令和４年度
無人自動運転等の CASE 対応に向けた実証・支援事業
（自動走行システムの安全性評価基盤構築に向けた研究開発プロジェクト）

令和５年３月

（委託先）

一般財団法人日本自動車研究所

令和 4 年度
無人自動運転等の CASE 対応に向けた実証・支援事業
（自動走行システムの安全性評価基盤構築に向けた
研究開発プロジェクト）
－ 目 次 －

第 1 章　はじめに ..... I - 1
1.1　事業全体の目標 ..... I - 1
1.2　事業全体のスキーム ..... I - 1
1.3　安全性評価戦略 WG および安全性評価基盤合同推進委員会 ..... I - 2
1.4　令和 4 年度の事業目標 ..... I - 4
1.4.1　事業のスコープ ..... I - 4
1.4.2　個別テーマごとの目標 ..... I - 5

第 2 章　自動運転車の検証に必要な安全性評価基盤構築の検討 ..... II - 1
2.1　自動運転開発者ニーズに合わせたシナリオ DB の仕様検討 ..... II - 1
2.1.1　シナリオ DB へのニーズ調査と提供価値の検討 ..... II - 1
2.1.2　ニーズに基づくシナリオ DB 機能仕様の改良 ..... II - 7
2.2　シナリオ DB と DIVP 仮想環境の連携による
継続的インテグレーション環境の構築 ..... II - 45
2.2.1　機能のインテグレーション ..... II - 45
2.2.2　シナリオ設計・テスト結果の可視化機能改良 ..... II - 65
2.2.3　交通外乱シナリオフォーマット定義 ..... II - 67
2.3　継続的なシナリオ更新に向けた既存データの活用検討 ..... II - 74
2.3.1　協調利用の可能性がある外部データ（定点カメラデータ） ..... II - 74
2.3.2　協調利用の可能性がある外部データ（ドライブレコーダデータ） ..... II - 97
2.4　シナリオベースの AD 安全性評価試験法のあり方に関する検討 ..... II - 102
2.4.1　模擬車両と挙動再現性 ..... II - 103
2.4.2　シミュレーションの妥当性確認に係る試行的検討 ..... II - 116
2.4.3　シナリオベースの AD 安全性評価試験法のあり方に関する
検討のまとめ ..... II - 128
2.5　第 2 章のまとめ ..... II - 129

第 3 章　交通外乱シナリオ DB の分析及び検討 ..... III - 1
3.1　合理的に予見可能な範囲の特定 ..... III - 1
3.1.1　合理的に予見可能な範囲の特定論理の補強 ..... III - 3
3.1.2　高速道シナリオの十分性の検証のための
道路形状や地域間等の差分によるシナリオ分析への影響検討 ..... III - 24
3.1.3　一般道に対応する安全評価の考え方の整理 ..... III - 43

3.1.4　シミュレーションを活用したクリティカルなパラメータ
の分析手法の検討 ..... III - 108
3.2　回避可能な範囲の特定 ..... III - 139
3.2.1　自動運転車の立場によって変わるクライテリアの考え方 ..... III - 139
3.2.2　安全性を定量化するための評価手法・評価指標 ..... III - 143
3.2.3　交差点右折シナリオのクライテリアの具体化 ..... III - 156
3.2.4　回避可能な範囲の定義に向けたドライバ反応特性の調査 ..... III - 175
3.2.5　合流シナリオにおける危険度指標の研究 ..... III - 227
3.2.6　交差点出会い頭における危険度指標の研究 ..... III - 235
3.3　導出エビデンス管理・処理プロセス規程 ..... III - 242
3.3.1　シナリオ分析用エビデンスの管理手法検討 ..... III - 243
3.3.2　シナリオ分析用エビデンスの品質保証プロセスの検討 ..... III - 347
3.4　第 3 章のまとめ ..... III - 392

第 4 章　国際協調・標準化活動及び海外動向調査 ..... IV - 1
4.1　ISO 34502 策定に向けた国際協調/標準化の推進 ..... IV - 1
4.1.1　ISO 3450X シリーズの適用範囲と現況 ..... IV - 2
4.1.2　 ISO 34502 策定に対する SAKURA プロジェクトの取り組み ..... IV - 4
4.2　諸外国との協調・国際会議におけるトレンドの調査 ..... IV - 6
4.2.1　諸外国との協調活動 ..... IV - 6
4.2.2　国際会議におけるトレンドの調査 ..... IV - 11
4.3　国際的な競争力の強化に向けた成果発信 ..... IV - 19
4.3.1　投稿論文および成果発表 ..... IV - 19
4.3.2　学会などでの成果発表活動 ..... IV - 22
4.4　諸外国における自動運転に関連するプロジェクトや取り組みの調査 ..... IV - 24
4.4.1　欧米における自動運転安全性評価や社会的な受容性向上への取り組み .. IV - 24
4.4.2　中国における自動運転に関連するプロジェクトや取り組み ..... IV - 50
4.5　既存の安全性評価に資するレポートに関しての調査 ..... IV - 57
4.5.1　各国の AD システム安全性への考え方の整理 ..... IV - 57
4.5.2　安全性に資するレポートから見る AD システムを
開発・評価する企業の安全性の方針について ..... IV - 60
4.6　第 4 章のまとめ ..... IV - 66

第 5 章　研究開発全体企画・管理 ..... V - 1
5.1　令和 4 年度における研究開発ロードマップ ..... V - 1
5.2　安全性評価戦略 WG および安全性評価基盤合同推進委員会の運営 ..... V - 3
5.2.1　安全性評価戦略 WG の内容 ..... V - 3
5.2.2　安全性評価基盤合同推進委員会の内容 ..... V - 10

第 6 章　まとめ ..... VI - 1
6.1　自動運転車の検証に必要な安全性評価基盤の検討 ..... VI - 1
6.2　交通外乱シナリオ DB の分析および検討 ..... VI - 1
6.3　国際協調・標準化活動および海外動向調査 ..... VI - 2

Appendix-A　全方位視野ドライビングシミュレータ装置 ..... A - 1

第 1 章　はじめに

1.1　事業全体の目標

省エネルギーの一層の加速が不可欠である中、運輸部門については、特にエネルギー消費の大部分を占める自動車分野における新たな対応が必要である。また、都市を中心に世界の人口が増加する中、自動車の更なる普及拡大が想定され、交通事故の削減、渋滞の緩和や環境負荷の低減などがより必要となる。今後既存の取組だけでは抜本的な解決が困難と予想されるため、新たな取組である自動運転（以下、「AD」という）への期待は高く、関連する市場の拡大も見込まれる。AD では、運転者による運転を前提とした従来の安全に対する考え方に加え、AD システムが車両の操作を行うことに対応した新たな安全性評価手法を策定する必要がある。また、国際商品である自動車を海外でも販売していくためには、その考え方を諸外国とも協調し、国際標準化を進めていく必要がある。経済産業省・国土交通省では、SAKURA プロジェクトという形で、日本自動車工業会（以下、「JAMA」という）と連携して日本のシナリオベースの安全性評価手法を検討し、国際基準（R157 等）・標準（ISO3450X）策定に関する議論をリードしてきた。

本事業では、高速道で確立した安全性評価手法を一般道に拡張することに加え、シナリオベースの安全性評価に活用可能なシナリオを生成できるシナリオデータベース（以下、「シナリオ DB」という）を開発する。また、内閣府 SIP 自動運転（システムとサービスの拡張）（以下、「SIP 自動運転」という）の仮想空間での自動走行評価環境整備手法の開発事業の DIVP®（Driving Intelligence Validation Platform）コンソーシアム（以下、「DIVP」という）と連携しつつ、AD および先進運転支援（ADAS）システムに係る開発プロセスなどに活用できる安全性評価基盤構築を検討する。

1.2　事業全体のスキーム

一般財団法人日本自動車研究所（以下、「JARI」という）は、本事業の研究開発を以下の体制で実施した（図 1.2-1）。

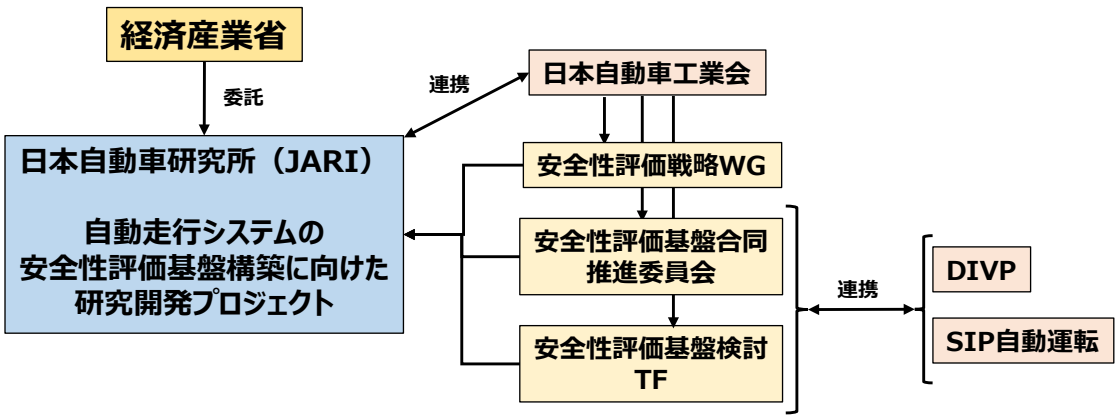


図 1.2-1　実施体制

1.3　安全性評価戦略 WG および安全性評価基盤合同推進委員会

本事業の技術開発方針の策定や進捗にあたっては、AD に関係する学界・産業界・他の研究機関などからの有識者による安全性評価戦略 WG および安全性評価基盤合同推進委員会を開催し、実施内容に対する意見やアドバイスを頂きながら進めた。各会議体における委員名簿を表 1.3-1 および表 1.3-2 に示す。

表 1.3-1　自動走行システムの安全性評価技術構築に向けた研究開発プロジェクト
安全性評価戦略 WG　委員名簿

氏名（敬称略）	組織名	所属/役職
波多野　邦道	（一社）日本自動車工業会	自動運転部会 部会長
江川　健一	（一社）日本自動車工業会	自動運転部会 副部会長
古平　貴大	（一社）日本自動車工業会	自動運転部会 副部会長
佐藤　秀亮	（一社）日本自動車工業会	自動運転部会 AD安全性評価分科会 分科会長
小澤　浩一郎	（一社）日本自動車工業会	自動運転部会 AD安全性評価分科会 副分科会長
北原　栄一	（一社）日本自動車工業会	自動運転部会 AD安全性評価分科会 副分科会長
伊藤　誠	筑波大学	システム情報系　教授
大前　学	慶應義塾大学 大学院	政策・メディア研究科 教授
河合　英直	（独）自動車技術総合機構 交通安全環境研究所	自動車安全研究部 部長
近藤　忍	（株）デンソー	品質管理部 品質監査２室 機能安全課 課長
真野　宏之	（株）日立製作所	ライフ統括本部 デジタルフロント事業部 事業部長付
南方　真人	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術 総合開発機構	SIP自動運転 SPL
横山　利夫	国立研究開発法人 産業技術総合研究所	RoAD to the L4プロジェクトコーディネーター

表 1.3-2　自動走行システムの安全性評価技術構築に向けた研究開発プロジェクト
安全性評価基盤合同推進委員会　委員名簿

氏名（敬称略）	組織名	所属/役職
葛巻　清吾	内閣府	自動運転プログラムディレクター
波多野　邦道	（一社）日本自動車工業会	自動運転部会 部会長
江川　健一	（一社）日本自動車工業会	自動運転部会 副部会長
古平　貴大	（一社）日本自動車工業会	自動運転部会 副部会長
佐藤　秀亮	（一社）日本自動車工業会	自動運転部会 AD安全性評価分科会 分科会長
小澤　浩一郎	（一社）日本自動車工業会	自動運転部会 AD安全性評価分科会 副分科会長
北原　栄一	（一社）日本自動車工業会	自動運転部会 AD安全性評価分科会 副分科会長
河合　英直	（独）自動車技術総合機構 交通安全環境研究所	自動車安全研究部 部長

1.4　令和 4 年度の事業目標

1.4.1　事業のスコープ

継続的な安全性評価フレームワーク（図 1.4.1-1）の実現に向けて、SAKURA プロジェクトではシナリオ DB、DIVP では仮想環境のプロトタイプが構築され、令和 3 年度にはそれらのプロトタイプの一部結合を行った。そのため、安全性評価を支える環境として、これらの双方の成果をいかに発展・連携させていくかが重要な課題といえる。更に、シナリオ DB のシナリオの陳腐化を防ぐためにも、継続的なシナリオ更新（分布やクライテリアなども含む）に向けての基盤要素であるデータ（エビデンス）更新・管理の為の基礎検討や研究も重要である。

そのため令和 4 年度における事業スコープは、令和 3 年度までに構築されたシナリオ DB が出力するシナリオと DIVP で構築された仮想環境との更なる結合を進めることである。また、シナリオ DB の機能および品質向上に向けて、シナリオのエビデンス（合理的に予見可能な範囲や衝突回避しなければならない領域など）に関しても整理すると共に、安全性評価法の試験法などに関しても検討する（図 1.4.1-2）。

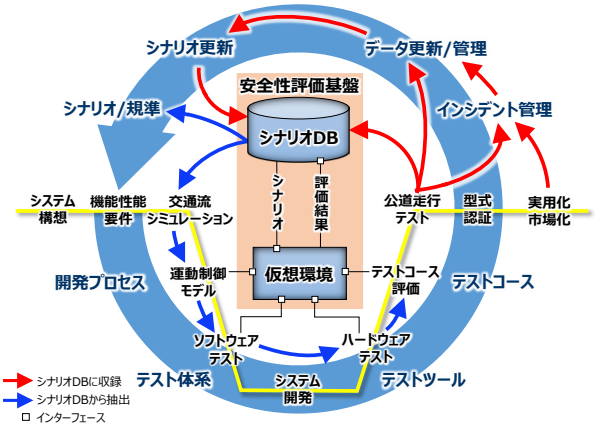


図 1.4.1-1　継続的な安全性評価フレームワーク（最終目標）

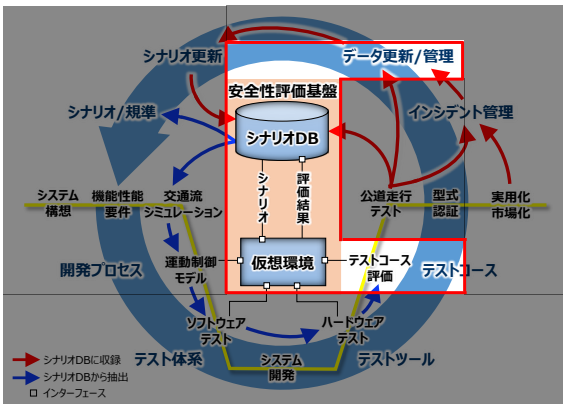


図 1.4.1-2　令和 4 年度のスコープ

1.4.2 個別テーマごとの目標

令和 4 年度は、下記の個別課題を開発目標に設定し研究・開発・調査を実施した。

1.4.2.1 自動運転車の検証に必要な安全性評価基盤構築の検討

（1） 自動運転開発者ニーズに合わせたシナリオ DB の仕様検討

無限に存在する自然現象や交通流の組み合わせを全て検証することは現実的に不可能なため、JAMA では AD の動的運転タスクを実行するために必要なプロセスを原理原則の異なる認知（認識外乱）・判断（交通外乱）・操作（車両外乱）の 3 要素に分解したシナリオ体系として構造化することで、有限かつ安全の観点で網羅的な検証ができることを提唱している。また、安全性の証明には、「合理的に予見可能かつ防止可能な人身事故を起こさない事」という考え方を原則としている。

令和 3 年度までに、高速道における交通外乱・認識外乱・車両外乱をシナリオ DB に組み込めるようにモデル化を行った。また、シナリオ DB の基本機能（ファンクショナルシナリオ参照、ロジカルシナリオ設計、コンクリートシナリオ抽出）に関する仕様の構築を完了した。しかしながら、開発現場での使い勝手や困りごとを想定した仕様にまで落とし込めておらず、シナリオ DB 公開に向けては開発現場ニーズに合わせた機能仕様の改良を行わなければならない。

そこで令和 4 年度は、令和 3 年度に収集した開発現場からのニーズを参考にシナリオ DB の仕様を見直し、機能向上（シナリオの交通流分布拡張など）を実施する。また、早期公開・現場活用に向けて、開発現場への貢献度が高いという意味で優先度の高い機能をシナリオ DB へ早期に実装するため、シナリオ DB へのニーズ収集を継続的に実施し、そのフィードバック結果を適宜計画に反映しながら進める。

（2）シナリオ DB と DIVP 仮想環境の連携による継続的インテグレーション環境の構築

図 1.4.2.1-1 は、SAKURA シナリオ DB と DIVP 仮想環境が結合した安全性評価基盤のイメージである。自動運転車の安全性を評価し、自動運転の開発を加速するためには、両者の強みを最大限組み合わせた提供価値を示す必要がある。

令和 3 年度は、シナリオ DB から出力されるシナリオが DIVP 仮想環境に Input できるようにシナリオ DB から出力されるフォーマット（OpenSCENARIO 形式）を交通外乱、認識外乱ともに表現できるように定義・文書化した。また、新たに定義したフォーマットに則り出力された認識外乱に係る優先評価シナリオのうち一部が DIVP 仮想環境と繋がり、シミュレーションされた結果がシナリオ DB に戻ることでシナリオが循環する流れが動作することを確認した。

令和 4 年度は、引き続きシームレスに DIVP 仮想環境とシナリオ DB が繋がるように継続的に機能のインテグレーションを実施するとともに、開発現場のニーズに基づく柔軟なシナリオ設計・テスト結果の可視化に関する機能を改良する。

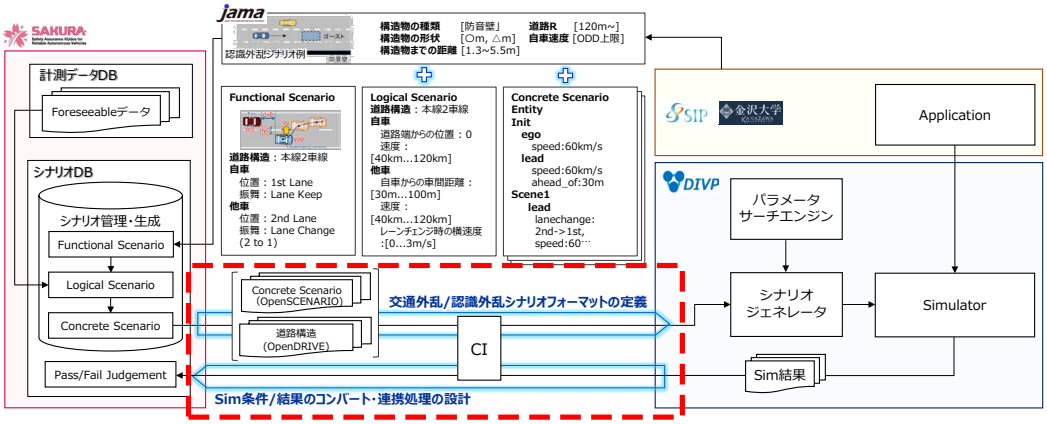


図 1.4.2.1-1　仮想環境との結合

（3）　継続的なシナリオ更新に向けた既存データの活用検討

AD 車の走行領域や機能は進化していくものであり、このような進化に合わせた安全性評価の実施が求められる。さらに、AD 車の普及に伴って交通環境が変化する可能性もあり、そのような変化を継続的に反映できるシナリオ更新の仕組みを検討する必要がある。また、合理的に予見可能な範囲の特定には、多くの実交通環境データ（事故やニアミスなどの特殊なケース、通常ケースなど）を分析する必要がある。しかしながら、継続的にデータを計測し、必要・十分な数のデータを集め続けることは非常に困難である。

そこで令和 4 年度は、既存の枠組みで収集され、かつ、協調領域での活用が可能なデータを活用したシナリオ更新への可能性を検討する。

（4）シナリオベースの AD 安全性評価試験法のあり方に関する検討

AD の安全性評価に関しては、国連、NATM（New Assessment/Test Method for Automated Driving）で議論が行われているように、シミュレーション、テストコースでの実車試験やフィールド実証実験（FOT）などの各種試験法の長所を組み合わせて評価することが想定される。そのため、AD のような複雑な制御機能に関しては、現物で確認しなければならないであろう必要最低限の項目に関してはテストコースでの実車試験を行い、他の多岐（網羅的）にわたるテスト項目はシミュレーションで効率的に実施することでトータルでの安全性の証明を実施していくものと推測される。

そこで令和 4 年度は、現在 ADAS 機能の確認試験などで使用されているダミーや計測機器などを用いて AD の安全性評価に資するシナリオ（ALKS のカットインシナリオなど）の再現を行い、テストコースでの AD の安全性評価に関する実車試験での課題などを整理する。

1.4.2.2　交通外乱シナリオ DB の分析および検討

（1）　合理的に予見可能な範囲の特定

AD システムを安全であると証明するためには、"合理的に予見可能"で回避可能な人身事故が生じないことを示さなければならない。そのため、合理的に予見可能（Reasonably foreseeable）な範囲を特定する手法について、技術的・科学的な根拠に基づいて構築しておく必要があると共に、各シナリオに対しての合理的に予見可能な範囲を分析し、整理しておかなければならない。

令和 3 年度までに、JAMA が定めた高速道の基本 24 シナリオ[1]に対して SAKURA プロジェクトで収集したデータを用いて合理的に予見可能な範囲の特定に向けて分析を実施し、合理的に予見可能な範囲の特定手法の検証を行った。しかしながら、SAKURA プロジェクトで分析したデータは都市高速・都市間高速道路（首都高、東名高速など）で収集されたものであるため、分析によって算出された結果に対して、道路形状などの差分による合理的に予見可能な範囲への影響の有無を確認しておく必要がある。

そのため令和 4 年度は、道路形状などでの差分が合理的に予見可能な範囲に与える影響の有無を整理し、予見可能範囲の特定手法の補強を行う。

（2）　一般道に対応する安全論証の考え方の整理

一般道の安全論証（コンセプトやシナリオ）の考え方の構築に向けては、高速道の安全性評価のコンセプトをベースとしつつ、一般道に特有の要素を考慮していくことが求められる。一般道特有の要素事例としては、道路形状の複雑化や交通参加者（車両、歩行者、二輪車など）挙動の複雑化などが挙げられる。また、一般道の安全性評価コンセプトに関しては各国において継続的に議論が続けられており、それらの考え方も考慮した上で組み立てておかなければならない。

令和 3 年度には、高速道と同じシナリオベースのアプローチによる安全性評価を念頭に、高速道のシナリオ体系（道路×自車の動き×他車の動き×他車の位置）[1]を参考に対四輪車と対歩行者の一般道シナリオ体系のモデル化（シナリオ DB に組み込めるモデル化）を実施した。しかしながら、一般道シナリオを構成する要素は高速道に比べて多く、それらの要素の組み合わせの数だけ大量のシナリオが生成されるため、網羅的な組み合わせの考え方に加えて、さまざまな観点で優先度を考慮する必要がある。また、単純な組み合わせだけでなく道路構造による物理的な制約や振る舞いの制限、関連法規なども加味し、対応すべきシナリオの設定方法も考えていかなければならない。

そこで令和 4 年度は、高速道での安全論証をベースとして、一般道における安全論証手法を構築するために、各国の考え方調査や有識者（AD の開発者や専門家など）との議論を行いながら整理する。一般道シナリオ体系の妥当性検証のために、道路構造における交通参加者の行動制限などに関しての整理手法の検討を行う。

（3） 高速道・一般道の安全性判断クライテリアの検討

AD 車の安全性を評価するための考え方には合理的に予見される"防止可能な人身事故が生じないこと"が定められている。しかし、防止可能な人身事故が生じない（Preventable）ことの判断方法の定義・解釈は国際的に定まっておらず、日本として論理的な考え方を対外的に示していくことが重要である。そのため、日本から高速道の本線走行に適用できるクライテリアとして国連に提案されている注意深く有能なドライバ（Competent and careful driver）の考え方を改良・発展させ、AD の機能（対応シナリオ）に対しての防止可能な人身事故の範囲を論理的な考え方に基づき整理しておく必要がある。

令和 3 年度は、国際的な議論の的となっている、レギュラーレーンチェンジ機能（RLC）に関して、本事業（SAKURA プロジェクト）で収集した実交通環境データの分析結果およびドライビングシミュレータを用いた実験結果を基にクライテリア案を整理し、国際的な議論へ日本から具体案を提示するための基礎検討（？）を実施した。また、一般道の安全性判断のクライテリアの確立に向けては、一般道特有の要素においてクライテリアに影響をおよぼす要素（道路、規制など）を仮説として整理した。

令和 4 年度は、国際的な動向も鑑みながら、今後議論の的となると予測される AD 車の振る舞い（危険回避行動やパスプランニングなど）の影響（他車挙動への影響、ドライバへの影響など）に関して、ドライビングシミュレータを用いた実験などを実施し、国際的な議論に資するための実験結果の整理を行う。クライテリアの確立に向けた検討に関しては、国際的な動向や国内戦略に基づき柔軟に対応しなくてはならないため、JAMA や自動車に関する研究機関との連携を通じて進める。また、一般道の安全性判断クライテリアの考え方に関しては、一般道特有の要素（交差点など）をケーススタディとして扱い、高速道と同様の考え方でクライテリアが整理できるか検証する。

（4） 継続的なシナリオ更新に向けたエビデンスデータ管理手法の検討

AD 車の機能は進化していくものであり、機能進化に合わせた安全性評価の実施が求められる。さらに、AD 車の普及に伴って交通環境が変化する可能性もあり、シナリオの合理的に予見可能な範囲は実交通流の実態に合わせて継続的に更新していく必要がある。更新の際には、差分（計測日時など）をしっかりと管理し、蓄積しておかなければならない。そのためには、合理的に予見可能な範囲を分析する際に使用したエビデンス（交通流軌跡データなど）を安定して長期的に分類・管理する仕組みが必要である。しかしながら、合理的に予見可能な範囲の分析には多くのデータが必要となっており、それらが継続的に増加してくため、人手のみで管理することは困難である。また、既存データを広く活用することを重視しすぎるあまり、品質要件を満たさないデータ（誤った情報やデータなど）を分析対象としてしまうと分析結果の合理性・信頼性が損なわれる可能性が有り、その合理性・信頼性の担保のためにもデータの品質検査・保証の仕組みを考えなければならない。

令和 3 年度では、エビデンスの相互関係性（シナリオ分布⇔軌跡情報など）を担保するために各データに対してトレーサビリティ情報を付与し、各データ処理・分析プロセスを遡り確認できるようにした。トレーサビリティ情報を付与することでデータ間の結合が明

確化され、各データの検索が容易となった。

令和 4 年度は、シナリオ分析に使用されるデータ（交通流分布などを算出するためのエビデンス）の管理手法の検討を実施する。管理手法として、今後の追加分析（運行設計領域の変更・拡大など）にも対応できるようにデータの属性付与手法、属性の検索に関して検討する。また、分析結果の合理性・信頼性を継続的に担保するために、シナリオ分析用エビデンスの品質検査・保証に関しての考え方を整理する。

1.4.2.3 国際協調・標準化活動および海外動向調査

国際的に標準の議論が活発化してきており、日本も国際標準への打ち込みを積極的に実施しているところである。特に ISO34502（安全性評価シナリオ）については、日本がリーダーとなって国際的な議論を主導している。また、標準化活動を主導するには、主要各国との調整を進めながら推進していく必要があり、そのためには各国における AD を含めた今後のモビリティの研究動向・開発戦略を調査する必要がある。また、国際競争力の強化に向けて、継続的に国内・各国に向けて SAKURA プロジェクトの成果を発信する必要がある。

令和 4 年度は、ISO34502 の発行に向けた対応やバージョンアップ対応（一般道への拡張など）の必要性検討に向け、引き続き各国との標準化に関しての議論を推進する。また、国際的な競争力の強化に向けて、国際会議への参加や学会への論文投稿などを通じて SAKURA プロジェクトでの成果の公表を実施すると共に、国内・国外への効率的な情報発信のために SAKURA ホームページの改良も実施する。また、AD の開発戦略などを SAKURA プロジェクトにフィードバックするために、欧州・米国・中国などの AD に関連するプロジェクトや取り組みの調査を実施する。

参考文献

[1] 一般社団法人日本自動車工業会　自動運転の安全性評価フレームワーク Ver.3.0,
https://www.jama.or.jp/operation/safety/automated_driving/pdf/framework_ver_3_0.pdf
（2023 年 3 月現在）

第 2 章　自動運転車の検証に必要な安全性評価基盤構築の検討

本章では、自動運転の検証に必要な安全性評価基盤構築に関しての取り組みを示す。安全性評価基盤として、本事業で開発しているシナリオデータベース（以下、「シナリオ DB」という）および DIVP 仮想環境との結合について述べる。また、安全性評価基盤の実用化の観点として、シミュレーションの活用が期待されており、シミュレーションの妥当性を示したうえで、シナリオデータベースなどから出力されるシナリオを用いた評価が必要となる。そのため、その妥当性検証のための実車試験のあり方についてのフィジビリティスタディの結果についても示す。

2.1　自動運転開発者ニーズに合わせたシナリオ DB の仕様検討

シナリオ DB の早期公開・現場活用には、自動運転システムの開発現場のニーズに合わせた、シナリオ DB の機能仕様の改良や新たな機能の追加が必要である。2.1.1 項にて自動運転システムの開発現場のニーズ調査とその結果に基づく提供価値（機能）の検討状況、2.1.2 項にてその提供価値に基づくシナリオ DB 機能仕様の改良について述べる。

2.1.1　シナリオ DB へのニーズ調査と提供価値の検討

自動運転システムの開発現場の担当者に、シナリオ DB から出力される安全性評価シナリオなどを提供し、安全性評価への活用を想定してもらい、シナリオ DB に対するニーズをヒアリングした。その後、それらのニーズを整理した上で、ニーズに応えるために必要なシナリオ DB の提供価値（機能）を整理した。

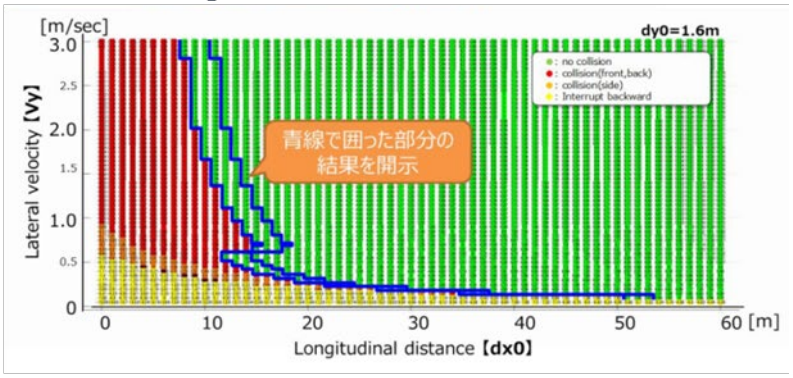
2.1.1.1　シナリオ DB へのニーズ調査の進め方

自動運転システムの開発現場のニーズをヒアリングするために、JAMA　AD 安全性評価分科会の委員各社に、国連の ALKS（Automated Lane Keeping Systems）規則（UN regulation No. 157）[1]に基づく評価シナリオのサンプルなどを提供し、自動運転の安全性評価への活用を想定してもらった上で、ニーズ、改善点、要望などをヒアリングした。提供したデータを下記に示す。

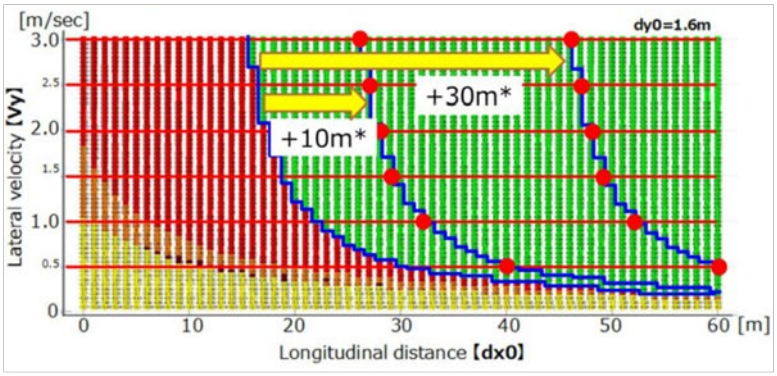
①ALKS 規則（UN regulation No. 157）[1]に基づく評価シナリオ

カットイン（Cut in）、カットアウト（Cut out）、減速（Deceleration）のそれぞれのシナリオについて、JAMA が公開している「自動運転の安全性評価フレームワーク Ver.3.0」[2]の Annex G.5.7「シミュレーションの実施」に基づく評価シナリオ（コンクリートシナリオ）をアセット化し抽出した。例として、Cut in の評価シナリオを、図 2.1.1.1-1 に示す。

1) Preventable/Unpreventale 境界近傍



2) 非衝突領域



3) 衝突領域

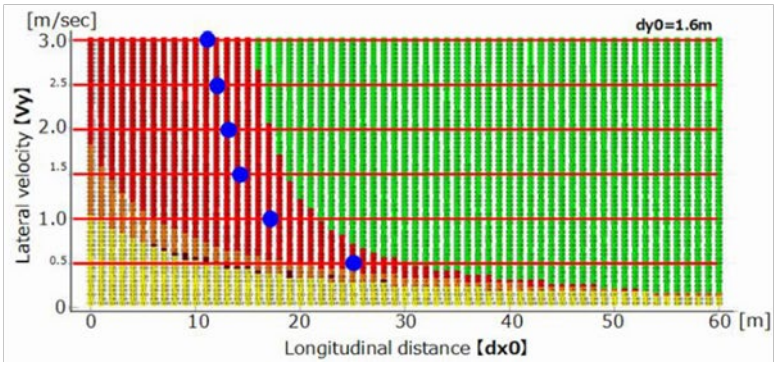


図 2.1.1.1-1　提供した Cut in の評価シナリオのアセット例
（自車速 Ve0：30[km/h]、他車速:10[km/h]の場合）

また、例として、提供した Cut in 評価シナリオのパラメータの組合せを、表 2.1.1.1-1 に示す。

表 2.1.1.1-1　提供した Cut in 評価シナリオのパラメータの組合せ例

パラメータ		提供した評価シナリオ					
初期自車速 Ve0 [km/h]	相対車速 Ve0-Vo0 [km/h]	1)Preventable/ Unpreventale境界近傍			2)非衝突領域		3)衝突領域
		初期車間距離dx0により評価シナリオを抽出					
		境界線	+1[m]	+2[m]	+10[m]	+30[m]	-5[m]
60	10,20,30,40	○	○	○	○	○	○
50	10,20,30,40	○	○	○	○	○	○
40	10,20,30	○	○	○	○	○	○
30	10,20	○	○	○	○	○	○
20	10	○	○	○	○	○	○

2.1.1.2　シナリオ DB へのニーズ調査結果と必要な提供価値（機能）

調査したニーズについて、表 2.1.1.2-1～4 のとおり、令和 2 年度に実施した「OEM でのプロトタイプシナリオデータベース評価」[3]や令和 3 年度に実施した「安全性評価基盤の合同ワークショップ」にて収集したニーズに応えるための提供価値（機能）[4]をベースに整理した。整理においては、令和 3 年度に検討した「安全性評価基盤がもたらす提供価値の全体像」[5]（図 2.1.1.2-1 参照）の中で、本事業が該当する下記項目にて分類した。

・提供価値 1. 体系的・柔軟なシナリオの設計
・提供価値 2. 交通実態に基づく評価条件決め
・提供価値 7. テスト結果の可視化
・提供価値 その他（上記 1、2、7 以外の項目）



図 2.1.1.2-1　安全性評価基盤の提供価値（全体像）[5]

表 2.1.1.2-1　「提供価値 1. 体系的・柔軟なシナリオの設計」についてのニーズ調査結果

（ハッチング部分は令和 4 年度での新規追加および追加コメント）

No.	令和 2～4 年度のニーズ調査結果
1	網羅的なシナリオ体系から絞り込んで評価シナリオを抽出
2	交通環境変化などに対応した継続的なシナリオ更新（履歴管理） ・個社単独では厳しいため、シナリオ更新のためのデータは各社持ち寄って協調すべき ・各社の販売店ビルからの定点観測データの共有という事も一案
3	市販シミュレータの対応ができていないケースがあり、評価シナリオ（OpenSCENARIO 準拠）入力時エラー発生。シミュレーション毎にどのようにコンバートすれば良いかの情報提供を期待

表 2.1.1.2-2 「提供価値 2. 交通実態に基づく評価条件決め」についての
ニーズ調査結果（ハッチング部分は令和 4 年度での新規追加）

No.	令和 2～4 年度のニーズ調査結果
4	シナリオの導出根拠提供（トレサビ、履歴管理、品質検査）
5	ODD に合致した評価シナリオの作成（車速、道路曲率、天候、昼夜、路面勾配、遮蔽物、信号サイクルなど）
6	ロバスト性検証用のシナリオ作成（厳しめなどの判定基準）
7	事故・ニアミス事例のシナリオ作成（事故低減効果の算出のため）
8	軌跡データなどの精度ランクの付与
9	大型車のシナリオの作成（自車、周辺車両とも）

表 2.1.1.2-3 「提供価値 7. テスト結果の可視化」についてのニーズ調査結果

No.	令和 2～4 年度のニーズ調査結果
10	被害軽減（Best Effort）効果解析
11	Reasonably Forseeable & Preventable 領域の重畳表示
12	FAIL（衝突）の場合の要因分析

表 2.1.1.2-4 「提供価値 その他」についてのニーズ調査結果
（ハッチング部分は令和 4 年度での新規追加および追加コメント）

No.	令和 2～4 年度のニーズ調査結果
13	外部（各社・各団体など）の実交通データを活用
13-1	ユーザー各社データを持ち寄って協調 ・個社単独では厳しいため、シナリオ更新のためのデータは各社持ち寄って協調すべき ・各社の販売店ビルからの定点観測データの共有という事も一案
14	各国・各県毎の分析（各地域差を考慮） ・個人の運転特性差、各地域差を考慮するため、日本全体を幅広く取得することが必要
15	交通流データの安全性評価以外への活用 ・運転行動モデル構築 ・商品性開発・市場分析 ・安全性評価だけでなく、商品性開発にも有効活用したい（多様な交通参加者間の行動解析が重要）
16	道路データ（OpenDRIVE）の提供（事故多発地点などの代表地点）
17	道路構造（交差点，中央分離体有無，横断歩道・・・）に合致した評価シナリオ抽出

18	データ取得・処理～シナリオ抽出～パラメータ解析の各ソリューション提供 ・全てのプロセスを個社でやるのは厳しく、各プロセスのソリューションを提供してほしい ・個社取得データのシナリオ抽出～パラメータ解析を期待したい

表 2.1.1.2-1～4 より、令和 4 年度に調査したニーズの多くは、令和 2～3 年度に調査したニーズに包含されるため、シナリオ DB の開発の方向性が自動運転開発現場のニーズとほぼ合致していることを改めて認識することができた。新たなニーズが 3 項目あり、No.3,9,18 を新規に追加した。

参考文献

[1] UN Regulation No. 157 - Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to Automated Lane Keeping Systems
https://unece.org/sites/default/files/2021-03/R157e.pdf （2023 年 3 月現在）

[2] 一般社団法人日本自動車工業会 自動運転の安全性評価フレームワーク Ver.3.0
https://www.jama.or.jp/operation/safety/automated_driving/pdf/framework_ver_3_0.pdf （2023 年 3 月現在）

[3] 令和 2 年度 高度な自動走行・MaaS 等の社会実装に向けた 研究開発・実証事業：自動走行システムの安全性評価技術構築に向けた 研究開発プロジェクト 3.7.2.3 目
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2020FY/000631.pdf （2023 年 3 月現在）

[4] 令和 3 年度 無人自動運転等の先進 MaaS 実装加速化推進事業 （自動走行システムの安全性評価基盤構築に向けた 研究開発プロジェクト） 2.3.3 項
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000334.pdf （2023 年 3 月現在）

[5] 令和 3 年度 無人自動運転等の先進 MaaS 実装加速化推進事業 （自動走行システムの安全性評価基盤構築に向けた 研究開発プロジェクト） 2.3.1 項
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000334.pdf （2023 年 3 月現在）

2.1.2　ニーズに基づくシナリオ DB 機能仕様の改良

本項においては、前項にてまとめたニーズに対して、改良を行うシナリオ DB の体系的かつ柔軟なシナリオ設計機能として車線概念を追加したシナリオ体系設計を 2.1.2.1 に、シナリオ生成ルールの可視化およびルールの付け外しを可能とする機能を 2.1.2.2 に、交通実態に基づく合理的予見可能範囲を参照できる交通流データベース機能を 2.1.2.3 で述べる。

2.1.2.1　車線概念を追加した抽象シナリオ体系設計

機能シナリオ（ファンクショナルシナリオ：FS）および論理シナリオ（ロジカルシナリオ：LS）というシナリオの体系に対し、その中間の抽象度を表す抽象シナリオを導入する。2.1.2.1 では抽象シナリオの生成について示す。

抽象シナリオの生成方針を以下（1）シナリオに現れる可能性のあるすべての構成要素の準備、(2）道路形状および自車の振る舞いに対し、ありうる他車位置の抽出、(3）シナリオ候補となるシチュエーションの抽出、(4）さまざまな制約条件のルール化の順にそれぞれ詳しく述べ、フィーチャーモデルによる表現も併せて示す。また、以上の生成方針によって生成されたシナリオを（5）に示す。フィーチャーモデルとは、システムの基本的な骨組みを表現するモデルである。

（1）　シナリオに現れる可能性のあるすべての構成要素の準備

ここでは、生成されるシナリオの構成要素すべて（表 2.1.2.1-1）をあらかじめ用意した。

表 2.1.2.1-1　抽出シナリオの構成要素

道路形状	本線部（本線車線 5 車線)、合流部（合流車線 2 車線＋本線車線 3 車線)、分岐部（分岐部 2 車線＋本線部 3 車線）
自車振る舞い	車線維持（Lane Keep：LK)、車線変更（Lane Change：LC）(左右 1 車線分）
他車振る舞い	進行方向（加速および減速)、横方向（LK、LC（左右 1 車線分)）
他車位置	基本は 14 ポジション（後述)、合流分岐は 2 車線先まで、定義できない場所あり

a)　道路形状

本線部、合流部、分岐部からなる。道路構造と道路構造のフィーチャーモデル部分を図 2.1.2.1-1 に示す。

本線部は、左右両隣に 2 車線分の車線がある状況を想定する。これは、自車の移動およ

び他車の移動が錯綜する可能性がある場合をカバーする範囲である。シナリオにおいては、自車および他車はともに左右に車線変更する場合を考慮する。

合流部は、本線と合流車線が合流する部分である。合流車線と本線の位置関係は、合流車線の左側から合流する形状によって代表する。また、合流車線内での車線変更も考慮するため、2 車線の合流車線が本線に接続する場面を想定する。

分岐部は、本線と分岐車線が分岐する部分である。分岐車線と本線の位置関係は、合流部と同様に、本線の左側に分岐する形状によって代表する。また、合流部と同様に、分岐車線内での車線変更も考慮するため、2 車線の分岐車線が本線に接続する場面を想定する。

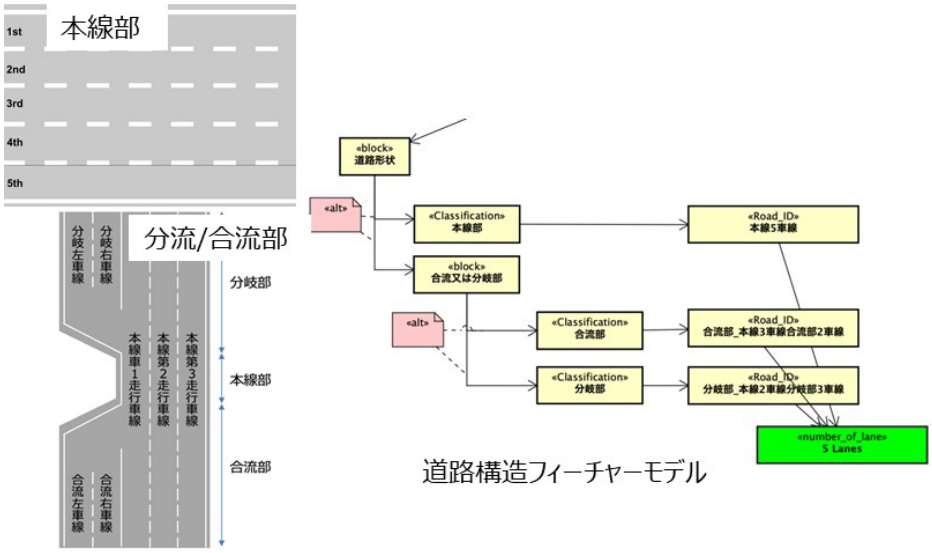


図 2.1.2.1-1　道路構造イメージと道路構造を表すフィーチャーモデル部分

b)　自車の振る舞い

自車の振る舞いは車線維持（Lane Keep：LK）および車線変更（Lane Change：LC）の二種類で、自車は一度に 1 車線分の車線変更を行う場合のみをシナリオの対象とする。自車の振る舞いに関するフィーチャーモデルを図 2.1.2.1-2 に示す。ここでは自車 LK、LC（←左）、LC（→右）の 3 つの、自車振る舞いを表す≪EV_Behavior≫のラベルを持つフィーチャーが定義される。

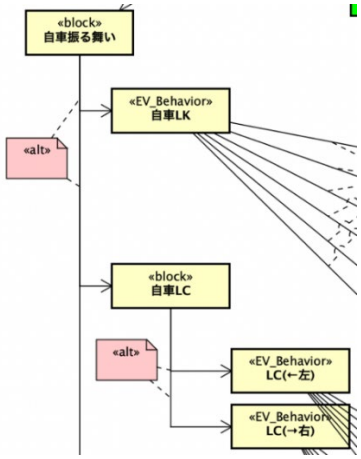


図 2.1.2.1-2　自車の振る舞いに関するフィーチャーモデルの基本部分

c)　他車の振る舞い

他車の振る舞いは、進行方向の移動に関する場合分け、および横方向の移動に関する場合分けの組み合わせとして表現する。ここで、進行方向については自車に近づく方向のみをシナリオの対象とする。相対速度 0 の場合は、後方からの接近の極端な値として検討の対象に含まれている。横方向の移動については、大まかには、車線維持（LK）および車線変更（LC）の 2 種類とし、車線変更は左右を考える。また、自車の振る舞いと同様に、他車の車線変更も 1 車線の移動のみ検討の対象とする。以上をまとめると図 2.1.2.1-3 のような 6 種類となり、併せてフィーチャーモデルを示す。ここで、ラベル≪OV_Behavior≫をもつフィーチャーが他車振る舞いを表す。

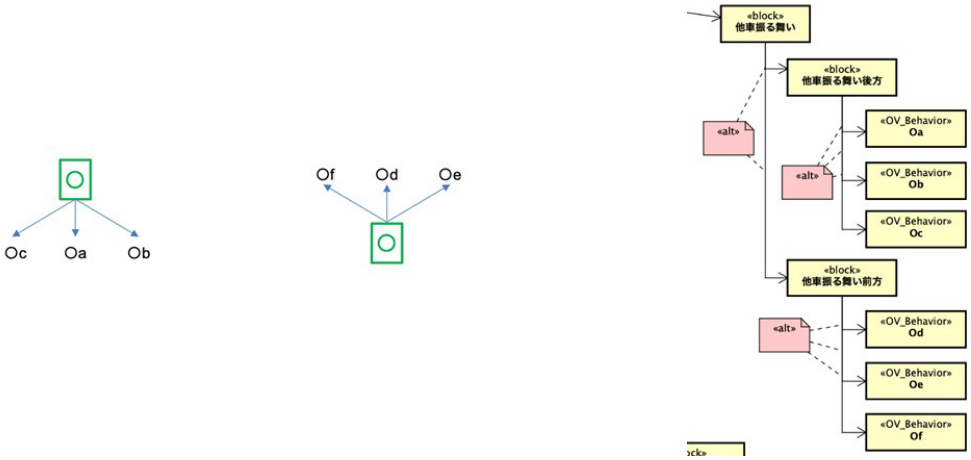


図 2.1.2.1-3　他車の振る舞いとそのフィーチャーモデルの部分

d)　他車位置

他車の位置は、自車に対する相対的な位置として表現する。まず、他車の動きとして、進行方向については自車の前方または後方から接近してくる場合をシナリオの対象として表現する必要があるため、他車位置として自車の前方か後方かがわかるように場合分けする。横方向については、自車の振る舞いおよび他車の振る舞いの組み合わせを考慮し、自車から必要な相対位置を考慮する。具体的には、自車自体が車線変更し、さらに他車が車線変更する場合に、結果として同一車線に移動するケースを考えると、自車の 2 車線隣の車線まで他車の位置として考慮する必要がある。対象とする位置に①から⑭までの識別子を割り当て、他車位置を表すフィーチャーモデルを図 2.1.2.1-4 に示す。ここで、≪OV_Pos≫というラベルが他車位置を表す。

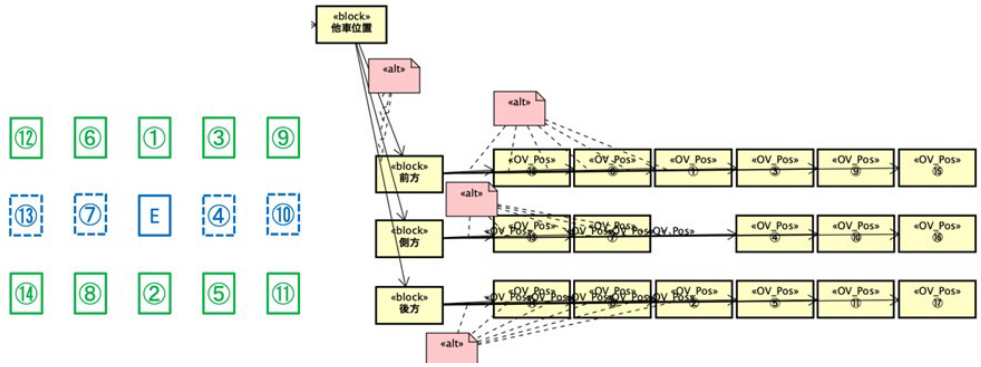


図 2.1.2.1-4　シナリオで考慮する他車位置と識別子およびそのフィーチャーモデルの部分

（2） 道路形状および自車の振る舞いに対する自車位置の抽出

自車の振る舞いに対する自車位置の抽出を道路形状ごとに示す。

本線部に関しては、他車位置の制約は特にない。従ってこの段階では、下記に示す 3 つのシナリオとなる（図 2.1.2.1-5）。

- **自車車線維持**
- **自車車線変更（右に移動）**
- **自車車線変更（左に移動）**

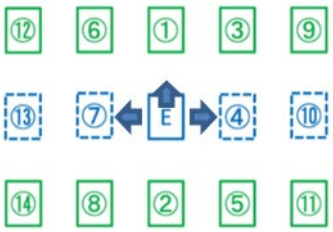


図 2.1.2.1-5 本線部における自車の振る舞いに対する自車位置

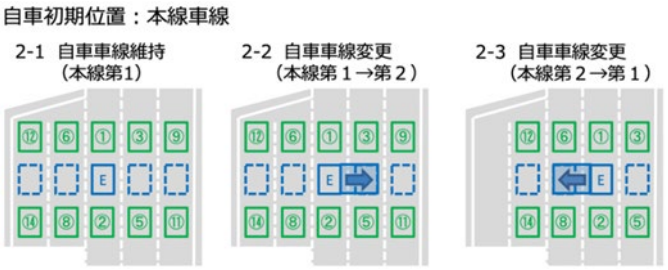
合流部に関しての前提は、以下のとおりである。

・自車も他車も本線内で移動するシナリオは、本線部のシナリオで検討可能であると考えられるため、合流部のシナリオにおいては対象外とする
・合流車線を走行する自車は左方向に車線変更しない
・自車も他車も本線車線から合流車線には車線変更しない

合流車線において車線維持の場合、2 本ある合流車線のうち、右側の車線のみを考える。

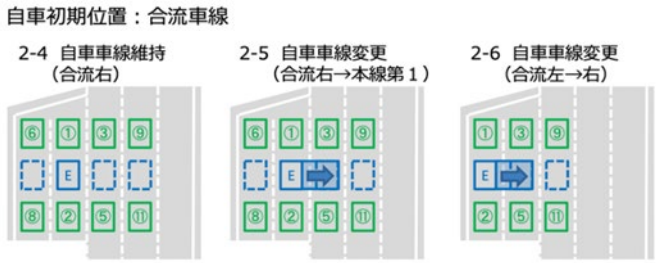
合流車線において車線変更の場合、自車は 2 本ある合流車線のうち、右側の車線から、本線車線の第 1 走行車線への車線変更、および、合流車線のうち、左側の車線から、右側の車線への車線変更の 2 通りをシナリオの対象とする（図 2.1.2.1-6）。

初期位置：本線車線
自車振る舞い：車線維持
・第 1 走行車線
自車振る舞い：車線変更
・第 1 走行車線→第 2 走行車線
・第 2 走行車線→第 1 走行車線



（a）初期位置：本線車線

初期位置：合流車線
自車振る舞い：車線維持
・合流右車線
自車振る舞い：車線変更
・合流右車線→第 1 走行車線
・合流左車線→合流右車線

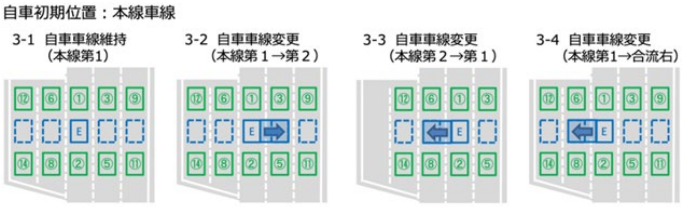


（b）初期位置：合流車線

図 2.1.2.1-6　合流部における自車の振る舞いに対する自車位置

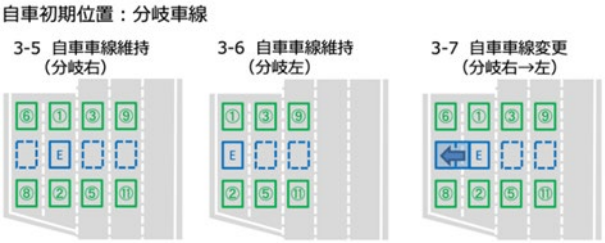
分岐部に関しての前提は、以下のとおりである。
・自車も他車も本線内で移動するシナリオは、本線部のシナリオで検討可能であると考えられるため、分岐部のシナリオにおいては対象外とする
・分岐車線を走行する自車は、分岐の意味を考えると逆方向になるため、右方向に車線変更しない
・自車は分岐車線から本線車線には車線変更しない
・他車は、分岐場所を間違えて本線車線に戻ってくる可能性があるため、分岐車線から本線車線にも車線変更する
分岐車線において車線維持の場合、自車が分岐車線の右側の車線および左側の車線両方とも衝突の可能性がある。分岐車線において車線変更の場合、分岐車線の右側の車線から左側の車線への車線変更の場合のみ対象となる（図 2.1.2.1-7）。

初期位置：本線車線
自車振る舞い：車線維持
・第 1 走行車線
自車振る舞い：車線変更
・第 1 走行車線→第 2 走行車線
・第 2 走行車線→第 1 走行車線
・第 1 走行車線→分岐右車線



（a）初期位置：本線車線

初期位置：分岐車線
自車振る舞い：車線維持
・分岐右車線
・分岐左車線
自車振る舞い：車線変更
・分岐右車線→分岐左車線



（b）初期位置：分岐車線

図 2.1.2.1-7　分岐部における自車の振る舞いに対する自車位置

以上の場合分けをフィーチャーモデルによって表現する。
自車位置と自車振る舞いの組み合わせを表現するフィーチャーを図 2.1.2.1-8 に示す。

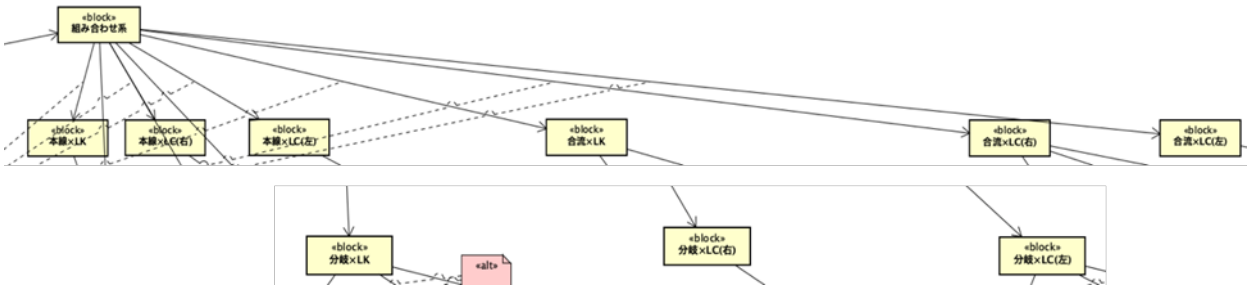


図 2.1.2.1-8　自車位置および自車振る舞いの組み合わせを表現するフィーチャーモデルの部分

これらに対して、制約関係を用いることにより、実際それぞれのフィーチャーが組み合わせであることを図 2.1.2.1-9 のように表現する。

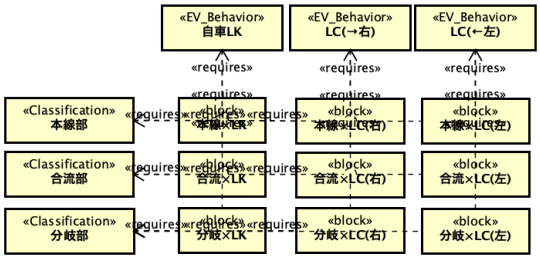


図 2.1.2.1-9　図 2.1.2.1-8 で準備したフィーチャーモデルに対して
それぞれ組み合わせであることを表現する制約の記述

さらに、それらの特殊な場合として、本目で抽出した道路形状および自車の振る舞いに対する自車位置の組み合わせを表すフィーチャーを図 2.1.2.1-10 のように表現する。

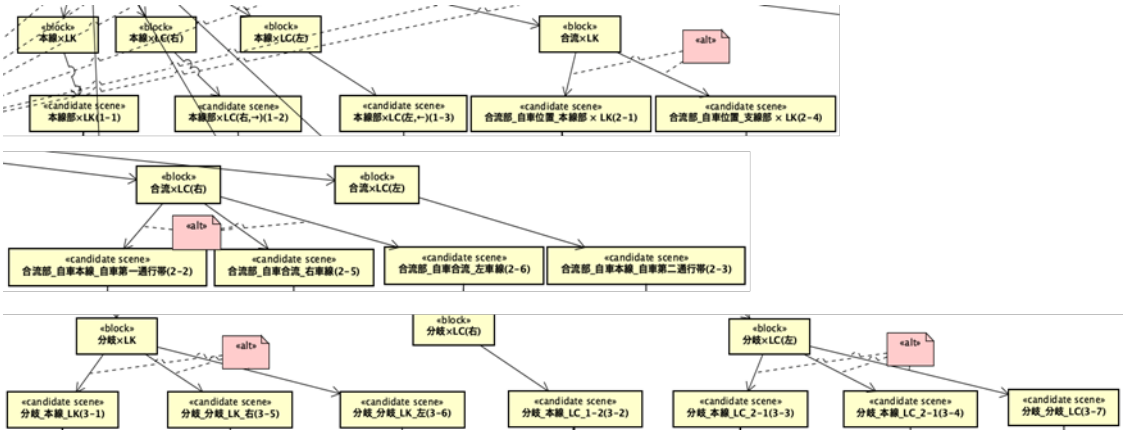


図 2.1.2.1-10　道路形状および自車の振る舞いに対する
自車位置の組み合わせを表現するフィーチャーモデルの部分

自車位置および自車の振る舞いの分類により特徴付けるため、それらのフィーチャーを準備する。自車の初期位置を表すフィーチャーは≪EV_Position≫というラベルを付加し、図 2.1.2.1-11 のように定義する。≪EV_Position≫を持つフィーチャーは、道路構造に対して一定の条件が成り立つ。次のような制約を持つフィーチャーモデルを図 2.1.2.1-12 により表現する。

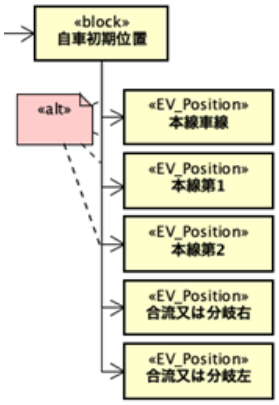


図 2.1.2.1-11　自車の初期位置を表すフィーチャーモデルの部分

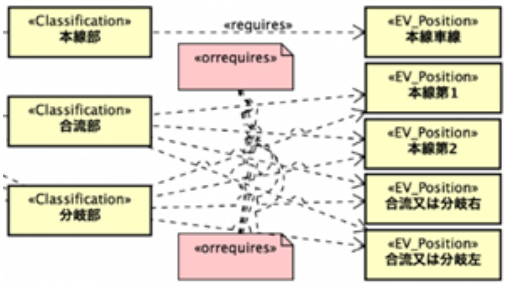


図 2.1.2.1-12　道路構造および自車初期位置の関係を表すフィーチャーモデルの部分

自車の振る舞いは、図 2.1.2.1-3 で定義した、≪EV_Behavior≫のラベルを持つフィーチャーが基本であるが、さらに、自車の振る舞い前および振る舞い後の位置に関する場合分けも導入し図 2.1.2.1-13 のように表す。次に振る舞いに対する位置に関するフィーチャーを≪EV_Transition≫というラベルで表現する。「本線内」は、車線維持または車線変更に関わらず、振る舞いの前および後の両方とも本線内に自車が存在する場合である。同様に、「合流または分岐内」も前後両方とも支線に自車が存在する場合である。「本線→分岐」は、道路構造「分岐部」において、本線から分岐車線に移動する車線変更を表す。「合流→本線」は、合流部において、合流車線から本線に移動する車線変更である。≪EV_Transition≫をもつフィーチャーは、その意味に基づき、道路構造を表す≪Classification≫をもつフィーチャーに対して一定の関係が成り立つ。その関係を図 2.1.2.1-14 のようなフィーチャーモデルで表現する。

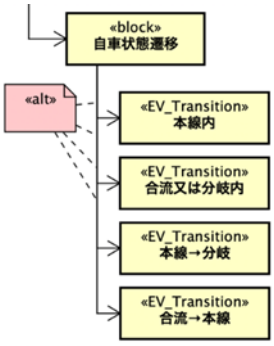


図 2.1.2.1-13　自車の振る舞い前および後の関係に関するフィーチャーモデルの部分

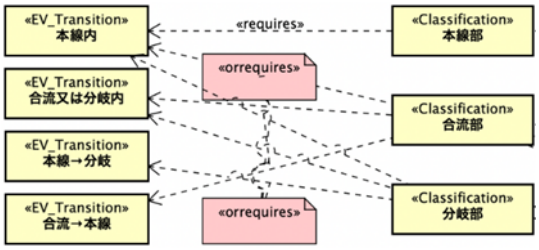


図 2.1.2.1-14　道路構造と自車の振る舞いに対する位置との関係を表現する制約部分のフィーチャーモデル

本線部については、自車の振る舞い前後において必ず本線内に存在するため、「本線部」から「本線内」に≪requires≫関係により関連付けられている。これは、本線部のシナリオにおいては、≪EV_Transition≫は必ず「本線内」が選択されることを意味する。合流部について自車が合流部で車線維持する場合や、支線内で車線維持する場合などがあるため、「本線内」および「合流または分岐内」の可能性がある。さらに、車線変更により「合流→本線」の場合もある。これらを表現しているのが、「合流部」から「本線内」「合流または分岐内」「合流→本線」の 3 つのフィーチャーに対する≪orrequires≫関係である。分岐部に対しても同様に≪orrequires≫関係によりありうる場合が表現されている。

このように定義した≪EV_Position≫で表現された初期位置、および、≪EV_Transition≫で定義した自車の振る舞いに対する位置の関係を用いて、道路形状および自車の振る舞いに対する自車位置の組み合わせを図 2.1.2.1-15 に表現するフィーチャーの特徴付けを行う。

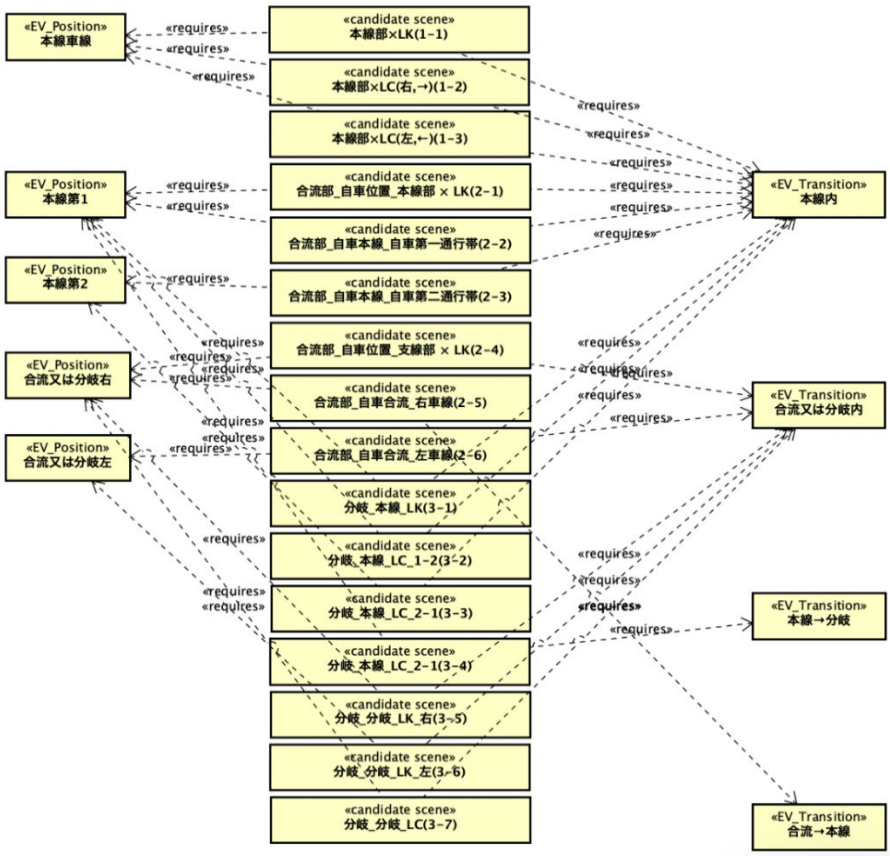


図 2.1.2.1-15　初期位置および自車の振る舞いに対する位置の関係による道路形状および自車の振る舞いに対する自車位置の組み合わせを表現するフィーチャーモデルの特徴付け

（3）　シナリオ候補となるシチュエーションの抽出

ここでは、自車の振る舞い、他車の振る舞い、および、道路形状別の自車位置ならびに他車位置の組み合わせのうち、衝突の可能性のあるシチュエーションのみを抽出する。

まず、自車の振る舞いにおいてシナリオ化の検討が必要な他車位置を抽出する。以下では、自車に対する他車の相対位置について、図 2.1.2.1-4 で示した①から⑭までの番号を用いる。始めに、横方向については、前方または後方の極端な場合として解釈することにより、シナリオ生成の対象外とする。具体的には、図 2.1.2.1-4 で示した④、⑦、⑩、⑬が対象外とする横方向の位置である。

自車の振る舞いが車線維持の場合、他車のとりうる振る舞いも考慮した場合に検討しなければならない他車の位置は、①、②、③、⑤、⑥、⑧である。自車の振る舞いが右への車線変更の場合、他車の取り得る振る舞いも考慮した場合に検討しなければならない他車の位置は、①、②、③、⑤、⑥、⑧、⑨、⑪である。ここで、背景が水色のセルの E は、自車の振る舞い後の位置を表している。自車の振る舞いが左への車線変更の場合、他車のとりうる振る舞いも考慮した場合に検討しなければならない他車の位置は、①、②、③、⑤、⑥、⑧、⑫、⑭である（図 2.1.2.1-16）。

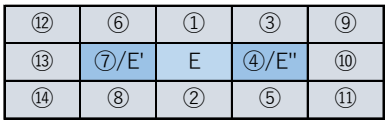


図 2.1.2.1-16　自車に対する他車がとりうる位置
自車位置を E、左への車線変更を E'、右への車線変更を E''とする

他車の振る舞いに対する、他車が移動する可能性がある範囲を図 2.1.2.1-17 のように仮定する。

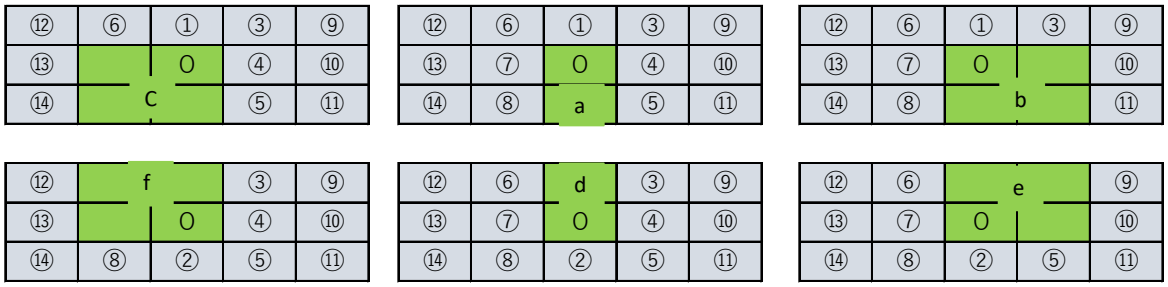


図 2.1.2.1-17　他車の各振る舞いに対する、他車が移動する可能性のある範囲

図 2.1.2.1-16 で定義した他車のとりうる初期位置と、図 2.1.2.1-17 で仮定した他車の振る舞い毎の移動範囲を重ね合わせることにより、衝突可能性を検討し、シナリオの候補となる場面を抽出する。例えば、自車が車線維持で他車の初期位置が⑥の場合、他車の振る舞いが Ob の場合は重ね合わせから衝突の可能性があると考えられるため、シナリオの候補場面となる（図 2.1.2.1-18 左）。一方、他車の初期位置が⑪の場合、他車の振る舞いを Oa と仮定するとシナリオ候補場面とはならない（図 2.1.2.1-18 右）。

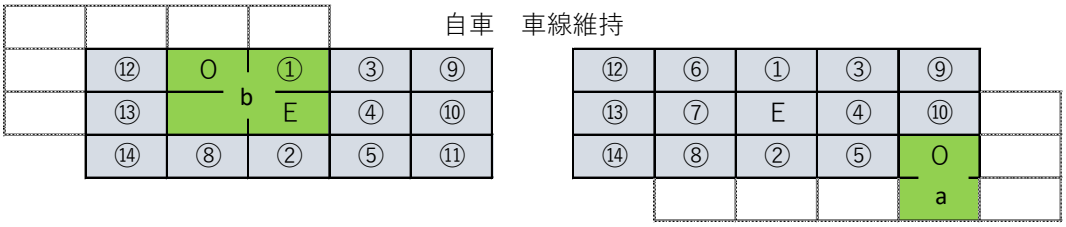


図 2.1.2.1-18　他車の初期位置および振る舞いに対する
移動する可能性のある範囲の重ね合わせの例

以上の考え方により、自車振る舞い、他車初期位置、および、他車振る舞い毎に衝突の可能性を検討し、シナリオ化する場面を図 2.1.2.1-19 のように抽出する。

自車車線維持

	a	b	c	d	e	f
①	○	○	○			
②				○	○	○
③			○			
⑤						○
⑥		○				
⑧					○	
⑨						
⑪						
⑫						
⑭						

自車車線変更（右）

	a	b	c	d	e	f
①	○	○	○			
②				○	○	○
③	○	○	○			
⑤				○	○	○
⑥		○				
⑧					○	
⑨			○			
⑪						○
⑫						
⑭						

自車車線変更（左）

	a	b	c	d	e	f
①	○	○	○			
②				○	○	○
③			○			
⑤						○
⑥	○	○	○			
⑧				○	○	○
⑨						
⑪						
⑫		○				
⑭					○	

図 2.1.2.1-19　自車振る舞い、他車位置、および、他車振る舞い毎の
衝突可能性に基づくシナリオ化候補場面の抽出

シナリオ化候補場面抽出のフィーチャーモデルを図 2.1.2.1-20 に示す。自車振る舞い、他車位置、および他車振る舞いの三つの要因の組み合わせに対する制約を記述する必要があるため、自車振る舞いと他車振る舞いとの組み合わせを表すフィーチャーを導入した。

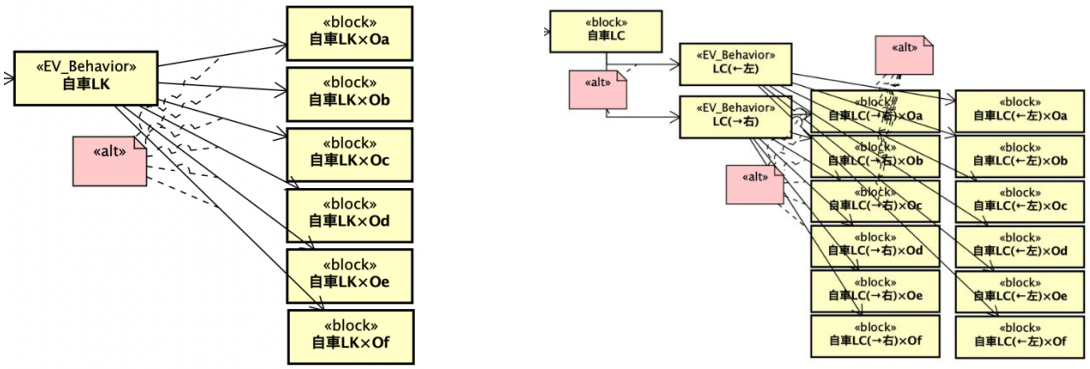


図 2.1.2.1-20　自車振る舞いおよび他車振る舞いの組み合わせを表現する
フィーチャーモデルの導入

次に、このフィーチャーに意味を定義する。今回は、それぞれの自車振る舞いに紐付く形で定義したため、自車振る舞いについての意味づけは必要なく、図 2.1.2.1-21 に示すように他車振る舞いに対する意味づけのみを行う。



図 2.1.2.1-21　自車振る舞いおよび他車振る舞いの組み合わせを表す
フィーチャーモデルの意味づけのための制約

次に、定義したフィーチャーを用いて、シナリオ化候補場面の抽出を表現する制約を記述する。はじめに、自車が車線維持の場合の制約について，図 2.1.2.1-22 に「自車車線維持」のフィーチャーモデルを示し、次に、自車が車線変更の場合の制約について、図 2.1.2.1-23 に「自車車線変更（右)」、図 2.1.2.1-24 に「自車車線変更（左)」のフィーチャーモデルを示す。

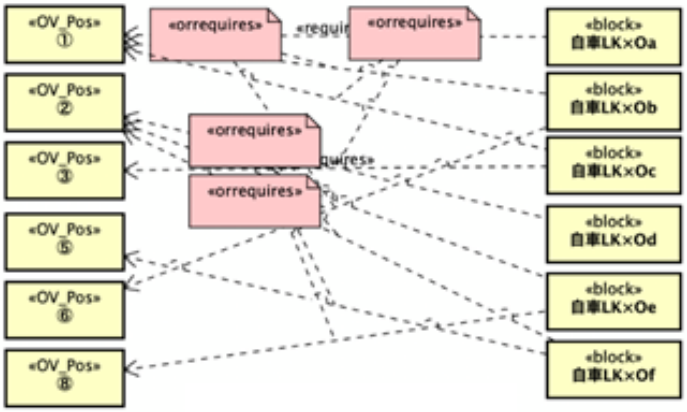


図 2.1.2.1-22　自車が車線維持の場合のシナリオ化候補場面の抽出を記述する制約部分のフィーチャーモデル

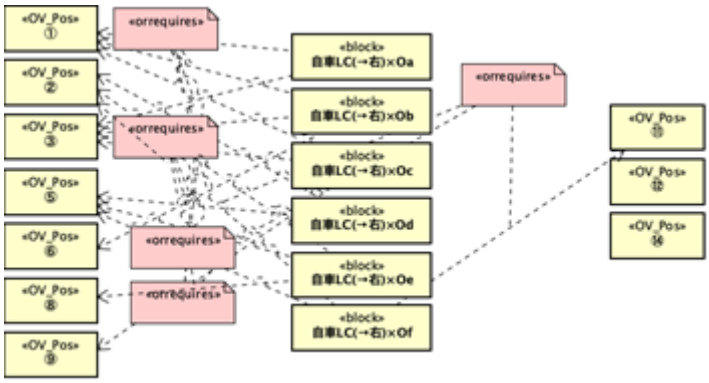


図 2.1.2.1-23　自車が右への車線変更の場合のシナリオ化候補場面の抽出を記述する制約部分のフィーチャーモデル

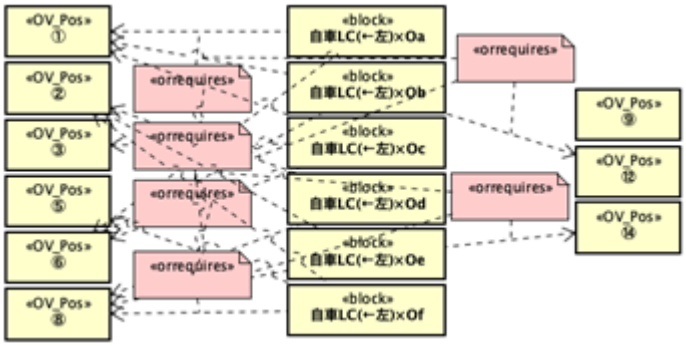


図 2.1.2.1-24　自車が左への車線変更の場合のシナリオ化候補場面の抽出を記述する制約部分のフィーチャーモデル

（4） シナリオ化における整理ルール

シナリオ化における整理ルールおよびそれらを記述するフィーチャーモデルに対する制約について述べる。整理ルールは以下に示す 5 種類がある。

・車両の移動に関する制約条件
・道路形状に関する制約条件
・車両間の干渉条件
・シナリオ包含条件
・その他の条件

以下に各条件について示す。

a） 車両の移動に関する制約条件

ここでは、合流および分岐のシナリオに対し、車両の振る舞いに関する以下の制約を設ける。

・自車も他車も本線から合流車線には移動しない
・自車は分岐車線から本線には移動しない
・自車は合流車線内では左から右に車線変更する場合のみを考える
・自車は分岐車線内では右から左に車線変更する場合のみを考える

これらのルールのなかで、いくつかはすでに図 2.1.2.1-10 で用意したフィーチャーに反映されている。反映されていない制約を表 2.1.2.1-2 にまとめる。

表 2.1.2.1-2 車両の移動に関する制約条件により、考慮の必要ないことが導かれる組み合わせ

シナリオ	自車の初期位置	考慮の必要ない他車の初期位置および振る舞いの組み合わせ
合流	本線第 2 走行車線（2-3）	⑥×Oc，⑧×Of
	本線第 1 走行車線（2-1, 2-2）	①×Oc，②×Of
	合流右車線（2-4，2-5）	③×Oc，⑤×Of
	合流左車線（2-6）	⑨×Oc，⑪×Of

（図 2.1.2.1-6 で示されたシナリオ番号を使用）

これらの制約のフィーチャーモデルを図 2.1.2.1-25 に示す。

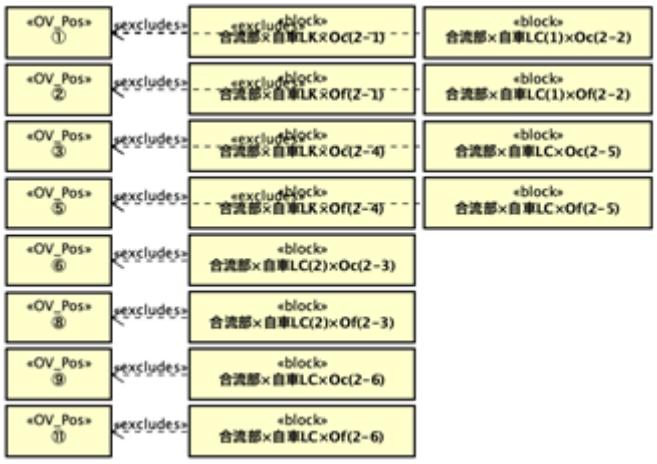


図 2.1.2.1-25　車両の移動に関する制約条件のフィーチャーモデルによる制約の表現

b)　道路形状に関する制約条件

合流車線および分岐車線については、2 車線の場合を検討対象としたため、いくつか発生しない組み合わせが存在する。自車が合流車線または分岐車線の右車線側にいる場合、⑫および⑭の位置が道路外となるため、以下に該当するシナリオは存在しない。

・他車が⑫または⑭の位置にいる

・⑫または⑭の位置へ車線変更する

他車位置⑥×他車振る舞い Oc、および、他車位置⑧×他車振る舞い Of

自車が合流車線または分岐車線の右車線側にいる場合、⑥、⑧、⑫、、⑭の位置が道路外となるため、以下に該当するシナリオが存在しない。

・他車が⑥、⑧、⑫、⑭の位置にいる

・⑥または⑧の位置へ車線変更する

他車位置①×他車振る舞い Oc

以上の制約のフィーチャーモデルを図 2.1.2.1-26 に示す。

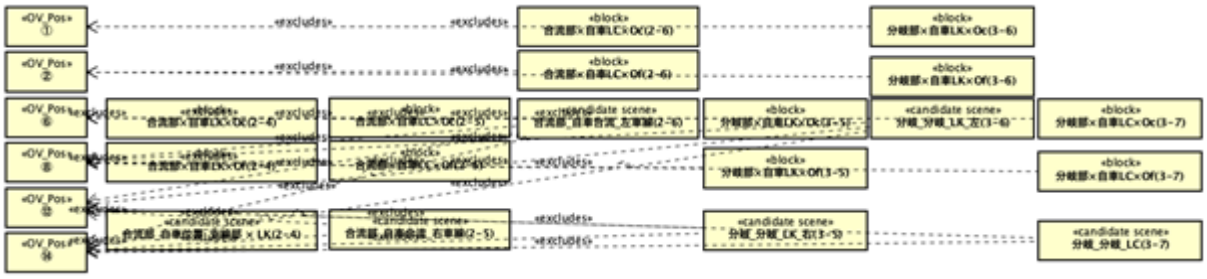


図 2.1.2.1-26　道路形状に関する制約条件のフィーチャーモデルによる制約の表現

c)　車両間の干渉条件

車両間の干渉条件について述べる。これは自車の振る舞いによって場合分けする。

C-1:自車が車線維持の場合は、左右の隣接する車線のみが干渉可能

C-2:自車が車線変更の場合は、車線変更前後の左右の隣接する車線が干渉可能

ここで C-1 により、自車が車線維持の場合 2 車線以上離れた他車とは干渉しないため、他車が⑨、⑪、⑫、⑭にいる場合、衝突の可能性はない。このルールをフィーチャーモデル図 2.1.2.1-27 に示す。

C-2 により、自車が車線変更の場合、車線変更する方向と反対側に 2 車線以上離れた場所にいる他車とは干渉しないため、衝突の可能性はない。このルールをフィーチャーモデル図 2.1.2.1-28 に示す。

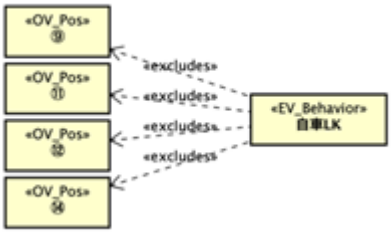


図 2.1.2.1-27　C-1 に対する
フィーチャーモデルの制約による表現

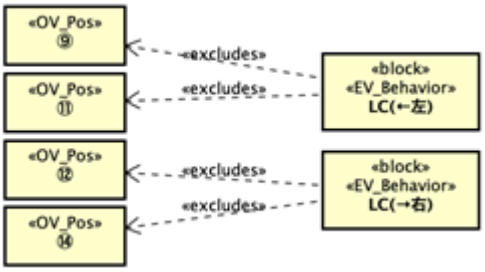


図 2.1.2.1-28　C-2 に対する
フィーチャーモデルの制約による表現

d）シナリオ包含条件

シナリオ包含条件について述べる。以下の 5 つの条件に分割される。

・加速/減速シナリオに包含されるシナリオ
・自車車線維持シナリオで包含される自車車線変更シナリオ
・本線シナリオで包含される合流/分岐車線のシナリオ：本線車線内
・本線シナリオで包含される合流/分岐車線のシナリオ：合流/分岐車線内
・対称なシナリオ

ここでは、シナリオ包含条件の加速/減速シナリオに包含されるシナリオを例に示す。加速/減速シナリオに包含されるシナリオは以下に示す 6 つのルールからなる。

d-1:加速/減速シナリオに包含される自車車線維持のカットアウトシナリオ：本線
d-2:加速/減速シナリオに包含される自車車線維持のカットアウトシナリオ：合流/分岐
d-3:加速/減速シナリオに包含される自車車線変更シナリオ：本線：右に車線変更
d-4:加速/減速シナリオに包含される自車車線変更シナリオ：本線：左に車線変更
d-5:加速/減速シナリオに包含される自車車線変更シナリオ：合流/分岐：右に車線変更
d-6:加速/減速シナリオに包含される自車車線変更シナリオ：合流/分岐：左に車線変更

はじめに d-1 について述べる。車線維持する自車に対し他車がカットアウト（同一車線から車線変更する振る舞い）するシナリオは、横移動を伴う加減速シナリオとみなすことができる。具体的には、本線において自車が車線維持、他車位置が①のとき、他車振る舞い Ob および Oc は Oc に包含されるとみなす。同様に、他車位置が②のとき、他車振る舞い Oe および Of は Od に包含されるとみなす。図 2.1.2.1-29 にフィーチャーモデルを示す。

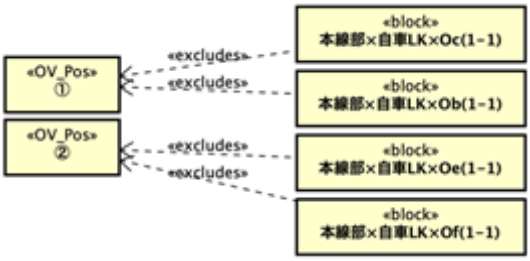


図 2.1.2.1-29　d-1 のフィーチャーモデルによる表現

同様に、道路構造が合流または分岐の場合の d-2 は図 2.1.2.1-30 のようなフィーチャーモデルで表現される。

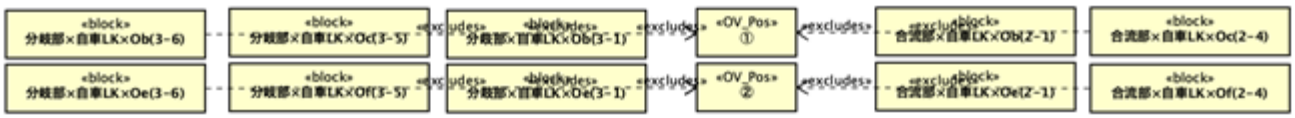
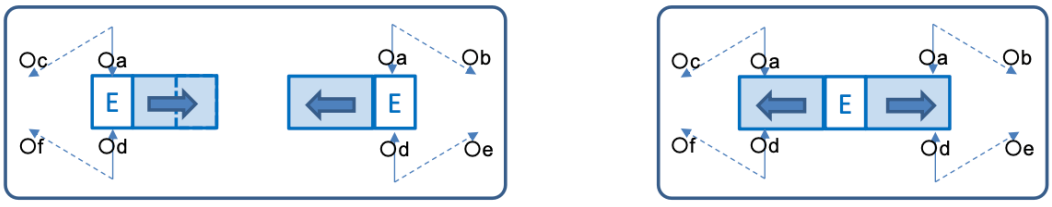


図 2.1.2.1-30　d-2 のフィーチャーモデルによる表現

また、自車が車線変更の場合にも以下の場合には加速または減速シナリオで包含されると考える。

自車が車線変更前の位置に対して、他車が自車の反対方向へ移動する場合（図 2.1.2.1-31（a））

自車が車線変更後の位置に対して、他車が自車と同一方向へ移動する場合（図 2.1.2.1-31（b））



（a）　　（b）

図 2.1.2.1-31　自車が車線変更の場合の加速または減速シナリオに包含されるカットアウトシナリオのイメージ

車線変更の場合は、ルールとしてその方向および道路構造により d-3 から d-6 の 4 パターンに分ける。フィーチャーモデルによるルールの表現を図 2.1.2.1-32～35 に示す。

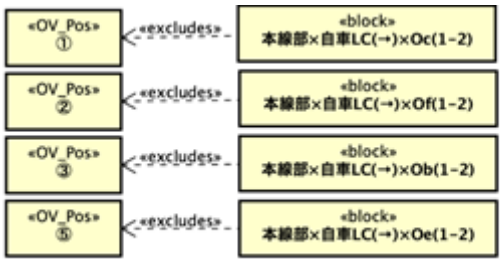


図 2.1.2.1-32　d-3 のフィーチャーモデルによる表現

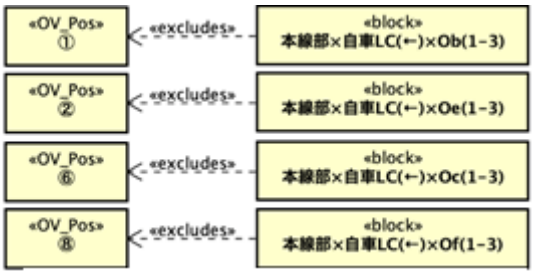


図 2.1.2.1-33　d-4 のフィーチャーモデルによる表現



図 2.1.2.1-34　d-5 のフィーチャーモデルによる表現

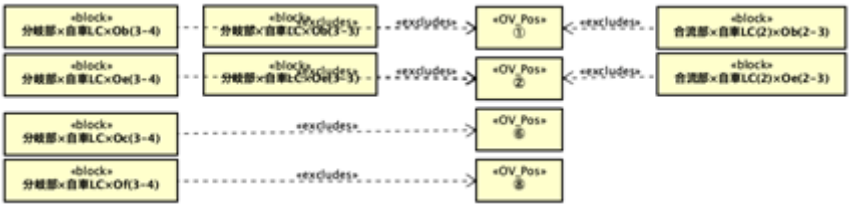


図 2.1.2.1-35　d-6 のフィーチャーモデルによる表現

e)　その他の条件

その他の回避困難なシナリオは、次の 2 つのルールからなる。

e-1:回避困難なシナリオ：車線維持

e-2:回避困難なシナリオ：車線変更

自車が車線維持をしている状態で、自車の後方から他車が接近するシナリオは、他車が先行車である自車に対して安全を確保する必要があり、自車が危険を回避することが難しい。以下の場合はシナリオの検討対象としない（図 2.1.2.1-36）。

自車が車線維持の時：

②（他車位置）×Od（他車振る舞い）

②（他車位置）×Oe（他車振る舞い）

②（他車位置）×Of（他車振る舞い）

⑤（他車位置）×Of（他車振る舞い）

⑧（他車位置）×Oe（他車振る舞い）

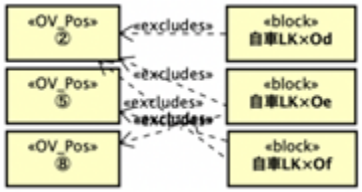


図 2.1.2.1-36　e-1 のフィーチャーモデルによる表現

自車が車線変更する場合において、車線変更前の位置に他車が接近するシナリオは対象としない（図 2.1.2.1-37）。

・自車が右への車線変更の場合

②×Od

②×Of

⑤×Of

⑧×Oe

・自車が左への車線変更の場合

②×Od

②×Oe

⑤×Of

⑧×Oe

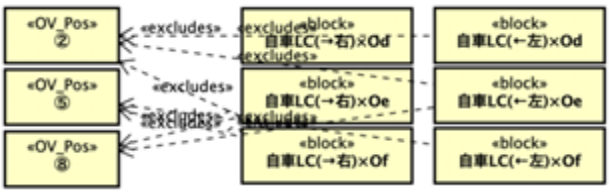


図 2.1.2.1-37　e-2 のフィーチャーモデルによる表現

（5）　生成されたシナリオ

これまでに定義した、フィーチャーおよびその制約に基づきシナリオの自動生成を行ったところ、図 2.1.2.1-38 のように 36 件のシナリオが得られた。

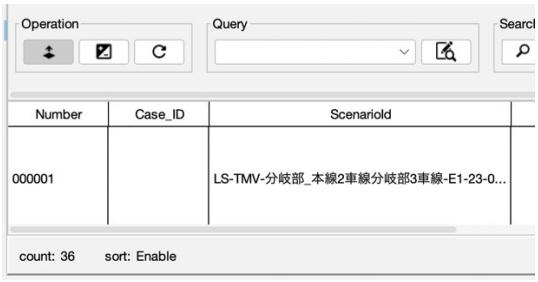


図 2.1.2.1-38　シナリオの自動生成により 36 件のシナリオが得られた画面イメージ

2.1.2.2　シナリオ生成ルールの可視化およびルールの付け外しを可能とする機能

シナリオ生成ルールの可視化、ルールの付け外しを可能とするためフィーチャーモデルに含まれるルールを一覧表示させる機能、および各ルールを有効化 / 無効化させる機能について示す。以下、シナリオ生成ルールの可視化、ルールの付け外しを可能とする機能に関し（1）に要望/要件リスト、（2）にシステム概要、（3）にユースケース、（4）に要件ついて示す。

（1）　要望/要件リスト

フィーチャーモデルに含まれるルールを一覧表示させる機能、および各ルールを有効化 / 無効化させる機能に対する要求リストを表 2.1.2.2-1 に示す。

表 2.1.2.2-1　要望／要件リスト

ID	内容
1	この機能は《Rational》ステレオタイプがついたノートをルール一覧として表示させることができる
2	ルール一覧では、ノートに記載されたテキストを把握できる
3	ルール一覧では、ルールのカテゴリ、番号を表示できる
4	カテゴリ番号を付与したノートをルール一覧に表示できる
5	ルールの Category1 Category2 Category3 は、ノート先頭の文字列で指定できる
6	ルール一覧では、個別のルールを選択し有効 / 無効を選択できる
7	ルール一覧では、全てのルールを有効 / 無効にできる
8	ルール一覧では、ルールをカテゴリ毎にまとめて表示できる
9	ルール一覧では、ルールをカテゴリ毎に有効 / 無効にできる
10	ルール一覧では、Category（1,2,3)、テキスト、有効無効のヘッダをクリックしてソートできる
11	ルールを有効 / 無効にしてシナリオにどのように反映されるか確認する為、ルールを表示した状態でシナリオを再生成できる
12	ルールが存在する図にジャンプできる

（2）　システム概要

図 2.1.2.2-1 にフィーチャーモデルのルール一覧ダイアログを示す。

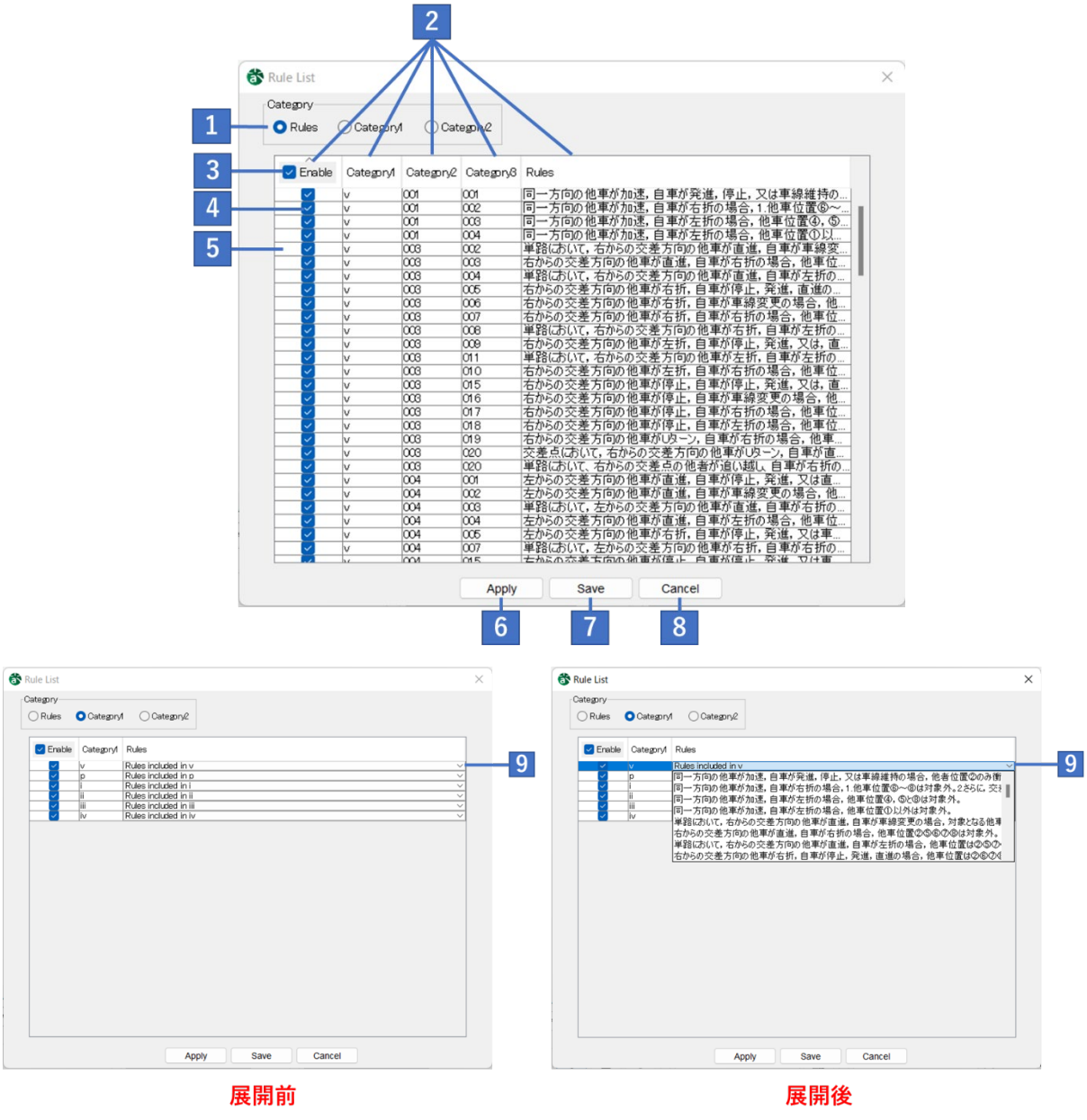


図 2.1.2.2-1　フィーチャーモデルのルールを一覧ダイアログ

UI 項目 1：Category Select

Category 別にルールをまとめて表示させる

UI 項目 2：Column Header

クリックすることで、列ごとにソートを行う

UI 項目 3：Select All

Enable 列のチェックボックスを全てつける / 外す

UI 項目 4：Enable CheckBox

表示しているルールの有効 / 無効を切り替える

UI 項目 5：Jump to Figure

行をダブルクリックすることで、ルールが存在する図へジャンプする

UI 項目 6：Apply Button

UI 項目 3、UI 項目 4 でチェックを付けた項目のルールを有効化してシナリオを再生成する

UI 項目 7：Save Button

UI 項目 3、UI 項目 4 でチェックを付けた項目のルールを保存してシナリオを再生成する

UI 項目 8：Cancel Button

UI 項目 3、UI 項目 4 でチェックを付けた項目の状態を破棄しダイアログを閉じる

UI 項目 9：Rules included Category

クリックすることで、Category 別のルールの一覧を展開し、表示する

（3） ユースケース

今回示すユースケースのアクターは利用者とし、フィーチャーモデルルール一覧化機能を利用する人が持つ役割とする。次に、今回想定するユースケースを表 2.1.2.2-2、2.1.2.2-3 に示す。

表 2.1.2.2-2 ルール一覧を表示するユースケース

ユースケース名	UC01: ルール一覧を表示する
概要	利用者はフィーチャーモデルに記載されたルール一覧を参照する
アクター	利用者
事前条件	《Rational》ステレオタイプが付与されたノートに、ルールの記載がされている
事後条件	フィーチャーモデルに記載されたルールの一覧が表示されている
メインフロー	1.利用者はルール一覧ダイアログを開く 2.システムはルールのテキストと Category の一覧を表示する

表 2.1.2.2-3 ルールを有効化 / 無効化させるユースケース

ユースケース名	UC02: ルールを有効化 / 無効化させる
概要	利用者はフィーチャーモデルに記載したルールの有効 / 無効を切り替え、シナリオを再生成できる
アクター	利用者
事前条件	《Rational》ステレオタイプが付与されたノートに、ルールの記載がされている
事後条件	指定したルールを有効化 / 無効化し、シナリオが再生成される
メインフロー	1.利用者はルール一覧ダイアログを開く 2.システムはルールの一覧を利用者に表示させる 3.利用者は有効化 / 無効化したいルールの Enable チェックボックスに値を入れ、Apply ボタンをクリックする 4.システムは利用者がチェックボックスに入力したルールを有効化 / 無効化した状態のシナリオを再生成する 5.システムは、利用者に再生成したシナリオを表示する

（4） 要件

a） フィーチャーモデルに記載されたルール一覧を表示する

フィーチャーモデルに記載されたルールを、図 2.1.2.2-1 で示すとおりに一覧表示させる。Rational ステレオタイプが付与されたノートに入力されているテキストのうち、「制約」から始まるものを、ルールとして表示させる（図 2.1.2.2-2 にその例を示す）。

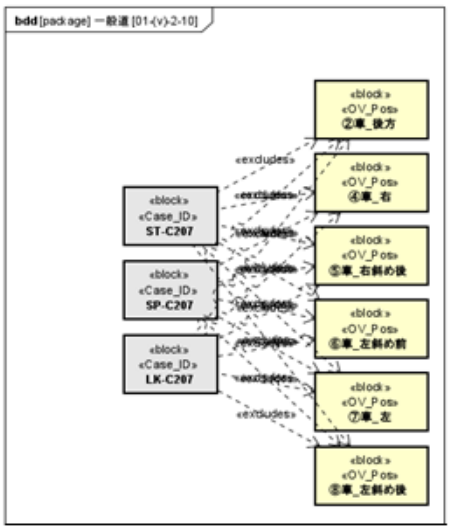


図 2.1.2.2-2 ルール記載の例

b） ルールをカテゴリごとに分類して表示する

フィーチャーモデルに記載されたルール一覧を、図 2.1.2.2-1 で示したようにカテゴリごとに分類して表示させる。図 2.1.2.2-3 に示す UI を選択することにより、カテゴリごとに分類したルールを表示させる。

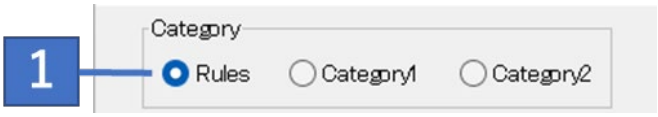


図 2.1.2.2-3 UI 項目 1 Category Select

Category1 ラジオボタンを選択すると、Category1 の値でグルーピングされたルールを表示させ、Category2 を選択すると、Category1, Category2 の 2 つの値でグルーピングされたルールを表示させる（図 2.1.2.2-4）。

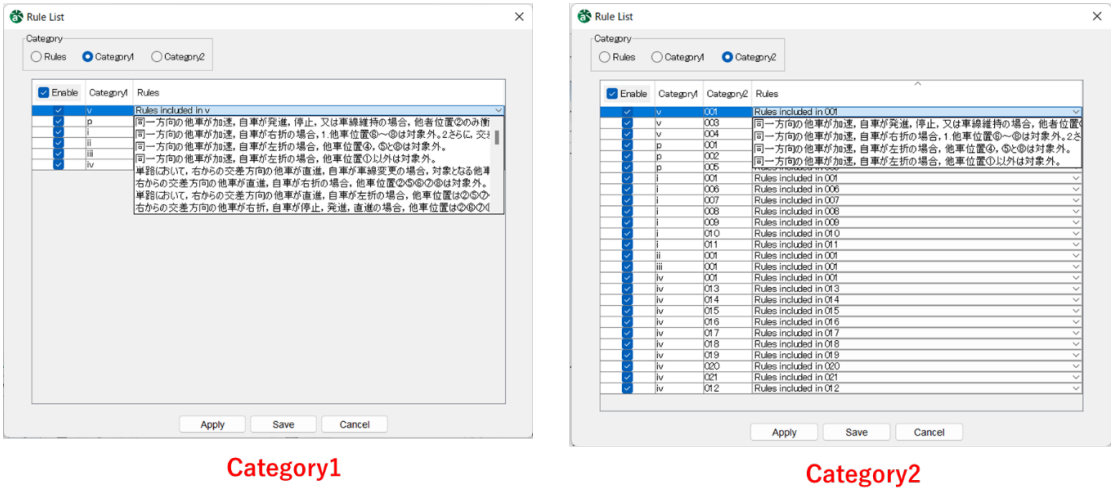


図 2.1.2.2-4　Category 別ルール一覧表示

ノートに入力されたテキストのうち、「制約」以降に記される “ - ” または “ . ” で区切られた文字列をカテゴリとし、前から順番に Category1、 Category2、 Category3 とする。

c)　ルールが存在する図へのジャンプ機能

UI 項目 5 をダブルクリックすることで、そのルールが存在する図を開くことができる。例として、図 2.1.2.2-4 で選択している行をダブルクリックすることで、「制約 v.2.10 対向方向の他車が右折…」が記載されているノートが存在する図が開かれる（図 2.1.2.2-5）。

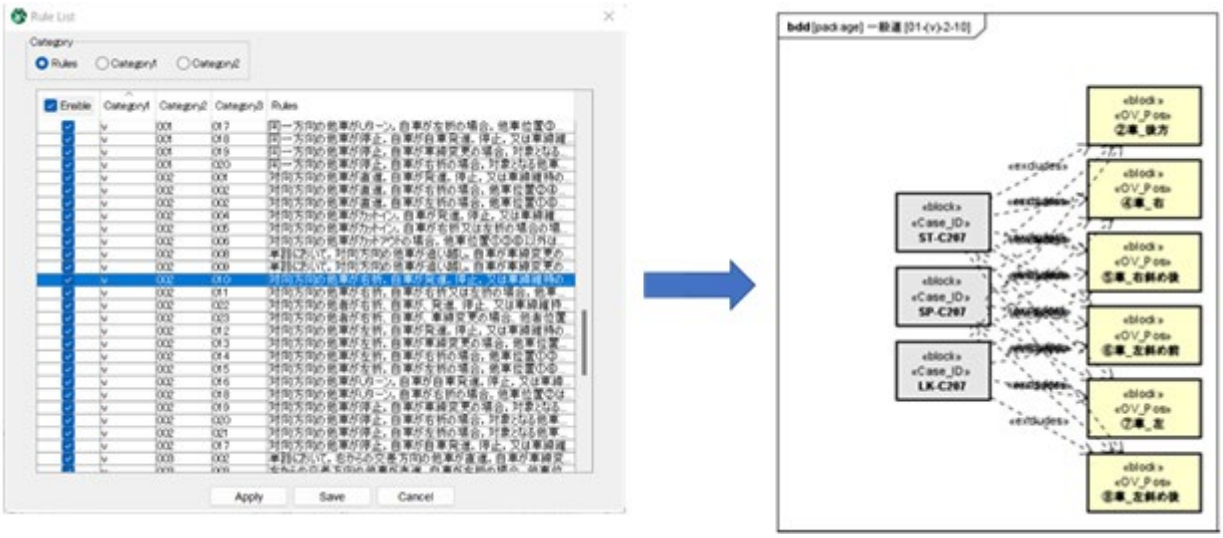


図 2.1.2.2-5　ルールが存在する図へのジャンプ機能

d)　ルールの有効化/無効化を選択し、シナリオを再生成する

UI 項目 4 のチェックボックスを選択し、UI 項目 6 の Apply Button をクリックすることで、選択したルールが有効 / 無効化された状態でシナリオを再生成することができる。ルールを無効化してシナリオを再生成した場合、無効化したルールが記載されているノートと同じ図上の《requires》、《excludes》、《unsafe》、《safe》、《orrequires》関係を無視した状態でシナリオを再生成する。

2.1.2.3　交通実態に基づく合理的予見可能範囲が参照可能な交通流データベース

交通実態に基づく合理的予見可能範囲の定量化を目的とし、次の観点を満たす仕組みの検討として、交通流データベースの要件検討結果について示す。

以下、(1) に要望/要件リスト、(2) にシステム概要、(3) にユースケース、(4) に要件ついて示す。

(1)　要望/要件リスト

シナリオ DB の交通流解析に対する要望／要件リストを表 2.1.2.3-1 に示す。

表 2.1.2.3-1　要望/要件リスト

ID	内容
1	このシステムは計測した実交通流分析データのデータ自体を参照することができる
2	参照するデータは自専道 24 シナリオを扱う
3	現在は本線シナリオのみ参照できるが、今後、分岐、合流データも用意が出来次第扱う
4	交通流データを可視化するグラフ形式は、ヒストグラム、確率分布と散布図の 3 つである
5	交通流データのうち、表示したい Functional Scenario を選択できる
6	FS として自専道 24 のシナリオを扱える
7	交通流データのうち、表示したいデータはシナリオ毎に持つパラメータ項目でフィルタできる
8	表示したいパラメータ項目は表示範囲を設定できる 例えば、自車速度（Ve0）は 0km/h～100km/h など
9	FS と No7 で扱うパラメータ項目範囲を選択すると、何件のデータ件数がヒットするか表示できる
10	FS とパラメータ項目範囲を選択すると、パラメータ項目ごとのヒストグラム、確率分布と散布図が表示される
11	確率分布には実データのヒストグラムも重ねて表示する
12	確率分布には、データを正規分布、指数分布、β 分布の何れかに曲線あてはめを行って確率密度関数を求めることができる。
13	確率分布は確率密度関数（累積分布関数）の上側確率、下側確率を指定することができる
14	確率分布は縦軸が確率、横軸はパラメータ項目（自車速度 Ve0 など）で構成される
15	確率分布には、確率密度関数と累積分布関数のグラフを重ね合わせて表示する
16	確率分布はグラフのほかに確率密度関数を求める際に使用した AIC（統計モデルの選択基準の一つである赤池情報量基準）値、指定された上側確率と下側確率の区間に含まれるデータの最大値、最小値を表示する

17	散布図は 2 つのパラメータ項目を指定し、そのパラメータを縦横軸においたサンプルを表示する
18	データの諸元を説明する文章を表示する
19	AS（Abstract Scenairo）を選択した際に、AS ごとに用意される CSV を読み込み、分布図と相関図を表示する
20	分布図（プロットの点）をクリックすると導出に使用したエビデンス情報を閲覧できる
21	シナリオに紐づいているエビデンス情報を JSON 形式でダウンロードすることができる
22	指定された検索条件をもとに、エビデンス情報によるシナリオの絞り込みができる

（2） システム概要

システム名称は他車両の交通外乱データの蓄積、分析環境を意味する、「Surrounding Traffic Disturbance」とし、メイン画面（Probability）（図 2.1.2.3-1）と散布図画面（図 2.1.2.3-2）で構成される。

a） メイン画面（Probability）



図 2.1.2.3-1 メイン画面（Probability）

メイン画面における各 UI 項目については以下のとおり。

UI 項目 1：Functional Scenario

交通流データベースで扱うシナリオ毎に蓄積されたデータのうち、表示したいシナリオを選択する

UI 項目 2：検索条件

表示する確率分布への設定（確率分布の種類、上側確率、下側確率、階級数）

UI 項目 3：Parameters

UI 項目 1 で指定されたシナリオに含まれるパラメータ項目を表示し、グラフとして表示する。パラメータ毎に選択できる範囲の Min,Max は、パラメータ毎に、事前に定義されている範囲を利用する。なお Min、Max の範囲は固定ではなく、シナリオ毎に蓄積されたデータのパラメータ情報から、最小値最大値をもとにシステム的に変更されるものとする。

パラメータ項目ごとのデータ範囲を指定すると、Selected 1231 のように一致するデータ件数を表示する。

UI 項目 4：Probability Setting

表示する確率分布への設定（確率分布の種類、上側確率、下側確率、階級数）

UI 項目 5：確率密度関数を求める際に使用した AIC 値

指定された上側確率と下側確率の区間に含まれるデータの最大値、最小値を表示するエリア

UI 項目 6：Probability area

UI 項目 4 の設定で、確率分布を表示するエリア。確率分布は UI 項目 3 のパラメータ項目数分、表示される

b)　散布図画面

a）メイン画面で示されているデータのもととなる基礎データの散布図を図 2.1.2.3-2 に示す。



図 2.1.2.3-2　散布図

散布図画面における各 UI 項目については以下のとおり。

UI 項目 7：Scatter plot

散布図として表示する 2 つのパラメータ項目の選択

UI 項目 8：Select Type

プロット選択の種類（単一選択の場合 click、複数選択の場合 range）

UI 項目 9：Scatter plot area

散布図を表示するエリア。散布図は 1 つのみ表示

UI 項目 10：エビデンス情報

UI 項 9 の 1 点に紐づくエビデンス情報。図上の点をクリックして表示

テーブルのカラムをクリックするとそのカラムの元データがさらに下に表示される

UI 項目 11：Download JSON

UI 項目 9 の 1 点に紐づくエビデンス情報をダウンロードする。JSON 形式

UI 項目 12：Select Evidence data

UI 項目 10 のエビデンス情報から派生するエビデンス情報を選択し表示

（3） ユースケース

今回示すユースケースのアクターは利用者とし、交通流データベースとシナリオ DB を利用する人が持つ役割とする。次に、今回想定するユースケースを表 2.1.2.3-2、2.1.2.3-3 に示す。

