

# ドライビングシミュレータに対するニーズ及び 先進的関連技術に関する調査研究

A Study on Needs and Advanced Technologies for a Driving Simulator

大島大輔\*・山田康右\*・竹之内 篤\*・山下浩行\*・中野公彦\*\*  
鈴木高宏\*\*\*・小野晋太郎\*\*・平沢隆之\*\*・洪性俊\*・杉町敏之\*\*  
鄭仁成\*\*・須田義大\*\*・大口敬\*\*・堀口良太\*\*\*\*・白石智良\*\*\*\*  
Daisuke OSHIMA, Kousuke YAMADA, Atsushi TAKENOUCI, Hiroyuki YAMASHITA, Kimihiko NAKANO  
Takahiro SUZUKI, Shintaro ONO, Takayuki HIRASAWA, Sungjoon HONG, Toshiyuki SUGIMACHI  
Rencheng ZHENG, Yoshihiro SUDA, Takashi OGUCHI, Ryota Horiguchi and Tomoyoshi SHIRAISHI

## 要 旨

近年、運転支援、さらには自動運転など、従来は人間が行ってきた運転動作に深く介入する技術の開発が求められており、その中でドライビングシミュレータが担う役割はますます大きくなることが予想される。本研究では、関係機関へのヒアリングや文献調査等により、ドライビングシミュレータの今後の活用ニーズや、関連する先進的技術について調査を行った。また、その結果をもとに、ドライビングシミュレータに必要な新たな機能開発のロードマップを作成した。

## Abstract

Development of technologies to intervene deeply in driving operation such as driver assistance technologies and automated driving technologies are required in recent years. It is expected that the roles of a driving simulator become greater in such situation. This study was conducted to investigate the future needs of the driving simulator and the advanced technologies related to the driving simulator by literature surveys and interviews with relevant organizations. Furthermore, a roadmap of new feature development for the driving simulator was created based on the results.

## 1. はじめに

運転支援、さらには自動運転など、従来は人間が行ってきた運転動作に深く介入する技術の開発が求められている。さらに、スマートシティなどという言葉に代表されるように、都市づくりと自動車・モビリティを一体化した開発も進められている。自動車からの運転への介入に対して人がどのように影響を受けるか、また、インフラに対して人間がどのように反応するかなど、ヒューマンファクタを考慮した技術開発が必要不可欠となっている。従来は、実道をフィールドとした実車を用いた交通社会実験等によってこれらのことを調べてきたが、多くの労力、時間を必要とし、近隣住民の日常生活に支障を与える影響も無視でき

ない。そのため、効率的に社会実験等を行い、ヒューマンファクタを考慮した技術開発を促進することが求められている。

運転支援等の技術がより一般的になれば、ドライビングシミュレータ（以下、DS）の市場は国内外で拡大されていくことが想定される。また、自動車のダイナミクスを精緻に再現できるとともに、運転だけではなく、運転支援の評価、運転者への情報提示方法の検討、自動車以外の交通モードの再現など、交通社会実験を模擬できる機能を併せ持つ「次世代 DS」は、単なるハードウェアとしてだけではなく、汎用的評価手法として、運転支援、自動運転、また、スマートシティ開発において、安全設計等を評価するサービスとしての産業に発展する可能性を持っている。

そこで、本調査研究では、そのような交通社会実験を模擬する機能を併せ持つ次世代 DS の実現に向けたニーズ調査や、関連する先進的技術に関する調査を行った。また、これにより、近い将来に開発が求められる DS の姿を明らかにし、新産業育成にもつながる次世代 DS 開発のロード

\*パシフィックコンサルタンツ株式会社

\*\*東京大学生産技術研究所 次世代モビリティ研究センター (ITS センター)

\*\*\*東北大学 未来科学技術共同研究センター

\*\*\*\*株式会社アイ・トランスポート・ラボ

マップ案を作成した。

なお、本調査研究は、経済産業省の「平成 25 年度グリーン自動車技術調査研究事業（ドライビングシミュレータに対するニーズ及び先進的関連技術に関する調査）」で実施されたものである。

