

路車間通信における空間ダイバーシティを用いた受信環境の検討

関根 雄飛[†] 屋代 智之[†]
[†] 千葉工業大学工学部

あらまし：ITS の情報通信の位置づけは車両と道路インフラを繋ぐ路車間通信，隣接して走行する車両同士を繋ぐ車々間通信，インフラ側で情報を収集・提供するための情報通信ネットワークの3つの視点から考える事ができる．一般に，路車間通信は車両走行中に行われるため，安全面において通信の連続性が要求される．そこで，本稿では，照明灯の照明部分に電波を送受信するビーコンを取り付けた際，車側の受信機の位置によるシャドウイングの確率を走行実験によって測定し，ダイバーシティ受信を用いたシステムを構築する際の受信環境を検討する．

A study of receiving environment using the space diversity in the Roadside-to-Vehicle Communications.

Yuhi Sekine [†], Tomoyuki Yashiro [†]
[†] Chiba Institute Of Technology

Abstract : The role of telecommunications on ITS have three view points. These are Roadside to Vehicle Communications(RVC), Inter-Vehicle Communications(IVC), and network infrastructure for collecting and providing information. Generally, RVC is carried out while car is driven. So it demands continuity of communication for safety.

This dissertation is measured by the probability of shadowing at the on-board receiver. We evaluate the receiving environment using space diversity by on road experiment with the assumption that the beacon was installed with road Lightning

1 はじめに

近年，交通事故，渋滞，環境汚染等が世界的に深刻な問題となっている．これらの問題を根本から解決するため，最先端の技術を用いて，道路を「情報化」し「知能化」させ安全，効率，快適性を求める国家規模のプロジェクトとしてITS(高度道路交通システム: Intelligent Transport Systems)が推進されている．

ITSには9つの開発分野とそれに属する21の利用者サービスが示されている[1]．現在実用化に至っている開発分野として「ナビゲーションシステムの高度化(VICS: Vehicle Information and Communication

System)」や「自動料金収受システム(ETC: Electronic Toll Collection)」が挙げられる．

また「安全運転の支援」では，道路と車が路車間通信により協調して，ドライバーに前方の危険警告等の情報提供を行ったり，衝突の回避や車線の逸脱防止といった運転補助を行う「走行支援道路システム(AHS: Advances cruise assist Highway Systems)」がある[2]．その性質上，安全面から，路車間通信においては通信に連続性を必要とする．

そこで，本研究では電波の送受信装置であるビーコンを照明灯の照明部分に付加した照明型ビーコン[3]を用いた際に，車側の受信機の位置によるシャドウイングの確率を走行実験により測定し，ダイバーシティ受信を用いたシステムを設計する際の受信環境を画像処

理プログラムを用いて検討する。

2 路車間通信の背景

2.1 路車間通信の通信技術

路車間通信では、一般に「ビーコン」と呼ばれる電波等の送受信機を用いる。ITSにおけるビーコンとは、路側に設置し車両に対して位置情報や道路交通情報などを送受信する装置である。これを用いたDSRC(専用狭域通信: Dedicated Short Range Communications)システムは、道路に設置された無線設備(路側機)と車両に搭載された車載器により構成され、路側機と車載器の間を双方向に無線通信を行うことにより実現される。DSRCは、高速かつ大量の情報の授受が可能で信頼性の確保に優れているため、料金所をノンストップで通過することができるETCに使用されている[4]。

2.2 照明型ビーコン

ビーコンを用いて路車間通信をするには、路側のビーコンを連続して設置することにより通信範囲を確保しなければならない[5]。そこで、前述したDSRCを応用し、路上をくまなく照らす様に法律で決められた照明灯[6]の、照明部分にビーコンを付加することで、路上全体に通信領域が確保でき連続通信を可能にする方式が提案されている。照明型ビーコンのメリットは第1に、照明に付加するだけであるため、景観を損なわずに低コストであることが挙げられる。本来、ビーコンを設置する際には路側にビーコンを付加する為のポールが必要であり、ポールを立てる費用がかかり、見栄えが悪くなってしまう。次に、照明灯というものは、可能な限り路側の影を少なくし、かつ必要な照度が得られるような基準によって設置されているため、連続した区画の無線ゾーンを構築することが可能である。

