

# 地上デジタルテレビ放送波の屋内伝搬環境の数値解析

井上 真豪<sup>†</sup> 陳 強<sup>†</sup> 澤谷 邦男<sup>†</sup> 坂内 功治<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 東北大学大学院工学研究科 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

<sup>‡</sup> 八木アンテナ株式会社 〒337-8502 埼玉県さいたま市見沼区蓮沼 1406

E-mail: <sup>†</sup> {inogo, chenq, sawaya}@ecei.tohoku.ac.jp, <sup>‡</sup> sakauchi.koji@yagi.h-kokusai.com

**あらまし** 地上デジタルテレビジョン放送受信アンテナを屋内に設置し、最適な受信環境を実現するためには、電波環境に適した受信アンテナの設置位置と指向性を設計する必要がある。また、屋内における放送波の電波環境を調べる必要がある。本報告では、簡単な部屋のモデルを想定し、レイトレーシング法を用いて、平面波入射の屋内電界強度分布を解析し、評価した。

**キーワード** 地上デジタルテレビ放送波, 屋内環境

## Numerical analysis of electromagnetic environment of terrestrial digital broadcasting for indoor reception

Shingo INOUE<sup>†</sup> Qiang CHEN<sup>†</sup> Kunio SAWAYA<sup>†</sup> and Kouji SAKAUCHI<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> Faculty of Engineering, Graduate school of Engineering, Tohoku University 6-6-05 Aoba, Aramaki-za, Aoba-ku, Sendai, 980-8579 Japan

<sup>‡</sup> YAGI ANTENNA INC. 1406 Hasunuma, Minuma-ku, Saitama-shi, Saitama, 337-8502 Japan

E-mail: <sup>†</sup> {inogo, chenq, sawaya}@ecei.tohoku.ac.jp, <sup>‡</sup> sakauchi.koji@yagi.h-kokusai.com

**Abstract** To locate receiving antenna for terrestrial digital broadcasting in the indoor environment and realize the most suitable receiving environment, it is required to design the appropriate setting location and directionality of receiving antenna. Also it is required to examine the electromagnetic environment of terrestrial digital broadcasting in the indoor environment. In this report, the electromagnetic field distribution obtained by numerical analysis of the indoor models with the ray-tracing method, is evaluated and discussed.

**Keyword** terrestrial digital broadcasting, indoor reception

### 1. 背景

近年、地上デジタルテレビジョン放送用の受信アンテナの普及が進み、様々な環境下に受信アンテナを設置することが想定され、屋内に設置する場合も考えられる。通常、屋外用受信アンテナは見通し環境に設置されるため、指向性アンテナが用いられる。しかし、屋内に受信アンテナを設置する場合、見通し外環境に設置する場合を考慮しなければいけないため、受信アンテナの設置位置、アンテナの指向性について検討する必要がある。

地上デジタルテレビジョン放送受信アンテナを屋内に設置し、最適な受信環境を実現するためには、電波環境に適した受信アンテナの設置位置と指向性を設計し、また、屋内における放送波の電波環境を調べる必要がある。本報告では、簡単な住宅の部屋のモデルを想定し、レイトレーシング法を用いて、部屋モデルに平面波を入射した場合の屋内電界強度分布を解析

し、その結果を評価した。また、部屋モデル内に指向性アンテナを配置した場合の受信電界強度を解析した結果を述べる。

### 2. 屋内電界強度分布の解析

本節では、簡単な部屋モデルを想定し、レイトレーシング法を用い、部屋モデルに平面波を入射した場合の屋内電界強度分布を解析し、その結果を評価する。

#### 2.1. 解析モデル

住宅の部屋として図1の解析モデルを仮定する。部屋の壁は完全導体板で構成されており、壁の中心に窓が配置されている。また、部屋の内外は真空とする。入射波は、水平偏波の平面波であり、 $h_2+h_3/2$ の高さでx方向から窓の中心に水平入射する。解析はFEKO(高周波近似法)を用いて行った。入射波の電界強度は1V/m、計算時間、メモリを考慮して、最大回折回数を

