

卒業論文

設置環境を含めた 室内用アンテナに関する研究

指導教官 新井 宏之 助教授

平成14年3月1日提出

9844140 村江 寛巳

要約

IMT-2000 (International Mobile Telecommunication 2000) の導入に伴い、移動電話の不感知対策、トラフィック分散を目的としたビル内移動通信システムが注目されている。IMT-2000 では隣接ゾーン、セクタで同一周波数を用いる方式を取り入れている為、ビルの室内において基地局アンテナは窓際に設置しなければならない。

また窓際に室内用アンテナに設置する場合、屋外に不要な放射が存在していると干渉を起こすので、これを解決する為に現在、指向性制御を施したアンテナの研究が進められている。しかしそのアンテナの設置環境によってアンテナ特性が変化する恐れがある。

以上の点に注目し、本研究は室内用アンテナとして反射板付き無限地板モノポールアンテナを採用し、窓ガラスを想定した誘電体へアンテナを設置させた場合にアンテナの放射指向性、また本研究で重要なパラメータである FB 比 (Front to Back ratio) がどのように変化するかを検討することを目的とする。

最初に無限地板モノポールアンテナの FDTD 法 (Finite Difference Time Domain method) による解析について述べ、FDTD 解析の有用性を示した。さらに矩形反射板付き無限地板モノポールアンテナの解析を行い、FB 比が最も高くなる矩形反射板形状の最適化を行った。

次に誘電体をアンテナの後方に設置し、誘電体からアンテナまでの距離、誘電体の厚み、誘電率を変化させ、FB 比を検討した。その結果、誘電体を設置しない場合の FB 比と同等な値が得られる、誘電体から反射板の距離は $\lambda/4$ 、 $3\lambda/8$ 、 $7\lambda/8$ 程度で、誘電体からの距離が近い場合でも FB 比が保存されることを明らかにした。また測定により設置環境によってアンテナ特性に影響を与えることが分かった。

最後に反射板を誘電体に接触させた状態で、反射板形状を変化させることにより、FB 比がどのように変化するかを解析によって検討した。その結果、矩形反射板を $\lambda/2$ 程度 H 面と平行な方向に拡大すると、誘電体を設置しない場合の FB 比と同等な値を示すことが分かった。さらに H 面折り曲げの反射板では H 面方向の拡大によって FB 比が λ 周期で振動をすることを得られた。また FB 比を増大させた時の放射指向性の半値幅は大きく低下することを示した。

目次

第1章 序論	1
第2章 反射板付き無限地板モノポールアンテナ	5
2.1 ダイポールアンテナと無限地板モノポールアンテナ	5
2.2 FDTD法による無限地板モノポールアンテナの解析手順	7
2.3 矩形反射板付き無限地板モノポールアンテナ	10
第3章 設置環境によるアンテナへの影響	14
3.1 反射板形状を固定したときの検討	14
3.1.1 反射板からの距離について	14
3.1.2 誘電体の厚みについて	26
3.2 反射板形状を可変としたときの検討	31
第4章 結論	39
謝辞	40
参考文献	41

第 1 章

序論

現在、よりグローバルな、より高品質な通信コミュニケーション形態を確立しようと次世代移動通信システムである IMT-2000 (International Mobile Telecommunication 2000) の導入が始まっている。この IMT-2000 と現行方式 PDC (Personal Digital Cellular system) の違いの一つとして通信方式の変化が挙げられる。

IMT-2000 では今後の加入者の増加による使用周波数帯不足への対応として、CDMA (Code Division Multiple Access) 方式を採用している。この方式では、情報通信の拡散符号により個別のユーザーを識別するという手法を用いている為、同一周波数、同一時間の共有が可能になり、より効率的な周波数の使用が実現できる。移動電話が 8000 万台に近い現在、この CDMA 方式の導入は今後の発展を担うものとして非常に期待されている。

一方、現在移動通信の不感知対策、トラヒック分散を目的として、ビル内移動通信システムが導入されている。このシステムは屋外の基地局の電波を補足できないビル内に無指向性の基地局アンテナを配置し、基地局アンテナを光ケーブルにより通信ネットワークに接続させることにより、屋内に快適な通信環境を提供するものである。図 1.1 にこのシステムの概要を示す。現行の PDC 方式では隣接ゾーン、セクタの周波数が異なる為にトラヒック分散用の室内用アンテナは無指向性であっても干渉は起きず、不感知対策用の室内用アンテナも、もともと電波が弱い場所で用いる為同じく干渉が起きなかった。一方 IMT-2000 では隣接ゾーン、セクタにおいて先に述べたように同一周波数を用いている為に、トラヒック分散を目的とした室内用アンテナを、PDC 方式用の無指向性アンテナで代用しようとすると屋外の基地局、移動局からの干渉を受ける可能性がある。干渉量が増えると加入者容量が低減され好ましくない。

この改善策として室内用の基地局に指向性を持たせるという方法が提案されており、指

向性を持たせることで屋外に放射する電力を極力抑え干渉を抑制する方法である。この方法の場合アンテナを室内の中央に設置すると窓際での移動局との通信に際し強い電力を用いるので、窓際の移動局が屋外の基地局との干渉を引き起こす。よってアンテナに指向性を持たせるならば窓際に設置することが望ましいことが明らかにされている [1]。

以上のような理由から現在窓際設置のアンテナの研究がなされている。このようなアンテナは窓際への設置により屋外の影響を軽減するような指向性、つまりアンテナ後方への放射の抑制が求められ、開発の際に非常に重要になってくるのが FB 比 (Front to Back ratio) である。FB 比とはアンテナ前方 (メインローブ) への最大放射電力と後方 (バックローブ) への最大放射電力 (本研究では $180 \pm 30^\circ$ と設定) の比である。窓際設置のアンテナに関し、FB 比が大きければ後方への放射が抑制され干渉も受けにくいので、できるだけ大きいことが望まれている。

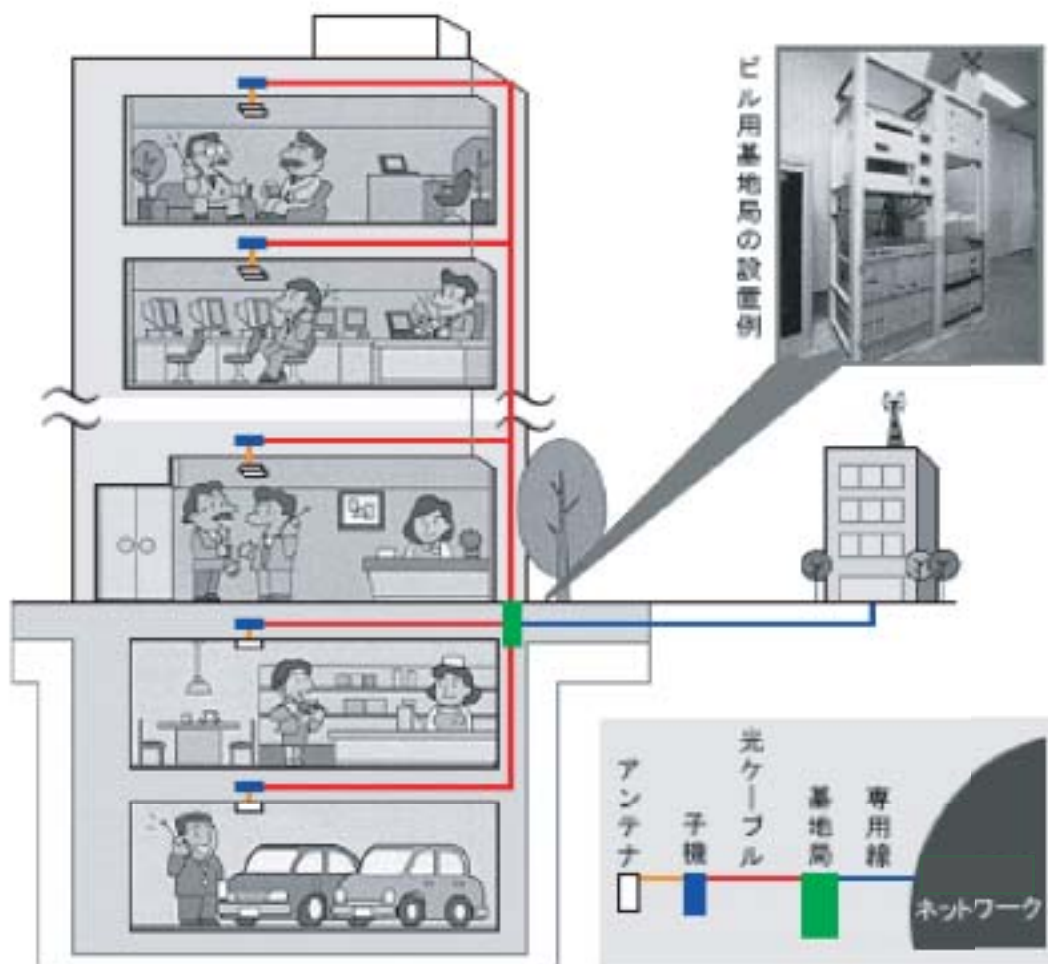


図 1.1 : ビル内移動通信システム

このようなアンテナの一例として論文 [2] では寄生素子付き箱型地板パッチアンテナが提案されている (図 1.2 参照)。このアンテナは図 1.3 のように放射指向性がカバーエリアを広く取ることができるよう繭型となっており、FB 比も屋外との指向性のオーバーラップを避けるよう 20 dB 以上を実現している。

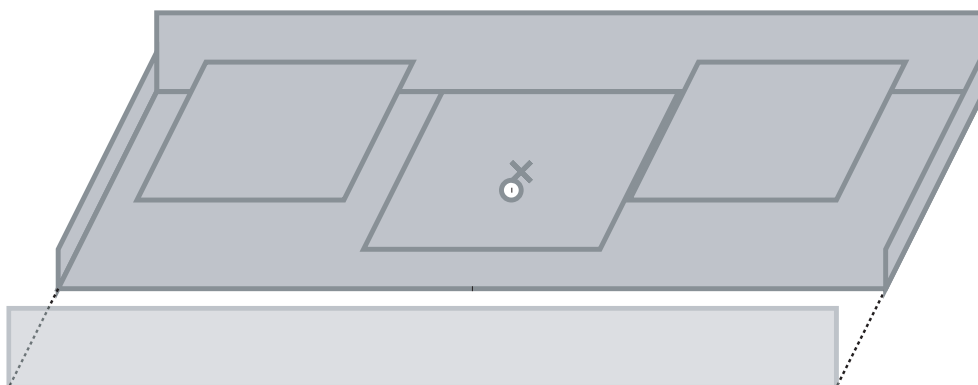


図 1.2 : 寄生素子付き箱型地板パッチアンテナ

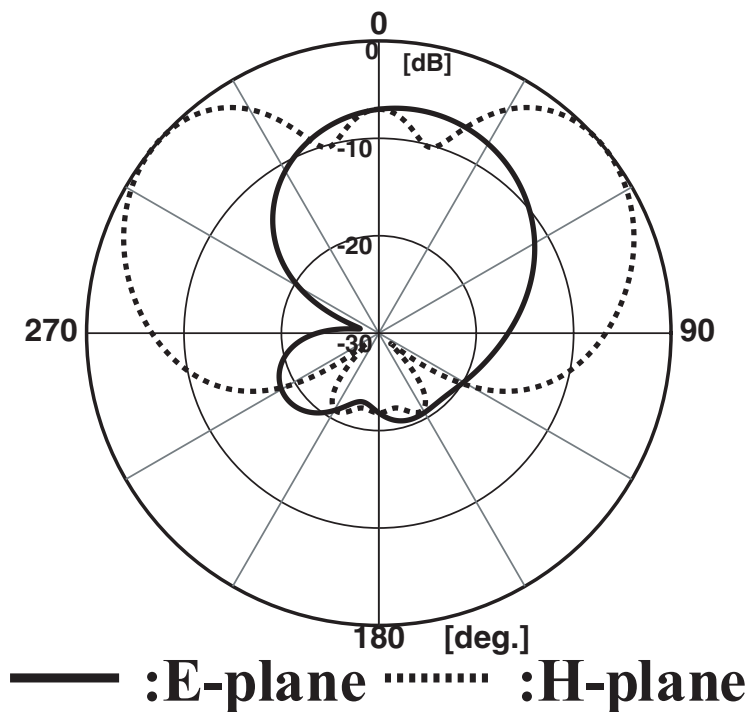


図 1.3 : 寄生素子付き箱型地板パッチアンテナの放射指向性

このように IMT-2000 で用いられる室内用アンテナの開発が進む中で、実用に当たる上で設置環境による影響を考慮に入れる必要が出てきた。窓は通常ケイ素等で作成され、7.0 前後の誘電率を持つ誘電体である。よって室内用アンテナを設置した場合、その誘電率の影響により FB 比、放射指向性が劣化する可能性がある。よって設置環境により室内用アンテナの特性がどのように変化するかを調査し、その場合どのような対策をすればアンテナ特性（主に FB 比）を保存できるか検討する事が求められる。本研究では以上の点に注目する。本研究では室内用アンテナとして簡単の為、反射板付き無限地板モノポールアンテナを採用し、誘電体によるアンテナ特性の影響を FDTD 解析によって明らかにする。具体的にはまずアンテナの形状を固定して誘電体からの距離を変化させることによって、誘電体を設置しない場合の FB 比と同等な値が得られる距離について検討する。次に誘電体と反射板を接触した状態で反射板形状を変化させることで、誘電体を設置しない場合の FB 比と同等な値が得られるかを検討する。

第 2 章

反射板付き無限地板モノポールアンテナ

本章ではまず本研究の解析で用いる FDTD 法の無限地板解析手順について述べる。次に以上の無限地板解析により本研究で素子アンテナとして用いる矩形反射板付き無限地板モノポールアンテナの最適化を行う。

2.1 ダイポールアンテナと無限地板モノポールアンテナ

論文 [2] で提案されている寄生素子付き箱型地板パッチアンテナは高い FB 比が得られているが、繭型指向性を得るために構造が複雑なものとなっている。

一方、論文 [3] で提案されている反射板付きダイポールアンテナは高 FB 比を有しその構造が単純である。しかし反射板付きダイポールアンテナはその構造上、実験に適していない。ダイポールアンテナを用いて実験を行う場合、図 2.1 のように反射板などの設置がダイポールアンテナの同軸線によって困難になる。

文献 [4] によると、ダイポールアンテナは無限地板モノポールアンテナと等価と見なすことが明らかにされている。これは図 2.2 のようにイメージ電流を用いることで説明できる。アンテナに J の電流が流れていることとすると、無限地板表面での境界条件は無限地板面上での電界の接線成分が 0 となることである。ここで無限地板を取り除いて地板に対して対称な位置に逆向きに流れるイメージ電流 J' を考えると、無限地板が置かれていた地点での電界の接線成分は J の電界と打ち消しあうので 0 となり、半波長ダイポールアンテナと等価であることが分かる。

