

シミュレータの現状と期待される分野

岩元貞雄*

本文ではまず、シミュレータのビジュアルシステムの全体像を概観し、次にモーションシステムをベースに国内外におけるシミュレータの歴史と現状について総論的に述べた後、シミュレータの用途別性能と効用に触れ、最後にシミュレータの活用が期待される分野を例示している。

Current Status and Future Expectations of Simulator Utilization

Sadao IWAMOTO*

This paper surveys the visual system of simulators, and describes the progress and current status of simulators throughout the world based on mechanical motion systems. Finally, we mention the performance and effect of simulator according to different purpose, and exemplify those fields that are expected to widely utilizes simulator systems in the future.

1. はじめに

近年、交通事故は重大な社会問題になっているが、交通事故のほとんどが運転者に原因があり、交通安全対策に占める運転者教育の役割は、ますますその重要性を増してきている。運転者教育においては、どのようにして危険を予知する能力を身につけさせるかが一つの重要な課題であり、危険場면을体験させるためのドライビングシミュレータ（以下シミュレータと呼ぶ）を普及させることの必要性が従来以上に強く言われている。

一方、運転者以外の要素を改善することにより、事故の低減を計る努力も払われている。例えば、自動車自体の研究では、高速時の事故回避性能、緊急時のドライバ操作と車両挙動の関係、スピンや転覆などの極限状態における限界性能、突風受風時の人

間／自動車系の挙動解析、などの研究を通して、自動車のアクティブセーフティ性能の向上を計ることになる。しかし、実走行によるこれらの試験には常に危険が伴うので、試験を行うこと自体に限度がある。また、多くの試験条件を揃えて再現性よく試験を行うのが容易でないことから、期待通りの成果が得られていないのが現状であり、このような局面を打開する一つ的手段としてシミュレータが注目されている。

このように安全教育訓練用から研究開発用まで、シミュレータは交通事故低減対策を計る上で有効な道具として活用されつつあるが、シミュレータの性能に極めて大きな影響を与える構成要素はビジュアルシステムとモーションシステムであるので、ここではまずビジュアルシステム全般について概観し、次にモーションシステムをベースに国内外におけるシミュレータの軌跡と現状について総論的に述べた後、シミュレータの用途別性能と効用に触れ、最後にシミュレータの活用が期待される分野についてそれぞれのテスト項目を例示している。

* 財団法人自動車研究所理事
Executive Director,
Japan Automobile Research Institute, Inc.
原稿受理 1992年2月4日

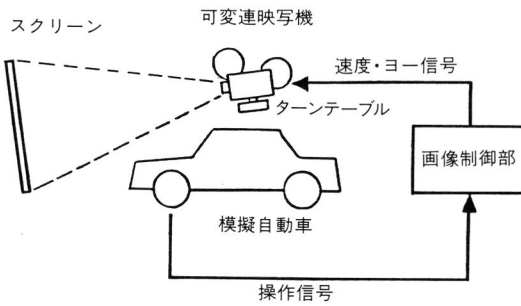


Fig. 1 映画方式

2. ビジュアルシステム

実車での道路走行時にはドライバーは運転に係わる情報のおよそ90%以上を眼を通して入手しており、運転状況を模擬する技術においても、視覚情報の表示方法と表示内容は極めて重要な要素である。そのためのビジュアルシステムには大別して、(1)映画方式、(2)模型方式、(3)複合発生方式、(4)CGI(Computer Generated Imagery; 計算機作像)方式の4つが挙げられる。

2-1 映画方式

映画方式は実際の走行路を定速度で走行する車両から前方風景を撮影し、このフィルムをスクリーンに投影する方式であり、他のいかなる方式よりも高品質の画像が得られる。しかし、この方式の最大の欠点は、すでにフィルム画に焼付けられた画像であるために、ハンドル操作により自由に視点を 변경することが原理上不可能な点である。また、走行速度に応じた画面の変化は、映写機のフィルム送り速度を可変にすることで可能ではあるが、低速時の絵とびやチラツキにより不自然さが残る。なお、複数台の映写機を同期映写して広角視界を得ることもできるが、撮影手段が大規模となる。この方式の原理図をFig. 1に示す。

2-2 模型方式

縮尺した精密な市街路模型を作り、この道路上を運転操作に応じて自由に向きを変えながら移動するテレビカメラを備え、カメラの出力信号をビデオプロジェクタまたはテレビに映す方式である (Fig. 2)。この方式により運転の自由度が確保でき、しかも現実に近い風景を得ることができるが、模型の製作が困難で高価につくこと、道路のエリアを広くとることができないなどの理由により、現在ではほとんど使用されなくなった。

