

# 通信ネットワークを含む自律走行型交通流シミュレータ に関する一検討

安達 真, 森田 洋介, 藤村 嘉一, 高取 祐介, 長谷川 孝明

埼玉大学工学部電気電子システム工学科  
〒338-8570 埼玉県さいたま市下大久保 255

E-mail: {makoto, morit, kaichi, takatori, takaaki}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

**あらまし** 本稿では, 車々間・路車間通信を含む自律走行型交通流シミュレータ述べている. まず, 自律走行する交通流の詳細なモデル化, 想定する安全運転支援システムおよび車々間・路車間通信ネットワークのモデル化をそれぞれ行い, これらのモデルに従ったミクロスコピックなシミュレータを構築している. さらに性能評価方法を述べ, 車々間・路車間通信におけるシャドウイングの影響の評価例を示している.

**キーワード** ITS, 車々間通信, 路車間通信, 安全運転支援システム, 自律走行型交通流シミュレータ

## A Steady of An Autonomous Cruising Traffic Flow Simulator Including Communication Network

Makoto ADACHI, Yosuke MORITA, Kaichi HUJIMURA,  
Yusuke TAKATORI and Takaaki HASEGAWA

Dept. of Electrical and Electric System Eng, Saitama University  
255 Shimookubo, Saitama-shi, Saitama, 338-0866, Japan

E-mail: {makoto, morit, kaichi, takatori, takaaki}@hslab.ees.saitama-u.ac.jp

**Abstract** This report describes an autonomous traffic flow simulator including inter-vehicle and road-to-vehicle communications. First, autonomously running vehicles' traffic flow is modeled in detail, and modeling of the assumed driving assistance system, inter-vehicle communications and road-to-vehicle communications is carried out. Second, based on such modeling, a microscopic traffic flow simulator is constructed, and performance evaluation methods are mentioned. Last, as examples of performance evaluations, the effects of shadowing in inter-vehicle communications and road-to-vehicle communications are examined.

**Key words** ITS, Inter-Vehicle Communication, Road-to-Vehicle Communication, Driving Assistance System, Autonomous Traffic Flow Simulator

## 1. まえがき

排気ガス、事故、渋滞といった交通問題を解決する新しいシステムとして高度交通システム(ITS)が注目を集めており、様々な研究および開発が行われている。ITSにおける通信としては主に車々間通信と路車間通信があり、これらの通信を用いた様々なサービスが提案されている[1]。このような状況下において、通信システムを用いたサービスの有効性を評価し、実現すべき通信の要求仕様を求める必要性が高まっており、著者らも車々間通信を含めた自律走行型交通流シミュレータを構築し、検討を行っている[2]。

しかしながら、本シミュレータには路車間通信は含まれず、またモデル化についても詳細に記述されていなかった。

本稿では、まず自律走行する交通流のモデル化についての詳細な記述を行い、次に想定する安全運転支援システムおよび車々間・路車間通信ネットワークのモデル化を行う。さらにこれらに基づくミクロスコピックなシミュレータを構築し、性能評価方法を述べた上で車々間・路車間通信におけるシャドウイングの影響の評価例を提示する。

## 2. 交通流のモデル化

本シミュレータは、[2]をもとに新たに構築したマイクロモデルの自律走行型交通流シミュレータである。

ここでは、仮定した自律走行型交通流シミュレータのそれぞれのモデルについて述べる。

### 2.1 ドライバモデル

本シミュレータでは、それぞれ異なった特性を与えられた運転者が各車両に乗り、視界から得られた情報を基に状況判断を行い自律的に制御して高速道路を走行することを仮定している。

以下に運転者に与えた特性および条件を述べる。

#### 2.1.1 視界

視界能力として、運転者は以下の条件に適合する車両を目視できると仮定する。

- ・ 前後方向の前後 100m 以内の直前直後に存在する車両
- ・ 隣接車線の前後 50m 以内に存在する全車両
- ・ 隣接車線の視界範囲に車両が存在しない場合に限り、2車線隣の前後 50m 以内の全車両

