

地上デジタル放送波の屋内電界分布の数値解析と測定

五十嵐一浩[†] 武田 優[†] 陳 強[†] 澤谷 邦男[†] 佐藤 智之^{††}

[†] 東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻 〒 980 8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6 6 05

^{††} 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: {ikarashi, takeda, chenq, sawaya}@ecei.tohoku.ac.jp

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、受信環境に最適なアンテナを実現するためには、屋内における放送波の電波環境を調べる必要がある。本報告では、実際の環境をモデル化し、壁の比誘電率、導電率を変化させ、レイラウンチング法を用いて、地上デジタル放送波の屋内電界分布をシミュレーションし、評価した。また、シミュレーションモデルとして用いた部屋で実験を行い、シミュレーション結果と比較、検討を行った。キーワード 地上デジタルテレビ放送波、屋内伝搬

1. まえがき

2011 年 7 月の地上アナログテレビジョン放送が終了し、地上デジタルテレビジョン放送に移行する。それに伴い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、最適なアンテナの特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、受信環境に最適なアンテナを実現するためには、屋内における放送波の電波環境を調べる必要がある。本報告では、実際の環境をモデル化し、壁の比誘電率、導電率を変化させ、レイラウンチング法を用いて、地上デジタル放送波の屋内電界分布をシミュレーションし、その結果を考察する。また、シミュレーションモデルとして用いた部屋で地上デジタル放送波の電界分布の測定を行い、シミュレーション結果と比較する。

2. シミュレーションモデル及び実験環境

図 1 にシミュレーションモデル及び実験に用いた部屋を示す。観測面は部屋の中心である $z = 1.2 \text{ m}$ の xy 面とし、観測点はシミュレーション及び実験ともに、 x 方向、 y 方向とも $\Delta x = \Delta y = 5 \text{ cm}$ 間隔で設置した。

シミュレーションにおいては、部屋の内外及び窓部分は真空とし、壁の厚み $d = 30 \text{ cm}$ とした。壁の材質はコンクリートとし、比誘電率 $\epsilon_r = 3.6, 4, 5.1$ 、導電率 $\sigma =$

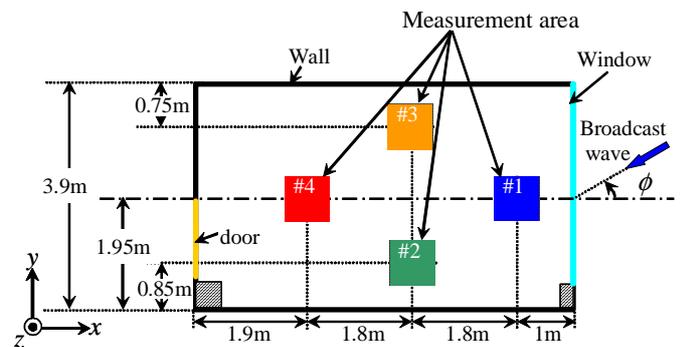


図 1 シミュレーションモデル及び実験環境

表 1 入射放送波

	Incident angle ϕ [deg]	Power density [mW/m^2]
Incident wave 1	42	32
Incident wave 2	52	40
Incident wave 3	62	28

$1.5 \times 10^{-2}, 1 \times 10^{-3}, 1 \times 10^{-4} \text{ S/m}$ とした。入射放送波は水平偏波の平面波とし、周波数は 564.5 MHz とした。図 2 に示すように、放送波は x 軸に対して ϕ [deg] 方向から入射する。また、放送波は実験でブロードな入射波が確認できたため、表 2 に示すような 3 つ波を入射した。

図 2 に、厚み $d = 30 \text{ cm}$ の誘電体に平面波を垂直入射した場合の反射係数を示す。先ほど示した比誘電率は図 2 から、反射係数 $|T| = 0.26, 0.41, 0.54$ となる値に設定した。シミュレーションでは、表 2 に示す 5 パターンの計算を行った。

