

# 修士論文

## 小型筐体に取り付けられた 複数アンテナの相関に関する検討

A Study of Correlation of Antennas  
on Electrically Small Ground Plane

指導教官 新井 宏之 教授

平成18年2月7日提出

横浜国立大学大学院 工学府 物理情報工学専攻  
電気電子ネットワークコース

04GD164 中山 祐治

# 要約

通信を行うときに電波が建物などで反射や回折を起し、マルチパスフェージングが生じるという問題点がある。これを防ぐために、端末で複数のアンテナを用いて受信を行うアンテナダイバーシチが用いられ、現在までにさまざまな検討がされている。しかし、端末の小型化や地上波デジタル放送などへの対応のため、波長に対して小型な端末が要求されているが、このような応用を目的としたダイバーシチアンテナに対する検討は少ない。

本研究では、波長に対して小型な地板に複数アンテナを設置したときのアンテナの相関について検討を行った。まず、大きさの異なる4種類の地板上に、モノポールアンテナ2素子を平行または直交に配置した。平行に配置した場合は、2素子間を離すにしたがって相関が低くなる。一方で直交に配置した場合は、地板のサイズが大きい場合は低い相関が得られたが、折りたたみ型携帯電話サイズのような小さな地板では、地板上に強く電流が流れて2素子のアンテナが同時に動作してしまうため、相関が高くなってしまう。そこで、折りたたみ型携帯電話サイズのような小型地板でも低い相関を得るための検討を行った。

まず、モノポールアンテナ2素子の構成では、地板上に電流が強く流れてしまうことが相関を高くする原因と考えられたので、地板上に電流が流れにくいダイポールアンテナとモノポールアンテナの組み合わせに変更した。給電方向を平行に配置した場合は相関が高くなったが、直交に配置した場合は地板上電流が減少して相関がほぼ0となることを示した。また、地板電流を制御することで相関が変化すると考え、モノポール2素子を平行に配置した地板にノッチを入れた。長さが $0.1\lambda$ 以下のノッチでも、モノポールアンテナ2素子の指向性の位相差が変化するため、低い相関が得られることを明らかにした。さらに、ノッチに $1pF$ のキャパシタンスを装荷することで、長さが $0.05\lambda$ 以下のノッチで低い相関が得られることを示した。

最後に、アンテナの実装方法について検討を行った。まず、ダイポールアンテナを誘電体基板を用いて小型化をして、ダイポールアンテナとモノポールアンテナの給電方向を直交に配置した場合に低い相関が得られることを確認し、モノポールアンテナ2素子を用いた場合の実験を行い、給電部の影響を受けにくい構造を利用することで、実解析結果を実験的に確認している。

# 目次

第 1 章	序論	1
第 2 章	アンテナの配置方法の検討	4
2.1	検討方法	4
2.2	モノポールアンテナ 2 素子を用いた配置の検討	7
2.2.1	平行配置の場合	7
2.2.2	直交配置の場合	10
第 3 章	アンテナの相関改善方法の検討	14
3.1	アンテナの組み合わせの検討	14
3.1.1	モノポールアンテナと逆 F アンテナの組み合わせ	14
3.1.2	モノポールアンテナと V ダイポールアンテナの組み合わせ	18
3.2	地板にノッチを入れた場合の検討	23
3.2.1	ノッチのパラメータの検討	23
3.2.2	ノッチにキャパシタンスを装荷した場合の検討	26
第 4 章	アンテナの実装方法の検討	31
4.1	ダイポールアンテナの検討	31
4.1.1	給電部の検討	31
4.1.2	ダイポールアンテナの小型化	34
4.2	モノポールアンテナ 2 素子を用いた実験	37
4.2.1	アンテナの測定法	37
4.2.2	直交配置による給電部の検討	37
4.2.3	平行配置の検討	42
第 5 章	結論	48
	謝辞	50
	参考文献	51



# 第 1 章

## 序論

近年の無線通信の発達に伴って携帯電話端末などの用途として電話の機能のみではなく、情報を得るためのビューワとしての機能やテレビ視聴など様々な機能を有するようになってきている。このため、様々なアンテナについての検討がされている [1],[2]。通信を行うときに問題となってくるものとして、図 1.1 のように電波が建物などに反射や回折することにより、マルチパスフェージングが生じる。これを防ぐために、複数のアンテナを用いて受信を行うアンテナダイバーシチが用いられるが、現在までにさまざまな検討がされている。

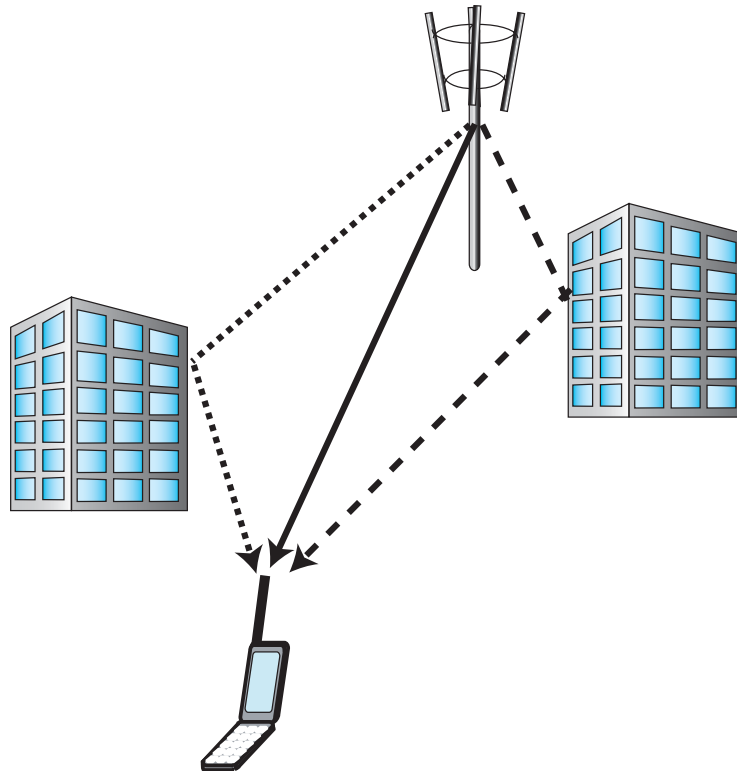


図 1.1: フェージング環境のモデル

平行にダイポールアンテナ 2 素子を配置した場合に，アンテナの傾きや到来波特性により相関が変化することが示されている [3]．アンテナ間を  $0.2\lambda \sim 0.3\lambda$  とすることでアンテナの傾きや到来波特性によらず低相関を得ている．また，図 1.2(a) のようにダイポールアンテナ 2 素子を筐体上に取り付けた検討も行われている [4],[5]．ダイポールアンテナを筐体上に取り付けると，筐体上に電流が流れて相互結合が生じるため，アンテナの終端条件を変化させることにより低相関が得られることを示している．このとき，相関の評価方法として [6],[7] のようなものが用いられている．アンテナダイバーシチで受信を行うときに，偏波特性が変化してしまうことにより，ダイバーシチ効果の劣化が予想されるため，そのような劣化を防ぐために到来波特性を考慮した検討を行っており，アンテナの指向性だけではなく到来波特性に依存していることを示している．

図 1.2(b) に示すようにモノポールアンテナと逆 F アンテナ (PIFA) を組み合わせで検討されており [8]–[10]，ホイップ長，筐体の形状，傾き角，PIFA の位置，到来波の状況と，放射効率，相関係数の関係を定量的に示している．様々な到来波を想定して相関係数の検討や，PIFA をモノポールアンテナと離すことによって低相関が得られることを示している．また，実験的に検討されている例もある [11],[12] ．

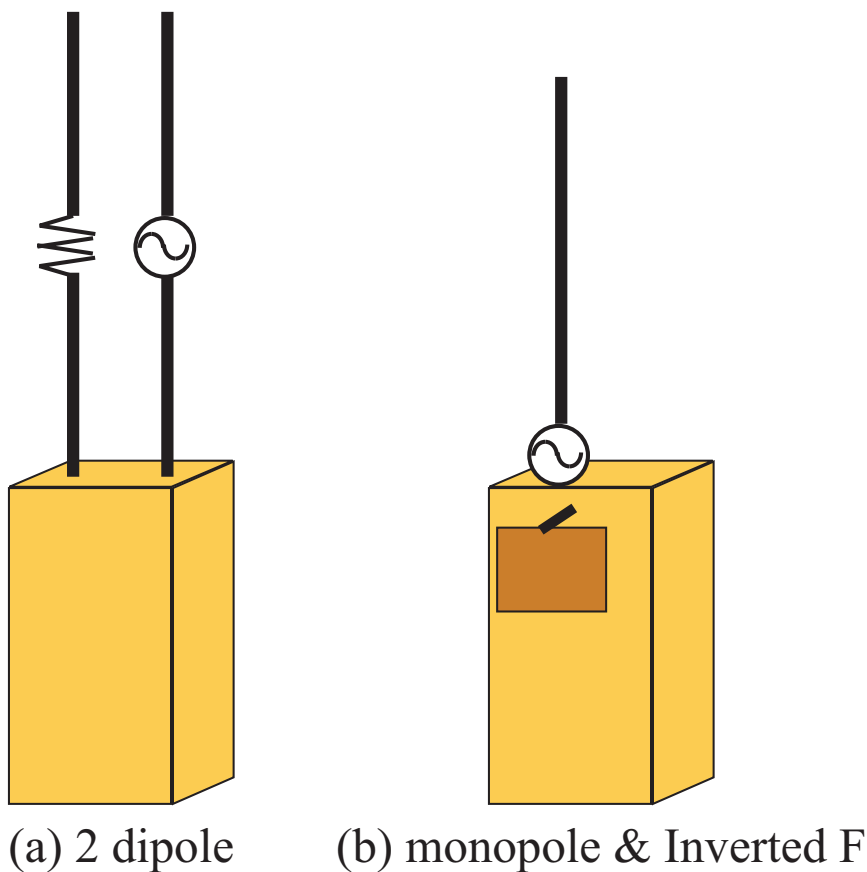


図 1.2: 現在までの検討例

しかし端末の小型化や 2006 年 4 月からサービス開始予定の地上波デジタル放送への対応などが進む中で，現在までに検討されているものは地板のサイズが波長に対して大きくなっている．そのため，波長に対して小型の地板で検討をする必要があり，いくつか検討が行われている．現在主流となっている折りたたみ型携帯電話を用いた検討が行われている [13]–[16]．アンテナの設置エリアを縮小するため，図 1.3 のように 2 枚の地板をダイポールアンテナのように扱い，さらにモノポールアンテナを設置することでダイバーシチ効果を得る検討が行われている．しかし，折りたたむと地板の形状が変化してしまい，特性が変化してしまうという問題点がある．

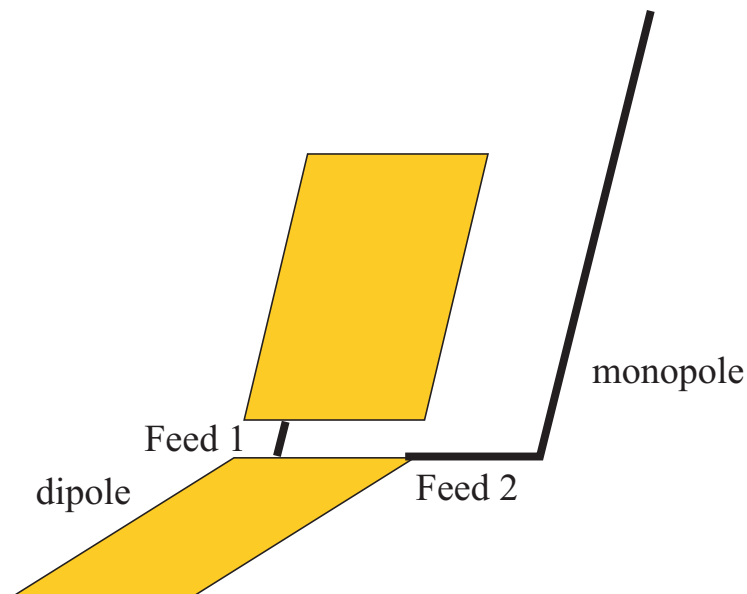


図 1.3: 折りたたみ型携帯電話の検討例

本論文では，小型地板に複数のアンテナを設置したときのアンテナの相関について検討を行う．まず第 2 章では，様々な地板を用いてモノポールアンテナ 2 本の配置を変更したときの相関について検討を行う．第 3 章では，低相関を得るための方法について検討を行い，第 4 章では，アンテナの実装方法について検討を行う．そして第 5 章を本論文の結論とする．

## 第 2 章

# アンテナの配置方法の検討

本章ではモノポールアンテナ 2 素子を用いてアンテナの配置方法について検討を行う。まず、相関の評価方法や検討地板などについて述べ、モノポールアンテナ 2 素子を平行または直交に配置した場合の相関について述べる。

### 2.1 検討方法

本検討では、アンテナ間の相関のみについて検討を行ったため、[17] の相関係数の導出法を参考にして、式 (2.1) を用いて評価を行った。

$$\rho = \frac{\int_0^{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} E_1 E_2^* r^2 \sin\theta d\theta d\phi}{\sqrt{\int_0^{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} E_1 E_1^* r^2 \sin\theta d\theta d\phi \int_0^{2\pi} \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} E_2 E_2^* r^2 \sin\theta d\theta d\phi}} \quad (2.1)$$

$E_1, E_2$  はアンテナの複素指向性を示し、 $E_1^*, E_2^*$  は共役な複素指向性を示す。アンテナの複素指向性は CST 社 Microwave Studio を用いて 1 度ごとのデータを計算し、台形公式を用いて式 (2.1) の積分を行った。相関係数の値は携帯電話の場合には 0.6 以下となっているが、低いほどダイバーシチ効果を得ることが可能となる。

アンテナの配置方法を検討する上で以下の 4 種類の地板を用いて、モノポールアンテナを平行または直交に配置した場合の相関係数について検討を行った。

1. 図 2.1 ノート PC サイズ ( $0.31\lambda \times 0.47\lambda$ )
2. 図 2.2 小型ノート PC サイズ ( $0.17\lambda \times 0.25\lambda$ )
3. 図 2.3 PDA サイズ ( $0.12\lambda \times 0.17\lambda$ )
4. 図 2.4 折りたたみ型携帯電話サイズ ( $0.12\lambda \times 0.06\lambda \times 2$  枚)

1, 2, 3 は長方形の 1 枚の金属地板上にアンテナ 2 素子を配置し、4 は 2 枚の金属板をポリイ



ミド ( $\epsilon_r=3.4$ ) で接続する構造で、開閉状態を想定することが可能な金属地板上にモノポールアンテナ 2 素子を配置した。このとき、モノポールアンテナの素子間隔  $d$  は給電する位置の間隔とし、素子 No.1 を移動して  $d$  を変化させたときの相関係数の変化について検討した。設計周波数は 2 GHz で、モノポール長は  $S_{11}$  および  $S_{22}$  が  $-10$  dB 以下となるようにそれぞれの  $d$  において調整した。また、無給電素子の終端条件は  $50 \Omega$  終端として検討を行った。

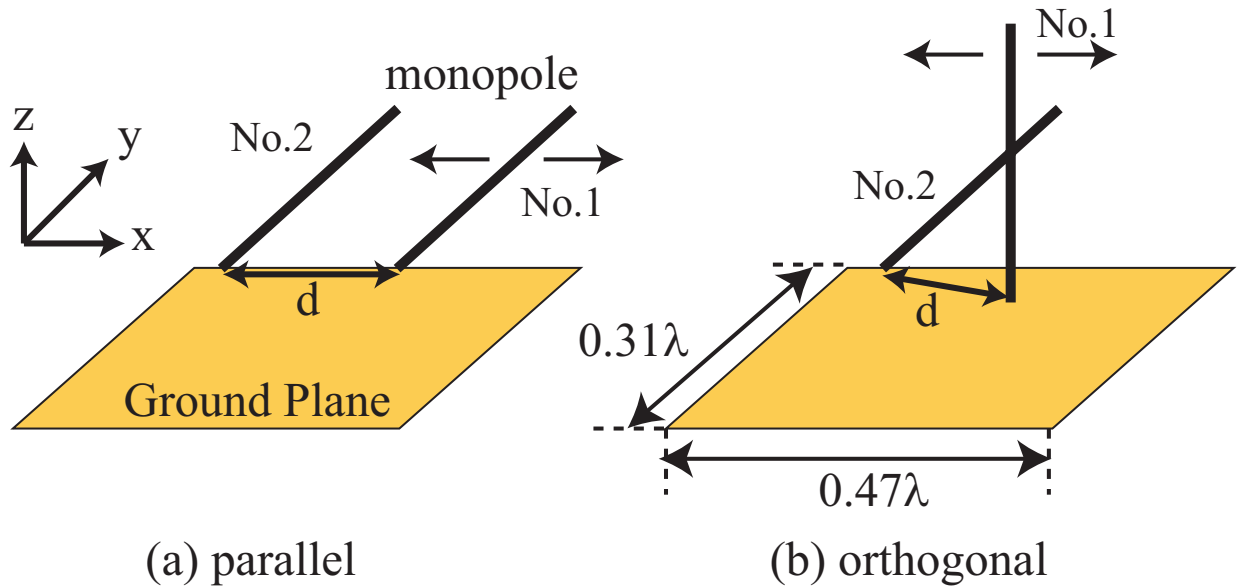


図 2.1: ノート PC サイズのときの配置

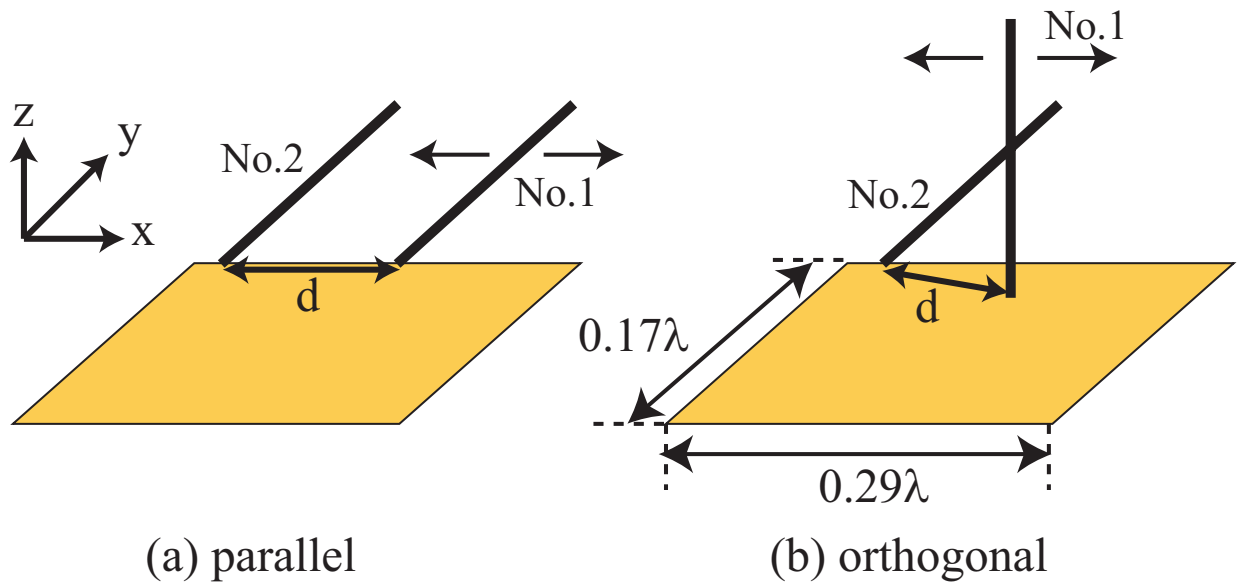


図 2.2: 小型ノート PC サイズのときの配置

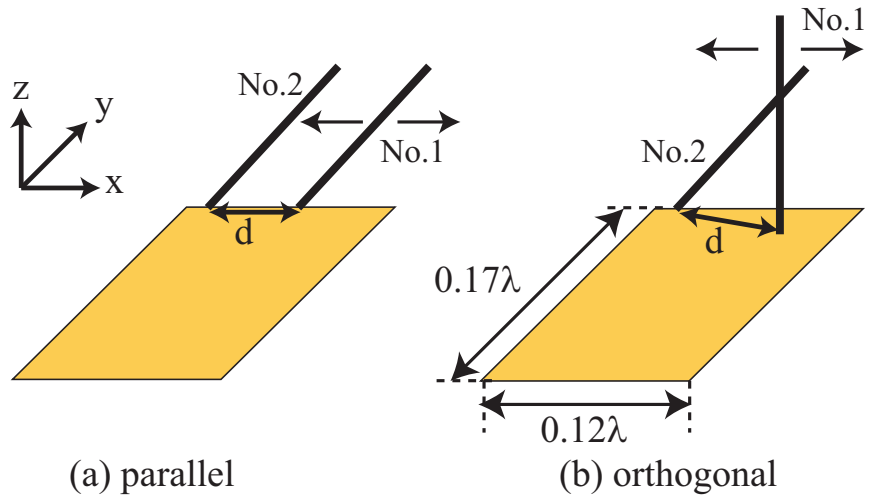


図 2.3: PDA サイズのときの配置

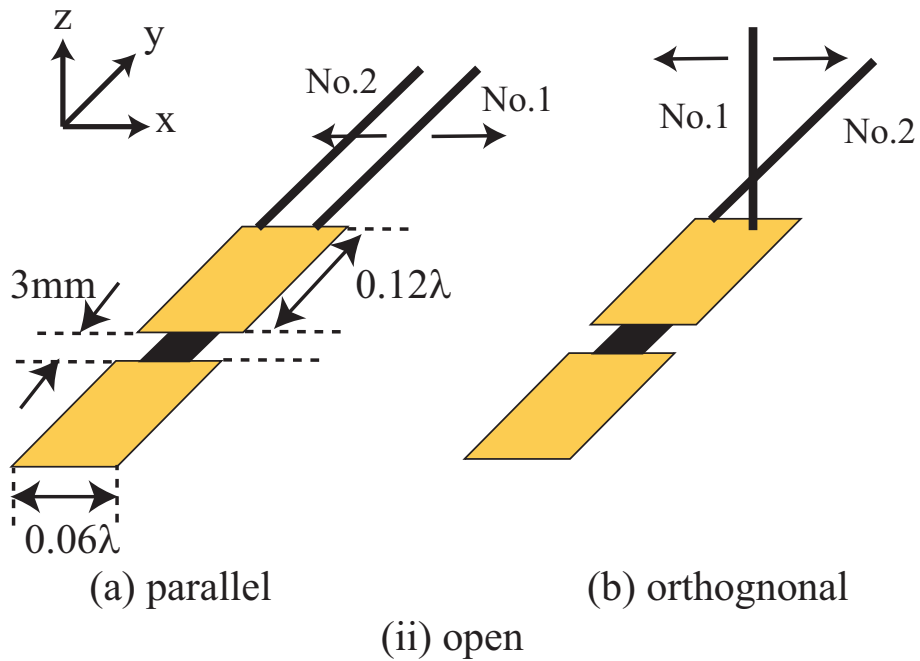
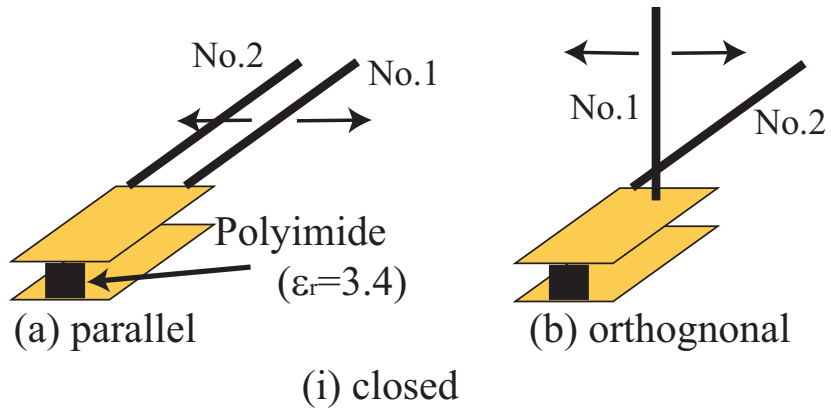


