

卒業論文

3方向指向性切り替え型 平面アンテナに関する研究

指導教官 新井 宏之 教授

平成16年2月27日提出

0044097 中山 祐治

要約

家庭などにおいて、無線 LAN(Local Area Network) が普及してきている。伝送速度を高速にするために、変調方式に OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) を採用している。このときに、マルチパスが生じてしまうと、スループットの低下が起きてしまう。そこで、指向性を切り替える指向性ダイバーシチの方式を用いることで、スループットの低下を抑えることが考えられる。指向性を切り替えるアンテナは、現在までに、モノポールのような棒状アンテナを用いるものは、様々なものが検討されてきた。しかし、構成を簡単にするため、低コスト化を図るために、平面で指向性を切り替えることができるアンテナを実現することが望まれる。

本研究では、アンテナの中心に正六角形のパッチを置いて、その周りに放射素子となる容量装荷モノポールを 120 度ごとに配置している。給電する位置をスイッチで切り替えることで、3 方向に指向性を切り替えることができるアンテナを検討した。

はじめに、従来法である放射素子にパッチを用いた 3 方向指向性切り替え型アンテナについて検討をした。アンテナの中心に正六角形パッチを配置して、その周りに 120 度ごとに放射素子となるパッチを配置する構成である。アンテナの構造パラメータを変化させることで、最適化を図った。しかしこの構成だと、指向性切り替え型アンテナに適した特性を得ることができなかった。

そこで、放射素子に容量装荷モノポールを用いた 3 方向指向性切り替え型アンテナについて検討した。パッチを用いた場合と同様に、中心に正六角形である素子を配置して、その周りに 120 度ごとに放射素子となる容量装荷モノポールを配置する構成になっている。指向性は 33.0 度傾いて、F/B 比は 22.7dB となった。素子数を減らして、指向性切り替え型アンテナに適した特性が得られた。

さらに、容量装荷モノポールを用いた 3 方向指向性切り替え型アンテナについて、F/B 比最適モデルについて実験を行った。解析のモデルとの比較を行い、実験と解析の誤差について検討を行った。

目次

第 1 章	序論	1
第 2 章	パッチを用いた 3 方向指向性切り替え型アンテナ	8
2.1	アンテナの構成	8
2.2	構造パラメータの検討	10
2.2.1	地板の大きさの検討	10
2.2.2	中心素子の大きさの検討	12
2.2.3	中心素子と放射素子の間隔の検討	14
2.2.4	Port の位置の検討	16
2.2.5	無給電素子の終端条件の検討	18
2.2.6	まとめ	20
第 3 章	容量装荷モノポールを用いた 3 方向指向性切り替え型アンテナ	22
3.1	アンテナの構成	22
3.1.1	アンテナの終端条件	24
3.1.2	アンテナの動作原理	27
3.2	構造パラメータの検討	29
3.2.1	地板の大きさの検討	29
3.2.2	中心素子の大きさの検討	30
3.2.3	中心素子と放射素子の間隔の検討	31
3.2.4	放射素子の Port と Short Pin の間隔の検討	32
3.2.5	まとめ	33
3.3	実験結果	37
第 4 章	結論	44
	謝辞	45
	参考文献	46

第 1 章

序論

ネットワークを組むときに，無線 LAN が普及してきている．無線 LAN は，接続線を有しないため配線が不要であり，場所を移動して利用できる利点がある．そのため，家庭などで利用されるようになってきている．現在，無線 LAN の規格は電気電子学会 (IEEE) によって，IEEE 802.11 b，IEEE 802.11 g，IEEE 802.11 a，3 つの方式が定められている．IEEE 802.11 b と IEEE 802.11 g は，2.4 GHz 帯の周波数を用いて通信が行われている．しかし，2.4 GHz 帯は ISM バンド (Industry Science Medical band) と呼ばれ，自由に利用できる周波数帯となっている．このため，電子レンジや Bluetooth のような他の機器との電波の干渉が起きてしまう．一方で，IEEE 802.11 a は，5 GHz 帯の周波数領域を使用していて，周波数の干渉の受けにくくなっている．

5 GHz 帯では変調方式に，OFDM を採用している．OFDM は，多数のキャリアを用いてデジタルデータを周波数上で分散して伝送するデジタル変調方式である．そのため IEEE 802.11 a は，伝送速度を 36 Mbps から 54 Mbps と高速を実現している．このときに，マルチパスによりフェージングが起きてしまうと，スループットが低下してしまう．マルチパスの起きる環境では，図 1.1 のように指向性を向ければ，フェージングによるスループットの低下を改善することができる [1], [2]．そこで，指向性を切り替えることによって，全体をカバーできるようになる．このような方式を指向性ダイバーシチという．

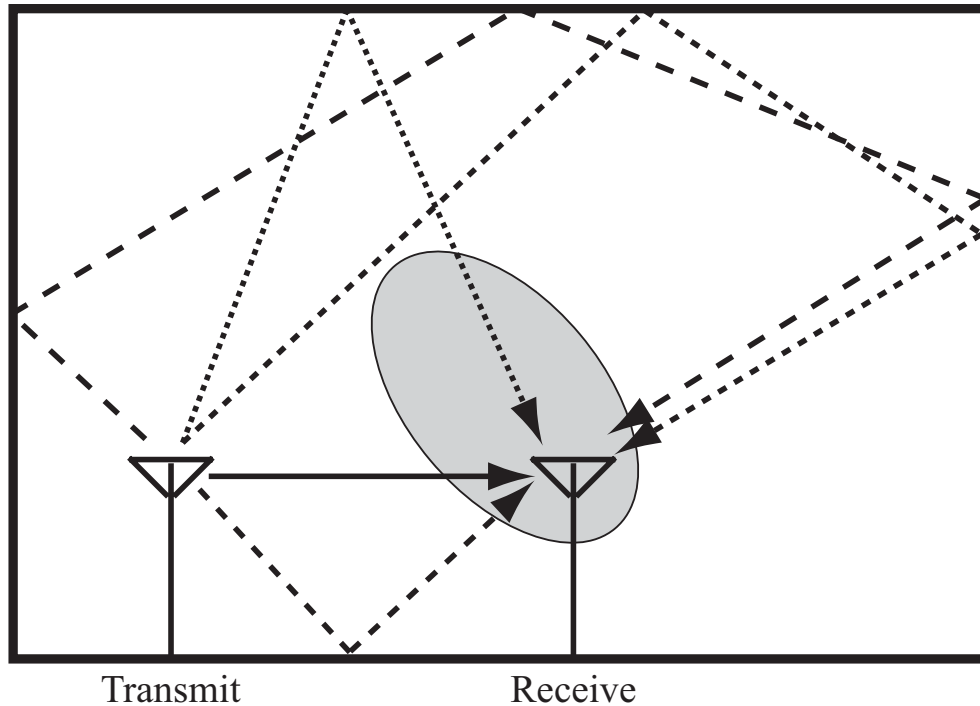


図 1.1: フェージングが起きた部屋のモデル

現在までに、指向性ダイバーシチに用いられる線状アンテナは、様々なものが検討されている。まず、19 GHz 帯無線 LAN に用いるアンテナとして、図 1.2 のようにモノポール八木・宇田アレーを用いたセクタアンテナが検討されている [3]-[5]。このアンテナは、中心に円筒形の金属を置き、その周りに 15 素子のモノポール八木・宇田アレーを 30 度ごとに 12 個配置している構成になっている。各アレー間には金属フィンを配置して、隣接するアレー間を一部遮蔽している。動作原理は、中心の円筒形の金属は、八木・宇田アンテナの反射素子として動作する。そして、15 素子のモノポールアンテナのうち、最も円筒形の金属に最も近いモノポールアンテナ 1 本に給電をして、残りの 14 素子の部分は導波素子として動作する。これにより、ビーム幅 30 度、チルト角 17 度、F/B 比 20 dB 以上の指向性を得ている。また、テーパースロットアンテナを用いて、6 セクタ化されているものも検討されている [6]。このアンテナは、モノポールを中心に配置して、60 度ごとにテーパースロットを配置する構成になっている。1 つのモノポールに給電したときに、ビーム幅が約 30 度、F/B 比 10 dB の指向性の指向性を得ている。これに、無給電素子をつけることで、ビーム幅を広げる検討もされている [7]。これにより、7~9 GHz の広帯域を有して、ビーム幅 60 度、F/B 比 10 dB の指向性を得ている。また、テーパースロットアンテナを 12 セクタ化しているものも検討されている [8]。しかし、ここで挙げたような線状アンテナを用いたアンテナは、 $0.2 \lambda \sim 0.4 \lambda$ の高さがついてしまっていて、大きさが大きくなってしまふ。ユーザにとっては端末が小型化されたほうが望ましいので、線状アンテナを用いてしまふと、アンテナの部分で小型化をするのが難しくなってしまう。そこで、基板上にプリントされた平

面アンテナを用いると小型化をしやすいため，平面で構成できるようなアンテナについて検討する．

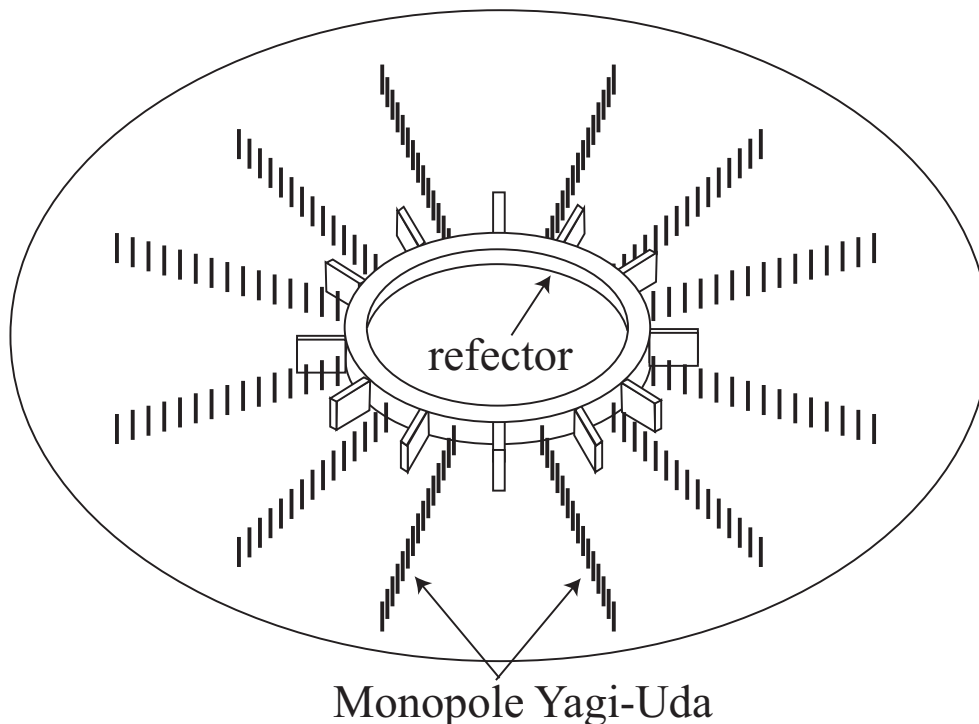


図 1.2: モノポール八木・宇田アレーを用いた 12 セクタアンテナ

平面で指向性ダイバーシチの方式を用いているアンテナとして，スロットアンテナを用いて，八木・宇田アンテナの指向性を実現したものがある [9]-[11]．このアンテナは，19GHz 帯の無線 LAN 向けに設計されたもので，スロットアンテナで八木・宇田アンテナのように放射素子を 1 素子と，導波素子と反射素子をそれぞれ 2 素子ずつ配置したものを，60 度ごとに 6 個配置することで指向性を 6 方向に向けることが検討されている．しかし，相互結合を防ぐために，各アレー間隔を離さなければいけなくなってしまうために，地板が約 4.4λ となり，アンテナ全体のサイズが大きくなってしまっている．また，MSAT(Mobile Satellite) 向けにパッチで八木・宇田アンテナの指向性を実現したものがある [12], [13]．これは，放射素子を所望の共振周波数にあうような大きさにあわせて，放射素子よりも小さな大きさの導波素子を二つ，そして放射素子よりも大きな反射素子を放射素子に対して導波素子の反対側に配置している．これによって，指向性が導波素子の方向に傾くようになる．この原理を利用して，4 方向に指向性を切り替えることも検討されている [14], [15]．このアンテナは，アンテナの中心に反射素子となるようなパッチを配置して，その周りに 90 度ごとに導波素子と放射素子を配置して，スイッチを切り替えることで指向性を 4 方向に向けることが可能となっている．さらに小型化をして，F/B 比 (Front to back ratio) を改善するために，導波素子を共有化した平面 6 セクタアンテナも提案されている [16]-[18]．こ

のアンテナは、図 1.3 に示すように、中心に正六角形のパッチを置き、その周りに 60 度ごとに無給電パッチを置き、さらにその周りに無給電パッチよりも大きい放射素子を配置する構成になっている。このとき、無給電パッチと正六角形パッチは導波素子として動作するようになっている。ここで、60 度ごとに放射素子を配置しているため、放射素子 2 素子に対向することになる。対向する 2 素子の終端条件を検討することによって、F/B 比が変化することが示されている。この場合は、 50Ω 終端とすることによって、F/B 比が改善されている。これより、スイッチを切り替えることで、F/B 比が約 15 dB、ビーム幅 60 度のパターンを 6 方向に切り替えている。地板サイズは、導波素子を共有化することでアンテナのサイズは小型化され、 1.83λ となっている。

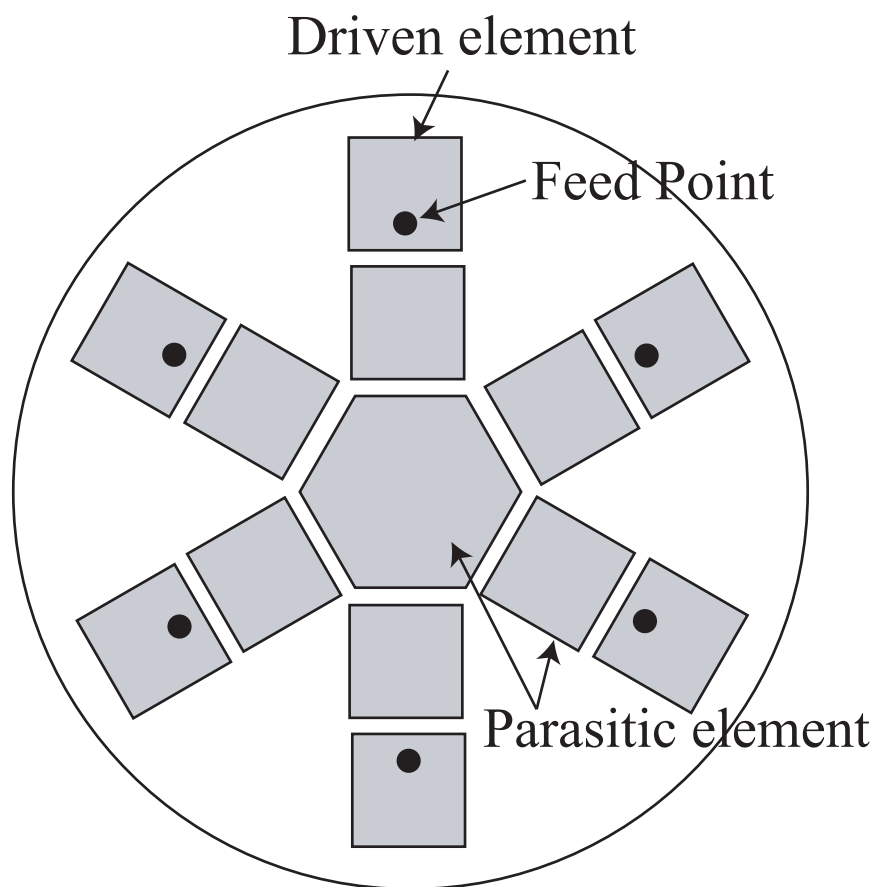


図 1.3: 平面 6 セクタアンテナ

本研究では、容量装荷モノポールとパッチを組み合わせる傾く指向性をつくり、指向性を3方向に切り替えるアンテナを検討した。現在までに同様のアンテナとして、モノポールと逆Fアンテナを組み合わせ、指向性が単方向に向くものが検討されている [19]。アンテナの構成は、図 1.4 に示すようになっていて、給電された逆Fアンテナの上に、無給電であるモノポールアンテナを立てることで単指向性を実現している。このアンテナは、モノポールアンテナを移動することによって、指向性が変化する。まず、モノポールアンテナの位置は逆Fアンテナの開放端部に設置して、モノポールの長さは $\lambda/4$ 付近としたときに、 x 軸正の方向に強く放射されるようになる。また、逆Fアンテナの幅を変えることで、さらに x 軸正の方向に強く放射されるようになり、単一指向性を示すようになる。これは、モノポールアンテナと逆Fアンテナからの放射電力がほぼ等しくなり、モノポールから x 軸負の方向では逆相となるため打ち消しあい、 x 軸正の方向では同相となり強めあうため、単一指向性を示すようになる。

