

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 23 日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420335

研究課題名(和文)760MHz帯を用いた交差点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 760 MHz 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

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：近年、760MHz帯電波を用いた車車間通信による自動車衝突防止システムが検討されている。本システムの開発においては、ビルで囲まれた市街交差点など見通しの悪い環境における電波伝搬特性を把握することが重要である。本研究では、最新の大規模電磁界シミュレーション技術を用いて主にこれまで明らかにされていなかった自動車、アンテナ位置、ビルなどの周辺環境等を考慮した詳細な3次元交差点電波伝搬特性に関する研究を行った。結果として、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に必要な新たな知見及び有用なデータを得た。

研究成果の概要(英文)：Recently, the car crash avoidance system using inter-vehicle communication using 760 MHz band has been studied. In the development of this system, it is important to know radio wave propagation characteristics in an environment with poor visibility such as an intersection surrounded by buildings in an urban area. In this research, we investigated the three-dimensional intersection radio wave propagation characteristics at intersections considering cars, antenna positions, surrounding environment such as buildings by using modern large-scale simulation technologies for electromagnetic fields. As a result, new knowledge and useful data necessary for development of car crash avoidance system by ITS technology using UHF band were obtained.

研究分野：電磁波工学

キーワード：移動体通信 高度道路交通システム 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) 技術が革新的に進み、VICS (Vehicle Information and Communication System) などの道路交通情報の把握と交通量制御、安全走行の為の衝突防止、車車間通信 (Inter Vehicle Communications)、及び快適走行の為のクルーズコントロール等を目指した技術の開発がなされている。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、赤外線或いは画像処理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。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 760MHz 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。特に実際の衝突事故で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

近年、760MHz 帯電波を用いた車車間通信による自動車衝突防止技術が検討されている。その実現のためには、高品質な自動車通信技術及び GPS 等の ITS 技術の有効利用が必要不可欠である。本研究では最新の大規模電磁界解析技術を用いて、これまで明らかにされていない自動車、アンテナ、ビルなどの周辺環境を考慮した詳細な 3 次元交差点電波伝搬特性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。

3. 研究の方法

交差点など実際環境における電波伝搬特性を実験によって調べる場合、膨大な金銭的、時間的、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煩雑な上に、周波数が高くなり実験そのものが困難になる。一方、近年の高速大容量計算機の発達に伴い、電磁界シミュレーションによる数値的予測が有効になっている。

本研究では、高精度 FDTD 法及び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精度な実用的レベルの解を得ることが可能となる。

4. 研究成果

本研究では、760MHz 帯を用いた交差点自動車衝突防止システムの開発に関する研究について、主に以下の研究成果を得た。

(1) 市街交差点における電波伝搬特性に関する研究

車車間通信システムにおいてはビルで囲まれた市街交差点など見通しの悪い環境における電波伝搬特性を把握することが重要である。従来、伝搬特性を評価するための測定実験及び計算機シミュレーションにおいては半波長ダイポールアンテナ等の基準アンテナを波源として仮定する事が多い。しかし、車載アンテナの指向性は一般的に車両形状及び取付位置等の影響により変化する。したがって、電波伝搬特性におけるこれらの影響を明らかにする必要がある。

また、従来の電波伝搬シミュレーションではビル壁厚みを無限大とした透過波が存在しない最悪状況における特性を評価することが多かった。しかし、実際の環境ではビルを透過する透過波が存在するため、それが伝搬特性に与える影響を知ることが重要となる。

