

平成26年度

内閣府委託事業

交通事故死傷者低減の国家目標達成に向けた
調査・検討における詳細効果見積もりのための
シミュレーション技術に係る調査検討
報告書

平成27年2月

一般財団法人 日本自動車研究所

目次

第1章 調査の背景と目的	- 1 -
1.1 調査の背景	- 1 -
1.1.1 日本の交通事故の現状	- 1 -
1.1.2 予防安全システム開発の現状	- 1 -
1.2 調査の目的	- 3 -
1.3 実施項目	- 3 -
第2章 ドライバモデルを用いたマルチエージェント型 シミュレーションの調査と具備すべき要件の調査	- 4 -
2.1 現存するマルチエージェント型シミュレーションの特徴の調査と検討候補の立案	- 4 -
2.1.1 交通シミュレーションの分類	- 5 -
2.1.2 各シミュレータの概略	- 9 -
2.1.3 シミュレータの特徴の比較	- 18 -
2.1.4 比較結果のまとめと検討候補の立案	- 30 -
2.2 必要なドライバモデルとその要件の調査	- 31 -
2.2.1 対象とする事故類型の選定	- 31 -
2.2.2 事故類型別に必要なドライバのモデル化の調査	- 33 -
2.2.3 まとめ	- 44 -
2.3 交通事故死傷者低減以外への適用可能性の調査	- 45 -
2.3.1 対策の概略と計算規模	- 46 -
2.3.2 各シミュレータの適用可能性の検討	- 49 -
2.3.3 まとめ	- 50 -
2.4 ミクロ・マクロシミュレーションに必要な具備すべき要件の調査	- 51 -
第3章 シミュレーション装置開発のための企画書	- 53 -
3.1 シミュレータの基本構造とその構成要素	- 53 -
3.1.1 シミュレータの基本構造	- 54 -
3.1.2 ドライバ	- 55 -
3.1.3 車両	- 62 -
3.1.4 歩行者／自転車	- 64 -
3.1.5 交通環境	- 66 -
3.1.6 支援システム（自動走行システムを含む）	- 67 -
3.2 その他の要求機能	- 70 -
3.2.1 使用用途	- 70 -
3.2.2 使用用途に合わせた要求機能	- 70 -
3.3 まとめ	- 71 -

第4章 シミュレーション装置の仕様策定	- 73 -
4.1. 企画書の主な要求事項	- 73 -
4.2. シミュレーション装置の概要	- 74 -
4.2.1. 特定の事故場面に特化した支援システムの有効性評価	- 74 -
4.2.2. 小規模な交通環境での交通環境再現シミュレーション	- 75 -
4.2.3. 大規模な交通環境での事故発生確率、環境負荷の評価	- 76 -
4.3. システム構成	- 77 -
4.3.1. 道路構造エディタ	- 77 -
4.3.2. シミュレータモジュール	- 77 -
4.3.3. シミュレータ GUI	- 78 -
4.3.4. 傷害評価モジュール	- 78 -
4.4. シミュレータモジュール	- 79 -
4.4.1. シミュレータモジュールの構成	- 79 -
4.4.2. シミュレータモジュールの処理フロー	- 83 -
4.4.3. ドライバエージェント	- 87 -
4.4.4. 支援システムエージェント	- 92 -
4.4.5. 車両オブジェクト	- 95 -
4.4.6. 歩行者エージェント	- 97 -
4.4.7. ログ出力モジュール	- 98 -
4.5. 事故場面模擬シミュレーション	- 99 -
4.5.1. 追突事故場面模擬シミュレーション	- 99 -
4.5.2. 歩行者横断中事故場面模擬シミュレーション	- 102 -
4.5.3. 車線逸脱事故場面模擬シミュレーション	- 105 -
4.6. 道路構造エディタ	- 108 -
4.6.1. 道路構造エディタの概要	- 109 -
4.6.2. 道路モデル	- 109 -
4.7. 傷害評価モジュール	- 110 -
4.7.1. 傷害評価モジュールの構成および概要	- 110 -
4.7.2. 事故ログファイル	- 112 -
4.8. シミュレーション装置における処理効率化の工夫	- 113 -
4.8.1. 加速シミュレーションの処理効率化	- 115 -
4.8.2. 道路領域分割による並列化	- 116 -
第5章 まとめ	- 117 -
5.1 調査結果のまとめ	- 117 -
5.2 今後の課題	- 117 -
参考文献・引用文献	- 119 -

付録A1 シミュレーション装置の仕様策定補足資料	- 124 -
付録A1.1 ドライバの知覚に関する特性パラメータ一覧	- 124 -
付録A1.2 ドライバの認知に関する特性パラメータ一覧	- 125 -
付録A1.3 ドライバの前後方向判断ルールにおける対象一覧	- 126 -
付録A1.4 ドライバの横方向ルール	- 132 -
A1.4.1 車線変更ルール	- 132 -
A1.4.2 横方向ルールにおける判断対象一覧	- 134 -
付録A1.5 ドライバの操作およびその他の特性パラメータ一覧	- 135 -
付録A1.6 支援システムの作動条件	- 137 -
付録A1.7 車両モデルモジュールのパラメータ一覧	- 140 -
付録A1.8 事故場面模擬シミュレーションでの結果ログ	- 141 -
付録A2 略語・用語の一覧	- 144 -

第1章 調査の背景と目的

1.1 調査の背景

1.1.1 日本の交通事故の現状

日本における交通事故死傷者数は、近年減少傾向にあるが、依然として高い水準にある（図1.1-1参照）。今後、世界一安全な交通環境を目指し、さらなる事故死傷者数の低減を図る方策として、近年車両に搭載されてきている予防安全システム、路車間通信や歩車間通信などのITS技術を活用した安全運転支援システム、さらにはそれらの複数システムが融合した結果として実現すると考えられる自動走行システムに期待が集まっている。これらのシステムの普及を促す上では、事前に各種システムの事故低減効果を見積もり、普及に対する優先順位や費用対効果を加味し合理的に進める必要がある。

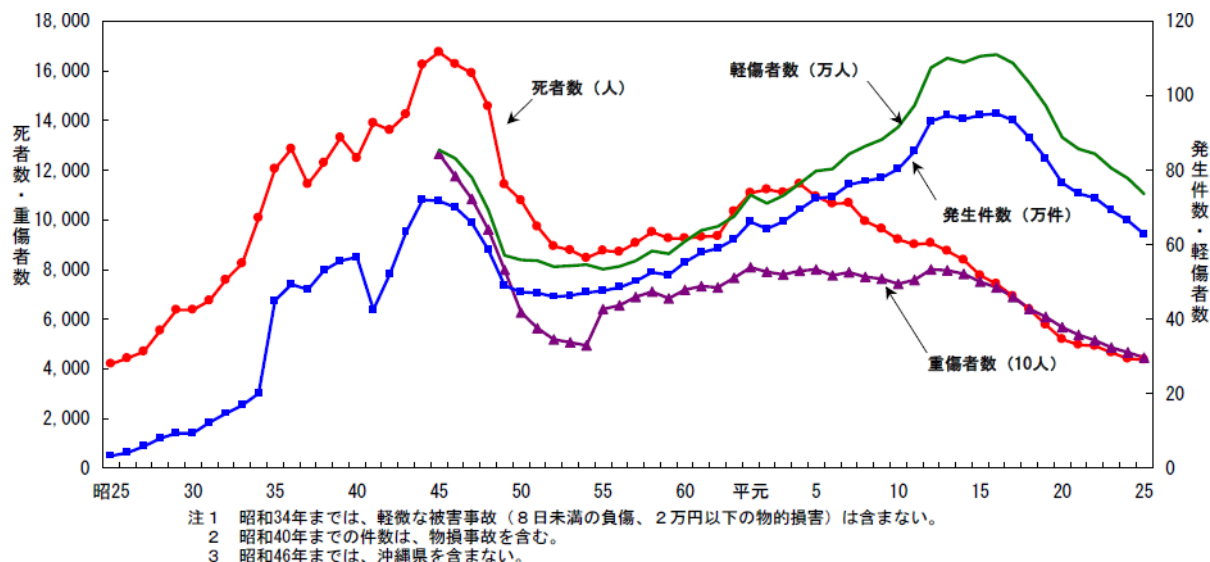


図1.1-1 交通事故の発生状況の推移
(引用：平成25年中の交通事故の発生状況¹⁾)

1.1.2 予防安全システム開発の現状

予防安全システムの一般的な開発サイクルを図1.1-2に示す。予防安全システムを開発・改良する上では、同図のようにプロセスを回しながら進めていく必要ことが重要となる。その際、予防安全システムの効果評価を行う方法としては、「9.市場実績確認」の段階で予防安全技術を実際に導入し、その前後での事故低減効果を比較検証することが最も基本的な方法である。しかしながら、一般に予防安全システムが普及し始めてから統計データにその効果が反映されるまでには10年単位の年月がかかるといわれており、時間がかかる上に評価をリアルタイムに開発サイクルに反映させることができないといった課題も挙げられる。

予防安全システムの開発を効率的かつ効果的に行うための方法の一つとして、予防安全評価シミュレーションの活用が考えられる。シミュレーション内で、現実の交通環境そのもの、または、それに相当する環境を構築することが可能となれば、図1.1-3に示すようにシステムの有無に基づく事故低減効果はもとより、システムの普及度合いによる事故低減効果も事前に精度よく予測し、優先順位や費用対効果を加味し合理的に進めることが可能と考えられる。

予防安全システムは、主としてドライバへの警報提示や、緊急時にドライバに代わりブレーキを踏むものなどドライバの機能拡大や行動変容を促すものである。従って予防安全システムを評価するシミュレータにおいては、ドライバの運転行動特性を示すドライバモデルが非常に重要な要素となる。

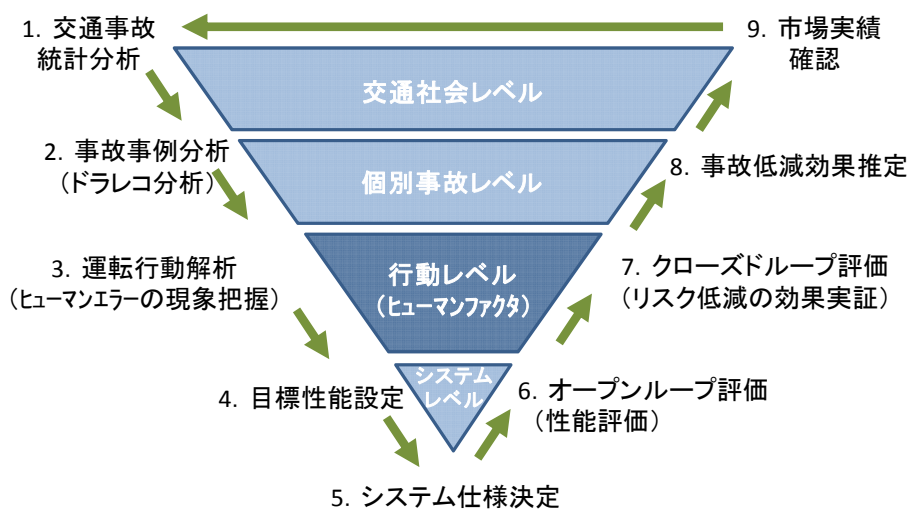


図1.1-2 予防安全システムの開発プロセス

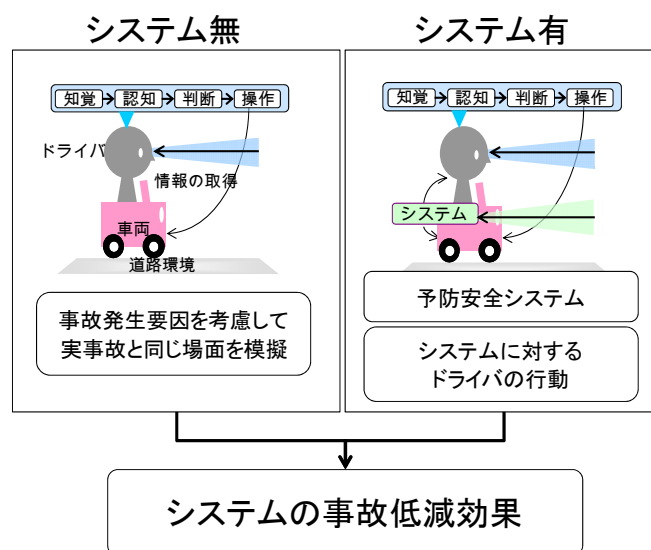


図1.1-3 シミュレータを活用したシステムの事故低減効果イメージ
(村野らの文献²⁾に基づき作成)

1.2 調査の目的

交通事故死傷者低減の国家目標達成に向けて、2014年に、戦略的イノベーション創造プログラム(cross-ministerial Strategic Innovation promotion Program : SIP)において、「自動走行システムの開発」の研究開発計画が策定され、今後自動走行システムに向けて様々な研究開発が進むと考えられる。一方、それぞれの研究開発がどの程度国家目標に貢献できるのか、現時点では定量的な見積もりが困難な状況であり、効果を詳細に見積もることが可能な解析手法の開発が急務となっている。

以上の背景を踏まえて、本調査研究の目的を以下の通り設定する。

- ドライバの運転／行動パターンを一般化したドライバモデルを用いたシミュレーション技術に着目し、交通事故死傷者低減の国家目標達成に資する自動走行システム関連の新技术を効率的かつ効果的に評価し、PDCA サイクルを確実に実施するうえで必要となる詳細効果を見積もるための手法を調査・検討し、平成27年度以降の着手を検討する「シミュレーション装置」の開発に資すること。

1.3 実施項目

調査目的を達成するために、本調査研究で実施する項目を以下に示す。

1. ドライバモデルを用いたマルチエージェント型シミュレーションの調査 (第2章)
2. シミュレーション装置の企画書作成 (第3章)
3. シミュレーション装置の仕様策定 (第4章)

第2章では、ドライバモデルを用いたマルチエージェント型シミュレーション技術の調査を行う。本調査研究では特に、知覚・認知・判断・操作の一連の行動を自律的に実施する主体(エージェント)を複数で相互作用させた結果として交通現象を表す「マルチエージェント型シミュレーション」に着目し、調査を行う。まず、現存する国内外のマルチエージェント型シミュレーション装置(シミュレータ)の調査を行い、参考とすべきシミュレータの候補を提案する。さらに、ドライバモデルを構築するために必要な要件や、シミュレータの拡張性を高めるために交通事故低減効果評価以外への適用可能性についても調査を行う。

調査結果を基に、第3章では、平成27年度以降に着手するシミュレーション装置に具備すべき機能・要件をまとめた企画書を作成する。そして第4章では、企画書にある機能・要件を実現するための仕様書策定を行う。

以下、実施項目別に調査結果を報告する。

第2章 ドライバモデルを用いたマルチエージェント型

シミュレーションの調査と具備すべき要件の調査

2.1 現存するマルチエージェント型シミュレーションの特徴の調査と検討候補の立案

本章では、交通シミュレーション（特に、現存するマルチエージェント型シミュレーション）に着目し、実現された機能やシミュレーション手法、モデル構造、ツールとしての拡張性等の観点から詳細を文献やヒアリングにより調査し、その特徴を整理する。整理した結果に基づき、開発するシミュレータの参考候補を選定する。

2.1.1 交通シミュレーションの分類

一般的な交通シミュレーションといえば、交通渋滞やCO₂排出量の推計を目的に開発されてきたものが多く、例えば国内ではAVENUEや、国外ではドイツのSUMOやスペインのAIMSUMなどがある。これらは交通流を再現するものであり、シミュレータの中で交通事故は基本的には発生しないものと考えられる。

一方、予防安全システムの評価を目的としたマルチエージェント型シミュレーションでは、予防安全システムの評価を行うために、シミュレータ上で事故を再現するよう設計がなされている。再現した事故に対して、予防安全システムの検討や施策の適用を行い、実交通環境で評価を行う前の検討（事前検討）を行うことを目的としている。ここで、シミュレータ上で事故の再現手法としては、村野ら²⁾は以下のように分類している。

- ・ 交差点など、あらゆるエリアにおける実交通流の再現を行い、そこで発生する事故を抽出するマクロ的な手法
- ・ 実事故発生場面のデータをもとに、各当事車両間の位置関係や速度を再現するミクロ的な手法

以下、本報告書では、前者を「交通環境再現型」、後者を「事故場面特化型」と呼ぶこととする。

(1) 交通環境再現型シミュレーション

交通環境再現型のシミュレーションにおいては、代表的な考え方として、柚原らのエージェントベースモデリングが挙げられる。エージェントベースモデリングでは、「ドライバ」「車両」「交通環境」の3つの要素におけるインタラクションを模擬することが重要と考えられている（図2.1-1）。これらのインタラクションの主な現象としては、以下の通りであり、複雑系で表現される必要がある。

- ・ ドライバは独自の意思決定のもとで車両を操作し、同時に各ドライバの間には強い相互作用が存在する
- ・ 交通状況は相互作用下の車両運動の結果として決まり、さらにドライバ間の相互作用に影響を与える
- ・ 以上のことから、各車両の将来の位置は、確率論的にしか予測することができない

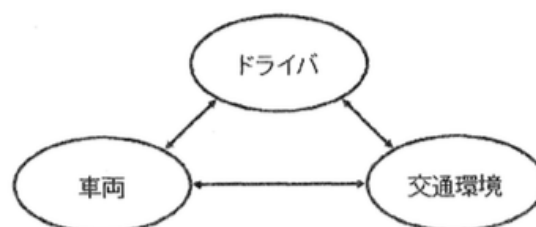


図2.1-1 車両・ドライバ・交通環境のインタラクション
(引用：柚原らの文献³⁾)

エージェントとは、図2.1-2に示すように、外界の環境から知覚した情報や自己の保持している記憶などを基に自律的に動作を行う主体のことである。マルチエージェント型シミュレーションは、図2.1-3に示すように、複数のエージェント間およびエージェントと環境との相互作用によって、交通状況が自発的に生成されるシミュレーションである。

交通環境再現型のシミュレーションの特徴としては、複数のエージェント間およびエージェントと環境との相互作用によって事故が偶発的または自然発生的に起こることから、事故場面やヒヤリハット場面における予防安全対策（ドライバへの警報提示や制御介入など）のみならず、事故に至る前の通常走行時における予防安全対策（事故多発地点情報の提供や注意喚起、道路環境対策の効果、環境負荷低減効果予測、自動運転技術の効果予測など）においても評価が可能なことである。

さらに再現する場面を縮小し、事故場面に特化した交通状況を再現することで、後述の事故場面特化型としても評価することができる。

主な交通環境再現型のシミュレーションとしては、トヨタ自動車（株）のASSTREET、交通安全環境研究所のASSESS、東京大学のMATESが挙げられる。

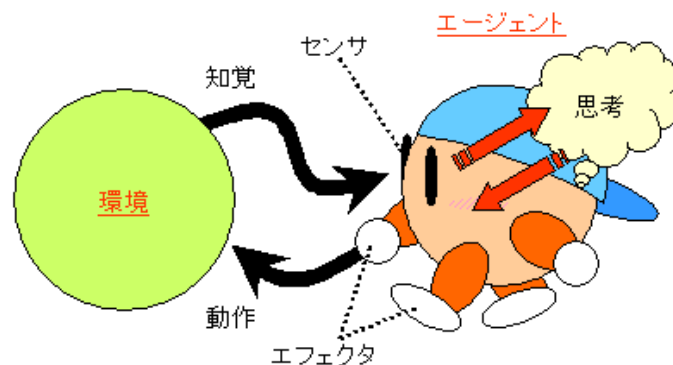


図2.1-2 エージェントの定義

(引用：吉村・藤井・山田研究室ウェブサイト⁵⁾)

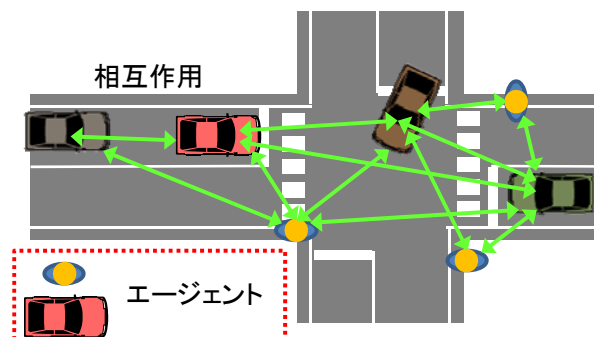


図2.1-3 マルチエージェントの定義

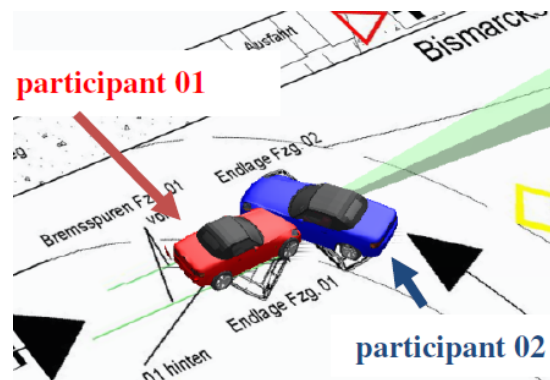
(2) 事故場面特化型シミュレーション

一方、事故場面特化型のシミュレーションにおいては、あらかじめ設定した事故場面における予防安全評価を主目的としているため、初期値を与えると自ずと結果が定まる決定論的なアプローチで検討することが一般的である。

事故場面特化型のシミュレーションの特徴としては、限定された場面でのみ評価を行うため、迅速にシミュレートすることができる。このことから、実際の事故場면을シミュレーション上に再現し、センサや制御ロジックの有効性やシステムとしての被害軽減度合いを様々な条件下で詳細に検証することが可能となる。主な事故場面特化型のシミュレーションとしては、TNO/TASSのPrescan⁶⁾、HONDAとDRIが開発したSIM for ACAT⁷⁾、ドイツのVUFO⁸⁾などが挙げられる（図2.1-4）。



(a) Prescan



(b) VUFO

図2.1-4 事故場面特化型シミュレーションの例
(引用：左：Boursらの文献⁶⁾、右：Erbsmehlの文献⁸⁾)

(3) 開発すべきシミュレータの方向性

図2.1-5に、交通シミュレーションを分類・整理した結果を示す。第1章で記述した目的を鑑みて、本研究で考慮すべきシミュレーションは、様々な状況での事故場면을再現することができ、かつ事故に至る前の施策の評価や自動運転による事故低減効果評価の検討も見込める、「交通環境再現型シミュレーション」が適していると考えられる。

次項では、交通環境再現型の主なシミュレータとして、ASTREET、ASSESS、MATESの3つについて特徴を整理し、本プロジェクトで構築するシミュレータのベースとすべき候補の選定を行う。なお、欧州でも自動運転技術の評価方法を研究するプロジェクト「AdaptiVe」があることから、AdaptiVeの評価方法およびシミュレータについても調査を行うことにした。

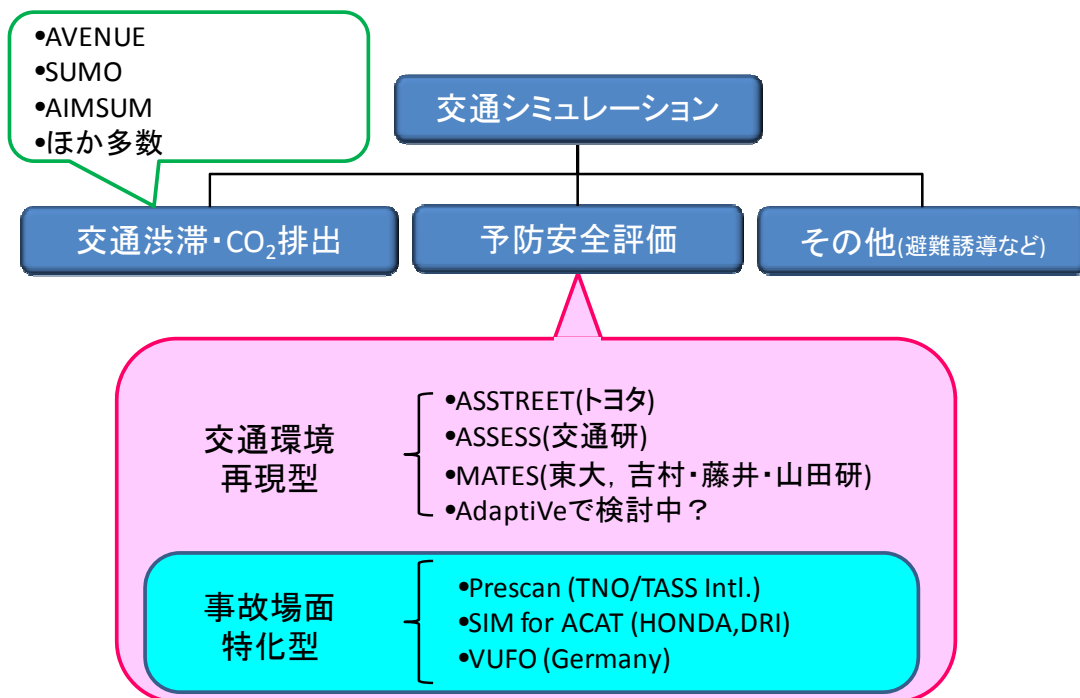


図2.1-5 交通シミュレーションの分類

(注：図では交通環境再現型が事故場面特化型を包含する関係にあるが、交通環境再現型の各シミュレータが事故場面特化型の機能を必ずしも有しているわけではない。)

2.1.2 各シミュレータの概略

(1) ASSTREET^{9)~27)}

トヨタ自動車（株）、（株）豊田中央研究所、（株）アストジェイの3社が開発しているASSTREET（Advanced Safety System & Traffic REaltime Evaluation Tool）は、ドライバエージェントの自律的な交通行動に基づく交通流シミュレーション、さらにシナリオ記述による指定された交通状況におけるシミュレーションを包括する予防安全システムの効果評価を行うツールである（図2.1-6）。

ドライバエージェントのモデル化は、知覚・認知・判断・操作部から構成されている。知覚部では主に視野範囲の設定、視覚背後の物体の情報取得の制約が模擬されており、ドライバが周囲の安全確認を行う首振りも模擬されている。認知部で知覚した物体に対して意味づけを行い、判断部では認知した物体に対して前後方向加速度や横方向の制御、車線変更のためのルールや安全確認行動再現のためのルールが実装されている（図2.1-7）。各対象物に対する判断ルールが実行された後、進行方向に対して最も制約の厳しい対象に適した操作行動が採用される（図2.1-8）。

本シミュレータでは、歩行者についてもドライバのように知覚・認知・判断・操作部の機能を持たせることで、歩行者側の事故要因も考慮できるようなエージェントとして開発されている。歩行者エージェントがドライバエージェントと異なる点としては、優先意識（車両は止まってくれるだろう）、信号無視（歩行者用信号が赤でも車両との安全を判断して横断）、横断歩道外の横断がある。これらの判断ルールを追加することで、歩行者エージェントを実現している。

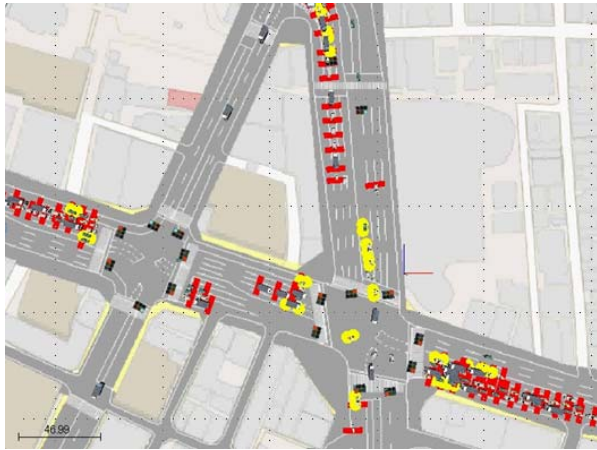
ASSTREETを活用した予防安全システムの効果評価としては、追突事故場面におけるPCS（警報、PBA、PB）の評価、歩行者横断場面におけるPCS（警報）、車線逸脱におけるLDWの効果評価が行われている。

また、実交通の再現性の検証として、マクロ的な交通流の再現とミクロ的な発生事故の再現を行っている。マクロ的な交通流の再現では、交差点での交通流率が実場面とほぼ等価であることを検討するために、各流出方向の単位時間当たりの交通量を比較、交差点通過時の車頭間隔時間分布、交差点直進通過時に要する時間、右折通過時の受け入れギャップ分布を算出し、観測値との比較を行っている。その結果、右折時の受け入れギャップ時間での比較で、実測値では5～6秒程度に対し、シミュレーション結果では8秒であり、若干安全側ではあるが十分に再現できたことを確認している。

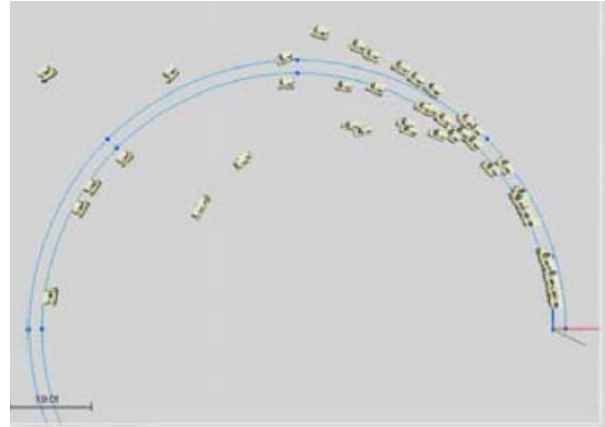
ミクロ的な発生事故の再現では、台数換算での事故発生確率を計算し比較検証を行っている。なお、比較検証用の交差点としては、過去5年間の事故調査結果に基づきその事故類型が統計的な分布に近い交差点を対象に比較検証を行っている。その結果、交差点形状の差異による事故形態別の事故発生件数について、結果の一意性およびロバスト性を一定の水準で再現できたことを確認している。

以上より、ASSTREETの特徴について概略をまとめると以下の通りである。

- マルチエージェント型のシミュレーションで、「ドライバ」「環境」「車両」「歩行者」で構成されている。交通流シミュレーション、さらにシナリオ記述による指定された交通状況におけるシミュレーションが可能なツールである。
- ドライバの運転行動を決定するための判断ツリーが詳細に設定されており、複数の車両が走行している状況も容易に再現が可能である。
- 予防安全システムの効果評価の実績としては、追突事故場面におけるPCS（警報、PBA、PB）、歩行者横断場面におけるPCS（警報）、車線逸脱におけるLDWがある。
- 検証方針として、マクロ的な交通流の再現性とミクロ的な発生事故の再現性の観点から、シミュレーションの妥当性を確認している。



(a) 交通流シミュレーション
(複数の交差点における交通流を模擬)



(b) シナリオ記述による指定された交通状況
の再現 (複数の車線逸脱場面を模擬)

図2.1-6 ASSTREETの動作イメージ

(引用：左：北岡らの文献¹¹⁾、右：Tanakaらの文献¹⁹⁾)

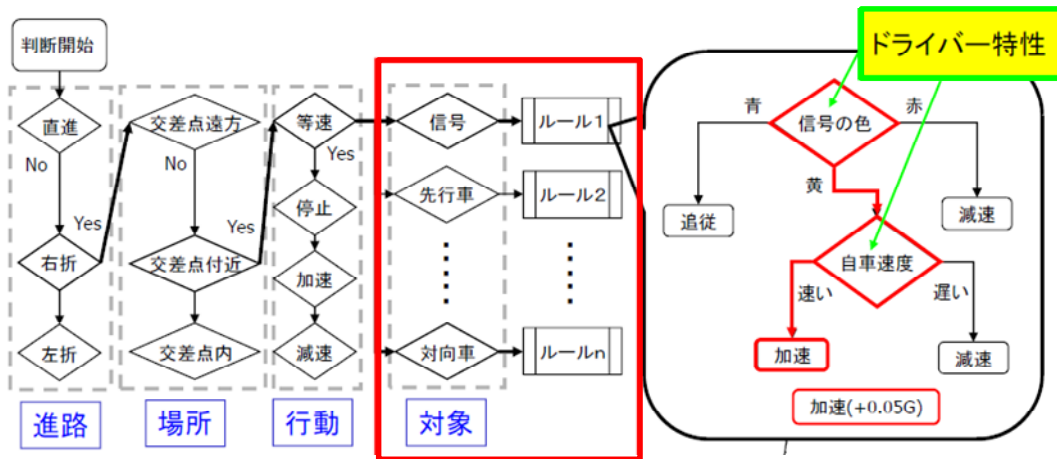


図2.1-7 ASSTREETにおける行動決定までの判断モデル

(引用：北岡らの文献¹¹⁾)

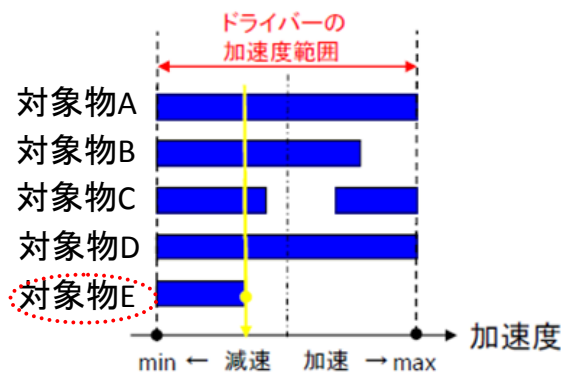


図2.1-8 ASSTREETにおける操作行動 (加減速度) 決定プロセス

(引用：北岡らの文献¹¹⁾)

(2) ASSESS^{28)~39)}

交通安全環境研究所が開発している予防安全シミュレーションのASSESS (A Survey Simulator to Evaluate Safety System) は、図2.1-9に示すように、計算機内に作り出した仮想空間の中に実際の交通環境と同等の環境を再現することを目指したマルチエージェント型のシミュレーションである。主な目的としては、ASSESS内において衝突やニアミスを実際の交通環境と同等に発生させ、それらの発生件数から効果評価を行うことである。

ASSESSの構成要素としては、以下の4つがある。

- ・ ドライバの運転行動を模擬する「ドライバ要素」
- ・ 車両の運動を模擬する「車両要素」
- ・ 交通環境を再現する「環境要素」
- ・ 歩行者の横断行動を模擬する「歩行者要素」

また、各エージェントのシミュレーション内での役割は以下の通りである。

- ドライバ要素： 認知／判断／操作を模擬し実行
(仮想空間に構築された交通環境を三次元的に認知し、その情報をもとに運転戦略を決定、決定された戦略に求められる運転操作を車両要素に出力する)
- 車両要素： ドライバ要素から入力される運転操作量をもとに最終的に車両の位置座標を算出
(実装されている車両要素は、前後方向への移動および前後輪における回転を考慮した等価二輪車モデル)
- 環境要素： 各エージェントの発生スケジュールとそれら個々に搭載されるドライバ要素および車両要素の特性の割り当て
(環境モデルによって割り当てられた特性に基づいて各エージェントの運転行動と車両性能が変化し、車両の挙動に個体差が生じる)
- 歩行者要素： 仮想空間内に出現する歩行者に対して横断判断アルゴリズムに基づいた横断を自律的に判断する

ASSESSの特徴としては、すでに3つの予防安全システムの効果評価実績 (BAS (Brake Assist System)、ADB (Adaptive Driving Beam)、通信利用型出会い頭衝突防止システム) が挙げられる。これらの予防安全システムにおいて、BASはドライバの操作動作の機能拡大を目的とした支援装置、ADBはドライバの認知機能の拡大を目的とした支援装置、通信利用型出会い頭衝突防止システムは認知・判断の機能拡大を目的とした装置と言え、ドライバの運転動作である認知／判断／操作すべての機能拡大を想定した効果評価実績がある。

さらにADBの評価では、歩行者の単路横断挙動について実験データを用いて検討し、歩行者の横断判断 (車両がADB使用時の横断判断も含む) についてもモデル化している。また前照灯による負の影響についても検討し、対向車の前照灯がドライバに生じさせるグレアが原因となって起きる歩行者の消失も考慮されているなど、各予防安全技術の導入に関して実験データを詳細に検討した上でシミュレーションでの効果評価につなげていること

が一番の特徴と言える。

シミュレーション自体の妥当性の検証としては、実交通環境での交差点における観測調査の結果と、同交差点形状をシミュレーションで再現した結果を比較することで行っている。具体的な評価指標は以下の通りである。これらの指標について、交差点での「直進」「右折」「左折」の3つの運転行動時の確率的な分布を比較し、交差点進入時および通過に関して実車両とシミュレーションとの間で危険率5%のWelchのt検定にて有意差検定を行った結果、有意な差が無いことを確認している。

- ・ 車両の交差点進入時の車頭間隔時間
- ・ 車両の交差点進入時の車両速度
- ・ 交差点を通過するのに要する時間（交差点通過時間）

以上より、ASSESSについて概略をまとめると以下の通りである。

- ・ マルチエージェント型のシミュレーションで「ドライバー」「環境」「車両」「歩行者」で構成されている。
- ・ 支援システムの実績としては、BAS、ADB、通信利用型出会い頭衝突防止システムの効果評価を行っており、多様な実績がある。
- ・ 支援システムの評価に際しては、実験データを重視して、データに基づいたシミュレーションを行っている。
- ・ 実交通環境での定点観測調査との比較を用いた検証も行われている。



図 2.1-9 ASSESS の動作イメージ

(引用：田中らの文献³⁰⁾)

(3) MATES^{40)~53)}

MATES (Multi-Agent-based Traffic and Environment Simulator) を開発した東京大学の吉村・藤井・山田研究室では、計算力学、知的情報処理、高速計算機を総合化して複雑系の大規模高精度シミュレーションを研究・開発している。MATESも複雑系大規模シミュレータ開発の一環として着手されており、渋滞解析だけでなく、安全性評価、環境影響評価、ITS導入効果予測など多方面での利用目的を想定した開発がなされている(図2.1-10)。

開発方針として、大規模性(広域都市圏を視野に交差点数100万超を目標)と精緻性(交通主体一つ一つの挙動を詳細に表現)の両立、さらに交通現象における複雑性として集団挙動と人間そのものの両方に起因する複雑性を表現することを目指している。シミュレーションでは、集団挙動に起因する複雑性の表現として「マルチエージェントモデルの採用(エージェント間の局所的な相互作用の積み重ねから大域的な現象の生成)」により、また人間そのものに起因する複雑性の表現として「エージェントの知的化(各エージェントの情報処理や協調行動、学習メカニズムの再現)」により検討している。

MATESにおける構成要素としては、図2.1-11に示すようにドライバ、車両、歩行者、環境などが挙げられるが、車両要素としての明確な定義づけはせずに、人間-自動車系要素として周辺の要素から取得した情報をもとに自律的に行動を起こすエージェントとして定義づけている。人間-自動車系要素については、自律的に運転を行うために最低限以下の知識・能力が必要としており、最適速度モデルや協調グラフを用いた協調行動モデルを用いて模擬している。

- ・ 交通規制に関する知識
- ・ 速度決定ルール
- ・ 車線変更の判断・実行ルール

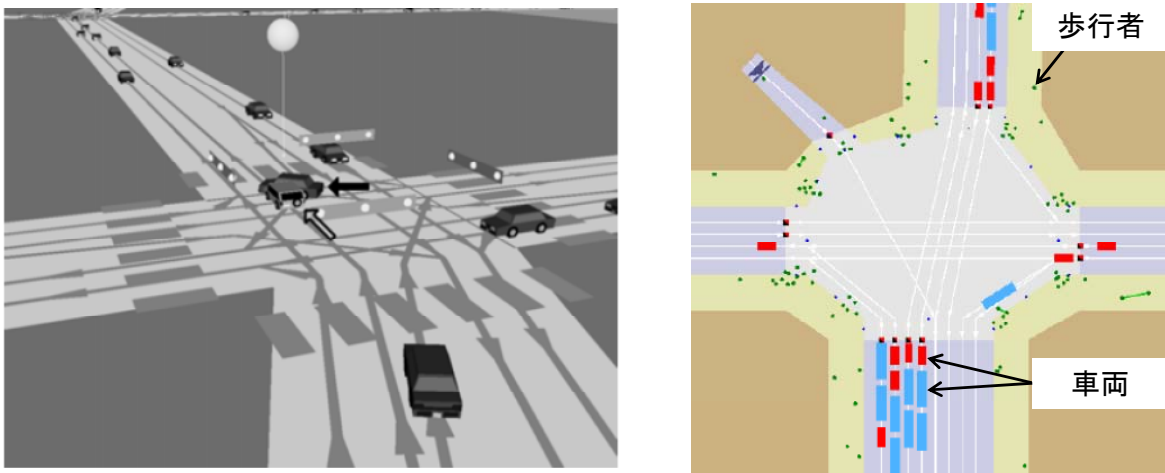
MATESの特徴としては、大規模なシミュレーション(交差点数100万超など)に対応するために、計算効率や高速化を見据えた並列計算への拡張を想定した設計になっており、さらにオープンソースで誰もが使用可能な形で公開されている点が挙げられる。また、ドライバの経路選択アルゴリズムについても詳細に検討されており、経路の長さや予想旅行時間、交差点での直進・右左折回数などの好みをエージェントに付与することで自律的に経路を選択する手法も取り入れている。