図 2.4: 折りたたみ型携帯電話サイズのときの配置

## 2.2 モノポールアンテナ 2 素子を用いた配置の検討

### 2.2.1 平行配置の場合

2 素子のモノポールアンテナを平行に配置して、2 素子間の距離  $d$  を変化させたときの相関係数を図 2.5 に示す。2 素子間の距離  $d$  を離すにしたがって、地板の種類にかかわらず相関係数の値が小さくなることがわかった。このとき、地板がノート PC サイズの場合の相関が高い場合 ( $d/\lambda=0.035$ ) と低い場合 ( $d/\lambda=0.168$ ) の放射指向性を図 2.6, 図 2.7 に示す。相関が高い場合は 2 素子の放射指向性がほぼ同じだが、相関が低い場合は 2 素子の放射指向性が異なっている。このため  $d$  を離すにしたがって 2 素子の放射指向性が異なってくるため、相関が低くなったと考えられる。

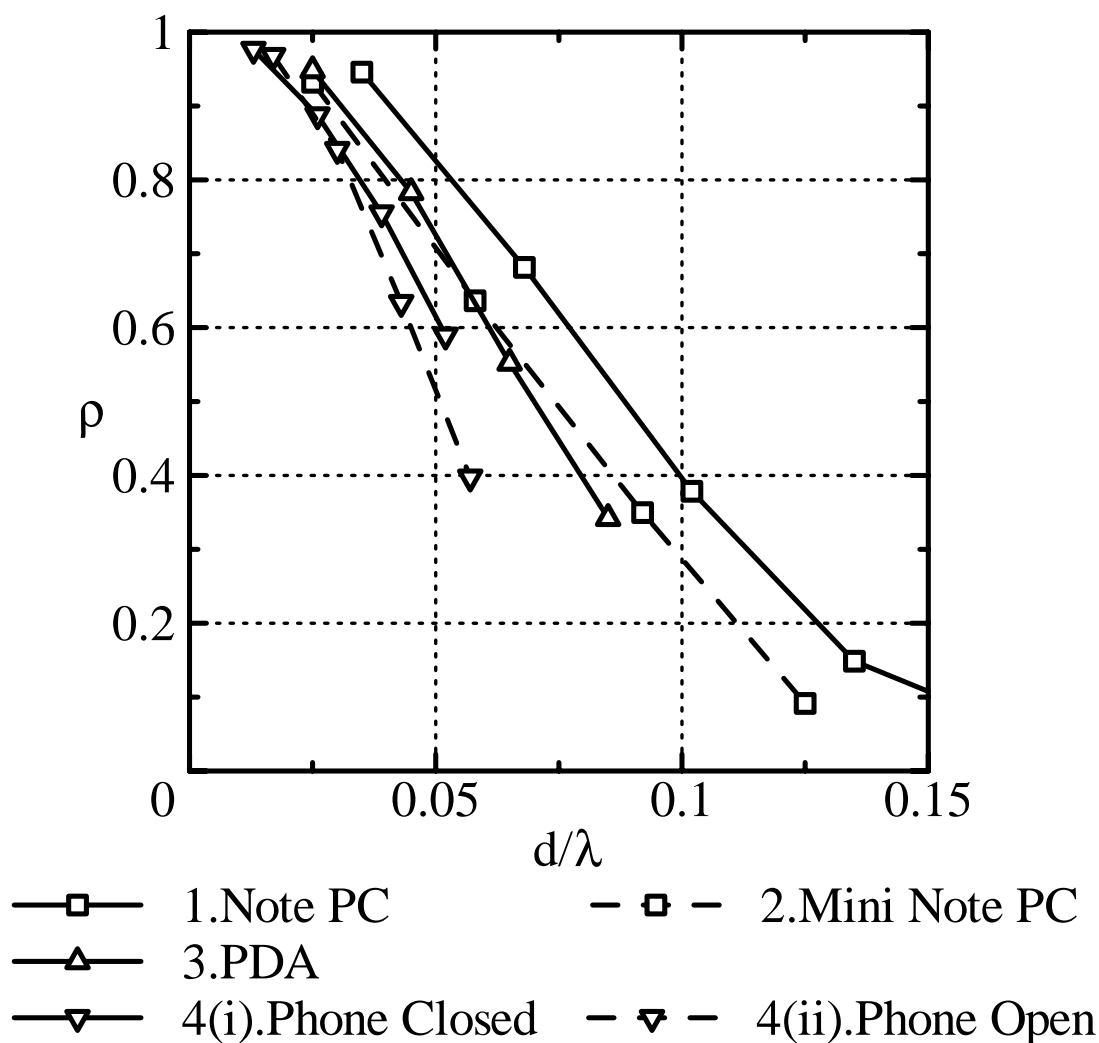


図 2.5: 平行配置のときの相関係数

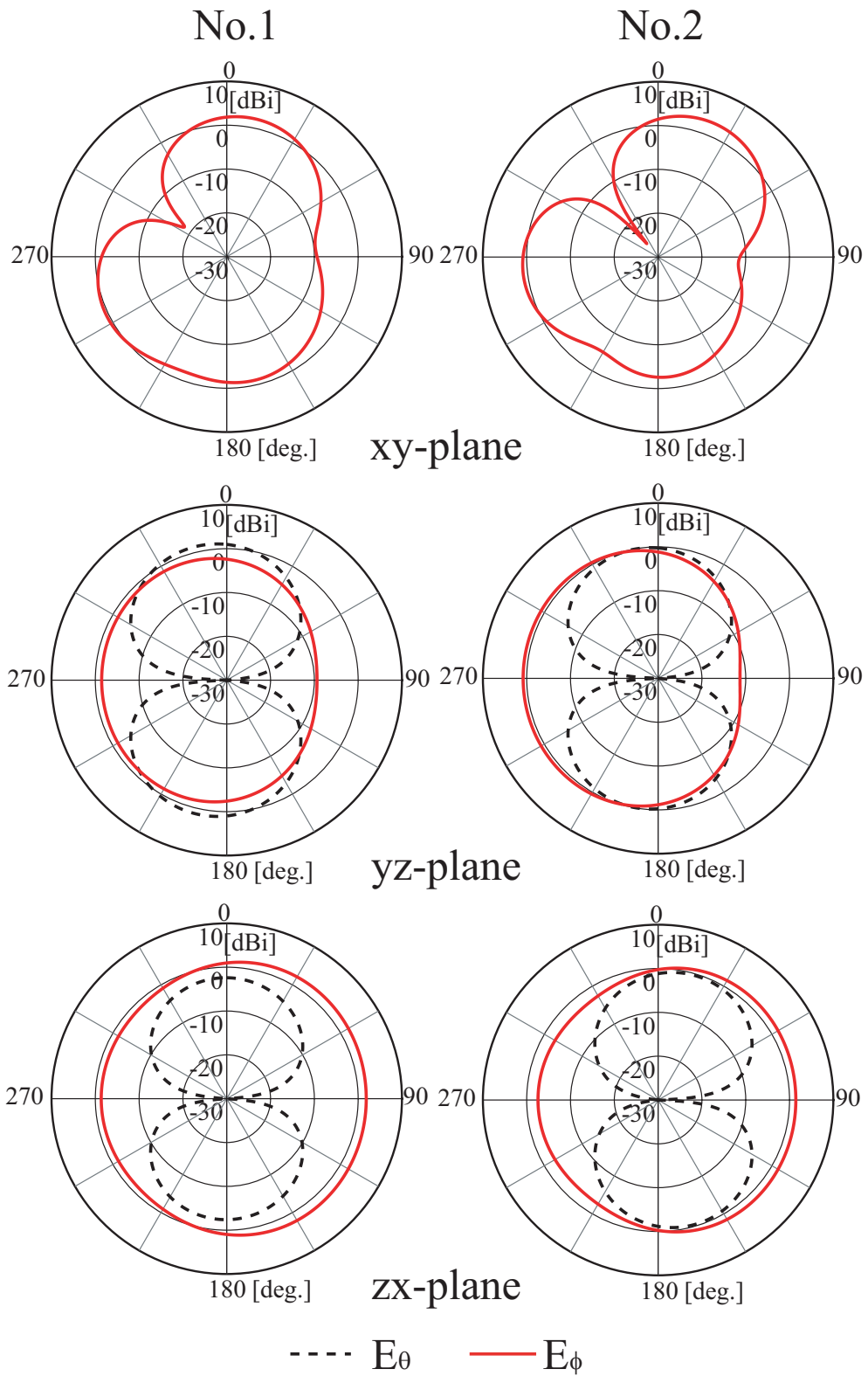


図 2.6: ノート PC サイズ平行配置の相関が高いとき放射指向性 ( $d/\lambda=0.035$ )

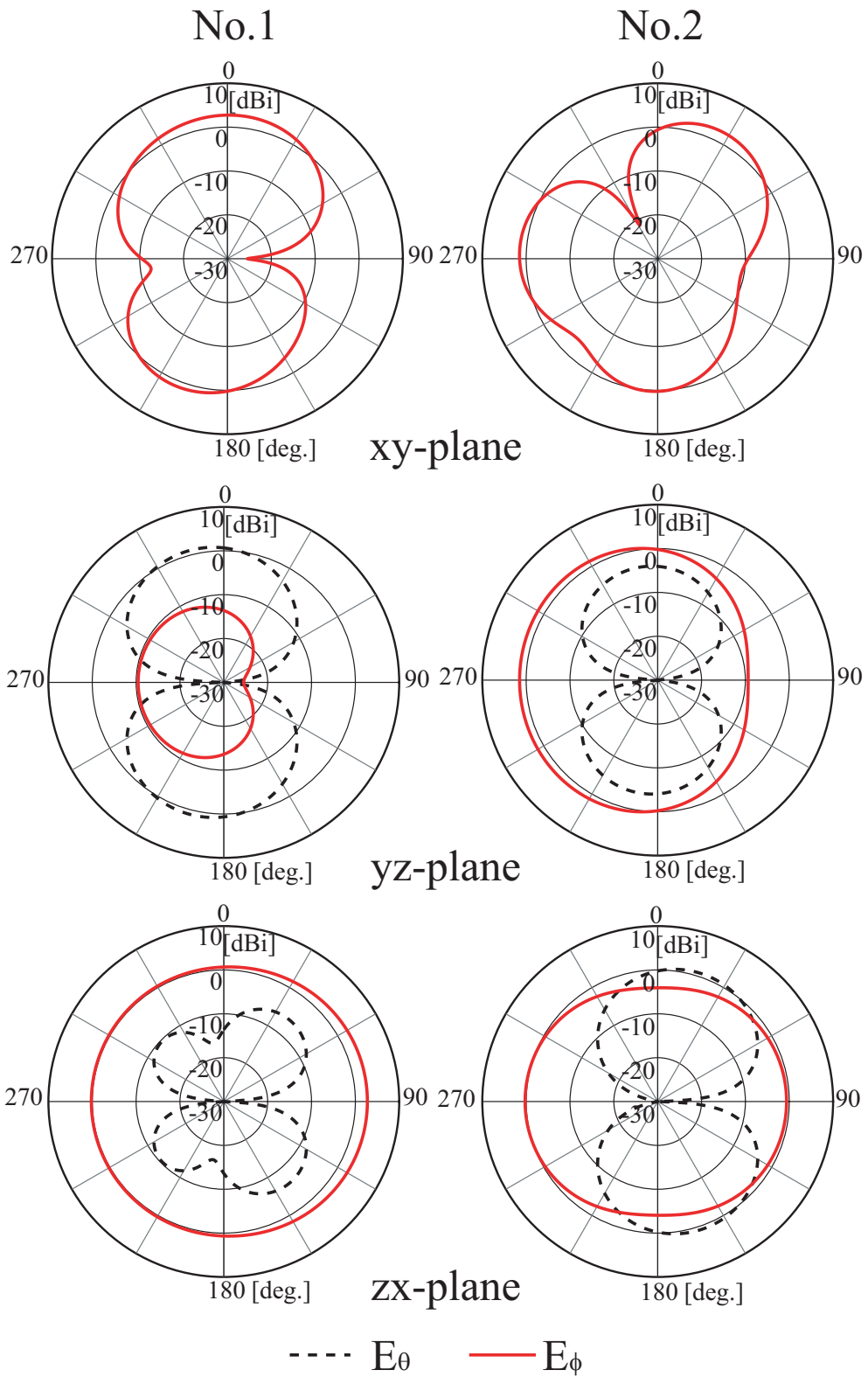


図 2.7: ノート PC サイズ平行配置の相関が低いとき放射指向性 ( $d/\lambda=0.168$ )

## 2.2.2 直交配置の場合

2素子のモノポールアンテナを直交に配置して、2素子間の距離  $d$  を変化させたときの相関係数を図 2.8 に示す。ノート PC サイズ、小型ノート PC サイズ、PDA サイズのように大きい地板の場合には、相関係数は約 0.1 以下と低い値が得られた。しかし、折りたたみ型携帯電話サイズのような小さい地板の場合の相関係数は、0.4 以上と高い値になっている。ここで、地板がノート PC サイズの場合と折りたたみ型携帯電話サイズ開状態の場合の放射指向性を図 2.9、図 2.10 に示す。ノート PC サイズの場合は 2 素子の放射指向性が異なっているが、折りたたみ型携帯電話サイズ開状態の場合は 2 素子の放射指向性がほぼ同じとなっている。このため、サイズが小さい折りたたみ型携帯電話サイズの地板で相関が高くなっていると考えられる。

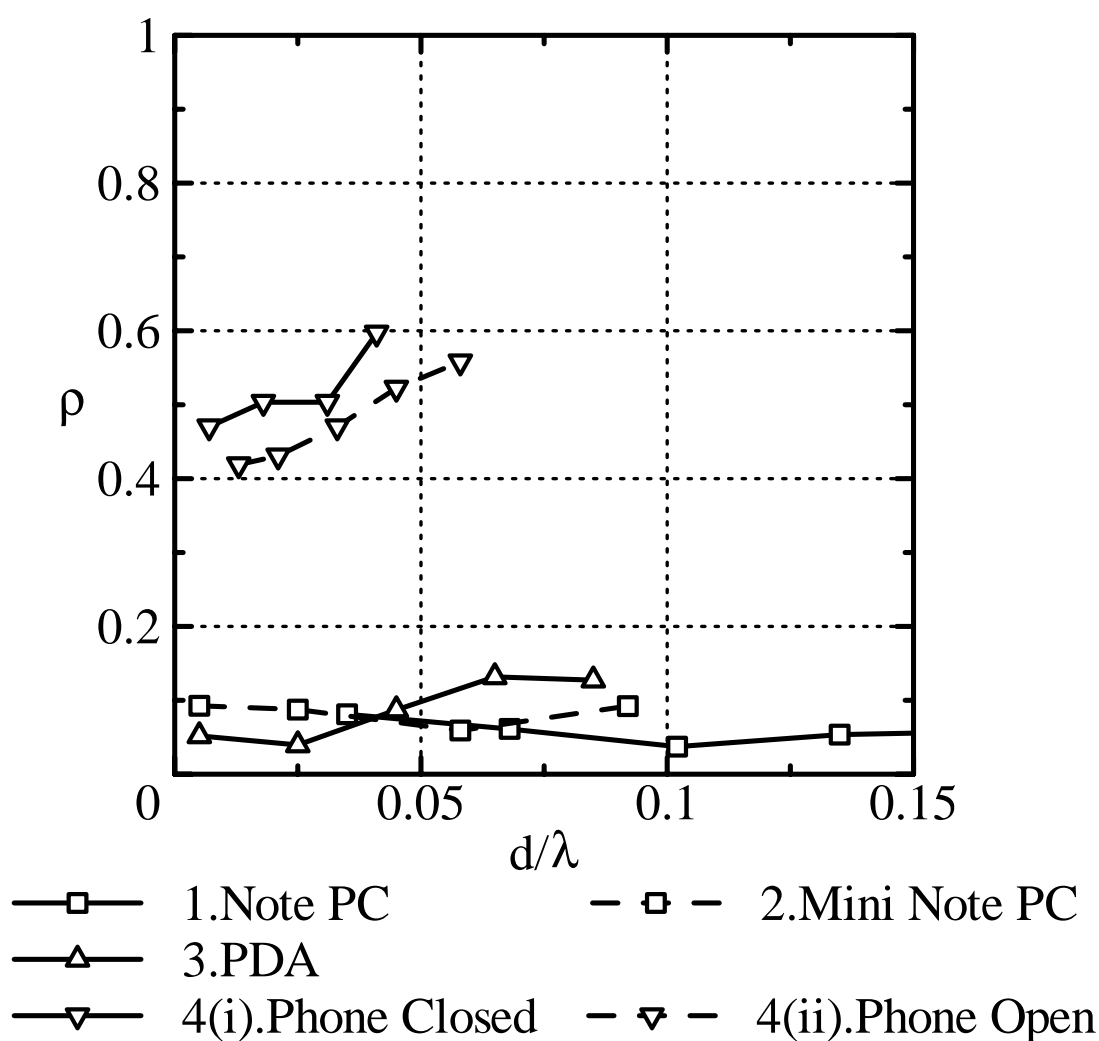


図 2.8: 直交配置のときの相関係数

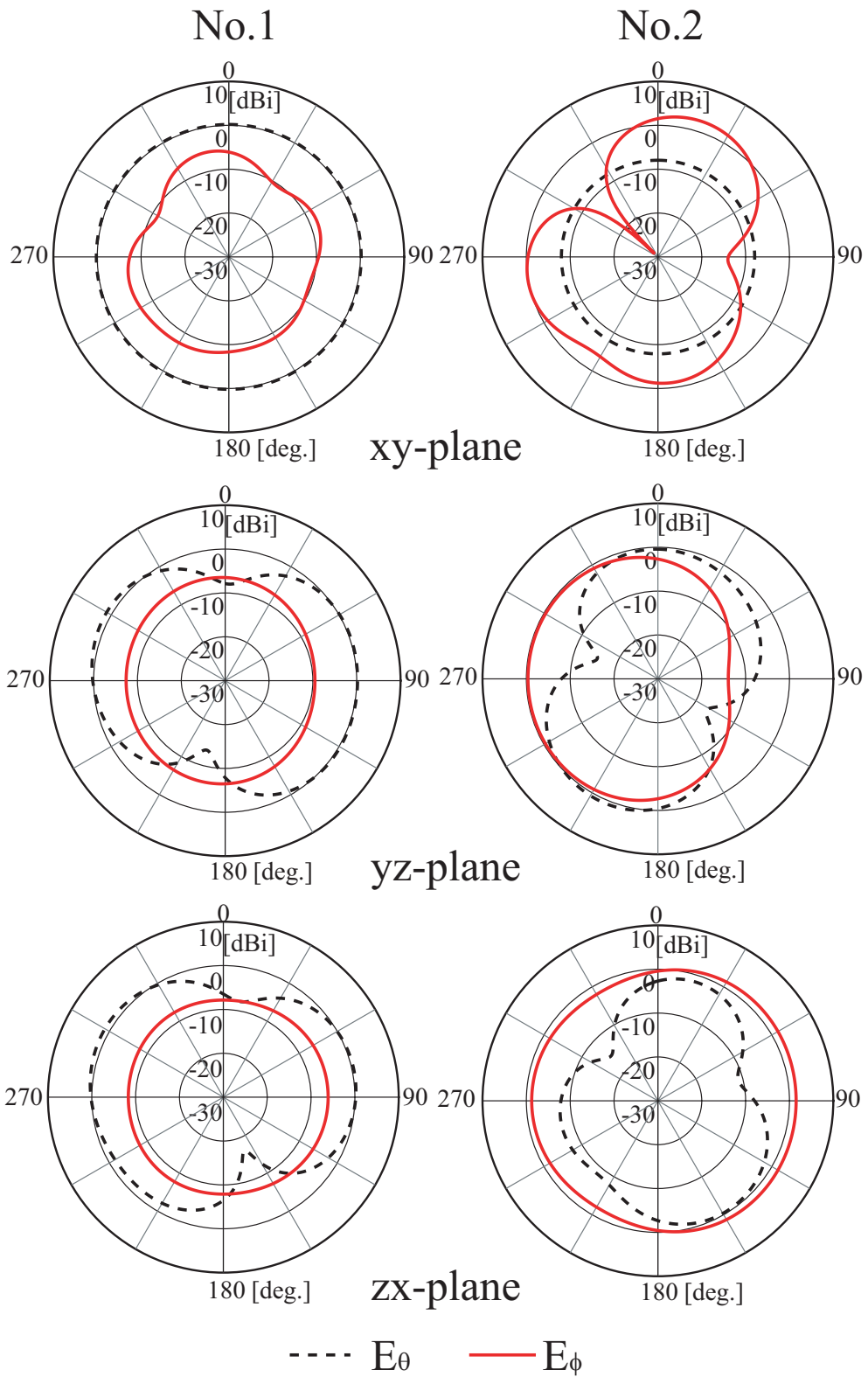


図 2.9: ノート PC サイズ直交配置の放射指向性 ( $d/\lambda=0.102$ )