2-3 複合発生方式

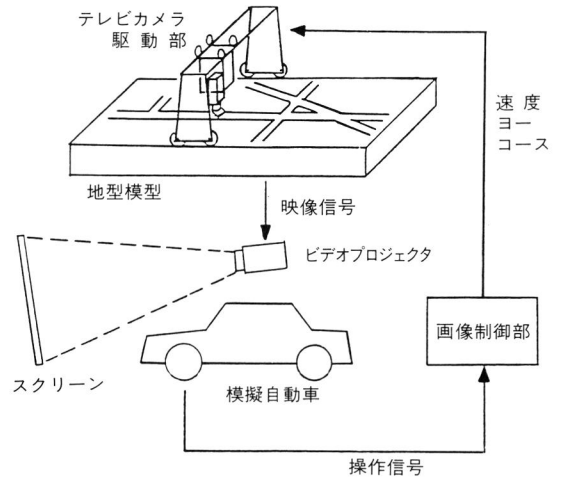


Fig. 2 模型方式

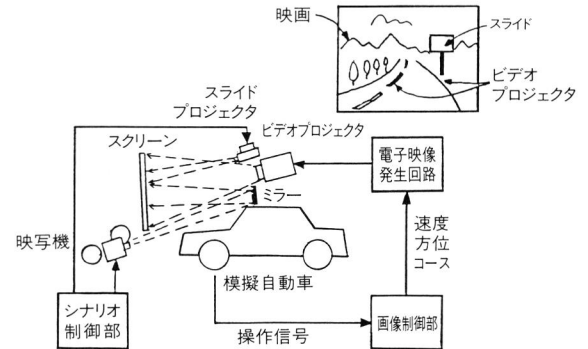


Fig. 3 電子映像発生回路による複合発生方式

この方式には二通りある。一つは実際の走行場面を撮影し、ビデオテープまたはビデオディスクなどに記録して、それを運転操作に対応して加工する。そして速度、視界方向、傾きなどを可変にする一方、任意の先行車を挿入して車間距離の制御を加えたり、飛び出し画像の挿入も可能である。この方式の限界は前もって撮影した情景を用いるために、任意の追越しや任意の環境設定などに限界がある。他の一つの方式は、電子映像発生回路 (以下電子回路) による基本的な道路映像に加えて、周囲風景を16ミリ映写機によりスクリーン上に合成表示するもので、さらにスライドプロジェクタにより障害物や標識なども表示することが可能である (Fig. 3)。勿論これら別々の画像を合成するには、そのタイミングや各々の画像制御の位相を合わせるためにシステムは複雑なものとなる。

2-4 CGI方式

シミュレータのビジュアルシステムの変遷をみる

と、初期には映画方式であったものが、模型方式、電子回路方式から複合発生方式へと移行し、画質の向上と同時にその機構も次第に複雑化してきた。そしてデジタル技術の進歩により、1982年頃からデジタルコンピュータを用いて画像を作成するCGI方式がみられるようになった。

これらのビジュアルシステムにはそれぞれ一長一短があるが、CGI方式を除くほかの方式の共通した問題点として、道路環境を自由に変更したり挿入したり、さらには気象状況を任意に選択するなどの融通性に乏しいことがあげられる。CGI方式では、地形、建物、移動物体、障害物、道路標識、信号、灯火、気象条件や雲などのデータをコンピュータにあらかじめ記憶させておき、自動車の運動に応じて計算により作画、映像化するので、自動車の運転に制約がなく、画像の変更がボタンを押すだけで任意にできる。このように融通性が格段に高い理由から、特に危険場面の再現を必要とするドライバの体験教育や交通安全の研究に、CGI方式が主流になりつつある。ただし、CGI方式では、作画用のコンピュータの性能やソフトウェア、データバンク量に依存して、単純な線画のみを表示するごく簡単なレベルから、道路周辺の景色や照明条件までを含めた複雑な交通状況を表示するかなり高いレベルまでいろいろあり、高度の視覚情報の模擬を目指す場合には、ビジュアルシステムも高価格にならざるを得ない。また、現在のCGI方式の技術では、記憶地形データから多角形により風景を作りだすので画像の抽象度が比較的高く、表示画像がアニメーション的になり、映画方式や模型

方式に比べて現実感に劣ると言われている。Fig. 4に現在最も先端的といわれているダイムラーベンツ社のCGI方式によるビジュアルシステム²⁾を示すが、このシステムによる画像の現実感の欠如については現実的にさほど問題ではないといわれている。

3. 国内外のシミュレータの現状³⁾

シミュレータをモーションシステム（シミュレータのキャビンとドライバに体感を与える為の可動部分を含むシステム）で分類すると座席固定式、実車／ドラム式および座席可動式の三つに分けられる。以下モーションシステムをベースに国内外のシミュレータの現状について述べる。

3-1 座席固定式

わが国では機械技術研究所が1973年に運転訓練用に、警察庁が1983年に走行体験用に、北海道トラック協会が1984年にトラックドライバの安全教育用に、東京大学が1988年にドライバ特性の研究用に、また運輸省が1992年度完成を目処にトラックドライバの危険場面体験用に座席固定式シミュレータを製作している。さらに、建設省の土木研究所でも、主に高速道路等の構造に関する評価に用いるため、1992年度完成を目処に座席固定式シミュレータの製作を進めている。国外では米国の公衆衛生局（USPHS）が1963年に事故回避の研究用として、またGMが1968年に緊急状況下におけるドライバの反応行動の研究用として製作している。これらのビジュアルシステムには映画方式、模型方式、電子回路によるTV表示方式およびCGI方式などがそれぞれ採用されている

