

700MHz 帯と 5.8GHz 帯を用いた歩車間通信の提案

馬場 秀芳^{†1} 久保 敦^{†1} 屋代 智之^{†1}

ITS(Intelligent Transport Systems) では、交通事故を削減する研究が行われている。その研究分野の 1 つとして車両と車両で直接通信を行う車車間通信がある。しかし、交通事故は車両だけの問題ではなく歩行者のことも考えなければならない。また、ITS の分野に 700MHz 帯の周波数帯域が割り当てられている。そこで本研究では、700MHz 帯と 5.8GHz 帯の 2 つの周波数帯域を利用して歩行者と車両を直接通信させる歩車間通信の方法を提案する。提案方式をシミュレーションを用いて評価し、2 つの帯域を利用することの利点について検討を行う。

Proposal of a communication systems between Pedestrian and Vehicle that uses 700MHz and 5.8GHz band

HIDEYOSHI BABA,^{†1} ATHUSHI KUBO^{†1}
and TOMOYUKI YASHIRO^{†1}

In ITS(Intelligent Transport Systems), many researches are done to reduce the traffic accidents. Some of these utilize inter-vehicle communication which is used to exchange data between vehicles directly. However, the traffic accidents are caused between not only the vehicles but vehicle and pedestrian. Moreover, in Japan, 700MHz band radio is assigned to use in ITS applications. In such situation, we propose a direct communication method between pedestrian and vehicle using both 700MHz and 5.8GHz band radio to reduce the traffic accidents. We evaluate the proposed system by using computer simulation and discuss about the effectiveness of using dual-band radio to ensure the safety of the pedestrian.

^{†1} 千葉工業大学
Chiba Institute of Technology

1. はじめに

日本では交通事故発生件数は年々減少傾向にあるものの、2009 年の交通事故件数は 73 万件以上であり、依然として大きな社会問題であることに変わりはない¹⁾。これに対して、ITS(Intelligent Transport Systems) では、情報通信技術を用いて道路と人と車両で通信することで交通事故や渋滞などの道路交通問題を解決する目的で様々な分野の研究が行われている²⁾³⁾⁴⁾。

その 1 つとして車両と車両で直接通信させる車車間通信がある。車車間通信では、インフラとなる機器が必要ではなく、車両に搭載した機器のみで通信を行うことができる。また、車車間通信を行うことによって、通信相手の車両位置や速度などの情報を把握することで、交通事故の発生を未然に防ぐことができる可能性がある。しかし、交通事故は車両同士だけで起こるものではない。平成 21 年の統計では、自動車乗車中、二輪車乗車中、自転車乗車中、歩行中の 4 つの状態別で最も交通事故に遭遇しているのが歩行中であるという結果が出ている⁵⁾。これに対して、歩行者と車両が互いの位置を把握することで歩行者と車両の間で起きる交通事故を削減できると考えられる。

また、国内の車車間通信では 5.8GHz 帯の周波数を利用した通信方法が一般的に考えられている。しかし、新たに 700MHz 帯の周波数帯が ITS 分野に割り当てられることとなった。この 700MHz 帯と 5.8GHz 帯の周波数帯域の特性を生かす通信システムを構築することで、より確実に通信できるのではないかと考えられる。

700MHz 帯は、5.8GHz 帯と同じ電力で通信を行った場合、電波伝播距離が長いという特性がある。また、5.8GHz 帯と比べ電波の回折性が高く、遮蔽車両や交差点等の見通しが悪い場所での通信が可能である。しかし、電波伝搬距離が長くなるということは、その分通信の衝突が発生しやすいともいえる。

5.8GHz 帯は、電波の直進性が高いという特性があり、700MHz 帯より利用できる周波数帯域が広いので、多くのデータを一度に通信できる。しかし、遮蔽物などがあると通信できない可能性が高い。

