

ショートノート

地上デジタル放送波における市街地道路上の電波伝搬特性

今井 卓^{†a)} (正員) 田口 健治[†] (正員)
 柏 達也[†] (正員) 栗林 裕^{††}
 小松 寛^{††}

Propagation Characteristics of Radio Wave for Digital Terrestrial Broadcasting on Urban Street

Suguru IMAI^{†a)}, Kenji TAGUCHI[†],
 Tatsuya KASHIWA[†], Members, Hiroshi KURIBAYASHI^{††}, and
 Satoru KOMATSU^{††}, Nonmembers

[†] 北見工業大学工学部電気電子工学科, 北見市

Dept. of Electrical and Electronic Eng., Kitami Institute of Technology, 165 Koen-cho, Kitami-shi, 090-8507 Japan

^{††} 本田技術研究所, 栃木県

Honda R&D Co., Ltd., Haga-machi, Haga-gun, Tochigi-ken, 321-3393 Japan

a) E-mail: now.i@mail.kitami-it.ac.jp

あらまし 地上デジタル放送を対象とした市街地道路上における電波の到来方向及び電界強度の確率分布をレイトレーシング法を用いて調べた。その結果、市街地道路上における電波到来方向分布は必ずしも Jakes モデルにならずクラスタ形状となり、電界強度の確率分布はレイリー分布には厳密に一致しないことが示された。

キーワード 電波伝搬, 市街地道路, マルチパス, 地上デジタル放送

1. まえがき

近年、自動車等の移動体において地上デジタル放送を受信する機会が増えてきた。見通し外となる市街地道路上では、一般に受信波強度の確率分布として Jakes モデル [1] に基づくレイリー分布を仮定することが多い。ところで、実際の道路上では、受信波の到来方向が Jakes モデルに従わずクラスタモデル [2], [3] になることが実験的に知られている [4]。したがって、受信波強度の確率分布はレイリー分布になるとは限らない。しかしながら、受信波の到来方向分布及び確率分布の関連性について明確に示している文献は筆者等の知る限りない。

一方、地上デジタル放送に限らず移動体通信全般において端末の受信性能を向上させるため MIMO (Multiple Input Multiple Output) 技術が広く用いられている。MIMO 端末の性能評価実験では、フェージング環境を模擬した MIMO-OTA システムが用いられる。本システムにおいて現実に近いフェージング環境を考慮するためには、実際の市街地道路上における電波伝

搬特性の把握が非常に重要となる [5]。

これらの問題を実験及び実測により調べることは大掛かりかつ煩雑であることから、計算機シミュレーションによる解析が有効であると思われる。

本論文では、地上デジタル放送波を対象とした市街地道路上における電波の到来方向及び電界強度の確率分布の関連性について調べた。なお、ここでは電磁界解析手法としてレイトレーシング法 [6] を用いている。

2. 市街地電波伝搬解析のための数値計算モデル

図 1 に本研究で用いた市街地モデルを示す。ここでは、見通し外となる高層ビルに囲まれた片側 3 車線の幹線道路を有する市街地において電波塔から地上デジタル放送波が送信されている状況を想定している。市街地における平均的な電波到来方向の仰角として、約 30 度を仮定した。電波塔の高さは、電波到来方向の仰角が前述の角度となるように、原点から φ 方向に 200 m, z 軸方向に 115.5 m の位置としている。本研究では図中に示される原点 O の周囲における電波伝搬特性を調べた。見通し外となる道路上の受信特性では、道路を囲う建築物からの反射及び回折波の影響が支配的であると考えられるため、原点の周囲 6 区画のみをモデル化した。

表 1 にシミュレーション条件を示す。送信周波数は地上デジタル放送波帯の中心周波数である 590 MHz とし、入力偏波は地上波放送において一般的な水平偏波とした。路面及びビル壁の材質は乾燥アスファルト

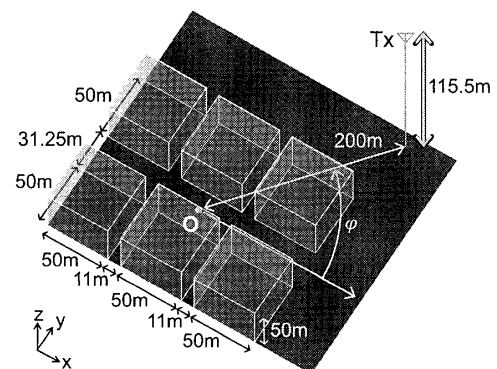


図 1 市街地モデル

Fig. 1 Urban area model.