表 2.1.2.3-2 UC01:交通流分析データを表示するユースケース

ユースケース名	UC01:交通流分析データを表示する
概要	利用者は表示したい範囲を指定し交通流データを参照する
アクター	利用者
事前条件	システムが利用可能な状態にある
事後条件	指定した範囲のデータをもとにしたパラメータ項目ごとの確率分布と、2 つのパラメータ項目間の散布図が表示されている
メインフロー	1. 利用者は交通流データベースで扱うシナリオ毎に蓄積されたデータのうち、表示したいシナリオを指定する、もしくはエビデンス情報が持つ項目をもとに検索条件を指定する。 2. システムは選択されたシナリオが持っている、またはエビデンス情報が持つ項目で絞り込んだパラメータ項目を利用者に表示する 3. 利用者はパラメータ項目ごとに、参照したいデータ範囲を指定する 4. システムはデータ範囲に含まれるデータ件数を表示する 5. システムはパラメータ項目ごとの確率分布とデフォルトの 2 項目の散布図を表示する 6. 利用者は、散布図の中で参照したいエビデンス情報を持つ点をクリックする 7. システムは散布図に描画された点の元データであるエビデンス情報を表示する 8. 利用者は表示された確率分布の種類と確率密度関数の上側確率、下側確率を指定する 9. システムは指定された確率分布の確率密度関数と累積分布関数を求め、確率分布のグラフを更新する 10. システムは確率密度関数を求める際に使用した AIC 値、指定された上側確率と下側確率の区間に含まれるデータの最大値、最小値を表示する 11. 利用者は相関図で表示する 2 項目を指定する 12. システムは指定された 2 項目の相関図を表示する 13. 利用者は表示するシナリオ、データ範囲や確率分布、相関図の設定を必要に応じて、変更してデータを参照する

表 2.1.2.3-3　UC02:シナリオ生成範囲を設定するユースケース

ユースケース名	UC02:シナリオ生成範囲を設定する
概要	利用者は交通流分析データを参照しながら、シナリオ生成範囲を指定する
アクター	利用者
事前条件	利用者は生成したいシナリオに対する交通流分析データを交通流データベースシステムで表示している
事後条件	生成したいシナリオ範囲を交通流データベースのパラメータ設定 UI で設定できている
メインフロー	1. 利用者は交通流分析データを参考に、シナリオ DB にシナリオ生成範囲を設定したいシナリオ生成 UI の表示を指示する 2. システムは選択されたシナリオを生成するパラメータ範囲の UI を利用者に表示する 3. 利用者は交通流分析データを参照しながら、シナリオ DB で生成するパラメータ範囲を設定する 4. システムは指定されたパラメータ範囲から Concrete Scenario を生成する 5. 5.利用者は必要に応じて、生成したいシナリオ毎に、交通流分析データを参照しながら、生成するシナリオのパラメータ範囲を設定し、Concrete Scenario を生成する

（4）　要件

a）　自専道 24 シナリオの交通流データを保持する

自専道 24 シナリオの交通流データをシステムから参照可能なデータストアで扱う。

b）　表示するデータ範囲を選択できる

交通流データベースで扱うシナリオ毎に蓄積されたデータのうち、表示したいシナリオを指定できる機能を持つ　（図 2.1.2.3-1 UI 項目 1　参照）UI 項目 1 を選択すると図 2.1.2.3-3 が表示される

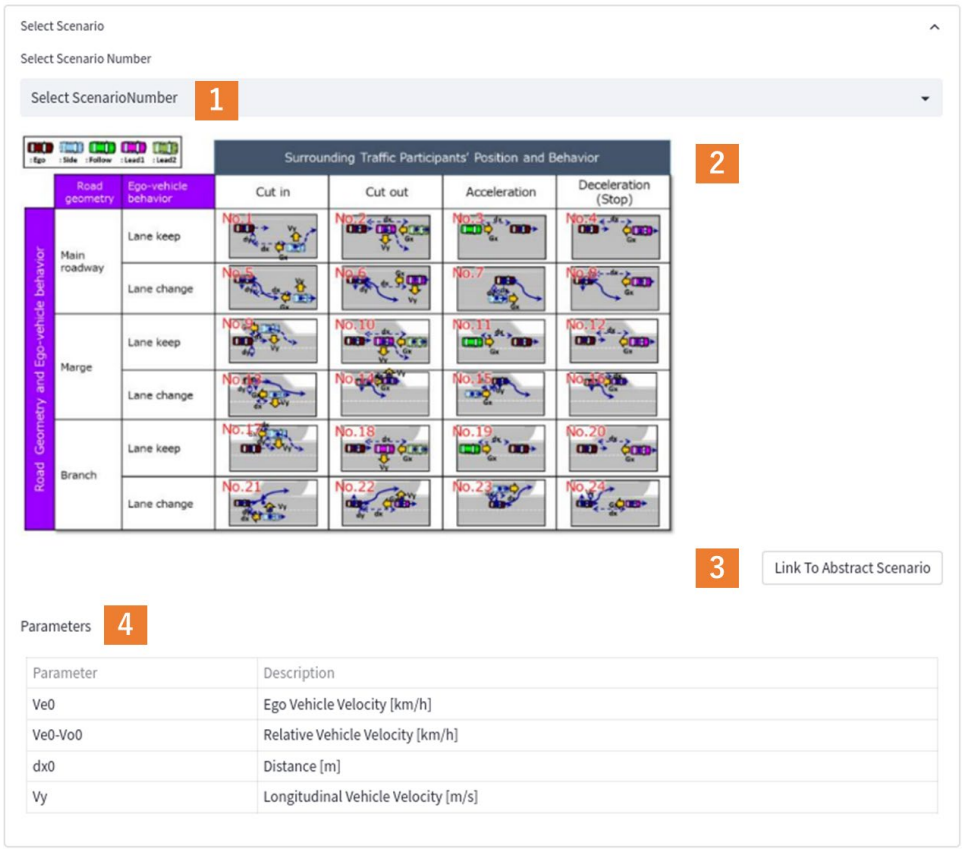


図 2.1.2.3-3　Functional Scenario 選択

小項目 1.シナリオ番号選択

シナリオ番号を選択することが出来る

小項目 2.シナリオ一覧図

AS のシナリオ構造が記載された PDF を出力する

小項目 3.対象シナリオ構造 PDF のリンク

シナリオを網羅した図

小項目 4.対象シナリオ構造 PDF のリンク

対象シナリオが持つパラメータを一覧化したもの

小項目 1 を選択して表示される項目を図 2.1.2.3-4 に示す。

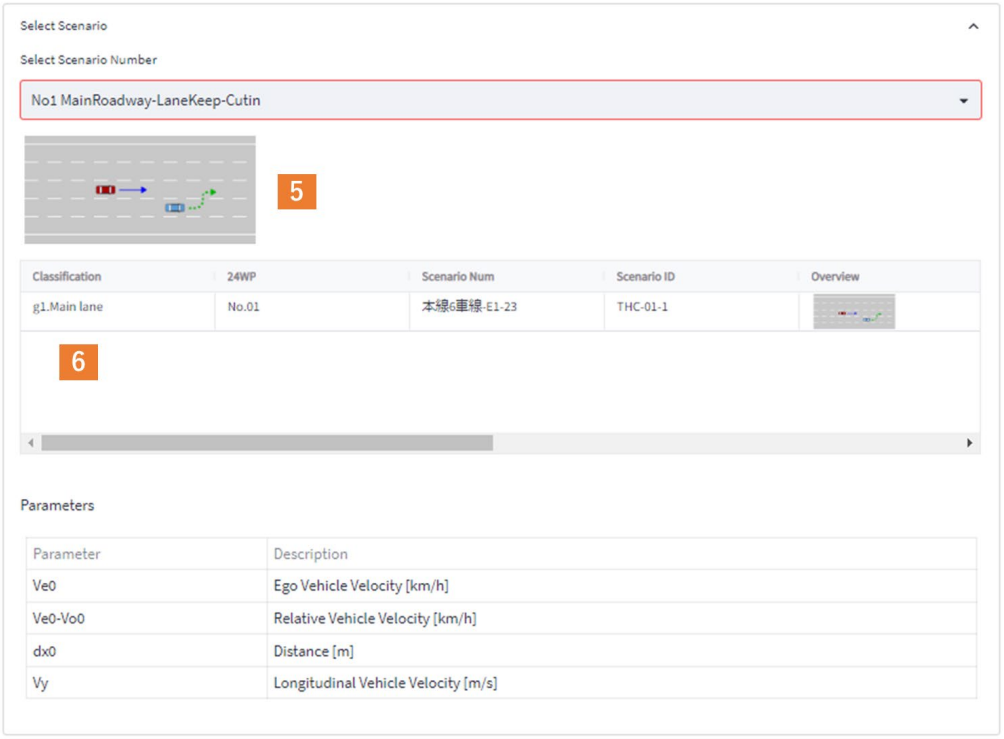


図 2.1.2.3-4　Functional Scenario シナリオ番号選択

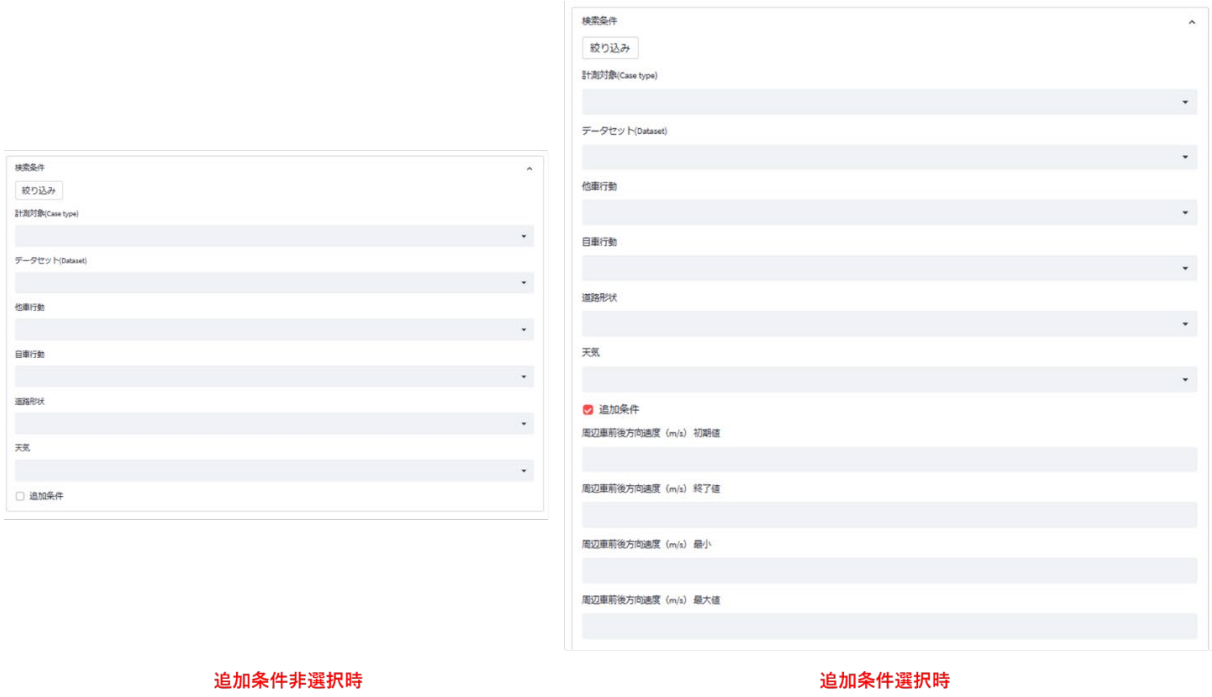
小項目 5.シナリオ図

選択シナリオの図

小項目 6.シナリオ一覧

シナリオ番号に該当するシナリオの一覧。レコードを選択することで、選択した対象シナリオのデータ範囲に絞り込むことができる

図 2.1.2.3-1UI 項目 2 にてシナリオを検索できる機能を提供する。図 2.1.2.3-5 に列挙される項目は、エビデンス情報にもとづく。プルダウンをクリックすると検索条件が表示される。



追加条件非選択時　　追加条件選択時

図 2.1.2.3-5　検索条件クリック時

c)　選択したデータ範囲の確率分布をグラフ表示する

図 2.1.2.3-1 の UI 項目 1,2,3 で選択されたシナリオとパラメータ範囲のレコードの確率分布を示す。確率分布の縦軸は確率、横軸はパラメータ項目（自車速度、他車相対速度など）とする。

d)　選択したデータ範囲の散布図を表示する

図 2.1.2.3-1 の UI 項目 1,2,3 と図 2.1.2.3-2 の UI 項目 7 で選択されたシナリオとパラメータ範囲に一致するレコードのうち、2 つのパラメータ項目間の散布図を表示する。

2.2　シナリオ DB と DIVP 仮想環境の連携による継続的インテグレーション環境の構築

本プロジェクトでは、2021 年度から実施された安全性評価基盤検討 TF にて行った、SAKURA プロジェクトにおけるシナリオ DB と DIVP コンソーシアムでの取り組みにおける仮想環境を結合した安全性論証プラットフォームの構築にむけて、シナリオ DB から出力される交通外乱などのシナリオフォーマットの策定、および、DIVP 仮想環境内のシミュレーション条件と結果をシナリオ DB へコンバート・連携処理が行える環境の検討を実施した[1]。

自動運転の安全性評価におけるシミュレーションを用いた仮想評価を実現するために、国際標準団体の一つである ASAM[2]で策定されている OpenSCENARIO[3]、OpenDRIVE[4]を利用したシナリオフォーマットに関し、2.2.1 に機能のインテグレーション、2.2.2 にシナリオ設計・テスト結果の可視化機能改良を示す。なお、今回の検討にて使用した OpenSCENARIO フォーマットの項目に関しては 2.2.3 にて詳細を示す。

2.2.1　機能のインテグレーション

継続的なシナリオ更新として本年度は新たに 3 つのシナリオについてフォーマットの検討を実施した。以下、2.2.1.1 に Euro NCAP アセスメント・二輪車関連シナリオ、2.2.1.2 に周辺車両による死角シナリオ、および 2.2.1.3 に一般道 交差点右折シナリオについて示す。

2.2.1.1　Euro NCAP アセスメント・二輪車関連シナリオ

2.2.1.1 では交通流シナリオの一種である Euro NCAP[5]のアセスメントシナリオのうち、表 2.2.1.1-1 に示す Euro NCAP の交通流アセスメントシナリオフォーマット定義範囲について述べる。

表 2.2.1.1-1　Euro NCAP の交通流アセスメントシナリオフォーマット定義範囲

Protocol	Scenario	シナリオ略称
LSS Test Protocol	Blind spot Monitoring	BSM
AEB/LSS VRU Car-to-Motorcyclist Test Protocol	Car-to-Motorcyclist Rear Stationary	CMRs
	Car-to-Motorcyclist Rear Braking	CMRb
	Car-to-Motorcyclist Front Turn-Across-Path	CMFtap
	Car-to-Motorcyclist Oncoming	CMoncoming
	Car-to-Motorcyclist Overtaking	CMovertaking

（1）　LSS Test Protocol（BSM（Blind Spot Monitoring））

テスト対象車両（自車）が、隣接するレーンの後方から直進してくる車両位置の死角情報の試験を行う。図 2.2.1.1-1 に BSM のシナリオ概要を図示する。使用される BSM のパラメータを表 2.2.1.1-2 に、対応する OpenSCENARIO のタグ情報を表 2.2.1.1-3 に示す。

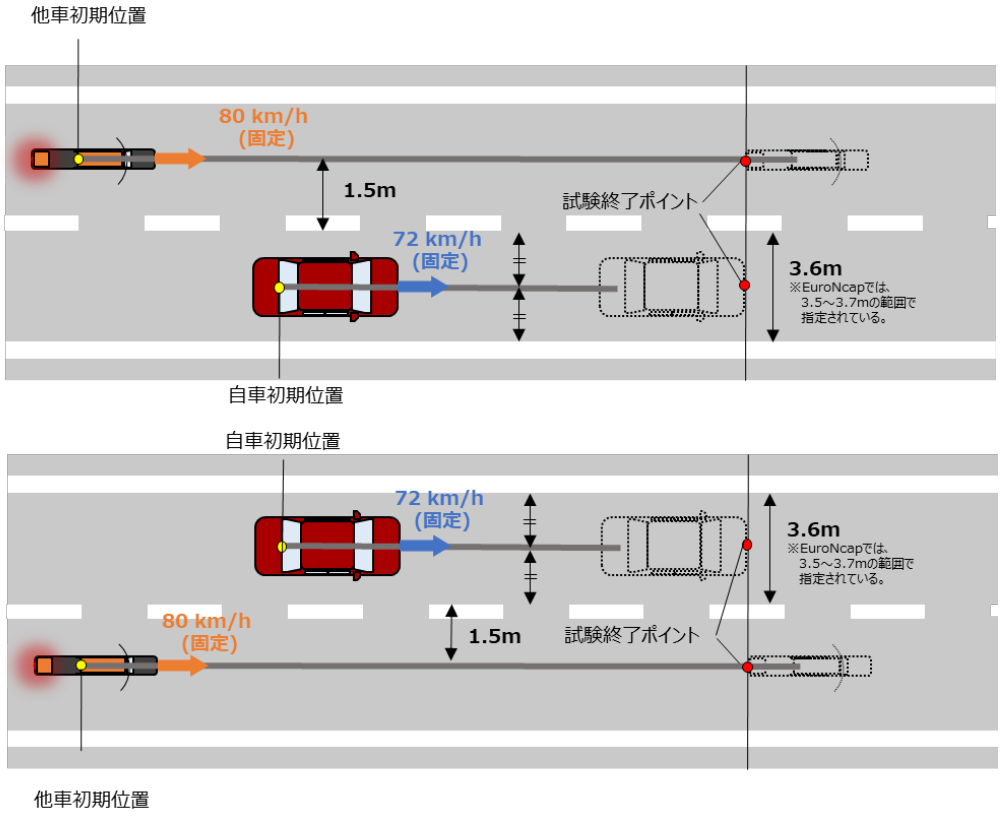


図 2.2.1.1-1　Blind Spot Monitoring シナリオ概要

表 2.2.1.1-2　Blind Spot Monitoring パラメータ

対象	パラメータ	UI
自車 （テスト対象車両）	進行方向	固定（前方）
	速度[km/h]	固定（72km/h）
	初期位置[m]	直接入力
自動二輪車	初期位置[m]	固定
	初期速度[km/h]	固定（80km/h）
	車種	四輪 / 二輪 （選択式）
	走行レーン	左レーン / 右レーン （選択式）

表 2.2.1.1-3 Blind Spot Monitoring に対応する OpenSCENARIO のタグ情報

シナリオカテゴリ	パラメータ項目	OpenSCENARIO タグ
Blind Spot Monitoring	自車 初期位置[m]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/TeleportAction/Position/LanePosition@s
	自車 速度[m/s]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/LongitudinalAction/SpeedAction/SpeedActionTarget/AbsoluteTargetSpeed@value
	自車 試験終了ポイント	Storyboard/StopTrigger/ConditionGroup/Condition/ByEntityCondition/EntityCondition/DistanseCondition@value ※ 他車の最後部が自車の最前部よりも前に出たときに試験を終了させる。
	他車 初期位置	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/TeleportAction/Position/LanePosition@s, offset ※ s 値：0 ※ offset 値：車両幅の中央がセンターラインより 1.5m の位置になるように設定する。
	他車 速度	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/LongitudinalAction/SpeedAction/SpeedActionTarget/AbsoluteTargetSpeed@value
	他車 車種	Entities/ScenarioObject/Vehicle ※ 試験は、自動二輪、四輪の両方を用いて行われる。
	他車 走行レーン	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/TeleportAction/Position/LanePosition@laneId ※ 他車が左レーンから追い越す試験と右レーンから追い越す試験の両方を行う

（2） AEB/LSS VRU Car-to-Motorcyclist Test Protocol

a） CMRs：Car-to-Motorbike Rear Stationary

テスト対象車両（自車）が、静止している自動二輪車に向かって前方に直進した時の、自車の AEB 機能（Autonomous Emergency Braking）、FCW 機能（Forward Collision Warning）をテストする。図 2.2.1.1-2 に CMRs のシナリオ概要を図示する。使用される CMRs のパラメータを表 2.2.1.1-4 に、対応する OpenSCENARIO のタグ情報を表 2.2.1.1-5 に示す。

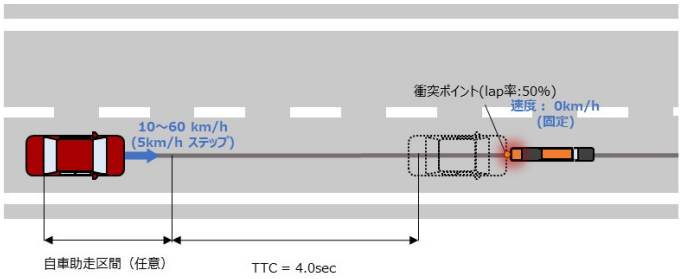


図 2.2.1.1-2 CMRs シナリオ概要

表 2.2.1.1-4　CMRs パラメータ

対象	パラメータ	UI
自車 （テスト対象車両）	進行方向	固定（前方）
	助走区間[m]	直接入力
	速度[km/h]	選択式（10~60km/h、5km/h ステップ）
自動二輪車	速度[km/h]	固定（停止: 0km/h）
	衝突時 LAP 率	固定（50%）
	昼間/夜間	固定（昼間）

表 2.2.1.1-5　CMRs に対応する OpenSCENARIO のタグ情報

シナリオカテゴリ	パラメータ項目	OpenSCENARIO タグ
CMRs	自車 初期位置[m]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/TeleportAction/Position/LanePosition@s, offset　※ s 値、offset 値は 0 固定
	自車 速度[m/s]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/LongitudinalAction/SpeedAction/SpeedActionTarget/AbsoluteTargetSpeed@value
	自動二輪車 初期位置[m]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/TeleportAction/Position/LanePosition@s, offset ※　s 値は自車が助走区間を走行しさらに 4s 走行した直後に衝突するよう設定する ※　offset 値は 0（レーン中央）固定
	自動二輪車 速度[m/s]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/LongitudinalAction/SpeedAction/SpeedActionTarget/AbsoluteTargetSpeed@value　※0 固定

テスト対象車両（自車）に搭載される機能として、「AEB のみ」、「FCW のみ」、「AEB と FCW の組み合わせ」の 3 タイプごとのテスト自車速度範囲を表 2.2.1.1-6 に示す。

表 2.2.1.1-6 搭載機能別自車速度範囲

	AEB+FCW combined		AEB only	FCW only
	AEB	FCW		
AEB CMRs	10-60km/h	30-60km/h	10-60km/h	30-60km/h

b)　CMRb：Car-to-Motorbike Rear Braking

テスト対象車両（自車）が、減速している自動二輪車に向かって前方に直進した時の、自車の AEB 機能、FCW 機能をテストする。図 2.2.1.1-3 に CMRb のシナリオ概要を図示する。使用される CMRb のパラメータを表 2.2.1.1-7 に、対応する OpenSCENARIO のタグ情報を表 2.2.1.1-8 に示す。

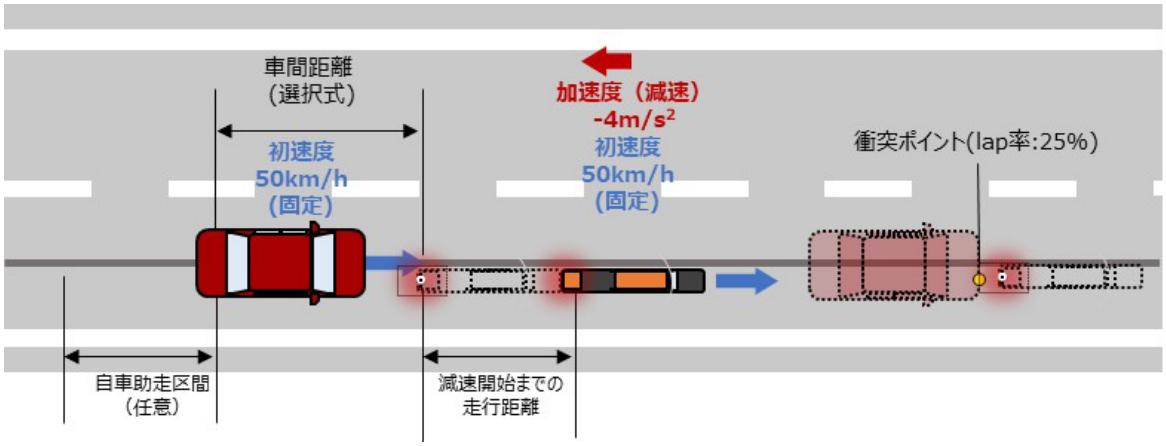


図 2.2.1.1-3　CMRb シナリオ概要

表 2.2.1.1-7　CMRb パラメータ

対象	パラメータ	UI
自車 （テスト対象車両）	進行方向	固定（前方）
	助走区間[m]	直接入力
	速度[km/h]	固定（50km/h）
自動二輪車	車間距離[m]	選択式（12m or 40m）
	速度[km/h]	固定（50km/h）
	減速度[m/s²]	固定（4 m/s²）
	衝突時 LAP 率	固定（25%）

表 2.2.1.1-8　CMRb に対応する OpenSCENARIO のタグ情報

シナリオカテゴリ	パラメータ項目	OpenSCENARIO タグ
CMRb	自車 初期位置[m]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/TeleportAction/Position/LanePosition@s ※ s 値、offset 値は 0 固定
	自車 速度[m/s]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/LongitudinalAction/SpeedAction/SpeedActionTarget/AbsoluteTargetSpeed@value　※ 50 固定
	自動二輪車 初期位置[m]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/TeleportAction/Position/LanePosition@s, offset
	自動二輪車 速度[m/s]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/LongitudinalAction/SpeedAction/SpeedActionTarget/AbsoluteTargetSpeed@value　※ 50 固定
	他車 減速開始トリガー	Storyboard/Story/Act/ManeuverGroup/Maneuver/Event/StartTrigger/ConditionGroup/Condition/ByEntityCondition/EntityCondition/TraveledDistanceCondition@value 自車が助走区間を走行した直後に減速を開始するように設定する
	他車 減速度[m/s^2]	Storyboard/Story/Act/ManeuverGroup/Maneuver/Event/Action/PrivateAction/LongitudinalAction/SpeedAction/SpeedActionDynamics@dynamicsShape, value, dynamicsDimension

c)　CMFtap：Car-to-Motorcyclist Front Turn-Across-Path

テスト対象車両（自車）が、交差点を左折する際に、対向車線を自動二輪車が直進してきた時の、自車の AEB 機能、FCW 機能をテストする。図 2.2.1.1-4 に CMFtap のシナリオ概要を図示する。使用される自車速とクロソイドの関係を表 2.2.1.1-9 に、CMFtap のパラメータを表 2.2.1.1-10 に、対応する OpenSCENARIO のタグ情報を表 2.2.1.1-11 に示す。

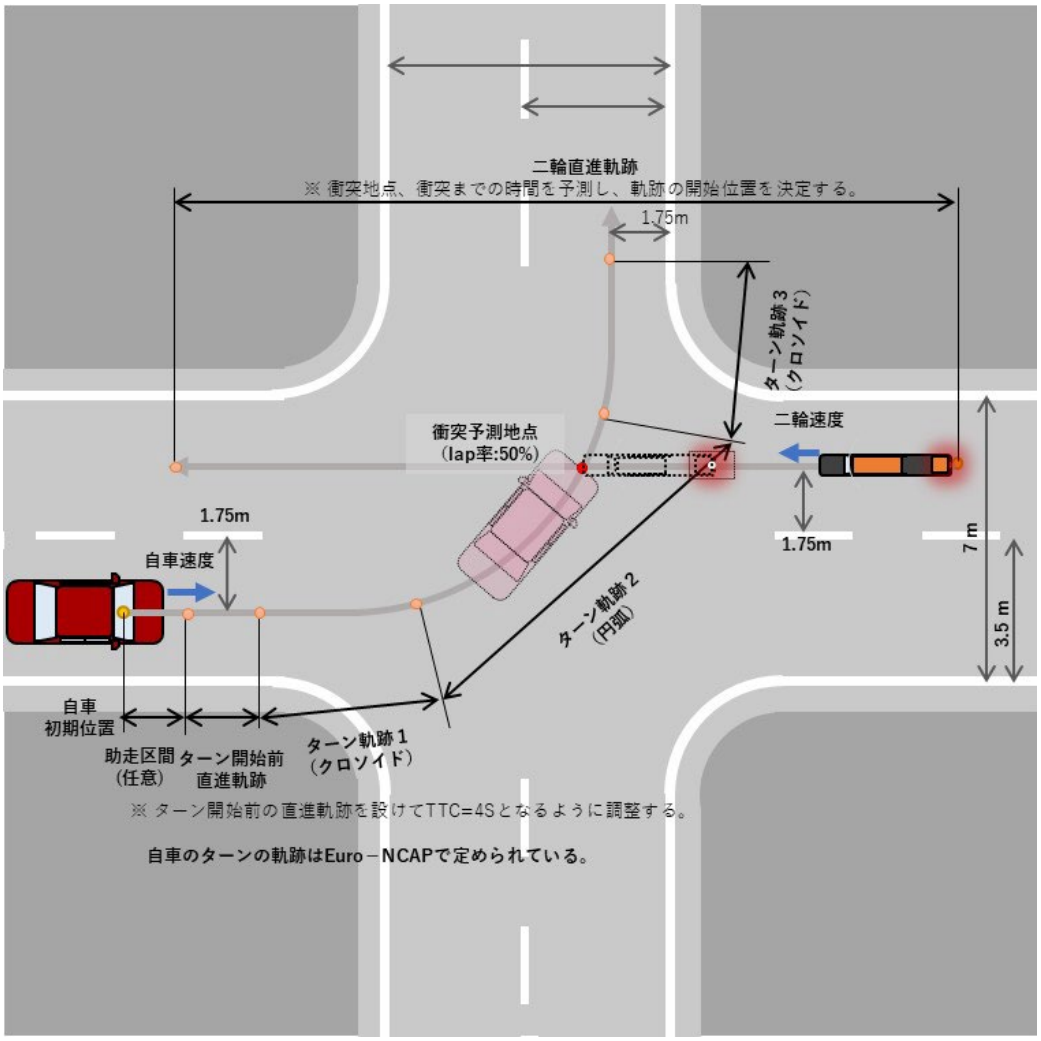


図 2.2.1.1-4　CMFtap シナリオ概要

自車のターン時は、下記に示すクロソイド、円弧の形状の軌跡を、自車の前輪軸中央が通過する。

表 2.2.1.1-9　自車速とクロソイドの関係

Test speed	Part 1 (clothoid)			Part 2 (constant radius)			Part 3 (clothoid)		
	Start Radius R1 [m]	End Radius R2 [m]	Angle α [deg]	Start Radius R2 [m]	End Radius R2 [m]	Angle β [deg]	Start Radius R2 [m]	End Radius R1 [m]	Angle α [deg]
10 km/h	1500	9.00	20.62	9.00	9.00	48.76	9.00	1500	20.62
15 km/h	1500	11.75	20.93	11.75	11.75	48.14	11.75	1500	20.93
20 km/h	1500	14.75	21.79	14.75	14.75	46.42	14.75	1500	21.79

表 2.2.1.1-10　CMFtap パラメータ

対象	パラメータ	UI
自車（テスト対象車両）	進行方向	固定（反対車線側へターン）
	助走区間[m]	直接入力
	速度[km/h]	選択式（10km/h、15km/h、20km/h）
自動二輪車	初期速度[km/h]	選択式（30km/h、45km/h、60km/h）
	衝突時 LAP 率	固定（50%）

表 2.2.1.1-11　CMFtap に対応する OpenSCENARIO のタグ情報

シナリオカテゴリ	パラメータ項目	OpenSCENARIO タグ
CMFtap	自車 初期位置[m]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/TeleportAction/Position/WorldPosition@x, y, h ※　交差点の中心を原点とした World 座標で位置を設定する 自車 ターン開始前直進軌跡の開始位置に助走区間を設けた位置を設定する
	自車 速度[m/s]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/LongitudinalAction/SpeedAction/SpeedActionTarget/AbsoluteTargetSpeed@value
	自車 ターン開始前直進軌跡	Storyboard/Story/Act/ManueverGroup/Manuever/Event/Action/PrivateAction/RoutingAction/FollowTrajectoryAction/Trajectory/Shape/polyline ※　TTC=４s の位置からターン開始前まで直線軌跡を設ける
	自車 ターン軌跡１（クロソイド）	Storyboard/Story/Act/ManueverGroup/Manuever/Event/Action/PrivateAction/RoutingAction/FollowTrajectoryAction/Trajectory/Shape/Clothoid 選択された自車速度に応じた軌跡を設定する
	自車 ターン軌跡２（円弧）	Storyboard/Story/Act/ManueverGroup/Manuever/Event/Action/PrivateAction/RoutingAction/FollowTrajectoryAction/Trajectory/Shape/Clothoid 選択された自車速度に応じた軌跡を設定する
	自車 ターン軌跡３（クロソイド）	Storyboard/Story/Act/ManueverGroup/Manuever/Event/Action/PrivateAction/RoutingAction/FollowTrajectoryAction/Trajectory/Shape/Clothoid 選択された自車速度に応じた軌跡を設定する
	他車 軌跡[m]	Storyboard/Story/Act/ManeuverGroup/Maneuver/Actions/Private/PrivateAction/RoutingAction/AssignRouteAction/Route ※　交差点を横断する前後の Waypoint で他車の軌跡を表現する。（交差点を通過する場合は、どのレーンからどのレーンに移動するかを明示する必要がある） ※　初期位置は WorldPosition を使用して交差点中央からの絶対位置で指定する ※　自車のブレーキ制御が無い時に Lap 率 50%の位置で衝突するよう設定する
	他車 速度[m/s]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/LongitudinalAction/SpeedAction/SpeedActionTarget/AbsoluteTargetSpeed@value

d)　CMoncoming：Car-to-Motorcyclist Oncoming

テスト対象車両（自車）が、対向する自動二輪車があるときに自動二輪車へ向かって斜めに走行した時の、ELK 機能（Emergency Lane Keeping）をテストする。図 2.2.1.1-5 に CMoncoming のシナリオ概要を図示する。使用される自車横速度と円弧の形状の軌跡の関係を表 2.2.1.1-12 に、CMoncoming のパラメータを表 2.2.1.1-13 に、対応する OpenSECNARIO のタグ情報を表 2.2.1.1-14 に示す。

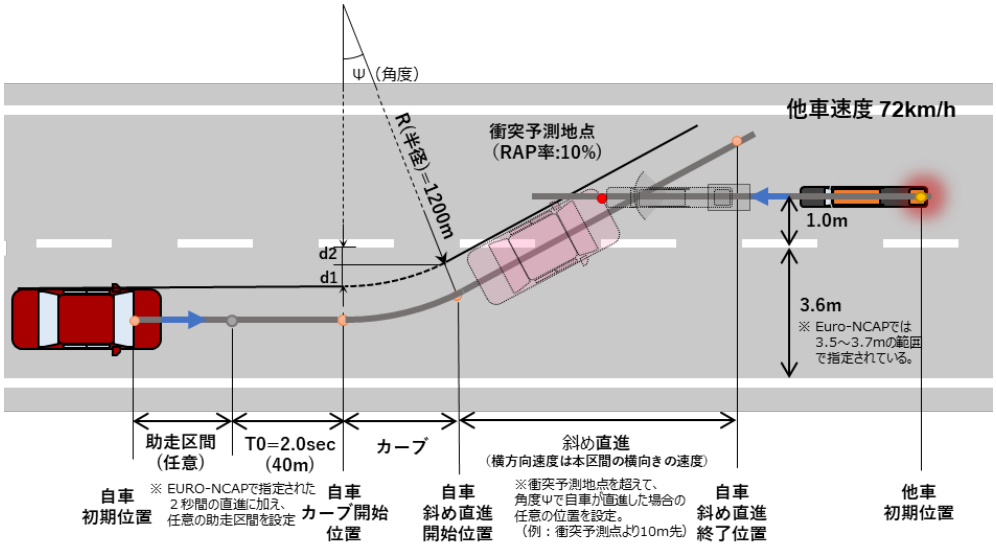


図 2.2.1.1-5　CMoncoming のシナリオ概要

表 2.2.1.1-12　自車横速度と円弧の形状の軌跡の関係

横方向速度[m/s]	R[m]	Ψ [°]	d1[m]	d2[m]
0.2	1200	0.57	0.06	0.7
0.3		0.86	0.14	0.9
0.4		1.15	0.24	0.8
0.5		1.43	0.38	0.75
0.6		1.72	0.54	0.6

表 2.2.1.1-13　CMoncoming のパラメータ

対象	パラメータ	UI
自車（テスト対象車両）	進行方向	固定（ドライバ側へ斜め走行）
	助走区間[m]	直接入力
	速度[km/h]	固定（72km/h）
	横方向速度[m/s]	選択式（0.3m/s～0.6m/s、0.1m/s ステップ）
自動二輪車	初期速度[km/h]	固定（72km/h）
	衝突時 LAP 率	固定（10%）

表.2.2.1.1-14　CMoncoming に対応する OpenSCENARIO のタグ情報

シナリオカテゴリ	パラメータ項目	OpenSCENARIO タグ
ELK-Oncoming vehicle	自車 初期位置[m]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/TeleportAction/Position/LanePosition@s,offset ※　s 値： 0 固定 ※　offset 値 ： 選択された横方向速度によりセンターラインからの距離が決定する
	自車 速度[m/s]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/LongitudinalAction/SpeedAction/SpeedActionTarget/AbsoluteTargetSpeed@value
	自車 カーブ軌跡 （円弧）	Storyboard/Story/Act/ManueverGroup/Manuever/Event/Action/PrivateAction/RoutingAction/FollowTrajectoryAction/Trajectory/Shape/Clothoid ※　選択された自車 横速度に応じた軌跡を設定する
	自車 カーブ開始トリガー	Storyboard/Story/Act/ManueverGroup/Manuever/Event/StartTrigger/ConditionGroup/Condition/ByEntityCondition/EntityCondition/TravelDistanceCondition ※　自車が助走区間、および、T0=2.0s（40m）走行した直後にカーブを開始する
	自車 斜め直線	Storyboard/Story/Act/ManueverGroup/Manuever/Event/Action/PrivateAction/RoutingAction/FollowTrajectoryAction/Trajectory/Shape/polyline ※　レーンに対して斜め直進の軌跡を直線で表現する
	他車 初期値	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/TeleportAction/Position/LanePosition@s, offset ※　s 値は自車と LAP 率 10%の位置に衝突するよう設定する ※　offset 値は車両幅の中央がセンターラインより 1.0m の位置になるように設定する
	他車 速度[m/s]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/LongitudinalAction/SpeedAction/SpeedActionTarget/AbsoluteTargetSpeed@value

e)　CMovertaking：Car-to-Motorcyclist Overtaking

テスト対象車両（自車）が、追い越しをする自動二輪車があるときに追い越しレーンへ向かって斜めに走行した時の、ELK 機能をテストする。図 2.2.1.1-6 に CMovertaking のシナリオ概要を図示する。意図しないレーンチェンジと意図したレーンチェンジの関係を表 2.2.1.1-15～16 に CMovertaking のパラメータを表 2.2.1.1-17 に対応する OpenSCENARIO のタグ情報を表 2.2.1.1-18 に示す。

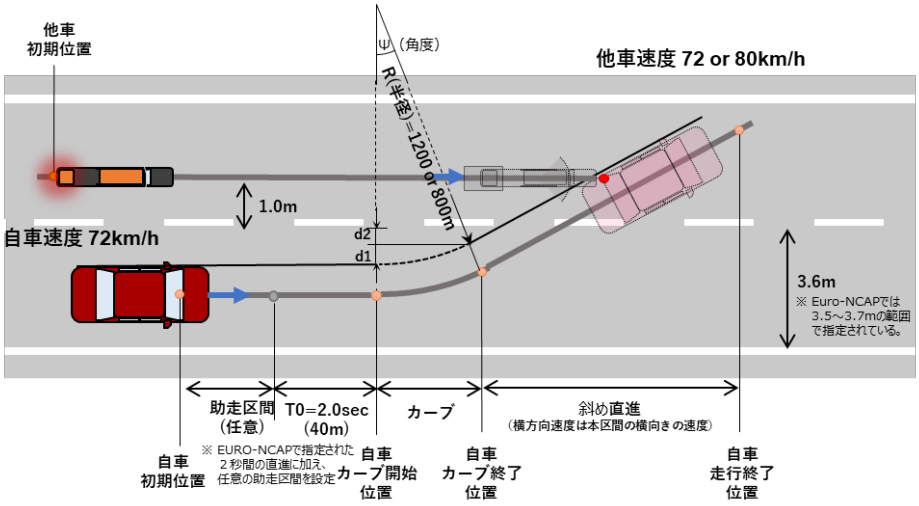


図 2.2.1.1-6　CMovertaking シナリオ概要

表 2.2.1.1-15　意図しないレーンチェンジ

意図しないレーンチェンジ		自車速度 50km/h			自車速度 72km/h		
横方向速度[m/s]	R[m]	Ψ [°]	d1[m]	d2[m]	Ψ [°]	d1[m]	d2[m]
0.2	1200	0.83	0.12	0.64	0.57	0.06	0.7
0.3		1.24	0.28	0.76	0.86	0.14	0.9
0.4		1.65	0.5	0.54	1.15	0.24	0.8
0.5		2.06	0.78	0.35	1.43	0.38	0.75
0.6		2.48	1.12	0.02	1.72	0.54	0.6

表 2.2.1.1-16　意図したレーンチェンジ

意図したレーンチェンジ		自車速度 50km/h			自車速度 72km/h		
横方向速度[m/s]	R[m]	Ψ [°]	d1[m]	d2[m]	Ψ [°]	d1[m]	d2[m]
0.5	800	2.06	0.26	0.74	1.43	0.25	0.75
0.6		2.48	0.36	0.6	1.72	0.36	0.6
0.7		2.89	0.49	0.53	2.01	0.49	0.53

表 2.2.1.1-17　CMovertaking のパラメータ

対象	パラメータ	UI
自車（テスト対象車両）	進行方向	選択式（意図しないドライバ側へ斜め走行、意図したドライバ側へのレーンチェンジ）
	助走区間[m]	直接入力
	速度[km/h]	選択式（72km/h or 50km/h）
	横方向速度[m/s]	選択式（ 意図なし：0.2m/s～0.6m/s、0.1m/s ステップ 意図あり：0.5m/s～0.7m/s、0.1m/s ステップ）
自動二輪	初期速度[km/h]	固定（自車 72km/h の場合 80km/h、自車 50km/h の場合 60km/h）
	衝突位置	固定（自車後輪軸）

表 2.2.1.1-18　CMovertaking に対応する OpenSCENARIO のタグ情報

シナリオカテゴリ	パラメータ項目	OpenSCENARIO タグ
ELK-Overtaking vehicle	自車 初期位置[m]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/TeleportAction/Position/LanePosition@s,offset ※ s 値 ： 他車との衝突位置が自車後輪軸となるように設定する ※ offset 値 ： 選択された横方向速度によりセンターラインからの距離が決定する
	自車 速度[m/s]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/LongitudinalAction/SpeedAction/SpeedActionTarget/AbsoluteTargetSpeed@value
	自車 カーブ軌跡 （円弧）	Storyboard/Story/Act/ManueverGroup/Manuever/Event/Action/PrivateAction/RoutingAction/FollowTrajectoryAction/Trajectory/Shape/Clothoid ※ 選択された自車横速度に応じた軌跡を設定する
	自車 カーブ開始トリガー	Storyboard/Story/Act/ManueverGroup/Manuever/Event/StartTrigger/ConditionGroup/Condition/ByEntityCondition/EntityCondition/TravelDistanceCondition ※ 自車が助走区間、および、T0=2.0s（40m）走行した直後にカーブを開始する
	自車 斜め直線	Storyboard/Story/Act/ManueverGroup/Manuever/Event/Action/PrivateAction/RoutingAction/FollowTrajectoryAction/Trajectory/Shape/polyline ※ レーンに対して斜め直進の軌跡を直線で表現する

	他車 初期値	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/TeleportAction/Position/LanePosition@s, offset ※ s 値：0 固定 ※ offset 値：車両幅の中央がセンターラインより 1.0m の位置になるように設定する
	他車 速度[m/s]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/LongitudinalAction/SpeedAction/SpeedActionTarget/AbsoluteTargetSpeed@value

2.2.1.2　周辺車両による死角シナリオ

テスト対象車両（自車）が、周辺車両により死角が生じる場合の死角車両認知機能をテストする。図 2.2.1.2-1 に死角シナリオ概要[6]を図示する。死角シナリオのパラメータを表 2.2.1.2-1 に、対応する OpenSCENARIO のタグ情報を表 2.2.1.2-2 に示す。

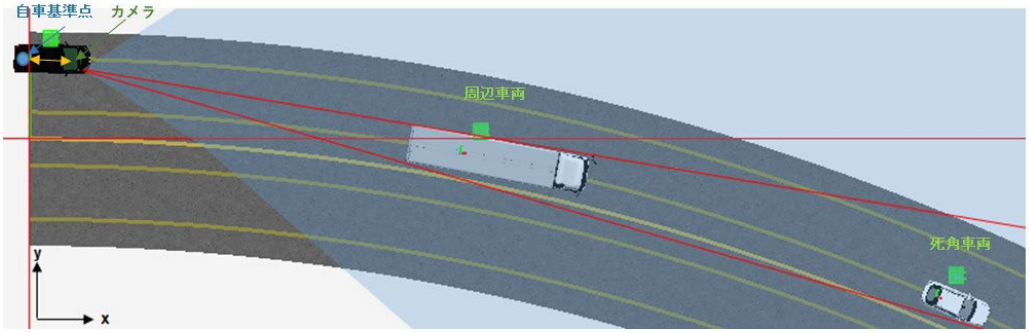


図 2.2.1.2-1　死角シナリオ概要

表 2.2.1.2-1　死角シナリオのパラメータ

対称	パラメータ	UI
自車	自車初期位置	固定
	自車速度	速度[m/s]
	走行レーン	roadId,laneID
周辺車両	周辺車両初期位置	相対位置
	周辺車両初期速度	速度[m/s]
	周辺車両レーンチェンジ速度	速度[m/s]
	周辺車両レーンチェンジタイミング	開始時間[s]
	走行レーン	roadId,laneID
	周辺車両アセット情報	width,length,height
死角車両	死角車両初期位置	相対位置
	死角車両初期速度	速度[m/s]
	死角車両レーンチェンジ速度	速度[m/s]
	死角車両レーンチェンジタイミング	開始時間[s]
	走行レーン	roadId,laneID
	死角車両アセット情報	width,length,height
環境	環境カーブ曲線半径	曲率半径[m]
	環境カーブ方向	右旋回 | 左旋回

表 2.2.1.2-2　死角シナリオに対応する OpenSCENARIO のタグ情報

シナリオカテゴリ	パラメータ項目	OpenSCENARIO タグ
死角シナリオ（周辺車両）	自車初期位置[m]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/TeleportAction/Position/LanePosition@s ※ 0 固定
	自車速度[m/s]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/LongitudinalAction/SpeedAction/SpeedActionTarget/AbsoluteTargetSpeed@value
	周辺車両初期位置[m]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/TeleportAction/Position/LanePosition@s
	周辺車両初期速度[m/s]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/LongitudenalAction/SpeedAction/SpeedActionTarget/AbsoluteTargetSpeed@value
	周辺車両レーンチェンジ速度[m/s]	Storyboard/Story/Act/Sequence/Maneuver/Event/Action/Private/Lateral/LaneChange/Dynamics
	周辺車両レーンチェンジタイミング[s]	Storyboard/Story/Act/Sequence/Maneuver/Event/StartConditions
	周辺車両アセット情報	Entities/Object/Vehicle/BoundingBox
	死角車両初期位置[m]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/TeleportAction/Position/LanePosition@s
	死角車両初期速度[m/s]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/LongitudinalAction/SpeedAction/SpeedActionTarget/AbsoluteTargetSpeed@value
	死角車両レーンチェンジ速度[m/s]	Storyboard/Story/Act/Sequence/Maneuver/Event/Action/Private/Lateral/LaneChange/Dynamics
	死角車両レーンチェンジタイミング[s]	Storyboard/Story/Act/Sequence/Maneuver/Event/StartConditions
	死角車両アセット情報	Entities/Object/Vehicle/BoundingBox
	環境カーブ曲線半径[m]	OpenDRIVE
	環境カーブ方向[右旋回 | 左旋回]	OpenDRIVE

2.2.1.3　一般道 交差点右折シナリオ

AD システム性能評価 Metrics として、一般道の交差点右折シナリオのフォーマットを策定する。評価条件が複雑なため、2-Stage に分けて性能評価を行う。(1) 一般道の交差点定義、(2) センサ認識限界の性能（1st-Stage は対称車両が見える見えないを評価する)、(3) 時空間でのジオメトリ関係（2nd-Stage は車両がぶつかるぶつからないを評価する）について述べる。

（1） 一般道の交差点定義

ここで扱う、一般道交差点の定義を図 2.2.1.3-1 に示す。

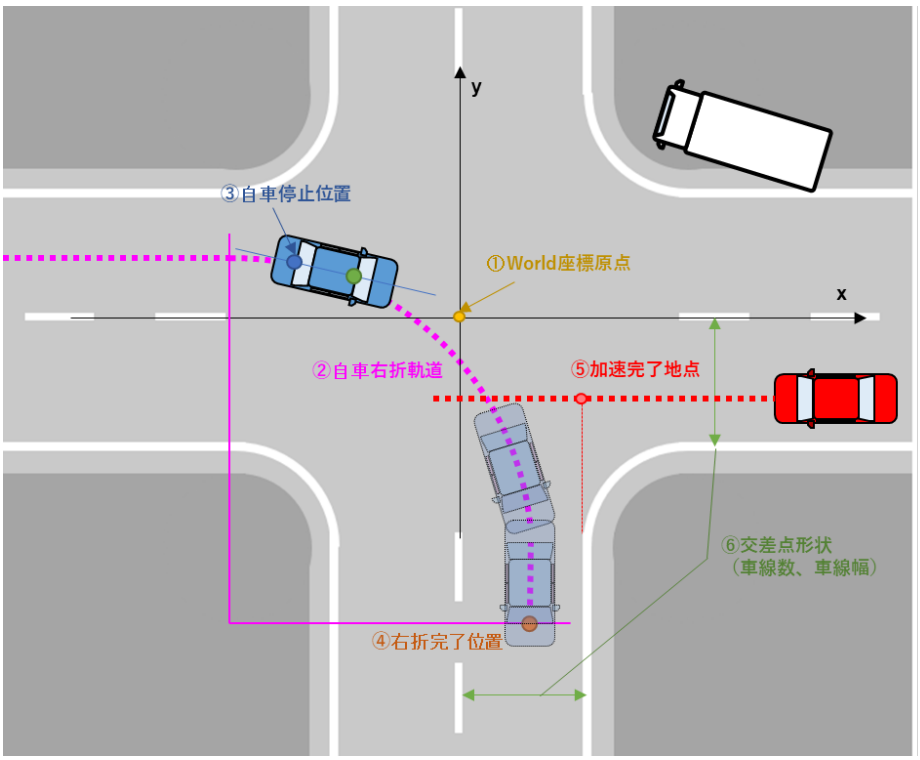


図 2.2.1.3-1 一般道交差点の定義

交差点の定義

①World 座標原点

交差点の中心を原点として各車両を配置する。

②自車右折軌道

3 つの part に分割、それぞれクロソイド曲線で表現する。

③自車停止位置

右折軌道上で自車のバンパー右側が y=0 となる位置

④右折完了位置

自車の進行方向が、右折後の車線の向きと平行となる位置

⑤対向直進車の加速の完了位置

（片側）車線数 x 車線幅分、X 軸方向手前の地点で加速完了とする。

その他

⑥交差点形状（車線数、車線幅）

本シナリオで使用する交差点の形状（車線数、車線幅）は、Euro NCAP CCFtap (Car-to-Car Front Turn Across Path) [7]、CMFtap (Car-to-Motorcyclist Front Turn Across Path) [8]のシナリオで使用した交差点と同様のものとする。

（2） センサ認識限界の性能

1st-Stage のセンサ認識限界の性能評価では、認識性能に影響の大きい「遮蔽率」と「距離」に基づいて認識性能を評価する。図 2.2.1.3-2 に交差点右折シナリオ 1st-Stage 概要を図示する。交差点右折シナリオ 1st-Stage パラメータを表 2.2.1.3-1 に、交差点右折シナリオ 1st-Stage OpenSCENARIO のタグ情報を表 2.2.1.3-2 に示す。

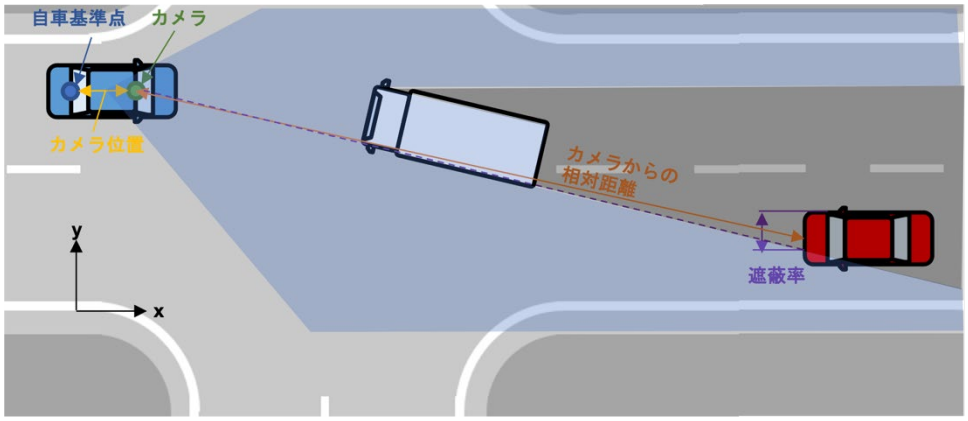


図 2.2.1.3-2 交差点右折シナリオ 1st-Stage 概要

表 2.2.1.3-1 交差点右折シナリオ 1st-Stage パラメータ

対象	パラメータ	UI
自車（テスト対象車両）	カメラ位置	直接入力（X 軸：0～自車長内、Y 軸：0～自車幅内）
対向直進車	カメラからの相対距離 [m]	直接入力（X 軸：5～200m、Y 軸：5～350m）
	車種・車体色	選択式（普通乗用車、歩行者、バイク）
対向右折車	遮蔽率 [%]	直接入力（0~100%）
	車体色	選択式
天候	環境パラメータ指定	直接入力

表 2.2.1.3-2　交差点右折シナリオ 1st-Stage OpenSCENARIO のタグ情報

シナリオカテゴリ	パラメータ項目	OpenSCENARIO タグ
交差点右折 1st-Stage	自車カメラ位置[m]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/TeleportAction/Position/WorldPosition@x,y,h ※　自車基準点からの相対位置（X,Y）で指定する。シミュレーション空間におけるカメラの配置場所は固定とし、自車のカメラ位置にて指定された値により自車の配置場所を算出する
	対向直進車カメラからの相対距離[m]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/TeleportAction/Position/WorldPosition@x,y,h ※　指定された値がカメラ to バンパー中央となるように位置を算出する
	対向直進車車種・車体色	Entities/ScenarioObject/Vehicle@name ※　アセットを特定するための文字列を指定する
	対向右折車遮蔽率[%]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/TeleportAction/Position/WorldPosition@x,y,h ※　自車カメラと対向直進車の遮蔽部分を結ぶ直線に沿うように対向右折車を配置する
	対向右折車車体色	Entities/ScenarioObject/Vehicle@name ※　アセットを特定するための文字列を指定する
	天候環境パラメータ指定	Storyboard/Init/Actions/GlobalAction/EnvironmentAction/Environment/Weather/Sun、Precipitation@それぞれの該当するパラメータ

（3）　時空間でのジオメトリ関係

2nd-Stage の時空間でのジオメトリ関係での AD 安全性の評価では、ジオメトリ条件から遮蔽率と認識可否を求め、右折の可否性能を評価する。図 2.2.1.3-3 に交差点右折シナリオ 2nd-Stage 概要を図示する。交差点右折シナリオ 2nd-Stage パラメータを表 2.2.1.3-3 に、交差点右折シナリオ 2nd-Stage OpenSCENARIO のタグ情報を表 2.2.1.3-4 に示す。

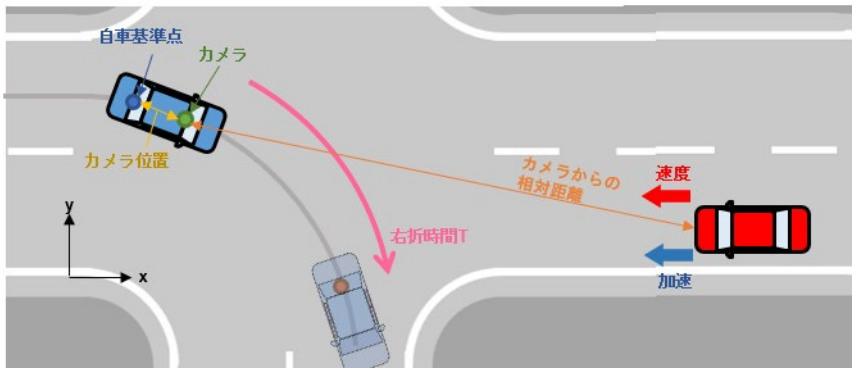


図 2.2.1.3-3　交差点右折シナリオ 2nd-Stage 概要

表 2.2.1.3-3　交差点右折シナリオ 2nd-Stage パラメータ

対象	パラメータ	UI
自車（テスト対象車両）	右折軌道	選択式
	カメラ位置	直接入力（X 軸：0～自車長内、Y 軸：0～自車幅内）
	右折時間 T[s]	直接入力
対向直進車	カメラからの相対距離[m]	直接入力（X 軸：5～200m、Y 軸：5～350m）
	速度[km/h]	直接入力（20~70km/h）
	加速[km/h]	直接入力（0~20km/h）
	車種	選択式（普通乗用車、歩行者、バイク）

表 2.2.1.3-4　交差点右折シナリオ 2nd-Stage OpenSCENARIO のタグ情報

シナリオカテゴリ	パラメータ項目	OpenSCENARIO タグ
交差点右折 2nd-Stage	自車 右折軌道	初期位置：TeleportAction/Position/WorldPosition@x,y,h 右折軌道：RoutingAction/FollowTrajectoryAction/Trajectory/Shape/Clothoid ※　自車の初期配置に関しては、自車バンパー右側が中央白線に接するように配置し、指定した右折軌道から自車の初期位置を算出する
	自車 カメラ位置[m]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/TeleportAction/Position/WorldPosition@x,y,h ※　自車基準点からの相対位置（X,Y）で指定する。シミュレーション空間におけるカメラの配置場所は固定とし、自車のカメラ位置にて指定された値により自車の配置場所を算出する
	自車　右折時間 T[s]	初期速度：LongitudinalAction/SpeedAction/SpeedActionTarget@value=0（停止） 自車加速度：LongitudinalAction/SpeedAction/SpeedActionDynamics@value ※　指定した右折軌道の情報と指定した右折時間を活用して、自車の加速度を算出する。自車の進行方向が、右折後の車線の向きと平行となった場合に”右折完了”とする
	対向直進車 カメラからの相対距離[m]	Storyboard/Init/Actions/Private/PrivateAction/TeleportAction/Position/WorldPosition@x,y,h ※　指定された値がカメラ to バンパー中央となるように位置を算出する
	対向直進車 速度[m/s]	初期速度：LongitudinalAction/SpeedAction/SpeedActionTarget 初期軌道: FollowTrajectoryAction/Shape/Polyline/Vertex/Position/WorldPosition@x,y
	対向直進車 加速[km/h]	加速設定：LongitudinalAction/SpeedAction/SpeedActionDynamics@value 速度設定：LongitudinalAction/SpeedAction/SpeedActionTarget 加速開始条件： ByEntityCondition/EntityCondition/TraveledDistanceCondition@value ※ シナリオで想定している「交差点 60m 手前から交差点直前の間の速度の増加量」となるように、加速タイミングや加速方法などを算出し OpenSCENARIO の適切なタグ要素として出力する
	対向直進車 車種	Entities/ScenarioObject/Vehicle@name ※　アセットを特定するための文字列を指定する

2.2.2 シナリオ設計・テスト結果の可視化機能改良

シナリオ設計に関して本年度は、ニーズに基づくシナリオ DB 機能仕様の改良（2.1.2）として、シナリオ生成ルールの可視化、ルールの付け外しを可能とする機能の追加（2.1.2.2）および交通実態に基づく合理的予見可能範囲の交通流データベースを活用したシナリオ設計・テスト結果の設計段階での可視化機能の改良（2.1.2.3）を行った。テスト結果に関して、テスト対象のシステムに応じてシミュレーション結果で出力される観測値は表 2.2.2-1 に示すように異なり、観測される項目も表 2.2.2-2 に示すように異なる。

表 2.2.2-1 出力される観測値

シナリオ	Collision	VImpact	TTC	DTLE	Monitoring
Euro NCAP SA LSS					
Blind-Spot Monitoring					○
Euro NCAP AEB/LSS VRU Car-to-Motorcyclist Test Protocol					
CMRs	○	○			
CMRb	○	○			
CMFtap	○	○			
CMoncoming	○				
CMovertaking	○				

表 2.2.2-2 観測される項目

Name	Value	説明
Collision	"PASS" もしくは "FAIL"	衝突を観測した場合に"FAIL"を設定
VImpact	速度 [km/h]	衝突時の自車速度、（もしくは、テスト終了時の自車速度）
TTC	時間 [s]	FCW が発動した際の自車が衝突までの残り秒数
DTLE	距離 [m]	自車とレーン端との距離 ※ Euro NCAP では、自車のタイヤの最も外側とレーン端の距離を測定する仕様だが、シミュレータ実装の難易度を考慮して、自車を囲む矩形とレーン端の最短距離を測定するよう仕様を変更している。
Monitoring	“PASS” もしくは”FAIL”	Blind Spot Monitoring システムが死角に対象車両を捉えた場合に”PASS”を設定

現状では、図 2.2.2-1 に示すシナリオ DB へのインポート機能を活用しシミュレーション結果（Collision の値）をフィードバックすることによって、想定されるシミュレーション結果とユーザーが実行したシミュレーション結果の差異を判断できるようにした。

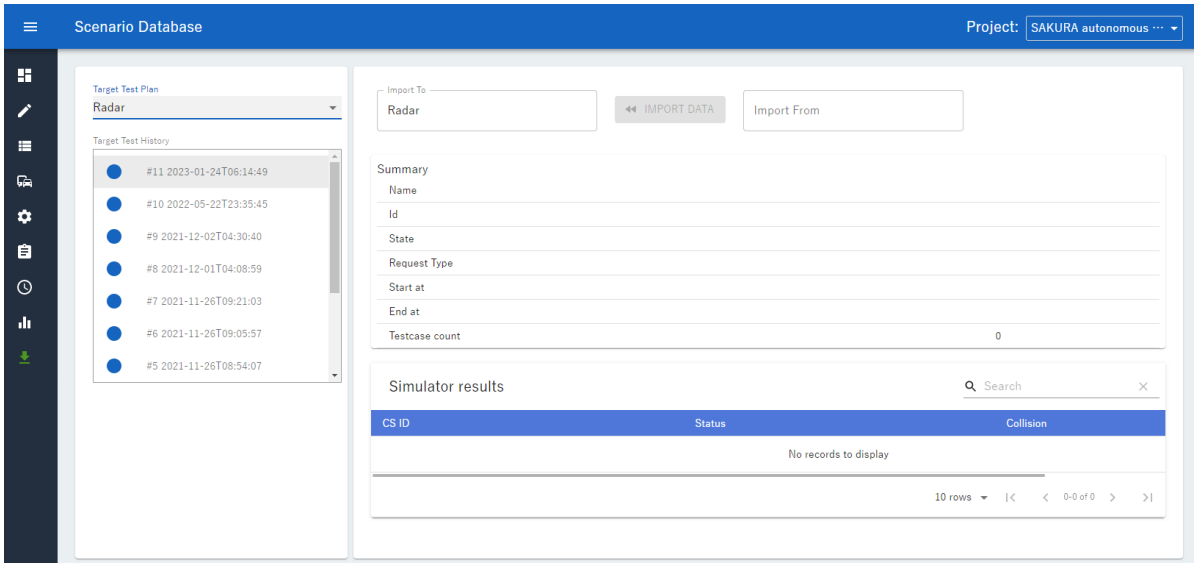


図 2.2.2-1　シナリオ DB のシミュレーション結果インポート機能

2.2.3 交通外乱シナリオフォーマット定義

OpenSCENARIO[3]フォーマットは、ASAM[2]で検討されているフォーマットであり、XML で記述され、環境、車両情報、車両の振る舞いなどを詳細に指定することができる。構造は以下のとおりである（図 2.2.3-1）。

OpenSCENARIO
- FileHeader
  - メタ情報（バージョンや作成日など）
- ParameterDeclarations
  - シナリオで用いられるパラメータの定義
- CatalogLocations
  - 車両/ドライバなどの事前定義情報の参照先の指定
- RoadNetwork
  - OpenDRIVE[4]などの指定
- Entities
  - シナリオに関連する、すべてのトラフィック関係者/オブジェクトの定義
- Storyboard
  - シナリオ自体の定義

FileHeader はメタ情報の記述に相当する。メインの Component は次の 4 つ「CatalogLocations, RoadNetwork, Entities, Storyboard」である。加えて ParameterDeclarations でオプションのパラメータを宣言できる。

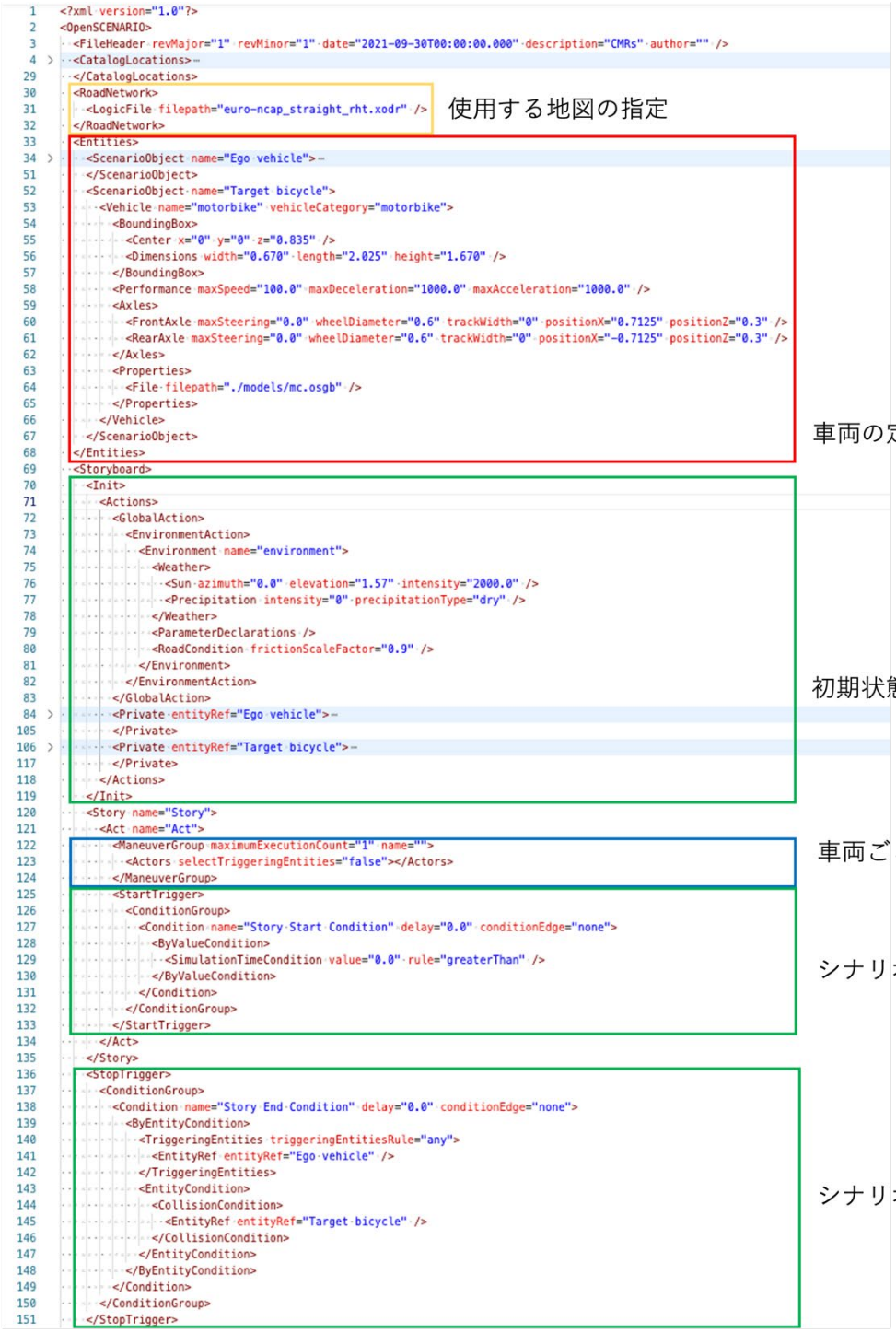


図 2.2.3-1　OpenSCENARIO フォーマットの構造

Concrete シナリオをシミュレーションなどに用いるために外部ファイルとして生成する。以下に Euro NCAP シナリオ（CMovertaking）の OpenSCENARIO フォーマットの一例を示す（図 2.2.3-2）。

OpenSCENARIO フォーマットでは 1 ファイルの記述量が多いため分割して説明する。

初期状態の設定は Init 要素で行う。図 2.2.3-2 の Init 要素では、自車を OpenDRIVE ファイルの道路 ID=1 のレーン−1 に、他車を自車の 20.24742724m 後方のレーン−1 に配置している。また、同時に自車の初期速度を 20m/s、他車の初期速度を 22.222…m/s に設定している。

```
<Init>
  <Actions>
    <Private entityRef="Ego vehicle">
      <PrivateAction>
        <TeleportAction>
          <Position>
            <LanePosition roadId="1" laneId="-1" s="20.24742724" offset="-0.124" />
          </Position>
        </TeleportAction>
      </PrivateAction>
      <PrivateAction>
        <LongitudinalAction>
          <SpeedAction>
            <SpeedActionDynamics dynamicsShape="step" value="0.0" dynamicsDimension="rate" />
            <SpeedActionTarget>
              <AbsoluteTargetSpeed value="20.0" />
            </SpeedActionTarget>
          </SpeedAction>
        </LongitudinalAction>
      </PrivateAction>
      <PrivateAction>
        <ActivateControllerAction />
      </PrivateAction>
    </Private>
    <Private entityRef="Overtaking vehicle">
      <PrivateAction>
        <TeleportAction>
          <Position>
            <LanePosition roadId="1" laneId="-1" s="0.0" offset="4.156" />
          </Position>
        </TeleportAction>
      </PrivateAction>
      <PrivateAction>
        <LongitudinalAction>
          <SpeedAction>
            <SpeedActionDynamics dynamicsShape="step" value="0.0" dynamicsDimension="rate" />
            <SpeedActionTarget>
              <AbsoluteTargetSpeed value="22.22222222" />
            </SpeedActionTarget>
          </SpeedAction>
        </LongitudinalAction>
      </PrivateAction>
      <PrivateAction>
        <ActivateControllerAction />
      </PrivateAction>
    </Private>
  </Actions>
</Init>
```

図 2.2.3-2　Init 要素ストーリー

ストーリー（Story）は最低 1 つの振る舞いを示す Act で構成される。Act は 1 つ以上の ManeuverGroup と StartTrigger で構成される。なお、Act や ManeuverGroup を複数指定した場合、すべて並行で評価される（図 2.2.3-3）。

例えば、以下、図 2.2.3-3 Story 要素の例では右斜め前の先行車の ManeuverGroup と、Story-Act の開始条件を示す StartTrigger で構成されている。

```
<Story name="Story">
  <Act name="Act">
    <ManeuverGroup maximumExecutionCount="1" name="Ego ManeuverGroup">…
    </ManeuverGroup>
    <StartTrigger>…
    </StartTrigger>
  </Act>
</Story>
```

図 2.2.3-3　Story 要素

StartTrigger は、以下、図 2.2.3-4 StartTrigger 要素のように記載でき、この場合、Act で記載された振舞はシナリオのストーリー開始直後に実行されることとなる。

```
<StartTrigger>
  <ConditionGroup>
    <Condition name="Story Start Condition" delay="0.0" conditionEdge="none">
      <ByValueCondition>
        <SimulationTimeCondition value="0.0" rule="greaterThan" />
      </ByValueCondition>
    </Condition>
  </ConditionGroup>
</StartTrigger>
```

図 2.2.3-4　StartTrigger 要素

Condition はさまざまな場所で用いられ、例えば以下、図 2.2.3-5 Condition 要素 147 行目の Condition では 123 行目の Maneuver － Event の開始条件として用いられている。

```
116     <Story name="Story">
117       <Act name="Act">
118         <ManeuverGroup maximumExecutionCount="1" name="Ego ManeuverGroup">
119           <Actors selectTriggeringEntities="false">
120             <EntityRef entityRef="Ego vehicle" />
121           </Actors>
122           <Maneuver name="Ego Maneuver">
123             <Event name="Ego Event 1" priority="overwrite">
124               <Action name="Ego Action 1">
125                 <PrivateAction>
126                   <RoutingAction>
127                     <FollowTrajectoryAction>
128                       <Trajectory closed="false" name="Lane Depature 1">
129                         <Shape>
130                           <Clothoid curvature="0.001248589" length="28.0966077" curvaturePrime="0.0">
131                             <Position>
132                               <LanePosition roadId="1" laneId="-1" s="60.24742724" offset="-0.124" />
133                             </Position>
134                           </Clothoid>
135                         </Shape>
136                       </Trajectory>
137                       <TimeReference>
138                         <None />
139                       </TimeReference>
140                       <TrajectoryFollowingMode followingMode="follow" />
141                     </FollowTrajectoryAction>
142                   </RoutingAction>
143                 </PrivateAction>
144               </Action>
145               <StartTrigger>
146                 <ConditionGroup>
147                   <Condition name="Ego Start Condition 1" delay="0.0" conditionEdge="none">
148                     <ByEntityCondition>
149                       <TriggeringEntities triggeringEntitiesRule="any">
150                         <EntityRef entityRef="Ego vehicle" />
151                       </TriggeringEntities>
152                       <EntityCondition>
153                         <TraveledDistanceCondition value="40.0" />
154                       </EntityCondition>
155                     </ByEntityCondition>
156                   </Condition>
157                 </ConditionGroup>
158               </StartTrigger>
159             </Event>
```

図 2.2.3-5　Condition 要素

OpenSCENARIO では柔軟な記述が可能なため、シーンを表す方法もさまざまであるが、今回は動作を持つ車両ごとに ManeuverGroup 要素を作成し、その中の Event 要素をその車両の 1 つのシーンとして用いる。

シーン内の実際の動作は Action 要素で記述し、StartTrigger 要素でそのシーンが開始する条件を記述する。以下では、図 2.2.3-6 動作の定義の例 124 行目で自車の動作を定義している。




```
<ManeuverGroup maximumExecutionCount="1" name="Ego ManeuverGroup">
  <Actors selectTriggeringEntities="false">
    <EntityRef entityRef="Ego vehicle" />
  </Actors>
  <Maneuver name="Ego Maneuver">
    <Event name="Ego Event 1" priority="overwrite">
      <Action name="Ego Action 1">…
      </Action>
      <StartTrigger>…
      </StartTrigger>
    </Event>
    <Event name="Ego Event2" priority="overwrite">…
    </Event>
  </Maneuver>
</ManeuverGroup>
```

図 2.2.3-6　動作の定義の例

参考文献

[1]:一般財団法人日本自動車研究所　令和 3 年度無人自動運転等の先進 MaaS 実装加速化推進事業 （自動走行システムの安全性評価基盤構築に向けた 研究開発プロジェクト）_報告書
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000334.pdf （2023 年 3 月現在）
[2]: Association for Standardization of Automation and Measuring Systems
https://www.asam.net/ （2023 年 3 月現在）
[3]:OpenSCENARIO
https://www.asam.net/standards/detail/openscenario/ （2023 年 3 月現在）
[4]:OpenDRIVE
https://www.asam.net/standards/detail/opendrive/ （2023 年 3 月現在）
[5]: Euro NCAP
https://www.euroncap.com/en （2023 年 3 月現在）
[6]: 一般社団法人 日本自動車工業会 自動運転の安全性評価フレームワーク Ver 3.0 P67
https://www.jama.or.jp/operation/safety/automated_driving/pdf/framework_ver_3_0.pdf （2023 年 3 月現在）
[7]: Euro NCAP AEB Car-to-Car Test Protocol V3.0.3
https://cdn.euroncap.com/media/62794/euro-ncap-aeb-c2c-test-protocol-v303.pdf （2023 年 3 月現在）
[8]: Euro NCAP AEB/LSS VRU Systems Test protocol v.4.1
https://cdn.euroncap.com/media/67888/euro-ncap-aeb-lss-vru-test-protocol-v41.pdf （2023 年 3 月現在）

2.3 継続的なシナリオ更新に向けた既存データの活用検討

自動運転車の走行領域や機能は進化していくものであり、このような進化に合わせた安全性評価の実施が求められる。さらに、自動運転車や先進安全装備の普及に伴って、交通環境が変化する可能性もあり、そのような変化を継続的に反映できるシナリオ更新（合理的に予見可能な範囲の更新など）の仕組みを検討する必要がある。また、合理的に予見可能な範囲の特定には、多くの実交通環境データ（事故やニアミスのような特殊なケース、通常ケースなど）を分析する必要がある。しかしながら、一つのステークホルダーだけで継続的に多量のデータを収集・計測し、必要・十分な数のデータを集め続けることは非常に困難であると推測する。そのため、既存の枠組みで継続的に収集更新されているかつ、協調領域での活用が可能なデータ（定点カメラデータおよびドライブレコーダデータ）を活用したシナリオ更新への可能性を検討した。

2.3.1 協調利用の可能性がある外部データ（定点カメラデータ）

SAKURA プロジェクトでは、事業内で収集した実交通流データ（交通参加者の軌跡データ）をもとに、安全性評価シナリオのパラメータ統計分析を行うことで、合理的に予見可能な範囲を特定化するなど自動走行システム安全性評価の手法と、それを実際の開発プロセスに活かすための基盤（運用のためのしくみ）を検討している。

プロジェクト終了後も見据えて、継続的なシナリオ更新を行うためには、協調利用の可能性がある外部データの活用も検討する必要がある。道路管理会社が中心となるプロジェクト（以下、「プロジェクト A」という）では、渋滞分析などを主目的に道路インフラ（照明柱）に設置した定点カメラで収集した映像をもとに抽出した車両軌跡データを、多目的に広く利用されることを期待して公開している。本項ではこれを例題として、SAKURA プロジェクトで行う自動走行システム安全性評価シナリオ分析に外部既存データを活用するための要件を検討する。

2.3.1.1 軌跡データ精度予測による要件検討

SAKURA プロジェクトで行う自動走行システム安全性評価シナリオ分析に、外部既存データを活用するための要件の一つに軌跡データ精度を取り上げる。高速道・自専道での安全性評価シナリオ分析に活用するために、SAKURA プロジェクトでは当初より、軌跡データの目標精度（目安）を、車両前後方向：±50cm 以内、車両横方向：±10cm 以内としてきた。但し、具体的な使用用途によっては目標精度を下げられる可能性がある。外部既存データにおける軌跡データ精度を容易に把握する方法を検討する。

（1）目的

SAKURA プロジェクトでは、定点カメラ観測を実施する前に、バーチャル環境にて撮影仕様（カメラスペック、カメラ設置場所、カメラ画角設定など）の検討と軌跡精度の予測を行い、その結果（各カメラの CG など）を撮影現場（ビル屋上や陸橋上など）へ持ち込んでカメラの画角を調整した。今回は、このプロセスを活かして、バーチャル環境に、外部既存データの撮影仕様と 3D 地図データを入れ込んで軌跡精度を予測した。図 2.3.1.1-1 に、外部既存データの軌跡精度予測フローを示す。外部既存データにおいて、軌跡精度のポテンシャル把握と課題把握が、このようなバーチャル評価環境で可能か検証することが目的である。

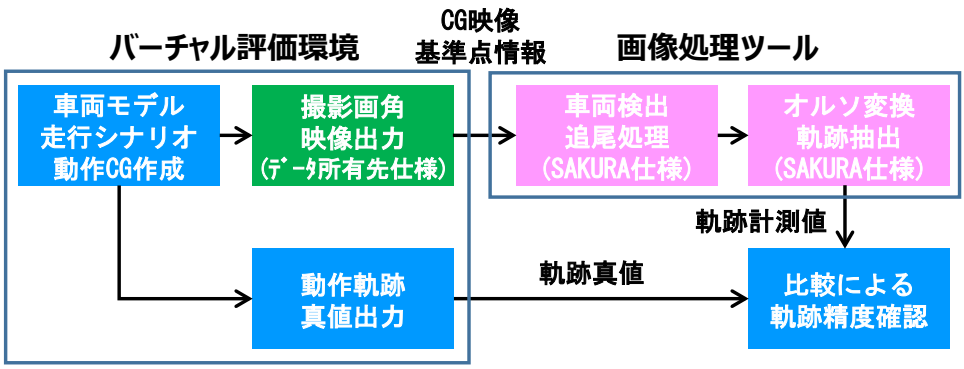


図 2.3.1.1-1　外部既存データの軌跡精度予測フロー

（2）検証内容（車両軌跡精度予測のためのバーチャル環境構築）

a）CG によるカメラ映像の作成

プロジェクト A では、都市高速道路の渋滞頻発区間にある照明柱（高さ 10m）に設置した 38 台のカメラ映像を元に、約 2km 区間の走行車両軌跡データを生成している。今回は、その 2km 区間に含まれる合流路周辺（約 320m）を検証の対象とした。同エリアの三次元地図データと定点カメラ撮影仕様を組込んだバーチャル環境を構築して車両軌跡精度を予測した。バーチャル環境（CG 映像出力）の構築においては、仮想カメラの配置・画角を極力実写に近づけることが望ましいが、本検討においてはカメラの位置・姿勢・画角の数値を直接的に得ることが出来なかった。そのため、今回は道路管理会社より受領したカメラ設置時資料（カメラの視認範囲設計図と現地カメラの映像確認結果（キャプチャされた静止画像））、Google 社による公開衛星写真からカメラ位置・画角を推測した。

①CG 映像制作環境

以下、今回作成した CG 映像の概要について述べる。

・CG 映像製作環境：Unity（バージョン 2020.1.16f1）

・3D 地図データ：ゼンリン社製「3D 都市モデルデータ」（図 2.3.1.1-2 参照）

・出力カメラ：1280×960 画素、10 fps

（SAKURA プロジェクトでは 4K（3840×2160）、30fps または 60fps）

・移動体：乗用車、トラック（図 2.3.1.1-3 参照）
・移動体走行シナリオ：評価用 3 シーン（詳細は③で後述）

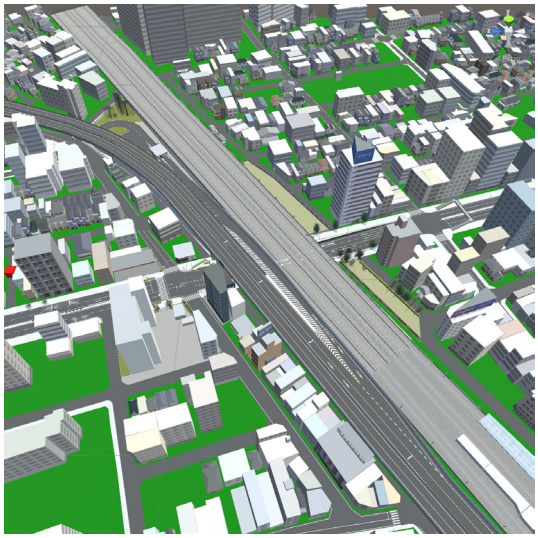
実写（Google 社による）	3D 地図データ（ゼンリン社製）
	

図 2.3.1.1-2　CG で用いた 3D 地図データ

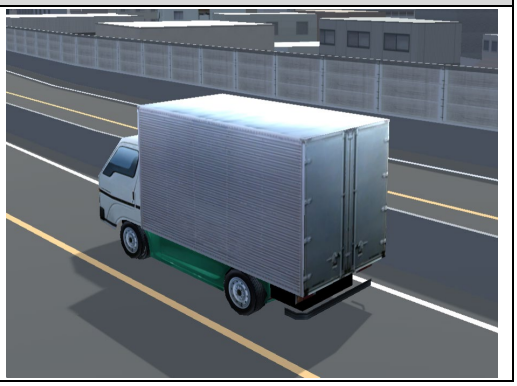
乗用車	トラック
	

図 2.3.1.1-3　CG で用いた移動体

②仮想カメラの配置

仮想カメラは、実際に設置されたカメラに準じて、中央分離帯に沿って 8 台を配置した（図 2.3.1.1-4）。座標軸は、高速道路外に原点を設定し、X 軸は北方向を正、Y 軸は西方向を正とした（図 2.3.1.1-5）。また、各カメラの諸元を表 2.3.1.1-1 に、画像例を図 2.3.1.1-6～2.3.1.1-8 に示す。カメラは路面高 10m の照明柱に設置したとされるが、実写映像と CG を合わせこむ過程ではカメラ高さは 10m より低いものと推測されたため、今回は路面高 7.33m に仮想カメラを配置した。画像例には実写と CG を併せて示した。3D 地図データに起因して、合流路の形状にやや不一致がみられるものの、概ね同等の画面が構成されていることが分かる。

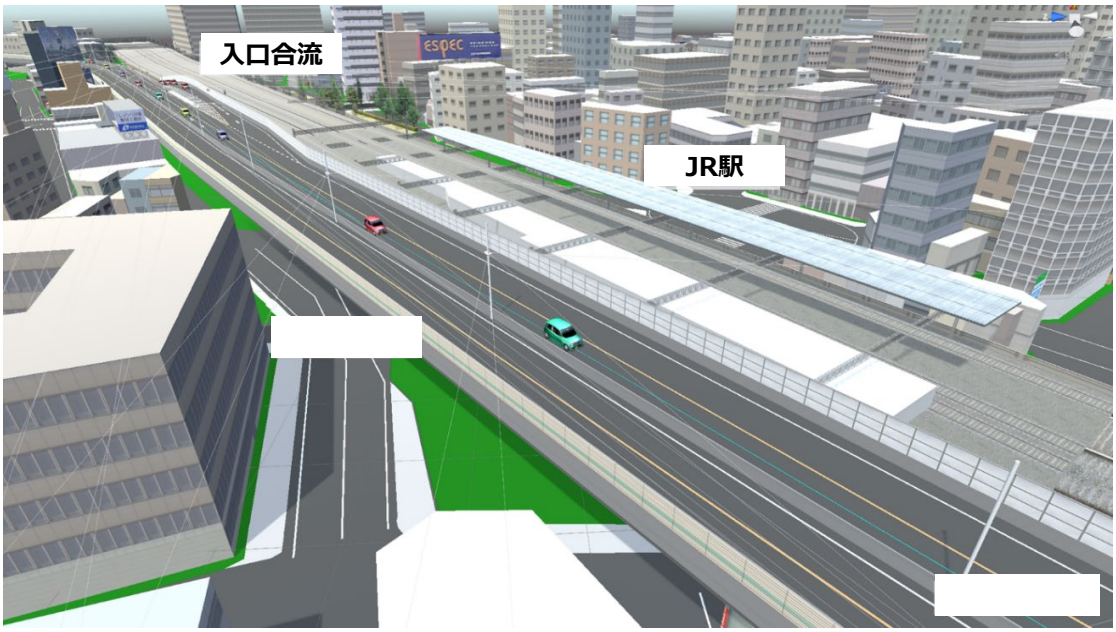


図 2.3.1.1-4　実写に合わせた仮想カメラの配置

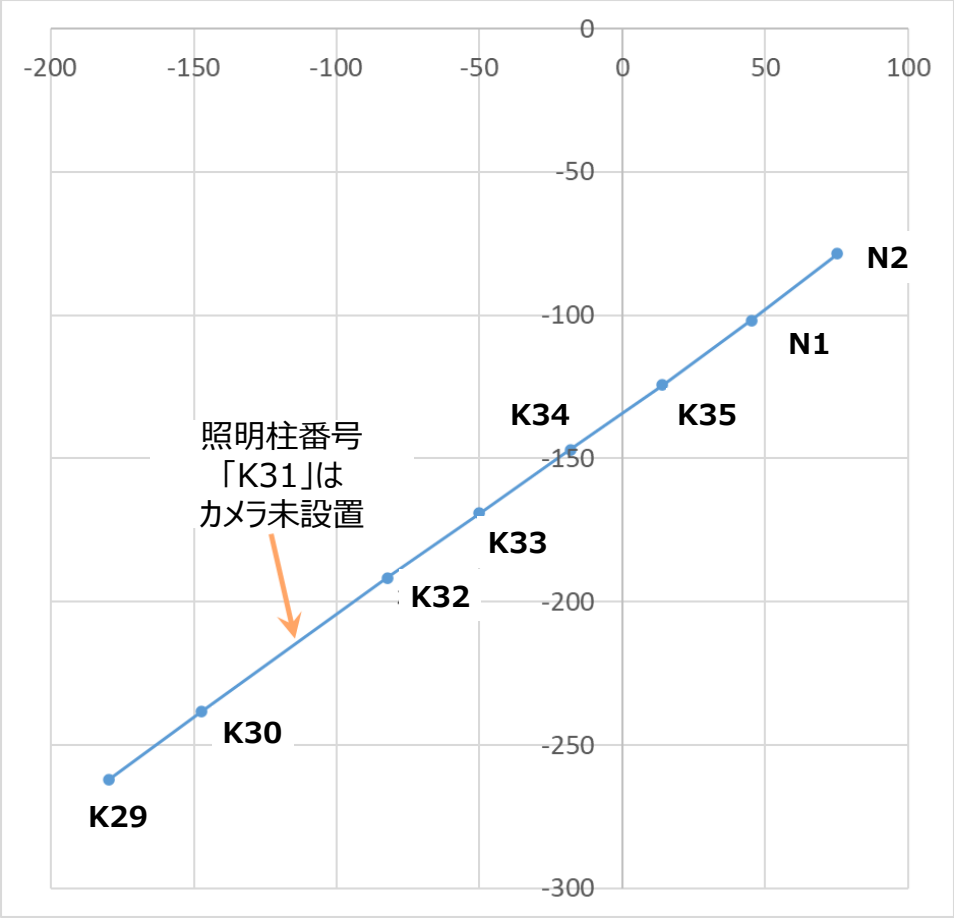


図 2.3.1.1-5　実写に合わせた仮想カメラ（照明柱）の座標
（縦軸：Y 軸（西方向）、横軸：X 軸（北方向））

表 2.3.1.1-1　各仮想カメラの諸元

カメラ	位置（m）			姿勢（°）			画角（°）***	
(柱番号)	X 座標	Y 座標	高さ*	水平回転**	俯角	光軸回転	水平	垂直
N2	75.2791	-78.5207	7.33	227	34	0	80.7	65
N1	45.1103	-101.7898	7.33	235	34	0	80.7	65
K35	14.0000	-124.3000	7.33	230	34	0	80.7	65
K34	-18.2024	-147.0017	7.33	225	34	0	80.7	65
K33	-50.0186	-169.2091	7.33	212	34	0	80.7	65
K32	-82.3770	-191.6879	7.33	224	31	-2	80.7	65
K30	-147.3955	-238.2968	7.33	230	40	-2	91.3	75
K29	-179.6090	-262.0094	7.33	231	30	0	80.7	65

* 道路面からの高さ、

** 水平回転角は Y 軸から時計回りに測る、

*** カメラの解像度は 1280×960 画素（縦横比 4:3）

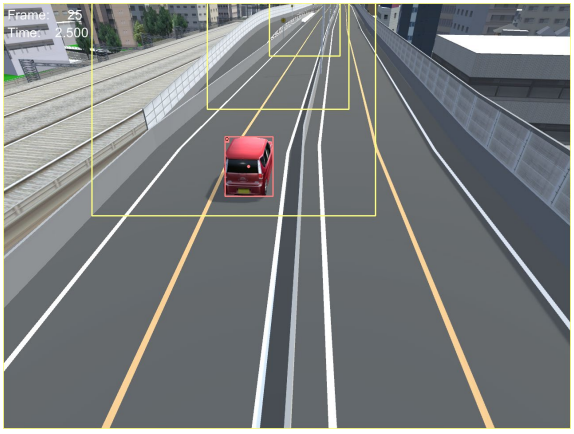
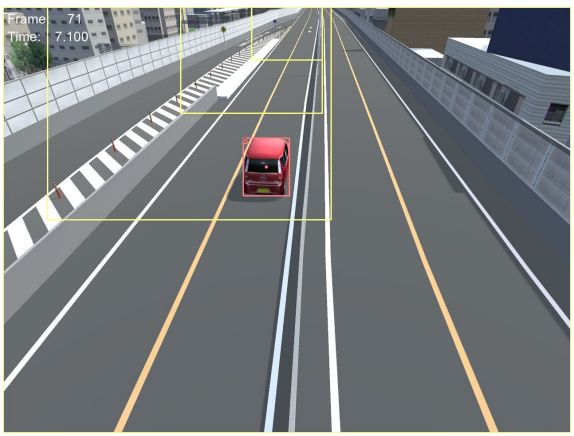
カメラ N2（実写、歪曲補正なし）	カメラ N2（CG）
	
カメラ N1（実写、歪曲補正なし）	カメラ N1（CG）
	
カメラ K35（実写、歪曲補正なし）	カメラ K35（CG）
	

図 2.3.1.1-6　各カメラの画像（実写と CG を対比）

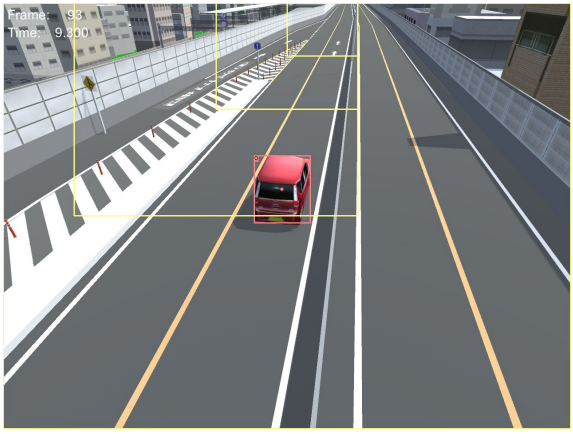
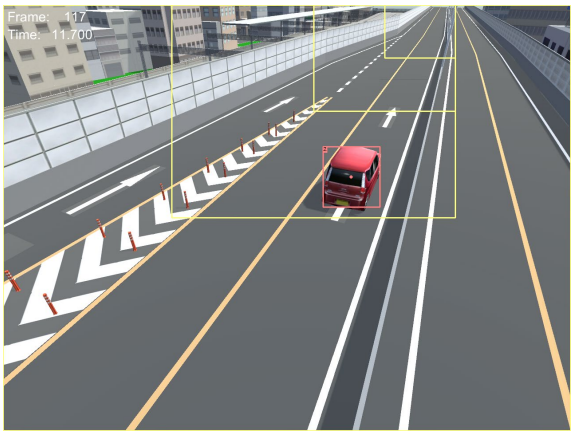
カメラ K34（実写、歪曲補正なし）	カメラ K34（CG）
	
カメラ K33（実写、歪曲補正なし）	カメラ K33（CG）
	
カメラ K32（実写、歪曲補正なし）	カメラ K32（CG）
	

図 2.3.1.1-7　各カメラの画像（実写と CG を対比）

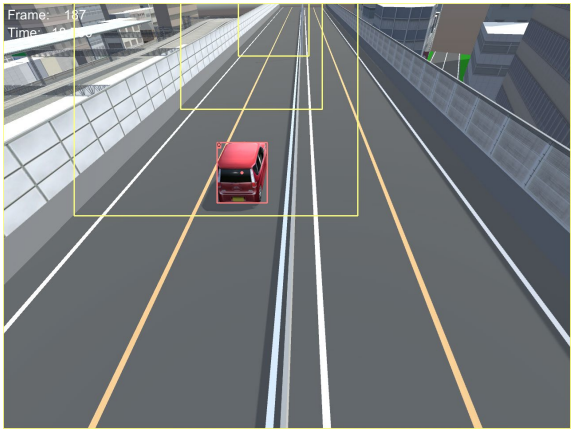
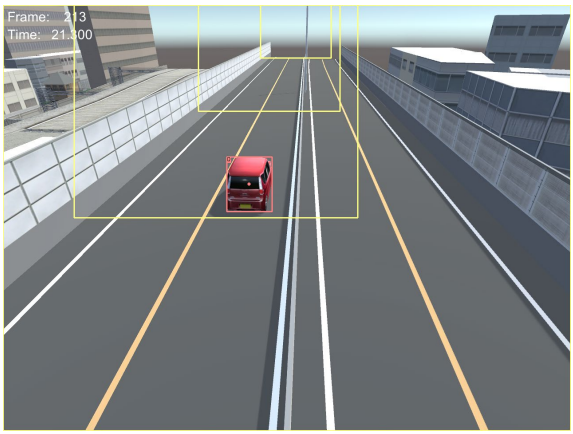
カメラ K30（実写、歪曲補正なし）	カメラ K30（CG）
	
カメラ K29（実写、歪曲補正なし）	カメラ K29（CG）
	

図 2.3.1.1-8　各カメラの画像（実写と CG を対比）

③車両モデルと走行シナリオ

車両の運動モデルは、軌跡精度の確認を目的として、真値との比較が容易な単純なモデルを採用した。このモデルにおいて、車両は物理法則（車両力学）に従わないバーチャルな運動を行う。具体的には以下の動きを行う。

・水平面内：セクション毎に等速直線運動／等加速直線運動／円運動を行う

・垂直方向：車両が道路面から離れないように高さを調整する

・車両の向き：上記（水平・垂直）で定められた移動方向に車両を向ける

本シミュレーションでは上記を Unity のスクリプトで実現し、算出された位置・向きに車両を描画する。車両の走行については、乗用車が本線の各レーンを走行する 2 シナリオ、およびトラックが追い越しレーンを走行する 1 シナリオを構成した。各シナリオの詳細を下表 2.3.1.1-2 に示す。

表 2.3.1.1-2　走行シナリオ一覧

シーン	移動体	走行シナリオ
S01	乗用車	走行レーンを 60km/h で走行
S02	乗用車	追い越しレーンを 60km/h で走行
S03	トラック	追い越しレーンを 60km/h で走行

b）画像処理によるカメラ映像からの移動体検出・追尾

CG 画像からの移動体の検出と追尾は、固有の画像認識エンジンを用いる。また、検出に先立って前処理を行う。今回、検出率向上のための追加学習は実施していない。

①前処理

カメラ配置によっては、車両の検出に先立って画像の回転処理を行う必要が生じるが、今回は回転処理を必要としなかった。

②移動体検出用 ROI の設定

固有の画像認識エンジンは大画面を一度に処理できないため、画像内に複数の ROI（Region of Interest；着目領域）を設定し、ROI 毎の検出結果を統合している。各カメラ画像に対する ROI の設定は、前述の図 2.3.1.1-6～2.3.1.1-8 に黄色枠と CG 外枠で示している。今回のカメラ配置では、画面内で車両サイズが大きく変動するため、各カメラに対して 4 つの ROI を設定し、車両サイズの変化に対応するようにした。

③追加学習

今回は、学習済み認識エンジンを使用することで、画像認識エンジンの追加学習を行わずに十分な検出精度が得られた。

c）移動体追尾結果からの軌跡データ抽出

移動体追尾結果に対してオルソ変換と車高補正を行う。カメラ毎に求まった軌跡の結合処理は記載を省略する。

①オルソ変換

オルソ変換処理は、画像座標を鉛直方向からの正射投影座標（ワールド座標）に変換する処理である。今回は、画像座標とテスト走行車両（乗用車）の自己位置データ（リファレンス走行シナリオによる）を対にして RANSAC 法により求める。各カメラに対するオルソ変換行列を表 2.3.1.1-3 に示す。

オルソ変換の品質を再投影誤差から考察する。再投影誤差は参照点の画像座標をオルソ変換した値（ワールド座標）と、当該参照点の真位置との差分である。表 2.3.1.1-4 にカメラ毎の再投影誤差の最大値を示す。最大で 0.42m～1.35m の再投影誤差が生じており、特に車両が小さく写るカメラ奥（遠方）での誤差が大きい。

図 2.3.1.1-9～2.3.1.1-16 は、オルソ変換算出に用いたサンプル点（画像座標）とサンプ

ル点毎の再投影誤差を画像上にプロットしたものである。これらの図から、車両が大きく写るカメラ手前では誤差は比較的小さく、カメラ奥で誤差が大きくなることが見て取れる。

表 2.3.1.1-3　各カメラに対するオルソ変換行列

Camera	Ortho Matrix			Camera	Ortho Matrix		
N2	-2.372988E-01	3.649421E+00	1.602793E+01	**K33**	-2.340821E-01	-1.721693E+00	-2.500347E+01
	2.029347E-01	-3.589241E+00	-4.519986E+02		1.545000E-01	-5.905999E+00	-4.680319E+02
	4.924359E-04	4.703730E-02	1.000000E+00		-4.971297E-05	3.554616E-02	1.000000E+00
Camera	Ortho Matrix			Camera	Ortho Matrix		
N1	-1.446939E-01	1.470210E+00	-4.173051E+01	**K32**	1.820972E-01	2.094321E+00	-4.834430E+01
	2.200086E-01	-3.043375E+00	-3.494041E+02		-4.540211E-02	4.953323E+00	2.528554E+01
	-2.185101E-04	3.054296E-02	1.000000E+00		-5.226021E-04	-2.614522E-02	1.000000E+00
Camera	Ortho Matrix			Camera	Ortho Matrix		
K35	-1.877388E-01	6.021106E-01	-5.651142E+01	**K30**	-5.339298E-01	-6.721459E+00	-2.210610E+02
	1.999229E-01	-4.404431E+00	-4.186532E+02		-1.396694E-01	-1.101120E+01	-6.236404E+02
	7.293717E-05	3.612371E-02	1.000000E+00		1.834216E-03	4.676954E-02	1.000000E+00
Camera	Ortho Matrix			Camera	Ortho Matrix		
K34	-1.906222E-01	-5.481643E-01	-6.192547E+01	**K29**	9.748874E-02	3.994246E+00	-1.363900E+02
	1.989539E-01	-4.990683E+00	-4.356501E+02		-1.451519E-01	5.854487E+00	-8.800321E+01
	-5.809223E-05	3.454110E-02	1.000000E+00		5.962680E-05	-2.249306E-02	1.000000E+00

表 2.3.1.1-4　オルソ変換算出時の再投影誤差（最大値）

カメラ（柱番号）	再投影誤差の最大値(m)	カメラがカバーする範囲(m)
N2	0.83	約 40 m
N1	0.75	約 40 m
K35	0.55	約 40 m
K34	0.75	約 40 m
K33	0.49	約 40 m
K32	0.78	約 80 m
K30	1.35	約 40 m
K29	0.42	約 40 m