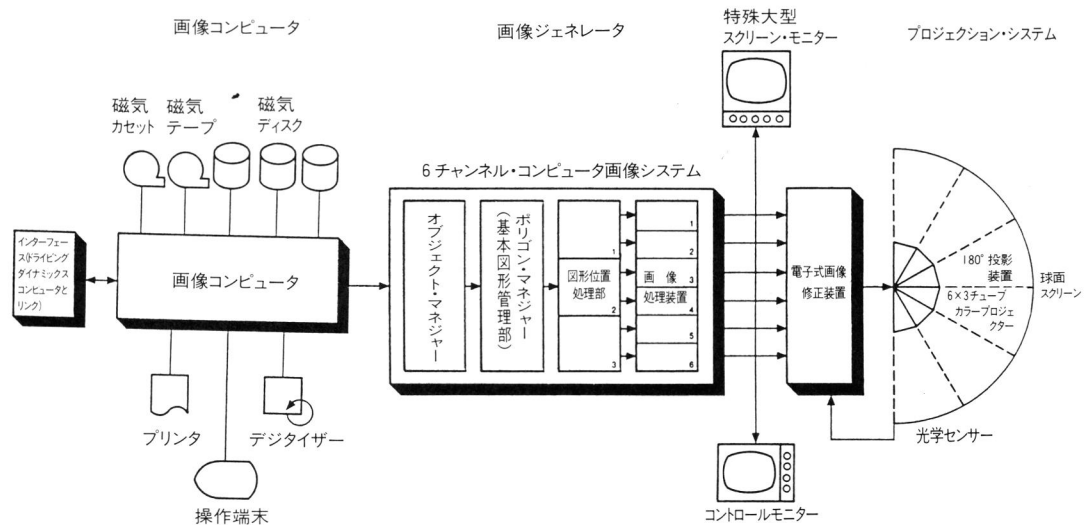


Fig. 4 ベンツ社のCGI方式によるビジュアルシステム

が、座席固定式の場合、画像の動きのみで運転状態を模擬しているため、視覚と体感とのずれにより、往々にして酔いの現象を生じやすいのが問題といわれている⁴⁾。Fig. 5 に座席固定式シミュレータの一例を示す。

3-2 実車/ドラム式

実車/ドラム式については、わが国で古くは東京大学生産技術研究所で微分ハンドルの研究に用いたほか、1976年には芝浦工業大学でも製作され、人間/自動車系の研究や4輪操舵車(4WS)の基礎研究に使用されている。また豊田中央研究所が1978年に車の操縦性安定性に関する基礎研究や人間/自動車系の研究用に製作している。これは現在わが国において最も進んだ実車/ドラム式シミュレータといわれており、例えば、ビジュアルシステムにはレーンマーク用と道路風景用の二つの映像が合成されて表示する合成映写が採用されており、アクセル操作、ブレーキ操作およびハンドル操作に対応して画像が変化するようにになっている⁵⁾(Fig. 6)。

一方、国外でも古くは1959年に米国カリフォルニア大学で建設されたものがある。このビジュアルシステムは360度全周映写方式であり、ドライバの運転特性、飲酒の影響および尾灯に関する研究を行っている。また1972年にフランスのフェロード社で車両運動の研究用に建設されたものは、最高速度200km/h以上で代表されるように、性能のよい実車/ドラム式シミュレータとして有名である。実車/ドラム式は車両をドラム上で実際に走行させるので、音響や接地感それにハンドルの操作感が比較的現実近く、また再現性が良好で計測が容易などのメリットがあり、車の操縦性安定性の検討に有効とされている。しかし、ドラム幅などの制約から、限られた範囲での車線変更を含めた直進近傍の試験に制限され、また加減速時などの体感が十分に得られないという問題がある。

3-3 座席可動式

座席可動式は、より現実に近い乗車体感を得るためのもので、ジンバル式(回転運動)、レール式(直線運動)、それに複数の油圧シリンダが共働して運転席の支持と姿勢を制御する共働支持式(回転運動と直線運動)がある。

1968年に人間/自動車系の研究用として製作された機械技術研究所のものは、わが国最初の座席可動式シミュレータといわれている。共働支持式でロールとピッチの2自由度、また車速とヨー運動および

横変位は画像の変化により視覚で模擬し、ビジュアルシステムは模型TV表示である。

1970年には日産自動車から車両運動の研究用に、共働支持式でロールだけを発生するものを製作しているが、画像は電子回路による線画をTV表示したものである。また1978年には職業訓練大学で前後方向に可動なレール式のを製作して、訓練用と前後方向加速模擬の研究を行っている。

わが国における座席可動式シミュレータの開発は、その後しばらく停滞していたが、1985年に東京大学でドライバモデルの研究用に、共働支持式の4自由度(ロール、ピッチ、ヨー、上下方向)のものが開発された。この場合、ビジュアルシステムはCGI方式で線画を発生しているがモノクロである。またブラウン管1本で画像表示しているため、視野は水平36度、上下30度になっている。

最近になってマツダ(株)は1990年に人間/自動車系の研究およびドライバ感性と車両開発用に、ジンバル式とレール式を組み合わせた4自由度(ピッチ、ロール、ヨー、横移動)のモーションシステムで、水平画角68度のCGI方式のビジュアルシステムをもつシミュレータを開発している。また、本田技研工業

