

# 屋内における地上デジタルテレビジョン放送波の測定とダイバーシチ受信の検討\*

武田 優<sup>†</sup> 陳 強<sup>†a)</sup> 澤谷 邦男<sup>†</sup> 茂木 智広<sup>††</sup>

Measurement of Digital Terrestrial Television Broadcasting Wave for Indoor Reception and Study on Diversity Reception\*

Yu TAKEDA<sup>†</sup>, Qiang CHEN<sup>†a)</sup>, Kunio SAWAYA<sup>†</sup>, and Tomohiro MOGI<sup>††</sup>

あらまし 屋内における地上デジタルテレビジョン放送波の受信電力を測定し、直交する直線偏波の電力分布を示している。また、この測定結果に基づいて、直交する二つの水平ダイポールを用いた指向性ダイバーシチの検討を行い、等利得合成により 4.8~8 dB の受信電力の改善が見られること示している。更に、等利得合成指向性ダイバーシチアンテナを二つ設けて、空間ダイバーシチと併用した場合の更なる改善効果を示すとともに、受信電力の相関係数を求め、ダイバーシチ効果との関係を示しており、ダイバーシチ効果と相関係数は同じ傾向を示し、空間ダイバーシチの導入によって受信電力が 3~7.3 dB 改善されることを示している。

キーワード 地上デジタルテレビジョン放送, 等利得合成, 指向性ダイバーシチ, 空間ダイバーシチ

## 1. ま え が き

地上デジタルテレビジョン放送の受信機として従来の大型の据え置き型受信機だけでなく、可搬型の中型受信機 [1], [2] が開発されるなど、よりユーザの要求にこたえた製品が開発されている。地上デジタルテレビジョン放送は OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 方式を用いており、フェージングに強いという特徴があるが屋内で移動する受信機を想定した場合、12 セグメントのフルセグメントを用いた高画質な受信のためには、複雑な電波環境において十分な受信電力を得る必要がある。

通常、地上デジタルテレビジョン放送波を受信する場合には、住宅向けの屋外用受信アンテナは見通しのある LOS (Line of Sight) 環境に設置されるため、八木・宇田アンテナなどの指向性アンテナが用いられ

る。しかし、屋内アンテナで受信する場合、見通し外 NLOS (Non Line of Sight) 環境に設置する場合も考慮する必要があるため、NLOS 環境に適したアンテナの構成を検討する必要がある。したがって、受信環境に適するアンテナを設計するためには、屋内における放送波の電波環境を調べる必要がある。

これまで、屋内の電界強度分布の数値解析 [3], [4] や実環境で部屋の局部における受信電力の時間変動を測定した実験的検討は行われてきた [5], [6]。しかし、実環境において部屋全体での受信電力の測定は行われておらず、屋内伝搬特性を検討するには不十分である。また、受信感度を向上するための対策として多素子のアンテナを用いたダイバーシチ受信は有効である。これまで屋外の移動体におけるダイバーシチ効果 [7] の検討は行われているが、利用頻度の高いと予想される屋内の電波伝搬の特徴を考慮したダイバーシチ方式を述べた論文は少ない、更に、ダイバーシチを用いる場合に、どのダイバーシチ方式が適しているかという検討も必要である。

本論文では、二つの建物の屋内において地上デジタルテレビジョン放送波の測定を行い、得られた受信電力分布の特徴について考察する。また、ダイバーシチ効果を検討するため、直交する二つの水平ダイポール

<sup>†</sup> 東北大学大学院工学研究科, 仙台市  
Department of Electrical and Communication Engineering,  
Graduate School of Engineering, Tohoku University, 6-6-05  
Aramaki-Aza-Aoba, Aoba-ku, Sendai-shi, 980-8579 Japan  
<sup>††</sup> 八木アンテナ株式会社, さいたま市  
Yagi Antenna Corporation, Saitama-shi, 337-8502 Japan  
a) E-mail: chenq@ecei.tohoku.ac.jp

\* 本論文は、アンテナ・伝搬研究専門委員会推薦論文である。

を用いた指向性ダイバーシチ及び指向性ダイバーシチと空間ダイバーシチを組み合わせた方式について検討する。

## 2. 受信電力分布の測定

### 2.1 測定環境及び場所

仙台地域の地上デジタルテレビジョン放送は6チャンネルあり、そのうち16チャンネル(506~512MHz帯)の受信電力を測定した。送信電力は3kWであり、実効放射電力(ERP)は22kWである。送信される放送波の偏波は水平偏波である。