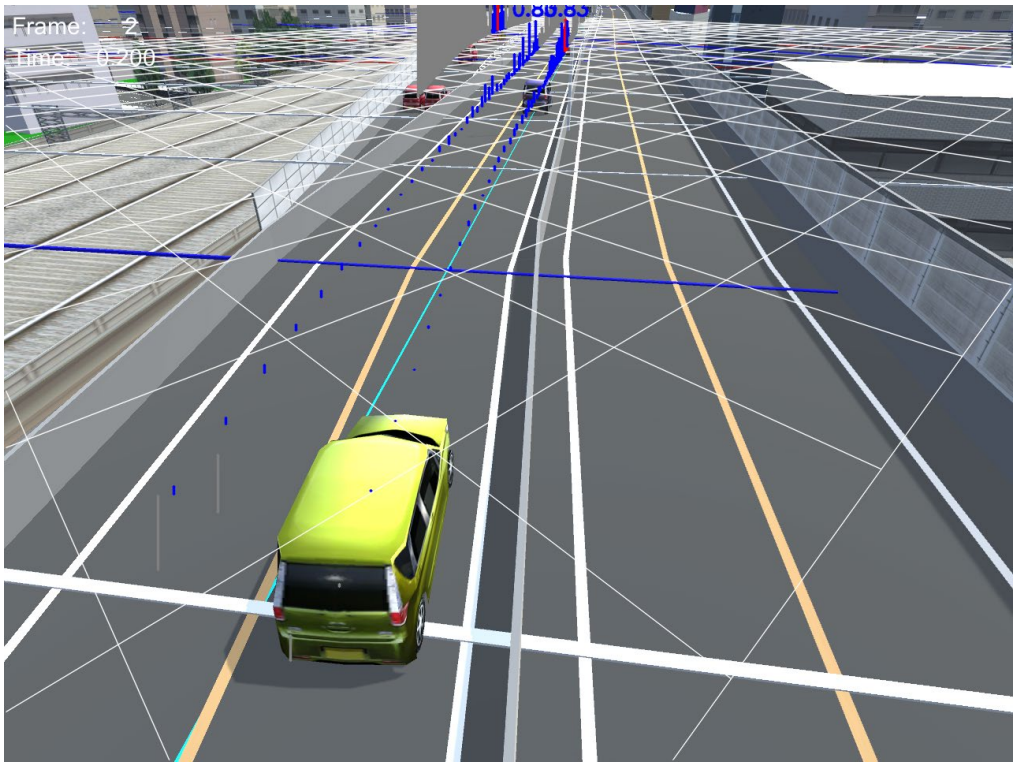


図 2.3.1.1-9　オルソ変換算出に用いたサンプル点および再投影誤差（カメラ N2）

再投影誤差の最大値：0.83m

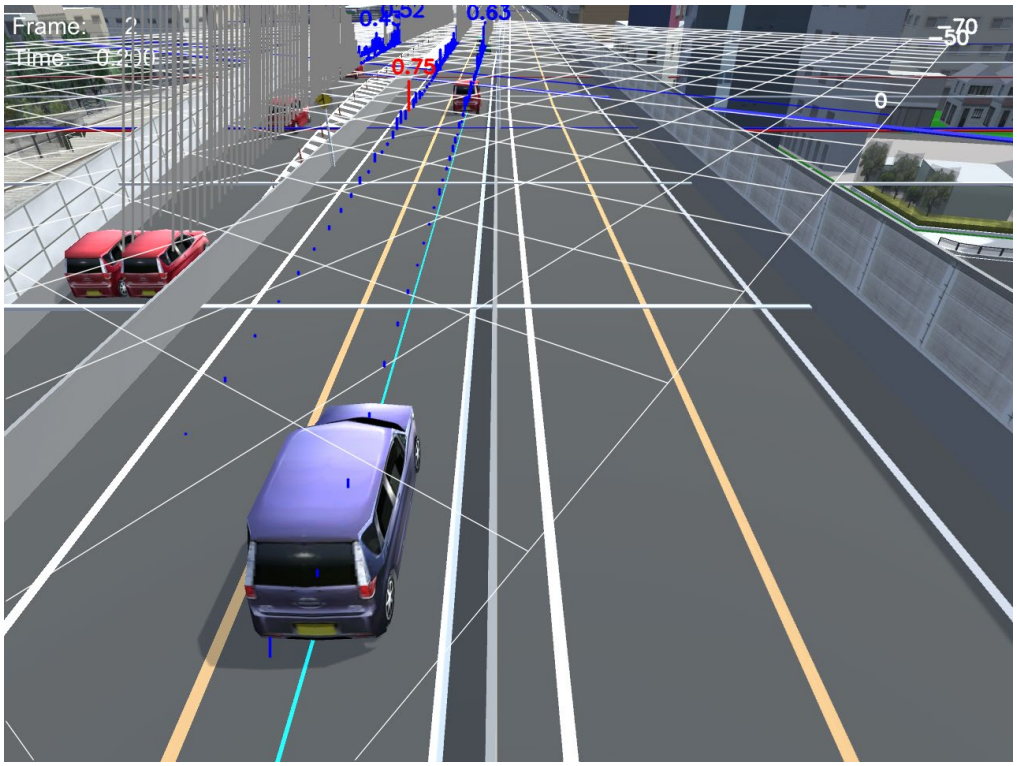


図 2.3.1.1-10　オルソ変換算出に用いたサンプル点および再投影誤差（カメラ N1）

再投影誤差の最大値：0.75m

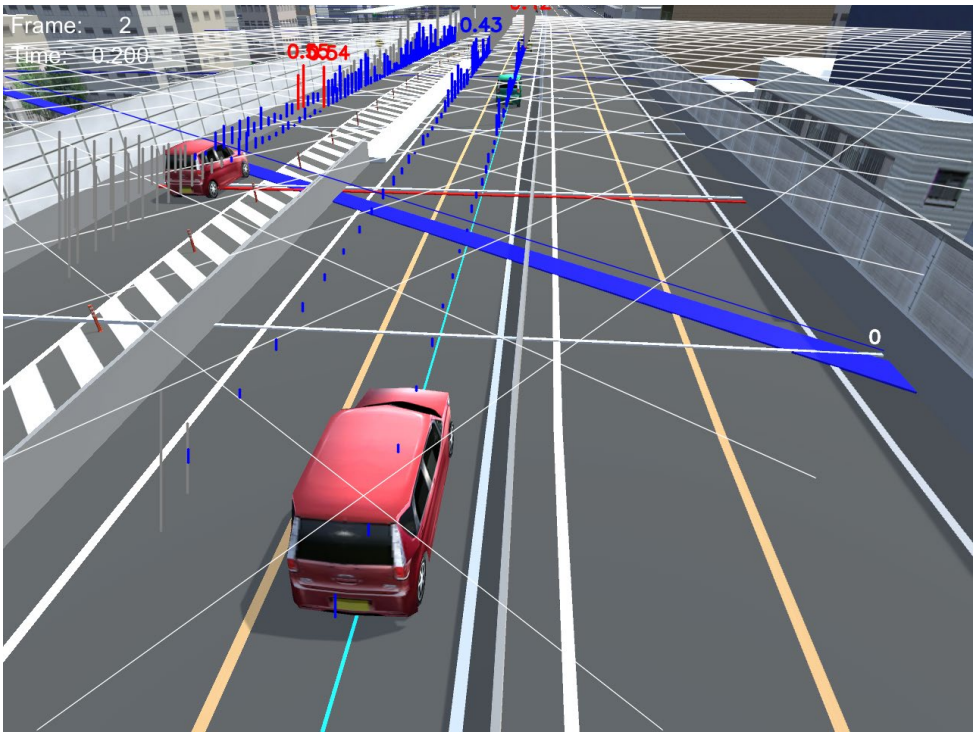


図 2.3.1.1-11　オルソ変換算出に用いたサンプル点および再投影誤差（カメラ K35）

再投影誤差の最大値：0.55m

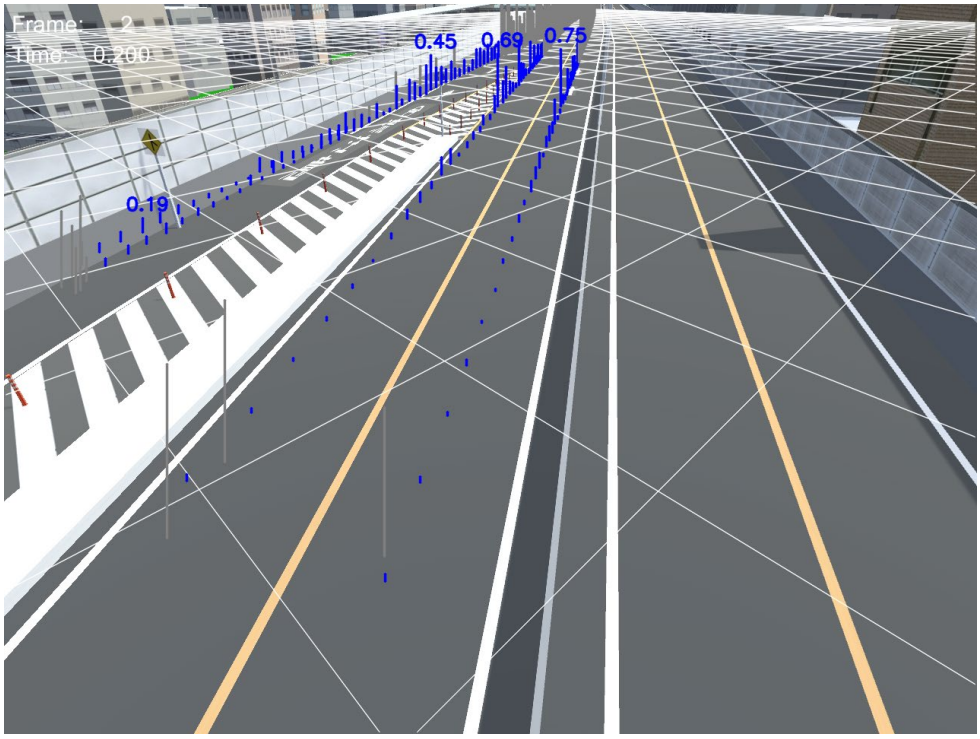


図 2.3.1.1-12　オルソ変換算出に用いたサンプル点および再投影誤差（カメラ K34）

再投影誤差の最大値：0.75m

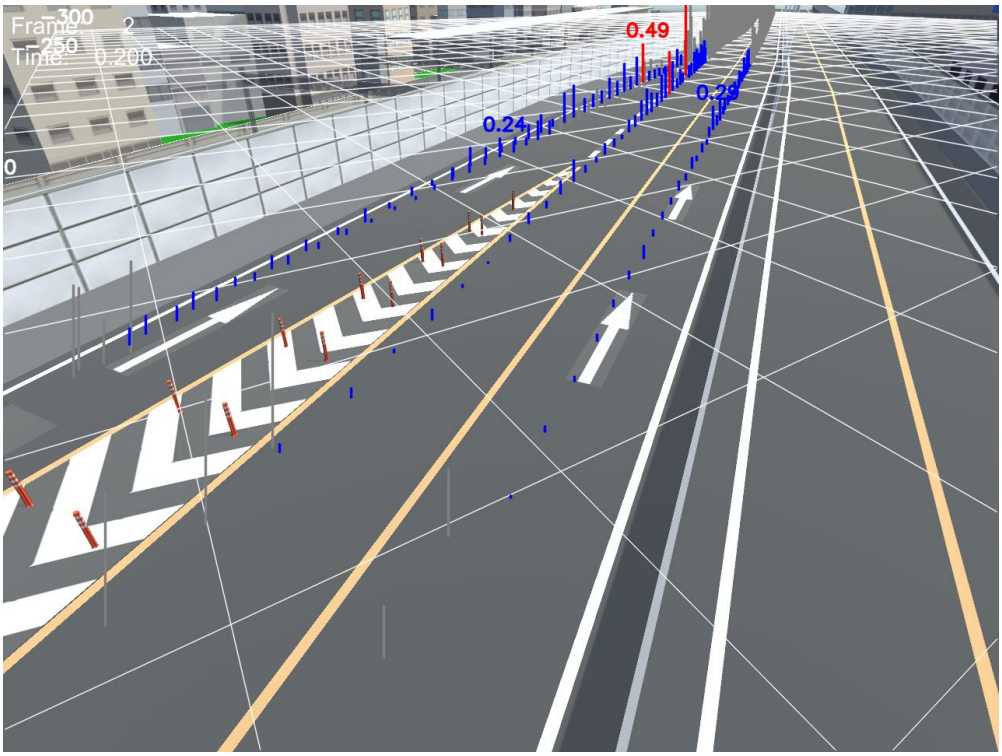


図 2.3.1.1-13　オルソ変換算出に用いたサンプル点および再投影誤差（カメラ K33）

再投影誤差の最大値：0.49m

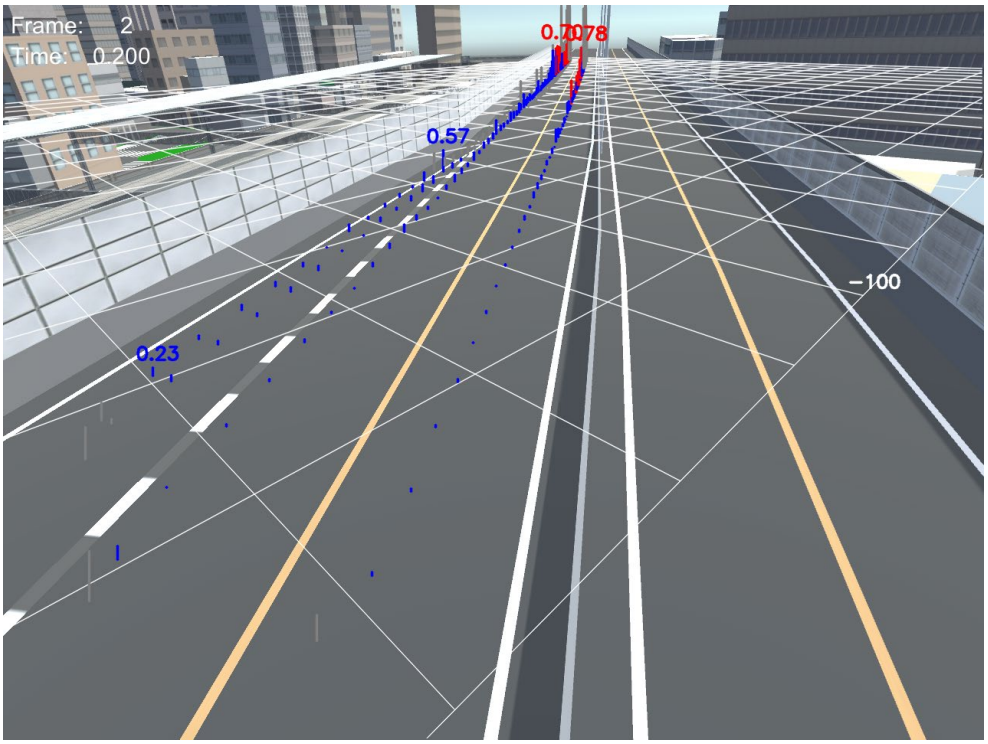


図 2.3.1.1-14　オルソ変換算出に用いたサンプル点および再投影誤差（カメラ K 32）

再投影誤差の最大値：0.78m

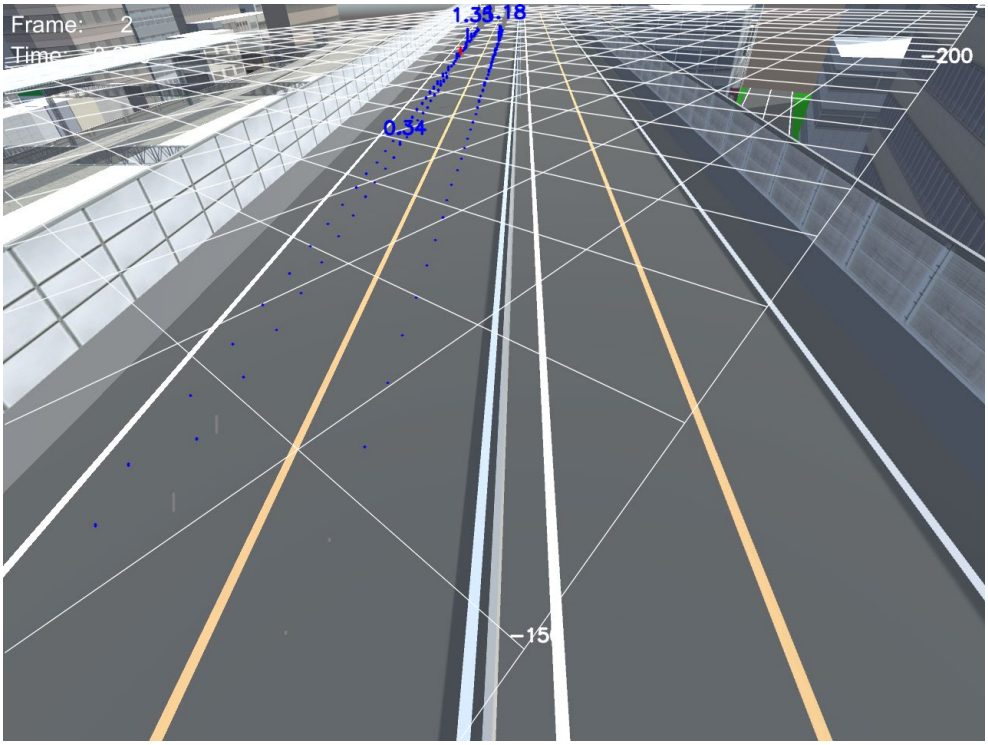


図 2.3.1.1-15　オルソ変換算出に用いたサンプル点および再投影誤差（カメラ K 30）

再投影誤差の最大値：1.35m

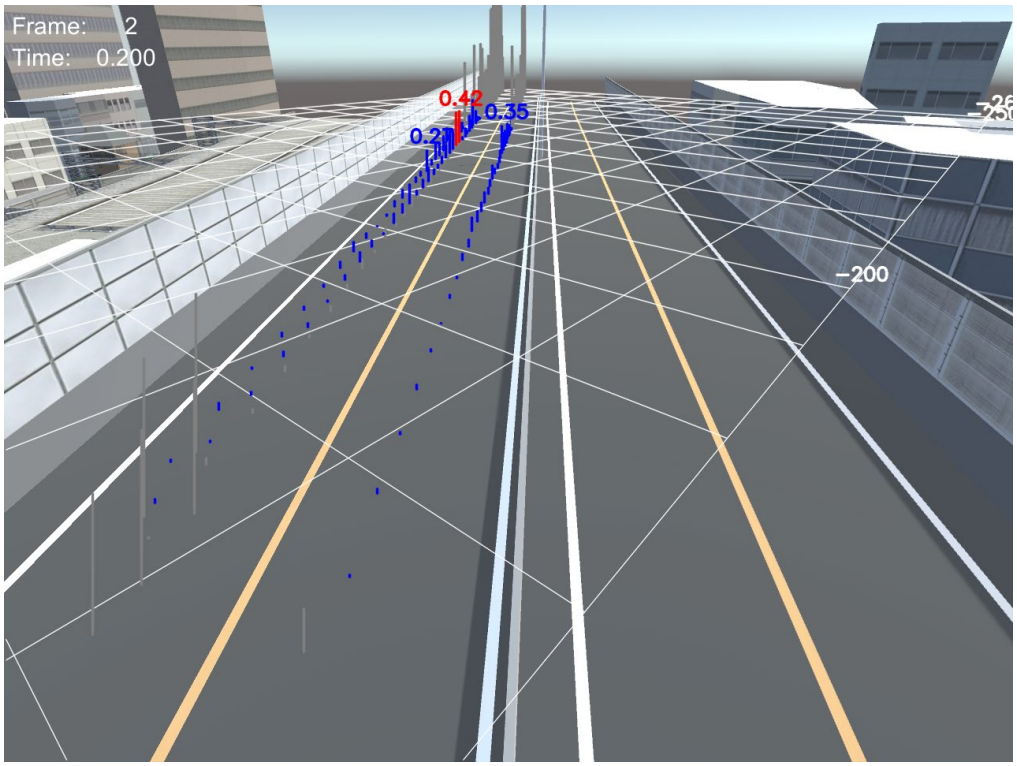


図 2.3.1.1-16　オルソ変換算出に用いたサンプル点および再投影誤差（カメラ K 29）

再投影誤差の最大値：0.42m

②車高推定と高さ補正

高さ補正は、車両に高さがあることで画像上の外接枠中心と底面の中心との位置がずれるため、この位置ずれを補正するものである。車高の推定は、令和 2 年度事業で開発した方式を用いた。本方式の概要を再掲する。考え方は図 2.3.1.1-17 を参照。

2 カメラに対して正しい車高で高さ補正を行った場合、両カメラの車両位置は一致するが、車高が正しくない場合にはカメラ間で位置ずれが発生する。そこで、高さ補正前のカメラ間位置ずれが最小となるフレームにおいて、車高をパラメータとして高さ補正後のカメラ間位置ずれを最小とする車高を探索して、これを推定結果とする。

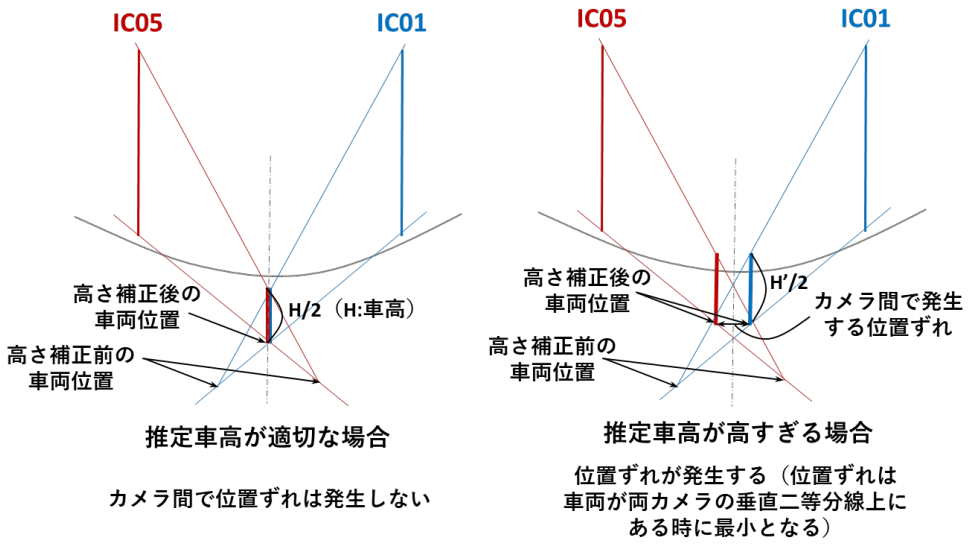


図 2.3.1.1-17　車高推定の考え方

車高推定には N2、N1 の 2 カメラを使用する。本方式による推定結果を表 2.3.1.1-5 に示す。真値との差異はシーン S03 で 14 cm あるが、道路面からのカメラ高さが低いため、車高推定の誤差が車両軌跡精度に大きく影響している。これについては（3）検証結果で述べる。

表 2.3.1.1-5　車高推定結果

シーン	推定車高（m）	真値（m）
S01	1.90	1.90
S02	1.90	
S03	3.10	3.24

（3）検証結果（軌跡データ抽出結果および軌跡精度予測結果）

各シーンにおける軌跡データの抽出結果を図 2.3.1.1-18 に、計測精度評価結果を図 2.3.1.1-19～図 2.3.1.1-21 に示す。全体的に、最初のカメラ（N2）に車両がフレームインした直後、および最終カメラ（K29）遠方で精度の悪化が見られるほか、所々で目標精度範囲（進行方向：±50 cm、横方向：±10 cm）を超える誤差が発生している。K32 カメラはカバー範囲が 80m と長いために精度の悪化が懸念されたが、オルソ変換行列を適切に求めることに加え、画面奥（カメラから遠方）の検出枠を使用しないことで、シーン S01, S02（乗用車）では比較的誤差を抑えられた。

以上をまとめる。シーン S01, S02（乗用車）では、フレームイン直後とフレームアウト直前の悪化（必然的な悪化）を除外すれば、目標精度範囲に概ね収まっている。しかし、シーン S03（トラック）では大きな精度悪化が多く見られ、これについては後述する。

各シーンの計測誤差の標準偏差を表 2.3.1.1-6 にまとめて示す。

表 2.3.1.1-6　計測精度評価結果

シーン	移動体	誤差の標準偏差 σ（m）	
		車両進行方向	横方向
S01	乗用車	0.3672	0.0884
S02	乗用車	0.6600	0.0466
S03	トラック	0.4571	0.1553

a）シーン 3 における精度悪化について

シーン S03 では、前述したトラックに対する車高推定の誤差（表 2.3.1.1-5 を参照）によって、シーン S01, S02 に比較して全体的に軌跡誤差が大きくなっている。画像認識の検出枠位置ずれによるランダム誤差に加えて、車高推定の誤差に起因する規則的な誤差が重畳され、特に横方向への精度劣化が著しい。

令和 2 年度事業の検討において、カメラ設置の路面からの高さが低い場合には高さ補正量が著しく大きくなるため、車高の差異が計測精度に大きく影響することが分かっている。

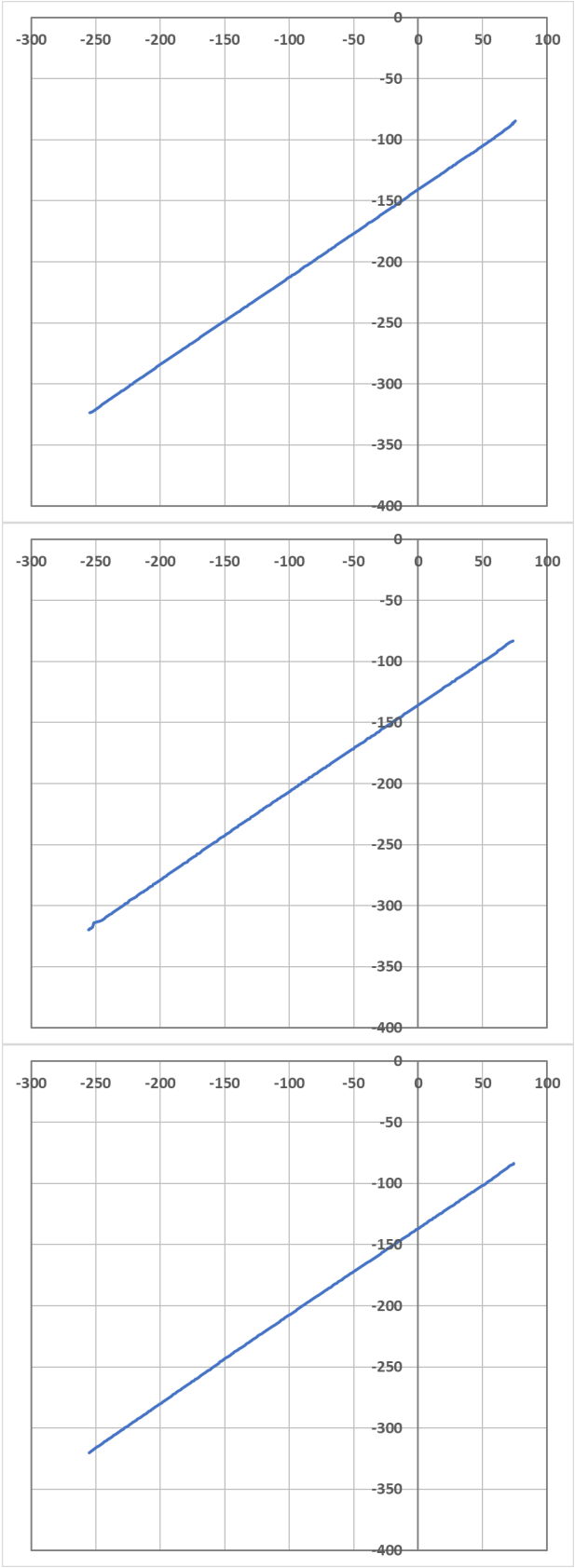
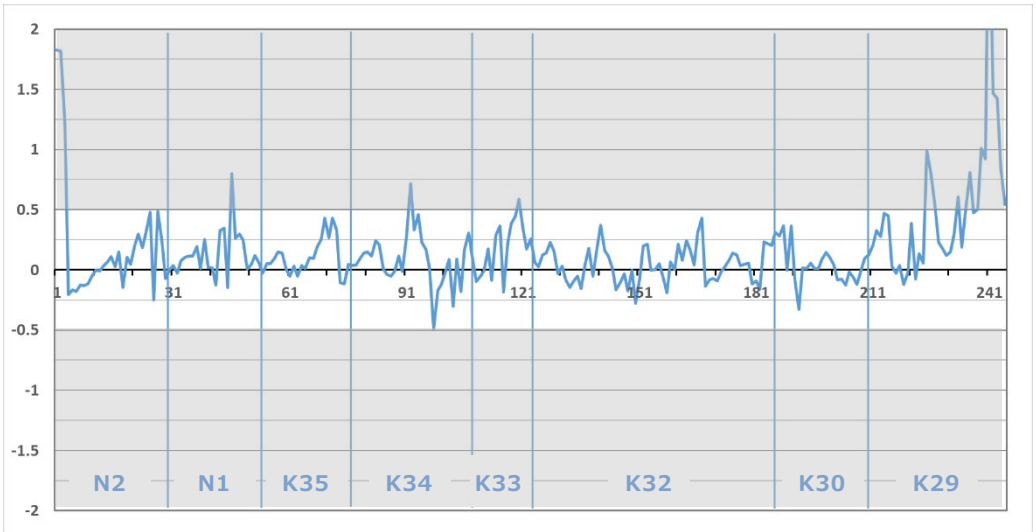
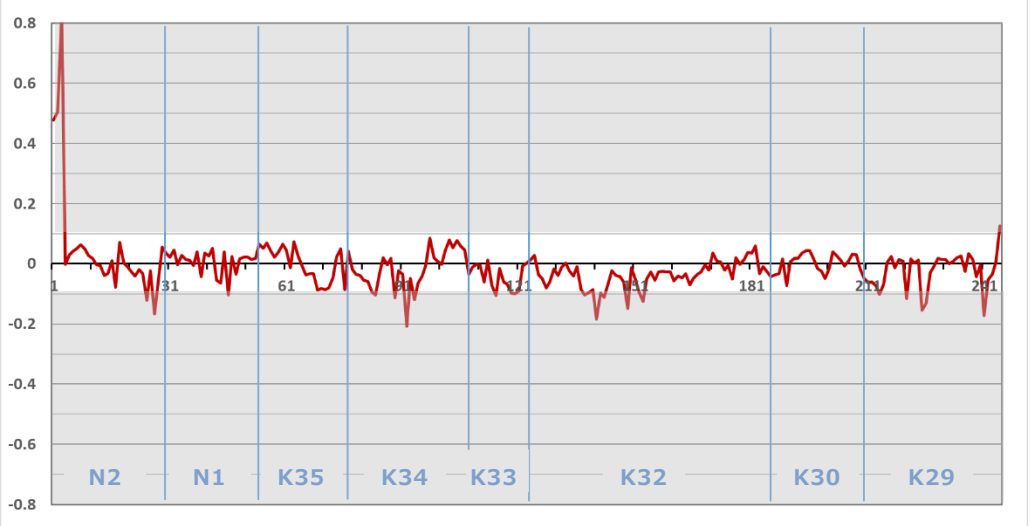


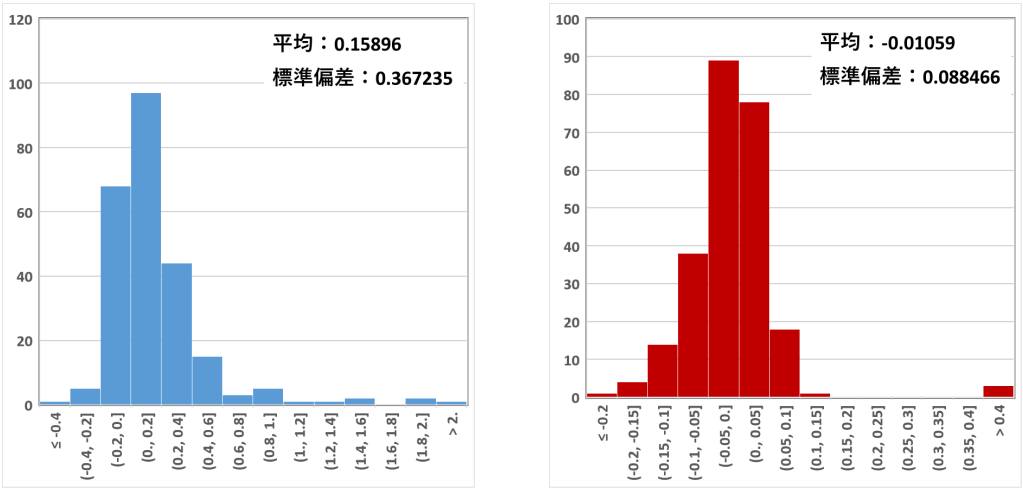
図 2.3.1.1-18　車両軌跡抽出結果（上段よりシーン S01, S02, S03）
（縦軸：Y 軸（西方向）、横軸：X 軸（北方向））



縦軸：車両前後方向の軌跡誤差[m]　、横軸：フレーム番号

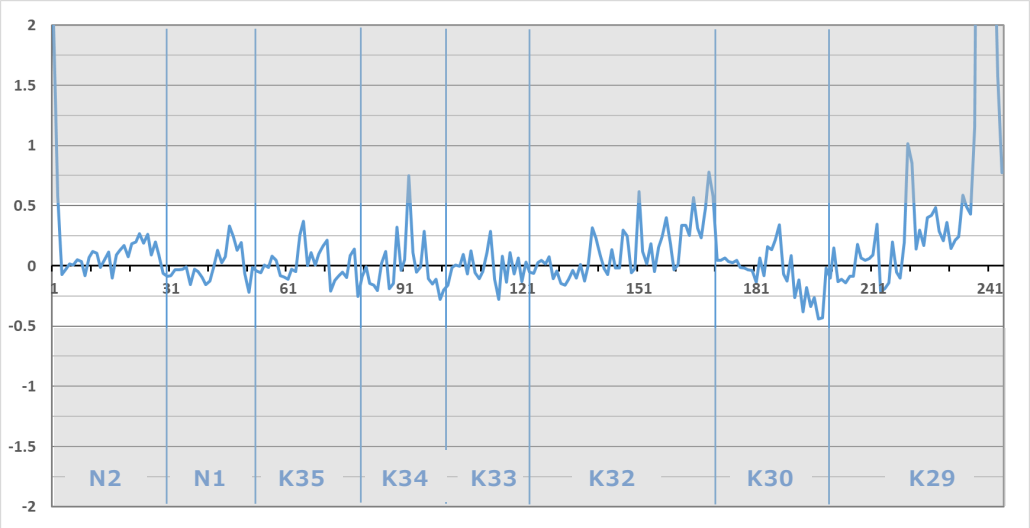


縦軸：車両横方向の軌跡誤差[m]　、横軸：フレーム番号

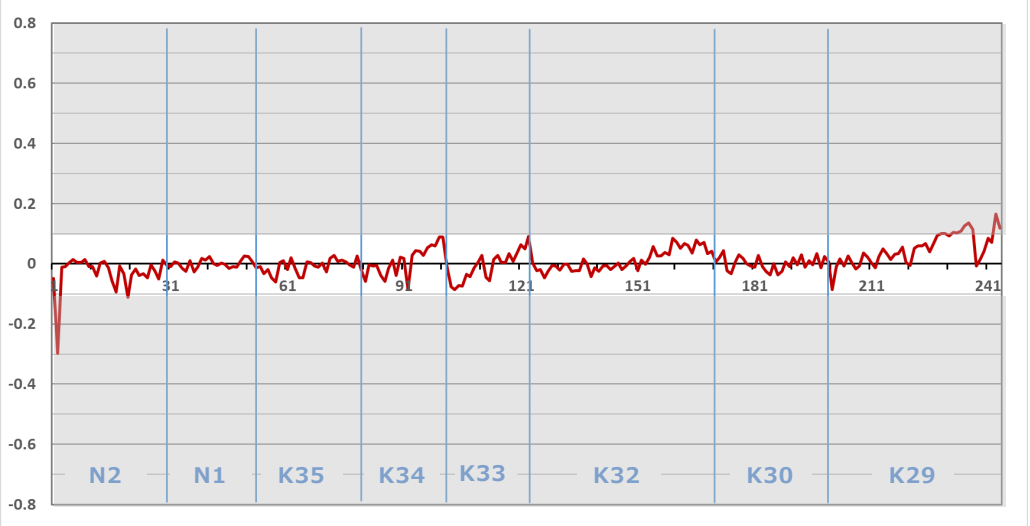


誤差の分布（左：進行方向、右：横方向　単位：m）

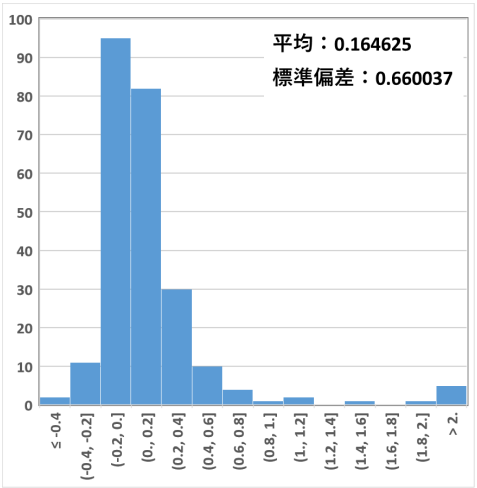
図 2.3.1.1-19　計測精度評価結果　シーン S01（乗用車、走行車線）

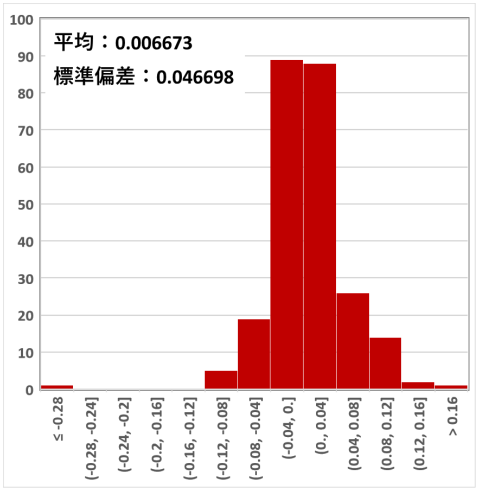


縦軸：車両前後方向の軌跡誤差[m]　、横軸：フレーム番号



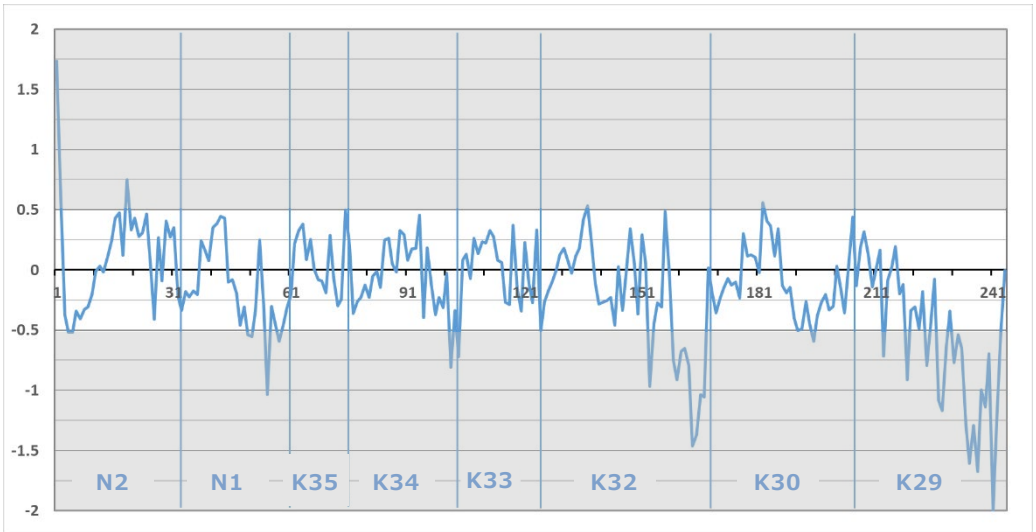
縦軸：車両横方向の軌跡誤差[m]　、横軸：フレーム番号



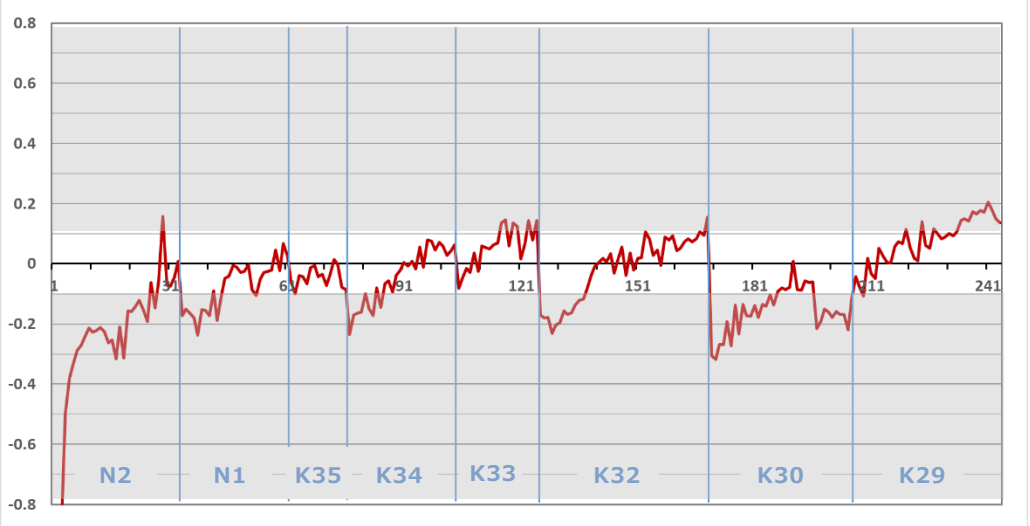


誤差の分布（左：進行方向、右：横方向　単位：m）

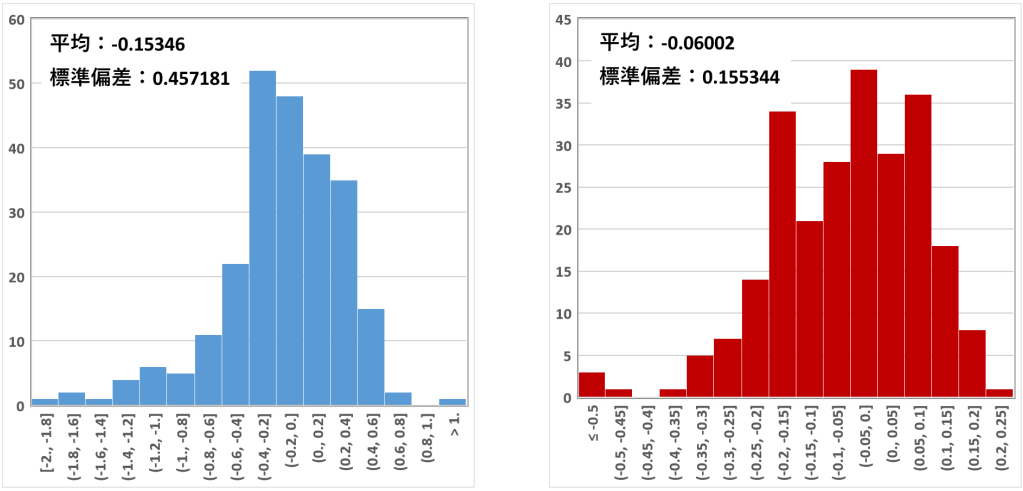
図 2.3.1.1-20　計測精度評価結果　シーン S02（乗用車、追越車線）



縦軸：車両前後方向の軌跡誤差[m]　、横軸：フレーム番号



縦軸：車両横方向の軌跡誤差[m]　、横軸：フレーム番号



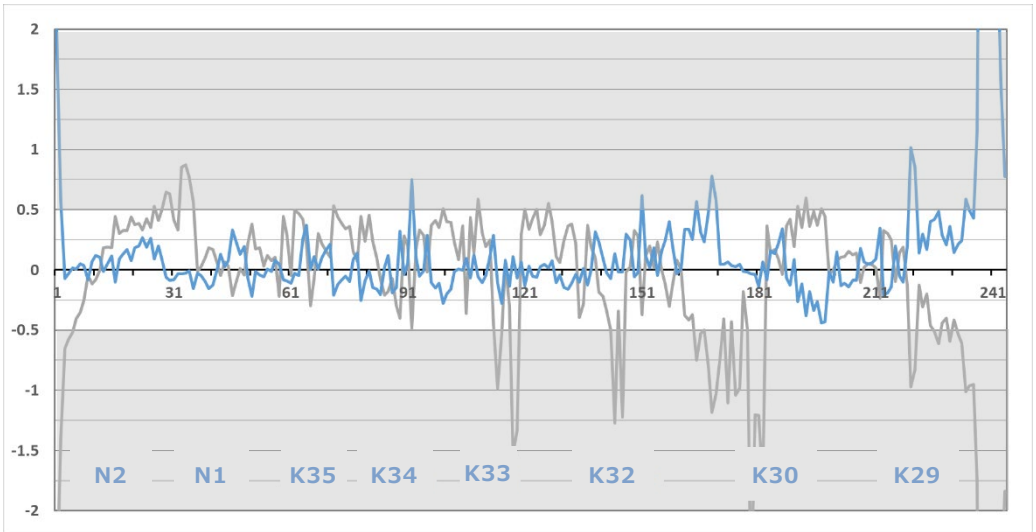
誤差の分布（左：進行方向、右：横方向　単位：m）

図 2.3.1.1-21　計測精度評価結果　シーン S03（トラック、追越車線）

b）車高推定誤差の影響

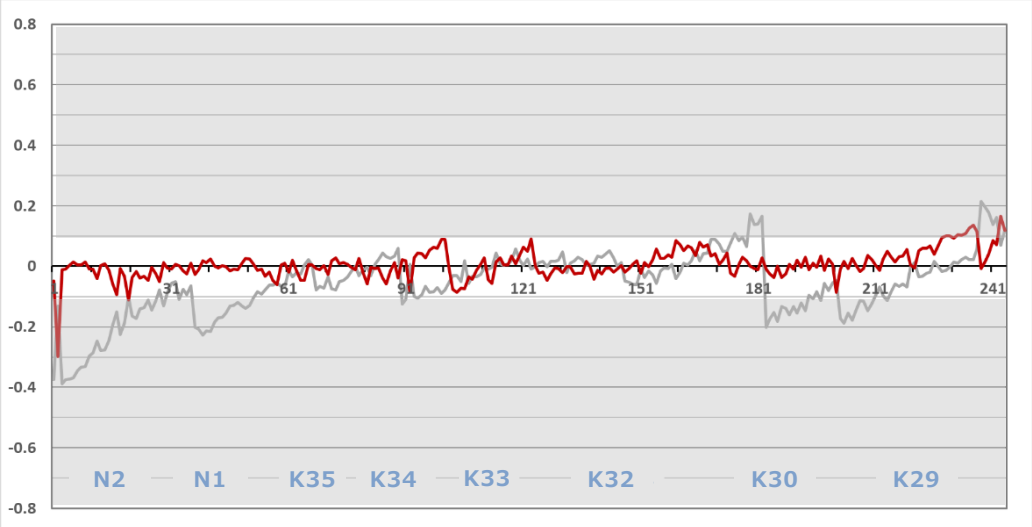
先に述べた車高推定誤差の影響を明らかにするため、シーン S02（乗用車）については車高推定値を意図的に悪化させ、シーン S03（トラック）については車高推定値に真値を挿入した場合について評価した。

シーン S02（乗用車）については、図 2.3.1.1-22 に示すように、車高推定の誤差が大きい場合、車両軌跡のカメラ間接続性が悪化し、推定誤差に起因する規則的な大きな誤差が出現した。シーン S03（トラック）については、図 2.3.1.1-23 に示すように、車高推定の誤差がなく、それに起因する規則的な大きな誤差が解消されていることが見て取れる。



縦軸：車両前後方向の軌跡誤差[m]　、横軸：フレーム番号

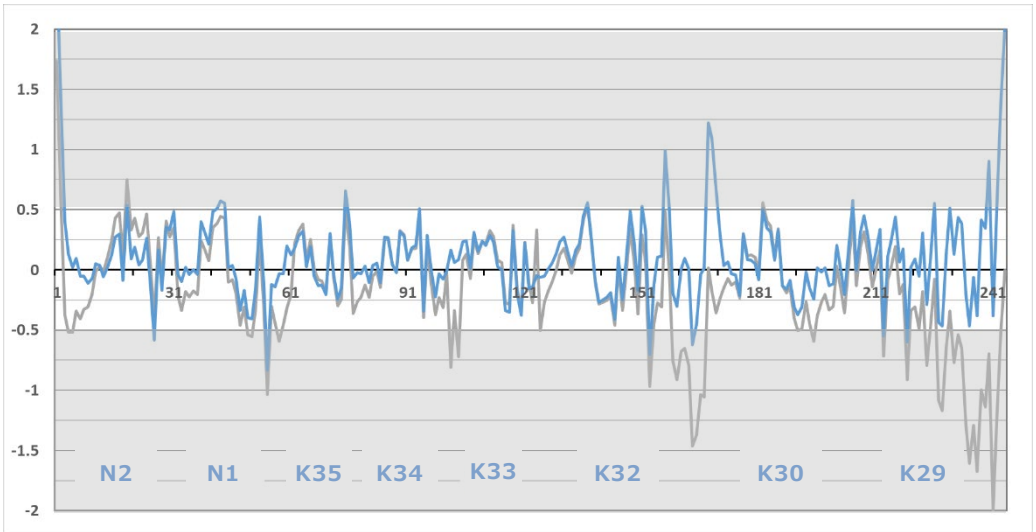
青線：車高推定値＝1.90m（真値）、グレー：車高推定値＝1.40m



縦軸：車両横方向の軌跡誤差[m]　、横軸：フレーム番号

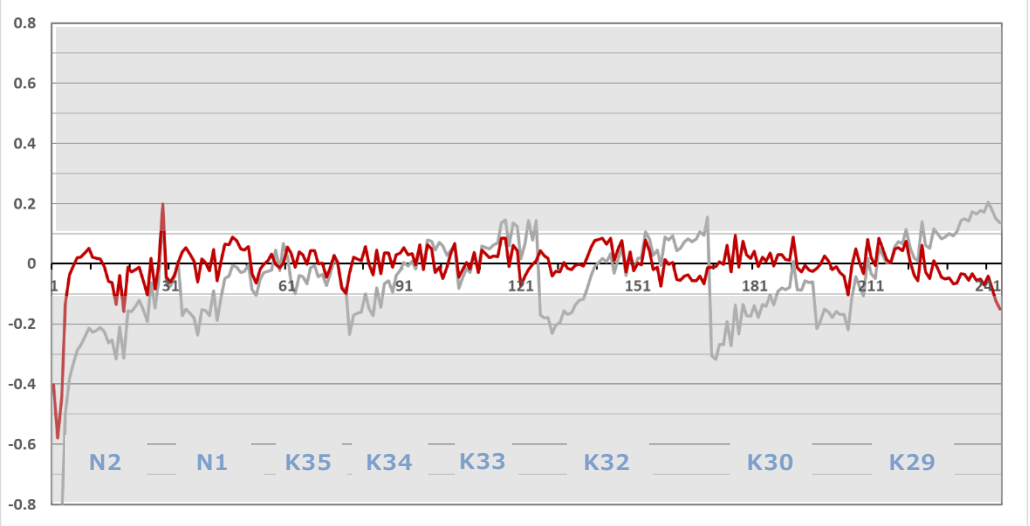
赤線：車高推定値＝1.90m（真値）、グレー：車高推定値＝1.40m

図 2.3.1.1-22　計測精度評価結果　シーン S02（乗用車、追越車線）



縦軸：車両前後方向の軌跡誤差[m]　、横軸：フレーム番号

青線：車高推定値＝3.24m（真値）、グレー：車高推定値＝3.10m



縦軸：車両横方向の軌跡誤差[m]　、横軸：フレーム番号

赤線：車高推定値＝3.24m（真値）、グレー：車高推定値＝3.10m

図 2.3.1.1-23　計測精度評価結果　シーン S03（トラック、追越車線）

（カメラ間の切り替えポイントは一致しないのでこれを示す線を省略）

（4）まとめ

SAKURA プロジェクトで取組むシナリオベースの自動走行システム安全性評価手法と基盤の構築において、継続的なシナリオ更新を可能とするために、協調利用の可能性がある外部既存データに対する要件の一つとして軌跡データ精度を確認する方法を検討した。具体的には、道路管理会社が中心となるプロジェクト A が所有する「道路インフラ（照明柱）に設置した定点カメラで収集した映像を元に抽出した車両軌跡データ」を例題として想定し実施した。

・プロジェクト A で実施する「定点カメラ観測の撮影仕様（カメラスペック、カメラ設置位置、カメラ画角など)」と 3D 地図データを組込んだバーチャル環境を構築して各カメラの映像 CG を作成し、画像処理・追尾処理（SAKURA 仕様）を施して軌跡を抽出して、車両シナリオ走行モデルからの軌跡真値との比較により軌跡精度（誤差）を予測（評価）した。

・例題に対する評価結果（軌跡精度予測結果）をまとめる。車高が低い乗用車モデルでは、概ね目標精度（車両前後方向：±50cm、車両横方向：±10 cm）に収まったが、車高が高いトラックモデルでは、各カメラの軌跡導出範囲に同期した規則的で大きな誤差が生じて目標精度を頻繁に逸脱した。カメラ設置高（8m 以下）が、カメラ設置間隔（多くが 40m、一部 80m の場所もあり）に対して低いことに起因すると推察する。また、全体的にランダムで高周波の軌跡誤差が大きく、これは認識枠ズレ（画素数不足など）に起因すると推察する。

・定点カメラ撮影仕様を組込んだバーチャル環境を使った軌跡精度予測により、外部既存データの軌跡精度に関する「ポテンシャルと課題（活用する場合の留意点など)」を把握することが出来た。SAKURA プロジェクト（自動走行システム安全性評価）においては、これら予測結果を踏まえた上でのデータ活用が必要と考えられる。

2.3.2 協調利用の可能性がある外部データ（ドライブレコーダデータ）

SAKURA プロジェクトでは、プロジェクト内で収集した実交通流データ（交通参加者の軌跡データ）をもとに、安全性評価シナリオのパラメータ統計分析を行うことで、合理的に予見可能な範囲を特定化するなど自動運転（以下、「AD」という）車の安全性評価の手法と、それを実際の開発プロセスに活かすための基盤（運用のためのしくみ）を検討している。

2.3 で述べたように、AD 車の走行領域や機能は進化していくものであり、このような進化に合わせた安全性評価の実施が求められる。さらに、AD 車や先進安全装備の普及に伴って、交通環境が変化する可能性もあり、そのような変化を継続的に反映できるシナリオ更新（合理的に予見可能な範囲の更新など）の仕組みを検討する必要があると考えている。一方で、一つのステークホルダーだけで継続的に多量のデータを収集・計測し、必要・十分な数のデータを担保ことは非常に困難であると推測する。

そこで、2.3.2 では比較的簡単に入手が可能であると推測するデータであるドライブレコーダデータ（映像）を用いたシナリオ更新の可能性を検討し、要件案の整理と課題の抽出を行った。

2.3.2.1 ドライブレコーダデータ（映像）に対する要件検討

ドライブレコーダによる映像データは、画素数や走行場所によっては著しく画像認識の精度が落ちてしまい、画像認識自体がかけられない、または認識結果が不適当といったような結果が発生する可能性がある。そのため、画像認識として利活用可能なドライブレコーダの映像や映像におけるシーン要件の検討を実施した。今回の検討では画像認識ツールは汎用性の側面も鑑みて市販ツール[1]を活用し、要件の検討を実施した。

（1） 得意シーンの整理

市販の画像認識ツール[1]による分析結果を用いて、ドライブレコーダで収集された映像において得意なシーンに関しての検討を実施した。

画像認識では、解像度が高ければ高いほど 1pixel 当たりの大きさが小さくなるため画像認識にとっては有利である。SAKURA プロジェクトにおいては、2.3.1 でも述べたように、軌跡データの目標精度（目安）を、車両前後方向：±50cm 以内、車両横方向：±10cm 以内としているため、画像認識をかける場合はなるべく高解像度の映像が好ましいが、量と質のトレードオフとなる。SAKURA プロジェクトのシナリオ更新などに利用可能なデータとして、映像の解像度に関しての要件は、HD（1280×720）以上の解像度かつブロックノイズが少ない映像と定めるが、具体的な使用用途によっては目標精度を下げられる可能性があるため、これ以下の解像度のデータも利活用の可能性はある。

次に、画像認識結果が良好なシーンを図 2.3.2.1-1 に示す。画像認識技術と三次元位置推定を組み合わせることにより自車および周囲物の位置を推定[1]するため、インフラ（標識や白線など）やオブジェクト（建物や）が映像に含まれていることで精度の高い軌跡推定が可能となる。



図 2.3.2.1-1　画像認識結果が良好なシーン

（2）　不得意シーンの整理

市販の画像認識ツール[1]による分析結果を用い、ドライブレコーダで収集された映像において不得意シーンに関しての検討を実施した。

不得意シーンに関して図 2.3.2.1-2 に示す。画像認識では、逆光、遮蔽物による視野の遮蔽は物標抽出に影響が出てしまい軌跡推定精度の低下につながる。また、特徴点や変化が捉え辛い、同じような景色が続くシーンや自車があまり動かないシーンなども軌跡推定精度の低下につながる。



図 2.3.2.1-2　不得意なシーン

2.3.2.2　ドライブレコーダ映像の軌跡推定

ドライブレコーダ映像から抽出した軌跡に関しての説明を行う。ドライブレコーダにおける映像データはイベントベース（大きな減速度が発生した場合や事故・ニアミスなど）での録画となっているため、SAKURA プロジェクトにおけるシナリオ抽出のプロセスの必要はない。そのため、ドライブレコーダを分析し、抽出した軌跡データはそのままシナリオのパラメータデータとして利活用できるというメリットがある。一方で、イベントベースという事もあり、その映像データがどのシナリオに相当するかは人手などによる情報付けが必要となる。また、イベントベースであるため、交通流全体を俯瞰できるデータではなく、事故やニアミスといった特殊な事例のパラメータなどの補完に役に立つと言える。

図 2.3.2.2-1 と図 2.3.2.2-2 に解析に用いたドライブレコーダ映像と解析結果の一例を示す。隣の車線を走っている車両の急な割り込み（カットイン）により自車が急減速をするニアミス事例の分析結果である。図 2.3.2.2-2 の分析結果より、自車の隣のレーンを走っている他車両がその先行車両が減速したことで、自車の前に入ってきたという事が軌跡情報として抽出することができた。そのため、この軌跡情報を用いることでシナリオにおけるパラメータ分布の更新（合理的に予見可能な範囲の更新など）が可能となる。



図 2.3.2.2-1　カットインでのニアミス事例（映像）

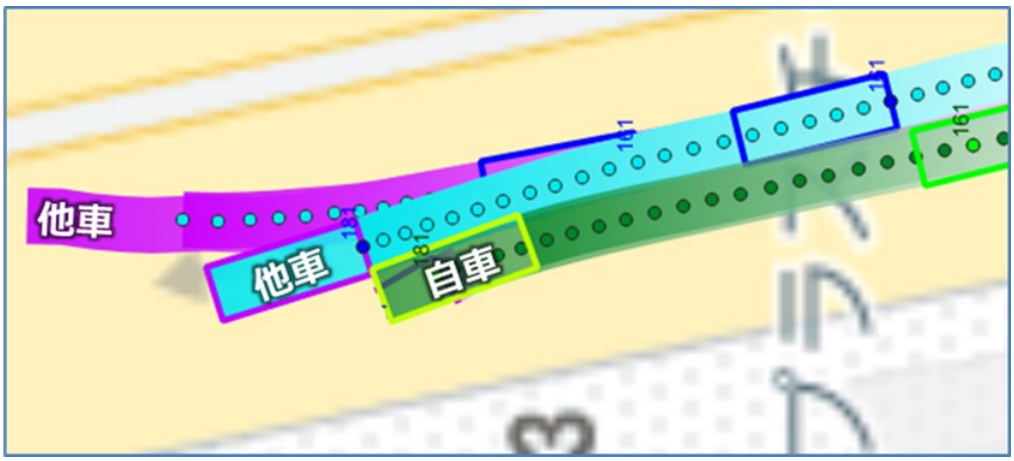


図 2.3.2.2-2　カットインでのニアミス事例（軌跡情報）

2.3.2.3　シナリオフォーマット落とし込みの課題

この軌跡情報を標準的なシナリオフォーマット[2]に落とし込むためには、一つの大きな問題が存在する。ドライブレコーダは車に装着されるものであり、そこから生成される軌跡情報はあくまでドライブレコーダ設置場所を基準にした座標軸（相対座標系）となる。一方で、シナリオは俯瞰的に自車および他車の動きを表したものとなるため、道路を基準（図 2.3.2.3-1）とした道路座標系（絶対座標系）への変換が必要となる。SAKURA プロジェクトにおいては計測車両で収集されたデータは高精度地図などを用いたマップマッチング技術を用いて相対座標系から絶対座標系に変更している。そのため、ここで生成された軌跡情報はパラメータ範囲の更新にはすぐに活用可能ではあるもののニアミス・事故事例といった特殊なケースをそのままシナリオ化（OpenScenario などのシナリオフォーマット）するためには座標変換が必須となる。

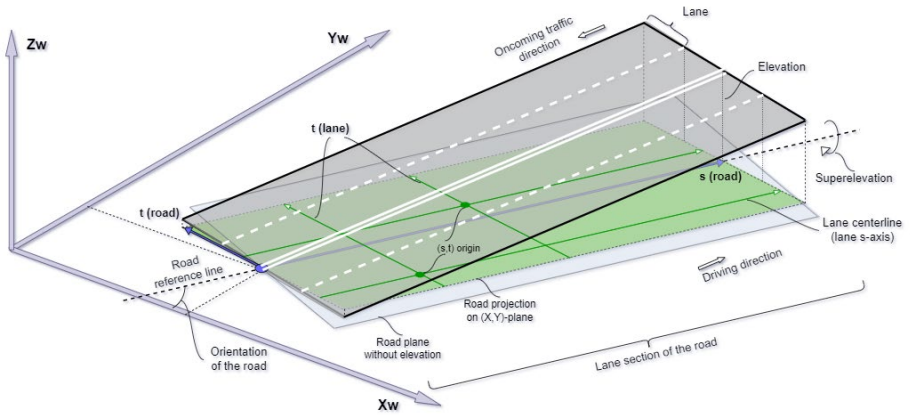


図 2.3.2.3-1　OpenScenario における座標系の考え方[2]

2.3.2.4　まとめ

ドライブレコーダデータ（映像）に求める要件案を以下のように定義した。

・HD（1280×720）以上の解像度かつブロックノイズが少ない
・地物（静止物）や白線などのインフラ、移動物がしっかりと見えている
・明暗差や大きな遮蔽物が無い
・同じようなパターンが繰り返し出てこない

これらの要件を満たすドライブレコーダデータであれば精度の担保された軌跡情報の抽出が可能となる。一方で、2.3.2.1（1）でも述べたように、具体的な使用用途によっては目標精度を下げられる可能性があるため、上記要件を満たさないデータであっても利用価値のあるデータとなる可能性は十分に考えられる。

ドライブレコーダ映像に対して分析を実施して抽出された軌跡情報を用いることでシナリオにおけるパラメータ分布の更新（合理的に予見可能な範囲の更新など）が可能となる。一方で、標準的なシナリオフォーマット[2]に落とし込む際には座標変換が必要となる。

参考文献

[1]　富士通　Digtal Twin Analyzer
https://www.fujitsu.com/jp/solutions/business-technology/future-mobility-accelerator/digital-twin/#anc-analyzer
（2023 年 3 月現在）

[2]　ASAM OpenScenario v2.0.0
https://www.asam.net/static_downloads/public/asam-openscenario/2.0.0/welcome.html　（2023 年 3 月現在）

2.4　シナリオベースの AD 安全性評価試験法のあり方に関する検討

自動運転の安全性評価に関しては、国連でも NATM（New Assessment/Test Method for Automated Driving）で議論が行われているように、シミュレーション、テストコースでの実車試験やフィールド実証実験（FOT）等の各種試験法の長所を組み合わせて評価することが想定される。そのため、AD のような複雑な制御機能に関しては、多岐（網羅的）にわたるテスト項目をシミュレーションで効率的に実施し、現物で確認しなければならないであろう必要最低限の項目に関してはテストコースでの実車試験を行うことでトータルでの安全性の証明を実施していくものと推測する。

安全性評価の手法として本事業（SAKURA プロジェクト）においては、SAKURA プロジェクトで構築しているシナリオ DB からシナリオを抽出し、その抽出されたシナリオ（OpenScenario フォーマット）をシミュレーション環境に入れ込み、シミュレーション環境にて安全性評価を実施していくことを想定している（安全性評価基盤）。しかしながら、その安全性評価に活用されるシミュレーション環境自体の妥当性が検証されない限り、シミュレーションでの安全性評価結果は正しいものとして扱うことはできない。そのため、現場環境に適応するためにはシナリオ DB だけではなく、シミュレーションの妥当性を検証するための実車試験法のあり方を研究しておくことが重要である。シミュレーションの妥当性検証に関しては JAMA が出している「自動運転の安全性評価フレームワーク Ver3.0」の Annex.G[1]にシミュレーションの妥当性確認の方法が記載されている。

本節では、シミュレーションの妥当性検証の為に必要な実車試験のあり方に関しての検討結果を述べる。既存の模擬車両（ダミー車両）および自動運転システム搭載車両を用いたカットインシナリオ再現可否確認試験を実施するとともに、シミュレーションの妥当性検証に向けたプロセス（図 2.4-1）遂行により抽出された課題の整理を実施した。

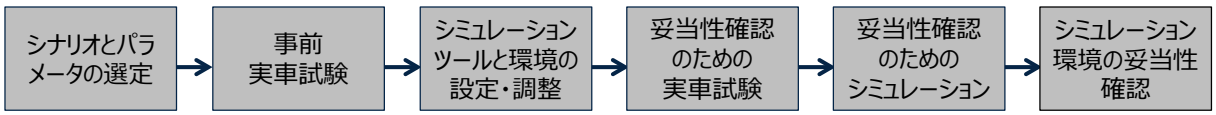


図 2.4-1　シミュレーションの妥当性検証に向けたプロセス

参考文献

[1]　一般社団法人日本自動車工業会　自動運転の安全性評価フレームワーク Ver.3.0、
https://www.jama.or.jp/operation/safety/automated_driving/pdf/framework_ver_3_0.pdf
（2023 年 3 月現在）

2.4.1 模擬車両と挙動再現性

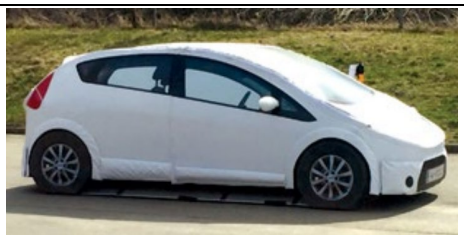
2.4.1.1 車両ターゲットと移動装置

（1）車両ターゲット

ALKS（Automated Lane Keeping Systems：自動車線維持システム）シナリオにおいては、自車前方を走行する／自車前方に進入してくる先行車や、さらにその前を走行する先々行車両を模擬する車両ターゲットが必要になる。自動車に係る試験・実験用途として一般的に市販されており入手可能な車両ターゲットを表 2.4.1.1-1 に整理する。

車両を模擬するターゲットに関しての規定として、国際規格（ISO19206-1[1]、ISO19206-3[2]）が発行されている。既存の車両ターゲットは、ADAS 評価において特に衝突被害軽減ブレーキ（以下、「AEBS」という）試験への活用を主目的に開発されている。2010 年代前半より各国 NCAP において AEBS の評価試験が開始されたが、いずれの NCAP においても前方車両への追突軽減性能評価からスタートしており、車両後部のみを模擬した形状の標準的な車両ターゲットが必要であったことから、先ずこのような車両後部のみを模擬したターゲットについての規定である ISO19206-1 が 2018 年に発行された。近年は、隣接車線からのカットインや、交差点での右直、また将来的には出会い頭事故や正面衝突事故の軽減を目的とした性能評価に対応するため、車両全周を模擬する 3D タイプのターゲットが主流になってきており、それらの規定は 2021 年に ISO19206-3 として発行された。各国・地域に先行して交差点場面での AEBS 評価を実施している Euro NCAP においては、3D ターゲットとして DRI360 が採用されている。

表 2.4.1.1-1　一般的な自動車試験用途の車両ターゲット

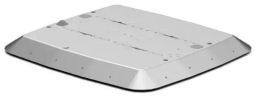
ターゲット名称	ターゲット概観	主な仕様
Euro NCAP Vehicle Target		・サイズ：1000mm(L)x1600mm(W)x1350mm(H) ・重量：(【実測】45kg) ・衝突上限速度：未公表 ・ISO 適合：19206-1 ・使用実績：Euro NCAP, JNCAP, IIHS, C-NCAP, ASEANNCAP
NHTSA Vehicle Target (SSV)		・サイズ：未公表 ・重量：未公表 ・衝突上限速度：32.2km/h ・ISO 適合：19206-1 ・使用実績：NHTSA
3D Foam and Inflatable Vehicles Targets		・サイズ：未公表 ・重量：未公表 ・衝突上限速度：50km/h ・ISO 適合：不明
4activeC2		・サイズ：4060mm(L)x1800mm(W)x1430mm(H) ・重量：80kg 未満 ・衝突上限速度：50km/h ・ISO 適合：19206-3
Inflatable 3D Vehicle Dummy – for Active Side Crashes （セダンタイプ）		・サイズ：4500mm(L)x1800mm(W) ・重量：(【実測】48kg) ・衝突上限速度：80km/h ・ISO 適合：不明
Inflatable 3D Vehicle Dummy – for Active Side Crashes （ハッチバックタイプ）		・サイズ：未公表 ・重量：50kg ・衝突上限速度：65km/h ・ISO 適合：不明
DRI360		・サイズ：4023mm(L)x1712mm(W)x1427mm(H) ・重量：108kg ・衝突上限速度：未公表 ・ISO 適合：19206-3 ・使用実績：Euro NCAP(2020～)

（2） ターゲット移動装置

車両の走行を模擬するためには，可動部となるターゲット移動装置が必要になる。各国NCAP 等で使用されている代表的な移動用装置を表 2.4.1.1-2 に整理する。

主に歩行者や二輪車のターゲットを搭載することを目的とした比較的小型の装置と、主に普通自動車のターゲットを搭載して 100km/h 以上の高速走行でも安定性が確保される大型の装置とがある。既に 3D ターゲットを使用している Euro NCAP の試験法では他車両（模擬車両）の速度は最大 80km/h であることから、大型装置の最高速度はこれを包含する 100km/h が基本的な仕様とされている。

表 2.4.1.1-2 一般的な自動車試験用途のターゲット移動装置

装置名称	装置概観	主な仕様
4activeFB Small		・最高速度：80km/h ・発生最大減速度：5m/s²（走行速度による） ・サイズ：2200mm(L)x 900mm(W) ・搭載可能なターゲット：歩行者，二輪車，動物
UFO micro		・最高速度：80km/h ・発生最大減速度：6m/s² ・サイズ：1050mm(L)x980mm(W)x 70mm(H) ・搭載可能なターゲット：歩行者，自転車，二輪車
LaunchPAD		・最高速度：60km/h ・発生最大減速度：6m/s² ・サイズ：917mm(L)x875mm(W)x65mm(H) ・搭載可能なターゲット：歩行者，自転車，二輪車，動物
4activeFB Large		・最高速度：100km/h ・発生最大減速度：6m/s²（走行速度による） ・サイズ：2400mm(L)x1400mm(W) ・搭載可能なターゲット：車両
UFO Pro		・最高速度：100km/h ・発生最大減速度：6m/s2（50-0kph） ・サイズ：2950mm(L)x1690mm(W) x98mm(H) ・搭載可能なターゲット：車両
GST		・最高速度：100km/h ・発生最大減速度：0.8G ・サイズ：2950mm(L)x1680mm(W) x100mm(H) ・搭載可能なターゲット：車両

2.4.1.2　模擬車両によるシナリオ再現性検討

ALKS シナリオにおける模擬車両の運動学的な車両挙動再現性に関して、ターゲット移動装置の単体の加減速度や最高速度の仕様は製作者などにより公表されている。ただし、カットインシナリオの重要なパラメータの 1 つである横移動速度については、車両ターゲットを積載した模擬車両の状態での知見がなく、どの程度の挙動の再現が可能か把握しておく必要がある。

そこで、模擬車両（ターゲット移動装置＋車両ターゲット）を試験路で実際に走行させ、カットインシナリオを設定した挙動データを取得し、模擬車両にて物理的に再現できる ALKS シナリオの範囲を検討した。

（1）　検討データの取得方法

実施した模擬車両の挙動データ取得方法を表 2.4.1.2-1 に整理する。本データ取得は、2 機種（GST と UFO Pro（以下、単に「UFO」と記す））のターゲット移動装置に、Euro NCAP にも採用されている車両ターゲット（DRI360）をそれぞれ載せた状態で行った。使用したコースを図 2.4.1.2-1 に示す。いずれの実験においても路面はドライであり、模擬車両の挙動に影響を与える風速の高い状況がないことを事前に確認している。

ALKS シナリオでカットイン車両の試験条件とされているパラメータとしては、速度および横移動速度がある。模擬車両を条件にあわせて走行させるための制御設定は、GST／UFO それぞれ専用に用意されたソフトウェアで行った。ソフトウェア上での設定パラメータのイメージを図 2.4.1.2-2 示す。セット①については、図上段のように、装置の移動速度を規定し、カットインの横移動の再現は指定縦移動距離に対する横移動量で規定する構成になっている。この 3 つのパラメータにより横移動速度が決まるが、今回のデータ取得においては、横移動量を標準的な自動車専用道の車線幅（3.5m）とし、移動速度ごとに、横移動速度が最小 0.6m/s から最大 3.0m/s となる値に指定縦移動距離を複数設定した。セット②の UFO 制御においても、専用ソフトウェア上でセット①と同様に指定縦移動距離と横移動距離で設定することも可能であるが、この方法では想定した軌跡に対する追従性が高くなかった。そこで、セット②の挙動データは、図下段のイメージで、旋回半径と旋回角度および直進距離を詳細に設定した。その際、旋回の半径と角度に関しては、旋回中の挙動が不安定にならない程度にできるだけ旋回半径を小さくした上で、想定する横移動量が 3.5m になるよう旋回ヨー角度と直線移動距離を設定した。

模擬車両の挙動データは、各ターゲット移動装置のデータ記録機能を用いて、RTK 方式 GPS により移動速度と車両位置、および地上座標系に対しての車両ヨー角を 100Hz で取得した。なお、以降の座標系については、図 2.4.1.2-1 の左上に表すように車線に平行な成分を X 方向、車線に垂直な成分を Y 方向として記す。

表 2.4.1.2-1　模擬車両によるカットインシナリオデータ取得方法

	セット①	セット②
ターゲット	DRI360	DRI360
移動装置	GST	UFO Pro
コース	Jtown：多目的市街地	Jtown：多目的市街地
路面	ドライ	ドライ
シナリオ設定	・走行速度　：10～40km/h ・横移動量　：3.5m ・想定横移動速度　：0.6～3.0m/s ※縦横の移動距離を指定	・走行速度　：10～40km/h ・横移動量　：3.5m ・想定横移動速度　：0.6～3.0m/s ※旋回の半径とヨー角を指定
取得データ	・位置（X,Y）　（100Hz） ・走行速度　（100Hz） ・加速度　（100Hz） ・ヨー角　（100Hz）	・位置（X,Y）　（100Hz） ・走行速度　（100Hz） ・加速度　（100Hz） ・ヨー角　（100Hz）
走行風景		

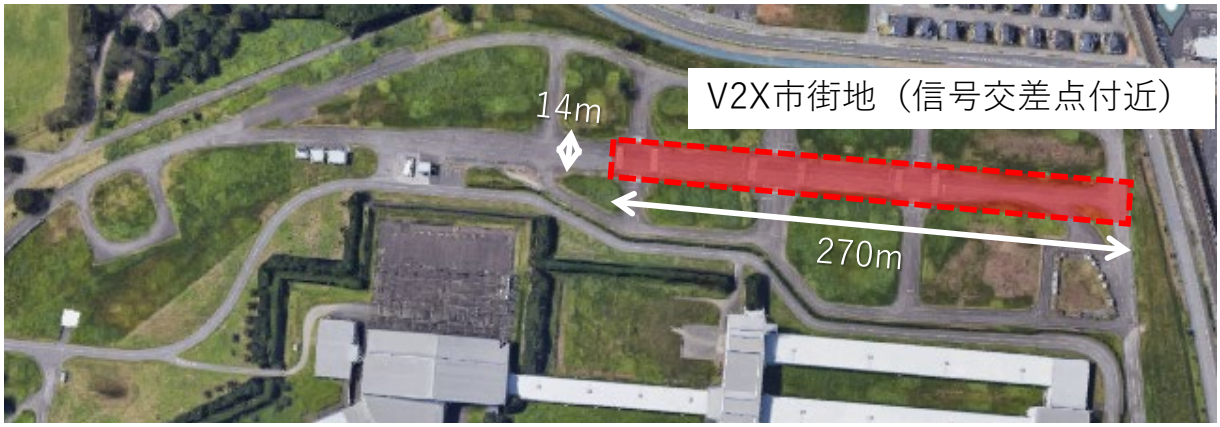


図 2.4.1.2-1　JtownV2X 市街地（中央直線路信号交差点付近）

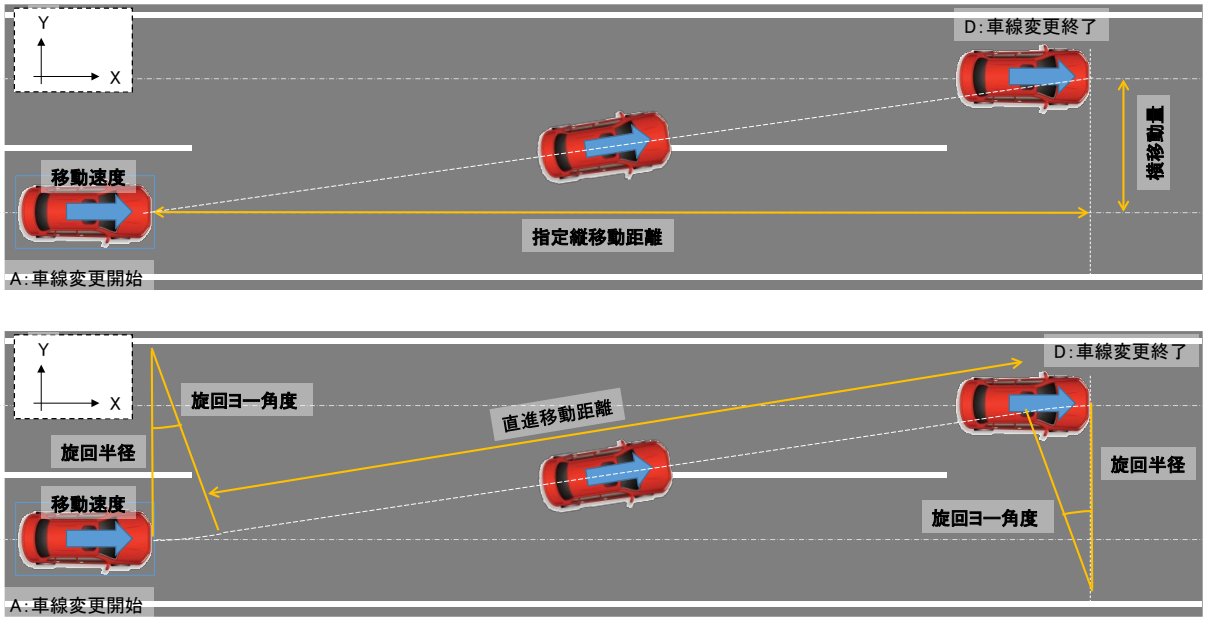


図 2.4.1.2-2　ターゲット移動装置によるカットインシナリオ設定パラメータのイメージ
（上段：GST／下段：UFO Pro）

（2）　データの解析と結果

各走行で得られた移動装置の位置およびヨー角から、車両ターゲットのカットイン方向前輪外縁中心に相当する位置を求め、車線変更開始地点からの移動量を横位置として整理した。結果の例を図 2.4.1.2-3 に示す（赤色の車：模擬車両、灰色の車：AD 車）。例示の結果では、図上段の解析イメージに示す A：車線変更開始（0.0s）から横移動が始まり、おおよそ 3.3s 後に 1 車線分として想定した 3.5m の D：車線変更終了に到達している。この時、横移動量である 3.5m を要した時間 3.3s で除すると、平均横速度は 1.1m/s となる。

ALKS シナリオにおいて、実際に AD 車両が他車両のカットインを認識して対応するタイミングを考慮すると、必ずしもこの平均横速度が有用とはいえない。「自動運転の安全性評価フレームワーク[3]」のカットインシナリオ安全性判定においては、カットイン判断境界として一般ドライバが車線内でふらつく範囲の振幅：0.375m が定義されており、有能かつ注意深いドライバ（以下、「C&C ドライバ」という）は他車両が車線変更してくることの判断をこの 0.375m を超えた時点以降で行うとしている。故に、AD 車両もカットイン車両が 0.375m の境界を超えるまでは、その車両のカットインを判断することが難しい可能性がある。一方、カットインの検出タイミングに関して、既存の ADAS 性能から技術フィージビリティを考えると、Euro NCAP の AEBS 対車両追突性能試験においては、試験車両と先行車両とのラップ率を 50%に設定した評価が行われており、ラップ率 50%の場合には衝突を判断して回避制御が開始することを期待している。すなわち、AD 車両が車線中央を走行していたとすると、カットインする車両が AD 車両の走行する車線の中央に到達する時点までの横移動が重要といえる。そこで図 2.4.1.2-3 の B：カットイン判断境界と C：車線中央を考えると、例示した挙動データでは、約 0.5s の時点で

0.375m に到達し、その約 1.5s 後に車線中央（2.6m 横移動）を超え、この間の平均横移動速度はおおよそ 1.5m/s と求められる。またこの間の横方向位置の変化量はほぼ一定であり、この制御設定の横移動速度の代表値として有用であると考えられる。

得られた全挙動データについて、B-C 間の平均横移動速度を求めた結果を図 2.4.1.2-4 および図 2.4.1.2-5 に示す。図では、走行条件ごとに 5 回ずつデータを取得した結果の最大値と最小値の範囲をそれぞれ示している。走行速度条件ごとに、セットごとの最大値を比較すると、10km/h の場合にはセット②の方が値は大きいが、速度が高くなるのに応じてセット①の最大値の方が大きくなる傾向がみられた。

高い走行速度域での横移動速度が高く得られたセット①の各走行について、発生していた横加速度の最大値、および最大値の 90%を超えた地点（車線変更開始地点を原点とした車両ターゲット前輪外縁中心の Y 位置）との関係を解析・整理した結果を図 2.4.1.2-6 に示す。今回の走行条件では、30km/h と 40km/h において、最も高い横加速度が発生しており、その値はおおよそ 4.5m/s^2 であった。また、走行速度によらず、車線変更開始位置の近傍で即座に横加速度を発生していることが確認できる。

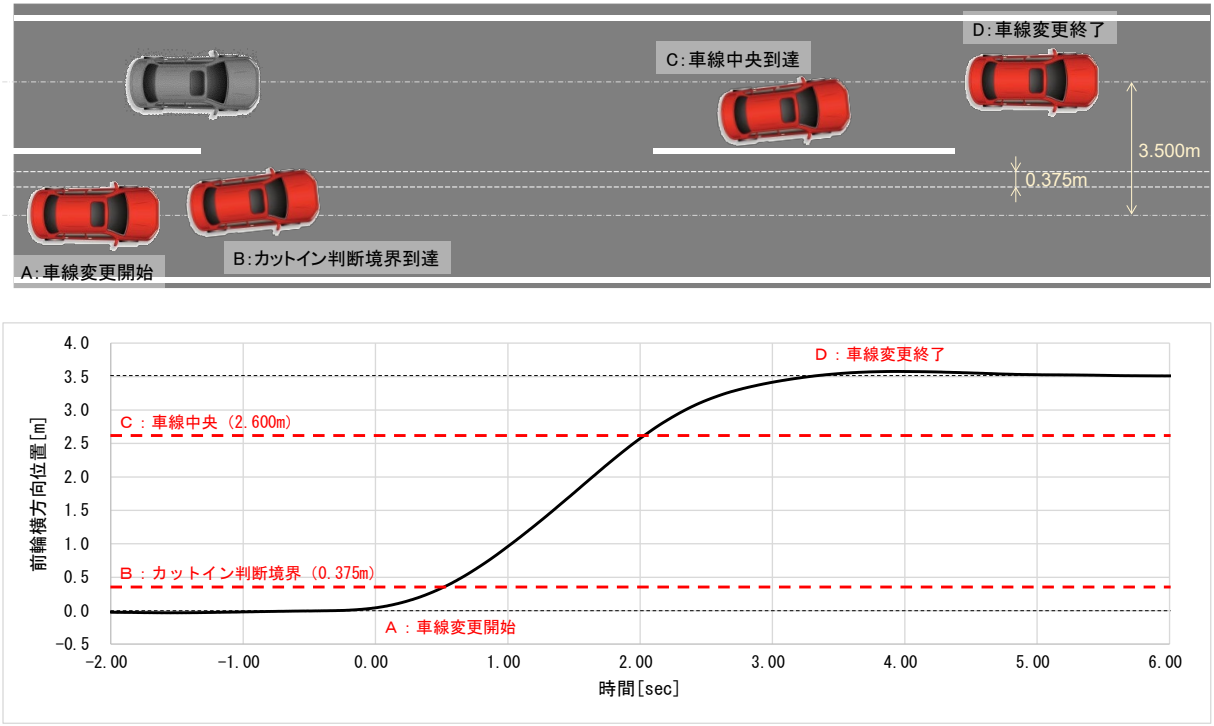


図 2.4.1.2-3　車両ターゲット前輪外縁中心相当位置の横移動量の例
（シナリオ設定：30km/h、1.2m/s）

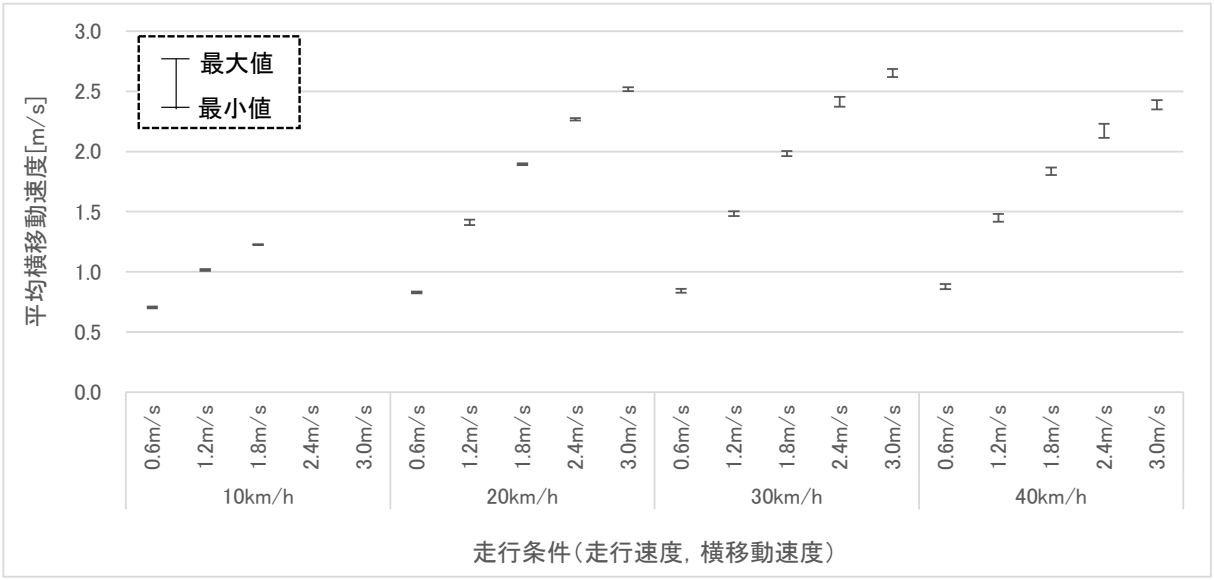


図 2.4.1.2-4　走行条件ごとの平均横移動速度（セット①）

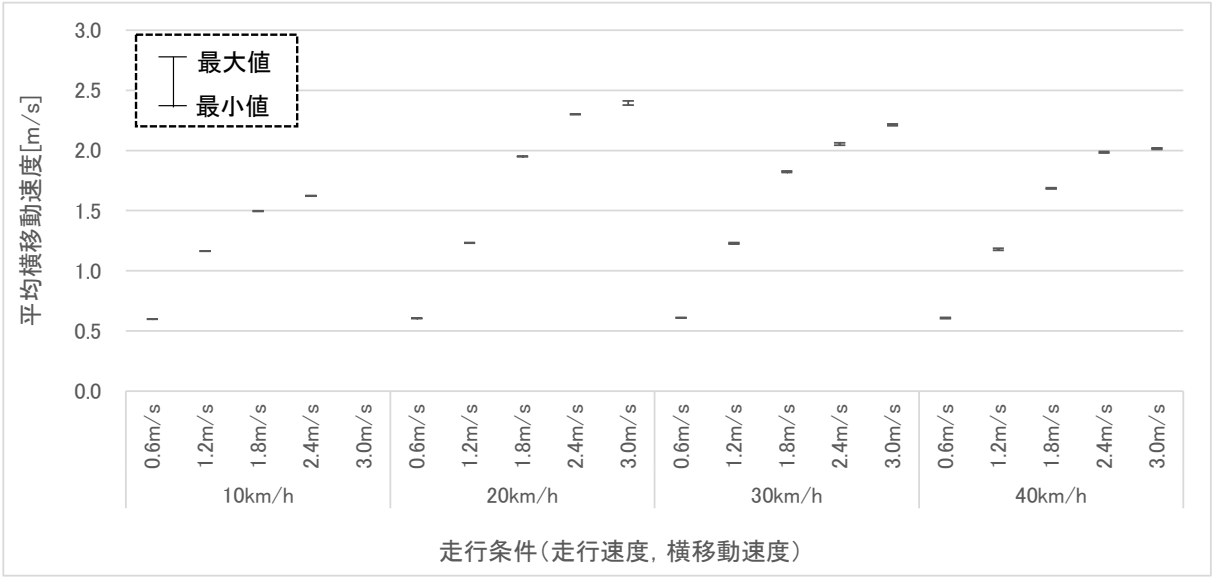


図 2.4.1.2-5　走行条件ごとの平均横移動速度（セット②）

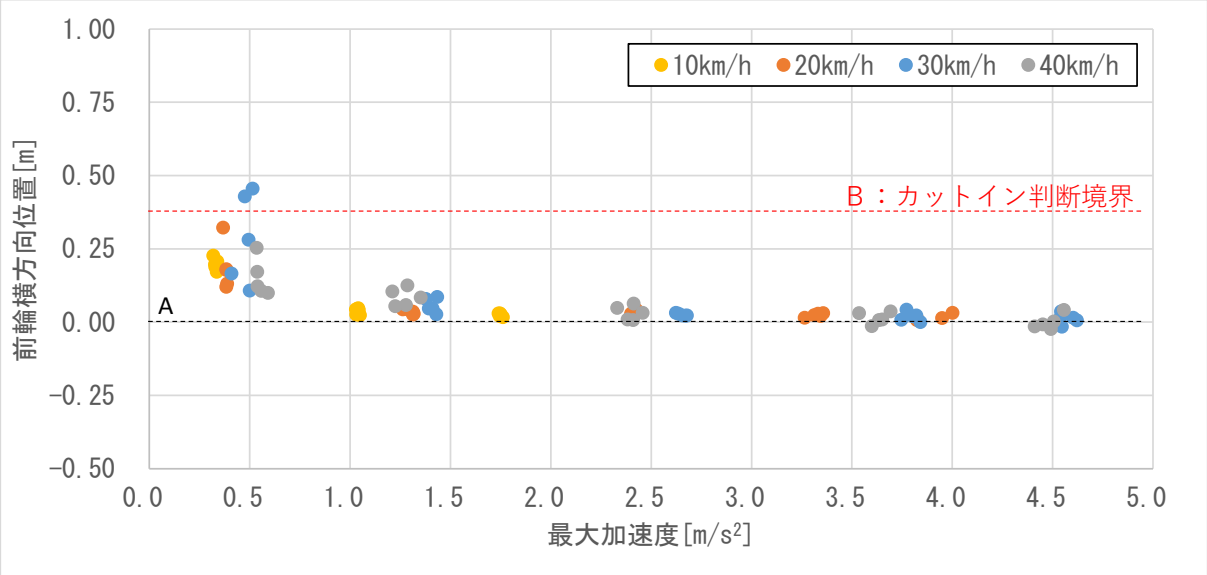


図 2.4.1.2-6　走行条件ごとの最大加速度と発生位置との関係（セット①）

（3）　まとめ

セット①（GST＋DRI360）およびセット②（UFO＋DRI360）で模擬車両を試験路で実際に走行させ、カットインシナリオを設定した挙動データを取得し、模擬車両にて物理的に再現できる ALKS シナリオの範囲を検討した。

検証の結果として、今回データを取得した移動速度：40km/h までの範囲においては、いずれの条件でも、平均飽和横速度のばらつきは最大でも 0.1m/s 程度で、繰り返し特性は良好であった。また、ダミー移動速度が 10km/h の場合、速度上制約が出るため平均飽和横速度は 1.2m/s が限界であり、ダミー移動速度 20km/h 以上では最大約 2.5m/s が限界となった。そのため、C&C ドライバ計算に使用された最大横速度（3.0m/s）の実車実験は現有の設備では対応できないことがわかった。

2.4.1.3　今後の ALKS シナリオ拡充と評価ニーズに向けた実車試験に係る検討

国際的な動向においては ALKS（Automated Lane Keeping System）機能の拡張などが議論されている。そのため、速度域の拡充やレーンチェンジなど、今後の新たな対応すべきシナリオ追加が想定される。また、シミュレーション評価では安全性の判断が難しい特殊なケースなどは、実車試験が潜在的なニーズとして想定される。ここでは、国際的な議論に先駆け ALKS 機能が拡張された場合においても実車試験がタイムリーに対応可能となるよう、実車試験に用いる設備・機器の機能や性能について予備的に検討した結果概要を述べる。

（1）　高速度域でのカットインシナリオの実車再現について

ALKS に定義されているカットインシナリオ[1]について、速度域の拡充（高速化）を想定した模擬車両の挙動データを取得し、試験実施に関係する課題を検討した。

【データ取得方法】
・試験路：JARI 城里テストセンター（高速周回路）
・模擬車両：DRI360 + GST（AB Dynamics 製）
・実験車両：海外メーカ 2 車種
・模擬車両移動速度：30～90km/h
・実験車両走行速度：40～110km/h

【実施結果と課題】
- 模擬車両は、移動速度が高くなるにつれて、試行間でカットイン時の横移動速度のばらつきが大きくなる（3 標準偏差は、30km/h：±0.04m/s、60km/h：±0.13m/s、90km/h：±0.29m/s）ことを確認した（図 2.4.1.3-1）。ばらつきの要因特定には、より詳細な挙動データが必要なことから、今後の課題である。
- 高速度域における走行では、模擬車両の走行距離の伸長やモータ出力の増加に伴い、バッテリ電力の消費が大きく、実施可能な試行回数は限られることが分かった。そのため、実際に高速度域での試験を運用するためには、速度条件ごとに 1 日に実施可能な試験回数を認識しておくことが実験工数を削減するためにも重要といえる。

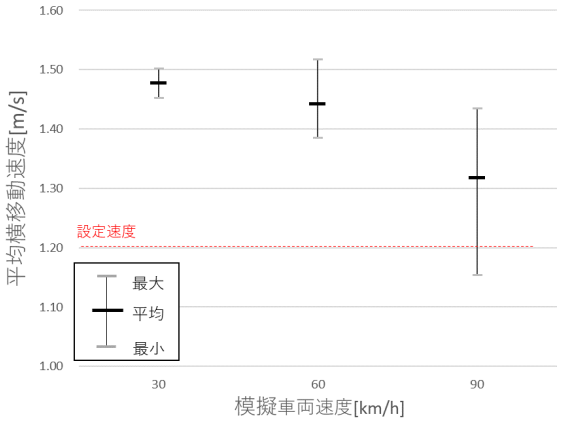


図 2.4.1.3-1　模擬車両の走行速度条件ごとの平均横移動速度

（2）　車線変更シナリオの実車再現について

AD 車の安全性評価フレームワークに定義[2]されている自動車専用道の交通外乱シナリオのうち、自車が車線変更を行うシナリオについて、実車での再現性を検討するため、実験車両と模擬車両を連動させた実験を行った。

【データ取得方法】
・試験路：JARI 城里テストセンター（ADAS 試験路）
・模擬車両：DRI360 + GST（AB Dynamics 製）
・実験車両：海外メーカ 1 車種
・模擬車両移動速度：40～60km/h
・実験車両走行速度：30km/h

【実施結果と課題】
- 実験車両が走行する車線の隣接車線に模擬車両を走行させ（実験車両との相対速度：10～30km/h）、条件として目標としたタイミングで実験車両の自動車線変更機能を作動させた。その結果、実験車両と模擬車両との TTC が 6.2 から 6.8s までの間が、自動で車線変更が行われるか否かの境界であることを評価することができた（図 2.4.1.3-2）。
- さらに、隣接車線の模擬車両とは別に、実験車両と同一車線前方に先行車も走行させたところ、自動で車線変更を行う境界の TTC は約 5.8s まで短縮した。ADS 車両の試験、特に機能確認を目的とした評価においては、複数の周辺車両を連動して走行させる技術も有用であることが示唆された。

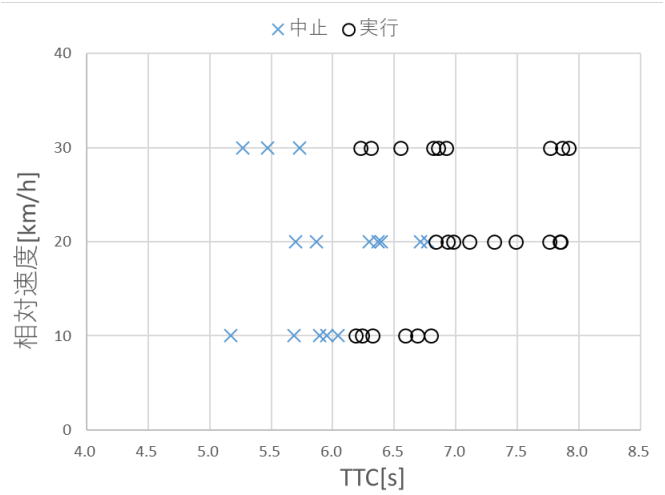


図 2.4.1.3-2　実験車両と模擬車両の TTC とシステムによる車線変更中止判断との関係

（3）　カーブ路におけるシナリオの実車再現について

さまざまな曲路（カーブ路）を想定した AD システム開発評価ニーズを想定し、必要データ（横方向位置など）の詳細な計測の可能性を検討した。車線維持支援装置（LKAS：Lane Keep Assist System）を有する実験車両を、長いカーブ区間が在る試験路で走行させ、その際の車線内横位置を計測した。

【データ取得方法】
・試験路：JARI 城里テストセンター（外周路）
・実験車両：海外メーカ 1 車種（LKAS 機能使用）
・実験車両走行速度：60km/h、100km/h

【実施結果と課題】
- 城里テストセンターの外周路において、実験車両を LKAS 使用にて周回走行させた。昨年度構築した RTK 補正信号の遠隔送信を用いて走行中の車両位置を計測し、高精度地図データと合わせて計測データを分析することにより、車線内の「ふらつき」を評価した（図 2.4.1.3-3）。
- 既存設備では計測できなった全長約 1km（曲率半径 425m）のカーブ全区間の計測が可能になった。なお今回の実験車両では、60km/h で当該カーブを走行すると、車線の中心から平均 18cm 外側を中心にふらつくことが確認できた。

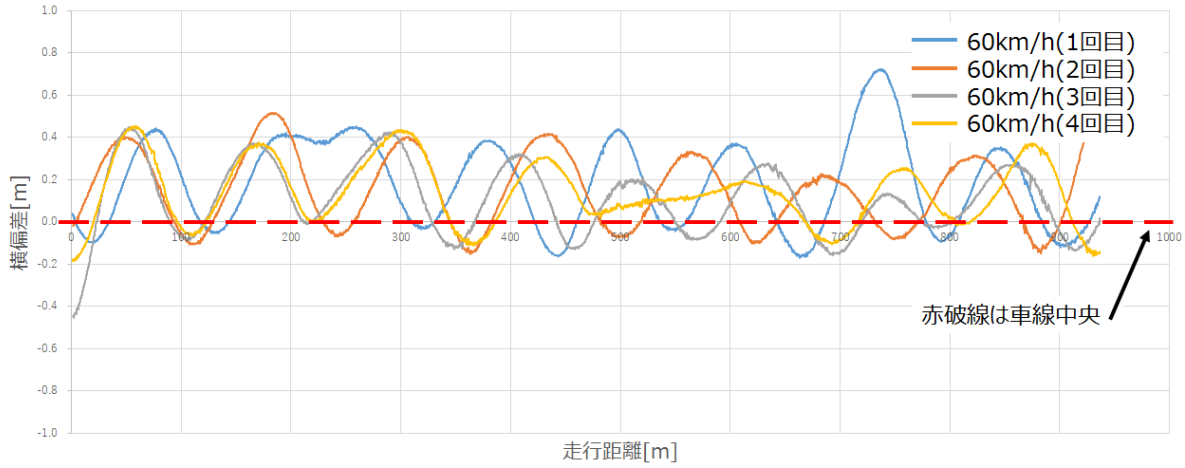


図 2.4.1.3-3　カーブ走行時のふらつき量の評価結果（車線内の横位置）

参考文献

[1]　United Nations、Proposal for a new UN Regulation on uniform provisions concerning the approval of vehicles with regards to Automated Lane Keeping System (2020)

[2]　一般社団法人日本自動車工業会　"自動運転の安全性評価フレームワーク Ver.3.0", https://www.jama.or.jp/safe/automated_driving/pdf/framework_ver_3_0.pdf （2022 年 3 月現在）

2.4.2　シミュレーションの妥当性確認に係る試行的検討

2.4.2.1　シナリオとパラメータの選定

シミュレーションの妥当性検証プロセスの実証にあたり、まず初めに今回の実験で取り扱うシナリオおよびそのシナリオのパラメータの考察を実施した。取り扱うシナリオに関しては自動運転車の運行設計領域（以下、「ODD」という）に則して決められるものであり、今回実験に利用する自動運転車両は ALKS 機能を有するという事より、対応すべきシナリオとしては「自車レーンキープ×前走車が減速」および「自車レーンキープ×カットイン」が対象となる。前走車減速のシナリオについては、NCAP などへの対応により一定の対策が取られていることが想定されるため、今年度の検討では、カットインのシナリオ（図 2.4.2.1-1）を例題として扱い一連のプロセスの検討を実施した。また、パラメータに関しては今回利用した AD 車の ODD 制約より、自車速度（Ve）40km/h 以下と設定し、模擬車両の速度は自車速度と相対的な速度差が出るように設定した。また、衝突の危険性があるシチュエーションに関しては実車よりも柔軟な構造を有する模擬車両（バルーンダミー）を使用したものの、衝突の際にセンサ計装などに影響を与える可能性もあるので、極端に危険なカットイン挙動（例えば、カットインしてくるタイミングが自車の真横など）は避け、実験車両の損傷防止を担保した。

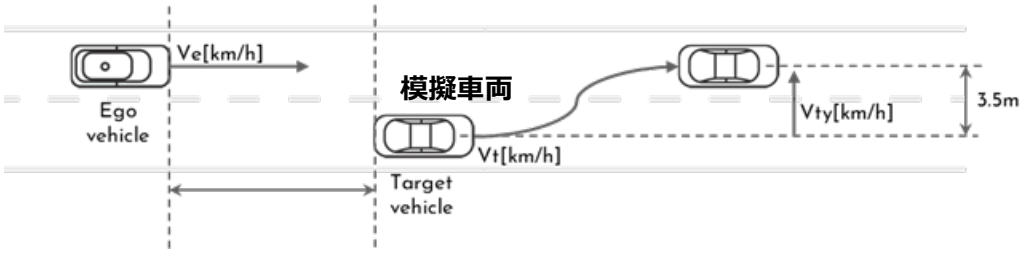


図 2.4.2.1-1　カットインシナリオ

2.4.2.2　事前実車試験およびシミュレーションツールと環境の設定・調整

シミュレーションでの検証を実施するためには、自車およびそのテスト環境に関してのモデル化を実施する必要がある。ALKS 機能に関して必要なモデルを作成することを目的として、減速性能および認識における遅延時間に関してのデータを取得するための実車試験の実施、および、シミュレーション側のパラメータの設定・調整を実施した。データを取得した試験車両は図 2.4.2.2-1、試験場は図 2.4.2.2-2 に示す。



図 2.4.2.2-1　自動運転実験車両（提供：TierIV）



図 2.4.2.2-2　実験場所（Jtown V2X 試験場の直線）

（1）減速性能モデル化のための事前実車試験および環境の設定・調整

検証可能なシミュレーションに用いる制御アクチュエータ/車両簡易モデル構築に必要な特性（誤差）把握のため、自車（AD 車）の単独加速・減速実験を実施した（図 2.4.2.2-3）。

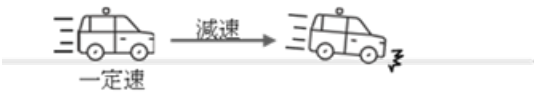


図 2.4.2.2-3　減速性能モデル化のための事前実車試験

試験の結果を図 2.4.2.2-4 に示す。AD 車の加速度制御指示（値が正の場合は加速となり、値が負の場合は減速となる）を変更した時の実際の車両の加速度を計測した結果である。

加速度制御指示値は、-3.0、-2.0、-1.0、-0.8、-0.4、-0.2m/s^2 の 6 種類である（加速度は負の値となるため減速試験となる）。

加速度指示に対して加速度は指示値に関わらず、0.3s 程度の遅延があり、その後は漸近的に目標加速度に近づく一次遅れ系の傾向がある。

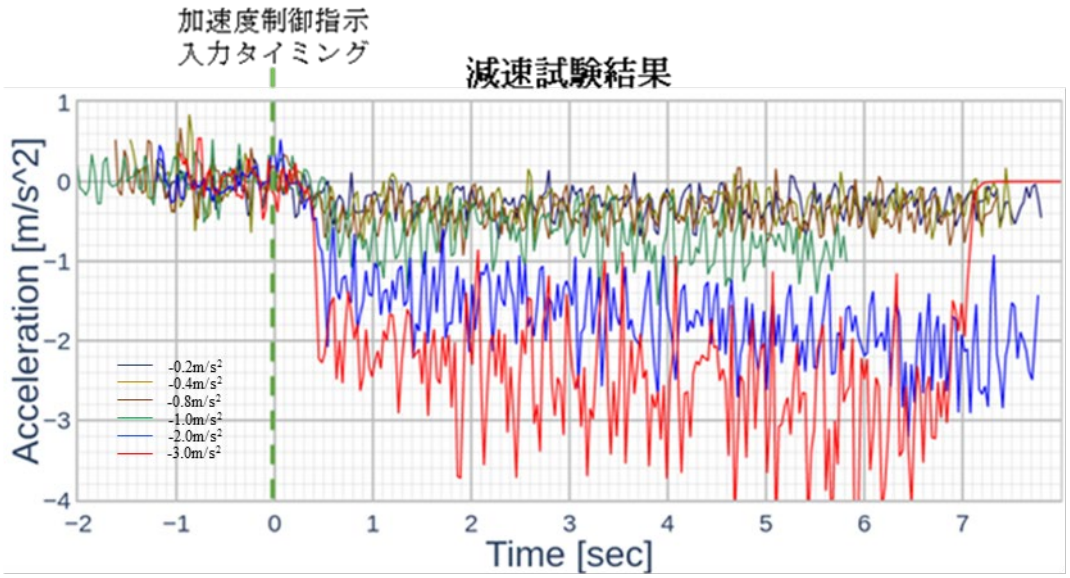


図 2.4.2.2-4　実車両減速度計測結果

上記の結果より、減速性能モデル化を実施し、実際の実車試験結果と比較した。

制御アクチュエータ・車両簡易モデル（減速性能モデル）を加速度（減速）指示に対する実加速度の計測結果に基づき、以下の方針で構築した。

・遅延時間：t_d は一定値

・一次遅れ系処理：時定数 τ は一定値

また、実加速度値は同じ加速度制御指示値に対して、速度によって値が異なる。この特

性は複雑なため、各実験値に基づくテーブルで対応することとした。

加速度制御指示値に対する最終的な速度、位置の算出には数値計算法としてルンゲクッタ法（常微分法的式の初期値を近似的に解く手法）を用いる。この、一連の処理の流れを図 2.4.2.2-5 に示す。

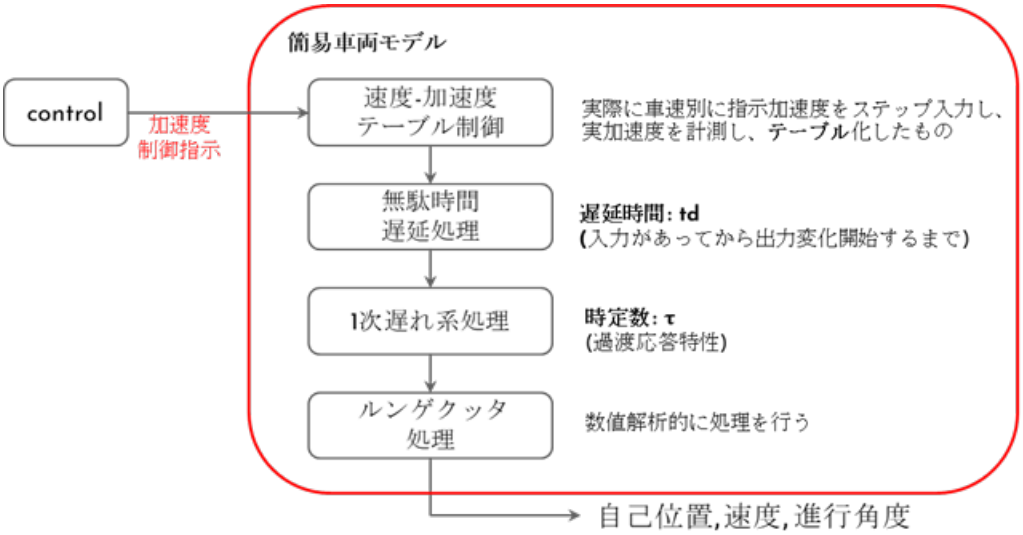


図 2.4.2.2-5　制御アクチュエータ/車両簡易モデル（減速性能モデル）の構成

一次遅れ系処理と遅延時間の調整はモデルが実加速度と合致するように調整した。（図 2.4.2.2-6）。

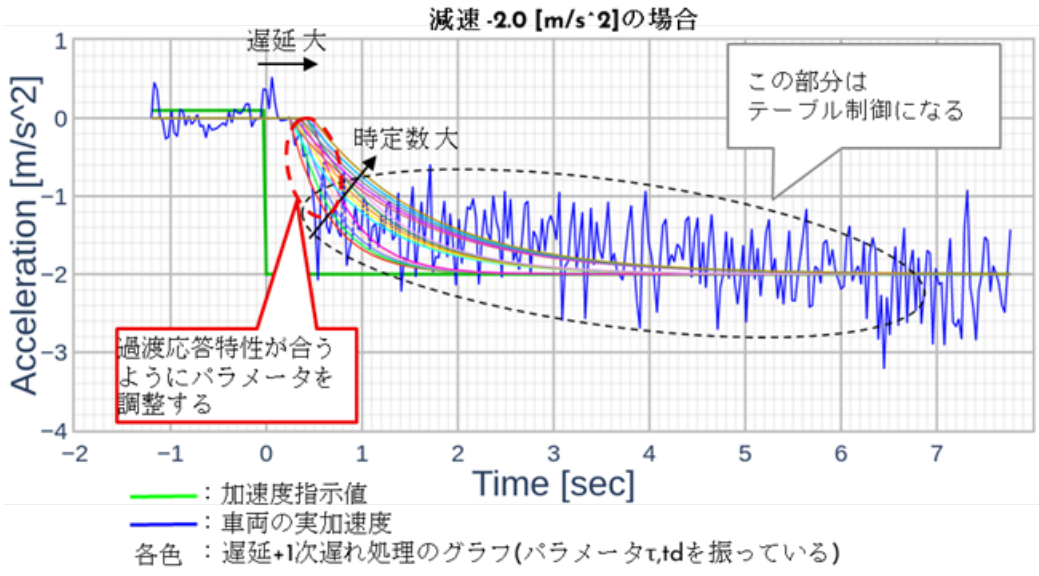


図 2.4.2.2-6　一次遅れ系処理と遅延時間の調整

自車の各速度における加速度の特性からのテーブル作成は以下のように実施した（図 2.4.2.2-7）。

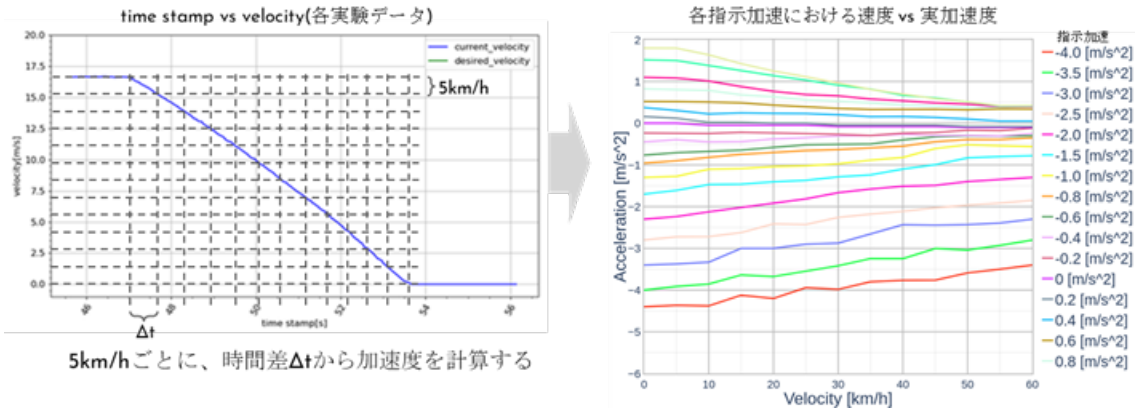


図 2.4.2.2-7　自車の各速度における加速度特性

構築した制御アクチュエータ/車両簡易モデルを実データ（加速度、速度）と比較評価した。-3.0、-2.0、-1.0、-0.8、-0.4、-0.2m/s^2 の 6 種類の加速度の場合の結果を図 2.4.2.2-8 ～図 2.4.2.2-13 に示す。

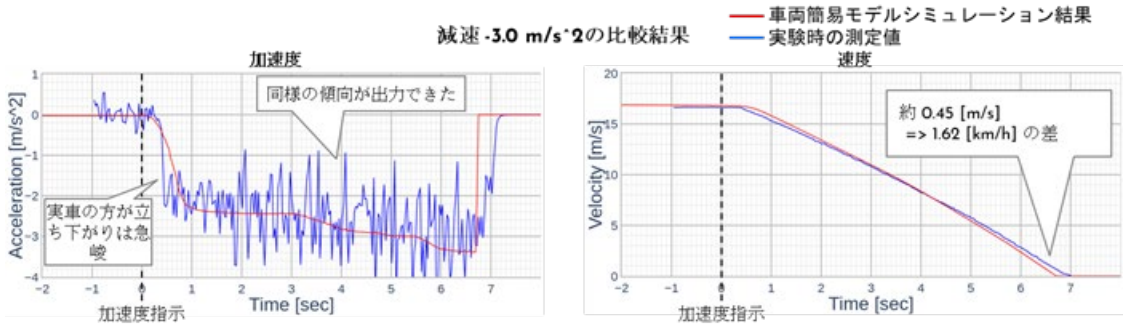


図 2.4.2.2-8　制御アクチュエータ/車両簡易モデルと実データの比較(-3.0m/s^2)

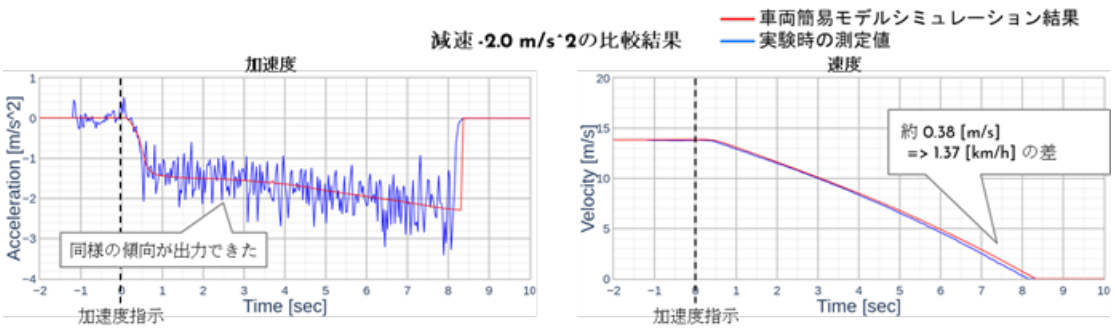


図 2.4.2.2-9　制御アクチュエータ/車両簡易モデルと実データの比較(-2.0m/s^2)

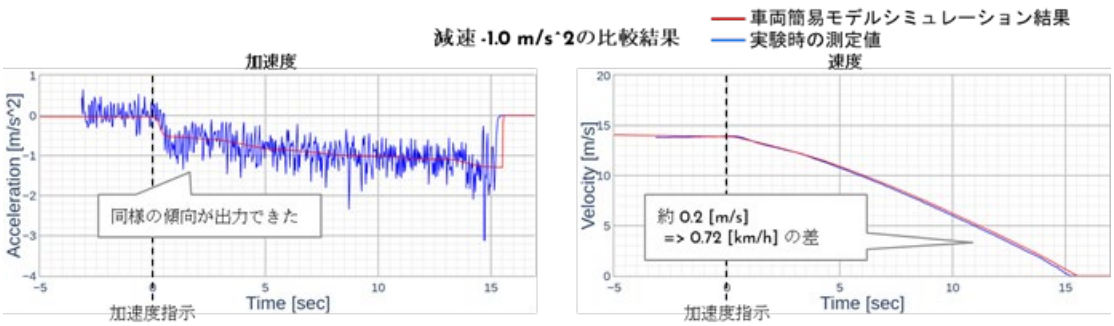


図 2.4.2.2-10　制御アクチュエータ/車両簡易モデルと実データの比較(-1.0m/s^2)

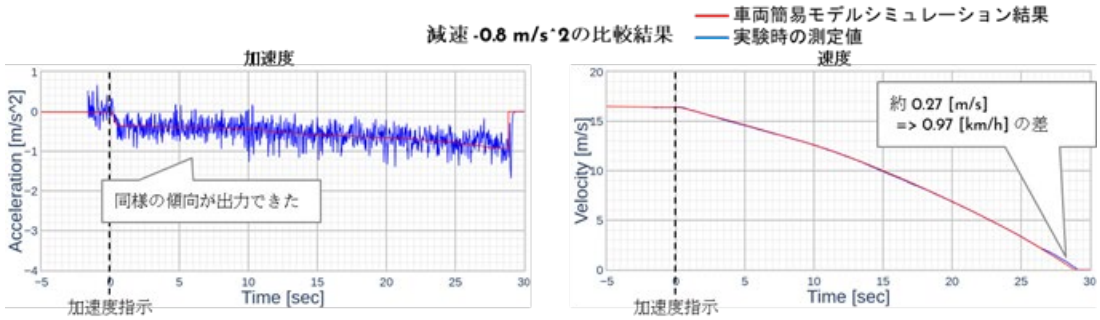


図 2.4.2.2-11　制御アクチュエータ/車両簡易モデルと実データの比較(-0.8m/s^2)

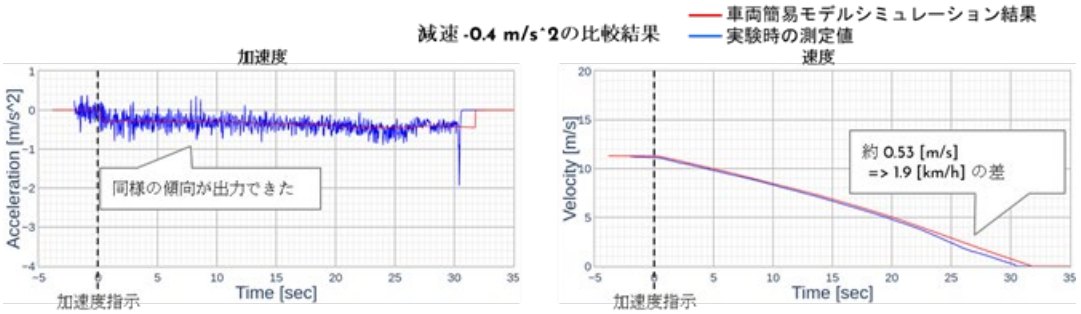


図 2.4.2.2-12　制御アクチュエータ/車両簡易モデルと実データの比較(-0.4m/s^2)

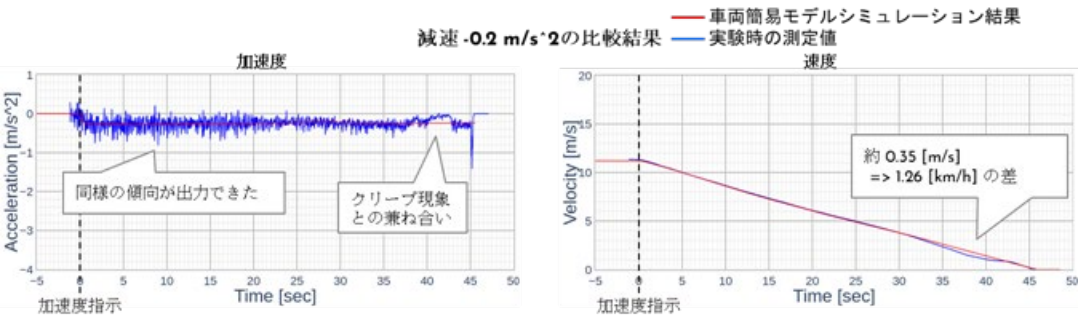


図 2.4.2.2-13　制御アクチュエータ/車両簡易モデルと実データの比較(-0.2m/s^2)

