

住宅地交差点における 700MHz 帯 FDTD 電波伝搬解析

松田 大樹¹ 今井 卓¹ 田口 健治¹ 柏 達也¹ 大島 功三² 川村 武¹

¹北見工大 〒090-8507 北海道北見市

²旭川高専 〒071-8142 北海道旭川市

E-mail: ¹lx@mail.kitami-it.ac.jp

あらまし 近年、交差点における自動車衝突事故防止のために 700MHz 帯車車間通信を用いた衝突防止技術に関する研究が行われている。衝突事故の中でも特に出会い頭衝突事故が問題となっている。出会い頭衝突事故は市街地交差点、住宅地交差点等、様々な環境において発生しており、交差点における電波伝搬特性の把握は重要である。本研究では住宅地交差点における 700MHz 帯電波伝搬特性解析を行った。具体的には、送信側自動車位置及び家屋塀の違いによる伝搬特性比較、電力角度遅延プロファイル解析を行った。尚、電磁界解析手法としては FDTD 法を用いた。

キーワード 車車間通信, 交差点電波伝搬, 電波伝搬解析, 700MHz 帯, FDTD 法

Propagation Analysis of 700MHz Band at Intersection of Residential Area Using the FDTD Method

Daiki MATSUDA¹ Suguru IMAI¹ Kenji TAGUCHI¹

Tatsuya KASHIWA¹ Kohzoh OHSHIMA² Takeshi KAWAMURA¹

¹Kitami Institute of Technology, Kitami, Hokkaido, Japan

²Asahikawa National College of Technology, Asahikawa, Hokkaido, Japan

E-mail: ¹lx@mail.kitami-it.ac.jp

Abstract Recently, inter-vehicle communication system at an intersection to prevent car crash using 700MHz band has been proposed. Especially, car crash at an intersection is a serious problem. Car crash is occurred at various intersections. It is important to know propagation characteristics of each intersection. In this paper, propagation analyses of 700MHz band at an intersection of residential area are studied using the FDTD method. Propagation characteristics for various locations of wave source and wall structures were investigated. The power azimuth delay profiles were obtained by using the direction of arrival estimation method.

Keyword Inter-vehicle communication, propagation at intersection, radio wave propagation, 700MHz band, FDTD method

1. はじめに

近年、交差点における出会い頭衝突事故が問題となっており、車車間通信を用いた衝突防止技術の開発が進められている。地上デジタル放送への移行に伴い、新たに 700MHz 帯の一部 (715MHz-725MHz) が ITS に割り当てられる。700MHz 帯の電波は比較的波長が長く回折効果が高いため、住宅地交差点等見通しの悪い交差点における通信特性の改善が期待される。しかしながら、住宅地交差点における 700MHz 帯電波伝搬特性は不明な部分が多い。

従来、交差点電波伝搬解析には一般的に高速且つ簡便なレイトレーシング法が用いられてきた[1]-[9]。その際、交差点

建造物は一様コンクリートとして扱われていた。建造物の内部構造及び自動車等を含めた解析を行うためには、汎用的な電磁界解析手法である FDTD 法[10]を用いる解析も重要と思われる。

本研究では、住宅地交差点における 700MHz 帯電波伝搬特性解析を行った。電磁界解析手法としては FDTD 法を用いた。その際、送信側自動車位置及び家屋塀が伝搬特性に与える影響を明らかにした。また、電波伝搬特性に重要なインパルス応答解析を行い、到来波方向推定法[11]を用いて電力角度遅延プロファイルを求めた。尚、定性的な特性を得るため、今回は 2次元解析を行っている。

2. 住宅地における家屋塀単体の電波伝搬特性解析

交差点における電波伝搬は複雑なものになるため、家屋塀単体が与える影響を把握する必要がある。ここでは、家屋塀を透過する電波の影響を明らかにするため、家屋塀単体の伝搬損失解析を行った。

