

# 異種分散シミュレーションによる ITS 開発環境の構築

伊 川 雅 彦<sup>†</sup> 後 藤 幸 夫<sup>†</sup>  
熊 澤 宏 之<sup>†</sup> 古 澤 春 樹<sup>†</sup>

各種 ITS サービスの開発においては、システム導入前の設計・評価・コンセンサス形成が重要であり、そのための技術としてコンピュータシミュレーションが活用されている。筆者らは、ITS の設計・評価に不可欠な人・道路・車両のインタラクションを有するシミュレーション環境を実現するため、従来から道路・交通・車両の各種システムを開発するために使用されてきた道路交通シミュレーション・車両動態シミュレーション・道路環境シミュレーションの 3 つのシミュレーションを 1 つのリアルタイムシミュレーションシステムとして統合する手法を提案する。また、統合化手法における技術的側面である同期機構とデータ変換機構についてその詳細を示す。さらに、この統合シミュレータに、路車協調を必要とする ITS サービスをプロトタイプ実装することにより、開発プラットフォームとしての使用可能性を示したのでその結果について報告する。

## Realization of a Simulation Environment for ITS by Integrating Heterogeneous Simulations

MASAHIKO IKAWA,<sup>†</sup> YUKIO GOTO,<sup>†</sup> HIROYUKI KUMAZAWA<sup>†</sup>  
and HARUKI FURUSAWA<sup>†</sup>

The computer simulation is applied to the development of ITS services because a design, evaluation and building consensus are important before their deployment. We propose the integration method of three heterogeneous road and vehicle simulations, which are road traffic simulation, vehicle dynamics simulation and road scene simulation. The integrated simulator can simulate the interaction among persons, road facilities and vehicles under various road and traffic conditions in real-time. Also we explain the synchronization mechanism and data transformation mechanism which are main mechanisms of our integration method. Furthermore we explain the implementation of an ITS service on this simulator and show the effectiveness as the platform for design and evaluation.

### 1. はじめに

近年、交通の安全性・効率性・利便性を高める手段として、ITS (Intelligent Transport Systems) の研究開発が活発に行われている。ITS は広域の社会公共インフラシステムであるため、システムの導入にあたっては、入念な設計/評価によりシステムの有効性を実証し、社会的なコンセンサスを前もって得ることが重要である。

しかしながら、ITS はシステムの規模が大きくかつマンインループシステムであることなどの理由により、実フィールドでの試験によるシステム設計/評価を行うことは、コスト面ならびに安全性の問題があり、きわめて困難である。

これらの問題に対しては、多様な条件下で繰り返し試験が可能なコンピュータシミュレーションがきわめて有効な手段となりうることから、従来より道路・交通・車両のシステムを設計/評価することを目的として、

- 道路交通シミュレーション (Road Traffic Simulation): 交通流を再現
- 車両動態シミュレーション (Vehicle Dynamics Simulation): 車両の実挙動を再現
- 道路環境シミュレーション (Road Scene Simulation): 走行シーンを再現

などのコンピュータシミュレーションシステムが開発されてきている<sup>1)~3)</sup>。

一方、ITS は人・道路・車の一体的なシステムであることから、その設計/評価に使用するシミュレーションには、人・道路・車のすべてが協調して動作する環境を生成する機能が求められる。しかしながら、これら既存のシミュレーションシステムでは、このような

<sup>†</sup> 三菱電機株式会社先端技術総合研究所  
Advanced Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation

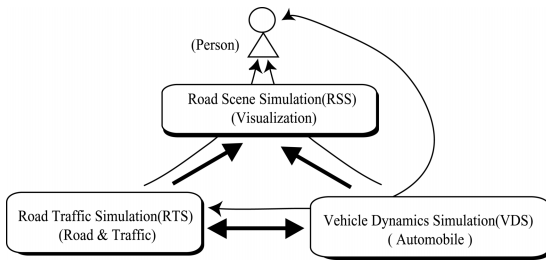


図1 各シミュレーションにおける人・道路・車両間の相互作用  
Fig.1 Interaction among persons, roads and automobiles.

環境を生成できないという問題がある。

たとえば、道路交通シミュレーションでは、交通流の再現が目的であるため、車載機器などの Human Factor に基づく評価に利用することはできない。また、車両動態シミュレーションやその 3D-CG 応用であるドライビングシミュレータでは、周辺の交通や情報システムとしての道路施設の動作を模擬することはできないため、ドライバの交通流に対する影響などを評価することができない。

人・道路・車のすべてが協調して動作する環境を実現する方法として、

- (1) 交通流を再現可能なマイクロモデル道路交通シミュレーション<sup>4)</sup>
- (2) ABS (Anti-lock Brake System) などの車両制御システムの開発に使用されている車両動態シミュレーション<sup>2)</sup>
- (3) 様々な道路設備や走行環境の 3D-CG による表現が可能な道路環境シミュレーション<sup>3)</sup>

の 3 つのシミュレーションシステムを 1 つのインタラクティブなリアルタイムシミュレーションシステムとして統合する方法がある<sup>5)~7)</sup>。図 1 が示すように、統合されたシミュレーションでは、道路交通シミュレーション(道路&交通)と車両動態シミュレーション(車)のシミュレーション結果を道路環境シミュレーションが 3D-CG を用いて可視化(人との間の I/F)することで人・道路・車のすべてが協調して動作する環境を生成することが可能となる。ここでインタラクティブ性・リアルタイム性はシミュレーション内に人間が介在することから必要となる重要な特質である。

