

経済産業省委託

平成27年度

「戦略的イノベーション創造プログラム（自動走行システム）：交通事故低減詳細効果見積もりのためのシミュレーション技術の開発及び実証」

報告書

平成28年3月

一般財団法人 日本自動車研究所

## 序章

自動車の普及に伴う交通事故や交通渋滞は、世界中で甚大な社会的損失をもたらしており、今後の世界的な人口増大に伴う自動車保有の増加や高齢化、都市の過密化の進展により、こうした問題も深刻さを増すものと考えられる。我が国において、自動車乗車中の交通死亡事故件数は、ここ数年減少幅が逡減し、引き続き厳しい状況が続いており、高齢者の自動車乗車中の交通死亡事故件数については、近年増加に転じている。また、渋滞の緩和、環境負荷の低減等への対応も急務となっている。既存の取組だけでは抜本的な解決が難しくなっていることを踏まえ、新たな取組である自動走行への期待は大きく、関連する市場の拡大も見込まれる。

「日本再興戦略」（平成 27 年 6 月 30 日閣議決定）等では、「安全・快適にヒト・モノの移動ができる社会像」等を目指し、自動走行システムの研究開発等を進めることとされている。

そこで、本事業では自動走行の早期の実用化・普及促進に向け、自動走行の導入による交通事故低減効果の見積りに必要なシミュレーション技術の開発に取り組む。本技術によって自動走行の事故低減効果を定量的に示すことにより、自動走行の早期の実用化・普及促進に貢献する。

本事業では、上記目標を達成するために、以下を実施する。

### (1) 交通事故低減効果シミュレータの開発

自動走行システムによる交通事故低減効果の評価を可能とするシミュレータ（以下、「交通事故低減効果シミュレータ」という。）の開発

### (2) 交通参加者の行動モデルの構築

(1) で開発する交通事故低減効果シミュレータに実装する各交通参加者（ドライバや歩行者等）の知覚・認知、判断、操作（挙動）を模擬するための行動モデルの構築

### (3) 開発したシミュレーション技術の実証

(1) 及び (2) で開発した技術を用いた実証

「戦略的イノベーション創造プログラム（自動走行システム）：  
交通事故低減詳細効果見積もりのためのシミュレーション技術の開発及び実証」

－ 目 次 －

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 第 1 章 | はじめに                                   | 1   |
| 第 2 章 | 開発目標                                   | 2   |
| 2.1   | 開発目標                                   | 2   |
| 2.1.1 | 事業全体の目標                                | 2   |
| 2.1.2 | 研究開発の目標                                | 2   |
| 2.2   | 全体開発概要                                 | 2   |
| 2.2.1 | 交通事故低減詳細効果の評価を可能とするシミュレーション            | 2   |
| 2.2.2 | 交通事故低減効果評価のためのシミュレーションの構築の流れ           | 4   |
| 第 3 章 | 事業の実施方法                                | 5   |
| 3.1   | 交通事故低減詳細効果シミュレータの開発                    | 8   |
| 3.1.1 | 交通事故低減詳細効果シミュレータ基盤の開発                  | 13  |
| 3.1.2 | 事故再現型シミュレーション技術の開発                     | 29  |
| 3.1.3 | シミュレータ GUI, 道路エディタ、傷害評価モジュールの開発        | 48  |
| 3.1.4 | 交通環境再現型シミュレーション技術の開発                   | 62  |
| 3.1.5 | まとめ                                    | 68  |
| 3.2   | 交通参加者の行動モデル                            | 69  |
| 3.2.1 | 交通参加者の行動モデルを構成する機能の全体設計                | 69  |
| 3.2.2 | 再現対象となるドライバ状態・行動の選定と再現するための<br>パラメータ検討 | 73  |
| 3.2.3 | 追従・追突場面におけるドライバの行動の構築                  | 76  |
| 3.2.4 | 歩行者の行動モデル構築に向けた基礎検討                    | 90  |
| 3.3   | 開発したシミュレーション技術の実証                      | 105 |
| 3.3.1 | 評価対象となる交通事故低減効果の選定・定義                  | 106 |
| 3.3.2 | 定量的な評価のための評価指標・評価ツールの要件                | 110 |
| 3.3.3 | 交通事故低減効果の実証に関する構想まとめ                   | 119 |
| 第 4 章 | シミュレーション動向調査                           | 121 |
| 4.1   | 海外の動向調査                                | 121 |
| 4.1.1 | ドライバ行動特性研究                             | 121 |
| 4.1.2 | ドライバの衝突回避行動モデル化の研究                     | 123 |
| 4.1.3 | 車両と歩行者交錯時の衝突リスク定量化の研究                  | 123 |

|       |                                       |     |
|-------|---------------------------------------|-----|
| 4.1.4 | 集団歩行者と車両遭遇時のモデル化の研究                   | 125 |
| 4.2   | シミュレーション技術動向の調査<br>(歩行者行動モデル開発に関する検討) | 126 |
| 4.2.1 | 各文献の概要                                | 126 |
| 4.2.2 | 各機能について                               | 129 |
| 4.2.3 | 歩行者行動モデルの仕様まとめ                        | 136 |
| 第5章   | 研究開発全体企画・管理                           | 138 |
| 5.1   | 全体工程表の策定                              | 138 |
| 5.2   | 開発検討会の運営                              | 140 |
| 5.2.1 | 開発検討会                                 | 141 |
| 5.2.2 | 次世代高度運転支援システム推進委員会                    | 143 |
| 第6章   | まとめ                                   | 147 |
| 6.1   | まとめ                                   | 147 |
| 6.2   | 今後の課題                                 | 147 |
| 第7章   | 参考資料                                  | 152 |
| 7.1   | シミュレーション実行時に必要となる入力ファイル               | 152 |
| 7.2   | 道路構造を表す構成要素の構造体情報                     | 170 |

## 第1章 はじめに

本報告書は、衝突被害軽減ブレーキなどの自動走行システム（運転支援システム含む。以下同様）による交通事故低減効果の評価を可能とするシミュレーション技術の開発において、実施した内容を纏めたものである。

実施内容を以下に示す。

### (1) 交通事故低減詳細効果シミュレータの開発

自動走行システムによる交通事故低減詳細効果の評価を可能とするシミュレータ開発において、平成27年度は、シミュレータの共通基盤部分を開発し、単路での追従、追突事故の再現が行う機能を組み込み、その機能確認を実施した。

### (2) 交通参加者の行動モデル

(1) で開発する交通事故低減詳細効果シミュレータに実装する追従、追突シーンでのドライバの知覚・認知、判断、操作に関する各行動モデルの仕様をまとめ、また、必要となるドライバ属性などの特性パラメータを実験報告書、文献調査等により取得し、(1) で開発する交通事故低減詳細効果シミュレータに実装した。

### (3) 開発したシミュレーション技術の実証

本項はシミュレータを構築した後の実施項目であり、平成27年度はその確認ステップ1～5を明確にした。

ステップ1：交通参加者モデル化の妥当性検証

ステップ2：事故シナリオ設定の妥当性検証

ステップ3：自動走行システム（運転支援システム含む）の妥当性検証

ステップ4：効果評価の妥当性検証

ステップ5：評価結果の妥当性検証

### (4) シミュレーション動向調査

シミュレーション技術に関して、以下の調査を実施した。

- ・海外の動向調査
- ・シミュレーション技術動向の調査（歩行者行動モデルに関する検討）

実施にあたっては、開発検討会を2回開催し、上記の在り方等について議論した。

## 第2章 開発目標

### 2.1 開発目標

#### 2.1.1 事業全体の目標

自動車の普及に伴う交通事故や交通渋滞は、世界中で甚大な社会的損失をもたらしており、今後の世界的な人口増大に伴う自動車保有の増加や高齢化、都市の過密化の進展により、こうした問題も深刻さを増すものと考えられる。我が国においては、自動車乗車中の交通死亡事故件数は、ここ数年減少幅が逡減し、引き続き厳しい状況が続いており、高齢者の自動車乗車中の交通死亡事故件数については、近年増加に転じている。また、渋滞の緩和、環境負荷の低減等への対応も急務となっている。自動車産業には、これら課題の解決に向けた積極的な取組が期待されるが、既存の取組だけでは抜本的な解決が難しくなっていることを踏まえると、新たな取組である自動走行への期待は大きく、関連する市場の拡大も見込まれている。

また「日本再興戦略」が目指す「交通事故・渋滞が劇的に減少し、距離や時間を意識させないコスト・スピードで物流サービスが提供される社会の実現」「究極的には交通事故のない社会の達成」及び、「世界最先端IT国家創造宣言」等に掲げられた「2018年を目処に交通事故死者数を2,500人以下とし、2020年までには、世界で最も安全な道路交通社会を実現するとともに、交通渋滞を大幅に削減する」との目標の達成に向け、本事業では、自動走行の早期の実用化・普及促進に向け、自動走行の導入による交通事故低減詳細効果の見積もりに必要なシミュレーション技術の開発に取り組む。本技術によって自動走行の事故低減効果を定量的に示すことにより、上記目標の達成に貢献する。

#### 2.1.2 研究開発の目標

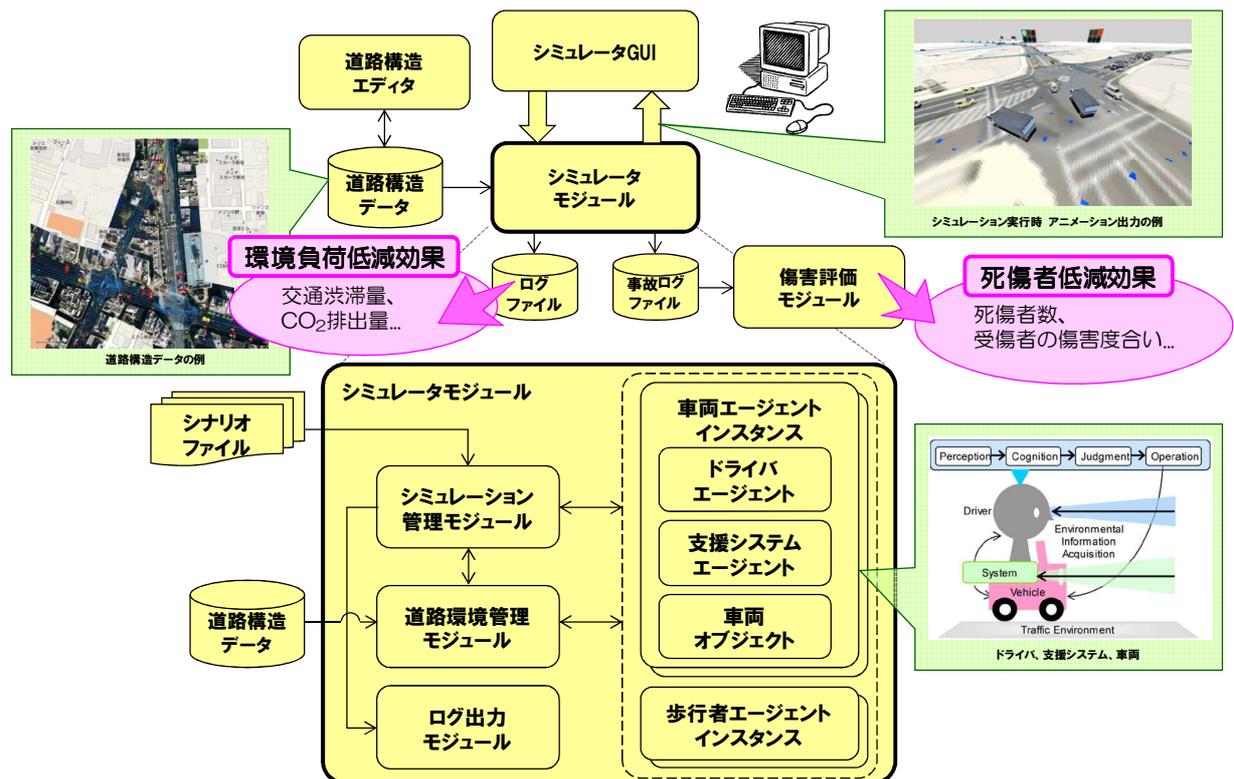
被害軽減ブレーキや逸脱防止支援システムなどの自動走行システム（運転支援システム含む。以下同様）による交通事故低減詳細効果の評価を可能とするシミュレーション技術を開発し、より効果的な自動走行システムの社会への普及を促進するツールを提供することを目標とする。

### 2.2 全体開発概要

#### 2.2.1 交通事故低減詳細効果の評価を可能とするシミュレーション

図 2.2.1-1 は、本事業で開発する交通事故低減詳細効果の評価を可能とするシミュレーションの概念を示している。このシミュレーションでは、車両や歩行者などの交通参加者がそれぞれ次ページで述べるエージェントとして行動し、相互に作用しあうマルチエージェントシステムによって多様な交通事象を再現する。また、特定の事故形態や支援形態に限

定した交通事故低減詳細効果を評価する機能だけではなく、道路形状や道路線形などの様々な条件によって再現される道路交通環境における交通事故低減詳細効果を、トータルで評価する機能も兼ね備えるものである。平成27年度は交通事故低減詳細効果の評価を主眼において開発を行うが、将来的には、交通事故の発生に伴う交通渋滞の減少などに関する効果評価へ応用できる拡張性も備えるものとする。



<キーワード>

- ・交通環境再現型シミュレーション
- ・マルチエージェント型シミュレーション
- ・ドライバ、車両、支援システム、環境、他の交通参加者（歩行者など）のモデル
- ・交通事故低減以外の効果（交通渋滞など）への拡張性

<補足>

- ・エージェント：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
- ・オブジェクト：自律的で柔軟な判断や動作ではなく、特定の決まった動作をする物
- ・インスタンス：エージェントやオブジェクトの実体であり、実際にシミュレータに組み込まれて動く個々のエージェントやオブジェクト

図 2.2.1-1 交通事故低減詳細効果評価のためのシミュレーション

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より引用

## 2.2.2 交通事故低減詳細効果評価のためのシミュレーションの構築の流れ

交通事故低減詳細効果評価のためのシミュレーションの構築に向けて、(1) 交通事故低減詳細効果シミュレータの開発、(2) 交通参加者の行動モデルの構築、(3) 開発したシミュレーション技術の実証、という一連の流れに沿う形でシミュレーション技術開発を行い、今後の交通事故低減詳細効果を見積ることを可能とする。

### (1) 交通事故低減詳細効果シミュレータの開発

自動走行システムによる交通事故低減詳細効果の評価を可能とするシミュレータの開発を行う。

開発にあたっては、様々な道路環境における交通流及び追突、歩行者横断、車線逸脱の事故場면을再現する。また、様々な車種や交通参加者を含むシミュレーションを可能とする。

### (2) 交通参加者の行動モデルの構築

(1) で開発する交通事故低減詳細効果シミュレータに実装する各交通参加者（ドライバや歩行者等）の知覚、認知、判断、操作（挙動）に関する各行動モデルの仕様をまとめ、必要となる注視時間、認知誤差、操作誤差量、反応時間などの特性データを実験及び文献調査等により取得し、(1) で開発する交通事故低減詳細効果シミュレータに実装する。

### (3) 開発したシミュレーション技術の実証

(1) (2) で開発したシミュレータ、行動モデルと特性パラメータを使用し、自動走行システムの有無による交通事故低減詳細効果に関して評価を行う。

また、その評価結果を既存の論文等と比較検討し、妥当性を検証する。

### 第3章 事業の実施方法

自動走行システムの実用化検討において、事故低減効果をシミュレーションによって予測することは非常に重要であり、予測結果は、ビジネス・インフラ等の投資対効果判断や社会への効果アピール等に用いられる。

本事業で開発する自動走行システムの評価を目的としたシミュレーションでは、シミュレーション上で事故を再現するように設計されており、再現した事故に対して自動走行システムの効果検討や、事故低減詳細効果（事前検討）を行うことを目的とする。

本事業にて実現するシミュレーションは、

- ・ 交通環境を再現するシミュレーション  
（通常運転時の行動ルールが組み込まれたエージェントによって交通流を再現）
- ・ 事故場면을再現するシミュレーション  
（追突、歩行者横断、車線逸脱、の事故場面再現）
- ・ 自動走行システム搭載による交通環境を再現  
（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、車線逸脱警報システム、逸脱防止支援システムなど）
- ・ 自動走行システムの有無による交通事故低減詳細効果の評価  
の機能を実装する。

本事業で開発を行う、交通事故低減詳細効果シミュレーションでは、以下のような

- ・ 車両エージェント（図 3-1）
    - ドライバエージェント
    - 自動走行システム エージェント
    - 車両オブジェクト
  - ・ 歩行者エージェント（図 3-1）
  - ・ 道路構造オブジェクト（交差点、信号、標識など）（図 3-1）
- を使用し複数のエージェント間及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マルチエージェント型シミュレーション技術の開発を行う。

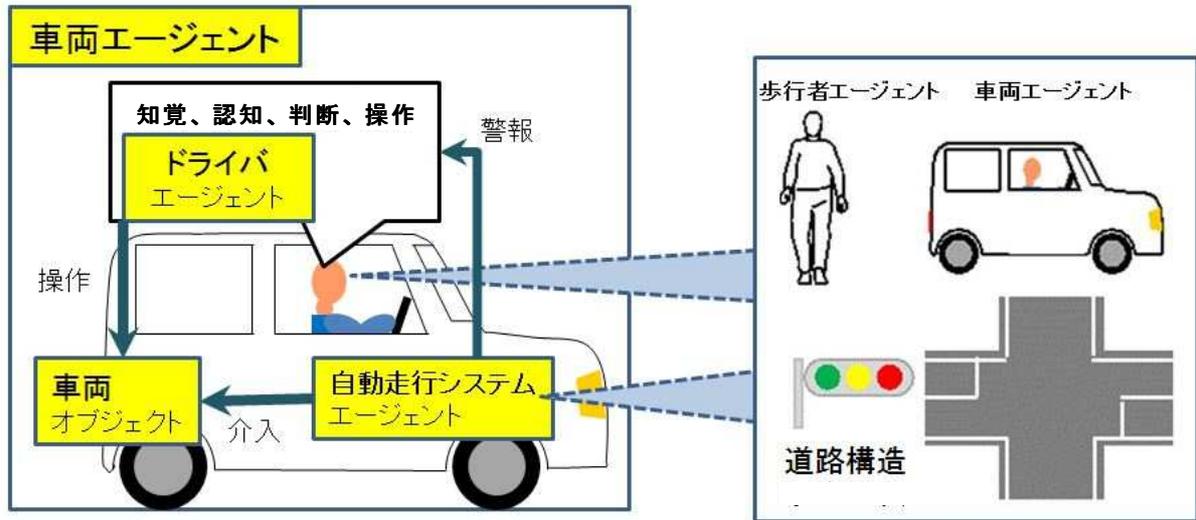


図 3-1 車両エージェント 歩行者エージェント 道路構造オブジェクト イメージ

シミュレータ上では個々のエージェントが相互に作用することによって、実際の動作が確定する。自車から見て対象となる全てのエージェントとの関係でどのような行動が最適なのが決まる。(各エージェントが知覚、認知、判断を行うことで行動が決定される)

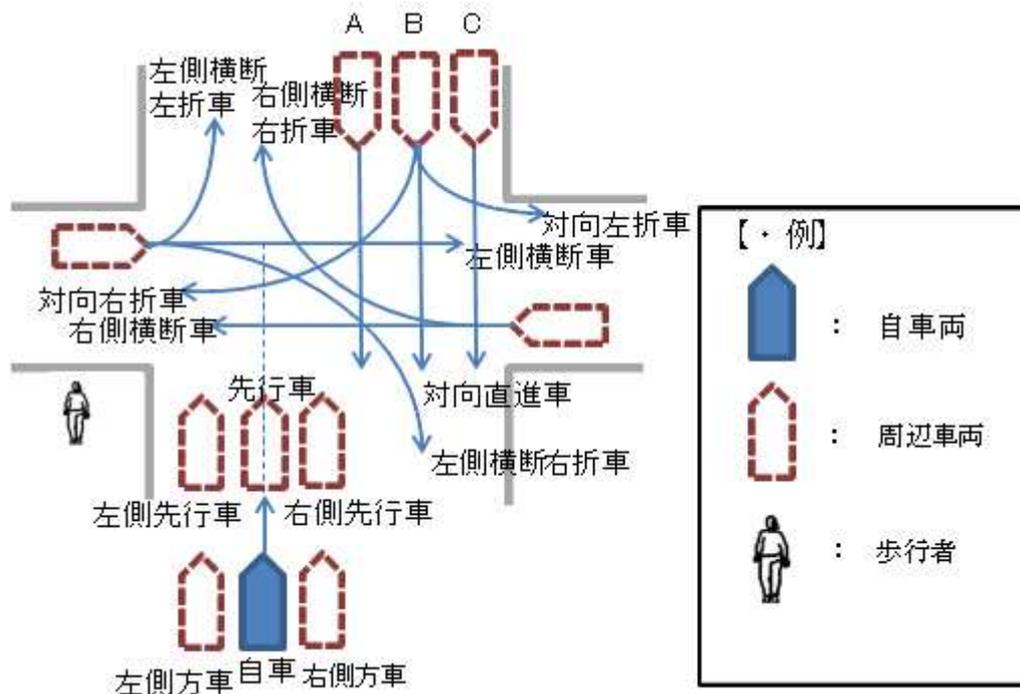


図 3-2 認知対象となりうる移動体

自車の行動を決定するに当たっては、全ての対象となるエージェントとの関係を確認する必要がある。このため自車の加減速により安全に走行できる条件を満たす範囲の行動(加減速の目標値)を決定する、図 3-3 では歩行者 D に対する行動を選択することによって全

てのエージェントの条件を満たすことになる。

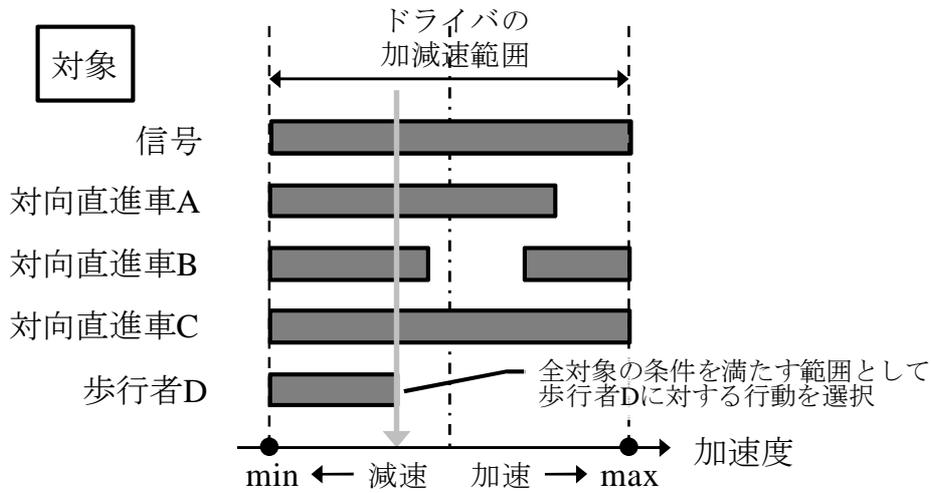


図 3-3 各対象に対し安全に走行できる条件を満たす加減速度の決定

交通環境再現に関しては、通常運転時の行動が重要となる。

実際に、ドライバーが運転しているときにはいろいろな状況が有り、事故が発生しない場合でも多種多様な危険が発生する要因を持ちながら運転を続けている。

このような事故に至らないが危険が存在している場合の運転行動を模擬しながら交通環境を再現する。

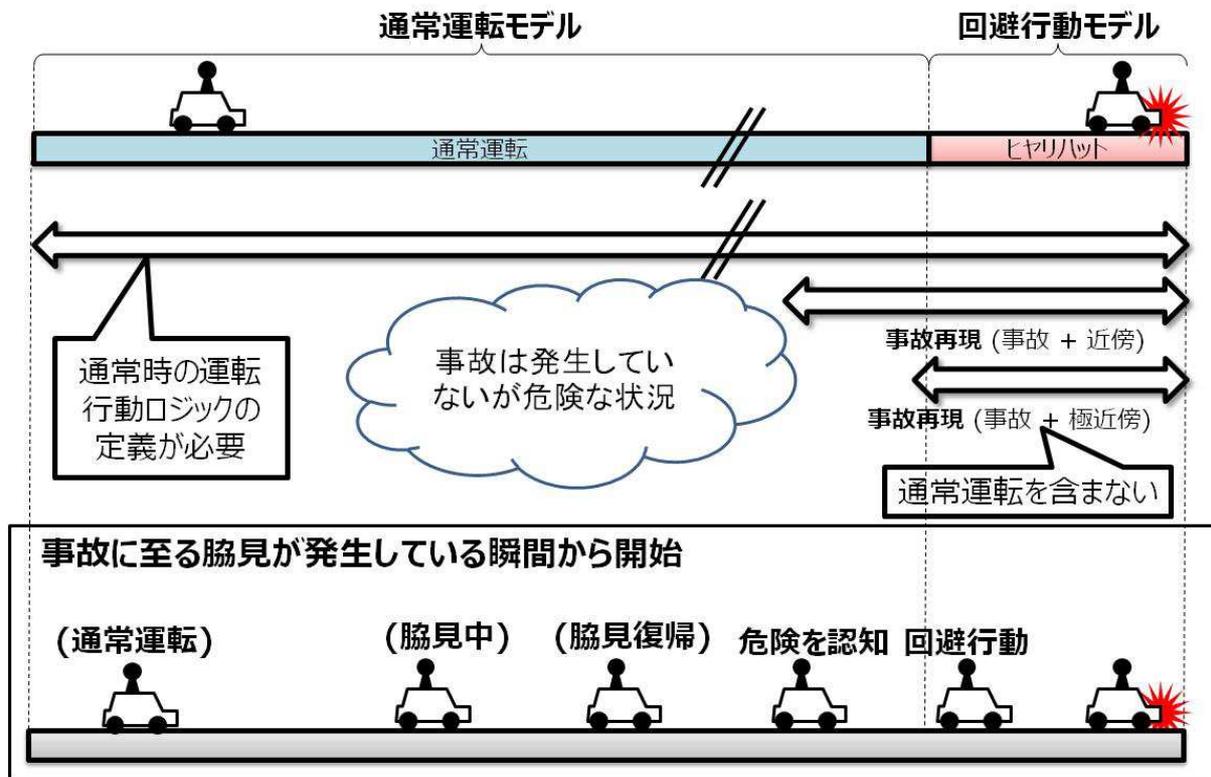


図 3-4 通常運転から事故発生にいたる行動モデルイメージ

### 3.1 交通事故低減詳細効果シミュレータの開発

自動走行システムによる交通事故低減詳細効果の評価を可能とするシミュレータを開発する。

シミュレータの方式、仕様ならびに各種交通参加者モデルを作成しシミュレータソフト開発を実施する。本シミュレータは、図 3.1-1 に示すモジュール構成により実現する。

開発にあたっては、一般財団法人日本自動車研究所で実施した平成 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」<sup>1)</sup>で報告された交通環境再現型マルチエージェントシミュレータである ASSTREET (Advanced Safety System & Traffic Realtime Estimation Tool) (トヨタ自動車) をさらに詳細に調査・解析を行い、シミュレータとしての全体構成ならびに平成 27 年度実装する、追従・追突に関する再現方式に関して検討し、シミュレーション方式を纏めた。

平成 27 年度に開発するシミュレータの構成は、入力部分となるシミュレータ GUI (入力情報を制御し、操作指示を行う) とシミュレータ本体部分とした。周辺ツールに関しては仕様検討を実施するが、開発は着手しない。以下に平成 27 年度に開発するシミュレータの各機能 (シミュレータ管理モジュール、各エージェント、車両オブジェクト、拡張性) について概略を示す。

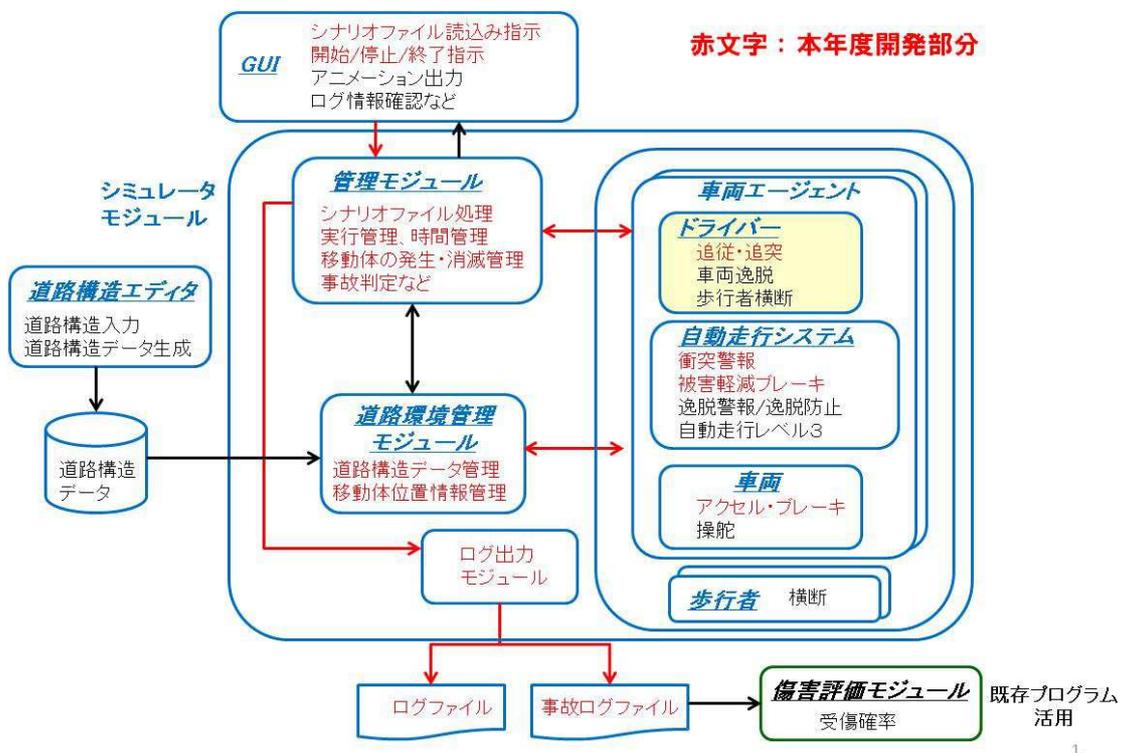


図 3.1-1 最終目標となる構成と平成 27 年度開発部分

## (1) シミュレーション管理モジュール

シミュレーション管理モジュールでは、シナリオファイルの読み込み、シナリオに従った移動体インスタンスの生成・消滅の管理、シミュレーションの実行管理・時間管理、事故発生判定などを行う。道路環境管理モジュールは、道路構造データの読み込み・管理、各移動体の存在情報・位置情報の管理を行うが、平成27年度は直線単路でのシミュレーションのため、擬似的に生成し、道路環境管理モジュールの開発は行わない。ログ出力モジュールは、各時刻での移動体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。また、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。

## (2) 各エージェント

各移動体インスタンスは、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。

車両エージェント・インスタンスは、車両の動作を模擬する車両オブジェクト・インスタンスとドライバの挙動を模擬するドライバエージェント・インスタンスとをペアとして生成し、さらに自動走行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この動作を模擬する自動走行システムエージェント・インスタンス（複数システムの指定が可能）も含めた組として生成する。

ドライバエージェント・インスタンスでは、知覚、認知、判断、操作の4つのステップに分割してドライバの挙動を模擬する。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、単に自動走行システムからの警報音や振動警報がONなどの情報をもとに、知覚が発生するものとしている。視覚に関しては、視線方向及び死角を考慮して中心視野と周辺視野を模擬し、中心視野では知覚対象物の位置や速度を知覚し、周辺視野では知覚対象物の存在のみを知覚する。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認知の挙動を表現する。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、判断ルールにより記述する。また、操作においては、判断の結果に応じて車両の加減速や操舵を行う。このルールの作成に関しては、実際に本シミュレータを使用する各OEMと協議の上での様なインターフェイスとするかを決定する必要がある。

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している。特性パラメータは、情報処理能力、法令遵守傾向、運転スキル、覚醒水準の4つのカテゴリに分類して扱う。個々のドライバエージェント・インスタンスの特性パラメータの値は、シミュレーションでの生成時に、与えられた分布傾向に応じた割合で設定されるようにしている。（各エージェント毎に固体差をつけるため）

自動走行システムエージェント・インスタンスでは、自動走行システムの挙動を模擬する。自動走行システムの種々の仕様への対応を容易とするために、センサの検出範囲や最小検知幅、自動走行システムの動作条件や動作遅延などの情報はパラメータとして定義する。

### (3) 車両オブジェクト

車両オブジェクト・インスタンスにおける車種としては、普通車（セダン、ミニバン、SUV）、軽自動車（軽自動車、軽貨物車）、大型車を模擬可能であり、各車種に対する諸元情報（表 3.1-1 に示す諸元を採用）に基づき、視界障害要因の模擬、車両の運動計算を行う。運動計算においては、車両は等価二輪モデルとして扱う。

表 3.1-1 車両モデルの諸元情報

| 車両モデルの諸元情報          | 単位                   |
|---------------------|----------------------|
| 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 <sup>2</sup> ] |
| 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             |                      |
| 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     | [°]                  |

平成 27 年度は追従・追突のシミュレーション開発となるため歩行者エージェントに関する開発は着手しない。ただし基本的な考え方として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の事故場面再現用として使用する。エージェントモードの場合は、ドライバー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。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も、この歩行者エージェントの枠組みを用いて作成可能とする。

### (4) 拡張性の検討

#### ① シミュレーションの拡張性

平成 27 年度は、全体開発計画の中で基盤となる構造を開発し、機能拡張を行えるように設計した。

シミュレータが持つべき数多くの機能をできるだけ細かな機能を持つモジュールに分解し、それらの組合せによりシステムを構築している。このことにより、モジュール間の相互依存性を小さくすることが可能となり、機能の追加・変更に対応できる。例えば、複数の安全装置をモジュールとして実装することができ、自動走行システムの機能の拡張

や新しい自動走行システムの搭載も可能とする。

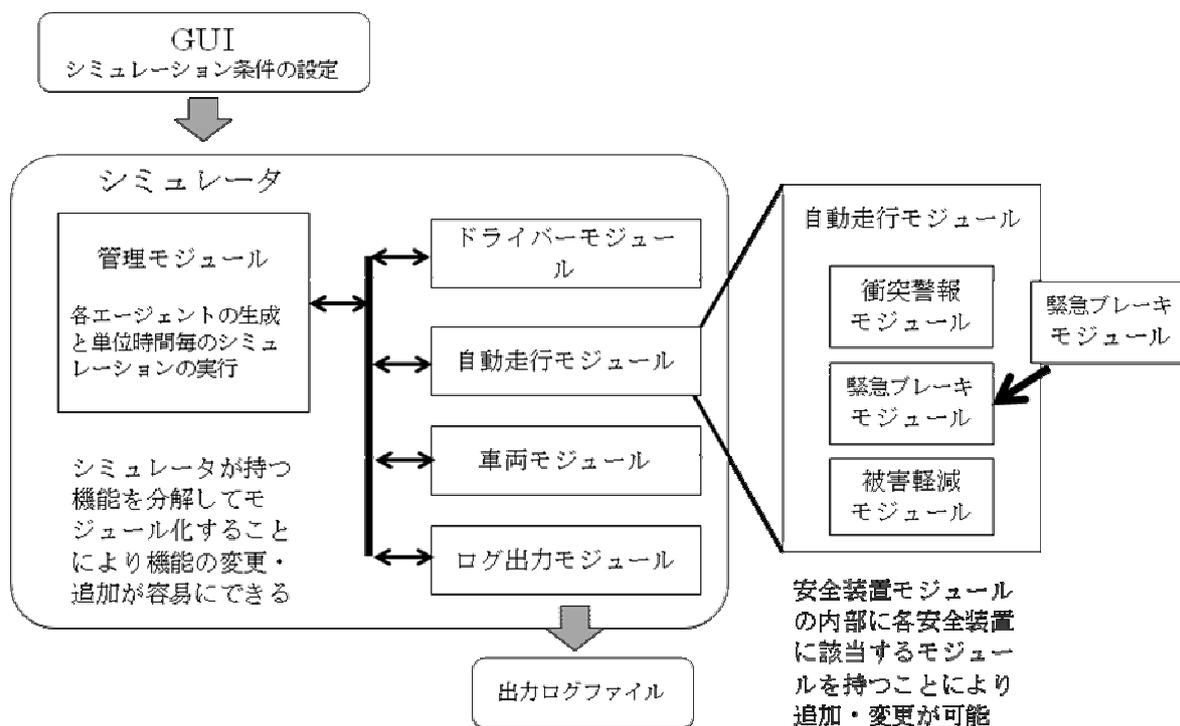


図 3.1-2 モジュール構造による拡張性

## ② シミュレータと GUI の独立性ならびに拡張性

ドライバ・車両・安全装置に関する条件やシミュレーション実行時の車両台数・速度マップなどの各種情報を RFC 規格である JSON 形式ファイルでシミュレータに与える。このことにより、シミュレータに入力するパラメータ設定の柔軟性が高くなり、将来的な機能拡張や変更にも迅速に対応することができる。

また、シミュレーションを実行する実験者が、扱いやすい GUI を作成することにより操作しやすい環境を実現可能にすることができる。

注

RFC : Request for Comments (リクエスト フォー コメンツ)

JSON : JavaScript Object Notation (ジェイソン)

JSON 形式 : ECMA-262, revision 3 準拠の JavaScript (ECMAScript) をベースとしている。2006 年 7 月に RFC 4627 で仕様が規定された。

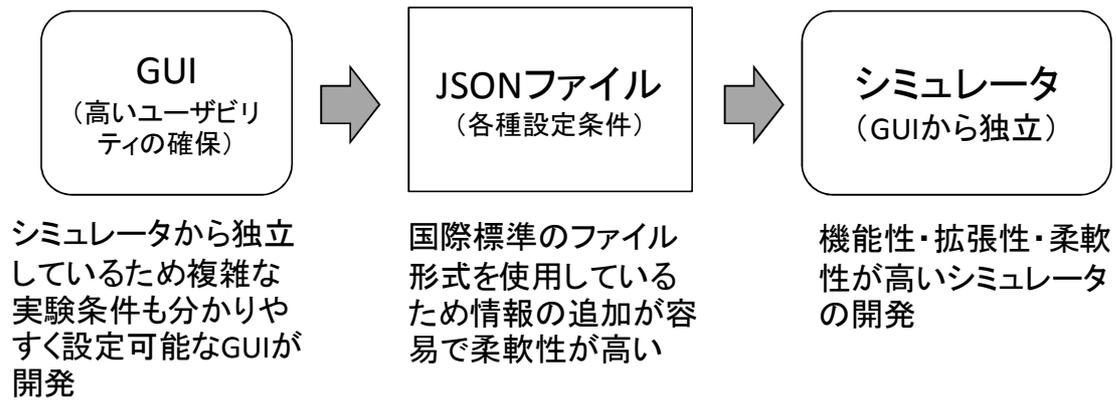


図 3.1-3 シミュレータと GUI の独立性

以上のように平成 27 年度は、シミュレータの共通基盤部分を設計開発し、直線単路での追従、追突事故の再現が行える機能を組み込み、その機能確認を実施した。

### 3.1.1 交通事故低減詳細効果シミュレータ基盤の開発

本事業にて再現する追突、歩行者横断、車線逸脱、の3つの事故場面の再現、及び交通環境再現に共通で使用される機能に関して、シミュレーションに対する処理実行条件や入力情報（シナリオファイルなど）を読み込み全体制御を行うシミュレーション管理モジュール、シミュレーションで使用される道路情報を読み込み（平成27年度は擬似的に生成）、道路上の各インスタンス管理を行う道路環境管理モジュール、シミュレーション実行結果を分類して出力処理するログ出力モジュール、及び車両エージェントモジュールを交通事故低減詳細効果シミュレータの基盤として開発した。

#### (1) シミュレーション管理モジュール

シミュレータ管理モジュールは、シナリオファイルと指定された設定に従い、シミュレーションを実行する。

管理モジュールの主な機能を以下に説明する。

- ・シナリオファイル処理

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・時間管理を行う。
- ・事故判定を行う。

シミュレータ管理モジュールの概略フローを図3.1.1-1に示す。

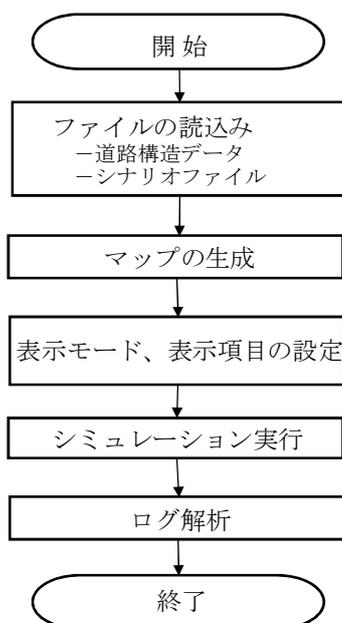


図 3.1.1-1 シミュレータ管理モジュールの概略フロー

## ① シナリオファイル処理

シナリオファイル処理には、以下に示す機能が存在する。

- ・シミュレーション時間と単位時間  
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）
- ・移動体 発生・消滅の設定  
先行車両の走行パターン  
後続車両の車両エージェントの指定と走行パターン
- ・効果を評価する自動走行システムの指定

### (i) シミュレーション時間と単位時間

シミュレーション時間を指定する。シミュレーション時間は、(ii) の先行車パターンの中で指定する。(ii) の a.~d.のタイプでは、シミュレーション時間  $n[\text{sec}]$  ( $n$  は正の実数) が指定し、時刻  $0[\text{sec}]$  から時刻  $n[\text{sec}]$  までの先行車と後続車の動作を模擬する。また、(ii) の e.のタイプでは、マップの最後に書いた時刻までの先行車と後続車の動作を模擬する。

ただし、追突事故発生などの終了条件が成立した場合は、その時点で当該パターンのシミュレーションを打ち切る。

また、シミュレーションの単位時間を正の整数で指定可能とする。シミュレーション単位時間のデフォルト値は  $10[\text{msec}]$  とし、単位時間  $m$  が指定された場合はシミュレーション単位時間を  $m[\text{msec}]$  としてシミュレーションを実行する。時々刻々変化する車両の位置は、このシミュレーション単位時間毎に評価される。

### (ii) 移動体 発生・消滅の設定

- ・先行車パターン

先行車パターンとしては、以下の 5 種を選択可能。

#### a. 停止タイプ

初期位置座標 (Y 座標)、オフセット[m] (※1) に発生させ、停止状態を維持する。初期位置座標、オフセットのデフォルト値は  $0[\text{m}]$ 。

#### b. 減速タイプ

初期位置座標 (Y 座標)、オフセット[m]、初期速度[km/h]、初期速度から指定した減速度で減速していく。減速タイプの速度が  $0[\text{km/h}]$  となった以降は停止状態を維持する。初期位置座標、オフセットのデフォルト値は  $0[\text{m}]$ 。

#### c. 等速タイプ

初期位置座標 (Y 座標)、オフセット[m]、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。初期位置座標、オフセットのデフォルト値は  $0[\text{m}]$ 。

#### d. 加速タイプ

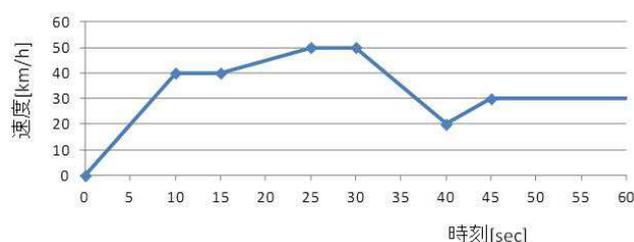
初期位置座標 (Y 座標)、オフセット[m]、加減速度 $[\text{m/s}^2]$  (正の値)、最終速度[km/h]を

指定して発生させ、初速 0[km/h]から指定した加速度[m/s<sup>2</sup>]で最終速度[km/h]まで加速していく。加速タイプの速度が最終速度となった以降はその速度を維持して走行する。初期位置座標、オフセットのデフォルト値は 0[m]。

e. マップ指定タイプ

初期位置座標 (Y 座標)、オフセット[m]、時刻[sec]と速度[km/h]との組み合わせを指定し、指定した初期位置座標から時刻[sec]と速度[km/h]との組で示したシナリオ動作に従って走行していく。初期位置座標、オフセットのデフォルト値は 0[m]とする。マップ指定タイプの例を図 3.1.1-2 に示す。ここで、時刻の指定での秒数は、小数での指定 (4.5 など) も可能とする。また、1 分を超えるようなマップ指定の場合は、コロン":"で区切って分の指定も可能とする。例えば、1:05.5 は、65.5 と等価である。

|          |   |    |    |    |    |    |    |
|----------|---|----|----|----|----|----|----|
| 時刻[sec]  | 0 | 10 | 15 | 25 | 30 | 40 | 45 |
| 速度[km/h] | 0 | 40 | 40 | 50 | 50 | 20 | 30 |



指定した最後の時刻後は、指定したシミュレーション時間が経過するまで、その速度 (この例の場合は 30k[km/h]) を維持するものとする。

図 3.1.1-2 マップ指定タイプの例

また、マップ指定タイプでは、下記「加速直後の急減速パターン」表 3.1.1-1 や「減速中の減速度が変化するパターン」表 3.1.1-2 も指定可能。

ここで、表 3.1.1-1 は、40 秒から 2 秒間 (時刻：42 秒) で 10[km/h]加速し、その後 3 秒間 (時刻：45 秒) で  $-6.5[m/s^2]$ に達するような急減速を示している。ここで、42 秒～45 秒の間の加速度勾配は一定 (線形補間) とする。

また、表 3.1.1-2 は、40 秒から 1.5 秒間 (時刻：41.5 秒) で 7[km/h]減速 (一次減速) し、その後 1.8 秒間 (時刻：43.3 秒) で  $-6.5[m/s^2]$ に達するような急減速を示している。ここで、41.5 秒～43.3 秒の間の加速度勾配は一定 (線形補間) とする。

表 3.1.1-1 加速直後の急減速パターンのマップ指定

|           |   |    |    |    |       |    |
|-----------|---|----|----|----|-------|----|
| 時刻[sec]   | 0 | 15 | 40 | 42 | 45    | 50 |
| 速度 [km/h] | 0 | 45 | 45 | 55 | -6.5a | 0  |

表 3.1.1-2 減速中の減速度が変化するパターンのマップ指定

|              |   |    |    |      |       |    |
|--------------|---|----|----|------|-------|----|
| 時刻[sec]      | 0 | 15 | 40 | 41.5 | 43.3  | 45 |
| 速度<br>[km/h] | 0 | 45 | 45 | 38   | -6.5a | 0  |

a. ～d. のタイプの初期位置座標、オフセット、速度、加減速度勾配に関しては、固定値の他に正規乱数（平均、標準偏差を指定）、一様乱数（最大値、最小値を指定）を指定可能である。

また、先行車が空走（平成 27 年度は機能確認用に加速度を $-0.25[m/s^2]$ と仮定している）よりも急な減速度の時や、停止状態を維持している時はブレーキ灯を ON 状態とする。

※1) オフセット：道路の中心線と車両の重心（＝中心）との X 軸方向のズレを±[m]で表わす。オフセットのデフォルト値は 0[m]。オフセット値が車両が道路の幅員内に収まらない値の場合は、道路内におさまる値に変更して実行する。

- ・ 後続車両の車両エージェントの指定と走行パターン

後続車両の車両エージェントとしては、以下 4 種類を指定する。

- (i) 使用する車両オブジェクト
- (ii) 後続車両の初期状態
- (iii) ドライバエージェント
- (iv) 搭載する自動走行システム

なお、ドライバエージェントと搭載する自動走行システムに関しては以下 3.1.2 にて説明する。

後続車両の初期状態としては、

- ・ 車両エージェント・インスタンスの初期位置座標（Y 座標[m]）とオフセット[m]
- ・ 初期速度[km/h]、制限速度[km/h]

を指定する。

初期位置座標（Y 座標[m]）の形式での指定が可能。

ドライバエージェントとしては、性別：男性／女性、年齢区分：16-29/20-24/25-29/…/80-84/85 以上、体重[kg]、特性パラメータ：A 法令順守傾向（1/2/3）、B 運転スキル（1/2/3）、C 情報処理能力（1/2/3）、D 覚醒水準（1/2/3/4/5）を指定する。

また、後続車の指定方法は以下の固定値による指定に加え、乱数発生も可能とする。

- a. ドライバエージェント：固定値 後続車両の初期状態：乱数発生

後続車両の走行パターンの発生位置、初期速度、オフセットに関しては、乱数指定を可能とし、発生させる車両の走行パターン総数、乱数種類（正規乱数／一様乱数）、平均・標

準偏差／最小値・最大値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、正規乱数、一様乱数を選択可能とする。また、発生位置は、座標の形式での乱数でも指定可能とする。

b. ドライバエージェント：乱数発生 後続車両の初期状態：固定値

ドライバエージェントを指定した数だけ乱数発生する。ここで、性別、年齢区分に関しては、3.1.2 の表 3.1.2-6 に示す分布に従い発生させるものとする。また、特性パラメータに関しては、A 法令順守傾向、B 運転スキル、C 情報処理能力に関してはそれぞれ 3.1.2 の図 3.1.2-4、図 3.1.2-5、図 3.1.2-6 に示す分布、D 覚醒水準に関しては 3.1.2 表 3.1.2-5 に示す分布に従い発生させるものとする。乱数発生するドライバエージェントの体重に関しては、平成 27 年度は一律 60kg と仮定して評価を実施する。

(iii) 効果の評価する自動走行システムの指定

自動走行システムの指定では、評価する自動走行システムエージェント（後続車に搭載）の種類を指定する。自動走行システムエージェントの種類としては、

- ・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

の 3 種類を指定可能とする。

また、複数の自動走行システムを搭載するパターン（例えば、衝突警報システム＋緊急ブレーキアシストシステムなど）を指定することも可能である。

② シミュレーションの実行管理・時間管理

- ・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。

①②において処理概要ならびに処理に必要な情報について述べた。実際には交通事故低減

効果シミュレータでは、シミュレーションに必要な実行シナリオや各種パラメータ等の情報を JSON ファイル、及びレシピファイル csv（先行車の走行パターンがマップ指定の場合にその走行パターンを記述）の形式で設定し、これらを入力としてシミュレーションを実行する。JSON ファイルには、以下の 3 種類がある。

**Scenario.JSON**：道路の設定、及びシミュレーションシナリオの設定を行う。

**Drivers.JSON**：ドライバーエージェントのパラメータの設定、及びドライバーエージェントに対するエラーの挿入（脇見、判断誤り、操作誤り）の指定を行う。

**Vehicles.JSON**：車両パラメータの設定、及び自動走行システムのパラメータ設定と車両への搭載の指定を行う。

なお、実際に入力する詳細情報（パラメータ値）ならびにファイルフォーマットは参考資料 7.1 に記載する。

シミュレーション実行部分の概略処理フローを図 3.1.1-3 に示す。

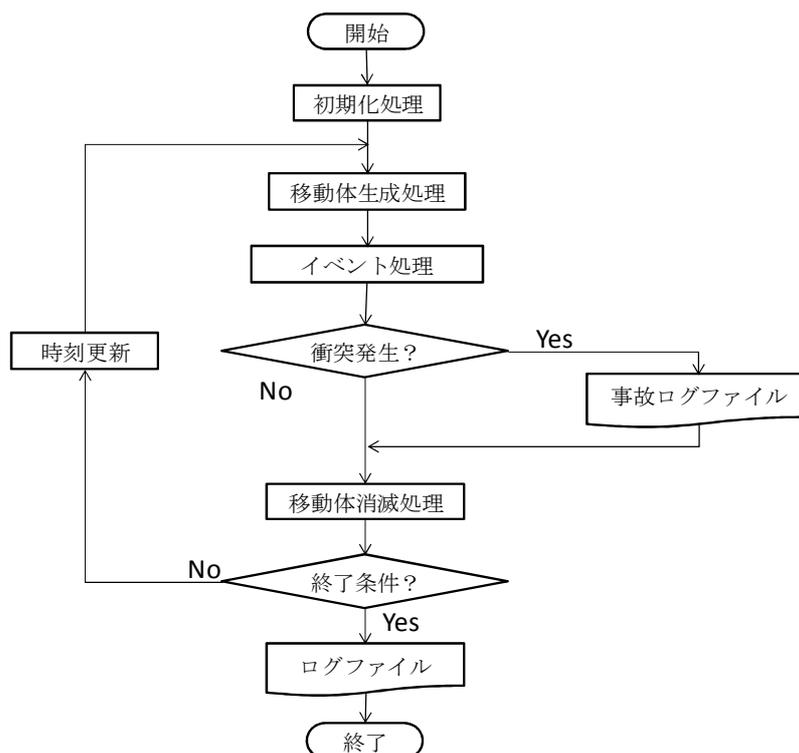


図 3.1.1-3 シミュレーション実行部分 概略処理フロー

シミュレーション実行部分のイベント処理を以下に示す。

- ・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。  
（平成 27 年度は直線単路を実施する）

各車両エージェントのイベント処理

- ・ドライバーエージェント・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。

ドライバエージェント・インスタンス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した。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。

### ③ 事故判定

- ・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。

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、衝突範囲、相対速度、衝突角度[°]を計算し、結果を事故ログファイルに格納している。衝突面に関しては、図3.1.1-4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。

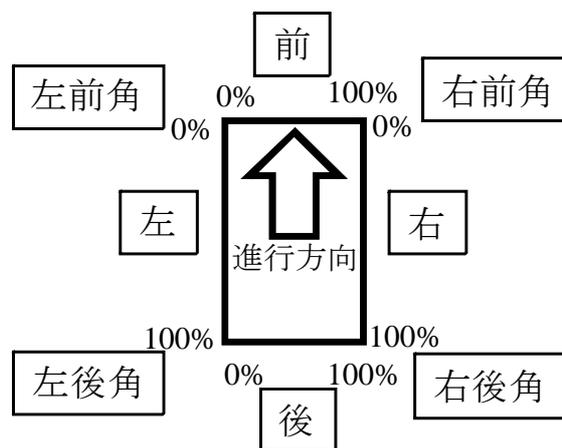


図 3.1.1-4 衝突面

また、衝突範囲に関しては、図3.1.1-5に示すように重なりを[%]で表わす。

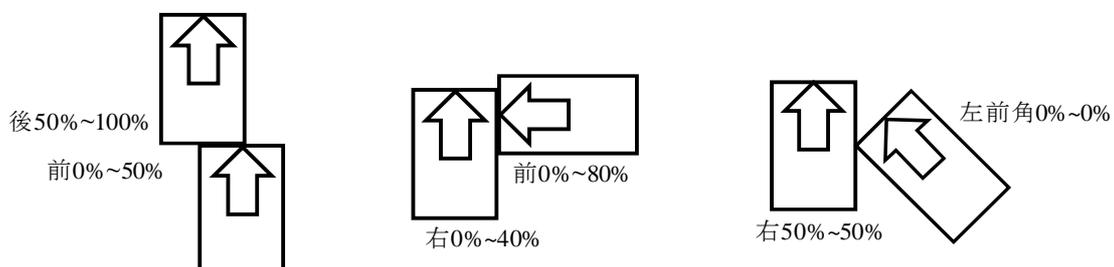


図 3.1.1-5 衝突範囲(衝突ラップ率)

図3.1.1-5では、簡単のため同一の車幅として例示しているが、車幅が異なる場合は、先行車幅が大きい場合 図3.1.1-5左図で例えば後55%~100%、前0%~50%のようになる場合もある。

ただし、平成27年度開発の交通事故低減効果シミュレータでは、操舵は考慮しないため、衝突面は先行車の後と、後続車の前のみに限られる。

## (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。(平成 27 年度は道路構造エディタは作成しない。道路環境としては、Y 軸方向に伸びる直線道路を想定し、道路幅員[m]の設定を行う。道路幅員のデフォルト値は、3.0[m]とする。)
- ・道路構造に関するデータ、各エージェントの存在情報、位置情報を管理する。

## (3) ログ出力モジュール

実施したシミュレーション結果の統計情報、事故ログ情報、ヒヤリハット情報をファイル出力する。

### ログ出力の主たる内容

- ・各時刻での移動体（車両エージェント・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）を出力可能とする。
- ・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を出力可能とする。
- ・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。
- ・事故ログファイルにおいては、事故が発生する前の時刻からの時系列ログデータを出力可能とする。(何秒前からの時系列ログとするかは、予め設定可能。)

① 統計情報

統計情報では、表 3.1.1-3 に示すように、シミュレーション実行のパターン総数・内訳、シミュレーションシナリオ設定値、追突事故発生件数・内訳、及び自動走行システム無しの場合と、自動走行システム有りの場合の各自動走行システム搭載の場合毎に、シミュレーションしたパターン総数、追突事故発生総数、追突事故発生の相対速度と件数（相対速度 10[km/h]刻みで各相対速度での追突事故発生件数を示す）等を CSV 形式で出力する。

