

機関番号：10106

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560344

研究課題名（和文） 自動車衝突防止を目的とした新周波数帯電波利用に関する研究

研究課題名（英文） Research on the system development for preventing car crash using the new frequency band

研究代表者

柏 達也 (TATSUYA KASHIWA)

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号：30211155

研究成果の概要（和文）：本研究では、新周波数帯を利用した自動車衝突防止システムの開発を目的として、主に 1) 交差点電波伝搬解析、2) 自動車搭載アンテナの近傍界－遠方界解析、3) 到来波方向推定の高精度化、4) 高精度電磁界解析手法の開発、5) RF-ID を用いた自動車位置検出システムの開発を行った。その結果、交差点における電波伝搬特性等、自動車衝突防止システムの開発のための新しい知見、技術並びに有用な数値データを得た。

研究成果の概要（英文）：In this research, the system development to prevent car crash using the new frequency band was carried out. In particular, the following items are investigated; 1) radio wave propagation at an intersection, 2) boundary between near and far fields for car antenna in UHF band, 3) high accuracy direction-of-arrival estimation method, 4) high accuracy electromagnetic simulation method, 4) car position detecting system using RF-ID tags. As a result, new knowledge and technologies, significant numerical data for the system development were obtained.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
2010 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク工学

キーワード：移動体通信、高度道路交通システム(ITS)、シミュレーション工学、次世代交通システム、情報通信工学

## 1. 研究開始当初の背景

近年、ICT<sup>\*1</sup>の自動車走行への適用が盛んに行われ ITS<sup>\*2</sup>技術が革新的に進み、VICS<sup>\*3</sup>などの道路交通情報の把握と交通量制御、安全走行の為に衝突防止、車車間通信(VSC<sup>\*4</sup>)、および快適走行の為にクルーズコントロール等を目指した技術の開発が行われている。

特に交通事故が大きな社会問題となっており、交通事故防止技術の開発が重要となっ

ている。現在、前方障害物の感知にはミリ波の電波あるいは赤外線を用いたシステムが実用化されている。しかし、これらの技術はあくまでも自動車前方の狭い角度範囲および天候良好時にしか効果を発揮しない。

地上デジタル放送への移行に伴い、従来の地上アナログ UHF 放送の内 710MHz～770MHz 帯の電波周波数帯が開放される。この周波数帯は従来のミリ波より周波数が低い事により広角度において送受信が可能な

ため、障害物感知の範囲を大幅に広げることが出来る。特に実際の衝突事故では正面衝突や追突以上に側面から突発的に出てくる車両や自転車等との出会い頭事故が多く、従来のミリ波のみではなく伝搬特性の良い UHF 帯を上手く用いることが出来れば自動車衝突防止技術を飛躍的に向上することが可能となる。

また、アンテナアレイを用いて到来波推定を行うことにより障害物の正確な方向検出が可能となる。最近では到来波方向推定技術の高速化、高精度化が盛んに研究されており、自動車衝突防止技術の向上に寄与できると考えられる。また、GPS を用いて高精度に自己位置推定が確立されると遠距離時に車両相互の正確な位置関係を予め予測することも可能となるが、現在の民生 GPS 技術では数メートルオーダーの大きな位置検出誤差および電波不感地域等の問題により、現時点では近距離における衝突防止技術には直接貢献することは難しい。

※1 ICT : Information and Communication Technology

※2 ITS : Intelligent Transport Systems

※3 VICS : Vehicle Information and Communication System

※4 VSC : Vehicle Safety Communications

## 2. 研究の目的

交通事故において交差点での出会い頭の事故が多発し大きな問題となっている。このような突発的な事故は回避対策が難しいのが現状である。地上デジタル放送への周波数移行に伴い 700MHz 帯の一部が新しく開放される。本研究ではこの周波数帯の電波伝搬特性に注目し、従来のミリ波や CCD カメラを用いたシステムでは検知不可能な建物等の死角に存在する自動車や人との衝突事故を大きく低減する ITS 技術を実用化することを研究目的としている。

## 3. 研究の方法

実際の道路上で実験を行うと膨大な金銭的、時間的及び人的コストが必要となる。また、ミニチュアモデルを用いた実験ではモデル製作が大変な上に周波数が高くなるため実験が困難である。一方、近年計算機の高速大容量化に伴い電磁界シミュレーションによる予測が有効になっている。FDTD (Finite Difference Time Domain)法やレイトレーシング法を用いることにより、現実的なモデルについて低コストかつ高い精度で解を得る事が可能となっている。