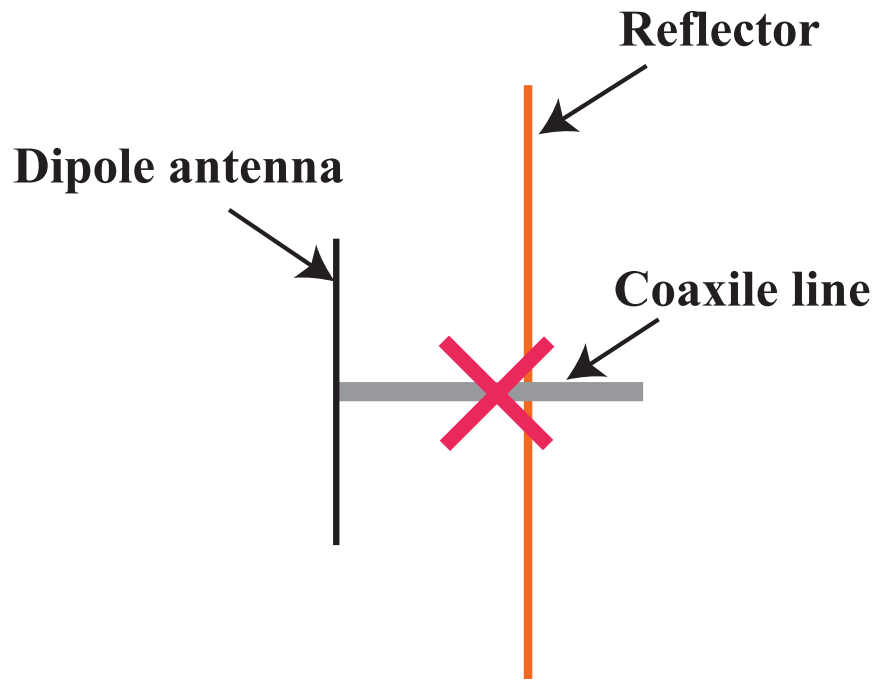


図 2.1 : ダイポールアンテナで測定を行う場合

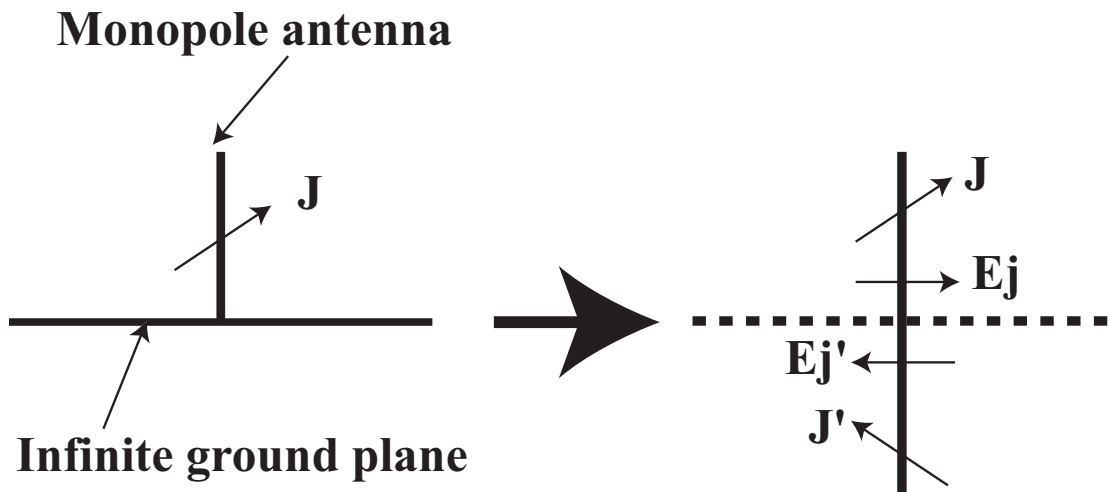


図 2.2 : 無限地板モノポールアンテナ

ここで無限地板モノポールアンテナを用いて測定を行う場合を考えると、地板上にモノポールアンテナ、反射板、誘電体等を設置することで設置が簡易になる。よって本研究では素子アンテナとして無限地板モノポールアンテナを採用することとする。

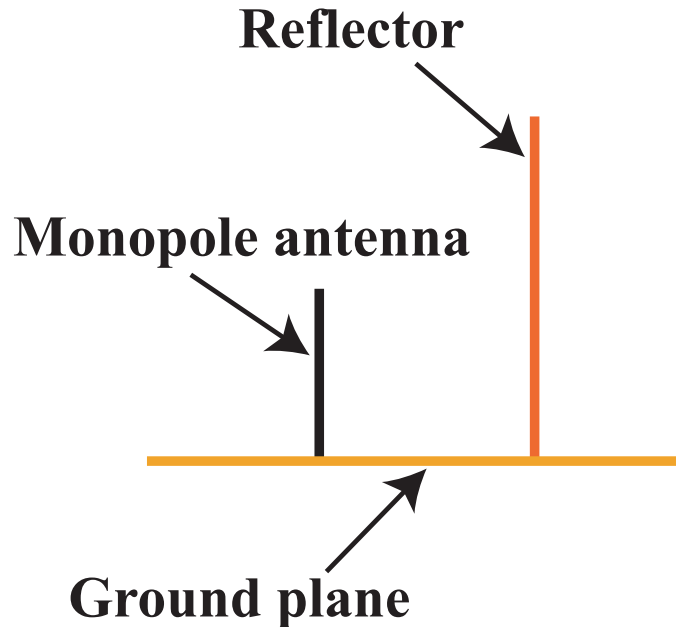


図 2.3 : モノポールアンテナで測定を行う場合

2.2 FDTD 法による無限地板モノポールアンテナの解析手順

本節では FDTD 法 (Finite Difference Time Domain method) を用いた無限地板モノポールアンテナの解析方法について述べる。

序論でも触れたが、本研究では FB 比が重要なパラメータの一つとなっているので放射指向性の測定が非常に重要になる。この放射指向性は一般に遠方放射電界を指し、FDTD 法ではアンテナの比較的近傍に直方体の指向性計算をする面 (指向性計算ボックス) を設定する。この指向性計算ボックス上の各面で電磁界成分に対応する等価電流・磁流密度を求め遠方界の電磁界成分または電力密度に変換する。

本研究の無限地板モノポールアンテナの解析もこの手法を用いて行う。図 2.4 が無限地板モノポールアンテナのモデルである。無限地板モノポールアンテナの解析のため、地板を解析空間の端まで広げたモデルとなっている。

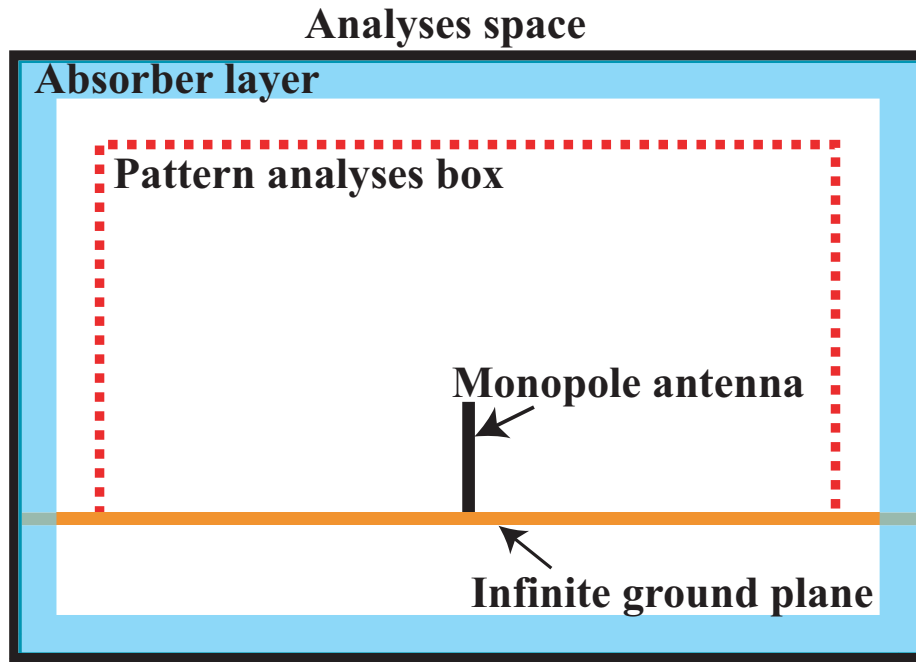


図 2.4 : FDTD 法による無限地板モノポールアンテナのモデリング

また指向性を計算する際、指向性計算ボックスの底面を地板上に設定すると、地板上の等価電磁流の計算を行うため、正しい結果が得られない。よって指向性の計算は指向性計算ボックスの底面を除いた 5 面で計算することとし、底面の指向性は計算した 5 面の結果で補完することによって求めることとする。

図 2.5、図 2.6 にこの無限地板モノポールアンテナとダイポールアンテナのリターンロス特性と放射指向性を示す。図 2.5 のモノポールアンテナのリターンロス特性に関しては、ダイポールアンテナと比較するため、入力インピーダンスを 2 倍にしたものを記載している。リターンロス、放射指向性とも一致しているといえる。よって本研究では無限地板モノポールアンテナの解析に際し今後、以上に述べた手順を用いて行うものとする。

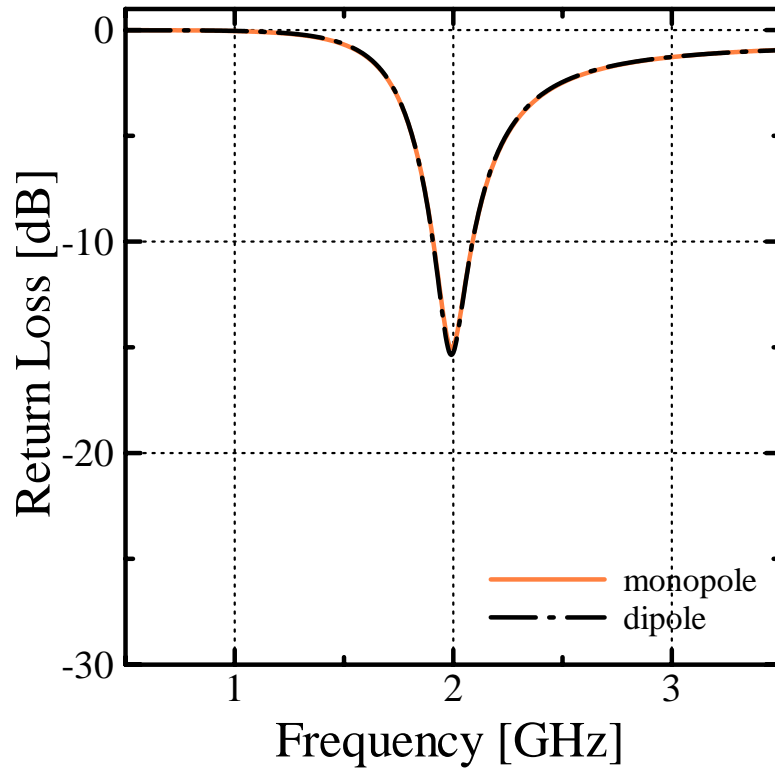


図 2.5 : 無限地板モノポールアンテナとダイポールアンテナのリターンロス特性

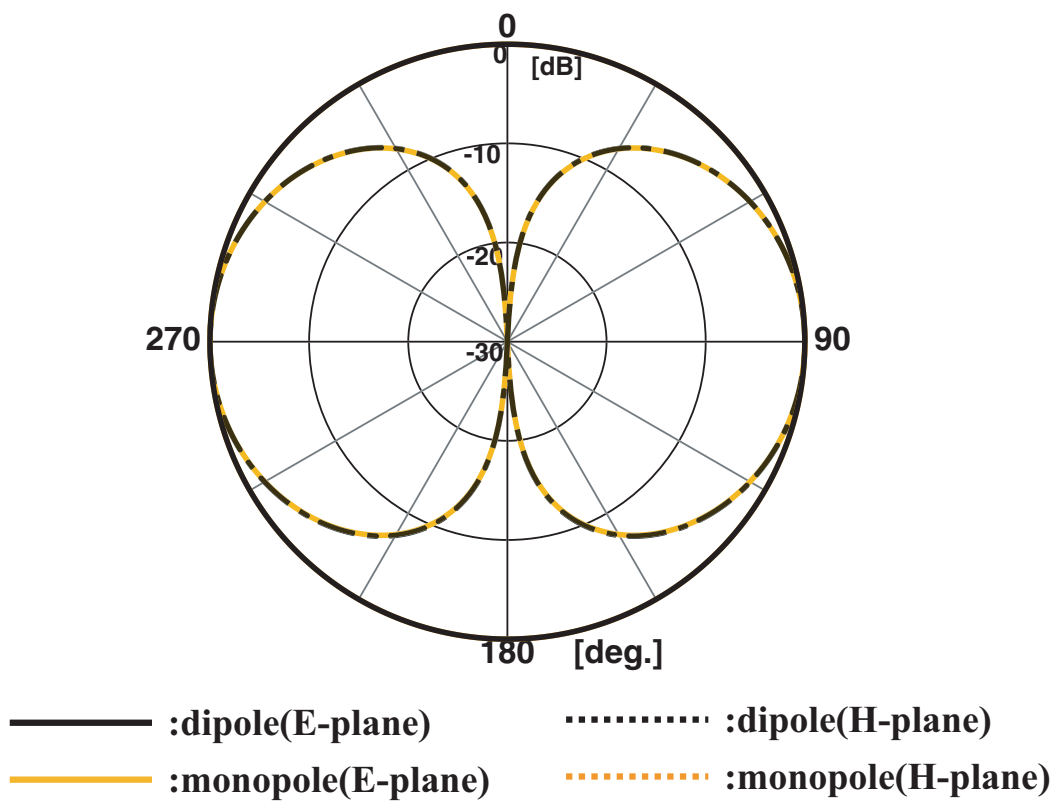


図 2.6 : 無限地板モノポールアンテナとダイポールアンテナの放射指向性

2.3 矩形反射板付き無限地板モノポールアンテナ

文献 [3] では 2GHz 帯のダイポールアンテナを用いた矩形反射板形状による FB 比の検討が行われており、アンテナから矩形反射板までの距離 D を $\lambda/4$ (38 mm)、矩形反射板の横幅 W を $\lambda/2$ (75 mm) と固定し、矩形反射板の高さ H をパラメータとした解析を行ったところ、 H が $3\lambda/2$ (225 mm) で最大 FB 比が得られることが報告されている (図 2.7 参照)。この結果を踏まえ今回は矩形反射板のアンテナからの距離を $\lambda/4$ (38 mm)、矩形反射板の大きさを横幅 $\lambda/2$ (75 mm)、高さ $3\lambda/4$ (114 mm) としたものをモデル S として定義する。

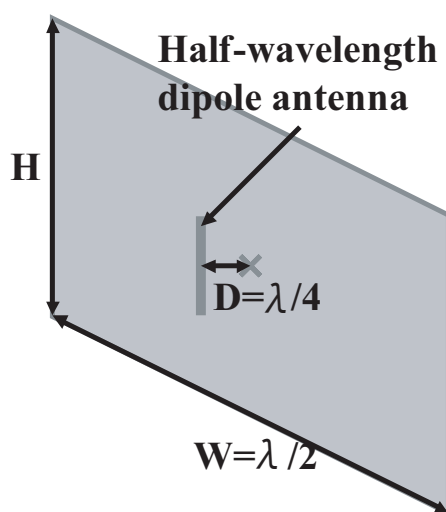


図 2.7 : 文献 [3] の解析モデル

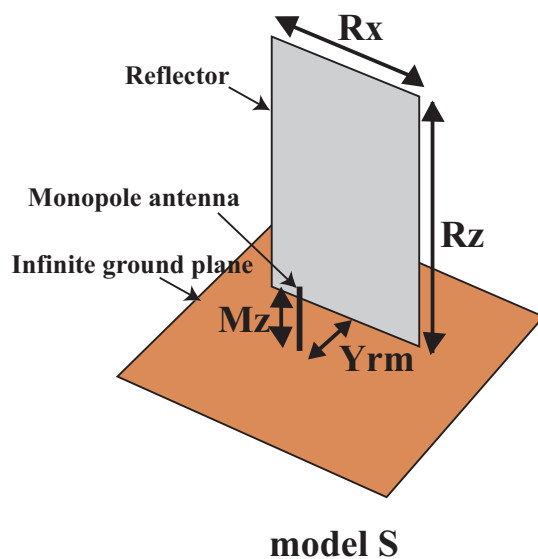


図 2.8 : モデル S のアンテナ形状 ($M_z = 34$, $R_x = 76$, $R_y = 114$, $Y_{rm} = 38$ /単位 [mm])