一方、このような複数の異なるシミュレーションシステムをリアルタイムシミュレーションシステムとして統合する場合には、個々のシミュレーション間のデータ形式やシミュレーション周期の違いをどのように扱うかが課題となる。これは、これらのシミュレーションでは、その目的に応じた最適化がなされており、個々のシミュレーション間で、データ形式やシミュレーシ

ョン周期が異なっていることに起因している。

本論文では、この課題に対する解決策として、

- 3D Street Graph と呼ぶ道路ネットワークデータベースを用いたデータ変換機構
- 描画周期に基づくシミュレーション間でのデータ交換処理と Dead Reckoning による車両位置の補間処理を用いたデータ同期機構

の 2 つの機構を有する調停プロセスを導入し、異種分散シミュレーションとして統合化する手法を提案する。

以下本論文では、2 章で、統合化の全体像について述べた後、3, 4 章で、統合における技術的側面であるデータ変換機構と同期機構について詳述し、5 章で、開発した ITS シミュレータの活用例について述べ、6 章でまとめを行う。

## 2. 異種シミュレーションの統合化手法

前章で述べたように、複数の異なるシミュレーションシステムの統合を行う場合、個々のシミュレーションシステムが用いるデータ形式やシミュレーション周期の違いをどのように扱うかが課題である。

たとえば、文献 5) では、それぞれのシミュレーションを独立したモジュールとして扱い、共通の通信プロトコルを用いて、それぞれの機能モジュールを組み合わせることにより統合を実現している。データ形式とシミュレーション周期の違いに関する問題については、道路交通シミュレーションが利用する道路ネットワークの幾何構造に 3 次元モデルを用いたり、シミュレーション周期をドライビングシミュレーションの描画周期と統一したりすることにより解決を図っている。この手法は、個々のモジュールが基本的には独立していることにより、各モジュールの変更や追加などが容易で、システムの変更容易性・拡張性に優れている。一方で、道路モデルに 3 次元のモデルを使用することが前提であり、それ以外のモデルを使用する道路交通シミュレーションとの統合には適用できない。

また、文献 6), 7) では、道路ネットワークをリンクとノードで抽象化する道路モデルを用いる既存の道路交通シミュレーションとドライビングシミュレータを組み合わせる手法が示されている。この統合シミュレーションでは、データ形式が異なる問題を、車両データの受け渡し時に座標変換処理を行うことで、解決している。一方、シミュレーション周期については、道路交通シミュレーションをドライビングシミュレーションに組み込むことで、2 つのシミュレーションの周期を統一し、同期処理を実現している。この方式は、比較的容易に統合が実現できる反面、同一の計

表 1 各シミュレーションの諸元  
Table 1 The difference between each simulation.

	RTS	RSS	VDS
H/W	Pentium(R)III 450 MHz	Onyx2(R)	Pentium(R)III 450 MHz
OS	Linux	IRIX(R)6.0	Windows NT(R)
Simulation Interval	100 msec (constant)	33-50 msec (variable)	1-3 msec (variable)
Coordination of road	Node & Link	3D coordination	3D coordination

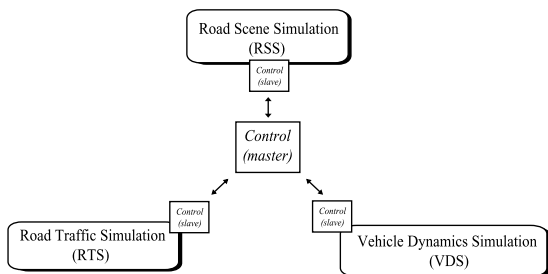


図 2 ITS シミュレータの構成  
Fig.2 Integration of simulations.

算機上ですべてのシミュレーションが実行されるため、文献 5) の方式に比べ、拡張性が低い。

一方、我々の提案手法では、統合対象の道路交通シミュレーションとして、道路ネットワークをリンクとノードで抽象化する道路モデルを使用する既存のシミュレータを使用しつつ、統合においては、各シミュレーションのデータ形式やシミュレーション周期などは変更することなくそのまま使用することとし、それぞれのシミュレーション間の調停を行う調停プロセスを導入することで異種分散環境として統合を実現することとする。つまり、図 2 に示すように、統合にあたって拡張が必要となるデータ交換などの処理は、調停プロセスとして各シミュレーションのコアとは独立したファンクションやプロセスにより実現する。

このような方法をとることは、

- 既存システムをほぼそのまま流用することが可能であり、開発期間・コストが短縮できる、
- 道路交通シミュレーションとして道路ネットワークをリンクとノードで抽象化する道路モデルを使用し、かつシミュレーション周期として長めの値を使用することで、比較的広域のシミュレーションが可能である、
- それぞれのシミュレーションを独立したモジュールとして扱うため、各シミュレーションの個別のバージョンアップや別のシミュレーションの追加などが容易で、システム全体としてのスケーラビリティに優れている、

といったメリットがある。また本方式では、各シミュ

レーションはそれぞれ独立に動作し、同期点において車両の情報（位置・向きなど）を交換しあうことで、統合を実現する。このとき各シミュレーションごとにデータ形式やシミュレーション周期などが異なることから、調停プロセスには

- 各シミュレーション間でやりとりするデータの同期をとるデータ同期機構
- 各シミュレーション間で異なるデータ形式を変換するデータ変換機構

の 2 つの機能が必要になる。以下本論文では、統合における技術的側面であるこれらの手法について詳述する。なお、これらの統合処理（車両データの交換）は、統合シミュレーションにおける車両動態シミュレーションと道路環境シミュレーションの役割が、ドライバーに対して運転車両の挙動と視界を提供することであることを考慮すると、運転車両の周辺についてのみ行えばよい。

