

# 車々間通信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

Ari Widodo<sup>†</sup>      長谷川孝明<sup>†</sup>

Autonomous Cruising Traffic Flow Simulators for the ITS Including  
the Inter-Vehicle Communication Network

Ari Widodo<sup>†</sup> and Takaaki HASEGAWA<sup>†</sup>

あらまし 本論文では、交通事故や渋滞などの交通状況を改善することを目的とした ITS における車々間通信ネットワークを評価可能な車々間通信ネットワークを含む自律走行交通流シミュレータの構築を行い、交通状況の改善に対する車々間通信ネットワークの寄与について評価検討を行っている。本シミュレータでは車々間通信ネットワークが警告型運転支援として動作するものと仮定している。また、評価基準として複数の新しい評価基準を提案し、これらの基準を用いてシミュレーションによる評価を行っている。検討結果より車々間通信ネットワークが交通状況の改善に有効であることが示されている。

キーワード 高度交通システム (ITS), 車々間通信ネットワーク, 自律走行交通流シミュレータ, 運転支援システム, 交通安全, 道路容量

## 1. ま え が き

近年、交通事故、渋滞、排気ガスといった、深刻な社会問題を改善することを目的とし、人と車両と道路を最先端の情報通信技術で一体化する高度交通システム (ITS: Intelligent Transport System) の研究・開発が盛んに行われている [1]。ITS のなかでも車々間通信ネットワークは各車両が互いにブレーキ、ステアリング、アクセル等の走行情報を交換し、安全かつ効率的な運行を目指しているため、車々間通信ネットワークの有効性を評価することが重要となる。評価する手法として実フィールドで実験を行うことが理想的であるが、費用や安全性などの問題が多くあり、現実的ではない。そこで、多様な条件のもとで繰り返しその効果の評価・検討可能なツールが望まれる。

これまでに信号制御や経路誘導などの手法を評価可能な交通流シミュレータに関する研究が盛んに行われている [2]~[4]。これらの研究では自律的に運行する路上の車両ごとの挙動をモデル化するマイクロモデルの交通流シミュレーションを基本としている。マイクロシ

ミュレーションは微小時間間隔で車両の位置を逐次計算することによって行われるので詳細な解析が可能であるが、車々間通信ネットワークを含めたシミュレーションはほとんど報告されていない。また、文献 [5] では、高速道路での合流部における車々間通信ネットワークの評価を行っているが、交通の安全性や道路容量などに対する車々間通信ネットワークの寄与について定量的な検討は行われてない。プラトゥーン走行で用いられる車々間 (プラトゥーン内) 通信については米国のカリフォルニア PATH が研究開発を行っている [6] が、自動走行であり、車々間通信ネットワークを用いた運転者による自律走行についてはほとんど検討されてない。

ところで、車々間通信ネットワークでは送受信装置が同時に全車両に搭載されることは困難であり、また、全車両に送受信装置が搭載されても故障したままの走行も考えられる。すなわち、車々間通信機器の搭載車と非搭載車の混在状態が ITS における情報通信の本質的な状態といえ、このような状態下における車々間通信ネットワークの効果を調べる必要性が高まっている。[7] では車々間通信ネットワークにおける車載器搭載率とパケット到達確率の検討が行われているが、そ

<sup>†</sup> 埼玉大学工学部電気電子システム工学科, 浦和市  
Dept. of Electrical and Electronic Systems Eng. Saitama  
University, 255 Shimoookubo Urawa-shi, 338-8570 Japan

の車々間通信機器搭載率と車々間通信の効果の関係については未検討である。

本論文では、交通問題に対する車々間通信ネットワークの寄与を評価可能とする自律走行交通流シミュレータの構築、その効果の検討及び考察を行う [8]~[11]。構築したシミュレータは交通流と車々間通信ネットワークをとともに考慮したものであり、ここで導入する車々間通信システムは警告型運転支援システムとして動作するものとする。また、ここでは各車両が自律走行を行い、他の車両とフロントシート情報の通信を行うことを仮定する。本シミュレータは混在状態での車々間通信ネットワークの評価を行うことができることを特徴の一つとする。更に、本論文では評価に用いられる複数の新しい評価基準を提案し、これらの基準を用いて評価検討を行う。