図1に測定した建物と送信局の位置関係を示す。測定場所としてSite 1の東北大学片平キャンパスの東北大学電気通信研究所2号館の2階とSite 2の青葉山キャンパス内の仮設研究棟の部屋を用いた。図2に測定した建物と送信局の距離を示す。送信局とSite 1との距離は約1.5km, Site 1の窓のある前方には高さ約10mの建物があり、窓から直接、送信局を目視することができないNLOS環境である。送信局とSite 2との距離は約3.4km, Site 2もSite 1と同様、窓方向に高さ約20mの建物がありNLOS環境である。図3

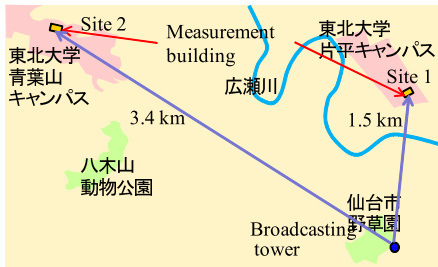


図1 放送局と受信点の位置関係

Fig. 1 Locations of TV broadcasting station and receiving sites.

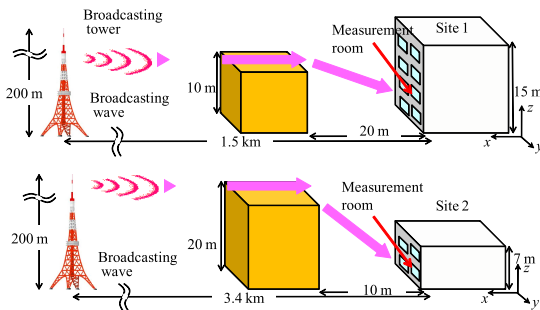


図2 測定に用いた建物

Fig. 2 Buildings for reception experiment.

にSite 1の部屋と測定エリアの配置図を示す。送信局は測定した部屋の窓の垂直方向に対して35°方向に位置している。Site 1は鉄筋コンクリートで建てられており、5箇所のエリアで測定を行った。図4にSite 2の部屋と測定エリアの配置図を示す。送信局は測定した部屋の窓の垂直方向に対して60°方向に位置している。Site 2はプレハブ工法で建てられており、13箇所のエリアで測定を行った。

図5に測定系、表1に測定パラメータを示す。受信アンテナには標準ダイポールアンテナを用い、送信される放送波の偏波が水平偏波であり、水平偏波が到来波の主成分であると考えられるので $x$ 及び $y$ 方向に向けて5cm間隔で、1m×1mのエリアでそれぞれの偏波の受信電力を測定した。なお、アンテナの高さは窓の下端よりやや高い1.2mとした。

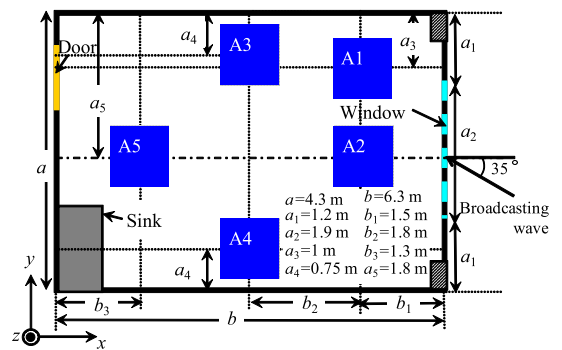


図3 測定に用いた部屋と測定エリアの配置図 (Site 1)  
Fig. 3 Room and arranged areas for measurements (Site 1).

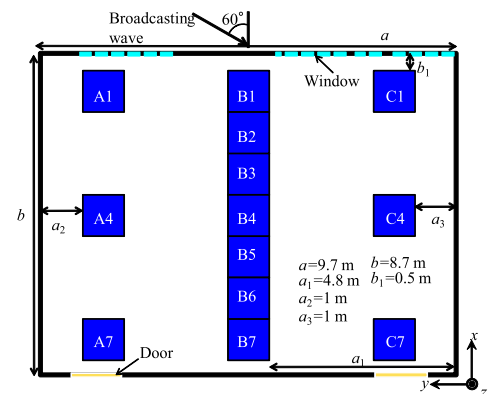


図4 測定に用いた部屋と測定エリアの配置図 (Site 2)  
Fig. 4 Room and arranged areas for measurements (Site 2).

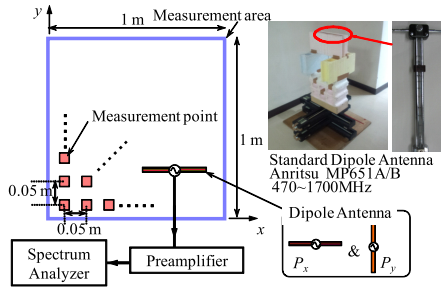


図5 測定系  
Fig.5 Measurement setup.

表1 測定パラメータ

Table 1 Parameters for measurements.