照明型ビーコンが実現されれば、見通しの悪いカーブや気象条件の悪い区画等を対象とした連続した路車間通信が可能になると思われる。

2.3 ダイバーシティ

移動体通信に限らず、電波というものは直接基地局から届くものもあれば、建物等の障害物に反射してから届くものもあり、経路は複数ある。経路が異なるため、受信機に到着した際に、電波レベルの変動がおきたり、振幅や位相のずれが発生し、その結果、基地局が発信したものと異なる結果となることがある。こ

のような現象をマルチパスフェージングという[7]。ラジオやTVといった人間が視聴覚することによって得ることができる情報であればフェージングによる影響はさほど大きくない。しかし、路車間通信の場合、送られてきた信号を処理するのは人間ではなく、車載器であるため、フェージングによって電波が強弱されてしまうと上手く処理することができなくなる。

このため、2つ以上の電波を合成したり、切り替えることによりフェージング対策を行うダイバーシティ受信という方法をとる。

代表的なダイバーシティ受信の方法として、空間ダイバーシティが挙げられる[8]。空間ダイバーシティは、マルチパス干渉下における受信特性を向上する手段として、空間的に離れた複数の受信アンテナを使用して、それらを選択、もしくは合成をすることにより特性改善を図る方法である。マルチパスが存在する伝送路において、2本の受信アンテナを搬送波の半波長以上離して配置した場合、各々の受信アンテナ1、および2の受信電力は位相が異なってくる。そこで、各搬送波単位で選択や合成を行うことでフェージングの影響を軽減することができる。欠点としては、複数の受信機を必要とするため、ハードウェア規模が大きくなり、コストが高くなる等が挙げられる。

そのほかにはアンテナの受信方向を2つ以上備えて、別々に受信する「角度ダイバーシティ」や、偏波面の異なるアンテナを用いて受信する「偏波ダイバーシティ」、通信に使用する周波数を2つ以上用いて受信する「周波数ダイバーシティ」、マルチパスなどで時間差のついた信号の中から最も強い信号を受信する「時間ダイバーシティ」等がある。

3 画像処理を用いた電波受信状況の改善

3.1 シャドウイング

シャドウイングとは、標識や他車両等により電波が遮断されてしまう現象を指す。これにより、通信の信頼性が低下してしまう問題が起こる。シャドウイングを無くすことは、通信に連続性を持たせる必要がある路車間通信においては大きな課題である。照明型ビーコンにおけるシャドウイング例を大別すると、「前後方向のシャドウイング」と「横方向のシャドウイング」に分けることができる。

前後方向のシャドウイング例としては以下の2点が

挙げられる (図 1) .

- 小型車両の前後に大型車両が接近したことによるシャドウイング
- 道路標識など車両と照明灯の間にある障害物によるシャドウイング

前者は車間距離が極度に狭まらなければ起こらないので高速走行時はほとんど発生しないが、渋滞時等車が密集したときには発生する可能性が十分考えられる .

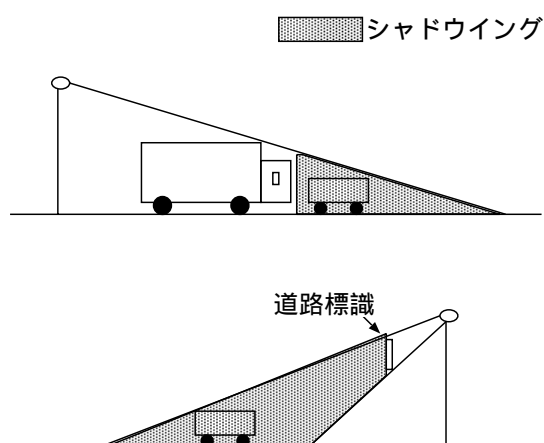


図 1: 前後方向のシャドウイング

横方向のシャドウイングは、道路が複数車線あるときに第 1 車線に大型車両、第 2 車線に小型車両が配置された時に発生する (図 2) .