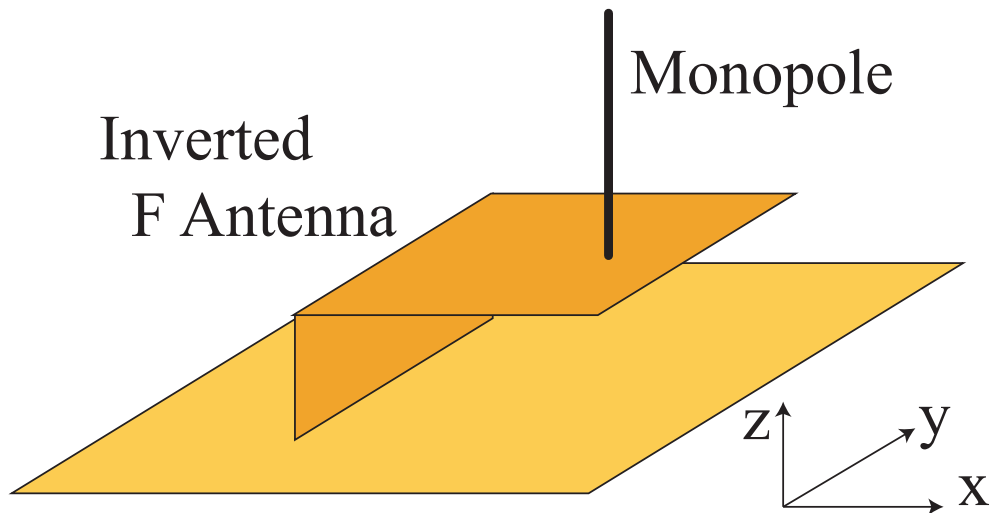


図 1.4: 逆Fアンテナとモノポールを組み合わせたアンテナ

本研究のアンテナは、容量装荷モノポールとパッチを組み合わせることで、指向性がどのようになるかについて検討した。図 1.5 に示すように、アンテナの中心に正六角形のパッチを配置して、その周りに 120 度ごとに容量装荷モノポールを 3 つ配置している構成になっている。1 つの容量装荷モノポールに給電をした場合、その他の容量装荷モノポールを $50\ \Omega$ 終端にすると、指向性は、図 1.6 のように給電をした容量装荷モノポールのほうにチルトする。そこで給電する容量装荷モノポールをスイッチで切り替えると、指向性が 3 方向に切り替えることが可能になる。

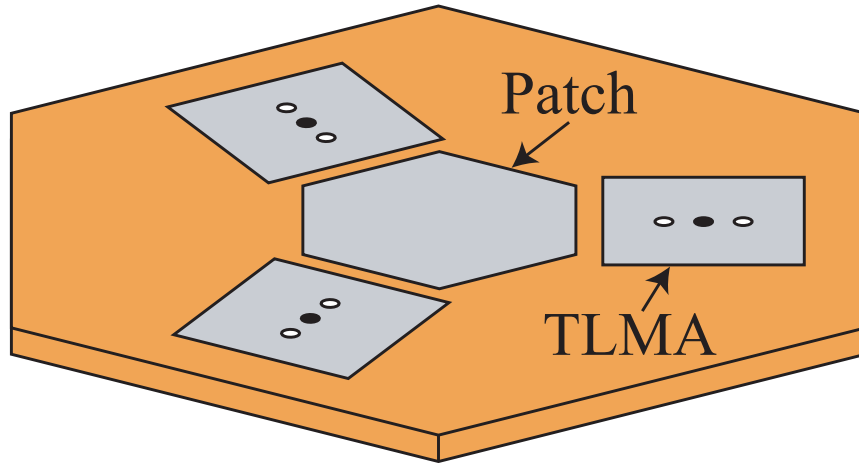


図 1.5: 容量装荷モノポールを用いた 3 方向指向性切り替え型アンテナ

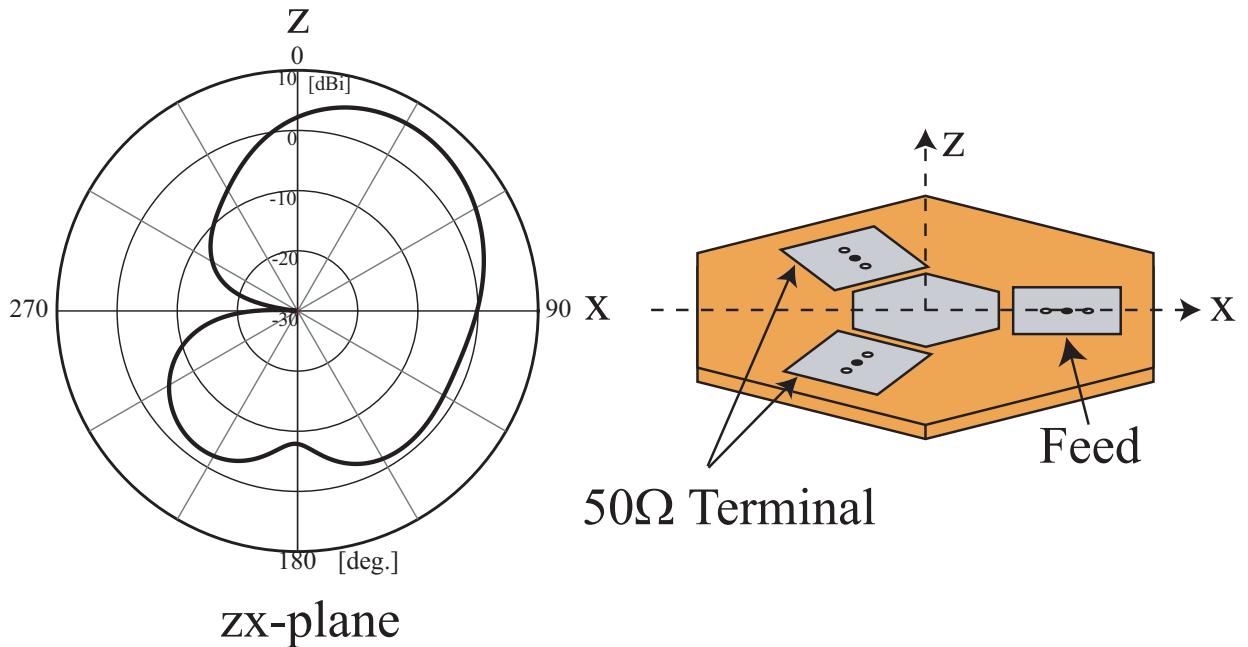


図 1.6: 放射指向性

本論文の構成を簡単に示す．第 2 章では，アンテナの中心に正六角形パッチを置き，その周りに放射素子となるパッチを 120 度ごとに配置したアンテナについて検討する．アンテナの構成を示したあとに，構造パラメータの検討をする．また，この構造では，指向性切り替え型アンテナに適した特性を得られなかったことを示す．第 3 章では，図 1.5 のようにアンテナの中心に正六角形パッチを置き，その周りに放射素子となる容量装荷モノポールを 120 度ごとに配置したアンテナについて検討する．アンテナの構成を示したあと，動作原理について検討をして，構造パラメータの検討を行う．また，このアンテナの実験を行なったので，その結果の考察をする．なお，解析には CST 社の Microwave Studio を用いた．

第 2 章

パッチを用いた 3 方向指向性切り替え型アンテナ

本章では、パッチを用いた 3 方向指向性切り替え型アンテナについて述べる。アンテナの構成について述べ、構造パラメータの最適化について述べる。また、アンテナの動作原理についても述べる。

2.1 アンテナの構成

アンテナの構成を図 2.1 に示す。このアンテナの中心に正六角形のパッチを配置して、その周りに放射素子となるパッチを 120 度ごとに配置する構造になっている。ここで、Port 1 に給電をすると、指向性が Patch 1 のほうにチルトする。Port 2, 3 に給電した場合も同様に、Patch 2, 3 の方向に指向性がチルトする。よって、スイッチを切り替えて給電する Port を変えることで、3 方向に指向性を切り替えることができるような構成になっている。アンテナの各パラメータを図 2.2 のようにおく。ここで Patch 1, 2, 3 の大きさ r_s は、この長さによって共振周波数が決まるため、5 GHz で共振するようにするために、 r_s の大きさは 18 mm とした。また、給電ピンの直径を 1.0 mm、基板の比誘電率を 2.6、厚さを 1.6 mm とした。

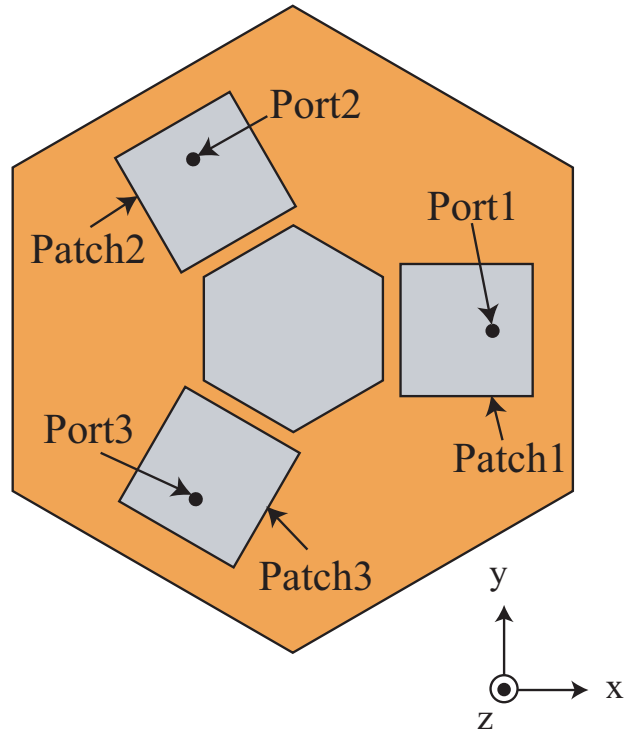


図 2.1: アンテナのモデル

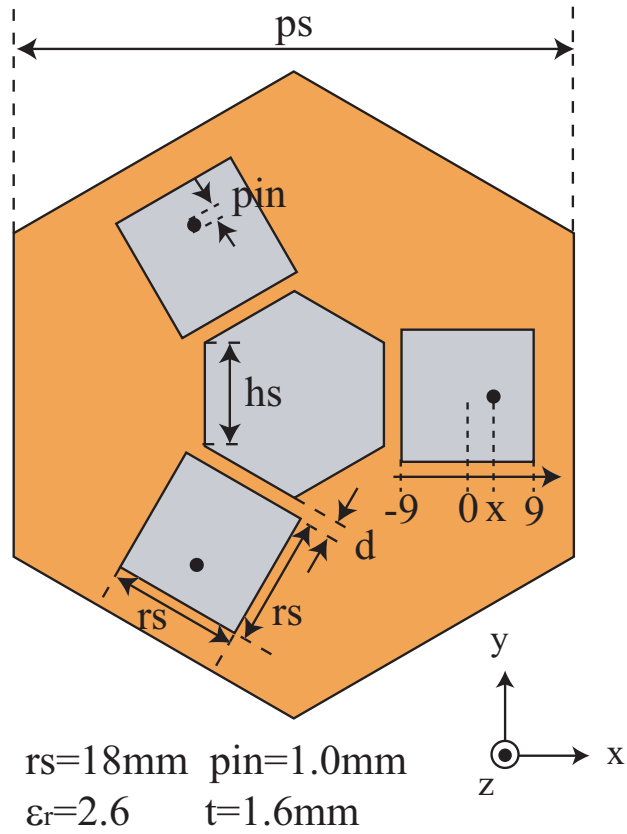


図 2.2: アンテナのパラメータ

2.2 構造パラメータの検討

図 2.2 に示す構造パラメータを変化させることで，リターンロス特性と放射指向性がどのように変化するかについて検討する．なお，Port 1 に給電したときを考えて，検討するパラメータは地板の大きさ ps ，中心の正六角形パッチの一辺の長さ hs ，中心素子と放射素子の間隔 d ，Port の位置 x ，無給電 Port の終端条件である．

2.2.1 地板の大きさの検討

地板の大きさ ps を変化させた場合について検討する． ps の長さは，80 mm，90 mm，100 mm で変化させた．その他のパラメータは，表 2.1 に示す通りとした．

このときのリターンロス特性を図 2.3 に， zx 面指向性をそれぞれ図 2.4，図 2.5，図 2.6 に示す．最も共振している周波数での指向性に大きな変化は見られなかった．

表 2.1: 地板の大きさ検討時のパラメータ

hs	x	d	無給電 Port
17.0 mm	3.0 mm	1.0 mm	50 Ω 終端

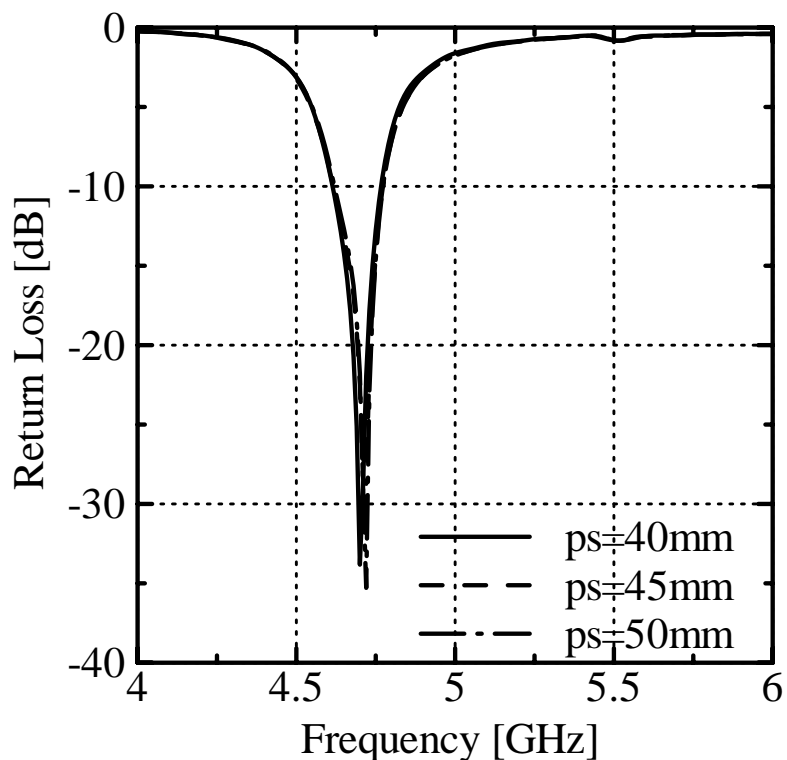
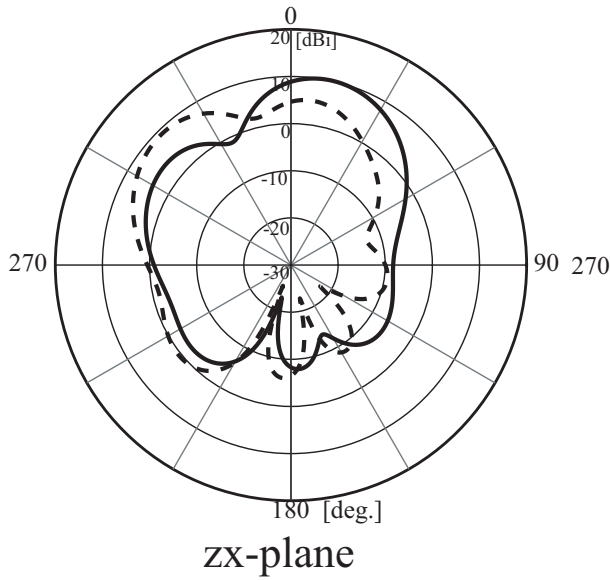
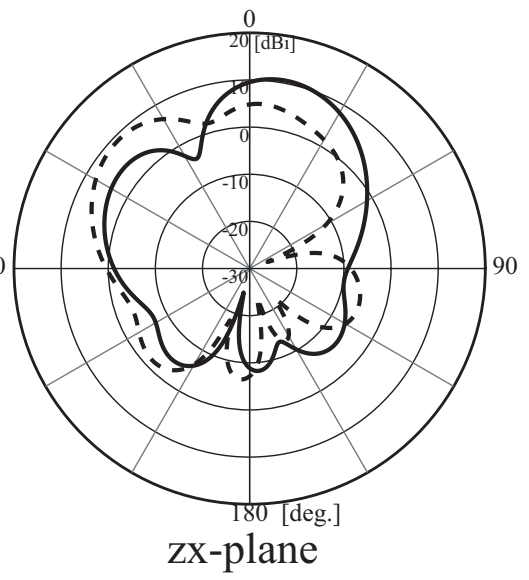


図 2.3: 地板の大きさの変化によるリターンロス特性



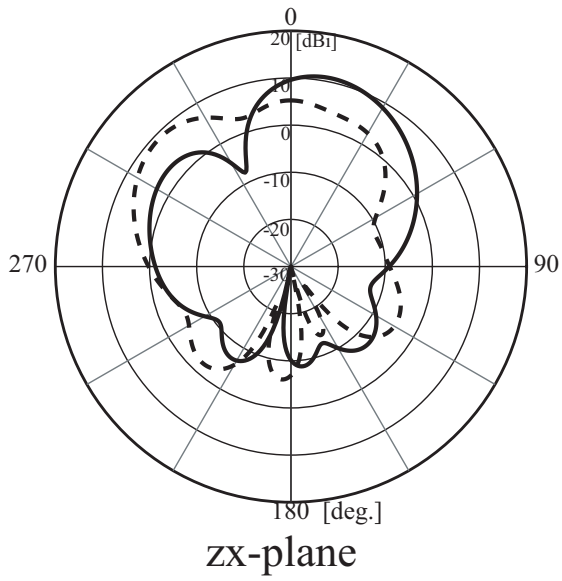
— 4.72GHz - - - 5.51GHz

図 2.4: $ps = 80$ mm のとき



— 4.7GHz - - - 5.51GHz

図 2.5: $ps = 90$ mm のとき



— 4.72GHz - - - 5.52GHz

図 2.6: $ps = 100$ mm のとき

2.2.2 中心素子の大きさの検討

中心素子の大きさ h_s を変化させた場合について検討する。 h_s の長さは、13 mm、15 mm、17 mm で変化させた。その他のパラメータは、表 2.2 に示す通りとした。