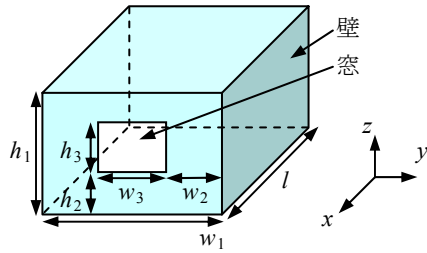


図1 部屋のモデル

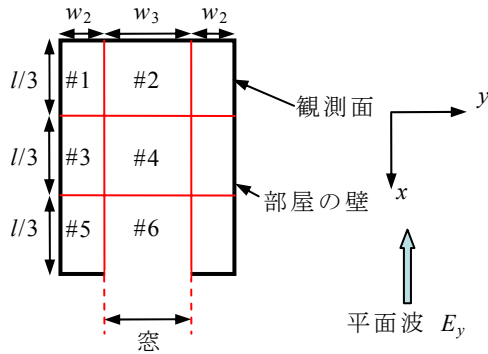


図2 観測面の分割

1回、最大反射回数を4回とする。

部屋モデル内部の電界強度分布の特徴を考察するために、図2に示すように部屋の奥行き $l$ を3等分、横幅 $w_1$ を見通し環境(LOS)と見通し外環境(NLOS)の部分に分けるために3分割し、計9つの領域に分け、それぞれの領域内での電界強度分布の累積分布(cumulative distribution function, CDF)を求める。観測面は、高さ $h_2+h_3/2$ の $xy$ 平面とし、観測点は5cm間隔で $x$ 軸方向に53点、 $y$ 軸方向に71点設ける。なお、屋内電界強度分布は $x$ 軸方向に対して対称となるので、図2の右側の見通し外環境部分のCDFによる評価は省略する。

## 2.2. 屋内電界強度分布

$w_1 = 2.6\text{m}$ ,  $w_2 = 0.55\text{m}$ ,  $w_3 = 1.5\text{m}$ ,  $h_1 = 3.0\text{m}$ ,  $h_2 = 1.0\text{m}$ ,  $h_3 = 1.0\text{m}$ ,  $l = 3.5\text{m}$ の部屋モデルに590MHz, 610MHzの平面波を入射したときの観測面における屋内電界強度分布を図3, CDFを図4に示す。入射波の周波数が590MHzの場合、図3(a), 図4(a)より、明らかにLOS環境である#2, #4, #6の電界強度の方がNLOS環境である#1, #3, #5の電界強度に比べて大きい。610MHzの場合、図3(b), 図4(b)より、NLOS環境の電界強度が、NLOS環境のものより大きくなった。

このモデルにおいて、550MHzから650MHzに10MHz間隔で周波数を変化させると、20MHz間隔で590MHzの場合のようなLOS環境の電界強度の方が大きい場合と610MHzの場合のようなNLOS環境の電界強度の方が大きい場合が繰り返し現れた。これにより、屋内