予防安全システムの評価実績としては、ITS技術の評価を行った実績があり、その他、渋滞解消評価や道路空間の再配分の効果検証、CO₂排出量の推定など予防安全システムの評価以外にも、多方面での実績がある。

シミュレーション自体の妥当性検証については、首都高速都心環状線内回り神田橋入口の合流部における観測結果とシミュレーションとの比較を行っている。合流前の流入時の平均速度を初期データとしてシミュレートし、合流後の流出時の平均速度と交通量について比較することで検証を行っている。検証の結果として、平均相対誤差11%ととなり、高い再現性が得られたと結論づけている。

以上より、MATESについて概略をまとめると以下の通りである。

- マルチエージェント型シミュレーションで、「人間-自動車系要素」「歩行者」「交通環境」で構成されている。
- 支援システムの効果評価実績としてはITS技術の評価のみであるが、渋滞解消評価や道路空間の再配分の効果検証、CO2排出量の推定など多方面での実績がある。
- 大規模な計算への対応が可能な設計仕様となっており、並列計算への拡張やドライバの自律的な経路選択アルゴリズムも導入している。
- ソフトウェアとして効率化や抽象化など十分に検討したうえで構築されており、オープンソースとして誰でも使用可能なシミュレータとして公開されている。

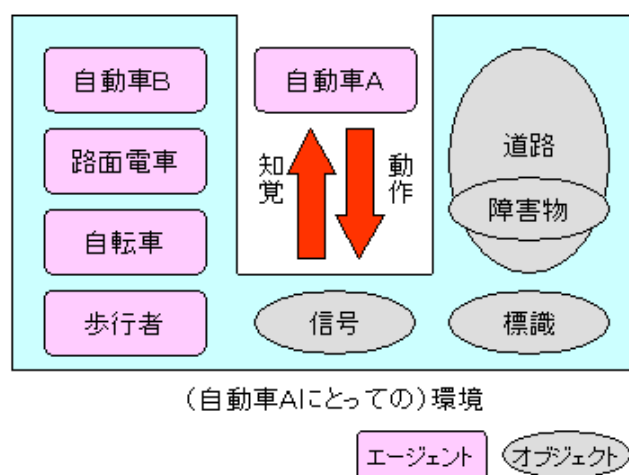


(a) 交通事故が発生した様子

(b) 歩行者と車両の混合交通の再現状況

図 2.1-10 MATES の動作イメージ

(引用：左：文屋らの文献⁴⁵⁾、右：藤井らの文献⁴⁹⁾)



(自動車AIにとっての)環境

エージェント オブジェクト

図 2.1-11 MATES で実装されているエージェントおよびオブジェクト

(引用：吉村・藤井・山田研究室ウェブサイト⁵⁾)

(4) 欧州の自動運転技術評価の枠組みとシミュレータ^{54)~59)}

自動運転技術の効果評価に関する取り組みは我が国だけでなく、米国、欧州でも既に始まっている。欧米の自動運転技術の効果評価への取り組み状況を把握するべく2014年11月17~18日に 国際連合大学（場所：東京）で開催された「第1回SIP-adus（Automated Driving for Universal Service）ワークショップ」に出席した。欧米との意見交換を通して主に「シミュレーションは効果検証の観点で有用」といった点で共通認識を明確にすることができた。

特に欧州では、欧州連合の第8次フレームワークプログラム（Horizon2020）のもと、2014年6月より欧州の自動車メーカーを中心とする自動運転技術開発プロジェクト「AdaptiVe」がスタートした。図2.1-12にAdaptiVeの研究体制を示す。同図に示すように、AdaptiVe は7つのサブプロジェクト（SP）から構成されており、SP7において「自動運転技術の効果評価方法構築（Evaluation framework for automated driving application）」のための研究が既に始まっている。

そこでAdaptiVeにおける効果評価の取り組みについて把握するべく、SP7を取りまとめているアーヘン工科大学車両研究所（IKA）に赴きヒアリング調査を実施した。その結果、自動運転技術の効果評価の対象場面として高速道路を優先的に実施する予定であることや、危険顕在化状況（Critical situation）を明らかにするための方法としてシミュレータを活用することおよび、シミュレータとしてはPELOPS（Program for the dEvelopment of Longitudinal micrOscopic traffic Processes in a Systemrelevant environment）を使用する予定であることなどがわかった。

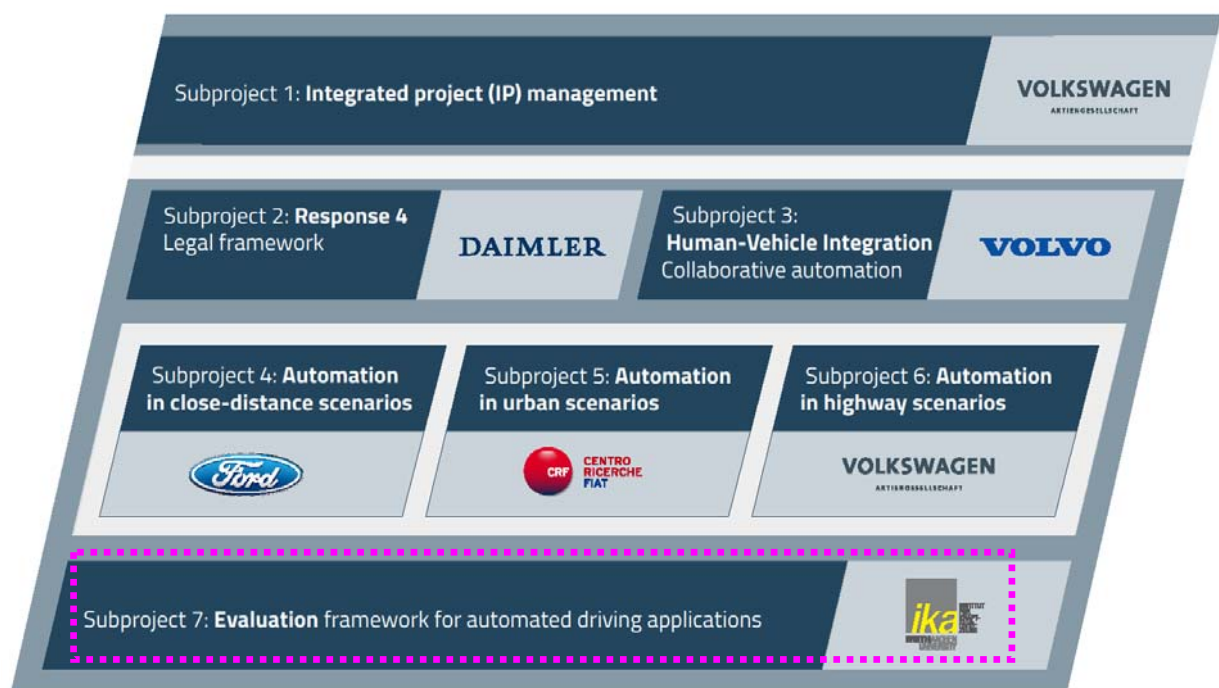


図2.1-12 AdaptiVeの構成
(引用：AdaptiVeウェブサイト⁵⁵⁾)

PELOPSの構造を図2.1-13に示す。全部でRoute module、Decision module、Handling module、Vehicle moduleの4つから構成されており、Decision module、Handling moduleがドライバの認知・判断・操作モデルに相当する。

先行車に対する車間距離 Δx や速度差 Δv 、自車速度から自身の選択すべき行動が決定され、必要な加減速度を決定する。選択できる行動モードとしては「uninfluenced driving」、「following」、「Approaching」、「breaking to avoid an accident」が備わっており、各行動モードに対し必要な加減速度、ギア選択、レーン変更の有無が決まる(図2.1-14)。なお、レーンチェンジ機構については、横方向の動力学的な挙動は計算せず、単純に正弦曲線に沿って移動を行う。

PELOPSの具体的な活用方法としては、高速道路走行におけるACC導入による渋滞の低減や燃料消費量への影響検討に活用されている。一方、ドライバのエラーに関してはモデル化されていないことから、PELOPSは基本的には交通流を再現するシミュレータであると考えられる。

引き続きAdaptiVeの研究動向に注視する必要があると考えるが、現状では、本調査研究の目的とする交通事故再現シミュレータに直接的に関連はしないと判断し、以降のシミュレータの比較対象には含めないことにする。

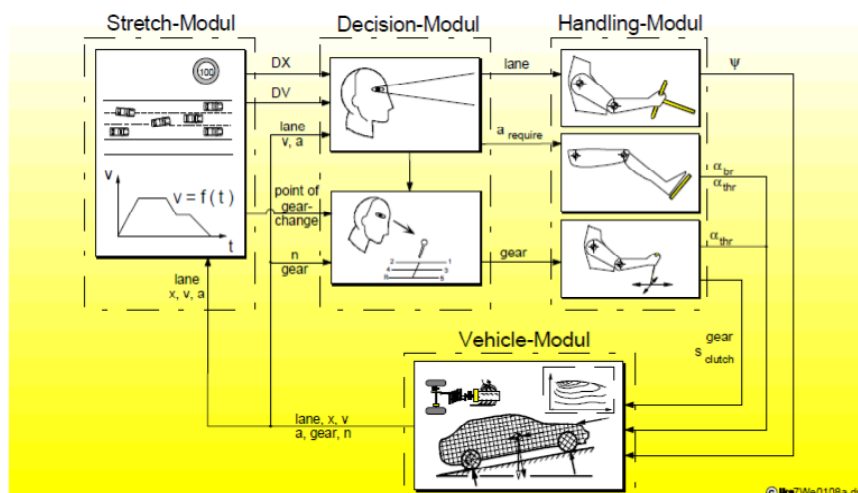


図2.1-13 PELOPSの構造
(引用：Neunzigらの文献⁵⁶⁾)

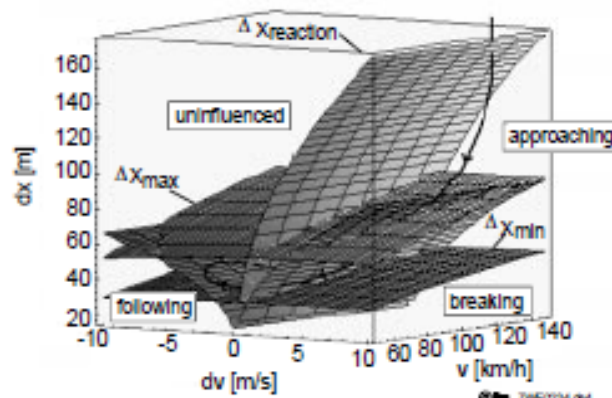


図2.1-14 PELOPSの行動モードの閾値
(引用：Neunzigらの文献⁵⁶⁾)

2.1.3 シミュレータの特徴の比較

前項では、各シミュレーションの特徴について概要を記したが、各シミュレーションともにドライバ・車両・環境・歩行者といった要素で構成されており、個々の要素がエージェントやオブジェクトとしてシミュレータ上に模擬されている。これら要素の機能について、個々のシミュレーションでの模擬方法に着目して、比較検討を行う。

(1) ドライバ要素の比較

ドライバ要素の機能の模擬として、ドライバの一連の運転行動（知覚・認知、判断、操作）をそれぞれモデル化することが重要である。以下、それぞれのシミュレーションにおける模擬方法について比較を行う。

a. 知覚・認知

【ASSTREET】

首振り動作に代表される能動的視認行動と注視行動に代表される受動的視認行動によりドライバの首振り行動（視線移動）をモデル化し、ブラインドなどの三次元的な位置関係を考慮した上で、ドライバの認知対象を決定している。さらに短期的な記憶モデルを導入することで、視線が移動した後も一定時間は認知を保持するようなモデルとなっている。また、これらはすべて実際の実験結果に基づく結果である。

【ASSESS】

図2.1-15に示すようなドライバの視認特性に合わせた視野制限フィルタや、首振り動作のモデル化を検討している。首振り動作については、交差点横断時に限定した実験データをもとに、交差点通過時に行われる首振りプロセスを定型化（正面→右端→右端停留→左端→・・・）してモデル化している。視野角度については固定（45度）とし、首の振り幅は60度としている。

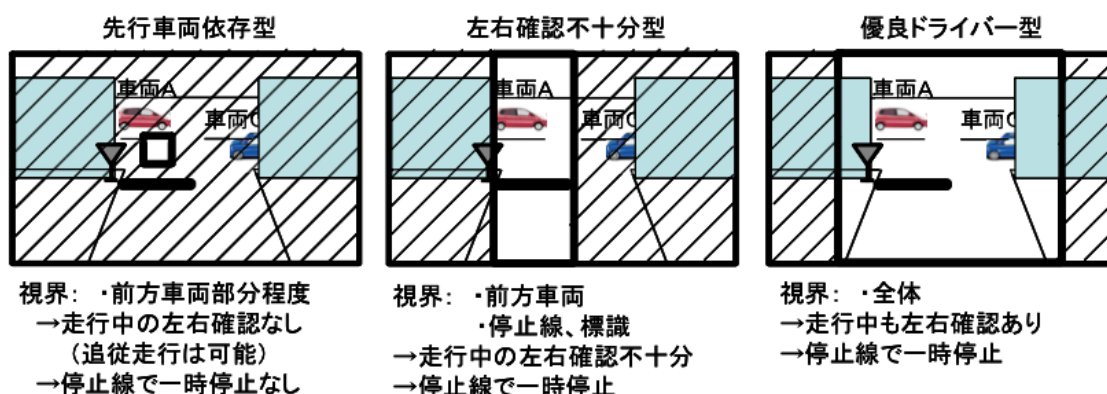


図2.1-15 ASSESSに実装されている認知フィルタ

（引用：塚田らの文献³¹⁾）

【MATES】

受動的視点移動と能動的視点移動を考慮している。能動的視点移動では、画面中央に80%、ルームミラーに10%、サイドミラーに各5%と決めて確率的に視点を移動するモデルとしている。また、受動的視点移動では運転席から見える風景を計算機上で再現し(図2.1-16(a))、その視覚情報から状況判断を行うモデルを構築している。具体的には、図2.1-16(b)、図2.1-17のように周辺視野(100度)を4分割し、各領域ごとに認知対象物を探索する。そして、最も大きな対象物に向けて注視点を移動し、一定時間認知を行った上で認知完了とするモデルとなっている。加えて、認知完了後一定時間は認知対象物の記憶を保持するような構造となっている。

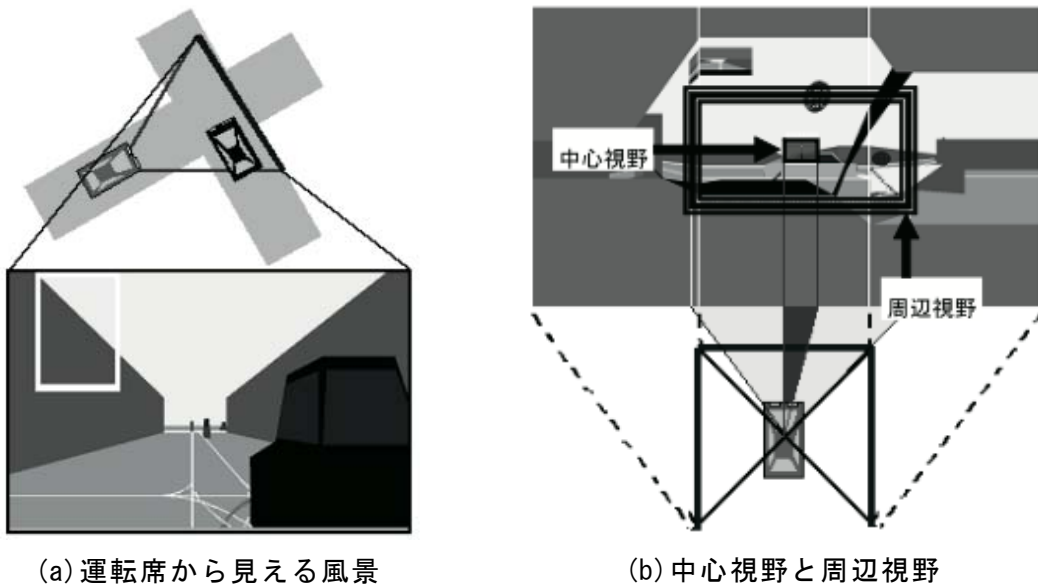


図2.1-16 MATESに実装されている認知機能

(引用：藤井らの文献⁴³⁾)

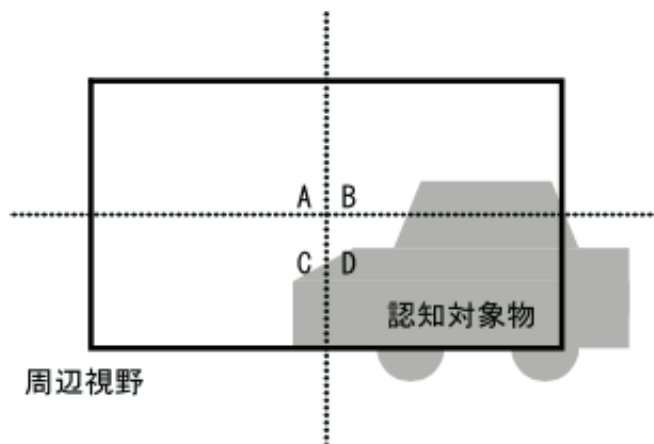


図2.1-17 MATESに実装されている周辺視野の分割方法

(引用：藤井らの文献⁴³⁾)

b. 判断

【ASSTREET】

図2.1-7に示したように、if-thenルールで記述された判断用のイベントツリーを用いて判断を時々刻々行っている。ある時間での「進路」「場所」「行動」から知覚された情報から認知すべき対象の選択とそれに対する判断ルールを設定し、行動を決定するモデルとなっている。

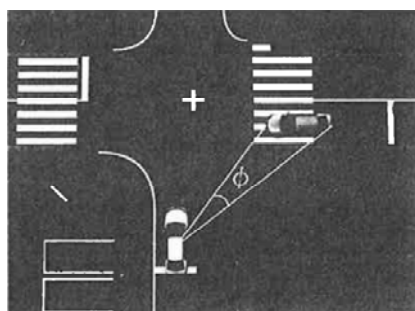
判断ルールの具体的な出力としては必要加減速度であり、認知した対象物に対して個別に必要な加減速度を算出し、最小加速度（最大減速度）を伴う行動を選定する構造となっている。また、加減速度以外の行動（追い抜きや車線変更）についても適宜判断して行動できるような構造となっている。交差点、単路、車線変更、合流などの多様な状況におけるルールが詳細に記載されており、汎用性、拡張性の高いモデルと言える。

【ASSESS】

判断モデルとして特別なモデルを使って模擬しているわけではなく、認知した対象に対する行動を様々な数式で模擬している。具体的には、対向車や先行車との相対位置関係から、ブレーキタイミングやブレーキペダル踏力を導出する数式を作成し、これらはすべて実験データをベースに個別に構築している。一例として、図2.1-18にブレーキタイミング決定のための判別式を示す。

$$Y = a \times \left(\frac{1}{\phi} \right) \frac{d\phi}{dt} + b$$

$$Y = e \times iTTC + f$$



(a) 上段：交差点での判別式

(b) 交差点におけるφの定義

下段：追従・右左折時の判別式

図2.1-18 ASSESSに実装されているブレーキタイミング決定のための判別式

*φ: 交差車両の側面をドライバ視点からみた場合に車両全長が占める角度幅[°]

**iTTC: TTC (Time to collision) の逆数、*a, b, e, f*: 係数

(引用：田中の文献²⁸⁾)

【MATES】

希望の加減速度を決定する追従モデルの一つであるGeneralized Force Modelを用いて算出することでドライバの加減速行動を模擬している。加減速度の決定には、ドライバの周辺の各要素に対する加減速度候補をすべて算出し、最小の加速度（最大の減速度）を採用するモデルとなっている。

c. 操作

【ASSTREET】

判断部のルールに基づき車両の操作モードを図2.1-19に示す7パターンから選択している。前後方向（アクセル／ブレーキ操作）と横方向（ハンドル操作）の操作挙動が両方ともモデル化されている。前後方向については、判断モデルから出力された加減速度を積分することで前後方向操作量としている。一方、横方向については車線内の中心に目標コースが設定されており、目標コースに対する予測される将来位置の差をゼロにしようと操舵制御を行う前方注視モデルを採用している。横方向の操作挙動を前方注視モデルで模擬することによって、脇見による車線逸脱などを模擬することが可能となっている。

Driving mode	Vehicle motion model
Acceleration	Preview model
Deceleration	Preview model
Constant speed	Constant acceleration model (0 m/s ²)
Engine braking	Constant acceleration model (-0.25 m/s ²)
Creep	Constant acceleration model (0.5 m/s ²)
Stopping	Constant acceleration model (0 m/s ²)
Following	Optimal velocity model

図2.1-19 ASSTREETに用意されている車両操作モード
(引用：Iwaseらの文献²⁰⁾)

【ASSESS、MATES】

ASSESSおよびMATESでは、前後方向（アクセル／ブレーキ操作）のみモデル化されており、ドライバ要素から出力される加速度を動的に積分することで前後方向操作量としている。ASSESSやMATESにおける右左折行動は、ASSTREETのような目標コースへの追従結果ではなく、軌道上を走行することで実現されている。

(2) 車両要素の比較

車両要素では主に、ドライバモデルで決定した操作量に基づき、タイヤの発生する力や車体の動的な運動を計算する。ESCなど車両の運動挙動を変容させるようなシステムを評価する場合には特に重要な要素と考えられるため、各シミュレータに採用されている車両要素の比較を行う。

【ASSTREET】

ASSTREETでは、前後方向、横方向の両方の運動が考慮されている。前後方向の荷重移動および横方向の力の釣り合いを考慮した等価二輪モデルを採用し、交差点内における内輪差、高速道路におけるダイナミクスを考慮するために、車両はヨー運動と横滑り角も考慮する。等価二輪モデルとは、図2.1-20に示すように、前輪と後輪の左右の違いは無視できると仮定し、各々2倍の性能を持つ1輪の作用で車両が運動すると考えるモデルである。

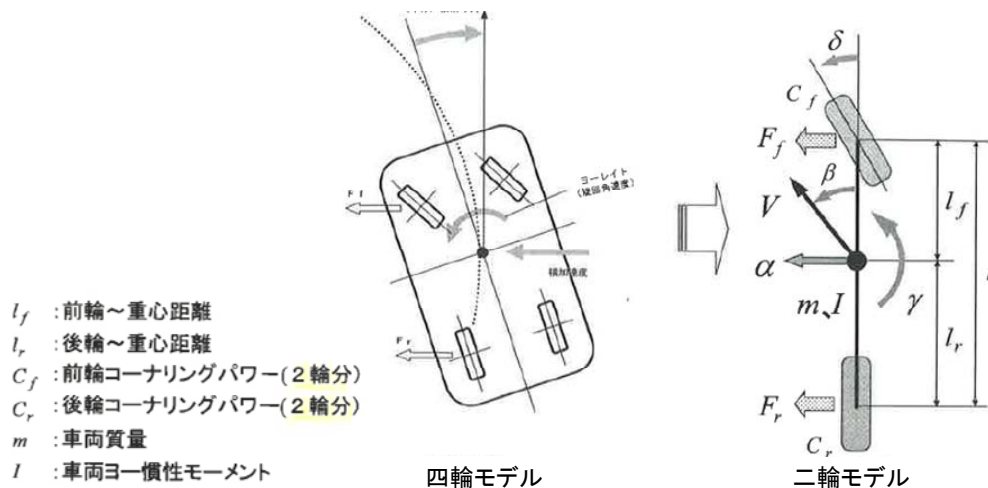


図2.1-20 一般的な等価二輪モデル
(引用：菅沢の文献⁷²⁾)

【ASSESS】

ASSESSでは、前後方向のみの運動が考慮されている。等価二輪モデルを用いている点はASSTREETと同様であるが、ASSESSでは前後の荷重移動やタイヤのスリップも考慮に入れて計算を行っている（図2.1-21）。

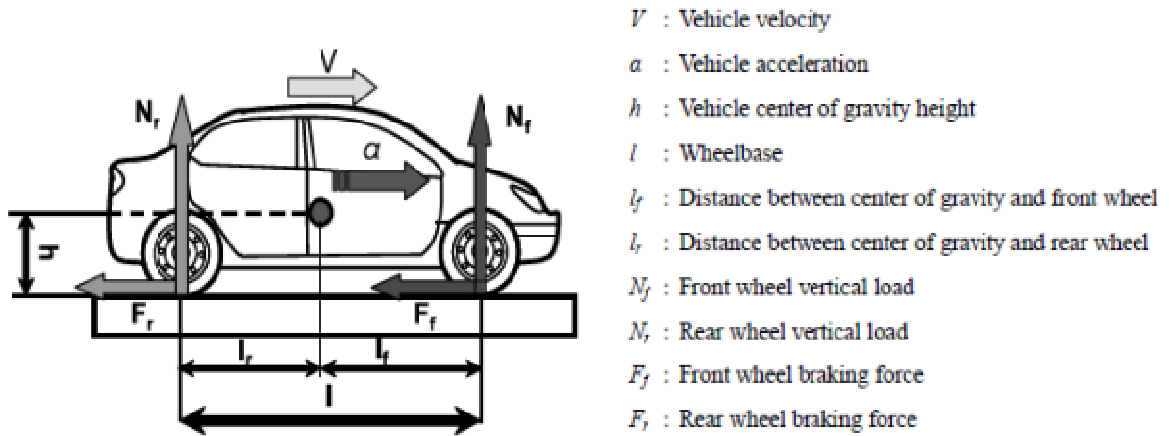


図2.1-21 ASSESSの車両モデル

(引用：Tanakaらの文献³⁰⁾)

【MATES】

MATESでは、ASSESS同様に前後方向のみ運動を考慮している。ただし、ASSTREETとASSESSとは異なり、車両のダイナミクスなどは考慮せずに、操作部で決定するドライバから出力される希望加減速度を積分計算することで速度や位置を求めている。

(3) 環境要素の比較

交通環境については、各シミュレーションでそれぞれ目的に応じた環境オブジェクトを構築しているため、ここでは主に実際に適用されたシミュレーションの計算規模について比較する。

【ASSTREET】

道路モデルは「Way point (点)」と「Path (線)」とPathの連なりである「Rail (車線)」というデータ構造で、交差点は「Node」というデータ構造で模擬されている。規模としては、複数の交差点 (2~3程度) でのシミュレート実績がある。(局所~広域レベル)

その他にも、ASSTREETとドライビングシミュレータ (DS) とを接続することで、ASSTREET上でのDS実験のシナリオ開発を目的とした広域市街地の再現を行っている。また、DS上にてASSTREETで構築したドライバモデルの検証を行うなど、相互活用できるように設計されている。

【ASSESS】

ADBの評価において単路での歩行者横断や、通信利用型安全支援システム評価において単一の交差点でのシミュレート実績がある。(局所レベル)

【MATES】

道路環境の定義方法としては、階層構造になっている。経路探索に用いるための階層として、単路 (リンク) やノード (交差点) が定義されているグラフ構造があり、道路構造内の走行予定車線の決定に用いるための階層として、仮想走行レーン (リンク) が定義されているグラフ構造、さらに、車両が運動する空間としての階層として、1次元連続空間で模擬された構造がある。規模としては、岡山市や柏市の環境を再現したシミュレート実績がある。(大域レベル)

(4) 歩行者要素の比較

歩行者事故をシミュレータで扱うためには、歩行者要素についても考慮する必要がある。以下では、各シミュレータにおいて歩行者のモデル化の方法を比較する。

【ASSTREET】

歩行者についてもドライバと同様に、認知／判断／行動がモデル化されている。歩行者挙動の再現としては、歩行位置、歩行状況、認識対象の組み合わせにより行動ルールを設定したモデルとなっている。ドライバモデルと同様に、歩行者モデルについても、信号無視や車両の歩行者に対する右折ギャップなど基本的な動作を実際の観測データを用いて検証している。認知、判断、挙動の各モデルについては以下の通りである。

- 認知について：

認知対象物としては次のようなものを考慮している。：歩行者信号、前方歩行者、左側横断直進車、左側横断右折車、左側横断左折車、右側横断直進車、右側横断左折車、右側横断右折車、対向右折車、対向左折車、並走右折車、並走左折車、車両用信号

- 判断について：

個人の身体能力、意識水準に基づき、認識ごとの行動目標を決定する。行動目標は「walk、run、stop、follow、back」の5つから決定されるような判断モデルを用いている。判断モデルは、「認識対象物の状態」、「自分の状態」、「個人特性」を用いて次のステップの行動モードを判断するツリー構造のモデルとなっている。なお、個人の特性としては「法令遵守傾向」「身体能力」「意識水準」の3種類についてそれぞれ3段階で分類し、歩行者特性に応じた行動を選択できるような構造となっている。

- 挙動について：

判断部で決定された行動モードに基づき、希望歩行速度を決定する。年齢に対する歩行・小走りの速度の関係を仮定して適用している。行動モードにおける、followでは先行歩行者に対して最小パーソナルスペース（他の歩行者や車両が入ると不快に感じる距離）を保って速度制御をするモデルとなっており、backでは歩行向きを180度回転しrunと同じ速度で歩行するモデルとなっている。

【ASSESS】

歩行者の横断判断と歩行速度について、実験データをもとにモデル化している。具体的には、車両の接近状況を認知し、道路を横断するタイミングを判断するモデルとなっており、実車両を用いた実験結果から横断判断の判別式を導出している。

歩行者の横断判断のモデルでは、歩行者の横断方向と車両のヘッドランプの状況（ロー／ハイ）別にモデル化しており、接近車両を認知した際にその車速をもとに自身が横断を判断する距離を接近車両の前照灯の状態と走行車線と歩行者の位置関係に合わせて横断判断の判別式より求め、歩車間距離がこの距離よりも短い場合には横断をあきらめる判断を行うモデルとなっている。

【MATES】

歩行者の挙動については、**Social force model**を用いてモデル化されており、目的地点からの引力と障害物や他の歩行者からの斥力を受け、その合力により移動方向や移動速度を決定するモデルとなっている。単独の歩行者のみならず、図2.1-22に示すように、歩行者行列エージェントや歩行者集団エージェントなども構築しており、さらに歩行者の経路選択についてもモデル化されている。

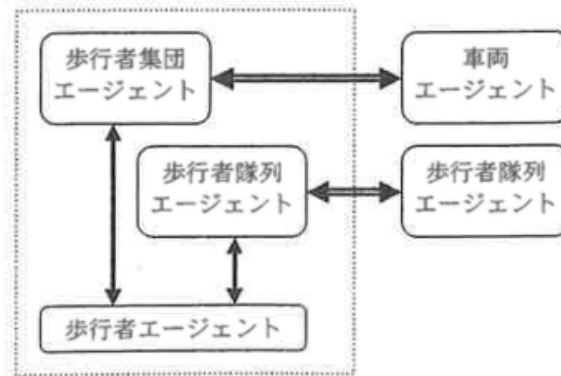


図2.1-22 マルチレベル歩行者モデル
(引用：藤井らの文献⁴⁸⁾)

(5) 支援システムの実装方法の比較

各シミュレータにおける支援システムの実装方法を比較する。

【ASTREET】

システムに対するドライバの応答行動モデルについては、DSなどの実験により求めたものをドライバ要素に組み込むことで実現している。なお、システムの制御ロジックについては、ASSTREETの環境情報(先行車や歩行者など)をMATLAB/Simulinkで構築したセンサーアルゴリズムに渡すことで計算し、センサーの認知結果などをASSTREETの車両要素に出力するような機能も実現している。

【ASSESS】

ドライバ要素のパラメータや操作部分を変更することで支援システムを実現している。BAの組み込み方を一例として示すと、車両の減速状況を詳細に検討するために、ドライバのペダル踏力から制動トルクを算出するプロセスでBAの機能を実現している。BA作動タイミング時に、ドライバのブレーキペダル踏力に対する制動トルクの回帰式(BA非作動時の特性)を、BAが作動した際に計測された際の回帰式(BA作動時の特性)に置き換えるような構造としている(図2.1-23)。

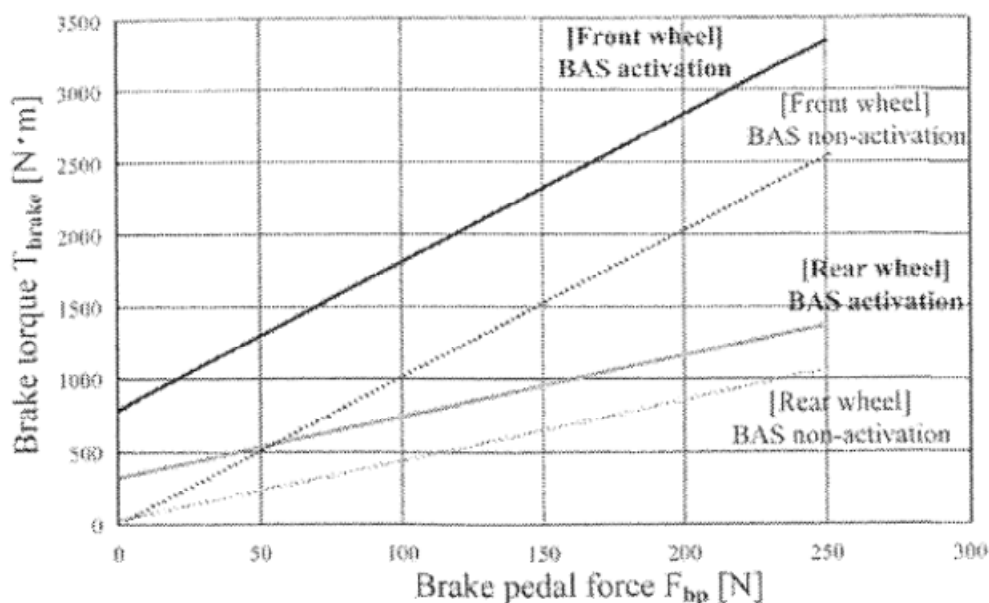


図2.1-23 BA作動有無によるブレーキペダル踏力と制動トルクの関係
(引用：田中らの文献³⁵⁾)

【MATES】

具体的な事故低減のための予防安全システムの評価は今後の検討課題となっており、各種支援システムの実装方法についても検討中である。

(6) 事故対応シーンの多様性の比較

支援システムの効果評価を行うための、個別の事故シーンの再現について実績を比較する。

【ASSTREET】

• 追突：

PCSの評価を目的として、先行者の減速から停止に至る速度変化と停止状態を再現するために図2.1-24のような、片側1車線の楕型道路にてドライバの認知エラーにより先行車の接近に対する反応が遅れる状況を再現している。

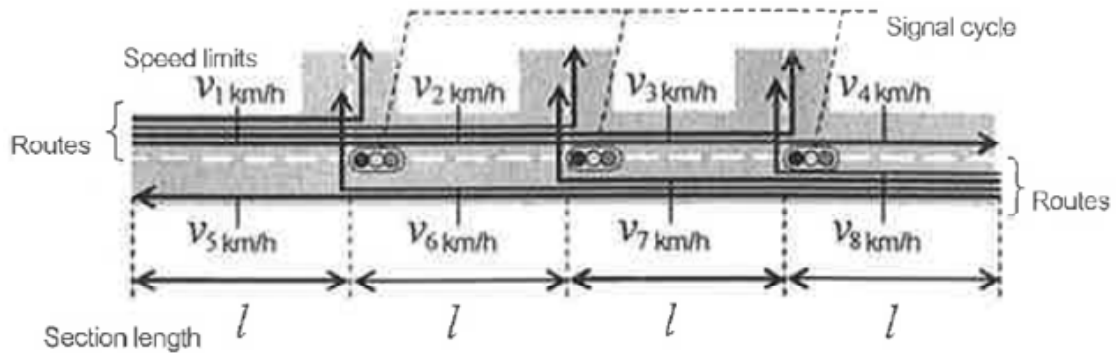


図2.1-24 追突状況を模擬するために生成した道路
(引用：安田らの文献¹⁸⁾)

• 歩行者横断：

PCSの評価を目的として、歩行者飛び出し場面におけるドライバの回避行動を再現している。

• 車線逸脱：

LDWの評価を目的として、ドライバの認知エラーによりカーブ中に逸脱する状況を再現している。

【ASSESS】

- 追突：
ブレーキアシスト（BA）の効果評価として、見通しの悪い交差点で急に車両が飛び出してきた時にドライバーが直面する状況の再現や、優先道路にて先行車が突然限界制動をかけるという緊急時に直面した時の後続車の状況を再現している。
- 歩行者横断：
ADBの評価を目的として、自車と対向車の間を歩行者が横断する状況を再現している。車両のヘッドランプ状況として、ロービームとハイビームによる歩行者の横断判断の模擬とドライバーの視認性としてのグレアの影響についても検討している。
- 出合い頭：
通信利用型出合い頭防止支援システムの評価を目的として、見通しの悪い信号無し交差点にてGPSの測位精度を加味したシステムの作動環境について再現している。

【MATES】

認知エラーや判断エラーの実装など事故場面にも適用できるような取り組みが現在検討されている。しかしながら、具体的な事故低減のための予防安全システムの評価は今後の検討課題となっている。

2.1.4 比較結果のまとめと検討候補の立案

前項の比較に基づいて、ドライバモデルの詳細度、車両、環境（計算規模）、歩行者、事故対応シーンの多様性についてまとめた結果を表2.1-1に示す。総合的に判断して、ASSTREETが各要件を一番バランスよく取れ入れたシミュレータと考えられ、開発のベースとなるシミュレータとして最も適していることがわかった。したがって、本調査研究では、今後開発するシミュレータの参考候補としてASSTREETを選定する。

一方、ASSTREETの支援システムの実装方法を見ると、特定の支援システムの評価は可能ではあるが、様々な支援システムを容易に組み込むためには、さらなる工夫が必要であることが考えられる。

なお、シミュレータに必要な粒度や精度は、シミュレーションを利用する目的によって異なり、同表において比較した結果は、そのままシミュレータとしての機能の優劣を比較しているわけではないことに留意しなければならない。例えば、並列計算への拡張などを考慮するとMATESの取り組みは大変参考になる部分であり、また支援システムの効果評価においては、夜間の評価まで実験データをベースにモデル化しているASSESSの取り組みも大変参考になる部分である。したがって、SIPで目指すシミュレータにおいては、ASSTREETをベースとしながらも、参考にすべき（拡張すべき）技術や機能を取り入れながら開発を進めることが重要と考えられる。

表2.1-1 交通環境再現型シミュレータの比較

	ASSTREET	ASSESS	MATES
ドライバモデルの詳細度	◎ 知覚～操作まで実装, 様々な交通環境に対応	◎ 知覚～操作まで実装, 交差点の通過のみ対応	知覚・認知モデルは実装 判断・操作は簡易的
車両	◎ 等価二輪モデル	◎ 等価二輪モデル	ダイナミクスは考慮せず
環境(計算規模)	局所～広域 (都市レベル)	局所レベル (単一交差点レベル)	◎ 局所～大域 (都道府県レベル)
歩行者	◎ 知覚～操作まで実装	歩行者横断タイミング の実装	◎ 知覚～操作まで実装
支援システムの実装	Simulinkとの連携	システム作動時の ドライバ特性に変更	事故場面への適用性を 検討中
事故対応シーンの多様性	◎ 追突 歩行者横断 車線逸脱	◎ 追突 歩行者横断 出会い頭	事故場面への適用性を 検討中

2.2 必要なドライバモデルとその要件の調査

シミュレーションを用いて支援システムによる事故低減効果を予測する場合、事故場面でのドライバの対応行動と支援システムを用いた場合のドライバの対応行動をモデル化し、シミュレーションで模擬する必要がある。ドライバの対応行動の把握には、該当状況におけるドライバの行動特性データを取得し、データに基づいたモデルの構築（モデル化）を行うことが重要と考えられる。

そこで、本項では特定の事故パターンを題材に、必要なドライバの対応行動とそのモデル化を行うためのデータ取得方法、および実際のモデル化について、過去の研究事例から検討することを目的とする。

まず、事故低減効果予測のニーズが高い事故を調査し、シミュレーションで優先すべき事故パターンを選定する。次に事故パターンごとに、ドライバのモデル化に必要となる特性データの取得方法およびモデル化の方法について検討する。