2.1. 伝搬損失特性

図1に家屋塀単体モデルを示す。ここで、道路は幅6mの片道一車線、道路上のTCPQは見通し内外経路、Pは見通し内外境界点を表している。Sは家屋塀の端から送信側自動車位置（以下、波源位置とする）までの距離を示し、波源は720MHz垂直偏波である。家屋塀は壁厚み $d=0.2\text{m}$ 及び $d=\infty$ の二種類とした。尚、家屋塀の材質は軽量コンクリートとし、電気定数はITU-R勧告値 $\epsilon_r=2.0-j0.5$ ($\epsilon_r=2.0, \sigma=0.0278\text{ S/m}$)を用いた。但し、この値は周波数1GHzにおける近似値である[12]。

2.1.1. 壁の影響

図2に家屋塀単体における電界分布を示す。ここで、電界分布は波源位置における最大値で規格化したものである。尚、図中の白線は家屋塀表面を示している。尚、波源位置は $S=20\text{m}$ とした。

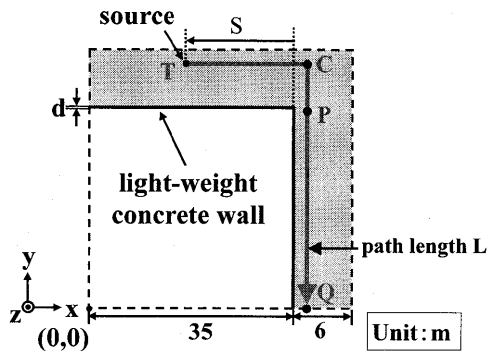


図1 家屋塀単体モデル

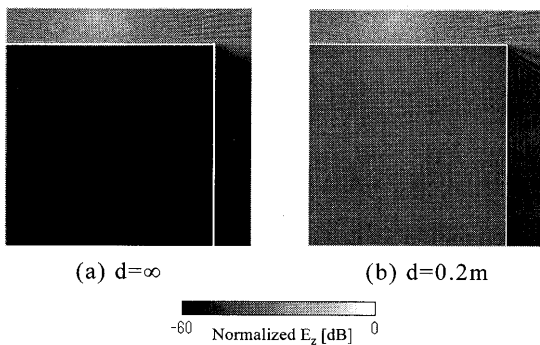


図2 家屋塀単体における電界分布

図3に家屋塀単体における見通し内外経路TCPQの伝搬損失を示す。尚、伝搬損失の値はTCPQ経路の横断方向に車幅1.8mで平均化したものである。家屋塀単体モデルにおいて家屋塀 $d=0.2\text{m}$ の伝搬損失は $d=\infty$ の結果と比較して、大幅に小さくなっている。これらの結果から、家屋塀からの透過波を考慮することの重要性が示された。

2.1.2. 波源位置の影響

図4に家屋塀 $d=0.2\text{m}$ の家屋塀単体における波源位置Sに対する電界分布を示す。波源位置は $S=20\text{m}, 15\text{m}, 10\text{m}, 5\text{m}$ の4種類とした。

図5に家屋塀単体における波源位置Sに対する伝搬損失を示す。家屋塀が $d=\infty$ の場合はSが小さくなる程、見通し外領域への電波伝搬波が大きくなることが示されている。一方、家屋塀 $d=0.2\text{m}$ の場合は波源位置によらず伝搬損失が小さくなっている。