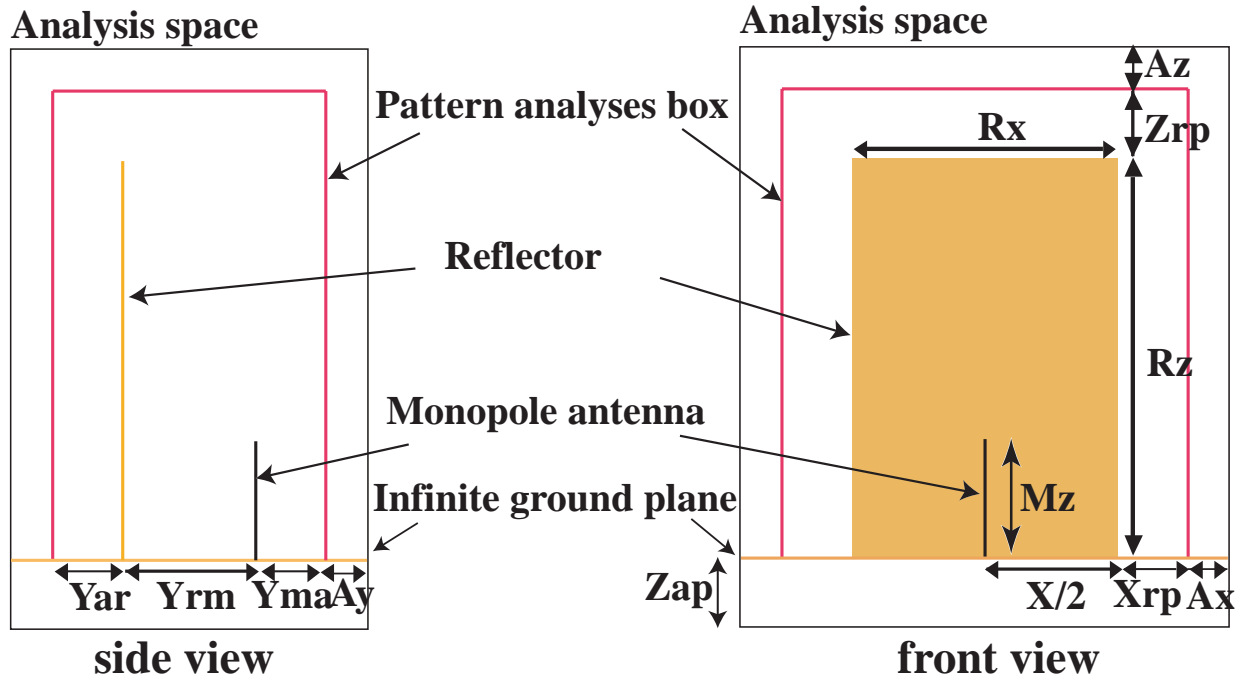


図 2.9 : 解析モデル ($A_x = A_y = A_z = 12$, $Y_{ar} = Y_{ma} = X_{rp} = Z_{rp} = Z_{ap} = 20$, $M_z = 34$, $Y_{rm} = 38$, /単位 [mm])

モデル S の FB 比を増大させるために、アンテナから矩形反射板までの距離をモデル S と同様に 38 mm と固定し、矩形反射板の横幅、高さを変化させて解析を行った。解析モデルを図 2.9 に示す。解析パラメータは矩形反射板の横幅 R_x 、高さ R_y とする。解析においてセルサイズを 2 mm、PML 吸収層を 4 層としている。アンテナの設計周波数は 2GHz である。

まず R_z を $3\lambda/4$ (114 mm) で固定し、 R_x を変化させて解析を行った。 R_x を変化させたときの FB 比を図 2.10 に示す。図 2.10 から論文 [3] と同様に R_x を変化させると FB 比は最大値まで急激に上昇し、その後一定値に収束することが分かる。最大 FB 比は 22.7 dB で、この時の R_x は 108 mm であった。

次に最大 FB 比を示した R_x (108 mm) を固定し、 R_z を変化させて FB 比を解析を行った。 R_z を変化させたときの FB 比を図 2.11 に示す。最大 FB 比は 23.4 dB で、この時の R_z は 120 mm であった。

これらの解析結果から最大 FB 比が得られる矩形反射板形状は横幅 108 mm、高さ 120 mm であることが分かり、この矩形反射板をモデル L と定義する。図 2.12 にモデル L のアンテナ形状を示す。また図 2.13 にモデル S、L の H 面放射指向性を示す。FB 比はモデル S が 19.8 dB、モデル L が 23.4 dB である。

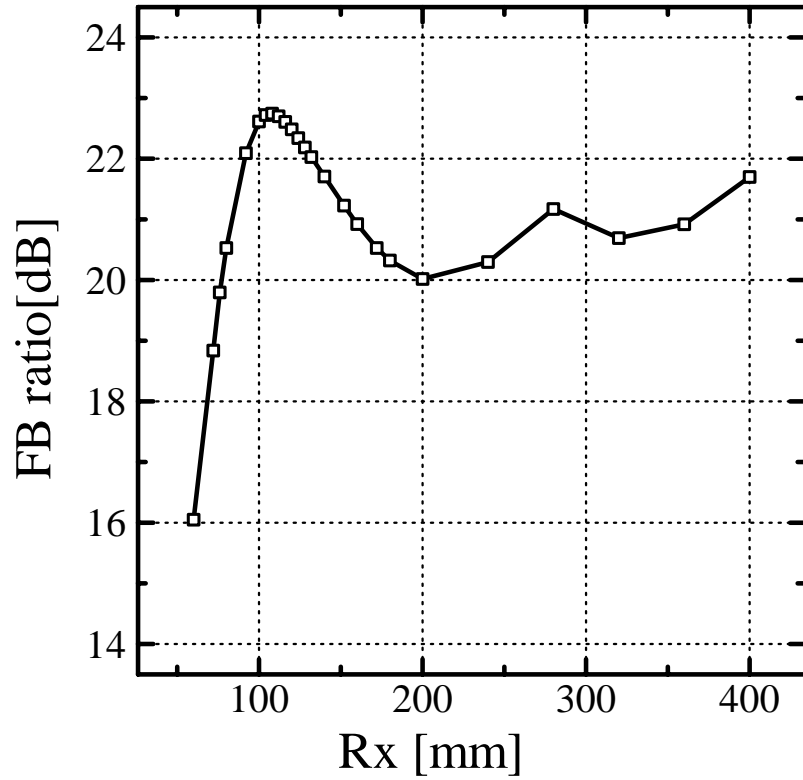


図 2.10 : Rx を変化させたときの FB 比

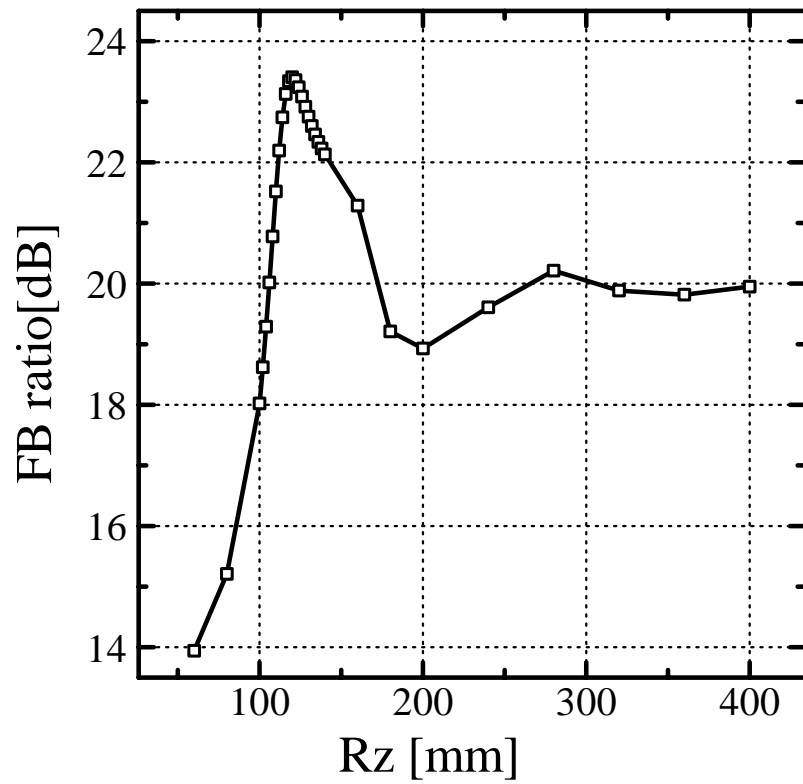


図 2.11 : Rz を変化させたときの FB 比

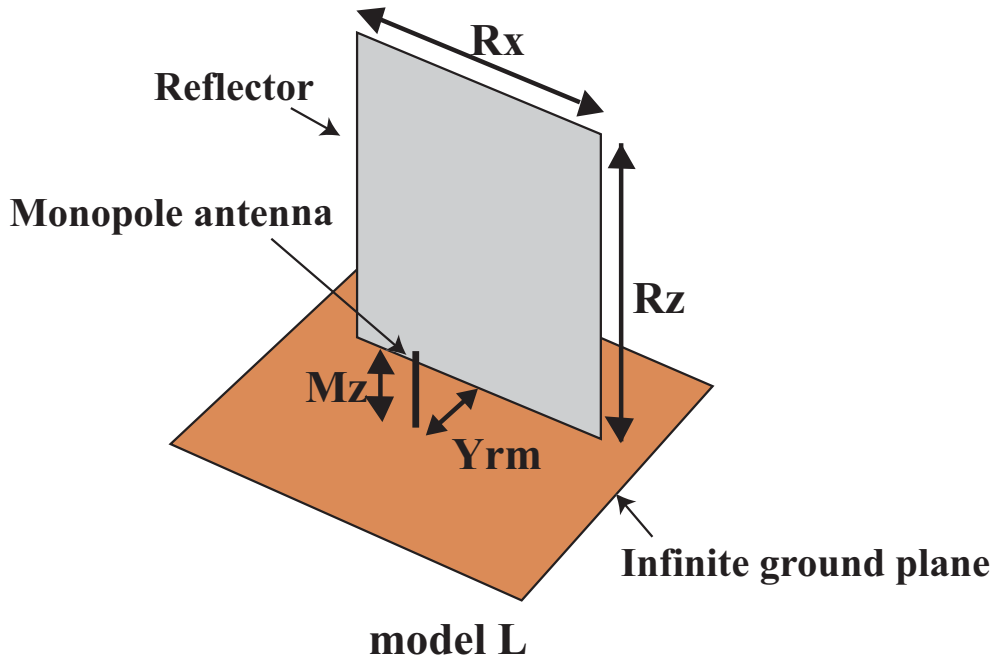


図 2.12 : モデル L のアンテナ形状 ($Mz = 34$, $Yrm = 38$, $Rx = 108$, $Ry = 120$ /単位 [mm])

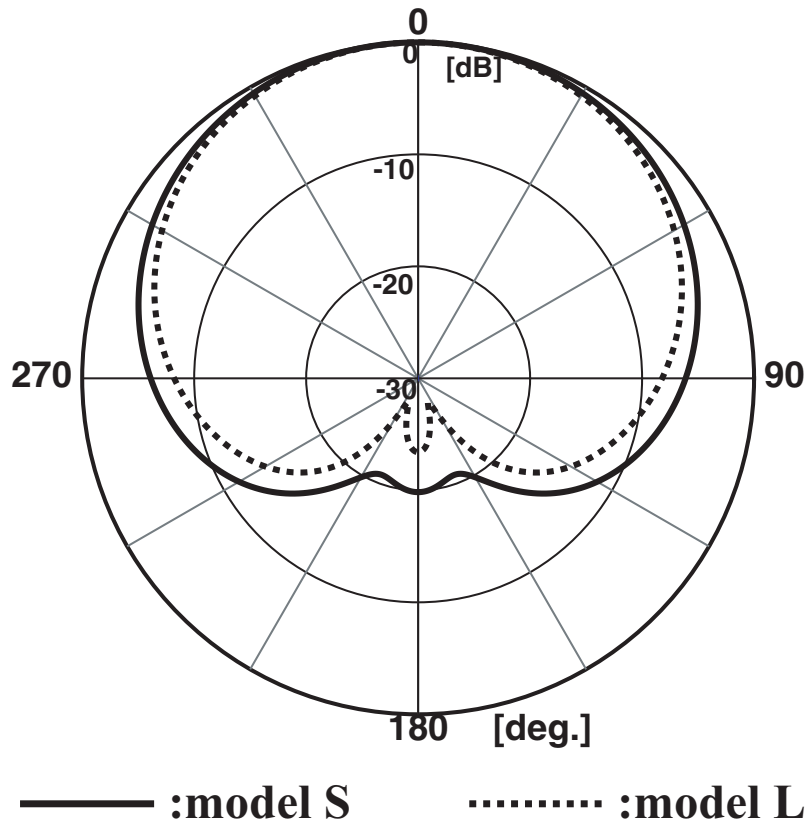


図 2.13 : モデル S、L の H 面放射指向性

第 3 章

設置環境によるアンテナへの影響

この章では、まず前章で示したモデル S、L を用いてアンテナの後方に誘電体を設置し、その距離による FB 比、放射指向性の影響について測定結果と共に示す。また誘電体に設置されたアンテナの反射板形状を変化させることによって、どのように FB 比が変化するかを検討する。

3.1 反射板形状を固定したときの検討

前章で求めたモデル S、L のアンテナに関して誘電体を設置し、反射板形状を固定したまま、反射板から誘電体までの距離や誘電体の厚みを変化させたときのアンテナ特性を検討する。

3.1.1 反射板からの距離について

まず反射板から誘電体までの距離を変化させて解析を行い FB 比を検討した。解析は前章と同様 FDTD 法を使用し、セルサイズを 2 mm、PML 吸収層は 4 層としている。素子アンテナとしてモデル S、L を用いた。この時の解析モデルを図 3.1 に示す。反射板の後方に誘電率 ϵ_r 、厚み W 、反射板から誘電体までの距離 D の誘電体を設置した。解析パラメータは誘電体の誘電率 ϵ_r 、厚み W 、反射板から誘電体までの距離 D である。なおモデル S、L の誘電体を設置しない場合の FB 比はそれぞれ 19.8 dB、23.4 dB で、本章では便宜上それぞれ FB_S 、 FB_L とおく。

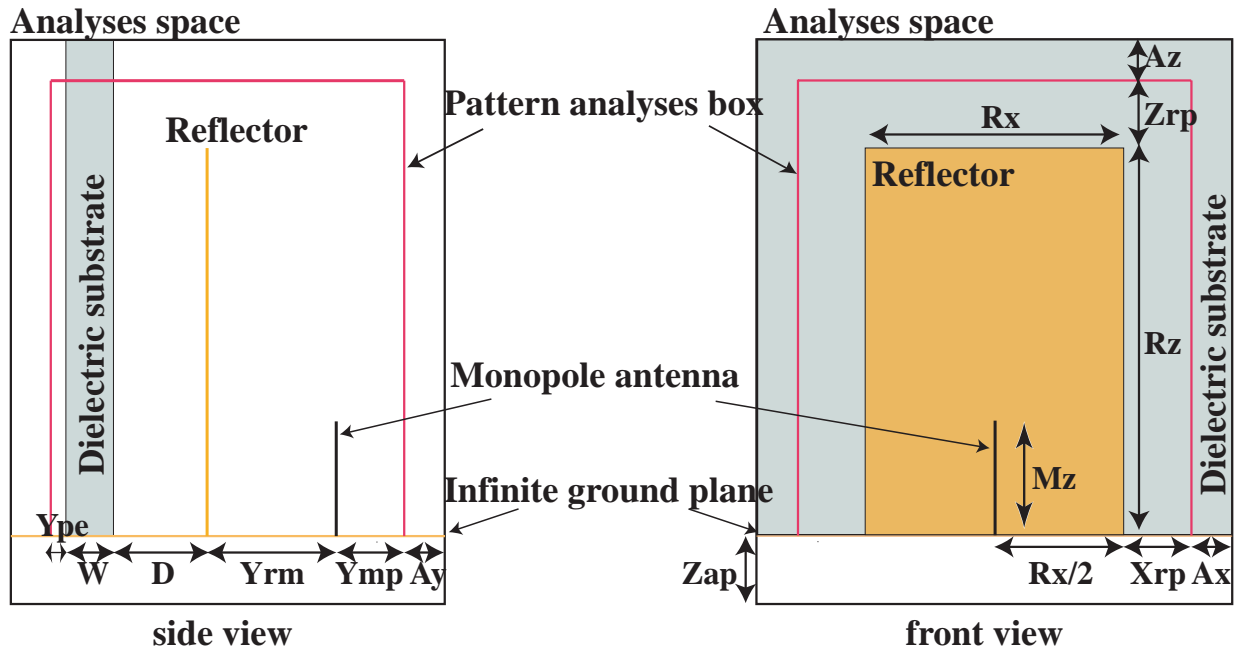


図 3.1 : モデル S、L の解析モデル ($W = 6$, $M_z = 34$, $A_x = A_y = A_z = 12$, $Y_{pe} = 4$, $Y_{rm} = 38$, $X_{rp} = Y_{mp} = Z_{rp} = Z_{ap} = 20$ / モデル S : $R_x = 76$, $R_z = 114$ / モデル L : $R_x = 108$, $R_z = 120$ / 単位 [mm])