## 2. 調査研究の方法

本調査研究は、先進的自動車開発や、モビリティの観点からの地域開発における次世代 DS 活用のニーズを調査した「DS で模擬する交通社会実験に対するニーズ調査」と、以下 (1) ~ (5) に示す DS に関連する先進的技術動向等について調査した「DS に関連する先進的技術調査」で構成されており、関連する文献調査や自動車メーカ、自動車部品サプライヤ、研究機関等の関係者へのヒアリングを通じて調査を行った。ヒアリング対象機関とヒアリング項目を表 1 に示す。

- (1) 広範囲な交通流における乗用車や大型車、自転車、歩行者等を DS で再現する技術
- (2) 信号情報の車載器による受信等、路車間通信等を DS で再現可能な技術
- (3) 道路標識や交通信号等のインフラを、広範な交通流において再現可能な技術
- (4) 実画像を活用した CG 作成等、実交通環境をより効率的に再現する技術および可能性
- (5) その他 DS による安全運転の評価方法

表 1 ヒアリング対象機関及びヒアリング対象項目

ヒアリング対象機関 分類	ヒアリング対象項目					
	ニーズ	技術動向				
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
自動車メーカ	○	○	○	○	○	
自動車部品サプライヤ	○	○	○	○	○	
ナビメーカ	○	○	○	○	○	
ドライビングシミュレータメーカ	○	○	○	○	○	
ドライビングシミュレータ要素技術 関連会社（航測会社）	—	—	—	—	○	
研究機関・大学	○	○	○	○	○	
行政機関	○	—	—	—	—	
公共交通事業者	○	—	—	—	—	

## 3. ドライビングシミュレータで模擬する交通社会実験に対するニーズ調査の結果

### 3-1 ドライビングシミュレータの利用事例

DS の利用事例としては、ドライバへの情報提供、危険事象発生時の警告、自動ブレーキシステムなどの運転支援系システムに対するドライバの反応評価に用いられた事例が多く見られた。また、例えば、運転支援系システム開発工程における企画段階の検討のように安全面への配慮によ

り、DS 実験が必須の手法として組み込まれている事例もあった。さらに、教習所での二輪車教習や、公共交通事業者における運転士訓練に活用されている事例もみられた。

DS 実験時に取得するデータとしては、ドライバ操作や、加速度などの物理量は、ログデータとして基本的に取得されている場合が多く、実験の目的に応じて、ドライバの視線行動、心拍数、筋電などといった生体信号や、ドライバが危険を認知してから操作を開始するまでの反応時間などが取得されていることが判った。また、ドライバのフィードバックなどの主観的な要素の取得も行われている。但し、ドライバの生体信号については、取得したデータと、被験者の運転行動の関連付けにおいて未解明な部分が存在することや、取得したデータから特徴的な傾向が抽出できないケースがあるなど、取得したデータの分析方法に課題が残っていることが判った。

以下に具体的意見をいくつか記す。

自動運転系、予防安全系システムについては、安全上の観点から、基本的に実車での評価は「仕様どおりに動作するか?」「本来意図しない場面での動作は?」等の確認が目的であり、テストドライバでしか行わない。実機を作成する前の企画段階の検討は、DS でしか実施できない。事故のマイクロ解析、システムの効果評価等において、一般ドライバの主観や運転行動に関する確認は、一般被験者による DS 実験で評価している。(自動車メーカ)

自動運転関連技術開発において、手動から自動への切り替え時、システム故障時のドライバ反応の評価に DS を用いている。また、緊急時の警告（例えば飛び出し）の出し方について、DS で基礎データを収集している。(研究機関)

### 3-2 ドライビングシミュレータの利用価値

今回の調査結果を踏まえると、DS を利用する価値として、大きく以下の 2 点が重要であると考えられる。

#### ① 技術開発の効率化

DS は、実車試験を補完する位置付けとして活用されており、実車試験の前に DS 実験を行うことで、実車試験の実施ケース（選択肢）を絞り込むことができ、製品の開発コストの削減や、開発期間の短縮などにつながり、技術開発の効率化に寄与していると考えられる。