（2） 認識遅延モデル化のための事前実車試験および環境の設定・調整

検証可能なシミュレーションに必要な認知簡易モデル、全プロセスの処理時間（遅延時間）の特性把握と構築した簡易モデルの妥当性評価のため、模擬車両を用いた実験を実施した（図 2.4.2.2-14）。今回使用した自動運転車（実験車両）ではセンサとして LiDAR を用いているため、LiDAR における遅延時間の評価を実施した。

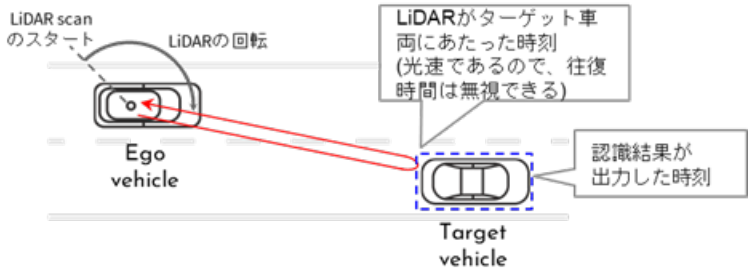


図 2.4.2.2-14 認識遅延時間評価のための実験

遅延時間は、LiDAR の観測が開始されて Scan が前方に達するまでの LiDAR の回転遅延①と、LiDAR の 1 周のデータがパケット化されて送られる通信時間②と、認識処理に要する認識処理遅延時間③からなる（図 2.4.2.2-15）。

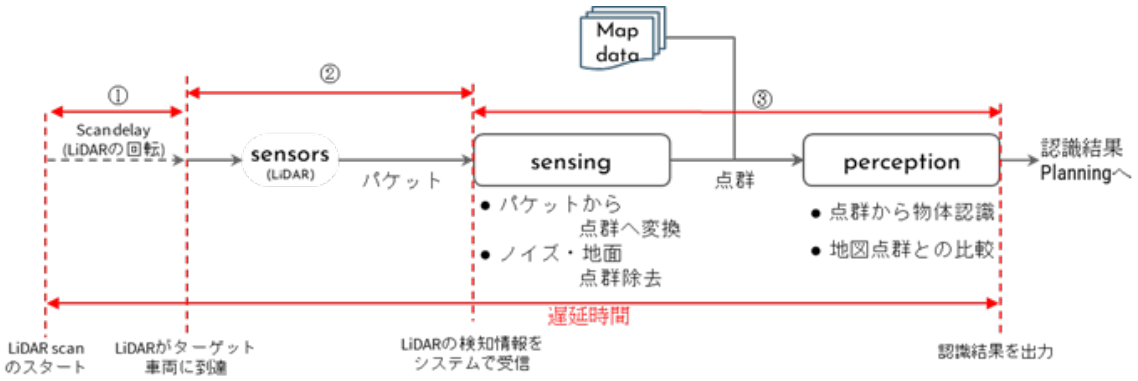


図 2.4.2.2-15 LiDAR 認知部の遅延時間の整理

遅延時間測定結果を図 2.4.2.2-16 に示す。

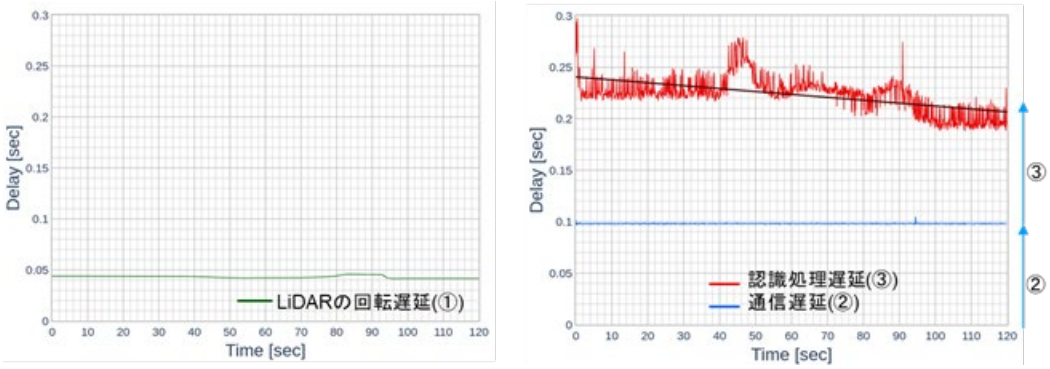


図 2.4.2.2-16　認知部の遅延時間測定結果

今回の実験で利用した AD 車に計装されている LiDAR に関しては、回転遅延①は 0.043s（平均値）、通信遅延②は 0.098s、認識処理遅延③は他のプロセスとの関係や処理内容でばらつきがあるが、0.123s と見積もった。全体の遅延時間は、①＋②＋③で 0.264s と見積もられる。

2.4.2.3　妥当性確認のための実車試験

（1）模擬車両の挙動設定と取得データ

選定されたカットインシナリオにおいて、実車データを取得するためのカットイン車両には、2.4.1.2 でシナリオ再現性を検討したセット①（GST＋DRI360）を模擬車両として用いた。各テストケースを再現するためには、模擬車両を実験車の挙動と同調して走行させる必要があることから、試験車の挙動を時々刻々計測してその情報をターゲット移動装置に送信できるようにした。

ターゲット移動装置と試験車とを同調させた機器の構成を図 2.4.2.3-1 に示す。試験車の挙動は、試験車に設置した車両慣性・GPS 測位装置（RT3000；Oxford Technical Solutions 社製）で計測される。計測された挙動データは、AB Dynamics 社製のコントローラユニットによって、地上に配置した制御基地局を経由し、ターゲット移動装置に搭載されている制御 PC に送信される。これにより、模擬車両は、受け取った試験車の挙動データに合わせ、あらかじめ設定した相対速度および相対距離にてカットインを行うことができるようになる。同時に模擬車両の挙動データも、制御基地局を経由して試験車内のコントローラユニットに送信され、試験車データと模擬車両のデータとが同期される。また本試験においては、この同期されたデータを、コントローラユニットから CAN 信号で出力し、試験車を制御する PC ユニットで収録した。本試験で同期収録した計測データの項目を表 2.4.2.3-1 に整理する。なお、試験の実施前には、計測機器および車両オペレータが乗車した状態での試験車の 4 輪の各荷重を測定するとともに、各試験走行開始前に、試験車のブレーキ温度を測定して記録した。

計測したデータの例と各指標のイメージを図 2.4.2.3-2 にあわせて示す。この例では、

30km/h（Ve0）で走行中の試験車の前方に、20km/h（Vo0）で走行する車両ターゲットがおおよそ 0.7m/s の平均横移動速度（Vy）でカットインしている。この時の車間距離は 15.3m（dx0）であった。試験車と車両ターゲットが最も接近したのは、車両ターゲットが車線変更を終える前の 4 秒強の時点で、その時の車間距離は 6.0m であった。

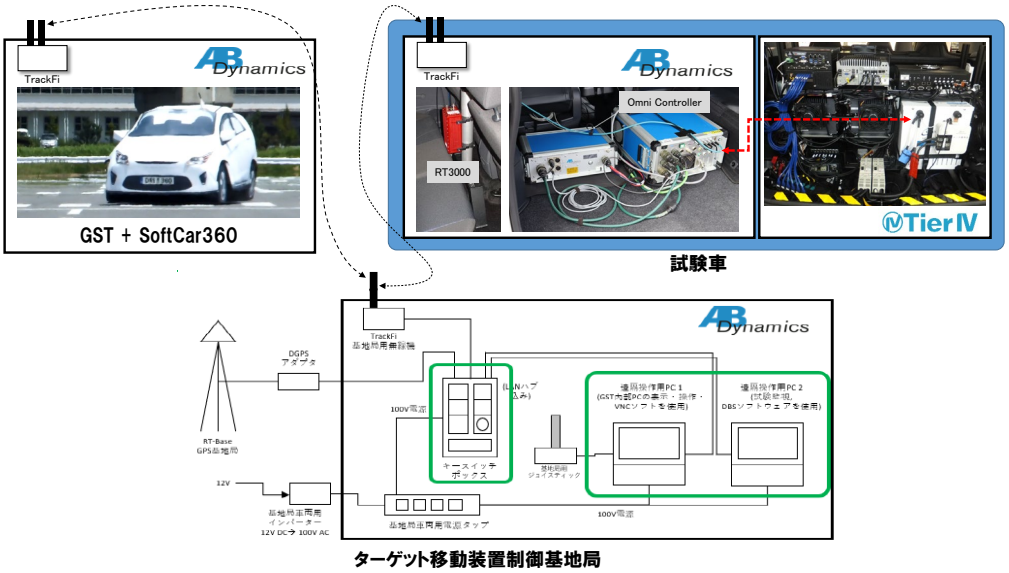


図 2.4.2.3-1　模擬車両と試験車とを同調したシステムの構成概要

表 2.4.2.3-1　試験での計測項目および計測精度

計測項目		計測精度等	サンプリング周波数
試験車	位置（X,Y）	2cm（1σ）	100Hz
	前進速度	0.05 km/h（RMS）	100Hz
	横速度	0.2%（1σ）	100Hz
	前進加速度	10mm/s^2（1σ）	100Hz
	ヨー角度	0.1°　（1σ）	100Hz
車両ターゲット	位置（X,Y）	2cm（1σ）	100Hz
	前進速度	0.05 km/h（RMS）	100Hz
	横速度	0.2%（1σ）	100Hz
	前進加速度	10mm/s^2（1σ）	100Hz
	横加速度	10mm/s^2（1σ）	100Hz
	ヨー角度	0.1°　（1σ）	100Hz
その他	GPS 時間		100Hz

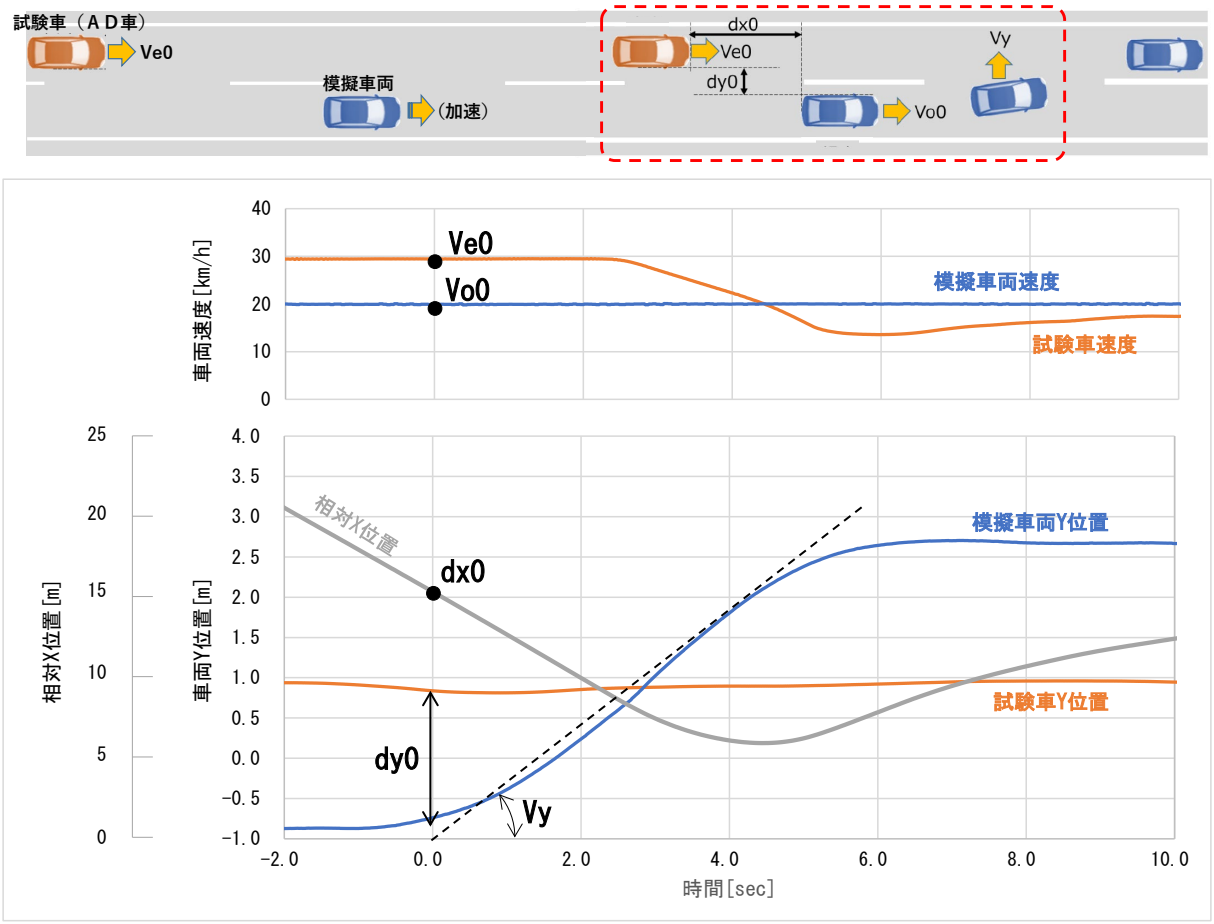


図 2.4.2.3-2　時系列での計測データ例
（カットインタイミング：15m、カットイン速度：0.6m/s）

（2）　カットイン実車試験

自動運転車（Ego vehicle）が定常速度 Ve で走行する状態を作り、そこに車速 Vt で走行する模擬車両（Target vehicle）が衝突余裕時間（TTC）をトリガーに車線変更を横速度（Vty）で開始するカットインに対する対応動作の試験を実施した。走行レーンは直線で，横移動距離は 3.5m である（図 2.4.2.3-3）実験条件は以下のパラメータを変化させて設定した。

○　　Ve：自動運転車（自車）速度
○　　Vt：模擬車両（ターゲット車両）速度
○　　Vty：模擬車両　横速度

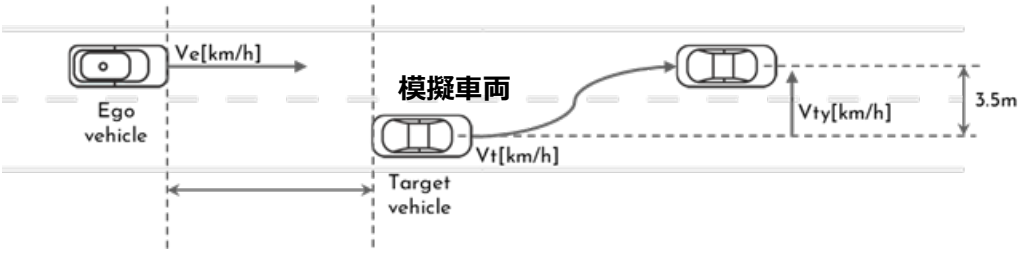


図 2.4.2.3-3　カットインシナリオ

実験風景を図 2.4.2.3-4 に示す。



図 2.4.2.3-4　実験風景

2.4.2.4　妥当性確認のためのシミュレーションおよび環境の妥当性確認

自車：40km/h、模擬車両速度:10km/h、カットイン横速度 1.0m/s、カットイン開始車間距離：40m のシチュエーションでの実車試験結果とシミュレーション試験結果の比較を実施した（図 2.4.2.4-1）。

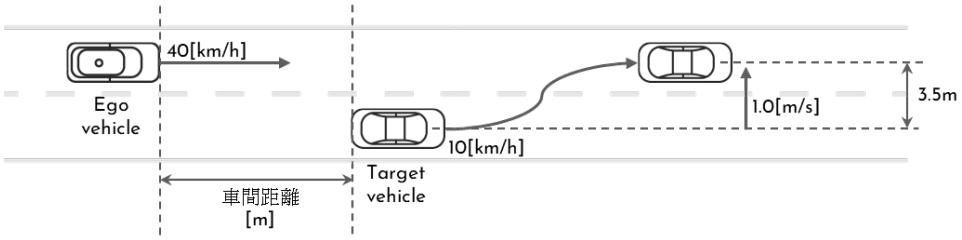


図 2.4.2.4-1　比較評価に用いたカットイン動作パラメータ

加速度制御指示値、自車速度、模擬車両との車間距離、TTC について、実車とシミュレーション結果の比較表示を図 2.4.2.4-2 に示し、差分表示を図 2.4.2.4-2 に示す。

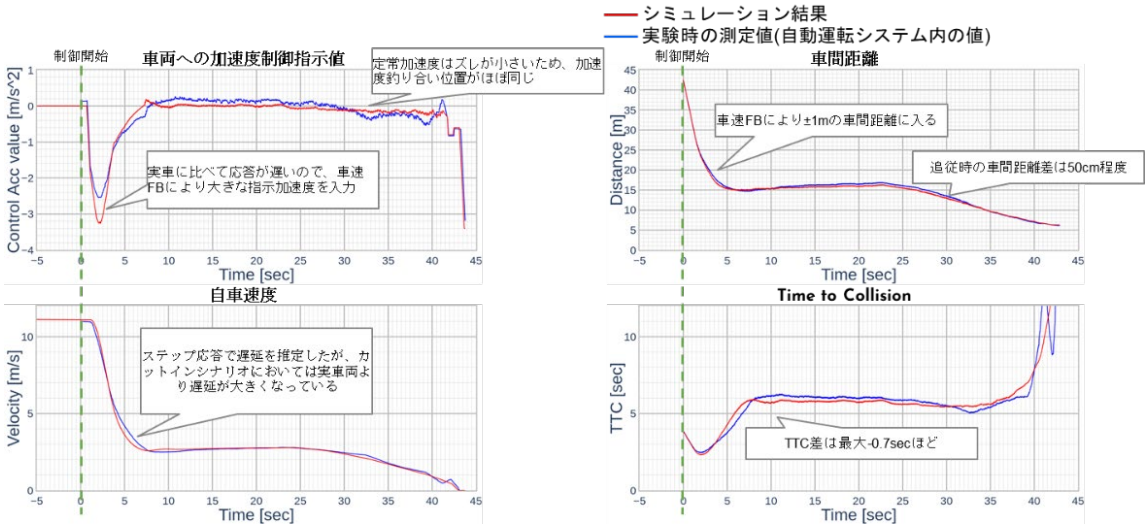


図 2.4.2.4-2　加速度指示値、自車速度、車間距離、TTC の比較

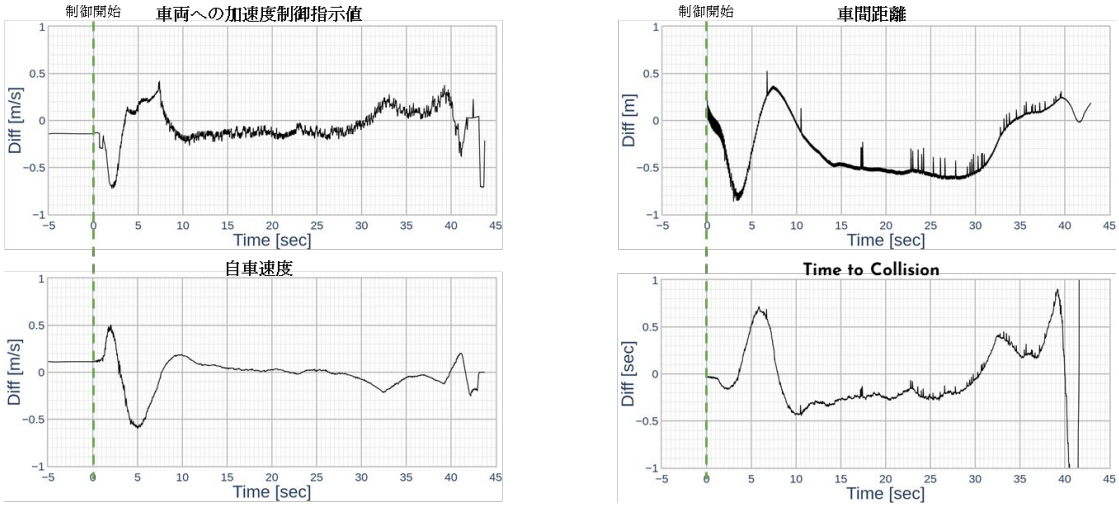


図 2.4.2.4-3　加速度指示値、自車速度、車間距離、TTC の差分

最初の減速指示に対するシミュレーションの応答が実車の応答よりもわずかに遅れた分、その差分を埋めるためのフィードバックがかかった。そのため、減速指示値が実車より大きくなっていることが分かる。また、このフィードバック補正のために、車間距離（すなわち車両位置）の差は、±1m 以内に収まっていることが分かる。シミュレーションにおける応答が遅い分だけ、車間距離が短く、TTC も小さな値になっており、より安全側な（厳しい）評価にはなっているが、減速モデルをもう少し調整する必要があることが分かった。また、どこまで比較結果に相関があればよいかの論理的な考察も必要となる。

2.4.3　シナリオベースの AD 安全性評価試験法のあり方に関する検討のまとめ

シミュレーションの妥当性検証の為に必要な実車試験のあり方に関しての検討を実施し、既存の模擬車両（車両ターゲットと移動装置）を試験路で実際に走行させ、カットインシナリオを設定した挙動データを取得し、模擬車両にて物理的に再現できる ALKS シナリオの範囲を検討した。また、JAMA の「自動運転の安全性評価フレームワーク Ver3.0 の Annex.G」[1]を参照し、実際の AD 車を用いてシミュレーションの妥当性検証までの一連のプロセスの実証を行い、課題の整理を行った。

今回の取り組みにおいて、一連のプロセスを実証したが、妥当であると言えるための実車試験結果とシミュレーション結果の比較において"相関がある"ことを示す論理的な根拠づけが今後の大きな課題となる。

参考文献

[1]　一般社団法人日本およ　自動運転の安全性評価フレームワーク Ver.3.0、
https://www.jama.or.jp/operation/safety/automated_driving/pdf/framework_ver_3_0.pdf
（2023 年 3 月現在）

2.5 第 2 章のまとめ

本章では、自動運転の検証に必要な安全性評価基盤構築に関する取り組みについて示した。安全性評価基盤として、本事業で開発しているシナリオデータ DB および DIVP 仮想環境との結合についてを述べた。また、シナリオデータベースの活用先であるシミュレーションの妥当性検証のための実車試験のあり方についてのフィジビリティスタディの結果についても示した。

シナリオ DB 開発に関して、現在実装しているファンクショナルシナリオに対して車線数の概念を入れることにより、ファンクショナルシナリオとロジカルシナリオの中間の抽象度を持つシナリオのモデルを作り上げ、シナリオ DB 上に実装を行った。この実装により、より交通実態に即したシナリオでの安全性評価が可能となる。また、交通流分布を参照できるユーザーインタフェース（交通流データベース）を改良したことにより、視覚的に各シナリオにおける分布情報を確認することが可能となった。

DIVP 仮想環境との結合に関しては、NCAP や一般道の交差点シナリオを代表例として取り扱い、仮想環境とシナリオ DB において相互にデータが授受できるインタフェースを構築した。また、DIVP 仮想環境にシナリオを入力するためのフォーマットの改良や、DIVP 仮想環境で出力された結果をシナリオ DB 側に格納できるようにインタフェースの調整も実施した。

シミュレーションの妥当性検証に向けた実車試験のあり方に関しては、既存の模擬車両で物理的に再現可能なシナリオのパラメータ範囲を特定するとともに、模擬車両の特性の整理を実施した。また、実際の AD 車を用いたシミュレーションの妥当性検証の一連のプロセスを実施し、課題の整理を実施した。

第 3 章　交通外乱シナリオ DB の分析及び検討

自動運転車の安全性は、合理的に予見可能で回避可能な事故が生じないことと定められている。そのため、合理的に予見される（Reasonably foreseeable）範囲および回避可能な（Preventable）範囲を特定する手法について、技術的・科学的な根拠に基づいて証明しなければならない。交通外乱シナリオ DB は、自動運転車の安全性を定量的に示すために、遭遇しうる場面や、有能で注意深いドライバ（Competent and Careful Human Driver）（以下、「C&C ドライバ」という）の回避可能範囲を特定するための根拠となる実交通環境データを提供するデータベースである。

本章では、これらの合理的に予見される範囲および回避可能な範囲の定義、ならびにデータベースの実用化に向けた取り組みに関して述べる。はじめに、3.1 節では合理的に予見可能な範囲を特定するための取り組みおよび一般道への安全性評価に関しての整理について報告し、次いで 3.2 節では回避可能な範囲の特定について報告する。最後に、3.3 節でデータベースの信頼性・透明性を担保するための導出エビデンス管理・処理プロセスの検討について報告する。

3.1　合理的に予見可能な範囲の特定

自動運転の国際基準調和を行う国連／WP29 および国交省の自動運転車の安全技術ガイドラインでは「自動運転車の運行設計領域（ODD）において、自動運転システムが引き起こす人身事故であって合理的に予見される防止可能な事故が生じないこと」と定めている[1]、[2]。ここで JAMA の公開している「自動運転の安全性評価フレームワーク Ver.3.0」[3]では「合理的に予見される」範囲（Reasonably Foreseeable）と「防止可能な範囲」（Preventable）はそれぞれ独立した指標と定義しており、安全性評価のためにはそれぞれを定量的に示す必要がある。そこで本節では、交通外乱シナリオの「合理的に予見可能な範囲」の定量化手法について説明する。

本節では、高速道における交通外乱シナリオの合理的に予見可能な範囲（Reasonably foreseeable）の特定理論の補強について説明する。高速道における交通外乱シナリオは、はじめに、自車の振る舞い、他車の振る舞い、道路形状を有限個のパターンに収れんしたファンクショナルシナリオ（Functional Scenario）を定義し、それらに対して代表的なパラメータを定義することにより定量化される。ここで、自車の振る舞いは車線維持（Lane keep）もしくは車線変更（Lane change）の 2 種類、他車の振る舞いはカットイン（Cut in）、カットアウト（Cut out）、加速（Acceleration）、および減速（Deceleration）の 4 種類、道路形状は本線、合流路、および分岐路の 3 種類を考慮する。なお、ランプは速度制限の違いなどはあるものの車線の減少や拡大がなく、本線と同様に扱うことができるため、本線シナリオに集約した。これにより得られた高速道における 24 パターンのファンクショナルシナリオを図 3.1-1 に示す。このファンクショナルシナリオに代表的なパラメータの組み合わせが特定されたものをロジカルシナリオ（Logical Scenario）と定義する。各国の社会受容性などと照らし合わせて遭遇頻度のしきい値を設定することができれば Reasonably foreseeable な Logical Scenario のパラメータ範囲が特定される。

また、一般道への安全性評価の拡張に向け、一般道での AD 車の安全性評価の考え方に関しての整理も実施する。

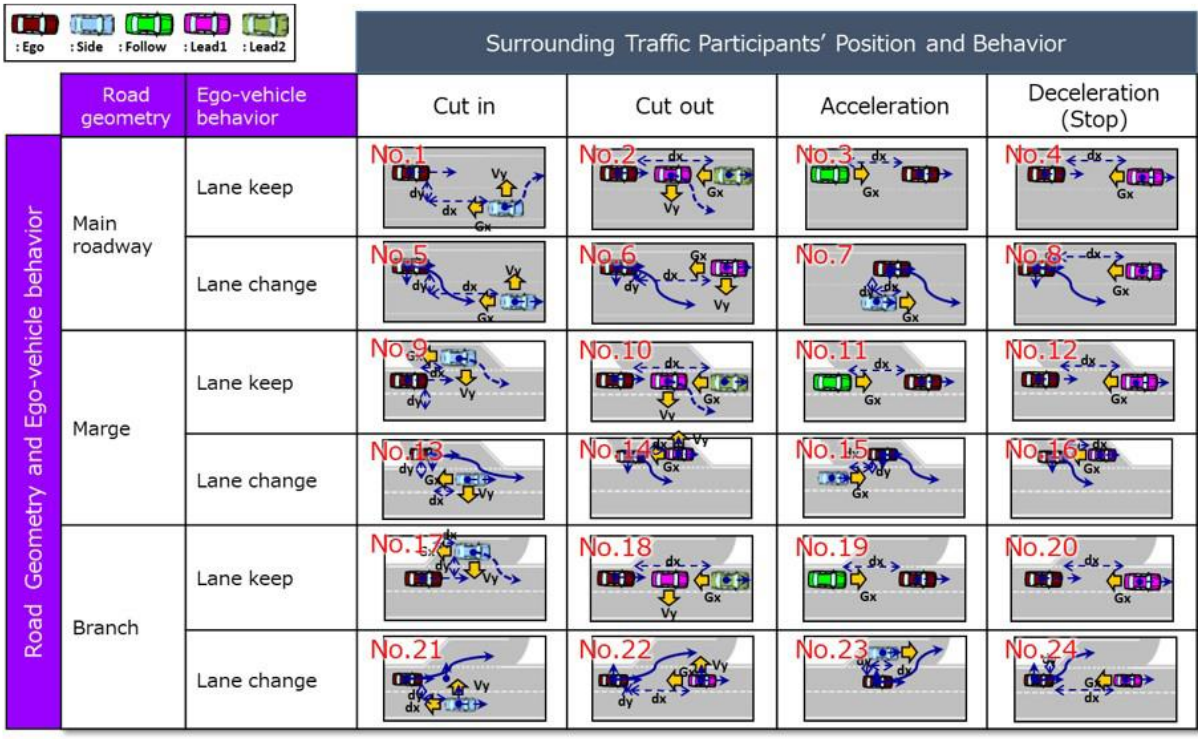


図 3.1-1　高速道における 24 パターンの Functional Scenario

参考文献

[1] UN/WP29 "Framework document on automated/autonomous vehicles", 2019, WP29-177-19

[2] 国土交通省自動車局 "自動運転の安全技術ガイドライン",
https://www.mlit.go.jp/common/001253665.pdf（2023 年 3 月現在）

[3] 一般社団法人日本自動車工業会　"自動運転の安全性評価フレームワーク Ver.3.0",
https://www.jama.or.jp/safe/automated_driving/pdf/framework_ver_3_0.pdf （2022 年 3 月現在）

3.1.1　合理的に予見可能な範囲の特定論理の補強

令和 3 年度までの SAKURA プロジェクトでは、安全性評価をより厳しい基準で行うために、リスクの高い場面に遭遇しやすいと考えられる交通流の多い道路を中心に計測を行い、合理的に予見可能な範囲の特定を進めてきた。具体的に、合流・分岐路は東池袋 IC を定点カメラにより計測を行い、都市高速道は首都高速道路、都市間高速道は東名高速道路（一部新東名高速道路）を計測車両により走行し、データ計測を行ってきた。しかしながら、すべての地域や道路形状を網羅的にデータ収集し、分析をしているわけではないため、そういった地域差や道路形状の差分がどのように合理的に予見可能な範囲に影響を与えるかをしっかりと整理しておかなければならない。そのため、都市高速道・都市間高速道における車両挙動の地域差分が合理的に予見可能な範囲へ与える影響を確認するために、形状の異なる合流・分岐路や、異なる地域での走行データを比較分析することが必要であると考える。そこで、令和 4 年度では、首都高速 3 号線下り渋谷 IC 合流路および九州自動車道の走行データ計測を実施した。3.1.1.1 ではその詳細を述べる。

3.1.1.1　道路形状や地域間等の差分が合理的に予見可能な範囲に与える影響の検証

（1）　道路形状の差分検証（定点観測：目視確認による定性的検証）

都市高速道・都市間高速道における合流路形状の違いが実交通流車両挙動（特に合理的に予見可能な範囲）へ与える影響を確認する。特定の比較的に狭い場所に紐づいたデータ収集に適した「定点観測データ」を活用する。

a）　目的

SAKURA プロジェクトでは、都市高速道・都市間高速道における安全性評価シナリオは、3 種の道路種別（本線・合流路・分岐路）に分類される。その中でも道路形状にいくつかの大きな特徴を有するタイプが存在する。例えば、本線と平行する加速車線が極めて短い直接式合流路と、本線と平行する加速車線が十分長い平行式合流路である。イメージを図 3.1.1.1-1 に示す。ドライバが運転する場合、直接式合流路から本線へ合流する際には、平行式合流路のそれとは異なりかなり緊張を強いられることが多い。従って、道路形状が“合理的に予見可能な範囲”へ与える影響を検討する例題として、直接式合流路と平行式合流路の比較を選択した。

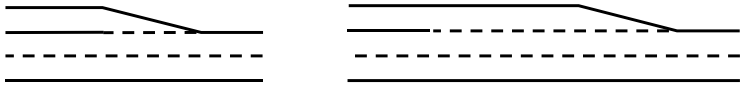


図 3.1.1.1-1　合流路の形状種別（イメージ）
（カッコ内は、調査した首都高速道路の入口合流路 81 箇所における比率）

b)　検証内容

①　撮影場所の選定

合流路の道路形状タイプとして、前述の「直接式合流路／平行式合流路」の他に、「左合流路／右合流路」、「直線合流路／曲線合流路」がある。今回、「直接式合流路／平行式合流路」の差分比較を行うが、他のタイプを揃えて比較する必要がある。SAKURA プロジェクトで既に定点観測した合流路は、首都高速道路 6 号線下り東池袋 IC 合流路（直接式合流路）と、東名高速道路上り横浜町田 IC 合流路（平行式合流路）である。前者は、隣接する高層ビル屋上にカメラを設置して 1 週間ほど無人撮影したものである（カメラ路面高：約 47m）。後者は、高速道に掛かる陸橋から半日ほど有人撮影したものである（カメラ路面高：約 10m）。両者はデータの質（精度）と量がかなり異なる。そこで、首都高速道路 6 号線下り東池袋 IC 合流路と正確な比較が可能な場所で新規に定点観測を行った。観測場所への要件は、首都高速道路、平行式合流路、左合流路、直線合流路、カメラ屋上設置を許諾して頂ける隣接ビルがあること。シナリオ分析の観点より、ハードノーズ手前 100m 程度からテーパー終端奥 30m 程度までを観測可能な場所とした。首都高速道路マップ（図 3.1.1.1-2）と、衛星写真（図 3.1.1.1-3）を使って候補を絞り、隣接ビル所有者様と交渉した結果、首都高速道路 3 号線下り渋谷 IC 合流路を選定した。

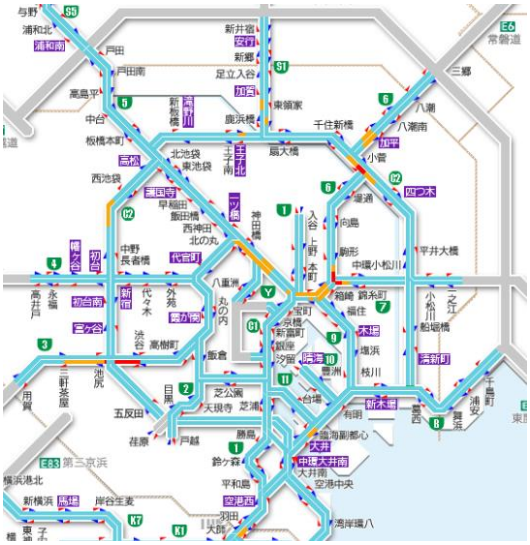


図 3.1.1.1-2　首都高速道路マップ（https://search.shutoko-eng.jp/rtmap.html）



図 3.1.1.1-3　合流路の全景比較（左：FY2019 定点撮影、右：FY2022 定点撮影）（Google Earth の衛星写真を利用）

② 新規定点観測の実施

SAKURA 事業で実施してきた「定点観測による移動体軌跡データ収集」のプロセスに従って新規の定点観測を実施した。3D 地図データを取り込んだバーチャル環境での撮影仕様の検討、長時間無人撮影（7 日間）と MMS 車両走行による道路測量（座標軸変換用）と自己位置計測（軌跡精度検証用）、実写映像の画像処理による移動体の検出追尾、オルソ変換・車高推定と高さ補正による軌跡抽出、データ品質検査と補修作業である。各プロセスのポイントのみを図 3.1.1.1-4 から図 3.1.1.1-10 を使って示す。図 3.1.1.1-4 は、XY 直角座標軸、観測範囲（約 300m）、ビル屋上（地上高：約 69m）に設置したカメラ 3 台の画角分担を示す。図 3.1.1.1-5 は、バーチャル環境で事前検討した各カメラの CG と、実際に現場で CG に一致するように画角調整した実写映像の対比を示す。

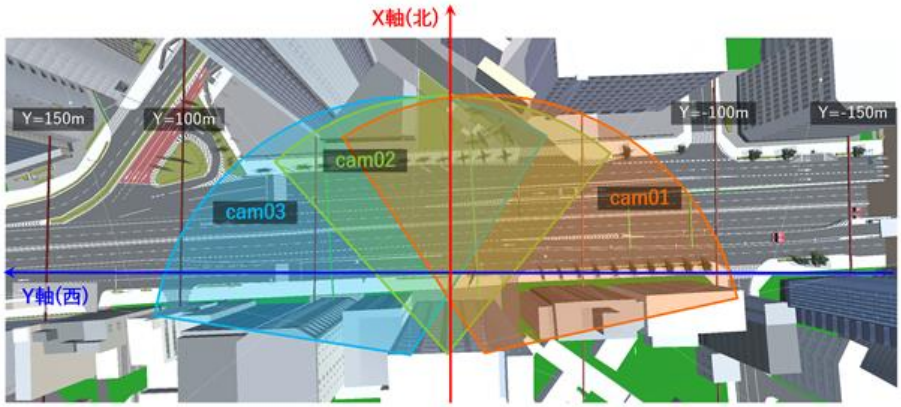


図 3.1.1.1-4　仮想カメラの配置（バーチャル環境での撮影仕様検討）

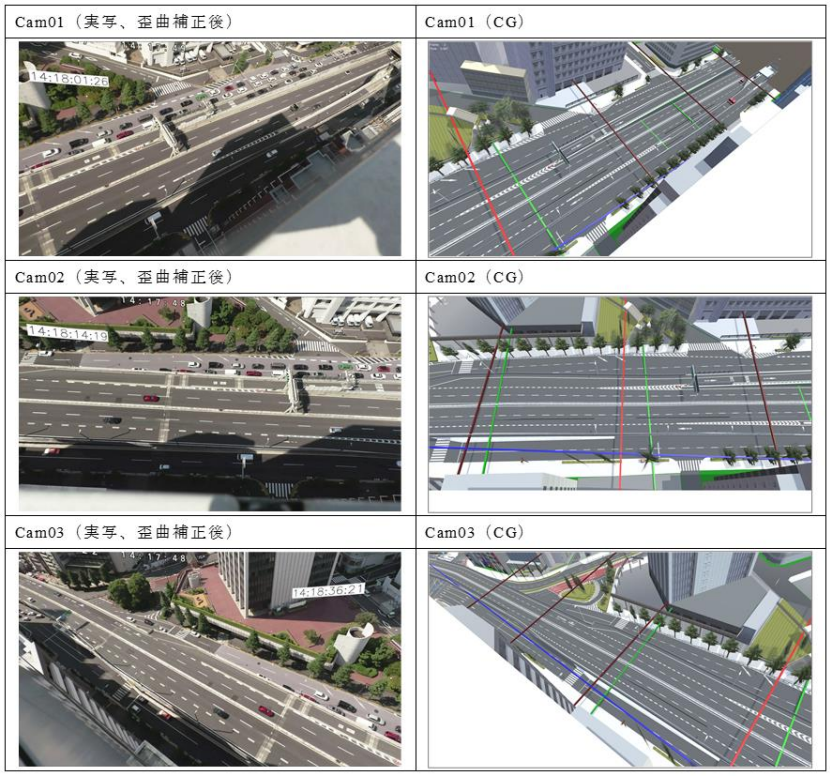


図 3.1.1.1-5　各カメラの実写画像と CG の対比（撮影現場での画角合わせ込み）

図 3.1.1.1-6 は、カメラを設置したビル屋上の構造（LiDAR 測量図と写真）と、人・物の落下リスクが無い安全作業エリア（緑枠内）を示す。図 3.1.1.1-7 は、無工事ビル設置治具のイメージ（新規試作）である。設置治具の土台部は、ビル付帯構造物であるゴンドラ用レールに 4 カ所で圧着固定、カメラ固定部は、安全作業エリア内で全作業が可能となるように土台部上をスライド可能な構造とした。ビル屋上の構造は一律ではないが今回のような屋上構造は珍しくはなく、この治具設計コンセプトは汎用性がある。アルミ汎用部材を使って組み立てたことで、軽量化・強度維持・改造容易性を実現した。

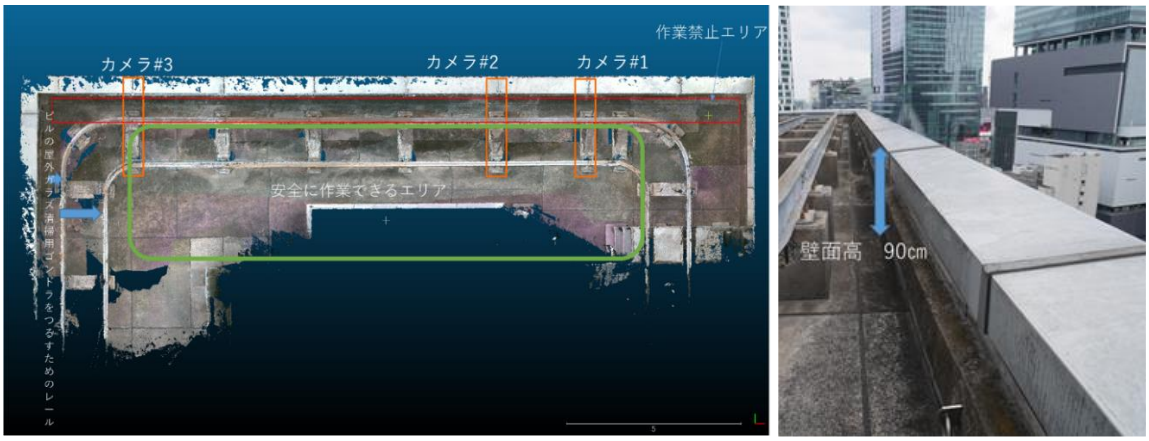


図 3.1.1.1-6　ビル屋上の LiDAR 測量図（左）と写真（右）
（緑枠内：人・物の落下リスクが無い安全作業エリア）

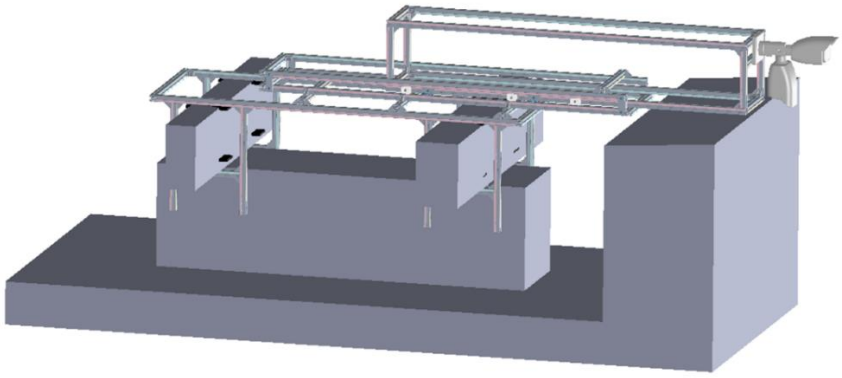


図 3.1.1.1-7　無工事ビル設置治具イメージ（新規試作）
（カメラ固定部が土台部に対して伸縮可能なので安全作業エリア内で全作業が可能）

図 3.1.1.1-8 は、MMS 測量車が計測した 3 次元点群データと、それから作成した道路白線の位置情報を示す。

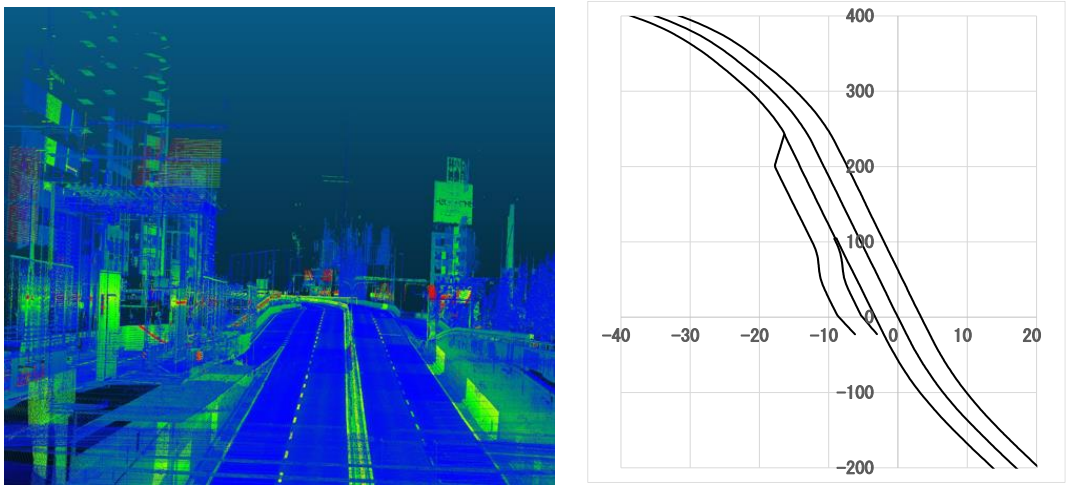


図 3.1.1.1-8　MMS 測量車の 3 次元点群データ（左）から作成した白線データ（右）
（右図において、横軸：X 軸[m]、縦軸：Y 軸[m]）

定点観測映像から車両を追尾する場合、他の車両や遮蔽物（標識など）による隠蔽が発生すると追尾が途絶したりズレたりする可能性がある。そこで軌跡抽出率向上を目的に、従来の追尾モデルよりも、隠蔽に対してロバストな新しい追尾モデル（ByteTrack [1][2] ）へ変更した。図 3.1.1.1-9 は、従来追尾モデルと新追尾モデルの比較結果である。

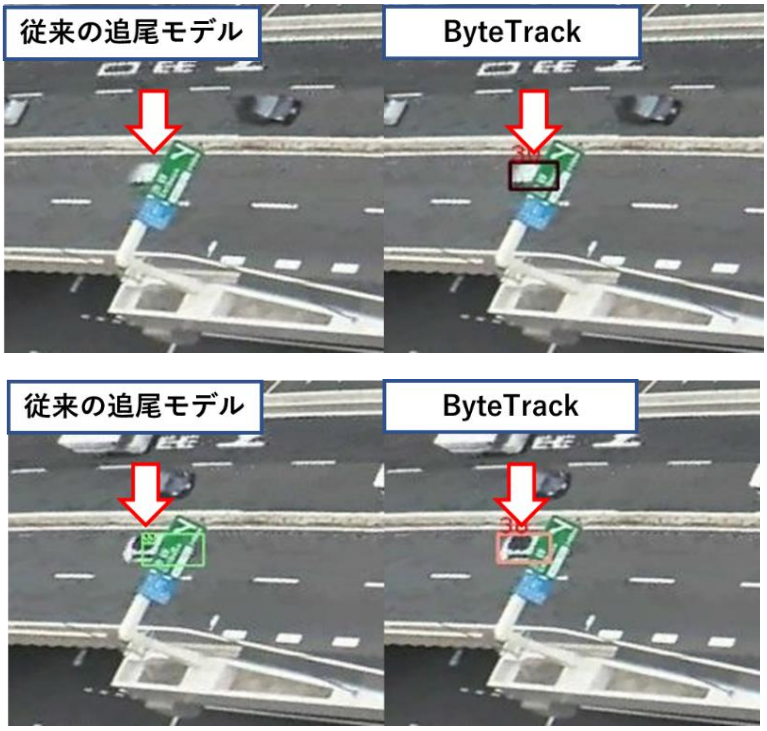


図 3.1.1.1-9　追尾結果の比較例
（上：軌跡途絶解消の例、下：軌跡ズレ解消の例）
（左：従来の追尾モデル、右：ByteTrack）

図 3.1.1.1-10 は、実写映像に対する検出・追尾処理の後、オルソ変換（画像座標を鉛直方向からの正射投影座標（ワールド座標）に変換）を行った各カメラの基準平面を示す。道路勾配をもとに、複数の基準平面に分割した。

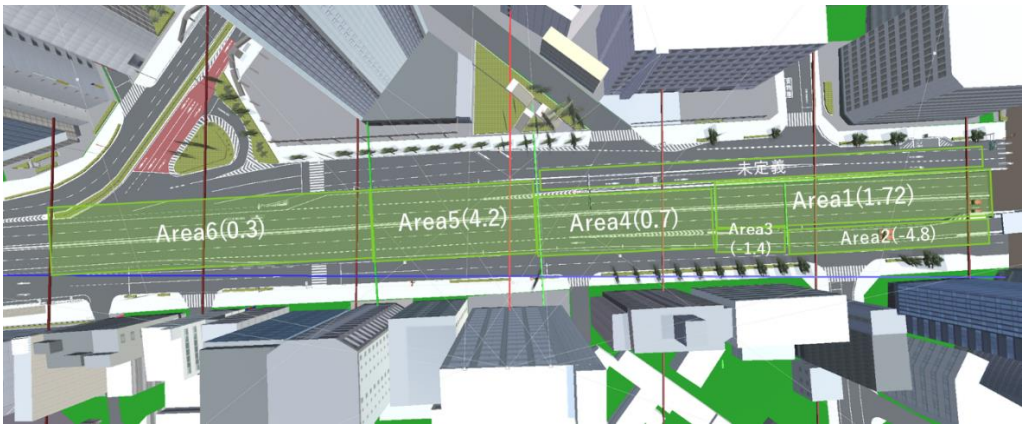


図 3.1.1.1-10　オルソ変換基準平面の設定（括弧内の数値は傾斜角[°]を示す）

c)　検証結果

①　バーチャル環境での軌跡精度予測

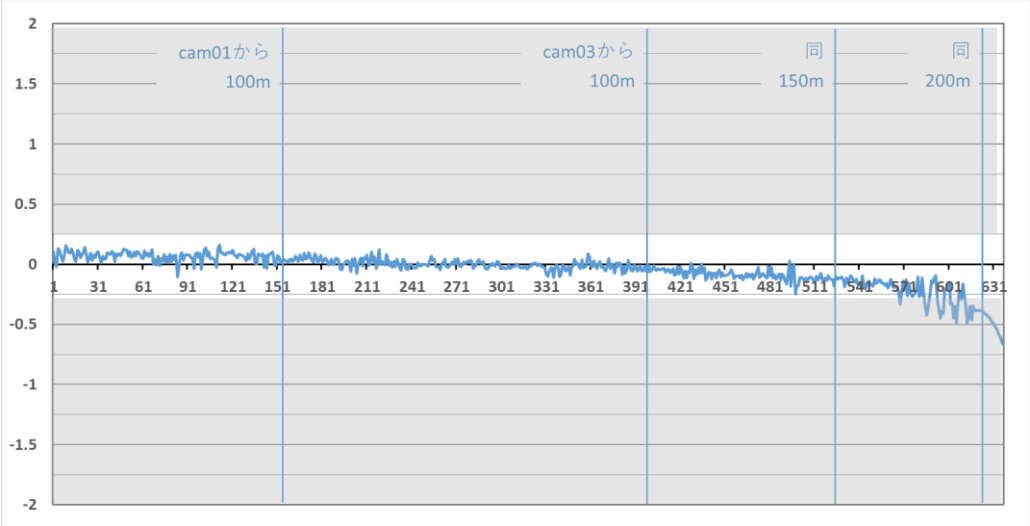
図 3.1.1.1-11、図 3.1.1.1-12 に、バーチャル環境での車両軌跡精度の予測結果を示す。車両モデルの走行シナリオから求まる軌跡真値と、CG にリアルと同じ画像処理を施し求めた軌跡計測値の差分から軌跡誤差（精度）を算出した。

図 3.1.1.1-11 は、車高が低い乗用車モデルを本線走行させた場合、図 3.1.1.1-12 は、車高が高いトラックモデルを本線走行させた場合の結果である。車両軌跡の仮目標精度（車両前後方向：±50cm 以内、車両横方向：±10cm 以内）をともに余裕を持って満足している。最寄りカメラからの距離が 150m（水平面）を超えたあたりから急に誤差が大きくなるが、車高が高いトラックモデルの方がその悪化度合いが大きい。

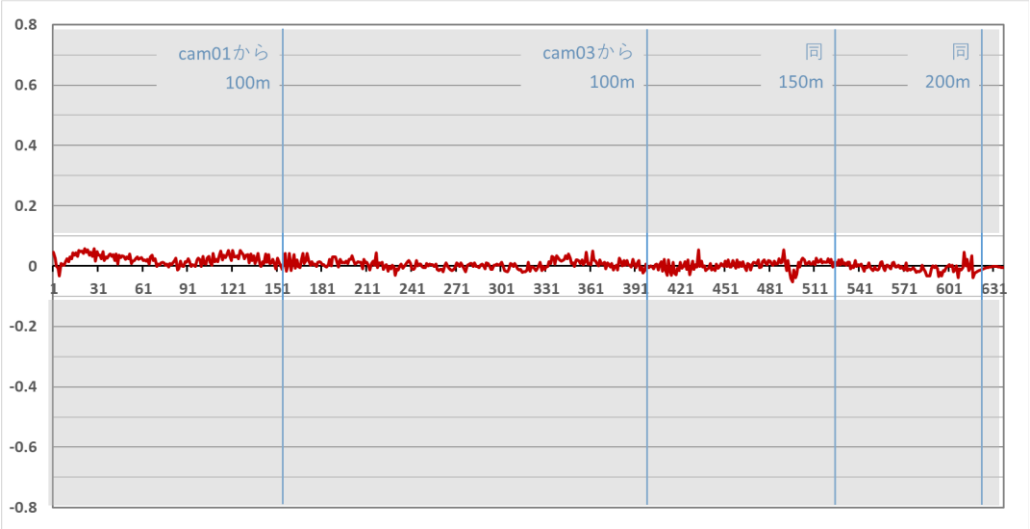
②　リアル環境での軌跡精度評価

図 3.1.1.1-13、図 3.1.1.1-14 に、リアル環境での車両軌跡精度の検証結果を示す。MMS 測量車（GNSS-RTK、高精度 LiDAR などを搭載）で求められた自己位置データ（車両軌跡リファレンス値）と、MMS 測量車が映る定点カメラ映像に画像処理を施して求めた軌跡計測値の差分から軌跡誤差（精度）を算出した。

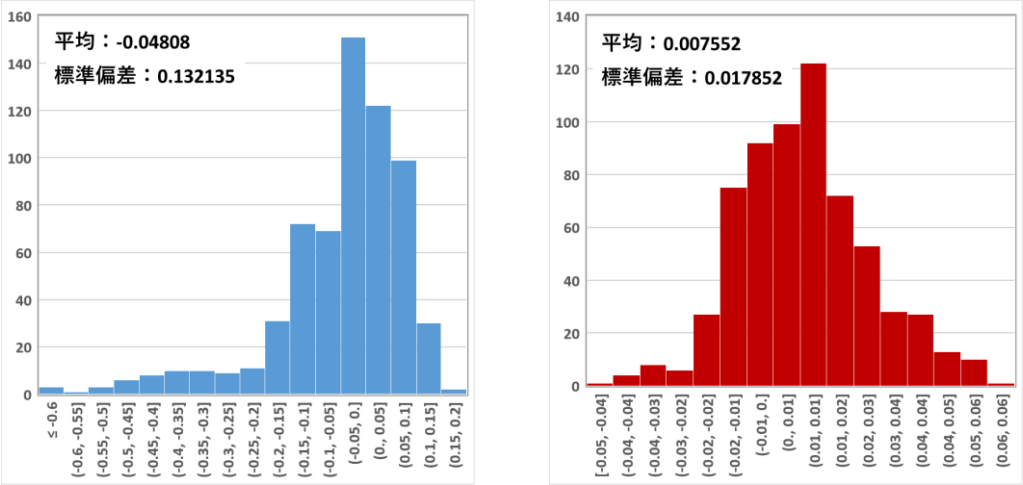
図 3.1.1.1-13 は、走行車線（本線左車線）を MMS 測量車が走行した場合、図 3.1.1.1-14 は、ランプ路から加速車線、走行車線へと MMS 測量車が合流走行した場合の結果である。車両軌跡の仮目標精度（車両前後方向：±50cm 以内、車両横方向：±10cm 以内）を共に概ね満足している。バーチャル環境とリアル環境での軌跡誤差を比較すると、高周波数域と低周波数域とも、リアル環境での軌跡誤差の方が倍程度に大きい。また、走行車線（本線左車線）よりランプ路からの合流走行の方がさらに倍程度大きい。バーチャル環境ではモデル化されていない要因が影響していると推測する。



縦軸：車両前後方向の軌跡誤差[m]　、横軸：フレーム番号

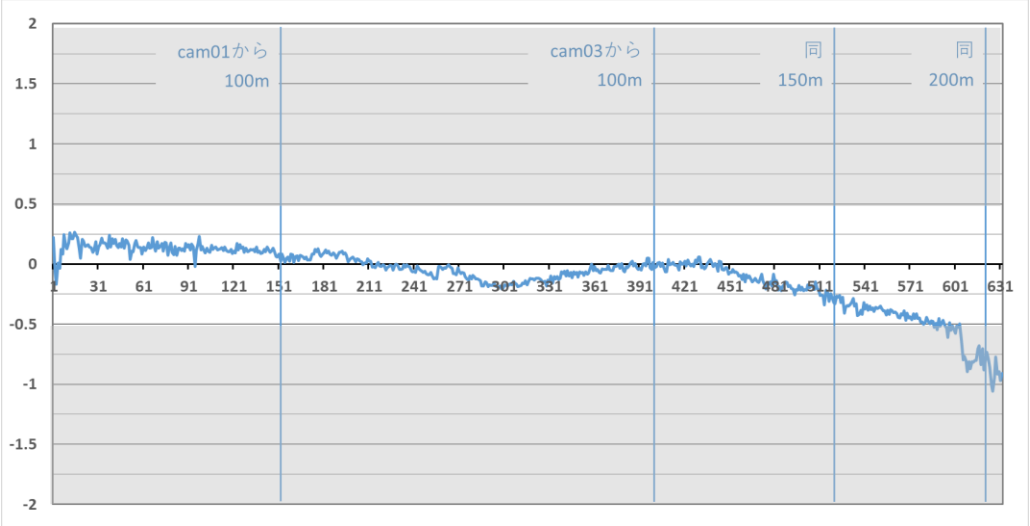


縦軸：車両横方向の軌跡誤差[m]　、横軸：フレーム番号

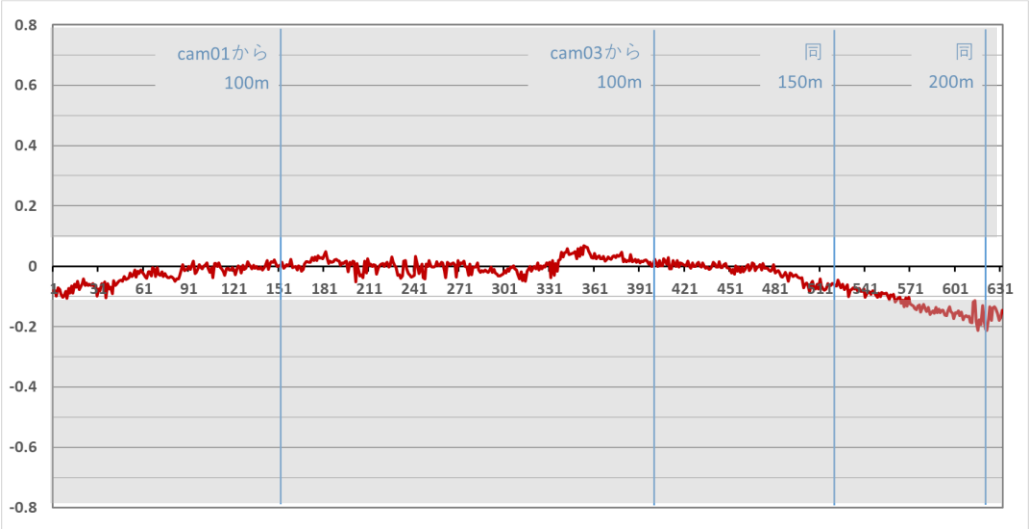


軌跡誤差の頻度分布（左：前後方向、右：横方向　単位：m）

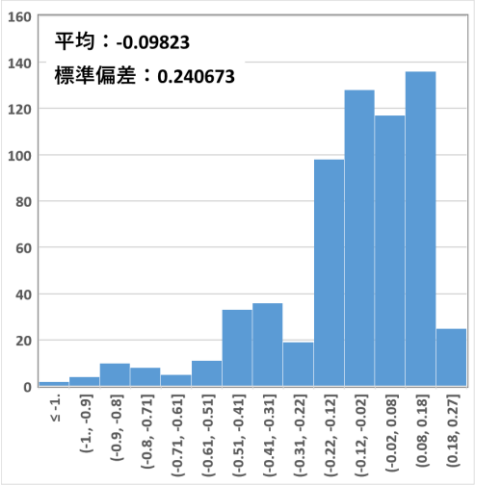
図 3.1.1.1-11　バーチャル軌跡精度予測結果　走行シーン（乗用車、走行車線）

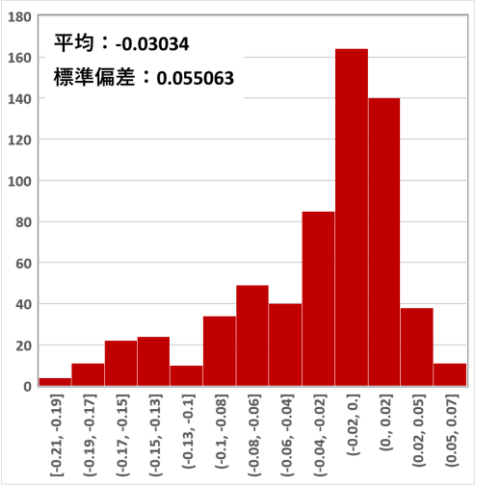


縦軸：車両前後方向の軌跡誤差[m]　、横軸：フレーム番号



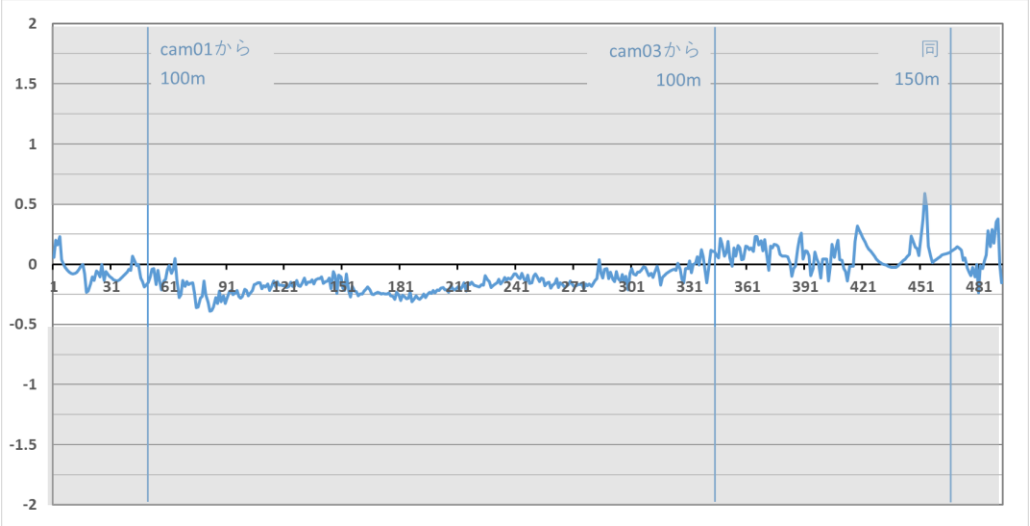
縦軸：車両横方向の軌跡誤差[m]　、横軸：フレーム番号



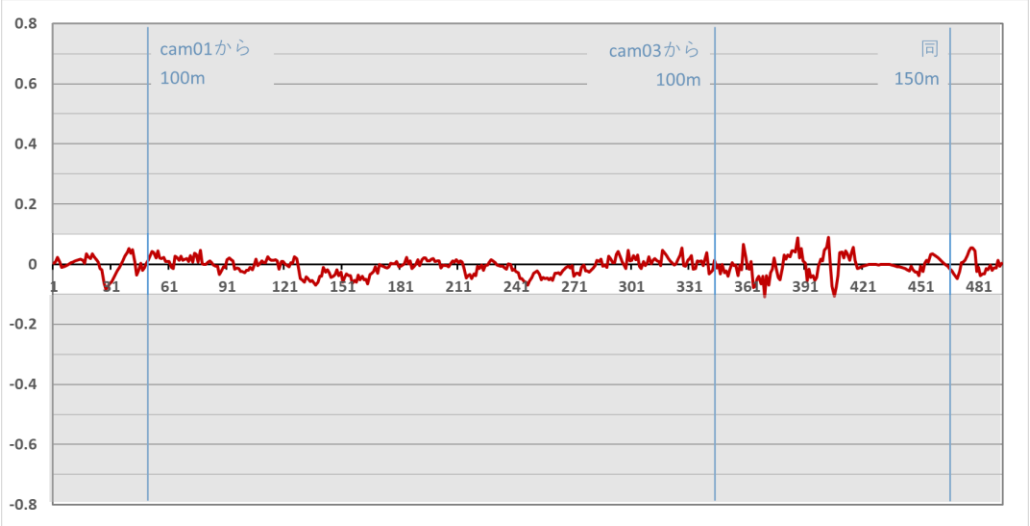


軌跡誤差の頻度分布（左：前後方向、右：横方向　単位：m）

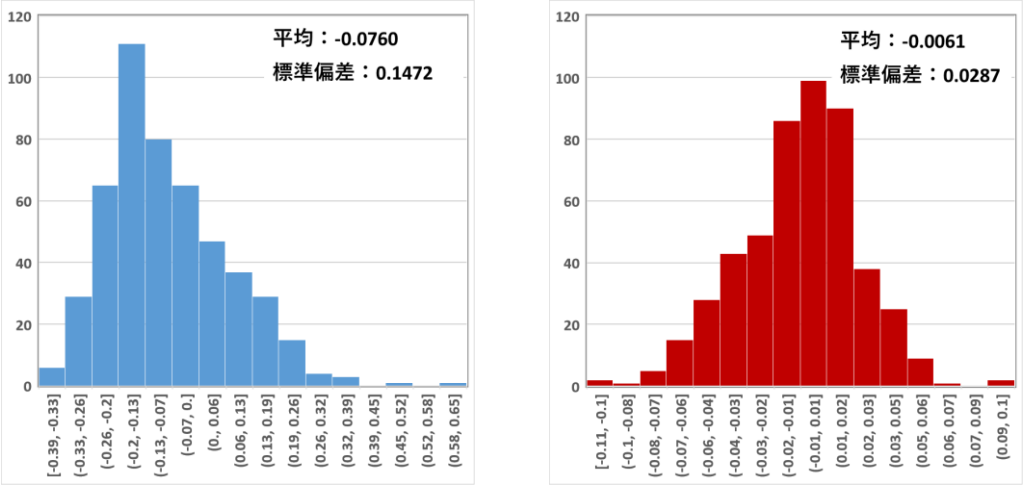
図 3.1.1.1-12　バーチャル軌跡精度予測結果　走行シーン（トラック、走行車線）



縦軸：車両前後方向の軌跡誤差[m]　、横軸：フレーム番号

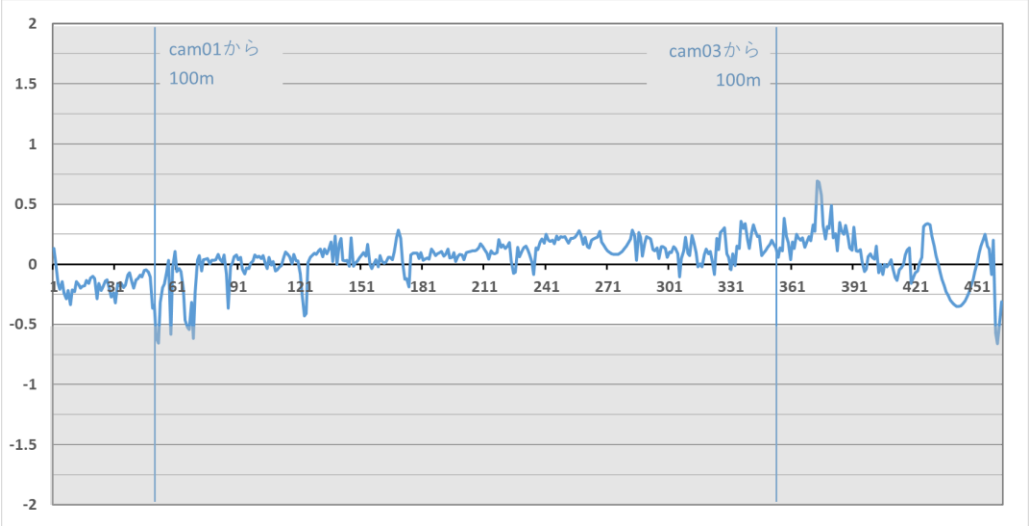


真値からの差異（横方向）　縦軸：m、横軸：フレーム番号

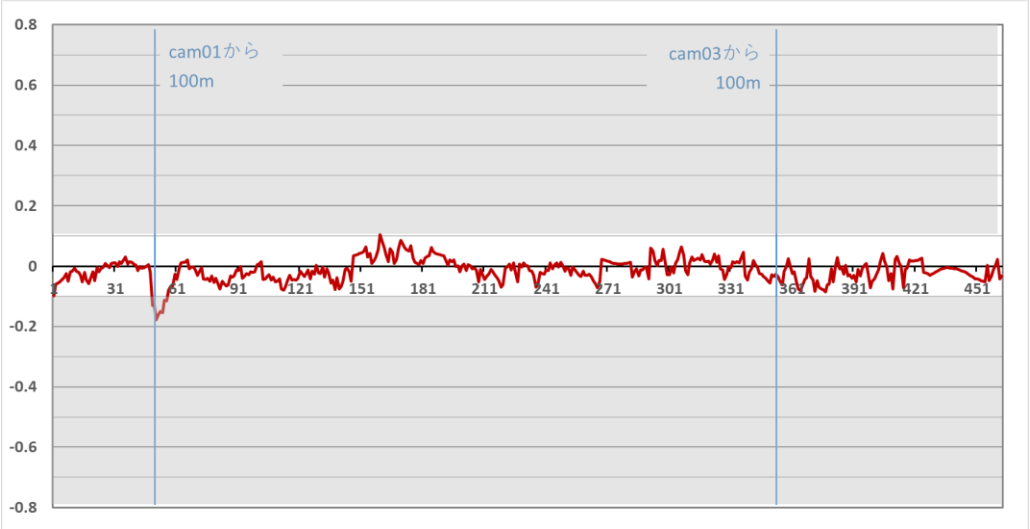


軌跡誤差の頻度分布（左：前後方向、右：横方向　単位：m）

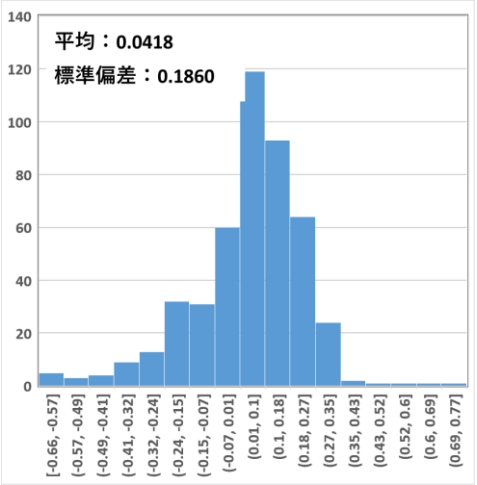
図 3.1.1.1-13　リアル軌跡精度検証結果　走行シーン（乗用車、走行車線）

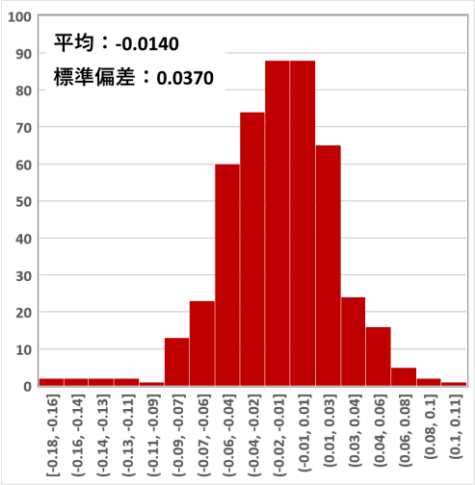


縦軸：車両前後方向の軌跡誤差[m]　、横軸：フレーム番号



縦軸：車両横方向の軌跡誤差[m]　、横軸：フレーム番号





軌跡誤差の頻度分布（左：前後方向、右：横方向　単位：m）

図 3.1.1.1-14　リアル軌跡精度検証結果　走行シーン（乗用車、ランプ路）

③　実写映像からの軌跡抽出結果

1 週間連続撮影した映像を目視確認で、降雨、レンズの雨滴付着、交通渋滞を確認して、降雨とレンズの雨滴付着が無い時間帯で、交通渋滞していない時間帯（600 分）、交通渋滞している時間帯（300 分）を選択した。特に、前者は後者の時間帯前後で、交通量が多い時間帯を選択した。この合計 900 分の映像（MMS 測量車が走行した時間帯を含む）に画像処理を施して車両軌跡データを抽出した。

ア）車両軌跡抽出結果（非渋滞シーン／600 分）

表 3.1.1.1-1 に、編集作業（オクルージョンなどで生じた軌跡の途絶やズレを可視化ツールと補間ツールで補修）の前後における軌跡抽出結果（車速帯域 10km/h 毎に表示）を示す。軌跡抽出率（観測区間の端から端まで途絶のない軌跡抽出台数／軌跡抽出台数）は、編集作業前が 96.4%、編集作業後が 98.7%でありかなり高い値である。ランプ路から合流車の総数は 1579 台であり、東池袋 IC 合流路の定点観測結果（合流車：2106 台）と比べて少ない。

イ）車両軌跡抽出結果（渋滞シーン／300 分）

表 3.1.1.1-2 に、編集作業の前後における軌跡抽出結果（車速帯域 10km/h 毎に表示）を示す。軌跡抽出率は、編集作業前が 87.9%、編集作業後が 93.1%であり、非渋滞シーンに比べて若干劣るが十分高い値である。ランプ路から合流車の総数は 673 台であり、東池袋 IC 合流路の定点観測結果（合流車：1123 台）と比べてかなり少ない。

表 3.1.1.1-1　車両軌跡抽出結果（非渋滞シーン／600 分）

（左：編集作業前、　右：編集作業後）

平均速度（km/h）	軌跡台数
0 - 10	88
10 - 20	238
20 - 30	362
30 - 40	159
40 - 50	408
50 - 60	2037
60 - 70	5038
70 - 80	5849
80 - 90	2772
90 - 100	427
100 - 110	51
110 - 120	10
120 - 130	5
130 - 140	2
140 - 150	0
Total	17446
合流車両台数	1579
有効軌跡抽出台数	17446
軌跡抽出台数	18556
軌跡抽出率	0.940

平均速度（km/h）	軌跡台数
0 - 10	79
10 - 20	251
20 - 30	376
30 - 40	178
40 - 50	451
50 - 60	2191
60 - 70	5245
70 - 80	6065
80 - 90	2891
90 - 100	507
100 - 110	67
110 - 120	13
120 - 130	6
130 - 140	2
140 - 150	0
Total	18322
合流車両台数	1579
有効軌跡抽出台数	18322
軌跡抽出台数	18556
軌跡抽出率	0.987

表 3.1.1.1-2　車両軌跡抽出結果（渋滞シーン／300 分）

（左：編集作業前、　右：編集作業後）

平均速度（km/h）	軌跡台数
0 - 10	1133
10 - 20	3901
20 - 30	1000
30 - 40	254
40 - 50	184
50 - 60	399
60 - 70	451
70 - 80	298
80 - 90	110
90 - 100	12
100 - 110	4
110 - 120	1
120 - 130	0
130 - 140	0
140 - 150	0
Total	7747
合流車両台数	673
有効軌跡抽出台数	7747
軌跡抽出台数	8810
軌跡抽出率	0.879

平均速度（km/h）	軌跡台数
0 - 10	1223
10 - 20	4062
20 - 30	1083
30 - 40	276
40 - 50	205
50 - 60	431
60 - 70	479
70 - 80	309
80 - 90	115
90 - 100	14
100 - 110	4
110 - 120	1
120 - 130	0
130 - 140	0
140 - 150	0
Total	8202
合流車両台数	673
有効軌跡抽出台数	8202
軌跡抽出台数	8810
軌跡抽出率	0.931

④サンプル映像目視による車両挙動の考察

令和 4 年度は、直接式合流路＠首都高速道路東池袋 IC と平行式合流路＠首都高速道路渋谷 IC の各定点観測サンプル映像（非渋滞 10 分）の目視確認（同一方法）によって、道路形状の差異が車両挙動に大きな影響を与えるか否か、まずは傾向を掴むことにした。

なお、平行式合流路＠首都高速道路渋谷 IC の車両軌跡データ（非渋滞 600 分、渋滞 300 分）を活用したシナリオ抽出とシナリオ分析、つまり、シナリオパラメータの統計分析（合理的に予見可能な範囲の把握）は今後の課題とする。

ア）　映像目視による車両挙動の把握方法

目視確認用映像（時刻・ID 番号・検出枠の表示あり、図 3.1.1.1-15 を参照）のサンプル（10 分程度）を使って、合流路シナリオ（本線走行車線の走行車の前に、ランプ路から入った合流車がカットイン）に相当するシーンを目視で探索した。映像目視では、瞬時車速や横速度を把握することは極めて難しい。そこで、合流開始時点（加速車線と本線間の点線を跨ぎ始める瞬間）と合流終了時点（加速車線と本線間の点線を跨ぎ終える瞬間）を新たに定義して、各時点の合流車と本線走行車の相対距離と時刻を記録。両時刻間の平均相対車速を定義した。（走行車線と追越し車線を隔てる破線は約 10m 間隔なので定規として利用）渋谷 IC 合流路と東池袋 IC 合流路の目視確認用映像（各 10 分程度、共に土曜の昼、晴れ）に対して、上述の定義に基づいて、相対距離（m）と相対車速（km/h）を読み取り比較した。

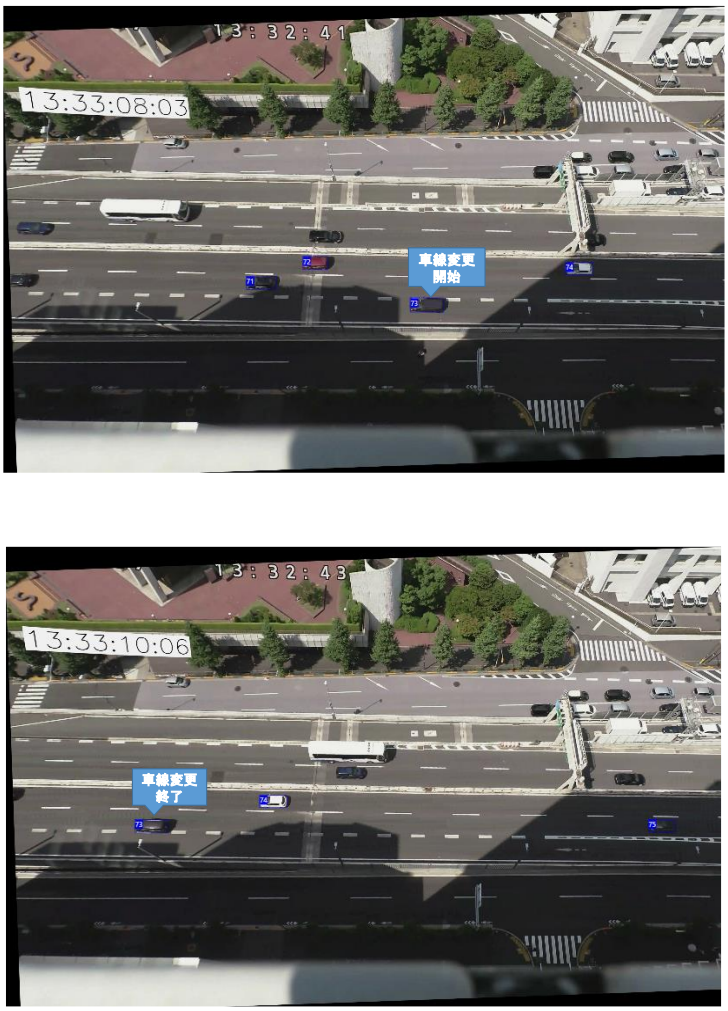


図 3.1.1.1-15　目視確認用映像を使った合流挙動の大まかな把握
（上段：合流開始時点、　下段：合流終了時点）

イ）　結果と考察

サンプル映像の目視確認から得た「相対距離（m)」と「相対車速（km/h)」で作った散布図を図 3.1.1.1-16 に示す。加速車線が長い平行式合流路では、加速車線が極度に短い直接式合流路に比べて、合流車と本線走行車との相対速度が小さい場合が殆どであり、衝突リスクが高いケース（相対距離:小、かつ、相対速度:大）が殆ど無い。加速車線が長い平行式合流路では、合流車は自車速を、後方の本線走行車の車速へ合わせる余裕があると推察する。

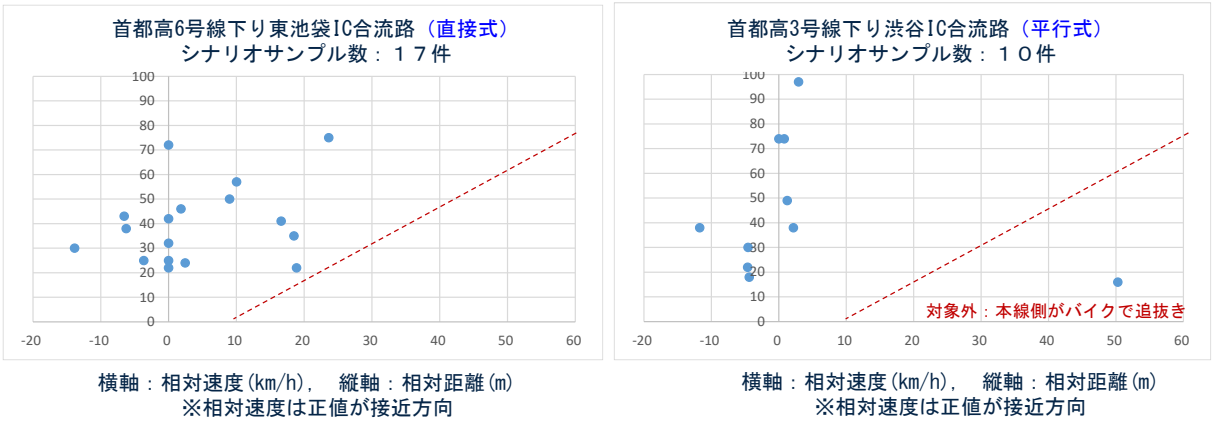


図 3.1.1.1-16　散布図（合流シナリオの相対速度と相対距離）
（左：合流開始時点、　右：合流終了時点）

d)　まとめ

都市高速道・都市間高速道における道路形状の差分（構造的特徴における大きな違い）が実交通流車両挙動（特に合理的に予見可能な範囲）へ与える影響を整理確認するために、合流路における最も特徴ある道路形状差分として、直接式合流路と平行式合流路に着目した。

直接式合流路としては、首都高速道路 6 号線下り東池袋 IC 合流路での定点観測データを既に収集済である。これと正確に比較するためには、上述の道路形状差異（直接式／平行式）以外は同条件である必要があるため、平行式合流路として、首都高速道路 3 号線下り渋谷 IC 合流路にて定点観測を新規に実施した。

加速車線が長く典型的な平行式合流路であり、その全景（約 300m 区間）を隣接する高層ビル屋上（17 階建て、地上高約 69m）から定点観測することで、鳥瞰的で理想的な映像を収集できた。オクルージョンが生じ難く軌跡抽出率（途絶なく抽出された軌跡の比率）が高く、バーチャル環境での軌跡精度予測、および、リアル環境での軌跡精度検証の両結果とも目標精度を満たし良好であった。

サンプル映像目視によって、直接式合流路（首都高速道路東池袋 IC）と平行式合流路（首都高速道路渋谷 IC）の合流車と周辺車の相互挙動に差異があるか定性的に傾向を確認した。合流車と本線走行車の相対距離と相対速度を映像から読み取り散布図にまとめた結果、平行式合流路では、相対速度のバラつきが小さく、余裕のある合流運転であることが確認された。

参考文献

[1] Yifu Zhang et.al.; ByteTrack: Multi-Object Tracking by Associating Every Detection Box, arXiv:2110.06864v3，https://arxiv.org/pdf/2110.06864.pdf （2022）

[2] 文献[1]のプログラムソースコード，https://github.com/ifzhang/ByteTrack （2023 年 3 月現在）

（2） 地域間等の差分検証（計測車両：目視確認による定性的検証）

高速道における地域差分が実交通流車両挙動（特に合理的に予見可能な範囲）へ与える影響を確認するため、さまざまな地域での実交通流データ収集に適した「計測車両データ」を活用した。

a） 目的

SAKURA プロジェクト内で収集した高速道の実交通流データは、一部地域（首都高速道路、東名高速道路など）となっているため、地域間における車両挙動の差分が合理的に予見可能な範囲に与える影響の有無を整理しておく必要がある。そのため、SAKURA プロジェクト内で収集した高速道とは別地域の高速道にて実交通流データを収集し、地域間における車両挙動の差分を定性的に検証した。

b）検証内容

地域間の差分は、SAKURA プロジェクトで収集済の高速道における車両挙動データとは別地域の高速道における車両挙動データを比較することで検証した。

① 差分検証対象とする高速道の車両挙動データ

【データ収集する高速道の選定】

地域間における車両挙動の差分を検証する高速道は、低速域および高速域で周辺車の車両挙動が確認可能な都市間高速道とした。都市間高速道にて車両挙動データを取得するにあたり、日本国内における都市間高速の道路条件である車線数、制限速度の構成を調査した結果を図 3.1.1.1-17 に示す。この調査結果より、車線数が 2 車線、かつ、制限速度が 80km/h、100km/h の道路条件が占める割合が高く、都市間高速道における車両挙動データを取得するのに最も優先度が高い道路条件であることが確認できた。

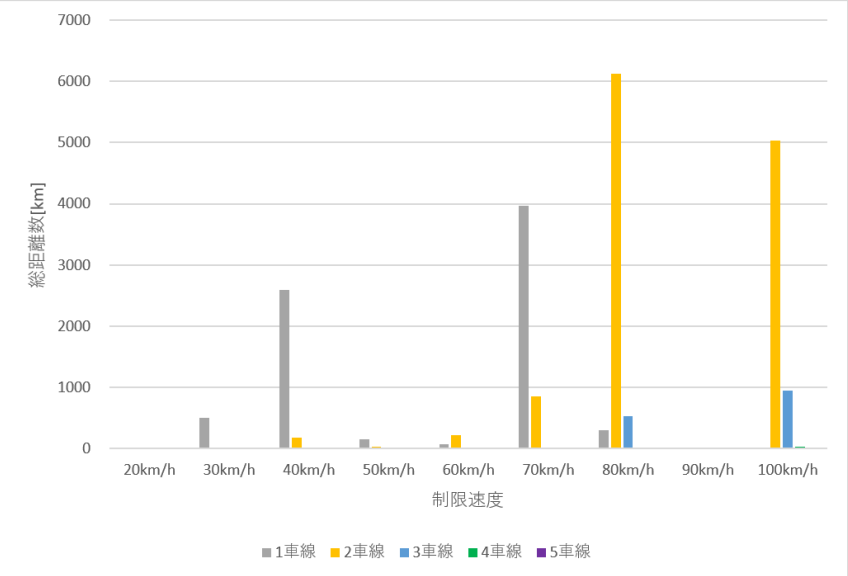


図 3.1.1.1-17 日本国内における都市間高速道の道路条件に対する総距離

この結果をふまえて、表 3.1.1.1-3 に記載した都市間高速道から SAKURA プロジェクト内で収集した都市間高速道に対して地域間の車両挙動の差分に特化した検証ができるように、道路条件として車線数や制限速度の類似性が高い都市間高速道、かつ、できるかぎり離れた都市間高速道路の調査を実施した。

表 3.1.1.1-3　国内の都市間高速道に対する実交通流データの取得状況

道央自動車道	札樽自動車道	後志自動車道	道東自動車道
十勝オホーツク自動車道	東北自動車道	八戸自動車道	青森自動車道
釜石自動車道	秋田自動車道	日本海東北自動車道	山形自動車道
東北中央自動車道	磐越自動車道	常磐自動車道	北陸自動車道
関越自動車道	上信越自動車道	北関東自動車道	東京外環自動車道
東関東自動車道	館山自動車道	中央自動車道	東名高速道路
中部横断自動車道	長野自動車道	名神高速道路	東海北陸自動車道
伊勢湾岸自動車道	新東名高速道路	東名阪自動車道	名古屋第二環状自動車道
新名神高速道路	伊勢自動車道	紀勢自動車道	西名阪自動車道
近畿自動車道	阪和自動車道	舞鶴若狭自動車道	中国自動車道
山陽自動車道	播磨自動車道	鳥取自動車道	岡山自動車道
米子自動車道	尾道自動車道	松江自動車道	広島自動車道
浜田自動車道	山陰自動車道	高松自動車道	徳島自動車道
徳島南部自動車道	高知自動車道	松山自動車道	九州自動車道
長崎自動車道	大分自動車道	宮崎自動車道	九州中央自動車道
東九州自動車道	新空港自動車道	関西空港自動車道	関門橋
沖縄自動車道			

※赤字：SAKURA プロジェクトにて保有する国内の取得済実交通流データ

調査の結果、東名高速道路・新東名高速道路は、車両挙動データを取得するのに最も優先度が高い道路条件である車線数が 2 車線および制限速度域が 80km/h、100km/h が多くを占めていることが確認できた。この調査結果による道路条件と類似性が高く、かつ、東名高速道路・新東名高速道路がある東日本に対してできるかぎり離れた西日本の都市間高速道路から条件に当てはまる九州自動車道を選定した。東名高速道路・新東名高速道路と九州自動車道の道路条件の調査結果を表 3.1.1.1-4 に示す。

表 3.1.1.1-4　東名・新東名高速道路と九州自動車道の道路条件の調査結果

自動車道名	制限速度 [km/h]	1 車線 [km]	2 車線 [km]	3 車線 [km]	4 車線 [km]	5 車線 [km]
東名・新東名高速道路	80	4.2	529.0	333.6	13.1	0.7
東名・新東名高速道路	100	0.0	3176.3	884.2	3.0	0.0
九州自動車道	80	0.0	1066.3	46.8	0.0	0.0
九州自動車道	100	0.0	1197.2	124.2	0.6	0.0

【走行経路の選定】

シナリオに資する交通流データ（車両挙動データ）を収集できるように、交通密度が高い都市部を通る経路、かつ、車線変更が原則禁止のトンネルが少ない経路を調査し、図 3.1.1.1-18 に示す門司 IC～御船 IC の経路を選定した。

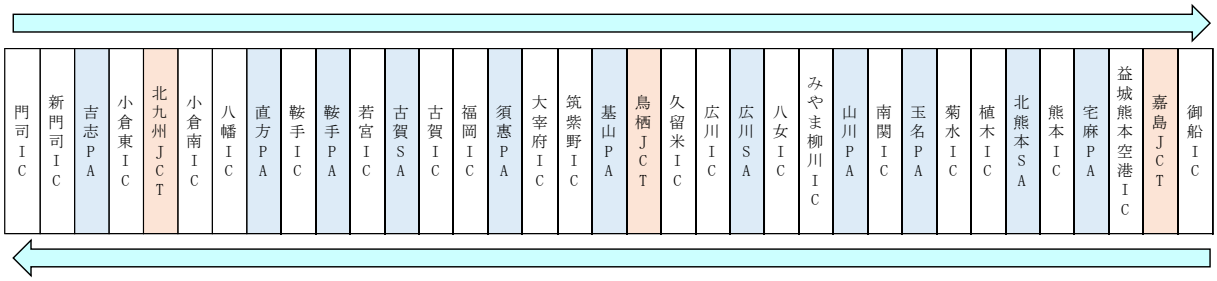


図 3.1.1.1-18　九州自動車道走行経路

【データ計測条件】

データ収集はシナリオ分析による定量的な分析ができるように、SAKURA プロジェクトで構築したセンサ（LiDAR、カメラ、GNSS/IMU）を車両に組み込んだ車両組み込み型ロガーおよびセンサ（LiDAR、カメラ、GNSS/IMU）を全てルーフボックスに格納した車両外付け型ロガーを搭載した計測車両を使用し、図 3.1.1.1-18 九州自動車道走行経路に示した経路にてデータ収集を実施した。交通流データとして、計測車両に乗車している運転者とは別の乗務員の目視確認により、周辺車の挙動（カットイン／カットアウト）を記録した。

② SAKURA プロジェクトで収集済の交通流データ

地域間における交通流の差分を確認する上で、周辺車の挙動（カットイン／カットアウト）を記録するルールが確立していた令和 2、3 年度の走行実績を集計した。

c)　検証結果

①　差分検証対象となる高速道の実交通流データ

差分検証対象とする九州自動車道の走行実績および令和 2、3 年度に収集済である東名・新東名高速道路の走行実績を表 3.1.1.1-5、表 3.1.1.1-6 に示す。

表 3.1.1.1-5　九州自動車道の走行実績

実績項目	合計	平日	休日
走行日数（日）	105	73	32
カットイン（件数）	5,140	3,311	1,829
カットアウト（件数）	3,421	2,323	1,098

表 3.1.1.1-6　令和 2、3 年度　東名・新東名高速道路の走行実績

実績項目	合計	平日	休日
走行日数（日）	66	46	20
カットイン（件数）	10,567	5,586	3,071
カットアウト（件数）	6,321	4,491	1,830

②　時間帯別地域間における車両挙動の差分結果

九州自動車道と東名・新東名高速道路における周辺車の挙動（カットイン／カットアウト）を平日と休日それぞれについて、時間帯別にグラフ化して比較した。8 時台から 17 時台の走行に発生した周辺車の挙動毎の時間帯別平均発生件数（時間帯毎の車両挙動発生件数/時間帯毎に走行した日数）をグラフ化し、カットイン_平日の時間帯別平均発生件数、カットイン_休日の時間帯別平均発生件数、カットアウト_平日の時間帯別平均発生件数、カットアウト_休日の時間帯別平均発生件数を図 3.1.1.1-19 として示す。

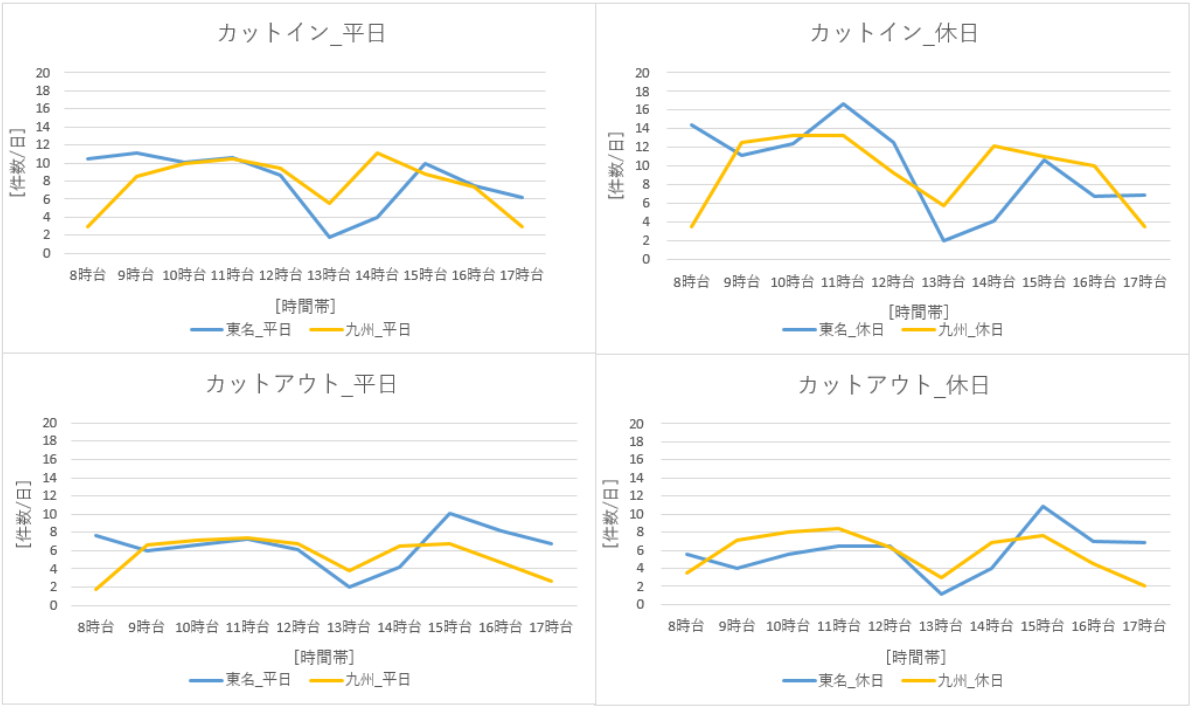


図 3.1.1.1-19 東名・新東名高速道路と九州自動車道における時間帯別平均発生件数

③　発生場所別地域間における車両挙動の差分結果

車両挙動の特徴有無を解析するため、周辺車の挙動（カットイン／カットアウト）を記録している日時と GNSS により得られる緯度経度の記録情報から地図上に発生場所をプロットし、その数と発生場所を確認した。発生場所をプロットした地図を確認したところ、周辺車の挙動（カットイン／カットアウト）の種別に関わらず、次の特徴が確認できた。

・経路上施設（IC/JCT/SA/PA/料金所）の周辺で発生
・走行経路上の都市部周辺で多発（東名高速道路の横浜と九州自動車道の福岡）

④　考察

時間帯別地域間における車両挙動の差分結果について、異なる地域における交通量の違いやドライバの運転傾向の違いにより、車両挙動に差分が生じることを想定したが、図 3.1.1.1-19 を確認したところ、平日、休日ともに周辺車の挙動（カットイン／カットアウト）に顕著な違いは見受けられなかった。また、発生場所別地域間における車両挙動の差分結果について、東名高速・新東名高速道路および九州自動車道ともに IC/JCT/SA/PA/料金所付近や都市部周辺などに集中しており、場所による周辺車の挙動（カットイン／カットアウト）についても、特徴的な違いは見受けられなかった。これらの定性的な検証結果からは、地域差分が実交通流車両挙動へ与える影響は小さいと考えられる。

d)　まとめ

都市高速道・都市間高速道における車両挙動の地域差分が、合理的に予見可能な範囲へ与える影響を確認するために、SAKURA プロジェクト内で収集した東名高速道路・新東名高速道路の差分確認対象として、九州自動車道を選定した。収集したデータから時間帯別および発生場所による周辺車の挙動（カットイン／カットアウト）を比較したが、顕著な違いは見受けられなかった。今回は、これらの定性的な検証結果から、地域差分が実交通流車両挙動へ与える影響の確認ができた。今後の取り組みとしては、合理的に予見可能な範囲の特定手法の補強を行うために、九州自動車道で収集した交通流データを分析し、地域間の差異が合理的に予見可能な範囲に及ぼす影響の有無を整理する必要がある。

3.1.2　高速道シナリオの十分性の検証のための道路形状や地域間等の差分によるシナリオ分析への影響検討

道路には直線部と曲線部と呼ばれる道路の形状が存在する。また、高速道等においては、本線に進入するための合流部と呼ばれる道路形状が存在し、合流部の加速車線の長さや形状は設置される場所や交通環境によって異なる。3.1.2 では、No.1 本線×自車車線維持×カットインシナリオ（以下、「Cut-in シナリオ」という）、および No.9 合流部×自車車線維持×カットインシナリオ（合流部カットインシナリオ）のデータを用いて、パラメータ分布を比較することで、道路形状や地域間などがシナリオ分析結果へ与える影響について検討する。なお、Cut-in シナリオのデータ計測結果と合流部シナリオのデータ計測結果については一部令和 3 年度までの SAKURA プロジェクトとして成果報告済であるが、データ追加分が含まれるため、一部重複して記載する。

（1）　直線部と曲線部

① LS（ロジカルシナリオ）の定義

カットイン（以下、「Cut-in」という）のシナリオの挙動を表すパラメータを図 3.1.2-1 に示す。使用するパラメータは、自車速度【Ve0】、相対速度【Ve0-Vo0】、車間距離【dx0】、および相対横速度【Vy】である。各パラメータの値は、相対横速度以外のパラメータについては Cut-in 開始時の値を時系列データから抽出し、相対横速度は Cut-in 開始時から終了時までの最大値を代表値として採用する。最大値を利用する理由は、より危険性の高いと考えられる高速での Cut-in シーンをシナリオ範囲に含ませることを意図しているためである。

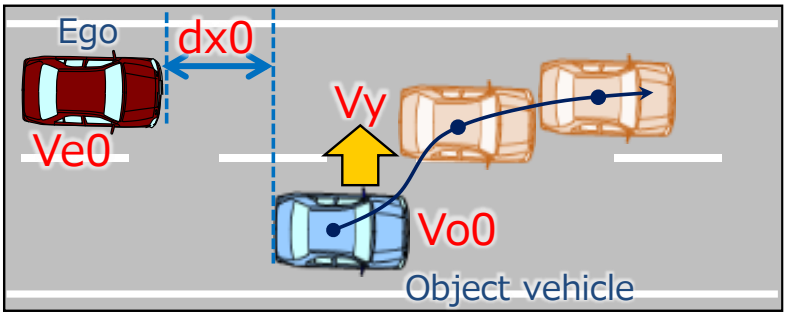


図 3.1.2-1　LS（Cut-in）のパラメータ

② シナリオ該当場面の抽出

今回、Cut-in シナリオは計測車で計測したデータをもとに作成した。使用するパラメータおよび計測データのソースと取得件数を表 3.1.2-1、表 3.1.2-2 に示す。

表 3.1.2-1 Cut-in シナリオのパラメータ定義

パラメータ名		変数	単位	抽出条件	取得方法
英	日				
Ego-vehicle longitudinal velocity	自車速度	Ve0	km/h	初期値	直接計測
Ego-relative longitudinal velocity	相対速度	Ve0-Vo0	km/h	初期値	直接計測
Ego-relative longitudinal distance	車間距離	dx0	m	初期値	直接計測
Lateral velocity	相対横速度	Vy	m/s	最大値	直接計測

表 3.1.2-2 Cut-in シナリオの計測データのソースおよび取得件数

パラメータ名		変数	単位	取得件数		
英	日			SAKURA 計測車	SAKURA 定点カメラ	運転行動 DB
Ego-vehicle longitudinal velocity	自車速度	Ve0	km/h	24381	-	-
Ego-relative longitudinal velocity	相対速度	Ve0-Vo1	km/h	24381	-	-
Ego-relative longitudinal distance	車間距離	dx0	m	24381	-	-
Lateral velocity	相対横速度	Vy	m/s	24381	-	-

③ 分析対象データの定義

Cut-in シナリオには、Cut-in 後の車両が自車から遠ざかる離反条件と、近づく接近条件が存在する。本検討では、これらの条件を分けて分析する。

また、道路構造令第十五条を参考に、規定半径が 710m 以下の区間を曲線部と定義した。これは、規定半径が 710m 以下の区間は、曲線部であるために、走行時に何らかの制約が伴うと判断したためである。

そして、速度によって運転行動が異なることを加味して、低速域（自車速度 0-60 km/h）と高速域（自車速度 40-140km/h）を分けて分析する。

これらの定義をもとに、取得されたデータを整理した結果を、離反条件は表 3.1.2-3

に、接近条件は表 3.1.2-4 にそれぞれ示す。

表 3.1.2-3　離反条件における道路形状と取得件数

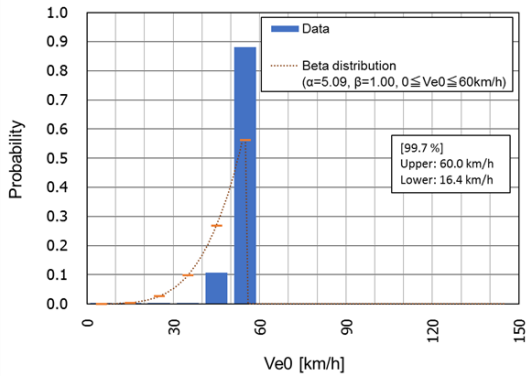
道路形状	Cut-in 方向	件数	道路形状ごとの件数	速度域	速度域件数
直線部	右から	16962	17164	低速域	10253
				高速域	16889
	左から	202		低速域	75
				高速域	161
曲線部・右カーブ	右から	3034	6478	低速域	2031
				高速域	3030
	左から	47		低速域	31
				高速域	43
曲線部・左カーブ	右から	3291		低速域	2095
				高速域	3273
	左から	106		低速域	79
				高速域	48

表 3.1.2-4　接近条件における道路形状と取得件数

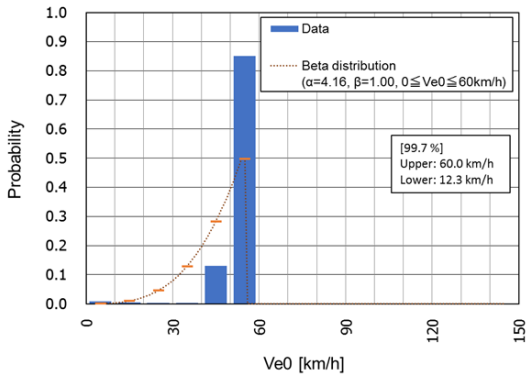
道路形状	Cut-in 方向	件数	道路形状ごとの件数	速度域	速度域件数
直線部	右から	217	533	低速域	118
				高速域	139
	左から	316		低速域	84
				高速域	160
曲線部・右カーブ	右から	44	206	低速域	29
				高速域	34
	左から	36		低速域	12
				高速域	33
曲線部・左カーブ	右から	76		低速域	58
				高速域	50
	左から	50		低速域	15
				高速域	40

④　パラメータ分布の推定

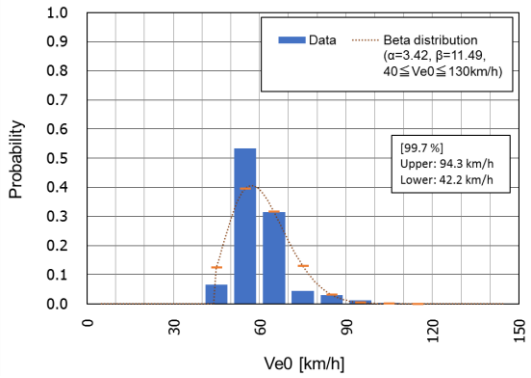
Cut-in シナリオ離反条件の各パラメータの分布を図 3.1.2-2 から図 3.1.2-5 に示す。また、各パラメータにおいて、直線部と曲線部を並べて示す。



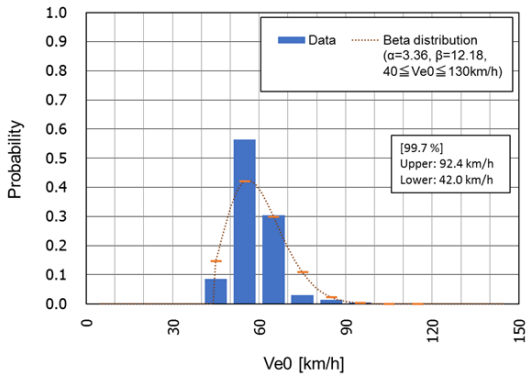
（a）低速域-直線部



（b）低速域-曲線部

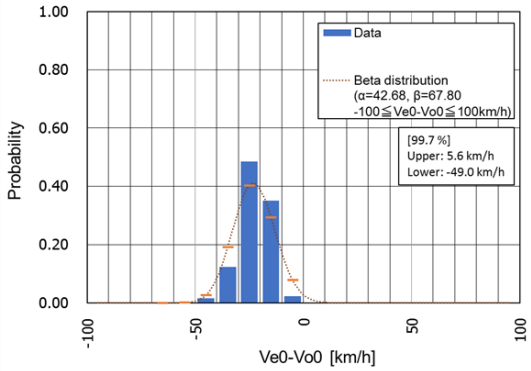


（c）高速域-直線部

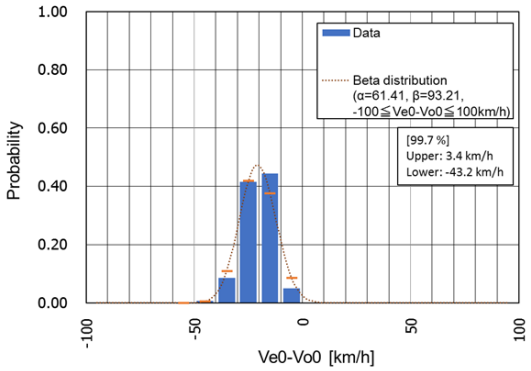


（d）高速域-曲線部

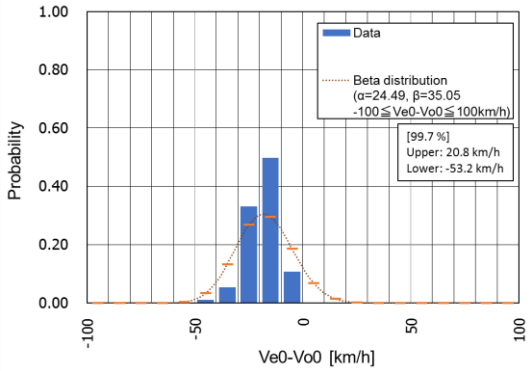
図 3.1.2-2　Cut-in シナリオ-離反条件-自車速度分布



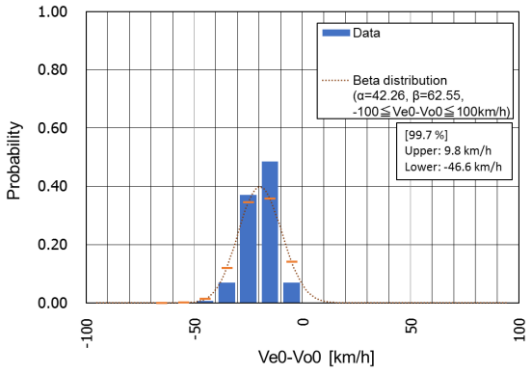
（a）低速域-直線部



（b）低速域-曲線部

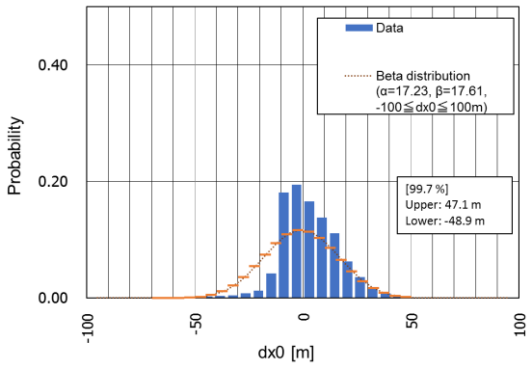


（c）高速域-直線部

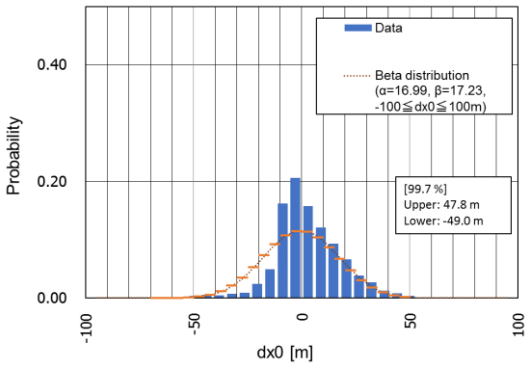


（d）高速域-曲線部

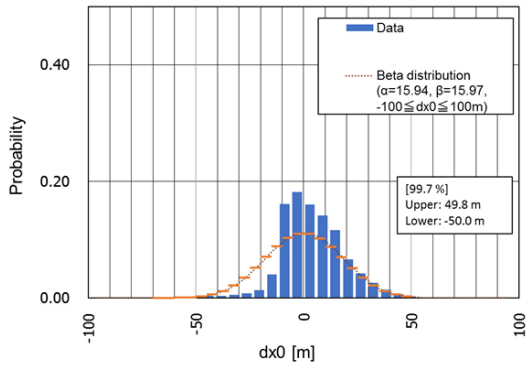
図 3.1.2-3　Cut-in シナリオ-離反条件-自車相対初期速度分布



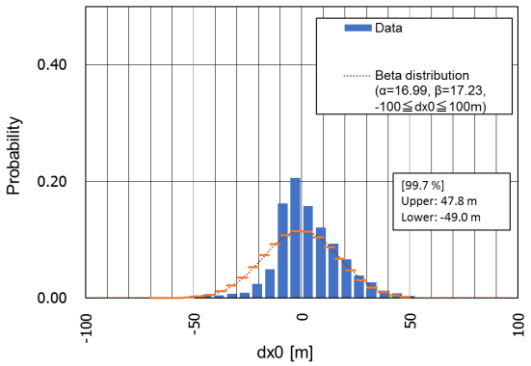
（a）低速域-直線部



（b）低速域-曲線部

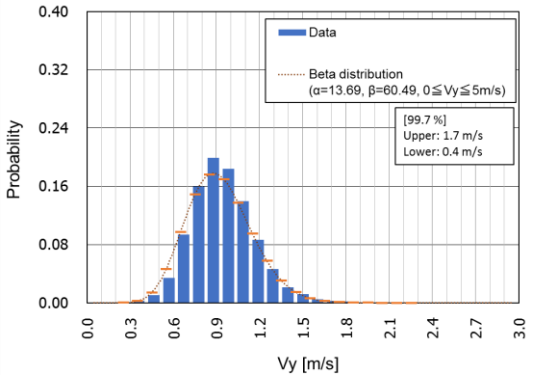


（c）高速域-直線部

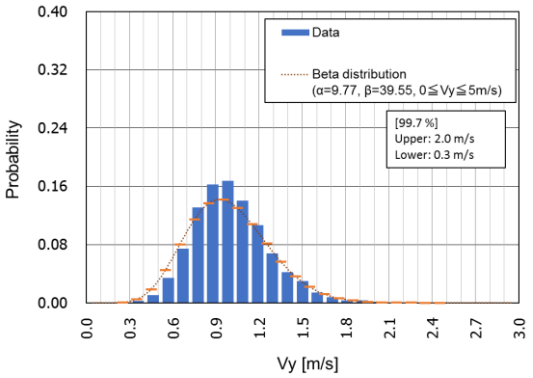


（d）高速域-曲線部

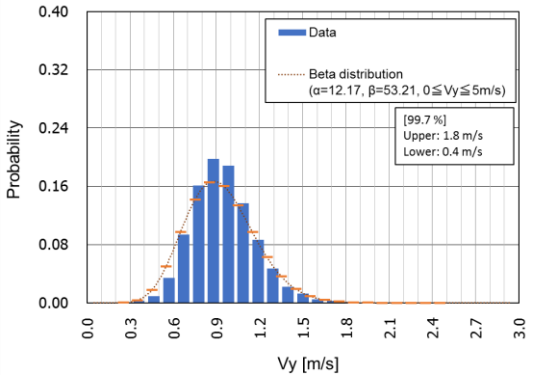
図 3.1.2-4　Cut-in シナリオ-離反条件-自車初期車間距離分布



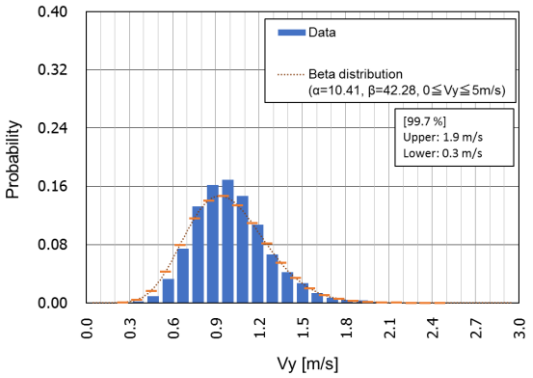
（a）低速域-直線部



（b）低速域-曲線部



（c）高速域-直線部

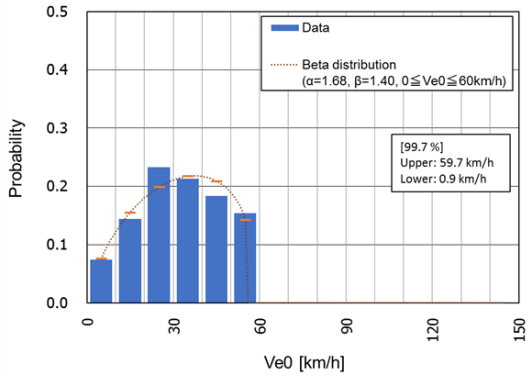


（d）高速域-曲線部

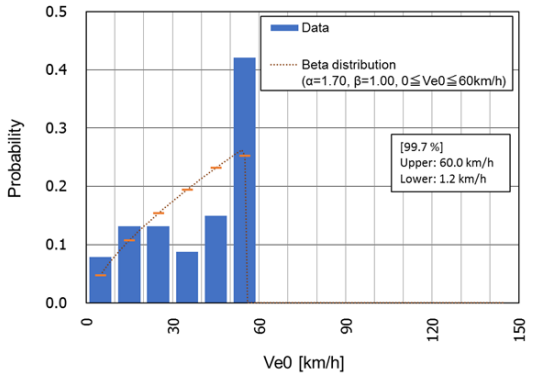
図 3.1.2-5　Cut-in シナリオ-離反条件-相対横速度分布

各々のパラメータにおいて、最頻値帯が異なるパラメータが存在したものの、直線部と曲線部において、99.7 パーセンタイルが大きく異なるような傾向は見られなかった。

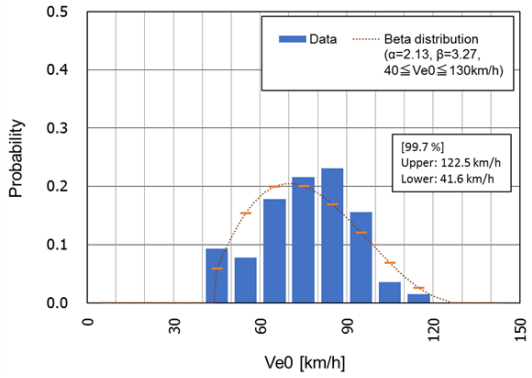
同様に接近条件においても、各パラメータの分布を図 3.1.2-6 から図 3.1.2-9 に示す。



