

# 安全支援システムの実現に向けた連続無線ゾーンの構成方法

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：交通事故者が多数にのぼっている今，ITS(Intelligent Transport Systems)においてドライバーの運転を支援する安全支援システムの実現が早期に求められている．その安全支援システムを路車間通信の面から構築するにあたり，[5]において，道路照明に注目しDSRCを用いて連続無線ゾーンを構成する方法を提案し，幾何学的なモデルでシミュレーションを行った．本稿ではその拡張として干渉を考慮した電波モデルを取り入れ，本提案が安全支援システムの構築に有効であることを示した．

## The Composition Method of the Continuous Radio Zone towards Realization of a Safe Support System

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 : In order to mitigate and avoid the traffic accident of a large number generated now, it is asked for realization of the safe support system which supports operation of a driver in ITS(Intelligent Transport Systems) at an early stage. In building the safe support system from the field of Road-to-Vehicle communication, we observed road lighting and proposed the composition method of continuous radio zone using DSRC(Dedicated Short Range Communication) in [5]. In this paper, as the extension, we took in the radio model with consideration to interference, and showed that this proposal was effective in construction of a safe support system.

## 1 はじめに

現在，高速道路や都市の一般道を中心として，交通事故・交通渋滞・排気ガスによる環境汚染など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: 高度道路交通システム)の研究が盛んに行われている．ITS研究開発の一つとして道路と車両が通信する「路車間通信」がある．近年，路車間通信システムとしてETC(Electronic Toll Collection Systems: ノンストップ自動料金収受システム)が施行され，渋滞の軽減が期待される．ETCにはDSRC(Dedicated Short Range Communication : 専用境域通信)が採用

されており、近距離で見通し内通信が行われるため、高品質で確実な通信が可能である。一方、年間事故死者数は約 9,000 人という非常に高い数字を記録しており [1]、ドライバーの安全を支援するシステムを早期に実現する必要がある。

## 2 安全支援

道路交通の安全性、利用効率、環境などの飛躍的向上を目指したスマートウェイ構想の中で、道路の知能化を目指す AHS(Advanced Cruise-Assist Highway Systems: 走行支援道路システム)がある。AHS は、事故を未然に防ぐため道路や車両の各種センサーにより道路や周辺車両の状況等の走行環境を把握し、車載機、道路情報提供装置によりリアルタイムで運転中の各ドライバーに走行環境情報の提供・危険警告・操作支援を行うことで、ドライバーの負担軽減による安全性の向上、事故の減少、輸送効率向上といった社会的貢献を期待される重要な技術である。

現在の交通事故原因を分析すると、事故全体の大部分がドライバーの「発見の遅れ」「判断のあやまり」「操作上のあやまり」「運転者自身の運転能力・適格の欠如」である。現在ではその事故を軽減するためのサービスとして車線逸脱防止操作支援や衝突防止操作支援などの研究が行われている。発見の遅れによる事故に対しては、判断や操作の誤りを防止するようなサービスを用いるだけでは効果はなく、前方の見通しの悪いカーブなどで事故や渋滞が発生しているとか、障害物が存在しているといったようなことをドライバーが事前に認知しておくことで大きく改善される項目である。

従って、ドライバーに必要な情報をタイムリーに提供し、警告情報の提供・危険回避のための緊急操作支援は、路車間通信システムを用いて行うことで事故を大幅に低減することが期待できる [2]。路車間通信により安全を支援するためには、見通しの悪いカーブなどの事故を起こしやすい区間において、路車間で途切れがなく、かつ信頼度の高い確実な通信が求められる。

## 3 連続無線ゾーン

DSRC は通信範囲が非常に狭い通信形態であるので、路車間で近距離の高品質通信を行うことができる。AHS

を実現するためには、ETC のようなスポット型通信では不十分であり、DSRC による連続型通信が必要である [3]。つまり、連続的に無線ゾーンを構成するような路車間通信システムを新たに構築しなければならない。連続無線ゾーンを構成する際に、路側インフラコストが非常に増大してしまうという問題が生じるので、経済面・性能面で両立できるような路車間通信システムを構築する必要がある [4]。