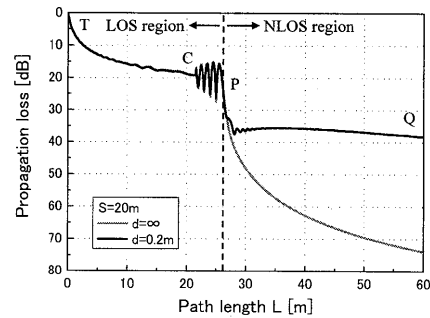


図3 家屋塀単体における見通し内外経路TCPQの伝搬損失

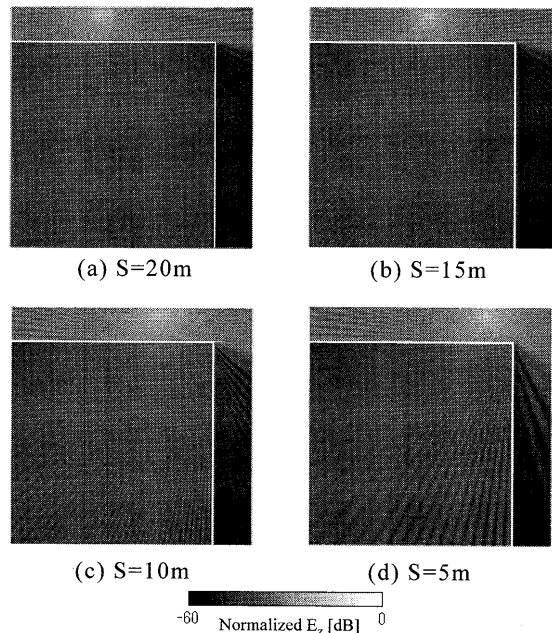
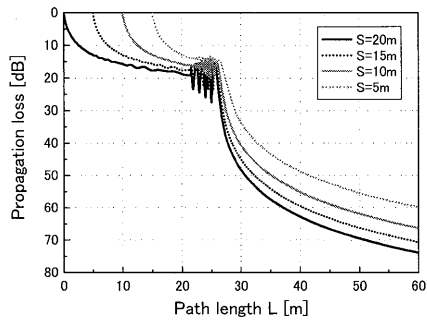
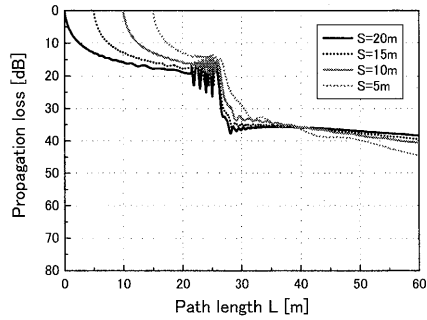


図4 家屋塀単体における波源位置Sに対する電界分布



(a) $d=\infty$



(b) $d=0.2m$

図5 家屋塀単体における波源位置 S に対する伝搬損失

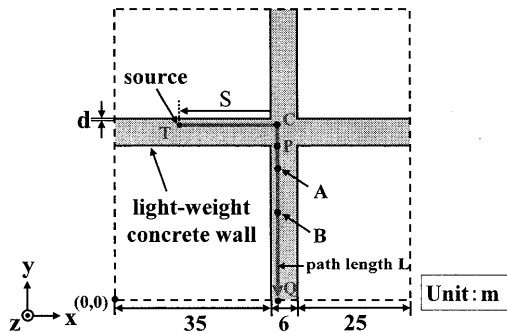


図6 住宅地交差点モデル

3. 住宅地交差点における電波伝搬特性解析

次に、住宅地交差点における伝搬損失解析を行った。家屋塀単体の場合と同様、壁及び波源位置の影響について解析を行った。更に、準インパルス応答解析を行い、電力角度遅延プロファイルを求めた。

3.1. 伝搬損失特性

図6に四方を家屋塀で囲まれた住宅地交差点を示す。道路、見通し内外経路、家屋塀のパラメータは家屋塀単体の場合と同様とした。尚、図中のA及びBは後に示すインパルス応答解析の観測位置である。