そこで、本研究では 700MHz 帯と 5.8GHz 帯の 2 つの周波数帯域を用いて歩行者と車両が直接通信する歩車間通信方法を提案する。

2. 関連研究

文献 6) では、5.8GHz 帯を用いた車車間通信システムの無線区間インターフェースが記

載されている。主にレイヤ 1, 2, 7 について車車間通信に適した通信方式が示されている。レイヤ 1 は, ARIB STD-T75⁸⁾ のレイヤ 1 を参考にしている。レイヤ 2 は, CSMA 方式とタイミング同期 CSMA 方式の 2 つの MAC 方式を示している。タイミング同期 CSMA 方式とは, CSMA 方式と TDMA 方式の両方の特性を利用した方式である。レイヤ 7 では, 事故低減のための情報伝達アプリケーションと運転支援での情報伝達アプリケーションを示している。

文献 7) では, 700MHz 帯を用いた運転支援通信システムでのレイヤ 1, 2 について示されている。レイヤ 1 では, フレーム構成やチャネル構成, 信号構成の条件を明確にしている。レイヤ 2 では, アクセス方式に CSMA/CA を用いてデータ伝送を行うことが示されている。

文献 9) は, 5.8GHz 帯を用いて出会い頭衝突防止などの交差点でのアプリケーションを想定し, 交差点における通信特性を調査している。車車間通信システムを試作し, ビルのような建物で囲まれた交差点を含む市街地道路の情報伝達信頼性と, ETC など他のシステムからの電波干渉の可能性を評価している。結果は, 見通し環境では問題なく通信が行えている。見通し外環境では, 交差点付近での遮蔽車両の影響は小さく, 指向性アンテナを用いた場合, 交差点を過ぎると急激に PER(Packet Error Rate) が増加している。他のシステムとの干渉については影響は小さいという結果が得られている。

文献 10) は, 交差点での交通事故を回避できる信頼性の高い車車間通信システムを実現するために, 複数の周波数帯域を使用した車路車間中継通信ネットワークの提案を行っている。車車間通信で利用されている 5.8GHz 帯の電波を複数の中継局で受信し, 中継局から 700MHz 帯を利用して再送信を行っている。評価として, 車車間の平均パケット伝送成功率をネットワークシミュレータを用いて求めている。結果として, 提案方式では受信車両との間に, 建物によるシャドウイングが存在してもほぼ 100%の平均パケット伝送成功率を示している。

文献 11) は, 交通事故が発生しやすい交差点での右折車両と直進車両の事故に着目し, 遮蔽車両が交差点内部に停留しているときに反対側から右折体勢に入る車両と, 遮蔽車両後方から交差点に進入してくる車両との間で車車間通信を行い, 電波伝搬損失特性をシミュレーションを用いて評価を行っている。ここでは, 700MHz 帯と 5.8GHz 帯の 2 つの周波数帯で遮蔽車両の大きさを変化させて遮蔽損失特性を評価している。その結果, 遮蔽損失が最も大きい交差点付近 50m 以内では, 5.8GHz 帯よりも 700MHz 帯のほうが遮蔽損失が低いという結果となっている。一方, 交差点より遠方の 175~225m 区間では, 700MHz 帯と

5.8GHz 帯でほぼ変わらない結果となっている。車両の大きさによる遮蔽損失特性は, 5.8GHz 帯では遮蔽車両が小さい方が遮蔽損失が大きくなるという結果となっている。その原因は, 遮蔽車両の側面を回折する電波が他の電波群と逆位相となるためであるとしている。これによって, 遮蔽車両が小さい時には回折波が強く合成され弱め合うが, 遮蔽車両が大きくなると回折波の強度が弱まり, 他の電波への影響が小さくなっていることが挙げられている。700MHz 帯では, 5.8GHz 帯のような現象は起きていない。

