

DSRC を用いた連続型路車間通信におけるシステム構成の検討

中村 めぐみ¹, 柿田 法之¹, 福井 良太郎^{1,2}, 屋代 智之³, 重野 寛¹, 岡田 謙一¹, 松下 温⁴

概要

ITS 路車間通信システムとして DSRC を利用した ETC がサービスを開始した。DSRC は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。アンテナを連続に配置することで連続通信が可能な環境を作る。アンテナを道路照明灯の位置に合わせ、車両への電波到達を確実にする。また、隣接セルの干渉を抑え、周波数切替えの頻度を低くするため、ROF 技術を用いて仮想的に大きなセル(ゾーン)を構成する。様々な用途で DSRC 通信を用いることを想定し、様々なゾーン長に対するシステムの特性を、計算機シミュレーションにより評価する。通信の連続性がバックボーンネットワーク構成によって変化することを示す。

An Evaluation of the system configuration of Road-Vehicle successive Communication using DSRC

Megumi Nakamura¹, Noriyuki Kakita¹, Ryotaro Fukui^{1,2}, Tomoyuki Yashiro³,
Hiroshi Shigeno¹, Kenichi Okada¹, Yutaka Matsushita⁴

ETC which uses DSRC as an ITS road-vehicle communication system started service. DSRC is used in a short distance and in sight, so it offers quality and steady communication. Continuous arrangement of an antenna makes the environment in which continual communication is possible. An antenna setted by the position of the road lighting ensures that an electric wave reaches to vehicles. Moreover, in order to suppress interference of a contiguous cell and to lessen the number of times of handoff, a big cell(zone) is virtually constituted using ROF technology. A computer simulation estimates the characteristic of a system over various zone length supposing using DSRC communication for various uses.

1 はじめに

ITS 路車間通信システムとして DSRC (Dedicated Short Range Communication: 狭域通

信) を利用した ETC(Electronic Toll Collection: 自動料金収受システム) がサービスを開始した。DSRC は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。

路車間通信は車車間通信と異なり、路上の全車両に専用機器が搭載されていなくても自車両が搭載していればそのサービスを受けることができる。しかし、路車間通信によりドライバーの安

¹ 慶應義塾大学理工学研究科
Faculty of Science and Technology, Keio University
² 沖電気工業株式会社 Oki Electric Industry Co., Ltd
³ 千葉工業大学 Chiba Institute of Technology
⁴ 東京工科大学 Tokyo University of Technology

全運転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、路車間で途切れのない確実な通信が行えなくてはならない。

そこで本研究では、路車間通信において DSRC を用いて連続通信を可能とするシステム構成について検討する。

DSRC は直進性が強く、カバーする範囲が狭いという特徴があるため、アンテナを道路照明灯の位置に合わせることで車両への電波到達を確実にする [2]。また、アンテナを連続に配置することで連続通信が可能な環境を作るため、隣接セルの干渉を抑えて周波数切替えの頻度を低くする必要がある。そのため、ROF (Radio On Fiber) 技術を用いて仮想的に大きなセル (以下「ゾーン」とする) を構成する。

安全支援システムやエンターテイメントなど様々な用途で DSRC 通信を用いることを想定し、様々なゾーン長に対するシステムの特性を、計算機シミュレーションにより評価する。

2 章で DSRC について、3 章で連続無線ゾーンについて説明し、4 章でシミュレーションモデルを示した後、5 章で結果を示し、評価・考察を述べる。

2 DSRC(狭域通信)

現在の DSRC 標準化活動は、ビーコンを使ったスポット型路車間通信に限定して進められている。この場合、標準規格 [1] は OSI 参照モデルの 3 層構造とし、レイヤ 1、レイヤ 2、レイヤ 7 を対象とする。移動局が基地局の小さな通信ゾーンを通過するごとに交信が短時間に行なわれることを考慮して、OSI 参照モデルに規定されるレイヤ 3 からレイヤ 6 は対象外とされ、関係する機能が必要な場合には、レイヤ 7 に搭載することとしている。