<具体的な意見の例>

テストコースでできないテストは、まずは DS を使ってテストすることになる。特に技術の初期段階に DS 活用のニーズがある。DS を使ってあたりを付けるという使い方になる。(自動車メーカ)

#### ② DS でしか評価できないシナリオ

DS の利用価値として、実車実験では、複雑な条件設定や、繰り返し同条件で実験を行いたい場合の再現性、天候などのコンディションの統制が難しいのに対し、DS であれば、これら実験条件の統制が容易かつ確実にできることが挙げ

られる。また、危険事象に対する対策技術などの評価においては、実車実験では安全性確保の面から実施が難しい場合があり、DS でなくては実施できない場合がある。更に、例えば現在の自動車交通の中に自動運転車両が混在した場合の評価や、前例のない技術の導入において、その結果としてどのような事象が発生するかの予測がつかない場合などの評価を、実車を用いて行うことは難しく、DS を用いないと評価できないシナリオがある。

＜具体的な意見の例＞

DS の重要なメリットとして、シナリオで完全に同一なシーンを作りこみ、多数の被験者に対して体験させることができる点がある。車両が2台以上介在するシーンになると、実車で完全に同一な場面を作るのは不可能である。(自動車メーカー)

安全運転支援システムの評価に用いたい。実走行試験は危険が伴うことや、完全に統制された条件の下での試験が困難であることから、DS により実走行試験を代替したいと考えている。(行政機関)

### 3-3 ドライビングシミュレータが抱える課題

DS を活用して様々な評価を実施している中で認識されている主な課題として、大きく以下の3点が挙げられた。

#### ①評価方法の標準化

実際の運転挙動のDSによる再現性及びDSによる評価結果の信頼性の向上が課題であることから、DSを用いた評価技術の開発やノウハウ蓄積の必要性を指摘する意見とともに、評価結果の信頼性を担保するための、DSを用いた標準的な評価方法や評価基準の策定を求める声が多く聞かれた。また、DSに対して、評価対象に応じた評価ツールとしての「お墨付き(保証)」を与える仕組みも、DSの活用促進において有効であると考えられる。

＜具体的な意見の例＞

DSにおける現実の再現性、またDSの評価結果が現実の再現として説明力を持つかが課題である。DSによる評価の信頼性を担保するための評価基準が必要である。また、評価したい対象に応じて、「このDSは、〇〇〇〇の評価に使える」といった、評価ツールとしてのお墨付き(保証)を与える仕組み等も必要ではないか。(研究機関)

#### ②シミュレータの実環境再現性の問題と、それに伴うシミュレータ酔い

実際の車両の挙動と、DSで再現される車両挙動の差異、また、投影される映像とモーションの同期のずれ等のシミュレータの実環境の再現性に問題が残されており、一般被験者にいかに普段の運転環境と同等と思わせるかが課題である。また、シミュレータと実運転環境の差異が原因と考えられるシミュレータ酔いを患う被験者がおり、そのような被験者に対しては、長時間運転する実験や、ブレーキを多用する(加減速が多発する)実験が実施できないなど、

これにより実験シナリオが制約を受ける場合がある。

現時点で考えられる解決策としては、DSのモーションの精度をより精緻化し、実際の車両挙動に近づける、投影映像の画質を向上させる、映像の表示レートを上げる等による再現性の向上が考えられる。但し、これらDSによる実世界の再現性の精度向上を追求すれば、その分コスト増加やシミュレータ規模の増大につながるため、DSの利用目的を踏まえながら、投資判断が必要になると考えられる。

＜具体的な意見の例＞

視環境については、特に大きな課題である。現行の映像技術は、人間の目の解像度に及んでいない。CGの解像度の問題、立体感(距離感)の問題、プロジェクタの更新周波数の問題がある。また、輝度の再現、光と影の再現の問題もある。(自動車メーカー)

DSを用いた評価実施において、路面状態の再現性が課題であると認識している。DS上のパラメータで調整しているが、DSで再現した路面状態が、現実の路面状態をどれだけの精度で再現できているかが見えない部分がある。(自動車部品サプライヤ)

