

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560433

研究課題名(和文) UHF帯電波を用いたITS技術による自動車衝突防止システムの開発に関する研究

研究課題名(英文) Research on the development of car crash avoidance system using UHF band by ITS technology

研究代表者

柏 達也(Kashiwa, Tatsuya)

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号：30211155

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円、(間接経費) 840,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、UHF帯電波を用いたITS技術による自動車衝突防止システムの開発を目的として、主に1)市街地及び住宅地交差点における3次元電波伝搬解析、2)UHF帯自動車搭載アンテナにおける電界パターンの距離依存特性解析、3)到来方向推定の高精度化及び拡張、4)超高速GPU-FDTD計算プログラムの開発、5)RF-IDを用いた自動車誘導システムの開発を行った。その結果、自動車衝突防止システムを開発するために重要な新しい知見、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 development of car crash avoidance system using UHF band by ITS technology was carried out. In particular, the following items were investigated; 1) three-dimensional radio wave propagation at an intersection, 2) distance dependence of electric field distribution for an antenna mounted on a car in UHF band, 3) improvement of direction-of-arrival estimation method, 4) high speed FDTD simulator using GPUs, 5) vehicle navigation system using RF-ID tags. As a result, new knowledge and technologies, significant numerical data for the system development were obtained.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：通信・ネットワーク

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、ITS (Intelligent Transport Systems) 技術の革新的進歩に伴い、VICS (Vehicle Information and Communication System) 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 (Inter Vehicle Communications)、及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。特に交差点における出会い頭衝突事故は深刻な社会問題の一つである。前方障害物の感知にはミリ波の電波或いは赤外線を用いたシステムが既に実用化されている。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でしか効果を発揮しない。そのため、交差点においては車車間通信を利用した衝突防止システムが検討されている。図1に交差点における車車間通信を用いた出会い頭衝突防止のイメージ図を示す。

車車間通信において、現在 5.8GHz 帯の周波数利用が検討されている。これに加え、2011 年の地上デジタル放送への移行に伴い、UHF 帯の内 700MHz 帯が ITS へ割当てられる。この周波数帯はミリ波及び 5.8GHz 帯と伝搬特性が異なり、周波数が低いため広い角度での送受信が可能である。そのため、交差点見通し外領域における自動車間通信及びレーダ技術を用いた障害物感知の範囲を大幅に広げることが可能となる。更に、GPS 及び準天頂衛星システムを用いた高精度車両位置推定技術が確立されれば車両相互の正確な位置関係を予測することも可能となる。

実際の衝突事故においては、正面衝突及び追突以上に側面から突発的に出てくる車両や自転車との出会い頭衝突事故が多い。そのため、従来のミリ波のみではなく伝搬特性の良い UHF 帯を利用し自動車衝突防止技術を飛躍的に向上することが出来れば、交差点における自動車衝突事故を大幅に減少させることが可能である。

2. 研究の目的

従来、我々は3次元自動車搭載アンテナ特性、及び 700MHz 帯における2次元交差点電波伝搬特性を明らかにしてきた。本研究では従来の研究成果を踏まえて、高度な電磁界解析技術を用いて、1) 多周波高性能 ITS 用アンテナの最適設計、2) これまで明らかにされていない詳細な3次元交差点電波伝搬特性の解明、3) 近距離緊急衝突防止のための車車間通信用電波のレーダ応用、に関する研究を行うことにより UHF 帯電波を用いた ITS 技術による高機能自動車衝突防止システムの開発を目的とする。この時、電磁界解析技術として我々が開発した高速高精度 FDTD (Finite Difference Time Domain) 法及びレイトレーシング法を用いることにより

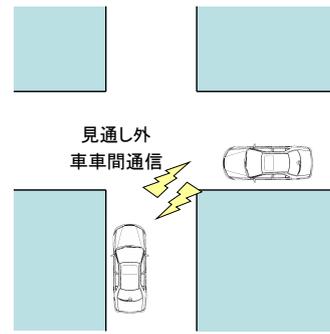


図1 出会い頭衝突事故防止のイメージ

初めて実用的レベルの大規模3次元シミュレーション実験が可能となる。

3. 研究の方法

実際の道路上で実験を行う場合、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、近年計算機の高速度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 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

(1) 交差点における UHF 帯電波伝搬特性

UHF 帯電波を用いた交差点における衝突防止システムを実現するためには、交差点の電波伝搬特性を把握する事が重要となる。これまで我々は交差点の基本的な電波伝搬特性を明らかにするために2次元モデルを用いた解析を行ってきた。本研究では、より詳細な特性を把握すべく3次元交差点における電波伝搬特性について以下の研究を行った。

