

# 放射パターン測定システムの構築法に関する研究

2008MI119 栗林 哲也

2008MI202 榊原 拓馬

2008MI240 高橋 知秀

指導教員 奥村 康行

## 1 はじめに

近年、スマートフォンやカーナビゲーションをはじめとする無線機器や、無線LANを使用したインターネットのサービスが爆発的に普及し、無線通信は現代社会において、なくてはならないものとなっている。人々が無線通信のサービスを受けるには、無線機器による電波の送受信が必要不可欠であり、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重要な役割を担っている。つまり、アンテナの確度及び再現性すなわち、信頼性が求められている。そこでアンテナの作製プロセスに着目する。アンテナの作製には、ユーザーの要求から始まり、アンテナの実現まで一連のプロセスがあり、その中には様々な工程が存在する。このプロセスにおいて、本研究ではアンテナ自体の信頼性を確保するアンテナ測定の部分に焦点をおき、放射パターン測定システムの構築法の研究に従事する。

## 2 測定システムの課題と解決策

放射パターン測定システムを構築するにおいて、以下の課題が挙げられる。

- ① 測定システムの構築は高コストになる
- ② 測定システムの確度及び再現性の確保

測定システムは各測定器が高性能な精密機器で構成されている。そのため、測定システムの構築を行うと、莫大なコストが掛かる。そこで①の解決策として、各測定器の1つである回転台を低コストの材料で作製する。材料として低コストな木材を使用することにより、簡易かつ安価な測定システムの構築を目指す。また、測定システムの構築に向けて、実験で扱う被測定アンテナも自作することにより、コストを抑える。

また、背景で述べたように、アンテナの信頼性を確保するためには、測定システムの確度及び再現性の確保が不可欠である。確度の確保には、周囲の建物や地面からの電波の反射を防がなければならない。再現性の確保には、同じ測定環境・条件で測定を繰り返して、各実験値を比較し、それらの誤差が極力発生しないようにしなければならない。そこで②の解決策として、回転台を電波の反射を防ぐ不導体である木材中心に作製する。そして、周囲に建物や人などの導体が少ない場所で屋外実験を行う。また地面からの反射を防ぐため、被測定アンテナと地面間の距離を不導体を用いて十分にとる。これらのことを考慮して、システムの確度及び再現性を確保する。本研究では、求めたシミュレーション値と実験値を比較するため、シミュレーションを行い、①と②の課題を解決した測定システムの構築を目指す。

## 3 放射パターンの測定技術

### 3.1 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性(放射特性)が存在する。放射特性の測定はもっと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。[1][6]

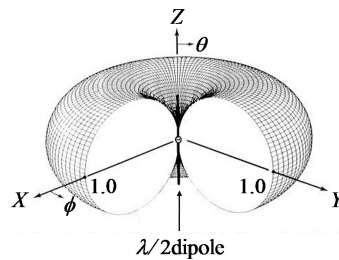


図1 半波長ダイポールアンテナの放射パターン

### 3.2 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さが異なる。この性質を指向性または指向特性という。指向性を表すには、アンテナを原点においた座標軸を設け、各方向の電界強度の大きさに従った座標点の規制を描いて、図形的に表す。一般には、水平面、垂直面に分けた平面図が用いられ、それらを水平面内指向性、垂直面内指向性という。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  $E_0$ [V/m]、 $E$ [V/m] とする時、 $D$ をその任意の方向の指向性係数とし、これらには式(1)の関係がある。[7]

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

### 3.3 測定方法

図2は放射パターン測定システムの構造を示したものである。送信機から放射された電波を被測定アンテナが受信する。被測定アンテナを設置した回転台を回し、アンテナ軸からの角度を  $\theta$  度ずつに分けて実験値を求める。被測定アンテナとして、半波長ダイポールアンテナや八木・宇田アンテナなどが挙げられる。通常アンテナの指向性は遠方測定で行われるため、送信機から送信された電波が被測定アンテナに平面波として入射するように、送信機と被測定アンテナの距離  $d_s$ [m] を十分とる必要がある。十分な平面波とするためには、周囲の建物、人などからの反射を極力小さくしなければならない。さらに、電波の反射は地面からもあるので、地面から送信

