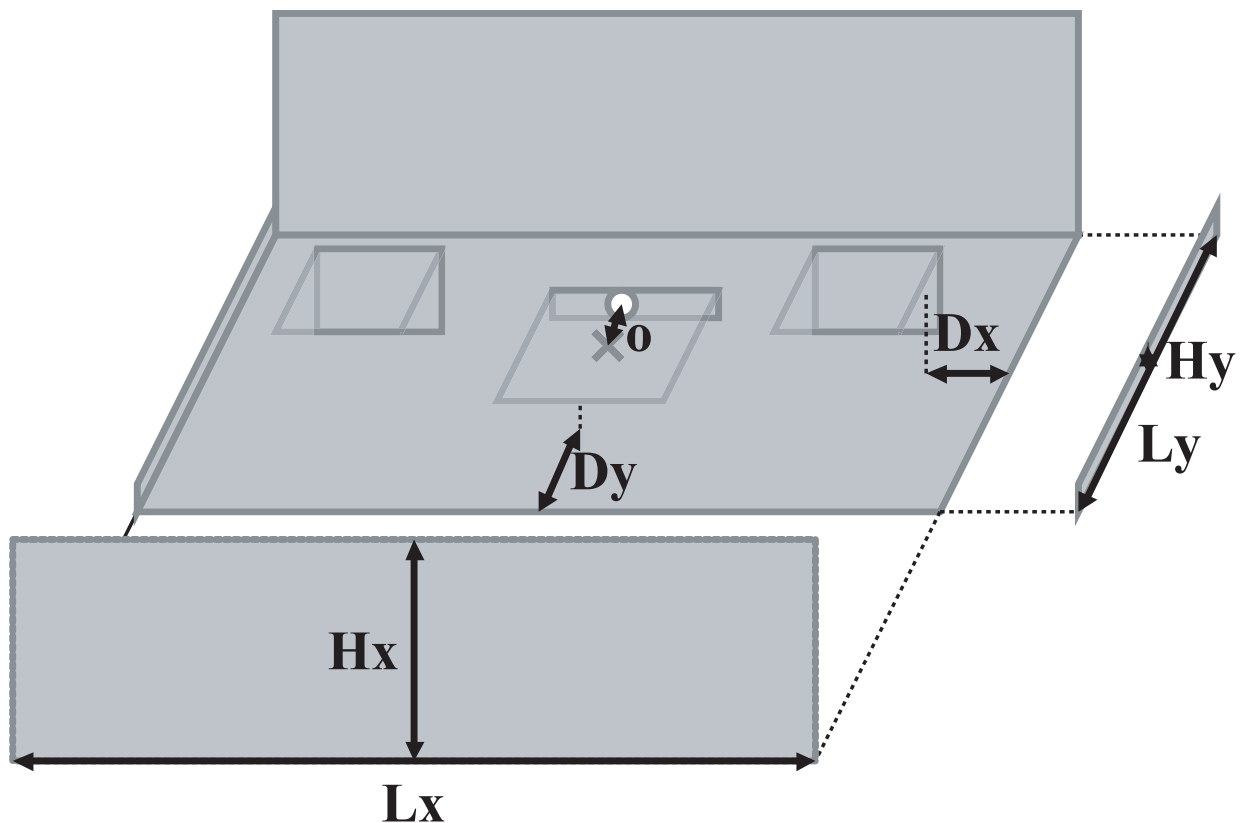


図 3.12 : 最も小さいアンテナ地板形状 ($D_x=14$, $D_y=24$, $H_x=32$, $H_y=2$, $o=12$, $L_x=136$, $L_y=80$, 単位 = [mm])

