

経済産業省委託

平成28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29年3月

一般財団法人 日本自動車研究所

「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	3
2.1	事業全体の目標	3
2.2	研究開発の目標	3
第 3 章	開発概要	5
3.1	全体開発概要	5
3.1.1	シミュレーション全体概念	5
3.1.2	全体開発計画	6
3.2	シミュレーション構築の流れ	7
3.2.1	交通事故低減詳細効果シミュレーションの開発	7
3.2.2	交通参加者の行動モデルの構築	7
3.2.3	開発したシミュレーション技術の実証	8
第 4 章	交通事故低減詳細効果シミュレーションの開発の実施方法	9
4.1	交通事故低減詳細効果シミュレーションの開発	9
4.1.1	交通事故低減詳細効果シミュレーション本体機能の開発	10
4.1.2	交通事故低減詳細効果シミュレーション周辺機能の開発	47
4.1.3	交通事故低減詳細効果シミュレーションにおける 事故再現技術の開発	58
4.1.4	交通環境再現型のシミュレーションの動作確認	102
4.1.5	交通環境再現型シミュレーションの シミュレーションインタフェース検討	104
4.1.6	まとめ	107
4.2	交通参加者の行動モデルの構築	108
4.2.1	交通参加者の行動モデルを構成する機能の全体設計	108
4.2.2	事故場面に特有の交通参加者の行動の再現方法の検討・構築	114
4.2.3	まとめ	123
4.3	開発したシミュレーション技術の実証	124
4.3.1	シミュレーションの評価対象となる 交通事故低減詳細効果の選定	126
4.3.2	交通事故低減詳細効果の定量化のための	

評価モジュール要件の明確化	132
4.3.3 追従・追突場面におけるシミュレーション評価結果の 妥当性の確認	139
4.3.4 歩行者横断行動調査・ドライバ走行実験による 行動モデル用パラメータの取得	148
4.3.5 シミュレーション技術に関する国内外の最新動向の調査	187
4.3.6 まとめ	193
第5章 民間活用に向けて	194
5.1 OEM ヒヤリング内容	194
5.2 OEM ヒヤリング結果と開発計画への織り込み.....	194
5.3 まとめ	203
第6章 研究開発全体企画・管理	204
6.1 全体工程表の策定	204
6.2 開発検討会の運営	205
6.2.1 開発検討会	206
第7章 まとめ	207
7.1 まとめ	207
7.2 今後の課題	207
第8章 参考資料	210
8.1 パラメーター一覧と記述方法	210
8.1.1 パラメーター一覧	210
8.1.2 パラメータの記述方法	223

第1章 はじめに

自動車の発展はめざましく、現在の生活に不可欠なものとなっているが、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、自動走行の早期の実用化・普及促進に貢献する。

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（運転支援をシステムに含む。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、実施した内容を以下の通り纏めたものである。

（1）交通事故低減詳細効果シミュレーションの開発

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ション開発において、平成28年度は、シミュレーションの共通基盤部分の改修、歩行者横断事故、車線逸脱事故の再現を行うことができる機能を組み込み、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ションに実装する歩行者横断、車線逸脱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、歩行者の行動モデルを構築し、また、必要となる特性パラメータを文献調査、実験等により取得し、（1）で開発する交通事故低減詳細効果シミュレーションに実装した。

（3）開発したシミュレーション技術の妥当性確認

開発したシミュレーションによって算出された事故低減詳細効果が妥当であるかの確認が必要である。平成27年度は、必要な確認ステップとして以下の1～5を明確にした。平成28年度は主にステップ1の交通参加者のモデル化の妥当性に関する確認を実施した。

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

具体的なステップ1の確認内容は、調査・実験によって実行動データを収集し、ドライバと歩行者の現実の行動を模擬するモデルとなっているかという視点で妥当性を確認した。

（4）シミュレーション動向調査

シミュレーション技術の動向調査を、平成29年開催の米国交通輸送調査委員会（Transportation Research Board: TRB）にて実施した。

（5）民間活用に向けて

本事業終了後、開発したシミュレーションが、OEM、サプライヤ等に活用され、自動走行システムの実用化・普及促進に貢献できるように、開発検討会の委員（OEM7社）にヒヤリングを実施し、意見、ニーズ等を整理の上、織り込み機能案を作成した。

第2章 開発目標

2.1 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」および、「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。

2.2 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実現することを目的として、以下を実施する。

(1) 交通事故低減効果シミュレーションの開発

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ション（以下、「交通事故低減効果シミュレーション」という）を開発する。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

知覚・認知、判断、操作（挙動）に関する各交通参加者（ドライバや歩行者等）の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

性データを実験および文献調査等により取得し、(1) で開発する交通事故低減効果シミュレーションに実装する。

(3) 開発したシミュレーション技術の妥当性確認

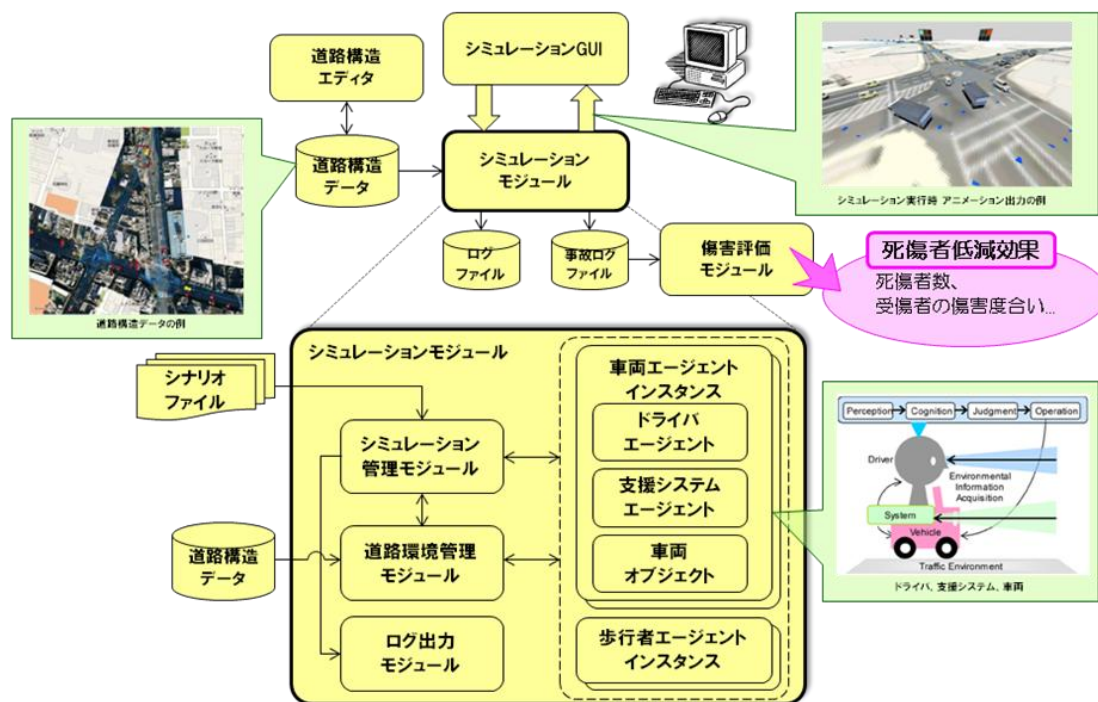
(1) および (2) で開発した技術を用いて交通事故低減効果の評価を行うとともに、その評価が妥当であるかを確認するステップを定義し、そのステップ毎の妥当性を確認することで開発したシミュレーション技術の妥当性を確認する。

第3章 開発概要

3.1 全体開発概要

3.1.1 シミュレーション全体概念

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図 3.1.1-1 に示す。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が自律した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、特定の事故形態や運転支援システムの機能に限定した交通事故低減詳細効果の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。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。



< 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、実際にシミュレーション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 3.1.1-1 交通事故低減詳細効果評価のためのシミュレーション ¹⁾

3.1.2 全体開発計画

本事業は、図3.1.2-1の通り、4年間を通して実施する計画となっている。

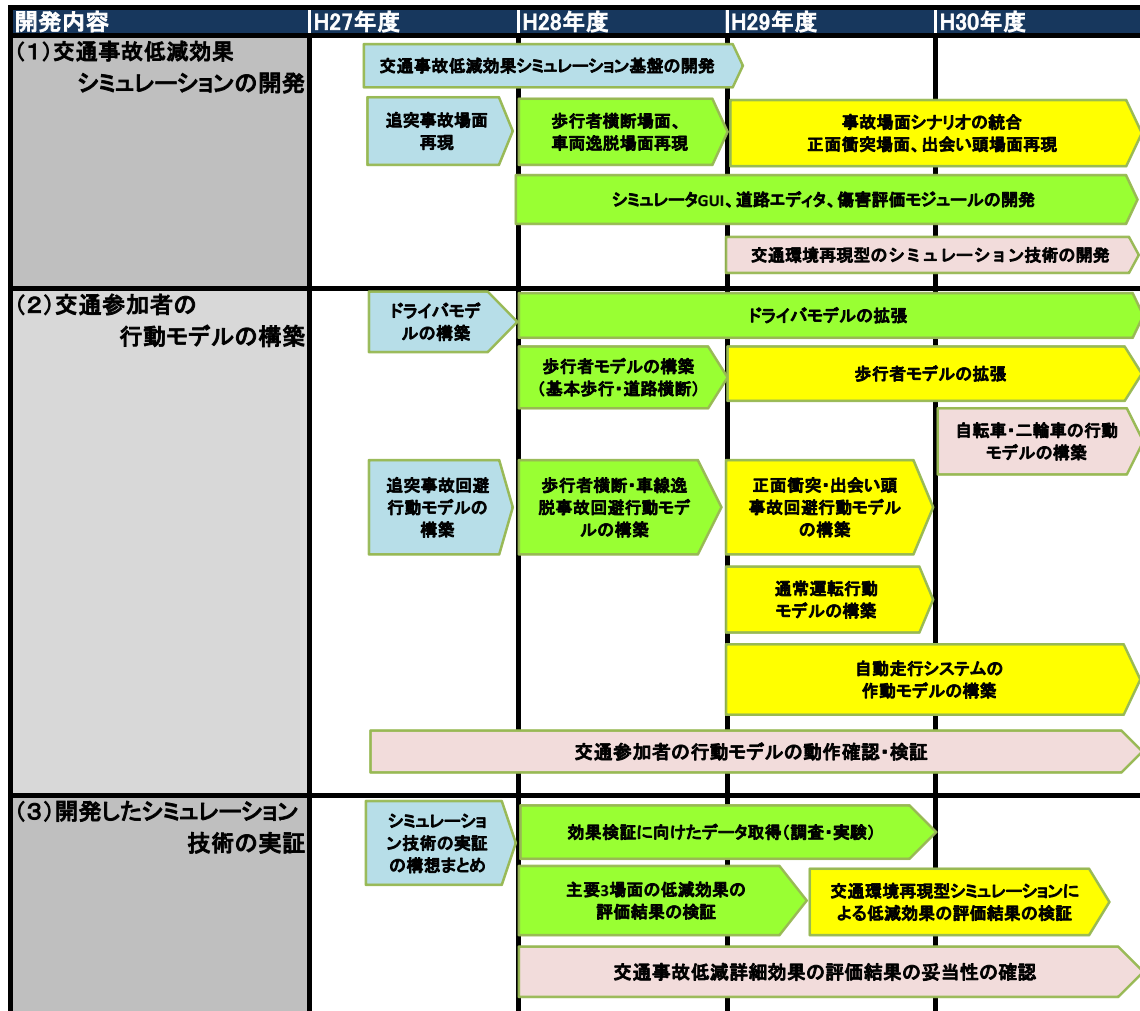


図3.1.2-1 交通事故低減詳細効果評価のためのシミュレーション

また、シミュレーション構成要素毎の開発計画を、図3.1.2-2に示す。平成28年度は、事故シナリオとして、死亡事故率1位の車線逸脱事故と、死亡事故件数1位の歩行者横断事故を追加し、また、自動運転システムとして、車線逸脱警報システムや逸脱防止支援システムなどを追加した。また、交通参加者のモデルとして、歩行者のモデルを追加した。

	H27年度	H28年度	H29年度	H30年度
A_シナリオ ※H25年の事故統計	追突事故+追従 単路 交通事故件数1位	逸脱事故+操舵 死亡事故率1位	歩行者横断事故+信号停止、停止線、歩行者 死亡事故件数1位	左記シナリオの統合 正面衝突 出会い頭 交通環境再現 事故渋滞
死亡事故発生割合※	6%	20%	25%	10% 13% 合計74%
B_ドライバモデル	【組み合わせ】 法遵守傾向×運転スキル ×情報処理能力×覚醒水準	脳見 居眠り 特性分布管理	認識行動 側/後方ミラー確認 (飲酒/病気)	OEM対応 インターフェース 追加
C_交通参加者モデル		歩行者(基本機能)	歩行者(拡張機能)	自転車
D_車両モデル	等価二輪(操舵なし)	操舵あり		自転車
E_運転支援システム	衝突警報/アシスト/ブレーキ	車線逸脱警報システム 逸脱防止支援システム	自動走行	OEM対応 インターフェース 追加
F_シミュレーション基盤	シナリオ/実行/時間管理 統計/事故ログ出力	I/F標準化:各OEM対応 道路構造エディタ	システム 普及率設定	地図情報 コンバータ
G_環境	直線単路 昼 晴天	カーブ、複車線	交差点、信号	

図3.1.2-2 シミュレーション構成要素の開発計画

3.2 シミュレーション構築の流れ

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は、交通事故低減詳細効果シミュレーションの開発（3.2.1項）、交通参加者の行動モデルの構築（3.2.2項）、開発したシミュレーション技術の実証（3.2.3項）の流れで技術開発を行う。

3.2.1 交通事故低減詳細効果シミュレーションの開発

平成28年度に開発するシミュレーションでは、

- (1) 交通事故詳細低減効果シミュレーション本体機能の開発
- (2) 交通事故詳細低減効果シミュレーション周辺機能の開発
- (3) 交通事故詳細低減効果シミュレーションにおける事故再現技術の開発
- (4) 交通環境再現シミュレーションの動作確認
- (5) 交通事故詳細低減効果シミュレーションのシミュレーションインターフェースの検討に分け4.1節で詳細を説明する。

3.2.2 交通参加者の行動モデルの構築

平成 28 年度の交通参加者の行動モデルの構築では、

- (1) 交通参加者の行動モデルを構成する機能の全体設計
- (2) 事故場面に特有の交通参加者の行動の再現方法の検討・構築

に分けて 4.2 節で詳細を説明する。

3.2.3 開発したシミュレーション技術の実証

平成 28 年度の開発したシミュレーション技術の実証では、

- (1) シミュレーションの評価対象となる交通事故低減詳細効果の選定
- (2) 効果の定量化のための評価モジュール要件の明確化
- (3) 追従・追突場面におけるシミュレーション評価結果の妥当性の確認
- (4) 歩行者横断行動調査・ドライバ走行実験による行動モデル用パラメータの取得
- (5) シミュレーション技術に関する国内外の最新動向の調査

に分けて 4.3 節で詳細に説明する。

第4章 交通事故低減詳細効果シミュレーションの開発の実施方法

第4章では、交通事故詳細効果シミュレーション事業の実施方法を

交通事故詳細効果シミュレーションの開発(4.1節)、交通参加者の行動モデルの構築(4.2節)、開発したシミュレーション技術の検証(4.3節)にわけ詳細に説明する。

4.1 交通事故低減詳細効果シミュレーションの開発

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ション開発に必要となる、シミュレーションの方式、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ションソフト開発を実施する。本シミュレーションは、図 4.1-1 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27年度経済産業省委託事業「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」²⁾(以下平成27年度事業と称す)にて開発された追従・追突に関するシミュレーションに加えて歩行者横断、車線逸脱に関する処理方式を纏め、追加する形で実装を行った。

以下に平成28年度に開発および改修するシミュレーションの本体機能(シミュレーション管理モジュール、各エージェント、車両オブジェクト)(4.1.1項)、周辺機能(シミュレーションGUI、道路エディタ、傷害評価モジュール)(4.1.2項)、交通事故低減詳細効果シミュレーションにおける事故再現技術(歩行者横断事故再現、車線逸脱事故再現)(4.1.3項)、シミュレーションの動作確認(4.1.4項)、およびインタフェースの考察(4.1.5項)について示す。

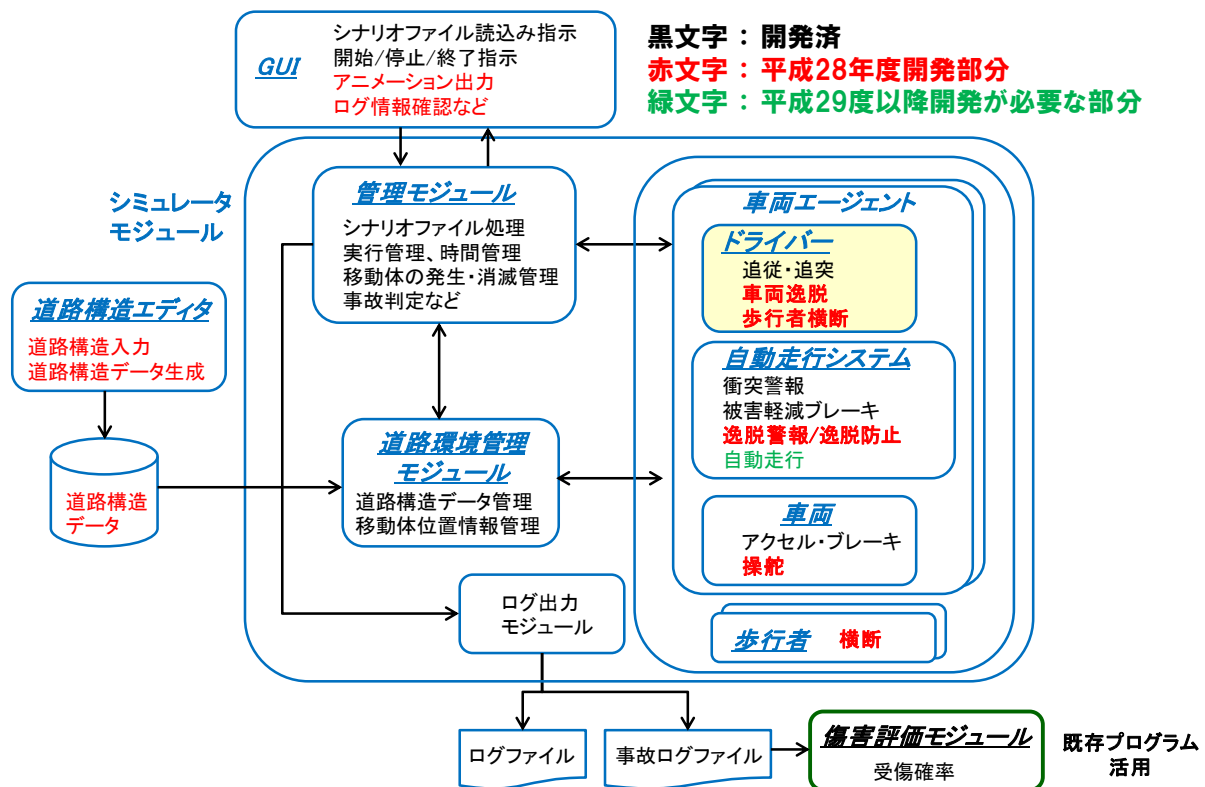


図 4.1-1 最終目標となる構成と平成 28 年度開発部分

4.1.1 交通事故低減詳細効果シミュレーション本体機能の開発

交通事故低減詳細効果シミュレーション本体機能は図 4.1-1 に示すように管理モジュール、車両エージェント、歩行者エージェント、道路管理モジュール、ログ出力モジュールの 5 つに分けることができる。管理モジュールでは、シナリオファイルの読み込み、生成された道路情報の読み込み、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、事故発生の判定などを行う。車両エージェントでは、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、車両オブジェクトを開発（4.1.1.2）。歩行者エージェントの開発（4.1.1.3）道路構造エディタで生成される情報を読み込む道路環境管理モジュールを開発。最後に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。

4.1.1.1 シミュレーション管理モジュールの開発

シミュレーション管理モジュールは、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。

シミュレーション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を行う。
- ・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。

シミュレーション管理モジュールの概略フローを図 4.1.1-1 に示す。

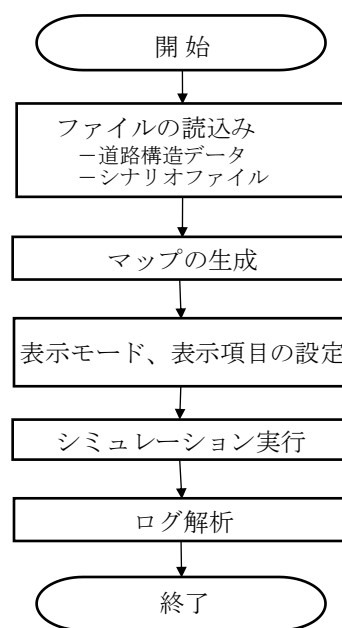


図 4.1.1-1 シミュレーション管理モジュールの概略フロー

(1) シミュレーション管理モジュールにおけるシナリオファイル処理方法

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の設定
- ・移動体の発生・消滅の設定
- ・効果を評価する自動走行システムの指定

① シミュレーション時間の単位設定

シミュレーション時間を指定する。シミュレーションの単位時間は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[ms]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 $m[\text{ms}]$ 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処理される。

② 移動体の発生・消滅の設定

移動体（車両）の発生は、発生ポイントにおいて車両発生間隔を指定された分布に従い発生させ、移動を開始する。各移動体は発生時点で消滅地点までの経路を決定する。また、移動体発生時にその移動体のドライバ特性が決定される（ランダムもしくは指定による）。指定されたドライバ特性によって車両の自由走行速度や加減速の反応時間が変化する。

③ 効果を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（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）
- ・車線逸脱警報システム（LDW:Lane Departure Warning system）
- ・逸脱防止支援システム（LKA:Lane Keeping Assist system）

の 5 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) シミュレーション管理モジュールにおける実行管理・時間管理方法

シミュレーション管理モジュールは（1）で述べた、①シミュレーションの実行単位ごとに②移動体の発生・消滅を制御する。移動体の発生は、交通参加者（車両および歩行者）を定義されたシナリオ、もしくは確率に基づき生成し、各インスタンス毎に個別情報（ドライバ属性、車両モデル、自動走行システムなど）を設定する。シミュレーション管理モジュールはシミュレーション時間の更新を行い事故発生もしくは、終了条件（消滅点への到達、実行時間終了など）まで上記処理を繰り返し実行する。

シミュレーション実行部分の概略処理フローを図 4.1.1-2 に示す。

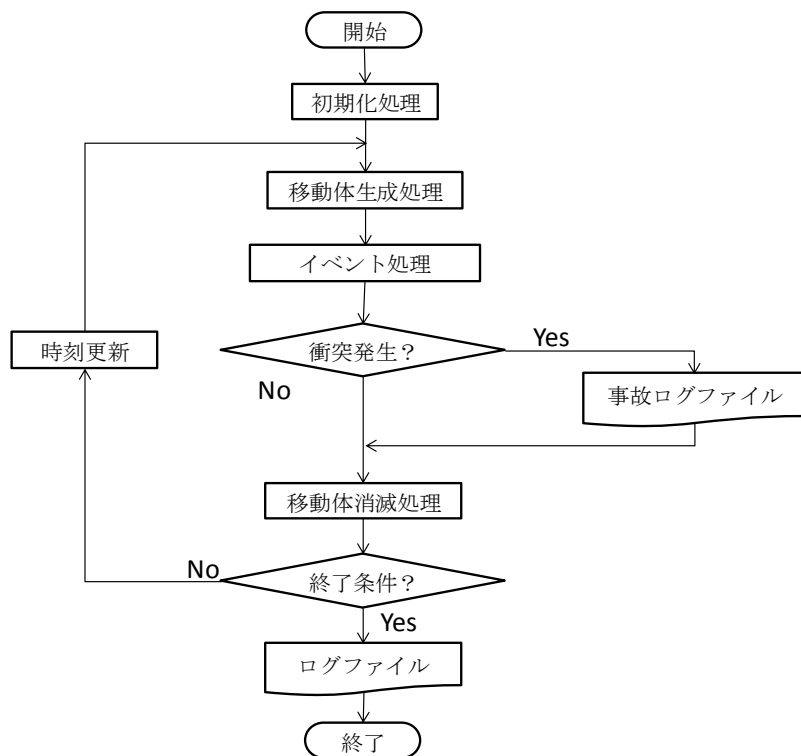


図 4.1.1-2 シミュレーション実行部分 概略処理フロー

(3) シミュレーション管理モジュールにおける事故判定方法

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はなく、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 4.1.1-3 に示すように、前／後／右／左／右前角／左前角／右後角／左後角の 8 種類で表わすものとする。

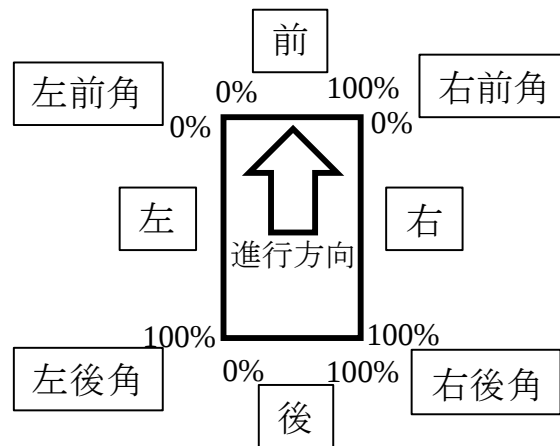


図 4.1.1-3 衝突面

また、衝突範囲に関しては、図 4.1.1-4 に示すように重なりを[%]で表わす。

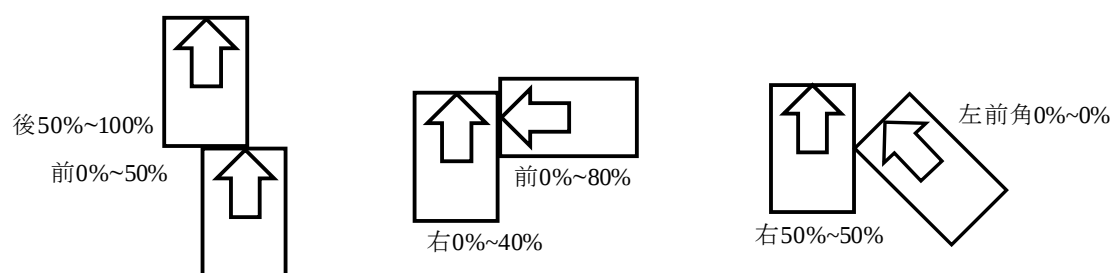


図 4.1.1-4 衝突範囲（衝突ラップ率）

図 4.1.1-4 では、簡略化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 4.1.1-4 左図で例えば後 55[%]~100[%]、前 0[%]~50[%]のようになる場合もある。

4.1.1.2 車両エージェントモジュールの開発

平成 28 年度の交通事故低減詳細効果シミュレーションの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。車両エージェントモジュールは車両エージェント・インスタンスの生成をコントロールする。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。

以下にシミュレーション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以下に説明する。

注：エージェントとは各交通参加者を表す総称であり、個別の交通参加者を表す時にはエージェントインスタンスとして表現する。車両エージェントは車両を表すための構成要素を表しており、車両エージェントインスタンスとなると実際のパラメータが割り振られたシミュレーションで使用される個々の車両を表している。

車両エージェントの構成を図 4.1.1-5 に示す、

- ・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

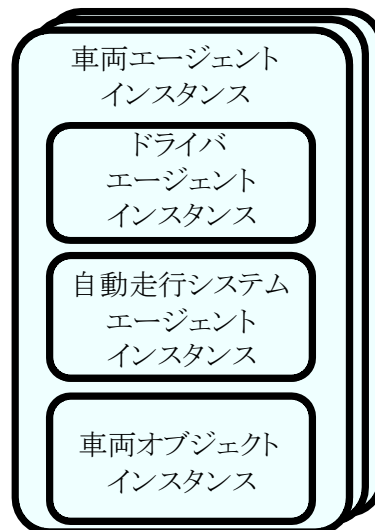


図 4.1.1-5 車両エージェントの構成

(1) ドライバエージェントの開発

<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する（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。

ドライバエージェントの開発においては平成 27 年度事業において開発したヴィーダーマン・モデルに加え、①曲線道路の加減速、対歩行者の加減速と②操舵を追加した。以下に詳細を述べる。

① 加減速操作

曲線道路進入時、および対歩行者確認時の減速について記述する。追従時の先行車に対するヴィーダーマン・モデルに加え、複数の減速対象に対する車速／減速度の比較を行い、より低い方の速度となるよう制御した。

(i) 加速度／減速度勾配（AccGrad/DecGrad）

ドライバ毎にジャーク（加減速度勾配）を指定可能とした。加速度勾配 AccGrad、減速度勾配 DecGrad のデフォルト値はそれぞれ $10[\text{m/s}^3]$ 、 $15[\text{m/s}^3]$ である。（加速度／減速度の増減の際の単位時間 1 tick を $1/100[\text{s}]$ とすると、減速度勾配のデフォルト値では 1 tick 毎に最大 $\pm 0.15[\text{m/s}^2]$ の減速度変化を設定可能）

ドライバからの全てのアクセル操作、ブレーキ操作に、加速度勾配 AccGrad、減速度勾配 DecGrad を適用する。

この値は、ドライバから車両モデルに対する加減速指示の値であり、車両モデルに前後方向の加減速時定数を設定した場合は、更にその分を追加する。

[例]車両の tick を通常 $1/100[\text{s}]$ としているのに対し、ドライバモデルでの制御値計算は $1/10[\text{s}]$ 毎としている、上記ジャークでの変化は $1/100[\text{s}]$ の tick 単位で行う。つまり、減速度を $1.5[\text{m/s}^2]$ だけ増加させるというドライバ判断となった場合は、上記デフォルト値の DecGrad の場合 $1.5/0.15 = 10\text{tick}$ ($0.1[\text{s}]$) かけて目標の減速度に到達する。

事故要因で速度超過を指定された場合は、直線道路において曲線道路進入速度に対する減速、ヴィーダーマン・モデルでの加減速操作等、加減速操作は一切行わない。

(ii) 曲線道路に対する進入希望速度

直線道路から曲線道路に変化する地点に向かっての減速の決定方法を記述する。

以下で使用するドライバ属性は、法遵守傾向：A（3段階）、運転スキル：B（3段階）、情報処理能力：C（3段階）、意識水準：D（5段階）で定義する。

曲線道路への進入希望速度は下式により求める。

$$V_{opt_curve} = \beta + \varepsilon \text{ [km/h]}$$

$$\beta = V_{designed_curve} \cdot (0.78 - 0.05A + 0.06B + 0.07D)$$

$V_{designed_curve}$: 曲線道路における目標速度

$$\varepsilon = 0.05 \cdot \beta \cdot \gamma$$

γ : 区間 $[-1 \ 1]$ での一様乱数

ただし、進入希望速度 V_{opt_curve} と、曲線道路の自由速度 V_{opt_free} を比較し最終的に小さい値を進入希望速度 V_{curve_enter} とした。

自由速度とは、平成 27 年度事業のヴィーダーマン・モデルにおける希望速度分布を意味し、道路の制限速度から求める。道路の制限速度は、直線道路と曲線道路で別々の値を設定可能である。

直線道路から曲線道路の始点までの到達時間が T_{curve} [s]（デフォルト値 4[s]）となった時点で、現在の車速 V_s と進入希望速度 V_{curve_enter} を比較し、
 $V_s > V_{curve_enter}$ ならば、以下に示す α_{avr} で減速させる。

$$\alpha_{avr} = - (V_s^2 - V_{curve_enter}^2) / 2h \text{ [m/s}^2\text{]}$$

ここで、 h はブレーキ踏み始め地点から曲線道路始点までの距離[m]、

V_s 、 V_{curve_enter} は [m/s]の単位で計算の減速度で減速する。

- ・ 曲線道路から直線道路に出た時点で、直線道路での自由速度まで平均加速度で加速（直線道路での自由速度よりも曲線道路走行中の車速が大きい場合は平均減速度で減速）し、以後等速とした。

(iii) 曲線道路での追従

曲線道路での追従においても平成 27 年度事業で開発のヴィーダーマン・モデルを適用した。ただし、車間距離は 2 車間の直線距離ではなく、曲線道路に沿った経路での距離により評価したヴィーダーマン・モデルを適用した。また、車間が空いている場合の曲線道路での速度は、前記 V_{curve_enter} 値である。追従時は、(ii) の V_{curve_enter} と、ヴィーダーマン・モデルでの加減速の減速度の大きい方または加速度の小さい方の加減速度をとる。

(vi) 横断歩行者による減速

a) 運転行動の対象となる歩行者の判定

ドライバエージェントが知覚した歩行者の中で、どの歩行者が対歩行者運転行動の適用

対象となるかを判定する。知覚した各歩行者に対して、以下の条件 1 ～2 を評価し、全ての条件を満たす場合のみ、回避行動の対象となる横断歩行者の判定の処理に移る。

条件 1

歩行者が自車の前方にいること

条件 2

歩行者の移動方向が、自車の目標走行軌跡に向かってくる方向であること

または、自車線内に存在していること。この判定は歩行者の横変位量: e と車両の接線方向ベクトル: t により行う。

移動方向ベクトル W は、図 4.1.1-6 に示すようにして算出する。

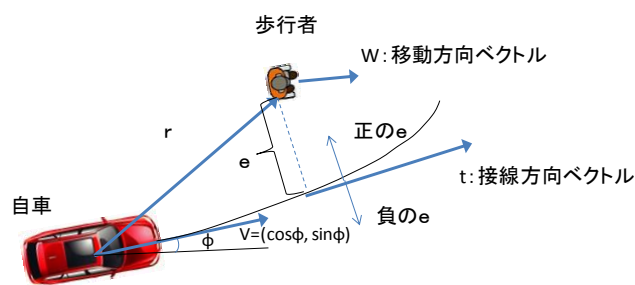


図 4.1.1-6 自車の移動方向ベクトル W の算出

時刻 t での歩行者の位置を $p(t)$ とし、時刻 t 以前で、かつ、 $p(t)$ からの距離が Δ 以上離れた過去の歩行者の位置を p_{old} とすると、

$$W = p(t) - p_{old}$$

p_{old} は、次の時に更新する。

$$\text{if } (|p(t) - p(t-1)| > \Delta)$$

$$p_{old} = p(t-1)$$

なお、初回知覚時に速度 0 の場合は、歩行者の向いている方向を W として採用する。

b) 回避行動の対象となる横断歩行者の判定

TTC (Time To Collision) が下式の範囲となる歩行者 (図 4.1.1-7 参照) を回避行動の対象とした。

$$\max(TTL1 - Tped_buf, 0) \leq TTC \leq TTL2 + Tped_buf$$

既に歩行者が車線内にいる場合は、 $TTC \leq TTL2 + Tped_buf$

$Tped_buf$ (余裕時間) のデフォルト値は 1[s]。

TTL : Time To Lane (TTL1 は歩行者の直前レーン TTL2 は奥側レーン)

この場合、 $TTC1 = TTC2 = TTC$ 。(TTC1、TTC2 は図 4.1.1-8 を参照)

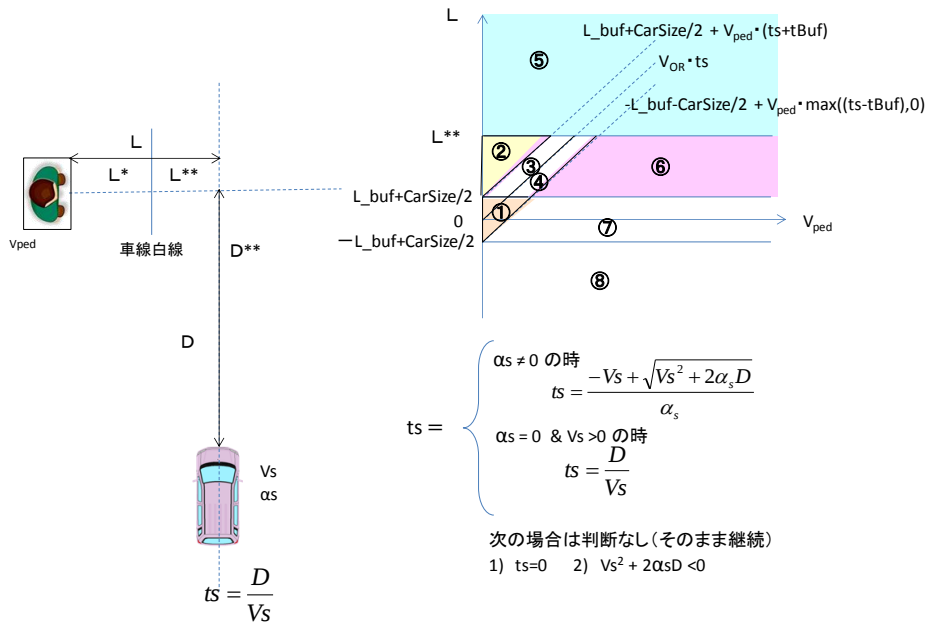


図 4.1.1-7 回避行動の対象となる横断歩行者の判定

斜め横断の場合は図 4.1.1-8 参照

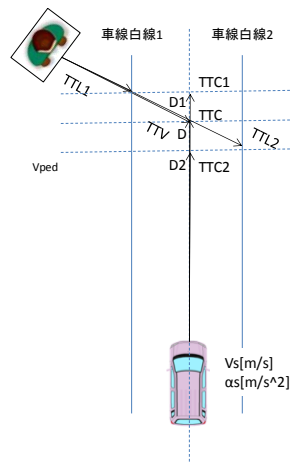


図 4.1.1-8 回避行動の対象となる斜め横断歩行者の判定

TTC が下式の範囲となる歩行者を回避行動の対象とした。

$$\max(TTL1 - Tped_buf, 0) \leq TTC1 \text{ かつ}$$

$$TTC2 \leq TTL2 + Tped_buf$$

既に歩行者が車線内にいる場合は、 $TTC2 \leq TTL2 + Tped_buf$

c) 対横断歩行者の減速行動³⁾

$\min(TTC1, TTC2) \leq Tped1[s]$ の場合、下記ア)～ウ)の減速行動により回避する。

また、 $Tped1[s] < \min(TTC1, TTC2) \leq Tped2[s]$ の場合は ア)のみ実施し、

$\min(TTC1, TTC2) \leq Tped1[s]$ となった時点で イ)、ウ)を実施する。

$Tped1$ 、 $Tped2$ のデフォルト値は、それぞれ 6[s]、7[s]とする。

($Tped1=Tped2$ とした場合は、 $\min(TTC1, TTC2) \leq Tped1[s]$ となった時点で
ア)～ウ)を実施)

ア) アクセルオフ時間 ($T_{throttle_off}$)：歩行者飛び出し時からアクセルオフするタイミング

$$T_{throttle} = 0.13 \times TTC_{ped} + 0.16$$

$$SD_{throttle} = 0.032 \times TTC_{ped} + 0.025$$

$T_{throttle}$: アクセルオフ時間平均値[s] $SD_{throttle}$: アクセルオフ時間標準偏差[s]

TTC_{ped} : 歩行者飛び出し時の TTC[s]

意識水準 D を元に算出された正規乱数定数 ($\mu=0$ 、 $\sigma^2=1$) z からアクセルオフ時間を計算する。

$$T_{throttle_off} = SD_{throttle} \times z + T_{throttle}$$

ここで、 $T_{throttle_off}$ は、下限値を 0.1[s]とする。

なお、正規乱数定数は、ドライバ特性 D により計算された z_1 と眠気 $S1$ ($D=1$) に対応する z_2 がある。

イ) 踏み換え時間 (T_{break_on})：アクセルオフからブレーキをオンするまでにかかる必要な時間

$$T_{fumikae} = 0.10 \times TTC_{throttle_off}$$

$$SD_{fumikae} = 0.050 \times TTC_{throttle_off} + 0.055$$

$T_{fumikae}$: 踏み換え時間平均値[s] $SD_{fumikae}$: 踏み換え時間標準偏差[s]

$TTC_{throttle_off}$: アクセルオフ時の TTC[s]

意識水準 D を元に算出された正規乱数定数 ($\mu=0$ 、 $\sigma^2=1$) z から踏み換え時間を計算。

$$T_{break_on} = SD_{fumikae} \times z + T_{fumikae}$$

ここで、 T_{break_on} は、下限値を 0.1[s]とする。

なお、正規乱数定数は、ドライバ特性 D により計算された z_1 と眠気 $S1$ ($D=1$) に対応する z_2 がある。

ウ) 減速行動：最大減速度 (a_{pedmax})、ジャーク (J)

ジャーク J で a_{pedmax} の減速度となるまで減速する。(下式で、 J 、 a_{pedmax} は正の値で表している。)

$$a_{\max} = 11.5 \times \text{TTC}_{\text{brake_on}}^{-1} - 0.47$$

$$\text{SD}_{\text{apedmax}} = 0.68$$

$a_{\max}$: 最大減速度[m/s²]の平均 $\text{SD}_{\text{apedmax}}$: 最大減速度の標準偏差[m/s²]

$\text{TTC}_{\text{brake_on}}$: ブレーキオン時の TTC[s]

運転スキル B、および、意識水準 D を元に算出された正規乱数定数 ($\mu=0$ 、 $\sigma^2=1$)

z から a_{pedmax} を計算する。

$$a_{\text{pedmax}} = \text{SD}_{\text{apedmax}} \times z + a_{\max} = 0.68 \times z + a_{\max}$$

ここで、 a_{pedmax} は、下限値を 0.5[m/s²]とする。

なお、正規乱数定数は、ドライバ特性 B、D により計算された z_1 と眠気 S1 (B、D=1) に対応する z_2 がある。

$$J_{\text{avr}} = 2.1 \times a_{\text{pedmax}} - 2.6$$

$$\text{SD}_J = 0.89$$

J_{avr} : ジャーク平均[m/s³] SD_J : ジャーク標準偏差[m/s³]

運転スキル B、および、意識水準 D を元に算出された正規乱数定数 ($\mu=0$ 、 $\sigma^2=1$)

z からアクセルオフ時間を計算する。

$$J = \text{SD}_J \times z + J_{\text{avr}} = 0.89 \times z + J_{\text{avr}}$$

ここで、J は、下限値を 0.5[m/s³]とする。

なお、正規乱数定数は、ドライバ特性 B、D により計算された z_1 と眠気 S1 (B、D=1) に対応する z_2 がある。

注 ア) アクセルオフ時間 ($T_{\text{throttle_off}}$)、イ) 踏み換え時間 ($T_{\text{break_on}}$)、ウ) 減速行動の最大減速度 (a_{pedmax})、ジャーク (J) での z_1 、 z_2 は同じ文字を使用しているがそれぞれで別の値が設定される。

- ・最大減速度 (a_{pedmax})、ジャーク (J) の値は、ブレーキオンのタイミングで一回のみ計算し、その値を使用する。(減速行動中同じ歩行者に対しては a_{pedmax} 、J の値は更新しない)
- ・ a_{pedmax} をドライバおよび車両の最大減速度と比較し、減速度の小さい方を a_{pedmax} とする。
- ・ジャーク (J) の値が、減速度勾配 DecGrad よりも大きい場合、J は DecGrad の値とする。
(減速度勾配 DecGrad よりも大きな減速度勾配とはしない)
- ・対横断歩行者の減速行動の対象となる歩行者が複数ある場合は、それぞれに対する最大減速度 (a_{pedmax})、ジャーク (J) の減速度の大きい方とする。
- ・車両が停止するか、歩行者との衝突事故が発生するか、歩行者が車線から出て Tped3 経過するまで、ウ) の減速行動を継続する。

d) 減速回避後の行動

歩行者が車線から出て Tped3 経過したら減速対象の歩行者から除外する。Tped3 のデフ

オルト値は、0.5[s]とする。

e) その他の場合の対歩行者減速行動⁴⁾

対象とする歩行者：

- 条件 1 歩行者が自車の前方にること
- 条件 2 縁石のない歩道、路肩等にいる歩行者
- 条件 3 対向車線がある場合は自車の左側にいる歩行者（対向車線がない場合は、左側／右側両方の歩行者）

対象とする歩行者が、対横断歩行者の減速行動の対象にもなっている場合は、減速度の大きい方の減速を行う。

ア) 減速行動

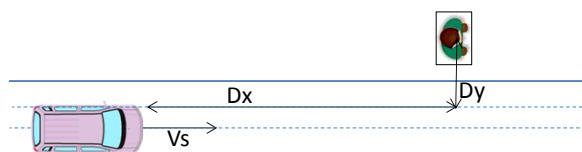


図 4.1.1-9 歩行者通過中の減速行動

図 4.1.1-9 に示すように D_x/V_s が T_{ped2} （前出 デフォルト値 6[s]）以下となった時点で行動を開始する。

イ) 減速過程

車両の先端が歩行者の D_{x_m1} （余裕距離-1、デフォルト値 1[m]）手前の時点で、車速が $V^* - V_m$ （速度余裕、デフォルト値 0.4[m/s]）となるよう、減速度 α_{avr} で減速する。その際、ペダルを踏み換えるために要する時間は対横断歩行者の減速行動のア)イ)とする。デフォルト値 0.4[m/s]）となるよう、減速度 α_{avr} で減速する。その際、ペダルを踏み換えるために要する時間は対横断歩行者の減速行動のアクセルオフ時間 ($T_{throttle_off}$)、踏み換え時間 (T_{break_on}) とする。

$$V^* = 1.8012\sqrt[3]{D_y} + 2.94\sqrt{D_y} + 0.3961D_y \text{ [m/s]}$$

$$\alpha_{a \text{ } v \text{ } r} = \frac{-\{V_s^2 - (V^* - V_m)^2\}}{2(D_x - D_{x_m1})} \text{ [m/s}^2\text{]}$$

ここでの V_s は、[m/s]の単位で計算

$V_s \leq V^* - V_m$ の場合は、 $V^* - V_m$ まで平均加速度で加速した後、等速となる。

ここで、 $V^* - V_m$ の計算結果が負の場合は、0[m/s]とする。（ $V^* - V_m$ の下限値は 0[m/s]）アクセル踏み据え時間は、平成 27 年度事業の値を使用する。

$-V^*$ 、 α_{avr} の値は、ドライバの tick 毎に再評価する。

ウ) 移行区間

車両の後端が歩行者を Dx_m2 (余裕距離-2[m]、デフォルト値 0.4[m]) 追い越すまでは、車速を V^*-Vm (0.4[m/s]) とする。

エ) 加速過程

車両の後端が歩行者を Dx_m2 で追い越した後は、自由速度まで平均加速度で加速する。

②操舵

- ・平成 28 年度の操舵は、舵角制御にて実施した。
- ・車両パラメータに最大操舵（ハンドル）角 THT_H_max (デフォルト値 3π [rad]) を追加し、 $\pm THT_H_max$ 以上は回転しない。
- ・ドライバパラメータにハンドル角速度 THT_V (デフォルト値 $\pi/2$ [rad/s]) を追加する。
- ・(i) の前方注視モデルにおけるドライバによる操舵操作に対しては、ハンドル角速度 THT_V を適用する。
また、(ii) 逸脱回避行動においては、(ii) c) に記載するハンドル角速度を適用する。

(i) 前方注視モデル⁵⁾

現在の姿勢角（ヨー角）方向に向かって、現在の車速 V の速度で Pt (予見時間 Preview_time) [s]だけ進んだと仮定した地点の横変位（車線中心線からのズレ）を $y_{rel}(Pt)$ として、2 次予測誤差 y_e が 0 となるように制御する。

$$y_e = y_{rel}(Pt) - L_p \beta - \frac{1}{2} a_y \cdot Pt^2$$

β : 重心横滑り角[rad] a_y : 横方向加速度[m/s²] L_p : 図 4.1.1-10 参照

ここで、予見時間 Pt はドライバ・パラメータ（デフォルト値 1.0[s]）とする。

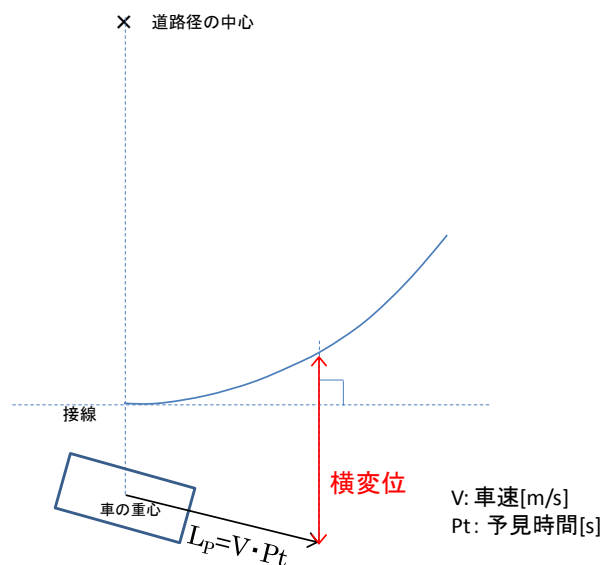


図 4.1.1-10 横変位の求め方

注：道路曲線が複雑、車両が大きく逸脱等の理由により、上図の規則での横変位の目標点が定まらない場合は、エラー情報を出力してその車両に対するシミュレーションは終了する。

下記 a) ～c) により、目標操舵角を求める。

a) 前式より、 y_e を 0 にする目標横方向加速度 a_{y_target} を求める。

$$a_{y_target} = \frac{2(y_{rel}(Pt) - L_P \beta)}{Pt^2}$$

b) 目標横方向加速度となるような目標ヨーレート r_{target} を求める。

$$r_{target} = \frac{a_{y_target}}{V} \quad [\text{rad/s}]$$

V:車速[m/s]

c) 目標ヨーレートとなるようなハンドルの目標操舵角 θ_h_{target} を求める。

$$\theta_h_{target} = Rs(1 + AV^2) \frac{L}{V} r_{target} \quad [\text{rad}]$$

ここで、Rs：トータルギア比 A：スタビリティファクタ V:車速[m/s]

L：ホイールベース長 ($L_f + L_r$) [m]

スタビリティファクタは、次式で求められる。

$$A = -\frac{m}{2L^2} \frac{L_f K_f - L_r K_r}{K_f K_r}$$

m：車重[kg] L：ホイールベース長[m]

L_f ：重心から前輪までの水平距離[m] L_r ：重心から後輪までの水平距離[m]

K_f ：前輪コーナリングパワー[N/rad] K_r ：後輪コーナリングパワー[N/rad]

(ii) 逸脱回避行動⁶⁾

以下の逸脱回避行動は、脇見、眠気に対するものとし、正常時の逸脱回避は前方注視モデルに従い行う。

脇見、眠気それぞれに対して、下記の a) ～c) の分布を z_1 、 z_2 により指定する。(居眠りの場合は、警報により、正常または眠気 S1 に遷移した場合に a) ～c) を実施。警報が鳴っても居眠り S2 状態のままだった場合は、回避行動は行わない)

居眠りのモードの遷移状態を図 4.1.1-11 に示す。

【居眠りモード】

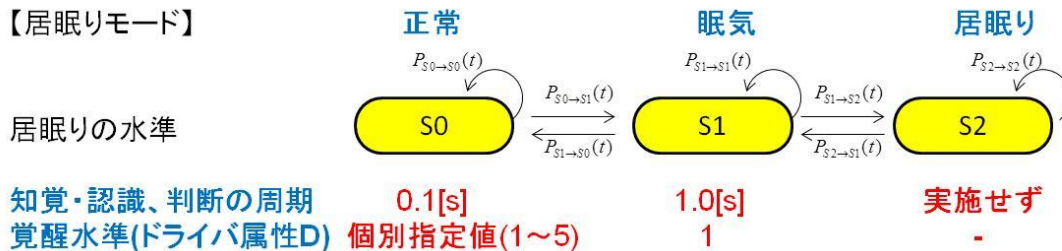


図 4.1.1-11 居眠りモードの状態遷移

a) 反応時間、復帰時間 (RT、 τ) : 警報呈示から操舵を開始するまでの時間

脇見からの反応時間 RT、眠気からの復帰時間 τ は、事故要因仕様の脇見のモデル、および眠気のモデルに記載した反応時間、復帰時間の計算式により算出する。

b) 最大ハンドル角度と最大ハンドル角速度

最大ハンドル角度 δ [°] は最大ハンドル角速度 $\dot{\delta}$ [rad/s] より算出する。

$$\delta = 0.50 \cdot \dot{\delta}$$

c) 最大ハンドル角速度 ($\dot{\Delta}$)

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

$$\mu = 3.78 - 0.929 \log \text{TTC_wall} \quad \sigma = 0.359 - 0.120 \log \text{TTC_wall}$$

$f(\dot{\Delta} | \mu, \sigma)$: 最大ハンドル角速度 [rad/s] の分布

TTC_{wall} : 障害物までの衝突余裕時間 [s]

TTC_{wall} の求め方の詳細に関しては、以下にて説明する。

運転スキル B、および、意識水準 D を元に算出された正規乱数定数 ($\mu=0$ 、 $\sigma^2=1$) z から最大ハンドル角速度を計算する。

$$\dot{\Delta} = \exp(\sigma \times z + \mu)$$

ここで、 $\dot{\Delta}$ の上限値は 500 [°/s] とし、下限値は 1 [°/s] とする。

なお、正規乱数定数は、ドライバ特性 D により計算された z_1 と眠気 S1 (D=1) に対応する z_2 がある。

a) の反応時間後から、c) の角速度で b) の最大ハンドル角までハンドルをきる。

d) 復帰

上記 a) ~c) で最大ハンドル角までハンドルをきった後は、前方注視モデルによる操舵を行う。

以下に TTC_{wall} の求め方について述べる。

ア) 左カーブの場合

障害物は、曲線道路に沿って車線境界から一定の距離に切れ目なく配置されているものとする。内側車線の半径を $r1$ [m]、外側車線の半径を $r2$ [m] とし、現在の車速とヨーレートをそれぞれ v [m/s]、 y_r [rad/s] とする。

$$y_{r1} = \frac{v}{r1}, \quad y_{r2} = \frac{v}{r2}$$

yr>yr1 の場合は道路内側の障害物との TTC_{wall} 衝突余裕時間[s]を、yr<yr2 の場合（yr は負の値もとれる）は道路外側の障害物との TTC_{wall} 衝突余裕時間[s]を求め、それぞれ右／左にハンドルをきる。

- ・ yr>yr1 の場合（図 4.1.1-12 参照）

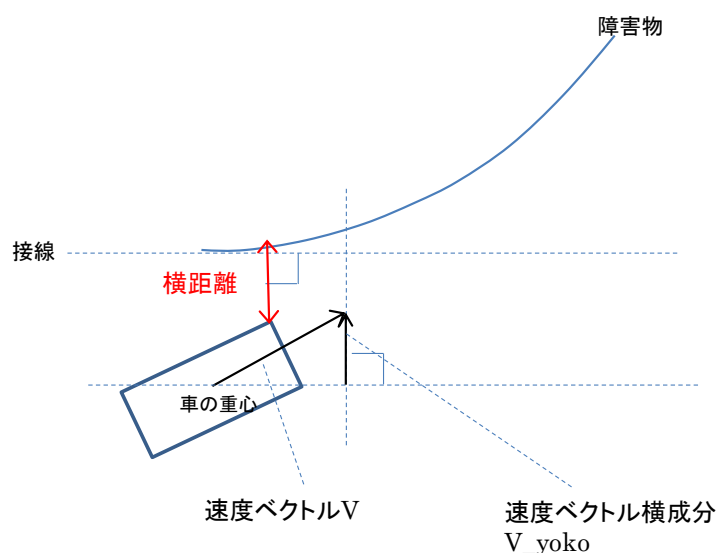


図 4.1.1-12 TTC_{wall} の計算（yr>yr1 の場合）

道路内側方向の障害物と車両（左隅）との横距離 dist_{yoko}[m]を求める。

車両の速度ベクトル v の横方向成分 V_{yoko} を求める。

$dist_{yoko} = V_{yoko} \times t + \frac{1}{2}(yr - yr1)|V| \times t^2$ となる t を求め、これを TTC_{wall} とする。

- ・ yr<yr2 の場合（図 4.1.1-13 参照）

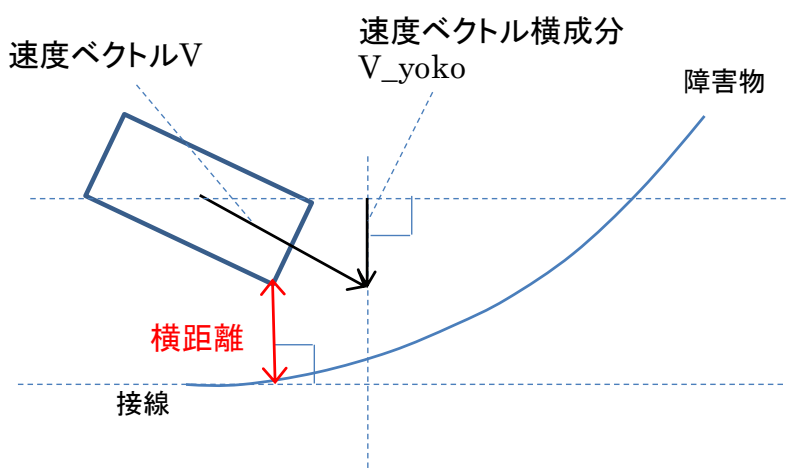


図 4.1.1-13 TTC_{wall} の計算（yr<yr2 の場合）

道路外側方向の障害物と車両（右隅）との横距離 $\text{dist_yoko}[\text{m}]$ を求める。

車両の速度ベクトル $\mathbf{v}$ の横方向成分 V_yoko を求める。

$$\text{dist_yoko} = V_yoko \times t + \frac{1}{2}(yr2 - yr)|V| \times t^2 \quad \text{となる } t \text{ を求め、これを } \text{TTC_wall} \text{ とする。}$$

イ) 右カーブの場合

内側車線の半径を $r1[\text{m}]$ 、外側車線の半径を $r2[\text{m}]$ とし、現在の車速とヨーレートをそれぞれ $|v|[\text{m/s}]$ 、 $yr[\text{rad/s}]$ とする。

$$yr1 = \frac{v}{r1}, \quad yr2 = \frac{v}{r2} \quad (\text{右カーブの場合は } yr1, yr2 \text{ 共に負の値})$$

$yr < yr1$ の場合は道路内側の障害物との TTC_wall 衝突余裕時間[s]を、 $yr > yr2$ の場合（ yr は正の値もととり得る）は道路外側の障害物との TTC_wall 衝突余裕時間[s]を求め、それぞれ左/右にハンドルをきる。

・ $yr < yr1$ の場合

道路内側方向の障害物と車両（右隅）との横距離 $\text{dist_yoko}[\text{m}]$ を求める。

車両の速度ベクトル $\mathbf{v}$ の（道路内側向きの）横方向成分 V_yoko を求める。

$$\text{dist_yoko} = V_yoko \times t + \frac{1}{2}(yr1 - yr)|V| \times t^2 \quad \text{となる } t \text{ を求め、これを } \text{TTC_wall} \text{ とする。}$$

・ $yr > yr2$ の場合

道路外側方向の障害物と車両（左隅）との横距離 $\text{dist_yoko}[\text{m}]$ を求める。

車両の速度ベクトル $\mathbf{v}$ の（道路外側向きの）横方向成分 V_yoko を求める。

$$\text{dist_yoko} = V_yoko \times t + \frac{1}{2}(yr - yr2)|V| \times t^2 \quad \text{となる } t \text{ を求め、これを } \text{TTC_wall} \text{ とする。}$$

(2) 自動走行システムエージェントの開発

< 主な機能 >

- ・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の取得（センサ検知）する。
- ・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、車両への速度、舵角の補正などを実施する。

以下に、平成 28 年度に開発した①センサ仕様および②自動走行システム仕様を示す。

① センサ仕様

- ・センサ ID、センサ・タイプ（カメラ／レーダ）、取り付け位置[m]、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パラメータ（センサパラメータ）を定義する。
- ・カメラは検知可能範囲内の白線および障害物（車両、人、物）、レーダは検知可能範囲内の障害物（車両、人、物）を検知できる。ただし、平成 28 年度では、車両と人のみを検知（カメラの場合はこれらに加えて白線も検知）し、他の障害物は検知しない。
- ・センサは複数指定可能（平成 28 年度は 3 個まで）とする。各センサのセンサパラメータにセンサのグループ ID を追加し、グループ指定を可能とする。グループ指定された場合、同じグループ内のセンサのいずれかが検出した場合にシステムが作動する。例えば、センサ ID-1～3 が、同じセンサグループ ID-1 に指定された場合は、センサ ID1、2、3 のいずれかのセンサが検知すれば、検知されたものとする。
- ・実際のセンサは常に 100[%]検出できる訳ではないため、センサ毎に検出率を指定可能とする。ただし、平成 28 年度では、検出率は考慮せず、検知範囲内の白線、車両と人は 100[%]検出される。
- ・昼夜、天候（晴天、雨など）の状況により、センサ検知距離[m]、センサ検知角度[°]を変更可能とする。ただし、平成 28 年度版では、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、必要な場合はセンサ検知距離、センサ検知角度視野角のパラメータ値を変更して再度シミュレーションを行う。

表 4.1.1-1 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 ID		
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

- ・取り付け位置は、先端中央を（0.0,0.0）とし、後ろ方向に y 座標が負、左/右方向に x 座標がそれぞれ負/正の座標系で表す。
- ・検出方向は、正面方向を 0[°]とし、左方向が正の向き、右方向が負の向きとする。
- ・センサ検知角度は、取り付け方向からの左右合計の検知角度を表す。

② 自動走行システム仕様

本シミュレーションでは、以下に示す 5 種類の自動走行システムを模擬可能とする。

衝突防止系

- ・ 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）

逸脱防止系

- ・ 車線逸脱警報システム（LDW：Lane Departure Warning system）
- ・ 逸脱防止支援システム（LKA:Lane Keeping Assist system）

センサ検知モードの指定

各自動走行システムに対し、センサ検知モード（有効とするセンサグループの指定とその検出条件）を設定可能とする。検出条件は、同じグループ内のセンサは OR 条件、グループ間には AND 条件で検出する。図 4.1.1-14 にセンサのグループ指定例を示す。

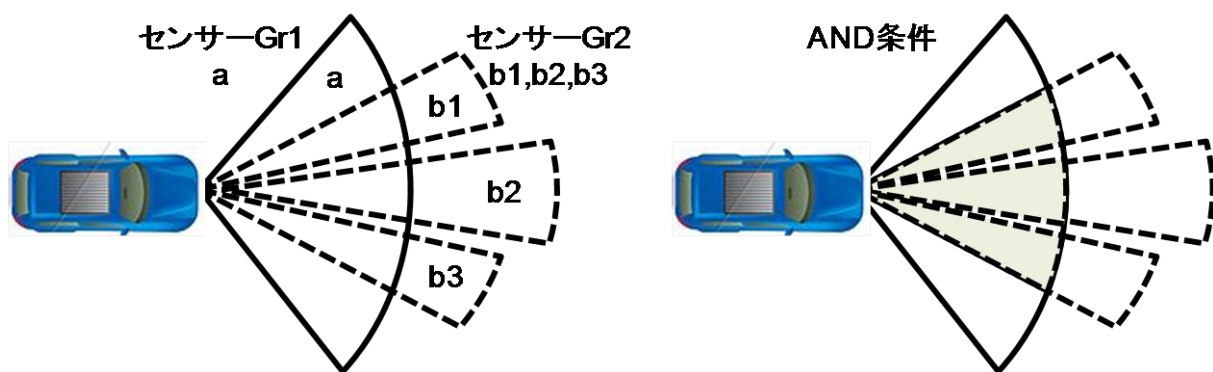


図 4.1.1-14 車載センサのグループ指定例

以下に、平成 28 年度に組み込む自動走行システムについて述べる。

(i) 衝突警報システム（CW：Collision Warning system）の仕様

- ・ 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。
- ・ 対車両の場合、センサで検知される自車線の中心から左右の検知幅以内の自車線内の車両のみを対象とする。
- ・ 対歩行者の場合、センサで検知される、自車線内および自車線の中心から左右の検知幅以内の歩行者を対象とする。
- ・ 作動条件は、対車両と対歩行者で別々に設定するものとし、いずれか一方のみの警報とすることも可能である。
- ・ 警報としては、表 4.1.1-4 に示す音衝突警報、光衝突警報、振動衝突警報を選択可能（複数の指定も可）、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である。
- ・ 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。
- ・ 警報が ON となった場合は、表 4.1.1-4 に示す警報持続時間[s]（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、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引き続き警報持続時間[s]の間 ON 状態とする。警報持続時間のデフォルト値は 2[s]とする。継続時間経過後は、解除条件成立していれば解除。新たな衝突対象が警報中に発生していれば、その発生から警報持続時間の間は警報を継続する。
- ・ 表 4.1.1-2 に対車両の作動条件一覧を示す。下記の検知幅、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、不作動ラップ率（が不作動範囲外であること）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。
- ・ 表 4.1.1-3 に対歩行者の作動条件一覧を示す。各作動条件は、対車両とは異なる値を設定可能とする。
- ・ 不作動ラップ率[%]は、衝突予測地点での先行車 or 歩行者と後続車の中心線間の相対横変位[m]を（先行車幅 or 歩行者幅＋後続車幅）／2[m]で除したものを百分率（-100[%]～100[%]）で表したものである。（ここで、相対横変位は、左側への変位の場合を負、右側の場合を正とする。また、歩行者幅は車両側から見える歩行者の幅とする。）
ただし、平成 28 年度は、不作動ラップ率[%]は使用しない。
- ・ 表 4.1.1-4 に作動条件以外の衝突警報システムのパラメータを示す。この衝突警報システムのパラメータも対車両と対歩行者と別々に設定可能とする。

表 4.1.1-2 自動走行システム（衝突防止系）の作動条件（対車両）

作動条件	単位	備考
検知幅	[m]	デフォルト値:1.5[m]
作動最低相対速度	[km/h]	デフォルト値:0.1[km/h]
作動最低速度	[km/h]	デフォルト値:0.1[km/h]
作動最高速度	[km/h]	デフォルト値:100[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	[s]	デフォルト値:0[s]
検知必要時間	[s]	デフォルト値:0[s]
不作動ラップ率(下限)	[%]	
不作動ラップ率(上限)	[%]	

- ・表 4.1.1-2 に示す検知幅：道路の中心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。
- ・表 4.1.1-2 に示す検知必要時間：センサでの先行車両検知の連続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。

表 4.1.1-2 の作動 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	相対速度[km/h]	0	15	20	60
	作動TTC対先行車[s]	0	2	2	3
2	相対速度[km/h]	0	15	20	40
	作動TTC対静止車[s]	0	1.5	1.5	2

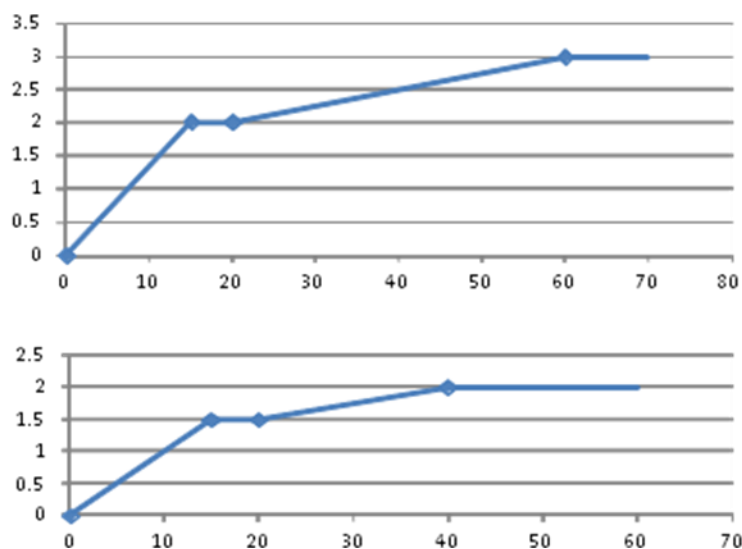


図 4.1.1-15 作動 TTC のマップ入力例

図 4.1.1-15 では、設定項目数を 4 としている、設定項目数は可変である。

表 4.1.1-3 自動走行システム（衝突防止系）の作動条件（対歩行者）

作動条件	単位	備考
検知幅	[m]	デフォルト値:1.5[m]
作動最低相対速度	[km/h]	デフォルト値:0.1[km/h]
作動最低速度	[km/h]	デフォルト値:0.1[km/h]
作動最高速度	[km/h]	デフォルト値:100[km/h]
作動TTC(対歩行者車)	-	マップID3
作動遅れ時間	[s]	デフォルト値:0[s]
検知必要時間	[s]	デフォルト値:0[s]
不作動ラップ率(下限)	[%]	
不作動ラップ率(上限)	[%]	

- ・表 4.1.1-3 に示す検知幅：道路の中心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。
- ・表 4.1.1-3 に示す検知必要時間：センサでの先行車両検知の連続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。

表 4.1.1-4 衝突警報システムのパラメータ

衝突警報システムの パラメータ	単位	備考
音衝突警報フラグ	true/false	true:あり、false:なし (開放フラグ複数指定化)
光衝突警報フラグ	true/false	true:あり、false:なし (開放フラグ複数指定化)
振動衝突警報フラグ	true/false	true:あり、false:なし (開放フラグ複数指定化)
警報持続時間	[s]	デフォルト値:2[s]

(ii) 緊急ブレーキアシストシステム（EBA：Emergency Brake Assist system）の仕様

- ・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。
- ・対車両の場合、センサで検知される自車線内の車両のみを対象とする。
- ・対歩行者の場合、センサで検知される、自車線内および自車線の中心から左右の検知幅以内の歩行者を対象とする。
- ・作動条件は、対車両と対歩行者で別々に設定、いずれか一方のみとすることも可能である。
- ・作動条件は衝突警報システムと同様（表 4.1.1-2、表 4.1.1-3）の項目を EBA 用に設定したもの、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。
- ・表 4.1.1-5 に作動条件以外の緊急ブレーキアシストシステムのパラメータを示す。この緊急ブレーキアシストシステムのパラメータも対車両と対歩行者と別々に設定可能とする。
- ・緊急ブレーキアシストシステムが作動した場合、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/s²]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、またはドライバブレーキ絶対量のどちらを係数倍するかは選択可能とする。

- ・ブレーキ出力加算の合計値は、車両毎に設定された最大減速度[m/s²]以内の数値とする。
- ・ブレーキ出力加算は、指定された作動継続時間[s]を経過すると終了する。
- ・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、時定数をパラメータとして設定（デフォルト値 0.05）可能とし、一次遅れフィルターを通した値とした。

表 4.1.1-5 緊急ブレーキアシストシステムのパラメータ

緊急ブレーキアシストシステムのパラメータ	単位	備考
音衝突警報フラグ	true/false	true:あり、false:なし (開放フラグ複数指定化)
光衝突警報フラグ	true/false	true:あり、false:なし (開放フラグ複数指定化)
振動衝突警報フラグ	true/false	true:あり、false:なし (開放フラグ複数指定化)
モード選択	絶対値/増分値	
ブレーキ増大係数		例えば0.5を指定した場合、ブレーキの絶対値または増分値の0.5倍加算される
作動継続時間	[s]	停止または衝突後は、作動時間中でも作動を終了
時定数		デフォルト値:0.05

