

ブロック塀により構成された住宅地交差点における 700MHz 帯 FDTD 電波伝搬解析

松田大樹*, 今井卓, 田口健治, 柏達也 (北見工大), 大島功三 (旭川高専), 川村武 (北見工大)

FDTD Propagation Analysis of 700MHz Band at Intersection of
Residential Area Consisting of Concrete Block Walls

Daiki Matsuda*, Suguru Imai, Kenji Taguchi, Tatsuya Kashiwa (Kitami Institute of Technology)
Kozoh Ohshima (Asahikawa National College of Technology)
Takeshi Kawamura (Kitami Institute of Technology)

Abstract

Car crashes at intersections of residential area are one of the serious problems. Therefore, the inter-vehicle communication system using 700MHz band to prevent car crash at an intersection has been proposed. It is important to know propagation characteristics at intersections. In this paper, propagation analyses of 700MHz band at an intersection of residential area consisting of concrete block walls are studied using the FDTD method. Propagation characteristics for various locations of wave source and wall structures were investigated. These characteristics considering uniform concrete and concrete block walls are compared. The power azimuth delay profiles were obtained by using the direction of arrival estimation method.

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, ブロック塀
(Inter-vehicle communication, propagation at intersection, radio wave propagation, 700MHz band, FDTD method, concrete block walls)

1. はじめに

近年, 交差点における自動車衝突事故防止を目的とした車車間通信に関する研究が行われている。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 帯の電波伝搬特性は不明な部分が多い。

従来, 交差点における電波伝搬解析には簡便且つ広範囲の解析が可能なレイトレーシング法が用いられてきた [1]-[9]。その際, 交差点の建造物は壁厚みを考慮しない一般的なコンクリートとして扱われており, 建造物からの透過波は考慮されていなかった。一方, 建造物の内部構造及び自動車等を含めたより現実に近い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] を用いることが重要になってくると思われる。従来, 我々は住宅地交差点における家屋塀を有限厚みの一様コンクリートとして近似し, 電波伝搬特性解析を行った [11]。その結果, 家屋塀から

の透過波を考慮することの重要性が明らかになった。しかしながら, 実際の家屋塀は一様コンクリートではなく, 一般的に内部空洞を有するコンクリートブロックにより構成されている。そのため, ブロック塀により構成された住宅地交差点では電波伝搬特性が異なる可能性がある。

本研究では, ブロック塀により構成された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, 送信側自動車位置, 塀厚み及び塀構造を考慮した解析を行い, それらが伝搬特性に与える影響を明らかにした。更に, 準インパルス応答解析を行い, 到来波方向推定法 [12] を用いて電波伝搬特性の把握に重要な電力角度遅延プロファイル [13] 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. 住宅地交差点モデル

図 1 に四方を家屋塀で囲まれた住宅地交差点を示す。ここで道路は幅 6m の片道一車線としている。また, 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。尚, 図中の A 及び B は後に示す準インパルス応答解析における観測位置である。S は交差点から送信側自動車位

置(以下、波源位置とする)までの距離を表し、 $S=20\text{m}$, 15m , 10m , 5m とした。波源は 720MHz の垂直偏波としている。また、家屋塀は塀厚み $d=19\text{cm}$, 15cm , 12cm , 10cm の4種類を用いた。

図2に家屋塀モデルを示す。本研究では有限厚みの一様コンクリート塀及びコンクリートブロック塀の2種類の家屋塀モデルを用いた。ここで一様コンクリート塀は軽量コンクリート[14]、コンクリートブロック塀は軽量コンクリート、モルタル[15]及び鉄筋により構成されている。尚、鉄筋は2ブロック毎に挿入されている。

表1に各家屋塀モデルにおけるパラメータを示す。尚、軽量コンクリートの電気定数はITU-Rにおける 1GHz の勧告値である。

表2にコンクリートブロックの寸法を示す。尚、表中の寸法はJIS規格を基にした値である。

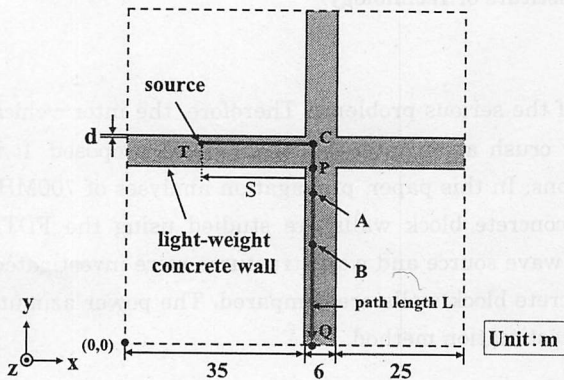


図1 住宅地交差点

Fig. 1. An intersection of residential area.