運転者は視界範囲に存在する車両の前後または左右方向の相対速度および相対距離、車線変更時のウイ

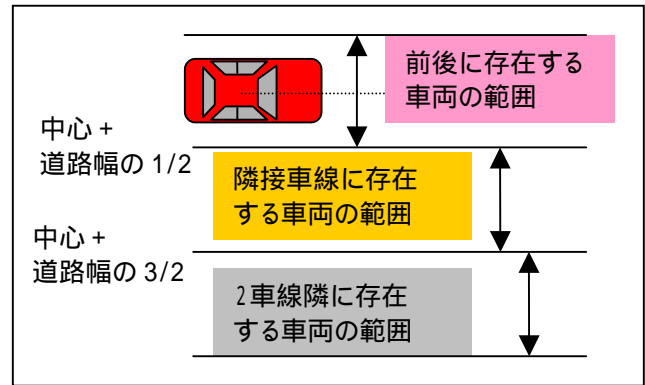


図 1. 周辺車両の横方向の位置定義

ンカー合図などの情報を取得することができるものとする。

さらに、運転者は目視で得られた周辺車両の情報を基に、周辺車両の横方向の走行位置を以下の基準に基づいて判断する(図 1 参照)。

**前後方向の車両**：自車両の中心から道路幅の 1/2 の範囲に存在する車両

**隣接車線の車両**：自車両の中心から道路幅の 1/2 以降、3/2 以内の範囲に存在する車両

**2車線隣の車両**：自車両の中心から道路幅 3/2 以降の範囲に存在する車両

ただし、定義した範囲の中に実際の車両幅に心理的なマージン(左右 15cm)を含めた車両の側面が僅かでも侵入していれば存在するものとする。

#### 2.1.2 希望速度

ここでの希望速度とは、運転者が希望する最大の速度のことである。希望速度は平均 100km/h、標準偏差 10km/h の正規分布で各車両に与えられる。ただし、最高で 120km/h、最低で 80km/h でトランケートする。

#### 2.1.3 速度決定

各運転者は視界範囲から得られた周辺の交通状況を基に 0km/h から希望速度の間で加減速を行う。

速度制御のフローチャートを図 2 に示す。各車両の加速度決定方法は、(1)式で得られた前方車両との車頭間隔時間によって追従走行モードと自由走行モードの2つのモードに分けられる。

$$\text{車頭時間間隔} = \frac{x_{n-1} - x_n}{\dot{x}_n} \quad \dots(1)$$

$x_n$  : 車両 $n$ の縦方向位置

$x_{n-1}$  : 前方車両 $n-1$ の縦方向位置

$\dot{x}_n$  : 車両 $n$ の縦方向速度

それぞれのモードについて以下に述べる。

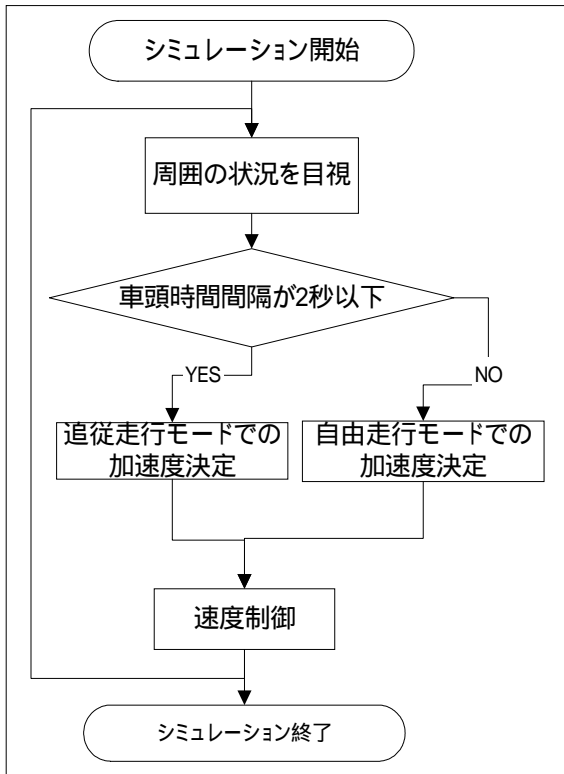


図2 速度決定のフローチャート

### (1) 追従走行モード

本シミュレータにおける追従走行時の加速度決定方法は文献[3]に基づいており、前方車両との相対距離、相対速度および遅延 秒後の自車両の速度を考慮した(2)式によって決定される。ただし、加速度は最低で-0.6G、最高で0.25Gとする。