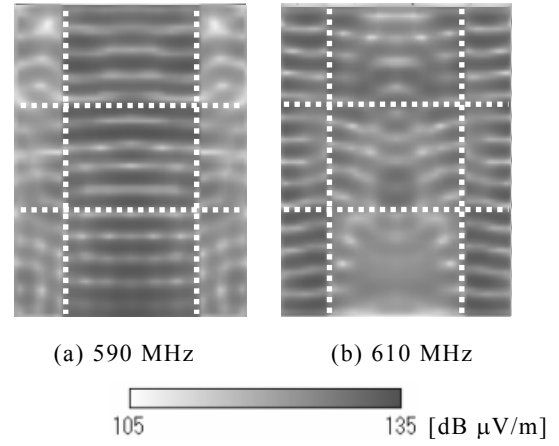
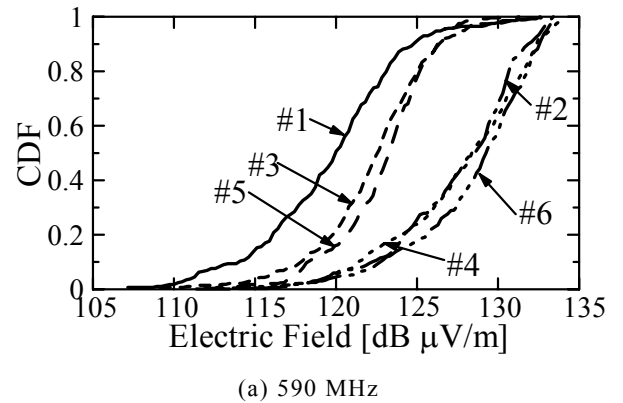
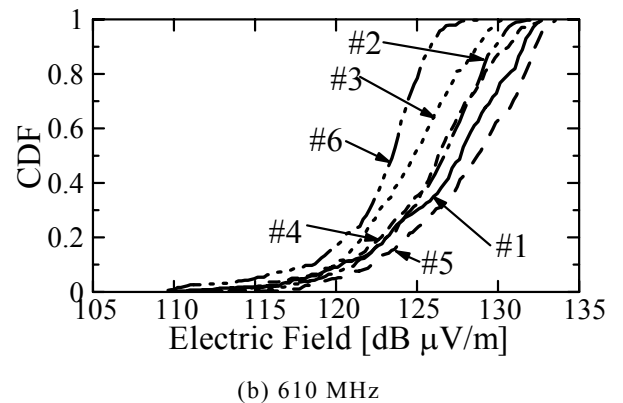


図3 屋内電界強度分布



(a) 590 MHz



(b) 610 MHz

図4 各領域の電界強度のCDF

の電界強度は一定の繰り返し周波数(この部屋モデルでは40MHz)間隔でLOS環境の電界強度が大きくなると考えられる。

## 2.3. 屋内電界強度分布と部屋モデルサイズの関係性の評価

2.2で用いた部屋のモデルにおいて、電界強度を調べた結果、電界強度のCDFが周波数に強く依存し、40MHz間隔で周期的に変化したが、この周波数は部屋モデルの奥行き $l = 3.5\text{m}$ を半波長としたときの周波数42.9MHzに概ね一致している。このことから、屋内電

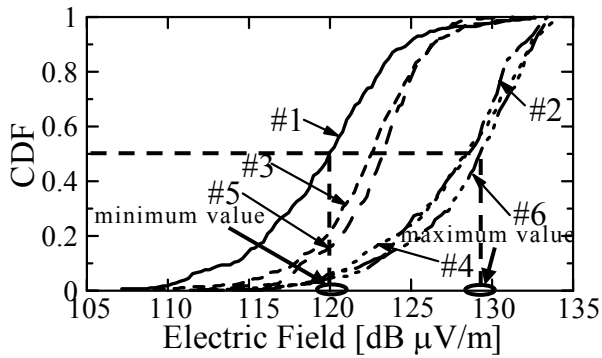


図5 屋内電界強度分布と部屋モデルサイズの関係性の評価方法

界強度分布は部屋モデルの奥行きに依存して変化すると考えられる。

そこで、入射波の周波数を一定にし、部屋モデルの寸法を変化させた場合の屋内電界強度分布と部屋モデルサイズとの関係性を、図5のようにCDFの中央値が最大となる領域の電界強度と最小となる領域の電界強度の周波数特性によって評価した。

#### 2.4. 奥行き $l$ を変化した場合の解析結果

入射波の周波数を550から650MHzに変化させたときの、部屋の奥行き  $l$  を3.5m, 3.7m, 3.9mとしたCDFの中央値の最大値と最小値の周波数特性はそれぞれ図6, 図7となった。なお、部屋モデルの他の寸法は2.2のものと同様である。