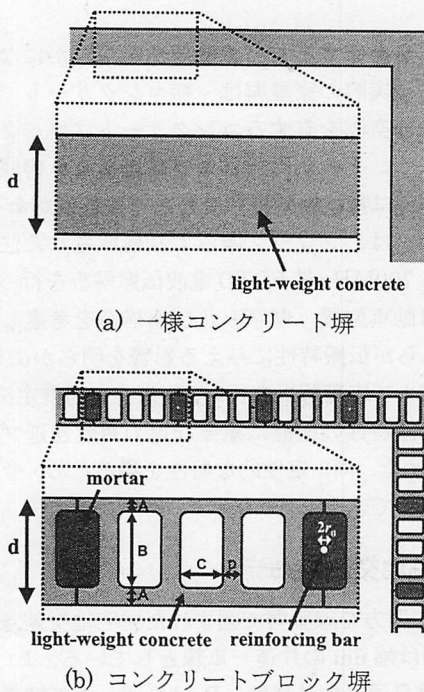


図2 家屋塀モデル

Fig. 2. Light weight concrete walls.

表1 各家屋塀モデルにおけるパラメータ

Table 1. Parameter of concrete walls.

uniform concrete wall	light-weight concrete	ϵ_r	2.0
		σ [S/m]	0.0278
concrete block wall	light-weight concrete	ϵ_r	2.0
		σ [S/m]	0.0278
	mortar	ϵ_r	5.6
		σ [S/m]	0.0117
reinforcing bar	r_0 [mm]	4.0	

表2 コンクリートブロックの寸法

Table 2. Size of concrete blocks.

thickness d [cm]	size of concrete blocks [cm]			
	A	B	C	D
19.0	3.2	12.8	7.2	2.4
15.0	2.4	10.4	7.2	2.4
12.0	2.4	7.2	8.0	2.4
10.0	2.4	4.8	8.0	2.4

3. 伝搬損失特性

ここでは、波源位置及び塀厚みの影響を明らかにするため見通し内外経路 TCPQ 上の伝搬損失解析を行った。その際、一様コンクリート塀及びコンクリートブロック塀について比較を行った。

3.1 波源位置の影響

初めに波源位置に対する電波伝搬特性解析を行った。このとき波源位置は $S=20\text{m}$, 15m , 10m , 5m の4種類とした。

図3に塀厚み $d=15\text{cm}$ における波源位置 S に対する電界分布を示す。電界分布は波源位置における最大値で規格化されている。尚、白線は家屋塀表面を示している。図中では波源位置の違いにより見通し外領域の電界分布が異なることが示されている。

図4に波源位置 S に対する伝搬損失を示す。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。このとき見通し外領域における伝搬損失は波源位置によらず大きく変化しないことが示されている。また、各波源位置におけるコンクリートブロック塀の伝搬損失は一様コンクリート塀の結果と比較して、値の変動はあるものの同様の傾向を示している。

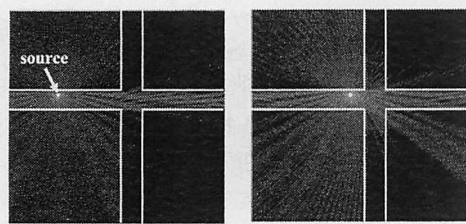
3.2 塀厚みの影響

次に塀厚みに対する電波伝搬特性解析を行った。このとき、家屋塀は塀厚み $d=19\text{cm}$, 15cm , 12cm , 10cm の4種類とし、波源位置は $S=20\text{m}$ とした。

図5に塀厚み d に対する電界分布を示す。どちらの塀モデルにおいても塀厚みが薄い場合、見通し外領域において

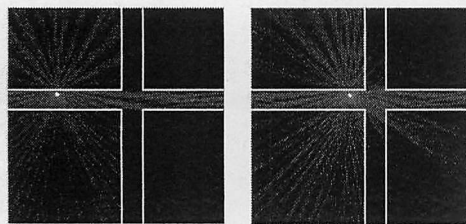
透過波の影響が強く現れている。

図6に塀厚み d に対する見通し内外経路 TCPQ の伝搬損失を示す。図中では塀厚みが薄い程、家屋塀からの透過波の影響により見通し外領域における伝搬損失が減少する事