表 3.1.1-3 統計情報における出力項目

| 統計情報出力項目   |
|--|
| シミュレーション実行パターン総数と下記内訳件数<br>内訳： 先行車パターン数<br>後続車パターン数<br>対象システムパターン数<br>(自動走行システムなしを含む)  |
| シミュレーションシナリオでの各種設定値  |
| 追突事故発生総数と下記内訳件数<br>内訳： システムなし<br>システム1（衝突警報システム等）<br>…<br>システムn  |
| システムなし<br>発生パターン数、事故件数、下記内訳件数<br>(事故件数が0の場合は、下記相対速度内訳は出力しない)<br>相対速度内訳： 10[km/h]未満<br>10以上～20未満[km/h]<br>20以上～30未満[km/h]<br>30以上～40未満[km/h]<br>40以上～50未満[km/h]<br>50以上～60未満[km/h]<br>60[km/h]以上                          |
| システムi (i=1～nまで繰り返し) 事故件数と下記内訳件数<br>発生パターン数、事故件数、下記内訳件数<br>(事故件数が0の場合は、下記相対速度内訳は出力しない)<br>相対速度内訳： 10[km/h]未満<br>10以上～20未満[km/h]<br>20以上～30未満[km/h]<br>30以上～40未満[km/h]<br>40以上～50未満[km/h]<br>50以上～60未満[km/h]<br>60[km/h]以上 |

次ページに、統計情報の出力例を示す。

ファイル名 summary\_3600.csv

シミュレーション実行パターン数 3,420  
 先行車パターン 57  
 後続車パターン 20  
 対象システムパターン 3

追突事故発生総数 1166  
 システムなし 457  
 衝突警報システム 334  
 被害軽減ブレーキ 375

|                       |           | システムなし | 衝突警報システム | 被害軽減ブレーキ |
|-----------------------|-----------|--------|----------|----------|
| 発生パターン                |           | 1,140  | 1,140    | 1,140    |
| 追突事故発生件数              |           | 457    | 334      | 375      |
| 追突事故平均相対速度 [km/h]     |           | 38.6   | 31.2     | 29.3     |
| 相対速度[km/h]別<br>追突事故件数 | 10未満      | 1      | 4        | 1        |
|                       | 10以上 20未満 | 21     | 45       | 24       |
|                       | 20以上 30未満 | 65     | 78       | 150      |
|                       | 30以上 40未満 | 150    | 151      | 200      |
|                       | 40以上 50未満 | 180    | 56       | 0        |
|                       | 50以上 60未満 | 40     | 0        | 0        |
|                       | 60以上      | 0      | 0        | 0        |

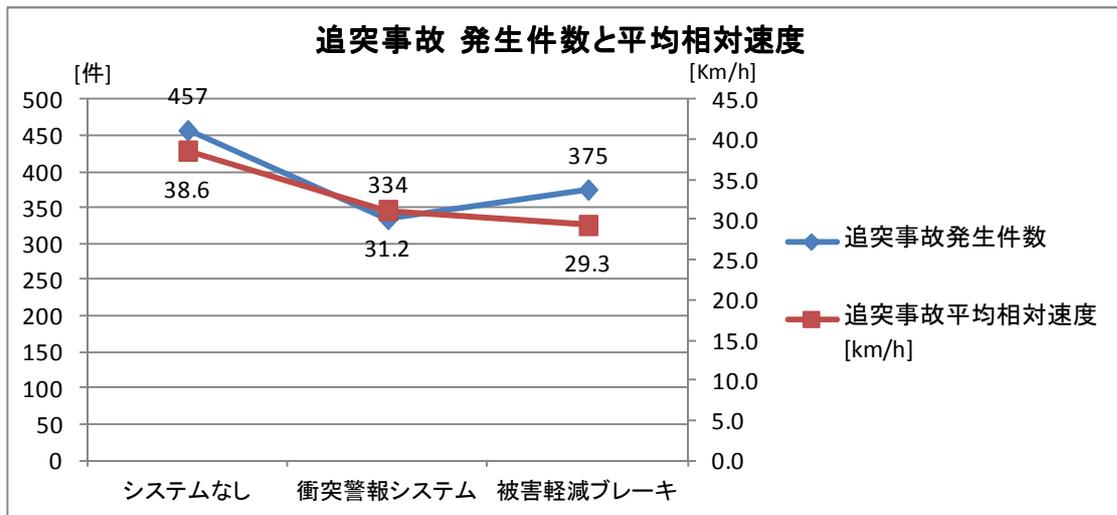
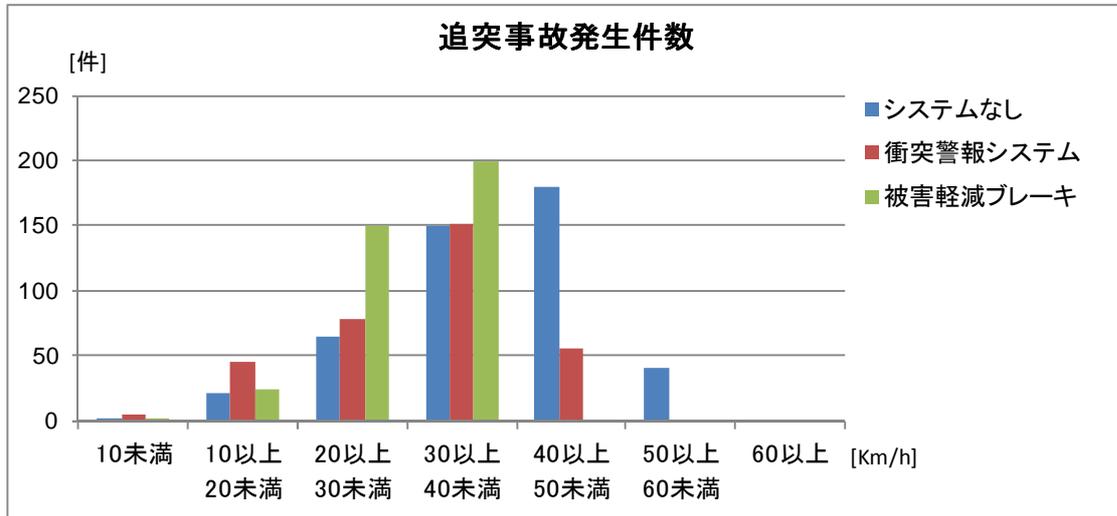


図 3.1.1-6 シミュレーション統計情報 出力例

② 事故ログ情報

追突事故が発生した走行パターンに対し、事故ログ情報を出力。事故ログ情報の出力項目は、表 3.1.1-4 の通り。なお、衝突面/位置については、図 3.1.1-4 を参照のこと。事故ログ情報は、出力する／しないを実行時に指定可能。

表 3.1.1-4 事故ログ情報の出力項目

| 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/<br>加速タイプ/速度指定タイプ |
| 先行車の初期速度              | [km/h]                              |
| 先行車の車種                | 普通車/大型車/軽自動車                        |
| 先行車の緒元                | 重量、全長、全幅、トレッド、ホイールベース、リアオーバーハング[m]  |
| 車両ID                  |                                     |
| 車種                    | 普通車/大型車/軽自動車                        |
| 車両緒元                  | 重量、全長、全幅、トレッド、ホイールベース、リアオーバーハング     |
| ドライバの状態               | 正常/脇見/居眠り/飲酒/病気                     |
| 車両初期座標                | [m]                                 |
| 車両初期速度                | [km/h]                              |
| 車両初期化速度               | [m/sec <sup>2</sup> ]               |
| 初期車両距離                | [m]                                 |
| 自動走行システム              | システムなし/自動走行システム1...                 |
| 回避行動（減速）をしたか          | Yes/No                              |
| ドライブレブレーキ操作判断時の相対速度*1 | [m/sec]                             |
| ドライブレブレーキ操作判断時の先行車速度  | [m/sec]                             |
| ドライブレブレーキ操作判断時の後続車速度  | [m/sec]                             |
| 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              | [m/sec]                             |
| 追突時の先行車速度             | [m/sec]                             |
| 追突時の後続車速度             | [m/sec]                             |
| 衝突面、位置（ラップ率）、角度       | [°]                                 |
| 緊急制動最大減速度             | [m/sec <sup>2</sup> ]               |
| 緊急制動減速勾配              | [m/sec <sup>3</sup> ]               |
| ドライバの操作履歴             | 時系列の情報                              |
| センサーで検出したかどうか *2      | 検出/非検出                              |
| 自動走行システムの動作履歴 *2      | 時系列の情報                              |

\*1：回避行動（減速）を実施したかがNoの場合は空欄とする

\*2：自動走行システム有りの場合のみ出力する

次ページに、事故ログの出力例を示す。



③ ヒヤリハット情報

追突事故が発生しなかった場合でも、自動走行システムが作動した場合、または TTC (Time To Collision) が指定した値以下となった場合は、表 3.1.1-5 に示すようなヒヤリハット情報を入力する。ヒヤリハット情報は、出力する／しないを実行時に指定可能。

表 3.1.1-5 ヒヤリハット情報の出力項目

| 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/<br>加速タイプ/速度指定タイプ    |
| 先行車の初期速度              | [km/h]                                 |
| 先行車の車種                | 普通車/大型車/軽自動車                           |
| 先行車の緒元                | 重量、全長、全幅、トレッド、ホイール<br>ベース、リアオーバーハング[m] |
| 車両ID                  |  |
| 車種                    | 普通車/大型車/軽自動車                           |
| 車両緒元                  | 重量、全長、全幅、トレッド、ホイール<br>ベース、リアオーバーハング    |
| ドライバの状態               | 正常/脇見/居眠り/飲酒/病気                        |
| 車両初期座標                | [m]                                    |
| 車両初期速度                | [km/h]                                 |
| 車両初期化速度               | [m/sec <sup>2</sup> ]                  |
| 初期車両距離                | [m]                                    |
| 自動走行システム              | システムなし/自動走行システム1...                    |
| 回避行動(減速)をしたか          | Yes/No                                 |
| ドライブレブレーキ操作判断時の相対速度*1 | [m/sec]                                |
| ドライブレブレーキ操作判断時の先行車速度  | [m/sec]                                |
| ドライブレブレーキ操作判断時の後続車速度  | [m/sec]                                |
| 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              | [m/sec]                                |
| 追突時の先行車速度             | [m/sec]                                |
| 追突時の後続車速度             | [m/sec]                                |
| 衝突面、位置(ラップ率)、角度       | [°]                                    |
| 緊急制動最大減速度             | [m/sec <sup>2</sup> ]                  |
| 緊急制動減速勾配              | [m/sec <sup>3</sup> ]                  |
| ドライバの操作履歴             | 時系列の情報                                 |
| センサーで検出したかどうか *2      | 検出/非検出                                 |
| 自動走行システムの動作履歴 *2      | 時系列の情報                                 |

\*1: 回避行動(減速)を実施したかがNoの場合は空欄とする

\*2: 自動走行システム有りの場合のみ出力する

次ページに、ヒヤリハットの出力例を示す。

## ヒヤリハット例

出力としては事故ログと同じ情報を出力するが、事故ログに加え以下のようなサマリを併せて出力する。(この出力例では TTC が 2.5 秒以下をヒヤリハットと定義し実行している)

| Recipe                         | Agent | ヒヤリ | SimSec | VL   | VS    | VR     | DIF   |
|--------------------------------|-------|-----|--------|------|-------|--------|-------|
| C:\sip-sim\Recipes\COLL_02.csv | 4     | 1   | 6.71   | 2.72 | 12.93 | -10.21 | 25.54 |

図 3.1.1-8 シミュレーションヒヤリハット情報 出力例 1

上記の例では、時刻 6.71[sec]に TTC2.5 秒以下のヒヤリハットが発生し、その時の先行車速度 VL が 2.72[m/sec]、後続車速度 VS が 12.93[m/sec]、相対速度 VR が -10.21[m/sec]、車間距離が 25.54[m]であったことを示している。

また、同じモチーフで衝突警報システム CW を搭載していた場合のシミュレーション結果では、下記のようにさらに CW の警報が ON となった時点での情報が出力される。

| Recipe                         | Agent | ヒヤリ | SimSec | VL   | VS    | VR     | DIF   |
|--------------------------------|-------|-----|--------|------|-------|--------|-------|
| C:\sip-sim\Recipes\COLL_02.csv | 5     | 1   | 6.71   | 2.72 | 12.93 | -10.21 | 25.54 |
|                                | hasCW | CW  | SimSec | VL   | VS    | VR     | DIF   |
|                                | 1     | 1   | 6.96   | 2.46 | 12.73 | -10.27 | 18.34 |

図 3.1.1-9 シミュレーション事故ヒヤリハット情報 出力例 2

ここでは、時刻 6.96[sec]に CW 警報が ON となり、その時の先行車速度 VL が 2.46[m/sec]、後続車速度 VS が 12.73[m/sec]、相対速度 VR が -10.27[m/sec]、車間距離が 18.34[m]であったことを示している。

#### (4) 車両エージェントモジュール

シミュレータで使用する車両を表すための車両エージェントを生成するモジュールに関して以下に説明する。

- ・ 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
- ・ 自動走行システムエージェント  
(自動走行システムを搭載している場合のみ)
- ・ 車両オブジェクト

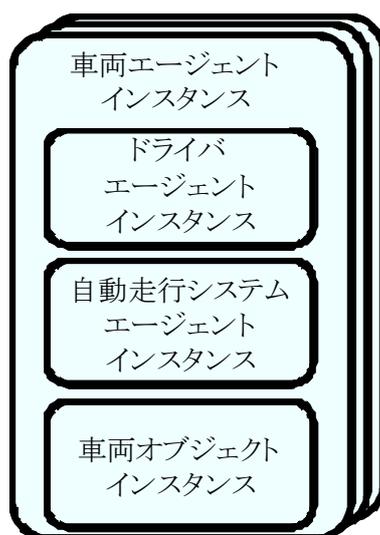


図 3.1.1-10 車両エージェントの構成

##### <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。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。

< 走行経路の設定方法（以下から選択可能） >

- ・ 出現位置、経路（各通過ポイント）、消滅位置を定義する。
- ・ 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する。
- ・ 出現位置と消滅位置をシミュレータ側で自動生成する。

#### ① ドライバエージェントインスタンス

< 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）。
- ・ 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。

#### ② 自動走行システムエージェントインスタンス

< 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 車両オブジェクトインスタンス

< 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。ただし、平成 27 年度開発の交通事故低減効果シミュレータでは、直線単路でのシミュレーションのため速度、加速度のみが入力となる。
- ・ 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。
- ・ 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。

### 3.1.2 事故再現型シミュレーション技術の開発

平成 27 年度は、直線単路の道路環境における追突事故の再現の機能を開発した。

また、この追突事故の再現に必要なドライバーエージェント、自動走行システムエージェント、車両オブジェクト及び事故発生要因について開発した。

ドライバーエージェントに関しては、直線単路での追従・追突に対応する知覚、認知、判断、操作の機能を開発した。

自動走行システムエージェントに関しては、追突警報システムを開発した。

#### (1) ドライバージェントモデル

ドライバーエージェントでは、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、操作をモデル化した。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、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した。

##### 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、以下のように実現した。

##### (i) 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、知覚の可否を判断可能とする。
- ・ 知覚の可否の判断では、A ピラーなどによる死角も考慮可能とする。
- ・ 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。

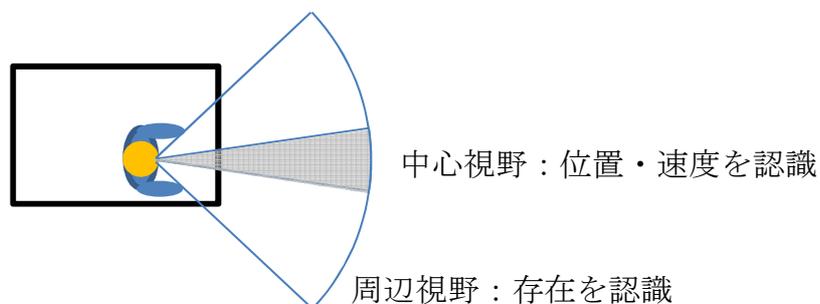


図 3.1.2-1 中心視野と周辺視野

- ・ドライバ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[m]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した。ただし、平成 27 年度開発の交通事故低減効果シミュレータでは、昼夜、天候の状況による視野角、視距離の変動は考慮しない。
- ・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可能。ただし、平成 27 年度開発の交通事故低減効果シミュレータでは、確認対象となる車両が先行車のみのため、側方、サイドミラー、バックミラーの確認頻度は 0 とした。
- ・脇見の頻度・時間などによる知覚エラーに関しても特性パラメータとして定義可能とする。(3.1.2 (4) 事故発生要因 参照)

## 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した。

- ・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、来年度以降実装する必要が有る。
- ・ドライバ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\*1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（自車から遠くにある物）から消去する。ただし、平成 27 年度開発の交通事故低減効果シミュレータでは、対象は先行車 1 台のみのため、上限値は考慮しないものとした。
- ・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。
- ・脇見の頻度・時間などによる認知エラーに関しても特性パラメータとして定義可能。(3.1.2 (4) 事故発生要因 参照)

\*1 知覚・認知した運転行動を決定するために注意すべき対象を格納するメモリ。人間の短期記憶を模擬しており、一定時間情報の更新のなかった対象は削除される。

## ③ 判断・操作

判断・操作においては、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い、判断に応じた操作を行う。平成 27 年度は、操舵は含まず、加減速のみの判断・操作を行うものとする。加減速の判断・操作は、3.1.4 に示す追従モデルに従い行う。また、衝突回避に必要な減速度の大きさの判断、衝突回避に必要な減速度のブレーキの操作の誤りも模擬可能。(3.1.2 (4) 事故発生要因 参照)

④ ドライバ特性用のパラメータと設定について

ドライバ特性用のパラメータは、以下に示す A,B,C,D の 4 つを使用し決定している。

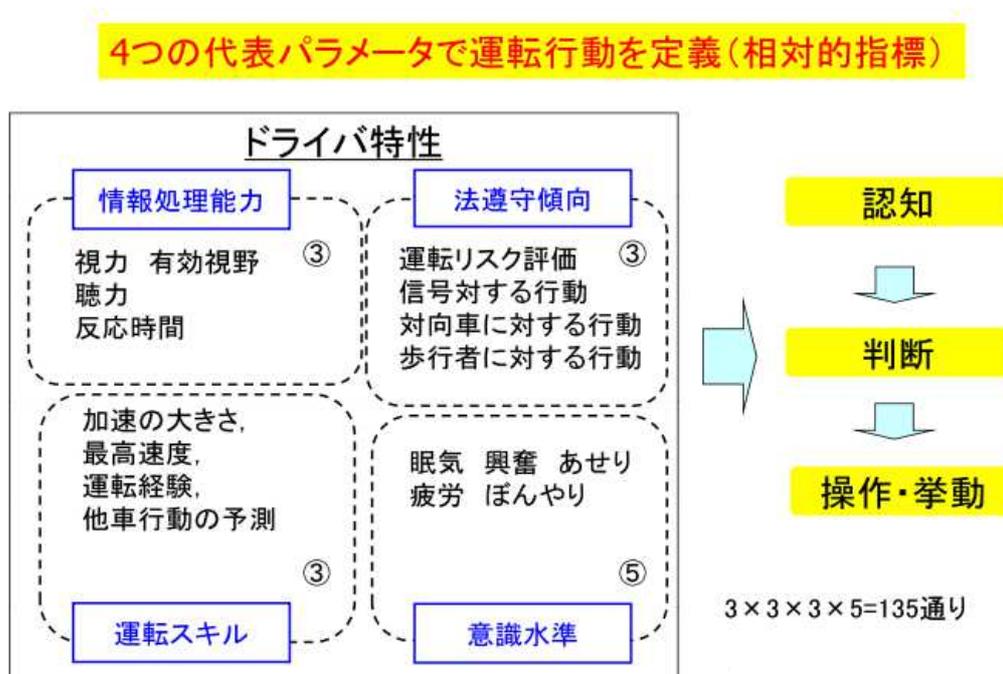


図 3.1.2-2 行動特性を表す代表パラメータ

- A 法令順守傾向 (1/2/3)
- B 運転スキル (1/2/3)
- C 情報処理能力 (1/2/3)
- D 覚醒水準 (1/2/3/4/5)

以上の 4 つのパラメータから 135 通りのドライバ特性を生成することが可能である。

A の法令順守傾向は、表 3.1.2-1 のせっかちな運転傾向の平均値と SD の値を用いて設定。

B の運転スキルは、表 3.1.2-1 の運転スキルへの自信の平均値と SD の値と表 3.1.2-3 の制御操作の平均値を参照。

C の情報処理能力は、表 3.1.2-3 の交通状況把握の平均値と SD の値、道路環境把握の平均値と SD の値、経路把握や探索の平均値と SD の値を参照。

なお、各パラメータのランク 1,2,3 は男女の平均値に基づいて設定するが、男女別の分布は男女別の平均値と SD の値を用いて設定する。(例えば、せっかちな傾向は男性の方が高く、女性の方が低いスコアであることを反映するなど)

表 3.1.2-1 運転スタイルチェックシートの平均と標準偏差に基づく得点範囲

(1:全く当てはまらない、2:少し当てはまる、3:かなり当てはまる、4:非常に当てはまる)

| 尺度名            | -SD  | -0.5SD | 平均   | +0.5SD | +SD  |        |
|----------------|------|--------|------|--------|------|--------|
| 運転スキルへの自信      | 1.78 | 2.17   | 2.57 | 2.96   | 3.36 | 運転スキル  |
| 運転に対する消極性      | 1.37 | 1.78   | 2.18 | 2.58   | 2.99 |        |
| せっかちな運転傾向      | 1.44 | 1.77   | 2.11 | 2.44   | 2.78 | 法令順守傾向 |
| 几帳面な運転傾向       | 2.45 | 2.74   | 3.04 | 3.34   | 3.64 |        |
| 信号に対する事前準備的な運転 | 1.85 | 2.19   | 2.53 | 2.87   | 3.21 |        |
| ステイタスシンボルとしての車 | 1.48 | 1.88   | 2.29 | 2.69   | 3.10 |        |
| 不安定な運転傾向       | 1.31 | 1.61   | 1.90 | 2.20   | 2.49 |        |
| 心配症的傾向         | 1.67 | 2.08   | 2.48 | 2.89   | 3.29 |        |
| 虚偽尺度           | 1.63 | 1.98   | 2.32 | 2.67   | 3.01 |        |

(N=539)

石橋 基範：自動車運転者の個人特性評価に基づく反応理解手法に関する研究，香川大学博士論文，p88（2009）<sup>2)</sup>

表 3.1.2-2 運転スタイルチェックシートの全体と男女別の平均と標準偏差

(1:全く当てはまらない、2:少し当てはまる、3:かなり当てはまる、4:非常に当てはまる)

| 尺度名            | 全体   |      | 男性   |      | 女性   |      |        |
|----------------|------|------|------|------|------|------|--------|
|                | 平均   | SD   | 平均   | SD   | 平均   | SD   |        |
| 運転スキルへの自信      | 2.57 | 0.79 | 2.78 | 0.71 | 2.25 | 0.80 | 運転スキル  |
| 運転に対する消極性      | 2.18 | 0.81 | 2.12 | 0.74 | 2.28 | 0.90 |        |
| せっかちな運転傾向      | 2.11 | 0.67 | 2.22 | 0.67 | 1.93 | 0.63 | 法令順守傾向 |
| 几帳面な運転傾向       | 3.04 | 0.59 | 3.03 | 0.59 | 3.07 | 0.60 |        |
| 信号に対する事前準備的な運転 | 2.53 | 0.68 | 2.67 | 0.69 | 2.32 | 0.61 |        |
| ステイタスシンボルとしての車 | 2.29 | 0.81 | 2.42 | 0.83 | 2.09 | 0.75 |        |
| 不安定な運転傾向       | 1.90 | 0.59 | 1.95 | 0.56 | 1.83 | 0.62 |        |
| 心配症的傾向         | 2.48 | 0.81 | 2.42 | 0.79 | 2.58 | 0.83 |        |
| 虚偽尺度           | 2.32 | 0.69 | 2.24 | 0.67 | 2.50 | 0.71 |        |
| N              | 539  |      | 326  |      | 213  |      |        |

表 3.1.2-3 運転負担感受性チェックシートの平均と標準偏差に基づく得点範囲

(1:気にせず運転する、2:気配りしながら運転するが負担ではない、3:運転を少し負担に感じる、4:緊張や無理をしいられて負担が大きい、5:負担が大きすぎて運転したくない)

| 尺度名       | -SD  | -0.5SD | 平均   | +0.5SD | +SD  |        |
|-----------|------|--------|------|--------|------|--------|
| 交通状況把握    | 2.41 | 2.74   | 3.07 | 3.40   | 3.73 | 情報処理能力 |
| 道路環境把握    | 2.18 | 2.55   | 2.91 | 3.28   | 3.64 | 情報処理能力 |
| 運転への集中阻害  | 1.96 | 2.30   | 2.63 | 2.96   | 3.30 |        |
| 身体的活動度の低下 | 2.27 | 2.69   | 3.10 | 3.51   | 3.93 |        |
| 運転ペース阻害   | 2.00 | 2.39   | 2.78 | 3.18   | 3.57 |        |
| 身体的苦痛     | 2.36 | 2.77   | 3.19 | 3.60   | 4.01 |        |
| 経路把握や探索   | 2.12 | 2.57   | 3.01 | 3.46   | 3.90 | 情報処理能力 |
| 車内環境      | 2.06 | 2.46   | 2.87 | 3.27   | 3.67 |        |
| 制御操作      | 1.90 | 2.33   | 2.77 | 3.21   | 3.65 | 運転スキル  |
| 運転姿勢      | 2.11 | 2.52   | 2.94 | 3.35   | 3.77 |        |

(N=541)

表 3.1.2-4 運転負担感受性チェックシートの全体と男女別の平均と標準偏差

(1:気にせず運転する、2:気配りしながら運転するが負担ではない、3:運転を少し負担に感じる、4:緊張や無理をしいられて負担が大きい、5:負担が大きすぎて運転したくない)

| 尺度名       | 全体   |      | 男性   |      | 女性   |      |        |
|-----------|------|------|------|------|------|------|--------|
|           | 平均   | SD   | 平均   | SD   | 平均   | SD   |        |
| 交通状況把握    | 3.07 | 0.66 | 3.00 | 0.66 | 3.17 | 0.65 | 情報処理能力 |
| 道路環境把握    | 2.91 | 0.73 | 2.77 | 0.70 | 3.13 | 0.72 | 情報処理能力 |
| 運転への集中阻害  | 2.63 | 0.67 | 2.56 | 0.63 | 2.73 | 0.71 |        |
| 身体的活動度の低下 | 3.10 | 0.83 | 2.91 | 0.74 | 3.39 | 0.88 |        |
| 運転ペース阻害   | 2.78 | 0.79 | 2.82 | 0.79 | 2.73 | 0.77 |        |
| 身体的苦痛     | 3.19 | 0.82 | 3.07 | 0.80 | 3.36 | 0.83 |        |
| 経路把握や探索   | 3.01 | 0.89 | 2.83 | 0.84 | 3.29 | 0.89 | 情報処理能力 |
| 車内環境      | 2.87 | 0.81 | 2.81 | 0.79 | 2.95 | 0.84 |        |
| 制御操作      | 2.77 | 0.87 | 2.52 | 0.79 | 3.15 | 0.86 | 運転スキル  |
| 運転姿勢      | 2.94 | 0.83 | 2.85 | 0.83 | 3.08 | 0.81 |        |
| N         | 541  |      | 326  |      | 215  |      |        |

石橋 基範：自動車運転者の個人特性評価に基づく反応理解手法に関する研究，香川大学博士論文, p109 (2009) <sup>3)</sup>

以上のデータを基に、3段階の A 法令順守傾向、B 運転スキル、C 情報処理能力の値は、具体的には以下の分布とする。

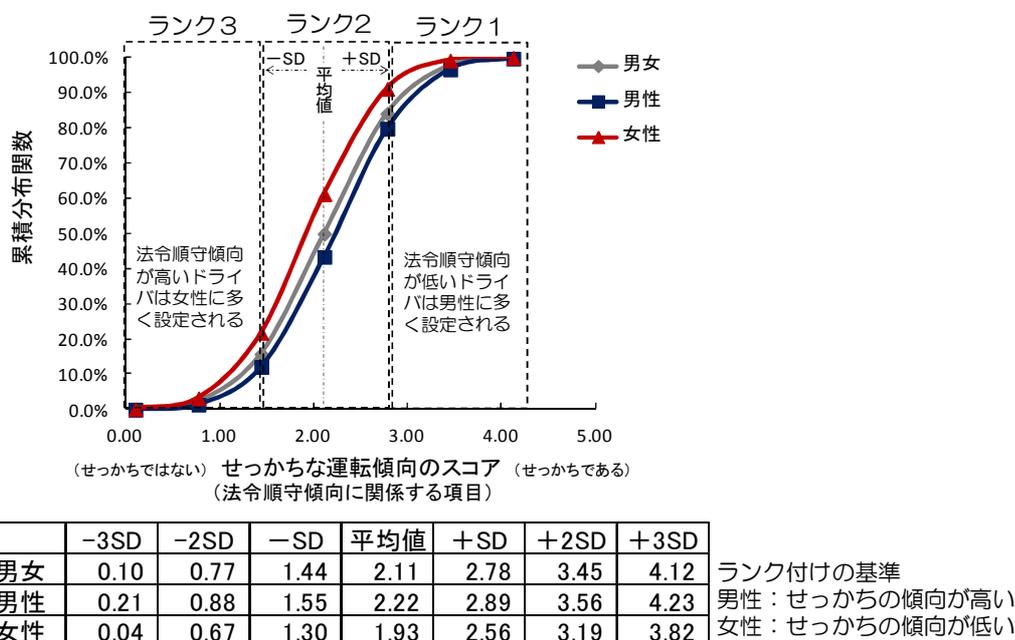


図 3.1.2-3 せっかちな運転傾向のスコアに基づく男性・女性のランク別の累積分布関数

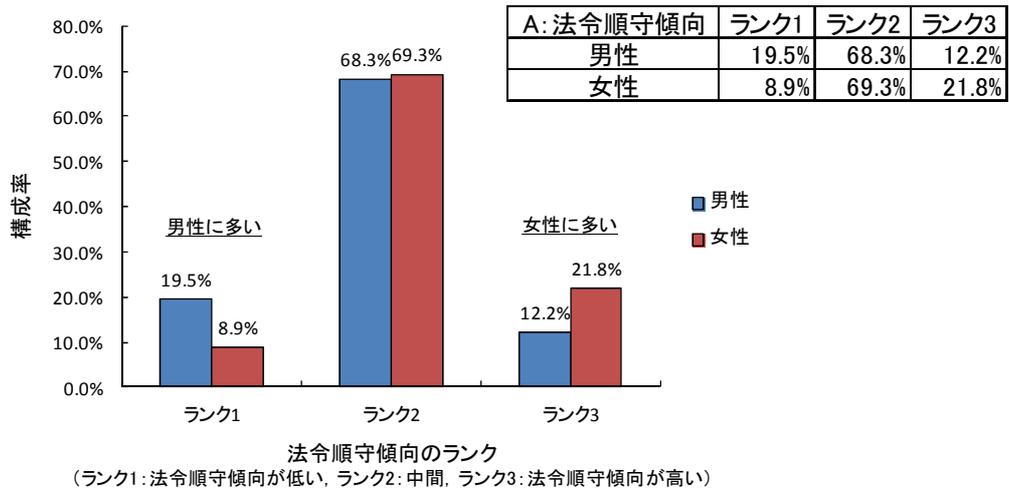


図 3.1.2-4 男性・女性のランク別の累積分布関数によるランク別の構成率 (A: 法令順守傾向)

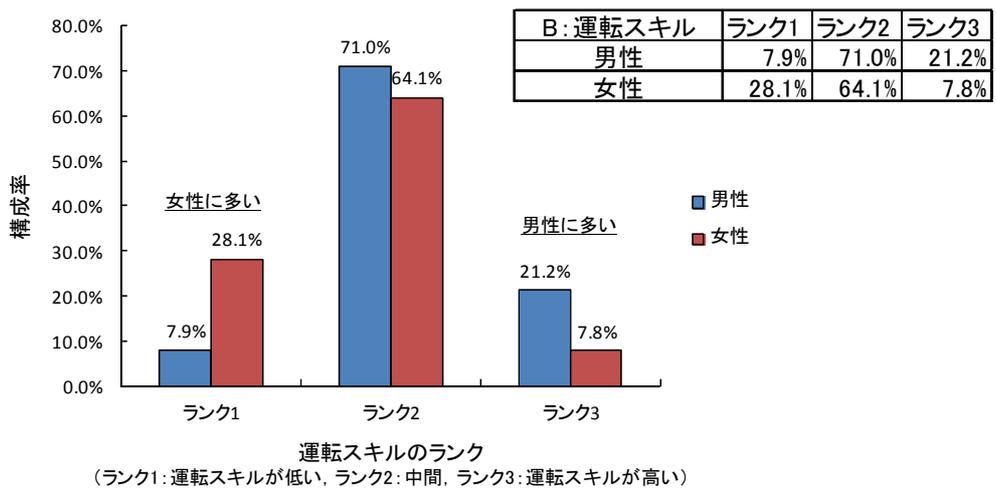


図 3.1.2-5 男性・女性のランク別の累積分布関数によるランク別の構成率 (B: 運転スキル)

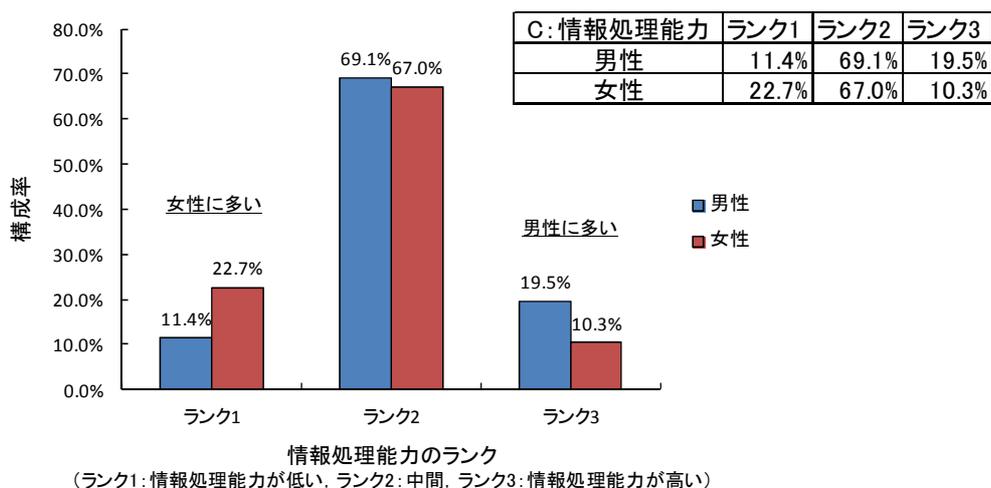


図 3.1.2-6 男性・女性のランク別の累積分布関数によるランク別の構成率 (C: 情報処理能力)

5段階のD覚醒水準の値は、具体的には以下の分布とする。

表 3.1.2-5 D覚醒水準の分布

| 覚醒水準  | 1        | 2           | 3  | 4           | 5        |
|-------|----------|-------------|----|-------------|----------|
| 割合[%] | $\alpha$ | $16-\alpha$ | 68 | $16-\alpha$ | $\alpha$ |

この割合に準じて年齢・性別に関係なく設定する。上記のように、ランク3の平均的な覚醒水準のドライバの割合が最も多く、平均的な覚醒水準から離れるごとにドライバの割合が減ることを表す。 $\alpha$ のデフォルト値は4%とし、設定により変更可能とする。

#### ⑤ 男女別のドライバの分布

男女別のドライバの分布については、運転免許保有者数の統計に対応した割合で設定する。表 3.1.2-6 は、平成 26 年末時点の年齢別、男女別運転免許保有者数である。この分布にしたがって年齢別及び男女別のドライバを設定する。年齢別の区分は、表 3.1.2-6 に示すように 16-19 歳、20-24 歳、25-29 歳、...、80-84 歳、85 歳以上とする。

表 3.1.2-6 年齢別、男女別運転免許保有者数の前年比較

| 年齢別 | 区分        | 平成 25 年 末  |            |            | 平成 26 年 末  |            |            | 増減率 (%) |       |      |
|-----|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------|-------|------|
|     |           | 男          | 女          | 計          | 男          | 女          | 計          | 男       | 女     | 計    |
|     | 16 歳      | 28,189     | 8,567      | 36,756     | 25,782     | 7,621      | 33,403     | -8.5    | -11.0 | -9.1 |
|     | 17 歳      | 60,226     | 19,765     | 79,991     | 55,592     | 17,571     | 73,163     | -7.7    | -11.1 | -8.5 |
|     | 18 歳      | 149,544    | 93,948     | 243,492    | 145,078    | 89,553     | 234,631    | -3.0    | -4.7  | -3.6 |
|     | 19 歳      | 381,855    | 298,793    | 680,648    | 363,369    | 284,250    | 647,619    | -4.8    | -4.9  | -4.9 |
|     | 16 歳～19 歳 | 619,814    | 421,073    | 1,040,887  | 589,821    | 398,995    | 988,816    | -4.8    | -5.2  | -5.0 |
|     | 20 歳～24 歳 | 2,608,167  | 2,212,705  | 4,820,872  | 2,592,702  | 2,203,596  | 4,796,298  | -0.6    | -0.4  | -0.5 |
|     | 25 歳～29 歳 | 3,294,638  | 2,923,116  | 6,217,754  | 3,176,756  | 2,811,533  | 5,988,289  | -3.6    | -3.8  | -3.7 |
|     | 30 歳～34 歳 | 3,746,543  | 3,409,564  | 7,156,107  | 3,671,376  | 3,340,050  | 7,011,426  | -2.0    | -2.0  | -2.0 |
|     | 35 歳～39 歳 | 4,439,665  | 4,076,932  | 8,516,597  | 4,258,200  | 3,911,443  | 8,169,643  | -4.1    | -4.1  | -4.1 |
|     | 40 歳～44 歳 | 4,787,012  | 4,404,728  | 9,191,740  | 4,848,704  | 4,466,368  | 9,315,072  | 1.3     | 1.4   | 1.3  |
|     | 45 歳～49 歳 | 4,138,815  | 3,785,029  | 7,923,844  | 4,229,297  | 3,880,065  | 8,109,362  | 2.2     | 2.5   | 2.3  |
|     | 50 歳～54 歳 | 3,731,217  | 3,343,220  | 7,074,437  | 3,791,510  | 3,419,943  | 7,211,453  | 1.6     | 2.3   | 1.9  |
|     | 55 歳～59 歳 | 3,647,968  | 3,140,491  | 6,788,459  | 3,615,288  | 3,157,328  | 6,772,616  | -0.9    | 0.5   | -0.2 |
|     | 60 歳～64 歳 | 4,329,188  | 3,457,864  | 7,787,052  | 4,035,760  | 3,288,108  | 7,323,868  | -6.8    | -4.9  | -5.9 |
|     | 65 歳～69 歳 | 3,813,644  | 2,704,937  | 6,518,581  | 4,076,811  | 2,992,346  | 7,069,157  | 6.9     | 10.6  | 8.4  |
|     | 70 歳～74 歳 | 2,985,683  | 1,590,165  | 4,575,848  | 3,098,451  | 1,747,309  | 4,845,760  | 3.8     | 9.9   | 5.9  |
|     | 75 歳～79 歳 | 1,901,037  | 661,449    | 2,562,486  | 1,945,498  | 724,050    | 2,669,548  | 2.3     | 9.5   | 4.2  |
|     | 80 歳～84 歳 | 1,031,418  | 224,585    | 1,256,003  | 1,071,203  | 254,744    | 1,325,947  | 3.9     | 13.4  | 5.6  |
|     | 85 歳以上    | 388,982    | 40,363     | 429,345    | 428,868    | 50,100     | 478,968    | 10.3    | 24.1  | 11.6 |
|     | 計         | 45,463,791 | 36,396,221 | 81,860,012 | 45,430,245 | 36,645,978 | 82,076,223 | -0.1    | 0.7   | 0.3  |

警察庁：運転免許統計（平成 26 年版）－年齢別、男女別運転免許保有者数の前年比較－, p.5 (2015) <sup>4)</sup>

⑥ ドライバ特性用のパラメータに基づくドライバ行動モデルの設定

(i) 希望速度分布

$$V_{opt\_free} = V_{link} + \beta + \varepsilon$$

$v_{link}$  : 制限速度[km/h]、 $v_{opt\_free}$  : 希望速度[km/h]

$\beta = f1(A,B,D)$  : ドライバ特性 A,B,D による補正関数

$$\varepsilon = 0 + 0.1 \times \beta \times \xi$$

$\xi$  : 区間[-1,1]での一様乱数

(ii) 車間時間分布

車間時間の算出は、追従時の先行車に対する影響を受ける範囲として定義する。車間時間は、自車と先行車との車間距離と自車速度から以下の式によって定義される。車間時間は HQL が収集した 63 名分の制動開始時の車間時間の分布データに基づいて設定した。 HQL : (一社) 人間生活工学研究センター

$$\text{車間時間[sec]} = \text{車間距離[m]} \div (\text{自車速度[km/h]} / 3.6)$$

$\beta = f2(B,D)$  : ドライバ特性 B,D による補正関数

a. 追従時に必ず減速を開始する区間 ( $GAPTIME_{cr}$ )

累積頻度 0~20%-ile 値 (0.5~1.3[sec])

→この場合は緊急減速を開始する

→ドライバ特性パラメータの B、D の設定値によって 0.72~

1.32[sec]の範囲の個人差を設定する。

$$GAPTIME_{cr} = 1.0 \times \beta$$

b. 通常追従 ( $GAPTIME_{mid}$ )

累積頻度 50-ile 値 (1.7[sec])

→先行車へ追従する際の平均的な車間時間とする

→のドライバ特性パラメータの B、D の設定値によって 1.22~

2.24[sec]の範囲の個人差を設定。

$$GAPTIME_{mid} = 1.7 \times \beta$$

c. 追従として扱わない区間 ( $GAPTIME_{max}$ )

累積頻度 95%-ile 値 (3.6[sec])

→先行車の影響はほとんどなく自由に走行する

$$GAPTIME_{max} = 3.6$$

(iii) 平均減速度

平均減速度は HQL が収集した 63 名分の制動区間における制動開始時の速度と制動終了時の速度、制動区間で走行した距離データに基づいて設定する。下記の式によって平均減速度が求められ、これによって今  $V_{Bon}$ [km/h] で走行中に  $V_{Boff}$ [km/h] まで減速しなければならない時の減速度が算定可能とする。ここで示す、係数  $a, b, c$  は HQL のデータより算出されたものである。

$V_{Bon}$  : 制動開始速度[km/h]

$V_{Bon} - V_{Boff}$  : 制動区間で減速した速度[km/h]

$h$  : 制動区間で走行した距離[m]

$$\alpha_{avr} = -\frac{V_{Bon}^2 - V_{Boff}^2}{2h}$$

$$\alpha_{opt\_dec} = -\alpha^* \times \beta + \varepsilon$$

$\alpha^*$  : 平均値モデル

$$\alpha^* = \frac{a \times (v_o - v_{opt})}{b + (v_o - v_{opt})} \times (1 + c \times v_o)$$

$v_o$  : 現在の速度[km/h]、 $v_{opt}$  : 希望速度[km/h]

$\beta = f3(B, D)$  : ドライバ特性 B, D による補正関数

$$\varepsilon = 0.25 \times \alpha^* \times \xi$$

(iv) 平均加速度

平均加速度は HQL が収集した 63 名分の加速区間のデータに基づいて設定する。下記の式によって平均加速度が求められ、これによって今  $V_o$ [km/h] で走行中に  $V_{opt}$ [km/h] まで加速しなければならない時の加速度が算定可能。ここで示す、係数  $d, e, f, g$  は HQL のデータより算出されたものである。

$$\alpha_{opt\_acc} = \alpha^* \times \beta + \varepsilon$$

$\alpha^*$  : 平均値モデル

$$\alpha^* = d \times (v_{opt}^e) \times \left( \left( 1 - \frac{v_o}{v_{opt}} \right)^f \right)$$

$v_o$  : 現在の速度[km/h]、 $v_{opt}$  : 希望速度[km/h]

$\beta = f4(B, D)$  : ドライバ特性 B, D による補正関数

$$\varepsilon = 0.1 \times \alpha^* \times \xi + g$$

(v) ペダル踏み替え時間

ブレーキ踏み替え時間 (BRT) とアクセル踏み替え時間 (ART) について、図 3.1.2-6 より抜粋して設定。この定義式によって D の覚醒水準が低下することで反応時間が遅れることを表す。

$$BRT = \beta \times \exp(r \times \xi + \lambda)$$

$$ART = \beta \times \exp(r \times \xi + \lambda)$$

r : 平均 0、分散 1 のガウス分布に基づく乱数

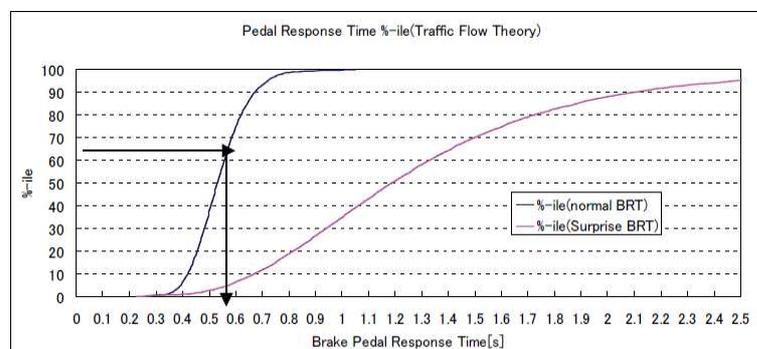
BRT の場合 :  $\mu=0.54$ 、 $\sigma=0.1$  (標準値)

ART の場合 :  $\mu=0.80$ 、 $\sigma=0.3$  (作成値)

$$\xi^2 = \log_e \left( 1 + \left( \frac{\sigma}{\mu} \right)^2 \right)$$

$$\lambda = \log_e \frac{\mu}{\sqrt{1 + \left( \frac{\sigma}{\mu} \right)^2}}$$

$\beta = f_5(D)$  : ドライバ特性 D による補正関数



[0-1]乱数発生時の 反応時間を当てはめる

例 0.65⇒0.55sec

Lerner, Neil, et.al; Literature Review: Older Driver Perception-Reaction Time for Intersection Sight Distance and Object Detection, Comsis Corp., Contract DTFH 61-90-00038 Federal Highway Administration, Washington, DC, Final Report (1995)

図 3.1.2-7 発生させた乱数と反応時間の関係

## (2) 自動走行システムエージェントモデル

- ・シミュレーション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）。
- ・検知した情報をもとに、自動走行システムの制御ロジックの処理を実行。
- ・制御ロジックの結果に基づき、ドライバへの警報の出力、車両への速度、舵角の補正などを実施。
- ・個々の自動走行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。ただし、平成 27 年度開発の交通事故低減効果シミュレータでは、舵角は考慮しない。

以下に、センサ及び自動走行システムの仕様を示す。

### ① センサ

センサ方式自体が競争領域の製品となるため、センサの検知条件をパラメータで設定できるようにし、実際使用する各 OEM が自社で用いている数値を入力できるようにする。

平成 27 年度は、車両前方にセンサが一つ搭載されているモデルとするが、平成 28 年度以降、複数センサの対応、センサのグループ化などに対応して行く必要が有る。

- ・センサ・タイプ（カメラ/レーダ）、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パラメータ定義する。ただし、平成 27 年度開発の交通事故低減効果シミュレータでは、センサは 1 個のみとした。
- ・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。ただし、平成 27 年度開発の交通事故低減効果シミュレータでは、昼夜、天候の状況によるセンサ検知距離、センサ検知角度視野角の変動は考慮しない。

表 3.1.2-7 センサのパラメータ

| センサパラメータ    | 単位等     | 備考        |
|-------------|---------|-----------|
| センサ種類       | カメラ/レーダ |           |
| 取付け位置 (X,Y) | [m]     | 車両座標系     |
| 検出方向        | [°]     | 車両座標系     |
| 検出距離        | [m]     |           |
| 検出角度（左右合計）  | [°]     |           |
| グループ ID     |         | 複数のセンサを考慮 |

## ② 自動走行システム

交通事故低減効果シミュレータでは、以下の3種類の自動走行システムを模擬可能とする。

- ・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

### (i) 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。ただし、平成 27 年度開発の交通事故低減効果シミュレータでは、対車両のみとした。
- ・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。
- ・警報システムスイッチ ON 状態となった場合、ドライバの反応時間  $\tau$ [sec] は、対数正規分布に従うものとし、その対数（底  $e$ ）をとったものが平均  $-0.206$ 、標準偏差  $0.1176$  の正規分布に従うものとする。ここで、ドライバの反応時間とは、前方不注意の状態からの復帰にかかる時間であり、実際に制動を始めるまでにはブレーキ踏み替え時間等の遅延が加わる。
- ・警報の解除条件は、車両が完全に停止した場合、または システムの作動条件の範囲外となった場合とする。
- ・警報システムスイッチ ON となった場合は、警報持続時間[sec]（衝突警報システムのパラメータとして指定可能とする）の間は ON の状態が継続するものとし、警報持続時間後に解除条件が成立していれば解除、成立していなければ再度警報持続時間[sec]の間 ON 状態とする。警報持続時間のデフォルト値は  $2$ [sec]とする。
- ・表 3.1.2-8 に作動条件一覧を示す。表中の検知幅、作動最低相対速度、作動最低速度、作動最高速度、作動 TTC、検知必要時間をすべて満たした場合に、作動遅れ時間後に警報を ON とする。
- ・警報が発報した場合は、ドライバは反応時間  $\tau$ [sec]後に前方不注意の状態から復帰するものとする。反応時間  $\tau$  は対数正規分布に従うものとし、その対数（底  $e$ ）をとったものが平均  $-0.206$ 、標準偏差  $0.1176$  の正規分布に従うものとする。

表 3.1.2-8 自動走行システムの作動条件

| 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] |
| 作動最大速度       | [km/h] |
| 作動TTC (対先行車) | マップID1 |
| 作動TTC (対静止車) | マップID2 |
| 作動遅れ時間       | [sec]  |
| 検知必要時間 *1)   | [sec]  |

\*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。

ここで、検知幅[m]は、検知対象が車線中央から左右それぞれこの幅以内に入っている場合にこの条件を満たすものとする。

また、作動TTCに関しては、対先行車と対静止車で別々の値を指定できることとし、それぞれ以下に示すようなマップ指定を可能とし、マップIDを指定する。

| マップID | 設定項目            | 1 | 2   | 3   | 4  |
|-------|-----------------|---|-----|-----|----|
| 1     | 作動最低相対速度[km/h]  | 0 | 15  | 20  | 60 |
|       | 作動TTC 対先行車[sec] | 0 | 2   | 2   | 3  |
| 2     | 作動最低相対速度[km/h]  | 0 | 15  | 20  | 40 |
|       | 作動TTC 対静止車[sec] | 0 | 1.5 | 1.5 | 2  |

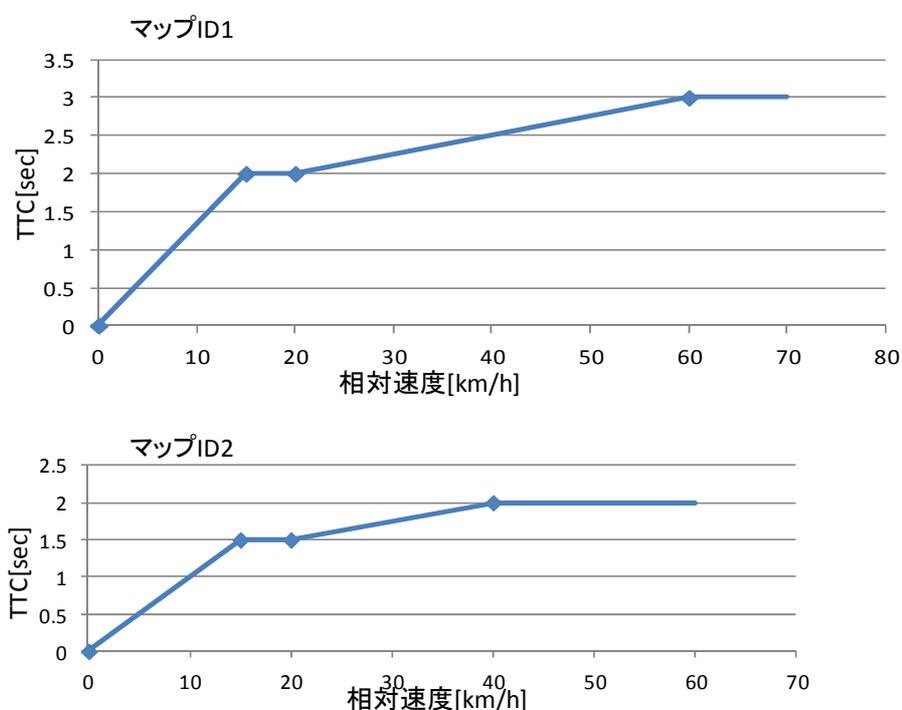


図 3.1.2-8 作動TTCのマップ入力

図 3.1.2-8 では、説明の都合上 設定項目数を4としたが、設定項目数は可変である。

## (ii) 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、いずれか一方のみとする 것도可能。
- ・平成 27 年度開発の交通事故低減効果シミュレータでは、対車両のみを実装した。
- ・作動条件は衝突警報システムと同様（表 3.1.2-8）であるが、更にドライバがブレーキペダルを踏んだ場合にのみ作動する。
- ・緊急ブレーキアシストシステムが作動した場合は、別途指定したブレーキ増大係数を掛けたブレーキ出力加算値[m/s<sup>2</sup>]を出力する。ここで、ブレーキ出力加算値は、緊急ブレーキアシストシステム作動時点でのブレーキ増分値の係数倍するを指定可能とする。
- ・ブレーキ出力加算値は、車両毎に設定された最大減速度[m/s<sup>2</sup>]以内の数値。
- ・ブレーキ出力加算値は、指定された作動継続時間[sec]を経過すると終了する。
- ・緊急ブレーキアシストシステム用のパラメータとしては、表 3.1.2-8 に加え、上記のブレーキ増大係数、ブレーキ増分値/ドライバブレーキ絶対量の選択、作動継続時間である。
- ・また、緊急ブレーキアシストシステムでの制動量の増分値に関しては、時定数をパラメータとして設定（仮値 0.05）可能とし、一次遅れフィルタを通した値とする。

## (iii) 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、減速度[m/s<sup>2</sup>]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、いずれか一方のみとする 것도可能。
- ・平成 27 年度開発の交通事故低減効果シミュレータでは、対車両のみを実装した。
- ・作動条件は衝突警報システムと同様（表 3.1.2-8）である。
- ・被害軽減ブレーキシステムの作動は、一次と二次の二段階とし、それぞれに上記作動条件を設定可能。
- ・被害軽減ブレーキシステムが作動した場合は、指定した減速度勾配[m/s<sup>3</sup>]に従った減速度[m/s<sup>2</sup>]を出力する。ここで、減速度[m/s<sup>2</sup>]は車両毎に設定された最大減速度[m/s<sup>2</sup>]以内の数値。
- ・被害軽減ブレーキシステムの作動は、指定された作動継続時間[sec]を経過すると終了する。
- ・被害軽減ブレーキシステム用のパラメータとしては、表 3.1.2-8 に加え、一次と二次のそれぞれに対する、上記の減速度勾配、作動継続時間である。
- ・また、被害軽減ブレーキシステムでの制動量の増分値に関しては、時定数をパラメータとして設定（仮値 0.05）可能とし、一次遅れフィルタを通した値とする。

### (3) 車両オブジェクトモデル

車両オブジェクトは以下に示す4つの項目により定義される。

- ・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、シミュレーション管理モジュールに返す。
- ・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。

ただし、平成27年度開発の交通事故低減効果シミュレータでは、舵角は考慮しない。

表 3.1.2-9 車両パラメータ

| 車両パラメータ                  | 備考              |
|--------------------------|-----------------|
| 車両タイプ                    | 普通車、軽自動車、大型車    |
| 車幅[m]                    |                 |
| 車長[m]                    |                 |
| 車高[m]                    |                 |
| ホイールベース長[m]              |                 |
| 車両後端から後輪までの距離[m]         |                 |
| 車両後端から重心までの距離[m]         |                 |
| トレッド[m]                  |                 |
| Aピラーの位置                  | 中心からの相対座標とピラーの幅 |
| ドライバの視点位置                | 中心からの相対座標       |
| 車重[kg]                   | ドライバの体重も加算する    |
| 最大加速度[m/s <sup>2</sup> ] |                 |
| 最大減速度[m/s <sup>2</sup> ] |                 |

#### ① 車両モデルの考え方

車両モデルに関しては、等価二輪モデル（四輪の車両を、前後の左右輪が等価的に車両の前後軸と車軸との交点に集中しているような、等価的な前後二輪の車両に置き替えることにより、操舵時の車両の挙動の計算を簡易化するモデル）を組み込む。ただし、平成27年度は単路直線での加速、減速のみで操舵処理を行わないため等価二輪モデルの組み込みは平成28年度以降行う必要が有る。また等価二輪モデルに関しては「自動車の運動と制御（車両運動力学の理論形成と応用）」安部正人著<sup>5)</sup>より方式、仕様を引用する。

#### (4) 事故発生要因

追突時のドライバーのエラーとして、以下の4つのエラーを想定する。

- ① 先行車の存在に気づかない（知覚・認知）（脇見）
- ② 先行車の減速・接近に気づくことが遅れる（知覚・認知）（脇見）
- ③ 衝突回避に必要な減速度の大きさの判断を誤る（判断）
- ④ 衝突回避に必要な減速度のブレーキの操作を誤る（操作）

①、②の脇見については、脇見頻度と脇見時間を指定可能とする。脇見中は、先行車の挙動に変化（急減速など）があっても知覚、認識情報が更新されないため、追突事故の発生原因となり得る。