#### ③シナリオ作成、カスタマイズ等に掛かる負担

DSのカスタマイズ、シナリオ作成に掛かる負担が大きく、これが縮減されれば、DSの活用がより促進されると考えられる。その解決策として、4章で述べる「実画像を活用したCG作成等、実交通環境をより効率的に再現する技術」の開発が期待される。また、DSのシナリオ作成に利用可能な道路環境データベースの整備も望まれている。

＜具体的な意見の例＞

DSで評価するために、データの精緻化や設定等といったDSの作り込みや更新に要する労力・時間があまり大きくなってしまうと、実車試験に要する労力・時間と天秤にかけ、実車でやってしまった方が良いという結論になる点に留意が必要である。(自動車部品サプライヤ)

### 3-4 今後のドライビングシミュレータの利用意向、期待など

DSによる評価は、技術開発工程の中に組み込まれており、DSの活用は今後も必須であると考えている機関もあった。また、運転支援から自動運転へと向かう現在の自動車技術開発のトレンドの中で、自動車の交通行動におけるドライバとシステムのそれぞれが担う割合が変わりつつある。既存の車両が、それら最新技術を搭載した車両にすぐに置き換わることはなく、しばらくは新旧の車両が混在した状況になることが予想され、そのような混在状況の中で、ドライバからシステムへの権限移譲時の検討、人間が介在する場面の評価など、DSが活用される機会は、今後ひろがる可能性が十分にあると考えられる。

但し、DSによる実環境再現性の高度化や、DSの高機能化を追求すれば、それに伴ってDSにかかるコストの増加

や、DS 自体の大規模化につながる事が予想される。従って、各機関のリソース制約の問題から、DS の活用範囲を明確にしたうえで、その目的に沿って DS への投資が行われていくと予想され、各機関による個別の DS 開発では限界がある可能性も考えられる。そこで、DS の共通プラットフォームを共同開発し、関係主体が共用できる仕組みを構築することで、DS 活用の拡大や、それに伴う関連技術開発の効率化・活性化につながる事が期待される。

#### 4. ドライビングシミュレータに関連する先進的技術調査結果

##### 4-1 広範な交通流における乗用車や大型車、自転車、歩行者等をドライビングシミュレータで再現する技術

DS 上で自転車や歩行者を扱った評価事例はあるが、設定されたシナリオに従って動作するものであり、自律した行動モデルを持ちインタラクティブに行動するものにはなっていない。歩行者モデルやマルチエージェントシミュレーションに関する研究<sup>1)2)</sup>は様々行われており、これらを活用して、現実に近い歩行者挙動や、歩行者と自動車間の相互作用を DS 上でも再現できるようになる事が期待される。

但し、現況再現に関する知見の蓄積が少ないため、モデルパラメータのチューニングが困難になる可能性がある等の課題があると考えられる。また、都市レベル等の広範囲な道路交通の再現にあたっては、演算処理負荷が過大となる問題もある。

##### 4-2 信号情報の車載器による受信等、路車間通信等をドライビングシミュレータで再現可能な技術

DS 上で路車間通信や車載器からドライバへの情報提供などを取り扱った評価事例<sup>3)</sup>はあるものの、現状では、シミュレータ内での車両の位置や時間情報に基づき、予めシナリオで設定された情報を提供することで、模擬的に路車間通信を再現しており、リアルタイムなセンサ検知情報や信号情報等と連動した路車間通信自体を論理的・物理的に DS 上で模擬することまでは行われていない。複数クライアントでの車車間通信などを再現することは、開発工数をかければ技術的には実現可能であるとみられる。

##### 4-3 道路標識や交通信号等のインフラを、広範な交通流において再現可能な技術

信号交差点等における自車周辺車両の挙動については、詳細な行動モデルが DS に組み込まれた事例はみられなかった。マイクロ交通シミュレーションモデルと DS を連携させることで、交通信号制御に対応した車両の挙動をより精度高く再現することが考えられ、接続された実績もあった。マイクロ交通シミュレーションと DS の接続にあたっては、計算周期の違いの問題があり、それを補完する技術が必要である。