Measurement frequency	510.5 MHz
IF Bandwidth	100 kHz
Average	20 times
Gain of preamplifier	25 dB
Num. of measurement points	21 × 21 = 441
Size of measurement area	1 m × 1 m
Measurement points	$\Delta x = \Delta y = 0.05$ m
Height of antenna	1.2 m

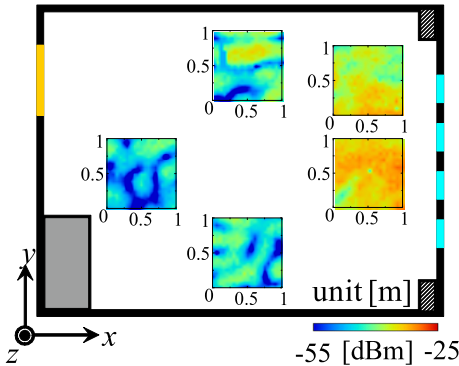


図6 電界の  $x$  成分の受信電力  $P_x$  の分布 (Site 1)  
Fig.6 Distribution of received power  $P_x$  for  $x$  component of electric field (Site 1).

## 2.2 受信電力分布の測定結果

### 2.2.1 Site 1 の受信電力分布

図6, 図7にSite 1における電界の  $x$  成分, 及び  $y$  成分の受信電力分布  $P_x, P_y$  を示す. 壁に近い部分ではそれぞれの成分で約  $0.5\lambda$  ( $= 30$  cm) の間隔の偏波に沿った定在波が見られた. 窓付近では受信電力が高く, 部屋の奥では受信電力が低くなった. 部屋の奥における電界の  $x$  成分は上下の壁で多重反射した波によるものと考えられるので, そのために減衰が大きくなったものと考えられる. 一方,  $y$  成分は部屋の奥に直接到来し, 左側の壁で反射された波によるものと考えら

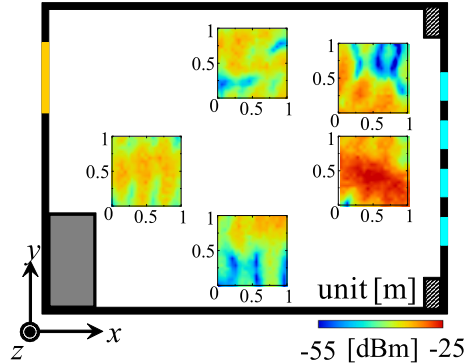


図7 電界の  $y$  成分の受信電力  $P_y$  の分布 (Site 1)  
Fig.7 Distribution of received power  $P_y$  for  $y$  component of electric field (Site 1).

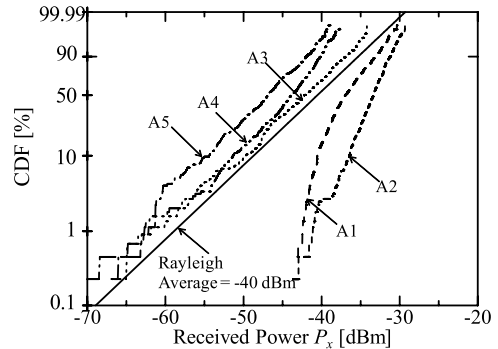


図8 受信電力  $P_x$  の累積確率分布 (Site 1)  
Fig.8 CDF of received power  $P_x$  (Site 1).

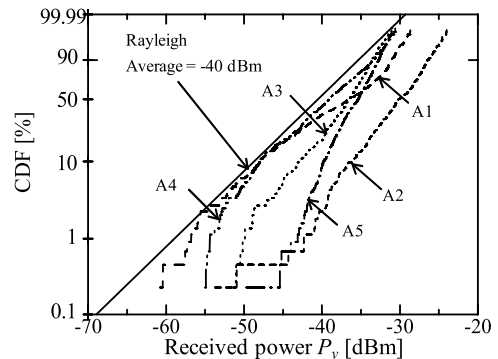


図9 受信電力  $P_y$  の累積確率分布 (Site 1)  
Fig.9 CDF of received power  $P_y$  (Site 1).

れ,  $x$  方向に対して部屋の奥の壁で反射することで定在波が見られる. このことから壁の反射による減衰の影響が大きいと見える. 図8, 図9に  $x$  成分,  $y$  成分の各エリアの受信電力の累積分布 CDF (cumulative distribution function) を示す.  $x$  成分で部屋の奥では

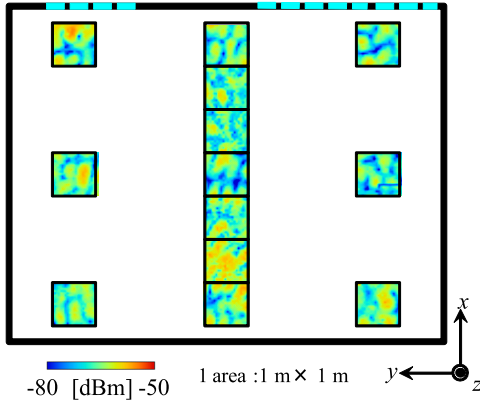


図 10 電界の  $x$  成分の受信電力  $P_x$  の分布 (Site 2)  
 Fig. 10 Distribution of received power  $P_x$  for  $x$  component of electric field (Site 2).