図6よりCDFの中央値の最大値は、 $l$ が3.5m, 3.7m, 3.9mのとき、それぞれ43MHz, 42MHz, 39MHzの繰り返し周波数で振動している。同様に図7では、CDFの中央値の最小値は、それぞれ42MHz, 40.5MHz, 38MHzの繰り返し周波数で振動している。これらの読取値は、部屋モデルの奥行き  $l$  が半波長となる周波数、 $l$  が3.5m, 3.7m, 3.9mのとき、それぞれ42.9MHz, 40.5MHz, 38.4MHzといった計算値と概ね一致した。

#### 2.5. 横幅 $w_1$ を変化した場合の解析結果

入射波の周波数を550から650MHzに変化させたときの、部屋の横幅  $w_1$  を2.6m, 3.0m, 3.5mとしたCDFの中央値の最大値と最小値の周波数特性はそれぞれ図8, 図9となった。なお、部屋モデルの他の寸法は2.2のものと同様である。

図8よりCDFの中央値の最大値は、 $w_1$ が2.6m, 3.0m, 3.5mのとき、それぞれ43MHz, 43MHz, 49MHzの繰り返し周波数で振動している。同様に図9では、CDFの中央値の最小値は、それぞれ42MHz, 42.5MHz, 47MHzの繰り返し周波数で振動している。これらの読取値は、部屋モデルの奥行き  $l$  が半波長となる周波数、42.9MHzとなり、概ね一致した。これらの結果から、