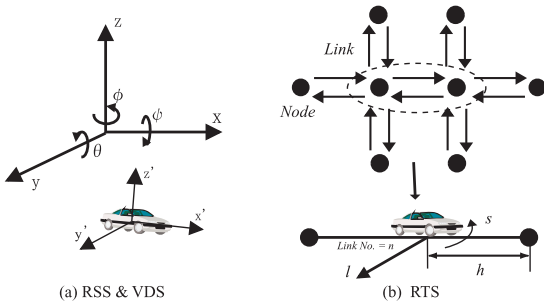
また、今回の統合で利用した各シミュレーションの H/W・S/W 構成、シミュレーション周期およびデータ形式を表 1 に示す。ネットワークには 100BaseT のイーサネットと TCP/IP を利用している。以下、本論文では、この統合シミュレーションシステムを ITS シミュレータ<sup>8)</sup>と呼ぶ。

### 3. データ変換機構

ITS シミュレータでは、各シミュレーションが独自のデータベースを保持している。これは個々のシミュレーションがそれぞれに最適化されたデータベースを保持することにより、高品位かつ高速なシミュレーションを可能とするためである。

また、ITS シミュレータでは、個々のシミュレーション間で車両データを交換する必要があるため、交換にあたってはそれぞれが認識できる形式に車両データを変換する必要がある。

本章ではこのデータ変換機構について、各シミュレーションにおける車両の表現形式を述べた後、我々の提案手法である 3D Street Graph を用いた座標変換手法について述べる。



(a) RSS & VDS (b) RTS  
 図3 各シミュレーションにおける座標系  
 Fig.3 The position and orientation of vehicle.

3.1 各シミュレーションにおける車両の表現形式

ITSシミュレータを構成する3つのシミュレーションにおいては、それぞれデータ形式は異なるものの、同じ道路に関するデータベースが必要である。各シミュレーションで必要となるデータベースの形態は以下のとおりである。

- 道路交通シミュレーション：ノードとリンクによって構成される2次元の道路ネットワーク<sup>4)</sup>
- 車両動態シミュレーション：勾配などの道路構造や路面摩擦などの路面状況
- 道路環境シミュレーション：3D-CG表示用道路・周辺地形データ

一方、各シミュレーションで共有すべきデータとしては、車両の位置と姿勢のデータがあるが、道路のデータベースがそれぞれ異なるため、これらの表現方法はそれぞれのシミュレーションごとに異なる。

具体的には、車両動態シミュレーションと道路環境シミュレーションにおいて使用される座標系はともに3次元座標系であり、図3(a)が示すように、車両の位置と姿勢はそれぞれ  $L = [x, y, z]$ 、 $E = [\phi, \theta, \psi]$  によって表現される。

一方、道路交通シミュレーションでは、図3(b)が示すように、車両の位置はリンク番号(n)と次ノードまでの距離(h)、リンク上での横方向の位置(l)によって表現され、車両の姿勢は  $hl$  平面上での  $h$  軸に対する回転角(s)によって表現される。

以下、本論文では前者の座標系をRSS/VDS座標系、後者の座標系をRTS座標系と呼ぶこととする。

3.2 3D Street Graphを用いた座標変換処理

ITSシミュレータでは、シミュレーションのリアルタイム性を確保するため、このような2種類のまったく異なる座標系を持つ多数の車両データの高速な座標変換処理が必要となる。このような要求を満たすため、ITSシミュレータでは、3D Street Graphと呼ぶ、3次元情報を持った道路ネットワークデータベースを生

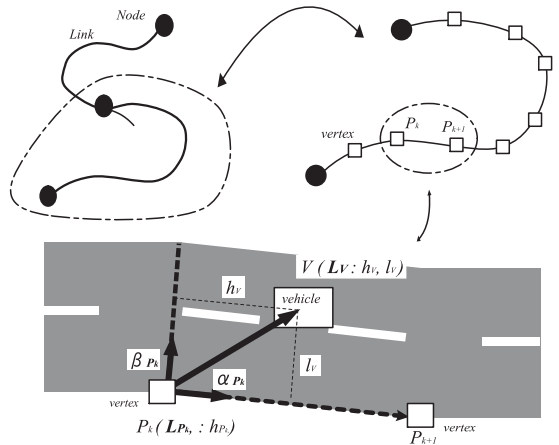


図4 3D Street Graph  
 Fig.4 3D Street Graph.

成・利用することにより、高速な座標変換処理を実現している。

なお、以下では、車両位置についての変換処理のみを記述する。車両の姿勢についての処理も同様の手法により高速な変換が可能である。

3.2.1 3D Street Graph

3D Street Graphとは図4のように、複数の頂点オブジェクトの集合によって表現されるデータベースであり、頂点  $P_k$  はRTS座標系のデータとして次ノードまでの距離を表す  $h_{P_k}$ 、RSS/VDS座標系のデータとして3次元位置  $L_{P_k} = [x_{P_k}, y_{P_k}, z_{P_k}]$  を保持している。

また、以下の2種類のベクトルデータをシミュレーションの実行前に作成、保持することで、実行時の計算量を減らし、座標変換処理の高速化を図っている。

- $\alpha_{P_k}$ ：直線  $P_k P_{k+1}$  上を車両が1m移動したときの車両の3次元位置  $L_v$  の変化量
- $\beta_{P_k}$ ：路面を表す平面上で、直線  $P_k P_{k+1}$  と直交する単位ベクトル

なお、図4中  $L_v = [x_v, y_v, z_v]$  はRSS/VDS座標系における車両の位置、 $h_v, l_v$  はRTS座標系における車両の位置を表している。