本研究では、ビルで囲まれた市街地交差点における電波伝搬特性において、車載アンテナ取付位置の影響、車載アンテナ及び半波長ダイポールアンテナの伝搬特性、ビル壁透過

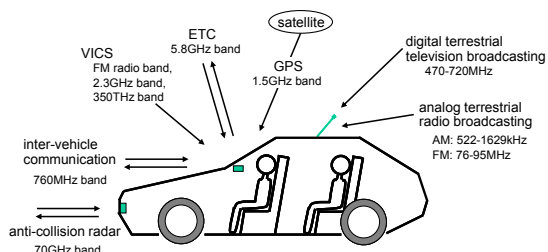


図 1 自動車通信とその周波数

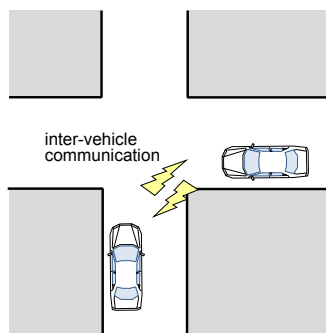


図 2 出会い頭衝突事故防止

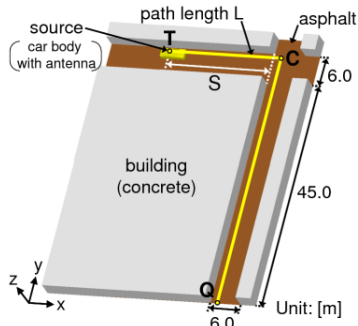


図3 ビルで囲まれた市街地交差点

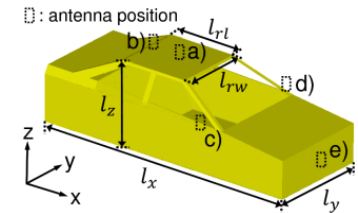


図4 自動車モデル及びアンテナ取付位置

波の影響について明らかにした。

① 車載アンテナ取付位置の影響

図3にビルで囲まれた市街地交差点モデルを示す。ここでは $S=20\text{m}$ とした。図4に自動車モデル及びアンテナ取付位置を示す。アンテナ取付位置は、a)ルーフトップ中央、b)ルーフトップ後方、c)右ミラー、d)左ミラー、e)フロントバンパーとし、アンテナはa)及びb)では $1/4$ 波長モノポールアンテナ、それ以外では半波長ダイポールアンテナを用いた。

・電流分布及び指向性

図5に一例としてルーフトップ中央にアンテナを搭載した場合の電流分布と指向性を示す。ルーフ及びピラー部に強い電流が流れている事が示されている。指向性では水平面はほぼ等方性だが垂直面ではルーフサイズが有限であるため、斜め上方に強い指向性が現れている。

・伝搬損失特性

図6に各車載アンテナ取付位置における伝搬損失特性を示す。伝搬損失特性はアンテナ取付位置によって定量的に異なるが、定性的には同様の傾向を示す。

② 車載アンテナと半波長ダイポールアンテナとの比較

図7に一例としてルーフトップ中央車載アンテナ及び半波長ダイポールアンテナ単体の伝搬損失特性の比較を示す。両アンテナの伝搬損失は、非常に近い特性を持っているが定量的には僅かに異なっている。他のアンテナ取付位置についても同様の傾向があることを確認している。これは両アンテナにおける自動車前方方向の指向性利得が僅かに異