## 4 連続型通信システムにおけるシャドウイング

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ため、直接波による見通し内通信が重要となってくる。つまり、路側アンテナと車載アンテナとの見通しが大いに確保されなくてはならない。DSRC による連続型通信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るシャドウイングを考慮すべきである。

- 前後車両のシャドウイング
- 隣接車線に関するシャドウイング
- 道路標識・看板によるシャドウイング

## 5 シミュレーションモデル

先述のように、AHS の実現を目指した路車間通信システムを構築するには路側インフラコストの問題や路車間通信を行う際に生じるシャドウイングの問題を考えなくてはならない。[4]において、既に路側インフラとして設置されている道路照明に注目し、路側アンテナをその基準に一致させることで連続的に無線ゾーンを構成する方法を提案した。[5]は、幾何学的なモデルを考慮し、見通しを大いに確保できることを示した。本稿ではそれを拡張し、干渉を考慮した電波モデルを取り入れてシミュレーションを行う。路側アンテナを連続的に並べる際、その間隔を道路照明の位置に全て取

り付けた場合、1つおきに取り付けた場合、2つおきに取り付けた場合の3つについて考える。

## 5.1 道路照明

道路照明は、前方の道路の状態がどのように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、灯具の光源からの光度・灯具の間隔・取り付け高さといった様々な基準が定められている [6]。図1に道路照明基盤の構成、表1に道路照明のパラメータを示す。

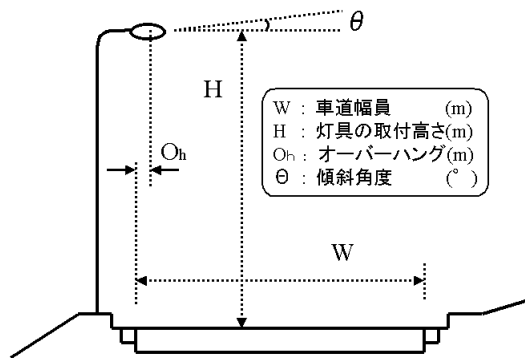


図1: 道路照明基盤の構成

表1: 道路照明のパラメータ

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)

照明灯はなるべく障害物影を少なくなるように設置基準が定められており、この基準に合わせて路側アンテナを設置することで、マイクロ波帯通信で重要である、路側と車両側との見通し確保が期待できると考えられる。

## 5.2 連続無線ゾーンの構成モデル

道路照明灯設置基準に合わせてシミュレーションモデルを図2のように構成した。モデルの条件とパラメータを以下に示す。

### ● 道路

シャドウイングに関して、前後車両によるもの、追い越し車線側の車両が通常走行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、干渉波となる。車載アンテナを上部に取りつけ、指向性を上に円形に向けることでその反射波の影響を無視することができる。

### ● 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。照明灯は36m間隔で設置されているが、路側アンテナは、36m 毎・72m 毎・108m 毎と設置間隔を変えて行った。

### ● 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。車両速度は通常走行車線を時速80km/h、追い越し車線を時速100km/h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
大型トレーラー	3.8	16.5	2.5	0.011

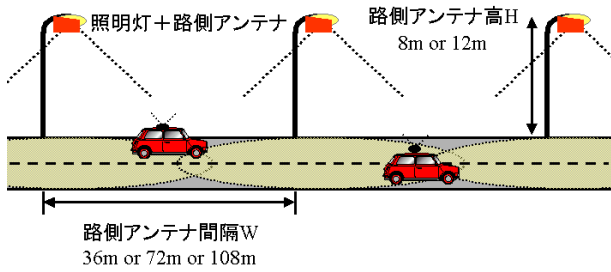


図 2: 提案モデル

その他のシミュレーション条件を表 3 に示す.