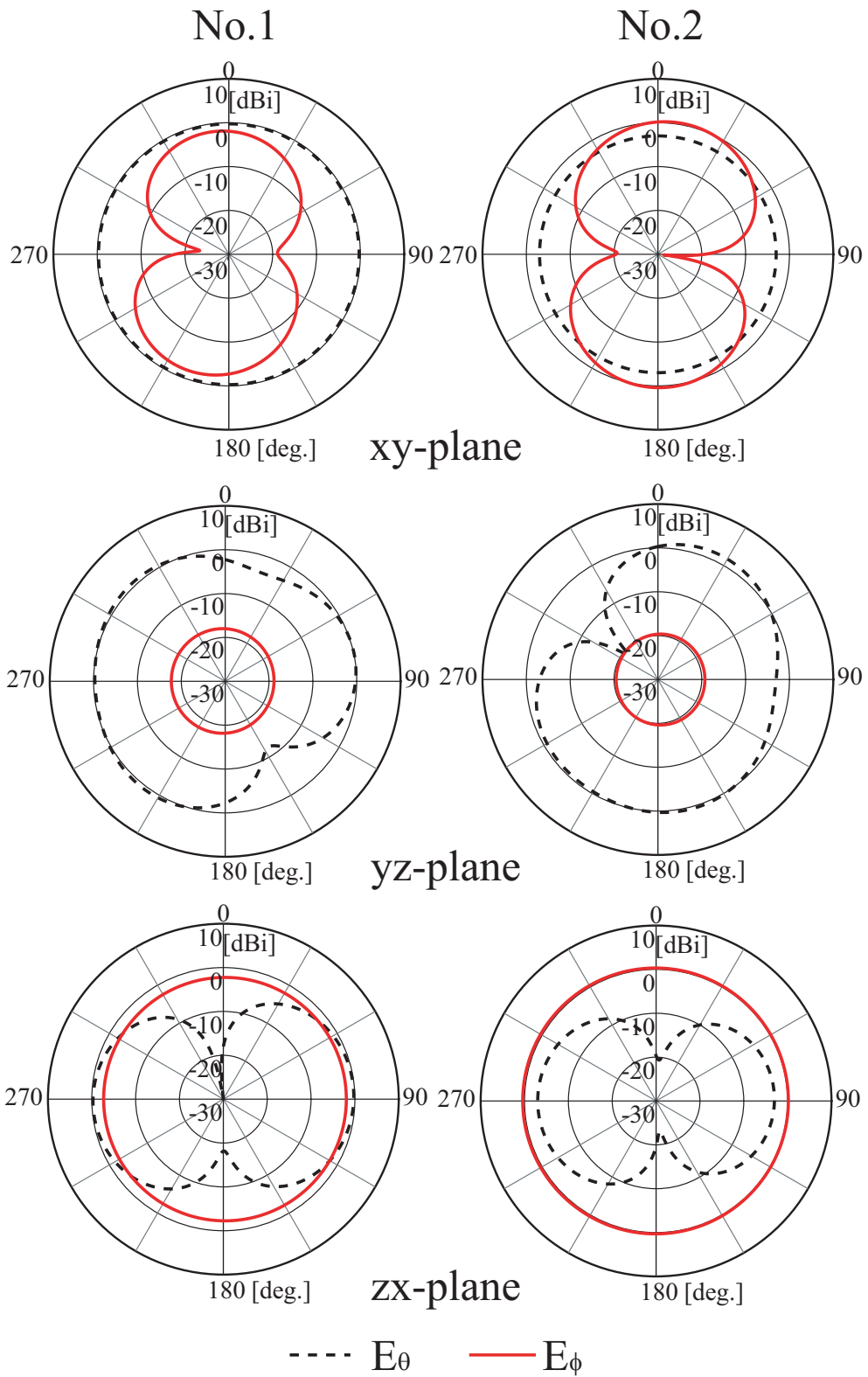


図 2.10: 折りたたみ型携帯電話サイズ開状態直交配置の放射指向性 ( $d/\lambda=0.013$ )



また、折りたたみ型携帯電話サイズのとくに指向性がほぼ同じになる原因について検討する。モノポール2素子を直交に配置して地板が開状態のときの電流分布を図2.11に示す。矢印の方向の素子に給電を行っているが、給電をしていない素子にも電流が強く乗っている。このため、各素子に給電を行った場合の指向性がほぼ同じになっていると考えられる。

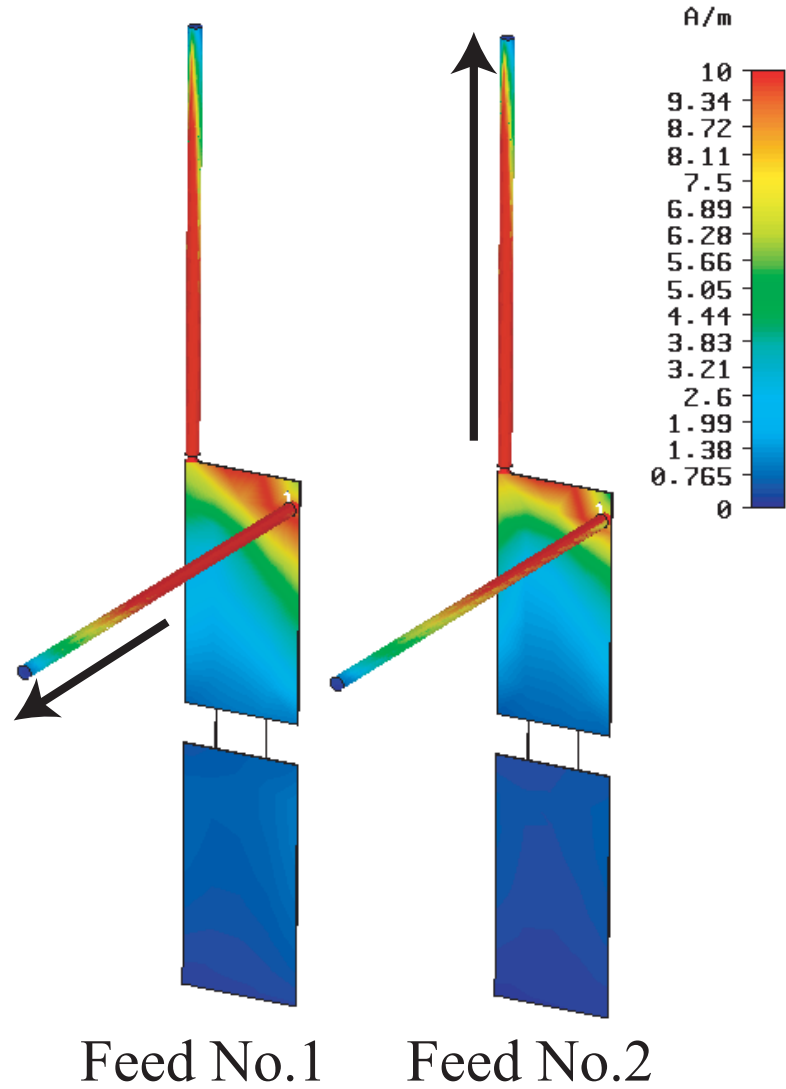


図 2.11: 折りたたみ型携帯電話サイズ開状態の電流分布

## 第 3 章

# アンテナの相関改善方法の検討

本章では，アンテナの相関を低下させる方法について検討を行った．まず，アンテナの組み合わせをモノポールアンテナ 2 素子から変更することにより，相関を低下させる方法について検討を行った．さらに，簡単に製作を可能とするために，モノポールアンテナ 2 素子を用いて地板にノッチを入れた場合について検討を行った．

### 3.1 アンテナの組み合わせの検討

#### 3.1.1 モノポールアンテナと逆 F アンテナの組み合わせ

図 3.1 のように，ノート PC サイズの地板上にモノポールアンテナと逆 F アンテナを給電方向を平行または直交に配置した場合について，設計周波数を 2 GHz として検討を行った．なお，このとき逆 F アンテナを  $x$  方向に移動して，アンテナの給電部の距離を  $d$  として検討を行った．

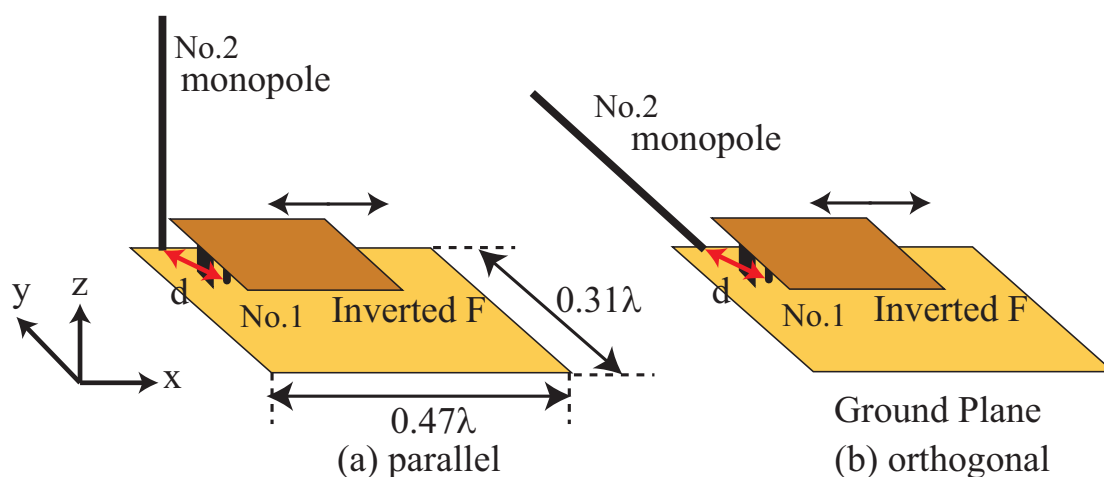


図 3.1: モノポールアンテナと逆 F アンテナの配置

相関係数は，図 3.2 のようになった．平行に配置している場合の相関は 0.4 以上と大きくなっているが，直交に配置している場合は相関は 0.1 以下と低くなっている．モノポールアンテナ 2 素子の場合と同様に，給電方向が直交している場合に低い相関が得られることがわかった．このとき，給電方向を平行または直交に配置した場合の放射指向性を図 3.3, 図 3.4 示す．給電方向を平行に配置した場合よりも直交配置の場合が，異なった指向性になっているため相関が低くなっていると考えられる．

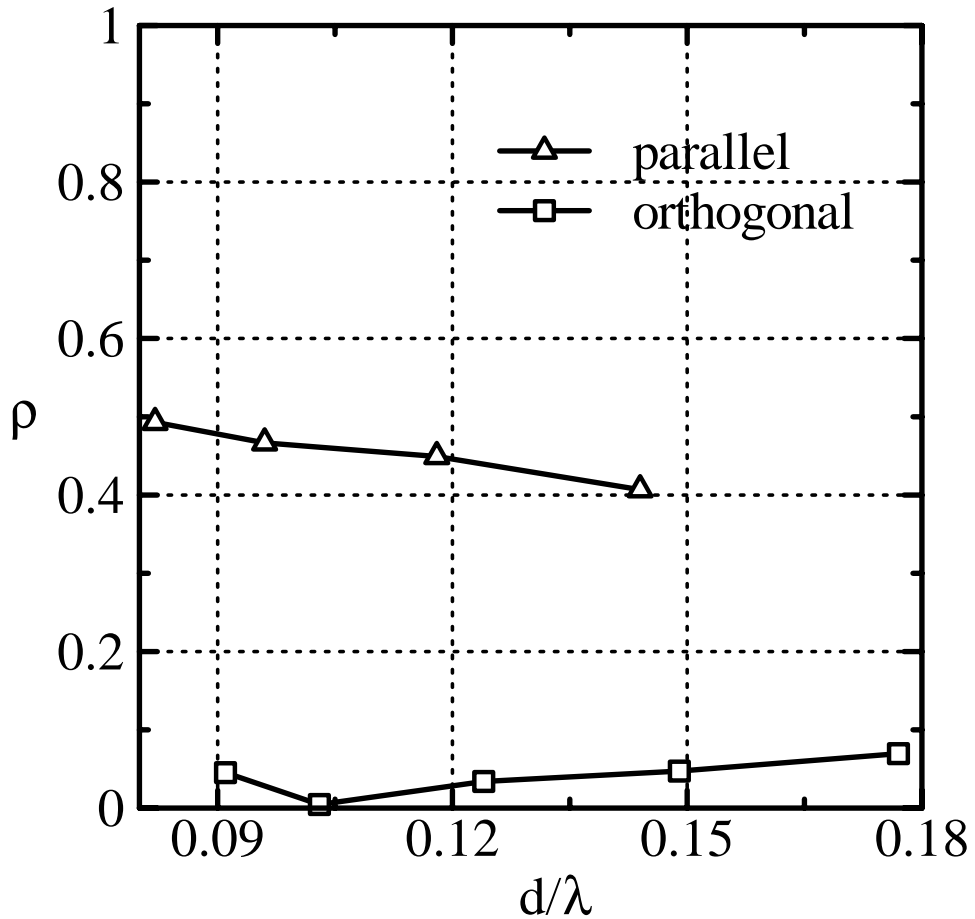


図 3.2: モノポールアンテナと逆 F アンテナの相関係数

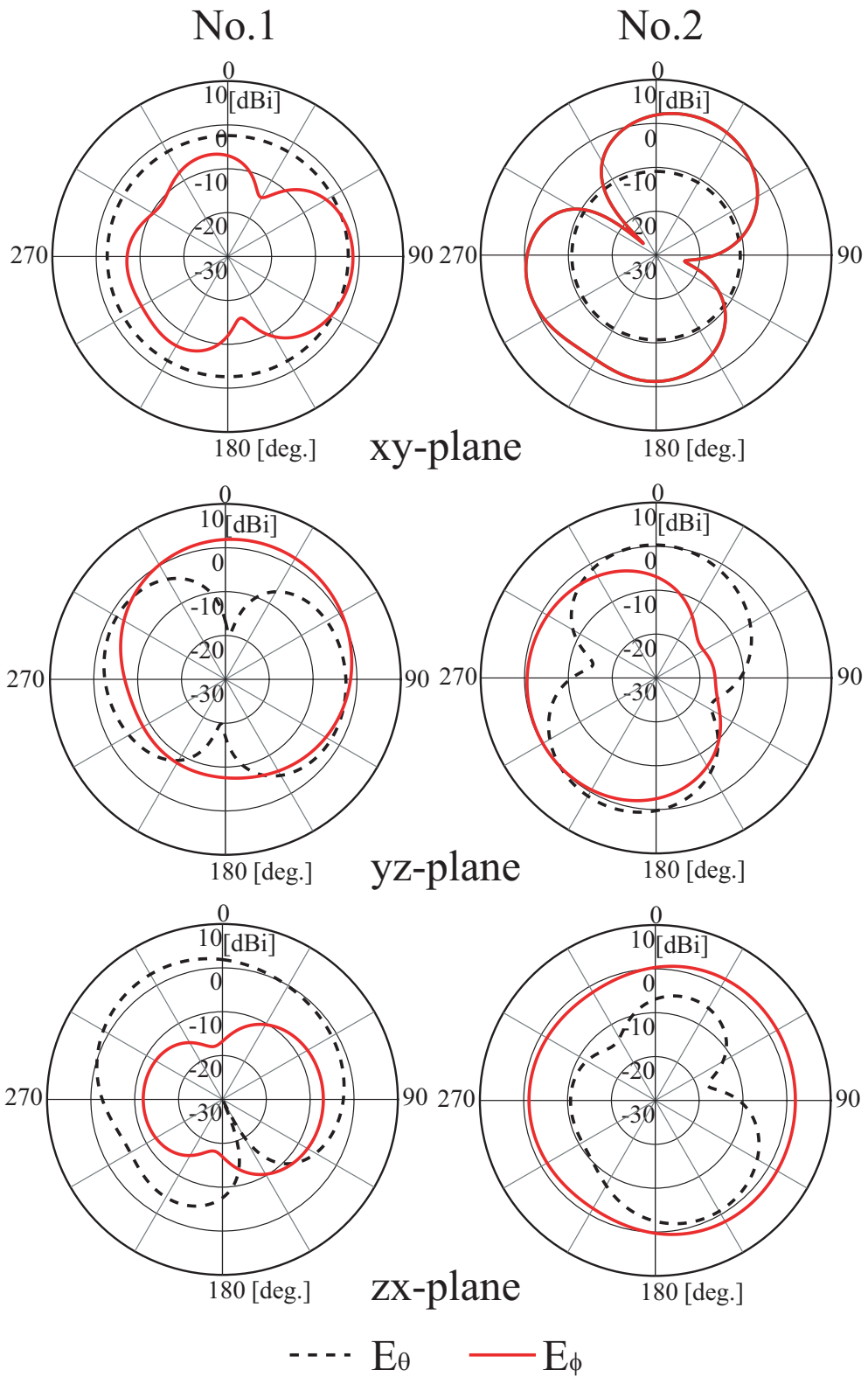


図 3.3: モノポールアンテナと逆 F アンテナの平行配置時の指向性 ( $d/\lambda=0.118$ )

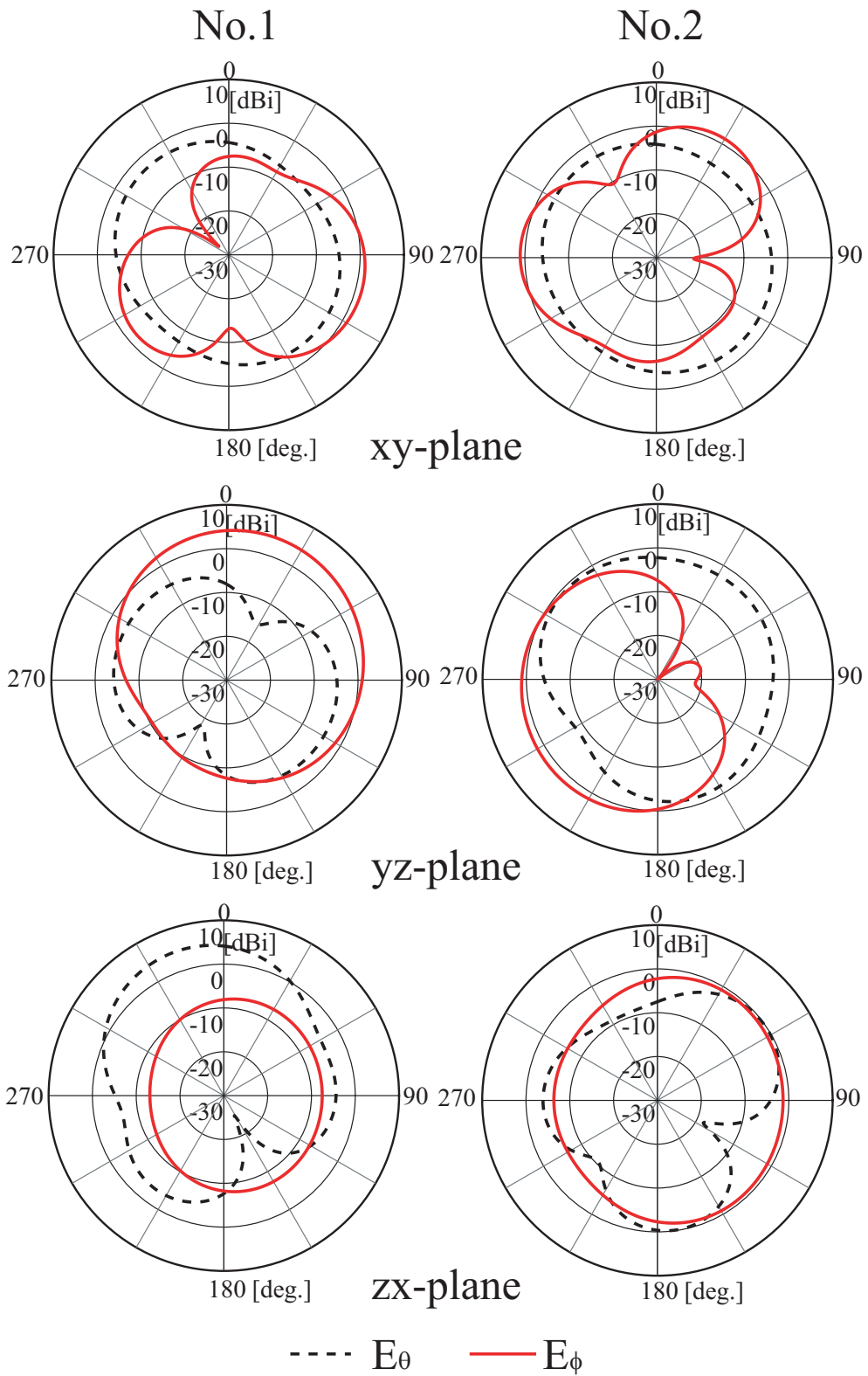


図 3.4: モノポールアンテナと逆 F アンテナの直交配置時の指向性 ( $d/\lambda=0.124$ )

### 3.1.2 モノポールアンテナとVダイポールアンテナの組み合わせ

折りたたみ型携帯電話サイズの場合のような小さい地板では，地板上に強く電流が流れて2素子の放射指向性がほぼ同じになるため，相関係数が高くなると考えられた．そこで，地板上に電流が流れにくいダイポールアンテナを用いて検討を行った．図3.5のように，折りたたみ型携帯電話サイズの地板上にモノポールアンテナとVダイポールアンテナを，給電方向を平行または直交に配置した場合の相関について検討を行った．しかし，直線状のダイポールアンテナはインピーダンスが $75\Omega$ となっていて整合が取りにくいいため，V字状に折り曲げてインピーダンスを低下させるVダイポールアンテナ [18]–[20]を用いて検討を行った．なお給電部は，図3.6のようにギャップ給電として， $\alpha = 120$  [deg.]とした．

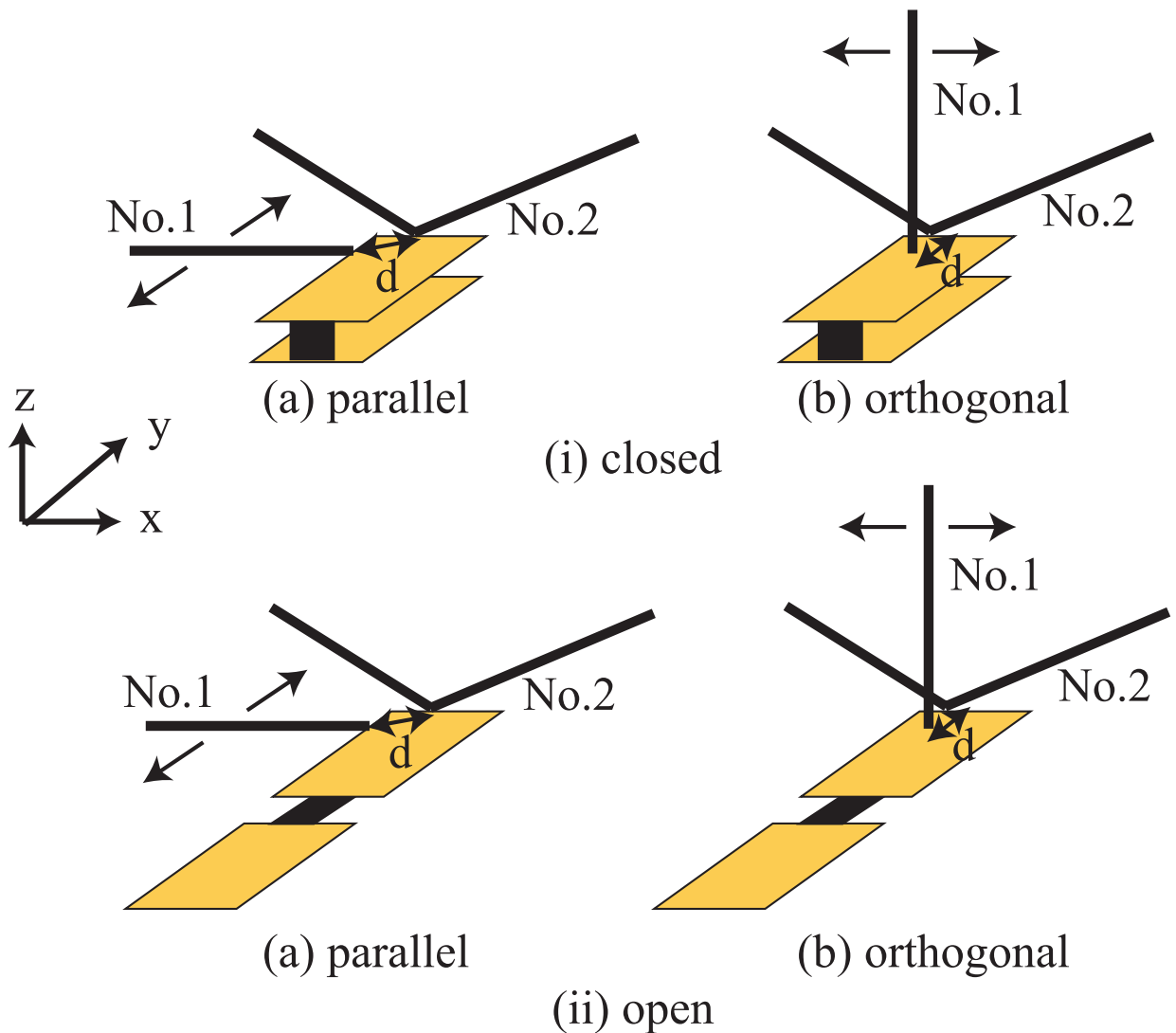


図 3.5: モノポールアンテナとVダイポールアンテナの配置

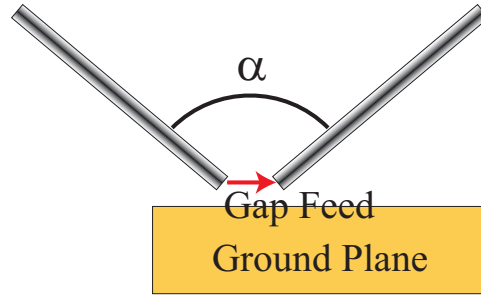


図 3.6: Vダイポールアンテナの給電部

図 3.5 のモデルの相関係数は，図 3.7 のようになった．給電方向が平行の場合には約 0.4 程度となっているのに対して，直交の場合にはほぼ 0 となっていて，モノポールアンテナ 2 素子のときと同様に直交に配置したときに低い相関が得られた．このとき，地板が閉状態のときの平行配置と直行配置の場合の放射指向性は図 3.8, 図 3.9 のようになっている．平行配置の場合は 2 素子の放射指向性はほぼ同じになっているが，直交配置の場合の放射指向性は異なっている．