(a-1) $S=20m$ (a-2) $S=5m$

(a) 一様コンクリート塀



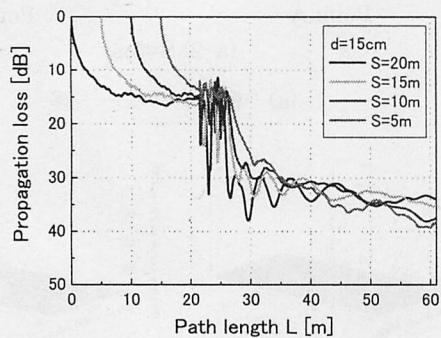
(b-1) $S=20m$ (b-2) $S=5m$

(b) コンクリートブロック塀

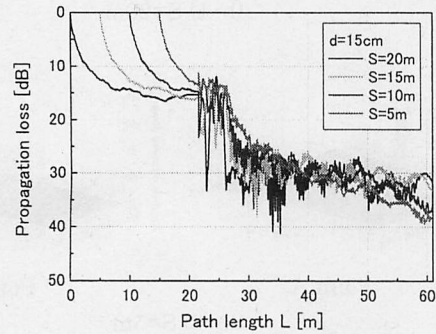
-50 Normalized E_z [dB] 0

図3 波源位置 S に対する電界分布

Fig. 3. Electric field distribution for locations of wave source, where $d=15cm$.



(a) 一様コンクリート塀

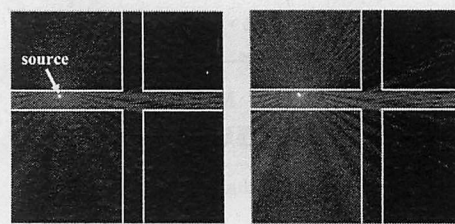


(b) コンクリートブロック塀

図4 波源位置 S に対する伝搬損失

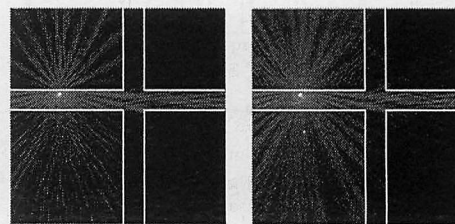
Fig. 4. Propagation loss for locations of wave source on the path TCPQ.

が示されている。また、各塀厚みにおいて2種類の塀モデルの結果を比較すると、値の変動はあるものの同様の傾向を示している。尚、他の波源位置についても同様の傾向が得られることを確認している。



(a-1) $d=19cm$ (a-2) $d=10cm$

(a) 一様コンクリート塀



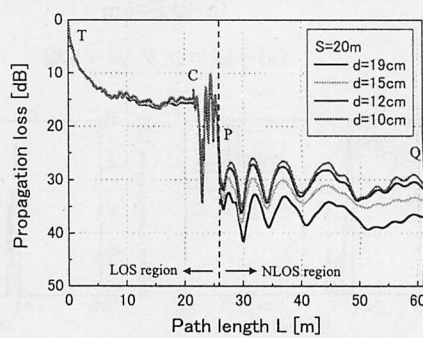
(b-1) $d=19cm$ (b-2) $d=10cm$

(b) コンクリートブロック塀

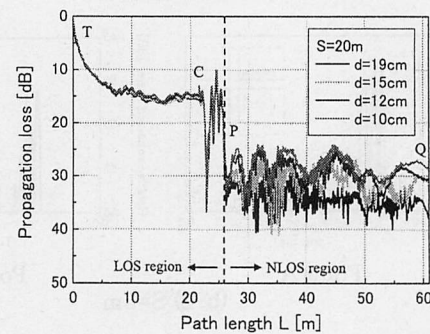
-50 Normalized E_z [dB] 0

図5 塀厚み d に対する電界分布

Fig. 5. Electric field distribution for wall thickness, where $S=20m$.



(a) 一様コンクリート塀



(b) コンクリートブロック塀

図6 塀厚み d に対する伝搬損失

Fig. 6. Propagation loss for wall thickness on the path TCPQ.