シミュレーションのツールとして Wireless insite (レイラウンチング法) を用い、壁の比誘電率、導電率を変化

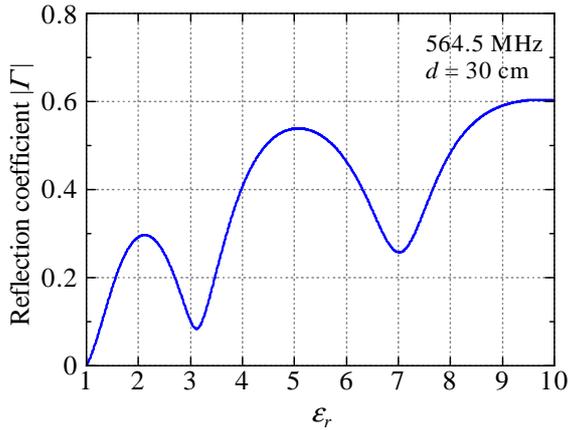


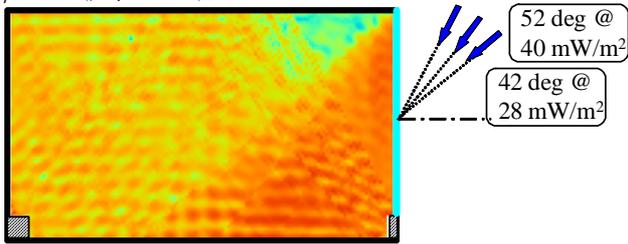
図2 比誘電率を変化させたときの反射係数

表2 壁の比誘電率と導電率の組み合わせ

	ϵ_r ($ \Gamma $)	σ S/m
Model No.1	5.1 (0.54)	1×10^{-3}
Model No.2	4 (0.41)	1×10^{-3}
Model No.3	3.6 (0.26)	1×10^{-3}
Model No.4	4 (0.41)	1.5×10^{-2}
Model No.5	4 (0.41)	1×10^{-4}