3. 提 案

3.1 提案手法

本研究では 700MHz 帯と 5.8GHz 帯を用いた歩車間通信の提案を行う。

歩行者の方が車両より素早く進行方向を変えることが容易なので, 回避行動を歩行者がとった方が交通事故を未然に防ぐことができると考え, 5.8GHz 帯より電波伝搬距離が長く, より回折する 700MHz 帯を車両から歩行者への通信に利用する。歩行者間, 車車間, 歩行者から車両への通信には, 周波数帯域が広い 5.8GHz 帯を利用する。

各端末が保持するデータとして, 端末 ID(車両 ID, 歩行者 ID), 位置情報, 取得時刻を扱う。端末 ID とは, 各端末を区別するためのものである。位置情報とは, 端末が GPS など取得した現在位置の情報のことである。取得時刻とは, 送信端末からデータを取得した時刻のことである。また, 端末 ID では, 車両と歩行者の区別も行えるものとする。

車両に関するデータ(車両データ)として, 車両 ID, 位置情報, 進行方向を扱う。歩行者に関するデータ(歩行者データ)として, 歩行者 ID, 位置情報を扱う。車両データには, 歩行者が回避行動を行いやすくするために進行方向を付加する。

歩行者, 車両はそれぞれ各端末の情報を保持するためにリストを作成する。歩行者のデータを扱うものは歩行者リストと呼ぶ。同様に, 車両の場合は車両リストと呼ぶ。

各送信の間隔は, 車車間通信が 100ms, 歩行者間通信が 1~5s, 車両から歩行者への通信が 100ms とする。また, 車両から情報を受信した歩行者が, 送信してきた車両の位置情報と歩行者リストにある位置情報を比較し, 自らが送信車両との位置が最も近いと判断した場合のみ歩行者から車両への通信を行う。

通信の利用周波数帯と送信間隔を表 1 に示す。

歩行者は, 歩行者間通信を用いて周囲の歩行者へ自身の歩行者データを 1~5 秒間隔で送信する。これを受信した歩行者は, 送信してきた歩行者の ID が自身の歩行者リストに存在するか確認する。歩行者リストに送信してきた歩行者の ID がある場合は ID が一致する歩

表 1 利用周波数帯と送信間隔
Table 1 Use Frequency Band and Transmission Interval

	周波数帯域	送信間隔
車両から車両	5.8GHz 帯	0.1 秒
車両から歩行者	700MHz 帯	0.1 秒
歩行者から車両	5.8GHz 帯	車両から送信があった場合
歩行者から歩行者	5.8GHz 帯	1~5 秒

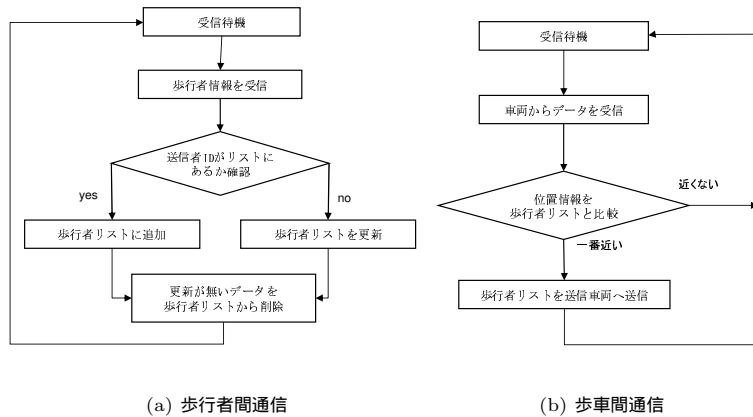


図 1 歩行者の処理
Fig.1 Pedestrian's Process

行者データを更新する。無い場合は送信してきた歩行者データを新たに歩行者リストに追加する。

この情報は、一定時間更新が無い場合は相手が通信範囲外に出たと見做し破棄する。車両からデータが送信されてきた場合、送信車両の位置情報と歩行者リストに含まれている位置情報の比較を行い、一番近い歩行者が歩行者リストを送信してきた車両へ返信する。図 1 に歩行者の処理を示す。