本研究では電磁界シミュレーション技術

を用いて将来新しく開放される UHF 周波数帯について自動車衝突防止を目的とした種々の研究を行った。

## 4. 研究成果

本研究では次の 5 項目を柱として研究を行い種々の成果を得た。

### (1) 交差点における電波伝搬特性

交差点における衝突防止を目的とし、ITS 向けに開放予定である 720MHz 帯における交差点電波伝搬解析を行った。尚、電磁界解析手法として FDTD 法を用いた。

#### ① ビルで囲まれた市街地交差点

一般的に存在するビルで囲まれた市街地交差点においてビル壁厚み、窓ガラス及び歩行者を考慮した現実環境に近い解析を行い、交差点における伝搬損失特性及び遅延プロファイル特性を解析した。その結果、窓及び歩行者が電波伝搬特性に大きな影響を与える事が明らかになった。

#### ② コンクリート塀で囲まれた住宅地交差点

自動車衝突防止システムはコンクリート塀で囲まれた住宅地など見通しの悪い交差点においてその効果が期待されている。住宅地交差点において壁の内部構造、自動車送信位置を考慮した電波伝搬特性の解析を行った。その結果、ビルで囲まれた市街地交差点とは異なり、電波伝搬損失においては壁内部構造及び実際に使用される壁厚みの影響が非常に小さい事が明らかとなった。また、インパルス応答解析においては壁内部構造により各到来波の伝搬経路が異なる事が明確となった。

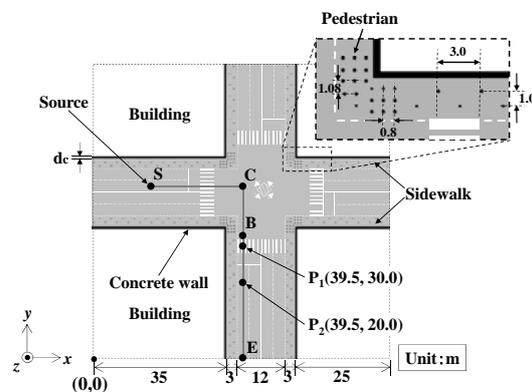
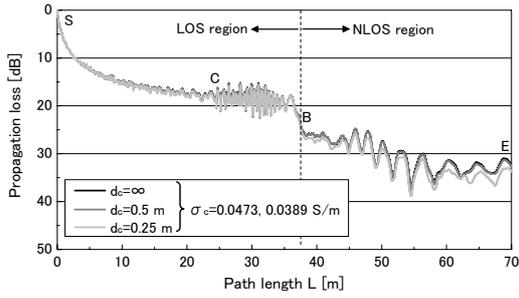
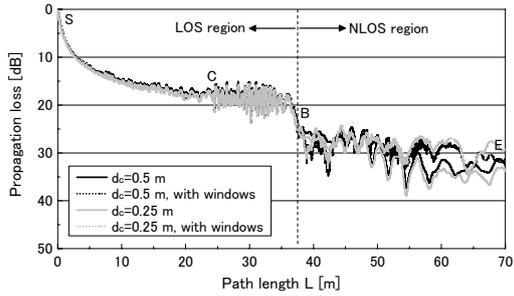