2.2.1 対象とする事故類型の選定

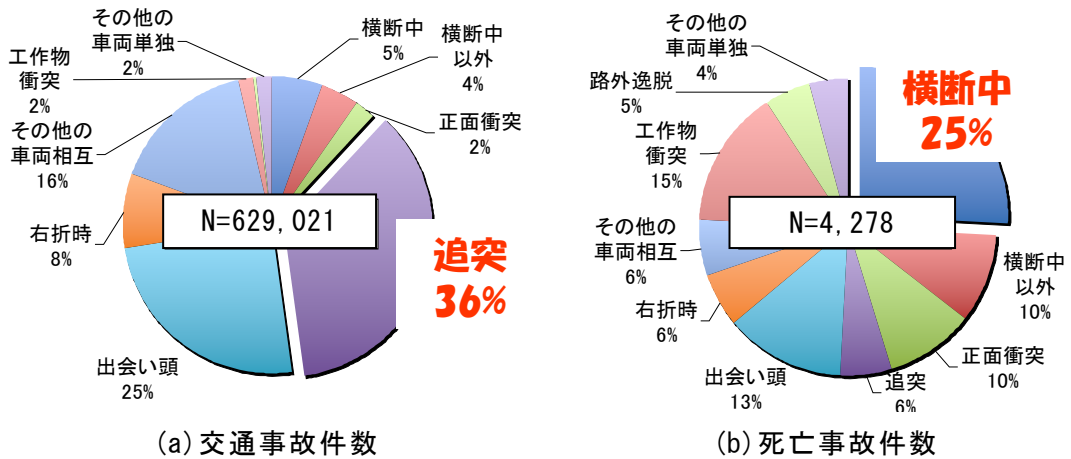
シミュレーションで優先して評価する事故類型について把握すべく、国内の交通事故実態を警察庁統計資料¹⁾（事故統計データ）を用いて調査した。

平成25年の事故統計データを調査した結果を図2.2-1および図2.2-2に示す。交通事故件数で最も多いのは「追突事故」の36%であり、死亡事故件数で最も多いのは「歩行者横断中の事故」の25%であった。また、死亡事故率（=死亡事故件数/交通事故件数）が最も高いのは路外逸脱や工作物衝突といった「車線逸脱に起因する事故」であった。

なお、同図(a)に示すように、出会い頭事故は、交通事故件数に占める割合が追突に次いで多く25%であり、割合としてはかなり多いといえる。しかしながら、出会い頭事故は、信号有無や車線数、見通し状況など想定されるパターンや事故要因が多岐にわたることが予想され、ドライバモデルの構築も上記3類型と比べて、非常に複雑なものとなることが考えられる。

次に、これら3類型を再現した場合の、交通事故件数および死亡事故件数全体に占める割合を図2.2-3に示す。この結果、交通事故件数では全体の45%、死亡事故件数で見ると60%をカバーしていることがわかる。なお、車線逸脱に起因する事故を再現できれば、正面衝突も原理的には再現できると考えられるため、同図では正面衝突も含めた割合を示している。

以上の調査結果から、「追突事故」、「歩行者横断中の事故」、「車線逸脱に起因する事故」を効果予測の需要が高い優先すべき3つの事故類型として選定することにした。



(a) 交通事故件数

(b) 死亡事故件数

図2.2-1 交通事故件数および死亡事故件数

(警察庁交通統計資料¹⁾に基づき作成)

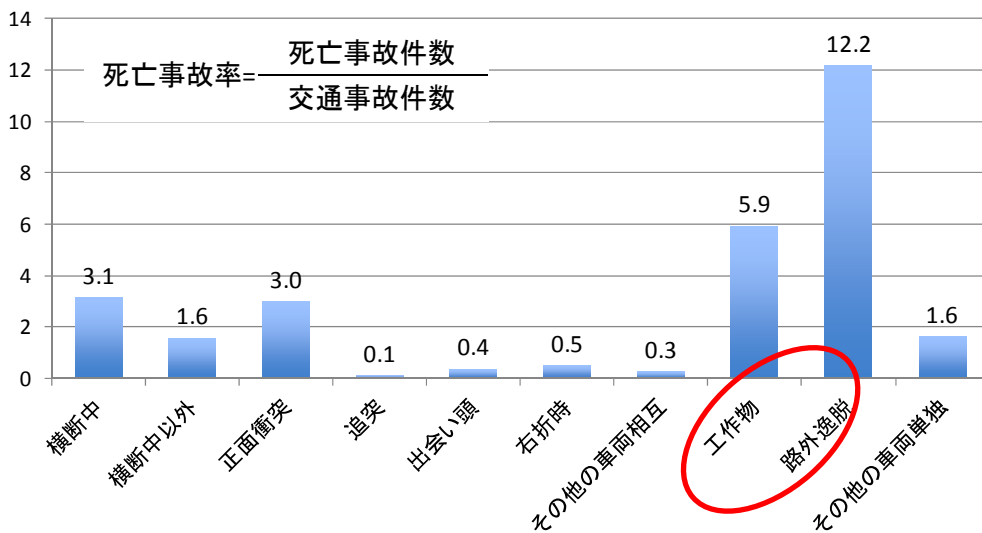
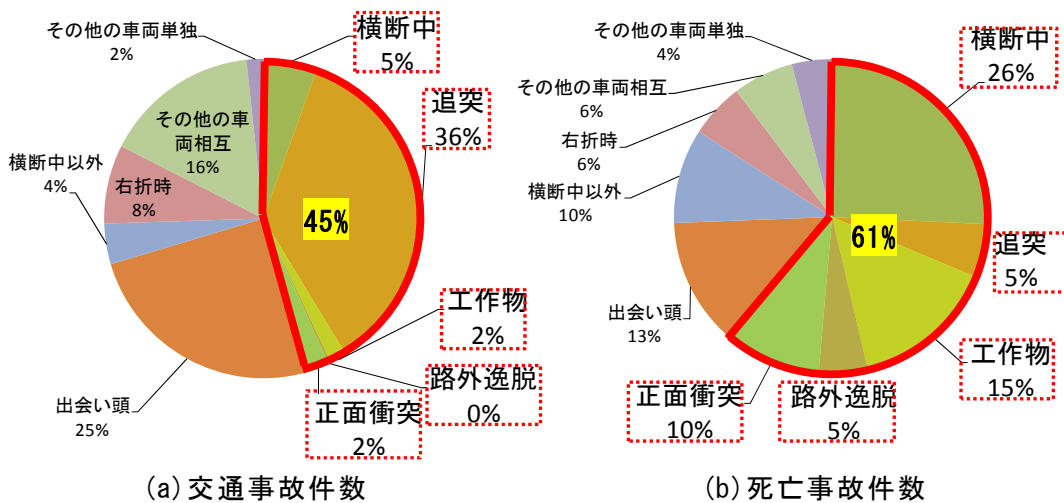


図2.2-2 死亡事故率

(警察庁交通統計資料¹⁾に基づき作成)



(a) 交通事故件数

(b) 死亡事故件数

図2.2-3 優先する事故類型の全体に占める割合

2.2.2 事故類型別に必要なドライバのモデル化の調査

ドライバの運転行動のモデル化に関する研究は、これまで多数の研究がなされているが、本項では、各事故類型（追突事故、歩行者横断中の事故、車線逸脱に起因する事故）ごとに、運転行動のモデル化に関する先行研究について文献調査し、ドライバのモデル化に必要なとなる特性データの取得方法およびモデル化の方法を検討する。

(1) 追突事故における先行研究

追突事故についてドライバの警報に対する対応行動特性を検討した代表的な例として本間らの文献⁶⁰⁾がある。文献では、現実には起こりうる事故場面を想定した検討方法として、ドライバは常に危険場面への遭遇を予期しながら運転しているとは限らないため、教示方法を工夫することで、ドライバの危険に対する予見性が低い（実際の運転場面に近い）状況を設定し、危険場面における衝突予知警報に対するドライバの対応行動を計測している。

【ドライバ特性データ取得方法】

実験の方法として、物理的な安全を確保しつつ、より高い現実感で危険場面を再現することができる危険場面再現車を用いて、市街地を模したテストコース上で実験を実施している。危険場面再現車は、運転席正面に大型液晶モニタを設置し、その前方に設置したカメラの映像をモニタへ映すことで、通常と同様に運転することができる。また、この前方モニタへ映す映像をあらかじめ撮影した危険場面の再生映像へ切り替えることで、臨場感のある危険場面を視覚的に再現することができるとしている（図2.2-4）。

警報のHMIとしては、音と視覚表示を用いることにしている。警報音は、緊急度が最も高く感じられるとの報告がある2.0kHz、100ms/cycle（「ピピピ...」）に設定し、一般的な衝突警報と同等の仕様としている。また、視覚表示はメーターパネル部に設置した支援用モニタ（4.3インチ）に、「衝突注意」の赤文字を点滅（200ms/cycle）で提示している。

危険場面における前方モニタ映像、脇見タスク、警報システムのタイミングチャートと、想定されるドライバ対応行動を図2.2-5に示す。メーターパネル上部に設置したLED点灯をタスク開始の合図とし、助手席足元部に設置した脇見用モニタへ0～9までの一桁の数字が0.25秒おきに9回表示され、ドライバには、最初に表示された数字が、その後何回表示されたかを口頭で回答するよう求めている。数字が表示されてから0.5秒後に、前方モニタは危険場面へ切り替わり、同時に警報（音+表示）の提示が開始され、警報開始から1.5秒後に、前方モニタの映像は現実場面へ戻り、警報が終了するような条件としている。

【実験条件】

主な実験条件は以下の通りである。

- 車両速度：40km/h（1条件のみ）
- 実験参加者：78名



図2.2-4 危険場面再現車の外観
(引用：本間らの文献⁶⁰⁾)

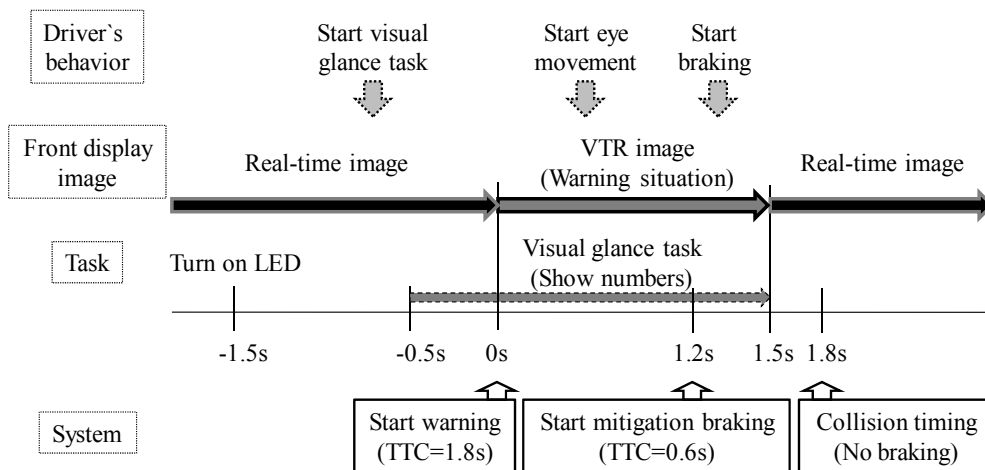


図2.2-5 警報を作動させるタイミングチャート
(引用：本間らの文献⁶⁰⁾)

【モデル化方法】

警報提示から視線を前方に戻す時間、およびブレーキを踏み始める時間の2つの反応時間でまとめている。データのまとめ方として、危険場面を全く予期していないと考えられる1走行目と、ある程度の予期が想定される2走行目の2種類の状況でデータをまとめている。警報提示から視線移動開始までの時間については、1走行目 $0.91s \pm 0.36s$ 、2走行目 $0.37s \pm 0.26s$ とまとめられている。

一方、警報提示からブレーキ反応までの時間については、1走行目 $1.28s \pm 0.30s$ 、2走行目 $0.98s \pm 0.29s$ とまとめられている。しかしながら、1走行目については分布のピークが二つに割れる二峰性(図2.2-6)が見られ、一様傾向とはならなかったとしている。なお、本実験では警報タイミング $TTC=1.8s$ を想定していることから、 $1.8s$ 以内にブレーキを開始できなかったドライバ(以下、「制動遅れ群」という)は、衝突までに制動を開始できなかったことになる。制動遅れ群は、1走行目に13名、2走行目に8名おり、視線を戻し始めるのが

遅かったため、結果として制動が遅れたドライバーと、視線を戻してからブレーキを踏むまでの判断が遅かったため、制動が遅れたドライバーがみられたとまとめている。

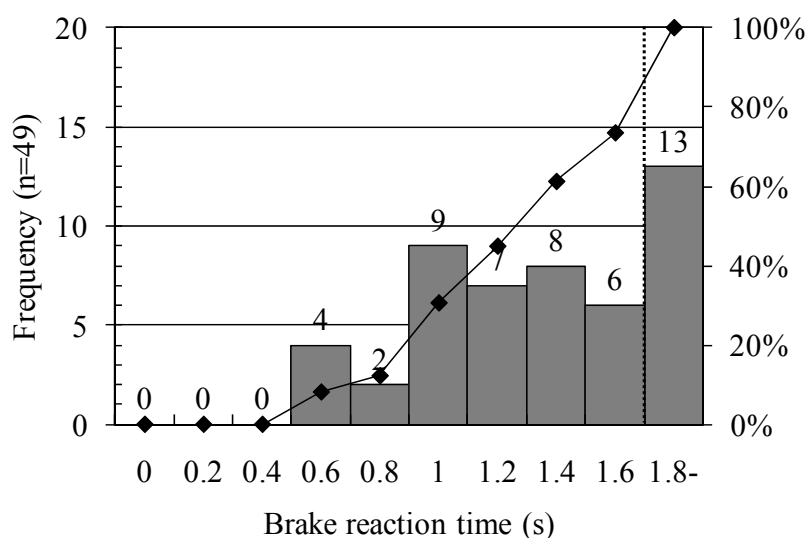


図2.2-6 警報提示からブレーキ反応までの時間 (1走行目)
(引用：本間らの文献⁶⁰⁾)

【検討結果および展開】

前方車両衝突警報提示に伴うドライバーの対応行動について、視線移動およびブレーキ反応時間を実験により取得している。ドライバーが危険状況を予期している状況と全く予期していない状況の2つの状況にて特性を取得しており、シミュレーションでの検討に十分に使用できるものと考えられる。

しかしながら、ブレーキ踏力や減速行動については検討されていないため、これらのデータを取得するなど、警報が提示されない状況でのドライバーの対応行動についてデータを蓄積していく必要があると考えられる。

(2) 歩行者横断事故における先行研究

歩行者横断事故を評価するためには、歩行者横断時のドライバの運転行動と歩行者の行動特性の両面から検討する必要がある。そこで本節では、それぞれのデータ取得方法について文献調査を行った。

a. 歩行者横断時のドライバの対応行動のモデル化

歩行者横断事故に関する研究例はいくつか^{61), 62)}あるが、事故の低減効果予測に主眼を置いて検討している代表的な研究として、岩城らの文献⁶³⁾がある。文献によると、歩行者横断事故パターンに対する車両側からみた事故対策としては、歩行者の発見や危険回避を支援するシステム（警報や自動ブレーキなど）が挙げられ、システムの動作要件の設定や、事故低減効果の予測のためには、事故発生時の状況の把握とともに、歩行者を発見した際のドライバ行動を解析することが重要と考えた上で検討を進めている。

歩行者に対するドライバの回避行動を解析することを目的とし、特に横断中の歩行者に対するドライバの回避行動モデルの構築を検討している。さらに横断中の事故の中でも、比較的早いタイミング（ドライバから見ると切迫した状況）で歩行者が飛び出している割合が高いことが報告されており、本文献では、歩行者の急な横断（以下、「飛び出し時、とする）に着目して、その時のドライバの回避行動について解析している。以下にドライバ特性データ取得方法、実験条件、モデル化検討および検討結果について簡潔にまとめる。

【ドライバ特性データ取得方法】

ドライバ特性データの取得方法として、セダンタイプの実験車両をパイロンで走行レーンを規制された単路（図2.2-7(a)）を走行中に、図2.2-7(b)のような歩行者ダミーを家屋の壁に見立てたブラインドから飛び出す方法を用いている。歩行者ダミーは、プラスチックダンボールに等身大の写真を貼りつけて作成し、車両が指定位置（光電センサー）を通過したタイミングで、巻き取り用リールにより牽引するようしており、実験中同じ条件であれば、常に同じタイミング、同じ速度で歩行者が飛び出せるよう設定している。



(a) 実験場所



(b) 歩行者ダミー

図2.2-7 実験の状況
(引用：岩城らの文献⁶³⁾)

【実験条件】

主な実験条件は以下の通りである。

- 車両速度：40km/h（1条件のみ）
- 歩行者速度：6km/h（1条件のみ）
- 歩行者飛び出しタイミング：到達予想時間2秒、3.5秒、5秒（3条件）
- 飛び出し方向：左から（1条件のみ）
- 実験参加者：20名

【モデル化方法】

モデル化の検討方法として、図2.2-8のような走行フェーズに分けてモデル化を検討しており、各フェーズ間の以降状態をモデル化している。具体的には、以下の3つのフェーズ間（アクセルオフ時間、ブレーキオン時間、減速行動）ごとにドライバーの特性データをまとめている。

- 歩行者飛び出し時からアクセルオフするタイミング（以下、「アクセルオフ時間」とする）【フェーズ1～フェーズ2】
- アクセルオフからブレーキをオンするタイミング（以下、「踏み換え時間」とする）【フェーズ2～フェーズ3】
- 減速行動（減速度など）【フェーズ3～フェーズ4】

モデルの検討結果として、図2.2-9のようなモデルを提案しており、歩行者飛び出し時からブレーキによる減速行動までを一連の行動としてモデル化している。

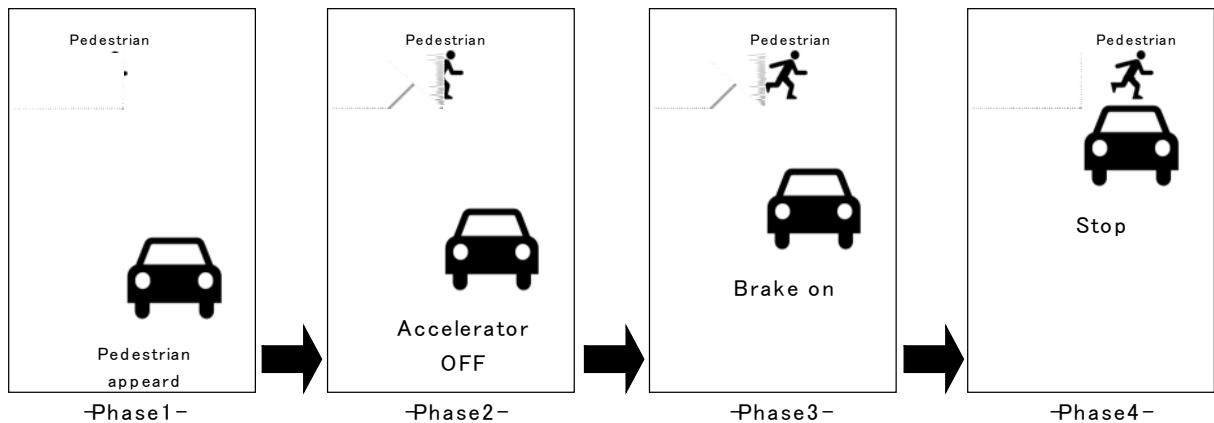


図2.2-8 モデル化のための走行フェーズ
(引用：岩城らの文献⁶³⁾)

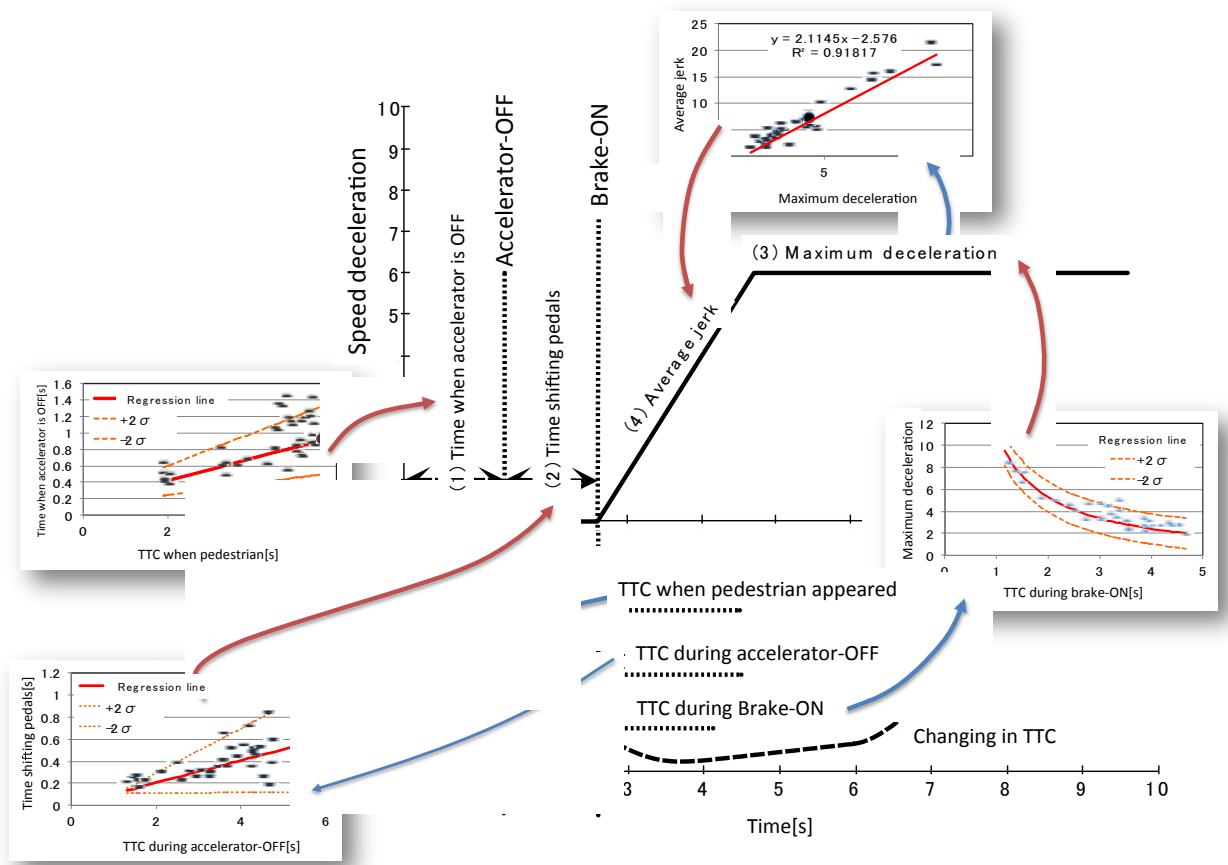


図2. 2-9 歩行者飛び出し時のドライバーの対応行動モデル
(引用：岩城らの文献⁶³⁾)

【検討結果および展開】

歩行者が飛び出したタイミングから、ドライバーのブレーキ操作による回避行動までを一連のモデルとして、ドライバー間のばらつき（個人内、個人差）も含めてモデル化を検討している。歩行者の飛び出しタイミングによるドライバーのブレーキ反応時間や発生する減速度などシミュレーションへ容易に組み込めるようなモデル構造となっている。

しかしながら、実験条件における歩行者の動きと車両速度の組み合わせが1条件のみであるため、歩行者の飛び出し条件についてさらに詳細に検討する必要がある。例えば、シミュレーションに適用していくためには、歩行者の飛び出し方として、飛び出し方向や飛び出し角度、飛び出し場所、歩行速度などの条件についても検討する必要がある。さらにはブラインドからの飛び出しだけではなく、あらかじめ見えている歩行者の飛び出し条件(佇立状態からの飛び出し、道路端を歩行中の道路側への飛び出しなど)での様々なデータを蓄積し、ドライバーの特性データとしてまとめていく必要があると考えられる。

b. 歩行者行動特性のモデル化

歩行者対車両の事故を評価する場合、歩行者が接近してくる車両に対してどのように認知判断するか／回避行動を取るかといった歩行者の行動特性を明らかにすることも重要である。歩行者の行動特性を解析する方法として、定点観測やドライブレコーダによる映像解析が用いられている。

定点観測による研究例として、青木ら³⁴⁾は歩行者の交通流特性を調査している。無信号交差点を定点観測し、交差点横断、歩道歩行および単路横断といった場面での歩行者の1分あたりの交通量を図2.2-10のように求めている。

ドライブレコーダから歩行者速度の分布を解析した例としては、永井らの研究⁶⁴⁾がある。永井はタクシーに設置したドライブレコーダに記録されたヒヤリハットレベル「中」と「高」の歩行者飛び出し時の事例を抽出し、歩行者の飛び出し速度を映像解析により算出している。その結果、1.0m/s (3.6km/h) ～1.5m/s (5.4km/h) の範囲が最も多いことを示している (図2.2-11)。

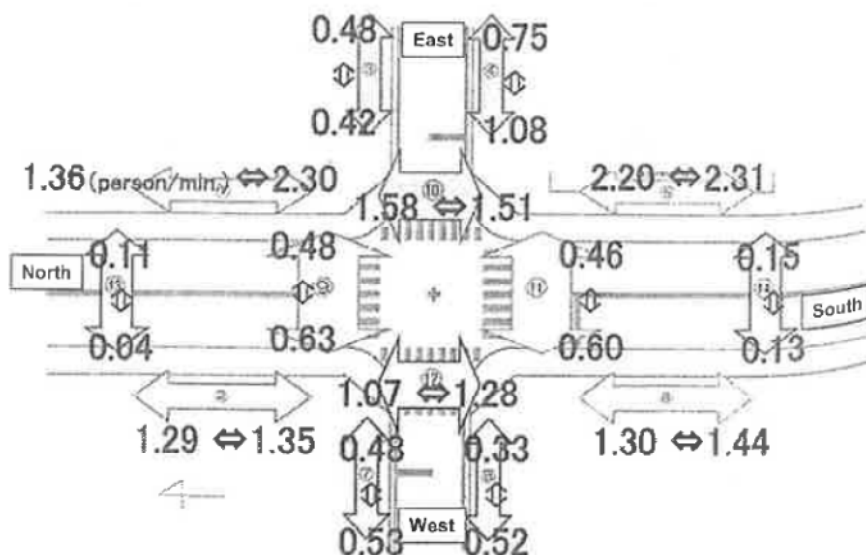


図2.2-10 歩行者の交通流の測定結果
(引用：青木らの文献³⁴⁾)

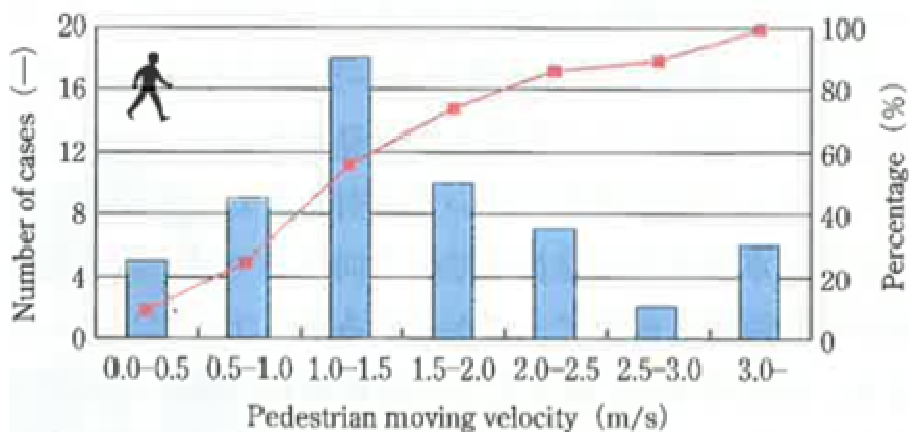


図2.2-11 歩行者の飛び出し時における歩行初期速度の分布 (N=61)
(引用：永井の文献⁶⁴⁾)

(3) 車線逸脱事故における先行研究

車線逸脱に起因する事故低減効果予測の研究例として、岩城らの文献⁶⁵⁾が挙げられる。本文献では、車線逸脱警報装置に着目し、装置の事故低減効果を推定することを目的としたドライバ行動解析を行っている。文献によると、予防安全装置の効果を推定する上では、装置の性能のみならず運転支援を受けた際のドライバの対処行動も重要な要素となり、中でもドライバの直接的な対処行動（危険回避動作）を期待する警報呈示は、警報呈示後のドライバ行動によってその効果が大きく影響を受けるとしており、車線逸脱警報が呈示された状況でのドライバの行動について、逸脱状況をパラメータとしたドライビングシミュレータ（以下、DS）を用いた実験を行い、警報呈示時のドライバ行動のモデル化について検討している。

以下にドライバ特性データ取得方法、実験条件、モデル化検討および検討結果について簡潔にまとめる。

【ドライバ特性データ取得方法】

実験は日本自動車研究所が所有するDSを用いて行っている（図2.2-12）。シミュレータ上に一般道および高速道を模擬したコースをそれぞれ設定し、ドライバに意図的に脇見をさせた状態で車線逸脱を促すような実験によりデータ取得を行っている。

脇見状態の誘発については、助手席足元付近に設置されたモニター（図2.2-13）に副次タスクを提示することにより設定している。タスク内容は、合図音が鳴った後、その1秒後に 0.25 秒間隔で0～9 の数字がランダムに 6 回呈示され、先頭の数字が表示された回数を口頭で回答するタスクとしている。合図音から2.5秒間脇見をしないと正解できないタスクであり、本タスクにより脇見状態を誘発させている。

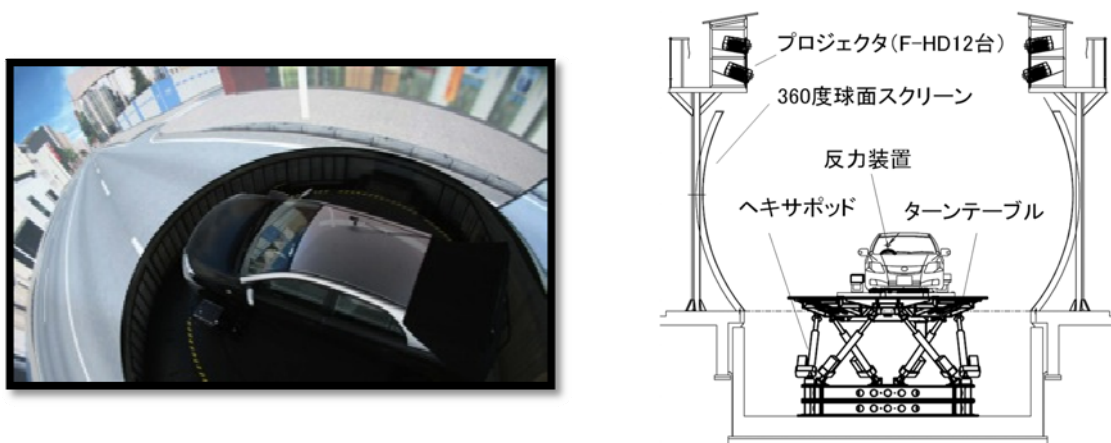


図2.2-12 実験に使用したDS

（引用：岩城らの文献⁶⁵⁾）



図2.2-13 副次タスクに用いたモニターの位置
(引用：岩城らの文献⁶⁵⁾)

【実験条件】

主な実験条件は以下の通りである（図2.2-14）。

- 道路条件：一般道（車線幅3m、車速60km/hで走行）・高速道（車線幅3.5m、車速100km/hで走行）
- 壁までの距離：道路条件ごとに、「狭い（一般道：0.5m、高速道：1.25m）」、「広い（一般道：1.25m、高速道：2.5m）」の2条件
- 逸脱角度：2度、4度、6度、8度（4条件）
- 逸脱方向：左、右（2条件）
- 実験参加者：20名



(a) 一般道（狭い）



(b) 一般道（広い）



(c) 高速道路（狭い）



(d) 高速道路（広い）

図2.2-14 道路条件と壁までの距離

(引用：岩城らの文献⁶⁵⁾)

【モデル化方法】

車線逸脱をしてから壁との衝突を回避するまでのハンドル回避行動を図2.2-15に示すような形でモデル化している。まず、車線逸脱してからハンドル操作を開始するまでの時間（反応時間）については、各条件間で差が認められないため、ばらつきも考慮に入れて式(1)の様にモデル化している。

$$f(RT) = \frac{1}{x \cdot 0.44 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\log RT - 0.49)^2}{2 \cdot 0.44^2}} \quad (1)$$

ここで、RT：反応時間の分布

さらに、ハンドル操作開始時の壁までの到達予想時間（TTC_{wall}）を定義し、TTC_{wall}とハンドル操作量（最大ハンドル角度とハンドル角速度）との関係をTTC_{wall}の確率密度関数として検討している（図2.2-16）。

なお具体的なモデル式として車線復帰操舵時のハンドル角速度 $\dot{\delta}$ とハンドル角度 δ との関係は、式(2)に示すような原点を通る線形近似式でモデル化している。

$$\delta = 0.50 \cdot \dot{\delta} \quad (2)$$

最大ハンドル角速度 $\dot{\Delta}$ については、壁までの衝突余裕時間TTC_{wall}を用いて、式(3)のような確率密度関数でモデル化している。

$$f(\dot{\Delta} | \mu, \sigma) = \frac{1}{x \sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\log \dot{\Delta} - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

ただし、

$$\mu = 4.71 - 0.93 \log TTC_{wall} \quad \sigma = 0.55 + 0.01 TTC_{wall}$$

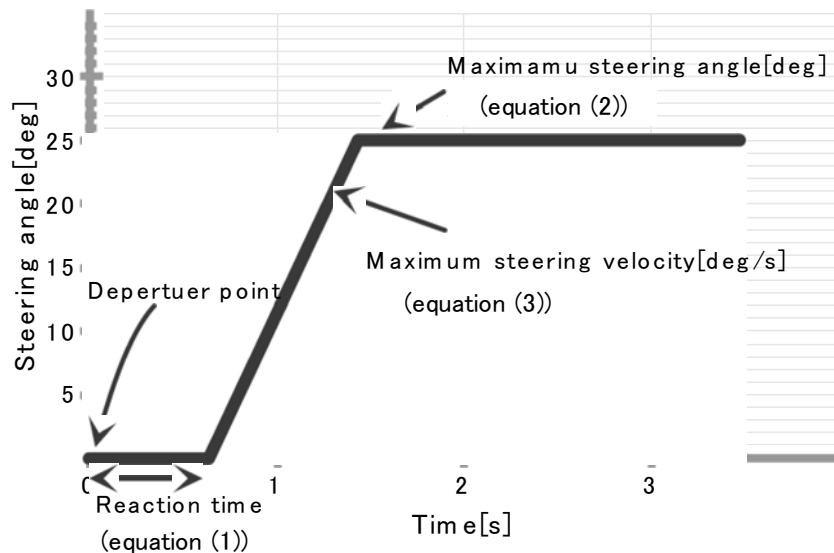


図2.2-15 車線復帰操舵時の対応行動モデル

(引用：岩城らの文献⁶⁵⁾)

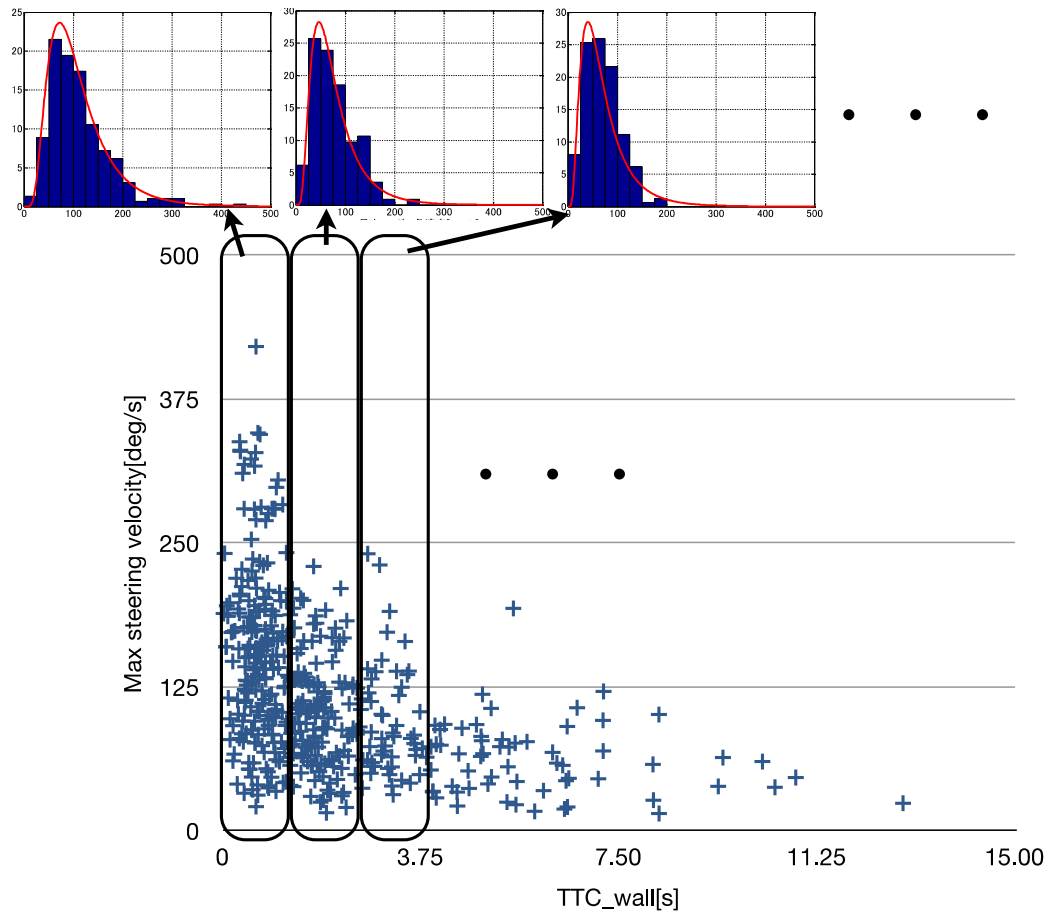


図2.2-16 ハンドル角速度の分布
(引用：岩城らの文献⁶⁵⁾)

【検討結果および展開】

脇見タスクを行っている状態で、車線逸脱時から警報提示による逸脱状態の認知に伴うドライバの車線復帰行動をモデル化している。逸脱状態の認知からの車線復帰行動をモデル化しているため、警報のあり／なし両条件でのドライバの行動モデルとしてシミュレーションでも十分に用いることができると考えられる。



しかしながら、車両速度が各道路条件で1条件のみであるため十分とは言えず、さらに車線逸脱の原因として、文献では「脇見状態」のみの検討となっているが、低覚醒状態などその他の要因についてのドライバ特性データについても検討していく必要があると考えられる。

2.2.3 まとめ

本項では、交通事故統計調査に基づき選定した優先すべき事故類型を題材に、ドライバモデルを構築するための基盤となるドライバの運転行動特性を取得する方法について調査を行った。ドライバの運転行動特性を取得する方法をまとめると、ドライブレコーダ、テストコース、ドライビングシミュレータがあり、それぞれ表2.2-1に示すような特徴を有している。

今後、高度運転支援や自動走行システムに関わる運転行動特性を解析するためには、事故が起きる直前に焦点を当てたドライバの運転行動解析に加えて、通常走行時のドライバの運転行動データの蓄積も必要不可欠になると考えられる。そのための、基盤となるのがドライブレコーダであり、取得したヒヤリハット場面、危険場面をもとにテストコースでの走行実験、ドライビングシミュレータを使ったドライバの運転行動特性を拡充する必要がある。

表2.2-1 ドライバ特性データ取得ツールの特徴

	ドライブレコーダ (市販用)	テストコース (+実車シミュレータ)	ドライビングシミュレータ
			
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ○現実の運転 ○事故に至る背景要因の記録 ×限定的な取得場面 	<ul style="list-style-type: none"> ○現実に近い運転感覚 ○実験条件の統制 △限定的な場面設定 	<ul style="list-style-type: none"> ○実験条件の統制 ○多様な場面設定 ×実走行の意識

2.3 交通事故死傷者低減以外への適用可能性の調査

マルチエージェント型モデルを用いたシミュレータは、現実のドライバと同様に、状況に応じて個々のドライバが判断をして、運転操作を決定するものである。つまり、シミュレータに内包されるモデルの構造に応じて、シミュレーションできる事象が広がると考えられる。

自動走行システムに期待される役割は、交通事故低減効果だけではなく、交通渋滞の緩和や交通環境負荷低減など幅広い分野にわたっている。このような評価の事前検討として、交通渋滞緩和に代表される交通環境負荷低減予測や燃費予測などにも活用ができれば有用性の高いツールとなると考えられる。したがって、将来的なシミュレータの拡張性を考慮し、これらの評価に対しても容易に拡張できるような構造に設計しておくことは自動走行システムの評価を考える上でも重要である。

そこで、本節では交通事故低減以外（燃費・CO₂排出、交通渋滞）への拡張性のために必要な要件を文献に基づき調査する。さらに、調査した要件に基づき、現存する交通事故シミュレータ（ASSTREET、ASSESS、MATES）に対して適用可能性を検討する。

2.3.1 対策の概略と計算規模

(1) 燃費・CO₂排出

直接的な対策としては、車両の燃費改善、低燃費車の普及、エコドライブの普及促進などがあり、間接的な対策として交通渋滞の緩和が挙げられる。こうした対策効果を評価する上では、車両一台一台の走行挙動を再現する必要がある。