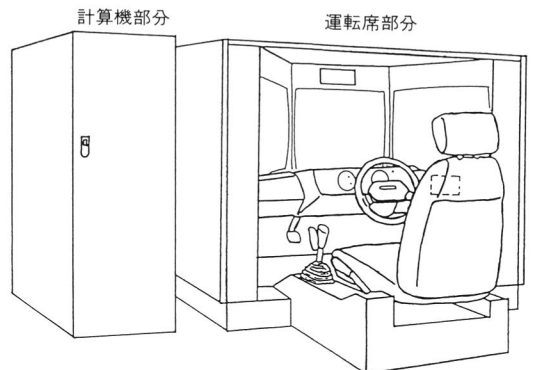


Fig. 5 座席固定式シミュレータの一例

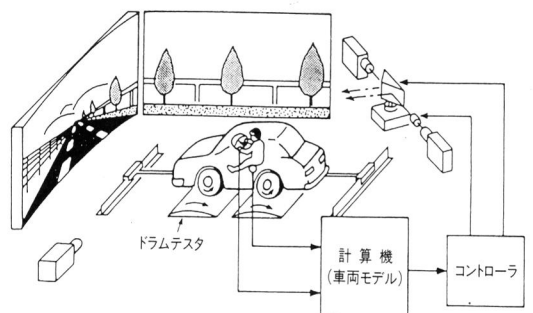


Fig. 6 豊田中央研究所の実車/ドラム式シミュレータ

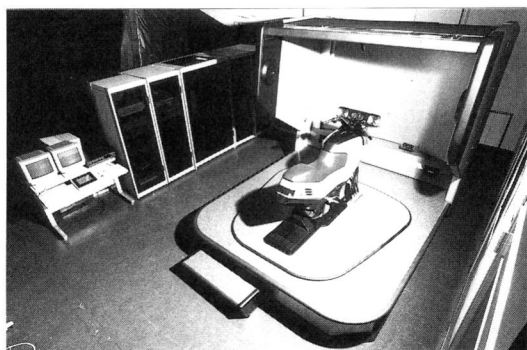


Fig.7 ホンダのライディングシミュレータ

(株)は二輪車安全運転教育用のライディングシミュレータを1991年に開発した⁶⁾(Fig. 7)。二輪車と同じ特性を持つ運転装置を操作すると、前方の大画面モニターにコンピュータの作画した走行情景が次々と表示され、実際の一般公道と同様の体験が味わえる。二輪車事故の典型的パターンなどの模擬体験ができるため、ライダーの安全運転意識の向上につながると期待されている。

国外では米国のオハイオ大学で1968年にジンバル式の2自由度(ロール、ピッチ)のものを製作している。ビジュアルシステムは模型式TV投影であり、移動する道路を車で追従させて高速道路の条件とドライバ特性の関係を調べている。1975年にはバージニア大学で、ドライバの知覚情報の提示方法について研究するため、レール式を主とした3自由度(ロール、ヨー、横方向)のものを製作している。ビジュアルシステムは電子回路による簡略道路をTV表示する方式である。

一方、欧州では1972年にVWがジンバル式の3自由度(ロール、ピッチ、ヨー)のものを製作して、人間/自動車系の研究や車両設計のための基礎研究に使っている。このシミュレータは0.4Gまでの一般的な慣性力を重力加速度を利用して効果的に模擬できることを実証した、世界初の座席可動式シミュレータといわれている⁷⁾(Fig. 8)。また、1983年にはスウェーデンのVTI(道路交通研究所)でも0.4Gまでの慣性力を模擬できるジンバル式とレール式を併用した3自由度(ロール、ピッチ、横方向)のシミュレータを作った⁸⁾。特にビジュアルシステムはCGI方式でカラー画像を発生し、3つのプロジェクターによって水平方向120度、上下方向30度の広い視野を得ている。また、種々の画像メニューが準備されており、従来にない融通性の高いものになっている。VTIではそれを用いて人間/自動車/道路環境系に

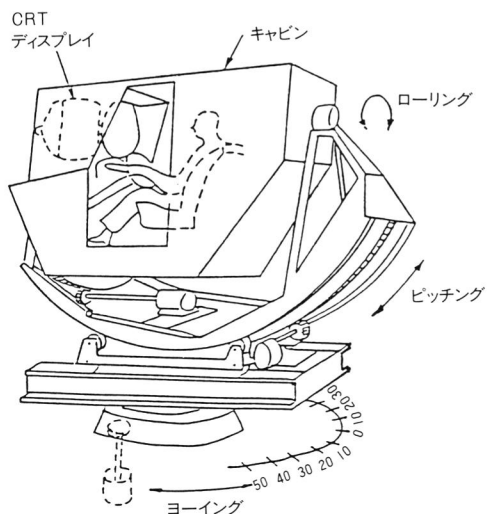


Fig.8 VWのジンバル式シミュレータ

おける人間主体の研究や道路設計に主に役立たせようとしている。

1985年春に公開されたベンツのシミュレータは、現在のところ世界最大規模で最も先端的な技術を結集して作られた世界初の開発研究用シミュレータである²⁾。大型フライトシミュレータと同じく、6本の油圧シリンダで支えられた6自由度の運動をするドームがモーションシステムの主要部である。このドームの中に実車のボディを収めて(トラックの場合はキャビンだけを収める)、それをドライバが操縦するので現実感が高まるのが特徴の一つになっている。最大加速Gは1.5G、すなわち最短時間2秒間で約100km/hの速度に達するような加速度に相当する。上下振動については当初5Hzまで再現できるようになっており、それ以上の10から20Hzの振動や大きい横すべり量は第2期計画となっている。コンピュータシステムは実時間処理が要求されるため、一般に大容量、高速演算が必要であり、大規模な外部記憶媒体を備え、周辺装置との高速アクセスが可能であることが前提条件となる。ベンツのシミュレータのコンピュータシステムでは、32ビットの主コンピュータがリアルタイムに車両のダイナミクスの演算を行うと同時に、画像、運動、音響処理を分担する副コンピュータ群の制御を行っている。このシステムは車両のダイナミクスについて、パラメータ総数が600にのぼる32の微分方程式(運動方程式に関連する約2000個のプログラム演算)を10msで解く能力がある。ビジュアルシステムのハイライトは6つのプロジェクターによって投影された、水平方向180度の