図4が示すように、3D Street Graphでは、道路環境シミュレーションにおいて道路平面を構成する各頂点のうち、車両の進行方向に対して、右端に位置する頂点データをつなげていくことでできあがる折れ線を道路交通シミュレーションにおけるリンクと見なすことで、RTS座標系とRSS/VDS座標系の対応をこれらの頂点において実現している。

3.2.2 車両データの座標変換処理

車両位置の座標変換処理は3D Street Graphを基

に以下のような手順で行われる．図 4 において， $V$  を変換対象の車両， $P_k, P_{k+1}$  を 3D Street Graph 内のある頂点とすると，RTS 座標系から RSS/VDS 座標系への変換処理は式 (1) により，RSS/VDS 座標系から RTS 座標系への変換処理は式 (2)，(3) により求められる．

$$L_v = L_{P_k} + (h_{P_k} - h_v) \cdot \alpha_{P_k} + l_v \cdot \beta_{P_k} \quad (1)$$

$$h_v = h_{P_k} - (L_v - L_{P_k}) \cdot \alpha_{P_k} \quad (2)$$

$$l_v = (L_v - L_{P_k}) \cdot \beta_{P_k} \quad (3)$$

ここで式 (2)，(3) で用いられている記号  $\cdot$  はベクトルの内積を表す．

#### 4. 同期機構

ITS シミュレータはそれぞれが独立に動作する複数のシミュレーションで構成されるため，個々のシミュレーションの実行周期は表 1 が示すようにそれぞれ異なっている．したがって，どのようにこれらの同期をとるかが重要である．ここでは，シミュレーションの同期をとる際のキーポイントである

- (1) 各シミュレーション間でのデータ交換処理
- (2) 同期ポイントである表示タイミングにあわせた Dead Reckoning による車両データの補間処理について述べる．

##### 4.1 シミュレーション間でのデータ交換処理

道路環境シミュレーションは，描画周期 ( $T_{RSS}$ ) ごとに描画対象となる交通情報や運転車両位置など，他のシミュレーションの結果が必要である．また道路交通シミュレーションは，生成する交通流が運転車両の挙動を認識するために，シミュレーション周期 ( $T_{RTS}$ ) ごとの運転車両データが必要である．以下，本節ではこれらのデータ交換について詳述する．

##### 4.1.1 道路交通シミュレーションと車両動態シミュレーション間のデータ交換

図 5 を用いて，道路交通シミュレーションと車両動態シミュレーション間のデータ交換処理を実現する制御フローについて説明する．

- (1) 道路交通シミュレーション (RTS) は，調停プロセス (Control) から運転車両データが送られてくるまで，実行を中断する．
- (2) 車両動態シミュレーション (VDS) は，逐次運転車両データを生成し，調停プロセスに対して送信する．
- (3) Control は前回，RTS に対して運転車両データを送信してから  $T_{RTS}$  [sec] 後のタイミングで，運転車両データを RTS に送信する．その際，車両データの座標系を RTS 座標系に変換

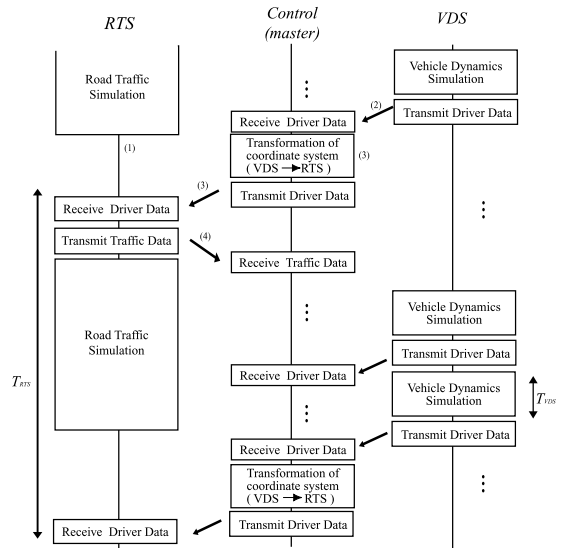


図 5 道路交通シミュレーションと車両動態シミュレーション間のデータ交換処理

Fig. 5 Control flow between RTS and VDS.

する．

- (4) RTS は運転車両位置を受信すると，シミュレーション結果を Control に対し送信し，道路交通シミュレーションを再開する．

これらの処理により，道路交通シミュレーションは運転車両位置を認識できるようになり，図 6 が示すように，運転車両の挙動が道路交通シミュレーションの生成する交通流に影響を与えることが可能となる．

##### 4.1.2 道路環境シミュレーションと車両動態/道路交通シミュレーション間のデータ交換処理

図 7 を用いて，道路環境シミュレーションに対して，車両動態/道路交通シミュレーションのシミュレーション結果を送信する制御フローについて説明する．なお，本節では，調停プロセスと道路環境シミュレーション間の関係のみ記す．調停プロセスと車両動態シミュレーションおよび道路交通シミュレーションの関係については，4.1.1 項を参照のこと．

- (1) 道路環境シミュレーション (RSS) が，調停プロセス (Control) に対し，シミュレーション結果の要求メッセージを送信する．
- (2) 要求メッセージを受信した Control は次フレーム表示タイミングで必要となるシミュレーション結果を RSS に伝送する．シミュレーション周期の違いから，描画周期ごとのシミュレーション結果は存在しないため，表示タイミングに合致したデータは 4.2 節で述べる Dead Reckoning によって生成する．