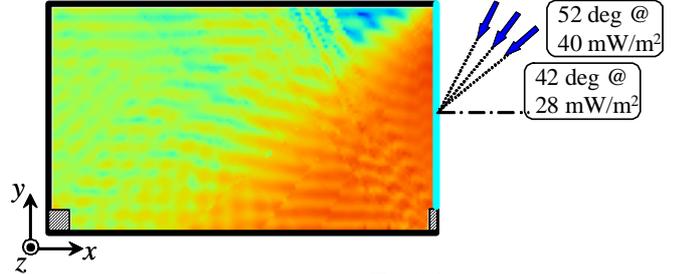
させ、シミュレーションを行った。レイラUNCHING法

$\epsilon_r = 5.1$ ($|\Gamma| = 0.54$), $\sigma = 1 \times 10^{-3}$ S/m



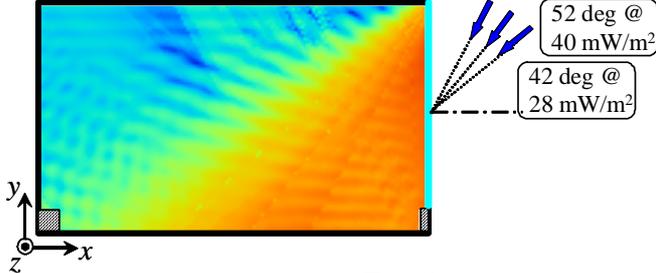
(a) Model No.1 の電界分布 E_x

$\epsilon_r = 4$ ($|\Gamma| = 0.41$), $\sigma = 1 \times 10^{-3}$ S/m



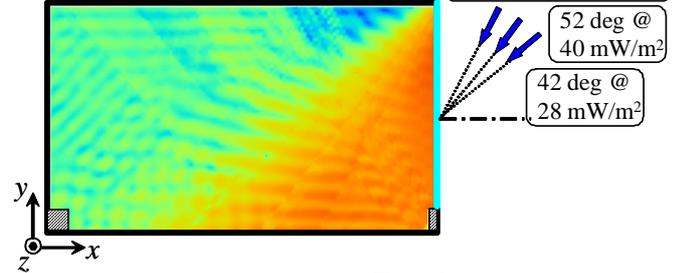
(b) Model No.2 の電界分布 E_x

$\epsilon_r = 3.6$ ($|\Gamma| = 0.26$), $\sigma = 1 \times 10^{-3}$ S/m



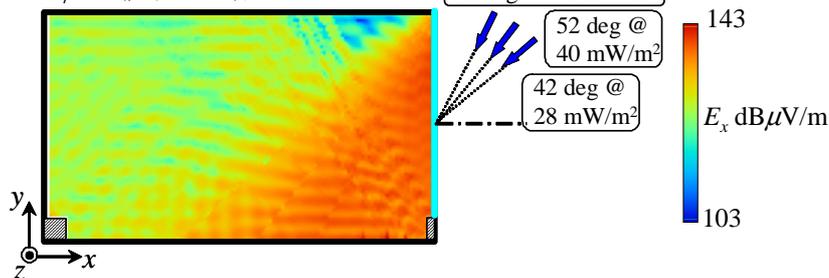
(c) Model No.3 の電界分布 E_x

$\epsilon_r = 4$ ($|\Gamma| = 0.41$), $\sigma = 1.5 \times 10^{-2}$ S/m



(d) Model No.4 の電界分布 E_x

$\epsilon_r = 4$ ($|\Gamma| = 0.41$), $\sigma = 1 \times 10^{-4}$ S/m



(e) Model No.5 の電界分布 E_x

図3 電界分布 E_x のシミュレーション結果

のパラメータとして、最大反射回数を5回、最大透過回数を3回、最大回折回数2回とした。

実験においては、図??に示す#1~#4の測定エリアで測定を行った。各エリアのサイズは $x \times y = 1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ とした。

3. 屋内電界分布のシミュレーション

本節では、壁の比誘電率、導電率を変化させた場合の電界分布を示す。図??の(a)~(e)に Model No.1~ Model No.5の電界分布の E_x 成分、図??に電界分布の E_y 成分を示す。

3.1 壁の比誘電率を変化させた場合の電界分布

図??の(a)に壁の $\epsilon_r = 5.1$ ($|\Gamma| = 0.54$)、(b)に $\epsilon_r = 4$ ($|\Gamma| = 0.41$)、(c)に $\epsilon_r = 3.6$ ($|\Gamma| = 0.26$)の電界分布の E_x 成分、図??に E_y 成分を示す。

結果を見ると壁の反射係数の大きい Model No.1では部屋の奥での減衰が小さく、部屋全体で強い分布が見られる。反射係数が小さくなる Model No.2, Model No.3になると部屋の奥での減衰が徐々に大きくなり、直接波が