交通流シミュレーションを活用してCO₂排出の低減効果評価を行った先行研究を調査したところ、図2.3-1に示すように交通流シミュレーションで計算した車両走行挙動に関する出力データを、外部の各種排出量推計モデルに入力して推計する流れ（環境評価モジュール）が採用されている⁶⁶⁾。排出量推計モデル部分の例としては、図2.3-2に示すような排出マップを用いて車両速度と駆動力から排出量を計算する方法が一般的と考えられる。

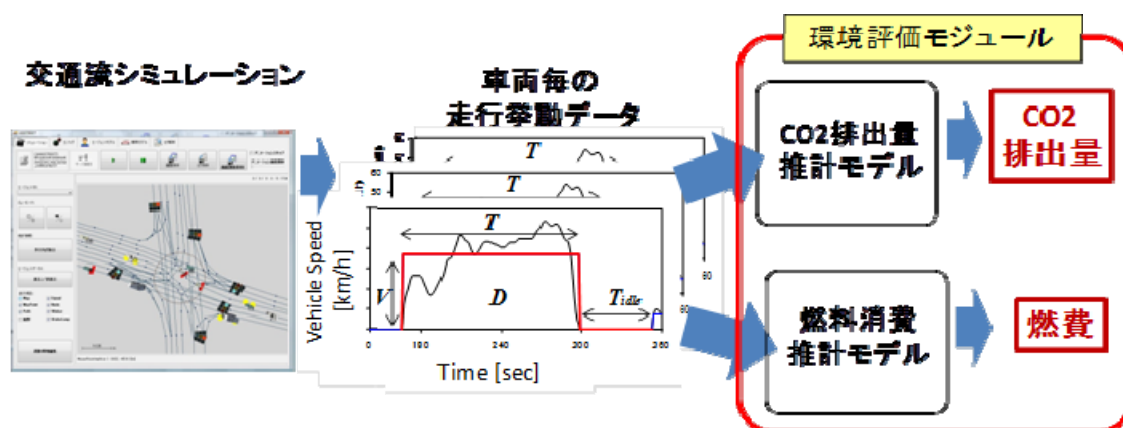


図2.3-1 環境評価モジュールを用いた推計方法の流れ
（林らの文献⁶⁶⁾を基に作成）

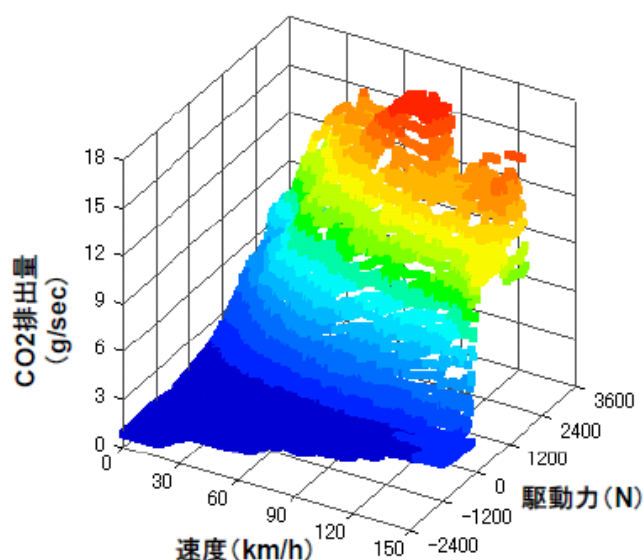


図2.3-2 CO₂排出量マップの例
（引用：加藤の文献⁶⁷⁾）

(2) 交通渋滞

交通渋滞による損失は、大きく2つあると考えられる。一つ目は、目的地にたどり着くまでの余分な時間が生じる「時間的な損失」である。二つ目は、渋滞に巻き込まれ発進-加速-減速-停止を小刻みに繰り返すことで、燃費が悪くなる、CO₂などの排出量が増加するといった「環境的な損失」である。時間的な損失は、渋滞長、旅行時間、渋滞通過時間などを求めることで推計することができる。環境的な損失は(1)と同様の方法を取ることで推計が可能である。

交通渋滞への対策としては、下記のように、道路の拡幅や道路新設といった「ハード的な対策」や、交通需要自体を制御したり、ドライバの行動を変容させる「ソフト的な対策」がある。

- 道路インフラの改善：道路の拡幅や道路新設など
- 交通手段の変容：パークアンドライド、カーシェアなど
- ITSによる交通流円滑化：道路に設置した警告板による渋滞情報の提供、交通信号制御、ACCなど

道路に設置した警告板による渋滞情報の提供は、情報を提供することで、ドライバの運転行動や経路選択に変容を促すものである。ドライバの行動変容を解析するためにはドライバの認知・行動特性を扱う必要があるため、エージェントベースシミュレーションが適している。そこで、道路に設置した警告板による情報提供を一例に、以下でドライバモデルに必要な機能を検討する。

道路に設置した警告板（サグ渋滞改善用登坂標識など）や見通しの悪い地点での視界改善などに対するドライバの反応を考慮し、それに伴う交通流への影響を予測することなどが考えられる（図2.3-3）。このような対策の効果をシミュレータ上で模擬するためには、標識、看板などの外部情報を認知し運転挙動を判断できるようなドライバモデルが必要である。

次にドライバの交通行動の変容を考えると、「運転挙動の変容」と「運転経路選択の変容」の2つに分けられる。運転挙動の変容とは、車両の速度を変化させ、車間を空けるといった行動変化が該当する。運転経路選択とは、車両が目的地にどのような経路で移動するか決めるものであり、ドライバは交通状況を考慮しながら各々の判断で目的地までの経路を選択する。その結果が集積されたものがネットワークの交通状況であり、ドライバの経路選択行動が与える影響は大きい。

シミュレータ内で定義する経路選択の方法には、大きく分類すると「交差点での分岐率を与えるもの」、「ある費用関数に従って経路選択を決めるもの」がある。分岐率を与えるものは、交差点の定点観測などのデータに基づいて交差点に差し掛かったときの直進・右折・左折の割合を与えるものである。費用関数にしたがって経路選択を決めるものは、例えば、目的地までの距離を目的関数とし、最短距離となる経路を選択するといったようなものがある。目的地までの最短距離以外にも、さらに交通状況が変化した場合に経路を再探索するような動的経路選択もある。動的経路選択はシミュレーションの対象範囲が広がっても柔軟性が高く対応できると考えられている⁷⁰⁾。

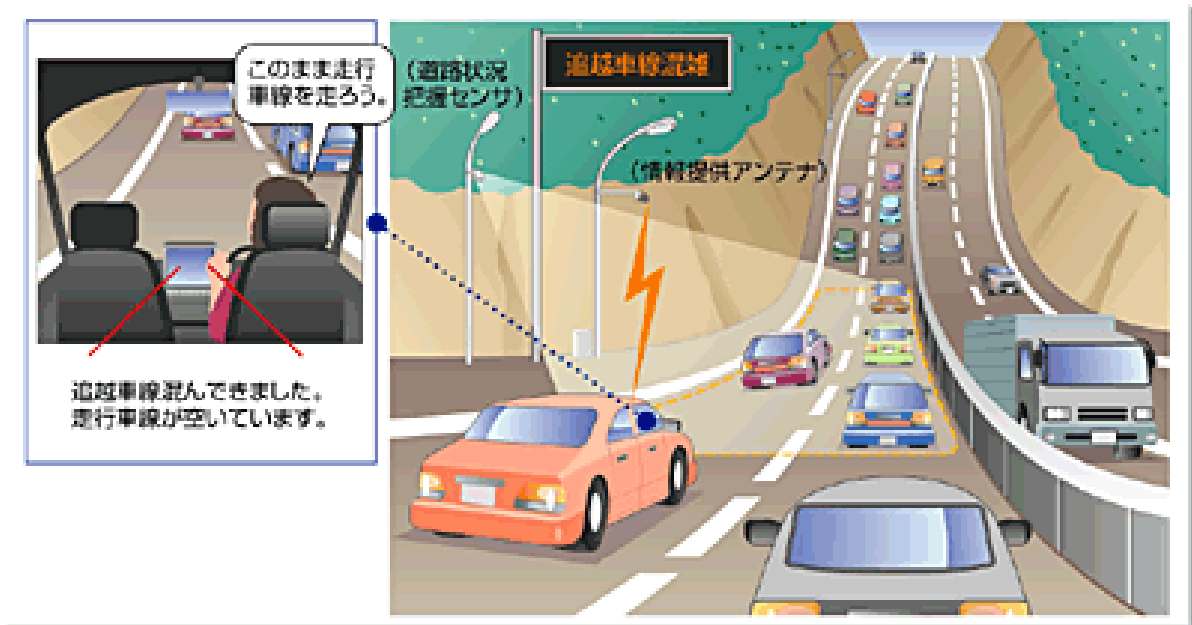


図2.3-3 高速道路のサグ部におけるドライバーの行動変容イメージ
(引用：牧野らの文献⁶⁸⁾)

(3) 効果評価をするために必要な計算規模

シミュレーションで計算する領域については、評価する対策によって対象とする領域スケールが大きく異なってくる。

例えば、特定交差点の信号制御高度化の効果評価には狭域を扱えるモデルで十分であるし、また全国規模のエコドライブ支援の効果評価には広域を扱えるモデルが必要となる。さらに、ある交差点で渋滞が起こっていたとしても原因がその交差点にあるとは限らず、前方にある交差点が渋滞した影響により隣接交差点が渋滞している（先詰まり）といったことも考えられる。このような場合、単一の交差点のみで評価しても根本的な問題解決にはつながらず、複数の隣接する交差点までを扱って評価をする必要があると考えられる。

したがって、将来的にシミュレータを様々な対策の効果評価に拡張する場合には広域まで扱えるようにあらかじめ考慮しておくことが望ましいと考えられる。

(4) 交通事故低減以外への適用に必要な要件

以上(1)~(3)の調査結果より、交通事故低減以外（燃費・CO₂排出、交通渋滞）への拡張性のためには、少なくとも以下のような要件が求められる

- CO₂排出量の推計に必要な車両毎の走行挙動をログデータとして出力できること
- 標識などによる外部情報を認知判断し、交通状況に応じた経路選択行動を組み込めること。
- 広域的な計算まで扱うことができること。

2.3.2 各シミュレータの適用可能性の検討

以下で、2.3.1で示した各要件に対して、ASSTREET、ASSESS、MATESの各シミュレータの適用可能性を検討した結果を示す。

(1) 車両毎の走行挙動をログデータとして出力できること

各シミュレータともに車両の運転挙動の詳細度は異なるものの、追従挙動を模擬する基本的な機能を有しているため、加速度、速度といった運転挙動に関する情報をログデータとして出力させること自体は可能であると考えられる。

(2) 標識などによる情報を認知判断し、交通状況に応じたドライバの経路選択行動を組み込めること

ASSTREETでは、図2.3-4に示すように経路選択モデルとして、目的地までの旅行時間を確率的に与える方法を採用している。また状況に応じて経路選択を動的に変化させられる。

ASSESSは、交差点通過時の直進、右・左折の割合を定点観測により測定し、シミュレータで各車両が発生した際に経路を割り振っている。

MATESでは、図2.3-5に示すように、最短経路を求めるモデルだけでなく、予想旅行時間や右左折の回数を目的関数とすることも可能であり豊富な機能を有しているといえる。また状況に応じて経路選択を動的に変化させられる。

$$P_k = \frac{\exp(-\gamma t_k)}{\sum_k \exp(-\gamma t_k)}$$

t_k : 経路kの旅行時間
 γ : パラメータ

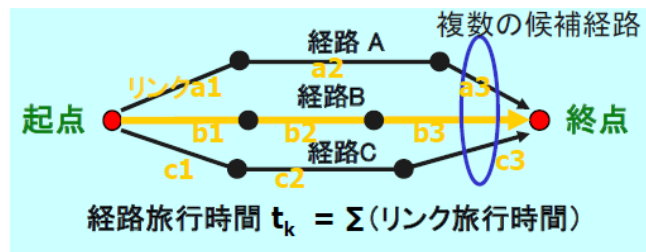


図2.3-4 ASSTREETで実装されている経路選択確率モデル
(引用：北岡らの文献¹¹⁾)

•経路の長さ	•交差点での右折回数
•予想旅行時間	•交差点での左折回数
•交差点での直進回数	•通過する単路部の幅の逆数

図2.3-5 MATESで実装されている経路選択モデル項目
(吉村らの文献⁴⁰⁾を参考に作成)

(3) 広域的な計算まで扱うことができること

最も広域な規模を扱うシミュレータとしては、柏市のオンデマンドバス導入効果や岡山市の交通信号制御シミュレーションを解析しているMATESであり、並列計算のための工夫もなされている。ただし、ASSTREETやASSESSも現在実装されている機能を拡張することで広域的な計算も可能と考えられる。

2.3.3 まとめ

本節では交通事故低減以外（燃費・CO₂排出、交通渋滞）への拡張性のために必要な要件を文献に基づき調査し、現存する交通事故シミュレータ（ASSTREET、ASSESS、MATES）に対して各要件の適用可能性を検討した。本節での調査結果を、以下にまとめる。

- 基本的に、マルチエージェント型シミュレーションであれば、燃費、CO₂排出や交通流への影響（渋滞緩和や回避）の評価に活用可能である。燃費やCO₂排出については、車両挙動のログデータを環境評価モジュールに渡して計算させることで実現可能と考えられる。
- 標識や看板設置による渋滞緩和影響を再現するためには、看板を認識できる知覚・認知モデル、認知した情報をもとに車両運動や経路選択を変更する機能がドライバモデルに必要であると考えられる。
- 交通環境や渋滞の対策や評価は、局所的～広域的なものまで様々考えられるため、広域的規模の計算ができるよう、並列化計算などの工夫を導入できるようにしておく必要がある。
- ASSTREET、ASSESS、MATESについて各要件の適用可能性を検討した結果、経路選択モデル、並列化計算については、MATESが詳細にモデリングしており、SIPで目指すシミュレータでも参考とすべきであることがわかった。

2.4 ミクロ・マクロシミュレーションに必要な具備すべき要件の調査

2.1~2.3節の調査結果を踏まえ、汎用性を高めて、ミクロ的な（ドライバの運転行動の分析）や、（マクロ的な）交通事故発生確率の分析に対応可能となるよう、交通環境型（ミクロ・マクロ）シミュレーションの適用範囲を広くするために、具備すべき要件について検討する。

まず、選定した3つの事故類型を含む主要な事故シーンに柔軟に対応させる必要がある。さらに、ドライバを支援する予防安全システムについても、支援の範囲が拡大し、支援の方法が複雑になっていくことが予想されるため、自動運転技術を含めた各種支援システムの評価に柔軟に対応できる必要がある。

したがってSIPで目指すシミュレータを開発する上では、ドライバの運転行動および支援レベルや自動化レベルを考慮できるよう、「ドライバ」、「車両」、「歩行者、自転車」、「交通環境」、「支援システム（装置）」の5つの要素を表現できる構成とそれらの相互作用を模擬できることが必須要件となる。各構成要素の定義を以下に示し、図2.4-1に開発するシミュレータの構造を示す。

開発するシミュレータは、参考候補であるASSTREETに準じた構造としているが、ASSTREETから拡張すべき点として、支援システム要素を独立した構造とする点がある。このような構造を採用することで、各種予防安全システムや自動運転技術の評価を容易に比較検討できると考える。

なお、各要素ごとに具備すべき詳細な要件については、「第3章シミュレータ開発のための企画書」で述べる。

- ドライバ：車室内・車室外からの情報を知覚・認知し、状況を判断した上で、車両に対して操作を行う要素
- 車両：ドライバや支援装置からの操作（制御）情報を受け取り、運動計算の結果に基づいて走行する要素
- 歩行者／自転車：ドライバ・車両以外の交通参加者であり、自律的に行動する要素
- 交通環境：標識や信号、建物（ブラインド）、白線などの自律的に行動はしないがドライバに対して情報の送付や行動を制限する要素
- 支援システム（装置）：車室内・車室外からの情報およびドライバの状態や操作をセンシングし、各支援装置の仕様に応じた支援を車両やドライバに行う要素

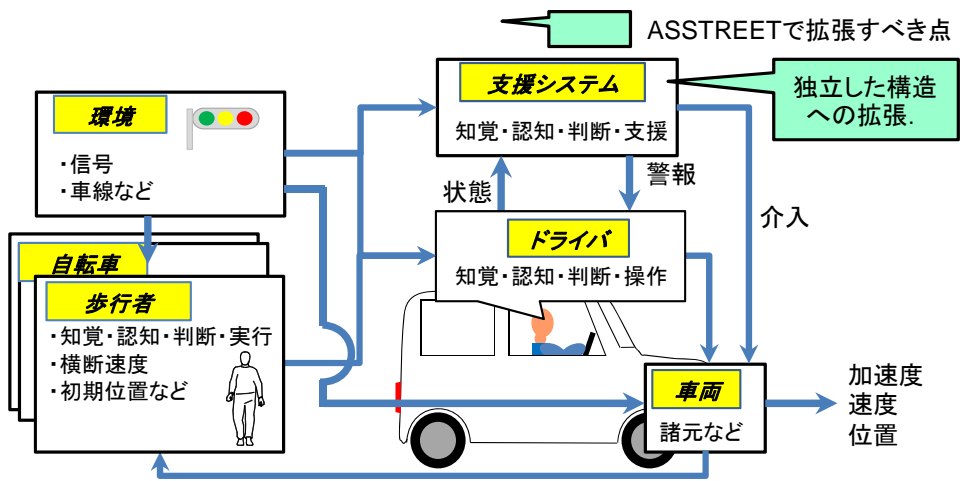


図2.4-1 シミュレータの構造概要とASSTREETからの拡張点

第3章 シミュレーション装置開発のための企画書

本企画書は、ドライバの運転／行動パターンを一般化したドライバモデルを用いたシミュレーション技術に着目し、交通事故死者低減の国家目標達成に資する自動走行システム関連の新技术を効率的かつ効果的に評価し、PDCAサイクルを確実に実施するうえで必要となる詳細効果を見積るための「シミュレーション装置（シミュレータ）」の開発に資することを目的とし、シミュレータ開発に必要な要件や機能を定めるものである。

3.1 シミュレータの基本構造とその構成要素

自動走行システムおよび自動運転に関連する技術には、事故が起きるような危険が顕在化した場面で作動するものや、事故の危険が顕在化する前の普段走行している状況をシステムが行うものまで幅広くある。つまり、自動走行システム関連の新技术をシミュレータで評価するためには、効果予測ニーズの高い「追突」、「歩行者横断事故」、「車線逸脱に起因する事故」といった特定の事故場面を再現できることはもとより、複数の車両が走行している状況も再現する必要がある。

本節では、以上の場면을再現するために必要なシミュレータの基本構造を説明し、さらに構成要素ごとに必要となる要件について述べる。

なおシミュレータ開発の第一期間（～2016年度末）の目標としては、「追突」、「歩行者横断事故」、「車線逸脱に起因する事故」場면을再現できることとし、関連する支援システムの評価ができるよう製作を進めていく。ただし、本企画書で述べる基本要件を最終的に有するように拡張性を持たせた構造となるよう設計を行っておく必要がある。

3.1.1 シミュレータの基本構造

目的とするシミュレータを開発するためには、ドライバの運転行動および支援レベルや自動化レベルを再現する必要がある。「ドライバ」、「車両」、「歩行者／自転車」、「交通環境」、「支援システム（装置）」の5つの要素を表現できる構成とそれらの相互作用を模擬できることが必要である（図3.1-1参照）。各要素の定義を以下に示し、次節以降では各要素ごとに詳細な要件を述べる。なお、支援レベルや自動化レベルについては「3.1.5支援システム」で述べる。

- ドライバ：車室内・車室外からの情報を知覚・認知し、状況を判断した上で、車両に対して操作を行う要素
- 車両：ドライバや支援装置からの操作（制御）情報を受け取り、運動計算結果に基づいて走行する要素
- 歩行者、自転車：ドライバ・車両以外の交通参加者であり、自律的に行動する要素。
- 交通環境：ドライバ・車両以外の交通環境であり、標識や信号、建物（ブラインド）、白線などの自律的に行動はしないがドライバに対して情報の送付や行動を制限する要素
- 支援システム（装置）：車室内・車室外からの情報およびドライバの状態や操作をセンシングし、各支援装置の仕様に応じた支援を車両やドライバに行う要素

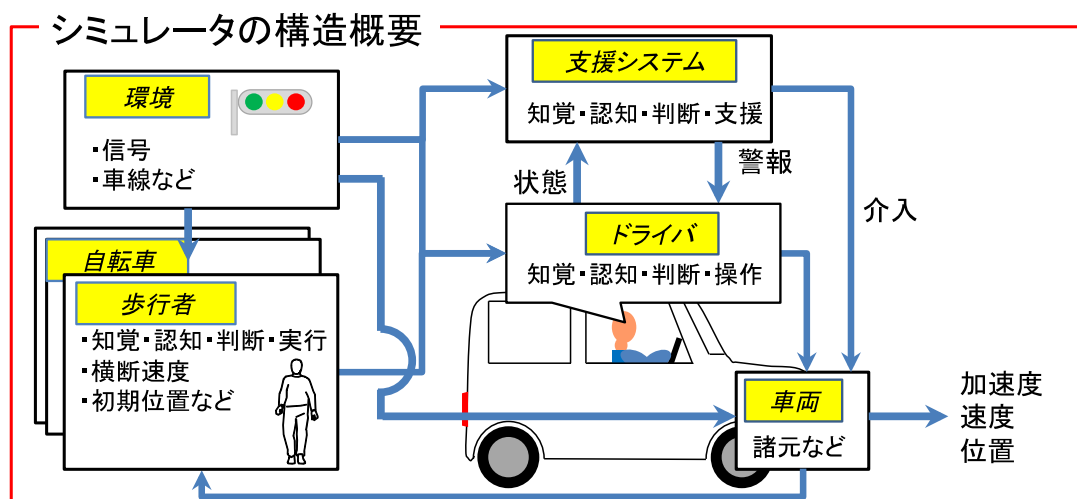


図3.1-1 シミュレータの構造概要

3.1.2 ドライバ

ドライバは、車室内・車室外からの情報を知覚・認知し、状況を判断した上で、車両に対して操作を行う。さらに自動運転や支援装置とのインタラクションも同時に行うと考えられる。

以下では、まず(1)シミュレータ上で模擬すべき運転行動、(2)ドライバの機能、および(3)支援装置とのインタラクションについて個別に述べる。さらに、(4)ドライバのエラーおよび(5)ドライバの属性についても述べる。

(1) 模擬すべきドライバの運転行動

シミュレータでのドライバの模擬に必要な運転行動要素としては、以下の点が考えられる。

- 目標地点までの経路選択を行うことができる。
(最適経路選択問題など)
- 道路環境（カーブや直線、ブラインドなど）に対応しながら単独で走行することができる。
(前方注視予測モデル、プログラム操舵モデルなど)
- 道路環境（カーブや直線、ブラインドなど）に対応しながら他の車両と相互に影響を及ぼしながら走行することができる。
(先行車追従モデル、目標速度追従モデルなど)
- 道路環境（カーブや直線、ブラインドなど）に対応しながら他の交通参加者と相互に影響を及ぼしながら走行することができる。
- 走行車線を変更、または意図した逸脱など行うことができる（駐車車両の回避や先行車の追い抜きなど）
- 潜在的な危険に対する補償行動を行いながら走行することができる。
(リスクポテンシャルモデル、リスク補償行動モデルなど)
- 危険が顕在化した状況における回避行動を行うことができる。
(飛び出し歩行者回避モデル、ストップディスタンスアルゴリズムなど)

(2) 模擬すべきドライバの機能（知覚・認知・判断・操作）

前述のドライバの運転行動をシミュレータ上で模擬するためには、ドライバの機能について検討し、個別に模擬する必要がある。ドライバは、周辺環境などから種々の情報を知覚した上で認知し、認知した情報をもとに判断を行い車両に対して操作を行っていると考えられる。従って知覚・認知・判断・操作の機能をシミュレータ上でも模擬する必要があると考えられる。模擬すべき機能を以下に列挙し、個別に詳細を述べる。

なお、模擬すべきドライバのエラーの詳細については、「(4)ドライバのエラー」で述べることとし、ここでは一例を示すに留める。

a. 知覚

ドライバは、周辺の道路環境や他車両、交通他者、さらには車室内の支援HMIを知覚する機能を有する必要がある（図3.1-2）。知覚するための要素、および要素ごとにシミュレータで模擬すべき内容を以下に示す。

- 視覚要素：ドライバの視線移動（ドライバの首振り動作）および視野角（見えている範囲）、視距離（見えている距離）を模擬することができ、視覚からの情報を取得することができる
- 聴覚要素：車両の外からの音情報（クラクションなど）、車室内からの音情報（警報、注意喚起、情報提供など）を取得することができる
- 触覚要素：車室内でドライバの接触により感じることができる情報（ハプティック警報、警報ブレーキなど）を取得することができる
- 見通し計算を行うことで遮蔽物やピラーの影響による視界阻害の影響を模擬することができる
- 脇見などによる知覚のミスを模擬することができる

b. 認知

ドライバは知覚した対象物に対し意味づけを行い、ドライバの状態や目的、運転戦略などに応じて取捨選択した結果として認知すると考えられるため、シミュレータ上でもこれらの機能を有する必要がある。ドライバの認知行動についてシミュレータで模擬すべき内容を以下に示す。

- 一旦認知した対象物については、視野の範囲から外れても一定時間記憶することができる
- ドライバの運転戦略や目的に応じて、知覚した対象物から認知する対象物を選択することができる（意図した認知対象物の選定：非優先側の車両を無視するなど）
- ドライバの状態に応じて、知覚した対象物から認知する対象物を選択することができる（意図しない認知対象物の限定：認知エラーなど）

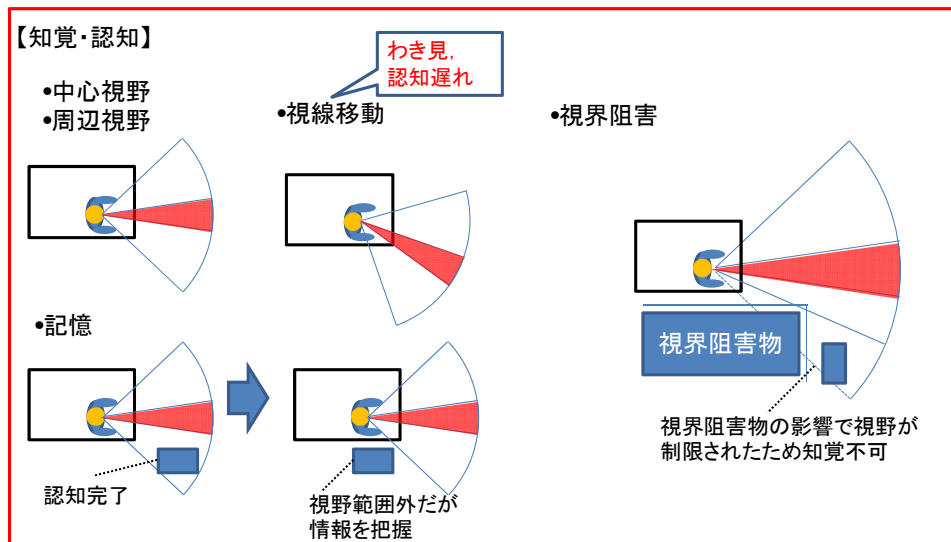


図3.1-2 知覚・認知機能のイメージ

c. 判断

ドライバは認知した情報を用いて、車両に対して操作を行うために、種々の判断を行っていると考えられるため、判断機能を有する必要がある（図3.1-3）。ドライバの判断についてシミュレータ上で模擬すべき内容を以下に示す。

- 認知した各対象物に応じた運転行動の選択を行うことができる（先行車との距離に応じた加減速、信号の情報に基づく停止判断、一時停止線情報に基づく停止判断など）
- 認知した各対象物に応じた運転行動量の選択をおこなうことができる（歩行者が道路上に飛び出してきたために 0.8G の減速度、カーブに沿って走行するためにハンドル角度を左に 40deg など）
- 認知した状況に応じて、競合している運転行動から適切な運転行動の選定を行うことができる（速度標識に基づく加速判断と歩行者飛び出しに基づく減速判断においては「減速判断の選定」など）
- 認知した状況やドライバの状態に応じた適切な行動の選定のミスを模擬することができる（判断エラーなど）

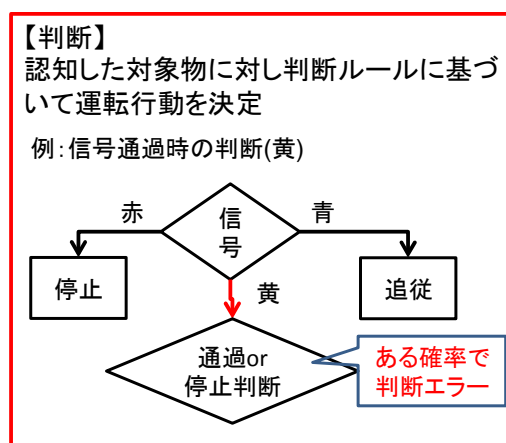


図3.1-3 判断機能のイメージ

d. 操作

ドライバは判断した行動に基づいて、車両を操作する（図3.1-4）。シミュレータ上で模擬すべき操作内容を以下に示す。

- アクセル操作を模擬することができる
- ブレーキ操作を模擬することができる
- ハンドル操作を模擬することができる
- ギアチェンジ操作を模擬することができる
- 踏力不足や操舵ミスといった操作エラーを模擬できる

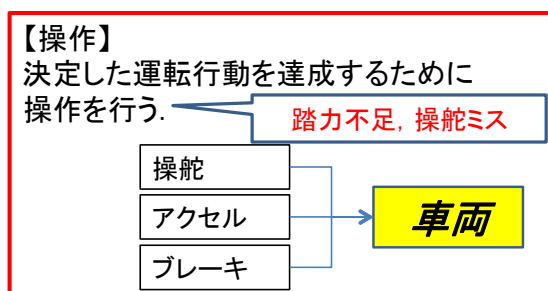


図3.1-4 操作機能のイメージ

(3) 支援装置とのインタラクション

ドライバは支援装置とのインタラクションとして、以下の機能を有する必要がある（図3.1-5）。

- 支援装置の制御とドライバの運転との競合が模擬できる
- 支援装置からの権限委譲時における対応行動が模擬できる
- 支援システムとの権限共有状態が模擬できる

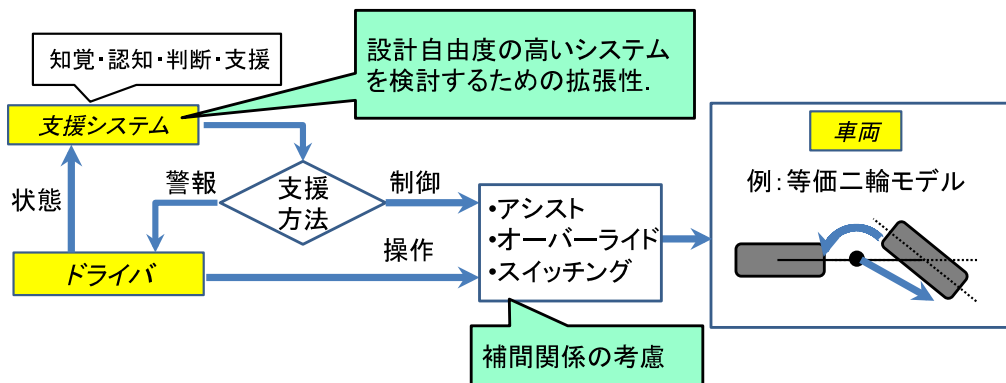


図3.1-5 支援システムとドライバのインタラクションに関するイメージ

(4) ドライバのエラー

事故の要因となるドライバのエラーについては、知覚・認知、判断、操作の各機能に対し、ITARDAの調査項目を参考に表3.1-1のようなエラー項目を模擬できる必要がある。

表3.1-1 ドライバエラーの一覧

発見の遅れ (知覚・認知のエラー)	前方不注意	内在的	居眠り運転
			その他、考え事等の漫然運転
		外在的	脇見
	安全不確認		安全確認をしなかった
			安全確認が不十分だった
判断の誤り等 (判断のエラー)	動静不注視		相手が譲ってくれると思って注視を怠った
			他の危険を避けようとして注視を怠った
			その他具体的危険性がないとして注視を怠った
	予測不適		運転感覚(速度、車幅、距離等)を誤った
			相手がルールを守ると思った
			相手が譲ってくれる、停止してくれると思った
			他の事故(危険)を避けようと思った
			その他相手の行動予見等の判断を誤った
	交通環境		道路形状、道路線形に対する認識を誤った
			道路環境に対する認識を誤った
			交通規制に対する認識を誤った
			交通安全施設に対する認識を誤った
			障害物等に対する認識を誤った
			その他の交通環境に対する認識を誤った
	操作上の誤り (操作のエラー)	操作不適	
ブレーキの踏みが弱い、踏み遅れ			
急ブレーキをかけた			
エンジン・ブレーキを使用しなかった			
ハンドルの操作不適			
ギアの入れ違い			
ブレーキをかけながらハンドル操作			
オートスピードコントロール装置等の操作不適			
その他の操作不適			

(5) ドライバの属性

上記(4)のドライバエラーの発生確率を選択するために、以下の様なドライバの特性を模擬可能とする必要がある。なお、ドライバの意識水準については、例えば長時間運転を行うと披露が蓄積し認知処理時間が低下するなどといったことが考えられる。したがって、シミュレーション中でその特性を動的にも変化できるように考慮しておく必要がある。

- 情報処理能力（知覚・認知性能のパラメータに影響）
 - 視力
 - 有効視野
 - 聴力
 - 反応時間

- 法令遵守傾向（判断性能のパラメータに影響）
 - 運転リスク評価
 - 信号に対する行動
 - 対向車に対する行動
 - 歩行者に対する行動

- 運転スキル（判断・操作性能のパラメータに影響）
 - 最高速度
 - 運転経験
 - 加速の大きさ
 - 他車両の行動予測

- 意識水準（全ての性能のパラメータに影響）
 - 眠気
 - あせり
 - 疲労
 - 低覚醒

3.1.3 車両

車両の機能としては、ドライバの操作に応じた車両運動を模擬すること、交通環境に対する位置（車線逸脱判定などのため）が定義できること、さらにドライバにとっての視覚阻害要素としての機能を模擬することが必要である。以下にシミュレータ上で模擬すべき内容を示す。

(1) 車種

車両の運動性能の違いや事故形態の違いから、以下の車種を最低限模擬しておく必要がある。

- 普通車（セダン、ミニバン、SUV）
- 軽自動車（普通軽自動車、軽貨物車）
- 大型車

(2) 諸元情報

視界阻害要因、交通環境に対する位置の定義や車両運動計算としての機能を模擬するための諸元情報は以下の通りである。

- 視界阻害要因や位置の定義のための諸元情報
 - 車高
 - 車幅
 - 車長
 - Aピラーの位置
 - ドライバのアイポイント位置
- 車両運動計算のための諸元情報
 - 車重
 - 回転慣性モーメント
 - 重心点座標
 - ホイルベース

(3) 車両運動計算

- エンジンモデル（ギア位置およびアクセル開度から性能曲線やガバナ特性を考慮に
入れたエンジン出力および燃料消費量の算出）
- 前後および左右運動モデル（平面二輪モデルなど：進行方向の力のつり合い、ヨー
回転方向のモーメントのつり合い）
- 転がり抵抗、空気抵抗（前影投影面積による Cd 値）、登坂抵抗を加味した進行方
向推進力の算出
- タイヤモデル（マジックフォーミュラ、ブラッシュモデルなど：スリップ率による
進行方向の力の発生およびスリップ角による横方向の力の発生など）
- 上記運動計算を過渡領域においても精度良く検討するため、各モデルの計算ステッ
プ時間として、最低 10ms で計算する必要がある

3.1.4 歩行者／自転車

(1) 歩行者

歩行者はドライバと同様に、知覚・認知により外界の情報を取得し、取得した情報と目的をもとに行動判断を行い、行動（歩行・佇立・横断など）を行っている（図3.1-6）。そこで、歩行者においても知覚・認知・判断・行動機能を摸擬する必要がある。

- 知覚：ドライバと同様に音情報や視覚情報（視野角や視野範囲・首振り運動）の取得を考慮に入れ、周辺車両を知覚する機能を摸擬する必要がある
 - 視覚要素：歩行者の視線移動（歩行者の首振り動作）および視野角（見えている範囲）、視距離（見えている距離）を摸擬することができ、視覚からの情報を取得することができる
 - 聴覚要素：音情報（クラクションや車両騒音など）を取得することができる
 - 知覚のミスを摸擬することができる
 - 見通し計算を行うことで遮蔽物（工作物や車両など）の影響による視界阻害の影響を摸擬することができる
- 認知：ドライバと同様に、歩行者においても知覚している周辺情報をすべて認知しているとは考えにくいいため、認知する対象物を選択する機能を摸擬する必要がある
 - 一旦認知した対象物については、視野の範囲から外れても一定時間記憶することができる
 - 歩行者の状態に応じて、知覚した対象物から認知する対象物を選択することができる（意図しない認知対象物の限定：認知エラーなど）
 - 歩行者の行動戦略や目的に応じて、知覚した対象物から認知する対象物を選択することができる
- 判断：歩行者は認知した対象物に対して、道路上での歩行や横断の可否判断、横断場所の選定などを判断していると考えられるため、以下の機能を摸擬する必要がある
 - 認知した各対象物に応じた行動（佇立・横断・歩行など）の選択を行うことができる
 - 認知した各対象物に応じた行動量の選択をおこなうことができる（横断を試みたが車両が接近したので横断速度を速めるなど）
 - 認知した状況に応じて、競合している運転行動から適切な行動の選定を行うことができる（横断中、車両の接近に対して「加速して渡りきる」または「引き返す」の選択など）
 - 認知した状況や歩行者の状態に応じた適切な行動の選定のミスを摸擬することができる（判断エラーなど）

- 行動：判断した結果、行動（歩行・横断・佇立）を実行する機能を模擬する
 - 佇立（道路上、歩道上などでの立ちつくし行動）
 - 歩行（道路上、歩道上などでの歩行行動）
 - 横断（道路を横断する行動）
 - 横断引き返し（道路を横断中に横断開始側に引き返す行動）

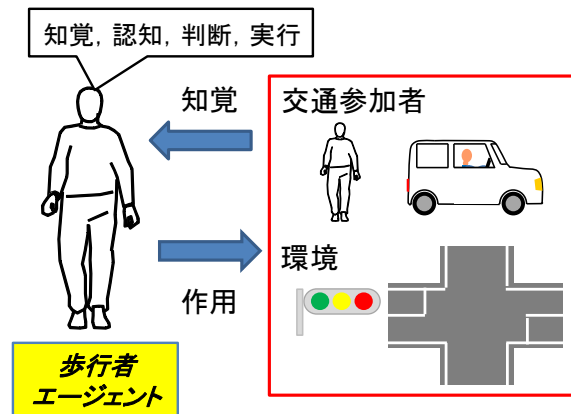


図3.1-6 歩行者の動作イメージ

(2) 自転車、その他

自転車、その他の交通参加者（例えば、車いす、シニアカーなど）といった要素においても歩行者と同様に、知覚・認知により外界の情報を取得し、取得した情報と目的をもとに行動判断を行い、実行を行っている。そこで、これらについても認知・知覚・判断・実行機能を模擬する必要がある。なお、これらの要素は、歩行者と入力する速度やその分布などが異なるだけで、基本的な動作原理は同じと考えられ、必要な機能についても同様であると考えられることから、ここでは詳細を省略する。

3.1.5 交通環境

(1) 道路構造物

道路構造物としては、実交通環境をできる限り模擬する必要があるがすべての交通環境を模擬することは困難であるため、道路構造物を参考に以下に示す主要な構成要素を模擬する。

- 交差点・分岐・合流
- 道路形状：交差角度、車線数・車線幅員・車線表示、勾配、路肩幅員、右折専用車線・左折専用車線の指定、停止線位置、直線、カーブ、歩道、道路終端、歩道幅員
- 道路付帯設備：車両用信号機、歩行者用信号機、標識、中央分離帯、ガードレール、カーブミラーなど
- 構造物：駐車車両・故障車、電柱、立ち木、街灯、遮蔽物（建物、塀など）

(2) 環境情報

歩行者横断事故は夜間に発生する割合が多く、夜間の視認性を向上させるための支援装置(例えば、ADB)が開発されている。このような支援装置を評価するためには昼夜の状況も模擬できる必要がある。

センサーの一部は、天候の影響を受けることで、その性能が十分に発揮できないものもある(例えば、カメラは雨滴に弱いなど)。将来的にセンサーの違いを模擬できるような構造としておく必要がある。