(iii) 被害軽減ブレーキシステム（DMB：Damage Mitigation Brake system）の仕様

- ・作動条件以外の被害軽減ブレーキシステムのパラメータを表 4.1.1-6 に示す。
- ・センサの検知範囲内に先行車両、歩行者が入り、指定された作動条件を満たした場合に、減速量の値を出力する。
- ・対車両の場合、センサで検知される自車線内の車両のみを対象とする。
- ・対歩行者の場合、センサで検知される、自車線内および自車線の中心から左右の検知幅以内の歩行者を対象とする。
- ・作動条件は、対車両と対歩行者で別々に設定し、いずれか一方のみとすることも可能。
- ・作動条件は衝突警報システムと同様（表 4.1.1-2、表 4.1.1-3）の項目を DMB 用に設定する。
- ・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とする。
- ・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/s³]に従った減速量[m/s²]を出力する。ここで、減速量[m/s²]は車両毎に設定された最大減速度[m/s²]以内の数値とする。
- ・被害軽減ブレーキシステムと緊急ブレーキアシストシステムの双方を搭載している場合は、双方の減速度の大きい方の値とする。

- ・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[s]を経過すると終了する。
- ・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（デフォルト値 0.05）可能とし、一次遅れフィルターを通した値とする。

表 4.1.1-6 被害軽減ブレーキシステムのパラメータ

被害軽減ブレーキシステムのパラメータ	単位	備考
音衝突警報フラグ	true/false	true:あり、false:なし (開放フラグ複数指定化)
光衝突警報フラグ	true/false	true:あり、false:なし (開放フラグ複数指定化)
振動衝突警報フラグ	true/false	true:あり、false:なし (開放フラグ複数指定化)
減速度勾配	[m/s ²]	デフォルト値:19.6
作動継続時間	[s]	停止または衝突後は、作動時間中でも作動を終了
時定数		デフォルト値:0.05

- ・一次と二次の作動時間が重複している場合（図 4.1.1-16 参照）は、高い減速度となる方の値をとる。

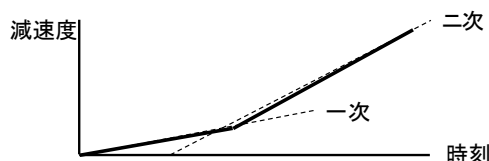


図 4.1.1-16 一次と二次の作動時間が重複している場合

(vi) 車線逸脱警報システム（LDW：Lane Departure Warning system）の仕様

- ・センサの検知範囲内に車線白線が入り、指定された作動条件を満たした場合に警報を出力する。
- ・警報は、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。
- ・警報の解除条件は、システムの作動条件の範囲外となった場合とする。
- ・警報が、ON となった場合は、警報持続時間[s]（車線逸脱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引き続き警報持続時間[s]の間 ON 状態とする。警報持続時間のデフォルト値は 2[s]。
- ・解除条件は、自車線内を走行し、作動条件を満たさない場合とする。
- ・表 4.1.1-7 に作動条件一覧を示す。表中の検知幅、作動最低速度、作動最高速度、作動 TTLC (Time To Lane Crossing)、をすべて満たした場合に、作動遅れ時間後に警報を ON。

表 4.1.1-7 車線逸脱警報システムの作動条件

作動条件	単位
探知幅	[m]
作動最低速度	[km/h]
作動最高速度	[km/h]
作動TTLC	[s]
作動遅れ時間	[s]
センサ検知モード	センサグループIDによる指定

- ・ TTLC は、現在の速度ベクトルのまま進んだとして、車両先端が車線白線にかかるまでの時間とし、これが作動 TTLC 以下となった場合に作動 TTLC の条件を満たしたと判断する。

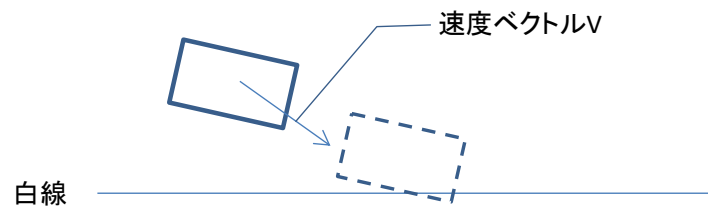


図 4.1.1-17 TTLC の説明

- ・ 作動条件以外の車線逸脱警報システムのパラメータを表 4.1.1-8 に示す。
- ・ 警報が、ON となった場合は、警報持続時間[s]（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引き続き警報持続時間[s]の間 ON 状態とする。警報持続時間のデフォルト値は 2[s]とする。

表 4.1.1-8 車線逸脱警報システムのパラメータ

車線逸脱警報システムの パラメータ	単位	備考
音衝突警報フラグ	true/false	true:あり、false:なし (開放フラグ複数指定化)
光衝突警報フラグ	true/false	true:あり、false:なし (開放フラグ複数指定化)
振動衝突警報フラグ	true/false	true:あり、false:なし (開放フラグ複数指定化)
警報持続時間	[s]	デフォルト値:2

(v) 逸脱防止支援システム（LKA:Lane Keeping Assist system）の仕様

- ・センサの検知範囲内に車線白線が入り、指定された作動条件を満たした場合にハンドル操舵角を制御。平成 28 年度の開発においてはドライバの操舵行動がなくても動作する。
- ・解除条件は、自車線内を走行（または自車線内に復帰）し、作動条件を満たさない場合とする。
- ・作動条件は車線逸脱警報システムと同様（表 4.1.1-7）の項目を LKA 用に設定する。
- ・作動条件以外の逸脱防止支援システムのパラメータを表 4.1.1-9 に示す。作動条件をすべて満たした場合に、作動遅れ時間後に、アシスト最大ハンドル操舵角速度で、アシスト最大ハンドル操舵角までの範囲でドライバからの操舵出力のハンドル操舵角を補正し、逸脱を回避する。
- ・逸脱防止支援システムが作動中に目標とするハンドル操舵角は、逸脱防止支援システム予見時間での前方注視モデルにより算出する。

表 4.1.1-9 逸脱防止支援システムのパラメータ

逸脱防止システムのパラメータ	単位	備考
音衝突警報フラグ	true/false	true:あり、false:なし (開放フラグ複数指定化)
光衝突警報フラグ	true/false	true:あり、false:なし (開放フラグ複数指定化)
振動衝突警報フラグ	true/false	true:あり、false:なし (開放フラグ複数指定化)
警報持続時間	[s]	デフォルト値:2
アシスト最大ハンドル操舵角加速度	[rad/s ²]	
アシスト最大ハンドル操舵角速度	[rad/s]	
アシスト最大ハンドル操舵角	[rad]	
逸脱支援システム予見時間	[s]	

(3) 車両オブジェクトの開発

車両オブジェクトは以下に示す機能を有する。

- ・ドライバエージェントによる操作と、自動走行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。
- ・①車両モデル②車両前後方向モデリングで示され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。

表 4.1.1-10 に車両オブジェクトで使用する車両パラメータを示す。

表 4.1.1-10 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
最大加速度[m/s ²]	
最大減速度[m/s ²]	

① 車両モデル

車両モデルでは、ハンドル操舵角 θ_h 、アクセル操作量 $accel_com$ 、ブレーキ操作量 $brake_com$ を入力として、表 4.1.1-11 に示す車両の状態量を計算することにより、車両の挙動を模擬する。入力となるハンドル操舵角 θ_h 、アクセル操作量 $accel_com$ 、ブレーキ操作量 $brake_com$ の値は、ドライバおよび自動走行システムにより決定される。

表 4.1.1-11 車両の状態量

変数名	意味	単位	分類
TA	エンジンダイナミクス(加速度)	[m/s ²]	前後方向
TB	エンジンダイナミクス(減速度)	[m/s ²]	前後方向
V	車両速度	[m/s]	前後方向
β	横滑り角	[rad]	横方向
r	ヨーレート	[rad/s]	横方向
ψ	ヨー角(姿勢角)	[rad]	横方向
X	X座標	[m]	横方向
Y	Y座標	[m]	横方向

上記以外の車両の状態量として、前輪舵角 δ があるが、平成 28 年度開発の車両モデルでは常にハンドル操舵角の定数倍の関係にある（式 4.1.1-7 参照）ため、前輪舵角 δ に関しては表 4.1.1-11 に記載した状態量からの計算は行わない。

② 車両前後運動のモデリング⁷⁾

車両の前後運動（Longitudinal Dynamics）のモデルとしては、下記の状態量を扱うこととし、各状態量の傾き（時間変化量）を求め、それらの積分値を求めることにより各状態量の値を更新する。

- TA エンジンダイナミクス（加速度）
- TB ブレーキダイナミクス（減速度）
- V 車両速度

(i) TA の変化量

TA の変化量は、車両の加速度勾配 [m/s³] を表しており、式 4.1.1-1 により計算する。

$$\text{TA の変化量} = -\frac{wAD}{\text{tick周期}} \times (TA - \text{accel_com}) \quad (\text{式 4.1.1-1})$$

wAD: エンジンダイナミクスの時定数（デフォルト値は 0.1、 $0 < wAD \leq 1.0$ の値とする）、
tick 周期（デフォルトは 0.01[s]）

accel_com: 車両のアクセル（加速度[m/s²]）操作量

- ・ドライバからのアクセル操作量 -0.25[m/s²]（空走:アクセルペダル OFF）～ドライバパラメータの最大加速度までの範囲とする。
- ・式 4.1.1-1 での accel_com の値は、ドライバからのアクセル操作量が車両パラメータの最大加速度を越えた場合、車両パラメータの最大加速度とする。その他の場合は、ドライバからのアクセル操作量の値とする。
- ・例えば、現在の加速度 TA が 2[m/s²]で、accel_com が 5[m/s²]、wAD=0.1、tick 周期=0.01[s] だったとすると、加速度勾配は $-10(2-5) = 30$ 、tick 時間 0.01[s]後の加速度 TA は、 $2 + 30 \times 0.01 = 2.3[\text{m/s}^2]$ になる。

(ii) TB の変化量

TB の変化量は、車両の減速度勾配 $[m/s^3]$ を表しており、式 4.1.1-2 より計算する。

$$TB \text{ の変化量} = -\frac{wBD}{tick\text{周期}} \times (TB - brake_com) \quad (\text{式 4.1.1-2})$$

wBD: ブレーキダイナミクスの時定数 (デフォルト値は 0.1、 $0 < wBD \leq 1.0$ の値とする)、

tick 周期 (デフォルトは 0.01[s])

brake_com: 車両のブレーキ (減速度 $[m/s^2]$) 操作量 (ここでは正の数で表す)

- ・ドライバからのブレーキ操作量は、 $0[m/s^2]$ (ブレーキペダル OFF) ~ ドライバパラメータの最大減速度までの範囲である。
- ・式 4.1.1-2 での brake_com の値は、ドライバからのブレーキ操作量が車両パラメータの最大減速度を超えた場合、車両パラメータの最大減速度とする。その他の場合は、ドライバからのブレーキ操作量の値とする。(車載デバイス搭載時の brake_com の値は、後述)

その他、下記 a) b) における (i) TA の変化量 (ii) TB の変化量の考え方を示す。

a) アクセルペダル、ブレーキペダルの双方が踏まれた場合

ドライバからの操作として、アクセル操作量、ブレーキ操作量の双方があった場合も、その双方の値を使って式 4.1.1-1、式 4.1.1-2 をそれぞれ計算する。

b) 自動走行システムを搭載している場合

衝突防止系の自動走行システムを搭載している場合は、以下の通りとする。

- ・ブレーキアシストシステム (EBA) を搭載している場合
 - ー非作動時: 上記のまま
 - ー作動時: accel_com は $-0.25[m/s^2]$ とする。brake_com の値はドライバからのブレーキ操作量に EBA のアシスト分を加えた値とする。
(ただし、車両パラメータの最大減速度を超えない)
- ・被害軽減ブレーキシステム (DMB) を搭載している場合
 - ー非作動時: 上記のまま
 - ー作動時: accel_com は $-0.25[m/s^2]$ とする。brake_com の値はドライバからのブレーキ操作量と DMB 出力のブレーキ操作量の大きい方の値とする。
(ただし、車両パラメータの最大減速度を超えない)
- ・緊急ブレーキアシストシステム (EBA) と被害軽減ブレーキシステム (DMB) の両方を搭載している場合
 - ー非作動時: 上記のまま
 - ー両方の作動時: accel_com を $-0.25[m/s^2]$ とし、brake_com の値はドライバからのブレーキ操作量に EBA のアシスト分を加えた値と、DMB 出力のブレーキ操作量の双方を加算した値とする。(ただし、車両パラメータの最大減速度を超えない)
 - ー片方の作動時: EBA、DMB のいずれか一方が作動している場合には、それぞれの作動時の記載に従う。

(iii) 車両速度 V の変化量

車両の速度の変化量、即ち加速度 $[m/s^2]$ を表しており、式 4.1.1-3 により求める。

$$\text{速度の変化量} = TA - TB \quad [m/s^2] \quad (\text{式 4.1.1-3})$$

③車両横運動のモデリング

車両横運動（Lateral Dynamics）モデルとしては、下記の状態量を扱うこととし、各状態量の傾き（時間変化量）を求め、それらの積分値を求めることにより各状態量の値を更新する。

β	横滑り角[rad]
r	ヨーレート [rad/s]
ϕ	ヨー角[rad]
X	X座標[m]（車両の重心点のX座標）
Y	Y座標[m]（車両の重心点のY座標）

(i) 横滑り角 β の変化量 $\dot{\beta}$

$$\dot{\beta} = -r + \frac{F_f + F_r}{mV} \quad (\text{式 4.1.1-4})$$

r : 角速度（ヨーレート）[rad/s] m : 車重[kg] V : 車速[m/s]

F_f, F_r : 前後輪コーナリングフォース[N]

ここで、式 4.1.1-4 中の F_f, F_r は式 4.1.1-5 により算出する。

$$F_f = -2K_f\beta_f, \quad F_r = -2K_r\beta_r \quad (\text{式4.1.1-5}) \quad \text{前後 各タイヤ 2 本分}$$

β_f, β_r : 前後タイヤの横すべり角[rad] K_f, K_r : 前後コーナリングパワー[N/rad]

式 4.1.1-5 中の β_f, β_r は式 4.1.1-6 により算出する。

$$\beta_f = \beta + \frac{L_f}{V}r - \delta \quad \beta_r = \beta - \frac{L_r}{V}r \quad (\text{式4.1.1-6})$$

δ : 前輪舵角[rad] L_f, L_r : 前輪-重心間距離, 重心-後輪間距離[m]

β : 横滑り角[rad] V : 車速[m/s] r : ヨーレート[rad/s]

ここで、前輪舵角 δ は式 4.1.1-7 により算出する。

$$\delta = \frac{\theta_h}{R_s} \quad (\text{式 4.1.1-7})$$

θ_h : ハンドル操舵角[rad] R_s : トータルギア比

また、極低速度（車速が 1[m/s]以下）の場合は、

$$\dot{\beta} = 0 \quad (\text{式 4.1.1-8}) \quad \text{とする。}$$

(ii) ヨーレート r の変化量 $\dot{r}$

式 4.1.1-9 により求める。

$$\dot{r} = \frac{L_f F_f - L_r F_r}{I} \quad (\text{式 4.1.1-9})$$

$\dot{r}$: ヨー角加速度[rad/s²] I : ヨーモーメント・イナーシャ[Nm]

L_f, L_r : 前輪-重心間距離, 重心-後輪間距離[m]

ここで、 F_f, F_r は式 4.1.1-5 より求める。

また、極低速度（車速が 1[m/s]以下）の場合は、

$\dot{r} = 0$ とする。

(iii) . ヨー角 ϕ の変化量 r

ヨー角 ϕ の変化量は、ヨーレート r であり、その時刻でのヨーレート r の状態量とする。

r は、極低速度（車速が 1[m/s]以下）の場合は式 4.1.1-10 により求める。

$$r = \frac{V}{L} \delta \quad (\text{式 4.1.1-10})$$

δ : 前輪舵角[rad]（式 4.1.1-7 参照）

L : ホイールベース長[m]（ $L = L_f + L_r$ の関係にある）

V : 車速[m/s]

(vi) X, Y の変化量

式 4.1.1-11 により求める。

$$\frac{dX}{dt} = V \cos(\beta + \psi) \quad \frac{dY}{dt} = V \sin(\beta + \psi) \quad (\text{式 4.1.1-11})$$

β : 重心横滑り角[rad] ψ : ヨー角[rad] V : 車速[m/s]

極低速度（車速が 1[m/s]以下）の場合は、式 4.1.1-12 により求める。

$$\frac{dX}{dt} = V \cos \theta - \frac{VL_r \delta}{L} \sin \theta \quad \frac{dY}{dt} = V \sin \theta + \frac{VL_r \delta}{L} \cos \theta \quad (\text{式 4.1.1-12})$$

L : ホイールベース長[m] L_r : 重心-後輪間距離[m]

ϕ : ヨー角[rad] V : 車速[m/s] δ : 前輪舵角[rad]（式 4.1.1-7 参照）

以上に述べた、(1) ドライバエージェント、(2) 自動走行システムエージェント (3) 車両オブジェクトを用いて、平成 28 年度の車両エージェントモジュールを構築した。

4.1.1.3 歩行者エージェントモジュールの開発

歩行者エージェントモジュールは、構成要素毎に、個々の特性パラメータを割り当てて歩行者エージェントインスタンス（図 4.1.1-18 参照）を生成する。平成 28 年度は平成 27 年度事業の基本歩行アルゴリズムに、知覚部・認識部・横断行動判断部を加え、安全確認行動ロジックと横断行動ロジックの実装を行った。

歩行者エージェントモジュールの主な機能は、

- ・出現位置と消滅位置、発生人数および発生間隔をシナリオにより取得する。
- ・取得した情報に従い、歩行者エージェントインスタンスを生成する。
- ・各時刻での自身の周囲の状況を取得する。（知覚）
- ・知覚した情報をもとに、認知を実行する。（認知）
- ・認知した周囲状況と行動目標に基づいて行動モード（歩行、横断、停止、引き返し）の決定と行動目標（首向き方向、移動速度ベクトルなど）を決定する。（判断）（行動）
- ・事故が発生した、シミュレーション終了時刻に到達した、もしくは、消滅地点に歩行者エージェントインスタンスが到達した場合消滅処理を行う。
- ・決定された行動目標をもとに単位時間後の歩行者位置、首向き角度を算出し、シミュレーション管理モジュールに出力する。

となる。

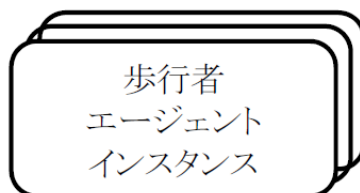


図 4.1.1-18 歩行者エージェントの構成

4.1.1.4 道路環境管理モジュールの開発

道路環境管理モジュールの主な機能は

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

道路構造は大きく分けて以下の 2 つからなる。

(1) 道路の構成要素

道路情報は複数の道路構成要素から成り立っている。

道路構成要素（歩道、側道、車線、白線、中央分離帯、白線、車線、歩道など）が集まって道路を構成する。

(2) 各車道の中央にある走行パス情報

車両が走る走行パス（走行レーン）、制限速度、平均速度、円弧の中心位置、半径などを管理する。

道路の車道には走行パス（走行レーン）が設けられている。車両は通常このパス上を走行する。車両が走行予測に必要な前方の道路形状、例えばカーブの有無、曲率、曲率中心、平均速度、制限速度など、はすべてこのパス情報を經由して取得する。

車両は主にこのパス上を走行するが、逸脱等の事象が発生するとパスを外れて走行する。

平成 28 年度は、歩行者横断用の対向 2 車線の直線道路と車線逸脱用の J 型、U 型道路およびオーバルが設定可能である。

4.1.1.5 ログ出力モジュールの開発

実施したシミュレーション結果のログ情報、統計情報を出力する。

ログ出力モジュールの主たる機能

- ・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。
- ・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ログに出力する。
- ・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ログファイルとして出力する。
- ・ログファイルにおいて、シミュレーション開始からの時系列ログデータを出力する。
- ・上記ログの統計情報（生成した総車両台数、事故件数、事故率など）を出力する。

以下に、ログ情報と統計情報の詳細を記載する。

(1) ログ情報

事故が発生したパターンに対し、事故ログ情報を出力する。事故ログ情報の出力項目は、下記参照。なお、衝突面/位置については、図 4.1.1-3 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。

ログファイルの先頭でシミュレーションの実行条件を出力（サマリ出力）

004.00,	[	Ped,	--,----	]	(5),	PedSim ID, 9999, pos,333.773,502.678,0.000, dir,0.832,-0.992,0.000, life,30.00, TTC,2.70, // csv id,0, dist, 33.77, head, -40.00, life, 30.0
000.00,	[	SMg,	--,----	]	(6),	*** START INFOs ***
000.00,	[	Veh,	00,0000,	]	(5),	** Vehicle *****
000.00,	[	Veh,	00,0000,	]	(6),	@VINf, ID,0,Vloc,300.000,500.000,0.000, vhed,1.000,0.000,0.000, vdir,12.500,0.000,0.000, vpath,0, vdist,0.000, Acc,0.0, Brk,0.0, Ste,0.0
000.00,	[	Drv,	00,0000,	]	(6),	** Driver *****
000.00,	[	Drv,	00,0000,	]	(6),	@DINF1 TypeID,001, Name,1 標準3-強制脇見, Sex,0, Age,40, Wt,0.00, [A~E], 2.2,2.4,2
000.00,	[	Drv,	00,0000,	]	(6),	@DINF2 強制わき見:,1, 眠気:,0, 判断誤り:,0, 75 % 操作誤り:,0, 1 % 操舵判断誤り:,0, 75 % 操舵操作誤り:,0, 75 % ,Jerk:,0.58,-2.84
000.00,	[	Drv,	00,0000,	]	(6),	@DINF3 PED Init ,AccOff,-1.33,2.68 ,BrakeForce,0.63,-2.735600,BrakeOn,-1.42,2.43 ,ResTime , -1.31,1.78, MaxSteer,1.41,-1.85,TPed1,6
000.00,	[	Drv,	00,0000,	]	(6),	*****
000.00,	[	SMg,	--,----	]	(5),	@INF Root-Path:c:\sip-sim¥
000.00,	[	SMg,	--,----	]	(4),	@INF CSV:C:\sip-sim¥Experiment¥2017-02-16-144554.csv,2017/02/16 14:45:56 9888 Bytes
000.00,	[	SMg,	--,----	]	(4),	@Exp Name,Experiment-1,Map,c:\Sip-Sim¥Map¥事故s試験道路.map,ExpMode,事故歩(シナリオ),pType,0
000.00,	[	SMg,	--,----	]	(5),	*****
000.00,	[	SMg,	--,----	]	(4),	*** Simulator START ***
000.00,	[	SMg,	--,----	]	(5),	*****
000.00,	[	Ped,	00,9999,	]	(5),	@PedPos, 333.773,502.678,0.000, Dr,0.832,-0.992,0.000, Hd,0.643,-0.766,0.000, Vd,310.0, Vw,0.0, Vl,0.0, Map,2
000.00,	[	Veh,	00,0000,	]	(6),	@VINI1, Pos, 300.000,500.000,0.000, Dir, 12.500,0.000,0.000, Hd,0.643,-0.766,0.000, Vd,310.0, Vw,0.0, Vl,0.0, Map,2
000.00,	[	Veh,	00,0000,	]	(6),	@VINI2, id,1, WIDTH,1.760 ,FLen,2.270,RLen,2.270,W,1450.000,MAXAc,3.826,MAXBrk,10.000,Ku,-0.250, CW,CW,t ,EBA,EBA,f,DMB,DMB,DI
000.00,	[	Veh,	00,0000,	]	(5),	@POS,300,125.500,000,0.000, Dr,12.500,0.000,0.000, Hd,1.000,0.000,0.000, ACC,0.00, BRK, 0.00, Ste, 0.00,BRK OFF, Safes, 0000
000.00,	[	Drv,	00,0000,	]	(6),	Change ,S,-1.0,W,-1.1

0.01[s]ごとの歩行者、車両の位置情報を出力しここでは 1.50[s]経過した時点でドライバが歩行者を認識しブレーキ操作を開始している。

001.50.	[Ped,	00.9999,	] (5),	@PedPos, 335.021,501.190,0.000, Dr,0.832,-0.992,0.000, Hd,0.643,-0.766,0.000, Vd,310.0, Vw,0.0, Vi,0.0, Map,5
001.50.	[Veh,	00.0000,	] (6)	@VDynamics(ACin->out BrIn->out).-0.25->-0.16, 0.00->0.00
001.50.	[Drv,	00.0000,	] (6).	Wdm, Free : 16.21 34.98 12.49 0.89, VL:, 34.98, VS:, 12.49, VR-, -22.49, Diff:, 124.91, TTC:, 1000.00, Acc:, 0.00, Brk:, 0.00
001.50.	[Drv,	00.0000,	] (6).	dPcd PCr 2.058,f,5.88 J,10.27 ttc 1.30 ttl 0.00 ttI 0.00 tt2 0.00 acc -0.25 brk 5.88 ste 0.00 art 0.00 brt 0.40 accoff 0.24 brkchange 0
001.50.	[Drv,	00.0000,	] (6).	JudOutPCr, TTC1,67 ART, 0.00, AccOff ,0.27, BrkOn, 0.10 , BRT, 0.40, Acc,-0.25, Brk,5.88,TTV,0.00,Ste,0.00
001.50.	[Drv,	00.0000,	] (6).	Operation Oput,-0.25 ,5.88
001.50.	[Drv,	00.0000,	] (6).	ToVehicle Brk 0.102730
001.51.	[Veh,	00.0000,	] (5).	@POS,319.000,500.000,0.000, Dr,12.490,0.000,0.000, Hd,1.000,0.000,0.000, ACC,-0.16, BRK,-0.00, Ste, 0.00,BRK OFF, Safes, 0001
001.51.	[Veh,	00.0000,	] (6).	@VDynamics(ACin->out BrIn->out).-0.25->-0.17, 0.10->0.01
001.51.	[Drv,	00.0000,	] (6).	ToVehicle Brk 0.205461
001.52.	[Veh,	00.0000,	] (5).	@POS,319.124,500.000,0.000, Dr,12.488,0.000,0.000, Hd,1.000,0.000,0.000, ACC,-0.17, BRK,-0.01, Ste, 0.00,BRK ON, Safes, 0001
001.52.	[Veh,	00.0000,	] (6).	@VDynamics(ACin->out BrIn->out).-0.25->-0.18, 0.21->0.03
001.52.	[Drv,	00.0000,	] (6).	ToVehicle Brk 0.308191
001.53.	[Veh,	00.0000,	] (5).	@POS,319.249,500.000,0.000, Dr,12.486,0.000,0.000, Hd,1.000,0.000,0.000, ACC,-0.18, BRK,-0.03, Ste, 0.00,BRK ON, Safes, 0001
001.53.	[Veh,	00.0000,	] (6).	@VDynamics(ACin->out BrIn->out).-0.25->-0.19, 0.31->0.06
001.53.	[Drv,	00.0000,	] (6).	ToVehicle Brk 0.410922
001.54.	[Veh,	00.0000,	] (5).	@POS,319.374,500.000,0.000, Dr,12.483,0.000,0.000, Hd,1.000,0.000,0.000, ACC,-0.19, BRK,-0.06, Ste, 0.00,BRK ON, Safes, 0001

(2) 統計情報の出力形式

図 4.1.1-20 に平成 28 年度の歩行者横断に関する統計情報の出力例を示す。

シミュレーション実行パターン数	10,000
歩行者パターン	100
ドライバパターン	5
対象システムパターン	4
事故要因パターン	5

衝突事故発生総数	6301
システムなし	2017
CW	1973
EBA	1727
DMB_DMB	584

	システムなし	CW	EBA	DMB_DMB
発生パターン	2,500	2,500	2,500	2,500
衝突事故発生件数	2,017	1,973	1,727	584
衝突事故平均相対速度 [km/h]	37.0	36.1	36.0	25.7
衝突事故相対速度計/全パターン [km/h]	29.9	28.5	24.8	6.0
相対速度 [km/h]別 衝突事故件数	0以上 10以下	113	125	111
	10超 20以下	257	260	118
	20超 30以下	433	438	139
	30超 40以下	409	400	91
	40超 50以下	289	270	60
	50超 60以下	295	283	55
	60以上	221	197	10

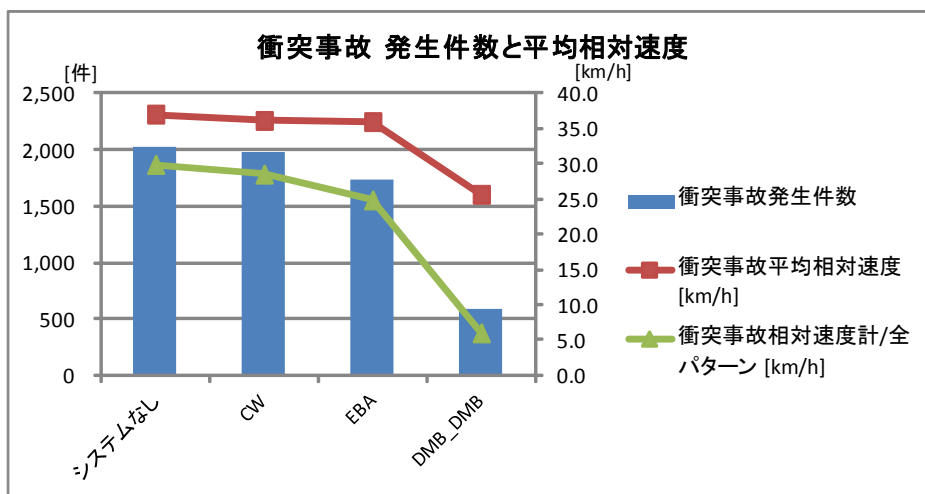
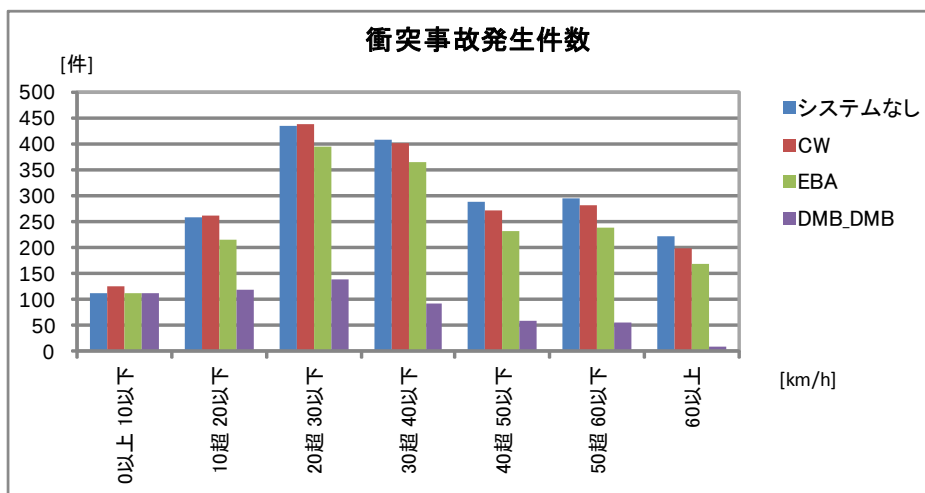


図 4.1.1-20 歩行者横断に関する統計情報

4.1.2 交通事故低減効果シミュレーション周辺機能の開発

平成 28 年度は、シミュレーションの周辺機能の開発として GUI の開発、道路エディタの開発および、傷害評価モジュールに関する考察に関して以下に示す。

4.1.2.1 交通事故低減効果シミュレーション GUI 機能の開発

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持ち、鳥瞰ビュー表示を行う。
- ・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、を出力する。

以下に図 4.1.2-1 に平成 28 年度開発の GUI を示す。

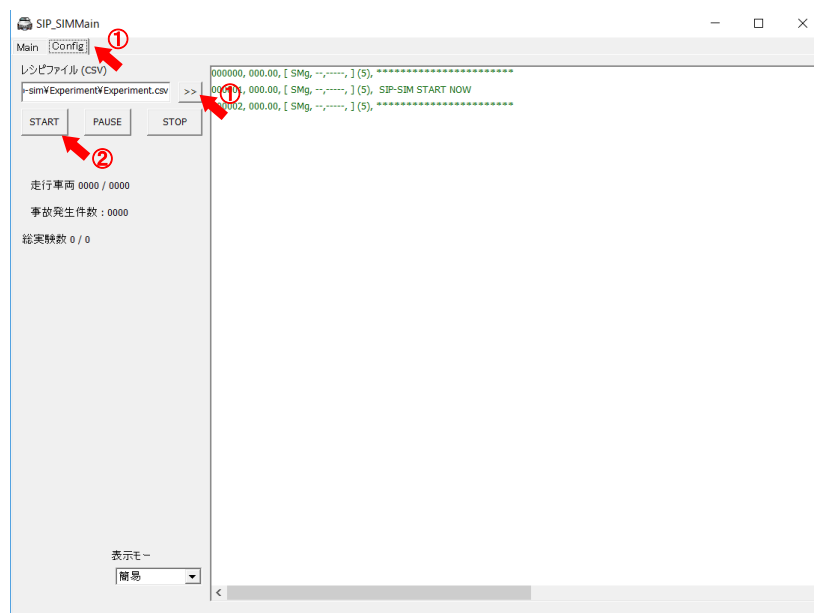


図 4.1.2-1 SIP-シミュレーション config 画面

- ① タブを「Config」に切り替えて、レシピファイルを選択する。「>>」をクリックすると図 4.1.2-3 のダイアログが開く。シミュレーション実行用の CSV 初期ファイルを選択する。（複数選択不可）
- ② 「START」ボタンでシミュレーションが開始する。

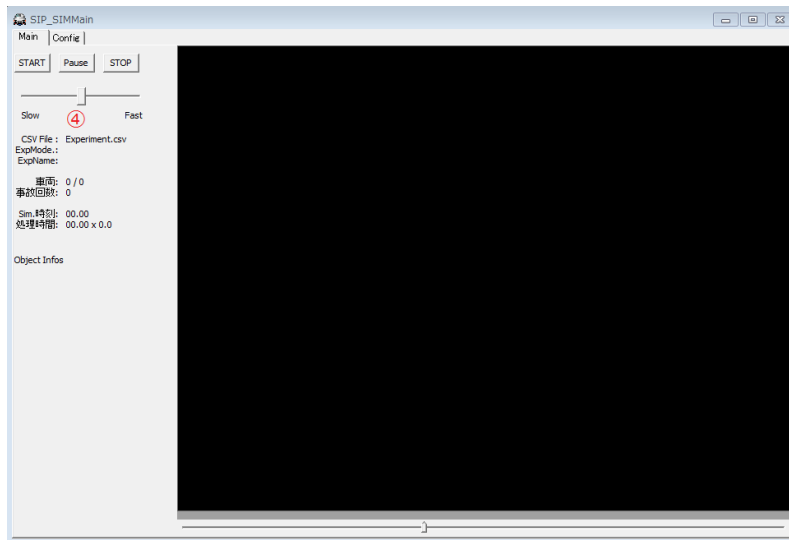


図 4.1.2-2 SIP-シミュレーション main 画面

- ③ 動画確認の場合は、タブを「Main」（図 4.1.2-2 参照）に切り替えてから、「START」ボタンをクリックする。動画画面は、マウスのホイールボタンにより拡大・縮小が可能、また左ボタンドラッグにより表示位置の移動が可能。
- ④ シミュレーションの実装速度の調整を行うことが可能。

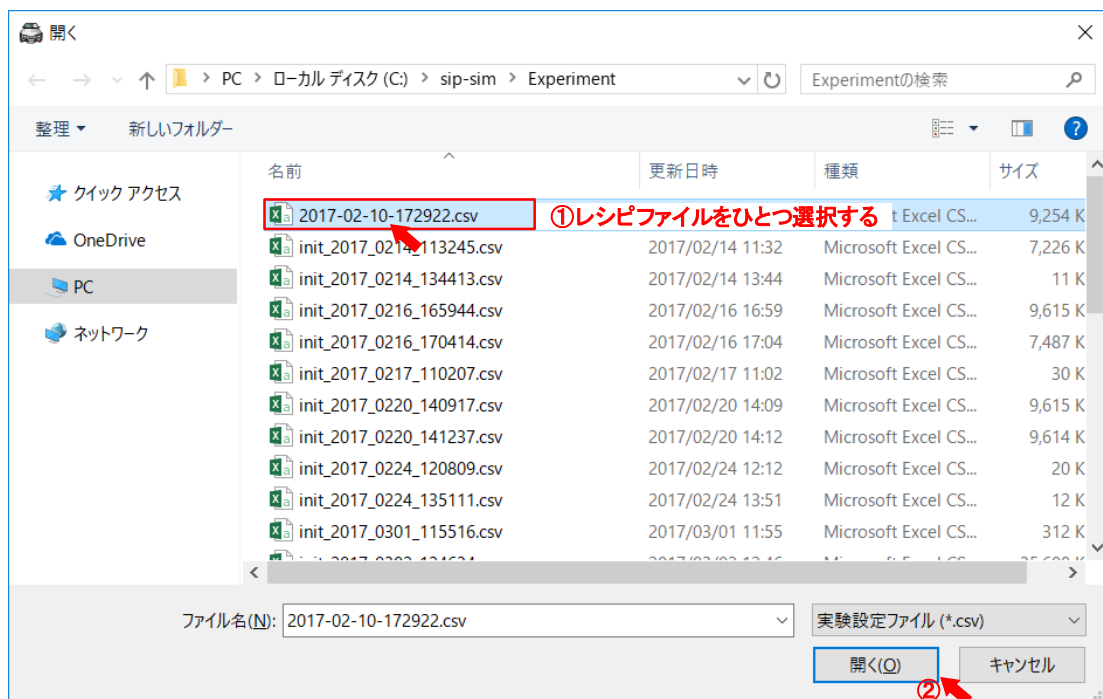


図 4.1.2-3 レシピファイルの選択ダイアログ

シミュレーションで生成されたログファイルは、シミュレーションごとに作成される。

- ・出力ログの解析

シミュレーションで生成されたログファイルを用いて、統計情報を出力することができる。

- ・サマリーファイルの作成

サマリーを作成するためのツールを使用することにより出力ログの編集を行う。

図 4.1.2-4 にサマリーファイル作成ツールの GUI を示す。

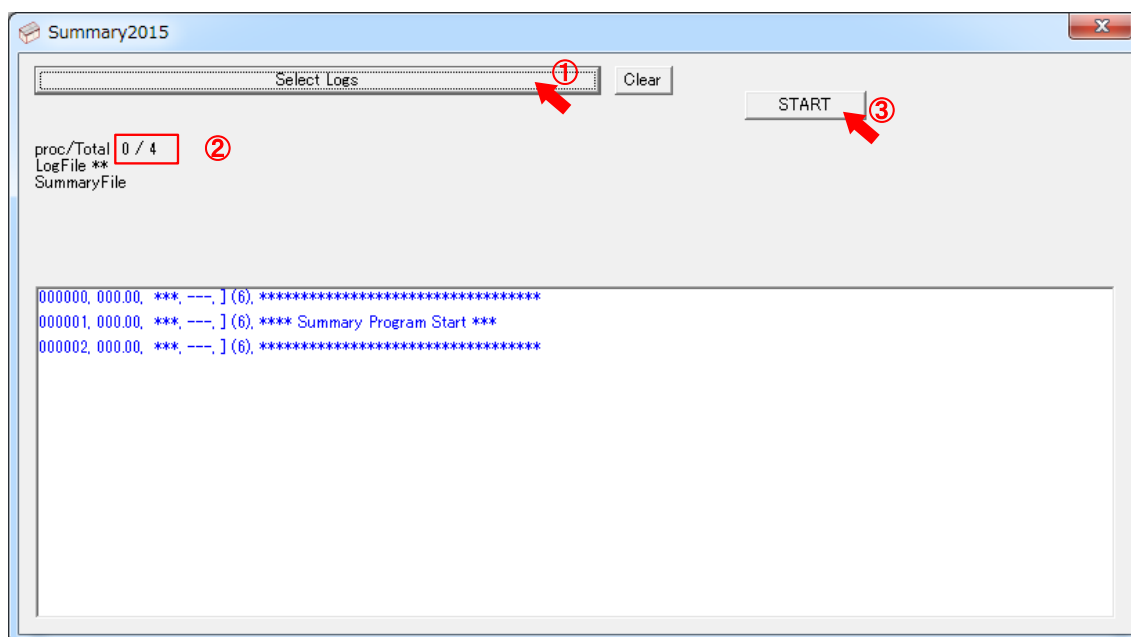


図 4.1.2-4 サマリーファイル出力 GUI

- ① 「Select Logs」をクリックすると、図 4.1.2-5 のダイアログが開く。編集したいログファイルを選択する。(複数選択可能)
- ② 選択したファイル数が表示される。(図 4.1.2-5 では 4 つ選択)
- ③ 「START」をクリックする。

出力にかかる時間は選択したログファイルの数やサイズに依存する。

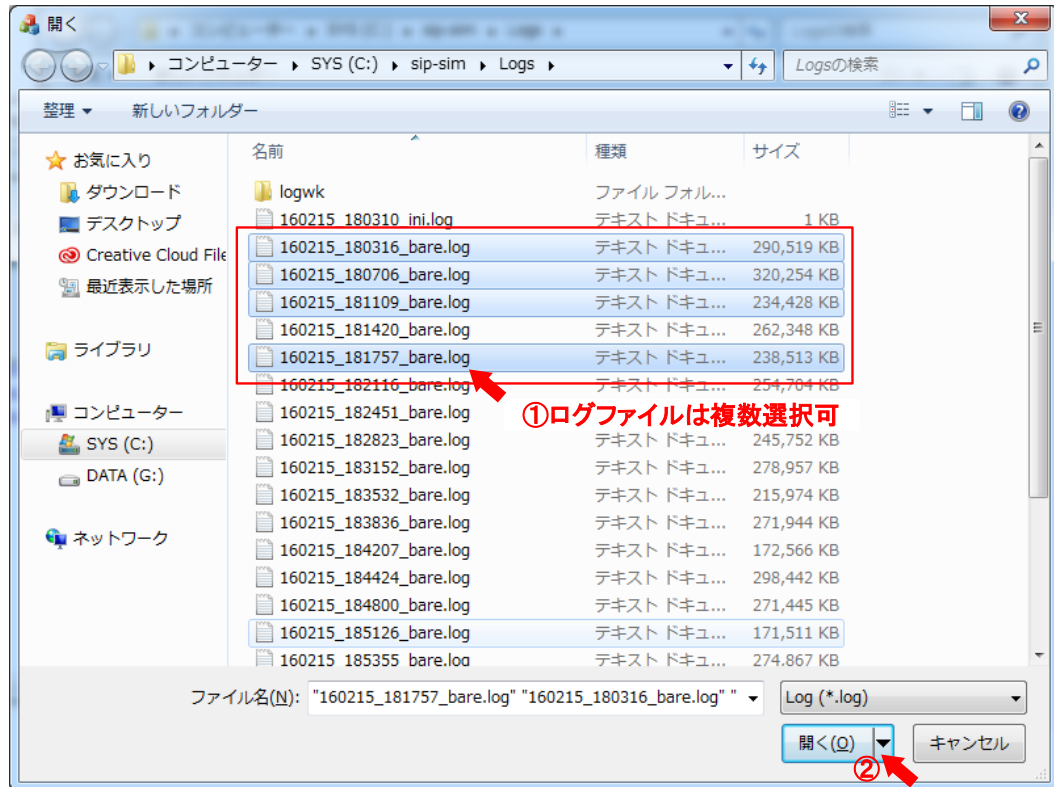


図 4.1.2-5 ログファイルの選択ダイアログ

作成された情報は、図 4.1.1-20 歩行者横断に関する統計情報を参照のこと。

図 4.1.2-6 に歩行者横断のアニメーション出力例を示す。

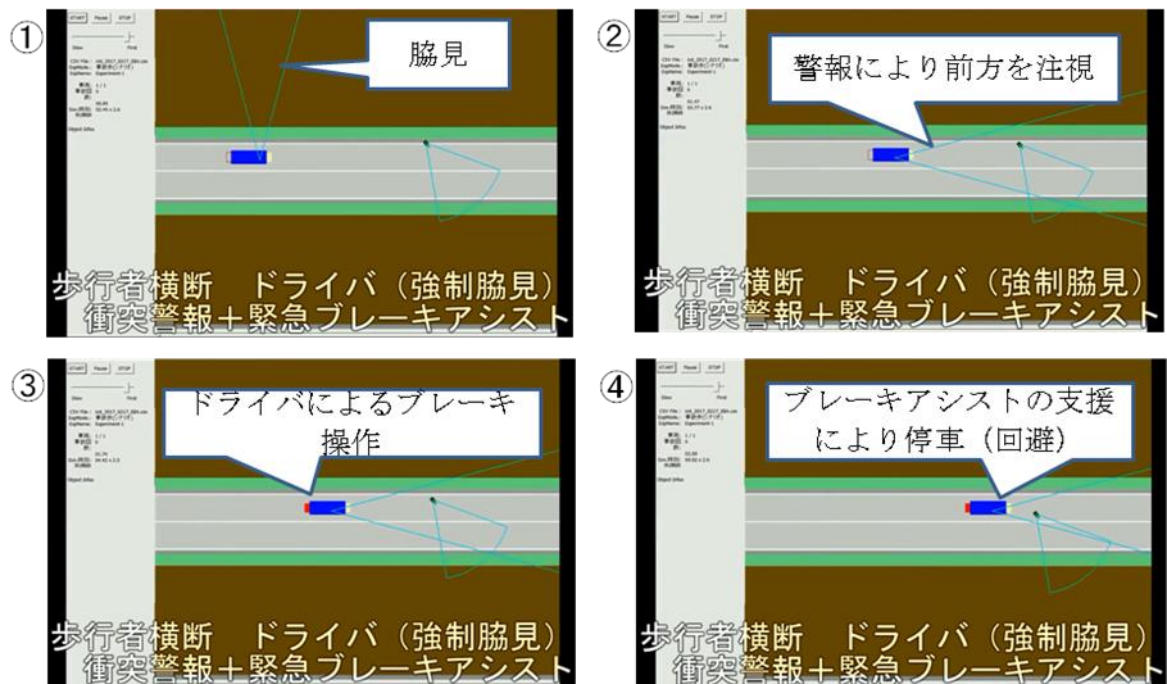


図 4.1.2-6 シミュレーション実行状況のアニメーション出力

4.1.2.2 道路エディタの開発

(1) 道路エディタの概要

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。

(2) 道路エディタで扱う道路構造データ

平成 28 年度事業の道路情報は、平成 27 年度事業にて開発した追従・追突と平成 28 年度に開発する、歩行者横断、車両逸脱の 4 つの事故事例を再現することができる最小限の情報とする。

具体的には、直線単路（双方向）と半径を指定して生成される曲線道路、上記 2 つを組み合わせることによって生成できるオーバル(トラック形状)を対象とする。道路情報は以下に示す 2 つの要素により定義する。

- ・地図の構成要素（MapID）

車道、歩道、路側帯、中央分離帯等の「構造物」

- ・各車道の中央にパス情報（PathID）

車両が走る走行パス（走行レーン）、制限速度、平均速度また、円弧の中心位置、半径などを管理する歩道、側溝、路側帯、白線、走行面、黄色線、その他として中央分離帯を定義する。路外構造物としては、障壁、電柱、家屋、ガードレール、道路外緩衝帯、その他の障害物と地図外を定義している。図 4.1.2-7 に道路のイメージを示す。

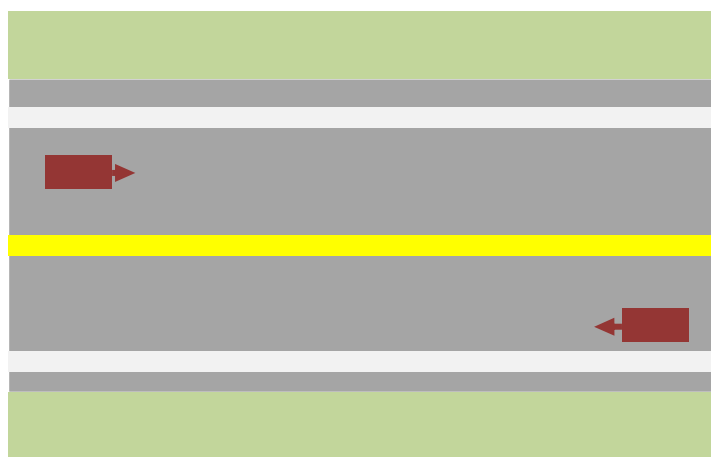


図 4.1.2-7 道路エディタ作成道路イメージ

平成 28 年度の道路情報は、各要素ごとに分解し、外形を Polygon で定義する。また曲線部分は Polygon の組み合わせにて表現する。

図 4.1.2-8 に道路エディタ上のデータテーブルイメージを示す。

地図情報 地図情報テーブル			
マップID			
構造物名称			
外形情報			
基礎情報			
	基礎情報テーブル		
	プリミティブID		
	プリミティブ名称		
	属性タイプ		
	各種フラグ		
	線分の幅		
	以下描画用		
	形状情報		
	塗りつぶし色		
	線分色		
		eRoadway	車道(路面部)
		eWhiteLine	区画線 白線
		eWhiteDash	区画線 白点線
		eYellowLine	区画線 黄色
		eSideStrip	路側帯
		eMedianstrip	中央分離帯
		eBarrier	障壁
		eSidewalk	歩道
		eUtilityPole	電柱
		eHouse	家屋
		eOtherStruct	その他の障害物
		eGutter	側溝
		eGuardrail	ガードレール
		eBufferZone	道路外緩衝帯 このエリアに侵入しても走行を続ける
		eTraceLine	道路指示箋
		eKillZone	地図最外周に存在するゾーン
		eTravelingLane	走行車線。この属性を持つ構造の中央を走行パスが通る
		eBidirect	双方向車線
		eOpaque	このプリミティブの向こうは透過して見えない
		eRoadSurface	(未使用) 旧:「中央線」計算要に路面幅に加える
		eNoEntry	この属性を持つポリゴンと車両が接触すると「事故」と扱う
		eHasOuterPoly	外形寸法を持つ物体
		eTraceLineFlag	このプリミティブがTraceLineの代わりになる

pathID	PathIdx	属性(Primitive)	mlines[PathSubIdx]
0 最左車線 (地図情報への参照)	直線路(制限速度 40Km/h)	制限速、平均速...	始点、終点
	直線路(制限速度 30Km/h)	制限速、平均速...	始点、終点
	円周路(制限速度 20Km/h)	制限速、平均速、円弧半径、 円弧中心位置...	始点
			[経由点] * n 個, 終点
1 中央左車線 (地図情報への参照)	直線路(制限速度 40Km/h)	制限速、平均速...	始点、終点
	直線路(制限速度 30Km/h)	制限速、平均速...	始点、終点
	円周路(制限速度 25Km/h)	制限速、平均速、円弧半径、 円弧中心位置...	始点
			[経由点] * n 個, 終点

図 4.1.2-8 シミュレーション内でのデータテーブルイメージ

以上、道路データを編集する道路エディタを作成し、この道路エディタを用いて、直線道路、J字路、U字路およびオーバルの道路データを生成した。

(3) ダイナミックマップの情報解析⁸⁾

平成 28 年度事業において平成 27 年度科学技術イノベーション創造推進委託にて開発されたダイナミックマップを本シミュレーションにて活用できるか、内閣府より情報開示を受け検討した。

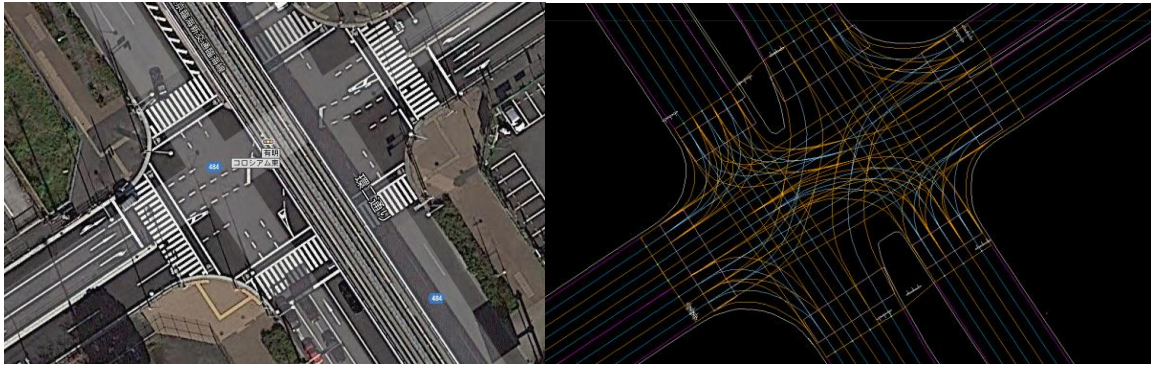


図 4.1.2-9 Google Map (左) とダイナミックマップ (右) の比較

地図データ©2017 Google

図 4.1.2-9 は、お台場の有明コロシム交差点を表している。ダイナミックマップの情報には Google Map から読み取ることにはできない情報も定義されている。図 4.1.2-10 にダイナミックマップの構成要素例を示す。

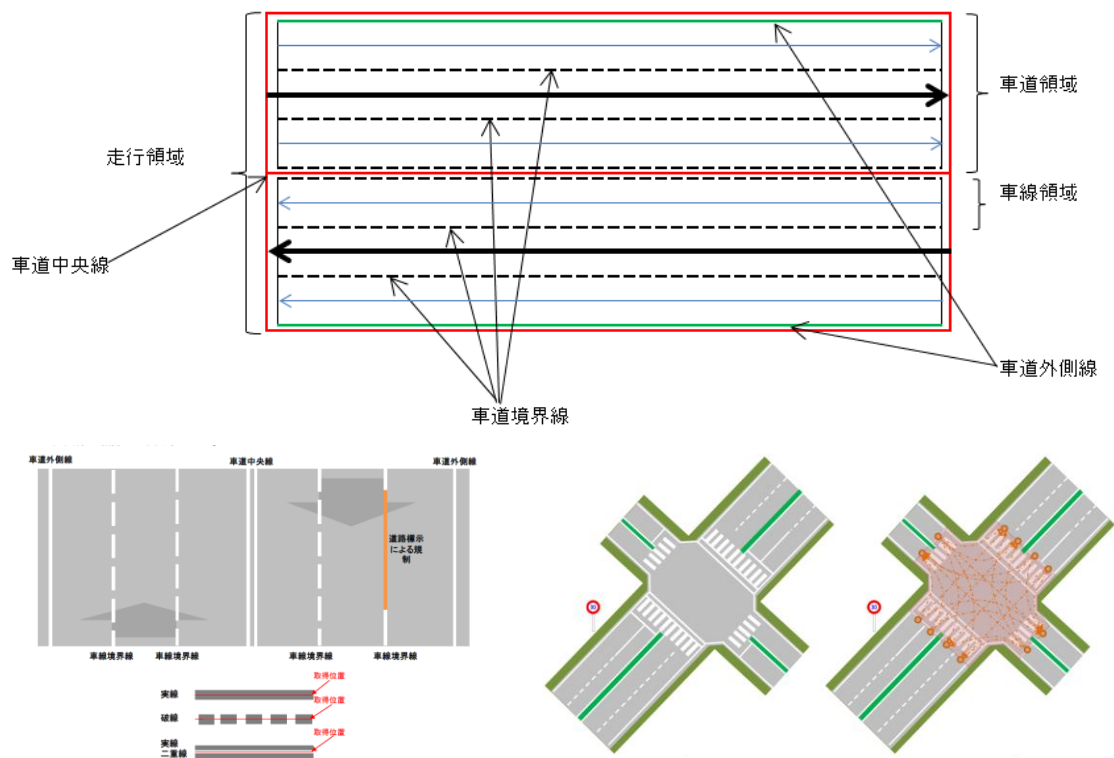


図 4.1.2-10 ダイナミックマップの構成要素

① 歩道情報

ダイナミックマップは、OEM 各社より自動走行を行うに当たり必要とされる情報をヒヤリングし、取り込む情報を系統立てて作成されている。主たる使用目的が自動走行を行うための情報となっているため基本的、車両の走行する車道、車線の情報が収集されている。道路の脇のランドマーク（ガードレール、標識、信号など）は収集されているが、歩行者の移動可能な歩道の情報は現時点では収集されていない。

本シミュレーションでは、死亡事故の事例として歩行者事故を重視しており、歩行者が歩道から車道を横断する歩行者横断の事故を模擬している。このため歩行者が歩道を歩いており、その横を車両が通過する場合のドライバ行動や歩行者が歩道から車道を横断する場合のドライバ行動を表すためにも歩道情報は必要となる。

② 車線縁、歩道縁、ガードレール、建築物

車線逸脱の事故場면을模擬するためには、車両が車線を逸脱して走行することを表現する必要がある。ただ、車両が車線を逸脱しても逸脱している範囲内に障害物（ガードレール、停止車両、花壇、建築物など）や歩行者が存在しない場合は正常な走行車線に復帰することも可能である。

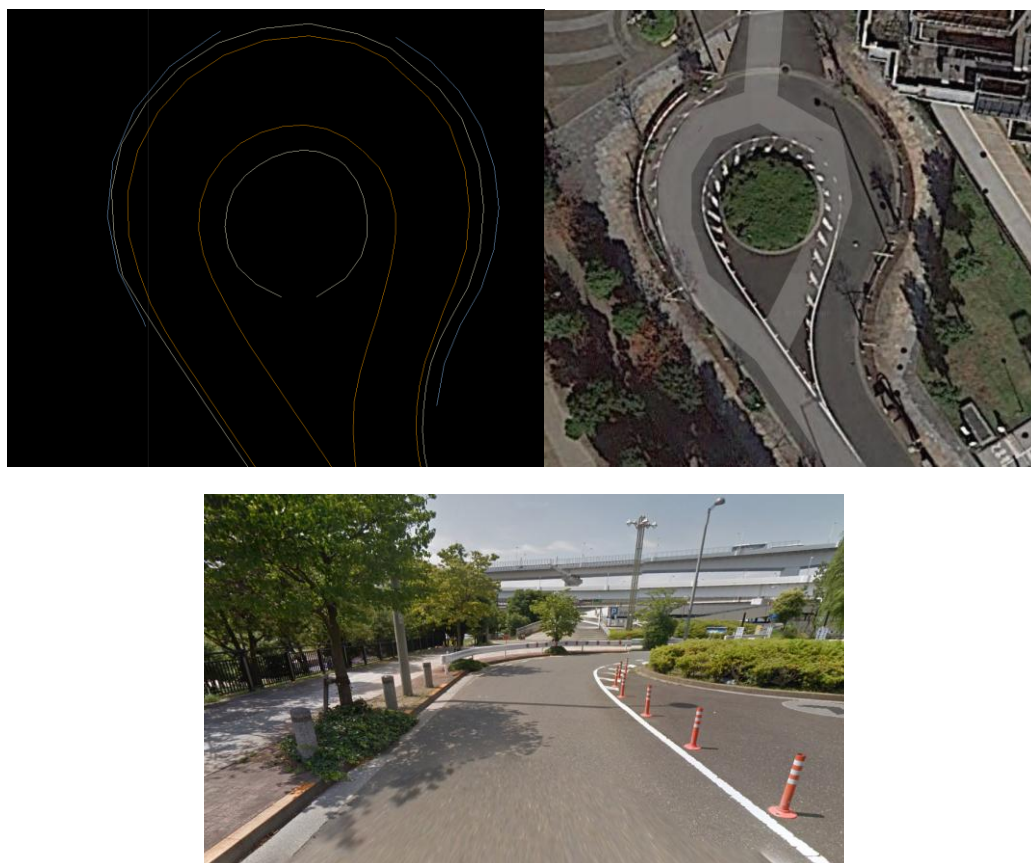


図 4.1.2-11 車線縁と地物情報

図 4.1.2-11 では、ガードレールの情報は正確に反映されているが、歩道縁に設置されているブロックは表現されていない、このため、上記ダイナミックマップの情報を 사용하는場合は 車線縁、歩道縁を越えた場合に事故とみなすかどうか検討が必要である。

③ 区画線

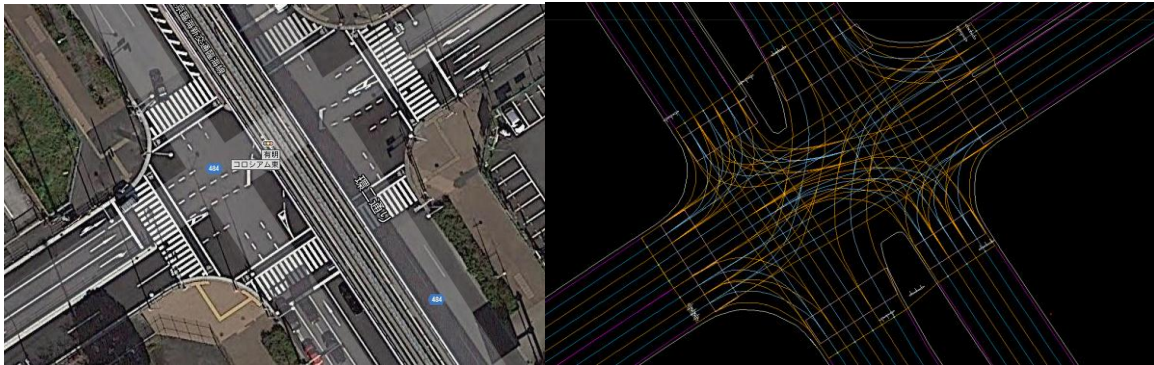


図 4.1.2-12 交差点内の区画線の考え方

ダイナミックマップにおいては、図 4.1.2-12 に示すように車線を区切る線を区画線として定義する。通常の走行車線においては車線は白線にて仕切られ、それを区画線としている。このため、自動走行システムのセンサが白線を認識し走行車線とするが、交差点内などは、全て白線で表されないためシミュレーション上で交差点内の経路をどのように表すかが課題となる。

④ その他

今回提供を受けた、ダイナミックマップのデータは、静的データ・動的データ・点群データの3つで構成されている。このうち、シミュレーションでは静的データを参照することとする（データ量削減のため）。

また、実際の車道、車線のデータには、車道中心補間点、車道中心補間点が定義されているため車道、車線の全データを取り込むのではなく、中心補間点を結ぶ線分として取り込むことを検討する。

地図情報の座標系に関して、ダイナミックマップは緯度、経度、標高を使用しているがシミュレーションでは、通常の XY 座標（原点どこにするかは別途検討）と標高を使用する。このためダイナミックマップを使用する際には座標変換を行う必要が有る。

⑤ 今回の検討結果

ダイナミックマップの情報には本事業で必要な情報が全て入っているわけではないが、車道、車線の情報に関しては、ダイナミックマップの Viewer で使用される静的データから、必要最小限の情報を抽出し、座標軸変換を行うことで利用可能なデータを部分的に生成することが可能である。

4.1.2.3 傷害評価モジュール使用に関する調査

シミュレーション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。

本シミュレーション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。

平成 27 年度事業の成果報告書において記載した、車両挙動判定モジュールが必要とするデータに関し平成 28 年度のログに以下のように出力する。

0	[Ped	0	0	] (5)	PedSim ID	9999	pos	347.053	505.547	0	dir	1.088	-1.442	0	lfe		30	TTC	3.85	// csv id	0	dist	47.05	head	-36.99	lfe	30	r	5.55	speed	1.81	ttc	3.85
0	[Veh	0	0	] (5)	** Vehicle *****														12.727		0	vpath	0	vdist		0	Acc	0	Brk	0	Ste		0
0	[Veh	0	0	] (6)	#VIN#	ID	0	Vloc	300	500	0	vhed	1	0	0	vdrr				0													
0	[Drv	0	0	] (6)	** Driver *****																												
0	[Drv	0	0	] (6)	#ID#1 TypeID	1	Name	1.標準2.い	Sex	0	Age	40	Wt	0	[A/E]	2	2	2	3	2													
0	[Drv	0	0	] (6)	#ID#2 強制わ	0	底	実	1.標準2.い	Sex	0	Age	75%	操作	0	1%	操	0	75%	操	0	75%	Jerk	-0.25	-2.84								
0	[Drv	0	0	] (6)	#ID#3 PED Init Acc	-0.11	2.88	BrakeForc	0	-2.7356	BrakeOn	-0.32	2.43	ResTime	-0.06	1.78	MaxSteer	0.3	-1.85	TPed1	6	TPed2	6	TPed3	0.5								
0	[Drv	0	0	] (6)	*****																												
0	[Veh	0	0	] (6)	#VIN#1	Pos	300	500	0	Dir	12.727	0	0																				
0	[Veh	0	0	] (6)	#VIN#2	id	1	WIDTH	1.78	FLen	2.27	RLen	2.27	W	1450	MAXAc	3.826	MAXBrk	10	Ku	-0.25	CW	CW	f	EBA	EBA	f	DMB	DMB	f			

図 4.1.2-13 ログ ヘッダ情報

図 4.1.2-13 のに示すようにドライバ属性、ドライバの状態、自動走行システムの有無、事故要因を出力する。

0	[Drv	0	0	] (6)	JudOut	PCr	TTC	3.84	ART	0	AccOff	0.64	BrkON	0.25	BRT	0.89	Acc	-0.25	Brk	3.43	TTV	3.85	Ste	0
0	[Drv	0	0	] (7)	Judge Ouput		-0.25	3.43																
0	[Drv	0	0	] (7)	Operation Ouput		0																	

図 4.1.2-14 ドライバの歩行者に対する減速行動情報

PCr は横断歩行者に対する減速ルール適用を意味する

減速の内容は 0.64[s] にアクセルオフ（ドライバ操作は 0.1[s] 毎のため実際の操作は 0.7[s]）し、空走するので Acc は $-0.25[\text{m/s}^2]$ 、更に BrkON は 0.25[s] 後つまり $\text{BRT} 0.64 + 0.25 = 0.89[\text{s}]$ にブレーキオン（実際の操作は 0.9[s]）し、ブレーキ値は $3.43[\text{m/s}^2]$ 。上記減速判断値は TTC/TTV（Time To Vehicle）3.85[s] となる。

	0.1	Veh	0	0	[5]	iWPOS	301.4	500	0	Dr	12.727	0	0	Hd	1	0	0	ACC	0	BRK	0	St	0	BRK OFF	Safes	0	1	
0.1	[	Ped	0	9999	[5]	iWpedPos	347.162	505.403	0	Dr	1.086	-1.442	0	Hd	0.602	-0.799	0	VCC	307	Vw	0	St	0	Map	0	0	1	
0.11	[	Veh	0	0	[5]	iWPOS	301.527	500	0	Dr	12.727	0	0	Hd	1	0	0	ACC	0	BRK	0	St	0	BRK OFF	Safes	0	0	
0.12	Veh	0	0	[5]	iWPOS	301.854	500	0	Dr	12.727	0	0	0	Hd	1	0	0	ACC	0	BRK	0	St	0	BRK OFF	Safes	0	0	
0.13	Veh	0	0	[5]	iWPOS	301.382	500	0	Dr	12.727	0	0	0	Hd	1	0	0	ACC	0	BRK	0	St	0	BRK OFF	Safes	0	0	
0.14	Veh	0	0	[5]	iWPOS	301.509	500	0	Dr	12.727	0	0	0	Hd	1	0	0	ACC	0	BRK	0	St	0	BRK OFF	Safes	0	0	
0.15	[	Veh	0	0	[5]	iWPOS	302.036	500	0	Dr	12.727	0	0	Hd	1	0	0	ACC	0	BRK	0	St	0	BRK OFF	Safes	0	0	
0.16	Veh	0	0	[5]	iWPOS	302.163	500	0	Dr	12.727	0	0	0	Hd	1	0	0	ACC	0	BRK	0	St	0	BRK OFF	Safes	0	0	
0.17	[	Veh	0	0	[5]	iWPOS	302.391	500	0	Dr	12.727	0	0	0	Hd	1	0	0	ACC	0	BRK	0	St	0	BRK OFF	Safes	0	0
0.18	Veh	0	0	[5]	iWPOS	302.418	500	0	Dr	12.727	0	0	0	Hd	1	0	0	ACC	0	BRK	0	St	0	BRK OFF	Safes	0	0	
0.19	[	Veh	0	0	[5]	iWPOS	302.545	500	0	Dr	12.727	0	0	0	Hd	1	0	0	ACC	0	BRK	0	St	0	BRK OFF	Safes	0	0
0.2	Veh	0	0	[5]	iWPOS	302.672	500	0	Dr	12.727	0	0	0	Hd	1	0	0	ACC	0	BRK	0	St	0	BRK OFF	Safes	0	0	
0.2	[	Brk	0	9999	[5]	iWbrkPos	347.22	505.358	0	Dr	1.086	-1.442	0	Hd	0.602	-0.799	0	VCC	307	Vw	0	St	0	Map	0	0	1	

車両は 0.01s 毎に、歩行者は 0.1s 毎にログを出力する

- [illegible]

各移動体は、各時刻ごとに位置ならびに移動情報をログに出力する。事故が発生した瞬間の情報に関しては事故情報として個別に出力される。

57

4.1.3 交通事故低減詳細効果シミュレーションにおける事故再現技術の開発

平成 28 年度は、歩行者横断、車両逸脱事故の再現機能を開発し、事故発生要因について、居眠りを追加した。

4.1.3.1 歩行者横断事故場面再現の開発

(1) 歩行者エージェントモデルの構成

歩行者横断事故場面再現に使用する歩行者エージェントモデルは図 4.1.3-1 に示すように、(2) 知覚部、(3) 認識部、(4) 横断行動判断部、(5) 行動部から構成される。知覚部・認識部によって周辺状況の情報を取得し、横断行動判断部で取得した情報から現在の状況に応じた横断行動ルールに則った行動目標を決定する。その後、行動部において横断行動判断部により決定された行動目標の実行を行う。歩行者横断の経路設定について (6) に示す。