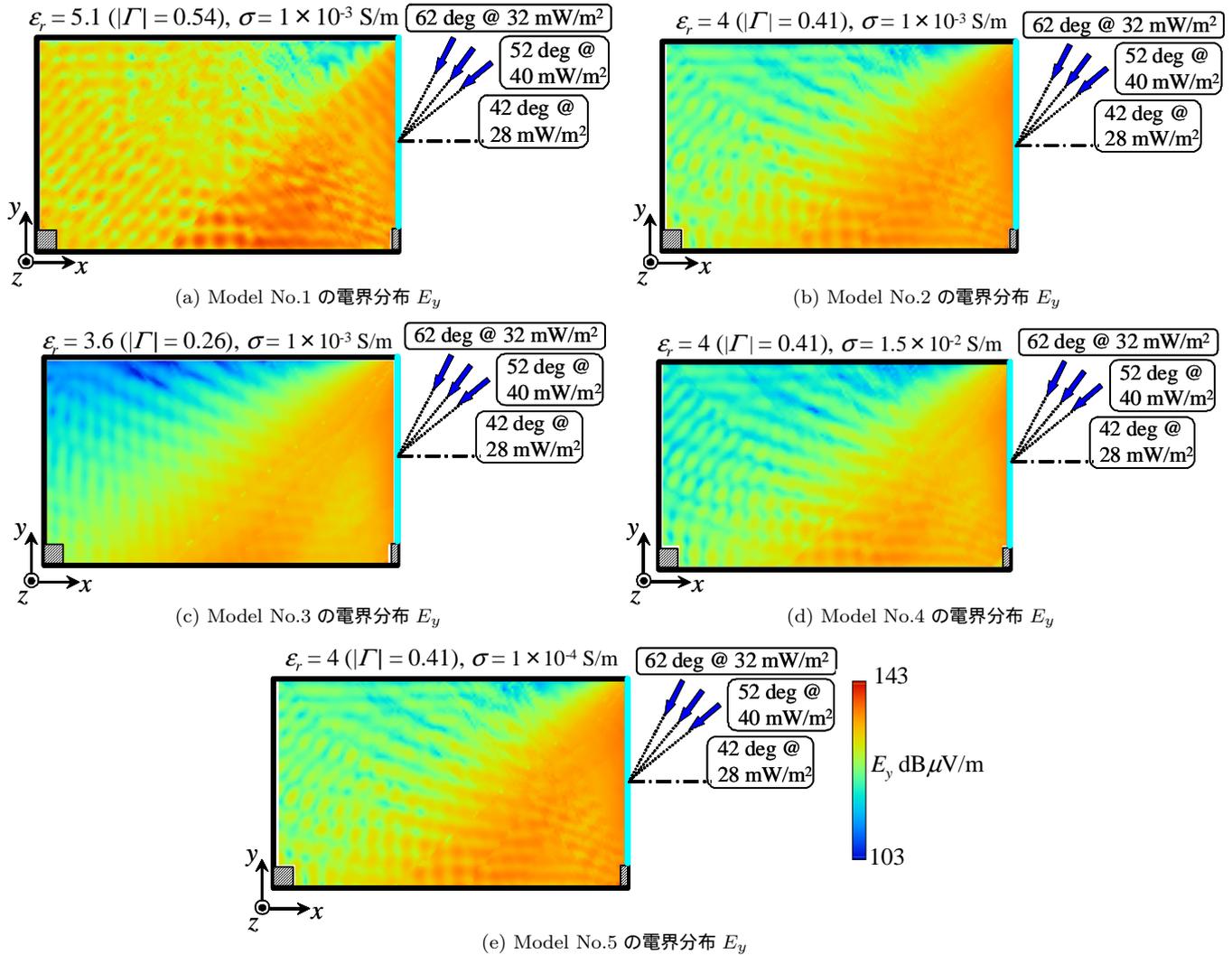


図4 電界分布 E_y のシミュレーション結果

届かないエリアの電界が弱くなっていることがわかる。 E_y 成分も E_x 成分と同様の傾向が見られるが、 E_x 成分に比べ少し弱くなっている。

3.2 壁の導電率を変化させた場合の電界分布

図??の (d) に壁の $\sigma = 1.5 \times 10^{-2}$ S/m, (b) に $\sigma = 1 \times 10^{-3}$ S/m, (e) に $\sigma = 1 \times 10^{-4}$ S/m の電界分布の E_x 成分, 図??に E_y 成分を示す。

導電率を変化させた場合は、比誘電率を変化させた場合に比べ大きな変化が見られなかった。しかし、導電率が大きいほど奥の直接波が届かないエリアでは電界の減衰が多少大きくなっていることが見られる。比誘電率を変化させた場合と同様に、 E_y 成分も E_x 成分と同様の傾向が見られるが、 E_x 成分に比べ少し小さくなっていることがわかる。

4. シミュレーションと実験の比較

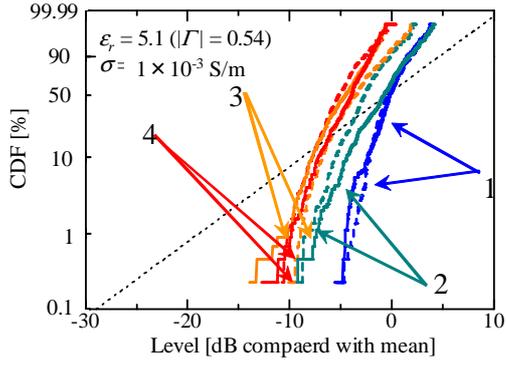
本節では、実際の部屋で #1 ~ #4 の4カ所で電界度分布の測定を行い、測定を行った部屋と同様のモデルでシミュレーションを行った結果と比較し、評価する。