表 3: シミュレーション条件

道路	直線 1000m : 片側二車線
車両の流れ	ポアソン流
車両速度	通常走行車線 : 80km/h 追い越し車線 : 100km/h
路側・車載 アンテナ利得	3dB
送信電力	10mW

### 5.3 電波モデル

反射に関してであるが、本研究では車載アンテナは指向性を円形に上向きに向けることで路面反射の影響はないものとし、他車両による反射は1回反射のみを取り入れた。受信電力は、その反射波と直接波の合成によって求める。図 3 に示すようにそのとき考慮する電波は、測定対象となる車両に最も近い路側アンテナとその前後の路側アンテナとする。

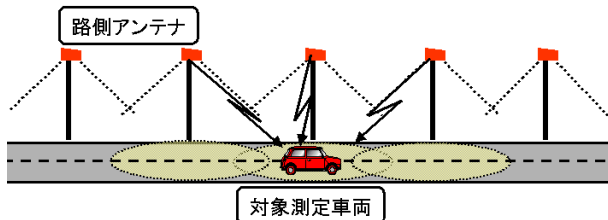


図 3: 受信対象となる路側アンテナ

#### 5.3.1 SHF 帯の減衰

マイクロ波は SHF 帯の周波数帯であり、自由空間における受信電力  $P_R$  と送信電力  $P_T$  の関係は、

$$P_R = \frac{G_1 G_2 \lambda^2}{(4\pi s)^2} P_T$$

$P_T$ :送信電力 (W)

$P_R$ :受信電力 (W)

$\lambda$ :波長 (m)

$G_1, G_2$ :アンテナの動作利得

$s$ :アンテナ間距離 (m)

で求められ [8][9], 電力の単位を dBm に変換するために

$$D = 10 \log P$$

を用いる。

#### 5.3.2 合成波

図 4 に、ある車両における路側アンテナから発せられた電波の到達経路の例を示す。

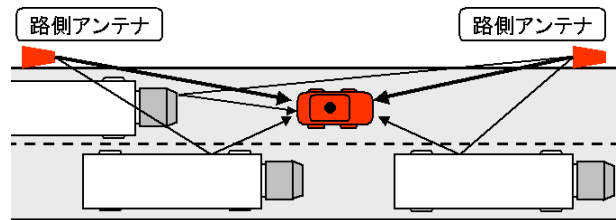


図 4: 電波の到達経路

このとき、合成波の受信電力は次のように表される。対象車両のある地点でのアンテナ  $A_1$  と  $A_2$  からの受信電力をそれぞれ  $P_1 \cdot P_2$  とし、送信・受信アンテナ間距離をそれぞれ  $s_1 \cdot s_2$  とする。  $\theta_1 \cdot \theta_2$  は  $A_1 \cdot A_2$  からの電波の位相である。図 5 に 2 波の合成波の図とベクトル化した図を示す。

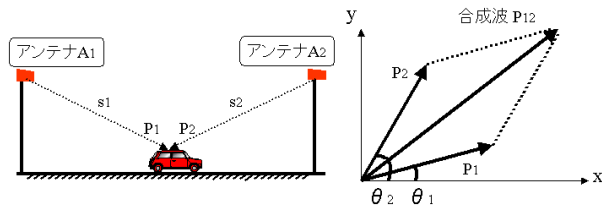


図 5: 2 波の合成波

測定車両の受信電力  $P_{12}$  はベクトル合成され、

$$\begin{aligned}
 x &: P_1 \cos \theta_1 + P_2 \cos \theta_2 \\
 y &: P_1 \sin \theta_1 + P_2 \sin \theta_2 \\
 P_{12} &= \sqrt{x^2 + y^2} \\
 &= \sqrt{(P_1 \cos \theta_1 + P_2 \cos \theta_2)^2 + (P_1 \sin \theta_1 + P_2 \sin \theta_2)^2} \\
 &= \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2(\cos \theta_1 \cos \theta_2 + \sin \theta_1 \sin \theta_2)} \\
 &= \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2 \cos(\theta_1 - \theta_2)}
 \end{aligned}$$