従来からこの種の交通流マイクロシミュレーション技法は知られているが、必ずしもすべてのパラメータやモデルの詳細、評価方法などの統一的な議論の基盤がない。本論文では交通流に対する車々間通信ネットワークの効果を知ることとともに、少なくともモデルや評価方法などの共通の議論の基盤を作ることも目的としている。2.には、シミュレータのモデルの詳細について述べ、3.では導入する車々間通信ネットワークのモデル及び与える条件を述べる。4.では提案する評価方法の詳細を述べ、5.では構築した交通流シミュレータを用いた評価結果の一例を示す。

## 2. 交通流のモデル化とシミュレータの概要

以下に構築した車々間通信ネットワークを含めた自律走行交通流シミュレータについて述べる。ここで述べる交通流シミュレータは片側直線 3 車線の高速道路を対象とした基本シミュレータ及び合流部を含めた片側直線 2 車線の高速道路を対象とした合流部シミュレータの 2 種からなる。自律走行モデル、道路モデル及び開発環境を順に記述する。

### 2.1 自律走行交通流モデルと与えた条件

基本シミュレータ及び合流部シミュレータは各車両に運転者が乗り、運転者が車両の走行の制御を行うことを仮定し、シミュレータ上では各車両を一つ一つのオブジェクトと考えている。自律走行を実現するために各運転者にいくつかの特性及び条件を与えている。本モデルの一部は文献 [2] で用いられた車両走行モデルに基づいている。

### (1) 視 界

各運転者が目視で周辺の交通状況を取得することを仮定する。この目視能力は同一車線の前車後車は 100 m 以内の直前直後の車両までとする。隣接車線は前後 50 m まで全車両とする。この視界範囲に入っている他車両との相対速度及び相対距離が得られるものとする。

### (2) 希望巡航速度

各車両の速度は 0 km/h から希望巡航速度  $V$  [km/h] までとする。希望巡航速度 (以下、希望速度と呼ぶ) とは運転者が希望する最大速度であり、これを超えることはないと仮定している。本シミュレータで用いる道路環境は高速道路であるため、ここで各運転者に割り当てられる希望速度 ( $V$ ) は 80, 90, 100, 110, または 120 km/h の離散的な値のうちの一つとし、また、これらの希望速度をとる確率は各運転者に近似的にガウス分布状 (平均 100 km/h) にランダムに割り当てられるものとする。

### (3) 遅 延

ここで定義される遅延は、危険な状態が生じてから車両が事故回避行動を起こすまでの遅延であり、この遅延 (以下、総合遅延と呼ぶ) は運転者の反応時間と若干小さいな機械的な遅延を含めた遅延である。ここでは総合遅延として 0.1~1.0 秒の遅延を用いる。この遅延は固定的 (全車両に同一の遅延) またはランダムに与えることが可能である。

### (4) 速度決定

運転者が自分の周辺の交通状態に基づいて車両の速度を制御するものとする。ここでは、各車両の速度は前車両の速度と車間距離により決定される。車間距離 20 m 以内の場合、前車両より速ければ第 1 段階ブレーキ (表 1 参照), 7.5 m 以内に入ると第 2 段階ブレーキ (表 1 参照) で減速する。また、車間距離 5 m 以内では速度にかかわらず無条件に第 2 段階ブレーキで減速する。一方、車間距離 10 m 以上場合に自車に対する前車両の相対速度が正であれば加速する。また、合流部シミュレータにおいて合流される車線 (本線のいちばん左車線) に走行している車両は合流する車両が安全に合流するため、同一車線の直前の車両と 24 m 以上に離れるように第 1 段階ブレーキで減速する。

### (5) 車線変更

運転者が自分の希望速度より低い速度で連続 10 秒以上走行せざるをえない状況にあり、かつその間に加速がなかった場合、車線変更を希望するものとする。

表 1 車両モデルと与える条件

Table 1 Vehicle model and its characteristics.

車両幅	1.5 [m]
車両長	3.5 [m]
ブレーキ	二段階 (-0.125G, -0.25G)
アクセル	一段階 (0.125G)
速度	0 [km/h] ~ 希望速度

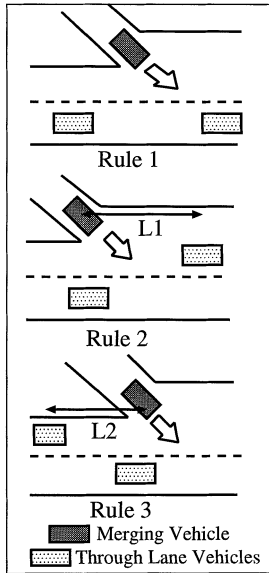


図 1 合流規則

Fig. 1 Merger rules.