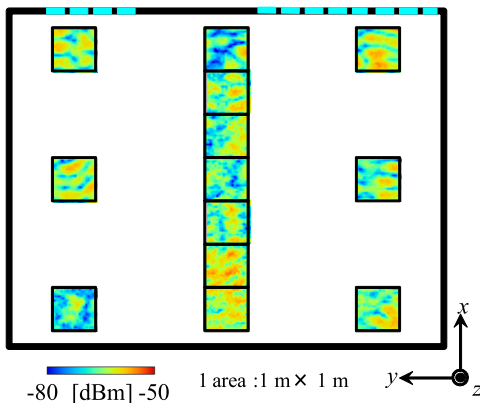


図 11 電界の  $y$  成分の受信電力  $P_y$  の分布 (Site 2)  
 Fig. 11 Distribution of received power  $P_y$  for  $y$  component of electric field (Site 2).

窓付近と比べて受信電力は  $CDF = 1\%$  において 20 dB 程度低下している。  $y$  成分では部屋の奥では窓付近と比べて受信電力は  $CDF = 1\%$  における低下は数 dB であり、減衰が小さかった。また、  $x$  成分で部屋の奥や壁付近では、レイリー分布の傾向が見られた。

2.2.2 Site 2 の受信電力分布

図 10, 図 11 に Site 2 における電界の  $x$  成分, 及び  $y$  成分の受信電力分布を示す。各成分ごと約 0.5λ (= 0.3 m) の間隔の定在波が見られた。 Site 2 は Site 1 に比べて窓と部屋の幅が共に大きいため、部屋の奥での減衰が見られなかった。図 12 に B1, B7 における  $x$  成分,  $y$  成分の受信電力の累積確率分布 CDF (cumulative distribution function) を示す。  $x$  成分,  $y$  成分共に、部屋の奥の方が受信電力がやや高かった。

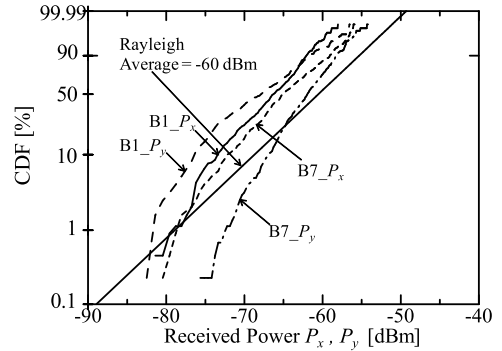


図 12 B1, B7 における受信電力  $P_x, P_y$  の累積確率分布 (Site 2)  
 Fig. 12 CDF of received power  $P_x$  and  $P_y$  at B1 and B7 (Site 2).

3. 指向性ダイバーシチの検討

この章では直交する二つの水平ダイポールを用いた指向性ダイバーシチの効果について検討する。具体的には直交する二つの水平ダイポールの受信電力を用いて等利得合成したときの受信電力, 及び大きい受信電力を選択する選択ダイバーシチのときの受信電力を比較することにより指向性ダイバーシチの有効性について検討する。

等利得合成は各ブランチからの出力信号の位相を制御して  $S/N$  が最大になるように合成する方式であるが、ここでは各ブランチからの信号を同位相で合成するものとした。2 素子の場合、各ブランチの雑音も等利得で合成されるため、本論文では雑音を考慮し、素子数で割った値で評価し、等利得合成したときの受信電力  $P_e$  は二つの水平ダイポールの受信電力  $P_x, P_y$  を用いて

$$P_e = \frac{1}{2}(\sqrt{P_x} + \sqrt{P_y})^2 \tag{1}$$

を求めた。また、選択ダイバーシチの場合は

$$P_s = \max|P_x, P_y| \tag{2}$$

を求めた。

3.1 Site 1 の指向性ダイバーシチ

図 13 に Site 1 の A2, 及び A4 における直線偏波アンテナ単体と等利得合成及び選択合成したときに受信電力の CDF が 1% となるときの受信電力を示す。ここで、ダイバーシチ効果を定量的に表すために、  $CDF = 1\%$  のときのダイバーシチ合成後の受信電力と、二つの直線偏波成分の受信電力のうち大きい方の電力の比

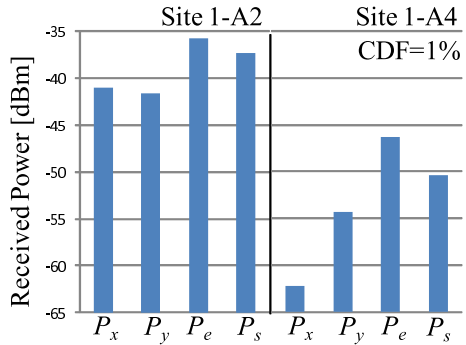


図 13 直線偏波アンテナ単体と等利得合成ダイバーシチ及び指向性選択ダイバーシチの受信電力 (Site 1)  
Fig. 13 Received power of linear dipole antennas, equal gain combining diversity and selection diversity using two dipole antennas (Site 1).

