

# アンテナ固定具を用いた放射パターンの測定

2007MI089 亀澤 陽介 2009SE233 太田 吉樹 2009SE269 鈴木 竜郎

指導教員：奥村 康行

## 1 はじめに

近年、ネットワークの急速な発達により通信容量が増加し、通信速度の向上を求められるようになった。その中でもアンテナはあらゆる無線通信のシチュエーションにおいて必要不可欠で重要な役割を担っている。先行研究 [1] では、モーメント法を使用したシミュレーションを行い、測定ではアンテナを回転台で回し、アンテナ軸からの角度を  $5^\circ$  ずつに分けて実験値を求めた。そして今後の課題として、測定環境・条件を見直し、半波長ダイポールアンテナと八木・宇田アンテナの放射パターンについて、確度及び再現性が確保された測定を行うことが挙げられた。また、先行研究では、アンテナ固定具を用いて測定しておらず、回転台を回す角度が  $5^\circ$  だった。そこで本研究では、アンテナ固定具を用いた測定を行い、回転台を回す角度を  $5^\circ$  から  $3^\circ$  にする。その変更点により、先行研究よりも確度及び再現性が確保された測定ができる。シミュレーション値と実験値との誤差を最小限にすることを旨とする。本研究ではシミュレーションについては FDTD 法を用いた。

## 2 測定項目と測定方法

本章ではアンテナの測定項目と測定方法について述べる。

### 2.1 放射パターン

アンテナの特性を示すものとして、伝送路の終端に接続された回路としての電気的特性（回路特性）と外部空間に対する電波の放射や受信波の特定（放射特性）が存在する。放射特性の測定は最もアンテナ測定を特徴づけるものであり、その代表的なものとして指向性がある。放射パターンの具体例を図 1 に示す。

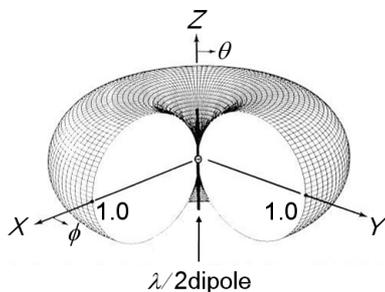


図 1 半波長ダイポールアンテナの放射パターン [6]

### 2.2 指向性

アンテナから放射される電波は放射する方向により強弱が異なる。この性質を指向性または指向特性といい、最大

放射方向と任意の方向との同一距離における電界強度をそれぞれ  $E_0, E$  とするとき、その任意の方向の指向性係数または指向性関数  $D$  は、角度の関数となり、式 (1) のように表される。

$$D = \frac{E}{E_0} \quad (1)$$

指向性を表すには、アンテナを原点に置いた座標軸を設け、各方向の電界強度の大きさに従った座標点の軌跡を描いて図形的に表し、水平面と垂直面に分けた平面図が用いられる。それらを水平面内指向性および垂直面内指向性という。指向性がなく、 $D = 1$  の特性を無指向性、図形がアンテナをはさんで対称形となる特性を双方向指向性、どちらか片方のみかまたは極端に差がある場合を単方向指向性という。半波長ダイポールアンテナの水平面内指向性は 8 の字型になる双方向指向性となり、垂直面内指向性は無指向性となる。また八木・宇田アンテナは単方向指向性となる [4]。

### 2.3 測定方法

今回の実験の放射パターン測定を行うモデルを図 2 に示す。放射される電波を正確に測定するために障害物の少ない屋外で測定を行う。人の反射を防ぐためにアンテナからの距離をとる。地面からも電波の反射があるため 2 つの発泡スチロールを用いて地面との距離を置く。1 つの発泡スチロールの上には送信機を置き、もう一つの発泡スチロールの上には回転台を置き、その上に被測定アンテナを置く。半波長ダイポールアンテナは水平面と垂直面を測定し、八木・宇田アンテナは水平面を測定する。送信機はアンテナの水平面と垂直面に合わせて送信する。今回の実験では、アンテナと人との距離を 20m、アンテナと送信機の距離を 5.12m とした。送信機からは 422MHz の電波が発信されているので、それをアンテナで受信する。アンテナをスペクトラム・アナライザにつなぎ、送信機から受けるアンテナの信号レベル [dBm] を測定する。アンテナは回転台の上に置かれているので  $3^\circ$  ずつ回転させて  $360^\circ$  分繰り返す。