このときのリターンロス特性を図 2.7 に、 z_x 面指向性をそれぞれ図 2.8、図 2.9、図 2.10 に示す。最も共振している周波数での指向性に大きな変化は見られなかった。

表 2.2: 中心素子の大きさ検討時のパラメータ

ps	x	d	無給電 Port
80.0 mm	3.0 mm	1.0 mm	50 Ω 終端

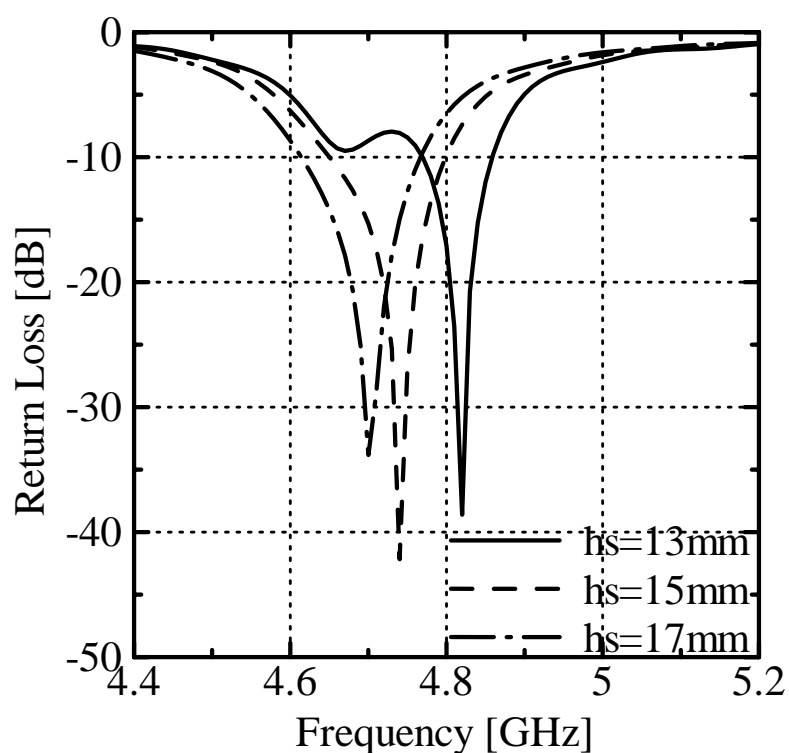


図 2.7: 中心素子の大きさの変化によるリターンロス特性

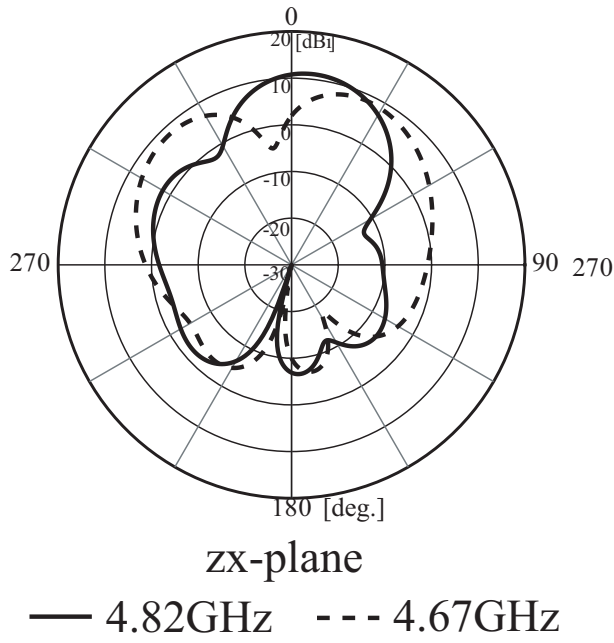


図 2.8: $h_s = 13$ mm のとき

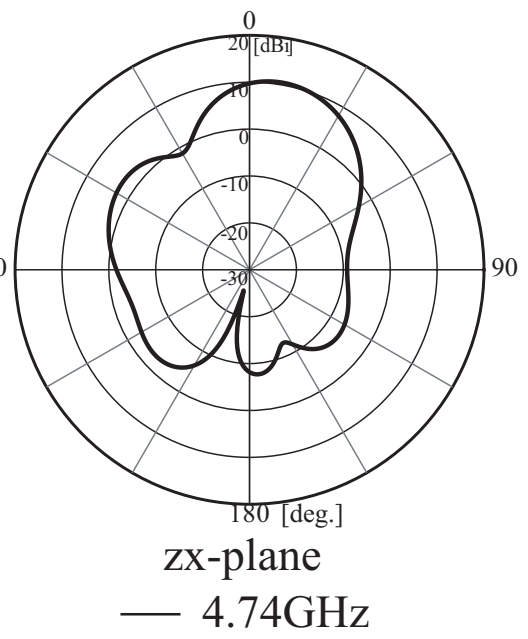


図 2.9: $h_s = 15$ mm のとき

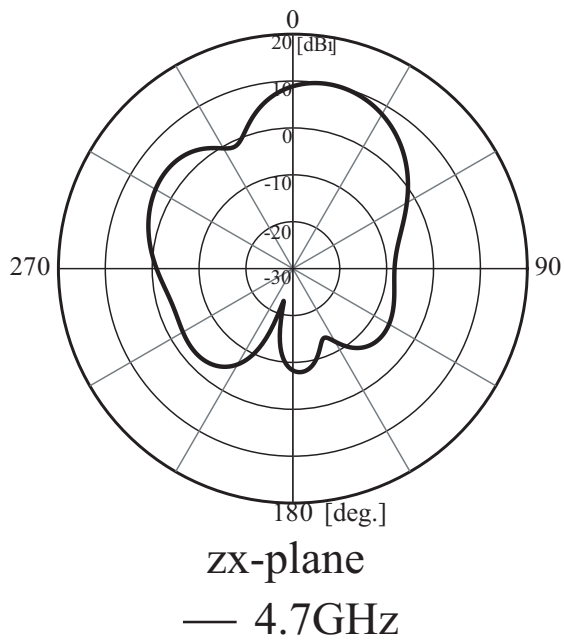


図 2.10: $h_s = 17$ mm のとき

2.2.3 中心素子と放射素子の間隔の検討

中心素子と放射素子の間隔 d を変化させた場合について検討する． d の長さは，0.8 mm，1.0 mm，1.2 mm で変化させた．その他のパラメータは，表 2.3 に示す通りとした．

このときのリターンロス特性を図 2.11 に， zx 面指向性をそれぞれ図 2.12，図 2.13，図 2.14 に示す．それぞれの場合に 4.7 GHz 付近の低い周波数と，5.5 GHz 付近の高い周波数に共振が見られる．以後の検討では，低い周波数を f_1 ，高い周波数を f_2 とする．指向性は f_1 では Patch 1 のほうに傾き，一方 f_2 では Patch 1 と逆の方向に傾く．また，間隔を変えたことで，それぞれの指向性に大きな変化は見られない．

表 2.3: 中心素子と放射素子の間隔検討時のパラメータ

ps	hs	x	無給電 Port
80.0 mm	17.0 mm	3.0 mm	50 Ω 終端

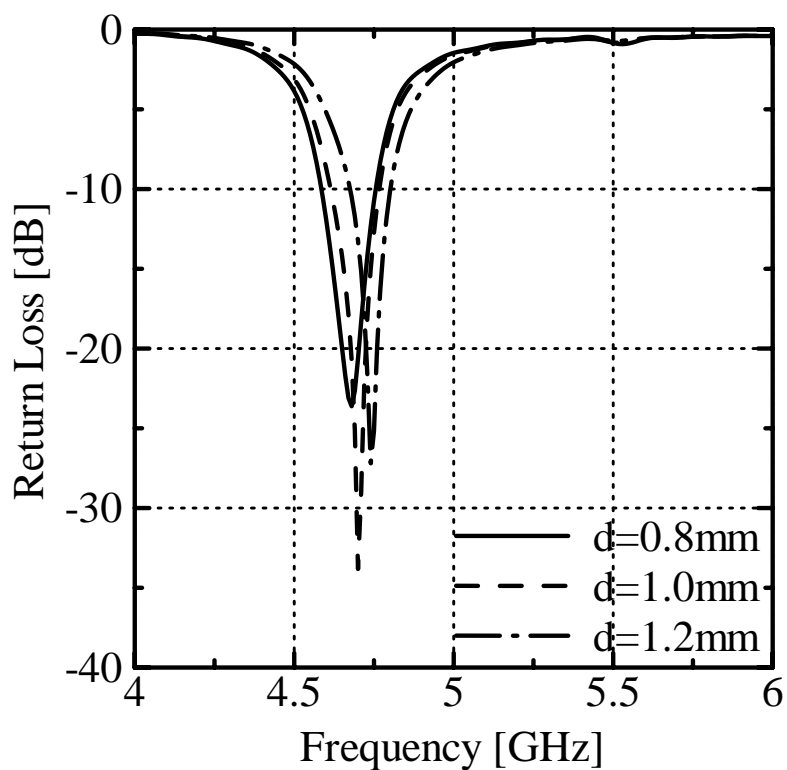
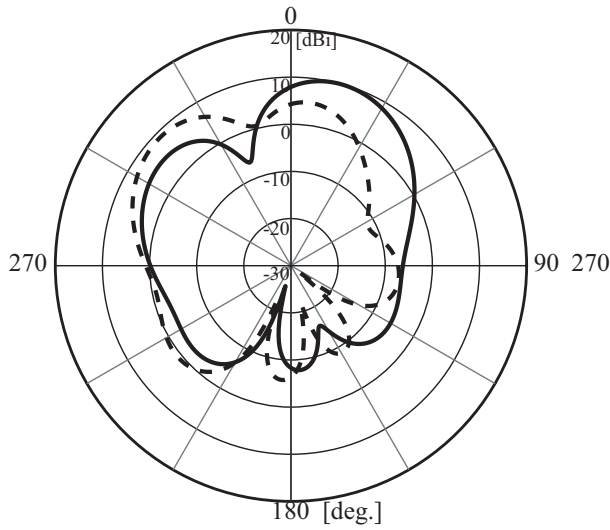


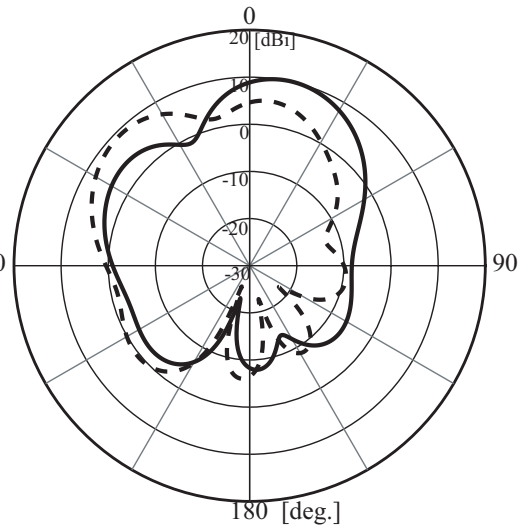
図 2.11: 中心素子と放射素子の間隔の変化によるリターンロス特性



zx-plane

— 4.68GHz --- 5.53GHz

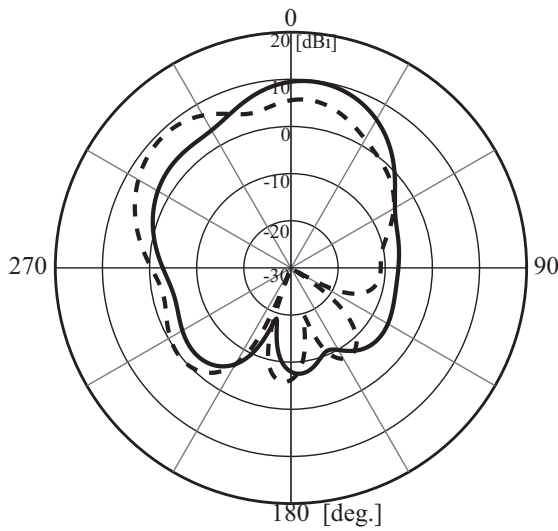
図 2.12: $d = 0.8$ mm のとき



zx-plane

— 4.70GHz --- 5.51GHz

図 2.13: $d = 1.0$ mm のとき



zx-plane

— 4.74GHz --- 5.51GHz

図 2.14: $d = 1.2$ mm のとき

2.2.4 Port の位置の検討

Port の位置 x を変化させた場合について検討する． x の長さは， -7 mm， -3 mm， 3 mm， 7 mm で変化させた．その他のパラメータは，表 2.4 に示す通りとした．

このときのリターンロス特性を図 2.15 に， zx 面指向性をそれぞれ図 2.16，図 2.17，図 2.18，図 2.19 に示す．Port の位置をずらすことによって，整合状態が変化している． x が -3 mm， 3 mm のときは f_1 における共振が強くなり， x が -7 mm， 7 mm のときは f_2 における共振が強くなる．また，それぞれの場合の指向性に大きな変化は見られない．

表 2.4: Port の位置検討時のパラメータ

ps	hs	d	無給電 Port
80.0 mm	17.0 mm	1.0 mm	50 Ω 終端

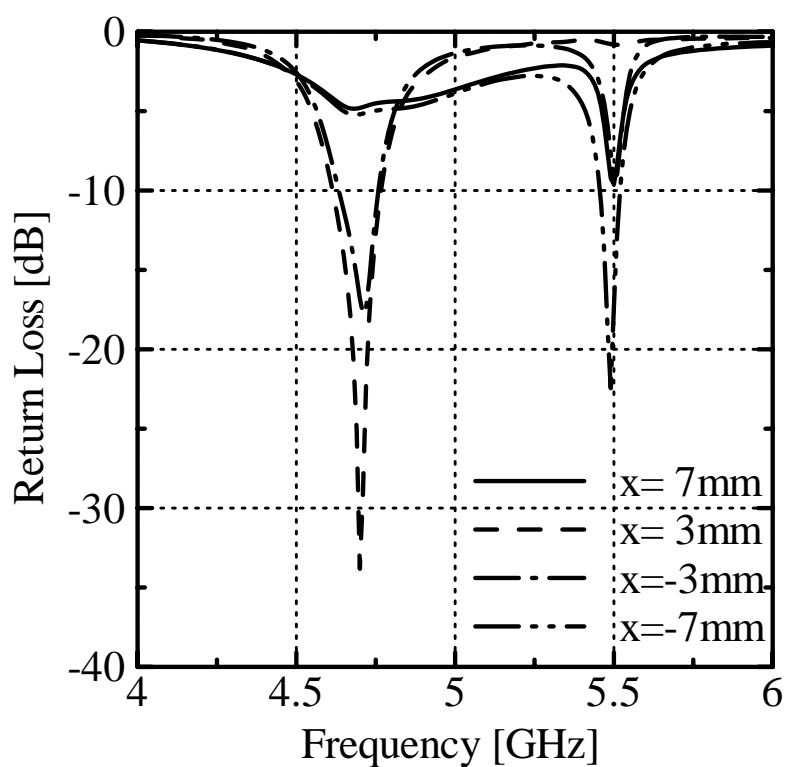
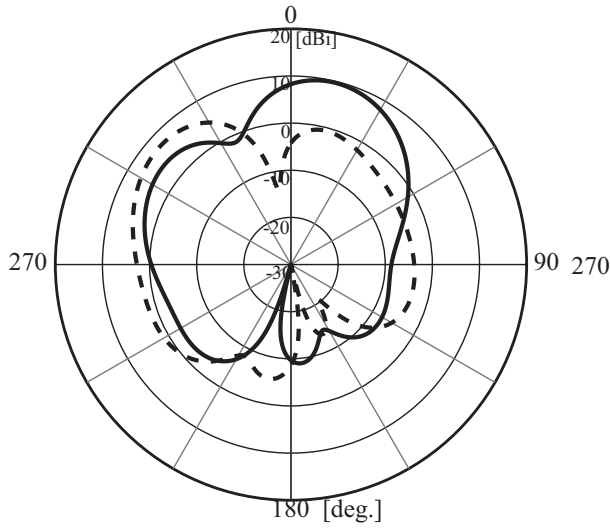