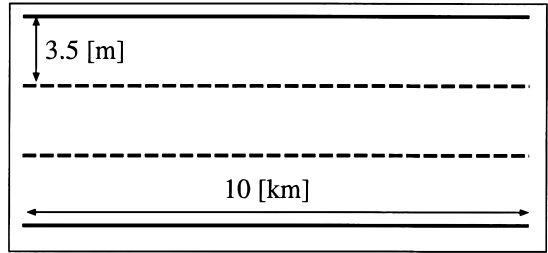
ここでは左右ともに車線変更が可能であるとし、隣接の車線で前後 25 m 以内に他の車両がない場合、車線変更を行う。左右ともこの条件を満たす場合には右側へ車線変更・追越しが優先される。ただし、合流部道路では右方向のみ車線変更可能とする。以上の条件を満たさない場合は各車両がそのまま状態を変えずに走行する。また、本シミュレータでは車線変更以外はステアリング操作を行わないものとする。

車両モデルを表 1 に示す。また、車両発生は道路の始点において、ポアソン生起していると仮定している。ただし、前車両との最小車両間隔 5 m がとれない場合は、前車両との車両間隔が 5 m になる時点まで待つて発生するものとする。シミュレーション刻みは 0.05 秒または 0.1 秒である。

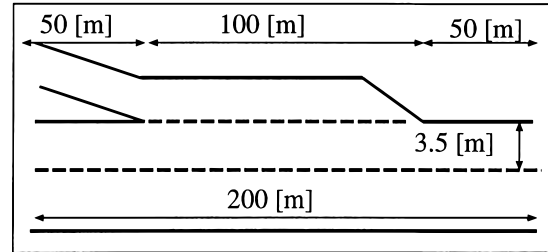
合流部シミュレータで用いられる合流には以下に述べるような三つの規則がある(図 1 参照)。本規則は [5] で用いられた合流規則に基づいている。

(1) 規則 1

本線の左車線に走行する他の車両がなければ合流す



(a) Basic Road



(b) Interchange Road

図 2 道路モデル

Fig. 2 Models of road.

る車両は本線に合流する。

(2) 規則 2

本線の左車線に走行する車両が合流する車両より前方にあり、かつその車両間距離 ( $L_1$ ) が 10 m 以上であれば後方に合流する。 $L_1$  を満たさない場合には合流する車両がランプ上で速度を減速しながら走行する。以上の条件を満たす場合に車両は本線に合流する。

(3) 規則 3

本線の左車線に走行する車両が合流する車両より後方にあり、かつその車両間距離 ( $L_2$ ) が 15 m 以上であれば前方に合流する。しかし、 $L_2$  が 10 m より小さい場合には合流する車両はランプ上で速度を減速しながら走行する。本線の車両が自分を追い越し、 $L_1$  の条件を満たせば合流する。また、 $L_2$  が 10 ~ 15 m の間では本線で走行する車両は速度を減速し、 $L_2$  を大きくするものとする。 $L_2$  の条件を満たす場合に合流する車両は本線で走行する車両の前方で本線に合流する。

2.2 道路モデル

構築したシミュレータで用いる道路環境は基本道路と合流部をもつ道路である。基本道路は図 2(a) に示すような片側直線 3 車線の高速道路であり、合流部道路は (b) に示すような片側直線 2 車線の高速道路に入線ランプのついたインターチェンジとする。これらのモデルに用いられている車線幅は日本道路協会の基準

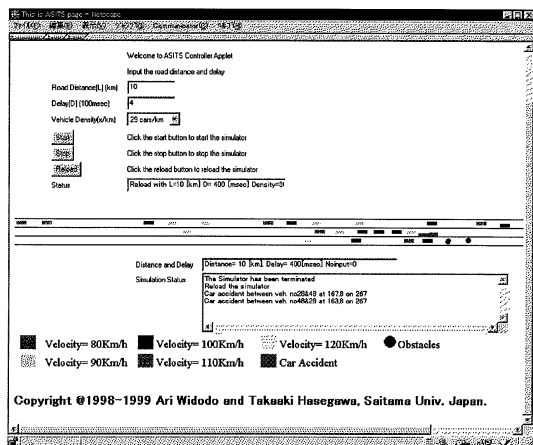


図3 基本道路シミュレータのGUIの一例  
Fig.3 An example of basic road simulator's GUI.