DSRC の伝送フレームは、フレーム制御用の FCMS(Frame Controll Message Slot) と、データ多重用の 1 つ以上の MDS(Message Data Slot)、0 個以上の WCNS(Wireless Call Number Slot) と ACTS(Activation Slot) からなる可変フレーム構造の構成であり、半二重通信と全二重通信がある。

全二重通信の場合のフレーム構成を図 1 に示す。

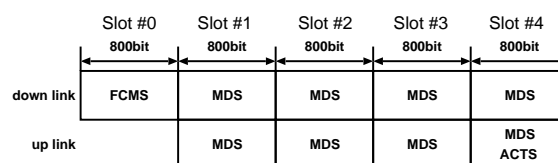


図 1: DSRC フレーム構成 (全二重通信)

FCMS はフレーム制御情報多重用スロットで、1 フレームに 1 つであり、必ずフレームの先頭に位置する。このスロットはダウンリンク専用で基地局がスロット割付情報、フレーム制御情報等からなる FCMC(Frame Controll Message Channel) を多重化して送信する。

MDS はデータ多重用スロットで、FCMS に後続して原則として 1 フレームに 1 つ以上のスロットが割り当てられる。本スロットはアップリンク、ダウンリンクチャンネルに用いる MDC(Message Data Channel) と ACKC(ACK Channel) から構成され、ダウンリンクを基地局が、アップリンクを移動局が利用する。

レイヤ 2 の手順で車載アンテナと路側アンテナとの間でリンク確立を行なう。それ以上のレイヤは規定されていないので、通信リンクを継続させるためには、繰り返して新たなリンク確立を行なう手順を設ける必要がある。

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。このような特徴から、AHS(Advanced Cruise-Assist Highway System: 走行支援道路システム) に用いられるシステムを構築するには DSRC を用いることが有効であると考えられる。

安全支援システムには瞬断のない通信が求められる。そのためには ETC のようなスポット型通信では不十分であり、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構築しなければならない [2]。その他の目的のためでも、途切れることのない通信環境はストレスのないドライブをサポートすることになるであろう。

しかし路車間通信システムを新たに構築すると、路側インフラの設置コストが増大する。そこで、経済面・性能面で両立できるシステムを構築する必要がある [3]。

3.1 道路照明灯利用モデル

DSRC に用いられる 5.8GHz マイクロ波帯は直進性が高いので、直接波による見通し内通信が重要である。つまり、路側アンテナと車載アンテナとの見通しが確保されなくてはならない。そのため、DSRC による連続型通信システムを構成するにあたり、近隣の車両や障害物によるシャドウイング (陰となり遮断されること) を考慮しなくてはならない。

そこで、既に路側インフラとして設置されている道路照明の基準に路側アンテナを一致させることで連続的に無線ゾーンを構成する方法が考えられる。 [3]

照明灯はなるべく障害物の影が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を確保できる。

文献 [3] [4] により、照明灯の位置基準に路側アンテナを一致させることで、路車間通信にとって問題であるシャドウイングを軽減でき、設置する際のコストを低下できることが示された。

従って本研究においても照明灯一致モデルを用いて、連続無線ゾーンを構成する。

3.2 バックボーンネットワーク

連続無線ゾーンを構成するために、スポット型のセルを連続的に並べる。

DSRC を連続的に配置して無線ゾーンを構成した場合、各路側アンテナに無線装置が必要となる。すると無線装置コストが増加する。さらに、車両がある無線ゾーンから隣接した無線ゾーンへ移動する際に、ゾーン間で周波数切り替え動作が起こるため、ハンドオフによるオーバーヘッドが生じてしまう。これは通信効率を悪化させる要因となる。

このハンドオフの頻度を減少させるため、ROF

技術を用いて、1つの統合基地局から複数の局地基地局 (路側アンテナ) を光ファイバで接続する。複数の路側アンテナに対して周波数を分配し、そこで光信号と無線信号の変換を行う。隣接するアンテナで同一周波数を用いると干渉により受信波が不安定になるので、2周波数を交互に使い、ダイバーシティにより選択する方法を用いる [2]。ゾーン内では統合基地局より同一の情報を送出し、仮想的に1つの大きなセルを構築して通信を行う。