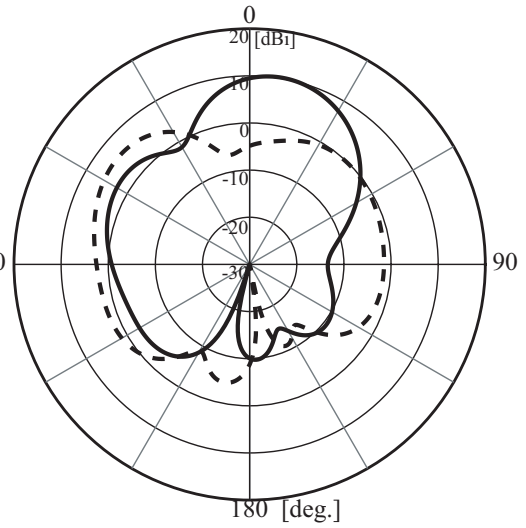
図 2.15: Port の位置の変化によるリターンロス特性



zx-plane

— 4.68GHz -- 5.5GHz

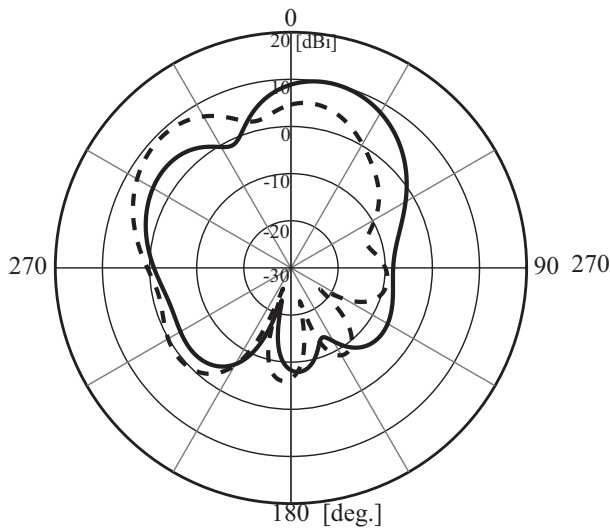
図 2.16: $x = -7$ mm のとき



zx-plane

— 4.68GHz -- 5.5GHz

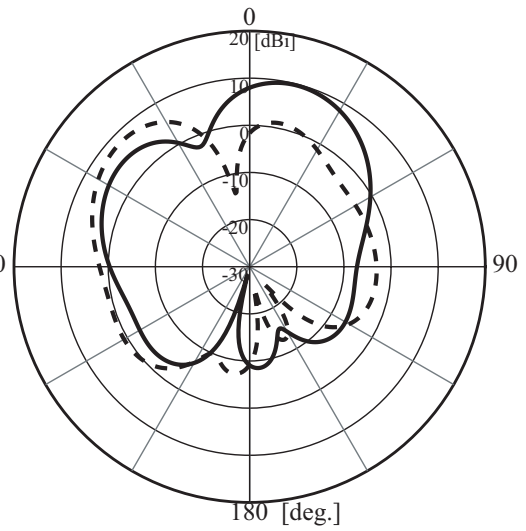
図 2.17: $x = -3$ mm のとき



zx-plane

— 4.68GHz -- 5.5GHz

図 2.18: $x = 3$ mm のとき



zx-plane

— 4.68GHz -- 5.5GHz

図 2.19: $x = 7$ mm のとき

2.2.5 無給電素子の終端条件の検討

無給電素子の終端条件について検討する．Port 2, 3を $50\ \Omega$ 終端，開放，短絡のそれぞれの場合について検討した．その他のパラメータは，表 2.5 に示す通りとした．

このときのリターンロス特性を図 2.20 に， zx 面指向性をそれぞれ図 2.21，図 2.22，図 2.23 に示す．リターンロス特性は，終端条件を変化させることで，整合状態は変わっているが共振周波数に変化は見られない．また指向性は，ほとんど変化が見られなかった．

表 2.5: 無給電素子の終端条件検討時のパラメータ

ps	hs	d	x
80.0 mm	17.0 mm	1.0 mm	-3.0 mm

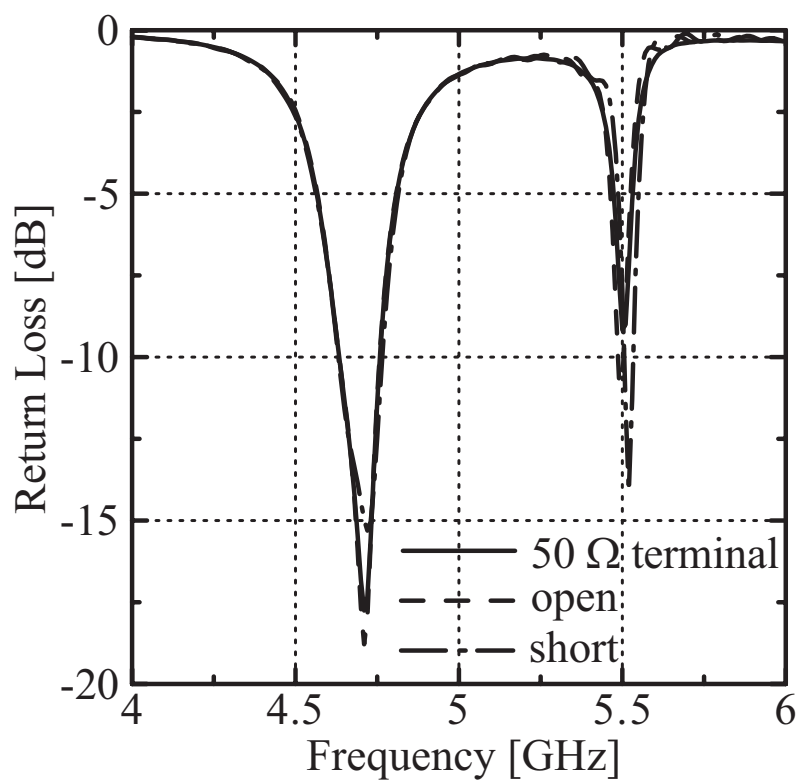


図 2.20: 無給電素子の終端条件の変化によるリターンロス特性

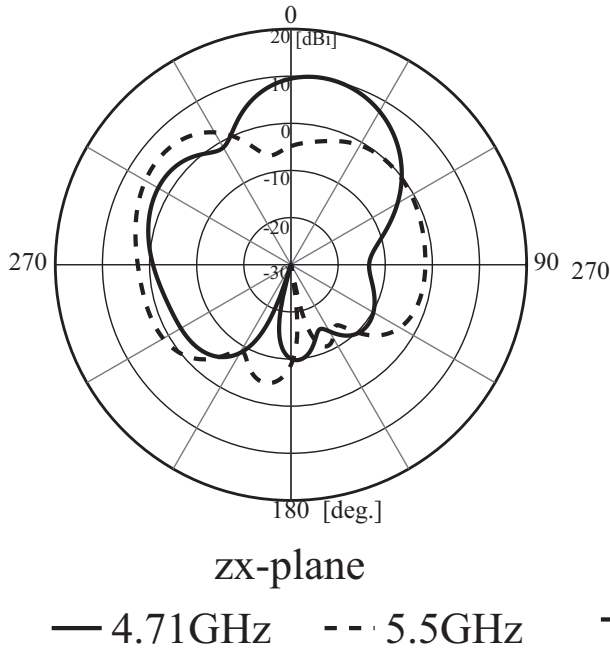


図 2.21: 50 Ω 終端のとき

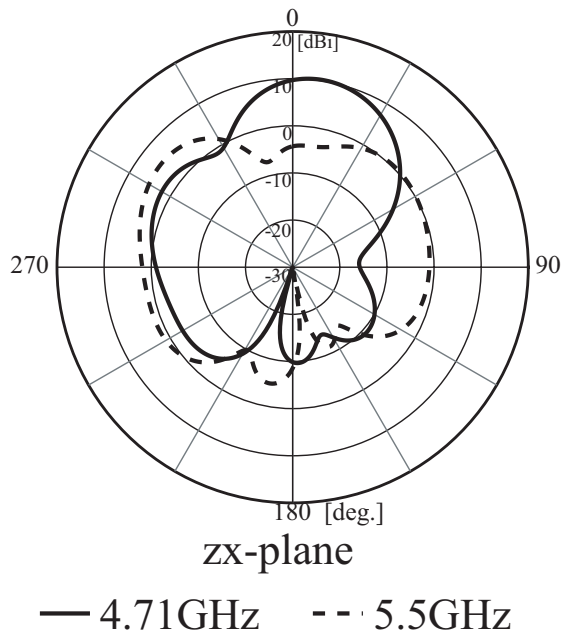


図 2.22: 開放のとき

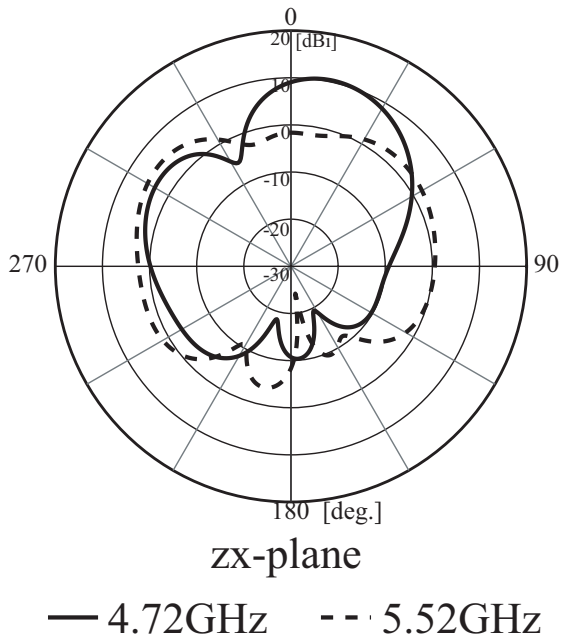


図 2.23: 短絡のとき

2.2.6 まとめ

構造パラメータについて検討してきたが， f_1 と f_2 それぞれにおいて指向性に大きな変化は見られなかった．これより f_1 と f_2 の指向性は，指向性切り替え型アンテナに用いるには適していない指向性になった．原因は，パッチの素子数が少ないためと考えられる．

ここで，次のような 3 つの無限地板のモデルを考える．

- a. 導波素子 1 つ，反射素子 1 つ (図 2.24)
- b. 導波素子 2 つ (図 2.25)
- c. 導波素子 2 つ，反射素子 1 つ (図 2.26)

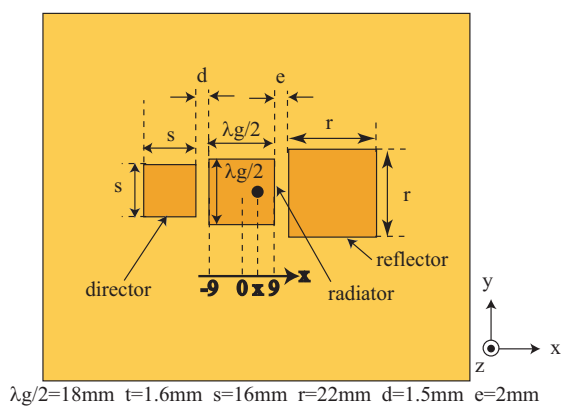


図 2.24: a のときのモデル

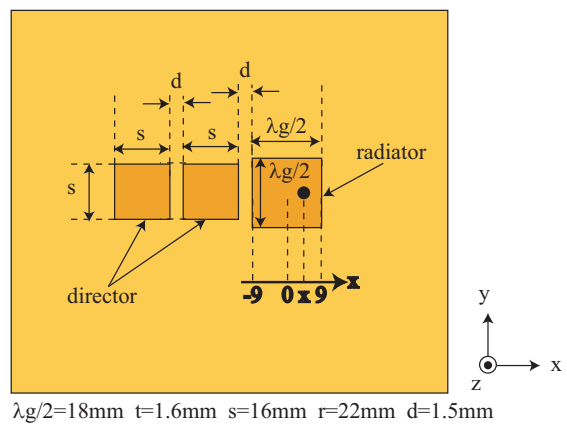


図 2.25: b のときのモデル

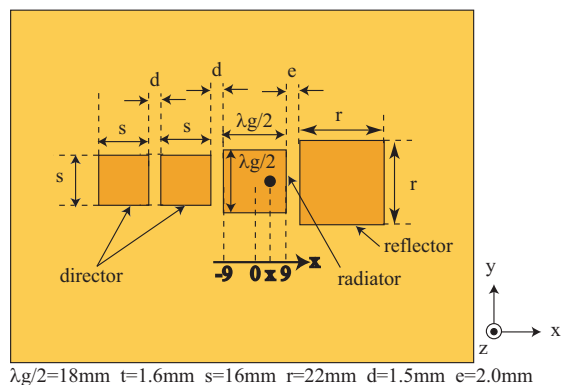


図 2.26: c のときのモデル

それぞれのモデルの zx 面放射指向性の違いを図 2.27 に示す．2 素子よりも 3 素子と素子数を増やしたときのほうが，指向性切り替え型アンテナに適した放射指向性を得ることができている．

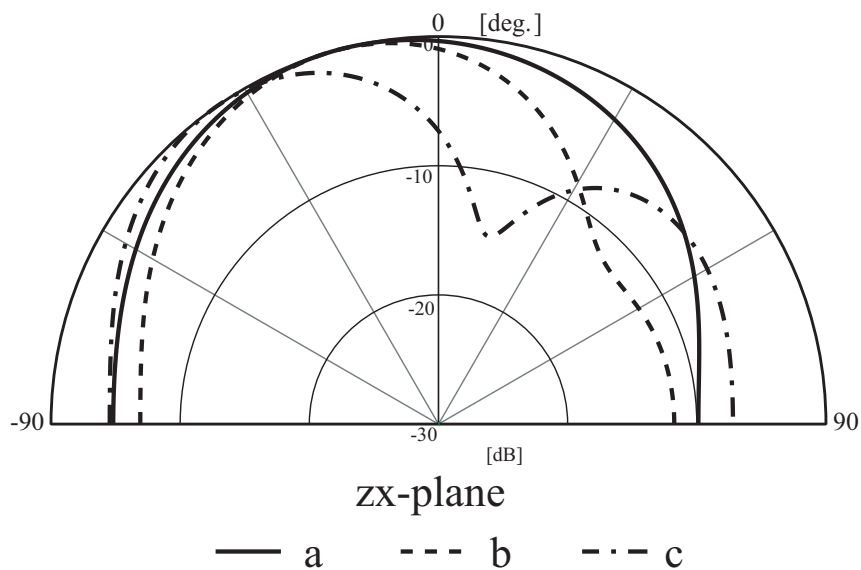


図 2.27: 素子数の違いによる zx 面指向性

今までなされている検討でも，導波素子の数を増やしていくことで， F/B 比が改善されることが示されている [17]．また，八木・宇田アンテナは素子数を増やしていくと， F/B 比が改善されると示されている [20]．このため，2 素子と素子数を減らしたこの検討では，指向性切り替え型アンテナに適した指向性を得ることができなかつたと考えられる．

第 3 章

容量装荷モノポールを用いた 3 方向指向性切り替え型アンテナ

本章では，容量装荷モノポールを用いた 3 方向指向性切り替え型アンテナについて述べる．アンテナの構成と動作原理について述べ，構造パラメータの最適化について述べる．さらに，実験を行った結果についても述べる．

3.1 アンテナの構成

アンテナの構成を図 3.1 に示す．このアンテナの中心には正六角形のパッチを配置して，その周りに放射素子となる容量装荷モノポールを 120 度ごとに配置する構造になっている．ここで，Port 1 に給電をすると，指向性が Element 1 のほうにチルトする．Port 2, 3 に給電した場合も同様に，Element 2, 3 の方向に指向性がチルトする．よって，スイッチを切り替えて給電する Port を変えることで，指向性を 3 方向に切り替えることができる構成になっている．アンテナの各パラメータを図 3.2 のようにおく．ここで Element 1, 2, 3 の大きさ r_s は，この長さによって共振周波数が決まるため，5 GHz で共振するようにするために， r_s を 10.8 mm とした．また，給電ピンの直径を 1.0 mm，基板の比誘電率を 2.6，厚さを 1.6 mm とした．

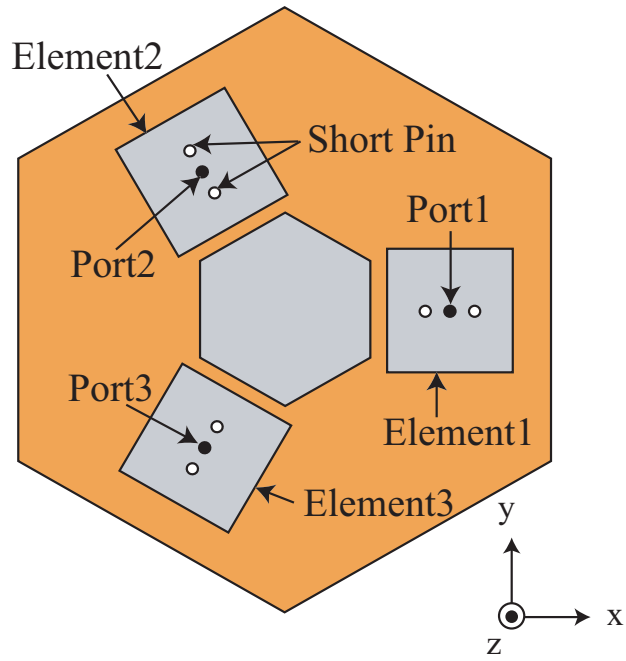


図 3.1: アンテナのモデル

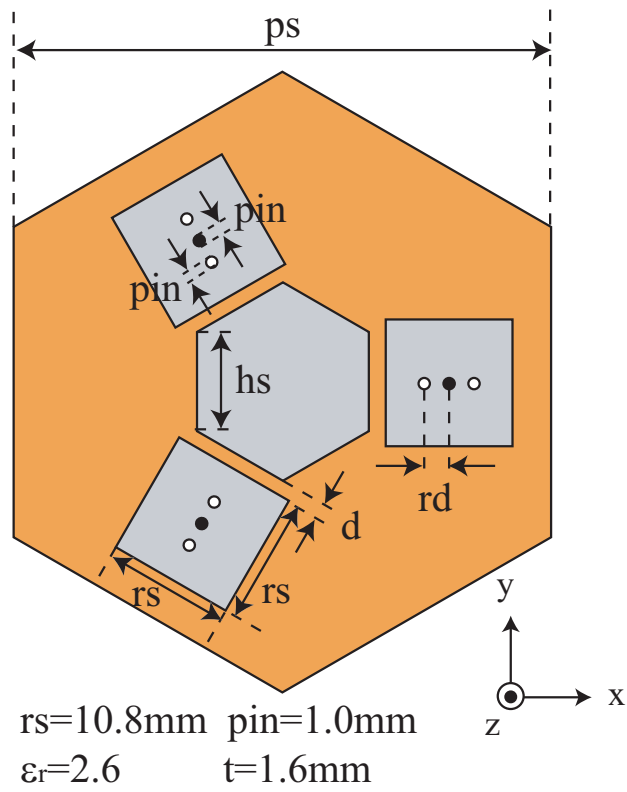


図 3.2: アンテナのパラメータ

3.1.1 アンテナの終端条件

任意の Port に給電したときの他の Port の終端条件について検討をした．ここでは Port 1 に給電をして，Port 2, 3 を次の 3 つの場合で終端させたときについて検討を行った．