4. 受信波の準インパルス応答解析

ここでは交差点電波伝搬特性の把握に重要な準インパルス応答解析を行った。本研究では解析手法の都合上、純粋なインパルス応答解析を行うことが困難であるため、準インパルス応答解析を行っている。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 $f_0 = 60\text{MHz}$ のガウシヤ変調波を用いた。更に、MUSIC 法[12]を用いた到来波方向推定を行い、電力角度遅延プロファイルを求めた。

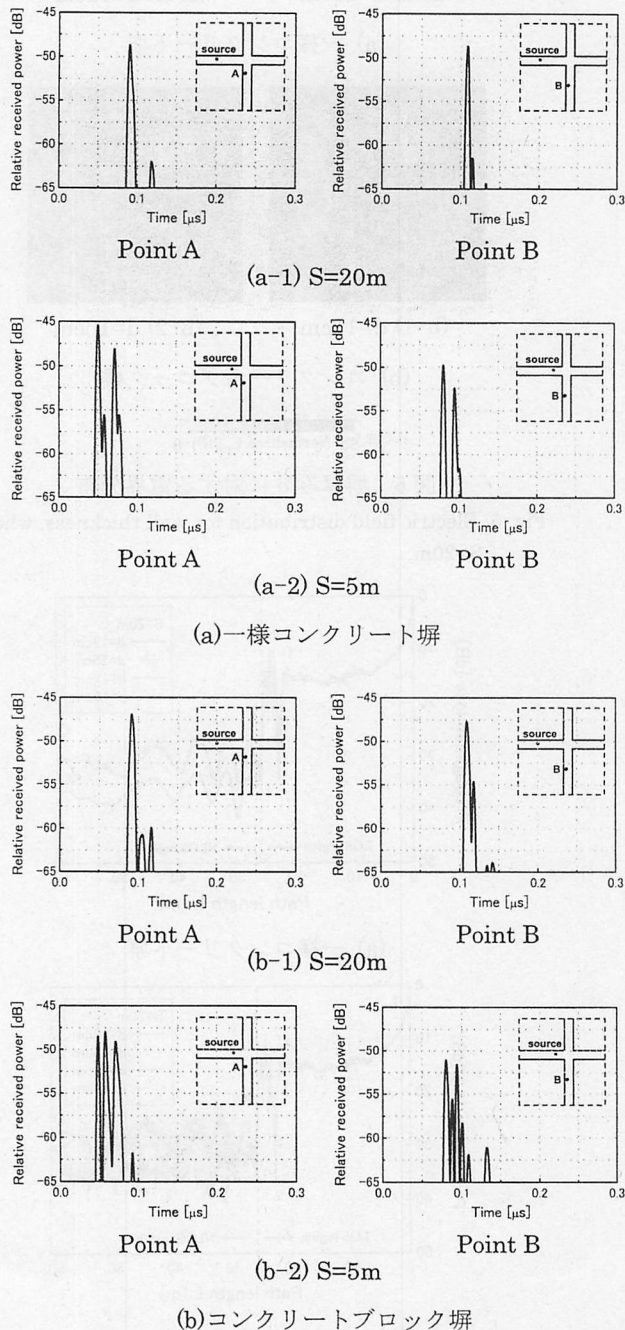


図7 観測位置 A 及び B における準インパルス応答
Fig. 7. Quasi-impulse response of relative received power, where $d=15\text{cm}$.

到来波方向推定におけるアレーアンテナは 5 素子、間隔は 8mm とした。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。また、波源位置は $S=20\text{m}$ 及び $S=5\text{m}$ 、扉厚みは $d=15\text{cm}$ とし、伝搬損失解析と同様に一樣コンクリート扉及びコンクリートブロック扉について比較を行った。

図7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、図中の値は波源位置における電力の最大値で規格化されている。図8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。