$$\ddot{x}_n(t+\Delta) = \frac{\alpha \dot{x}_n^m(t+\Delta) [\dot{x}_{n-1}(t) - \dot{x}_n(t)]}{[x_{n-1}(t) - x_n(t)]} \dots (2)$$

$l, m, \alpha$  : 常数 ( $l = 0.8, m = 0.05, \alpha = 0.3$ )

$\Delta$  : 反応時間遅れ (総合遅延)

$x_n$  [m] :  $n$  車の位置  $\dot{x}_n$  [m/sec] :  $n$  車の速度

$\ddot{x}_n$  [m/sec<sup>2</sup>] :  $n$  車の加速度

### (2) 自由走行モード

自由走行モード時の加速度は、文献[4]に基づいて作成した表1に従って決定されると仮定している。

#### 2.1.4 車線変更

運転者は、希望速度以下かつ追従走行モードの状態において、目視で得られた情報より安全に車線変更できると判断した状況が6秒以上連続して続いた場合には右車線に、8秒以上連続して続いた場合には左車線に車線変更を行うものとする。安全に車線変更できる場合の判断基準を表2に示す。表2の条件を満たしていなければ運転者は車線変更を取り止める。

表1 自由走行モード時の加速度決定

$\dot{x}_n(t)$	$\ddot{x}_n(t+\Delta)$
$\dot{x}_n(t) < 0.8 \dot{x}_{-n}$	+0.25 G
$0.8 \dot{x}_{-n} < \dot{x}_n(t) < 0.95 \dot{x}_{-n}$	+0.125 G
$0.95 \dot{x}_{-n} < \dot{x}_n(t) < 1.05 \dot{x}_{-n}$	0 G
$1.05 \dot{x}_{-n} < \dot{x}_n(t)$	-0.2 G

$\dot{x}_{-n} \dots n$  車の希望速度

表2 安全に車線変更が行える条件

以下の条件を全て満たした場合に安全に車線変更が行える状況と判断する

- ✓ 変更希望車線の前後 50m 以内に車両が存在しない
- ✓ 変更希望車線の前後 50m 以内に自車線以外から侵入してきている車両が存在しない
- ✓ 自車線以外を走行し、前方かつ自車よりも低速の車両が侵入希望車線に車線変更の合図を出していない
- ✓ 自車線以外を走行し、後方かつ自車よりも高速の車両が侵入希望車線に車線変更の合図を出していない

### 2.1.5 遅延

状況の変化が生じてから、車両が変化に対する行動を起こすまでの人間遅延と僅かな機械遅延の和を総合遅延として定義している。

車両特性としての総合遅延は、各車両に正規分布で与えられる。ただし、最低で0.1秒とする。

### 2.2 車両モデル

構築したシミュレータで用いる道路環境は、片側3車線の直線高速道路を仮定している。道路長は10km、一車線あたりの道路幅は3.5mとした。

### 2.3 道路モデル

車両モデルとして車両幅1.7m、車両長4m、高さ1.4mの普通乗用車と車両幅2m、車両長7m、高さ2mの大型車両の2種類を用意した。

車両発生はポアソン分布に従うと仮定しており、発生時の車両の初速度は70km/hとする。ただし、車両発生時に自車線上の前方車両との車頭時間間隔が1秒以下の場合には、車頭時間間隔が1秒になるまでプールで待機するものとする。