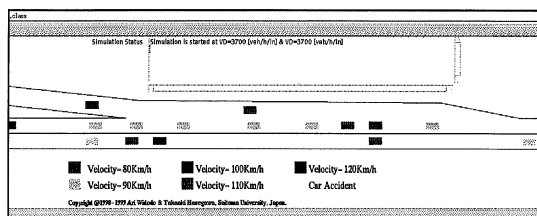


図4 合流部道路シミュレータのGUIの一例  
Fig.4 An example of interchange road simulator's GUI.

値(1種)[12]に基づいている。基本道路における道路長は10kmとする。また、合流部道路における道路長は200mとし、ランプ長は100mと仮定している。

### 2.3 開発環境と概観

シミュレータの構築に用いる記述言語としてJava言語とC言語を採用した。まず、シミュレーションでの交通流を可視的に容易に観察できるようにするため、かつ簡易に操作可能とするためにJava言語を用いた。Java言語で構築したシミュレータのユーザインタフェースを図3(基本道路)と図4(合流部)に示す。これらのインタフェースを用いることによってオペレータが多様な条件下でシミュレーションを行うことが可能になる。しかし、Java言語は処理速度が遅いため、高速なシミュレーションのためにC言語でシミュレータの構築を行った。

## 3. 車々間通信ネットワーク

### 3.1 車々間通信ネットワークのモデルと与えた条件

本節では、車両に搭載される車々間通信ネットワー

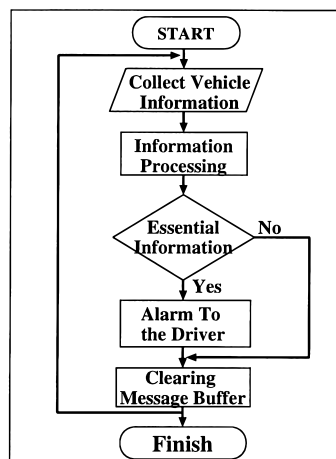


図5 運転支援システムのフローチャート  
Fig.5 The flowchart of the vehicular driving assistance system.

クの特性及び与えた条件について述べる。

- (1) 通信される情報は車両速度(進行方向及び横方向)、位置、車両IDとブレーキ情報(フロントシート情報)とする。
- (2) 通信は無線とし、通信方式はブロードキャスト通信と仮定する。
- (3) 通信半径は車両の中心から0~200mの間で設定する。
- (4) 通信間隔は0.05秒または0.1秒とする。
- (5) 理想的な通信(遅延なし、エラーなし)が確保されると仮定する。
- (6) 通信機器搭載率は0~100%の間で設定する。

### 3.2 運転支援システムと与えた条件

本シミュレータで導入される車々間通信ネットワークは警告型運転支援システムとして動作するものとしている。警告型運転支援システムは周囲の他の車両からの情報に基づいて周囲の交通状況に安全性の面に問題がある場合に運転者に警告のみを与える。つまり、本システムは車両の操作を運転者から奪わず、事故回避行動は運転者の意志に任せることになる。ここでは警告方法としてピーブ音などを用いることとし、システムが運転者に大きい負担を与えないことを前提としている。本システムのフローチャートを図5に示す。他の車両から受信された情報は一時的にバッファに蓄積され、ある時間間隔(ここでは0.05秒または0.1秒)で蓄積されている情報が処理される。警告は表2に示される条件に基づきシステムが判断し、出される

表 2 危険時状態の判断  
Table 2 Decisions of dangerous condition.