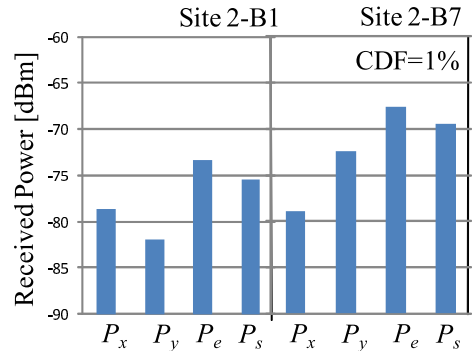


図 15 直線偏波アンテナ単体と等利得合成ダイバーシチ及び指向性選択ダイバーシチの受信電力 (Site 2)  
Fig. 15 Received power of linear dipole antennas, equal gain combining diversity and selection diversity using two dipole antennas (Site 2).

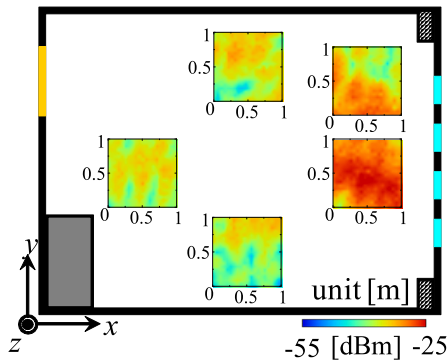


図 14 等利得合成アンテナを用いた場合の受信電力分布 (Site 1)  
Fig. 14 Distribution of received power of equal gain combining diversity (Site 1).

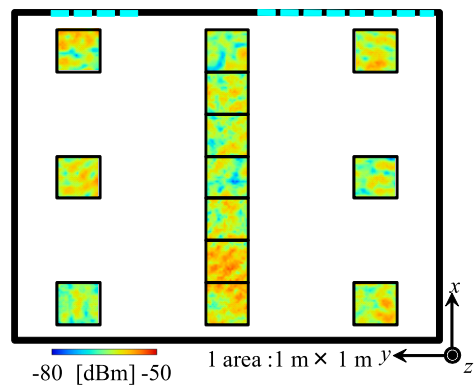


図 16 等利得合成アンテナを用いた場合の受信電力分布 (Site 2)  
Fig. 16 Distribution of received power of equal gain combining diversity (Site 2).

を用いることにした。A2において、等利得合成した $P_e$ は $P_x$ に比べて5.2dB改善された。また、A4において、 $P_y$ に比べて8dB改善された。どちらのエリアにおいても等利得合成したときの受信電力の方が選択ダイバーシチの受信電力を上回った。また、レイリー分布に近いA4では、伸上・ライス分布に近いA2に比べてダイバーシチ効果が大きく等利得合成が有効であることが分かった。図14にSite1で等利得合成を行った場合の受信電力分布を示す。送信局の位置する方向から主成分をもった波が窓から入射してくることが分かる。このことから、NLOS環境であるが、波の主成分は送信局から送られた波が部屋の前方の建物で回折して入射した成分と考えられる。

### 3.2 Site 2の指向性ダイバーシチ

図15にSite2の510.5MHz, B1, B7における

直交直線偏波アンテナ単体と等利得合成したときにCDF = 1%となる時の受信電力を示す。B1において、等利得合成した $P_e$ は $P_x$ に比べて5.3dB改善された。B7において、 $P_y$ に比べて4.8dB改善された。どちらのエリアにおいても等利得合成したときの受信電力の方が選択ダイバーシチの受信電力を上回った。また、Site2においては部屋の奥の方が受信電力は高かった。前章で述べたようにSite2では放送波が部屋の奥まで減衰しないで到達したためであると考えられる。図16にSite2において等利得合成したときの受信電力分布を示す。壁に近い部分では定在波が見られた。Site1, Site2の結果から等利得合成アンテナの指向性ダイバーシチが有効であることが分かった。