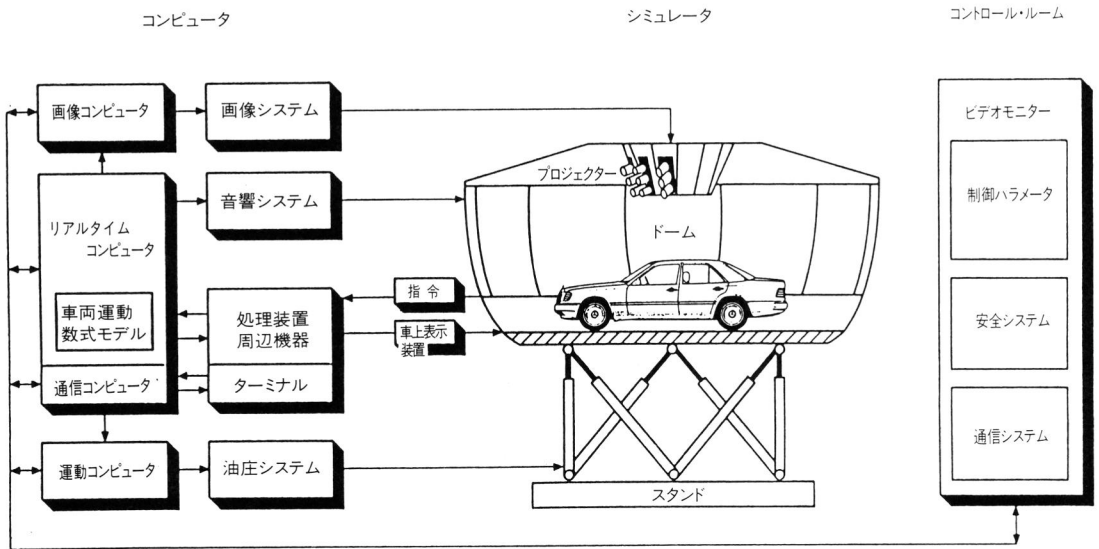


Fig.9 ベンツのシミュレータの全体構成

ワイドアングルのカラーで鮮明なスクリーン画像である。CGI方式によるこのビジュアルシステムには7万もの集積回路が使用されており、アウトバーン、テストパット、ワインディングロード、ホッケンハイムサーキット、市街地など18パターンの道路条件が投影でき、それぞれに明るさ、天候、併走車、障害物などの設定が、別室のコントロールボードから任意に操作できるようになっている。コンピュータグラフィックスの図形作成、特に3次元図形動画の作成には非常に複雑な内部処理を伴うので、画像コンピュータの処理時間は80ms、すなわちイメージ作りに80msかかる。これはリアルタイム処理としては幾分長いかもしれないが、この程度の遅れは余り問題にならないとベンツ側では判断している。音響はエンジンの回転数や負荷、車速、使用ギア、タイヤのスリップ角などの情報に基づいて人為的にコンピュータで合成される。設定条件によってはコーナリング時のタイヤの鳴き音も再生できるし、またトランスミッションやデフのノイズも計算されている。Fig. 9 にベンツのシミュレータの全体構成を示す²⁾。ベンツではこれを活用して、自動車のアクティブセーフティの性能向上を中心とした各要素の開発設計をはじめ、人間/自動車/道路環境系における問題解決に役立たせようとしている。

4. 用途別性能と効用

シミュレータを用途別に分けると大きく「教育訓練用」と「研究用」の二つに分けられ、それぞれ要

求されるレベルと効用が異っている。

4-1 教育訓練用

教育訓練用のシミュレータには大別して、①運転操作の適不適を診断するもの、②初心者や処分者の運転訓練を目的とするもの、③高速走行や危険場面などを体験させるものがあるが、いずれの目的においても、擬似感覚の体験が目的であるので、全体的におおよその感じがつかめる程度でも用は足りる。したがって、装置の模擬性能は研究用のものに比べてさほど高くなく、ビジュアルシステムのみを備え、モーションシステムを考慮していない座席固定式や、操作部の使用感覚と簡単なモーションシステムを考慮しただけの比較的廉価なものが多い。

ドライバの運転操作の適不適を診断することに主目的がおかれているものとして、(株)北海道トラック協会のドライビングチェックや、(株)日本輸送のシミュレータがある。これらの装置は映画方式による視覚表示のみを行うもので、モーションシステムを備えていない座席固定式である。また、ハンドルやシフトレバーは備えつけてあるものの、それらと画像は連動していない。ただしこれらのシミュレータには、予め設定しておいた模範的な運転操作と被験者であるドライバの操作とを自動的に比較して、ドライバの運転操作技能を客観的に評価する機能が備えられており、業務用貨物自動車のドライバを対象に診断用シミュレータによる運転技能の客観的評価を行い、ドライバの安全運転技能の向上に役立っている。

訓練目的のシミュレータとしては職業訓練大学で製作されたものがある。この装置では、運転席のアクセル、クラッチ、シフトレバー等の操作部を実際の駆動系に連結しており、初心者の発進、停止、変速操作の訓練に用いているが、視野表示はスライド投影の静止画像である。職業訓練大学ではこの装置を用いて、初心者の運転教習の初期段階に、シミュレータを利用したプログラム学習課程を導入することにより、従来の実車のみによる教習よりも優れた技能習得効果がみられることを明らかにしている。なお米国では上記の診断目的のシミュレータと同様の仕様の装置を初心者ドライバーの訓練目的に用いており、いくつかの州ではこれによって初心者の運転技能の習得を計り、同時に安全運転訓練を実施している。ドライバーに運転体験をさせることを目的とした警視庁の高速自動車シミュレータでは、操縦動作に連動して画面が変化する映画方式のクローズドループのビジュアルシステムを用いているが、操縦動作に応じて光景を変えられる範囲には限界があり、またモーションシステムは備えていない。