## 3 シミュレーション

本章では半波長ダイポールアンテナと八木・宇田アンテナの放射パターンについてのシミュレーションを述べる。

### 3.1 FDTD 法

FDTD 法とは、数値電磁解析の分野における主要な解析手法のひとつである。マクスウェルの微分方程式を差分化し、時間領域で解く手法でシミュレーションを行う。まず解析領域全体を微小直方体に分割し、全セルに対し

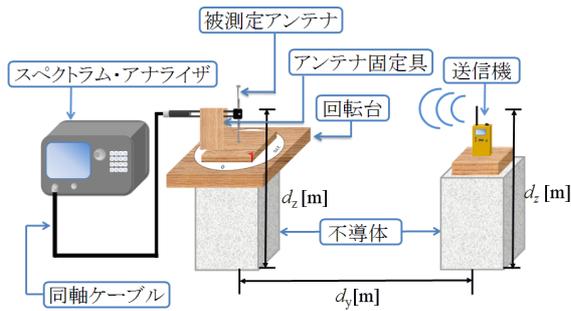


図2 放射パターン測定システム

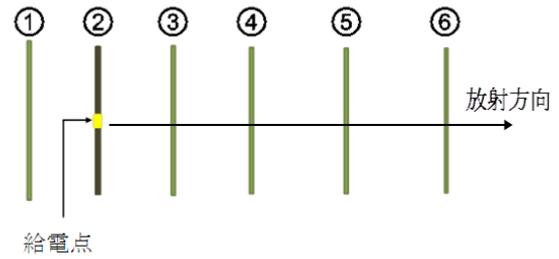


図4 八木・宇田アンテナのシミュレーションモデル

てマクスウェルの方程式を適用して定式化を行う．その基本は Yee アルゴリズムと呼ばれる手順からなる．時間領域で得られた結果をフーリエ変換を用いて周波数領域に変換し表示する．FDTD 法は差分が基本であるためセルサイズが細かければ細かいほど精度の高い結果を得ることができる．タイムステップ数は3周期分の371回繰り返す．今回の実験では，特定小電力無線機を使用するため周波数は422MHzを使用する．解析領域のサイズは  $x = 140[\text{cm}], y = 140[\text{cm}], z = 140[\text{cm}]$  であり，セルサイズは  $\Delta x = 1[\text{cm}], \Delta y = 1[\text{cm}], \Delta z = 1[\text{cm}]$  である [3]．

### 3.2 半波長ダイポールアンテナのシミュレーション

422MHzの半波長ダイポールアンテナのモデルを図3に示し，表1はシミュレーションのパラメータ表を示す．

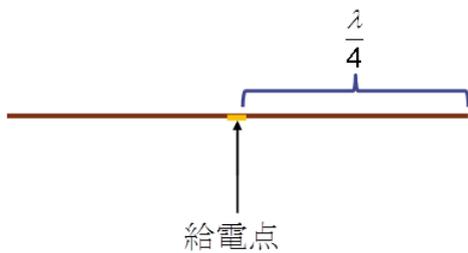


図3 半波長ダイポールアンテナのモデル

表1 シミュレーションのパラメータ

エレメントの長さ [cm]	17.4
タイムステップ数	371
周波数 [MHz]	422
吸収境界条件	PML7層
電圧 [V]	1

### 3.3 八木・宇田アンテナのシミュレーション

6エレメントの422MHzの八木・宇田アンテナのシミュレーションモデルを図4，パラメータを表2に示す．

表2 八木・宇田アンテナのパラメータ

エレメント	1	2	3	4	5	6
長さ [mm]	330	306	292	288	285	281
直径 [mm]	3.2	2.0	3.2	3.2	3.2	3.2
1からの距離 [mm]	0	107.5	215	340	490	665
地面からの距離 $d_z$ [m]	1.39					