車両は車車間通信を用いて一定周期で周囲の車両へ自身の基本データを送信する。他の車両から車両データを受信した車両は、歩行者の場合と同様に ID を確認し、車両リストに追加、更新を行う。これと平行して、各車両は、一定周期で歩行者へ車両リストを送信する。

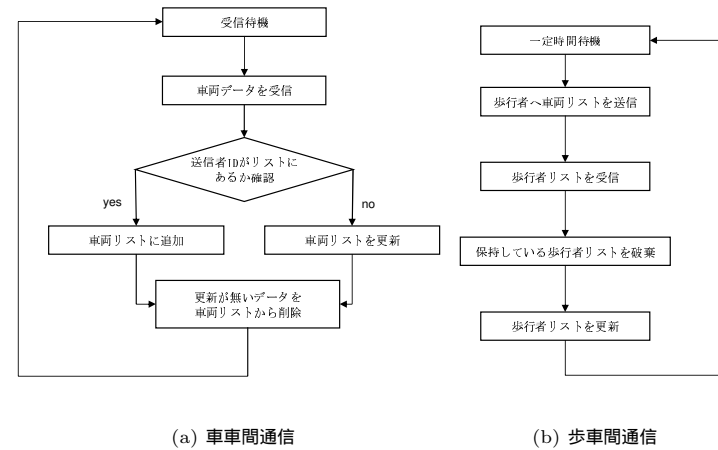


図 2 車両の処理
Fig.2 Vehicle's Process

応答として、歩行者から歩行者リストを受信した送信車両は、保持している歩行者リストを破棄し、新しい歩行者リストに更新する。車両データは歩行者リストと同様に一定時間更新されなければ破棄する。図 2 に車両の処理を示す。

また、5.8GHz 帯での通信は、車両 ID、歩行者 ID によって識別される。

3.2 評価方法

提案方式である 700MHz 帯と 5.8GHz 帯の 2 つの周波数を用いた通信方式を、700MHz 帯のみを用いた通信方式と 5.8GHz 帯のみを用いた通信方式を比較対象として評価した。評価項目として、車両台数を変化させて歩車間通信の通信成功率を求めた。歩行者数は 100 人に固定した。歩行者間通信の通信成功率は以下の式 (1) で求める。

受信回数とは、各車両が歩行者から歩行者リストを受信した回数の平均である。また、送信回数とは、車両が歩行者へ自車両の車両データを送信した回数を受信回数と同様に平均したものである。

$$\text{通信成功率 (\%)} = \frac{\text{受信回数 (回)}}{\text{送信回数 (回)}} \times 100 \quad (1)$$

また、同様に 3 つの通信方式で車車間通信、歩行者間通信のデータ受信率を求めた。車車

間通信では車両台数，歩行者間通信では歩行者数を変化させて3回シミュレーションを行い，その平均のデータ受信率で評価を行った．データ受信率は，送信端末の通信範囲内に存在する端末が送信端末のデータをどのくらいの割合で受信できているかで求める．式(2)でデータ受信率を求める．通信範囲内端末台数とは送信端末の通信範囲内に存在する端末の数を示し，受信端末台数とはその通信範囲内でデータを受信した端末の数を示す．

$$\text{データ受信率 (\%)} = \frac{\text{受信端末台数}}{\text{通信範囲内端末台数}} \times 100 \quad (2)$$

3.3 シミュレーション環境

シミュレータには Space-Time Engineering 社の Scenargie を用いた．シミュレーション環境は，1km 四方のマンハッタンモデルとし，100m 間隔で交差点が存在する片道 2 車線の道路構造を想定した．車両はランダムに道路を時速 0 ~ 60km/h で走行し，歩行者は RANDOM-WAYPOINT で道路付近を時速 0 ~ 6km/h で歩行する．アクセス方式には CSMA/CA，変調方式には OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing:直交周波数分割多重方式) を用いて通信を行った．図 3 にシミュレーション環境を示す．また，表 2 にシミュレーションパラメータを示す．