表 1 シミュレーション条件
 Table 1 Simulation conditions.

Transmitter	Frequency	590 MHz
	Polarization	Horizontal polarization
Road (Dry asphalt)		$\epsilon_r = 4.9, \sigma = 0.00761 \text{ S/m}$
Building (Concrete)		$\epsilon_r = 7.0, \sigma = 0.0473 \text{ S/m}$

ショートノート

ト [7] 及びコンクリートとした。コンクリートの電気定数には ITU-R 勧告 [8] による 1 GHz に対する値を用いた。レイトラシング解析においてはレイラウンチング法を用い、波源におけるレイの放出角度間隔を約 2.57×10^{-3} 度、回折点における放出角度間隔を約 0.18 度とした。また、最大反射回数を 10 回、最大回折回数を 1 回とし、回折係数は UTD 法を用いて求めた。

3. 市街地道路上における電波伝搬解析結果

図 2 に図 1 における O 点周辺の電界強度確率分布の観測車線及び電波到来方向分布の観測点を示す。なお、確率分布は車線中央の観測点における電界強度から求めている。このとき、観測点間隔 Δd は 5 cm とした。また、観測位置の高さは自動車ルーフトップに対応する $z = 1.5$ m とした。ただし、本解析において車輛は考慮していない。

3.1 電波到来方向分布

図 3 に一例として送信アンテナ方向 $\varphi = \pi/2$ rad に対する観測点 P_{r3} における電波伝搬経路を示す。観測点において、周囲のビルからの反射波及び回折波が様々な方向から到来する様子が示されている。

図 4 に観測車線 L1 上の観測点 $P_{r1} \sim P_{r3}$ における水平面に射影した電波の到来方向分布を示す。ここで、送信アンテナ方向は $\varphi = \pi/2$ rad とした。水平及び垂直偏波成分のいずれにおいても、電波は受信点の近傍に位置するビル壁などの散乱体方向から到来し、到来方向分布がクラスタ分布となる様子が示されている。

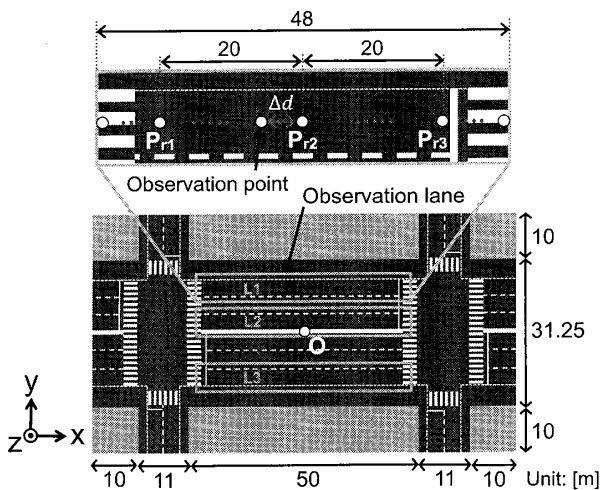


図 2 電界強度確率分布の観測車線及び電波到来方向分布の観測点

Fig. 2 Observation lanes of probability distribution, and observation points of distribution of arrival directions.