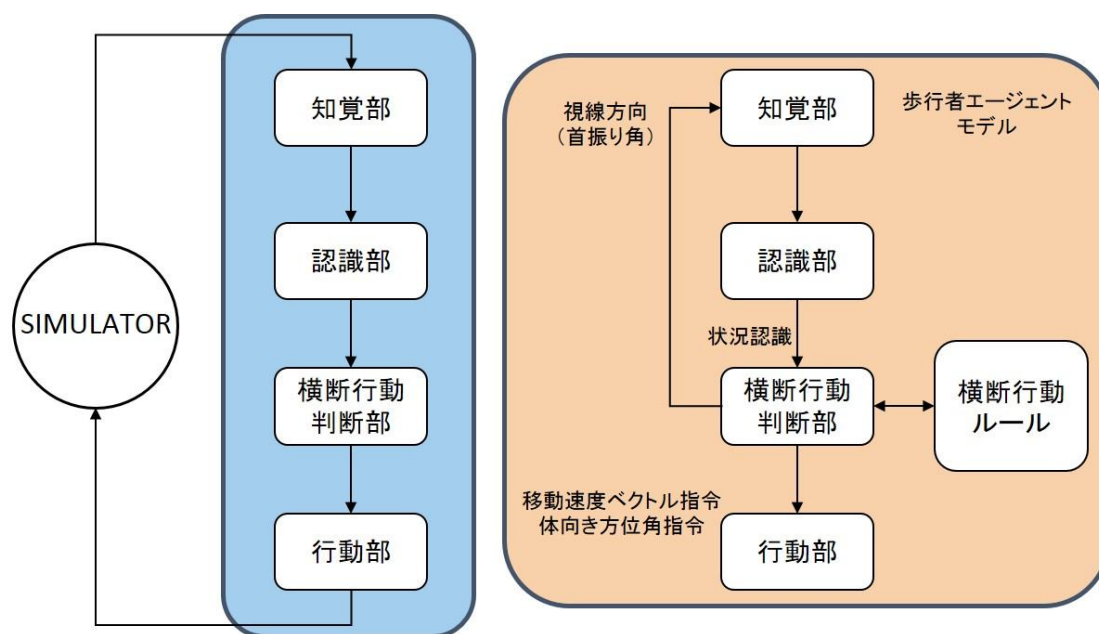


図 4.1.3-1 歩行者エージェントモデルの構成

(2) 知覚部

知覚部は歩行者の周りの情報（車両や障害物、他の歩行者などの位置や速度情報など）を取得する。人間の視野は一般に水平約 200[°]とされているが、この領域の全ての情報を瞬時に識別できるわけではなく、図 4.1.3-2 に示すように、識別できる領域ごとに弁別視野（水平方向に 5[°]以内）、有効視野（水平約 30[°]以内）、安定注視野（水平約 90[°]以内）、誘導視野（水平約 100[°]以内）と補助視野（誘導視野の外側）の領域があるとされている。歩行者モデルでは、車両の臨場感を感じられるかどうかが重要であると考えられるため、

立体感や臨場感を引き起こす領域である誘導視野を知覚領域とし、図 4.1.3-3 に示すように、水平方向 100[°]の範囲および奥行き方向に 80[m]の範囲を知覚領域とした。

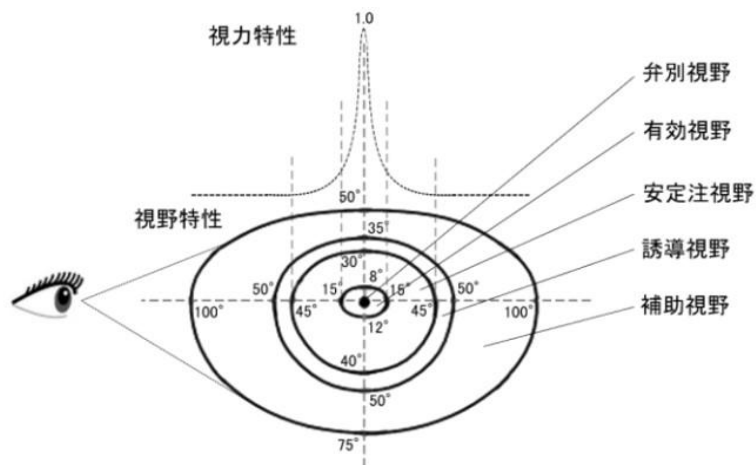


図 4.1.3-2 人間の視野特性⁹⁾

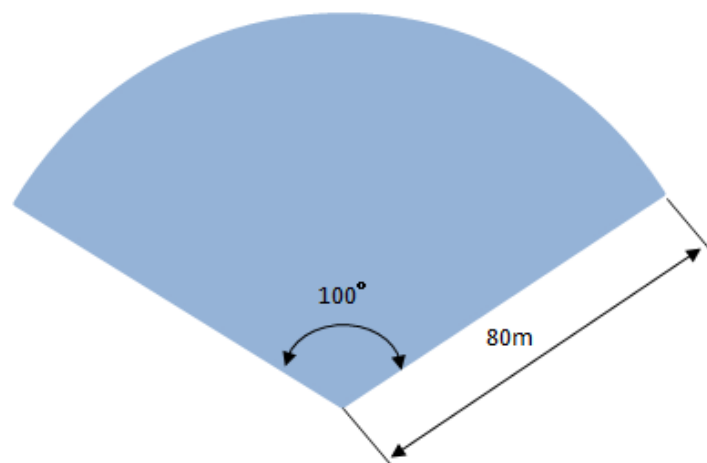


図 4.1.3-3 歩行者の知覚領域

(3) 認識部

認識部は知覚部で知覚した物体の認識を行う。知覚した物体がどのような物体であるのかを認識し、衝突の危険性があるかないかの判断に用いる事前情報として、知覚した物体が歩行者に接近する向きに移動しているのか、または離れる向きに移動しているのかの認識を行う（図 4.1.3-4 参照）。接近および非接近の定義を図 4.1.3-5 に示す。

種類ラベル		状態・詳細ラベル	
車両	KIND_VEHICLE	接近車両	KIND_APPROACHING
		非接近車両	KIND_DEPARTING
歩行者	KIND_PEDESTRIAN	接近歩行者	KIND_APPROACHING
		非接近歩行者	KIND_DEPARTING

図 4.1.3-4 認識ラベル

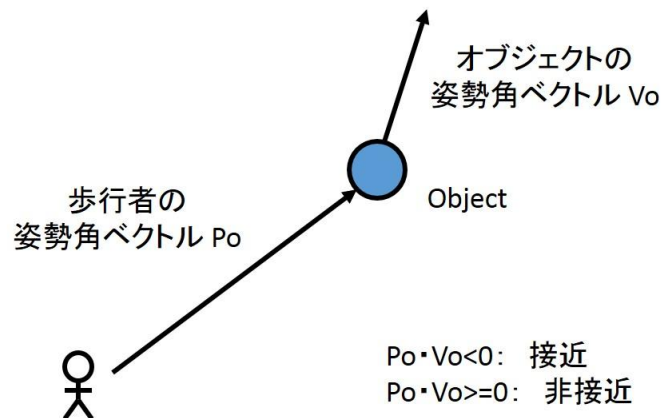


図 4.1.3-5 接近・非接近の定義

(4) 横断行動判断部

横断行動判断部は認識した周囲交通環境に基づいて移動速度ベクトルを決定する。実装としては最上位に図 4.1.3-6 に示すように歩行者の「意図」と対応する状態遷移モデルがあり、それぞれの状態ごとに周囲の安全確認を行う首振りルール、他の状態への遷移を行う遷移条件ルール、認識した個々の対象（車両）に対するリスク評価と移動速度や視線方向の決定を行う行動ルールを設置し、歩行者の横断行動を模擬できるようにしている。歩行者の「意図」と対応する状態（①歩行、②横断、③停止、④引き返し）それぞれに対する処理フローを以下に示す。

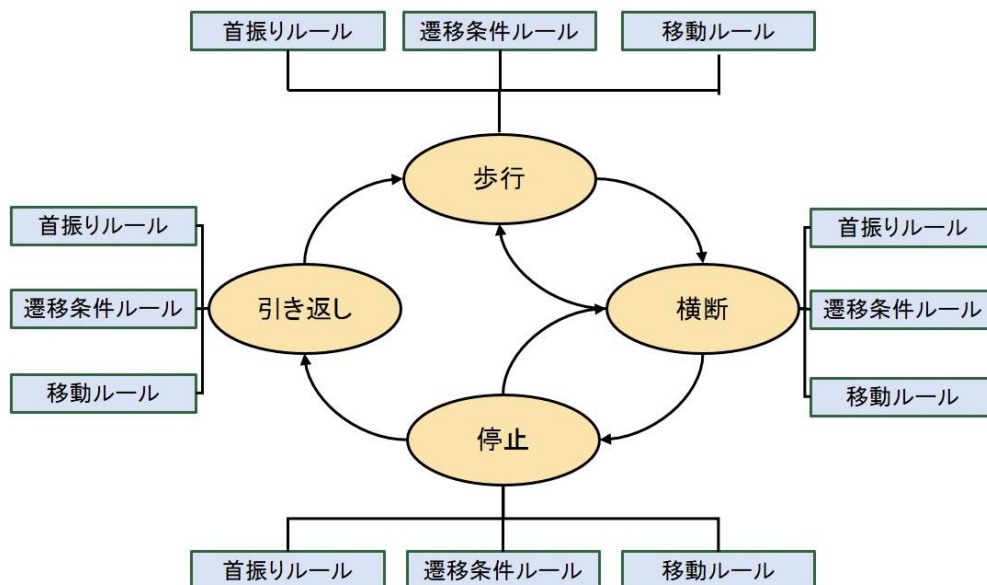


図 4.1.3-6 横断行動判断部の構成

① 「歩行」の処理フロー

歩行者の状態の内、「歩行」状態の処理フローを図 4.1.3-7 に示す。「歩行」状態の流れとしては、まず初めに現在認識している周辺車両情報から認識車両別にリスク評価を行い、次に首振りルールによって次ステップでの顔を向ける方位角の計算、その後、遷移条件ルールによって状態を「歩行」から「横断」に変更するかどうかの判定を行い、最後に認識車両別のリスク評価を統合して、次ステップでの行動目標の決定を行う。

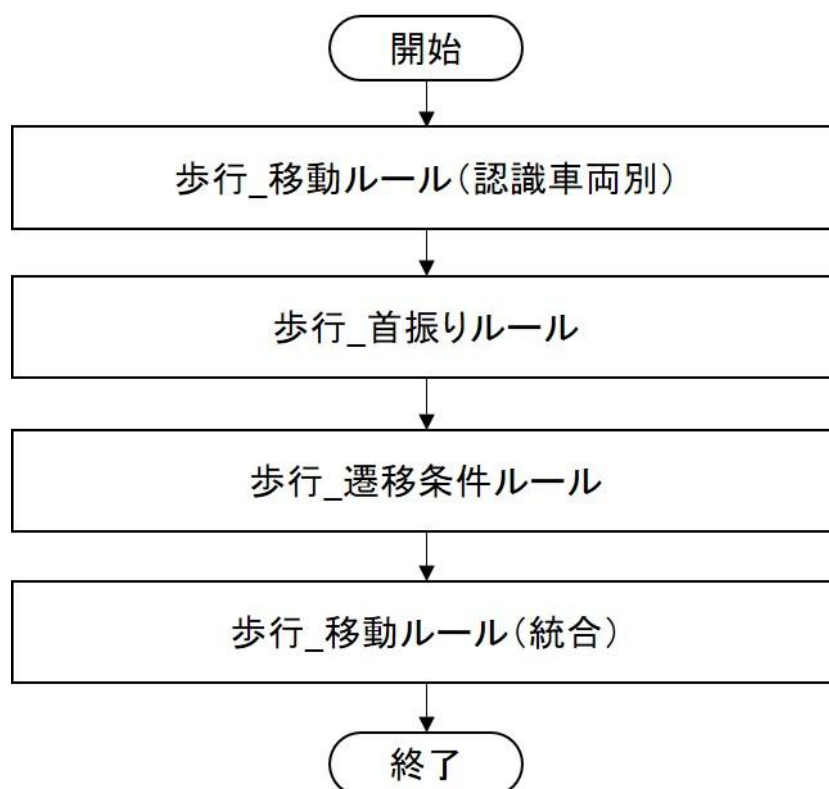


図 4.1.3-7 「歩行」状態の処理フロー

「歩行」状態の内、認識車両別の移動ルールの流れを図 4.1.3-8 に示す。認識車両別の移動ルールでは、道路を横断する場合に認識車両別のリスク評価を行う。リスクの評価方法については主に車両の TTC によって判定し、歩行者の属性として付与している横断開始の TTC の閾値よりも大きい場合は安全、閾値よりも小さい場合は危険と判定する。

横断時車両リスク評価を行わない場合、歩行者はリスク評価を行わずに横断を開始する。

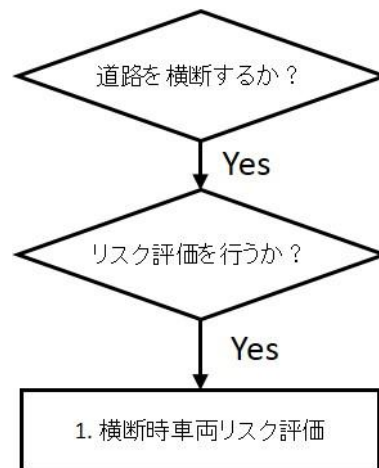


図 4.1.3-8 「歩行」—移動ルール（認識車両別）

「歩行」状態の内、首振りルールの流れを図 4.1.3-9 に示す。首振りルールでは、前回ステップで決定された安全を確認する方向（正面 or 右側 or 左側）に従って目標視線方位角の設定を行う。安全を確認する方向の決定は認識車両別のリスク評価結果を統合する移動ルール（統合）で行う。

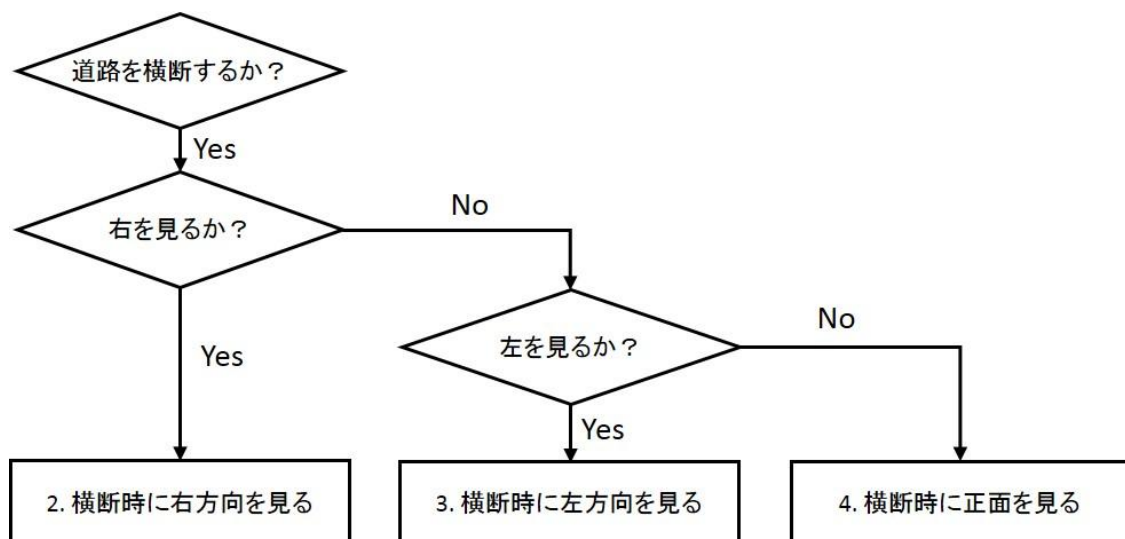


図 4.1.3-9 「歩行」—首振りルール

「歩行」状態の内、遷移条件ルールの流れを図 4.1.3-10 に示す。歩行者は歩道を通行しているとき、横断開始位置まで歩行し、その後、周囲の安全確認を行って道路を横断する。図 4.1.3-10 に示す遷移条件ルールでは、横断開始位置に到達したかどうかと、周囲の安全確認の結果から安全と判断されたかどうかの判定を行い、周囲の安全確認の結果から安全と判断されれば状態を「歩行」から「横断」に変更し、道路の横断を開始することで歩行者の横断行動の開始を模擬している。

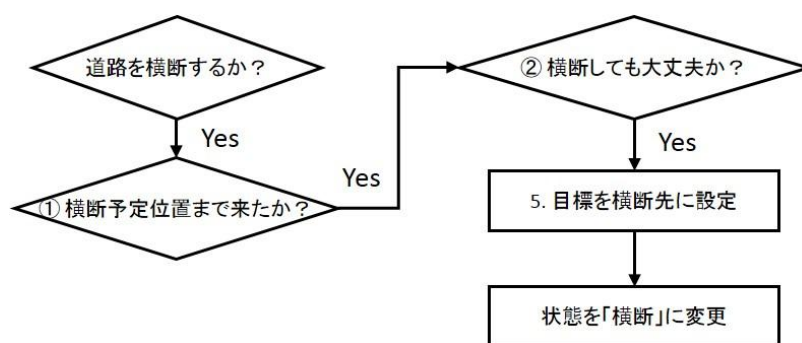


図 4.1.3-10 「歩行」—遷移条件ルール

「歩行」状態の内、移動ルール（統合）の流れを図 4.1.3-11 および図 4.1.3-12 に示す。移動ルール（統合）では主に首振り行動と目標位置の決定を行う。日本の車道は左側通行であるため、片側 1 車線ずつの 2 車線道路では歩行者から見て手前側の車線は歩行者の右側から車両が接近してくることになる。そのため、歩行者は右側の安全確認を先に行う傾向がみられる。そこで、横断開始位置まで到達して安全確認を開始する場合、まず初めに右側の安全確認を行い、右側の安全確認が終了後に左側の安全確認を行う。また、左側の確認している時間が長く、右側をみてからかなり時間が経っている場合は再度右側の安全を確認することで歩行者の安全確認行動の模擬を行っている。

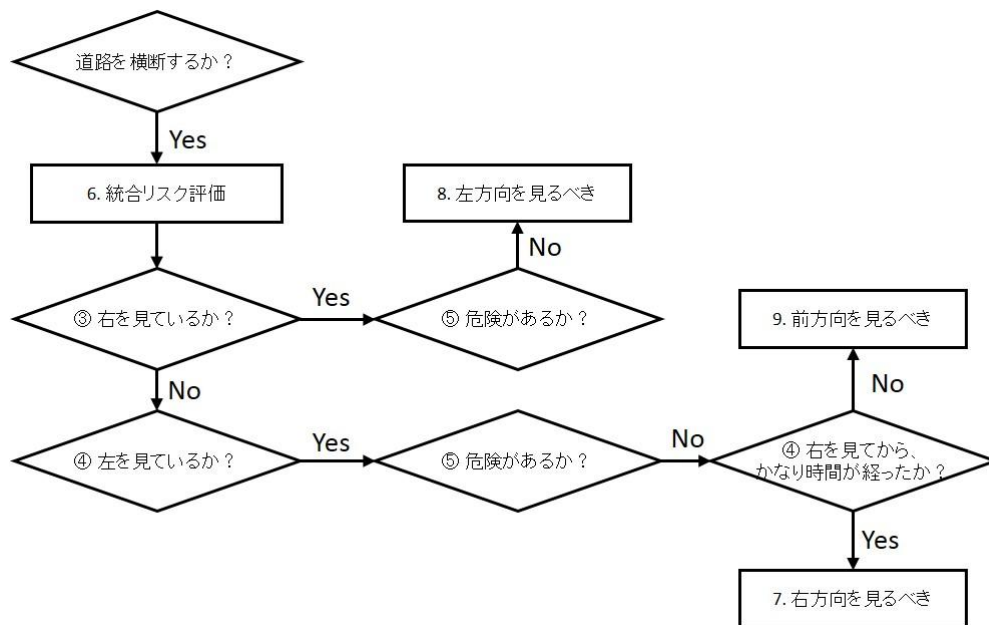


図 4.1.3-11 「歩行」—移動ルール（統合—首振り）

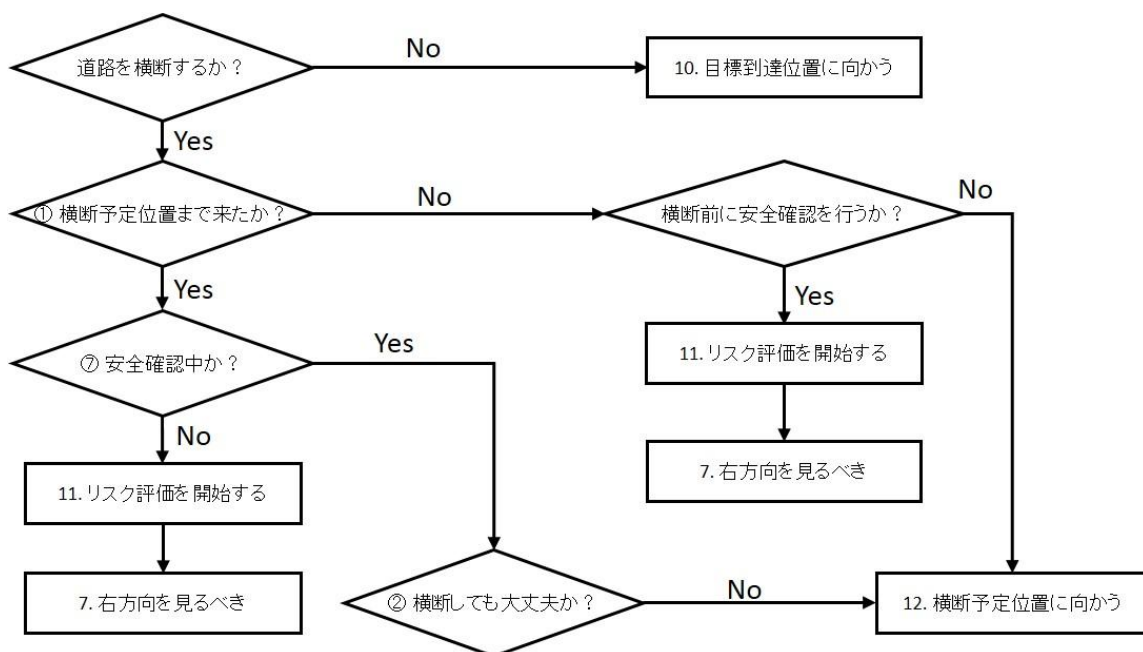


図 4.1.3-12 「歩行」—移動ルール（統合—行動）

② 「横断」の処理フロー

歩行者の状態の内、「横断」状態の処理フローを図 4.1.3-13 に示す。「横断」状態の流れとしては、まず初めに現在認識している周辺車両情報から認識車両別にリスク評価を行い、次に横断中に首振り安全確認を行う場合には首振りルールによって次ステップでの顔を向ける方位角を計算する。その後、遷移条件ルールによって状態を「横断」から「歩行」や「停止」に変更するかどうかの判定を行い、最後に認識車両別のリスク評価を統合して、次ステップでの行動目標の決定を行う。

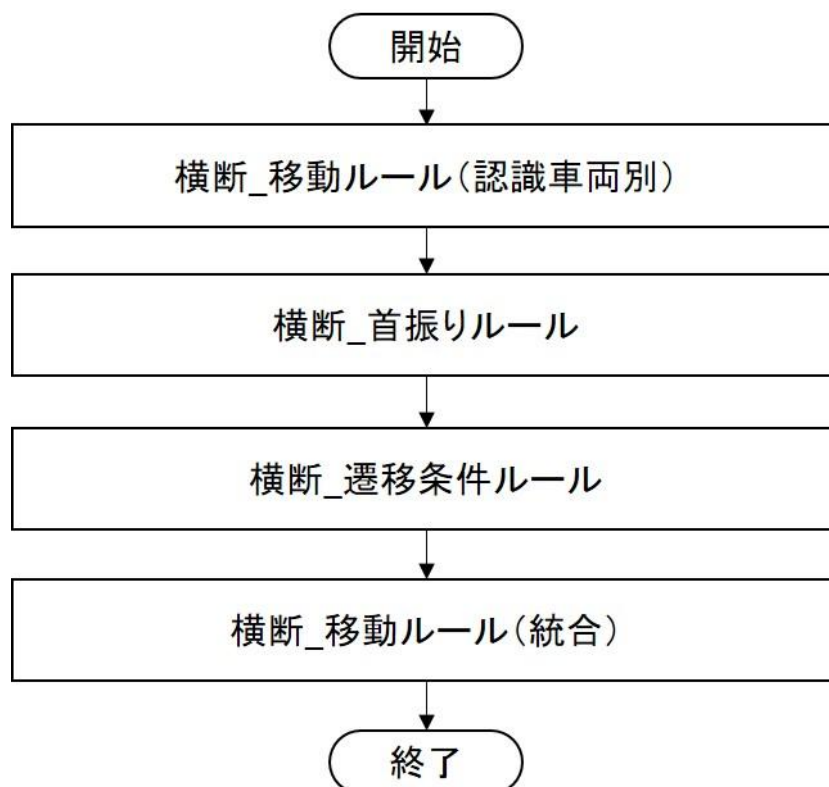


図 4.1.3-13 「横断」状態の処理フロー

「横断」状態の内、認識車両別の移動ルールの流れを図 4.1.3-14 に示す。認識車両別の移動ルールでは、認識車両別のリスク評価を行う。リスクの評価方法については主に車両の TTC によって判定し、歩行者の属性として付与している横断開始の TTC の閾値よりも大きい場合は安全、閾値よりも小さい場合は危険と判定する。また、歩行者は車両の接近に対して小走りによって道路を横断するなどの行動をとる。そこで、横断中の移動ルールでは、認識した接近車両との衝突を回避するための移動速度の算出も行う。



図 4.1.3-14 「横断」—移動ルール（認識車両別）

「横断」状態の内、首振りルールの流れを図 4.1.3-15 に示す。首振りルールでは安全確認を行う方向を決定する。図 4.1.3-15 に示す横断中の首振りルールではまず、横断中に首振り確認するかどうかの判定を設け、首振り確認を行う歩行者と行わない歩行者の両方を模擬できるようにしている。首振り確認を行うかどうかについては、4.3.4 項で述べる実態調査の結果から、自由横断時と車両接近時でその割合にほとんど差が見られなかった。そのため、首振り確認を行うかどうかは歩行者自身の個人属性として扱い、実態調査によって得られた確率に従って歩行者生成時に属性を付与する。また、横断中の首振り確認行動の特徴としては、2 車線道路の場合は手前側の車線の中央付近までは手前側の車線を走行してくる右側の車両を確認し、その後、奥側の車線の中央付近までは奥側の車線を走行してくる左側の車両を確認する傾向がみられており、図 4.1.3-15 に示す横断中の首振りルールでは、首振り確認は手前側の車線の中央付近までは右側を確認し、奥側の車線の中央付近までは左側を確認することで横断中の首振り安全確認行動を模擬している。

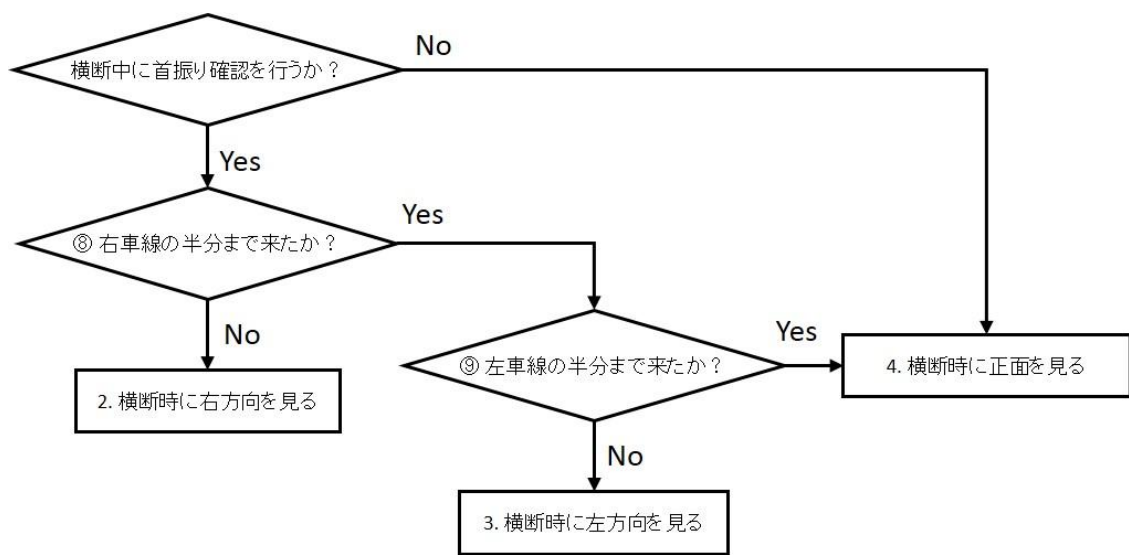


図 4.1.3-15 「横断」—首振りルール

「横断」状態の内、遷移条件ルールの流れを図 4.1.3-16 に示す。歩行者は横断しているときに危険を感じた場合には小走りによって駆け抜ける、停止する、または引き返すことによって衝突を回避するなどの行動をとる。図 4.1.3-16 に示す遷移条件ルールでは、まず、現在の状態が安全かどうかの判定を行う、危険と判定された場合、道路の中央を過ぎている場合は小走りによって衝突を回避し、道路の中央を過ぎていない場合は状態を「停止」に変更する。なお、引き返す場合は一旦「停止」した後、引き返すかどうかの判定を行う。また、横断が完了している場合には状態を「横断」から「歩行」に変更する。

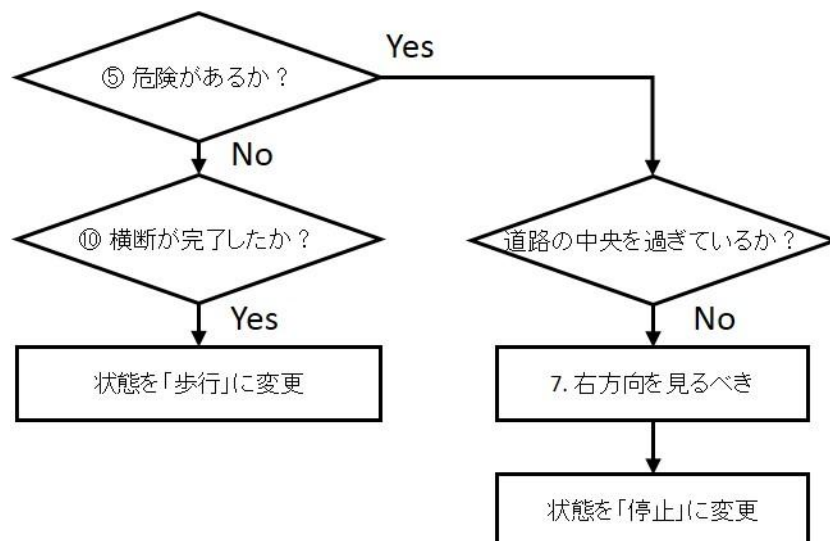


図 4.1.3-16 「横断」—遷移条件ルール

「横断」状態の内、移動ルール（統合）の流れを図 4.1.3-17 に示す。移動ルール（統合）では横断中の移動速度ベクトルの目標値の算出を行う。認識車両別の移動ルールで算出した移動速度から、他の車両と接触しないような移動方向と移動速度の決定を行う。

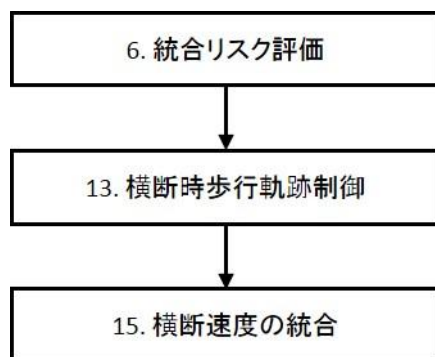


図 4.1.3-17 「渡る」—移動ルール（統合）

③ 「停止」の処理フロー

歩行者の状態の内、「停止」状態の処理フローを図 4.1.3-18 に示す。「停止」状態の流れとしては、まず初めに現在認識している周辺車両情報から認識車両別にリスク評価を行い、次に首振りルールによって次ステップでの顔を向ける方位角の計算、その後、遷移条件ルールによって状態を「停止」から「引き返し」や「横断」に変更するかどうかの判定を行い、最後に認識車両別のリスク評価を統合して、次ステップでの行動目標の決定を行う。

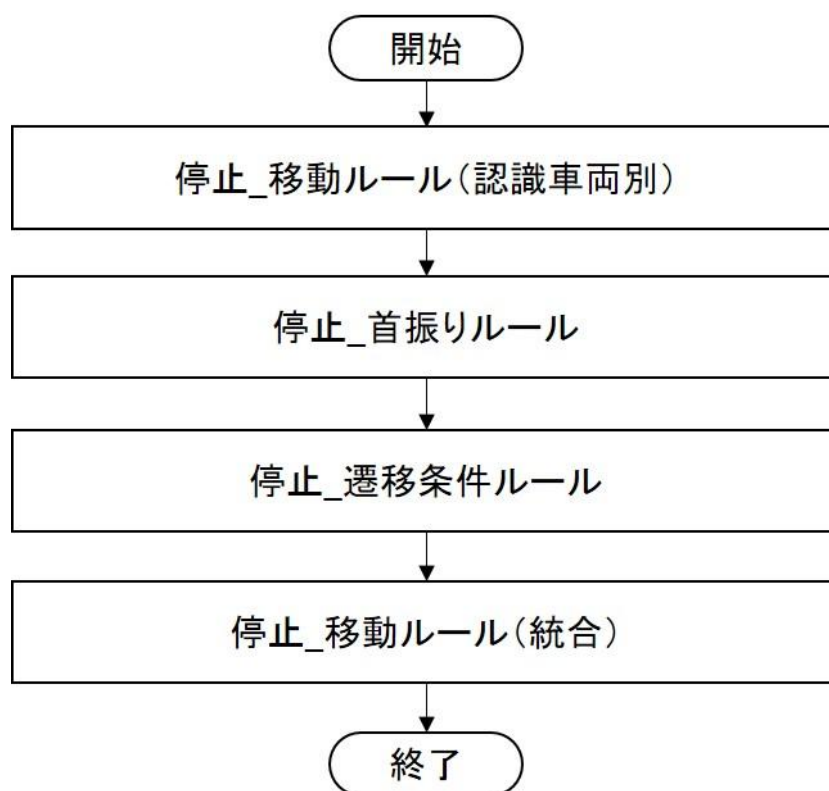


図 4.1.3-18 「停止」状態の処理フロー

「停止」状態の内、認識車両別の移動ルールの流れを図 4.1.3-19 に示す。認識車両別の移動ルールでは、認識車両別のリスク評価を行う。リスクの評価方法については、主に車両の TTC によって判定し、歩行者の属性として付与した横断開始の TTC の閾値よりも大きい場合は安全、閾値よりも小さい場合は危険と判定する。

1. 横断時車両リスク評価

図 4.1.3-19 「停止」—移動ルール（認識車両別）

「停止」状態の内、首振りルールの流れを図 4.1.3-20 に示す。首振りルールでは、前回ステップで決定された安全を確認する方向（正面 or 右側 or 左側）に従って目標視線方位角の設定を行う。安全を確認する方向の決定は認識車両別のリスク評価結果を統合する移動ルール（統合）で行う。

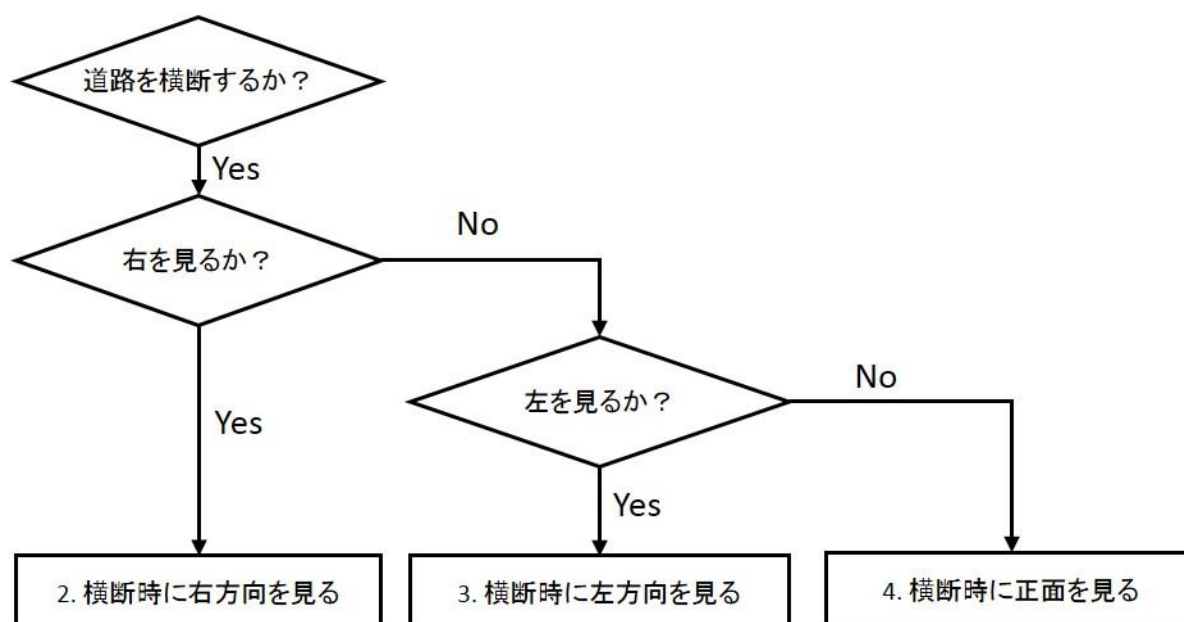


図 4.1.3-20 「停止」—首振りルール

「停止」状態の内、遷移条件ルールの流れを図 4.1.3-21 に示す。歩行者は横断しているときに危険を感じた場合には、横断を断念して引き返す場合がある。図 4.1.3-21 に示す遷移条件ルールでは、まず、現在の状態が安全かどうかの判定を行う、危険と判定された場合、引き返すべきかどうかの判定を行う。引き返すべきかどうかの判定方法については、歩行者の現在位置や接近してくる車両の台数により決定する。引き返すべきかどうかの判定の結果、引き返すべきと判定されれば状態を「引き返し」に変更する。また、危険がなくなった場合には状態を「横断」に変更し、横断を続行する。

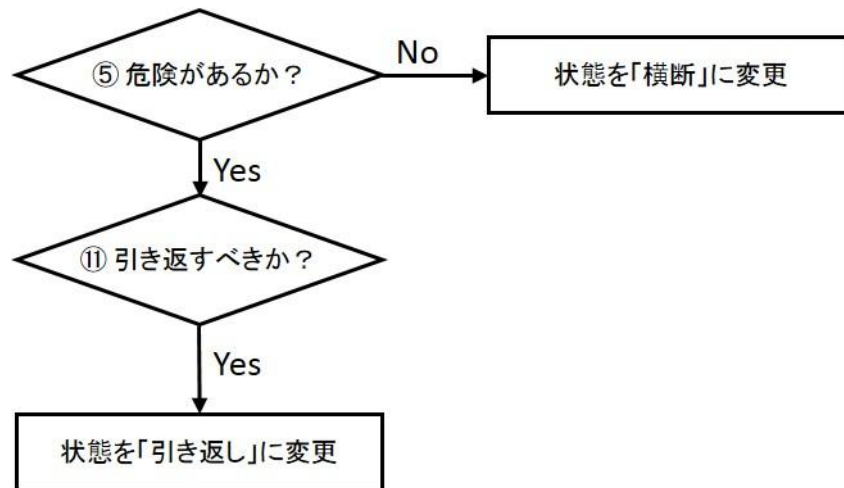


図 4.1.3-21 「停止」—遷移条件ルール

「停止」状態の内、移動ルール（統合）の流れを図 4.1.3-22 に示す。移動ルール（統合）では主に停止中の首振り行動と目標位置の決定を行う。横断中の歩行者は、横断中に危険を感じた場合、道路の中央（手前の車線と奥の車線の間）で停止し、接近してくる車両が通り過ぎてから道路を横断する場合がある。図 4.1.3-22 に示す移動ルールの横断中の停止制御で道路の中央を目標位置とすることによって、道路の中央で停止する歩行者を模擬している。

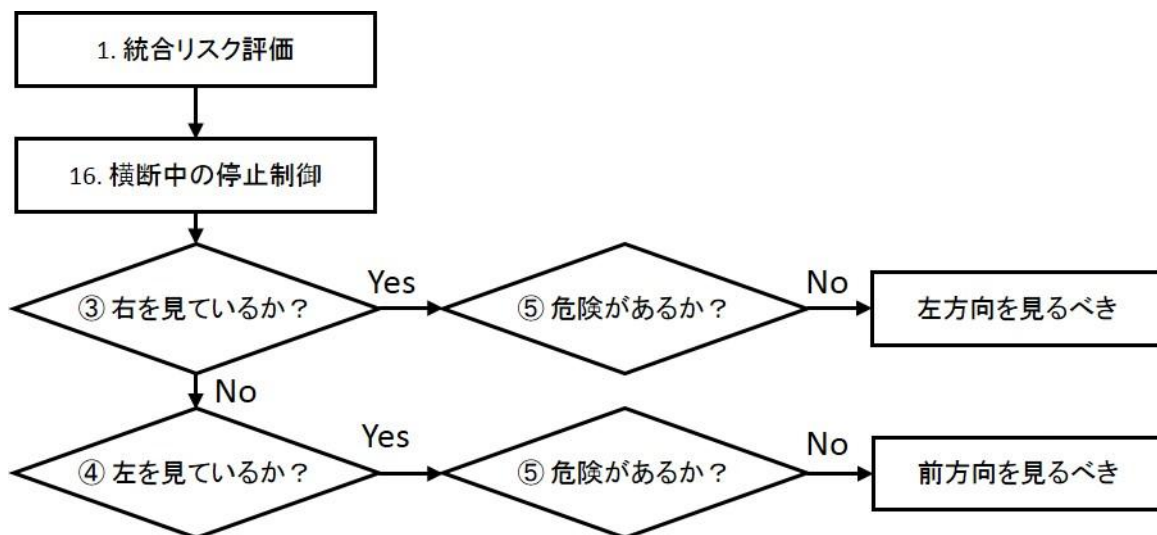


図 4.1.3-22 「停止」—移動ルール（統合）

④ 「引き返し」の処理フロー

歩行者の状態の内、「引き返し」状態の処理フローを図 4.1.3-23 に示す。「引き返し」状態の流れとしては、まず初めに現在認識している周辺車両情報から認識車両別にリスク評価を行い、次に首振りルールによって次ステップでの顔を向ける方位角の計算、その後、遷移条件ルールによって状態を「引き返し」から「歩行」に変更するかどうかの判定を行い、最後に認識車両別のリスク評価を統合して、次ステップでの行動目標の決定を行う。

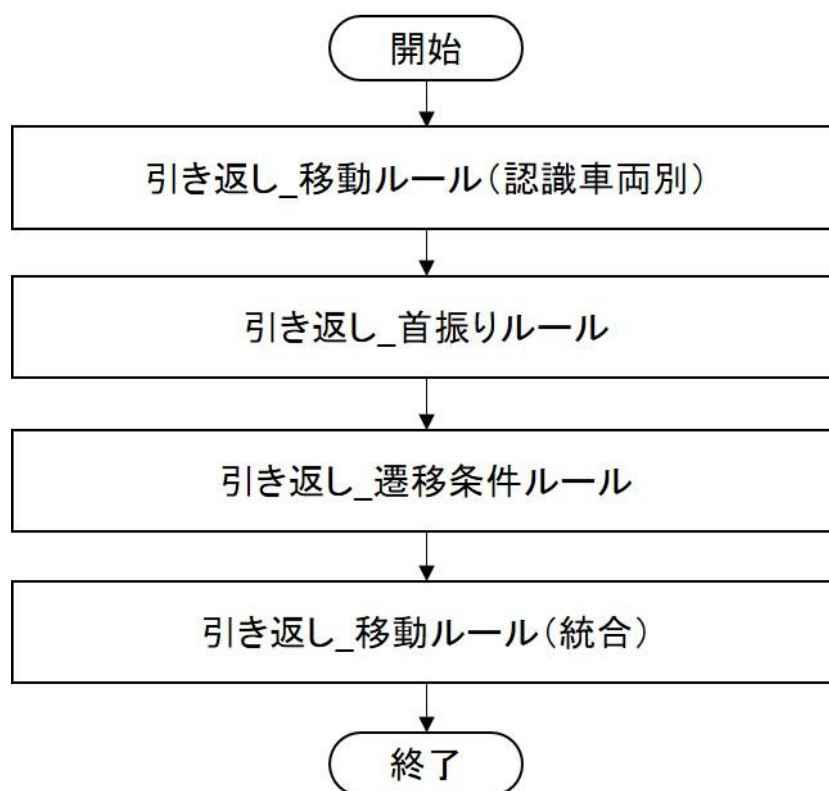


図 4.1.3-23 「停止」状態の処理フロー

「引き返し」状態の内、認識車両別の移動ルールでは、引き返し時の移動速度の算出を行う。「引き返し」状態では、横断を中断し、横断開始位置まで引き返すような行動をとる。

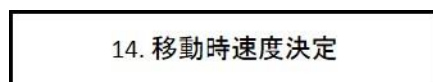


図 4.1.3-24 「引き返し」—遷移条件ルール

「引き返し」状態の内、首振りルールについて述べる。「引き返し」状態では衝突の危険が迫っており、安全確認をする余裕がないと考えられるため常に正面を見るようにしている。

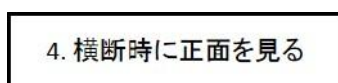


図 4.1.3-25 「引き返し」—遷移条件ルール

「停止」状態の内、遷移条件ルールの流れを図 4.1.3-26 に示す。図 4.1.3-26 に示すように、横断開始位置まで引き返した場合、状態を「引き返し」から「歩行」に変更し、再度横断前の安全確認からやり直すようにしている。

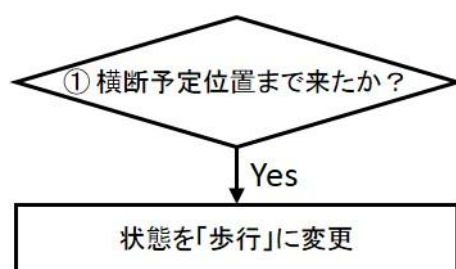


図 4.1.3-26 「引き返し」—遷移条件ルール

「引き返し」状態の内、移動ルール（統合）の流れを図 4.1.3-27 に示す。「引き返し」状態では、横断を中断し、横断開始位置まで引き返すような行動をとる。移動ルール（統合）では、認識車両別の移動ルールで算出した移動速度を統合し、移動速度の目標値を決定する。



図 4.1.3-27 「引き返し」—移動ルール（統合）

(5) 行動部

行動部は、横断行動ルールで決定された速度ベクトルに基づいて、歩行者の位置や方位角を決定している。速度ベクトルの方向は目標到達地点を与え、その点と歩行者の位置を直線で結ぶことで得ている。

(6) 経路設定

歩行者エージェントは横断が必要かどうかを判定し、横断が必要であれば、図 4.1.3-28 に示すようにランダムな位置から横断するようなロジックを実装している。

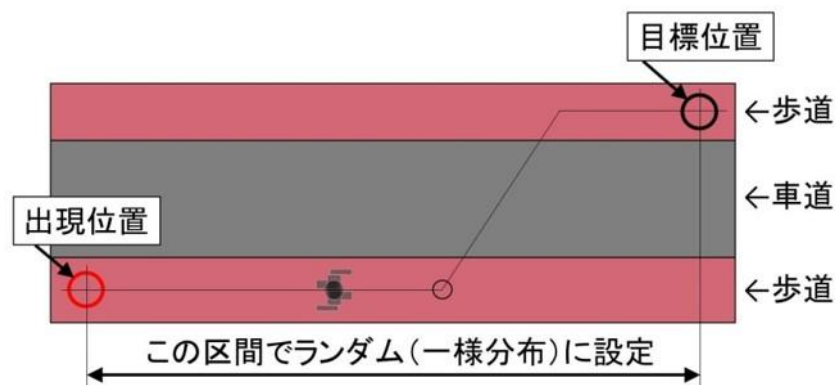


図 4.1.3-28 横断開始位置

(1) ～ (6) で述べた歩行者行動モデルを歩行者横断時の行動モデルとしてシミュレーションに組み込んだ。

4.1.3.2 歩行者横断事故場面再現シミュレーションの動作確認

平成 28 年度の歩行者横断の再現は、本項で述べた、歩行者モデルを使用した歩行者エージェントと 4.1.1.2 の車両エージェントを使用することによって実現する。交通参加者相互にエージェントモデルで動作するため、通常時において、事故の発生確率は非常に低い。このため歩行者横断の事故を再現するためには、設定条件として TTC/TTV、車速 V_c 、横断速度 V_p 、横断角度の値を指定、または乱数発生し、その設定条件と合致するように車両、歩行者の初期位置を算出し、歩行者はシナリオモードで車道を横断し、ドライバには眠気や脇見の事故要因を設定した組み合わせでシミュレーションを実行することにより実現している。(図 4.1.3-29 参照)

また、同一の歩行者、ドライバを使用し、自動走行システムの搭載による効果を事故発生の低減だけではなく、衝突速度の低減などの形で解析することが可能である。(図 4.1.1-20 参照)

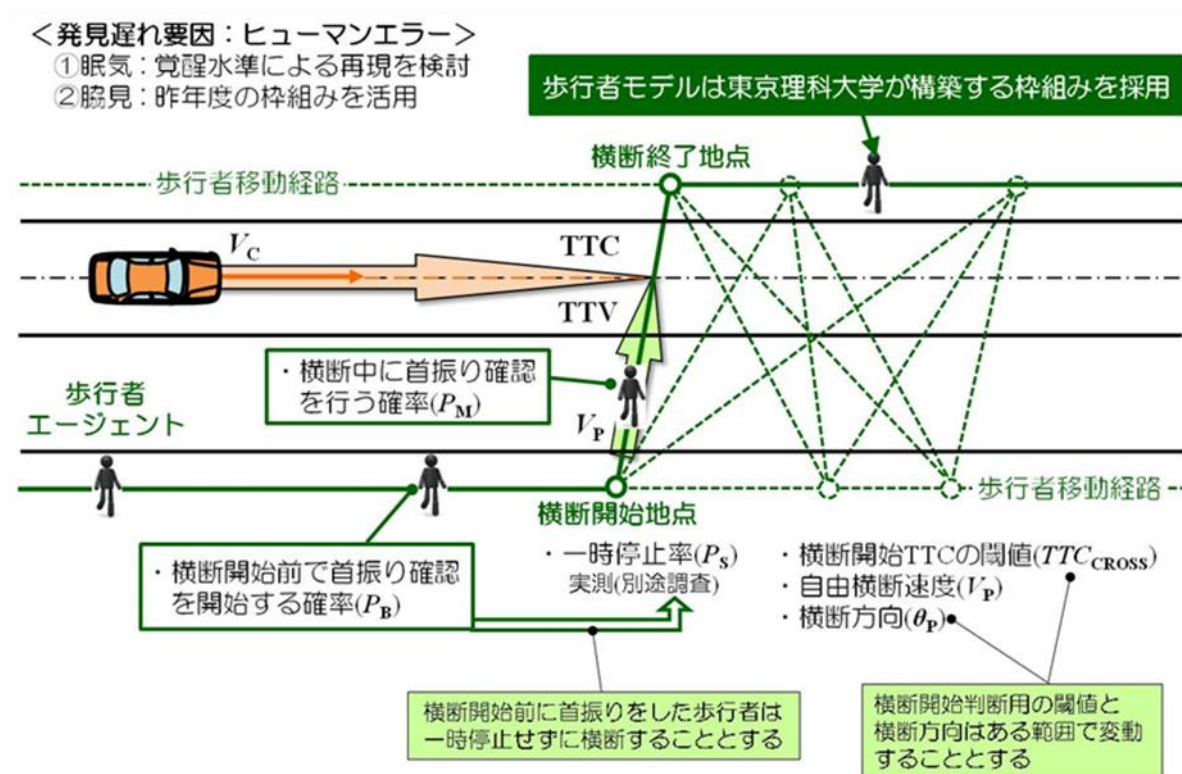


図 4.1.3-29 歩行者横断事故場面の再現

次頁に歩行者横断事故再現シミュレーションの試行結果について示す。

(1) 歩行者横断事故場面再現シミュレーション試行条件

①道路環境

直線道路（300[m]）／車線幅 3.5[m]／往復 2 車線／中央線あり／両側に歩道

②ドライバ属性：5 パターン

法遵守傾向：A（3 段階）、運転スキル：B（3 段階）、情報処理能力：C（3 段階）、意識水準：D（5 段階）から以下の 5 パターンを設定

[A,B,C,D] = [1,1,1,1]、[2,2,2,2]、[2,2,2,3]、[2,2,2,4]、[3,3,3,3]

不良 ←-----→ 平均 ←-----→ 優良

③ドライバエラー：5 パターン

正常、強制眠気 S1、強制眠気 S2、強制脇見、時間指定脇見の 5 種

④安全システム：4 パターン

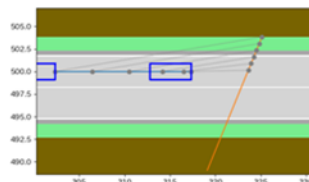
なし、衝突警報（TTC 2[s]）、緊急ブレーキアシスト（TTC 2[s]）、被害軽減ブレーキ（TTC 1.2[s]）

(2) 歩行者横断事故場面再現シミュレーション統計情報

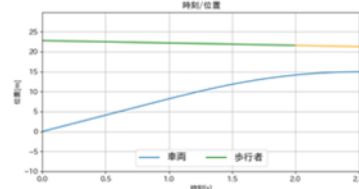
図 4.1.1-20 歩行者横断に関する統計情報を参照のこと。

(3) 歩行者横断事故場面再現シミュレーション試行 個別グラフ出力

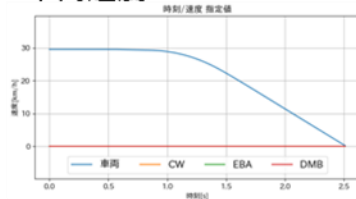
■走行・歩行軌跡



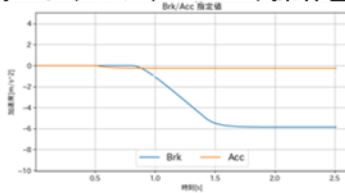
■時刻一車両位置(X)、歩行者位置(X)



■時刻一車両速度



■時刻一アクセル/ブレーキ操作量による加速度



■TTCとTTVの推移図

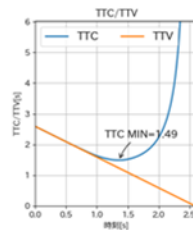


図 4.1.3-30 個別グラフ出力例

(4) 歩行者横断事故場面再現シミュレーション試行結果

歩行者横断事故場面再現シミュレーションの試行において、自動走行システムなし、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事故発生件数の低減と、衝突速度の低減効果を確認した。機能検証については、車両の動作モデルを別計算し、シミュレーション本体で出されるログ情報の出力結果と比較して一致していることを確認した。

4.1.3.3 車線逸脱事故再現の開発

逸脱事故再現シミュレーションにおいて、車線からの逸脱の設定を行う際には、指定した逸脱角（車線境界と車両の速度ベクトルとのなす角度）で逸脱するように車両の前輪舵角等の大きさを設定する必要がある。ここでは、その際の各初期値の計算式について記述する。

前提：逸脱角度の指定は、半径一定の曲線道路または、直線道路においてのみ指定される。逸脱角度は、反時計回り方向への逸脱を正の角度、時計回りの方向への逸脱を負の角度で表す。逸脱事故再現シミュレーションでの車両の初期配置は、車両の重心を車線の始点上に配置する。

道路形状、逸脱角の正負の組合せと、説明している章・節の関係を表 4.1.3-1 に示す。

表 4.1.3-1 道路形状－逸脱角と章・節の関係

	逸脱角が正の場合	逸脱角が負の場合	逸脱角がゼロの場合
左カーブの道路	4.1.3(1)①	4.1.3(1)②	4.1.3(4)①
直線道路	4.1.3(2)		4.1.3(4)②
右カーブの道路	4.1.3(3)②	4.1.3(3)①	4.1.3(4)③

(1) 左カーブに対する逸脱角の設定

本章では、左カーブの道路に対して、逸脱角が指定された場合の初期値設定について記載する。

前提：道路が、中心を原点（0.0, 0.0）として、車線の中心線が始点（0.0, -R）から半径 R の左カーブの円弧であるものとして説明する。（以降の図では、始点を（R, 0.0）としたように（90[°]ずらして）描いている）

①左カーブ内側へ入り込む逸脱角度が指定された場合

以下の図 4.1.3-32 において、左カーブ内側へ入り込む逸脱角度が指定された場合、即ち左カーブに対して正の逸脱角を指定された場合の初期値設定の処理について記載する。

余弦定理（図 4.1.3-31）を適用すると次式が成立する。

$$(R - R')^2 = \left(R - \frac{W}{2}\right)^2 + R'^2 - 2R'\left(R - \frac{W}{2}\right)\cos\varphi \quad (\text{式 4.1.3-1})$$

ここで、W：道幅[m]

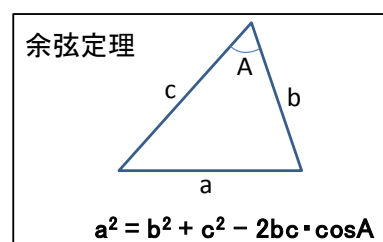


図 4.1.3-31 余弦定理

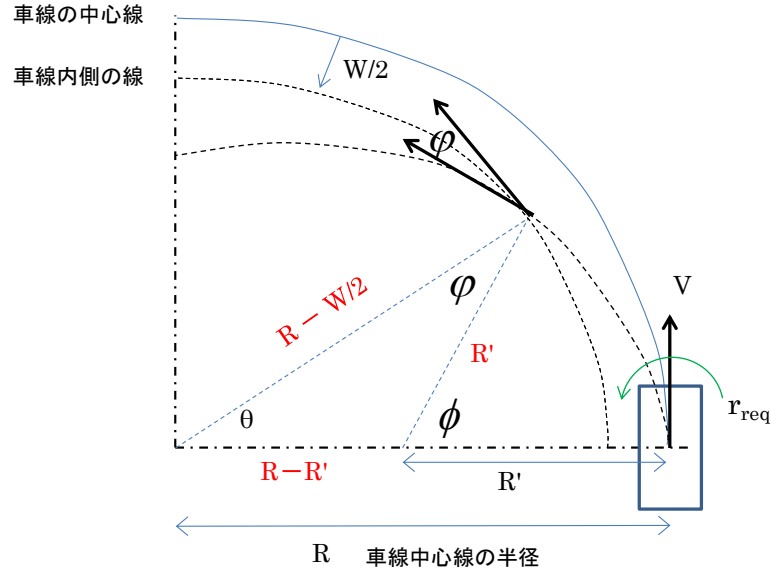


図 4.1.3-32 左カーブ内側へ入り込む場合の逸脱角と旋回半径の関係

逸脱角度 ϕ が与えられれば、上式の未知数は R' のみとなるため、 R' について解くと、

$$R' = \frac{RW - \frac{W^2}{4}}{2R(1 - \cos \phi) + W \sin \phi} \quad (\text{式 4.1.3-2}) \quad \text{となる。}$$

逸脱角度 ϕ で逸脱する場合のヨーレート r_{req} は

$$r_{req} = \frac{V}{R'} \quad (\text{式 4.1.3-3})$$

であり、このために必要な前輪舵角 δ の大きさは、

$$\delta = (1 + AV^2) \frac{L}{V} r_{req} \quad (\text{式 4.1.3-4})$$

ここで、 A : スタビリティファクタ V : 車速[m/s]

L : ホイールベース長 ($L_f + L_r$) [m]

また、このときの重心点の横滑り角 β は次式で求められる。

$$\beta = \left(\frac{1 - \frac{m}{2L} \frac{L_f}{L_r K_r} V^2}{1 + AV^2} \right) \frac{L_r}{L} \delta \quad (\text{式 4.1.3-5})$$

m : 車重[kg] L : ホイールベース長[m]

L_f : 重心から前輪までの水平距離[m] L_r : 重心から後輪までの水平距離[m]

K_r : 後輪コーナリングパワー[N/rad]

スタビリティファクタは、次式で求められる。(以下、本報告で使用するスタビリティファクタ A は、全てこの値を使用する。)

$$A = -\frac{m}{2L^2} \frac{L_f K_f - L_r K_r}{K_f K_r} \quad (\text{式 4.1.3-6})$$

m：車重[kg] L：ホイールベース長[m]
 L_f ：重心から前輪までの水平距離[m] L_r ：重心から後輪までの水平距離[m]
 K_f ：前輪コーナリングパワー[N/rad] K_r ：後輪コーナリングパワー[N/rad]

〔補正計算〕 旋回円中心位置の β によるズレによる影響を下記で補正する。

以下で説明する補正計算を行い、これにより再計算した結果をヨーレート r_{req} 、前輪舵角 δ 、横滑り角 β の初期設定値とする。

式 4.1.3-5 で算出した β を使用して、式 4.1.3-7 を計算する。

$$R'' = \frac{RW - \frac{W^2}{4}}{2R(c\beta - sc\phi) + Wc\phi} \quad (\text{式 4.1.3-7})$$

R'のかわりに R''を使用して式 4.1.3-3 のヨーレート r_{req} を再計算し、再計算した r_{req} を使用して前輪舵角 δ 式 4.1.3-4、横滑り角 β 式 4.1.3-5 を再計算する。

左カーブ内側に逸脱角度 ϕ での逸脱が初期値として指定された場合は、表 4.1.3-2 に示すように、初期位置にカーブの接線方向のヨー角で車両を配置し、上記の再計算したヨーレート r_{req} 、前輪舵角 δ 、横滑り角 β 、車速 V（初期速度）を初期値として設定する。

表 4.1.3-2 左カーブ内側へ入り込む逸脱角度が指定された場合

変数名	意味	単位	初期値	傾き初期値
δ	前輪舵角	[rad]	補正計算での式4.1.3-4	－
TA	エンジンダイナミクス(加速度)	[m/s ²]	0.0	0.0
TB	エンジンダイナミクス(減速度)	[m/s ²]	0.0	0.0
V	車両速度	[m/s]	V(初期速度)	0.0
β	横滑り角	[rad]	補正計算での式4.1.3-5	0.0
r	ヨーレート	[rad/s]	補正計算での式4.1.3-3	0.0
ψ	ヨー角(姿勢角)	[rad]	0.0	補正計算での式4.1.3-3
X	X座標	[m]	0.0	$\frac{dX}{dt} = V \cos \beta$
Y	Y座標	[m]	-R	$\frac{dY}{dt} = V \sin \beta$

また、ドライバのハンドル操舵角 θ_h 、アクセル操作量 accel_com、ブレーキ操作量 brake_com の初期値には、それぞれ $R_s \times \delta$ 、0.0、0.0 に設定する（ R_s ：トータルギア比）。

（表 4.1.3-2 において、座標の変化量（傾き）は一般に、 $\frac{dX}{dt} = V \cos(\beta + \psi)$ 、

$\frac{dY}{dt} = V \sin(\beta + \psi)$ で表されるが、前提からヨー角 ψ が 0 であるため、それぞれ $V \cos \beta$ 、 $V \sin \beta$ となる。）

②左カーブ外側に膨らむ逸脱角度が指定された場合

左カーブ外側に膨らむ場合、即ち左カーブに対して負の逸脱角を指定された場合の初期値設定の処理について記載する。逸脱に必要な車両ヨーレートの正負に応じて3通りに分けられる。

(i) 逸脱に必要なヨーレートが正の場合

逸脱に必要な車両ヨーレートが正（カーブの方向と同じ左方向）の場合について考えることにする。逸脱に必要な車両ヨーレートが正となるのは、下記の式 4.1.3-10 の分母が正の場合、即ち式 4.1.3-8 を満たす場合である。

$$\cos\phi > \frac{2R}{2R+W} \quad (\text{式 4.1.3-8})$$

以下の図 4.1.3-33 から、式 4.1.3-1 と同様に余弦定理により R' を算出すると、

$$(R-R')^2 = \left(R + \frac{W}{2}\right)^2 + R'^2 - 2R'\left(R + \frac{W}{2}\right)\cos\phi \quad (\text{式 4.1.3-9})$$

式 4.1.3-9 より R' について解くと、

$$R' = \frac{RW + \frac{W^2}{4}}{2R(\cos\phi - 1) + W\cos\phi} \quad (\text{式 4.1.3-10}) \quad \text{となる。}$$

この値を用いてこれを用いて式 4.1.3-3～式 4.1.3-5 により、 r_{req} 、 δ 、 β を算出すればよい。

[補正計算]

上記式 4.1.3-5 で算出した β を使用し、式 4.1.3-11 を計算する。

$$R'' = \frac{RW + \frac{W^2}{4}}{2R(\cos\phi - \sin\phi) + W\cos\phi} \quad (\text{式 4.1.3-11})$$

$$R''' = \frac{R' + R''}{2} \quad (\text{式 4.1.3-12})$$

式 4.1.3-10 で計算した R' と、式 4.1.3-11 で計算した R'' の平均を取り求めた、 R''' 式 4.1.3-12 を用いて、ヨーレート r_{req} 式 4.1.3-3、前輪舵角 δ 式 4.1.3-4、横滑り角 β 式 4.1.3-5 を再計算したものを初期値とする。

初期値設定表は、表 4.1.3-2 と同じである。

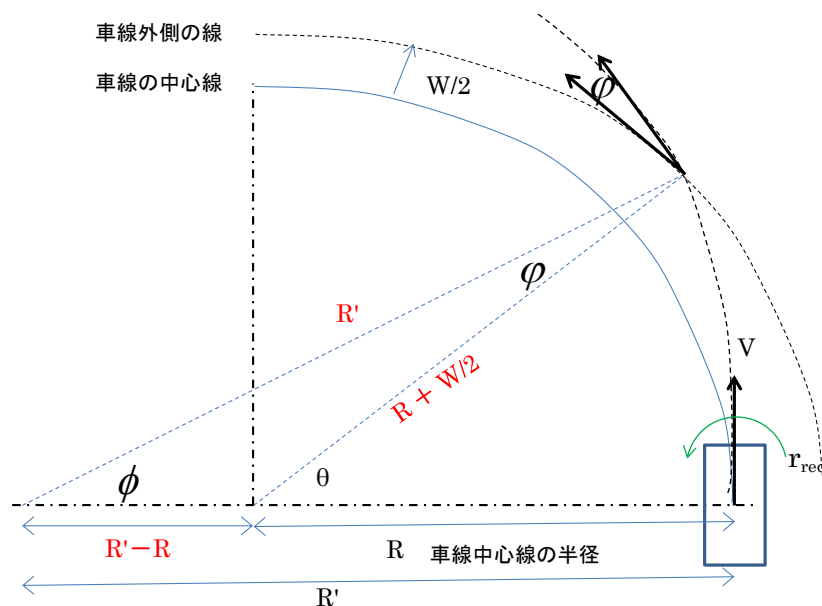


図 4.1.3-33 左カーブ外側へ膨らむ場合の逸脱角と旋回半径の関係 (1)

(ii) 逸脱に必要なヨーレートがゼロの場合

これは、式 4.1.3-10 の分母がゼロの場合である。

式 4.1.3-10 の分母は、 $2R(\cos \phi - 1) + W \cos \phi$ であったから、 $(2R + W) \cos \phi = 2R$ 即ち、

$$\cos \phi = \frac{2R}{2R + W} \quad (\text{式 4.1.3-13})$$

となる逸脱角 ϕ が指定された場合である。

この場合は、 r_{req} 、 δ 、 β を全てゼロとし、表 4.1.3-3 に示す初期設定値とする。

表 4.1.3-3 左カーブ外側に膨らむ逸脱角度が指定された場合で
式 4.1.3-10 の分母がゼロの場合

変数名	意味	単位	初期値	傾き初期値
δ	前輪舵角	[rad]	0.0	—
TA	エンジンダイナミクス(加速度)	[m/s ²]	0.0	0.0
TB	エンジンダイナミクス(減速度)	[m/s ²]	0.0	0.0
V	車両速度	[m/s]	V(初期速度)	0.0
β	横滑り角	[rad]	0.0	0.0
r	ヨーレート	[rad/s]	0.0	0.0
ψ	ヨー角(姿勢角)	[rad]	0.0	0.0
X	X座標	[m]	0.0	V
Y	Y座標	[m]	-R	0.0

また、ドライバのハンドル操舵角 θ_h 、アクセル操作量 accel_com 、ブレーキ操作量 brake_com の初期値には、それぞれ $R_s \times \delta$ 、0.0、0.0 に設定する。

(iii) 逸脱に必要なヨーレートが負の場合

これは、式 4.1.3-10 の分母が逸脱角度の値によって負になる場合、即ち、

$$\cos \phi < \frac{2R}{2R+W} \quad (\text{式 4.1.3-14}) \quad \text{となる場合。}$$

カーブ外側へ膨らんでいく場合で逸脱角度が式 4.1.3-14 を満たす場合には、以下の図 4.1.3-34 のように、カーブ方向と反対方向の車両ヨーレートを発生させる必要がある。

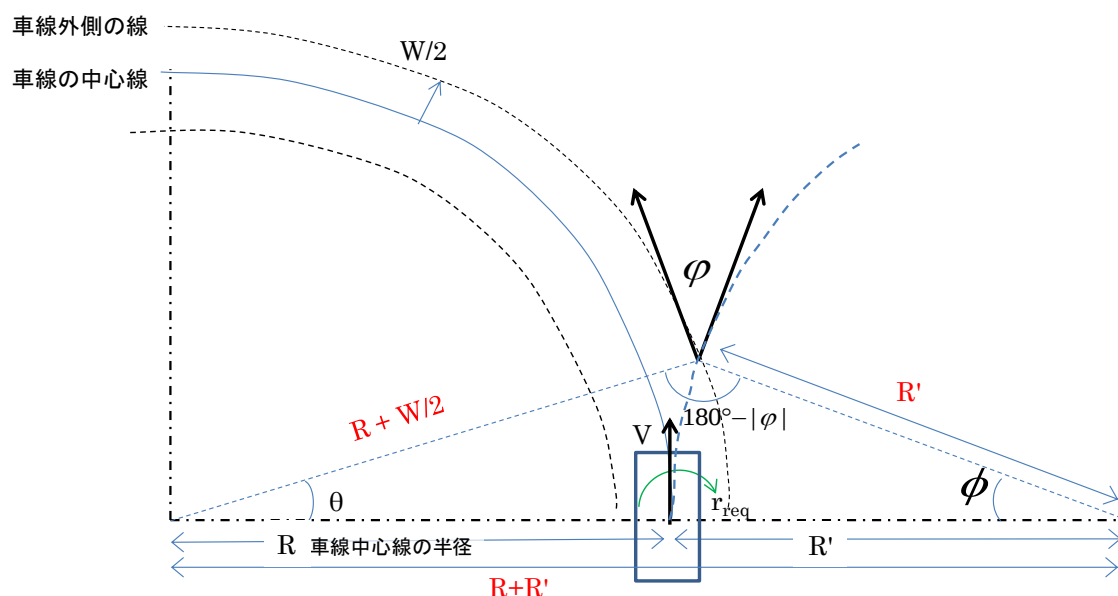


図 4.1.3-34 カーブ外側へ膨らむ場合の逸脱角度と旋回半径の関係 (2)

この場合、

$$(R+R')^2 = \left(R + \frac{W}{2}\right)^2 + R'^2 - 2R'\left(R + \frac{W}{2}\right)\cos(180^\circ - |\phi|)$$

が成り立っている。 $\cos(180^\circ - |\phi|) = \cos 180^\circ \cos |\phi| + \sin 180^\circ \sin |\phi| = -\cos |\phi|$ なので、

$$(R+R')^2 = \left(R + \frac{W}{2}\right)^2 + R'^2 + 2R'\left(R + \frac{W}{2}\right)\cos \phi \quad (\text{式 4.1.3-15}) \quad \text{となる。}$$