以上をまとめると、機能として必要な要素は以下の通りである。

- 昼夜の状態を模擬できる
- 天候の影響(晴、雨など)を模擬できる

3.1.6 支援システム（自動走行システムを含む）

支援システムでは、支援のレベルや自動化のレベルに応じて、多岐に渡るシステムを評価することを想定して、シミュレータを設計する必要がある。以下に、各支援システムの概略とその要件を示す。

(1) 車両単独での支援

現状、種々の予防安全支援装置が開発されている。先行車との車間距離情報を取得し自車を加減速制御するACCや、車線に対する自車の位置を検知してハンドル制御を行うLKAなどがすでに開発され実用化されているが、今後さらなる支援装置が研究開発されていくと考えられ、これらの技術（支援装置）を容易にシミュレータ上で模擬し、効果を評価する必要がある。

自動運転に関連する技術（支援装置）について、ASV開発計画ではドライバの運転行動（知覚・認知・判断・操作）と支援レベル（情報提供・注意喚起・警報・制御）に応じて分類している。ここで支援レベルに着目すると、ドライバの知覚・認知機能の拡大などを目的とした技術（情報提供）やドライバの運転行動に直接影響を与える技術（注意喚起や警報など）、ドライバに代わって車両を直接制御する技術（制御）など多様であり、各支援装置自体の仕様も開発するメーカーごとに異なることが予想される。これらをシミュレータ上で模擬するためには、各支援装置の仕様（入力情報や支援内容）を容易に組み込めるような構造としておく必要があり、以下の点で考慮が必要と考えられる。

- 各種技術（支援装置）の仕様に合わせて、シミュレータ上で実現可能であること
 - 各種技術（支援装置）からの支援に応じたドライバの行動が模擬可能であること
- （自動運転に関連する技術の例：ADB、夜間歩行者警報、CSWS、ふらつき警報、車間距離警報、車線逸脱警報、対車両AEB、ACC、LKA、ESC、ESS、ペダル踏み間違い時加速抑制装置、対歩行者AEBなど）

(2) 通信利用型での支援

自動運転に関連する技術として、道路インフラや他車両、歩行者などとの間で通信を行う通信利用型安全運転支援システムが各方面で検討されている。これらの支援システムでは、ドライバから見えないまたは見えづらい事象の情報をドライバに伝達することによって事故リスクを低減する目的（ドライバの知覚・認知の拡大）や、情報提供や速度制御介入、信号制御などを用いてあらかじめ危険事象に遭遇しないような状況に誘導する目的などが検討されている。通信利用型安全運転支援システムは発展途上であり、今後様々な利用フェーズが検討されていくと考えられるため、これらをシミュレータ上で模擬するためには、以下の点で考慮が必要と考えられる。

- 通信利用型安全運転支援システムが模擬できること
- 通信利用型安全運転支援システムによる情報提供や速度制御介入などが模擬できること
- 通信利用型安全運転支援システムによる支援を提供されたドライバの行動を模擬できること

(通信利用型安全運転支援システムの例：車車間通信、路車間通信、歩車間通信など)

(3) 外界環境からの支援

事故低減効果が見込める支援として、標識などによる情報提供も考えられる。例えば、「事故多発地点標識」によるドライバのリスク補償行動を促す支援や、「サグ情報」などのドライバの意図しない速度低下を予防する支援など、間接的にドライバの行動変容を促すことで事故低減を見込む支援がこれにあたる。これらの支援効果についても模擬することができれば、事故低減に向けた支援方策検討の一助としてシミュレータを活用することが可能となる。これらをシミュレータ上で模擬するためには、以下の点での考慮が必要と考えられる。

- 標識などによるドライバへ伝達するメッセージがシミュレータ上で模擬できること
- 標識などに応じたドライバの行動が模擬できること

(4) 自動走行システム

SIP自動走行システム研究開発計画によると、表3.1-2に示すように、自動化レベルは以下のレベル1～4まで4段階で定義されている。この中で、レベル2～4の3段階を自動走行システムと定義づけている。

表3.1-2 自動化レベルとそれを実現する自動走行システム・運転支援システムの定義

自動化レベル	概要	左記を実現するシステム	
レベル1	加速・操舵・制動のいずれかを自動車が 行う状態	安全運転支援システム	
レベル2	加速・操舵・制動のうち複数の操作を 同時に自動車が 行う状態	準自動走行システム	自動走行 システム
レベル3	加速・操舵・制動を全て自動車が 行い、緊急時のみドライバーが 対応する状態		
レベル4	加速・操舵・制動を全てドライバー以外が 行い、ドライバーが全く 関与しない状態	完全自動走行システム ^{*5)}	

自動走行システム（上記レベル2～4）による事故低減効果を評価するためには、シミュレータ上でこれらの自動化レベルに合わせた支援技術の摸擬が必要となる。さらにレベル2や3のようにドライバと自動走行システムが共に（同時または連続的に）車両を操作する場合には、自動走行システムとドライバとのインタラクションを考慮する必要がある。また自動走行システムの普及段階では、これらの自動走行システムが同時に普及していくとは考えにくく、各レベルが混在化する状況が想定される。

したがって、将来的に自動走行システムの事故低減効果を評価するために、以下のような要件についても考慮できるよう拡張性を持った構造とする必要がある。

- 各自動化レベル単体での実現が摸擬できること。
- ドライバとのインタラクションを摸擬できること（自動化レベル2および3）
- 種々の自動化レベルが混在化させてシミュレーションができること。（例えば、自動化レベル1の車両が20%、自動化レベル2が20%、自動化レベル3が20%、自動化レベル4が40%の場合など）

3.2 その他の要求機能

有効にシミュレータを活用するためには、シミュレータを実行する上での使用用途に合わせた機能が実現できることが必要である。以下に、使用用途とそれに合わせた要求機能について整理して示す。

3.2.1 使用用途

用途1：特定の事故場面に特化した支援装置の有効性の評価

用途2：交通支援施策などの事前検証などを目的とした、交差点数2～3個程度の小規模な交通環境での事故発生確率の評価（車両台数50～100台程度）

用途3：全国規模での事故発生確率や燃費、環境影響の評価を目的とした大規模な交通環境での評価（車両台数1000台以上）

3.2.2 使用用途に合わせた要求機能

用途1について：

- 特定の事故場面に特化した場面のみをシミュレータ上で模擬し、加速的にシミュレーションを行う機能を有すること（加速シミュレーション）
- なお、装置の有効性評価は様々な要件で迅速に評価する必要があるため、市販ノートパソコンを用いた場合においても最低限実時間に対する5倍速程度で計算可能な計算負荷であること

用途2について：

- 小規模の交通環境において、数時間～数年の規模のシミュレーションを行うことで偶発的に事故が発生するような機能を有すること（交通環境再現シミュレーション）
- なお、本用途においても、様々な要件で迅速に評価する必要があるため、市販ノートパソコンを用いた場合においても最低限実時間に対して5倍速程度で計算可能な計算負荷であること
-

用途3について：

- 大規模な交通環境において、数時間～数年の規模のシミュレーションを行うことで偶発的に事故が発生するような機能を有すること（交通環境再現シミュレーション）
- なお、本用途においては計算負荷が多大となることが想定されるため、並列計算などにより計算効率の最適化が図れるように設計されていること

3.3 まとめ

これまでに挙げた要件を、表3.3-1～表3.3-4にまとめ、以下に示す。

表3.3-1 シミュレータの要件一覧（再現場面と基本構造）

分類	要件	
基本構造	再現場面	「追突」、「歩行者横断」、「車線逸脱に起因する事故」といった特定の事故場면을再現できること。 複数の車両が走行している状況を再現できること
	構成要素	「ドライバ」、「車両」、「歩行者、自転車」「交通環境」、「支援システム(装置)」の5つの要素を表現できる構成とそれらの相互作用を模擬できること。

表3.3-2 シミュレータの要件一覧（ドライバ）

分類	要件	
ドライバ	運転行動	目標地点までの経路選択を行うことができること
		道路環境(カーブや直線、ブラインドなど)に対応しながら以下の運転行動ができること ・「単独」で走行することができる ・「他の車両」と相互に影響を及ぼしながら走行することができる ・「他の交通参加者」と相互に影響を及ぼしながら走行することができる
		潜在的な危険に対する補償行動を行いながら走行することができること
		危険が顕在化した状況における回避行動を行うことができる
		知覚
	知覚	視覚要素:ドライバの視線移動(ドライバの首振り動作)および視野角(見えている範囲)、視距離(見えている距離)を模擬することができ、視覚からの情報を取得することができる
		聴覚要素:車両の外からの音情報(クラクションなど)、車室内からの音情報(警報、注意喚起、情報提供など)を取得することができる
		触覚要素:車室内でドライバの接触により感じることができる情報(ハブティック警報、警報ブレーキなど)を取得することができる
	認知	見通し計算を行うことで遮蔽物やピラーの影響による視界阻害の影響を模擬することができる
		一旦認知した対象物については、視野の範囲から外れても一定時間記憶することができる
		ドライバの運転戦略や目的に応じて、知覚した対象物から認知する対象物を選択することができる
	判断	ドライバの状態に応じて、知覚した対象物から認知する対象物を選択することができる
		認知した各対象物に応じた運転行動の選択を行うことができる
		認知した各対象物に応じた運転行動量(加・減速度)の選択をおこなうことができる
操作	認知した状況に応じて、競合している運転行動から適切な運転行動の選定を行うことができる	
	以下の操作を模擬できること ・アクセル操作 ・ブレーキ操作 ・ハンドル操作 ・ギアチェンジ操作	
	支援装置とのインタラクション	
エラー	支援装置の制御とドライバの運転との競合が模擬できる	
	支援装置からの権限委譲時における対応行動が模擬できる 支援システムとの権限共有状態が模擬できる	
属性	知覚・認知・判断・操作の各機能に対し(表3.1に示すような)ドライバエラーを模擬できること	
属性	ドライバ属性による運転行動やエラー確率の変化を模擬するために以下のパラメータを模擬できること ・情報処理能力(視力、有効視野、聴力、反応時間) ・法令遵守傾向(運転リスク評価、信号・対向車・歩行者・その他交通参加者に対する行動) ・運転スキル(最高速度、運転経験、加速の大きさ、他車両の行動予測) ・意識水準(眠気、あせり、疲労、低覚醒)	

表3.3-3 シミュレータの要件一覧（車両、歩行者／自転車、交通環境、支援システム）

分類	要件	
車両	(1)車種	車種の違いを模擬できること ・普通車(セダン, ミニバン, SUV), 軽自動車(普通軽自動車, 軽貨物車), 大型車
	(2)諸元情報	車両運動計算や交通環境に対する位置の定義, 視界障害要因としての機能を模擬できる
	(3)車両運動計算	エンジンモデルを模擬できる(ギア位置およびアクセル開度から性能曲線やガバナ特性を考慮にいれたエンジン出力および燃料消費量の算出)
		前後および左右運動モデル(平面二輪モデルなど:進行方向の力のつり合い, ヨー回転方向のモーメントのつり合い)
転がり抵抗, 空気抵抗(前投影面積によるCd値), 登坂抵抗を加味した進行方向推進力の算出		
歩行者, 自転車	(1)歩行者	知覚:ドライバーと同様に音情報や視覚情報(視野角や視野範囲・首振り運動)の取得を考慮に入れ, 周辺車両を知覚する機能を模擬する
		認知:ドライバーと同様に, 歩行者においても知覚している周辺情報をすべて認知しているとは考えにくいいため, 認知する対象物を選択する機能を模擬する
		判断:認知した対象物に対して, 道路上での歩行や横断の可否判断, 横断場所の選定などを判断する機能を模擬する
	(2)自転車, その他	自転車やその他の交通参加者についても, 歩行者と同様に知覚・認知, 判断, 操作の機能を模擬できる
交通環境	(1)道路構造物	道路構造令を参考に主要な構成要素を模擬できる ・交差点・分岐・合流 ・道路形状:交差角度, 車線数・車線幅員・車線表示, 勾配, 路肩幅員, 右折専用車線・左折専用車線の指定, 停止線位置, 直線, カーブ, 歩道, 道路終端, 歩道幅員 ・道路付帯設備:車両用信号機, 歩行者用信号機, 標識, 中央分離帯, ガードレール, カーブミラーなど ・構造物:駐車車両・故障車, 電柱, 立ち木, 街灯, 遮蔽物(建物, 塀など)
	(2)環境情報	昼夜の状態を模擬できる 天候の影響(晴, 雨など)を模擬できる
支援システム	(1)車両単独での支援	各種技術(支援装置)の仕様に合わせて, シミュレータ上で実現可能であること 各種技術(支援装置)からの支援に応じたドライバーの行動が模擬可能であること
	(2)通信利用型での支援	通信利用型安全運転支援システムが模擬できること ・情報提供や速度制御介入などが模擬できること ・支援を提供されたドライバーの行動を模擬できること
	(3)外界環境からの支援	標識などによるドライバーへ伝達するメッセージがシミュレータ上で模擬できること 標識などに応じたドライバーの行動が模擬できること
	(4)自動走行システム	各自動化レベル単体での実現が模擬できること。 ドライバーとのインタラクションを模擬できること(自動化レベル2および3) 種々の自動化レベルが混在化させてシミュレーションができること。

表3.3-4 シミュレータの要件一覧（その他の要求機能）

分類	要求機能
その他の要求機能	<p>3つの使用用途に対する要求機能を以下に示す。</p> <p>【使用用途1】: 特定の事故場面を加速的に再現し, 支援装置の有効性の評価 ・支援装置の有効性評価を様々な条件で迅速に評価するために, 市販ノートパソコンでも計算が可能なこと</p> <p>【使用用途2】: 事故発生確率への評価を目的とし, 交差点数2~3個程度で車両台数50~100台程度を想定した小規模な交通環境での評価 ・装置の有効性評価を様々な条件で迅速に評価するために, 市販ノートパソコンでも計算が可能なこと ・市販ノートパソコンで計算した際のシミュレーションでの時間が最低でも実時間に対する5倍程度できること</p> <p>【使用用途3】: 事故発生確率や燃費, 環境影響への評価を目的とし, 車両台数1000台以上を想定した全国規模の交通環境での評価 ・想定される多大な計算負荷に対応するために並列化計算を実行し, 計算の効率化が図れるようにできること</p>

第4章 シミュレーション装置の仕様策定

本章では、ASSTREETをはじめとする交通環境再現型マルチエージェントシミュレータの調査結果に基づき、第3章の企画書にて定義された要求事項、および具備すべき機能を実現するシミュレーション装置の全体構造や、入出力などを仕様として定義する。

4.1. 企画書の主な要求事項

第3章のシミュレーション装置に対する主な要求事項を下記に整理する。

- ・ **シミュレーション装置全体に関する要求**
 - ドライバ、車両、歩行者・自転車、交通環境、支援システム（装置）の5つの要素を表現でき、かつそれらの相互作用を模擬できること。
- ・ **ドライバーに関する要求**
 - ドライバの知覚・認知・判断・操作の機能、ドライバー毎の特性、およびドライバーを模擬できること。
- ・ **支援システムに関する要求**
 - 支援システムでは、車両単独型の支援（車線に対する自車の位置を検知してハンドル制御を行うLKAなど）、通信利用型の支援（道路インフラや他車両、歩行者などとの間で通信を行う支援システム）を模擬できること。
 - 支援システムでの種々の自動化レベルが混在した交通環境を模擬できること。
- ・ **歩行者に関する要求**
 - 歩行者の知覚・認知・判断・行動（歩行、佇立、横断など）を模擬できること。
- ・ **交通環境に関する要求**
 - 交差点、道路形状、道路付帯設備、構造物などを模擬できること。
 - 交通環境としては、昼夜の状態、天候の影響（晴、雨など）も模擬できること。
- ・ **使用用途に応じた要求**
 - 特定の事故場面（先行車との衝突事故、前方歩行者との衝突事故、車線逸脱に起因する事故）に特化し、事故場面の模擬、および支援システムの有効性評価ができること。
 - 小規模な交通環境（車両台数50～100台程度）において、事故発生確率の評価を実時間に対して5倍速程度で計算可能とすること。
 - 大規模な交通環境（車両台数1,000台以上）において、偶発的事故的発生模擬できるようにすること（計算負荷が多大となることが想定されるため、並列計算などにより計算効率の最適化を図ること）。

4.2. シミュレーション装置の概要

本節では、3つの使用用途に応じた、シミュレーションの規模と装置構成についてまとめる。

4.2.1. 特定の事故場面に特化した支援システムの有効性評価

追突事故、歩行者横断中事故、車線逸脱事故の事故場面に特化した加速シミュレーションが可能であり、支援システムの有効性評価ができる。1万パターン程度までのシミュレーションをノートパソコンで、数万パターン程度までのシミュレーションを複数台のデスクトップパソコンで、それ以上のパターンをPCクラスタでそれぞれ実行可能とする。

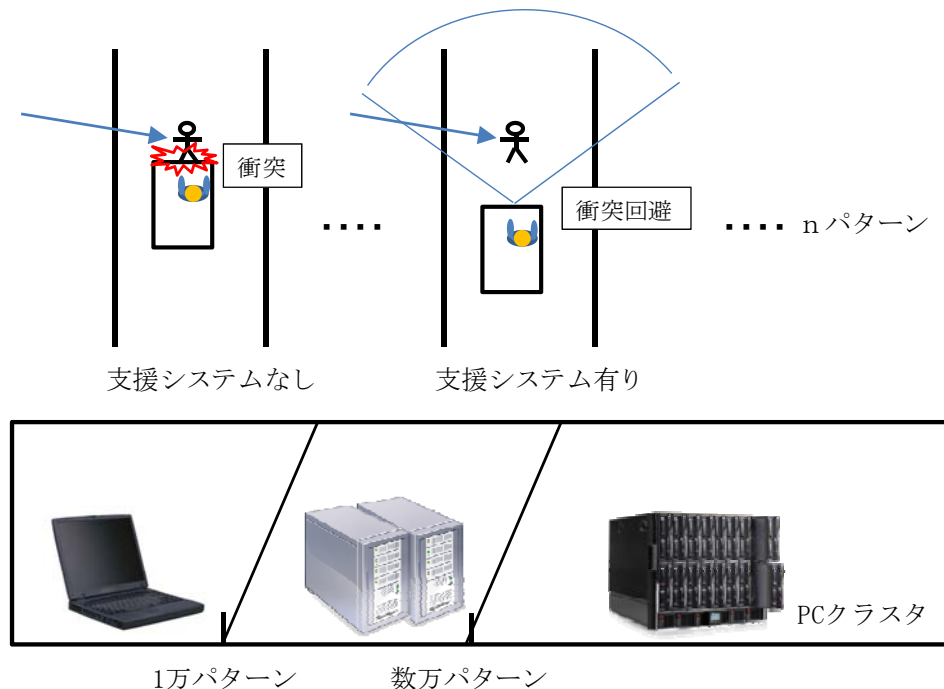


図4.2-1 特定の事故場面に特化した支援システムの有効性評価
(事故パターンは歩行者横断中事故の例)

4.2.2.小規模な交通環境での交通環境再現シミュレーション

小規模な交通環境（交差点数2～3個程度、車両台数50～100台程度）での偶発的交通事故の発生を模擬し、事故発生確率の評価ができる。1日分程度までの期間に対するシミュレーションをノートパソコンで、1週間分程度までの期間に対するシミュレーションを複数台のデスクトップパソコンで、それ以上で数年分程度までの期間に対するシミュレーションPCクラスタでそれぞれ実行可能とする。

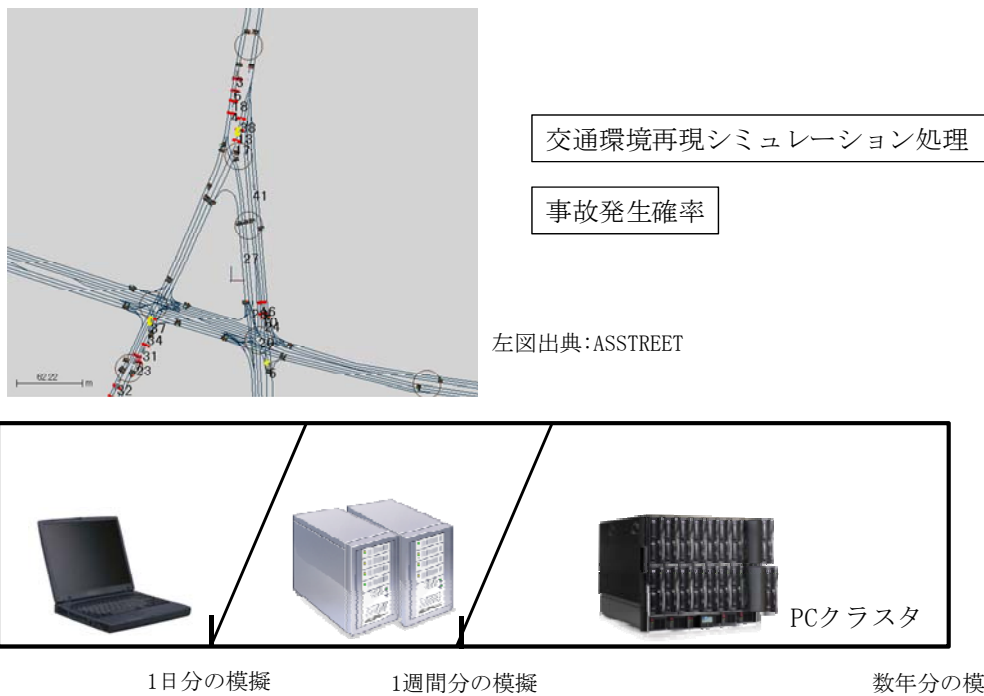


図4.2-2 小規模な交通環境での交通環境再現シミュレーション

4.2.3.大規模な交通環境での事故発生確率、環境負荷の評価

事故発生確率や環境負荷の評価を目的とした、大規模な交通環境(車両台数1,000台以上)での交通環境再現シミュレーションができる。1時間分程度までの期間に対するシミュレーションをノートパソコンで、1日分程度までの期間に対するシミュレーションを複数台のデスクトップパソコンで、それ以上で数年分程度までの期間に対するシミュレーションPCクラスタでそれぞれ実行可能とする。

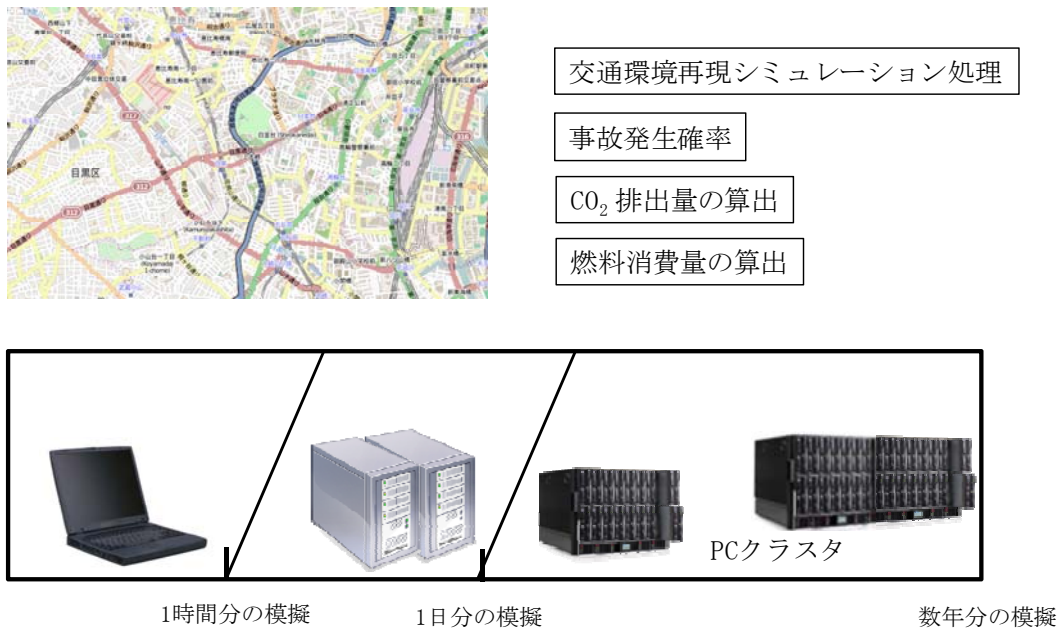


図4.2-3 大規模な交通環境での事故発生確率、環境負荷の評価

4.3. システム構成

シミュレーション装置のシステム構成を図4.3-1. に示す。シミュレーション装置は、道路構造エディタ、シミュレータモジュール（※1）、傷害評価モジュールから構成される。

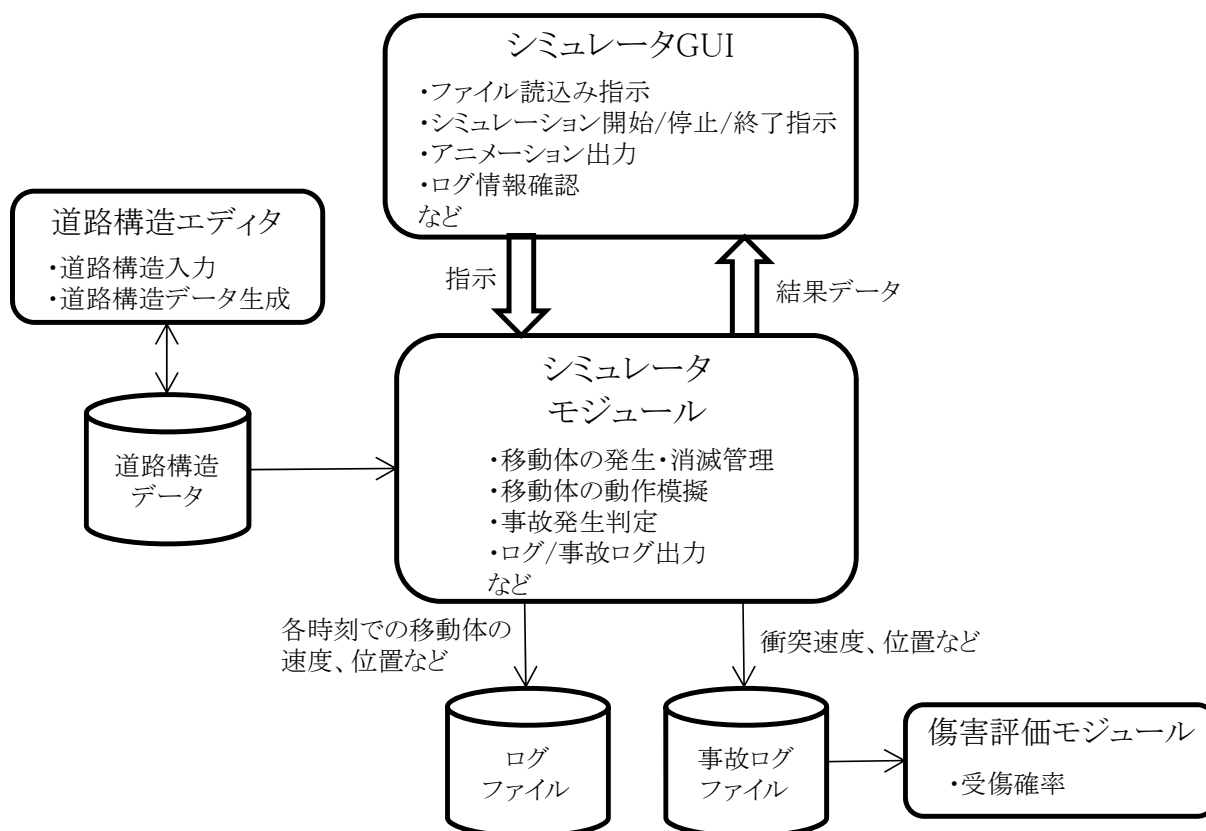


図4.3-1 シミュレーション装置の全体構成

※1 モジュール：ひとまとまりのある機能を実現するシステムの構成要素

4.3.1.道路構造エディタ

・シミュレーション対象の道路構造をグラフィカルに入力し、結果の道路構造データを生成してファイル出力する。

<道路構造に関する情報の例>

- ・交差点
- ・道路形状
- ・信号
- ・道路標識
- ・周辺建物

4.3.2.シミュレータモジュール

- ・シミュレーション実行を担当するシミュレーション装置の本体部分。
- ・自動車、歩行者、自転車などの各移動体を道路構造上に生成し、各移動体の動作を模擬し、結果のログファイルを出力する。
- ・事故が発生した場合には、その移動体の移動速度や座標位置などを事故ログファイルとして出力する。

- ・各移動体（シナリオモード（4.4.6参照）の場合は除く）は、それぞれが周囲の情報を取得し、状況を判断して自律的に行動して相互に働きかけるマルチエージェントの手法により実現する。

4.3.3.シミュレータGUI

シミュレーションの設定、実行、結果の確認を行うためのグラフィカル・ユーザ・インタフェース（以下GUI）であり、以下の機能をもつ。なお、GUIを使用せずにバッチモードでも使用可能とする。

- ・道路構造データ、シナリオファイルなどのシミュレーションに必要となるファイルの読み込み指示を行う。
- ・ボタン操作により、シミュレーション開始、停止、終了の指示を行う。
 - ー終了ボタンを操作した場合は、シミュレーションの途中でも強制終了となる。
- ・シミュレーション実行状況のアニメーション出力機能をもち、鳥瞰ビュー、3Dビュー、ドライバビューの3種類を選択できる。3種のビューの例を図4.3-2に示す。
 - ーシミュレーション実行中にビューの切り替えが可能。
 - ー鳥瞰ビューでは、ズーム、表示位置の移動ができる。
 - ー3Dビューでは、視点位置・角度を変更できる。
 - ードライバビューでは、表示対象とする車両（車両ID）を指定する。

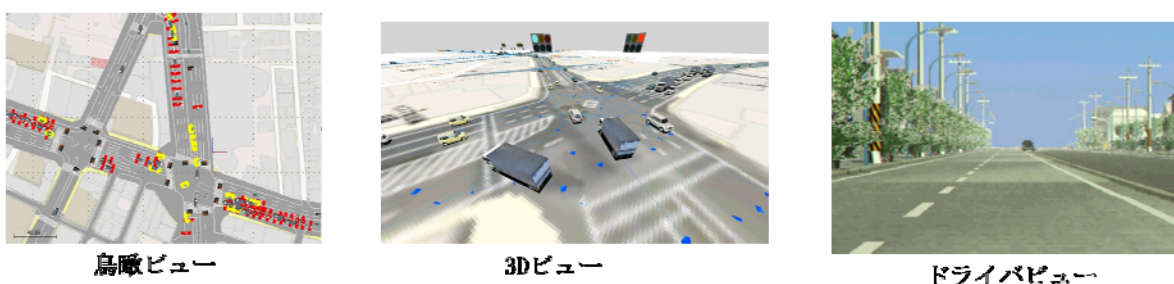


図4.3-2 3種のビューの例（出典：ASSTREET）

- ・シミュレーション結果のログ統計情報を表示する。
 - ー生成した総車両台数、事故件数、事故率、各交差点での流入・流出交通量など

4.3.4.傷害評価モジュール

- ・シミュレータモジュールにおいて生成された事故ログファイルの各情報（衝突速度など）をもとに、当該事故による人的傷害の大きさを評価し、評価対象シナリオ全体における、人的傷害のレベル（無傷、軽傷、重傷、死亡）を推定する。

4.4. シミュレータモジュール

4.4.1. シミュレータモジュールの構成

シミュレータモジュールの構成を図4.4.1-1に示す。

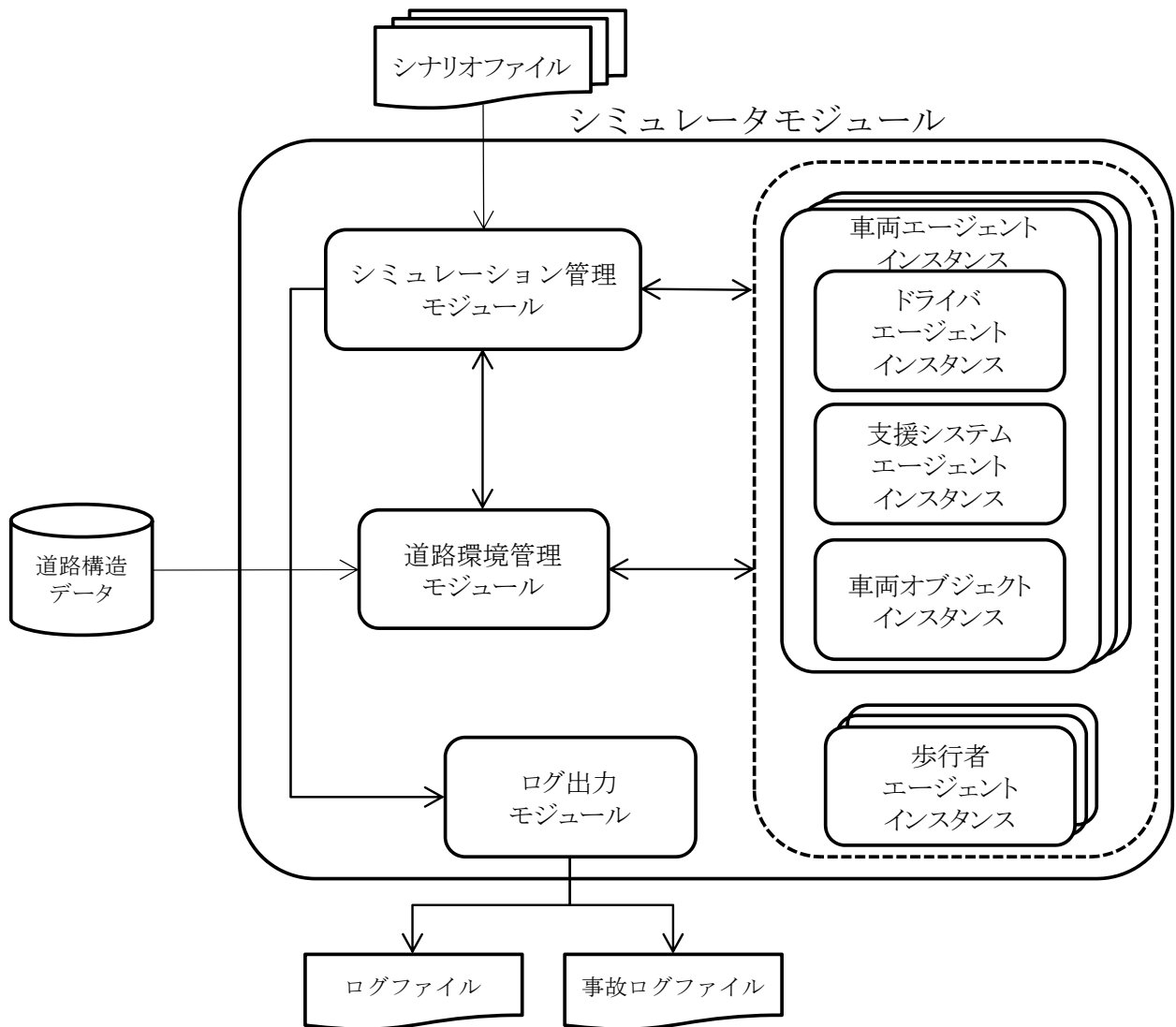


図4.4.1-1 シミュレータモジュールの構成

(1) シミュレーション管理モジュール

<主な機能>

- ・シナリオファイルを読み込む。
- ・シナリオに従った車両エージェントや歩行者エージェントのインスタンス（※2）の生成・消滅を管理する。
- ・シミュレーションの実行管理・時間管理などを行う。
- ・事故が発生したかどうかの判定を行う。
- ・交通流量をカウントする。

※2 個々に異なる実体を表すために、エージェントやオブジェクトの雛型に対して、特性パラメータの情報を付加して個別に生成したもの。

(2) 道路環境管理モジュール

<主な機能>

- ・道路構造エディタにより作成された道路構造に関するデータを読み込む。
- ・道路構造に関するデータ、車両エージェントや歩行者エージェントの存在情報、位置情報を管理する。

(3) 車両エージェント

車両エージェントは、以下の要素によって構成され、構成要素毎に、個々の特性パラメータを割当ててインスタンスを生成する。

<車両エージェントの構成要素>

- ・ドライバエージェント
- ・支援システムエージェント（支援システムを搭載している場合のみ）
- ・車両オブジェクト

<車両エージェント・インスタンスの発生>

道路上の出現位置（複数個所に設定可能）に発生台数、発生間隔、走行経路などをシナリオにより定義する。

<車両エージェント・インスタンスの消滅>

事故が発生した場合、または設定した経路を走行し終えた場合に実施する（※2）。

<走行経路の設定方法（以下①～③の中から選択可能とする）>

- ①出現位置、経路（各通過ポイント）、消滅位置を定義
- ②出現位置と消滅位置を指定、通過経路はシミュレータ側で生成
- ③出現位置と消滅位置をシミュレータ側で自動生成

※2 出現位置と消滅位置を重ねて同じポイントとした場合は、周回定義（終了点に到着しても車両は消えずに規定ルートをループして走行）も可能とする。

(3-1) ドライバエージェント

<主な機能>

- ・交通環境管理モジュールから各時刻での自車の周囲の状況を取得（知覚）する。
- ・知覚した情報をもとに、認知、判断の処理を実行する。
- ・判断結果に基づくドライバ操作（加速、減速、操舵など）によって生成される速度、加速度、舵角などを模擬し、車両オブジェクトに出力する。
- ・個々のドライバエージェントは、特性パラメータを割当てたインスタンスとして扱う。

(3-2) 支援システムエージェント

<主な機能>

- ・交通環境管理モジュールから各時刻での周囲の状況を取得（センサ検知）する。
- ・検知した情報をもとに、支援システムの制御ロジックの処理を実行する。
- ・制御ロジックの結果に基づき、ドライバへの警報の出力、車両への舵角・速度の補正などを行う。
- ・個々の支援システムエージェントは、特性パラメータを割当てたインスタンスとして扱う。

(3-3) 車両オブジェクト

<主な機能>

- ・ドライバエージェントによる操作と、支援システムエージェントから出力された補正により、決定される速度、加速度、舵角などを入力とする。
- ・運動方程式により決定される単位時間後の車両位置を算出する。
- ・算出された単位時間後の車両位置を、道路環境管理モジュールに出力する。
- ・環境負荷解析モードの指定を可能とし、このモードが指定された場合は車両走行時のCO2排出累積量、燃料消費累積量（いずれか一方のみ出力指定も可）を算出し、結果を出力する。
- ・個々の車両オブジェクトは、特性パラメータを割当てたインスタンスとして扱う。

(3-4) 歩行者エージェント

<主な機能>

- ・交通環境管理モジュールから各時刻での自車の周囲の状況を取得（知覚）する。
- ・知覚した情報をもとに、認知、判断の処理を実行する。
- ・判断結果に基づき、行動（歩行、佇立、横断など）する。
- ・車両エージェントと同様に、シナリオに基づく、道路上の出現位置（複数個所に設定可能）に発生人数、発生間隔、歩行経路などを設定可能とする。
- ・個々の歩行者エージェントは、特性パラメータを割当てたインスタンスとして扱う。
- ・歩行者エージェント・インスタンスは、事故が発生した場合、または設定した経路を歩行し終えた場合に消滅させる。

(4) ログ出力モジュール

<主な機能>

- ・各時刻での移動体（車両エージェント・インスタンスや歩行者エージェント・インスタンス）毎の位置、方向、速度、加速度などを記録し、ログファイルとして出力する。本機能のON/OFF設定、出力対象とする時刻範囲の指定も可能とする。
- ・ログの統計情報（生成した総車両台数、事故件数、事故率、各交差点での流入・流出交通量など）も出力可能とする。

- 各ドライバエージェント・インスタンスに対して適用している判断ルールの情報やドライバの状態なども出力可能とする。
- 事故が発生した場合は、当該車両や歩行者の位置、速度、方位角、衝突面、衝突位置などの情報を事故ログファイルとして出力する。
- 事故ログファイルでは、事故が発生する前の時刻からの時系列ログデータも出力可能とする。（何秒前からの時系列ログとするかは、予め設定する。）

4.4.2.シミュレータモジュールの処理フロー

シミュレータモジュールの概略処理フローを図4.4.2-1に示す。

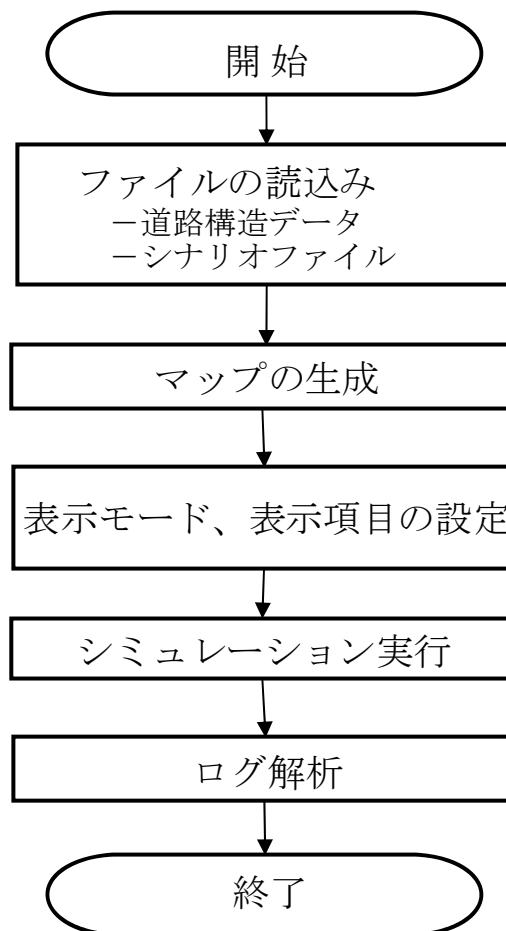


図4.4.2-1 シミュレータモジュールの概略処理フロー

シミュレータモジュールは、指定された道路構造データを読み込みそれに対応したマップを生成し、シナリオファイルと指定された表示モード、表示項目の設定に従い、シミュレーション実行を開始する。シナリオファイルでの主な設定項目を以下に示す。