脇見については、強制的な脇見と確率的に発生させる脇見の2種を選択可能とする。

##### a) 強制的な脇見

強制的な脇見を指定した場合は、衝突警報システムなどの自動走行システムが作動しない限りは、後続車の発生時以降ずっと脇見状態が続くものとする。強制的な脇見の状態においては、後続車発生時に指定された初速を維持して等速走行を続けるものとする。

（強制的な脇見を指定し、かつ発生時に初速をゼロと指定すると、後続車は停止したままの状態になってしまうので、指定の際には初速をゼロとしないように注意すること。）

##### b) 確率的に発生させる脇見

確率的に発生させる脇見においては、脇見頻度をフェール間隔平均[sec]、フェール間隔標準偏差[sec]の正規分布で指定し、脇見時間 $\lambda$ については下記の対数正規分布に従うものとする。

$$\log(\lambda) \sim \text{ND}(-0.042, 0.112^2)$$

確率的に発生させる脇見が発生している間は、脇見が発生する直前の操作（自由速度まで加速、等速、空走、（平均減速度での）減速等）を継続するものとする。（ただし、加速の際に長時間の脇見が発生した場合は、その間加速し続けることになる点に留意のこと。）自動走行システムエージェントの警報がONとなると脇見の状態から復帰するが、その際の復帰に要する時間であるドライバーの反応時間 $\tau$ [sec]に関しては、3.1.2 (2) ② (i) を参照のこと。

③ 衝突回避に必要な操作量の判断の誤り（判断）についても、強制的な判断誤りと確率的な判断誤りを指定可能とする。なお、判断誤りの間は、脇見とは異なり、警報等によっても正常にはならないものとする。

##### (i) 強制的判断誤り

判断誤り状態での正常状態に対する減速度の判断量の割合[%]を指定する。（80%であれば、判断の誤りのない状態で減速度 $-5.0[\text{m}/\text{sec}^2]$ の判断の場合は $-4.0[\text{m}/\text{sec}^2]$ の判断となる。）

強制的判断誤りを指定されたドライバーエージェントは、シミュレーション終了まで常に判断誤り状態を維持する。

(ii) 確率的判断誤り

頻度をフェール間隔平均[sec]とフェール間隔標準偏差[sec] の正規分布で指定し、継続時間を継続時間平均[sec], 継続時間偏差[sec]を指定することによる対数正規分布とする。また、判断を誤る程度として、「1：重度」と「2：軽度」の 2 段階を用意し、ランダムに発生させる。重度と軽度の発生分布は、デフォルトは 50%ずつとするが、発生割合は変更可能とする。

「軽度の判断の誤り」が発生した場合は、ない場合に判断した値の 75%以上～100%未満に相当する操作量（判断の誤りのない状態で  $-4.0[m/s^2]$  の場合、75%であれば  $-3.0[m/s^2]$  となる）に置き換える。また、「重度の判断の誤り」が発生した場合は、ない場合に判断した値の 25%以上～75%未満に相当する操作量（50%であれば  $-2.0[m/s^2]$  となる）に置き換える。ここで、本シミュレータの機能確認を行うために軽度 75%～100%、重度 25～75%の値を仮定し、一様乱数で値を発生させるものとした。また、境界値 75%、25% は、変更可能である。

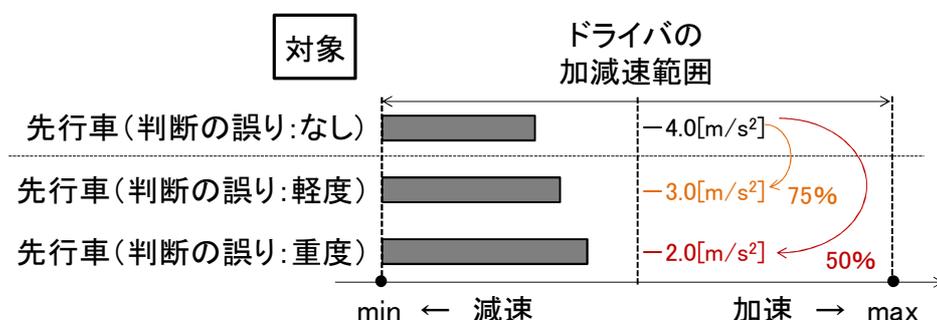


図 3.1.2-9 先行車に対する加減速操作に関する判断の誤りの有無別の設定方法のイメージ  
(判断の誤り：なし・軽度・重度の3つ)

④衝突回避に必要な操作の誤り（操作）についても、同様に強制的な操作誤りと確率的な操作誤りを指定可能とする。また、判断誤りと操作誤りの双方が指定され、判断・操作共に誤り状態となっている場合は、双方の操作量割合を掛けた減速度の判断・操作量とする。なお、操作誤りの間は、脇見とは異なり、警報等によっても正常にはならないものとする。

(i) 強制的操作誤り

操作誤り状態での正常状態に対する減速度の操作量の割合[%]を指定する。(70%であれば、操作の誤りのない状態で減速度 $-5.0[m/sec^2]$ の操作の場合は $-3.5[m/sec^2]$ の操作となる。)

強制的操作誤りを指定されたドライバエージェントは、シミュレーション終了まで常に操作誤り状態を維持する。

(ii) 確率的操作誤り

発生の頻度をフェール間隔平均[sec]とフェール間隔標準偏差[sec]で、継続時間を継続時間平均[sec]、継続時間[sec]を指定することによりにより設定する。また、操作を誤る程度として、「1：重度」と「2：軽度」の2段階を用意し、ランダムに発生させる。「軽度の操作の誤り」が発生した場合は、ない場合に操作する値の75%以上~100%未満に相当する操作量（操作の誤りのない状態で $-4.0[m/s^2]$ の場合、80%であれば $-3.2[m/s^2]$ となる）に置き換える。また、「重度の操作の誤り」が発生した場合は、ない場合の操作値の25%以上~75%未満に相当する操作量（25%であれば $-1.0[m/s^2]$ となる）に置き換える。ここで、本シミュレータの機能確認を行うために軽度 75%~100%、重度 25~75%の値を仮定し、一様乱数で値を発生させるものとした。また、境界値 75%、25% は、変更可能である。

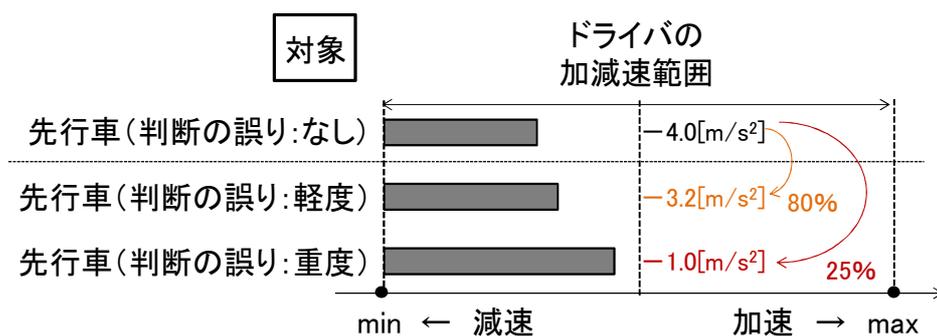


図 3.1.2-10 先行車に対する加減速操作に関する操作の誤りの有無別の設定方法のイメージ  
(操作の誤り：なし・軽度・重度の3つ)

### 3.1.3 シミュレータ GUI、道路エディタ、傷害評価モジュールの開発

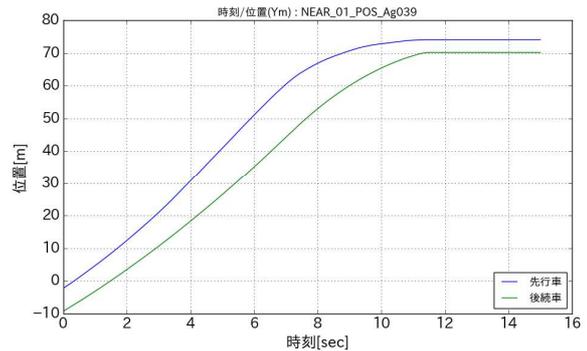
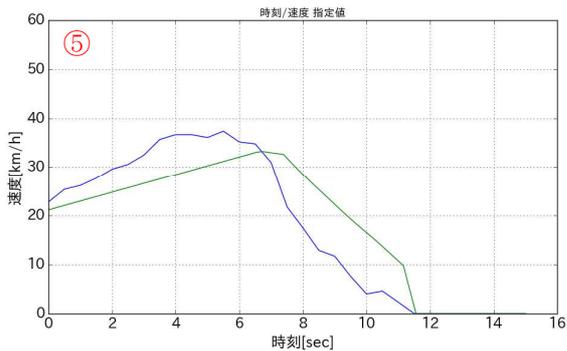
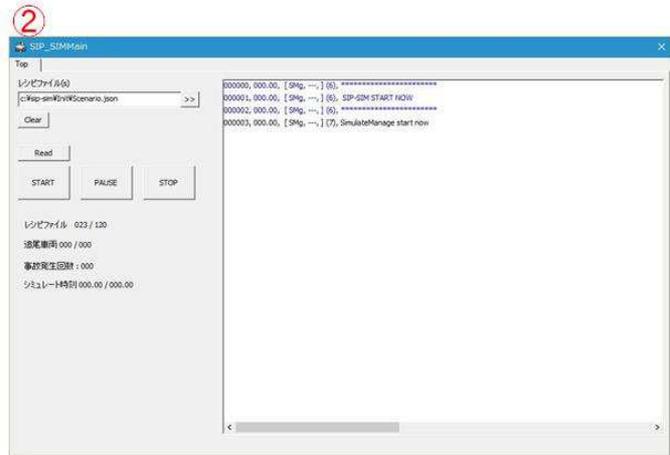
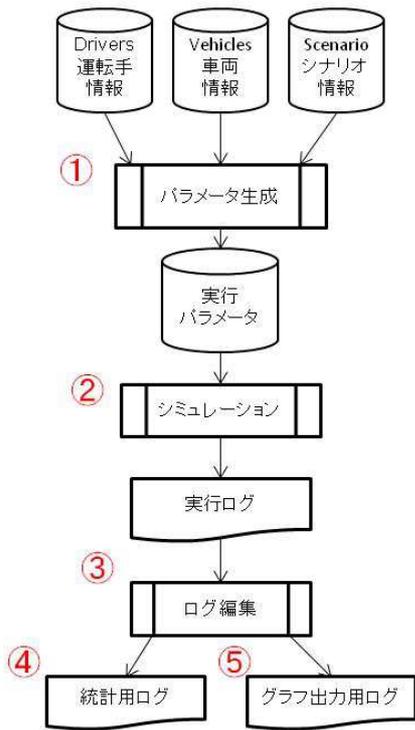
平成 27 年度は、入出力に関してはテキスト入出力を基本とする。道路構造に関しては、追突事故の再現に必要となる直線単路の生成を可能とする。傷害評価モジュールに関しては、追突事故に関する事故ログファイルのデータ形式を決定し、事故ログファイルの生成機能を開発する。

#### (1) 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、以下の機能を持つ。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。
- ・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 種類を今後実装する予定。
- ・シミュレーション結果のログ統計情報を表示する。  
ーログ統計情報としては、生成した総車両台数、事故件数、事故率、各交差点での流入・流出交通量などを出力する。
- ・簡易 Viewer モードを開発

次ページに平成 27 年度開発の GUI、ならびに簡易 Viewer を示す。



- ① シミュレーション実行用 パラメータ生成
- ② シミュレーション本体
- ③ シミュレーション実行ログ 編集処理
- ④ 統計情報出力
- ⑤ 先行車と後続車の簡易 Viewer

図 3.1.3-1 制御用 GUI と簡易 Viewer

## (2) 道路エディタ

### ① 道路構造エディタの概要

道路構造エディタは、道路管理モジュールの入力となる道路構造を生成するためのプログラム内ツールである。

平成 27 年度においては、直線単路での追従・追突のみを再現するためプログラム内で必要とする道路構造を擬似的に生成するため、開発は行わない。

ただし、プログラム内で道路構造を擬似的に生成するためにその仕様を明確にした。

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、道路構造を生成する。

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。

#### (i) 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。
- ・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）、停止線位置を指定可能。

#### (ii) 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。
- ・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、及びカーブ径・カーブの向き（カーブの場合）を指定可能。

#### (iii) 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。

#### (iv) 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。

表 3.1.3-1 道路エディタで取り扱う構造物

| 道路構造項目    | 道路構造細分項目                                     |
|-----------|--|
| 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                   |
| 道路        | 直線、カーブ、歩道、歩道カーブ、道路終端                         |
| 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 |
| 構造物       | 駐車車両・故障車、電柱、立ち木、街灯、建物、塀                      |

## ② 道路構造データ

①で示された道路構造データの構造概要を示す。

各構成要素の構造体情報については参考資料 7.2 に示す。

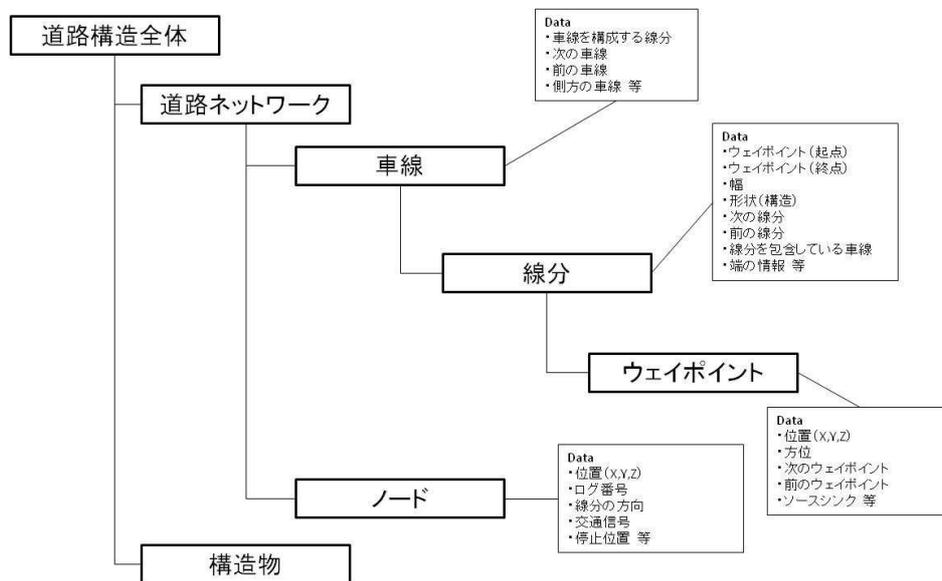


図 3.1.3-2 道路構造全体イメージ

道路構造データは、WayPoint（点）と WayPoint をつないだ Path（線分）、Path の連なりである Rail（車線）というデータ構造で与えられる。交差点は Node というデータ構造で表現され、走行経路は Node 列として与えられる。

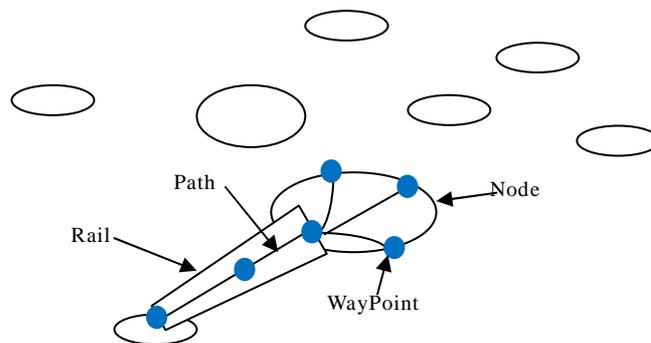


図 3.1.3-3 道路構造モデル

### ③ 電子地図データ

現在、電子データとして広く知られているものとして

- ・ Google 地図情報
- ・ Apple 地図情報
- ・ Here 地図情報
- ・ GDF5.0 (Geographic Data Files)
- ・ SIP 「自動走行システムの実現に向けた諸課題とその解決の方向性に関する調査・検討におけるダイナミックマップ構築に向けた試作・評価に係る調査検討」  
(以下、SIP ダイナミックマップの開発という。三菱電機を代表としたコンソーシアムにて受託し、GDF5.0 のサブセットを基に、レーンとレーン間の関係を拡張追加する) が挙げられる。

この中で SIP 事業で実施しているダイナミックマップについてその仕様を確認し本シミュレーションで使用可能か検討する。

SIP ダイナミックマップの開発は  
自動走行システムを実現するために必要な

- (i) 交通規制等の交通管理情報
- (ii) 車両や歩行者等の交通状況の情報
- (iii) 周辺構造物等の走行路の環境情報
- (iv) 詳細な道路管理情報
- (v) 情報のアッセンブリと構造化
- (vi) 衛星測位活用に向けた基礎評価

を統合した地図データベース (グローバルダイナミックマップ) を開発、実用化することを目的とし、平成 27 年 10 月 2 日設立された、「ダイナミックマップ構築検討コンソーシアム」(三菱電機を代表とする、アイサンテクノロジー、インクリメント P、ゼンリン、トヨタマップマスター、パスコ、三菱総合研究所の 7 社) で研究開発が進められている。

(<http://response.jp/article/2015/10/02/261269.html>)<sup>6)</sup>

現時点（平成 28 年 3 月中旬）では、データの詳細は入手できていないため SIP ダイナミックマップの前進となる名古屋 COI の地図フォーマットをベースとして検討を実施した。

（DEIM Forum 2015 F6-6 協調型運転支援のための交通社会ダイナミックマップの提案）<sup>7)</sup>

名古屋 COI の地図フォーマットのデータは、道路情報、静的情報、動的情報、予測情報の 4 種類から構成される。

道路情報は、交通アプリケーションごとに求められる詳細度が異なっている。例えば、経路探索では出発地と目的地の情報から、経路すべき道路・交差点と大まかな走行時間がわかればよく、道路内のどのレーンを走行するかなどを気にする必要はない。一方、協調型運転支援においては、支援する対象が現在いるレーンや交差点内の領域を意識して、合流やレーン変更の指示を送らなければならない。また、自動走行などでは自己位置推定や衝突回避のために周辺の地形の細かい凹凸などの情報が求められる。このように要求の異なる詳細度の道路情報を扱うために、名古屋 COI の地図フォーマットでは用途に合わせた詳細度（縮尺とは別の意味）の異なる 3 レベルの道路情報として扱う。

**リンクレベル**：グラフデータとして表現され、各交差点をノード、交差点間を結ぶ道路を一本のリンクとして表現する。従来のナビシステムの経路探索等で用いられるものと同等の道路情報である。

**レーンレベル**：こちらもグラフデータであるが、各道路のレーン（車線）1 本 1 本について区別された詳細度を持つ道路情報である。車線変更や道路の合流を支援する場合、各レーンについての情報が不可欠であり、交通社会ダイナミックマップが対象としている高度交通アプリケーションにおいては、特に重要な道路表現である交差点内についても、交差点内の領域をどのように走行すべきかの目安となる走行軌跡の情報を持つ。

**道路形状レベル**：カメラやレーダ、Lidar によって観測した生データ相当の情報である、点群や画像の形式として表現される。物体の自己位置推定や、ガードレールとの衝突判定など、厳密な精度が必要な場合に用いられる。

## 名古屋COIフォーマットにおける道路地図構成

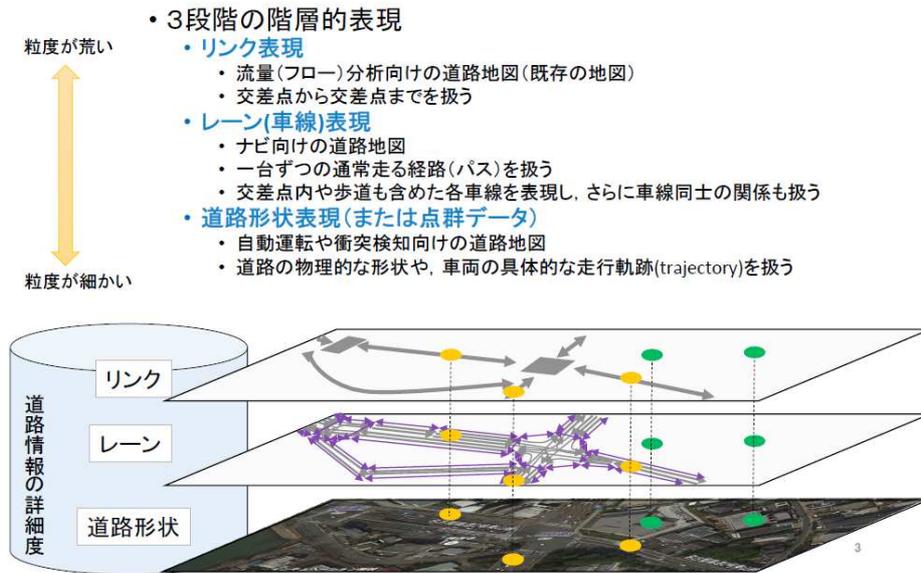


図 3.1.3-4 COI フォーマット 交通社会ダイナミックマップのデータ構造

事故再現型の地図として考えた場合にはレーンレベルの情報が必要とする情報であると考えられる。

## レーン表現およびレーン間関係

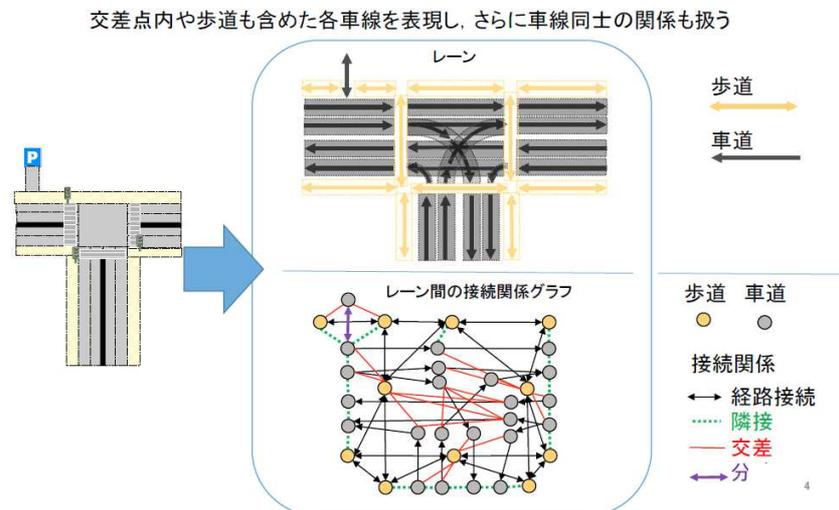


図 3.1.3-5 レーンレベルの道路表現

ここで提示されている情報は、現在使用している地図情報と一致する項目が多いため平成 27 年度 SIP ダイナミックマップの研究成果が出されてから、詳細を再度確認し、道路エディタでデータ変換にて対応可能かを検討する必要がある。

(3) 傷害評価モジュールと車両挙動判定モジュール

シミュレータ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。

本シミュレータによる事故場面の再現としては、追突、歩行者横断、車線逸脱を実現し、さらに自転車横断、出会い頭に関しても適用可能性を検討する。ここで、各事故場面においては、同一のパターンに対して自動走行システム有りの場合、無しの場合をシミュレーションできるようにすることにより、自動走行システムの効果を評価する。特定の事故場面に対する評価を十分に行うことができるだけの事故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自動運転システムの効果の評価を効率よく行えるようにする。具体的には、同一の条件(追突であれば先行車のパターン、横断歩行者であれば歩行者の横断パターン)に対して、一度に複数の後続車両のシミュレーションを可能とする。

① 傷害評価モジュールと車両挙動判定モジュールに入力するためのパラメータ

本シミュレータにおいて、事故が発生(最小TTCが0を示す)した場合には事故ログファイルを作成し、図3.1.3-6に示すように傷害評価モジュールと車両挙動判定モジュールが必要とするデータを格納する。

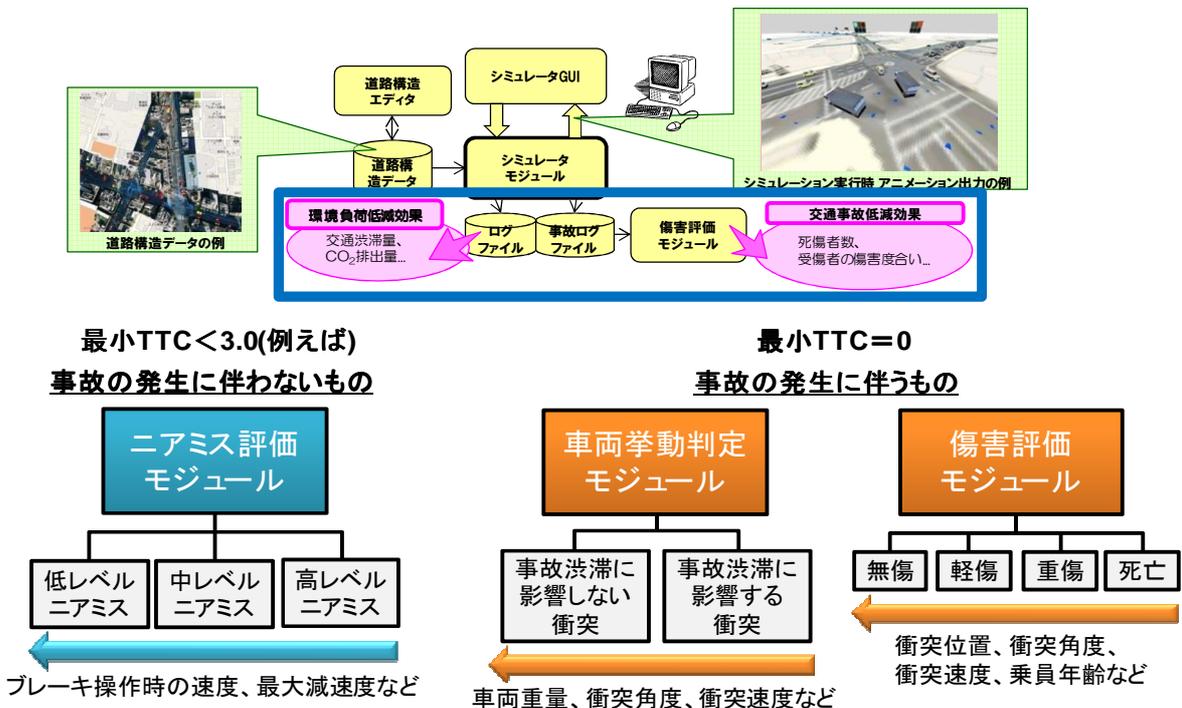


図 3.1.3-6 事故ログファイルと傷害評価・車両挙動判定モジュールの関係

事故ログファイルに格納するパラメータは以下のとおりである。

(i) 衝突条件に関するパラメータ

- ・衝突部位（前/右/左/後/右前角/左前角/右後角/左後角）
- ・衝突角度（0～360度）
- ・衝突位置（何%～何%）
- ・衝突対象（車両／歩行者／電柱／電柱以外の道路構造物）

(ii) 車両 A に関するパラメータ

- ・A の車種（普通車／大型車／軽自動車）
- ・A の車両重量
- ・A の車両諸元
- ・A の速度（ドライバがブレーキ操作を判断した時の速度／衝突時の速度）
- ・A の操作履歴（最大減速度）
- ・A の自動走行システムの動作履歴（作動の有無／作動した機能／作動タイミング）

(iii) 車両 B に関するパラメータ

- ・B の車種（普通車／大型車／軽自動車）
- ・B の車両重量
- ・B の車両諸元
- ・B の速度（ドライバがブレーキ操作を判断した時の速度／衝突時の速度）
- ・B の自動走行システムの動作履歴（作動の有無／作動した機能／作動タイミング）

(iv) 歩行者に関するパラメータ

- ・歩行者の年齢（6歳以下／7-12歳／13-15歳／16-54歳／55-64歳／65歳以上）
- ・歩行者の向き（対面通行中／背面通行中／横断中）

出力フォーマットに関しては、3.1.1 (3) ②を参照。

## ② 評価方法

(i) 乗員の傷害評価

乗員の傷害評価を行うため、本研究では AACN (Advanced Automatic Collision Notification, 先進交通事故自動通報システム) の傷害予測アルゴリズムとして提案されている手法を採用することとした。富永ら (2014) は、米国事故データ NASS/CDS に路地スティック回帰式モデルを適用した従来の乗員の傷害予測モデルについて、日本の交通事故実態を反映することを意図してアルゴリズムを構築している。

傷害予測アルゴリズムでは、傷害予測の対象を運転席乗員とし、その死亡重傷確率を計算するアルゴリズムを、下記の数式のような二項ロジスティック回帰モデルを用いて構築している。

$$p = \frac{1}{1 + \exp(-z)}$$

$p=0$ :軽傷, 無傷,  $p=1$ :死亡, 重傷

ここで、 $p$  は、死亡あるいは重傷となる発生確率であり、 $z$  はリスクファクタの組み合わせによる衝突モードを表現する線形結合和であり、

$$z = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i$$

で表される。 $x_i$  は、個々のリスクファクタの区分化された変数群である。 $\beta_i$  は、それぞれの  $x_i$  の偏回帰係数であり、最尤法により推定される。

本アルゴリズムのリスクファクタは以下の 6 つである。

a. 疑似デルタ V

デルタ V とは衝突時の速度変化を示すものであり、EDR (Event Data Recorder) であれば記録されるが、交通事故統合データベースには記録されていない。そのため、疑似デルタ V として、二車両の質量と危険認知速度を用いて以下の式で表すものである。

$$\text{DeltaV}_{\text{pseudo}} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} (v_1 + v_2)$$

ここで、 $m_1$ :車両 1 の質量、 $m_2$ :車両 2 の質量、 $v_1$ :車両 1 の危険認知速度、 $v_2$ :車両 2 の危険認知速度である。なお、シミュレータから得られる速度情報は衝突速度が得られるため、疑似デルタ V ではなくデルタ V として算出される。また、2 台の車両が正面衝突のような形態で衝突する場合には  $v_1$  と  $v_2$  は加算されるが、追突事故のような形態で衝突する場合には  $v_1$  と  $v_2$  は減算される。出会い頭事故のような形態で衝突する場合には、前面が衝突する側の車両の速度のみを用いて算出する。

b. 衝突方向

衝突方向は、前面、ニアサイド、ファーサイド、後面の 4 方向とする。図交通事故統合データベースに登録されている衝突部位のうち、①・⑤・⑧を前面、②をニアサイド、④をファーサイド、③・⑥・⑦を後面とする。

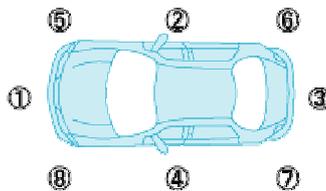


図 3.1.3-7 衝突部位

c. シートベルト着用の有無

乗員がシートベルトを着用している場合を「有」、着用していない場合を「無」とする。

d. 多重衝突の有無

事故時の車両挙動によって、2回以上の衝突が発生した場合を多重衝突を「有」とし、1回の衝突のみが発生した場合を多重衝突を「無」とする。

e. 乗員年齢

年齢層区分は、54歳以下、55～64歳、65歳以上の3区分とする。

f. 車種

車種別効果を表現するため、軽自動車と乗用車の二つを設定する。乗用車には小型乗用車も含まれる。

シミュレーションによって得られる事故ログファイルから、二車両の質量、衝突方向、衝突速度を用いるとともに、その事故時の乗員の条件（シートベルト着用条件、年齢）、後述する車両挙動判定モジュールによる多重衝突の有無条件を入力することによって乗員の死亡重傷率を算出する。

表 3.1.3-2 傷害予測アルゴリズムのためのリスクファクタ別の偏回帰係数の一覧

| リスクファクタ    |        | 偏回帰係数  |
|------------|--------|--------|
| インターセプト    |        | -4.888 |
| デルタV[km/h] |        | 0.094  |
| 衝突方向       | 前突     | -0.047 |
|            | ニア側突   | 1.167  |
|            | ファー側突  | 1.024  |
|            | 後突     | -      |
| シートベルト着用   | あり     | -1.818 |
|            | なし     | -      |
| 多重衝突       | あり     | 0.12   |
|            | なし     | -      |
| 乗員年齢       | 54歳以下  | -      |
|            | 55-64歳 | 0.585  |
|            | 65歳以上  | 1.027  |
| 車種         | 乗用車    | -0.288 |
|            | 軽自動車   | -      |

傷害予測アルゴリズムを用いて、図 3.1.3-8 に示した追突事故時のそれぞれの乗員の死亡重傷率を算出する。衝突時の速度を A 車 44km/h、B 車 0km/h とし、質量を 1,390kg、シートベルト着用、54歳以下、乗用車同士の衝突という条件とする。

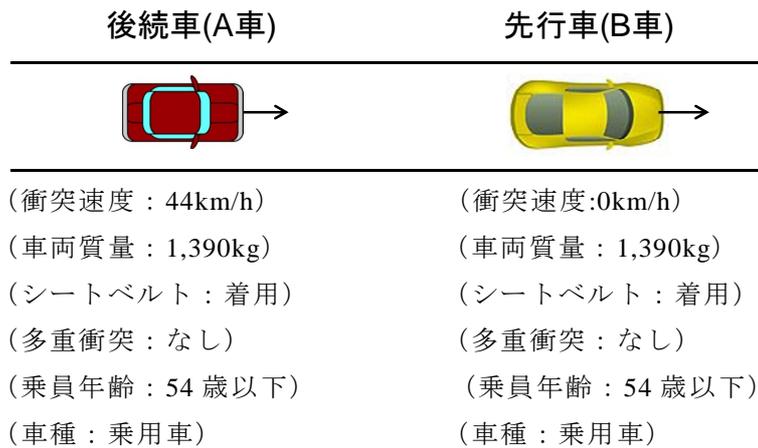


図 3.1.3-8 追突事故の事例 1

上記の条件で算出した結果は表 3.1.3-3 に示した通りであり、リスクファクタの線形結合和は A 車-4.973、B 車-4.926 となり、死亡重傷率は A 車 0.7%、B 車 0.7%と予測される (図 3.1.3-7)。

表 3.1.3-3 追突事故の事例 1 における乗員の死亡重傷率

| 事故類型    | 追突    |       | A車     | B車     |
|---------|-------|-------|--------|--------|
|         | 前突    | 後突    | 前突     | 後突     |
| インターセプト |       |       | -4.888 | -4.888 |
| デルタV    | 22    | 22    | 2.068  | 2.068  |
| 衝突方向    | 前突    | 後突    | -0.047 | 0      |
| ベルト     | あり    | あり    | -1.818 | -1.818 |
| 多重衝突    | なし    | なし    | 0      | 0      |
| 乗員年齢    | 54歳以下 | 54歳以下 | 0      | 0      |
| 車種      | 乗用車   | 乗用車   | -0.288 | -0.288 |
| リスクファクタ | z     |       | -4.973 | -4.926 |
| 死亡重傷率   | p     |       | 0.7%   | 0.7%   |

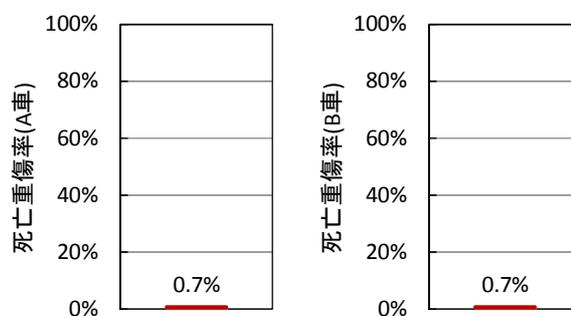


図 3.1.3-9 追突事故の事例 1 における A 車と B 車の死亡重傷率

次に、追突事故の事例 2 として、先行車が大型トラック（20,000kg）で後続車の乗員が 65 歳以上の乗員であったとする。

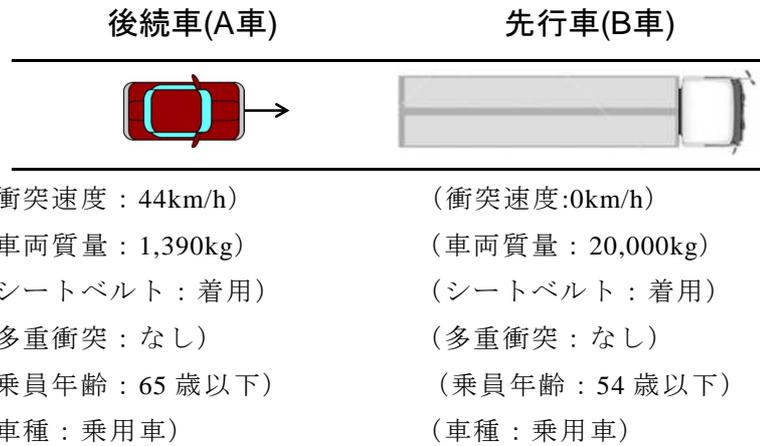


図 3.1.3-10 追突事故の事例 2

上記の条件で算出した結果は表 3.1.3-4 に示した通りであり、リスクファクタの線形結合和は A 車-2.147、B 車-6.725 となり、死亡重傷率は A 車 10.5%、B 車 0.1%と予測される（図 3.1.3-11）。

表 3.1.3-4 追突事故の事例 2 における乗員の死亡重傷率

| 事故類型    | 追突    |       | A車     |        | B車 |    |
|---------|-------|-------|--------|--------|----|----|
|         |       |       | 前突     | 後突     | 前突 | 後突 |
| インターセプト |       |       | -4.888 | -4.888 |    |    |
| デルタV    | 41    | 3     | 3.867  | 0.269  |    |    |
| 衝突方向    | 前突    | 後突    | -0.047 | 0      |    |    |
| ベルト     | あり    | あり    | -1.818 | -1.818 |    |    |
| 多重衝突    | なし    | なし    | 0      | 0      |    |    |
| 乗員年齢    | 65歳以上 | 54歳以下 | 1.027  | 0      |    |    |
| 車種      | 乗用車   | 貨物車   | -0.288 | -0.288 |    |    |
| リスクファクタ | z     |       | -2.147 | -6.725 |    |    |
| 死亡重傷率   | p     |       | 10.5%  | 0.1%   |    |    |

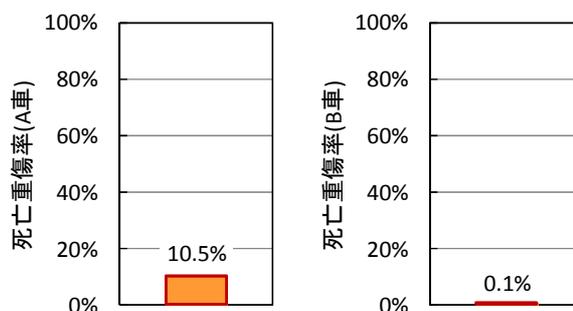


図 3.1.3-11 追突事故の事例 1 における A 車と B 車の死亡重傷率

後続車と先行車が同じ車種・ともに54歳以下の年齢である場合の死亡重傷率が0.7%であった一方で、先行車が大型トラック・後続車の乗員が65歳以上である場合の死亡重傷率は10.5%にまで増大することが評価できる。

このように、衝突時の速度、二車両の車種の組み合わせ、乗員の年齢、シートベルト着用条件などが異なる場合の乗員の死亡重傷率の違いを定量的に評価できるアルゴリズムである。

また、西本ら(2015)は、日本の交通事故死者数は約36%を歩行者が占め、約14%を自転車乗員が占める実態に対応するため、歩行者及び自転車の乗員の重傷度を予測するための傷害予測アルゴリズムを構築している。この研究におけるリスクファクタは(1)危険認知速度、(2)歩行者・自転車乗員の年齢、(3)車種、(4)道路形状、(5)事故類型としている。このアルゴリズムは、歩行者横断場面にシミュレーションを展開する場合に採用することが有効と考えられる。

## (ii) 車両挙動判定

事故発生後の車両の挙動を判定することによって、渋滞渋滞への影響が発生するかどうかを判定し、将来的なCO2削減効果の定量化に向けたモジュールを検討した。今回、衝突時の二車両の挙動を判定するシミュレーションソフトとしてAnalytical Impact Modelを用いた挙動再現をするCARS2Dを活用することが有効と考えられる。

車両挙動を判定するために必要なパラメータとして、①車両諸元(二車両)、②衝突条件(衝突位置・衝突角度・衝突位置)、③タイヤ条件、④ブレーキ制御条件(衝突後の制動条件)が必要である。

パラメータの入力によって衝突時の条件を設定し、図3.1.3-12に示したように衝突時の初期状態から二車両が最終的に停止する状態までの挙動を予測できる。

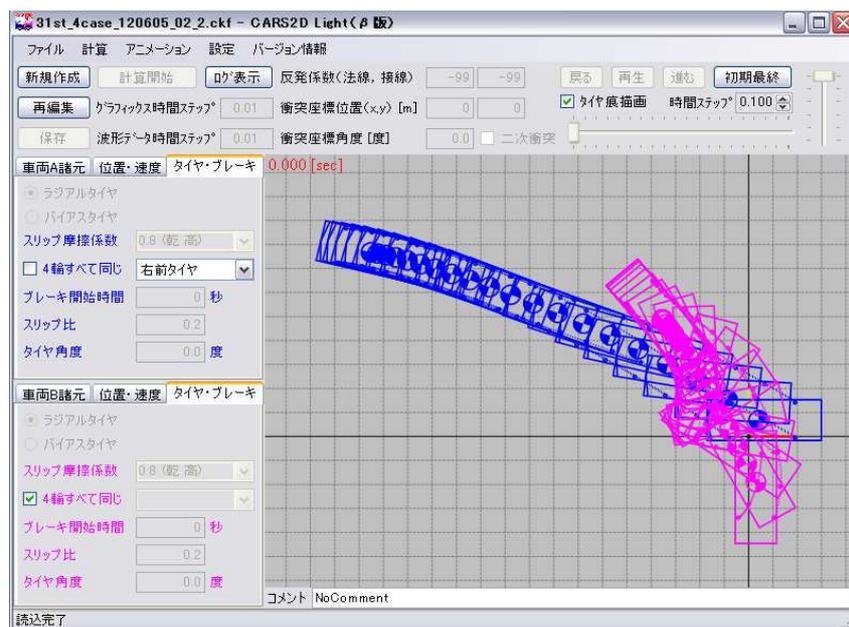


図 3.1.3-12 車両挙動判定モジュールによる出会い頭事故時の車両挙動の予測

### 3.1.4 交通環境再現型のシミュレーション技術の開発

平成 27 年度は、追突事故の再現に関連し、直線単路の道路における追従運転の機能を開発する。

#### (1) 追従モデル

ヴィーダーマンモデル図 3.1.4-1 により、追従の挙動を模擬する。ヴィーダーマンモデルでは、表 3.1.4-1、図 3.1.4-1 に示すように、先行車と自車の速度差と、車間距離とにより、運転のモードを変化させる。境界線上（分岐条件での等号）は、より安全側の走行モードとなるよう統一した。

表 3.1.4-1 ヴィーダーマンの追従モデル

| 相対速度          | 分岐条件                              | 走行モード                              |
|---------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| 0 < VR        | 車間距離 ≤ minDist                    | 減速(緊急回避)                           |
|               | 車間距離 ≤ upper1                     | 空走                                 |
|               | 車間距離 ≤ upper2                     | 希望速度まで加速/等速、*2<br>先行車がブレーキONの場合は追従 |
|               | upper7 ≤ 車間距離                     |                                    |
| upper2 < 車間距離 | 希望速度まで加速/等速 *2                    |                                    |
| VR ≤ 0        | 車間距離 ≤ upper8                     | 減速(緊急回避)                           |
|               | 車間距離 ≤ upper3+minDist *1          | 減速(対先行車)                           |
|               | 車間距離 ≤ upper3+BRT* VR +minDist *1 | 減速(対先行車)                           |
|               | 車間距離 ≤ upper4                     | 空走                                 |
|               | upper4 < 車間距離                     | 追従                                 |
|               | upper2 < 車間距離                     | 希望速度まで加速/等速 *2                     |

\*1: upper3は条件によって計算式が変わる事に注意

\*2: 希望速度まで加速/等速 は希望速度ので加速した後に等速で走行することを示す

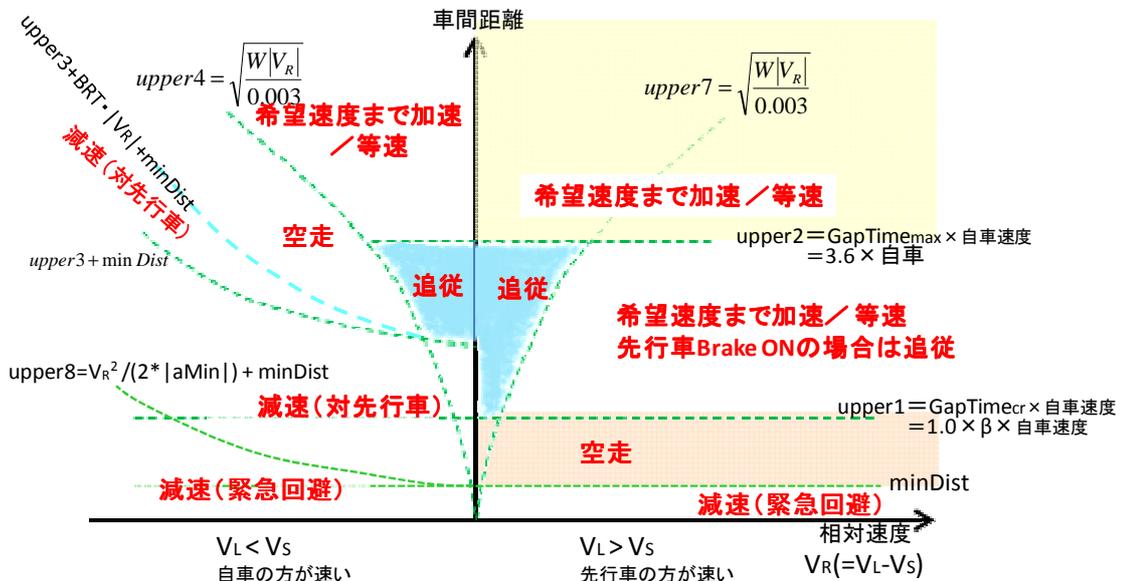


図 3.1.4-1 ヴィーダーマンの追従モデル

以下に、発進における処理フローを示す。

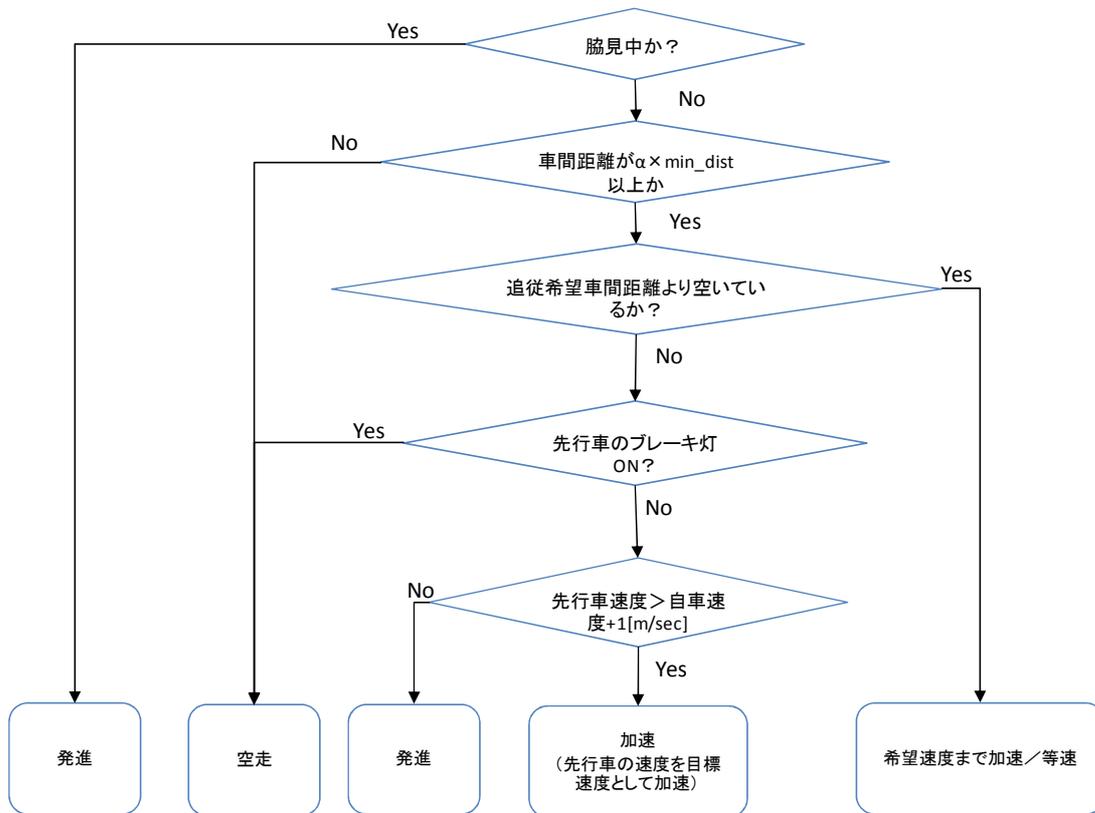


図 3.1.4-2 発進における処理フロー

図 3.1.4-2 において、空走、加速、希望速度まで加速/等速の挙動を開始した以降は、前述のヴィーダーマンの追従モデルに従い動作するものとする。また、ヴィーダーマンの追従モデルにおいて、緊急減速等により速度ゼロとなった場合は、停止状態とする。本節で述べた諸々の操作の移行においては、ペダル踏み替え時間（3.1.2 (1) ⑥ (v) 参照）による遅延を考慮するものとする。

(2) 対先行車の判断ルール

最終的な判断ルールは、表 3.1.4-2 に示すように進行方向、交差点の位置、走行モード、判断対象毎に分けて考えることができる、追従に関連する判断ルールとしては、判断対象が先行車の判断ルールを調べればよいことが分かる。

表 3.1.4-2 判断ルールの区分

| 進行方向 | 交差点の位置 | 走行モード | 判断対象          |
|------|--------|-------|---------------|
| 直進   | 手前     | 停止    | 信号            |
| 左折   | 直前     | 発進    | 先行車           |
| 右折   | 内部     | 加速    | 右側先行車         |
|      |        | 等速    | 左側先行車         |
|      |        | 追従    | 右側方車          |
|      |        | 減速    | 左側方車          |
|      |        | 空走    | 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         |
|      |        |       | 右折レール（死角）     |
|      |        |       | 右側横断レール（死角）   |
|      |        |       | 左側横断レール（死角）   |
|      |        |       | 右側横断右折レール（死角） |
|      |        |       | 左側横断右折レール（死角） |
|      |        |       | 左側横断左折レール（死角） |
|      |        |       | 車線変更          |
|      |        |       | 静止物           |

対先行車の判断ルールの一覧を表 3.1.4-3 に示す。表に示したように、全 63 種のルールから構成することができると考えられる。ルールの内容は、表 3.1.4-3 の同一ルールの項に示したように 40 種のルールが他のルールとほぼ同一として考えることができるため、実質的には 23 種のルールで構成できると考える。

表 3.1.4-3 対先行車の判断ルール一覧

|    | ルール略称              | 走行モード | 進行方向 | 交差点の位置 | 同一のルール           |
|----|--------------------|-------|------|--------|------------------|
| 1  | Leading_Stop1      | 停止    | 直進   | 手前     |                  |
| 2  | Leading_Start1     | 発進    | 〃    | 〃      |                  |
| 3  | Leading_Accel1     | 加速    | 〃    | 〃      |                  |
| 4  | Leading_Uniform1   | 等速    | 〃    | 〃      |                  |
| 5  | Leading_Following1 | 追従    | 〃    | 〃      | Leading_Accel1   |
| 6  | Leading_Decel1     | 減速    | 〃    | 〃      |                  |
| 7  | Leading_NoBrake1   | 空走    | 〃    | 〃      |                  |
| 8  | Leading_Stop2      | 停止    | 直進   | 直前     |                  |
| 9  | Leading_Start2     | 発進    | 〃    | 〃      | Leading_Start1   |
| 10 | Leading_Accel2     | 加速    | 〃    | 〃      | Leading_Accel1   |
| 11 | Leading_Uniform2   | 等速    | 〃    | 〃      | Leading_Accel1   |
| 12 | Leading_Following2 | 追従    | 〃    | 〃      | Leading_Accel1   |
| 13 | Leading_Decel2     | 減速    | 〃    | 〃      |                  |
| 14 | Leading_NoBrake2   | 空走    | 〃    | 〃      | Leading_NoBrake1 |
| 15 | Leading_Stop3      | 停止    | 直進   | 内部     | Leading_Stop2    |
| 16 | Leading_Start3     | 発進    | 〃    | 〃      | Leading_Start1   |
| 17 | Leading_Accel3     | 加速    | 〃    | 〃      | Leading_Accel1   |
| 18 | Leading_Uniform3   | 等速    | 〃    | 〃      | Leading_Accel1   |
| 19 | Leading_Following3 | 追従    | 〃    | 〃      |                  |
| 20 | Leading_Decel3     | 減速    | 〃    | 〃      |                  |
| 21 | Leading_NoBrake3   | 空走    | 〃    | 〃      | Leading_NoBrake1 |
| 22 | Leading_Stop4      | 停止    | 左折   | 手前     | Leading_Stop1    |
| 23 | Leading_Start4     | 発進    | 〃    | 〃      | Leading_Start1   |
| 24 | Leading_Accel4     | 加速    | 〃    | 〃      | Leading_Accel1   |
| 25 | Leading_Uniform4   | 等速    | 〃    | 〃      | Leading_Accel1   |
| 26 | Leading_Following4 | 追従    | 〃    | 〃      | Leading_Accel1   |
| 27 | Leading_Decel4     | 減速    | 〃    | 〃      | Leading_Decel1   |
| 28 | Leading_NoBrake4   | 空走    | 〃    | 〃      | Leading_NoBrake1 |
| 29 | Leading_Stop5      | 停止    | 左折   | 直前     | Leading_Stop1    |
| 30 | Leading_Start5     | 発進    | 〃    | 〃      |                  |
| 31 | Leading_Accel5     | 加速    | 〃    | 〃      |                  |
| 32 | Leading_Uniform5   | 等速    | 〃    | 〃      | Leading_Accel5   |
| 33 | Leading_Following5 | 追従    | 〃    | 〃      | Leading_Accel5   |
| 34 | Leading_Decel5     | 減速    | 〃    | 〃      |                  |
| 35 | Leading_NoBrake5   | 空走    | 〃    | 〃      |                  |
| 36 | Leading_Stop6      | 停止    | 左折   | 内部     |                  |
| 37 | Leading_Start6     | 発進    | 〃    | 〃      | Leading_Start5   |
| 38 | Leading_Accel6     | 加速    | 〃    | 〃      | Leading_Accel5   |
| 39 | Leading_Uniform6   | 等速    | 〃    | 〃      | Leading_Accel5   |
| 40 | Leading_Following6 | 追従    | 〃    | 〃      | Leading_Accel5   |
| 41 | Leading_Decel6     | 減速    | 〃    | 〃      | Leading_Decel5   |
| 42 | Leading_NoBrake6   | 空走    | 〃    | 〃      | Leading_NoBrake5 |
| 43 | Leading_Stop7      | 停止    | 右折   | 手前     | Leading_Stop1    |
| 44 | Leading_Start7     | 発進    | 〃    | 〃      | Leading_Start1   |
| 45 | Leading_Accel7     | 加速    | 〃    | 〃      | Leading_Accel1   |
| 46 | Leading_Uniform7   | 等速    | 〃    | 〃      | Leading_Accel1   |
| 47 | Leading_Following7 | 追従    | 〃    | 〃      | Leading_Accel1   |
| 48 | Leading_Decel7     | 減速    | 〃    | 〃      | Leading_Decel1   |
| 49 | Leading_NoBrake7   | 空走    | 〃    | 〃      | Leading_NoBrake1 |
| 50 | Leading_Stop8      | 停止    | 右折   | 直前     |                  |
| 51 | Leading_Start8     | 発進    | 〃    | 〃      |                  |
| 52 | Leading_Accel8     | 加速    | 〃    | 〃      |                  |
| 53 | Leading_Uniform8   | 等速    | 〃    | 〃      | Leading_Accel8   |
| 54 | Leading_Following8 | 追従    | 〃    | 〃      | Leading_Accel8   |
| 55 | Leading_Decel8     | 減速    | 〃    | 〃      |                  |
| 56 | Leading_NoBrake8   | 空走    | 〃    | 〃      |                  |
| 57 | Leading_Stop9      | 停止    | 右折   | 内部     | Leading_Stop2    |
| 58 | Leading_Start9     | 発進    | 〃    | 〃      |                  |
| 59 | Leading_Accel9     | 加速    | 〃    | 〃      | Leading_Accel8   |
| 60 | Leading_Uniform9   | 等速    | 〃    | 〃      | Leading_Accel8   |
| 61 | Leading_Following9 | 追従    | 〃    | 〃      | Leading_Accel8   |
| 62 | Leading_Decel9     | 減速    | 〃    | 〃      |                  |
| 63 | Leading_NoBrake9   | 空走    | 〃    | 〃      |                  |

加えて、平成 27 年度の開発では、直線単路での、対先行車に対する追突・追従のみを対象として開発を行っているため、23 種類からさらに 6 種類のルールに絞って開発を実施。以下に、開発を実施するルールの処理フロー例を示す。