機までの高さや地面から被測定アンテナまでの高さが等しく十分な距離  $d_z$ [m] が必要になる。よって、早朝や夜など比較的人通りが少ない時間帯で、周囲に導体の少ない学内運動場にて測定を行い、被測定アンテナの水平面内指向性・垂直面内指向性の両放射パターンについて調べる。

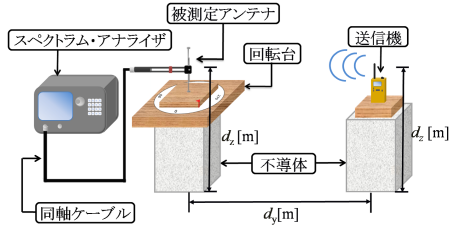


図2 放射パターン測定システム

## 4 シミュレーションと実験

### 4.1 シミュレーション解析

#### 4.1.1 モーメント法によるシミュレーション解析

モーメント法とは、目的とする構造物(主にアンテナ)に対する微分方程式や積分方程式を連立方程式に変形し、数値的に解く方法である。本研究では、被測定アンテナとして採用した半波長ダイポールアンテナと八木・宇田アンテナをモーメント法を用いて、シミュレーション解析を行う。[2][4]

#### 4.1.2 半波長ダイポールアンテナのシミュレーション

図3は、422MHzの半波長ダイポールアンテナのモデル、表1はこのアンテナのパラメータ表を示す。

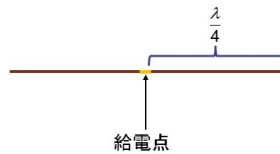


図3 半波長ダイポールアンテナのモデル

表1 半波長ダイポールアンテナのパラメータ

周波数 [MHz]	422
エレメントの長さ ( $\lambda/4$ )[mm]	174
エレメントの直径 [mm]	8
地面からの高さ $d_z$ [m]	1.21, 1.36

#### 4.1.3 八木・宇田アンテナのシミュレーション

図4は6エレメントの430MHzの八木・宇田アンテナのモデル、表2はこのアンテナのパラメータを示す。[4][5]

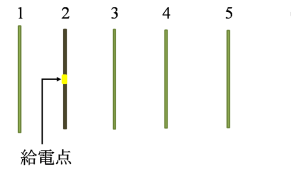


図4 八木・宇田アンテナのモデル

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
地面からの高さ $d_z$ [m]	1.22, 1.45					

## 4.2 実験

### 4.2.1 実験機器

#### (a) 半波長ダイポールアンテナ

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。作製した半波長ダイポールアンテナを図5に示す。[7]



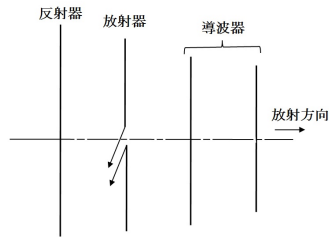
図5 半波長ダイポールアンテナ

#### (b) 八木・宇田アンテナ

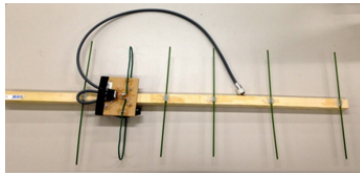
図6(a)のように給電されている放射器と無給電の反射器および導波器により構成されたアンテナを八木・宇田アンテナという。鋭い指向性を得られるので、一般にUHFまでの固定通信やTVの受信用に用いられる。TVの受信アンテナでは、入力インピーダンスの整合を容易にするためや、広帯域性を持たせるために、素子を太くしたり、放射器の形を折り返し形や扇形に変えたりする。狭帯域の単一指向性であり、高利得なアンテナといえる。また、本研究で作製した八木・宇田アンテナを図6(b)に示す。[7]