<シナリオファイルでの主な設定項目>

- ・シミュレーション時間・終了条件の設定
- ・移動体（車両エージェント・インスタンスや歩行者エージェント・インスタンス）の発生・消滅の設定
- ・ドライバや車両の特性パラメータの設定
- ・信号現示のパターン・サイクル時間・オフセットの設定
- ・各種パラメータの設定（シミュレーション単位時間、ログ出力ON/OFFなど）

シミュレーション実行後は、ログ情報を解析し、ログファイルおよび事故が発生した場合は事故ログファイルを生成し出力する。シミュレーション実行部分の処理フローを図4.4.2-2に示す。

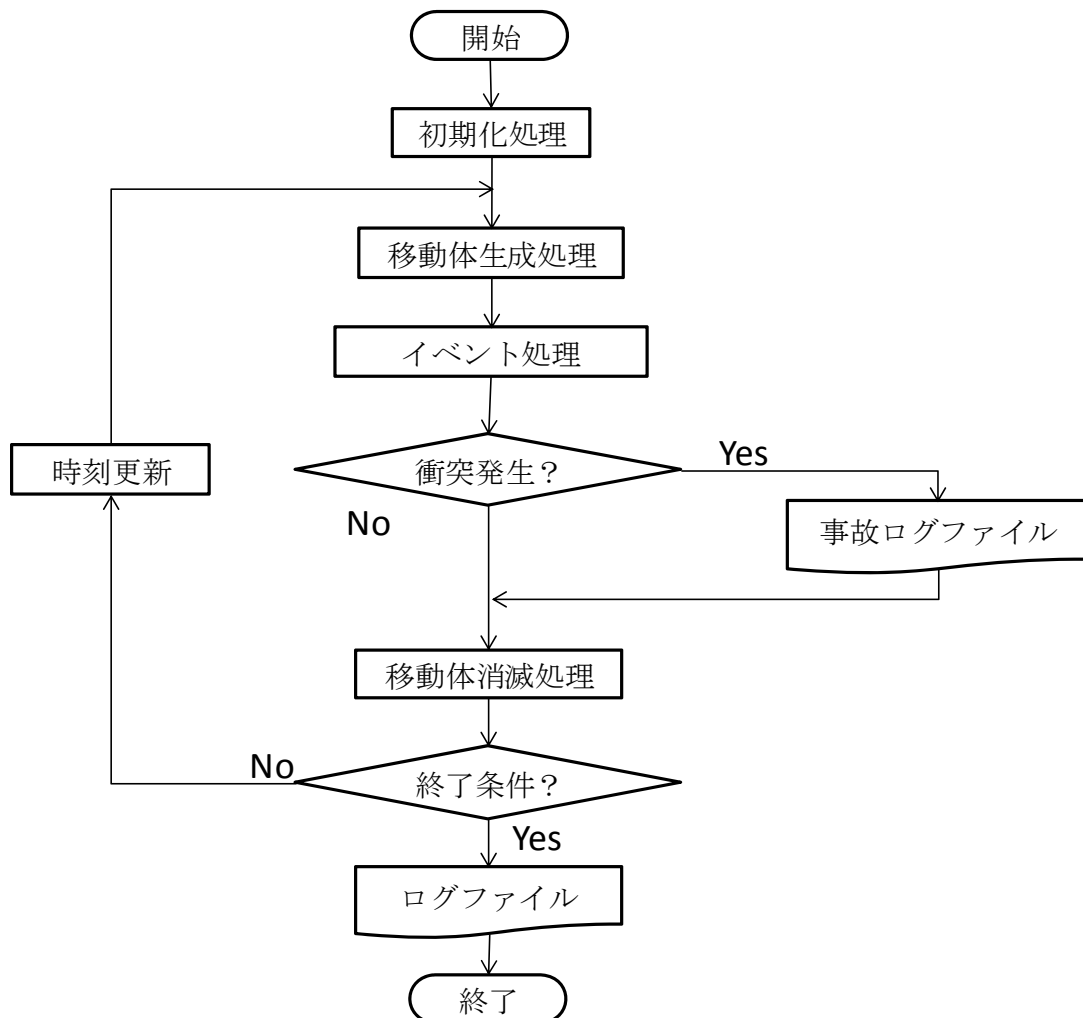


図4.4.2-2 シミュレーション実行部の処理フロー

(1) 初期化処理

- ・シミュレーション時刻の初期化、信号現示の初期表示の処理などを行う。

(2) 移動体生成処理

- ・移動体の発生時刻か否かを判断し、発生時刻であれば車両エージェント、歩行者エージェントなどのインスタンスをシナリオにより指定された発生位置に生成する。
- ・生成した各インスタンスに対し、経路、消滅位置、初期速度・加速度、初期方位角などの情報を設定する。
- ・車両エージェント・インスタンスの発生の場合は、車両オブジェクト・インスタンスとドライバーエージェント・インスタンスとをペアとして生成し、さらに支援システムも搭載した車両エージェント・インスタンスの発生の場合は支援システムエージェント・インスタンス（複数の指定が可能）も含めた組として生成する。

- ・ドライバエージェント・インスタンスには、ドライバ毎の個人特性による差異を示す特性パラメータを設定する。
- ・車両オブジェクト・インスタンスには、発生した車種に応じたサイズ、加減速性能などの車両特性パラメータを設定する。
- ・歩行者エージェント・インスタンスには、歩行者毎の個人特性による差異を示す歩行速度などの特性パラメータを設定する。

(3) イベント処理

- ・信号現示、歩行者信号などの時間で変化する道路付帯設備の変化時刻であるかを判断し、変化時刻であれば信号現示を変化（青現示→黄現示になど）させる。
- ・各移動体の位置を前時刻の速度、方位角に基づき算出し、現時刻の位置に更新する。

(3-1) 各車両エージェントのイベント処理

- ・ドライバエージェント・インスタンスの知覚・認知・判断・操作処理を更新する。
- ・車両オブジェクト・インスタンスに対し、操作量などの変更に伴う車両挙動（速度、加速度、方位角など）の変化を評価・更新する。
- ・支援システムのセンサ・制御ロジック・支援（警報、介入）処理を更新する。

(3-2) のイベント処理

- ・各歩行者エージェント・インスタンスの知覚・認知・判断・行動処理を更新する。

(3-1)、(3-2)の各処理に関しては、シナリオでの指定により、単位時間の整数倍毎の更新処理とすることも可能とする。一般に、車両オブジェクトや支援システムエージェントに対しては0.01[sec]程度の間隔で評価する必要があるが、人間系のドライバエージェントや歩行者エージェントに対しては0.1[sec]程度の間隔で評価すればよいためである。

(4) 衝突発生の検出

- ・各移動体の現在位置とサイズの情報から、事故の発生の有無を検出する。

(5) 事故ログファイル

- ・事故発生の場合は、事故対象の車両・歩行者の位置、速度、方位角、衝突面、衝突位置などの情報や、時系列ログデータを事故ログファイルとして出力する。

(6) 移動体消滅処理

- ・事故を起こした移動体の消滅処理を行う。
- ・指定された消滅位置に達したかを検出し、消滅位置に達した移動体の消滅処理を行う。

(7) 終了条件の検出

- ・シミュレーションシナリオで指定された終了条件を満たしている場合には、シミュレーション結果情報をログファイルに書き込み処理を終了する。
- ・終了条件を満たしていない場合には、時刻更新の処理に進む。

(8) 時刻更新

- ・シミュレーション時刻を単位時間進める。
- ・単位時間のデフォルト値は0.01[sec]とする。シナリオファイルに指定することにより、単位時間を変更できる。

4.4.3. ドライバエージェント

4.4.1 (3-1) で定義した、ドライバエージェントでは、シミュレーション環境内で、複雑な交通環境を再現できるようにするため、ドライバの知覚、認知、判断、操作をモデル化する。その際にドライバの個人特性による差異を特性パラメータにより表現できるようにして、個々のドライバが自律的に車両を操作する交通環境を模擬する。

(1) 知覚

知覚としては、視覚、聴覚、触覚の3種を考慮する。この内、聴覚と触覚に関しては、単に警報音がON、振動警報がONなどの情報をもとに、知覚が発生するものとする。

一方、視覚に関しては、以下のように実現する。

(1-1) 視覚

- ・ドライバ視点位置（車両タイプ毎に視点位置のX,Y,Z座標を指定）から見える景色を、他の車両や構造物による遮蔽関係まで含めて3次元的に処理し、知覚の可否を判断できるようにする。
- ・知覚の可否の判断では、Aピラーなどによる死角も考慮する。
- ・中心視野と周辺視野を扱い、中心視野では知覚対象物の位置や速度を認知し、周辺視野では知覚対象物の存在のみを認知するものとする。
- ・ドライバエージェントの視覚に係わる特性パラメータとして、中心視野角、周辺視野角、視距離を定義する。
- ・視野角、視距離は、昼夜、天候（晴天、雨など）の状況により、値を変更できることとする。
- ・視線移動に関しては、(3) 判断で述べる認知すべき対象物に応じて移動させる（知覚のための視線移動の順番は判断ルール中の対象の記述順とする）
- ・視線移動速度、注視時間などの（視覚による）知覚の遅延に関しては、特性パラメータとして定義できる。
- ・側方、サイドミラー、バックミラーの確認頻度を特性パラメータとして定義できる。
- ・脇見の頻度・時間などの知覚エラーに関しても特性パラメータとして定義できる。
- ・付録A1.1に、ドライバの視覚に関する特性パラメータ一覧を記述する。

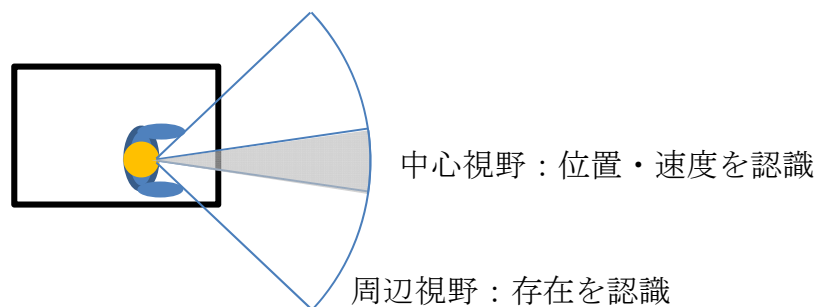


図4.4.3-1 中心視野と周辺視野

(2) 認知

認知においては、知覚で取得した対象に対して、対象物の種類、位置、距離、速度などをラベル付けすることにより表現する。

- ・見落とし（確率）、安全不確認（確率）や距離・速度の認知誤差などの認知エラーに関しては、ドライバーエージェントの認知に係わる特性パラメータとして定義できる。付録A1.2に、ドライバーの認知に関する特性パラメータ一覧を記述する。
- ・ドライバーエージェントの各インスタンスは、短期記憶の記憶領域を有し、認知した対象をこれに格納する。
- ・短期記憶においては、認知できる対象の上限を設定できるようにし、上限を越えた場合は優先度の低いものから消去する。
- ・短期記憶には忘却時間を設定可能とし、認知から忘却時間を経た認知対象は短期記憶から消去する。

(3) 判断

判断においては、知覚・認知した周囲の交通環境に基づいて、加減速や操舵の判断を行う。判断の内容に関しては、前後方向と横方向とに分けて、判断ルールを記述する。

ドライバーの前後方向に対する判断ルールに関しては、ASSTREETのアプローチを踏襲し、図4.4.3-2に示すように、進路、場所、行動の各々に対応して、認知すべき判断の対象となるオブジェクト毎にそのオブジェクトに対する判断ルールを記述するものとする。

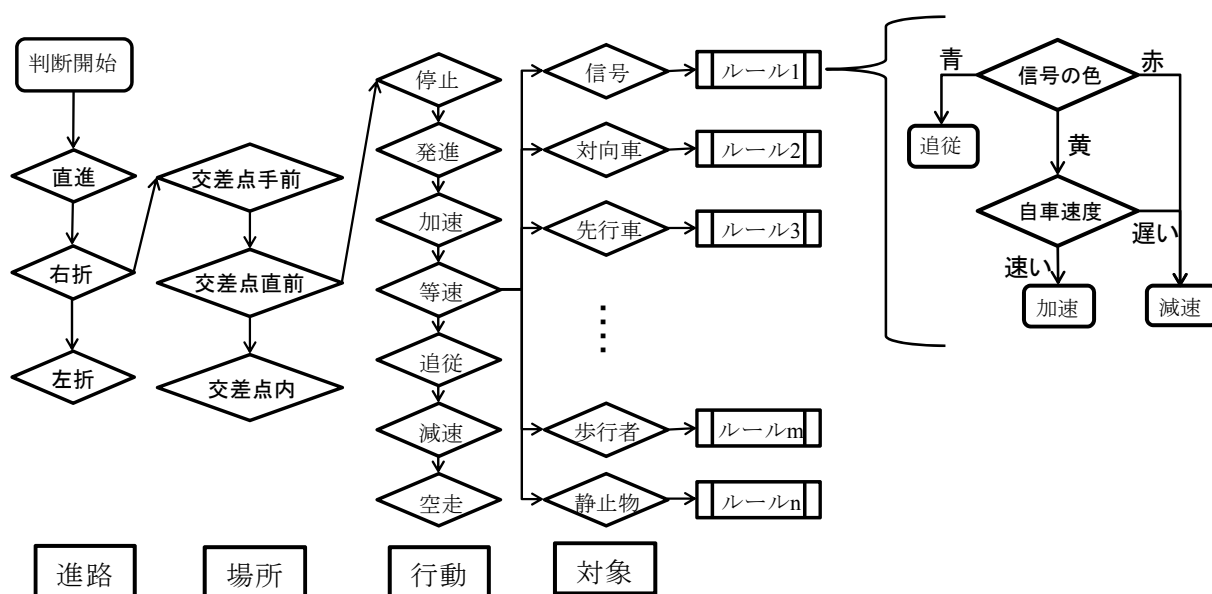


図4.4.3-2 ドライバモデルにおける前後方向の判断ルール

(3-1) 前後方向の判断ルール

- ・対象である各オブジェクトに対して、加減速の行動内容と必要な加減速度を決定する。その際、加減速度は、各ドライバーの特性（法遵守傾向、運転スキルなど）により、異なる値を設定できるようにする。

- ・上記の処理後に、全対象の条件を満たす範囲の加減速度を目標値として決定する。

図4.4.3-3に、(3-1)での目標値の決定例を示す。一般に、複雑な状況を再現できるようにする場合、ドライバの判断ルールは条件分岐のネストも深くなり、非常に複雑なものとなる。このため、ルールの追加、修正などの作業は、間違いが生じ易く、困難なものとなる。これに対し、本アプローチによる判断ルールは、以下のような利点がある。

<本アプローチによる判断ルールの利点>

- ・個別の対象に対するルールであるため、単純な構造とすることができ、ルールの修正作業を容易に行なうことができる。
- ・ルールの追加作業に関しても、例えば判断の対象となるオブジェクトが追加されるのであれば、新たに対象を追加し、その対象に対するルールを記述すればよいため、保守性の高いシステムを実現することができる。

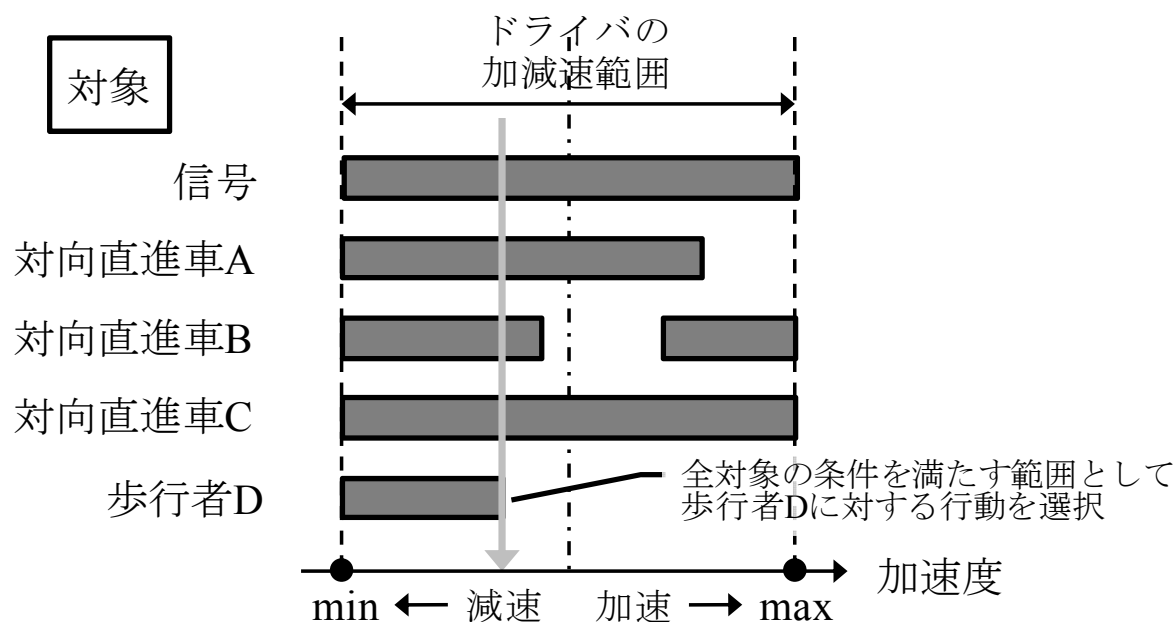


図4.4.3-3 各対象に対する条件を満たす加減速度の決定

付録A1.3に各道路、場所、行動における認知すべき対象の一覧を示す。認知すべき対象となり得る車両に関しては、その位置や進路に応じて種々のものが想定されるが、それぞれ図4.4.3-4のように呼ぶこととする。

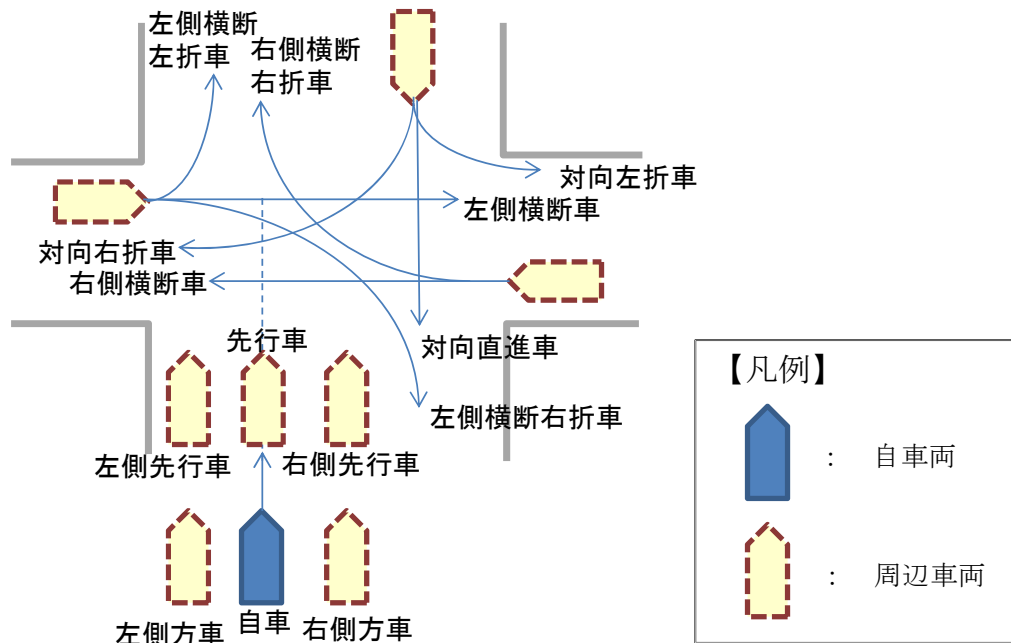


図4.4.3-4 認知対象となり得る周辺車両

ドライバの操舵に関しては、前方注視モデルにより行うものとする。ここで、車線内での横方向の位置のずれは、道路上にひかれた仮想的な目標コースに対し、オフセット値を与えることにより表現することとする。但し、車線変更、危険回避、追い越しなど、目標コースを越えての横方向の移動が必要となる場合がある。このために、横方向の行動ルールを設定する。

横方向の行動ルールは、車線変更ルールと横移動ルールの2つの部分から構成される。

(3-2) 横方向の行動ルール：車線変更ルール

- ・車線変更ルールは、車線変更の要求、実行に関するルールである。
- ・緊急度に応じてWANTの場合とMUSTの場合に分けて記述する。
- ・車線変更ルールにおいて参照する車線変更決定リスクの閾値に関しては、ドライバエージェントの特性パラメータとして定義する。

(3-3) 横方向の行動ルール：横移動ルール

- ・危険回避、追い越し等に関するルールである。
- ・自車の進路、場所に応じて判断対象毎にルールを記述する。
- ・横移動ルールにおいて参照する追い越し決定リスクの閾値に関しては、ドライバエージェントの特性パラメータとして定義する。

付録A1.4に、車線変更ルールの詳細と横移動ルールにおける判断対象一覧を示す。

(4) 操作

- ・操作においては、判断ルールで決定された加減速量、操舵量に基づき車両を操作する。

- ・操作に対する遅延時間、最大操作量に関しては、ドライバエージェントの操作に係わる特性パラメータとして定義する。
- ・操作エラーに関しては、ペダルの踏み間違い確率や、加減速・操舵の操作量誤差を特性パラメータとして定義する。
- ・付録A1.5の表A1.5-1に、ドライバの操作に関する特性パラメータ一覧を記述する。

(5) ドライバの個人特性パラメータ

付録A1.5の表A1.5-2に、その他のドライバの特性パラメータ一覧を記述する。ここで、特徴的なことは、法遵守傾向（高い：3～低い：1）、運転スキル（高い：3～低い：1）、情報処理能力（高い：3～低い：1）、意識水準（高い：5～低い：1）を加えたことである。

例えば、法遵守傾向が高ければ信号無視や安全不確認の確率などの特性パラメータは低くなるであろうし、運転スキルが高ければ操作に対する遅延時間、ペダルの踏み間違い確率や、加減速・操舵の操作量誤差などの特性パラメータは低くなる。このような関係に基づいて、これまでに述べてきたドライバの特性パラメータの値は、法遵守傾向、運転スキル、情報処理能力、意識水準の値を指定することにより、自動的に設定できることが想定される。

シミュレーション装置においては、2015年度に予定しているドライバ特性の取得実験での結果を受けて、上記ドライバの特性パラメータの自動設定の作り込みができるようにする。

4.4.4. 支援システムエージェント

4.4.1 (3-2) で定義した支援システムエージェントは支援システムの挙動を模擬する。シミュレーション装置の第一ステップ開発（2015～2016年度）においては、支援システムとして衝突防止を狙った支援システムと車線逸脱防止を狙った支援システムを実現する。衝突防止を狙った支援システム、車線逸脱防止を狙った支援システムとしては、それぞれ以下のシステムを想定する。

<衝突防止を狙った支援システム>

- ・衝突警報システム
- ・緊急ブレーキアシストシステム
- ・被害軽減ブレーキシステム
- ・操舵回避支援システム

<車線逸脱防止を狙った支援システム>

- ・車線逸脱警報システム
- ・逸脱防止支援システム

また、道路インフラ、他車両、歩行者などとの間で通信を行う通信利用型支援システムを追加可能とするための枠組みを実現する。

以下において、各々の支援システムの挙動を模擬する上で必要となる仕様の例を示す。ここで、センサに関しては、以下とする。

(1) センサ

- ・取り付け位置・方向、センサ検知距離[m]、センサ検知角度（取り付け方向からの検知可能な角度を範囲で指定）を搭載するセンサ毎に別途定義するものとする。
- ・昼夜、天候（晴天、雨など）の状況により、センサ検知距離[m]、センサ検知角度を変更できることとする。

(2) 衝突防止を狙った支援システム

(2) -① 衝突警報システム

- ・センサの検知範囲内に先行車両、歩行者が入り、指定された作動条件を満たした場合に警報を出力する。
- ・作動条件は、対車両と対歩行者で別々に設定するものとし、いずれか一方のみの警報とすることも可能とする。
- ・警報としては、音衝突警報、光衝突警報、振動衝突警報を選択可能（複数の指定も可）とし、それぞれのON/OFF状態をフラグで表わす。それぞれのON/OFF状態は、ドライバが認知可能とする。
- ・付録A1.6に作動条件一覧を示す。

(2) -② 緊急ブレーキアシストシステム

- ・センサの検知範囲内に先行車両、歩行者が入り、指定された作動条件を満たした場合に、ドライバのブレーキ出力値を増強して出力する。
- ・作動条件は、対車両と対歩行者で別々に設定するものとし、いずれか一方のみの警報とすることも可能とする。
- ・付録A1.6に作動条件一覧を示す。

(2) -③ 被害軽減ブレーキシステム

- ・センサの検知範囲内に先行車両、歩行者が入り、指定された作動条件を満たした場合に、減速量の値を出力する。
- ・作動条件は、対車両と対歩行者で別々に設定するものとし、いずれか一方のみの警報とすることも可能とする。
- ・付録A1.6に作動条件一覧を示す。

(2) -④ 操舵回避支援システム

- ・センサの検知範囲内に先行車両、歩行者が入り、指定された作動条件を満たした場合に、操舵回避のための舵角値を出力する。
- ・作動条件は、対車両と対歩行者で別々に設定するものとし、いずれか一方のみの警報とすることも可能とする。
- ・付録A1.6に作動条件一覧を示す。

(3) 車線逸脱防止を狙った支援システム

(3) -① 車線逸脱警報システム

- ・センサの検知範囲内に白線が入り、指定された作動条件を満たした場合に、警報を出力する。
- ・警報としては、音逸脱警報、光逸脱警報、振動逸脱警報を選択可能（複数の指定も可）とし、それぞれのON/OFF状態をフラグで表わす。それぞれのON/OFF状態は、ドライバが認知可能とする。
- ・付録A1.6に作動条件一覧を示す。

(3) -② 逸脱防止支援システム

- ・センサの検知範囲内に白線が入り、指定された作動条件を満たした場合に、逸脱回避のための舵角値を出力する。
- ・付録A1.6に作動条件一覧を示す。

(4) 通信利用型支援システム

- ・支援システムに通信の機能を追加可能とする。
- ・通信の送信側は、受信側に「左側からの横断車両あり」、「この先渋滞あり」などのメッセージを送信できる。

- 通信の送信側には、送信可能な領域範囲を定義し、その範囲内の受信側がメッセージを受信できるものとする。
- 通信利用型支援システムは、車両への搭載、道路環境上の固定位置への配置、歩行者への装着を可能とする。
- 他の支援システムと同様に、イベント処理中の支援システム処理の更新（4.4.2.参照）の時刻毎に更新する。

4.4.5. 車両オブジェクト

4.4.1 (3-3) で定義した車両オブジェクトでは、一般的な等価二輪モデルを採用する。 図 4.4.5-1に車両オブジェクトの構成を示す。

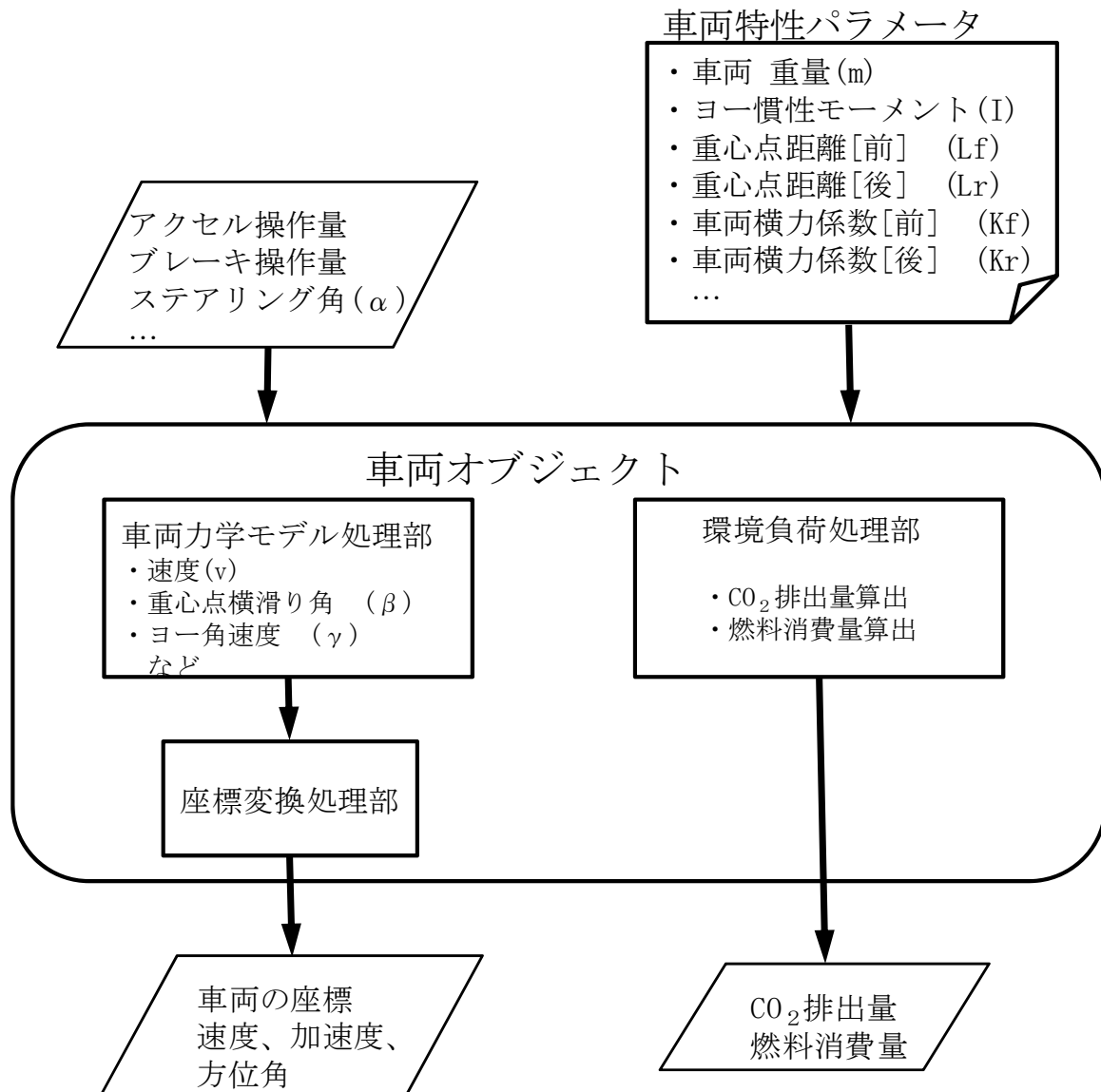


図4.4.5-1 車両オブジェクトの構成

車両オブジェクトは、車両力学モデル処理部、座標変換処理部、環境負荷処理部とからなる。

(1) 車両力学モデル処理部

車両の速度、ステアリング角などの車両状況や、車両特性パラメータに基づき、重心点横滑り角、ヨー角速度などの計算を行い、車両の動きを模擬するためのデータを生成する。

(2) 座標変換処理部

車両力学モデル処理部の結果を地上固定座標系の座標に変換し、マップ上の位置や向きとの整合をとる。

(3) 環境負荷処理部

環境負荷解析モードが指定された場合に実行されるものであり、車両の速度・加減速度のデータと車両特性パラメータ内で定義されているCO₂排出量計算パラメータ、燃料消費量計算パラメータに基づき、CO₂排出量、燃料消費量を算出し、それぞれの累積量を出力する。環境負荷解析モードの指定では、CO₂排出量、燃料消費量のいずれか一方のみの指定も可能とする。

付録A1.7に車両特性パラメータの一覧を示す。車種としては、以下を選択可能とする。

- ・普通車（セダン，ミニバン，SUV）
- ・軽自動車（普通軽自動車，軽貨物車）
- ・大型車

4.4.6. 歩行者エージェント

4.4.1. (3-4) で定義した歩行者エージェントにおいては、シナリオで定義した特定の歩行パターンを実施するシナリオモードと、周囲の状況を判断して自律的に動くエージェントモードの2つのモデルを設定できるようにする。シナリオモードは、主として歩行者横断中事故場面模擬シミュレーション(4.5.2.参照)用として使用するものであるため、詳細は4.5.2.で説明する。

4.4.1. (3-4) で述べたように、歩行者エージェントは、道路上の出現位置(複数個所に設定可能)や歩行経路などが定義されており、設定した経路を歩行し終えたら時点で消滅する。生成時には、この他にサイズ(高さ、横幅、縦幅)や向き(出現位置から最初の経路地点の方向)なども設定して、インスタンスを生成する。ここで、サイズ(幅、長さ、高さ)のデフォルト値は、高さ1.7[m]、横幅0.6[m]、縦幅0.3[m]とする。

歩行者生成時の出現位置・向きを現在の位置・向きとして格納し、これらの値を評価サイクル毎に更新していくことにより、移動や向きの変更を表現する。

歩行者エージェントの顔の向きは、体の向きに対する相対角度(-90°~+90°)で設定する。歩行者エージェント生成時には、歩行者の顔の向きはゼロに設定されており、体の向きと同じ方向を顔が向いている状態とする。

エージェントモードの場合は、ドライバエージェントと同様にして、知覚・認知・判断・行動のルールを記述することにより、歩行者の行動を表わす。

シミュレーション装置においては、自転車、車椅子・シニアカー、動物などの他の移動体に関しては、この歩行者エージェントの枠組みを流用して作成する。この場合、サイズ(高さ、横幅、縦幅)や移動速度などを変更することにより、各移動体の特徴を表現する。また、他の移動体に対するエージェントモードが必要な場合は、知覚・認知・判断・行動のルールを別途定義することにより実現する。

4.4.7. ログ出力モジュール

ログ出力モジュールは、各時刻でのオブジェクト毎の位置、方向、速度、加速度などを記録し、ログファイルとして出力する。ここで、ドライバエージェントに対しては、適用している判断ルールに関する情報やドライバの状態なども記録する。また、事故が発生した場合には、当該車両や歩行者の位置、速度、方位角、衝突面、衝突位置などの情報を事故ログファイルとして出力する。

4.5. 事故場面模擬シミュレーション

4.4.で記述したマルチエージェントによる汎用のマイクロ交通シミュレーションにおいては、一般に事故が発生する確率は非常に低く、これを用いて特定の事故類型に対する評価を十分に行うことができるだけの事故場面数を発生させるには、膨大なシミュレーション時間が必要となる。このため、事故類型・場面毎に機能を軽量化し、事故の加速シミュレーション評価ができるモードを設け、事故場面に特化した支援システムの有効性評価を効率よく行えるようにする。加速シミュレーションの処理効率化に関しては、4.8. (1) および4.8.1.を参照。

事故類型・場面としては、追突事故、歩行者横断中事故、車線逸脱事故の3種を対象とする。以下では、今回対象とする各事故類型・場面に対する仕様をまとめる。

4.5.1. 追突事故場面模擬シミュレーション

追突事故場面模擬シミュレーションは、直線道路走行中での先行車との衝突防止を狙ったシステムの効果評価を行うためのシミュレーションモードである。

(1) 道路、シミュレーションシナリオの設定

道路環境としては、Y軸方向に伸びる直線道路を想定し、車線幅の設定を行う。

シミュレーションシナリオでは、以下の3つについて設定を行う。

- ・ 先行車両の走行パターン（先行車パターンと呼ぶ）
- ・ 後続車両の車両エージェントの走行パターン
- ・ 効果の評価する支援システムの指定（それぞれ複数のパターンを指定可能）

先行車パターンとしては、以下の4種を選択可能とする。

- ・ 停止タイプ
指定した位置座標（Y座標）に発生させ、停止を維持した状態とする。
- ・ 減速タイプ
初期位置座標（Y座標）、初期速度、減速度、最終速度を指定して発生させ、初期速度から指定した減速度で最終速度まで減速していく。
- ・ 等速タイプ
初期位置座標（Y座標）、初期速度を指定して発生させ、初期速度を維持して走行する。
- ・ 加速タイプ
初期位置座標（Y座標）、初期速度、加速度、最終速度を指定して発生させ、初期速度から指定した加速度で最終速度まで加速していくタイプである。

ここで、減速タイプの最終速度と、加速タイプの初期速度のデフォルト値は0[km/h]と

する。初期速度、最終速度、減速度、加速度に関しては、固定値の他に正規乱数、対数正規乱数、指数乱数（以上、平均、標準偏差を指定）、一様乱数（最大値、最小値を指定）、累積分布乱数（値、累積確率のリストを指定）を指定可能とする。

後続車両の走行パターンとしては、以下の6つを指定する。

- ・車両エージェント・インスタンスの発生位置（Y座標）
- ・車両エージェント・インスタンスの消滅位置（Y座標）
- ・使用する車両オブジェクト
- ・初期速度
- ・ドライバエージェント・インスタンスの特性パラメータ
- ・使用する支援システム

発生位置、初期速度、ドライバエージェントの特性などに関しては、固定値に加え乱数指定も可能とし、発生させる車両の走行パターン総数、正規乱数や対数正規乱数などの乱数種類、平均、標準偏差などを指定することにより、指定した走行パターン総数分の個々の走行パターンを生成する。

ここで、ドライバエージェントの特性として、先行車に気付くタイミング（衝突までの時間）も固定値、乱数値で指定可能とする。先行車に気付くタイミングが指定された場合は、先行車がドライバの視距離、視野角の範囲内にあり、かつ先行車との間TTCが指定値以下となった場合にのみ、ドライバは衝突の危険を判断する。

乱数の種類としては、正規乱数、対数正規乱数、指数乱数、一様乱数、累積分布乱数を選択可能とする。また、発生位置は、座標の他に先行車両との初期TTC（初期状態での衝突までの時間）形式での固定値、乱数でも指定可能とする。

乱数の種類としては、以下の5つを選択可能とする。

- ・正規乱数（平均、標準偏差）
- ・対数正規乱数（平均、標準偏差）
- ・指数乱数（平均、標準偏差）
- ・一様乱数（最小値、最大値）
- ・累積分布乱数（値と累積確率のリスト）

発生位置は、以下の4種を指定可能とする。

- ・座標の固定値
- ・座標の乱数
- ・先行車両との初期TTC（初期状態での衝突までの時間）形式での固定値
- ・先行車両との初期TTC（初期状態での衝突までの時間）形式での乱数

支援システムの指定では、評価する支援システムエージェントの種類を指定する。複数のパターン（例えば、警報のみ、ブレーキ・アシストのみ、警報+ブレーキ・アシストなど）を指定することも可能とする。

(2) 事故場面模擬シミュレーションの実行

(1) で設定された道路環境、シミュレーションシナリオに従い、以下のステップでシミュレーションを実行する。

[Step1] 「支援システムなし」のシミュレーション

「支援システムなし」の状態、各先行車パターンに対する後続車両の全走行パターンのシミュレーションを実行し、それぞれのパターンに対して衝突判定を行い、結果ログの情報を記憶する。

ここで、シミュレーションの終了条件は、以下4つのいずれかとする。

- ・ 後続車が消滅位置まで走行した場合、
- ・ 先行車と衝突した場合、
- ・ 後続車が停止した場合、
- ・ 先行車との車間距離が指定した閾値を超えた場合

後続車両の全走行パターンが終了条件に達した時点で、その先行車パターンに対するシミュレーションを終了する。

[Step2] 「支援システムあり」のシミュレーション

指定された各支援システムパターンに対して、Step1と同様の処理を繰り返す。その際、Step1で事故が発生した先行車パターン、後続車両の走行パターンの組合せに対してのみシミュレーション実行することも可能とする。

(3) 結果の出力・分析

(2) で得られた結果ログの情報をファイル出力する。結果ログの出力項目を付録A1.8に示す。事故が発生している場合は、この情報を傷害評価モジュール(4.7.参照)に入力し、発生した事故での傷害の程度と、支援システム搭載の場合の傷害軽減効果を分析・評価する。