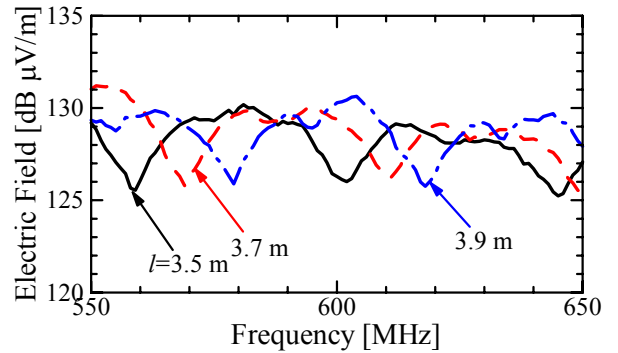


図6  $l$  を変化したときの CDF の中央値の最大値

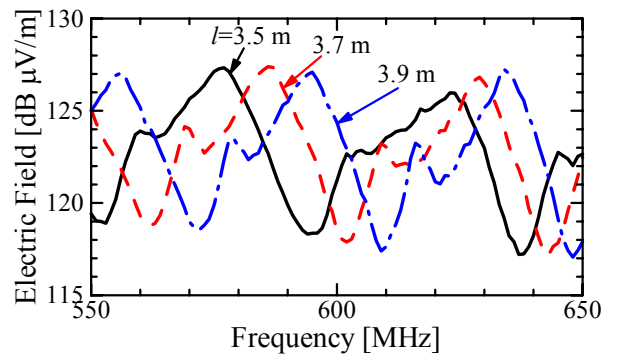


図7  $l$  を変化したときの CDF の中央値の最小値

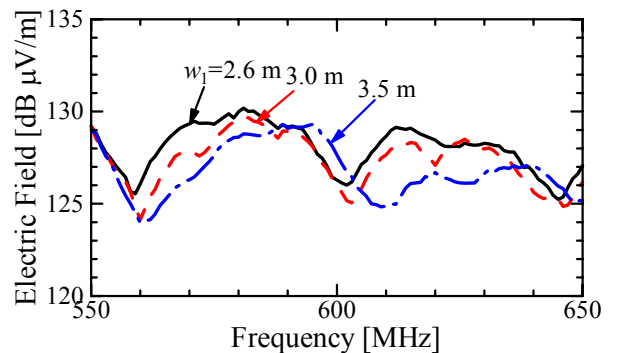


図8  $w_1$  を変化したときの CDF の中央値の最大値

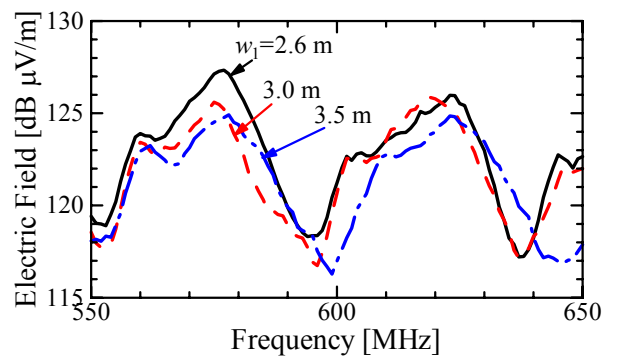


図9  $w_1$  を変化したときの CDF の中央値の最小値

部屋モデルの内部の電界強度分布は部屋の奥行きに依存して変化しているが、横幅からは影響が受けないと考えられる。

### 3. アンテナ指向性の影響

本節では、部屋モデルの内部に指向性アンテナを設置し、電波を入射した場合の受信電界強度を、レイトレーシング法により解析した。

#### 3.1. 解析モデル

部屋モデルは図 10 のような構成で、寸法は 2.2. と同様とするが、解析ソフトに RapLab を用いたため、壁の材質は金属板とする。観測点、入射波源の配置は図 10 に示す。観測点は部屋の床から高さ 1.5m の  $xy$  平面に  $5 \times 5$  点配置し、また、受信アンテナには八木・宇田アンテナと標準ダイポールアンテナを使用し、 $\phi$  方向に  $5^\circ$  間隔で回転させ、設置する角度による受信電界強度の特性を解析し、比較する。これらのアンテナの指向性パターンを図 11 に示す。また、八木・宇田アンテナの利得は  $12\text{dBi}$ 、標準ダイポールアンテナの利得は  $2.15\text{dBi}$  である。入射波源も同様に部屋の床から高さ 1.5m の  $xy$  平面に配置する。波源にはオムニアンテナを使用し、給電電力は  $1\text{W}$ 、周波数は  $590\text{MHz}$  とする。

受信アンテナは  $\phi$  方向に  $5^\circ$  間隔で回転させ、設置する角度による受信電界強度の特性を解析する。

#### 3.2. 指向性アンテナの受信電界強度

図 10 における観測点 #1, #2 に設置された受信アンテナの受信電界強度はそれぞれ図 12(a), (b) のようになった。設置位置 #1 では、ダイポールアンテナの受信電界強度は非常に小さく、八木・宇田アンテナの受信電界強度も  $+x$  方向に向けて設置されている場合のほうが、 $-x$  方向に向けて設置されている場合よりも受信電界強度が大きくなった。設置位置 #2 においては、概ね八木・宇田アンテナのほうがダイポールアンテナよりも受信電界強度が大きいが、 $-y$  方向に向けて設置した場合、ダイポールアンテナの方が受信電界強度が大きくなった。

これらの結果から、指向性アンテナの設置位置、設置角度によって、受信電界強度が大きく異なってくることがわかった。地上デジタルテレビ放送の受信アンテナを設計する際には、これらを考慮しなければならない。

### 4. まとめ

レイトレーシング法を用いて、簡単な住宅の部屋のモデルを作成し、平面波を入射した場合の屋内電界強度分布を解析した。屋内電界強度の CDF は入射波の周波数に依存して、一定間隔で周期的に変化するが、この周波数は部屋の奥行きによって決まる。また、部屋モデルの内部に指向性アンテナを設置し、電波を入射