式 4.1.3-15 より、 R' を求めると、

$$R' = \frac{RW + \frac{W^2}{4}}{2R(1 - \cos \phi) - W \cos \phi} \quad (\text{式 4.1.3-16}) \quad \text{となる。}$$

この R' を用いて必要なヨーレート r_{req} を算出するには、式 4.1.3-3' を用いる。即ち、ヨーレートの符号を反転させ、右旋回とする。前輪舵角 δ 、横滑り角 β は、それぞれ式 4.1.3-4、式 4.1.3-5 により計算する。

$$r_{re} = -\frac{V}{R'} \quad (\text{式 4.1.3-3'})$$

[補正計算]

この場合の補正計算は以下とする。

上記、式 4.1.3-5 で求めた β を使用し、 R'' 式 4.1.3-17 を計算する。

$$R'' = \frac{RW + \frac{W^2}{4}}{2R(\cos \delta \sin \phi - W \cos \phi)} \quad (\text{式 4.1.3-17})$$

を用いて、ヨーレート r_{req} 式 4.1.3-3'、前輪舵角 δ 式 4.1.3-4、横滑り角 β 式 4.1.3-5 を再計算したものを初期値とする。初期値設定表を表 4.1.3-4 に示す。式 4.1.3-3 が式 4.1.3-3' となった以外は表 4.1.3-2 と同じである。

表 4.1.3-4 左カーブ外側に膨らむ逸脱角度が指定された場合で
式 4.1.3-10 の分母が負の場合

変数名	意味	単位	初期値	傾き初期値
δ	前輪舵角	[rad]	補正計算での式4.1.3-4	-
TA	エンジンダイナミクス(加速度)	[m/s ²]	0.0	0.0
TB	エンジンダイナミクス(減速度)	[m/s ²]	0.0	0.0
V	車両速度	[m/s]	V(初期速度)	0.0
β	横滑り角	[rad]	補正計算での式4.1.3-5	0.0
r	ヨーレート	[rad/s]	補正計算での式4.1.3-3'	0.0
ψ	ヨー角(姿勢角)	[rad]	0.0	補正計算での式4.1.3-3'
X	X座標	[m]	0.0	$\frac{dX}{dt} = V \cos \beta$
Y	Y座標	[m]	-R	$\frac{dY}{dt} = V \sin \beta$

また、ドライバのハンドル操舵角 θ_h 、アクセル操作量 accel_com 、ブレーキ操作量 brake_com の初期値には、それぞれ $R_s \times \delta$ 、0.0、0.0 に設定する。

(2) 直線道路に対する逸脱角の設定

前提：道路の中心線が、原点（0.0, 0.0）を始点として、原点から左真横方向（X 軸上を正の方向）に延びる直線道路であるものとする。

直線道路において左側（正の値の逸脱角）に逸脱角 ϕ で逸脱させる場合は、式 4.1.3-2 において R を ∞ として R' を求めると、

$$R' = \frac{W}{2(1 - \cos \phi)} \quad (\text{式 4.1.3-18})$$

となるため、この R' を用いて式 4.1.3-3～式 4.1.3-5 により、 r_{req} 、 δ 、 β を算出する。

また、直線道路において右側（負の値の逸脱角）に逸脱角 ϕ で逸脱させる場合は、式 4.1.3-3' により r_{req} を負として、 δ 、 β はそれぞれ式 4.1.3-4、式 4.1.3-5 により計算する。

[補正計算]

直線道路の場合は、補正計算は不要。

表 4.1.3-5 直線道路（左横方向）に対して逸脱角が設定された場合

変数名	意味	単位	初期値	傾き初期値
δ	前輪舵角	[rad]	式4.1.3-4	－
TA	エンジンダイナミクス(加速度)	[m/s ²]	0.0	0.0
TB	エンジンダイナミクス(減速度)	[m/s ²]	0.0	0.0
V	車両速度	[m/s]	V(初期速度)	0.0
β	横滑り角	[rad]	式4.1.3-5	0.0
r	ヨーレート	[rad/s]	逸脱角が正:式4.1.3-3 逸脱角が負:式4.1.3-3'	0.0
ψ	ヨー角(姿勢角)	[rad]	0.0	逸脱角が正:式4.1.3-3 逸脱角が負:式4.1.3-3'
X	X座標	[m]	0.0	$\frac{dX}{dt} = V \cos \beta$
Y	Y座標	[m]	0.0	$\frac{dY}{dt} = V \sin \beta$

ドライバのハンドル操舵角 θ_h 、アクセル操作量 accel_com 、ブレーキ操作量 brake_com の初期値には、それぞれ $R_s \times \delta$ 、0.0、0.0 に設定する。

また、道路の中心線が、原点（0.0, 0.0）を始点として、原点から右真横方向（X 軸上を負の方向）に延びる直線道路の場合は、ヨー角を π として表 4.1.3-6 のように設定する。

表 4.1.3-6 直線道路（右横方向）に対して逸脱角が設定された場合

変数名	意味	単位	初期値	傾き初期値
δ	前輪舵角	[rad]	式4.1.3-4	—
TA	エンジンダイナミクス(加速度)	[m/s ²]	0.0	0.0
TB	エンジンダイナミクス(減速度)	[m/s ²]	0.0	0.0
V	車両速度	[m/s]	V(初期速度)	0.0
β	横滑り角	[rad]	式4.1.3-5	0.0
r	ヨーレート	[rad/s]	逸脱角が正:式4.1.3-3 逸脱角が負:式4.1.3-3'	0.0
ψ	ヨー角(姿勢角)	[rad]	π	逸脱角が正:式4.1.3-3 逸脱角が負:式4.1.3-3'
X	X座標	[m]	0.0	$\frac{dX}{dt} = V \cos \beta$
Y	Y座標	[m]	0.0	$\frac{dY}{dt} = V \sin \beta$

(3) 右カーブに対する逸脱角の設定

右カーブの道路に対して、逸脱角が指定された場合の初期値設定について記載する。

前提：道路は、中心を原点（0.0, 0.0）として、車線の中心線が始点（0.0, R）から半径 R の右カーブの円弧であるものとする。

①右カーブの内側に逸脱させる場合

右カーブ内側へ入り込む逸脱角度が指定された場合、即ち右カーブに対して負の逸脱角を指定された場合の初期値設定の処理について記載する。右カーブの曲線道路で内側に逸脱させる場合は、式 4.1.3-2 により R'を求める。

$$R' = \frac{RW - \frac{W^2}{4}}{2R(1 - \cos \phi) + W \cos \phi} \quad (\text{式 4.1.3-2})$$

ヨーレート r_{req} 、前輪舵角 δ 、横滑り角 β は、それぞれ式 4.1.3-3'、式 4.1.3-4、式 4.1.3-5 により求める。

$$r_{\text{req}} = \frac{V}{R'} \quad (\text{式 4.1.3-3'})$$

$$\delta = (1 + AV^2) \frac{L}{V} r_{\text{req}} \quad (\text{式 4.1.3-4})$$

A：スタビリティファクタ V：車速[m/s]

L：ホイールベース長（ $L_f + L_r$ ）[m]

$$\beta = \left(\frac{1 - \frac{m}{2L} \frac{L_f}{L_r K_r} V^2}{1 + AV^2} \right) \frac{L_r}{L} \delta \quad (\text{式 4.1.3-5})$$

m：車重[kg] L：ホイールベース長[m]

L_f：重心から前輪までの水平距離[m] L_r：重心から後輪までの水平距離[m]

K_r：後輪コーナリングパワー[N/rad]

[補正計算]

この場合も左カーブの内側に逸脱させる場合と同様に、式 4.1.3-7 で再計算した R'' を使用して、ヨーレート r_{req} 式 4.1.3-3'、前輪舵角 δ 式 4.1.3-4、横滑り角 β 式 4.1.3-5 を再計算したものを初期値とする。

$$R'' = \frac{RW - \frac{W^2}{4}}{2R(\cos \beta - \sin \beta \tan \phi) + W \tan \phi} \quad (\text{式 4.1.3-7})$$

右カーブ内側へ入り込む逸脱角度が指定された場合の初期値設定表を表 4.1.3-7 に示す。

表 4.1.3-7 右カーブ内側へ入り込む逸脱角度が指定された場合

変数名	意味	単位	初期値	傾き初期値
δ	前輪舵角	[rad]	補正計算での式4.1.3-4	-
TA	エンジンダイナミクス(加速度)	[m/s ²]	0.0	0.0
TB	エンジンダイナミクス(減速度)	[m/s ²]	0.0	0.0
V	車両速度	[m/s]	V(初期速度)	0.0
β	横滑り角	[rad]	補正計算での式4.1.3-5	0.0
r	ヨーレート	[rad/s]	補正計算での式4.1.3-3'	0.0
ψ	ヨー角(姿勢角)	[rad]	0.0	補正計算での式4.1.3-3'
X	X座標	[m]	0.0	$\frac{dX}{dt} = V \cos \beta$
Y	Y座標	[m]	R	$\frac{dY}{dt} = V \sin \beta$

また、ドライバのハンドル操舵角 θ_h 、アクセル操作量 accel_com、ブレーキ操作量 brake_com の初期値には、それぞれ $R_s \times \delta$ 、0.0、0.0 に設定する。

②右カーブ外側に膨らむ逸脱角度が指定された場合

右カーブ外側に膨らむ場合、即ち右カーブに対して正の逸脱角を指定された場合の初期値設定の処理について記載する。逸脱に必要な車両ヨーレートの正負に応じて3通りに分けられる。

(i) 逸脱に必要なヨーレートが負の場合

逸脱に必要な車両ヨーレートが負(カーブの方向と同じ右方向)の場合について考える。逸脱に必要な車両ヨーレートが負となるのは、式 4.1.3-10 の分母が正の場合、即ち式 4.1.3-8 を満たす場合である。

$$\cos \varphi > \frac{2R}{2R+W} \quad (\text{式 4.1.3-8})$$

右カーブに対して正の逸脱角を指定され、式 4.1.3-8 を満たす場合は、式 4.1.3-10 により、 R' を算出する。

$$R' = \frac{RW + \frac{W^2}{4}}{2R(\cos \varphi - 1) + W \cos \varphi} \quad (\text{式 4.1.3-10})$$

この R' を用いて、ヨーレート r_{req} 、前輪舵角 δ 、横滑り角 β は、それぞれ式 4.1.3-3'、式 4.1.3-4、式 4.1.3-5 により求める。

[補正計算]

上記、式 4.1.3-5 で算出した β を使用し、式 4.1.3-11 を計算する。

$$R'' = \frac{RW + \frac{W^2}{4}}{2R(\cos \varphi - \cos \beta) + W \cos \beta} \quad (\text{式 4.1.3-11})$$

$$R''' = \frac{R' + R''}{2} \quad (\text{式 4.1.3-12})$$

式 4.1.3-10 で計算した R' と、式 4.1.3-11 で計算した R'' の平均を取り求めた、 R''' 式 4.1.3-12 を用いて、ヨーレート r_{req} 式 4.1.3-3'、前輪舵角 δ 式 4.1.3-4、横滑り角 β 式 4.1.3-5 を再計算したものを初期値とする。この場合の初期値設定表は、表 4.1.3-7 と同じである。

(ii) 逸脱に必要なヨーレートがゼロの場合

式 4.1.3-10 の分母がゼロの場合、即ち、

$$c \cos \phi = \frac{2R}{2R+W} \quad (\text{式 4.1.3-19})$$

となる逸脱角 ϕ が指定された場合である。

この場合は、 r_{req} 、 δ 、 β を全てゼロとし、表 4.1.3-8 に示す初期設定値とする。

表 4.1.3-8 右カーブ外側に膨らむ逸脱角度が指定された場合で
式 4.1.3-10 の分母がゼロの場合

変数名	意味	単位	初期値	傾き初期値
δ	前輪舵角	[rad]	0.0	—
TA	エンジンダイナミクス(加速度)	[m/s ²]	0.0	0.0
TB	エンジンダイナミクス(減速度)	[m/s ²]	0.0	0.0
V	車両速度	[m/s]	V(初期速度)	0.0
β	横滑り角	[rad]	0.0	0.0
r	ヨーレート	[rad/s]	0.0	0.0
ψ	ヨー角(姿勢角)	[rad]	0.0	0.0
X	X座標	[m]	0.0	V
Y	Y座標	[m]	R	0.0

また、ドライバのハンドル操舵角 θ_h 、アクセル操作量 accel_com 、ブレーキ操作量 brake_com の初期値には、全て 0.0 に設定する。

(iii) 逸脱に必要なヨーレートが正の場合

式 4.1.3-10 の分母が逸脱角度の値によって負になる場合、即ち、

$$c \cos \phi < \frac{2R}{2R+W} \quad (\text{式 4.1.3-20}) \quad \text{となる場合である。}$$

右カーブに対して正の逸脱角を指定され、式 4.1.3-20 を満たす場合は、式 4.1.3-16 により、 R' を算出する。

$$R' = \frac{RW + \frac{W^2}{4}}{2R(1 - c \cos \phi) - W c \cos \phi} \quad (\text{式 4.1.3-16})$$

この R' を用いて必要なヨーレート r_{req} を算出するには、式 4.1.3-3 を用いる。即ち、右方向のカーブに対して、左旋回とする。

$$r_{\text{req}} = \frac{V}{R'} \quad (\text{式 4.1.3-3})$$

前輪舵角 δ 、横滑り角 β は、それぞれ、式 4.1.3-4、式 4.1.3-5 により計算する。

[補正計算]

この場合の補正計算は以下とする。

上記式 4.1.3-16 で求めた β を使用し、 R'' 式 4.1.3-17 を計算する。

$$R'' = \frac{RW + \frac{W^2}{4}}{2R(\cos \delta \sin \beta) - W \cos \beta} \quad (\text{式 4.1.3-17})$$

を用いて、ヨーレート r_{req} 式 4.1.3-3、前輪舵角 δ 式 4.1.3-4、横滑り角 β 式 4.1.3-5 を再計算したものを初期値とする。初期値設定表を表 4.1.3-9 に示す。

表 4.1.3-9 右カーブ外側に膨らむ逸脱角度が指定された場合で
式 4.1.3-10 の分母が負の場合

変数名	意味	単位	初期値	傾き初期値
δ	前輪舵角	[rad]	補正計算での式4.1.3-4	-
TA	エンジンダイナミクス(加速度)	[m/s ²]	0.0	0.0
TB	エンジンダイナミクス(減速度)	[m/s ²]	0.0	0.0
V	車両速度	[m/s]	V(初期速度)	0.0
β	横滑り角	[rad]	補正計算での式4.1.3-5	0.0
r	ヨーレート	[rad/s]	補正計算での式4.1.3-3	0.0
ψ	ヨー角(姿勢角)	[rad]	0.0	補正計算での式4.1.3-3
X	X座標	[m]	0.0	$\frac{dX}{dt} = V \cos \beta$
Y	Y座標	[m]	R	$\frac{dY}{dt} = V \sin \beta$

また、ドライバのハンドル操舵角 θ_h 、アクセル操作量 accel_com 、ブレーキ操作量 brake_com の初期値には、それぞれ $R_s \times \delta$ 、0.0、0.0 に設定する。

(4) 逸脱角度ゼロ（逸脱させない）の場合

環境再現型シミュレーションの場合は、逸脱角度がゼロ（逸脱させない）とする、以下ではこの場合の初期設定について記載する。

①左カーブで逸脱角度ゼロとする場合

前提：道路が、中心を原点（0.0, 0.0）として、車線の中心線が始点（0.0, -R）から半径 R の左カーブの円弧であるものとする。

左カーブの曲線道路上の始点に逸脱角度がゼロ（逸脱させない）で初期設定を行う場合は、式 4.1.3-21 によりヨーレートを求める。

$$r_{req} = \frac{V}{R} \quad (\text{式 4.1.3-21}) \quad R: \text{道路の中心線の半径[m]} \quad V: \text{車両の初期速度[m/s]}$$

この r_{req} を基に、前輪舵角 δ （式 4.1.3-4）、横滑り角 β （式 4.1.3-5）を計算する。

この場合の初期値設定表を表 4.1.3-10 に示す。

表 4.1.3-10 左カーブで逸脱角度がゼロの場合

変数名	意味	単位	初期値	傾き初期値
δ	前輪舵角	[rad]	補正計算での式4.1.3-4	-
TA	エンジンダイナミクス(加速度)	[m/s ²]	0.0	0.0
TB	エンジンダイナミクス(減速度)	[m/s ²]	0.0	0.0
V	車両速度	[m/s]	V(初期速度)	0.0
β	横滑り角	[rad]	補正計算での式4.1.3-5	0.0
r	ヨーレート	[rad/s]	補正計算での式4.1.3-21	0.0
ψ	ヨー角(姿勢角)	[rad]	0.0	補正計算での式4.1.3-21
X	X座標	[m]	0.0	$\frac{dX}{dt} = V \cos \beta$
Y	Y座標	[m]	R	$\frac{dY}{dt} = V \sin \beta$

また、ドライバのハンドル操舵角 θ_h 、アクセル操作量 accel_com、ブレーキ操作量 brake_com の初期値には、それぞれ $R_s \times \delta$ 、0.0、0.0 に設定する。

前提によりヨー角は 0.0 であるが、ヨー角が 0 でない場合は、座標の変化量（傾き）は

$$\frac{dX}{dt} = V \cos(\beta + \psi), \quad \frac{dY}{dt} = V \sin(\beta + \psi) \text{ とする。}$$

②直線道路で逸脱角度ゼロとする場合

前提：道路の中心線が、原点（0.0, 0.0）を始点として、原点から左真横方向（X 軸上を正の方向）に延びる直線道路であるものとする。

直線道路上の始点に逸脱角ゼロ（逸脱させない）で初期設定を行う場合は、 r_{req} 、 δ 、 β を全てゼロとする。この場合の初期値設定表を表 4.1.3-11 に示す。

表 4.1.3-11 直線道路で逸脱角度がゼロの場合

変数名	意味	単位	初期値	傾き初期値
δ	前輪舵角	[rad]	0.0	—
TA	エンジンダイナミクス(加速度)	[m/s ²]	0.0	0.0
TB	エンジンダイナミクス(減速度)	[m/s ²]	0.0	0.0
V	車両速度	[m/s]	V(初期速度)	0.0
β	横滑り角	[rad]	0.0	0.0
r	ヨーレート	[rad/s]	0.0	0.0
ψ	ヨー角(姿勢角)	[rad]	0.0	0.0
X	X座標	[m]	0.0	V
Y	Y座標	[m]	0.0	0.0

また、ドライバのハンドル操舵角 θ_h 、アクセル操作量 $accel_com$ 、ブレーキ操作量 $brake_com$ の初期値には、全て 0.0 に設定する。

表 4.1.3-10 では、前提（左真横方向）よりヨー角の初期値がゼロであったが、斜め方向の道路の場合等でヨー角の初期値がゼロでない場合は、 $\frac{dX}{dt} = V \cos \psi$ 、 $\frac{dY}{dt} = V \sin \psi$ とする。

③右カーブで逸脱角度ゼロとする場合

前提：道路は、中心を原点（0.0, 0.0）として、車線の中心線が始点（0.0, R）から半径 R の右カーブの円弧であるものとする。

右カーブの曲線道路上の始点に逸脱角度がゼロ（逸脱させない）で初期設定を行う場合は、式 4.1.3-22 によりヨーレートを求める。

$$r_{req} = -\frac{V}{R} \quad (\text{式 4.1.3-22}) \quad R: \text{道路の中心線の半径[m]} \quad V: \text{車両の初期速度[m/s]}$$

この r_{req} を基に、 δ 、 β は式 4.1.3-4、式 4.1.3-5 により計算する。

この場合の初期値設定を表 4.1.3-12 に示す。

表 4.1.3-12 右カーブで逸脱角度がゼロの場合

変数名	意味	単位	初期値	傾き初期値
δ	前輪舵角	[rad]	式4.1.3-4	-
TA	エンジンダイナミクス(加速度)	[m/s ²]	0.0	0.0
TB	エンジンダイナミクス(減速度)	[m/s ²]	0.0	0.0
V	車両速度	[m/s]	V(初期速度)	0.0
β	横滑り角	[rad]	式4.1.3-5	0.0
r	ヨーレート	[rad/s]	式4.1.3-22	0.0
ψ	ヨー角(姿勢角)	[rad]	0.0	式4.1.3-22
X	X座標	[m]	0.0	$\frac{dX}{dt} = V \cos \beta$
Y	Y座標	[m]	R	$\frac{dY}{dt} = V \sin \beta$

また、ドライバのハンドル操舵角 θ_h 、アクセル操作量 $accel_com$ 、ブレーキ操作量 $brake_com$ の初期値には、それぞれ $R_s \times \delta$ 、0.0、0.0 に設定する。

前提によりヨー角は 0.0 であったが、ヨー角が 0 でない場合は、座標の変化量（傾き）は

$$\frac{dX}{dt} = V \cos(\beta + \psi), \quad \frac{dY}{dt} = V \sin(\beta + \psi) \text{ とする。}$$

以上、述べてきた逸脱角設定方式を使用してシミュレーションの逸脱角を決定し、車線逸脱事故場面シミュレーションを実施する。

4.1.3.4 車線逸脱事故場面再現シミュレーションの動作確認

車線逸脱事故場面の再現は、指定した逸脱角（車線境界と車両の速度ベクトルとのなす角度）で逸脱するように車両の前輪舵角等の大きさを設定し実行する（図 4.1.3-35 参照）。本項で述べる、シミュレーションでは、半径（80,120,230[m]）の円周道路上で、指定または乱数発生した逸脱角度となるよう車両の初期値を設定して実行し、道路側方に配置した障害物への衝突の有無を確認した。その際の事故要因としては、脇見、操舵量誤り等を扱っている。また、事故を軽減するための自動運転システムとしては、車線逸脱警報システム、逸脱防止支援システムを設定した。

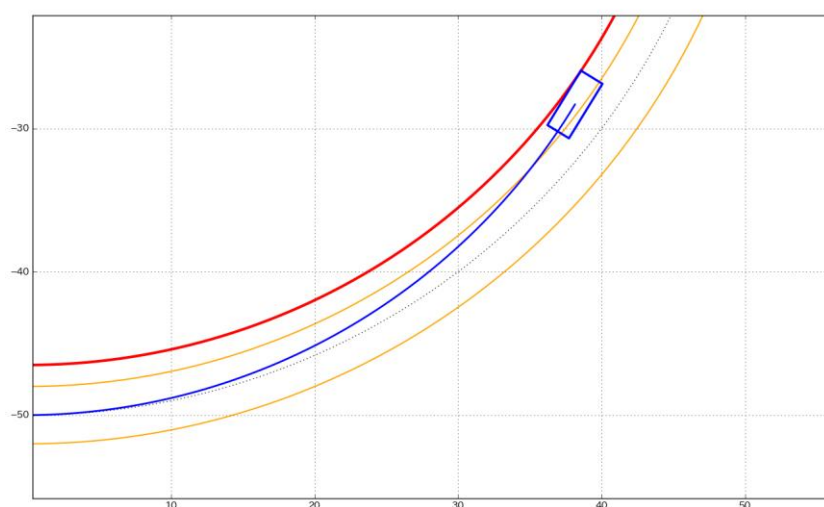


図 4.1.3-35 車線逸脱事故シミュレーションの概要

(1) 車線逸脱事故場面再現ンシミュレーション試行条件

①道路環境

有限長の道路（円の一部、直線+円（J型またはU型））の道路の始点の車線中心位置から、道路の終点（=到達目標位置）まで一台ずつ車両エージェントを走らせる。

②ドライバ属性：5パターン

法遵守傾向：A（3段階）、運転スキル：B（3段階）、情報処理能力：C（3段階）、意識水準：D（5段階）から以下の5パターンを設定

[A,B,C,D] = [1,1,1,1]、[2,2,2,2]、[2,2,2,3]、[2,2,2,4]、[3,3,3,3]

不良 ←-----→ 平均 ←-----→ 優良

③ドライバエラー：4パターン

正常、強制脇見、操舵量誤り-過大（100[%]超）、操舵量誤り-不足（100[%]未満）

④安全システム：3パターン

安全システムなし、車線逸脱警報システム有り、
逸脱防止支援システム有りの3通り

⑤逸脱角度と障害物：100パターン

逸脱角度と障害物までの距離を乱数発生させる。100パターン

逸脱角度の分布は次項にて発生させる。逸脱角度は中間値をとる。（表 4.1.3-13 参照）

表 4.1.3-13 逸脱角度と障害物

逸脱方向	左方向 (N=38)						右方向 (N=42)					
逸脱角度[°]	-30~	-25~	-20~	-15~	-10~	-5~	~5	~10	~15	~20	~25	~30
件数	0	2	3	2	11	20	17	11	10	2	1	1
頻度[%]	0	3	4	3	14	25	21	14	13	3	1	1
累積頻度[%]	100	100	95	87	82	53	40	67	90	95	98	100

障害物までの距離は、ITARDA 累積分布データに従い生成する。

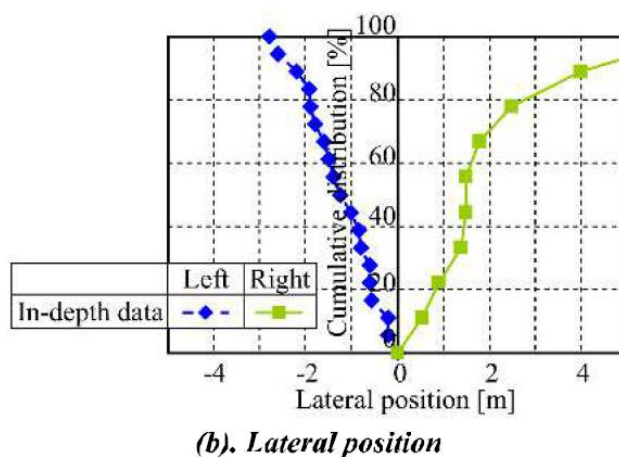


図 4.1.3-36 障害物までの距離（ITARDA より）

⑥総試行パターン数

カーブ方向 右/左 (2 パターン) × 道路半径 (3 パターン) ×
 ドライバ属性 (5 パターン) × 安全システム (3 パターン) ×
 ドライバエラー (4 パターン) × 歩行者までの逸脱角度・距離 (100 パターン)
 =36,000 通り の組み合わせにて逸脱の試行を行う。

(2) プログラムで使用した入力データ

(1) ⑤で定義された分布に従い、表 4.1.3-14 に示すようにデータを発生し
 試行を実施した。

表 4.1.3-14 プログラムで生成した逸脱角度と障害物までの距離

総計			方向・半径[m]					
			L080	L120	L230	R080	R120	R230
逸脱角度「°」	左方向	27.5	0	0	0	0	0	0
		22.5	360	360	360	360	360	360
		17.5	360	360	360	360	360	360
		12.5	120	120	120	120	120	120
		7.5	660	660	660	660	660	660
		2.5	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500	1,500
	右方向	2.5	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020	1,020
		7.5	780	780	780	780	780	780
		12.5	840	840	840	840	840	840
		17.5	120	120	120	120	120	120
		22.5	120	120	120	120	120	120
		27.5	120	120	120	120	120	120

総計			方向・半径[m]					
			L080	L120	L230	R080	R120	R230
障害物までの距離「m」	左方向	3.0	120	120	120	120	120	120
		2.7	180	180	180	180	180	180
		2.4	120	120	120	120	120	120
		2.1	360	360	360	360	360	360
		1.8	540	540	540	540	540	540
		1.5	300	300	300	300	300	300
		1.2	240	240	240	240	240	240
		0.9	720	720	720	720	720	720
		0.6	120	120	120	120	120	120
		0.3	300	300	300	300	300	300
	右方向	0.5	180	180	180	180	180	180
		1.0	420	420	420	420	420	420
		1.5	840	840	840	840	840	840
		2.0	600	600	600	600	600	600
		2.5	60	60	60	60	60	60
		3.0	300	300	300	300	300	300
		3.5	180	180	180	180	180	180
		4.0	60	60	60	60	60	60
		4.5	300	300	300	300	300	300
		5.0	60	60	60	60	60	60

(3) 統計情報出力

表 4.1.3-15、表 4.1.3-16 に車線逸脱事故の事故件数の集計を示す。
また、図 4.1.3-37 に統計グラフを示す。

表 4.1.3-15 車線逸脱：相対速度別事故件数集計

総計		システムなし	LDW	LKA
発生パターン		12,000	12,000	12,000
事故発生件数		4,997	3,658	2,669
事故平均相対速度 [km/h]		59.5	57.7	60.7
事故平均逸脱角度[°]		13.0	16.1	19.1
相対速度[km/h]別 事故件数	10以下	0	0	0
	10超 20以下	0	0	0
	20超 30以下	0	0	0
	30超 40以下	580	498	249
	40超 50以下	740	597	372
	50超 60以下	1,385	1,078	765
	60超	2,292	1,485	1,283

表 4.1.3-16 車線逸脱：逸脱角度別事故件数集計

総計			システムなし	LDW	LKA
発生パターン			12,000	12,000	12,000
事故発生件数			4,997	3,658	2,669
事故平均相対速度 [km/h]			59.5	57.7	60.7
事故平均逸脱角度[°]			13.0	16.1	19.1
逸脱 角度「°」	左 方 向	27.5	0	0	0
		22.5	720	720	714
		17.5	686	686	674
		12.5	145	143	103
		7.5	330	132	0
		2.5	700	176	0
	右 方 向	2.5	476	119	0
		7.5	390	160	0
		12.5	844	816	480
		17.5	226	226	220
		22.5	240	240	238
		27.5	240	240	240

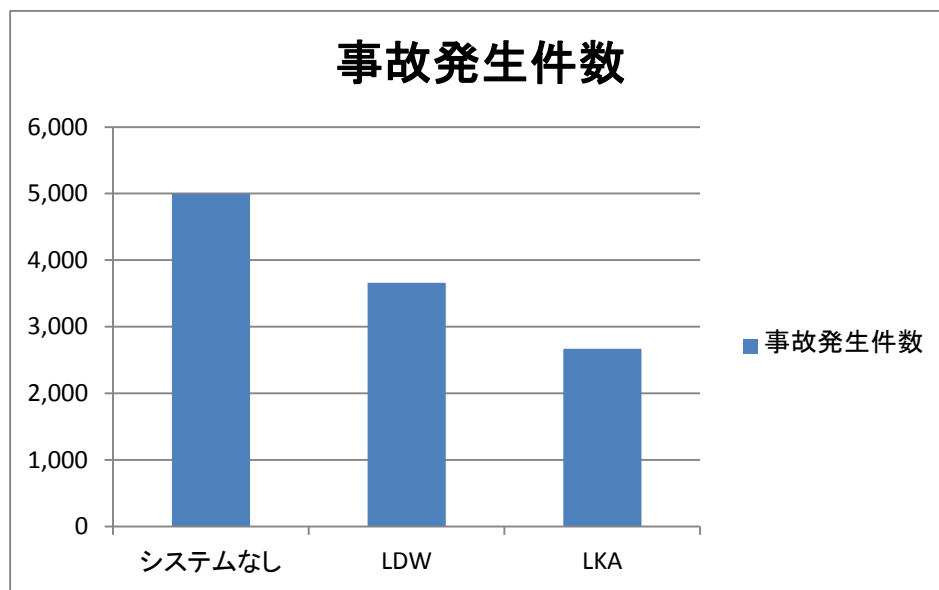


図 4.1.3-37 自動走行システムによる車線逸脱事故低減効果

(4) 車線逸脱事故場面再現シミュレーション試行結果

車線逸脱事故場面再現シミュレーションの試行において、自動走行システムなし、車線逸脱警報システム、逸脱防止支援システムの事故発生件数の低減を確認した。機能検証については、車両の動作モデルを別計算し、シミュレーション本体で出されるログ情報の出力結果と比較して一致していることを確認した。

4.1.3.5 事故発生要因の組み込み方法

平成 28 年度開発の交通事故詳細低減効果シミュレーションでは、(1)眠気モデルの追加、(2) 脇見モデルの修正、(3) 速度超過のモデルの追加、(4) 操舵の判断量・操作量の誤りの追加を行った。なお、衝突回避に必要な減速度の判断誤り、操作誤りに関しては平成 27 年度事業の開発内容を使用する。

(1) 眠気モデル

- ・ 正常 S0、眠気 S1、居眠り S2 の 3 段階を設定可能とする。
- ・ 脇見（後述）の指定と合わせて同時に眠気の指定をすることはできない。
- ・ 正常 S0 は、知覚・認識、判断の周期をデフォルト値 0.1[s]（平成 27 年度事業同様に可変）とし、眠気 S1 は、知覚・認識、判断の周期を正常 S0 の 10 倍とする（可変、この周期を眠気時周期と呼ぶ）。
- ・ 眠気 S1 の間は、ドライバ特性 D（意識水準）を"1"とし、正常 S0 に戻った時点で元の意識水準の値に戻す。
- ・ 正常時のドライバ特性 D（意識水準）が"1"であるドライバの場合、D=1 での 2 種類の乱数発生の内、良い方の値を正常時のドライバ特性 D（意識水準） "1"での値とする。
- ・ 居眠り S2 では、知覚・認識、判断を行わない。その際の前後方向の操作は、直前の操作を継続、等速、空走の 3 種から選択可能とする。
- ・ 居眠り S2 時の操舵は、操舵角維持、左に操舵、右の操舵の 3 種から選択可能。左/右に操舵を指定する場合は、角速度と最大角度を指定する（指定された角速度で指定された最大角度まで操舵）。
- ・ 直前の操作を継続の場合で、加速の処理を継続する場合はヴィーダーマン・モデルでの自由速度を上限とし、この速度となった時点で加速をやめて以後等速とする。（処理を継続となった時点で既に速度の上限値を超えている場合は等速とする。）また、減速の処理を継続する場合は、停止するまで減速操作を継続する。
加速/減速の処理継続でのジャークは、加速度/減速度勾配（AccGrad/DecGrad）を適用。
- ・ 等速または空走が指定されていても、停止している場合は、停止を維持する。
- ・ ドライバ毎に、①眠気モデル不使用、②強制眠気モデル（常に眠気 S1 など）、③時間指定眠気モデル（時刻 0 [s]からは S0、時刻 5.00[s]以降は S1 など）の 3 種を指定可能とする。
- ・ 自動運転システムの警報が発報した場合に、S2→S1、S2→S0、S1→S0 に遷移する確率を指定可能とし、警報 ON の間は眠気時周期毎に、この遷移（覚醒遷移と呼ぶ）を評価する。
警報 ON の間は、②強制眠気モデル、③時間指定眠気モデルで眠気 S1、居眠り S2 となっている場合に、警報 ON による覚醒の遷移を評価する。
- ・ 警報 ON により、S2→S1、S2→S0、S1→S0 へ覚醒する場合、復帰時間 τ [s]後に S1 または S0 に復帰するものとする。復帰時間 τ は、以下により計算する。

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

$f(\tau)$: 復帰時間[s]の分布（対数正規分布の確率密度関数）、
意識水準 D を元に算出された正規乱数定数（ $\mu = -0.49$ 、 $\sigma^2 = 0.44^2$ ） z から反応時間を計算する。

$$\tau = \exp(0.44 \times z - 0.49)$$

ここで、 τ の下限値は 0.1[s]とする。

なお、正規乱数定数は、眠気 $S1$ ($D=1$) に対応する z_2 を用いて計算する。

- ・時間指定眠気モデルで覚醒する場合（例えば、時刻 0 [s]からは $S1$ 、時刻 1.00[s]以降は $S0$ など）は、復帰時間なしに復帰する（この例では時刻 1.00[s]から正常となる）。

(2) 脇見のモデル

- ・上記の眠気のモデルと同様に脇見時の操作を下記とする。
脇見の時は、知覚・認識、判断を行わない。その際の前後方向の操作は、直前の操作を継続、等速、空走の 3 種から選択可能（居眠りの場合と異なる選択をすることも可）。
- ・脇見時の操舵に関して、操舵角維持、左への操舵、右への操舵の 3 種から選択可能。脇見で操舵が指定された場合は、左脇見の場合は左への操舵、右脇見の場合は右への操舵とする。左/右への操舵を指定する場合は、角速度と最大角度を指定する（指定された角速度で指定された最大角度まで操舵）。
- ・直前の操作を継続の場合で、加速の処理を継続する場合はヴィーダーマン・モデルでの自由速度を上限とし、この速度となった時点で加速をやめて以後等速とする。（処理を継続となった時点で既に速度の上限値を超えている場合は等速とする。）また、減速の処理を継続する場合は、停止するまで減速操作を継続する。
加速/減速の処理継続でのジャークは、加速度/減速度勾配（AccGrad/DecGrad）を適用。
- ・ドライバ毎に、①脇見モデルしない、②強制脇見モデル、③時間指定脇見モデル（時刻 5.00[s]~7.99[s]に脇見など）、④確率的脇見モデルの 4 種を指定可能とする。ただし、ドライバを乱数で発生させる場合は、①、②、④のみ指定可とする。
（②の場合は、“脇見しない／脇見する”の発生割合を指定可とする）
- ・自動運転システムの警報が発報した場合は、脇見から復帰する。
- ・自動運転システムの警報発報により、脇見から復帰する場合は、ドライバは反応時間 $RT[s]$ 後に脇見の状態から復帰するものとする。反応時間 RT は、以下により計算する。

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

$f(RT)$: 反応時間[s]の分布（対数正規分布の確率密度関数）、
意識水準 D を元に算出された正規乱数定数（ $\mu = -0.49$ 、 $\sigma^2 = 0.44^2$ ） z から反応時間を計算する。

$$RT = \exp(0.44 \times z - 0.49)$$

ここで、RT の下限値は 0.1[s]とする。

なお、正規乱数定数は、ドライバ特性 **D** により計算された z_1 を用いて計算する。

- ・時間指定脇見モデルから復帰する場合（例えば、時刻 0 [s]から脇見、時刻 1.00[s]以降は正常など）は、反応時間なしに復帰する（この例では時刻 1.00[s]から正常となる）。
- ・脇見の指定は、眠気の指定と合わせて同時に設定することはできない。

（3）速度超過のモデル

- ・ドライバ毎に速度超過 有/無 を指定可能。また、ドライバを自動発生する場合は、指定された速度超過有/無の確率に応じて、ドライバを生成する。
- ・ドライバは加減速を一切行わず、初期速度を維持して等速で走行する。
 - －直線道路において曲線道路進入速度に対する減速を行わない。
 - －追従モデル（ヴィーダーマン・モデル）での減速も行わない。自由速度への加速も行わない。
 - －歩行者に対する減速操作も行わない。
- ・前方注視モデルの操舵を行う。
- ・脇見、または眠気の指定と合わせての指定も可能とする。
 - －その際の前後方向の操作は、等速とする。
 - －その際の操舵操作は、脇見、眠気での指定に従う。（操舵角維持、左への操舵、右への操舵）
- ・強制的な操舵の判断量・操作量の誤りの指定と合わせての指定も可能とする。

（4）操舵の判断量・操作量の誤り

- ・強制的な操舵の判断量・操作量の誤り [%]を指定可能とする。（平成 28 年度は操舵に関しては強制的誤りのみとし、確率的な誤りは開発しない。）
- ・例えば、75[%]と指定がされた場合は常に前方注視モデルから求めた目標操舵量の 75[%]を目標値としたハンドル操舵角を出力し、150[%]と指定がされた場合は目標操舵量の 1.5 倍を目標値としたハンドル操舵角を出力する。
- ・強制的な操舵の判断量・操作量の誤りが指定された場合は、警報等によっても正常にはならない。
- ・判断誤りと操作誤りの双方が指定された場合は、双方の操作量割合を掛けたものを操舵の判断・操作量とする。

（1）～（4）で定義した事故要因をシミュレーションに追加、修正を実施した。

4.1.4 交通環境再現型のシミュレーションの動作確認

平成 28 年度の交通環境再現型シミュレーションは、開発済みの車両エージェントモデルを使用して、J/U 型の道路で複数車両を（指定したシミュレーション時間の間）走らせ続ける。複数車線、対向車線等の各車線に車両エージェントを走らせられる。ただし、車線変更は行わない。

直線＋曲線道路で複数の車両エージェントが存在しシミュレーションが動作することを確認する。

(1) 道路環境

- ・有限長の直線道路＋半円の J 型（または U 型）道路とし、直線道路の中央付近の両側に歩道領域を配置する。
- ・ J 型道路の直線側、曲線側の双方から車両を走らせる。

(2) 車両

- ・普通車タイプ 1 種のみ
- ・全車エージェント動作とする。

(3) ドライバ

- ・予め決めておいたドライバ属性（性別、年齢、ドライバ特性 ABCD を使用）に従い生成しプールしておき、順次使用する。

(4) 自動走行システム

- ・平成 28 年度の動作確認においては非搭載とする。

(5) 事故要因

- ・平成 28 年度の動作確認においては事故要因は設定しない。

(6) 車両エージェントの発生

- ・(1) で定義した道路双方の端点からの車両発生間隔を対数正規分布に従い、車両エージェントを発生させ、次々に走行を開始させる。
- ・初期速度は全て一定。（一律道路の制限速度の値とする。）
- ・曲線側から走らせる車両エージェントは、ヨー角を曲線道路中央線の接線方向、前輪舵角等の初期設定は逸脱角度 0[°]となるように初期設定される。
- ・終端まで走行したらその車両エージェントを消滅させる。

(7) 交通環境再現型のシミュレーションの実行結果

曲線道路部を含めた追従モデル（ヴィーダーマン・モデル）、前方注視モデルによる曲線道路の操舵等が機能していることを、出力ログと GUI 出力結果により確認した。

図 4.1.4-1 に車両走行状況を示す。

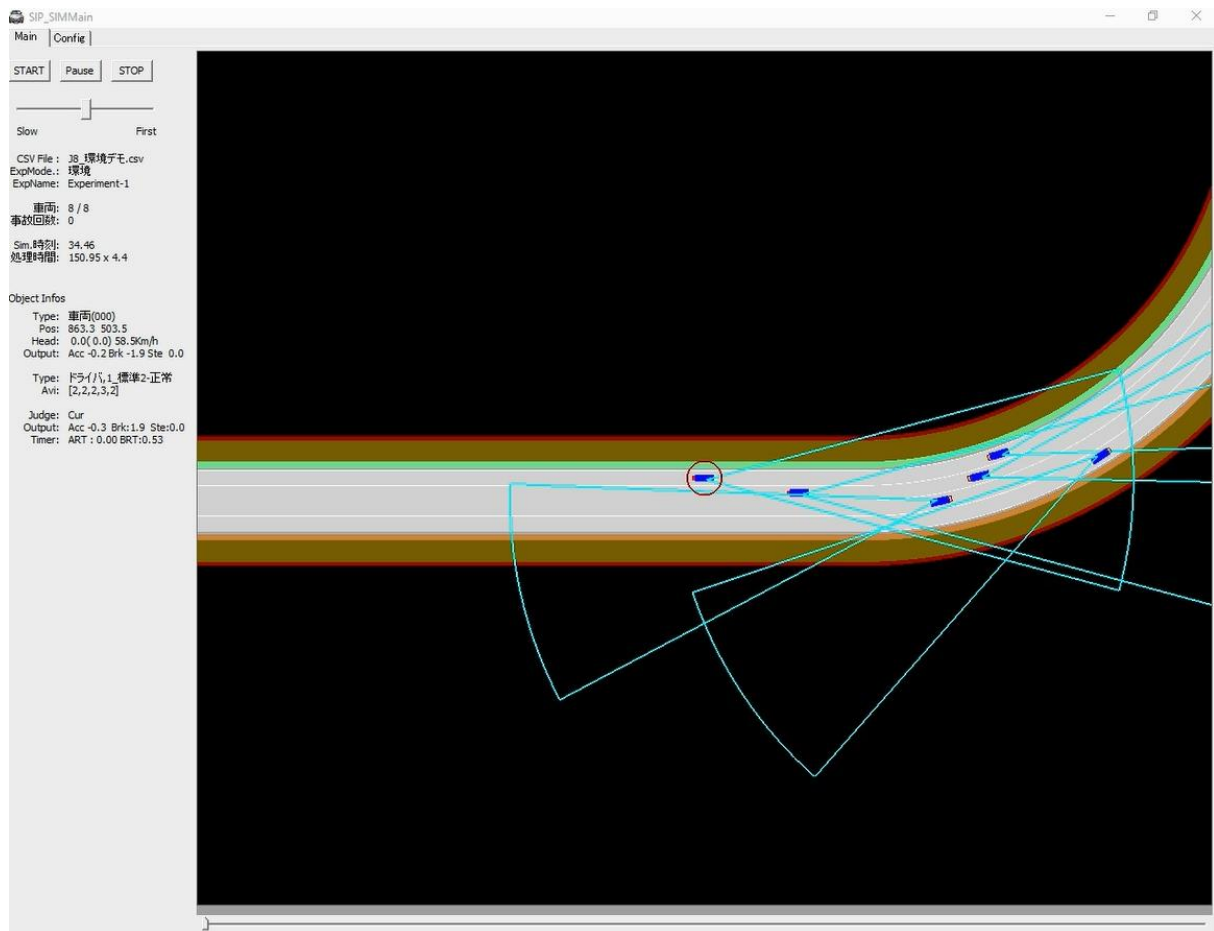


図 4.1.4-1 J 型道路における車両走行実行画面

4.1.5 交通環境再現型シミュレーションのシミュレーションインタフェース検討

図 4.1.5-1 に OEM ヒヤリングを実施して要求のあったインタフェースを示す。

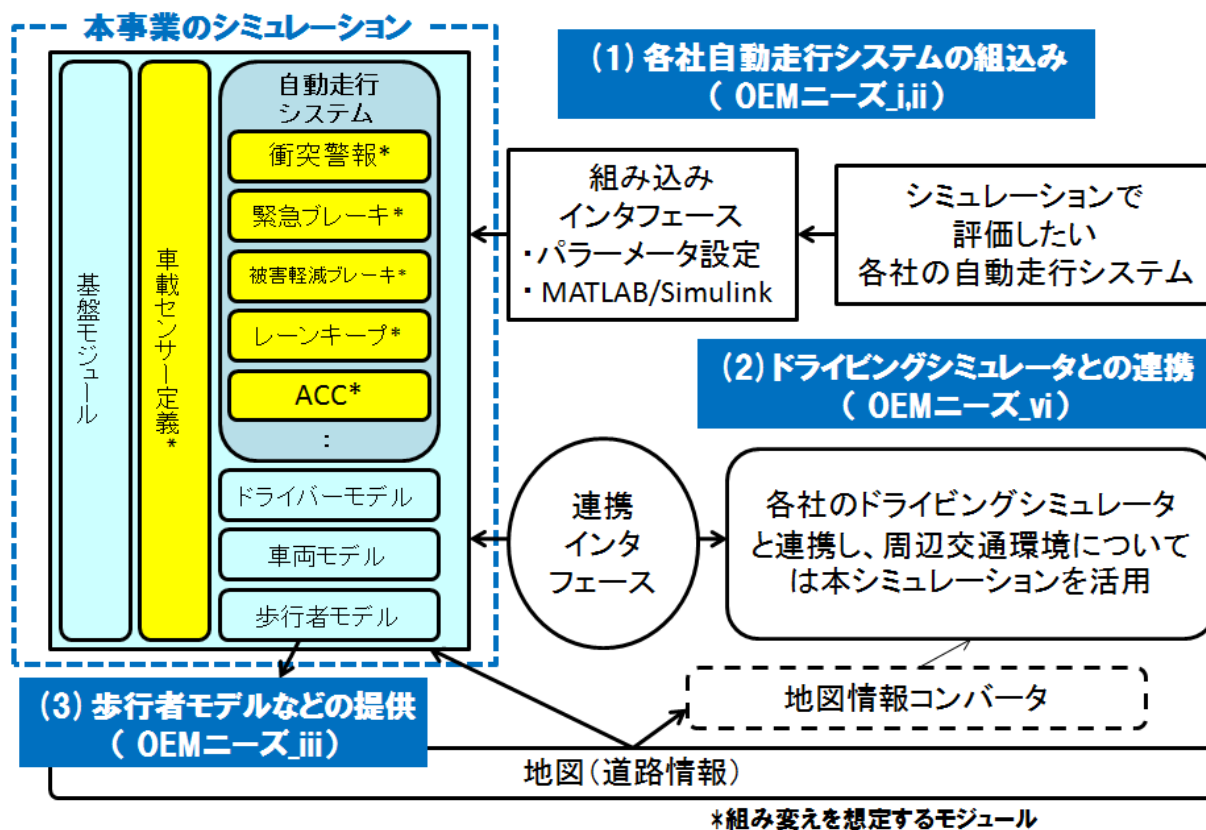


図 4.1.5-1 OEM より要望のあるインタフェース

平成 28 年度のシミュレーション開発においてシミュレーション本体と歩行者モデルに関しては、別プログラムとして作成を行った。これは、歩行者モデルの開発を東京理科大学に委託したためであり、プログラム開発の効率化を図るために日本自動車研究所が開発するプログラム本体に東京理科大が作成するプログラムが組み込めるようにインタフェースを定義し、個別に開発を実施した。歩行者モデルは OEM として活用したいモデルであり、今回定義したインタフェースが活用できないか検討する。図 4.1.5-2 に全体構成図を示す。

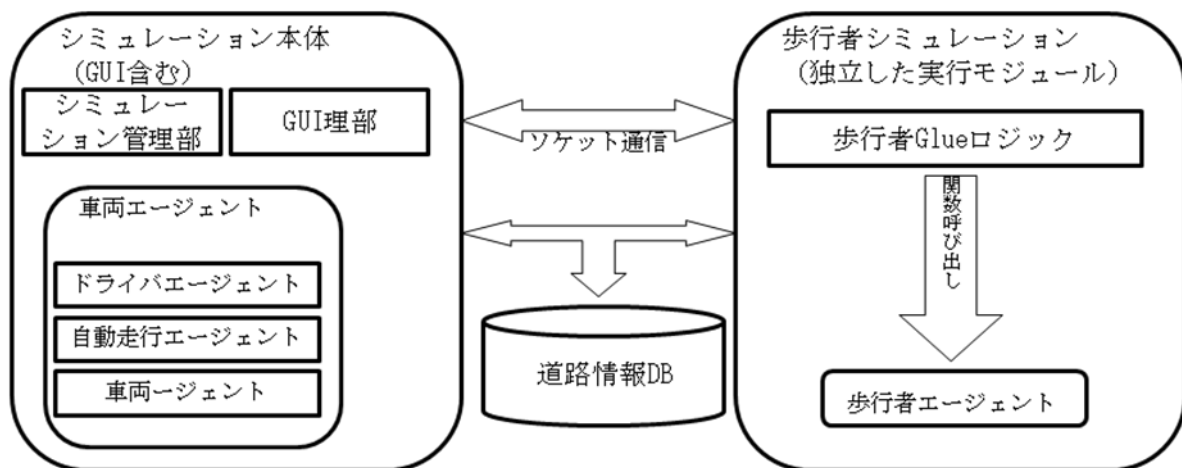


図 4.1.5-2 プログラムの全体構成図

上記、プログラム開発を行う上で（１）共通仕様（２）関数呼び出しを使用したインタフェースを以下のように定めた。

（１）共通仕様

- ・文字列はすべて Shift-JIS を使用。
 - ・数値はすべて x86 プロセッサのバイトオーダー（リトルエンディアン）。 ネットワークオーダーは使用しない。
 - ・時刻は time_t 互換値に s 以下を小数点で加えたもの。(double サイズ 変換誤差に留意 シミュレーションの最小 Tick は 10ms time_t : UNIX,POSIX 規定値)。
 - ・整数値は特に書かれていなければ uint32_t（符号なし 32bit 値）。
 - ・角度は特に書かれていなければ rad 単位。
 - ・座標は (X,Y,Z) m で現し。東西が X（東が+）、南北が Y（北が+）、標高が Z（山の上は+）、ただし平成 28 年度は Z=0 固定とする。
- 角度を使う場合、東が 0 度。CCW 精度は double とする。（シミュレーション本体の内部演算は float で実行）
- ・速度（ベクトル）は m/s 単位。方向は座標系に準拠する。

（２）関数呼び出しを使用したインタフェース

平成 28 年度開発交通事故低減詳細効果シミュレーションにおいては、歩行者の挙動をサポートする実行モジュールを歩行者シミュレーションと呼ぶ。（図 4.1.5-2 全体構成図参照）歩行者シミュレーションは内部に歩行者 Glue ロジックと歩行者エージェント機能を持つ。

以下に歩行者 Glue ロジックの機能を示す

- ・シミュレーション本体と歩行者シミュレーションの間はソケット通信で情報のやり取りを行う。ソケット通信部をカバーするのが歩行者 Glue ロジック。
- ・歩行者 Glue ロジックはソケット通信の結果、必要に応じてパラメータを生成して歩行者

エージェントの関数を呼び出す。歩行者 Glue ロジックは歩行者エージェントからの戻り値を使用し、ソケット通信でシミュレーション本体に回答を送信する。

- ・ソケット通信部分を含む歩行者 Glue ロジックは日本自動車研究所が東京理科大学に供給する。歩行者 Glue ロジックは、ソケット通信、歩行エージェントの各関数の呼び出しを行う。

- ・歩行者エージェントはすべて歩行者 Glue ロジックが呼び出す。

図 4.1.5-3 にシミュレーション実行時の歩行者エージェント呼び出し手順を示す。

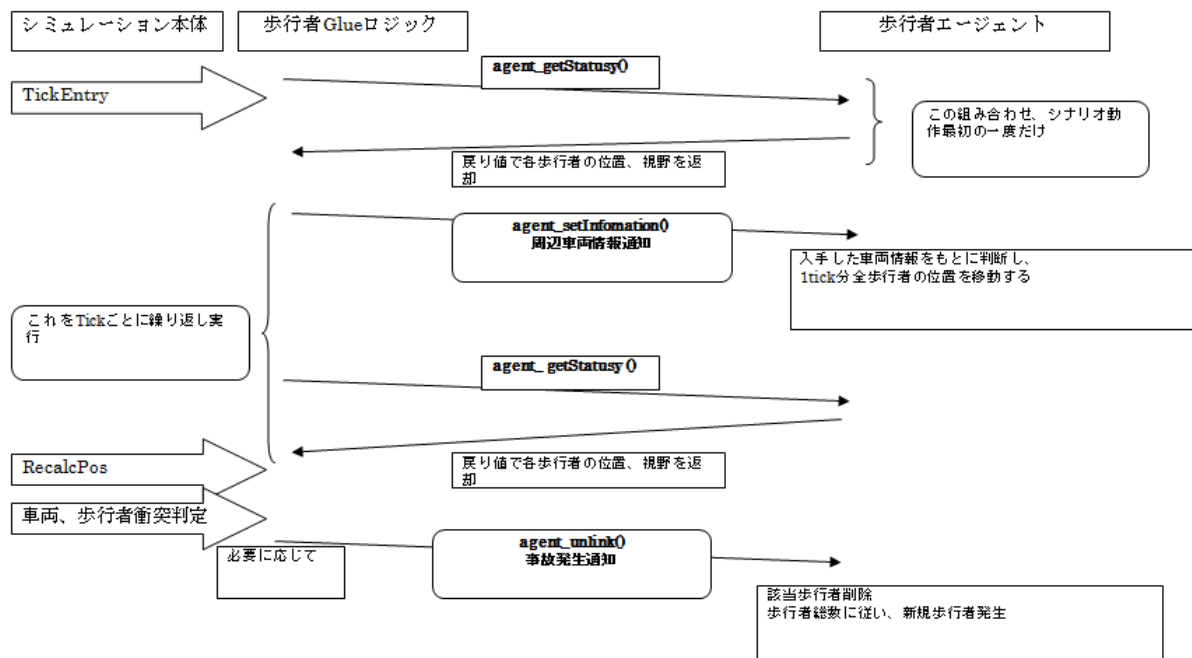


図 4.1.5-3 シミュレーション本体、歩行者 Glue ロジックと歩行者エージェント

上記のように平成 28 年度は、歩行者エージェントを別関数として定義、プログラム通信（ソケット通信）を介して情報のやり取りを行いながら、シミュレーションを実行した。

歩行者エージェントを別プログラムとした場合でも、地図情報を共有しシミュレーション本体と歩行者エージェント間で車両、歩行者の情報を相互にやり取りするインタフェースを定義することでシミュレーションを構築できることを確認した。

4.1.6 まとめ

平成 28 年度交通事故低減詳細効果シミュレーションの開発においては、シミュレーションの本体機能の開発として、

- ・ 全体制御を行うシミュレーション管理モジュールの開発
 - ・ 歩行者横断、車線逸脱事故場面に対応するための車両エージェントモジュールの開発
 - ・ 交通参加者に歩行者を登場させるための、歩行者エージェントモジュールの開発
 - ・ 対応する道路構造追加による、道路情報管理モジュールの開発
 - ・ 対応する事故場面追加による、ログ（統計情報を含む）出力モジュールの開発
- を実施した。

シミュレーションの周辺機能の開発として、

- ・ シミュレーションの入出力、実行を盛業するシミュレーション GUI 機能の開発
 - ・ 直線、曲線、J 字道路、U 字道路を生成するための道路エディタの開発
 - ・ 事故発生時の傷害程度を判断する傷害評価モジュール使用に関する考察
- を実施した。

交通事故低減詳細効果シミュレーションにおける事故再現技術の開発として、

- ・ 歩行者の道路横断時の事故に対応する歩行者横断事故再現の開発
 - ・ 曲線（直線を含む）道路での事故に対応する車線逸脱事故再現の開発
 - ・ 新たな事故要因（居眠り）に対応した事故発生要因の組み込み
- を実施した。

開発した各エージェントモデルを使用することによって、交通環境再現シミュレーションが動作できることを確認した。

また、シミュレーション開発において歩行者モデルを独立したプログラムとして作成するためシミュレーション本体と歩行者モデル間のインタフェースを検討した。

以上のことより平成 28 年度作成の交通事故低減詳細効果シミュレーションでは、交通参加者に新たに歩行者を加え、道路構造に曲線を含む複数車線での交通流再現と事故場面再現を行うことが可能となった。

4.2 交通参加者の行動モデルの構築

本シミュレーションの対象である事故場面（「追突」「車線逸脱」「歩行者横断」）に関連する参加者の行動を構築するため、「ドライバ（車両）」、「歩行者」、「自転車」の3つの参加者のモデル化を検討する。

4.2.1 交通参加者の行動モデルを構成する機能の全体設計

4.2.1.1 ドライバの行動モデル

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およ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¹⁰⁾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）および視野角（見えている範囲）、視距離（見えている距離）を模擬することができ、視覚からの情報を取得することができる機能である。

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阻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、およ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捨選択した結果として認知すると考えられるため、シミュレーション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およ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、フィードバックおよ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)も行えるような構造とする。

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およ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およ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）」）の考え方およ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。

(1) 再現した歩行者の基本歩行モデル

① 出現位置と目標位置が与えられる。(入力またはランダム)

- ② 歩行者の自由移動速度は歩行者生成時に歩行者属性としてランダムに生成される。
- ③ 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。
- ④ 道路横断が必要な場合、横断開始位置を横断が必要な区間内でランダムに決まる。
- ⑤ 道路の横断が必要な場合、横断角をランダムに決定する。

各アルゴリズムの設定方法を以下に示す。

- ① 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とする。

- ### ② 自由步行速度

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。

- ### ③ 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 4.2.1-1 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。

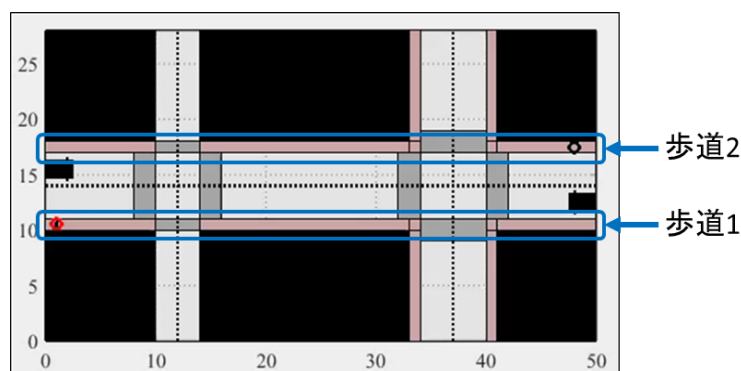


図 4.2.1-1 作成した道路

- ④ 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 4.2.1-2 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 0.1[m]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。

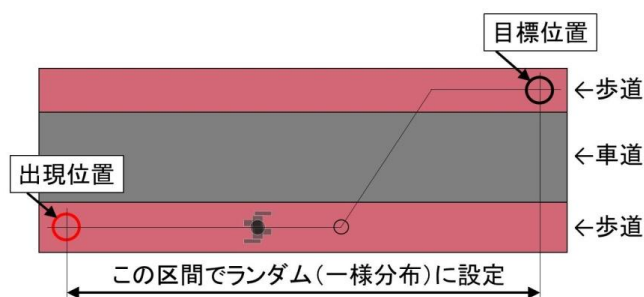


図 4.2.1-2 横断開始位置

⑤ 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 4.2.1-3 に示す。開始後 5[s]付近で歩行者が道路横断を開始しており、10[s]付近で横断を完了している。さらに、10～15[s]付近では横断歩道を渡っている様子が確認できる。

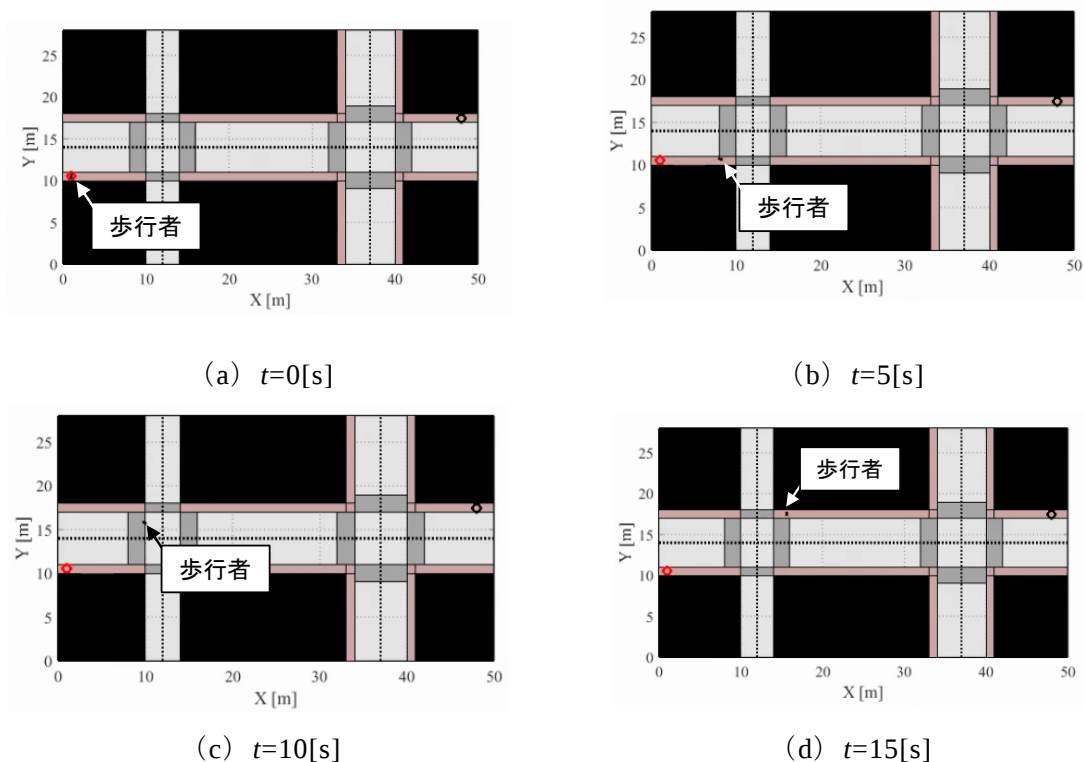


図 4.2.1-3 基本歩行シミュレーションの様子

4.2.2 事故場面に特有の交通参加者の行動の再現方法の検討・構築

柚原¹¹⁾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¹²⁾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4.2.2-1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ること
- (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。

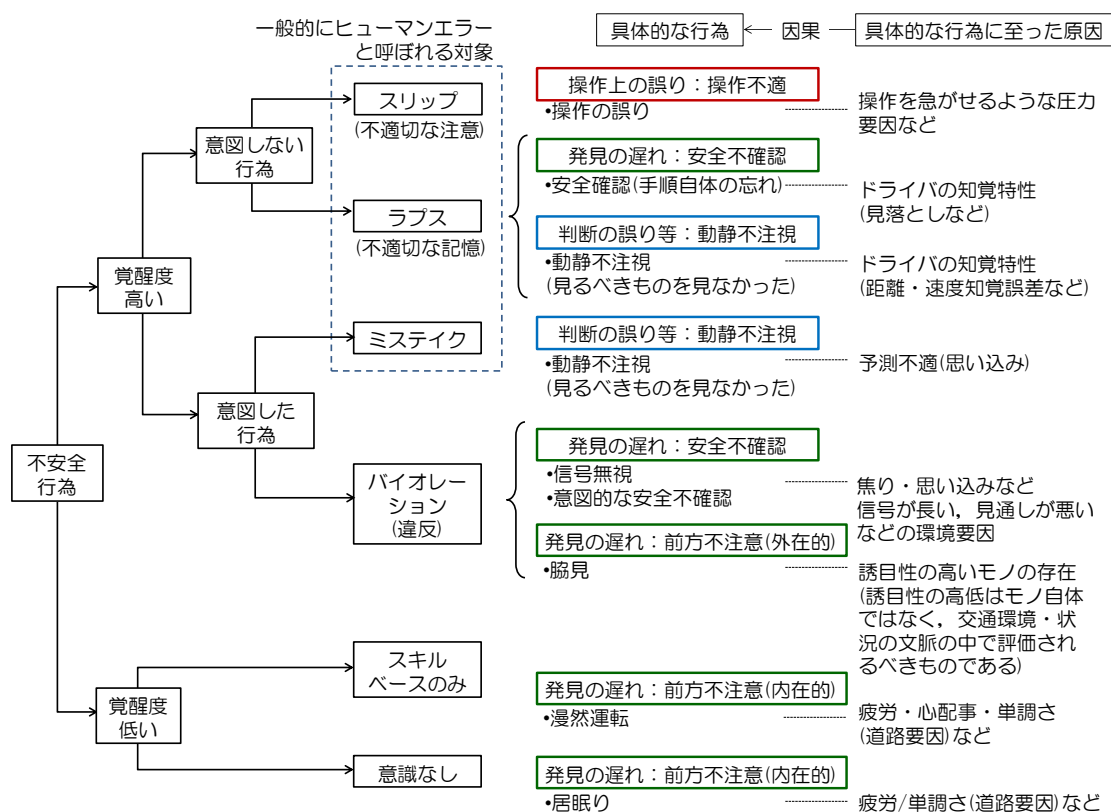


図 4.2.2-1 ドライバエージェントにおいて実装対象となる人的要因と様々な背景要因

本事業において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。

4.2.2.1 車線逸脱場面における交通参加者の行動の再現

(1) 集計条件

車線逸脱場面の集計条件を表 4.2.2-1 に示す。

表 4.2.2-1 集計条件（車線逸脱場面）

集計年	1	2011～2015
損傷程度	3	死亡、重傷、軽傷
車種区分	2	乗用、貨物
地形	3	市街地(人口集中)、市街地(その他)、非市街地
道路線形	3	直線、一般交通の場所、カーブ(右・左)
運転者年齢層	2	非高齢(64歳以下)、高齢(65歳以上)
速度規制	5	30以下、40以下、50以下、60以下、60超・速度規制なし
行動類型	1	直進
危険認知速度	7	30km/h以下(停止中含む)、40km/h以下、50km/h以下、60km/h以下、70km/h以下、80km/h以下、80km/h超
人的要因	14	安全確認なし、安全確認不十分、 居眠り運転(内在的)、漫然運転(内在的:居眠り運転以外)、 脇見運転(外在的:テレビ・ナビ・カセットテープ・携帯電話・その他)、 脇見運転(外在的:運転に関係ない車内の脇見)、 脇見運転(外在的:運転に関わる車内の脇見)、 脇見運転(外在的:運転に関係ない車外の脇見)、 脇見運転(外在的:運転に関わる車外の脇見)、 動静不注視、予測不適、交通環境、操作上不適、その他・調査不能

(2) 集計結果

車線逸脱場面において、事故を起こしたドライバの人的要因を分析した。人的要因についてはさらに、年齢層別、地形、道路線形等に細分して詳細分析した。

① 危険認知速度の特徴

年齢層別の危険認知速度の構成割合を図 4.2.2-2 に示す。年齢層の構成割合としては、非高齢が 769 件に対し、高齢が 385 件である。危険認知速度をみると、非高齢では 60[km/h]超の割合が 50[%]を超えている。一方、高齢の 60[km/h]超の割合は 20[%]未満であり、非高齢の危険認知速度が明らかに高い傾向がある。

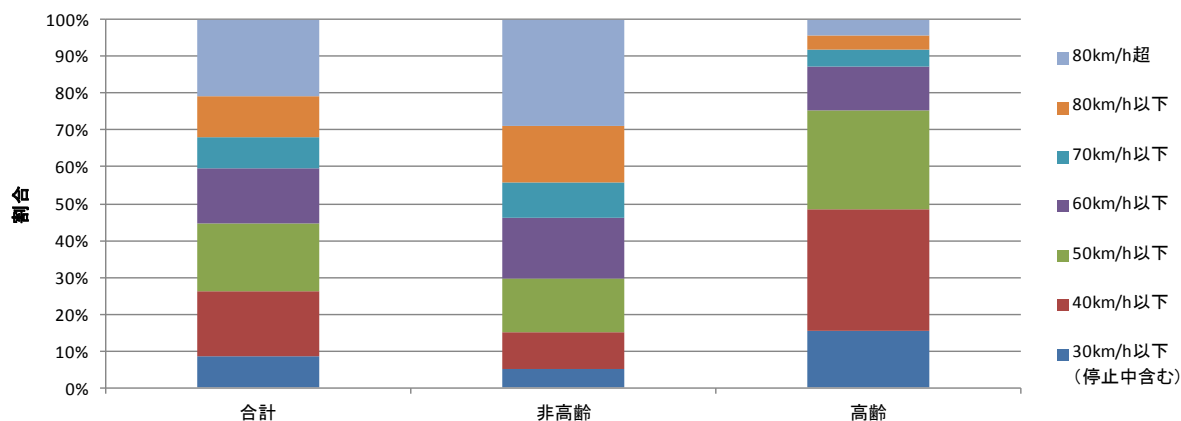


図 4.2.2-2 年齢層別危険認知速度の構成割合

② 人的要因の特徴

年齢層別の人的要因の構成割合を図 4.2.2-3 に示す。年齢層にかかわらず、「操作上不適」が最も多く、50～60[%]を占めている。次いで、「漫然運転（内在的：居眠り運転意外）」が多く、10～20[%]を占めている。