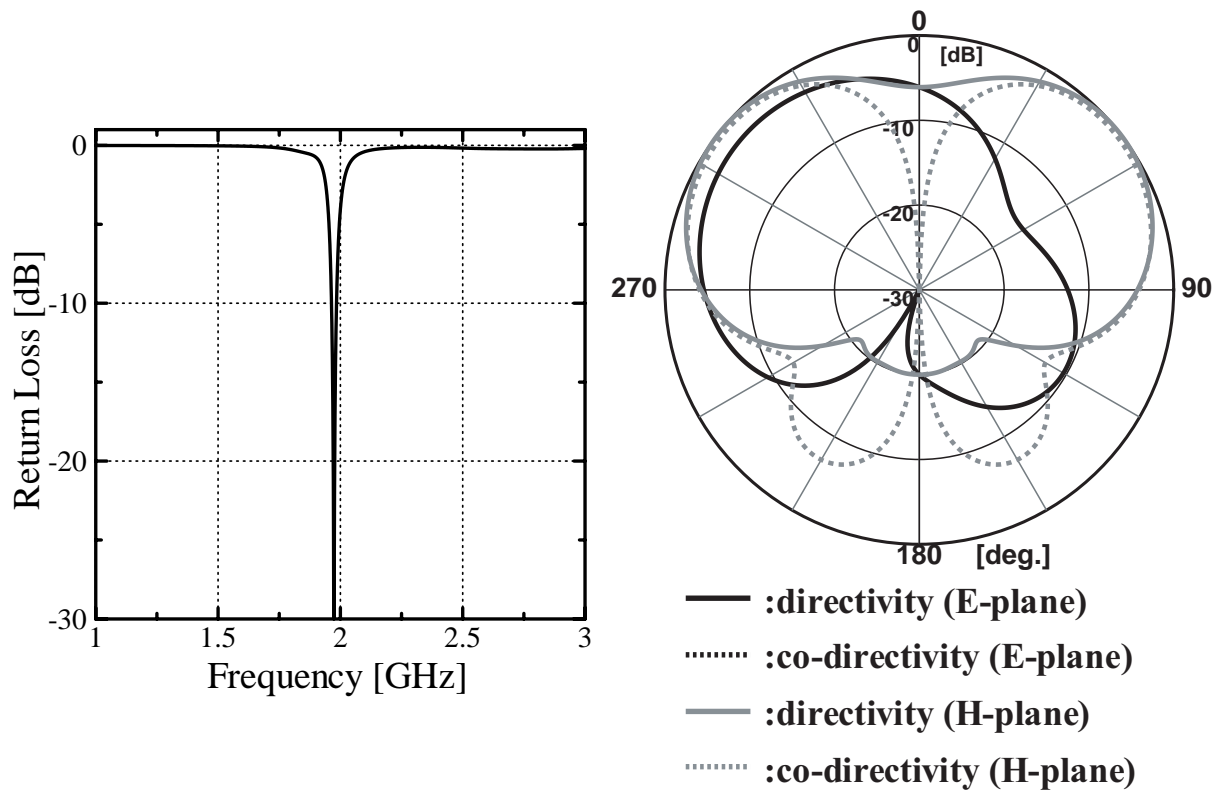


図 3.13 : 最も小さいアンテナ地板形状でのリターンロス特性と指向性



図 3.14 : 製作したアンテナ

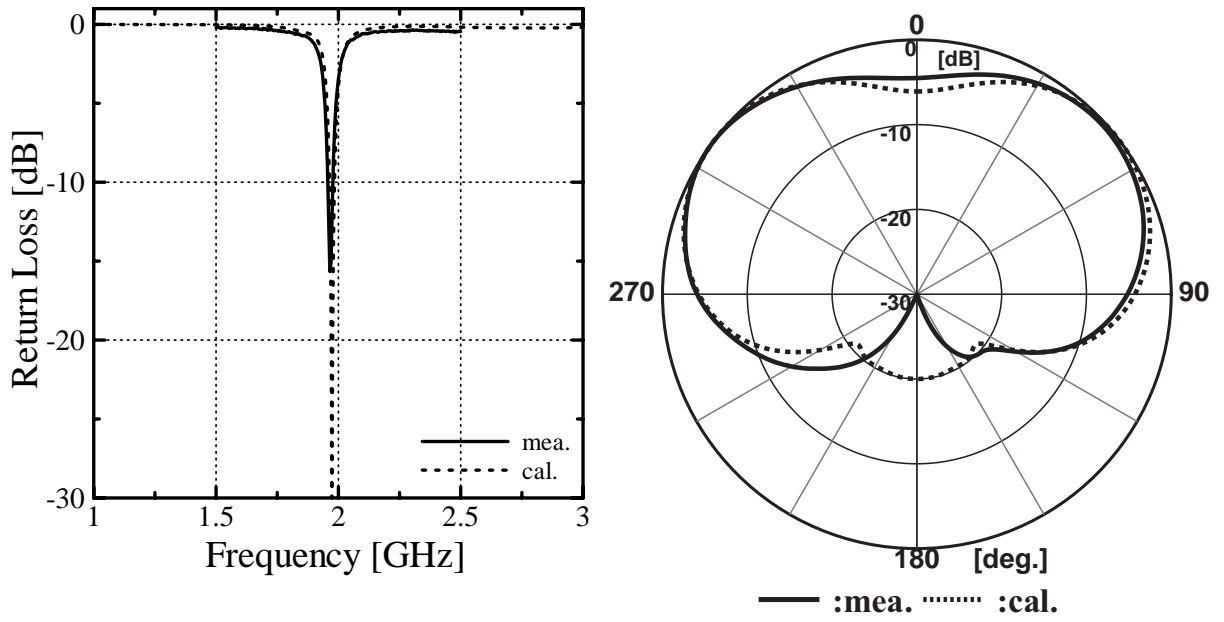


図 3.15 : 測定 , 解析結果のリターンロス特性と H 面指向性の比較

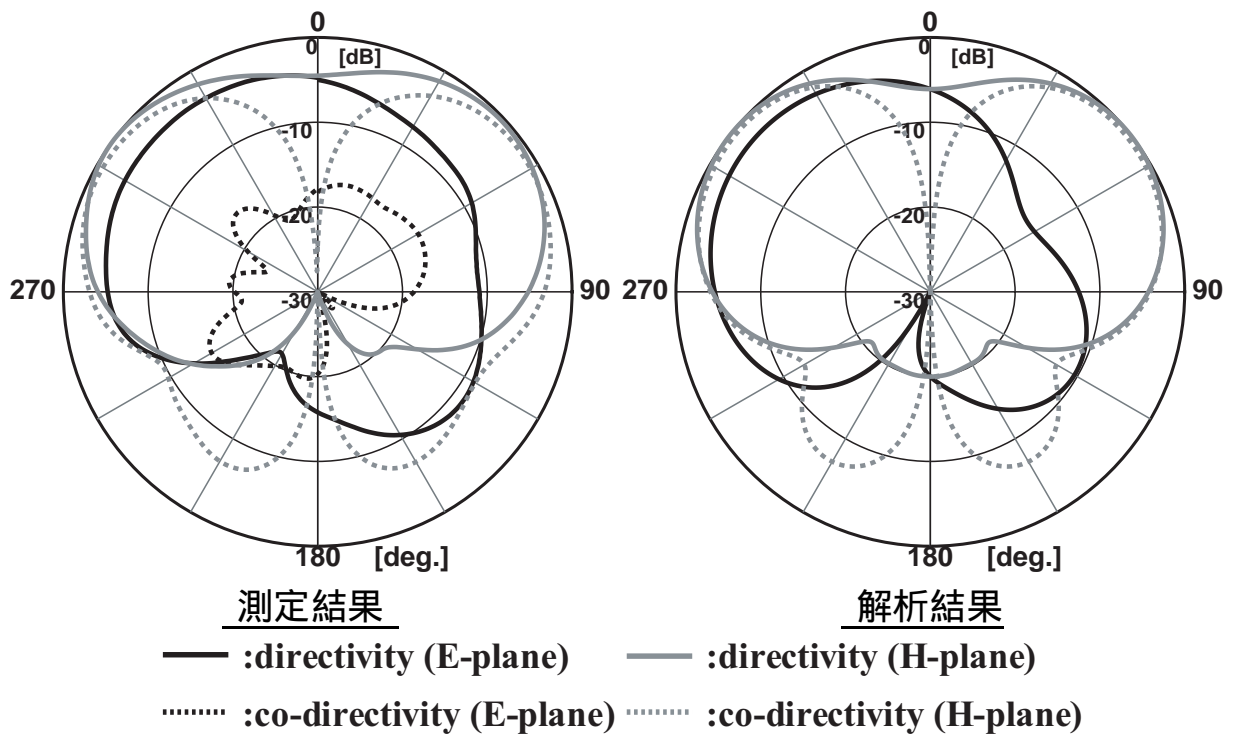


図 3.16 : 測定 , 解析結果の詳細な指向性

3.3 寄生素子付き箱型地板

$\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナの低姿勢化

前節検討を行った寄生素子付き $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナ (MSA) の大きさは、寄生素子付き箱型地板パッチアンテナの大きさと比較すると、長辺方向が 0.72 倍と小型化することができたが、高さ方向が 2 倍と大きくなってしまっていた。地板の最適形状の決定には共振周波数の影響を大きく受けるため、劇的に地板の高さを小さくすることはできなかった。そこで折り返しの長さを変えずに低姿勢化を行うため、地板端部の折り返しの上部を再び折り返した二重返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA、折り返しをジグザグに複数折り返した複数折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA の検討を行った。

3.3.1 二重折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA

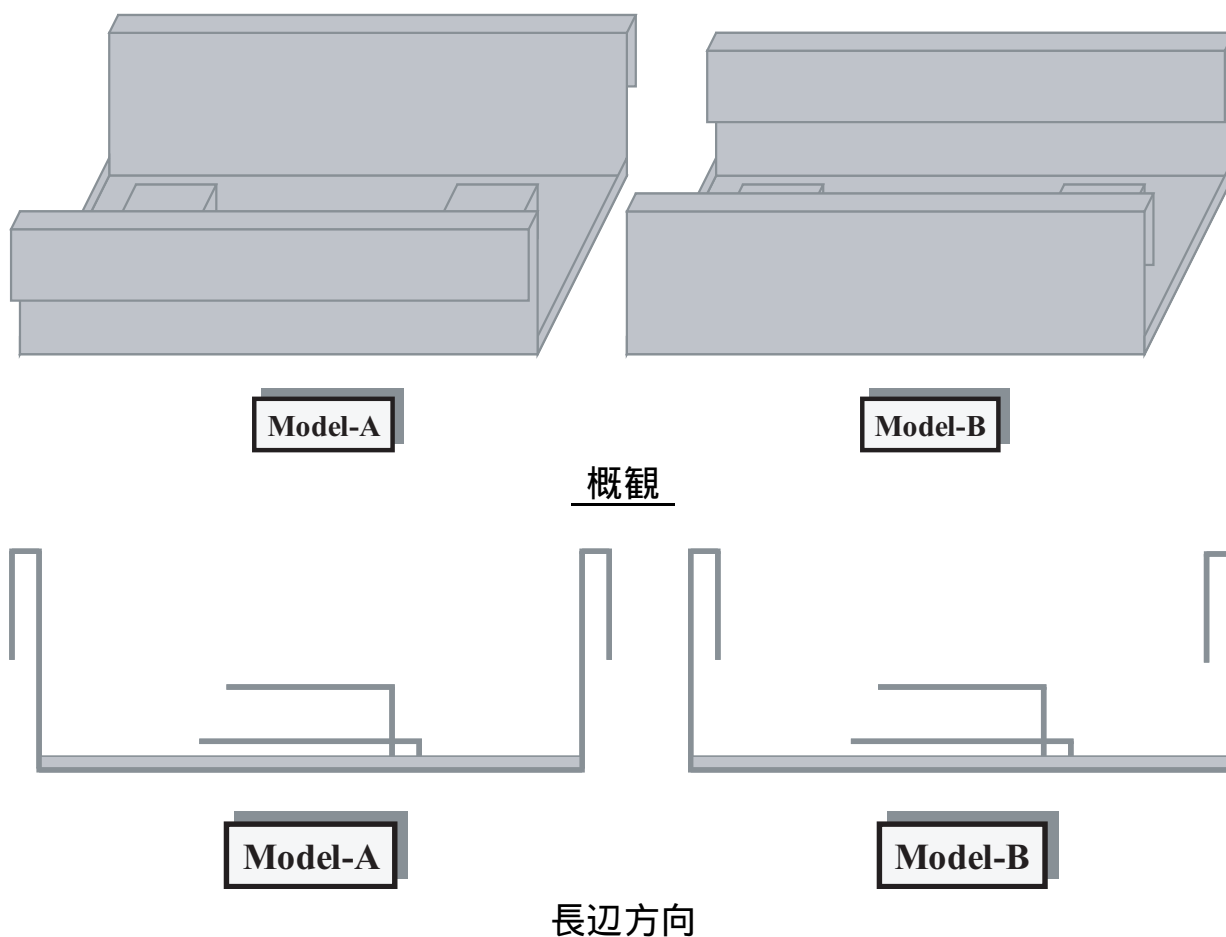


図 3.17 : 二重折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA

二重折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA を図 3.17 に示す．Model-A は折り返しの上部を外側に折り返し，Model-B は内側に折り返している．まず Model-B の検討を行ったところ，詳細は省略するが，停姿勢化しても 20 dB 以上の FB 比を持つ蘭型指向性は得られなかった．結局短辺方向の長さは大きくなってしまいが，Model-A の検討を行った．

Model-A の詳細な解析モデルを図 3.18 に示す．解析パラメータは内側の折り返しの高さ H_{xi} ，内側の折り返しから外側の折り返しまでの距離 Dy' ，外側の折り返しの高さ H_{xo} である．また解析するにあたって放射器及び寄生素子の大きさ，位置関係は寄生素子付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA の解析で求めた最適値を用い，変化させていない．

H_{xo} を 0 mm と固定し， Dy' ， H_{xi} を変化させたときの FB 比を図 3.19 に， L_f を図 3.20 に示す．その結果， Dy' ， H_{xi} に関して FB 比を最大， L_f を最小にする最適値が存在し， Dy' を大きくすると最大 FB 比，最小 L_f が得られる H_{xi} が小さくなる．よって最大 FB 比，最小 L_f が得られる最適値は $Dy' + H_{xi}$ によって決まる．

つぎに H_{xi} を 10 mm と固定し， Dy' ， H_{xo} を変化させたときの FB 比を図 3.21 に， L_f を図 3.22 に示す．その結果， Dy' ， H_{xo} に関して FB 比を最大， L_f を最小にする最適値が存在し， Dy' を大きくすると最大 FB 比，最小 L_f が得られる H_{xo} が小さくなる．よって最大 FB 比，最小 L_f が得られる最適値は $Dy' + H_{xo}$ によって決まる．