## 4 実験条件

本章ではアンテナの放射パターンを測定した実験条件を述べる．

### 4.1 半波長ダイポールアンテナ

図5は実験で用いた半波長ダイポールアンテナを示す．ダイポールアンテナとは，線状導体の中央から高周波電流を給電するアンテナであり，アンテナの全長が波長の半分の長さのダイポールアンテナを，半波長ダイポールアンテナという．今回の実験で使う半波長ダイポールアンテナはバズーカバランで作製してあり，バランがあることにより特性インピーダンスが無限になる．このことにより，正確な放射パターンの測定が可能になる [2]．



図5 半波長ダイポールアンテナ

## 4.2 八木・宇田アンテナ

給電されている放射器と無給電の反射器および導波器により構成されたアンテナを八木・宇田アンテナという。鋭い指向性を得られるので、一般に UHF までの固定通信や TV の受信用に用いられる。TV の受信用アンテナでは、入力インピーダンスの整合を容易にするためや、広帯域性を持たせるために、素子を太くしたり、放射器の形を折り返し形や扇形に変えたりする。狭帯域の単一指向性であり、高利得なアンテナといえる。また、本研究で使用した八木・宇田アンテナを図 6 に示す [2]。

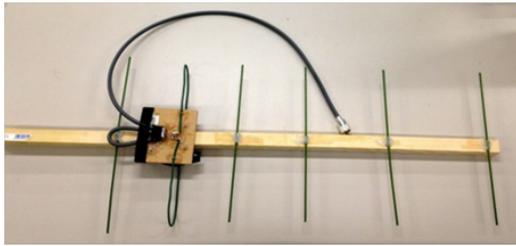


図 6 八木・宇田アンテナ

## 4.3 アンテナ固定具

本研究の目的である放射パターンの正確な測定を行うために必要である。今回のアンテナ固定具は八木・宇田アンテナ、半波長ダイポールアンテナに対応するように参考文献 [7] を参考にして作製した。また、アンテナ固定具を作製するにあたってアンテナ固定具自身から電波の反射を防ぐために、導体を用いず木材などの不導体のみで作製した。このアンテナ固定具を図 7 に示す。

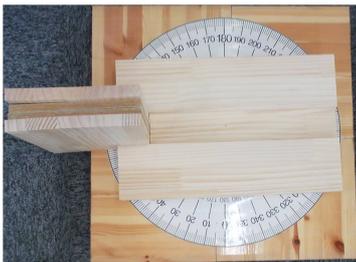


図 7 アンテナ固定具

## 4.4 実験環境

表 3 は実験を行った条件を示している。

## 5 結果と考察

本章ではアンテナの動作確認をネットワークアナライザで確認したうえで、放射パターン測定の実験結果を先行研究とシミュレーションで比較し、それに対する考察を述べる。

表 3 測定条件

被測定アンテナ	半波長ダイポールアンテナ 八木・宇田アンテナ
送信機	特定小電力無線機
測定ステップ [deg]	3
地面からの被測定アンテナの高さ $d_z$ [m]	1.39
アンテナと送信機の距離 $d_y$ [m]	5.12
測定システムと建物の距離 [m]	20.0 以上
測定場所	瀬戸キャンパスグラウンド