自車線	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 通信範囲内で前方車両の急ブレーキと速度 0[km/h] の場合</li> <li>2. 直前の車両が 12[m] 以内に入り、かつそれが自車両より速度の方が低い場合</li> </ol>
隣接車線	<p>左右とも自車両より前方か後方かで分ける前方に関して、</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 自車線かつ 35[m] 以内に隣接車線から入り込みようとする車両がある場合</li> <li>2. 自車線に 50[m] 以内で隣接車線から入り込みかつ急ブレーキをかけた車両がある場合</li> <li>3. 入ろうとする車線に車両が 50[m] 以内で存在し、かつそれが急ブレーキをかけた場合</li> <li>4. 入ろうとする車線に車両が 35[m] 以内で存在し、かつそれが自車両より速度が低い場合</li> <li>5. 入ろうとする車線に車両が 12[m] 以内で存在する場合</li> </ol> <p>後方に関して、</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 入ろうとする車線に車両が 50[m] 以内で存在し、かつそれが自車両より高速の場合</li> <li>2. 入ろうとする車線に車両が 12[m] 以内で存在する場合</li> </ol>

ものとしている。

以上で述べた車々間通信ネットワークを用いることによって人間の目視から得られる情報以上に周囲の車両情報が取得可能となるため、運転者がより適確に事故回避行動を起こす可能性が高まるが、この定量評価を 4. 以降で行う。

#### 4. 評価基準 [9] ~ [11]

本論文では、車々間通信ネットワークを評価するための評価基準として三つ新しい評価基準を提案する。これらの評価基準は安全性と道路容量に関するものであり、以下に述べる。

##### 4.1 事故発生率

第 1 の提案する評価基準は事故発生率 (AOR: Accident Occurrence Ratio) である。この基準は道路の安全性を評価するためのものであり、次のように定義する。

一定長の道路を一定時間走行させたときに観測する範囲内のどこかで 1 回以上交通事故の起きる確率

ここでは事故発生率の測定は各条件下で十分な回数のシミュレーションを行い、各回で一度以上の事故の起きたシミュレーションの回数の割合としている。すなわち、事故発生率 50% の場合は  $N$  回のシミュレーションのうち  $N/2$  回のシミュレーションで 1 回以上の交通事故が起きたことを表す。

#### 4.2 修正道路容量

第 2 の提案する評価基準は修正道路容量である。現在、道路容量の基準として基本交通容量、可能交通容量、及び設計交通容量がしばしば用いられる [12] が、これらの基準では交通の安全性 (事故発生) の定量的な扱いというパラダイムが含まれてない。一方、交通の品質 (サービス水準) を決定するパラメータの一つに安全性があげられる。したがって、交通の品質を調べるには安全性を考慮する道路容量の基準が必要になる。そのため、安全性を考慮したうえでの道路容量の評価基準として修正道路容量 (MRC: Modified Road Capacity) を提案し、この基準の定義を以下に示す。

一定の事故発生率において 1 車線・1 時間当りの通過可能車両台数

修正道路容量の単位は台/時間/車線である。

#### 4.3 実効道路容量

第 3 の提案する評価基準は実効道路容量である。高速道路に図 6 に示されるように、多数の道路から車両が入ると考える。同図に示すポイント A は高速道路の開始ポイントとする。多数の道路から高速道路に入り込む車両の確率密度がポアソン分布で与えられると考えられる。これらの道路からポアソン分布に従って生じた車両がポイント A に到着し、このポイントを通過する。ここでポイント A を通過するための条件は同一車線での直前の車両との距離が 5 m 以上であることを仮定している。この条件を満たさない場合、車両はポイント A の手前の車両プールで待機することとする。実効道路容量 (ERC: Effective Road Capacity) は以下のように定義する。

車両をポアソン分布に従って生起させながら、車間距離を 5 m をとれない場合は待ち車両とし、待ち車両数が時間に比例して増加する臨界の 1 車線・1 時間当りの車両台数

本論文ではシミュレーションにより臨界の判定を行ったので、以下に具体的な判定規準を述べる。シミュレーションを開始してから 30 分後及び 1 時間後の待機車両の台数を測定し、1 時間後の待機車両の台数が 30 分後のそれに対し 2 倍±15% のなかに入り、かつ待機車両の台数が全発生台数の 3% 以上になった場合に臨界を超えたと判定するが、この観測を平均車両密度 1 台/km/車線おきで行い、臨界を超えない範囲

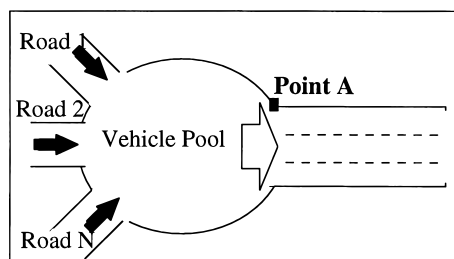


図 6 実効道路容量の概念  
Fig. 6 Concept of effective road capacity.