3.1.1. 壁の影響

図7に住宅地交差点における電界分布、図8に住宅地交差点における見通し内外経路TCPQの伝搬損失を

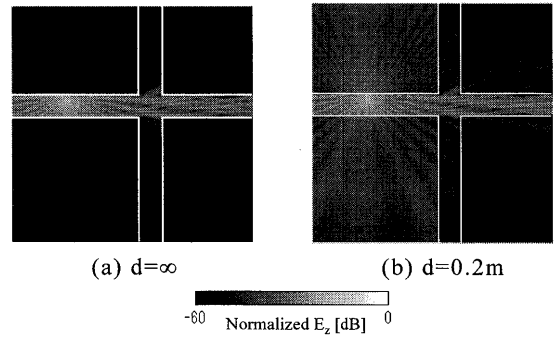


図7 住宅地交差点における電界分布

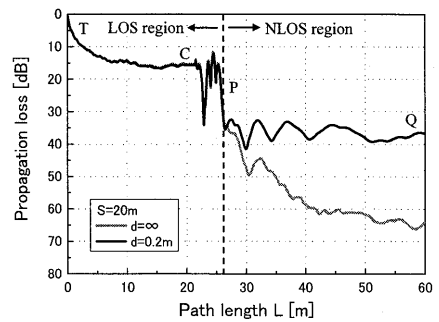


図8 住宅地交差点における見通し内外経路TCPQの伝搬損失

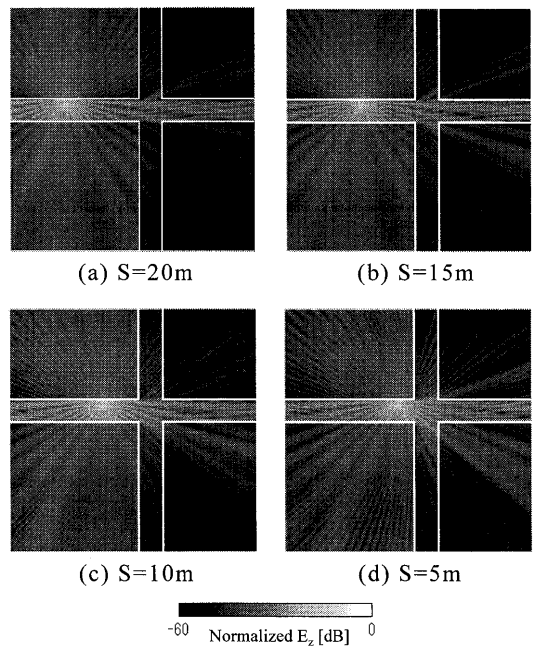


図9 住宅地交差点における波源位置 S に対する電界分布

示す。家屋塀単体の場合と同様、家屋塀 $d=0.2m$ の伝搬損失は $d=\infty$ の結果と比較して大幅に小さくなっており、透過波の影響が大きいことが分かる。尚、波源位置は $S=20m$ とした。

3.1.2 波源位置の影響

図9に住宅地交差点における波源位置 S に対する電界分布を示す。波源位置は家屋塀単体の場合と同様の4種類とした。

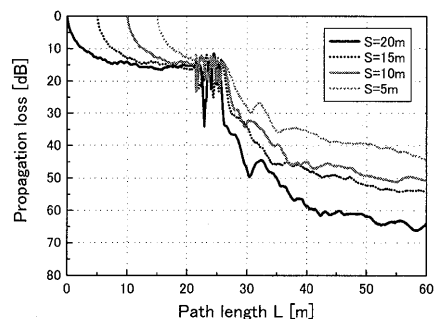
図10に住宅地交差点における見通し内外経路 TCPQ の伝搬損失を示す。家屋塀単体の結果と比べ、 $d=\infty$ の場合は全体的に伝搬損失が小さくなっている。一方、家屋塀 $d=0.2\text{m}$ の場合は家屋塀単体の結果と同様の傾向が得られた。

3.2. 受信波の準インパルス応答解析

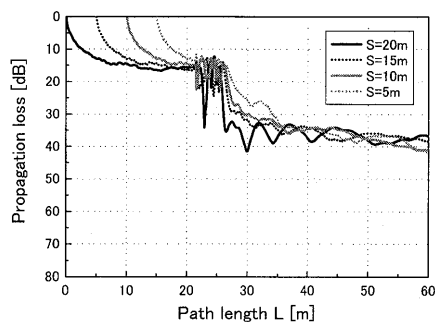
交差点における電波伝搬特性を求めるためにインパルス応答解析は重要である。本研究では手法の都合上、純粋なインパルス応答解析を行うのが困難であるため、準インパルス応答解析を行っている。更に、MUSIC法を用いた到来波方向推定法により電力角度遅延プロファイルを求めた。その際、入力波は中心周波数 $f_c=720\text{MHz}$ 、エネルギー半値幅 $f_b=60\text{MHz}$ のガウシャン変調波を用いた。尚、波源位置は $S=20\text{m}$ とした。