①住宅地交差点における3次元電波伝搬特性解析

住宅地交差点における3次元電波伝搬特性解析を行った。図2に塀で囲まれた住宅地交差点モデルを示す。本解析では、塀厚み、塀高さ及び大地が伝搬特性に与える定性的な特性を明らかにするため図2の交差点モデルを基準として、図3に示す4つのモデルについて解析を行った。図4にTCQ経路における伝搬損失特性を示す。結果として、住宅地交差点

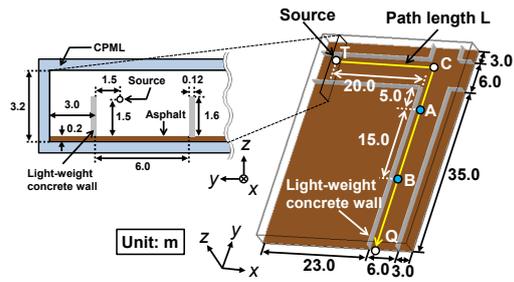


図2 住宅地交差点

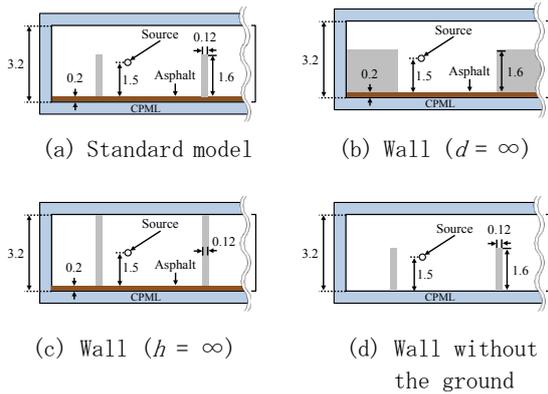


図3 各交差点モデルの垂直断面図

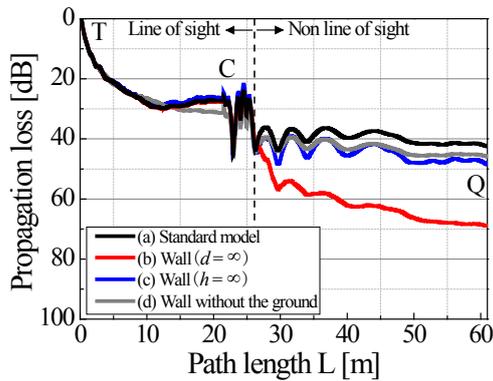
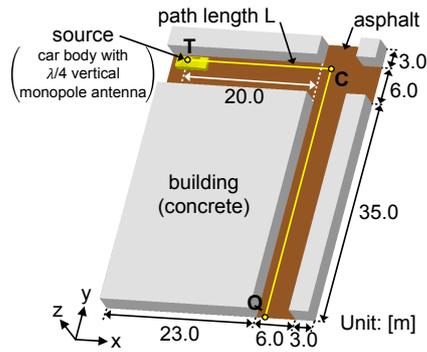


図4 各交差点モデルにおけるTCQ経路の伝搬損失特性

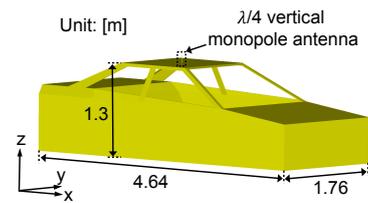
では塀を透過する透過波の影響が大きい事が明らかになった。また、塀上端部の散乱波、大地反射波も伝搬特性に影響がある事が示された。

②自動車形状を考慮した市街地交差点の電波伝搬特性解析

車載状態におけるアンテナの電界放射パターンは、自動車形状の影響により単体の場合と異なる放射パターンを示す。そのため、自動車形状を考慮した場合の交差点における電波伝搬特性を把握することが重要にな