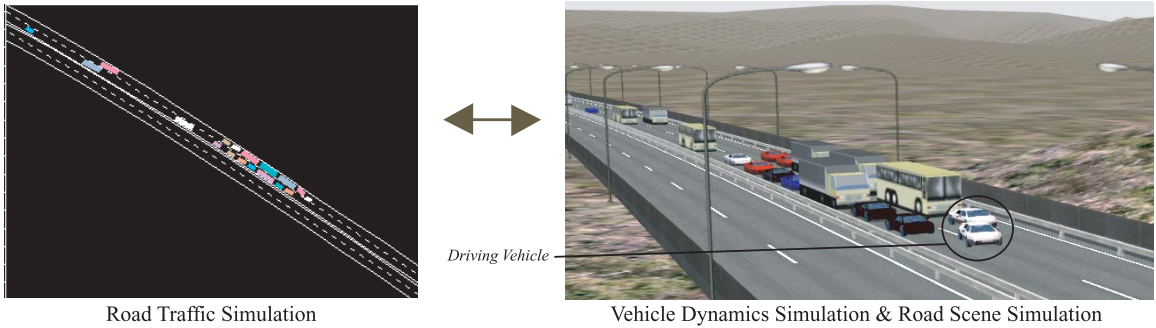


図 6 運転車両と周辺交通間の相互作用

Fig. 6 Interaction between the driving vehicle and traffic situation.

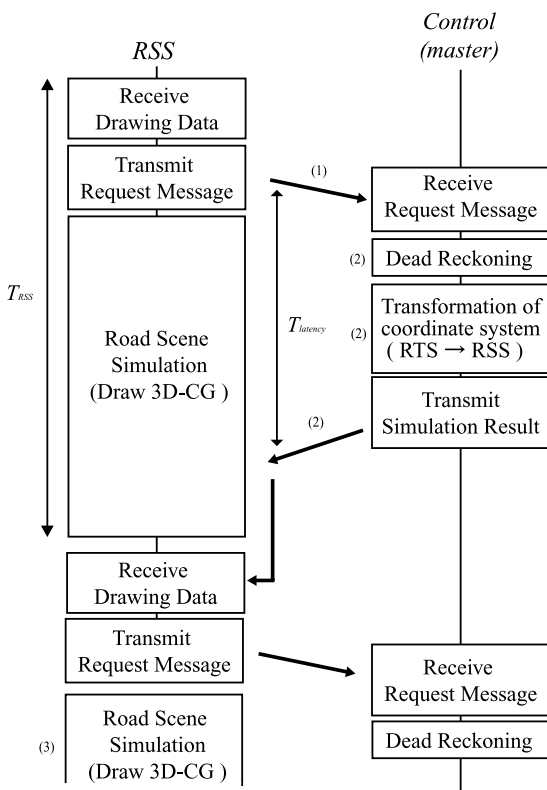


図 7 道路環境シミュレーションと制御プロセス間のデータ交換処理  
Fig. 7 Control flow between RSS and control process.

(3) RSS は受け取ったデータを次の表示タイミングで 3D-CG として表示する。

このようにシミュレーションデータの要求・受信処理の間に描画処理を行うことによって、要求・受信間の通信レイテンシを隠蔽し、道路環境シミュレーションでの描画速度の低下を防いでいる。

4.2 Dead Reckoning による車両位置の補正

道路交通シミュレーションのシミュレーション周期  $T_{RTS}$  は、道路環境シミュレーションの描画周期  $T_{RSS}$

よりも大きい場合、描画回数よりもシミュレーション結果のほうが少ないになってしまう。そのため、周辺車両については、描画タイミングに合致したデータを道路交通シミュレーションの結果を基に作成する必要がある。そこで、道路交通シミュレーションは、道路環境シミュレーションからの要求メッセージの受信時に、1つ前の要求メッセージ受信からの経過時間を次フレームの描画周期と仮定し、Dead Reckoning を行うことで、描画周期に合致した道路交通シミュレーション結果を作成する。

道路環境シミュレーションから  $j$  回目の要求メッセージを受信したときの道路交通シミュレーションの車両位置情報を  $(X(j), Y(j))$  の 2次元座標で表すこととすると、Dead Reckoning は以下の式で定義される。

$$X(j) = X(j - 1) + \frac{x(i) - x(i - 1)}{T_{RTS}} \cdot \Delta t. \quad (4)$$

$$Y(j) = Y(j - 1) + \frac{y(i) - y(i - 1)}{T_{RTS}} \cdot \Delta t. \quad (5)$$

$$\Delta t = t_{req}(j) - t_{req}(j - 1).$$

ここではシミュレーションの開始時刻を 0 とし、 $t_{req}(j)$  は道路環境シミュレーションからの  $j$  回目の要求メッセージを受信したときの時刻、 $x(i), y(i)$  は  $i$  回目の道路交通シミュレーションの結果を表している。なお、この  $i$  回目のシミュレーション結果  $x(i), y(i)$  は、 $j$  回目の要求メッセージを受信したタイミングでの最新の道路交通シミュレーションのシミュレーション結果である。

ここでは、2つのシミュレーション結果間の車両の速度を一定と仮定しているが、Dead Reckoning を行う刻み幅が約 33 ~ 50 msec と短いので、精度良く車両位置を補間できていると考える。

4.3 同期機構のリアルタイム性能

本節では、統合化処理がシミュレーションのリアルタイム性能に及ぼす影響について、4.1.2 項で述べた

道路環境シミュレーションと車両動態/道路交通シミュレーション間のデータ交換処理の考察を行う。

このデータ交換処理においては、要求・受信間の通信レイテンシ  $T_{latency}$  と道路環境シミュレーションのシミュレーション周期  $T_{RSS}$  の関係が

$$T_{RSS} > T_{latency} \quad (6)$$

であれば、道路環境シミュレーションは描画速度を低下させずに実行できることになる。つまり、この  $T_{latency}$  が小さいほど、より高速な描画速度を持つ道路環境シミュレーションとの統合が可能であるといえる。逆に  $T_{latency}$  が  $T_{RSS}$  よりも大きい場合、道路環境シミュレーションのシミュレーション周期はディスプレイのリフレッシュレート  $T_{refresh}$  の整数倍になるため、 $T_{latency} \leq n \times T_{refresh}$  ( $n$  は自然数) となる最小の  $n \times T_{refresh}$  が道路環境シミュレーションのシミュレーション周期となる。