紙面の都合により図示していないが、その他の送信点位置に対しても同様の傾向を示した。また、図 2 の観測車線 L2 及び L3 に対する到来方向分布についても、図 4 と同様にクラスタ形状となる傾向を示した。

3.2 電界強度の確率分布

実際の実験においては市街地を一周して受信波を測定する機会が多い。本シミュレーションでは効率的に実験を模擬するため、原点を中心とした周方向を 24 分割し、各送信アンテナ方向に対する電界強度ヒストグラムを平均化することにより確率分布を求めた。なお、送信アンテナ方向 $\varphi = 0$ 及び π rad は観測点から見通し内となるため対象外とした。

図 5 及び図 6 に観測車線 L1 における電界の水平及び垂直偏波成分強度の確率分布を示す。図中におけるレイリー分布の理論値は、平均受信電力に関連する値 $\sigma = \sqrt{E[r_\xi^2]}/2$ を用いて、定義式から求めたものである。なお、 $E[r_\xi^2]$ ($\xi = h, v$) は観測車線における電界の水平偏波成分 r_h または垂直偏波成分 r_v の 2 乗の期

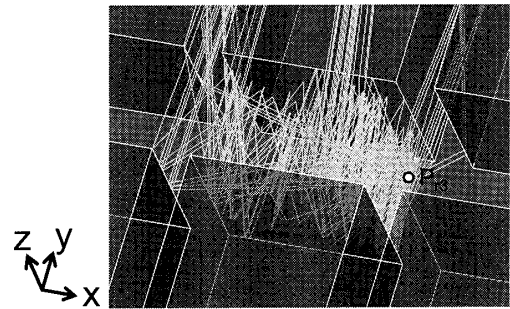


図 3 送信アンテナ方向 $\varphi = \pi/2$ rad に対する観測点 P_{r3} における電波伝搬経路

Fig. 3 Wave propagation path at P_{r3} for $\varphi = \pi/2$ rad.

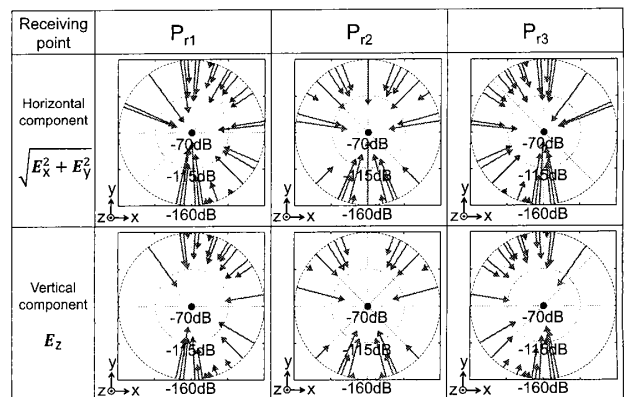
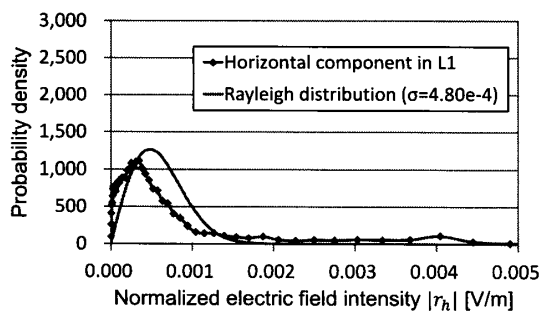
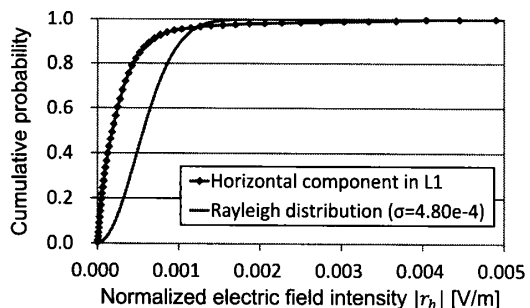


図 4 送信アンテナ方向 $\varphi = \pi/2$ rad に対する観測車線 L1 上の水平面内における到来方向分布

Fig. 4 Distribution of arrival directions in horizontal plane on lane L1 for $\varphi = \pi/2$ rad.