図 3.2 がモデル S に関して W を 6 mm と固定し、 D 、 ϵ_r を変化させたときの FB 比である。図 3.2 から FB 比の最大値は ϵ_r が 10.0 において 21.4 dB で、最小値は ϵ_r が 10.0 において 12.8 dB であることが分かる。FB_S と比較してそれぞれ + 1.6 dB、- 7.0 dB の差がある。 D を 36 mm (約 $\lambda/4$)、54 mm (約 $3\lambda/8$) としたとき、FB_S と同等の値を得られている。FB 比は FB_S と比較して、 D が 36 mm で最大 - 1.0 dB 程度、 D が 54 mm で最大 - 0.9 dB 程度の差に収まることが分かる。また D が 126 mm (約 $7\lambda/8$) の場合には FB_S に比べ最大で 1.6 dB 程度高い FB 比が得られる。

同様にモデル L に関して W を 6 mm と固定し、 D 、 ϵ_r を変化させたときの FB 比を図 3.3 に示す。図 3.3 から FB 比はモデル S と同様な傾向を示し、その値が高い値へシフトした特性であることが分かる。FB 比の最大値は ϵ_r が 10.0 において 25.2 dB であり、最小値は ϵ_r が 10.0 において 16.9 dB である。この最大値、最小値の FB 比の差はモデル S のものと一致しており、反射板の大きさは FB 比に影響を与えるだけで傾向への影響は僅かである事が分かる。従って FB_L と同等の値を得られた D の値は、モデル S と同じく 36 mm (約 $\lambda/4$)、54 mm (約

$3\lambda/8$) であることが分かる。FB_L と比較して、D が 36 mm で最大 - 0.8 dB 程度、54 mm で最大 - 0.6 dB 程度の FB 比の差に収められ、モデル S よりも若干小さい値となった。なお D が 126 mm (約 $7\lambda/8$) では FB_L と比べて最大で + 1.8 dB 程度の FB 比が得られている。

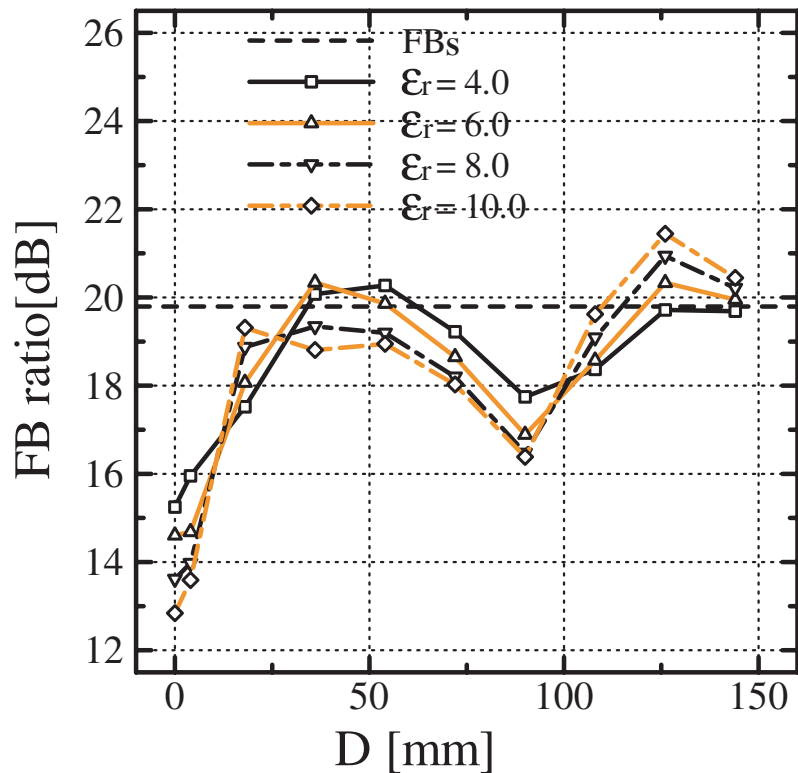


図 3.2 : モデル S に関して W を 6 mm と固定し、D、 ϵ_r を変化させたときの FB 比

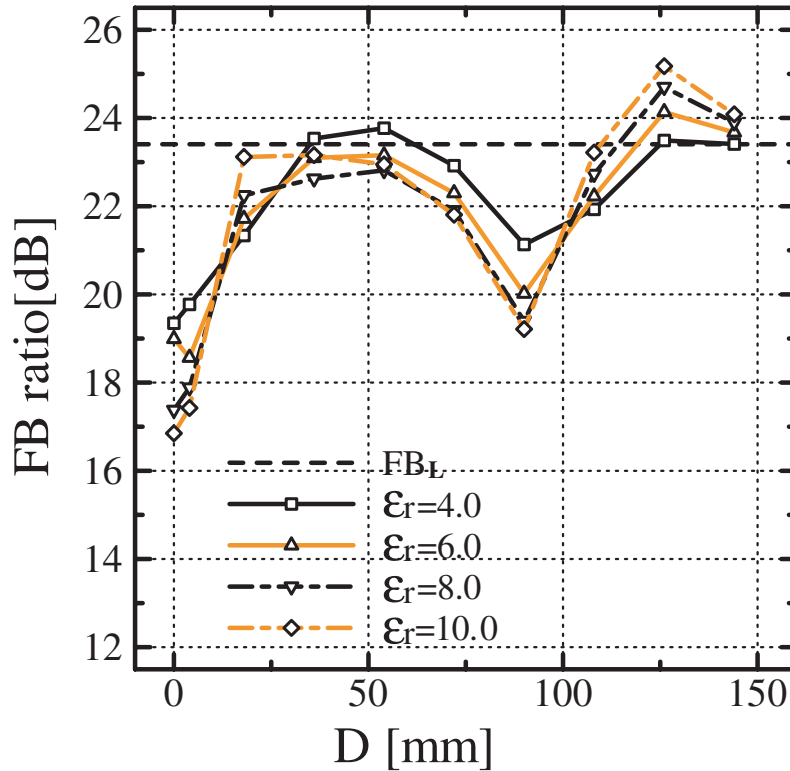


図 3.3 : モデル L に関して W を 6 mm と固定し、 D 、 ϵ_r を変化させたときの FB 比

続いて ϵ_r を 6.0 に固定して D 、 W を変化させて解析を行った。モデル S、L に関して ϵ_r を 6.0 と固定し、 D 、 W を変化させたときの FB 比がそれぞれ図 3.4、3.5 である。図 3.4、3.5 は、先の図 3.2、3.3 と同様な傾向を示している。図 3.4 からモデル S では FB 比の最大値は W が 16.0 mm において 20.9 dB、最小値は W が 16.0 mm において 13.4 dB であり、 FB_S との差はそれぞれ + 1.1 dB、- 6.3 dB である。 FB_S と同等の値を得られている D は 36 mm (約 $\lambda/4$)、54 mm (約 $3\lambda/8$)、126 mm (約 $7\lambda/8$) の場合で、 FB_S との差はそれぞれ最大で - 1.8 dB、- 2.0 dB、+ 1.0 dB である。図 3.2 の結果と比較して W は ϵ_r よりも若干影響が強いことが分かる。

図 3.5 からモデル L に関して最大 FB 比は W が 16.0 mm において 24.7 dB、最小 FB 比は W が 16.0 mm において 17.2 dB であることが分かる。 FB_L との差がそれぞれ + 1.3 dB、- 6.2 dB である。 D が 36 mm (約 $\lambda/4$)、54 mm (約 $3\lambda/8$)、126 mm (約 $7\lambda/8$) において FB_L と同等の値をえられており、 FB_L との差はそれぞれ最大で - 1.0 dB、- 1.6 dB、+ 1.3 dB である。

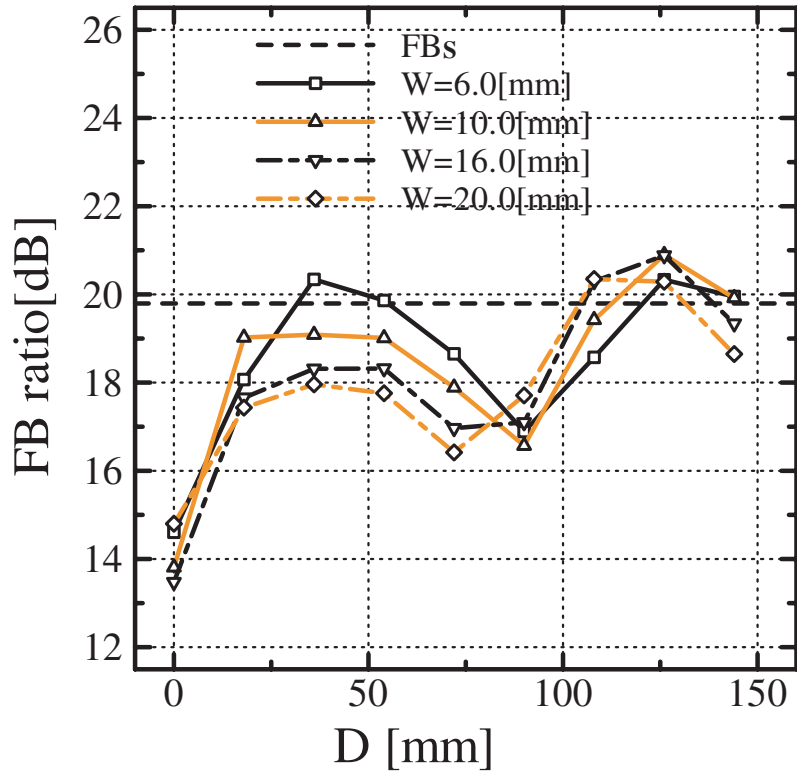


図 3.4 : モデル S に関して ϵ_r を 6.0 と固定し、D、W を変化させたときの FB 比

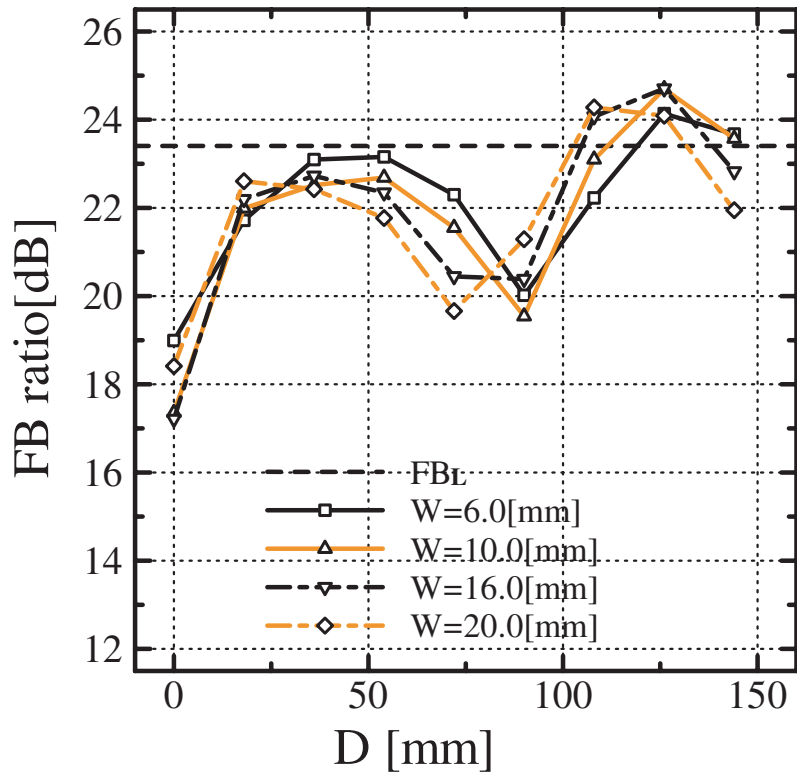


図 3.5 : モデル L に関して ϵ_r を 6.0 と固定し、D、W を変化させたときの FB 比

最後に誘電体から反射板までの距離を変化させて測定を行った。図 3.6、3.7 が測定環境、測定モデルである。誘電体の大きさは横幅 DS_x が 400 mm、高さ DS_z が 420 mm で、 ϵ_r が 3.5 のものを 2 枚貼り合わせ、厚さ DS_y を 3.3 mm として使用した。地板は円形地板を用い、半径 Gr が 250 mm のものを用いた。



図 3.6 : 測定環境

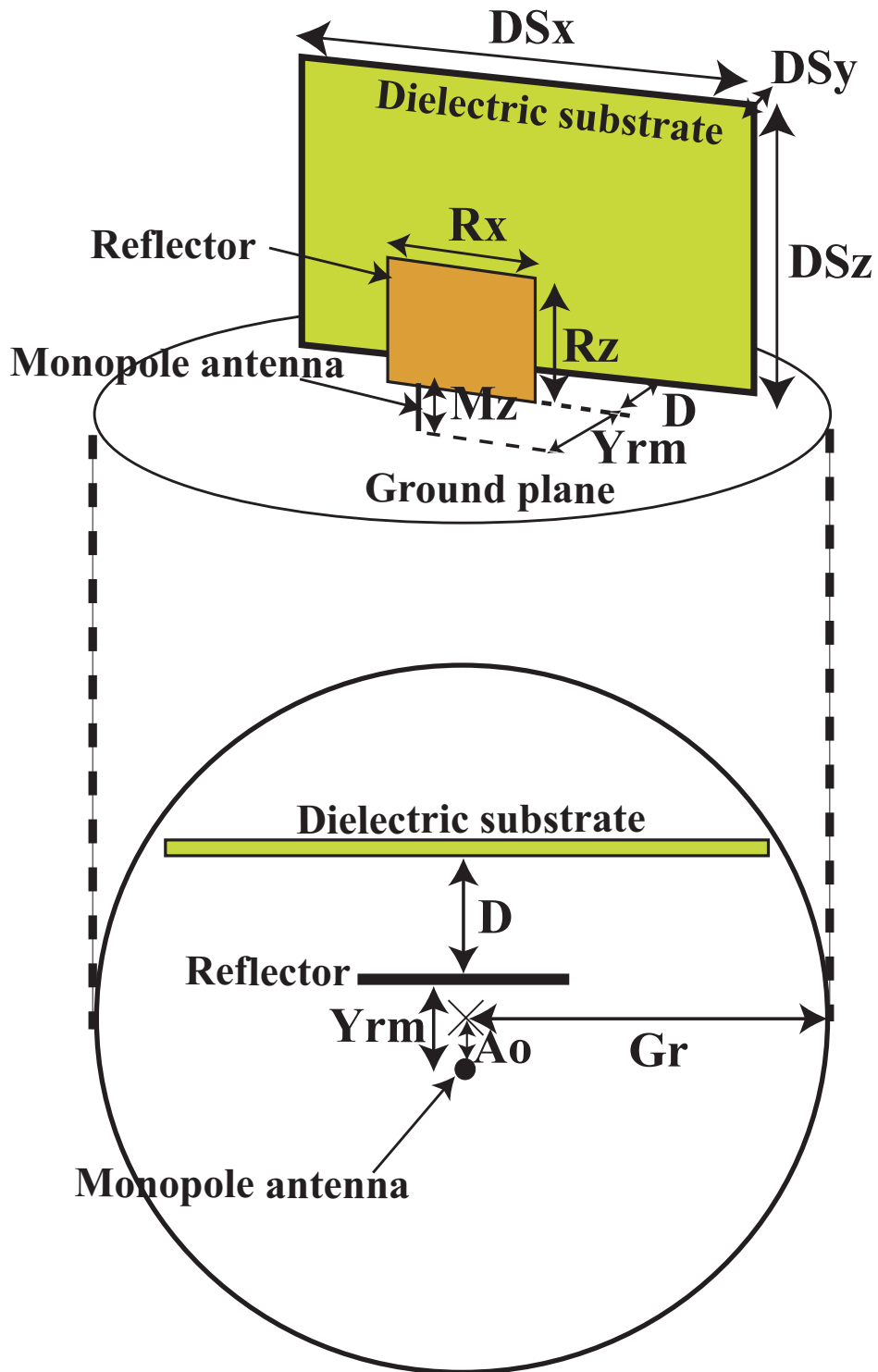


図 3.7 : 測定モデル ($M_z = 35.5$ $Gr = 250$, $Y_{rm} = 38$, $DS_x = 400$, $DS_y = 3.3$, $DS_z = 420$, $A_o = 22.5$ /モデル S : $R_x = 38, R_z = 57$ /モデル L : $R_x = 54, R_z = 60$ / 単位 : mm)