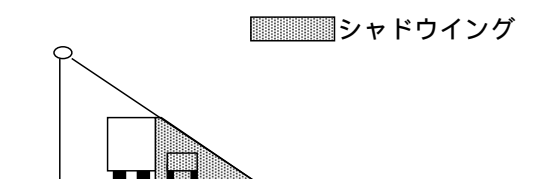


図 2: 横方向のシャドウイング

3.2 実験

路車間通信におけるシャドウイング確率を調べるためには車両がビーコンからの電波を受信できているかどうかを確認するための手段を考えなければならない . 本研究では実際に設置されている照明灯の光を、ビーコンから送られてくる電波と仮定し、広角の CCD カメラを 2 つ上向きに設置して両方のカメラの映像に照

明灯が映っていない状態をシャドウイングとみなすことにした . 提案する照明型ビーコンには、5.8GHz 帯の電波が使用される予定であり、電波は、一般に周波数が高くなればなるほどに直進性が高くなるため、この方法によりシャドウイング確率の調査をすることができる [9] . CCD カメラの搭載位置はできる限り垂直に取り付けるために車両のルーフレールに垂直に固定装置を配置し、固定装置の両端に取り付けた (図 3) .

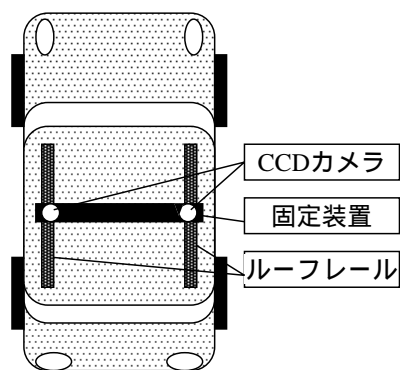


図 3: CCD カメラの配置

撮影した映像は DV カメラに記録し、画像処理プログラムを用いてシャドウイングに関する以下の値を算出した .

- 最大時間
最も長い間連続してシャドウイングが起こっていた時間 .
- 回数
シャドウイングが起きた回数 .
- 合計時間
すべてのシャドウイング時間の合計 .
- 平均
1 回当たりのシャドウイング時間 .
- 分散
シャドウイングのばらつきを指す . 分散とは、起こりうる値のばらつきの度合いを示す値であり、この値が大きければ大きいほどばらつきも大きく、値が小さければばらつきが小さいことになる .
- 確率
シャドウイングの発生確率 . 照明灯が映っていないコマ数を全撮影コマ数で割ったものである .

CCD カメラについて

照明灯が法律上で定められて配置されているとしたとき、道路上の前後方向では約 120 度以上、横方向では 60 度以上の指向性が必要とされているため、画角が 130 度程度の広角の CCD カメラを用いた。画角とは画面に写りこむ範囲を角度で表したものである。撮影する映像はカラーよりモノクロの方が色情報も少なく、照明灯は白、その他の映像は黒と明確なため、モノクロとした。また、カメラの解像度は 360×240 であり、1 秒毎に 30 コマの撮影が可能である。

走行コース

実験は照明灯の点灯している夜間に高速道路にて行った。図 4 に走行コースを示す（黒線部分が今回実験データとして用いた範囲である）。



図 4: 走行コース

- ① 一之江入り口から高速 7 号線へ。
- ② 江戸橋，京橋，汐留，浜崎橋，一ノ橋，谷町，三宅坂，竹橋，神田橋 JCT と経由して再び江戸橋 JCT へ。
- ③ 両国 JCT から高速 6 号向島線で掘切 JCT まで。
- ④ 四つ木出口にて終了。