## 3. 想定する安全運転支援システムと通信ネットワークのモデル化

著者らは、ITSの通信として車々間通信および路車間

表 3 危険状況の判断

衝突に関する警告	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 自車線上かつ車頭間隔 1 秒以内の車両が -0.2G 以下の減速</li> <li>✓ 自車線上の前方に停車車両が存在</li> <li>✓ 隣接車線かつ前方の車頭時間間隔 1 秒以内の車両が -0.15G 以下の減速をしながら自車線に侵入してきている</li> <li>✓ 隣接車線かつ前方の車頭時間間隔 1.5 秒以内の車両が自車よりも低速で自車線に侵入してきている</li> </ul>
車線変更に関する警告	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 変更希望車線の車頭時間間隔 1.0 秒以内の前方に車両が存在</li> <li>✓ 変更希望車線の車頭時間間隔 1.5 秒以内の前方に車両が存在, かつ自車よりも低速</li> <li>✓ 変更希望車線の車頭時間間隔 1.5 秒以内の後方に車両が存在, かつ自車よりも高速</li> <li>✓ 自車線以外を走行し, 前方かつ自車よりも低速の車両が変更希望車線に侵入してきている</li> <li>✓ 自車線以外を走行し, 後方かつ自車よりも高速の車両が変更希望車線に侵入してきている</li> </ul>

通信を想定し, 自律走行型交通流シミュレータに実装するとともにこれらの通信を用いたシステムの1つとして, 安全運転支援システムを仮定している。

以下に仮定した安全運転支援システムおよび想定した通信ネットワークのモデルについて述べる。

### 3.1 安全運転支援システム

通信を用いて実現するシステムの 1 つとして, 著者らは安全運転支援システムを仮定している。安全運転支援システムとは, 車々間通信や路車間通信などから得られた情報を基にシステムがリアルタイムで危険状況を判断し, 危険な状況の場合には運転者に警告を行うシステムである。

仮定した安全運転支援システムが危険と判断する判断基準を表 3 に示す。表 3 の判断基準を 1 つでも満たせば, システムは危険状況と判断し, 運転者に衝突または車線変更に関する警告を促す。以降は警告に対する運転者モデルに関する記述であるが, 運転者は衝突の警告に対して -0.15G で減速を行い, また車線変更の警告に対しては, 車線変更を取り止めるものと仮定している。

### 3.2 車々間通信システム

自律走行型交通流シミュレータに実装した車々間通信システムの特徴および与えた条件を以下に述べる。

- ・ 通信される情報は, 進行方向および横方向の速度情報, 加速度情報, 位置情報(精度 1cm), 車線変

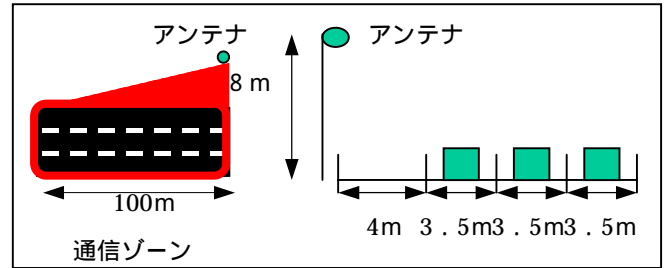


図 3 検討した路側基地局配置

更合図の有無(左右)の情報を 1 パケットとして送受信を行う。

- ・ 通信はブロードキャスト方式の無線通信とし, 直接波のみを使用。
- ・ 通信刻みは 0.1 秒間隔, 通信半径は 100m
- ・ 車々間通信機器搭載率は, 0~100%の間で設定できる
- ・ 車々間通信機器の送受信アンテナは各車両の屋根の中心に設置されている。

通信は直接波のみを使用していると仮定しているため, 送信車両アンテナと受信車両アンテナが光学的に影となる領域をシャドウイング範囲とし, 電波の回折は考慮しないものとしている。

### 3.3 路車間通信システム

自律走行型交通流シミュレータに実装した路車間通信システムとして, アンテナ高さは 8m, また文献[5]の道路プラットフォームを対象に, 路側の基地局間隔 100m 毎, 通信ゾーンは 100m 区間をカバーする路車間通信システムを仮定した(図 3)。車両のアンテナ位置に関しては, 前述と同様, 車両の中心の屋根とし, 路側アンテナと車両アンテナが光学的に影となる領域をシャドウイング範囲としている。

