

## 照明灯を用いた路車間通信

柿田 法之<sup>†</sup> 栗原 良太<sup>†</sup> 福井 良太郎<sup>‡</sup> 屋代 智之<sup>§</sup> 重野 寛<sup>†</sup> 松下 温<sup>†</sup>  
<sup>†</sup> 慶應義塾大学理工学部 情報工学科, <sup>‡</sup> 沖電気工業株式会社,  
<sup>§</sup> 千葉工業大学 情報ネットワーク学科

あらまし : ITS(高度道路交通システム)における専用狭域通信(DSRC)を用いた安全支援システムの実現には、連続的に無線ゾーンを構成することが必要となる。本研究では、その方法として、路側アンテナ(ビーコン)を道路の照明灯設置基準に準じて設置するモデルシステムを提案する。これにより5.8GHzマイクロ波帯を用いる際に重要である直接波による通信(見通し内通信)が期待できることを、ETCのようなガントリを連続的に並べたシステムとの比較により示した。

## Road-to-Vehicle communication using road lighting fixtures

Noriyuki Kakita<sup>†</sup>, Ryota Kurihara<sup>†</sup>,  
Ryotaro Fukui<sup>†</sup>, Tomoyuki Yashiro<sup>§</sup>,  
Hiroshi Shigeno<sup>†</sup>, and Yutaka Matsushita<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Department of Information and Computer Science,  
Faculty of Science and Technology, Keio University

<sup>‡</sup> Oki Electric Industry Co.,Ltd.

<sup>§</sup> Department of Network Science,  
Chiba Institute of Technology

Abstract : It is necessary to continuously constitute radio zone for the safety supporting system by using DSRC on ITS. In this paper, we propose a system that we fix roadside-antenna based on the standards of road lighting fixture. This way, we can transmit by direct radio wave, that is essential for transmission in 5.8GHz. We verified this by comparing with the system which lines up gantries (as used in the ETC systems) continuously.

### 1 はじめに

現在高速道路や都市の一般道路を中心として、交通事故、交通渋滞、渋滞によって引き起こされる物資の輸送効率の低下や排気ガスによる環境汚染が問題となっている。これらの問題を解決するためにITS(Intelligent Transport Systems)の研究開発が盛んに行われている。

その通信形態として、車両同士がお互いに情報を交換し合う「車々間通信」と、路側インフラと車両が通信する「路車間通信」がある。これらにより、有料道路の支払い、車両の位置管理、駐車場の空き状況管理、さらには協調走行も行われる。

ITS開発分野であるETC(Electronic Toll Collection Systems : ノンストップ自動料金収受システム)において、DSRC(Dedicated Short Range Communication : 専用狭域通信)が無線通信として採用されており、通信

可能な範囲は一般に数 m から 100m となっている。そのため通信範囲を非常に狭くでき、局地的な情報伝達に適した手段であるといえる。

一方、交通事故問題を早期に解決するために、安全運転を支援するようなシステムを構築する必要がある。これらのシステムに DSRC を適用することを考えた場合、無線通信ゾーンを連続的に構成し、常に路側と車両側が通信できているという状態を保つ必要がある。本研究では連続に無線ゾーンを構成する方法として、すでに路側にインフラとして設置されている道路照明に注目し、路側アンテナの設置位置をそれに一致させて連続的に無線ゾーンを構成するモデルを考える。一方で、ETC インフラのように道路をまたぐようにガントリを設けて、車両のフロント部に向けて電波を発するようにし、連続通信を実現するためにそれを並べることで路側インフラを構成する（本稿ではそのシステムをガントリシステムと呼ぶ）方法も考えられる。

本提案はガントリシステムのように新しくガントリを設ける必要がないため、インフラを設置するためのコストを低減できると考えられる。本稿では、シミュレーションを通してガントリシステムと同等以上の性能を得られることを示す。

## 2 無線ゾーン

路車間通信は局所型通信（スポット型通信）と連続型通信に分けられる。スポット型通信の形態を持つシステムとして、ETC や VICS があげられる。DSRC とは主にスポット型通信のことを言う。局所型通信の特長として、近距離で見通し内通信が行われるため、高品質通信などが可能となる。