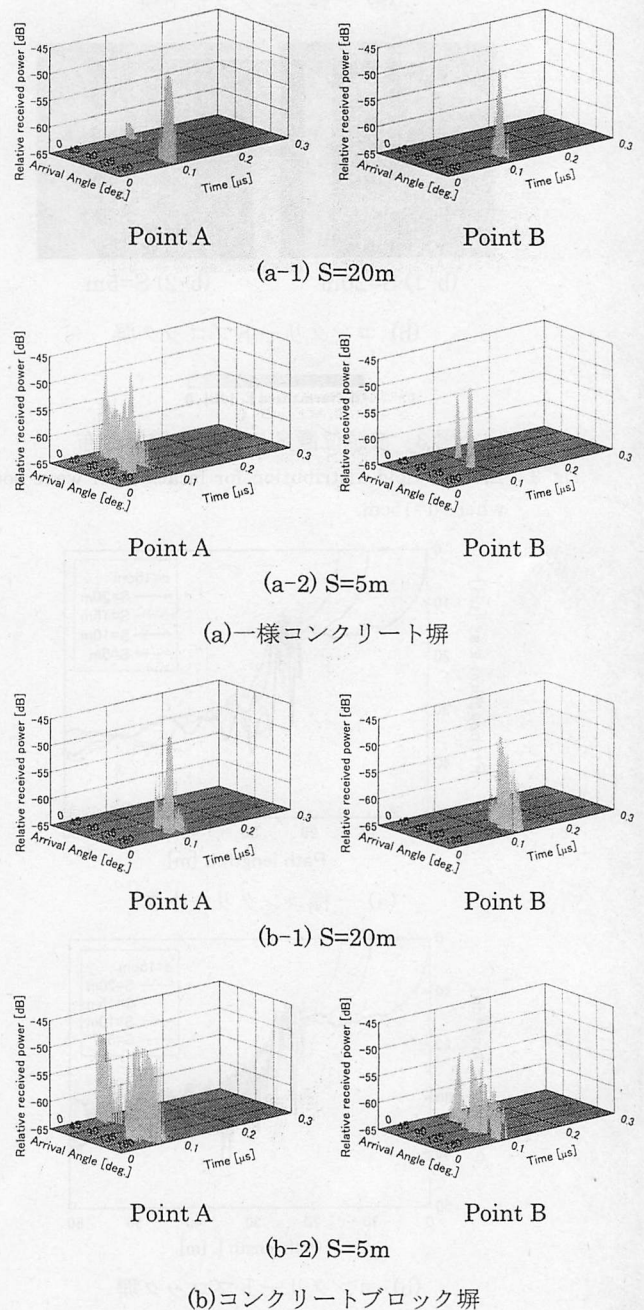


図8 観測位置 A 及び B における電力角度遅延プロファイル
Fig. 8. Power azimuth delay profile, where $d=15\text{cm}$.

4.1 波源位置の影響

図7では各塀モデルにおいて波源位置に対するパルスの総遅延時間及び受信電力波形が異なることが示されている。また、 $S=20\text{m}$ では受信電力の大きな到来波が一波のみであるのに対し、 $S=5\text{m}$ では複数波存在する。

図8において $S=20\text{m}$ の場合、受信電力の最も大きい波はその到来角度及び到達時間から透過波であると推定される。一方、 $S=5\text{m}$ の場合、複数存在する受信電力の大きい波は透過波と反射波であると推定される。

これらの結果から、波源位置が交差点から遠い場合は透過波、交差点に近い場合は透過波及び反射波の影響が強く現れることが明らかになった。

4.2 塀構造の影響

図7では $S=20\text{m}$ 及び 5m において各塀モデルに対する受信電力波形は異なるが、パルスの総遅延時間は同等であることが示されている。図8では塀構造の違いによって到来波数及び到来角度が異なることが示されている。

5. むすび

本研究では、ブロック塀により構成された住宅地交差点における700MHz帯電波伝搬解析を行った。その際、送信側自動車位置、塀厚み及び塀構造を考慮した解析を行い、それらが伝搬特性に与える影響を明らかにした。

その結果、送信側自動車位置は見通し外領域における伝搬損失に大きな影響を与えないことが示された。また、波源位置が交差点から遠い場合は透過波、交差点に近い場合は透過波及び反射波の影響が強く現れることが明らかになった。

一方、塀厚みは伝搬損失に大きな影響を及ぼすことが示された。厚みが薄い程、家屋塀からの透過波の影響により見通し外領域における伝搬損失が減少する事が明らかになった。

今回、具体的に塀の内部構造を考慮した解析を行い、これらが解析結果に与える影響を明らかにした。その結果、伝搬損失においては内部構造による影響はあまり見られず、一様コンクリート塀及びコンクリートブロック塀のそれぞれで定性的に同様の結果が得られた。従って、伝搬損失特性は家屋塀の厚みのみに依存することが示された。また、インパルス応答解析においてパルスの総遅延時間は塀の内部構造によらず同様の傾向を示した。しかしながら、到来波方向推定を用いた電力角度遅延プロファイルからはその伝搬経路の物理的メカニズムが異なることが明確となった。以上の結果より、今後の700MHz帯における3次元電波伝搬特性解析では、対象とする通信方式にもよるが、必ずしも塀の内部構造を考慮する必要が無いことが示された。