以上の結果から最大 FB 比，最小 L_f が得られる最適値は $Dy' + H_{xi} + H_{xo}$ によって表される折り返し下部から上部までの距離によって決まることがわかる．

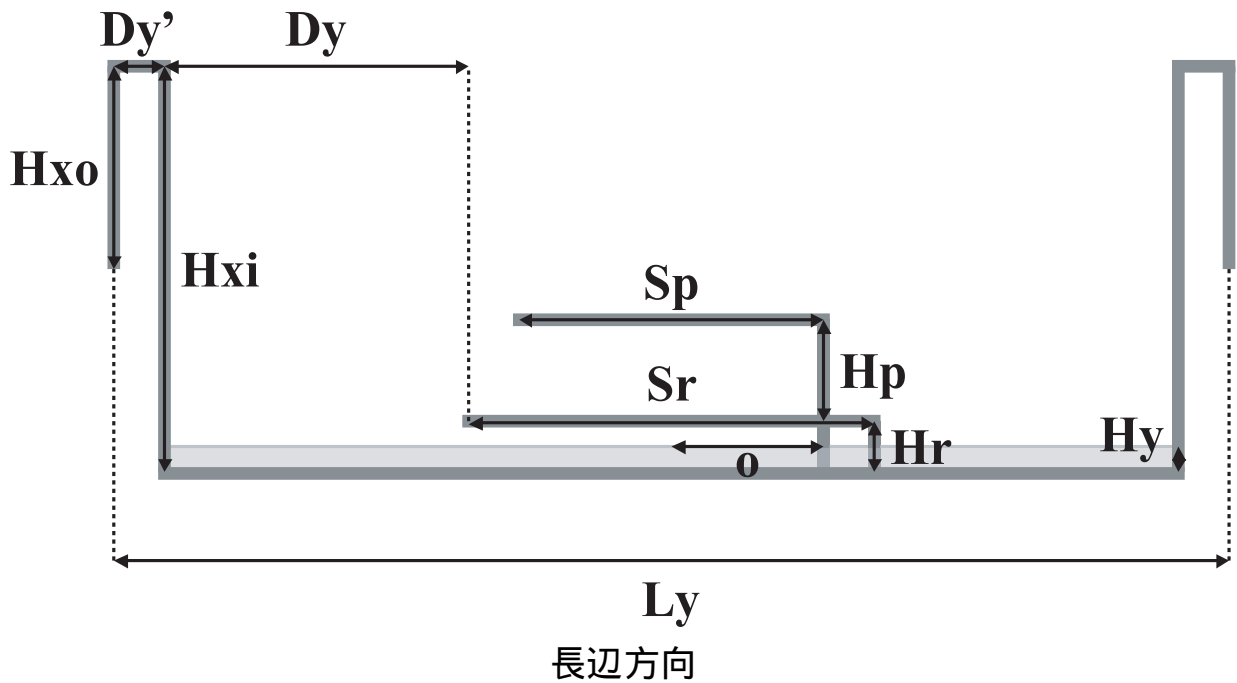


図 3.18 : Model-A の解析モデル ($S_r=32$ ， $H_r=4$ ， $S_p=24$ ， $H_p=8$ ， $D_y=24$ ， $H_y=2$ ， $L_y=2D_y'+80$ ，単位 = [mm])

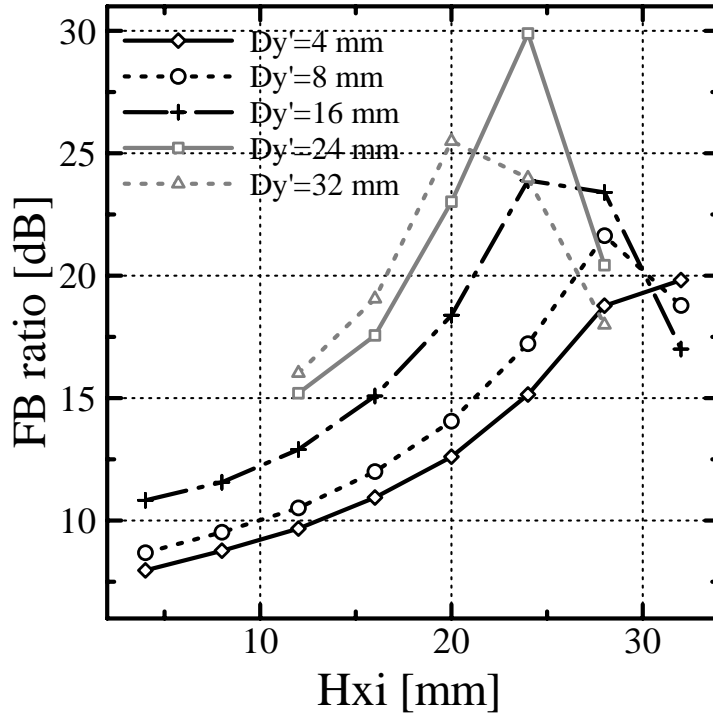


図 3.19 : Dy' , Hxi を変化させたときの FB 比 ($Hxo=0$ mm)

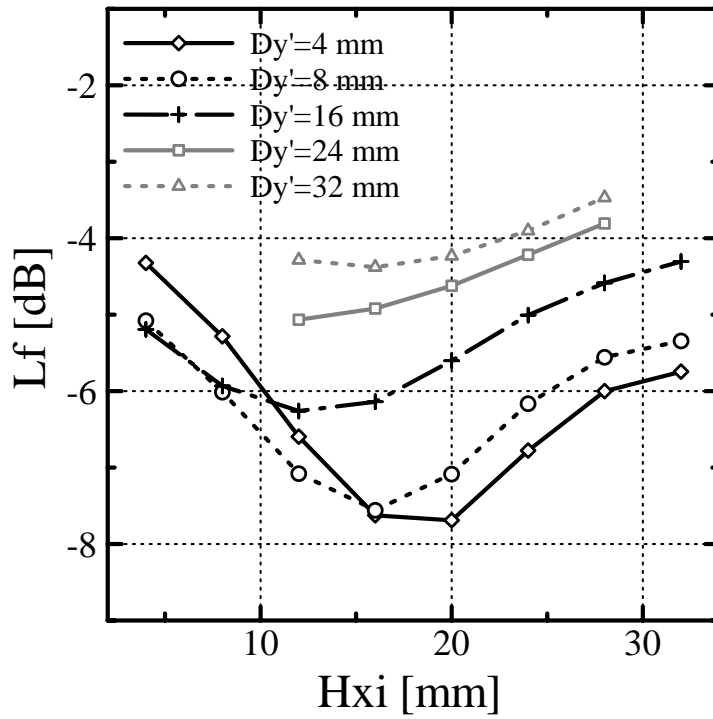


図 3.20 : Dy' , Hxi を変化させたときの Lf ($Hxo=0$ mm)

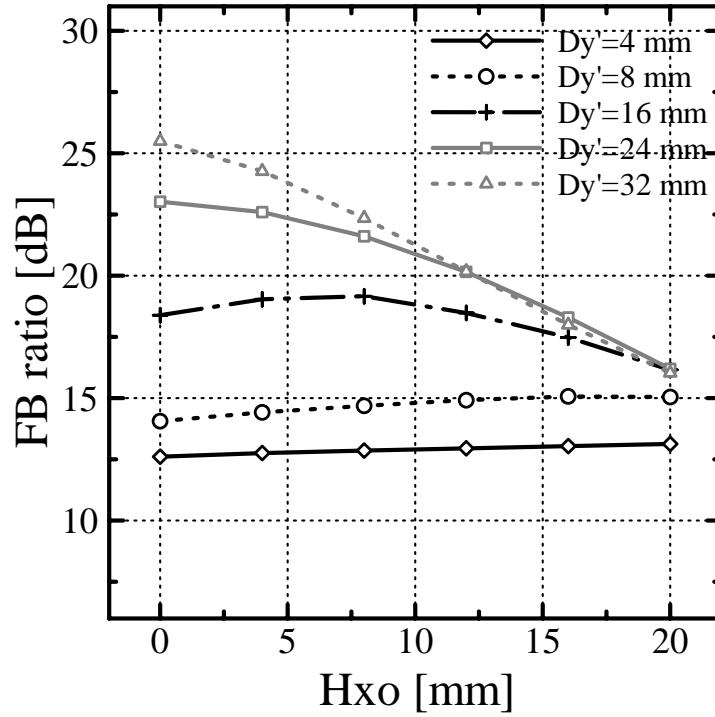


図 3.21 : Dy' , Hxo を変化させたときの FB 比 ($Hxi=10$ mm)