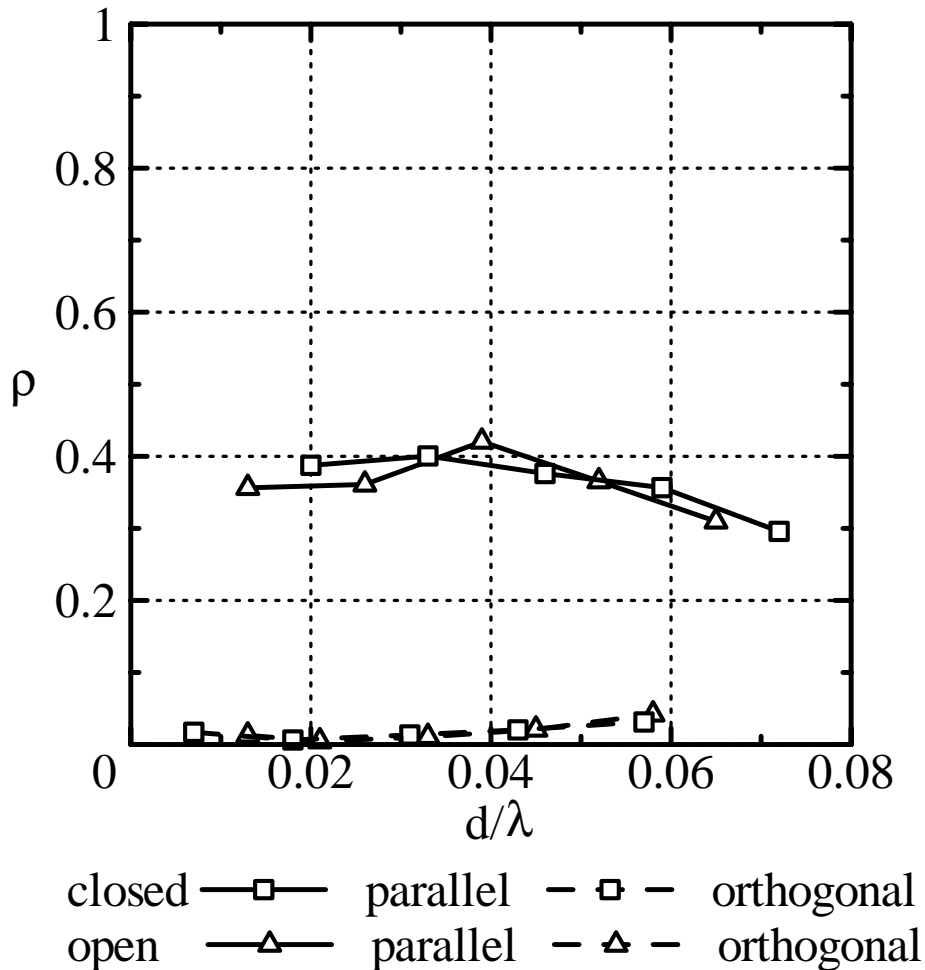


図 3.7: モノポールアンテナと Vダイポールアンテナの相関

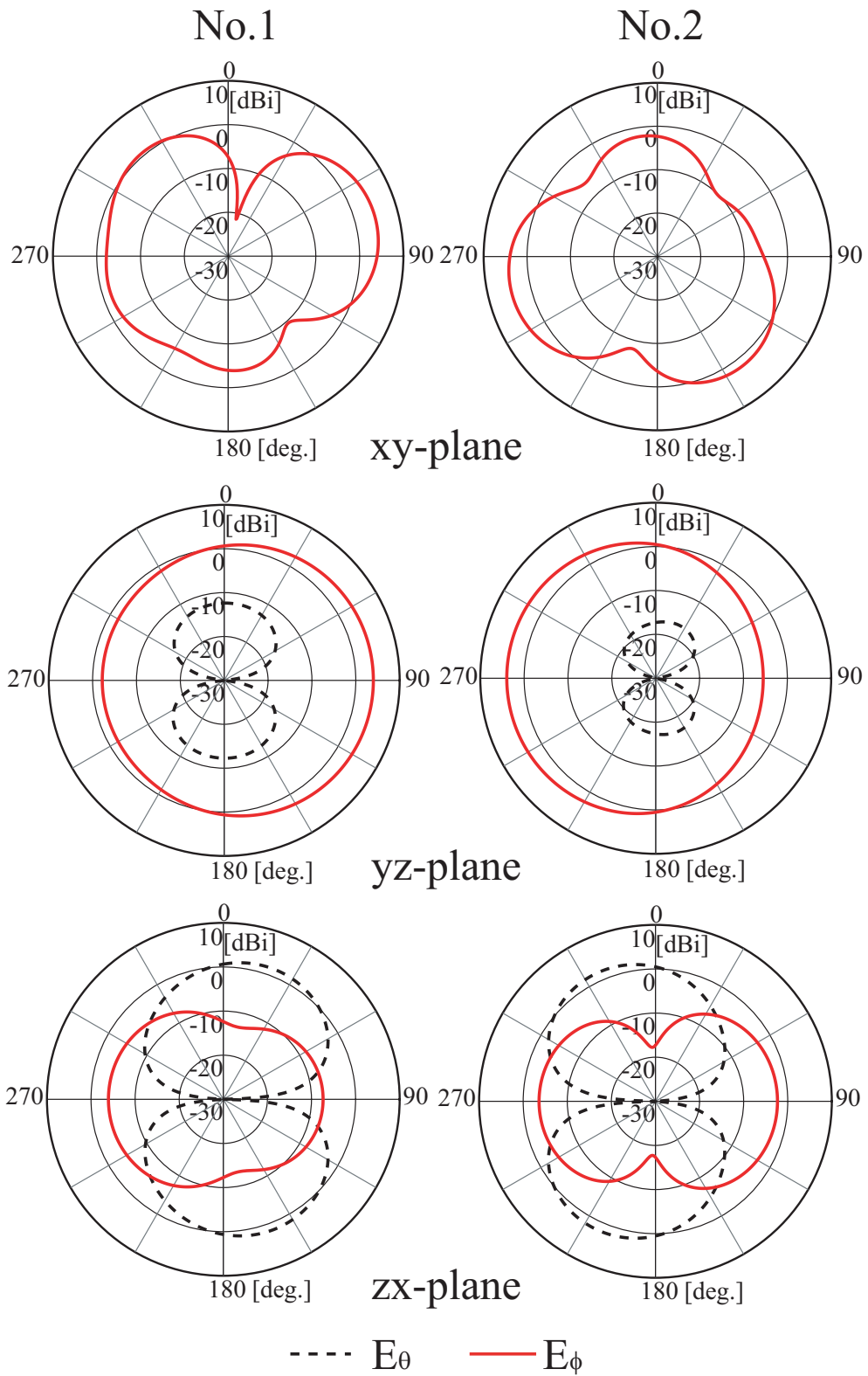


図 3.8: モノポールアンテナとVダイポールアンテナ平行配置の指向性



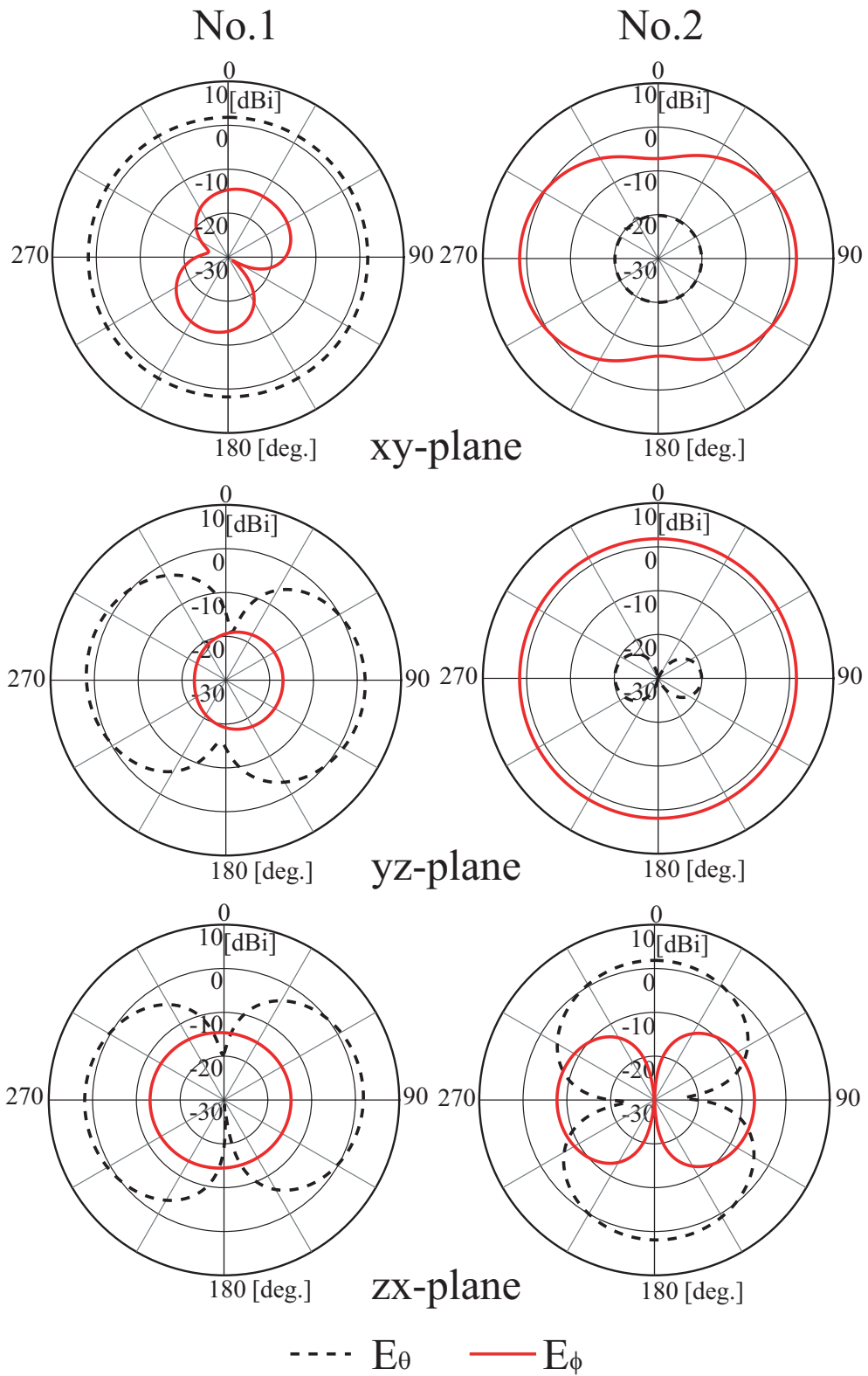


図 3.9: モノポールアンテナと V ダイポールアンテナ直交配置の指向性 ( $d/\lambda=0.007$ )

また，直交配置の場合の電流分布は図 3.10 のようになり，給電していない素子にほぼ電流が流れていないことより，異なった指向性になり相関が低下したと考えられる．

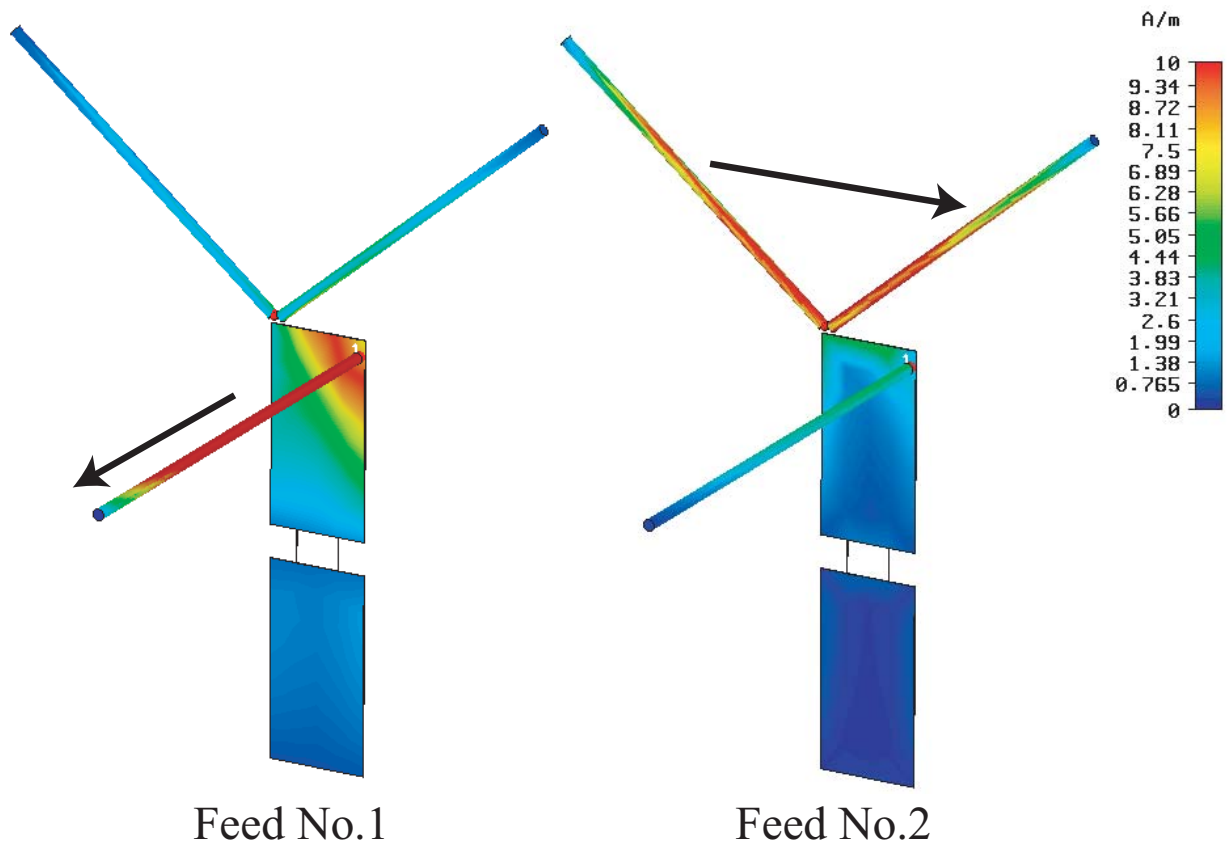


図 3.10: モノポールアンテナと V ダイポールアンテナ直交配置の電流分布

## 3.2 地板にノッチを入れた場合の検討

### 3.2.1 ノッチのパラメータの検討

2章の検討で地板上に電流が強く乗っているために、相関が上昇していると考えられた。文献 [21] で、モノポールアンテナを筐体上に設置したときに、 $\lambda/4$  のノッチを用いて地板上の電流を制御して、特性の劣化を防ぐ方法が検討されている。そこで、図 3.11 のように地板の中心に、長さ  $h$ 、幅  $w$  のノッチを入れた場合について検討を行った。なお、このときモノポールアンテナは、ノッチに対して対称になるようにして、2 素子の間隔を  $0.053\lambda$  で配置している。

まずノッチ幅  $w$  を変化させたときは、図 3.12 に示すように大きな相関の変化が見られなかった。一方でノッチ長  $h$  を変化させたとき、図 3.13 に示すようにノッチ長を大きくしていくと相関が低下した。このときノッチ長  $h$  が  $0.1\lambda$  以下においても、相関係数が低下することがわかった。

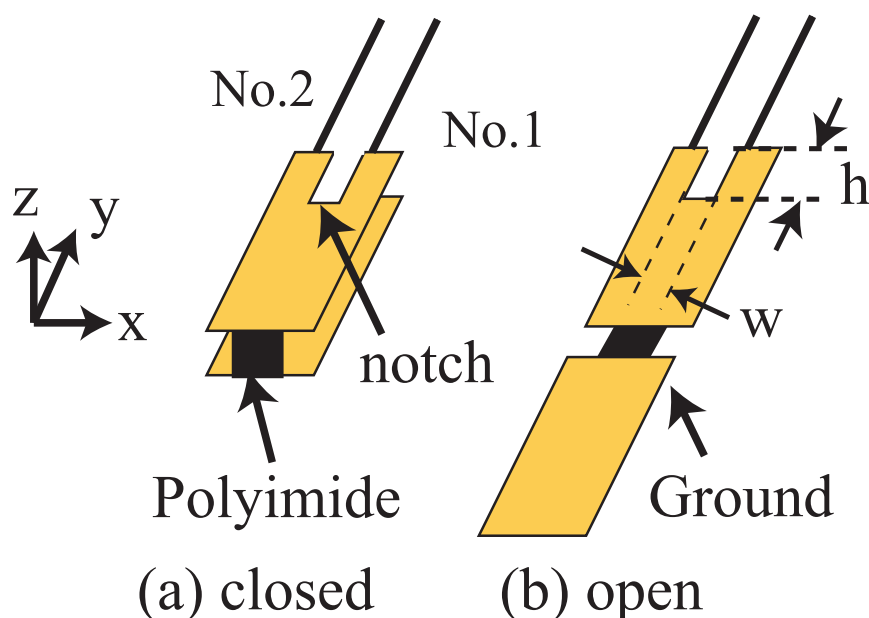


図 3.11: 地板にノッチを入れた場合のモデル

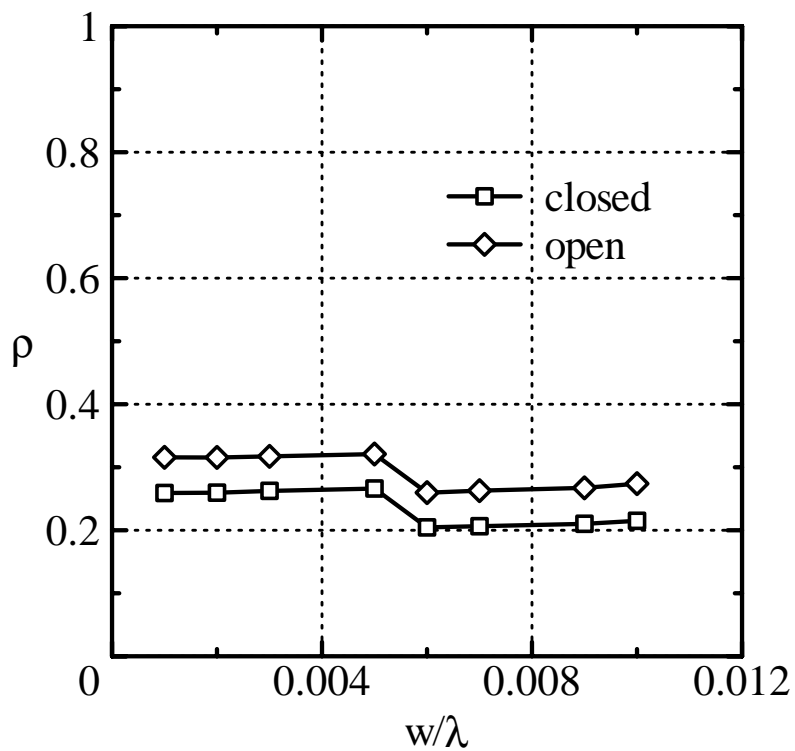


図 3.12: ノッチ幅  $w$  を変化させた場合の相関係数

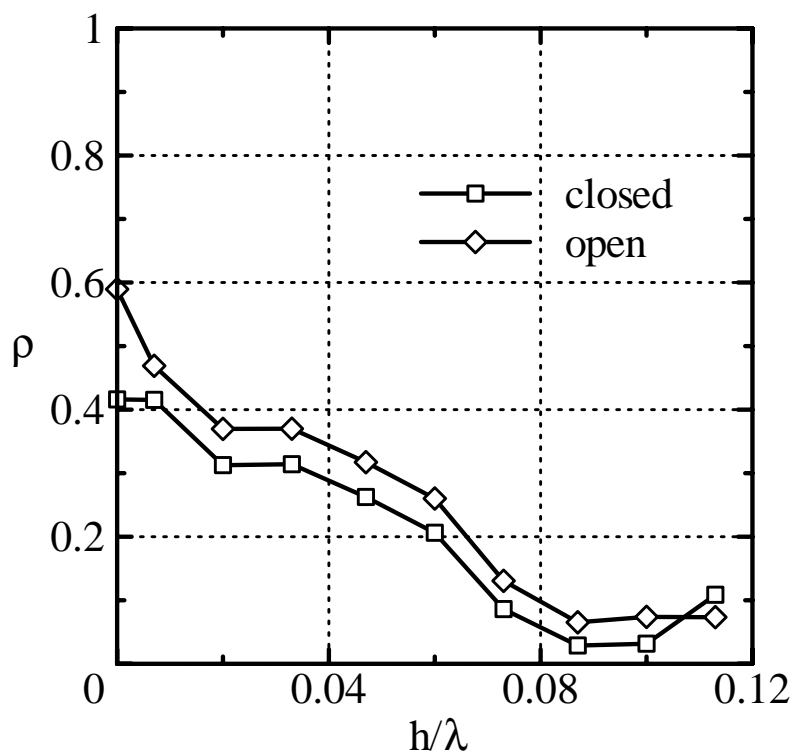


図 3.13: ノッチ長  $h$  を変化させた場合の相関係数

このときの動作原理について検討するため、 $zx$  面指向性の  $E_\phi$  成分の位相差を図 3.14 に示す。ノッチを入れることによって指向性に位相差が生じている。これは、図 3.15 のように地板上の電流に経路差が生じたため、指向性に位相差が生じたと考えられる。