- a. Port 2, 3 を 50Ω 終端した場合
- b. Port 2, 3 を開放した場合
- c. Port 2, 3 を短絡した場合

また，終端条件を検討するときのパラメータは，表 3.1 に示すとおりとした．解析を行った結果，それぞれ終端条件によるリターンロス特性は，図 3.3 に示すようになった．給電しない Port の終端条件を変化させることで，整合状態が変化している．またこのアンテナは，表 3.2 に示すように 2 つ共振周波数を有している．これ以後の検討では，低い周波数を f_1 ，高い周波数を f_2 とする．

f_1 と f_2 における zx 面放射指向性を図 3.4，図 3.5 に， xy 面放射指向性を図 3.6，図 3.7 に示す． f_1 においては，それぞれの終端条件の違いによって指向性に大きな変化は見られない．一方， f_2 においては，終端条件が b, c のときは指向性の F/B 比は約 10 dB となっているが，a の条件のときには 20.1 dB となり，指向性切り替え型アンテナに適していると考えられる．これより以後の検討については，給電していない Port は 50Ω 終端として検討する．

表 3.1: 終端条件検討時のパラメータ

ps	60.0 mm	hs	9.0 mm
rd	2.0 mm	d	1.0 mm

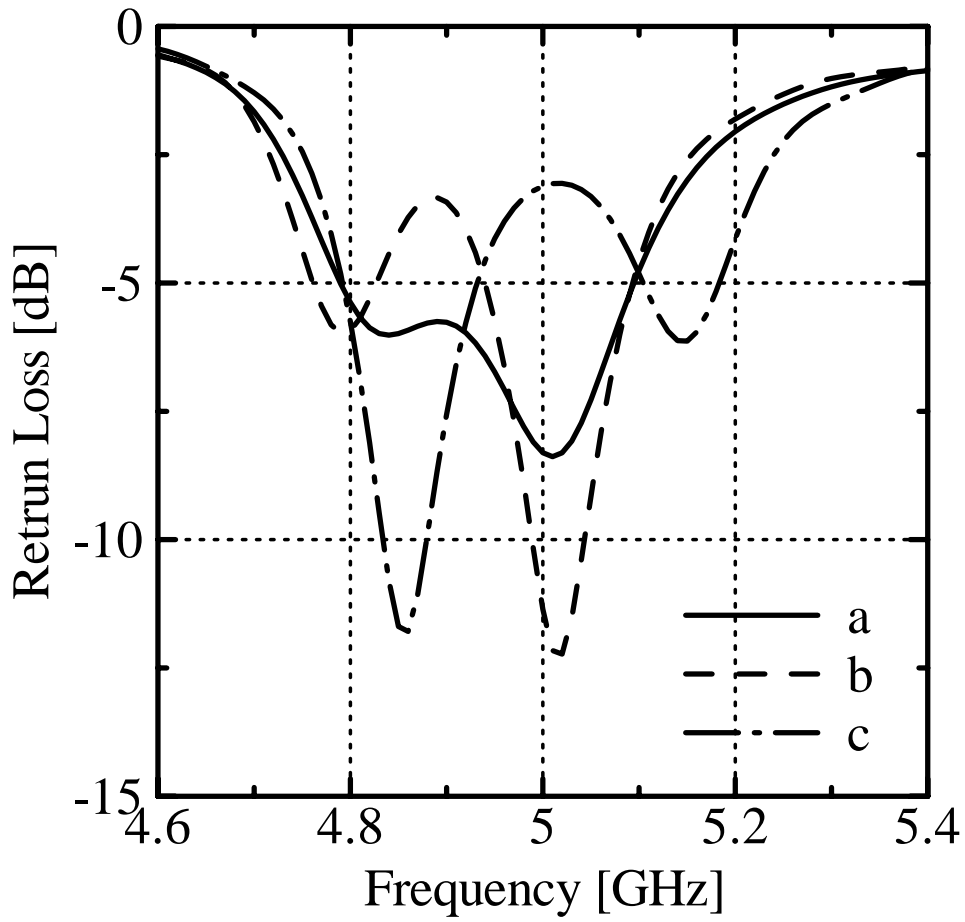
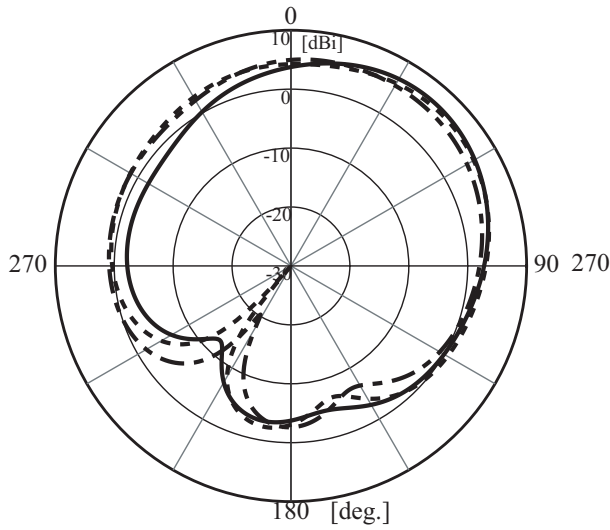


図 3.3: 終端条件検討時のリターンロス特性

表 3.2: 終端条件検討時の共振周波数

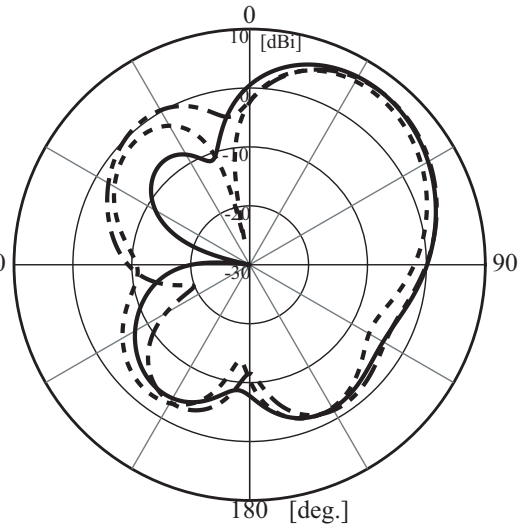
Terminal Condition	f1	f2
a	4.84GHz	5.01GHz
b	4.79GHz	5.02GHz
c	4.86GHz	5.15GHz



zx-plane

— a - - - - b - · - · - c

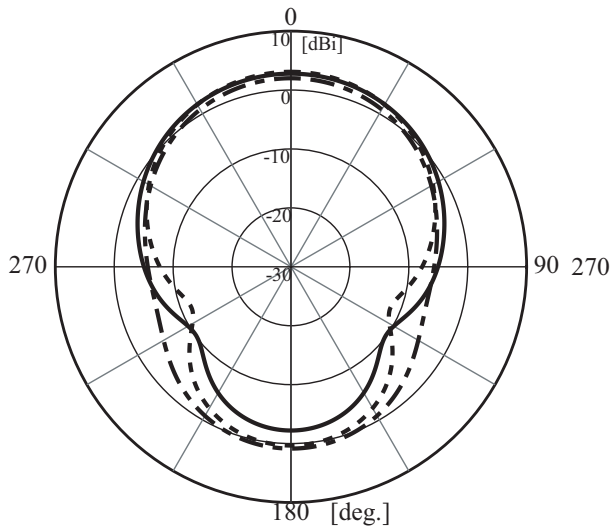
図 3.4: f1 における zx 面放射指向性



zx-plane

— a - - - - b - · - · - c

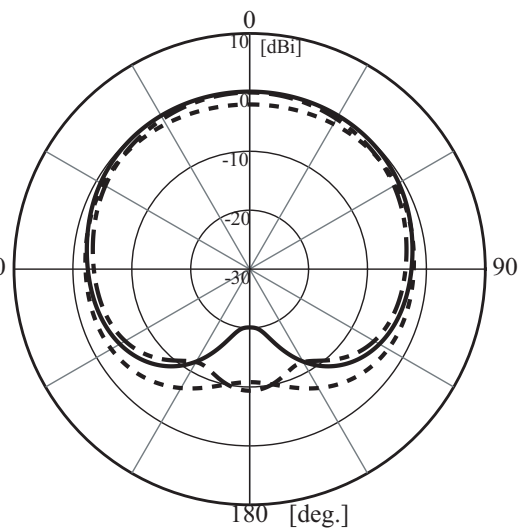
図 3.5: f2 における zx 面放射指向性



xy-plane

— a - - - - b - · - · - c

図 3.6: f1 における xy 面放射指向性



xy-plane

— a - - - - b - · - · - c

図 3.7: f2 における xy 面放射指向性

3.1.2 アンテナの動作原理

このアンテナの動作原理について考察する．まず， f_1 の周波数のときは，図 3.8 に示すような電流分布になっている．このとき，Element 1 と Element 2, 3 に流れる電流は逆相となり，中心の正六角形パッチ部では，Element 1 から Element 2, 3 の方向に向かう電流が強く分布している．アンテナ全体としては，図 3.9 に示すイメージのように，Element 1 から Element 2, 3 に沿って電流が流れているような形になる．従って，パッチの指向性を示しており，素子数の違いにより若干 Element 1 のほうにチルトしていると考えられる．

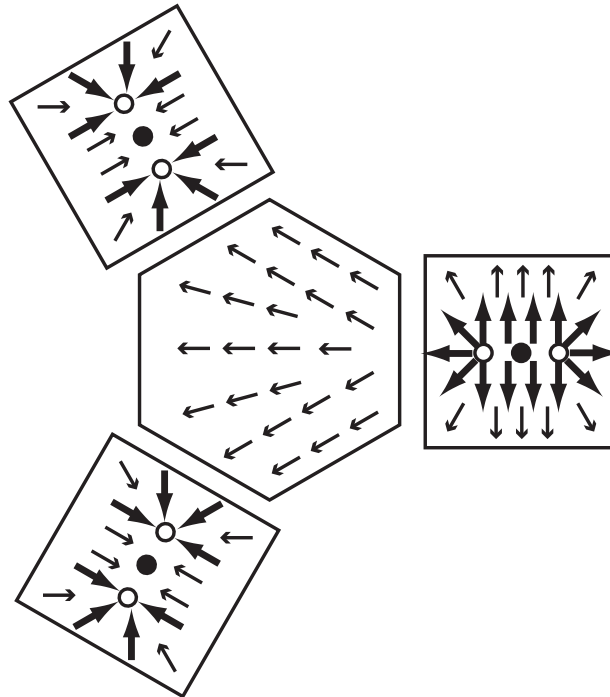


図 3.8: f_1 における電流分布

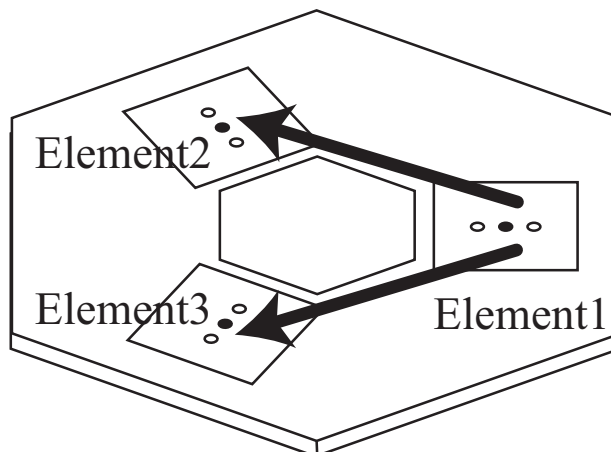


図 3.9: f_1 における電流分布のイメージ

一方, 図 3.10 から f_2 では Element 1 と Element 2, 3 パッチの電流は同相になり, 中心の正六角形パッチ部にはほとんど電流が分布していない. Element 1 に流れる電流は, Element 2, 3 と比べ強く分布している. 以上より, f_2 では図 3.10 に示すイメージのように, 3 素子の容量装荷モノポールアレーとなり, 強く電流が分布する Element 1 側に指向性はチルトしていると考えられる.

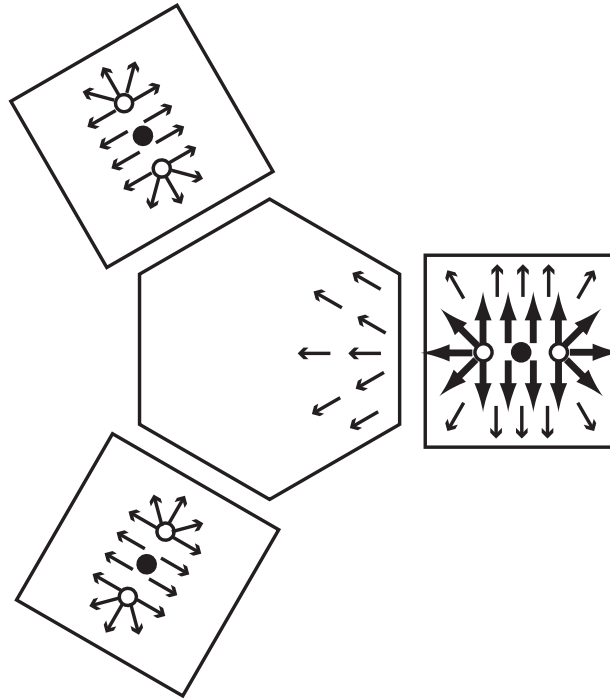


図 3.10: f_2 における電流分布

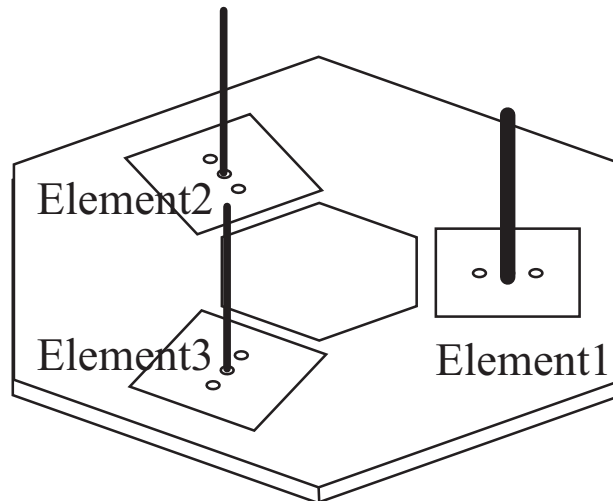


図 3.11: f_2 における電流分布のイメージ

3.2 構造パラメータの検討

このアンテナの構成では，図 3.2 に示す構造パラメータがアンテナ特性に大きく影響する．指向性切り替え型アンテナとして用いることを考えると，F/B 比及び水平面半値幅に対するパラメータの検討を行う．なお，検討するパラメータは地板の大きさ ps ，中心の正六角形パッチの一辺の長さ hs ，中心素子と放射素子の間隔 d ，放射素子の Port と Short Pin の間隔 rd である．

3.2.1 地板の大きさの検討

地板の大きさ ps を変化させたときを検討する． ps の長さは，48 mm から 64 mm と変化をさせた．その他のパラメータは表 3.3 に示すとおりとした．このときの F/B 比と水平面指向性の結果を図 3.12 に示す．これより，地板の大きさを小さくしていくと F/B 比が改善されている．一方で，水平面半値幅は大きくなっている．F/B 比を改善することを考えると，物理的にも最小の大きさとなるため， ps は 48 mm とした．

表 3.3: 地板の大きさ検討時のパラメータ

hs	rd	d
7.0 mm	2.0 mm	0.9 mm

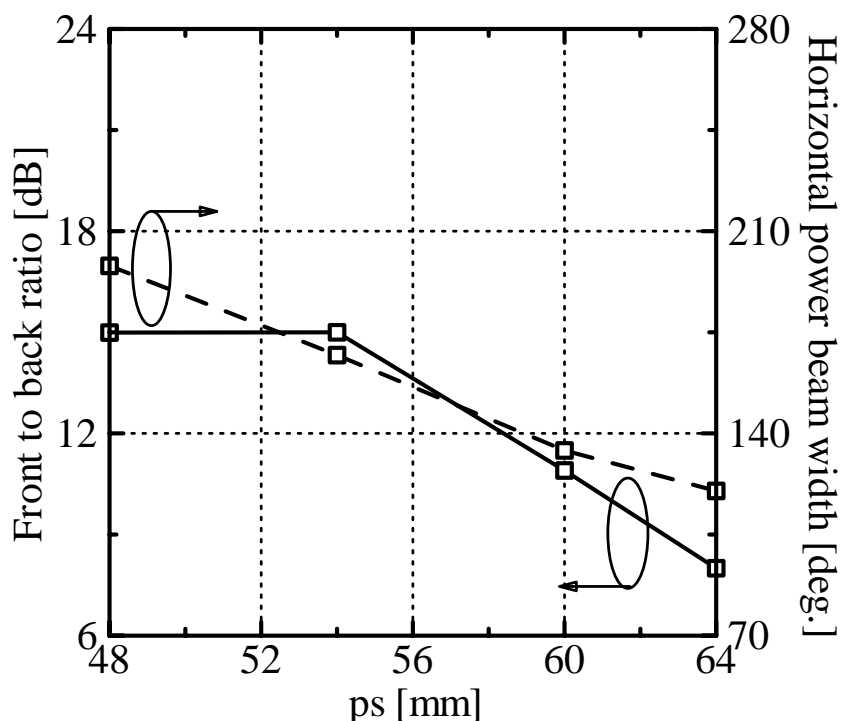


図 3.12: ps の検討時の F/B 比と水平面半値幅

3.2.2 中心素子の大きさの検討

中心素子の大きさ h_s を変化させたときを検討する。 h_s の長さは、6.0 mm から 10.0 mm と変化をさせた。その他のパラメータは表 3.4 に示すとおりとした。このときの F/B 比と水平面指向性の結果を図 3.13 に示す。これより、中心素子の大きさを大きくしていくと F/B 比が変化している。一方で、水平面半値幅は大きくなっている。F/B 比を改善することを考えると、F/B 比が最大となっているので、 h_s は 9.0 mm とした。