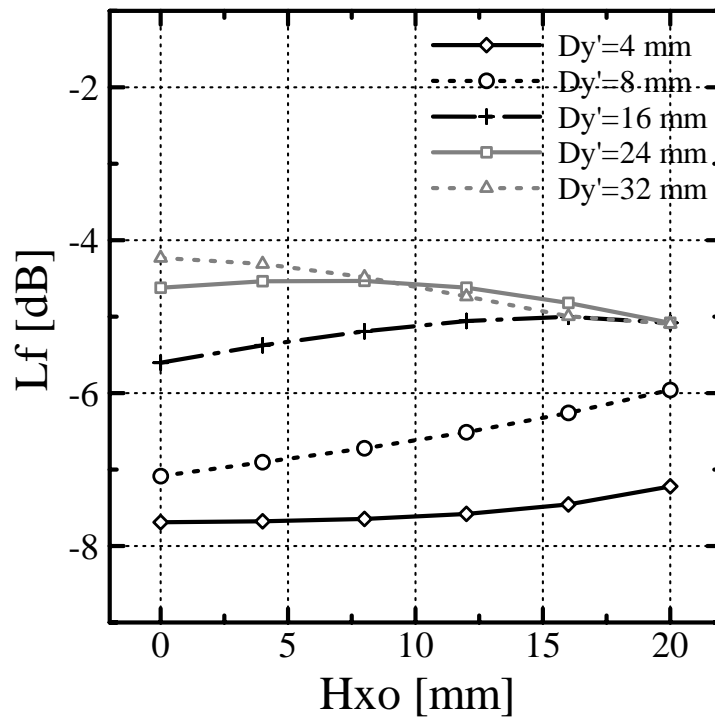


図 3.22 : Dy' , Hxo を変化させたときの Lf ($Hxi=10$ mm)

以上の結果から最も低いアンテナ地板形状 ($Dy'=18$ mm, $Hxi=20$ mm, $Hxo=4$ mm, $o=12$ mm ($Lx=136$ mm, $Ly=116$ mm)) を図 3.23 に, そのときのリターンロス特性と指向性を図 3.24 に示す. この形状の導出手順は, Lf が -5 dB 程度で 20 dB 以上の FB 比が得られたものの中から, 高さ Hxi が最も小さいものを選択し, その中から短辺方向 Ly (Dy' によって決まる) が最も小さいものを選択した. FB 比は 20.3 dB, 共振周波数は 1.973 GHz, -10 dB 帯域幅は 19 MHz で, 目標とした 20 dB 以上の FB 比を持つ菌型指向性を得ることができた. 寄生素子付き箱型地板パッチアンテナの大きさと比較すると, 長辺方向が 0.72 倍, 短辺方向が 1.45 倍, 高さ方向が 1.25 倍となっており, 寄生素子付き箱型地板 $\lambda/4$ 短絡型 MSA に比べて大きく低姿勢化できた. しかし折り返しの上部を短辺方向に伸ばしているため, 短辺方向の長さが大きくなってしまった (表 3.1 参照).

表 3.1 : 寄生素子付き箱型地板パッチアンテナ, $\lambda/4$ 短絡型 MSA, 二重折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA の大きさの比較

	寄生素子付き箱型地板 パッチアンテナ	寄生素子付き箱型地板 $\lambda/4$ 短絡型 MSA	二重折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA
長辺方向	1.00 (188 mm)	0.72 (136 mm)	0.72 (136 mm)
短辺方向	1.00 (80 mm)	1.00 (80 mm)	1.45 (116 mm)
高さ	1.00 (16 mm)	2.00 (32 mm)	1.25 (20 mm)

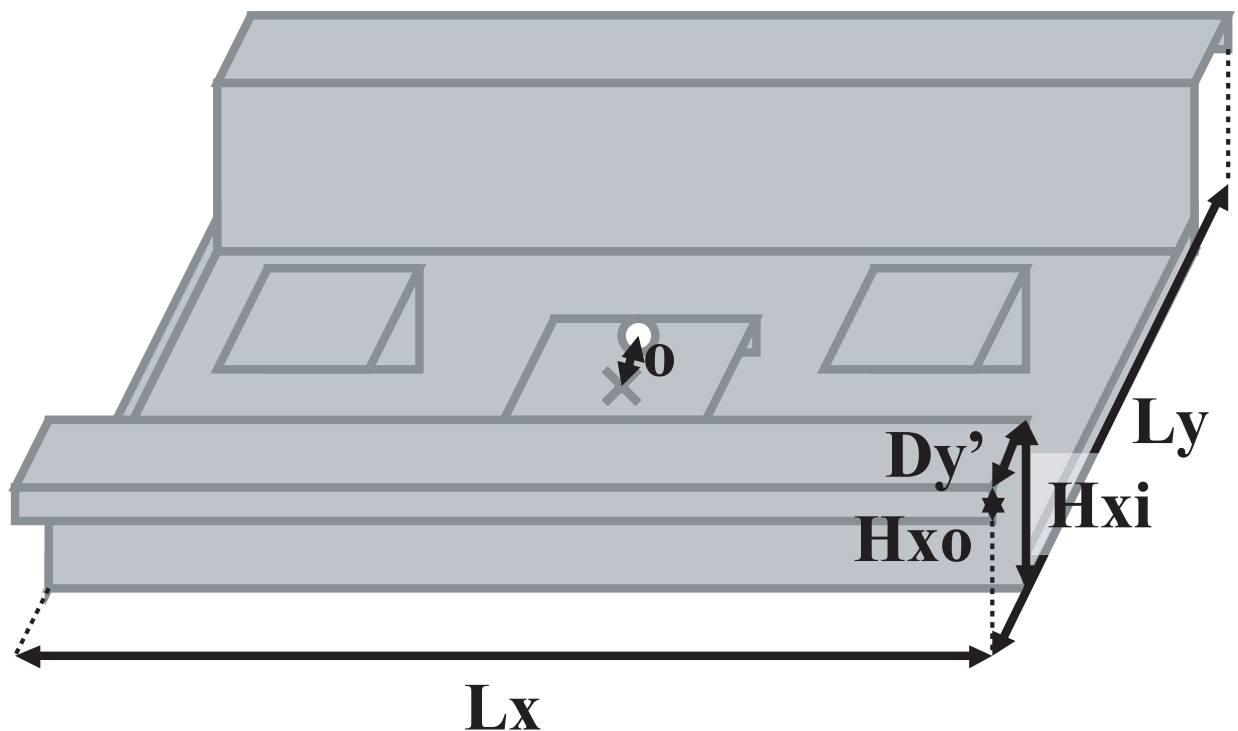


図 3.23 : 最も低いアンテナ地板形状 ($Dy'=18$, $Hxi=20$, $Hxo=4$, $o=12$, $Lx=136$, $Ly=116$, 単位 = [mm])

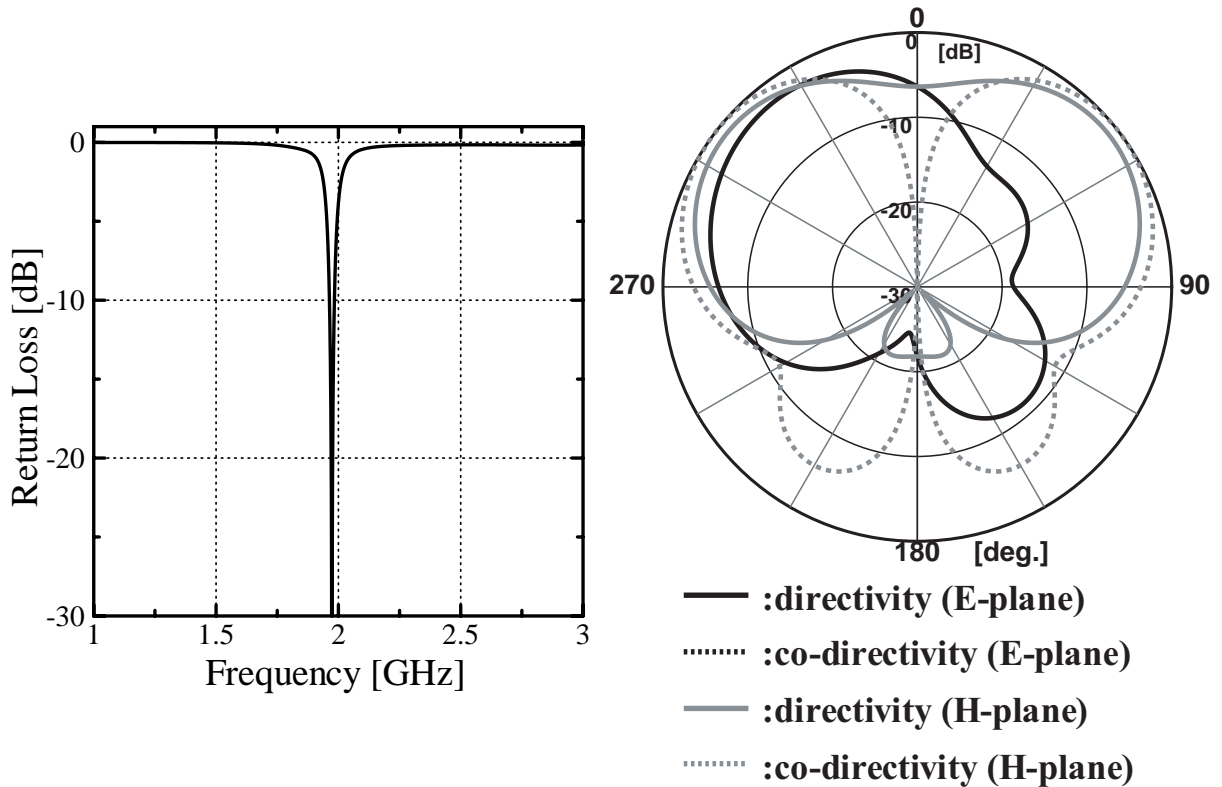


図 3.24 : 最も低いアンテナ地板形状でのリターンロス特性と指向性

寄生素子付き箱型地板 $\lambda/4$ 短絡型 MSA の最も小さいアンテナ地板形状の導出手順では、短辺方向が最も小さいものを選択し、その中から高さが最も小さいものを選択していた。そこで寄生素子付き箱型地板 $\lambda/4$ 短絡型 MSA の最も小さいアンテナ地板形状から更に短辺方向を長くしたとき、二重折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA と同様に低姿勢化できるか検討を行った。寄生素子付き箱型地板 $\lambda/4$ 短絡型 MSA の解析モデルを図 3.25 に示す。解析パラメータは寄生素子付き箱型地板 $\lambda/4$ 短絡型 MSA の最も小さいアンテナ地板形状の短辺方向の地板端部を基準とし、そこから折り返しまでの距離 Dy' である。また解析するにあたって放射器及び寄生素子の大きさ、位置関係は寄生素子付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA で求めた最適値を用い、長辺方向の折り返しの高さは二重折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA の最も低いアンテナ地板形状での高さと同じ 20 mm とした。