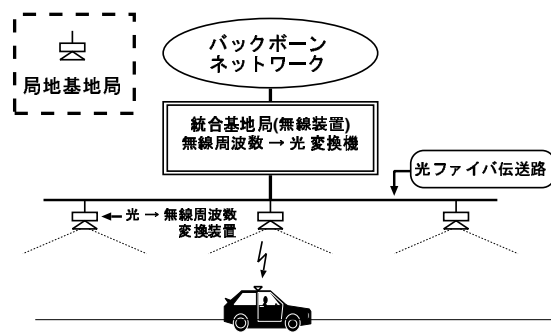


図 2: ROF 技術利用による路側システム構成

このような方法でゾーンを構成することで、アンテナ設置間隔を狭めた場合のハンドオフ頻度の減少が望まれる。

アンテナ設置間隔が大きい場合は、電波が車両へ到達するまでの距離が長く、電波強度の減衰が激しい。さらに、到達までの道程に他の車両が存在する確率も高いので、シャドウイングが生じる確率が大きい。

ROF 技術を用いることは、ハンドオフ頻度を減少させること、及び、シャドウイング確率を減少させることに効果があると考えられる。

3.3 移動管理

DSRC を用いて通信を行なうためには、ネットワーク内で車両の移動を管理するのに MobileIP のようなマクロモビリティ技術ではなく、CellularIP のような、局所的な移動を管理するマイクロモビリティ技術 [6] が必要となる。

本稿では通信時に、ノードに車両と経路の対応を記録することで情報転送を行なう。車両が移動

するたびに、各ノードが車両と経路の対応テーブルを書き換えることで車両の位置を管理する。

ハンドオフを行なうときは、新たに通信リンクを確立する必要がある。そのときに情報の送受信を行なっている途中であった場合は、新しくリンクが確立した時点で新たな経路へ情報転送を行う。

4 シミュレーションモデル

DSRC を利用した連続無線ゾーンを構成するために、アンテナを照明灯の位置に設置することでシャドウイングを軽減する。また、ROF 技術を用いて仮想的に大きなセルを構成することで、ハンドオフの頻度を減少させる。

このようなシステムにおけるゾーン長の変化による特性を、計算機シミュレーションにより評価する。

アンテナを設置する位置として [4] で最もシャドウイングされる確率の低かった間隔 36m、高さ 12m のモデルを用いる。

走行支援道路システムにおけるインフラ機器への要求性能として、路車間通信に関しては次のように挙げられている [5]。

- 通信対象
 - 走行支援道路システム車両 (自動二輪以上に搭載可能であること)
- 通信対象速度
 - 0 ~ 120km/h 以上 (0 ~ 180km/h 以上が望ましい)
- 通信領域
 - 自専道: 0 ~ 600m (片側 3 車線以上), 一般道: 0 ~ 420m (往復 6 車線以上)
- 対象車両数
 - 252 台以上に対する個別通信
 - 自専道 600m, 3 車線, 車両密度 140 台/km として 252 台, 一般道 420m, 往復各 2 車線, 車両密度 140 台/km として 164 台
- 情報更新周期 0.1s (通信周期)

通信領域が 0 ~ 600m となっていることから、本研究では ROF 技術によるゾーン長を 36m, 180m, 360m, 540m に変化させて特性を比較する。

つまり ROF 技術を用いて、1 つの統合基地局から情報を分配する局地基地局の数を 1, 5, 10, 15 と変化させる。ROF 技術を用いずに局所的なセルを連続的に並べた場合と、ゾーン長が 36m の場合が等しい。