表 2 シミュレーションパラメータ
Table 2 Simulation Parameter

	パラメータ
アクセス方式	CSMA/CA
変調方式	OFDM
MAC プロトコル	IEEE802.11p
最大通信速度	4096kbps
送信電力	20dB
受信電力	-85dB
利用周波数帯	700MHz 帯 (10MHz 幅), 5.8GHz 帯 (75MHz 幅)
電波伝搬モデル	2 Ray モデル
車両走行速度	0 ~ 60km/h
歩行者歩行速度	0 ~ 6km/h
車両の大きさ	全長 3m, 幅 2m, 高さ 1.7m
歩行者の大きさ	全長 0.5m, 幅 0.5m, 高さ 1.7m
シミュレーション時間	600 秒

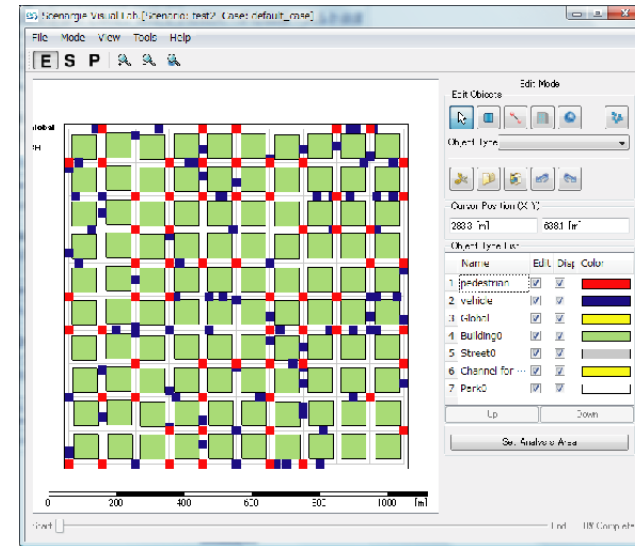


図 3 シミュレーション環境
Fig. 3 Simulation Environment

4. 結 果

歩行者間通信と車車間通信それぞれについてシミュレーションを行い，データ受信率を求めた．シミュレーション結果を図 4 に示す．

結果より，歩行者間通信，車車間通信ともに 5.8GHz 帯を使用した方がデータの受信率が高いことが示されている．

700MHz 帯が 5.8GHz 帯に比べてデータ受信率が低くなってしまっている原因は，700MHz 帯は 5.8GHz 帯に比べて電波伝搬距離が長く，送信端末の通信範囲が重なってしまうためであると考えられる．そのため，送信端末の通信範囲外の端末から送られた電波と衝突が発生してしまう(隠れ端末問題)ことが考えられる．5.8GHz 帯では，伝播伝播距離が短いために隠れ端末問題が発生する頻度が少ないことが考えられる．車車間通信と歩行者間通信を比較してみると，歩行者間通信の方がデータ受信率が高くなっていることが分かる．車車間通信が歩行者間通信よりデータ受信率が低い原因として，歩行者と車両では車両の方が大きいいため，より電波が遮蔽されてしまうためであると考えられる．また，歩行者，車両の数が増