#### (c) アンテナ回転台

アンテナ回転台には、方位方向に回転するAzポジション (azimuth positioner)、仰角方向に回転するElevationポジション (elevation positioner) など様々な種類が存在する。本研究では平面波の水平面内指向性と垂直面内指向性の2種類の放射パターンを測定するので、アンテナ回転台として、Azポジションの形式を参考に簡易な回転台を作製する。回転台を作製するにあたって、回転台自身から電波の反射を防ぐために導体を用いず、木材を中心に不導体のみ材料を用いる。また人体を使った測定など、様々なシチュエーションで放射パターンを測定することを予測し、直径55cmの大きさで設計する。この



(a) 構造図



(b) 作製したアンテナ

図6 八木・宇田アンテナ

回転台を図7に示す．[6]

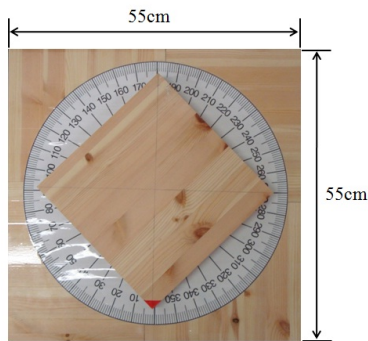


図7 アンテナ回転台

#### 4.2.2 アンテナの動作確認

本研究では、簡易かつ安価な測定システムを目指す上で、被測定アンテナとして作製した半波長ダイポールアンテナと八木・宇田アンテナについての動作確認を行う必要がある。そこで、それぞれのアンテナに対して、ベクトルネットワークアナライザを用いた反射係数  $S_{11}$  の測定を行い、反射係数が-20dB以下であることを確認する。反射係数が-20dBであることはアンテナが正確に動作していることを表す。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示しており、両アンテナともそれぞれの設計周波数において共振し、反射係数が-20dB以下の確保が確認された。[3]

#### 4.2.3 測定条件

図2の放射パターン測定システムに基づいて測定を行う際の条件を表3に示す。

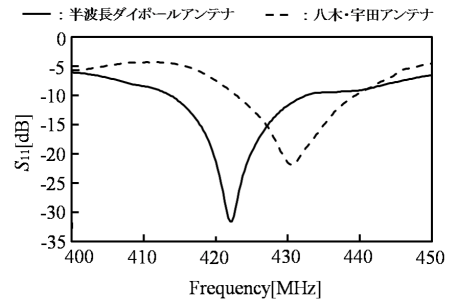


図8 反射係数  $S_{11}$  の測定結果

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	5°
$d_z$	1.21m, 1.36m 1.22m, 1.45m
$d_y$	5.12m
測定システムと建物の距離	20.0m 以上
測定場所	瀬戸キャンパスグラウンド

## 5 結果と考察

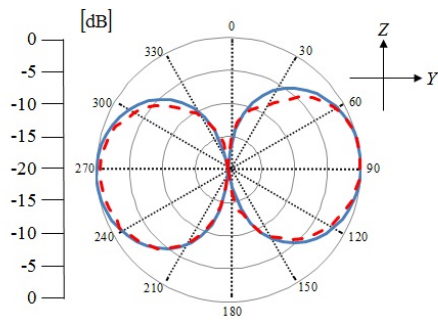
### 5.1 シミュレーション値と実験値の比較

半波長ダイポールアンテナと八木・宇田アンテナについて、それぞれの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それぞれ図9(a), (b)と図10(a), (b)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値を表す。またここでの実験値は、10回の実験結果を平均化した数値である。[3]

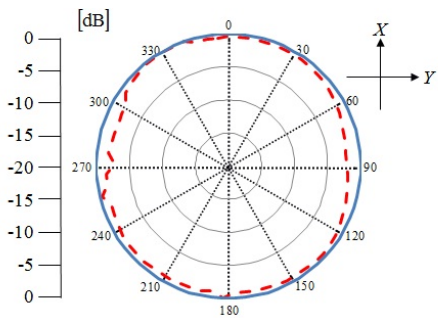
### 5.2 比較と考察

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)と実験値(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5°刻み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(a)より水平面内指向性は0.12dB、図9(b)より垂直面内指向性は0.96dBとなった。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)と実験値(破線)の水平面内指向性、垂直面内指向性を比較すると、誤差の平均は、図10(a)より1.23dB、図10(b)より1.94dBとなった。