Dy' を変化させたときの FB 比と Lf を図 3.26 に示す。その結果、 Dy' を大きくしても 20 dB 以上の FB 比を得ることはできなかった。よって高 FB 比を保ちつつ低姿勢化する手段として、二重折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA の有効性が確認できた。

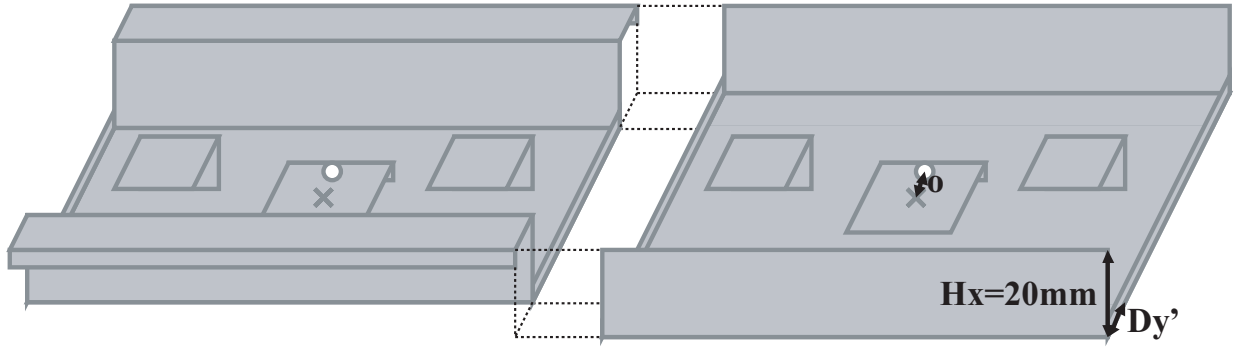


図 3.25 : 二重折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA と寄生素子付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA の短辺方向の比較

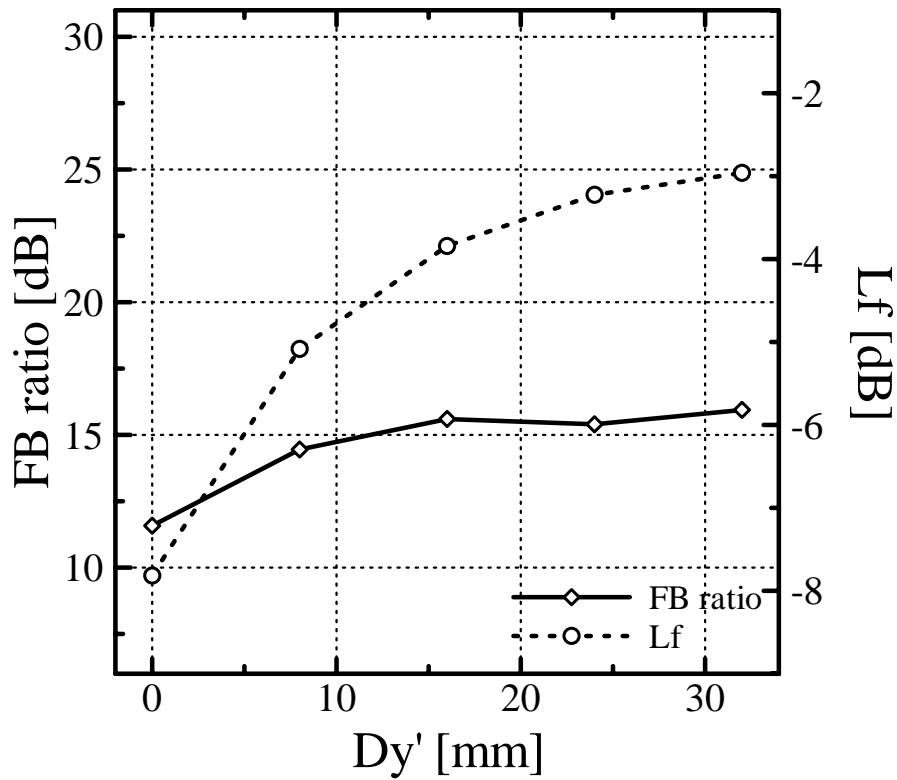


図 3.26 : Dy' を変化させたときの FB 比と L_f

3.3.2 複数折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA

二重折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA は，寄生素子付き箱型地板パッチアンテナの大きさと比較すると，長辺方向が 0.72 倍，短辺方向が 1.45 倍，高さ方向が 1.25 倍となっており，寄生素子付き箱型地板 $\lambda/4$ 短絡型 MSA に比べて大きく低姿勢化できた．しかし折り返しの上部を短辺方向に伸ばしているため，短辺方向の長さが大きくなってしまっていた．そこで更なる低姿勢化，短辺方向の小型化のため複数折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA の検討を行った．

複数折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA を図 3.27 に示す．Model-A は折り返し下部をまず内側に折り返し，外側，内側と折り返しており，Model-B は逆に折り返し下部をまず外側に折り返し，内側，外側と折り返している．解析を行ったところ Model-A，Model-B と同様の傾向が得られたが，最終的には Model-A のほうがよりよい特性を得られたので Model-A についてのみ報告する．

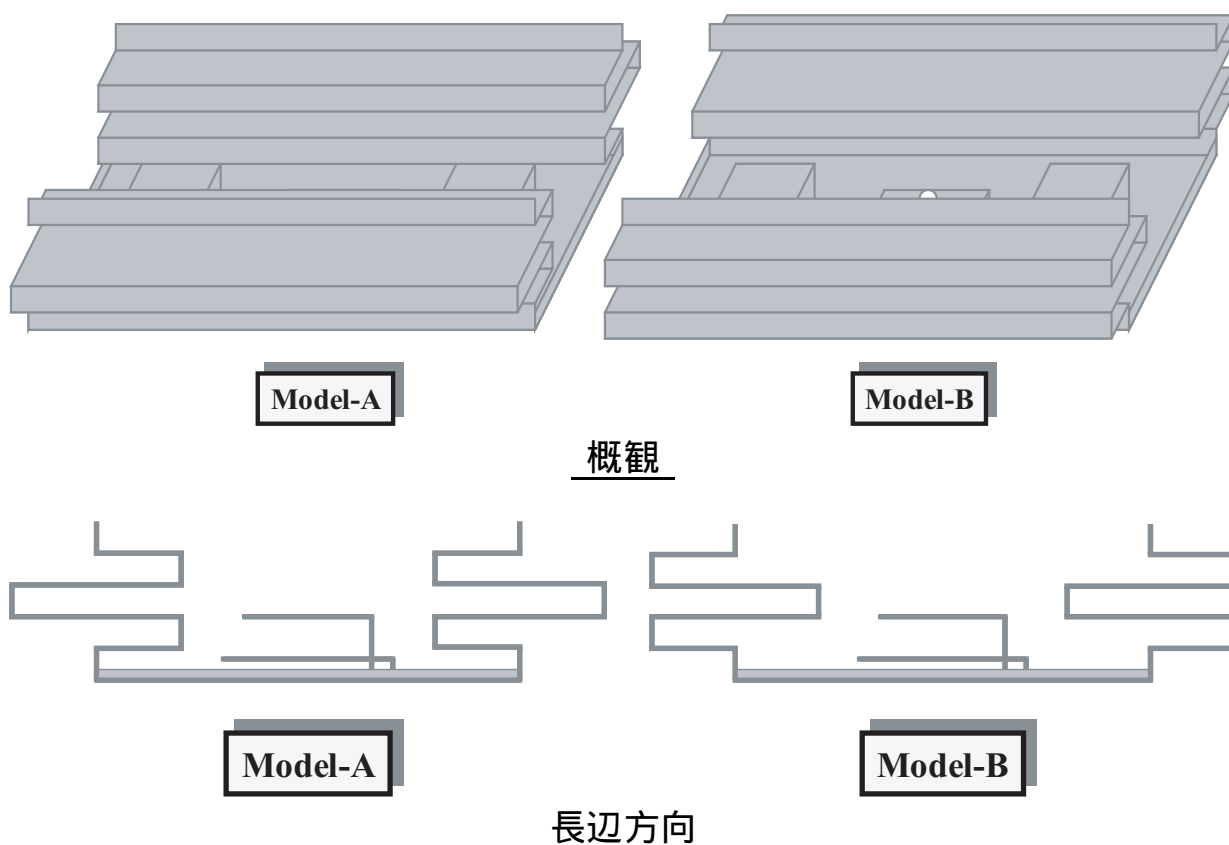


図 3.27 : 複数折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA

Model-A の詳細な解析モデルを図 3.28 に示す．解析パラメータは折り返し全体の高さ H ，折り返しの高さ Sh ，地板端部から内側の折り返しまでの距離 Si ，地板端部から外側の折り返しまでの距離 So である． Sh は 2, 4, 6 mm の三通り検討を行ったが，同様の傾向が得られたので，例として Sh が 4 mm のときのみ報告する．また解析するにあたって放射器及び寄生素子の大きさ，位置関係は寄生素子付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA の解析で求めた最適値を用い，変化させていない．