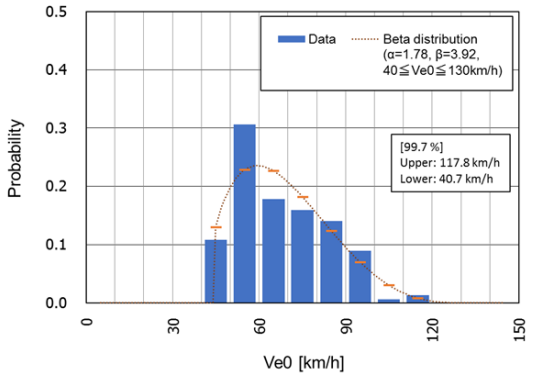
（a）低速域-直線部



（b）低速域-曲線部

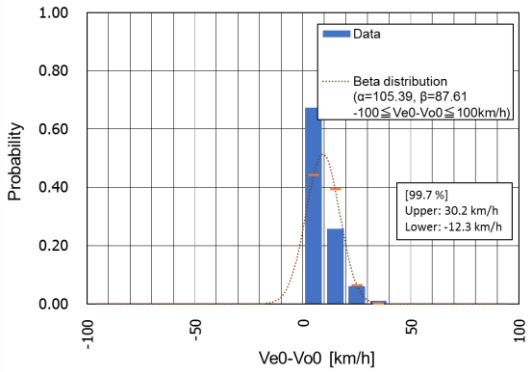


（c）高速域-直線部

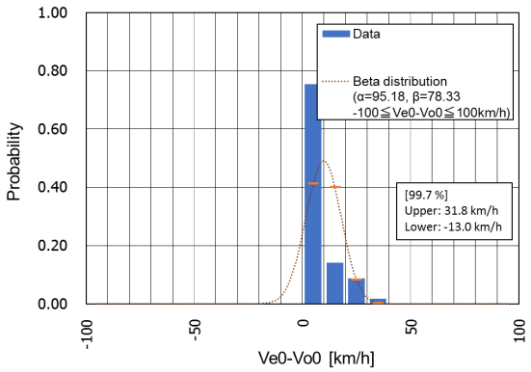


（d）高速域-曲線部

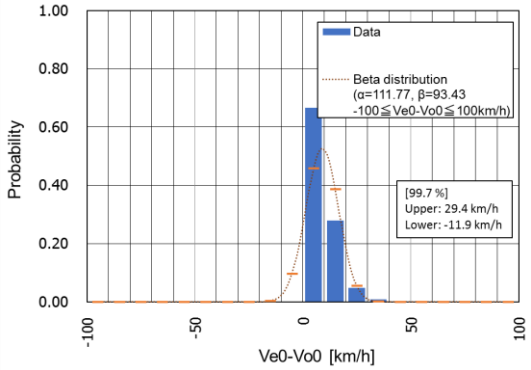
図 3.1.2-6　Cut-in シナリオ-接近条件-自車速度分布



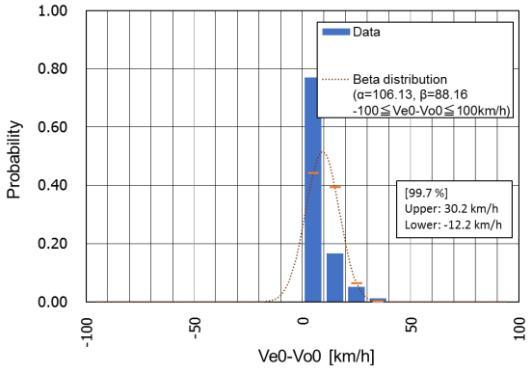
（a）低速域-直線部



（b）低速域-曲線部

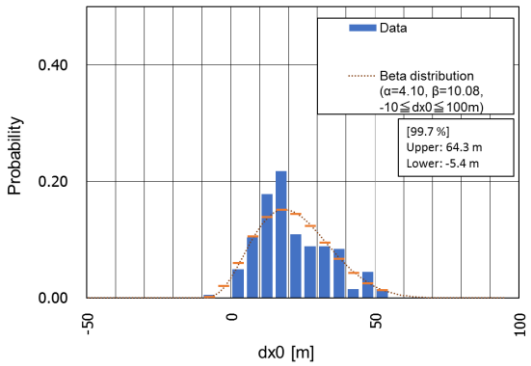


（c）高速域-直線部

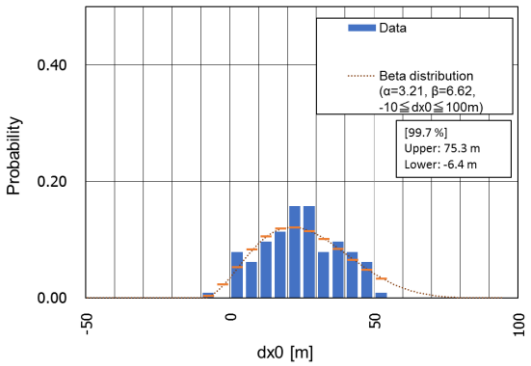


（d）高速域-曲線部

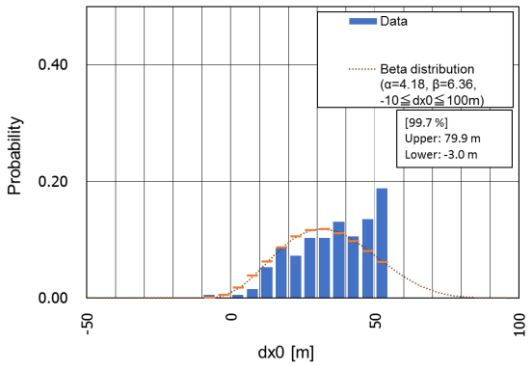
図 3.1.2-7　Cut-in シナリオ-接近条件-自車相対初期速度分布



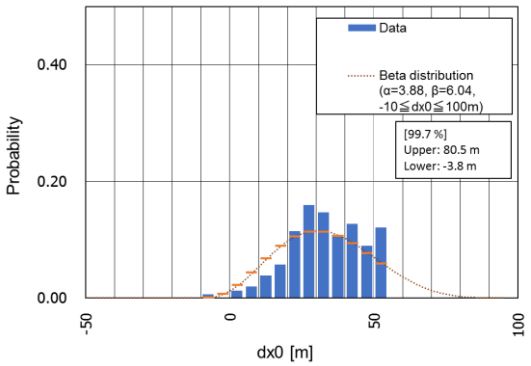
（a）低速域-直線部



（b）低速域-曲線部

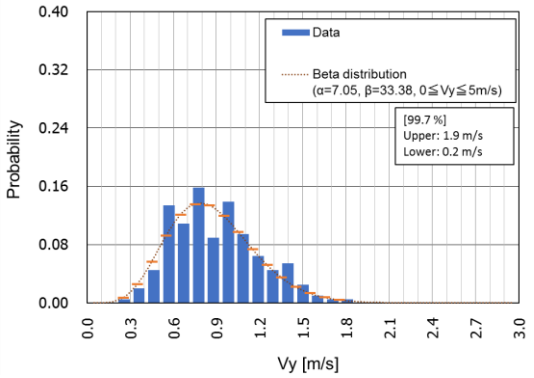


（c）高速域-直線部

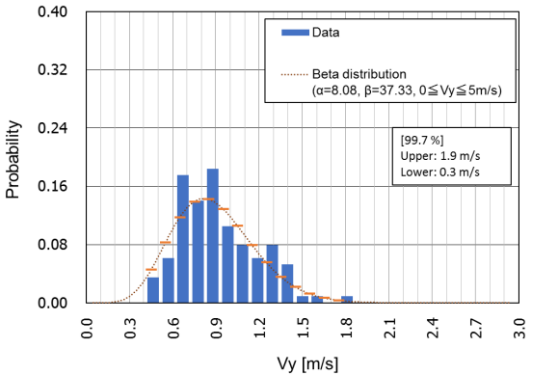


（d）高速域-曲線部

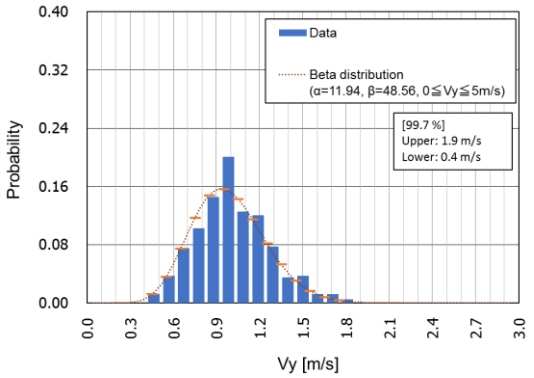
図 3.1.2-8　Cut-in シナリオ-接近条件-自車初期車間距離分布



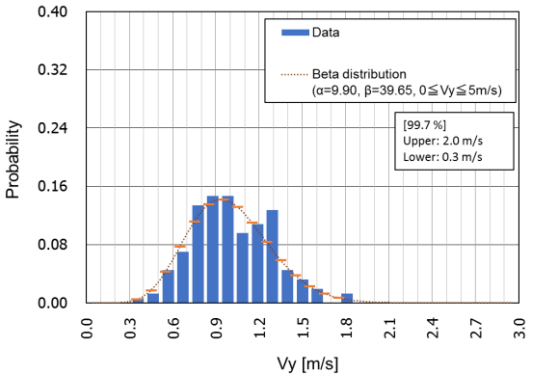
（a）低速域-直線部



（b）低速域-曲線部



（c）高速域-直線部



（d）高速域-曲線部

図 3.1.2-9　Cut-in シナリオ-接近条件-相対横速度分布

接近条件においては、自車相対初期速度分布と相対横速度分布の 99.7 パーセンタイルを見ると、直線部と曲線部で大きく異なる傾向は見られなかった。一方、自車速度分布と自車初期相対速度分布より、速度に関するパラメータ分布の道路形状による差異は、自車と他車間のインタラクションで相殺されたと考えられる。また、自車初期車間距離分布を示した図 3.1.2-8 では、最頻値帯が異なるものの、図 3.1.2-8（a）と（b）、および図 3.1.2-8（c）と（d）の 99.7 パーセンタイルを比較すると直線部と曲線部で大きく値が異ならない傾向がみられた。

直線部と曲線部に関して、相対横速度の平均値、最大値、最小値を離反条件、接近条件を分けて表 3.1.2-5、表 3.1.2-6 に示す。

表 3.1.2-5　離反条件における道路形状と相対横速度

道路形状	Cut-in 方向	速度域	相対横速度の平均値[m/s]	相対横速度の最大値[m/s]	相対横速度の最小値[m/s]
直線部	右から	低速域	0.92	2.21	0.25
		高速域	0.92	2.48	0.24
	左から	低速域	0.86	1.77	0.35
		高速域	0.93	1.94	0.29
曲線部・右カーブ	右から	低速域	1.00	2.14	0.32
		高速域	1.00	2.14	0.32
	左から	低速域	1.02	1.64	0.62
		高速域	1.03	1.64	0.59
曲線部・左カーブ	右から	低速域	0.96	2.45	0.33
		高速域	0.95	2.45	0.27
	左から	低速域	0.81	1.72	0.30
		高速域	1.07	2.00	0.36

表 3.1.2-6　接近条件における道路形状と相対横速度

道路形状	Cut-in 方向	速度域	相対横速度の平均値[m/s]	相対横速度の最大値[m/s]	相対横速度の最小値[m/s]
直線部	右から	低速域	0.88	1.66	0.84
		高速域	0.95	1.62	0.94
	左から	低速域	0.85	1.77	0.85
		高速域	1.00	1.77	0.99
曲線部・右カーブ	右から	低速域	0.90	1.40	0.86
		高速域	0.92	1.32	0.89
	左から	低速域	1.01	1.39	0.94
		高速域	1.02	1.74	0.97
曲線部・左カーブ	右から	低速域	0.90	1.76	0.84
		高速域	1.01	1.76	0.98
	左から	低速域	0.73	1.27	0.67
		高速域	1.00	1.57	0.45

これら図 3.1.2-2 から図 3.1.2-9 表 3.1.2-5 と表 3.1.2-6 より、直線部と曲線部において Reasonably-forseeable の範囲を同等に扱えると考えられる。

（2）　合流部

① LS（ロジカルシナリオ）の定義

合流部カットインシナリオ挙動を表すパラメータを図 3.1.2-10 に示す。使用するパラメータは、自車速度【Ve0】、他車速度【Vo1】、相対速度【Ve0-Vo1】、車間距離【dx0】、他車横速度【Vy】、他車加速度【Gx】、他車車線変更時間【T】、合流車線終了位置までの距離（終端距離）【L】である。

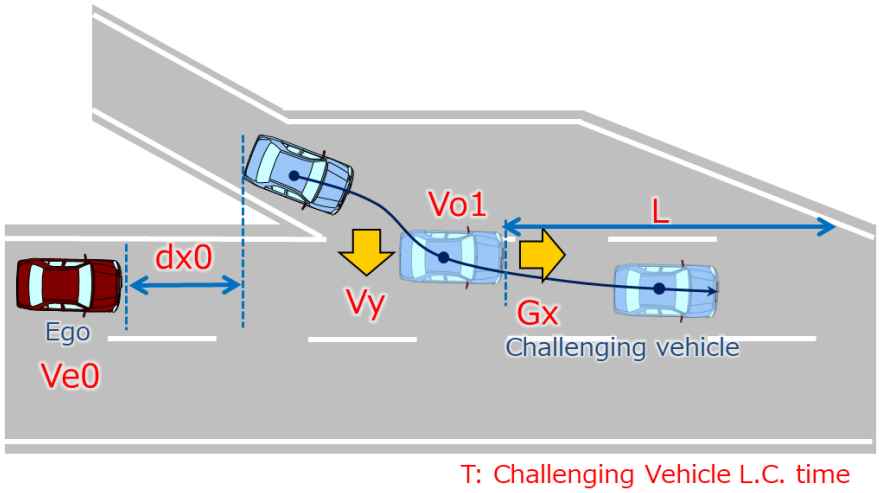


図 3.1.2-10　合流部シナリオ（被合流）のパラメータ

② シナリオ該当場面の抽出

合流部カットインシナリオは、東池袋 IC、および横浜町田 IC で計測した定点カメラのデータをもとに作成した。使用するパラメータを表 3.1.2-7 に、計測データのソースと取得件数を、表 3.1.2-8、表 3.1.2-9 に示す。

表 3.1.2-7　合流部カットインシナリオのパラメータ定義

パラメータ名		変数	単位	抽出条件	取得方法
英	日				
Ego-vehicle longitudinal velocity	自車速度	Ve0	m/s	初期値	直接計測
Challenging-vehicle longitudinal velocity	他車速度	Vo1	m/s	車線変更時	直接計測
Relative longitudinal distance	車間距離	dx0	m	初期値	直接計測
Challenging-vehicle lateral velocity	他車横速度	Vy	m/s	最大値	直接計測
Challenging-vehicle accelearation	他車加速度	Gx	m/s^2	平均値	直接計測
Distance to sink of merging lane	終端距離	L	m	合流時	直接計測
Challenging vehicle Lane change （L.C.） time	他車車線変更時間	T	s	-	直接計測

表 3.1.2-8　東池袋 IC における計測データのソースおよび取得件数

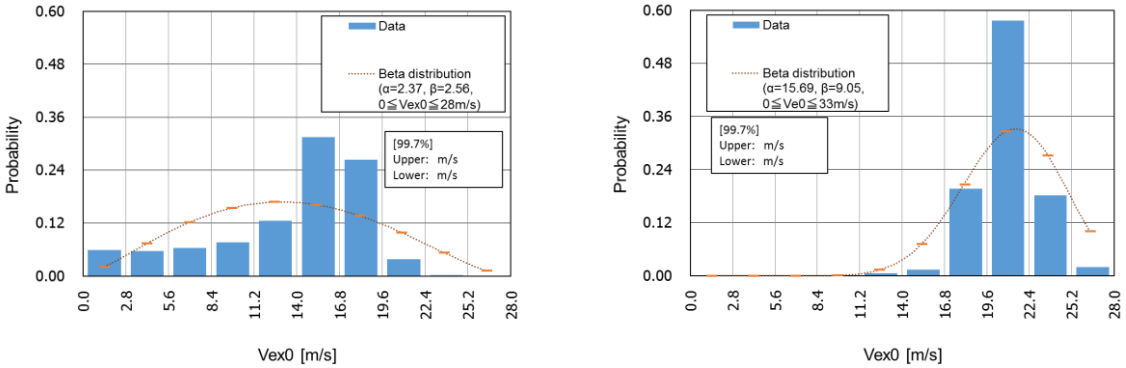
パラメータ名		変数	単位	取得件数		
英	日			SAKURA 計測車	SAKURA 定点カメラ	運転行動 DB
Ego-vehicle longitudinal velocity	自車速度	Ve0	m/s	-	958	-
Challenging-vehicle longitudinal velocity	他車速度	Vo1	m/s	-	958	-
Relative longitudinal distance	車間距離	dx0	m	-	958	-
Challenging-vehicle lateral velocity	他車横速度	Vy	m/s	-	958	-
Challenging-vehicle accelearation	他車加速度	Gx	m/s^2	-	958	-
Distance to sink of merging lane	終端距離	L	m	-	958	-
Challenging vehicle Lane change（L.C.）time	他車車線変更時間	T	s	-	958	-

表 3.1.2-9　横浜町田 IC における計測データのソースおよび取得件数

パラメータ名		変数	単位	取得件数		
英	日			SAKURA 計測車	SAKURA 定点カメラ	運転行動 DB
Ego-vehicle longitudinal velocity	自車速度	Ve0	m/s	-	508	-
Challenging-vehicle longitudinal velocity	他車速度	Vo1	m/s	-	508	-
Relative longitudinal distance	車間距離	dx0	m	-	508	-
Challenging-vehicle lateral velocity	他車横速度	Vy	m/s	-	508	-
Challenging-vehicle accelearation	他車加速度	Gx	m/s^2	-	508	-
Distance to sink of merging lane	終端距離	L	m	-	508	-
Challenging vehicle Lane change（L.C.）time	他車車線変更時間	T	s	-	508	-

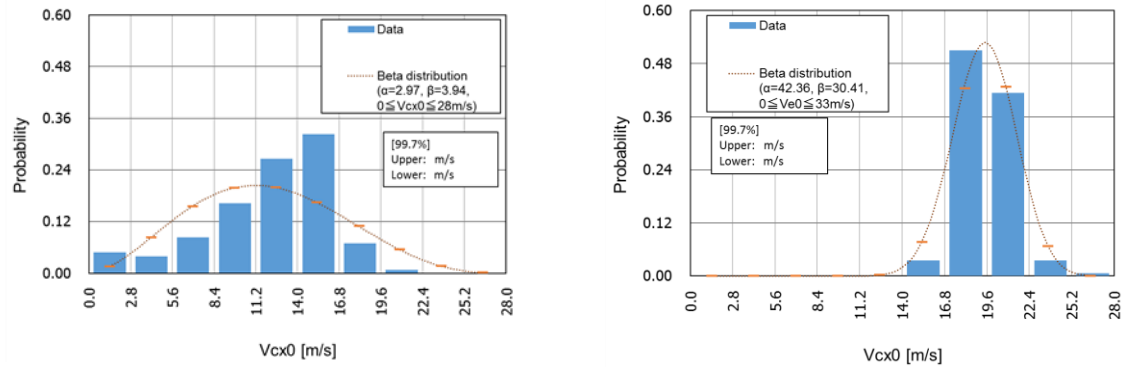
③　パラメータ分布の推定

各パラメータの分布を図 3.1.2-11 から図 3.1.2-17 に示す。車間距離が負の値をとっている場合は自車の後方から追い抜き前方に進入している。他車平均加速度はシナリオ開始時の速度と終了時の速度の差をシナリオ時間で除した値を示す。なお、横浜町田 IC のデータについて、計測範囲外からイベントが始まっている場合は計測開始時点のデータを用いた他、車間距離に関してはイベント開始時間と計測開始時の速度から計算した。



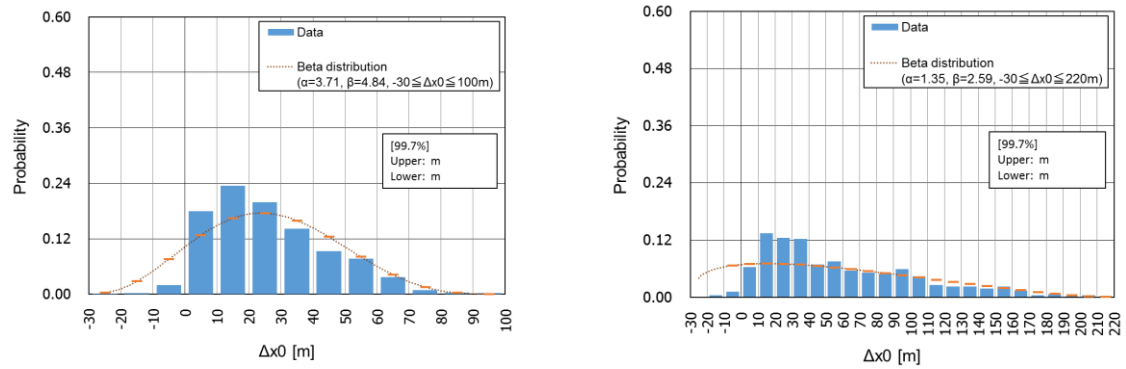
（a）東池袋 IC　　（b）横浜町田 IC

図 3.1.2-11　合流部カットインシナリオ-自車速度分布



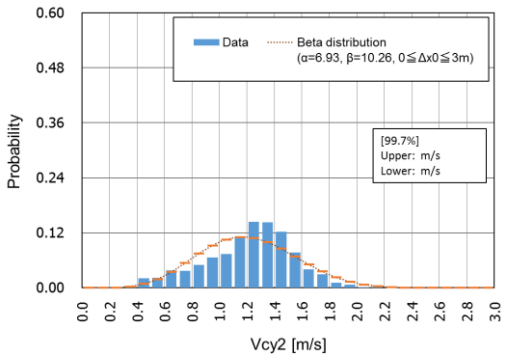
（a）東池袋 IC　　（b）横浜町田 IC

図 3.1.2-12　合流部カットインシナリオ-他車速度分布

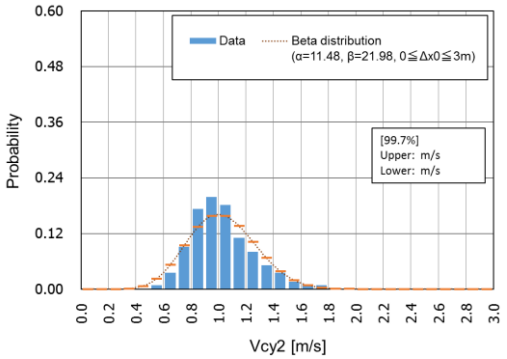


（a）東池袋 IC　　（b）横浜町田 IC

図 3.1.2-13　合流部カットインシナリオ-車間距離分布

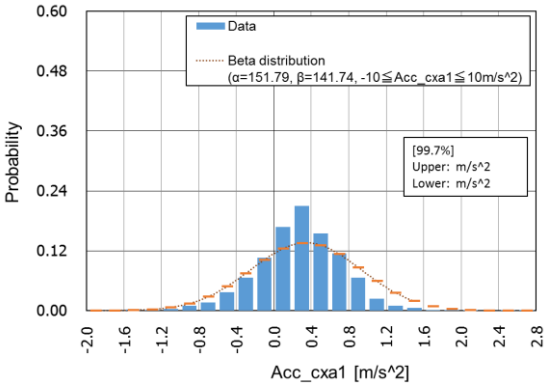


（a）東池袋 IC

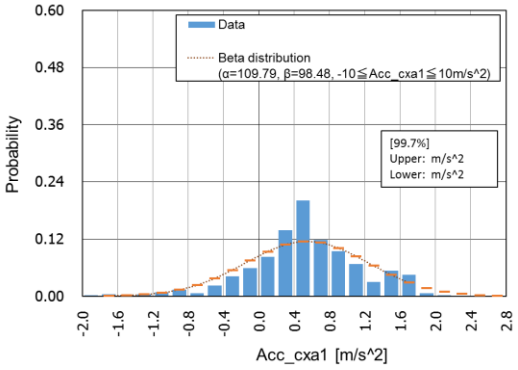


（b）横浜町田 IC

図 3.1.2-14　合流部カットインシナリオ-他車横速度分布

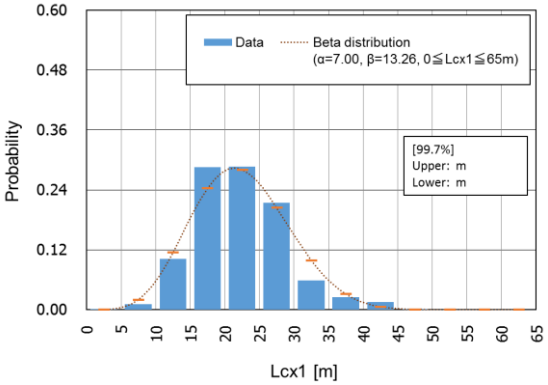


（a）東池袋 IC

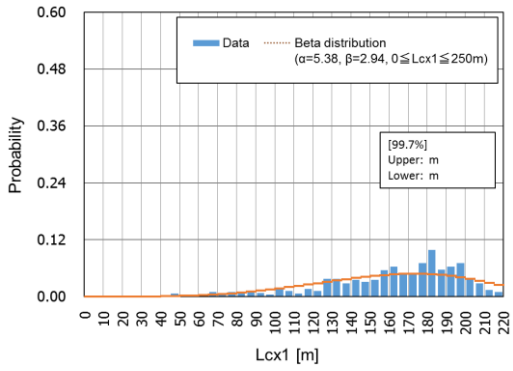


（b）横浜町田 IC

図 3.1.2-15　合流部カットインシナリオ-他車平均加速度分布

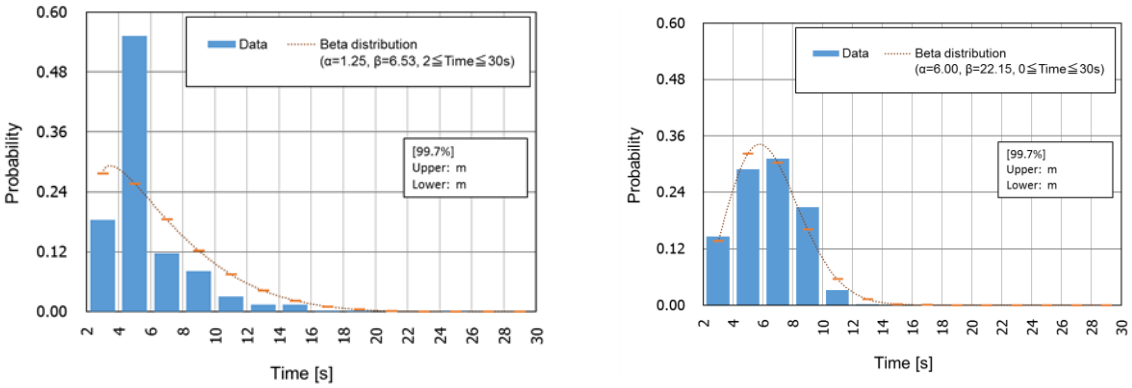


（a）東池袋 IC



（b）横浜町田 IC

図 3.1.2-16　合流部カットインシナリオ-終端までの距離分布



（a）東池袋 IC　　（b）横浜町田 IC

図 3.1.2-17　合流部カットインシナリオ-車線変更時間分布

合流部カットインシナリオのパラメータを見ると、東池袋 IC と横浜町田 IC では傾向が異なる。ゆえに、合流部カットインシナリオという枠組みで、道路形状の異なるを合流路をカバーするパラメータ範囲を推定することは難しいと考えられる。

そのため、合流路におけるシナリオについての合理的に予見可能な範囲（パラメータの範囲）を決めるためには、道路形状が持つパラメータ（合流路の長さなど）もパラメータ範囲を決めるうえで重要な要素となるため、その点も加味してパラメータ範囲の推定を実施していく必要がある。

3.1.3　一般道に対応する安全評価の考え方の整理

JAMA より提案されている自動運転安全性評価のフレームワーク Ver3.0[1]において、高速道を含む一般道全体のファンクショナルシナリオが公開されるなど、一般道における AD の安全性評価への関心は高い。SAKURA プロジェクトでも一般道に対しての安全性評価のあり方に関しての検討を実施してきた。

ファンクショナルシナリオの定義はされたものの、評価シナリオ（コンクリートシナリオ）が膨大になることで安全性評価の実用性における課題とならないようにすることが肝要である。そのためには、一般道における合理的に予見可能な範囲での安全性評価の考え方や MaaS などの限定された ODD において、一般道を走行する AD 車が対応すべきシナリオの絞り込みの考え方などの整理が必要である。

そのため、令和 4 年度は優先度の高い交差点シナリオを対象に合理的に予見可能な範囲に関する考え方を整理するとともに、MaaS などの限定的な状況で走行する AD 車が対応すべきシナリオの絞り込みの考え方を検討する。

3.1.3.1　一般道における安全性評価シナリオに関しての整理

（1）　実施背景・目的

AD 車が交差点を右折する場面を、交通外乱シナリオを自動車専用道路から一般道に拡張する際の優先度が高いシナリオとして選定し、シナリオのパラメータ定義構築に向けた検討を進めている。令和 3 年度での検討では、東京都内で取得した定点観測データを分析し、交差点右折時に遭遇する対向直進車の速度プロファイル（交差点接近時の速度の時系列的な変化）の傾向を分析した。その中で、一定速で通過する場合に加えて、加速しながら通過する場合、減速しながら通過する場合があることを確認した。仮に AD 車が右折開始時の対向直進車の速度の値から交差点に到達する時間を予測して右折を安全に実行できるかを判断している場合、対向直進車が加速しながら交差点に接近すると実際の到達時間は予測よりも早くなり危険性が増加する。そのため、交差点における対向直進車の加速の仕方は、シナリオで表現すべき特徴である。

令和 3 年度は、交差点手前 80m から交差点に到達するまでの速度変化を分析し、おおむね 20km/h の速度増加があり、特に低速から加速する場合には 30km/h 程度の速度増加がみられることを報告した。一方、一定区間での速度変化量のみを分析しており、交差点手前のどの地点でどの程度の加速（速度変化）が生じるのかについては課題として残っていた。

そこで本年度は、加速の開始がどの時点（交差点中心からの距離）で発生するのかの傾向分析を実施した。

（2） 分析データ仕様

本目では、交差点を直進して通過する車両のデータを分析対象とする。昨年度までに本事業で収集した一般道でのデータだけでは分析のための車両データ数を確保することが困難なため、直進する車両のデータ数を確保するために今回は既存の収集されたデータを利用する。表 3.1.3.1-1 にデータの仕様を示す。

表 3.1.3.1-1　左折車対対向直進車シナリオデータ仕様

項目	仕様
計測方法	職業ドライバでない男女合計 15 名が運転した計測車両
計測期間	2019 年 6 月 7 日から 2020 年 3 月 22 日
計測車の走行時間	246 時間
計測車の走行距離	6489km
計測車の走行エリア	ブラウンシュヴァイク市、ハノーファー市、ハンブルク市における市街地エリア
ドライバへの指示	・住宅地や法定速度 100km/h の道路の走行を避け、市街地を走行する ・運転支援機能は使用しない
計測用センサ	他交通参加者認識：LiDAR による車両周囲 360°計測 （8L IBEO LUX 2 台、4L IBEO LUX 4 台） 自車の挙動計測：車両 CAN、GeneSys ADMA
計測周波数	LiDAR: 25Hz、ADMA: 100Hz、CAN: 100Hz
データの範囲	交差点中心から 80m 手前まで（図 3.1.3.1-2）

表 3.1.3.1-1 のとおり、このデータは公道を計測車両で走行し記録したものであるが、走行している位置を特定するために、OpenStreetMap（以下、「OSM」という）によるマップマッチングを実施した。マッチングの際は、図 3.1.3.1-1 に示すように、計測車両の走行軌跡（P_1、P_2）と OSM 上の点（K_1、K_2）もしくは点同士を結んだ線分の最小距離（d_1、d_2、D_1）を取った（図 3.1.3.1-1）。

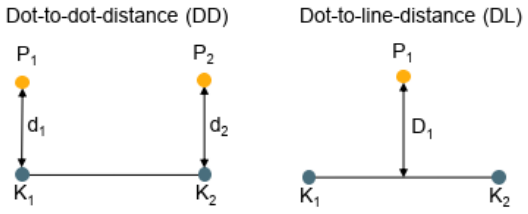


図 3.1.3.1-1　マップマッチングの際の考え方

（3） 分析対象データの抽出

表 3.1.3.1-1 に示されるシナリオデータにおいて、交差点を通過している車両数は 1899 台である。また、分析対象である加速している直進車を以下のように定義する。

・表 3.1.3.1-1 に示される「データの範囲」における直進車の最小速度に対する、
　交差点中心における直進車の速度の増加量が 3km/h 以上であること
・直進車の最小速度が 0.1km/h 以上であること

以上の定義に基づくと、加速している直進車の数は 544 台である。これらを分析対象とする。

（4） 分析パラメータ

直進車が交差点に接近するとともに加速するときの模式的な速度変化を図 3.1.3.1-2 に示す。

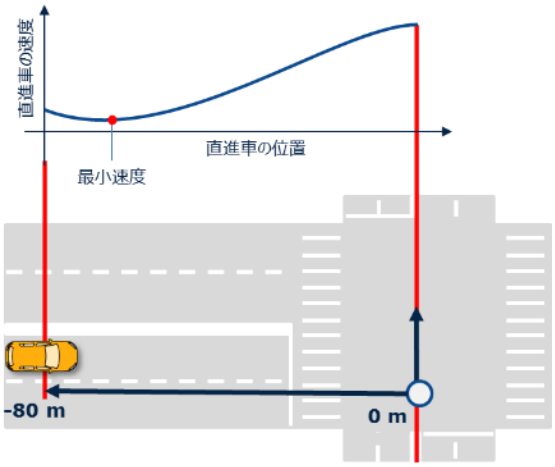


図 3.1.3.1-2　直進車が交差点に接近するとともに加速する時の速度変化

本分析では、（3）における加速する直進車の定義と図 3.1.3.1-2 から、直進車が加速し始める位置を最小速度 v_{min} が記録された位置 p_{vmin} と定義する。また、直進車が交差点中心に到達した時の速度を v_{cross}、交差点中心位置（v_{cross} が記録された位置）を p_{vcross} とすると、直進車の速度増加量 Δv は $v_{cross} - v_{min}$、交差点中心から直進車が加速し始めた点までの距離 Δp は $p_{vcross} - p_{vmin}$ と定義できる。以上の検討結果を表 3.1.3.1-2 に示す。

表 3.1.3.1-2　分析で用いるパラメータ

変数名	単位	説明
v_{min}	km/h	直進車の進行方向における最小速度
v_{cross}	km/h	直進車が交差点中心に到達した際の進行方向速度
Δv	km/h	v_{cross} - v_{min}
p_{vmin}	m	v_{min} が記録された位置
p_{vcross}	m	交差点中心（v_{cross} が記録された位置）
Δp	m	p_{vcross} - p_{vmin}

（5）　分析パラメータの傾向

a）　交差点中心から加速開始点までの距離と最小速度の関係

図 3.1.3.1-3 に通過車両の交差点中心から交差点までの距離 Δp と最小速度 v_{min} の関係を示す。また、横軸の階級ごとに算出した 95 パーセンタイル値とその近似曲線を併記する（赤線）。加速している直進車は交差点から離れるにつれ多くなるが、一方で、v_{min} の値は Δp の値によらずほとんど一定であることが見て取れる。また、Δp が 80m の時に加速している直進車が多く分布しているが、これは加速開始点が 80m 以上交差点から離れていた可能性を示している。

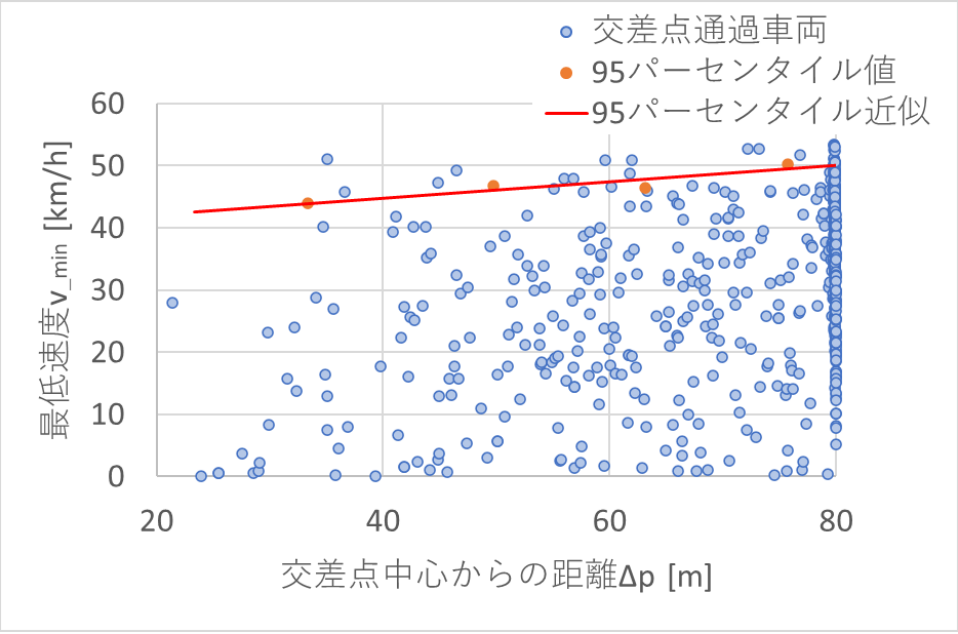


図 3.1.3.1-3　交差点中心から加速開始点までの距離 Δp と最小速度 v_{min} の関係

b）　交差点からの位置と速度増加量の関係

図 3.1.3.1-4 に通過車両の交差点中心から加速開始点までの距離 Δp と速度差 Δv の関係

を示す。また、横軸の階級ごとに算出した 95 パーセンタイル値とその近似曲線を併記する（赤線）。図より交差点からの距離が離れるほど、加速できる助走区間が長くなるため加速による速度差も大きくなる傾向が確認できる。一方で、交差点中心から 40m までの比較的近距離においても 15km/h 程度の速度増加を伴う加速が見て取れる。

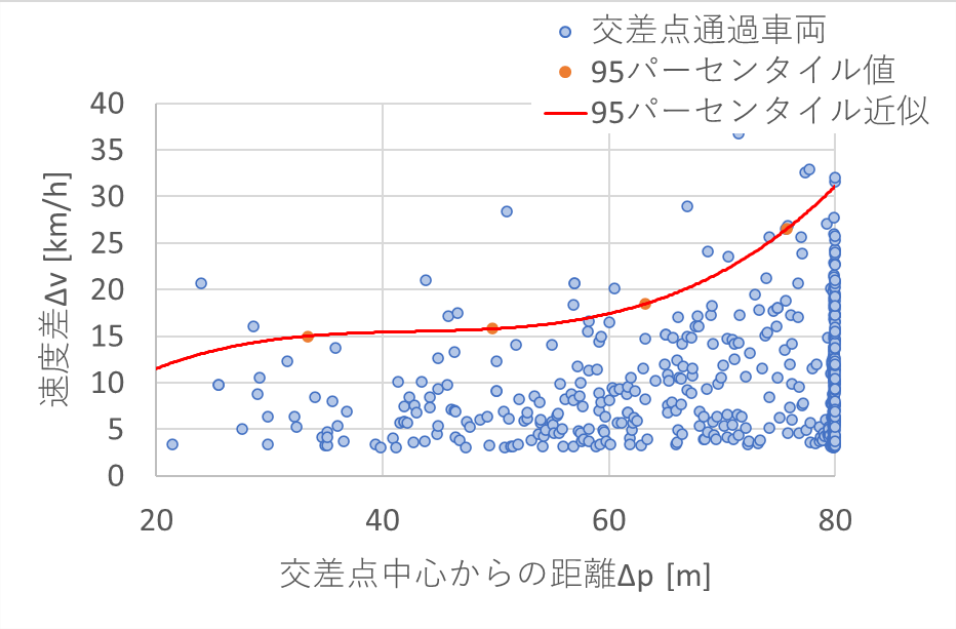


図 3.1.3.1-4　交差点中心から加速開始点までの距離 Δp と速度増加量 Δv の関係

c)　最小速度と速度増加量の関係

図 3.1.3.1-5 に最小速度 v_{min} と速度増加量 Δv の関係を示す。また、横軸の階級ごとに算出した 95 パーセンタイル値とその近似曲線を併記する（赤線）。v_{min} が小さいほど Δv は大きくなる傾向があり、10km/h 以下では最大で 35km/h 程度の速度差が発生することがわかる。このような傾向となった要因として、ドイツの市街地における制限速度は 50km/h であることが影響していると考えられる。v_{min} が大きいと制限速度超過を回避するために Δv が小さくなるが、v_{min} が小さいと制限速度に到達するまでに余裕があることから、上記のような急加速が見られたと考えられる。

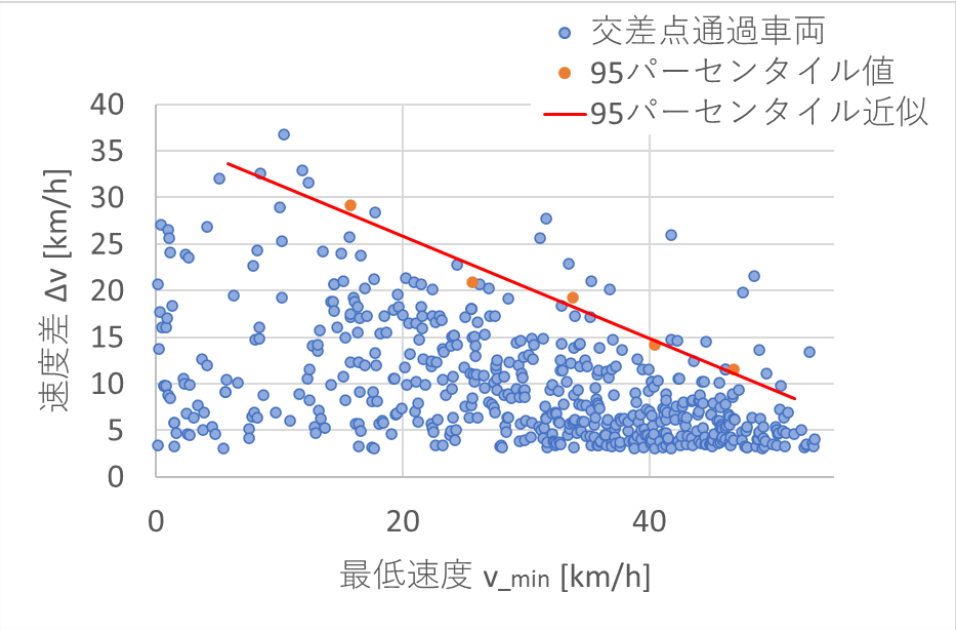


図 3.1.3.1-5　最小速度 v_{min} と速度増加量 Δv の関係

（6）　まとめ

交差点における右折車対対向直進車シナリオにおける対向直進車の加速に焦点を置き、既存の計測された左折車対対向直進車シナリオデータにおける対向直進車のデータを用いて分析を実施した。その結果、直進車の加速開始地点は元々の走行速度に依存しないこと、交差点中心から比較的近い位置においても急加速が存在すること、加速開始時の速度と速度の増加量には相関が存在することが示唆された。

直進車が低速から加速する場合や、交差点から近い位置で急加速する場合、右折する AD 車にとっての他車（直進車）が交差点に到達するまでの予測時間を大きく減少させる。そのため、一般道における AD システムの安全性評価シナリオの開発に向けては、シナリオの中で他車がいつ、どこで、どの程度加速するか、という要素もパラメータとして含める必要があることが示唆された。本年度の分析をもとに、今後、一般道交差点シナリオの具体化（パラメータの定義、範囲の特定）を進める。

3.1.3.2　道路構造における交通参加者の行動制限等に関しての整理手法検討

国土交通省から示されている「自動運転の安全技術ガイドライン」[1]における安全性評価の考え方では、「自動運転車は、設定された ODD において、自動運転システムが引き起こす人 身事故であって合理的に予見される防止可能な事故が生じないことを担保する必要がある」とされている。この論証に資するために、SAKURA プロジェクトでは、JAMA が提案している原理原則に基づくシナリオベース・アプローチ[1]をベースとして網羅的に安全性を検証するシナリオを提供するシナリオデータベースの整備を進めている。AD 車が安全性を検証すべき範囲を認識外乱（認識を阻害する要因)、交通外乱（他車との錯綜の仕方)、車両外乱（車両にかかる外力）それぞれについて、安全性を評価すべき状況を網羅的にシナリオとして生成し AD 車が安全性を担保できるかを検証することが基本的な考え方である。SAKURA プロジェクトが注力している車両全般の交通外乱に焦点をあてると、シナリオの全体の体系を整理するファンクショナルシナリオは図 3.1.3.2-1 のように Road geometry、Ego vehicle behavior、Surrounding traffic participants （Location and behavior）の構成要素の組み合わせにより網羅的に生成される。ファンクショナルシナリオは、AD 車が遭遇するシナリオを網羅的に生成するために構成要素は抽象的に記述されている。そのため、これらのシナリオを実際の場面と対応させるためには、実交通環境における具体的な道路形状や自車を含む交通参加者の振る舞いを抽象的な構成要素と対応させて実際に評価すべきシナリオを生成する必要がある。言い換えると、抽象的なシナリオを具体的な AD 車が遭遇する場面に適用する必要がある。

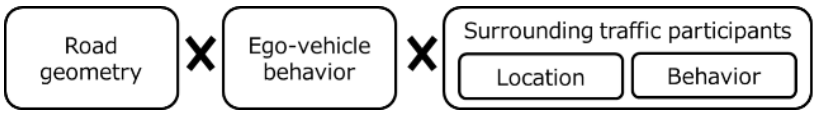


図 3.1.3.2-1　交通外乱シナリオの体系[2]

そこで，SAKURA プロジェクトで構築している抽象的なシナリオの具体的な場面への適用性およびその際の課題について検討する。まず、(1）では、AD の実用に向けた検討が進められているひたち BRT の自動運転区間を対象に交通外乱シナリオ体系に基づき交通外乱に関する安全性を検証すべきシナリオをプレ-ロジカルシナリオレベルで抽出するプロセスを実装する。このプロセスを通してシナリオデータベース構築における課題などを把握する。次に、(2）では、ひたち BRT はサービスの提供の範囲がバス専用区間で構成されており遭遇する交通外乱シナリオが制限されていることから、MaaS サービスに限定せずにシナリオデータベースを活用することを念頭に、より一般的な道路環境におけるシナリオの絞り込み・抽出に関する検討を行う。(3）では、(2）で検討した知見を利用し、道路形状を入力した際に評価すべきシナリオが出力される仕組みを紹介する。

なお、上記の検討は、論理的に整備されたシナリオを実交通環境に適用するうえでの課題の確認が大きな目的のため、整備の進んでいる車両との錯綜を扱うシナリオに限定する（二輪車特有のシナリオや対歩行者シナリオは今回の検討の対象外とする)。以下の検討で利用するシナリオはこの対車両全般の交通外乱シナリオを指すものとする。

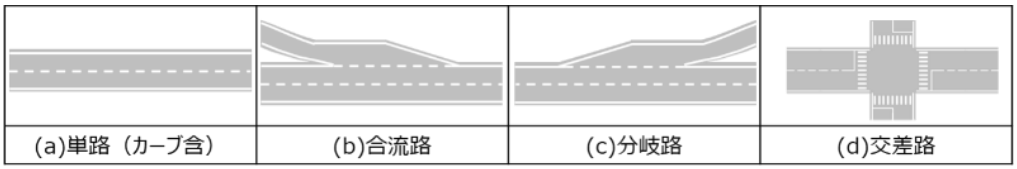
（1） ひたち BRT における交通外乱シナリオの抽出

a） 交通外乱シナリオの構造

SAKURA プロジェクトがベースとしているシナリオ体系（以下、「交通外乱シナリオ体系」という）では、道路形状別に起こり得る自車の振る舞いおよび他車の振る舞いの組み合わせとしてシナリオを生成する。ここで、図 3.1.3.2-1 に示される交通外乱シナリオ構造について具体的に説明する。

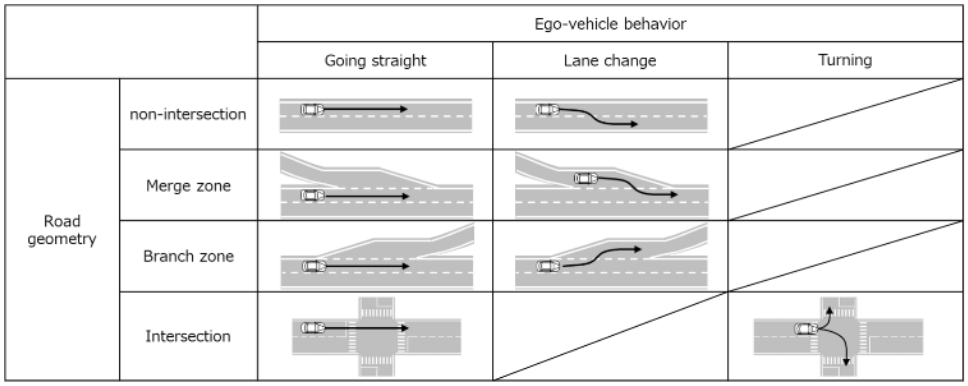
道路形状（Road geometry）は、表 3.1.3.2-1 のように単路（Non-intersection）、合流路（Merge-zone）、分岐路（Branch-zone）、交差路（Intersection）の 4 つと定義されている。

表 3.1.3.2-1 道路形状分類[2]



次に、自車（AD 車）の振る舞い（Ego-vehicle behavior）は、Going straight、Lane change、Turning の 3 種類で、Ego-vehicle behavior は Road geometry との組み合わせとして表現される（表 3.1.3.2-2）。なお、後述するが Going straight には車線維持（Lane keep）のほか、停止状態からの発進（Start）や走行状態からの停止（Stop）が含まれるものとする。また、Turning には右左折（Right turn、Left turn）が含まれる。

表 3.1.3.2-2 道路形状と自車の挙動パラメータ[2]



周辺車両（以下、「他車」という）の位置および動作の分類（Surrounding traffic participants location、Surrounding traffic participants behavior）は、図 3.1.3.2-2、表 3.1.3.2-3 のように、自車の走行軌跡に進入する可能性がある組み合わせのみがシナリオ構造において考慮される。

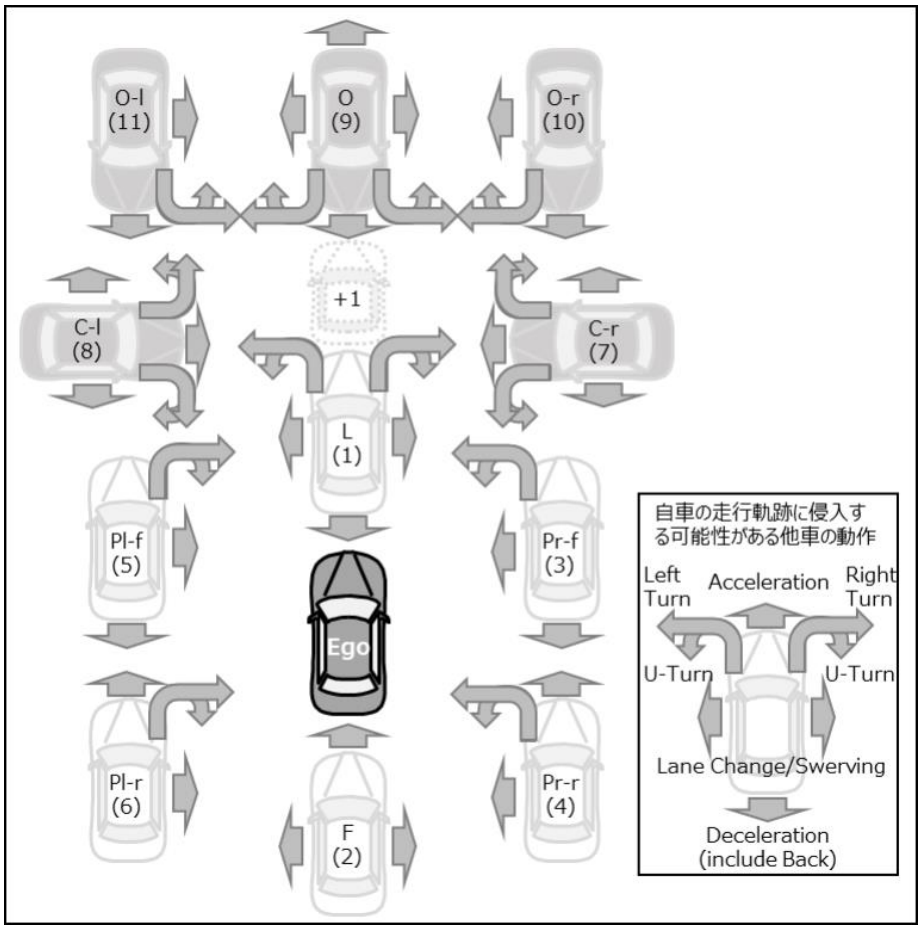


図 3.1.3.2-2　周囲の車両位置[2]

表 3.1.3.2-3　周囲の車両位置と自車の障害となる可能性のある運動の組み合わせ（1）

		Surrounding traffic participants behavior							
Surrounding traffic participants location	Vehicle location	Going straight		Lane change/ swerving			Turning		
		Acceleration	Deceleration	Cut-in	Cut-out	swerving	Right turn	Left turn	U-turn
	1. Lead(L)		✓		✓*1	✓	✓	✓	✓
	2. Following(F)	✓			✓				
	3. Parallel(Pr-f)		✓	✓		✓		✓	✓
	4. Parallel(Pr-r)	✓		✓		✓		✓	✓
	5. Parallel(Pl-f)		✓	✓		✓	✓		✓
	6. Parallel(Pl-r)	✓		✓		✓	✓		✓
	7. Cross(C-r)	✓				✓	✓	✓	✓
	8. Cross(C-l)	✓				✓	✓	✓	✓
	9. Opposite(O)	✓	✓	✓*2		✓	✓	✓	✓
	10. Opposite(O-r)	✓		✓*2		✓	✓		✓
	11. Opposite(O-l)	✓		✓*2		✓		✓	✓

✓: have impact, blank: no impact

表 3.1.3.2-4 に、上記の構成要素から定義される一般車両の交通外乱シナリオを示す。ファンクショナルシナリオの振る舞いとしては、Going straight、Lane change/Swerving、Turning の 3 つからシナリオが定義されているが、上記の振る舞いは類似の振る舞いを統合して全体を把握しやすくするためのグループであり、実際にはいくつかの振る舞いにより構成される。まず、自車についてみると、Going straight は直進する振る舞いであり、Lane change/Swerving は進行方向に対して横移動を伴う動きである。基本的に自車は一時的な横移動である Swerving は行わないと考えている。また、Turning には Right turn、Left turn、U turn が想定される（自車が U turn をすることも想定されていない）。一方、他車の振る舞いでは、Going straight では、同一方向に進む場合、自車の前方から近づく場合は Deceleration、後方から近づく場合には Acceleration と違いが考慮されている。また、自専道のシナリオにおける振る舞いでは、他車の Lane change は、自車の前後に進入する場合を Cut in、自車の前後から離れてゆく場合は Cut out と区別されていたが、対向方向や交差方向から他車が近づく場面の考慮も必要な一般道においては、利用しにくいことから Lane change として扱う方向で検討が進んでいる。

今回の検討においては、表 3.1.3.2-5 の振る舞いを基本に検討を行う。

表 3.1.3.2-4　一般車両の交通外乱シナリオ[2]

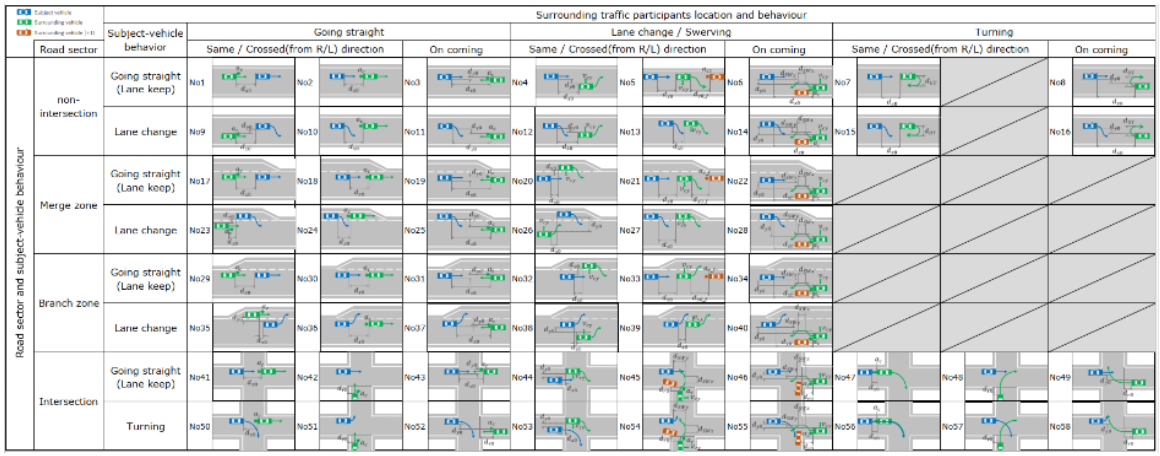


表 3.1.3.2-5　本検討における自車および他車の振る舞い

Functional シナリオの振舞い	自車	他車
Going straight	Going straight	Going straight
Lane change/Swerving	Lane change	Lane change
	―	Swerving
Turning	Right turn	Right turn
	Left turn	Left turn
	―	U turn

b)　ひたち BRT におけるシナリオの構造

①　ひたち BRT の概要

ひたち BRT における自動運転サービスの提供は、経済産業省が 2025 年までに日本全国 40 か所以上での無人自動運転サービス実現を目指す「自動運転レベル 4 等先進モビリティサービス研究開発・社会実装プロジェクト」（RoAD to the L4; Project on Research, Development, Demonstration and Deployment of Autonomous Driving toward the Level 4 and its Enhanced Mobility Services）[3]における検討対象の 1 つである。

ひたち BRT のサービス提供区間は道の駅日立おさかなセンターから JR 常陸多賀駅までの約 8.6km で、その内、南部図書館から河原子（BRT）までの約 6.1km の区間がバス専用道となっている[4]（図 3.1.3.2-3）。RoAD to the L4 では専用道区間における自動運転が計画されているため、本検討でも専用道区間における交通外乱シナリオ抽出を試みる。専用道は幅員が車両 1 台分のみの単路を基本としているが、一般道との交差部やバス同士がすれ違うバス停や待避所（図 3.1.3.2-4、図 3.1.3.2-5）などの道路形状で構成されている。



図 3.1.3.2-3　ひたち BRT の専用道区間



図 3.1.3.2-4　専用道と一般道の交差部

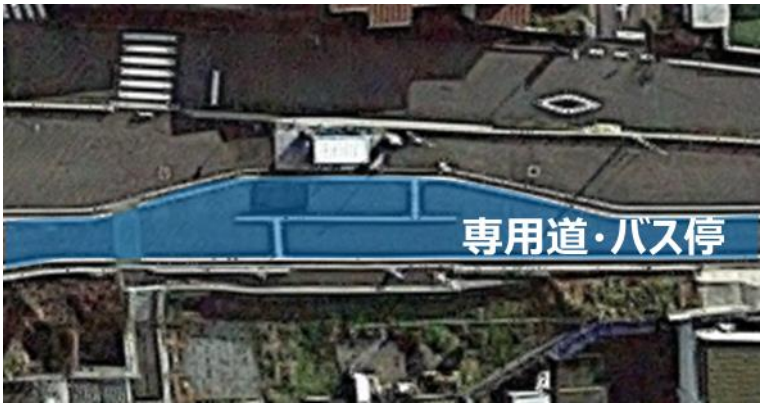


図 3.1.3.2-5　専用道上のバス停

専用道区間で遭遇する他車は、基本的には専用道を利用する他の（自動運転）バスとなる（以下、「他車（専用道バス）」という）。このバスは自車と同じ経路を走行する（他車としての遭遇の仕方はいくつか存在する）。ただし、専用道区間を利用するバス以外の車両との錯綜も発生する。まず、専用道区間と交差する一般道を走行する車両（以下、「他車（一般車両）」という）がある。また、一部専用道区間では、専用道を自動走行するバス以外のバス（以下、「他車（一般道バス）」という）が走行する区間がある。以下の検討では、上記 3 種類の車両に対するシナリオを生成することとなる。

②　交通外乱シナリオの生成

交通外乱シナリオ体系では、一般道において発生しうる交通外乱シナリオが体系的に整理され、それぞれのシナリオに対して評価が実施される。この体系に実際のサービスを当てはめるには、まず、サービス提供区間において評価すべきシナリオを網羅的に抽出する必要がある。そこで、今回は以下の手順でひたち BRT の走行区間において評価が必要なシナリオを抽出する。

i)　道路形状による専用道の切り分け
ii)　各走行区間における自車および他車の振る舞いの定義
iii)　シナリオの生成

まず、一般道のシナリオは、道路形状によってシナリオを区別して評価する必要がある。そのため、i）のステップとして図 3.1.3.2-6 のように専用道を道路形状の違いにより区分する。

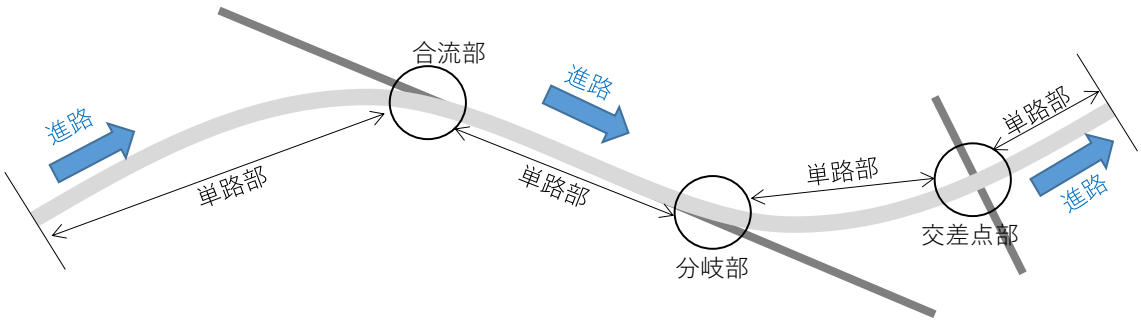


図 3.1.3.2-6　道路形状による専用道の切り分けのイメージ

次に、ii）のステップでは各道路形状において自車および他車がとりうる振る舞いを設定する。ガイドラインでは，自車および他車のとりうる振る舞いが検討されているが、ひたち BRT のように一般交通とのアクセスが制限された空間では起こりうる振る舞いを限定できる。

そして、最後に iii）のステップとして、各道路形状において自車および他車がとりうる振る舞いの組み合わせを交通外乱シナリオとして抽出する。

i）　道路形状による専用道の切り分け

交通外乱シナリオを定義する際の道路形状は、Non-intersection、Merge zone、Branch zone、Intersection の 4 つで構成される。専用道の多くの部分は両側 1 車線の単路（図 3.1.3.2-7）で構成されている。そのため、専用道上でバス同士がすれ違うための待避所（図 3.1.3.2-8）、やバス停（図 3.1.3.2-5）が存在する。バス停および待避所では双方向からくるバスがすれ違いをする必要があるためバスが横に 2 台存在できる空間を有している。そのため、単路との結合部分が合流路あるいは分岐路と同様の形状をしている。同一方向からの車両の合流分岐ではないものの、一定の区間内で横移動を必要とする意味では合流路あるいは分岐路と類似の特徴を持つことから、今回の検討ではバス停および待避所を合流路と分岐路が短区間で連続している場所と捉えてシナリオの整理を行う。さらに、専用道には、複数の一般道との交差部が存在する。交差部の多くは信号が設置されておらず、交差側の道路も中央帯等による区分がない小規模な道路である（図 3.1.3.2-9）。ただし、交差部には信号がある場所が 3 か所あり、うち 2 か所は自車との交差が矢印信号により制御されているが、1 か所は矢印信号がない。一方、信号がない交差点の特徴として、図 3.1.3.2-9 のような十字の交差点以外に、図 3.1.3.2-10 のような 5 つ以上の道路が交わる交差点もある。また、専用道と一般道が交わる交差点のほかに、専用道が一般道も走行するバス用の専用道と交わる交差点も存在する。これらの交差点では、一般道バスによる専用道内での右左折が発生し、専用道のみを走行する車両よりも複雑な振る舞いをする。そのため、道路形状を切り分ける際にはこれらも区別する。

なお、大甕駅西口のバス停はロータリーであり（図 3.1.3.2-11）、これはいずれの道路形状にも属さない。



図 3.1.3.2-7　単路



図 3.1.3.2-8　待避所

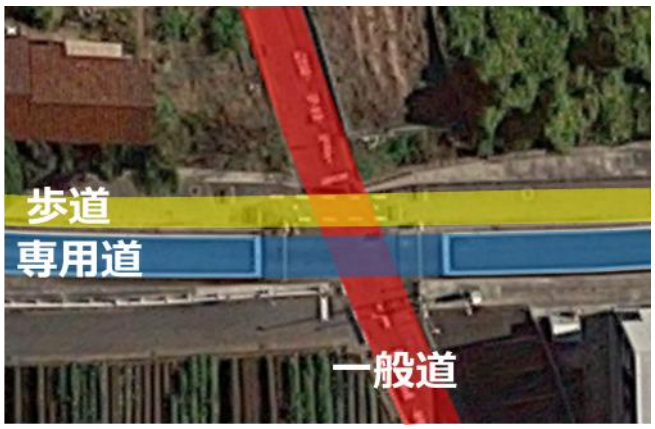


図 3.1.3.2-9　小規模交差点

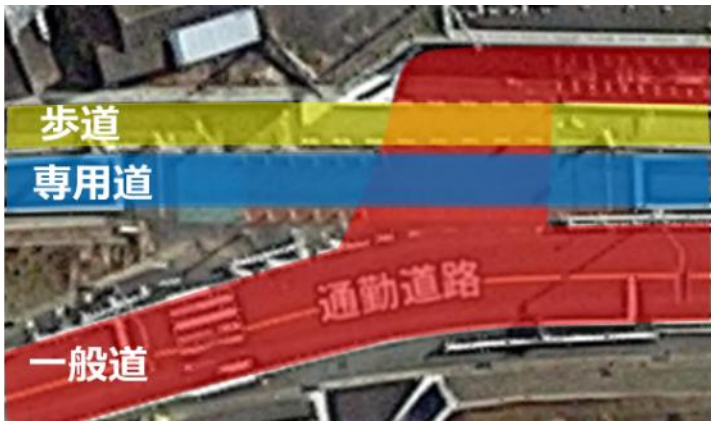


図 3.1.3.2-10　5 つの道路が交わる交差点



図 3.1.3.2-11　ロータリー（大甕駅西口バス停）

以上の点を考慮すると、ひたち BRT の専用道は道路形状により表 3.1.3.2-6 の 7 つに区分できる。なお、交差点の信号機による制御の違いについては、ロジカルシナリオ以降の検討で違いを扱うため、今回の検討では違いを考慮していない。

表 3.1.3.2-6　ひたち BRT 専用道の道路形状

分類	略号	名称	概要	図表記
単路	z	単路	バス一台が走行可能な区間	
合流路/分岐路	x	バス停	専用道のバス停	
	e	待避所	専用道の待避所	
交差点	x	交差点（専用道）	専用道同士の交差点	
	X	交差点（十字路）	専用道と一般道の交差点（十字路）	
	Y	交差点（非十字路）	専用道と一般道の交差点（十字路以外）	
その他	r	ロータリー	大甕のロータリー	

上記の整理を踏まえ専用道区間を道路形状により切り分けた結果を表 3.1.3.2-7 に示す。7 種類の道路形状を用いて、72 の区間に分割される。

表 3.1.3.2-7　専用道の道路形状切り分け結果

#	バス停名	道路ID	#	バス停名	道路ID	#	バス停名	道路ID
1	河原子（BRT）	s-1	31		e-4	61	どうのいり公園	s-10
2		z-1	32		X-7	62		z-27
3		X-1	33	水木（BRT）	s-6	63	日立商業高校	s-11
4		z-2	34		z-15	64		z-28
5		e-1	35		e-5	65		e-14
6		z-3	36		z-16	66		z-29
7		X-2	37	泉が森	s-7	67	日立商業下	s-12
8		z-4	38		z-17	68		X-8
9	磯坪	s-2	39		e-6	69		e-15
10		z-5	40		z-18	70		z-30
11		X-3	41		e-7	71		X-9
12		e-2	42		z-19	72	南部図書館	s-13
13		z-6	43		e-8			
14		X-4	44		z-20			
15		z-7	45		e-9			
16	大沼（BRT）	s-3	46		x-1			
17		z-8	47	大甕駅西口	r-1			
18		X-5	48		z-21			
19		z-9	49		e-10			
20		X-6	50		z-22			
21		e-3	51		e-11			
22		z-10	52		z-23			
23	大沼小学校東	s-4	53	臨海工場西	s-8			
24		z-11	54		x-2			
25		Y-1	55		z-24			
26		z-12	56		e-12			
27	寺方	s-5	57		z-25			
28		z-13	58	吹上橋	s-9			
29		Y-2	59		z-26			
30		z-14	60		e-13			

ii)　各走行区間における自車および他車の振る舞いの定義

以下では、個別の形状に応じてシナリオを設定する必要があるロータリー以外の道路形状における振る舞いについて検討する。また、交差点（非十字路）については、局所的には交差点（十字路）と同等とみなせるため検討から除外する。ただし、交差部を横断する挙動が Going straight か Right turn あるいは Left turn かで安全性に違いがある場合、別途評価が必要である点には注意が必要である（図 3.1.3.2-12）。

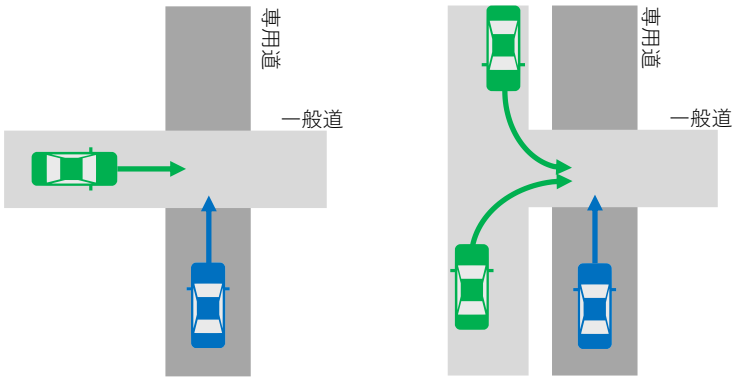


図 3.1.3.2-12　交差点の形状による振る舞いの違い

自車の振る舞い：

ひたち BRT の専用道における自車の振る舞いは限定的である。まず、単路では横方向に移動する空間がなく交差道路もないため、とりうる振る舞いは Going straight のみである。バス停および待避所では、Going straight に加えて、Lane change（明確に車線がない場合にも横移動を Lane change として表現する）が必要である。ただし、Lane change は右側に移動するのみである。なお、交差点での自車の振る舞いは専用道を走行するのみであるため、Going straight のみが可能である。自車が道路形状別にとりうる振る舞いを表 3.1.3.2-8 に整理する。

表 3.1.3.2-8　道路形状別の自車の振る舞い

	概要	自車の振舞い
z	バス一台が走行可能な区間	Going straight
x	専用道のバス停	Going straight Lane change
e	専用道の待避所	Going straight Lane change
x	専用道同士の交差点	Going straight
X	専用道と一般道の交差点（十字路）	Going straight
Y	専用道と一般道の交差点（十字路以外）	Going straight

他車の振る舞い：

他車の振る舞いは自車に対する他車の接近方向（同一方向、交差方向、対向方向）を考慮して設定する必要がある（表 3.1.3.2-9）。単路では、他車は自車に対して同一方向に進んでいる場合と、対向方向から接近してくる場合がある。また、同一方向に進んでいる場合には、自車の前方から近づいてくる場合と後方から近づいてくる場合がある。バス停および待避所でも、接近方向は同一方向に進んでいる場合と対向から近づいてくる場合がある。これらの道路形状では自車の場合同様、他車も右への Lane change が可能である。交差点については、専用道同士の交差点と一般道との交差点で振る舞いが異なる。交差点（専用道）では、自車の振る舞いは直進のみであるのに対し、他車（一般道バス）は交差方向から専用道に進入する振る舞いをとる。そのため、他車の振る舞いとして右左折が考慮される。一方で、交差点（十字路）においては、専用道側に遮断機を設置して一般車の専用道への進入を制限している（図 3.1.3.2-13）。そのため、交差点における他車の振る舞いは Going straight のみとなる（いずれの交差点においても一般道側の幅員は限定されており Lane change、Swerving の考慮は不要としている）。



図 3.1.3.2-13　専用道と一般道の交差点に設置された遮断機

表 3.1.3.2-9　他車の振る舞い

		他車の振る舞い		
	概要	同一方向	交差方向	対向方向
z	バス一台が走行可能な区間	Going straight	—	Going straight
s	専用道のバス停	Going straight Lane change	—	Going straight Lane change
e	専用道の待避所	Going straight Lane change	—	Going straight Lane change
x	専用道同士の交差点	Going straight Left turn	Right turn	Left turn
X	専用道と一般道の交差点（十字路）	—	Going straight	—
Y	専用道と一般道の交差点（十字路以外）	—	Going straight	—

iii)　各道路形状における交通外乱シナリオの生成

ここでは、道路形状と、自車および他車の振る舞いを組み合わせ、ひたち BRT の専用道区間において発生しうる交通外乱シナリオを生成する。

単路（z）：

単路のシナリオを表 3.1.3.2-10 に示す。シナリオを生成する際には、道路形状別の自車および他車の振る舞いの他に、自車と他車の位置関係を考慮する必要がある。ひたち BRT の単路において起こり得る位置は、自車の前方を同一方向に Going straight の振る舞いをとる他車（専用道バス）、自車の後方を同一方向に Going straight の振る舞いをとる他車（専用道バス）、および自車の対向方向から Going straight の振る舞いをとる他車（専用道バス）の 3 つのシナリオが考えられる。ただし、後方から接近する他車に衝突されるシナリオは回避が困難であることから、以下ではシナリオとしては扱わない。そのため、単路で検討すべきシナリオは表の 2 つの場合となる。

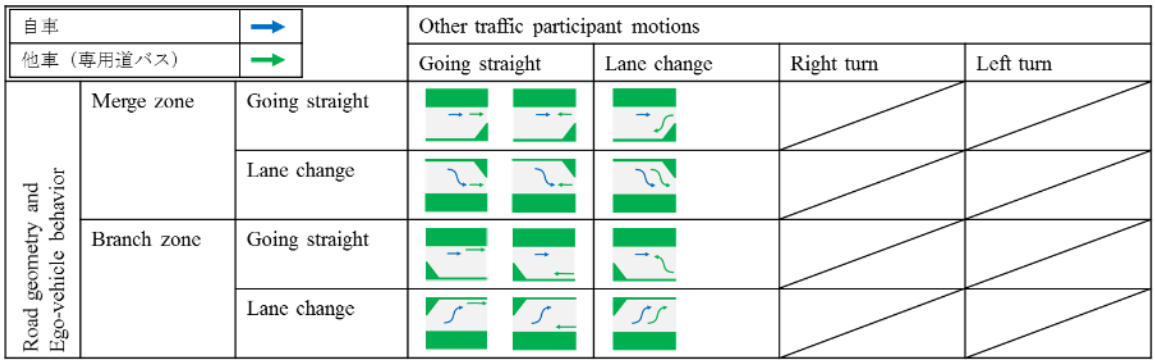
表 3.1.3.2-10　専用道の単路（Non-intersection）で発生する交通外乱シナリオ

自車 → 他車（専用道バス） →			Other traffic participant motions			
			Going straight	Lane change	Right turn	Left turn
Road geometry and Ego-vehicle behavior	Non-intersection	Going straight				

バス停（s）・待避所（e）：

バス停および待避所でのシナリオを表 3.1.3.2-11 に示す。バス停および待避所では、バス停に Going straight で進入する場合と Lane change で進入する必要がある場合がある。同様に、退出する場合にも Going straight で退出する場合と Lane change が必要な場合がある。道路形状は前述の通り分岐路と合流路に相当するが、バスの進行方向によって分岐の左右が変わることに考慮しなければならない。位置を考慮すると表 3.1.3.2-4 に示すシナリオが発生する。

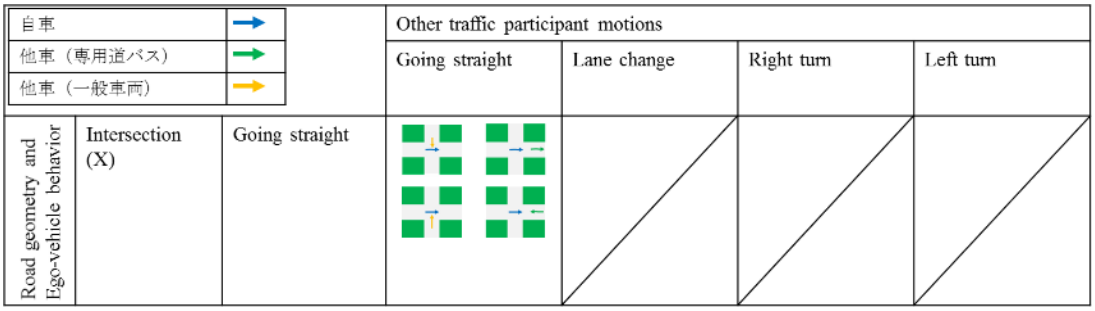
表 3.1.3.2-11　専用道のバス停と待避所（Branch zone、Merge zone）で発生する交通外乱シナリオ



交差点（十字路）（X）：

交差点（十字路）のシナリオを表 3.1.3.2-12 に示す。交差点に Going straight で進入する自車に対して、同一方向に Going straight で前方を走行する他車（専用道バス）および対向方向から近づく他車（専用道バス）に加えて、左右の交差方向から Going straight で接近する他車（一般車両）とのシナリオが発生する。

表 3.1.3.2-12　専用道と一般道が十字に交わる交差点（Intersection（X））で発生する交通外乱シナリオ



交差点（専用道）：

交差点（専用道）のシナリオを表 3.1.3.2-13 に示す。ひたち BRT の専用道区間にはこのタイプの交差点が 2 か所ある。いずれも図 3.1.3.2-14 に示すように自車側が直進側を通過する丁字路であり、他車は直進側から左折するか、直進側に右折して進入するかの振る舞いをとる。従って交通外乱シナリオの検討にあたっては、自車が接続側の道路に対していずれの方向に進むかでシナリオが異なる。また、2 つのうち一つの交差点は遮断機により他車（一般車両）の進入が制限されているが、もう一方は物理的に一般車両を制限はしていない。ただし、ロータリーへの入り口部分にあたり他車（一般車両）の進入はないものと仮定している。

表 3.1.3.2-13　専用道同士の交差点（Intersection（x））で
発生する交通外乱シナリオ

自車		Other traffic participant motions			
他車（専用道バス）		Going straight	Lane change	Right turn	Left turn
他車（一般車両）					
他車（一般道バス）					
Road geometry and Ego-vehicle behavior	Intersection (x)	Going straight			

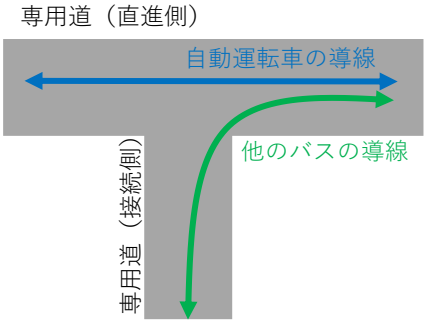
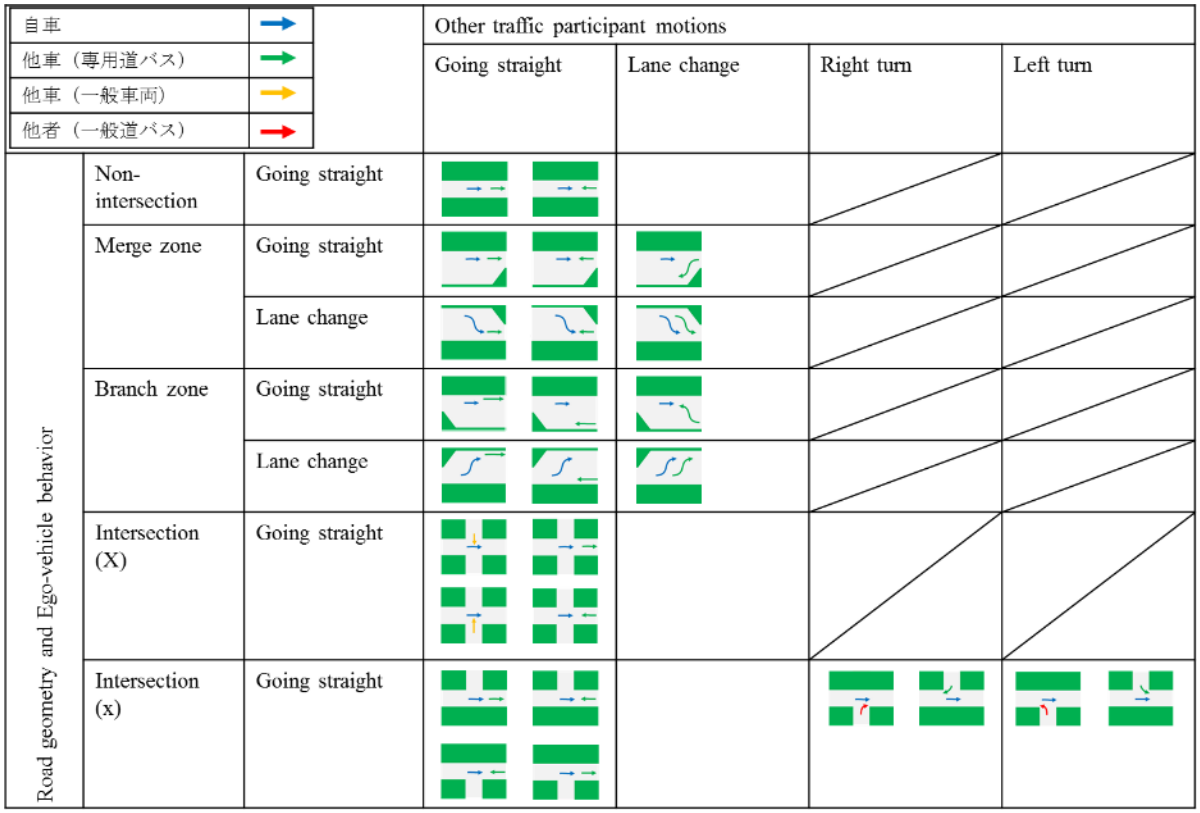


図 3.1.3.2-14　交差点（専用道）における車両の導線

以上の検討をまとめると、ひたち BRT の専用道における対車両の全交通外乱シナリオは表 3.1.3.2-14 となる。

表 3.1.3.2-14　ひたち BRT の専用道における対車両の全交通外乱シナリオ



c）　自動運転 MaaS 実証実験の安全性評価に向けた基礎的検討のまとめ

本検討では、SAKURA プロジェクトのシナリオデータベースの交通外乱シナリオ体系に基づき、RoAD to the L4 において実装が計画されている、ひたち BRT の専用道区間で発生する対車両交通外乱シナリオの抽出を実施した。専用道区間で発生する概ねすべての区間で発生する交通外乱場面をシナリオ場面として抽出可能であることがわかった。ただし、シナリオ体系の対象外であるロータリーや 5 つ以上の道路が交差する交差点（交差点（非十字路））といった、JAMA の交通外乱シナリオとの照合が難しい道路形状があることが確認された。また、道路形状別に発生しうる振る舞いを検討する段階では、バスによる法令遵守（バス停や待避所では左側通行をし、むやみに右側に逸脱することはない等）や物理障壁（遮断機）の影響を現地の状況に応じて考慮することで、発生しうる交通外乱シナリオを限定できる可能性が示された。

（2） 道路環境に対応したシナリオ抽出の一般化に向けた検討

（1）の検討では、ひたち BRT 専用道区間を対象に評価シナリオの抽出の検討を行った。検討では、専用区間のほとんどの部分が Non-intersection、Merge/Branch zone、Intersection に分類されるものの、具体的に評価が必要なシナリオは道路の形状等によって異なることがわかった。ただし、専用道区間は一部一般交通と交錯する部分などがあるものの、基本的には自車および他車の振る舞いが限定された空間であり、今後、MaaS サービスもより一般道に近い環境での運行やオーナーカー向けの AD 車の安全性の検証においては、より一般的な交通環境におけるシナリオ抽出が必要となる。この際、一般道においてもひたち BRT の専用道同様に、走行地点の道路環境や適用される交通ルールにより評価が必要なシナリオが異なってくる。そこで、以下では道路構造などと評価すべきシナリオの関係性について整理を行う。

a） 交通参加者の振る舞いを限定する要因の検討

道路は車両が歩道や対向車線に逸脱することを防止するため工作物（縁石、防護柵、分離帯など）により物理的に区画され、交通参加者は物理的に行動が制限される。これら工作物は現実世界に多数存在する。今回は、ケーススタディとして実際の道路区間を設定し、そこに存在する振る舞いを制限する要因を抽出する。また、道路は道路交通法（以下、「道交法」という）に基づき、道路標識や道路標示により公安委員会の交通規制がなされるため、交通参加者は法規的に行動が制限される。これら道路標識や道路標示の種類、様式は道交法の関連法令である「道路標識、区画線及び道路標示に関する命令（以下、「標識令」という）」で定められているため、道交法と標識令から道路構造および構成物を用いて抽出する。そして、最後に振る舞いを制限する要因とシナリオの関係を整理する。

b） 実交通環境からの振る舞いを制限する要因の整理

実事例として、AD 車などの実証実験が行われている有明および柏の葉の道路を用いて交通参加者の行動を制約しうる道路構造上の特徴（以下、「プロパティ」という）を抽出する。プロパティは、自車の行動（発進：Start、車線維持：Lane keep、車線変更：Lane change、右折：Right turn、左折：Left turn、停止：Stop のいずれか）または他車の行動（加速：Acceleration、減速：Deceleration、カットイン：Cut-in、カットアウト：Cut-out、追い越し：Overtaking、右折：Right turn、左折：Left turn、転回：U-turn、停止：Stopping のいずれか）のうち、いずれかを制限するものを意味する。また Road geometry のうち Non-intersection は道路外への右左折をすることができない区間を表すため、車道と歩道の境界を中心に Google Map などを用いて目視にてプロパティを抽出する。

有明の事例では図 3.1.3.2-15 に示す、有明コロシアム前の交差点を始点として有明コロシアム東の交差点を終点とする経路を用いた。道路構造は自車の行動あるいは他車の行動の制限に対して支配的な要素である（例えば、車道と歩道間の境界構造が車両の進入できないものである場合、自車は Left turn あるいは Right turn をすることができず、車道と対向する車道間の境界構造が車両の進入できないものである場合、他車は Overtaking あるい

は U-turn をすることができない）ため、車道と歩道の境界構造および車道と対向する車道の境界構造に対して車両が進入できそうか、の観点で目視確認を行った。なお、経路はほとんどの区間で図 3.1.3.2-16 に示すような中央分離帯が設けられた片側 2 車線の道路であるため、車道と歩道の境界構造は進行方向に対して左側のみを対象とした。

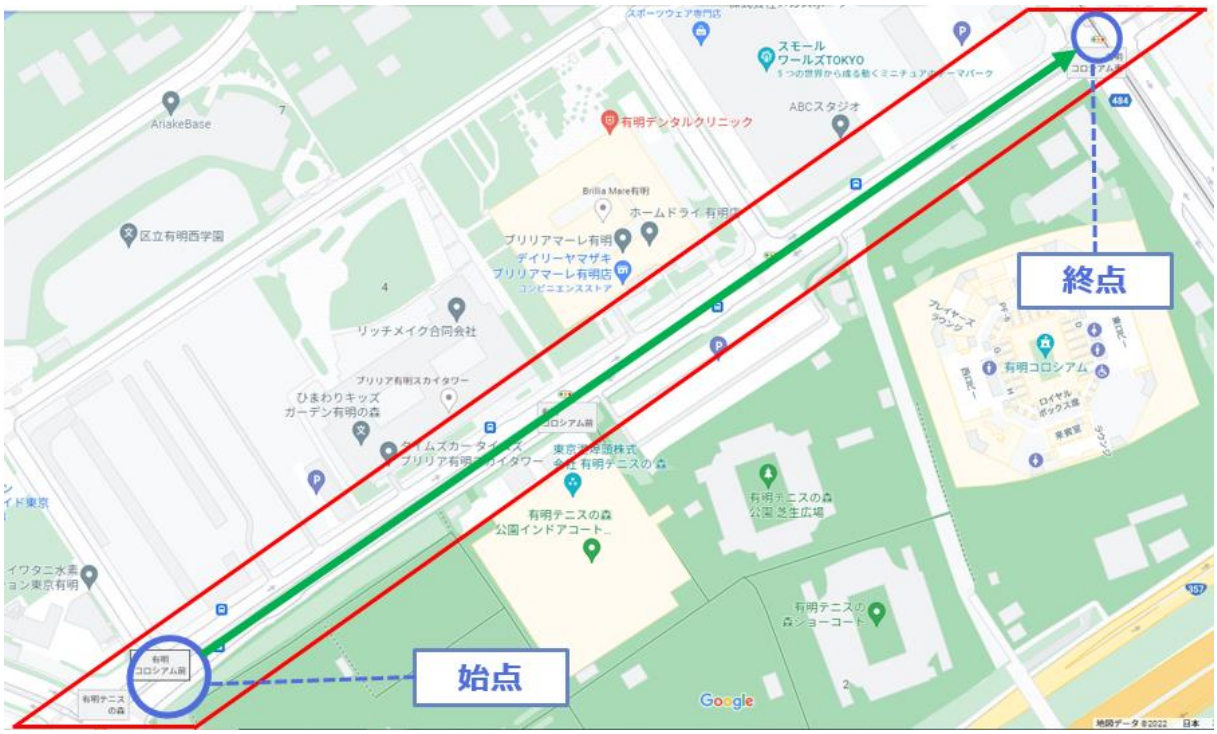


図 3.1.3.2-15　有明事例における経路（赤枠内）

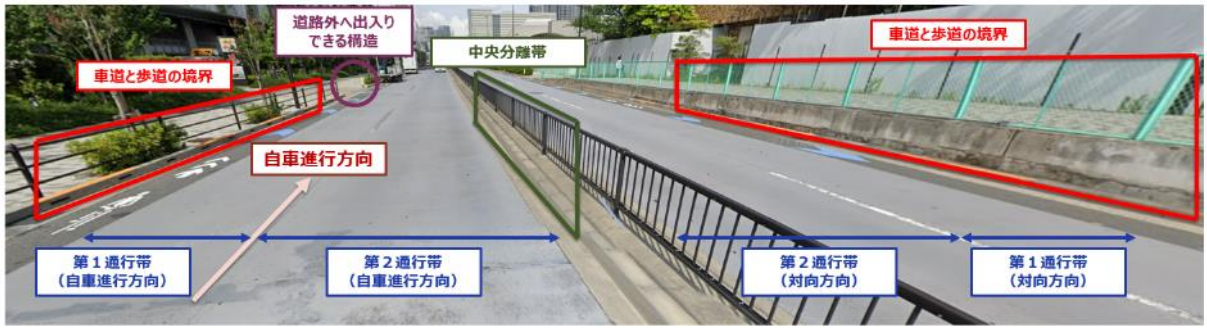


図 3.1.3.2-16　有明事例における典型的な区間

車道と歩道の境界構造について、経路全体を通じてほとんどの区間で柵および縁石が設置されていたため、特筆すべき区間として柵と縁石のいずれか一方が設置されていない区間を図 3.1.3.2-17 から図 3.1.3.2-23 に示して柵の有無、縁石の有無、縁石の切り開き（スロープ）の有無で車道と歩道の境界を整理した（表 3.1.3.2-15）。柵や縁石は車両が歩道などへの逸脱防止を目的として設置される[5][6]ため、この境界構造で Road geometry の要素のうち Intersection を決定できる（表 3.1.3.2-16）。なお、進行方向に対して左側のみを対象としたため、表 3.1.3.2-16 の#1 から#6 の Road geometry の要素を Intersection または

Non-intersection としている。進行方向に対して右側を同様に対象として観察することで Intersection および Non-intersection を特定することができる。

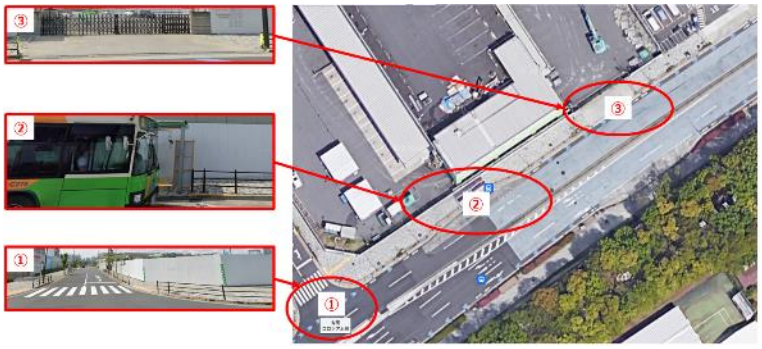


図 3.1.3.2-17　車道と歩道の境界に柵および縁石が設置されていない区間（#１）



図 3.1.3.2-18　車道と歩道の境界に柵および縁石が設置されていない区間（#２）

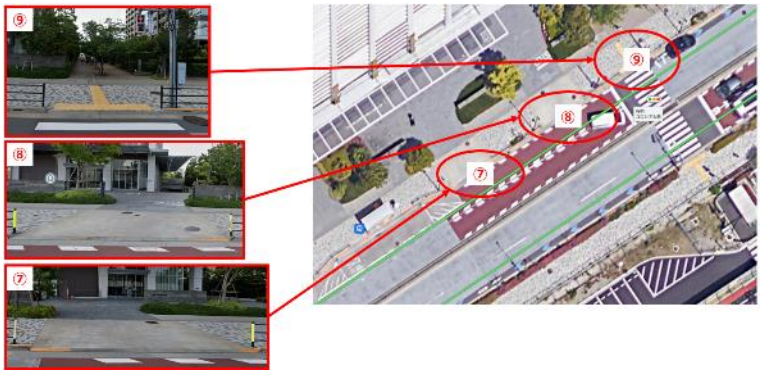


図 3.1.3.2-19　車道と歩道の境界に柵および縁石が設置されていない区間（#３）



図 3.1.3.2-20　車道と歩道の境界に柵および縁石が設置されていない区間（#４）



図 3.1.3.2-21　車道と歩道の境界に柵および縁石が設置されていない区間（#５）

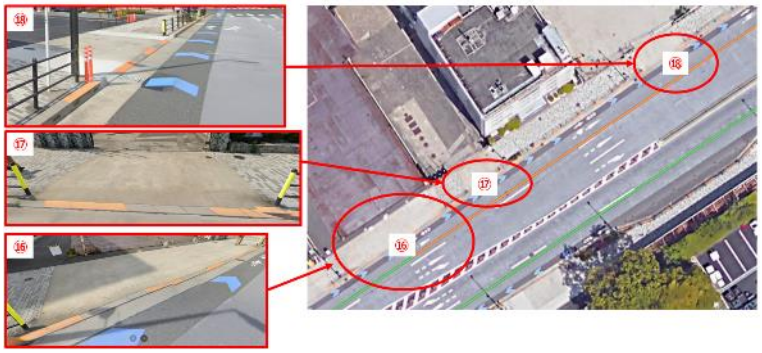


図 3.1.3.2-22　車道と歩道の境界に柵および縁石が設置されていない区間（#６）

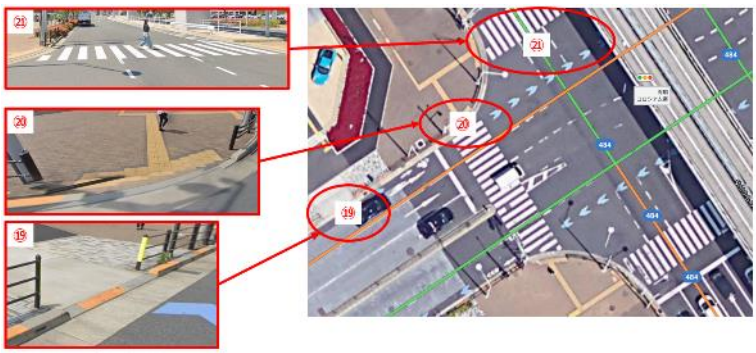


図 3.1.3.2-23　車道と歩道の境界に柵および縁石が設置されていない区間（#７）

表 3.1.3.2-15　車道と歩道の境界（柵、縁石、縁石の切り開き）と有明事例の対応

#	柵	縁石	縁石の切り開き（スロープ）	有明の事例で対応する箇所	主な設置場所
1	あり	あり	あり	特になし	-
2	あり	あり	なし	ほぼすべての区間	ほぼすべての区間
3	あり	なし	あり	特になし	-
4	あり	なし	なし	⑫	交差点の隅切り付近
5	なし	あり	あり	特になし	-
6	なし	あり	なし	②、⑥、⑭	バス停付近
7	なし	なし	あり	③、④、⑤、⑦、⑧、⑨、⑩、⑪、⑬、⑮、⑯、⑰、⑱、⑲、⑳	道路外施設への出入口横断歩道の始点付近
8	なし	なし	なし	①、⑫、㉑	交差点

表 3.1.3.2-16　車道と歩道の境界構造毎の Road geometry 要素

#	柵	縁石	縁石の切り開き（スロープ）	Road geometry 要素	有明の事例で対応する箇所
1	あり	あり	あり	Intersection または Non-intersection	特になし
2	あり	あり	なし	Intersection または Non-intersection	ほとんどの区間
3	あり	なし	あり	Intersection または Non-intersection	特になし
4	あり	なし	なし	Intersection または Non-intersection	⑫
5	なし	あり	あり	Intersection または Non-intersection	特になし
6	なし	あり	なし	Intersection または Non-intersection	②、⑥、⑭
7	なし	なし	あり	Intersection	③、④、⑤、⑦、⑧、⑨、⑩、⑪、⑬、⑮、⑯、⑰、⑱、⑲、⑳
8	なし	なし	なし	Intersection	① 、⑫、㉑

車道と対向する車道の境界構造について、経路全体を通じてほぼすべての区間で柵および縁石が設置されていたため、特筆すべき区間として柵と縁石のいずれか一方が設置されていない区間を図 3.1.3.2-24、図 3.1.3.2-25 に示して柵の有無、縁石の有無、縁石の切り開き（スロープ）の有無で車道と歩道の境界を整理した（表 3.1.3.2-17)。車道と歩道の境界構造と同様に柵や縁石は車両が対向する車道への逸脱防止を目的として設置されるた

め、これらの境界構造があることで自車は Right turn ができず、他車は Overtaking あるいは U-turn ができないこととなる。なお、図 3.1.3.2-24 の境界構造は、歩道の一般的構造に関する基準[7]に従って縁石の切り開き（スロープ）がなされており、車両が U-turn できないようにボラードを設置したものとみなした。



図 3.1.3.2-24　車道と対向する車道の境界に柵・縁石が設置されていない区間（#１）

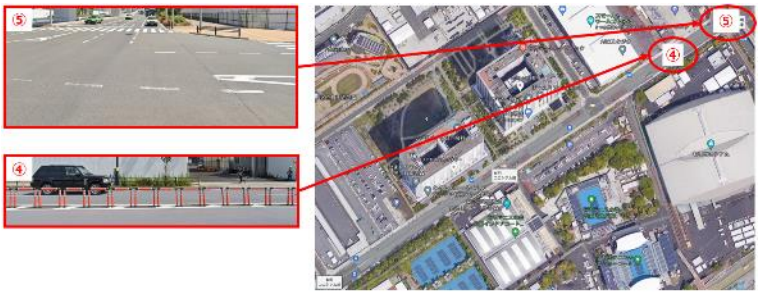


図 3.1.3.2-25　車道と対向する車道の境界に柵・縁石が設置されていない区間（#２）

表 3.1.3.2-17　車道と対向する車道（柵、縁石、縁石の切り開き）と有明事例の対応

#	柵	縁石	縁石の切り開き（スロープ）	有明の事例で対応する箇所	主な設置場所
1	あり	あり	あり	特になし	-
2	あり	あり	なし	①	丁字路 ほとんどの区間
3	あり	なし	あり	②	横断歩道の一部
4	あり	なし	なし	④	有明コロシアム前の単路の一部
5	なし	あり	あり	特になし	-
6	なし	あり	なし	特になし	-
7	なし	なし	あり	特になし	-
8	なし	なし	なし	③、⑤	交差点

柏の葉事例は、現実世界に存在する道路構造上の特徴（プロパティ）の網羅率を上げる目的で 2 つ目のケーススタディ事例として扱った。経路は柏の葉キャンパス駅を始点とし

て東京大学柏キャンパス前の交差点を終点とする区間である（図 3.1.3.2-26）。県道 47 号線を除き、経路の大部分は中央線が設けられた片側 1 車線の道路である（図 3.1.3.2-27）。片側 1 車線の道路では、自車は Lane change ができず、他車は Cut-in および Cut-out ができないため車線の数がプロパティとなる。なお、有明事例と同様に車道と歩道の境界構造および車道と対向する車道の境界構造に対して車両が進入可能か目視で確認をしたが、有明事例で抽出した工作物と同等であることを確認した。

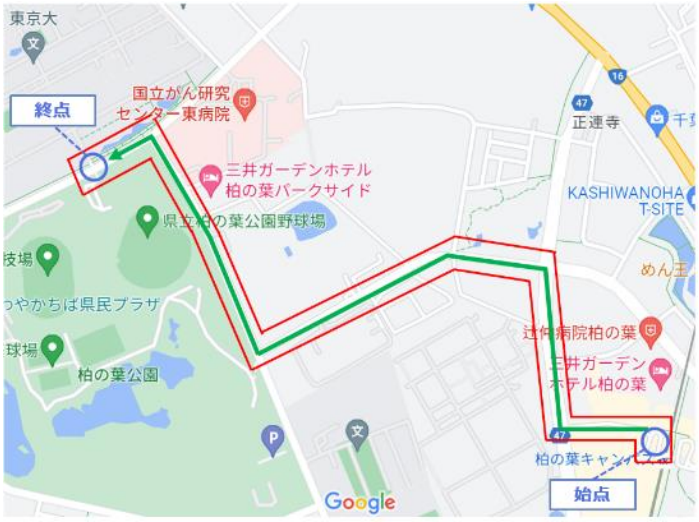


図 3.1.3.2-26　柏の葉事例における経路（赤枠内）

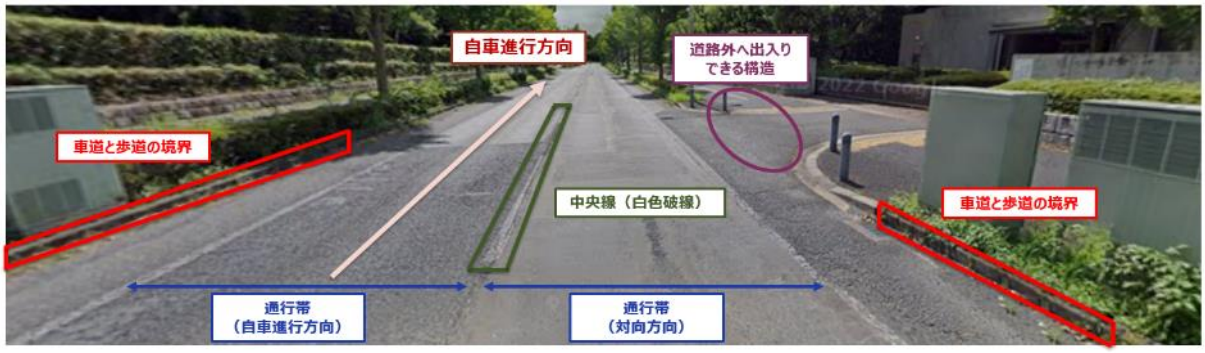


図 3.1.3.2-27　柏の葉事例における典型的な区間

c)　道交法により制限される振る舞いの整理

関連法規として道交法を用いて交通参加者の行動を制約しうる道路構造上のプロパティを抽出する。道交法は交通参加者の行動を制約する事項を定めているが、「道路標識等により」の記述にとどめる場合がある。道路標識などをプロパティとした場合は複数の制約を意味することとなるため、標識令の別表にある種類をプロパティとすることで制約を一意なものとした（例えば、道交法 第八条 第 1 項では「歩行者又は車両等は、道路標識等によりその通行を禁止されている道路又はその部分を通行してはならない」と記述がある。道路標識などをプロパティとせず、標識令の別表の種類を参照して「通行止め」をプロパティとする）。

プロパティの抽出は、自動運転車あるいは自動運転車以外の交通参加者の行動に制限を課す可能性がある 166 条項[8]のうち、道路における工作物や道路標識などの存在あるいは道路形状を条件に持ち、一般道において Ego-vehicle behavior あるいは Other traffic participant motions を制約しうる条項を対象とした（表 3.1.3.2-18）。ここでは、プロパティの抽出を目的としているため社会的通念や原則を規定した一般的な注意義務を定めた条項、他車は 1 つを前提としているため 3 者以上が登場する条項、およびロジカルシナリオやコンクリートシナリオで評価すべきためのパラメータ（車両の進行速度、進行方向、自車と他車の距離）を含む条項を除外している。表 3.1.3.2-18 内の「主な工作物や道路標識等」で「道路標識等あるいは道路標示」を含む表現はプロパティを一意とするため、標識令の別表にある種類を用いて表現を変換する（表 3.1.3.2-19）。なお、標識令で定める道路標識の種類は 4 つ（案内標識、警戒標識、規制標識、指示標識）であるが、ここでは行動に制限を課す規制標識および指示標識を対象とした。

表 3.1.3.2-18　プロパティを抽出する対象の条項

#	内容	条項	主な工作物や 道路標識等	主な道路形状
1	信号機の信号等に従う義務	第七条	信号機	-
2	通行の禁止等	第八条 第 1 項	道路標識等	-
3	通行区分	第十七条 第 1 項	-	歩道又は路側帯（歩道等）と車道の区別のある道路
4	通行区分	第十七条 第 2 項	-	歩道等
5	通行区分	第十七条 第 4 項	道路標識等による中央線	-
6	通行区分	第十七条 第 6 項	安全地帯 道路標識等	道路標識等により車両の通行の用に供しない部分であることが表示されているその他の道路の部分
7	車両通行帯	第二十条 第 1 項	車両通行帯	-
8	車両通行帯	第二十条 第 2 項	車両通行帯 道路標識等	-

#	内容	条項	主な工作物や 道路標識等	主な道路形状
9	横断等の禁止	第二十五条の二 第 2 項	道路標識等	転回が禁止されている道路の部分
10	進路の変更の禁止	第二十六条の二 第 3 項	車両通行帯 道路標示	-
11	追越しを禁止する場所	第三十条	道路標識等 横断歩道 自転車横断帯	トンネル 交差点 踏切
12	指定通行区分	第三十五条 第 1 項	車両通行帯 道路標識等	-
13	交差点における他の車両等との関係等	第三十六条 第 1 項	-	交差点
14	交差点における他の車両等との関係等	第三十六条 第 2 項	道路標識等	交通整理の行なわれていない交差点
15	交差点における他の車両等との関係等	第三十七条	-	交差点
16	交差点等への進入禁止	第五十条 第 1 項	-	交通整理の行なわれている交差点
17	交差点等への進入禁止	第五十条 第 2 項	横断歩道 自転車横断帯 踏切 道路標示	-