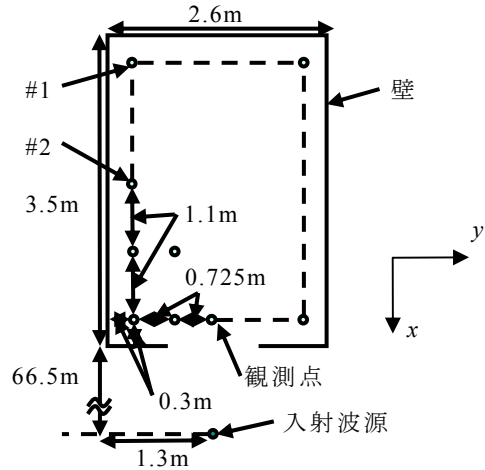
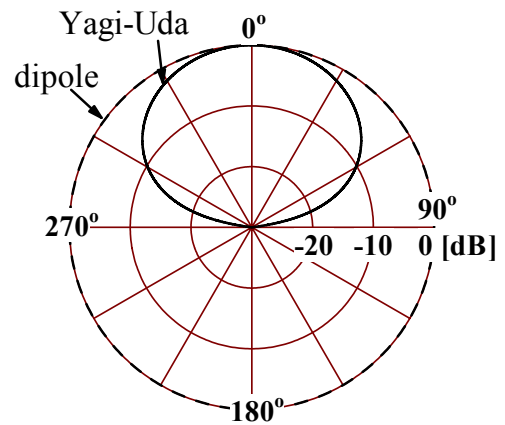
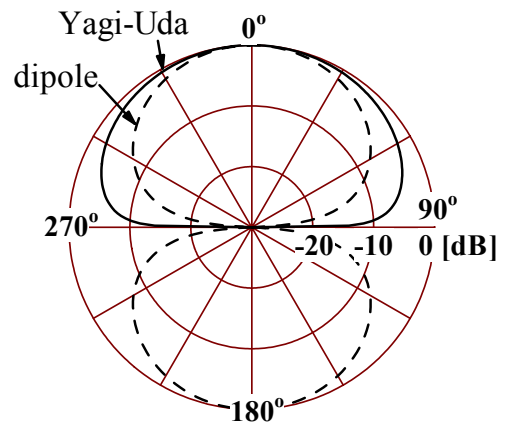


図 10 入射波源と観測点の配置



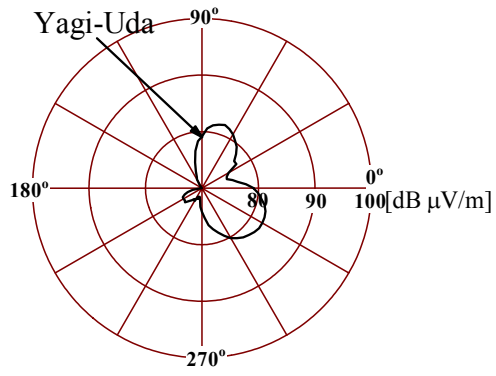
(a)  $xy$ -plane



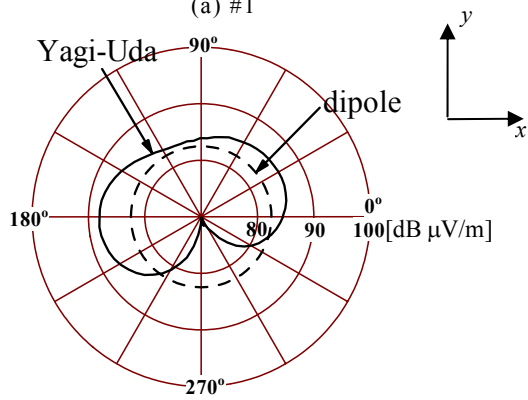
(b)  $xz$ -plane

図 11 受信アンテナの指向性

した場合、受信電界強度は指向性アンテナの設置位置と設置角度によって変化した。



(a) #1



(b) #2

図 12 各観測点における受信アンテナの設置角度別受信電界強度