##### 4-4 実画像を活用した CG 作成等、実交通環境をより効率的に再現する技術、及び可能性

点群データの取り込みや、ベースとなるシェイプ作成までは自動化されているが、そこから 3D ポリゴンの作成等には手作業が必要である。また、道路基盤地図情報を利用して、道路部分の三次元モデルをほぼ自動的に構築し、DS のシナリオ作成を省力化した事例<sup>4)</sup>がみられた。しかし、線種など道路基盤地図情報に含まれない情報については、手作業が必要になるなど、DS 上での高精細な再現に必要な属性情報を、データが十分に具備していない場合が多いといった課題が残されている。

更に、市販の CG 作成ソフトウェアを利用して作成した CG 画像と実画像を合成することで、効率的に臨場感の高い DS シナリオを作成することが可能であることを確認した (図 1)。但し、DS シナリオ作成における実測映像の活用には、昼夜などの照明条件の変更や、他車両の追加などの汎用的な利用を実現できないことが課題としてある。

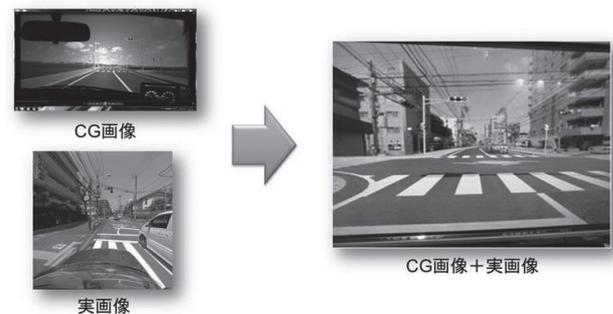


図 1 都内の一般道を対象とした実画像合成の例

##### 4-5 ドライビングシミュレータによる安全運転の評価方法

「追突注意」路面標示、ダブル区画線、高視認性区画線、「信号機あり」標識のような注意喚起対策、交差点コンパクト化、および右折専用車線の設置といった安全対策が行われた交差点の対策実施前後の実測データと、同環境下での DS 実験の結果を、ブレーキ操作回数や右折時ギャップ時間などの評価項目をもとに比較し、DS での安全評価方法の有効性を検証した事例<sup>5)</sup>がみられた (図 2)。

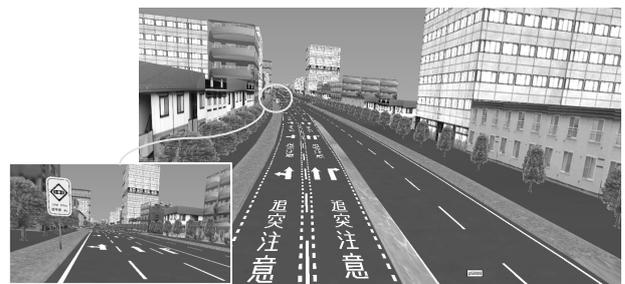


図 2 安全対策案を施した DS シナリオ

DS による安全運転の評価を行っている文献調査の結果、速度、加速度、車間距離 (TTC などを含む) などの自動車運動から評価しているものが 8 件、ブレーキ踏量、ステアリング角度などの操作量から評価しているものが 2 件、ドライバーの生体信号から評価しているものが 2 件あった。しかし、DS 実験の結果から安全性を評価する方法は、現時点では確立されたものはないと考えられる。また、DS 実験によりドライバーの生体信号等を取得することは可能であるが、運転行動との関連付けが未解明な部分があり、分析方法が確立されていないといった課題がある。

### 5. ま と め

DS の課題の一つである現実の交通環境の再現性や臨場感の向上に資する「広範な交通流における乗用車や大型車、自転車、歩行者等を DS で再現する技術」や、「道路標識や交通信号等のインフラを、広範な交通流において再現可能な技術」、シナリオ作成の効率化にもつながる「実画像を活用した CG 作成等、実交通環境をより効率的に再現する技術」へのニーズがあり、要素技術の研究開発も進められているため、DS 上への実装も見据えた更なる取り組み