表 3.1.3.2-19　標識令の別表にある種類を用いた表現の変換

#	条項	道交法 における表現 【変換前】	標識令における表現 （　）内は道路標識と道路標示の別を表す 【変換後】
1	第八条 第 1 項	道路標識等	通行止め（道路標識） 車両通行止め（道路標識） 車両進入禁止（道路標識） 二輪の自動車以外の自動車通行止め （道路標識） 車両（組合せ）通行止め（道路標識） 指定方向外進行禁止（道路標識） 自転車専用（道路標識） 自転車及び歩行者専用（道路標識） 歩行者専用（道路標識） 一方通行（道路標識）
2	第十七条 第 4 項	道路標識等による中央線	中央線（道路標識） 中央線（道路標示）
3	第十七条 第 6 項	道路標識等	安全地帯（道路標識） 安全地帯（道路標示）
4	第二十条 第 2 項	道路標識等	車両通行区分（道路標識） 特定の種類の車両の通行区分（道路標識） 専用通行帯（道路標識）
5	第二十五条の二 第 2 項	道路標識等	車両横断禁止（道路標識） 転回禁止（道路標識） 転回禁止（道路標示）
6	第二十六条の二 第 3 項	道路標示	進路変更禁止（道路標示）
7	第三十条	道路標識等	追越し禁止（道路標識）
8	第三十五条 第 1 項	道路標識等	進行方向別通行区分（道路標識） 進行方向別通行区分（道路標示）
9	第三十六条 第 2 項	道路標識等	優先道路（道路標識） 前方優先道路（道路標識） 前方優先道路（道路標示） 中央線（道路標識） 中央線（道路標示）
10	第五十条 第 2 項	道路標示	停止禁止部分（道路標示）

d)　振る舞いに影響を与えるプロパティの整理

b）および c）の検討結果から抽出したプロパティを抽出元とともに示す（表 3.1.3.2-20)。抽出元で道交法と標識令を併記したプロパティは道交法で「道路標識等あるいは道路標示」と表現されているもので、参照した標識令の別表および番号を表す。

表 3.1.3.2-20　抽出したプロパティと抽出元

#	抽出したプロパティ	抽出元	備考
1	縁石	有明事例	車道と歩道の境界構造または車道と対向する車道の境界構造
2	柵	有明事例	車道と歩道の境界構造または車道と対向する車道の境界構造
3	縁石の切り開き	有明事例	車道と歩道の境界構造または車道と対向する車道の境界構造
4	ボラード	有明事例	車道と対向する車道の境界構造
5	交差点	有明事例 道交法 第三十条 道交法 第三十六条 第 1 項 道交法 第三十七条	十字路および丁字路を含む
6	1 車線	柏の葉事例	車道と対向する車道の境界構造
7	中央線	柏の葉事例 道交法 第十七条 第 4 項 道交法 第三十六条 第 2 項 標識令 別表第 1 番号（406） 標識令 別表第 5 番号（205）	車道と対向する車道の境界構造
8	信号機	道交法 第七条	-
9	通行止め	道交法 第八条 第 1 項 標識令 別表第 1 番号（301）	-
10	車両通行止め	道交法 第八条 第 1 項 標識令 別表第 1 番号（302）	-
11	車両進入禁止	道交法 第八条 第 1 項 標識令 別表第 1 番号（303）	-
12	二輪の自動車以外の自動車通行止め	道交法 第八条 第 1 項 標識令 別表第 1 番号（304）	-
13	車両（組合せ）通行止め	道交法 第八条 第 1 項 標識令 別表第 1 番号（310）	-

#	抽出したプロパティ	抽出元	備考
14	指定方向外進行禁止	道交法 第八条 第1項 標識令 別表第1 番号（311-A からF）	-
15	自転車専用	道交法 第八条 第1項 標識令 別表第1 番号（325 の 2）	-
16	自転車及び歩行者専用	道交法 第八条 第1項 標識令 別表第1 番号（325 の 3）	-
17	歩行者専用	道交法 第八条 第1項 標識令 別表第1 番号（325 の 4）	-
18	一方通行	道交法 第八条 第1項 標識令 別表第1 番号（326-A･B）	-
19	歩道又は路側帯（歩道等）	道交法 第十七条 第1項 道交法 第十七条 第2項	道交法 第十七条 第1項で「歩道又は路側帯（以下この条において「歩道等」という。）」としている
20	安全地帯	道交法 第十七条 第6項 標識令 別表第1 番号（408） 標識令 別表第5 番号（207）	-
21	車両通行帯	道交法 第二十条 第1項 道交法 第二十条 第2項 道交法 第三十五条 第1項 標識令 別表第5 番号（109）	-
22	車両通行区分	道交法 第二十条 第2項 標識令 別表第1 番号（327）	-
23	特定の種類の車両の通行区分	道交法 第二十条 第2項 標識令 別表第1 番号（327 の 2）	-
24	専用通行帯	道交法 第二十条 第2項 標識令 別表第1 番号（327 の 4）	-
25	車両横断禁止	道交法 第二十五条の二 第2項 標識令 別表第1 番号（312）	-
26	転回禁止	道交法 第二十五条の二 第2項 標識令 別表第1 番号（313） 標識令 別表第5 番号（101）	-
27	進路変更禁止	道交法 第二十六条の二 第3項 標識令 別表第5 番号（102 の 2）	-
28	トンネル	道交法 第三十条	-
29	踏切	道交法 第三十条	-

#	抽出したプロパティ	抽出元	備考
		道交法 第五十条 第 2 項	
30	横断歩道	道交法 第三十条 道交法 第五十条 第 2 項 標識令 別表第 1 番号（407-A･B） 標識令 別表第 5 番号（201）	-
31	自転車横断帯	道交法 第三十条 道交法 第五十条 第 2 項 標識令 別表第 1 番号（407 の 2） 標識令 別表第 5 番号（201 の 3）	-
32	進行方向別通行区分	道交法 第三十五条 第 1 項 標識令 別表第 1 番号（317 の 7-A から D） 標識令 別表第 5 番号（110）	-
33	交通整理の行なわれていない交差点	道交法 第三十六条 第 2 項	-
34	優先道路	道交法 第三十六条 第 2 項 標識令 別表第 1 番号（405）	-
35	前方優先道路	道交法 第三十六条 第 2 項 標識令 別表第 1 番号（329 の 2-A･B） 標識令 別表第 5 番号（211）	-
36	交通整理の行なわれている交差点	道交法 第五十条 第 1 項	-
37	停止禁止部分	道交法 第五十条 第 2 項 標識令 別表第 5 番号（107）	-

e)　プロパティを考慮した評価シナリオの抽出

プロパティにより起こらないシナリオを除き、抽出されるシナリオについて説明する。シナリオは図 3.1.3.2-28 から図 3.1.3.2-31 のような表形式で表現する。列方向は Road geometry と Ego-vehicle behavior の組み合わせ、行方向は Other traffic participant directions と Other traffic participant motions の組み合わせを表し、各セルはシナリオを表す。なお、図 3.1.3.2-28 から図 3.1.3.2-30 では理論的にとることはできないシナリオを記載していない。たとえば図 3.1.3.2-28 では、Road geometry が Non-intersection の場合は自車および他車は理論的に左折および右折をすることができないため、「Road geometry が Non-intersection」かつ「Ego-vehicle behavior が Right turn または Left turn」および「Road geometry が Non-intersection」かつ「Other traffic participant motions が Right turn または Left turn」のシナリオを記載していない。同様に Other traffic participant directions が Same の場合は Other traffic participant motions は理論的に Overtaking をとることができないため、「Other traffic participant directions が Same」かつ「Other traffic participant motions が Overtaking」のシナリオを記載していない。図 3.1.3.2-30 と図 3.1.3.2-31 では、Road geometry が Non-intersection の場合は自車から見て右折方向、左折方向に他車は理論的に存在しないため、Ego-vehicle behavior のすべての要素についてシナリオを記載していない。

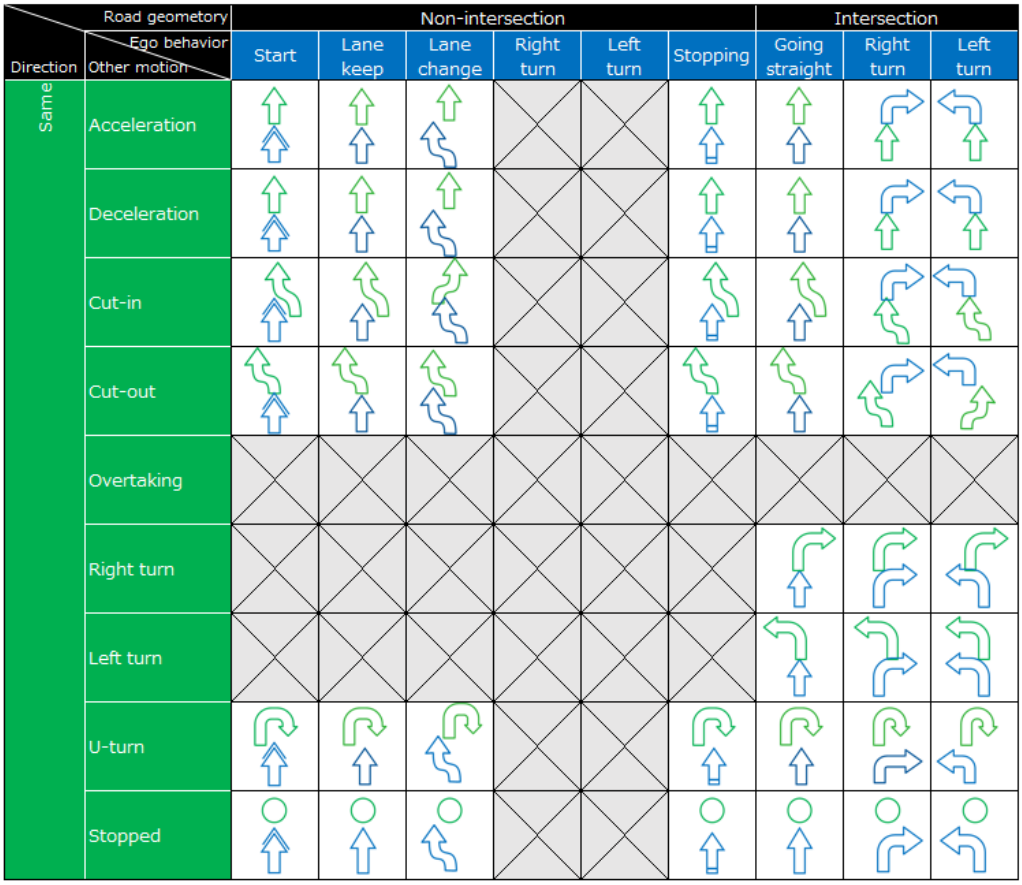


図 3.1.3.2-28　カテゴリ内要素の表現（Direction = Same の例）

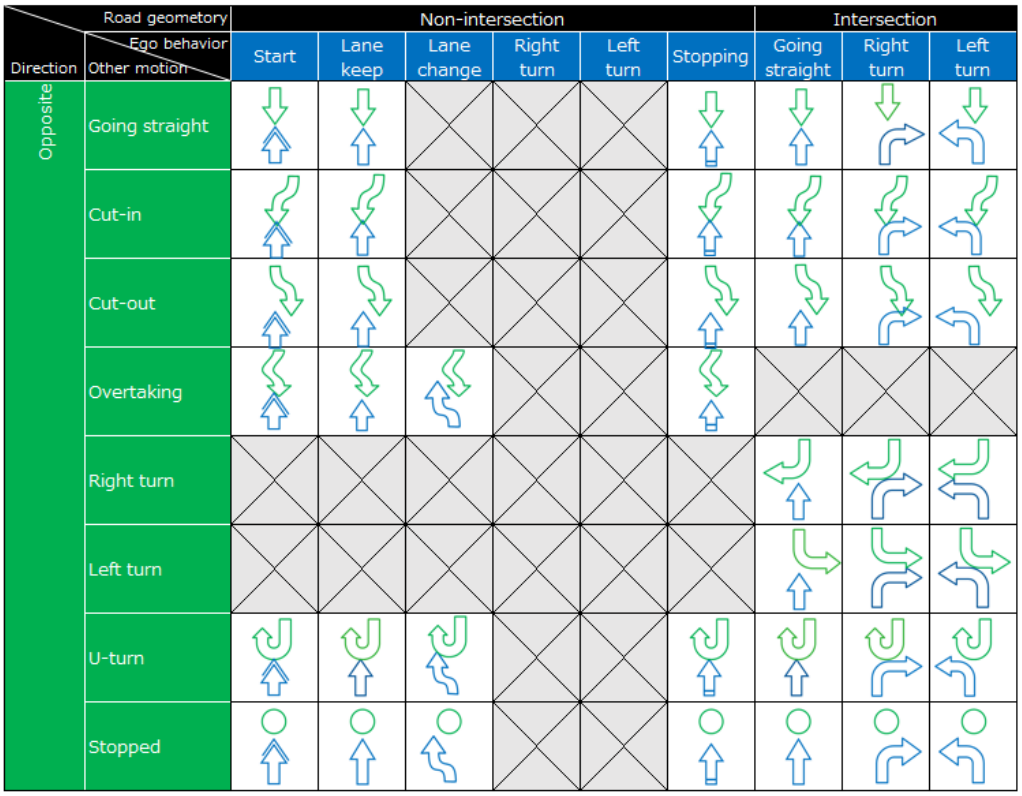


図 3.1.3.2-29　カテゴリ内要素の表現（Direction = Opposite の例）

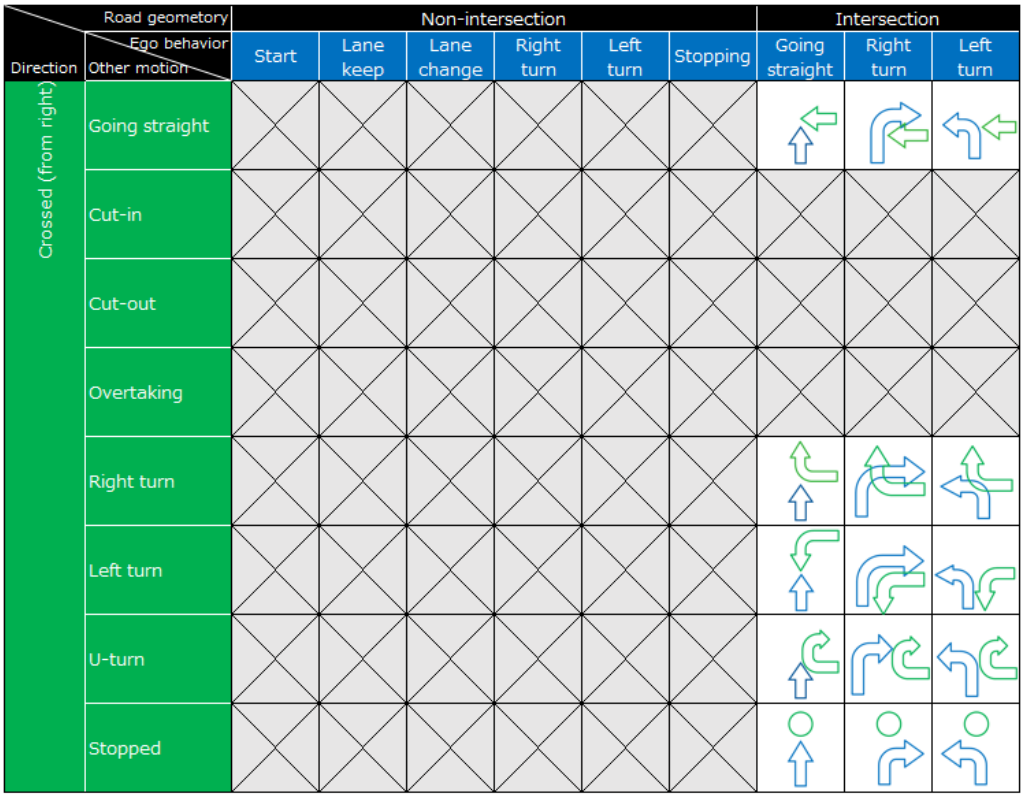


図 3.1.3.2-30　カテゴリ内要素の表現（Direction = Crossed（from right）の例）

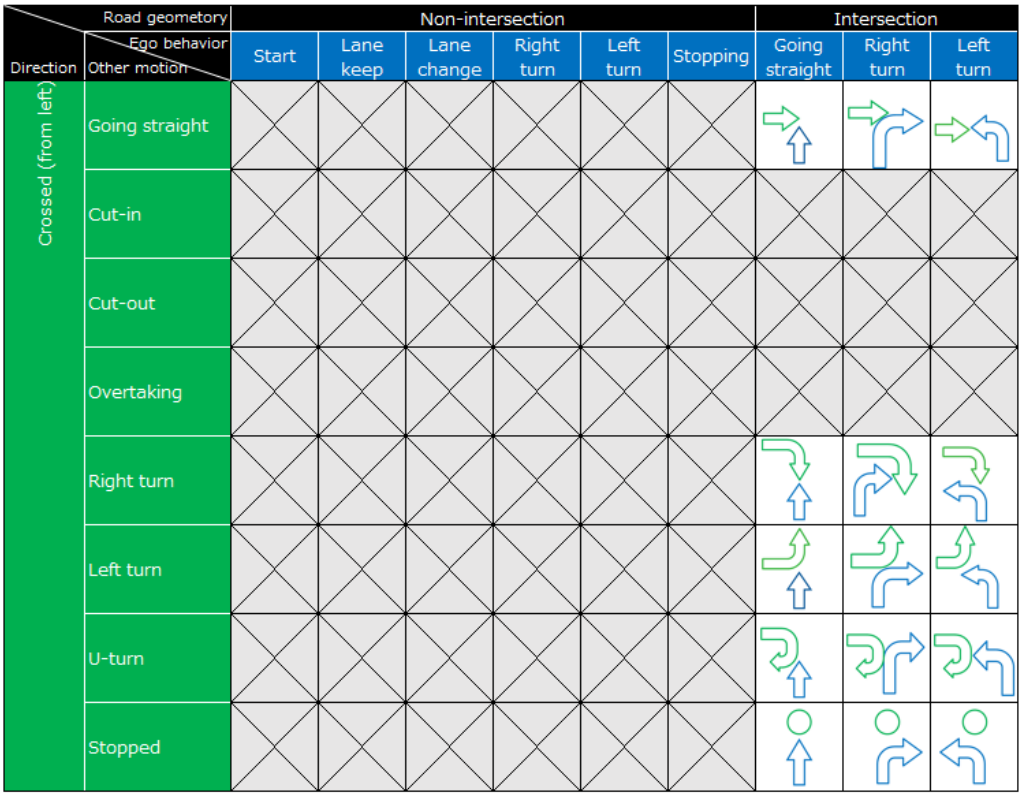


図 3.1.3.2-31　カテゴリ内要素の表現（Direction = Crossed（from left）の例）

物理的に行動が制限される事例として交差点に中央分離帯がある場合のカテゴリ内要素を図 3.1.3.2-32 から図 3.1.3.2-35 に示す（黄色セルが評価すべきシナリオを表す）。自動運転車は道路の左側を通行していると考えられるため、自車から見て右方向に中央分離帯が存在する。そのため、自車の右折（Ego-vehicle behavior が Right turn）が制限され、Other traffic participant directions が Same の場合は他車の右折（Other traffic participant motions が Right turn）が制限される（図 3.1.3.2-32）。同様に Other traffic participant directions が Opposite 場合は他車の左折（Other traffic participant motions が Left turn）が制限され（図 3.1.3.2-33）、Other traffic participant directions が Crossed（from left）の場合は他車の直進（Other traffic participant motions が Going straightLeft turn）が制限される（図 3.1.3.2-35）。Other traffic participant directions が Crossed（from right）の場合は他車が中央分離帯を超えて走行することがないため、評価すべきシナリオはない（図 3.1.3.2-34）。

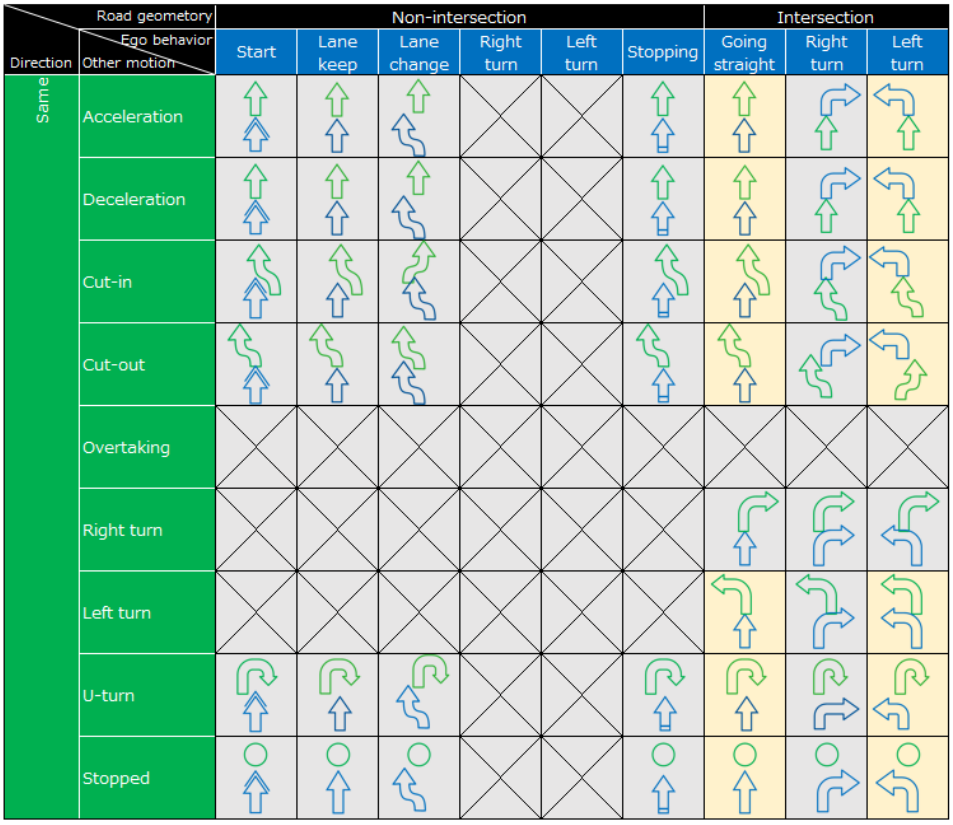


図 3.1.3.2-32　交差点に中央分離帯がある場合（Direction = Same）

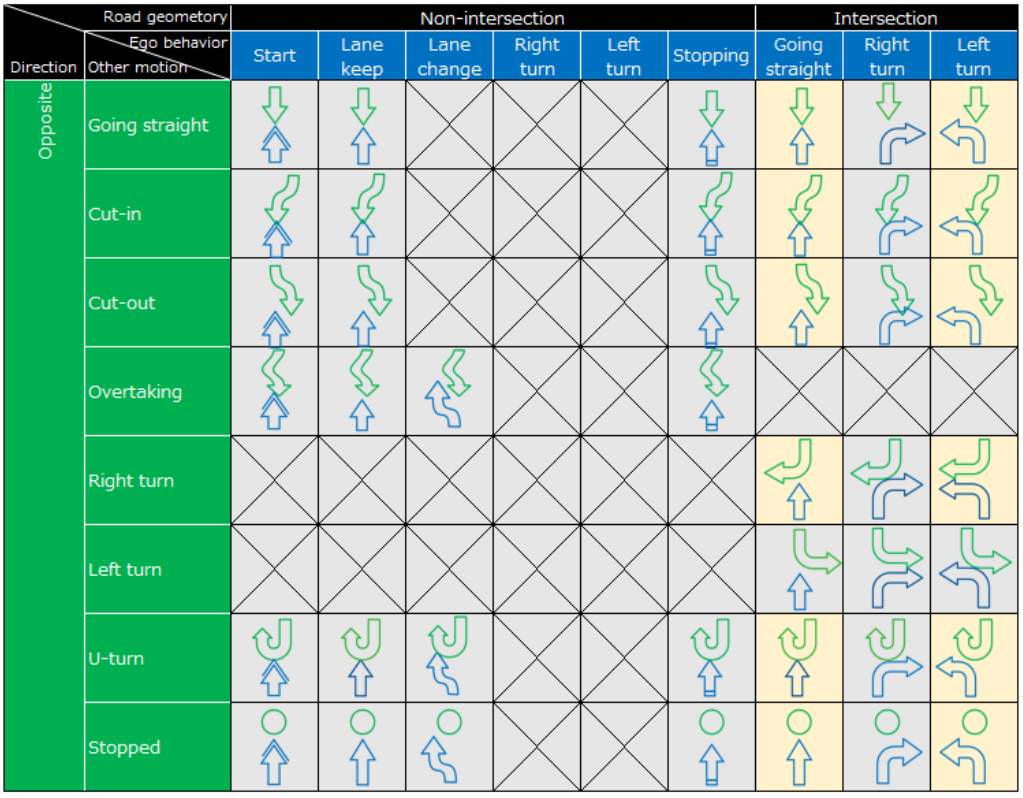


図 3.1.3.2-33　交差点に中央分離帯がある場合（Direction = Opposite）

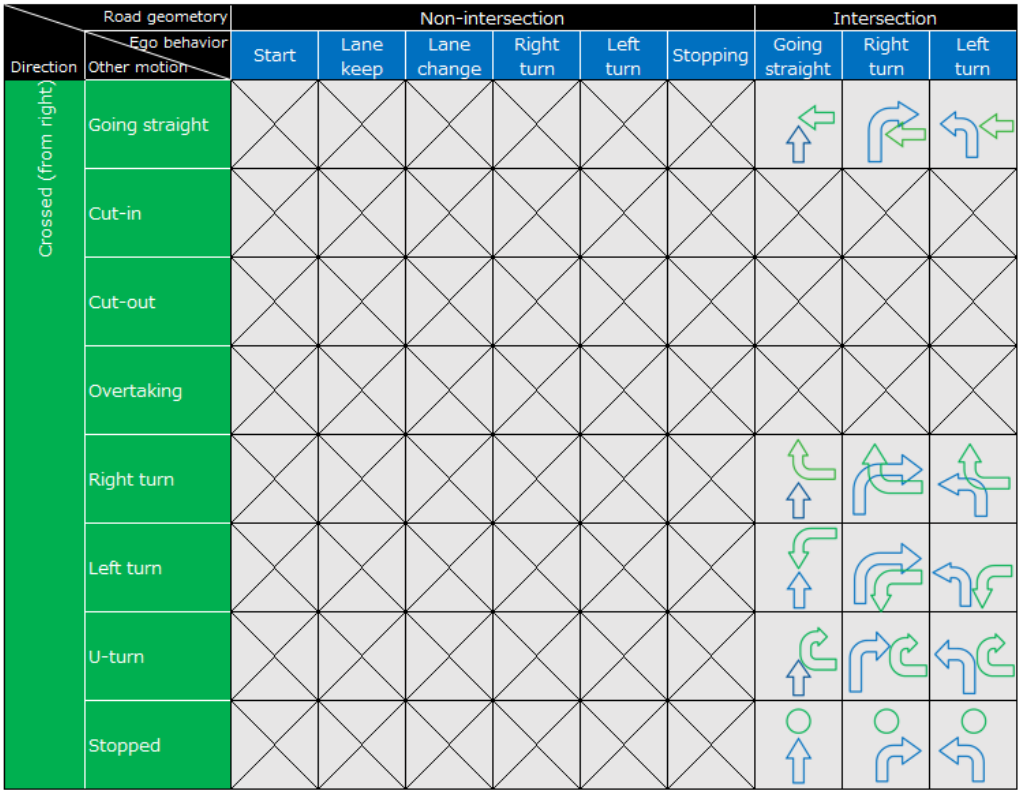


図 3.1.3.2-34　交差点に中央分離帯がある場合（Direction = Crossed（from right））

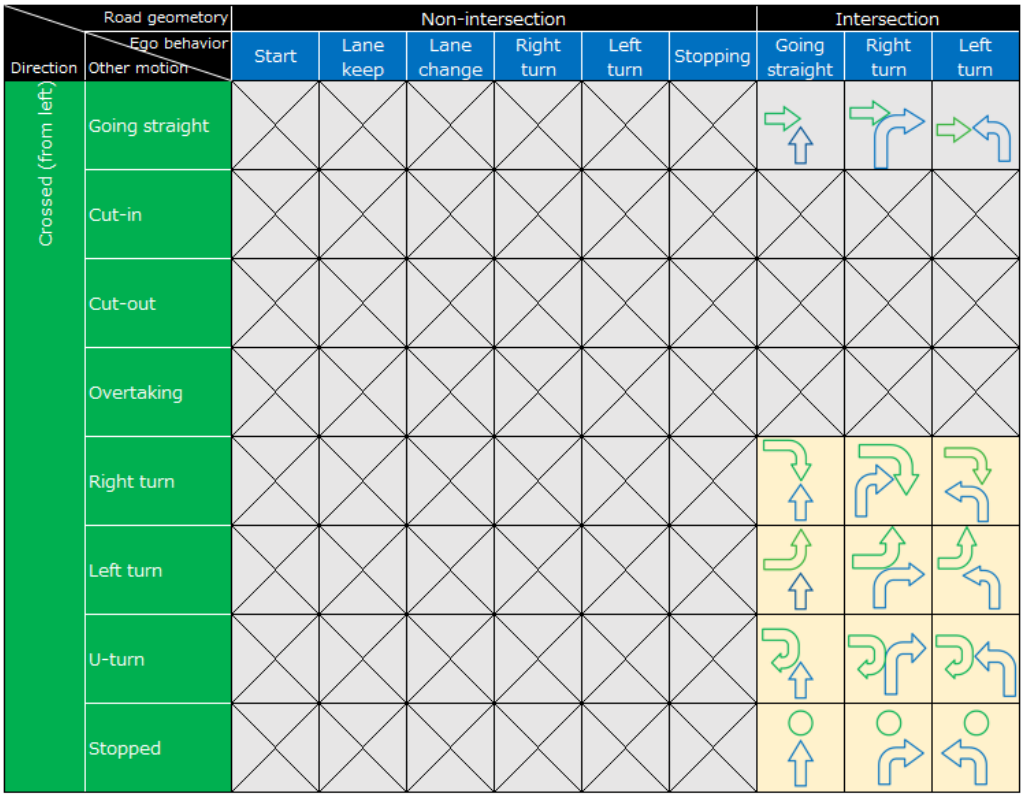


図 3.1.3.2-35　交差点に中央分離帯がある場合（Direction = Crossed（from left））

法規的に行動が制限される事例として、以下の 3 点について記述する。

・信号機の信号等に従う義務（道交法 第七条）
・左側通行（道交法 第十七条 第 4 項）
・交差道路が優先道路または交差道路間の幅員に明らかな差がある場合における進行妨害の禁止（道交法 第三十六条 第 2 項）

なお、自車は自動運転車両であり、必ず法令を遵守するものとする。

信号機の信号等に従う義務：

信号機の信号等に従う義務は、原動機付自転車以上のドライバ（第 1 当事者）の違反別・当事者別交通事故件数[9][10]が比較的多い振る舞いに関連するもので、プロパティが交通整理の行なわれている交差点の場合に適用される。交差点の形状は十字路であること、および進行方向と対向方向の信号、進行方向から見て左折方向と右折方向の信号がそれぞれ同期することを前提としてカテゴリ内要素を図 3.1.3.2-36 から図 3.1.3.2-39 に示す（黄色セルが評価すべきシナリオ、オレンジ色セルは他車が法令を遵守しない場合に評価すべきシナリオを表す)。自車の進行方向が青信号である場合は左折方向および右折方向は赤信号であるため、他車が法令を遵守する場合は衝突することはないが、他車が法令を遵守しない場合（たとえば、信号無視をする場合）は自車と他車の軌跡が交わる場合があるため、すれ違いの際に衝突する可能性がある。そのため、図 3.1.3.2-38 および図 3.1.3.2-39 のセルを他車が法令を遵守しない場合に評価すべきシナリオとしている。

左側通行：

左側通行は単路や交差点を含めた、すべての道路に適用される。単路と交差点の場合におけるカテゴリ内要素を図 3.1.3.2-40 から図 3.1.3.2-43 に示す（黄色セルが評価すべきシナリオ、オレンジ色セルは他車が法令を遵守しない場合に評価すべきシナリオを表す)。ここでは道路構造令に従った道路および車両であり、車線の幅員は車両の幅よりも大きいことを前提とする。自車は法令を遵守するため、道路の左側を通行する。対向する他車が法令を遵守する場合は自車と他車の軌跡が交わらないため、すれ違いの際に衝突することはないが、対向する他車が法令を遵守しない場合（例えば、他車が逆走する場合）は自車と他車の軌跡が交わる場合があるため、すれ違いの際に衝突する可能性がある。そのため、図 3.1.3.2-41 の一部のセルを他車が法令を遵守しない場合に評価すべきシナリオとしている。

交差道路が優先道路または交差道路間の幅員に明らかな差がある場合における進行妨害の禁止：

交差道路が優先道路または交差道路間の幅員に明らかな差がある場合における進行妨害の禁止はプロパティが交差点で優先道路または前方優先道路の場合に適用される。自車が優先道路を通行する場合のカテゴリ内要素を図 3.1.3.2-44 から図 3.1.3.2-47 に示す（黄色セルが評価すべきシナリオ、オレンジ色セルは他車が法令を遵守しない場合に評価すべき

シナリオを表す)。ここでは交差道路は Other traffic participant directions が Crossed（from left）と Other traffic participant directions が Crossed（from right）の方向を前提とする。他車が法令を遵守する場合は自車と他車の軌跡が交わらないため交差点で衝突することはないが、他車が法令を遵守しない場合（例えば、危険な割り込みをする場合）は自車と他車の軌跡が交わる場合があるため、衝突する可能性がある。そのため、図 3.1.3.2-46 および図 3.1.3.2-47 のセルを他車が法令を遵守しない場合に評価すべきシナリオとしている。他車が優先道路を通行する場合のカテゴリ内要素を図 3.1.3.2-48 から図 3.1.3.2-51 に示す（黄色セルが評価すべきシナリオを表す)。ここでは交差道路は Other traffic participant directions が Crossed（from left）と Other traffic participant directions が Crossed（from right）の方向を前提とする。自車は法令を遵守するため他車と衝突することはない。そのため、図 3.1.3.2-50 および図 3.1.3.2-51 のセルは評価をすべきシナリオから除外できる。

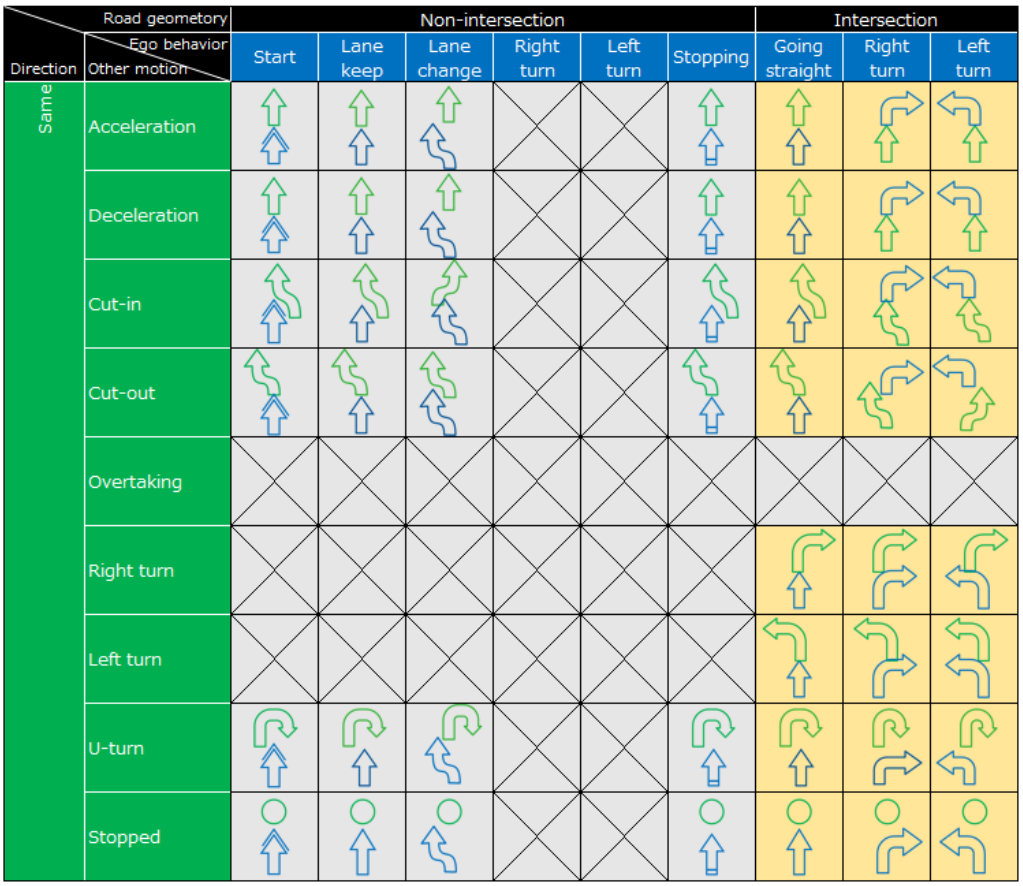


図 3.1.3.2-36　交差点で信号機の信号等に従う義務（Direction = Same）

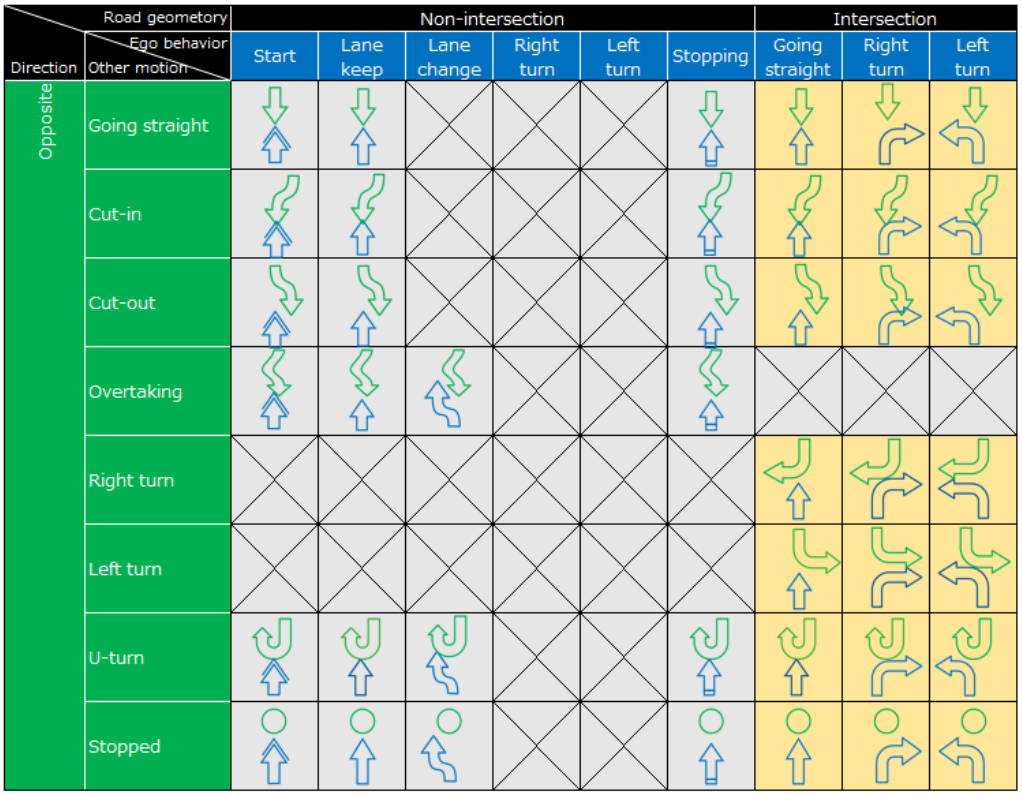


図 3.1.3.2-37　交差点で信号機の信号等に従う義務（Direction =Opposite）

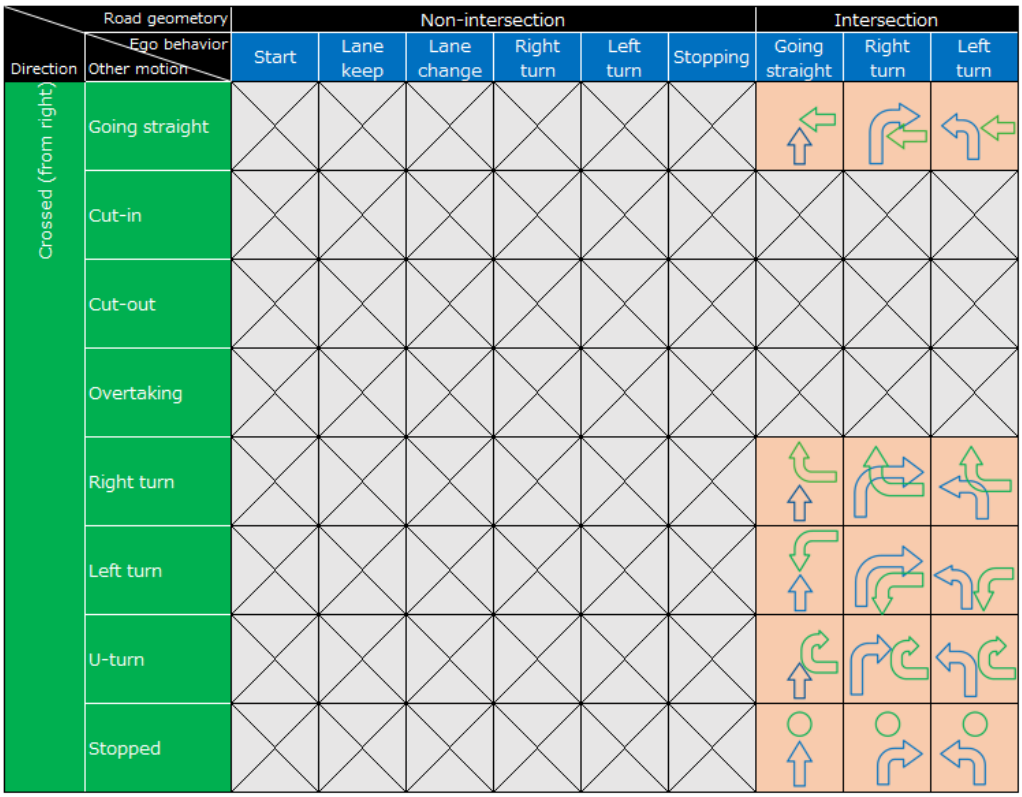


図 3.1.3.2-38　交差点で信号機の信号等に従う義務（Direction=Crossed（from right））

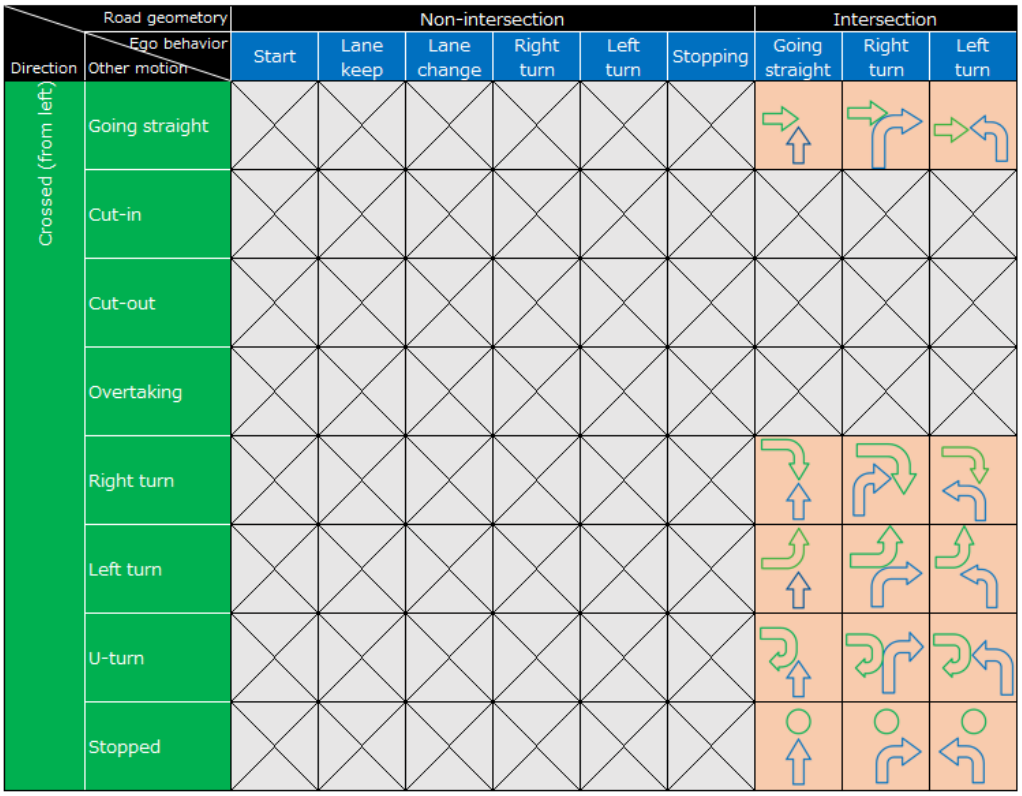


図 3.1.3.2-39　交差点で信号機の信号等に従う義務（Direction = Crossed（from left））

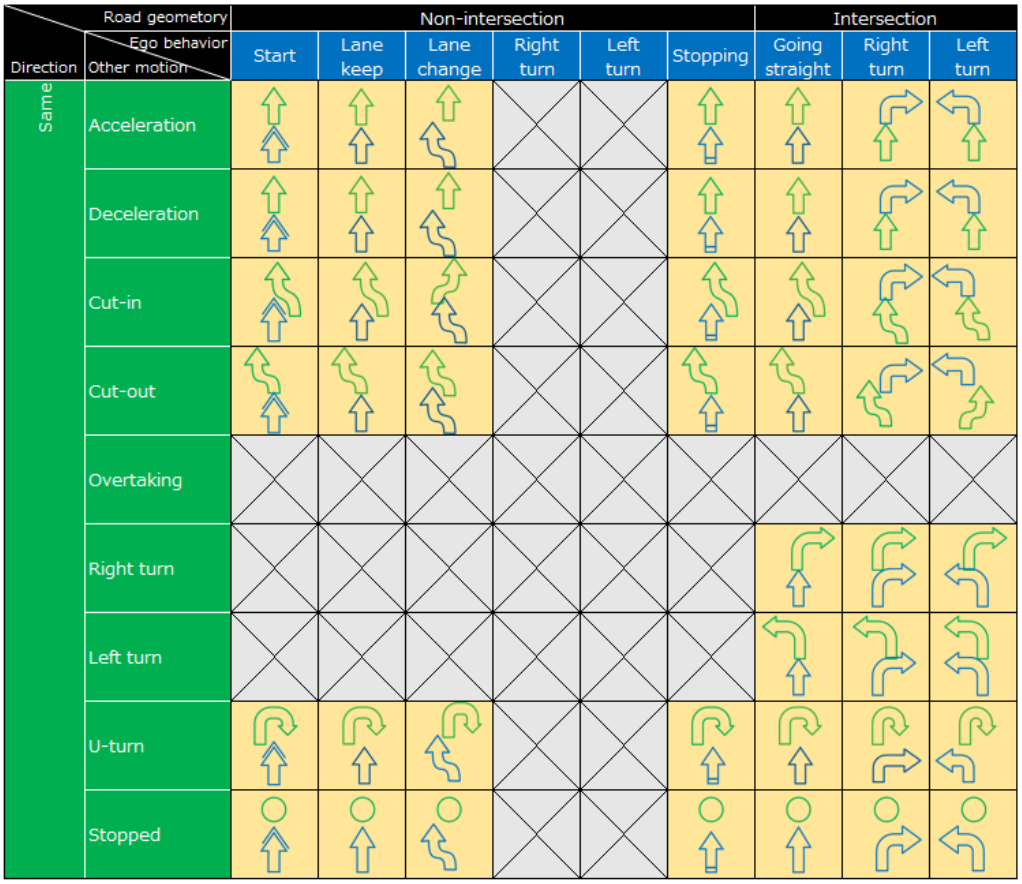


図 3.1.3.2-40　左側通行（Direction = Same）

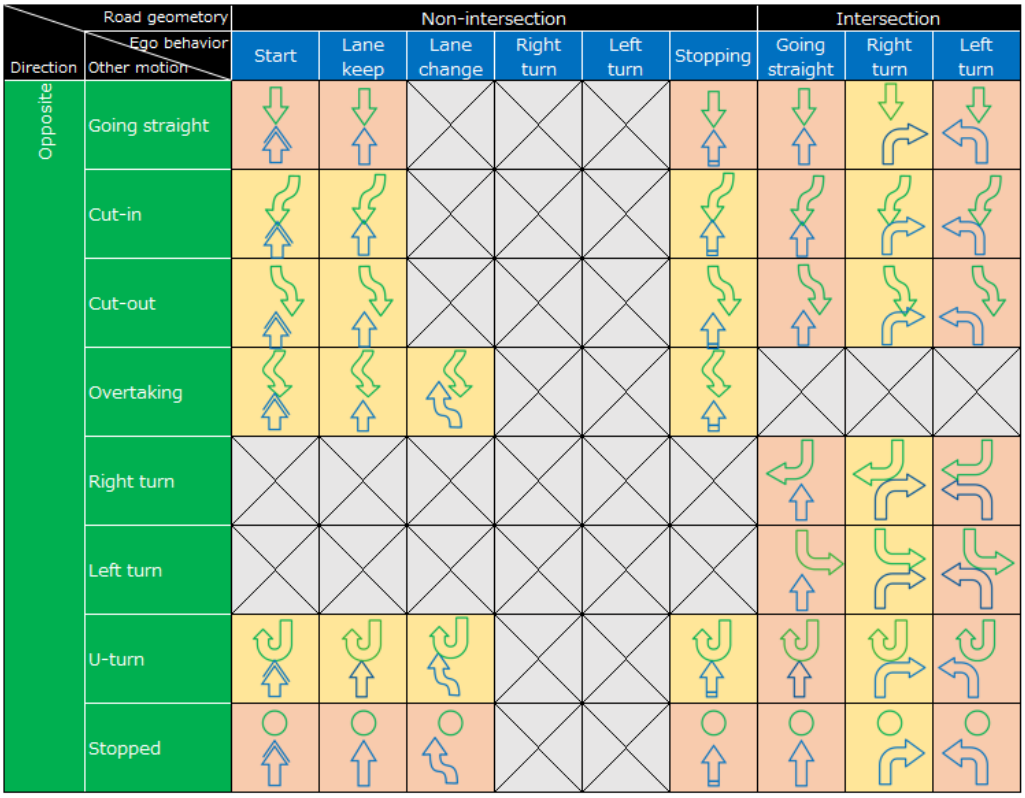


図 3.1.3.2-41　左側通行（Direction =Opposite）

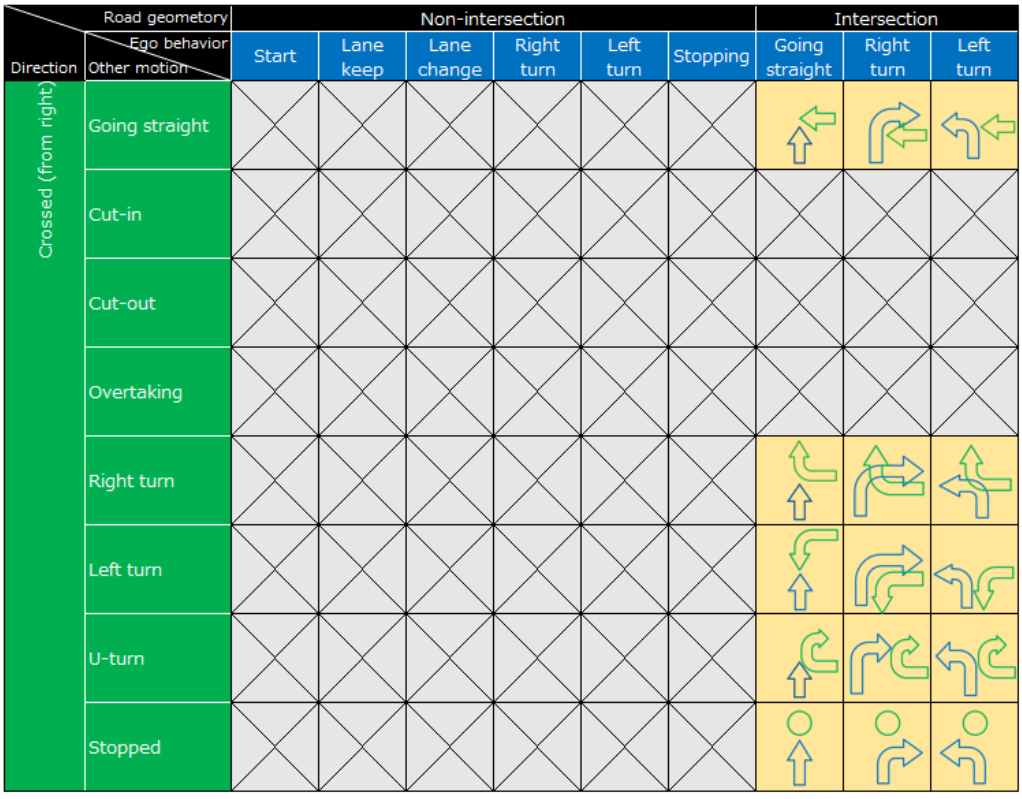


図 3.1.3.2-42　左側通行（Direction = Crossed（from right））

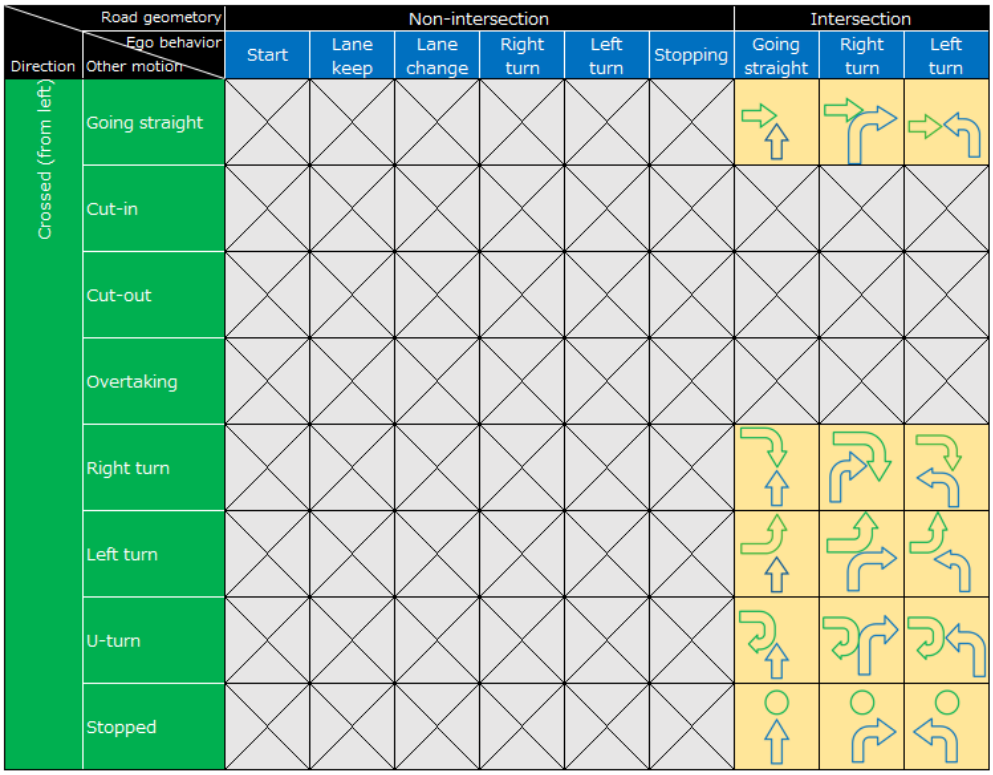


図 3.1.3.2-43　左側通行（Direction = Crossed（from left））

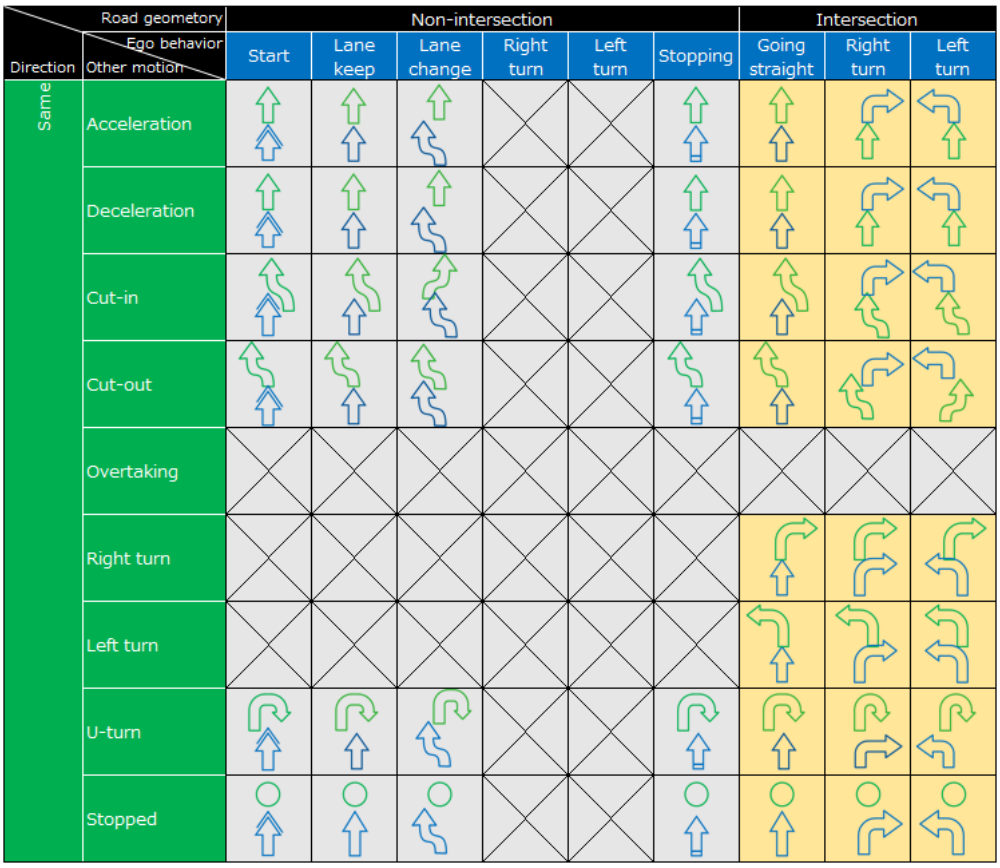


図 3.1.3.2-44　自車が優先道路を通行する場合（Direction = Same）

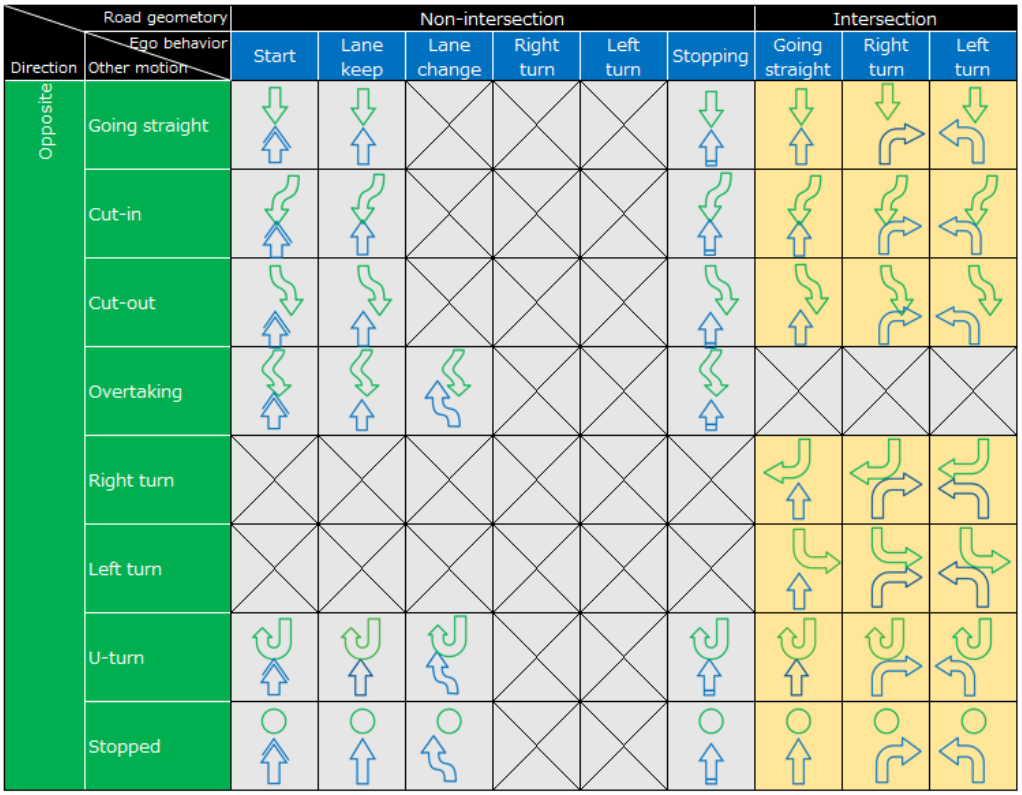


図 3.1.3.2-45　自車が優先道路を通行する場合（Direction =Opposite）

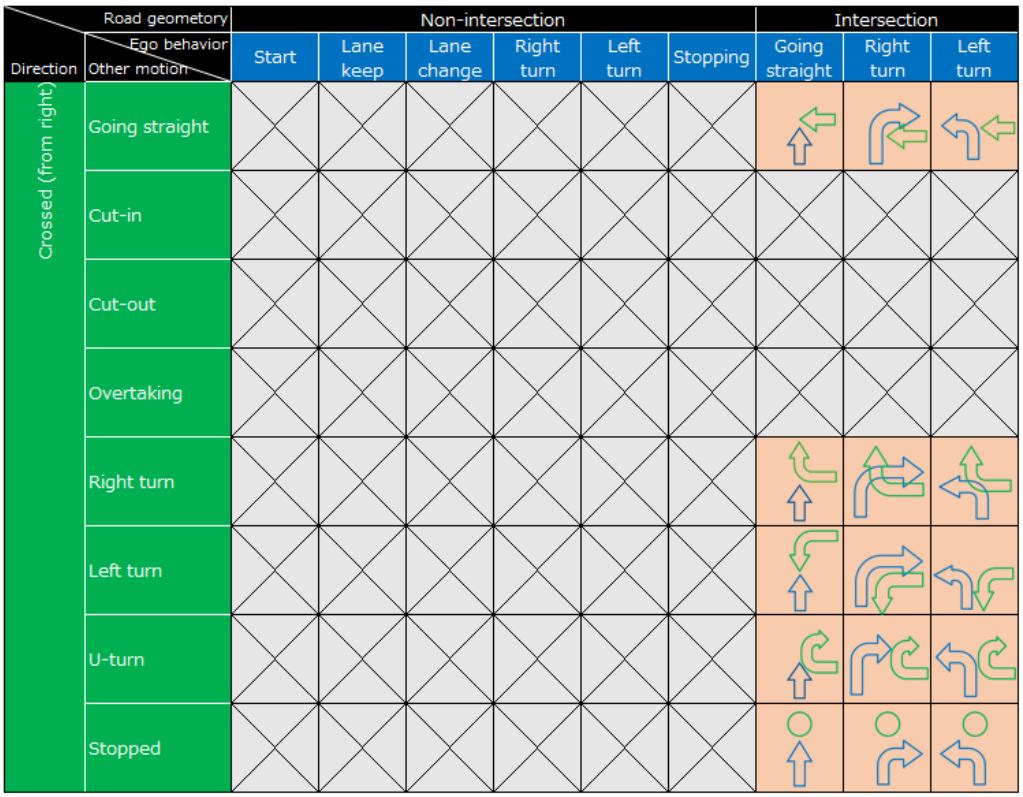


図 3.1.3.2-46　自車が優先道路を通行する場合（Direction=Crossed（from right））

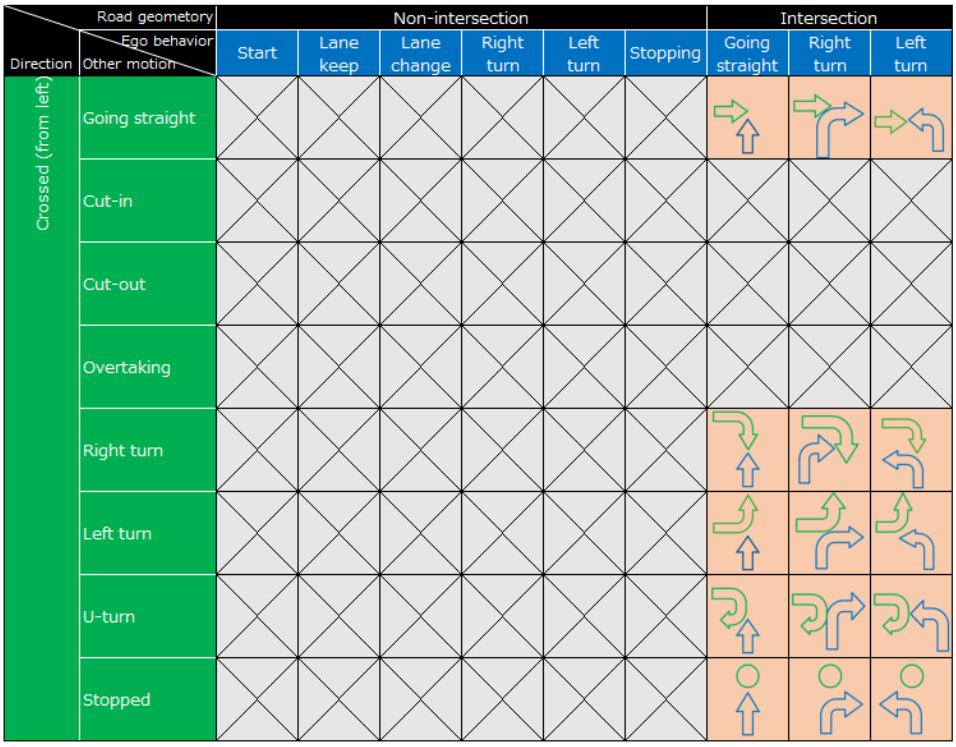


図 3.1.3.2-47　自車が優先道路を通行する場合（Direction = Crossed（from left））

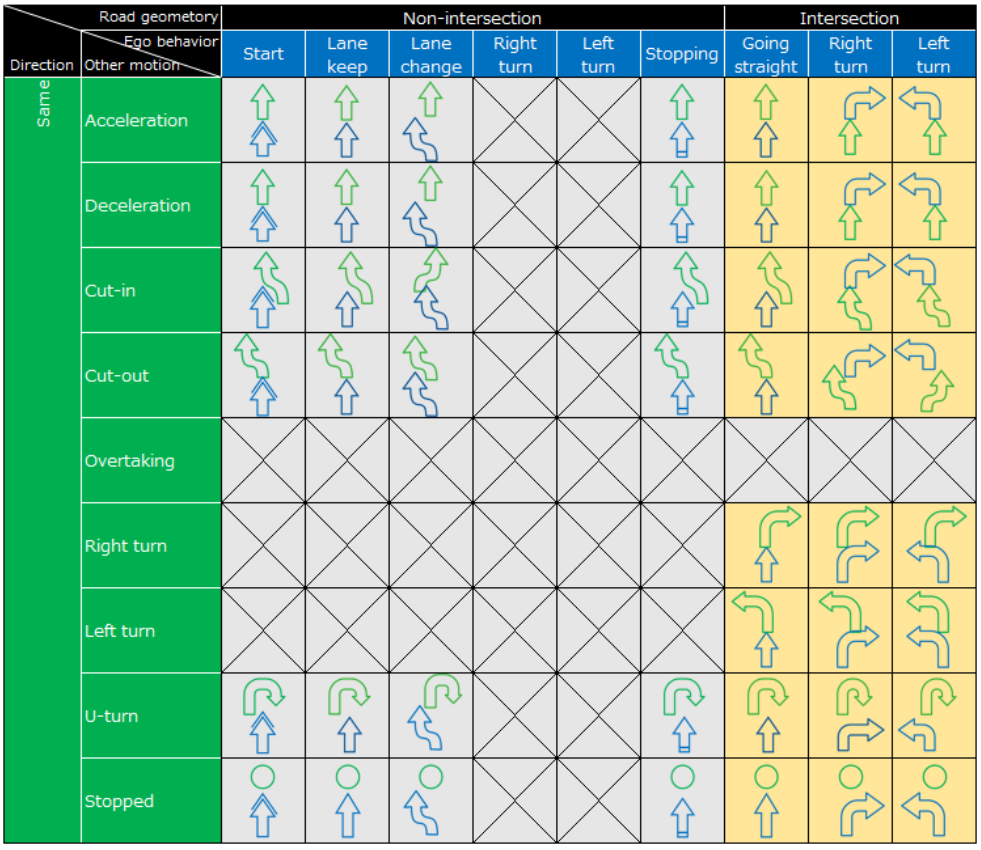


図 3.1.3.2-48　他車が優先道路を通行する場合（Direction = Same）

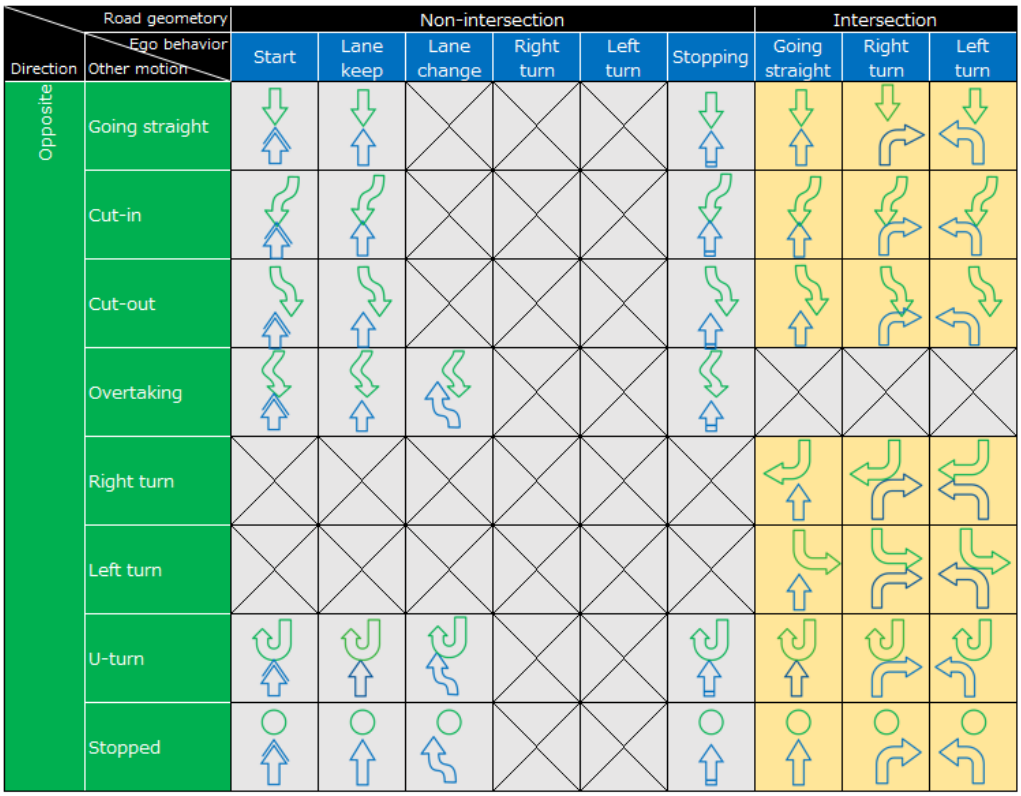


図 3.1.3.2-49　他車が優先道路を通行する場合（Direction =Opposite）

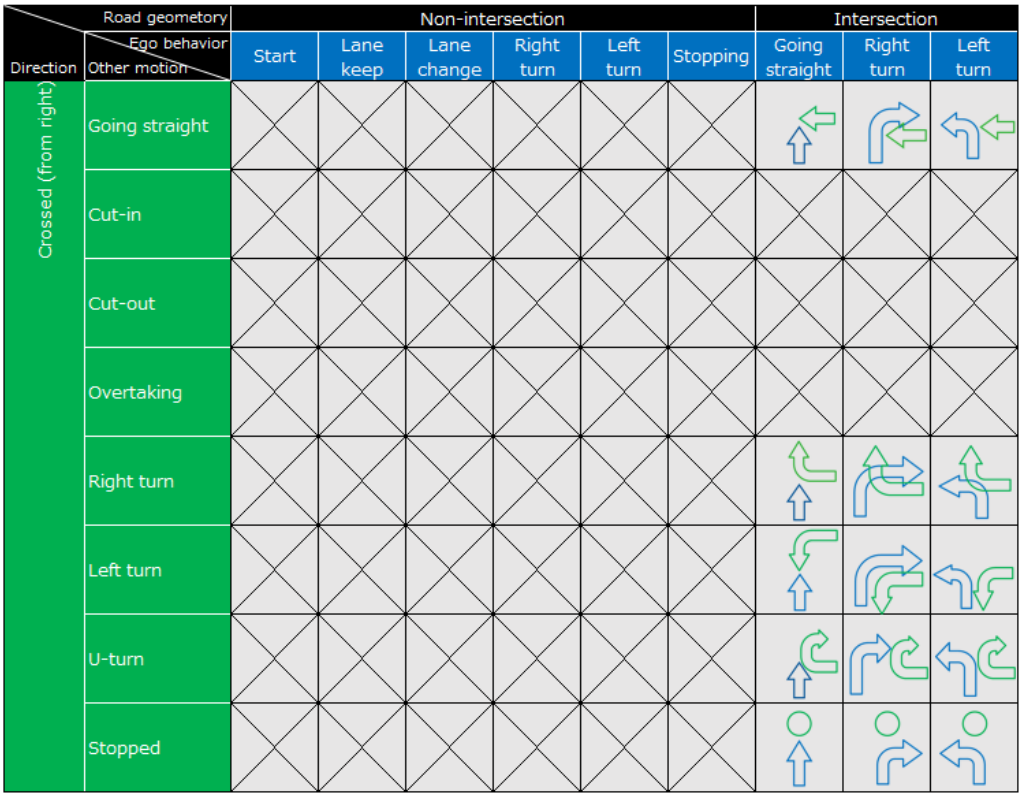


図 3.1.3.2-50　他車が優先道路を通行する場合（Direction = Crossed（from right））

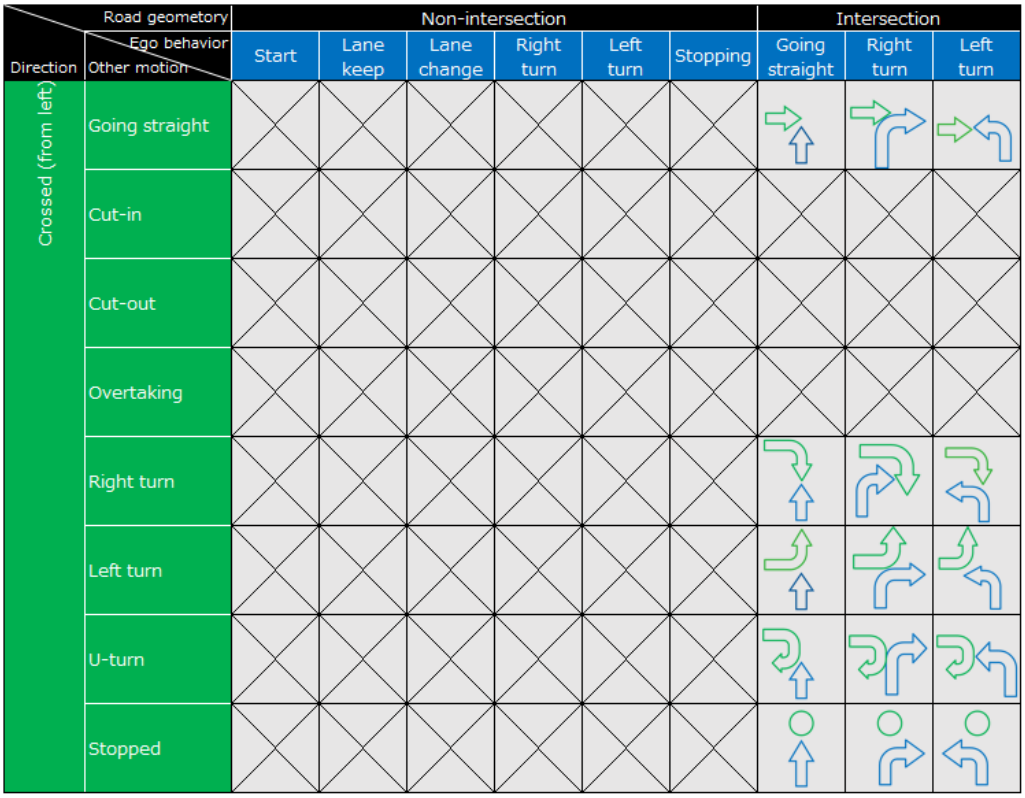


図 3.1.3.2-51　他車が優先道路を通行する場合（Direction = Crossed（from left））

（3）　道路プロパティに対応したシナリオ抽出の自動化に関する検討

交通参加者（自動車）の行動を制限しうる道路構造および構成物を用いてシナリオ群から評価すべきシナリオを絞り込む仕組みについて記述する。

a）　道路構造および構成物情報の割り当て方法および表現方法

出発地と到着地間の走行経路および自動運転車がとりうる行動が与えられたときに評価すべきシナリオを得る場合における処理の流れを図 3.1.3.2-52 に示す。入力は AD 車の一連行動（単路 1 で直進、交差点 1 で直進、単路 2 で直進、交差点 2 で右折する）を表し、出力は場所毎で評価すべきシナリオ（4 つのカテゴリ（Road geometry、Ego-vehicle behavior、Other traffic participant motions、Other traffic participant directions）の組み合わせのうち評価すべきものの組み合わせ）を表す。「①単路・交差点内セグメント参照」は走行経路の道路（単路／交差点）を分割する処理である。分割は評価すべきシナリオが変化する場合に行い、分割後の道路をセグメントとして扱う。「②セグメント内プロパティ参照」は①で分割したセグメント毎に表 3.1.3.2-20 のプロパティを割り当てる処理である。「③プロパティに対応するカテゴリ内要素の参照」はプロパティ単位で絞り込みが可能なシナリオを取得する処理である。本処理は、事前処理としてプロパティが存在することで評価すべきシナリオを絞り込む理由（「物理的に行動が制限される」、「法規的に行動が制限される」、「法規的に行動が制限される可能性がある」）毎にカテゴリ内要素を分類しておき、絞り込みが可能なシナリオを取得する。「④単路・交差点毎に評価すべきシナリオをマージ」はプロパティ単位で絞り込みが可能なシナリオを統合することでセグメント単位に変換する処理である。統合は絞り込みが可能なシナリオを累積する処理である。統合時に評価すべきシナリオを絞り込む理由が重複する場合は制限の強度が大きいもので上書きを行い、制限の強度は「物理的に行動が制限される」、「法規的に行動が制限される」、「法規的に行動が制限される可能性がある」の順とした（物理的な行動制限は Ego-vehicle behavior（自動運転車両の行動）および Other traffic participant motions（他交通参加者の行動）に影響を及ぼす。他方、法規的な行動制限は Ego-vehicle behavior に影響を及ぼすが、他交通参加者が法令を遵守しない場合は Other traffic participant motions に影響を及ぼさないため、2 つの区分とした）。

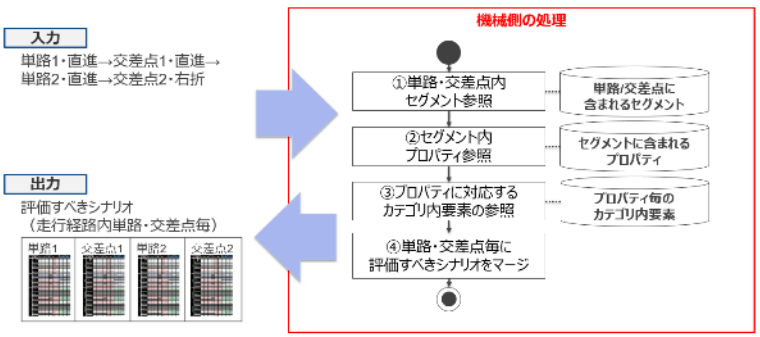


図 3.1.3.2-52　評価すべきシナリオを導出する処理の流れ

b）道路構造および構成物情報の階層構造

代表的な道路網情報の記述形式（OpenDRIVE[11]）に追加情報としてプロパティを関連付け、プロパティ毎に絞り込みが可能なカテゴリ内要素の関連付けを行う（図 3.1.3.2-53）。階層を 3 つとすることで、道路構造および構成物の変更はプロパティの追加または削除で表現できる（構築したモデルのプロパティが再利用できる）。また道交法の改正影響を構築したモデル内にとどめることができる。

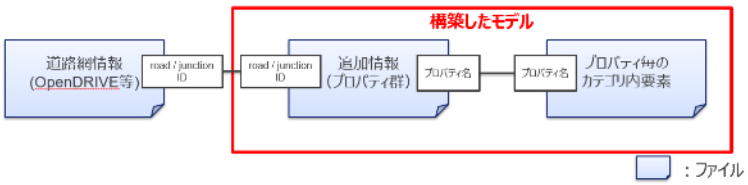


図 3.1.3.2-53　道路網情報と構築したモデルの関係

追加情報（プロパティ群）の構造を表 3.1.3.2-21 に示す。#2 または#10 を用いることで代表的な道路網情報の記述形式（OpenDRIVE）で記述した道路または交差点と関連付けできるものとしている。#5 と#6 はそれぞれ道路におけるセグメントの開始位置と終了位置を表し、#7 または#8 に記述する物理的行動制限または法規的行動制限が#4 のセグメントに適用されることを表す。#11 と#12 はそれぞれ交差点の形状と交差点における法規的行動制限が#10 の交差点に適用されることを表す。

表 3.1.3.2-21　追加情報（プロパティ群）の構造

#	第 1 階層	第 2 階層	第 3 階層	説明
1	Road			Road クラス
2		Id		道路を一意に表す数値
3		Segment		Segment クラス
4			Id	セグメントを一意に表すクラス
5			Start	セグメントの開始地点
6			End	セグメントの終了地点
7			Physicalrestriction	セグメント内の物理的行動制限の内容（プロパティの名称を含む）
8			Legalrestriction	セグメント内の法規的行動制限の内容（プロパティの名称を含む）
9	Junction			Junction クラス
10		Id		交差点を一意に表す数値
11		Connection		交差点の形状（十字路、丁字路）
12		Legalrestriction		交差点における法規的行動制限の内容

プロパティ毎のカテゴリ内要素の構造を表 3.1.3.2-22 に示す。プロパティの名称（#2）に対応する物理的行動制限および法規的行動制限をそれぞれ 4 つのカテゴリの属性で定義をする。また表 3.1.3.2-22 の#2 と表 3.1.3.2-21 の#7 または#8 を対応させることで関連付けを実施する。

表 3.1.3.2-22　プロパティ毎のカテゴリ内要素の構造

#	第 1 階層	第 2 階層	第 3 階層	説明
1	Property			Property クラス
2		Value		プロパティの名称
3		HardRestriction		物理的行動制限を表すクラス
4			RoadGeometry	Road geometry の要素
5			EgoBehavior	Ego-vehicle behavior の要素
6			OtherDirection	Other traffic participant directions の要素
7			OtherMotion	Other traffic participant motions の要素
8		LegalRestriction		法規的行動制限を表すクラス
9			RoadGeometry	Road geometry の要素
10			EgoBehavior	Ego-vehicle behavior の要素
11			OtherDirection	Other traffic participant directions の要素
12			OtherMotion	Other traffic participant motions の要素

c)　交通参加者の行動制限などに関する整理の自動化とその評価

自車（AD 車）の出発地と到着地間の走行経路および行動を入力として経路上の道路を選択することで評価すべきシナリオを表示するツールを試作した（図 3.1.3.2-54）。図 3.1.3.2-54 の①にて事例を選択および②にて自車の経路および入力を選択することで③にて経路を地図上に表示する（赤丸は交差点、青色矩形は単路を表す）。その後、地図上の交差点または単路を選択することで④にて評価すべきシナリオを表示するものである。

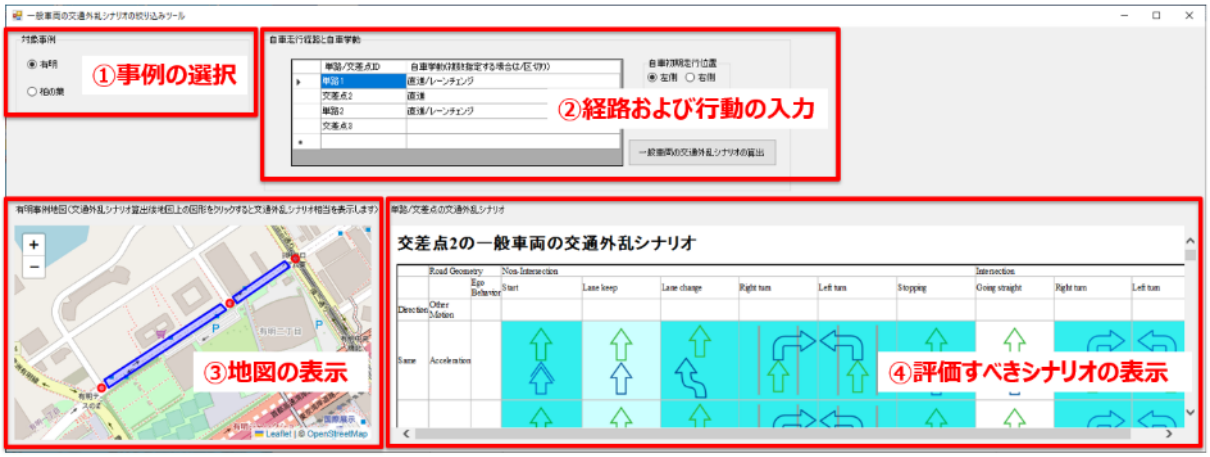


図 3.1.3.2-54　試作したツールの画面（赤文字部は画面内の領域を示す）

有明コロシアム前の交差点を始点として有明コロシアム東の交差点を終点とする経路および各セグメントでは自車は直進するものとして、ツールを用いて図 3.1.3.2-24 内①と③の交差点で評価すべきシナリオを得た。各交差点の特徴（中央分離帯の有無、信号機の有無、交差道路間の優先関係の有無）を表 3.1.3.2-23 に示す。

表 3.1.3.2-23　交差点の特徴および自車の行動

#	図 3.1.3.2-22 における名称	中央分離帯の有無	信号機の有無	交差道路間の優先関係の有無	自車の行動
1	①	あり	なし	あり	直進する
2	③	なし	あり	-	直進する

表 3.1.3.2-23 内#1 については、中央分離帯があるため図 3.1.3.2-32 から図 3.1.3.2-35 の対応すべきシナリオ、左側通行するため図 3.1.3.2-40 から図 3.1.3.2-43 の対応すべきシナリオ、および自車が優先道路を通行するため図 3.1.3.2-44 から図 3.1.3.2-47 の対応すべきシナリオを Direction 毎に組み合わせる。さらに、その組み合わせにより抽出した対応すべきシナリオから、信号機がないため図 3.1.3.2-36 から図 3.1.3.2-39 の対応すべきシナリオを除くことで、最終的な表 3.1.3.2-23 内#1 において評価すべきシナリオ（図 3.1.3.2-55 から図 3.1.3.2-58）を得る。

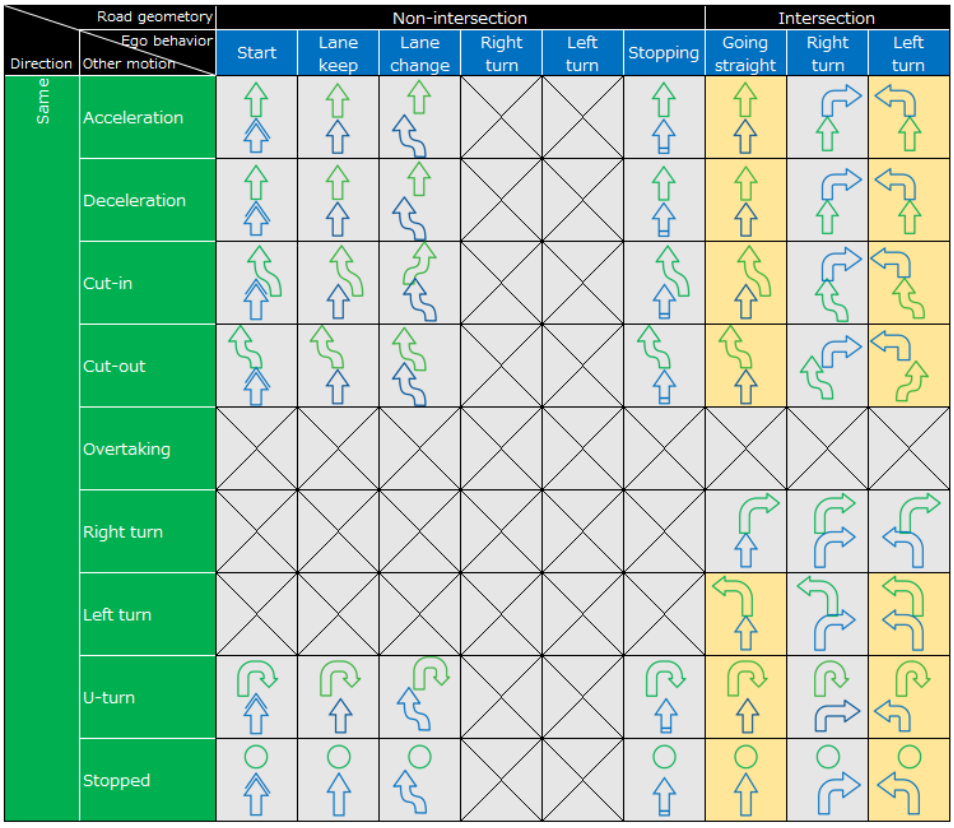


図 3.1.3.2-55　#1 で評価すべきシナリオ（Direction = Same）

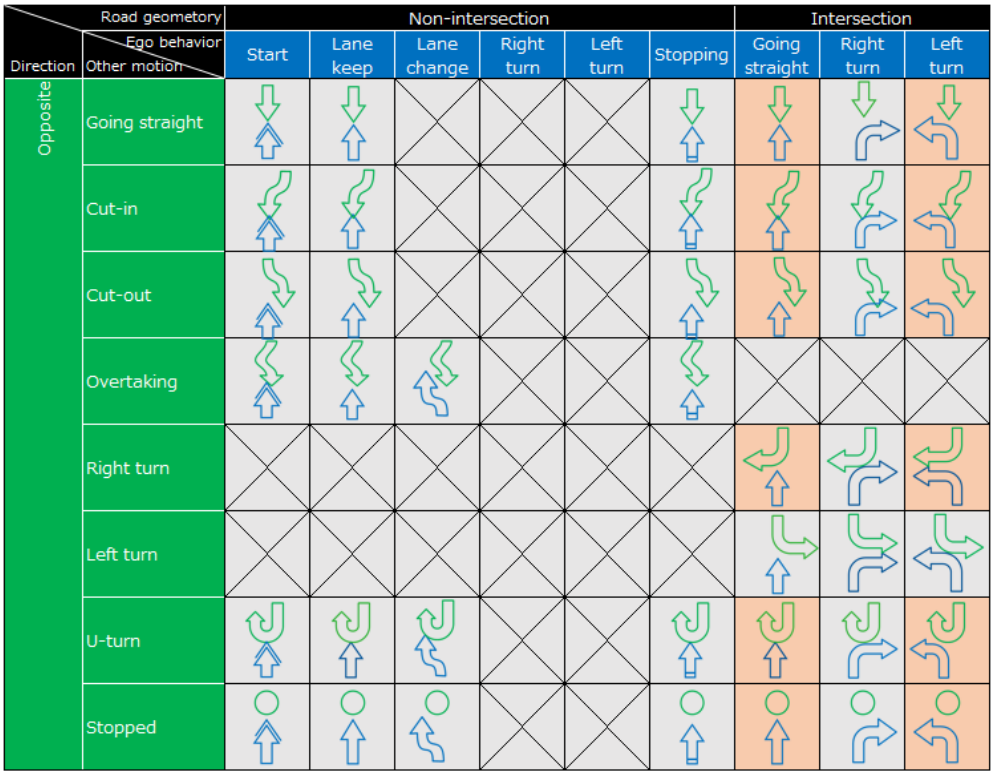


図 3.1.3.2-56　#1 で評価すべきシナリオ（Direction = Opposite）

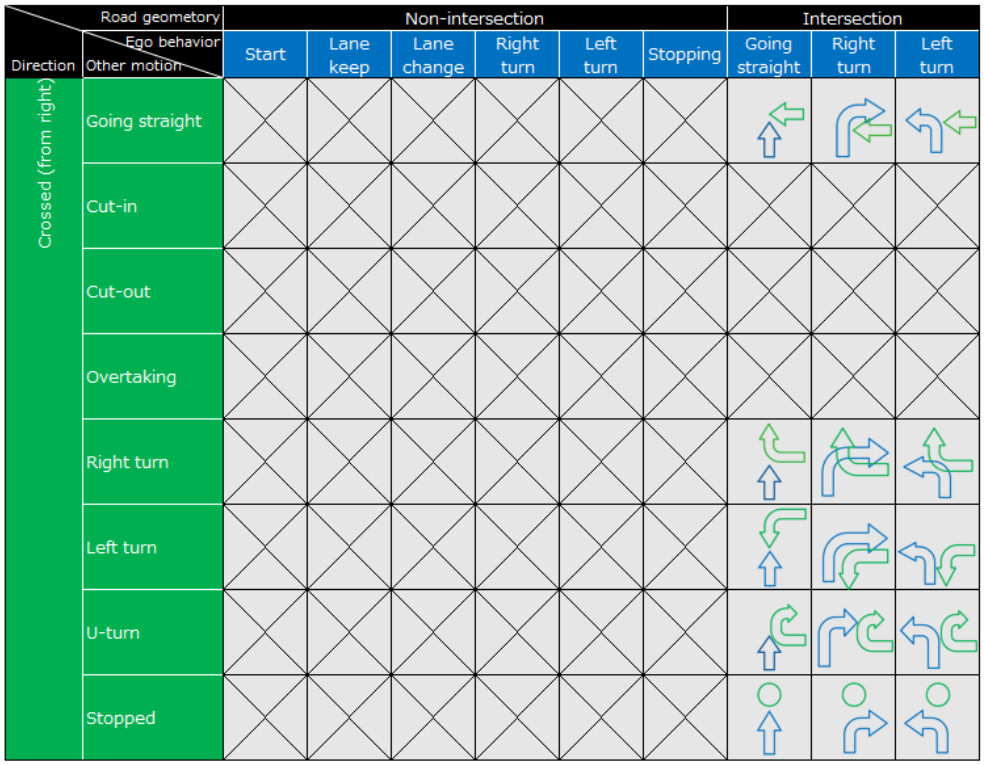


図 3.1.3.2-57　#1 で評価すべきシナリオ（Direction = Crossed（from right））

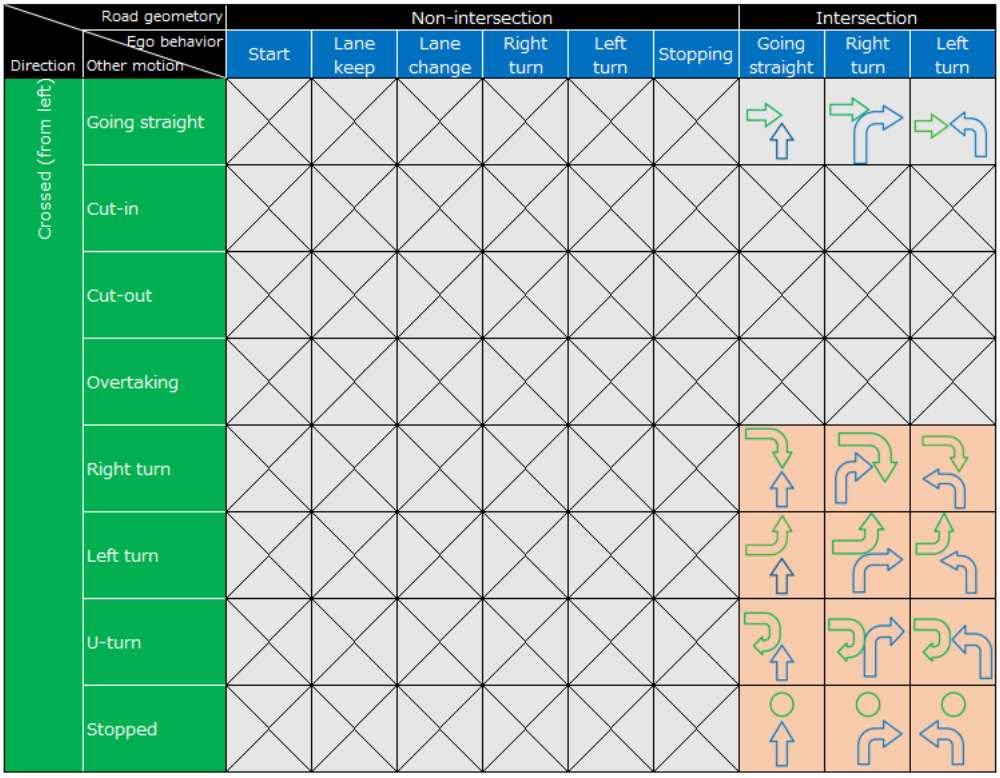


図 3.1.3.2-58　#1 で評価すべきシナリオ（Direction = Crossed（from left））

表 3.1.3.2-23 内#2 については、信号機があるため図 3.1.3.2-36 から図 3.1.3.2-39 の対応すべきシナリオ、左側通行するため図 3.1.3.2-40 から図 3.1.3.2-43 の対応すべきシナリオを Direction 毎に組み合わせる。さらに、中央分離帯がないため図 3.1.3.2-32 から図 3.1.3.2-35 で対応すべきシナリオを除くことで、最終的に表 3.1.3.2-23 内#2 において評価すべきシナリオ（図 3.1.3.2-59 から図 3.1.3.2-62）を得る。

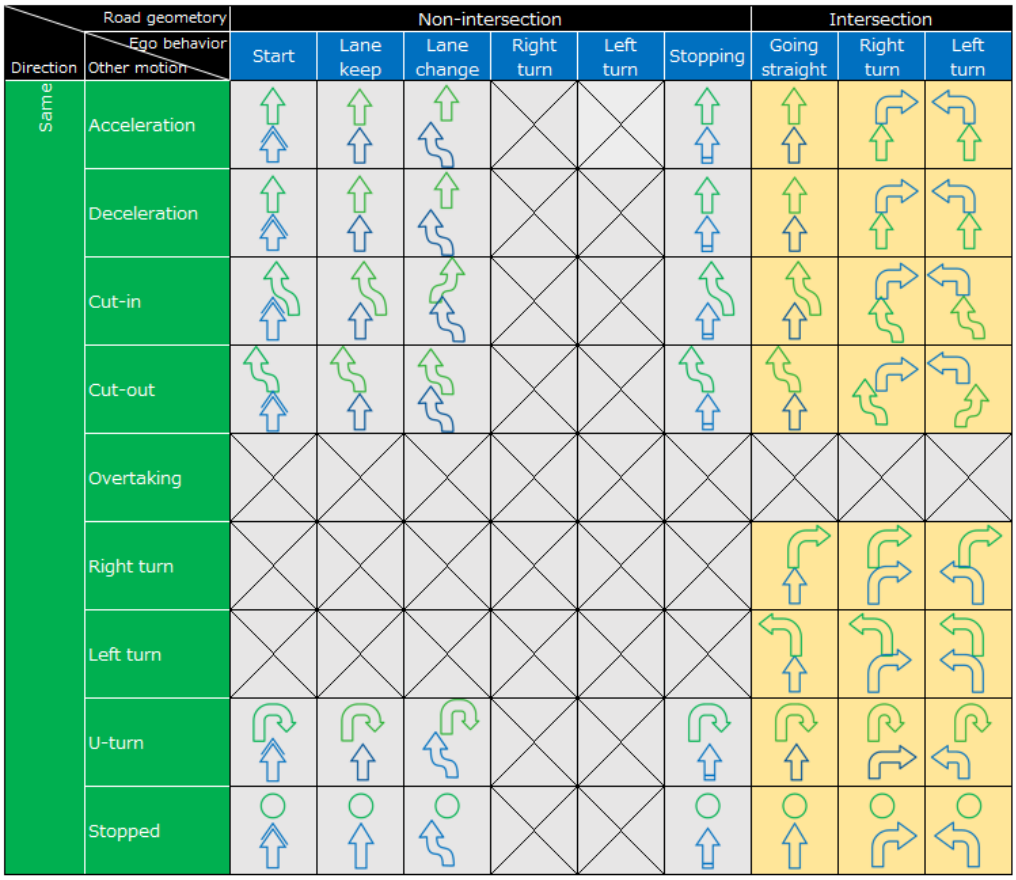


図 3.1.3.2-59　#2 で評価すべきシナリオ（Direction = Same）

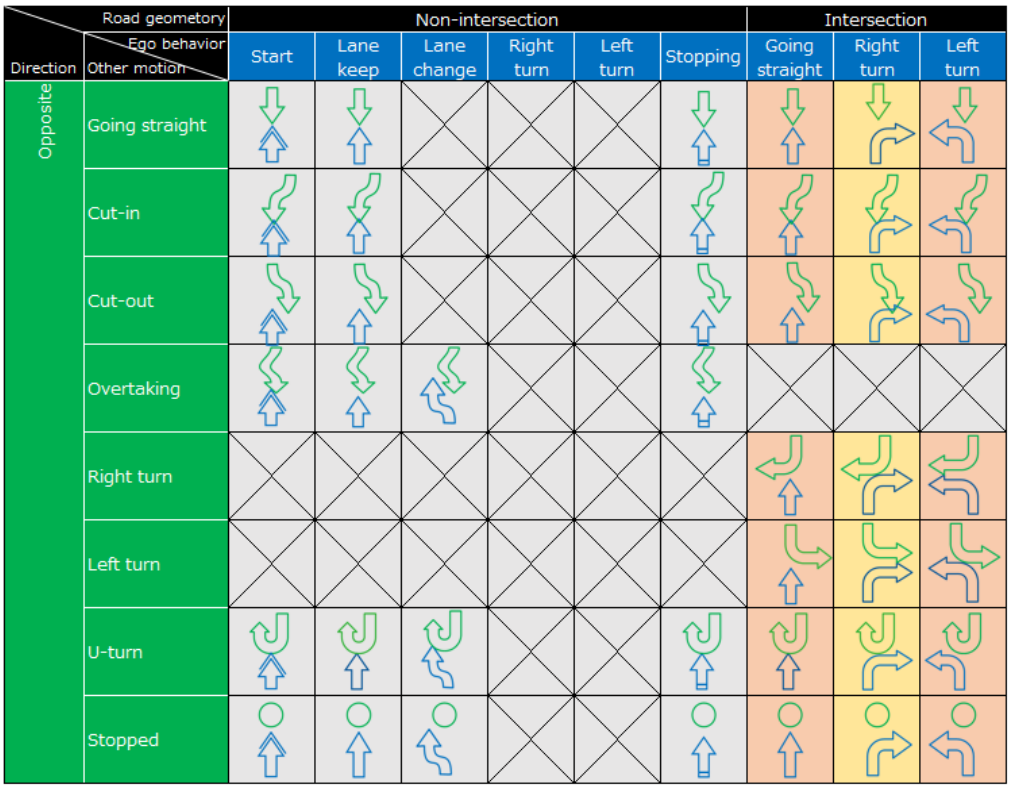


図 3.1.3.2-60　#2 で評価すべきシナリオ（Direction = Opposite）

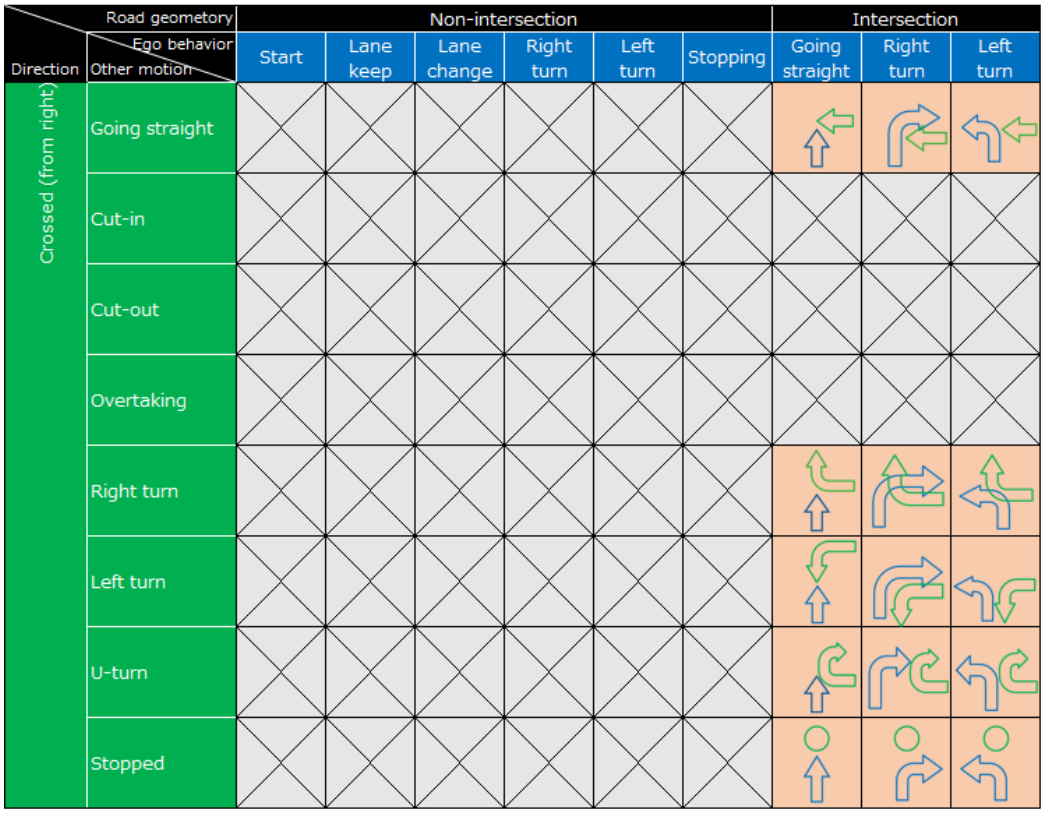


図 3.1.3.2-61　#2 で評価すべきシナリオ（Direction = Crossed（from right））

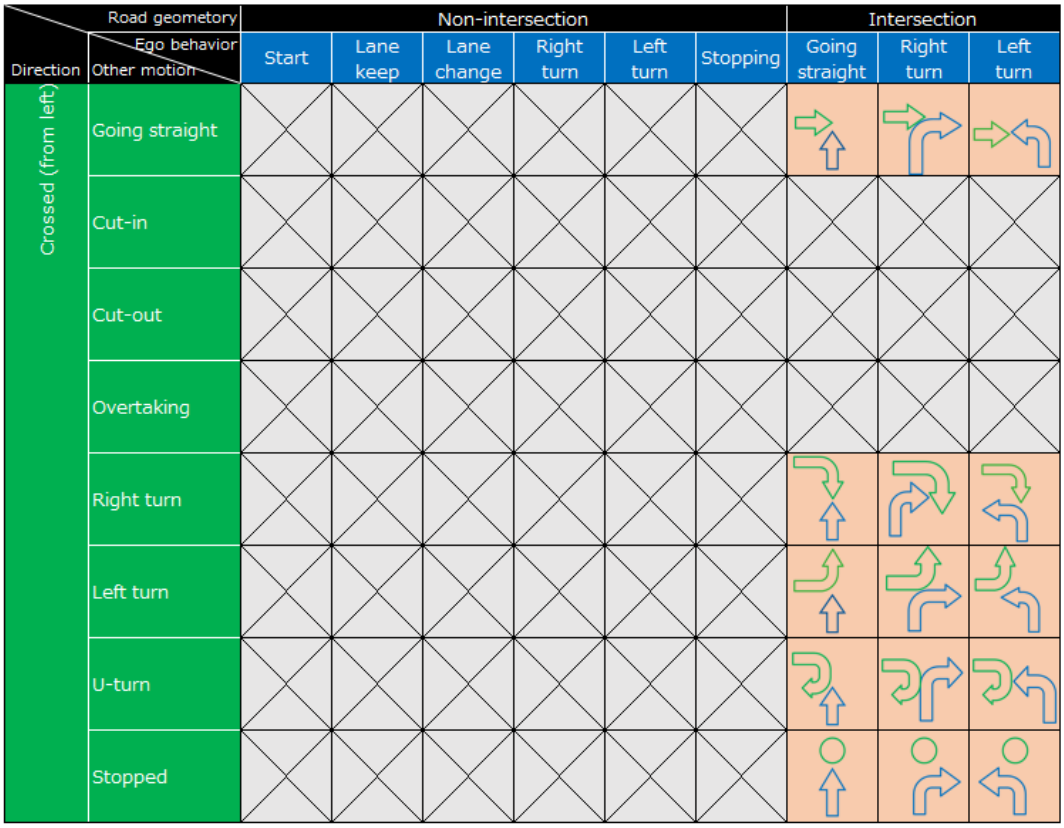


図 3.1.3.2-62　#2 で評価すべきシナリオ（Direction = Crossed（from left））

抽出された評価すべきシナリオに関しての妥当性検証のため、表 3.1.3.2-23 の#1 および#2 のセグメントについて自車から見た各交差点を図 3.1.3.2-63 および図 3.1.3.2-64 に示す。

図 3.1.3.2-63 の交差点（表 3.1.3.2-23 の#1 のセグメント）には図 3.1.3.2-55 から図 3.1.3.2-58 が適用される。#1 のセグメントは交差点であるため、Road geometry が Intersection となることから Non-intersection のシナリオを図 3.1.3.2-55 から図 3.1.3.2-58 で評価対象外にすること、また中央分離帯があるため Ego behavior が Right turn のシナリオを図 3.1.3.2-55 から図 3.1.3.2-58 で評価対象外とすることは妥当である。

図 3.1.3.2-55 は他車が自車の進路にある状況である。中央分離帯があるため、Ego behavior と同様に図 3.1.3.2-55 で Other motion が Right turn のシナリオを評価対象外とすることは妥当である。

図 3.1.3.2-56 は他車が自車の対向方向にある状況である。他車が法令に違反して逆走する可能性があるため全般として図 3.1.3.2-56 で他車が法令を遵守しない場合に評価すべきシナリオとすることは妥当である。加えて他車が逆走する場合は中央分離帯を超えることができず、他車が逆走しない場合は中央分離帯があることで自車と他車の走行軌跡が交わることがないため、Other motion が Left turn のシナリオを図 3.1.3.2-56 で評価対象外とすることは妥当である。

図 3.1.3.2-57 は他車が自車から見て右方向にある状況である。他車は中央分離帯を超えて走行することができず、自車と他車の走行軌跡が交わることがないため、図 3.1.3.2-57 ですべてを評価対象外とすることは妥当である。

図 3.1.3.2-58 は他車が自車から見て左方向にある状況で自車が優先道路を走行している状況である。他車が法令に違反して自車の進路を妨害する（危険な割り込みをする）可能性があるため、全般として図 3.1.3.2-58 で他車が法令を遵守しない場合に評価すべきシナリオとすることは妥当である。加えて他車は中央分離帯を超えて走行することができないため、Other motion が Going straight のシナリオを図 3.1.3.2-58 で評価対象外とすることは妥当である。

以上のことから、図 3.1.3.2-63 の交差点（表 3.1.3.2-23 の#1 のセグメント）では図 3.1.3.2-55 から図 3.1.3.2-58 を評価すべきシナリオとすることは妥当であると考えられる。

図 3.1.3.2-64 の交差点（表 3.1.3.2-23 の#2 のセグメント）には図 3.1.3.2-59 から図 3.1.3.2-62 が適用される。#2 のセグメントは交差点であるため、Road geometry が Intersection であることから Non-intersection のシナリオを図 3.1.3.2-59 から図 3.1.3.2-62 で評価対象外にすること、また中央分離帯がないため図 3.1.3.2-55 から図 3.1.3.2-58 とは異なり Ego behavior が Right turn のシナリオを図 3.1.3.2-59 から図 3.1.3.2-62 で評価対象とすることは妥当である。

図 3.1.3.2-59 は他車が自車の進路にある状況である。#2 の交差点は中央分離帯がないため、図 3.1.3.2-55 とは異なり図 3.1.3.2-59 で Ego behavior が Right turn のシナリオを評価対象とすることは妥当である。