で表される。さらに  $\theta_1 - \theta_2$  は 2 波の位相差なので、

$$P_{12} = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2 \cos \theta}$$

と表せる。3 波の場合は 2 波の合成を元にして求める。合成波の位相を  $\theta_{12}$ 、3 波目の位相を  $\theta_3$  とし、測定車両の受信電力を  $P_{123}$  とすると、ベクトル図は図 6

のようになる。4 波以上になる場合はこれを繰り返し、全合成波の受信電力を求める。

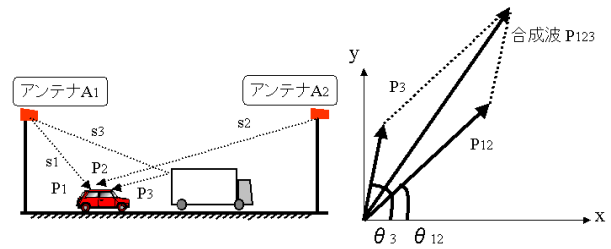


図 6: 3 波の合成波

## 6 評価・考察

図 2 に示したシミュレーションモデルを用いて本提案の評価を以下の 2 つの観点で行った。いずれも路側アンテナの間隔  $W$  を 36m, 72m, 108m と変えて比較した。

### ● 車両密度と受信確率の関係

図 7・図 8 は、縦軸を受信確率、横軸を車両密度として示した図である。図 7 は路側アンテナの高さを 8m とした時、図 8 は 12m とした時である。車両密度はある一つの車線において 1km に何台の車両が存在しているかで表す。また、受信確率とは、

$$\text{受信確率} = 1 - (\text{Prob}_1 + \text{Prob}_2)$$

$\text{Prob}_1$ : シャドウイングされる確率

$\text{Prob}_2$ : 受信電力値が閾値を割って受信できない確率

で表す。シャドウイングされる確率はシミュレーションの全課程においてシャドウイングされた回数をカウントし、全ての測定回数で割ったものとして表す。受信電力の閾値は ETC の基準を参考にし、-60dBm とした。

### ● 車間距離とシャドウイングされ続ける距離の関係

図 9・図 10 は、ある車間距離で走行している車両が連続してシャドウイングされる距離である。連

続いてシャドウイングされる距離というのは、走行中の車両がある地点でシャドウイングを受けてから次に路側アンテナから電波を受信できるようになるまでに走行した距離である。先程と同様に、図9は路側アンテナの高さを8mとした時、図10は12mとした時である。

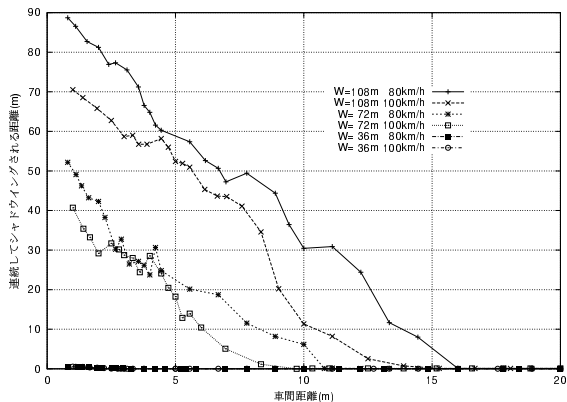


図9: 車間距離-シャドウイング距離 (8m)