最近、教育訓練用のシミュレータにもCGI方式のビジュアルシステムが普及しつつある。事故防止を狙いとした運転者教育用教材としてCGI方式を採用する際の効用には次の三つが挙げられる。

①交通場面を自由にしかも正確に再現できるし、危険な交通場面を自分のイメージ通りに自由に作り出すことができる。

②CGI方式を用いると、ある交通場面において視点と注視点の位置を任意に設定できるので、互いの立場から同一の交通場面に出会ったときの視界を表現することができる。これによって相手の立場だったらどのような行動をするかを考えさせることができ、危険を予測する能力を向上させるのに役立つ。

③道路構造物や車両に遮られて見えない場面も、CGI方式により透視表示することができ、「見えない」状況を分かりやすく表現することができる。

4-2 研究用

研究用にシミュレータを活用する場合の効用として、次の事柄が挙げられる⁹⁾。

(1) 安全性が高く、一般ドライバーでも危険なテストに参加できる。

安全に係わる実験をロードテストで行う場合、常に危険を伴うが、シミュレータを使えばその恐れはなくなり、転覆などの極限状態のテスト、高速走行時の事故回避テスト、疲労運転、酒酔い運転テスト

など、多くの危険を伴うテストの強力な道具になり得る。そしてこのことはプロ以外の一般ドライバーもテストに参加することを可能にする。特に今後ユーザ趣向に合わせた自動車の多様化が進むなかで、素人でも安全にテストできるシミュレータの活用が有効である。

(2) 条件設定が容易で再現性が高い。

ロードテストではその都度条件を設定して再現性よく多数回の実験を行うのは容易ではない。これに対し、特にCGI方式のシミュレータではボタンを押すだけで多様な条件を即座に何回でも再現性よく作り出すことができる。しかもテストの最中でも任意に条件を変更してフィーリングの差を調べることができる。また気象条件のようにロードテストではコントロールできない条件でも、任意かつ簡単にコントロールできる。このように現物の製作を必要としないで試行をくり返すことができるので、最適設計へ到達するに要する期間を大幅に短縮できる可能性がある。

(3) きめ細かい解析が可能である。

例えば、過度な横すべりのように、実車実験で測定しにくい変量や、軌跡の曲率、車間距離、道路中心線からの距離など、特定のコースでしか知り得ない走行中のデータについても、シミュレータを使えばこれらを時系列的に記録することができる。したがって、ロードテストよりもきめ細かい解析が可能となる。

ところで研究用のシミュレータは基礎研究用と開発研究用に分けられる。

基礎研究用の場合、一般に教育訓練用のものより高い性能レベルが要求されるが、開発研究用ほどの模擬性能を備える必要はない。また重点のおき方によってサブシステムのレベルは異なる。例えば、ドライバー特性を主体とした基礎研究の場合、ビジュアルシステムとモーションシステムとでは、どちらかといえば前者に重点がおかれる。例としてはカリフォルニア大学のドライバーの視認行動や尾灯の視認効果を調べた装置や、米国公衆衛生局が緊急場面での事故回避行動や反応時間の分析に用いた装置などがある。カリフォルニア大学の場合、実車/ドラム方式で速度の制御と限定された範囲内での横運動が可能であるにすぎないのに対して、ビジュアルシステムは映画方式で360度全周囲視界を備えている。また米国公衆衛生局の装置は箱庭模型内部をテレビカメラが任意に移動する模型方式のビジュアルシステムを

用いているが、モーションシステムは備えていない。

道路環境系を主体とした基礎研究の場合も、モーションシステムよりもビジュアルシステムに重点がおかれる。1992年度に完成予定の土木研究所の高速道路構造の評価に用いるものは、座席固定式ではあるが、ハンドル操作と車両の運動特性に連動した、比較的高性能のCGI方式のビジュアルシステムを備えている。

比較的性能レベルの高い基礎研究用シミュレータにはVW*1とVTI*2のものがあり、これらを用いて次のような研究が行われている^{7,8)}。

①ドライバとその動作が中心的役割を果す特定な状況における人間／自動車／道路環境系の研究

- ・アルコールや薬物類の運転能力に及ぼす影響、反応時間、生理現象およびハンドリング特性やその際の自動車のダイナミクスを、実際の運転に極めて近い種々の道路環境条件のもとで、系統的かつ安全に調べる。
- ・長時間運転による知力低下の結果生じる視野の減少を補償する能力は、ドライバによって大きく異なるが、シミュレータはこのようなドライバの能力を数多くのサンプルについてテストするのに極めて有効である。
- ・例えば、事故回避のための車線乗り移り、横風受風時など予期せぬ緊急事態におけるドライバのハンドリング特性の研究に活用している。そのためにシミュレータを用いて予期せぬ事態に対するドライバの反応時間やハンドル操作能力などを測定し、その結果と乗用車を用いたロードテストの結果を比較したところ、両者は極めてよく一致したとしている¹⁰⁾。
- ・種々の異なる道路標識、信号などのレイアウトを画像に再現させて、視界の問題も絡めてそれらを判断する能力を調べている。