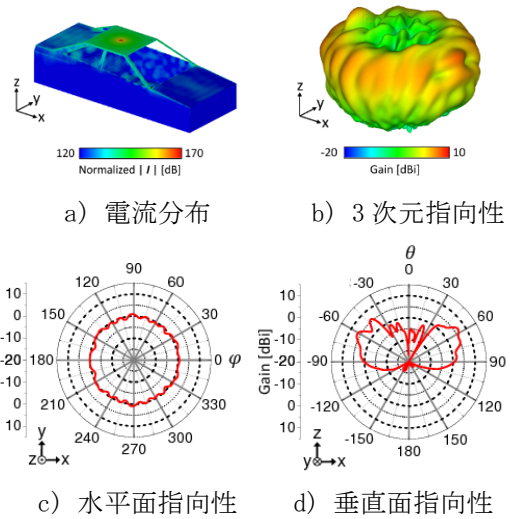


図5 電流分布及び指向性

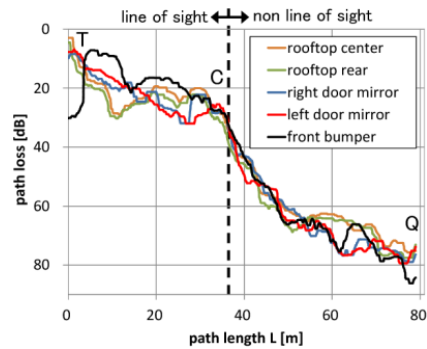


図6 各車載アンテナ取付位置における伝搬損失特性

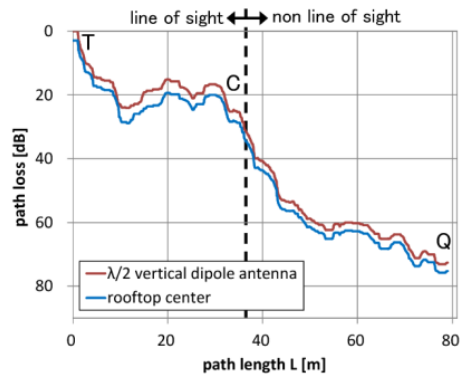


図7 車載アンテナ及び半波長ダイポールアンテナ単体の伝搬損失特性

なることが原因であると考えられる。

③ ビル透過波の影響

ビル壁からの透過波の影響を明らかにするために、ビル壁厚みの違いによる電波伝搬特性の比較を行った。図8にビル透過波を考慮した交差点電界分布を示す。ここで壁厚み $t=0.2\text{m}$ 及び ∞ はそれぞれ透過波あり及びなしの状況に対応している。透過波の存在によ

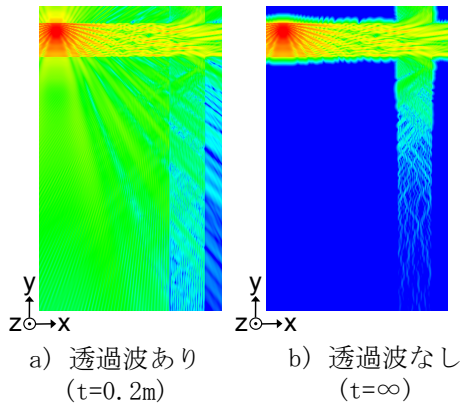


図8 ビル壁からの透過波を考慮した交差点電界分布

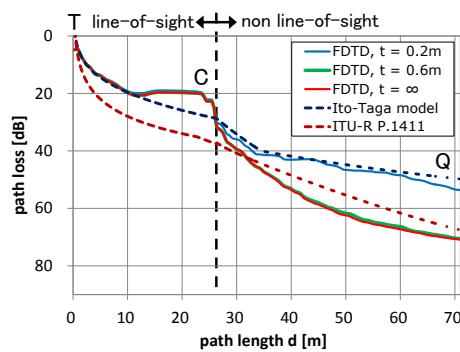


図9 透過波を考慮した伝搬損失特性

り電界分布が大きく変化することが確認できる。

図9にビル透過波を考慮した伝搬損失特性を示す。ここで伝搬損失は道路幅方向の平均値としている。また、比較のために2種類の既存伝搬損失モデルから得られた結果も併せて示す。図に示す様に、透過波が存在する場合は存在しない場合と比較して見通し領域における伝搬損失が大幅に改善している。また、Ito-Tagaモデル及びITU-Rモデルはそれぞれ透過波あり及びなしの結果に近い傾向を示している。

(2) FDTD法を用いた電波伝搬解析法に関する研究

電波伝搬解析では従来からレイトレーシング法が広く用いられており、通信システムの評価に重要なパラメータである経路における伝搬損失、遅延プロファイル、角度プロファイルが計算可能である。一方、近年の計算機の演算速度及びメモリ容量の向上に伴ってFDTD法により解析可能な空間サイズまたは周波数が増加している。しかし、FDTD法ではレイトレーシング法とは異なり手法単体で角度プロファイルを得るのは困難である。そこで本研究では、MUSIC法などの到来波方向(DOA)推定法とFDTD法を用いた新しい電波伝搬解析法を提案した。図10に交差点