3.3 照明灯の判定基準について

画像処理プログラム（図 5）においては、次のパラメータを用いて照明灯の判定を行うことにした。

- 一定量の明度を持っているか。

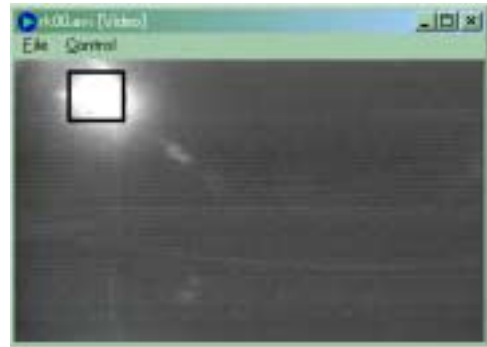


図 5: 画像処理プログラム (実行例)

- 一定以上の面積を持っているか。
- 高さを分析して一定範囲以内に収まっているか。

明度について

一般に、「明度」とはそのものの明るさの度合いで、白に近づくほど明度が高く、反対に黒に近づくほど明度が低いと言える。走行実験によって得る画像データは前述したとおり、モノクロであり、明度は 16 進数 ($0x00 \sim 0xFF$) で表される。 $0xFF$ に近くなるほど白く（明るく）なるということで、いくつかの照明灯の映っている画像を抽出して明度分析を行ったところ、照明灯の大多数は明度が $0xFF$ であった。

明度の分布は走行実験時の気候・環境によって左右されるため、今回の実験に限った適用となるが「明度が $0xFF$ 」であるものを照明灯として認識することにした。

画像上の面積について

画像上の面積も、明度の時と同様に照明灯の映っている画像を複数抽出して分析を行った。照明灯の面積には照明灯の設置されている場所が内側か、外側かによって大きく値がばらつく結果となった。そのため足切りの条件を甘くして面積が 20 平方ピクセル以上の場合を照明灯として認識することにした。

高さの算出方法

高さの算出方法であるが、まず、2 つの CCD カメラの真上を通る際の照明灯の角度を算出した (α, β)。カメラ同士の間隔は常に一定 (L) であるため、1 辺と

その間の角度が求まる．そして次の公式により高さ H が導き出される (図 6) ．

$$H = \frac{\sin \alpha \sin \beta}{\cos \alpha \sin \beta + \cos \beta \sin \alpha} \times L$$

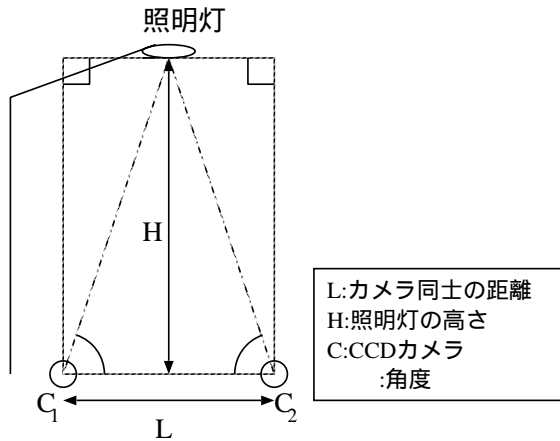


図 6: 高さの算出方法

照明灯の角度を算出方法するために、まず、同心円を模造紙に描き、それを 30cm 離れた位置から CCD カメラで撮影をした (図 7) ．この同心円は半径

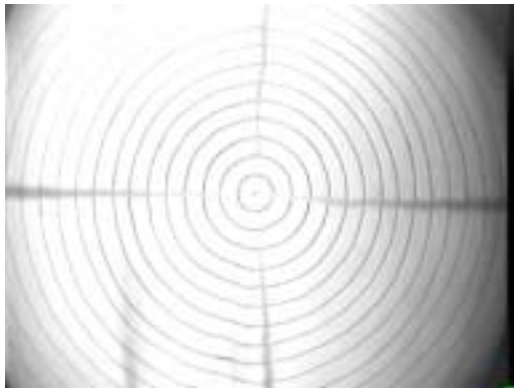


図 7: 同心円

$30 \times \tan 4\theta$ ($\theta = 1, 2, 3, \dots, 16$)cm で描かれている．標準のカメラの場合、それぞれの円の間隔は等間隔にはならない (角度が増えると間隔は広がる) が、CCD カメラは広角のため、歪みが生じてそれぞれの円の間隔が等間隔であるように見える．よって、照明灯が真上を通過するときの角度というのは中心の座標からの距離に比例していることとなり、照明灯の中心座標が