まずモデル S に関して誘電体を設置しない場合の測定、解析結果のリターンロス特性を図 3.8 に、H 面放射指向性を図 3.9 に示す。またモデル L に関して誘電体を設置しない場合の測定、解析結果のリターンロス特性を図 3.10 に、H 放射指向性を図 3.11 に示す。図 3.8、3.10 から、リターンロスはモデル S、L についてともに解析との一致が得られたが、H 面放射指向性に関しては図 3.9、3.11 から解析との一致が見られなかった。文献 [4] によると有限円形地板を有するモノポールアンテナの放射指向性を測定する際は、地板の半径が 10λ 以上のものが必要となってくることが明らかにされている。本測定における円形地板の半径 G_r は測定条件等の理由で、およそ $5\lambda/3$ 程度であるため、放射指向性の測定結果が解析結果と一致しなかったと考えられる。

次に誘電体による放射指向性の影響を考える為、モデル S、L に関して誘電体から反射板までの距離 D を変化させて放射指向性の測定を行った。また今回の測定では、 ϵ_r 、 DS_y が小さく、FB 比の比較が困難であった。従って放射指向性の外形に注目する。

D を変化させたときの H 面放射指向性をモデル S に関しては図 3.12 に、モデル L に関しては図 3.13 に示す。その結果、放射指向性の外形についての考察を試みたがその評価が困難で、今回の測定では放射指向性には誘電体の影響が存在するという結果を得るにとどまった。

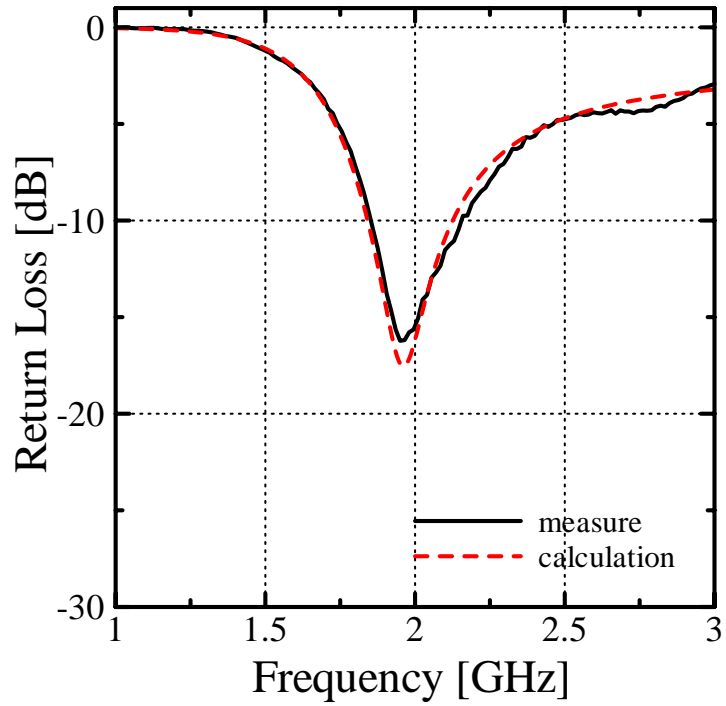


図 3.8 : モデル S に関して誘電体を設置しない場合の測定、解析結果のリターンロス特性

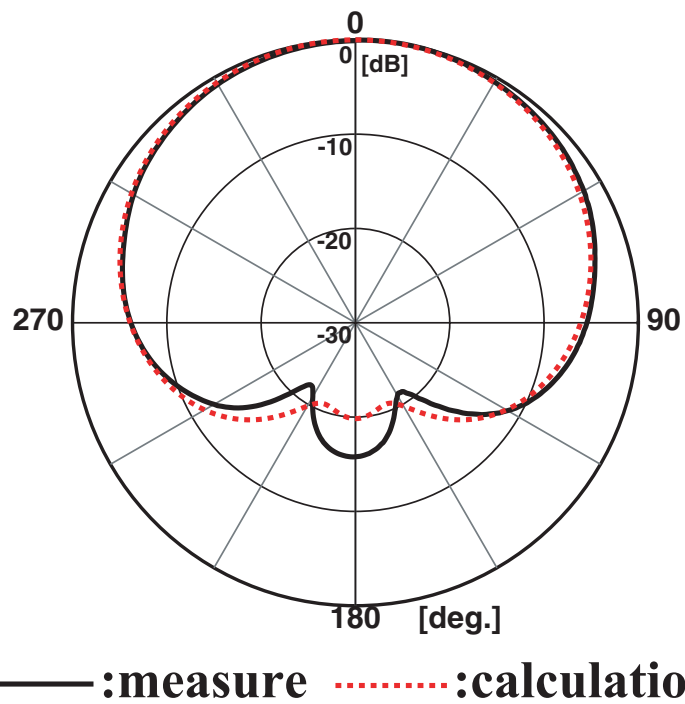


図 3.9 : モデル S に関して誘電体を設置しない場合の測定、解析結果の H 面放射指向性

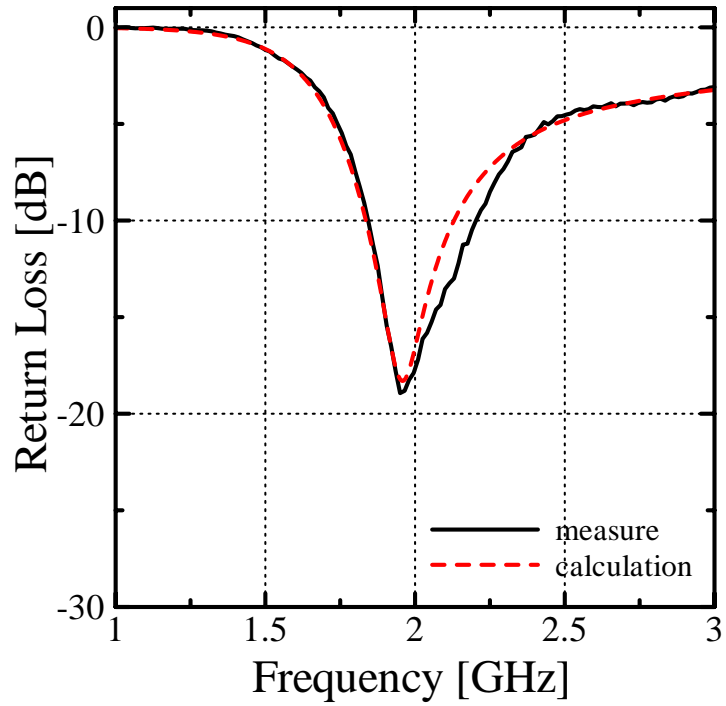


図 3.10 : モデル L に関して誘電体を設置しない場合の測定、解析結果のリターンロス特性

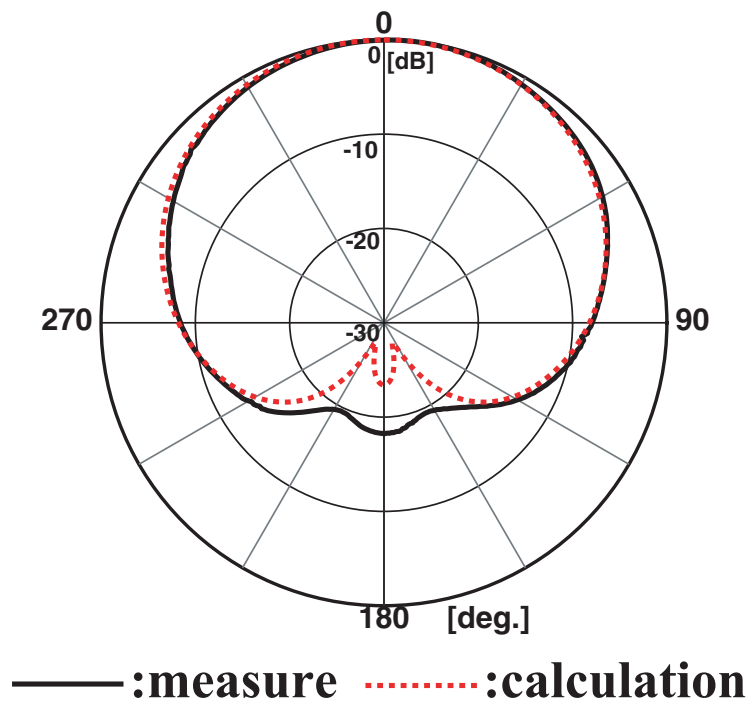


図 3.11 : モデル L に関して誘電体を設置しない場合の測定、解析結果の H 面放射指向性

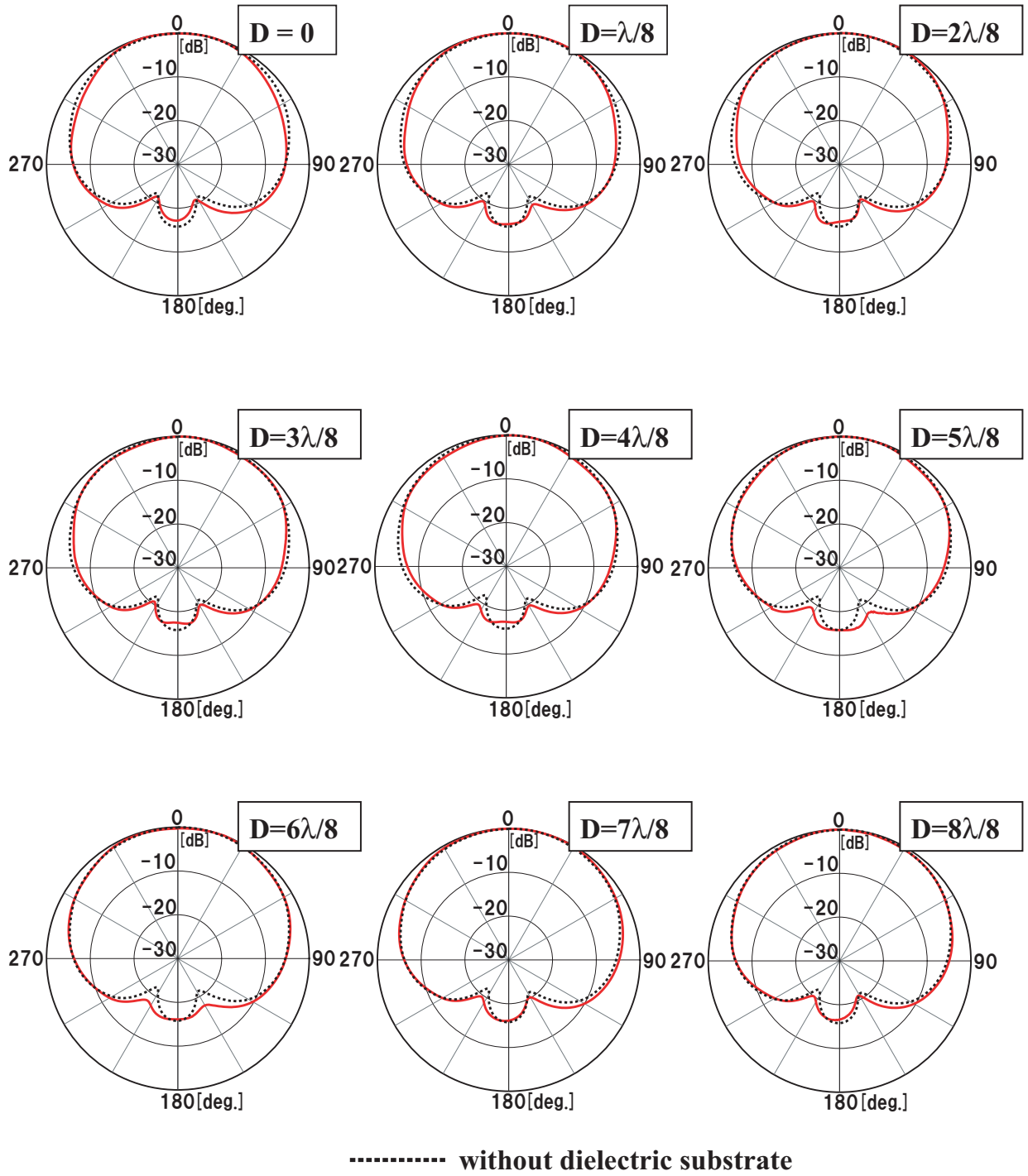


図 3.12 : モデル S に関して D を変化させたときの H 面放射指向性

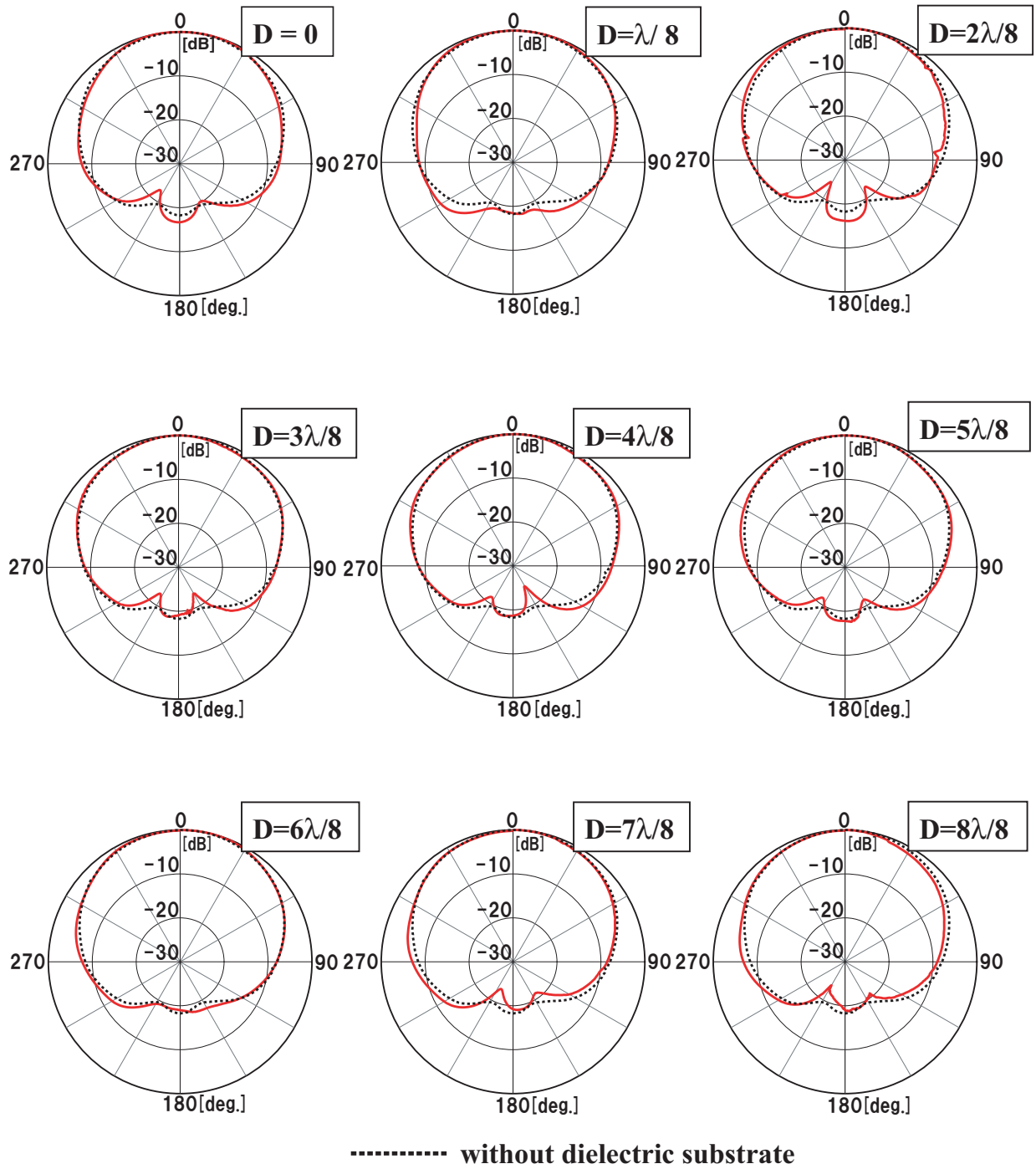


図 3.13 : モデル L に関して D を変化させたときの H 面放射指向性

3.1.2 誘電体の厚みについて

前項では矩形反射板から誘電体までの距離についての解析を行ったが、前項の解析条件では誘電体の厚みが FB 比に大きな影響を与えることが分かった。そこで本項では前項での解析結果をもとに誘電体と反射板の距離を固定し、誘電体の厚みを変化させたときの FB 比を検討した。解析は前章と同様 FDTD 法を使用し、セルサイズを 2mm、PML 吸収層は 4 層としている。