スポット型通信では、ITS における安全運転の支援アプリケーションの実現に十分でない [1]。そこで、AHS（走行支援道路システム）を実現するために必要である連続型通信が考えられている。高品質な局所型通信を連続に並べることで安全支援システムを実現できると考えられる。しかし、連続通信を行うときに多くの基地局を必要とするため、インフラコストが増大することが問題点としてあげられる。

## 3 シャドウイング

DSRC は国際標準化として 5.8GHz マイクロ波帯の利用が検討されている。マイクロ波は直進性が高いので、直接波による見通し通信が重要となってくる。つ

まり、送信側と受信側（路側アンテナと車載アンテナ）の見通しが大いに確保されなくてはならない。ビーコンを連続に並べる DSRC システムを構成するにあたり、以下に示すような、近隣の車両や障害物によって路側からの電波が遮られてしまい受信できない、つまりシャドウイングが起こることが考えられる。

### 3.1 前後車両のシャドウイング

一つの車線に注目し、最もシャドウイングの発生する状況を考える（図 1）。両端に路側アンテナ、中央に小型（軽）車両、その両側に大型貨物車両と並んでいる。車間距離が非常に狭いときは間に挟まれた小型車両は両側の大型車両によりシャドウイングされてしまい、路側アンテナからの電波を受信できないことが起こる。このようにほとんど車間距離を取らずに走行する状況は稀にはしか見られないが、安全な走行を実現するためには、小型車の前後に大型車が非常に狭い車間距離で走行する状況は考慮されなくてはならない。

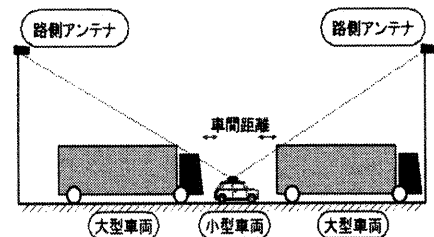


図 1: 前後車両によるシャドウイング

### 3.2 隣接車線に関するシャドウイング

第 1 車線と第 2 車線の両方に注目する。図 2 は路側アンテナ側の第 1 車線に大型車両、第 2 車線に小型車両がいる状態を表している。ここで、第 1 車線の車両と第 2 車線の車両間の距離が縮まったときに、小型車両は大型車両にシャドウイングされてしまい、電波を受信できない状態になる。また、3.1 節と同様に第 2 車線にいる前後車両に関するシャドウイングも起こると考えられる。3.1 節は大型車の高さによるシャドウイングの影響が考えられたが、この場合、大型車両の幅が小型車両の通信に影響を及ぼすものと思われる。（図 3）

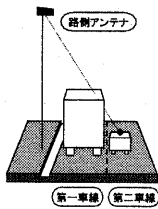


図 2: 隣接車線に関するシャドウイング

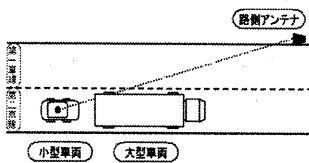


図 3: 前後車両によるシャドウイング

### 3.3 道路標識, 看板によるシャドウイング

道路には道路交通標識や行き先案内の看板などが頻繁に設置されている。図 4 のように車両が看板の陰になってしまい、電波を受信することができないことも起こり得る。つまり、小型車両は大型車両に挟まれていなくても看板によりシャドウイングされて受信できないことも生じる。

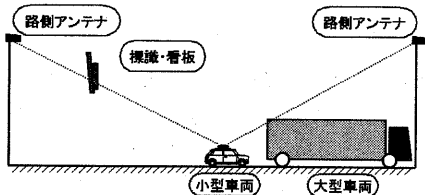


図 4: 道路標識や看板によるシャドウイング

## 4 モデルシステム

道路照明と路側アンテナの設置位置を一致させ連続無線ゾーンを構成する本提案のモデルシステムを構築するにあたり、その設置基準と各アンテナへの周波数分配方法を以下に示す。また、このモデルシステムに基づいてシミュレーションを行う際に必要な条件・パラメータについて述べる。