## 4. 車々間・路車間通信を含む自律走行型交通流シミュレータによる特性評価

本節では, 前述したモデル化に基づいたミクロスコピックな車々間・路車間通信を含む自律走行型交通流シミュレータを構築し, その基本となる特性の評価を行う。また, 車々間・路車間通信ネットワークにおける評価例についても提示する。

### 4.1 評価方法

著者らは, 構築した自律走行型交通流シミュレータを用いて, 交通の安全性を評価するための評価基準を提案している[6]。以下に提案した評価基準について述べる。

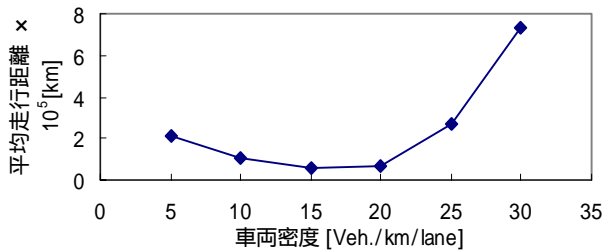


図4 車両密度特性(車両からみた安全性)

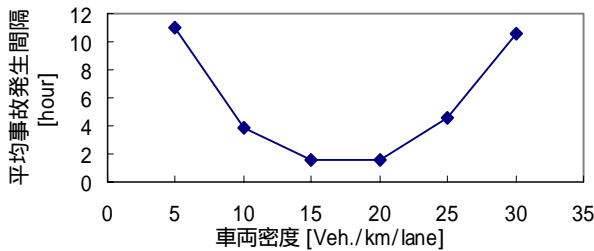


図5 車両密度特性(道路管理者からみた安全性)

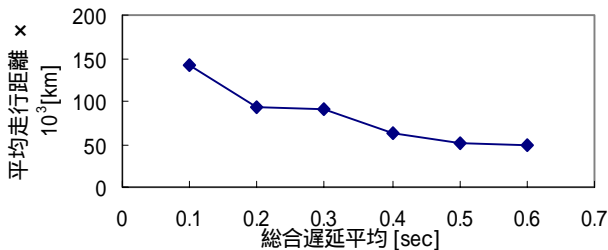


図6 総合遅延の平均特性(車両からみた安全性)

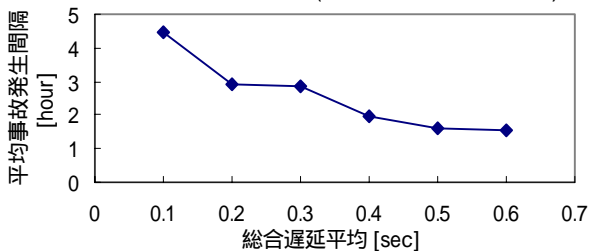


図7 総合遅延の平均特性(道路管理者からみた安全性)

### (1) 車両から見た安全性

車両側から見た安全性の評価方法として、1 車両あたりが事故を起こすまでの平均走行距離を評価基準とする。平均走行距離は、道路上のシミュレータ開始から道路上のどこかで事故が起こるまでの間に走行した走行車両の総走行距離から求めている。

### (2) 道路管理者から見た安全性

道路管理者側から見た安全性の評価として、平均事故発生間隔を評価基準としている。平均事故発生間隔とは直線 10km、3 車線の高速道路において事故が発生する平均の時間間隔である。これにより、車両の混雑状況にかかわらず、一定の区間の高速道路での事故の頻度を知ることができる。

### 4.2 車両密度における評価

道路状況の変化に対する交通の安全性の変化を評

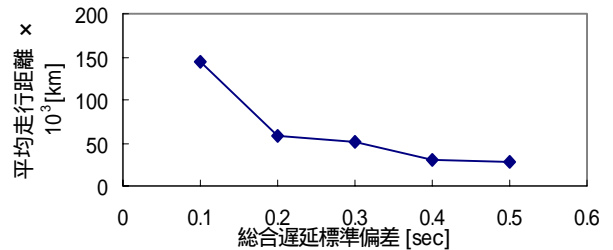


図8 総合遅延の標準偏差特性(車両からみた安全性)