## 5.1 アンテナの動作確認

アンテナの動作確認を行うために、反射係数を求める。反射係数とは電圧及び電流の程度を表す。それを (2) 式に表す。 $S_{11}$  は反射係数、 $V_r$  は反射電圧、 $V_f$  は入射電圧を表す。図 8 は半波長ダイポールアンテナと八木・宇田アンテナの反射係数をネットワークアナライザで測定したものである。反射係数が 422MHz の時に半波長ダイポールアンテナは-20.5dB、八木・宇田アンテナは-21.4dB を示している。-20dB 以下の値を示している。よって、半波長ダイポールアンテナと八木・宇田アンテナはアンテナとして機能していることを示し、この二つのアンテナで放射パターンが測定できることを表している [4][5]。

$$S_{11} = 20 \log_{10} \left| \frac{V_r}{V_f} \right| \quad (2)$$

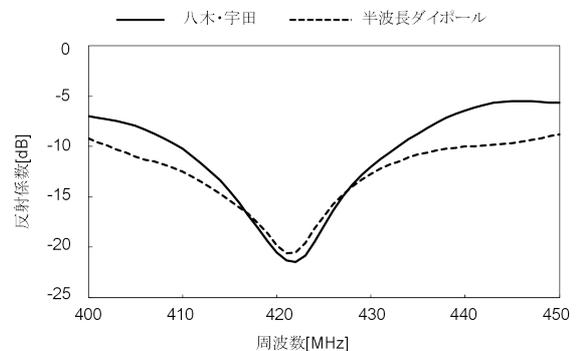


図 8 アンテナの反射係数

## 5.2 先行研究の比較 [1]

半波長ダイポールアンテナについて水平面内指向性と垂直面内指向性のシミュレーション値と実験結果を比較したグラフを図 9 と図 10 に示す。八木・宇田アンテナについて一般的に用いる水平面内指向性のシミュレーション値と実験結果を比較したグラフを図 11 に示す。グラフの実線と破線はそれぞれシミュレーション値と実験結果を表す。またここで実験結果は、先行研究と同様に 10 回の実験結果を平均化した値である。