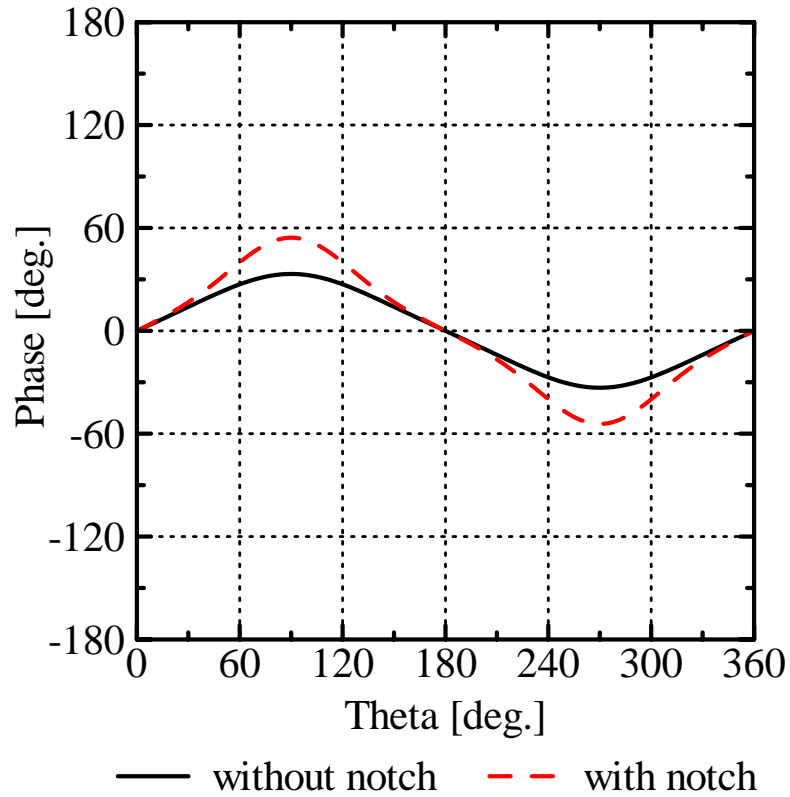


図 3.14: ノッチ長  $h$  を変化させた場合の指向性位相差

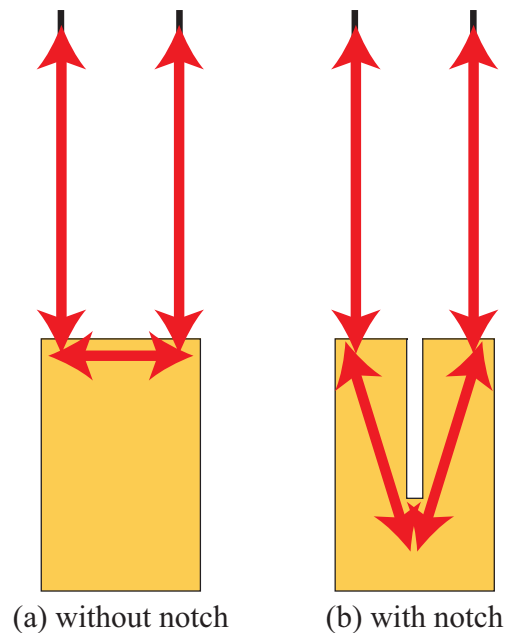


図 3.15: 地板上の電流経路

### 3.2.2 ノッチにキャパシタンスを装荷した場合の検討

図 3.16 のように、ノッチにキャパシタンスを装荷した場合、キャパシタンスの大きさ  $C$ 、キャパシタンスの位置  $a$ 、ノッチの大きさ  $h$  について検討を行った。なお、モノポールアンテナはノッチに対して対称になるように  $0.053\lambda$  で配置して、ノッチ幅は  $w = 0.003\lambda$  として検討を行った。

キャパシタンスの値  $C$  を変化させた場合は、図 3.17 のように  $C$  の値を大きくすると相関は低下することがわかった。また、キャパシタンスの位置  $a$  を変化させた場合は、図 3.18 のようにノッチの端部から離すことによって相関が上昇していることがわかった。

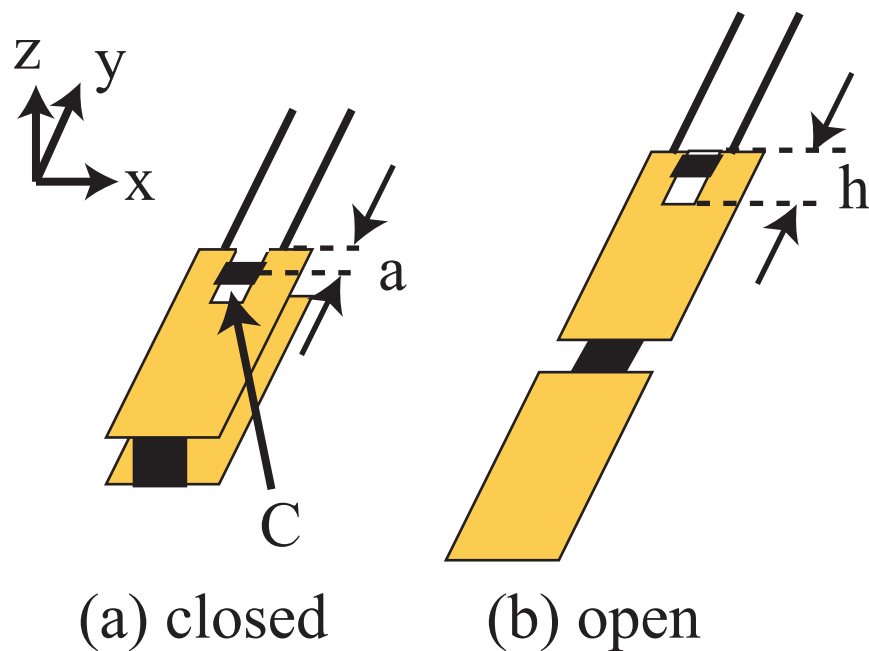


図 3.16: ノッチにキャパシタンスを装荷した場合のモデル

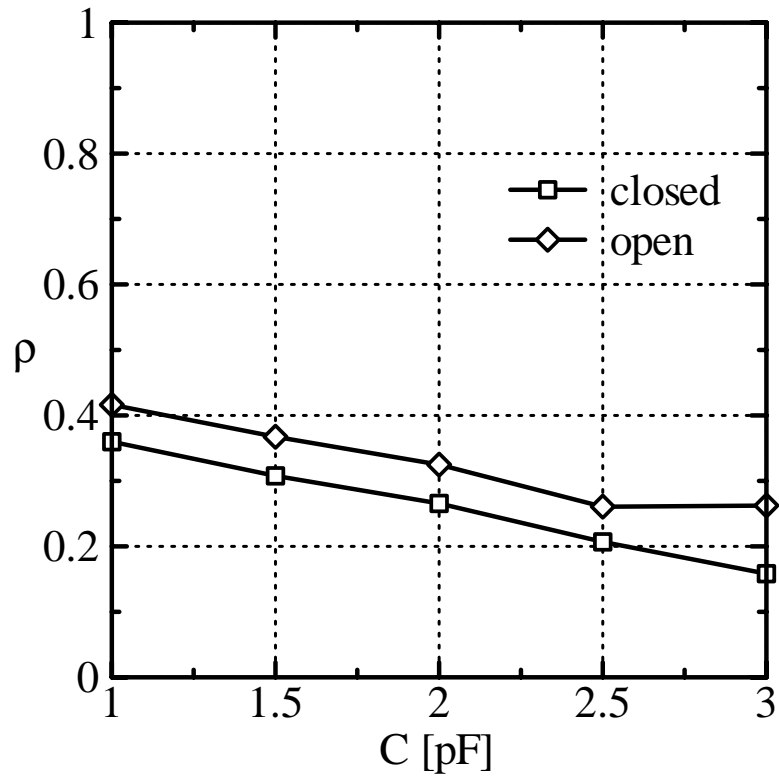


図 3.17: キャパシタンスの値  $C$  を変化させた場合の相関係数

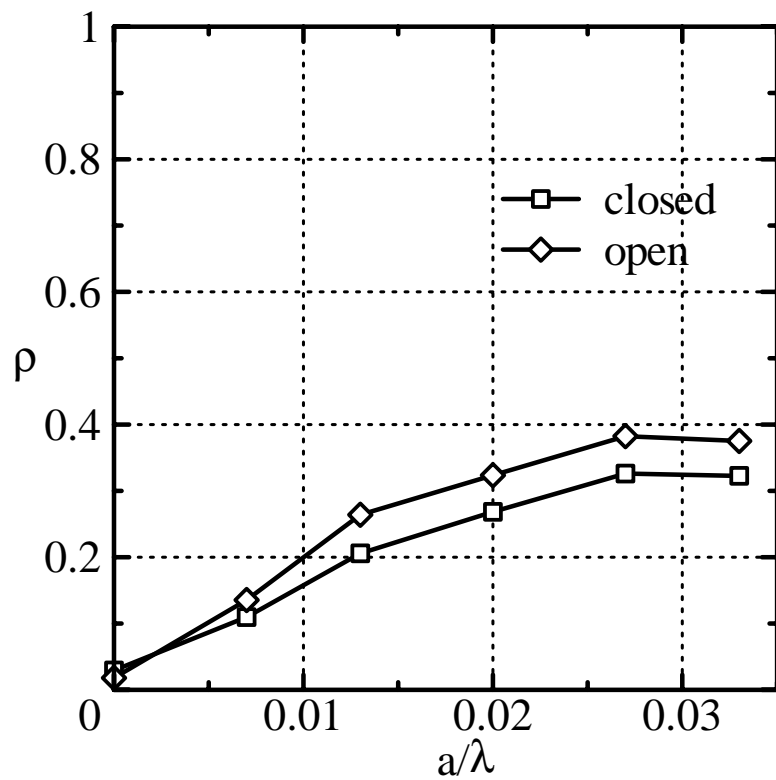


図 3.18: キャパシタンスの位置  $a$  を変化させた場合の相関係数

ノッチ長  $h$  を変化させた場合は図 3.19 のようになり，相関がキャパシタンスを装荷しない場合に比べて約半分の大きさで相関が低下していることがわかった．しかし， $h/\lambda = 0.047$  とすると，相関が大きくなってしまった．この原因について検討する．ノッチに  $C$  を装荷した場合の  $zx$  面放射指向性を図 3.20 に示す．このとき，それぞれの場合において，指向性の大きな違いは見られない．

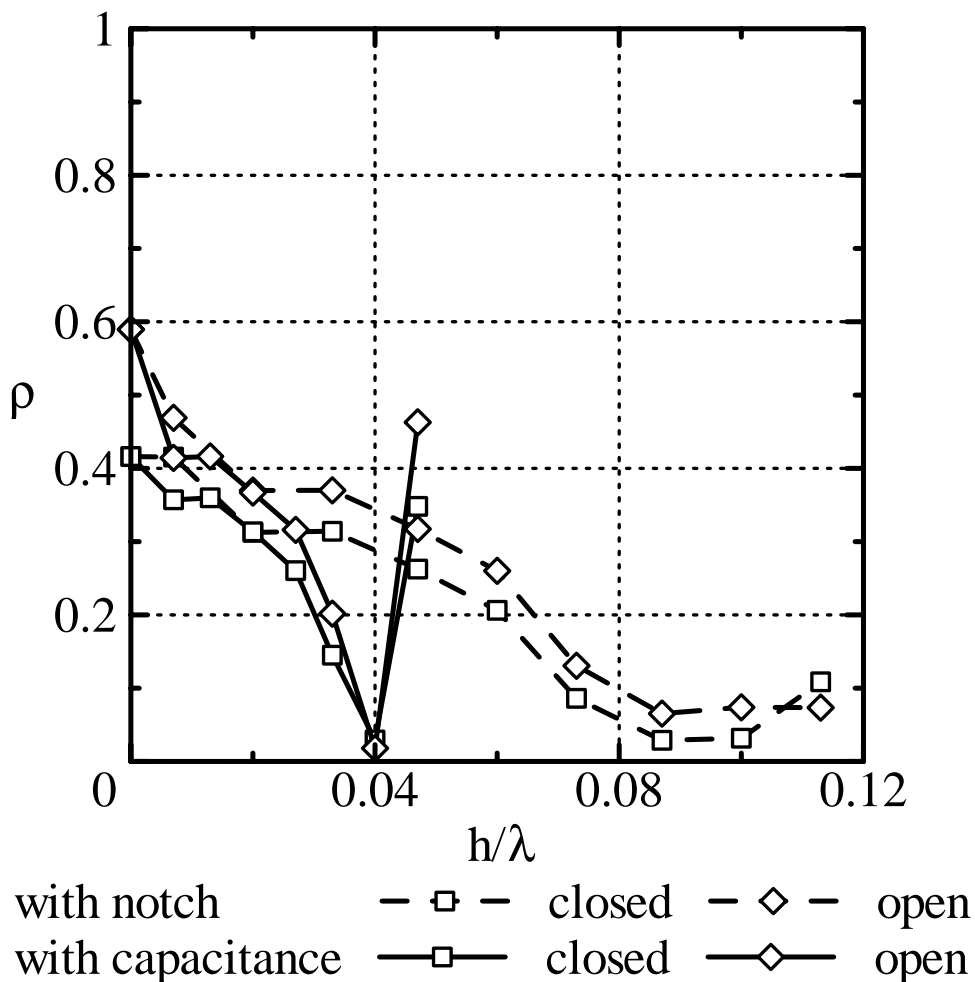


図 3.19: ノッチ長  $h$  を変化させた場合の相関係数



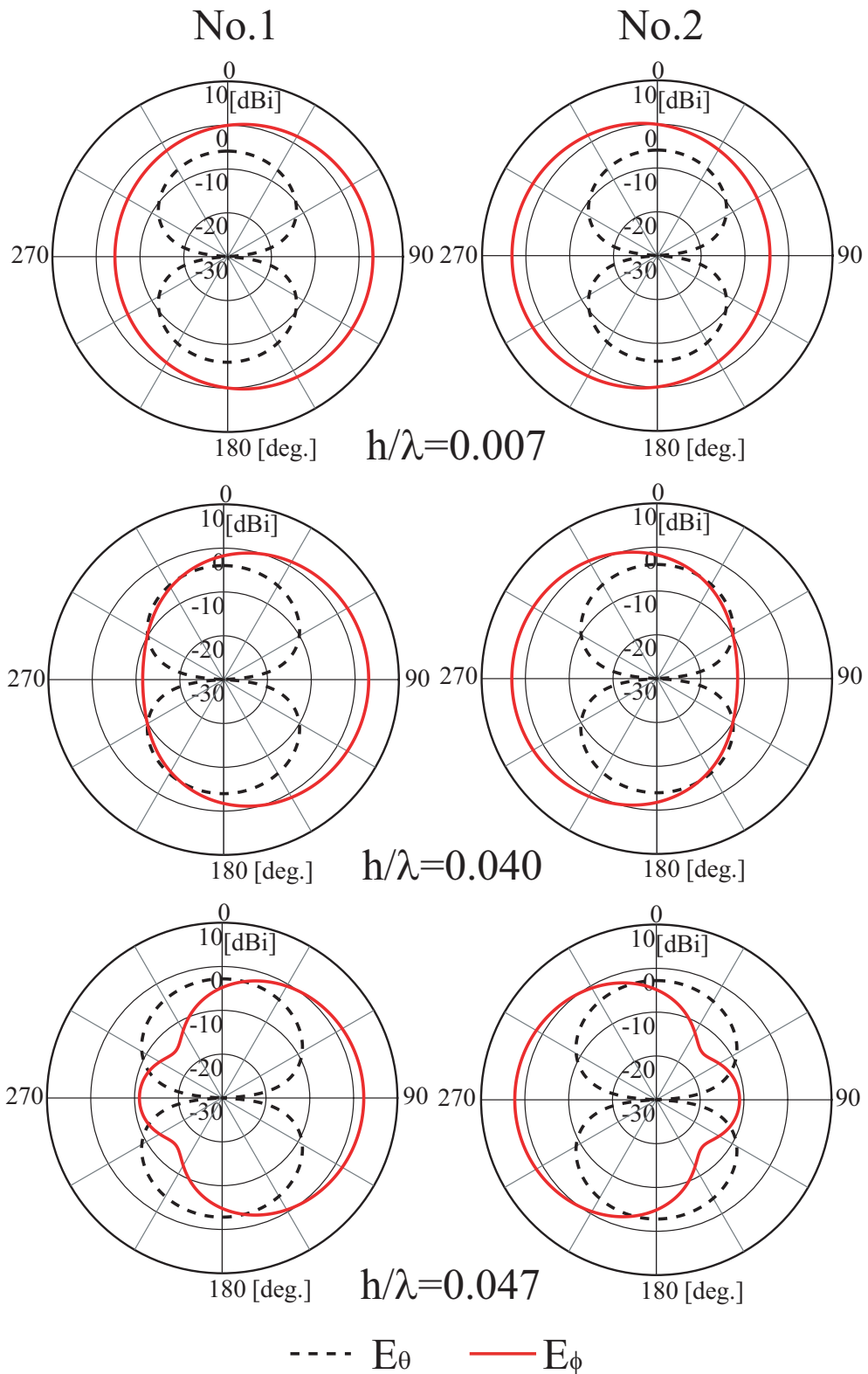


図 3.20: ノッチに C を装荷したときの  $zx$  面放射指向性

ノッチを入れた場合と同様に， $zx$  面指向性の  $E_\phi$  成分の位相差を図 3.21 に示すと，相関が最も低くなった  $h/\lambda = 0.040$  の場合は位相差が約 60 度，相関が大きくなった  $h/\lambda = 0.047$  の場合は位相差が約 145 度になっている．これより，位相差が最も 90 度に近づいている場合に低い相関が得られるものと考えられ， $h/\lambda = 0.040$  で最も相関が低下したものと考えられる．

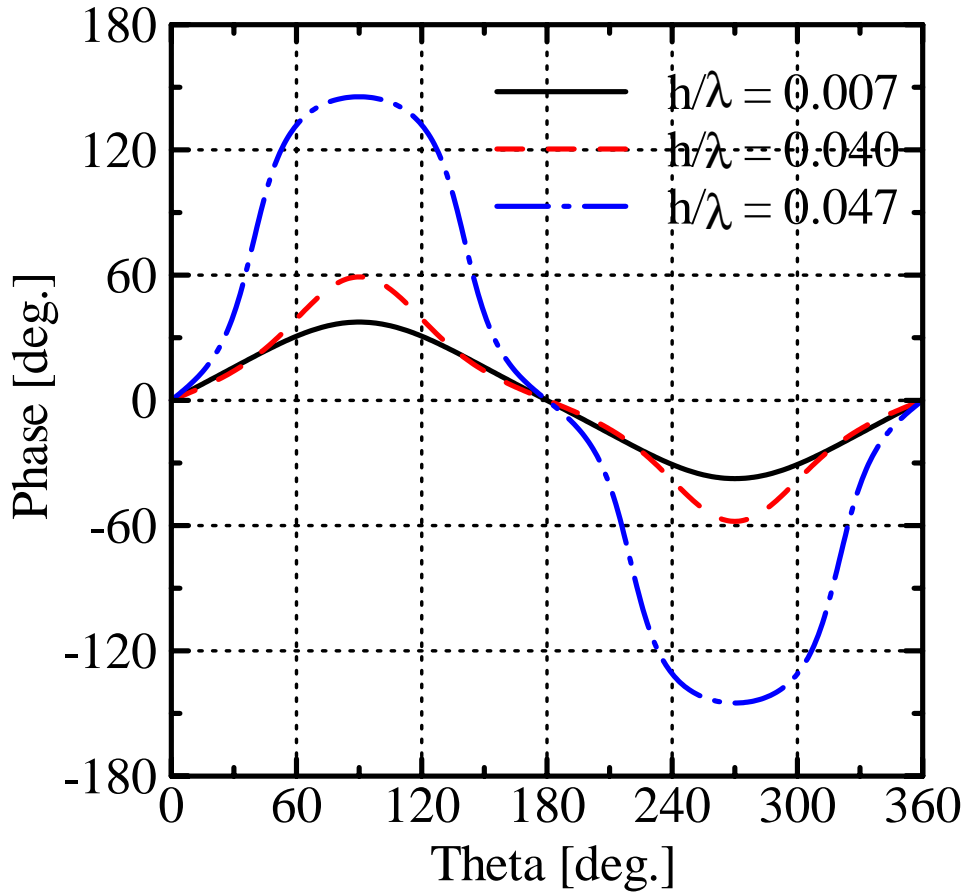


図 3.21: ノッチ長  $h$  を変化させた場合の指向性位相差

## 第 4 章

# アンテナの実装方法の検討

本章では、今まで行ってきた検討で用いたアンテナの実装方法について検討を行う。まず、給電方法が複雑なダイポールアンテナについて検討を行い、モノポールアンテナ 2 素子を用いた場合を実験的検討を行った。

### 4.1 ダイポールアンテナの検討

#### 4.1.1 給電部の検討

ダイポールアンテナは平衡給電を用いるため製作が困難である。そのため、文献 [22],[23] にバランを用いない不平衡給電での検討が行われている。3 章での検討ではギャップ給電を行って平衡給電と同等の給電としていたが、図 4.1 のような制作上簡単な不平衡給電を用いて、図 3.5 のようにモノポールアンテナとダイポールアンテナ 2 素子を平行または直交に配置した場合の検討を行った。

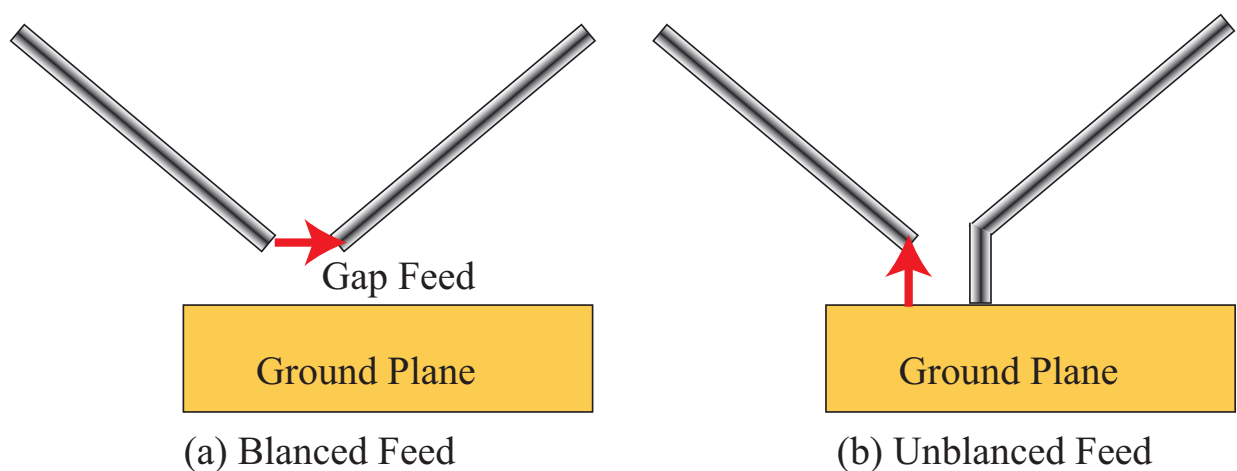


図 4.1: ダイポールアンテナの給電部

このとき、相関係数は図 4.2 のようになった。不平衡給電とすることで、相関が全体的に上昇している。これは、不平衡給電とすることにより、図 4.3 のように給電を行っていない素子に電流が乗ってしまうため、相関が上昇したと考えられる。