表 3.4: 中心素子の大きさ検討時のパラメータ

ps	rd	d
48.0 mm	2.0 mm	0.9 mm

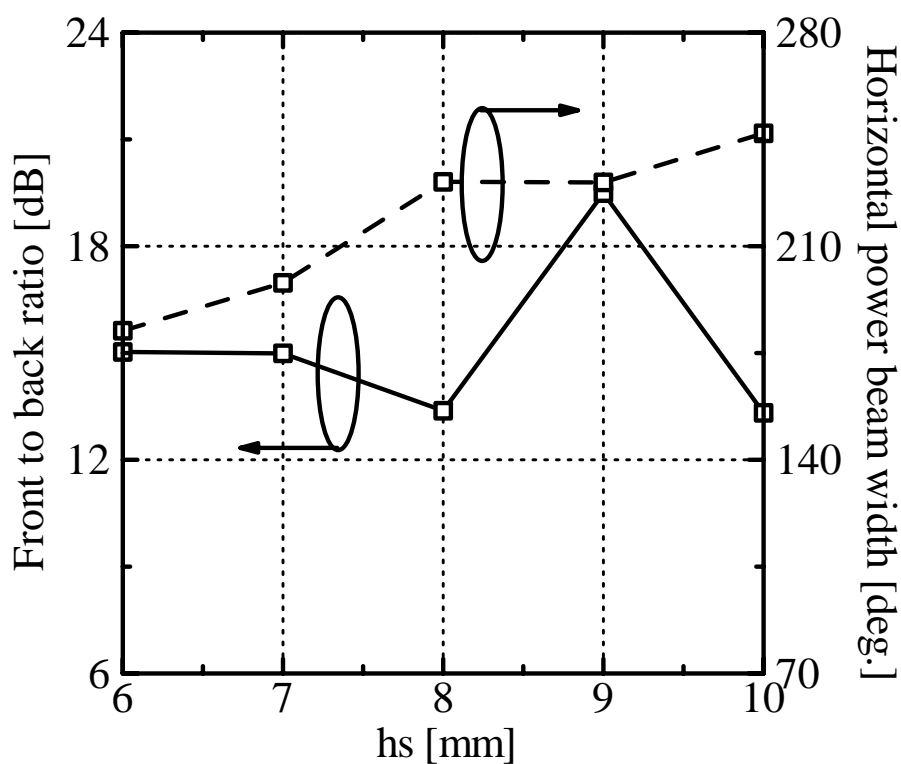


図 3.13: h_s の検討時の F/B 比と水平面半値幅

3.2.3 中心素子と放射素子の間隔の検討

中心素子と放射素子の間隔 d を変化させたときを検討する。 d の長さは、0.7 mm から 1.2 mm と変化をさせた。その他のパラメータは表 3.5 に示すとおりとした。このときの F/B 比と水平面指向性の結果を図 3.14 に示す。これより、中心素子と放射素子の間隔を大きくしていくと、F/B 比と水平面半値幅は変化している。F/B 比を改善することを考えると、 d が 1.1 mm のときに最大となっているが、あとで rd を変化させると、F/B 比と水平面指向性が変化してくるので、中間である d が 0.8 mm のときについても検討をした。

表 3.5: 中心素子と放射素子の間隔検討時のパラメータ

ps	hs	rd
48.0 mm	9.0 mm	2.0 mm

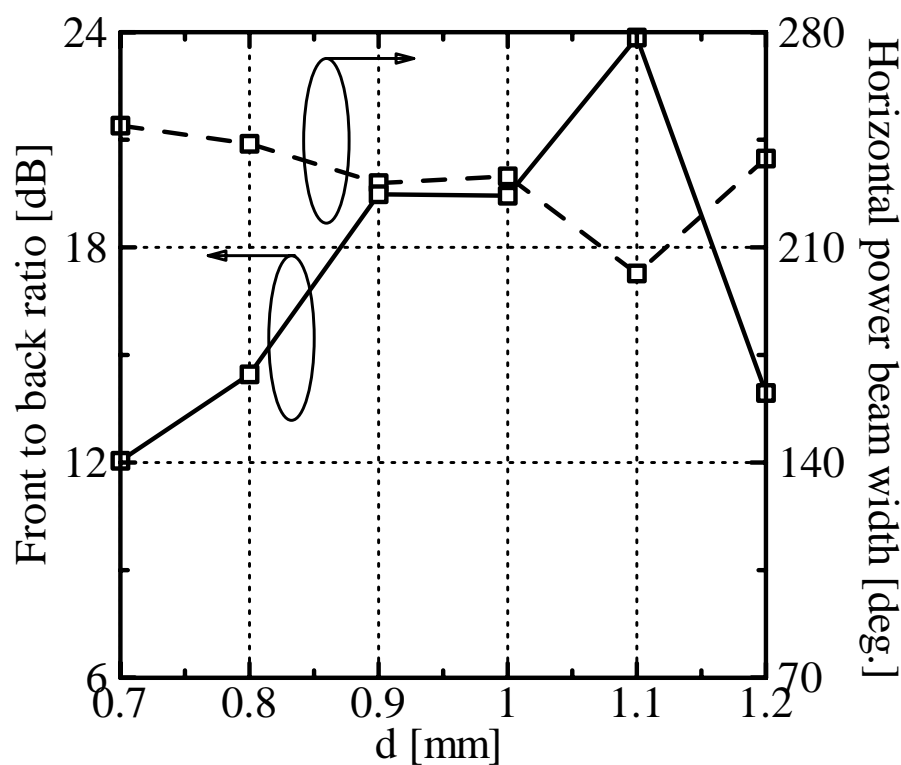


図 3.14: d の検討時の F/B 比と水平面半値幅

3.2.4 放射素子の Port と Short Pin の間隔の検討

放射素子の Port と Short Pin の間隔 rd を変化させたときを検討する。 rd の長さは、2.0 mm から 3.5 mm と変化をさせた。その他のパラメータは表 3.6 に示すとおりとした。このときの F/B 比と水平面指向性の結果を図 3.15 に示す。これより、中心素子と放射素子の間隔を大きくしていくと、F/B 比と水平面半値幅は変化している。F/B 比を改善することを考えると、 d が 1.1 mm のときは、 rd が 2.0 mm のとき F/B 比が最大となっているが、 d が 0.8 mm のときは、 rd が 2.5 mm のとき F/B 比が最大となっている。また、 -10 dB の帯域を見てみると、 d が 0.8 mm のほうが取れているので、これを F/B 比が改善されたモデルとした。

表 3.6: 放射素子の Port と Short Pin の間隔検討時のパラメータ

ps	hs	d
48.0 mm	9.0 mm	0.8 mm
48.0 mm	9.0 mm	1.1 mm

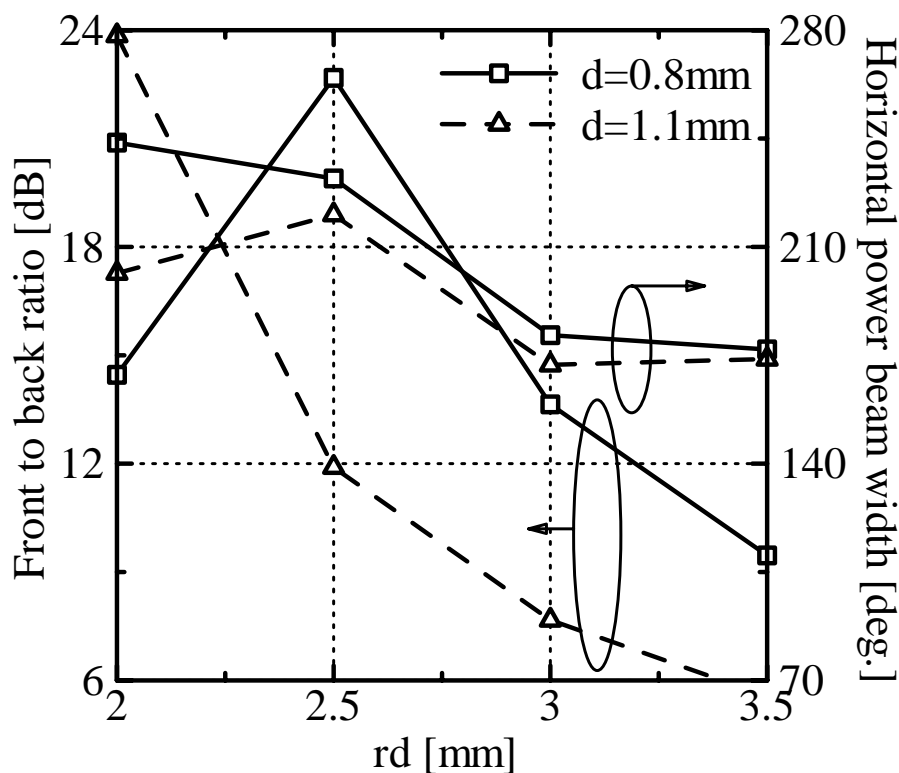


図 3.15: rd の検討時の F/B 比と水平面半値幅

3.2.5 まとめ

4つの各パラメータを変化させて、F/B比と水平面半値幅が変化することを示してきた。今までの検討の中で、水平面半値幅が最も小さいモデル (Model A)、F/B比が改善されたモデル (Model C)、その中間的なモデル (Model B) の3つのリターンロス特性と放射指向性について検討した。それぞれのパラメータを表3.7に示す。

このときのリターンロス特性のグラフを図3.16に示す。各パラメータを変化させているため、整合状態が変化している。また、それぞれのモデルの zx 面放射指向性と xy 面放射指向性を図3.17、図3.18、図3.19に示す。各パラメータを変化させると、F/B比がModel A、Model B、Model Cになるにしたがって改善されている。以上の結果を表3.8にまとめる。

表 3.7: 3つのモデルのパラメータ

Model	ps	hs	d	rd
A	64.0 mm	7.0 mm	0.9 mm	2.0 mm
B	60.0 mm	9.0 mm	1.0 mm	2.5 mm
C	48.0 mm	9.0 mm	0.8 mm	2.5 mm