CCD カメラの中央付近を通る際の距離から角度を算出することができる．

これによって照明灯以外 (図 8) の光を識別することができ、誤認識を減らすことができる．



図 8: 採取した画像例

3.4 受信位置について

2つの CCD カメラは横一直線に配置され、同期を取ることによってそれらを車載器に見立てた．同期した画像を画像処理プログラムで処理することにより、2つのカメラで同時に発生するシャドウイングの確率を算出した．しかし、これだけでは受信位置は 1 通りしかないため最適な組み合わせであるかどうかはわからない．

そこで、受信位置の検討を行うために、カメラの同期を故意にずらすことでカメラからの相対位置をずらすということを行った (図 9) ．

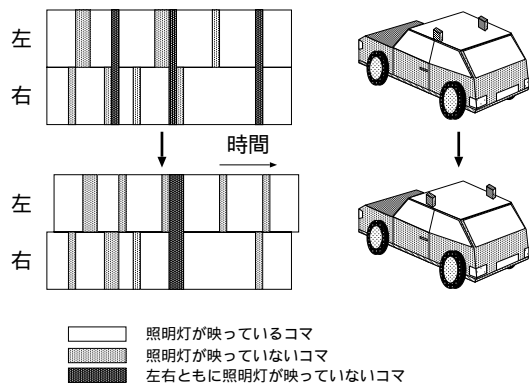


図 9: 相対位置の概念図

本研究ではそれぞれの速度毎に同期された時の画像のシャドウイング確率を 1 と正規化して、コマをずら

したものとの比較を行うことにした。また、車上の面積には限りがあるため、ずらすコマ数は 120cm 以内で収まるものとした。

ずらすことのできるコマ数というのは速度に依存する。速度が速くなればなるほど、1 コマあたりの移動距離は増加し、それに伴ってずらせるコマ数は減っていく。

ずらせるコマ数が少ないと細かな受信位置の検討ができなくなるため、3 コマまでずらすことのできる 40km/h までを測定範囲とした。

同期について

受信位置の検討をする前提条件として 2 つのカメラの同期を取る必要がある。本実験では照明灯が特定の場所（料金所や道路標識等）を通過する際の時間を複数採取し、比較することで 2 つのカメラの時間的ずれを修正して 2 つのカメラの同期をとった。

速度の算出方法

受信位置の検討をするには、速度を算出する必要がある。まず、CCD カメラで 2cm 間隔に区切られたメッシュを 30cm 離れた位置から撮影した（図 10）。前述し

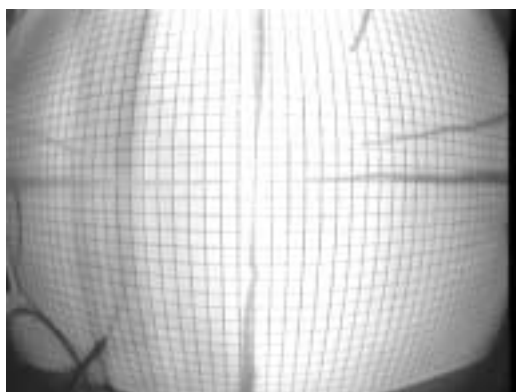


図 10: メッシュ

たとおり、この CCD カメラは中心から離れるほど歪みが酷くなっている。しかし、中心に近い部分はそれほど歪んでいないことがわかる。そこで、照明灯がカメラの一定区画を通過するのにどれだけの時間を要したか知ることができれば、照明灯の高さとの比率で実際の移動距離を算出することができる。移動距離を算出した後、通過時間で割ることにより速度を求めることができる（図 11）。