### 4.1 道路照明の設置基準

道路照明は、前方の道路の状態がどのようになっているかをドライバーが正確に知ることができるように、灯具(光源)からの光度、灯具の間隔と取付高さ、灯具の数といった基準が定められている [2]。照明灯の灯具配列は、片側配列、千鳥配列、向き合わせ配列の 3 種類がある。車道幅員、灯具の取付高さに応じて適切なものを選定するように決められている。表 1 は灯具のパラメータ、図 5 は灯具の設置基準を表している。

照明灯はなるべく影を少なくするように設置基準が定められており、この基準に準じて電波ピーコンアンテナを設置することで、5.8GHz のマイクロ波帯の通信で重要である見通し条件が確保される、つまり直接波を受信することが大いに期待できると考えられる。

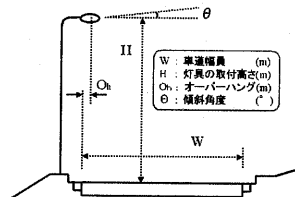


図 5: 道路照明の灯具の設置基準

表 1: 灯具のパラメータ

灯具の光源の光束 (lm/個)(注)	灯具の取付高さ H(m)	オーバーハング Oh(m)	傾斜角 $\theta$ (°)
15,000 未満	8m 以上	-1 ≤ Oh ≤ 1 発光部分 0.6m 以上の灯具	5° 以下
15,000 以上 30,000 未満	10m 以上		
30,000 以上	12m 以上	-1.5 ≤ Oh ≤ 1.5	

[注] 光束とは単位時間当りの放射エネルギーを視覚により評価したもの。単位はルーメン (lm)

## 4.2 ROF 技術による周波数分配

道路照明に路側アンテナの設置位置を一致させることで直接波を大いに期待できるが、電波伝搬において、連続に並べることでアンテナ間で周波数切り替え動作が頻繁に行われることになる [1]。そこでその区間に対して ROF 技術により路側アンテナに無線周波数を分配することを取り入れる。

図 6 に ROF 技術を利用したシステム構成を示した。路側には、統合基地局と複数の局地基地局、それらをつなぐ光ファイバーからなる。局地基地局は無線周波数から光信号への変換、またはその逆の機能のみを持つ。一方統合基地局は光信号と無線周波数信号とを変換する装置をもち、バックボーンネットワークと接続される。そして、ROF 伝送技術により光ファイバーで両局を接続する [3][4]。

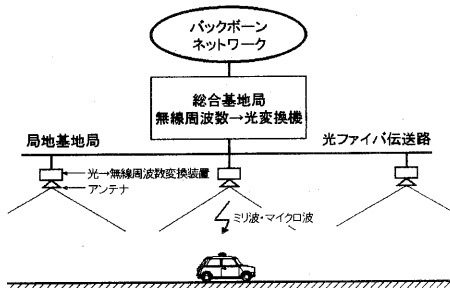


図 6: ROF 伝送技術を利用したシステム構成

しかし、同一周波数を用いると隣接した路側アンテナ同士の相互作用により受信波が不安定になる。そこで、隣接した路側アンテナに異なる周波数 ( $f_1$ ,  $f_2$ ) を用いて、車両側で安定な受信波を選択する周波数ダイバシチを用いることでその不安定な領域をカバーすることも考えられる (図 7) [1]。

これらを照明灯に設置したアンテナに適用することは連続に無線ゾーンを並べる際に生じる周波数切り替えの問題に対して有効である。また、今後周波数の異なるさまざまなサービスが展開されるものと思われるが、単一アンテナでそれらサービスを受けられるように車載装置を構築できれば、安全支援システムもこれ