4.5.2. 歩行者横断中事故場面模擬シミュレーション

歩行者横断中事故場面模擬シミュレーションは、直線道路走行中での歩行者との衝突防止を狙ったシステムの効果評価を行うためのシミュレーションモードである。

(1) 道路、シミュレーションシナリオの設定

道路環境としては、Y軸方向に伸びる直線道路を想定し、車線幅の設定を行う。

シミュレーションシナリオでは、以下の3つを設定する。

- ・歩行者エージェントの歩行パターン
- ・車両エージェントの走行パターン
- ・効果进行评估する支援システムの指定（それぞれ複数のパターンを指定可能）

歩行者エージェント・インスタンス（シナリオモード）では、歩行パターンとして、以下の4つを設定する。

- ・発生位置
- ・歩行速度
- ・歩行方位角
- ・到着位置

ここで、

- ・到着位置に到達した時点で消滅するモード
- ・到着位置に到達した時点で停止状態とするモード

の2種類を指定可能とする。図4.5.2-1に指定可能な歩行パターンの例を示す。

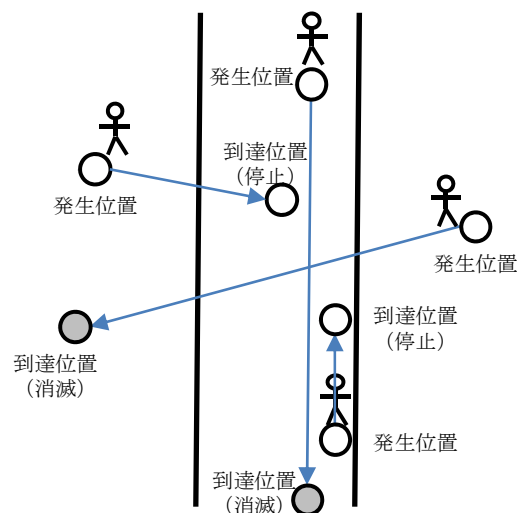


図4.5.2-1 歩行パターンの例

また、歩行速度、方位角に関しては、固定値に加え乱数指定も可能とする。

乱数指定の場合は、発生させる歩行パターンの総数と、正規乱数や対数正規乱数などの乱数種類、平均、標準偏差などを指定することにより、指定した歩行パターン総数分の個々の歩行パターンを生成する。

乱数の種類としては、以下の5つを選択可能とする。

- ・ 正規乱数（平均、標準偏差）
- ・ 対数正規乱数（平均、標準偏差）
- ・ 指数乱数（平均、標準偏差）
- ・ 一様乱数（最小値、最大値）
- ・ 累積分布乱数（値と累積確率のリスト）

車両の走行パターンとしては、以下の6つを指定する。

- ・ 車両エージェント・インスタンスの発生位置（Y座標）
- ・ 車両エージェント・インスタンスの消滅位置（Y座標）
- ・ 使用する車両オブジェクト
- ・ 初期速度
- ・ ドライバエージェント・インスタンスの特性パラメータ
- ・ 使用する支援システム

発生位置、初期速度、ドライバエージェントの特性などに関しては、固定値に加え乱数指定も可能とし、発生させる車両の走行パターンの総数、正規乱数や対数正規乱数などの乱数種類、平均、標準偏差などを指定することにより、指定した走行パターン総数分の個々の走行パターンを生成する。

ここで、ドライバエージェントの特性として、歩行者に気付くタイミング（衝突までの時間）も固定値、乱数値で指定可能とする。歩行者に気付くタイミングが指定された場合は、歩行者がドライバの視距離、視野角の範囲内にあり、かつ歩行者との間TTCが指定値以下となった場合にのみ、ドライバは衝突の危険を判断する。

乱数の種類としては、正規乱数、対数正規乱数、指数乱数、一様乱数、累積分布乱数を選択可能とする。

支援システムの指定では、評価する支援システムエージェントの種類を指定する。

複数のパターン（例えば、警報のみ、ブレーキ・アシストのみ、警報+ブレーキ・アシストなど）を指定することも可能とする。

(2) 事故場面模擬シミュレーションの実行

(1) で設定された道路環境、シミュレーションシナリオに従い、以下のステップでシミュレーションを実行する。

[Step1] 「支援システムなし」のシミュレーション

「支援システムなし」の状態、各歩行パターンに対する車両の全走行パターンのシミュレーションを実行し、それぞれのパターンに対して衝突判定を行い、結果ログの情報を記憶する。

ここで、シミュレーションの終了条件は、以下3つのいずれかとする。

- ・消滅位置まで走行した場合
- ・歩行者と衝突した場合
- ・自車両が停止した場合。

全ての車両の走行パターンが終了条件に達した時点で、その歩行パターンに対するシミュレーションを終了する。

[Step2] 「支援システムあり」のシミュレーション

指定された各支援システムパターンに対して、Step1と同様の処理を繰り返す。

その際、Step1で事故が発生した歩行パターン、車両の走行パターンの組合せに対してのみシミュレーション実行することも可能とする。

(3) 結果の出力・分析

(2) で得られた結果ログの情報をファイル出力する。結果ログの出力項目を付録A1.8に示す。事故が発生している場合は、この情報を傷害評価モジュール（4.7.参照）に入力し、発生した事故での傷害の程度と、支援システム搭載の場合の傷害軽減効果を分析・評価する。

4.5.3. 車線逸脱事故場面模擬シミュレーション

車線逸脱事故場面模擬シミュレーションは、カーブ道路走行中での車線逸脱防止を狙った支援システムの効果評価を行うためのシミュレーションモードである。

(1) 道路、シミュレーションシナリオの設定

道路環境としては、円形のカーブ道路を想定し、以下の設定を行う。

- ・カーブ半径
- ・車線数
- ・車線幅

シミュレーションシナリオでは、以下を指定する(それぞれ複数のパターンを指定可能)。

- ・カーブパターン (カーブ半径、車線数、車線幅)
- ・カーブパターンに対する車線逸脱判定条件
- ・自車両エージェントの走行パターン・走行車線
- ・効果进行评估する支援システム

車両の走行パターンとしては、以下の6つを指定する。

- ・車両エージェント・インスタンスの発生位置
- ・到達目標位置
- ・使用する車両オブジェクト
- ・初期速度
- ・ドライバエージェント・インスタンスの特性パラメータ
- ・使用する支援システム

発生位置、到達目標位置に関しては、車線の中心線上の位置に指定するものとする。

また、初期速度、ドライバエージェントの特性などに関しては、固定値に加え乱数指定も可能とし、発生させる車両の走行パターンの総数、正規乱数や対数正規乱数などの乱数種類、平均、標準偏差などを指定することにより、指定した走行パターン総数分の個々の走行パターンを生成する。

乱数の種類としては、以下の5つを選択可能とする。

- ・正規乱数 (平均、標準偏差)
- ・対数正規乱数 (平均、標準偏差)
- ・指数乱数 (平均、標準偏差)
- ・一様乱数 (最小値、最大値)
- ・累積分布乱数 (値と累積確率のリスト)

支援システムの指定では、評価する支援システムエージェントの種類を指定する。

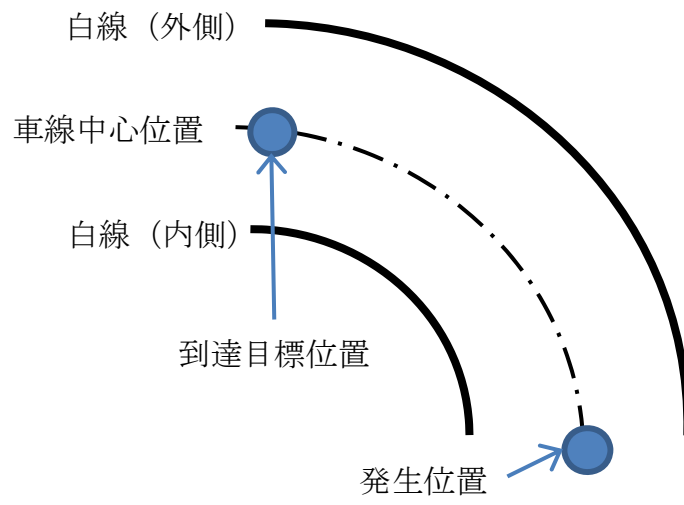


図4.5.3-1 発生位置・消滅位置の指定

(2) 事故場面模擬シミュレーションの実行

(1) で設定された道路環境、シミュレーションシナリオに従い、以下のステップでシミュレーションを実行する。

[Step1] 「支援システムなし」のシミュレーション

各カーブパターンに対する全ての車両の走行パターンのシミュレーションを実行し、それぞれのパターンに対して車線逸脱判定を行い、結果ログの情報を記憶する。

ここで、各車両の走行パターンのシミュレーションの終了条件は、到達目標位置を超えた場合、および車線逸脱と判定した場合とし、全ての車両の走行パターンが終了条件に達した時点で、そのカーブパターンに対するシミュレーションを終了する。

[Step2] 「支援システムあり」のシミュレーション

指定された各支援システムパターンに対して、Step1と同様の処理を繰り返す。その際、Step1で車線逸脱事故が発生したカーブパターン、車両の走行パターンの組合せに対してのみシミュレーション実行することも可能とする。

(3) 結果の出力・分析

(2) で得られた結果ログの情報をファイル出力する。結果ログの出力項目を付録A1.8に示す。

4.6. 道路構造エディタ

4.6.1. 道路構造エディタの概要

道路構造エディタでは、GUI上で交差点・分岐・合流、道路（直線、カーブ等）、道路付帯設備（信号機、標識など）、構造物（建物、塀、電柱など）を配置し、道路－交差点間、道路－道路間を接続することにより、道路構造を入力する。

- ・背景としてGoogle Earthなどの地図の画像情報（jpeg形式）を取り込み、その地図の形状に合わせて下記の交差点、道路などの形状を入力することも可能とする。
- ・OpenStreetMap(OSM)による道路地図データを取り込んだ編集作業も可能とする。
- ・道路構造エディタで編集した結果を道路構造データ・ファイルとして格納する。

(1) 交差点・分岐・合流

- ・三叉路、十字路、多叉路、ラウンドアバウト、分岐、合流を選択・配置を可能とする。
- ・それぞれに交差角度、車線数、車線幅員、車線表示、勾配、路肩幅員、専用車線（右折、左折、直進・左折など）、停止線位置を指定できることとする。

(2) 道路

- ・直線、カーブ、歩道、歩道カーブ、道路終端を選択・配置を可能とする。
- ・それぞれに車線数、車線幅員、車線表示、勾配、路肩幅員、停止線位置、歩道幅員、およびカーブ径・カーブの向き（カーブの場合）を指定できることとする。

(3) 道路付帯設備

- ・車両用信号機、歩行者用信号機、標識、カーブミラー、横断歩道表示、中央分離帯、ガードレールを選択・配置可能とする。

(4) 構造物

- ・駐車車両・故障車、電柱、立ち木、街灯、建物、塀を選択・配置可能とする。

4.6.2. 道路モデル

道路モデルの構造の概要を図4.6.1-1に示す。道路モデルの構造は、ASSTREETのアプローチを踏襲したものとしている。道路は、ウェイポイント間を接続した線分と、線分を連ねて構成される車線、車線の束であるレーンにより構成される。また、交差点はノードとして表わし、走行経路はノードのリストとして表現する。

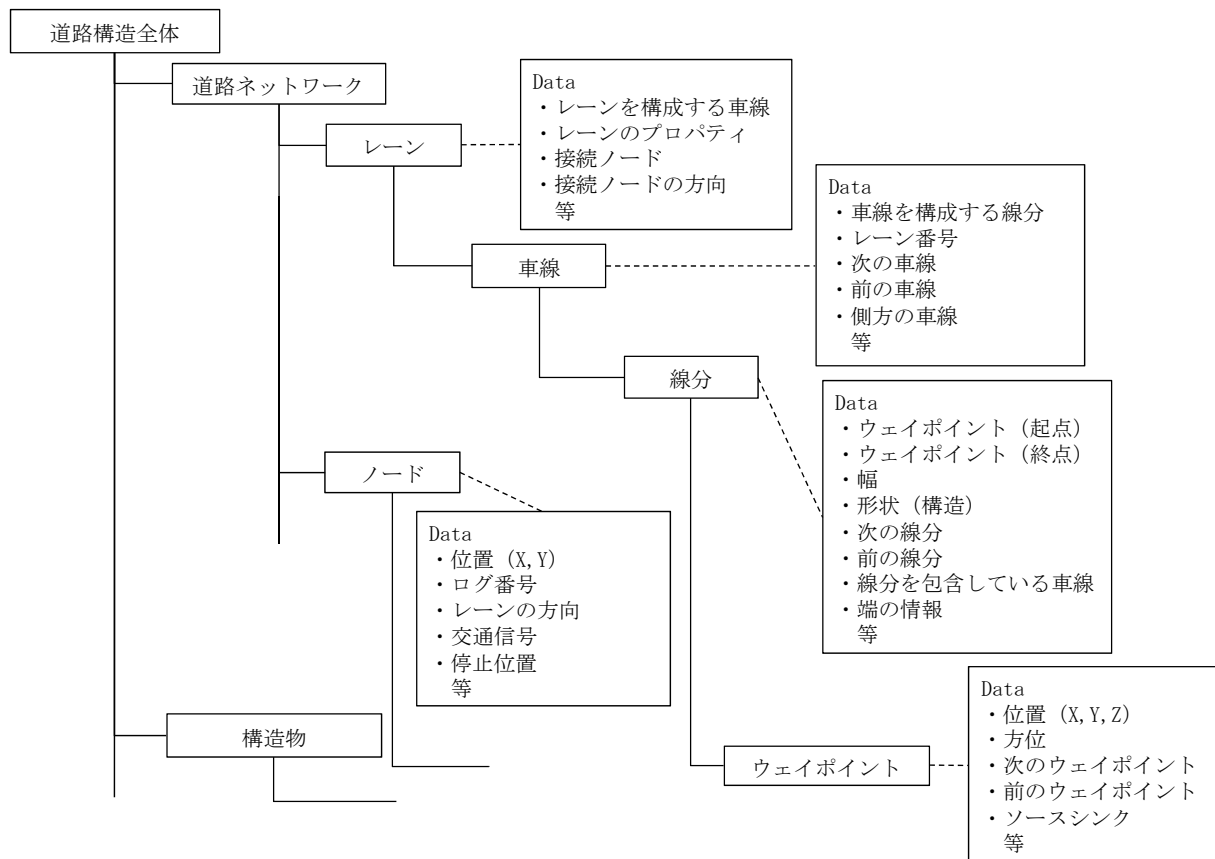


図4.6.1-1 道路モデルの構造

4.7. 傷害評価モジュール

4.7.1. 傷害評価モジュールの構成および概要

傷害評価モジュールの構成を図4.7.1-1に示す。傷害評価モジュールでは、シミュレーションの結果発生した事故に関する情報（事故ログファイル）と、過去の事故データを格納した事故データベースをもとに、受傷程度の確率を求める。

ここで、事故データベースは、過去の事故データをもとに、年齢層別に、衝突速度、衝突位置、ラップ率に応じた傷害程度の確率を格納するものとする。また、傷害評価部では、事故ログファイルと衝突速度等が合致する事故データを事故データベースより検索し、受傷確率を算出して結果を出力する。

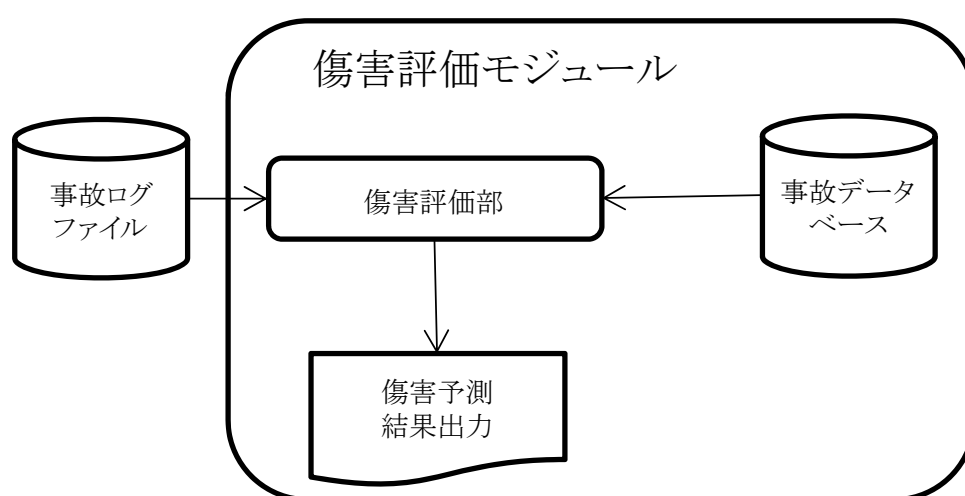


図4.7.1-1 傷害評価モジュールの構成

支援システムによる事故低減効果に見積りの基本的な考え方に関して、対歩行者の事故の場合を例にとり説明する（図4.7.1-2）。事故による受傷率は、図に示すように衝突の際の車速に大きく依存する。また、受傷率は歩行者の年齢層によっても大きく変化する。ある横断歩行パターン・車両の走行パターンに対し、支援システム無しの場合と支援システム有りの場合でシミュレーションを行い、支援システム無しの場合に事故が発生し支援システム有りの場合に回避できたとすれば、そのパターンに対する支援システムの効果は100%といえる。しかし、たとえ支援システム有りの場合に事故が回避できなかったとしても、一般に衝突の際の車速は低減されている。この場合の効果の見積りとしては、支援システム無しの場合での衝突の車速に対する受傷率を統計データから得られる“歩行中の死傷者数の年齢層別構成比”で重み付けして算出する。同様に、支援システム有りの場合での衝突の車速に対する受傷率を算出し、この受傷率の差異が支援システムの効果とみなす。

ここで、“歩行中の死傷者数の年齢層別構成比”、および衝突の際の車速は、昼間と夜間で差異が大きいことが知られているため、事故シミュレーションにおいては、昼間、夜間のそれぞれでの評価が実施できるようにする。

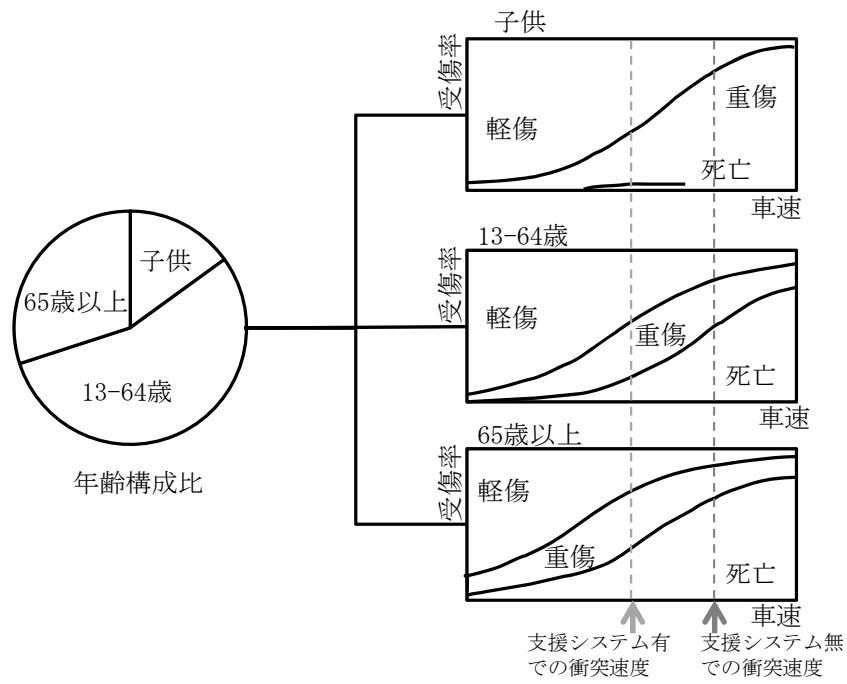


図4.7.1-2 支援システムによる事故低減効果見積りに関する考え方

4.7.2. 事故ログファイル

事故ログファイルの出力項目に関しては、付録A1.8に示した。ここでは、出力項目中の衝突面、衝突位置について説明する。

衝突と判定された場合の事故ログ出力においては、単に衝突の判定をするだけでなく、衝突した車両のそれぞれに対して、衝突面、衝突位置（衝突ラップ率）、相対速度、衝突角度を計算し、結果を事故ログファイル格納している。衝突面に関しては、図4.7.2-1に示すように、前/後/右/左/右前角/左前角/右後角/左後角の8種類で表わすものとする。

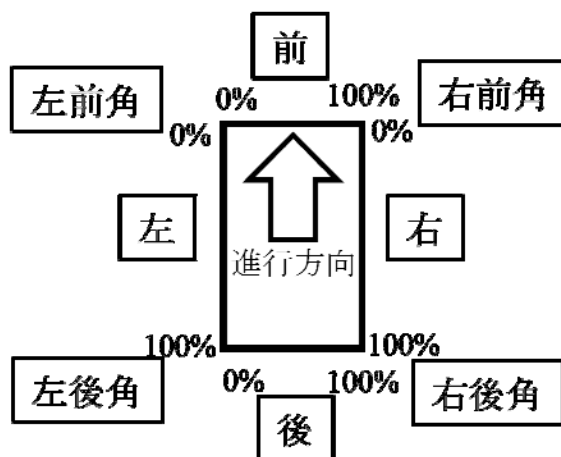


図4.7.2-1 衝突面

また、衝突位置に関しては、図4.7.2-2に示すように衝突ラップ率[%]で表わす。

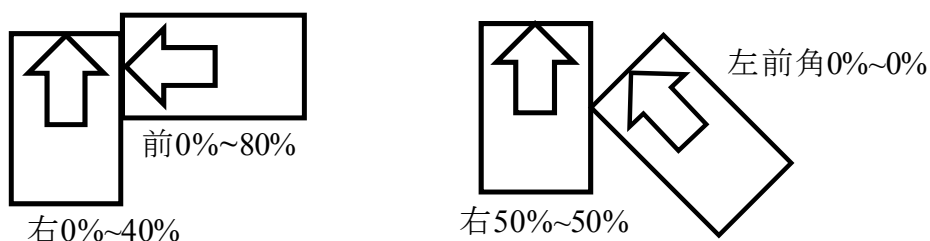


図4.7.2-2 衝突位置（衝突ラップ率）

4.8. シミュレーション装置における処理効率化の工夫

シミュレーション装置では、第3章でまとめた3つの使用用途のそれぞれに対して、処理の効率化を施し、多数の事故パターンや長期間にわたる交通環境を模擬できるようにする。

[用途1] 特定の事故場面に特化した支援システムの有効性の評価

[用途2] 交通支援施策などの事前検証などを目的とした、交差点数2~3個程度の小規模なでの事故発生確率の評価（車両台数50~100台程度）

[用途3] 全国規模での事故発生確率や燃費、環境影響の評価を目的とした大規模な交通環境での評価（車両台数1,000台以上）

(1) [用途1] の処理効率化

加速シミュレーションの単一PC上での処理効率化（4.8.1.参照）に加え、図4.8-1に示すような事故パターンを分割しての並列化処理を行う。

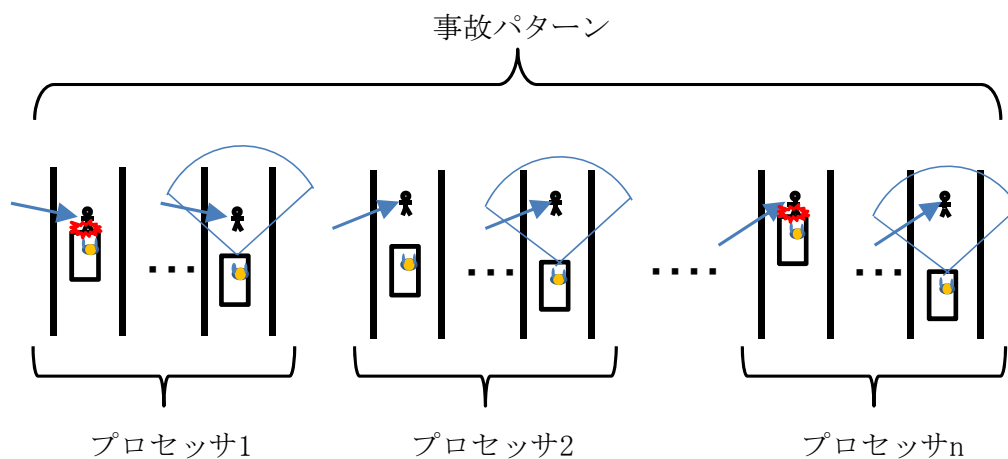


図4.8-1 事故パターンの分割による並列化

(2) [用途2] の処理効率化

図4.8-2に示すように模擬対象とする期間を分割しての並列化を可能とする。分割した境界でのシミュレーションの連続性は保証できないが、交通量の少ない深夜で境界を区切るなどの工夫により、この問題を回避できる。

模擬対象とする期間

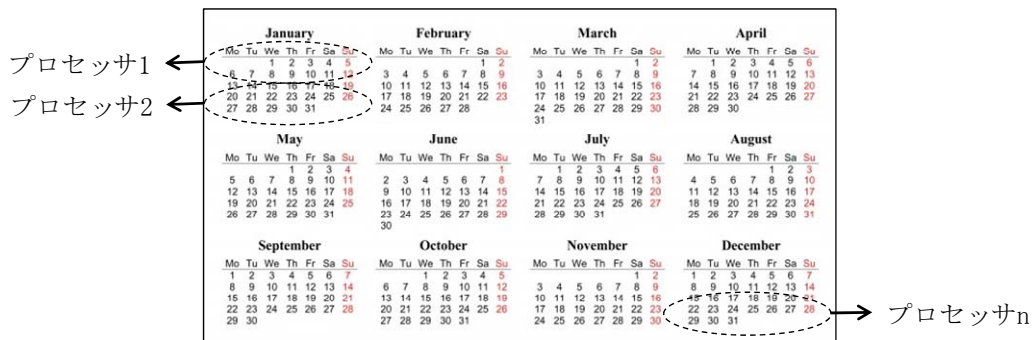


図4.8-2 模擬対象期間の分割による並列化

(3) [用途3] の処理効率化

(2) で述べた模擬対象とする期間での並列化による処理効率化に加え、道路領域を分割による処理の並列化を可能とする。図4.8.2に道路領域分割による並列化の概要を示す。

4.8.1. 加速シミュレーションの処理効率化

シミュレーション装置においては、加速シミュレーションの処理効率化を実現するために、図4.8.1-1に示すレイヤの概念を導入する。レイヤ0として定義された移動オブジェクトや道路環境は全レイヤから見えるものとして扱う。また、レイヤ1~nとして定義されたオブジェクトはそのレイヤのみに存在するものとして扱う。レイヤ1で定義された車両からは、レイヤnで定義された車両は見え、存在しないものとして扱われる。このため、たとえレイヤ1の車両とレイヤnの車両とが重なったとしても、衝突とはみなさないで処理を進める。

レイヤ0の移動体とレイヤi (i:1~n) の移動体が衝突した場合、レイヤiの移動体は消滅させるが、レイヤ0の移動体は消滅させずに移動の処理を継続する。

これにより、各歩行パターンや（追突対象の）先行車パターンに対して、発生地点や車両速度の異なる複数の車両パターンとの事故シミュレーションを同時にシミュレーションすることが可能となり、加速シミュレーションの処理効率の向上が実現できる。

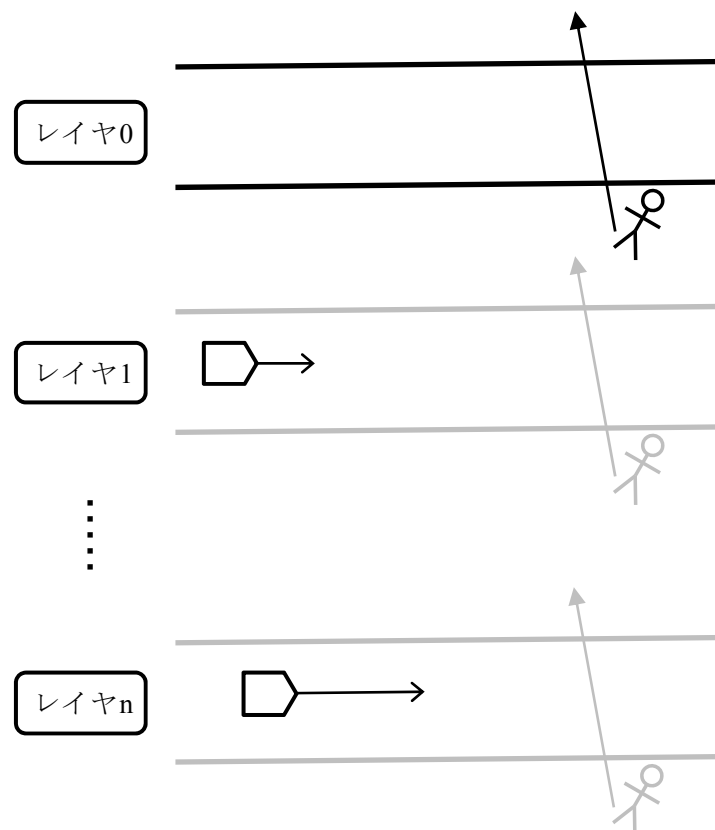


図4.8.1-1 レイヤの概念図

4.8.2. 道路領域分割による並列化

シミュレーション装置においては、道路領域を分割しての並列処理を可能とする。その際、単に道路領域を分割して、分割された道路領域毎にプロセッサを割り当てるのみでは、特に境界部分での処理、および通信量が増大して並列化の効果が低下してしまう。

この問題に対し、図4.8.2-1に示すような東大のMATESの領域分割のアプローチを踏襲して、並列化の効率向上をはかるものとする。道路部分で領域を分割する場合、境界部分の道路を走行する車両は、主として流入方向にある車両状況、道路環境を見て挙動を判断する。

このため、境界上の道路を上り車線と下り車線で担当領域を変え、進行方向の領域側が担当して演算を行い、他方に必要なデータを送信しデータ共有を図るという工夫を施すことにより、並列化の効率を向上させることができる。

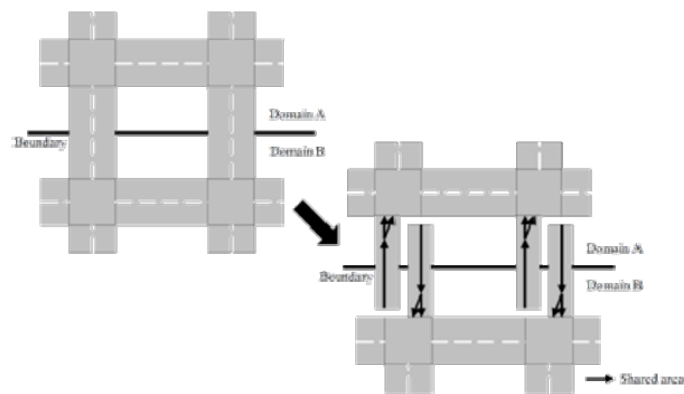


図4.8.2-1 東大MATESにおける道路領域分割

(出典：小橋敏浩他「知的マルチエージェント交通流シミュレータMATESの並列化」，日本計算工学会，Trans. JSCES, Paper No. 20100003, 2011)

第5章 まとめ

5.1 調査結果のまとめ

本調査研究では、交通事故死者低減の国家目標達成に資する自動走行システム関連の新技術を効率的かつ効果的に評価し、PDCAサイクルを確実に実施するうえで必要となる詳細効果を見積るための手法を調査・検討し、「シミュレーション装置」の開発に資することを目的としており、ドライバモデルを用いたマルチエージェント型シミュレーションの調査およびシミュレーション装置の企画書、仕様書の作成を行った。

現存するマルチエージェント型シミュレータASSTREET、ASSESS、MATESの特徴を調査・整理し、さらに欧州AdaptiVeプロジェクトの動向についても調査を行った。その結果として、開発するシミュレータの参考とすべき候補に、トヨタ自動車（株）が開発したASSTREETを提案した。

次に、事故統計データを用いて効果予測の必要性の高い3つの事故類型（追突事故、歩行者横断事故、車線逸脱に起因する事故）を選定し、各事故類型に対しドライバモデルを構築するために必要な運転行動特性データの取得方法やその課題、シミュレータの有用性を高めるための交通事故低減効果評価以外への適用可能性についても調査を行った。

調査結果をもとに、開発するシミュレーション装置に具備すべき機能・要件をまとめた企画書を作成した。企画書の作成に当たっては、参考候補であるASSTREETに準ずるだけでなく、ASSESSやMATESの参考にすべき点も含めて拡張点を盛り込んだ。

最後に、企画書、並びにシミュレーション装置の調査結果をもとに、シミュレーション装置の全体構成や各構成要素の仕様、および、シミュレーションの処理効率化を図る上での工夫をまとめた。

5.2 今後の課題

ドライバエージェントモデルを構築するということはすなわち、知覚・認知・判断・操作までを含めた人間の複雑な運転行動の実態を解明し定式化する作業であり、初めから様々な道路環境や交通状況に対応可能なドライバエージェントモデルの構築は、その検証も含めて、極めて困難と考えられる。

また、予防安全システムの作動状況において、衝突直前の限定された状況におけるドライバの対応行動（回避操作）特性などは比較的容易に模擬可能とされている⁹⁾。しかしながら、交差点での出会い頭事故に代表されるように、他の交通参加者とのインタラクションが複雑に影響するような事故状況を精度良く再現することについては、ドライバの運転行動特性をいかに記述するかを含め、非常に困難な課題であるといえる。

したがって現実的には、対応可能な事故状況・場面を段階的に積み上げていながら、複雑な交通状況にも対応ができるようドライバエージェントを進化させていくような開発アプローチが妥当と考えられる。

今後は、本調査研究で選定した優先度の高い3つの事故類型に対応できるシミュレーショ

ン装置を段階的に開発していくとともに、各事故類型の事故低減効果評価に資するべくドライバの運転行動特性データの構築や、シミュレーションの検証方法について検討を進めていく必要がある。

参考文献・引用文献

【第1章、第2章2.1節に関連する文献】

- 1) 警察庁交通局：平成 25 年中の交通事故発生状況、2014
- 2) 村野ほか：アクティブセーフティを支えるシミュレーション技術、自動車技術、vol.65 No.1、p.53-58、2011
- 3) 柚原直弘：予防安全システムの効果評価シミュレーションのための機能・検証要件、自動車技術会学術講演会前刷集、No.35-08 (2008)
- 4) 柚原直弘：交通事故シミュレーションシステム、自動車技術会 GIA ダイアログ、20054652 (2005)
- 5) 吉村・藤井・山田研究室ウェブサイト：
<http://save.sys.t.u-tokyo.ac.jp/theme/5/5.1/index.html> (2015年2月アクセス)
- 6) R. Bours et. al. : Integral simulation toolset for ADAS modeling、自動車技術会学術講演会前刷集、No.34-12、p.1-6 (2012)
- 7) Y. Sugimoto et. al. : Safety Impact Methodology for Advanced Crash Avoidance Technology (ACAT) Program and Application to Advanced Collision Mitigation Braking System and Head-on Crash Avoidance Assist System、Fast-zero 1st international symposium、p.1-8 (2011)
- 8) C. Erbsmehl : Simulation of real crashes as a method for estimating the potential benefits of advanced safety technologies、21st international technical conference on the Enhanced Safety Vehicles、09-0162 (2009)

【第2章2.1節に関連する文献 (ASSTREET)】

- 9) 倉橋哲郎：ドライバの認知行動特性を考慮した予防安全シミュレーションの現状と課題、自動車技術会シンポジウム「ドライバの特性評価・理解に基づく自動車開発の取り組みと展望」、No.02-11、p.24-28 (2011)
- 10) 田島ほか：交通事故シミュレーション、自動車技術会春「交通安全対策の効果を予測するー交通シミュレーションの活用ー」フォーラム資料 (2011)
- 11) 北岡ほか：交通シミュレーション、自動車技術会春「交通安全対策の効果を予測するー交通シミュレーションの活用ー」フォーラム資料 (2011)
- 12) 酒井ほか：計算結果信頼性確保を目指した予防安全シミュレータ ASSTREETの開発(第1報) -概要-、自動車技術会学術講演会前刷集、No.60-09、p.1-6 (2009)
- 13) 田島ほか：計算結果信頼性確保を目指した予防安全シミュレータ ASSTREETの開発(第2報) -プラットフォームの開発-、自動車技術会学術講演会前刷集、No.60-09、p.7-10 (2009)
- 14) 北岡ほか：計算結果信頼性確保を目指した予防安全シミュレータ ASSTREETの開発(第3報) -ドライバモデルの融合と検証-、自動車技術会学術講演会前刷集、No.60-09、p.11-14 (2009)

- 15) 田島ほか: 計算結果信頼性確保を目指した予防安全シミュレータ ASSTREET の開発(第4報)-検証のためのドライビングシミュレータ活用-, 自動車技術会学術講演会前刷集、No.60-09、p.15-18 (2009)
- 16) E. Morales et al : Benefit estimation of active safety systems for crossing-pedestrian scenarios、2nd international symposium on Fast-zero、p.1-7 (2013)
- 17) モラレスほか: 事故場面再現に基づく対横断歩行者システムの効果試算手法の開発、トヨタテクニカルレビュー、60、p.72-76 (2014)
- 18) 安田ほか: ASSTREET を用いた追突事故における予防安全システムの効果予測手法、自動車技術会論文集、Vol.43 No.2、p.599-604 (2012)
- 19) S. Tanaka et al : Benefit estimation of a lane departure warning system using ASSTREET、SAE technical paper、2012-01-0289、p.133-145 (2012)
- 20) T. Iwase et al: STREET : Simulator For Safety Evaluation-Vehicle motion models、14th world congress on Intelligent Transport Systems、p.1-8 (2007)
- 21) 森ほか: 予防安全システム評価シミュレータ STREET、情報処理学会研究報告、p.35-42 (2007)
- 22) 北岡ほか: 予防安全システム評価シミュレータ STREET : 認知・判断モデルの開発、自動車技術会学術講演会前刷集、vol.108-07、p.1-6 (2007)
- 23) 北岡ほか: 予防安全システム評価シミュレータ STREET : 事故再現およびシステム効果評価方法、自動車技術会学術講演会前刷集、vol.35-08、p.1-6 (2008)
- 24) 町田ほか: 予防安全システム評価シミュレータ STREET: ドライバ認知モデルの開発、自動車技術会学術講演会前刷集、vol.35-08、p.13-18 (2008)
- 25) 森ほか: 予防安全システム評価シミュレータ STREET : 歩行者モデルの開発、自動車技術会学術講演会前刷集、vol.108-07、p.7-12 (2007)
- 26) 森ほか: 予防安全システム評価シミュレータ STREET : 事故再現のための歩行者行動のモデル化、自動車技術会学術講演会前刷集、vol.35-08、p.7-12 (2008)
- 27) 森ほか: 予防安全システム評価のための歩行者行動のモデル化、情報処理学会研究報告、p.105-112 (2008)

【第2章2.1節項に関連する文献 (ASSESS)】

- 28) 田中信壽: 予防安全支援システム効果評価シミュレータ ASSESS の開発、自動車技術、Vol. 68 No.4 (2014)
- 29) K. Morita et al : Factors related to drivers' braking operation in response to a crossing vehicle approaching from the side direction、Journal of mechanical systems for transportation and logistics、vol.2 No.2、p.109-120 (2009)
- 30) N. Tanaka et al : Development Of Algorithm To Calculate The Agent's Position For A Survey Simulator To Evaluate Safety Systems (ASSESS)、Simulator For Safety Evaluation-Vehicle motion models、16th world congress on Intelligent Transport Systems、p.1-8 (2009)
- 31) 塚田ほか: 交通事故発生シミュレーションプログラムのためのドライバモデルについて、交通安全環境研究所フォーラム、17 (2007)

- 32) 田中ほか：予防安全支援システム効果評価シミュレータ (ASSESS) における車両モデルの開発、自動車技術会論文集、Vol.41 No.2、p.247-252 (2010)
- 33) 田中ほか：予防安全支援システム効果評価シミュレータ (ASSESS) による交差点での事故・ニアミス状況再現の検討、自動車技術会論文集、Vol.42 No.2、p.613-618 (2011)
- 34) 青木ほか：予防安全支援システム効果評価シミュレータ (ASSESS) のための歩行者行動特性の解析、自動車技術会論文集、Vol.42 No.5、 p.1199-1204 (2011)
- 35) 田中ほか：予防安全支援システム効果評価シミュレータ (ASSESS) を用いたブレーキアシストシステムの有効性に関する検討、自動車技術会論文集、vol.43 No.1、p.15-20 (2012)
- 36) 田中ほか：見通しの悪い信号なし交差点における通信利用型出会い頭衝突防止支援システムの有効性に関する検討、自動車技術会学術講演会前刷集、vol.101-13、p.9-14 (2013)
- 37) 目黒ほか：見通しの悪い信号なし交差点における支援システム作動時のドライバの認知行動の分析、自動車技術会学術講演会前刷集、vol.101-13、p.1-6 (2013)
- 38) 田中ほか：予防安全支援システム効果評価シミュレータ (ASSESS) による夜間歩行者事故低減のための Adaptive Driving Beam の有効性評価 (第 1 報) -前照灯による歩行者の視認性を考慮した ASSESS の開発概要-、自動車技術会学術講演会前刷集、vol.37-13、p.5-10 (2013)
- 39) 森田ほか：予防安全支援システム効果評価シミュレータ (ASSESS) による夜間歩行者事故低減のための Adaptive Driving Beam の有効性評価 (第 2 報) -ADB による歩行者事故低減の推定-、自動車技術会学術講演会前刷集、vol.37-13、p.11-16 (2013)