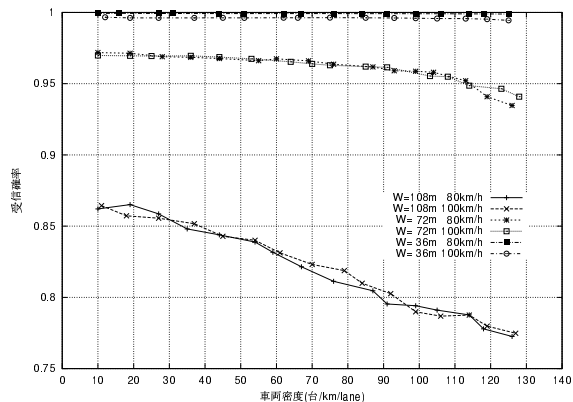


図7: 車両密度-受信確率 (8m)

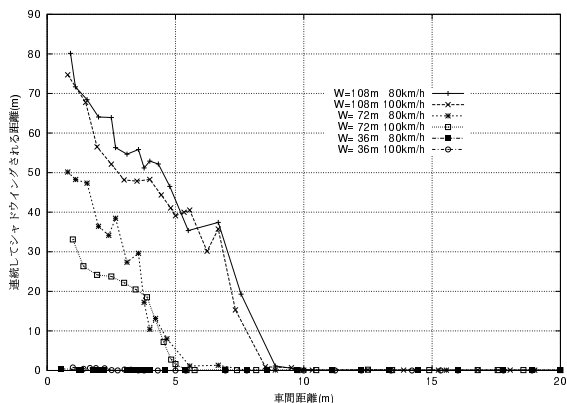


図10: 車間距離-シャドウイング距離 (12m)

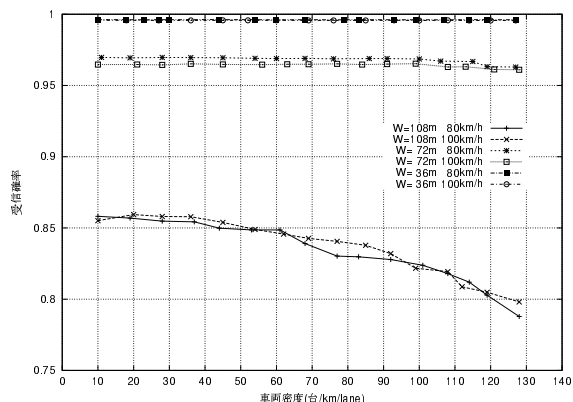


図8: 車両密度-受信確率 (12m)

図7・図8についてであるが、路側アンテナの高さが8m, 12m共に路側アンテナの間隔を36m, 72m, 108mと大きくするにつれ、受信確率は小さくなっていくことがわかる。路側アンテナの間隔大きくしていくと、路車間のアンテナ距離が長くなるので電波減衰により受信できなくなるのに加えて、前後車両によるシャドウイングが頻繁に生じるために受信確率は低下すると考えられる。また、路側アンテナの間隔を72mとしたとき、高さが8m, 12mともに車両密度が増加しても受信確率は0.95付近であることがわかる。間隔を36mとしたとき、路側アンテナの高さを変えてもほとんど受信できると言える。

図9は路側アンテナの高さを8mとした時であるが、アンテナの間隔を72m・108mとした場合、それぞれ車間距離を約11m・16m以上あけるとシャドウイングが連続して起こらない、と言える。また、図10は路側アンテナの高さを12mとした時であり、同様にアンテナ

ナの間隔を 72m・108m とした場合を見ると、それぞれ車間距離を約 7m・10m 以上あけることで連続してシャドウイングが起こるのを回避できると言える。路側アンテナの間隔を 36m ごとに設置した場合、アンテナの高さが 8m・12m のいずれもシャドウイングはほとんど連続して起こらない、と言える。ここで、[5]の結果から、連続してシャドウイングが起らないためにどのくらいの車間距離を開ければいいかを述べる。まず、路側アンテナの間隔が 72m と 108m の時を挙げると、路側アンテナの高さが 8m の時は車間距離をそれぞれ約 10m、約 14m 以上、高さが 12m のときはそれぞれ約 5m・約 8m 以上開けることで連続してシャドウイングが起こるのを回避できることがいえる。次に、路側アンテナの間隔を 36m とすると、アンテナの高さを 8m・12m と変えても連続してシャドウイングは起こらない。以上から、今回干渉を考慮した電波モデルを取り入れても [5] で行った幾何学的なモデルとほぼ同様な結果を得ることができた。このことから車間距離をある程度開けると他車両からの反射波は対象車両には届かない、もしくは届いたとしても、直接波と比較してより大きく減衰しているため干渉しても直接波に影響はないと考えられる。