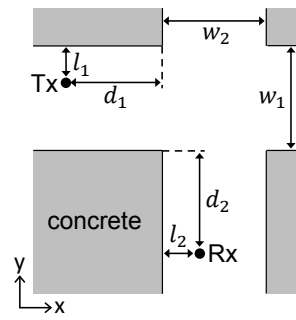


図10 交差点モデルと観測位置

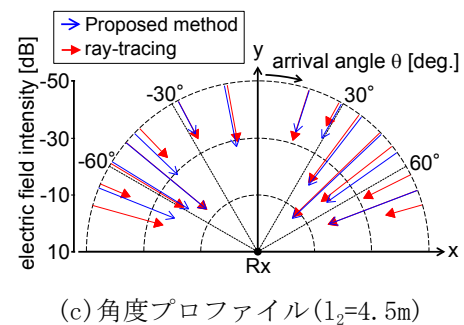
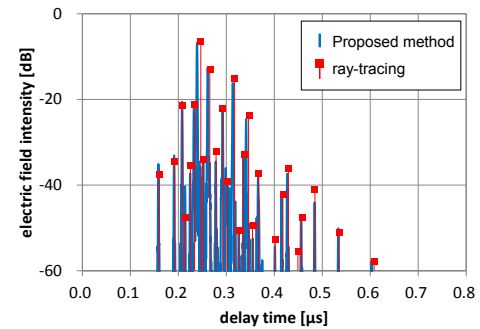
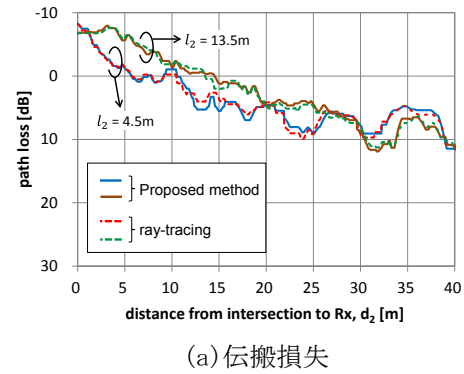


図11 提案手法及びレイトレーシング法による電波伝特性

モデルと観測位置、図11に提案手法とレイトレーシング法から得られた電波伝搬特性の比較を示す。ここで、w₁=w₂=18m, l₁=7.5m, d₁=20mとしている。両手法の結果は良好に一致しており、近年の高速計算機を用いること

によって FDTD を用いた場合でもレイトレーシング法と同等の伝搬特性解析が可能になることが示されている。また、FDTD 法は複雑な系の解析に適した手法であるため、今後の計算機性能の更なる向上によって本提案法の有効性が高まると考えられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① S. Imai, K. Taguchi, and T. Kashiwa, “FDTD method as a counterpart of ray-tracing method to analyze radio wave propagation,” IEICE Trans. Electron., vol. E100-C, no. 1, pp. 68-74, Jan. 2017. (査読有)
- ② 柏達也, 田口健治, 今井卓, “IoT 時代の自動車通信を目的とした電波伝搬解析 - 交差点出会い頭衝突防止のための車車間通信の実現に向けて -,” IEICE Trans., vol. J99-C, no. 10, pp. 468-475, Oct. 2016. (査読有)
- ③ S. Imai, K. Taguchi, and T. Kashiwa, “Effect of transparent waves from building walls on path loss characteristics at blind intersection in urban area for 700 MHz band inter-vehicle communications,” IEICE Trans. Electron., vol. E99-C, no. 7, pp. 813-816, July 2016. (査読有)
- ④ S. Imai, K. Taguchi, T. Kawamura, and T. Kashiwa, “Numerical study on path loss characteristics considering antenna positions on car body at blind intersection in urban area for inter-vehicle communications using 700MHz band,” IEICE Trans. Electron., vol. E99-C, no. 1, pp. 36-43, Jan. 2016. (査読有)

[学会発表] (計 22 件)

- ① 田口健治, 柏達也, “ニューラルネットワークを用いた散乱波信号による物体形状認識に関する一検討,” 電子情報通信学会総合大会, C-15-12, Mar. 23 2017, 名城大学(愛知県名古屋市).
- ② 今井卓, 田口健治, 柏達也, “FDTD 電波伝搬解析における到来方向推定法の検討,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, CS-1-3, Sep. 22 2016, 北海道大学(北海道札幌市).
- ③ 田口健治, 今井卓, 柏達也, “誘電体平面レンズの最適設計における最適化法の比較検討,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-15-9, Sep. 22 2016, 北海道大学(北海道札幌市).
- ④ 田口健治, 今井卓, 柏達也, “AVM を用いた勾配法による誘電体平面レンズの最適設計に関する一検討 -GA 及び PSO

との比較-,” 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, EST2016-38, pp. 171-174, July 22 2016, オホーツク・文化交流センター(北海道網走市).