H を 24 mm と固定し， Si ， So を変化させたときの FB 比を図 3.29 に， Lf を図 3.30 に示す．その結果， Si ， So に関して FB 比を最大， Lf を最小にする最適値が存在し， Si を大きくすると最大 FB 比，最小 Lf が得られる So が小さくなる．よって最大 FB 比，最小 Lf が得られる最適値は $Si+So$ によって決まる．

So を 8 mm と固定し， H ， Si を変化させたときの FB 比を図 3.31 に， Lf を図 3.32 に示す．その結果， H ， Si に関して FB 比を最大， Lf を最小にする最適値が存在し， Si を大きくすると最大 FB 比，最小 Lf が得られる H が小さくなる．よって最大 FB 比，最小 Lf が得られる最適値は $H+Si$ によって決まる．

以上の結果から最大 FB 比，最小 Lf が得られる最適値は $H+Si+So$ によって表される折り返し下部から上部までの距離によって決まることがわかる．

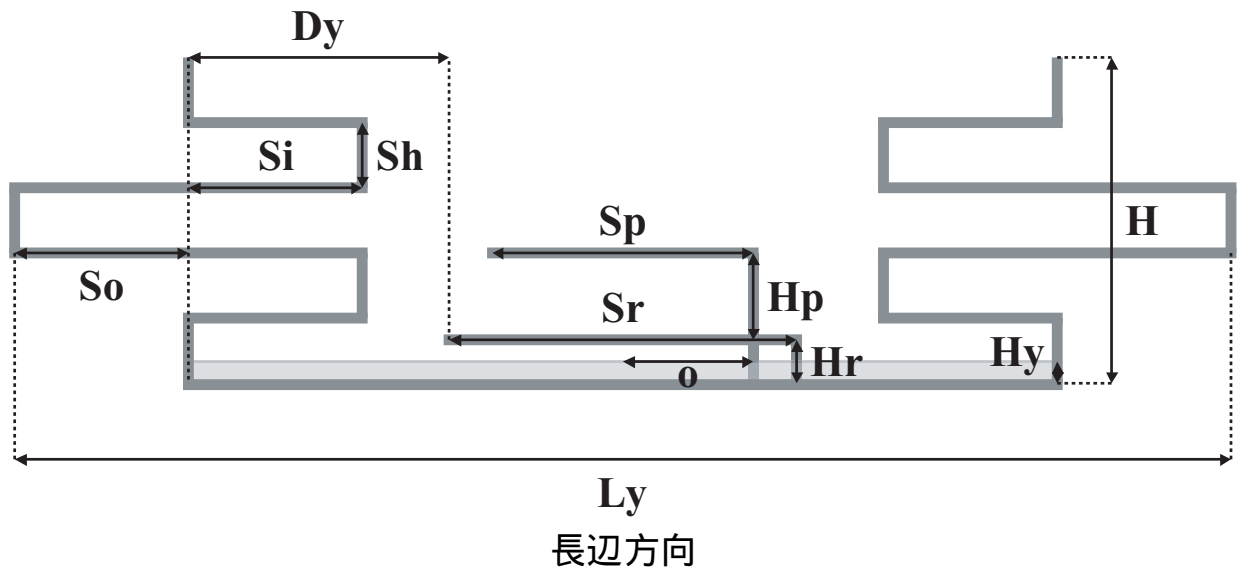


図 3.28 : Model-A の解析モデル($Sr=32$, $Hr=4$, $Sp=24$, $Hp=8$, $Dy=24$, $Hy=2$, $Ly=2So+80$, 単位 = [mm])

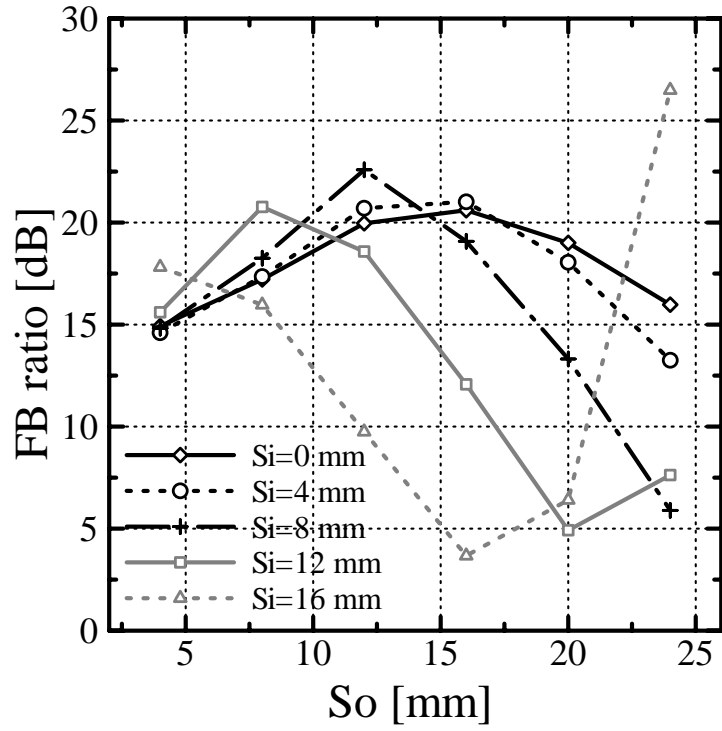


図 3.29 : Si , So を変化させたときの FB 比 (H=24 mm)

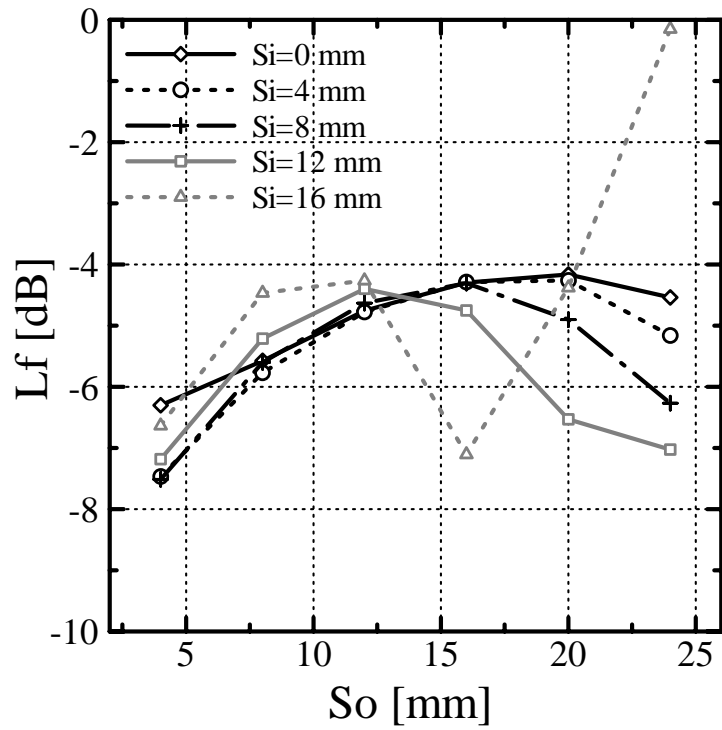


図 3.30 : Si , So を変化させたときの Lf (H=24 mm)

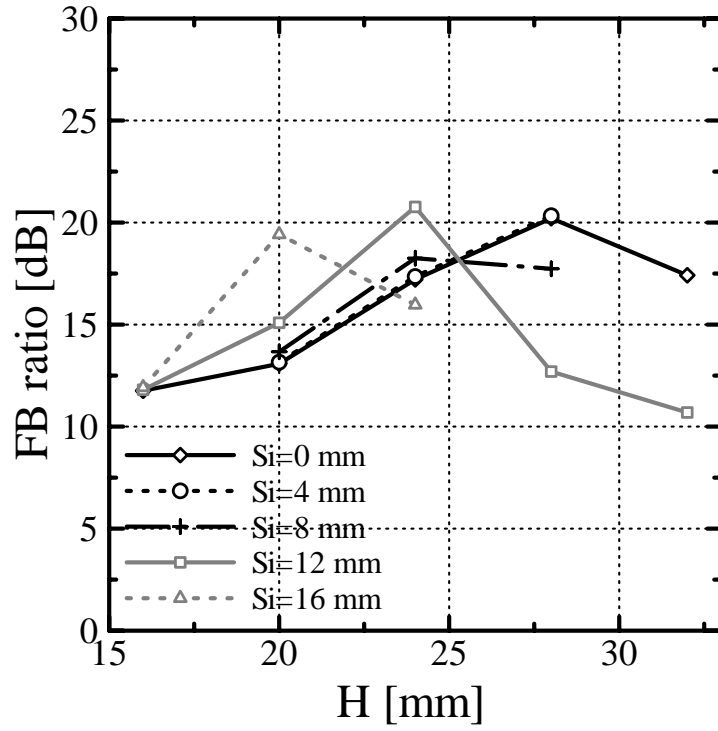


図 3.31 : H , Si を変化させたときの FB 比 (So=8 mm)