(a) 市街地交差点



(b) 自動車モデル

図5 送信側自動車形状を考慮した市街地交差点及び自動車モデル

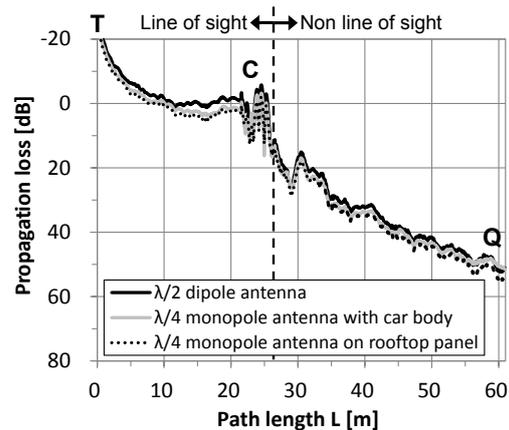


図6 各アンテナ取付位置条件に帯するTCQ経路の電波伝搬損失特性

ると考えられる。本研究では、送信側の自動車形状を考慮したより詳細な電波伝搬解析を行い、自動車形状が電波伝搬特性に与える影響について調べた。尚、解析にはFDTD法及びレイトレーシング法を組み合わせたハイブリッド法を用いた。図5に送信側自動車形状を考慮した市街地交差点及び自動車モデルを示す。図6に各アンテナ取付条件に対するTCQ経路の電波伝搬損失特性を示す。結果として、本解析においては自動車形状を考慮した場合の伝搬損失はルーフトップのみを考慮した場合と定性的に同様の傾向を示す事が確認された。

③FDTD 法を用いた交差点電波伝搬解析の効率化

FDTD 法を用いて市街地交差点の電波伝搬解析を行う場合、非常に多くの計算時間及び使用メモリが必要となる。本研究では、2次元FDTD解析結果を用いて効率的に3次元電波伝搬特性を得るための推定法について検討を行った。

(2)自動車搭載 UHF 帯アンテナにおける電界パターンの距離特性

自動車搭載アンテナの指向性は通常、オープンサイト若しくは電波暗室において測定される。一般的に、自動車搭載アンテナの指向性を正確に測定するための距離はアンテナ単体の場合より長くなる。しかし、その具体的な距離については知られていない。本研究では、一般的なセダンタイプ乗用車について、自動車通信で重要な水平方向における有限距離電界パターンの距離特性について調べた。具体的には、図7に示す自動車及びアンテナモデルにおける有限距離及び無限遠方の電界パターン差 δ を定量的に調べた。以下に電界パターン差 δ の定義式を示す。

$$\delta(\omega, r) = \frac{\int_0^{2\pi} |EP_{\xi}^{\text{near}}(\omega, r, \pi/2, \phi) - EP_{\xi}^{\text{far}}(\omega, \pi/2, \phi)| d\phi}{\int_0^{2\pi} EP_{\xi}^{\text{far}}(\omega, \pi/2, \phi) d\phi}$$

図8に電界パターン差 δ の距離特性を示す。結果として、厳密な指向性を得るためには約 300mの距離が必要である事が明らかになった。

(3)到来方向推定の高精度化及び拡張

交差点の電波伝搬メカニズムの解明、交差点衝突防止レーダの開発においては高精度な到来波推定法が必要となる。特に衝突防止レーダにおいては、到来方向だけではなく対象物との距離も重要なパラメータとなる。本研究では、MUSIC(Multiple Signal Classification)法、GA(Genetic Algorithm)等を用いた波源近傍における到来波推定の高精度化に関する検討を行った。更に、近年注目されている最適化手法の一つであるPSO(Particle Swarm Optimization)を用いた到来方向推定についても検討を行った。

(4)超高速 GPU-FDTD 計算プログラムの開発

近年、演算性能・エネルギー効率の向上が目覚ましい GPU(Graphics Processing Unit)を用いた高速数値計算が注目されている。エクサスケールの次世代スーパーコンピュー

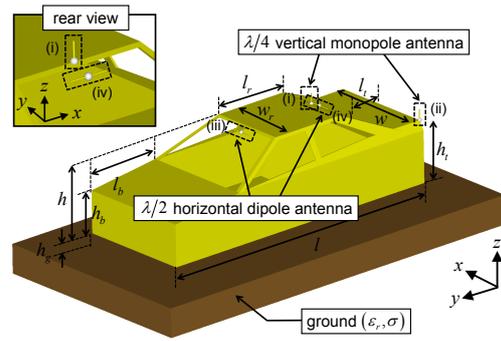
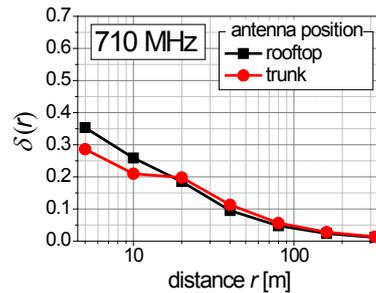
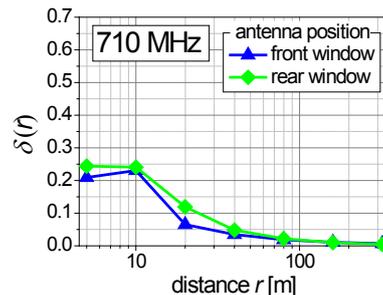