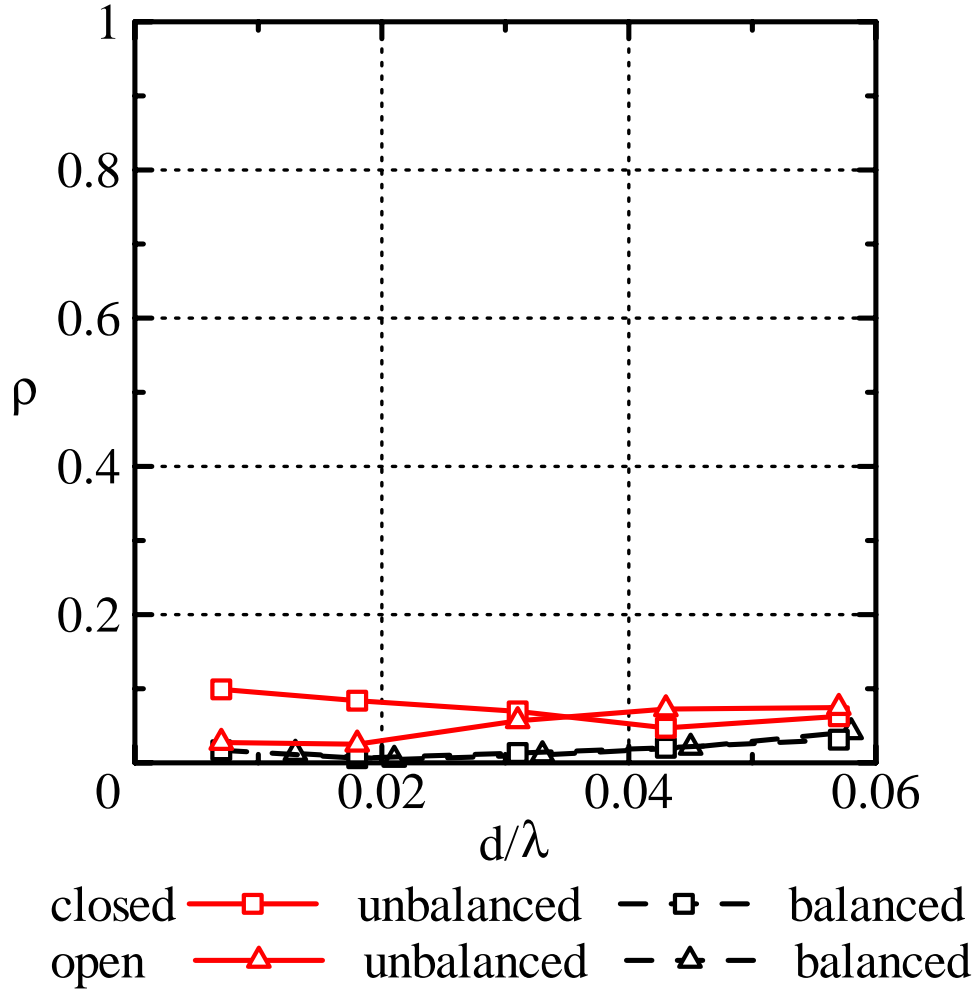


図 4.2: 不平衡給電のときの相関係数

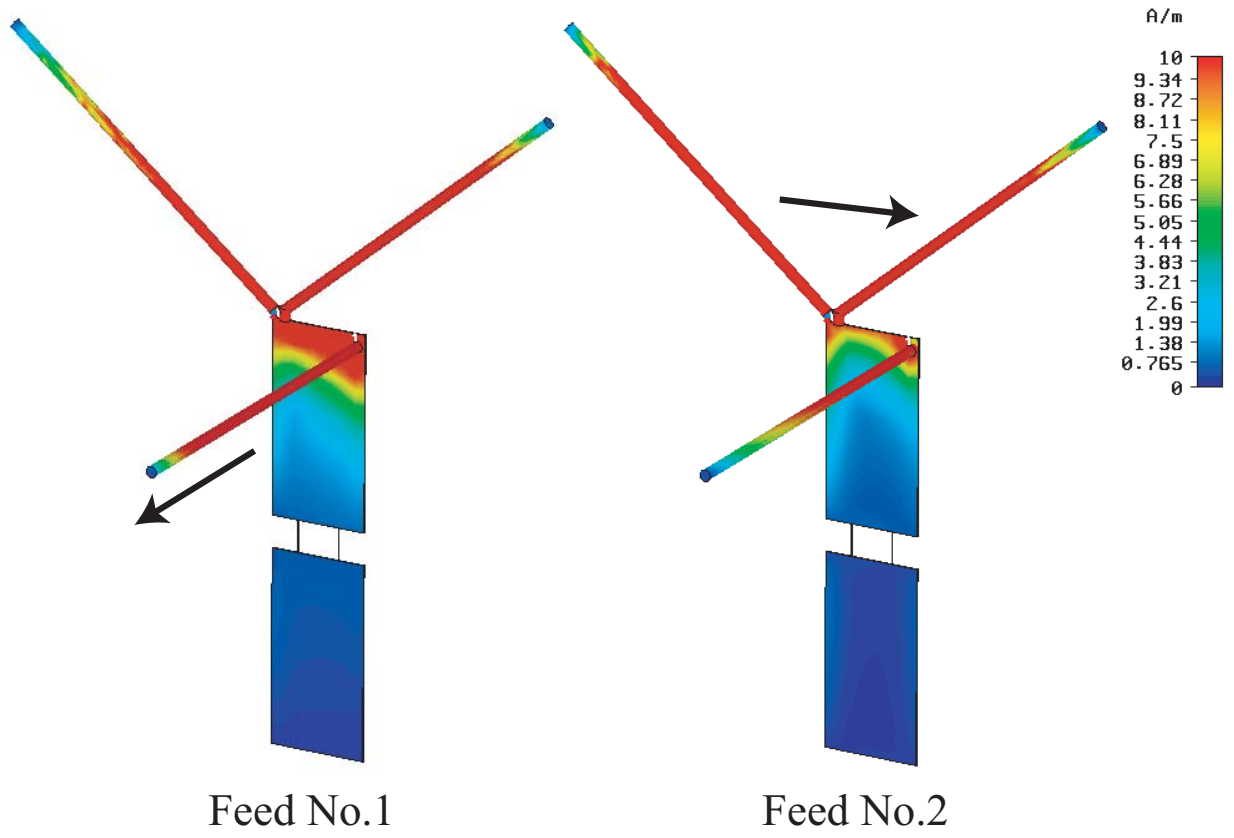


図 4.3: 不平衡給電のときの電流分布

### 4.1.2 ダイポールアンテナの小型化

半波長の直線状のダイポールアンテナのインピーダンスは  $75 \Omega$  となっているが，文献 [25] では折り曲げることによって  $50 \Omega$  に整合を取り，地板の周りに  $0.3\lambda$  の大きさに配置している．また，文献 [24] では折り返したダイポールアンテナを折り曲げることによって  $50 \Omega$  に整合を取り， $0.23\lambda$  とさらに小型化を図っている．そこで，図 4.4 のようなように，誘電体基板上に折り返しダイポールをプリントすることで，ダイポールアンテナの小型化を検討した．なお，使用する誘電体基板は比誘電率  $\epsilon_r = 10.5$ ，基板厚  $1.6 \text{ mm}$  のものを用い，給電部はバランを用いることを想定して，ギャップ給電を行って検討を行った．

まず，図 4.4 のように 1 枚の誘電体基板上に折り返しダイポールをプリントして， $50 \Omega$  整合を取るために  $l, h$  を変化させたところ， $l = 0.15\lambda, h = 0.17\lambda$  と今までに検討されているものよりも小型化がされることがわかった．また，このときの放射指向性を図 4.5 に示し，ダイポールアンテナの指向性を得られていることが確認できた．

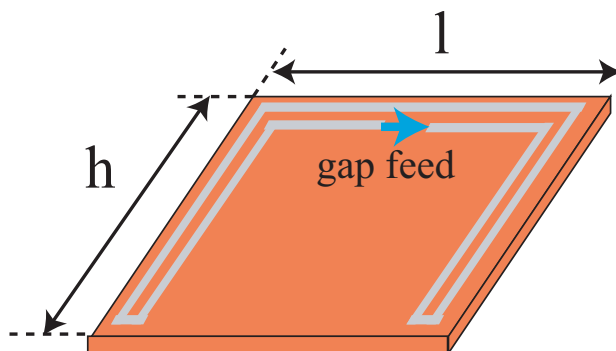


図 4.4: プリント折り返しダイポール

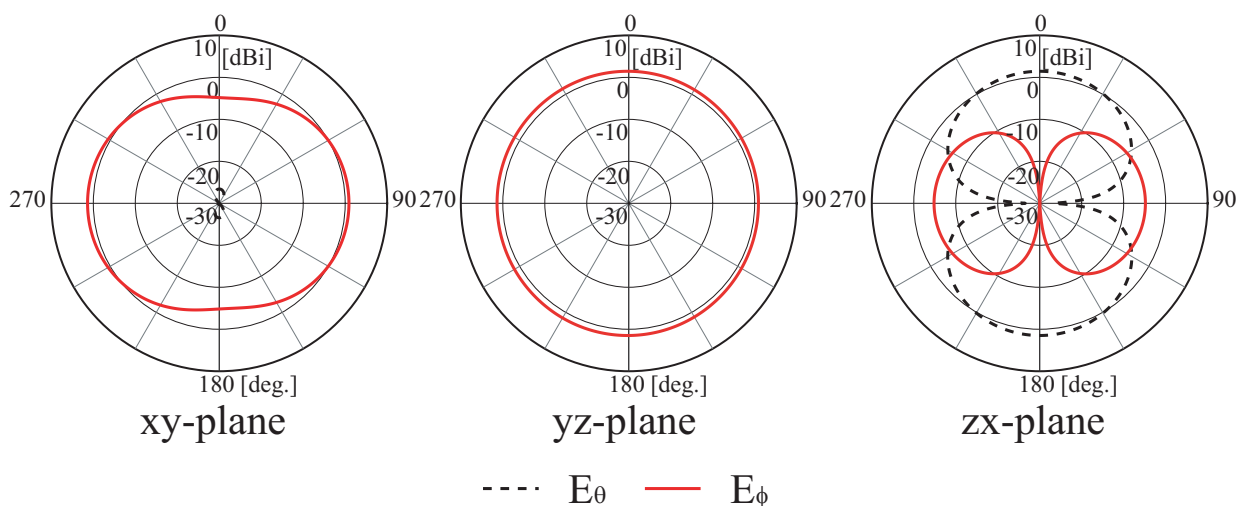


図 4.5: 放射指向性

図 4.4 の状態で折りたたみ型携帯電話サイズの地板に設置したところ，整合が取れなくなるのがわかった．そこで図 4.6 のように，ダイポールアンテナの基板と地板が重なっている部分を  $t$  として変化させたところ，図 4.7 のように基板と地板が重なる部分を小さくするによって，整合が取れることがわかった．

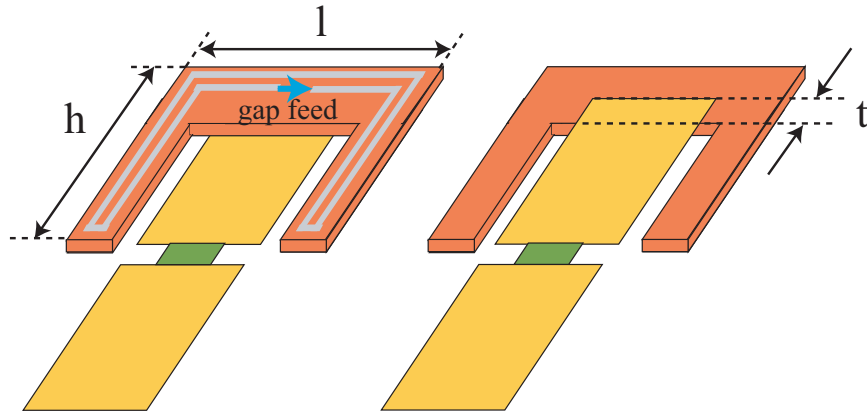


図 4.6: 地板上のプリント折り返しダイポール

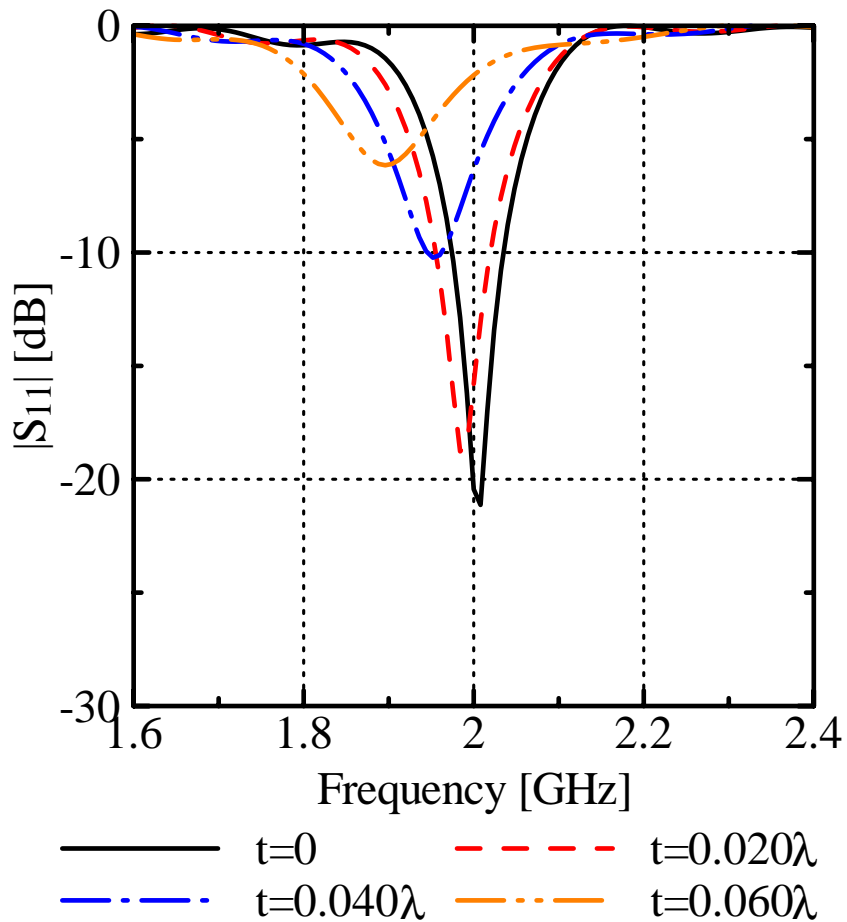


図 4.7:  $t$  を変化させたときの反射特性

以上のような誘電体基板にプリントされたダイポールアンテナを用いて，図4.8のようにモノポールアンテナと組み合わせたときの相関について検討を行った．なお実際に製作したときの給電部を考えると，地板に重なりを持たせておかなければならないので， $t = 0.020\lambda$ とした．このとき  $d$  を変化させたときの相関係数は，図4.9に示すようになり，Vダイポールアンテナを用いたときと同様に低い相関が得られた．

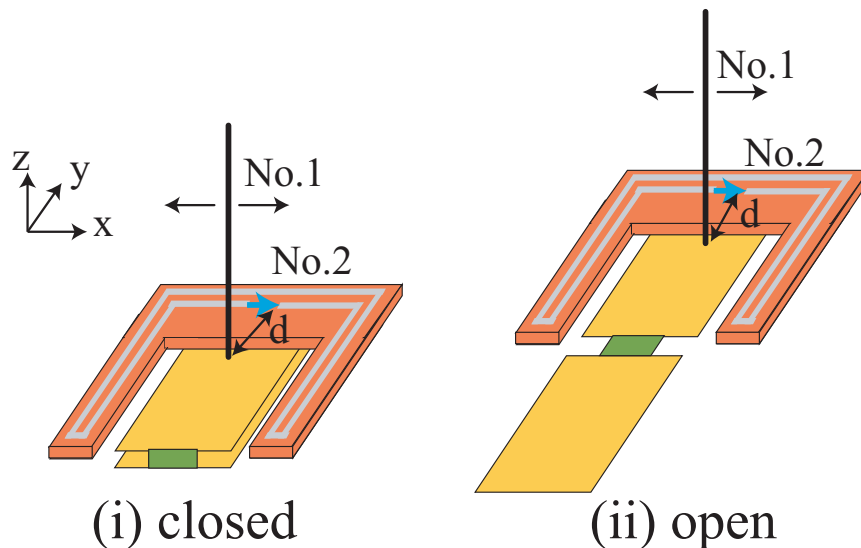


図 4.8: 地板上のプリント折り返しダイポール

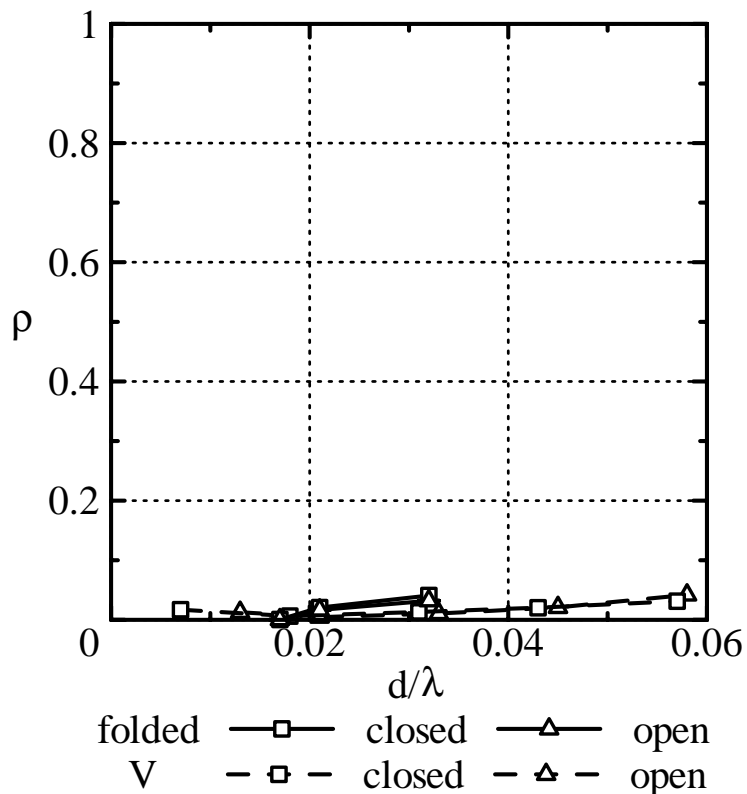


図 4.9: プリントダイポールアンテナとモノポールアンテナの相関



## 4.2 モノポールアンテナ 2 素子を用いた実験

### 4.2.1 アンテナの測定法

今回のアンテナの測定を行うときに、地板が小型であるため測定用の給電ケーブルの影響をできるだけ抑える必要がある。そこで今回は、測定を行うときに図 4.10 のように球面状にスキャンする球面走査法を用いて実験を行った。この方法は一般的に放射効率の測定用として用いるが、球面走査法は測定用の給電ケーブルの影響を受けないため、今回はアンテナの指向性を測定するために球面走査法を用いて測定を行った。

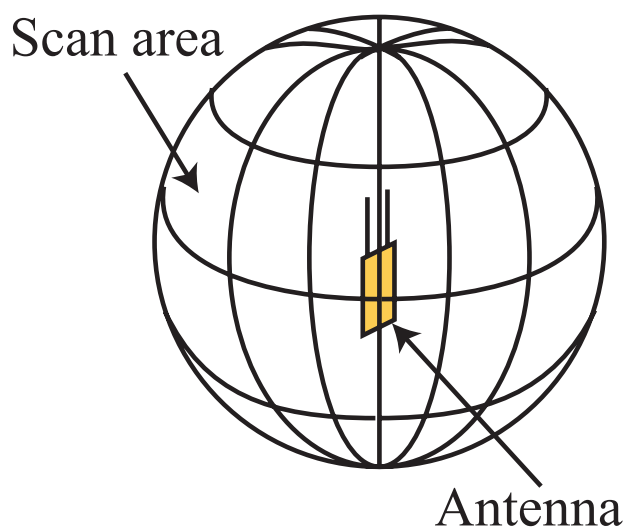


図 4.10: 球面走査法

### 4.2.2 直交配置による給電部の検討

2.2 で行ったモノポールアンテナ 2 素子を直交に配置した場合について、設計周波数を 1 GHz として実験を行った。このとき給電部は給電ケーブルなどの影響を少なくするため、図 4.11 のように給電ピンを直接つけた場合、図 4.12 のようにバズーカバラン [26] を用いた 2 つの場合について検討を行った。なお、放射指向性を測定するときの  $50 \Omega$  終端には SMA タイプの終端抵抗を用いた。また、このとき折りたたみ型携帯サイズの地板のアンテナを設置していない地板に電流がほぼ乗っていなかったため、簡単のために 1 枚の地板上にアンテナを配置するモデルで実験を行った。

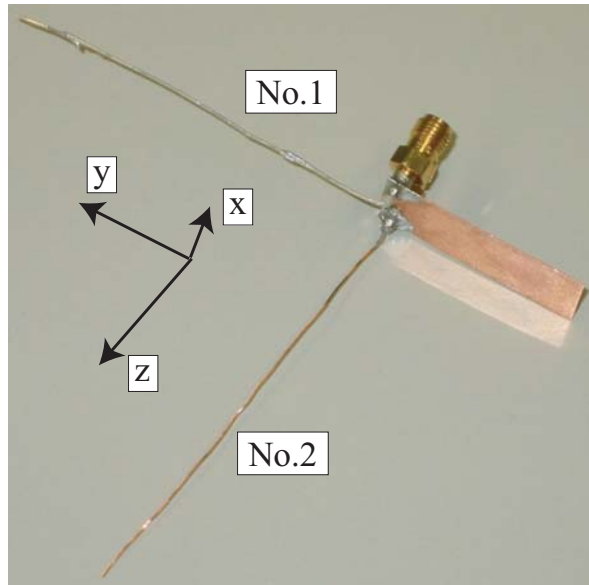


図 4.11: 給電ピンを直接つけた場合

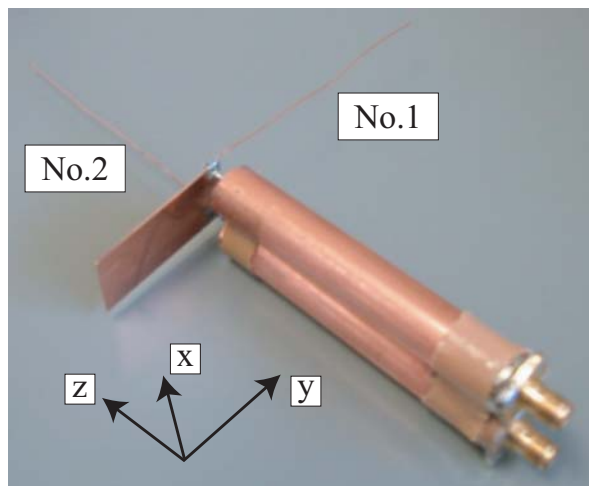


図 4.12: バズーカバランを用いた場合

それぞれの場合の S パラメータを，ギャップ給電解析の S パラメータと比較したものを図 4.13, 図 4.14 に示す．このとき，バズーカバランを用いた場合にギャップ給電解析の S パラメータとほぼ一致して，漏れ電流が抑制されているものと考えられる．また，放射指向性はそれぞれ図 4.15, 図 4.16 のようになった．給電ピンを直接つけた場合はレベルの違いがあるが，ギャップ給電解析と同様の傾向を示している．しかし，バズーカバランを用いた場合は，No.2 の素子はほぼ同じ放射指向性になっているが，No.1 の素子は給電ピンを直接つけた場合と比べて大きく異なってきている．これは，バランの部分に電流が乗っているため，モノポールと直交に配置した場合大きく指向性が異なってきていると考えられる．