4.1 シミュレーション結果と実験結果の CDF の比較

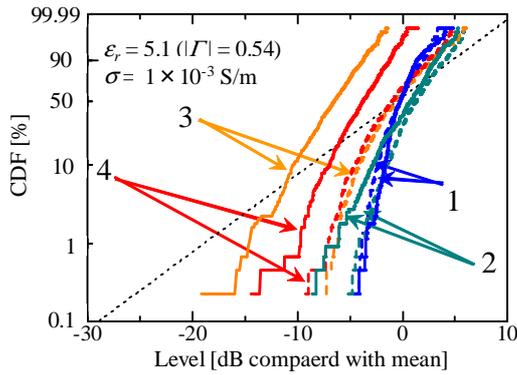
図??に Model No.1 の電力 CDF, 図??に Model No.2 の電力 CDF, 図?? Model No.5 の電力 CDF を示す。実線はシミュレーション結果、破線は実験結果である。黒の点線はレイリー分布を表している。

図??の Model No.1 のシミュレーション結果は、 E_x 、 E_y とも実験結果と同様の傾向が得られていて、実際の環境に近いモデルが再現できているといえる。図??の Model No.2, 図??の Model No.5 のシミュレーション結果は、#1, #2 の直接波が入射するエリアは実験結果と同様の傾向が見られる。しかし、直接波が届かない #3, #4 のエリアでは、#1, #2 に比べレベルが低くなってしまい、実験結果と異なっている。

表??に比誘電率を変化させた場合の CDF の中央値の比較、表??に導電率を変化させた場合の CDF の中央値の比較を示す。この表は、#1 の E_x 成分及び E_y 成分の中央値に対する差を示している。比誘電率を変化させた場合は Model No.1 で実験結果と概ね一致した結果が得

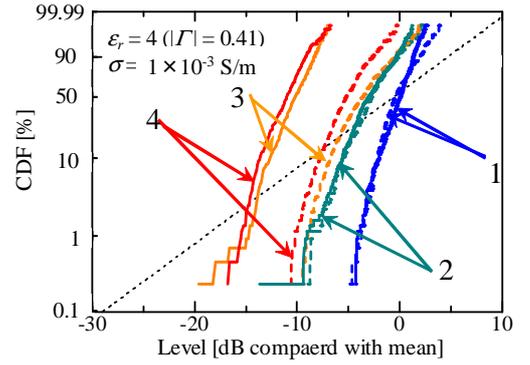


(a) E_x 成分の電力 CDF

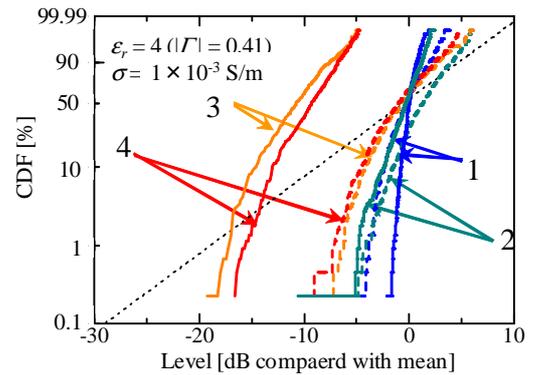


(b) E_y 成分の電力 CDF

図 5 Model No.1 の CDF



(a) E_x 成分の電力 CDF



(b) E_y 成分の電力 CDF

図 6 Model No.2 の CDF

られた．また，壁の反射係数が小さくなると，部屋の奥にエリアで大幅に減衰していることがわかる．導電率を変化させた場合は各エリアの中央値は，電界分布から見て取れたように導電率が大きくなると若干減衰が大きくなる