3.2.1. 準インパルス応答

図11に観測位置 A 及び B における受信電力の時間応答を示す。ここで、受信電力は波源位置の最大値で規格化したものである。



(a) $d=\infty$



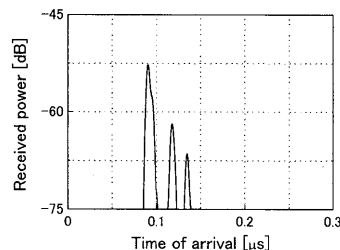
(b) $d=0.2\text{m}$

図10 住宅地交差点における波源位置 S に対する伝搬損失

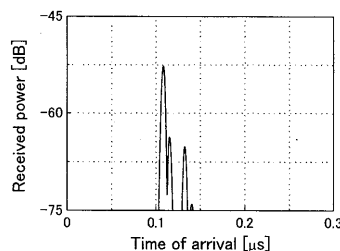
3.2.2. 電力角度遅延プロファイル

次に MUSIC 法を用いた到来波方向推定法により電力角度遅延プロファイル解析を行った。アレーアンテナの素子数は5、間隔は8mmとした。また、各素子は観測点において x 軸方向に並べられている。到来方向角度は x 軸を基準とした半時計周りの角度である。

図12に観測位置 A 及び B における電力角度遅延プロファイルを示す。観測点 A 及び B 共に、波源方向から最も強い波が到来しており、家屋塀からの透過波の影響が大きいことが示されている。

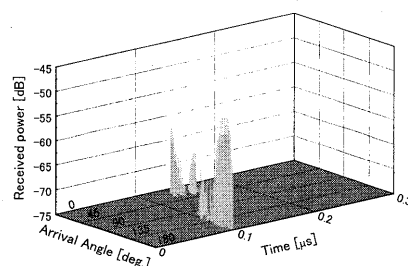


(a) Point A

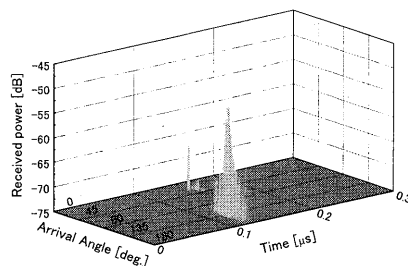


(b) Point B

図11 観測位置 A 及び B におけるインパルス応答



(a) Point A



(b) Point B

図12 観測位置 A 及び B における電力角度遅延プロファイル

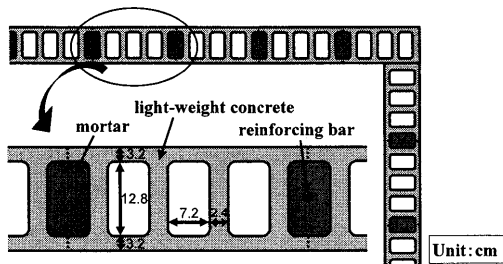


図 13 現実に近い家屋塀モデル

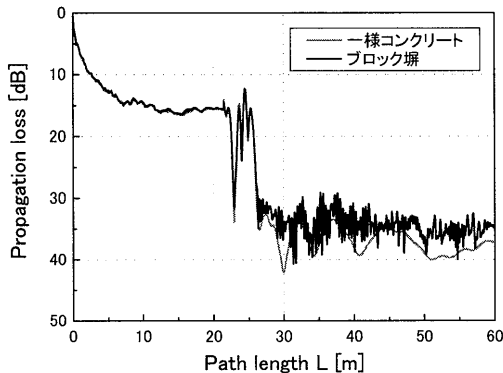


図 14 現実に近い家屋塀モデルを用いた伝搬損失

4. 現実に近い家屋塀モデルにおける電波伝搬解析

ここでは、より現実に近い家屋塀モデルを用いて解析を行った。図 13 に現実に近い家屋塀モデルを示す。家屋塀モデルは軽量コンクリート、モルタル及び鉄筋で構成されており、塀厚み $d=19\text{cm}$ とした。寸法は JIS 規格を基にした値を用いている。鉄筋及びモルタルは 2 及び 1 ブロック毎に挿入されている。また、モルタルの電気定数は $\epsilon_r=5.6-j0.3$ ($\epsilon_r=5.6$, $\sigma=0.0117\text{ S/m}$) としている [13]。