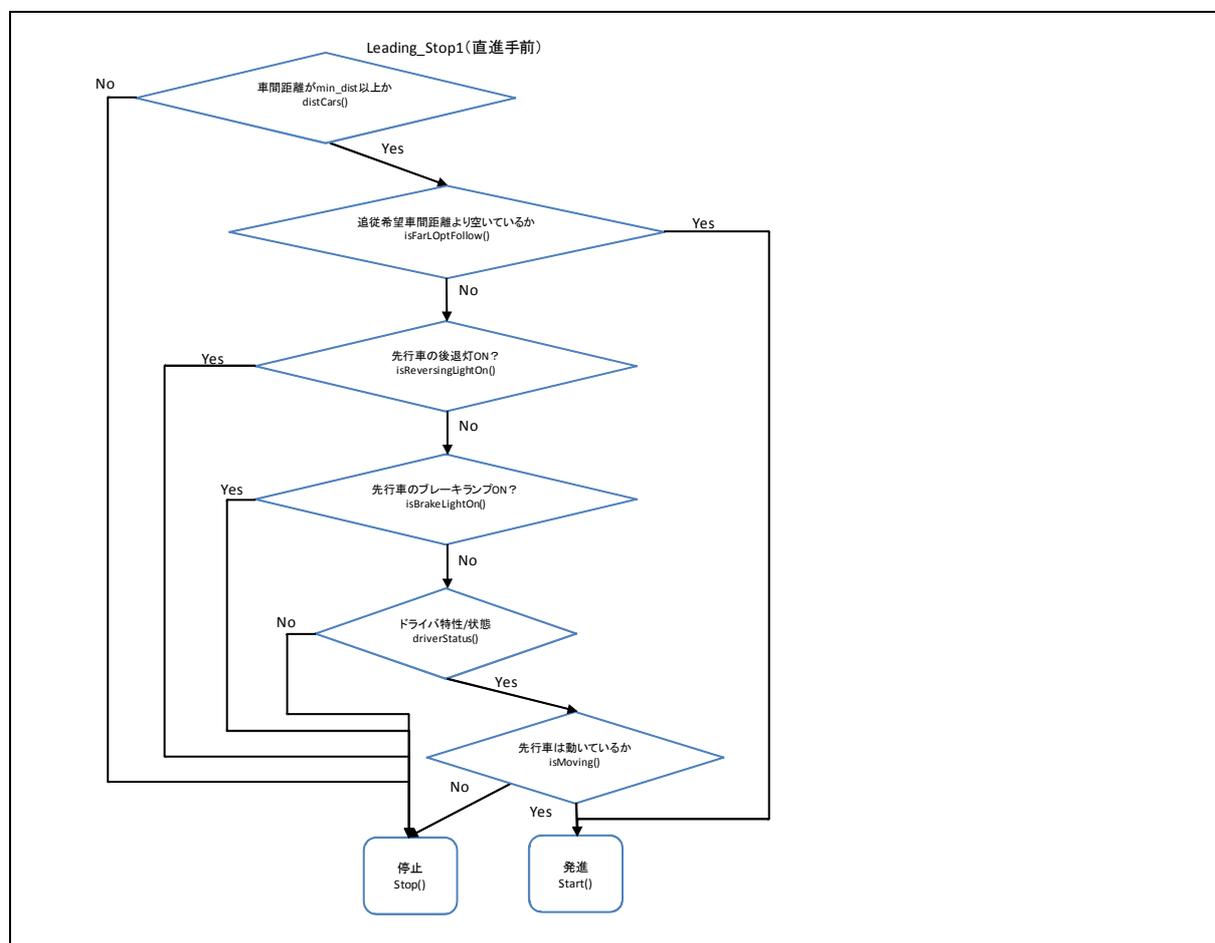


図 3.1.4-3 停止、直進、交差点手前の処理フロー図

### (3) 追従シミュレーションの実行

設定された道路環境、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] 「自動走行システムなし」のシミュレーション

「自動走行システムなし」の状態では、各先行車パターンに対する後続車両の全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、シミュレーション結果を出力する。シミュレーション結果の出力としては、事故ログ情報、統計情報のいずれか、または両方を指定できるものとする。

ここで、各後続車両のパターンに対するシミュレーションの終了条件は、以下のいずれかとする。

#### 【終了条件】

- ・ 指定したシミュレーション時間が経過した場合
- ・ 後続車が先行車と衝突した場合
- ・ 後続車が先行車を追い越した場合（通常は発生しないが、道路幅とオフセットの設定によっては生じ得る）

後続車両の全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] 「自動走行システムあり」のシミュレーション

指定された自動走行システムがある場合は、自動走行システムありの各パターンに対して、Step1と同様の処理を繰り返す。

### 3.1.5 まとめ

交通事故低減詳細効果シミュレータの開発において、最終目標となるシミュレータ全体構成をトヨタ自動車の ASSTREET を参考に検討した上で、本事業で開発する機能が効率的、かつ、容易に追加できるように共通基盤部分を開発した。

- ・全体制御の基幹部分（入出部分、シミュレーションの実行管理部位分、事故判定）
- ・ログ出力部分（統計情報出力、事故ログ出力、ヒヤリハット情報出力）

また、平成 27 年度の対象事故シナリオである単路での追従・追突事故を再現するために必要なドライバモデル、衝突警報、被害軽減ブレーキなどの自動走行システム、車両モデルなどを実装した。ドライバモデルについては、知覚認知、判断、操作モデルや認知、操作ミスモデル、また、多様なドライバの特性を表現できるように法遵守傾向、運転スキルなどのドライバ属性を織り込んだ。

ドライバモデルの組み込み

- ・知覚認知、判断、操作モデル
- ・ドライバ属性

自動走行システムエージェント

- ・センサ機能の組み込み
- ・自動走行システム（平成 27 年度は 3 システムを組み込んだ）

車両オブジェクト

事故発生要因（脇見、判断誤り、操作誤り）

なお、本項においては、シミュレーションの機能確認は実施しているが、シミュレーション自体の性能評価ならびに妥当性評価に関しては、3.2、3.3 項にて実施する。

## 3.2 交通参加者の行動モデル

交通参加者の検討としては、本シミュレーションにて検討する事故場面（「追突」「車線逸脱」「歩行者飛び出し」）での参加者を第一段階での対象として検討することとして、「ドライバ（車両）」、「歩行者」、「自転車」の3参加者のモデル化検討対象とした。

以下、1項にて「交通参加者の行動モデルを構成する機能の全体設計」について述べ、2項にて「再現対象となるドライバ状態・行動の選定と再現するためのパラメータ検討」、3項にて本年の主要検討課題である「追従・追突場面におけるドライバの行動の構築」、さらに4項にて次年度以降に検討を進めることとしている歩行者モデルについての事前検討として、「歩行者の行動モデルの構築に向けた基礎的検討」について述べる。

### 3.2.1 交通参加者の行動モデルを構成する機能の全体設計

交通参加者のモデルを構成する機能としては、平成26年度に検討した通り、「知覚」「認知」「判断」「操作（行動）」の4つの機能である。以下、各機能の模擬すべき内容及び実現方法について述べる。

#### (1) 知覚機能について

交通参加者は、周辺の道路環境や他車両、交通他者、さらにドライバの場合には車室内の支援HMIを知覚する機能を有する必要がある。具体的な要件については平成26年度の報告書第3章にて記載されている<sup>8)</sup>が、再度纏めるとともに構築するシミュレーションにて設計する方針について述べる。

まず、知覚機能に関して再現すべき要素は以下の3点である。

- ・ 視覚要素
- ・ 聴覚要素
- ・ 触覚要素

各要素についての機能と設計指針を以下に示す。

#### ① 視覚要素

機能としては、交通参加者の視線移動（ドライバの首振り動作）及び視野角（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機能である。

設計方針としては、ドライバの視野角、視距離を特性パラメータとして設定できる仕様が必要であり、首振り運動に伴い、視野範囲が時々刻々変化するよう実装する。さらに、首振り運動については、首の振り角度や左右頻度を特性パラメータとして設定できる必要がある。さらに、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障害の影響を模擬することができる仕様とし、物理的に計算できる見通し範囲を時々刻々計算する仕様とする。ドライバの視点情報（3次元）に基づき、周辺オブジェクトの見える範囲、見え方を記述できるようにし、オブジェクトがすべて見えていない場合は知覚可能な割合を算出する仕様とする。

## ② 聴覚要素

機能としては、外界からの音情報（クラクションなど）、各交通参加者内からの音情報（警報、注意喚起、情報提供など）を取得することができる機能である。

設計方針としては、ドライバの聴覚機能を直接的に模擬するのではなく、聴覚刺激に対するドライバの行動を記述できるような仕様とする。具体的には、聴覚刺激ごとに反応時間や期待するドライバの行動、及びドライバの行動の確度をパラメータとして設定できるような仕様とする。

## ③ 触覚要素

機能としては、交通参加者が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機能である。

設計方針としては、聴覚要素と同様に、ドライバの触覚機能を直接的に模擬するのではなく、触覚刺激に対するドライバの行動を記述できるような仕様とする。具体的には、触覚刺激ごとに反応時間など期待するドライバの行動をパラメータとして設定できるような仕様とする。

### (2) 認知機能について

交通参加者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舍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。①と同様に、具体的な要件については平成 26 年度の報告書第 3 章にて記載されているが、再度纏めるとともに構築するシミュレーションにて設計する方針について述べる。

まず、認知機能に関して再現すべき要素は以下の 2 点である。

- ・ 記憶要素
- ・ 対象物選択要素

各要素についての機能と設計指針を以下に示す。

### ① 記憶要素

機能としては、交通参加者の記憶機能であり、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機能である。

設計方針としては、短期記憶用のメモリ構造と長期記憶用のメモリ構造の両者に同時に認知対象オブジェクト情報を格納する機能を有し、時々刻々メモリ情報の蓄積及び解放を繰り返す仕様とする。短期記憶用のメモリ構造においては、自車の速度や対象オブジェクトの速度などの移動情報を基にした予測機能（テラー展開を用いた 1 次予測または 2 次予測）も有し、直近の危険予測にも対応できる仕様とする。

### ② 対象物選択要素

機能としては、交通参加者の運転戦略や目的に応じて認知する対象物を選択する機能である。

設計指針としては、ドライバが認知した情報からドライバの脳内で作成される外部世界モデルを構築する過程に対応できる仕様とする。ドライバの脳内で作成される外部世界モデルをメモリ上に構築できるように実装し、ドライバは外部世界モデルを用いて判断や操作を行う仕様とする。非優先側の車両の無視やサグによる勾配情報の見誤り、錯覚などによるカーブ曲率の認知ミスに対応できるようにする。

### (3) 判断機能

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。①と同様に、具体的な要件については平成 26 年度の報告書第 3 章にて記載されているが、再度纏めるとともに構築するシミュレーションにて設計する方針について述べる。

まず、判断機能に関して再現すべき要素は以下の 3 点である。

- ・ 制御内容の選択
- ・ 運転行動量の選択
- ・ 運転行動の選択

各要素についての機能と設計指針を以下に示す。

#### ① 制御内容の選択

機能としては、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機能である。(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、一時停止線や横断歩道情報に基づく停止判断など)

設計方針としては、ASSTREET で検討されている判断機構を参考に、「進路」「場所」「現在の行動」から運転行動の選択ができる仕様とする。さらに各場面における行動の選択は複雑であるため、階層構造を持つ意思決定アルゴリズムや if-then ルールの積み重ねとヴィーダーマンのモデルを用いた状況に応じたパラメータの時変機構など様々なアルゴリズムを検討できるような仕様とし、最適な方法を導出して実装できる仕様とする。

#### ② 運転行動量の選択

機能としては、認知した各対象物に応じた運転行動量の選択を行うことができる機能である。(歩行者が道路上に飛び出してきたために  $7.8\text{m/s}^2$  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  $40^\circ$ 、横断歩道を迅速に横断するために  $10\text{km/h}$  で歩行など)

設計方針としては、運転行動量の決定アルゴリズムは種々あるため、確定的なモデルは存在していない現状を勘案し、ASSTREET を参考としたヴィーダーマンのモデルを用いた状況に応じたパラメータの時変機構や MATES を参考とした GFM (Generarized force model) など、種々のモデルに対応できるような仕様とする。カーブに関しても、前方注視予測モデルやプログラム操舵モデル、フィードバック及びフィードフォワード制御結合モデルなど、種々のモデルに対応できるような仕様とする。必要に応じたモデルの選択やパラメータの変更 (評価関数の変更含む) も行うような構造とする。

### ③ 運転行動の選択

機能としては、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機能である。(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)

設計方針としては、運転行動量の選択と同様に、ASSTREET で検討されている判断機構を参考に、「進路」「場所」「現在の行動」から運転行動の選択ができる仕様とする。行動の選択には、階層構造を持つ意思決定アルゴリズムや if-then ルールの積み重ねとウィーダマンのモデルを用いた状況に応じたパラメータの時変機構など様々なアルゴリズムを検討できるような仕様とし、最適な方法を導出して実装できる仕様とする。

### (4) 操作（行動）機能

交通参加者は判断した行動方針に基づいて、車両を操作もしくは行動する。(1) と同様に、具体的な要件については平成 26 年度の報告書第 3 章にて記載されているが、再度纏めると共に構築するシミュレーションにて設計する方針について述べる。

まず、操作（行動）機能に関して再現すべき要素は以下の 2 点である。

- ・ 加減速制御
- ・ 方向制御

各要素についての機能と設計指針を以下に示す。

#### ① 加減速制御

機能としては、判断機能で算出された行動量に応じた操作量を車両モデルに渡す、もしくは行動することができる機能である。

設計方針としては、車両や歩行者などの静特性及び動特性をオブジェクトごとにモデル化できることとし、必要な計算速度に応じた計算負荷を変更できる仕様とする。

#### ② 方向制御

機能としては、①と同様に、判断機能で算出された行動量に応じた操作量を車両モデルに渡す、もしくは行動することができる機能である。

設計方針としては、車両や歩行者などの静特性及び動特性をオブジェクトごとにモデル化できることとし、必要な計算速度に応じた計算負荷を変更できる仕様とする。

### (5) まとめ

交通参加者の行動モデルを構成する機能の全体設計として、交通参加者のモデルを構成する機能（「知覚」「認知」「判断」「操作（行動）」）の考え方及び設計方針についてまとめた。設計方針は個別の仕様を確定的に決めるものではなく、交通参加者の機能を列挙するにとどめた。これは、各機能の再現方法が各種検討されており、今後もエキスパートシステムや機械学習技術などにより発展していく可能性があるため、様々な検討内容をシミュレーションにて柔軟に適用できることが重要と考えられるためである。

### 3.2.2 再現対象となるドライバ状態・行動の選定と再現するためのパラメータ検討

(1) 本シミュレーションの再現対象となるドライバ状態・行動とは

柚原<sup>9)</sup>は、交通事故の低減効果を評価するためのシミュレーションにおいて再現対象となるドライバエラーを、「一連の行動における、ある許容範囲を超える行動」あるいは「人間が自分に割り当てられたタスクを要求あるいは期待されたように実行しなかった」状態であると述べている。交通事故の多くの原因はドライバのエラーであり、知覚・認知・判断・操作の各プロセスにおける不適切な行為が直接的な事故要因になることが多い。

田島ら<sup>10)</sup>は、交通事故の低減効果を評価する対象となるドライバのエラーの背景要因を図3.2.2-1に示すように様々なものであり、ドライバの不安全行為に起因した交通事故の発生過程を模擬することが重要な課題であると述べている。例えば、「発見の遅れ」とは、本質的には「事故の回避できる限界の地点までに相手を知覚・認知できなかった」ことを意味するが、知覚・認知できなかった理由は、

- ① ドライバの覚醒度が低いために知覚・認知機能の能力が低下していたこと
- ② 脇見などによって安全確認を意図的に怠って「見なかった」こと
- ③ 意図的に「見なかった」状態を引き起こすようなドライバの精神的状況、道路環境・交通状況であったこと、両者の組み合わせであったこと

などの原因を考えることができるため、どのレベルまで詳細に記述するべきであるかを交通事故シミュレーションの目的と照合して決定しなければならないと述べている。

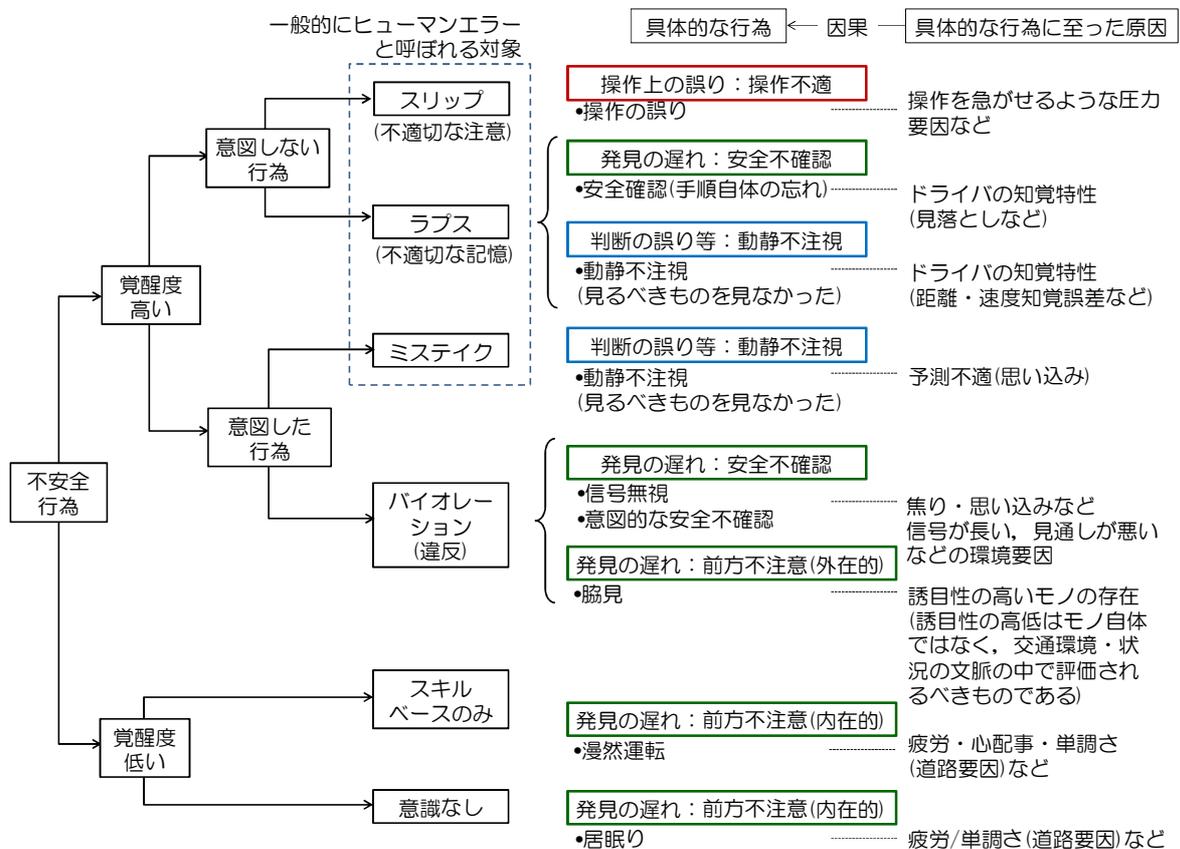


図 3.2.2-1 ドライバエージェントにおいて実装対象となる人的要因と様々な背景要因

本事業で開発するシミュレーションでは、対象となる事故場面における主要な人的要因（例えば脇見）を再現するためのプログラムを予め組み込んだドライバエージェントによって交通事故が結果として発生することを目指す。

そのためには、主要な人的要因を再現するためのプログラムを作成し、いかにしてシミュレーションへ実装するかが重要な課題である。

ただし、「脇見」を例にとっても

- ・ドライバが「脇見」を開始するのはどのような状況で多いのか
- ・「脇見」を継続する時間はどのような分布となるのか
- ・「脇見」を継続する時間に状況依存性はないのか
- ・「脇見」はどの程度の確率で生起するのか

などを考慮すべき項目であることが指摘されている<sup>9)</sup>。このように、対象とする人的要因を表現することだけではなく、その人的要因が発生しやすい状況・発生した人的要因の継続時間などに関する状況依存性も考慮して表現することが重要であると考えられる。

図 3.2.2-2 は、ドライバモデルに関する事業全体開発計画と平成 27 年度の実装部分の関係を示している。平成 27 年度は、事故要因については「脇見」を実装した。



図 3.2.2-2 ドライバモデルに関する事業全体開発計画と平成 27 年度の実装部分

## (2) ドライバの「脇見」に関する実装方法

交通事故に関わるさまざまな事故要因のうち、平成 27 年度はドライバの「脇見」状態を表現する方法を検討して実装した。シミュレーションにおいて開発したドライバの視覚・認知機能によって、ドライバの中心視野と周辺視野を表現すること、ドライバの確認行動を表現することが可能になる。前方確認、左方確認、右方確認、ミラー確認、脇見といったように、確認方向別の確率を設定することでドライバの安全確認行動の設定が可能となる。

「脇見」状態を表現するため、図 3.2.2-3 に示すように、ドライバが脇見をする間隔[sec]と脇見を継続する時間[sec]の二つのパラメータを検討した。このパラメータによってドライバがどの程度の頻度で脇見状態に陥るか、脇見状態に陥った場合にどの程度継続するかを決められる。脇見をする間隔と脇見を継続する時間については、分布によって確率的

に決めることでドライバの脇見状態を対象としたシミュレーションを実施できる。さらに、パラメータごとの平均値と標準偏差を指定することで脇見状態のばらつきも考慮する。

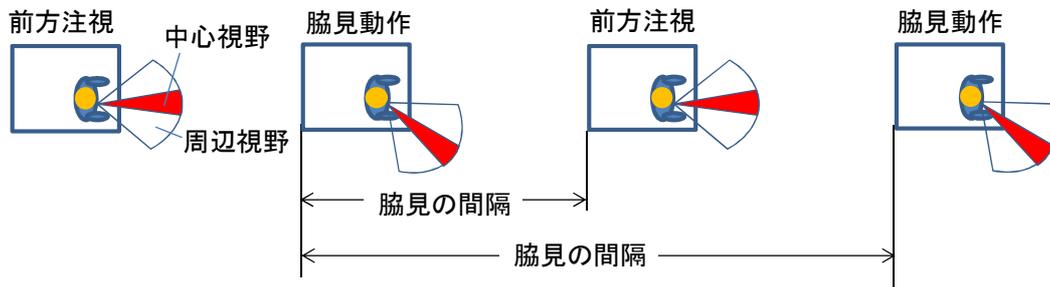


図 3.2.2-3 ドライバの「脇見」状態を表現するための考え方

図 3.2.2-4 が、追従・追突場面において実装したドライバの「脇見」状態を示している。脇見の間隔と脇見の継続時間によって、ドライバが前方を視認する状態と脇見をする状態が変化することを表現することができる。ドライバが前方を視認する間は先行車、車間距離、相対速度を知覚し、ウィーダーマンのモデルに従って先行車に追従する。一方、ドライバが脇見をしている間は先行車、車間距離、相対速度を知覚せず、脇見を開始した時点の速度を維持することになる。

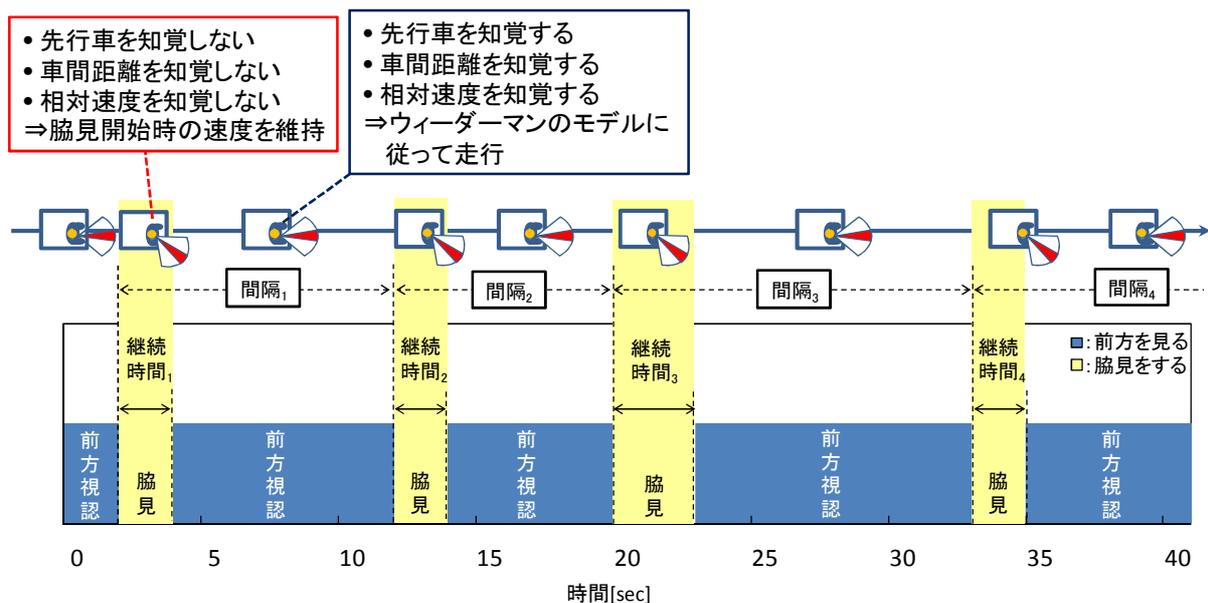


図 3.2.2-4 ドライバの「脇見」状態に関する実装内容

平成 28 年度は、開発対象であるドライバの「居眠り」状態を表現することに加え、その他の事故要因についてどのように表現するかを検討していくことが重要である。例えば、ドライバの意図しない安全不確認（見落とし）を、ドライバが安全確認を行ったうえで知覚すべき対象を見落とすこととして確率で表現すること、意図的な安全不確認を安全確認の手順を意図的に省略することとして確率で表現すること、動静不注視を知覚した対象までの距離・速度を見誤ることとして距離や速度の認知誤差といったパラメータで表現することなどを考えていく必要が有る。

### 3.2.3 追従・追突場面におけるドライバの行動の構築

本節では、平成 27 年度に構築した追従・追突場面の自動走行システムの効果を評価するためのドライバの行動の概略と、危険が顕在化した状況で作動するシステム（衝突警報や被害軽減ブレーキなど）効果を確認する事故場面特化型シミュレーションのためのドライバ行動モデル、危険が顕在化する前の自動走行システムの効果を評価する交通環境再現型シミュレーションのためのドライバ行動モデルについて述べる。

事故場面特化型シミュレーションについては、映像記録型ドライブレコーダが記録した実際の追突事故・ニアミスの事例を用いて衝突警報と被害軽減ブレーキの効果を試行的に確認した結果についても述べる。

#### (1) 追従・追突場面におけるドライバの行動の構築

追従・追突場面のドライバ行動を再現するためのドライバエージェントを構築した。構築したドライバエージェントは、先行車を知覚し、先行車までの車間距離と相対速度を認知し、図 3.1.4-1 に示したヴィーダーマンの追従モデルに従って追従状況を判断し、判断した状況に従って加速・減速に関わる操作を行う。

図 3.2.3-1 は、先行車との車間距離・相対速度の変化をドライバエージェントが知覚・認知し、その結果に基づいて追従状況を判断して加速・減速の操作を行った場合の後続車速度の推移を示している。

- ① 先行車の速度の方が高い状態であるため、後続車のドライバは希望速度まで加速する
- ② 加速することによって後続車が希望速度に到達したため追従を行う
- ③ 後続車のドライバが先行車の減速を知覚・認知し、後続車の減速が必要と判断するがペダル踏み替えに要する時間の間は空走する
- ④ 後続車が減速することによって先行車の速度と同様に速度が変化する
- ⑤ 先行車の急減速を知覚・認知しているが④と同様の減速度で減速する
- ⑥ 先行車との車間距離が緊急回避用の減速度で減速する値以下となったため、後続車は緊急回避用の減速度で減速し、停止状態となる

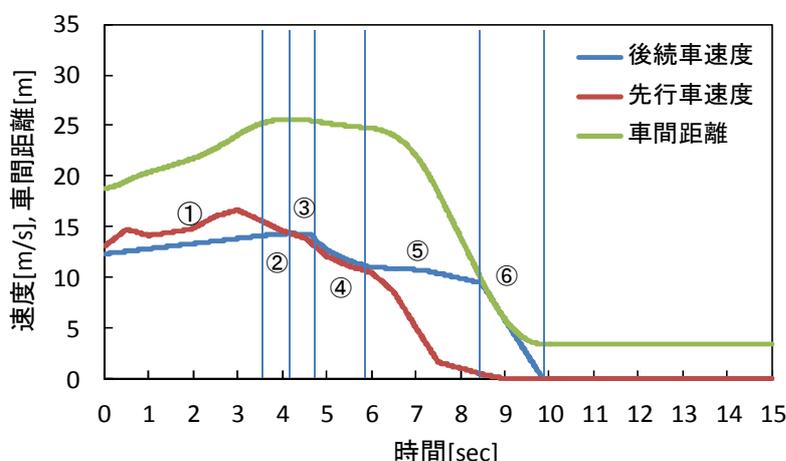


図 3.2.3-1 ドライバエージェントの追従状況の判断結果によって出力される後続車速度の推移

## (2) 事故場面特化型シミュレーションのためのドライバ行動モデル

### ①事故場面特化型シミュレーションにおける危険場面の定義方法

図 3.2.3-2 は、交通環境再現型シミュレーションと事故場面特化型シミュレーションの関係を示している。ここでは、図における危険が顕在化、事故直前、事故発生までのフェーズを対象とした事故場面特化型シミュレーションのためのドライバ行動モデルについて記述する。さらに、追突事故を対象とした衝突警報と被害軽減ブレーキの効果を試行的に評価した結果について述べる。



図 3.2.3-2 事故のフェーズと交通環境再現型シミュレーション・事故場面特化型シミュレーションの関係

事故場面特化型シミュレーションでは、前出のように危険が顕在化してからを対象としたシミュレーションを実施することが必要である。その場合、危険場面（事故場面）の定義することと、自動走行システム（運転支援システム）により期待される効果（ドライバ行動の変化など）の予測することが必要である。

危険場面（事故場面）の定義方法としては、

- ドライブレコーダデータやNDS（NDS:Naturalistic Driving Study）データ<sup>11) 12) 13)</sup>によって実際に起きている危険場면을定義づける
- 交通事故総合分析センターが管理するマクロ（ミクロ）事故データなどにより、代表的な危険場면을定義づける

自動走行システム（支援システム）により期待される効果の予測方法としては、

- 既存の研究例による支援呈示時のドライバ特性モデルを用いる
- 危険場面を設定した実験によりドライバ特性を取得する

ことが考えられる。

そこで、平成 27 年度は映像記録型ドライブレコーダが記録した追突事故・ニアミス時の先行車の速度の推移、初期車間距離、後続車の初期速度に基づいて危険場면을定義づけ、その場面における自動走行システム（衝突警報・被害軽減ブレーキ）の効果を評価することとした。

### ②ドライブレコーダデータに基づくシミュレーション条件の設定

図 3.2.3-3 は、ドライブレコーダが記録した衝突事例における初期車間距離・後続車の初期速度と先行車速度の推移を示している。今回の分析に用いたドライブレコーダは予め設定された加速度変化の閾値を超えた瞬間をトリガとして、トリガの前 10 秒、後 5 秒の合計 15 秒間のデータと前方映像を記録するものである<sup>14)</sup>

このときの先行車は、初期速度 47.0[km/h]から約 3 秒間加速して 60[km/h]となった。その後、約  $2.0\text{m/s}^2$  の減速度で減速し、6.5 秒の時点で約  $3.9\text{m/s}^2$  の減速度に変化して 9 秒時点で停止した。後続車の初期速度は 44.4[km/h]、初期車間距離は 18.9[m]であり、この状態をシミュレーションの初期条件とした。

ドライブレコーダが記録した追突事故・ニアミスとして、衝突事例 12 例、ニアミス事例 45 例を用いて危険場面として定義した。

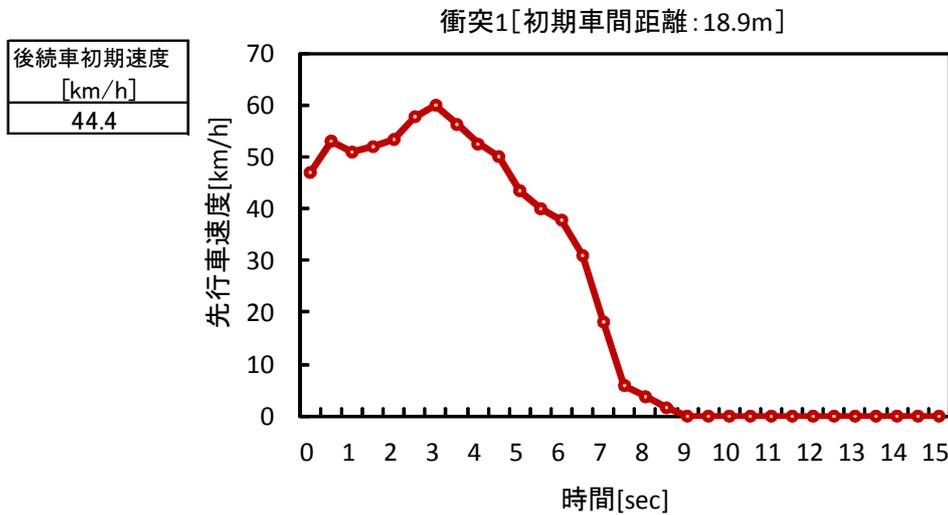


図 3.2.3-3 衝突事例における初期車間距離・後続車の初期速度と先行車速度の推移

### ③自動走行システムの設定

図 3.2.3-4 は、追従・追突場面に対応する自動走行システムを設定するためのパラメータを示している。前方の障害物を検知するために搭載されるセンサの特性は、検知距離[m]と検知角度[度]のパラメータによって設定した。システムとしては、衝突警報（音を用いた警報、光を用いた警報、振動を用いた警報）、ブレーキアシスト、被害軽減ブレーキを想定した。システムの作動内容は、作動 TTC[sec] (Time to Collision:衝突余裕時間＝車間距離／相対速度)、作動相対速度、作動対象ラップ率（先行車と後続車の装置搭載車の幅に対する装置搭載車と前方障害物との横方向の重なり割合）、減速度勾配[ $\text{m/s}^3$ ]、最大減速度[ $\text{m/s}^2$ ]によって設定することとした。

平成 27 年度は本間ら<sup>15)</sup> 文を参考とし、効果評価用のシステムとして、衝突警報の作動タイミングとなる TTC を 1.8[sec]、被害軽減ブレーキの作動タイミングとなる TTC を 0.6[sec]とし、減速度勾配は  $19.6\text{m/s}^3$ 、最大減速度は  $7.8\text{m/s}^2$ とした。

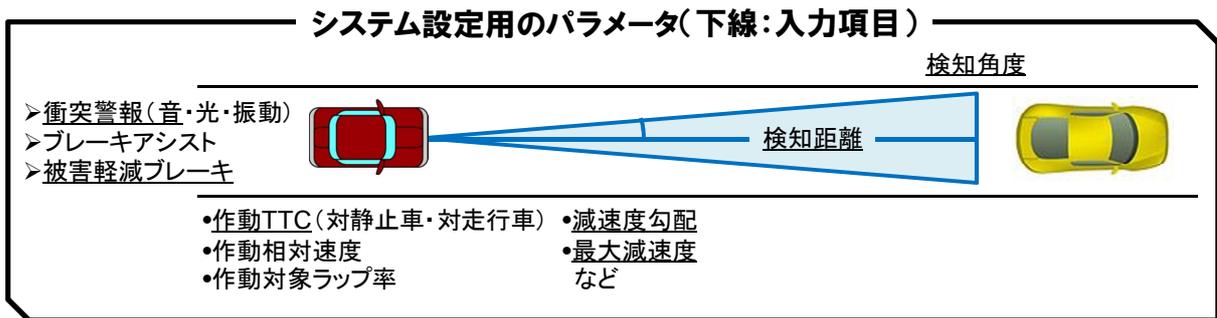


図 3.2.3-4 追従・追突場面に対応する自動走行システム設定用のパラメータ

④ ドライバ属性・ドライバエラー・システムの設定

法順守傾向 (3 段階)、運転スキル (3 段階)、情報処理能力 (3 段階)、覚醒水準 (5 段階) によって設定可能な 135 パターンのうち、5 パターンを設定して試行した<sup>16)</sup> 平成 27 年度はドライバ属性の動作を確認するため、法順守傾向・運転スキル・情報処理能力がいずれも平均的なドライバ、いずれも高い優良ドライバ、いずれも低い劣悪ドライバを設定し、覚醒水準の変化による動作を確認するため平均的なドライバにおいて標準、低い、高い状態を設定した。

表 3.2.3-1 試行に用いたドライバ属性のパターン

| パターン    | 法順守傾向 | 運転スキル | 情報処理能力 | 覚醒水準 | 性別 | 年齢     |
|---------|-------|-------|--------|------|----|--------|
| (1)平均-1 | 平均    | 平均    | 平均     | 標準   | 男性 | 40-44歳 |
| (2)平均-2 |       |       |        | 低い   |    |        |
| (3)平均-3 |       |       |        | 高い   |    |        |
| (4)優良   | 高い    | 高い    | 高い     | 標準   |    |        |
| (5)劣悪   | 低い    | 低い    | 低い     |      |    |        |

ドライバエラーは、(1) エラーなし、(2) 認知エラー (脇見を模擬) が発生、(3) 操作エラー (ブレーキの操作の誤りを模擬) が発生、(4) 認知エラーと操作エラーの双方が発生の④パターンとした。

自動走行システムは、(1) 自動走行システムなし、(2) 衝突警報が搭載、(3) 被害軽減ブレーキが搭載の 3 パターンとした。

以上、評価の対象となる場面ごとに、5 パターンのドライバ属性、4 パターンのドライバエラー、3 パターンの自動走行システムの組み合わせの 60 パターンのシミュレーションを実施することとした。

⑤ 追従・追突シミュレーションを試行した結果

図 3.2.3-5 は、追突・追従シミュレーションを実施した結果を示している。先行車速度、後続車速度、車間距離の推移と、TTC[sec] (衝突余裕時間=車間距離/相対速度)、THW[sec] (車間時間=車間距離/後続車速度) の推移を表している。このときのエージェントの属性は以下のとおりである。

エージェント ID1 の属性

- ・法順守傾向：1 (低い)、運転スキル：1 (低い)、情報処理能力：1 (低い)
- ・覚醒水準：3 (中間)
- ・システム：なし
- ・エラー：なし

先行車は、0~3 秒まで加速した後に減速を開始し、6 秒時点で急減速・停止した。その先行車に対して後続車のドライバは加速、減速、急減速を行うことで、車間距離 3.4[m]の時点で停止することで追突を回避している。衝突リスクを表す TTC の最小値は 1.0[sec]まで減少したものの、衝突には至らずに回避できたことを示している。

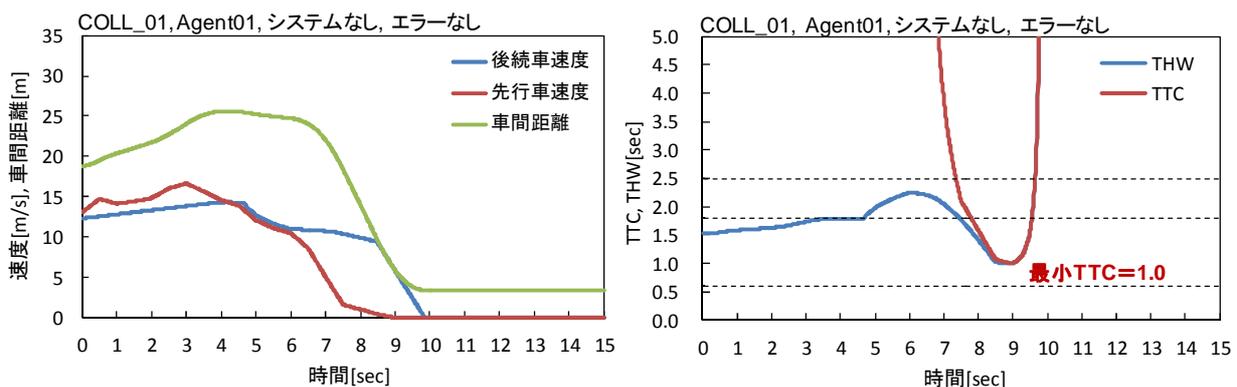


図 3.2.3-5 追突・追従シミュレーション結果 (衝突事例 1, エージェント ID1)

表 3.2.3-2 は、このシミュレーション結果をまとめたものである。シナリオは衝突事例 1、エージェント ID1、法順守傾向 (1)、運転スキル (1)、情報処理能力 (1)、覚醒水準 (3)、認知エラー (0:なし)、操作エラー (0:なし)、衝突警報 (有無 0:なし、作動有無 0:なし)、被害軽減ブレーキ (有無 0:なし、作動有無 0:なし)、ニアミス (1:あり、最小 TTC が 2.5 秒以下になったかどうか)、衝突 (0:なし)、衝突速度 (衝突した場合には衝突時の速度を記録) を示している。

表 3.2.3-2 追突・追従シミュレーション結果のまとめ (エージェント ID1)

| シナリオ    | エージェント ID | 法遵守傾向 A | 運転スキル B | 情報処理能力 C | 覚醒水準 D | 認知エラー有無 | 操作エラー有無 | 衝突警報 |      | 被害軽減ブレーキ |      | ニアミス有無 | 衝突有無 | 衝突速度 |
|---------|-----------|---------|---------|----------|--------|---------|---------|------|------|----------|------|--------|------|------|
|         |           |         |         |          |        |         |         | 有無   | 作動有無 | 有無       | 作動有無 |        |      |      |
| COLL_01 | 1         | 1       | 1       | 1        | 3      | 0       | 0       | 0    | 0    | 0        | 0    | 1      | 0    | 0.0  |

図 3.2.3-6 は、追突・追従シミュレーションを実施した結果を示している。先行車速度、後続車速度、車間距離の推移と、TTC[sec]、THW[sec]の推移を表している。このときのエージェントの属性は以下のとおりである。

エージェント ID7 の属性

- ・法順守傾向：1（低い）、運転スキル：1（低い）、情報処理能力：1（低い）
- ・覚醒水準：3（中間）
- ・システム：なし
- ・エラー：認知エラー（脇見）あり

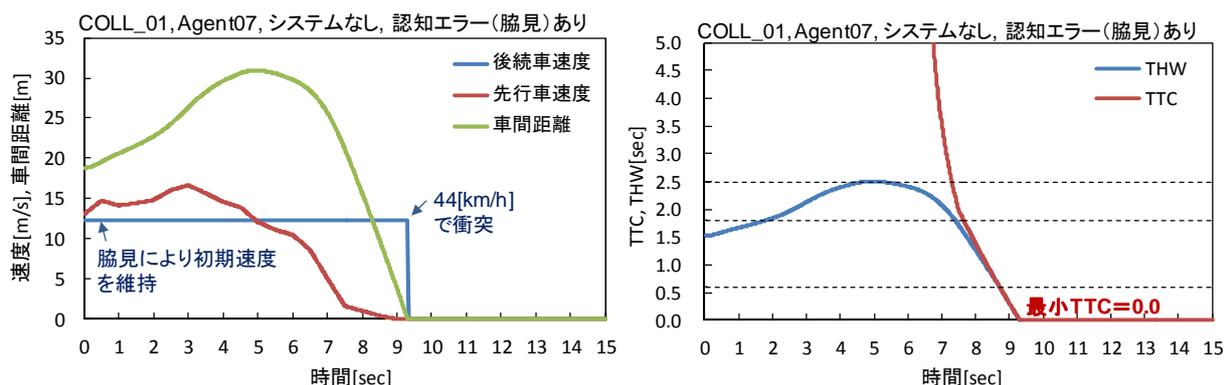


図 3.2.3-6 追突・追従シミュレーションの実施結果の概要（衝突事例 1）

このときのドライバエージェントは脇見をしているため、初期速度である 44[km/h]を維持して走行している。脇見をしているために、先行車の加速・減速を知覚することはなく、一定の速度で走行し、そのまま衝突している。衝突リスクを表す TTC の最小値は 0.0[sec] となり、衝突したことを示している。

表 3.2.3-2 は、このシミュレーション結果をまとめたものである。エージェント ID1 との違いは認知エラー（1:あり）である。ドライバが脇見をすることで、TTC は 0 を示したために衝突有無（1:あり）に衝突したことと、衝突速度が 44.4[km/h]であることが記録される。

表 3.2.3-3 試行追突・追従シミュレーション結果のまとめ（エージェント ID7）

| シナリオ    | エージェント ID | 法遵守傾向 A | 運転スキル B | 情報処理能力 C | 覚醒水準 D | 認知エラー有無 | 操作エラー有無 | 衝突警報 |      | 被害軽減ブレーキ |      | ニアミス有無 | 衝突有無 | 衝突速度 |
|---------|-----------|---------|---------|----------|--------|---------|---------|------|------|----------|------|--------|------|------|
|         |           |         |         |          |        |         |         | 有無   | 作動有無 | 有無       | 作動有無 |        |      |      |
| COLL 01 | 7         | 1       | 1       | 1        | 3      | 1       | 0       | 0    | 0    | 0        | 0    | 1      | 1    | 44.4 |

表 3.2.3-4 は、衝突事例 1 のにおける 60 パターンのシミュレーション結果の一覧を示している。ドライバ属性、ドライバエラー、自動走行システムの組み合わせによって、ニアミスの有無、衝突の有無、衝突時の速度がどのように変わるかを評価するための結果が得られた。

表 3.2.3-4 追突・追従シミュレーション結果のまとめ（衝突事例 1 における 60 パターン）

| シナリオ    | エージェントID | 法遵守傾向 A | 運転スキル B | 情報処理能力 C | 覚醒水準 D | 認知エラー有無 | 操作エラー有無 | 衝突警報 |      | 被害軽減ブレーキ |      | ニアミス有無 | 衝突有無 | 衝突速度 |      |
|---------|----------|---------|---------|----------|--------|---------|---------|------|------|----------|------|--------|------|------|------|
|         |          |         |         |          |        |         |         | 有無   | 作動有無 | 有無       | 作動有無 |        |      |      |      |
| COLL_01 | 1        | 1       | 1       | 1        | 3      | 0       | 0       | 0    | 0    | 0        | 0    | 1      | 0    | 0.0  |      |
| COLL_01 | 2        | 1       | 1       | 1        | 3      | 0       | 0       | 1    | 1    | 0        | 0    | 1      | 0    | 0.0  |      |
| COLL_01 | 3        | 1       | 1       | 1        | 3      | 0       | 0       | 0    | 0    | 1        | 0    | 1      | 0    | 0.0  |      |
| COLL_01 | 4        | 1       | 1       | 1        | 3      | 0       | 1       | 0    | 0    | 0        | 0    | 1      | 0    | 0.0  |      |
| COLL_01 | 5        | 1       | 1       | 1        | 3      | 0       | 1       | 1    | 1    | 0        | 0    | 1      | 0    | 0.0  |      |
| COLL_01 | 6        | 1       | 1       | 1        | 3      | 0       | 1       | 0    | 0    | 1        | 1    | 1      | 0    | 0.0  |      |
| COLL_01 | 7        | 1       | 1       | 1        | 3      | 1       | 0       | 0    | 0    | 0        | 0    | 1      | 1    | 44.4 |      |
| COLL_01 | 8        | 1       | 1       | 1        | 3      | 1       | 0       | 1    | 1    | 0        | 0    | 1      | 1    | 33.8 |      |
| COLL_01 | 9        | 1       | 1       | 1        | 3      | 1       | 0       | 0    | 0    | 1        | 1    | 1      | 1    | 31.7 |      |
| COLL_01 | 10       | 1       | 1       | 1        | 3      | 1       | 1       | 0    | 0    | 0        | 0    | 1      | 1    | 44.4 |      |
| COLL_01 | 11       | 1       | 1       | 1        | 3      | 1       | 1       | 1    | 1    | 0        | 0    | 1      | 1    | 36.8 |      |
| COLL_01 | 12       | 1       | 1       | 1        | 3      | 1       | 1       | 0    | 0    | 1        | 1    | 1      | 1    | 31.7 |      |
| COLL_01 | 13       | 2       | 2       | 2        | 2      | 1       | 0       | 0    | 0    | 0        | 0    | 1      | 0    | 0.0  |      |
| COLL_01 | 14       | 2       | 2       | 2        | 2      | 1       | 0       | 0    | 1    | 1        | 0    | 0      | 0    | 0.0  |      |
| COLL_01 | 15       | 2       | 2       | 2        | 2      | 1       | 0       | 0    | 0    | 1        | 0    | 1      | 0    | 0.0  |      |
| COLL_01 | 16       | 2       | 2       | 2        | 2      | 1       | 0       | 1    | 0    | 0        | 0    | 1      | 1    | 8.6  |      |
| COLL_01 | 17       | 2       | 2       | 2        | 2      | 1       | 0       | 1    | 1    | 1        | 0    | 1      | 1    | 8.6  |      |
| COLL_01 | 18       | 2       | 2       | 2        | 2      | 1       | 0       | 1    | 0    | 1        | 1    | 1      | 0    | 0.0  |      |
| COLL_01 | 19       | 2       | 2       | 2        | 2      | 1       | 1       | 0    | 0    | 0        | 0    | 1      | 1    | 44.4 |      |
| COLL_01 | 20       | 2       | 2       | 2        | 2      | 1       | 1       | 0    | 1    | 1        | 0    | 0      | 1    | 43.6 |      |
| COLL_01 | 21       | 2       | 2       | 2        | 2      | 1       | 1       | 0    | 0    | 1        | 1    | 1      | 1    | 31.7 |      |
| COLL_01 | 22       | 2       | 2       | 2        | 2      | 1       | 1       | 1    | 0    | 0        | 0    | 1      | 1    | 44.4 |      |
| COLL_01 | 23       | 2       | 2       | 2        | 2      | 1       | 1       | 1    | 1    | 1        | 0    | 1      | 1    | 43.6 |      |
| COLL_01 | 24       | 2       | 2       | 2        | 2      | 1       | 1       | 1    | 0    | 0        | 1    | 1      | 1    | 31.7 |      |
| COLL_01 | 25       | 2       | 2       | 2        | 2      | 3       | 0       | 0    | 0    | 0        | 0    | 1      | 0    | 0.0  |      |
| COLL_01 | 26       | 2       | 2       | 2        | 2      | 3       | 0       | 0    | 1    | 1        | 0    | 0      | 0    | 0.0  |      |
| COLL_01 | 27       | 2       | 2       | 2        | 2      | 3       | 0       | 0    | 0    | 0        | 1    | 0      | 1    | 0    | 0.0  |
| COLL_01 | 28       | 2       | 2       | 2        | 2      | 3       | 0       | 1    | 0    | 0        | 0    | 0      | 1    | 0    | 0.0  |
| COLL_01 | 29       | 2       | 2       | 2        | 2      | 3       | 0       | 1    | 1    | 1        | 0    | 0      | 1    | 0    | 0.0  |
| COLL_01 | 30       | 2       | 2       | 2        | 2      | 3       | 0       | 1    | 0    | 0        | 1    | 1      | 1    | 0    | 0.0  |
| COLL_01 | 31       | 2       | 2       | 2        | 2      | 3       | 1       | 0    | 0    | 0        | 0    | 1      | 1    | 44.4 |      |
| COLL_01 | 32       | 2       | 2       | 2        | 2      | 3       | 1       | 0    | 1    | 1        | 0    | 0      | 1    | 1    | 33.8 |
| COLL_01 | 33       | 2       | 2       | 2        | 2      | 3       | 1       | 0    | 0    | 0        | 1    | 1      | 1    | 1    | 31.7 |
| COLL_01 | 34       | 2       | 2       | 2        | 2      | 3       | 1       | 1    | 0    | 0        | 0    | 1      | 1    | 1    | 44.4 |
| COLL_01 | 35       | 2       | 2       | 2        | 2      | 3       | 1       | 1    | 1    | 1        | 0    | 0      | 1    | 1    | 36.8 |
| COLL_01 | 36       | 2       | 2       | 2        | 2      | 3       | 1       | 1    | 0    | 0        | 1    | 1      | 1    | 1    | 31.7 |
| COLL_01 | 37       | 2       | 2       | 2        | 2      | 5       | 0       | 0    | 0    | 0        | 0    | 1      | 0    | 0.0  |      |
| COLL_01 | 38       | 2       | 2       | 2        | 2      | 5       | 0       | 0    | 1    | 1        | 0    | 0      | 1    | 0    | 0.0  |
| COLL_01 | 39       | 2       | 2       | 2        | 2      | 5       | 0       | 0    | 0    | 0        | 1    | 0      | 1    | 0    | 0.0  |
| COLL_01 | 40       | 2       | 2       | 2        | 2      | 5       | 0       | 1    | 0    | 0        | 0    | 0      | 1    | 1    | 16.7 |
| COLL_01 | 41       | 2       | 2       | 2        | 2      | 5       | 0       | 1    | 1    | 1        | 0    | 0      | 1    | 1    | 16.7 |
| COLL_01 | 42       | 2       | 2       | 2        | 2      | 5       | 0       | 1    | 0    | 0        | 1    | 1      | 1    | 0    | 0.0  |
| COLL_01 | 43       | 2       | 2       | 2        | 2      | 5       | 1       | 0    | 0    | 0        | 0    | 1      | 1    | 1    | 44.4 |
| COLL_01 | 44       | 2       | 2       | 2        | 2      | 5       | 1       | 0    | 1    | 1        | 0    | 0      | 1    | 1    | 30.5 |
| COLL_01 | 45       | 2       | 2       | 2        | 2      | 5       | 1       | 0    | 0    | 0        | 1    | 1      | 1    | 1    | 31.7 |
| COLL_01 | 46       | 2       | 2       | 2        | 2      | 5       | 1       | 1    | 0    | 0        | 0    | 1      | 1    | 1    | 44.4 |
| COLL_01 | 47       | 2       | 2       | 2        | 2      | 5       | 1       | 1    | 1    | 1        | 0    | 0      | 1    | 1    | 34.2 |
| COLL_01 | 48       | 2       | 2       | 2        | 2      | 5       | 1       | 1    | 0    | 0        | 1    | 1      | 1    | 1    | 31.7 |
| COLL_01 | 49       | 3       | 3       | 3        | 3      | 3       | 0       | 0    | 0    | 0        | 0    | 0      | 1    | 0    | 0.0  |
| COLL_01 | 50       | 3       | 3       | 3        | 3      | 3       | 0       | 0    | 1    | 1        | 0    | 0      | 1    | 0    | 0.0  |
| COLL_01 | 51       | 3       | 3       | 3        | 3      | 3       | 0       | 0    | 0    | 0        | 1    | 0      | 1    | 0    | 0.0  |
| COLL_01 | 52       | 3       | 3       | 3        | 3      | 3       | 0       | 1    | 0    | 0        | 0    | 0      | 1    | 1    | 10.4 |
| COLL_01 | 53       | 3       | 3       | 3        | 3      | 3       | 0       | 1    | 1    | 1        | 0    | 0      | 1    | 1    | 10.4 |
| COLL_01 | 54       | 3       | 3       | 3        | 3      | 3       | 0       | 1    | 0    | 0        | 1    | 1      | 1    | 0    | 0.0  |
| COLL_01 | 55       | 3       | 3       | 3        | 3      | 3       | 1       | 0    | 0    | 0        | 0    | 0      | 1    | 1    | 44.4 |
| COLL_01 | 56       | 3       | 3       | 3        | 3      | 3       | 1       | 0    | 1    | 1        | 0    | 0      | 1    | 1    | 33.8 |
| COLL_01 | 57       | 3       | 3       | 3        | 3      | 3       | 1       | 0    | 0    | 0        | 1    | 1      | 1    | 1    | 31.7 |
| COLL_01 | 58       | 3       | 3       | 3        | 3      | 3       | 1       | 1    | 0    | 0        | 0    | 0      | 1    | 1    | 44.4 |
| COLL_01 | 59       | 3       | 3       | 3        | 3      | 3       | 1       | 1    | 1    | 1        | 0    | 0      | 1    | 1    | 36.8 |
| COLL_01 | 60       | 3       | 3       | 3        | 3      | 3       | 1       | 1    | 0    | 0        | 1    | 1      | 1    | 1    | 31.7 |

図 3.2.3-7 は、ドライバーエージェントが脇見をする条件において、衝突警報があった場合と被害軽減ブレーキがあった場合の後続車速度、先行車速度、車間距離、TTC、THW の推移を示した結果を示している。

(a) 衝突警報ありでは、TTC が 1.8[sec]以下となった時点で衝突警報が作動し、それから 1.32[sec]の反応時間を経てドライバが脇見状態から復帰して減速が開始されている。衝突警報によって脇見状態から復帰した結果、衝突を回避することはできなかったが、自動走行システムがない場合の 44[km/h]の衝突速度が 34[km/h]に低下したことが示されている。

また、(b) 被害軽減ブレーキありでは、TTC が 0.6[sec]以下となった時点で被害軽減ブレーキが作動して車両が減速している。衝突警報と同様に衝突を回避することはできなかったが、衝突速度が 44[km/h]から 32[km/h]へ低下したことが示されている。

このように、追従・追突場面に効果が期待できる自動走行システムの効果を、衝突が回避できるかどうか、たとえ衝突しても衝突した時点の速度を低減できるかどうか、という視点で定量的に評価できるシミュレーションが実施できる。