### 4. 空間ダイバーシチの検討

前章において指向性ダイバーシチにおいて等利得合成ダイバーシチを用いたときの利得改善を示した。この等利得合成2素子を図17に示すように置き、更なるダイバーシチ効果を得るために空間ダイバーシチについての検討を行った。空間ダイバーシチ方式については図17に示すように、二つのブランチの出力電力を選択する選択ダイバーシチを用いた。図18のように2素子の受信アンテナをx軸に平行に設置した場合とy軸に平行に設置した場合について、アンテナの間隔dを変化させたときの空間ダイバーシチ効果を示す。更に、2素子の受信アンテナの空間ダイバーシチの効果と相関の関係を示すために、受信電力の相関係数ρ

$$\rho = \frac{\sum_{n=1}^N p_{1i} p_{2i}}{\sqrt{\sum_{n=1}^N p_{1i}^2} \sqrt{\sum_{n=1}^N p_{2i}^2}} \quad (3)$$

を求めた。ここで、 $p_{1i}$  はアンテナ1の受信電力、 $p_{2i}$

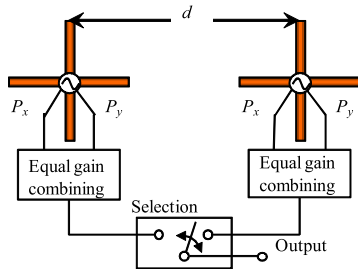


図17 二つの等利得合成出力を用いた選択ダイバーシチ受信

Fig. 17 Selection diversity reception using two outputs of equal gain combining diversities.

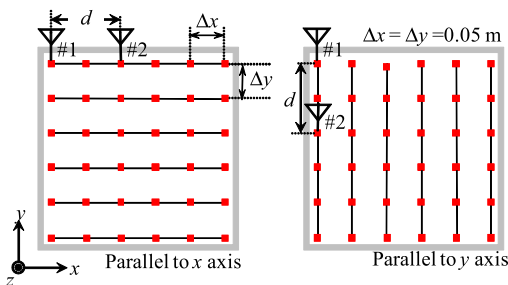


図18 2素子アンテナの配置図

Fig. 18 Arrangement of two antennas.

はアンテナ2の受信電力を表す。ただし、アンテナ#1、#2の受信電力は2素子のアンテナがそれぞれ単体で置かれた場合の受信電力であり、アンテナ同士の相互結合は考慮していない。

#### 4.1 Site 1の空間ダイバーシチ効果

図19、図20にA2、A4のx軸平行、y軸平行に2素子アンテナを設置した場合のアンテナ間隔dに対する相関係数ρの変化を示す。A2では二つの設置方向共に素子間隔を広げると相関が下がる傾向が見られ、一方、A4ではx軸平行の設置において振動が見られる。これは受信電力分布に定在波が表れていたためであると考えられる。y軸平行の設置においては素子間隔を広げると相関が下がる傾向が見られた。図21、図22にA2、A4のx軸平行、y軸平行に2素子アンテナを設置した場合のアンテナ間隔dに対する受信電力を示

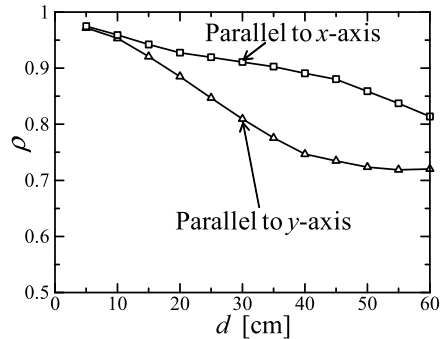


図19 A2における二つの等利得合成出力の相関係数 (Site 1)

Fig. 19 Correlation coefficient between two outputs of equal gain combining diversities at A2 (Site 1).

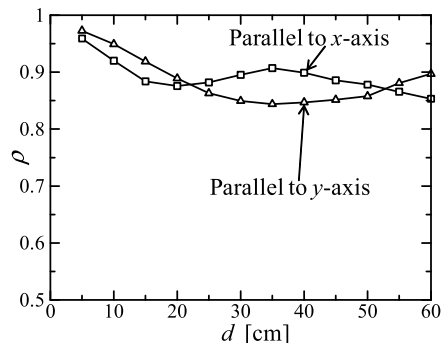


図20 A4における二つの等利得合成出力の相関係数 (Site 1)

Fig. 20 Correlation coefficient between two outputs of equal gain combining diversities at A4 (Site 1).

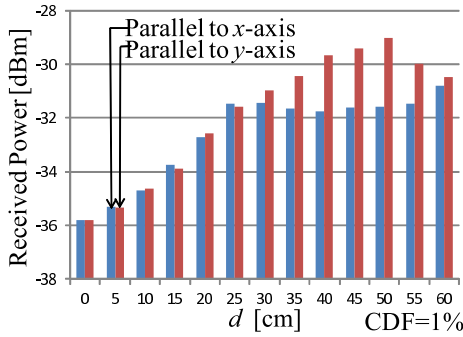


図 21 素子間隔  $d$  に対する図 17 の選択ダイバーシチ出力の受信電力 (A2.Site 1)

Fig. 21 Received power of selection diversity shown in Fig. 17 as a function of spacing  $d$  [cm] at A2 (Site 1).