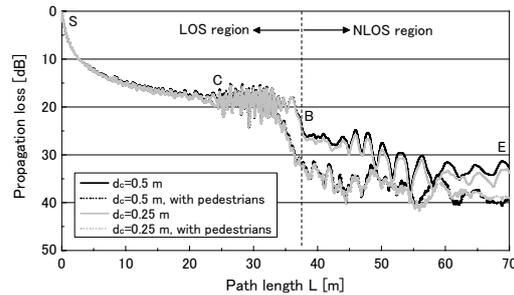
図 1 ビルで囲まれた市街地交差点



(a) ビル壁厚み  $d_c$  の影響



(b) 窓ガラスの影響



(c) 歩行者の影響

図2 ビルで囲まれた市街地交差点における伝搬損失

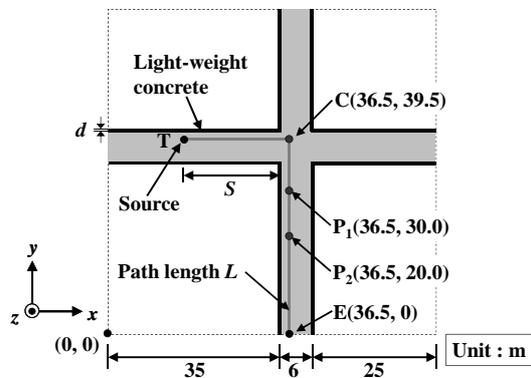


図3 コンクリート塀に囲まれた住宅地交差点

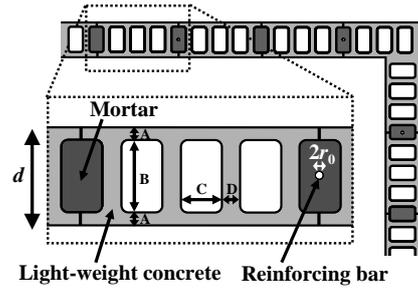
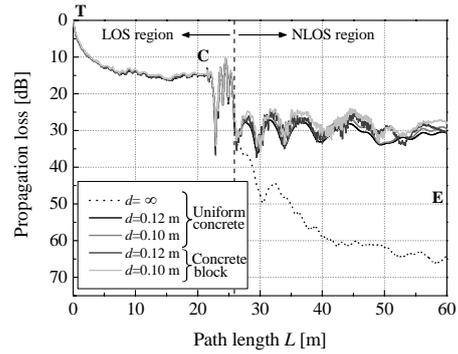
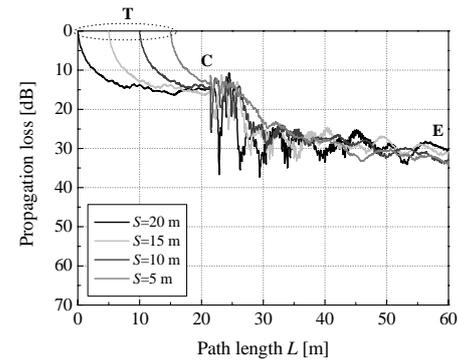


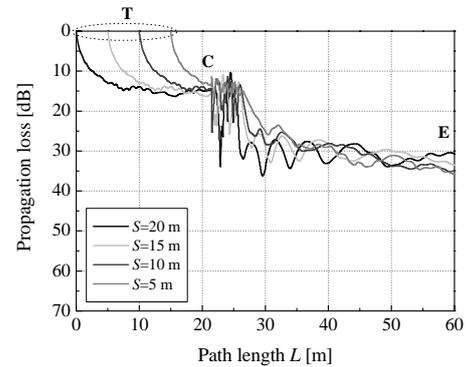
図4 コンクリートブロック塀構造



(a) 家屋塀厚み  $d$  の影響



(b-1) 一様コンクリート塀



(b-2) コンクリートブロック塀

(b) 自動車送信位置  $S$  の影響

図5 コンクリート塀で囲まれた住宅地交差点における伝搬損失

(2) 自動車搭載アンテナにおける近傍界—遠方界境界の解明

自動車衝突防止システムにおいてアンテナの存在は必須であるが、その指向性は車載時に大きく変化する。更に大地の存在によって低仰角の指向性も影響を受ける。一方、アンテナの指向性測定においては電波暗室が良く用いられる。電波暗室の大きさは有限であるため、車載アンテナ開発においてはアンテナからの近傍界—遠方界境界位置の把握が非常に重要となる。本研究では車体の電流分布から解析的に任意距離の電界分布を求める事で、UHF帯車載アンテナにおける定性的な近傍界—遠方界境界位置を明らかにした。その結果、自動車から約40m程度離れば測定において指向性と同等の電界放射パターンが得られる事が明らかになった。