図 3.1.3.2-60 は他車が自車の対向方向にある状況である。#2 の交差点は中央分離帯がないため、図 3.1.3.2-59 とは異なり図 3.1.3.2-60 で Other motion が Left turn のシナリオを評価対象とすることは妥当である。

図 3.1.3.2-61、図 3.1.3.2-62 は他車が自車から見てそれぞれ右方向にある状況、左方向にある状況である。#2 の交差点は中央分離帯がないため、図 3.1.3.2-61 は図 3.1.3.2-57 とは異なりすべてを評価すべきシナリオとすること、および図 3.1.3.2-62 は図 3.1.3.2-58 とは異なり Other motion が Going straight のシナリオを図 3.1.3.2-62 で評価対象とすることは妥当である。

以上のことから、図 3.1.3.2-64 の交差点（表 3.1.3.2-17 の#2 のセグメント）では図 3.1.3.2-59 から図 3.1.3.2-62 を評価すべきシナリオとすることは妥当と考えられる。



図 3.1.3.2-63　図 3.1.3.2-24 内①の交差点（自車は手前から奥方向へ直進する）



図 3.1.3.2-64　図 3.1.3.2-25 内③の交差点（自車は手前から奥方向へ直進する）

試作したツールでは走行経路における自車の行動を踏まえて評価すべきシナリオを出力する仕様とした。#1 の交差点では自車は直進するため、図 3.1.3.2-55 において Ego behavior が Going straight のみを評価すべきシナリオとして出力する（図 3.1.3.2-65）。図 3.1.3.2-55 から図 3.1.3.2-58 においても Ego behavior が Going straight のみを評価すべきシナリオとして出力する。

交差点1の一般車両の交通外乱シナリオ

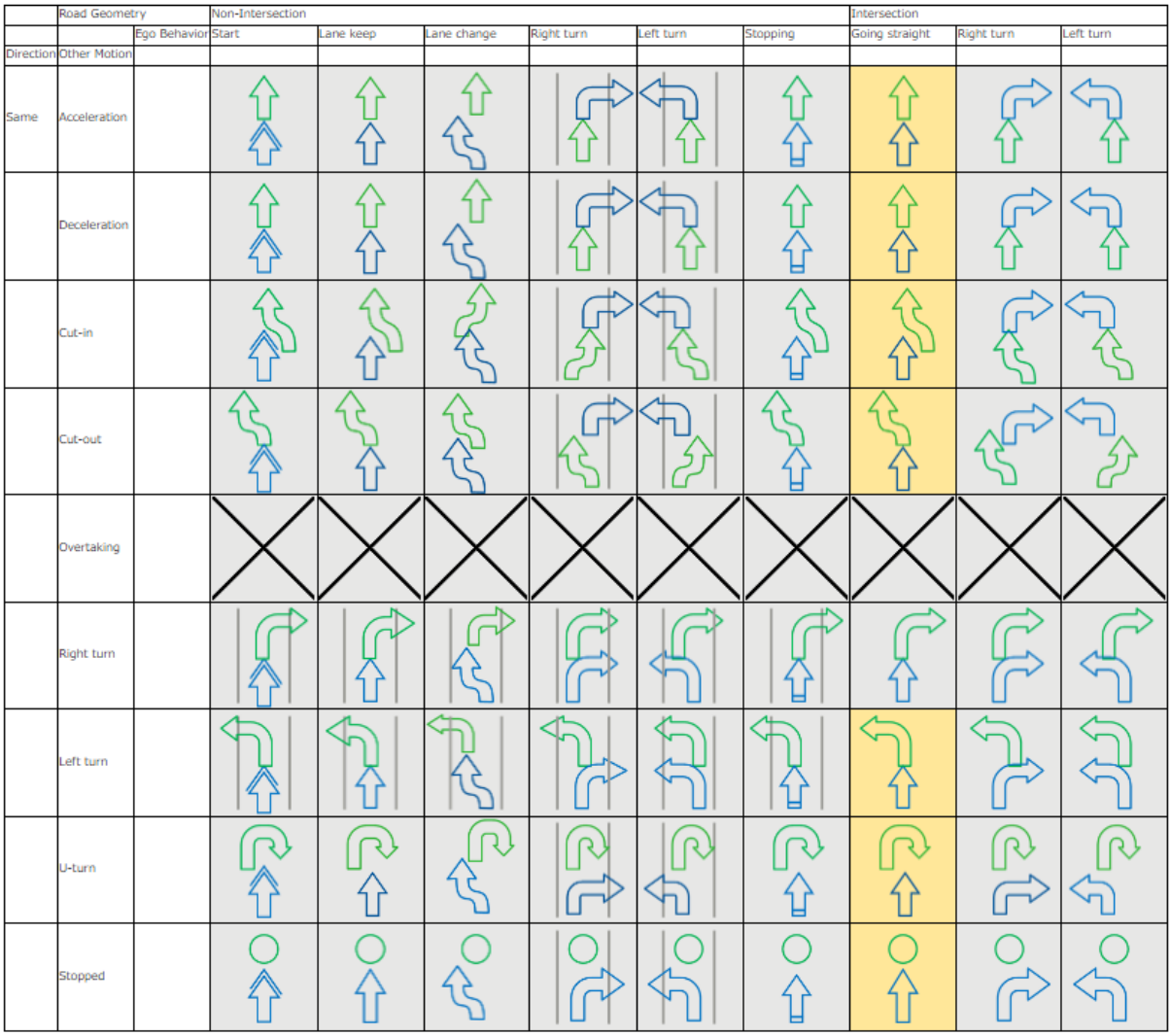


図 3.1.3.2-65　図 3.1.3.2-55 に関するツール出力（Direction = Same）

（4） まとめ

自動運転の安全性評価において一般道において考えうるシナリオ群から自動運転のODD（(機能に関しては競争領域の可能性もあるので、まずは道路（環境）条件のみにフォーカスを当てた）内で評価が必要なシナリオを抽出できるような仕組みの検討を実施した。

まず、ひたち BRT を対象に実際に AD 車が走行する経路において評価が必要なシナリオの抽出を行った。ロータリーを除くシナリオ体系が対象とする道路形状においてはおおむねシナリオの抽出が可能であることを確認した。

次に、交通参加者の行動を制限しうる道路構造および構成物では、物理的あるいは法規的に交通参加者の行動を制限しうる道路構造および構成物の抽出方法について述べた。交通参加者の行動制限などに関しての整理では、道路構造および構成物の表現方法の検討を行い、必要なシナリオを抽出する仕組みを構築することで実現可能性を検証した。

また、上記のシナリオ抽出を任意の道路において実施するために、地図情報からシナリオを抽出する仕組みを試行した。

交通参加者を自動車に限定して数例の実道路を用いて道路構造および構成物の抽出を行ったため、現状の表現方法は安全性評価において改良の余地がある。そのため、表現方法の適用対象を自動車以外の交通参加者（普通自転車や歩行者）に拡大すること、および表現方法の網羅性を高めることが今後の課題である。また、シナリオを抽出する仕組みの構築にとどまっている。そのため、本仕組みと他情報（交通流データ／事故データ）を結びつけることで論理シナリオ（ロジカルシナリオ）を生成するなど、実用化を見据えて他取り組みとの連携が今後の課題である。

参考文献

[1] 国土交通省　自動運転の安全技術ガイドライン
https://www.mlit.go.jp/common/001253665.pdf （2023 年 3 月現在）
[2] 一般社団法人日本自動車工業会 自動運転部会 AD 安全性評価分科会 2022 年 12 月,
自動運転の安全性評価フレームワーク Ver3.0,
https://www.jama.or.jp/operation/safety/automated_driving/pdf/framework_ver_3_0.pdf
（2023 年 3 月現在）
[3] 経済産業省,「自動運転レベル 4 等先進モビリティサービス研究開発・社会実装プロジェクト（RoAD to the L4)」について,
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/automobile/Automated-driving/RoADtotheL4.html
（2023 年 3 月現在）
[4] 日立市，ひたち BRT が本格運行を開始！,
https://www.city.hitachi.lg.jp/shimin/014/001/003/p075012.html
（2023 年 3 月現在）
[5] 国土交通省 平成 16 年 3 月 31 日 道路局長通達，防護柵の設置基準,
https://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/gardrail-car/1pdf/2.pdf
（2023 年 3 月現在）

[6] 国土交通省，交通安全対策，
https://www.mlit.go.jp/road/soudan/soudan_06_02.html
（2023 年 3 月現在）
[7] 国土交通省，歩道の一般的構造に関する基準，
https://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/06/060203/03.pdf
（2023 年 3 月現在）
[8] 経済産業省，令和 2 年度 高度な自動走行・MaaS 等の社会実装に向けた研究開発・実証事業：自動走行システムの安全性評価技術構築に向けた研究開発プロジェクト，2021 年 3 月
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2020FY/000631.pdf
（2023 年 3 月現在）
[9] 公益財団法人交通事故総合分析センター，交通事故統計年報 平成 30 年版，
https://www.itarda.or.jp/materials/traffic_accident/free
（2023 年 3 月現在）
[10] 公益財団法人交通事故総合分析センター，交通事故統計年報 平成 29 年版，
https://www.itarda.or.jp/materials/traffic_accident/free
（2023 年 3 月現在）
[11] Association for Standardization of Automation and Measuring Systems，OpenDRIVE 1.7，
https://www.asam.net/standards/detail/opendrive/
（2023 年 3 月現在）

3.1.4　シミュレーションを活用したクリティカルなパラメータの分析手法の検討

3.1.4 ではシナリオのパラメータ設計に向けたパラメータの影響度の分析手法の検討の結果を記載する。3.1.4.1 では自動運転の安全性評価における本分析手法の背景や位置づけについて述べる。3.1.4.2 では本分析手法の内容や手順について説明する。3.1.4.3 では本分析手法を適用評価するケーススタディの内容について述べる。3.1.4.4 では用いたケーススタディで利用したシミュレーション環境や評価対象について説明する。3.1.4.5 ではケーススタディで用いた複数の危険度指標について説明する。3.1.4.6 ではパラメータの影響度分析に用いる指標について説明する。3.1.4.7 では影響度分析の指標の算出結果の妥当性を統計的な見地から評価する方法について説明する。3.1.4.8 ではケーススタディの結果について述べ、3.1.4.9 でまとめを記載する。

3.1.4.1　自動運転の安全性評価におけるクリティカルパラメータの分析の位置づけ

シナリオベース手法で自動運転システムの安全保証を行う際には、危険に影響するパラメータを十分に識別した上でシナリオのパラメータやその定義域や分割数（または刻み幅）などを設計し、危険な領域や回避不可能な領域を把握する必要がある。昨年度までの取り組みでは、そのうち後段部分の危険領域の把握について検討を行っており、具体的には、仮想環境を利用して効率的に危険なパターンを発見する手法や、その危険領域の境界を推定する手法について検討を行った。本年度は前段部分のタスクの一つである、危険に影響するパラメータを識別する手法について検討を行った。

現在、シナリオのパラメータ設計は、自動運転システムの設計者やその他の関係者の経験や専門的な知識に基づいて行われている。この方法は、どのような危険パターンが存在するかを人間が予測可能な（例えば、自車が車線を維持するなど、比較的単純な）シナリオにおいては有効であるが、自車が車線変更や回避動作などを行うシナリオや自車と他の交通参加者との相互作用を含むシナリオ、パラメータが増加／複雑化することが予想される一般道のシナリオ、などを考えていくにつれて、危険なパターンを予測することが困難になり、どのようなパラメータをどのような範囲で、どれほどの細かさで変化させてテストすれば十分に安全であるといえるのか、という判断が困難になる。このように予測が難しい場合には、シナリオの各パラメータが危険にどのように影響するのかを客観的なデータや根拠を持ってパラメータ設計をすることが望ましい。

そこで、本年度はパラメータの危険への影響を定量的に評価する手法の検討を行う。影響度を定量的に評価することによって危険に影響しないパラメータを把握することができれば、評価に必要なシナリオのパラメータを絞り込むことができる。また、パラメータの影響の強弱を把握できれば、影響が小さいパラメータの分割数を削減するなど、より客観的なパラメータ設計ができるようになる。つまり、本手法によって、十分安全であることを示すために必要な具体シナリオ（コンクリートシナリオ）の削減、および、パラメータ設計の客観性や説明性の向上が期待できる。各パラメータの危険への影響度を評価するにあたっては実交通流データや仮想環境でのテスト結果も含め、さまざまなデータを利用することが考えられるが、危険なシナリオが含まれることやパラメータの制御可能性、コス

トなどを鑑みると仮想環境を利用することが望ましい。上記の理由により、仮想環境を利用して危険に影響するクリティカルなパラメータを評価する手法について検討を行った。

3.1.4.2　クリティカルパラメータ分析の方法

危険に影響するパラメータの分析（以下、「クリティカルパラメータの分析」という）の方法について説明する。分析手順を図 3.1.4.2-1 に示す。本方法ではあらかじめシナリオおよびそのパラメータを仮規定しておき、仮想環境を利用して得られた実行結果を分析することで、列挙された各パラメータの危険度への影響度を評価し、クリティカルなパラメータを明らかにする。以下では分析手順の詳細について説明する。

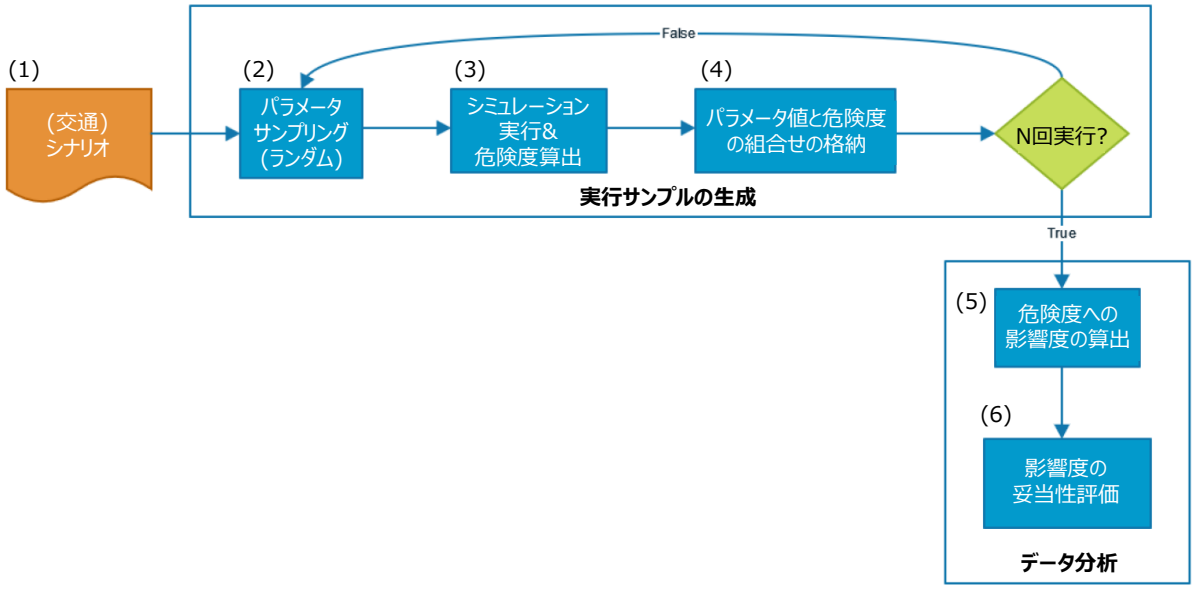


図 3.1.4.2-1　クリティカルパラメータ分析の手順

（1）　交通シナリオのパラメータの定義

評価目的に応じてシナリオおよびそのパラメータ、各パラメータのとりうる定義域（レンジ）などを定義する。パラメータの設計にあたって、危険度に（強く）影響する変数がパラメータとして含まれていない場合や、パラメータのレンジを限定しすぎていた場合などには、危険なシナリオを見逃してしまう恐れがある。そのため、基本的な方針としては影響があることが疑われる変数はできるだけパラメータとして含め、各パラメータのレンジはできるだけ広めにとるようにすべきである。

本取り組みで用いたシナリオについては 3.1.4.3 で記述する。

（2）　パラメータのサンプリング

上記手順で定めたパラメータのレンジから、特定のサンプリング戦略に基づいてパラメータの値の組合せを決定する。パラメータの危険度への影響を評価する際にサンプリング

による分布の偏りがある場合、その偏りによって分析結果が適切に得られない場合がある。例えば、実世界で発生頻度が高い部分にサンプルが集中していた場合、発生頻度が低い領域に局所的な危険領域が潜んでいたとき、その危険なサンプルが得られない（または得られるサンプルが少なくなる）ことによって、その領域を規定するパラメータの影響度が低く見積もられる恐れがある。したがって、できるだけ偏りのない方法でサンプリングすることが望ましい。

本取り組みでは上記を考慮して偏りを排除した一様分布に従ってランダムにパラメータを選択した。

（3） シミュレーション実行と危険度の算出

前の手順で得られたパラメータの値の組み合せのシナリオを、シミュレーション環境を利用して実行し、実行結果から危険度指標を算出する。

利用するシミュレーション環境は評価の目的に適したものを選択し、評価対象やモニタリング機能やログ機能、危険度指標の算出機能などと結合する必要がある。

危険度指標はシミュレーションの実行と同時にリアルタイムで算出される場合もあれば、シミュレーションの実行ログなどの結果を解析することで算出される場合もある。危険度指標の代表的な例しては Time to Collision（TTC）などが挙げられるが、シナリオによっては危険度を適切に評価できない場合もあるため、評価の目的やシナリオに応じて適切な指標を選択する必要があり、複数の危険度指標を用いて分析することも考えられる。

本取り組みで用いたシミュレーション環境については 3.1.4.4 で、用いた危険度指標については 3.1.4.5 で記述する。

（4） パラメータ値と危険度の組合せの格納

上記手順で得られたパラメータの値と危険度の情報を後段の分析処理で利用しやすいように格納する。パラメータの危険度への依存性の分析においては数万件を超えるサンプルを処理することも考えられるため、参照や条件による絞り込みなどがしやすいデータベースなどの形でデータを格納しておくことが望ましい。なお、物理的な制約上、定めたパラメータ通りにシナリオが実行されない場合など、特定のパラメータの値の具体シナリオが無効になる場合があるが、その場合には無効であるという情報も付与しておくことが望ましい。

（5） 危険度への影響度の算出

影響度の算出以後の手順の処理は通常時間がかかるため、サンプルが得られるたびに毎回影響度を計算すると時間がかかりすぎるという課題がある。したがって、あらかじめ影響度を算出するサンプル数のしきい値を決め、上記の手順で格納された有効なサンプルの数がしきい値（N）に達したときに影響度を算出するようにして、ある程度間隔をあけて処理を行うことが効率的である。

影響度の指標は危険度に対してパラメータがどのように寄与するかというモデルに応じて選択することが望ましい。危険度に対する寄与のパターンとしては、連続／不連続、単調／非単調、線形／非線形、パラメータ間の相関の有無、などがあり、なるべく汎用的に利用できる指標を用いることや、目的に応じて指標を使い分けることが望ましい。

本取り組みで用いた影響度の評価指標については 3.1.4.6 で記述する。

（6） 影響度の妥当性評価

上記の手順で、あるパラメータの危険度への影響が高いという分析結果が出たとき、それが偶然発生したものである可能性があるため、算出された影響度の統計的な妥当性を評価する必要がある。

妥当性評価の方法については 3.1.4.7 で記述する。

（7） 終了基準

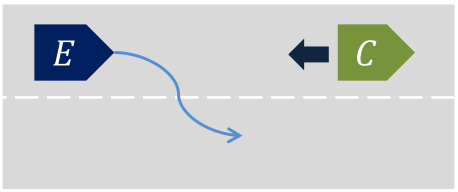
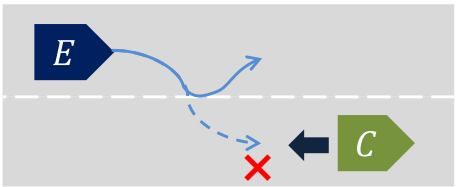
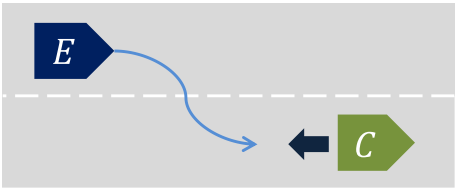
評価指標の値が確率収束するとき、サンプルの数が大きくなるほどその妥当性が高くなるため、分析結果の統計的な妥当性が信頼できる水準に達することを終了基準として利用することができる。

本取り組みでは信頼区間の信頼性が 95%以上になることを目安に必要なサンプル数を定め、終了基準として用いた。

3.1.4.3　ケーススタディの内容

クリティカルパラメータ分析のケーススタディに用いるシナリオについて説明する。危険なパラメータ領域を想定することが難しいシナリオとして、自車が車線変更するものが挙げられる。本取り組みでは自車が車線変更するシナリオのいくつかのサブセットを用いてクリティカルパラメータ分析のケーススタディを実施した。ケーススタディで用いたシナリオの概要を表 3.1.4.3-1 に示す。以下では各シナリオの詳細やパラメータの設定について順に記述する。

表 3.1.4.3-1　ケーススタディに用いたシナリオ

ID	説明	イメージ図
シナリオ 1	自車が車線変更しているときに、 変更前の車線で走行している他車が 前方から接近してくる。	
シナリオ 2a	自車が車線変更しているときに、 変更後の車線で走行している他車が 前方から接近してくる。 自車は車線変更を**中止する**ポリシーで 運転する場合。	
シナリオ 2b	自車が車線変更しているときに、 変更後の車線で走行している他車が 前方から接近してくる。 自車は車線変更を**強行する**ポリシーで 運転する場合。	

（1）　シナリオ 1

1 つ目は「自車が車線変更しているときに、変更前の車線で走行している他車が前方から接近してくる」シナリオとして定義した。概要図を図 3.1.4.3-1 に示す。本シナリオは他のシナリオに比べて単純であるためどのようなパラメータ領域で危険が発生するか予測しやすい。具体的には、車間距離が小さい場合や相対速度や減速度が大きい場合に危険が発生し、パラメータの変化に対して危険度が単調に増加／減少するようなシナリオであることが予想される。直感的な予想と分析結果が合致するかを確認する目的、および、パラメータの変化に対して危険度が単調に増加／減少する場合における本分析の有効性を検証する目的で本シナリオを選定した。

本シナリオは自車が車線変更を開始するフェーズと車線変更を終了するフェーズの 2 つのフェーズから構成される。本シナリオのパラメータの一覧を表 3.1.4.3-2 に示す。

表 3.1.4.3-2　シナリオ 1 のパラメーター覧

フェーズ	パラメータ	範囲	単位
-	自車の最大横速度のタイミング （最大横速度がフェーズ 1 に発生するか b_1）	{phase1, phase2}	-
フェーズ 1	フェーズ期間長 τ_1 *車線変更開始から他車減速開始までの時間	$[0.5, 5]$	s
	自車-他車間の縦方向の初期距離 d_{x0}	$[1, 60]$	m
	自車の初期縦方向速度 v_{Ex0}	$[1, 60]$	km/h
	自車の車線変更の最大横速度 v_{Ey}	$[0.7, 2.0]$	m/s
	他車の縦方向速度 v_{Cx}	$[1, 120]$	km/h
フェーズ 2	フェーズ期間長 τ_2	$[0.5, 10]$	s
	自車の車線変更の最大横速度 v_{Ey}	$[0.7, 2.0]$	m/s
	他車の減速度 a_{Cx}	$[0.5, 3.0]$	m/s^2

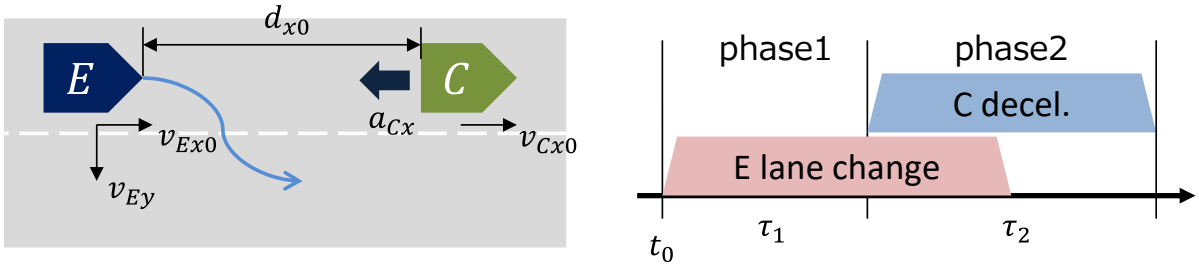


図 3.1.4.3-1　シナリオ 1 の概要図

（2） シナリオ 2a

2 つ目は「自車が車線変更しているときに、変更後の車線で走行している他車が前方から接近してくる」シナリオとして定義した。その中でも、特にシナリオ 2a は「自車が車線変更を中止するポリシーで運転する」場合を扱う。概要図を図 3.1.4.3-2 に示す。本シナリオでは自車の車線変更中止が発生することで、どのようなパラメータ領域で危険が発生するか予測することが難しくなる。具体的には、車間距離が小さい場合や相対速度や減速度が大きい場合に危険が発生することが予想できるが、例外的なケースとして、極端に車間距離が小さい場合や進行方向に対して自車と他車がオーバーラップしているような場合には車線変更が直ちに中止されることで危険が早期に回避される場合がありえる。車線変更時の横方向の速度なども複雑に関わって危険なパラメータ領域が形成されていることが想定される。上記の観点でシナリオ 2a はパラメータの変化に対して危険度が非単調に増減するシナリオであると考えることができる。本シナリオは、より複雑な危険度の分布を持つ場合、特に、パラメータの変化に対して危険度が非単調に変化する場合における分析の有効性を検証する目的で選定した。

本シナリオもシナリオ 1 と同様に自車が車線変更を開始するフェーズと車線変更を終了するフェーズの 2 つから構成される。本シナリオのパラメータの一覧を表 3.1.4.3-3 に示す。

表 3.1.4.3-3 シナリオ 2a のパラメーター覧

フェーズ	パラメータ	範囲	単位
フェーズ 1	フェーズ期間長 τ_1 *車線変更開始から他車減速開始までの時間	$[0.5, 5]$	s
	自車-他車間の縦方向の初期距離 d_{x0}	$[1, 60]$	m
	自車の初期縦方向速度 v_{Ex0}	$[1, 60]$	km/h
	自車の車線変更の最大横速度 v_{Ey}	$[0.7, 2.0]$	m/s
	他車の縦方向速度 v_{Cx}	$[1, 120]$	km/h
フェーズ 2	フェーズ期間長 τ_2 *他車の減速継続時間	$[0.5, 10]$	s
	自車の車線変更中止の最大横速度 v'_{Ey}	$[0.7, 3.0]$	m/s
	他車の減速度 a_{Cx}	$[0.5, 3.0]$	m/s^2

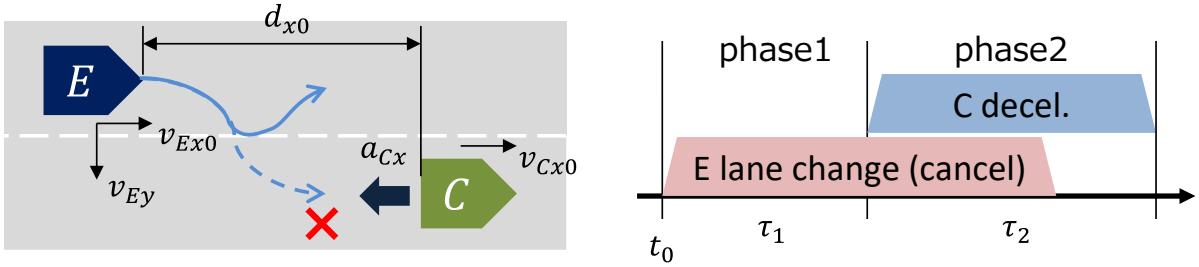


図 3.1.4.3-2 シナリオ 2a の概要図

（3） シナリオ 2b

本シナリオの内容は基本的にはシナリオ 2a と同じである。シナリオ 2a では自車が「車線変更を中止するポリシーで運転する」場合を扱うのに対して、「自車が車線変更を強行するポリシーで運転する」場合を扱う点が本シナリオの特徴である。概要図を図 3.1.4.3-3 に示す。本シナリオでもシナリオ 2a と同様に危険な領域の予測が難しくなる。具体的には、車間距離が小さくなりすぎると例外的に前方へのすり抜け回避が発生することによって危険度が小さくなることがありえる。それによって非単調で複雑な危険度の分布が形成されていることが想定される。本シナリオはシナリオ 2a と同様の目的、および、シナリオは同じでも自車の仕様による結果の変化について考察する目的で選定した。

本シナリオも他のシナリオと同様に自車が車線変更を開始するフェーズと車線変更を終了するフェーズの 2 つから構成される。本シナリオのパラメータの一覧を表 3.1.4.3-4 に示す。

表 3.1.4.3-4 シナリオ 2b のパラメーター覧

フェーズ	パラメータ	範囲	単位
-	自車の最大横速度のタイミング（最大横速度がフェーズ 1 に発生するか b_1）	{phase1, phase2}	-
フェーズ 1	フェーズ期間長 τ_1 *車線変更開始から他車減速開始までの時間	$[0.5, 5]$	s
	自車-他車間の縦方向の初期距離 d_{x0}	$[1, 60]$	m
	自車の初期縦方向速度 v_{Ex0}	$[1, 60]$	km/h
	自車の車線変更の最大横速度 v_{Ey}	$[0.7, 2.0]$	m/s
	他車の縦方向速度 v_{Cx}	$[1, 120]$	km/h
フェーズ 2	フェーズ期間長 τ_2	$[0.5, 10]$	s
	自車の車線変更の最大横速度 v_{Ey}	$[0.7, 2.0]$	m/s
	他車の減速度 a_{Cx}	$[0.5, 3.0]$	m/s^2

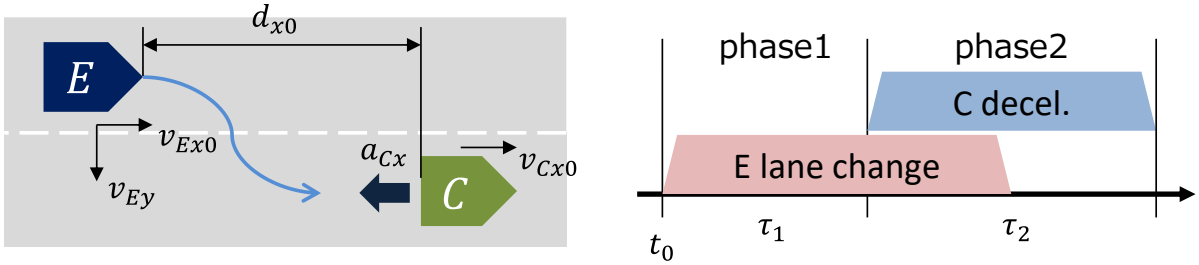


図 3.1.4.3-3 シナリオ 2b の概要図

3.1.4.4　シミュレーション環境および評価対象

分析に利用したシミュレーション環境の構成および評価対象の簡単な仕様について説明する。

シミュレーション環境の構成図を図 3.1.4.4-1 に示す。本分析では交通動作を模擬する簡易なシミュレーション環境を利用している。Reactive Traffic Controller （RTC） は与えた交通シナリオの定義やパラメータの制約を満たすように交通参加者の制御をリアルタイムに行う機構であり、各シミュレーション時間の交通参加者の状態の情報の入力をもとに、制約を満たすような制御指令を出力する。他車の動作はすべて RTC によって制御され、簡易な力学計算機構 （Fellow Vehicle Dynamics） で各時点の位置や速度などの状態が計算される。自車の動作制御に関しては進行方向と横方向で異なる制御の系統を用いており、進行方向は簡易な AEBS の機能を模擬するドライバーモデルによって、横方向は RTC によって、制御指令が与えられる。自車の各時点の位置や速度などの状態は他車と同様に簡易な力学計算機構 （Ego Vehicle Dynamics） で計算される。その他、実行の様子を視覚的に把握するための可視化ツールを備えている。

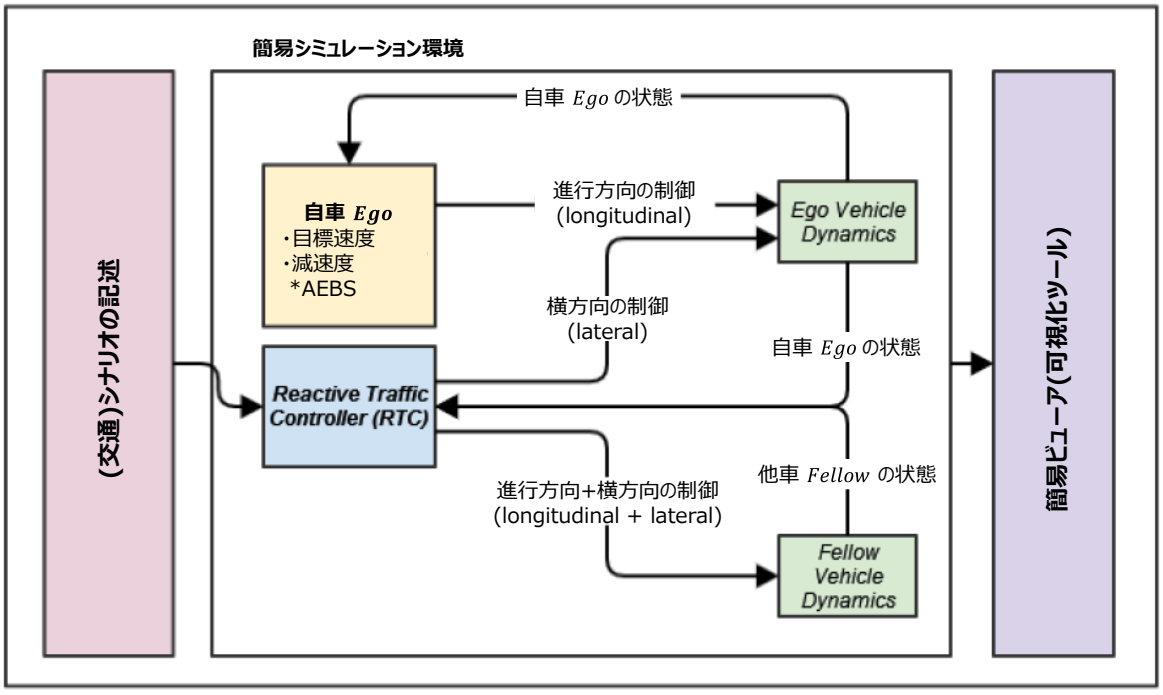


図 3.1.4.4-1　利用したシミュレーション環境の構成

評価対象となる自車および自車を制御する環境の基本情報を以下に示す。

・寸法： 長さ 4.7 m ，幅 1.9 m

・加減速の性能： 最大減速度 $6\ \mathrm{m/s^2}$ ， 最大加速度 $6\ \mathrm{m/s^2}$ ，

・AEBS の仕様： 前方の対象に対する TTC の値が 2.0 s の時に発動

3.1.4.5 危険度指標

危険度の測定に用いた指標について説明する。本取り組みでは複合指標も併せて以下の4つの危険度指標を用いた。以下では各指標の概要と定義について説明する。

（1） TTC（Time to Collision）に基づく危険度 W_TTC

TTC は現在の速度で進行したと仮定したときの前方の対象に衝突するまでの時間を表す指標であり、前方の対象に対する衝突の危険を表す際に有効である。TTC が 0 に近いほど危険であることを意味する。ただし、横方向からの接近などに対する危険を捉えることはできず、横の車線からのカットインの際には前方の領域に入ったときに急激に値が減少し、不連続な値をとるなどの課題がある。

TTC に基づく危険度 W_TTC は以下の式 3.1.4.5-1 で定義される。

$$distance(rear, front) = longitudinal\_position(front) - longitudinal\_position(rear)$$

$$speed\_difference(rear, front) = longitudinal\_speed(rear) - longitudinal\_speed(front)$$

$$ttc(rear, front) = \begin{cases} distance(rear, front)/speed\_difference(rear, front) \ (\text{if } \mathrm{C_{ttc}}) \\ \infty \ (\text{otherwise}) \end{cases}$$

$$\mathrm{C_{ttc}}(rear, front) = speed\_difference(rear, front) > 0$$
$$\cap\ front(rear, front) * front \text{ が } rear \text{ の前方にいる}$$
$$\cap\ lateral\_overlaps(rear, front) * front \text{ と } rear \text{ がラップしている}$$

$$\mathrm{W\_TTC} = \begin{cases} 0 \ (\text{if } ttc(ego, front) > UB) \\ \frac{UB - ttc(ego, front)}{UB - LB} \quad (otherwise) \\ 1 \quad (if\ ttc(ego, front) < LB) \end{cases} \qquad \text{式 3.1.4.5-1}$$

ここで、LB、UB はそれぞれ下限（Lower Bound）および上限（Upper Bound）を表しており、今回は $\mathrm{LB} = 0\ \mathrm{s}, \mathrm{UB} = 10\ \mathrm{s}$ と設定している。

（2） ユークリッド距離（Euclidean Distance）に基づく危険度 W_ED

ユーグリッド距離（Euclidean Distance; ED）は 2 つの図形間の最小距離を表す指標であり、すべての方位に対する衝突の危険を表す際に有効である。ただし、対象が同じ車線の前方で走行している場合と横の車線の同じ縦方向位置で並走している場合で距離が同じなら同じ危険度であるとみなされ、無視すべき危険を補足する可能性がある、近づいているか離れているかの状態を考慮していないなどの課題がある。

本取り組みでは図 3.1.4.5-1 に示すように 2 つの矩形の各線分と各頂点の間の距離を測定し、その最小値として ED を定義した。なお、2 つの図形が重なっている場合には ED は 0 となる。ED に基づく危険度 W_ED は以下の式 3.1.4.5-2 で定義される。

$$W\_ED = \begin{cases} 0 \ (\text{if } ED(ego, fellow) > UB) \\ \frac{UB - ED(ego, fellow)}{UB - LB} \quad (otherwise) \\ 1 \quad (\text{if } ED(ego, fellow) < LB) \end{cases} \qquad \text{式 3.1.4.5-2}$$

ここでは ED に関する下限（LB）と上限（UB）を用いており、今回は $\mathrm{LB} = 0\,m, \mathrm{UB} = 3\,m$ と設定している。

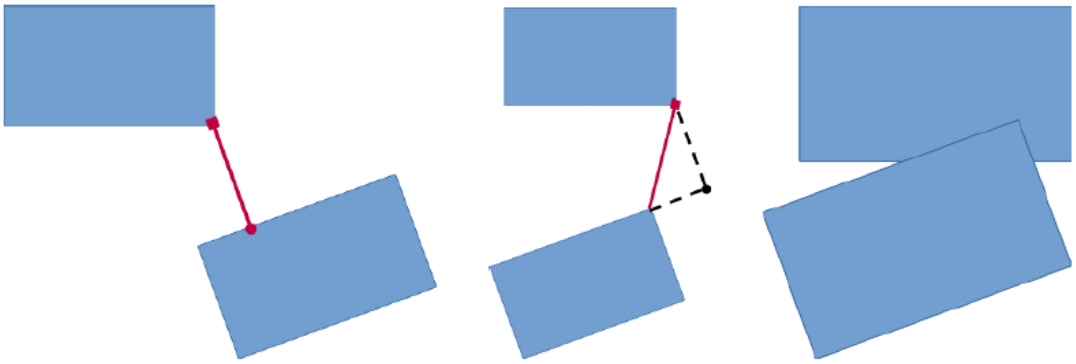


図 3.1.4.5-1　ユークリッド距離（ED）の算出イメージ

（3）　衝突被害度（Intensity of Collision）に基づく危険度 W_IoC

衝突被害度（Intensity of Collision; IoC） は 2 つの物体の非弾性衝突時に失われる運動エネルギー ΔU を考慮した指標であり、衝突した場合の危険性の被害を考慮したい場合に有効となる。この値が大きいほど衝突の可能性があり、かつ、衝突したときの被害が大きいことを表す。一方で TTC や ED は衝突の可能性に関する指標であり、衝突したときの被害が考慮されていない。言い換えれば、衝突することが最大の危険として扱われてしまう。例えば、極低速で距離が近い状況と超高速で距離が離れている状況の 2 つの状況が存在するとき、TTC では同等の危険度であるとみなされる場合がある。IoC はそのような課題を克服できる指標となる。

IoC に基づく危険度 W_IoC は以下の式 3.1.4.5-3 で定義される。

$$speed\_difference(rear, front) = longitudinal\_speed(rear) - longitudinal\_speed(front)$$

$$\Delta U(rear, front) = \frac{mass(rear) \cdot mass(front)}{mass(rear) + mass(front)} \cdot speed\_difference(rear, front)^2$$

$$\mathrm{W}\_\Delta U = \begin{cases} 1\ (\text{if}\ \Delta U(ego, fellow) > UB) \\ \dfrac{\Delta U(ego, fellow) - LB}{UB - LB}\ (otherwise) \\ 0\ (if\ \Delta U(ego, fellow) < LB) \end{cases}$$

$$\mathrm{W}\_IoC = \mathrm{W}\_\Delta U \cdot \mathrm{W}\_TTC \qquad \text{式 3.1.4.5-3}$$

本取り組みでは車両の質量はすべて $1{,}400\,kg$ として計算しており，ΔU に関する下限（LB）と上限（UB）については$\mathrm{LB} = 0\,J, \mathrm{UB} = 132{,}330\,J$ と設定している。

（4） 複合危険度（Combied Weakness） CW

上記で挙げた指標にはそれぞれ一長一短があるため、これらの指標を結合した複合的な危険度の指標を用いることで、多元的な視点から危険を評価し、危険の捕捉漏れを防ぐことができる。

複合危険度 CW は以下の式 3.1.4.5-4 で定義される。

$$\mathrm{CW} = \mathrm{A} + \mathrm{B} \cdot (\mathrm{B} - \mathrm{A}) \qquad \text{式 3.1.4.5-4}$$

$$\text{where } \mathrm{A} = \frac{\mathrm{W\_ED} + \mathrm{W\_IoC}}{2}$$

$$\mathrm{B} = \max(W\_ED, W\_IoC)$$

この式を用いて危険度を結合することで、単なる各指標の最大値をとって結合する場合に比べて各指標に差があるときに小さいほうの値の影響を考慮できる指標となる。

3.1.4.6 影響度の評価指標

本取り組みで用いた危険度への影響度を評価するための指標について説明する。変数間の影響度や依存性を評価できる指標はいくつかあり、本取り組みでは以下の 2 つの指標を用いて評価した。以下では各指標の定義や特徴について説明する。

（1） 偏相関（Partial Correlation; PC）

変数間の統計的な関係性を把握するために用いられる指標で代表的なものとしては「ピアソンの相関係数（Correlation Coefficient） $Corr\ (X;Y)$」が挙げられる。この指標は二つの量的な確率変数 X と Y の線形な依存性を統計的に評価する。Y が複数の確率変数$\mathrm{X_i}$（$\mathrm{i} = 1,2..,n$） に依存している場合にも各$\mathrm{X_i}$についてCorr（$\mathrm{X_i;Y}$） を計算することで依存性を評価することはできるが、変数$\mathrm{X_i}$の間に相関関係がある場合には「偽相関（spurious correlation）」が発生することがあるため注意が必要となる。

偽相関の説明によく用いられる例として、ヨーロッパの地域ごとの人間の出生率とコウノトリのつがいの数の相関の例が挙げられる。人間の出生率とコウノトリのつがいの数には正の相関がみられるが、実際にはこれらには直接の相関関係はない。このような関係がみられたのは、田舎であるほど子供が生まれる傾向にあり、また、田舎の地域であるほどコウノトリの巣が多く作られやすいことに起因するものであることがわかっている。この例では、田舎であることなどの地域性といった第三の変数が両者に影響するものであったために、偽相関が生じている。

シナリオのどのパラメータが危険度に影響しているかを評価する際に偽相関が生じることで、影響の少ないパラメータを影響が高いものと判断してしまう恐れがある。そこで、他の変数間の相関の影響を排除して評価できる「偏相関係数（Partial Correlation Coefficent; PC）」$Corr\ (X_i;Y|Z = \{X_1, \dots, X_n\}/\{X_i\})$ を影響度の評価指標として採用した。

PC は以下の式 3.1.4.6-1 で求めることができる。

$$Corr(X_i; Y|Z = \{X_1, \dots, X_n\}/\{X_i\}) = -\frac{v_{iY}}{\sqrt{v_{ii} \cdot v_{YY}}}$$ 式 3.1.4.6-1

※ここで$V = [v_{ij}]$は変数の集合$\{X_1, \dots, X_n, Y\}$*に関する共分散行列*C*の逆行列*

この指標は-1から1までの値をとり、線形な依存関係が強いほどその絶対値が大きくなるという性質を有する。正の相関が強いほど1に、負の相関が強いほど-1にその値が近づき相関の正負を区別できる。まったく相関がみられない場合には値は0となる。上記で述べたように、他の変数の影響を排除したうえで、変数の線形な依存性を評価することができる。

（2） 正規化結合エントロピー（normalized Joint Entropy; nJE）

情報理論における二つの確率変数の依存性の指標として「結合エントロピー（Joint Entropy） $H(X,Y)$」がある。2 つの確率変数の依存関係が線形である場合は PC で評価することができるが、非線形な依存関係や非単調な依存関係がある場合には、その依存関係の程度を適切に評価することができないという課題がある。結合エントロピーは変数間の依存関係が非線形な場合にも利用することができる指標である。結合エントロピーは「平均情報量（平均エントロピー）$H(X)$」[1]を 2 変数の場合に拡張したものであり、それぞれ以下の式 3.1.4.6-2 と式 3.1.4.6-3 で定義される。

$$H(X) \coloneqq -\sum_{x \in X} p(x) \log[p(x)]$$ 式 3.1.4.6-2

$$H(X,Y) \coloneqq -\sum_{x \in X, y \in Y} p(x,y) \log[p(x,y)]$$ 式 3.1.4.6-3

この指標は確率変数 X と Y の影響度が大きいほど相対的にその値が小さくなるという性質を有する。連続な値をとる変数の場合はいくつかの区間に分割して、各区間に該当するサンプルの相対度数を用いて $p\ (x)$ や $p\ (x,y)$ を求める。

結合エントロピーはそのままでは変数間でその影響度を比較することはできないため、比較できるように以下のように正規化した「正規化結合エントロピー（normalized Joint Entropy（nJE)」を用いる（式 3.1.4.6-4)。

$$nJE(X,Y) = 2\left(1 - \frac{H(X,Y)}{H(X)+H(Y)}\right)$$ 式 3.1.4.6-4

この指標は 0 から 1 までの値をとり、依存性が高いほどこの指標の値が大きくなるという性質を持つ。まったく依存性がない場合は 0、完全な依存関係（つまり、Y が 4 の関数である）場合は 1 の値をとる。上記で述べたように依存関係が非線形な場合にもその影響度を評価することができる。

3.1.4.7 影響度の妥当性評価

算出した影響度指標の妥当性を評価する方法について説明する。影響度の指標を算出する際には確率的にサンプリングされた有限のサンプルを用いるため、そのサンプリングの方法によっては影響や依存性があることが偶然検出される可能性もある。言い換えれば、影響が全くない場合にも有限のサンプルを用いて影響度指標を算出した場合に、その値が 0 になることはごく稀であり、何らかの微小な値をとることが多く、少なからず何らかの

影響があるものと解釈されてしまう。その場合に、その影響が偶然検出されたものか（または、どれほど確からしく検出されたものか）を判断することによって、その影響度の妥当性を評価することができる。

そこで、本取り組みでは以下の 2 つの方法を用いて影響度の妥当性を評価する。

（1） 有意性（significance） の評価

有意性の評価では、まず「2 つの変数の依存性が全くない」という帰無仮説をおき、その仮説を棄却することで有意性を示す。帰無仮説の検定では、その仮説のもと試行を何度も繰り返したときにどれだけの比率でその仮説を支持する結果が得られるかを調べる。その比率 p 値が十分に低い場合には帰無仮説は棄却され、有意な依存性があることが示される。その時の比率のしきい値は有意水準 α と呼ばれ、5%や 1%などの小さな値が採用される。

有意性の評価には依存性の指標の種類によらず適用可能なシャッフル法を用いた。この方法では以下の手順で検定を行う。

手順 1：依存性があるか確かめたいパラメータをサンプルセット内でシャッフルして依存性が意図的に破壊された新たなサンプルセットを用意する。
※新たなサンプルセットは「2 つの変数の依存性が全くない」という帰無仮説に適合したものとなる。

手順 2：上記で用意した新たなサンプルセットを用いて PC や nJE などの影響度の指標を計算する。

手順 3：新たなサンプルセットで計算された値と元のサンプルセットで計算された値を比較し、元の値以上となるかを判定する。

手順 4：手順 1～3 を繰り返し、その全試行数のうち、元の値以上となった数の比率を計算する。これが有意性を表す指標 p 値になる。

手順 5：上記で導出された p 値が有意水準 α より小さいかどうかを確認する。

有意水準として$\alpha = 1\%$を採用した。

（2） 信頼区間（confidence bound） を用いた評価

信頼区間を用いた評価では、統計的に算出された指標の（未知の）期待値に対してその誤差がどの程度に収まっているかを評価する。α 信頼区間は指標の値がその区間外になる確率が $1-\alpha$ になるように下限や上限を定めた区間を指す。

本取り組みでは 95%信頼区間を用いており、算出された影響度の値が信頼区間を逸脱する確率が 5%未満に収まるようにその下限値が定められる。影響度指標として採用する PC や nJE などが（あるパラメータの定義域に対して）確率収束する確率変数であるとき、サンプルの数が大きくなるにつれて、この指標の値は特定の値に収束し、その誤差（信頼区画の幅）が小さくなる。このとき、信頼区間を逸脱する確率が 5%未満に収まるようなサンプルの数 n を定めることができる。逆に言えば、n 件のサンプルが得られているときの信頼区間の幅を求めることができる。

「Hoeffding の不等式」[2]を用いると、閉区間[a, b]のサンプルが n 件得られているとき、標本平均 $\overline{S_n}$ が両側 α 信頼区間を逸脱する事象 w が生じる確率の上界は以下の式 3.1.4.7-1 で表される。

$$\mathrm{p(w)} \coloneqq \mathrm{p}(\overline{S_n} - \mathrm{E}[S_n] \leq -\mathrm{c}) + \mathrm{p}(\overline{S_n} - \mathrm{E}[S_n] \leq \mathrm{c}) \qquad \text{式 3.1.4.7-1}$$

$$\mathrm{P}(\overline{S_n} - \mathrm{E}[S_n] \leq -c) \leq \exp\left(-\frac{2nc^2}{(b-a)^2}\right) \coloneqq \frac{\alpha}{2}$$

$$\mathrm{P}(\overline{S_n} - \mathrm{E}[S_n] \geq c) \leq \exp\left(-\frac{2nc^2}{(b-a)^2}\right) \coloneqq \frac{\alpha}{2}$$

$$\text{where } \overline{S_n} = \frac{1}{n}\sum_{n} S_n$$

これにより、上界にあるときの信頼区間の幅 c は n を用いて以下の式 3.1.4.7-2 で表される。

$$0 < \mathrm{c} \leq \sqrt{-\frac{\log(\alpha/2)(b-a)^2}{2n}} \qquad \text{式 3.1.4.7-2}$$

上式より、c を特定の目標値未満に抑えるために必要なサンプル数を推定することができる。なお、片側 α 信頼区間を用いるときは$\alpha/2 \rightarrow \alpha$とおきかえる。

影響度指標として PC を用いる場合、そのサンプル平均の定義域は$[-1,1]$であるため、以下の式 3.1.4.7-3 となる。

$$\mathrm{c} \leq \sqrt{-\frac{2\log(\alpha/2)}{n}} \qquad \text{式 3.1.4.7-3}$$

影響度指標として nJE を用いる場合、そのサンプル平均の定義域は$[0,1]$であるため、以下の式 3.1.4.7-4 となる。

$$\mathrm{c} \leq \sqrt{-\frac{\log(\alpha/2)}{2n}} \qquad \text{式 3.1.4.7-4}$$

3.1.4.8 適用結果と考察

分析手法の適用結果をシナリオ毎に示す。

（1） シナリオ 1

各パラメータと複合危険度（CW）の二次元散布図を示す（図 3.1.4.8-1）。パラメータごとにグラフを作成しており、グラフの縦軸が複合危険度(CW)、横軸がパラメータを表す。1 回のシミュレーション実行が 1 つの点に対応しており、点の密度が高い箇所ほど実行された頻度が高かった箇所となる。例えば、パラメータの値が大きくなる（右側になる）につれて CW の値が高い右肩上がりの傾向が見られた場合には正の相関、逆にパラメータの値が大きくなるにつれて CW の値が低い右肩下がりの傾向が見られた時には負の相関があることを示し、その傾向が強いほど影響度指標である PC や nJE の絶対値は大きくなる。また、右側と左側で点の分布があまり変わらない場合には相関が弱い（またはない）ことを示し、PC や nJE の絶対値は小さくなる。場合によっては途中までは右肩上がり、それ以降は右肩下がりなどの傾向が見られる場合もあり、その傾向が強く表れている場合には PC の絶対値は小さい一方で nJE の値が大きくなることがある。さらに複雑な場合を考えると、横軸にとったパラメータ以外のパラメータの影響によってあるパターンでは正の相関、別のパターンでは負の相関があり、その 2 つが重なって表示されている場合などが考えられ、そのような場合には条件付きで影響はあると言えるものの PC や nJE が小さくなることがある。

傾向が顕著に表れているパラメータとしては「自車-他車間の縦方向の初期距離d_{x0}」、「自車の初期縦方向速度v_{Ex0}」、「他車の縦方向速度v_{Cx}」の 3 つが挙げられる。d_{x0}のグラフでは CW が高い領域が左側に偏っている。v_{Ex0}のグラフでは CW が高い領域が右側に偏っている。v_{Cx}のグラフでは CW が高い領域が極端に左側に偏っており、右側では CW がほとんど 0 になっている。「他車の減速度a_{Cx}」も右側ほど危険度が高い傾向が見られるが、その偏りは上記の 3 つに比べると緩いように見える。逆に「自車の車線変更の最大横速度v_{Ey}」「最大横速度がフェーズ 1 に発生するか否かb_1」は左側と右側で分布の偏りがあまりない。「フェーズ 1 の期間長τ_1」「フェーズ 2 の期間長τ_2」はかなり複雑な様相を示しており、右肩上がりのものと右肩下がりのものが混在しているようにも見える。

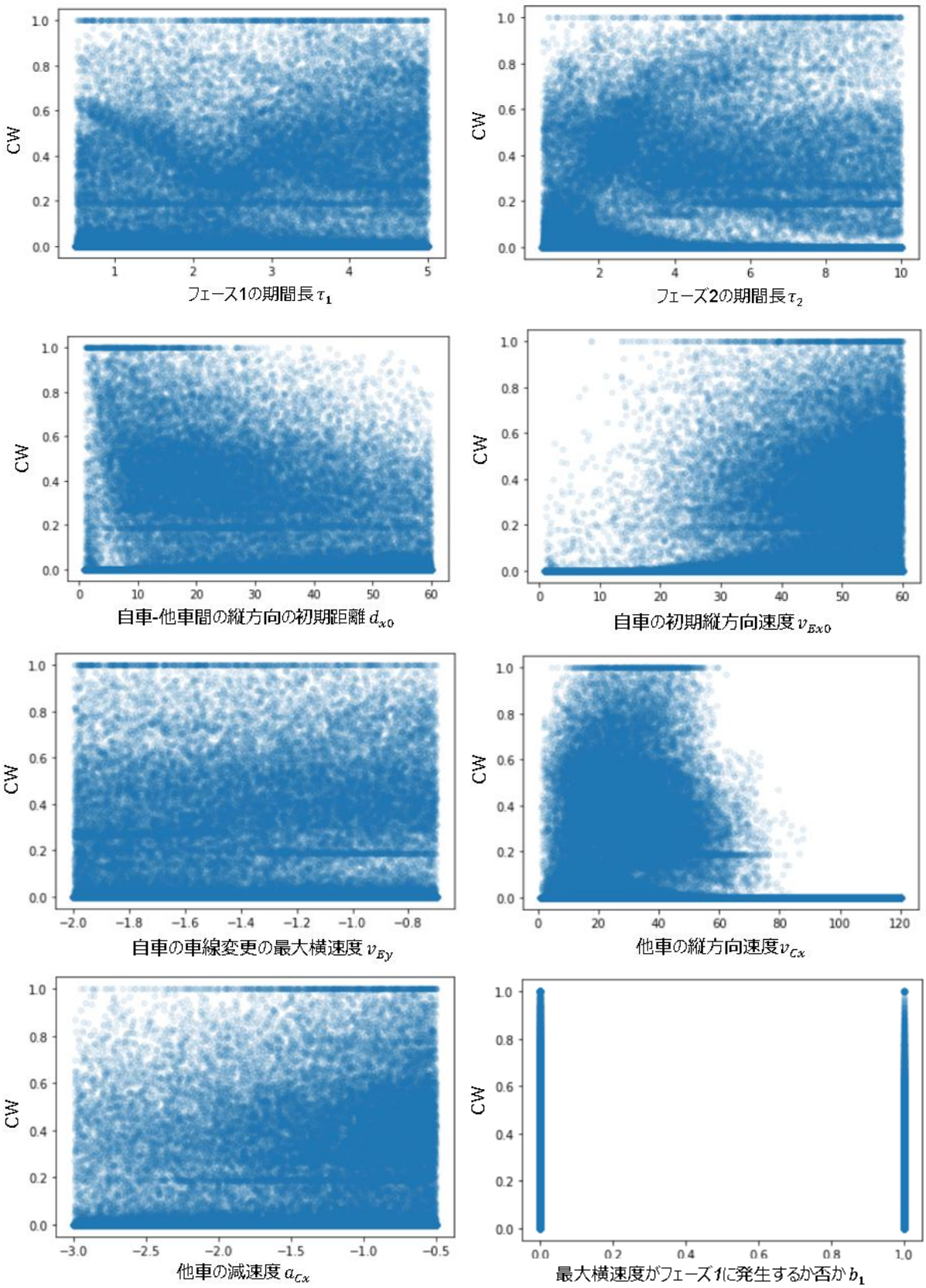


図 3.1.4.8-1　シナリオ 1 のパラメータと CW の散布図

次に、4 つの危険度指標（W_TTC、W_ED、W_IoC、CW）に対する 2 つの影響度指標（PC、nJE）の分析結果を図 3.1.4.8-2 に示す。縦軸は各影響度指標の絶対値を示してお

り、実線はその値が 1%有意であること、点線は有意性が見られなかったことを示している。PC については相関の正負が区別され、P は正の相関、N は負の相関であることを示している。また、各バーから上下垂直に伸びている線は信頼区間を示している。

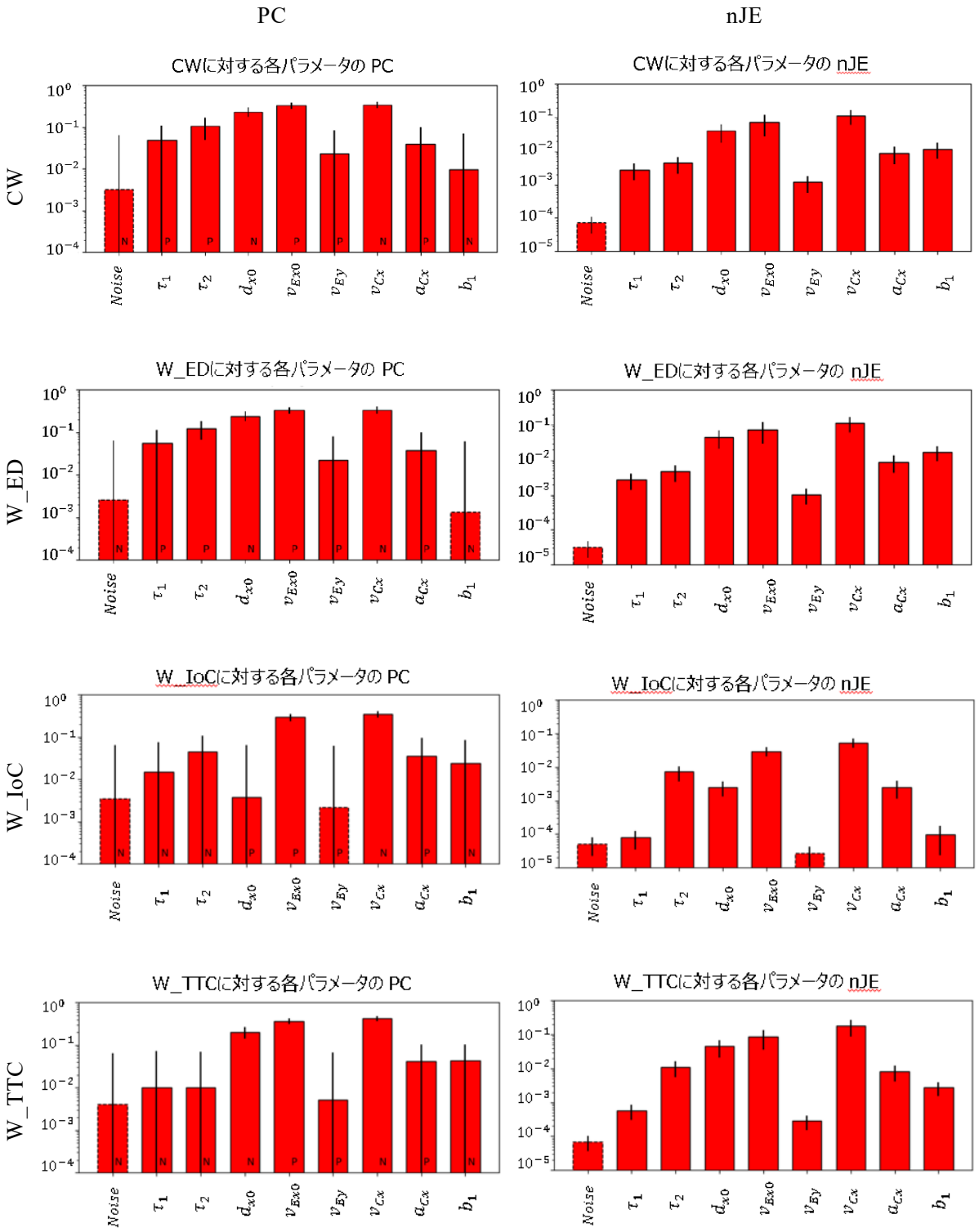


図 3.1.4.8-2　シナリオ 1 の分析結果

ここでは 3.1.4.3 で挙げたパラメータに、シナリオ実行とは無関係のランダムな値をとるパラメータ（Noise）を加えており、各パラメータの影響度が Noise の影響度と比較して、同等以下であれば影響度はほぼないものと捉えることができる。

結果を見ると、いずれの危険度指標および影響度指標においても「他車の縦方向速度v_{Cx}」と「自車の初期縦方向速度v_{Ex0}」が大きな影響度を示した。また W_IoC の場合を除いて、「自車-他車間の縦方向の初期距d_{x0}」も大きな影響度を示した。PC と nJE の結果を比較すると、影響度指標の大きさの値は異なるものの、その順序をみると、多くのパラメータで順序が一致する結果となった。

有意性に関しては、PC と nJE ともに多くのパラメータが 1%有意であることが示された。一部、W_IoC に対する「自車の車線変更の最大横速度v_{Ey}」が PC、nJE ともに有意性が見られなかったほか、W_ED に対する「最大横速度がフェーズ 1 に発生するか否かb_1」が PC の場合のみ有意性が見られなかった。

最後にサンプル数が分析に与える影響に関する結果を示す。まず、有意性に関して、サンプル数に対するその推移を図 3.1.4.8-3 に示す。有意性が見られたケースの代表として「CW に対するd_{x0}」を、有意性が見られなかったケースの代表として「W_IoC に対するv_{Ey}」を採用し、結果を示している。

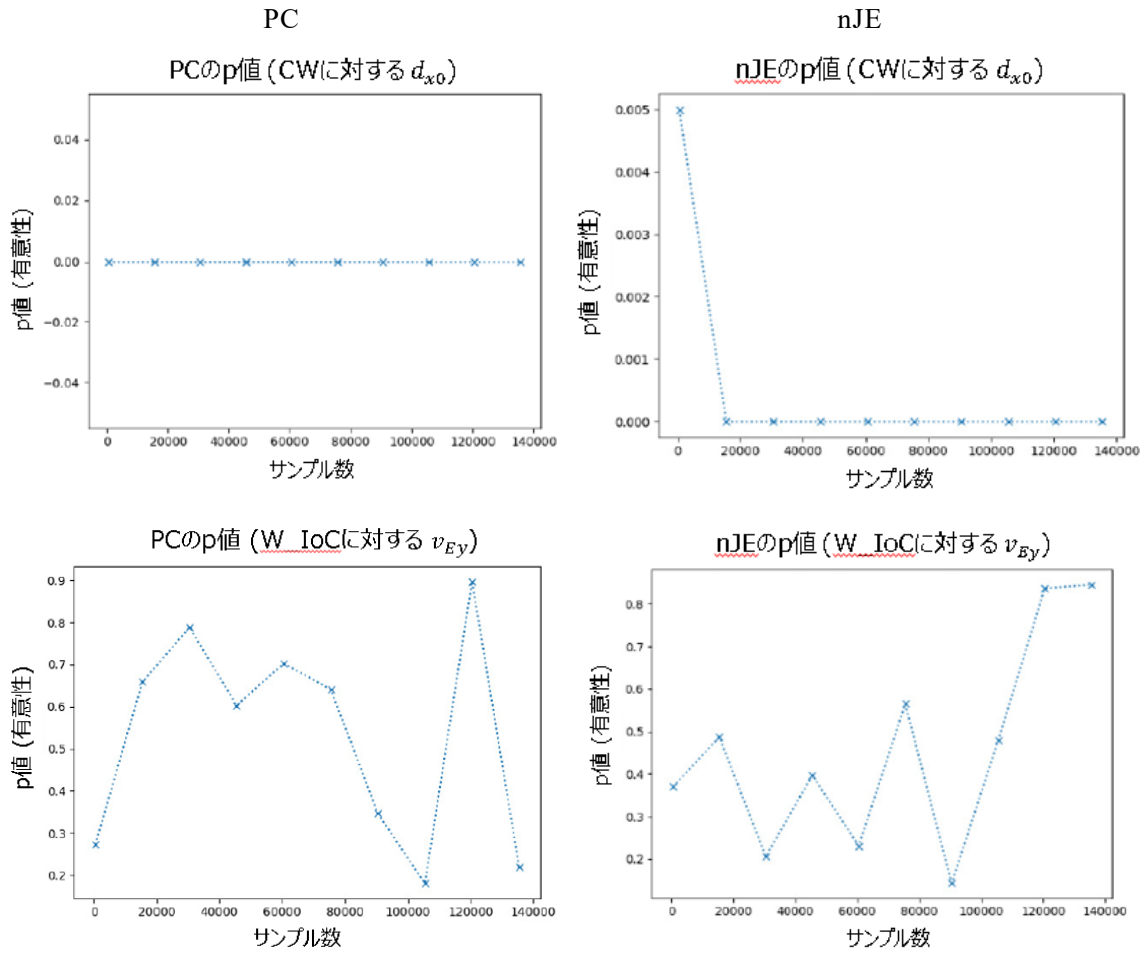


図 3.1.4.8-3　サンプル数に対する p 値（有意性）の推移

有意性が見られた「CW に対するd_{x0}」のケースでは、PC の場合は初期の段階で p 値が 0 近傍に収束しており、nJE の場合も 20,000 件以内のサンプル数で p 値が 0 近傍に収束した。有意性が見られなかった「W_IoC に対するv_{Ey}」のケースでは PC を用いた場合と nJE を用いた場合の両方でサンプル数が 100,000 件を超えても 0 近傍に収束する傾向は見られなかった。

【シナリオ 1 における結果考察】

まず、「他車の縦方向速度v_{Cx}」「自車の初期縦方向速度v_{Ex0}」「自車-他車間の縦方向の初期距離d_{x0}」の 3 つのパラメータについて、これらが特に危険度に高い影響を有するという結果が得られた。これは危険度の算出に用いられている TTC や IoC などの定義式にこれらのパラメータに相当する変数が直接的に含まれていることもあり、この結果は人間の直感としても理解しやすい。v_{Cx} が有意な負の相関を示していることは他車の速度が遅いほど TTC が増すから、v_{Ex0} が有意な正の相関を示していることは自車の速度が速いほど TTC が増すから、d_{x0} が負の相関を示していることは自車と他車の距離が近いほど TTC が増すから、と説明がつく。

次に、「フェーズ 2 の期間長τ_2」については、危険度の影響は小さいことが予想された

が、影響が大きいという結果となった。これはτ_2が他車が減速を継続する期間に関わっており、この値が大きいほど減速が長時間行われ、衝突しやすくなるケースがあることによるものと推察できる。

「フェーズ 1 の期間長τ_1」は他車が減速をどれだけ早く開始するかに関わるパラメータであり、これが小さいほど早く減速が開始され危険度が増すケースが一部あることが予想される。その部分を鑑みると、危険度に対して負の相関があることが予想される。PC の結果を見ると W_TTC や W_IoC に対しては負の相関があり、予想と結果が一致したが、W_ED や CW に対しては逆に正の相関があり、予想とは逆の結果となった。nJE の結果を見るといずれも有意な影響を与えており、特に W_ED への影響が強い。これより、予想したτ_1の負の影響が局所的なものであり、複雑に影響を与えていることが伺える。なぜ W_ED に対して正の相関があるのかについては調査を要する。

「他車の減速度a_{Cx}」に関しては、減速度の絶対値が大きいほど前方の車両との衝突が起こりやすく危険度が高いことが予想されるが、散布図を見ると逆に減速度の絶対値が大きいほど危険度は低い傾向になる。この原因としては、他車の減速に過敏に反応して AEBS を作動させることで、結果として危険度が低くなることなどが考えられる。

「自車の車線変更の最大横速度v_{Ey}」に関しては、車線変更がゆっくりであるほど前方の車両を回避することが難しくなることが予想される。v_{Ey} は正の相関を示しているが、これは横方向の速度の軸の取り方の問題で速度が速いほど負の値が大きくなる設定であることを考えると、速度が小さい（正になる）ほど危険度が高くなるため、予想と結果は一致する。

「最大横速度がフェーズ 1 に発生するか否かb_1」はどれだけ早期に横速度を増して隣の車線に回避したかに関わっており、この値が真である場合の方が危険でなくなることが予想される。これは、b_1の負の相関を示すという結果とも一致する。

結論としては、一部のパラメータについては予想に反して影響が大きかったものも存在したが、シナリオ 1 では PC と nJE の結果は、概して予想や解釈と合致するものであった。

（2）　シナリオ 2a

各パラメータと複合危険度（CW）の二次元散布図を示す（図 3.1.4.8-4）。大まかな傾向としてはシナリオ 1 と同様でd_{x0}、v_{Ex0}、v_{Cx}の 3 つのパラメータで偏りが見られる。他の

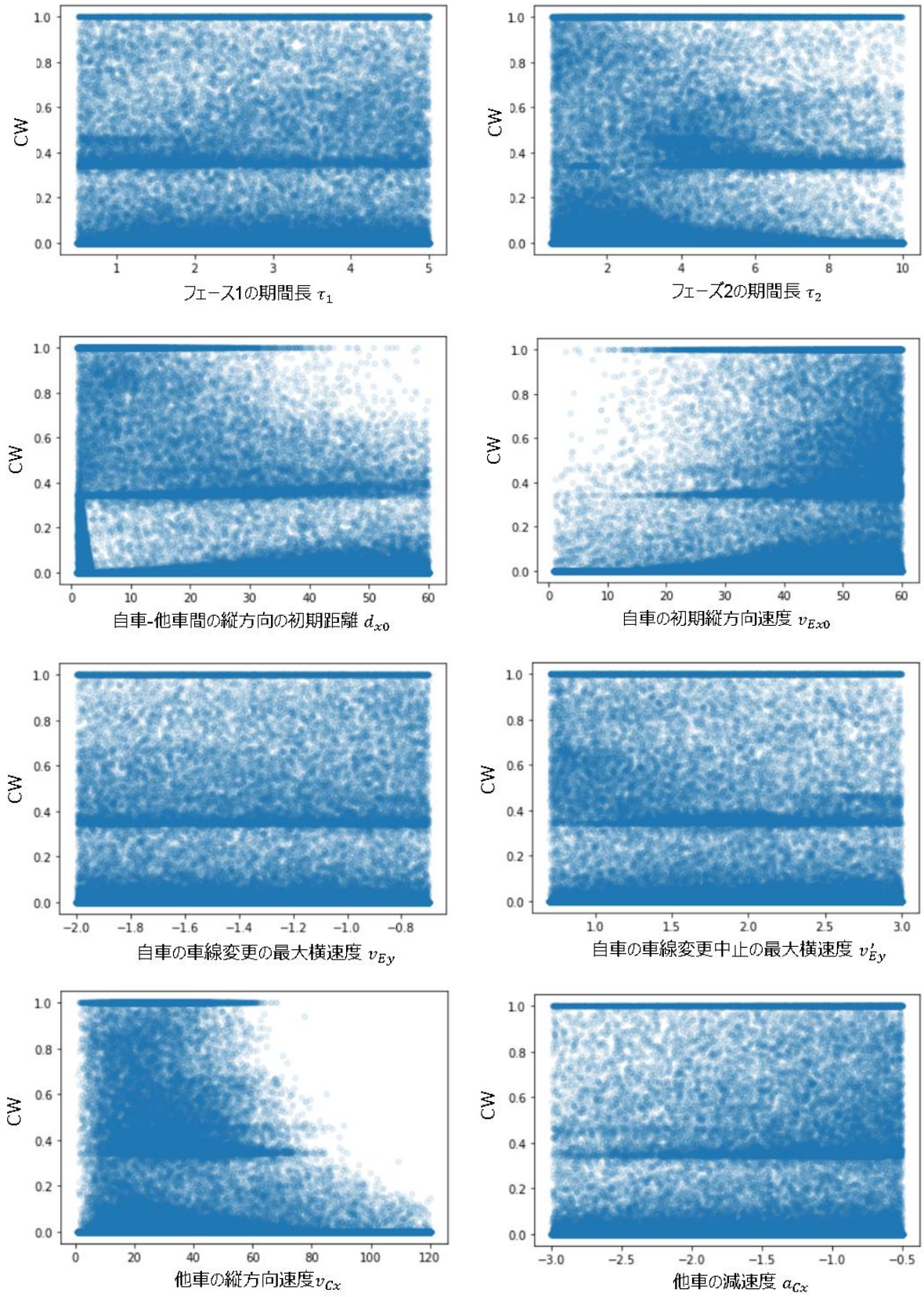


図 3.1.4.8-4　シナリオ 2 のパラメータと CW の散布図

パラメータでの危険度の偏りはシナリオ 1 の場合に比べてあまりないように見える。

次に、4 つの危険度指標に対する 2 つの影響度指標の分析結果を図 3.1.4.8-5 に示す。

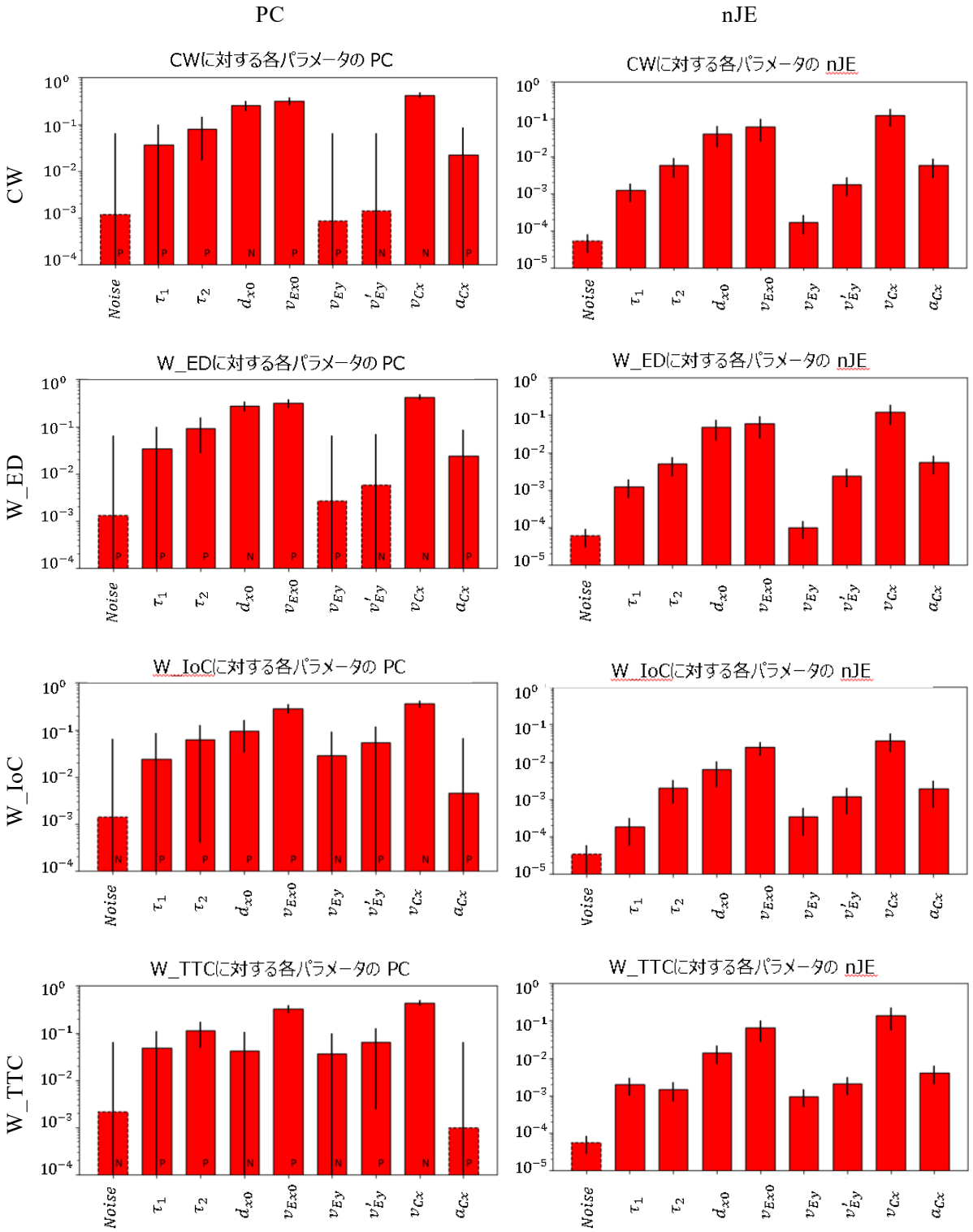


図 3.1.4.8-5　シナリオ 2a の分析結果

結果を見ると、すべての場合で「他車の縦方向速度v_{Cx}」と「自車の初期縦方向速度v_{Ex0}」が大きな影響度を示した。また、PC と W_TTC の組合せの場合を除いて、「自車-他車間の縦方向の初期距離d_{x0}」も大きな影響度を示した。PC と nJE の結果を比較すると、影響度指標の大きさの順序にかなり類似性が見られる。

有意性に関しては、PC と nJE ともに多くのパラメータが 1%有意であることが示された。一部、影響度指標として PC を用いた場合において「自車の車線変更の最大横速度v_{Ey}」と「自車の車線変更中止の最大横速度v'_{Ey}」が CW と W_ED の危険度指標を用いた場合、「他車の減速度a_{Cx}」が W_TTC の危険度指標を用いた場合に有意性が見られなかった。

最後にサンプル数が分析に与える影響に関する結果を示す。まず、有意性に関して、サンプル数に対するその推移を図 3.1.4.8-6 に示す。有意性が見られたケースの代表としては「CW に対するd_{x0}」を採用した。有意性が見られなかったケースの代表としては「CW に対するv'_{Ey}」を採用した。ただし、nJE に関しては Noise を除くすべてのケースで有意性が見られたため、「W_IoC に対するv_{Ey}」の結果を示している。

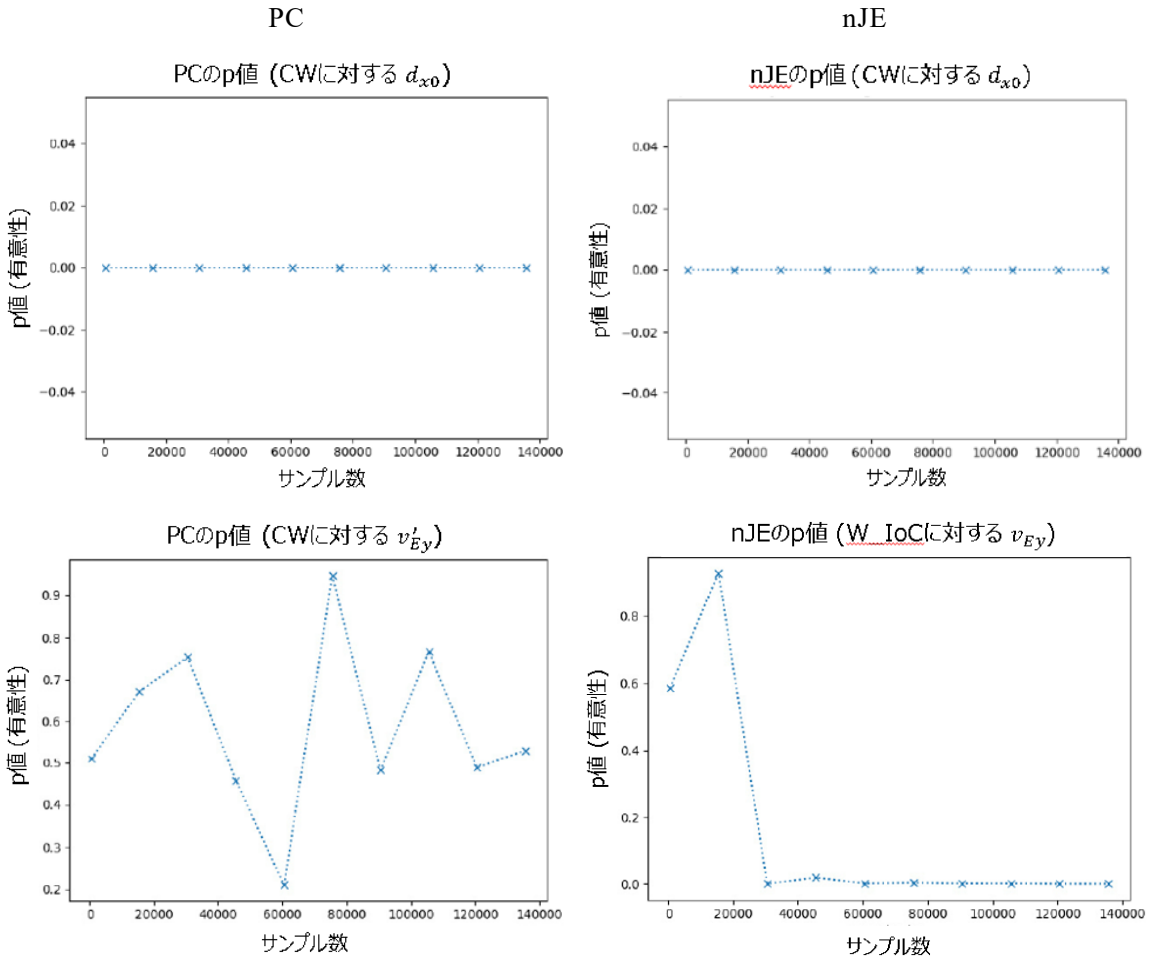


図 3.1.4.8-6　サンプル数に対する p 値（有意性）の推移

有意性が見られた「CW に対するd_{x0}」のケースでは、nJE と PC ともに初期の段階で p 値が 0 近傍に収束した。「W_IoC に対するv_{Ey}」の nJE は初期の段階では p 値が上下していたが、サンプル数が 30,000 件を超えた付近から 0 近傍に収束する傾向が見られた。有意性が見られなかった「CW に対するv'_{Ey}」の PC ではサンプル数が 100,000 件を超えても 0 近傍に収束する傾向は見られなかった。

【シナリオ 2a における結果考察】

シナリオ 1 と同様に、シナリオ 2a でも「他車の縦方向速度v_{Cx}」「自車の初期縦方向速度v_{Ex0}」「自車-他車間の縦方向の初期距離d_{x0}」の 3 つのパラメータは高い影響があるという結果が得られた。「フェーズ 2 の期間長τ_2」や「他車の減速度a_{Cx}」などの他のパラメータに関してもシナリオ 1 とほぼ同様の結果が得られた。

シナリオ 2a で特徴的なパラメータとしては「自車の車線変更の最大横速度v_{Ey}」と「自車の車線変更中止の最大横速度v'_{Ey}」がある。v_{Ey}はシナリオ 1 にも含まれるが、シナリオ 1 では車線変更が他車の走行車線から離脱することになるのに対し、シナリオ 2a では車線変更が他車の走行車線に進入することになる点が大きく異なる。シナリオ 2a ではv_{Ey}の絶対値が大きいほど短時間で他車の走行車線の深部まで進むことになるため、この絶対値が増加するほど危険度が増加すると考えられる。v'_{Ey}は車線変更を中止する際の速度に関するパラメータであり、この速度の絶対値が大きいほど短時間で他車の走行車線から離脱することになるため、この絶対値が増加するほど危険度が減少すると考えられる。PC の結果を見ると W_IoC と W_TTC では有意性が見られたが、CW や W_ED では有意性が見られなかった。nJE の結果を見るといずれの危険度指標でも有意性が見られたが他のパラメータと比較してその影響度は小さかった。車線変更時や車線変更中止時の横速度は他のパラメータと比較してわずかな影響しか有さないパラメータであるというこの結果は、人間の直感的解釈と照合しても納得できる。

また、シナリオ 2a では車線変更の中止のほか、距離が短く、速度差が大きい場合のすり抜け回避などの例外的なケースがあり、それによってパラメータの変化に対して危険度が非単調に変化しうることから、非単調な影響を考慮できない PC などの影響度指標が有効でないことが懸念され、d_{x0}、v_{Cx}、v_{Ex0}などのパラメータの影響度が低くなる、または、有意性が損なわれることが予想された。しかし、結果としては、PC の影響度が顕著に低くなる（nJE との比で見た場合も含む）状況や、その有意性が損なわれる状況は生じず、サンプル数に対する有意性の推移をみても、サンプル数が少ない段階から p 値が 0 近傍に収束しており、大きな変化は見られなかった。すり抜け回避などの例外ケースが占める割合が全領域に対してごくわずかで、線形的な危険度の分布が大勢を占めていたため、影響はなかったものとも考えられる。この点に関しては、例えば、d_{x0}の値がとり得る範囲の下限を負の値まで広げれば PC の結果が変わる可能性がある。

（3）　シナリオ 2b

各パラメータと複合危険度（CW）の二次元散布図を示す（図 3.1.4.8-7）。シナリオ 2b もd_{x0}、v_{Ex0}、v_{Cx}の 3 つのパラメータで偏りが見られるが、その形状はより複雑である。

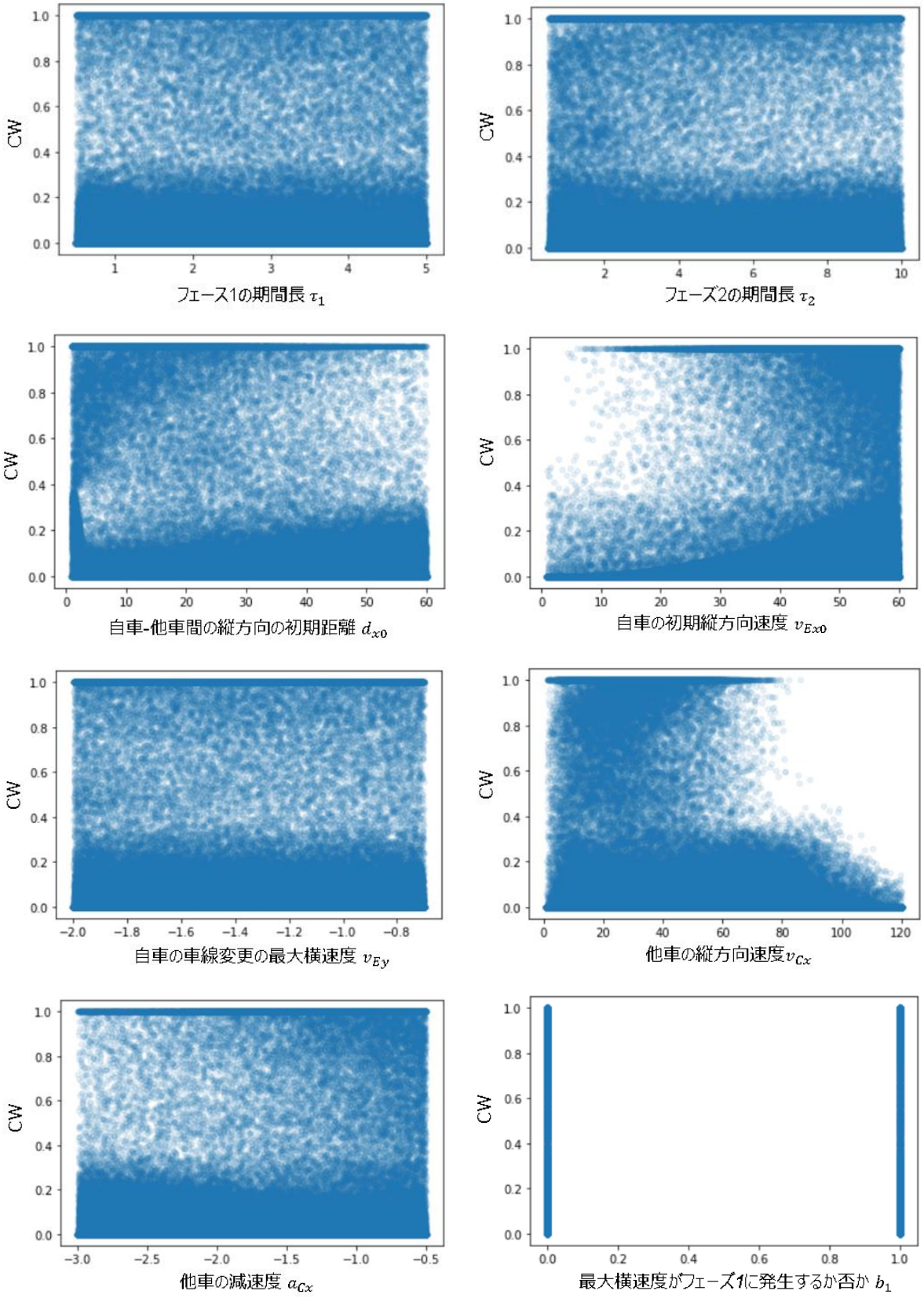


図 3.1.4.8-7　シナリオ 2 のパラメータと CW の散布図

上側と下側で異なる傾向があるように見える。

次に、4 つの危険度指標に対する 2 つの影響度指標の分析結果を図 3.1.4.8-8 に示す。

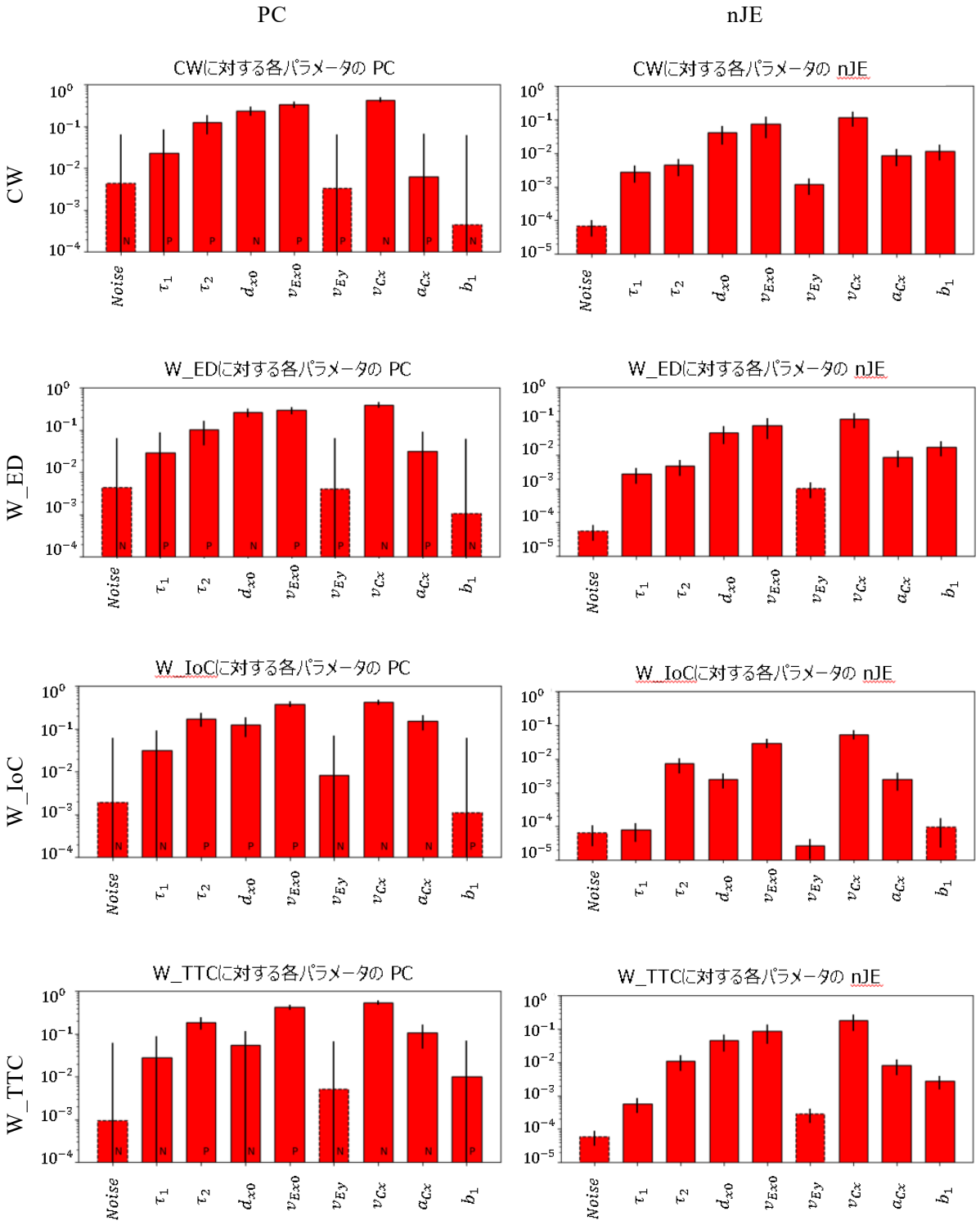


図 3.1.4.8-8　シナリオ 2b の分析結果

結果を見ると、いずれの危険度指標および影響度指標においても「他車の縦方向速度v_{Cx}」と「自車の初期縦方向速度v_{Ex0}」が大きな影響度を示した。また W_IoC と W_TTC

の場合を除いて、「自車-他車間の縦方向の初期距離d_{x0}」も大きな影響度を示した。PC と nJE の結果を比較すると、影響度指標の大きさの値は異なるものの、その順序をみると、多くのパラメータで順序が一致する結果となった。

有意性に関しては PC と nJE ともに多くのパラメータが 1%有意であることが示された。「自車の車線変更の最大横速度v_{Ey}」は危険度として CW、W_ED、W_TTC を用いた場合の PC、および、危険度として W_ED、W_TTC を用いた場合の nJE と、多くの場合で有意性が見られなかった。そのほか、「最大横速度がフェーズ 1 に発生するか b_1」が危険度として CW、W_ED、W_IoC を用いた場合の PC で有意性が見られなかった。

最後にサンプル数が分析に与える影響に関する結果を示す。まず、有意性に関して、サンプル数に対するその推移を図 3.1.4.8-9 に示す。有意性が見られたケースの代表としては「CW に対するd_{x0}」を採用した。有意性が見られなかったケースの代表としては、PC に関しては「CW に対するv_{Ey}」を、nJE に関しては「W_TTC に対するv_{Ey}」を採用した。

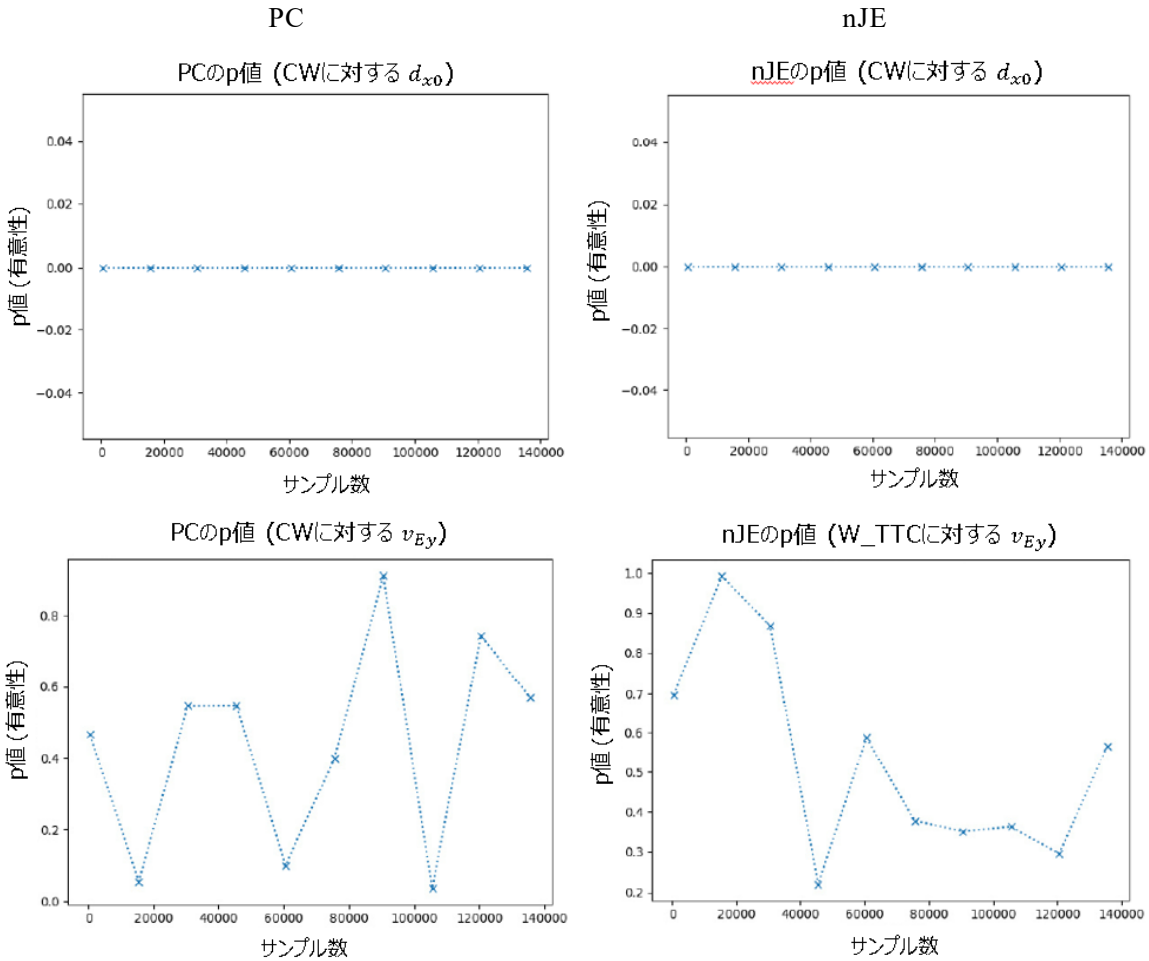


図 3.1.4.8-9　サンプル数に対する p 値（有意性）の推移

有意性が見られた「CW に対するd_{x0}」のケースでは、nJE と PC ともに初期の段階で p 値が 0 近傍に収束した。有意性が見られなかった「CW に対するv_{Ey}」の PC、および、「W_TTC に対するv_{Ey}」ではサンプル数が 100,000 件を超えても 0 近傍に収束する傾向は見られなかった。

【シナリオ 2b における結果考察】

シナリオ 1 や 2a と同様に、シナリオ 2b でも「他車の縦方向速度v_{Cx}」「自車の初期縦方向速度v_{Ex0}」「自車-他車間の縦方向の初期距離d_{x0}」の 3 つのパラメータは高い影響があるという結果が得られた。

シナリオ 2a とシナリオ 2b の違いは「車線変更を強行するか否か」という自車のポリシーのみであり、自車から見た時の外部の振る舞いのパラメータの観点では両者のシナリオは同一のものである。しかしながら、シナリオ 2a とシナリオ 2b の結果には大きな差異が生じている。シナリオ 2b の依存度の傾向は、シナリオ 2a よりもパラメータの構成がほぼ同一のシナリオ 1 の方に近い。特に nJE に関する結果を見ると、シナリオ 2b とシナリオ 1 の影響度の値は CW、W_ED、W_IoC、W_TTC のすべての危険度指標でほぼ同じような値となった（ただし、有意性の結果に関しては一部差がある）。この結果からはクリティカルパラメータ分析の結果は、少なからず自車のポリシーや仕様の影響を受けることを示している。この分析を行う際には自車の仕様の影響を受けることを念頭に置いておく必要があると言える。一方、外部の振る舞いのパラメータだけでなく、自車のポリシーのパラメータを含めれば、そのポリシーのパラメータによる危険度への影響の分析に利用できるとも考えられる。

シナリオ 2b のパラメータとシナリオ 1 のパラメータを比較したとき、特徴的なものとしては「自車の車線変更の最大横速度v_{Ey}」がある。シナリオ 2b のv_{Ey}はシナリオ 2a と同様に車線変更が他車の走行車線に進入することになる点でシナリオ 1 と異なる。シナリオ 1 の場合はその速度の絶対値が大きいほど危険を回避しやすくなるが、シナリオ 2b では必ず車線変更を完了するような自車の振る舞い特性を持つため、一定の絶対値以上の速度があれば（前方へのすり抜け回避の場合を除いて）、常に同様の危険な状況に陥ることが予想される。その特性が反映されたためか、シナリオ 2b では W_ED と W_TTC を用いた場合にv_{Ey}の nJE の有意性が損なわれている。この結果は上述の解釈と一致する。

シナリオ 2b でも距離が短く、速度差が大きい場合にすり抜け回避するケースがあり、d_{x0}、v_{Cx}、v_{Ex0}などのパラメータに関して非単調性が生じ、シナリオ 1 の結果と比較して PC の影響度が低くなることが予想されたが、結果にそれを感じさせる顕著な傾向は見られなかった。これも、シナリオ 2a と同様にすり抜け回避のケースが占める割合が全領域に対してごくわずかだったため、大きな影響はなかったものと思われる。または、車線変更による回避がないため、分布が単調になったことが影響している可能性も考えられる。

3.1.4.9 まとめ

必要な具体シナリオの削減やシナリオのパラメータ設計の説明性向上に向けて、仮想環境を利用して危険に影響するクリティカルなパラメータを評価する手法について検討を行った。危険に影響するパラメータの予想がやや困難なシナリオの例として、自車が車線変更するシナリオを挙げ、そのうち 3 つのシナリオを用いてクリティカルなパラメータの分析のケーススタディを行った。危険性を定量化するため危険度指標 4 つ（CW、W_ED、W_TTC、W_IoC）と各パラメータの危険度指標への影響度の評価指標 2 つ（PC、nJE）を挙げ、それらの指標を用いて分析を行った。

3 つのシナリオのいずれにおいても、選定したパラメータ（ノイズを除く）のほとんどが危険に影響していることが把握できた。また、人間の直感的解釈にも合致するように、自車と他車の距離や速度が他のパラメータと比較して特に強い影響をもつパラメータであることが明らかとなった。一方で、他車の減速度や減速開始までの時間などは危険度への影響はあるものの、その影響度は比較的小さいということが明らかとなった。特に、ノイズや一部のケースの自車の横速度などの有意性が見られなかったパラメータに関しては、影響がないことを確認することができた。これらの結果は、影響がない、または、影響度が低いパラメータに対して、値を固定して危険領域の分析を行う、分割数を削減する、などのパラメータ設計の判断に役立つ。

また、自車のポリシーや仕様が危険度やパラメータの影響度の分析結果に影響を与えること、自車のポリシーのパラメータが危険にどれほど影響を与えるかの分析にも本手法が利用できる可能性があることが示唆された。

依存度指標に関しては PC と nJE の両方が同様の影響度を示し、両者とも影響度の判断に利用できる可能性が示された。

今回の検討では、パラメータの範囲を変化させることによる影響や、具体的な危険度の分布形状の変化による影響がどのような分析結果の変化をもたらすかについては、詳細な調査に至っていない。パラメータの危険への影響度の分析を行う際には、疑わしいパラメータをできるだけ多く含め、各パラメータの範囲をできるだけ広くとった上で行うことが望ましいため、パラメータの数を増やすことやパラメータの範囲を拡大することが、分析結果の安定性に与える影響について検討の余地がある。

また、今回のケーススタディでは 3 つの車線変更のシナリオを扱ったが、パラメータの数や危険度分布の複雑性という観点では顕著な差がなかった可能性があるため、より複雑なシナリオでの適用事例の蓄積も重要である。

今回は主にパラメータの危険度の影響の大きさを評価の対象としたが、影響の大きさを把握するだけでなく、各パラメータの危険度の変化に対する危険度の変化の特徴を把握することも重要である。例えば、あるパラメータの変化に対する危険度の変化が単調増加（減少）であることがわかれば、危険な領域を見つけるときには、そのパラメータの値より大きい（小さい）領域だけを見ればよくなる。客観的なパラメータ領域の設計という意味では、そのような視点の分析や評価も重要になるため、今後検討の余地がある。

参考文献

[1] Wassily Hoeffding. "Probability Inequalities for Sums of Bounded Random Variables." Journal of the American Statistical Association, Vol. 58, No. 301 （Mar., 1963）, pp. 13-30 （18 pages）, Published By: Taylor & Francis, Ltd.

[2] Claude E. Shannon and Warren Weaver. "The Mathematical Theory of Communication." The University Of Illinois Press （1964）.