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] Y. Kishiki, and J. Takada, "Introduction technique and application result of complex radar cross section for ray tracing simulation of microcell propagation channels," URSI-F Japanese Committee Meeting, no. 522, Mar. 2008.
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積の導入方法と適用結果," 第522回 URSI-F 会合資料, 2008.
- [2] T. Imai, "Mobile radio propagation Simulation based on ray-tracing method," IEICE Trans. Commun., vol. J92-B, no. 9, pp. 1333-1347, Sept. 2009
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] Y. Ito, T. Taga, J. Muramatsu, and N. Suzuki, "Prediction of line-of-sight propagation loss in inter-vehicle communication environments," IEICE Technical Report, AP2006-126, pp. 95-100, Jan. 2007.
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] T. Tango, H. Iwai, Y. Murakami, K. Sasaki, and T. Horimatsu, "An analysis of propagation loss characteristic for inter-vehicle communications in non-line of sight intersections using ray-tracing technique," IEICE Technical Report, AP2007-6, pp. 31-36, Apr. 2007.
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] T. Tango, H. Iwai, and H. Sasaoka, "Simplified prediction scheme of propagation loss over non line-of-sight intersections in V2V communication," IEICE Technical Report, AP2007-173, pp. 1-6, 2008.
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] R. Kataoka, and T. Taga, "A study on shadowing loss characteristics due to a vehicle staying at intersection in inter-vehicle communication systems," IEICE Technical Report, AP2008-37, pp. 7-12, Jul. 2008.
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] I. Sugae, H. Iwai, H. Sasaoka, S. Cai, K. Sasaki, and T. Horimatsu, "Experimental results and evaluation by ray-tracing on received signal level in V2V environments," IEICE Technical Report, AP2008-38, pp. 13-16, Jul. 2008.
菅江一平, 岩井誠人, 笹岡秀一, 蔡晨蔚, 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] I. Sugae, E. Niwa, S. Cai, H. Iwai, and M. Kizu, "An experimental analysis of propagation loss characteristics at urban NLOS V2V intersections," IEICE Technical Report, AP2008-140, pp. 1-6, Dec. 2008.
菅江一平, 丹羽栄二, 蔡晨蔚, 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] K. Itou, S. Itou, K. Sanda, and Y. Karasawa, "MIMO-STBC scheme for inter-vehicle communications using decision feedback channel estimation method based on propagation feature at

- intersection," IEICE Trans. Commun., vol. J89-B, no. 9, pp. 1776-1788, 2006.
- 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] D. Matsuda, S. Imai, K. Taguchi, T. Kashiwa, K. Ohshima, and T. Kawamura "Propagation analysis of 700MHz band at intersection of residential area using the FDTD method," IEICE Technical Report, AP2010-43, pp31-35, Jul. 2010.
松田大樹, 今井卓, 田口健治, 柏達也, 大島功三, 川村武, "住宅地交差点における 700MHz 帯 FDTD 電波伝搬解析," 信学技報, AP2010-43, pp. 31-35. 2010.
- [12] Y. Ogawa, N. Hamaguchi, K. Ohshima, and K. Itoh, "High resolution analysis of indoor multipath propagation structure," IEICE Trans. Commun., vol. E78-B, no. 11, pp. 1450-1457, Nov. 1995.
- [13] H. Iwai, and I. Sugae "Path Loss and Delay Profile Models for ITS in 700MHz Band," IEICE Technical Report, AP2010-8, pp. 35-40, Apr. 2010.
岩井誠人, 菅江一平, "700MHz 帯における ITS 用伝搬損失距離特性モデルおよび遅延プロファイルモデル," 信学技報, AP2010-8, pp. 35-40, 2010.
- [14] 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.
- [15] K. Akita, "Dielectric constants and radio wave reflection characteristics of concretes," EMCJ, Vol. 78, No. 38, pp. 47-53, Nov. 1978.
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.