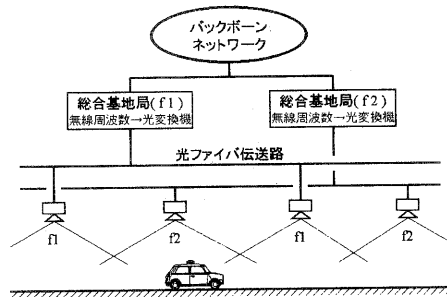


図 7: 2 周波数を用いた ROF システム構成

らサービスも同様に適用でき、ITS 分野の拡大を図れるものと思われる。

## 4.3 モデルシステムの条件・パラメータ

システムの条件とパラメータを以下のように設定した。

### ● 道路

シャドウイングに関して、前後車両によるもの、第 2 車線側の車両が第 1 車線側の車両によるものが主に考えられるため、片側 2 車線の高速道路を対象とする。また、車両は各車線、道路中央を走行するものとする。

### ● 車載アンテナ

車載アンテナは車両の上部に取りつけられるものとする。路側アンテナから出た電波は地面で反射し、干渉波となって通信に影響を及ぼしてしまう。そこでその反射波の影響をうけないようにするため、車載アンテナを車両の上部に取り付け、指向性を上に円形に向けるものとする。

### ● 路側アンテナ

路側アンテナは道路照明と一致させるため道路照明の設置基準より高さを 8m と 12m とし、アンテナ間距離を 36m とした。また、取り付ける路側アンテナは、片側配列の照明灯に取り付けるものとした。指向性は真下方向に円形である、とする。

### ● 車両の大きさや速度

車両は軽自動車、乗用車、普通貨物、大型貨物、大型トレーラーの 5 種類を用意した。その車両の

大きさと発生頻度を表2に示す。車両速度は第1車線を時速80km, 第2車線を時速100kmとした。

表2: 車両の大きさと発生頻度

	車高 (m)	車長 (m)	車幅 (m)	発生頻度
軽自動車	1.3	3.2	1.4	0.036
乗用車	1.5	5.0	1.6	0.806
普通貨物	2.5	8.0	2.0	0.089
大型貨物	3.0	12.0	2.5	0.058
大型トレーラ	3.8	16.5	2.5	0.011

図8・図9はそれぞれ本提案システム、ガントリシステムを示した図である。

ガントリシステムでは、提案システムと比較するため、アンテナの高さを8m, 12mとした。また、取り付け位置が本提案では片側配列としているため路肩の照明灯に取り付けるが、ガントリシステムは図9のように第1車線と第2車線の中央に取り付けるものとする。

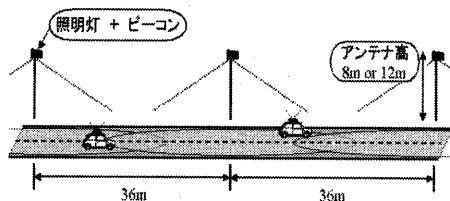


図8: 本提案システム

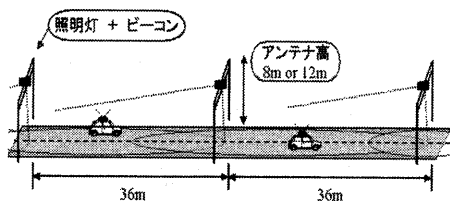


図9: ガントリシステム

## 5 シミュレーション・結果

ガントリシステムと本提案システムとの比較評価を以下の2つの観点で行った。ここで、本来は考えるべきである路面反射や他車両による反射波、道路標識や看板によるシャドウイングについては取り入れておらず、5.8GHzマイクロ波帯の通信で重要と考えられる直接波(見通し内通信)についてのみ考慮し、路側アンテナには同一周波数を使用するものとした。表3に以下の2項目に共通なシミュレーション条件を示す。

### ● 車両密度に対するシャドウイング確率

図10は、前後車両、隣接車両によりシャドウイングされてしまい受信できない確率を、車両密度(台/km)を横軸にとって示した図である。両システムともに第一車線・第二車線に関して路側アンテナの高さ8m・12mと変えて評価した。