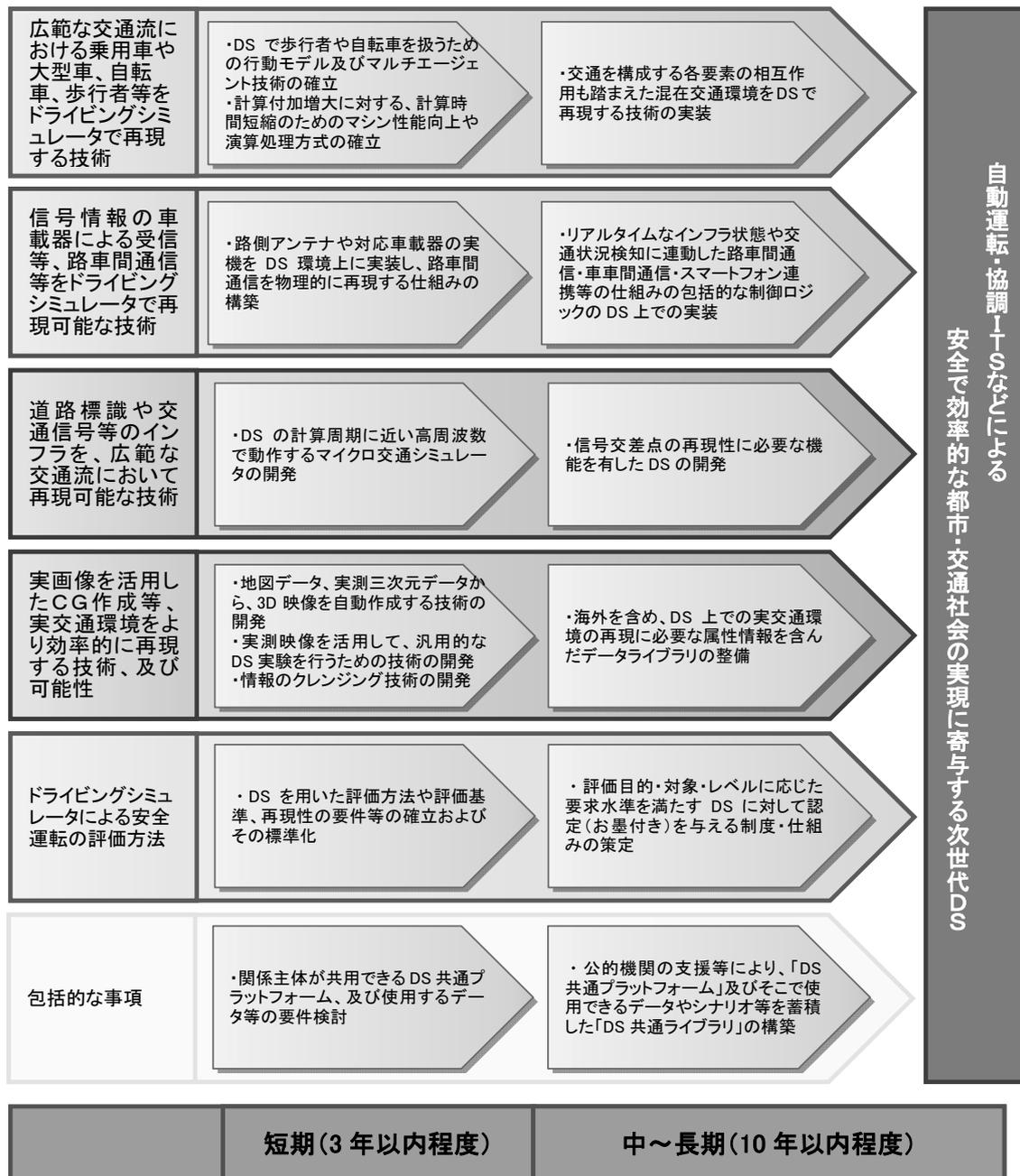


図 3 次世代 DS に必要な機能開発のロードマップ案

が望まれる。また、自動運転の推進、次世代の協調 ITS に関する研究開発における DS 活用に向けて、「信号情報の車載器による受信等、路車間通信等を DS で再現可能な技術」として、路車間通信・車車間通信・スマートフォン連携等の仕組みにおける包括的な制御ロジックの DS 上での実装も求められている。これらが実現されれば、EV 等の新モビリティを含む車両側と、充電施設・通信設備等のインフラとの協調を考慮した様々な施策評価等への DS の活用も期待される。