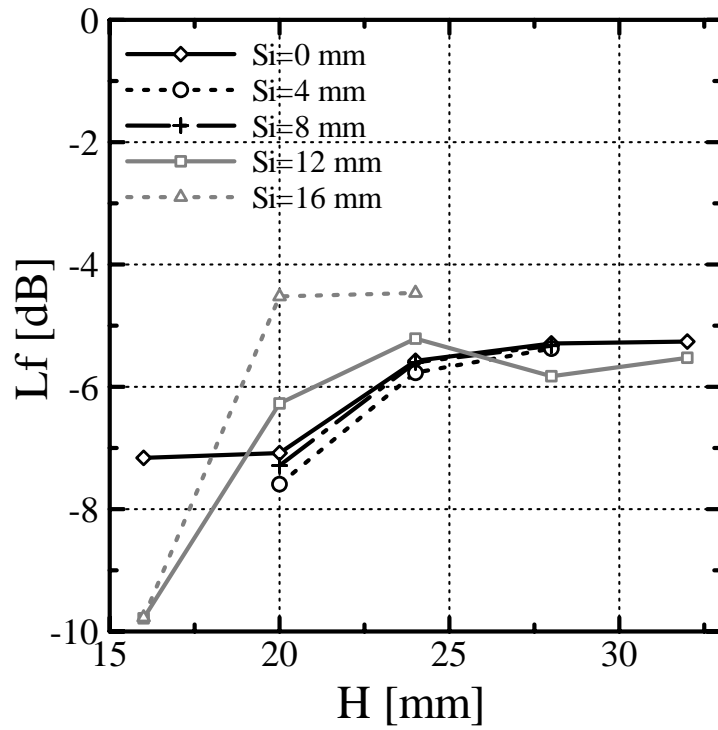


図 3.32 : H , Si を変化させたときの Lf (So=8 mm)

以上の結果からSh=2, 4, 6 mmに関して、最も低いアンテナ地板形状を導出した。それぞれのアンテナの長、短辺方向、高さ、体積を今まで検討を行ってきたすべてのアンテナとともに表 3.2 に示す。これらの複数折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA の導出手順は、Lf が -5 dB 程度で 20 dB 以上の FB 比が得られたものの中から、高さH が最も小さいものを選択し、その中から短辺方向Ly (Soによって決まる) が最も小さいものを選択しており、それぞれ目標とした 20 dB 以上の FB 比を持つ繭型指向性を得ることができた。表 3.2 より、二重折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA の折り返しをさらに複数回折り返すことによって短辺方向を小型化できたことがわかる。しかし、若干高さ方向が大きくなってしまっている。体積比較をすると、寄生素子付き箱型地板パッチアンテナを用いたものが最も小さいことがわかる。しかし寄生素子付き箱型地板パッチアンテナは長辺方向が非常に大きいので、大きさを総合的に判断すると、Sh=2 mm のときの複数折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA が最も適しているといえる。

表 3.2 : すべての繭型指向性を有する室内用壁面設置型アンテナの大きさの比較

	寄生素子付き箱型地板 パッチアンテナ	寄生素子付き箱型地板 $\lambda/4$ 短絡型 MSA	二重折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA
長辺方向	1.00 (188 mm)	0.72 (136 mm)	0.72 (136 mm)
短辺方向	1.00 (80 mm)	1.00 (80 mm)	1.45 (116 mm)
高さ	1.00 (16 mm)	2.00 (32 mm)	1.25 (20 mm)
体積	1.00 (240.640 cm ³)	1.45 (348.160 cm ³)	1.31 (315.520 cm ³)

複数折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型 MSA			
Sh	2 mm	4 mm	6 mm
長辺方向	0.72 (136 mm)	0.72 (136 mm)	0.72 (136 mm)
短辺方向	1.00 (80 mm)	1.20 (96 mm)	1.35 (108 mm)
高さ	1.75 (28 mm)	1.50 (24 mm)	1.50 (24 mm)
体積	1.27 (304.640 cm ³)	1.30 (313.344 cm ³)	1.46 (352.515 cm ³)

最後に $Sh=2$ mm のときの最も低いアンテナ地板形状 ($H=28$ mm , $Si=8$ mm , $So=0$ mm , $o=12$ mm ($Lx=136$ mm , $Ly=80$ mm)) を図 3.33 に , そのときのリターンロス特性と指向性を図 3.34 に示す . FB 比は 21.3 dB , 共振周波数は 1.999 GHz , -10 dB 帯域幅は 24 MHz である .

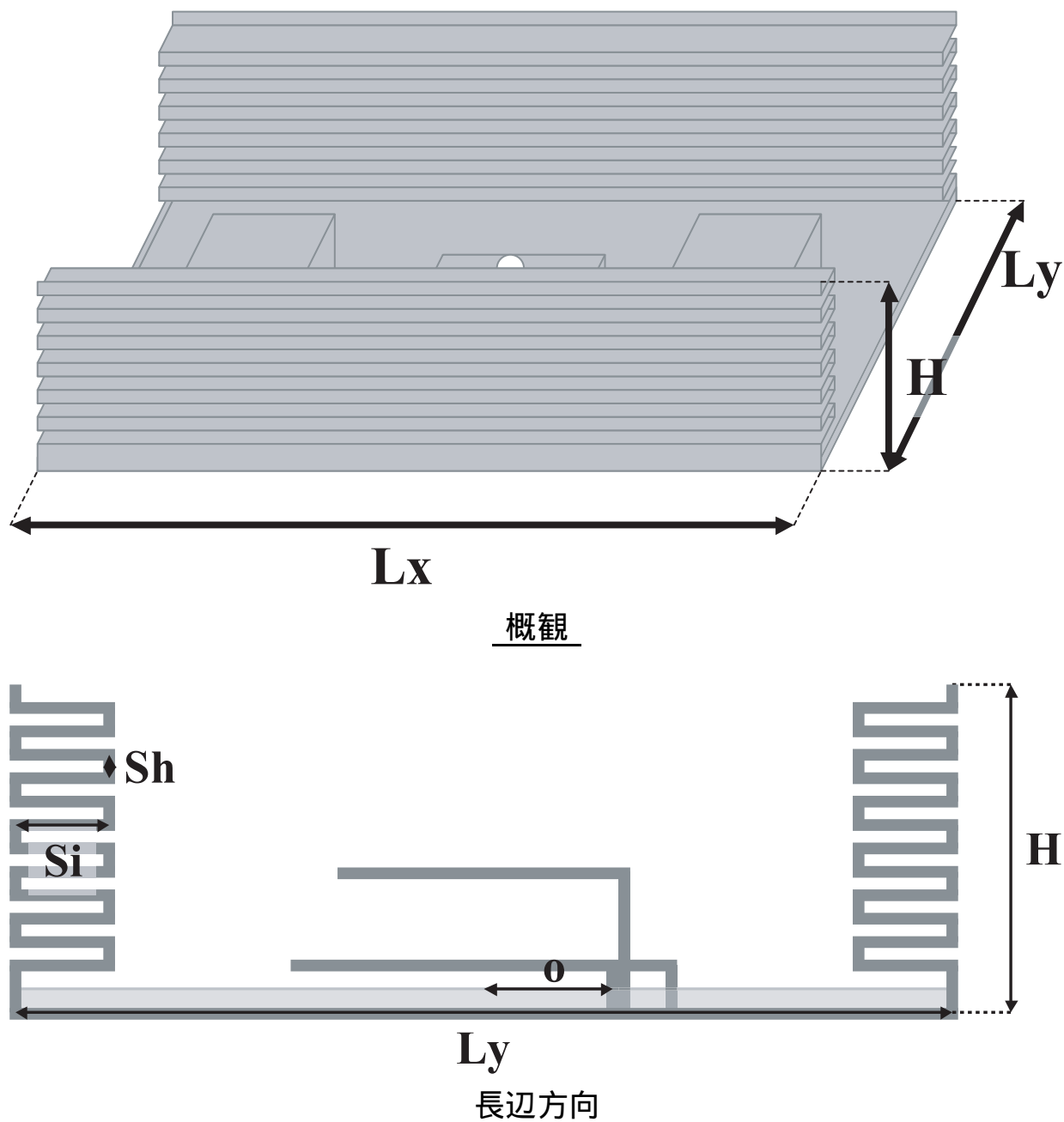


図 3.33 : 最も低いアンテナ地板形状 ($Sh=2$ mm , $H=28$ mm , $Si=8$ mm , $So=0$ mm , $o=12$ mm , $Lx=136$ mm , $Ly=80$ mm , 単位 = [mm])