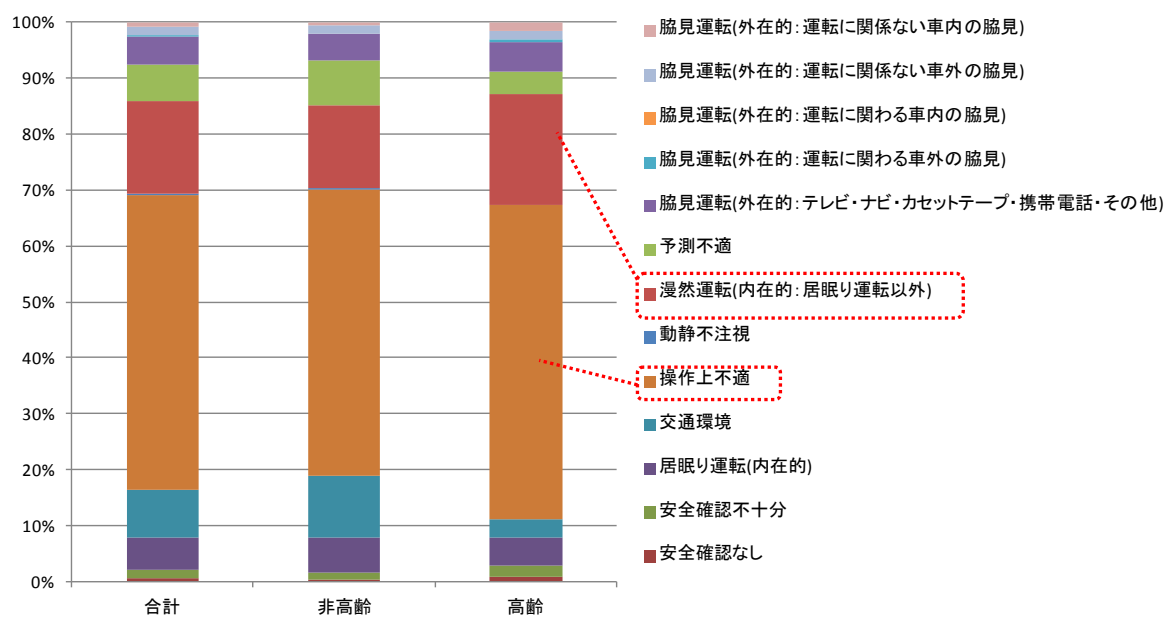


図 4.2.2-3 年齢層別人的要因の構成割合
(調査不能を除く)

地形別人的要因の構成割合を図 4.2.2-4 に示す。それぞれの件数は、市街地（その他）が 159 件、市街地（人口集中）が 120 件、非市街地が 875 件であった。地形別にみても人的要因の構成割合に大きな違いはみられない。道路線形別の人的要因の構成割合を図 4.2.2-5 に示す。それぞれの件数は、直線 536 件、カーブ（右／左）が 618 件であった。道路線形別にみても人的要因の構成割合に大きな違いはみられない。

以上の結果から、車線逸脱場面におけるドライバーは、「操作上不適」、「漫然運転（内在的：居眠り運転意外）」をモデル化する必要があることがわかった。また、これらのエラーは地形や道路線形といった交通環境の影響は少ないと考えられるため、シミュレーションのドライバモデルに実装するエラーとしては、ドライバパラメータと関連付けて設定することが有効であると考えられる。

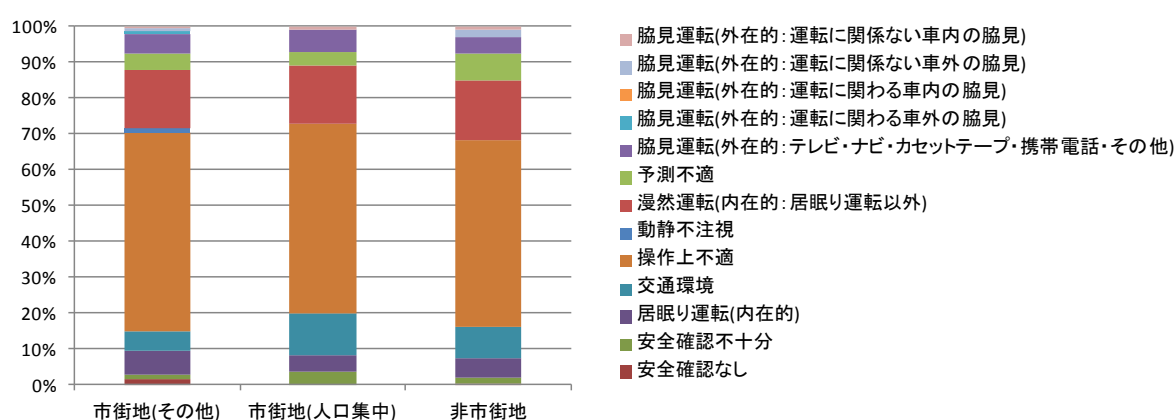


図 4.2.2-4 地形別人的要因の構成割合
(調査不能を除く)

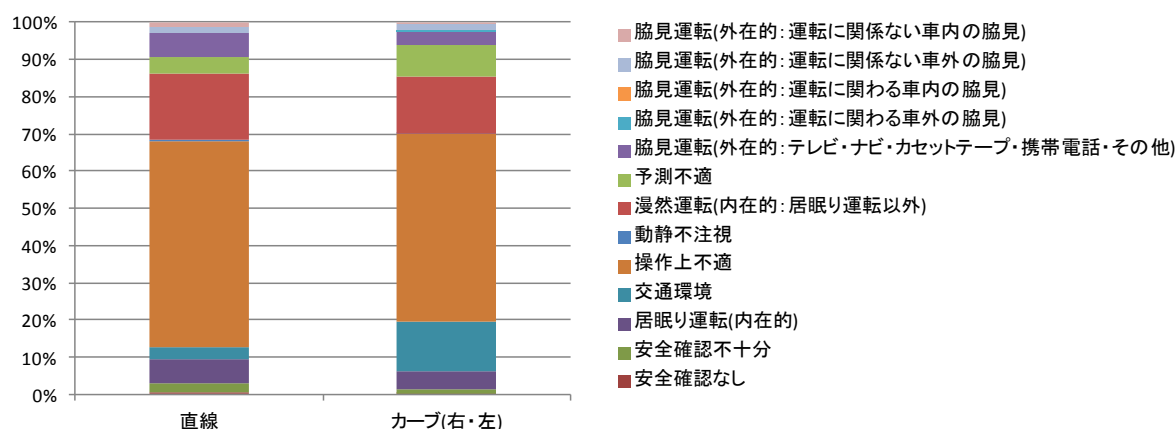


図 4.2.2-5 道路線形別人的要因の構成割合
(調査不能を除く)

4.2.2.2 歩行者横断場面における交通参加者の行動の再現（ドライバ）

(1) 集計条件

歩行者横断場面におけるドライバの人的要因の集計条件を表 4.2.2-2 に示す。

表 4.2.2-2 集計条件（歩行者横断場面：ドライバ側）

集計年	1	2011～2015
損傷程度(歩行者)	3	死亡、重傷、軽傷
車種区分	2	乗用、貨物
地形	3	市街地(人口集中)、市街地(その他)、非市街地
運転者年齢層	2	非高齢(64歳以下)、高齢(65歳以上)
速度規制	5	30以下、40以下、50以下、60以下、60超・速度規制なし
行動類型	1	直進
危険認知速度	7	30km/h以下(停止中含む)、40km/h以下、50km/h以下、60km/h以下、70km/h以下、80km/h以下、80km/h超
人的要因(ドライバ)	14	安全確認なし、安全確認不十分、 居眠り運転(内在的)、漫然運転(内在的:居眠り運転以外)、 脇見運転(外在的:テレビ・ナビ・カセットテープ・携帯電話・その他)、 脇見運転(外在的:運転に関係ない車内の脇見)、 脇見運転(外在的:運転に関わる車内の脇見)、 脇見運転(外在的:運転に関係ない車外の脇見)、 脇見運転(外在的:運転に関わる車外の脇見)、 動静不注視、予測不適、交通環境、操作上不適、その他・調査不能
当時者種別	2	1当、2当
中央分離帯等・歩車道区分	5	中央線あり・歩車道区分あり、中央線あり・歩車道区分なし、 中央線なし・歩車道区分あり、中央線なし・歩車道区分なし、 その他

(2) 集計結果

歩行者横断場面において、事故を起こしたドライバの人的要因を分析した。人的要因についてはさらに、年齢層別、地形、道路線形等に細分して詳細分析した。

①危険認知速度の特徴

年齢層別の危険認知速度の構成割合を図 4.2.2-6 に示す。年齢層の構成割合としては、非高齢が 1,304 件に対し、高齢が 221 件である。危険認知速度をみると、非高齢では 50[km/h]以下で 50[%]を占めている。一方、高齢は 40[km/h]以下で 50[%]を超えており、高齢の危険認知速度が低い傾向が見られる。

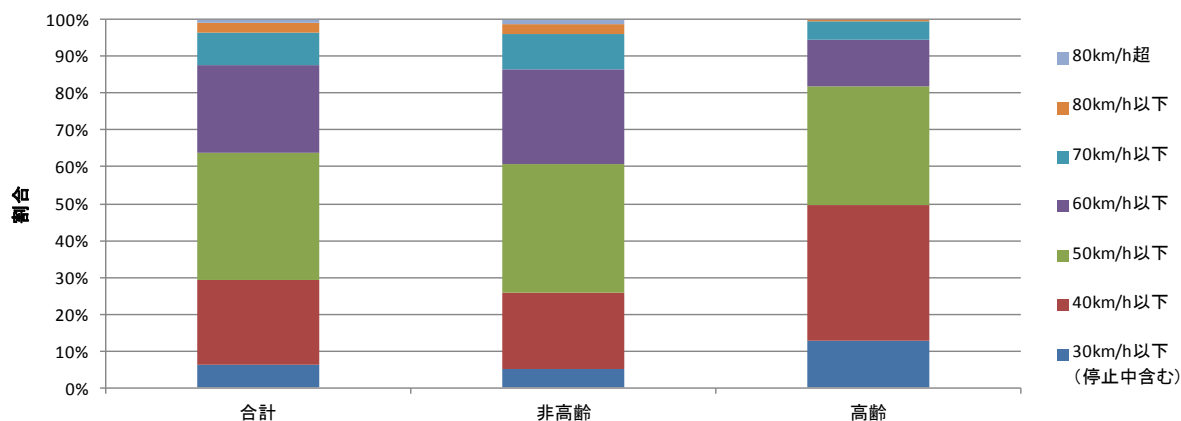


図 4.2.2-6 年齢層別危険認知速度の構成割合

②人的要因の特徴

年齢層別の人的要因の構成割合を図 4.2.2-7 に示す。年齢層にかかわらず、「脇見運転（外在的の合計）」が最も多く、40[%]を占めている。次いで、「漫然運転（内在的：居眠り運転以外）」が多く、40[%]を占めている。年齢別にみると順位が前後するもの要因は見られるものの、主要な二つの要因が大半を占める傾向は共通している。

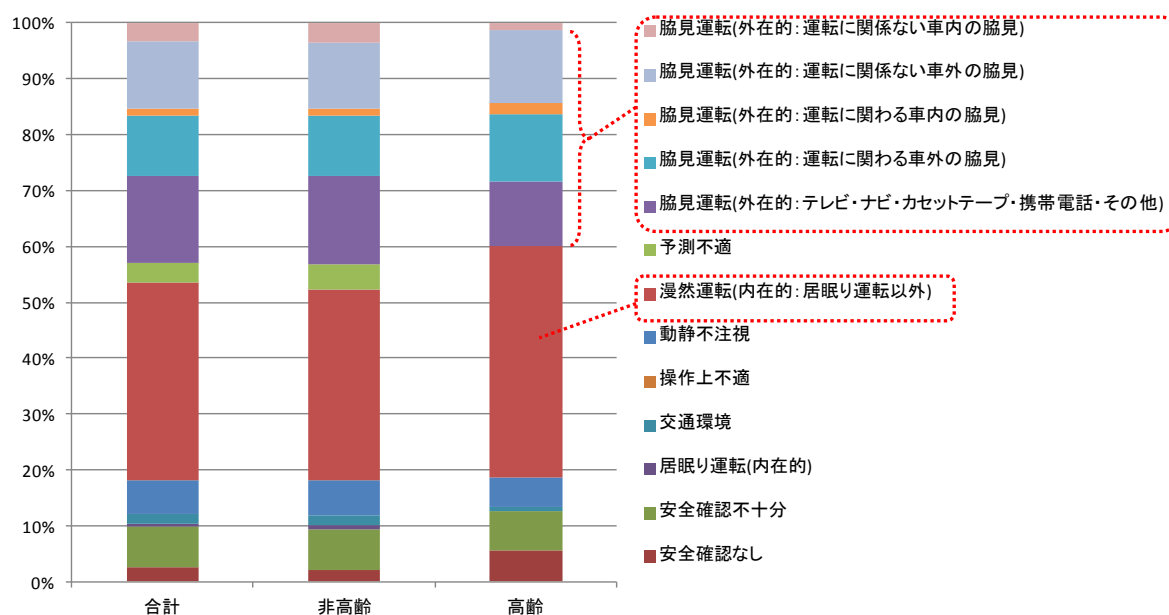


図 4.2.2-7 年齢層別人的要因の構成割合
(調査不能を除く)

地形別の人的要因の構成割合を図 4.2.2-8 に示す。それぞれの件数は、市街地（その他）459 件、市街地（人口集中）が 409 件、非市街地が 607 件であった。地形別にみても人的要因の構成割合に大きな違いはみられない。次に、中央分離帯・歩車道区分別の人的要因の構成割合を図 4.2.2-9 に示す。それぞれの件数は、「中央線あり・歩車道区分あり」が 1,163 件であり、「中央線あり・歩車道区分なし」56 件、「中央線なし・歩車道区分あり」69 件、「中央線なし・歩車道区分なし」30 件であった。人的要因の構成割合をみると歩車道区分の有無によって「漫然運転」と「脇見運転」の構成率に違いが見られる。これは、シミュレーションを実施する際のドライバーをどのように発生させるかを検討する場合の参考となる特徴といえる。

以上の結果から、歩行者横断場面におけるドライバーは、「脇見運転(外在的の合計)」、「漫然運転(内在的：居眠り運転意外)」をモデル化する必要があると分かった。また、これらのエラーは地形や道路線形といった交通環境の影響は少ないと考えられるため、シミュレーションのドライバモデルに実装するエラーとしては、ドライバパラメータと関連付けて設定することが有効であると考えられる。

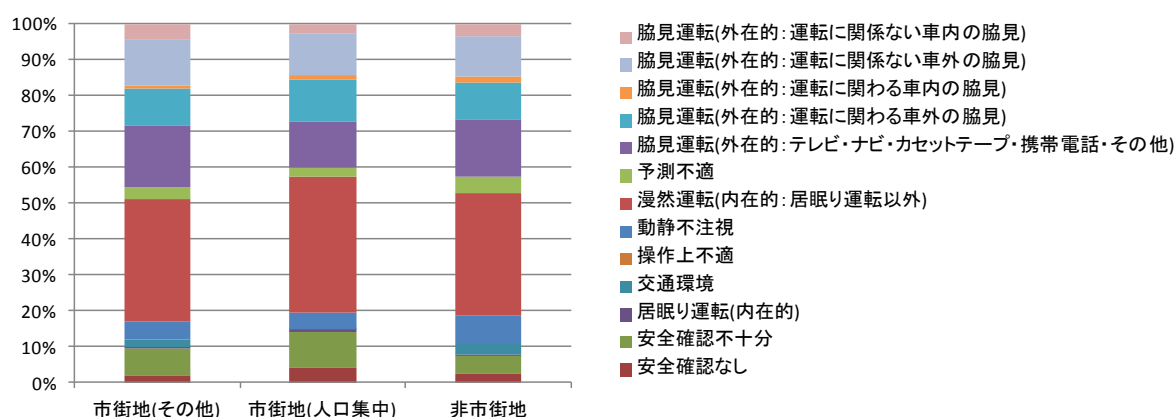


図 4.2.2-8 地形別人的要因の構成割合
(調査不能を除く)

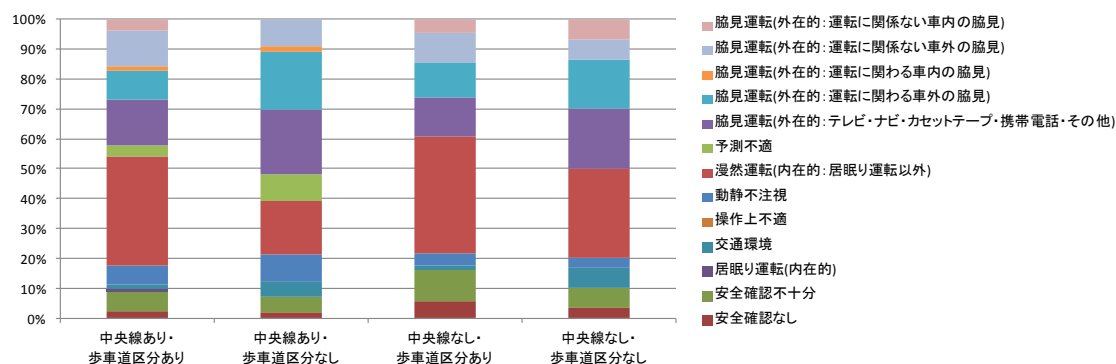


図 4.2.2-9 中央分離帯等・歩車道区分別人的要因の構成割合
(調査不能を除く)

4.2.2.3 歩行者横断場面における交通参加者の行動の再現（歩行者）

（1）集計条件

歩行者の人的要因に関する集計条件を表 4.2.2-3 に示す。

表 4.2.2-3 集計条件（歩行者横断場面：歩行者側）

集計年	1	2011～2015
中央分離帯等・歩車道区分	5	中央線あり・歩車道区分あり、中央線あり・歩車道区分なし、中央線なし・歩車道区分あり、中央線なし・歩車道区分なし、その他
年齢層	3	子供(15歳以下)、非高齢(16歳以上64歳以下)、高齢(65歳以上)
自宅からの距離	6	100m以下、1km以下、2km以下、2km超、500m以下、調査不能・対象外当事者
地形	3	市街地(人口集中)、市街地(その他)、非市街地
人的要因(歩行者)	13	安全確認なし、安全確認不十分、健康状態不良、人的要因なし、前方不注意(その他、漫然歩行)、前方不注意(雨衣、傘で視界不良)、前方不注意(遊びに夢中・仕事に熱中)、前方不注意(脇見・雑談をしていた)、判断の誤り(その他)、判断の誤り等(相手がルールを守る、譲ってくれると思った)、判断の誤り等(相手の速度感覚を誤った)、保護者等の不注意、その他・調査不能
飲酒運転	2	歩行者飲酒、その他
行動類型	1	直進

（2）集計結果

歩行者横断場面において、事故を起こした歩行者の人的要因を、年齢層別、自宅からの距離に細分して詳細分析した。なお、当事者種別を「第2当事者」に絞って分析を行った。

①自宅からの距離の特徴

図 4.2.2-10 に自宅からの距離の分析結果を示す。高齢と子供は 500[m]以下で 50[%]を占めており、非高齢に比べて行動範囲が自宅周辺であることが多いものと推察される。

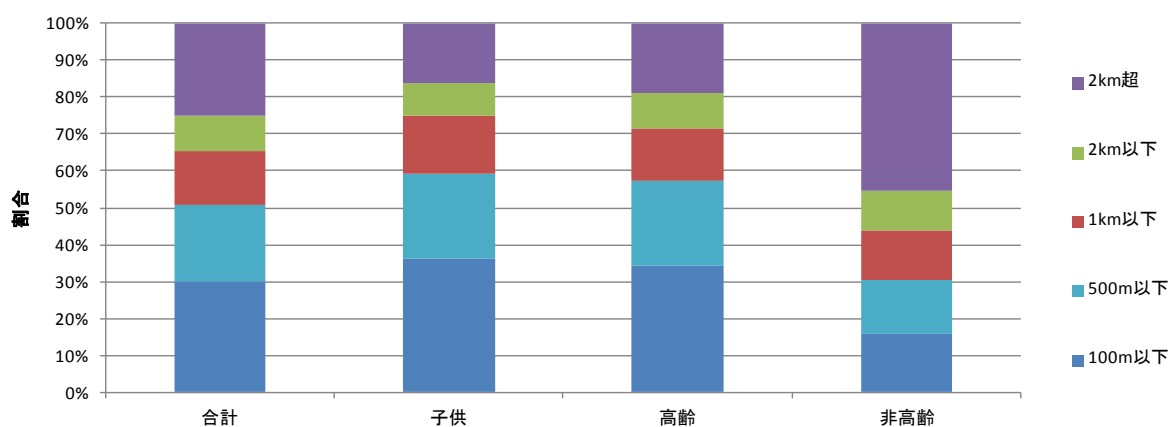


図 4.2.2-10 年齢層別自宅からの距離の構成割合

②人的要因の特徴

年齢層別の人的要因の構成割合を図 4.2.2-11 に示す。高齢の歩行者においては、「安全確認不十分」が最も多く、次いで「人的要因なし」が多い。一方、子供の歩行者は「安全確認なし」が最も多い。また、子供の特徴として、「保護者等の不注意」が多いことが挙げられる。非高齢の歩行者の場合は、子供ほどではないが、「安全確認なし」が高齢よりも高い傾向がある。

高齢の歩行者は、子供や非高齢の歩行者に比べて「安全確認なし」の割合が小さく、「安全確認不十分」や「判断の誤り」の割合が大きい傾向が見られる。このことから、高齢の歩行者は安全確認をする意図はあっても、そのときの安全確認や横断判断においてエラーを起こしやすい特徴があると解釈でき、シミュレーションで再現する場合に参考となる特徴であるといえる。

以上の結果から、歩行者の人的要因は年齢層によって異なる傾向があると考えられる。そのため、シミュレーションではドライバの年齢層に応じた歩行者エラーに関する行動をモデル化することが有効であると考えられる。

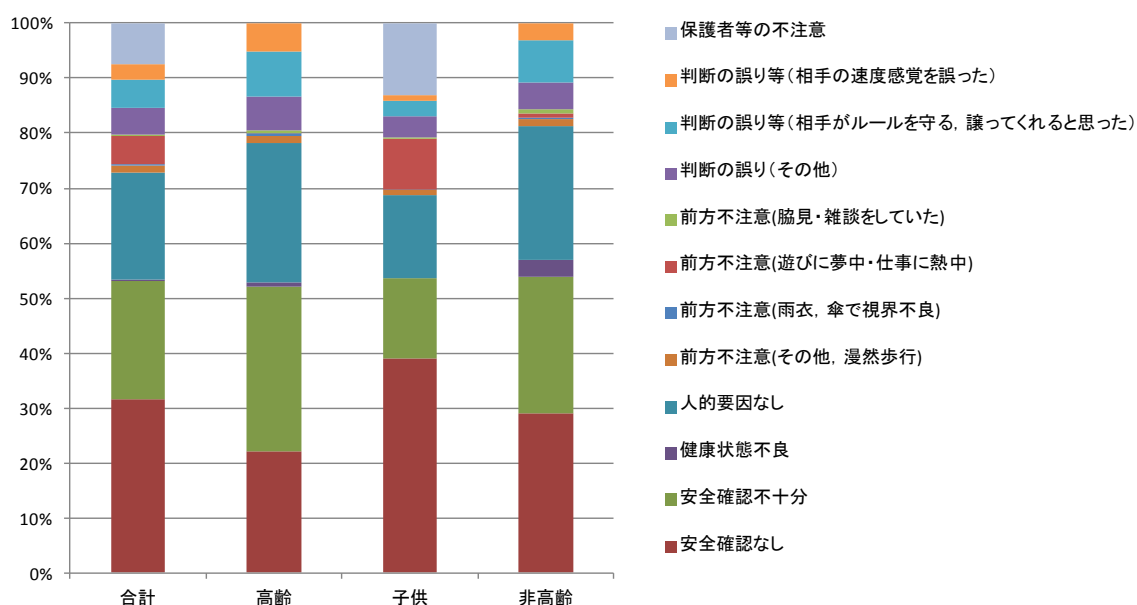


図 4.2.2-11 年齢層別人的要因の構成割合
(調査不能を除く)

4.2.3 まとめ

平成 28 年度の開発する事故場面である車線逸脱事故場面、歩行者横断事故場面において再現する必要性の高い行動・危険状態を明確にするための交通事故統計データに基づいて人的要因に関する分析を行い、以下のような特徴を把握した。

(1) 車線逸脱事故場面に特有のドライバの行動・危険状態の選定

車線逸脱場面における危険認知速度は、高齢者よりも非高齢者の方が明らかに高い傾向があった。また、人的要因は年齢層に関わらず「操作上不適」が最も多く、次いで「漫然運転」が多かった。これらの人的要因は地形別や道路線形別によって大きく異なることはなく、シミュレーションで再現する優先度が高い対象であることが分かった。

(2) 歩行者横断場面に特有のドライバの行動・危険状態の選定

歩行者横断場面における危険認知速度は、車線逸脱事故と同様に非高齢者の方が高い傾向がある。また、人的要因は年齢層に関わらず「脇見運転」と「漫然運転」が多く、この二つの要因でおよそ 80[%]を占めている。地形別では割合に違いは見られなかったが、歩行環境に着目すると歩車道区分の有無によって「脇見運転」と「漫然運転」の割合が異なる傾向が見られ、ドライバエラーを再現する際に参考とすべき特徴である。

(3) 歩行者横断場面に特有の歩行者の行動・危険状態の選定

高齢・子供の歩行者は、非高齢に比べて自宅からの距離が短い傾向があり、生活圏の歩き慣れている道で事故に遭遇している傾向があると考えられる。また、人的要因は高齢歩行者の「安全確認不十分」、非高齢・子供の「安全確認なし」が多かった。高齢者は「判断の誤り」についても他の年齢層よりも高い傾向があることも分かった。これらの特徴より、高齢の歩行者は安全確認を行う意図はあるものの、不十分な安全確認や不適切な判断の結果として事故に遭いやすい特徴があると考えられる。一方、非高齢・子供の歩行者は安全確認そのものを省略して横断して事故に遭いやすい特徴があると考えられる。これらの特徴は歩行者のエラーを再現する際に参考とすべき特徴である。

4.3 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 4.3-1 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 4.3.1 で定義される指標によって低減効果を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はなく、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。

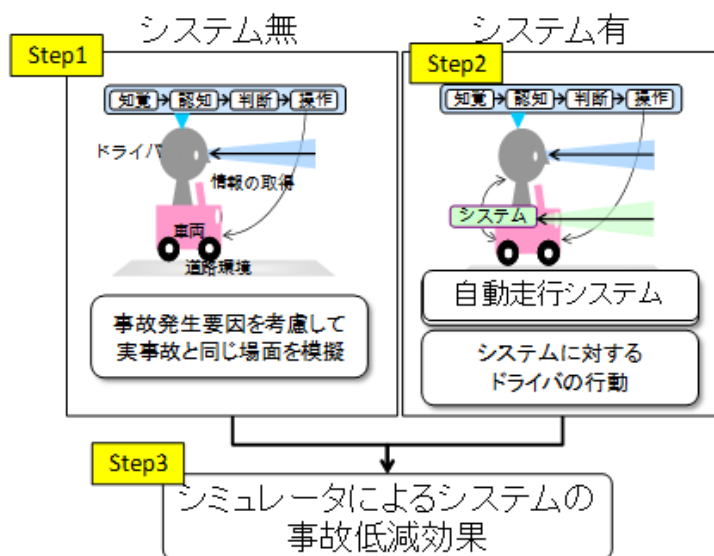


図 4.3-1 効果評価の考え方

$$E = 1 - \frac{N_w}{N_{wo}} \quad \text{式 4.3.1}$$

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 4.3-2 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²⁷⁾ など）と対比されているか

従って、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。

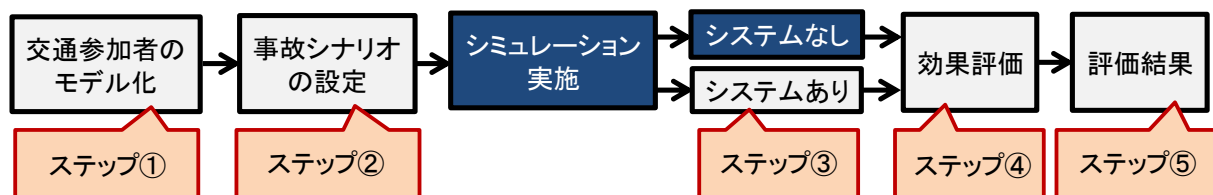


図 4.3-2 シミュレーション技術の妥当性を検証するための確認ステップ

4.3.1 シミュレーションの評価対象となる交通事故低減詳細効果の選定

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 4.3.1-1 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。

※衝突に伴うもの	※衝突に伴わないもの
・死者数の低減 ・負傷者数の低減 ・事故件数の低減	・ニアミス件数の低減 ・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

図 4.3.1-1 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 4.3.1-2 のような効果を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。

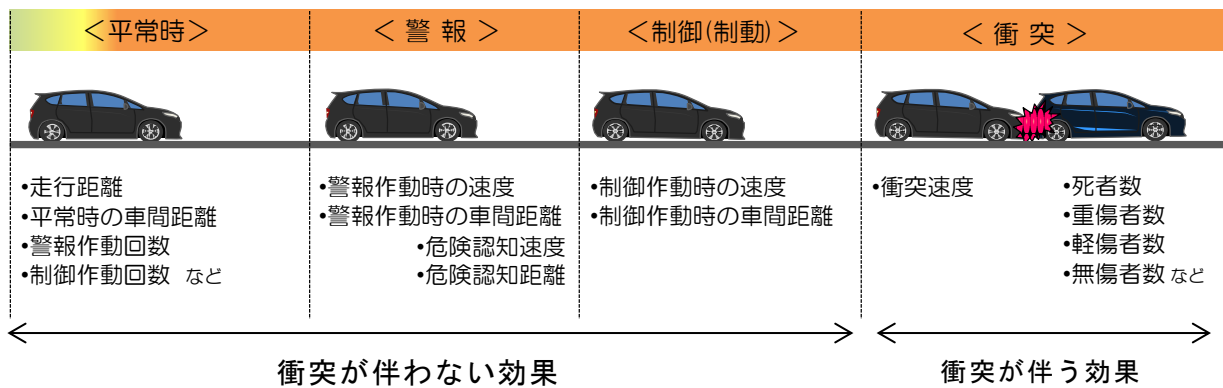


図 4.3.1-2 衝突が伴う効果と衝突が伴わない効果
(衝突被害軽減制動制御装置の例)

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。従って、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 4.3.1-3 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。

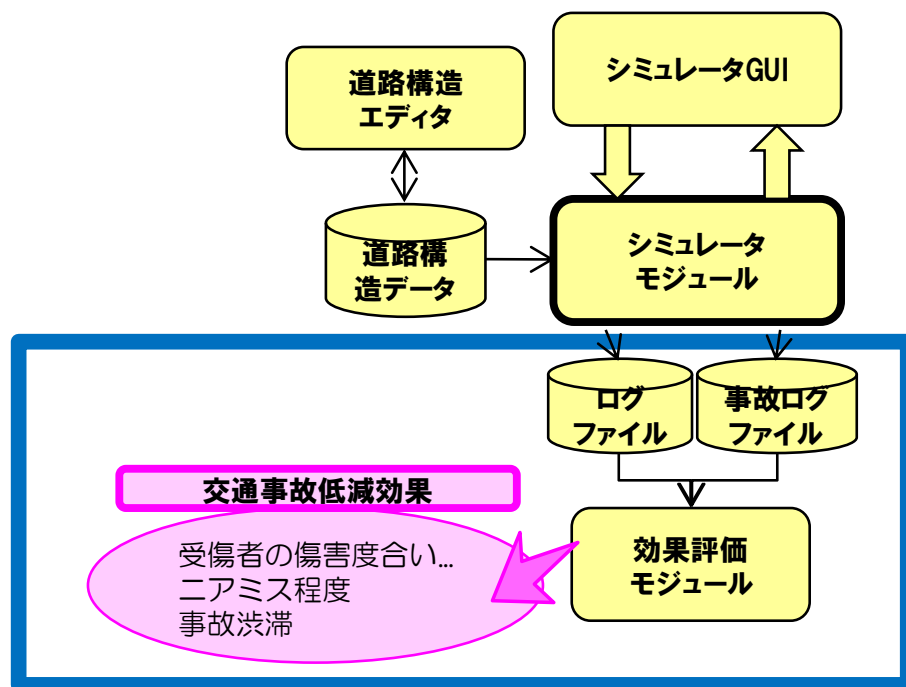


図 4.3.1-3 シミュレーション、ログファイル、効果評価モジュールの位置づけ

4.3.1.1 衝突が伴う交通事故低減詳細効果の評価

図 4.3.1-4 は、衝突が伴う交通事故低減詳細効果の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。

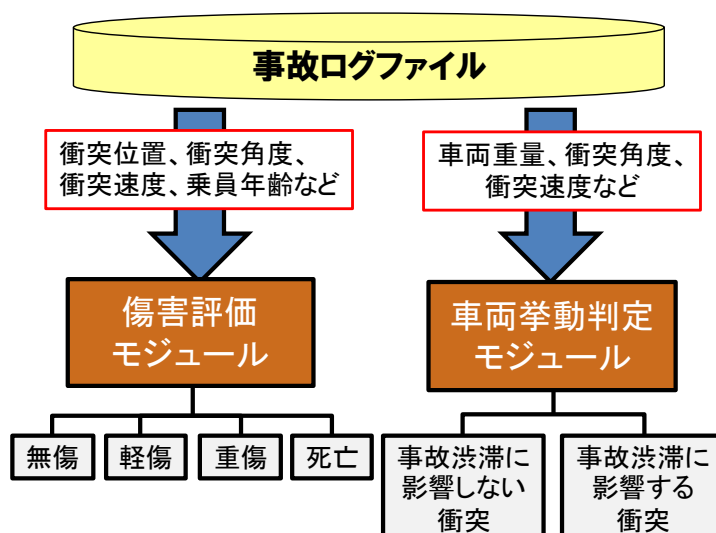


図 4.3.1-4 傷害評価モジュール・車両挙動判定モジュールの入出力関係

(1) 衝突速度の低減がもたらす効果の評価

ドライバに重度の危険状態が発生した場合に自動走行システムがない状態では全く対処できずに衝突していた事例が、自動走行システムがあることで衝突の回避には至らなくとも事前にシステムが作動することで衝突速度を低減する効果が期待される。

衝突速度の低減がもたらす効果として被害軽減効果が挙げられる。ただし、衝突速度の低減量のみで効果が判定できるわけではなく、衝突した車両の車種（車両重量）、衝突した角度や位置、乗員の年齢、ベルト装着の有無などの影響を考慮すべきである。従って、車両乗員（四輪、二輪、自転車）、歩行者の傷害を予測する方式のうち、妥当かつ最新の方式を採用することで被害軽減の観点で定量的な評価を行う。

(2) 負傷程度を緩和する効果の評価

衝突速度の低減がもたらす効果を評価することにより、自動走行システムがなければ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、軽傷であった事例が無傷になったりする効果を評価できる。

また、自動走行システムが高度化していくことによって衝突速度の低減量がさらに拡大されることが期待できる。その結果、必ずしも死亡から重傷、重傷から軽傷のように1段階の負傷程度の緩和だけではなく、死亡から軽傷、死亡から無傷のような劇的に負傷程度を緩和できる効果も期待できる。システムの有無別の死者数の比較に基づく低減効果の評価を実施したうえ、負傷程度がどのように変化したかについても併せて評価することで算出した効果評価の妥当性を確認するためのデータとして活用することも可能である。

(3) 事故渋滞の発生件数を低減する効果の評価

衝突速度の低減がもたらす効果として被害軽減が第一に重要なものといえるが、その他にも期待できる効果がある。衝突速度の低減によって衝突時のエネルギーが低減され、その結果として衝突時の車両挙動の変化へ作用することが想定される。衝突時の条件によっては事故に関係した車両が後続車や交差車の通行の障害となる位置に停止することが想定され、中破や大破のように自走不能の場合には車両を移動することに時間が要する。その場合は事故が渋滞を引き起こすことになり、事故に関係していない車両の移動時間の遅延や二酸化炭素排出量の増加などのマイナスの影響が発生する。

そのため、システムの有無別の衝突条件（衝突速度、車両重量、衝突位置、衝突角度など）に基づく車両挙動を予測して、その衝突が後続車などの交通の障害となる状況が発生させるかどうか判別することが必要である。

4.3.1.2 衝突が伴わない交通事故低減詳細効果の評価

図 4.3.1-5 は、衝突が伴わない交通事故低減詳細効果の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する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[s]以上など)、中レベルのニアミス(1.0～2.5[s]など)、高レベルのニアミス(1.0[s]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¹³⁾、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にある。

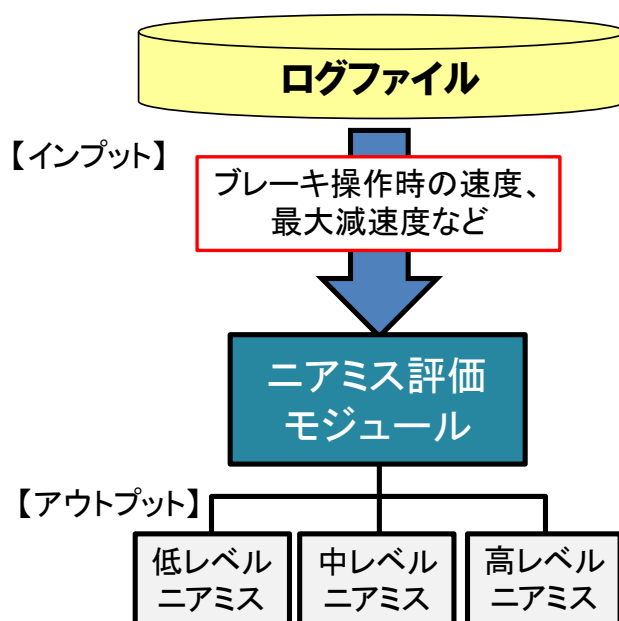


図 4.3.1-5 ニアミス評価モジュールの入出力関係

(1) 衝突回避のための操作量を低減する効果の評価

衝突を回避するためにはドライバ・システムともにブレーキ操作・ハンドル操作が主要な手段として想定される。危険であることを認識するタイミング（たとえば TTC）が遅いほど、回避するための手段は急激な操作を選択することが迫られる。その場合は急ブレーキや急ハンドルによって衝突を回避するが、危険であることを認識するタイミングを早期化することができれば、より穏やかな手段で衝突を回避できることにつながる。

被害軽減効果の評価と同様に、衝突回避効果の評価においても単純にシステム有無別の事故件数の比較による低減数を評価するだけでなく、衝突を回避する手段としてどのようなブレーキ操作・ハンドル操作であったかというデータも複合することで衝突回避手段の性質も比較できるようになる。

(2) ニアミス件数を低減する効果の評価

システムがあることによって衝突を回避した事例数が事故件数の低減数として評価できる。システムが高度化することで衝突を回避できたうえに、回避のための手段がより穏やかになることが期待できる。この時、回避の手段が穏やかになるとともに衝突リスクも低減されることが考えられる。

回避の手段が穏やかになり、通常の操作（たとえば $1.96[\text{m/s}^2]$ 以下のブレーキ）によって衝突を回避できればニアミスが発生しなかった状況として評価できる。このような観点でシステムの有無別の事故件数・ニアミス件数を比較することができれば、システムがもたらす効果として事故件数の低減・ニアミス件数の低減を併せて評価できるものと考えられる。

(3) 衝突リスクを低減する効果の評価

危険な事象をさらに早期に検知してシステムが対処するような場合、その対処はもはや衝突を回避する手段としてではなく、通常に運転する手段として採用されたものになると考えられる。この場合は、事故件数といった観点で効果を比較・評価することは難しく、前述したニアミス件数のような観点で比較・評価する必要がある。

システムによってニアミスが発生しない状況も想定されるため、衝突リスクが発生する状況（たとえば先行車が減速をする状況）においてシステムによって衝突リスクがどのように推移したかを定量的に把握することができれば、通常の場合のように衝突リスクを低減する効果が得られたものとして評価できる。

上記のような観点は将来的な自動走行システムの効果評価を実施するさいの観点となるものと考えられるが、シミュレーションを開発する段階で予め想定しておくことが重要である。

4.3.2 交通事故低減詳細効果の定量化のための評価モジュール要件の明確化

交通事故低減詳細効果の見積もるためには、前項で述べたような効果がシミュレーションによって定量的に評価されることが求められる。「安全」という観点であれば事故件数、や死傷者数などが該当し、「環境」という観点であれば事故渋滞件数などが該当する。

それぞれの効果を定量化するためには、シミュレーションで直接評価されるものだけではなく、シミュレーションで得られた結果を用いて評価モジュールを介して評価するものの双方が考えられる。たとえば、事故渋滞に関する評価を行うためには、それぞれの事故の衝突条件から衝突後に道路上でどのような状態になるかを把握することが必要である。この把握を行うためには事故時の車両挙動を判定した結果に基づいて事故渋滞への影響の有無を判定する評価モジュールが必要である。

このように、シミュレーションの評価対象としている効果に関する妥当なロジックと定量化手法について検討する。

4.3.2.1 負傷程度の緩和の定量化手法の検討

本シミュレーションにおいて、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4.3.2-1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。

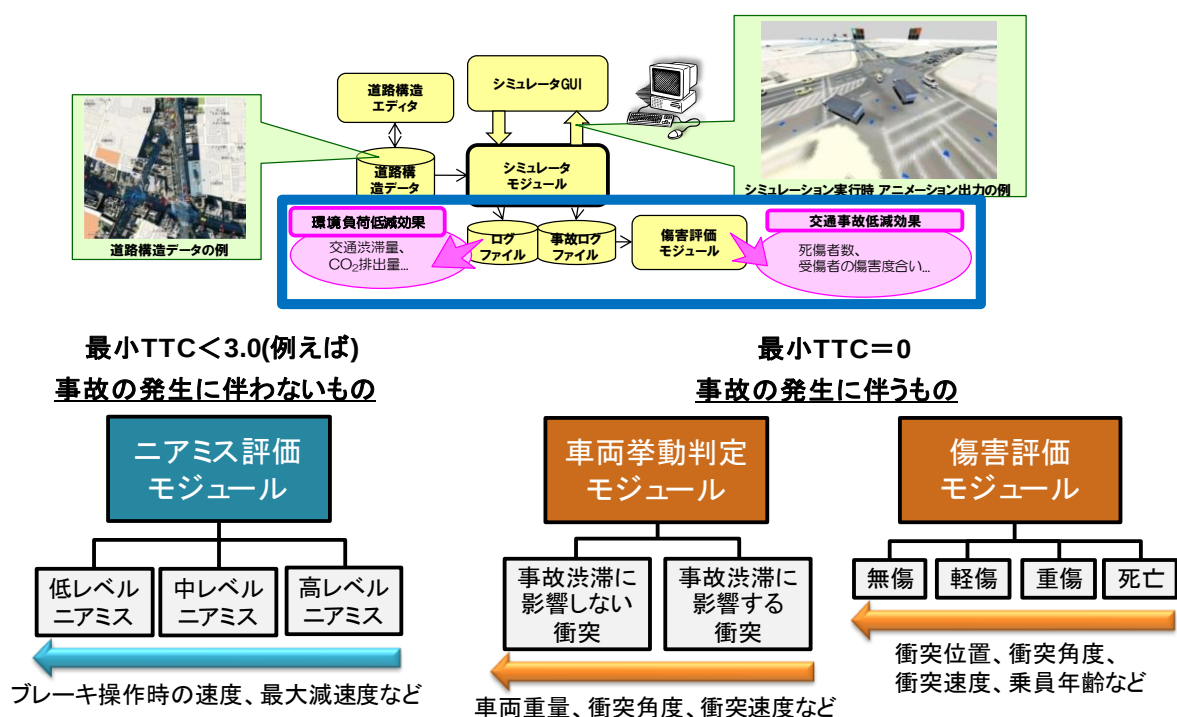


図 4.3.2-1 事故ログファイルと傷害評価・車両挙動判定モジュールの関係

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¹⁴⁾は、米国事故データ NASS/CDS にロジ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、式 4.3.2 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。

$$p = \frac{1}{1 + \exp(-z)} \quad \text{式 4.3.2}$$

$p=0$: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、式 4.3.3 で表される。

$$z = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i \quad \text{式 4.3.3}$$

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。 β_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。

(1) 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 4.3.4 で表すものである。

$$\text{DeltaV}_{\text{pseudo}} = \frac{m_1}{m_1 + m_2} (v_1 + v_2) \quad \text{式 4.3.4}$$

ここで、 m_1 :車両 1 の質量[kg]、 m_2 :車両 2 の質量[kg]、 v_1 :車両 1 の危険認知速度[km/h]、 v_2 :車両 2 の危険認知速度[km/h]である。なお、シミュレーション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。

(2) 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。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4.3.2-2）。

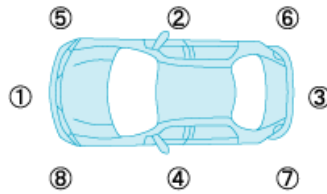


図 4.3.2-2 衝突部位

(3) 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。

(4) 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に多重衝突を「有」とし、1回の衝突のみが発生した場合に多重衝突を「無」とする。

(5) 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。

(6) 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。

また、西本ら¹⁵⁾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、歩行者およ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危険認知速度、歩行者・自転車乗員の年齢、車種、道路形状、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。

木内ら¹⁶⁾は、交通事故自動通報システム用に実際に運用されているアルゴリズムに基づいて算出した死亡重傷率とアンダートリアージとオーバートリアージの関係を分析しており、その結果から交通事故自動通報システムがドクターヘリ出動を要請する基準として5[%]を採用している（図4.3.2-3）。この値を参照し、乗員の傷害が重傷であるかどうかを判別する基準として5[%]に暫定的に設定する。軽傷や死亡についても本報告の結果を参照して検討することが有効であると考えられる。

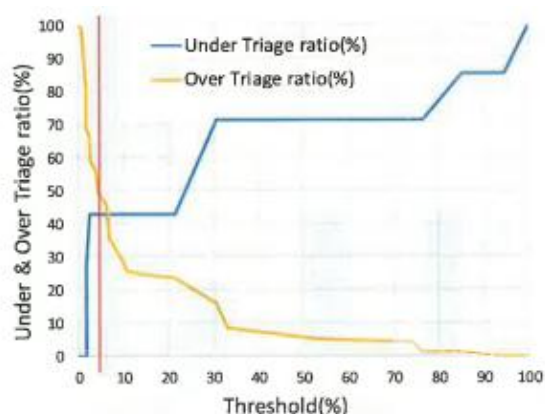


図 4.3.2-3 死亡重傷率とアンダートリアージとオーバートリアージの関係

図 4.3.2-4 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^{14) 15)}。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。

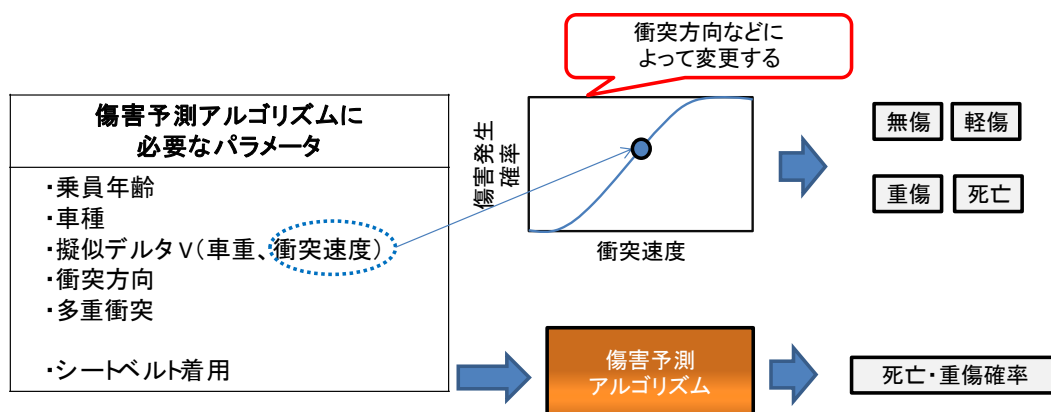


図 4.3.2-4 傷害評価モジュールの構造

4.3.2.2 事故渋滞の発生件数の定量化手法の検討

事故発生後の車両の挙動を判定することによって、事故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。

衝突時の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 4.3.2-5 に示したように衝突時の初期状態から二台の車両が最終的に停止する状態までの挙動を予測できる。

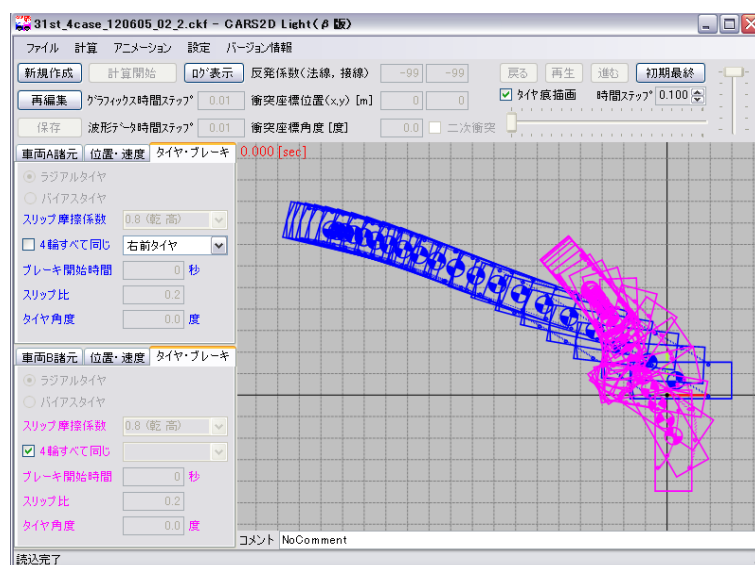


図 4.3.2-5 車両挙動判定モジュールによる出会い頭事故時の車両挙動の予測

図 4.3.2-6 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²⁰⁾。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。

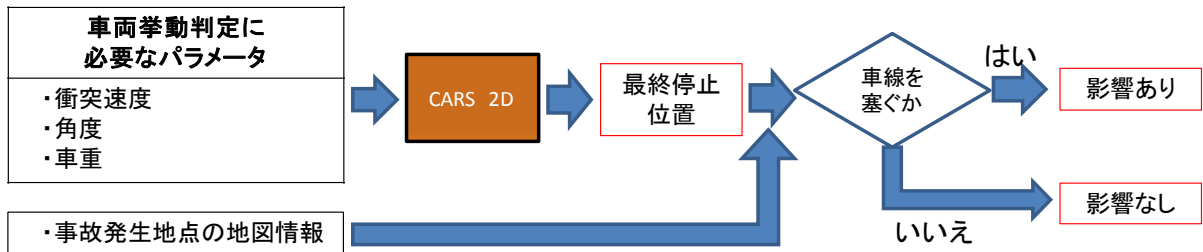


図 4.3.2-6 車両挙動判定モジュールの構造

図 4.3.2-7 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効率的であると考えられる。

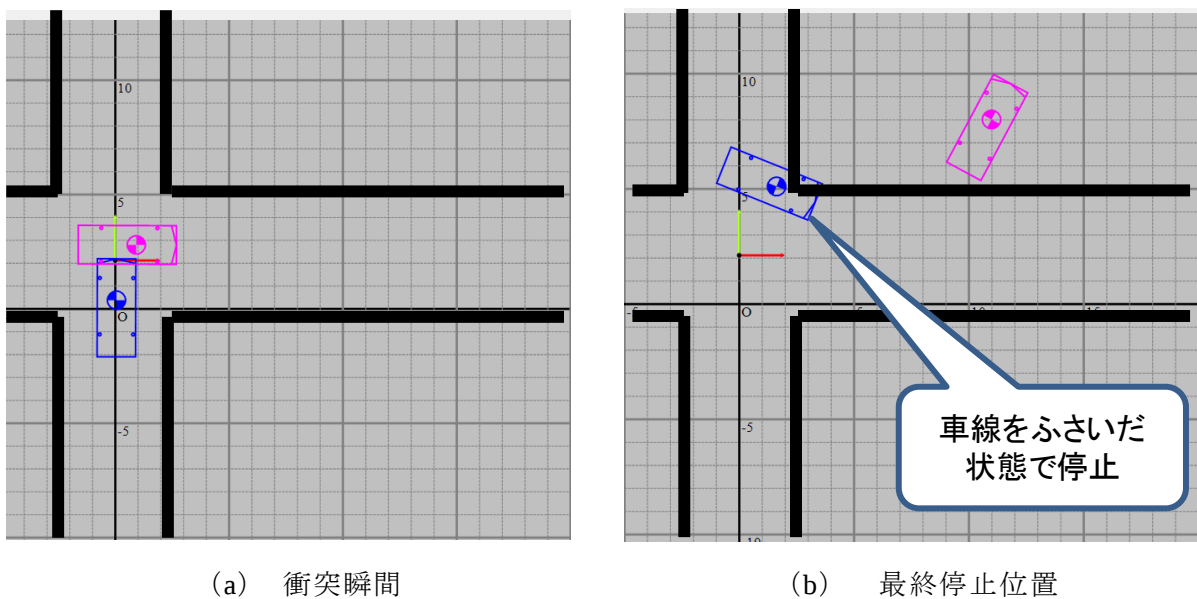


図 4.3.2-7 CARS 2D を用いた衝突挙動計算の例（出会い頭事故の場合）

4.3.2.3 衝突リスク低減に関する定量化手法の検討

図 4.3.2-8 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。

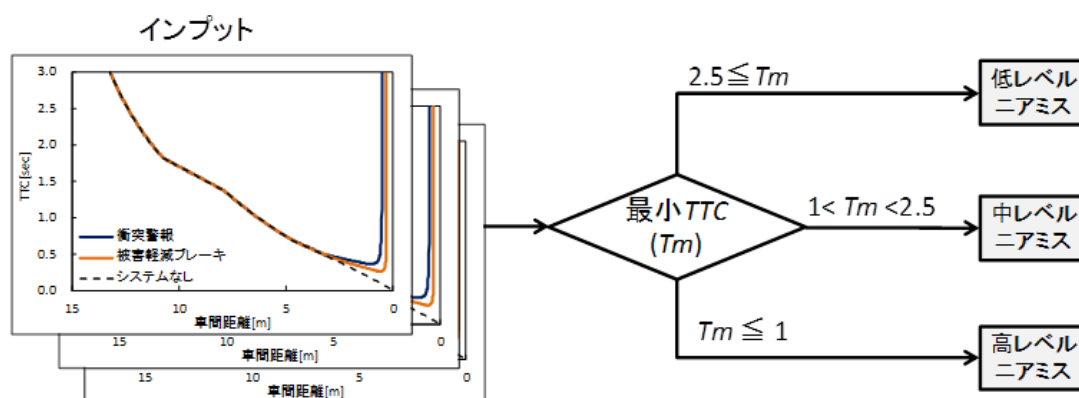


図 4.3.2-8 ニアミス評価モジュールの構造

4.3.3 追従・追突場面におけるシミュレーション評価結果の妥当性の確認

本項では、平成 27 年度に開発した追従・追突場面におけるシミュレーション評価結果についてシステムの有無別の効果や、システムが作動することによって得られる効果などの観点で妥当な評価が実施できているかを確認する。平成 27 年度は、タクシーに搭載した映像記録型ドライブレコーダが記録した追突事故 12 例、追突ニアミス 45 例の初期自車速度条件、初期車間距離条件、先行車速度推移条件をベースにドライバエーラーの有無やシステムの有無などの条件を変更してシミュレーションを行った。

4.3.3.1 システムがない場合の評価

シミュレーションを実施した条件の中から以下の条件について抽出して評価結果を比較した。ドライバについては、平均的なドライバを対象とした評価を実施するため、ドライバパラメータの設定条件は法令遵守傾向をランク 2、運転スキルをランク 2、情報処理能力をランク 2 とした。

ドライバエーラーについては、次の 4 パターンを設定した。

- (1) エラーなし（エージェントとして行動し、前方状況に応じて加速・減速を行う）
- (2) ドライバの認知エラー（脇見）あり（脇見をした状態で初期速度のまま走行する）
- (3) ドライバの操作エラー（ブレーキ操作誤り）あり（エージェントが必要と判断したブレーキ操作量の 75% 相当の操作を実行する）
- (4) ドライバの認知エラーと操作エラーあり（(2) と (3) のエラーが両方発生する）

表 4.3.3-1 は、システムがない条件での 57 種類のシナリオにおけるドライバエーラー発生条件別の結果である。なお、衝突は最小 TTC が 0[s]を示した場合、ニアミスは最小 TTC が 2.5[s]未満を示した場合、ニアミス以外は最小 TTC が 2.5[s]以上を示した場合として定義している。ドライバがエージェントとして行動する場合、衝突は 1 件も起きていないことから、ドライバのエラーが発生したことでドライブレコーダが記録するような衝突やニアミスが発生したものと考えられる。ドライバの認知エラーが発生する場合には 34 件の衝突と 1 件のニアミス、操作エラーが発生する場合には 1 件の衝突と 23 件のニアミス、認知エラーと操作エラーが両方発生する場合には 34 件の衝突と 1 件のニアミスが発生した。

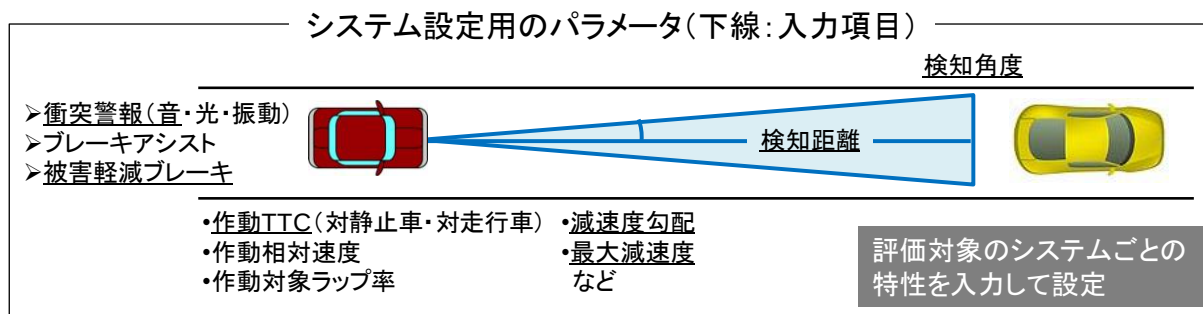
これらの衝突・ニアミスに対する自動走行システムがもたらす効果について評価する。

表 4.3.3-1 システムがない場合のドライバエーラー発生条件別の結果

	エラーなし	認知エラーあり	操作エラーあり	認知エラー 操作エラーあり	合計
衝突	0	34	1	34	69
ニアミス	18	1	23	1	43
ニアミス以外	39	22	33	22	116
合計	57	57	57	57	228

4.3.3.2 システムがある場合の評価

図 4.3.3-1 は、シミュレーションの評価対象とした衝突警報システムと被害軽減ブレーキシステムの設定内容を示している。本間ら¹⁷⁾の報告を参照し、衝突警報システムの作動タイミングの TTC を 1.8[s]とし、被害軽減ブレーキの作動タイミングの TTC を 0.6[s]に設定した。



- ・センサ: 車両前面に1個搭載、検知距離・検知角度は理想的な性能を設定
- ・衝突警報システムの作動TTC: 1.8[s]
- ・衝突被害軽減ブレーキシステムの作動TTC: 0.6[s]
- ・システム設定条件: (1)システムなし, (2)衝突警報, (3)衝突被害軽減ブレーキ

図 4.3.3-1 衝突警報システムと衝突被害軽減ブレーキの作動条件

(1) 衝突警報

表 4.3.3-2 は、「衝突警報あり」の条件での 57 種類のシナリオにおけるドライバエラー発生条件別の結果である。

エラーなしと操作エラーありの条件では衝突警報の有無によって衝突とニアミスの件数に変化がなかった。一方、認知エラーのある条件では衝突警報によって衝突の件数が 34 件から 30 件に減少し、ニアミスの件数が 1 件から 5 件に増加し、認知エラーと操作エラーの両方がある条件では衝突の件数 34 件から 33 件に減少し、ニアミスの件数が 1 件から 2 件に増加している。このように衝突警報によって衝突が避けられた事例がニアミスヘシフトしていることが分かる。

表 4.3.3-2 衝突警報がある場合のドライバエラー発生条件別の結果

	エラーなし	認知エラーあり	操作エラーあり	認知エラー 操作エラーあり	合計
衝突	0	30	1	33	64
ニアミス	18	5	23	2	48
ニアミス以外	39	22	33	22	116
合計	57	57	57	57	228

①衝突を回避する効果

衝突警報によってドライバの脇見からの復帰とブレーキ操作を促すことによって衝突を回避する効果として5件が得られたことが分かる。その一方でニアミス件数については衝突件数が5件減少した分が増加したほかに変化はなく、今回のシミュレーションで設定した衝突警報によってニアミスの件数を減少する効果が得られることはなかった。これは、前述したように衝突警報の作動タイミングの1.8[s]の時点でニアミス状態となっているためである。

②衝突速度を低減する効果

図 4.3.3-2 は、衝突時の自転車速度の分布をシステムなしと衝突警報ありで比較し、図 4.3.3-3 は、衝突時の相対速度の分布をシステムなしと衝突警報ありで比較した結果である。

システムがない場合の43[%](30/69件)は40[km/h]を超えたが、衝突警報がある場合には25[%](17/69件)に減っている。相対速度の観点でもシステムがない場合の49[%](34/69件)が30[km/h]を超えたが、衝突警報がある場合には33[%](23/69件)に減っている。このように衝突時の速度を低減する効果が得られている。

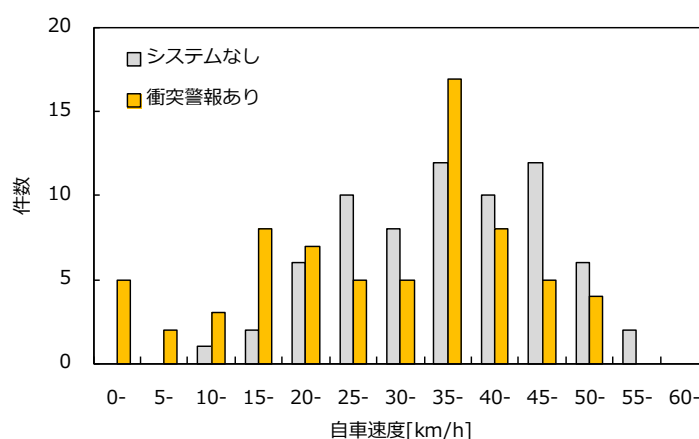


図 4.3.3-2 衝突時の自転車速度の分布（システムなしと衝突警報あり）

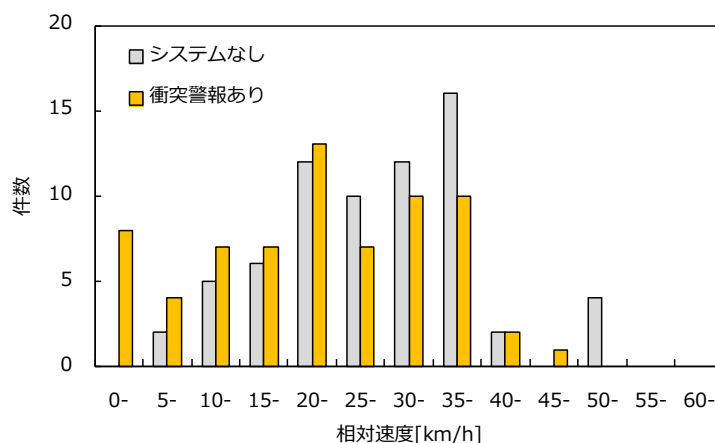


図 4.3.3-3 衝突時の相対速度の分布（システムなしと衝突警報あり）

③乗員の傷害程度を緩和する効果

衝突警報により、衝突を回避できない場合であっても衝突速度を低減する効果が得られることが分かったため、その効果が乗員の傷害程度を緩和する効果へどのように波及するかを評価した。図 4.3.3-4 は、システムがない場合に対する相対速度の低減量と低減率を示している。低減率が 100[%]に到達した 4 事例は衝突を回避できた事例であるが、その他の事例は 0～100[%]の間で幅広く分布していることが分かる。

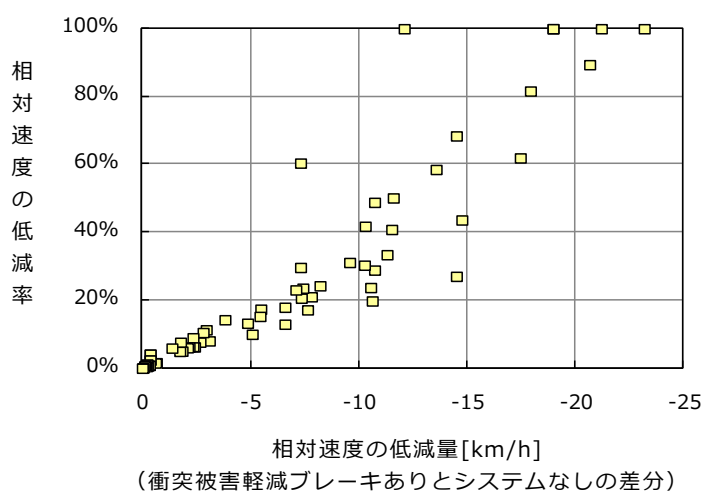


図 4.3.3-4 相対速度の低減量と低減率（システムなしと衝突警報あり）

次に、事例ごとに先行車と後続車のドライバの傷害を予測するための死亡重傷率を算出した。算出する前提条件として、先行車の車種を乗用車（1,390[kg]）、乗員を 65 歳以上、シートベルト装着条件をあり、衝突方向を後突、多重衝突をなしとした。一方、自転車については、車種を乗用車（1,390[kg]）、乗員を 54 歳以下、シートベルト装着条件をあり、衝突方向を前突、多重衝突をなしとした。

図 4.3.3-5 は、死亡重傷率別の自転車・先行車ドライバの人数をシステムなしと衝突警報ありで比較した結果を示している。今回は暫定的に死亡重傷率 0.5[%]以下を無傷、0.5～5.0[%]を軽傷、5～80[%]を重傷として判定したところ、自転車・先行車のドライバの 138 人のうちシステムなしでは 78 名の軽傷者が 62 名に減少（自転車は 14 名から 10 名、先行車は 64 名から 52 名）する。

このように、衝突警報によって得られた衝突速度の低減が乗員の負傷程度を緩和する効果へ波及することの定量化が可能となり、負傷者数の低減効果を把握できる。

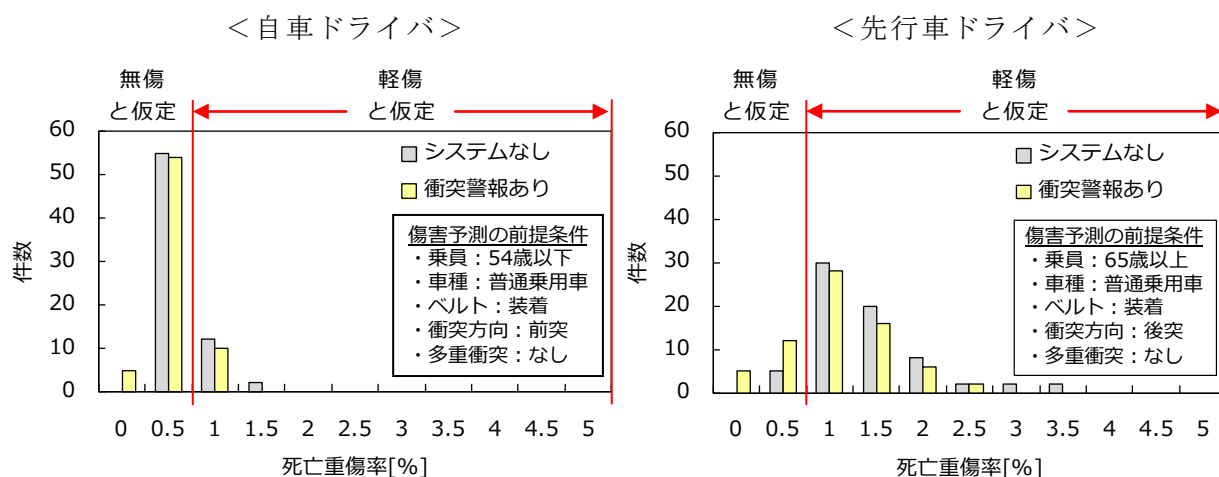


図 4.3.3-5 死亡重傷率別の自車・先行車ドライバの人数の比較
(システムなしと衝突警報あり)

(2) 衝突被害軽減ブレーキ

表 4.3.3-3 は、衝突被害軽減ブレーキがある条件での 57 種類のシナリオにおけるドライバエラー発生条件別の結果である。

エラーなしの条件では衝突被害軽減ブレーキの有無によって衝突とニアミスの件数に変化がなかった。一方、認知エラーのある条件では衝突の件数が 34 件から 27 件に減少し、ニアミスの件数が 1 件から 8 件に増加し、操作エラーのある条件では衝突の件数が 1 件から 0 件に減少し、ニアミスの件数が 23 件から 24 件に増加し、認知エラーと操作エラーの両方がある条件では衝突の件数 34 件から 27 件に減少し、ニアミスの件数が 1 件から 8 件に増加している。衝突警報と同様に、衝突被害軽減ブレーキによって衝突が避けられた事例がニアミスへシフトしている。

表 4.3.3-3 衝突被害軽減ブレーキがある場合のドライバエラー発生条件別の結果

	エラーなし	認知エラーあり	操作エラーあり	認知エラー 操作エラーあり	合計
衝突	0	27	0	27	54
ニアミス	18	8	24	8	58
ニアミス以外	39	22	33	22	116
合計	57	57	57	57	228

①衝突を回避する効果

衝突被害軽減ブレーキによって衝突リスクが高まった状況で自動的に車両が減速することによって衝突を回避する効果として 15 件が得られた。一方、ニアミス件数は衝突件数の減少と同じ数が増加したほかに変化はなく、今回設定した衝突被害軽減ブレーキによるニアミス件数の減少効果が得られなかった。これは、衝突警報と同様に衝突被害軽減ブレーキの作動タイミングの 0.6[s]の時点でニアミス状態となっているためである。

②衝突速度を低減する効果

図 4.3.3-6 は、衝突時における自車速度の分布をシステムなしと衝突被害軽減ブレーキありで比較し、図 4.3.3-7 は、衝突時における相対速度の分布をシステムなしと衝突被害軽減ブレーキありで比較した結果である。

システムがない場合に 43[%]（30/69 件）は 40[km/h]を超えたが、衝突被害軽減ブレーキがある場合には 12[%]（8/69 件）に減っている。相対速度の観点でもシステムがない場合は 49[%]（34/69 件）が 30[km/h]を超えたが、衝突被害軽減ブレーキがある場合には 12[%]（8/69 件）に減っている。システムによる衝突速度の低減効果を評価することができる。