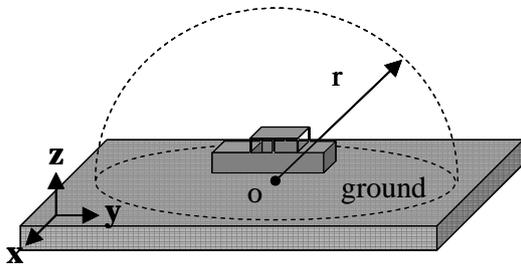


図4 近傍界—遠方界境界解析における電界観測位置  $r$  の定義

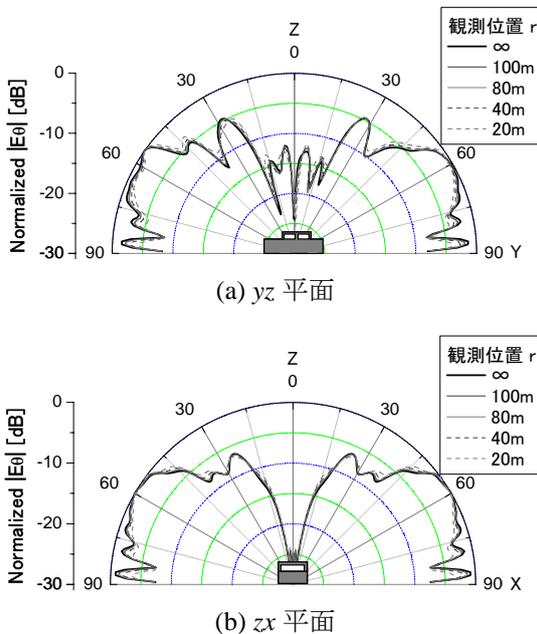


図5 UHF帯ルーフトップモノポールアンテナ搭載時における電界観測位置  $r$  に対する電界放射パターン

(3) 大規模電磁界解析を目的とした高精度FDTD法の開発

FDTD法を用いて大規模交差点における電波伝搬解析を行う場合、計算機メモリ制限のため、空間波長分割数の低下に伴う位相速度の誤差が発生する。この問題を克服する高精度FDTD法の一つとしてNon-Standard FDTD (NS-FDTD)が提案されている。本手法は極めて高い精度を有するが解析可能周波数が単一周波数に限定される問題がある。本研究では、大規模交差点における電波伝搬解析を目的とした広帯域解析が可能なWide Band NS-FDTD法を開発した。

(4) 到来波方向推定の高精度化

交差点近傍における高精度な自動車位置推定のために到来方向推定法が必要となる。本研究では波源近傍における到来波方向推定を実現するためMUSIC (Multiple Signal Classification)法の拡張を行った。更に、GA (Genetic Algorithm)を用いた到来波方向推定の高精度化を行った。

(5) RF-IDを用いた自動車位置検出システムの開発

交差点近傍においては自動車位置の高精度な検出・制御が必要となる。本研究では、地中埋没型RF-IDを用いた高精度な自動車位置検出システムの検討及び開発を行った。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計4件)

- ① T. Ohtani, K. Taguchi, T. Kashiwa, Y. Kanai, J. B. Cole, "Nonstandard FDTD method for multi-frequency analysis," IEEE Trans. Magnetics, vol. 44, no. 6, pp. 1390-1393, June 2008.
- ② T. Ohtani, K. Taguchi, T. Kashiwa, Y. Kanai, J. B. Cole, "Scattering analysis of large-scale coated cavity using the complex nonstandard FDTD method with surface impedance boundary condition," IEEE Trans. Magnetics, vol. 45, no. 3, pp. 1296-1299, Mar. 2009.
- ③ T. Ohtani, K. Taguchi, T. Kashiwa, Y. Kanai, J. B. Cole, "Nonstandard FDTD method for wideband analysis," IEEE Trans. AP, vol. 57, no. 8, pp. 2386-2396, Aug. 2009.
- ④ K. Taguchi, T. Kashiwa, K. Ohshima, T. Kawamura, "Propagation analysis of electromagnetic waves in 700 MHz band at intersection for inter-vehicle communications using the FDTD method," IEICE Trans.

Electron, vol. E94-C, no. 1, pp. 18-23, Jan. 2011.

[学会発表] (計 52 件)