- ⑤ 今井卓, 田口健治, 柏達也, “FDTD 電波伝搬解析における MUSIC 法を用いた到来方向推定,” 電子情報通信学会, 電磁界理論研究会, EMT2016-35, pp. 161-164, July 22 2016, オホーツク・文化交流センター(北海道網走市).
- ⑥ S. Imai, K. Taguchi, and T. Kashiwa, “Study on accuracy of direction of arrival estimation in FDTD analysis of radio propagation using MUSIC method,” ACES, pp. 102-103, Mar. 15 2016, Honolulu, Honolulu (USA).
- ⑦ S. Imai, K. Taguchi, and T. Kashiwa, “Direction of arrival estimation in FDTD analysis of radio propagation using MUSIC method,” ISAP, S1.12.5, pp. 912-913, Nov. 12 2015, Hobart (Australia).
- ⑧ 今井卓, 田口健治, 柏達也, “車車間通信のための市街地交差点電波伝搬におけるビル透過波の影響,” 電気学会基礎・材料・共通部門大会, 18-C-p1-4, Sep. 17 2015, 金沢大学(石川県金沢市).
- ⑨ 田口健治, 今井卓, 柏達也, “FDTD 法を用いたトポロジー最適設計における時間及び周波数領域 AVM の比較検討,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-15-7, Sep. 10 2015, 東北大学(宮城県仙台市).
- ⑩ 今井卓, 田口健治, 柏達也, “FDTD 電波伝搬解析における MUSIC アルゴリズムを用いた到来方向推定に関する研究,” 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, EST2015-33, pp. 117-120, July 16 2015, 釧路市生涯学習センター(北海道釧路市).
- ⑪ S. Imai, K. Taguchi, T. Kawamura, and T. Kashiwa, “Study on propagation loss characteristics considering car antenna position for inter-vehicle communications using 700MHz band at intersection,” IEEE AP-S Int. Symp., pp. 1612-1613, July 24 2015, Vancouver (Canada).
- ⑫ S. Imai, K. Taguchi, T. Kashiwa, and S. Komatsu, “Analysis of radio propagation at intersection considering car antenna positions for inter-vehicle communications,” EuCAP, P2.19, Apr. 15 2015, Lisbon (Portugal).
- ⑬ 田口健治, 今井卓, 柏達也, “FDTD 法における MUSIC アルゴリズムを用いた到来方向推定に関する一検討,” 電子情報通信学会総合大会, C-15-13, Mar. 13

- 2015, 立命館大学(滋賀県草津市).
- ⑭ 今井卓, 田口健治, 川村武, 柏達也, “車車間通信のための車載アンテナ取付位置を考慮した交差点伝搬損失特性に関する一検討,” 電子情報通信学会総合大会, C-15-12, Mar. 13 2015, 立命館大学(滋賀県草津市).
- ⑮ S. Imai, K. Taguchi, and T. Kashiwa, “Effect of car antenna position on radio propagation characteristics at intersection for 760MHz inter-vehicle communications,” ISAP, TH4A-12, pp. 349-350, Dec. 4 2014, Kaohsiung (Taiwan).
- ⑯ 今井卓, 田口健治, 柏達也, “車車間通信を目的とした交差点電波伝搬解析における車載アンテナ取付位置に対する受信高の影響,” 電気学会, 電磁界理論研究会, EMT-14-135, pp. 63-66, Nov. 20 2014, 草津温泉中沢ヴィレッジ (群馬県草津町).
- ⑰ 今井卓, 田口健治, 柏達也, “車車間通信における車載アンテナ取付位置を考慮した交差点電波伝搬特性解析,” 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, EST2014-54, pp. 53-56, Sep. 12 2014, 北見工業大学(北海道北見市).
- ⑱ 今井卓, 田口健治, 柏達也, “車車間通信を目的とした交差点電波伝搬解析における車載アンテナ取付位置の影響,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会, C-15-17, Sep. 23 2014, 徳島大学(徳島県徳島市).
- ⑲ 今井卓, 田口健治, 柏達也, “車車間通信における車載アンテナ取付位置の交差点電波伝搬特性に対する影響,” 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, EST2014-40, pp. 187-190, July 18 2014, 室蘭工業大学(北海道室蘭市).
- ⑳ S. Imai, K. Taguchi, T. Kashiwa, and T. Kawamura, “Effect of car body on radiation pattern of car antenna mounted on side mirror for inter-vehicle communications,” IEEE AP-S Int. Symp., pp. 601-602, July 8 2014, Memphis (USA).

他 2 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)

[その他]

ホームページ等

<http://kashiwa-lab.net>

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

田口 健治 (TAGUCHI, Kenji)

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号：60435485

今井 卓 (IMAI, Suguru)

北見工業大学・工学部・助教

研究者番号：00584575

川村 武 (KAWAMURA, Takeshi)

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号：80234128