で最大の平均車両密度をシミュレーションで求めた実効道路容量とする．実行道路容量の単位は台/時間/車線である．

## 5. 評価結果の一例

以下に本シミュレータを用いて車々間通信ネットワークの有効性の評価結果の一例を述べる．本評価ではボゾン生起する車両の平均速度は 100 km/h で、車間距離は 5 m としている．また、通信範囲は 200 m と固定し、各検討パラメータにおいて 20 回のシミュレーションを行い、各シミュレーションは 1 時間の交通流をシミュレートする．[13] では線形近似と数値計算の両面から運転手の反応時間は 0.2 秒であれば安定な交通流が得られることが示されているが、現実に運転手の個性で遅延のバランスつきがあり、ここでは遅延は平均 0.3 秒と標準偏差 0.5 秒のガウス分布でランダムに運転手に割り当てる．また、負の値についてはここでは 0 秒としている．

### 5.1 事故発生率の評価結果

本節では基本シミュレータを用いる事故発生率における評価検討の一例を述べる．ここで、車両密度は 5~40 台/km/車線間の 5 台/km/車線おきにおいてシミュレーションを行った．車両密度 5 台/km/車線は車両が疎な状態で余裕をもって走行できる交通状況を表す．一方、車両密度 40 台/km/車線は交通渋滞が発生するぎりぎりの交通状況を表す．評価は車々間通信機器搭載率が 0% の場合の交通（従来交通）と車々間通信機器搭載率が 100% の場合の交通、更に混在状況下における検討として車々間通信機器搭載率が 50% の場合の交通状況下で行う．

図 7 にシミュレーション結果を示す．図 7 より、車々間通信機器搭載率 0% の場合、車々間通信機器搭載率 50% の場合、車々間通信機器搭載率 100% の場合の順に

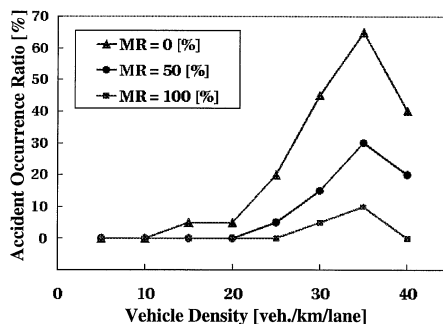


図 7 事故発生率対車両密度  
Fig. 7 AOR vs. vehicle density.

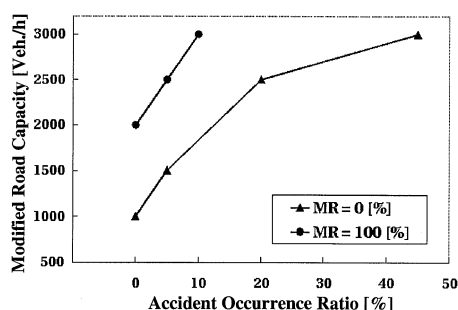


図 8 修正道路容量対事故発生率  
Fig. 8 MRC vs. AOR

事故発生率が下がること、及びいずれの場合も車両密度の増加とともに上昇した事故発生率が、35 台/km/車線を超えて減少に転じていることがわかる．この原因は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可能性がある行動をとる余地がなくなるためである．なお、この現象は実際の道路でも観測されており、この点も本シミュレータの精確さを裏付けている．

### 5.2 修正道路容量

本節では基本シミュレータを用いる修正道路容量の検討を述べる．シミュレーション条件は前節の評価と同様である．ただし、本検討で用いる車々間通信機器搭載率 (MR) は 0% と 100% とする．シミュレーション結果を図 8 に示す．同図より、事故発生率は 5% の場合に従来の交通の修正道路容量 (車々間通信機器搭載率は 0% の場合) に比べて車々間通信ネットワークを用いた交通の修正道路容量 (車々間通信機器搭載率は 100% の場合) が約 1.7 倍であることがわかる．したがって、同事故発生率で比較することで車々間通信ネットワークが道路容量の向上にも有効であること

表3 実効道路容量のシミュレーション結果  
Table 3 Simulation results of ERC.