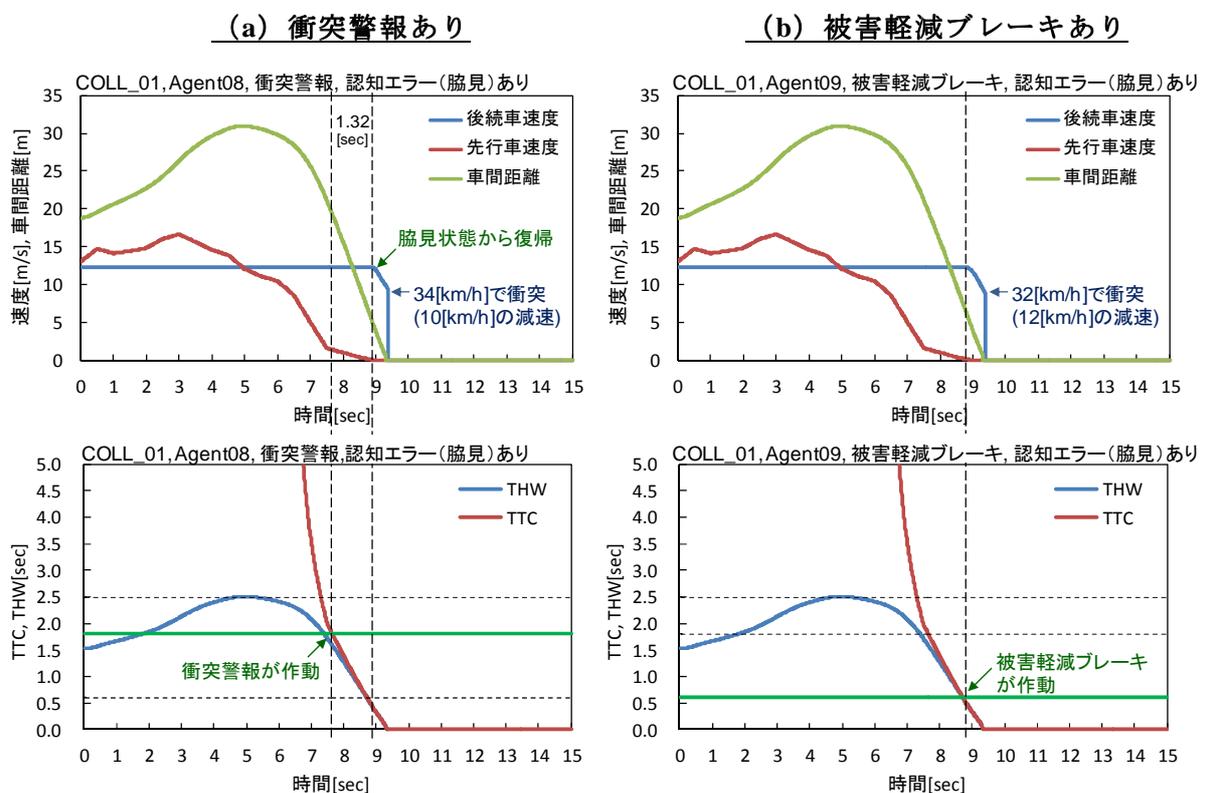


図 3.2.3-7 認知エラーが発生する条件における衝突警報と被害軽減ブレーキの効果

平成 27 年度は、衝突警報と被害軽減ブレーキをそれぞれ単体として効果を評価することを試行したが、実用化されているシステムでは、衝突警報、ブレーキアシスト、被害軽減ブレーキの複数の機能が複合していることが一般的である。したがって、平成 28 年度以降の追従・追突場面のシミュレーションでは、このようなシステムの実情に合わせて効果評価の対象を適切に選定・設定することが重要である。

表 3.2.3-5 は、追従・追突シミュレーションを実施した結果をシステム別に比較したものである。57 の事例（衝突 12 例、ニアミス 45 例）について、システムなし（20 パターン）、衝突警報（20 パターン）、被害軽減ブレーキ（20 パターン）を実施し、システムごとに 1,140 パターン（57×20）に対するシミュレーションを実施した。

システムなしの場合は 349 件の追突事故が発生し、衝突時相対速度の平均は 29.2[km/h]、回避率（＝回避件数／発生パターン数＝791/1,140）は 69.4%であった。衝突警報ありの場合は、324 件の追突事故が発生し、衝突時相対速度の平均は 25.3[km/h]、回避率は 71.6%（816/1,140）であった。被害軽減ブレーキありの場合は、270 件の追突事故が発生し、衝突時相対速度の平均は 20.3[km/h]、回避率は 76.3%（870/1,140）であった。

図 3.2.3-8 にシステム別の追突事故件数と回避率を示しているが、システムなしに比べて衝突警報あり、被害軽減ブレーキありの追突事故件数が少なく、回避率が高いことを示している。また、今回の設定での比較ではあるが、衝突警報ありの単体の効果に比べて、被害軽減ブレーキの単体の効果の方が大きく評価された。

表 3.2.3-5 システム別の追突事故件数、衝突時相対速度（平均）、回避件数、回避率の比較

|             | システムなし | 衝突警報  | 被害軽減ブレーキ |
|-------------|--------|-------|----------|
| 発生パターン      | 1,140  | 1,140 | 1,140    |
| 追突事故件数      | 349    | 324   | 270      |
| 衝突時相対速度(平均) | 29.2   | 25.3  | 20.3     |
| 回避件数        | 791    | 816   | 870      |
| 回避率         | 69.4%  | 71.6% | 76.3%    |

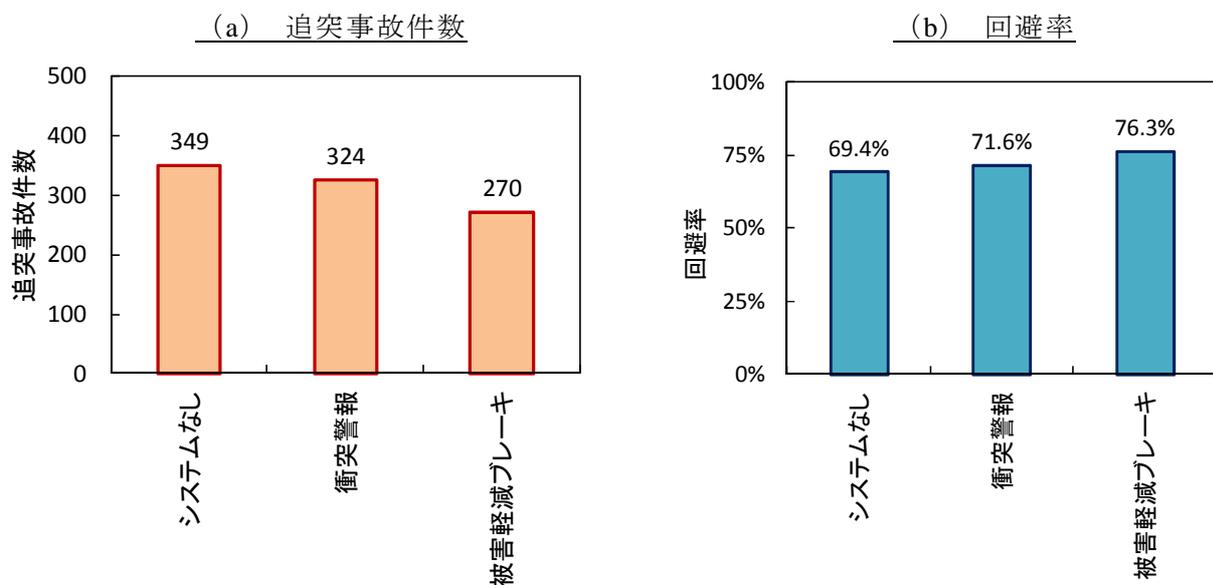


図 3.2.3-8 システム別の追突事故件数と回避率

さらに、衝突時相対速度（平均）を比較してもシステムなしに比べて、衝突警報ありではシステムなしよりも 3.9[km/h]（13.4%）の速度が低減し、被害軽減ブレーキありではシステムなしよりも 8.9[km/h]（30.5%）の速度が低減していることを評価した（図 3.2.3-9）。つまり、衝突は防止できなかったとしても乗員の被害を緩和するために有効と考えられる速度低減効果が得られた側面を評価できた。

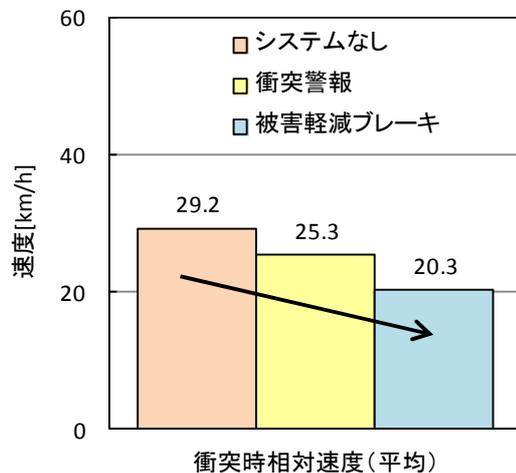


図 3.2.3-9 システム別の衝突時相対速度（平均）

図 3.2.3-10 は、システムなしの事故（n=349）、衝突警報ありの事故（n=324）、被害軽減ブレーキありの事故（n=270）の衝突時相対速度を 10[km/h]区分の事故件数の分布と累積頻度を比較した結果である。

システムなしでは、衝突時相対速度が 30~40[km/h]となる割合が 40.1%と最頻値であるが、衝突警報・被害軽減ブレーキがある場合は 30~40[km/h]の割合が 31.8%、11.1%と低くなっていることが分かる。このように、自動走行システムがもたらす効果が衝突の回避へ波及する場合と衝突速度の低減へ波及する場合の双方について評価した。

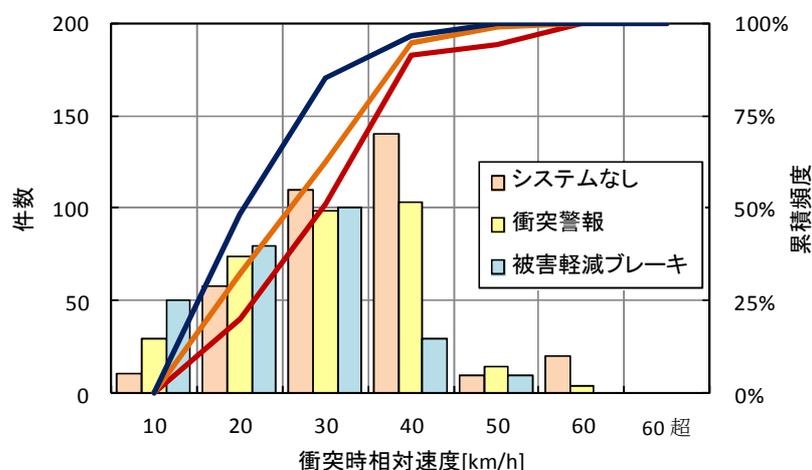


図 3.2.3-10 システム別の衝突時相対速度の分布と累積頻度

図 3.2.3-11 は、平成 26 年の交通事故統合データベースを集計したデータに基づく追突した車両の危険認知速度の分布と累積構成率を表している。なお、この集計データは、第 1 当事者を普通乗用車と軽乗用車に限定して集計したものである。追突事故の死亡事故率(死亡事故 / (死亡事故 + 重傷事故 + 軽傷事故))は、0.03% (49/158,491) と小さい値を示す。死亡事故の多くは 40[km/h]超の速度で発生しているが、追突事故の多くを占める軽傷事故・重傷事故の危険認知速度は 40[km/h]以下が過半数(重傷 66%、軽傷 86%)を占めている。

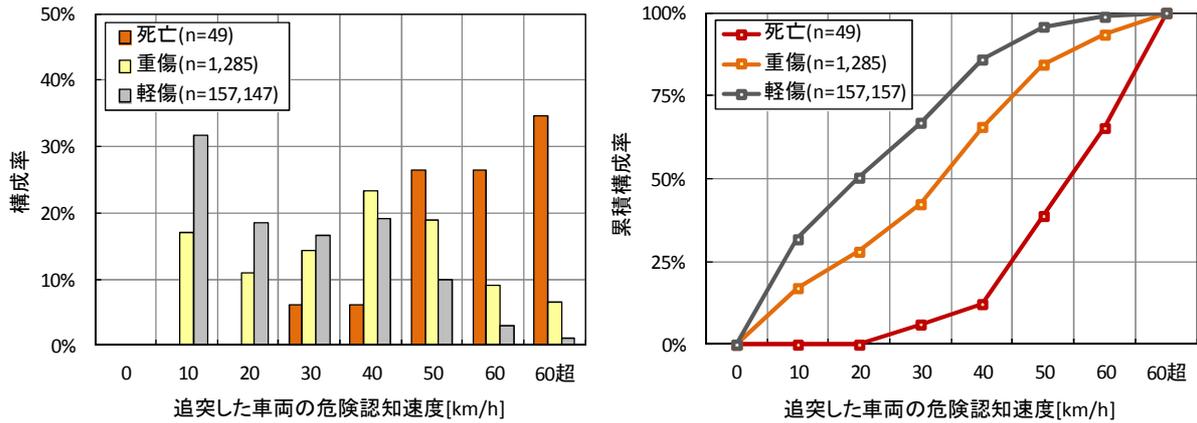


図 3.2.3-11 平成 26 年の事故データにおける追突車両の危険認知速度の分布と累積構成率

図 3.2.3-12 は、第一当事者(追突した側)の危険認知速度と第 2 当事者(追突された側)の危険認知速度の差を危険認知時の相対速度とみなして簡易的に分析した結果を示している。危険認知速度の分布と同様に損傷程度が大きいほど相対速度が大きい傾向を示している。軽傷事故の最頻値は 0~10[km/h]の 33%、重傷事故の最頻値は 30~40[km/h]の 22%、死亡事故の最頻値は 40~50[km/h]の 29%であった。危険認知時の相対速度を 40[km/h]以下とすると、死亡事故の 39%、重傷事故の 76%、軽傷事故の 89%を占めることが分かる。

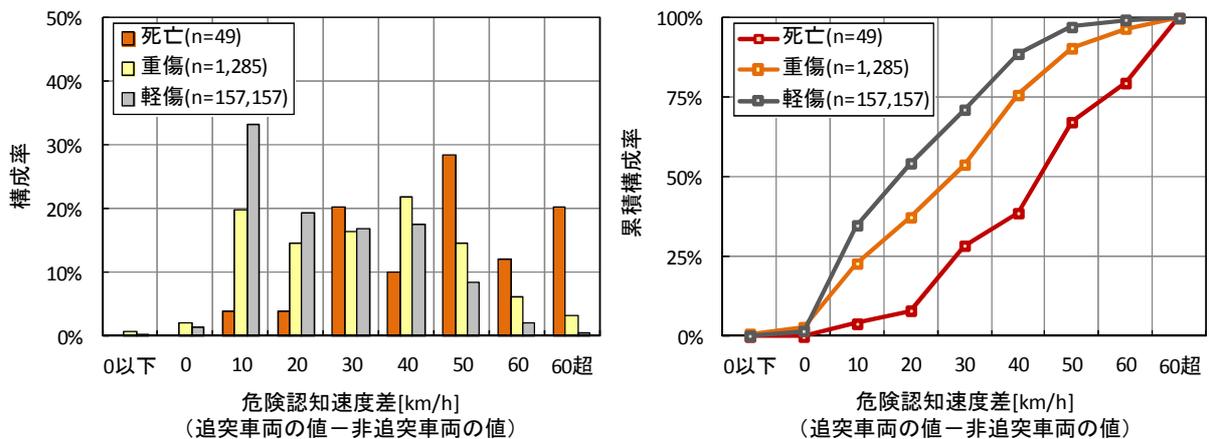


図 3.2.3-12 平成 26 年の事故データにおける追突車両と非追突車両の危険認知速度差の分布と累積構成率

以上、平成 26 年の追突事故データを分析した結果、負傷事故を対象とした場合は、追突する側の危険認知速度 40[km/h]以下、危険認知時の相対速度 40[km/h]以下の条件で過半数の事故を対象範囲に含められることが分かった。

したがって、今回の追従・追突シミュレーションにおいてドライブレコーダデータに基づいて設定したシナリオが追突事故に関する事故低減詳細効果を負傷者低減という観点で評価するために適切な設定であることが確認できた。

本事業で開発したシミュレーション技術を用いて交通事故低減詳細効果を見積もる場合、設定したシナリオが適切であるかどうかについては、交通事故統合データベースに記録されている死亡事故・重傷事故・軽傷事故を基本として日本の交通事故の実態が反映されているかどうかを確認することが重要である。

また、性別や年齢などの観点から実態を反映したドライバ属性を設定したかどうかを事故データより確かめることも必要である。例えば、図 3.2.3-13 が示すように重傷・軽傷事故の危険認知速度は、40[km/h]以下までは男女の比率がほぼ一定であるが、40[km/h]超では男性の構成率が高くなる傾向がある。また、図 3.2.3-14 は危険認知時の相対速度の男女別の構成率を示しているが、危険認知速度と同様の傾向がみられている。このような事故データに記録されている実態がシミュレーションで設定したドライバ属性によって再現できているかを確認することが重要である。

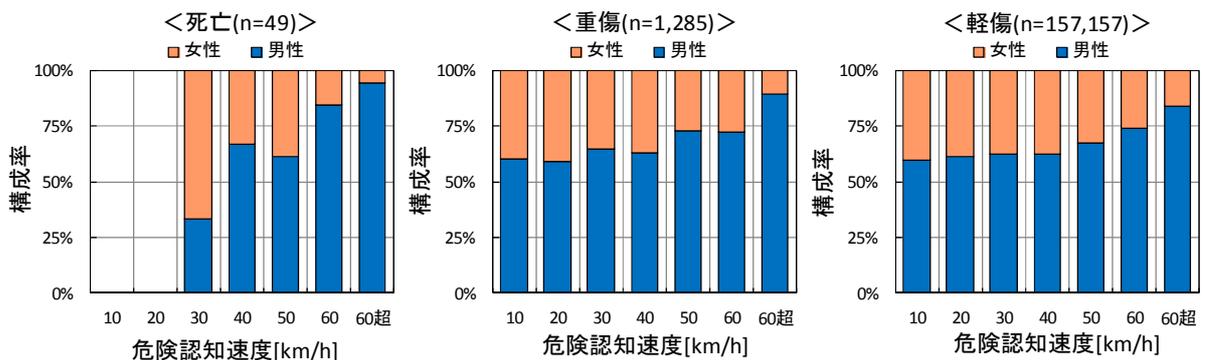


図 3.2.3-13 平成 26 年の事故データにおける追突車両の危険認知速度の男女別の構成率

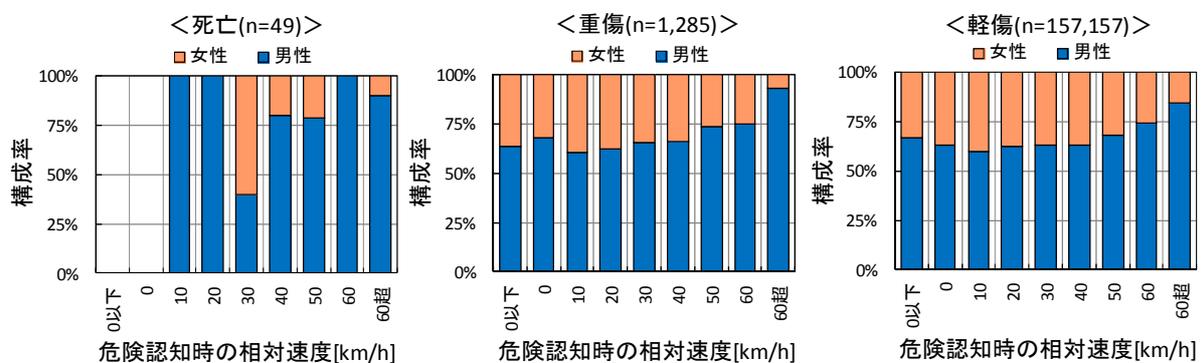


図 3.2.3-14 平成 26 年の事故データにおける危険認知時の相対速度の男女別の構成率

### (3) 交通環境再現型シミュレーションのためのドライバ行動モデル

自動走行システムの効果を評価するためのシミュレーションの方式として、図 3.2.3-15 に示すように交通環境再現型と事故場面特化型が考えられる。(2) においては、ドライブレコーダが記録した追突事故・ニアミスが発生する危険な場面をベースにした事故場面特化型のシミュレーションのドライバ行動モデルの考え方と試行的な評価を実施した内容を記述した。ここでは、交通環境再現型シミュレーションを実施するためのドライバ行動モデルの考え方について述べる。



図 3.2.3-15 事故のフェーズと交通環境再現型シミュレーション・事故場面特化型シミュレーションの関係（再掲）

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及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、自動走行システムの効果予測など）においても評価が可能なことである。

上記のような評価を実施するためには、(2) で対象とした危険が顕在化する前の段階のフェーズのドライバの行動を表現できるモデルであることが求められる。

- ① 知覚・認知・判断・操作の一連のプロセスの繰り返しの表現  
⇒ ドライバエージェントによって通常の場合が表現されるとともに、知覚・認知・判断・操作のプロセスを続ける行動が表現されること
- ② 走行状況ごとに異なる知覚・認知の対象へ対応する運転行動の表現  
⇒ あるシーンに特化した行動だけではなく、いくつかのシーンをまたいで行動できること

理想的には交通事故が発生する全ての場面を対象にできることが求められるが、本事業では追従・追突場面（平成 27 年度）、車線逸脱場面（平成 28 年度）、歩行者横断場面（平成 28 年度）の 3 つの場面を統合（平成 29 年度）することを目指す（図 3.2.3-16）。

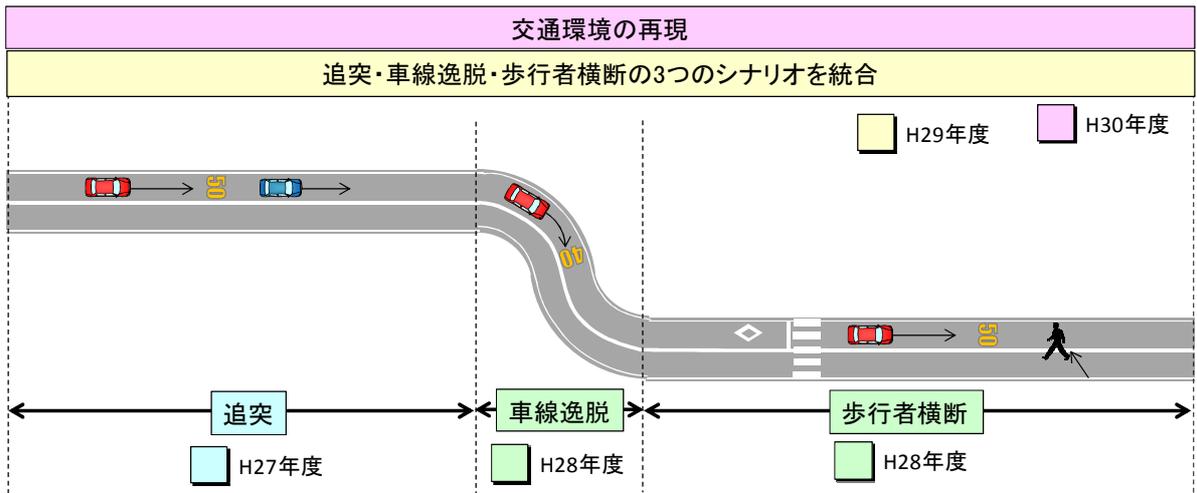


図 3.2.3-16 交通再現型シミュレーション実施に向けた流れ（各場面の開発・統合）

### 3.2.4 歩行者の行動モデル構築に向けた基礎検討

本研究で目指す歩行者エージェントモデルに必要な機能を整理したものを表 3.2.4-1 に示す。歩行者エージェントモデルの機能を整理するにあたっては文献調査を実施した。文献調査の詳細については 4.2 に記載の調査結果を参照されたい。

平成 27 年度は、歩行者エージェントモデルの基盤機能として、同表に示す横断歩道外横断機能と移動機能の一部からなる歩行者の基本歩行アルゴリズム（動的物体に対する認知・判断を含まない歩行者モデル）の作成を行った。また、基本歩行の様子を PC 上にて確認できるアニメーションを作成し、今後の歩行者モデル開発のための技術基盤を構築した。

歩行者モデルを構築するためには、実際の人間の歩行挙動（歩行軌跡）を計測し、歩行挙動に関するモデルパラメータを同定することが必要になる。本研究では、(1) レーザレンジファインダを用いた計測、(2) 遠隔操縦式マルチコプタによる空撮映像を用いた計測の 2 つの手法について検討した。

表 3.2.4-1 歩行者エージェントモデルに必要な機能

|         | 実装すべき機能  | 実装すべきヒューマンエラー |
|---------|--|---------------|
| 目標経路生成部 | ○横断歩道外横断<br>○横断歩道横断（信号無）<br>○横断歩道横断（信号有）<br>☆静的障害物の回避（駐車車両等）<br>☆他の歩行者等の回避 | 斜め横断          |
| 知覚・認識部  | ○信号の位置・色の認識<br>○車両の位置・速度の認識<br>☆他の歩行者等の位置、速度の認識<br>☆音の知覚・認識                | 見落とし、誤認識      |
| 判断部     | ○信号横断の可否判断<br>○道路横断の可否判断<br>☆他の歩行者等との衝突判断                                  | 誤判断、法規無視      |
| 行動部     | ○移動（佇立、前進、後退、転回など）<br>○視行動（首振り）  | 安全不確認、前方不注意   |

○：必ず実装すべき機能

☆：可能であれば実装することが望ましい機能であるが、挑戦的な課題

(1) 歩行者の基本歩行アルゴリズム

① 再現した歩行者の基本歩行モデル

本研究で作成した歩行者の基本歩行に関するアルゴリズムは以下の通りである。

(i) 出現位置と目標位置が与えられる。(入力またはランダム)

(ii) 歩行者の自由移動速度は歩行者生成時に歩行者の属性として、ランダムに生成される。

(iii) 目標位置に到達するために、道路の横断が必要かどうかを判断する。

(iv) 道路の横断が必要な場合、横断開始位置を横断が必要な区間内でランダムに決定する。

(v) 道路の横断が必要な場合、横断角をランダムに決定する。

② アルゴリズムの設定方法

各アルゴリズムの設定方法を以下に示す。

(i) 出現位置・目標位置

シミュレーションでは、出現位置と目標位置を入力として与えた。出現位置と目標位置は、ランダムで与えることも可能である。

(ii) 自由歩行速度

歩行者の自由歩行速度は歩行者毎に異なり、歩行者の属性として与える。歩行者の自由歩行速度として、対数正規分布 ( $\mu=1.2\text{m/s}$ ,  $\sigma=0.25\text{m/s}$ ) を仮定した。歩行者の生成時に歩行速度分布に基づいた乱数を作成することで歩行者の自由歩行速度を決定した。

(iii) 横断が必要かどうかの判断

歩行者エージェントモデルの基本歩行の再現に際し、作成した道路を図 3.2.4-1 に示す。歩行者生成時の出現位置と目標位置の歩道 (歩道 1 or 歩道 2) が異なる場合に道路の横断が必要であると判断する。この判断は、歩行者生成時に行う。

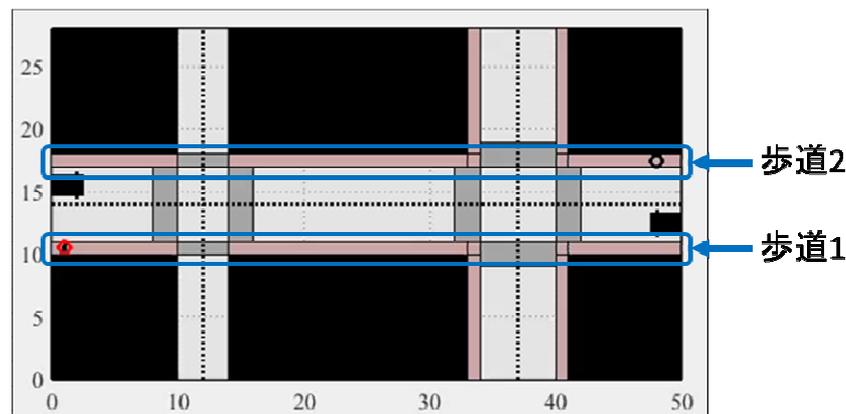


図 3.2.4-1 作成した道路

(iv) 横断開始位置

単路における横断では、歩行者の横断開始位置は横断する歩行者毎に異なるため、横断開始位置を横断が必要な区間内でランダムに決定する。歩行者生成時に (iii) 横断が必要かどうかの判断で横断が必要とされた場合、図 3.2.4-2 に示すような出現位置から目的地までの区間を長さとする 0.1m 刻みの一様分布の乱数を作成し、作成した乱数の値から横断開始位置を決定した。

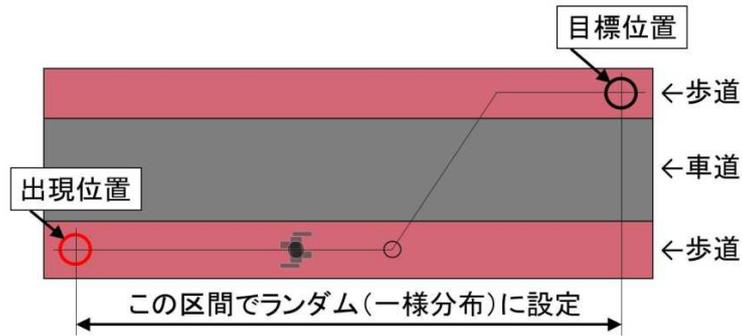


図 3.2.4-2 横断開始位置

(v) 横断角度

歩行者の横断角度も歩行者毎に異なるため、歩行者の属性として与える。歩行者の横断角度として正規分布 ( $\mu=9.43^\circ$ 、 $\sigma=33.1^\circ$ ) を仮定した。横断角度分布に基づいた乱数を作成し、歩行者の横断角度とした。

③ 基本歩行再現シミュレーションの結果

作成した基本歩行モデルを用いたシミュレーションの様子を図 3.2.4-3 に示す。開始後 5 秒付近で歩行者が道路横断を開始しており、10 秒付近で横断を完了している。さらに、10~15 秒付近では横断歩道を渡っている様子が確認できる。

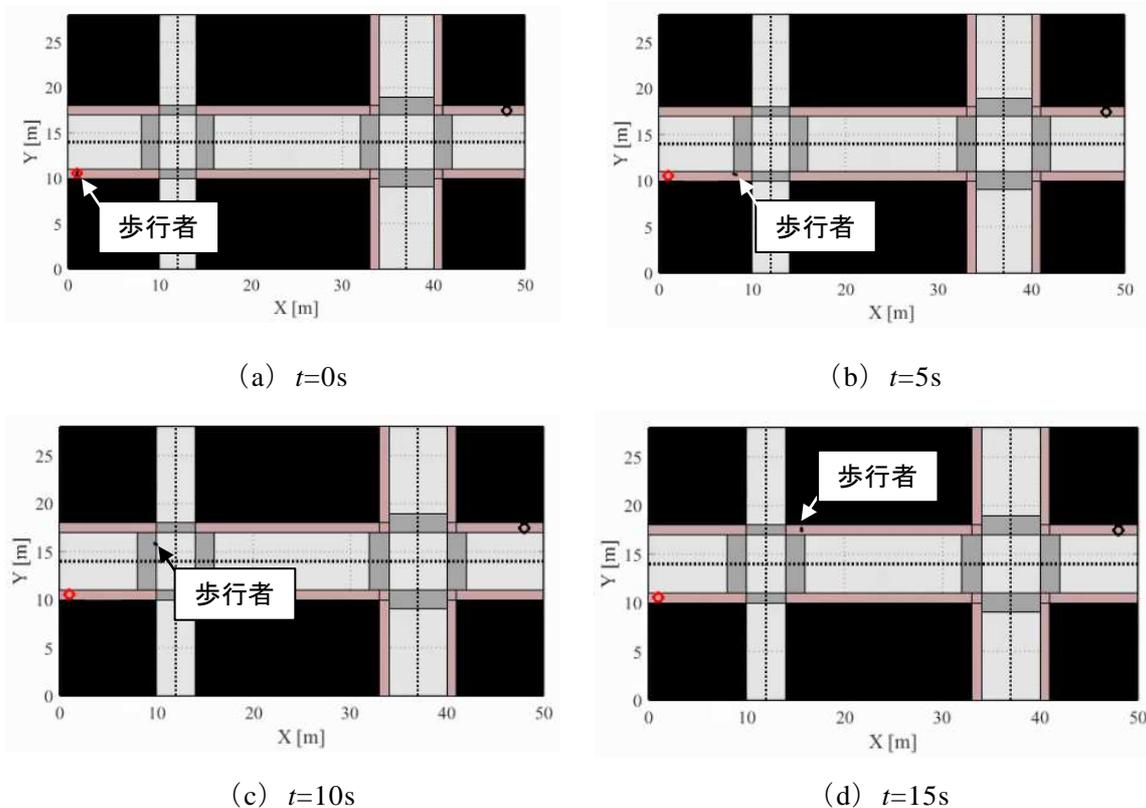


図 3.2.4-3 基本歩行シミュレーションの様子

## (2) 歩行者挙動の計測手法の検討

歩行者モデルを構築するためには、実際の人間の歩行挙動（歩行軌跡）を計測し、歩行挙動に関するモデルパラメータを同定することが必要になる。本研究では、以下の2つの手法について検討する。

- ・ レーザレンジファインダを用いた計測

歩行者が存在する空間にレーザレンジファインダを設置し、レーザレンジファインダから歩行者までの距離を時系列的に計測することで、歩行者の歩行軌跡（時系列の位置データ）を計測する手法を開発する。レーザレンジファインダで得られる情報は、レーザ射出方向に存在する物体までの距離であるため、レーザレンジファインダによる計測データのうちどれが歩行者であるかを識別する技術が必要となる。本項目では、実際にレーザレンジファインダを用いて実際に人間が歩行している空間のデータを計測し、この識別技術を開発する。

- ・ 遠隔操縦式マルチコプタによる空撮映像を用いた計測

歩行者の挙動は、基本的に道路平面内の2次元の挙動であるため、道路上空に何らかのセンサを配置して歩行者の位置計測を行うことが効果的である。そこで、本項目では道路上空にセンサを配置する手法として遠隔操縦式マルチコプタに着目し、空撮映像の画像処理により歩行軌跡を計測する手法を検討する。遠隔操縦式マルチコプタは上空にて完全に静止することができないことから、空撮画像からカメラ位置を補正する技術と、映像から歩行者を検出する技術が必要となる。本項目では、実際に遠隔操縦式マルチコプタを用いて人間が歩行している空間の映像を撮影し、この計測技術を開発する。

### ① レーザレンジファインダを用いた計測手法の開発

レーザレンジファインダは、レーザを射出し、射出されたレーザが物体に当たり跳ね返ってくるまでの時間を計測することで、レーザ射出方向に存在する物体までの距離を計測する。レーザレンジファインダにより取得される3次元点群を図3.2.4-4に示す。図3.2.4-4に示すように、今回用いたレーザレンジファインダ（Velodyne VLP-16）は横方向に360°縦方向に15°の範囲でレーザを照射し、周囲に存在する物体までの距離を取得している。本節では、計測データのうちどれが歩行者であるかを識別する技術について述べる。

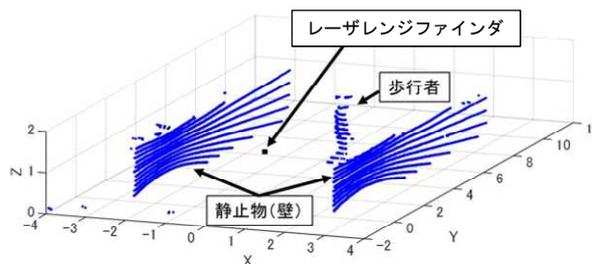


図 3.2.4-4 レーザレンジファインダにより取得される3次元点群

#### (i) 歩行者の識別

本計測では、レーザレンジファインダは移動せず固定して計測を行うため、レーザレンジファインダと周囲に存在する壁や道路標識などの静止物までの位置関係は、計測中は変化しないため、予め静止物のある領域を取得することができる。そのため、計測データの中から、静止物のある領域のデータを取り除くことで計測データから歩行者を識別することが可能である。例えば、図3.2.4-5に示す環境から得られる計測データを図3.2.4-6とすると、領域以外の計測データを取り除くことにより図3.2.4-7に示すように計測データから歩行者を識別することができる。

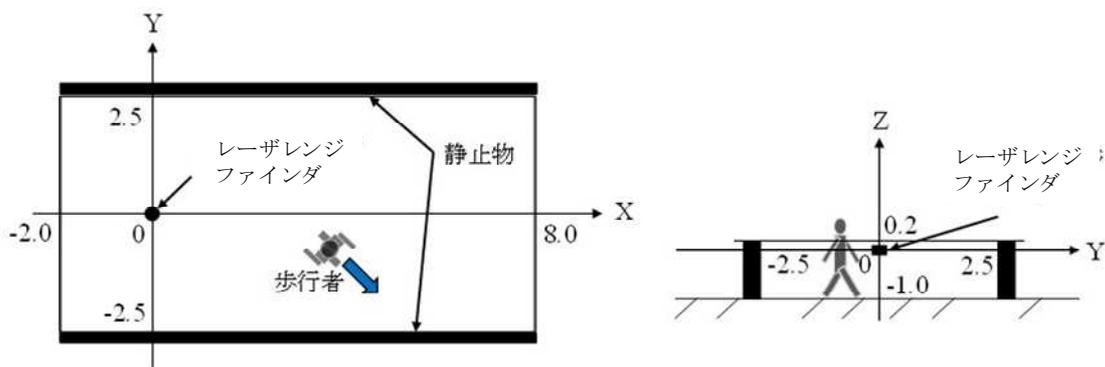


図 3.2.4-5 計測する環境の例

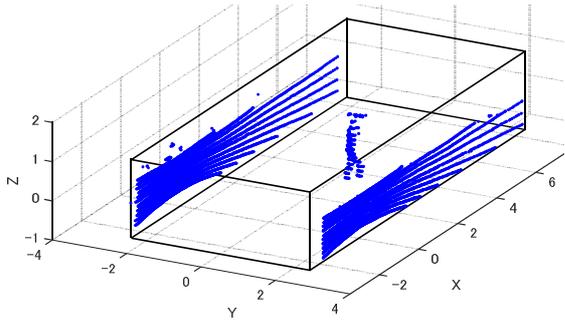


図 3.2.4-6 抽出する領域

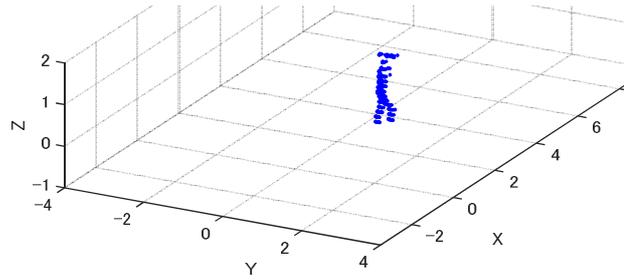


図 3.2.4-7 識別された歩行者

(ii) 歩行者代表点の算出

識別された歩行者は3次元のN個の点群データとして取得される。このN個の点群データの座標を  $(x_i, y_i, z_i)$  ただし  $i=1,2,\dots,N$  とすると、式 (3.2.4-1) により歩行者の点群の重心点を算出し、その点を歩行者代表点 (図 3.2.4-8) として扱い、軌跡の算出を行う。

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i, \quad \bar{z} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N z_i \quad (3.2.4-1)$$

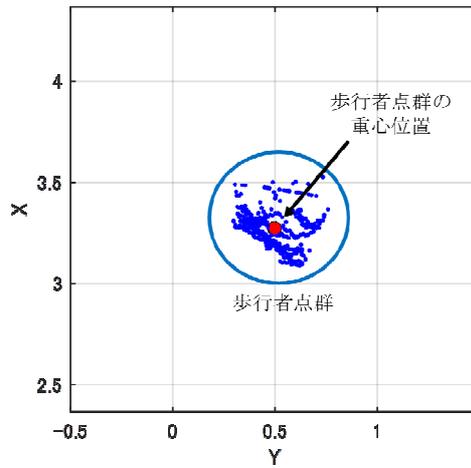


図 3.2.4-8 歩行者点群の重心

② 空撮による歩行者挙動の取得方法の開発

画像平面上の位置と世界座標系における位置との対応は式 (3.2.4-2) または式 (3.2.4-3) により表される。ここで  $(X, Y, Z)$  は世界座標系の 3 次元座標を表し  $(u, v)$  は画像平面に投影された点の座標を表している。A はカメラの内部パラメータを表す行列を示している。 $(c_x, c_y)$  は画像中心、 $f_x, f_y$  はピクセル単位で表される焦点距離を示している。内部パラメータ行列はカメラ固有の値を持つので、一度推定を行えば繰り返し使用することができる。 $[R|t]$  は並進一回転の同次変換行列であり、外部パラメータ行列と呼ばれ、カメラ位置・姿勢角を表している。

$$sm' = A[R|t]M' \quad (3.2.4-2)$$

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.2.4-3)$$

(i) カメラの内部パラメータの推定

カメラの内部パラメータを求める手法としては、チェッカーボードを用いた手法がよく用いられている。1 つのマスの一辺が 34mm のチェッカーボードを空撮に用いるカメラで様々な位置・角度から撮影し、撮影した画像から Matlab の CameraCalibrator を用いてカメラの内部パラメータの推定を行った。CameraCalibrator により得られたカメラの内部パラメータを式 (3.2.4-4) に示す。

$$\begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1481.7 & 0 & 814.6 \\ 0 & 1479.0 & 473.9 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.2.4-4)$$

(ii) カメラの位置・姿勢角の導出

式 (3.2.4-4) のカメラの内部パラメータ行列と外部パラメータ行列を一つの行列 (カメラパラメータ行列) にまとめると、式 (3.2.1-5) は式 (3.2.4-6) のように表すことができる。

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.2.4-5)$$

式 (3.2.4-5) を展開し、上式のカメラパラメータ  $(P_{11}, P_{12}, \dots, P_{34})$  をまとめると、

$$\begin{bmatrix} X_i & Y_i & Z_i & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_i X_i & -u_i Y_i & -u_i Z_i \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_i & Y_i & Z_i & 1 & -v_i X_i & -v_i Y_i & -v_i Z_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{11} \\ P_{12} \\ \vdots \\ P_{34} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \end{bmatrix} \quad (3.2.4-6)$$

となる。カメラパラメータ 12 個に対して式が 2 つあるので、実世界上の位置と画像上の位置が対応づけられる点が 6 点あればカメラパラメータが求まる。カメラパラメータが

求まれば、カメラの位置・姿勢角は式 (3.2.4-7) により求めることができる。

$$\begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & t_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & t_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & t_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} \end{bmatrix} \quad (3.2.4-7)$$

計測では、以下に示す AR マーカを実験環境中に配置し、OpenCV の関数を用いて AR マーカの四隅をそれぞれ実世界上の位置と画像上の位置が対応づけられる点として検出する。そのため、AR マーカ 1 つに対して実世界上の位置と画像上の位置が対応づけられる点が 4 つ取得できるので、AR マーカが 2 つ以上画面内に存在すれば式 (3.2.4-7) を解くことによって、カメラの位置・姿勢角を求めることができる。カメラの位置・姿勢角を求めるのに用いる AR マーカを図 3.2.4-9 に示す。

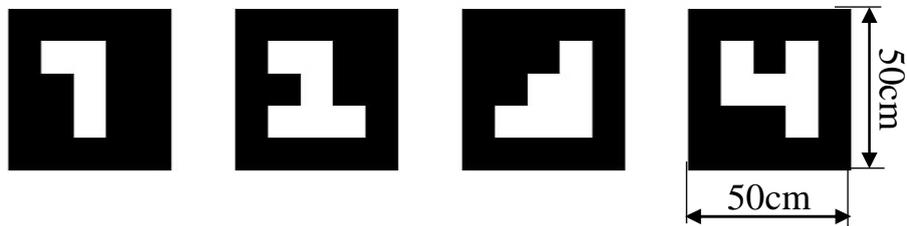


図 3.2.4-9 カメラの位置・姿勢角を求めるのに用いる AR マーカ

### (iii) 画像上の歩行者の検出

画像上の歩行者位置  $(u, v)$  は、以下に示す 1 辺 30cm の AR マーカ (図 3.2.4-10) を取り付けたヘルメットを実験参加者に装着してもらい、この AR マーカを検出することで取得する。

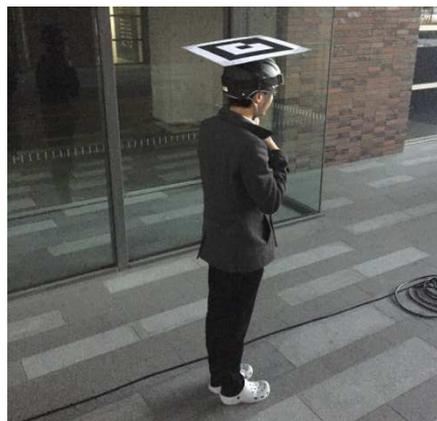


図 3.2.4-10 歩行者用 AR マーカ

(iv) 画像上の位置から世界座標上の位置への変換

画像上の歩行者位置  $(u,v)$  から世界座標上の位置  $(X,Y,Z)$  に変換するには、求めたカメラパラメータ  $(P_{11}, P_{12}, \dots, P_{34})$  を用いて、式 (3.2.4-5) の逆変換を行えばよいが、カメラパラメータ行列は正方行列ではないため、逆行列を求めることができない。そこで、求める世界座標上の位置  $(X,Y,Z)$  はすべて地面 ( $Z=0$ ) にあると仮定し、式 (3.2.4-5) を、世界座標上の位置  $((X,Y):)$  について解くと以下の式が求まる。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{14} \\ P_{21} & P_{22} & P_{24} \\ P_{31} & P_{32} & P_{34} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.2.4-8)$$

(v) 高さ補正

前項で示したように、式 (3.2.4-8) により算出される世界座標上の位置  $(X,Y)$  は、図 3.2.4-11 に示すように、地面 (投影面上 ( $Z=0$ )) に投影した位置を示している。そこで歩行者につけた AR マーカの高さ  $z_{ped}$  に応じた補正を行い、歩行者の位置  $(X',Y')$  を式 (3.2.4-9) によって算出する。

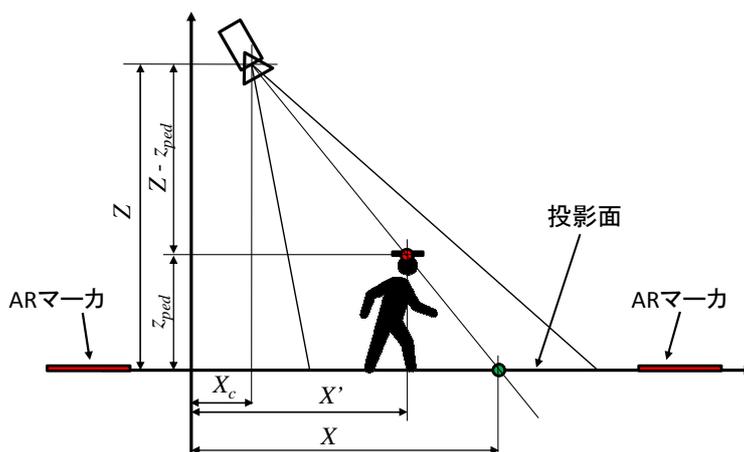


図 3.2.4-11 投影面上の位置と歩行者用 AR マーカ高さにおける位置の関係

$$\begin{cases} X' = (X - X_c) \frac{Z - z_{ped}}{Z} + X_c \\ Y' = (Y - Y_c) \frac{Z - z_{ped}}{Z} + Y_c \end{cases} \quad (3.2.4-9)$$

(vi) 誤検出の削除

AR マーカを検出する際、まれに AR マーカ以外のものを AR マーカとして検出してしまふことにより、歩行者の位置の算出結果が大きく外れることがある。そこで、1 つ前のステップで算出した歩行者の位置と新たに算出した歩行者の位置との差を計算し、閾値以上の差が生じていた場合はマーカが誤検出されているとして、その値は歩行者の位置データとして使用しないことにした。

### ③ 歩行者挙動の計測実験

#### (i) データの取得に用いた計測機器

以下に、データの取得に用いた計測機器を示す。なお、レーザレンジファインダは 10Hz でデータを取得し、カメラの撮影スピードは 30fps で行った。

##### a. レーザレンジファインダ

- ・全方位 LiDAR センサ VLP-16 (Velodyne) 1台

##### b. カメラ

- ・DSC-TX30 (ソニー) 1台

#### (ii) 実験環境

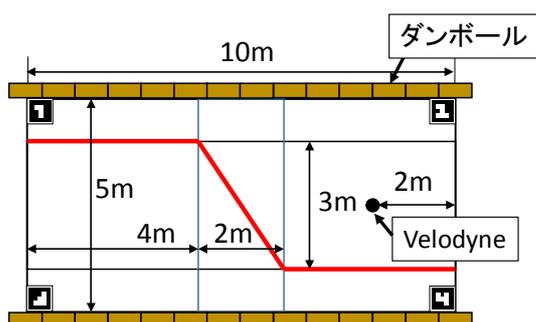
図 3.2.4-12 に示す実験環境を作成し、計測データの取得を行った。実際に作成した環境の画像を図 3.2.4-12 に示す。図 3.2.4-12 に示すように、道路を想定した領域は幅 5m 長さ 10m の長方形の領域とし、道路境界として幅 5m の道路の外側にダンボールで高さ 1.2m の壁を作成した。また、AR マーカを、道路を想定した領域の 4 隅に配置した。空撮した映像からの実世界上の座標に変換する際、この AR マーカを基準として座標変換を行う。道路を想定した領域内には地面に目標となる歩行経路を設置した。レーザレンジファインダは道路幅の中央で、道路を想定した領域の一方の入り口から 2m の位置に配置した。カメラは道路を想定した領域の中央の上空約 10m の位置から撮影を行った。

#### (iii) 実験条件

実験参加者：2名 (23歳、男性)

実験参加者への指示内容：

- ・地面に描いた歩行経路 (図 3.2.4-12 における赤線) に沿って歩くよう指示。
- ・歩行速度については任意とした。



見取り図



実際の状況

図 3.2.4-12 作成した実験環境

#### ④ 歩行者挙動の計測結果

##### (i) レーザレンジファインダを用いた歩行者挙動の計測結果

実験参加者 1 を一例として、図 3.2.4-13 にレーザレンジファインダにより計測した結果を示す。レーザレンジファインダにより計測したデータから抽出した歩行者の点群の重心の移動軌跡、及び目標経路の誤差をそれぞれ図 3.2.4-14、図 3.2.4-15 に示す。

ただし、図 3.2.4-15 における移動軌跡と目標経路との誤差  $D$  は、歩行者点群の重心位置を  $P=(x,y)$ 、目標経路の一つの直線の始点を  $Q_1=(x_1,y_1)$ 、終点を  $Q_2=(x_2,y_2)$  とすると、以下に示す式 (3.2.4-9) により算出した。今回の場合、目標経路が 3 つの直線から構成されているので、目標経路である 3 つの直線に対して、式 (3.2.4-10) の計算を行い、その中から最小のものを移動軌跡と目標経路との誤差  $D$  とした。

$$D = \frac{\left| \det \begin{bmatrix} Q_2 - Q_1 \\ P - Q_1 \end{bmatrix} \right|}{\|Q_2 - Q_1\|} \quad (3.2.4-10)$$

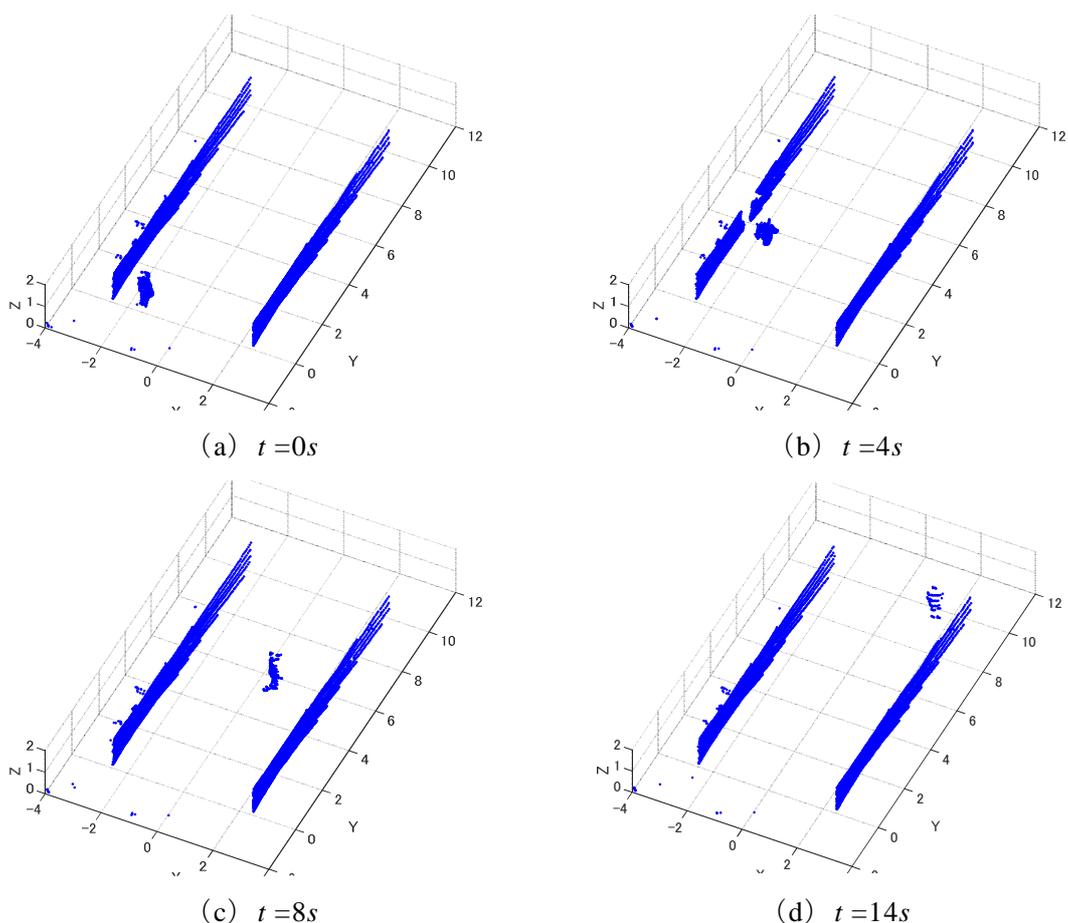


図 3.2.4-13 レーザレンジファインダによる計測データ (参加者 1)

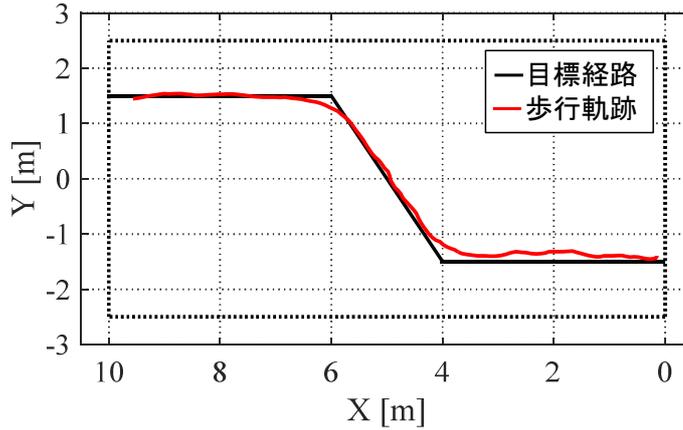


図 3.2.4-14 レーザレンジファインダから得られた移動軌跡（参加者 1）

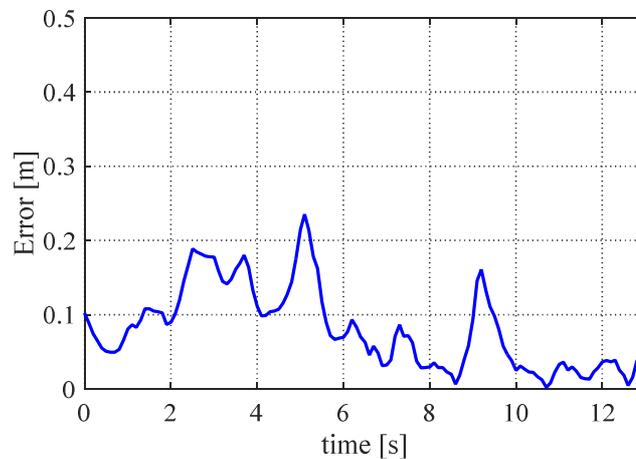


図 3.2.4-15 レーザレンジファインダから得られた移動軌跡と目標経路との誤差（参加者 1）

図 3.2.4-15 において、0～5s の領域における目標経路からの誤差は 0.1m~0.2m であり、後半に比べて誤差が大きくなっている。レーザレンジファインダは、図 3.2.4-16 に示すようにレーザが跳ね返る部分までの距離を取得するため、レーザレンジファインダで計測される点群は歩行者の輪郭のうち、レーザレンジファインダが存在する部分の輪郭のみである。そのため、得られる点群の重心は歩行者の中心よりも、レーザレンジファインダの存在する側に偏ることになる。人間は前後方向よりも横方向に長い形状をしているため、歩行者の横方向からレーザが当たる 0～5s の区間ではこの影響をより強く受け、誤差が大きくなる。歩行者の前後方向側にレーザが当たる 10s よりも後の領域では、目標経路との誤差は 0.1m 以下程度であり、良好に歩行者の位置を取得することができた。