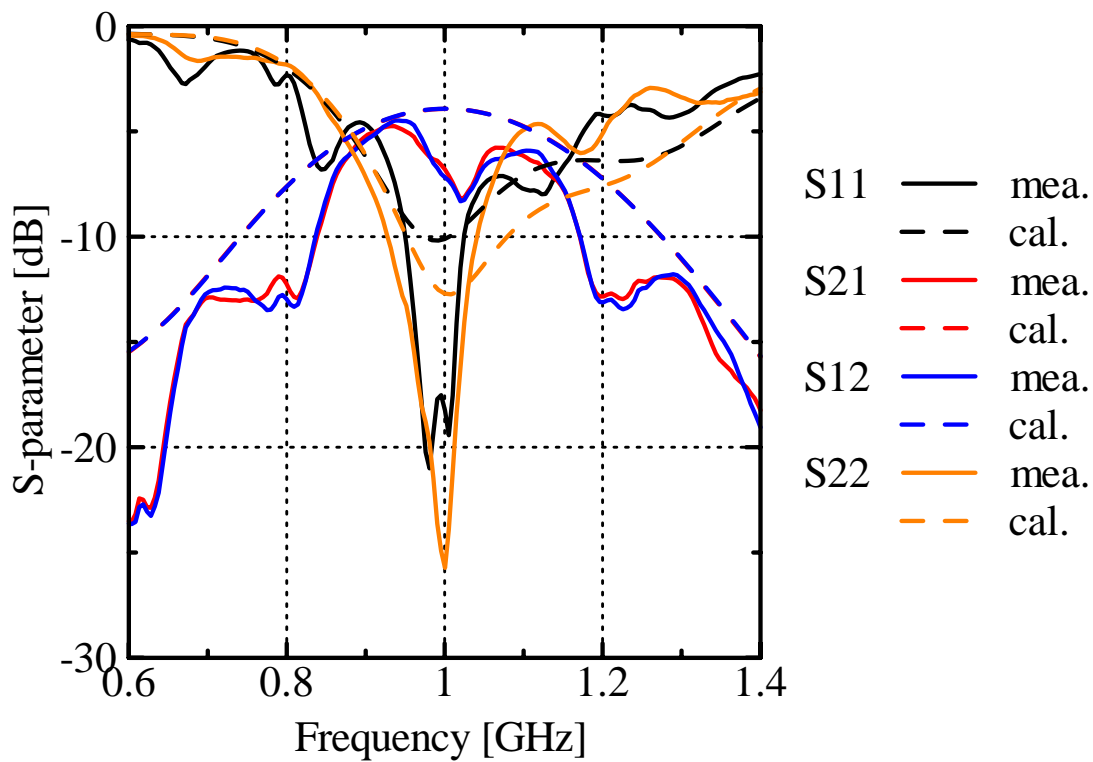


図 4.13: 給電ピンを直接つけた場合の S パラメータ

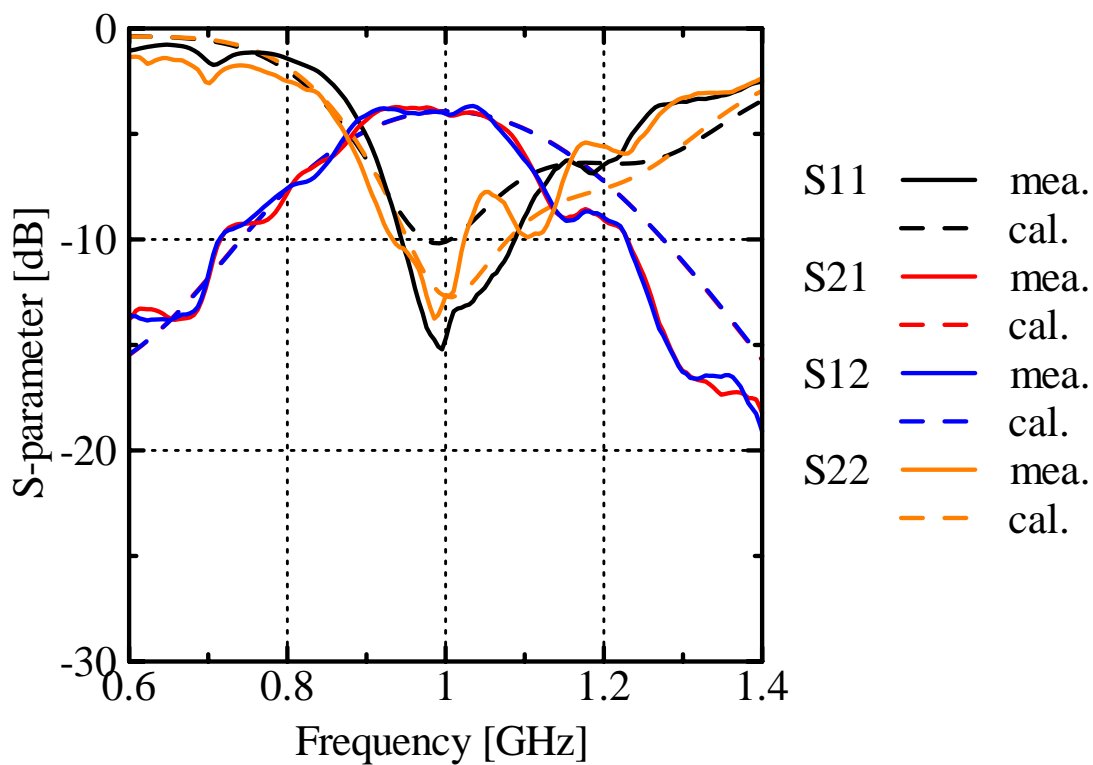


図 4.14: バズーカバランを用いた場合の S パラメータ

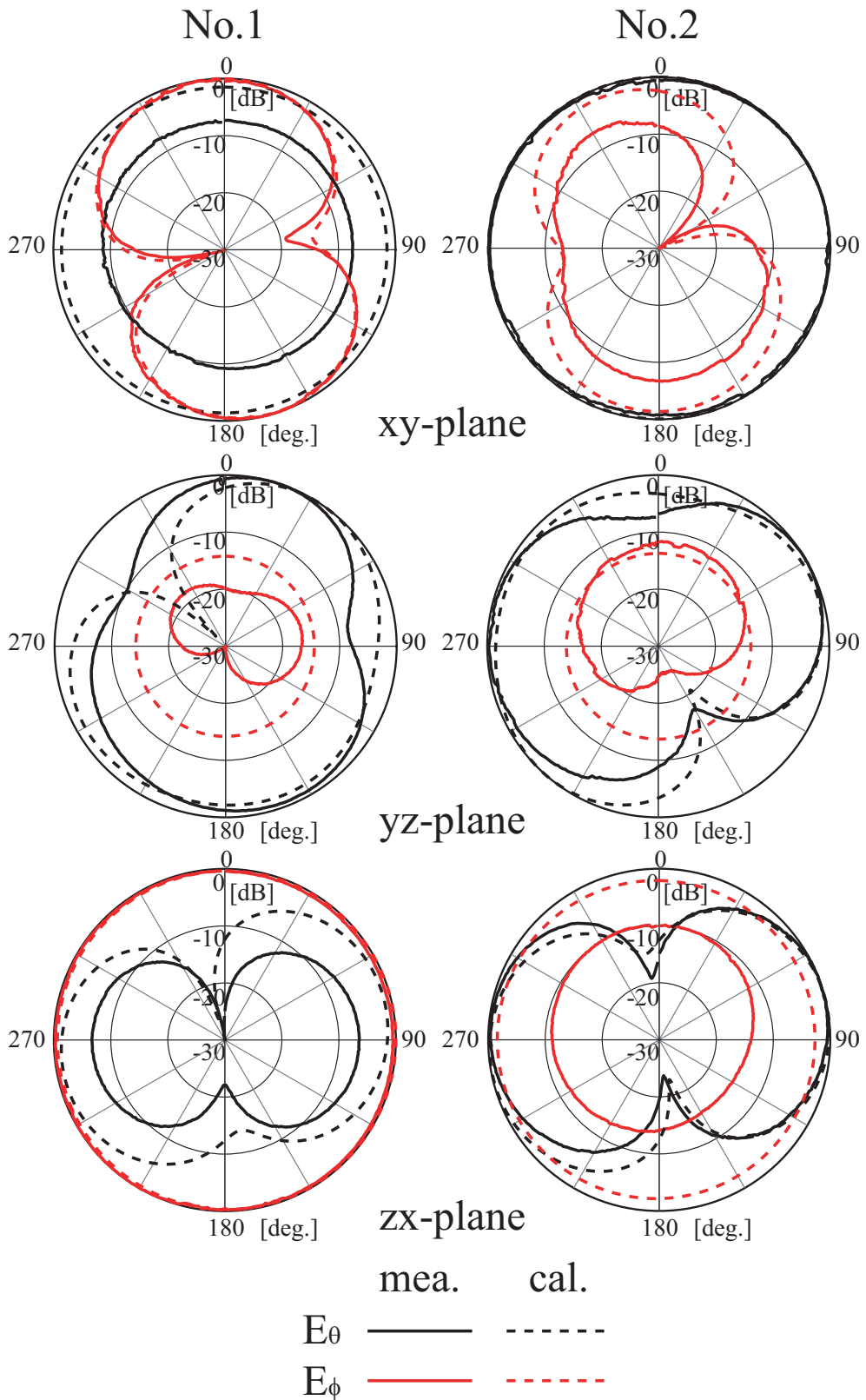


図 4.15: 給電ピンを直接つけた場合の放射指向性

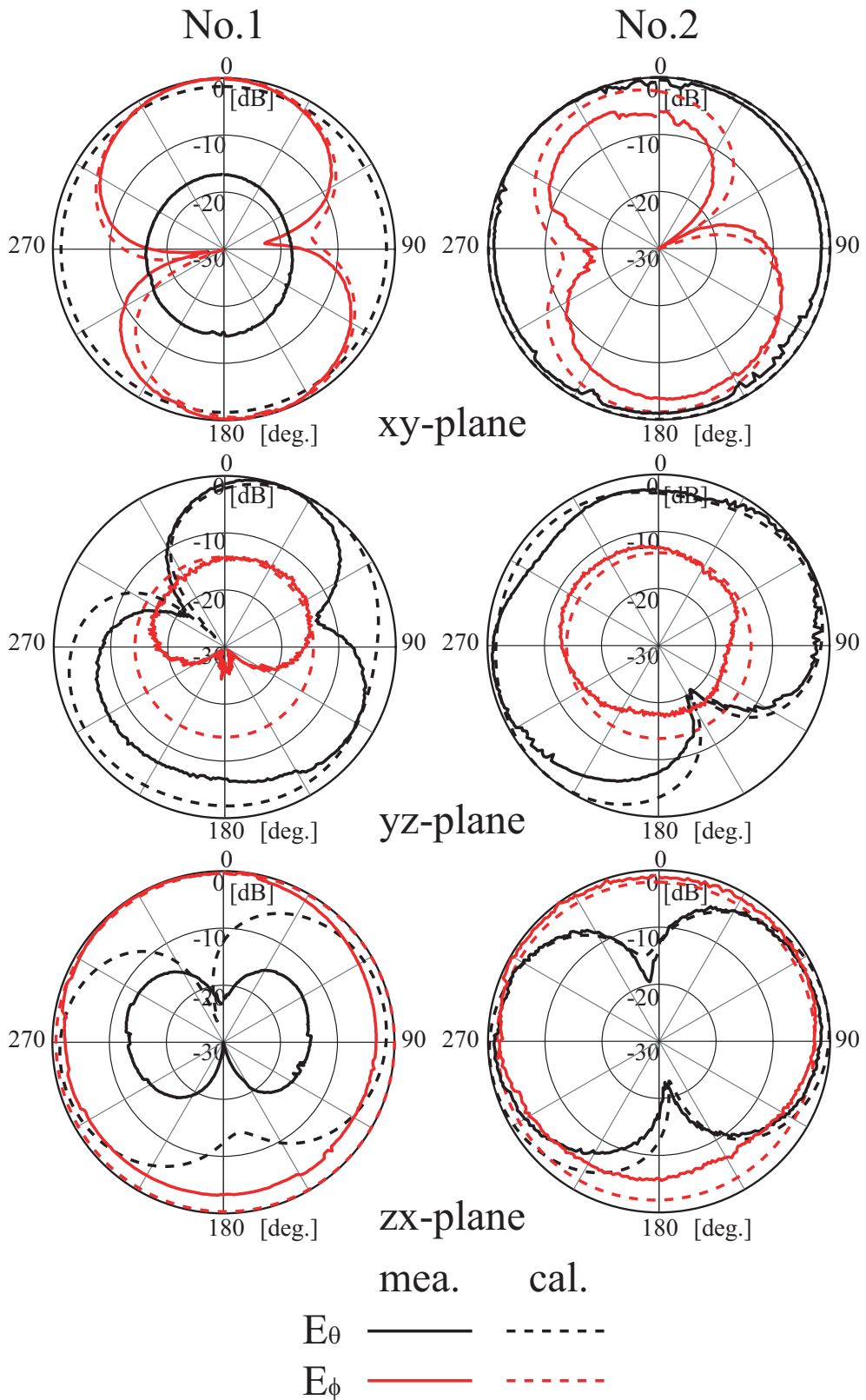


図 4.16: バズーカバランを用いた場合の放射指向性

### 4.2.3 平行配置の検討

小型折りたたみ型携帯サイズの地板上に，モノポールアンテナ 2 素子を平行配置した 3 つのモデル，図 4.17, 図 4.18, 図 4.19 について実験を行った．ここでは前で述べたようにバランの影響が考えられるので，給電ピンを直接接続する構造で実験を行った．

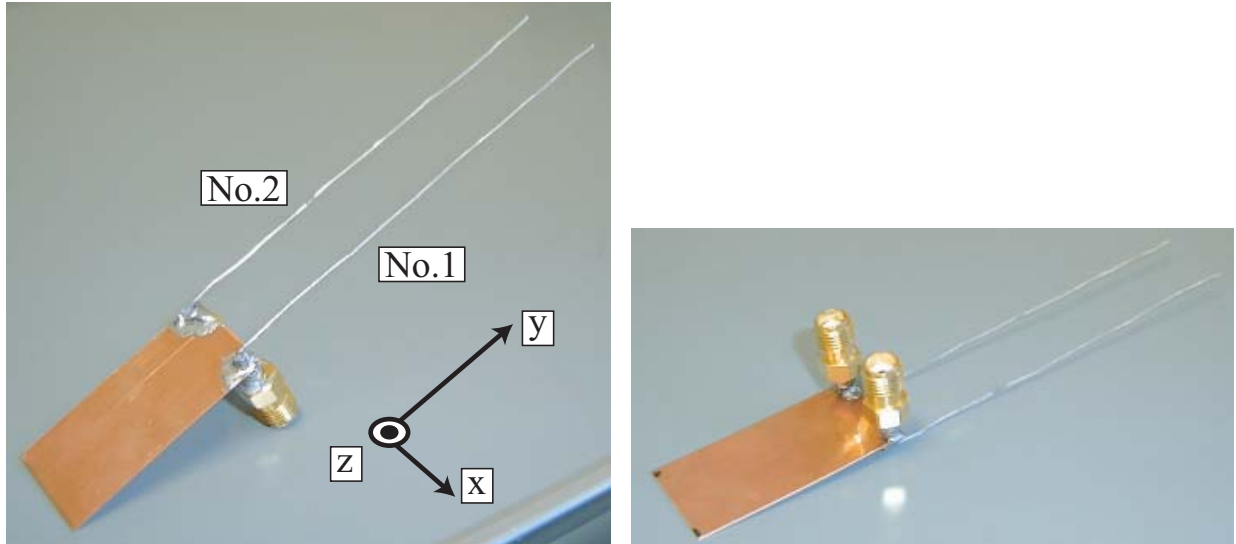


図 4.17: 平行配置時の写真

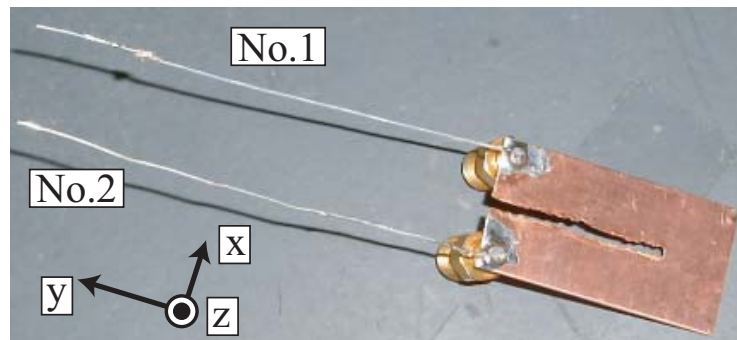


図 4.18: 地板にノッチを入れた場合の写真

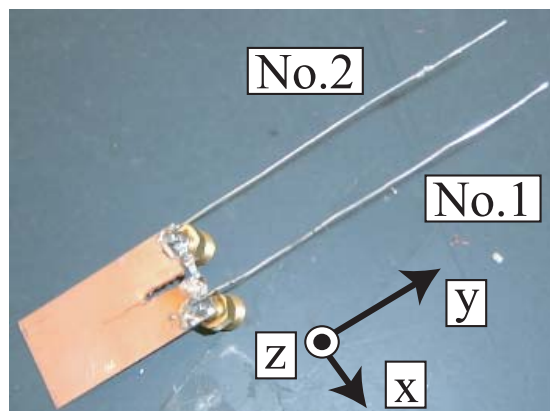


図 4.19: ノッチに C を装荷した場合の写真

ここで、直交に配置した場合にはギャップ給電解析モデルと比較を行ったが、給電部の影響が考えられるため、平行に配置した場合はコネクタ部などを考慮した図4.20のような解析モデルと比較を行った。まず、Sパラメータ特性は図4.21, 図4.22, 図4.23にし、それぞれのモデルのSパラメータはほぼ一致していると考えられる。また、放射指向性を図4.24, 図4.25, 図4.26に示す。実験とコネクタ部を考慮した解析モデルの放射指向性はほぼ一致することがわかった。