通信機器の搭載率	ERC	MRC
0[%]	6500	1500
100 [%]	5300	3000

がわかる．事故発生率を定量的にとらえたうえでの交通量の比較はこれまでに全くなされておらず，この比較結果は特に新しい知見である．

### 5.3 実効道路容量

ここでは合流部シミュレータを用いる実効道路容量の検討を行う．本検討で用いるシミュレーション条件は次に述べる．合流部車線の車両密度が30台/km/車線と固定し，2車線の本線における道路容量を求める．車々間通信ネットワークの条件は前節の条件と同様である．また，車々間通信機器搭載率は0%と100%の条件下で検討を行う．

シミュレーション結果を表3に示す．表3に示された実効道路容量の結果は事故が発生せずに終了したシミュレーションから得られた値である．この結果より，車々間通信ネットワークを用いた場合（車々間通信機器搭載率100%）の実効道路容量が従来の交通（車々間通信機器搭載率0%）の実効道路容量より約0.8倍であることがわかる．実効道路容量の低下の原因は運転支援システムが運転者により安全な車間距離及び速度で走行することをうながすため，むしろ広く車間距離をあげたり，むりな進入を避けたりするためである．しかし，行ったシミュレーションのなかでは交通事故が発生する場合もあり，事故を考慮した道路容量である修正道路容量の比較を行った．車々間通信ネットワークを用いることにより安全性が増し，同じ事故発生率（ここでは20%としている）の場合に道路容量が約2.0倍に増加することがわかり，この点から車々間通信ネットワークにより道路容量の増加が期待できることがわかった．

## 6. む す び

本論文では，車々間通信ネットワークを評価可能な車々間通信ネットワークを含めた自律走行交通流シミュレータを構築し，評価検討を行った．本シミュレータでは各車両に運転者がいると仮定し，各車両の運転者にいくつかの特性をもたせることにより自律走行をシミュレートしている．また，用いる道路環境は片側直線3車線の高速道路と片側合流部を含めた直線2車線の高速道路とした．ここで導入される車々間通信シ

ステムは運転者に警告のみを与える警告型運転支援システムとして動作することを仮定している．本シミュレータは車々間通信ネットワークに必要なスペックを導き出すためのシミュレータであり，意図的に通信媒体及び通信方式を具体的に定めず，任意の搭載率で搭載各車両から一定の通信半径内にブロードキャストすることを仮定している．

本論文では，評価検討に用いる評価基準として新しい三つの評価基準を提案した．これらの基準は道路の安全性を評価するための事故発生率，道路容量を評価するための修正道路容量及び実効道路容量である．

評価検討の一例として，片側直線3車線の高速道路と片側合流部を含めた直線2車線の高速道路における車々間通信ネットワークの効果の評価を行った．事故発生率において車々間通信ネットワークを用いることにより事故発生率が削減できることが確認され，道路の安全性の向上に有効であることがわかった．また，車々間通信機器搭載車：非搭載車の混在状況下（搭載率は50%の場合）でも事故発生率の低減が確認された．修正道路容量において車々間通信ネットワークも道路容量の向上に大きく寄与することが示された．一方，事故を考慮しない実効道路容量においては車々間通信ネットワークの効果は見られないが，同じ条件下で事故を考慮した修正道路容量では増加が確認された．

本研究で車々間通信ネットワークの交通流に与える基本的な定量的評価法が確立したので，次の段階として車々間通信ネットワークの設計に必要な通信範囲，通信機器搭載率等を導出するため，本シミュレータを用いた詳細な検討を別稿で行う[14]．

今後，誤り率の影響や通信間隔に対する影響などの検討を行い，車々間通信ネットワークに必要なスペックを求めたうえで，具体的な通信方式を含めたシミュレータを構築する予定である．

謝辞 日ごろよりお世話頂きます埼玉大学の羽石操教授に深謝致します．本研究の一部は実吉奨学財団の援助により行われました．ここに感謝の意を示します．

## 文 献

- [1] 例えば，若生茂雄，“ITS: その研究開発と公共インフラとしての認識” 信学論(A)，vol. J81-A, no. 4, pp. 467-474, April 1998.
- [2] 例えば，後藤幸夫，駒谷喜代俊，福田豊生，“自律走行モデルによる道路交通流シミュレータの開発” 電学論，vol. 116-D, pp. 569-577, 1996.
- [3] 例えば，J. Barcelo, J.L. Ferrer, R. Grau, M. Florian, I. Chabini, and Le Saux E., “A Route Based Variant