図7 自動車及びアンテナモデル



(a) 垂直モノポールアンテナ



(b) 水平ダイポールアンテナ

図8 UHF帯自動車搭載アンテナにおける有限距離と無限遠方の電界パターン差 δ の距離特性

タにおいてはGPUによる計算が必須となる可能性が高い。本研究ではGPUを用いた超並列FDTD電磁界解析のための基礎的プログラムの開発を行い、その性能評価を行った。また、FDTD解析においてCUDA Fortran及びCUDA Cの言語違いが演算速度に与える影響についても調べた。その結果、GPUを用いた場合はシングルコアCPUに対して約10倍の速度向上が得られる事が示された。また、両プログラミング言語は同等の演算性能を有している事が確認された。

(5) RF-ID を用いた自動車誘導システムの開発

交差点近傍においては自動車位置の高精

度な検出及び制御が必要となる。本研究では、地中埋没型 RF-ID(Radio Frequency Identifier)を用いた高精度な自動車誘導システムの開発を行った。本システムでは、UHF帯電波を用いて地中のRF-IDに記録した位置及び車両誘導情報を取得し、GUI及び音声でそれらの情報をドライバーへ伝える事によって効果的な車両ナビゲートを実現している。

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 K. Taguchi, S. Imai, T. Kashiwa, H. Kuribayashi, and S. Komatsu, "Distance dependence of electric field pattern for an antenna mounted on a car in UHF band," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 55, no. 9, pp. 2182-2186, Sept. 2013. (Published Online: 27 June 2013, DOI: 10.1002/mop.27752)
- ② 今井卓, 田口健治, 柏達也, 栗林裕, 小松寛, "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," *電子情報通信学会論文誌C*, vol. J96-C, no. 6, pp. 160-163, June 2013.
- ③ T. Kawamura, T. Kashiwa, and K. Taguchi, "Vehicle navigation system using UHF RF-ID - Vehicle navigation in an aspect of lane support system," *European Transport Research Review*, vol. 5, no. 2, pp. 91-99, Mar. 2013. (Published Online: 5 Mar. 2013 DOI: 10.1007/s12544-013-0092-2)
- ④ K. Taguchi, S. Imai, T. Kashiwa, K. Ohshima, and T. Kawamura, "FDTD analysis of radio wave propagation at intersection surrounded by concrete block walls in residential area for inter-vehicle communications using 720 MHz band," *IEICE Trans. Electron*, vol. E95-C, no. 1, pp. 79-85, Jan. 2012.

[学会発表] (計56件)

- ① 今井卓, 田口健治, 柏達也, 川村武, "自動車形状を考慮した市街地交差点における電波伝搬特性解析に関する一検討," *電気学会電磁界理論研究会*, EMT-13-150, pp. 83-86, Nov. 2013.
- ② T. Kawamura, T. Kashiwa, and K. Taguchi, "Vehicle navigation system using UHF RF-ID with two antennas,"

20th ITS World Congress, Paper Number:3174, Tokyo, Oct. 2013.