なお、参加者 2 の移動軌跡と目標との誤差についても、以上の結果と同様の傾向を示していた。

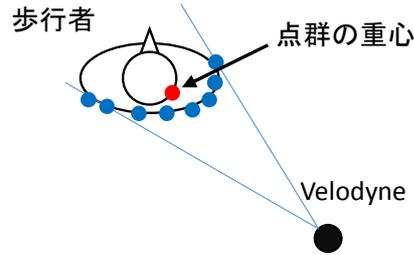


図 3.2.4-16 計測される歩行者点群とその重心

(ii) 空撮映像を用いた歩行者挙動の計測結果

実験参加者 1 を一例として、図 3.2.4-17 に空撮映像により計測した結果を示す。実験参加者 1 を撮影した空撮映像から抽出した歩行者の移動軌跡、及び目標経路の誤差をそれぞれ図 3.2.4-18、図 3.2.4-19 に示す。マーカ誤検出の閾値は 0.8m で前ステップの算出結果と大きく外れるものがなくなったため 0.8m とした。図 3.2.4-19 より、目標とのずれが 0.2m 以下程度で歩行者の位置を取得できていることが分かる。ただし、図 3.2.4-17 に示すように始めの 1.5 秒間や終りの 2 秒間（13 秒付近）では、歩行者に装着した AR マーカが画像内に入っていないため位置データが計測できていない。なお、歩行者に装着した AR マーカが画像内に入っているにも関わらず、2.1 秒時点、5.5 秒時点、10.8 秒時点のように位置データが計測できていない部分もあった。図 3.2.4-20 に位置データが計測できなかった例として 5.5 秒時点でのマーカ検出の様子を示す。

参加者 2 については、マーカ誤検出の時間は実験参加者 1 と多少異なるものの、移動軌跡と目標との誤差は、以上の結果と同様の傾向を示していた。

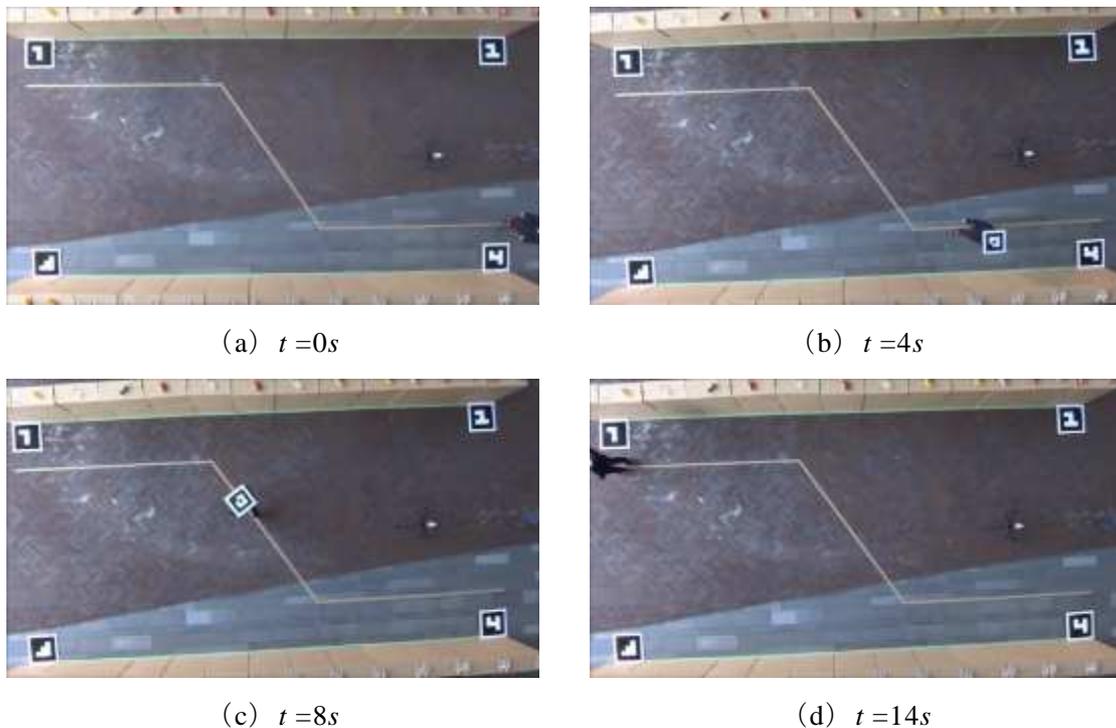


図 3.2.4-17 カメラにより撮影した映像

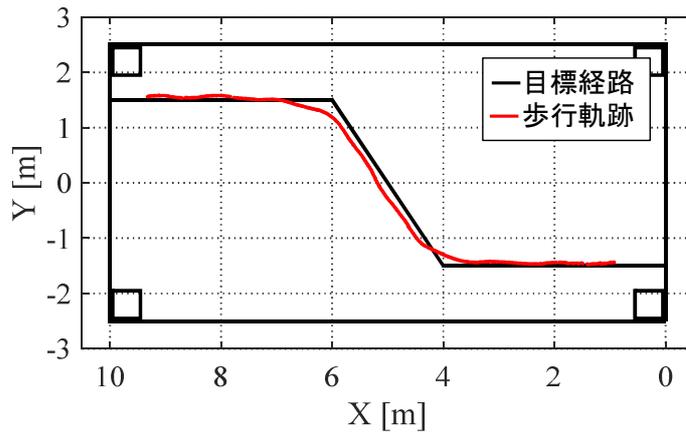


図 3.2.4-18 空撮映像から得られた歩行者の移動軌跡 (参加者 1)

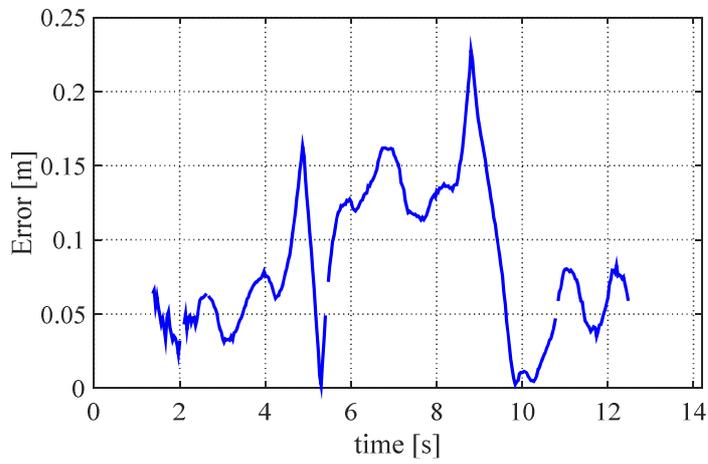


図 3.2.4-19 空撮映像から得られた歩行者の移動軌跡と目標経路との誤差 (参加者 1)

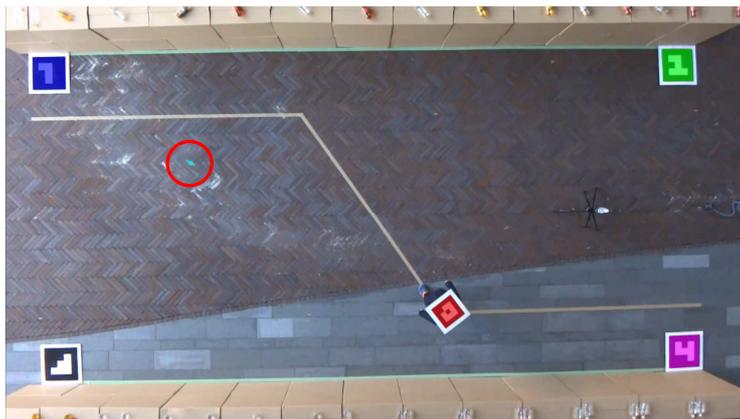


図 3.2.4-20 マーカ検出の様子 (5.5s)

### (3) まとめ

道路を横断する歩行者の基本歩行モデルを構築しシミュレーションによりアルゴリズムの確認を行った。本モデルにより、一方の歩道を通行している歩行者が車道を横断し、もう一方の歩道に移動するといった道路横断行動を表現することができた。しかし、本シミュレーションでは、歩行者の速度分布と横断角度分布は仮定の速度分布・横断角度分布を用いている、今後は、実際の歩行者の挙動を観測することにより、速度分布・横断角度分布を取得する必要がある。

レーザレンジファインダによる計測データの中から歩行者の点群の識別を行い、識別された点群から、時系列の歩行者位置を取得する実験を行った。また、撮影した空撮映像から AR マーカを用いた歩行者の検出を行い、カメラ位置を補正する技術により、撮影した映像から時系列の歩行者位置を取得する実験を行った。どちらの方法においても歩行者の位置データが取得でき、得られた結果は目標経路と概ね一致していた。

ただし、レーザレンジファインダによる計測では、人間の片面にしかレーザが照射されないことに起因する誤差が生じるため、今後はこの誤差を補償するような計測手法の改良が望まれる。空撮映像を用いた映像では、AR マーカが正しく検出できず、データが取得できない時間が存在した。今後は AR マーカの検出精度向上策やデータの補間方法の検討が必要である。また、今回の実験では歩行者の移動速度については検証できていないため、今後検証が必要である。

### 3.3 開発したシミュレーション技術の実証

自動走行システムがもたらす効果に関する最も単純な評価方法は、図 3.3-1 に示すようなシステムがない場合とある場合で同じシナリオを比較し、式 3.3.1 で定義される指標によって低減効果の評価することである。本事業で開発するシミュレーション技術を活用することによって、従来の事故件数の低減や衝突速度の低減といった個別の効果の評価にとどまらず多角的な視点で効果を総合的に評価できる可能性がある。このような評価を実施するためには、妥当性を有したシミュレーション技術を開発できたかどうかを実証するためのプロセスが不可欠である。本事業のシミュレーション技術の検証対象となる妥当性とは、最終的な効果評価の結果が事故実態に整合する結果を示しているのかだけでなく、交通参加者（ドライバ、歩行者など）の行動をどのような概念・データ・手法に基づいてモデル化したのか、モデル化したものが現実の行動を模擬しているのかなどをそれぞれ検証することが求められる。そのためには本事業で開発したシミュレーション技術の実証に関するプロセスを明確にして、開発状況に応じて実施するべき検証を取り組んでいくことが重要である。

そこで、本節では、本事業のシミュレーション技術が評価する対象となる交通事故低減詳細効果を選定・定義し、効果を適正に評価するための効果評価モジュールの要件を整理する。さらに、シミュレーション技術を活用して得られる評価結果に関する妥当性を検証するための全体的な構想をまとめる。

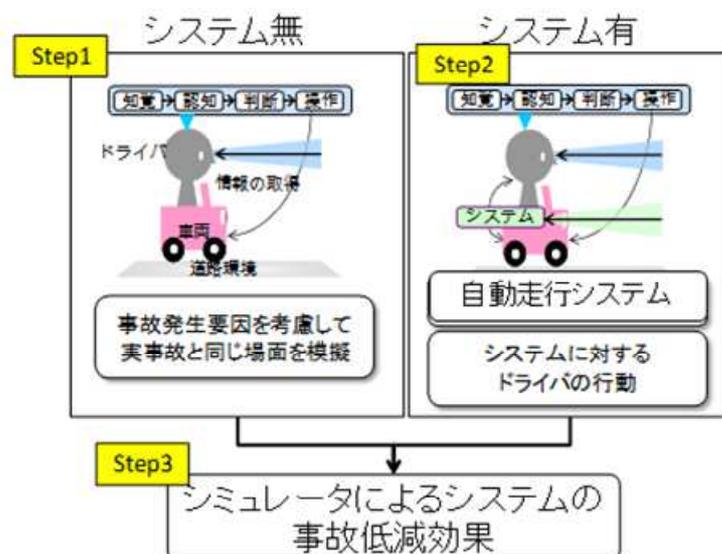


図 3.3-1 効果評価の考え方

$$E = 1 - \frac{N_w}{N_{wo}} \quad (3.3.1)$$

### 3.3.1 評価対象となる交通事故低減詳細効果の選定・定義

本事業の目的は、自動走行システムがもたらす交通事故低減詳細効果を見積もることである。そこで本項では、見積もる対象となる詳細効果として対象となる項目の選定と定義を行い、その評価方法について述べる。

本事業で詳細効果の対象とする項目は図 3.3.3-1 に示すに「衝突に伴うもの」と「衝突に伴わないもの」の二つに大別する。「衝突に伴うもの」とは、事故を防止することはできなくとも自動走行システムの作動による衝突速度の低減などが乗員や歩行者の受傷程度を緩和する効果を表すものである。これによって、死亡していた事例が重傷になったり、重傷であった事例が軽傷になったり、負傷していた事例が無傷になったりする効果をシステム有無で比較することができる。「衝突に伴わないもの」とは、事故を防止することを対象としたものであり、衝突していた事例が衝突せずにすむ効果を表すものである。ただし、今後の自動走行システムの作動範囲（危険顕在化前の領域を対象とする）を想定すると、事故件数が低減することだけではなく、ニアミス件数が低減することや自動走行システムが対象とする危険な場面数（ドライバの脇見運転、漫然運転、速度超過など）が低減することも評価対象とする必要がある。

| 事故に伴うもの  | 事故に伴わないもの  |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• 死者数の低減</li> <li>• 負傷者数の低減</li> <li>• 事故件数の低減</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• ニアミス件数の低減</li> <li>• 自動走行システムなどが対象とする危険な場面数の低減</li> </ul> |

図 3.3.1-1 交通事故低減詳細効果の対象となるもの

例えば、近年普及が拡大している衝突被害軽減制動制御装置を例とすると図 3.3.1-2 のような効果の評価することが考えられる。システムがある場合の衝突速度の低減、死者数・重傷者数・軽傷者数の低減、無傷者数の増大などが衝突に伴う効果であり、警報作動によるドライバが危険認知した時の速度の低減、距離の増大、ブレーキタイミングの早期化などが衝突に伴わない効果である。さらには、衝突に伴わない効果の一つとして、システムがある場合に平常時にドライバが確保する車間距離が増大するといった行動の変容も効果とみなすことも想定される。

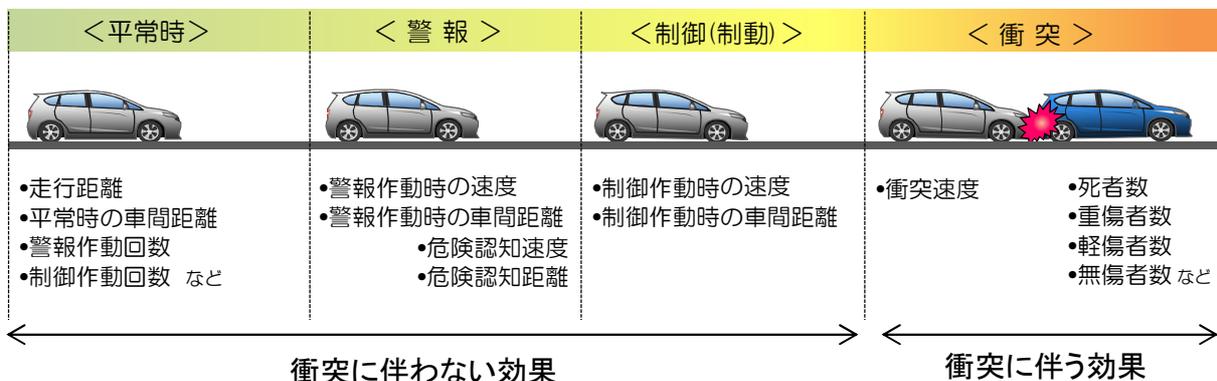


図 3.3.1-2 衝突に伴う効果と衝突に伴わない効果（衝突被害軽減制動制御装置の例）

このように交通事故低減詳細効果として考えられる対象は多様であり、自動走行システムの作動範囲（被害軽減を主目的としたもの、危険が顕在化した後の衝突回避を主目的としたもの、危険が顕在化する前の安全性向上を主目的としたもの）によって波及する効果が異なることになる。したがって、全ての項目を対象としてリアルタイム計算処理を行う場合、シミュレーションの効率が低下する恐れがある。また、前述したように評価対象となるシステムによって評価対象に含めるべき対象が変わることが考えられる。以上のことから、図 3.3.1-3 に示すように、シミュレーション実行中に効果評価のために必要なデータをログファイルへ格納し、使用者の目的に応じて評価項目を適宜選択できるような構造とすることが効果的と考えられる。

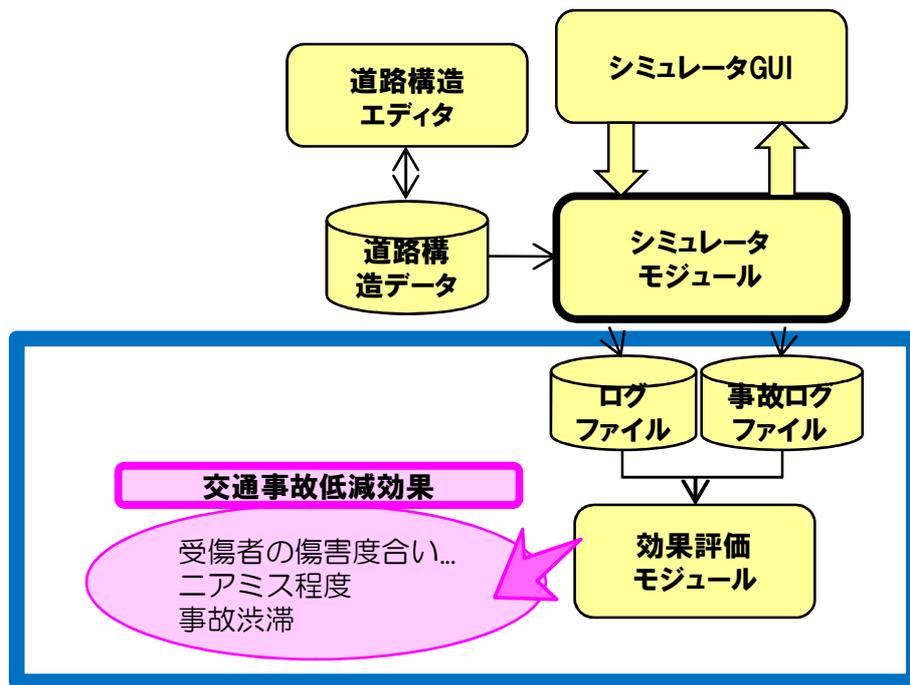


図 3.3.1-3 シミュレーション、ログファイル、効果評価モジュールの位置づけ

(1) 衝突に伴う交通事故低減詳細効果

図 3.3.1-4 は、衝突に伴う交通事故低減詳細効果を評価するための事故ログファイル、効果評価モジュール、評価結果の関係を示している。シミュレーション実行中に衝突が発生した場合に格納する事故ログファイルから、衝突位置・衝突角度・衝突速度・乗員年齢などを傷害評価モジュールに入力することで、乗員や歩行者の傷害程度が死亡・重傷・軽傷・無傷という観点で出力される。これらのデータからシステムによる死者数の低減などに関する定量的な評価が可能になると考えられる。

さらに、事故ログファイルから、車両重量、衝突角度、衝突速度などを車両挙動判定モジュールに入力することで、入力された条件によって事故時の二車両の車両挙動を判定した結果として、事故渋滞に影響する衝突・影響しない衝突という観点で出力される。このような観点で得られたデータは、自動走行システムがもたらす効果として、事故件数が低減することによる事故渋滞の減少、衝突速度の低減による事故渋滞への影響の減少という評価に活用することが考えられ、事故渋滞に伴う二酸化炭素の排出量を低減できる効果を定量的に評価することへ発展できる。

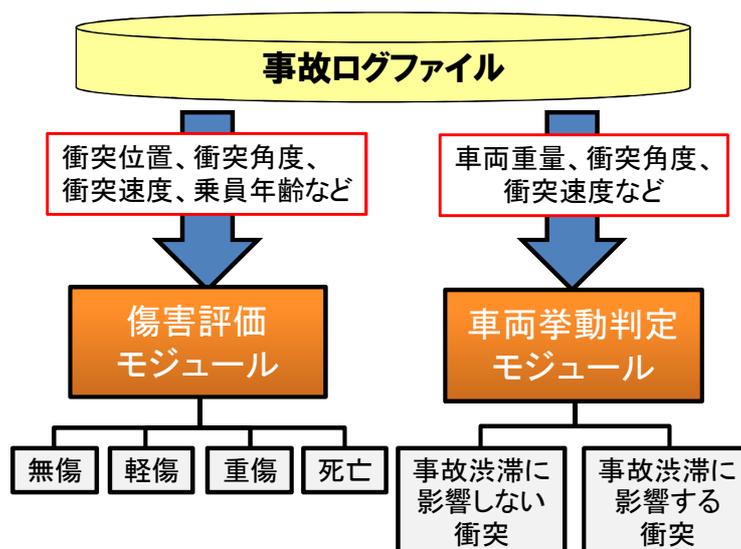


図 3.3.1-4 傷害評価モジュール・車両挙動判定モジュールの入出力関係

## (2) 衝突に伴わない交通事故低減詳細効果

図 3.3.1-5 は、衝突に伴う交通事故低減詳細効果を評価するためのログファイル、ニアミス評価モジュール、評価結果の関係を示している。シミュレーションでは衝突に至っていない場合にはログファイルに格納されるが、膨大なデータのなかから衝突するリスクが高いもの（例えば、衝突余裕時間（TTC）などの最小値）をニアミスと定義して、衝突に伴わない効果の評価の対象として抽出する。

ニアミスとして抽出したログファイルから、ブレーキ操作時の速度、最大減速度などをニアミス評価モジュールに入力することで、ニアミス時の TTC の最小値から低レベルのニアミス（2.5[sec]以上など）、中レベルのニアミス（1.0～2.5[sec]など）、高レベルのニアミス（1.0[sec]以下など）という観点で出力される。

なお、衝突リスクを示す評価指標については、追突事故を例にとっても TTC 以外にもさまざまな評価指標が提案されており<sup>17)</sup> 評価対象に適した評価指標を適宜選択することが考えられる。

これによって自動走行システムがもたらす効果として、システムがなければ衝突していた事例がニアミスとなったことに加えて、ニアミス時の衝突リスクを低減したことも評価することが可能となる。このような評価方法を検討する意義は、自動走行のレベル3のような危険が顕在化する前を対象とした自動走行システムを評価対象とした場合に重要性が高まることであると考えられる。

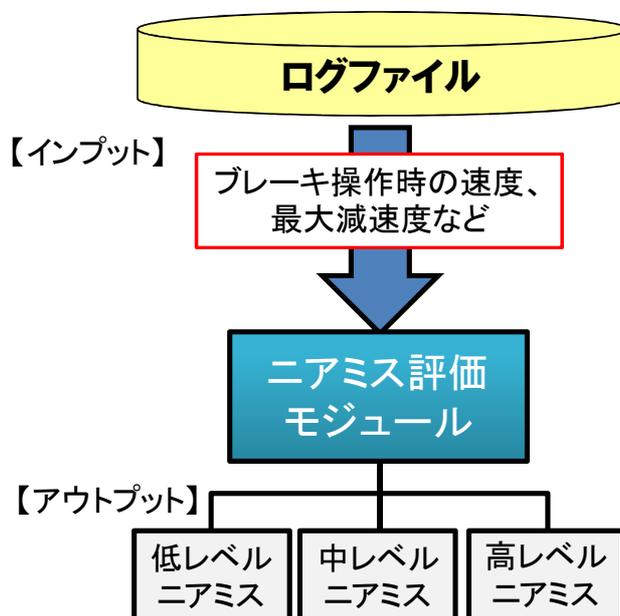


図 3.3.1-5 ニアミス評価モジュールの入出力関係

### 3.3.2 定量的な評価のための評価指標・評価ツールの要件

#### (1) 傷害評価モジュール

図 3.3.2-1 は、傷害評価モジュールの構造を示している。傷害評価を実施するため、衝突速度のみを用いて傷害発生率と速度の累積分布に適用して簡易的に計算する方法と日本の膨大な交通事故データに基づいて事故条件と乗員傷害の結果を説明する傷害予測アルゴリズムなどがある<sup>18) 19)</sup>。傷害予測アルゴリズムでは、車種の組み合わせ・乗員年齢・ベルト着用・多重衝突の有無などの差異を考慮できるため、本事業では傷害予測アルゴリズムを採用することが有効と考えられる。ただし、多重衝突の有無については、シミュレーション内で直接評価される対象ではないので、事故ログファイルに基づいて多重衝突の有無を別途判定するモジュールを用意することが必要である。本事業では、多重衝突の有無を判定することが直接的な目的ではないので取り扱わないことにする。ただし、将来的な効果評価の拡張性を確保するため、インプット用のパラメータとして用意することとする。

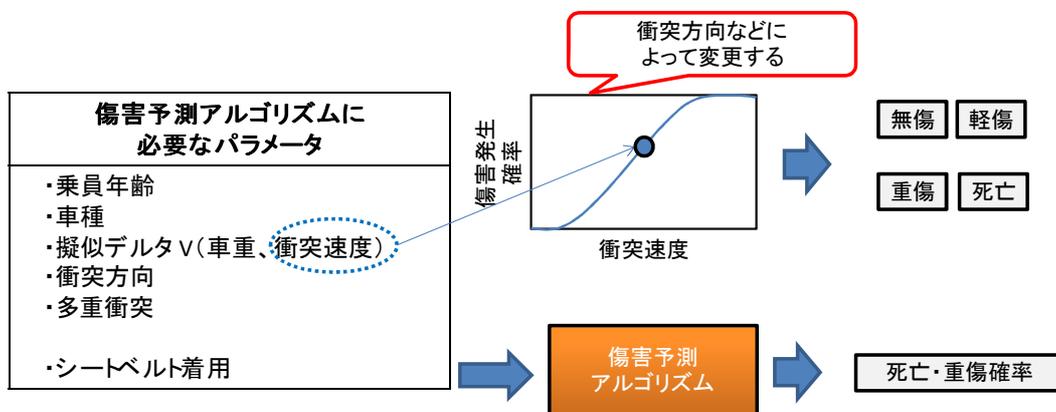


図 3.3.2-1 傷害評価モジュールの構造

#### (2) 車両挙動判定モジュール

図 3.3.2-2 は、事故渋滞に対する影響の度合いを評価するための衝突後の車両挙動を簡易的に判別するモジュールの構造を示している。衝突速度、衝突角度、車両重量に基づいて車両挙動を解析するため、既存の外部ソフトウェアを用いて二車両の最終停止位置を把握する<sup>20)</sup>。さらに、最終停止位置と事故発生地点の地図情報を照合することで、車線を塞ぐことで交通障害の影響が発生するかどうかを判別する。車両挙動を判別するために剛体解析ソフトウェア(CARS 2D)を簡易的な挙動の評価に活用することが効果的と考えられる。

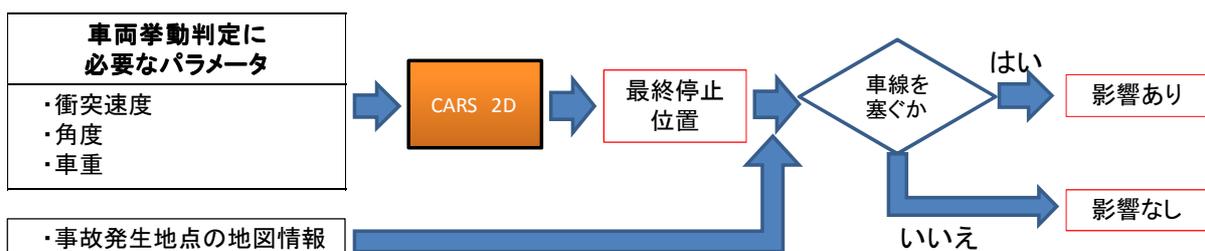


図 3.3.2-2 車両挙動判定モジュールの構造

図 3.3.2-3 は、交差点の出会い頭事故を想定した車両挙動判定を行った事例を示している。車両 1（青車両）の最終停止位置が交差点付近で車線を塞いでいることから、事故渋滞の影響のある事故であると判定する。

ただし、事故時の車両挙動の結果に基づいて事故渋滞への影響を判別することはできるが、事故渋滞の総延長距離や継続時間などの観点で定量化することは困難と考えられる。また、CARS 2D は Analytical Impact モデルに基づく運動量保存則を計算しているため、上記パラメータに加えて衝突中心や衝突の法線・接線方向の設定も必要になる。これらの設定は自動で設定されるものではなく、解析する際に利用者が自ら設定しなくてはならないことになる。以上のことから、事故渋滞への影響については、事故ログファイルに格納される事故を個別に判別する方式ではなく、衝突形態（正面衝突・追突事故・出会い頭事故など）、車種の組み合わせ（普通乗用車対普通乗用車、乗用車対軽乗用車、乗用車対大型貨物車など）、衝突条件の組み合わせ（衝突速度、衝突角度）に関するパターン別の渋滞への影響の度合いを予め用意しておき、事故ログファイルに格納されている事故条件と照合することが有効と考えられる。

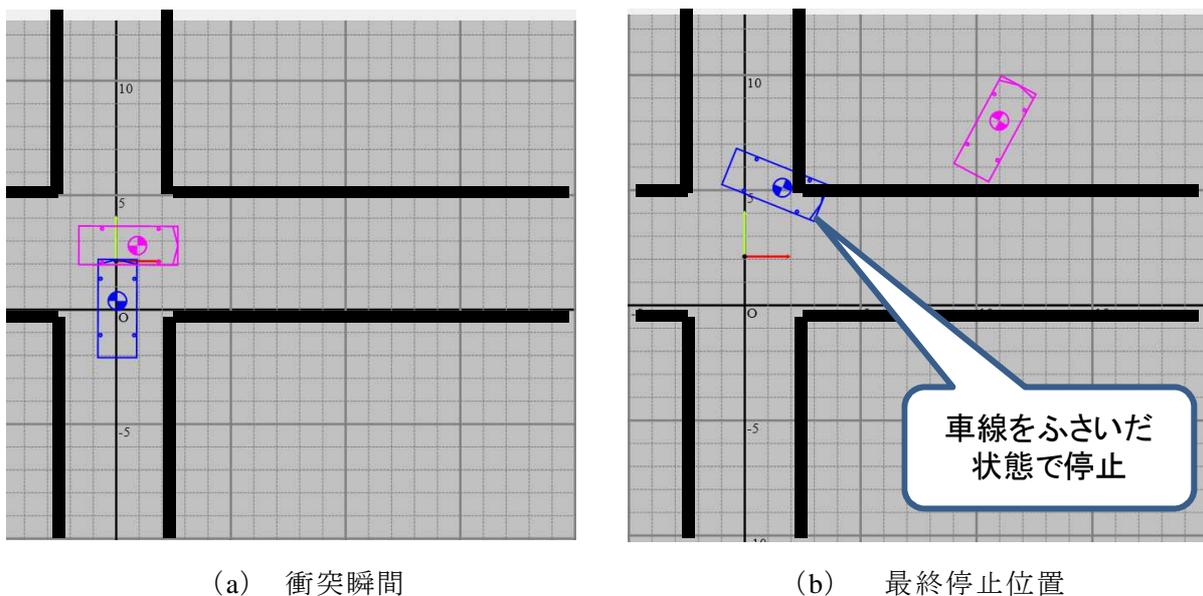


図 3.3.2-3 CARS 2D を用いた衝突挙動計算の例（出会い頭事故の場合）

### (3) ニアミス評価モジュール

図 3.3.2-4 は、ニアミス時の TTC の最小値などに基づいてニアミスレベルを評価するためのモジュールの構造を示している。この事例では、TTC の最小値を用いて高レベル、中レベル、低レベルのニアミスを判別する。将来的な拡張性を考慮し、評価する閾値や判断部を目的に応じて切り替えることが可能な仕組みとなっている。閾値や判断部を変更することによってニアミス以外の場面も評価対象として抽出できる構造とした。例えば、急激なハンドル操作に関連する操舵角の大きさを閾値として判断部内に設定することで、ドライバの急操舵が発生する場面を対象とした評価が可能となる。

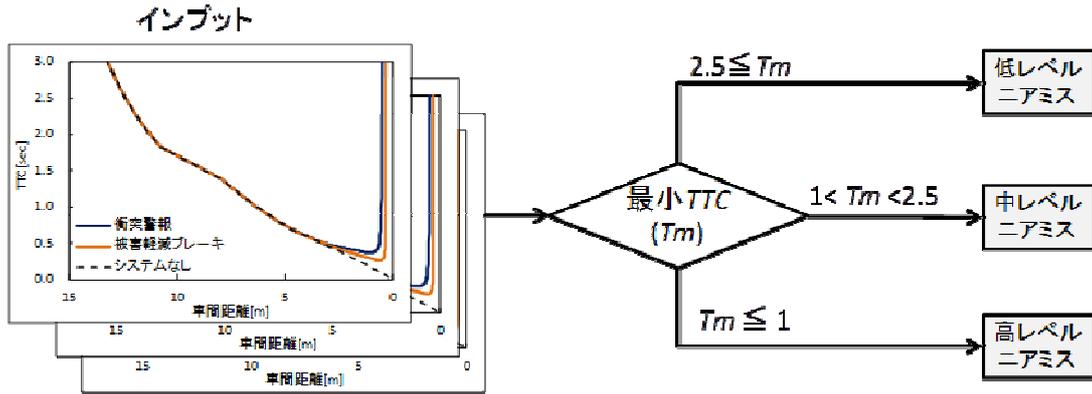


図 3.3.2-4 ニアミス評価モジュールの構造

(4) 定量化のためのデータを取得するための調査・実験が必要な効果

平成 27 年度は追従・追突場面を対象としたシミュレーションを開発し、平成 28 年度は車線逸脱場面・歩行者横断場面を対象としたシミュレーションを開発する計画である。より妥当性の高い交通参加者のモデルを構築するために調査・実験が必要な項目について記載する。

① 車線逸脱場面におけるドライバ行動モデル

車線逸脱場面におけるドライバの回避操作やシステムに対する反応特性に関するパラメータを取得した実験としては岩城ら<sup>21)</sup>が実施した以下のような実験がある。

【実験条件】

主な実験条件は以下の通りである（図 3.3.2-5）。

- 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 3.3.2-5 道路条件と壁までの距離<sup>21)</sup>

【モデル化方法】

車両が車線を逸脱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 3.3.2-6 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 (3.3.2-1) の様にモデル化している。

$$f(RT) = \frac{1}{x - 0.44\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(\log RT - 0.49)^2}{2 \cdot 0.44^2}} \quad (3.3.2-1)$$

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<sub>wall</sub>）を定義し、TTC<sub>wall</sub> 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<sub>wall</sub> の確率密度関数として検討している（図 3.3.2-11）。

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 $\delta$ との関係は、式 (3.3.2-2) 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。

$$\delta = 0.50 \cdot \dot{\delta} \quad (3.3.2-2)$$

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<sub>wall</sub> を用いて、式 (3.3.2-3) のような確率密度関数でモデル化している。

$$f(\dot{\Delta} | \mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(\log \dot{\Delta} - \mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3.3.2-3)$$

ただし、

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

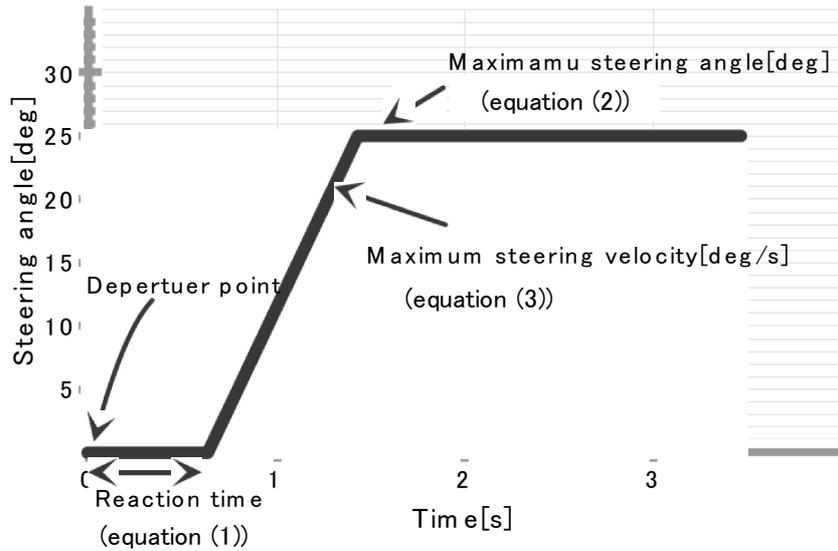


図 3.3.2-6 車線復帰操舵時の対応行動モデル<sup>21)</sup>

【検討結果及び展開】

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本事業のシミュレーションに活用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条件のみであること、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、交通事故総合分析センターが522件のマイクロ事故の車線を逸脱した要因を分析した結果<sup>22)</sup>を参照すると、脇見以外にも「速度超過」「居眠り」「飲酒」が要因として多いことが報告されている(図 3.3.2-7)。したがって、これらの状態を再現する優先度の高い対象としてドライバの特性データを取得していく必要がある。

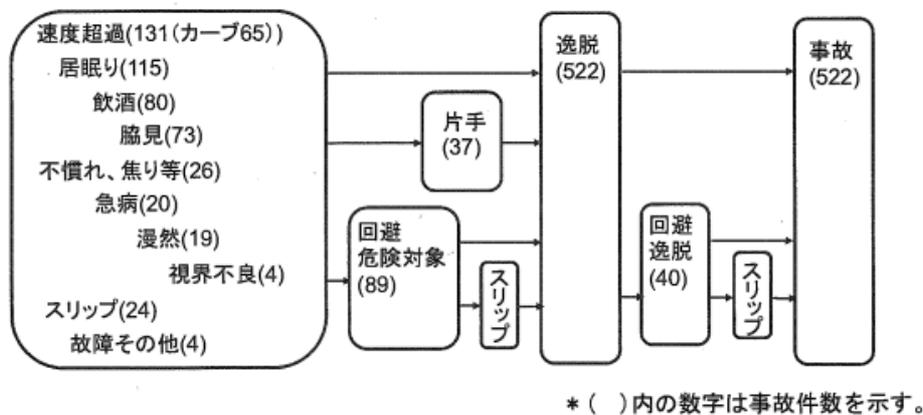


図 3.3.2-7 自動車車線逸脱事故における逸脱要因の分析結果<sup>22)</sup>

## ② 歩行者横断場面

### (i) 歩行者横断時のドライバの行動モデル

歩行者横断場面におけるドライバの回避操作やシステムに対する反応特性に関するパラメータを取得した実験としては岩城ら<sup>23)</sup>が実施した以下のような実験がある。

#### 【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）
- 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 3.3.2-8 に示したような走行フェーズに分けてモデル化を検討しており、各フェーズ間の移行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】

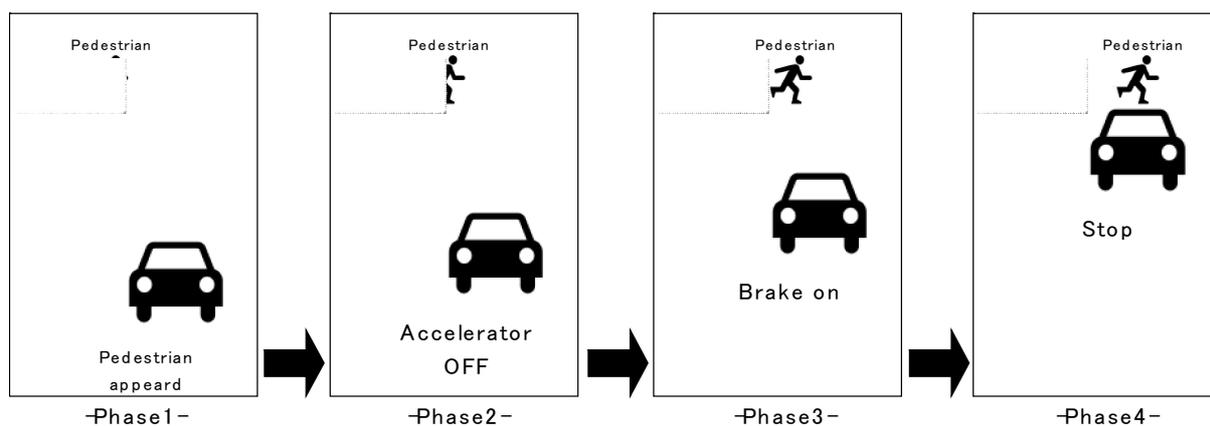


図 3.3.2-8 モデル化のための走行フェーズ<sup>23)</sup>

モデルの検討結果として、図 3.3.2-9 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。

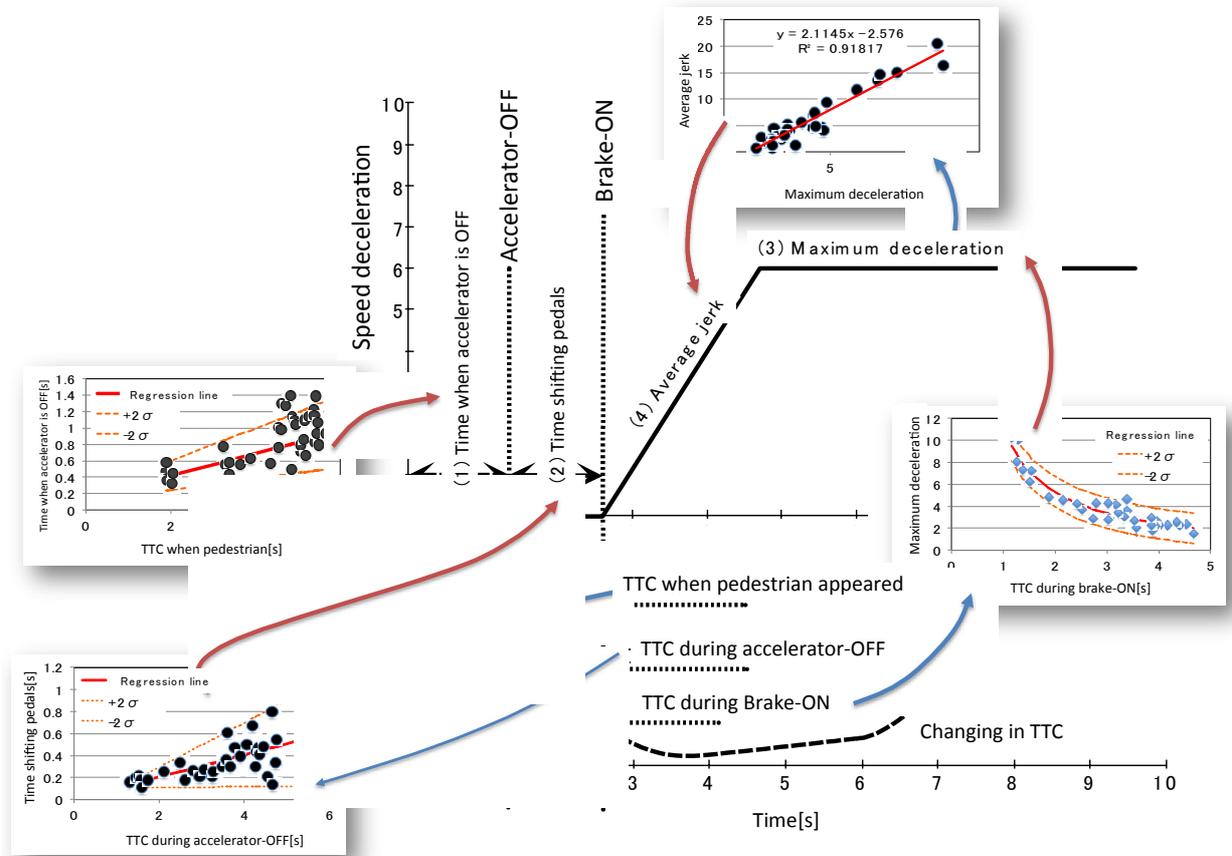


図 3.3.2-9 歩行者飛び出し時のドライバーの対応行動モデル<sup>23)</sup>

【検討結果及び展開】

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、図 3.3.2-10 に示したように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。

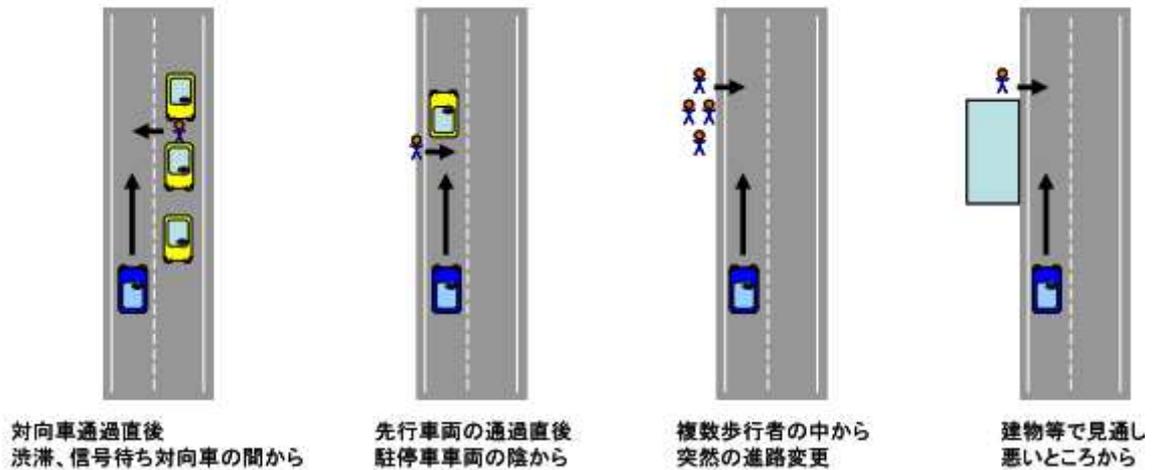


図 3.3.2-10 歩行者の飛び出しパターン<sup>24)</sup>

(ii) 歩行者の道路横断時の行動モデル

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<sup>25)</sup>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、歩道歩行及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 3.3.3-11 のように求めている。

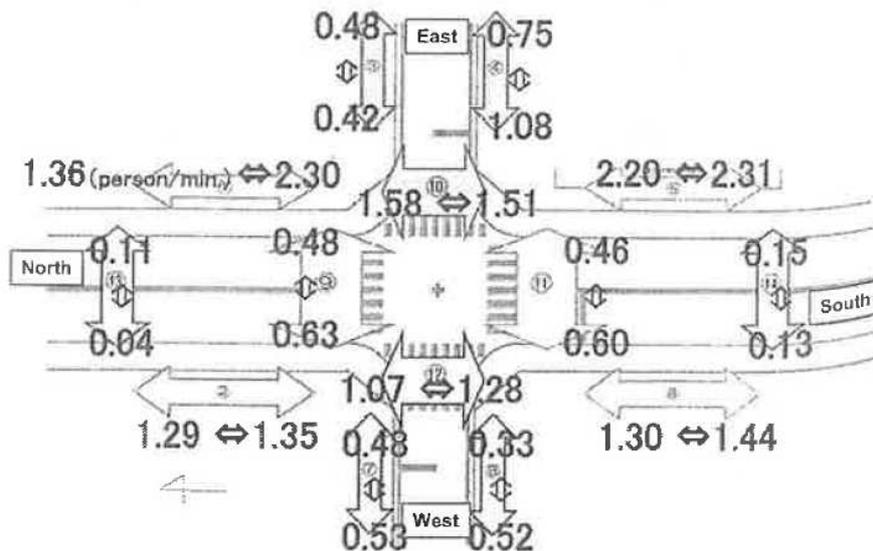


図 3.3.2-11 歩行者の交通流の測定結果<sup>25)</sup>

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、永井らの研究<sup>26)</sup>がある。永井はタクシーに設置したドライブレコーダが記録し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から、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) の範囲で歩行者が移動していることが最も多いことを示している (図 3.3.2-12)。

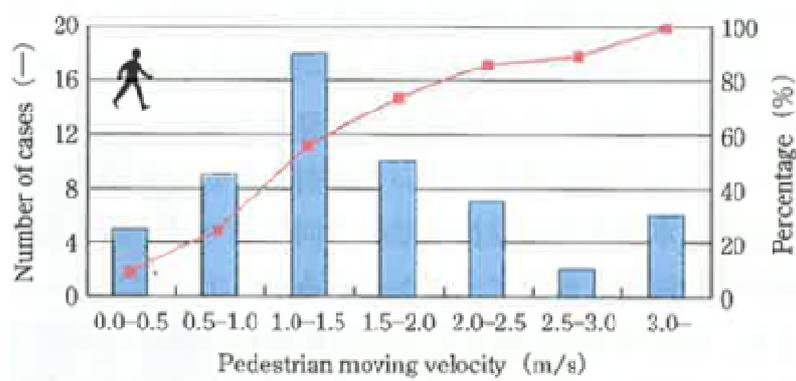


図 3.3.2-12 歩行者の飛び出し時における歩行初期速度の分布 (N=61) <sup>26)</sup>

3.2.4 で構築した歩行者の行動モデル (図 3.3.2-13) における横断速度や横断角度に関するパラメータを、同じく今年度に構築した歩行者行動計測手法によって取得するための実験を実施して妥当性の高い歩行者行動を再現するモデル化を実施することが必要である。

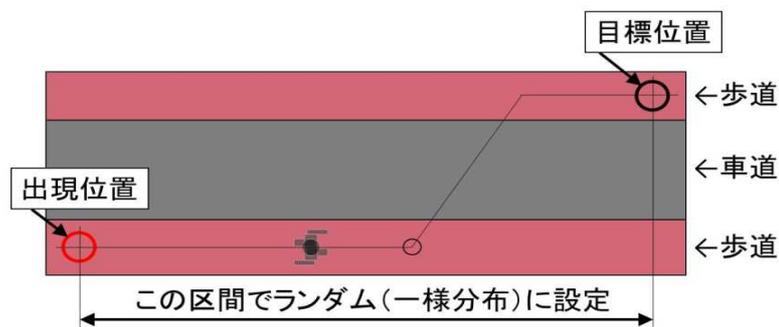
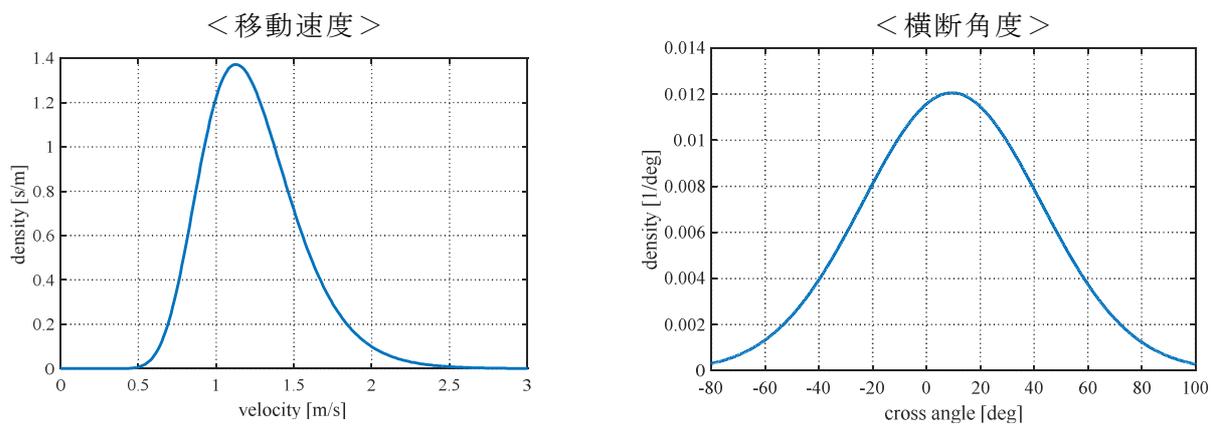


図 3.3.2-13 歩行者の道路横断時の行動モデル

### 3.3.3 交通事故低減効果の実証に関する構想まとめ

本事業で開発するシミュレーション技術を活用することによって、多角的な視点で交通事故低減詳細効果を評価できる可能性がある。ただし、本格的な活用をする前に、開発したシミュレーション技術に関する妥当性を確認するプロセスが不可欠である。本事業のシミュレーション技術の妥当性として検証すべき対象は、最終的な効果評価の結果だけではなく、図 3.3.3-1 に示すように交通参加者のモデル化の妥当性、事故シナリオの設定の妥当性、評価対象となるシステムの設定の妥当性、効果評価用のデータ・ロジックの妥当性などが考えられる。

#### 【妥当性を検証する視点】

##### ① 交通参加者のモデル化

- ・対象となる事故場面における交通参加者の通常時から緊急時までの行動がモデル化されているか
- ・モデル化されたものによって現実的な交通参加者の行動が表現されているか
- ・自動走行システムに対するドライバの反応特性が表現されているか

##### ② 事故シナリオの設定

- ・損傷程度別（死亡事故・重傷事故・軽傷事故）の事故実態が反映されているか
- ・対象となる事故場面におけるドライバの人的要因などが反映されているか

##### ③ システムあり

- ・評価対象となる自動走行システムの作動原理が表現できる仕組みになっているか
- ・自動走行システムの作動内容が正確に表現されているか

##### ④ 効果評価

- ・乗員や歩行者の傷害、ニアミスレベルなどを定量的に評価するための適正なロジックを採用しているか

##### ⑤ 評価結果

- ・①・②・③・④の妥当性がそれぞれ検証されているか
- ・参照すべき公知の結果（論文、J-NCAP の予防安全性能の評価結果<sup>27)</sup> など）と対比されているか

したがって、シミュレーション技術の妥当性を検証するためには、これらの確認ステップを経ることが重要である。以上、シミュレーションによって得られた最終的な効果評価の結果に関する妥当性を議論（ステップ⑤）するためには、ステップ①（交通参加者のモデル化）、ステップ②（事故シナリオの設定）、ステップ③（システムあり）、ステップ④（効果評価）をそれぞれ着実に実施していくことが重要である。

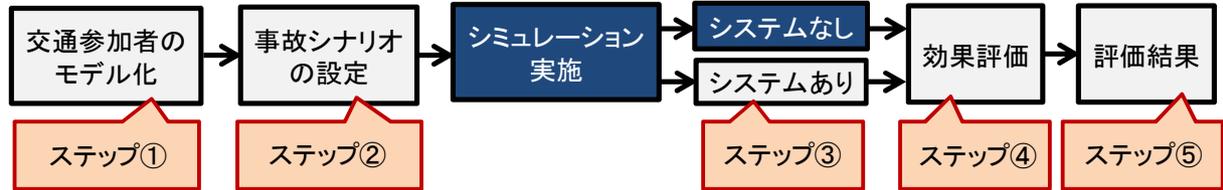


図 3.3.3-1 シミュレーション技術の妥当性を検証するための確認ステップ

表 3.3.3-1 は、妥当性の高いシミュレーションを構築するための主な課題を一覧でまとめたものである。①（交通参加者のモデル化）・②（事故シナリオの設定）・③（システムあり）・④（効果評価）、⑤（交通事故低減詳細効果の評価結果）に関する検証対象、主な検証項目、対象シーンを整理し、各検証対象に対する具体的な検証方法の案を示している。

検証方法としては、先行知見の整理、調査・実験の実施、事故データの分析、ドライブレコーダや NDS データの分析、自動車製作者側との協議、実験データ、公表論文などとの対比などが挙げられ、最終的な評価結果の妥当性を議論するためのステップを実施する。

表 3.3.3-1 妥当性の高いシミュレータを構築するための主な課題

| 検証対象             |                   | 主な検証項目           |              |            |                 | 対象シーン |      |       |      | 検証方法(案)            |
|------------------|-------------------|------------------|--------------|------------|-----------------|-------|------|-------|------|--------------------|
| ① 交通参加者のモデル化     | ドライバ              | 通常行動特性           | 逸脱行動特性       | 緊急回避行動特性   | システムに対する行動特性    | 追従・追突 | 車線逸脱 | 歩行者横断 | 高速道路 | 先行知見の整理, 調査・実験の実施  |
|                  | 歩行者               | 通常行動特性           | 逸脱行動特性       | 緊急回避行動特性   | システムに対する行動特性    | /     | /    | 歩行者横断 | /    | 先行知見の整理, 調査・実験の実施  |
|                  | 自転車               | 通常行動特性           | 逸脱行動特性       | 緊急回避行動特性   | システムに対する行動特性    | 追従・追突 | /    | 自転車横断 | /    | 先行知見の整理, 調査・実験の実施  |
|                  | バイク               | 通常行動特性           | 逸脱行動特性       | 緊急回避行動特性   | システムに対する行動特性    | 追従・追突 | /    | /     | 高速道路 | 先行知見の整理, 調査・実験の実施  |
|                  | 交通参加者の多様な行動表現     | 法令順守傾向           | 運転スキル        | 情報処理能力     |                 | 追従・追突 | 車線逸脱 | 歩行者横断 | 高速道路 | 先行知見の整理, 調査・実験の実施  |
| ② 事故シナリオの設定      | 事故統計データ           | 死亡事故             | 重傷事故         | 軽傷事故       |                 | 追従・追突 | 車線逸脱 | 歩行者横断 | 高速道路 | 事故データ(マクロ・ミクロ)の分析  |
|                  | ドライブレコーダ・NDSデータ   | 衝突               | ニアミス         | 危険状態/不安全行動 |                 | 追従・追突 | 車線逸脱 | 歩行者横断 | 高速道路 | ドライブレコーダ・NDSデータの分析 |
| ③ システムあり         | 作動原理・作動内容         | センサ特性            | 作動特性         | 制御特性       | システムに対する行動特性の反映 | 追従・追突 | 車線逸脱 | 歩行者横断 | 高速道路 | 製作者側との協議・実験データとの比較 |
| ④ 効果評価           | 衝突に伴うもの/衝突に伴わないもの | 傷害評価             | 事故渋滞の発生可能性評価 | 事故渋滞の影響評価  | ニアミスレベル評価       | 追従・追突 | 車線逸脱 | 歩行者横断 | 高速道路 | 先行知見・最新動向(国内外)の整理  |
| ⑤ 評価結果(事故低減詳細効果) | 公表論文の評価結果         | JNCAP評価結果(予防安全性) |              |            |                 | 追従・追突 | 車線逸脱 | 歩行者横断 | 高速道路 | 先行知見・最新動向(国内外)の整理  |