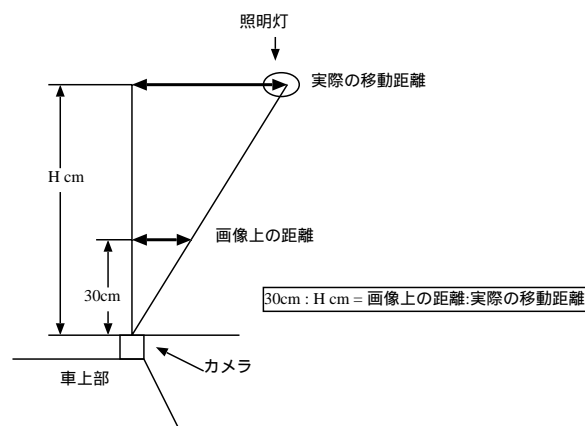


図 11: 速度の計算方法

4 結果と評価

4.1 測定結果と評価

走行実験の結果を表 1 に示す「両方」というのは左右のカメラの同期をはかったものを合成したものである。

表 1: 実験結果 (同期したもの)

	左	右	両方
最大時間 (秒)	10.91	11.01	10.88
回数	1885	1658	1124
合計時間 (秒)	427.59	387.15	261.76
平均時間 (秒)	0.23	0.23	0.23
分散	0.69	0.52	0.60
確率 (%)	12.99	11.76	7.93

(総撮影時間は 3292.06 秒)

取り付けられた 2 つの CCD カメラのシャドウイング確率を比較すると、最大時間こそ右側のカメラの方が長いですがシャドウイング回数、合計時間は右側の方が少なく、シャドウイング確率も右側のカメラの方が低かった。原因は中央分離帯に照明灯が設置されている場合が多かったためと考察できる。

そして、2 つのカメラを同期させた場合であるが、ばらつきの度合いこそ右側のカメラに劣るものの、シャドウイング回数では 1124 回と 500 回以上減り、シャドウイング確率も約 4% 減少していることがわかった。これは、一回あたりのシャドウイング時間は微々たるものであるということを示している。

道路の照明設備は、道路照明施設設置基準で設計さ

れてはいるが、その土地土地によって状況が異なるために、安定した受信環境を築くためには受信機を2つ以上備えて死角を無くす必要がある。そして、AHS サービスを実現するためには、車側だけではなく道路側にも対策を講じる必要がある。

4.2 相対距離によるシャドウイング確率

4.2.1 速度分布

走行実験時の速度分布を5km/h毎に図12に示す。実験に高速道路を使用したため、70km/h以上が全体の3分の2を占めた。反面、受信位置を検討する際に使用した40km/h以下は14%だった。

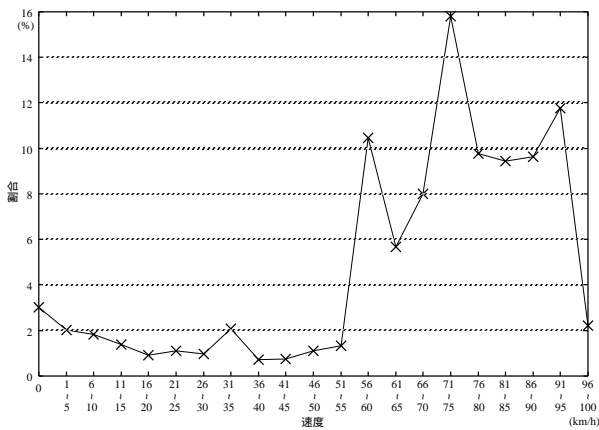


図 12: 速度の割合

4.2.2 相対距離によるシャドウイング確率

相対距離によるシャドウイング確率推移を図13に示す。図では、第3章で述べたが車両上部の長さを120cmと設定したとき、3コマ以上ずらすことの可能な範囲である40km/hまでを測定範囲として5km/h刻みでグラフ化した。凡例にあるカッコ内の数値は各速度帯の左右のカメラの同期を取った(相対距離が0)際のシャドウイング確率である。