- ① T. Kashiwa, T. Ohtani, K. Taguchi, Y. Kanai, "The extension of the nonstandard FDTD method and its applications," ACES, digest pp. 967-971, Niagara Falls Canada, Mar.-April 2008.
- ② T. Ohtani, K. Taguchi, T. Kashiwa, Y. Kanai, J. B. Cole, "Scattering analysis of large-scale coated cavity using the complex nonstandard FDTD method with surface impedance boundary condition," IEEE Conference on electromagnetic field computation (CEFC), digest OD2-4 p.385, Athens, Greece, May 2008.
- ③ T. Kawamura, T. Yamamoto, Y. Yamamoto, N. Sugawara, T. Kashiwa, "Experimental study for vehicle navigation system with RF-ID," Proc. of IEEE Int. Conf. on Vehicular Electronics and Safety, digest, pp. 22-24, Columbus, OH, USA, Sept. 2008.
- ④ K. Ohshima, Y. Ogawa, T. Kashiwa, "Accuracy of direction of arrival estimation with immune algorithm," ISAP, digest ID: 1644898, Taipei, Taiwan, Oct. 2008.
- ⑤ T. Kashiwa, T. Ohtani, K. Taguchi, Y. Kanai, "The nonstandard FDTD method and its applications," ISAP, digest ID: 1644927, Taipei, Taiwan, Oct. 2008.
- ⑥ T. Kawamura, Y. Yamamoto, N. Sugawara, T. Kashiwa, "Vehicle navigation system using RF-ID," World Congress, Paper ID: 3399, Stockholm, Sweden, Sept. 2009.
- ⑦ T. Ohtani, K. Taguchi, T. Kashiwa, Y. Kanai, "Coefficients of finite difference operator for rectangular cell NS-FDTD method," COM-PUMAG2009, PB3-12, pp. 356-357, Florianopolis, Brasil, Nov. 2009.
- ⑧ K. Taguchi, S. Imai, T. Kashiwa, K. Ohshima, T. Kawamura, "FDTD Simulation of electromagnetic wave propagation in 700MHz band at intersection for inter-vehicle communications," IWMST2010, Paper ID: 00005, Kitami, Sept. 2010.
- ⑨ Y. Nakajima, K. Taguchi, S. Imai, T. Kashiwa, "Optimal design of microwave circuits using adjoint variable method," IWMST2010, Paper ID: 00007, Kitami, Sept. 2010.
- ⑩ S. Miyai, K. Ohshima, M. Muramoto, S. Imai, K. Taguchi, T. Kashiwa, "On the direction of arrival estimation method using an genetic algorithm," IWMST2010, Paper ID: 00008, Kitami, Sept. 2010.
- ⑪ 川村武, 山本剛久, 山本悦崇, 菅原宣義, 柏達也, "RF-ID を用いた路車間通信およびナビゲーションシステムについて," ITS Japan, 第7回 ITS シンポジウム(千葉), pp. 107-112, Dec. 2008.
- ⑫ 森下隆司, 田口健治, 柏達也, 川村武, 大島功三, 栗林裕, 小松寛, "自動車搭載アンテナにおける近傍界・遠方界境界に関する一検討," 電子情報通信学会, マイクロ波研究会(旭川), MW2009-55, pp. 137-142, July 2009.
- ⑬ 高橋望美, 大島功三, 田口健治, 柏達也, 栗林裕, 小松寛, "市街地における円偏波の伝搬に関する一検討," 電子情報通信学会, マイクロ波研究会(旭川), MW2009-56, pp. 143-147, July 2009.
- ⑭ 柴山侑子, 上田瑛久, 田口健治, 柏達也, 川村武, 大島功三, "ビル透過波を考慮した交差点における 700MHz 帯 FDTD 電波伝搬解析," 電気学会電磁界理論研究会(沖縄), EMT-09-137, pp. 85-90, Nov. 2009.
- ⑮ 川村武, 山本悦崇, 菅原宣義, 柏達也, 田口健治, "RF-ID を用いた車両誘導システム- インタラクティブ誘導の試み," ITS Japan, 第8回 ITS シンポジウム(広島), pp. 65-70, Dec. 2009.
- ⑯ 柴山侑子, 上田瑛久, 田口健治, 柏達也, 川村武, 大島功三, "車車間通信を目的とした交差点における 700MHz 帯 FDTD 電波伝搬解析," ITS Japan, 第8回 ITS シンポジウム(広島), pp. 119-124, Dec. 2009.
- ⑰ 松田大樹, 今井卓, 田口健治, 柏達也, 大島功三, 川村武, "FDTD 法を用いた住宅地交差点における電波伝搬特性解析," 電子情報通信学会, アンテナ伝播研究会(北見), AP2010-43, pp. 31-35, July 2010.
- ⑱ 森下隆司, 今井卓, 田口健治, 柏達也, 川村武, 大島功三, 栗林裕, 小松寛, "UHF 帯における自動車搭載アンテナの近傍界・遠方界に関する一検討," 電子情報通信学会, アンテナ伝播研究会(北見), AP2010-44, pp. 37-40, July 2010.
- ⑲ 松田大樹, 今井卓, 田口健治, 柏達也, 大島功三, 川村武, "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," 電気学会電磁界理論研究会(会津), EMT-10-106, pp. 23-28, Nov. 2010.
- ⑳ 川村武, 吉田憲正, 井川晴仁, 菅原宣義, 柏達也, 田口健治, "埋設型 RF-ID タグの ITS 応用についての基礎研究," ITS Japan, 第9回 ITS シンポジウム(京都), pp. 161-164, Dec. 2010.

他 32 件

6. 研究組織

(1)研究代表者

柏 達也 (TATSUYA KASHIWA)  
北見工業大学・電気電子工学科・教授  
研究者番号：30211155

(2)研究分担者

大島 功三 (KOHZO OHSHIMA)  
旭川高等工業専門学校・電気情報工学科・  
准教授

研究者番号：10310971

田口 健治 (KENJI TAGUCHI)  
北見工業大学・電気電子工学科・准教授  
研究者番号：60435485

川村 武 (TAKESHI KAWAMURA)  
北見工業大学・電気電子工学科・准教授  
研究者番号：80234128