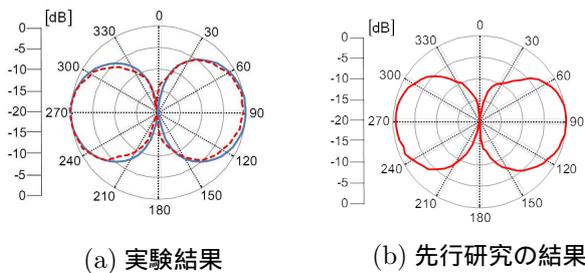


図 9 半波長ダイポールアンテナ水平面内指向性

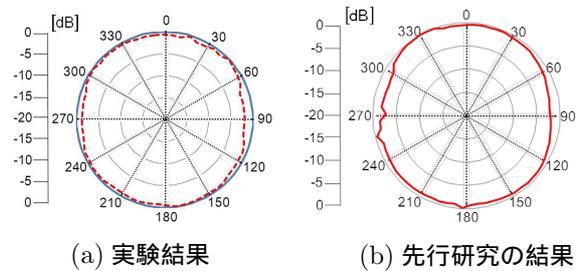


図 10 半波長ダイポールアンテナ垂直面内指向性

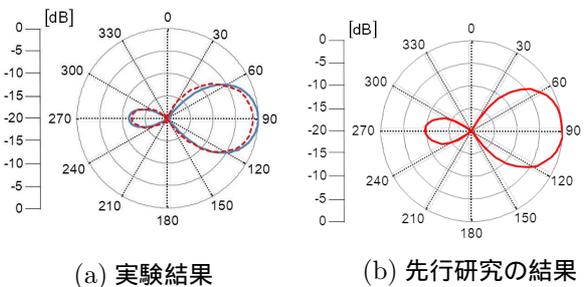


図 11 八木・宇田アンテナ水平面内指向性

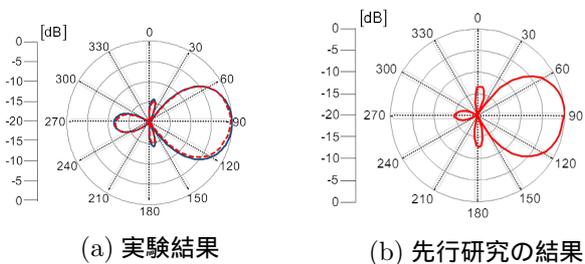


図 12 八木・宇田アンテナ垂直面内指向性

### 5.3 比較と考察

半波長ダイポールアンテナについて、シミュレーション値（実線）と実験結果（破線）の水平面内指向性、垂直面内指向性を比較する。そこで、測定ステップを $3^\circ$ ずつでのシミュレーション値と実験値の誤差の平均をとると、図 9 より水平面内指向性は $0.11\text{dB}$ 、図 10 より垂直面内指向性は $0.83\text{dB}$ となった。先行研究の結果と比較を行うと誤差の平均が水平面内指向性では $0.01\text{dB}$ 良い結果が得られ、垂直面内指向性では $0.13\text{dB}$ 良い結果が得られた。同様に八木・宇田アンテナについてシミュレーション値（実線）と実験結果（破線）の水平面内指向性を比較すると、誤差の平均は図 11 より $1.12\text{dB}$ 、図 12 より垂直面内指向性は

$1.06\text{dB}$ となった。先行研究の結果と比較を行うと誤差の平均は水平面は $0.11\text{dB}$ 、垂直面は $0.88\text{dB}$ 良い結果が得られた。これらの結果から、半波長ダイポールアンテナ、八木・宇田アンテナ共にほぼ誤差のない測定ができています。本研究で作製したアンテナ固定具を使用して以上の結果が得られたことから、測定回数 10 回分の確度と再現性が確保できたといえる。以上より本研究で作製したアンテナ固定具は良好な結果を示した。

## 6 まとめと今後の課題

本研究では先行研究で課題として残っていた放射パターンについて、より確度及び再現性を確保するという問題点の解決に着目した。本研究ではアンテナ固定具を用いることによって、先行研究の問題点であった確度及び再現性の向上を解決することを目的とした。アンテナ固定具を作製するにあたって、先行研究からの簡易で安価な測定方法を前提としている。したがって、アンテナ固定具自身から電波の反射が起こらないように木材などの安価な不導体を中心に作製した。シミュレーション結果と先行研究の結果、アンテナ固定具を用いた実験結果を比較し検証した。検証した結果、シミュレーション値とアンテナ固定具を用いて測定した実験結果の誤差は半波長ダイポールアンテナの場合 $0.47\text{dB}$ 、八木・宇田アンテナの場合 $1.09\text{dB}$ であった。先行研究とアンテナ固定具を用いた実験結果の誤差は半波長ダイポールアンテナの場合 $0.07\text{dB}$ 、八木・宇田アンテナの場合 $0.49\text{dB}$ よくなった。これらの結果より、本研究の目的である確度の向上はアンテナ固定具を用いることによって果たせたと考える。

今後の課題として、測定回数を 10 回分の確度及び再現性が確保できたので、測定回数を増やして確度及び再現性が正しいことを確認する。

## 参考文献

- [1] 栗林 哲也, 榊原 拓馬, 高橋 知秀, “放射パターン測定システムの構築法に関する研究,” 2011 年度南山大学数理情報学部情報通信学科卒業論文, 2012.
- [2] 電子情報通信学会, アンテナ工学ハンドブック第 2 版, オーム社, 東京, 2008.
- [3] 宇野 亨, FDTD 法による電磁場およびアンテナ解析, コロナ社, 東京, 2006.
- [4] 吉川 忠久, 無線工学 B, 東京電気大学出版局, 東京, 2000.
- [5] 石井 望, アンテナ基本測定法, コロナ社, 東京, 2011.
- [6] Constantine A. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design Third Edition, Wiley-Interscience, 2005.
- [7] Karl F. Warnick, “Wireless Demonstration System: 2010 Student Design Challenge Second Prize Paper,” IEEE Antennas and Propagation Magazine, pp.208-219, Vol.54, No.2, April 2012.