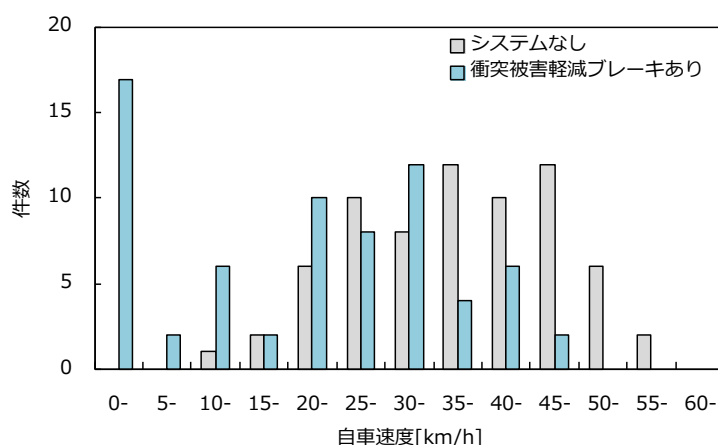


図 4.3.3-6 衝突時の自車速度の分布（システムなしと衝突被害軽減ブレーキあり）

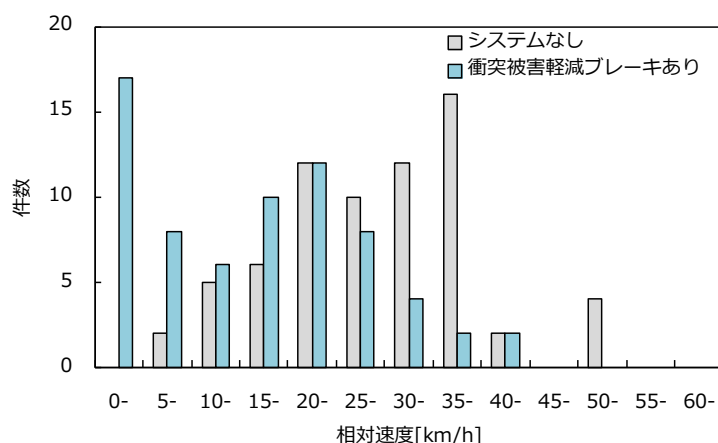


図 4.3.3-7 衝突時の相対速度の分布（システムなしと衝突被害軽減ブレーキあり）

③乗員の傷害程度を緩和する効果

衝突被害軽減ブレーキにより、衝突を回避できない場合であっても衝突速度を低減する効果が得られることが分かったため、その効果が乗員の傷害程度を緩和する効果へどのように波及するかを評価した。図 4.3.3-8 は、システムがない場合に対する相対速度の低減量と低減率を示している。衝突警報に比べて低減率が 100[%]に到達して回避できた事例が多く、衝突した事例であっても低減率が大きい傾向がある。

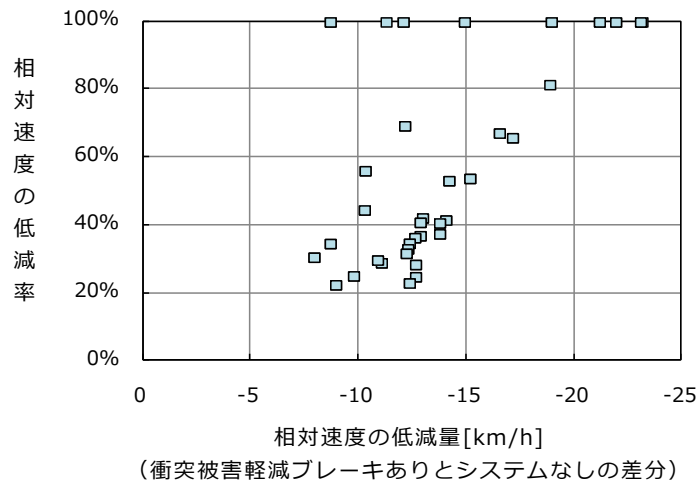


図 4.3.3-8 相対速度の低減量と低減率（システムなしと衝突被害軽減ブレーキあり）

次に、事例ごとに先行車と後続車のドライバの傷害を予測するための死亡重傷率を算出した。なお、算出する前提条件は衝突警報と同様である。

図 4.3.3-9 は、死亡重傷率別の自車・先行車ドライバの人数をシステムなしと衝突被害軽減ブレーキありで比較した結果である。自車・先行車のドライバの 138 人のうちシステムなしでは 78 名の軽傷者が 42 名に減少（自車は 14 名から 4 名、先行車は 64 名から 38 名）する。衝突警報に比べてドライバの負傷程度を緩和する効果が大きいことを評価した。

このように、衝突被害軽減ブレーキによって発生する衝突速度の低減が乗員の負傷程度を緩和する効果へ波及することの定量化が可能となり、負傷者数の低減効果を把握できる。

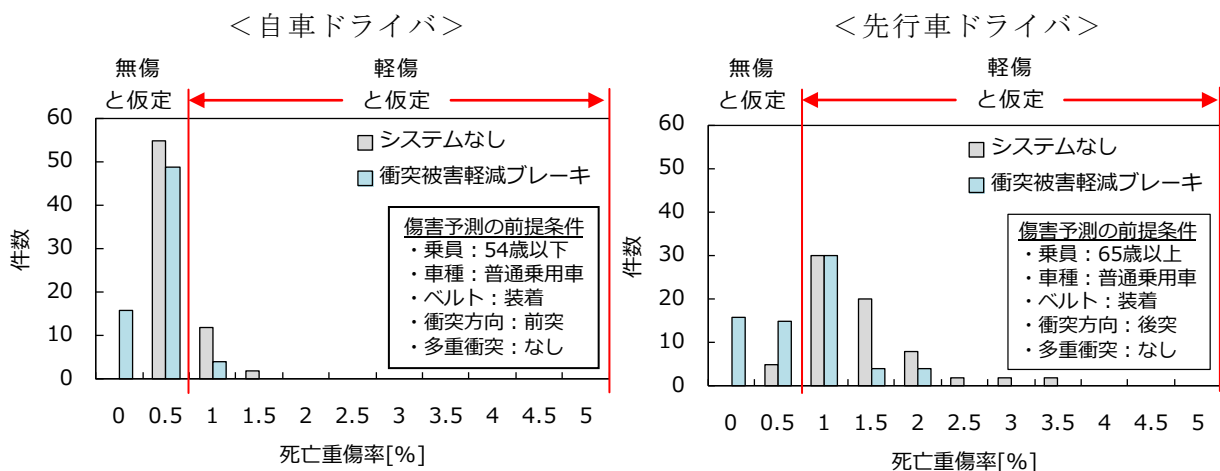


図 4.3.3-9 死亡重傷率別の自車・先行車ドライバの人数の比較
(システムなしと衝突被害軽減ブレーキあり)

4.3.3.3 交通事故低減詳細効果の評価結果の統合方法の検討

事故件数、負傷者数の低減効果をそれぞれ比較することも可能であるが、本事業では事故件数・負傷者数・事故渋滞件数などのさまざまな低減効果を評価対象とすることを目標としている。たとえば、システム A は事故 10 件の削減と、負傷者 30 名の削減、事故渋滞 50 件の削減が可能であるが、システム B は事故 15 件の削減と、負傷者 10 名の削減、事故渋滞 5 件の削減が可能であるという場合にどちらのシステムがもたらす効果がより大きいのかを統一的に比較する視点が必要であると考えられる。

そのような場合には、一般的な政策評価における評価基準として採用されているように貨幣価値化して効果を比較する手法を検討することが一案として考えられる。たとえば、内閣府では表 4.3.3-4 に示したように死亡、後遺障害、傷害、物損、死傷といった区分で具体的な損失額を算定しており、本シミュレーションで得られた低減効果に対応した損失額を当てはめることが想定される。なお、表 4.3.3-4 の中で参照している表（死亡、後遺障害、傷害別の被害者数、非金銭的損失額の全容、交通事故の損失額（平成 21 年））については図 4.3.3-10 に補足として示す。

また、この他にも事故渋滞 1 件当たりの損失額についても算定が行われている事例もあるため、評価結果を統合する一つの方式として損失額という指標で統合することが考えられる。

表 4.3.3-4 被害者 1 名（損害物 1 件）当たりの交通事故による損失額

単位: 千円

内訳項目			死亡	後遺傷害	傷害	物損	死傷
金銭的損失	人的損失	逸失利益・治療関係費・葬祭費	16,025	6,379	256	—	689
		慰謝料 ²¹ [A]	12,290	1,485	300	—	436
		小計	28,315	7,864	555	—	1,124
	物的損失		382	382	382	246	382
	事業主体の損失		797	207	54	—	67
	各種公的機関等の損失		2,025	1,214	628	4	669
	金銭的損失合計 [B]		31,518	9,667	1,619	250	2,242
損失	非金銭的	死傷損失 [C]	213,000	8,587	237	—	1,948
総計（慰謝料分除外） [B]-[A]+[C]			232,228	16,769	1,557	250	3,754
総計（慰謝料分除外せず） [B]+[C]			244,518	18,254	1,856	250	4,190

注1) 後遺障害の1名当たり負傷損失額は、総額（577億円、表 6-1参照）を人数（67,172人、表 4-5）で割って算定。傷害の1名当たり負傷損失額は、総額（269億円、表 6-1参照）を人数（1,134,646人、表 4-5）で割って算定。

注2) 「死傷」の欄は、死亡、後遺障害、傷害の平均であり、各損失額（総額）の合計を死傷者数で割って算定している。

注3) 四捨五入のため、各集計欄の値は必ずしも各欄の集計結果と一致しない。

表 4-5 死亡、後遺障害、傷害別の被害者数（平成21年）

単位: 人

	死亡	後遺障害	傷害	合計
平成21年	7,086	67,172	1,134,646	1,208,904
平成16年	10,318	62,931	1,205,024	1,278,273
増減率(%)	-31.3	6.7	-5.8	-5.4

表 5-17 非金銭的損失額の全容

負傷区分	後遺等級	傷害度	被害者数 (人)	1名当たり 損失額 (万円)	死傷損失額 (十億円)
死亡K	—	—	7,086	21,300	1,509
負傷Q	1 級	—	1,584	19,200	304
負傷W	2・3 級		550	10,700	59
負傷E	4～6 級		1,437	8,520	122
負傷R	7～9 級	4・5	81	6,390	5
負傷Y		3	127	243	0
負傷I		1・2	4,888	189	9
負傷O	10～14 級	—	58,505	131	77
負傷A	後遺なし		1,134,646	23.7	269
合計			1,208,904	1,948	2,355

(前回調査)

死亡K	—	—	10,318	22,600	2,330
-----	---	---	--------	--------	-------

表 6-1 交通事故の損失額（平成21年）

単位: 十億円

内訳項目			死亡	後遺障害	傷害	物損	合計
金銭的 損失	人的 損失	逸失利益・治療関係費・葬祭費	114	428	290	—	832
		慰謝料 [A]	87	100	340	—	527
		小計	201	528	630	—	1,359
	物的損失		3	26	433	1,249	1,711
	事業主体の損失		6	14	61	—	81
	各種公的機関等の損失		14	82	712	20	828
	金銭的損失合計 [B]		223	649	1,837	1,269	3,979
非金銭的 損失	死傷損失 [C]		1,509	577	269	—	2,355
総計（慰謝料分除外）[B]-[A]+[C]			1,646	1,126	1,766	1,269	5,807
総計（慰謝料分除外せず）[B]+[C]			1,733	1,226	2,106	1,269	6,334

注1) 死傷損失の値は「表 5-17 非金銭的損失額の全容」の死傷損失額による。なお、「後遺障害」は負傷QからOの合計、「傷害」は負傷Aの値である。

注2) 四捨五入のため、各集計欄の値は必ずしも各欄の集計結果と一致しない。

図 4.3.3-10 被害者 1 名（損害物 1 件）当たりの交通事故による損失額の算出用のデータ

4.3.4 歩行者横断行動調査・ドライバ走行実験による行動モデル用パラメータの取得

本事業で開発するシミュレーションにおいては、モデル化された交通参加者の行動が現実の行動に即した内容であることが重要であり、この確認が開発したシミュレーション技術の妥当性を検証することにつながる。ここで、確認する際に重要な観点として次の3点が挙げられる。

- (1) 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
- (2) 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
- (3) 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

このうち、平成28年度は歩行者横断行動の調査・ドライバ走行実験について実施し、具体的なデータ分析結果に基づいて(2)に関する妥当性を確認することを行った。

4.3.4.1 歩行者の行動特性を把握するための調査の実施

(1) 調査手法の検討結果

シミュレーションでは歩行者の横断行動の特性を表現するために、以下に示す6つを歩行者の個人属性パラメータとして使用している。

- ・ 歩きながら安全確認する確率
- ・ 横断中に首振り確認をする確率
- ・ 横断を開始するTTCの閾値
- ・ 自由横断速度
- ・ 横断角度
- ・ 車両接近時の横断速度

これらのパラメータを取得する方法を検討した結果、「定点観測による実路での調査」、「テストコースでの実験的な調査」、計2通りの手法を考案した。以下にそれぞれの手法の得失について整理した。

定点観測は、実際の道路上の歩行者を上方に設置したカメラで撮影した映像を分析するため実態の把握に有効な手法である。この手法により、調査場所（モデルケース）の実態に即した歩行者の行動を表現することはできるが、汎用的なモデルにするためには、複数の場所での調査が必要である。また、歩行者の属性や、交通環境条件などは偶発的であるため、特性の本質までを見出すことは困難である。一方、テストコースでの実験により取得する方法は、統制された条件で歩行者の横断行動を取得することができるため、パラメータ間の関係などを詳細に取得できる。しかし、考えられるパラメータすべてを条件として振ると大人数の実験参加者が必要となるため、現実的ではない。そのため、パラメータの絞込みが必要である。以上のことから妥当性の高い汎用的なパラメータを効率よく取得するためには、定点観測により実態把握を行う、条件をコントロールした実験により特性の本質を見出す、2つの手法を組み合わせる必要があることがわかった。

そこで平成 28 年度は、定点観測を行うことによって横断行動の実態把握およびパラメータの取得を行った。

(2) 定点観測の実施方法

東京都葛飾区東金町にある二車線道路を対象として歩行者が道路を横断する様子の実態調査を行った。調査を行った地点の航空写真を図 4.3.4-1 に示す。調査対象区間の道路として、図 4.3.4-1 に示した区間で調査を実施した。同区間の特徴としては、「普段から横断歩道外を横断している歩行者が多数見られる」、「車両と歩行者の距離が近い」がある。調査方法は図 4.3.4-1 および図 4.3.4-2 に示すように道路沿いの建造物の屋上に 3 台のカメラを設置し、調査地点の道路を撮影した。3 台のカメラの合計での撮影可能範囲は幅 15[m] 長さ 80[m] の範囲である。また、調査は 2016 年の 9 月に実施した。

本観測では、以下に示す 3 つの条件全てに当てはまる歩行者を調査対象とした。

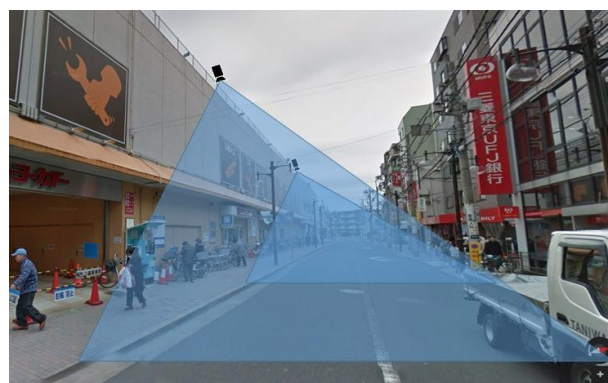
- ・ 横断開始位置（歩道から車道上に進入する位置）から横断終了位置（車道上から歩道に進入する位置）まで撮影可能な範囲内を歩行していた歩行者
- ・ 単独で車道を横断する歩行者
- ・ 自転車に乗っていない、または自転車を押して歩いていない歩行者

一つ目の条件に関しては、横断開始から横断終了までの行動が取得できるものを調査対象とした。二つ目の条件に関しては、歩行者の挙動は単独の場合と集団で異なるということが指摘されているため、今回の調査では、集団で行動している歩行者は対象外とした。三つ目の条件に関しては、自転車に乗っている場合、また、自転車を押して歩いている場合では、押していない場合に比べて歩き方に差が見られたため対象外とした。

調査期間に観測された対象となる歩行者は全体で 434 人であった。対象となる歩行者を男女別および付近に走行している車両が存在しない部分を横断している歩行者・走行している車両の付近を横断している歩行者別に集計した結果を表 4.3.4-1 に示す。



調査を行った区間



カメラ配置の状況

図 4.3.4-1 調査区間の概要



図 4.3.4-2 設置したカメラの様子

表 4.3.4-1 調査により観測された歩行者

	車両が存在しない部分を横断	走行車両の付近を横断
男性	95 人	110 人
女性	85 人	144 人

(3) 歩行者横断行動の分析方法

歩行者横断行動の分析は、撮影された映像データから歩行者の時系列の位置データを取得して行った。また、対象となる歩行者の付近に車両が存在する場合は併せて車両の位置データも取得した。取得した映像データから位置データへの変換の流れを図 4.3.4-3 に示す。まず、図 4.3.4-4 および図 4.3.4-5 中の青丸で示すように、予め目印となる位置（参照点）を定め、参照点の座標を測定しておく。その後、映像データから位置データを取得したい歩行者（または車両）が映っている画像を 1 フレーム抜き出し、画像上から参照点を探し出して手動でクリックすることによって参照点の画像上の位置を取得する。次に、位置データを取得したい歩行者（または車両）の位置を手動でクリックすることで歩行者（または車両）の画像上の位置を認識させる。そして、認識させた各参照点の画像上の位置と測定によって求めた各参照点の座標を照らし合わせることで画像上の位置と測定場所の座標との関係を求め、求めた関係を用いて歩行者（または車両）の座標を取得する。この動作を繰り返すことで時系列の位置データを取得する。

ビデオ映像から取得した歩行者の軌跡データの取得結果を一例として図 4.3.4-6 に示す。各図は上側の画像が 3 台のカメラによって撮影された画像データであり、道路を横断している歩行者と接近車両の位置関係を示している、下図左側は、歩行者が横断開始位置から横断終了位置まで移動する間の歩行者および接近車両の軌跡データをそれぞれ赤線および青線で示している。また下図右側は軌跡データから算出した歩行者および接近車両の速度を示している。このイベントでは、画面上側から男性の歩行者が道路を横断している。歩行者は画面上側から車道に向かって歩き、歩きながら画面左側と右側に首を振って安全確認を行い、横断を開始している。なお、この時、車両の接近に気付いていたと考えられる

が、車両が到着するよりも先に横断できると判断して、横断を開始したと考えられる。横断中は画面左側から接近している車両の方向に顔を向けながら横断終了位置まで横断している。

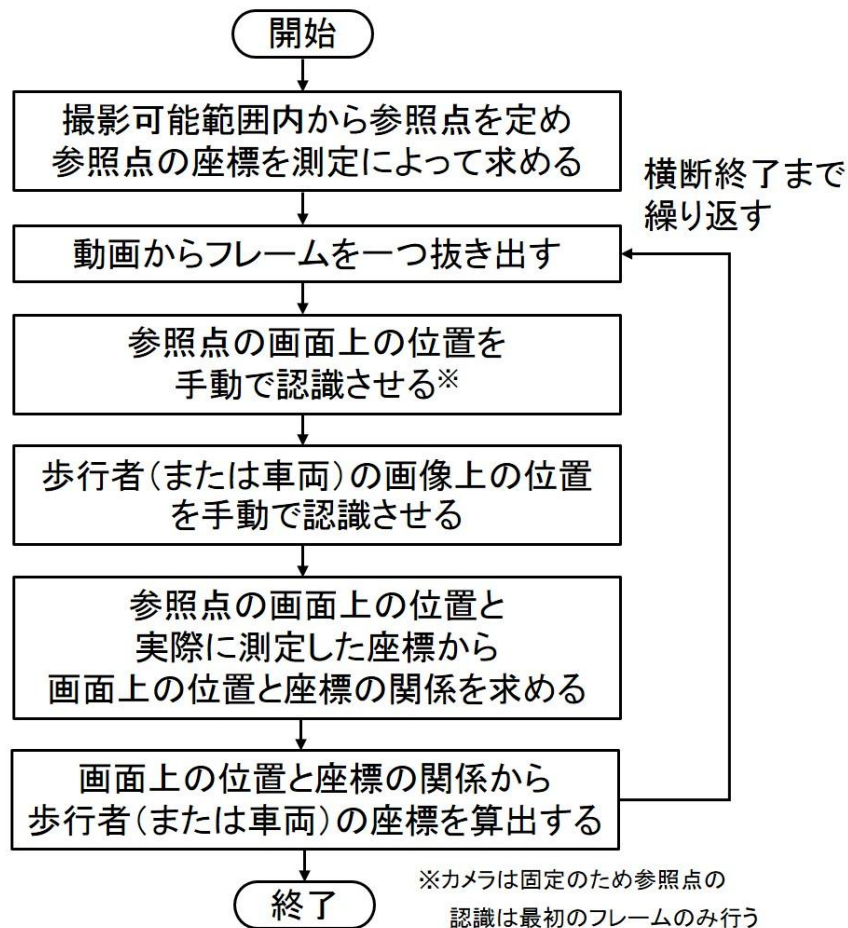


図 4.3.4-3 映像データから画像データへの変換の流れ



図 4.3.4-4 参照点の位置

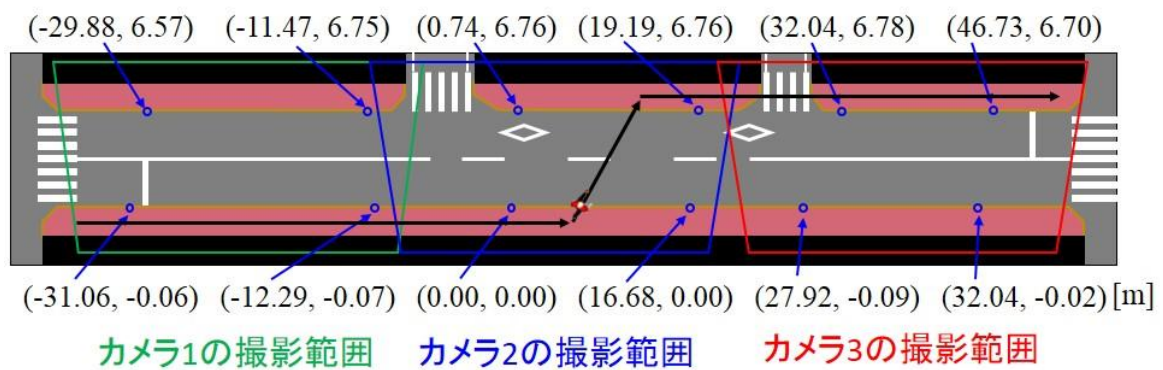


図 4.3.4-5 各カメラの撮影範囲と参照点の座標

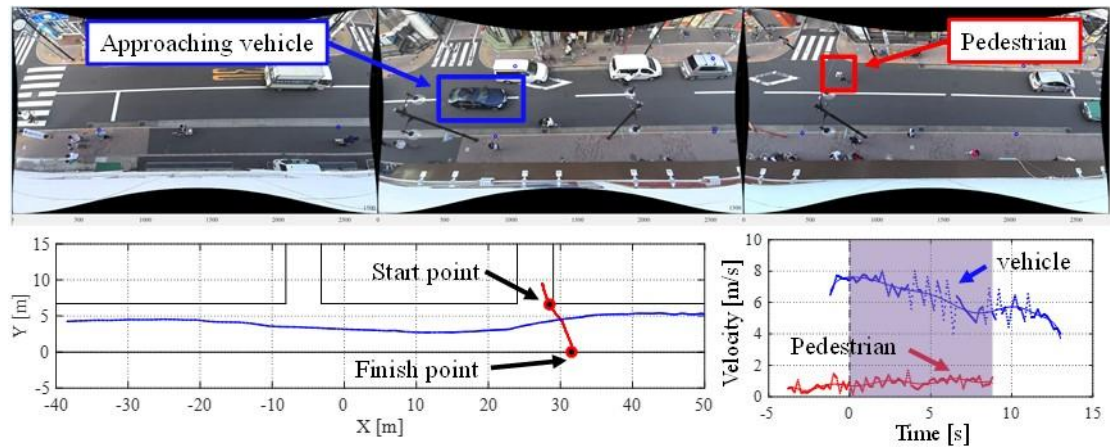


図 4.3.4-6 ビデオ映像から取得した歩行者および車両の軌跡

4.3.4.2 歩行者の道路横断時の移動速度・横断角度の分析

横断行動の特徴について調査し、歩行者エージェントモデルに使用するパラメータの検討を行う。歩行者の横断行動は図 4.3.4-7 に示すように 3 つに行動に分けられると考えられる。ここでは、周囲に対する安全確認行動の実施および目標地点への横断について、下記に示した観点で分析を行った結果を示す。

- ・ 横断開始位置への歩道上の歩行移動
- ・ 周囲に対する安全確認行動の実施（首振りによる安全確認と横断開始の判断）
- ・ 目標地点への横断



図 4.3.4-7 歩行者の横断行動の概要

(1) 安全確認行動

定点観測の結果、安全確認行動は「横断前の安全確認行動」と「横断中の安全確認行動」に分類された。「横断前の安全確認行動」としては、首振りなどの視覚による安全確認に加えて、横断開始の判断条件についても調査した。以下、順に調査結果を示す。

① 横断前の安全確認行動の特徴

横断前の安全確認行動の例を図 4.3.4-8 に示す。なお、横断前の確認行動の特徴としては、確認時に立ち止って安全確認する歩行者と歩きながら安全確認している歩行者の 2 つのパターンが観測された。

表 4.3.4-2 に自由横断（付近に走行している車両が存在しない部分を横断）している歩行者・走行している車両付近を横断している歩行者別に、横断前に立ち止まって安全確認を行った歩行者の数および横断前に立ち止まらなかった歩行者の人数を示す。なお、横断前に左右の安全確認を行っている様子が確認できた歩行者は、解析対象となる 434 人のうち、日傘などにより顔が見えず横断前の安全確認行動が確認できない歩行者を除くと 425 人であった。同表より、横断前に立ち止まって安全確認をした歩行者は合計 98 人であり、横断前に立ち止まらずに安全確認をした歩行者は 327 人であった。このことから、ほとんどの歩行者は横断前に立ち止まらずに安全確認をした後、道路を横断していると考えられる。

また、立ち止まりの有無は、付近の走行車両の存在にわずかではあるが影響しており、付近に走行している車両が存在しないような場合は立ち止まらずに歩きながら安全確認を行っている割合が高くなった。

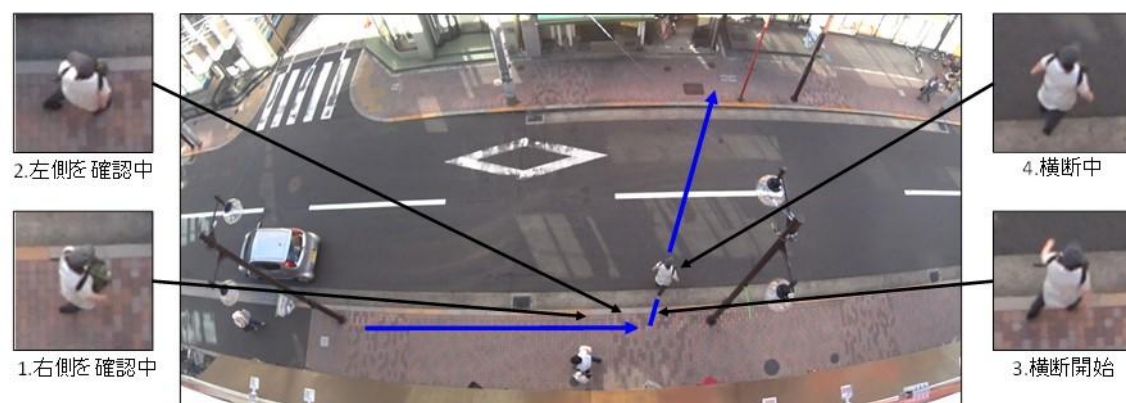


図 4.3.4-8 横断前に立ち止まって安全確認する歩行者の例

表 4.3.4-2 横断前立ち止り有無別の安全確認した歩行者（N=425 人）

	付近に走行車両無し	付近に走行車両有り	合計
立ち止まり有り	19 人 (11[%])	79 人 (31[%])	98 人 (23[%])
立ち止まり無し	151 人 (89[%])	176 人 (69[%])	327 人 (77[%])

② 横断開始の判断条件

横断前の安全確認において、どのような状況で歩行者が横断開始するか調査した。横断開始の判断基準を求めるために、車両接近時に実際に道路を横断した歩行者の横断開始時の車両到達予測時間と、横断を断念した歩行者の横断断念時の車両到達予測時間を調査した。図 4.3.4-9 に横断を断念した歩行者の例を示す。ここで、「横断を断念した歩行者」は、図 4.3.4-9 に示すように接近車両を認識しており、横断前に立ち止まった歩行者とした。また、図 4.3.4-9 の上部拡大図の左から 3 番目に示すように、歩行者が停止した時刻を「横断を断念したタイミング」として、この時刻における到達予測時間を取得した。実際には、横断を断念したが、立ち止まるのではなく歩行する方向を変更することで対処した歩行者や、横断を断念したが、立ち止まらずにそのまま歩道上の歩行を続行し、車が通り過ぎてから横断するような歩行者も見られた。しかし、方向を変更する歩行者や通り過ぎてから横断する歩行者の場合は横断を断念したタイミングか不明確だったため、本項では、横断開始前に立ち止まった歩行者のみを「横断を断念した歩行者」として扱った。調査期間に観測された歩行者の内、前述した横断を断念した歩行者とみなせる歩行者は 15 人、車両の前を横断している様子が観測できた歩行者は 42 人であった。

図 4.3.4-10 に横断を断念した歩行者と横断した歩行者の到達予測時間の分布を示す。同図より、車両到達予測時間が比較的小さい場合に横断を断念していることが分かる。

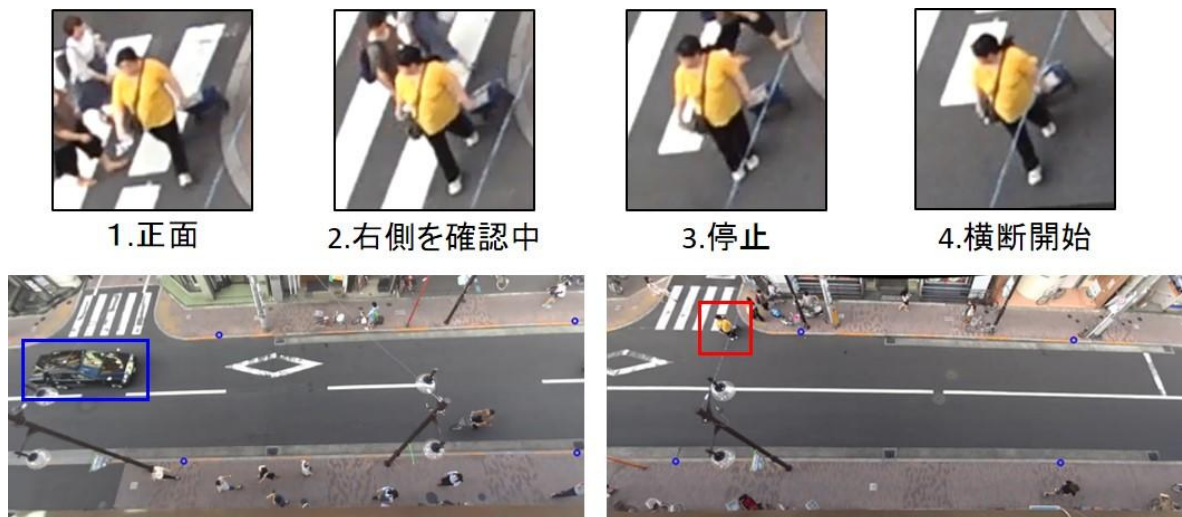


図 4.3.4-9 横断を断念した歩行者の例

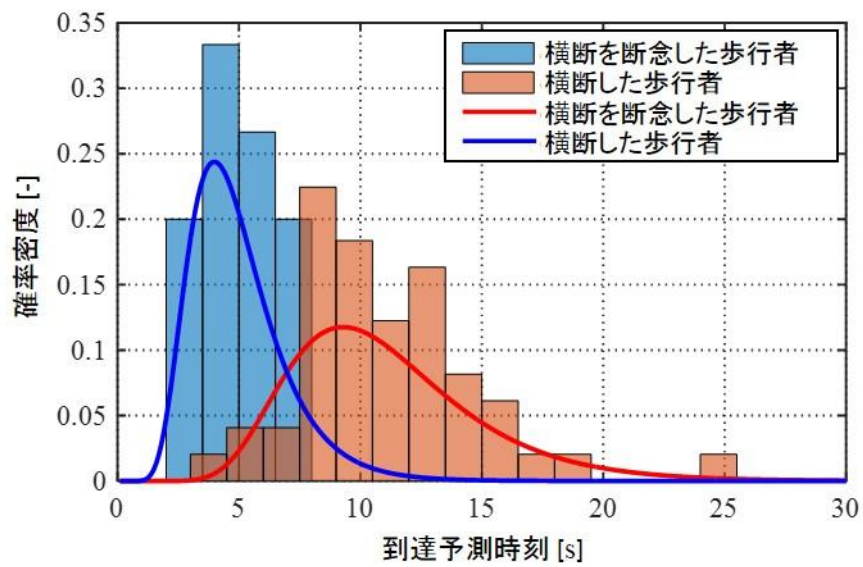


図 4.3.4-10 横断を断念した歩行者と横断した歩行者の到達予測時間の分布

③ 横断中の安全確認行動の特徴

横断中の安全確認行動の例を図 4.3.4-11 に示す。同図に示すように横断中に左右の首振り安全確認を行っている歩行者がみられた。表 4.3.4-3 に自由横断している歩行者・走行している車両付近を横断している歩行者別に、横断中に首振り安全確認を行った歩行者の数および横断中に首振り安全確認を行わなかった歩行者の数を示す。横断中に首振り安全確認を行った歩行者の数については付近に走行している車両が存在する場合および付近に走行している車両が存在しない場合について、大きな差は見られなかった。このことから、横断中に首を振って確認するかどうかについては個人差があると考えられる。また、横断中の首振り確認行動の特徴としては、図 4.3.4-11 に示したように、2 車線道路（片側 1 車線）の場合、手前側の車線の中央付近までは手前側の車線を走行してくる右側の車両を確認し、その後、奥側の車線の中央付近までは奥側の車線を走行してくる左側の車両を確認する傾向がみられた。

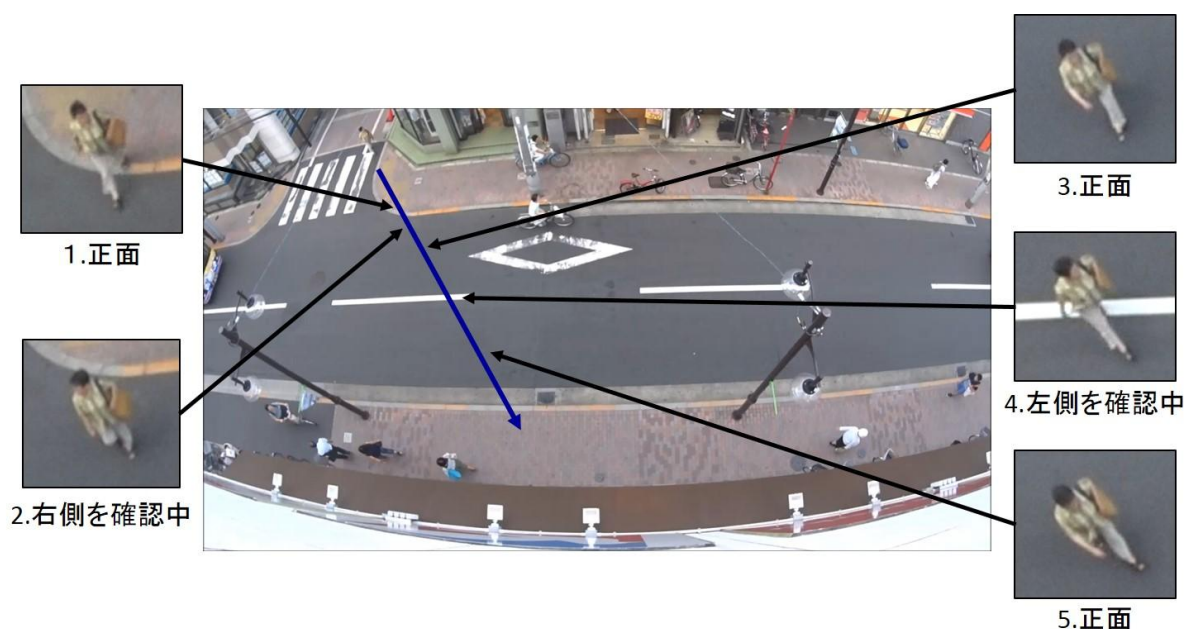


図 4.3.4-11 横断中に首振り安全確認する歩行者の例

表 4.3.4-3 横断中に首振り安全確認した歩行者（N=425 人）

	付近に走行車両無し	付近に走行車両有り	合計
確認有り	55 人 (32[%])	73 人 (29[%])	128 人 (30[%])
確認無し	115 人 (68[%])	182 人 (71[%])	297 人 (70[%])

(2) 横断行動特性

道路横断時の行動特性について分析する。横断時の行動は付近に車両が存在しない自由横断時と車両が接近してきている場合では傾向が異なると考えられるので、ここでは、自由横断時と車両接近時に分けて分析した。

① 自由横断時の横断行動特性

自由横断（付近に走行している車両および路上駐車などの障害物がない部分を横断）している歩行者の横断速度と横断角度の分布を調査した。観測された歩行者 434 人のうち、付近に走行している車両および路上駐車などの障害物がない部分を横断（自由横断）している歩行者は 84 人であった。ここで、横断速度 V_{ped} は、横断開始位置（歩行者が歩道上から車道に侵入した位置）から横断終了位置（歩行者が車道上から歩道に侵入した位置）までの歩行速度の平均値から算出した。また、横断角度 θ は図 4.3.4-12 に示すように道路に垂直な方向と横断開始位置から横断終了位置を結んだ線のなす角とした。

自由横断していた歩行者 84 人についての横断速度および横断角度の分布をそれぞれ図 4.3.4-13 および図 4.3.4-14 に示す。図 4.3.4-13 では横軸と縦軸はそれぞれ横断速度と確率密度を示し、図 4.3.4-14 は横軸と縦軸はそれぞれ横断角度と確率密度を示している。これらの結果から横断速度・横断角度には個人差がみられた。また、横断速度の平均値は 1.30[m/s]、標準偏差が 0.23[m/s]であった。横断角度の平均値は 39.7[°]、標準偏差が 14.4[°]であり、道路を斜めに横断する歩行者が多く観測された。

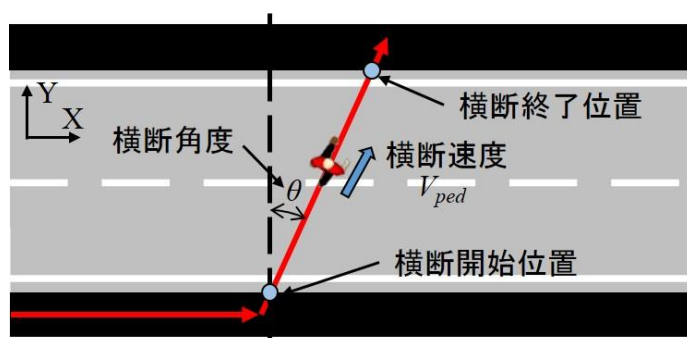


図 4.3.4-12 自由横断時における各種パラメータの定義

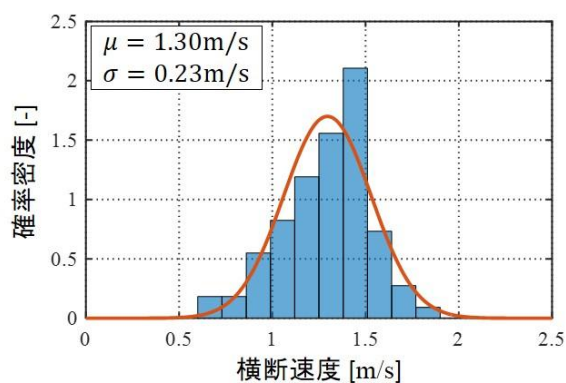


図 4.3.4-13 自由横断時の横断速度分布

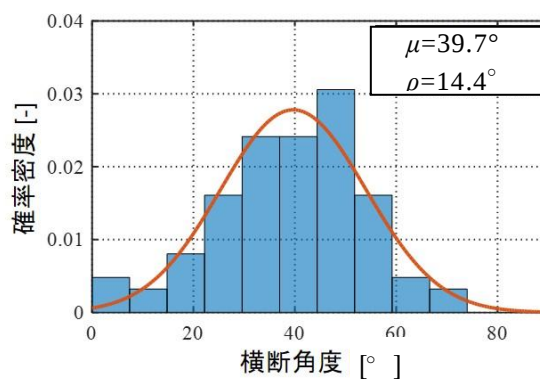


図 4.3.4-14 自由横断時の横断角度分布

② 車両接近時の横断行動特性

観測された歩行者 434 人のうち、撮影範囲内に歩行者に接近している車両が確認できた歩行者は 42 人であった。ここで、横断速度 V_{ped} および横断角度 θ は自由横断の場合と同様に横断開始位置から横断終了位置までの歩行速度の平均値および道路に垂直な方向と横断開始位置から横断終了位置を結んだ線のなす角とした（図 4.3.4-15）。また、歩行者の横断開始時の時刻を t とすれば、横断開始時の車両までの距離 $D(t)$ は横断開始時の歩行者の横断開始位置から車両までの X 方向距離とし、到達予測時間 $T(t)$ は横断開始時の車両までの距離 D と横断開始時の車両速度 $V_c(t)$ を用いて式 4.3.4-1 で算出した。

撮影範囲内に歩行者に接近している車両が確認できた歩行者 42 人について横断速度および横断角度の分布を作成したものをそれぞれ図 4.3.4-16 および図 4.3.4-17 に示す。図 4.3.4-16 では横軸と縦軸はそれぞれ横断速度と確率密度を示し、図 4.3.4-17 は横軸と縦軸はそれぞれ横断角度と確率密度を示している。

車両接近時と自由横断時の横断速度を比べると平均値に大きな差はないが、車両接近時では自由横断時には見られなかった横断速度 2[m/s]以上の歩行者がみられる。車両接近時と自由横断時の横断角度を比べると、車両接近時の横断角度のほうが、平均値が小さくなり、道路に対して垂直な方向に近づいている傾向が見られる。一方、角度のばらつきについては、車両接近時のほうが大きくなっている。以上の結果から、横断速度や横断角度は、車両接近／自由横断といった横断時の周辺環境に影響する可能性が示唆された。

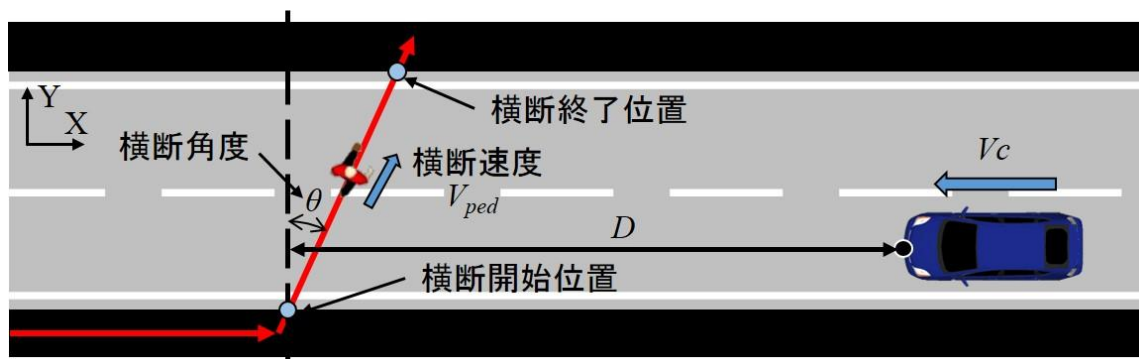


図 4.3.4-15 車両接近時における各種パラメータの定義

$$T(t) = \frac{D(t)}{V_c(t)}$$

式 4.3.4-1

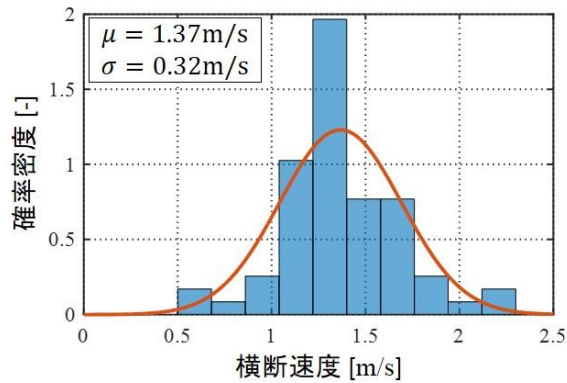


図 4.3.4-16 車両接近時の横断速度分布

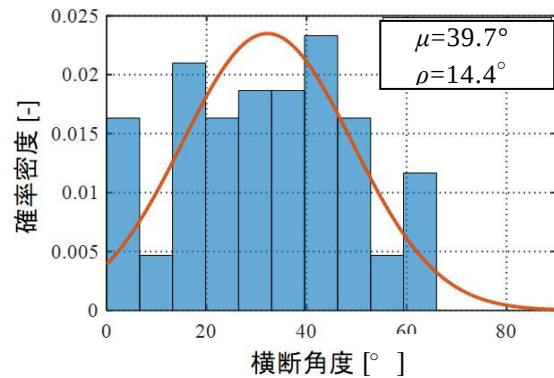


図 4.3.4-17 車両接近時の横断角度分布

(3) 歩行者モデルのパラメータの設定

定点観測の結果より得られた特量に基づき、歩行者モデルに使用する 6 つのパラメータを設定した結果について以下にまとめる。

①歩きながら安全確認する確率

表 4.3.4-2 の結果から 425 人中 327 人が歩きながら安全確認していたため、77[%]の確率で歩きながら安全確認するよう設定した。

②横断中に首振り確認をする確率

表 4.3.4-3 の結果から 425 人中 128 人が横断中に首振り確認していたため、30[%]の確率で歩きながら安全確認するよう設定した。

③横断を開始する TTC の閾値

図 4.3.4-17 に示した「横断を断念した歩行者と横断した歩行者の到達予測時間の分布」から「横断を開始する TTC の閾値の分布」を求める。まずは、図 4.3.4-19 の横断を断念した歩行者と横断した歩行者の到達予測時間の分布から横断する確率を求め、その横断する確率の予測時間の変化による変動量、即ち、「横断をしない」から「横断する」に変化した量を取得することで、横断を開始する到達予測時間の分布が得られると考得られる。横断する確率の算出式を式 4.3.4-2 に示す。式 4.3.4-2 によって算出した「横断する確率の分布」を図 4.3.4-18 に示す。また、図 4.3.4-18 の横断する確率を微分することで「横断を開始する TTC の閾値の分布」を求める。図 4.3.4-19 に算出した横断を開始する確率を示す。

$$\frac{\text{横断した歩行者の密度}}{\text{横断を断念した確率密度} + \text{横断した歩行者の確率密度}} \times 100 \quad \text{式 4.3.4-2}$$

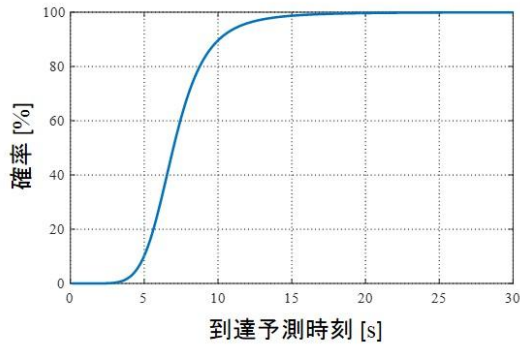


図 4.3.4-18 横断する確率

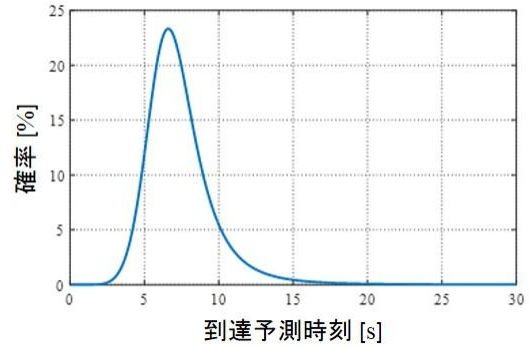


図 4.3.4-19 横断を開始する確率

また、図 4.3.4-18 で得られた分布から、分布に基づいた乱数を発生させるために図 4.3.4-19 を連続確率分布の一種である対数正規分布で近似したものを図 4.3.4-20 に示す。この分布の平均値と標準偏差はそれぞれ形状パラメータの μ と σ を用いて式 4.3.4-3 および式 4.3.4-4 で表され、平均値 $E = 7.40[s]$ 、標準偏差 $S = 4.76[s]$ であった。図 4.3.4-20 の青線で示す分布にもとづいて生成された値を歩行者の「横断を開始する TTC の閾値」として用いる。

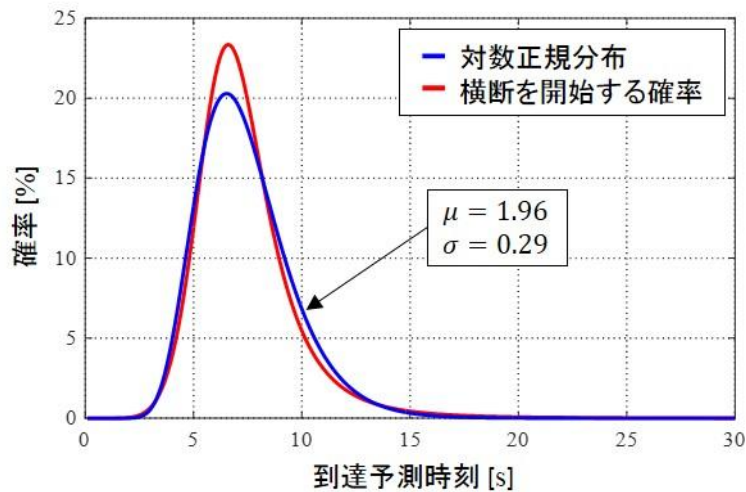


図 4.3.4-20 対数正規分布で近似した横断する確率

$$\text{平均値 } E = e^{\mu + \frac{\sigma^2}{2}} \quad \text{式 4.3.4-3}$$

$$\text{標準偏差 } S = e^{2\mu + \sigma^2} (e^{\sigma^2} - 1) \quad \text{式 4.3.4-4}$$

④自由横断速度

自由横断時の横断速度の調査結果から得られた以下の分布に基づいて生成された値を歩行者の自由横断速度として用いる（図 4.3.4-21）。

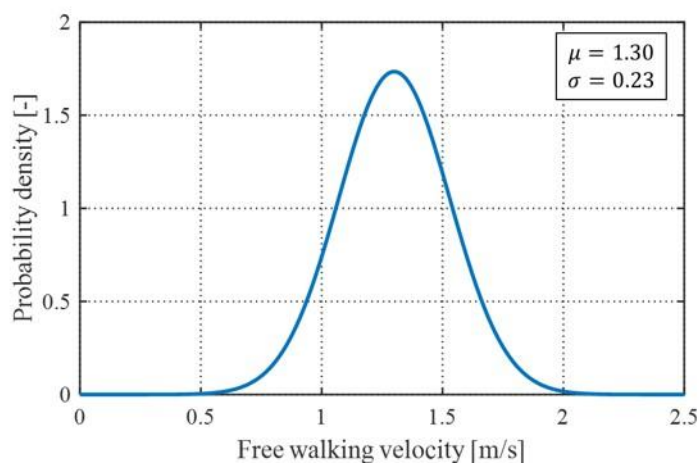


図 4.3.4-21 自由横断速度の分布

⑤横断角度

自由横断時の横断角度の調査結果から得られた以下の分布に基づいて生成された値を歩行者の横断角度として用いる（図 4.3.4-22）。

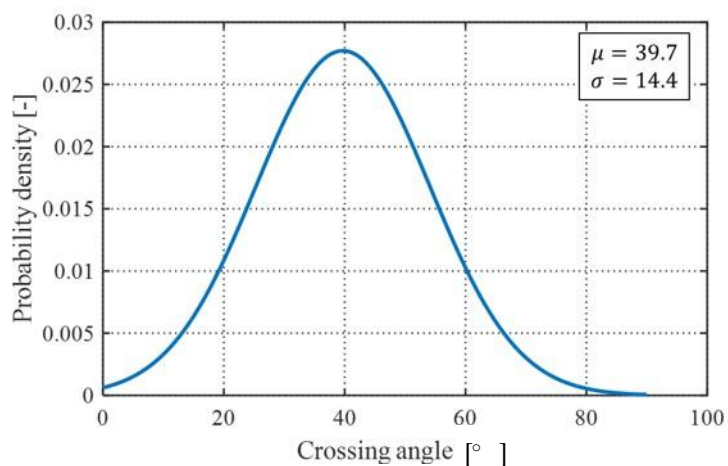


図 4.3.4-22 横断角度の分布

⑥車両接近時の横断速度

認識した車両が手前側の車両である場合は式 4.3.4-5 に示す手前側の車両に対する横断速度の關係を用いて移動速度の算出を行う。認識した車両が奥側であった場合は式 4.3.4-6 に示す奥側の車両に対する横断速度の關係を用いて移動速度の算出を行う。

$$V_A = -0.319 \ln(\text{TTC}) + 2.2715 \quad \text{式 4.3.4-5}$$

$$V_B = -0.168 \ln(\text{TTC}) + 2.2648 \quad \text{式 4.3.4-6}$$

(4) 妥当性の検証

平成 28 年度に構築した歩行者エージェントモデルを用いて道路を横断するシミュレーションを行い、定点観測による歩行者行動実態調査の結果と比較することで、モデルの妥当性の検証を行う。具体的には、実態調査で得られた歩行者の環境条件と個人属性を再現し、歩行者エージェントモデルを用いた道路横断シミュレーションを行った。

図 4.3.4-23 は、それぞれ再現対象とした歩行者とその付近を走行していた車両の実際の状況を示す。歩行者が横断を開始した時刻の画像を示している。車両 1、車両 2 が画面右側から歩行者に向かって接近し、車両 3 が画面左側から歩行者に接近していた場面である。歩行者は車両 1、車両 2、車両 3、が通りすぎるのを待ってから横断を開始していた。再現した歩行者の環境条件と個人属性を図 4.3.4-24、表 4.3.4-4、表 4.3.4-5 に示す。

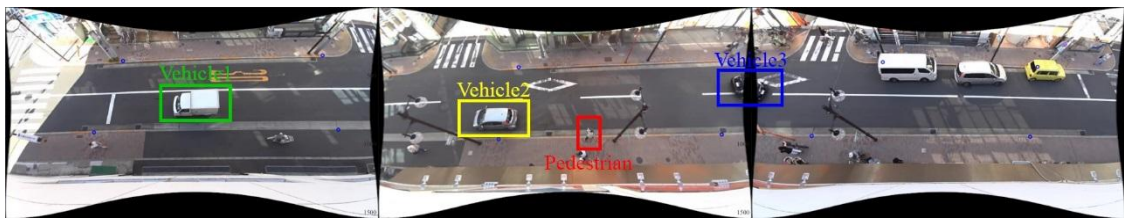


図 4.3.4-23 再現した歩行者と付近を走行していた車両の様子

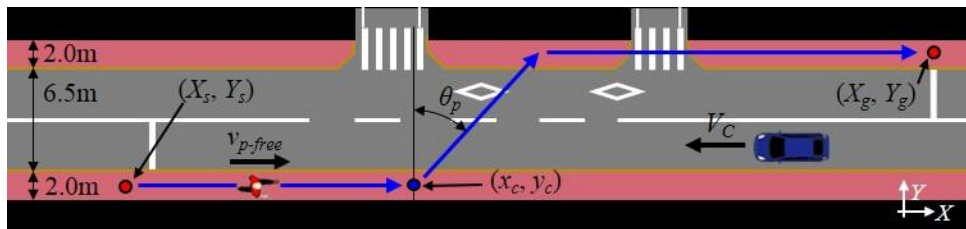


図 4.3.4-24 再現シミュレーションの環境条件

表 4.3.4-4 再現した歩行者の環境条件

定義	記号	値	単位
歩行開始位置の X 座標	X_s	-35.000	[m]
歩行開始位置の Y 座標	Y_s	-1.000	[m]
歩行終了位置の X 座標	X_g	50.000	[m]
歩行終了位置の Y 座標	Y_g	7.500	[m]

表 4.3.4-5 再現した歩行者の個人属性パラメータ

定義	値／属性
横断開始位置の X 座標: x_c [m]	7.025
横断開始位置の Y 座標: y_c [m]	-0.046
横断を開始する TTC の閾値: t_{tc} [s]	6.00
自由歩行速度: v_{p-free} [m/s]	1.593
横断角度: θ_p [°]	54.10
歩きながら安全確認を開始するかどうか	横断開始位置から確認する
横断中に首振り安全確認を行うかどうか	横断中は首振り確認しない

図 4.3.4-25 にシミュレーションを行った場合の歩行者エージェントモデルの挙動（赤線）と実際に観測された歩行者の挙動（青線）を示している。また、横断開始前後の挙動を比較するため、シミュレーションにおける歩行者エージェントモデルが横断を開始した時刻と、実際に観測された歩行者が横断を開始した時刻が同時刻になるように設定した。(a)を見ると、歩行者エージェントモデルと実際に観測された歩行者の軌跡が概ね一致している。また、(b)では減速開始がほぼ同じ時刻に行われている。ただし、横断中の速度に関しては実際の歩行者の方が高く、歩行者エージェントモデルに比べて、実際の歩行者の方が早く道路の横断を終了していた。(d)を見ると、歩行者エージェントモデルは首振り安全確認が横断前の 1 回のみに対して実際の歩行者は横断前に 1 回と横断開始時にも 1 回しているという違いが見られた。ただし、首振り確認開始の位置や方向は類似の傾向を示していることが確認できた。

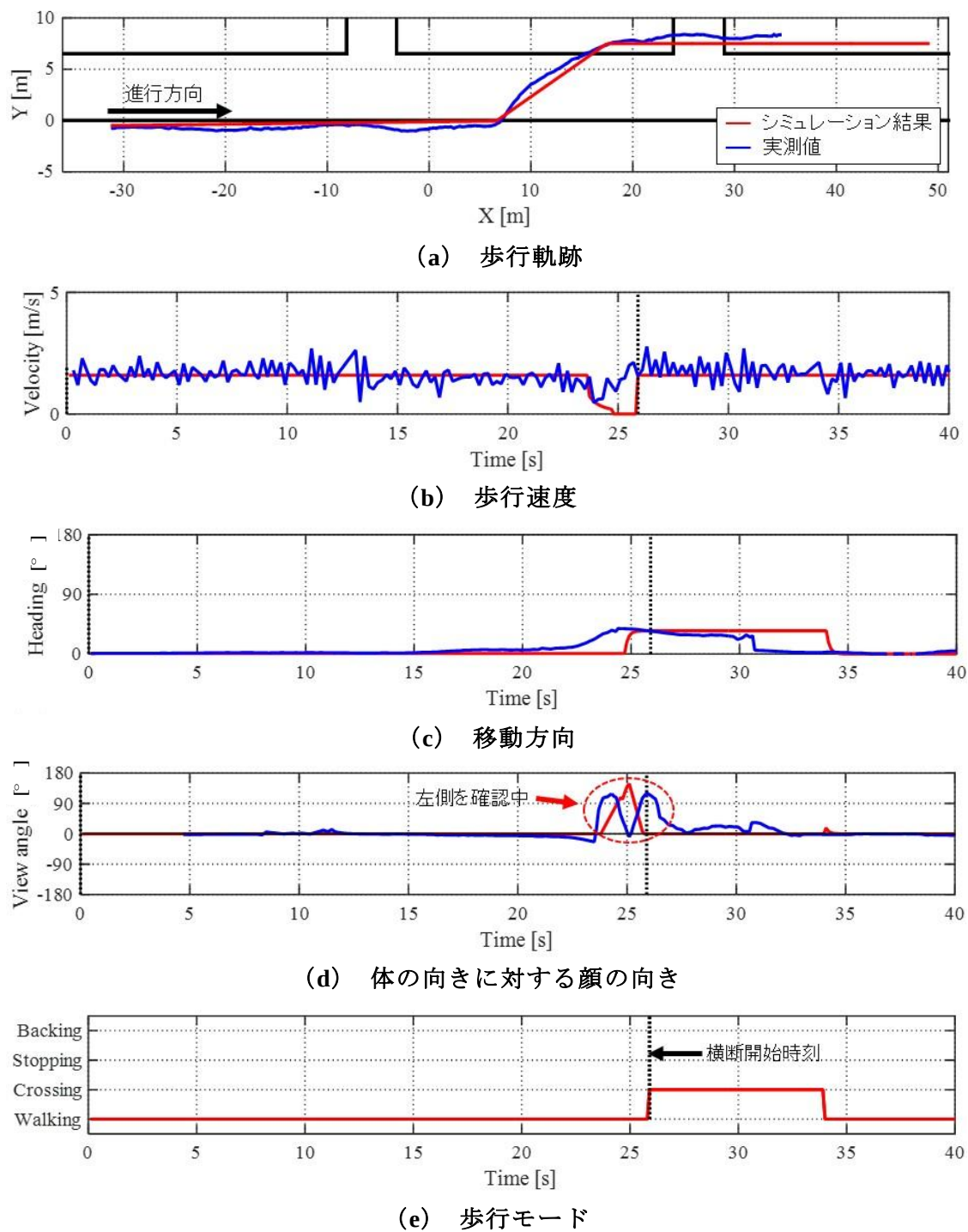


図 4.3.4-25 歩行者エージェントモデルの挙動と実際の歩行者の挙動の比較

(5) 横断速度・角度分布の比較

歩行者エージェントモデルが歩行者の自由横断行動の実態を再現できているかどうかを確認するため、表 4.3.4-4 と同様の環境条件で歩行者エージェントモデルを用いた自由横断のシミュレーションを 100 件行い、シミュレーション結果から得られた横断速度分布・横断角度分布と実態調査の結果から得られた横断速度分布・横断角度分布の比較を行った。

図 4.3.4-26 にシミュレーション結果から得られ横断速度の分布と実測値の比較を示す。また、図 4.3.4-27 にシミュレーション結果から得られ横断角度の分布と実測値の比較を示す。これらの結果より、横断速度ならびに横断角度のシミュレーション結果は概ね実測値と一致しており、歩行者の自由横断行動の実態をうまく再現できていることが確認できた。

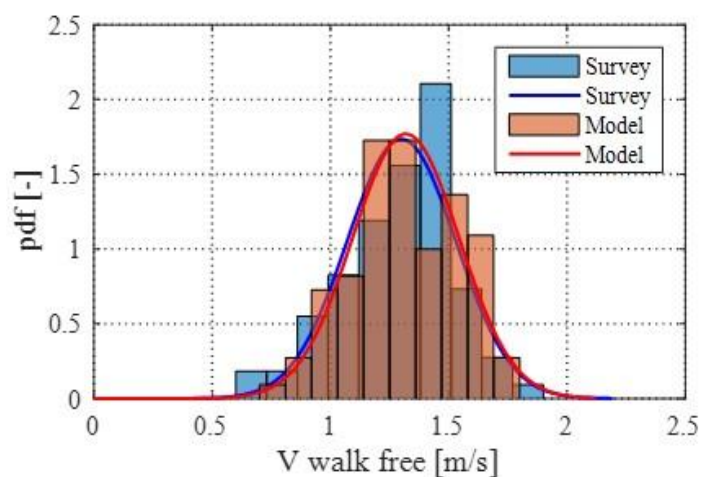


図 4.3.4-26 横断速度のシミュレーション結果と実測値の比較

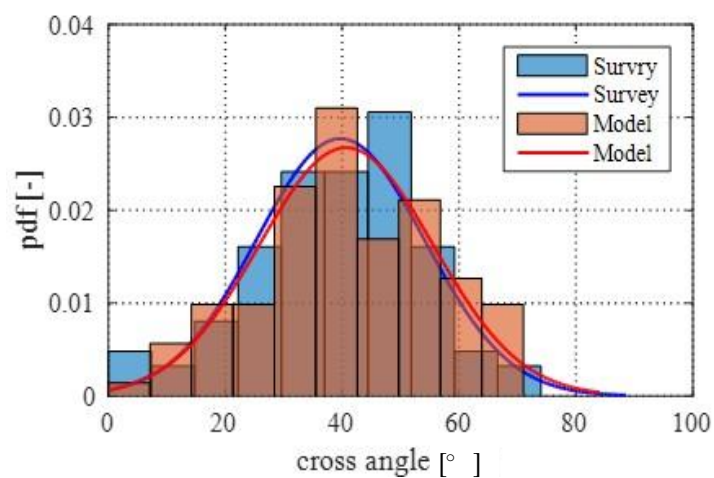


図 4.3.4-27 横断角度のシミュレーション結果と実測値の比較

4.3.4.3 ドライバの運転特性を把握するための実験の実施

(1) 目的

シミュレーションにおいて構築するドライバエージェントの行動がより現実的な内容となることを目指し、走行場面（(i) 自由走行、(ii) 先行車追従、(iii) カーブ走行、(iv) 歩行者横断）ごとの視線配分や運転操作のパラメータ（例えば、視認方向別の割合、走行速度の選択、通常場面における操作内容・操作量）を把握するためのデータを JARI-ARV 車と実験者を運転する走行実験によって得る。また、ドライバパラメータ（法令遵守傾向・運転スキル・情報処理能力）・属性（年齢と性別）と運転行動の関係性について把握する。

(2) 実験参加者

64 名の実験参加者の内訳は表 4.3.4-6 に示している通りである。18～44 歳の男性 11 名、女性 15 名、45～64 歳の男性 7 名、女性 7 名、65 歳以上の男性 12 名、女性 12 名が参加した。非高齢ドライバ 40 名、高齢ドライバ 24 名が参加した実験を計画し、年齢による運転特性の差の把握を行った。

表 4.3.4-6 実験参加者の属性

区 分	18～44歳		45～64歳		65歳以上	
平均年齢	33 (19-44)	39 (29-43)	53 (46-61)	50 (45-55)	76 (68-85)	72 (68-75)
性 別	男性	女性	男性	女性	男性	女性
平均走行距離 [km/年]	10,800 (250-30,000)	8,000 (1,000-20,000)	13,000 (5,000-30,000)	11,600 (5,000-30,000)	6,900 (500-12,000)	6,300 (3,000-10,000)
人 数	11	15	7	7	12	12

本実験を実施するに当たり、日本自動車研究所の実験倫理委員会において実験時の安全確保策・保険的配慮事項・緊急時の対応方法・個人情報の管理体制について審査されたうえで承認がなされた（受付番号 16-018）。実験実施前には、実験参加者に対して実験概要を説明し、実験内容を理解した上で実験に参加することを同意する意味で同意書に署名する手続きを実施した。この手続きによって今回の実験参加者全員のインフォームドコンセントを取得したうえで実験を実施した。

(3) 実験車両（JARI-ARV 車、実験車）

実験で運転する車両は JARI-ARV 車と実験車（トヨタマーク X）とした（図 4.3.4-28）。

JARI-ARV 車では、実験参加者が CG で作成した車両や歩行者がいない場面、車両が登場する場面、車両も歩行者も登場する場面といった条件の異なる場면을走行する際の運転行動データと視認行動データを計測した。

実験車では、実験参加者がカーブ走行時の運転行動データと視認行動データを計測した。なお、このとき、通常走行条件に加えて、ドライバの覚醒度が通常よりも高い状態を模擬するために先急ぎ走行条件を設定して運転を実施してもらった。



(JARI-ARV 車)

(実験車、トヨタマーク X)

図 4.3.4-28 実験用車両

(4) 走行コース

図 4.3.4-29 は、JARI 模擬市街路の西コースにおける JARI-ARV 車を運転するときの走行コースを示している。コースの中央部にある 4 車線道路を往復するコースを設定した。乗車した車両の操作に慣れるために練習走行を行ったうえで実験を行った。

図 4.3.4-30 は、JARI 模擬市街路の西コースにおける実験車を運転するときの走行コースを示している。主にコースの外側を周回するコースを設定し、道路線形に沿って運転するように設定した。このとき、将来的な活用を想定して非優先側から交差点へ進入することを含めた。前述したように、実験車を運転する場合にのみ通常走行条件と先急ぎ走行条件を実施した。

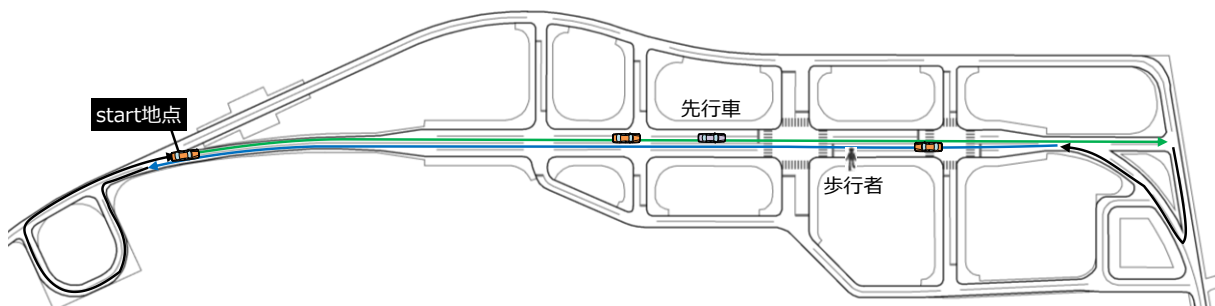


図 4.3.4-29 走行コース（ARV 車運転時）

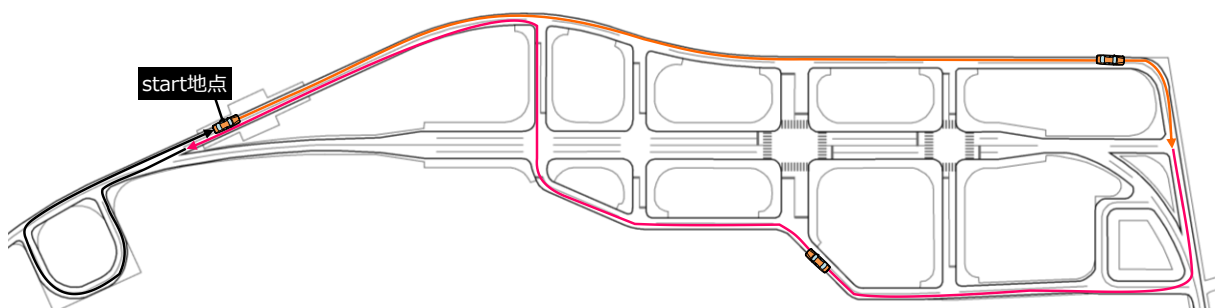


図 4.3.4-30 走行コース（実験車運転時）

(5) 計測項目

表 4.3.4-7 は、本実験における計測項目を示している。車両状態量・ドライバ操作量・映

像・視線情報については JARI-ARV 車・実験車ともに共通であるが、先行車の位置と歩行者の位置については JARI-ARV 車のみの計測項目である。実験車の場合は先行車や歩行者などの他交通参加者は登場しなかった。また、ドライバの視線情報は図 4.3.4-31 に示したモバイル型アイマークレコーダー（ナック製）を使用して計測を行った。