このデータ交換に必要な処理時間は

- (a) 道路環境シミュレーション側での送受信処理時間
- (b) データ伝送時間
- (c) 調停プロセス上での送受信処理時間
- (d) Dead Reckoning 処理および道路交通シミュレーションデータの座標変換処理

である。これらのうち (a) の処理は、道路環境シミュレーション内の処理であることから、(b)~(d) の合計が  $T_{latency}$  となる。

本シミュレータでは、運転車両位置を利用することにより、調停プロセスを介して、道路交通シミュレーションと道路環境シミュレーション間でやりとりされる車両を限定し、送信データ量を削減することでデータ伝送時間の短縮を図っている。

また、Dead Reckoning 処理や座標変換処理および送信前処理を要求メッセージ受信前にあらかじめ済ませておくことで、(c)(d) の処理時間の短縮が可能である。これによりさらに通信レイテンシを短縮することが可能である。

図 8 は、現在のハードウェア構成 (表 1 参照) において、送信する車両数を変化させた場合の、 $T_{latency}$  の変化を示す。実線は (c)(d) の処理に対して、前記処理を行わない場合であり、破線は前記処理を行った場合を示している。図が示すように、道路交通シミュレーションと道路環境シミュレーション間でやりとりされる車両台数が 600 台を超えるような場合でも、 $T_{latency}$  は 6 msec 以下であり、送信する車両数と  $T_{latency}$  の関係が比例関係にあることを考慮すると、道路環境シミュレーションの性能が許せば、やりとりされる車両数としては約 3,000 台程度まで、30 フ

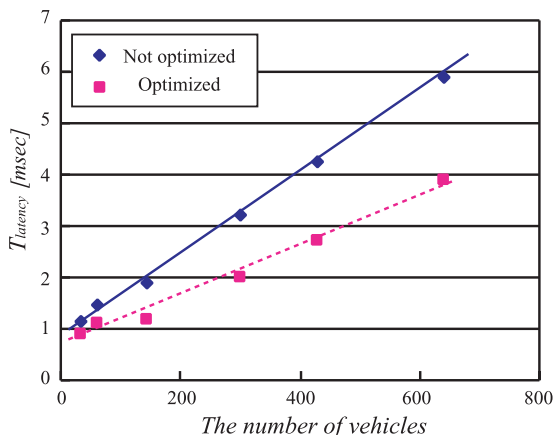


図 8 データ交換による通信レイテンシ

Fig. 8 The communication latency of data exchange.

レーム/秒以上の描画速度が達成可能である。一方、各シミュレーション間でやりとりされる車両データの数は、運転車両の周辺に限定されることから、実際には多くても 1,000 台程度しか車両がやりとりされることはなく、この 3,000 台という値は、同期処理のリアルタイム性能として十分な性能を備えているといえる。なお、今回の統合で用いた道路交通シミュレーションでは、表 1 の H/W および

- シミュレーション周期：100 msec
  - 道路構造：高速道路・50 km・上下線 (車線数 2)
- というシミュレーション条件で、約 8,000 台の同時動作が可能で、比較的大規模な交通現象が再現可能であった。また前記通信レイテンシの短縮化処理を行うことにより、3 割程度の通信レイテンシの短縮が達成されており、さらに高速な描画速度を持つ道路環境シミュレーションやより多数の車両をやりとりするような状況への対応も可能となる。

## 5. ITS モデル実装例

これまで述べてきたように、ITS シミュレータでは、道路交通シミュレーションが“道路施設”および“交通”の動作を生成し、車両動態シミュレーションが“運転車両”の動作を生成する。そして、それらのシミュレーション結果を道路環境シミュレーションが 3D-CG を用いてビジュアライズすることで、人・車・道路間のインタラクションの存在するシミュレーション環境を実現している。したがって、道路交通シミュレーションと車両動態シミュレーションに今後開発が進められる“スマートウェイ”や“スマートカー”の機能を追加することで、本シミュレータを ITS 開発プラットフォームとして活用することが可能となる。

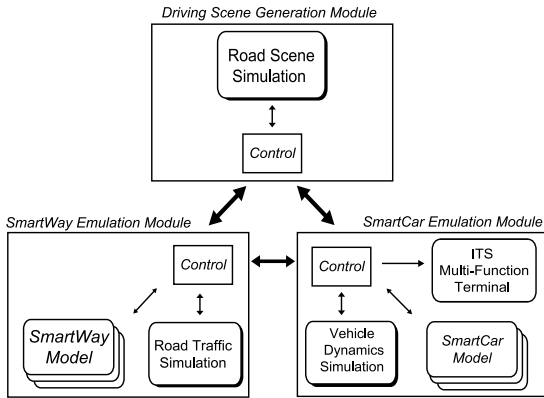


図 9 ITS シミュレータ上への ITS モデルの実装例  
Fig. 9 The implementation of ITS model.