■H27年度 ■H28年度 ■H29年度 ■H30年度以降

## 第4章 シミュレーション動向調査

我が国においては、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、自動走行システム関連の事故低減効果詳細見積もり手法の開発が進められている。一方、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、欧州や米国でも既に始まっている。欧州では、AdaptiVeにおいて自動運転に関する実証実験の準備が進められている。米国では、コネクテッドカー及び自動運転実現に向けた政策、計画、導入の研究ロードマップ「Connected/Automated Vehicle research Roadmap」を発表している。

各国共通の関心の一つとして自動走行システムのImpact Assessment/Safety Benefitがある。各国の道路交通事情は異なるため、自動運転に普及による効果は異なる可能性はあるが、少なくとも効果を見積もる手法や効果の指標に関しては国際的な連携・協調を図りながら議論を進めていく必要がある。そこで、道路交通安全を広く議論する世界的なシンポジウムの一つである米国交通輸送調査委員会（Transportation Research Board : TRB）に参加して、効果評価及びシミュレーション開発に資する海外研究の最新動向を調査した。

次に、シミュレーション技術動向の調査として歩行者モデルの調査を行った。平成 26 年度までのシミュレーション技術に関する調査では、ドライバの行動モデルに関する調査に主眼を置いていたため、歩行者モデルの仕様構築のための技術的な検討は十分ではなかった。そこで平成 27 年度は、事故低減効果を評価可能なシミュレータに実装する歩行者エージェントを検討するにあたり、構築する歩行者エージェントに要求される機能を調査するため、これまで行われてきた歩行者モデル・歩行者挙動の調査に関する文献の調査を行った。

### 4.1 海外の動向調査

自動車交通事故の 9 割以上にはドライバ要因が関係している<sup>28)</sup>ことから、ヒューマンエラーを防止することが運転支援システムの有効性を高める上で重要である。すなわち、事故防止に効果的な運転支援システムを開発するためには、ドライバ・道路交通環境・車両の各状態をモニタリングするだけでなく、特定の道路交通環境におけるドライバ行動パターンを把握し、その運転行動を事故リスクの観点から評価する必要がある。このことから、近年事故の背景にある運転者特性の定量化と、それに基づくドライバモデルについての研究が活発化している<sup>29)</sup>。同時に、このようなドライバモデル研究は、実際の事故の正確な再現にも不可欠であることから、シミュレーションによる事故低減効果評価においても重要である。そこで本節では、2016 年 TRB 年次総会において公表された研究より、高度運転支援システムの効果評価とシミュレーション開発に資する研究概要を以下にまとめる。

#### 4.1.1 ドライバ行動特性研究<sup>30)</sup>

Gaspar ら（2016）は、歩行者事故場面における交通環境要因とドライバ行動の関連性を

調べるために、アイオワ大学ドライビングシミュレータ（NADS-1、図 4.1.1-1）を用いて以下の 4 つの要因から成る 16 走行シナリオで（2 水準×2 水準×2 水準×2 水準＝16 走行シナリオ）の横断歩行者対応データ計測と分析を行った。

- ・歩行者飛び出し場所（交差点 vs 単路）：2 水準
- ・歩行者飛び出し方向（走行車線側 vs 対向車線側）：2 水準
- ・歩行者飛び出し前のドライバ視線方向（同方向 vs 逆方向）：2 水準
- ・歩行者移動速度（歩行 vs ランニング）：2 水準



図 4.1.1-1 歩行者との遭遇シナリオ例（左図）とドライビングシミュレータ外観（右図）

48 名の参加者によるドライビングシミュレータ実験の結果、運転者における横断歩行者予期と視線方向とが歩行者衝突リスクに大きく影響することが示された。特に歩行者事故リスクが高いシナリオとして抽出された条件としては、ドライバが対向車線側に気をとられる状況下で、それとは逆方向の自車線側から歩行者が横断してくる場合（図 4.1.1-2）であり、他の条件と比較して顕著に衝突率が高いことが分かった。

上記より、横断歩行者との遭遇時におけるドライバ対応行動は様々な要因によって影響を受けると考えられるが、「歩行者出現の潜在リスクに対する予期」は最も重要な事故発生要因であると結論づけている。

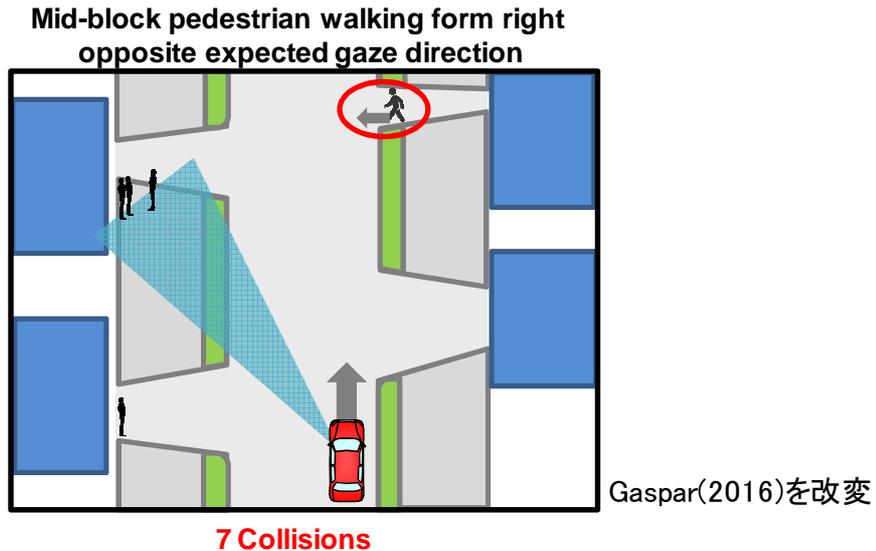


図 4.1.1-2 横断歩行者との衝突率が最も高かったシナリオ（衝突 7 事例）

#### 4.1.2 ドライバの衝突回避行動モデル化の研究<sup>31)</sup>

Venkatraman ら（2016）は、追突事故場面における衝突切迫度が回避行動（減速回避/操舵回避）に及ぼす影響を調べるために、アイオワ大学ドライビングシミュレータ（NADS-1、図 4.1.1-1）を用いた実験を行っている。実験には 96 名が参加し、2 次タスク遂行中の脇見状態において、先行車減速に伴う追突警報が早いタイミングで鳴る場合（TTC3. 5 秒）と遅いタイミングで鳴る場合（TTC2. 1 秒）での追突回避行動パターンが分析された。

実験データの分析結果から、切迫度の違いによって回避行動パターンが異なることが示された。すなわち、衝突余裕度が大きい際には衝突回避のための操舵回避行動パターンが出現するのに対して、衝突余裕度が小さい場合には操舵回避よりもブレーキ減速による回避のみの行動パターンが観察されたと報告されている。

更に、上記のような衝突回避行動パターンを予測するためのモデル化が検討され、先行車の見かけ上の大きさ（Optical Angle）、及び動きの知覚に関わる  $\tau$ （タウ）からなるモデルによって行動パターンを予測できる可能性が報告されている。

#### 4.1.3 車両と歩行者交錯時の衝突リスク定量化の研究<sup>32)</sup>

歩行者に接近する自動車との衝突リスクは、歩行者の移動自由度が高い（移動方向や速度の急激な変化が可能である）ために、車両相互の衝突リスク評価において一般的に用いられる TTC（Time to Collision）等の単一パラメータでは評価が難しい。そこで、速度変化に伴う歩車の相互接近軌跡を動的に表現するパラメータを設定し、そのシミュレーション結果を実路での観察データと比較した結果、動的パラメータによる危険度シミュレーションは静的パラメータよりも精度良く衝突リスク場面を再現することが示されている（図 4.1.3-1）。

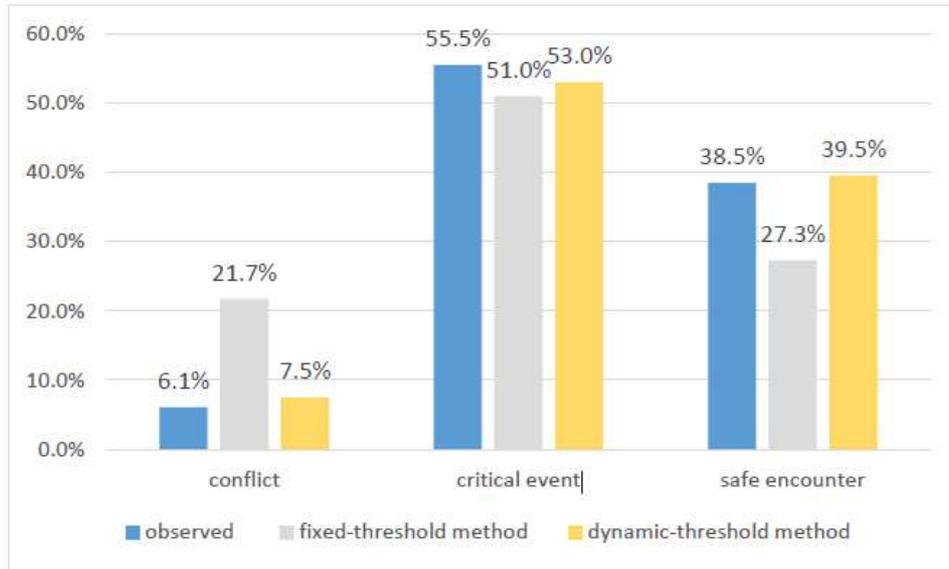


図 4.1.3-1 観察データ（青色）と静的（灰色）及び動的パラメータ（黄色）

#### 4.1.4 集団歩行者と車両遭遇時のモデル化の研究<sup>33)</sup>

都市部の横断歩道がある交差点は車両対歩行者事故が頻繁に発生する場所である。特に、交差点横断歩道では複数の歩行者が横断している際に右折/左折車両との衝突事故が発生するケースが多く、集団歩行者の移動特性を把握する必要がある。Zeng ら (2016) の研究においては、歩行者移動特性をベースに横断歩道上の集団歩行者の移動パターンをシミュレートする方法が提案されている。また、実際の交差点での観察データと、提案シミュレーション及び従来シミュレーション結果との比較が行われ、提案シミュレーションが実交差点での状況をよく模擬できることが示されている (図 4.1.4-1)。

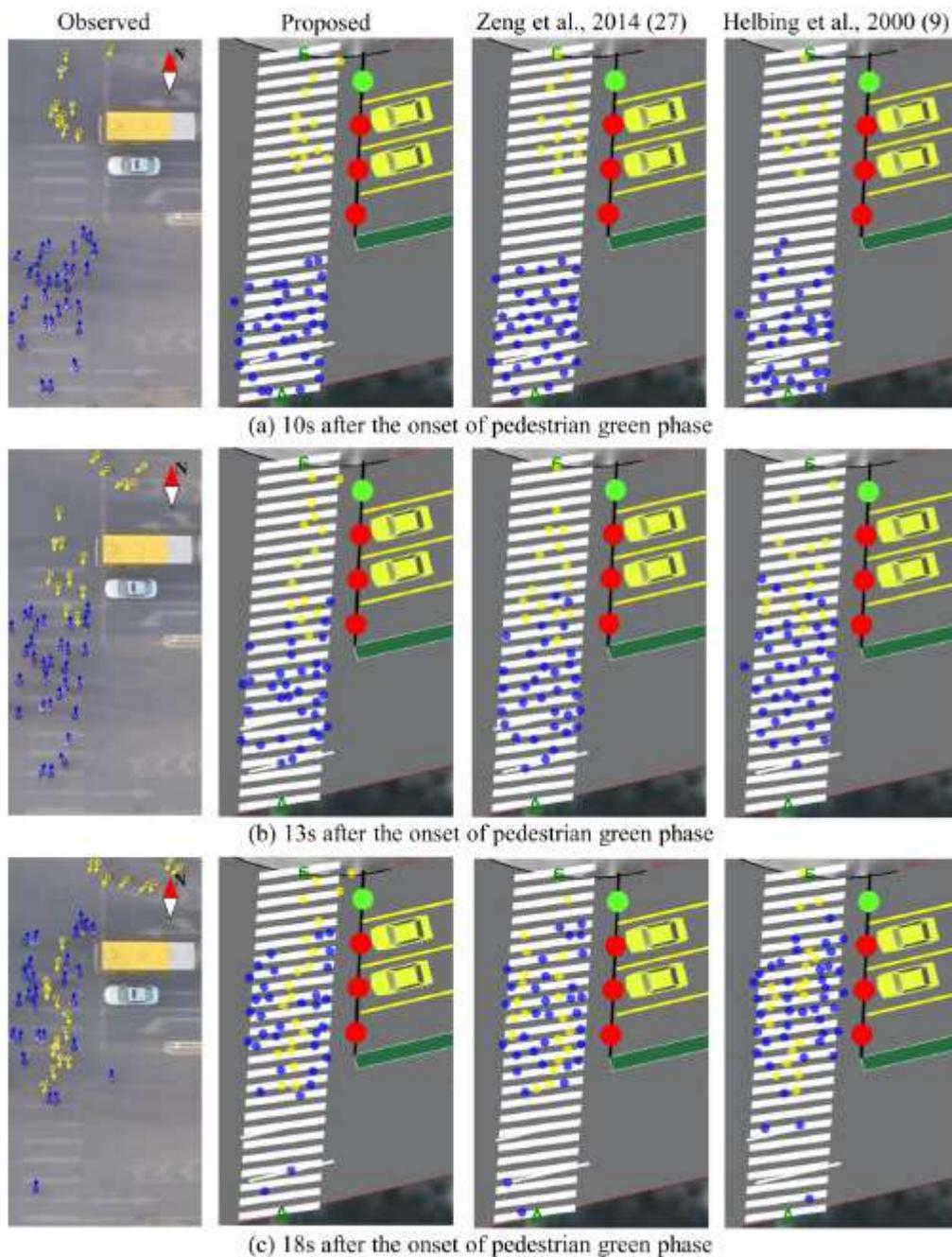


図 4.1.4-1 実際の交差点及びシミュレーションにおける歩行者移動状況の比較

## 4.2 シミュレーション技術動向の調査（歩行者行動モデル開発に関する検討）

事故低減効果を評価可能なシミュレータに実装する歩行者エージェントを検討するにあたり、構築する歩行者エージェントに要求される機能を調査するため、これまで行われてきた歩行者モデル・歩行者挙動の調査に関する文献の調査を行った。

### 4.2.1 各文献の概要

調査を行った 64 報（国内 33 報、国外 31 報）の文献のリストを巻末に掲載する。その中から本課題で構築するモデルの参考となりそうな文献 12 報についての概要を以下に示す。

#### (1) 予防安全システム効果評価のための歩行者の行動モデル

著者：森博子、倉橋哲郎、岩瀬竜也、町田貴史、小里明男、山下真彦、北岡広宣  
文献：情報処理学会論文誌、Vol.50-12、pp.3175-3185、2008

安全システムの成立性と安全システム導入による事故低減効果の両方を評価可能なシミュレータ **STREET** を提案し、**STREET** において、歩行者側による車両に対する認知及び判断の表現を行い、歩行行動を再現するモデルを開発している。

#### (2) 知的マルチエージェント交通流シミュレータ **MATES** へのマルチレベル歩行者モデルの実装

著者：吉村忍、加藤靖、藤井秀樹  
文献：日本シミュレーション学会大会発表論文集、Vol.25、pp.265-268、2006

知的マルチエージェント交通流シミュレータ **MATES** に、マルチレベル歩行者モデル及び歩行者と自動車の相互作用モデルを構築している。渋谷ハチ公前スクランブル交差点における交通状況のシミュレーションに適用し、定量的な再現性を確認している。

#### (3) 先読み行動を考慮した歩行者交通流シミュレーション

著者：浅野美帆、桑原雅夫  
文献：生産研究、Vol.59-3、pp.184-187、2007

周辺歩行者の直近の将来の行動を予測した上で自己の行動を決定する歩行者シミュレーションモデルの提案を行っている。周辺歩行者の行動予測を行うことにより、他の歩行者をやり過ぎしてから直進するといった戦略的な移動計画の再現が可能となっている。

#### (4) 地震時避難行動予測のためのエージェントシミュレーション

著者：堀宗朗、宮嶋宙、犬飼洋平、小国健二

文献：土木学会論文集 A (Web)、Vol.64-4、pp.1017-1036、2008

地震時避難行動予測のために開発された、多様な群衆が雑然と避難する状況を想定したエージェントシミュレーションについて説明している。密集空間の危険性をエージェントモデルを用いたシミュレーションにより客観的に検討している。

(5) 横断歩道における群集流の巨視的行動パターンのシミュレーション

著者：矢守克也、杉万俊夫

文献：実験社会心理学研究、Vol.32-2、pp.129-144、1992

横断歩道上の群集が示す巨視的行動パターンの形成過程をコンピューター・シミュレーションによって検討している。ミクロ・マクロ間の相互規定関係を明示的にモデルの中に取り込むことの有効性を示唆している。

(6) マルチエージェントモデルによる群集歩行性状の表現—歩行者シミュレーションシステム SimTread の構築—

著者：木村謙、佐野友紀、林田和人、竹市尚広、峯岸良和、吉田克之、渡辺仁史

文献：日本建築学会計画系論文集、No.636、pp.371-377、2009

歩行者シミュレーションシステム SimTread のメカニズムの明示と、ネットワークモデルと比較した群集の再現性を検証している。開口を持つ室内からの流出過程のシミュレーションを行い、群集流の再現性において実用性があることが示されている。

(7) 避難行動解析へのポテンシャルモデルの応用

著者：横山秀史、目黒公郎、片山恒雄

文献：土木学会論文集、No.513、pp.225-232、1995

大規模かつ複雑な形状の空間からの、避難安全性解析を行うための手法として、ポテンシャルモデルにもとづく避難行動のモデル化手法を提案している。ポテンシャルモデルによる避難行動シミュレーションの結果が、実際の人間行動特性とよく対応しており、大規模空間の避難行動解析に適用可能であることが示されている。

(8) 静止した障害物に対する単独歩行者の回避行動

—歩行者の回避行動に関する研究 (1) —

著者：建部謙治、中島一

文献：日本建築学会計画系論文報告集、No.418、pp.51-57、1990

歩行者の周囲に卵型の領域を定義し、その範囲内に他者または障害物が確認されれ

ば、移動方向を変更し、障害物回避を行う歩行者モデルを作成している。

(9) Discrete choice models of pedestrian walking behavior

著者：Gianluca Antonini、Michel Bierlaire、Mats Weber

文献：Transp Res Part B Methodological、Vol.40-8、pp.667-687、2006

周辺の歩行者の存在に対する歩行者の反応をモデル化し、歩行者と周辺歩行者の位置関係に対応した離散型選択フレームワークを構築し、これを用いた歩行者モデルを提案している。

(10) Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models

著者：S.P. Hoogendoorn、P.H.L. Bovy

文献：Transp Res Part B Methodological、Vol.38B-2、pp.169-190、2004

歩行者の経路選択行動について調査し、経路選択行動のモデル化を行っている。目的地までの経路長や移動のしやすさを考慮し、経路を選択するモデルを作成している。

(11) Self-organizing pedestrian movement

著者：Dirk Helbing、P'eter Moln'ar、Ille's J Farkas、Kai Bolay

文献：Environment and Planning B: Planning and Design 2001、Vol.28、pp.361-383、2001

歩行者群集の観測を通して、群集における歩行者挙動のモデル化を行っている。作成したモデルでシミュレーションを行うことにより、群集における歩行者行動の再現性の検証を行っている。

(12) Modeling Movement Direction Choice and Collision Avoidance in Agent-Based Model for Pedestrian Flow

著者：S. B. Liu、S. M. Lo、K. L. Tsui、W. L. Wang

文献：J Transp Eng、Vol.141-6、2005

歩行者の前方に扇形の視界領域を作成し、この領域内の情報より、目的地への接近効率、障害物への相対距離、他の歩行者への相対距離等を考慮した効用関数を提案している。歩行者は、この効用関数の値が最大となる方向に移動する。

#### 4.2.2 各機能について

歩行者の機能は大きく分けて知覚・認識、判断、行動に分けられる。概要を示した文献において、各論文における各機能の記述についてまとめたものを表 4.2.2-1 に示す。

表 4.2.2-1 各機能についての詳細度の比較

|      | 知覚・認識 | 判断 | 行動 |
|------|-------|----|----|
| (1)  | ○     | ◎  | ○  |
| (2)  | △     | ○  | △  |
| (3)  | ○     | ◎  | ○  |
| (4)  | △     | △  | △  |
| (5)  | ○     | ○  | △  |
| (6)  | ○     | ◎  | ○  |
| (7)  | ×     | ×  | ○  |
| (8)  | ○     | △  | △  |
| (9)  | ○     | ◎  | ○  |
| (10) | ○     | △  | ○  |
| (11) | △     | △  | ○  |
| (12) | ○     | ○  | ○  |

×：機能が実装されていない。

△：機能に関する詳細な記述がない。

○：機能に関する詳細な記述がある。

◎：機能に関する詳細な記述があり、有益であると思われる。

同表の中から有益であると思われるもの4報（(1)、(3)、(6)、(9)）について、モデルの特徴と実装されている機能の詳細を以下に示す。

(1) 予防安全システム効果評価のための歩行者の行動モデル<sup>34)</sup>

モデルの特徴を以下に示す。

- ・個人特性に応じて車両、歩行者、信号などの周辺車両を認知し、認知対象物に対する行動を判断する。
- ・個人特性は、年齢、性別、体重、身長に加え、法遵守傾向、身体能力、意識水準に分類しており、各特性を3段階もしくは5段階で表現している。
- ・判断処理は、歩行者位置、状態、認知対象物ごとに個別のルールを定義している。

また、モデルに実装されている機能を以下に示す。

① 知覚機能

本文中に具体的な知覚領域は示されていないが、個人の身体能力に基づき、視野範囲を既定し、周辺環境に対してその視野範囲内の対象物の存在を知覚している。

② 認識機能

認識される対象物としては、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、右側横断右折車、右側横断左折車、対向右折車、対向左折車、並走右折車、並走左折車、車両用信号の13種類が定義されている。

③ 判断機能

判断プロセスでは、認識対象物の挙動情報から個人の身体能力及び意識水準に基づき、図 4.2.2-1 に示すように if-then 形式で判断ルールを決定している。個別ルールは歩行位置 4 種類×歩行状態 5 種類×認識対象物 13 種類の 260 ルールから構成されており、目標行動は 5 種類の行動モード「歩く、走る、止まる、追従、後退」が設定されている。また、認識ごとの目標から、すべての条件を満たす行動に絞込み、行動プロセスへ出力する。

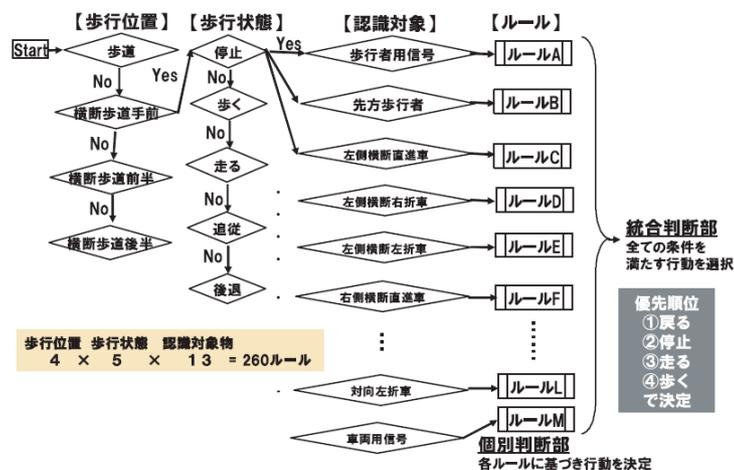


図 4.2.2-1 判断ルールの例

具体的な個別ルール例として、歩行者用信号に対するルールを図 4.2.2-2 に示す。図 4.2.2-2 では、信号が赤であっても、「歩く」や「走る」が選択できるようになっており、信号無視といった行動も再現できるようになっている。

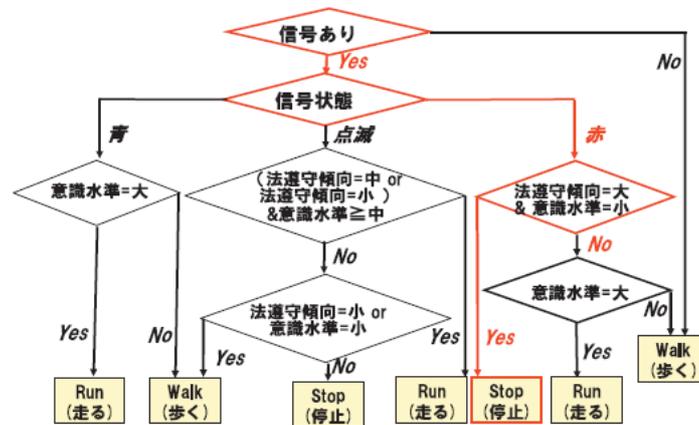


図 4.2.2-2 個別ルール例（歩行者信号に対するルール）

#### ④ 行動機能

判断プロセスで決定された行動モードに基づき希望速度を決定する。歩行速度は、個人に与えられた年齢、身体能力と速度に対する乱数パラメータを用いて決定している。これにより、同じ年齢でも同じ速度になるとは限らないようにしている。また、「追従」は先行歩行者に対して最小パーソナルスペースを保つように速度制御を行っている。「走る」は従来研究で得られた「歩く」速度と「走る」速度の関係を用いており、「後退」は歩行向きを180度回転し、「走る」と同じ速度で歩行する。

(3) 先読み行動を考慮した歩行者交通流シミュレーション<sup>35)</sup>

モデルの特徴を以下に示す。

- ・歩行者は、希望する方向に希望する速度で歩く。
- ・現在歩いている速度からの、急激かつ大幅な速度変更はなるべく行わない。
- ・壁や柱、他の歩行者などの障害物にぶつからないように歩く。
- ・障害物からの回避行動は、周辺の人々の行動を先読みした上で判断している。

また、モデルに実装されている機能を以下に示す。

① 知覚機能

図 4.2.2-3 に示すように、半径  $L$ 、角度  $2\theta$  の扇形の探索範囲を設定し、その中に存在する障害物を知覚している。

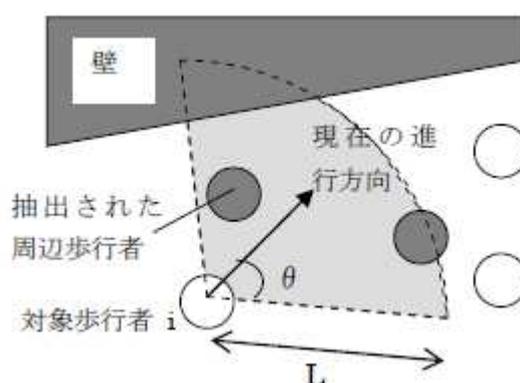


図 4.2.2-3 周辺歩行者・壁の抽出

② 認識機能

認識している対象物は、障害物、周辺歩行者である。

③ 判断機能

とりうる速度ベクトルの範囲を図 4.2.2-4 のような扇形で設定している。仮にある角度  $\theta$  を移動方向として選択したときの、先読み時間内の最大移動距離を求める。図 4.2.2-5 に示すように対象歩行者と周辺歩行者が共に直進した場合、これらの歩行者は交錯領域で衝突する。図 4.2.2-6 は方向  $\theta$  に沿って、対象歩行者の時空間上の移動軌跡を描いたものである。周辺歩行者が通過する位置・時間が灰色部分で示されている。この灰色部分を避けるためには、図 4.2.2-6 中の太実線のように加減速を行えばよい。同時に、図 4.2.2-6 内に示すように、先読み時間内の最大移動距離も求められる。以上の計算を  $\theta$  の値を変化させて行い、先読み時間内の移動可能距離が最大となる方向と、そのときの速度プロファイルを最適速度として決定する。

④ 行動機能

判断機能で決定された方向と、速度プロファイルに従い行動する。

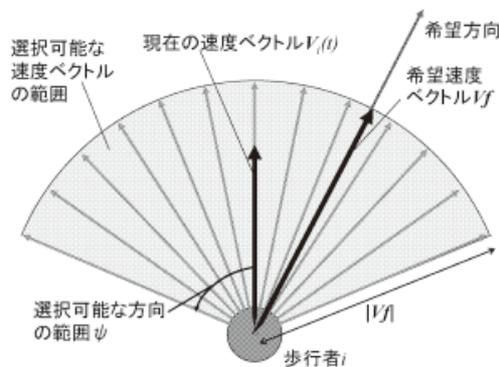


図 4.2.2-4 選択可能な速度の範囲

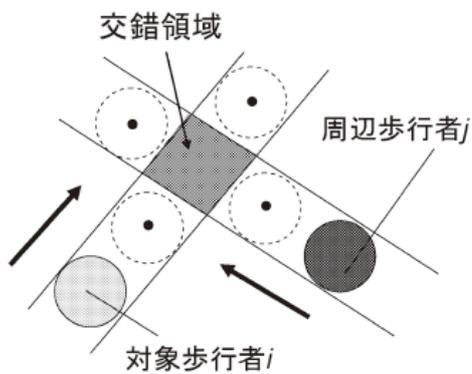


図 4.2.2-5 周辺歩行者との交錯領域

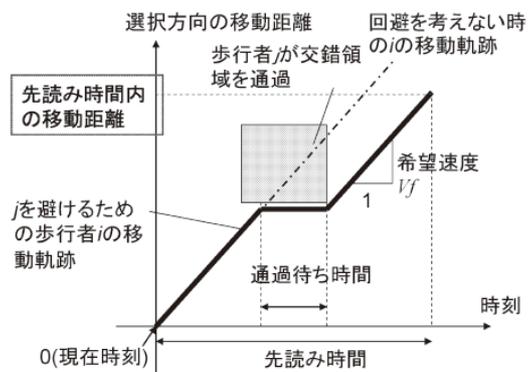


図 4.2.2-6 交錯を回避するための移動軌跡

(6) マルチエージェントモデルによる群集歩行性状の表現<sup>36)</sup>

モデルの特徴を以下に示す。

- ・歩行者をエージェントとしたマルチエージェントモデルである。
- ・歩行者は位置、方向、最高歩行速度などの属性を持つ。
- ・他の歩行者との衝突を回避しつつ目的地へ移動する。

また、モデルに実装されている機能を以下に示す。

① 知覚機能

図 4.2.2-7 に示す衝突判定領域を定義し、その中に存在する障害物・周辺歩行者を知覚・認識している。

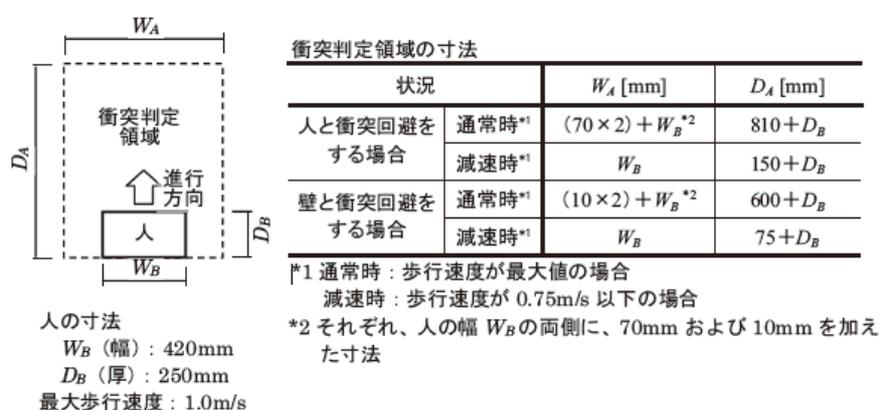


図 4.2.2-7 衝突判定領域

② 認識機能

認識している対象物は、障害物、周辺歩行者である。

③ 判断機能

衝突するかどうかの判断は、全ての歩行者を仮移動位置に移動した状態で、歩行者毎に定義されている衝突判定領域内に、他の歩行者が存在するかどうかで判断している。衝突があると判断された場合は、図 4.2.2-8 のように回転範囲 90 度内で一定角度 12 度ずつ角度を増やして進行方向を変化させ、仮移動位置の再計算を行う。衝突判定領域内に障害物が存在しなくなるまで繰り返し計算をおこなう。繰り返し計算を行っても障害物が存在しなくなる領域を確保できない場合、移動距離を一定割合 (30%) 減らす (減速) ことを繰り返して衝突判定領域内に障害物が存在しなくなるまで繰り返す。最終的に衝突判定領域内に障害物が存在しなくなる領域を確保できなかった場合、移動距離を 0 とし、次のステップまでその場に停止する。

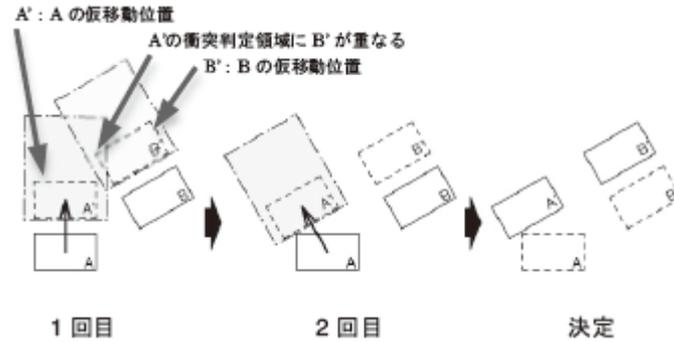


図 4.2.2-8 衝突回避

④ 行動機能

判断機能で決定された方向と、速度に従い行動する。

(9) Discrete choice models of pedestrian walking behavior<sup>37)</sup>

モデルの特徴を以下に示す。

視野領域内を半径方向、円周方向に区分し、障害物の存在する領域に応じて移動する方向、次のステップの速度算出に用いる加速度を決定する。

① 知覚機能

歩行者の速度に応じた半径  $L$ 、角度  $2\theta$  の扇形の探索範囲を設定し、その中に入っている対象を知覚している。

② 認識機能

認識している対象物は、障害物、周辺歩行者である。

③ 判断機能

図 4.2.2-9 に示すように、半径  $L$ 、角度  $2\theta$  の領域を半径方向と円周方向にブロック分けし、周辺障害物の存在する領域に応じて移動する方向、次のステップの速度算出に用いる加速度を決定している。

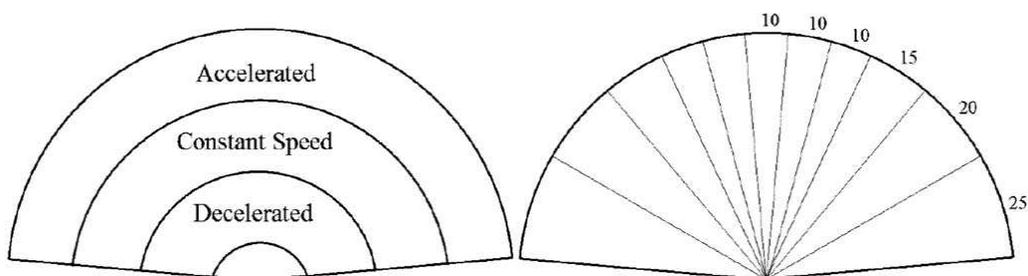


図 4.2.2-9 各ブロック

#### ④ 行動機能

判断機能で決定された方向と、速度に従い行動する。

### 4.2.3 歩行者行動モデルの仕様まとめ

調査した文献の各機能についてまとめ、各機能における本研究で構築する歩行者モデルの仕様について検討する。

#### ① 知覚機能

今回調査したモデルの多くでは、扇形の探索範囲を設定し、その中に存在している周辺歩行者・障害物の知覚・認識を行っている。また、領域に存在する歩行者の知覚は主に視覚を用いている。しかし、本課題の目的としている事故低減効果の評価では、クラクションや音響機器による警告の効果等を評価できるように設計するのが良いと考えられる。また、今回調査したモデルでは、探索範囲内に対象が存在する場合にその対象を知覚しているが、実際の交通環境では、知覚ミスが原因となる事故が発生しており、事故低減効果を見積るという観点から、知覚のミスも表現できるモデルが望ましいと考えられる。

#### ② 認識機能

STREETでは、知覚された対象の中から13種類の対象を認識していた。今回調査した、その他のモデルでは、障害物（壁）と周辺歩行者を認識していた。ただし、STREET以外のモデルではシミュレーションで再現していたのは障害物（壁）と周辺歩行者のみだった。シミュレーションで再現する対象の種類が増えた場合、実際の歩行者は知覚している周辺情報をすべて認識しているとは考えにくいいため、シミュレーションにおいても、歩行者の状態や行動戦略に応じて認識する対象物を選択する機能を模擬する必要があると考えられる。

#### ③ 判断機能

STREETでは、if-then形式で詳細に個別ルールを採用している。今回調査した、その他のモデルでは、知覚領域に存在する対象に衝突しないように移動する方向・速度を判断している。しかし、道路上の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総合的に判断していると考えられるため、認知した各対象物に応じた行動選択、各対象物に応じた行動量の選択、また、適切な行動の選定のミスを模擬する必要があると考えられる。

#### ④ 行動機能

今回調査したモデルでは判断機能の結果より、移動方向、速度が決定されており、歩行や停止が行われていた。また、道路という環境を考えると、横断や状況に応じた横断引き返しをする機能を模擬する必要があると考えられる。

以上の調査結果及び歩行者事故発生の実態<sup>38)</sup>、さらに平成26年度内閣府委託事業である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の結果<sup>39)</sup>を踏まえ、交通事故低減詳細効果シミュレーションに必要な歩行者エージェントモデルの要件を表4.2.3-1のようにまとめる。表4.2.3-1において、○印は必ず実装すべき機能であり、☆印は可能であれば実装することが望ましい機能であるが、挑戦的な課題であることを表す。

表 4.2.3-1 歩行者エージェントモデルに必要な機能

|         | 実装すべき機能  | 実装すべきヒューマンエラー |
|---------|--|---------------|
| 目標経路生成部 | ○横断歩道外横断<br>○横断歩道横断（信号無）<br>○横断歩道横断（信号有）<br>☆静的障害物の回避（駐車車両等）<br>☆他の歩行者等の回避 | 斜め横断          |
| 知覚・認識部  | ○信号の位置・色の認識<br>○車両の位置・速度の認識<br>☆他の歩行者等の位置、速度の認識<br>☆音の知覚・認識                | 見落とし、誤認識      |
| 判断部     | ○信号横断の可否判断<br>○道路横断の可否判断<br>☆他の歩行者等との衝突判断                                  | 誤判断、法規無視      |
| 行動部     | ○移動（佇立、前進、後退、転回など）<br>○視行動（首振り）  | 安全不確認、前方不注意   |

○：必ず実装すべき機能

☆：可能であれば実装することが望ましい機能であるが、挑戦的な課題

## 第 5 章 研究開発全体企画・管理

### 5.1 全体工程表の策定

本事業期間内での研究開発の進捗管理を行う全体工程表をとりまとめ、関連部署間の進捗管理を実施した。

#### 研究ロードマップの策定

4年間で実施する研究開発に関する全体工程の策定を実施した。



図 5.1-1 「SIP 交通事故低減詳細効果見積りのためのシミュレーション技術の開発及び実証」  
4 年計画

研究受託から年度末までの平成 27 年度詳細スケジュールを作成した。

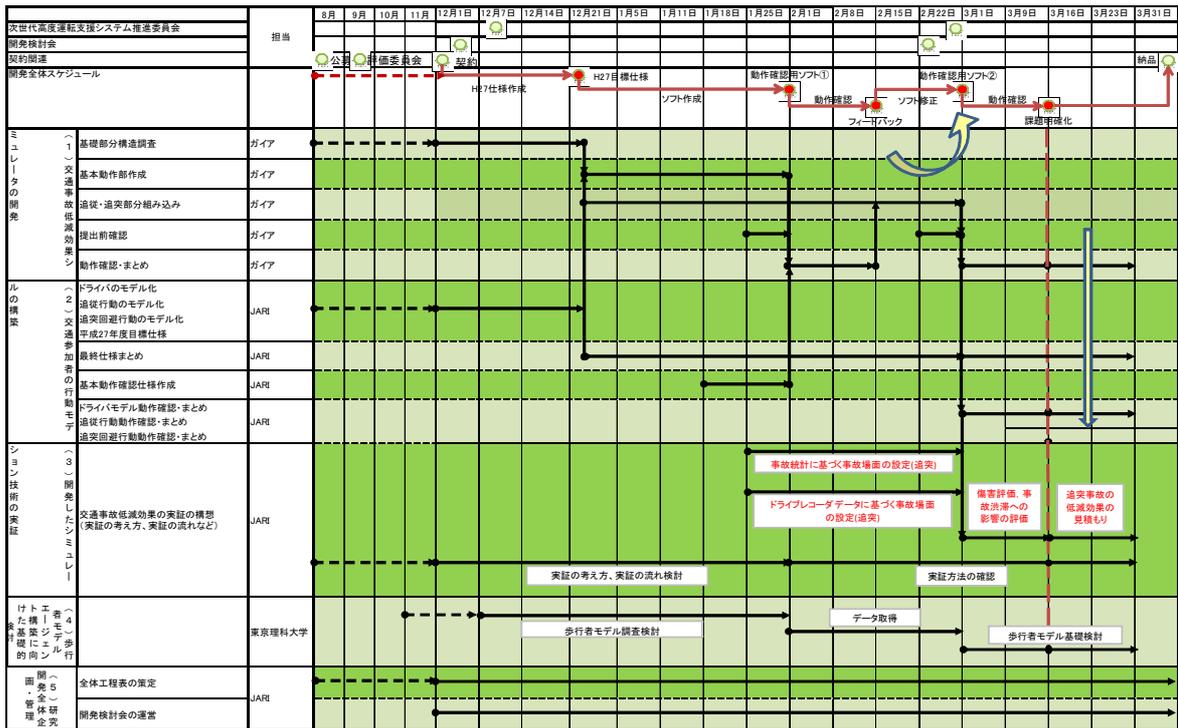


図 5.1-2 「SIP 交通事故低減詳細効果見積りのためのシミュレーション技術の開発及び実証」  
詳細スケジュール

## 5.2 開発検討会の運営

シミュレーション技術の開発は日本自動車研究所がテーマの開発統括及び全体企画を行い、全体企画に基づいて日本自動車研究所と東京理科大が各研究項目を分担して開発を行う。図 5.2-1 にシミュレーション技術の開発体制を示す。

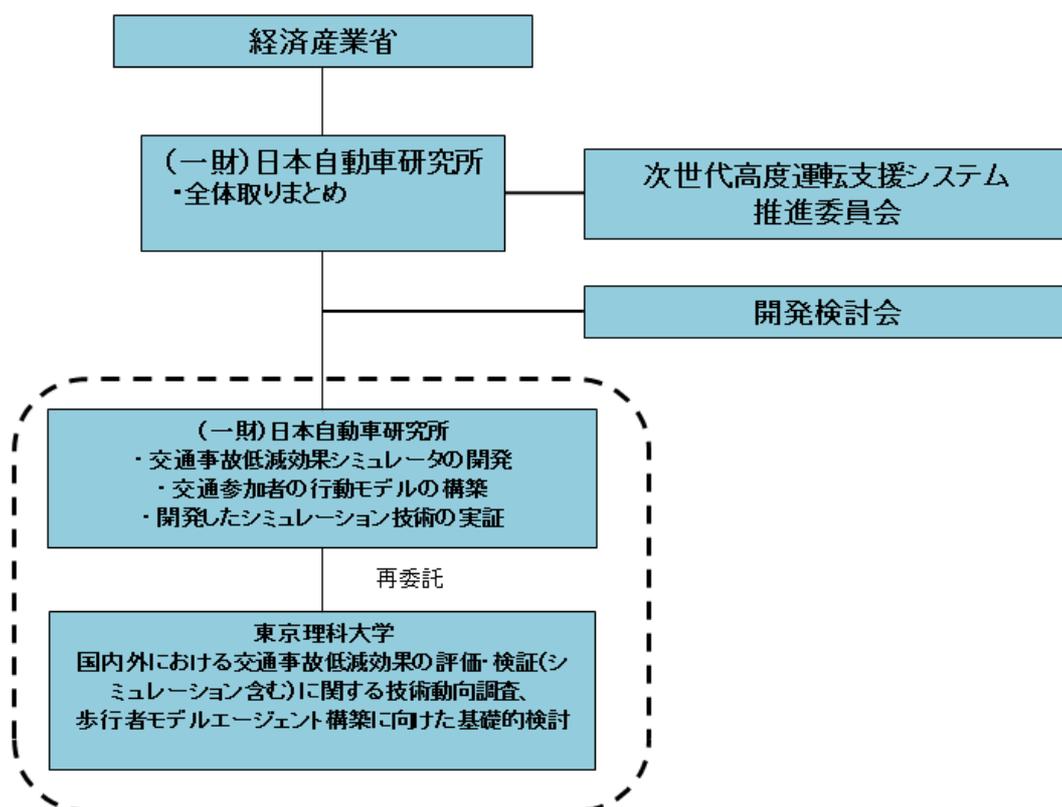


図 5.2-1 「SIP 交通事故低減詳細効果見積りのためのシミュレーション技術の開発及び実証」  
開発体制

事業実施期間中に開発検討会を 2 回開催。SIP-シミュレーションを実現するために必要な仕様や重要な課題に対する検討を実施した。

- 第 1 回（平成 27 年 12 月 3 日）：SIP-シミュレーションの概要説明、計画概要説明
- 第 2 回（平成 28 年 2 月 23 日）：平成 27 年度成果報告、低減効果の評価方法の検討

次世代高度運転支援システム推進委員会に 2 回出席し、本事業の開発内容や実施内容の概要を説明し、アドバイスやコメント等を頂き、実施計画に反映した。

- 第 3 回（平成 27 年 12 月 8 日）SIP-シミュレーションの概要説明
- 第 4 回（平成 28 年 2 月 29 日）平成 27 年度成果報告、SIP-シミュレーションの質疑応答

以下に開発検討会、推進委員会での議事内容を示す。

## 5.2.1 開発検討会

第1回 平成27年度「戦略的イノベーション創造プログラム（自動走行システム）：交通事故低減詳細効果見積もりのためのシミュレーション技術の開発及び実証」

### 開発検討会 議事録

1. 開催日時 平成27年12月3日 9時30分～11時00分
2. 開催場所 日本自動車会館 くるまプラザ 第5会議室
3. 出席者（順不同）

委員長 筑波大学 伊藤先生

委員 SIP-Adus 金光様、 慶應義塾大学 大門先生、 名古屋大学 武田先生、  
本田技術研究所 斉藤様、 マツダ 福庭様

委託元 経済産業省 製造産業局 自動車課 東谷様

再委託 東京理科大学 林先生、 千葉様

日本自動車研究所 谷川、安達、内田、北島、岩城、面田、大田

#### 4. 議事内容纏め

- ・伊藤委員長：顕著な問題はなく、大きな軌道修正無いというご意見を頂いた。  
本シミュレーションでできること／できないこと、必ず実施すること／挑戦することを明確にすべきとの意見があり、今後対応する必要がある。
- ・評価シミュレーションでできることは限られており、何でもできるわけではない。  
シミュレーションの対象範囲を明確にすること。
- ・工程表を作ることで、開発計画の現在地を分かりやすく示す。また工程表には、必ず達成すること、挑戦することを区別する。
- ・開発したシミュレーションが活用されないと意味がない。利用予定者の意向も含めてプラットフォーム開発すること。
- ・今後 NDS データや FOT データが充実してくると考えられるため、収集したデータの活用方法を計画すること。

#### 5. 事業委託元コメント

経済産業省 東谷様：本プロジェクトは、皆様に議論いただき野心的な事業と考える、このプロジェクトの最終成果は、皆様に使っていただけるシミュレータであり。今回の検討会の先生、メーカーの皆様方から発言を頂いたことはまったくその通りと考える。難しいプロジェクトだが JARI の皆さんの今までやってこられた知見を活かして進めていただきたく、引き続きお願いしたい。

平成 27 年度「戦略的イノベーション創造プログラム（自動走行システム）：交通事故低減  
詳細効果見積もりのためのシミュレーション技術の開発及び実証」

第 2 回 開発検討会 議事録

1. 開催日時 平成 28 年 2 月 23 日 10 時 00 分～12 時 00 分
2. 開催場所 日本自動車会館 12 階 日本自動車研究所 第 1,2 会議室
3. 出席者（順不同）

委員長 筑波大学 伊藤先生

委員 SIP-Adus 金光様、慶應義塾大学 大門先生、名古屋大学 武田先生、  
本田技術研究所 斉藤様、マツダ 福庭様

委託元 経済産業省 製造産業局 自動車課 東谷様

再委託 東京理科大学 千葉様

日本自動車研究所 谷川、長谷川、安達、内田、北島、岩城、大田（記）

オブザーバ 本田技術研究所 鳥井様

4. 議事内容纏め

【伊藤委員長】

- ・報告内容が、実施したこと、考察したこと、これからやりたいことの切り分けが明確になっていない。4 年間全体の最終目標を明確にした上で、今年度やったこと、課題、考察をしっかりと整理してほしい。次回、次世代高度運転支援システム推進委員会及び SIP システム実用化 WG 開催前までに見直すこと。
- ・この分野について海外との連携や国際標準化への反映、オープンにすべき内容など、今後の進め方をしっかりと検討してほしい。
- ・ドライバの精度の高いモデル化が重要。難しいポイントだと思うが、しっかりと推進させてほしい。
- ・SIP HMI タスクフォースとの連携（モデルを組み込んで効果評価など）を検討すること。

5. 事業委託元コメント

【経済産業省 東谷様】

委員の先生方、メーカーの方々からご指摘事項をきちっと整理し、3 月末報告に向けてしっかりまとめてほしい。JARI にとって得意な部分、不得意な部分もあるので、委員の皆様方のご知見を頂くなど、密に連携を取ってほしい。

## 5.2.2 次世代高度運転支援システム推進委員会

### 第3回次世代高度運転支援システム推進委員会

○日時：平成27年12月8日（火）15：00～17：00

○場所：芝公園フロントタワー会議室

○出席者：（敬称略・順不同）

【委員】石委員長（早大）、大前委員（慶大）、須田委員（東大）、北崎委員（産総研）  
菅沼委員（金沢大）、葛巻委員（SIP システム実用化 WG）、横山委員（自工会自動運転検討会）

【オブザーバ】吉田室長・小林様（経済産業省）

【実施者】永井・谷川・安達・長谷川・中村・大庭・鷹取・内田（JARI）

松本（横浜国立大学）、早川・河内（JARI 第71研究室：デンソー）、舟木（JARI 第72研究室：富士通）、田中（JARI 第73研究室：NTTセキュアプラットフォーム）、遠山（JARI 第74研究室：トヨタ ITC）、須藤（JARI 第75研究室：三菱電機）、斉藤（JARI 第41研究室：信号器材）、岸田（JARI 第43研究室：富士通テン）、加藤（産業技術総合研究所）金子・村田（JARI 第12研究室：パイオニア）、中根（JARI 第14研究室：ファインフィット）、水野（JARI 第23研究室：浜松ホトニクス）、日比（JARI 第31研究室：ジェイテクト）、加藤（JARI 第52研究室：萩原電気）、斉藤（JARI 第61研究室：ルネサスエレクトロニクス）、佐藤（JARI 第62研究室：日本電気）、宮島（名古屋大学）、吉武（東京大学）、榎田（九州工業大学）、猪狩（リョーサン）、村松（e-SYNC）、後呂・黒瀬・津田・佐藤・大田・横田・今長・山田・永草（JARI）

### 「SIP 交通事故低減詳細効果見積りのためのシミュレーション技術の開発及び実証」事業計画説明

- ・平成27年度事業について JARI 安達より報告。以下は主な質疑応答。

（全体要旨）

- ・シミュレーションは現実をどのように再現するのが重要であり、その手法をしっかりと検討すること。
- ・自動運転の中で二輪車、歩行者は OEM ではあまり研究（モデル化）されていないため、その実体は捉えきれていない。都市部とその周辺部では、動きも千差万別である。これらの実体をどのようにクラスター化してシミュレーションに活かしていくのかも検討し、これからの自動車社会に役立てるようにしてほしい。

【シミュレーションの形態について】

Q：本事業で開発するシミュレータは、どういう形態のものなのか？

A：パソコン上で動く数値シミュレーションで、リアルタイム処理でできるものを想定している。精度の要求を満たしつつ、処理速度もある程度あるものを目指している。

【シミュレーションの汎用性について】

Q：開発したものを OEM 各社で使えるようにアプライすることはできるのか？

A：周りの交通環境、地図などはある程度共通のものと捉えている。自動運転システムなどは各社で異なるので、それを適用できるようにインターフェースをある程度共通化できるように考えていきたい。

【車両以外のエージェントのモデル化について】

Q：車両以外の交通環境を再現するところがポイントだと理解するが、歩行者は交通ルールを守るわけではない。そこはどうやってモデル化するのか？また、二輪車（自転車）などはどの様に考えるか？

A：学校の前の道などの、様々な横断歩行者を定点観測し、その結果から歩行者のモデル化しようと考えている。自転車は歩行者の延長として考えているが、二輪車については定点観測から得られる結果を基に検討する。

【事業の進捗、スケジュールについて】

Q：平成 26 年度から何が進展しているのかわからない。現在の進捗状況をもう少し説明してほしい。

A：平成 26 年度はシミュレーション技術の調査であり、開発を行うべきの方向性を明確にし、どんな機能があるのか、必要かを調査し ASSTREET がベースとして目指すべき形であると提言した。平成 27 年度は ASSTREET の分析をさらに進めており、その詳細なところまでまとまってきている。どの部分は考え方の流用を行い、どの部分は新しく開発すべきかの整理をしている状況である。

Q：スケジュールがどのように進むのか資料からわからない。例えばプリクラッシュなどの実験をやるのかやらないのか、システムありなしの評価はいつ頃できるのか？

A：平成 27 年度は直線単路での追従衝突シーンの再現までを実施予定である。

C：PDCA を回し、効果が計れるかどうかをきちんと示してほしい。

【ドライバのモデル化について】

Q：ドライバモデルが重要だが、その作り方は色々なデータの平均値を積み上げていく方法だと理解した。ただし、事故は平均値からはずれる状況で起きるので、このやり方で事故が再現できるのか？単純なシチュエーションであっても、ドライバは余計なことを考えていて事故に至るといったことがあり得る。JARI でデータを取得しているプリクラッシュの試験データなども活用してはどうか。ハイブリッドなモデルが必要と感じる。

A：人間特性の分布データがあるので、個々のエージェントに対し世の中の分布に合わせた乱数を引き当てて、実際の交通環境を表す方向を考えている。

#### 第4回次世代高度運転支援システム推進委員会

○日時：平成28年2月29日（月）10：00～12：00

○場所：くるまプラザ会議室

○出席者：（敬称略・順不同）

【委員】石委員長（早大）、大前委員（慶大）、須田委員（東大）、北崎委員（産総研）  
菅沼委員（金沢大）、葛巻委員（SIP システム実用化 WG）、横山委員（自工会自動運転検討会）、伊藤委員（筑波大学）

【オブザーバ】吉田室長・田中様・小林様（経済産業省）

【実施者】永井・竹内・谷川・長谷川・安達・中村・野本・伊藤・大庭・鷹取・内田・北島（JARI）

金子・村田（JARI 第12研究室：パイオニア）、中根（JARI 第14研究室：ファイニフィット）、鈴木（JARI 第23研究室：浜松ホトニクス）、石原（JARI 第31研究室：ジェイテクト）、斉藤（JARI 第41研究室：信号器材）、岸田（JARI 第43研究室：富士通テン）、伊藤（JARI 第51研究室：クラリオン）、斉藤（JARI 第61研究室：ルネサスエレクトロニクス）、島崎（JARI 第62研究室：日本電気）、木下（JARI 第63研究室：デンソー）橋本（産業技術総合研究所）、梶原（北九州市立大学）舟木（JARI 第72研究室：富士通）、富士（JARI 第73研究室：NTT セキュアプラットフォーム）、須藤（JARI 第75研究室：三菱電機）、林（東京理科大学）、吉武（東京大学）、猪狩（リョーサン）、村松（e-SYNC）  
岩城・津田・黒瀬・後呂・大田・横田・永草（JARI）

「SIP 交通事故低減詳細効果見積りのためのシミュレーション技術の開発及び実証」  
成果報告

・平成27年度事業について JARI 安達、北島より報告。以下は主な質疑応答。

#### 全体

C：今後シミュレーションの条件を決めていくことになるが、運転支援システムの仕様（自動ブレーキの TTC など）は、各 OEM が独自に開発されている競争領域。OEM 各社の動向調査を行い、シミュレーション開発に反映させてほしい。

#### 既存のシミュレーションとの差異

Q：平成27年度は実施した直線単路における前方注視のシミュレーションは、すでに OEM 各社で開発・実施されているのではないかと比較した場合の特徴はどこにあるのか？

A：各社が実施しているのはほぼ事故特化型だが、本開発においては、自動走行システムを搭載した場合の状況を再現することを目指している（環境再現型）。また、事故が発生しないヒヤリハットの領域についても効果を検証する計画である。

### シミュレーションの拡張性

Q：今回開発したシミュレーションに他の機能を追加する場合は、作り変えることになるのか？

A：基本的には作り変えにはならない。天候の設定やドライバ意識による注意配分等が追加となっても、アドオンできる構造にしている。

C：SIPのHMIタスクフォースで、自動運転時にシステムから人への移行をどうするか？また、その時のドライバの状態はどうなっているのかなどいろいろ議論されている。そのHMIの成果を、本事業に上手く繋げて生かしてほしい。