【第2章2.1節に関連する文献 (MATES)】

- 40) 吉村ほか：知的マルチエージェント交通流シミュレータ MATES の開発、シミュレーション、第 23 巻第 3 号、p.58-67 (2004)
- 41) ADVENTUREプロジェクトウェブサイト：<http://adventure.sys.t.u-tokyo.ac.jp/jp/> (2015.2 月アクセス)
- 42) 藤井ほか：マルチエージェント交通流シミュレータのドライバモデルに関する検討、日本機械学会第23回計算力学講演会CD-ROM論文集、No.10-2、p.468-469 (2010)
- 43) 藤井ほか：マルチエージェント交通流シミュレーションにおける交通事故モデリング、人工知能学会論文誌、第 26 巻、1 号 (2011)
- 44) 吉村ほか：知的マルチエージェント交通流シミュレータMATESの精度検証：岡山県高梁市における信号制御交通社会実験への適用、日本シミュレーション学会大会論文集、vol.25、p.261-264 (2006)
- 45) 文屋ほか：知的マルチエージェント交通流シミュレータMATESによる仮想社会実験、第一回システム創成学学術講演会、B-2 (2008)
- 46) 狩野ほか：知的マルチエージェント交通流シミュレータを用いたオンデマンドバスの評価、日本シミュレーション学会大会論文集、vol.28、p.323-326 (2009)
- 47) 文屋ほか：インフラ協調運転支援システム評価のためのマイクロ型交通シミュレータ、日本シミュレーション学会大会論文集、vol.27、p.469-472 (2008)

- 48) 藤井ほか：マルチエージェント交通流シミュレータMATESを用いた歩車混在環境のシミュレーション、日本シミュレーション学会大会論文集、vol.27、p.473-476 (2008)
- 49) 藤井ほか：多階層歩行者モデルを用いた歩車混合交通シミュレーション、日本人工知能学会第23回全国大会、p.1-2 (2009)
- 50) 小橋ほか：知的マルチエージェント交通流シミュレータMATESの並列化と広域マイクロ交通流シミュレーション、計算工学講演会論文集、vol.15、p.459-462 (2010)
- 51) 久保ほか：ドライバの判断エラーを加味した交通流シミュレーション、The28th Annual Conference of the Japanese Society for Artificial Intelligence (2014)
- 52) 古川修：安全運転支援システムの効果評価について、自動車研究、29 巻、10 号 (2007)
- 53) 都丸、古川ほか、交通シミュレータによる予防安全評価用ユニバーサルドライバモデルの開発（第一報）、自動車技術会学術講演会前刷集、No.35-08、p31-p34 (2008)

【第2章2.1節に関連する文献（AdaptiVe）】

- 54) A. Zlocki et al : Effective evaluation of ADAS and automated driving、12th international symposium on advanced vehicle control、p.699-705 (2014)
- 55) 「AdaptiVe」の構成に関する資料：
<http://www.adaptive-ip.eu/files/adaptive/content/downloads/>（2015年2月アクセス）
- 56) D. Neunzig et al : Assessment of advanced vehicle control systems with the vehicle oriented traffic simulation tool PELOPS、SAE technical paper、981890、p.1-7 (1998)
- 57) J. LUDMAN et al : Traffic simulation with consideration of driver models、Theory and examples、Vehicle system dynamics、vol.27、p.491-516 (1997)
- 58) F. Laquai et al : Impact modeling of driver behavior due to cooperative assistance systems、Digital human modeling、p.473-482 (2011)
- 59) C. Bergenheim et al : Challenges Of Platooning On Public Motorways、17th world congress on Intelligent Transport Systems、p.1-12 (2010)

【第2章2.2節に関する文献（ドライバ運転行動モデル）】

- 60) 本間ほか：前方車両衝突防止支援システムの効果予測ー危険の予期が低いドライバの衝突予知警報に対する反応特性ー、自動車技術会論文集、vol.43 No.3、p.769-775 (2012)
- 61) 内海ほか：歩行者に対するドライバの回避行動、自動車技術会学術講演会前刷集、No.106-08、p21-26 (2008)
- 62) 佐藤ほか：横断歩行者に対するドライバのリスク回避行動のモデル化、自動車技術会学術論文集、Vol.44、No.3 (2013)
- 63) 岩城ほか：横断歩行者に対するドライバの行動分析、自動車技術会学術講演会前刷集、No.146-13、p.21-26 (2013)
- 64) 永井正夫：ドライブレコーダ・データベースの現状と活用可能性、自動車技術、Vol.67 No.2、p.47-53 (2013)
- 65) 岩城ほか：車線逸脱警報呈示における車線復帰操舵行動のモデル化、自動車技術会学術講演会前刷集、No.41-13、p.1-6 (2013)

【第2章2.3節に関する文献（交通事故低減以外への適用可能性）】

- 66) 林ほか：ITS施策評価のためのCO2排出量推計モデルの開発、自動車技術会学術講演会前刷集、No.99-11、p.1-6 (2012)
- 67) 加藤秀樹：交通流シミュレーションを用いた エコドライブ普及施策の評価に関する研究、国立環境研究所社会環境システム研究センターセミナー (2009)
- 68) 牧野ほか：ITS技術を活用したサグ部渋滞対策について、第26回日本道路会議、公益社団法人日本道路協会 (2005)
- 69) 日高ほか：ACCを活用した高速道路サグ部の交通流円滑化、自動車技術会学術講演会前刷集、No.87-12、p.1-6 (2012)

【全体に関する文献】

- 70) 一般社団法人交通工学研究会：交通シミュレーション活用のススメ、丸善出版株式会社 (2012)
- 71) 交通事故予測シミュレーション検証マニュアル：自動車技術会 交通事故予測シミュレーション検定検討委員会 (2013)
- 72) 菅沢深：運動力学（自動車工学基礎講座）、公益社団法人自動車技術会、p.22 (2012)

付録A1 シミュレーション装置の仕様策定補足資料

付録A1.1 ドライバの知覚に関する特性パラメータ一覧

表A1.1-1にドライバの視覚による知覚に関わる特性パラメータ一覧をまとめる。

表A1.1-1 ドライバの知覚に関する特性パラメータ一覧

パラメータ		単位
中心視野角		[deg]
周辺視野角		[deg]
視距離ファクタ (デフォルト値は200[m])		[m]
視線移動速度		[deg/sec]
視線移動頻度	右側方目視	[/sec]
	左側方目視	[/sec]
	後方目視	[/sec]
	右サイドミラー	[/sec]
	左サイドミラー	[/sec]
	バックミラー	[/sec]
注視時間	平均値	[sec]
	標準偏差	
車線変更時の視線移動頻度	右側方目視	[/sec]
	左側方目視	[/sec]
	後方目視	[/sec]
	右サイドミラー	[/sec]
	左サイドミラー	[/sec]
	バックミラー	[/sec]
車線変更時の注視時間	平均値	[sec]
	標準偏差	
追い越し時の視線移動頻度	右サイドミラー	[/sec]
追い越し時の注視時間	平均値	[sec]
	標準偏差	
脇見頻度		[/sec]
脇見時間		[sec]

付録A1.2 ドライバの認知に関する特性パラメータ一覧

表A1.2-1にドライバの視覚による認知に関わる特性パラメータ一覧をまとめる。

表A1.2-1 ドライバの認知に関する特性パラメータ一覧

パラメータ
距離認知誤差
速度認知誤差
知覚物に対する認知もれ（見落とし）の確率
先行車の停止意図の認知ミスの確率
対向直進車の停止意図の認知ミスの確率
信号無視の確率
安全不確認（信号なし交差点の左折）の確率
安全不確認（車線変更）の確率
安全不確認（追い越し）の確率
安全不確認（右折時）の確認

付録A1.3 ドライバの前後方向判断ルールにおける対象一覧

各進路、場所、行動におけるドライバの前後方向の判断ルールの対象となるオブジェクトの一覧を表A1.3-1に示す。

表A1.3-1 ドライバの前後方向判断ルールにおける対象一覧（その1）

進路	場所	行動	判断対象
直進	交差点手前	停止	信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、左側横断車、右側横断右折車、左側横断右折車、左側横断左折車、対向右折車、右折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、左側横断レーン(死角)、右側横断右折レーン(死角)、左側横断右折レーン(死角)、左側横断左折レーン(死角)、車線変更、静止物
		発進	信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、左側横断車、右側横断右折車、左側横断右折車、左側横断左折車、対向右折車、右折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、左側横断レーン(死角)、右側横断右折レーン(死角)、左側横断右折レーン(死角)、左側横断左折レーン(死角)、車線変更、静止物
		加速	信号、次の信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、左側横断車、右側横断右折車、左側横断右折車、左側横断左折車、対向右折車、右折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、左側横断レーン(死角)、右側横断右折レーン(死角)、左側横断右折レーン(死角)、左側横断左折レーン(死角)、車線変更、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物
		等速	信号、次の信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、左側横断車、右側横断右折車、左側横断右折車、左側横断左折車、対向右折車、右折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、左側横断レーン(死角)、右側横断右折レーン(死角)、左側横断右折レーン(死角)、左側横断左折レーン(死角)、車線変更、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物
		追従	信号、次の信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、左側横断車、右側横断右折車、左側横断右折車、左側横断左折車、対向右折車、右折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、左側横断レーン(死角)、右側横断右折レーン(死角)、左側横断右折レーン(死角)、左側横断左折レーン(死角)、車線変更、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物
		減速	信号、次の信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、左側横断車、右側横断右折車、左側横断右折車、左側横断左折車、対向右折車、右折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、左側横断レーン(死角)、右側横断右折レーン(死角)、左側横断右折レーン(死角)、左側横断左折レーン(死角)、車線変更、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物
		空走	信号、次の信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、左側横断車、右側横断右折車、左側横断右折車、左側横断左折車、対向右折車、右折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、左側横断レーン(死角)、右側横断右折レーン(死角)、左側横断右折レーン(死角)、左側横断左折レーン(死角)、車線変更、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物

表A1.3-1 ドライバの前後方向判断ルールにおける対象一覧（その4）

進路	場所	行動	判断対象	
左折	交差点直前	等速	信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、対向右折車、右折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、車線変更、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物	
		追従	信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、対向右折車、右折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、車線変更、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物	
		減速	信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、対向右折車、右折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、車線変更、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物	
		空走	信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、対向右折車、右折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、車線変更、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物	
	交差点内部	停止	信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、対向右折車、右折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、車線変更、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物	
		発進	信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、対向右折車、右折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、車線変更、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物	
		加速	信号、次の信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、対向右折車、右折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、車線変更、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物	
		等速	信号、次の信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、対向右折車、右折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物	
		追従	信号、次の信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、対向右折車、右折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物	
		減速	信号、次の信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、対向右折車、右折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、車線変更、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物	
		空走	信号、次の信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、対向右折車、右折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、車線変更、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物	
		停止	信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、左側横断車、右側横断右折車、左側横断右折車、対向直進車、対向左折車、左折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、左側横断レーン(死角)、右側横断右折レーン(死角)、左側横断右折レーン(死角)、対向直進レーン(死角)、車線変更、静止物	
	右折	交差点手前	発進	信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、左側横断車、右側横断右折車、左側横断右折車、対向直進車、対向左折車、左折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、左側横断レーン(死角)、右側横断右折レーン(死角)、左側横断右折レーン(死角)、対向直進レーン(死角)、車線変更、静止物
			加速	信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、左側横断車、右側横断右折車、左側横断右折車、対向直進車、対向左折車、左折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、左側横断レーン(死角)、右側横断右折レーン(死角)、左側横断右折レーン(死角)、対向直進レーン(死角)、車線変更、交差点手前横断歩行者、静止物

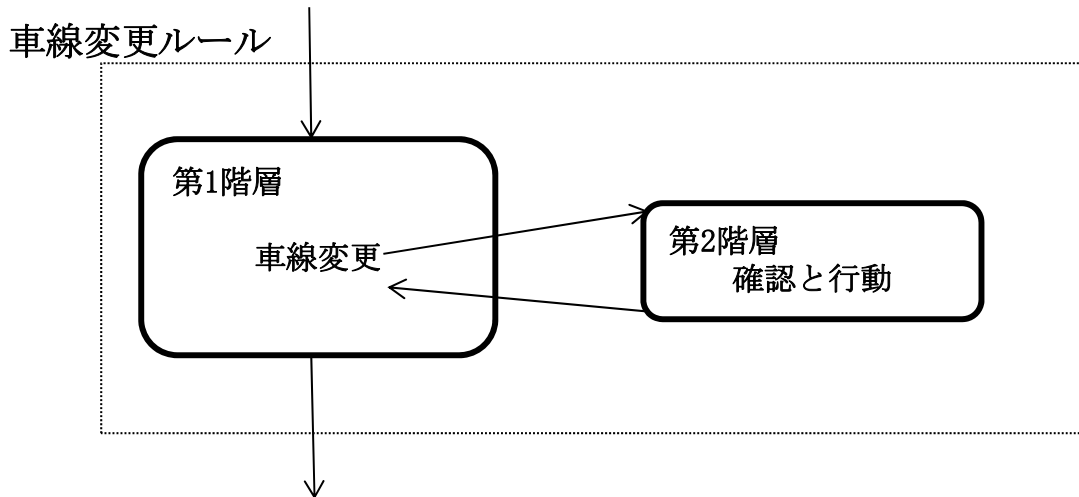
表A1.3-1 ドライバの前後方向判断ルールにおける対象一覧（その6）

進路	場所	行動	判断対象
右折	交差点内部	停止	信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、左側横断車、右側横断右折車、左側横断右折車、対向直進車、対向左折車、左折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、左側横断レーン(死角)、右側横断右折レーン(死角)、左側横断右折レーン(死角)、対向直進レーン(死角)、車線変更、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物
		発進	信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、左側横断車、右側横断右折車、左側横断右折車、対向直進車、対向左折車、左折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、左側横断レーン(死角)、右側横断右折レーン(死角)、左側横断右折レーン(死角)、対向直進レーン(死角)、車線変更、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物
		加速	信号、次の信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、左側横断車、右側横断右折車、左側横断右折車、対向直進車、対向左折車、左折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、左側横断レーン(死角)、右側横断右折レーン(死角)、左側横断右折レーン(死角)、対向直進レーン(死角)、車線変更、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物
		等速	信号、次の信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、左側横断車、右側横断右折車、左側横断右折車、対向直進車、対向左折車、左折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、左側横断レーン(死角)、右側横断右折レーン(死角)、左側横断右折レーン(死角)、対向直進レーン(死角)、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物
		追従	信号、次の信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、左側横断車、右側横断右折車、左側横断右折車、対向直進車、対向左折車、左折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、左側横断レーン(死角)、右側横断右折レーン(死角)、左側横断右折レーン(死角)、対向直進レーン(死角)、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物
		減速	信号、次の信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、左側横断車、右側横断右折車、左側横断右折車、対向直進車、対向左折車、左折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、左側横断レーン(死角)、右側横断右折レーン(死角)、左側横断右折レーン(死角)、対向直進レーン(死角)、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物
		空走	信号、次の信号、先行車、右側先行車、左側先行車、右側方車、左側方車、右側横断車、左側横断車、右側横断右折車、左側横断右折車、対向直進車、対向左折車、左折レーン(死角)、右側横断レーン(死角)、左側横断レーン(死角)、右側横断右折レーン(死角)、左側横断右折レーン(死角)、対向直進レーン(死角)、交差点通過後横断歩行者、交差点手前横断歩行者、静止物

付録A1.4 ドライバの横方向ルール

A1.4.1 車線変更ルール

車線変更ルールは図A1.4.1-1に示すように、車線変更の判断に関する第1階層と、車線変更の際の安全確認と、車線変更実施行動に関する第2階層とにより表わす。



図A1.4.1-1 車線変更ルールの構成

車線変更の判断に関する第1階層の処理の概要を図A1.4.1-2に示す。

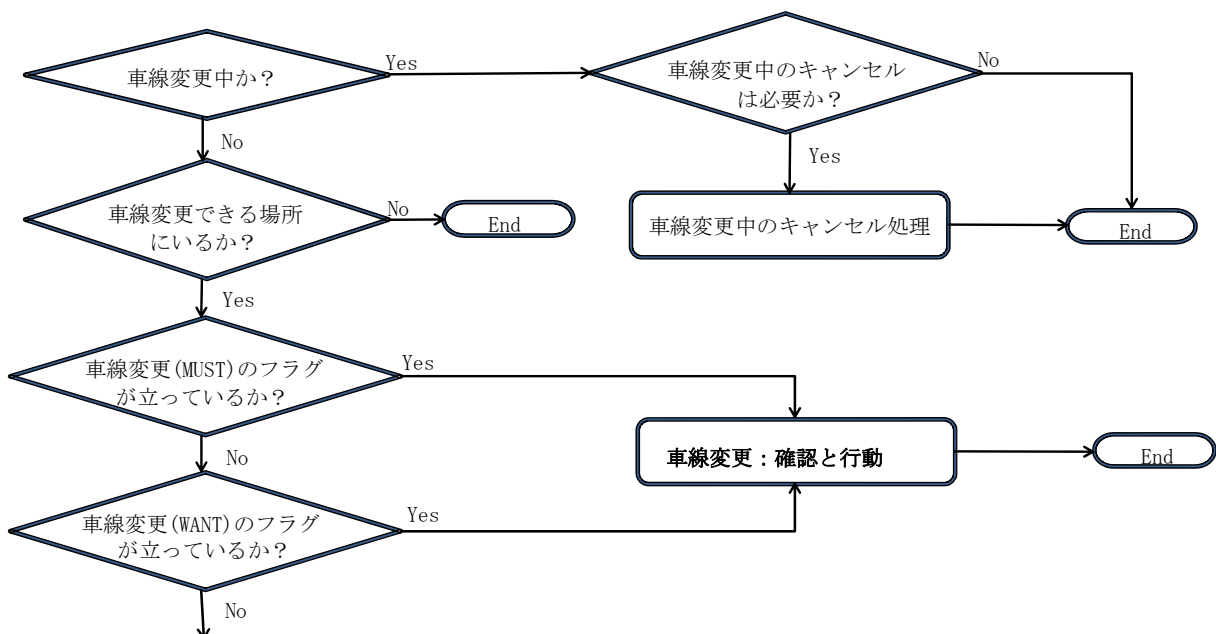
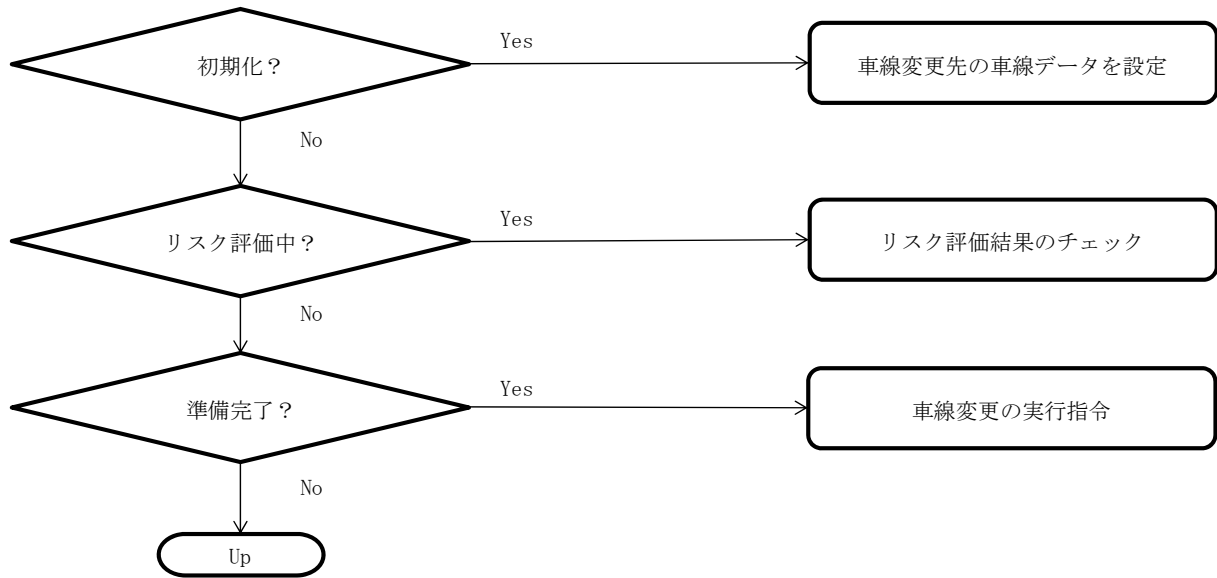


図 A1.4.1-2 第1階層処理（車線変更）の概要

図A1.4.1-3に第2階層である車線変更の際の安全確認と、車線変更実施行動に関する処理の概要を示す。



図A1.4.1-3 第2階層処理（確認と行動）の概要

A1.4.2 横方向ルールにおける判断対象一覧

各進路、場所におけるドライバの判断ルールの対象となるオブジェクトの一覧を表A1.4.2-1.に示す。

表A1.4.2-1. ドライバの横移動ルールにおける判断対象一覧

進路	場所	判断対象
直進	交差点手前・単路部	先行車、右側先行車、左側先行車、右側側方車、左側側方車、対向直進車、対向右折車、左側横断車、左側横断左折車、左側横断右折車、右側横断車、静止物、単路部、歩行者操舵回避
	直進交差点付近・交差点内	先行車、右側先行車、左側先行車、右側側方車、左側側方車、対向直進車、対向右折車、左側横断車、左側横断左折車、左側横断右折車、右側横断車、静止物
左折	交差点手前・単路部	先行車、右側先行車、左側先行車、右側側方車、左側側方車、対向直進車、対向右折車、左側横断車、左側横断左折車、左側横断右折車、右側横断車、静止物、単路部、歩行者操舵回避
	交差点付近・交差点内	先行車、右側先行車、左側先行車、右側側方車、左側側方車、対向直進車、対向右折車、左側横断車、左側横断左折車、左側横断右折車、右側横断車、静止物
右折	交差点手前・単路部	先行車、右側先行車、左側先行車、右側側方車、左側側方車、対向直進車、対向右折車、左側横断車、左側横断左折車、左側横断右折車、右側横断車、静止物、単路部、歩行者操舵回避
	交差点付近・交差点内	先行車、右側先行車、左側先行車、右側側方車、左側側方車、対向直進車、対向右折車、左側横断車、左側横断左折車、左側横断右折車、右側横断車、静止物

付録A1.5 ドライバの操作およびその他の特性パラメータ一覧

表A1.5-1にドライバの操作に関する特性パラメータ一覧、表A1.5-2にドライバのその他の特性パラメータ一覧をまとめる。

表A1.5-1 ドライバの操作に関する特性パラメータ一覧

パラメータ		単位
回避実施フラグ *1)	減速	ON/OFF
	操舵	ON/OFF
加速度勾配		[G/sec]
最大加速度		[G]
減速度勾配		[G/sec]
最大減速度		[G]
加速度操作量誤差の乱数値		[±%]
減速度操作量誤差の乱数値		[±%]
操舵操作量誤差の乱数値		[±%]
反応時間		[sec]
ペダル踏み遅れ時間 *2)	アクセルペダル	[sec]
	ブレーキペダル	[sec]
ペダル踏み替え時間設定の乱数値 *2)	アクセルペダル	[sec]
	ブレーキペダル	[sec]
ペダル踏み間違い確率		[%]
追従走行時	先行車との車間距離	[m]
	先行車との車間距離誤差許容量	[%]
	車間距離設定の乱数値	[m]
	最低車間距離設定の乱数値	[m]
車線変更時	ウィンカ点灯タイミング (遅れ時間)	[sec]
	操舵タイミング (遅れ時間)	[sec]
	最大操舵角度	[deg]
	最大操舵角速度	[deg/sec]
	最大車速増加量	
追い越し時	ウィンカ点灯タイミング (遅れ時間)	[sec]
	操舵タイミング (遅れ時間)	[sec]
	最大操舵角度	[deg]
	最大操舵角速度	[deg/sec]
	最大車速増加量	
自由速度設定の乱数値		[km/h]
左折時希望速度設定の乱数値		[km/h]
右折時希望速度設定の乱数値		[km/h]
低速走行時の速度誤差許容量		[%]
一時停止の最低速度設定の乱数値		[km/h]
停止位置設定の乱数値		[m]
停止時、停止線からの誤差許容量		[m]

*1) ドライバの状態（正常、脇見、居眠り、飲酒、病気など）に応じて、都度回避実施フラグに対してON/OFFの設定を変更できる。例えば、回避実施フラグ:減速がOFFの場合は、たとえ衝突の危険が生じてもドライバはブレーキ操作を実施しない。これにより、操作ミスを表示する。

*2) ペダル踏み替え時間:アクセルペダルはアクセルペダルを離して他のペダル操作の準

備に要する時間、ペダル踏み遅れ時間：ブレーキペダルはその状態からブレーキペダルを踏むまでの遅れ時間をさす。よって、アクセルペダル操作からブレーキペダル操作に移る場合は双方の時間の和だけの遅れが発生するが、空走からブレーキペダル操作に移る場合はペダル踏み遅れ時間：ブレーキペダルのみの遅れ時間となる。

表A1.5-2 ドライバのその他特性パラメーター一覧

パラメータ		単位
車両ID		整数値
年齢		[才]
性別		男性/女性
職業		文字列
身長		[cm]
体重		[kg]
法遵守傾向（高い：3～低い：1）		1～3
運転スキル（高い：3～低い：1）		1～3
情報処理能力（高い：3～低い：1）		1～3
意識水準（高い：5～低い：1）		1～5
ドライバの状態 *3)	正常	該当/非該当
	脇見	該当/非該当
	居眠り	該当/非該当
	飲酒	該当/非該当
	病気	該当/非該当
減速回避実施フラグOFF発生頻度	正常	[/sec]
	脇見	[/sec]
	居眠り	[/sec]
	飲酒	[/sec]
	病気	[/sec]
減速回避実施フラグOFF時間（乱数）	正常	[sec]
	脇見	[sec]
	居眠り	[sec]
	飲酒	[sec]
	病気	[sec]
操舵回避実施フラグOFF発生頻度	正常	[/sec]
	脇見	[/sec]
	居眠り	[/sec]
	飲酒	[/sec]
	病気	[/sec]
操舵回避実施フラグOFF時間（乱数）	正常	[sec]
	脇見	[sec]
	居眠り	[sec]
	飲酒	[sec]
	病気	[sec]
車線変更決定リスクの閾値		
追い越し決定リスクの閾値		
警報音によるドライバ状態の変化 *4)		[%]

*3) 正常以外の場合は、複数の該当指定を可能とする。

*4) 警報音によりドライバ状態が脇見、居眠りから正常に遷移する確率を指定する。

付録A1.6 支援システムの作動条件

シミュレーション装置で想定する各支援システムの作動条件を以下に示す。
 対車両と対歩行者の衝突防止を狙った支援システム（衝突警報システム、緊急ブレーキアシストシステム、被害軽減ブレーキシステム、操舵回避支援システム）の作動条件をそれぞれ表A1.6-1、表A1.6-2に示す。

表A1.6-1 衝突防止を狙った支援システム（対車両）の作動条件

作動条件	単位
検知幅	[m]
作動最低相対速度	[km/h]
作動最低速度	[km/h]
作動最高速度	[km/h]
作動TTC（対先行車）	[sec]
作動TTC（対静止車）	[sec]
作動遅れ時間	[sec]
検知必要時間 *1)	[sec]
作動対象外衝突ラップ率 *2)	[%]
検知モード *3)	OR/AND

表A1.6-2 衝突防止を狙った支援システム（対歩行者）の作動条件

作動条件	単位
検知幅	[m]
作動最低速度	[km/h]
作動最大速度	[km/h]
作動TTC	[sec]
作動遅れ時間	[sec]
検知必要時間 *1)	[sec]
作動対象外衝突ラップ率 *2)	[%]
検出ラップ率	[%]
検知モード *3)	OR/AND

*1) センサでの先行車両検知の延べ時間がこの値以上となった場合に、作動条件を満たすものとする。

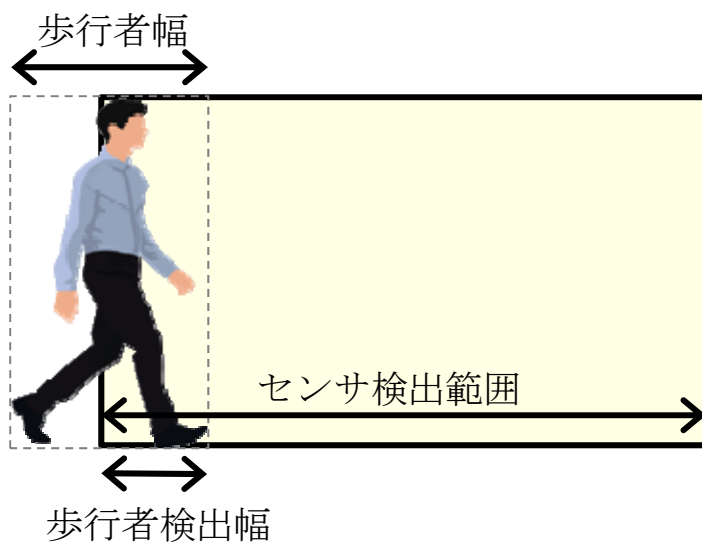
*2) 予測される先行車との衝突ラップ率がこの値以下の場合には、作動しない。

*3) センサが複数存在する場合に、すべてのセンサが検知しないと作動しない場合はANDを指定する。デフォルト値はORとする。

ここで、作動TTC（衝突までの時間）に関しては、各相対速度に対する作動TTC値をリストの形式の形式で与えるものとする。

表A1.6-2の検出ラップ率について、図A1.6-1を用いて説明する。
検出ラップ率は以下の式で表わされるものである。

$$\text{検出ラップ率} = \text{歩行者検出幅} / \text{歩行者幅} [\%]$$



図A1.6-1 検出ラップ率

車線逸脱警報システムと逸脱防止支援システムの作動条件をそれぞれ表A1.6-3、表A1.6-4に示す。

表A1.6-3 車線逸脱警報システムの作動条件

作動条件	単位
車線検知幅	[m]
作動最低速度	[km/h]
作動最高速度	[km/h]
作動最低横速度	[km/h]
作動最高横速度	[km/h]
作動DTLB *1)	[sec]
作動遅れ時間	[sec]
作動最小カーブ径	[m]
作動最大カーブ径	[m]
検知モード *2)	OR/AND

表A1.6-4 逸脱防止支援システムの作動条件

作動条件	単位
車線検知幅	[m]
作動最低速度	[km/h]
作動最高速度	[km/h]
作動最低横速度	[km/h]
作動最高横速度	[km/h]
作動DTLB *1)	[sec]
アシスト最大舵角	[deg]
アシスト最大舵角速度	[deg/sec]
作動遅れ時間	[sec]
作動ずれ幅 *3)	[m]
作動最小車線幅	[m]
作動最大車線幅	[m]
作動最小カーブ径	[m]
作動最大カーブ径	[m]
検知モード *2)	OR/AND

*1) DTLBとは、車線境界と車両との距離を指す。横速度に対するDTLB値をリストの形式で入力しする。DTLB値がこの値以下となった場合にこの作動条件を満たす。

*2) センサが複数存在する場合に、すべてのセンサが検知しないと作動しない場合はANDを指定する。デフォルト値はORとする。

*3) 車線中央からのずれ幅がこの値以上となった場合にこの作動条件を満たす。

付録A1.7 車両モデルモジュールのパラメータ一覧

表A1.7-1に車両モデルモジュールの特性パラメータ（車両特性パラメータと呼ぶ）の一覧を示す。

表A1.7-1 車両特性パラメータ一覧

パラメータ	単位
車種 *1)	
車長	[m]
車幅	[m]
車高	[m]
車重	[kg]
ホイールベース	[m]
リヤオーバーハング	[m]
車両前端、後端から重心点までの距離	[m]
前輪軸、後輪軸から重心点までの距離	[m]
ヨー慣性モーメント	[kg/m ²]
車両横力係数（前後）	
ステアリング・ギア比	
タイヤ径	[m]
タイヤ摩擦係数	
CO ₂ 排出量計算パラメータ *2)	
燃料消費量計算パラメータ *3)	
ドライバーの視点位置座標（X、Y、Z）	[m]
Aピラーの死角方位角、広がり角	[deg]
適用する車両形状の3Dモデル	

*1) 普通車（セダン、ミニバン、SUV）、軽自動車（普通軽自動車、軽貨物車）、大型車を選択可能とする。

*2) 速度、加減速の情報と、CO₂排出量の関係を示すパラメータ

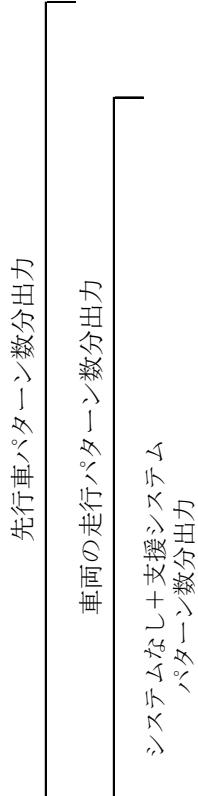
*3) 速度、加減速の情報と、燃料消費量の関係を示すパラメータ

付録A1.8 事故場面模擬シミュレーションでの結果ログ

追突事故場面模擬シミュレーション、歩行者横断中事故場面模擬シミュレーションおよび、車線逸脱事故場面模擬シミュレーションにおける結果ログの出力項目をそれぞれ表A1.8-1、表A1.8-2、表A1.8-3に記述する。

表A1.8-1 追突事故場面模擬シミュレーションにおける結果ログ出力項目

項目	単位
先行車パターンID	
先行車タイプ	停止タイプ/減速タイプ/等速タイプ/加速タイプ
先行車の初期速度	[km/sec]
車両ID	
検出時の相対速度	[km/sec]
検出時の先行車速度	[km/sec]
車両初期座標	[m]
車両初期速度	[km/sec]
車両初期加速度	[G]
初期車間距離	[m]
ドライバの状態 *1)	正常/脇見/居眠り/飲酒/病気
回避実施フラグ (減速、操舵)	ON/OFF
支援システムID	システムなし/支援システムパターン1…
追突したかどうか	追突/回避
制動開始時から追突までの時間	[sec]
制動開始から追突までの時間	[sec]
追突時の相対速度	[km/sec]
追突時の先行車速度	[km/sec]
追突時の後続車速度	[km/sec]
衝突面、位置 *2)、角度	面、[%]、[deg]
緊急制動最大減速度	[G]
緊急制動減速勾配	[G/sec]
前方不注意時間	[sec]
反応時間	[sec]
センサーで検出したかどうか *3)	検出/非検出



■ : 衝突の場合のみ出力

- *1) 正常以外は複数指定可
- *2) 衝突面、位置については4.7.1.参照のこと
- *3) 支援システムありの場合のみ

表A1.8-2 歩行者横断中事故場面模擬シミュレーションにおける結果ログ出力項目

		項目	単位	
歩行パターン数分出力	車両の走行パターン数分出力	歩行パターンID		
		歩行者初期座標	[m]	
		歩行者初期速度	[km/sec]	
		歩行者初期方位角	[deg]	
		車両ID		
		車両初期座標	[m]	
		車両初期速度	[km/sec]	
		車両－歩行者間の初期相対座標	[m]	
		車両－歩行者間の初期相対速度	[km/sec]	
		ドライバの状態 *1)	正常/脇見/居眠り/飲酒/病気	
		回避実施フラグ (減速、操舵)	ON/OFF	
		システムなし/支援システムパターン数分出力	支援システムID	システムなし/支援システムパターン1…
			衝突したかどうか	衝突/回避
			危険認知時の車両座標	[m]
危険認知時の車両速度	[km/sec]			
危険認知時の車両方位角	[deg]			
危険認知時の車両－歩行者間相対座標	[m]			
危険認知時の車両－歩行者間相対速度	[km/sec]			
危険認知時の衝突までの時間	[sec]			
衝突時の車両座標	[m]			
衝突時の車両速度	[km/sec]			
衝突時の車両方位角	[deg]			
衝突時の車両－歩行者間相対座標	[m]			
衝突時の車両－歩行者間相対速度	[km/sec]			
衝突面、位置 *2)、角度	面、[%]、[deg]			
センサーで検出したかどうか *3)	検出/非検出			

■ : 衝突の場合のみ出力

- *1) 正常以外は複数指定可
- *2) 衝突面、位置については4.7.1.参照のこと
- *3) 支援システムありの場合のみ

表A1.8-3 車線逸脱事故場面模擬シミュレーションにおける結果ログ出力項目

項目	単位
カーブパターンID	
旋回方向	直線/左旋回/右旋回
カーブ半径	[m]
車線幅員	[m]
車線数	
車両ID	
走行車線	車線番号
逸脱速度	[km/sec]
逸脱角度	[deg]
ドライバの状態 *1)	正常/脇見/居眠り/飲酒/病気
回避実施フラグ (減速、操舵)	ON/OFF
反応遅れ時間	[sec]
支援システムID	システムなし/支援システムパターン1…
終了時加速度	[G]
終了時速度	[km/h]
終了時座標	[m]
終了時操舵トルク	[N]
終了時の車線中心からのオフセット	[m]
逸脱したかどうか	逸脱/逸脱せず
逸脱距離	[m]
逸脱幅	[m]
逸脱角度	[deg]
横滑り角	[deg]
センサーで検出したかどうか *2)	検出/非検出

カーブパターン数分出力

車両の走行パターン数分出力

システムなし+支援システム
パターン数分出力

■ : 衝突の場合のみ出力

- *1) 正常以外は複数指定可
- *2) 支援システムありの場合のみ

付録A2 略語・用語の一覧

略語・用語	省略していない表現または用語の定義
ハプティック警報	触覚(ハプティック)によって警報をドライバに伝える装置
ABS	Antilock brake system
ADAS	Advanced driving assistant system : 高度運転支援システム
ASV	Advanced safety vehicle : 先進安全自動車
ADB	Adaptive driving beam : 先進型可変配光走行ビーム
ACC	Adaptive cruise control : 車間距離制御装置
AEB	Autonomous emergency brake : 衝突被害軽減ブレーキ
C-ITS	Cooperative - ITS
CMBS	Collision mitigation brake system
CSWS	Curve speed warning system : カーブ速度警報システム
DSSS	Driving safety support system : 安全運転支援システム
ESC	Electronic stability control : 横滑り防止装置
ESS	Emergency stop signal : 緊急制動表示装置
HMI	Human machine interface
ITS	Intelligent transport system
LDW	Lane departure warning : 車線逸脱警報
LKA	Lane keeping assist : 車線維持支援装置
PCS	Precrash safety system : 衝突被害軽減支援システム
AIS	Abbreviated injury scale
BASt	ドイツ連邦道路交通研究所
DRI	Dynamic research inc
ISO	International standard organization : 国際標準化機構
GIDAS	German in-depth accident survey
ITARDA	公益財団法人交通事故総合分析センター
NHTSA	National highway traffic safety administration : 米国国家道路交通安全局
TNO	オランダ応用科学研究機構
TRB	Transportation research board
USDOT	米国連邦運輸省
FP7	欧州第7次枠組的研究計画(Framework programme)
PATH	カリフォルニア大学にある交通安全の研究機関
AdaptiVe	Automated driving applications & technologies for intelligent vehicles
ASSESS	A Survey Simulator to Evaluate Safety System
ASSTREET	Advanced Safety System & Traffic REaltime Evaluation Tool
MATES	Multi-Agent-based Traffic and Environment Simulator
UDM	Universal driver model
API	Application programming interface
FOT	Field operational test
ガバナ特性	アクセル操作と燃料噴射、エンジン回転数を制御する特性
ギャップアクセプタンス挙動	無信号交差点などで対向車の間隙を縫って右折するような挙動
ジャーク	加加速度、単位時間当たりの加速度の変化率
マジックフォーミュラ	デルフト工科大学のPacejka教授が提唱した実験データを元に近似式で表すタイヤモデル.
Cd値	Coefficient of drag : (空気抵抗の) 抗力係数
TTC	Time to collision : 車間距離を相対速度で除した値(衝突までの時間)
TTV	Time to vehicle

— 禁無断転載 —

内閣府委託事業

交通事故死傷者低減の国家目標達成に向けた
調査・検討における詳細効果見積もりのための
シミュレーション技術に係る調査検討
報告書

平成27年2月

発行 一般財団法人 日本自動車研究所

茨城県つくば市荻間 2530

TEL 029(856)1120