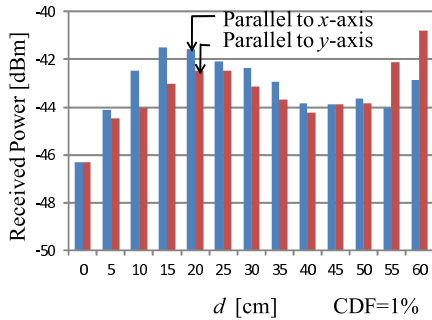


図 22 素子間隔  $d$  に対する図 17 の選択ダイバーシチ出力の受信電力 (A4.Site 1)

Fig. 22 Received power of selection diversity shown in Fig. 17 as a function of spacing  $d$  [cm] at A4 (Site 1).

す。  $d = 0$  は 1 素子のアンテナを用いた場合、つまり 3. で求めた等利得合成アンテナ単体の場合の受信電力を示している。 2 素子のアンテナを用いることにより受信電力レベルが改善されることが確認できる。 周期的な変化が見られる場合もあるが、 2 素子のアンテナの間隔を広げると利得が改善される傾向が見られた。

#### 4.2 Site 2 の空間ダイバーシチ効果

図 23, 図 24 に B1, B7 の  $x$  軸平行,  $y$  軸平行に 2 素子アンテナを設置した場合のアンテナ間隔  $d$  に対する相関係数の変化を示す。 B1, B7 共に若干の振動が見られたが、素子間隔を広げると相関が下がる傾向が見られた。 図 25, 図 26 に B1, B7 の  $x$  軸平行,  $y$  軸平行に 2 素子アンテナを設置した場合のアンテナ間隔  $d$  に対する受信電力を示す。 Site 1 と同様、 2 素子のアンテナを用いることにより受信電力が改善されることが確認でき、 若干の振動が見られる場合もあるが、

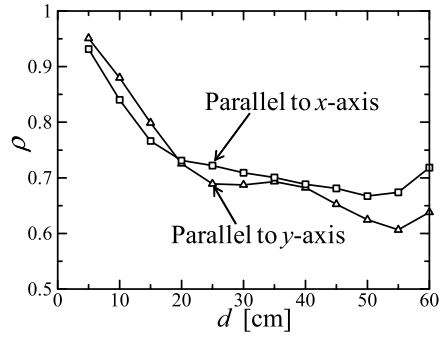


図 23 B1 における二つの等利得合成出力の相関係数 (Site 2)

Fig. 23 Correlation coefficient between two outputs of equal gain combining diversities at B1 (Site 2).

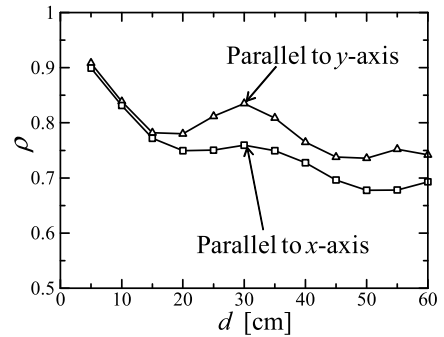


図 24 B7 における二つの等利得合成出力の相関係数 (Site 2)

Fig. 24 Correlation coefficient between two outputs of equal gain combining diversities at B7 (Site 2).

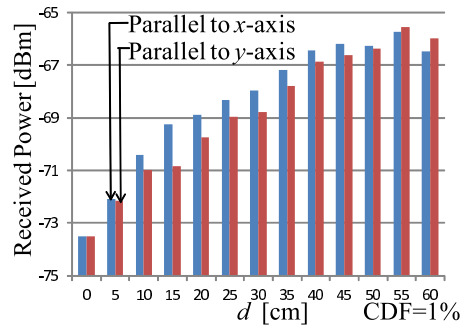


図 25 素子間隔  $d$  に対する図 17 の選択ダイバーシチ出力の受信電力 (B1.Site 2)

Fig. 25 Received power of selection diversity shown in Fig. 17 as a function of spacing  $d$  [cm] at B1 (Site 2).

2 素子のアンテナの間隔を広げると受信電力が改善される傾向が見られた。 Site 1, Site 2 の結果から空間ダイバーシチ効果については相関係数の変化と同様の

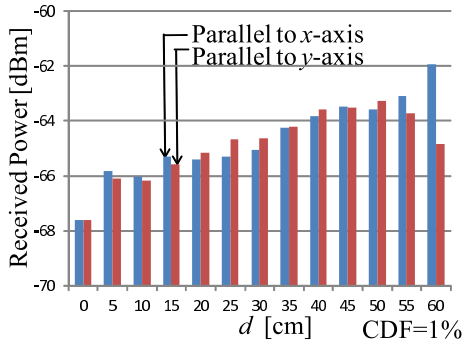


図 26 素子間隔  $d$  に対する図 17 の選択ダイバーシチ出力の受信電力 (B7.Site 2)

Fig. 26 Received power of selection diversity shown in Fig. 17 as a function of spacing  $d$  [cm] at B7 (Site 2).