図 4 のような反射パターンは路側アンテナの間隔により変化する。路側アンテナの間隔を大きくすると直接波が遮断される確率も高くなるが反射波となる電波自体も遮断される確率は高くなり、先述のように大きく減衰する。したがって反射波の影響は少なくなり、幾何学的なモデルに近づくと考えられる。路側アンテナの間隔を小さくすると反射波は増加し干渉による一時的な受信電力の落ち込みはあるが、直接波が常に存在する見通し内通信であるために、連続的にシャドウイングは受けないと考えられる。

受信確率から見ると、路側アンテナの高さを 8m、12m としてもさほど大差はないが、シャドウイングされ続ける距離を見ると路側アンテナの高さは 12m の位置がよいと言える。また、路側アンテナの間隔は 36m とすることで最も良い性能を示すことができる。しかし、36m 間隔で取り付けるとコストは相当なものになるため、路側アンテナの間隔を 72m とした場合を取り上げてみる。

アンテナの高さを 8m とした時は車間距離を約 11m 以上、高さを 12m とした時は約 7m 以上取ることでシャドウイングされ続ける距離は非常に短くできる。これ以下の車間距離は時速 80km/h、100km/h での走行時には非常にまれである。さらに、受信確率の面からしても約 92 パーセントを確保できる。交通事故原因の約

半数は発見の遅れにあるということを考えると、障害物が前方にあるといったような危険警告を行うだけでかなりの効果があると考えられる。そういった完全にドライバーを支援しない場合においてはアンテナの間隔を 72m としても十分に対処できると考えられる。

## 7 おわりに

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、[5]において提案した道路照明設置基準に合わせて路側アンテナを設置する連続無線ゾーンの構成法の拡張として電波モデルを取り入れ、路側アンテナの設置間隔を変化させ、車両密度と受信確率の関係・車間距離とシャドウイングの続いた距離の関係の面から評価を行った。これにより、路側アンテナを照明灯の位置に合わせて連続に取り付けた場合はドライバーの安全支援を行うにおいて極めて有効で、さらに 1 つおきに並べた場合でも、前方に障害物がある、などの危険警告を行うのには有効であることを示した。

## 参考文献

- [1] 警察庁交通局(編). 月間交通. 東京法令出版, October, 2000.
- [2] 山内照夫. 21 世紀へ向けた走行支援道路システムについて. 電気情報通信学会誌, Vol.83, No.7, PP565-568, 2000.
- [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, Vol.2000, No.83, pp55-60, 2000.
- [4] 柿田法之, 栗原良太, 福井良太郎, 屋代智之, 重野寛, 松下温. 照明灯を用いた路車間通信. 情報処理学会研究報告, Vol.2000, No.112, pp113-120, 2000.
- [5] 柿田法之, 栗原良太, 福井良太郎, 屋代智之, 重野寛, 松下温. 照明灯を用いた路車間通信におけるシャドウイングに関する一検討. 情報処理学会第 62 回全国大会特別トラック (5) 講演論文集, pp165-168, 2000.
- [6] 交通工学研究会(編). 交通工学ハンドブック. 技報堂, pp727-762, 1998.

- [7] 山海堂 ITS 調査班. ITS 白書 1998～1999. 山海堂, pp118, 1998.
- [8] 遠藤敬二, 佐藤源貞, 永井淳. アンテナ工学. 日刊工業新聞社. 1975.
- [9] 稲垣直樹. 電気・電子学生のための電磁波工学. 丸善株式会社. 1980.