解析モデルを図 3.14 に示す。モデルは前項に引き続き、モデル S、L の矩形反射板付き無限地板モノポールアンテナを用いた。矩形反射板の後方に誘電率 ϵ_r 、厚み W 、反射板から誘電体までの距離 D の誘電体を設置した。解析パラメータは誘電体の厚み W 、誘電率 ϵ_r である。矩形反射板から誘電体までの距離 D は前項で行った解析において FB_S 、 FB_L と同等の値を得られた、38 mm (約 $\lambda/4$)、56 mm (約 $3\lambda/8$)、132 mm (約 $7\lambda/8$) を用いた。

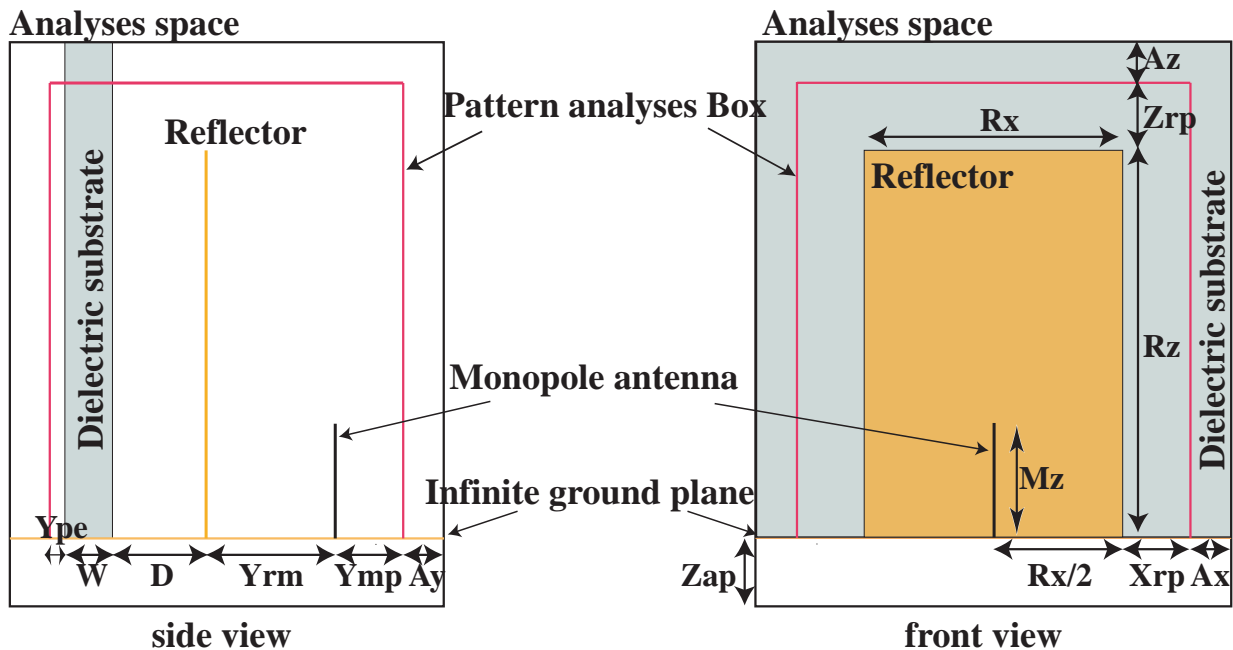


図 3.14 : モデル S、L の解析モデル ($Ype + W = 24$, $Mz=34$, $Ax = Ay = Az = 12$, $Yrm = 38$, $Xrp = Ymp = Zrp = Zap = 20$, /モデル S : $Rx = 76$, $Rz = 114$ / モデル L : $Rx = 108$, $Rz = 120$ / 単位 [mm])

モデル S に関して D を 38 mm (約 $\lambda/4$)、56 mm (約 $3\lambda/8$)、132 mm (約 $7\lambda/8$) で固定し、W、 ϵ_r を変化させたときの FB 比をそれぞれ図 3.15 から 3.17 に示す。図 3.15 から、D が 38 mm の場合、FB 比は 17.3 dB から 20.5 dB の間で変化していることが分かる。FB_S との差は最大で、 ϵ_r が 10.0 において - 2.6 dB 程度であった。図 3.16 より、D が 56 mm の場合、W を大きくすると FB 比が低下する事が分かる。FB 比は 16.9 dB から 20.3 dB の間で変化しており、FB_S との差は最大でも ϵ_r が 10.0 において - 2.9 dB 程度であった。図 3.17 より、D が 132 mm の場合、W が 14 mm まで ϵ_r を大きくすると、FB 比が高くなる事がわかる。FB 比は 18.8 dB から 21.5 dB の間で変化している。FB_S との差は最大で ϵ_r が 10.0 において + 1.7 dB であった。FB 比の低下は ϵ_r が 10.0 において - 1.0 dB 程度である。

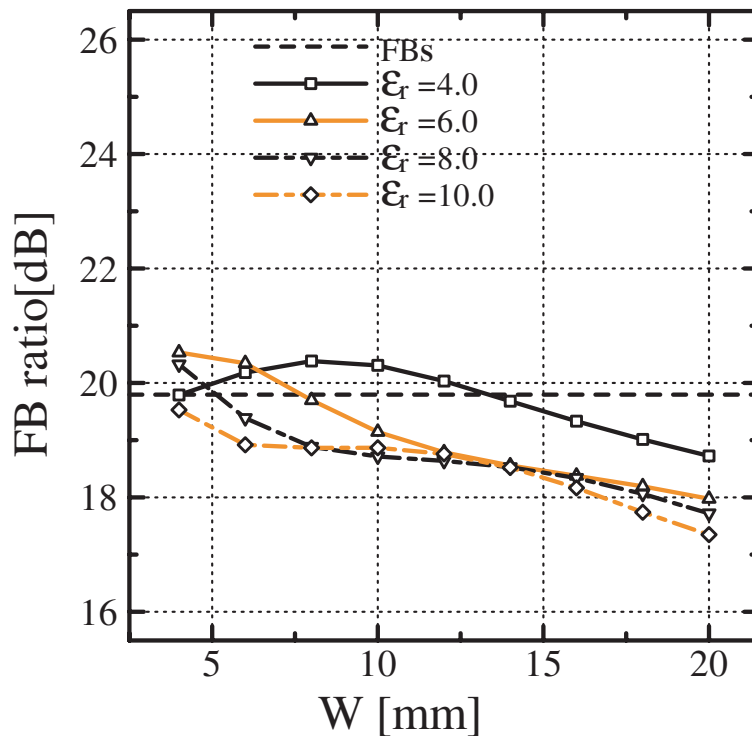


図 3.15 : モデル S に関して D を 38 mm (約 $\lambda/4$) で固定し、W、 ϵ_r を変化させたときの FB 比

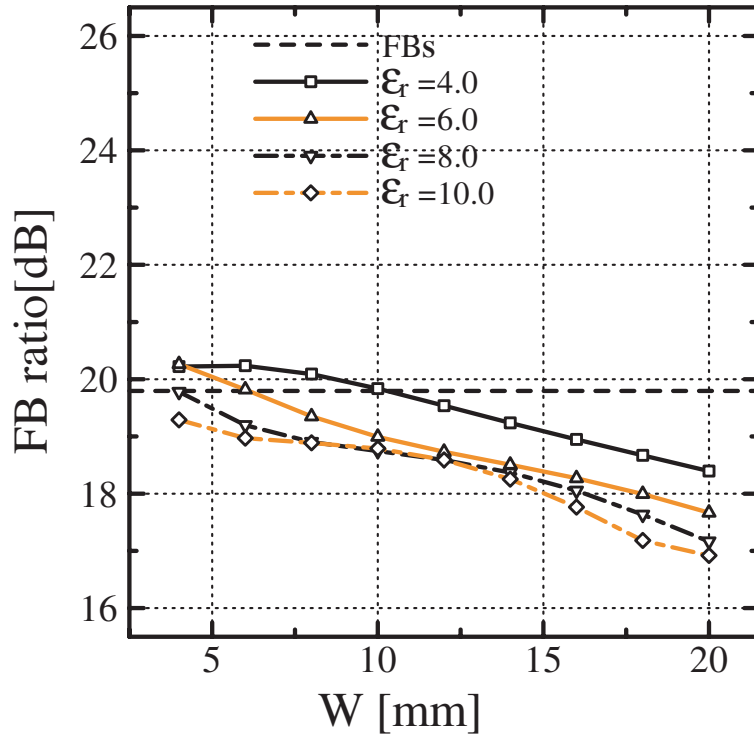


図 3.16 : モデル S に関して D を 56 mm (約 $3\lambda/8$) で固定し、 W 、 ϵ_r を変化させたときの FB 比

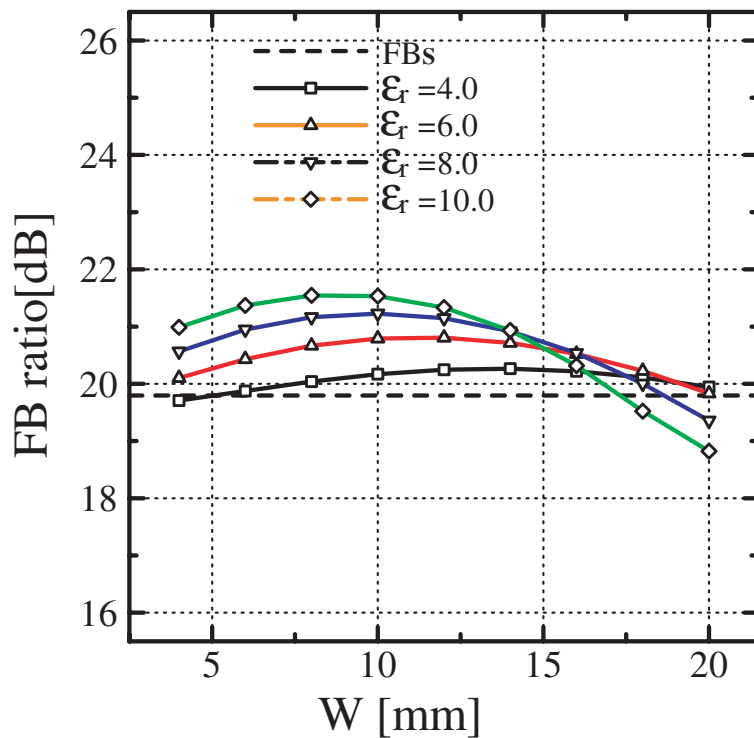


図 3.17 : モデル S に関して D を 132 mm (約 $7\lambda/8$) で固定し W 、 ϵ_r を変化させたときの FB 比

続いてモデル L に関して D を 38 mm (約 $\lambda/4$)、 56 mm (約 $3\lambda/8$)、 132 mm (約 $7\lambda/8$) で固定し、 W 、 ϵ_r を変化させたときの FB 比をそれぞれ図 3.18 から 3.20 に示す。この結果はモデル S と同様な傾向を示していると言える。図 3.18 より、 D が 38 mm の場合、FB 比は 21.3 dB から 23.7 dB の間で変化しており、最小 FB 比は ϵ_r が 10.0 において 21.3 dB で FB_L と比べて -2.1 dB 程度の差である。図 3.19 より、 D が 56 mm の場合、FB 比は 20.6 dB から 23.8 dB の間で変化しており、最小 FB 比は ϵ_r が 10.0 において 20.6 dB で、 FB_L との差は -2.8 dB あった。図 3.20 より、 D が 132 mm の場合、FB 比は 22.2 dB から 25.1 dB の間で変化しており、最小 FB 比は ϵ_r が 10.0 において 22.2 dB で、 FB_L との差は -1.1 dB 程度であった。

本節を通し、解析結果等を定量的に検討した結果、反射板形状を固定した場合、アンテナを誘電体から 38 mm (約 $\lambda/4$)、 56 mm (約 $3\lambda/8$)、 132 mm (約 $7\lambda/8$) 程度の特定な距離を置くことで、誘電体から近い場合でも FB 比の低下は最大で 2.9 dB 程度に防ぐことが可能であることが分かった。