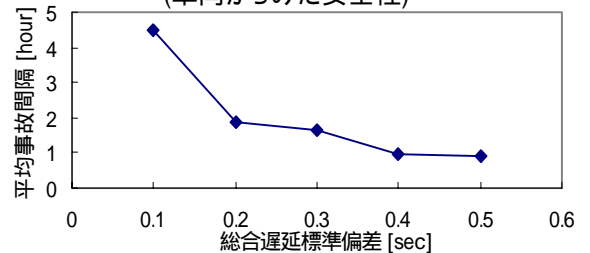


図9 総合遅延の標準偏差特性(道路管理者からみた安全性)

価するために、車両密度が疎な状態(5[Veh./km/lane])から密な状態(30[Veh./km/lane])までにおいて検討を行う。また、総合遅延として平均 0.5 秒、標準偏差 0.3 秒の正規分布で各車両に割り当てる。車両側から見た評価方法でのシミュレータ結果を図 4 に、道路管理者側から見た結果を図 5 に示す。

結果より、車両密度が上がるにつれ交通の安全性が悪化するが、車両密度が 20[Veh./km/lane]を境に安全性が上がるのがわかる。これは、事故の多くが車線変更に起因する事故であり、車両密度がある限度を超えて高くなると車線変更などの危険を伴う行動をとることができなくなるためと考えられる。

### 4.3 総合遅延における評価

遅延特性について、総合遅延の平均および標準偏差について検討を行う。

#### 4.3.1 総合遅延の平均における評価

ここでは、構築した自律走行型交通流シミュレータの総合遅延における平均について評価を行う。車両密度は 15[Veh./km/lane]、総合遅延の標準偏差は 0.3 秒、平均は 0.1 秒から 0.6 秒までとした。結果を図 6, 7 に示す。ただし、前節で述べたとおり、総合遅延は最低で 0.1 秒とする。

結果より、総合遅延が長くなるにつれて交通の安全性が悪化することが示されている。

#### 4.3.2 総合遅延の標準偏差における評価

総合遅延の標準偏差についての検討として、車両密度 15[Veh./km/lane]、平均 0.5 秒の場合について標準偏差を 0.1 秒~0.5 秒までについて検討を行う。ここで