表 4.3.4-7 車両データ・運転行動データに関する計測項目

車両状態量	ドライバ操作量	映像	相対位置情報	ドライバ情報
速度	ブレーキストローク	ドライバ顔	先行車の位置	視線情報
加速度	ブレーキ踏力	前方	歩行者の位置	
ヨーレイト	ハンドル角度	足元		
	アクセル開度			



図 4.3.4-31 モバイル型アイマークレコーダ（EMR-9）

（6）ドライバパラメータの調査

実験参加者がどのような属性のドライバであるのかを把握するため、（一社）人間生活工学研究センター（以下、HQL という）が監修している運転スタイルチェックシート（DSQ : Driving Style Questionnaire）、運転負担感受性チェックシート（WSQ : Workload Sensitivity Questionnaire）を用いて各実験参加者の属性を調査した。

図 4.3.4-32 は、500 名以上の DSQ と WSQ の調査結果に基づいて各項目の平均値を示している。この平均値に対して参加者ごとに得られた DSQ と WSQ のスコアとを比べて、標準偏差内であれば平均的なドライバであるといった基準でドライバパラメータのランクを決定する。

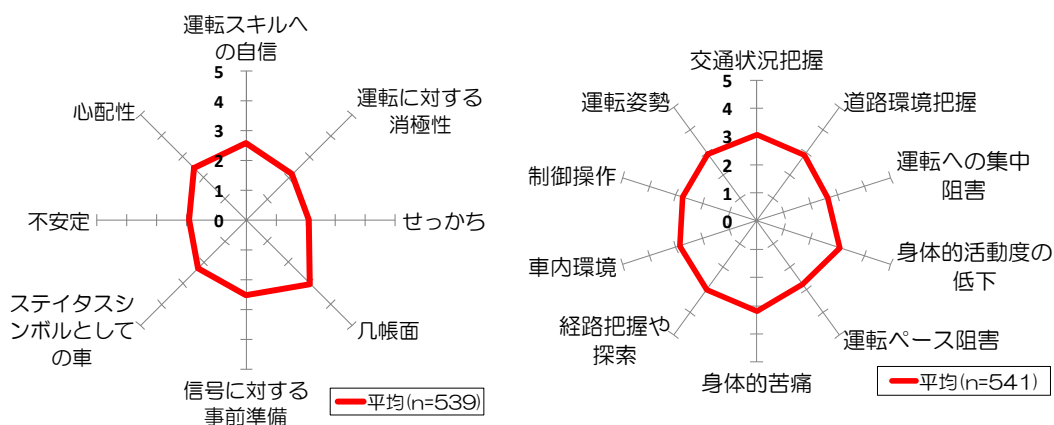


図 4.3.4-32 運転スタイル調査結果と運転負担感受性調査結果の平均値

また、情報処理能力を定量的に把握するため、人間の注意機能の検査に一般的に用いられているトレイルメイキングテスト（TMT : Trail Making Test）を実施した。このテストは TMT-A と TMT-B と呼ばれる 2 種類のテストから構成される（図 4.3.4-33）。

TMT-A は、1～25 までの数字がランダムに配置されており、実験参加者に対して 1 から順番に 1→2→3 を選択してもらい、最後の数字である 25 に到達するまでの所要時間を計測するものである。TMT-B は、1～13 までの数字と「あ」から「し」までの仮名がランダムに配置されており、実験参加者に対して 1→あ→2→い→3…といったように数字と仮名を交互に選択してもらい、全ての選択が完了するまでの所要時間を計測するものである。

どちらの検査にも共通するのは「視覚性の探索能力」や「注意機能の選択性注意」が関係するという点である。さらに、TMT-B 検査では数字と文字を交互に選択することがあるため、完了するまでの時間と「ワーキングメモリ」や「注意機能の分配性注意」が関係すると割れている。そのため、単純な作業速度の低下や視覚性の探索障害であれば、TMT-A 検査と TMT-B 検査の両方に低下がみられるが、もしも TMT-B 検査のみに著名な低下がみられた場合には、ワーキングメモリなどの障害が疑われ、その要因として前頭葉の機能低下が推測されることが分かる検査である。

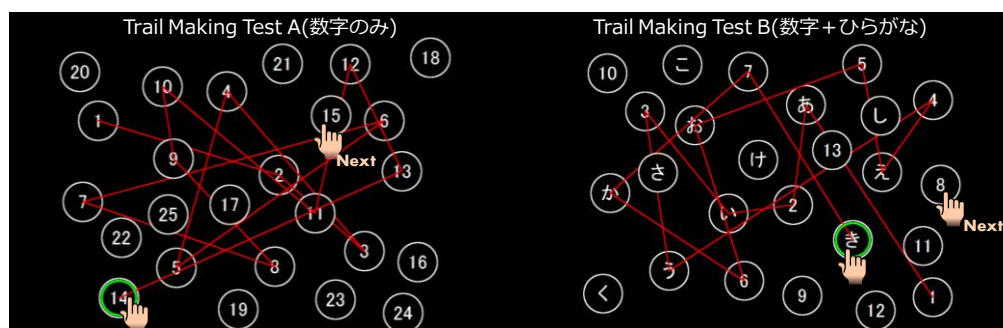


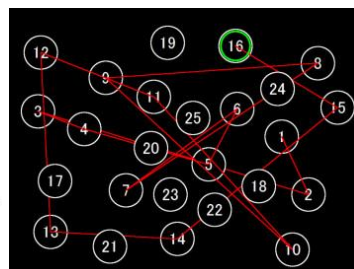
図 4.3.4-33 トレイルメイキングテスト（TMT）
（左：TMT-A（数字のみ）、右：TMT-B（数字とひらがな））

今回の実験では、比治山大学現代文化学部の吉田弘司教授が公開しているトレイルメイキングテストの電子版（ATMT：Advanced Trail Making Test）を調査に活用した¹⁹⁾。このテストでは図 4.3.4-34 に示したように、コンピュータのタッチパネルディスプレイ上にランダムに表示された数字またはひらがなを指で押していく方式で調査を行った。

ATMT:Advanced Trail Making Test



（武田薬品工業HP）



（比治山大学吉田研究室HP）

図 4.3.4-34 情報処理能力・注意力を把握するための ATMT 検査

（7） 教示内容・実験条件

実験参加者に対し、どちらの車両を運転する場合において安全な走行を最優先に心がけて走行してもらうことを教示した。また、運転時の教示内容は車両ごとに異なる内容としたため、その内容を以下に示す。

① JARI-ARV 車の運転時

JARI-ARV 車を運転する際には、コース中央の 4 車線道路を走行するが、2 車線道路を走行していることを意識して運転するように教示した。ディスプレイ上に CG で作成された車両や歩行者が実験中に登場する場合、実際の運転と同様に衝突しないように運転するように教示した。また、JARI-ARV 車を運転する場合、実験参加者には各々が思う通常状態（普段の自分が行っている運転であり、かつ、運転する状況として特段急ぐ必要もなく自分のペースで運転ができる状態）で運転することを意識するように教示した。

② 実験車の運転時

実験車を運転する際には、通常走行条件と先急ぎ走行条件の 2 種類のスタイルで運転を行うことを教示した。通常走行条件については、前述した JARI-ARV 車と同様の内容で教示を行った。

一方、先急ぎ走行条件を行う場合、実験参加者に対しては下記のような内容で教示を行った。通常走行条件と異なり、出勤時間に遅れそうな状況・電車の時間に間に合わないかもしれない状況をイメージしてもらい、先を急ぐという意味で普段の自分のペースよりも高い速度で走行するように教示した。また、安全な実施を徹底するため、各々の先急ぎに関する最大限の度合いを意識することではなく、先を急ぐ状況で自分が実行するかもしれない度合いを意識することを強調して伝えた。

4.3.4.4 ドライバパラメータと運転行動の関係の分析

(1) 運転スタイル別の実験参加者の内訳

①実験参加者の法令順守傾向・運転スキル・情報処理能力の内訳

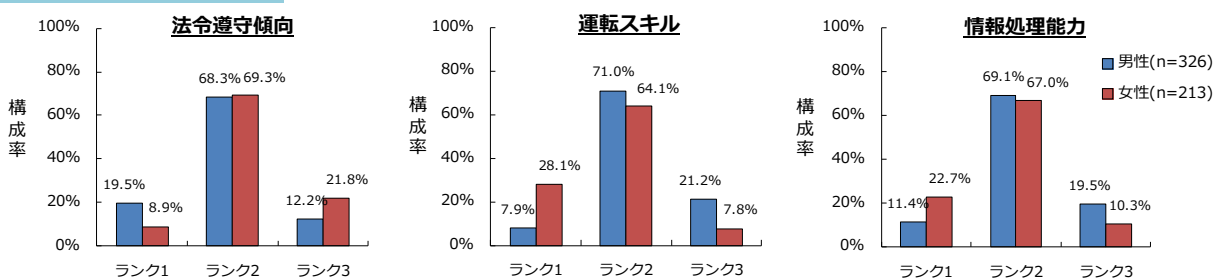
図 4.3.4-35 は、HQL データと本事業で実施した実験における DSQ・WSQ スコアに基づくランク・性別ごとの内訳を比較したものである。ランク 1 が劣った傾向（法令遵守傾向であれば遵守しにくい傾向）、ランク 3 が優れた傾向（法令遵守傾向であれば厳密に遵守する傾向）、ランク 2 が中間的な傾向を示している。

HQL データ（539 名）の特徴をみると、法令遵守傾向はランク 1 が男性に多い一方でランク 3 は女性に多い。運転スキルは法令遵守傾向と逆の傾向があり、ランク 1（スキルが低い）が女性に多く、ランク 3（スキルが高い）が男性に多い。情報処理能力は運転スキルと同様に、ランク 1（処理能力が低い）が女性に多く、ランク 3（処理能力が高い）が男性に多い。

今回の実験データ（64 名）で取得した DSQ・WSQ スコアに基づいて各パラメータのランクを性別ごとに分類したところ、法令遵守傾向・運転スキルについては概ね同様の傾向（女性の方が多いランクや男性の方が多いランク）が得られた。

一方、情報処理能力については HQL データと今回の実験データでは異なる傾向が見られた。ランク 1 に女性が多く、ランク 3 に男性が多い点は類似した傾向であるが、ランク 1 の構成率が男女ともに HQL データよりも実験データの方が高い。これは、実験では 64 名のうち 24 名（37.5[%]）が 65 歳以上の高齢者の参加であったことが影響したものと考えられる。

HQLデータ(n=539)



SIP実験(n=64)

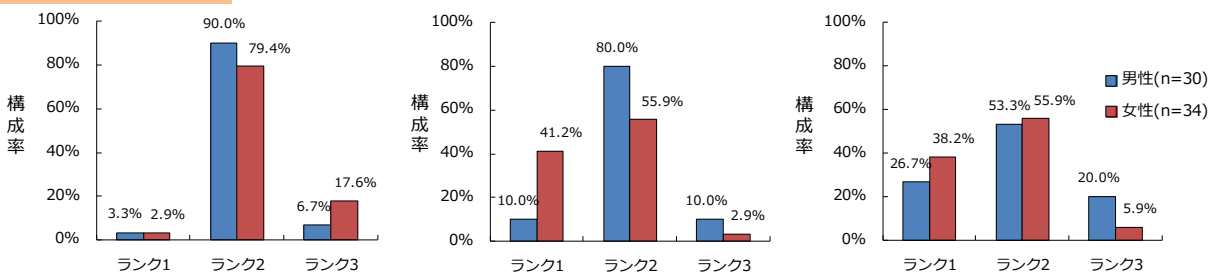


図 4.3.4-35 DSQ・WSQ スコアに基づくランク・性別ごとの内訳の比較
(HQL データ・SIP 実験)

また、法令順守傾向のランク 1 に相当するドライバの構成率が実験において少なかったといえる。これは実験参加者を募集するにあたり、実験の安全な実施を念頭において交通事故を複数回起こしているドライバや交通違反を常習的に犯すドライバを募集条件から予め排除していたことが影響したものと考えられる。ただし、危険な運転を行うドライバを模擬することが本事業の目的にとって重要である側面もあり、このような属性のドライバの運転行動データをいかに収集するかが課題といえる。

以上、シミュレーションにおいてドライバパラメータとして設定する法令順守傾向と運転スキルについては性別の差を考慮することが有用と考えられるが、情報処理能力については性別の差だけではなく、年齢の差を考慮することが有用と考えられる。なお、情報処理能力に関する年齢の影響をどのように考慮するかについては ATMT テストデータに基づいて考察する。

図 4.3.4-36 は、64 名のドライバに HQL データと同様の分布を仮定した場合の法令順守傾向と運転スキルの組み合わせ別の人数と実験データで取得した DSQ・WSQ スコアに基づいて分類した組み合わせ別の人数を比較したものである。法令順守・運転スキルともにランク 2 のドライバが最多（HQL：29 名、実験：39 名）であることは共通しているが、前述したように実験では平均的なドライバを募集しやすいために HQL データよりも高くなったものと考えられる。その他では、法令順守傾向が低いドライバ（HQL：10 名、実験：2 名）、運転スキルが高いドライバ（HQL：9 名、実験：4 名）などの特徴的な特性に有するドライバが少なかった。

特徴的な特性を有するドライバが少なかった課題はあるものの、HQL データで最多となる平均的な組み合わせが最も多く、次いで多い法令順守傾向（ランク 2）で運転スキル（ランク 3）も同様に 2 番目に多かった点が確認できる。従って、HQL データで得られたドライバパラメータの組み合わせを網羅できてはいないが、本実験では主要な組み合わせに該当するドライバの運転行動データを収集したことが確認された。

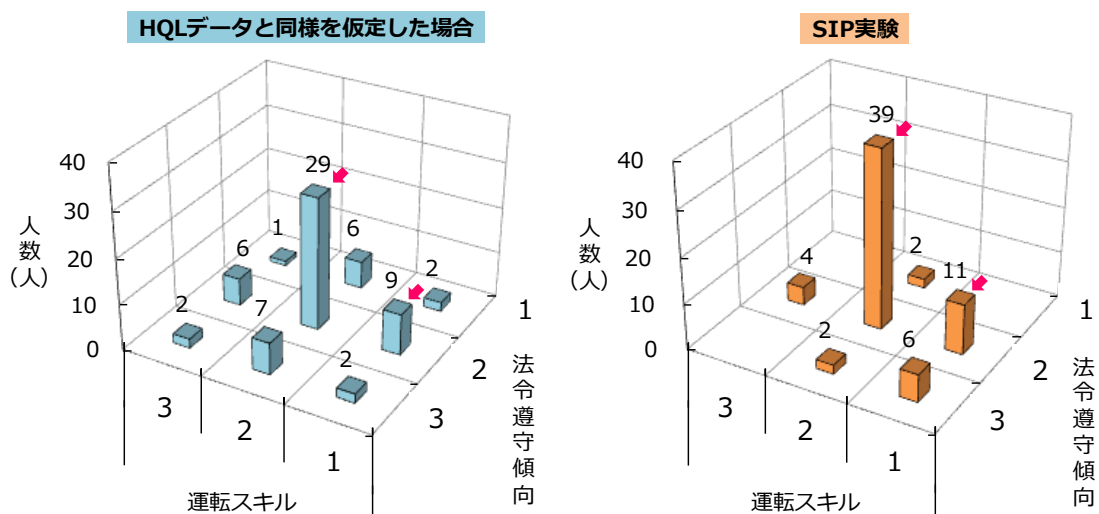


図 4.3.4-36 法令遵守傾向と運転スキルの組み合わせ別の内訳の比較
(HQL と同様の分布を仮定した場合の 64 名と SIP 実験参加者の 64 名の比較)

②ドライバの情報処理能力における年齢の影響の分析

前述したように、法令順守傾向と運転スキルのパラメータは性別の影響を考慮することで表現できるが、情報処理能力については性別だけではなく、年齢の影響を考慮する必要があると分かった。

そこで、本実験で実施した ATMT テストの所要時間と実験参加者の年代との関係について考察する。図 4.3.4-37 は、年代別の TMT-A テストと TMT-B テストの所要時間を比較したものである。年代に関わらず TMT-A よりも TMT-B の所要時間がかかり、平均すると TMT-A テストよりも約 6 割の時間がさらに要することになる。どちらのテストについても年代が高くなるほど所要時間が大きくなりやすく、50 代以上のドライバのなかには数字とひらがなを交互に選択する B テストで特に時間が大きくなる事例が散見される。

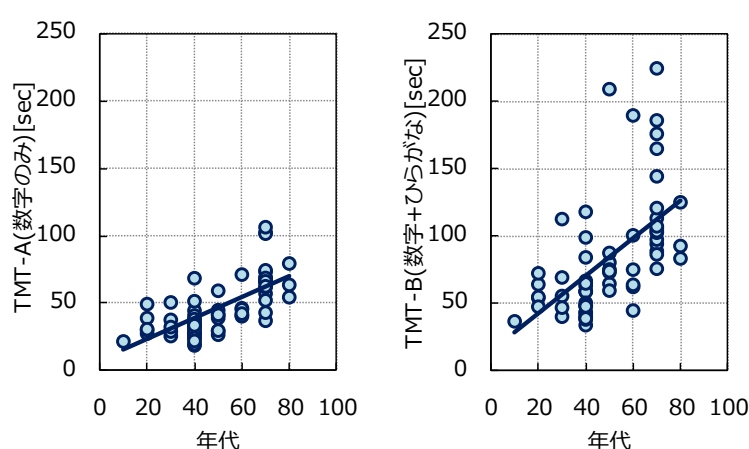


図 4.3.4-37 年代別の ATMT テストの所要時間（TMT-A テストと TMT-B テスト）

図 4.3.4-38 は、性別・年齢層ごとの TMT-A・B テストの所要時間の分布を示している。性別に関わらず 18-44 歳、45-64 歳に比べて 65 歳以上は TMT-B の所要時間が大きくなりやすい特徴がある。

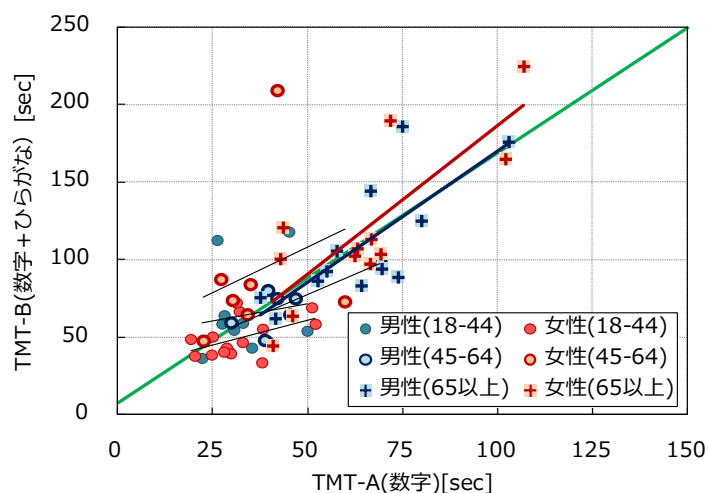


図 4.3.4-38 性別・年齢層ごとの TMT-A・B テストの所要時間の分布

図 4.3.4-39 は、年代別に TMT-A・B テストの所要時間の平均値と標準偏差を比較した結果を示している。TMT-A テストの所要時間は 20 代・30 代・40 代・50 代・60 代が小さく、70 代・80 代が大きい傾向があり、TMT-B テストの所要時間は 20 代・30 代・40 代が小さく、50 代・60 代・70 代・80 代が大きい傾向がある。従って、20 代・30 代・40 代は A・B の双方が早いことより情報処理能力が全般的に高く、50 代・60 代は TMT-B テストのみ遅くなることより周辺が混雑する状況などでの情報処理能力が低く、70 代・80 代は A・B の双方が遅いことより情報処理能力が全般的に低い特性であることを模擬することが妥当であると考えられる。

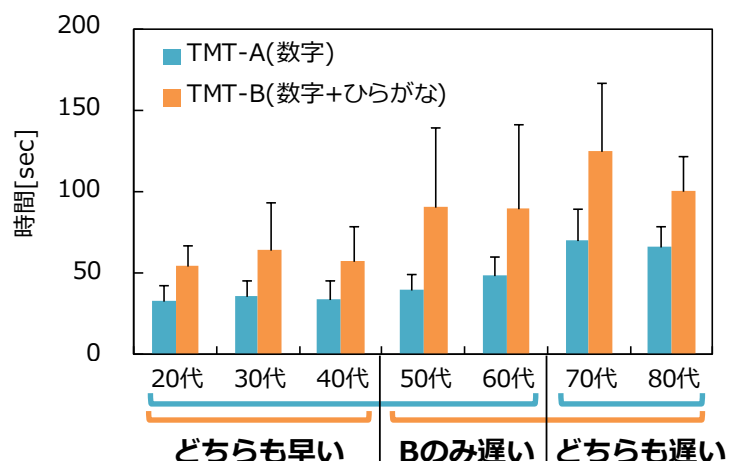


図 4.3.4-39 年代別の TMT-A・B テストの所要時間の平均値と標準偏差

(2) ドライバパラメータと自由走行時の運転行動の関係

実験参加者のドライバパラメータの違いが実験中の運転行動にどのように影響するかを明らかにするため、実験車での走行条件における自由走行時の運転行動を分析した。なお、今回の実験コースにおいてドライバが最も制約を受けずに走行した区間を自由走行したものと仮定して分析区間を設定した。

図 4.3.4-40 は、実験参加者（S58、S:Subject（実験参加者））の実車での走行コースと走行速度の関係を通常走行条件と先急ぎ走行条件で比較した結果の例を示している。走行中に最高速度を記録した区間を特定したところ、128 回（64 名×2 条件）の走行のうち 98[%] が図中の区間に該当した。今回の分析にあたり、この区間を実験参加者ごとの自由走行速度を比較するための区間と設定した。

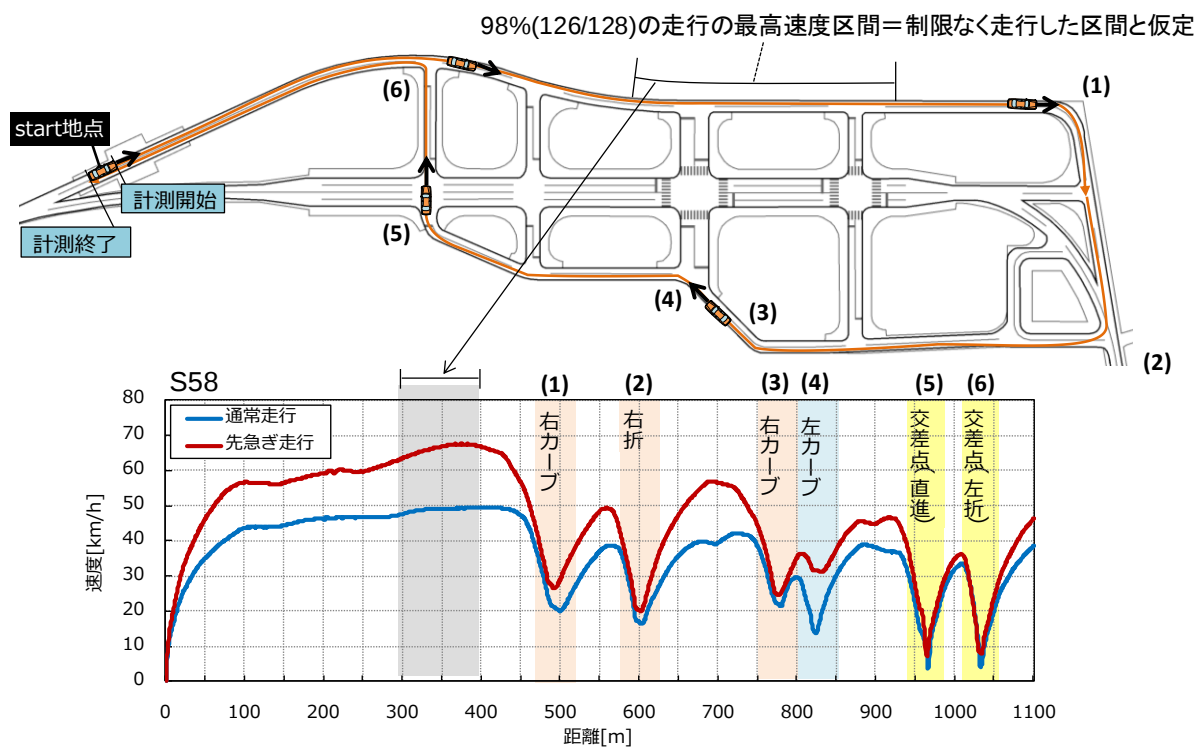


図 4.3.4-40 ドライバパラメータと自由走行時の運転行動の関係を分析する対象区間
(通常走行条件・先急ぎ走行条件)

図 4.3.4-41 は、分析対象とした区間における通常走行条件・先急ぎ走行条件の平均走行速度の箱ひげ図を比較したものである。通常走行条件の中央値は 44.6[km/h]、先急ぎ走行条件の中央値は 57.7[km/h]であり、先急ぎ走行条件によって実験参加者の走行速度が高くなった。64 名中 63 名の速度が先急ぎ条件で高くなっていることも勘案すると、ドライバーには先を急ぐ事情が生じた場合に通常速度よりも高い速度で選択する特徴がある。

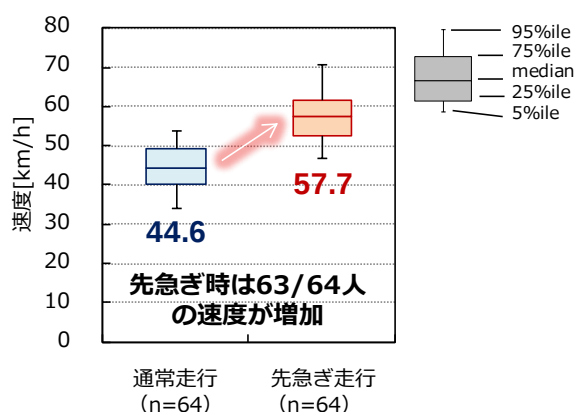


図 4.3.4-41 通常走行条件・先急ぎ走行条件の平均走行速度の比較

図 4.3.4-42 は、通常走行条件と先急ぎ走行条件の性別と平均走行速度の関係を示している。どちらの条件にも共通して女性の速度の方が低い傾向が見られる。性別によって法令順守傾向と運転スキルの分布が異なることが示されているうち、どちらのパラメータがより影響するのかについて分析を行った。

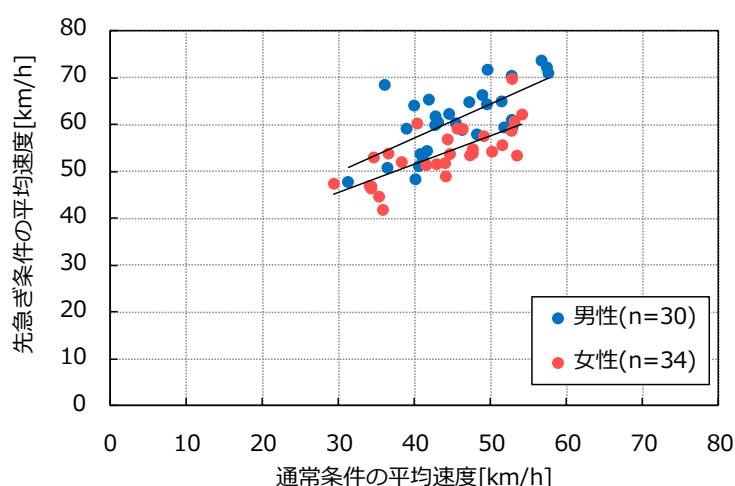


図 4.3.4-42 性別と走行速度の関係（通常走行条件・先急ぎ走行条件）

図 4.3.4-43 は、通常走行条件におけるドライバパラメータ（法令順守傾向・運転スキル）と平均走行速度の関係を表している。通常走行条件においては法令順守傾向が低いほど速度が高くなる傾向が見られるが、運転スキルに関しては同様な傾向が見られない。

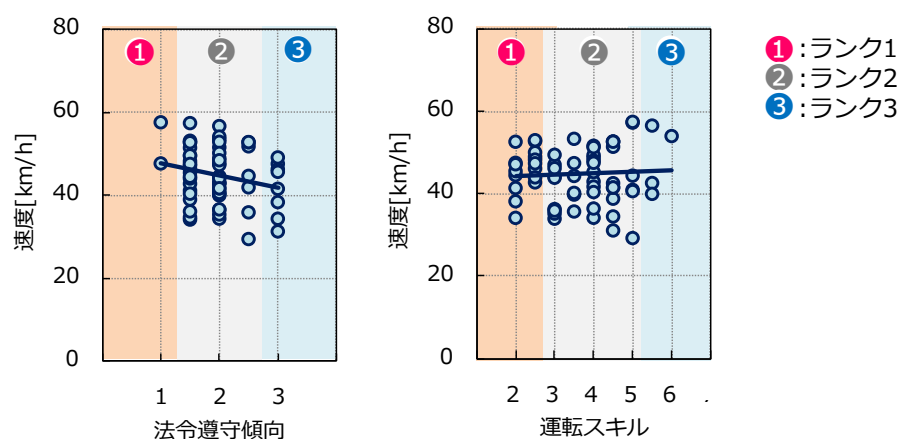


図 4.3.4-43 通常走行条件のドライバパラメータと平均走行速度の関係（法令遵守傾向・運転スキル）

図 4.3.4-44 は、先急ぎ走行条件におけるドライバパラメータ（法令順守傾向・運転スキル）と平均走行速度の関係を表している。先急ぎ走行条件においても法令順守傾向が低いほど速度が高くなる傾向が見られる。運転スキルに関しては先急ぎ走行条件において、スキルが高いほど速度が高くなる傾向が見られる。

自由走行速度に関しては、法令順守傾向は走行条件に関わらず影響することが確認された一方で、運転スキルはどのような状況で運転しているかによって影響の度合いが変わる側面があると推察される。つまり、運転スキルが高いことを自覚しているドライバにおいては、運転スキルを発揮する場面は先を急ぐような状況で運転する場面であると意識しているのではないかと考えられる。従って、運転スキルのパラメータが高いドライバは状況に関わらず常に高い速度を選択する訳ではないため、スキルのパラメータのランクによって一律に行動を変えるような設定では現実的な行動を模擬できない可能性がある。

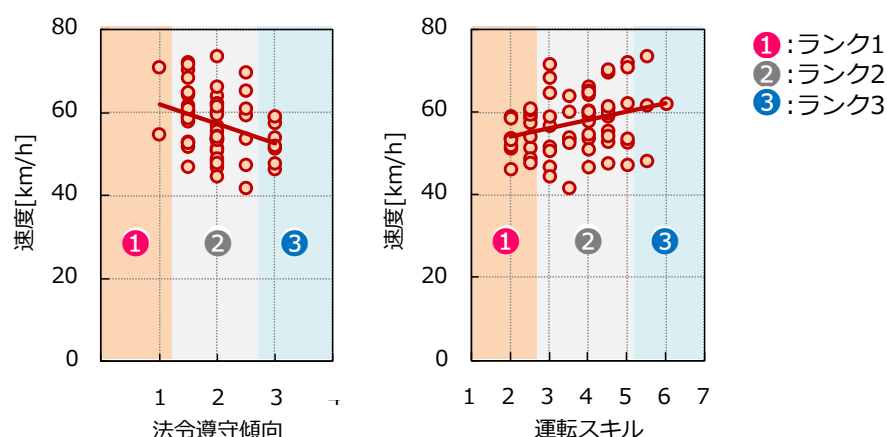


図 4.3.4-44 先急ぎ走行条件のドライバパラメータと平均走行速度の関係
(法令遵守傾向・運転スキル)

(3) ドライバパラメータとカーブ走行時の運転行動の関係

次に、実験参加者のドライバパラメータの違いが実験中の運転行動にどのように影響するのかを明らかにするため、実験車での走行条件におけるカーブ走行時の運転行動を分析した。今回の実験コースにおいて最も曲率半径の小さいカーブ区間をドライバが最も制約を受ける区間と設定した。この区間を走行時にドライバごとのカーブ走行時の運転行動特性が反映されると仮定した。

図 4.3.4-45 は、実験参加者 (S43、S:Subject (実験参加者)) の実車での走行コースと走行速度の関係を通常走行条件と先急ぎ走行条件で比較した結果の例を示している。図 4.3.4-45 中の (1) のカーブが R20[m] のカーブであり、コース内で最も曲率半径の小さいカーブ区間である。このカーブ区間に対して通常走行条件・先急ぎ走行条件のドライバが接近・進入・通過のためにアクセル操作・ブレーキ操作・ハンドル操作をどのように操作しているのかを分析する。分析した運転行動データに基づいてカーブ走行時の運転行動とドライバパラメータの関係を明らかにする。

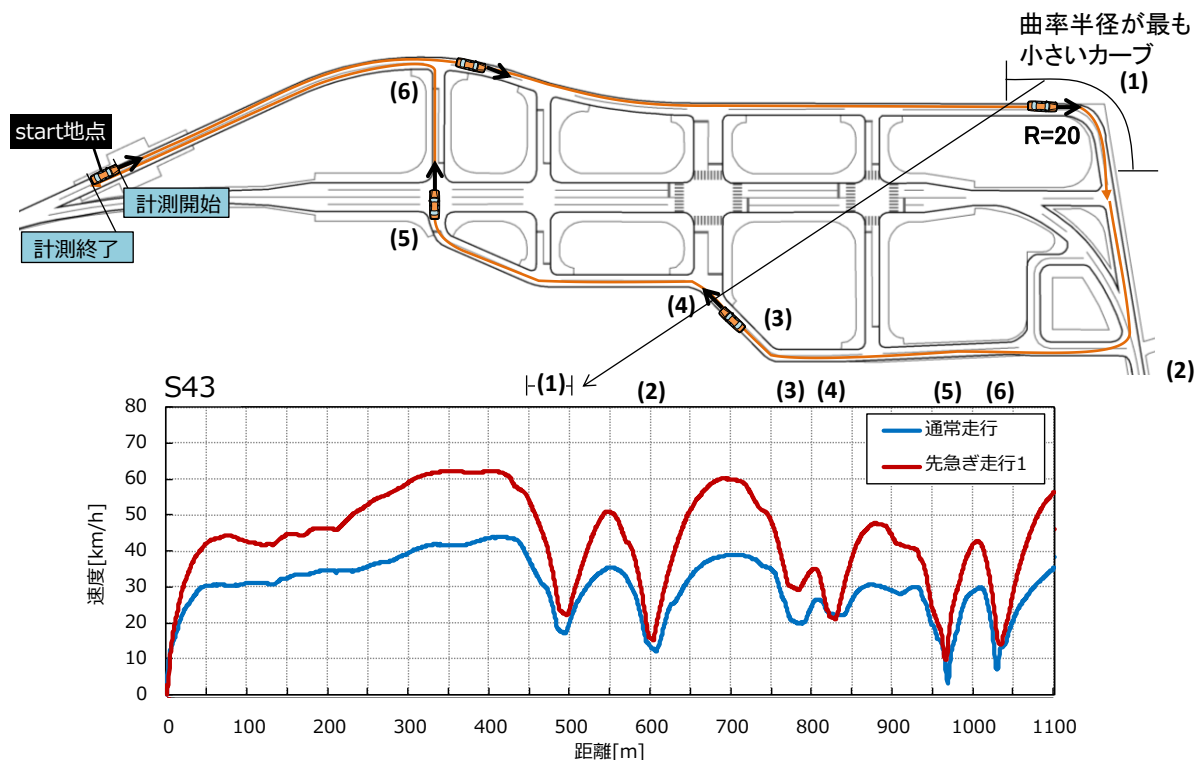


図 4.3.4-45 ドライバパラメータとの運転行動の関係を分析する対象区間の選定
(通常走行条件・先急ぎ走行条件)

図 4.3.4-46 は、通常走行条件と先急ぎ走行条件のカーブ走行時の運転行動を比較した結果の一例を示している (S2、S:Subject (実験参加者))。最も曲率半径の小さいカーブの頂点を基準とした 100[m]手前・50[m]手前の区間の速度[km/h]・前後加速度[m/s²]・アクセル開度[%]・ブレーキ踏力[N]・角速度[°/s]の推移を示しており、①100[m]手前の時点の速度をカーブ進入速度 1、②50[m]手前の時点の速度をカーブ進入速度 2、③カーブ進入・通過時の最低速度を進入時最低速度、④区間内の最大減速度を進入時最大減速度、⑤区間内の最大角速度を進入時最大角速度と定義して、ドライバ別・条件別に運転行動データを比較した。

S2 の場合、①カーブ進入速度 1 (通常：41.3[km/h]、先急ぎ：50.4[km/h])、②カーブ進入速度 2 (通常：37.5[km/h]、先急ぎ：42.6[km/h])、③最低速度 (通常：23.2[km/h]、先急ぎ：25.2[km/h])、④最大減速度 (通常：-1.62[m/s²]、先急ぎ：-1.69[m/s²])、⑤最大角速度 (通常：21.4[°/s]、先急ぎ：23.3[°/s]) であった。先急ぎ条件であるためにカーブ進入速度が高い状態で接近するが、カーブに進入するとともに速度差が縮小すること、最大減速度や最大角速度には大きな差がないことが分かる。ドライバは先急ぎをすることで選択した高い速度をカーブ進入前にアクセルをオフにすることなどで速度を調整してからカーブへ進入することが共通するのではないかと考えられる。

これらの 5 つの運転行動の分析によって、ドライバのカーブ走行時の運転行動データとドライバパラメータの関係を明らかにする。

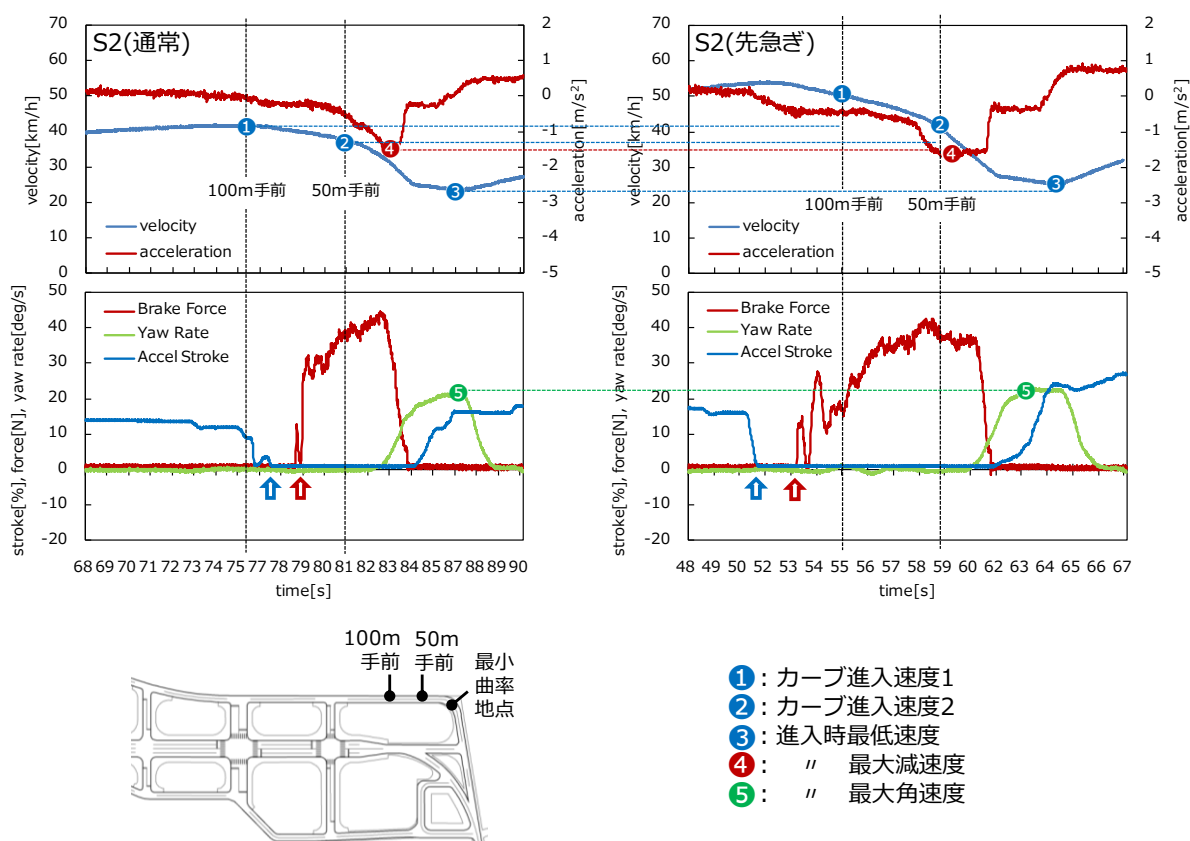


図 4.3.4-46 カーブ走行時の速度・加速度・ブレーキ踏力・ヨーレート・アクセル開度
(通常走行条件・先急ぎ走行条件)

図 4.3.4-47 は、①～⑤の運転行動データを通常走行条件と先急ぎ条件の比（先急ぎの値÷通常値）を 64 名について分析した結果を示している。各運転行動データの比の中央値は①1.27、②1.18、③1.15、④1.48、⑤1.07 となっているように、速度は進入するほど差が縮小する特徴を示している。また、ハンドル操作に関する⑤の比は 1.07 となっており、通常と先急ぎで差が最も小さい結果となっている。これは、④の最大減速度の比が 1.47 と最も大きいことと関連していると考えられ、前述したようにドライバーはアクセルオフ操作とブレーキ操作によって予め速度を調整してからハンドル操作を行っているものと考えられる。

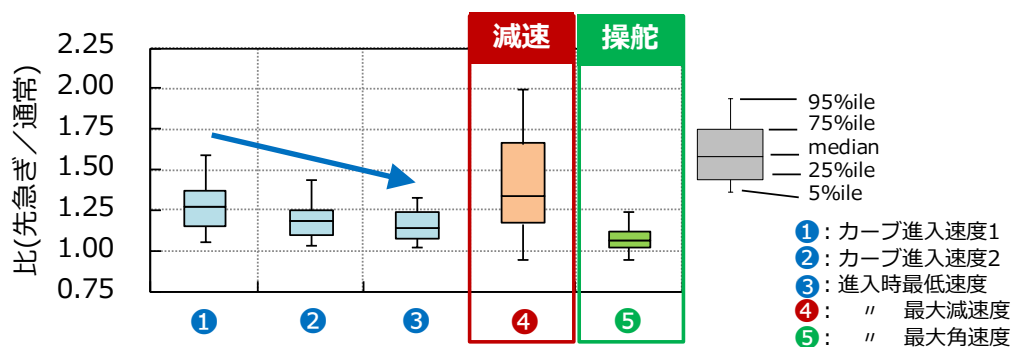


図 4.3.4-47 通常走行条件と先急ぎ走行条件のカーブ進入時の運転行動データの比

図 4.3.4-48 は、通常走行条件のドライバパラメータ（法令順守傾向）と運転行動データの関係を示している。法令順守傾向が異なる場合には通常時であっても運転行動に違いがあることが分かり、①と②の進入速度と④最大減速度に法令順守傾向のランクが低いほど速度が高い傾向、減速度が大きい傾向が見られた。一方、③最低速度と⑤最大角速度についてはランクによる違いは見られない。

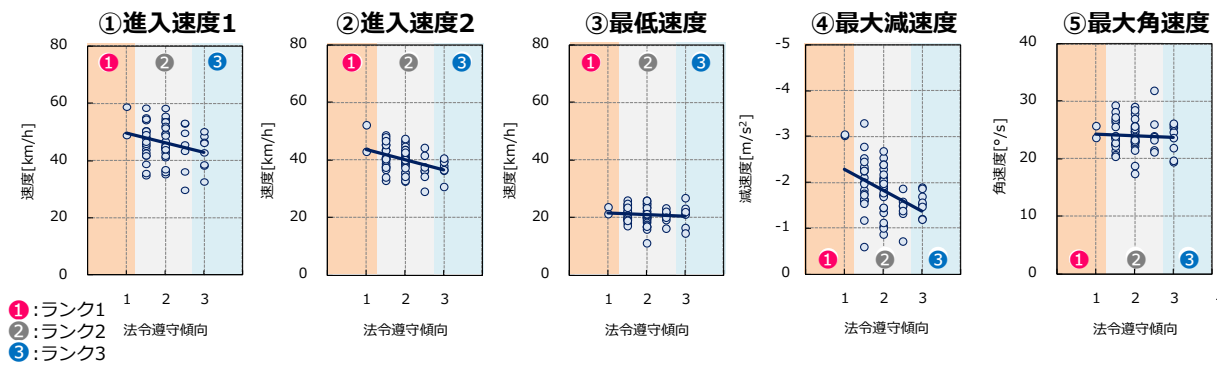


図 4.3.4-48 通常走行条件のドライバパラメータと運転行動データの関係
(法令遵守傾向)

図 4.3.4-49 は、先急ぎ走行条件のドライバパラメータ（法令順守傾向）と運転行動データの関係を示している。通常走行条件と同様に、法令順守傾向と運転行動の関係があることが分かり、①と②の進入速度と④最大減速度に法令順守傾向のランクが低いほど速度が高い傾向、減速度が大きい傾向が見られた。また、③最低速度と⑤最大角速度については通常よりも違いは大きい傾向はあるものの、基本的には速度と減速度に比べるとランクによる違いは小さい。

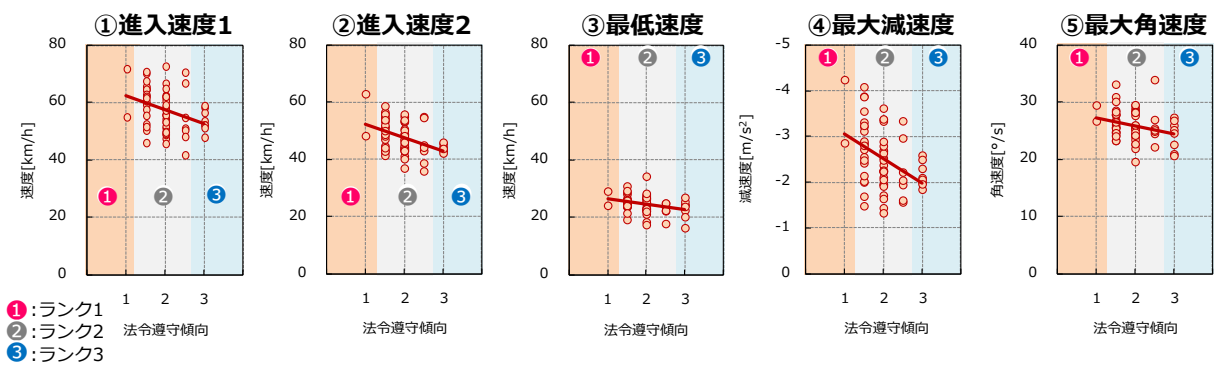


図 4.3.4-49 先急ぎ走行条件のドライバパラメータと運転行動データの関係
(法令遵守傾向)

図 4.3.4-50 は、通常走行条件のドライバパラメータ（運転スキル）と運転行動データの関係を示している。法令順守傾向に比べて運転スキルのランクと運転行動の違いが通常時には全体的に小さいことが分かる。①・②・③（速度）と④（減速度）についてはランクが高いほど速度が高く、減速度が大きい傾向はあるが法令順守傾向ほど明確ではない。

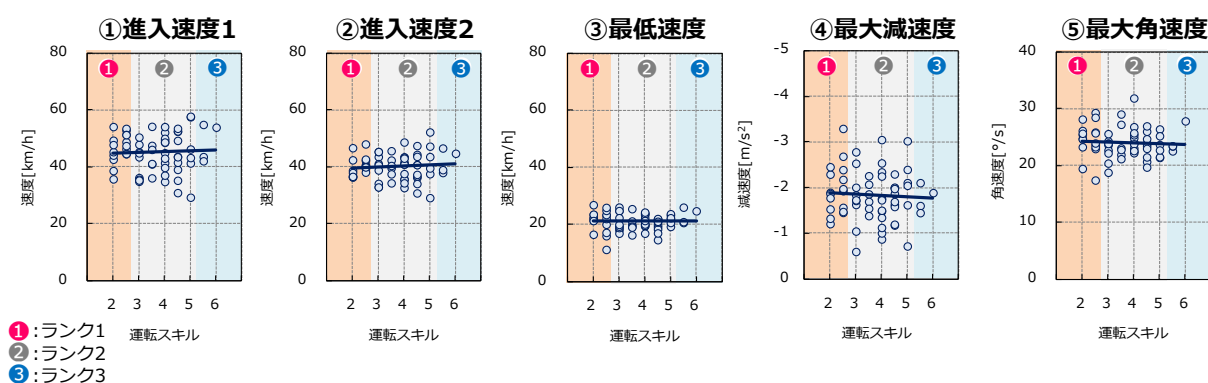


図 4.3.4-50 通常走行条件のドライバパラメータと運転行動データの関係
(運転スキル)

図 4.3.4-51 は、先急ぎ走行条件のドライバパラメータ（運転スキル）と運転行動データの関係を示している。自由走行速度と同様に先急ぎ時において運転スキルのランクと運転行動に違いがあることが分かる。①・②・③（速度）と④（減速度）についてはランクが高いほど速度が高く、減速度が大きい傾向が見られる。

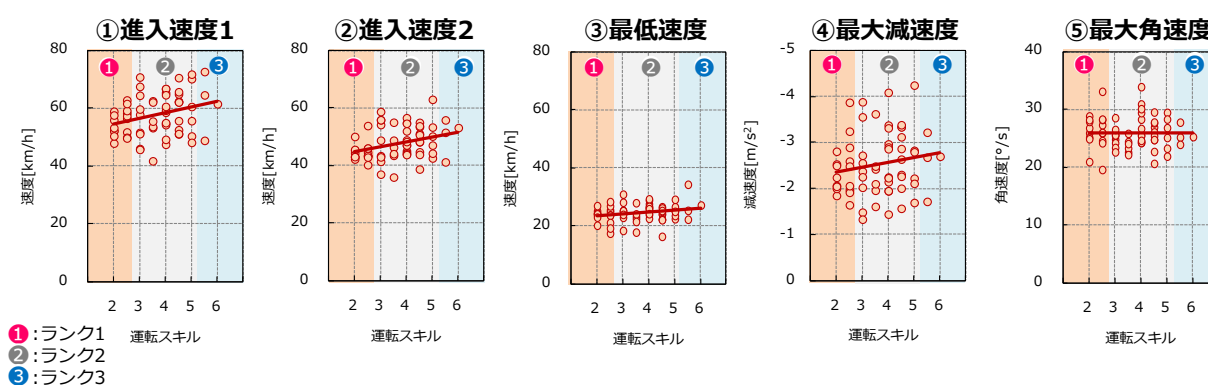


図 4.3.4-51 先急ぎ走行条件のドライバパラメータと運転行動データの関係
(運転スキル)

以上、自由走行速度とカーブ走行時の運転行動についてドライバパラメータと法令順守傾向と運転スキルのランクの影響を分析した。法令順守傾向は通常・先急ぎの走行条件の違いに関わらず影響しやすい一方、運転スキルは通常よりも先を急ぐような状況で運転するような場面で影響しやすいという傾向を把握した。

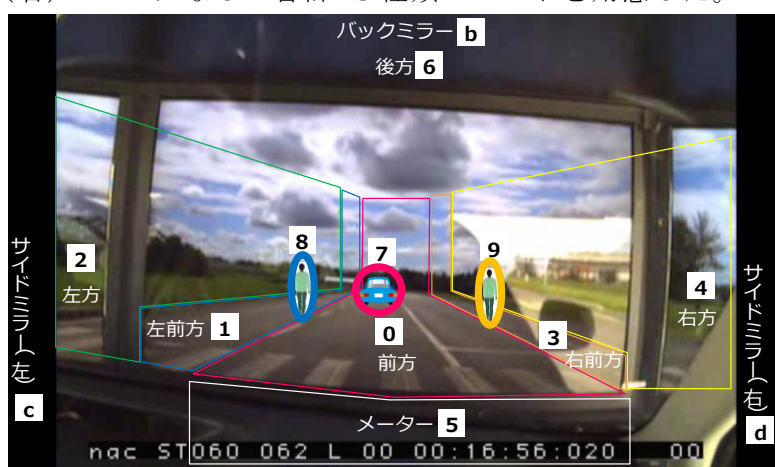
限定された場面・条件ではあるものの、本実験によってシミュレーションで想定しているドライバパラメータが実際の運転行動にどのように影響するのかを具体的に把握することができたと考えられ、これらの特徴を考慮してシミュレーションに反映することが重要である。

4.3.4.5 走行状況別のドライバ視線配分特性の分析

本事業のシミュレーションでは、最終的にはドライバエージェントがさまざまな場면을連続して運転することを志向して開発を行っている。その場合、他の交通参加者がいない場面と他の交通参加者（車両や歩行者）が道路上に登場する場면을走行することが考えられる。このとき、ドライバは知覚・認知のための注意リソースである視線配分を前方状況に合わせて変えると考えられる。ただし、前方状況別にドライバの視線配分の割合を単純に設定すれば現実的な行動を模擬できる訳ではなく、視線配分の割合をどのように分割してドライバが知覚・認識する行動を実施しているかを把握して模擬すべきである。そのためには前方状況ごとの視線配分特性について、視認方向・視認対象別の割合だけではなく、視認方向・視認対象別の視認回数や1回あたりの視認時間といった観点で視線配分特性を分析する必要がある。

JARI-ARV 車を運転するにあたり、①自由走行場面、②先行車追従走行場面、③歩行者歩行場面、④先行車追従・歩行者歩行場面の4つの前方状況を設定し、ドライバのアイマークレコーダで計測した視認行動を分析し、視認方向・対象別の視線配分特性を明らかにする。

図 4.3.4-52 は、JARI-ARV 車を運転するときの前方状況における視認方向・視認対象を分析に用いた分類コードを示している。前方・左前方・左方・右前方・右方・メーター・後方・その他・バックミラー・サイドミラー（左）・サイドミラー（右）・先行車・歩行者（左）・歩行者（右）・マークなしの合計 15 種類のコードを用意した。



視認行動の内容	コード	視認行動の内容	コード
前方	0	バックミラー	b
左前方	1	サイドミラー(左)	c
左方	2	サイドミラー(右)	d
右前方	3	先行車	7
右方	4	歩行者(左)	8
メーター	5	歩行者(右)	9
後方	6		
その他	a	マークなし	n

図 4.3.4-52 ドライバの視線配分対象の内容と分析用コード

アイマークレコーダによる視線計測を精度よく実施することは難しく、実験開始前に入念に調整しても十分な計測精度を確保できない事例（視認する方向は分かったとしても、その方向の何を見ているのかが特定できない場合）が珍しくない。そこで、本実験のデータを分析するにあたり、図 4.3.4-53 に示したような分析基準を設け、先行車や歩行者を視認した・視認しなかったについて判別することとした。

先行車・歩行者にアイマークが重なるときは視認とするが、視認対象との距離が離れた場合などはアイマークの方が視認対象よりも大きい場合がある。そのため、図に示したように視認対象から左右 2 個分・上下 1 個分の範囲を視認した対象範囲内として分析した。

「先行車」 or 「歩行者」を視認した対象内・外とする判断基準

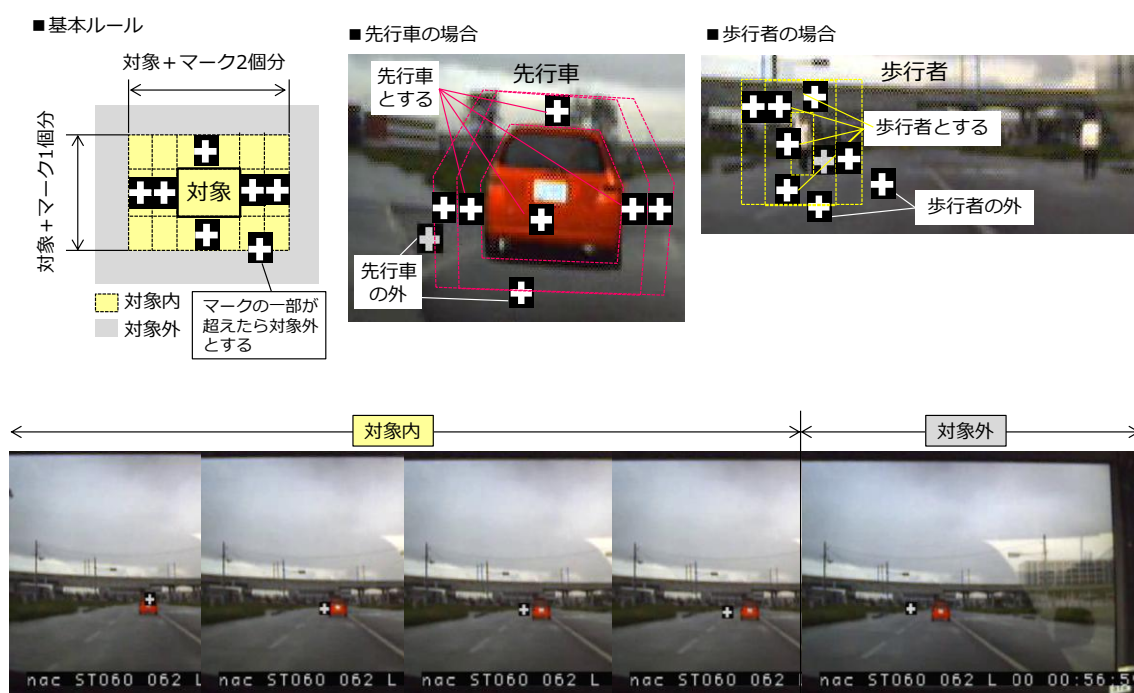


図 4.3.4-53 対象を視認したかどうかに関する判断基準

実験条件によっては先行車と歩行者が両方登場することがあり、どちらを視認しているかを判断することが不明確になる場合がある。そこで、図 4.3.4-54 に示したような分析基準を設け、先行車と歩行者のどちらを視認したかを特定することとした。

先行車・歩行者にアイマークが重なるときは視認とするが、視認対象との距離が離れた場合などはアイマークの方が視認対象よりも大きい場合がある。そのため、図に示したように視認対象から左右 2 個分・上下 1 個分の範囲を視認した対象として分析を行った。図で示しているように、先行車と歩行者にはそれぞれの視認領域が設定されているが、視認領域が重複した場合は手前の領域であるとして分析した。

「先行車」と「歩行者」が両方登場する場面での判断基準



図 4.3.4-54 歩行者と先行車が両方登場する場合の分析に関する判断基準

図 4.3.4-55 は、①自由走行場面、②先行車追従走行場面、③歩行者歩行場面、④先行車追従・歩行者歩行場面の 4 つの前方状況における視認方向・視認対象別の視線配分の割合を示している。なお、分析対象は、非高齢者の 4 名と高齢者の 2 名のデータである。

自由走行場面では全体の 85[%]が前方（前方と左前方と右前方の割合を合計した値）であるが、前方に先行車がいる場合には 75[%]が先行車を視認するようになる。どちらも前方を見ることには変わりはないものの、先行車がいる場合には先行車を視認するようになるという基本的な特徴を確認したものと考えられる。

左右に歩行者が歩行している場面を走行する場合でも前方を 57[%]視認しているため基本は前方に注意を配分する特徴がある。そのとき、左右に歩行者がいる場合にはドライバは自分に近い左側の歩行者に 24[%]視認している一方、右側の歩行者には 3[%]しか配分していない。このように視認対象は同じものであっても自分からの距離が近い方を重視して視線配分を実施するという特徴を確認したものと考えられる。

左右の歩行者に加えて先行車も登場する場面においては、先行車 67[%]、左側の歩行者 20[%]、右側の歩行者 2[%]という視線配分の割合であった。歩行者のみ登場する場面よりも先行車を含めた前方に視線を配分しやすくなる特徴があると分かり、もしこのときに右側の歩行者が横断した場合にはドライバは発見が遅れる可能性があると考えられる。

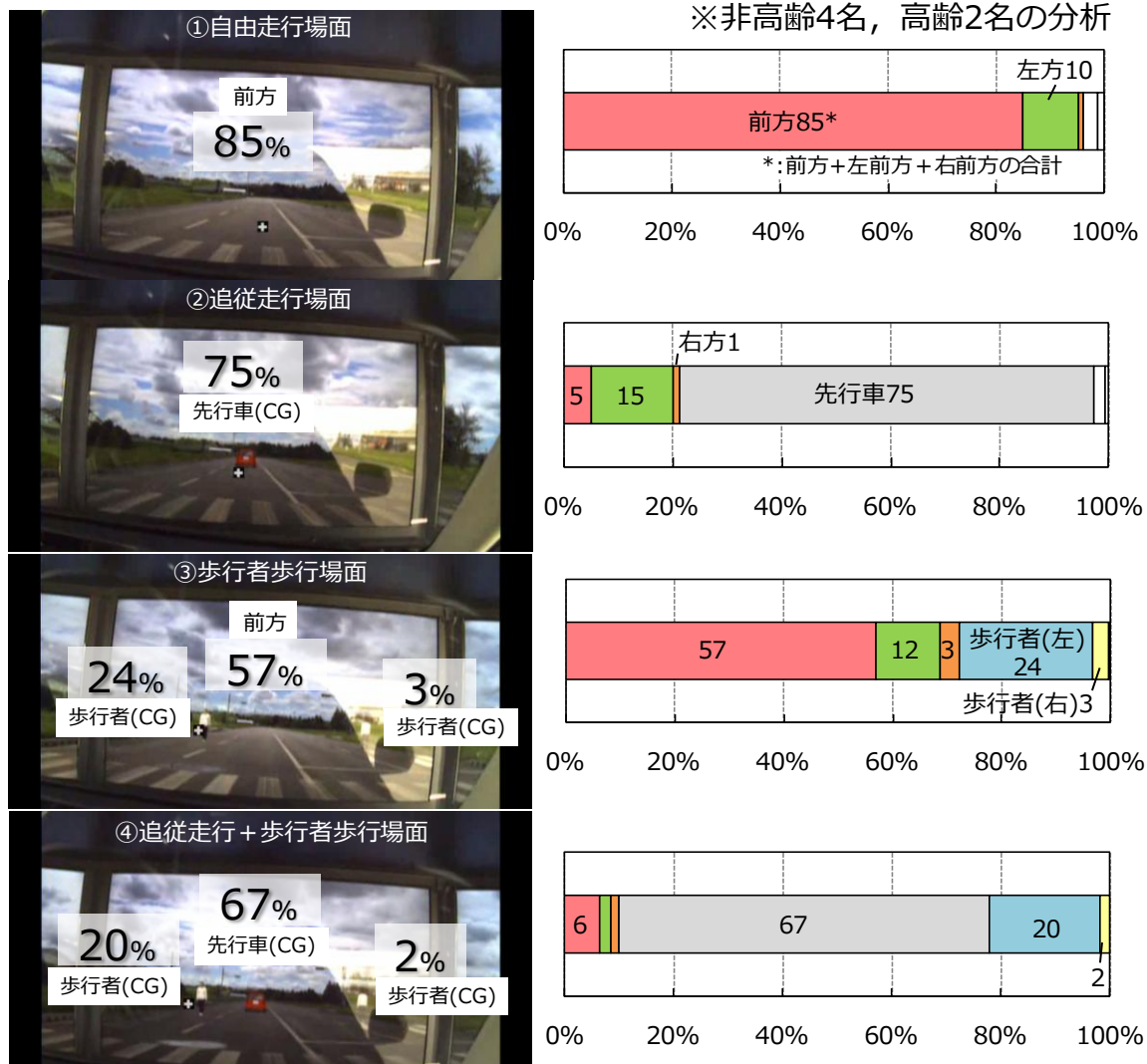


図 4.3.4-55 走行場面ごとのドライバの視線配分割合の分析結果の比較
(非高齢 4 名、高齢 2 名)

図 4.3.4-56 は、①自由走行場面、②先行車追従走行場面、③歩行者歩行場面、④先行車追従・歩行者歩行場面の 4 つの前方状況における視認方向・視認対象別の視認回数の内訳・1 回あたりの視認時間を示している。

視認回数の内訳をみると、走行条件に関わらず視線移動回数（視線滞留時間が 0.3[s] 以内の視認を含む）が最も多いが、その他の視線回数の内訳は条件によって異なっている。先行車いない場面では前方が多く、先行車がいる場面では先行車が多くなっており、歩行者については右よりも左の方が多かった。このように全体の視線配分割合だけでなく、視認回数の観点でもドライバが左側の歩行者を重視していることが分かった。

次に、1 回あたりの視認時間をみると、自由走行場面では前方を 1 回あたり約 2[s] 視認し、左方と右方は約 0.5[s] 視認する特徴がある。先行車追従場面では先行車を約 1.3[s] 視認し、前方・左方・右方を約 0.5[s] 視認する特徴がある。歩行者歩行場面では前方と左側の歩行者を約 1s、左方・右方・右側の歩行者を約 0.5[s] 視認する特徴がある。先行車追従・

歩行者歩行場面では先行車と左側の歩行者を約 1s、前方・左方・右方・右側の歩行者を約 0.5[s]視認する特徴がある。1 回あたりの視認時間の観点で分析を行ったところ、視線配分の割合が大きい方向・対象は概ね 1[s]視認するが、視線配分の割合が小さい方向・対象はその半分程度の時間でドライバは視認している。また、1 回あたりの視認時間の観点でも左側の歩行者を重視していることが分かった。

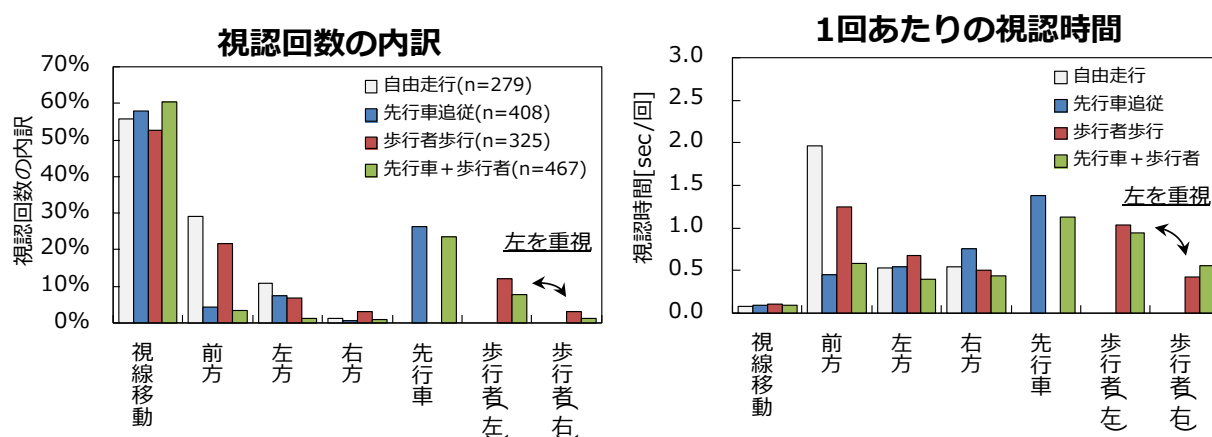


図 4.3.4-56 走行場面ごとの視認方向別の視認回数の内訳と 1 回当たりの視認時間の比較

以上、本実験でドライバの視線行動をアイマークレコーダで計測し、視線配分特性を把握した。先行車の有無、歩行車の有無、歩行者との位置関係が異なることでドライバの視線配分特性が変化することが分かり、視認する割合・回数・1 回あたりの視認時間などの観点でシミュレーションへ活用できるパラメータが得られたものと考えられる。ただし、本実験では直線区間を定常的に走行する状況といった限定された条件での分析結果であるため、交差点を通過する状況や車線変更をする状況などのその他の状況に適用できるかどうかについては別途検討する必要がある。

4.3.5 シミュレーション技術に関する国内外の最新動向の調査

4.3.5.1 自動運転による安全性への影響評価に関する動向調査

Transportation Research Board 96th Annual Meeting (2017 年 1 月 8 日～12 日、於ワシントン DC) にて、自動運転による安全性への影響評価 (Impact Assessment) に関する動向調査を実施した。主な結果は以下の通り。

(1) 交通事故予測パラメータについて ²⁰⁾

・タイトル： Mapping Driver Behaviors and Identifying the Geo-Spatial Correlates of the Utility Truck Crashes: A Spatial Statistical Approach

・発表番号： 17-06214

・概要：

この研究では、ドライブレコーダーのデータセット (10,009 人のドライバーからの 5 年間のドライバー行動データ) を分析することで運転者行動の特徴を通じて事故を予測する新しい方法が提案されている。テストデータセットはユーティリティサービストラックに関するものであるが、4 つのドライバ行動 (注意散漫、意識不足、近すぎる、食べる/飲む) が事故リスクに重要な予測パラメータで有ることを見いだしている。更に、これらを地理空間変数 (土地利用、交通、道路ネットワーク、社会経済学) に関連付けることで将来の事故リスクが高い場所を予測することができるとしている。

(2) ドライバ行動モデルの検討方法 ²¹⁾

・タイトル： Transferability of Car-Following Models between Driving Simulator and Field Traffic

・発表番号： 17-00245

・概要：

運転行動データをもとにしたドライバモデル研究には大別すると 2 つの方法論がある。一つは、ビデオ記録、GPS などを使用して実走行場面から収集された軌道データを使用するモデルと、もう一方は運転シミュレータからのデータを使用するモデル (運転手の行動制御された実験室条件で記録する) ものである。前者のデータソースはより現実的であるが、ドライバーに関する情報が不足しており、車両技術や交通シナリオの影響をテストするのには適していない。一方、運転シミュレータデータを用いて開発された運転行動モデルは、行動的リアリズムを欠いている可能性がある。この研究では、走行シミュレータと現実的な交通高速道路シナリオとの間の車両追従モデルの伝達可能性を調べた結果、推定結果はモデルレベルでの伝達可能性を示したが、パラメータレベルでの伝達性は示されなかったとしている。

(3) 観察調査による歩行者の判断行動に影響する因子の検討 ²²⁾

・タイトル： Behavioral Study on Pedestrian's Decisions at a Midblock Location

・発表番号： 17-02172

・概要：

歩いている人の行動には、多くの要因が影響する可能性がある。本研究では、歩行者の経路選択に影響する要因を調べるため、大学夏期講習に参加する新入生とその家族が頻繁に使用していた道路区間に沿って、マークされたマークの付いていない横断歩道の場所で歩行者の歩行経路が調査された。具体手には、行動特性や身体的特徴（年齢や性別など）とともに 2,676 人の歩行者の横断行動を収集した。その結果、歩行者の横断行動決定に影響する有力な要因は、その歩行者よりも先のグループまたは個人の行動であった。ミッドブロックを横断する歩行者の 51%が、マークされていない中間地点を横断した他の歩行者に続いていることが判明したとしている。

(4) マイクロシミュレーションによる運転支援効果の検討²³⁾

・タイトル： Realistic Car-Following Models for Microscopic Simulation of Adaptive and Cooperative Adaptive Cruise Control Vehicles

・発表番号： 17-04495

・概要：

本研究では、アダプティブクルーズコントロール（ACC）と協調アダプティブクルーズコントロール（CACC）は、これらのシステムの交通影響評価をマイクロシミュレーションによって行われる際の留意点が検討されている。通常、既存のほとんどの ACC / CACC シミュレーション研究では、実際の ACC / CACC システム操作に基づいていない簡略モデルを使用しているため、シミュレーションでの衝突回避についてはほとんど考慮されていない。そこで、ACC / CACC 車のための現実性の高い車両追従モデル開発のために ACC / CACC システムと人間の運転者介入を組み合わせたマルチレジームモデルを提案されている。このモデルでは、人間の運転者が自分の評価に基づいて、または衝突警告システムが運転者に引き継ぐよう要求した後に、車両の制御を再開することを前提としている。モデルのパフォーマンスを調査し、衝突の可能性を判断するために、さまざまなシナリオでモデルをテストした結果、現実的な車両応答を生成することができたとしている。

以上より、交通事故低減詳細効果シミュレーション開発において、ドライバおよび歩行者等の交通参加者のモデル化において留意すべき事項に関する知見が得られた。また、ドライバおよび歩行者のモデル化を行う際の方法論についても具体的に検討を進める上で参考となる知見が得られた。

4.3.5.2 対外発表報告

発表日	発表先	発表タイトル	発表概要	発表者
16.11.16	SIP-adus WorkShop	Development of traffic accident simulation to evaluate the benefits of safety systems for the reduction of traffic accidents	高度運転支援/自動運転システムの導入による交通事故数の削減効果を評価するための交通環境再現型シミュレーションの開発について報告する。	内田 信行 安全研究部
16.11.30	日本機械学会第 25 回交通・物流部門大会	自動走行システムによる事故低減詳細効果を評価するためのシミュレーション技術の開発—追従・追突場面の効果評価のためのシミュレーション機能の実装—	自動走行システムの効果を予測するシミュレーション技術の構築に向けて、追突事故場面を例に特有のドライバのエラーの模擬方法およびシステムの有無による効果を比較する評価を試行したことについて報告する。	北島 創 安全研究部
16.12.2	日本機械学会第 25 回交通・物流部門大会	歩行者の横断歩道外道路横断行動の分析	道路上を歩行する歩行者の観測を行い、横断歩道外を横断する際の歩行速度・横断角などの横断行動の特性と車両との関係、および、横断開始に至る判断基準など、横断歩道外を横断する歩行者の行動分析を行う。	千葉 和太 東京理科大学
16.12.6	計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2016	自動走行システムによる事故低減詳細効果を評価するためのシミュレーション技術の開発	自動走行システムの効果を予測するシミュレーション技術の構築に向けて、追突事故場面を例に特有のドライバのエラーの模擬方法およびシステムの有無による効果を比較する評価を試行したことについて報告する。	北島 創 安全研究部

4.3.5.3 横断行動の分析に関する動向調査

本項では歩行者挙動のモデル化に関する動向、歩行者の交通事故の再現に焦点をあてた研究の動向、道路上の歩行者の行動に焦点をあてた研究の動向を調査した内容について述べる。

歩行者挙動のモデル化に関する研究の動向調査

① Social force model for pedestrian dynamics²⁴⁾

著者：Helbing、Dirk、and Peter Molnar

文献：Physical review、E 51.5、1995

Social Force による歩行者挙動のモデル化について述べている。また Social Force を用いた歩行者モデルでシミュレーションを行うことによって歩行者行動の自己組織化（外部からの介入なしで組織が自然に形成されること）が忠実に再現できていることを示している。

② 避難行動解析へのポテンシャルモデルの応用²⁵⁾

著者：横山秀史、目黒公郎、片山恒雄

文献：土木学会論文集 513、225-232、1995

地下街や地下駅など大規模かつ複雑な形状の空間からの不特定多数の避難者の行動を、ポテンシャルを用いてモデル化している。また、簡易な通路モデルでコンピュータシミュレーションを行い、実際の群集行動特性をよく再現できていることを示している。

③ Pedestrian flow modeling by adaptive control²⁶⁾

著者：Hoogendoorn、Serge.