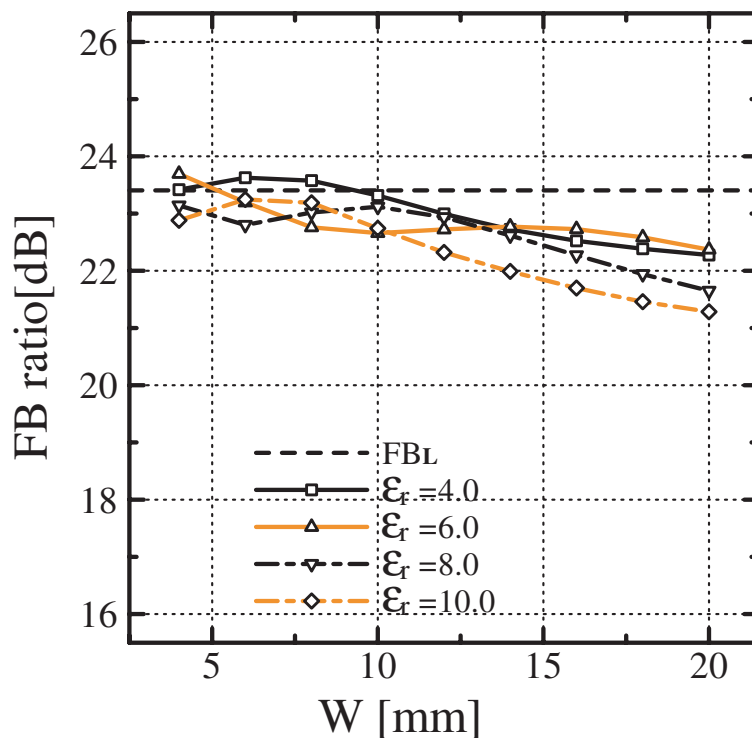


図 3.18 : モデル L に関して D を 38 mm (約 $\lambda/4$) で固定し、 W 、 ϵ_r を変化させたときの FB 比

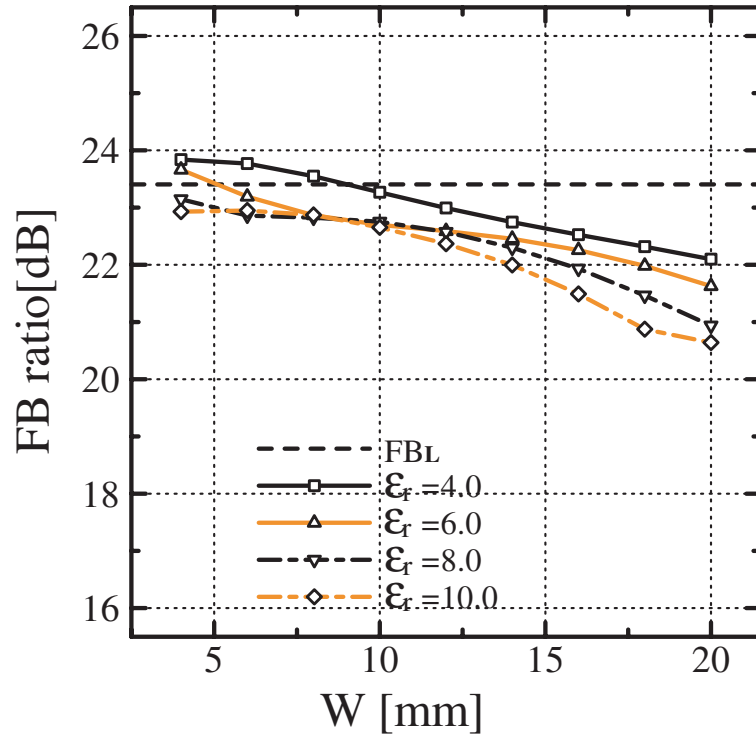


図 3.19 : モデル L に関して D を 56 mm (約 $3\lambda/8$) で固定し、W、 ϵ_r を変化させたときの FB 比

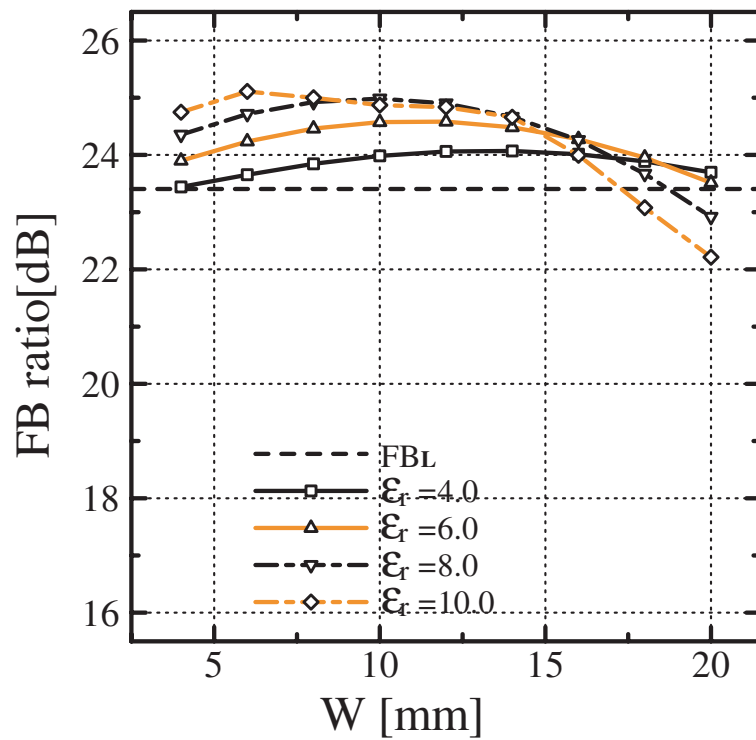


図 3.20 : モデル L に関して D を 132 mm (約 $7\lambda/8$) で固定し、W、 ϵ_r を変化させたときの FB 比

3.2 反射板形状を可変としたときの検討

矩形反射板付き無限地板モノポールアンテナの矩形反射板を誘電体に接触させたとき、FB 比は 7 dB 程度低下することが前節の解析結果によって明らかになった。そこで本節では誘電体を反射板付き無限地板モノポールアンテナの反射板部分と接触させた状態で反射板の形状を変化させることにより、FB 比が向上するか解析により検討した。解析モデルを図 3.21、3.22 に示す。前節で用いた矩形反射板を持つモデル S、L に加え、比較のために図 3.22 のようにモノポールアンテナの H 面と直交する反射板端部をモノポールアンテナ側に折り曲げた、H 面折り曲げ反射板を有するモデル H を提案する。なぜなら論文 [3] において折り曲げ反射板を用いた場合の方が、矩形反射板を用いた場合よりも FB 比を向上させることが明らかにされているためである。解析の際に、モデル H の折り曲げの大きさは $Y_{rm} + Y_{mp} = 102 \text{ mm}$ で固定した。反射板に接触させる誘電体の誘電率 ϵ_r は 7.0、厚み W は 6 mm とした。なお誘電体を設置しない場合の FB 比はモデル S に関しては 19.8 dB、モデル L に関しては 23.4 dB、モデル H に関しては 28.1 dB であり、前章に引き続き、便宜上それぞれ FB_S 、 FB_L 、 FB_H とおく。解析パラメータは反射板の横幅の変化量 ΔR_x 、高さの変化量 ΔR_z とする。また解析には引き続き FDTD 法を用いており、セルサイズを 2 mm、PML 吸収層を 4 層としている。

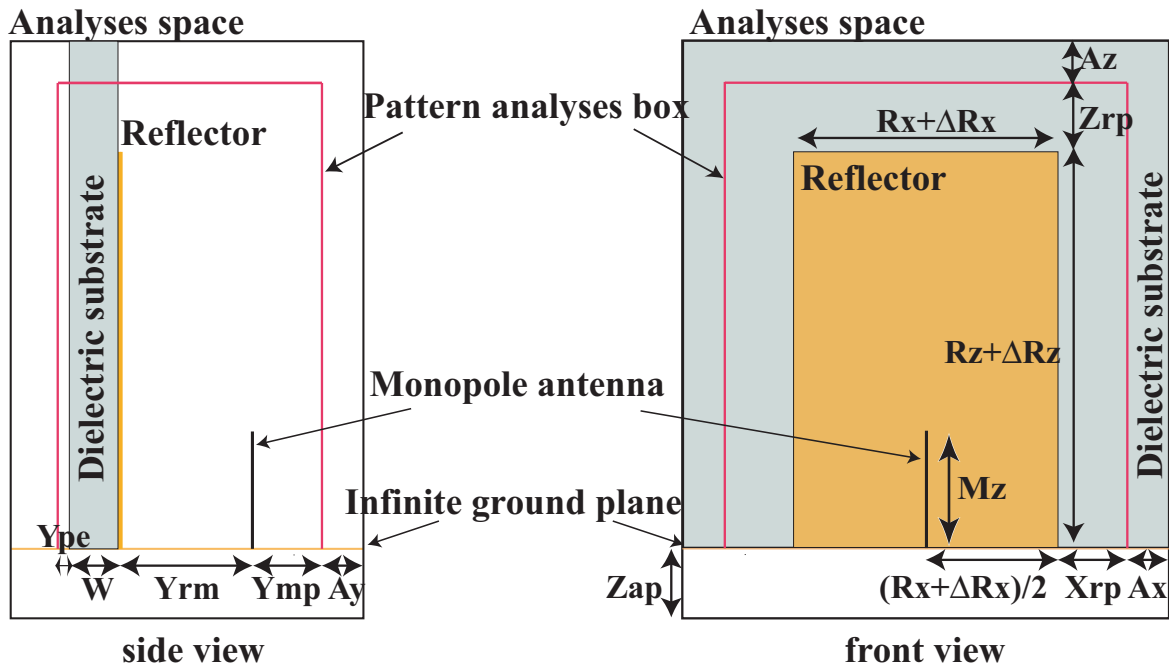


図 3.21 : モデル S、L の解析モデル ($M_z = 34$, $A_x = A_y = A_z = 12$, $Y_{pe} = 4$, $W = 6$, $Y_{rm} = 38$, $Y_{mp} = 20$, $X_{rp} = Z_{ap} = Z_{rp} = 20$, /モデル S : $R_x = 76$, $R_z = 114$ / モデル L : $R_x = 108$, $R_z = 120$ / 単位 [mm])

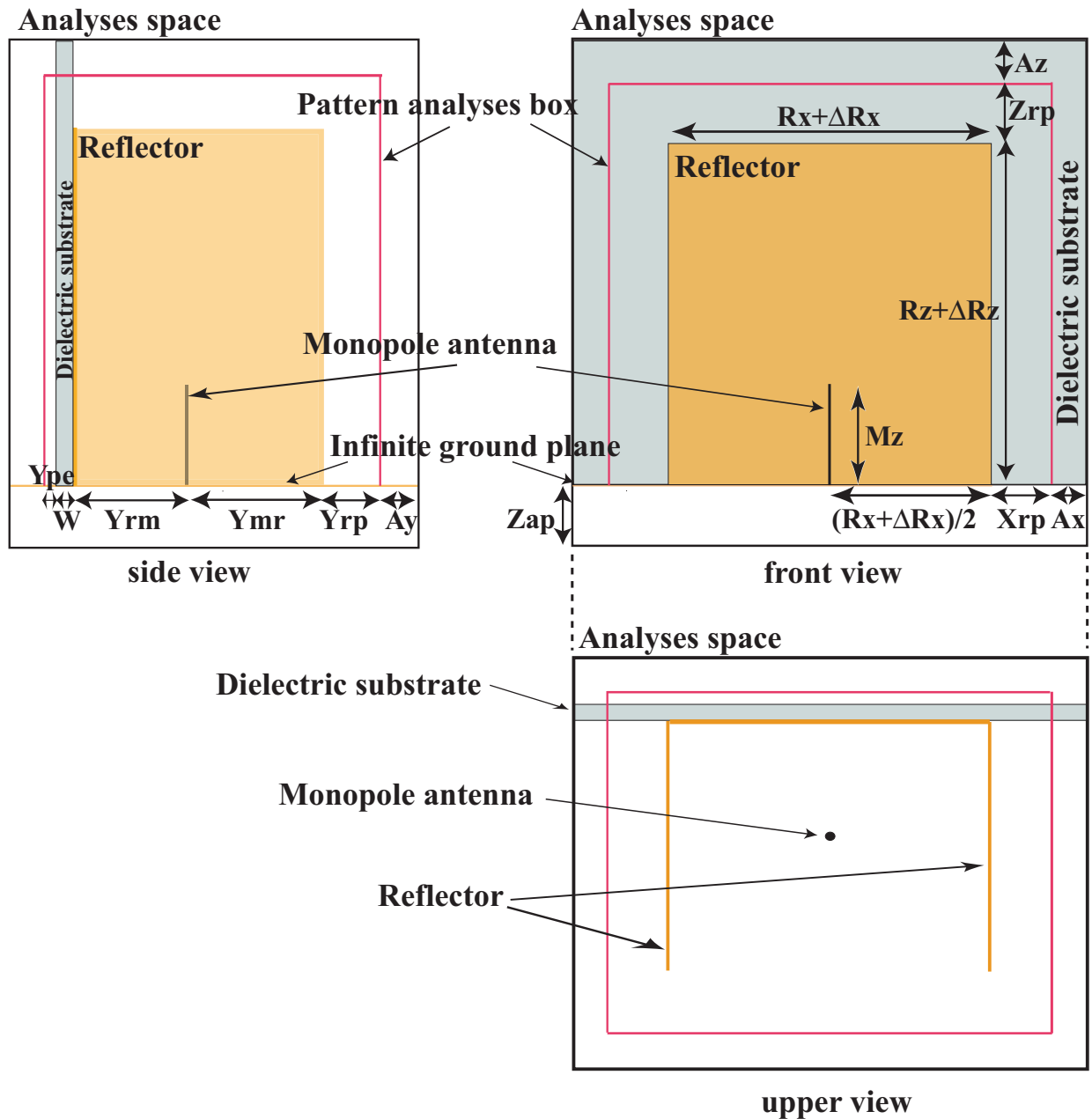


図 3.22 : モデル H の解析モデル ($M_z = 34$, $A_x = A_y = A_z = 12$, $Y_{pe} = 4$, $W = 6$, $Y_{rm} = 38$, $Y_{mp} = 20$, $X_{rp} = Z_{ap} = Z_{rp} = 20$, $R_x = 108$, $R_z = 140$ / 単位 [mm])

まずモデル S、L、H のアンテナに関して誘電体を設置しない場合と誘電体を反射板に接触させた場合の H 面放射指向性を図 3.23 から 3.25 に示す。図 3.23 から 3.25 より、誘電体を反射板に接触させた時の FB 比はモデル S が 14.2 dB、モデル L が 18.2 dB、モデル H が 26.1 dB であり、それぞれ FB_S 、 FB_L 、 FB_H と比較して、 -5.6 dB、 -5.2 dB、 -2.0 dB と大きく低下している。なおモデル S、L、H に関して反射板に接触させた場合の FB 比をそれぞれ FB_S' 、 FB_L' 、 FB_H' とおく。

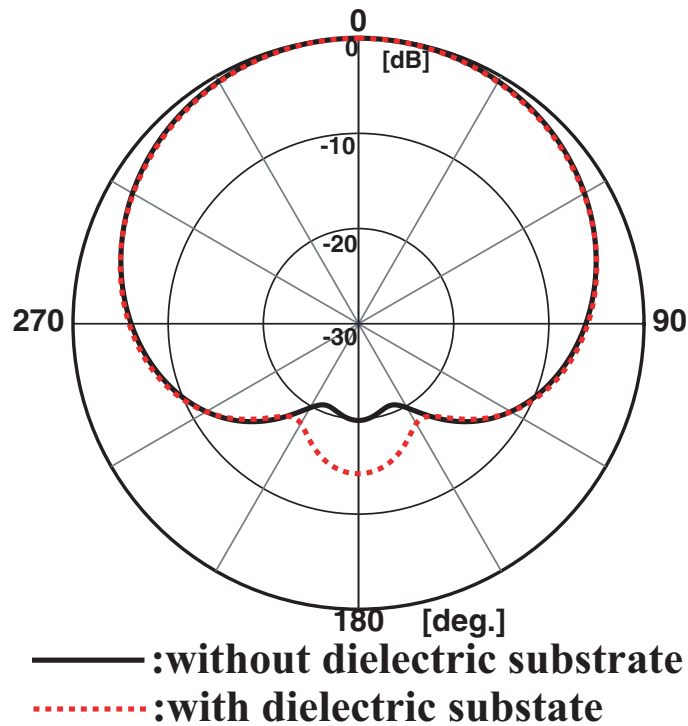


図 3.23 : モデル S に関して誘電体を設置しない場合と接触させた場合の H 面放射指向性

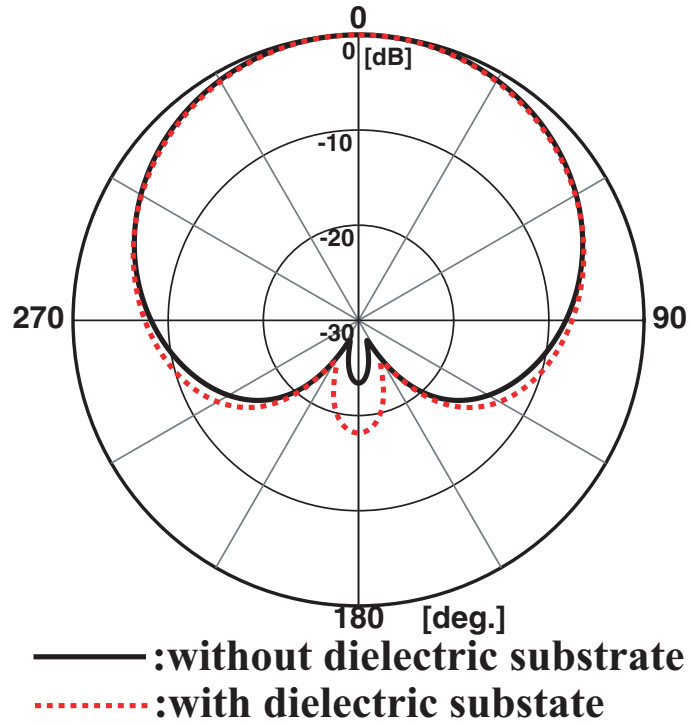


図 3.24 : モデル L に関して誘電体を設置しない場合と接触させた場合の H 面放射指向性

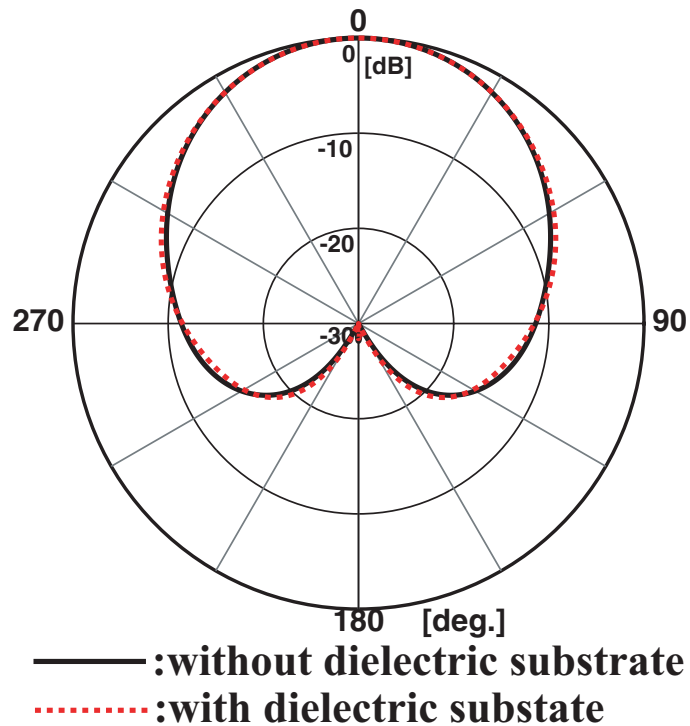


図 3.25 : モデル H に関して誘電体を設置しない場合と接触させた場合の H 面放射指向性

次に反射板の ΔR_x 、 ΔR_z をそれぞれ $\lambda/8$ (約 19 mm) ずつ変化させて FB 比の変化を検討した。モデル S、L、H に関して ΔR_x 、 ΔR_z を変化させた時の FB 比を図 3.26 から 3.28 に示す。