表 3 比誘電率を変化させた場合の CDF の中央値

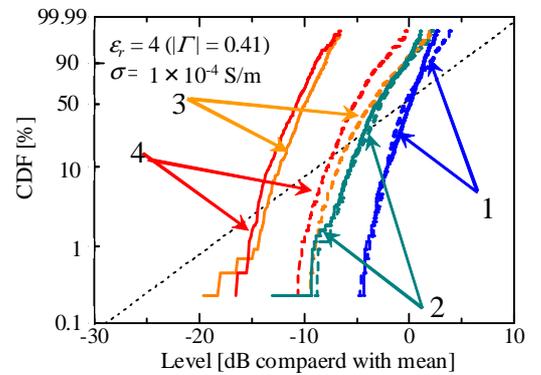
	Model No.1		Model No.2		Model No.3		Measured	
ϵ_r ($ \Gamma $)	5.1	0.54	4	0.41	3.6	2.6	unkown	
σ [S/m]	1×10^{-3}		1×10^{-3}		1×10^{-3}		unkown	
Pol.	E_x	E_y	E_x	E_y	E_x	E_y	E_x	E_y
#1	0	0	0	0	0	0	0	0
#2	-0.6	1.0	-0.3	-0.3	-2.7	0.5	-2.3	1.6
#3	-4.3	-6.3	-10.7	-10.7	-17.5	-10.5	-3.1	-0.5
#4	-3.7	-3.5	-11.1	-9.3	-16.8	-8.9	-4.8	-0.8

Unit : dB

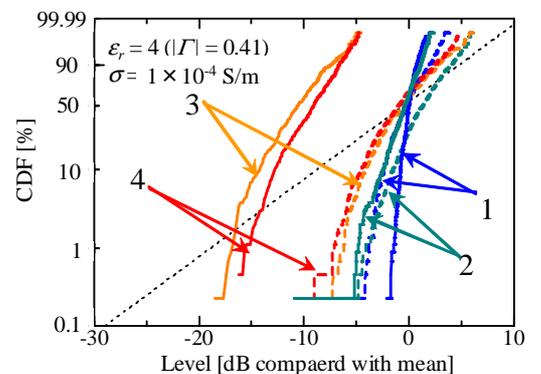
表 4 導電率を変化させた場合の CDF の中央値

	Model No.4		Model No.2		Model No.5		Measured	
ϵ_r ($ \Gamma $)	4	0.41	4	0.41	4	0.41	unkown	
σ [S/m]	1.5×10^{-2}		1×10^{-3}		1×10^{-4}		unkown	
Pol.	E_x	E_y	E_x	E_y	E_x	E_y	E_x	E_y
#1	0	0	0	0	0	0	0	0
#2	-2.5	0.2	-0.3	-0.3	-3.1	-0.4	-2.3	1.6
#3	-12.0	-11.5	-10.7	-10.7	-10.0	-10.6	-3.1	-0.5
#4	-12.6	-9.7	-11.1	-9.3	-10.7	-9.1	-4.8	-0.8

Unit : dB



(a) E_x 成分の電力 CDF



(b) E_y 成分の電力 CDF

図 7 Model No.5 の CDF

なっているが、ほぼ変化は見られない。実験結果と比べると、部屋の奥にエリアでは減衰が大きいこともわかる。実験結果を見ると、 E_x 成分の減衰に比べると E_y 成分の減衰が小さいことがわかる。しかし、シミュレーション結果では Model No.3 のみ同様な傾向が見られるが、他のモデルでは E_x 、 E_y 成分の減衰の大きさに違いは見られなかった。

5. ま と め

実際の環境をモデル化し、レイラウンチング法を用い、部屋モデルに平面波を入射した場合の屋内電界分布をシミュレーションを行った。壁の比誘電率、導電率を変化させ、5つのモデルを示し、部屋の4つのエリアでの電界分布の特徴を示した。また、今回用いた Model No.1 において、実験結果と概ね一致した結果が得られた。また、部屋の奥に行くにつれての減衰は、実験結果では E_x 成分のほうが大きいことが確認できが、シミュレーション結果では E_x 、 E_y 成分の違いは見られなかった。