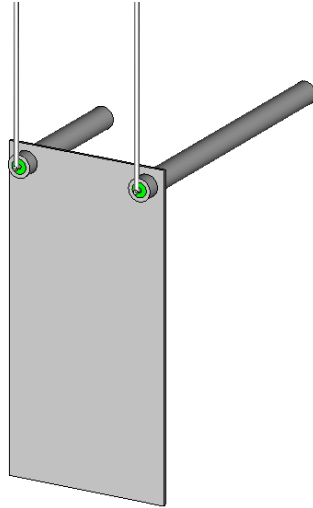


図 4.20: 平行配置時の給電部モデル

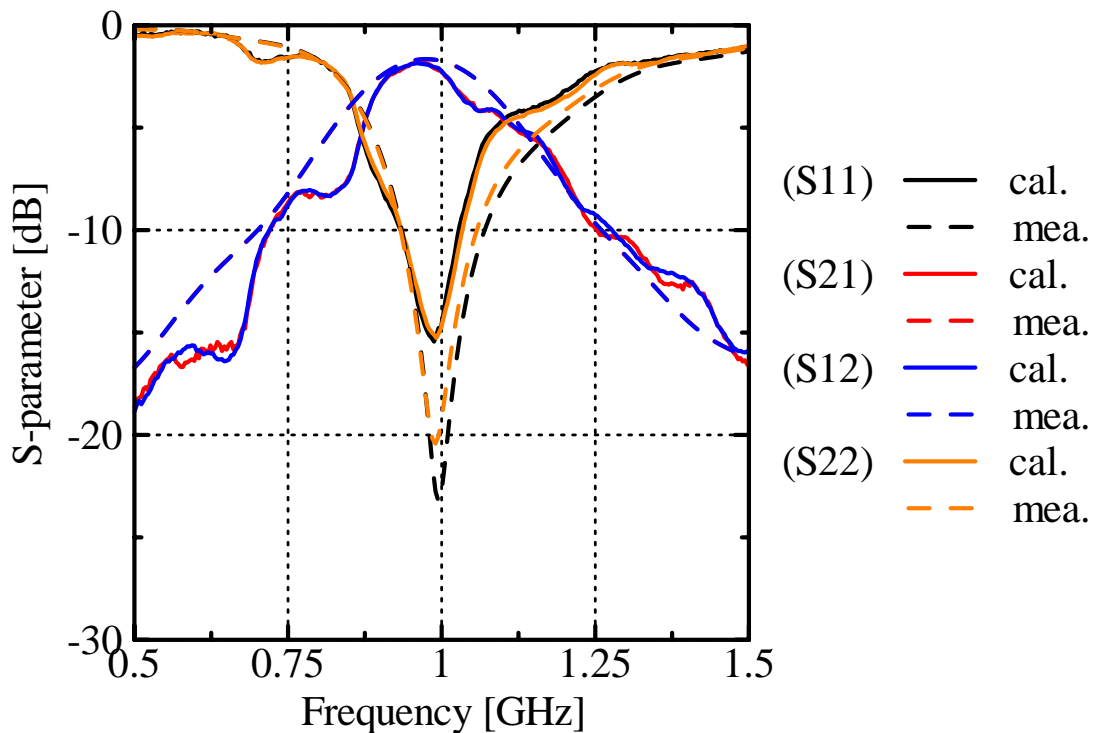


図 4.21: 平行配置時の S パラメータ

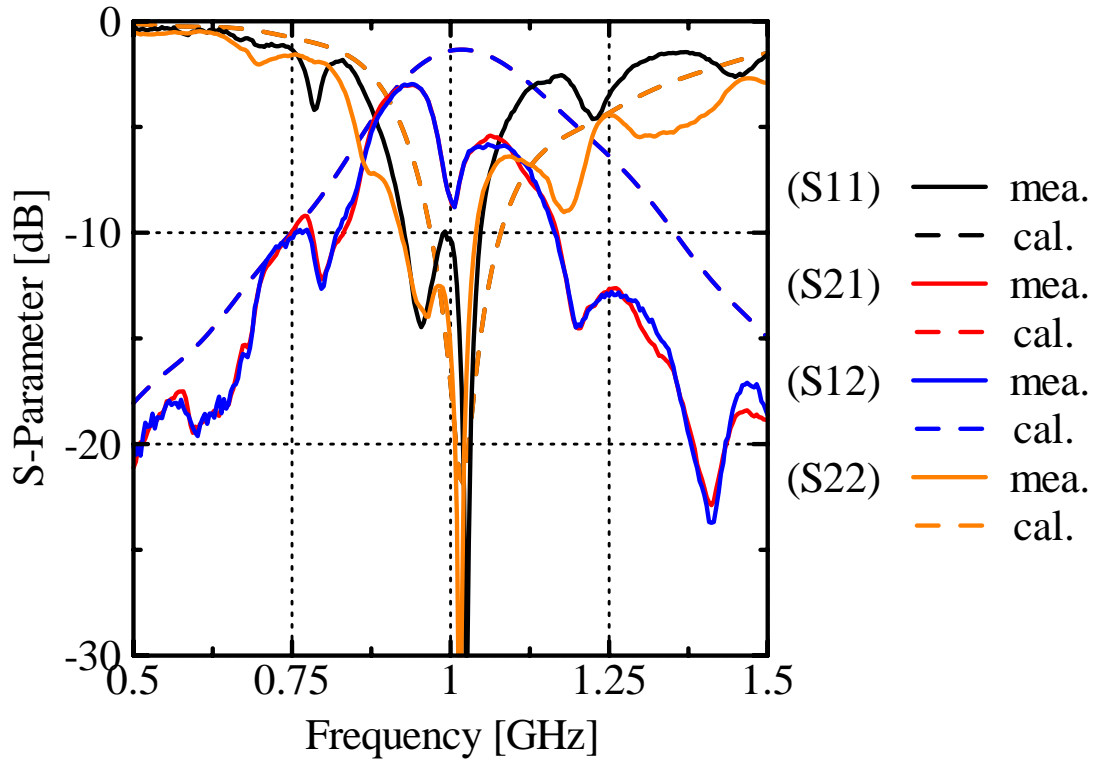


図 4.22: 地板にノッチを入れた場合の S パラメータ

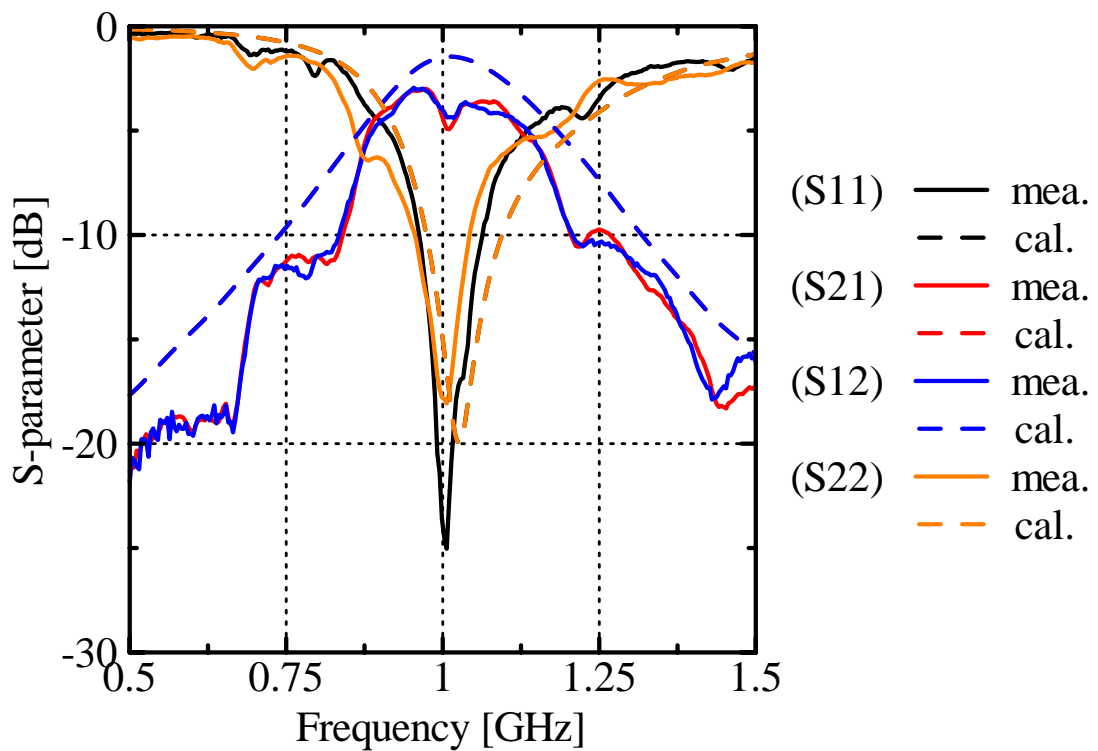


図 4.23: ノッチに C を装荷した場合の S パラメータ



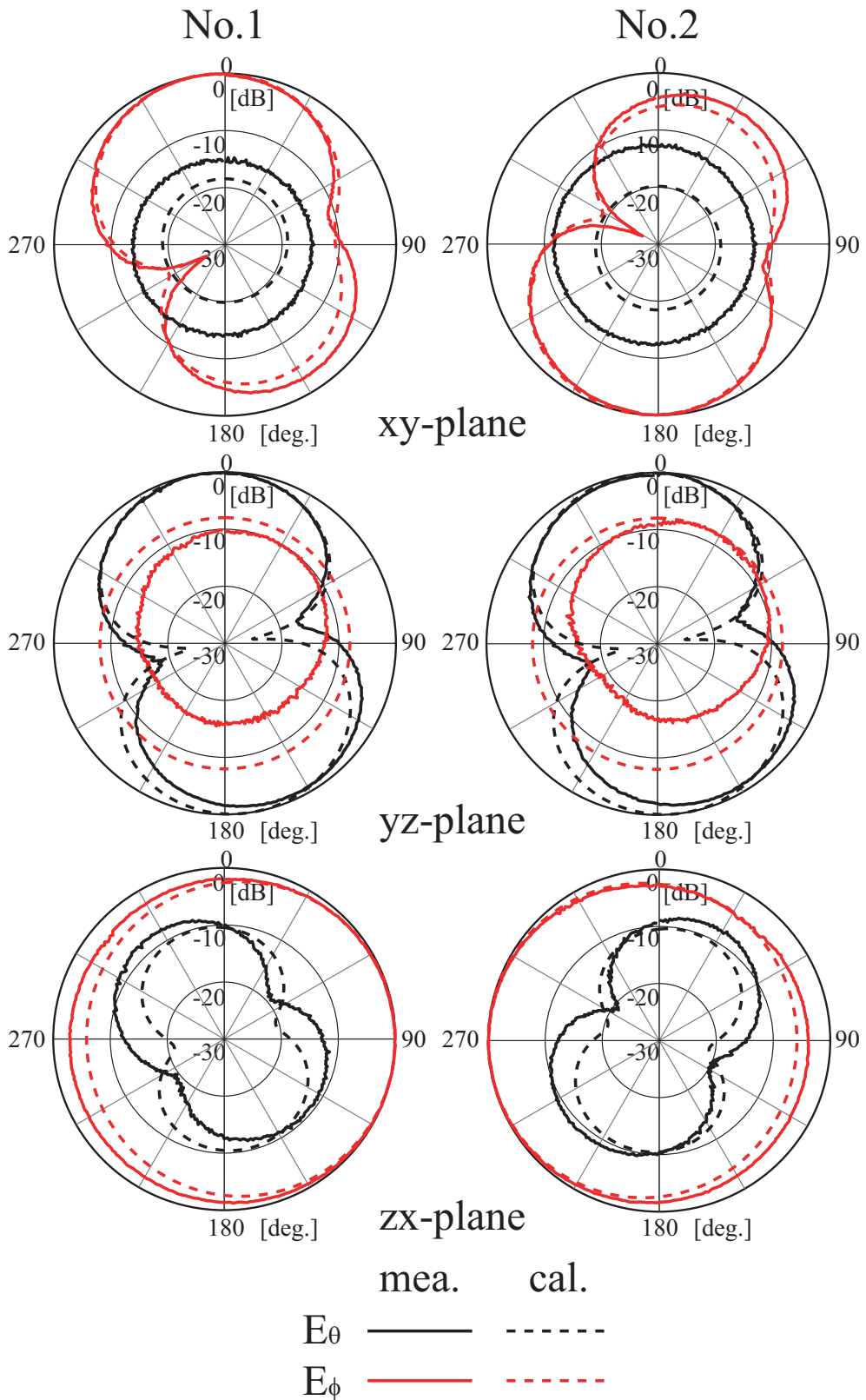


図 4.24: 平行配置時の放射指向性

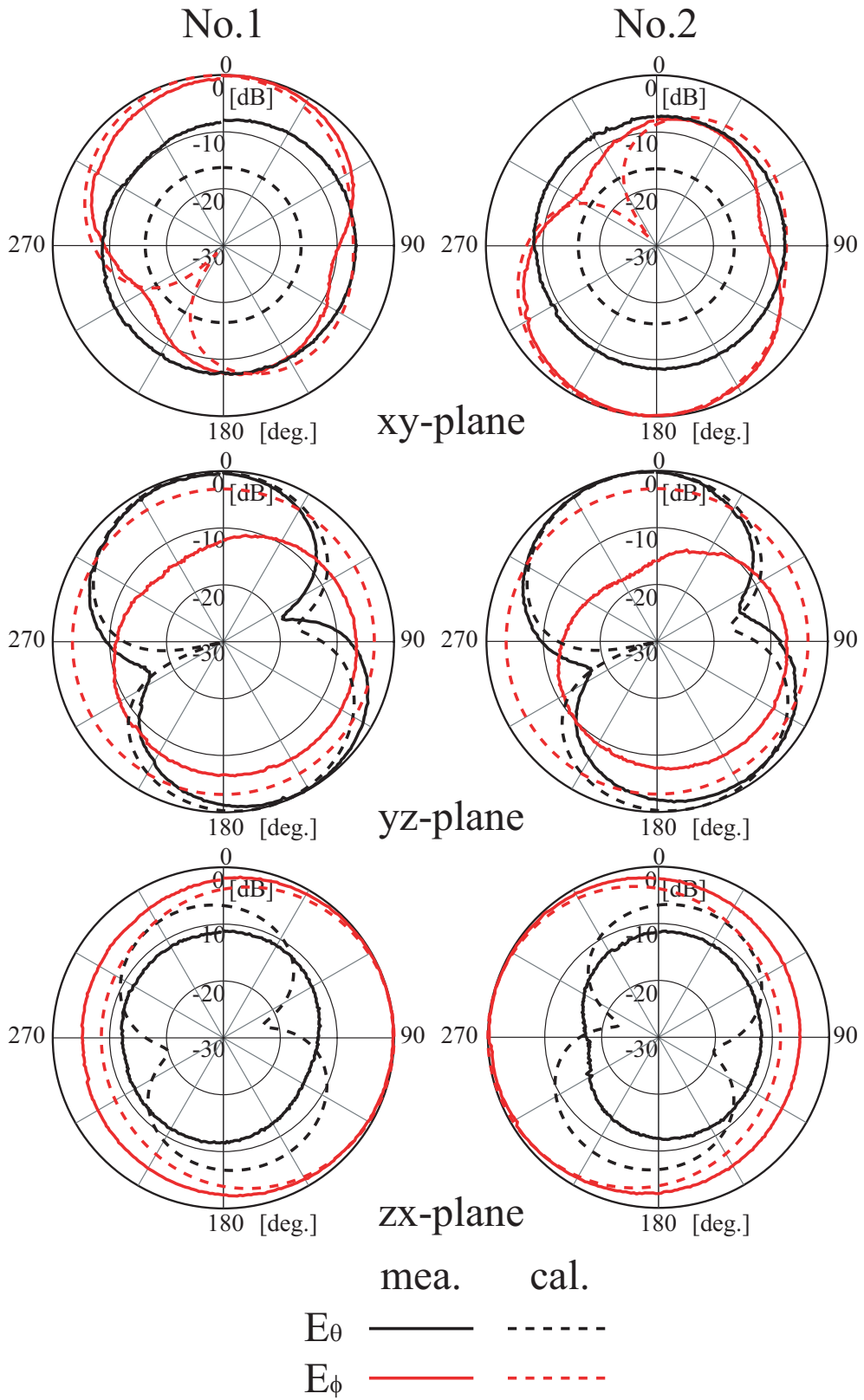


図 4.25: 地板にノッチを入れた場合の放射指向性

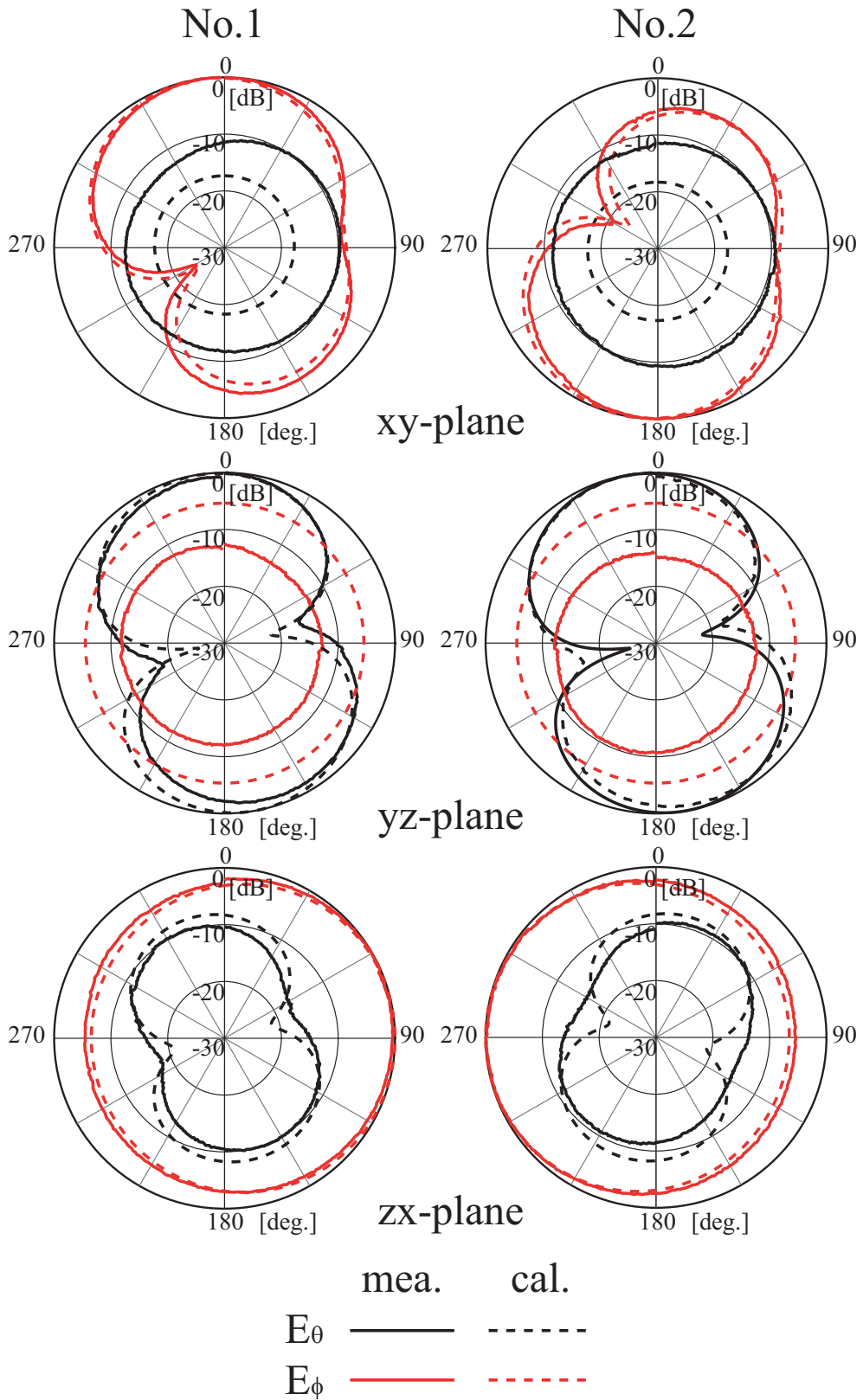


図 4.26: ノッチに C を装荷した場合の放射指向性

## 第 5 章

### 結論

本論文では小型筐体に取り付けられた複数アンテナの相関に関して、まずモノポールアンテナ 2 素子を用いてアンテナの配置について検討した。

- 平行に配置した場合には、2 素子間を離すに従って相関が低下することを確認した。
- 直交に配置した場合には、地板のサイズが大きい場合は低い相関が得られたが、地板のサイズが小さい場合は、地板上電流が大きくなり、給電していない素子にも電流が流れ、相関が高くなることを見出した。

次に小型地板の場合に相関を低下させる方法について検討した。

- アンテナの組み合わせの変更として、地板に電流の流れにくいダイポールアンテナとモノポールアンテナの組み合わせに対して、給電方向が互いに直交であると低い相関が得られることを確認した。
- 地板にノッチを入れた場合について、モノポールアンテナ 2 素子を平行配置したとき、長さ  $0.1\lambda$  以下のノッチを入れることで、指向性に位相差が生じるため低い相関が得られた。さらに、 $1pF$  のキャパシタンスをノッチに装荷すると、ノッチ長を  $0.05\lambda$  以下とさらに小型化が可能であることを明らかにした。

最後にアンテナの実装方法について検討した。

- ダイポールアンテナの給電を不平衡給電としたとき、給電していない素子にも電流が流れるため、平衡給電と比べて相関が高くなった。
- ダイポールアンテナの小型化として誘電体基板を利用することで、Vダイポールアンテナを用いたときと同様に、給電方向を直交とすることで低い相関が得られることを確認した。

- モノポールアンテナ 2 素子を用いた実験を行い，給電部の影響を受けにくい構造とすることで，実解析結果が一致することを確認した．

今後の課題として，アンテナの小型化や，実験においての相関の評価方法の検討などが挙げられる．

# 謝辞

本研究を進めるにあたり、厳しくかつ丁寧に御指導下さった新井宏之教授に深く感謝致します。さらに、研究に関する的確なアドバイスをいただいたた久我宣裕助教授、ソニー株式会社の森康平氏に深く感謝致します。また、論文においては防衛大学校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も深く感謝致します。

## 参考文献

- [1] Syuichi SEKINE, Hiroki SHOKI, Hisashi MORISHITA, “Antenna for Wireless Terminals,” IEICE, Trans. Commun., Vol.E86-B, No.3, pp.1005-1015, March 2003.
- [2] 森下久, “小型携帯端末用アンテナ:設計概念から将来展望まで,” 信学論 B, Vol.J88-B, No.9, pp.1601-1612, September 2005.
- [3] 多賀登喜雄, “並列配置ダイポールによる空間ダイバーシチ枝の特性,” 信学技報, AP91-17, pp.75-82, May 1991.
- [4] 常川光一, 鹿子嶋憲一, “小型筐体上水平アンテナ配置時のダイバーシチ効果解析,” 信学技報, AP89-37, pp.51-54, July 1989.
- [5] 常川光一, 鹿子嶋憲一, “小型筐体上水平配置ダイポールアンテナのダイバーシチ特性解析,” 信学論 (B-II), Vol.J75-B-II, No.9, pp.629-637, September 1992.
- [6] 多賀登喜雄, “移動通信環境における平均交差偏波電力比 (XPR) 測定法の検討,” 信学論 (B-II), Vol.J73-B-II, No.10, pp.536-545, October 1990.
- [7] 多賀登喜雄, “陸上移動通信環境におけるアンテナダイバーシチ相関特性の解析,” 信学論 (B-II), Vol.J73-B-II, No.12, pp.883-895, December 1990.
- [8] 小川晃一, 上野伴希, “ホイップと内蔵アンテナの結合による効率低下に対する考察,” 信学全大, B-128, March 1994.
- [9] 小川晃一, 上野伴希, “小型筐体に設置されたホイップと内蔵アンテナの相関特性解析,” 信学総大, B-164, March 1996.
- [10] 小川晃一, 上野伴希, “ホイップと板状逆 F アンテナで構成された携帯電話用ダイバーシチアンテナの解析,” 信学論 (B-II), Vol.J79-B-II, No.12, pp.1003-1012, December 1996.
- [11] Yoshihide YAMADA, Kenichi KAGOSHIMA, Kouichi TUNEKAWA, “Diversity Antennas for Base and Mobile Stations in Land Mobile Communication Systems,” IEICE, Trans. Commun., Vol.E74-B, No.10, pp.3202-3209, October 1991.

- [12] 齊藤広隆, 村本充, 大西直樹, “携帯電話器用ダイバーシチアンテナに関する実験的検討,” 信学技報, AP98-193, February 1999.
- [13] Masanobu HIROSE, Masayasu MIYAKE, “A New Structure of Antenna System in a Handset Enhancing Antenna Gain by Passive Loading – The Case for  $\lambda/4$  Monopole Antenna –,” IEICE, Trans. Commun., Vol.E77-B, No.7, pp.956-961, July 1994.
- [14] 深沢徹, 児玉賢一郎, 牧野滋, “二つ折り筐体を利用した携帯電話用ダイバーシチアンテナ,” 信学技報, AP2002-78, July 2002.
- [15] 小堤直樹, 前田忠彦, “地上波デジタル放送の受信を目的とした携帯電話用アンテナ,” 信学ソ大, B-1-31, September 2004.
- [16] 小堤直樹, 浅川公男, 前田忠彦, “地上波デジタル放送受信との共用化を図った携帯電話用アンテナの放射特性,” 信学技報, AP2004-207, January 2004.
- [17] 久我宣裕, 新井宏之, “平面型マルチセクタアンテナ,” 信学総大, SB-1-8, March 1997.
- [18] H. K. Schuman, D. R. Pflug and L. D. Thompson, “Infinite Planar Arrays of Arbitrarily Bent Thin Wire Radiators, IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol.32, No.4, pp.364-377, April 1984.
- [19] A. J. Fenn, “Element gain pattern prediction for finite arrays of V-dipole antennas over ground plane, IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol.32, No.4, pp.364-377, April 1984.
- [20] 中村隆, 本庄崇浩, “円偏波用支柱付一点給電クロスVダイポール,” 信学技報, AP2000-148, December 2000.
- [21] 関根秀一, 庄木裕樹, 辻村彰宏, 前田忠彦, 澤谷邦男, “2周波共用アンテナを考慮した切込みによる筐体上電流の制御,” 信学論 B, Vol.J88-B, No.9, pp.1700-1709, September 2005.
- [22] 深沢徹, 大塚昌孝, 牧野滋, 砂原米彦, “バランを省略した携帯電話上のダイポールアンテナの特性,” 信学技報, AP2004-54, July 2004.
- [23] 深沢徹, 大塚昌孝, 牧野滋, 砂原米彦, “携帯電話上のダイポールアンテナに対するバラン省略の条件,” 信学総大, B-1-139, March 2005.
- [24] Yongho KIM, Hisashi MORISHITA, Yoshio KOYANAGI, Kyohei FUJIMOTO, “A Folded Loop Antenna System for Handsets Developed and Based on the Advanced



Design Concept, ” IEICE, Trans. Commun., Vol.E84-B, No.9, pp.2468-2475, September 2001.

[25] 江川潔, 大賀忠, 伊藤英雄, “携帯無線機用 U 字ダイポールアンテナの検討,” 信学総大, B-1-78, March 2000.

[26] 新井宏之, “新アンテナ工学,” 総合電子出版社, 1996.

## 発表文献

- [1] 中山祐治, 道下尚文, 新井宏之, 森康平, “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,” 信学ソ大, B-1-144, September 2004.
- [2] 中山祐治, 新井宏之, “折り返しモノポールアンテナの整合条件と地板上電流に関する検討,” 信学総大, B-1-61, March 2005.
- [3] Yuji Nakayama, Hiroyuki Arai, Kohei Mori, “A STUDY OF PLACEMENT AND COMBINATION OF TWO ANTENNAS ON ELECTRICALLY SMALL GROUND PLANE,” ISAP2005, POS-A-07, August 2005
- [4] 中山祐治, 新井宏之, 森康平, “小型地板上の複数アンテナの配置と組み合わせに関する検討,” 信学ソ大, B-1-146, September 2005.
- [5] 中山祐治, 新井宏之, 森康平, “ノッチを入れた小型地板上アンテナ間の相関に関する検討,” 信学総大, B-1-43, March 2006. (発表予定)
- [6] Naobumi Michishita, Yuji Nakayama, Hiroyuki Arai, Kohei Mori, “3 BEAM SWITCHED TOP LOADED MONOPOLE ANTENNA,” ISAP'04, 2B4-5, August 2004.
- [7] Naobumi MICHISHITA, Yuji NAKAYAMA, Hiroyuki ARAI, Kohei MORI, “Three Beam Switched Top Loaded Monopole Antenna,” IEICE Trans. Commun. Vol.E88-B, No.6, pp.2291-2296, June 2005.