図 3.26 より、モデル S では ΔR_x が $\lambda/2$ (約 75 mm) 付近まで、急激に FB 比が向上することが分かる。 ΔR_x が $\lambda/2$ (約 75 mm) での FB 比は FB_S と同値、19.8 dB になる。更に ΔR_x が $\lambda/2$ (約 75 mm) 以上になると、FB 比は大きく変化せず、ほぼ一定値を保っている。 ΔR_z に関しては FB 比の向上が見られず、1.6 dB 程度の幅で振動していることが分かる。

図 3.27 より、モデル L における FB 比はモデル S と同様な傾向を得られたが、向上後の FB 比は ΔR_x が $\lambda/2$ (約 75 mm) の時で 20.7 dB に留まり、 FB_L とは -2.7 dB の差がある。また ΔR_x が $\lambda/2$ (約 75 mm) 以上になると、FB 比は大きく変化せず、ほぼ一定値を保っている。 ΔR_z に関してはモデル S と同様に FB 比の向上が見られず、3.7 dB 程度の幅で振動していることが分かる。

図 3.28 より、モデル H では ΔR_x が負の値になると整合が取れなくなるために FB 比についての検討はできない。よって ΔR_x に関しては、正の値に限定して検討を行った。 ΔR_x の増加に伴い、FB 比は $\lambda/2$ 間隔で最大値と最小値に達し、 λ 周期で振動していることが分かる。 ΔR_x が $3\lambda/4$ (約 113 mm) のとき FB 比は最大値に達し、その時の FB 比は 28.8 dB で、 FB_H との差は +0.7 dB である。またモデル S、L の結果において注目した、 ΔR_x が $\lambda/2$ (約 75 mm) の時の FB 比は 27.5 dB であり FB_H との差は -0.6 dB 程度である。 ΔR_z による FB 比の増加も見られるがモデル S、L の解析結果と同様に、3.3 dB 程度の幅で振動している。

図 3.29 から 3.31 にモデル S、L、H での ΔR_x が $\lambda/2$ (約 75 mm) の時の H 面放射指向性を示す。この結果から放射指向性の外形が変化していることが分かる。誘電体を設置しない場合と ΔR_x が $\lambda/2$ (約 75 mm) の場合の H 面放射指向性の半値幅は、モデル S ではそれぞれ 128 度、92 度であり、モデル L ではそれぞれ 110 度、94 度、モデル H ではそれぞれ 76 度、46 度である。

これらの結果から、誘電体を反射板付き無限地板モノポールアンテナに接触させた場合、モノポールアンテナの H 面と水平な方向に反射板を大きくすることによって、誘電体を設置しない場合の FB 比と同等な値が得られた。また FB 比を増加させた場合、その放射指向性の外形は大きく変化することが分かった。

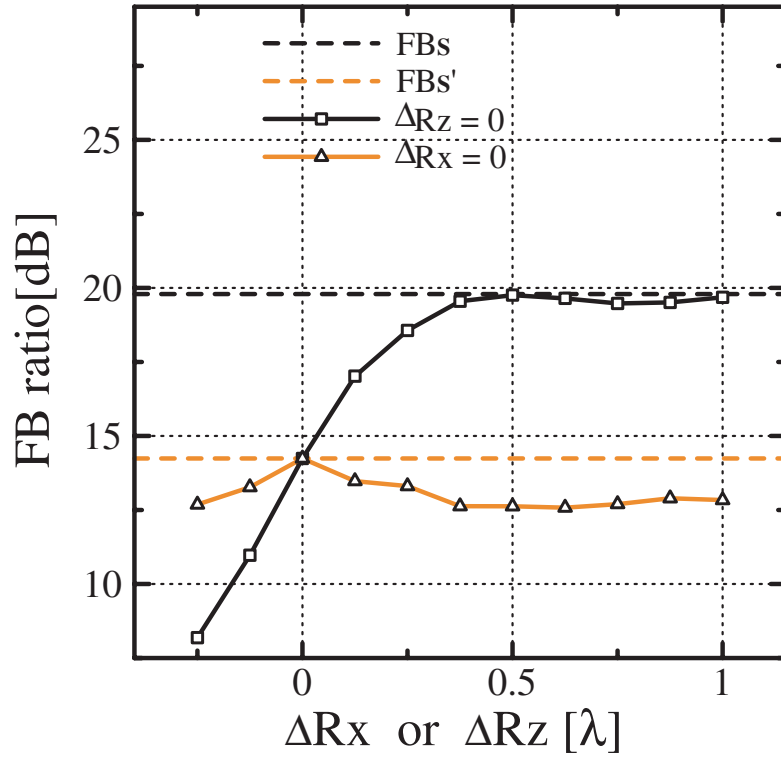


図 3.26 : モデル S に関して ΔR_x 、 ΔR_z を変化させた時の FB 比

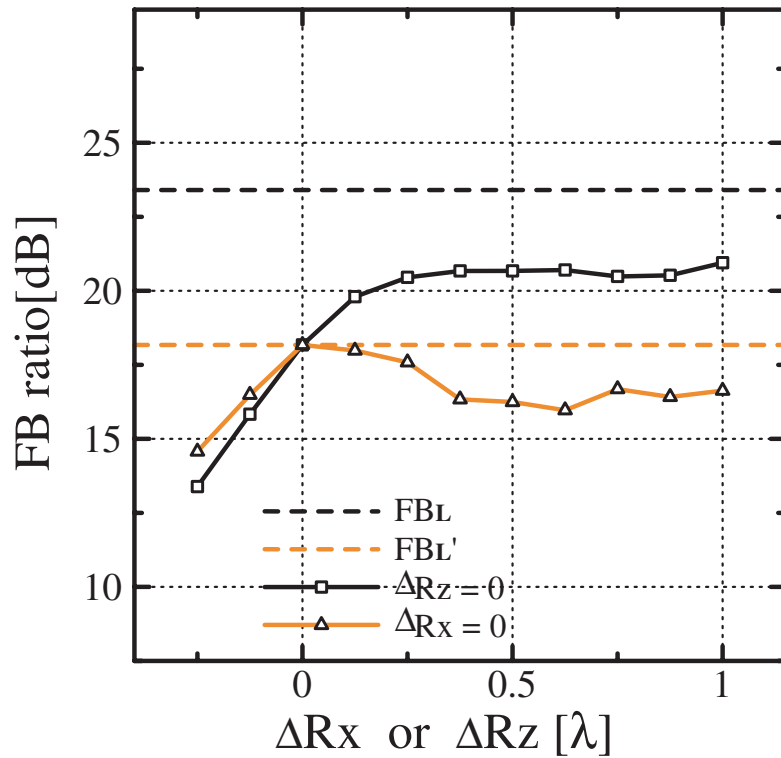


図 3.27 : モデル L に関して ΔR_x 、 ΔR_z を変化させた時の FB 比

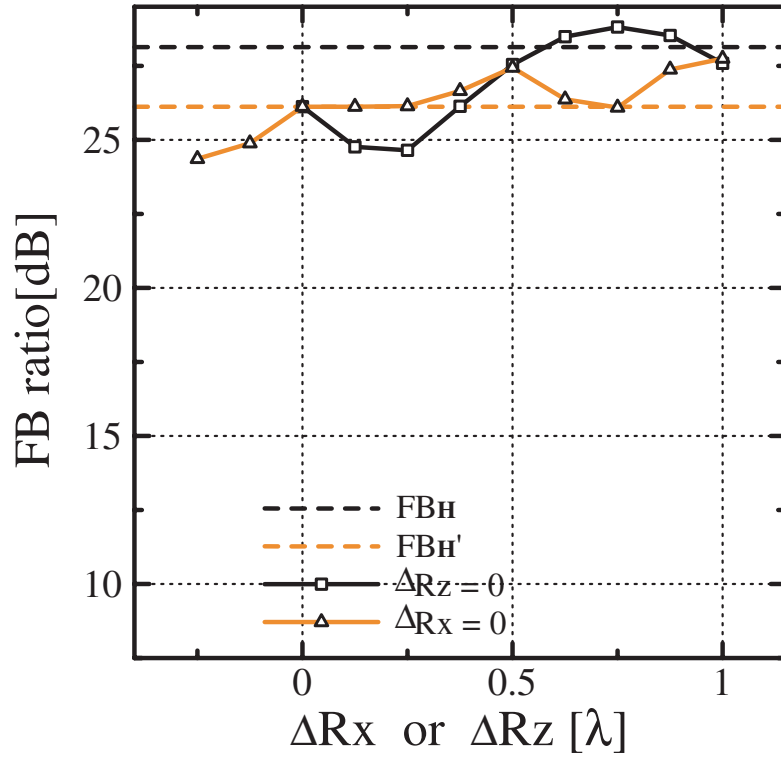


図 3.28 : モデル H に関して ΔR_x 、 ΔR_z を変化させた時の FB 比

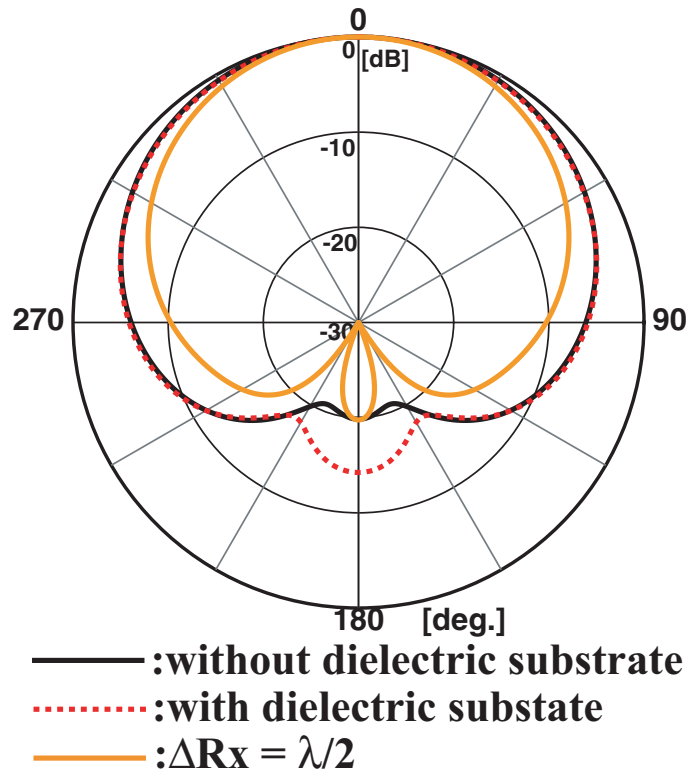


図 3.29 : モデル S に関して ΔR_x が $\lambda/2$ の時の H 面放射指向性

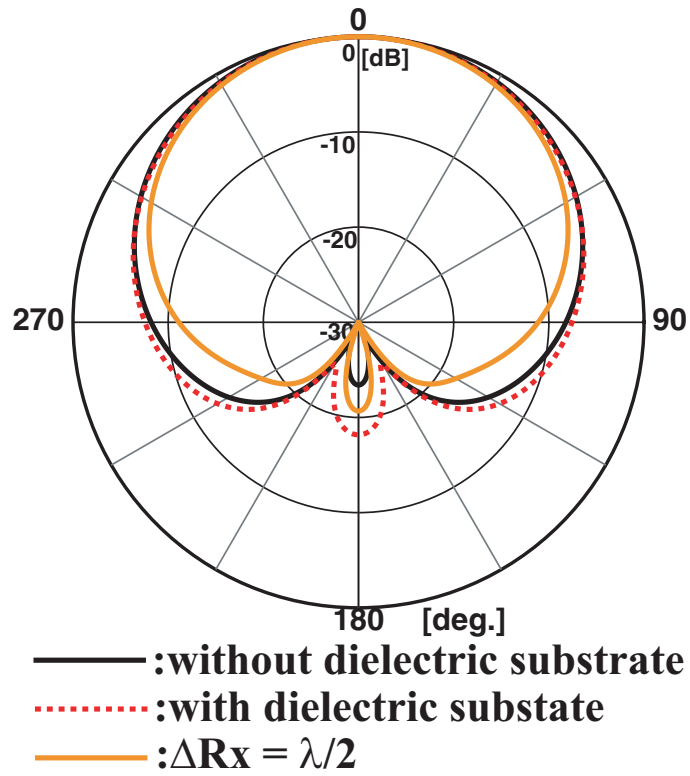


図 3.30 : モデル L に関して ΔR_x が $\lambda/2$ の時の H 面放射指向性

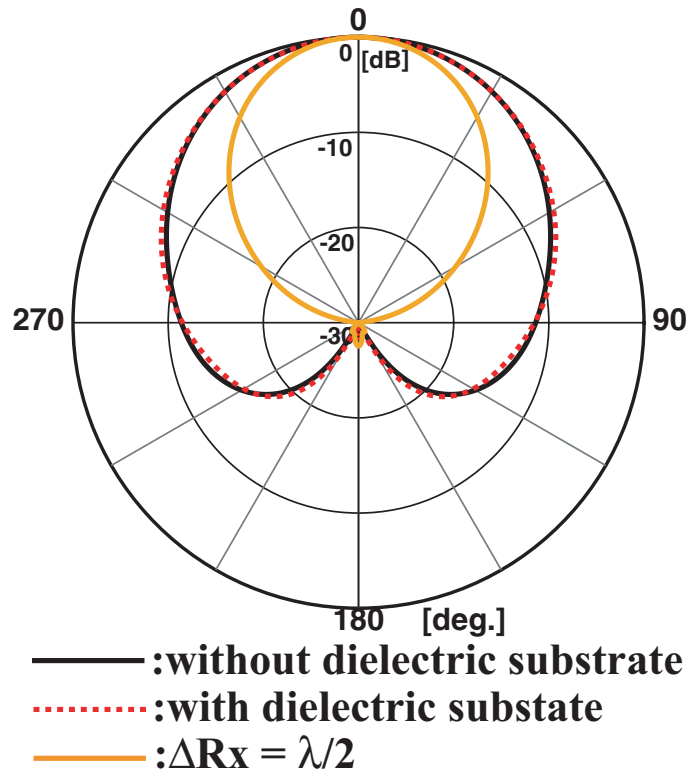


図 3.31 : モデル H に関して ΔR_x が $\lambda/2$ の時の H 面放射指向性

第 4 章

結論

FDTD 法による無限解析を用いて、室内用アンテナを想定した反射板付き無限地板モノポールアンテナの設置環境による FB 比への影響を検討した。

まず FDTD 法による無限解析を用いて、無限地板を持つモノポールアンテナを解析し、FDTD 解析の有用性を示した。さらに矩形反射板付き無限地板モノポールアンテナを解析し、FB 比の最も高くなる形状の最適化を行った。この結果により、その後の検討に使用する、矩形反射板付き無限地板モノポールアンテナを提案した。

次に、提案したアンテナの後方に誘電体を設置し、その距離による FB 比を解析により検討し、測定を行った。反射板から誘電体までの距離が 38 mm (約 $\lambda/4$)、56 mm (約 $3\lambda/8$)、132 mm (約 $7\lambda/8$) ならば FB 比の低下が 2~3 dB 程度に抑えられ、誘電体を設置しない場合の FB 比と同等な値が得られることが分かった。測定では、使用した誘電体の誘電率が低く、厚みも小さかったため、FB 比の検討ができず、誘電体による反射板付き無限地板モノポールアンテナの放射指向性への影響が存在するという結果を得るに留まった。

その後、上記の解析によって FB 比の維持、向上に有効だと思われる反射板から誘電体までの距離を固定して誘電体の厚みを変化させて検討を行った。誘電体から反射板までの距離が 38 mm (約 $\lambda/4$)、56 mm (約 $3\lambda/8$)、132 mm (約 $7\lambda/8$) ならばガラスの厚みが変わっても FB 比の低下が 2.9 dB 程度に抑えられる結果が得られた。

最後に上記の解析結果により誘電体を反射板に接触させた状態では FB 比が大幅に低下することが分かったため、その状態で反射板の形状を変化させ FB 比を検討した。さらに H 面折り曲げ反射板を有するモノポールアンテナを提案し、上記の解析で用いた矩形反射板とともに解析を行った。その結果、モノポールアンテナの H 面と水平な方向に反射板を大きくすることによって、誘電体を設置しない場合の FB 比と同等な値が得られることが分かった。また FB 比を増加させた場合、その放射指向性の外形は大きく変化することが分かった。

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、M2 の宮崎功旭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も深く感謝致します。

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] 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.
- [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] 新井宏之、新アンテナ工学、総合電子出版社、1996.