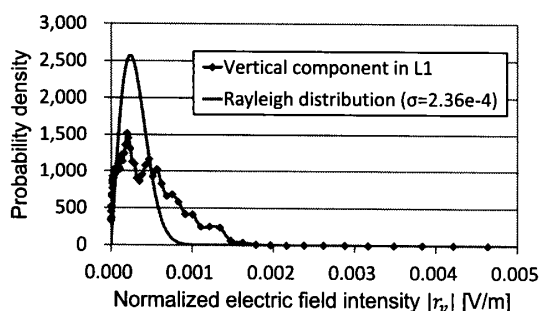
(a) Probability density distribution



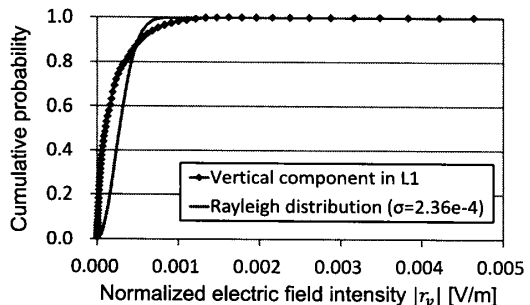
(b) Cumulative probability distribution

図 5 観測車線 L1 における電界の水平偏波成分強度の確率密度分布及び累積確率分布

Fig. 5 Probability density and cumulative probability distributions of horizontal electric field intensity in lane L1.



(a) Probability density distribution



(b) Cumulative probability distribution

図 6 観測車線 L1 における電界の垂直偏波成分強度の確率密度分布及び累積確率分布

Fig. 6 Probability density and cumulative probability distributions of vertical electric field intensity in lane L1.

待値を示している。

電波の到来方向分布がクラスタ形状となるため、主偏波である水平偏波成分では見通し外領域にもかかわらず比較的振幅の大きなレイがわずかに存在する。そのため、レイリー分布の理論値に比べて確率密度の高い部分が左側に移動することが示されている。一方、垂直偏波成分ではレイリー分布に比べて分布自体が広がる様子が示されている。観測車線 L2 及び L3 に対しても同様の傾向を示した。

4. むすび

本論文では、地上デジタル放送を対象とした市街地道路上における電波伝搬特性について、電波到来方向分布及び電界強度の確率分布をレイトレーシング法を用いて調べた。その結果、市街地道路上における受信波の到来方向分布は必ずしも Jakes モデルにならずクラスタ形状となり、電界強度の確率分布はレイリー分布には厳密に一致しないことが示された。このことにより、従来、明確にされていなかった電波到来方向分布及び電界強度確率分布の関連性が明らかとなった。

今後は、送信アンテナ距離及び高さなどを考慮した解析を行い、市街地における電界強度確率分布の定式化を検討する予定である。

謝辞 本研究の一部は独立行政法人日本学術振興会の科学研究費 (23560433 及び 22760260) の助成を得たものである。ここに謝意を表する。

文 献

- [1] W.C. Jakes, *Microwave Mobile Communications*, Wiley-IEEE Press, 1994.
- [2] D.S. Baum, J. Hansen, G. Del Galdo, M. Milojevic, J. Salo, and P. Kyösti, "An interim channel model for beyond-3G systems: Extending the 3GPP spatial channel model (SCM)," *Proc. IEEE Vehicular Technology Conference*, vol.5, pp.3132-3136, Stockholm, May 2005.
- [3] C. Chong, F. Watanabe, K. Kitao, T. Imai, and H. Inamura, "Evolution trends of wireless MIMO channel modeling towards IMT-advanced," *IEICE Trans. Commun.*, vol.E92-B, no.9, pp.2773-2788, Sept. 2009.
- [4] 今井哲朗, 北尾光司郎, "市街地における移動局側到来波分布特性," *信学技報*, A-P2007-135, Jan. 2008.
- [5] 唐沢好男, 中田克弘, "2 ステージ法による簡易型 MIMO-OTA 評価システム構成法の提案," *信学技報*, A-P2011-81, Oct. 2011.
- [6] 細矢良雄 (監修), *電波伝搬ハンドブック*, リアライズ社, 1999.
- [7] E.J. Jaselskis, J. Grigas, and A. Brillingas, "Dielectric properties of asphalt pavement," *J. Mater. Civ.*

ショートノート

Eng., vol.15, pp.427-434, Oct. 2003.

- [8] Rec. ITU-R P. 1238-6, "Propagation data and prediction methods for the planning of indoor radiocommunication systems and radio local area networks in the

frequency range 900 MHz to 100 GHz," ITU-R Recommendations, Oct. 2009.

(平成 24 年 9 月 6 日受付, 12 月 23 日再受付,
25 年 5 月 17 日公開)