本章ではこれらの拡張例として、我々が実装を行ったシステム構成を示した後、次に、これらの拡張によって実現可能となったシミュレーション例として AHS-i システム (Advanced cruise-assist Highway Systems-information)<sup>9)</sup> の 1 つである情報提供による障害物衝突防止システムへの適用例について述べる。

以下、本章では道路交通シミュレーションを中心としてスマートウェイとしての道路交通システムの動作を模擬する部分をスマートウェイエミュレーションモジュール、車両動態シミュレーションを中心として、スマートカーとしての運転車両をドライバに提供する部分をスマートカーエミュレーションモジュールと呼ぶことにする。

5.1 全体構成

図 9 に ITS 開発プラットフォームの構成図を示す。核となる 3 つのシミュレーションのほかに、スマートカーエミュレーションモジュールには、車載の HMI としての ITS 多機能端末と、複数のスマートカーモデルを、スマートウェイエミュレーションモジュールには複数のスマートウェイモデルを追加した。また拡張性を考慮し、追加した各モデルとシミュレーションとの間のデータのやりとりについてはつねに調停プロセスを介して行うこととした。

5.2 情報提供による障害物衝突防止システム

ここでは路車協調システムである AHS-i シミュレーションの 1 例として、情報提供による障害物衝突防止シミュレーションの実現例について述べる。

本シミュレーションを実現するために、スマートウェイエミュレーションモジュール側に障害物検出モデル、情報提供モデル、スマートカーエミュレーションモジュール側に情報提供モデルを実装した。

実装した障害物衝突防止シミュレーションの動作フ

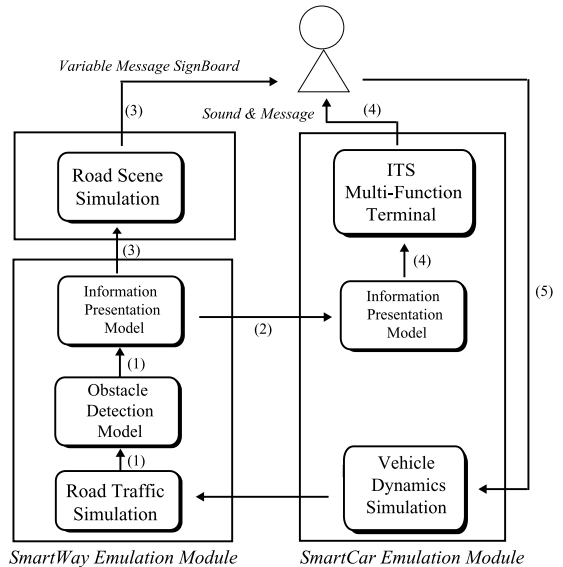


図 10 障害物衝突防止シミュレーションの処理フロー  
Fig. 10 Flowchart of Collision Avoidance Simulation.

ローについて、図 10 を用いて説明する。図中の数字は以下に示す動作フローの項目番号である。

- (1) 障害物検知モデルは、道路交通シミュレーションが生成する車両群から障害車両を検出し、情報提供モデルに通知する。
- (2) 情報提供モデルは指定しておいた情報提供タイミングで障害車両位置をスマートカーエミュレーションモジュールに送信する。
- (3) 同時に、道路環境シミュレーションを制御することにより、障害車両より手前にある可変表示板に障害車両が存在することを表示する。
- (4) スマートカーエミュレーションモジュール内の情報提供モデルは、受信した障害車両位置を基に警告メッセージを作成し、ITS 多機能端末を介して、ドライバに対し音声とディスプレイを用いて警告を発する。
- (5) ドライバは (3) と (4) の情報に基づいて、ハンドル・アクセル・ブレーキを操作し運転することで安全性を向上できる。

図 11 に情報提供による障害物衝突防止システムのシミュレーション例を示す。図 11 が示すように ITS シミュレータを用いることで、道路交通シミュレーションが生成する様々な交通状況下において、路側の情報板を用いた情報提供や、路車間通信を用いた情報提供システムの設計・評価を行うことが可能である。

これらのスマートウェイモデルやスマートカーモデルのプロトタイプ実装はあくまで 1 つの事例であり、



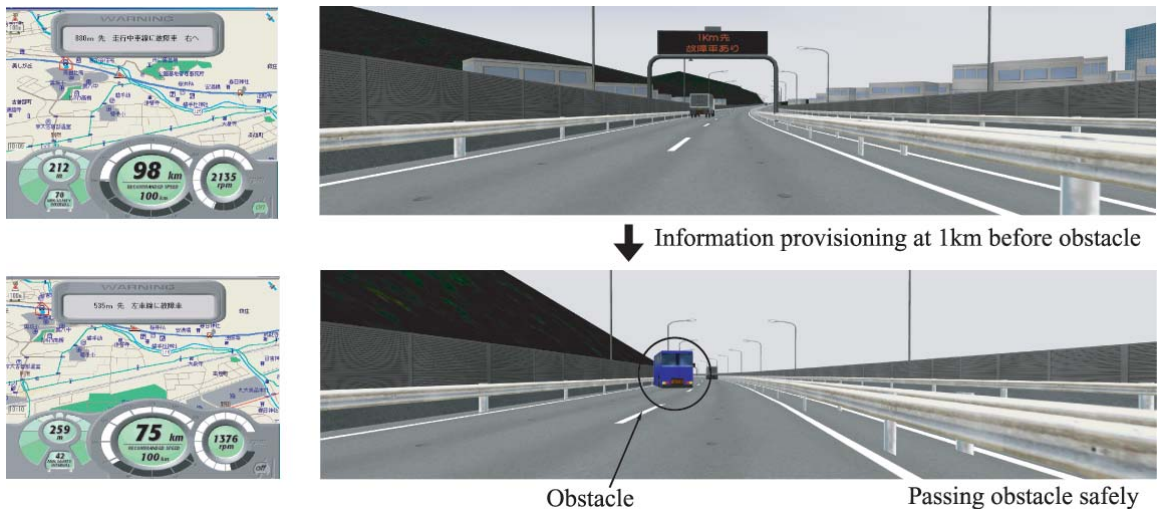


図 11 情報提供による障害物衝突防止システムのシミュレーション例  
 Fig. 11 Simulation of Collision Avoidance System with information provisioning.