### 妥当性の確認

C：妥当性の具体的な戦略は何と何を比較するかを明確にしてほしい。また必ずやることの明確化だが、計画では、高速道路と夜間の優先順位を下げているが、自動運転システムは、高速道路から導入される方向であり、また歩行者の事故は夜間が多いので、検討時期が遅いのではないかと思われる。

C：妥当性については、ただ最終結果のみで検証するのではなく、そこに至る過程を考える必要があり、また、同一のシナリオにおいてもドライバの行動特性が変わった時にどうするかは今すぐ着手する必要がある。このような開発は、色々な先生方を巻き込む必要があり、早く議論を進めてほしい。そのための戦略も必要。

C：事故低減効果については、ITARDAのデータも活用してほしい。妥当性の根拠を示すことにより、将来上手く展開できるようにしてほしい。

### JARI保有データとシミュレーションのドライバ属性との相関性

Q：先行車の57事例と後続車両の5パターンの運転特性の相関はどうなっているのか？

A：相関はない。57事例は、JARIがタクシーのドライブレコーダで収集したデータをもとに、先行車の動きを再現させたもの。5パターンは後続車両のドライバ運転特性の切り分けである。統計で一番免許を持っている40歳～44歳までをクラスタリングしており今回仮に設定した。実際には、男女、年齢構成の変化など色々なドライバを登場させて評価を行う。

### ドライバエージェントモデル

Q：脇見にしても、携帯をドライバがどの様に見るのかなど個々のドライバによって行動は異なる。このような行動は最終的にシミュレーションではレスポンスタイムに集約されるが、若年層、熟練者、高齢者などの、人口構成などによりさらに変化する。もう少し手前のヒューマンファクタをモデル化しないと、単なる数値でのチューニングになってしまう。

実際の設計にフィードバックするためにはもう少し手前での検討が必要ではないか。

A：その領域については、「ドライバモデルの有効性の検証」事業で検討されているので、その成果を活用していくことを検討する。

## 第6章 まとめ

### 6.1 まとめ

交通事故低減詳細効果シミュレータの開発において、最終目標となるシミュレータ全体構成を検討した上で、今後開発する機能が効率的、かつ、容易に追加できるように共通基盤部分を開発した。また、平成27年度の対象事故シナリオである単路での追従・追突事故を再現するために必要なドライバモデル、衝突警報、被害軽減ブレーキなどの自動走行システム、車両モデルなどを実装した。ドライバモデルについては、知覚認知、判断、操作モデルや認知、操作ミスモデル、また、多様なドライバの特性を表現できるように法遵守傾向、運転スキルなどのドライバ属性を織り込んだ。

開発したシミュレーションの機能評価として、直線単路と限定した道路環境での追突・追従シーンにて、先行車は実データ（ニアミス：45事例、衝突：12事例）を模擬して走行、また、後続車はドライバーモデルに従って追従走行するシミュレーションを実施し、衝突警報システム、または、被害軽減ブレーキシステムの事故低減効果を算出した。事故低減効果として、衝突警報システム、または、被害軽減ブレーキにて、衝突速度が低下することを確認した。また、事故に至らなくても、ニアミス低減などの評価が行えることも確認できた。

交通事故低減効果の妥当性検証については、来年度実施する計画となっており、平成27年度はその具体的な戦略について検討を行った。最終的な事故低減効果だけが実際のデータや文献と合致していれば良いということだけではなく、導出するステップ毎に妥当性を検証することが重要で、その確認ステップを明確にした。

### 6.2 今後の課題

交通事故低減効果の精度を向上させるためには、ドライバなどの交通参加者モデルの精度向上を図る必要があるが、漫然状態・居眠り状態・過度の依存状態などどのようにモデルとして表現すればよいか非常に難しい部分がある。ドライブレコーダ分析、実車シミュレータやドライビングシミュレータ実験を充実させ精度の高いモデルを構築する必要がある。

また、本事業で開発したシミュレータは、将来的に自動車メーカーに活用してもらい、自動走行システムの早期の実用化・普及促進につながることを重要である。そのためには、

各自動車メーカーの自動走行システムや交通参加者のモデルを容易に組み込むことができるように、インタフェースの標準化を、各自動車メーカーと連携して推進していく必要がある。

## 参考文献

- 1) 内閣府：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、p.30、2015
- 2) 石橋 基範：自動車運転者の個人特性評価に基づく反応理解手法に関する研究、香川大学博士論文、p88（2009）
- 3) 石橋 基範：自動車運転者の個人特性評価に基づく反応理解手法に関する研究、香川大学博士論文、p109（2009）
- 4) 警察庁：運転免許統計（平成26年版）一年齢別、男女別運転免許保有者数の前年比較、p.5（2015）
- 5) 安部正人：「自動車の運動と制御（車両運動力学の理論形成と応用）」pp50-63
- 6) <http://response.jp/article/2015/10/02/261269.html>
- 7) 名古屋COI：協調型運転支援のための交通社会ダイナミックマップの提案  
DEIM Forum 2015 F6-6
- 8) 内閣府：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、pp.53-69、2015
- 9) 柚原：ドライバのヒューマンエラーに関する考え方、自動車技術、Vol.62、No12、pp.10-15、2008
- 10) 田島ほか：交通事故シミュレーション、自動車技術会2001年春季大会フォーラム～交通安全対策の効果を予測する～、フォーラムテキスト、pp.33-38、2011
- 11) Feng Guo et.al: "Evaluating the Relationship Between Near-Crashes and Crashes: Can Near-Crashes Serve as a Surrogate Safety Metric for Crashes?" DOT HS 811 382、2010
- 12) Sheila G. Klauer et.al: An Analysis of Driver Inattention Using a Case-Crossover Approach on 100-Car Data: Final Report DOT HS 811 334、2010
- 13) Lee, S. E. et.al: Analyses of Rear-End Crashes and Near-Crashes in the 100-Car Naturalistic Driving Study to Support Rear-Signaling Countermeasure Development DOT HS 810 846、2007
- 14) 北島ら：追突事故・ニアミス時のドライバ対応行動の事後的診断手法の開発、計測自動制御学会論文集、Vol.49、No.8、pp.770-779、2013
- 15) 本間ら：前方車両衝突防止支援システムの効果予測：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、自動車技術会論文集、Vol.43、No.3、pp.769-775、2012
- 16) 北岡ら：交通シミュレーション、自動車技術会2001年春季大会フォーラム～交通安全対策の効果を予測する～、フォーラムテキスト、pp.17-32、2011
- 17) 伊藤ら：交通事故低減のための自動車の追突防止支援技術、コロナ社、pp.25-44、2015
- 18) 富永ら：日本の交通事故実態を反映したAACN傷害予測アルゴリズムの研究、自動車技術会論文集、vol.46、No.5、pp.925-930、2015
- 19) 西本ら：歩行者および自転車乗員保護のためのAACN 傷害予測アルゴリズムの構築、自動車技術会論文集、vol.46、No.6、pp.1123-1129、2015
- 20) 魏 朗ら：衝突事故再現の解析モデルに関する研究ーモデルの検証ー、自動車研究、

- Vol.17、No.10、pp.23-26、1995
- 21) 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
  - 22) 交通事故総合分析センター：自動車における車線逸脱の要因分析、pp.1-5、2011
  - 23) 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
  - 24) 交通事故総合分析センター：交通事故マクロ・マイクロデータを用いた歩行者事故の特徴分析、pp.53-72、2009
  - 25) 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
  - 26) 永井：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
  - 27) 自動車事故対策機構：予防安全性能アセスメントパンフレット2015年版、pp.2-8、2015
  - 28) Treat, J. R., Tumbas, N. S., McDonald, S. T., Shinar, D., Hume, R. D., Mayer, R. E., Stansifer, R. L. & Castellan, N. J.: Tri-level study of the causes of traffic accidents: final report Volume1: Causal Factor Tabulations and Assessments, Report No.DOT-HS-805085、1979
  - 29) Fletcher L., L. Petersson, & A. Zelinsky : Road Scene Monotony Detection in a Fatigue Management Driver Assistance System, Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV2005) , Las Vegas USA、2005
  - 30) John G. Gaspar, Chris W. Schwarz, Susan T Chrysler: Driver Behavior in Pedestrian Crash Scenarios, Transportation Research Board 95th Annual Meeting. Washington, DC, 2016
  - 31) Vindhya Venkatraman, John D. Lee, Chris W. Schwarz: STEER OR BRAKE? MODELING DRIVERS' COLLISION AVOIDANCE BEHAVIOR 1 USING PERCEPTUAL CUES, Transportation Research Board 95th Annual Meeting. Washington, DC, 2016
  - 32) Ying Ni, Wang Menglong: Pedestrian-vehicle Conflict Analysis: Choose Appropriate Conflict Indicators According to Pedestrian-Vehicle Interaction Patterns, Transportation Research Board 95th Annual Meeting. Washington, DC, 2016
  - 33) Weiliang Zeng, Peng Chen, Guizhen Yu, Yunpeng Wang : Modeling and Validating Pedestrian Dynamics at Crosswalk: A Social-Forced Based Approach, Transportation Research Board 95th Annual Meeting. Washington, DC, 2016
  - 34) 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、情報処理学会論文誌、Vol.50-12、pp.3175-3185、2008
  - 35) 浅野ほか：先読み行動を考慮した歩行者交通流シミュレーション、生産研究、Vol.59-3、pp.184-187、2007
  - 36) 木村ほか：マルチエージェントモデルによる群集歩行性状の表現、日本建築学会計画系論文集、No.636、pp.371-377、2009
  - 37) G. Antonini et al : Discrete choice models of pedestrian walking behavior、Transp Res Part B Methodological、Vol.40-8、pp.667-687、2006
  - 38) 交通事故総合分析センター：自動車と歩行者の事故“危ない！ 右から歩行者が横断！”、

イタルダ・インフォメーション、No.83、2010

- 39) 日本自動車研究所：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

## 第7章 参考資料

### 7.1 シミュレーション実行時に必要となる入力ファイル

交通事故低減詳細効果シミュレータでは、シミュレーションに必要な実行シナリオや各種パラメータ等の情報を JSON ファイル、及びレシピファイル csv（先行車の走行パターンがマップ指定の場合にその走行パターンを記述）の形式で設定し、これらを入力としてシミュレーションを実行する。

JSON ファイルには、以下の 3 種類がある。

- Scenario.JSON：道路の設定、及びシミュレーションシナリオの設定を行う。
- Drivers.JSON：ドライバエージェントのパラメータの設定、及びドライバエージェントに対するエラーの挿入（脇見、判断誤り、操作誤り）の指定を行う。
- Vehicles.JSON：車両パラメータの設定、及び自動走行システムのパラメータ設定と車両への搭載の指定を行う。

Scenario.JSON の例を以下に示す。JSON ファイルは、用意されている "default" の値に対して、変更したい項目の値を別途設定する（確認を容易にするために default 値を再度書いてもよい）ことにより記述する。この例では、"実験"（区別するために任意の名前、ただし "default" 以外）というシナリオ名で、シミュレータ乱数の指定や、後続車の台数を設定している。

```
{
  "_c": "=====",
  "_c": "      シミュレーション情報",
  "_c": "=====",
  "Scenario": {
    "実験": {
      "シミュレータ乱数 (-1:毎回初期化 0:全固定 over1:AgentID 単位)":1,
      "後続車両台数":60,
      "シナリオ tick[s]":0.01,
      "車両ドライバ組合せテーブル使用":true,
      "車両テーブル":[1,2,3],
      "ドライバテーブル"
: [1,1,1,2,2,2,3,3,3,4,4,4,5,5,5,6,6,6,7,7,7,8,8,8,9,9,9,10,10,10,11,11,11,12,12,12,13,13,13,14,14,14,15,15,15,16,16,16,17,17,17,18,18,18,19,19,19,20,20,20],
      "ドライバ Ag": {
        "TypeID":1
      }
    },
    "default": {
      "シミュレータ乱数 (-1:毎回初期化 0:全固定 over1:AgentID 単位)":0,
      "後続車両台数":1,
      "道路幅 [m]":3,
      "制限速度[km/h]":80,
      "シナリオ時間[s]":33.5,
      "シナリオ tick[s]":0.01,
      "ドライバ tick":10,
      "ξ 中央値固定":true,
      "車両ドライバ組合せテーブル使用":false,
      "車両テーブル":[],
      "ドライバテーブル":[],
      "先行車": {
        "パターン":4,
        "レシピファイル名":"RecipeFile.csv",

```

```

"車両台数":1,
"初期位置[x,y,z]":[0,0,0],
"初期位置 X 乱数[kind, μ, σ]":[0,0.0,0.0],
"初期位置 Y 乱数[kind, μ, σ]":[0,0.0,0.0],
"初期速度[x,y,z][km/h]":[0,20,0],
"初期速度 Y 乱数[kind, μ, σ]":[0,0,0],
"加速度[m/s^2]":0.1,
"加速度乱数[kind, μ, σ]":[0,0,0],
"最終速度パターン 3 加速の時だけ有効[km/h]":100,
"最終速度乱数[kind, μ, σ]":[0,0,0],
"減速度勾配[m/s^3]":-0.1,
"減速度勾配乱数[kind, μ, σ]":[0,0,0]
},
"後続車":{
  "TypeID":1
},
"ドライバ Ag":{
  "TypeID":1
}
}
}
}

```

図 7.1-1 Scenario.JSON 記述例

表 7.1-1 Scenario.JSON で指定する各種パラメータ一覧

| Scenario.JSON のパラメータ | default 値 | 備考   |
|----------------------|-----------|--|
| シミュレータ乱数             | 0         | シミュレータで使用する乱数<br>-1 : 全てのドライバエージェントの乱数シードは不定値<br>0 : 全てのドライバエージェントの乱数シードは同一<br>1 以上 : ドライバエージェントの乱数シードは以下の式<br><b>Drivers.Json::randseed + Scenario.json::シミュレータ乱数</b> |
| 道路幅[m]               | 3         |  |
| 制限速度[km/h]           | 80        | 後続車の自由走行時の希望速度に影響あり。   |
| シナリオ時間[s]            | 33.5      | マップ指定の場合はマップでの最終時刻までシミュレーションを行うため不要  |
| シナリオ tick[s]         | 0.01      | シミュレーション単位時間。  |
| ドライバ tick            | 10        | ドライバの作動単位時間。シミュレーション単位時間の整数倍で指定する。正の整数を指定する。 <b>default</b> は 0.1[s]   |
| ξ 中央値固定              | true      | <b>true:</b> ξ は中央値を使用する<br><b>false:</b> ξ は一様乱数を使用する   |
| 車両ドライバ組合せテーブル使用有無    | false     | <b>true:</b> 発生する AgentNo で車両テーブル、ドライバテーブルを使い、車両・ドライバを生成する<br><b>false:</b> 使用しない  |
| 先行車パラメータ             |           | 下表に示す  |
| 後続車/ドライバ Ag TypeID   |           | デバッグ用の指定   |

| 先行車パラメータ                 | default 値   | 備考  |
|--------------------------|-------------|---|
| パターン                     | 4           | 0:停止<br>1:減速 (勾配付き)<br>2:等速<br>3:加速 (等加速)<br>4:マップ指定                                |
| 車両台数[台]                  | 1           | マップ指定タイプ以外の時に使用する。  |
| 初期位置[x,y,z] (m)          | [0,0,0]     | 3方向の初期位置を指定。 <sup>1</sup>   |
| 初期位置 X 乱数[種類,パラメータ]      | [0,0,0,0.0] | 種類：<br>0:使わない<br>1:一様乱数<br>2:正規乱数<br>3:対数正規乱数<br>4:指数乱数<br>5:累積分布乱数<br>※詳細設定方法は後述する |
| 初期位置 Y 乱数[種類,パラメータ]      | [0,0,0,0.0] | 同上  |
| 初期速度[x,y,z][km/h]        | [0,20,0]    | 3方向の初期速度を指定。 <sup>1</sup>   |
| 初期速度 Y 乱数[種類,パラメータ]      | [0,0,0]     | 同上  |
| 加速度[m/s <sup>2</sup> ]   | 0.1         |   |
| 加速度乱数[種類,パラメータ]          | [0,0,0,0.0] | 上記乱数パラメータと同様  |
| 最終速度[km/h]               | 100         | 加速タイプのために指定する。  |
| 最終速度乱数[種類,パラメータ]         | [0,0,0,0.0] | 上記乱数パラメータと同様  |
| 減速度勾配[m/s <sup>3</sup> ] | -0.1        |   |
| 減速度勾配乱数[種類,パラメータ]        | [0,0,0,0.0] | 上記乱数パラメータと同様  |

<sup>1</sup> 平成 27 年度版は X 方向、Y 方向にのみ車両を移動させるシステムのため、[z]は 0 とする。

Drivers.JSON の例を以下に示す。ここでは、"default"のドライバエージェント・パラメータに対して、ドライバ特性の違い、脇見・操作誤りの有無に応じて各ドライバエージェントのパラメータ値を設定している。ここで、"1\_標準-01\_わき見なし & 操作誤りなし"等は、設定したドライバエージェントを区別するための識別名である。

```
{
  "_c": "=====",
  "_c": "      運転手情報",
  "_c": "=====",

  "Driver": {
    "1_標準-01_わき見なし & 操作誤りなし":{
      "TypeID":1,
      "ドライバ特性[A,B,C,D]":[1,1,1,3],
      "わき見":{
        "発生確率[0:なし,1:確率,2:強制エラー]":0
      }
    },
    "2_標準-01_わき見なし & 操作誤り 75 パーセント":{
      "TypeID":2,
      "ドライバ特性[A,B,C,D]":[1,1,1,3],
      "わき見":{
        "発生確率[0:なし,1:確率,2:強制エラー]":0
      },
      "強制操作誤り":{
        "使用する":true,
        "誤り量":0.75,
        "発生間隔確率[ $\mu$ ,  $\sigma$ ]":[0,1],
        "継続時間確率[ $\mu$ ,  $\sigma$ ]":[0,1]
      }
    },
    "3_標準-01_わき見あり & 操作誤りなし":{
      "TypeID":3,
      "ドライバ特性[A,B,C,D]":[1,1,1,3],
      "わき見":{
        "発生確率[0:なし,1:確率,2:強制エラー]":2
      }
    },
    "4_標準-01_わき見あり & 操作誤り 75 パーセント":{
      "TypeID":4,
      "ドライバ特性[A,B,C,D]":[1,1,1,3],
      "わき見":{
        "発生確率[0:なし,1:確率,2:強制エラー]":2
      },
      "強制操作誤り":{
        "使用する":true,
        "誤り量":0.75,
        "発生間隔確率[ $\mu$ ,  $\sigma$ ]":[0,1],
        "継続時間確率[ $\mu$ ,  $\sigma$ ]":[0,1]
      }
    },
    ---以下 "5_"から"19_"まで省略---
    "20_標準-05_わき見あり & 操作誤り 75 パーセント":{
      "TypeID":20,
      "ドライバ特性[A,B,C,D]":[3,3,3,3],
      "わき見":{
        "発生確率[0:なし,1:確率,2:強制エラー]":2
      },
      "強制操作誤り":{
        "使用する":true,
        "誤り量":0.75,
        "発生間隔確率[ $\mu$ ,  $\sigma$ ]":[0,1],
        "継続時間確率[ $\mu$ ,  $\sigma$ ]":[0,1]
      }
    },
    "default":{
      "TypeID":0,
      "年齢":41,
      "体重":60,

```



表 7.1-2 Drivers.JSON で指定する各種パラメータ一覧

| Drivers.JSON のパラメータ          | default 値 | 備考  |
|------------------------------|-----------|---|
| 年齢[歳]                        | 41        | 16～89：指定した年齢に従う<br>0:性別の年齢構成比に従い生成 <sup>2</sup>                                       |
| 体重[kg]                       | 60        | ログ出力時は車重+体重とする。   |
| 性別                           | 0         | 0:男<br>1:女<br>2:年齢別統計に従い生成 <sup>2</sup>   |
| 法遵守傾向 A                      | 2         | 1:低い<br>2:  <br>3:高い  |
| 運転スキル B                      | 2         | 同上  |
| 情報処理能力 C                     | 2         | 同上  |
| 意識水準 D                       | 3         | 1:低い<br>2:  <br>3:  <br>4:  <br>5:高い  |
| ドライバ特性固定値                    | true      | true：上記 ABCD をそのまま採用<br>false：男女別の発生確率で生成 <sup>2</sup>                                |
| ドライバ乱数シード情報                  | false     | 性別、年齢、ドライバ特性を乱数で生成する場合に指定する。<br>true:ドライバ個別にシードを与える<br>false:「シナリオ」シートの「シミュレータ乱数」に準ずる |
| ドライバ最大加速度[m/s <sup>2</sup> ] | 6.86      | 車両パラメータの最大加速度とドライバパラメータの最大加速度の小さい方の値を使用する。  |
| ドライバ最大減速度[m/s <sup>2</sup> ] | 3.826     | 正数で指定し、シミュレータ内部で負数に変換。車両パラメータの最大減速度とドライバパラメータの最大減速度の小さい方の値を使用する。                      |
| エラー挿入の指定                     |           | 下表に示す   |
| minDist[m]                   |           | 追従モデルで使用する最低車間距離  |
| 中心視野[±° , m]                 | [20,60]   | 前、右、左、後ろ、右サイドミラー、左サイドミラー、バックミラーの各々について視野角[° ]、視距離[m]を指定。                              |
| 有効視野[±° , m]                 | [20,60]   |   |
| 周辺視野[±° , m]                 | [20,60]   |   |

<sup>2</sup> 発生数を指定し、警察庁：運転免許統計（平成 26 年版）一年齢別、男女別運転免許保有者数の前年比較一の分布比率で自動生成することも可能。

| Drivers.JSON のパラメータ | default 値                     | 備考   |
|---------------------|-------------------------------|--|
| 視野保持[s]             | 0.5                           | 前方以外で保持する時間  |
| 視点移動確率              | [-1,0.01,0.01,0.01,0.01,0.01] | 前、右、左、後ろ、右サイドミラー、左サイドミラー、バックミラーの各々について指定。<br>前の確率=100%-その他の視野の合計で算出。 |

表 7.1-3 事故発生要因で指定する各種パラメーター一覧

| エラー挿入のパラメータ                 | default 値       | 備考  |
|-----------------------------|-----------------|---|
| 脇見発生確率                      | 2               | 0:脇見をしない<br>1:指定確率で脇見する<br>2:最初から強制脇見する<br>このフラグをセットすると確率的脇見の設定に関係なく、衝突警報等が作動するまでは脇見を続ける。強制的脇見時は、初速を維持する。 |
| 脇見頻度[ $\mu, \sigma$ ]       | [60.0,1.0]      | 正規分布で指定し、脇見頻度をフェール間隔平均[s]、フェール間隔標準偏差[s]で与える。  |
| 脇見時間[ $\mu, \sigma$ ]       | [-0.042,0.0125] | 脇見時間 $\lambda$ は対数正規分布 $\log(\lambda) \sim \text{ND}(-0.042, 0.112^2)$ で指定。                               |
| 強制操作誤り有無                    | false           | true:強制操作誤りをする<br>false:確率で操作誤りする   |
| 強制操作誤り 判断量                  | 1               | 追従モデルで算出したアクセル、ブレーキ量にこの値をかける。「誤りなし」を選択したときは無視される <sup>3</sup> 。   |
| 強制操作誤り発生頻度[ $\mu, \sigma$ ] | [0,1]           | 正規分布で指定し、フェール間隔平均[s]、フェール間隔標準偏差[s]で与える。   |
| 強制操作誤り継続時間[ $\mu, \sigma$ ] | [0,1]           | 時間 $\lambda$ は対数正規分布 $\log(\lambda) \sim \text{ND}(-0.042, 0.112^2)$ で指定。                                 |
| 強制判断誤り 有無                   | false           | true:強制判断誤りをする<br>false:確率で判断誤りする<br>平成 27 年度版は判断誤りについては対象外とする。   |

<sup>3</sup> 例えば、0.75 と指定すると、常に操作誤りのない場合の減速度判断量×0.75 の減速度の制動を行う。(減速に対してのみ適用) また、判断誤りと重複した場合は、判断誤りした減速度に対して、更にこの値を掛け算した減速度とする。

| エラー挿入のパラメータ                     | default 値 | 備考  |
|---------------------------------|-----------|---|
| 強制判断誤り 判断量                      | 1         | 追従モデルで算出したアクセル、ブレーキ量にこの値をかける。「誤りなし」を選択したときは無視される <sup>4</sup> 。           |
| 強制判断誤り発生頻度<br>[ $\mu, \sigma$ ] | [0,1]     | 正規分布で指定し、フェール間隔平均[s]、フェール間隔標準偏差[s]を与える。                                   |
| 強制判断誤り継続時間<br>[ $\mu, \sigma$ ] | [0,1]     | 時間 $\lambda$ は対数正規分布 $\log(\lambda) \sim \text{ND}(-0.042, 0.112^2)$ で指定。 |

<sup>4</sup> 例えば、0.75 と指定すると、常に判断誤りのない場合の減速度判断量 $\times 0.75$ の減速度と判断する。(減速に対してのみ適用)

Vehicles.JSON の例を以下に示す。

```
{
  "_c": "=====",
  "_c": "      車両情報 DB",
  "_c": "=====",

  "Vehicle": {
    "1_車両 1_安全装置なし":{
      "TypeID":1,
      "安全装置":{
        "CW":{
          "Enable":false
        },
        "EBA":{
          "Enable":false
        },
        "DMB1":{
          "Enable":false
        }
      }
    },
    "2_車両 1_CW のみ":{
      "TypeID":2,
      "安全装置":{
        "CW":{
          "Enable":true,
          "TypeName":"CW 標準"
        },
        "EBA":{
          "Enable":false
        },
        "DMB1":{
          "Enable":false
        }
      }
    },
    "3_車両 1_DMB のみ":{
      "TypeID":3,
      "安全装置":{
        "CW":{
          "Enable":false
        },
        "EBA":{
          "Enable":false
        },
        "DMB1":{
          "Enable":true,
          "TypeName":"DMB1 標準"
        }
      }
    },
    "default":{
      "TypeID":0,
      "車両固有":{
        "車幅 (m)":1.76,
        "車長 (m)":4.54,
        "ホイールベース (m)":2.7,
        "前部オーバーハング (m)":1,
        "後部オーバーハング (m)":1,
        "ドライバ視点 ([x,y,z]m)":[0.5,1.0,0],
        "右 A ビラー位置 ([x,y,z]m)":[1.0,0.6,0],
        "左 A ビラー位置 ([x,y,z]m)":[1.0,-0.6,0],
        "A ビラー幅 (m)":0.15,
        "トレッド幅 (m)":1.55,
        "車両後端から重心までの距離 (m)":2.27,
        "右ミラー位置 ([x,y,z]m)":[0,0,0],
        "左ミラー位置 ([x,y,z]m)":[0,0,0],
        "センターミラー位置 ([x,y,z]m)":[0,0,0]
      },
      "物理量":{
        "最大加速度 (m/s^2)":3.826,
        "最大減速度 (m/s^2)":7.84,
        "空走減速度 (m/s^2)":0.25,
        "車両重量 (kg)":1400
      },
      "初期値":{
```

```

"初期位置[x,y,z]":[0,-50.0],
"初期位置 X 乱数[kind,  $\mu$ ,  $\sigma$  ]":["0.0,0.0,0],
"初期位置 Y 乱数[kind,  $\mu$ ,  $\sigma$  ]":["0,0.0,10.0],
"初期速度[km/h]":50,
"初期速度乱数[kind,  $\mu$ ,  $\sigma$  ]":["0,0.0,0.0]
},
"安全装置":{
  "CW":{
    "Enable":false,
    "Kind":1,
    "TypeName":"CW",
    "音衝突警報":true,
    "光衝突警報":true,
    "振動衝突警報":true,
    "MAXSPEED (km/h)":100,
    "MINSPEED (km/h)":0.1,
    "MINDIFFSPEED (km/h)":0.1,
    "LeftUncatchLap (%)":0,
    "RightUncatchLap (%)":0,
    "CatchDelay (s)":0,
    "WakeDelay (s)":0,
    "SleepDelay (s)":0,
    "MinContinue (s)":2,
    "DetailLog":false,
    "停止 TTCMapSpeed":["0,100],
    "停止 TTCMapTTC":["1.8,1.8],
    "移動 TTCMapSpeed":["0,100],
    "移動 TTCMapTTC":["1.8,1.8]
  },
  "EBA":{
    "Enable":false,
    "Kind":2,
    "TypeName":"EBA",
    "音衝突警報":true,
    "光衝突警報":true,
    "振動衝突警報":true,
    "MAXSPEED (km/h)":100,
    "MINSPEED (km/h)":0.1,
    "MINDIFFSPEED (km/h)":0.1,
    "LeftUncatchLap (%)":0,
    "RightUncatchLap (%)":0,
    "CatchDelay (s)":0,
    "WakeDelay (s)":0,
    "SleepDelay (s)":0.5,
    "MinContinue (s)":-1,
    "DetailLog":false,
    "停止 TTCMapSpeed":["0,100],
    "停止 TTCMapTTC":["1.8,1.8],
    "移動 TTCMapSpeed":["0,100],
    "移動 TTCMapTTC":["1.8,1.8],
    "Fol (s)":0.2,
    "AssitPlus (m/s^2)":0,
    "AssitPower":0.4
  },
  "DMB1":{
    "Enable":false,
    "Kind":3,
    "TypeName":"DMB1",
    "音衝突警報":true,
    "光衝突警報":true,
    "振動衝突警報":true,
    "MAXSPEED (km/h)":100,
    "MINSPEED (km/h)":0.1,
    "MINDIFFSPEED (km/h)":0.1,
    "LeftUncatchLap (%)":0,
    "RightUncatchLap (%)":0,
    "CatchDelay (s)":0,
    "WakeDelay (s)":0,
    "SleepDelay (s)":0.5,
    "MinContinue (s)":-1,
    "DetailLog":false,
    "停止 TTCMapSpeed":["0,100],
    "停止 TTCMapTTC":["0.6,0.6],
    "移動 TTCMapSpeed":["0,100],
    "移動 TTCMapTTC":["0.6,0.6],
    "Fol (s)":0.05,
    "BrakeGradient (m/s^3)":19.6
  }
}

```



表 7.1-4 Vehicles.JSON で指定する各種パラメータ一覧

| Vehicles.JSON のパラメータ     | default 値    | 備考  |
|--------------------------|--------------|---|
| 車幅[m]                    | 1.760        |   |
| 車長[m]                    | 4.540        |   |
| ホイールベース長[m]              | 2.700        | 平成 28 年度は使用しない  |
| 前部/後部オーバーハング[m]          |              | 平成 28 年度は使用しない  |
| ドライバ視点 ([x,y,z]m)        | [0.5,1.0,0]  | 平成 28 年度は使用しない  |
| 右 A ピラー位置[x,y,z][m]      | [1.0,0.6,0]  | 平成 28 年度は使用しない  |
| 左 A ピラー位置[x,y,z][m]      | [1.0,-0.6,0] | 平成 28 年度は使用しない  |
| A ピラー幅 [m]               | 0.15         | 平成 28 年度は使用しない  |
| トレッド幅[m]                 | 1.55         | 平成 28 年度は使用しない  |
| 車両後端から重心までの距離 [m]        | 2.27         |   |
| 右サイドミラー位置[x,y,z][m]      | [0,0,0]      | 平成 28 年度は使用しない  |
| 左サイドミラー位置[x,y,z][m]      | [0,0,0]      | 平成 28 年度は使用しない  |
| バックミラー位置[x,y,z][m]       | [0,0,0]      | 平成 28 年度は使用しない  |
| 最大加速度[m/s <sup>2</sup> ] | 3.826        | 車両パラメータの最大加速度とドライバパラメータの最大加速度の小さい方の値を使用する。  |
| 最大減速度[m/s <sup>2</sup> ] | 7.84         | 正数で指定し、シミュレータ内部で負数に変換。ドライバの緊急減速操作時には、車両パラメータの最大減速度とドライバパラメータの最大減速度の絶対値が小さい方の値を使用する。   |
| 空走減速度[m/s <sup>2</sup> ] | -0.25        |   |
| 車重[kg]                   | 1,400        |   |
| 初期位置[x,y,z][m]           | [0,-50,0]    | <sup>5</sup>  |
| 初期位置 X 乱数[種類,パラメータ]      | [0,0.0,0.0]  | 使わない：[0]<br>一様乱数：[1,最小値,最大値]<br>正規乱数：[2,平均,標準偏差]<br>対数正規乱数：[3,平均,標準偏差]<br>指数乱数：[4,λ (平均の逆数)]<br>累積分布乱数：[5,最小値,最大値,確率 1,確率 2,確率 3,...] |
| 初期位置 Y 乱数[種類,パラメータ]      | [0,0.0,0.0]  | 同上  |
| 初期速度[km/h]               | 50           |   |
| 初期速度乱数[種類,パラメータ]         | [0,0.0,0.0]  | 上記乱数パラメータと同様  |
| 自動走行システムの設定              |              | 下表に示す   |

<sup>5</sup> 平成 27 年度版は X 方向、Y 方向にのみ車両を移動させるシステムのため、[z]は 0 とする。

自動走行システムの設定では、下記のシステム毎に指定する。

- －衝突警報システム（CW： Collision Warning system）
- －緊急ブレーキアシストシステム（EBA： Emergency Brake Assist system）
- －被害軽減ブレーキシステム（DMB： Damage Mitigation Brake system）

表 7.1-5 衝突警報システム で指定する各種パラメータ一覧

| CW のパラメータ            | default 値  | 備考   |
|----------------------|------------|--|
| 搭載有無                 | false      | true:搭載する<br>false:搭載しない   |
| タイプネーム               | CW         | 任意の名前をつける。この名前は後述する統計情報で各自動走行システムを区別する際に使用する。ただし名前の中に「¥」「%」は使用しないこと。 |
| 音衝突警報                | true       | true:あり<br>false:なし<br>警報フラグは複数同時指定可                                 |
| 光衝突警報                | true       | true:あり<br>false:なし<br>警報フラグは複数同時指定可                                 |
| 振動衝突警報               | true       | true:あり<br>false:なし<br>警報フラグは複数同時指定可                                 |
| 作動最低相対速度 [km/h]      | 0.1        |  |
| 作動最低速度 [km/h]        | 0.1        |  |
| 作動最高速度 [km/h]        | 100        |  |
| 不作動ラップ率 下限 [%]       | 0          |  |
| 不作動ラップ率 上限 [%]       | 0          |  |
| 検知必要時間[s]            | 0          | 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。                         |
| 作動遅れ時間[s]            | 0          |  |
| 警報持続時間[s]            | 2          | 終了条件が成立してからシステム停止までの遅延時間   |
| ログ出力有無               | false      | true:あり<br>false:なし  |
| 作動最低相対速度 対先行車 [km/h] | [0,100]    | 相対速度と作動 TTC の組で記述する。default 値は、相対速度に係らず 1.8[s]としている。                 |
| 作動 TTC 対先行車[s]       | [1.8, 1.8] |  |
| 作動最低相対速度 対静止車 [km/h] | [0,100]    | 相対速度と作動 TTC の組で記述する。default 値は、相対速度に係らず 1.8[s]としている。                 |
| 作動 TTC 対静止車[s]       | [1.8, 1.8] |  |

表 7.1-6 緊急ブレーキアシストシステム で指定する各種パラメータ一覧

| EBA のパラメータ                    | default 値  | 備考   |
|-------------------------------|------------|--|
| 搭載有無                          | false      | true:搭載する<br>false:搭載しない   |
| タイプネーム                        | EBA        | 任意の名前をつける。この名前は後述する統計情報で各自動走行システムを区別する際に使用する。ただし名前の中に「¥」「%」は使用しないこと。           |
| 音衝突警報                         | true       | true:あり<br>false:なし<br>警報フラグは複数同時指定可   |
| 光衝突警報                         | true       | true:あり<br>false:なし<br>警報フラグは複数同時指定可   |
| 振動衝突警報                        | true       | true:あり<br>false:なし<br>警報フラグは複数同時指定可   |
| 作動最低相対速度 [km/h]               | 0.1        |  |
| 作動最低速度 [km/h]                 | 0.1        |  |
| 作動最高速度 [km/h]                 | 100        |  |
| 不作動ラップ率 下限 [%]                | 0          |  |
| 不作動ラップ率 上限 [%]                | 0          |  |
| 検知必要時間[s]                     | 0          | 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。                                   |
| 作動遅れ時間[s]                     | 0          |  |
| 警報持続時間[s]                     | 2          | 終了条件が成立してからシステム停止までの遅延時間   |
| ログ出力有無                        | false      | true:あり<br>false:なし  |
| 作動最低相対速度 対先行車 [km/h]          | [0,100]    | 相対速度と作動 TTC の組で記述する。default 値は、相対速度に係らず 1.8[s]としている。                           |
| 作動 TTC 対先行車[s]                | [1.8, 1.8] |  |
| 作動最低相対速度 対静止車 [km/h]          | [0,100]    | 相対速度と作動 TTC の組で記述する。default 値は、相対速度に係らず 1.8[s]としている。                           |
| 作動 TTC 対静止車[s]                | [1.8, 1.8] |  |
| 時定数[s]                        | 0.2        |  |
| ブレーキ増大係数加算[m/s <sup>2</sup> ] | 0          | ブレーキ増分値の符号を反転し、これを加えた減速度[m/s <sup>2</sup> ]を出力する。(但し、車両に設定された最大減速度を超えないものとする。) |

|          |     |  |
|----------|-----|--|
| ブレーキ増大倍数 | 0.4 | ブレーキ増大係数を掛けた減速度[m/s <sup>2</sup> ]を出力する。(但し、車両、ドライバに設定された最大減速度を超えないものとする。) |
|----------|-----|--|

表 7.1-7 被害軽減ブレーキシステム で指定する各種パラメーター一覧

| DMB のパラメータ           | 暫定値        | 備考   |
|----------------------|------------|--|
| 搭載有無                 | false      | true:搭載する<br>false:搭載しない   |
| タイプネーム               | DMB        | 任意の名前をつける。この名前は後述する統計情報で各自動走行システムを区別する際に使用する。ただし名前の中に「¥」「%」は使用しないこと。 |
| 音衝突警報                | true       | true:あり<br>false:なし<br>警報フラグは複数同時指定可                                 |
| 光衝突警報                | true       | true:あり<br>false:なし<br>警報フラグは複数同時指定可                                 |
| 振動衝突警報               | true       | true:あり<br>false:なし<br>警報フラグは複数同時指定可                                 |
| 作動最低相対速度 [km/h]      | 0.1        |  |
| 作動最低速度 [km/h]        | 0.1        |  |
| 作動最高速度 [km/h]        | 100        |  |
| 不作動ラップ率 下限 [%]       | 0          |  |
| 不作動ラップ率 上限 [%]       | 0          |  |
| 検知必要時間[s]            | 0          | 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。                         |
| 警報持続時間[s]            | 2          | 終了条件が成立してからシステム停止までの遅延時間   |
| 作動遅れ時間[s]            | 0          |  |
| ログ出力有無               | false      | true:あり<br>false:なし  |
| 作動最低相対速度 対先行車 [km/h] | [0,100]    | ※詳細設定方法は後述する   |
| 作動 TTC 対先行車[s]       | [1.8, 1.8] | ※詳細設定方法は後述する   |
| 作動最低相対速度 対静止車 [km/h] | [0,100]    | ※詳細設定方法は後述する   |
| 作動 TTC 対静止車[s]       | [1.8, 1.8] | ※詳細設定方法は後述する   |
| 時定数[s]               | 0.05       |  |

|                          |      |   |
|--------------------------|------|---|
| 減速度勾配[m/s <sup>3</sup> ] | 19.6 | 作動した場合は、指定した減速度勾配[m/s <sup>3</sup> ]に従った減速度[m/s <sup>2</sup> ]を出力する。(但し、車両に設定された最大減速度を超えないものとする。) |
|--------------------------|------|---|

表 7.1-8 自動走行システム で指定する各種パラメータ一覧

| パラメータ            | 暫定値     | 備考   |
|------------------|---------|--|
| センサ検知幅[m]        | 1,000   | センサの最大検知幅  |
| センサ検知奥行[m]       | 1,000   | センサの最大検知奥行   |
| 検知幅[°]           | 1.5     | 自車中央から左右それぞれこの幅以内に対象が入る場合に検知する   |
| センサ検知角度[°]       | 180     | 取付け方向から±検知角度/2の範囲を検知する。<br>0以上の場合は、センサ検索幅はこの値と奥行を使って上書き計算される。                      |
| 取付け方向[°]         | 0       | 0[°]が正面とする   |
| 取付け位置[x,y,z] (m) | [0,2,0] | 車両の中心からの相対位置で X,Y,Z[m]を指定する。但し、今年度は Z 方向を考慮していないため、Zは0とする。車両の先端中央でよい場合はガイア側で設定します。 |

以上のように、JSON ファイルでの指定項目の数は非常に多いため、パラメータ設定用に Excel マクロを開発した。

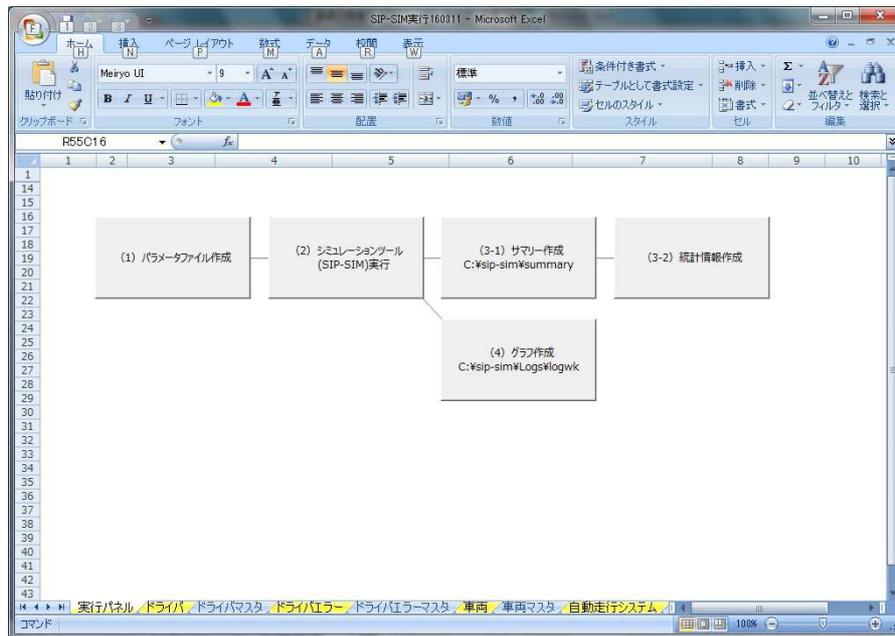


図 7.1-4 パラメータ設定及びシミュレーション実行制御

各シートにパラメータを入力し「(1)パラメータファイル作成」ボタンをクリックすると、Scenario.JSON、Drivers.JSON、Vehicles.JSON を生成する。また、Excel マクロ上から交通事故低減詳細効果シミュレータの起動、シミュレーション結果のグラフや統計情報の出力も可能となっている。

下図にドライバーの設定シートの例を示す。

| 5  | Name                                | 総見発生確率                                   | 総見頻度[ $\mu, \sigma$ ]                          | 総見時間[ $\mu, \sigma$ ]                            | 強制操作誤り有無                          | 判断量   | 発生頻度[ $\mu, \sigma$ ]                            | 継続時間[ $\mu, \sigma$ ]                              |
|----|-------------------------------------|--|--|--|-----------------------------------|---|--|--|
| 6  | 区別できるように任意の名前を与える。"default"は変更しないこと | 0:総見しない<br>1:指定確率で総見をする<br>2:最初から強制総見をする | 総見の発生間隔<br>正規分布<br>$\mu$ :平均<br>$\sigma$ :標準偏差 | 総見の継続時間<br>対数正規分布<br>$\mu$ :平均<br>$\sigma$ :標準偏差 | true:強制操作誤りをする<br>false:確率で操作誤りする | Wiedermannで算出したアクセル、ブレーキにこの値をかける。誤りなしを選択したときは無視される。 | 操作誤りの発生間隔<br>正規分布<br>$\mu$ :平均<br>$\sigma$ :標準偏差 | 操作誤りの継続時間<br>対数正規分布<br>$\mu$ :平均<br>$\sigma$ :標準偏差 |
| 10 | default                             | 2  | [60.0,1.0]                                     | [-0.042,0.0125]                                  | false                             | 1   | [0,1]  | [0,1]  |
| 11 | わき見なし & 操作誤りなし                      | 0  |  |  |                                   |   |  |  |
| 12 | わき見なし & 操作誤りあり                      | 0  |  |  | true                              | 0.75  | [0,1]  | [0,1]  |
| 13 | わき見あり & 操作誤りなし                      | 2  |  |  |                                   |   |  |  |
| 14 | わき見あり & 操作誤りあり                      | 2  |  |  | true                              | 0.75  | [0,1]  | [0,1]  |

図 7.1-5 ドライバラー設定シート例

以下に、レシピファイル csv（先行車の走行パターンがマップ指定の場合にその走行パターンを記述）の例を示す。

|         |   |      |   |   |
|---------|---|------|---|---|
| 00:00.0 | 0 | 47   | 0 |   |
| 00:00.5 | 0 | 53.1 | 0 | k |
| 00:01.0 | 0 | 50.9 | 0 | k |
| 00:01.5 | 0 | 52   | 0 | k |
| 00:02.0 | 0 | 53.4 | 0 | k |
| 00:02.5 | 0 | 57.8 | 0 | k |
| 00:03.0 | 0 | 60   | 0 | k |

図 7.1-6 走行パターン記述例

この例では、下図のような先行車のマップを示している。

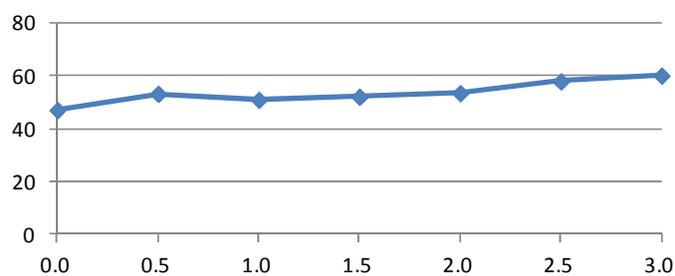


図 7.1-7 先行車の走行マップイメージ

## 7.2 道路構造を表す構成要素の構造体情報

平成 27 年度に開発する道路構造データの各構成要素の構造体情報を以下に示す。

表 7.2-1 道路構造体

| 道路構造体(Road_Structure) |   |    |
|-----------------------|---|----|
| パラメータ                 | 変数  | 備考 |
| ウェイポイントの総数            | int number_waypoint                                   |    |
| ウェイポイント構造体データ         | struct WP *waypoint                                   |    |
| バスの総数                 | int number_path                                       |    |
| バス構造体データ              | struct Path *path                                     |    |
| 停止線の総数                | int number_stopline                                   |    |
| 停止線構造体データ             | struct Stop_Line *stop_line                           |    |
| 構造物の総数                | int number_roadside_object                            |    |
| 構造物構造体データ             | struct Roadside_Object *roadside_object               |    |
| 路外障害物数                | int number_extended_static_object                     |    |
| 路外障害物データ              | struct Extended_Static_Object *extended_static_object |    |
| 信号機の総数                | int number_traffic_signal                             |    |
| 信号機構造体データ             | struct Traffic_Signal *traffic_signal                 |    |
| 標識類の総数                | int number_sign_symbol                                |    |
| 標識類構造体データ             | struct Sign_Symbol *sign_symbol                       |    |
| ノードの総数                | int number_node                                       |    |
| ノード構造体データ             | struct Node *node                                     |    |
| セクションの総数              | int number_section                                    |    |
| セクション構造体データ           | struct Section *section                               |    |
| レールの総数                | int number_rail                                       |    |
| レール構造体データ             | struct Rail *rail                                     |    |
| 道路側デバイスの数             | int number_roadside_device                            |    |
| 地図データ領域情報             |   |    |
| 最大X                   | float map_max_x;                                      |    |
| 最大Y                   | float map_max_y                                       |    |
| 最小X                   | float map_min_x                                       |    |
| 最小Y                   | float map_min_y                                       |    |
| 歩道データの数               | int number_pedestrian_path                            |    |
| 歩道バス構造体データ            | struct Pedestrian_Path *pedestPath                    |    |

表 7.2-2 WayPoint 構造体

| WayPoint構造体          |                           |       |
|----------------------|---------------------------|-------|
| パラメータ                | 変数                        | 備考    |
| ID番号                 | ID                        |       |
| X座標                  | x                         |       |
| Y座標                  | y                         |       |
| Z座標                  | z                         |       |
| 接線方向方位角              | orientation               | [rad] |
| 順方向接続WPの個数           | num_next_wp               |       |
| 順方向接続WPのID番号のリスト     | *next_wp_list             |       |
| 逆方向接続WPの個数           | num_past_wp               |       |
| 逆方向接続WPのID番号のリスト     | *past_wp_list             |       |
| 順方向接続バスの個数           | num_next_path             |       |
| 順方向接続バスのID番号のリスト     | *next_path_list           |       |
| 逆方向接続バスの個数           | num_past_path             |       |
| 逆方向接続バスのID番号のリスト     | *past_path_list           |       |
| このWPを内部に含むノードのID番号   | node_contain_this_wp      |       |
| このWPを内部に含むレールのID番号   | rail_contain_this_wp      |       |
| 車両発生点であるか否かのフラグ      | is_source_wp              |       |
| 車両消滅点であるか否かのフラグ      | is_sink_wp                |       |
| 信号停止線であるか否かのフラグ      | is_signal_stop_wp         |       |
| 車線選択等のために使用可能な情報     | info[MAX_INFO_STR_LENGTH] |       |
| このWPを内部に含むセクションのID番号 | section_contain_this_wp   |       |

表 7.2-3 レール構造体

レール構造体(Rail)

| パラメータ                     | 変数                         | 備考                        |
|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Rail ID番号                 | int ID                     |                           |
| レールの車線番号                  | int lane_number            |                           |
| レール長                      | total_length               |                           |
| レール幅                      | width                      |                           |
| レールが交差点内か否かのフラグ           | is_intersectionint         |                           |
| このレールを内部に含むノードのID番号()     | num_path_contain           | is_intersection == 1のとき有効 |
| このレールが内部に含んでいるパスの個数       | num_path_containint        |                           |
| このレールが内部に含んでいるパスのID番号のリスト | path_list                  |                           |
| レールの接続元ノードのID番号           | connect_from_node          |                           |
| レールの接続元ノードと接続している方向ID番号   | connect_from_direct        |                           |
| レールの接続先ノードのID番号           | connect_to_node            |                           |
| レールの接続先ノードと接続している方向ID番号   | connect_to_direct          |                           |
| 交差するレールの個数                | num_cross_rail             |                           |
| 交差するレールのID                | *cross_rail                |                           |
| レール開始点から交差レールまでの経路距離      | *dist_to_cross_rail        |                           |
| レール開始点から交差レールまでの経路距離/レール長 | *tangent_direct_cross_rail |                           |
| レールにおける曲率半径の最大値           | radius                     |                           |
| レールが始まるWP                 | start_wp                   |                           |
| レールが終わるWP                 | end_wp                     |                           |
| 次のレールの数                   | num_next_rail              |                           |
| 次のレールのID                  | *num_prev_rail             |                           |
| 前のレールの数                   | num_prev_rail              |                           |
| 前のレールのID                  | *prev_rails                |                           |
| 接続しているノード方向ID(接続先)        | to_direct                  |                           |
| 接続しているノード方向ID(接続元)        | from_direct                |                           |

表 7.2-4 交差点情報

交差点構造体(Node)

| パラメータ                              | 変数                               | 備考                                    |
|------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| Node ID番号                          | ID                               |                                       |
| ノード中心のX座標                          | Xc                               |                                       |
| ノード中心のY座標                          | Yc                               |                                       |
| 交差している単路の数                         | number_cross                     |                                       |
| 交差方向のモデル番号                         | *cross_direct_model_ID           | [direct]                              |
| 交差方向の方位角                           | *cross_direct_orientation        | [rad]                                 |
| 道路全体の幅                             | *roadWidthTotal                  | [m]                                   |
| 接続されているノードへの経路距離                   | *dist_to_cNode                   |                                       |
| 接続されているノードへの制限速度                   | *meanSpeed_to_cNode              | [m/s]                                 |
| 方向マップ                              | **direction_map                  | [in-direct][out-direct]               |
| 対向方向のID番号                          | *oncoming_direction              | [in-direct]                           |
| 進入方向に関する情報                         | *in_direct_info                  | [信号制御、信号無し(主:従)、T字路(主:従)] [in-direct] |
| 進入方向を制御している信号機の数                   | *number_signal_in_direct         | [in-direct]                           |
| 進入方向を制御している信号機のID番号のリスト            | **signal_control_in_direct       | [in-direct][index]                    |
| ノードを出てその次に移動できるノードのID番号            | *connected_node_out              |                                       |
| ノードを出てその次に移動できるノードへ進入する際の進入方向のID番号 | *connected_node_out_in_direct    |                                       |
| ノードへ入ってくる前のノードのID番号                | *connected_node_in               |                                       |
| ノードへ入ってくる前のノードを通過する際の方向ID番号        | *connected_node_in_out_direct    |                                       |
| ノード通過WPの個数                         | *number_out_wp                   |                                       |
| ノード通過WPのID番号のリスト                   | **out_wp_list                    |                                       |
| ノード進入WPの個数                         | *number_in_wp                    |                                       |
| ノード進入WPのID番号のリスト                   | **in_wp_list                     |                                       |
| 交差点内に中心線があるか                       | *hasCenterLineInside             |                                       |
| 信号交差点であるか否かのフラグ                    | is_intersection_controlled_by_ts |                                       |
| 出発ノードであるか否かのフラグ                    | is_origin_node                   |                                       |
| 到着ノードであるか否かのフラグ                    | is_destination_node              |                                       |
| 横断歩道である歩行者用パスのID番号                 | *pedest_path_crossing            |                                       |
| パス列データ                             | **path_list                      | [out-direct][lane_number]             |
| パス列データ2                            | **lane_list                      | [in-direct][out-direct]               |
| ノード内に入っているかどうかの判定用半径               | RcheckIn                         |                                       |

表 7.2-5 線分構造体

線分構造体(Path)

| パラメータ                  | 変数                             | 備考           |
|------------------------|--------------------------------|--------------|
| ID番号                   | ID                             |              |
| 始点となるWPのID番号           | from_wp                        |              |
| 終点となるWPのID番号           | to_wp                          |              |
| パスを表す式のパラメータ           | path_param                     |              |
| 幅                      | width                          | [m]          |
| パス長さ                   | length                         | [m]          |
| 規制速度                   | speed_limit_limit              | [m/s]        |
| 左側摩擦係数                 | myu_l                          |              |
| 右側摩擦係数                 | myu_r                          |              |
| 摩擦係数の変化する法泉方向位置        | myu_split                      | (-1.0 ~ 1.0) |
| 右端の種類                  | right_edge                     |              |
| 左端の種類                  | left_edge                      |              |
| 左側の白線データの数             | n_left_edge_data               |              |
| 右側の白線データの数             | n_right_edge_data              |              |
| 左側の白線データ               | *left_edge_data                |              |
| 左側の白線データの位置            | *left_edge_pos                 |              |
| 右側の白線データ               | *right_edge_data               |              |
| 右側の白線データの位置            | *right_edge_pos                |              |
| 前方向接続パスの個数             | num_next_path                  |              |
| 前方向接続パスのID番号のリスト       | *next_path_list                |              |
| 後方向接続パスの個数             | num_past_path                  |              |
| 後方向接続パスのID番号のリスト       | *past_path_list                |              |
| 接続しているノードのID番号         | node_connected                 |              |
| 接続しているノードへ進入する際の方向ID番号 | in_direct_to_connected_node    |              |
| 接続しているノードを通過する際の方向ID番号 | out_direct_from_connected_node |              |
| レーン番号                  | lane_number                    |              |
| そのパスが規定する交差点での折れ方向     | direction                      |              |
| 交差点内のパスであるかどうかのフラグ     | insideInterSection             | (0=No,1=Yes) |
| 交差しているパスの個数            | number_collision_point         |              |
| 交差しているパスのID番号          | *cross_path_ID                 |              |
| 交点のX座標のリスト             | *collision_point_x             |              |
| 交点のY座標のリスト             | *collision_point_y             |              |
| 始点WPから交点までの経路距離        | *distance_CP_from_wp           |              |
| パス上の停止線データの個数          | number_stop_point              |              |
| パス上の停止線データのID番号のリスト    | *stop_point                    |              |
| パス上の停止線データのX座標のリスト     | *stop_point_x                  |              |
| パス上の停止線データのY座標のリスト     | *stop_point_y                  |              |
| このパスを内部に含むレールの総数       | num_rail_contain_this_path     |              |
| このパスを内部に含むレールのID番号     | rail_contain_this_path[6]      |              |
| レール内での始点WPの相対位置        | rel_pos_tangent_in_rail        |              |
| 付加的情報を与えるための文字列データ     | info[MAX_INFO_STR_LENGTH]      |              |
| 交差している歩道パス             | crossPedestPath[MAX_CROSS+1]   | [0]歩道パスの数    |

－禁無断転載－

経済産業省委託

平成 27 年度

「戦略的イノベーション創造プログラム（自動走行システム）：  
交通事故低減詳細効果見積もりのためのシミュレーション技術の  
開発及び実証」

報 告 書

平成 28 年 3 月

発 行 一般財団法人 日本自動車研究所  
東京都港区芝大門 1-1-30  
日本自動車会館 12 階  
TEL 03 (5733) 7925