加するとその分遮蔽物が多くなるのでデータ受信率が低くなっていることが考えられる。

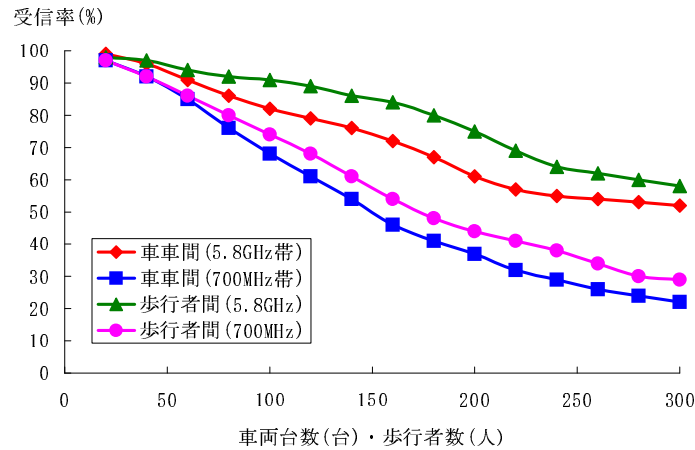


図4 シミュレーション結果(車車間・歩行者間)
Fig.4 Simulation Results(Inter-Vehicle and Inter-Pedestrian)

歩行者間通信の結果より、歩行者数を、データ受信率が80%以上ある中で最大の人数である100人に固定して、歩車間通信の通信成功率をシミュレーションで求めた。シミュレーション結果を図5に示す。

結果より、車両台数が100台までの場合は、提案方式、700MHz帯のみの方式、5.8GHz帯のみの方式で、80%以上の通信成功率であることが分かる。しかし、700MHz帯、5.8GHz帯それぞれの通信方式では、車両台数が増加すると通信成功率が著しく低くなってしまっていることが分かる。また、車両台数が300台では、通信成功率が5.8GHz帯で約50%、700MHz帯では約20%まで低下している。

この原因として考えられることは、車車間通信、歩行者間通信と同様で700MHz帯は5.8GHz帯に比べて伝播距離が長く、通信を行っている車両と他の車両とで通信の衝突が発生していることが考えられる。さらに、700MHz帯は5.8GHz帯に比べてITSに割り当てられている周波数帯域が少ないことも原因と考えられる。

提案方式では、歩行者全てが車両へ送信を行うわけではないので、その分通信回数を抑制できている。さらに、2つの周波数帯域を利用しているので歩車間通信において歩行者と車

両での電波の衝突が起きない。このため、提案方式では車両台数200台でも通信成功率が80%以上を示すことができている。よって、本提案である700MHz帯と5.8GHz帯を用いた通信方法の有効性を示すことができたといえる。

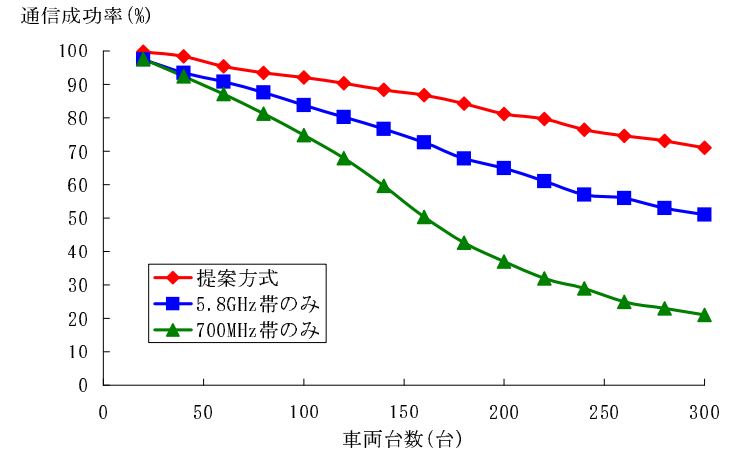


図5 シミュレーション結果(歩車間通信)
Fig.5 simulation results(Vehicle・Pedestrian communication)

5. ま と め

新たに700MHz帯の周波数帯域がITSに割り当てられることとなった。しかし、ITSでは歩行者と車両をインフラ無しに直接通信させる通信方法の研究があまり行われていない。そこで本研究では、700MHz帯と5.8GHz帯の両方を用いた歩車間通信の通信方法の提案を行った。