②自動車のハンドリング特性の基礎研究

自動車のハンドリング特性は多くの因子によって決まるが、最終的にはタイヤ特性、ステアリングシステムとサスペンションシステムの弾性、前部と後部のロール剛性および荷重配分などの相互の限界バランスの結果により決まるものである。シミュレータではこれらの主な因子の多くが、自動車の運動を記述するコンピュータプログラムの入力データとして使用されており、これらのパラメータを系統的に変化させて、それらの影響を詳細に調べることができる。したがって、シミュレータを活用して実際

のドライバ特性を含めたクローズドループ系として、自動車の構造上の根本的問題を解決することが可能である。

③道路設計に役立つ基礎研究

シミュレータを使用することにより、計画段階で種々の道路をテストドライブして道路環境を評価することができる。シミュレータでは路面の摩擦条件を乾燥アスファルト路面から凍結路面まで変化させられるようになっており（具体的には、自動車の運動モデルの中に含まれている路面の摩擦係数の値を、例えば乾燥路面0.7～0.9から凍結路面0.1～0.2の値に変更する）、自動車のハンドリング特性に及ぼす路面の影響を系統的に調べている。また道路標識や信号の最適化は勿論のこと、道路の水平、垂直方向の最適配置や車線数、道路幅、曲率、登降坂、交差点などの構造についても調べることを計画している。

開発研究用の場合、シミュレータの再現する車両挙動と各種体感感覚が、実際に走行する車両にできるだけ近いことが強く求められ、かなり高いレベルが要求される。例えば、車両の開発に重点をおく場合、特にモーションシステムは非常に高精度でなければならない、人間／自動車系として微妙なパラメータの変異による違いを感知できて、ロール角加速度の変化やすべり角の変化などの詳細に至るまで、高い精度の状況再現が要求される。また道路環境系も含めた形の開発研究用になると、ビジュアルシステムにも非常に高いレベルのものが要求される。

グイムラーベンツ社のシミュレータは、その第一の建設目的がアクティブセーフティに関する部品開発のための研究を行うことであり、世界初の開発研究用の本格的装置といわれている。また開発の対象となる各種コンポーネントを数学モデルでシミュレートするだけでなく、例えば、オートマチックトランスミッション用の電子コントロールユニットやアクティブサスペンションシステム、ブレーキコントロール回路などのようなサブシステムをハードウェアの形でモデルの中に組み込むことも可能になっている。さらに音響システムも開発用として設計され、エンジン音、動力伝達発生音、タイヤ音、風音の4つのチャンネルが用意されており、どの部分の音をどう変えればドライバのフィーリングにどう影響す

* 1 VW(VOLKSWAGENWERK AC WOLFSBURG; ドイツのウォルクスワーゲン社)

* 2 VTI(Statens väg-och trafikinstitut [Swedish Road & Traffic Research Institute]; スウェーデンの道路交通研究所)

るかを解析し、設計部門にフィードバックして部品開発に役立たせようとしている。

Table 1 にシミュレータの用途別レベルを簡単にまとめて示す⁹⁾。

5. 期待される分野

シミュレータの活用が期待される分野を、ドライバを主体とした分野、自動車／ドライバ系を主体とした分野、および道路環境系を主体とした分野に分けて、それぞれの分野におけるテスト項目を例示する⁹⁾。

5-1 ドライバを主体とした分野

- ・ドライバの安全運転教育訓練（運転技能訓練、運転適性診断、危険場面体験訓練）
- ・疲労、居眠り時の心身反応と運転挙動
- ・酒酔い、薬物使用時の心身反応と運転挙動
- ・ドライバの緊張とストレスが運転に及ぼす影響
- ・ドライバの視界と視認性
- ・初心者と熟練者の運転特性の違い
- ・高齢者の加齢と運転能力
- ・ドライバ運転能力の評価尺度に関する研究
- ・道路情報環境とドライバの情報処理能力
- ・緊急時のドライバの心身反応と事故回避挙動
- ・安全研究に役立つドライバの数学モデルの構築
- ・道路情報環境に対するドライバの注視行動

Table 1 シミュレータの用途別レベル

目的		システム	
		モーション	ビジュアル
訓練教育用		×	×
基礎研究	ドライバ主体 (能力評価・ドライバ特性)	△	○
	道路環境主体	△	○
	自動車運動性能主体 (閉ループも含む)	○	△
	ドライバ／自動車系の 閉ループ特性解析	○	◎
開発研究	自動車運動性能主体 (閉ループも含む)	◎	○
	道路環境主体	○	◎
	自動車運動性能と道路環境	◎	◎

注1) ◎：高精度 △：中精度 ○：比較的高精度 ×：低精度。
 2) 概算費用（ただし、モーションとビジュアルの両方を含む）—
 ◎：30億円以上 △：3～6億円 ○：10～20億円
 ×：2～4千万円。

- ・霧など悪条件気象下におけるドライバの心身反応と運転挙動
- ・トンネル内照明や夜間照明とドライバの心身反応
- ・交差点左右折時におけるドライバの注視行動と運転挙動
- ・事故多発地点におけるドライバの運転挙動