- of the AIMSUM2 Microsimulation Model,” Proc. of 2nd World Congress on ITS, pp.1971–1976, 1995.
- [4] W.G. Smith, D.A. Whitney, and R.M. Rybacki, “Opportunities for Intelligent Vehicle Highway Systems Applications of Distributed Interactive Simulation,” 1994 Summer Computer Simulation Conf., pp.834–841, 1994.
- [5] 宇野篤矢, 阪口 健, 津川定之, “車々間通信を用いた合流制御におけるシミュレーションによる考察” 第16回シミュレーション・テクノロジ・コンファレンス, pp.189–192, 1997.
- [6] S.E. Shladover, C.A. Desoer, J.K. Hedrick, M. Tomizuka, J. Walrand, W.B. Zhang, D.H. McMahon, H. Peng, S. Sheikholeslam, and N. McKeown, “Automatic Vehicle Control Developments in The Path Program,” IEEE Trans. Veh. Technol., vol.40, no.1, pp.114–129, 1991.
- [7] 屋代智之, 近藤天平, 樋口雅文, 松下 温, “車々間通信を用いた車両ネットワークの構築” 電学研資, RTA93-8, pp.15–24, 1993.
- [8] アリ・ウィドド, 永長知孝, 長谷川孝明, “車々間通信を含めた自律分散型交通流シミュレータ” 信学技報, SANE97-108, 1997.
- [9] A. Widodo and T. Hasegawa, “An Autonomous Traffic Flow Simulator Including Inter-Vehicles Communications,” Proc. of 5th World Congress on ITS, no.3058, 1998.
- [10] アリ・ウィドド, 長谷川孝明, “交通の安全性に対する車々間通信ネットワークの寄与について” 1998 信学大, no.SAD-2-13, pp.42–43, 1998.
- [11] A. Widodo and T. Hasegawa, “Evaluations of Traffic Safety Improvement Using An Autonomous Traffic Flow Simulator Including Inter-Vehicle Communications,” Proc. of IEEE GLOBECOM 98, vol.5, pp.2629–2633, 1998.
- [12] 竹内伝史, 本多義明, 青島縮次郎, 交通工学, 鹿島出版会, 1986.
- [13] 中山章宏, 中西健一, 坂東昌子, 長谷部勝也, “交通流における Delay の問題” 交通流のシミュレーションシンポジウム, pp.6–11, 1995.
- [14] Ari Widodo, 長谷川孝明, “車々間通信ネットワークの交通流に与える効果について” ITSのための情報通信と航行・測位論文小特集号, 信学論(B), vol.J82-B, no.11, pp.2010–2017, Nov. 1999.

(平成11年4月6日受付, 6月21日再受付)



Ari Widodo (学生員)

平8 埼玉大・工・電気電子卒。平10 同大大学院博士前期課程了。現在, 同博士後期課程在学中。スペクトル拡散通信方式, 車々間通信ネットワーク(IVCN)を中心とする高度交通システム(ITS), モバイルエージェントなどの研究に従事。平11 電気通信普及財団賞(テレコムシステム技術学生賞)受賞。IEEE学生会員。



長谷川孝明 (正員)

昭56 慶大・工・電気卒。昭61 同大大学院博士課程了。同年埼玉大・工・電気助手。現在, 同電気電子システム工学科助教授。工博。平7~8 カナダ・ビクトリア大客員研究員。人から人へ, 人から機械への本質的な情報通信を行うための技術及び人の移動のための技術に興味をもつ。これまでスペクトル拡散通信システム, CDMA, ニューラルネットとその情報通信システムへの応用, 画像入力マイクロホンなどの人間の意思伝達を含む情報通信の方式・情報と信号の処理の研究に携わる。近年は, ITS実現のための新しい情報通信パラダイムやポジショニングシステム, 意思伝達を含む新しい情報通信工学を模索している。平2年度本会篠原記念学術奨励賞受賞。著書「スペクトル拡散技術の基礎と応用」(分担執筆), 「プライマリーC言語ノート」, 「モバイル・コンピューティング教科書」(分担執筆)など。IEEE, 情報理論とその応用学会, インテリジェントエージェント研究会各会員。