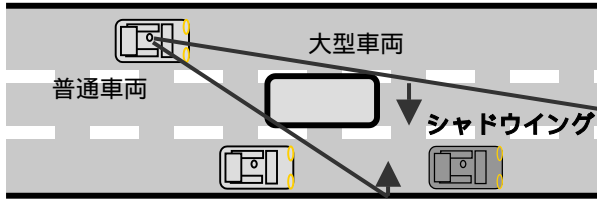


図10 車々間通信におけるシャドウイング

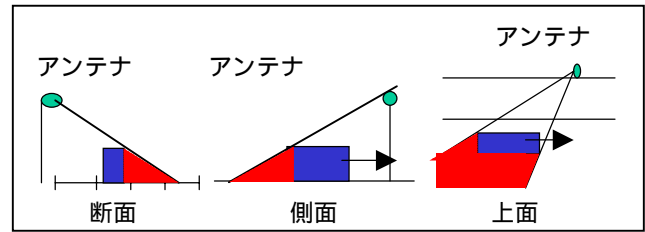


図12 路車間通信のシャドウイング範囲

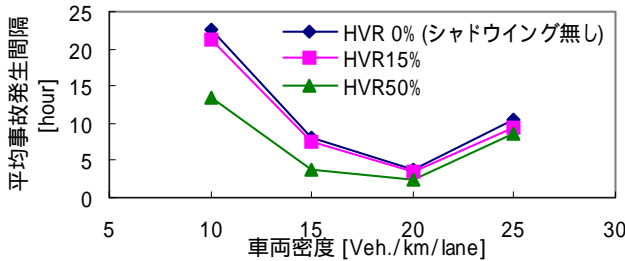


図11 車々間通信におけるシャドウイングの影響

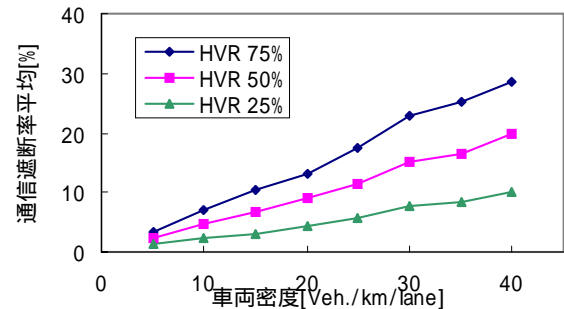


図13 通信遮断率平均

も, 3.3.1と同じく, 総合遅延の最小は0.1秒とする. 結果をそれぞれ図8,9に示す.

結果より各運転者に与える総合遅延のばらつきが大きくなるにつれて, 交通の安全性が悪化することが分かる.

#### 4.4 車々間通信を含む自律走行型交通流シミュレータの評価

車々間通信ネットワークを含む自律走行型交通流シミュレータを用いた評価の例として, 著者らは, 大型車両によるシャドウイングが車々間通信を用いた安全運転支援システムの交通の安全性に与える影響について評価を行っている.

ここでのシャドウイングは, 図10に示す通り, 大型車両と普通車両の通信路の間に大型車両が存在する場合をシャドウイング状態と考え, 通信が遮断されるとし, 大型車両同士の間にも大型車両が存在する場合には送受信可能であるとしている.

HVR が 0%(シャドウイング無し), 15%, 50%におけるシミュレーション結果を図11に示す. ただし, 車々間通信機器搭載率は100%とした.

#### 4.5 路車間通信を含む自律走行型交通流シミュレータの評価

著者らは, 実装した路車間通信システムを用いて路車間通信時におけるシャドウイングの影響について検討している(図12参照). 評価基準は, 通信機器を搭載する普通車両の内, 路車間通信をできない状態にある車両数の割合を時間平均した, 通信遮断率平均である. 評価例を図13に示す.

## 5. まとめ

本稿では, 車々間・路車間通信を含む自律走行型交通流シミュレータ構築のため, 交通流のモデル化について詳細な記述を行うとともに, 想定する安全運転支援システム, および車々間・路車間通信ネットワークのモデル化を行った. さらに, このモデル化に基づいたミクロスコピックな自律走行型交通流シミュレータを構築し, これらのシミュレータを用いた性能評価方法を述べるとともに, 車々間・路車間通信におけるシャドウイングの影響の評価例を示した.

今後は本シミュレータを活用し, 車々間・路車間通信のシャドウイングの推定と回避方法の検討, 種々の安全運転支援システムの評価検討を行ってゆきたい.

## 文 献

- [1] 例えば: 入谷忠光, 環智和, 山中英生, “車々間通信を用いた出会い頭衝突と追突防止方法” 信学技報, ITS-2000-99, Mar. 2001
- [2] A. Widodo, 長谷川孝明, “IVCN ネットワークを含めた高度交通システムの評価のための自律走行交通流シミュレータ,” ITS のための情報通信と航行・測位論文小特集号, 電気情報通信学会論文誌(B), vol. J82-B, No. 11, pp2002-2009, Nov. 1999.
- [3] Gaizs, D.C., Herman and R.W. Rothery “Non linear Follow the Leader Model of Traffic Flow,” J. Operations Research, Vol. 9, No. 4, pp. 545-567, 1961
- [4] 井上博司 “道路網における交通流動の動的シミュレーション手法” 土木学会論文集, No. 470/ -20, pp. 87-95, 1993. 7
- [5] 長谷川 孝明 “安全支援システムとその要素技術について ~ 道路 OS とドット ITS” 電子情報通信学会技術報告, ITS2001-14, 2001
- [6] 安達真, 長谷川孝明, A. Widodo, “安全運転支援システムの車々間通信におけるシャドウイングおよび位置解像度に関する検討” 信学技報, ITS-2001-24, Sep. 2001