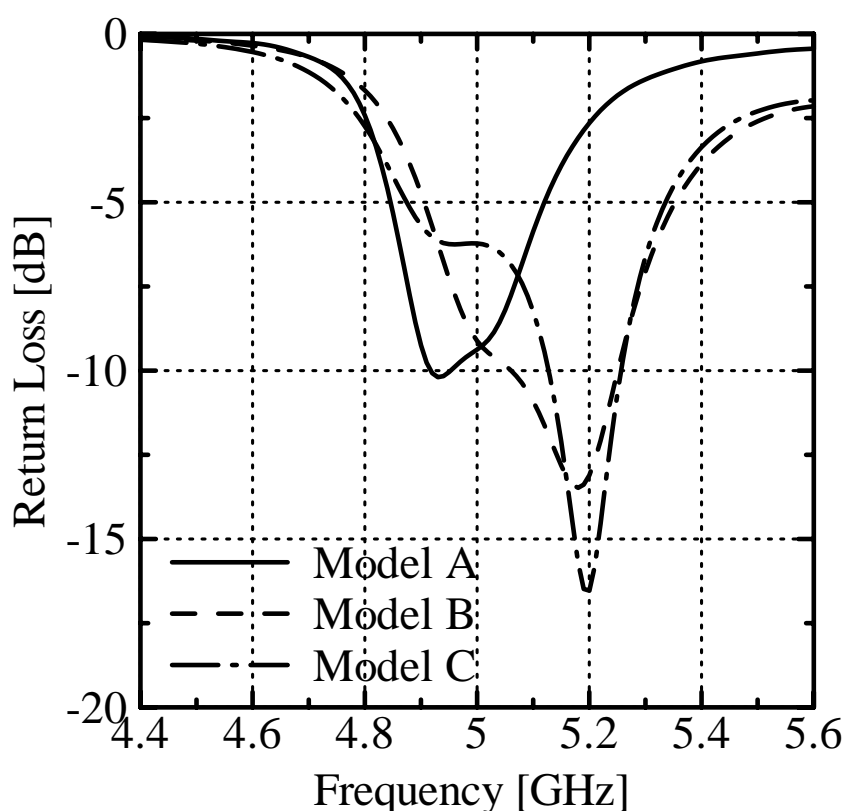


図 3.16: 3つのモデルのリターンロス特性

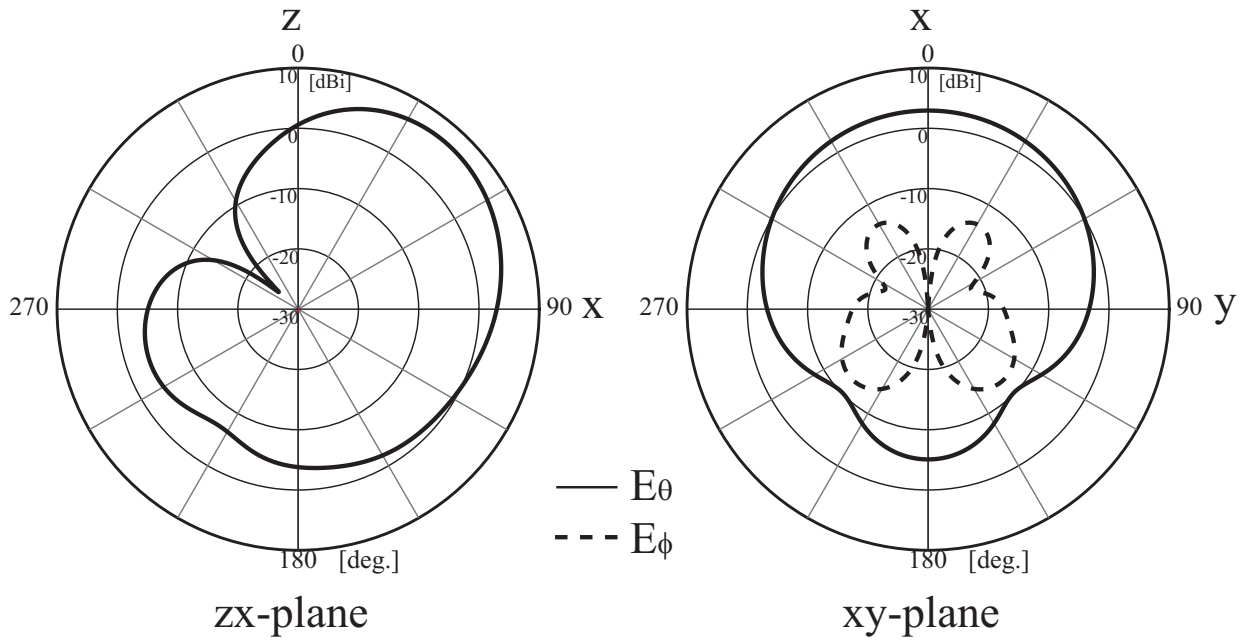


図 3.17: Model A の放射指向性

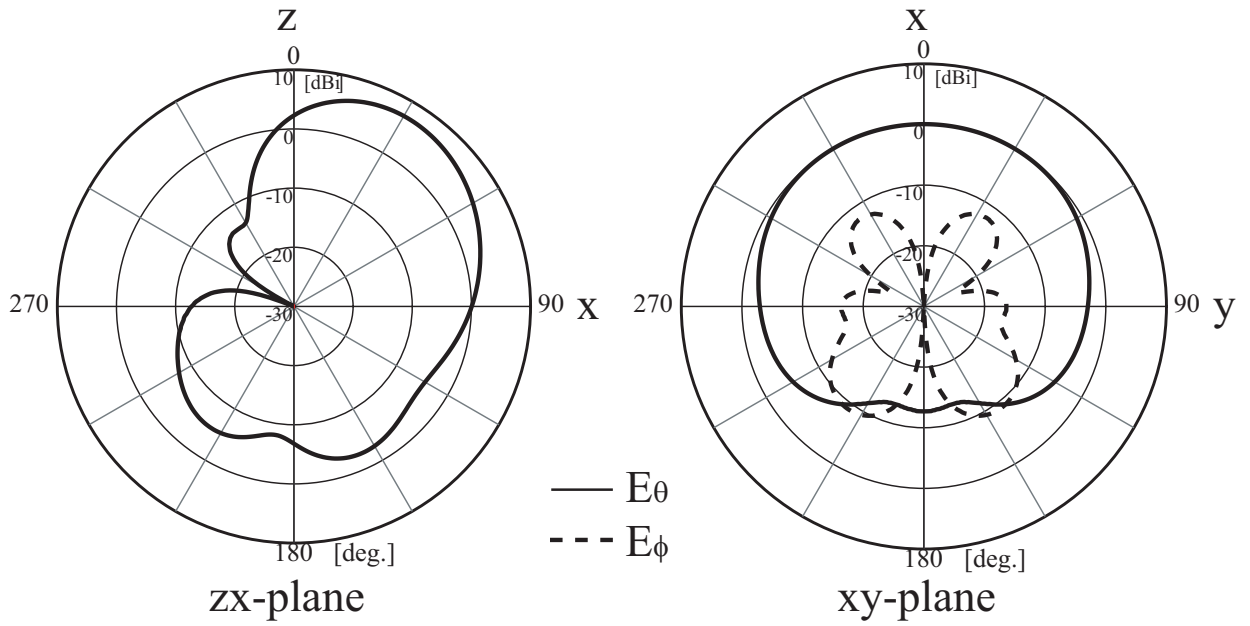


図 3.18: Model B の放射指向性

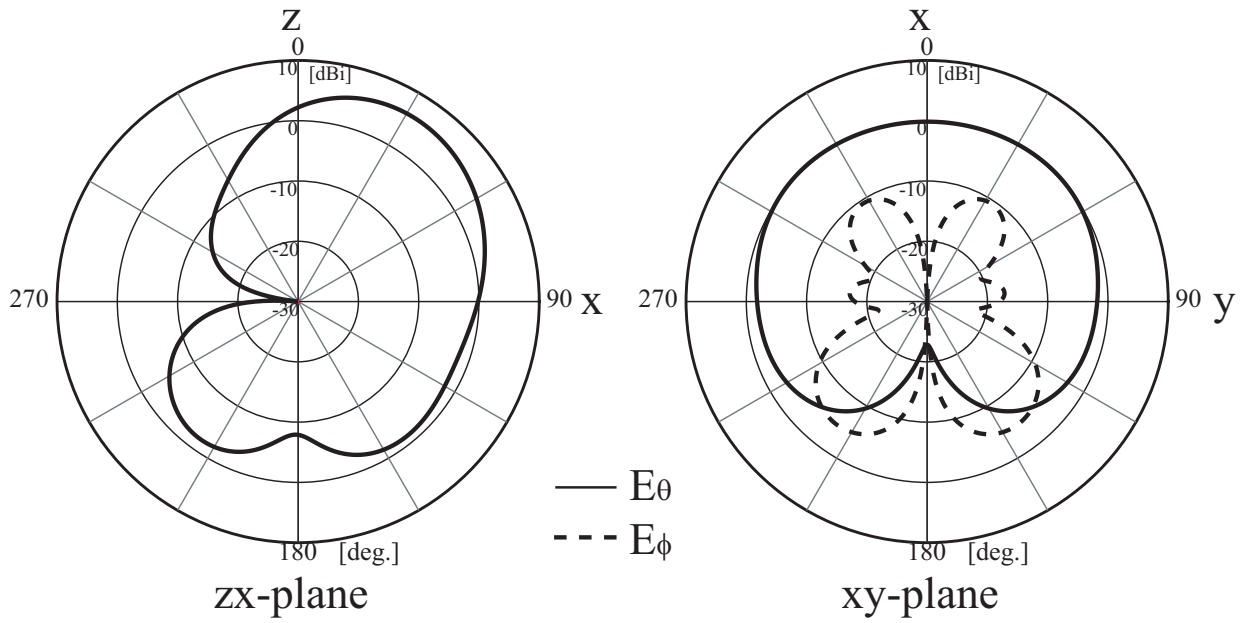


図 3.19: Model C の放射指向性

表 3.8: 3つのモデルの結果

Model	A	B	C
Front to back ratio [dB]	8.0	12.7	22.7
Horizontal half power beam width [deg.]	120.1	179.5	232.1
Maximum Directivity [dBi]	6.9	7.2	6.1
Tilt angle [deg.]	43.0	32.0	33.0
Frequency [GHz]	4.93	5.18	5.2
Return Loss [dB]	-10.19	-13.48	-16.53
-10 dB Bandwidth [MHz]	40	190	130

表 3.9: 終端条件による最大放射利得，放射効率，全体効率

Terminal Condition	a	b	c
Maximum Directivity [dBi]	6.03	4.41	5.27
Radiation efficiency [%]	99.8	99.0	97.6
Total efficiency [%]	60.6	96.3	97.3

Model C のときの終端条件の違いによって，最大放射利得，放射効率，全体効率がどのようにになっているかについて検討する．終端条件は次の 3 つである．

- a. Port 2, 3 を 50Ω 終端した場合
- b. Port 2, 3 を開放した場合
- c. Port 2, 3 を短絡した場合

それぞれの場合の最大放射利得，放射効率，全体効率を比較したものを表 3.9 に示す．それぞれを比較したときに，大きく違う点は全体効率にある．終端条件を開放と短絡の場合の全体効率はそれぞれ 96 % 以上を有するのに対して， 50Ω 終端のときは 60.6 % となっている．これは，開放と短絡の場合は全体効率が 96 % 以上を有しているので，すべての Port から放射されていると考えられる．一方で， 50Ω 終端のときは，全体効率が 60.6 % となっていることより，Port 1 からはよく放射されているが Port 2, 3 からはほとんど放射されていないと考えられる．これより， 50Ω 終端のときは終端ポート側の放射が抑制されていて，他の終端条件のときと比べて高 F/B 比につながっていると考えられる．また，このときの最大放射利得を見ると 6.03 dBi となっており，Port 1 からほぼ放射されていると考えられるので，指向性切り替え型アンテナに使用するのに適した特性を得ることができていると考えられる．

3.3 実験結果

前節で述べた F/B 比最適モデルについて実験を行った．実験のモデルの写真の表面と裏面を図 3.20，図 3.21 に示す．

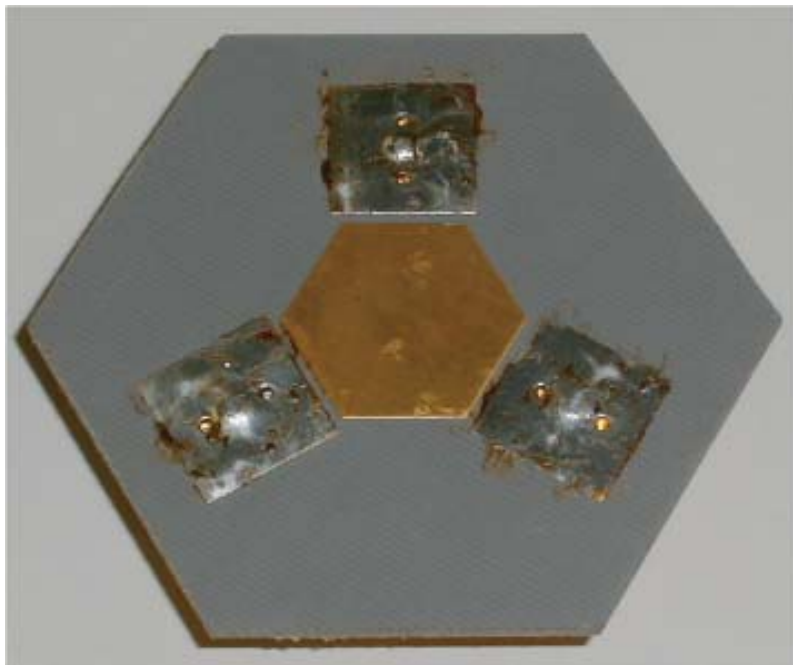


図 3.20: 表面

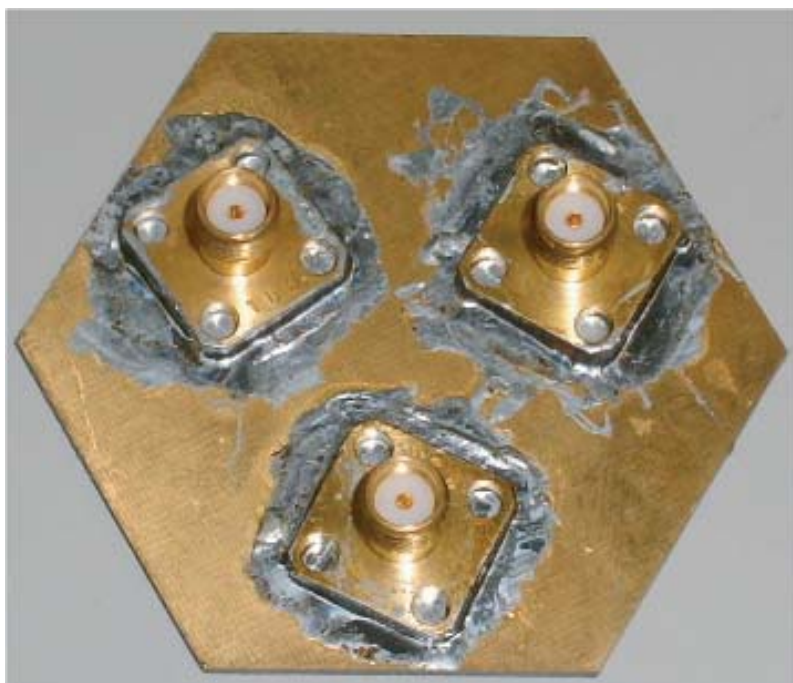


図 3.21: 裏面

このアンテナの実験と解析のリターンロス特性を図 3.22 に示す．実験値と解析値は傾向は一致しているが，周波数に約 500MHz のずれが生じている．これは，給電部のモデリングをしていないため，このようにずれが生じていると考えられる．

実験と解析の zx 面放射指向性を図 3.23 と図 3.24 に， xy 面放射指向性を図 3.25 と図 3.26 に， yz 面放射指向性を図 3.27 と図 3.28 に示す．各面とも傾向は一致しているが，実験は解析よりも F/B 比が約 10dB と悪くなっている．これは，給電部をモデリングしていないため，指向性に影響が出ていると考えられる．

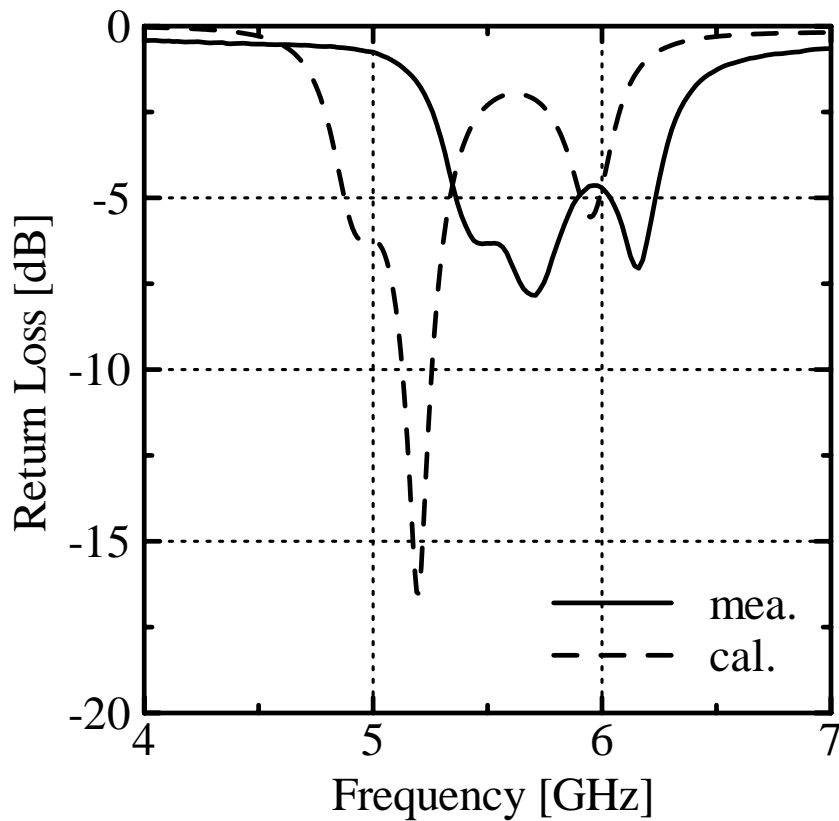


図 3.22: リターンロス特性

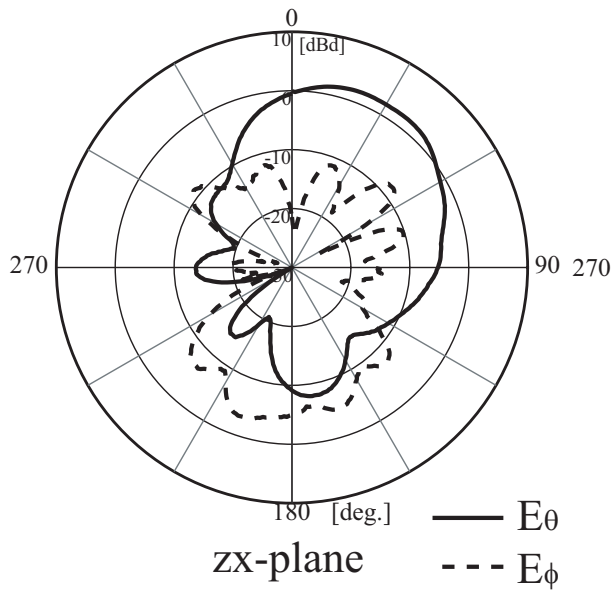


図 3.23: 実験の zx 面指向性

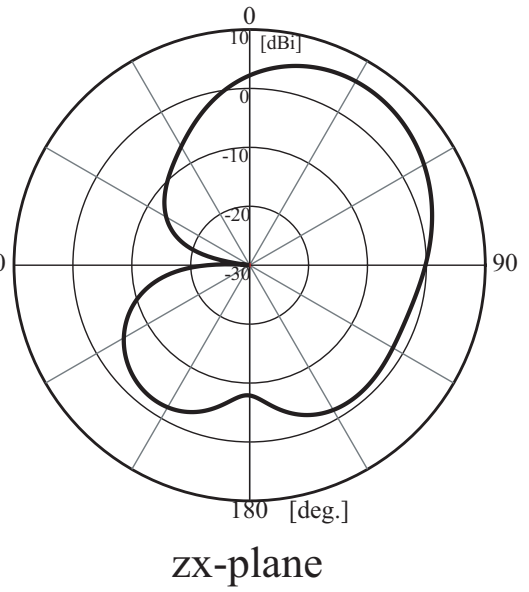


図 3.24: 解析の zx 面指向性

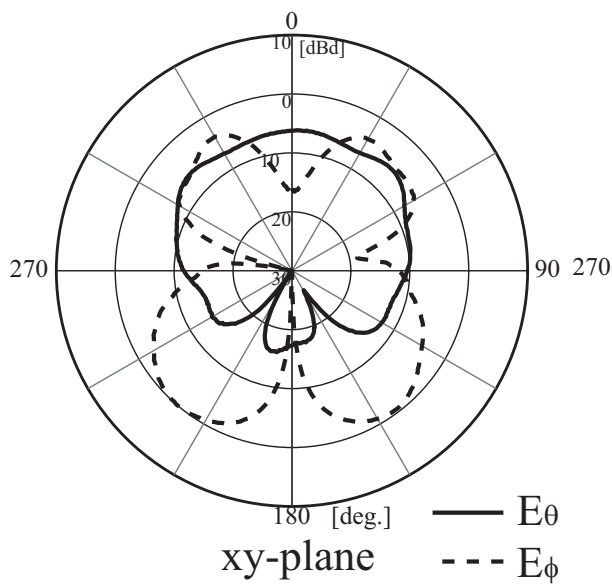


図 3.25: 実験の xy 面指向性

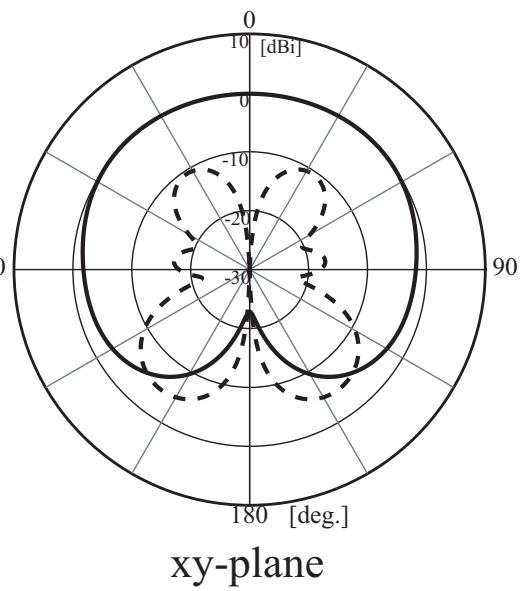


図 3.26: 解析の xy 面指向性

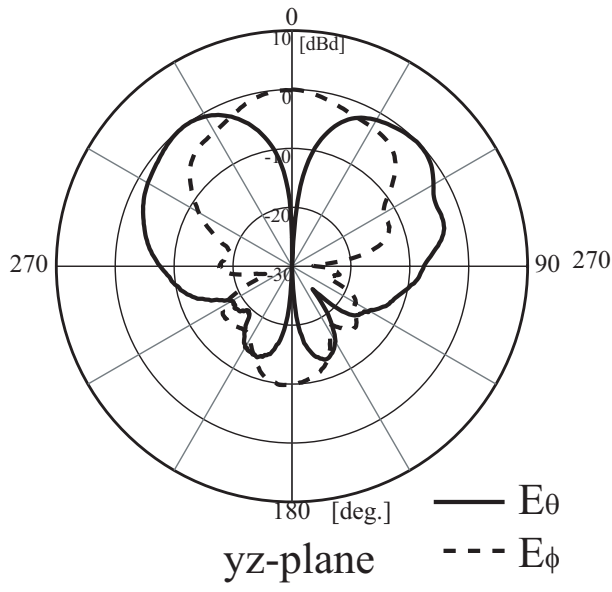


図 3.27: 実験の yz 面指向性

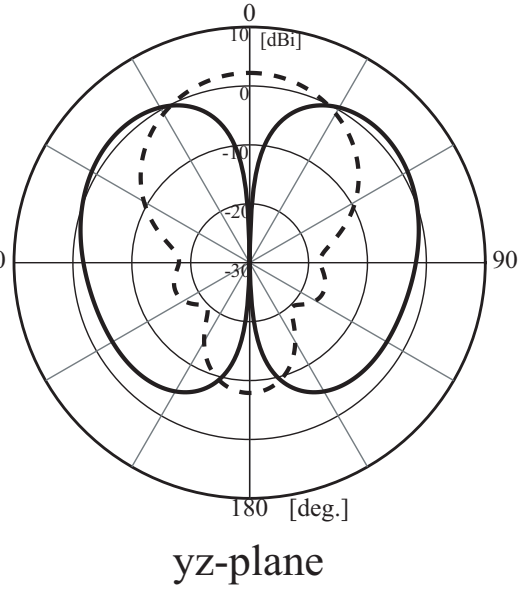


図 3.28: 解析の yz 面指向性

実験と解析の誤差について検討する．まず，第一の原因として考えられるのは，解析と実験で給電部分の形状が異なる点であると考えられる．解析では簡単のために，地板と給電ピンとの間にギャップをあけて，そこに地板から給電ピンに向かって給電するギャップ給電として検討していた．しかし，実験ではそのような状態で検討することはできないので，Port を中心にして地板に直径 1.9 mm の穴をあけ，同軸のコネクタを接続することで給電をした．また，パラメータを変更した点もあるためであると考えられる．解析と実験でパラメータで変更した点は，Port のピンの太さを 1.0 mm としていたが，1.4 mm の穴をあけてそこに 1.3 mm のピンを入れる形状に変更した．さらに，Short Pin をスルーホールとした．これらをまとめたものを解析のものを図 3.29，実験のものを図 3.30 に示す．