進行方向を容易に変えられる歩行者が、車両の位置を把握して回避行動を行った方が交通事故の軽減になると考え、回折性が高く電波伝搬距離が長い700MHz帯を車両から歩行者への通信に利用した。その他の通信には利用できる周波数幅が広い5.8GHz帯を利用して通信を行った。

通信方式は、歩行者同士で位置情報などのデータを把握し、送信車両から車両データが送信されてきた場合のみ、歩行者情報に含まれている位置情報と送信車両の位置情報を比較

し、最も近くに位置する歩行者の1人が歩行者リストの送信を行う。

この通信方式をSpace-Time Engineering社のScenargieを用いてシミュレーションを行った。評価として、歩行者間通信と車車間通信で700MHz帯と5.8GHz帯をそれぞれ利用した通信方式を3回シミュレーションを行い、データ受信率を求めた。さらに、歩車間通信では、700MHz帯と5.8GHz帯の両方を利用した提案方式と700MHz帯のみの方式、5.8GHz帯のみの方式で通信成功率を求め、比較を行い評価した。

結果は、歩行者間通信、車車間通信の両方で5.8GHz帯の方が700MHz帯よりデータ受信率が高いことが分かった。これは、700MHz帯の電波特性として電波伝搬距離が長いことが原因の1つであると考えられる。また、ITSに割り当てられている周波数帯域幅が少ないことも考えられる。

さらに、歩行者間通信に一つの周波数帯域のみを利用した方式では、車両台数が100台以下の場合には80%以上の通信成功率を示しているが、提案方式では車両台数が200台でも通信成功率が80%以上を示すことができた。これは、全ての歩行者が車両へデータを送信を行うのではなく、特定の歩行者のみが通信を行っているため、通信回数を抑制できていることの効果である。また、歩車間通信では、歩行者と車両が利用する周波数帯域が異なるので電波の衝突の発生を抑制できるため、通信成功率が高くなっている。よって、本研究の提案方式は有効であるといえる。

今後の課題として、今回は歩行者同士、車両同士の通信で電波の衝突が起きていたので、より効率的な歩行者間通信、車車間通信の通信方法を考えなければならない。また、提案方式では車両台数が増加すると通信成功率が低下してしまうという問題点も改善しなければならない。さらに、今回は通信が行えているかどうかを評価したので、車両が歩行者をどのくらい認識しているか評価するべきである。また、歩行者も同様に車両をどのくらい認識しているか評価する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 警察庁 統計 ホームページ <http://www.npa.go.jp/toukei/index.htm>
- 2) 国土交通省道路局 ITS ホームページ <http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/>
- 3) 特定非営利活動法人 ITS Japan <http://www.its-jp.org/>
- 4) 国土交通省 ASV ホームページ <http://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/index.html>
- 5) 交通事故総合分析センター <http://www.itarda.or.jp/>
- 6) 5.8GHz を用いた車々間通信システムの実験用ガイドライン
<http://www.itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p32/P32.html>

- 7) 700MHz 帯を用いた運転支援通信システムの実験用ガイドライン
<http://www.itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p34/P34.html>
- 8) ARIB ホームページ <http://www.arib.or.jp/index.html>
- 9) 関馨, “ 5.8GHz 帯を用いた車車間通信の伝達特性 ”, 情報処理学会研究報告, ITS, Vol.2004, No.114, pp.79-86, 2004年11月.
- 10) 湊和也, 山尾泰, “ 複数周波数帯を用いた車路車間中継 ITS 通信ネットワーク ” 電子情報通信学会技術研究報告, RCS, 無線通信システム, Vol.109, No.130, pp.41-46, 2009年7月.
- 11) 片岡亮, 多賀登喜男, “ 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 ”, 電子情報通信学会技術研究報告, A・P, アンテナ・伝播, Vol.108, No.429, pp.13-18, 2009年2月.
- 12) Space-Time Engineering ホームページ
<http://www.spacetime-eng.com/en/index.html>