5-2 自動車／ドライバ系を主体とした分野

- ・運転時ドライバの主観的フィーリングと自動車の客観的応答特性の関係
- ・自動車の操縦性安定性と安全性能の関係
- ・自動車の構造と安全限界性能
- ・自動車の安全性評価尺度に関する研究
- ・緊急時のドライバ操作と車両挙動
- ・滑り易い路面におけるドライバ操作と車両挙動
- ・高速走行時の車線変更性能
- ・自動車の事故回避性能の評価法
- ・高速時のカーブにおけるブレーキ操作と車両挙動
- ・最適なアンチロックブレーキシステム（ABS）の開発
- ・アクティブサスペンション、4WD、4WSの性能改善
- ・けん引車両のアンチジャックナイフ装置の開発
- ・車室内表示装置、コントロール類の最適化
- ・ドライバへの情報提示方法
- ・警報システムの効果
- ・車両失陥時の安全問題
- ・ドライバ特性（高齢者など）にマッチした自動車の特性に関する研究

5-3 道路環境を主体とした分野

- ・都市部における標識等各種情報の視認性と最適な表示方法
- ・道路環境の計画設計の評価
- ・安全な交差点の道路構造
- ・街路照明の最適化
- ・トンネル内の照明、音響、圧迫感など
- ・車両の挙動から見た高速道路分合流部の最適構造
- ・インターチェンジなど曲線区間の最適構造
- ・高速道路の堀割構造、トンネル等特殊区間におけるドライバの心身反応と車両の挙動
- ・高速道路の追越車両などの影響を考慮した横断面構造（車線幅員、路肩幅員、側方余裕幅など）
- ・高速道路の急な横断勾配部など事故多発地点におけるドライバの心身反応と車両の挙動
- ・高速道路の雪路面、凍結路面における車両の挙動
- ・高齢者の高速走行と道路環境

- ・走行速度差の変化が大きい状況における車両の挙動
- ・高速道路の道路景観評価
- ・道路側の先端的情報提供システムの計画設計
- ・交通管制システムにおける新技術の評価
- ・交通法規の影響評価

6. むすび

コンピュータおよびシミュレーション技術の著しい進歩に伴い、次第に模擬性能の高いシミュレータの開発へと変遷し、その活用分野も広がっている。

教育訓練用シミュレータの場合、CGI方式による画質の高度化が進むなかで、運転者教育用教材として適切な事故危険場面のシナリオ作りと、教えるべきことをどのように具体的に分かりやすく伝えるかという教育技術のソフト作りが重要な課題になっている。

研究用シミュレータの場合、特に近年CGI方式による高画質で融通性が高く、かつ広視界のビジュアルシステムをはじめ、多自由度で可動範囲の大きい高性能なモーションシステムや高性能なコンピュータシステムが使われており、このような高性能化の傾向は今後も続くと思われる。活用分野もシミュレータの高性能化に伴い、自動車の運転特性や人間／自動車系および安全に関する基礎研究から、アクティブセーフティの向上を主眼にした自動車部品と要素システムの開発研究および人間／自動車／道路情報環境系に関する安全の応用分野へと広がり、最終的には交通情報システムやトラフィックマネージメントレギュレーションの評価に関する研究にまで発展していくであろう。

最後にシミュレータを製作し、それを使用する際に留意すべき点をいくつか挙げてみる。

- (1) 使用目的によって、サブシステムの規模、機能および性能のレベルが異り、費用に大きく影響するので、建設に当ってはしっかりしたコンセプトを打ち出し、それに沿って丹念な仕様作りを行う必要がある。
- (2) シミュレータの建設に当っては、利用目的を明確にし、重要機能を重点的に充実する必要がある。
- (3) シミュレータはあくまでも自動車の運動、体感、視覚などを近似的に模擬するもので、その模擬技術には限界がある。使用の際にはその限界と許容レベルを十分に把握しておく必要がある。
- (4) 実際のロードテストに比べて、シミュレータを

運転するドライバーのモチベーションについて、より多くの注意を払う必要がある。

参考文献

- 1) (財)国際交通安全学会「機器・機材を用いた高度な安全運転教育の授業設計研究」『昭和59年度研究調査報告書』P.182、1985年
- 2) 岩元貞雄「自動車のドライビングシミュレータについて(その3、Benzのシミュレータ)」『自動車研究』第8巻、第11号、pp.447~458、1986年
- 3) 岩元貞雄「自動車のドライビングシミュレータについて(その4、まとめ)」『自動車研究』第9巻、第1号、pp.14~21、1987年
- 4) 航空宇宙技術研究所「航空機の乗り心地に関する研究」『航空宇宙技術研究所報告』TR-645、P.68、1980年
- 5) 三木一生「ドライビングシミュレータ技術」『豊田中央研究所R&Dレビュー』Vol.26、No.1別刷、pp.1~22、1991年
- 6) 本田技研工業株式会社広報部「二輪車安全運転教育用“ホンダ・ライディングシミュレータ”を交通教育センター鈴鹿に設置」Honda Press Information、1991年
- 7) 岩元貞雄「自動車のドライビングシミュレータについて(その2、VWのシミュレータ)」『自動車研究』第8巻、第10号、pp.417~426、1986年
- 8) 岩元貞雄「自動車のドライビングシミュレータについて(その1、VTIのシミュレータ)」『自動車研究』第8巻、第9号、pp.371~378、1986年
- 9) 岩元貞雄「ドライビングシミュレータについて」自動車技術会車両運動性能向上の基礎技術シンポジウム、No.1、pp.63~70、1989年
- 10) Nordmark, S. & others: A Moving Base Driving Simulator with Wide Angle Visual System, TRB Conference Session on "SIMULATION AND INSTRUMENTATION FOR THE 80s" 64th Annual Meeting, Transportation Research Board 14-18, January 1985, Washington, D.C.