### ● 車両の位置によるシャドウイング確率

図11は、車両の進行方向の位置を横軸にとり、その位置でのシャドウイング確率を表した図である。測定範囲は、路側アンテナ3個分(0m~72m)とした。車両の位置(m)は、ある路側アンテナの位置を基準0mとし、そこからの移動距離として表す。両システムともに第一車線のみを考え、評価した。

受信波の測定方法として、車両が移動する毎に路側から電波を発し、それを車両が受信するようにした。車両が路側から電波を受ける際、前後・左右の車両によって遮られてしまい、まったく受信できなかった場合をシャドウイングされた、とみなす。ここで、前述のシャドウイング確率とは、シミュレーションの全過程において、シャドウイングされた回数をカウントし、それを全ての測定回数で割ったものとして表した。

表3: シミュレーション条件

道路	1000m : 2車線 : 直線
路側アンテナ間距離	36m
シミュレーション時間	3600sec
車両の流れ	ポアソン流
車両速度	第一車線 : 80km 第二車線 : 100km
送信電力	10mW
路側、車載アンテナ利得	3dB

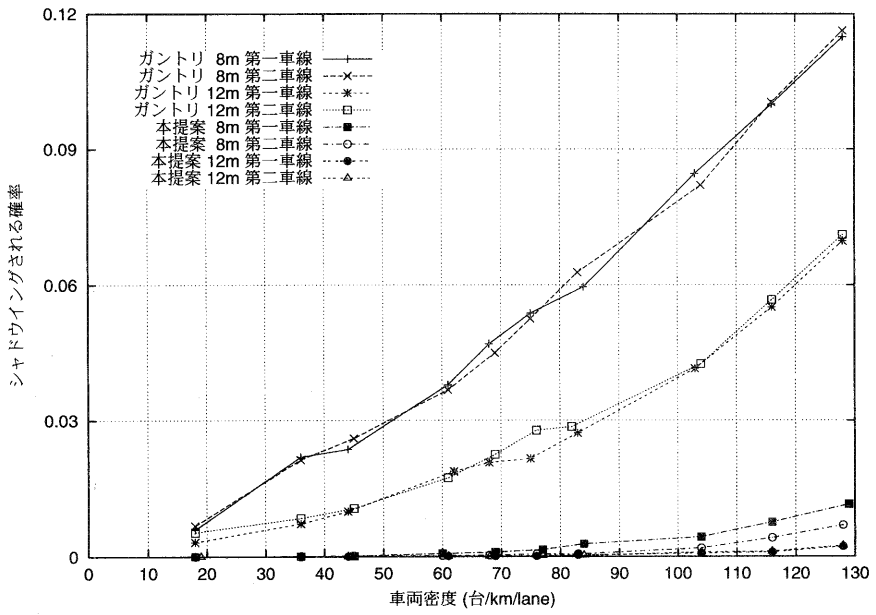


図 10: 車両密度に対するシャドウイング確率

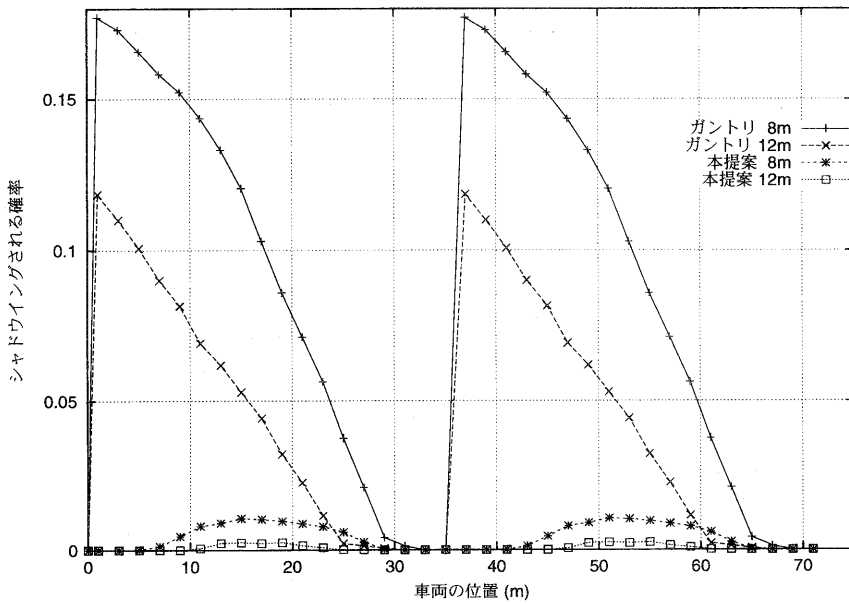


図 11: 車両の位置によるシャドウイング確率

まず、車両密度に関して(図10)であるが、ガントリシステムが車両密度の増加に比例してシャドウイングされる確率も増加しているのに対し、本提案システムではガントリシステムに比べてその増加率は明らかに低くなっていることがわかる。また、アンテナの高さが8m・12mを比較した場合、12mの方が本提案でもガントリシステムでもシャドウイングされる確率はそれぞれアンテナ高8mよりも低いことがわかる。つまり、アンテナ高を12mとすることにより、路側と車両側の見通しを大いに確保することができると言える。

次に、車両の位置に関して(図11)見てみる。路側アンテナは0m, 36m, 72mのところと位置している。ガントリシステムでは車両が路側アンテナに近づくにつれシャドウイングされる確率は低下していき、設置位置付近に来たところでシャドウイングは起こらなくなる。そして、路側アンテナを越えてしまったらシャドウイングされる確率は非常に大きくなる。