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。本研究の簡易な測定システムで以上の結果を得られたことから、ある程度の確度と再現性が確保できたといえる。以上の結果より、本研究で構築した測定システムは主旨良好な結果を示した。

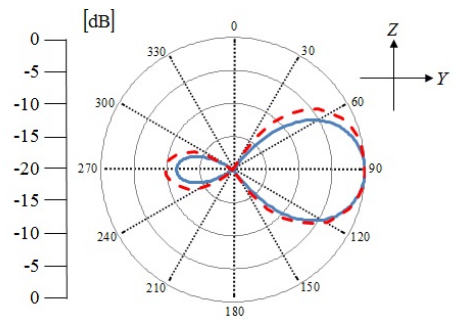


(a) 水平面内 (YZ 平面) 指向性

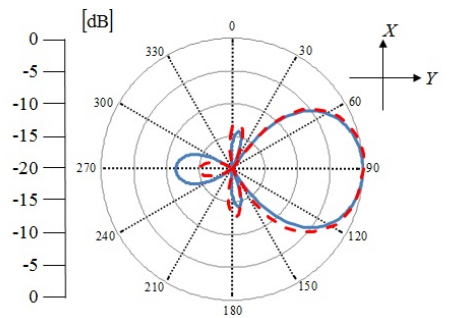


(b) 垂直面内 (YX 平面) 指向性

図9 半波長ダイポールアンテナの放射パターン



(a) 水平面内 (YZ 平面) 指向性



(b) 垂直面内 (YX 平面) 指向性

図10 八木・宇田アンテナの放射パターン

## 6 今後の課題

今後の課題として、実験結果から測定環境・条件を見直し、各アンテナの放射パターンについてより精度及び再現性が確保できた測定を行うことが挙げられる。また、本研究では2種類のアンテナだけの測定に留まってしまったので、アレーアンテナやパイコニカル・アンテナをはじめとした、様々なアンテナの放射パターンの測定も行い、構築した測定システムの信頼性を高めなければならない。

そして、これらの課題を解決した暁には、人体や障害物を使用するなどの様々なシチュエーションでの測定を行い、簡易かつ安価であり、精度及び再現性が確保された測定システムの構築を目指す。

## 7 まとめ

本研究では、アンテナの信頼性を測る上で重要な測定システムを放射パターンの面から着目した。そこで、簡易で安価かつ精度及び再現性が確保された放射パターン測定システムの構築を目指した。システムのコストを下げる為、測定機器の一部である回転台と被測定アンテナ(半波長ダイポールアンテナと八木・宇田アンテナ)を安価な材料で作製した。また、測定システムの精度及び再現性を確保する為、測定機器を不導体中心に構成した。この測定システムを用いて、被測定アンテナの放射パターンの水平面内・垂直面内指向性について求めた実験

値とシミュレーション値を比較し、検証した。

検証した結果、シミュレーション値と実験値の誤差は、それぞれ半波長ダイポールアンテナの場合 0.54dB、八木・宇田アンテナの場合 1.58dBであった。これらの結果より、構築した簡易な測定システムは良好な結果を示した。

## 参考文献

- [1] Constantine A. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design Third Edition, Wiley-Interscience, 2005.
- [2] FEKO ホームページ, <http://www.feko.info/>.
- [3] 石井望, アンテナの基本測定法, コロナ社, 東京, 2011.
- [4] Roger F. Harrington, Field Computation by Moment Methods, John Wiley & Sons, INC, 2000.
- [5] 田中宏, 新・手作りアンテナ入門, CQ 出版社, 2001.
- [6] 手代木扶, "アンテナ測定法の基礎と実際", アンテナ・伝搬研究専門委員会電子情報通信学会, アンテナ・伝搬における設計・解析手法ワークショップ (第14回), 1999.
- [7] 吉川忠久, 無線工学 B, 東京電気大学出版局, 東京, 2000.