シミュレーションモデルを図 3 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。

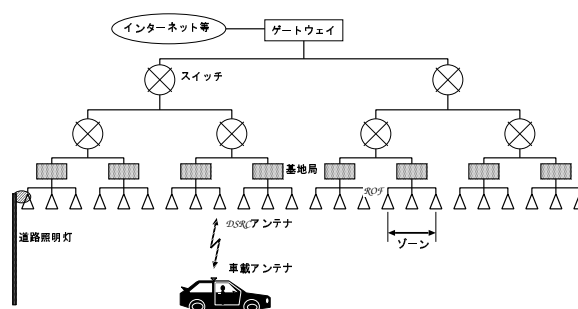


図 3: シミュレーションモデル

- 道路
 - 片側 2 車線の高速道路を想定する。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中央に取り付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付け、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、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。文献 [3] で最もシャドウイング確率の低い高さ 12m、間隔 36m のモデルを用いる。
- 車両の大きさ
 - 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。

車種別の推定発生頻度と車種の推定平均車高，車長，車幅を表 1 に示す [7]．

表 1: 車両の大きさや発生頻度

	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

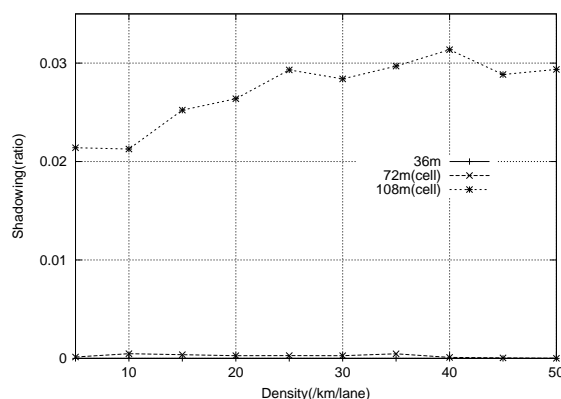


図 4: 車両密度 - シャドウイング率

5 評価・考察

本提案の評価を以下の観点で行った．

車両密度を 1~50[台/km/lane]，車両速度を走行車線では平均 80km/h，追越車線では平均 100km/h と変化させ，4 パターンの路側ゾーン構成を比較した．表 2 にシミュレーション条件を示す．無線区間のインタフェースは DSRC[1] を前提とする．

表 2: シミュレーション条件

道路	2km, 片側 2 車線
車両の流れ	ポアソン流
アンテナ利得	3dB
送信電力	10mW
スロット数	4
変調方式	QPSK
伝送速度	4,096kbps
ダウンロード情報	1000slot(4Mbytes)
アップロード情報	1slot(400bytes)

5.1 ROF 技術

ROF 技術を用いることで，パケットロス率を減らす．アンテナの設置間隔を 36m, 72m, 108m と変化させた場合のシャドウイング確率の変化を図 4 に示す．

図 4 に示されるように，アンテナ設置間隔を 108m と広くした場合は，シャドウイングされる確率が高くなる．

車両のアンテナ設置位置を車両の上部中央に上向きとしているので，アンテナ面より上方の障害物を考慮しなくてはならない．路面からの反射波を考えなくてよいが，車両アンテナと路側アンテナを結ぶ直線上に存在する他車両が多いからである．

アンテナ設置間隔が 72m 以下にするとシャドウイング確率は 0 に近い値となり，間隔が狭いほど確実な通信環境となることが示された．

5.2 ゾーン長の変化による特性比較

車両が情報要求をしてダウンロードするというモデルを用いて，ゾーン長を変化させた場合について比較を行なう．

- 車両密度とパケットロス率の関係

図 5 は，パケットをロスして再送を行なった情報量の割合を，車両密度 (台/km/lane) を横軸にとって示した図である．

- 車両密度とハンドオフ回数

図 6 は，全スロットを取得する間にハンドオフを行なう回数を，車両密度 (台/km/lane) を横軸にとって示した図である．

- 車両密度とスロット割当時間の関係

図 7 は，情報を要求してから最初にスロッ

トを割り当てられるまでの時間を，車両密度 (台/km/lane) を横軸にとって示した図である．ここで，情報を要求してから路側システムにおいてその情報を準備する時間は省いている．