変化が見られたが、二つのブランチの平均受信電力が等しくない場合は相関係数最小の間隔が必ずしも最大のダイバーシチ効果をもたらす訳ではないことを示している。また、素子間隔を約  $1\lambda$  ( $= 60$  cm) 程度広げることによって受信電力が改善されることが分かった。

## 5. むすび

屋内における地上デジタルテレビジョン放送波の受信電力を測定し、その分布を示した。また、指向性ダイバーシチの検討を行い、電界の  $x$  成分と  $y$  成分を等利得合成した場合、4.8~8 dB の改善が見られ、指向性ダイバーシチ受信が有効であることを示した。更に、等利得合成指向性ダイバーシチアンテナを二つ設けて、空間ダイバーシチを行った場合の更なる改善効果を示すとともに、受信電力の相関係数を求め、ダイバーシチ効果との関係を示した。その結果、ダイバーシチ効果と相関係数は同じ傾向を示し、空間ダイバーシチの導入によって 3~7.3 dB 改善されることを示した。

## 文 献

- [1] 榑原尚也, 前田忠彦, “タブレット PC に内蔵された地上デジタル放送用ダイバーシチアンテナと人体による影響の検討,” 信学論 (B), vol.J93-B, no.9, pp.1195-1208, Sept. 2010.
- [2] 小川晃一, “不等電力下における地上デジタル放送 4 ブランチ最大比合成アレーのダイバーシチ利得解析,” 信学技報, A-P2010-169, Feb. 2011.
- [3] 井上真豪, 陳 強, 澤谷邦男, 坂内功治, “地上デジタルテレビ放送波の屋内伝搬環境の数値解析,” 信学技報, A-P2008-94, Oct. 2008.
- [4] 五十嵐一浩, 陳 強, 澤谷邦男, 茂木智広, “屋内における地上デジタル放送波の強度分布と空間相関係数のシミュレーション,” 2010 信学総大, B-1-9, March 2010.
- [5] 西 正博, 川口立朗, 高橋 茂, 吉田彰顕, “UHF 帯テレビ放送受信波を用いたヒト検知システムの提案,” 信学論 (B), vol.J89-B, no.9, pp.1789-1796, Sept. 2006.
- [6] 矢吹 旭, 豊田輝隆, 西 正博, 吉田彰顕, “UHF 帯 TV 放送波を用いた電波伝搬特性の検討,” 信学技報, A-P2001-161, Jan. 2002.
- [7] 多賀登喜雄, “移动通信環境における並列配置ダイポールによる空間ダイバーシチ枝の特性,” 信学論 (B), vol.J75-B, no.6, pp.370-378, June 1992.  
(平成 24 年 1 月 6 日受付, 4 月 19 日再受付)



武田 優

平 22 東北大・工・電気情報・物理卒。平 24 同大学院工学研究科電気・通信工学専攻博士前期課程了。主として屋内の電波伝搬に関する研究に従事。現在東北電力 (株) に勤務。



陳 強 (正員)

昭 63 西安電子科技大卒。平 6 東北大大学院博士課程了。現在同大学院工学研究科電気・通信工学専攻准教授。移动通信用アンテナ, アレーアンテナ, 電磁界の数値解析の研究に従事。平 5 本会学術奨励賞受賞。平 8, 平 18 本会通信ソサイエティ活動功労賞。平 20 本会ソサイエティ論文賞, 本会第 2 回喜安善市賞。



澤谷 邦男 (正員:フェロー)

昭 46 東北大・工・通信卒。昭 51 同大学院博士課程了。現在同大学院工学研究科電気・通信工学専攻教授。プラズマ中のアンテナ, プラズマ加熱用アンテナ, 超伝導アンテナ, 電磁波の散乱・回折理論, 移动通信用アンテナ, アレーアンテナの研究に従事。工博。IEEE シニアメンバー, 映像情報メディア学会各会員。昭 56 本会学術奨励賞, 昭 63 同論文賞, 平 18 同通論論文賞, 平 21 同喜安善市賞受賞。



茂木 智広

昭 62 中央大・理工・精密機械卒。同年八木アンテナ (株) 入社。現在同社, 開発・設計本部開発部部長。衛星通信, 地上放送, CATV 関連機器の設計・開発に従事。映像情報メディア学会会員。