本シミュレータは、別途開発が進展する様々な ITS サービスのためのインフラシステムおよび車載システムの性能評価と機能改良のためのツールとして活用できる。

## 6. ま と め

本論文では、各種 ITS サービスの設計・評価・コンセンサス形成を可能とするシミュレーションシステム構築を目的として、道路・交通・車両のシミュレーションシステムの統合化手法について述べた。統合化においては、統合対象の道路交通シミュレーションとして、道路モデルをリンクとノードで抽象化するタイプを使用することとし、各シミュレーション間でデータ形式やシミュレーション周期が異なる問題を、描画タイミングに基づいたデータ交換をベースとした同期機構、Dead Reckoning、3D Street Graph を用いた座標変換処理を導入することにより解決した。その結果リアルタイム性を保持したまま、すべてのシミュレーションが協調動作することで、人・車・道路間のインタラクションが実現できていることを確認した。また、同期機構の性能評価や ITS モデルの実装例を通じて、シミュレータのスケラビリティについても示した。なお、今回の実装で統合化により必要となったコードの変更量は、道路交通/車両動態シミュレーションについては、各シミュレーションにおける全コード量に対して、約 5.0%程度であった。また、調停プロセスを含めた統合化全体の変更量については、シミュレータ全体のコード量に対して、約 23.8%程度であった。

さらに、この ITS シミュレータの使用例として「情

報提供による障害物衝突防止システム」をスマートウェイモデルやスマートカーモデルとしてプロトタイプ実装することにより、本シミュレータを路車間の協調を必要とするような各種 ITS サービスの開発プラットフォームとして使用可能なことを示した。

今後は、別途開発が進展する様々な ITS サービスのためのインフラシステムおよび車載システムの性能評価と機能改良のためのツールとして本シミュレータを活用していく。

## 参 考 文 献

- 1) Yang, Q. and Koutsopoulos, H.N.: A Microscopic Traffic Simulator for Evaluation of Dynamic Traffic Management Systems, *Transportation Research C*, Vol.4, No.3, pp.113-129 (1996).
- 2) Smith, D.E. and Starkey, J.M.: Effects of Model Complexity on the Performance of Automated Vehicle Steering Controllers: Model Development, Validation and Comparison, *Vehicle System Dynamics*, Vol.24, pp.163-181 (1995).
- 3) Kumazawa, H. and Furusawa, H.: Application of multimedia technologies to highway supervisory and control system, *30th International Symposium on Automotive Technology and Automation*, pp.227-234 (1997).
- 4) Goto, Y., Corrado, F., Komaya, K., Fukuda, T. and Furusawa, H.: A Microscopic Traffic Flow Simulator, *2nd World Congress on ITS*, Vol.4, pp.1905-1910 (1995).
- 5) Champion, A., Mandiau, R., Kolski, C.,

- Heidet, A. and Kemeny, A.: Traffic generation with the SCANeR©II simulator: towards a multi-agent architecture, *Proc. Driving Simulation Conference '99*, Paris, France, pp.311-324 (1999).
- 6) Sarvi, M. and Kuwahara, M.: A Study on Freeway Ramp Merging Phenomena in Congested Traffic Situation by Traffic Simulation Combined with Driving Simulator, *8th World Congress on ITS* (2001).
- 7) 西川 功, Sarvi, M., 桑原雅夫, 森田緯之: 首都高速道路合流部における車両挙動に関する研究 交通流シミュレーションを組み込んだドライビングシミュレータの活用, 第20回交通工学研究発表会講演論文集, pp.45-48, 交通工学研究会 (2000).
- 8) Ikawa, M., Kumazawa, H., Goto, Y., Furusawa, H. and Akemi, Y.: Simulation Environment For ITS — Real Time 3D Simulator, *5th World Congress on ITS*, No.3025 (1998).
- 9) Kamata, G., Kondo, T. and Mashimo, H.: Design of a Cruise Assist System Based on Requirements, *6th World Congress on ITS* (1999).

(平成 16 年 3 月 8 日受付)

(平成 16 年 10 月 4 日採録)



伊川 雅彦 (正会員)

1973 年生。1997 年京都大学大学院工学研究科修士課程修了。同年三菱電機(株)入社。産業システム研究所, 先端技術総合研究所にて, 高度道路交通システムに関する研究開

発に従事。



後藤 幸夫

1966 年生。1991 年京都大学大学院工学研究科修士課程修了。同年三菱電機(株)入社。産業システム研究所, 先端技術総合研究所にて, システム・制御工学の交通システムへの応用に関する研究開発に従事。2001 年~2002 年 MIT, ITS 研究センタ客員研究員。電気学会, 計測自動制御学会会員。博士(工学)。



熊澤 宏之

1958 年生。1983 年大阪大学大学院工学研究科博士前期課程修了, 1998 年同博士後期課程修了。1983 年三菱電機(株)入社, 現在, 同社先端技術総合研究所に勤務。高度道路交通システム, 路車間通信システムに関する研究開発に従事。1998 年~1999 年 MIT, ITS 研究センタ客員研究員。電子情報通信学会, 情報理論とその応用学会, IEEE 会員。博士(工学)。



古澤 春樹

1953 年生。1978 年京都大学工学部電気工学科卒業。同年三菱電機(株)入社。同社産業システム研究所, 現先端技術総合研究所にて, 画像認識, 理解等の研究, 応用製品開発に従事。最近は道路交通システム等の社会・公共分野における道路インフラおよび ITS の研究を担当。電気学会会員。