● 車両密度と情報取得時間の関係

図 8 は，最初にスロットを割り当てられてから全スロットを取得するまでの所要時間を，車両密度 (台/km/lane) を横軸にとって示した図である．

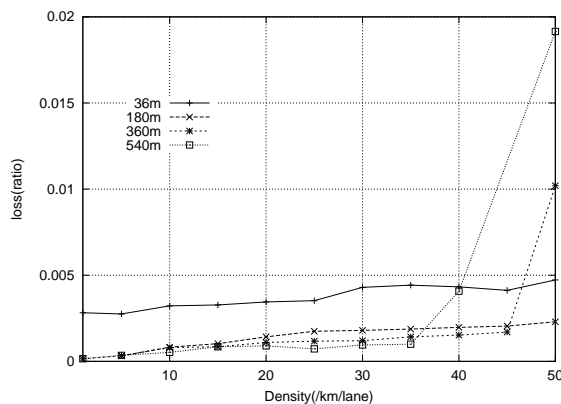


図 5: 車両密度 - パケットロス率

図 5 のパケットロス率から，車両密度が低いとき，ゾーンの長さを 36m, 180m, 360m, 540m と長くするにつれ，パケットロスが少なくなることがわかる．これは，ROF 技術の利用によりゾーン長が大きくなることで統合基地局がカバーする範囲が広がるため，ハンドオフの頻度が少なくなることによる．

しかし逆に，車両密度が高いときは，ゾーンの長さを長くするにつれてパケットロスが多くなる．これは，1 つの統合基地局が持つスロット数は変化しないにも関わらず，車両密度が増加するにつれて 1 つの統合基地局あたりの車両台数が増加するためである．

図 6 に，ハンドオフ頻度を示す．ROF によるゾーン構成が長くなるにつれてハンドオフの回数は減少している．

本シミュレーションでは 4M バイトのファイルをダウンロードすることを想定している．この場

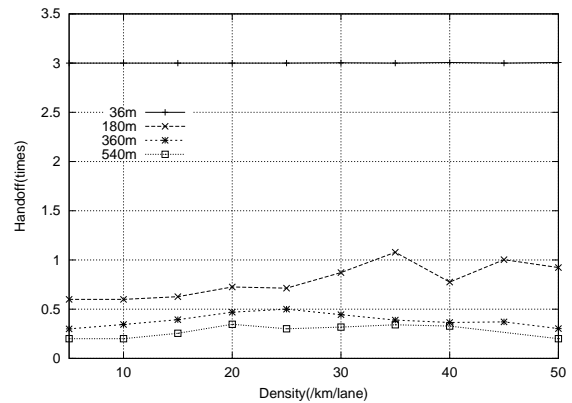


図 6: 車両密度 - ハンドオフ回数

合，ダウンロードに要する最小の時間は 3.9msec であり，その間に車両は約 100m 進む．36m セルが 3 つ分である．

36m セル構成の場合は最小のハンドオフ回数で全情報を取得できている．180m, 360m, 540m の場合は，車両密度が 25[台/km/lane] までは最小の回数である．それ以上の車両密度の場合は，72m ゾーンの場合は回数が増加し，360m, 540m ゾーンの場合はほとんど変化がない．これは，72m ゾーンの場合は車両密度が高くなると，1 つのゾーンで情報取得が完了しなかった場合に次のゾーンでスロットを割り当てられなくなってしまうことが多いからである．一方，360m, 540m ゾーンの場合はスロットを割り当てられたときに，そのゾーンの中だけで情報取得を完了させることができるので，ハンドオフ回数は増加しない．

図 7 のスロット割当時間から，36m, 108m, 360m, 540m と，ゾーン長が長くなるほどスロットを割り当てられるまでの時間が長くなることわかる．これはそのゾーン内でのスロット数に上限があることによる．ゾーンが長いほど道路長あたりのスロット数が少なくなるため，スロットを使用できる車両の割合が低くなるからである．

36m のセルを並べた構成の場合は，車両密度が増加してもスロットを割り当てられるまでの時間はほとんど無い．これは，1 つの路側基地局が道路長 36m を管理しているので，1 フレームの (最大)4 スロット全てを 36m の範囲内に存在する