一方、本提案システムでは、路側アンテナ間の中間点付近で(18m, 54mを中心に)シャドウイングは生じているが、ガントリシステムと比較してそのシャドウイングされる確率ははるかに低くなっている。これは、ガントリシステムが車両の前方に向けて電波を発する形をとっているのに対し、本提案システムでは路側アンテナを通過しても車両の後方からも電波は発せられているので、前方からの電波が遮られても後方からの電波によって補うことができるためである。

以上から、新しく路側インフラを設置するにあたり、照明灯の設置基準に合わせてビーコンを取りつける本提案モデルは、既存のITSインフラであるETCのようにガントリを設けて構成するガントリシステムよりも優れた性能を持つことができるといえる。

## 6 まとめ

本稿では、路車間通信の面から安全支援システムを構築するにあたり、道路照明の設置基準に準じて路側アンテナを照明灯と一致させる連続型無線ゾーンの構成法を提案した。そして、現在のITSインフラであるETCを参考にしたガントリシステムを、もう一つの路側インフラを構成する方法として取り上げた。両方とも路側アンテナには同一周波数を用いてシステムを評価した。本提案システムとガントリシステムとを比較し、シミュレーションを用いて評価して本提案システムの有効性を示した。

連続型無線ゾーンを構成するにあたり、現存する道

路照明基盤を利用して路側アンテナを設置するという点でコスト面において有益であるという点が挙げられる。さらに直接波が期待でき、安全支援システムを早急を実現する方法として非常に有効であるといえる。

今後の課題として、路面反射、近隣の車両による反射波を考慮することで、道路照明に路側アンテナを設置した本提案の有効性を示すつもりである。

## 参考文献

- [1] 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, Vol. 2000, No. 83.
- [2] 交通工学研究会編. 交通工学ハンドブック. 技報堂出版.
- [3] 原田博司, 前野隆宏, 長尾康之, 久津木研二, 青木豊, 清水崇之, 渡辺彰彦, 大村純夫, 松生雅信, 小椋正紀, 松尾望, 館田良文, 加藤博光, 徳田清仁, 藤瀬雅行. ミリ波帯無線信号を用いたROF路車間通信システムにおけるシステム構成方法に関する一検討. 電子情報通信学会技術研究報告.
- [4] 青木豊, 田口隆志, 原田博司, 藤瀬雅行. ミリ波帯無線信号を用いたROF路車間通信システムにおける無線スポットアクセス方式の提案. 電子情報通信学会技術研究報告.