また，前節で述べたとおり，例えば rd のように 0.5 mm 間隔で変えるだけで，大きく特性が変化するパラメータを持つことより，製作精度が要求される．ピンの高さや半田の量などによって，実験とのずれが生じていると考えられる．

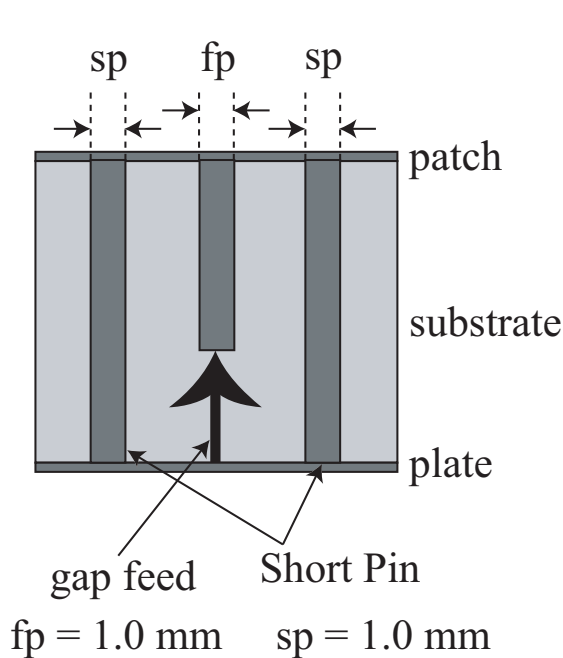


図 3.29: 解析の給電部

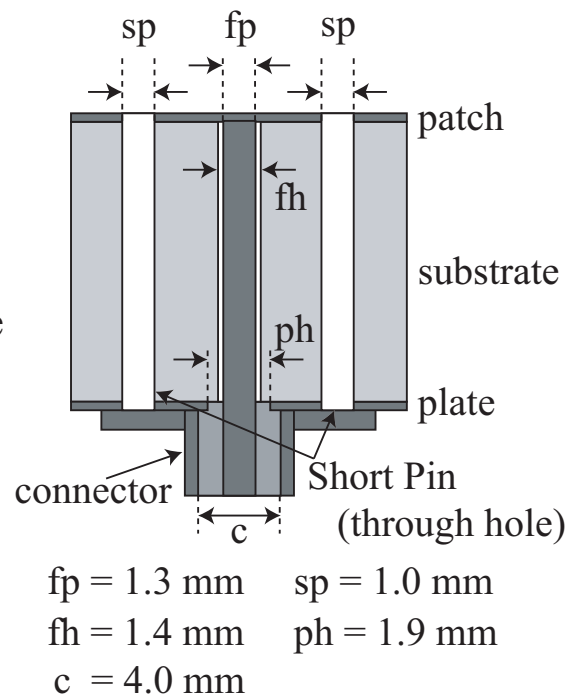


図 3.30: 実験の給電部

そこで、これらの誤差を含めて解析を行った。このときのリターンロス特性を図 3.31 に示す。給電ピンを考慮することによって、100 MHz の共振周波数のずれが改善された。

また、それぞれの面の指向性を図 3.32，図 3.33，図 3.34 に示す。給電ピンを考慮したが、実験と解析の指向性は傾向は似ているものの一致しているとはいえない。

給電部分を考慮することで、リターンロスはギャップ給電で解析したものよりも実験のものに近づくようになった。しかし、指向性はずれが生じている。まだ、解析と実験の違いについて検討をする必要がある。

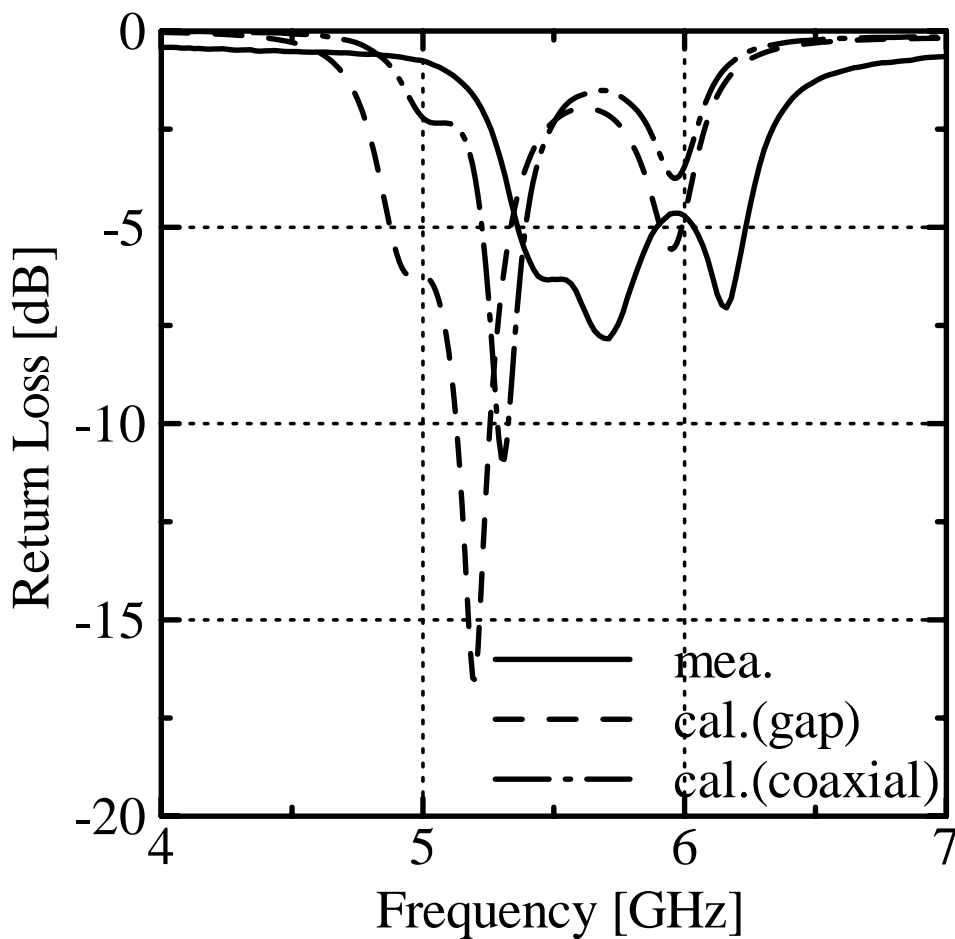


図 3.31: リターンロス特性

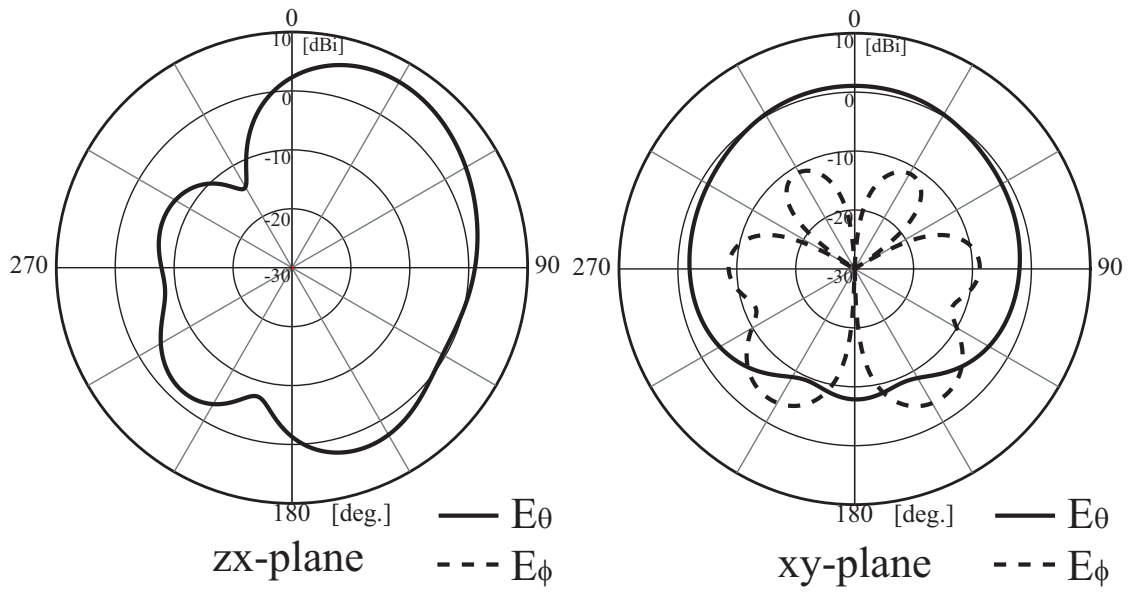


図 3.32: 誤差を考慮した解析の zx 面指向性 図 3.33: 誤差を考慮した解析の zx 面指向性

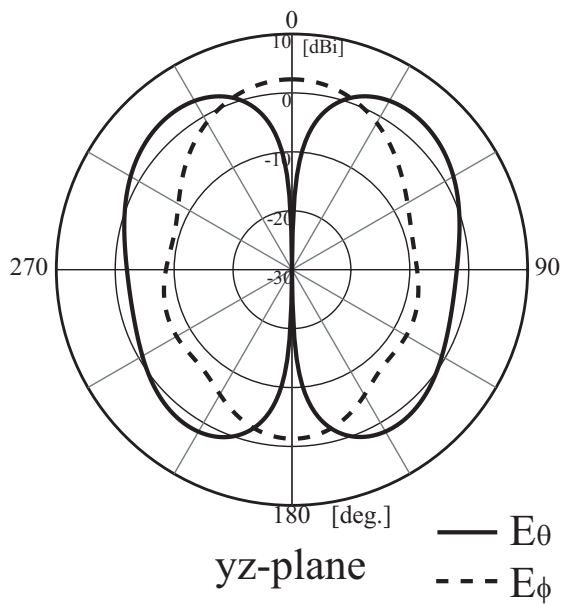


図 3.34: 誤差を考慮した解析の yz 面指向性

第 4 章

結論

本論文では、3 方向指向性切り替え型アンテナについて検討した。まず、パッチを用いた 3 方向指向性切り替え型アンテナについて検討した。放射素子になるパッチと寄生素子になるパッチ 1 つを組み合わせる構造とした。構造パラメータを変化させてみて、特性がどのように変化するかについて検討した。このとき、指向性切り替え型アンテナに適した特性を得ることができなかった。

次に、容量装荷モノポールを用いた 3 方向指向性切り替え型アンテナについて検討した。放射素子となる容量装荷モノポールと寄生素子になるパッチを組み合わせる構造とした。まず、給電しない素子の終端条件について検討をした。50 Ω 終端としたときに、F/B 比が改善されることがわかった。次に、構造パラメータについて検討をした。構造パラメータを変化させることで、F/B 比と水平面半値幅に大きく影響が出ることがわかった。その中でも特に、中心素子と放射素子の間隔 d と放射素子の Port と Short Pin の間隔 rd が影響を与えていることがわかった。そこで、F/B 比が 22.7dB と指向性切り替え型アンテナに適した特性を得ることができた。

さらに、容量装荷モノポールを用いた 3 方向指向性切り替え型アンテナの実験を行った。解析ではギャップ給電で考慮したため、実験のものと特性にずれが生じた。そこで、給電部をモデリングをして解析をした。しかし、その解析と実験の結果はまだずれが生じている。

今後の課題は、実験と解析の違いについて検討する必要がある。まず解析では、給電部のモデリングを行って解析をしたときに、同様の特性が得られるか確認をする必要がある。また、実験でもパラメータを変化させたときに解析と同じような特性を得ることができるかを確認する必要がある。

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 D3 の道下尚文先輩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] 上原, 関, 鹿子嶋, “幾何光学的屋内伝搬解析アルゴリズム,” 信学技報, AP94-35, pp.1-8, August 1994.
- [2] 上原, 関, 鹿子嶋, “幾何光学手法による任意指向性アンテナに対する屋内伝搬特性解析,” 信学論 (B-II), Vol.J78-B-II, No.9, pp.593-601, September 1995.
- [3] 丸山, 上原, 鹿子嶋, “セクタ化モノポール八木・宇田アンテナの地板影響に対する電流分布解析” 信学総大, B-1-92, March 1997.
- [4] 丸山, 上原, 鹿子嶋, “モノポール八木・宇田アレーアンテナを用いた無線 LAN 用小型マルチセクタアンテナの解析と設計,” 信学論 (B-II), Vol.J80-B-II, No.5, pp.424-433, May 1997.
- [5] 丸山, 上原, 鹿子嶋, “任意ビーム幅モノポール八木・宇田アレーによる薄型マルチセクタアンテナとその金型成形製造法による特性,” 信学技報, AP97-80, pp.1-8, August 1997.
- [6] H. Arai, Y. Ebine, “6-Sector Antenna Using Proximity Coupled Taper Slot For Multi-Media Mobile System,” *IEEE AP-S Digest*, pp.1430-1433, June 1998.
- [7] 森, 新井, 恵比根, “PCTSA を用いた 6 セクタアンテナの広帯域周波数特性,” 信ソ大会, B-1-105, October 1998.
- [8] 森, 新井, 恵比根, “PCTSA を用いた 12 セクタ用アンテナ素子,” 信学総大, B-1-154, March 1999.
- [9] 川村, 石崎, 山本, 伊藤, “プリントスロット八木・宇田アレーを用いた 6 セクタアンテナ,” 信学総大, B-1-122, March 2000.
- [10] 川村, 山本, 伊藤, “プリントスロット八木・宇田アレーを用いた平面マルチセクタアンテナ,” 信学技報, AP2000-40, pp.61-66, July 2000.

- [11] 川村, 山本, 日景, 伊藤, “スロット八木・宇田アレーを用いた平面マルチセクタアンテナ,” 信学論, Vol.J85-B, No.9, pp.1633-1643, September 2000.
- [12] J. Huang, “Planar microstrip Yagi array antenna,” *IEEE AP-S Digest*, pp. 894-897, June 1989.
- [13] J. Huang and A. C. Densmore, “Microstrip Yagi Array Antenna for Mobile Satellite Vehicle Application,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol.39, pp.1024-1030, July 1991.
- [14] D. Gray, J. W. Lu, and D. V. Thiel, “Electronically steerable Yagi-Uda microstrip patch antenna array,” *IEEE AP-S Digest*, p. 1870, June 1995.
- [15] D. Gray, J. W. Lu and D. V. Thiel, “Electronically Steerable Yagi-Uda Microstrip PatchAntenna Array,” *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol.46, No.5, pp.605-608, May 1998.
- [16] 本間, 吉良, 堀, 丸山, “平面セクタアンテナ用導波素子共有パッチ八木・宇田アレーアンテナ,” 信ソ大会, B-1-102, August 2001.
- [17] 本間, 吉良, 丸山, 堀, “導波素子共有パッチ八木・宇田アレーアンテナによる小型6セクタアンテナ,” 信学技報, AP2001-81, pp.53-58, October 2001.
- [18] N. Honma, F. Kira, T. Maruyama, K. Cho and H. Mizuno, “Compact Six-Sector Antenna Employing Patch Yagi-Uda Array with Common Director,” 2002 *IEEE AP-S Digest*, Vol. 1, pp. 16-21, June 2002.
- [19] 横山, “ユニポール・マイクロストリップアンテナ,” 信学光・電波全大, 80, October 1984.
- [20] 新井宏之, “新アンテナ工学,” 総合電子出版社, 1996