図 14 に現実に近い家屋塀モデルを用いた伝搬損失を示す。このモデルでは、これまでの家屋塀モデルに比べ見通し外領域の伝搬損失が小さくなっている。

5. むすび

本研究では、住宅地交差点における 700MHz 帯 FDTD 電波伝搬解析を行った。その際、家屋塀及び送信側自動車位置を考慮した解析を行い、その影響を明らかにした。

家屋塀の厚みを考慮した場合は塀構造及び波源位置に寄らず、塀を $d=\infty$ とした場合と比較して伝搬損失が小さくなること示された。その結果、住宅地交差点電波伝搬において、透過波の考慮が重要であることが明らかになった。

今後は、3次元電波伝搬特性解析及び 5.8GHz 帯における解析を行う予定である。

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(20560344及び21510174)の助成を得たものである。ここに謝意を表する。

文 献

- [1] 吉敷由起子, 高田潤一, “レイトレース法によるマイクロセル伝搬シミュレーションにおける複素散乱断面の導入方法と適用結果,” 第 522 回 URSI-F 会合資料, 2008.
- [2] 今井哲朗, “レイトレーシング法による移動伝搬シミュレーション,” 信学論 B, vol. J92-B, no. 9, pp. 1333-1347, 2009.
- [3] 伊藤義信, 多賀登喜雄, 村松潤哉, 鈴木徳祥, “車車間通信環境における見通し内伝搬損失推定,” 信学技報, AP2006-126, pp. 95-100, 2007.
- [4] 丹後俊宏, 岩井誠人, 村上裕一, 佐々木邦彦, 堀松哲夫, “レイトレーシングを用いた車々間通信における交差点見通し外での伝搬損失特性解析,” 信学技報, AP2007-6, pp. 31-36, 2007.
- [5] 丹後俊宏, 岩井誠人, 笹岡秀一, “車々間通信における交差点見通し外環境での伝搬損失簡易推定法の検討” 信学技報, AP2007-173, pp. 1-6, 2008.
- [6] 片岡亮, 多賀登喜雄, “車車間通信における交差点内車両の遮蔽損失特性の検討,” 信学技報, AP2008-37, pp. 7-12, 2008.
- [7] 菅江一平, 岩井誠人, 笹岡秀一, 蔡晟蔚, 佐々木邦彦, 堀松哲夫, “車々間通信環境における受信強度特性とレイトレーシングによる解析,” 信学技報, AP2008-38, pp. 13-16, 2008.
- [8] 菅江一平, 丹羽栄二, 蔡晟蔚, 岩井誠人, 木津雅文, 笹岡秀一, “市街地交差点越え車々間通信環境における伝搬損失特性の実験的評価,” 信学技報, AP2008-140, pp. 1-6, 2008.
- [9] 伊藤健二, 伊藤修朗, 三田勝史, 唐沢好男, “交差点付近の伝搬特性を対象とする判定帰還型チャネル推定法による MIMO-STBC 車車間通信方式,” 信学論 B, vol. J89-B, no. 9, pp. 1776-1788, 2006.
- [10] A. Taflove and S. C. Hagness, Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method, 3rd edition, Artech House, 2005.
- [11] Y. Ogawa, N. Hamaguchi, K. Ohsima, and K. Itoh, “High Resolution Analysis of Indoor Multipath Propagation Structure,” IEICE Trans. Commun., vol. E78-B, no. 11, pp. 1450-1457, Nov. 1995.
- [12] Rec. ITU-R P. 1238-5, “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, Feb. 2007.
- [13] 秋田慶一, “コンクリートの電気定数とテレビ電波反射特性,” 信学技報, vol. 78, no. 38, pp. 47-53, 1978.