文献：Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1878 (2004) : 95-103、2004

歩行者の歩行速度、快適性および旅行時間の評価は施設の設計において重要な要素であることから、歩行者は移動にかかるコストを最小化するように歩行速度を決定すると仮定してモデル化を行っている。

④ 先読み行動を考慮した歩行者交通流シミュレーション²⁷⁾

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ご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。

歩行者の交通事故の再現に焦点をあてた研究の動向調査

⑤ 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²⁸⁾

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

予防安全システム導入による事故低減効果を評価可能なシミュレーション **STREET** の開発を行っており、**STREET** において信号交差点を横断する際の歩行者の認知および判断行動を表現するモデルの開発を行っている。また、開発したモデルを用いて、予防安全システムの評価を試行し、事故やシステムの効果分析が可能であることを示している。

⑥ 知的マルチエージェント交通流シミュレータ **MATES** の開発第三報：多階層歩行者モデルの開発と歩車混合交通シミュレーション²⁹⁾

著者：吉村忍、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および歩行者と自動車の相互作用モデルを構築している。渋谷駅の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。

道路上の歩行者の行動に焦点をあてた研究の動向調査

⑦ 歩行路における歩行者挙動に関する研究³⁰⁾

著者：毛利正光、塚口博司
文献：土木学会論文報告集、268（1977） 99-108、1977.

歩行者の挙動について巨視的および微視的な視点から特性を把握するとともに、サービス水準についても考察を行っている。

⑧ 交差点での横断歩道横断時における歩行者の右左折車確認行動に関する研究³¹⁾

著者：羽賀 研太郎、浜岡 秀勝
文献：土木学会論文集 D3（土木計画学）、Vol.69、No.5 I_797-I_807、2013

歩行者が右左折車を確認する際の挙動を分析し、歩行者が接近車両を回避できる安全な確認行動を明らかにしている。

⑨ 街路空間特性と歩行速度の関係³²⁾

著者：松本直司、清田真也、伊藤美穂

文献：日本建築学会計画系論文 74.640、1371-1377、2009

街路の空間特性が人に及ぼす影響を明らかにすることで、街路空間特性と歩行速度の関係について示している

⑩ 死傷事故低減に向けた高齢歩行者における行動特性の究明と対策について³³⁾

著者：松井 靖浩（研究者代表）

文献：タカタ財団助成研究論文、ISSN 2185-8950、2012

重大事故につながりやすい「高齢歩行者の横断事故」の発生メカニズムを明らかにすることを目的とし、車両の接近速度や年齢毎で横断判断がどのように変化するかを調査している。

4.3.6 まとめ

(1) 評価対象となる交通事故低減詳細効果の選定

平成 28 年度に構築した枠組みを踏襲し、衝突が伴う効果と衝突が伴わない効果という視点で本事業のシミュレーションが評価すべき対象とはどのようなものであるかについて整理した。

(2) 効果の定量化に必要な評価モジュール要件の検討

評価対象となる効果を定量化するためにはどのような考え方が必要であるかを検討し、先行研究をベースとした評価方法、本事業で新たに構築した評価方法についてまとめ、評価のために必要なシミュレーションデータを整理した。

(3) 追従・追突場面のシミュレーション結果の妥当性の確認

追従・追突場面のシミュレーションによってシステムがもたらす効果について評価を行い、事故件数を低減する効果だけではなく、乗員の傷害を予測するアルゴリズムを活用することで衝突速度を低減する効果が負傷程度を緩和する効果へ波及することを評価できることを確認した。

(4) 歩行者・ドライバの行動特性パラメータに関する調査・実験に基づく妥当性の確認

開発した行動モデルによる交通参加者（歩行者・ドライバ）の行動がより現実的な行動となるように歩行者・ドライバの行動特性パラメータを取得するための調査・実験を実施した。その結果、歩行者の道路横断行動の実態を定点観測により調査し、歩行者エージェントモデルを実装する上で必要となるパラメータを取得した。さらに、歩行者の横断行動の特徴から「歩きながら安全確認する確率」、「横断中に首振り確認をする確率」、「横断を開始する TTC の閾値」、「自由横断速度」、「横断角度」、「車両接近時の横断速度」の 6 つを歩行者の個人属性パラメータとして設定し、各パラメータの設定方法をまとめた。

ドライバの行動特性をテストコースでの走行実験によって取得し、ドライバパラメータ（法令遵守傾向・運転スキル・情報処理能力）と運転行動との関係を分析した。通常走行条件と先急ぎ走行条件での運転行動を収集した結果、法令遵守傾向は状況に関わらず行動の違いに影響する一方、運転スキルは先を急ぐような状況が生じると行動の違いに影響しやすい側面があることが分かった。情報処理能力については年齢の影響が大きく、これまでの性別でのランク設定に加えて年齢を考慮することが必要であることが分かった。

第 5 章 民間活用に向けて

本事業によって開発されたシミュレーションは、将来的に OEM、サプライヤ等に活用され、自動走行システムの実用化・普及促進に貢献することを想定しているが、シミュレーションの活用の目的や織り込み機能などが活用する側の期待に合致しているのかを確かめる必要がある。そこで、開発検討会の委員（OEM7 社）にヒヤリングを実施し、シミュレーションへの期待、意見、拡張性に関するニーズ等の収集と本事業で取り組むべき織り込み機能案の集約を行った。

5.1 OEMヒヤリング内容

(1) 活用の目的

どのような目的（ニーズ）で本シミュレーションを活用したいのか？

(2) 織り込み機能の内容

どのような機能（事故シーン、交通参加者モデル、自動運転システムなど）が必要か？

(3) シミュレーションの規模感

どのような範囲（地図の大きさ、エージェントの多さなど）を対象とすることが必要か？

(4) インタフェースの標準化

各 OEM の自動走行システムの事故低減詳細効果を算出するために、各 OEM の自動走行システムを組み込む場合にどのようなインタフェースが必要か？

5.2 OEMヒヤリング結果と開発計画への織り込み

OEMヒヤリング結果（ニーズ）を整理し、全体開発計画の見直しを行った。

(1) 活用の目的

①ヒヤリング結果（ニーズ）

- (i) センサ（カメラ、LIDAR、フュージョンほか）ごとの事故低減詳細効果を定量的に見積り、商品企画の方向性を策定したい。
- (ii) 周囲の歩行者・二輪車を含めたエージェントが各自行動する交通環境の中で想定外の事故・ニアミスのシーンが発生していないかを検証したい。
- (iii) 歩行者などの交通参加者のモデルを、各 OEM のシミュレーションに取り込んで開発・評価に活用したい。
- (vi) 本シミュレーションの中の車両 1 台をドライビングシミュレータと接続して、周囲の交通環境（マルチエージェント）の中で走行することを通して自動走行システムの開発・評価に活用したい。

② 開発計画への織り込み

上記ニーズ (i) ～ (vi) をふまえ、シミュレーション開発の本来の目的をベースとしたうえで方向性を考慮することが必要である。図 5.2-1 に、シミュレーションの目的・方式の概念を示す。本事業の本来の目的とは、「A.政策に活用」の領域（目的：全国規模での事故低減効果検証、方式：マクロな交通環境再現型）であるが、OEM の期待に対応するためには、ミクロな事故場面特化型の「B.各 OEM 商品企画に活用」の領域までカバーするシミュレーションの開発が必要がある。

なお、「C.各 OEM 製品開発に活用」の領域（目的：製品開発、ミクロな事故場面特化型）は、各 OEM において開発されるシミュレーションの領域であるため、本事業がカバーすべき領域ではないと考えられる。

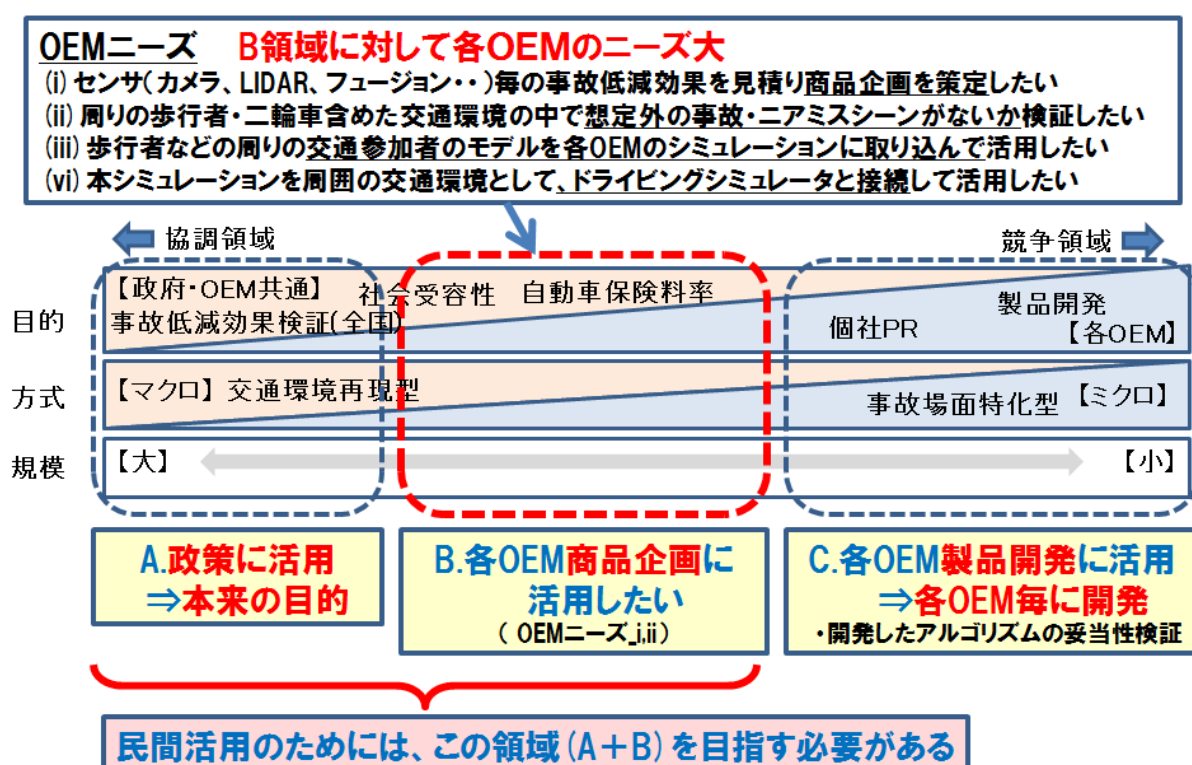


図 5.2-1 シミュレーションの目的・方式などの概念図

今回得られたニーズ (i) ～ (vi) に基づいて検討した機能を織り込んだ本事業のシミュレーションのシステム構成案を図 5.2-2 に示す。

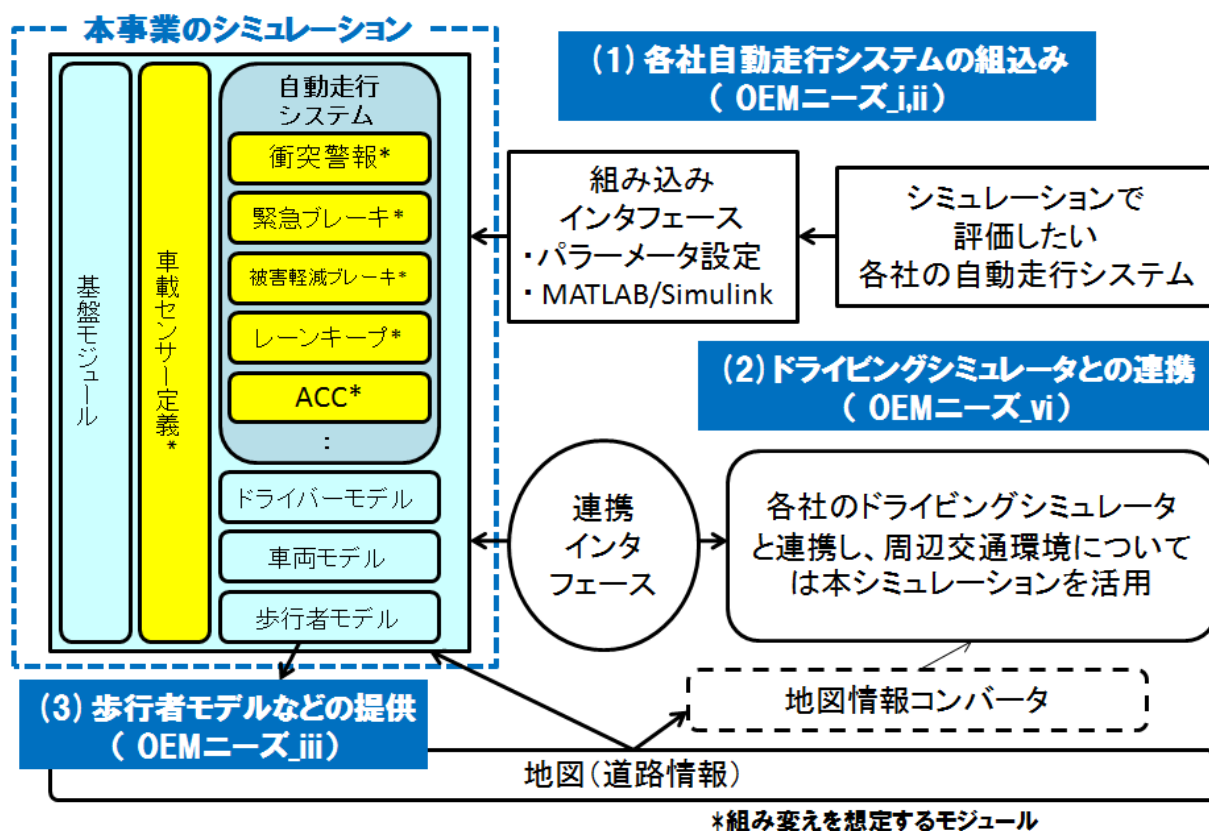


図 5.2-2 実用化に向けたシミュレーションのシステム構成案

(2) 織り込み機能の内容

① ヒヤリング結果（織り込み機能に対するニーズ）

- (i) 自動走行システムは、高速道から実用化されるので事故シーンの対象に高速道も追加してほしい。
- (ii) 交差点の出会い頭事故で発生する死亡事故件数の割合も大きいので、対象の事故シーンに追加してほしい。
- (iii) ドライバ属性（法遵守傾向、運転スキル、情報処理能力、覚醒水準）のそれぞれの間には相関関係（例えば、高齢者ほど運転スキルや情報処理能力が低いなど）があると思われるので、事故低減詳細効果を算出するにあたり影響を考慮してほしい。
- (vi) 交通参加者として自転車、自動二輪車を追加してほしい。ただし、あらゆる行動を模擬するモデル化は困難と思われるので、自転車、自動二輪車が第2当事者となるような事故の行動を模擬できることをまずは目指してほしい。
- (v) 現実の歩行者は、交通環境認識や車両接近状況認識のために視覚情報だけでなく聴覚情報も用いていると考えられるため、聴覚モデルの織り込みを検討してほしい。

② 開発計画への織り込み

- (i) 高速道における死亡事故件数は少ないため、当初の開発計画の対象には入っていなかったが、自動走行システムが高速道から実用化される流れを考慮し、計画に追加することとする。ただし、事故シーンについては、事故件数の割合が大きい追突事故（ただし、同一車線内で発生するものに限る）と車線逸脱事故を織り込む計画とする。
- (ii) 死亡事故件数における交差点の出会い頭事故の割合は 13[%]（平成 25 年度の交通事故統計より、以下同様）と高いため、事故シーンとして追加する計画とする。
- (iii) ドライバパラメータ間の相関関係については、平成 28 年度に実施した 64 名（若年層～高齢者）のドライバの運転行動データを実験により取得したので、相関について検証を行うとともに、他プロジェクトで収集された実路での運転行動データの分析も組み合わせながら事業後に実装できるような枠組みを織り込むこととする。
- (vi) 死亡事故件数において自転車に関係する事故の割合は 14[%]と高いため交通参加者として追加する計画とする。ただし、事故シーンについては、事故件数の割合の高い出会い頭（55[%]）、追突（13[%]）を優先的に織り込むこととする。また、二輪車事故の割合も 18[%]と高く、交通参加者として追加する計画とする。ただし、事故シーンについては、事故件数の割合の高い出会い頭（30[%]）、右折時（19[%]）を優先的に織り込むこととする。いずれも、第 2 当事者としてシナリオモードで行動することを基本とする。
- (v) 歩行者の聴覚モデルについては、車両発生音モデル、歩行者聴覚モデルのインタフェースについてのみ織り込む計画とし、事業終了後に聴覚モデルが開発された段階で容易に織り込むことができるようにしておくこととする。

交通事故低減詳細効果シミュレーションの今後の課題として織り込むべき機能に関し表 5.2-1～表 5.2-7 に示す。表の中で、織り込むべき機能を「○」で表す。また、「*」は、将来の追加を考慮し、枠組み（インタフェースなど）を考慮すべき項目として表す。

表 5.2-1 機能織り込み計画案（事故シナリオ）

分類(中)	分類(小)	分類(細)	H27	H28	H29	H30
1.事故シーン	一般道	追従	○	○	○	○
		追突	○	○	○	○
		車両逸脱(工作物衝突含む)	-	○	○	○
		歩行者横断	-	○	○	○
		上記4シナリオの統合			○	○
	高速道	正面衝突	-	-	○	○
		出会い頭	-	-	○	○
		右折時	-	-	○	○
		追従	-	-	-	○
		追突	-	-	-	○
		車両逸脱(工作物衝突含む)	-	-	-	-
		分合流時	-	-	-	-
			-	-	-	-
2.渋滞シーン	一般道	事故渋滞	-	-	-	○
		通勤渋滞	-	-	-	-
		行楽渋滞	-	-	-	-
	高速道	事故渋滞	-	-	-	-
		サグ渋滞	-	-	-	-
		行楽渋滞	-	-	-	-

表 5.2-2 機能織り込み計画案（ドライバモデル）

分類(中)	分類(小)	分類(細)	H27	H28	H29	H30
1_ドライバ特性	法遵守傾向(3段階)		○	○	○	○
①マニュアル	運転スキル(3段階)		○	○	○	○
運転	情報処理能力(3段階)		○	○	○	○
	意識水準(5段階)		○	○	○	○
	組み合わせ(135通り)		○	○	○	○
	特性分布管理		*	○	○	○
	属性間の相関関係					*
	認識行動ルール	前方直視	○	○	○	○
		側方ミラー確認	-	*	○	○
		後方ミラー確認	-	*	○	○
1_ドライバ特性	法遵守傾向(3段階)		○	○	○	○
②自動運転	運転スキル(3段階)		○	○	○	○
	情報処理能力(3段階)		○	○	○	○
	意識水準(5段階)		○	○	○	○
	組み合わせ(135通り)		○	○	○	○
	特性分布管理		*	○	○	○
	属性間の相関関係					*
	認識行動ルール	前方直視	○	○	○	○
		側方ミラー確認	-	*	○	○
		後方ミラー確認	-	*	○	○
	過信・不信		-	-	*	*
2_ドライバ視覚	ドライバ視点位置		○	○	○	○
	ドライバ視野角		○	○	○	○
	ドライバ死角		○	○	○	○
3_事故発生要因	脇見		○	○	○	○
	居眠り		-	○	○	○
	飲酒		-	-	*	*
	病気		-	-	*	*
	判断・操作の誤り		○	○	○	○

表 5.2-3 機能織り込み計画案（交通参加者モデル）

分類(中)	分類(小)	分類(細)	H27	H28	H29	H30
1_歩行者	歩行者特性(個人)		-	○	○	○
	歩行者特性(集団)		-	-	-	-
	事故発生要因		-	○	○	○
2_自転車			-	-	-	○
3_二輪車			-	-	-	○
4_聴覚モデル						*

表 5.2-4 機能織り込み計画案（車両モデル）

分類(中)	分類(小)	分類(細)	H27	H28	H29	H30
1_車両モデル	等価二輪モデル	加速・減速・操舵なし	○	○	○	○
		加速・減速・操舵	-	○	○	○
		リバース追加	-	-	-	-
	四輪モデル		-	-	-	-
2_スペック	パラメータ		○	○	○	○
	種別	普通車	○	○	○	○
		大型車	-	-	○	○
		自転車	-	-	-	○
		2輪車	-	-	-	○

表 5.2-5 機能織り込み計画案（自動運転システム）

分類(中)	分類(小)	分類(細)	H27	H28	H29	H30
1_システム	自律衝突防止	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	-	*	○	○
	自律車線逸脱防止	車線逸脱警報システム	-	○	○	○
		逸脱防止支援システム	-	○	○	○
	インフラ協調型	VICS,DSSS,ETC2.0	-	-	-	*
	他車協調型(V2X)	CACC	-	-	-	*
		出会い頭事故防止	-	-	-	*
	歩者協調		-	-	-	*
2_センサ	自動走行		-	-	○	○
	センサ距離		○	○	○	○
	センサ角度		○	○	○	○
	センサ位置		○	○	○	○
	センサ個数	1つ	○	○	○	○
		複数	-	○	○	○

表 5.2-6 機能織り込み計画案（シミュレーション基盤）

分類(中)	分類(小)	分類(細)	H27	H28	H29	H30
1_管理	シナリオファイル処理		○	○	○	○
	実行管理・時間管理		○	○	○	○
	移動体の発生・消滅管理		○	○	○	○
	事故判定		○	○	○	○
	運転支援システム普及率管理		-	-	○	○
2_ログ	統計情報出力		○	○	○	○
	事故ログ		○	○	○	○
	傷害評価モジュール		○	○	○	○
	簡易view		-	○	○	○
3_インタフェース	入力	シナリオファイル	○	○	○	○
		シナリオファイルエディタ	-	-	*	○
		道路構造情報	-	-	*	○
		道路構造エディタ	-	*	*	○
		地図情報コンバータ	-	*	*	*
		実行条件	○	○	○	○
	出力	事故状況出力ファイル	-	-	-	○
		統計情報出力ファイル	-	-	-	○
		GUI出力	-	*	○	○
	OEM対応 (自動走行システム織り込み)	matlabインタフェース	-	-	*	*
	OEM対応 (ドライビングシミュレータ連携)	連携インタフェース	-	-	*	*

表 5.2-7 機能織り込み計画案（環境）

分類(中)	分類(小)	分類(細)	H27	H28	H29	H30
1_道路	市街地 一般道	直線単路	○	○	○	○
		曲線	-	○	○	○
		複車線	-	○	○	○
		交差点	-	-	○	○
		信号	-	-	○	○
		標識	-	-	○	○
	高速道	道路構造物 (ガードレール、路側帯など)	-	○	○	○
		・通常高速道路	-	-	-	-
		・標識	-	-	-	-
		・分合流(一般,PA,SA)	-	-	-	-
2_道路外施設	学校、商業施設等	・インターチェンジ	-	-	-	-
		・料金所周辺	-	-	-	-
			-	-	-	-
3_道路規模	単路		○	○	○	○
		複数交差点	-	-	○	○
		更なる広域化	-	-	-	○
4_高度			-	-	*	*
5_日時	昼		○	○	○	○
	夜		-	-	-	*
6_天気	晴天		○	○	○	○
	雨天、雪、濃霧		-	-	-	*

(3) シミュレーションの規模感

① ヒヤリング結果

日本全国を代表する多様な事故シーンを組み合わせた仮想の箱庭（数[km]×数[km]）を作成したうえでシミュレーションを実施することは、以下に挙げた観点で、事故低減詳細効果の推定・検証が難しいと思われる。

- ・ 仮想であるため、交通流の再現性、事故低減詳細効果の妥当性の検証が難しい
- ・ エージェント数が多くなることで計算負荷の膨大化が懸念される

そのため、事故実態を精査したうえで実モデル地域を設定し、モデル地域ごとに妥当性が確認できる効果推定を行い、それらの組み合わせや拡大などを行うことでマクロな事故低減詳細効果を算出していく方が現実的ではないかと考えられる。

② 開発計画への織り込み

事故シーンごとの多発しやすい条件（道路交通環境、ドライバ属性、歩行者属性など）と流入・流出に関する交通量などの調査・分析を行い、日本全国を代表する実モデル地域（都市、地方など）を抽出し、それらの特徴をできるだけ忠実に再現して事故低減詳細効果を推定する。その結果をもとに、交通事故統計、国勢調査、交通センサスなどのデータから適切な拡大手法を考案し、日本全国規模の効果を推定する手法へ発展させる。

(4) インタフェースの標準化

① ヒヤリング結果

- (i) 各社の自動走行システムを織り込む場合は、以下の2種類のインタフェースを設定してほしい。

- ・ パラメータの設定

パラメータ設定で効果が把握できると商品企画の段階で活用しやすい。

- ・ MATLAB/Simulink との連携

自動走行システムはモデルベース開発のために活用しやすい。

- (ii) ドライビングシュミレータと連携させたい。

- (iii) 地図はダイナミックマップに準拠してほしい。また、各社の既存の地図も活用できるようにしてほしい。

② 開発計画への織り込み

- (i) 各社の自動走行システムを織り込む場合のインタフェースは、「パラメータ設定」と「MATLAB/Simulink」の2種類を設置する。

- (ii) ドライビングシュミレータとの連携については、本事業のシミュレーションの機能との分担関係、データの通信方法など基本的な考え方を整理する。

- (iii) 地図はダイナミックマップに準拠する。ただし、各社の既存の地図も活用できるような互換性を有する枠組みを検討する。

5.3 まとめ

開発したシミュレーションが OEM、サプライヤ等に活用され、自動走行システムの実用化・普及促進に貢献することができるように、活用の目的、織り込み機能などについて開発検討会の委員（OEM7 社）にヒヤリングを実施した。シミュレーションに対する期待、意見、ニーズ等を整理し、本事業での開発の方向性や織り込み機能案に反映し、平成 28 年度の第 3 回の開発検討会において提案した内容が了承された。

第6章 研究開発全体企画・管理

6.1 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。

研究受託から年度末までの平成 28 年度詳細スケジュールを作成した。

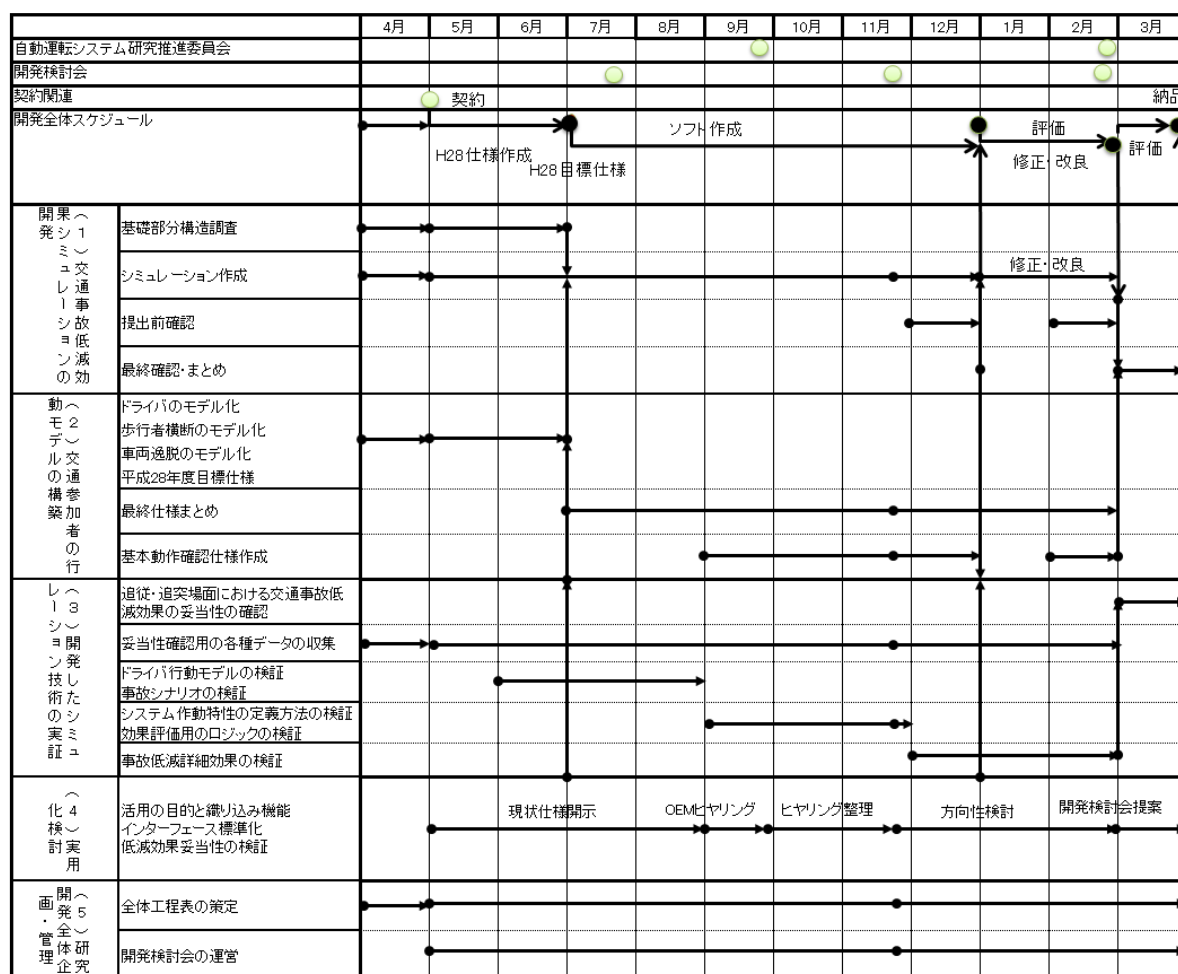


図 6.1-1 「SIP 交通事故低減詳細効果見積りのためのシミュレーション技術の開発及び実証」
詳細スケジュール

6.2 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および全体企画を行い、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 6.2-1 にシミュレーション技術の開発体制を示す。

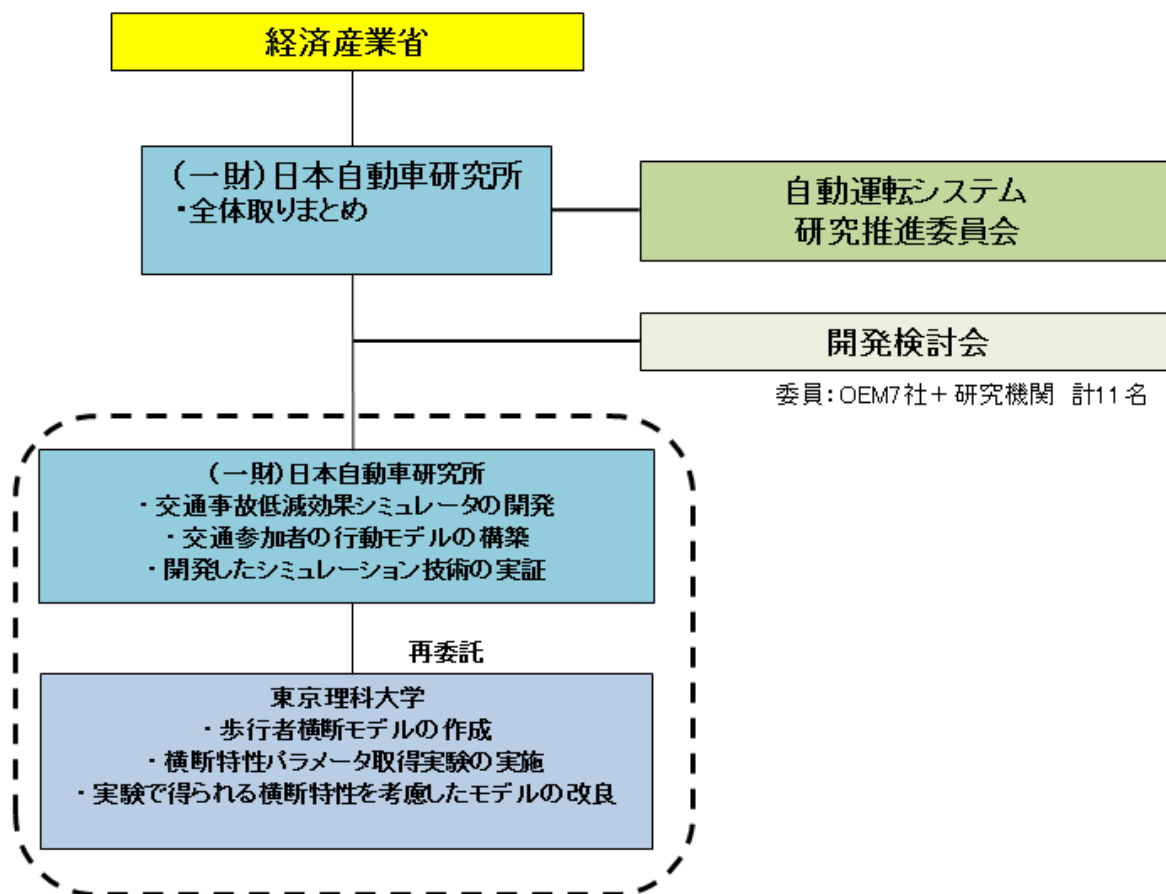


図 6.2-1 「SIP 交通事故低減詳細効果見積りのためのシミュレーション技術の開発及び実証」
開発体制

事業実施期間中に開発検討会を 3 回開催した。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 28 年 7 月 22 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 11 月 24 日）：平成 28 年度進捗報告、歩行者モデル、妥当性検証

第 3 回（平成 29 年 2 月 22 日）：平成 28 年度成果報告、妥当性検証報告、実用化検討

自動運転システム研究推進委員会に 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 1 回（平成 28 年 9 月 29 日）SIP-シミュレーションの概要説明

第4回（平成29年2月27日）平成28年度成果報告
以下に平成28年度に実施した開発検討会の概要を示す。

6.2.1 開発検討会

（1）第1回 開発検討会 議事録

開催日時 2016年7月22日 9時00分～11時00分

開催場所 日本自動車会館 くるまプラザ 第1会議室

主な議事内容

- ・平成28年度に実施する事業計画を報告して、研究の方向性に関して審議頂いた。
- ・本事業の目的は、OEMに活用頂き、自動走行システムの実用化・普及促進に貢献することであるため、OEMのニーズをしっかりとヒヤリングして方向性をまとめること。
- ・妥当性の検証については、各フェーズごとにその確認ステップを進めること。

（2）第2回 開発検討会 議事録

開催日時 2016年11月24日 10時00分～12時15分

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

主な議事内容

- ・年度中間報告として進捗や課題を説明し、技術内容と研究の方向性に関し審議頂いた。
- ・織り込み機能の計画を詳細に策定し、OEMとしっかり合意すること。
- ・SIPでご指摘頂いているドライバの過信・不信のモデルについては、HMIタスクフォースなどの知見を反映し進めること。
- ・周辺認識センサについて、検出距離や角度だけでなく、性能限界などをどのように表現するか検討すること。
- ・歩行者の聴覚による周辺認識についてもその必要性を検討すること。

（3）第3回 開発検討会 議事録

開催日時 2017年2月23日 10時00分～12時15分

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

主な議事内容

- ・年度最終報告として年度成果を説明し、成果内容と今後の方向性に関し審議頂いた。
- ・OEMヒヤリングを通じて纏めた織り込み機能を事業終了までに確実に実施すること。
- ・交通参加者のモデルについて、どこまで詳細に掘り込んでいくかについては、本事業の目的に即して明確にすること。
- ・最終目的は、交通環境再現型シミュレーションなのに、まぜ、事故場面特化型の開発を行っているのかわかりにくい。そのストーリーを明確にすること。

第7章 まとめ

7.1 まとめ

交通事故低減詳細効果シミュレーションの開発においては、平成27年度事業にて開発した共通基盤部分をベースに、事故シナリオとして、死亡事故率1位の逸脱事故と、死亡事故件数1位の歩行者横断事故を追加し、また、自動運転システムとして、車線逸脱警報システムや逸脱防止支援システムなどを追加した。また、交通参加者のモデルとして、歩行者のモデルを追加した。

開発したシミュレーションの機能評価として、歩行者横断事故においては、直線道路に歩行者がランダムに横断するシーンのシミュレーションを実施し、衝突警報システムや被害軽減ブレーキの事故低減効果を算出した。逸脱事故も同様に、車線逸脱警報システムなどの事故低減効果を算出し、両事故シーンとも要求仕様通りにシミュレーションが動作することを確認した。

交通事故低減効果の妥当性検証については、算出した事故低減効果が妥当であるかを実証する確認ステップ1～5を明確にし、ステップ1においては、調査・実験によって実行動データを収集し、ドライバ/歩行者モデルの妥当性を確認した。

また、開発したシミュレーションが、OEM、サプライヤ等に活用され、自動走行システムの実用化・普及促進に貢献することができるよう、活用の目的、織り込み機能などについて、開発検討会の委員（OEM7社）にヒヤリングを実施し、開発の方向性や織り込み機能案を提案し、開発検討会にて了承頂くことができた。

7.2 今後の課題

事故場面を組み合わせ、交通環境再現型に発展させる必要があるが、交通流の再現、妥当性の検証、計算負荷などいくつかの課題があり、その構築の手法と開発のステップを具現化させる必要がある。

また、交通環境再現型の構築にあたっては、対象とする実モデル地域の選定（都市、地方など）と、その地域での事故低減効果算出結果をもとに全国規模の効果を推定するための手法を考案する必要がある。

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（2015）
- 2) 経済産業省：平成 27 年度経済産業省委託事業「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」
- 3) 岩城ほか：「横断歩行者に対するドライバ行動分析」自動車技術会 学実講演前刷集 No146-13
- 4) 露木ほか：「狭路における歩行者追い越し時の危険予測運転支援システムの開発」自動車技術会 学術講演会前刷集 No.125-13
- 5) 下瀬ほか：「曲線道路逸脱防止のための自動操舵制御に関する研究」第 54 回自動制御連合講演会 1M105, 2011
- 6) 岩城ほか：「車線逸脱警報呈示時における車線復帰操舵行動のモデル化」自動車技術会 学実講演前刷集 No41-13
- 7) 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
- 8) 内閣府：「SIP（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」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委託業務成果報告書
- 9) 畑田ほか：眼・色・光 より優れた色再現を求めて、日本印刷技術協会、pp.9、2007
- 10) 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
- 11) 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
- 12) 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
- 13) 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
- 14) 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
- 15) 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
- 16) 木内ら：
- 17) 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
- 18) 内閣府：
- 19) 石田ら：コンピュータを用いた注意および記憶に関する認知的評価、日本心理学会第 78 回大会発表論文集、p.642、2014
- 20) Yiyi Wang et al.: Mapping Driver Behaviors and Identifying the Geo-Spatial Correlates of the Utility Truck Crashes: A Spatial Statistical Approach, Transportation Research Board 96th

Annual Meeting (17-06214)、2017

- 21) Charisma Choudhury et al.: Transferability of Car-Following Models between Driving Simulator and Field Traffic, Transportation Research Board 96th Annual Meeting (17-00245)、2017
- 22) Kay Fitzpatrick et al.: Behavioral Study on Pedestrian's Decisions at a Midblock Location, Transportation Research Board 96th Annual Meeting (17-02172)、2017
- 23) Bart Van Arem et al.: Realistic Car-Following Models for Microscopic Simulation of Adaptive and Cooperative Adaptive Cruise Control Vehicles, Transportation Research Board 96th Annual Meeting (17-04495)、2017
- 24) Dirk Helbing et al.: Social force model for pedestrian dynamics, Physical review, E51.5、1995
- 25) 横山ら：避難行動解析へのポテンシャルモデルの応用、土木学会論文、Vol.513、pp.225-232、1995
- 26) Serge Hoogendoorn: Pedestrian flow modeling by adaptive control, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board 1878 (2004) , pp.95-103、2004
- 27) 浅野ら：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
- 28) 森ら：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、情報処理学会論文誌、Vol.50-12、pp.3175-3185、2008
- 29) 吉村ら：知的マルチエージェント交通流シミュレータ MATES の開発第三報：多階層歩行者モデルの開発と歩車混合交通シミュレーション、日本シミュレーション学会大会発表論文集、Vol.25、pp.265-268、2006
- 30) 毛利ら：歩行路における歩行者挙動に関する研究、土木学会論文報告集、Vol.268、pp.99-108、1977
- 31) 羽賀ら：交差点での横断歩道横断時における歩行者の右左折車確認行動に関する研究、土木学会論文集 D3 (土木計画学)、Vol.69、No.5 I_797-I_807、2013
- 32) 松本ら：街路空間特性と歩行速度の関係、日本建築学会計画系論文、Vol.74.640、pp.1371-1377、2009
- 33) 松井：死傷事故低減に向けた高齢歩行者における行動特性の究明と対策について、タカタ財団助成研究論文、ISSN 2185-8950、2012

第8章 参考資料

8.1 パラメーター一覧と記述方法

平成 28 年度開発の交通事故低減詳細効果シミュレーションにおいて使用できるパラメータについて 8.1.1 パラメーター一覧にまた、8.1.2 にその記述方法を記載する。

8.1.1 パラメーター一覧

(1) ドライバエージェント・パラメータ

ドライバエージェント・パラメータではドライバの属性を設定する。設定項目と記述方法を表 8.1.1-1 に示す。

表 8.1.1-1 ドライバエージェント・パラメータ

パラメータ項目	暫定値	備考
性別	0	0: 男 1: 女 2: 年齢別統計に従い生成 ¹
年齢[歳]	41	16～89：指定した年齢に従う 0: 性別の年齢構成比に従い生成
法令順守傾向 A	2	1: 低い 2: 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 2: 3: 4: 5: 高い
過信／不信度 E	2	1: 低い 2: 3: 高い
ドライバ特性固定値	1	0: 男女別の発生確率で生成 1: 上記 ABCDE をそのまま採用
ドライバ生成数	1	性別、年齢、ドライバ特性を乱数で生成す

¹ 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。

パラメータ項目	暫定値	備考
		る場合は、発生させるドライバ数を入力する。
ドライバ乱数シード情報	1	性別、年齢、ドライバ特性やシミュレーションで使用するドライバの乱数シード情報。ドライバ生成数が複数の場合は、この値がシード値の初期値となり、以降のドライバは1ずつ増加する 1以上:ドライバごとに同一の乱数シード 0:全 Agent が同一の乱数シード (1 固定)
ドライバ最大加速度 [m/s ²]	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。
ドライバ最大減速度 [m/s ²]	5.884	正数で指定し、シミュレーション内部で負数に変換。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。
最大加速度勾配[m/s ³]	10	
最大減速度勾配[m/s ³]	15	
最大ハンドル角加速度 [°/s ²]	720	
前方注視の予見時間[s]	0.5	
ξ	1	0: 固定値 ($\xi = 0$) 1: 区間[-1,1]の一様乱数
最低車間距離[m]	4	追従モデルで使用する最低車間距離
再発進時の車間距離係数	1.25	
Tcurve[s]	4	直線道路から曲線道路の始点までの到達時間
Tped_buf[s]	1	歩行者回避行動における余裕時間
Tped1[s]	6	
Tped2[s]	6	
Tped3[s]	0.5	
Dx_m1[m]	1	余裕距離 1
Dx_m2[m]	0.4	余裕距離 2
Vm[m/s]	0.4	速度余裕
アクセルオフ時間の下限値[s]	0.1	対横断歩行者の減速行動
踏み換え時間の下限値[s]	0.1	対横断歩行者の減速行動
最大減速度の下限値 [m/s ²]	0.5	対横断歩行者の減速行動
ジャークの下限値[m/s ³]	0.5	対横断歩行者の減速行動

パラメータ項目	暫定値	備考
最大ハンドル角速度の上限値[°/s]	500	
最大ハンドル角速度の下限値[°/s]	1	
対歩行者減速行動で使用する乱数の生成方法	1	0: 乱数 1: 代表値
中心視野（視野角・視距離）	(15,100)	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（視野角・視距離）	(37.5,100)	
周辺視野（視野角・視距離）	(37.5,100)	
視野確率[%]	(100,0,0,0,0,0)	正常時の視点移動確率。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。合計を 100[%]とする。

(2) 事故要因・パラメータ

事故要因・パラメータではドライバエラー（脇見、操作誤りなど）の詳細情報を設定する。設定項目と記述方法を表 8.1.1-2 に示す。

表 8.1.1-2 事故要因・パラメータ

パラメータ項目	暫定値	備考
脇見モード	0	0: 脇見をしない 1: 強制脇見 2: 時間指定脇見 3: 確率脇見
脇見時の操作	0	0: 直前操作継続 1: 等速 2: 空走
脇見時の操舵	0	0: 操舵角維持 1: 脇見方向に操舵
脇見時の操舵角速度[°/s]	5	
脇見時の操舵最大角度[°]	60	
脇見からの反応時間の下限値[s]	0.1	
時間指定脇見マップ ID	1	時間指定脇見モードのスケジュールを別途指定する。
時間指定の一律割合（対 TTC%）利用	1	0: 利用しない 1: 利用する（時間指定モードの脇見時間を

パラメータ項目	暫定値	備考
		下記割合×TTC とする)
時間指定の一律割合（上からの横断）[%]	20	歩行者が車両進行方向左側から横断する際の脇見時間の一律割合
時間指定の一律割合（下からの横断）[%]	50	歩行者が車両進行方向右側から横断する際の脇見時間の一律割合
脇見発生割合の生成方法	0	0: 乱数生成 1: 固定値
脇見発生割合固定値[%]	30	確率脇見モードでは毎 tick この割合で脇見を発生させる。
脇見時間 $[\mu, \sigma]$	[-0.042, 0.0125]	脇見時間 λ は対数正規分布 $\log(\lambda) \sim \text{ND}(-0.042, 0.112^2)$ で指定。
眠気モード	0	0: 無効 1: 強制眠気 (S1) 2: 強制眠気 (S2) 3: 時間指定眠気
眠気 S1 周期[倍]	10	正常 S0 の整数倍で指定
眠気からの復帰時間の下限値[s]	0.1	
居眠り S2 時の操作	1	0: 直前操作継続 1: 等速 2: 空走
居眠り S2 時の操舵	1	0: 操舵角維持 1: 左操舵 2: 右操舵
居眠り S2 時の操舵角速度 $[^{\circ}/s]$	5	
居眠り S2 時の操舵最大角度 $[^{\circ}]$	60	
警報時遷移確率 居眠り S2→眠気 S1 [%]	60	
警報時遷移確率 居眠り S2→正常 S0 [%]	35	
警報時遷移確率 眠気 S1→正常 S0 [%]	80	
時間指定眠気マップ ID	1	時間指定眠気モードのスケジュールを別途指定する。
ブレーキ量の操作誤りモード	0	0: 無効 1: 最初から強制操作誤りをする 2: 指定確率で操作誤りをする

パラメータ項目	暫定値	備考
強制操作誤り指定時の操作量の割合[%]	75	追従モデルで算出したブレーキ量にこの値をかける ² 。
操作誤り 発生頻度[μ , σ]	[100.0,10.0]	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。
操作誤り 継続時間[μ , σ]	[-0.042, 0.0125]	時間 λ は対数正規分布 $\log(\lambda) \sim \text{ND}(-0.042, 0.112^2)$ で指定。
操作誤り「重度」の発生割合[%]	50	
操作誤り「重度」操作量の上限[%]	75	
操作誤り「重度」操作量の下限[%]	25	
ブレーキ量の判断誤りモード	0	0: 無効 1: 最初から強制判断誤りをする 2: 指定確率で判断誤りをする
強制判断誤り指定時の判断量の割合[%]	75	追従モデルで算出したブレーキ量にこの値をかける ³ 。
判断誤り 発生頻度[μ , σ]	[100.0,10.0]	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。
判断誤り 継続時間[μ , σ]	[-0.042, 0.0125]	時間 λ は対数正規分布 $\log(\lambda) \sim \text{ND}(-0.042, 0.112^2)$ で指定。
判断誤り「重度」の発生割合[%]	50	
判断誤り「重度」操作量の上限[%]	75	
判断誤り「重度」操作量の下限[%]	25	

² 例えば、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 $\times 0.75$ 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。

³ 例えば、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)

(3) 車両初期値パラメータ

車両初期値パラメータでは車両の初期値情報を設定する。設定項目と記述方法を表 8.1.1-3 に示す。

表 8.1.1-3 車両初期値パラメータ

パラメータ項目	暫定値	備考
パス先端からの距離[m]	0	重心の位置
オフセット[x,y,z][m]	[0,0,0]	前方向が x 座標正、左方向が y 座標正。 z 座標は 0 とする。

(4) 自動走行システム搭載設定・パラメータ

自動走行システム搭載設定・パラメータでは自動走行システムの詳細情報を設定する。平成 28 年度開発の交通事故低減詳細効果シミュレーションでは、以下の 5 種の自動走行システムを模擬可能。

◆衝突防止系

- －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）

◆逸脱防止系

- －車線逸脱警報システム（LDW：Lane Departure Warning system）
- －逸脱防止支援システム（LKA:Lane Keeping Assist system）

各々の設定項目と暫定値を表 8.1.1-4～表 8.1.1-11 に示す。

表 8.1.1-4 衝突警報システム（対車両）のパラメータ

パラメータ	暫定値	備考
検知幅[m]	1.5	
音衝突警報	1	0: 無効、1: 有効 警報フラグは複数同時指定可
光衝突警報	0	0: 無効、1: 有効 同上
振動衝突警報	0	0: 無効、1: 有効 同上
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	
作動遅れ時間[s]	0	
警報持続時間[s]	2	

パラメータ	暫定値	備考
作動 TTC (対先行車) マップ ID	1	※詳細設定方法は後述する
作動 TTC (対静止車) マップ ID	1	※詳細設定方法は後述する
ログ出力有無	1	0: 無効、1: 有効
センサグループ指定	0	0: 指定しない、1: 指定する グループ 1～8 を指定可能。グループ間は AND 条件で検出する。

表 8.1.1-5 衝突警報システム（対歩行者）のパラメータ

パラメータ	暫定値	備考
検知幅[m]	5	
音衝突警報	1	0: 無効、1: 有効 警報フラグは複数同時指定可
光衝突警報	0	0: 無効、1: 有効 同上
振動衝突警報	0	0: 無効、1: 有効 同上
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	
作動遅れ時間[s]	0	
警報持続時間[s]	2	
作動 TTC (対歩行者) マップ ID	1	※詳細設定方法は後述する
ログ出力有無	1	0: 無効、1: 有効
センサグループ指定	0	0: 指定しない、1: 指定する

表 8.1.1-6 緊急ブレーキアシストシステム（対車両）のパラメータ

パラメータ	暫定値	備考
検知幅[m]	1.5	
音衝突警報	1	0: 無効、1: 有効 警報フラグは複数同時指定可
光衝突警報	0	0: 無効、1: 有効 同上
振動衝突警報	0	0: 無効、1: 有効 同上
作動最低相対速度 [km/h]	0.1	

パラメータ	暫定値	備考
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	
作動遅れ時間[s]	0	
作動持続時間[s]	3	
作動 TTC (対先行車) マップ ID	1	※詳細設定方法は後述する
作動 TTC (対静止車) マップ ID	1	※詳細設定方法は後述する
時定数[s]	0.05	
ブレーキ増大係数加算[m/s ²]	0	ブレーキ増分値の符号を反転し、これに加えた減速度[m/s ²]を出力する。(ただし、車両に設定された最大減速度を超えないものとする。) この値が 0 のときはブレーキ増大倍数が採用される
ブレーキ増大倍数	1	ブレーキ増大倍数を掛けた減速度[m/s ²]をブレーキ出力に追加する。ブレーキ増大係数加算が 0 のとき採用される (ただし、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。)
ログ出力有無	1	0: 無効、1: 有効
センサグループ指定	0	0: 指定しない、1: 指定する

表 8.1.1-7 緊急ブレーキアシストシステム（対歩行者）のパラメータ

パラメータ	暫定値	備考
検知幅[m]	5	
音衝突警報	1	0: 無効、1: 有効 警報フラグは複数同時指定可
光衝突警報	0	0: 無効、1: 有効 同上
振動衝突警報	0	0: 無効、1: 有効 同上
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	
作動遅れ時間[s]	0	
作動持続時間[s]	3	

パラメータ	暫定値	備考
作動 TTC (対歩行者) マップ ID	1	※詳細設定方法は後述する
時定数[s]	0.05	
ブレーキ増大係数加算[m/s ²]	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 ²]を出力する。(ただし、車両に設定された最大減速度を超えないものとする。) この値が 0 のときはブレーキ増大倍数が採用される
ブレーキ増大倍数	1	ブレーキ増大倍数を掛けた減速度[m/s ²]をブレーキ出力に追加する。ブレーキ増大係数加算が 0 のとき採用される (ただし、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。)
ログ出力有無	1	0: 無効、1: 有効
センサグループ指定	0	0: 指定しない、1: 指定する

表 8.1.1-8 被害軽減ブレーキシステム (対車両) のパラメータ (一次、二次⁴それぞれに
対して指定)

システムパラメータ	暫定値	備考
検知幅[m]	1.5	
音衝突警報	1	0: 無効、1: 有効 警報フラグは複数同時指定可
光衝突警報	0	0: 無効、1: 有効 同上
振動衝突警報	0	0: 無効、1: 有効 同上
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	
作動遅れ時間[s]	0	
作動持続時間[s]	1	
作動 TTC (対先行車) マップ ID	1	※詳細設定方法は後述する
作動 TTC (対静止車) マップ ID	1	※詳細設定方法は後述する
時定数[s]	0.05	

⁴ 一次と二次の作動時間が重複している場合は、強い減速度となる方の値をとるものとする。

システムパラメータ	暫定値	備考
減速度勾配[m/s ³]	19.6	作動した場合は、指定した減速度勾配[m/s ³]に従った減速度[m/s ²]を出力する。(ただし、車両に設定された最大減速度を超えないものとする。)
ログ出力有無	1	0: 無効、1: 有効
センサグループ指定	0	0: 指定しない、1: 指定する

表 8.1.1-9 被害軽減ブレーキシステム（対歩行者）のパラメータ（一次、二次⁵それぞれに対して指定）

システムパラメータ	暫定値	備考
検知幅[m]	5	
音衝突警報	1	0: 無効、1: 有効 警報フラグは複数同時指定可
光衝突警報	0	0: 無効、1: 有効 同上
振動衝突警報	0	0: 無効、1: 有効 同上
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	
作動遅れ時間[s]	0	
作動持続時間[s]	1	
作動 TTC（対歩行者）マップ ID	1	※詳細設定方法は後述する
時定数[s]	0.05	
減速度勾配[m/s ³]	19.6	作動した場合は、指定した減速度勾配[m/s ³]に従った減速度[m/s ²]を出力する。(ただし、車両に設定された最大減速度を超えないものとする。)
ログ出力有無	1	0: 無効、1: 有効
センサグループ指定	0	0: 指定しない、1: 指定する

表 8.1.1-10 車線逸脱警報システムのパラメータ

システムパラメータ	暫定値	備考
検知幅[m]	1.5	
音衝突警報	0	0: 無効、1: 有効 警報フラグは複数同時指定可

⁵ 一次と二次の作動時間が重複している場合は、強い減速度となる方の値をとるものとする。

システムパラメータ	暫定値	備考
光衝突警報	0	0: 無効、1: 有効 同上
振動衝突警報	0	0: 無効、1: 有効 同上
作動最低速度 [km/h]	0.1	
作動最高速度 [km/h]	100	
作動遅れ時間[s]	0	
警報持続時間[s]	2	
作動 TTLC[s]	0.6	
ログ出力有無	1	0: 無効、1: 有効
センサグループ指定	0	0: 指定しない、1: 指定する

表 8.1.1-11 逸脱防止支援システムのパラメータ

システムパラメータ	暫定値	備考
検知幅[m]	1.5	
音衝突警報	0	0: 無効、1: 有効 警報フラグは複数同時指定可
光衝突警報	0	0: 無効、1: 有効 同上
振動衝突警報	0	0: 無効、1: 有効 同上
作動最低速度 [km/h]	0.1	
作動最高速度 [km/h]	100	
作動遅れ時間[s]	0	
警報持続時間[s]	2	
作動 TTLC[s]	0.6	
アシスト最大操舵角速度 [°/s]	180	
アシスト最大操舵角[°]	360	
逸脱防止支援システム予見時間[s]	0.5	
ログ出力有無	1	0: 無効、1: 有効
センサグループ指定	0	0: 指定しない、1: 指定する

(5) センサのパラメータ

センサのパラメータではセンサの詳細情報を設定する。平成 28 年度開発の交通事故低減詳細効果シミュレーションでは、センサは 3 個まで指定可能。設定項目と記述方法を表 8.1.1-12 の示す。

表 8.1.1-12 センサのパラメータ

パラメータ	暫定値	備考
センサタイプ	1	1: カメラ、2: レーダ
取付け方向[°]	0	0[°]が正面とする
取付け位置[x,y,z] (m)	[2.27,0,0]	車両の中心からの相対位置で X,Y,Z[m]を指定する。ただし、平成 28 年度は Z 方向を考慮していないため、Z は 0 とする。
センサ最大検知距離 [m]	100	
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。
センサグループ指定	0	0: 指定しない、1: 指定する 各センサ、グループ 1～8 を指定可能。グループ内は OR 条件、グループ間には AND 条件で検出する。

(6) シミュレーション環境パラメータ

シミュレーション環境パラメータではシミュレーション環境の詳細情報を表 8.1.1-13 に示す。

表 8.1.1-13 シミュレーション環境パラメータ

環境パラメータ	暫定値	備考
シミュレーション本体乱数シード	0	シミュレーションで使用する乱数
GUI で表示する最大車両数	5	
最大シミュレーション時間 [s]	10	歩行者横断事故シミュレーションは暫定値 10[s]
tick 時間[s]	0.01	シミュレーション単位時間。
ドライバ tick[s]	0.1	ドライバの作動単位時間。
車両 tick[s]	0.01	車両の作動単位時間。
歩行者 tick[s]	0.1	歩行者の作動単位時間。

(7) 歩行者横断事故シミュレーションのパラメータ

歩行者横断事故シミュレーションのパラメータでは、歩行者事故シミュレーションの詳細情報を表 8.1.1-14 に示す。

表 8.1.1-14 歩行者横断事故シミュレーションのパラメータ

パラメータ	暫定値	備考
歩行者発生数	100	1回のシミュレーションで生成する歩行者数
歩行者乱数シード情報	1	歩行者関連の乱数生成で使用するシード情報
横断方向生成方法	0	0: 乱数生成、1: 固定値
横断方向（1:固定値の場合）	1	1: 上から左下方向 2: 上から右下方向 3: 下から右上方向 4: 下から左上方向
横断速度の生成方法	0	0: 乱数生成、1: 固定値
横断速度（固定値）[km/h]	4.662	
横断角度の生成方法	0	0: 乱数生成、1: 固定値
横断角度（固定値）[°]	39.696	
TTC/TTV の生成方法	0	0: 乱数生成、1: 固定値
TTC/TTV（固定値）[s]	2.57	
車速の生成方法	0	0: 乱数生成、1: 固定値
車速（固定値）[km/h]	39.764	

(8) 逸脱事故シミュレーションのパラメータ

逸脱事故シミュレーションのパラメータでは、逸脱事故シミュレーションの詳細情報を表 8.1.1-15 に示す。

表 8.1.1-15 逸脱事故シミュレーションのパラメータ

パラメータ	暫定値	備考
使用道路のカーブ方向	1	1: 左カーブ、2: 右カーブ
使用道路の制限速度[km/h]	40	
使用道路の道路半径[m]	80	
逸脱パターン発生数	100	
乱数シード情報	10	逸脱角度等の乱数生成で使用するシード情報
逸脱方向の生成方法	0	0: 乱数生成、1: 固定値
逸脱方向（固定値）	1	1: 左方向 2: 右方向
逸脱角度の生成方法	0	0: 乱数生成、1: 固定値
逸脱角度（固定値）[°]	10	
障害物距離の生成方法	0	0: 乱数生成、1: 固定値
障害物距離（固定値）[m]	3	逸脱方向が左方向の場合、0.3～3.0 まで 10 段階で指定できる。 逸脱方向が右方向の場合、0.5～5.0 まで 10 段階で指定できる。
車速の生成方法	0	0: 希望速度、1: 固定値
車速（固定値）[km/h]	40	

8.1.2 パラメータの記述方法

作動 TTC と時間指定スケジュールの設定方法を以下に説明する。

(1) 作動 TTC の設定方法

作動 TTC は対先行車、対静止車、対歩行者の各々に対して指定できる。上段に相対速度[km/h]、下段に作動 TTC[s]を入力する。(図 8.1.2-1 参照)

※要素数は 16 個までとする。

※作動最低相対速度と作動 TTC の要素数は一致させること。

※作動最低相対速度の第 1 要素は「0」とすること。

※TTC はマップに従い決まる。この例では、たとえば、相対速度=30[km/h]が与えられたときは、マップに従い TTC=2.5[s]となる。

※最後の要素の設定値以降については、その設定値を保持する。この例では相対速度が 40[km/h]以上のときは、マップに従い常に TTC=3[s]となる。

作動最低相対速度[km/h]	0	15	20	40
作動TTC[s]	0	2	2	3

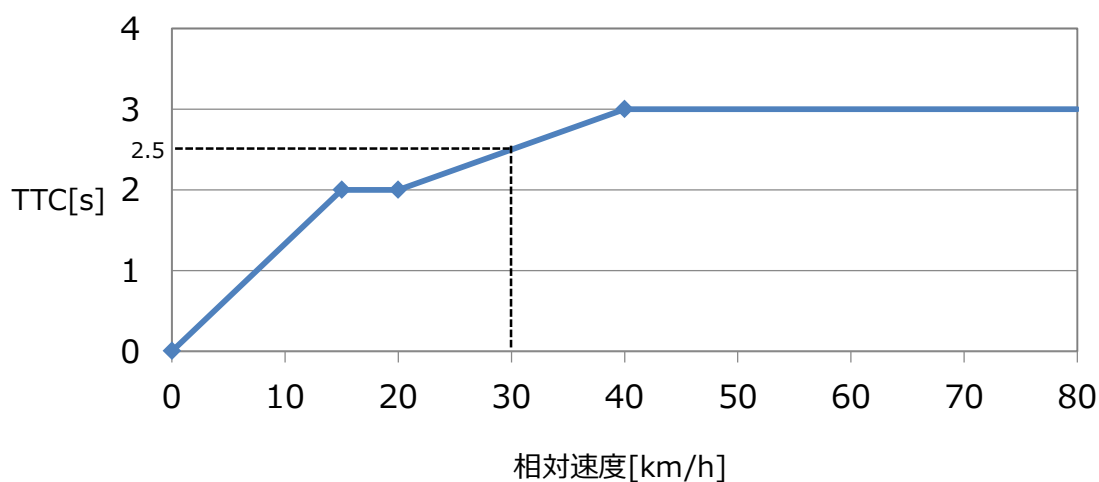


図 8.1.2-1 作動 TTC のマップ入力例

なお、相対速度によらず TTC を一定とする場合は、下表の通り記述する。(図 8.1.2-2 参照)

※最後の要素の設定値以降については、その設定値を保持するという規則があるため、作動最低相対速度の第 2 要素は 0 より大きい数で指定する。(この例では 100)

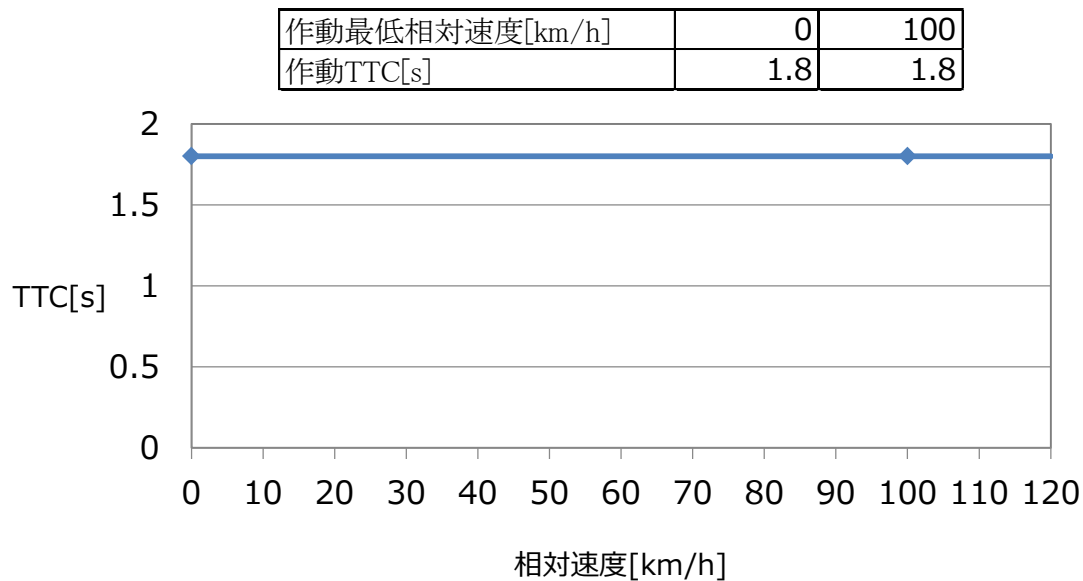


図 8.1.2-2 作動 TTC のマップ入力例

(2) 時間指定スケジュールの設定方法

事故要因の脇見と眠気は時間指定のスケジュールを組むことができる。項目数は第 1 項目から第 8 項目までとする。

①「時間指定脇見設定」シート

「時間」：前の項目の時刻から入力した時刻まで以下の処理を実行する。第 1 項目は 0[s]から入力時刻まで以下の処理を実行する。

「脇見方向」：指定時間内の脇見方向を指定する。

「操舵」：指定時間内に脇見を指定した場合の操舵操作を指定する。(歩行者事故 sim 設定ツールでは非表示)

「ブレーキ操作」：指定時間内に脇見を指定した場合のブレーキ操作を指定する。

「ハンドル角速度」：指定時間内に脇見を指定した場合のハンドル角速度を指定する。(歩行者事故 sim 設定ツールでは非表示)

「最大ハンドル角度」：指定時間内に脇見を指定した場合の最大ハンドル角度を指定する。(歩行者事故 sim 設定ツールでは非表示)

②「時間指定眠気設定」シート

「時間」：前の項目の時刻から入力した時刻まで以下の処理を実行する。第 1 項目は 0[s]から入力時刻まで以下の処理を実行する。

「眠気状態」：指定時間内の眠気状態を指定する。

「操舵」：指定時間内に眠気 S2 状態を指定した場合の操舵操作を指定する。

「ブレーキ操作」：指定時間内に眠気 S2 状態を指定した場合のブレーキ操作を指定する。

「ハンドル角速度」：指定時間内に眠気 S2 状態を指定した場合のハンドル角速度を指定する。

「最大ハンドル角度」：指定時間内に眠気 S2 状態を指定した場合の最大ハンドル角度を指定する。

表 8.1.2-1 に時間指定眠気設定の例を示す

ここでは「時間指定眠気設定」シートの記入例を記す。

- ・ 0[s]～5[s]の間は第 1 項目に記述した設定値を使用する。
- ・ 5[s]～7[s]の間は第 2 項目に記述した設定値を使用する。
- ・ 7[s]以降は、正常状態に戻る。

表 8.1.2-1 時間指定眠気設定

時間指定眠気 マップID	設定項目	1	2	3
1	時間 [sec]	5	7	
	眠気状態	1:眠気S1	2:居眠りS2	
	操舵	1:左操舵	0:操舵角維持	
	ブレーキ操作	1:等速	0:直前操作継続	
	ハンドル角速度 [deg/s]	5	5	
	最大ハンドル角度 [deg]	60	60	

－禁無断転載－

経 済 産 業 省 委 託

平 成 28 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 29 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