安全分野は DS を活用している重要な分野の一つであり、例えば予防安全系システムの評価などは、DS 実験でしか評価できない技術である。また、運転支援から自動運転への移行において、自動運転の中で人間が介在する場面の評価に DS 活用が期待されている一方、その評価方法が確立されていないという課題を抱えている。そこで、「DS による安全運転の評価方法」など、DS による評価結果に対する信頼性や再現性を担保するための評価方法や評価基準、再現性の要件等の確立、及びその標準化に対するニーズは非常に大きく、評価目的・対象・レベルに応じた要求水準を満たす DS に対して、認定（お墨付き）を与える制度・仕組みの策定も、DS の活用促進において有効であると考えられる。

更に、運転支援技術の高度化や自動運転技術等に対応するための、DS の更なる開発の必要性や、DS 活用機会の増加の可能性がある一方で、現状では、各分野・各企業が個別に DS を開発・利用しており、DS に係るリソース制約の問題がある。そこで、分野間・企業間で共通的なニーズのある評価等に使える「DS 共通プラットフォーム」、及びそこで使用できるデータやシナリオ等を蓄積した「DS 共通ライブラリ」を、官民の関係主体で共同開発し、関係主体が共用できる仕組みを構築することが有効であると考えられる。それらが実現されれば、DS の活用機会の拡大につながり、その結果として関連技術開発の効率化や活性化が期待される。

以上の調査結果にもとづき、次世代 DS の開発において必要と考えられる各機能について、技術開発のロードマップ案を図 3 の通り検討した。

自動運転・協調 ITS などの導入による安全で効率的な交通社会の実現に向けて、多様な技術を組み合わせて現実の道路交通環境や運転環境、さらに自動運転・予防安全を含む運転支援システム等を再現することが可能な次世代 DS が担うべき役割や必要性は、今後より一層大きくなるものと予想される。そのため、産官学の緊密な連携により、次世代 DS 及びその関連技術の開発や利用環境・制度等の整備を推進することで、DS の活用を促進し、技術開発の効率化・活性化を支援することが求められている。そうした取り組みは、我が国の自動車関連技術のイノベーションを促進し、関連産業の国際競争力の強化に資するものと期待される。

(2015 年 1 月 8 日受理)

#### 参 考 文 献

- 1) 浅野美帆, 桑原雅夫: 先読み行動を考慮した歩行者交通流シミュレーション, 生産研究, Vol.59, No.3, 2007.5
- 2) 藤井秀樹, 吉村忍: 知的マルチエージェント交通流シミュレータ MATES の開発第三報: 多階層歩行者モデルの開発と歩車混合交通シミュレーション, 日本シミュレーション学会論文誌 Vol.3, No.3, 2011.9
- 3) 児島亨, 波多野忠, 廣瀬敏也, 田中信壽: 車車間通信を利用した安全運転支援システムの位置精度がドライバーの違和感・受容性等へ与える影響について, 自動車技術会論文集 Vol.43, No.3, 2011.11
- 4) 鄭仁成, 小野晋太郎, 洪性俊, 中野公彦, 山邊茂之, 平沢隆之, 牧野浩志, 須田義大, 池内克史, 大口敬: 道路基盤地図情報を利用したドライビングシミュレータによる道路交通安全対策の事前評価, 第 11 回 ITS シンポジウム, 2012.12.
- 5) 鄭仁成, 洪性俊, 小野晋太郎, 平沢隆之, 中野公彦, 大口敬, 池内克史, 須田義大, 鈴木優, 勘角俊介: 道路基盤地図情報を活用した交通安全対策の評価手法に関する研究, 第 30 回日本道路会議, 2013