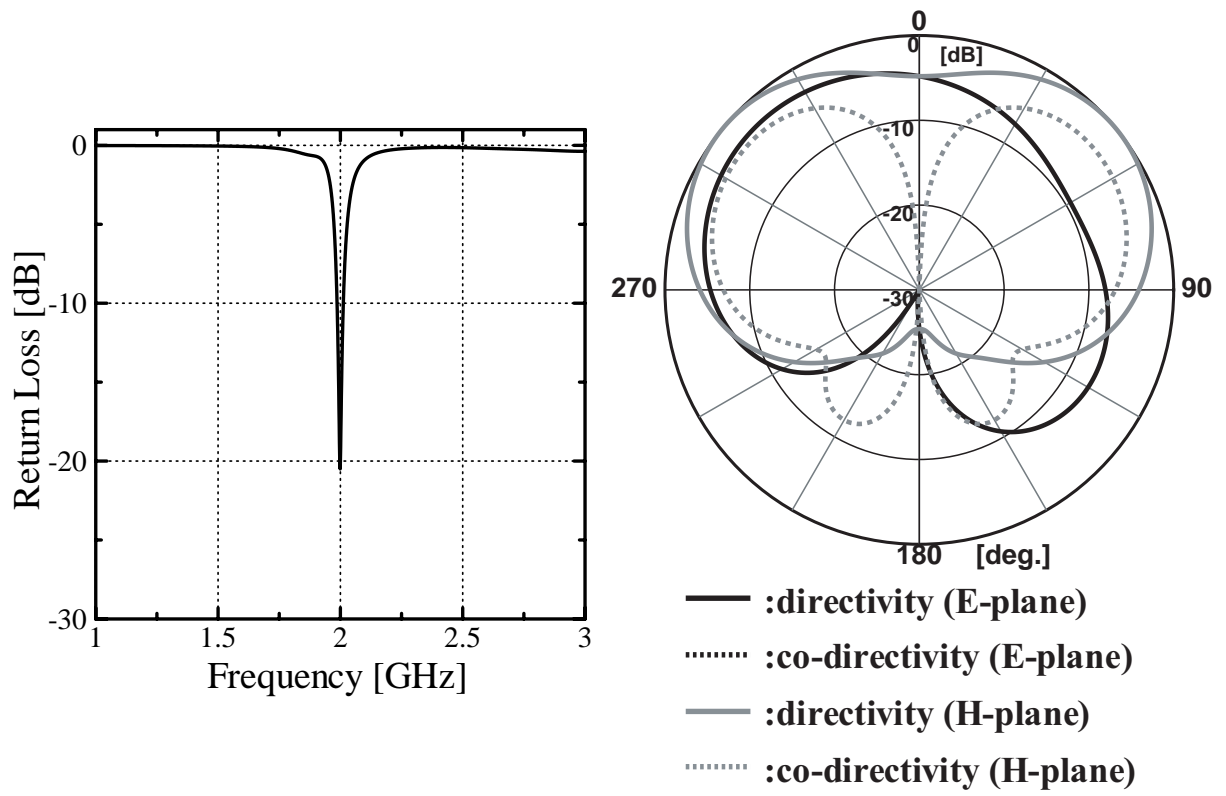


図 3.34 : 最も低いアンテナ地板形状でのリターンロス特性と指向性

第 4 章

結論

パッチアンテナ及び $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナに寄生素子を設置し，地板端部を折り返すことで，IMT-2000 用の室内用壁面設置型アンテナとして適したアンテナ形状を求めることができた．

はじめに H 面指向性を繭型にするために，二つの平面型寄生素子をパッチアンテナの H 面内に導波器として動作するよう設置した寄生素子付きパッチアンテナの解析を行った．その結果，寄生素子の大きさ，放射器からの高さ，距離を大きくすると \pm 約 45° 方向への放射が強くなり，繭型指向性を得ることができたが，低 FB 比のアンテナであった．

つぎに FB 比を増大させるために，寄生素子付きパッチアンテナの地板端部を折り返した寄生素子付き箱型地板パッチアンテナの解析を行った．その結果，FB 比を最大にする最適な地板形状が存在することがわかり，目標とした 20 dB 以上の FB 比を持つ繭型指向性を得ることができた．解析結果を元にアンテナを製作したところ，解析結果と測定結果はほぼ一致した．またアンテナ地板形状をさらに大きく変化させて検討を行ったところ，寄生素子付き箱型地板パッチアンテナにおいても，文献 [5] と同じように FB 比は最大値まで急激に増大し，その後ある一定値に収束することがわかった．

さらに寄生素子付き箱型地板パッチアンテナの地板形状を二重箱型地板とした寄生素子付き二重箱型地板パッチアンテナの解析を行った．その結果，FB 比を最大にする最適な地板形状が存在することがわかり，目標とした 20 dB 以上の FB 比を持つ繭型指向性を得ることができた．しかし導出した寄生素子付き二重箱型地板パッチアンテナは，寄生素子付き箱型地板パッチアンテナと比較すると，長辺方向，高さともにより大きく，より複雑な形状となっている．解析結果を元にアンテナを製作したところ，解析結果と測定結果はほぼ一致した．

寄生素子付き箱型地板パッチアンテナの更なる小型化のために， $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナを素子アンテナとして検討を行った．その結果，パッチアンテナを用いた場合と同様に FB 比を最大にする最適な地板形状が存在することがわかり，目標とした 20 dB 以上の FB 比を持つ繭型指向性を得ることができた．また寄生素子付き箱型地板パッチアンテナと比較すると，長辺方向が 0.72 倍，高さ方向が 2 倍となっており，長辺方向の小型化に成功した．高さ方向が大きくなってしまったが，32 mm と実用上問題ない大きさ

と考えられる．解析結果を元にアンテナを製作したところ，解析結果と測定結果はほぼ一致した．

最後に寄生素子付き箱型地板 $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナの折り返しの長さを変えずに低姿勢化を行うため，地板端部の折り返しの上部を再び折り返した二重返し付き $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナ，折り返しをジグザグに複数折り返した複数折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナの検討を行った．その結果，最大FB比，最小Lfが得られる最適値は折り返し下部から上部までの距離によって決まることがわかり，それぞれ目標とした 20 dB 以上の FB 比を持つ繭型指向性を得ることができた．また大きさを総合的に判断すると，複数折り返し付き $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナが最も適しているといえる．

今後の課題としては繭型指向性を有するアンテナによる室内での伝播特性の解明があげられる．

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．

研究に関する資料およびアンテナを提供して下さい下さった NTT DoCoMo R&D センタの恵比根佳雄氏に深く感謝致します．

また研究生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, “線状アンテナにおける反射器形状と指向性の前後比,” , 信学技報, A・P2001-85, pp.79-85, Oct. 2001.
- [2] Koichi OGAWA and Tomoki UWANO, “A Beam Tilt Dipole Array Antenna for Indoor Mobile Applications,” IEICE TRANS. ELECTRON. , VOL. E79-C, NO. 5, MAY 1996.
- [3] Keizo CHO, Toshikazu HORI, Hajime TOZAWA and Shinji KIYA, “Bidirectional Rod Antennas Comprising Collinear Antenna and Parasitic Elements,” IEICE TRANS. COMMUN. , VOL. E81-B, NO. 6, JUNE 1998.
- [4] Kazuyuki KOHZU and Hiroyuki Arai, “Dual Band Bidirectional Antenna,” IEEE 1996 Asia-Pacific Microwave Conference, New Delhi, India, Dec. 1996.
- [5] 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.
- [6] 田中正人, 荒谷政人, “カップ付きマイクロストリップアンテナ,” , 信学ソ大, B-54, Sep. 1996.
- [7] 杉本由紀, 恵比根佳雄, “60°と120°の2つのビーム幅を有する移動通信用基地局アンテナ,” , 信学ソ大, B-1-109, Sep. 1998.
- [8] 新井宏之, 新アンテナ工学, 総合電子出版社, 1996.
- [9] 宮崎功旭, 新井宏之, “繭型指向性を有する室内用壁面設置型パッチアンテナ,” , 信学ソ大, B-1-152, Sep. 2000.
- [10] 宮崎功旭, 新井宏之, 恵比根佳雄, “二重キャビティ内に設置された寄生素子付きパッチアンテナ,” , 信学総大, B-1-130, Mar. 2000.
- [11] 宮崎功旭, 新井宏之, “繭型指向性を有する $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナ,” , 信学ソ大, B-1-103, Sep. 2001.

発表文献

国際会議

- Noriaki MIYAZAKI, Hiroyuki Arai and Yoshio Ebine, “Indoor wall mounted patch antenna with cocoon-shaped pattern, ” IEEE 2001 Asia–Pacific Microwave Conference, Taipei, Taiwan, Dec. 2001.

電子情報通信学会 技術研究報告

- 宮崎功旭，新井宏之，恵比根佳雄，‘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.

電子情報通信学会 通信ソサイエティ大会

- 宮崎功旭，新井宏之，‘繭型指向性を有する室内用壁面設置型パッチアンテナ，’，信学ソ大，B-1-152，Sep. 2000.
- 宮崎功旭，新井宏之，‘繭型指向性を有する $\lambda/4$ 短絡型マイクロストリップアンテナ，’，信学ソ大，B-1-103，Sep. 2001.

電子情報通信学会 総合大会

- 宮崎功旭，新井宏之，恵比根佳雄，‘二重キャビティ内に設置された寄生素子付きパッチアンテナ，’，信学総大，B-1-130，Mar. 2000.