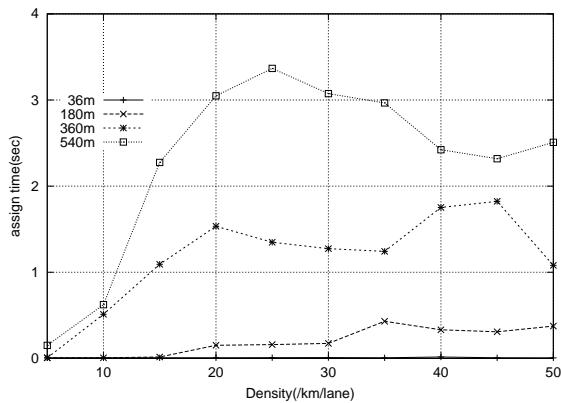


図 7: 車両密度 - スロット割当時間

車両が使用しているという状態が極めて少ないからである。

ゾーン長が長くなると車両密度が 20[台/km/lane] までの間に経過時間が急激に増加する。その後の増加率が低いのは、スロットを割り当てられずに通信を開始できない車両が発生するからである。

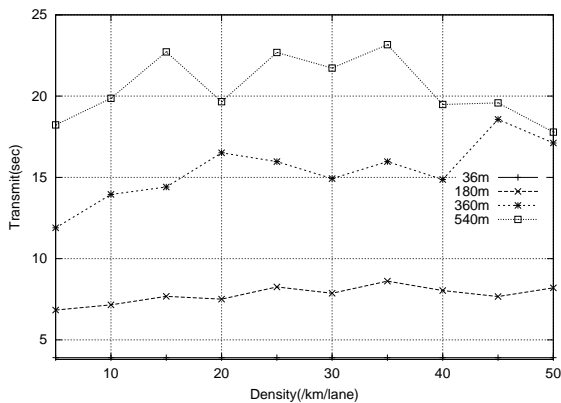


図 8: 車両密度 - 情報取得時間

図 8 の情報取得時間でも、ゾーン長が長くなるほど情報を全て取得するまでの時間が長くなるのがわかる。このゾーン長と経過時間の関係はスロット獲得時間のときと同様である。

車両密度が増加するに従って時間が長くなるようになっているが、その増加率は小さい。これは、一度リンクを確立した後は、隣接セルに進入してすぐにハンドオフをして再度リンク確立を

行なうので、新たに通信を開始する車両よりも隣接セルにおけるリンク確立が早いからである。

即時性があるがロスの多い構成から、時間がかかるが確実な構成まで、特性により適するゾーン長が異なる。高速で確実なハンドオフ方法を用いない限りは目的により構成を選択する必要がある。また、スロットを割り当てられないことにより通信が途切れるという問題があるので、効果的な多重化方法を検討することも必要である。

6 おわりに

本研究では、DSRC を用いた路車間通信システムを構成し、DSRC の直進性が強く、カバーする範囲が狭いといった特徴を考慮して、アンテナを連続的に設置するモデルとして、照明灯を利用し、ROF 技術による仮想的なゾーンを構成するモデルを提示した。そして、様々な用途で DSRC 通信を用いることを想定し、様々なゾーン長のシステム構成の特性を、計算機シミュレーションにより評価した。

これにより、連続的に DSRC アンテナを設置した路車間通信システムにおいて、通信の連続性がバックボーンネットワーク構成によって変化することを示した。これは道路の状況に応じて、それぞれに適した路側システムを構築する際の指針となると考えられる。

参考文献

- [1] 狭域通信 (DSRC) システム ARIB STD-T75 1.0 版 2001.
- [2] 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．
- [3] 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．
- [4] 柿田法之，栗原良太，福井良太郎，屋代智之，重野寛，松下温．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．情報処理学会研究報告，Vol.2001，
No.47，pp33-40，2001．

- [5] 走行支援道路システム第1次リクワイア
メントの概要, <http://www.ahsra.or.jp/>
- [6] Cellular IP.
draft-ietf-mobileip-cellularip-00, 2000.
- [7] 自動車工学全書編集委員会. 自動車工学
全書 別巻 自動車に関する法規, 規格, 統
計. 株式会社 山海堂. 1980.