- ③ 三原基, 大島功三, 村本充, 今井卓, 田口健治, 柏達也, "2次元MUSIC法における近接波推定精度改善に関する一検討," *平成25年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会*, 103, Oct. 2013.
- ④ K. Taguchi, S. Imai, T. Kashiwa, H. Kuribayashi, and S. Komatsu, "Distance characteristics of electric field pattern for an antenna mounted on a car in UHF band," *IEEE AP-S Int. Symp.*, pp. 2099-2100, Orlando, Florida, July 2013.
- ⑤ 田口健治, 今井卓, 柏達也, 川村武, "市街地交差点における700MHz帯3次元電波伝搬特性の2次元FDTD解析結果を用いた推定に関する一検討," *電子情報通信学会, エレクトロニクスシミュレーション研究会*, EST2013-42, pp. 201-204, July 2013.
- ⑥ T. Kawamura, T. Kashiwa, and K. Taguchi, "Vehicle navigation system using UHF RF-ID -- Number of antennas and RF-ID tag arrangement," *9th ITS European Congress*, Paper ID:TP0123, Dublin, Ireland, June. 2013.
- ⑦ R. Aoyama, K. Taguchi, S. Imai, T. Kashiwa, H. Kuribayashi, and S. Komatsu, "Distance property of electric field patterns for an antenna mounted on a car in UHF band," *PIERS*, p. 477, Taipei, Taiwan, Mar. 2013.
- ⑧ 吉田明彦, 川村武, 柏達也, 田口健治, "複数アンテナUHF帯RF-IDシステムを用いた車両誘導," *ITS Japan*, 第11回ITSシンポジウム2012, 1-C-09, pp. 187-191, Dec. 2012.
- ⑨ S. Imai, K. Taguchi, T. Kashiwa, H. Kuribayashi, and S. Komatsu, "Analysis of multipath propagation characteristics for digital terrestrial broadcasting in UHF band on urban street using ray tracing method," *ISAP*, pp. 644-647, Nagoya, Japan, Oct. 2012.
- ⑩ K. Taguchi, R. Aoyama, S. Imai, and T. Kashiwa, "Three-dimensional FDTD analysis of radio wave propagation at intersection surrounded by compound walls in residential area for inter-vehicle communications using 720MHz band," *ISAP*, pp. 640-643, Nagoya, Japan, Oct. 2012.
- ⑪ A. Yoshida, H. Kato, T. Kawamura, T. Kashiwa, and K. Taguchi, "Visual and voice instruction for vehicle

- navigation using UHF RF-ID system," ICEMS, LS3A-1, Sapporo, Japan, Oct. 2012.
- ⑫ 高橋祥崇, 大島功三, 村本充, 今井卓, 田口健治, 柏達也, "免疫アルゴリズムを用いた近傍波源到来方向推定に関する一検討," 平成 24 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 90, Oct. 2012.
- ⑬ 松村卓哉, 大島功三, 村本充, 今井卓, 田口健治, 柏達也, "PSO を用いた到来方向推定に関する一検討," 平成 24 年度電気・情報関係学会北海道支部連合大会, 89, Oct. 2012.
- ⑭ R. Aoyama, K. Taguchi, S. Imai, and T. Kashiwa, "Three-dimensional propagation analysis for 720MHz band at intersection surrounded by walls using the FDTD method," IWMST2012, Paper ID: 00002, Tokyo, Aug. 2012.
- ⑮ K. Taguchi, R. Aoyama, S. Imai, and T. Kashiwa, "FDTD simulation of radio wave propagation at intersection surrounded by compound walls in residential area for inter-vehicle communications using 720 MHz band," IEEE AP-S Int. Symp., IF26.2, Chicago, IL, July 2012.
- ⑯ 高原勝平, 今井卓, 田口健治, 柏達也, "GPGPU を用いた FDTD 計算高速化における CUDA C 及び CUDA Fortran の演算性能比較に関する一検討," 電子情報通信学会, エレクトロニクスシミュレーション研究会, EST2012-32, pp. 53-56, July. 2012.
- ⑰ 青山良輔, 今井卓, 田口健治, 柏達也, "レイトレーシング法を用いた市街地道路上における UHF 帯電波伝搬解析," 電子情報通信学会, エレクトロニクスシミュレーション研究会, EST2011-92, pp. 49-52, Jan. 2012.
- ⑱ 青山良輔, 今井卓, 田口健治, 柏達也, 大島功三, 川村武, "家屋塀で囲まれた住宅地交差点における 720MHz 帯の 3 次元 FDTD 電波伝搬シミュレーション," 電気学会電磁界理論研究会, EMT-11-121, pp. 91-94, Nov. 2011.
- ⑲ K. Taguchi, S. Imai, T. Kashiwa, K.

Ohshima, T. Kawamura, "FDTD simulation of radio wave propagation at intersection surrounded by concrete block walls in residential area for inter-vehicle communications using 720 MHz band," ISAP, Paper ID: C02-1002, Jeju, Korea, Oct. 2011.

- ⑳ 佐藤亮人, 今井卓, 田口健治, 柏達也, 大島功三, 川村武, "軽量コンクリート塀で囲まれた住宅地交差点における 720MHz 帯及び 5.8GHz 帯 FDTD 電波伝搬解析," 電子情報通信学会, エレクトロニクスシミュレーション研究会, EST2011-63, pp. 263-266, July 2011.

他 36 件

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 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

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

今井 卓 (SUGURU IMAI)
北見工業大学・電気電子工学科・助教
研究者番号: 00584575

大島 功三 (KOHZO OHSHIMA)
旭川高等工業専門学校・電気情報工学科・教授
研究者番号: 10310971

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