31~35km/h帯以外の速度帯ではコマ数をずらせばずらすほど、つまり、カメラ同士の間隔が広くなればなるほどシャドウイングの確率は低下することがわかる。よって、2台の車載器を車上に配置する際には、互いの相対距離を最大とするように配置することにより、最もシャドウイングの影響を受けずに路車間通信を行えることがわかった。

また、速度毎のシャドウイング確率では走行速度が速くなるほどシャドウイング確率は減少している。原因として、走行実験時に料金所等で停車した際、照明灯が検知出来なかったケースが多かった為と考えられる。

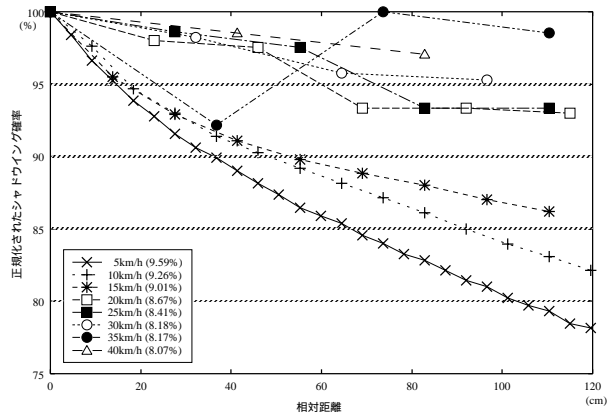


図 13: 相対距離によるシャドウイング確率推移

5 まとめ

実験により、照明灯の判別を行い、照明灯の角度、車両の速度といったデータを求めることによってシャドウイングの確率を求めることができた。測定結果から、車載器を2台設置し、互いの相対距離を最大にすることによりシャドウイング確率を減少させることができる。今後は実際に車両に車載器を2台設置し、照明型ビーコンを路側に設置して実験を行う段階に入ることができると思われる。実験段階では車載器はETC用車載器等とは別の装置になると思われるが、ITSアプリケーションごとに異なる車載器を採用すると煩雑になり、普及が困難になるとされることから、全てのITSアプリケーションを統合し一括管理する必要が生じるであろう。

今後の課題としては、1つの車両だけではなく、大型トラックや軽自動車等、高さや車上の面積が異なる場合についてどのように実験を行うかを考慮する必要がある。また、今回の走行実験は高速道路でしか行われなかったため、実験に使用された速度域が全走行時間の14%しかなく、十分な量のデータを採取することができなかった。一般道路では高速道路とは異なり、照明灯の設置基準に地域差が生じるため、シャドウイング確率が大きくなると予想されるが、今回と同様の実験を行って同じような傾向が出るか調査したい。

参考文献

- [1] ITS Hand Book
<http://www.its.go.jp/ITS/j-html/index/indexHBook.html>
- [2] 技術研究組合 走行支援道路システム開発機構 (AHSRA)
<http://www.ahsra.or.jp>
- [3] 福井 良太郎“ビーコン連続型 DSRC システムの構成方法”, 情報処理学会研究報告 2000-ITS-2, Vol.2000 No.83 pp.50-60, 2000.
- [4] DSRC システム研究会 “ITS インフォメーションショー”, pp161-166 クリエイトクルーズ, 2000 .
- [5] 倉沢鉄也 “ITS 高度道路交通システム”, 東洋経済新報社, 2000 .
- [6] 栗本 典彦 “道路の付属施設”, 交通工学研究会編, pp161-166 技術書院,
- [7] 喜多 祥昭 “移動体通信がわかる”, pp.36-37, 技術評論社, 2000.
- [8] 藤本 京平 “移動通信用アンテナシステム”, 総合電子出版社, 1999.
- [9] 電波開発利用研究会 “新版電波読本”, pp.30-31, クリエイト・クルーズ, 1996.
- [10] 関根 雄飛 屋代 智之 “照明型ビーコンを用いた路車間通信における最適な受信環境の検討” pp.577-578 第 64 回全国大会講演論文集 (3)