3.2　回避可能な範囲の特定

本節では、自動運転システムに求められる安全性を判断するために必要となる回避可能な範囲を特定する考え方・手法・エビデンスとなる実験結果について述べる。回避可能な範囲を特定する考え方にはさまざまなものが存在するが、現時点ではヒューマンドライバと比較する考え方が、国際的な安全性議論におけるひとつの基本となっている[1]。SAKURA プロジェクトでは先行研究を参考にして、ヒューマンドライバと比較を行うことで安全性を判断するアプローチを採用している。この考え方に基づいて日本が提案した「注意深く有能な運転者（Competent and Careful Human Driver）」の行動モデルは UN-R157 の Automated Lane Keeping System（以下、「ALKS」という）の安全性判断クライテリアとして収録されている[2][3]。

国際的な動向として ALKS の機能を拡張する議論が進み、作動領域の速度（60km/h から 130km/h）と自車レーンチェンジ機能の追加が行われた。自車レーンチェンジ機能の安全性を評価するシナリオのなかには、後方車ドライバの行動モデルを定義する必要のあるシナリオが存在した。このとき、自車レーンチェンジ時には後方車の進行を妨害してはならないことが求められるため、「注意深く有能な運転者」とは異なる前提でクライテリアが定められた[4]。

このように自動運転車の立場によって求められる安全性が変わる側面がある。したがって、今後の一般道評価ではさらに複雑な関係が想定されるため、クライテリアの考え方をあらためて明確に定める必要がある。また、この考え方を国際会議等で適宜説明・意見交換を重ねることで国際的な協調を図っていくことも重要である。

3.2.1　自動運転車の立場によって変わるクライテリアの考え方

安全性評価を実施するシナリオは 2 つの交通参加者の相対関係によって定められる。このとき、自動運転車がどちらの立場でそのシナリオに遭遇するかによって求められる安全性が変わる側面がある。この側面は自動運転車が登場したことで新たに発生したものではなく、従来の手動運転車同士が関係する場合にも共通のものといえる。

図 3.2.1-1 は、自動運転車が単路をレーンキープしているところへ他車が自動運転車の前方にレーンチェンジするシナリオである。このとき、自動運転車の進路に他車が進入することとなり、自動運転車が取るべき振る舞いは他車との衝突を回避することが求められる。自動運転車に求められる能力は可能な限り衝突回避できることであり、その水準は UN-R157 において検討されたように「注意深く有能な運転者」と同等以上が求められる。

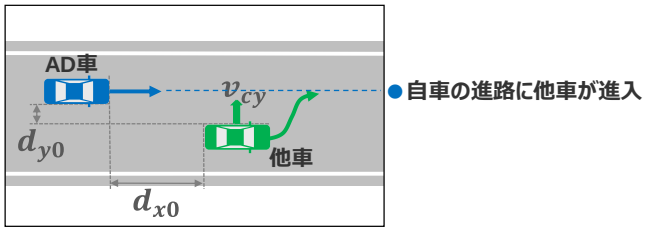


図 3.2.1-1　自車レーンキープ×他車レーンチェンジのシナリオ

一方、図 3.2.1-2 は、自動運転車と他車の立場が反転し、他車が単路をレーンキープしているところへ自動運転車が他車の前方にレーンチェンジするシナリオである。このとき、自動運転車は他車の進路へ進入する側となり、自動運転車が取るべき振る舞いは他車との衝突回避だけでなく、他車の進路を妨害しないことも求められる。道路交通法[5]では、第 1 章第 2 条において進行妨害を「車両等が、進行を継続し、又は始めた場合においては危険を防止するため他の車両等がその速度又は方向を急に変更しなければならないこととなるおそれがあるときに、その進行を継続し、又は始めることをいう。」と定義している。

したがって、自動運転車がレーンチェンジを行うシナリオにおいて後方車ドライバの進行妨害を定量化することが求められ、UN-R157 の ALKS が拡張される議論においてもドライビングシミュレータを用いた実験データの分析結果などに基づいて具体化された経緯があった[6]。もし他車の進路を妨害する可能性がある場合には自動運転車にはレーンチェンジを実行せずに中止することが求められる。

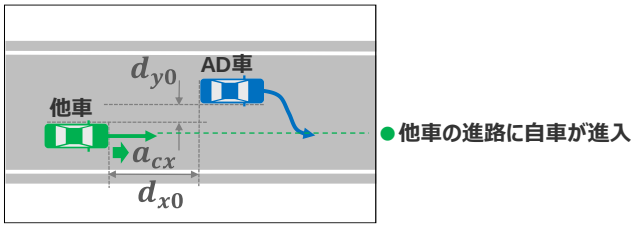


図 3.2.1-2　自車レーンチェンジ×他車レーンキープのシナリオ

このような関係は、一般道においても考慮していく必要があり、交差点において直進車と右折車が交錯するシナリオ（図 3.2.1-3）を例に述べる。自動運転車が直進するケースにおいては、右折をする他車が自動運転車の進路に進入する立場になるため、自動運転車は「注意深く有能な運転者」と同等以上の衝突回避能力が求められる。一方、自動運転者が右折するケースにおいては、右折をする自動運転車が他車の進路へ進入する立場に変わるため、自動運転車は直進車の進行を妨害しないことが求められる。

安全性判断のためのクライテリアを具体化するためには、単路のレーンチェンジとの差異を考慮する必要がある。具体的には、直進時の衝突回避能力を対象とする場合は交差点直進時に右折車と衝突する危険性を判断するタイミングの調査が必要であり、右折時に進行を妨害しないことを対象とする場合は交差点直進車のドライバがどのような状況を進行妨害と感じるかの調査が必要である。

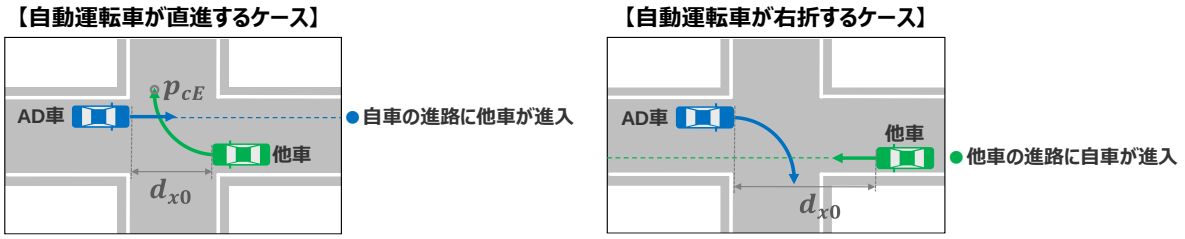


図 3.2.1-3　交差点における直進車×右折車のシナリオ

単路におけるレーンチェンジ、交差点における右折を例にして説明したが、一般道評価

のためには図 3.2.1-4 に示す 58 パターンの交通外乱シナリオに対応していく必要がある。自動車専用道路の 24 シナリオと共通のものに関しては同じ考え方でクライテリアを具体化することが可能であるが、一般道に特有のシナリオ（交差点シナリオ、対向側から他車が接近するシナリオなど）は同じ考え方が適用できない可能性が高く、シナリオごとに自動運転車の立場によって求められる振る舞いを明確にする必要がある。

また、このシナリオは対四輪車について定義されたものであり、一般道を走行する場合には対歩行者や対自転車といった交通弱者との交錯を対象としたシナリオを定義する計画である。歩行者については道路交通法[5]の第 1 章第 9 条（歩行者用道路を通行する車両の義務）、第 2 章（歩行者の通行方法）、第 3 章第 6 節の 2（横断歩行者等の保護のための通行方法）に関連する記載があり、自転車については同法の第 3 章第 13 節（自転車の交通方法の特例）に関連する記載がある。対歩行者や対自転車のクライテリアを具体化するためには、これらの記載内容を前提に自動運転車側に求められる振る舞いを検討する。

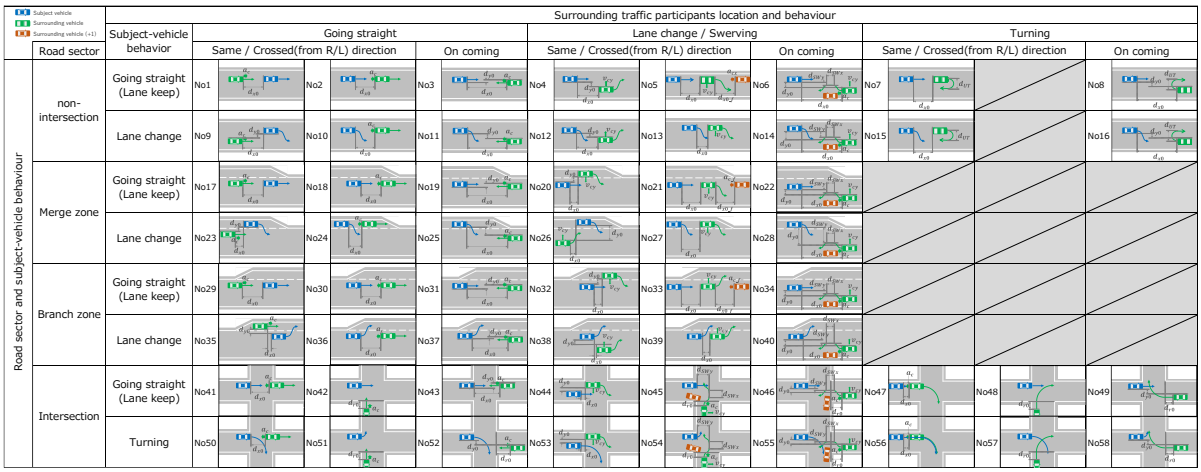


図 3.2.1-4　一般道の交通外乱シナリオ（対四輪車）（再掲）

以上の自動運転車が立場によって求められる安全性が異なることについて、単路におけるレーンチェンジと交差点における右折を対象にまとめたものを図 3.2.1-5 に示す。

単路および交差点において自動運転車がレーンキープや直進をするシナリオの場合、自動運転車の進路に進入する他車との衝突を回避できることが自動運転車側の備えるべき安全性となる。自動運転車がレーンチェンジや右折をするシナリオの場合、他車の進路に進入する自動運転車の振る舞いが原因で他車の進行を妨害しないことが自動運転車側の備えるべき安全性となる。

したがって、安全性を判断するためのクライテリアを具体化するためには、自車がレーンキープ・直進をするシナリオでは他車のカットイン・右折に対して注意深く有能な運転者の衝突回避行動をモデル化することが課題となる一方、自車がレーンチェンジ・右折をするシナリオでは他車ドライバが進行を妨害されると感じる自車の振る舞いをモデル化することが課題となる。

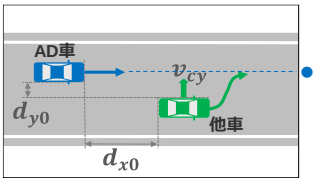
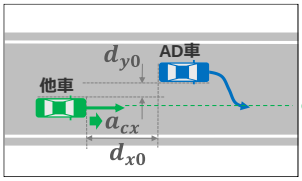
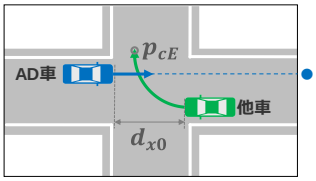
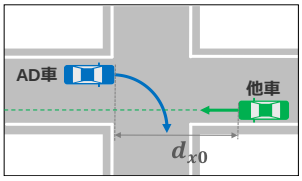
	自車がレーンキープ/直進をするシナリオ　立場の反転　自車がレーンチェンジ/右折をするシナリオ	
単路	 ●自車の進路に他車が進入	 ●他車の進路に自車が進入
交差点	 ●自車の進路に他車が進入	 ●他車の進路に自車が進入
備えるべき安全性	【衝突を回避できること】 他車のカットイン・右折に対して，注意深く有能なドライバよりも回避できること	【レーンチェンジ/右折を中止すること】 他車との衝突/妨害のおそれがある場合は中止できること 【レーンチェンジ/右折を実行すること】 他車との衝突/妨害が生じないように実行できること
課題	注意深く有能なドライバの衝突回避行動のモデル化	他車ドライバが妨害と感じる自車のふるまいのモデル化

図 3.2.1-5　自動運転車の立場によって変化する求められる安全性

表 3.2.1-1 は、交差点右折時に右折車と直進車にそれぞれ道路交通法が規定する内容を示している。右折車に対しては第 37 条（交差点における通行方法等）で「当該交差点において直進し、又は左折しようとする車両等があるときは、当該車両等の進行妨害をしてはならない」ことが規定されている。また、進行妨害については第 2 条 1 項 22 号で「車両等が、進行を継続し、又は始めた場合においては危険を防止するため他の車両等がその速度又は歩行を急に変更しなければならないこととなるおそれがあるときに、その進行を継続し、又は始めることをいう」と定義されている。一方、直進車も第 36 条 4 項において「右折する車両等に特に注意し、かつ、できる限り安全な速度と方法で進行しなければならない」ことが規定されている。

道路交通法をはじめとする関連法規が規定する内容は、安全性を判断するためのクライテリアを具体化するための要件として重要であり、さまざまなシナリオに共通する要件と個別の要件の双方の観点で整理することが必要である。

表 3.2.1-1　右折車・直進車に対して道路交通法が規定する内容[5]

当事者	該当する道路交通法	説明
右折車	**第37条** (交差点における通行方法等)	車両等は、交差点で右折する場合において、当該交差点において直進し、又は左折しようとする車両等があるときは、**当該車両等の進行妨害をしてはならない**
	第2条1項22号 (定義：進行妨害)	車両等が、進行を継続し、又は始めた場合においては危険を防止するため**他の車両等がその速度又は方向を急に変更しなければならないこととなるおそれがあるとき**に、その進行を継続し、又は始めることをいう
直進車	**第36条4項** (交差点における通行方法等)	車両等は、交差点に入ろうとし、及び交差点内を通行するときは、当該交差点の状況に応じ、交差道路を通行する車両等、反対方向から進行してきて**右折する車両**等及び当該交差点又はその直近で道路を横断する歩行者に**特に注意し、かつ、できる限り安全な速度と方法で進行しなければならない**

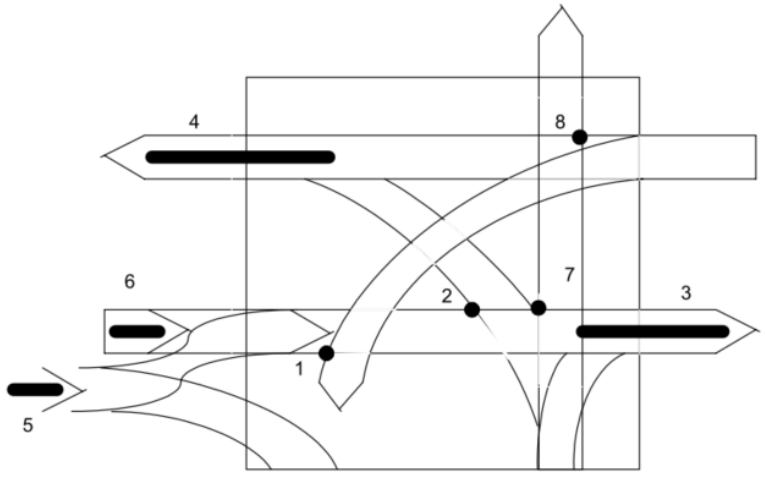
3.2.2　安全性を定量化するための評価手法・評価指標

3.2.2.1　二台の車両の相対関係に基づく安全性評価手法

自動運転車の安全性評価を実施するためにはシナリオごとに二つ以上の交通参加者が衝突する可能性を定量的に表すことが必要である。図 3.2.1-4 で示したように、対四輪車のシナリオについてそれぞれ衝突する可能性を定量的に評価する手法を用意する。今後の一般道評価を進めるためには、交差点におけるシナリオを中心とした新たに追加されたシナリオに対応しなければならない。米国運輸省において、交差点において発生しうる交錯事象を定量的に評価する考え方が検討された事例があり、一般道評価のために参考となる手法がまとめられている[7]。

図 3.2.2.1-1 は、交差点などの安全性評価の対象となる状況の交錯ポイントと交錯ラインを示している。なお、これは米国の検討事例であるため、車両が道路の右側を通行するなどの点で日本と異なる点に留意する必要がある。図 3.2.2.1-1 中の 1～8 が交錯ポイントを示しており、それぞれの矢印記号が交錯ラインを示している。1、2、7、8 番は交差時の交錯を示しており、他に比べて交錯する時間が短い特徴を反映するためにポイントで表現されている。3、4 は右折あるいは左折をした後に後方から接近する車との交錯を示している。5 は車線変更後に後方から接近する車との交錯を示している。6 は前方に車線変更をした他車との交錯を示している。

本報告書[7]では、この検討においては側面衝突・正面衝突・速度超過による車線逸脱・歩行者・U ターンなどの事故は対象外としているため、これら対象外の事故を評価対象とする場合は別途検討が必要である。



【対象】
1/2/7/8：交差時の衝突(直進/左折)
3/4　：左折および右折をした後の追突
5　：車線変更後の後方からの衝突
6　：前方に車線変更された後の追突

【除外】
側面衝突/正面衝突/速度超過による逸脱/歩行者/Uターンの事故など

図 3.2.2.1-1　交錯ポイントと交錯ライン[7]

図 3.2.2.1-2 は、交差シナリオにおける時系列の安全性評価手法の例を示している。交差車両（Crossing Vehicle）と直進車両（Through Vehicle）が交錯するポイント（Conflict point）を定め、そのポイントに向かって双方が相対的に接近する状況を t1～t5 の 5 つのタイミングで整理している。t1 が侵入開始（Encroachment begin）、t2 が直進車のブレーキ開始（Vehicle begins braking）、t3 が侵入終了（Encroachment ends）、t4 が交錯ポイント到達予測タイミング（Projected arrival at conflict point）、t5 が交錯ポイント実到達タイミング（Actual arrival at conflict point）である。

交差シナリオの場合、交差車両の交錯ポイントへの侵入が開始してから終了するまで（t1～t3）が直進車両と衝突する可能性のある時間といえる。もし直進車両が交錯ポイントに t1～t3 の間に到達してしまうと衝突が発生するが、図にあるように t4 や t5 のようなタイミングであれば衝突は発生しない。一般に直進車両は交差車両に対して優先権のあることが多いため、表 3.2.1-1 が示すように交差車両には直進車両の進行を妨害しないことが求められる。したがって、図が示すように t4 のように交差車両の振る舞いが原因で直進車両に減速を強いることは避けるべきといえる。交差車両が交差点を通過する際には直進車両が通過するタイミングとの適切な余裕を確保することが求められ、適切な余裕をどのような評価指標で測り、かつ、どの程度の水準の確保が望ましいのかを明らかにすることが課題である。

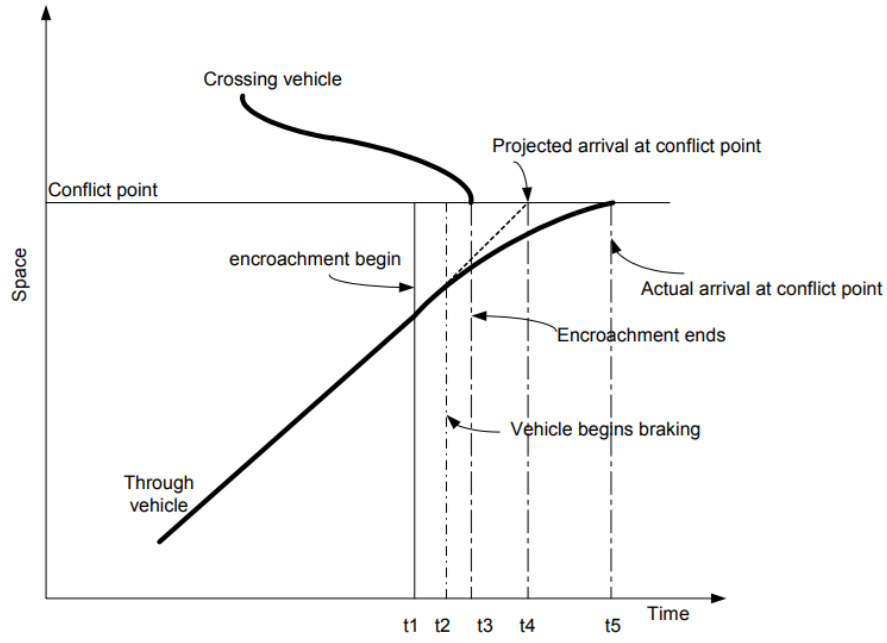


図 3.2.2.1-2　交差シナリオにおける時系列の安全性評価手法の例[7]

図 3.2.2.1-3 は、合流シナリオにおける時系列の安全性評価手法の例を示している。旋回車両（Turning vehicle：他車の進路に進入する車両）と直進車両（Through vehicle）の進路が重なり、合流した後に旋回車両を直進車両が追従する状況を t1～t9 の 9 つのタイミングで整理している。t1 が侵入開始（Start of encroachment）、t2 が直進車両の減速開始（Deceleration reaction）、t3 が旋回車両が交錯ポイントに到達したタイミング、t4 が旋回車

両の加速終了（Turning vehicle stops acceleration）、t5 が交錯ポイントの 1 回目の到達予測タイミング（Projected time to reach first conflict point）、t6 が交錯ポイントの最遠地点に旋回車両が到達したタイミング、t7 が交錯ポイントの 2 回目の到達予測タイミング（Projected time to reach second conflict point）、t8 が直進車両が交錯ポイントに実際に到達したタイミング、t9 が交錯ポイントの最遠地点に直進車両が到達したタイミング（Through vehicle reaches maximum conflict distance）である。

合流シナリオの場合、旋回車両と直進車両が最終的に同じ車線に合流し、直進車両が旋回車両の後方を追従することになる。したがって、合流時には旋回車両は衝突を回避することだけでなく、最終的に追従する際に適切な余裕を直進車両に対して確保できることが求められる。交差シナリオと同様に、旋回車両が交差点に進入する際には直進車両が最終的に追従するための適切な余裕を確保すべきであり、適切な余裕とはどのような評価指標で測り、かつ、どの程度の水準の確保が望ましいのかを明らかにすることが課題である。

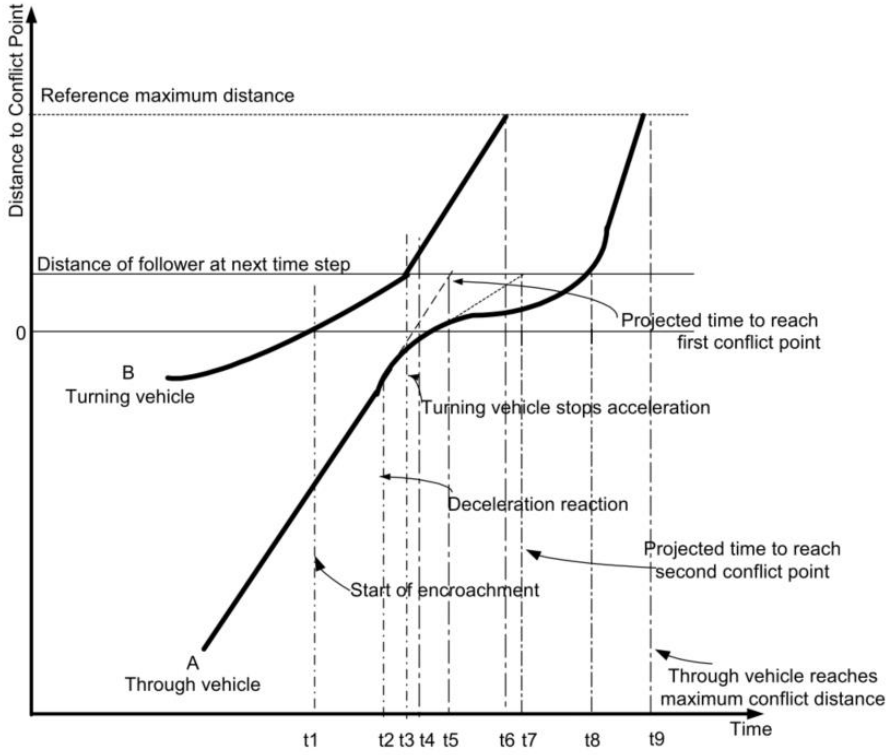


図 3.2.2.1-3　合流シナリオにおける時系列の安全性評価手法の例[7]

図 3.2.2.1-4 は、追従シナリオにおける時系列の安全性評価手法の例を示している。先行車両（Leading vehicle）と後続車両（Following vehicle）がともに減速した後に先行車両を後続車両が追従する状況を t1～t8 の 8 つのタイミングで整理している。t1 が先行車両の減速開始（Start of deceleration）、t2 が後続車両の減速開始（Deceleration reaction）、t3 と t6 は計算において便宜的に設けるタイミング、t4 が後続車両の交錯ポイント到達予測タイミング、t5 が先行車両の t3 時点の位置に後続車両が到達する予測タイミング、t7 が先行車両が走行車線から離脱するタイミング（Leader turns off road）、t8 が先行車両の t6 時点の位置に後続車両が到達する予測タイミングである。

二台の車両が追従する場合、自動運転車には主にさまざまな条件で減速をする先行車両に衝突しないことが求められると考えられる。したがって、自動運転車には従来検討された「注意深く有能な運転者」と同等以上の衝突回避能力が備えられているかが評価対象となる。

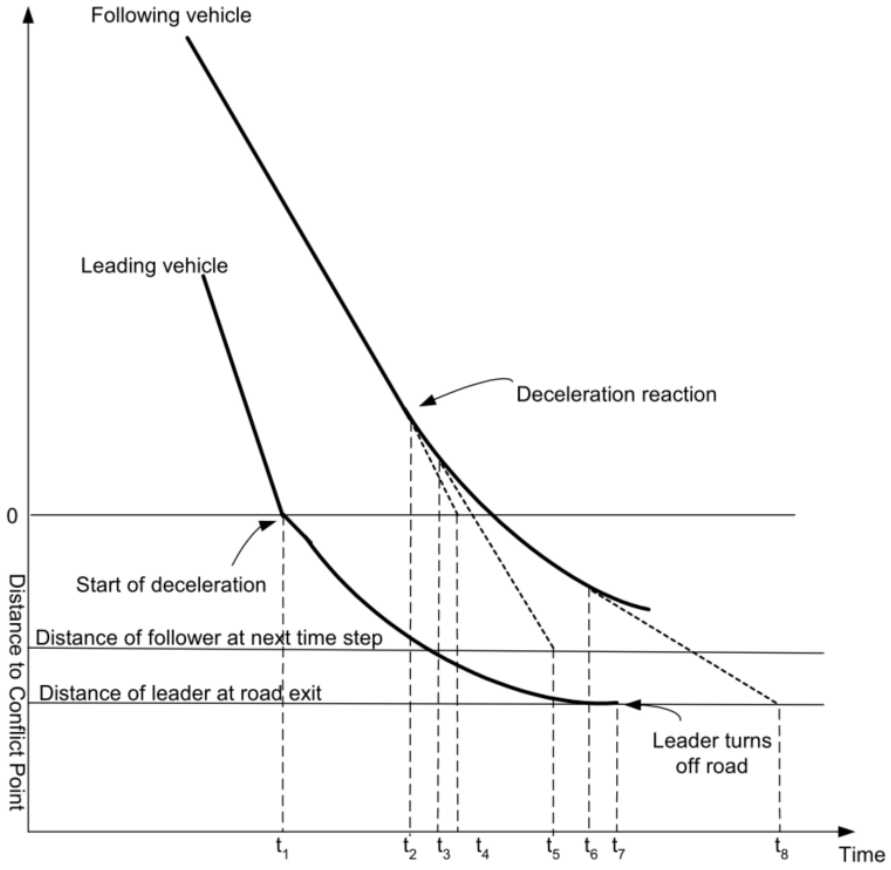


図 3.2.2.1-4　追従シナリオにおける時系列の安全性評価手法の例[7]

以上、米国運輸省において先行的に検討された内容は、今後の一般道評価で対象となるシナリオへ適用するにあたって参考となるものといえる。とりわけ、交差シナリオと合流シナリオについての検討内容は、自動運転車が他車の進路へ進入する立場で安全性が評価されるため、他車との衝突を回避することだけではなく、他車の進行を妨害しないことを考慮するために有用である。

それぞれのシナリオにおいて、二台の車両の相対関係を時系列で整理し、そのうえで各タイミングの相対関係を表す物理量（相対距離や相対速度など）を用いて危険性を定量化することが安全性評価の要諦となる。したがって、相対関係を表す物理量をどのように組み合わせて危険性を評価したり、他車ドライバが進行を妨害されたと主観的に感じる度合いを評価したりできる手法を用意することが重要である。

3.2.2.2 安全性評価指標の研究動向の調査

前述したように、安全性を評価するにあたっては、衝突する危険性の高さや他車ドライバが進行を妨害されたと感じる度合いを定量化できる手法を用意することが必要である。このような観点で検討された評価指標に関する研究は従来から取り組まれており、その代表例として衝突余裕時間（Time to Collision：TTC）、車間時間（Time HeadWay：THW）といった評価指標が挙げられる。これらの評価指標は、追従時の危険性の評価やドライバのブレーキタイミングの説明のために用いられ、実用化・普及拡大が進んでいる衝突被害軽減ブレーキ（Automatic Emergency Braking : AEB）や、定速走行・車間距離制御装置（Adaptive Cruise Control：ACC）といった運転支援システムの制御に採用されている。

TTC は相対距離 m を相対速度 m/s で除することで時間 s の単位で相対速度が維持された場合の衝突する時間を予測し、THW は相対距離 m を追従車両の速度 m/s で除することで時間 s の単位で現状の先行車両の位置に現時点の速度で追従車両が到達する時間を予測するものである。これらの値をドライバの認知特性に置き換えた場合、TTC はブレーキを操作するタイミング、THW は追従中に先行車両に対して確保したい余裕の度合いを代替できるという意味で評価指標を「Surrogate safety metrics」と呼称することがある。

米国運輸省の報告書において代表的な安全性評価指標が表 3.2.2.2-1 のようにまとめられている。旋回車両の交錯ポイントへの侵入完了から直進車両が到達するまでの時間差を示す Gap Time（GT）をはじめ、Encroachment Time（ET）、Post-Encroachment Time（PET）、Initially Attempted Post-Encroachment Time（IAPT）、Time to Collision（TTC）は時間 s の単位で定量化を行う。その他、Deceleration Rate（DR）は衝突回避のために必要な減速度 m/s^2 の単位、Proportion of Stopping Distance（PSD）は衝突予測地点までの距離に対する制動距離の比で定量化を行う。このように、時間という単位で安全性を評価する指標が多い点が特徴といえる。

このような安全性を測るための評価指標は事故解析や安全対策立案において有用なものである一方、それぞれの評価指標のねらい・定義の正確な理解に基づいて適用することが重要である[8]．不正確な理解に基づいて適用してしまうと、その評価指標を適用すべきでない状況や条件に適用してしまうことが懸念されるためである。このような安全性評価のための評価指標の特性を正しく理解しようといった取組みは、ドイツ VVM プロジェクトにおいてもなされている[9]。Westhofen らは、図 3.2.2.2-1 が示すように衝突余裕時間を用いた評価が適したケース（先行車両に追従するケースの評価）と適さないケース（隣接車線を走行するケースの評価、交差点において直進車両と旋回車両が遭遇するケースの評価）を例示している。

表 3.2.2.2-1　代表的な安全性評価指標の一覧表[7]

Surrogate Conflict Measure	Description
Gap Time (GT)	Time lapse between completion of encroachment by turning vehicle and the arrival time of crossing vehicle if they continue with same speed and path.
Encroachment Time (ET)	Time duration during which the turning vehicle infringes upon the right-of-way of through vehicle.
Deceleration Rate (DR)	Rate at which crossing vehicle must decelerate to avoid collision.
Proportion of Stopping Distance (PSD)	Ratio of distance available to maneuver to the distance remaining to the projected location of collision.
Post-Encroachment Time (PET)	Time lapse between end of encroachment of turning vehicle and the time that the through vehicle actually arrives at the potential point of collision.
Initially Attempted Post-Encroachment Time (IAPT)	Time lapse between commencement of encroachment by turning vehicle plus the expected time for the through vehicle to reach the point of collision and the completion time of encroachment by turning vehicle.
Time to Collision (TTC)	Expected time for two vehicles to collide if they remain at their present speed and on the same path.

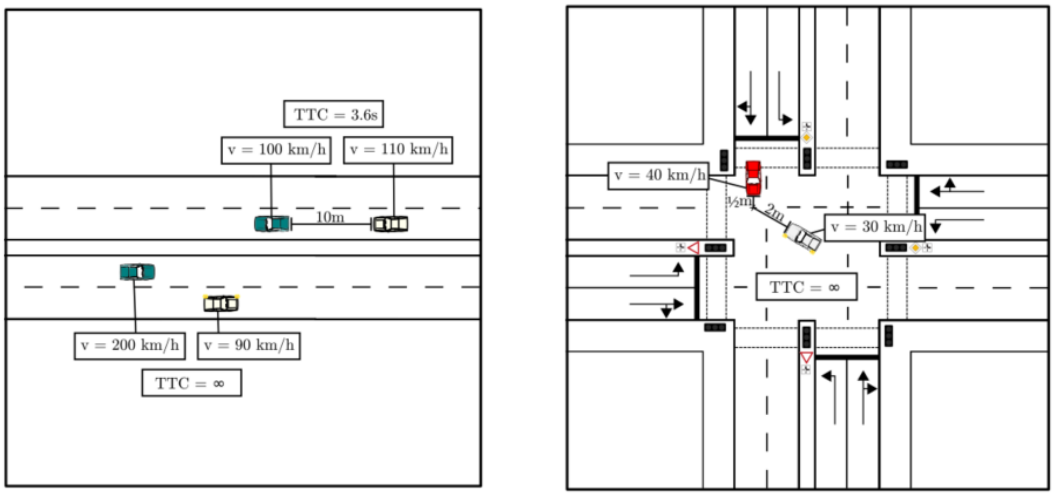


図 3.2.2.2-1　衝突余裕時間を用いた評価が適したケースと適さないケースの例[9]

この論文[9]では安全性評価の評価指標を広範囲に調査しており、図 3.2.2.2-2 に示すように 43 種類もの評価指標を調査した結果がまとめられている。43 種類の評価指標について、どのような単位で結果が出力されるのかという観点でまとめると、時間 s が 16 種類（37%）、距離 m が 4 種類（9%）、速度 m/s が 2 種類（5%）、加速度 m/s^2 が 4 種類（9%）、躍度 m/s^3 が 2 種類（4%）、指標が 10 種類（23%）、確率が 3 種類（7%）、潜在性が 2 種類（4%）であった。

米国・ドイツの技術資料を参照する限り、時間の単位で安全性を評価することが多いといえる。ただし、時間の単位の評価指標のなかには、衝突余裕時間の概念の改良・仮定の追加などによって派生したものも含まれているため、一概に時間の単位で結果を出力することが一般的であるとはいえない。

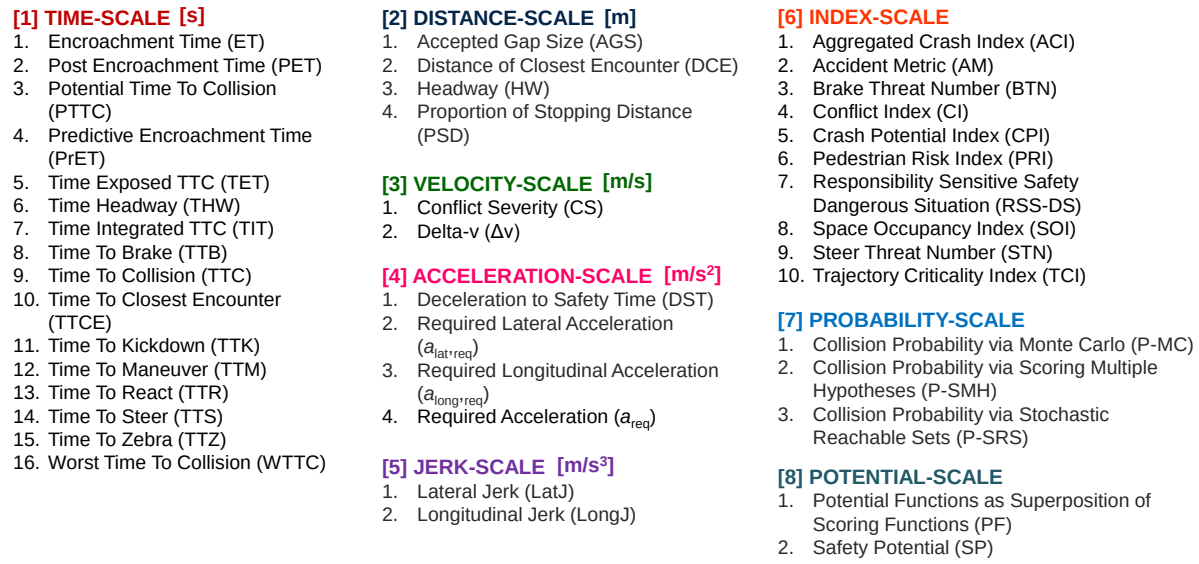


図 3.2.2.2-2　ドイツの研究論文が調査対象とした 43 種類の安全性評価指標

図 3.2.2.2-3 は、ドイツの研究論文[9]において調査された評価指標の相関図である。凡例にあるように、2 つの評価指標（指標 A と指標 B）の関係を 7 種類の形式で分類している。

1) A の算出に B を用いる
2) A は B に含まれる
3) A は B が具体化されたもの
4) A は B の予測モデルといえるもの
5) A と B はアナログ的に定義される
6) A と B の定義は類似している
7) A と B の関連性は小さい

といった観点でまとめられている。

前述したように、衝突余裕時間（TTC）のような時間の単位で出力される指標は多いが、相関図を見ると TTC に関連した評価指標が多いことが分かる。例えば、Time to Maneuver（TTM）は衝突回避のためのドライバの操作タイミングに関するもので TTC の値を計算に用いている指標である。さらに、TTM は衝突回避のための操作によって分かれており、

ブレーキに関する Time to Brake（TTB）、キックダウンに関する TTK（Time to Kickdown）、ステアリングに関する Time to Steering（TTS）、操作全体に関する Time to React（TTR）に分かれる。このように、相関図を参照することによって、さまざまな評価指標との関係性を有している指標（TTC など）を見分けることができ、現状提案されている評価指標のベースを把握することができる。

国土交通省のガイドラインは、自動運転車が満たすべき車両安全の定義を「自動運転車の運行設計領域において、自動運転システムが引き起こす人身事故であって合理的に予見される防止可能な事故が生じないこと」と定めている。したがって、安全性評価を実施するにあたっては、衝突が起きる可能性の高さを評価できることと、その衝突によって人身事故に波及する可能性の高さを評価できることが求められるといえる。

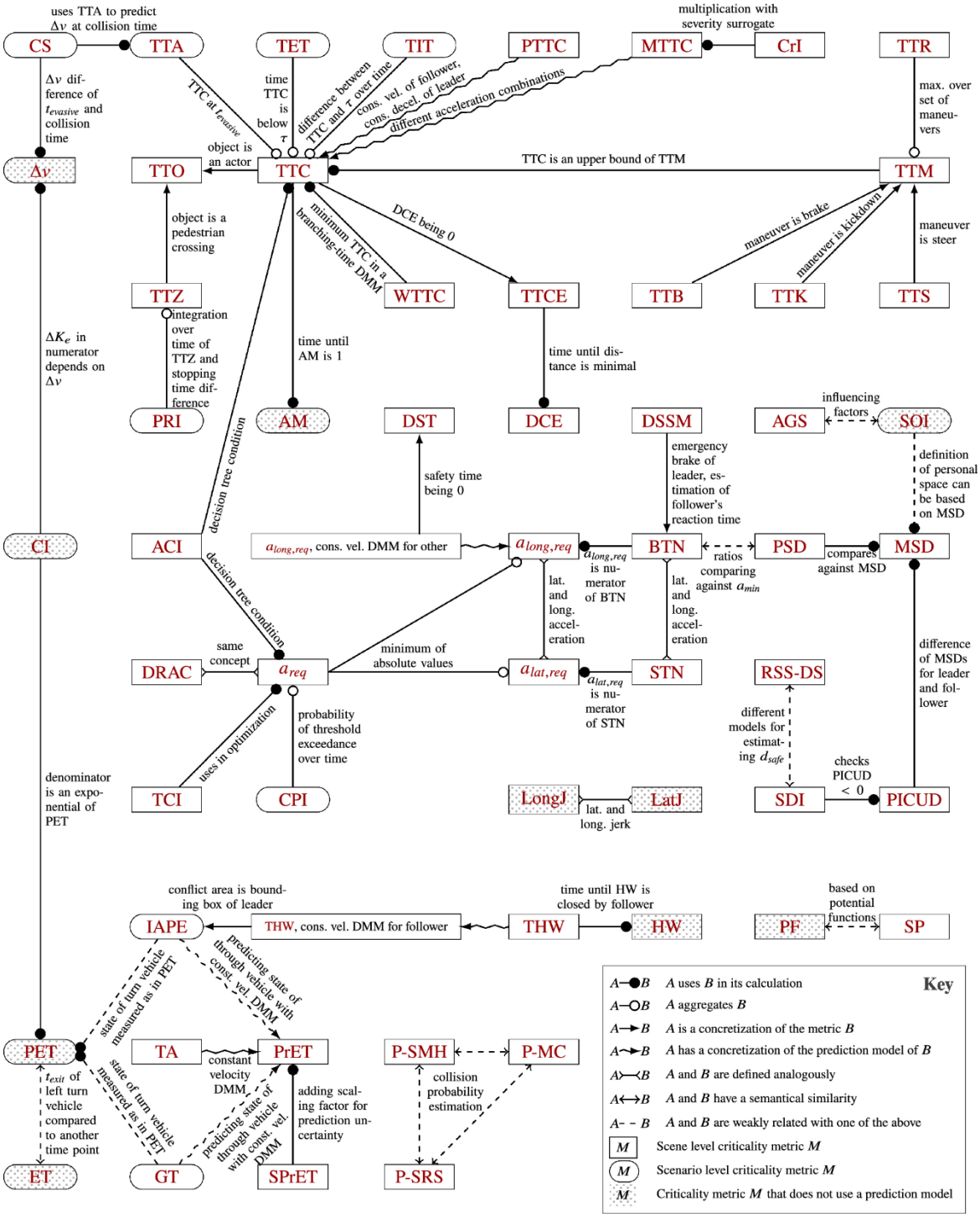


図 3.2.2.2-3　安全性評価指標の相関図[9]

自動運転車の安全性評価手法には、衝突する可能性の高さとその衝突によって人身事故に波及する可能性の高さの双方を評価できることが求められる。また、人身事故になるかどうかを評価すべき対象として自車乗員、他車乗員、歩行者・自転車乗員などが想定されるため、衝突形態・衝突条件・衝突対象を考慮した評価ができることが要件となる。

以上の観点を踏まえて、米国・ドイツの技術資料でまとめられた評価指標のなかから安全性評価において有用と考えられる指標として 5 つ選定した（図 3.2.2.2-4）。

・指標 1：TTC（Time to Collision）

・指標 2：PET（Post-Encroachment Time）
・指標 3：CI（Conflict Index）
・指標 4：CS（Conflict Severity）
・指標 5：DRAC（Deceleration Rate to Avoid Crash）

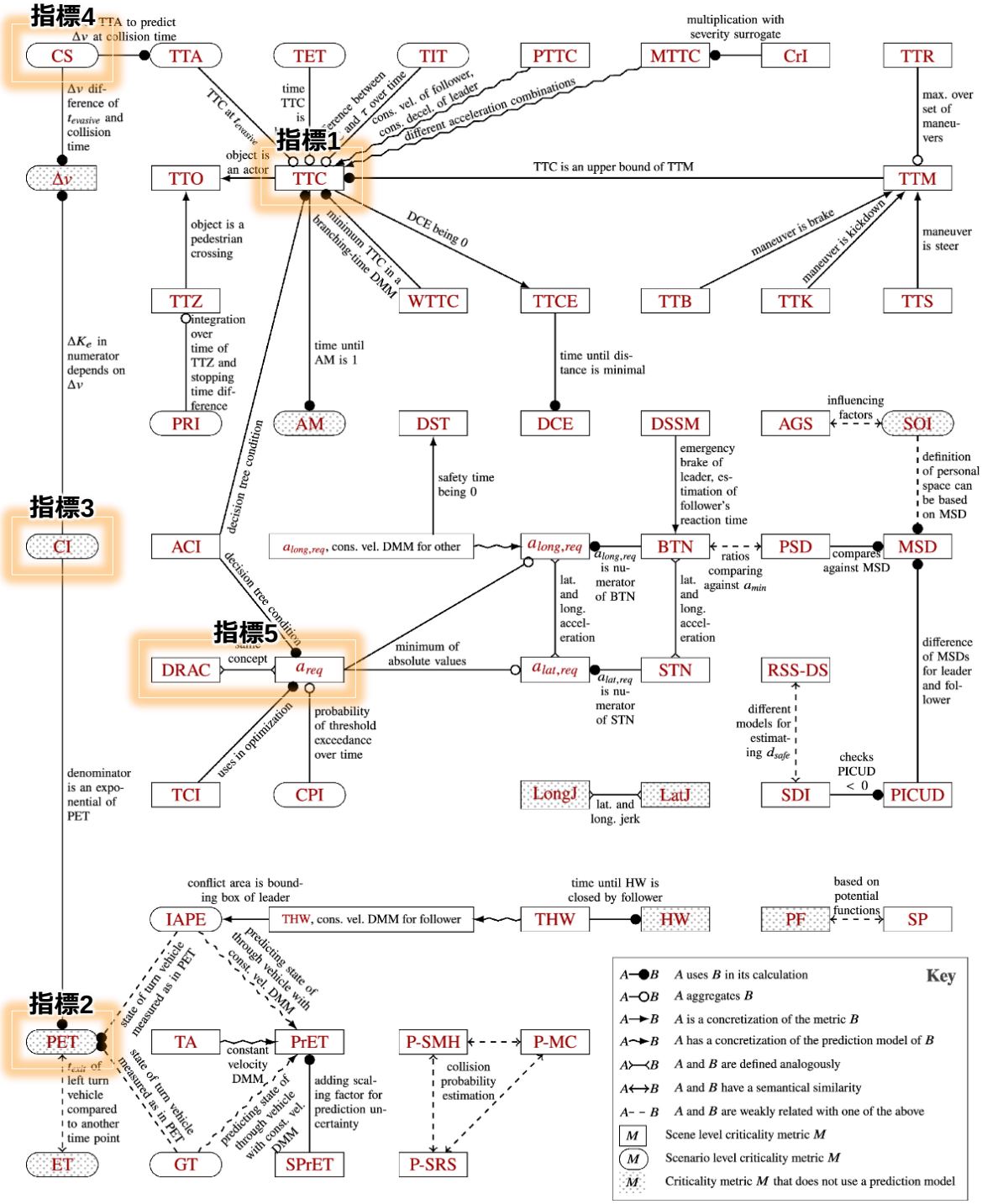


図 3.2.2.2-4　総合的な観点の安全性評価に有用と考えられる指標

なお、これらの指標はあくまで現時点で選定したものであり、今後の安全性評価の動向などによって適宜変えていくべきものであることに留意が必要である。それぞれの指標の特徴および選定した理由は以下の通りである。

・指標 1：TTC（Time to Collision）

衝突する可能性を定量化する指標として主流なものであり、かつ、この指標をベースとした応用例も多い指標である。ただし、走行状況によっては適用できない、あるいは、適用が難しいシナリオが存在する。安全性評価において最も基本的な評価指標として採用することが妥当であり、適用が難しいシナリオに関して有用な評価指標を追加することが重要である。

・指標 2：PET（Post-Encroachment Time）

交差シナリオのような TTC が適用しにくいシナリオの評価に向いているため、シナリオによって TTC と切り替える評価ができれば幅広いシナリオを評価対象にできる。また、TTC のように応用例も多く、Gap Time（GT）、Initially Attempted Post-Encroachment Time（IAPT）、Predictive Encroachment Time（PrET）、Scaled Predictive Encroachment Time（SPrET）が提案されている。

・指標 3：CI（Conflict Index）

PET 指標の有用性を拡張した指標として提案されている。PET の値を用いて衝突可能性を評価することに加えて、ΔK_e という値を用いて衝突前後の運動エネルギーの絶対量も考慮する。これによって衝突する可能性と衝突時の影響度合いの双方を評価できる点で総合的な安全性を測る指標として有用であると考えられる。

・指標 4：CS（Conflict Severity）

シナリオごとの衝突時の重大性を評価することを目的とした指標として提案されている。ブレーキを用いた緊急対応を考慮するほか、二台の車両の重量に基づいて算出された Δv（速度変化量）も考慮するため，衝突時の重大性を評価するために有用な指標であると考えらえる。

・指標 5：DRAC（Deceleration Rate to Avoid Crash）

衝突する可能性が高い状況においてドライバまたはシステムが衝突を回避するために講じるべき具体的な手段を示す指標として提案されている。TTC は現時点の状況が維持された前提で衝突する時間を予測するが、直接的に回避手段を示すものではない。一方、DRAC は、衝突を回避するための手段として減速度 m/s^2 の単位で示し、かつ、前後方向（Required Longitudinal Acceleration）と左右方向（Required Lateral Acceleration）に分離した値で算出することもできる。

自動運転車の安全性評価として今後は一般道走行に対応していく必要がある。一般道を想定した場合、歩行者、自転車を対象とした評価指標を準備することは欠かせない。これらの検討に向けた参考事例として、欧州プロジェクト HORIZON2020 における InDEV（In-Depth understanding of accident causation for Vulnerable road users）プロジェクトの Review of current study method for VRU safety[10]の技術資料が挙げられる。

この技術資料では、約 240 もの安全性評価に関連する文献を調査し、そのうちの 166 の文献で安全性の評価指標を用いていることが示され、そのうち 90（54%）が TTC を用いた評価、41（25%）が PET を用いた評価、25（15%）が減速度を用いた評価であったことが報告されている（図 3.2.2.2-5）。

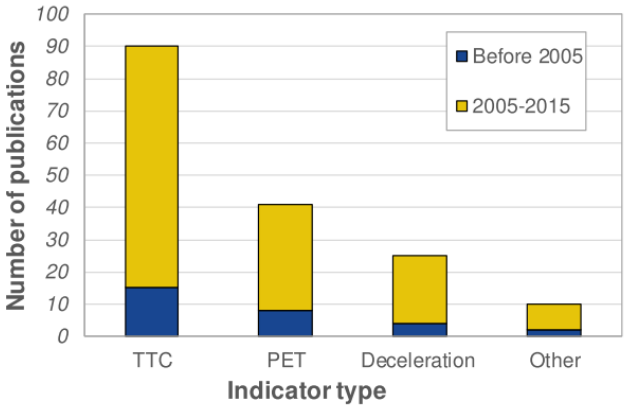


図 3.2.2.2-5　安全性評価に用いている評価指標の種類[10]

さらに、対歩行者・対自転車の安全性評価に限定して採用している評価指標について図 3.2.2.2-6 のように述べている。51 の論文において評価指標を採用しており、18（35%）が TTC_{min}（TTC の最小値）、14（27%）が PET、5（10%）が DST（Deceleration-to-Safety Time）、4（8%）が Gap Time、3（6%）が Deceleration Rate、2（4%）が Time to Accident（TA）を用いた評価を行っていることが述べられている。

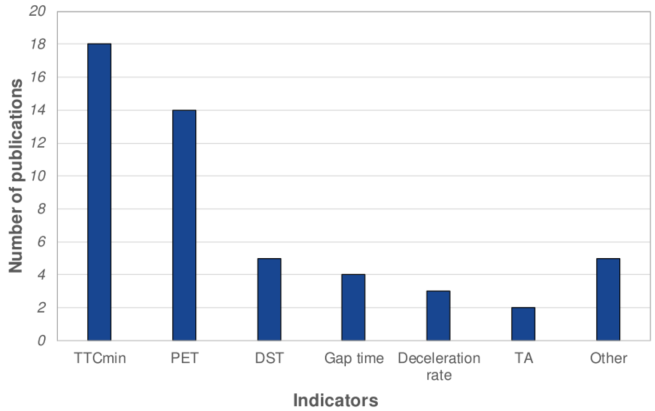


図 3.2.2.2-6　対歩行者・対自転車の評価指標の種類[10]

ただし、対歩行者・対自転車の安全性評価に PET を用いる場合には留意すべき点があることも述べている。車両同士の場合は、基本的には二台の車両が交錯ポイントを通過する時間差が確保されることが求められるといえる。一方、対歩行者・対自転車の場合は、図 3.2.2.2-7 が示すように、PET が示す時間差の値自体は同じであっても、歩行者が先に通過するケース（A）と歩行者が後に通過するケース（B）の重大性は異なることを述べている。ケース A は、車両の速度が高いために制動回避の限界に至る可能性がある点で危険な状況といえる。ケース B は、歩行者が車両と接近した位置であっても容易に停止することができる点で通常な状況といえる。

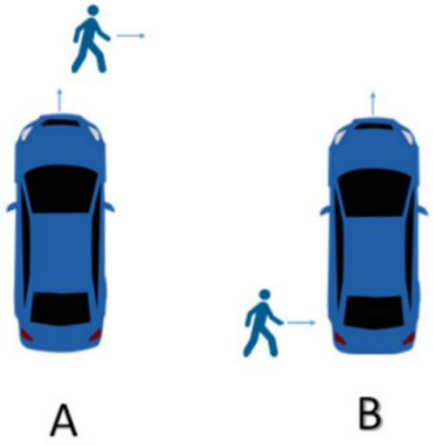


図 3.2.2.2-7　PET の値が同じであっても重大性の異なる例[10]

また、対歩行者・対自転車の安全性を確保するためには、最低限度の相対距離を余裕として確保すれば十分ではない側面がある。図 3.2.2.2-8 に示すように、自転車[10]や歩行者[11]にとっては自らのために確保しておきたいパーソナルスペースが存在するものと考えられるため、対歩行者・対自転車のシナリオにおいて安全性評価を実施する際には考慮するべき側面であるといえる。自動運転車の社会受容性を確保するためにも、自転車や歩行者のパーソナルスペースに関する文献調査も引き続き実施していく必要がある。

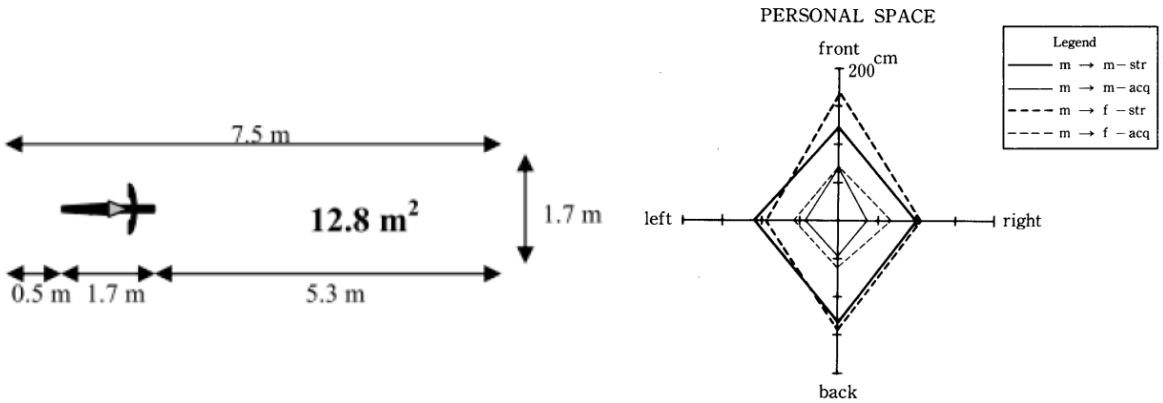


図 3.2.2.2-8　歩行者・自転車に対して考慮が必要なパーソナルスペースの例[10][11]

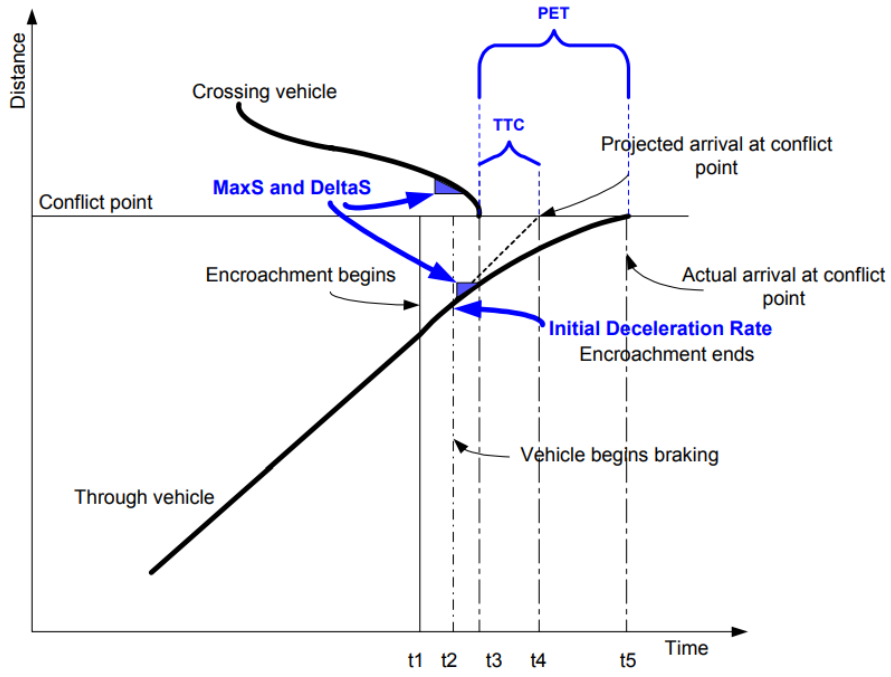
3.2.3　交差点右折シナリオのクライテリアの具体化

3.2.3.1　交差点右折シナリオの時系列の安全性評価方法

交差点右折シナリオのクライテリアを具体化するため、交差点で右折車と直進車が交錯する状況の時系列的な安全性評価方法の一案として図 3.2.3.1-1 に基本的な考え方を示す。これは、米国運輸省の報告書の交差シナリオの安全性評価方法を示しているが、交差車（右折車）と直進車の相対関係に基づいて、t1～t5 のタイミングを設け、さらに、両者の振る舞いや時間差を用いて安全性を評価する考え方である。

この考え方においては、5 つの評価指標を用いて安全性を評価しており、t4 と t3 の時間差に TTC（衝突余裕時間）、t5 と t3 の時間差に PET（通過時間差）、MaxS（交差車と直進車の最高速度）、DeltaS（相対速度の最大値）、Initial Deceleration Rate（直進車のブレーキの初期減速度の値）を用いている。

交差車が直進車に対して十分に余裕を確保できていれば、直進車は減速する必要がなくそのまま通過できるために TTC と PET は同じ値を示す。一方、交差車が十分な余裕を確保できない場合、直進車は衝突あるいは急接近を回避するために減速を強いられるために TTC と PET は異なる値を示す。このとき、直進車が減速することで実際に交錯ポイントを通過するタイミングは予測されたものより遅くなるため、PET の値が大きくなる。



t1：交差車が侵入エリアに到達した時刻
t2：直進車が危険性認識してブレーキを開始した時刻
t3：交差車のリアバンパーの角が侵入エリアから離れた時刻
t4：直進車が速度・軌跡を維持した場合の到着予測時刻
t5：直進車が実際に衝突地点に到着した時刻

TTC(t4-t3)：直進車が同じ速度で走行した場合の衝突までの時間
PET(t5-t3)：交差車の衝突地点通過から直進車到着のまでの時間
MaxS：t1からt5の間の交差車/直進車のそれぞれの最大速度
DeltaS：t1からt5の間の2台の車の速度差の最大値
Initial Deceleration Rate：直進車のブレーキの初期減速度の値

図 3.2.3.1-1　右折車対直進車のシナリオの安全性評価指標[7]

このように、交差シナリオの安全性評価を行うためには、両者の速度・減速度・相対位置・相対速度と併せて TTC と PET を組み合わせた時系列的な評価を行うことが有用と考えらえる。

このような時系列的な評価を取り入れることで交差点右折シナリオのクライテリアが具体化できる。図 3.2.3.1-2 は、交差点右折シナリオのクライテリアのイメージであるが、AD 車が右折車となった場合、

・直進車よりも先に右折を完了すること（①）
・右折の実行中に直進車と衝突しないこと（②・③・④・⑤）
・直進車よりも後で右折を完了すること（⑥）

が求められると言える。

したがって、交差点右折シナリオのクライテリアには、

・二台の進路が重なる意味での交錯エリアを定義し、それぞれが進入してから通過するまでを扱えること
・AD 車が直進車より先に右折するケース、後に右折するケースの双方の PASS/FAIL を判別できること
・AD 車が直進車よりも先に右折するケースにおいて、直進車にとっての進行の妨害を定量的に判断できること

が求められる。

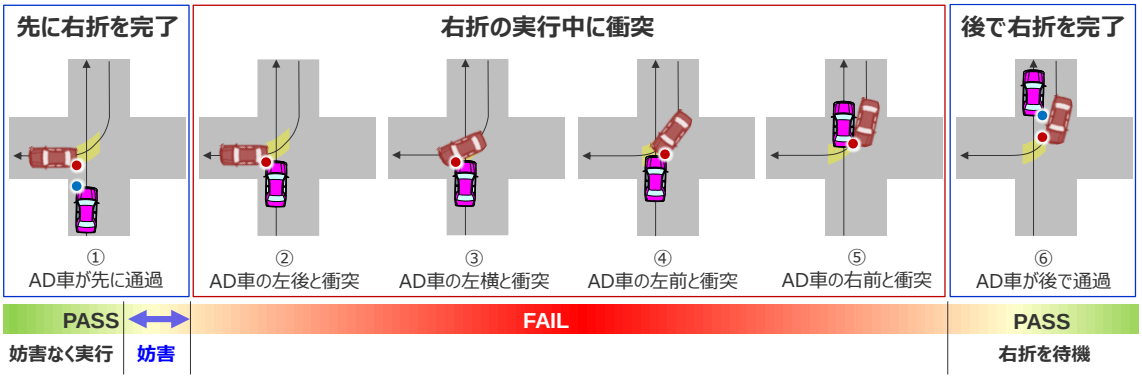


図 3.2.3.1-2　交差点右折シナリオのクライテリアのイメージ

衝突する・しないは相対距離によって明確に判別することができる一方、妨害する・しないは直進車側の主観的な判断が含まれるために適切な評価指標としきい値を決めるための根拠（エビデンス）が必要である。その意味で、前述した PET が交差シナリオの安全性とともに妨害する・しないを判別するための有用な評価指標となると考えられる。

図 3.2.3.1-3 は、PET の定義[12]を両者が交差車となるケースで示した図であるが、先に到達した車が通過した時間（a）と後に到着した車が到達した時間（b）の差分（単位は秒）で定義される安全性評価指標である。t1 と t2 の時間差が 0 秒の場合は衝突することを示すほか、この時間差が十分に確保されていない場合は後に到達する車のドライバは危険と判断することで減速を強いられることになる。

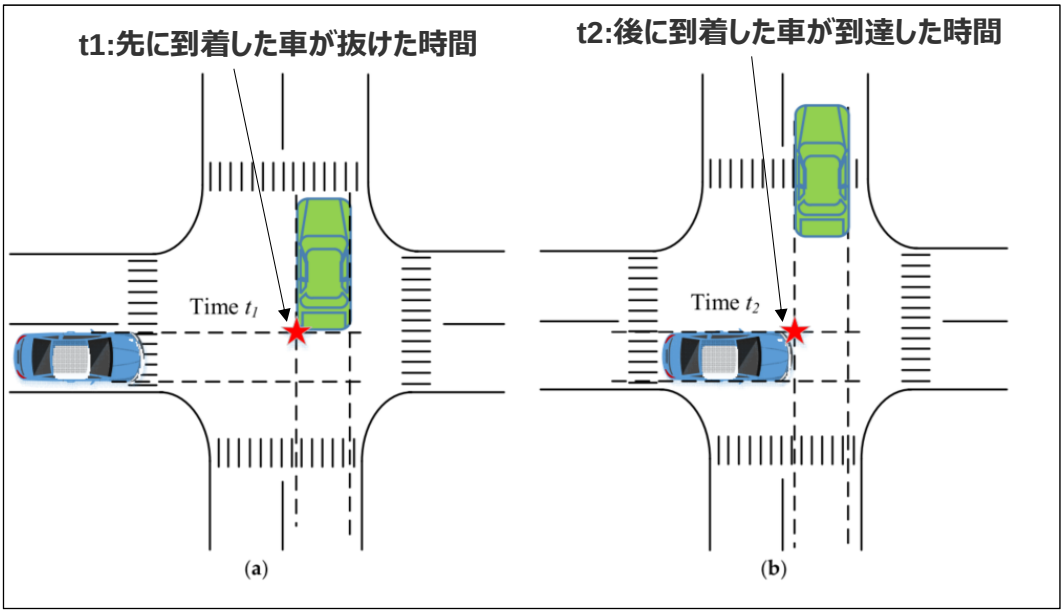


図 3.2.3.1-3　交差シナリオ評価指標 PET（Post Encroachment Time）の概略[12]

PET を用いた安全性評価の研究は従来から取り組まれており、安全性を判断するためのしきい値として具体的な水準が示されている。例えば、Scholl ら[13]は、図 3.2.3.1-4 に示すように、速度と PET の値の関係から高リスク交錯（High-risk conflicts）、中リスク交錯（Moderate-risk conflicts）、低リスク交錯（Low-risk conflicts）、交錯のないレベルの相互の交通（Interaction）の 4 段階で分類している。

横軸は PET の値に基づいてリスクを分類し、高リスクは 1.5 秒未満、中リスクは 1.5 秒以上～3 秒未満、低リスクは 3 秒以上～5 秒未満、相互作用は 5 秒以上としている。

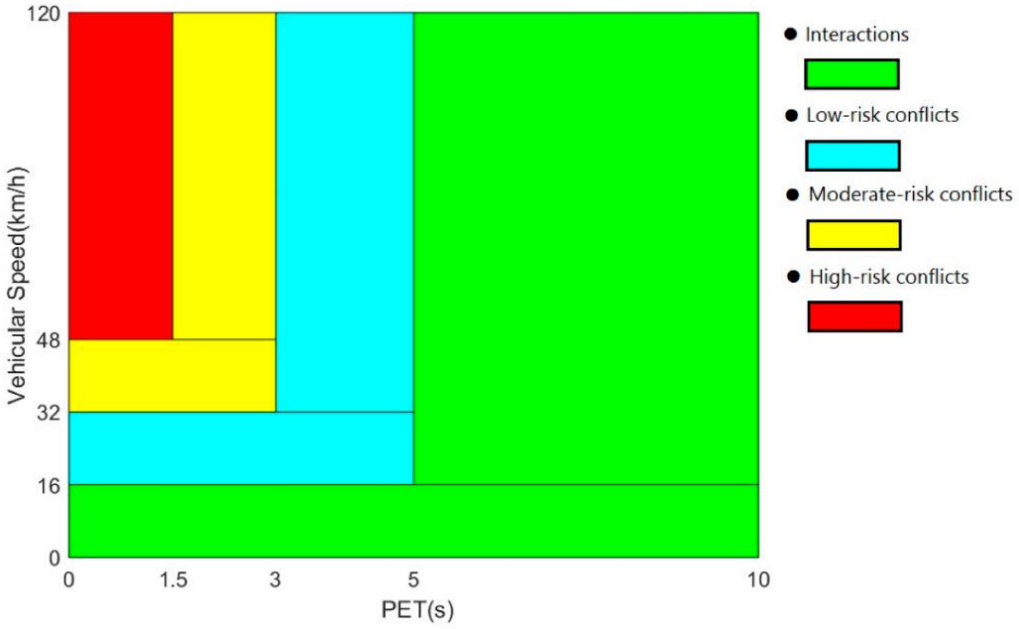


図 3.2.3.1-4　PET に基づいて安全性を評価する閾値の例[13]

図 3.2.3.1-5 は、交差点およびラウンドアバウトにおける道路標示や車止め設置などの安全対策前後の交通流に対して適用した分析結果例を示している。観察された交通流において高リスクに分類される割合は対策前には 0.3%ほどであり、その割合は対策後に 0%になっていることで安全性が向上していることを示している。また、中リスク・低リスクの割合も同様に低減していることで、対策による効果があったことを確認している。

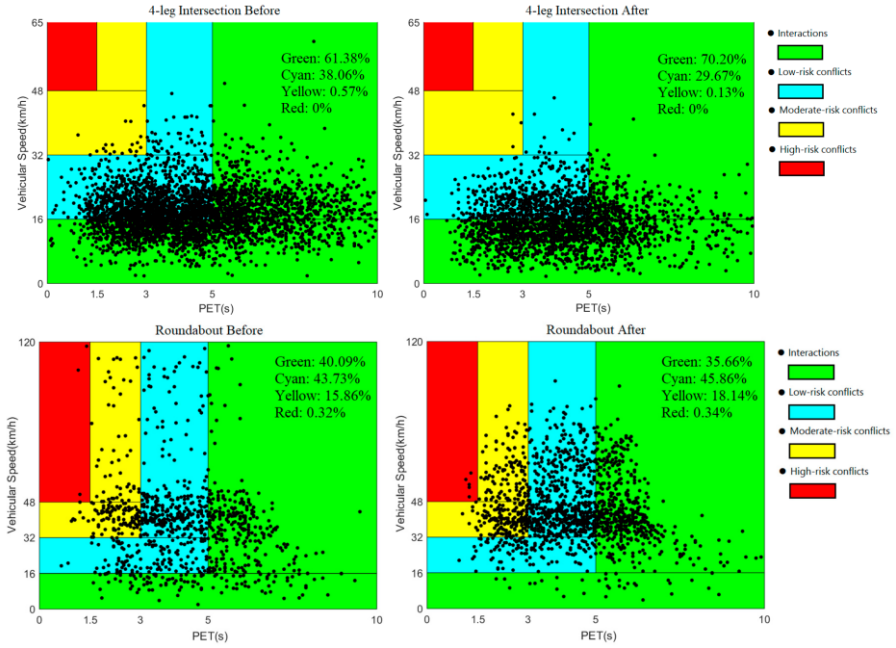


図 3.2.3.1-5　交差シナリオ評価指標 PET（Post Encroachment Time）の概略[13]

また、図 3.2.3.1-6 は、歩行者と車両が交錯するシナリオにおける PET の分析結果例である。このように、PET は車両対車両以外のシナリオにも適用できる評価指標である。

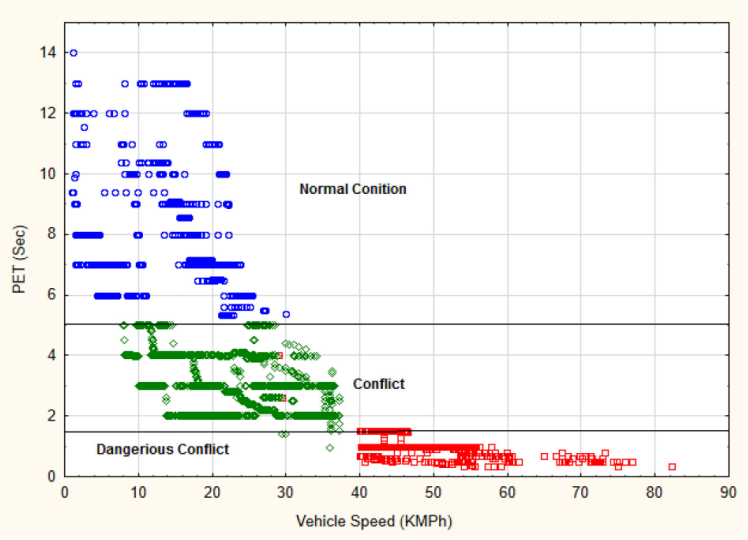


図 3.2.3.1-6　交差シナリオ評価指標 PET（Post Encroachment Time）の概略[14]

3.2.3.2　直進車の進行妨害を考慮した交差点右折シナリオのクライテリア

交差点で自車両が直進、他車両が右折する場面を想定した DS 実験を行い、右折車両が右折を始める時点の直進車と右折車の時間差（以下、「Time Gap」という）と直進車のドライバの減速行動の関係を調査した。また、Time Gap が異なる条件別の減速度から直進車のドライバが感じる妨害レベルの定量化を試みた。これらの結果から、Time Gap が 4.5 秒以下になると 0.15G 以上のブレーキ操作をするドライバが 41%になることから Time Gap が 4.5 秒以下での右折開始は対向直進車の妨害になる可能性が示された[15]（図 3.2.3.2-1、表 3.2.3.2-1）。

この実験では、Time Gap のみの影響を調査するため、直進車と右折車の挙動は一様とし、その他のパラメータの影響は考慮していない。例えば、右折する車両の速度や交差点内の右折待機車両による死角などの影響も調査する必要がある。そのため、ドライビングシミュレータ（以下、「DS」という）を用いた実験により、妨害と感じることに最も影響するパラメータを明らかにし、自動運転車が右折する場面の安全性評価クライテリアに妨害という観点を考慮するための重要なパラメータを特定することを目的とする。さらに、前回の実験では減速度に基づいて妨害レベルを推定したが、直進車のドライバの心理状態を把握することは実施しなかったため、ドライバが主観的に妨害と感じる度合いを調査するアンケートも実施する。最後に、3.2.3.1 で検討した米国運輸省が報告している交差点の安全性評価方法を DS 実験結果に適用し、具体的な評価が可能であるか検討を行う。

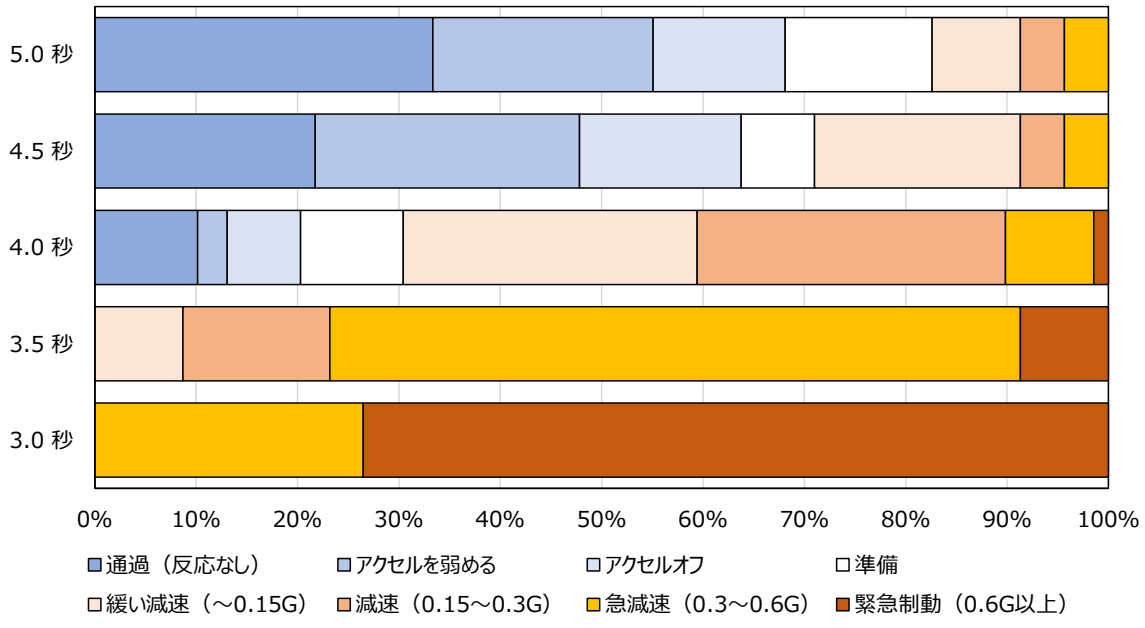


図 3.2.3.2-1　交差点直進車の他車との Time gap ごとの減速行動の分類[14]

表 3.2.3.2-1　交差点直進車の他車との Time gap ごとの減速行動の割合[14]

対応行動		Time gap [sec]				
		3.0 秒	3.5 秒	4.0 秒	4.5 秒	5.0 秒
通過		0%	0%	10%	22%	33%
アクセル	ペダル操作を弱める	0%	0%	3%	26%	22%
	ペダルから足を放す	0%	0%	7%	16%	13%
ブレーキ	準備（足を移したのみ）	0%	0%	10%	7%	14%
	緩い減速（～0.15G）	0%	9%	29%	20%	9%
	減速（0.15～0.3G）	0%	14%	30%	4%	4%
	急減速（0.3～0.6G）	26%	68%	9%	4%	4%
	緊急減速（0.6G 以上）	74%	9%	1%	0%	0%
計		100%	100%	100%	100%	100%

（1）　交差点右折時の Time Gap・死角・右折速度による直進車両の妨害レベル調査

a）　実験概要

本実験では一般道の交差点を対象とし、交差点での周辺環境および直進車と右折車との車両間の相対的な変化量（相対距離、右折所要時間）などが、直進車の進行を妨害する度合いにどのような影響があるか調査することを目的とする。そのため、死角がある状況での右折車と直進車の進行が交錯するシーンにおけるドライバの運転行動特性を把握する基礎データ取りを全方位 DS を用いて実験を行った。

b）　死角の遮蔽率の定義

本実験では外部要因（他の車両や構造物など）により発生する死角の影響で、ドライバが認識対象の物体を直接認識できない割合を図 3.2.3.2-2 のように遮蔽率と定義する。また、遮蔽率は下記の式 3.2.3.2-1 から設定する。今回の場面で認識対象とする物体としては、対向右折車の全幅とする。

遮蔽率 [%] = （死角（B） / 全幅（W））*100　　式 3.2.3.2-1

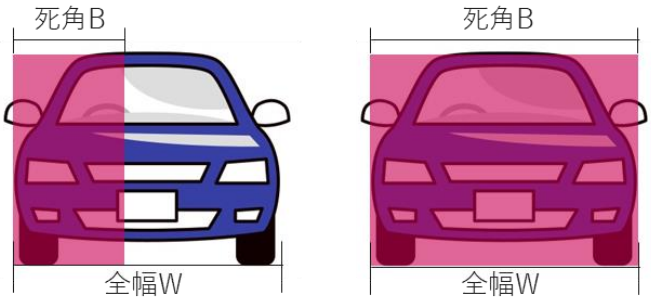


図 3.2.3.2-2　遮蔽率の定義

c)　実験条件設定

①イベント（図 3.2.3.2-3）

往復 4 車線の交差点を自車が直進する際に対向車が右折する場面をイベントとした。自車両は交差点に向かって 50 km/h で走行し、他車両は自車両が予め決められた Time gap の位置に到達すると設定速度で右折を開始する。遮蔽率は自車両の前方で右折待機している車両と対向右折車の位置関係を調整することで設定した。

自車ドライバは交差点接近中はアクセルペダルの操作によって設定速度をなるべく維持し、交差点通過時に危険と判断した場合はブレーキ操作で回避するように教示した。実験参加者 1 名あたり合計 24 回の直進時のデータを計測した。

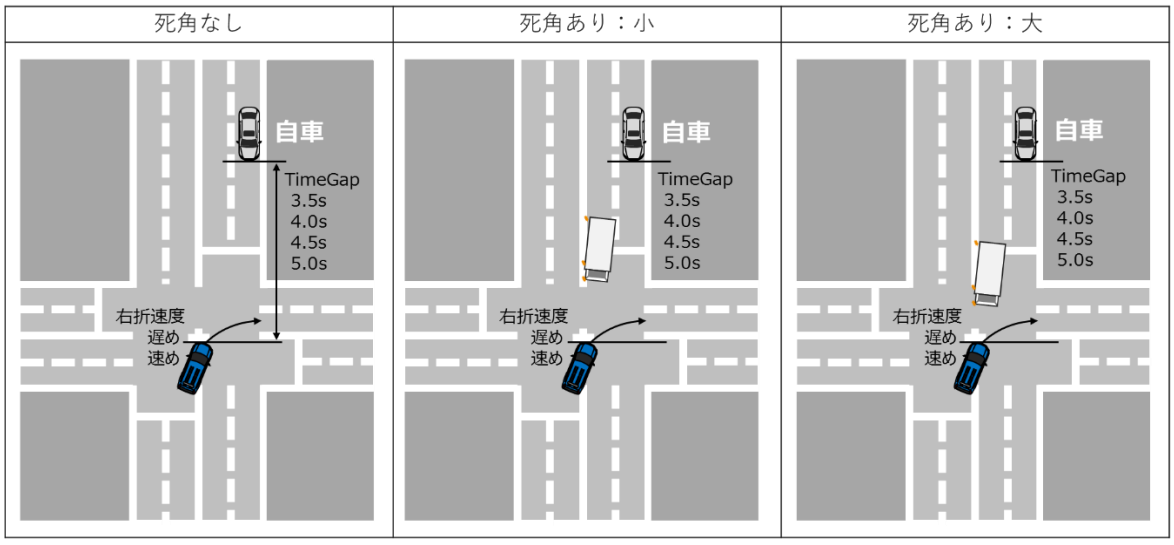


図 3.2.3.2-3　実験 1 の場面（自車が交差点を直進する場合の反応行動の計測）

②実験条件（表 3.2.3.2-2）

実験条件は合計 24 条件を設定し、ランダムで提示することによって実験参加者が経験する実験条件の順序が偏らないよう意味でバランスをとった。死角条件は遮蔽率が 0%、25%、100%の 3 水準で設定した。また、前回のデータと比較するために、右折速度条件の速め条件（20km/h）を前回（①の実験）と同じ条件とし、遅めの条件（10 km/h）を新たに追加した 2 条件で構成した。Time gap の範囲については、前回の結果から Time Gap3.5 秒

以下の条件から高い減速度が支配的だったため、5.0 秒から 3.5 秒条件まで 0.5 秒ごとに 4 水準で行った。

－死角 3 水準（遮蔽率：0、25、100 %）

－他車の右折速度 2 水準（遅め：10 km/h、速め：20 km/h）

－Time gap 4 水準（3.5、4.0、4.5、5.0 秒）

表 3.2.3.2-2　実験の条件

No	死角	遮蔽率 [%]	右折速さ [km/h]	Time Gap [sec]
1	なし	0	10	3.5
2				4.0
3				4.5
4				5.0
5			20	3.5
6				4.0
7				4.5
8				5.0
9	あり（小）	25	10	3.5
10				4.0
11				4.5
12				5.0
13			20	3.5
14				4.0
15				4.5
16				5.0
17	あり（大）	100	10	3.5
18				4.0
19				4.5
20				5.0
21			20	3.5
22				4.0
23				4.5
24				5.0

③アンケート（図 3.2.3.2-4）

直進車両のドライバが感じる妨害の度合いを定量化するためにアンケートを各条件の終了後に行った。実験参加者が直前の右折車の振る舞いに対してどの程度の妨害と感じたかについて 6 段階の尺度（1：非常に妨害と感じる～6：全く妨害ではない）を用いて調査した。



図 3.2.3.2-4　妨害と感じる度合いを定量化するためのアンケート内容と提示位置

f)　実験参加者の属性・人数

右折時の死角の有無、対向車の速度変化に対する反応を調査するため、日常的に車両を運転する属性の実験参加者を募り、とりわけ免許取得してから 5 年以上経過し、かつ、65 歳未満の一般ドライバを優先した。募集した結果、図 3.2.3.2-5 のように平均年間走行距離が 17,000km を超えるような属性の 20 名が参加した。

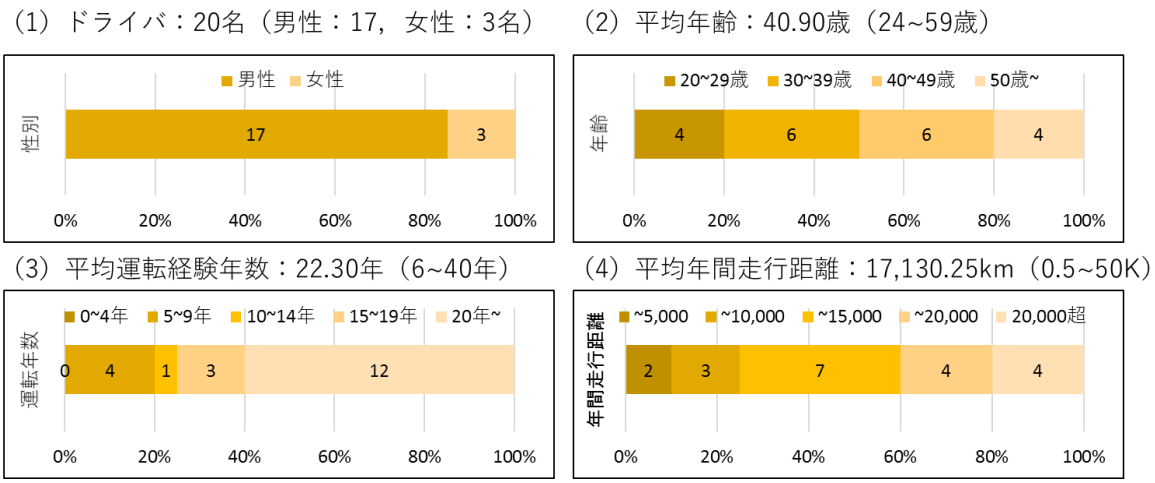


図 3.2.3.2-5　実験参加者の属性・人数（20 名）

（2） 実験結果

a） 妨害レベルに影響する交差点でのパラメータの推定

今回の実験では Time Gap、死角、右折速度の三要因のうち、直進車のドライバが感じる妨害の度合いに影響がある要因を調査するために 3 要因分散分析を行った（表 3.2.3.2-3）。その結果、直進車のドライバは右折車の速度（p<.001）、Time Gap（p<.001）による影響があることを確認した。また、死角条件については今回設定した条件では、妨害の度合いには影響がないことを確認した。

直進車のドライバが妨害と感じる度合いと各条件の影響は単純に比較することはできないが、今回の実験条件の範囲では、右折速度の効果（η^2=0.323、η^2_p=0.430）と Time Gap の効果（η^2=0.233、η^2_p=0.353）が大きいことを確認した。右折速度と Time Gap 条件による直進車の進行を妨害する度合いの関係を図 3.2.3.2-6 に示す。直進車のドライバが妨害と感じた度合いは右折速度が遅いほど、Time Gap が短いほど妨害と感じやすい結果が示された。

表 3.2.3.2-3 Time Gap・死角・右折速度と妨害の度合いの関係（Multi-Way ANOVA）

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p	η^2	η^2_p
死角	1.977	2	0.988	0.884	0.414	0.002	0.004
右折速度	344.898	1	344.898	308.368	<.001	0.323	0.430
Time Gap	248.463	3	82.821	74.049	<.001	0.233	0.353
死角*右折速度	3.282	2	1.641	1.467	0.232	0.003	0.007
死角*Time Gap	2.079	6	0.346	0.310	0.932	0.002	0.005
右折速度*Time Gap	9.157	3	3.052	2.729	0.044	0.009	0.020
死角*右折速度*Time Gap	1.440	6	0.240	0.215	0.972	0.001	0.003
Residuals	456.333	408	1.118				

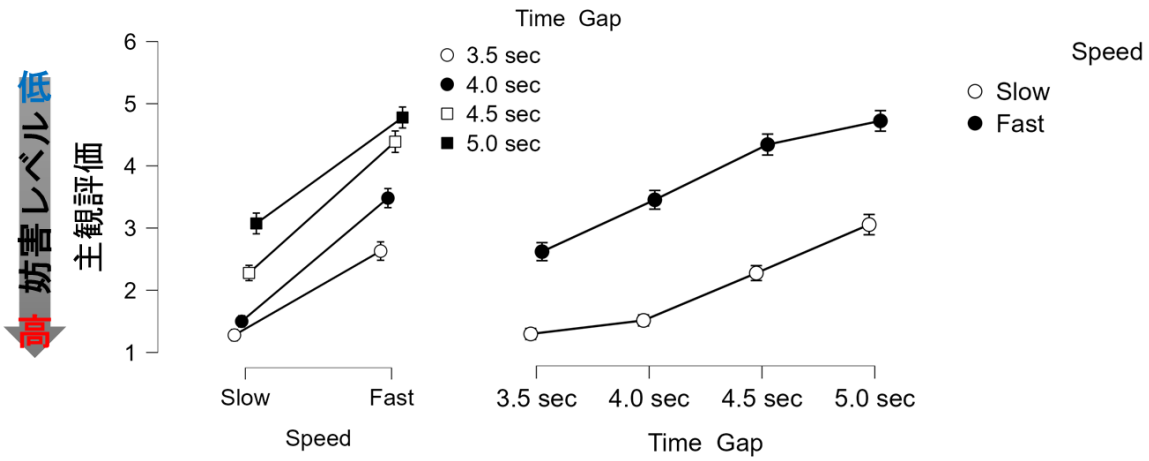
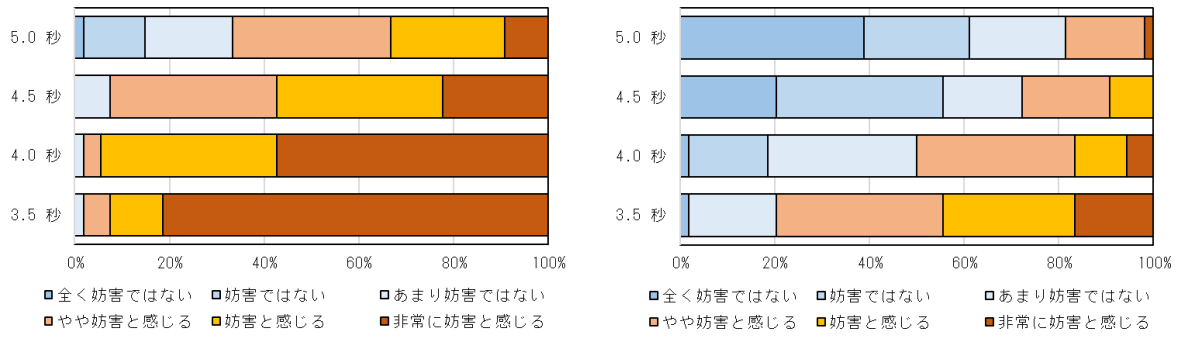


図 3.2.3.2-6 右折速度・Time Gap による直進運転者の妨害レベル結果

b)　自車直進時の右折車の Time Gap・速度による妨害レベルの定量化

図 3.2.3.2-7 は、Time gap 別に直進車が妨害と感じた回答内容を右折車の速度が遅い場合と速い場合で比較した結果である。前回と同じ速度とした速めの右折条件では（図 3.2.3.2-7（b））、やや妨害以上と感じたドライバが Time Gap の 4.0 秒条件で 50%、3.5 秒条件では 80%が確認された。前回と単純に比較できない側面はあるものの、ドライバが妨害と感じる基準として想定した 0.15G 以上の減速が該当した割合と比較すると、4.0 秒条件 41%、3.5 秒条件 91%となり類似した傾向が確認された点は重要と考えられる。一方、速度条件が遅い場合（図 3.2.3.2-7（a））は Time Gap の 5.0 秒条件で 67%、4.5 秒条件からは 90%以上の直進車のドライバが妨害されたと感じている。

これらの結果から、自動運転車の右折速度や右折開始タイミングによって直進車のドライバが妨害と感じることに明確な影響があるといえる。このような影響を定量化するエビデンスに基づいて右折時のクライテリアを具体化することが重要である。例えば、表 3.2.3.2-4 は、相対速度、Time Gap、妨害レベルでまとめており、各妨害レベルが発生する確率が高いほど赤い色で表示している。表から Time Gap が長くなるほど、速度が速くなるほど、妨害レベルが低くなることを確認しやすくなるので、条件のパラメータを幅広く調査することで、妨害レベルの予測モデル作成の可能性があると考えられる。



（a）右折車の速度が遅い場合　　（b）速度が速い場合

図 3.2.3.2-7　交差点での直進車と他車の Time gap ごとの妨害レベル

表 3.2.3.2-4　Time Gap・右折速度別の妨害と感じる度合いの割合

妨害の度合い	Time Gap [sec]							
	3.5 秒	4.0 秒	4.5 秒	5.0 秒	3.5 秒	4.0 秒	4.5 秒	5.0 秒
	他車右折速度：遅め				他車右折速度：速め			
全く妨害ではない	0%	0%	0%	2%	2%	2%	20%	39%
妨害ではない	0%	0%	0%	13%	0%	17%	35%	22%
あまり妨害ではない	2%	2%	7%	19%	19%	31%	17%	20%
やや妨害	6%	4%	35%	33%	35%	33%	19%	17%
妨害	11%	37%	35%	24%	28%	11%	9%	0%
非常に妨害	81%	57%	22%	9%	17%	6%	0%	2%
計	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

（3）　米国運輸省の安全性評価方法を用いた交差点シナリオ評価

a）　Post Encroachment Time （PET）による安全性評価

今回の実験条件のパラメータのなかでは、右折する速度が直進車の妨害度合いに影響が最も大きく、次いで Time Gap が大きいことを確認した。もちろん、直進車と右折車の Time Gap が十分に大きい場合は、右折する速度が変化しても直進車を妨害するような事態は発生しにくいといえる。ただし、現実には十分に Time Gap を大きく確保できる状況ばかりではなく、ある程度短い Time Gap で右折することが必要になることが一般的である。このような状況では、右折する速度によって直進車を妨害することに大きく影響する可能性がある。従って、交差点において直進車と右折車が関係するシナリオを評価するためには、二台の相対的な位置関係の変化から衝突する・しないと、妨害する・しないをモデル化するための評価指標が必要である。この問題を解決するために、3.2.2.1 で調査した PET が右折時の交差車両の位置関係の変化と妨害レベルを一緒に表現できる指標として有効であると考えられる。

図 3.2.3.2-8 は、米国運輸省のレポートにおける交差シナリオの安全性評価のためのタイミング・パラメータと算出方法である[6]。PET は右折車が衝突地点を通過してから直進車が到着するまでの時間である。また、TTC は直進車が速度を維持した場合の衝突地点に到着するまでの時間である。ここで、PET と TTC の二つの指標を用いる意味合いを考察すると、直進車が右折車の振る舞いに影響されない場合は両者が同じ値を示すと考えられる。一方、影響される場合は、概して直進車が減速によって対応することから PET の値が大き

い値を示すと考えられる。

実際の交通環境では、直進車は右折車以外（歩行者、交通信号など）の要因からの影響も受けると考えられるが、今回は直進車と右折車の関係について考察する。また、図 3.2.3.2-9 は交差点右折時の安全性評価に必要なパラメータを示す。このようなパラメータを用いて米国運輸省の安全性評価方法の考え方に基づいた時刻を直進車と交差車の動きに適用することができれば、交差点における直進車と右折車が衝突と妨害の双方が生じないように通過できるかという観点で評価できる。

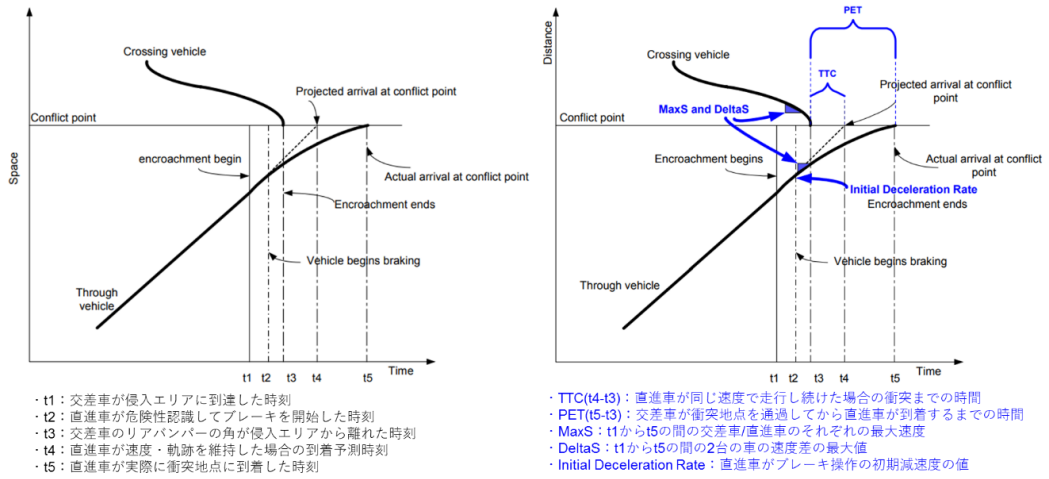


図 3.2.3.2-8　交差シナリオの安全性評価のためのタイミング・パラメータ[6]

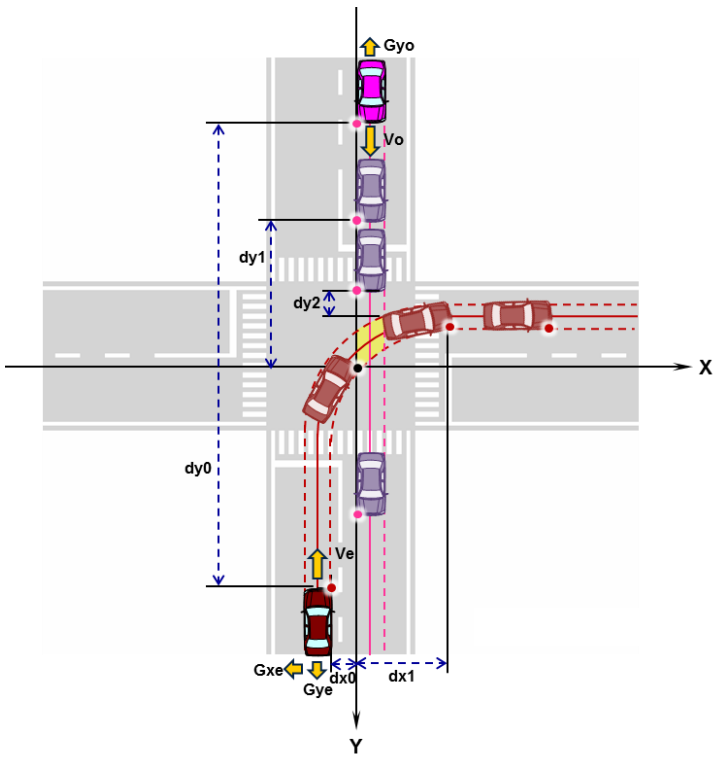


図 3.2.3.2-9　交差点右折時の安全性評価に必要なパラメータ

b)　DS 実験データを用いた安全性評価指標の算出

DS 実験データを用いて各条件の安全性評価指標を米国運輸省の計算方法を参考にして算出した。算出した範囲は、交錯地点の 100m 手前から交錯地点を通過するまでとした。図 3.2.3.2-10 は、ある実験参加者の Time Gap が 3.5 秒条件で右折する速度が速い場合と遅い場合の時系列的な変化を示している。図の Y 軸は衝突範囲からの距離、X 軸は時間をそれぞれ表す。ここで Y 軸の上から下に向かって変化するグラフは右折車両の挙動を、下から上に向かって変化するグラフは直進車両の挙動を表す。また、縦線は米国運輸省の定義に基づいて t1 は右折車が交錯エリアに進入した時刻、t2 は直進車が減速を始めた時刻、t3 は右折車が交錯エリアから離脱した時刻、t4 は直進車が減速せずに走行した場合の交錯エリアに到達する時刻を、t5 は直進車が実際に交錯エリアに到達した時刻である。また、図中のマーカー（赤、青）はそれぞれの車両の最大速度を、赤い点線は初期位置から直進車両が 50km/h を維持した場合の参考ラインを表す。最後に t1 から t3 までの範囲を衝突する危険性がある交錯エリアとして黄色で表現している。この範囲で直進車が交錯エリアに到達すると右折車と衝突する。

右折速度が変わることで t1 から t3 までの時間が変わる（速い場合は短く、遅い場合は長くなる）ため、右折車が交錯エリアに滞在する時間が変わることに影響する。この影響により右折速度が速い条件では直進車は行動を変えていない一方で、遅い条件では衝突を回避するために明確な減速を行って到達するタイミングをずらしていることが確認できる。

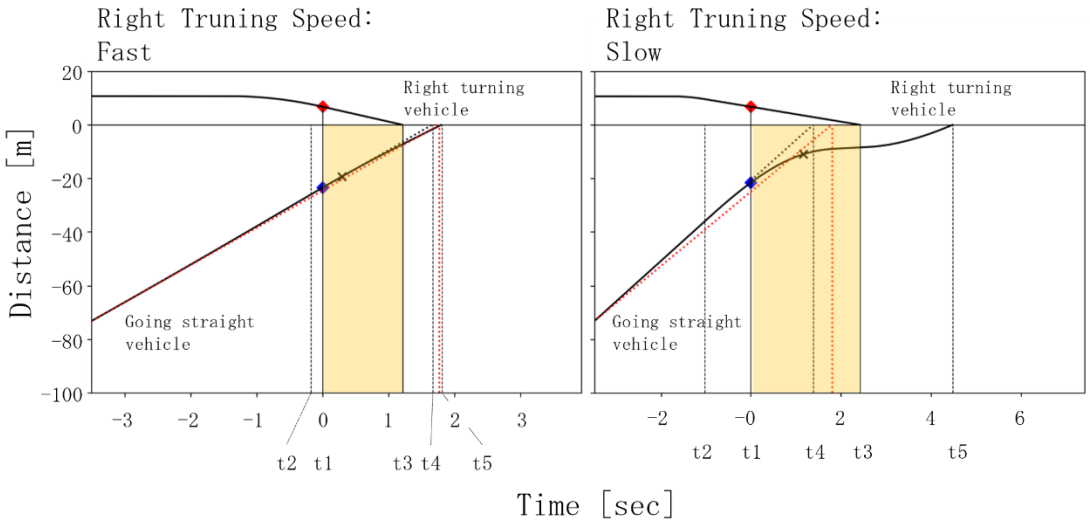


図 3.2.3.2-10　右折車の速度による直進車の行動変化

DS 実験データを用いて PET を算出した結果、図 3.2.3.2-11 のように右折速度が速い条件では Time Gap が大きいほど PET が大きくなり、速度が遅い条件では Time Gap が大きくなるほど PET が小さくなる傾向が確認された。Time Gap が 4.5 秒以上の条件では 0.5 秒程度で維持されることを確認した。これらの結果は、直進車のドライバが交差車の位置変化を認識して、減速をする必要がないと判断して走行したと考えられる。

ここで、PET の値が 0 を示す場合は衝突したことを意味するが、単純に値が小さいことが直進車を妨害したと解釈することはできない。例えば、直進車のドライバが右折車の速

度を認識して距離は近い場合でも衝突する可能性が低いと判断して減速をしない場合が考えられる。そのため、最終的な PET の値と、直進車がどのような減速を行ったかを示す最大減速度の両者の関係を把握する必要がある。これらの結果を参照することで、直進車のドライバが初期条件のまま受け入れた PET であるのか、あるいは、衝突回避のための減速操作によって確保した PET であるかを峻別できる。

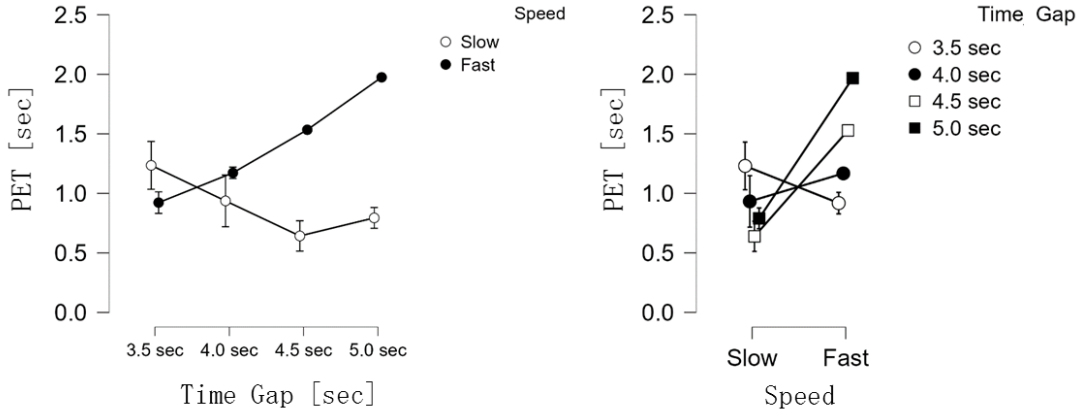


図 3.2.3.2-11　実験条件による PET 結果図

図 3.2.3.2-12 のように各条件の直進車の最大減速度を算出した結果、Time Gap が短いほど減速度が大きく、右折する速度が遅いほど減速度が大きくなる傾向を確認した。これらの結果から、右折速度が遅い条件で PET の値が小さくなる傾向が見られたが、直進車のドライバは概ね 0.20G 以上の減速をしていることから、妨害されたと解釈することが妥当であると考えられる。

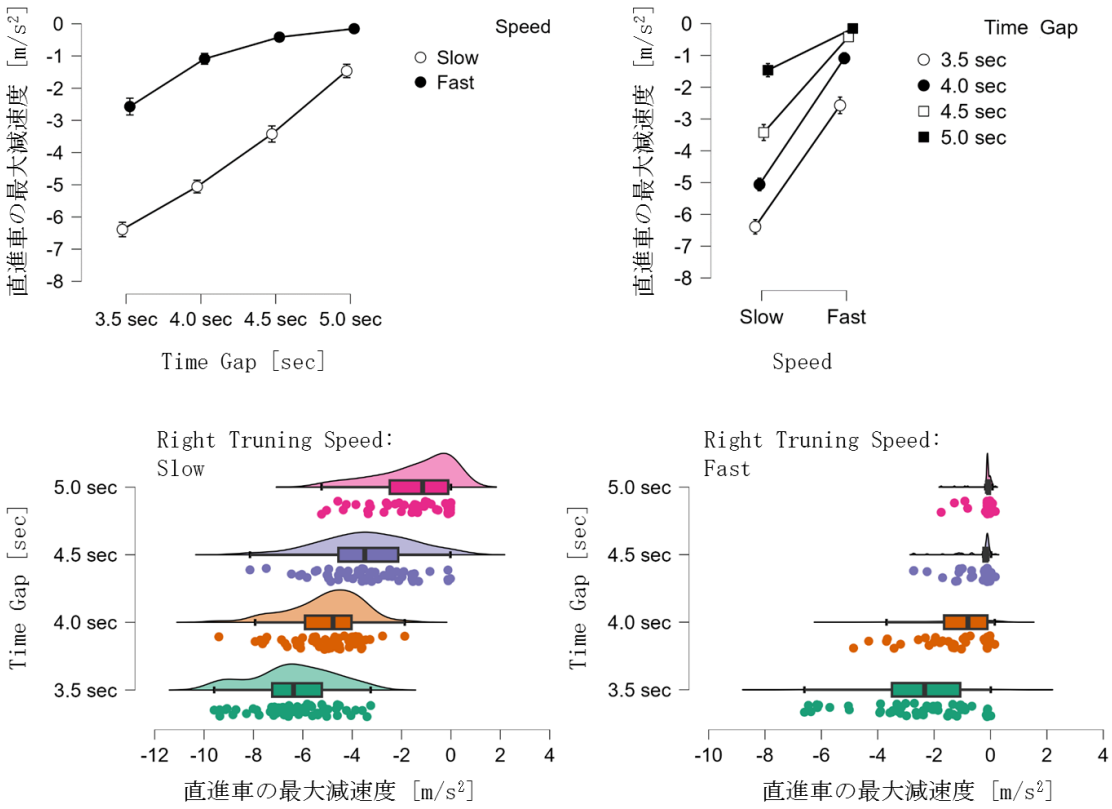


図 3.2.3.2-12　実験条件による直進車の最大減速度結果

以上、最終的な PET の値を単独で評価するのではなく、TTC と PET の値の比較によって直進車のドライバが衝突または妨害を避けるために対応を強いられたかどうかを評価する必要がある。そのため、図 3.2.3.2-13 のように、右折車が交錯エリアを離脱した時刻（t3）の TTC と PET の差分を算出した。この差分を分析することによって、直進車が右折車の振る舞いによってどの程度の影響を受けたかを定量化できる。

例えば、TTC と PET の差分が小さいほど直進車は右折車の振る舞いに影響されなかったと解釈できるが、差分が大きいほど右折車の振る舞いによる影響が大きかったと解釈できる。直進車の最大減速度が小さく、かつ、TTC と PET の差分が小さいという観点で直進車が右折車に妨害されなかったと解釈できる条件は、Time Gap が 4.5 秒以上で右折する速度が速い条件であるといえる。

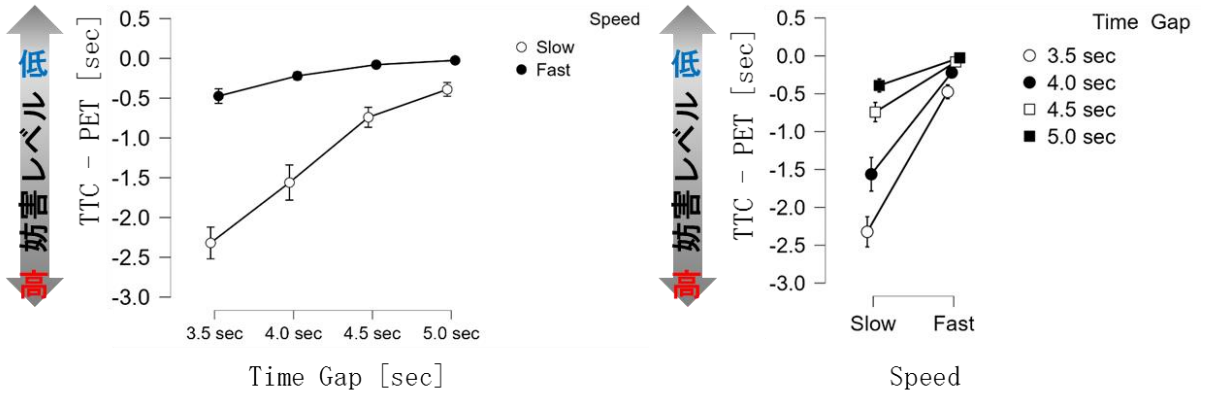


図 3.2.3.2-13　実験条件別の TTC と PET の差分の比較（Time Gap・右折する速度）

TTC と PET の差分と最大減速度の関係を明確にするため、両変数の散布図を図 3.2.3.2-14 に示す。二つの変数の間には強い正の相関が確認された（r=0.78, p<.001）。TTC と PET の値が小さいときには、直進車のドライバはあまり減速しない関係が読み取れる。

そのため、PET は右折車の振る舞いに対して直進車が減速することによって実際の到達タイミングがずれるため、強い相関があることは明確な関係にあるといえる。ただし、これらのパラメータを実際の交差点などで計測することを考える場合、交差点接近中の直進車に右折車のみが影響するとは限らないため、交差シナリオの安全性を評価するために PET の値を用いることは有効である。交差点右折シナリオのクライテリアとしては、Time Gap や自動運転車の右折速度、直進車の速度・減速度などを組み合わせた総合的な評価ができることが望ましい。ここで述べた有効な評価指標はあくまで現時点での内容であり、より有効なパラメータや評価指標については継続的に検討する必要がある。

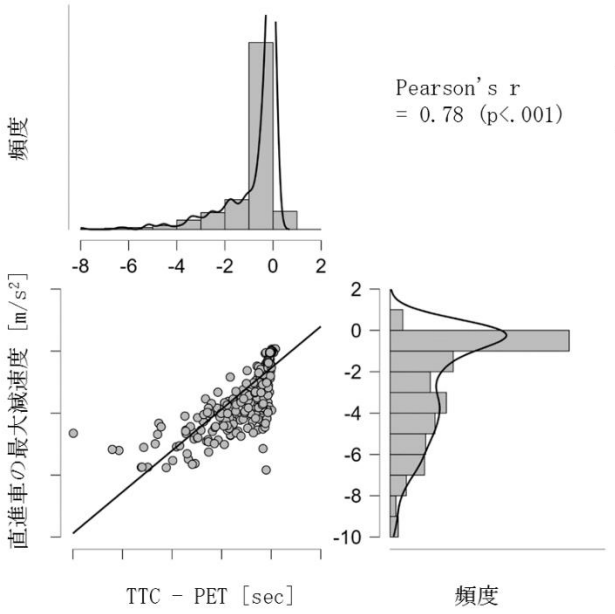


図 3.2.3.2-14　TTC-PET と直進車の最大減速度の散布図

以上、TTC と PET の差分が小さいことと直進車の最大減速度や小さいことが両立する場合に直進車の妨害を判別できる可能性があると分かった。図 3.2.3.2-15 は、右折する速度が速い条件における初期の TTC と実際の PET の値の中央値と 75%ile 値の関係を示している。Time Gap が 4.5 秒と 5.0 秒の条件で TTC と PET（中央値・75%ile 値）が同じ値であることから、直進車としては 1.5 秒以上の PET が確保されることを右折車に対して期待しているといえる。

PET が 1 秒の場合も類似した傾向が見られるが、図 3.2.3.1-16 が示すように 1.5 秒に比べて相対位置が接近したことで主観的な評価が「やや妨害」以上となる結果が 50%を超えたため、十分な水準とはいえない側面がある。今回の DS 実験により、交差点右折シナリオのクライテリアとして妨害する・しないを判別する水準として PET が 1.5 秒以上確保されたかという水準で評価することが有望であると分かった。また、従来の研究結果においても PET1.5 秒という水準で危険な交錯と定義する事例[13][14]もある。そのため今後の展開としては、検討したクライテリア案を用いて衝突する・しないと、妨害する・しないの観点で右折シナリオの安全性評価を実施する必要があると考える。

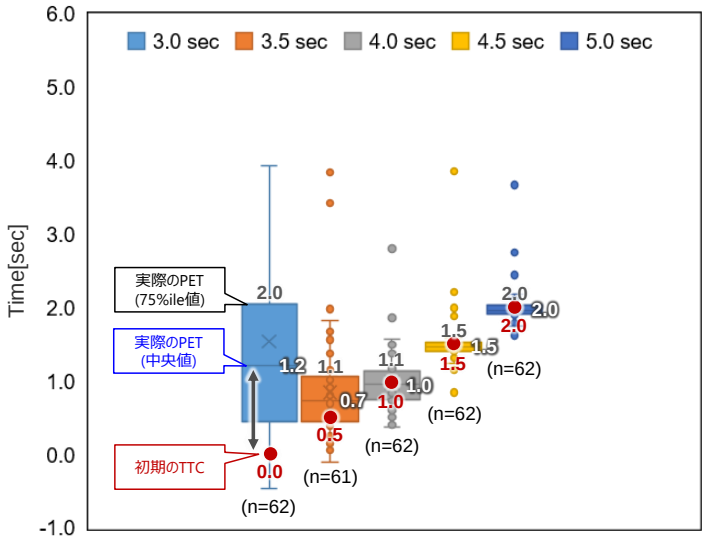


図 3.2.3.2-15　TTC と PET の値（中央値・75%ile）の関係（右折する速度が速い条件）

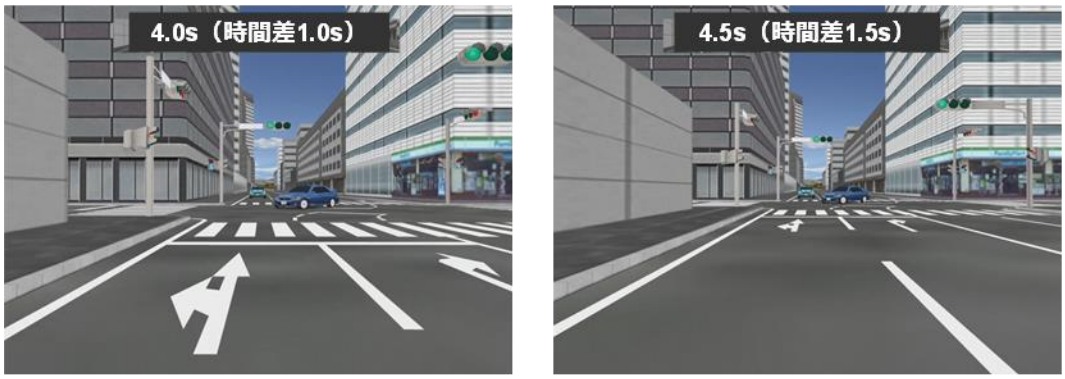


図 3.2.3.2-16　Time Gap4.0 秒（PET1.0 秒）と Time Gap4.5 秒（PET1.5 秒）の比較

参考文献

[1] PEGASUS Symposium 2019, The Human Drivers -Critical Scenarios in Simulator Studies-, Exhibition 07（2019）, https://www.pegasusprojekt.de/files/tmpl/Pegasus-Abschlussveranstaltung/07_The_Human_Driver-Critical_Scenarios_in_Simulator_Studies.pdf（2023 年 3 月現在）

[2] United Nations、Proposal for a new UN Regulation on uniform provisions concerning the approval of vehicles with regards to Automated Lane Keeping System、pp. 42-44（2020）

[3] 国土交通省、報道発表資料：自動運行装置（レベル 3）に係る国際基準が初めて成立しました、https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha07_hh_000343.html（2023 年 3 月閲覧）

[4] United Nations、Proposal for the 01 series of amendments to UN Regulation No. 157 （Automated Lane Keeping Systems）、pp. 15-16（2022）

[5] 道路交通法、https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=335AC0000000105（2023 年 3 月閲覧）

[6] Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism、Scenario Validation Method for Lane Change Status report(UNR157-08-11)、UN/WP29/GRVA SIG on UN Regulation No. 157 8th session （2021）

[7] U. S. Department of Transportation Federal Highway Administration、Surrogate Safety Measures from Traffic Simulation Models -Final report-（Publication No. FHWA-RD-03-050）、pp. 63-96（2001）

[8] 伊藤　誠、丸茂　喜高（編著）、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.23-51（2015）

[9] L. Westhofen et al.、Criticality Metrics for Automated Driving : A Review and Suitability Analysis of the State of Art、Archives of Computational Methods in Engineering Vol. 30、pp. 1–35（2023）

[10] HORIZON2020、In-Depth Understanding of Accident Causation for Vulnerable Road Users -Review of Current Study Methods for VRU Safety-、pp. 17-52（2016）

[11] 渋谷　昌三、パーソナル・スペースの形態に関する一考察、山梨医大紀要、第 2 巻、pp. 41-49（1985）

[12] N. Lyu et al.、Novel Time-Delay Side-Collision Warning Model at Non-Signalized Intersections Based on Vehicle-to-Infrastructure Communication、International Journal of Environmental Research and Public Health、Vol. 18、No. 4、1520（2021）

[13] L. Scholl et al.、A Surrogate Video-Based Safety Methodology for Diagnosis and Evaluation of Low-Cost Pedestrian-Safety Countermeasures、Sustainability、Vol. 11、4737（2019）

[14] A. Chaudhari et al.、Exploring Pedestrian Surrogate Safety Measures by Road Geometry at Midblock Crosswalks、IATSS Research、Vol. 45、pp.87-101（2020）

[15] 日本自動車研究所、令和 3 年度無人自動運転等の先進 MaaS 実装加速化推進事業 （自動走行システムの安全性評価基盤構築に向けた研究開発プロジェクト）、pp. III-153-III-177（2022）

3.2.4　回避可能な範囲の定義に向けたドライバ反応特性の調査

3.2.4.1　他車レーンチェンジに対する後続車ドライバ反応特性

（1）　実験概要

AD 車は他車との衝突が起きないような車両挙動をとらなければならない。さらに、AD 車は周辺車を妨害するような車両挙動も避けなければならない。AD 車の社会実装に向けては、それら 2 つの AD 車として守るべき指標（クライテリア）に関して十分な事前検討をしておくことが肝要である。

そのため本研究では、高速道の合流部および本線上における、被合流・被カットインドライバの応答特性と受容程度を把握することを目的とする。全方位視野ドライビングシミュレータ（以下、「DS」という）を用いて、高速道の合流部および本線を運転中の車両データ、手動運転の運転操作(3.2.4.1 では以下ドライバの運転行動とする)などを計測することで、AD システム開発におけるクライテリア提案への活用可能性を検討した。（AD システムを搭載する他車？）本研究では AD 車がレーンチェンジ（カットイン）してくる条件として、実験 1 は合流路による実験とし、実験 2 は本線における実験を実施した。

（2）　実験条件

a)　道路環境

①　実験 1（図 3.2.4.1-1）

・片側 3 車線の高速道路に 8 ヵ所の合流部を設置

・ドライバが運転する自車両は本線の左側車線を走行

・ドライバが運転する自車両の走行車線の右側車線と追い越し車線には他車両が走行

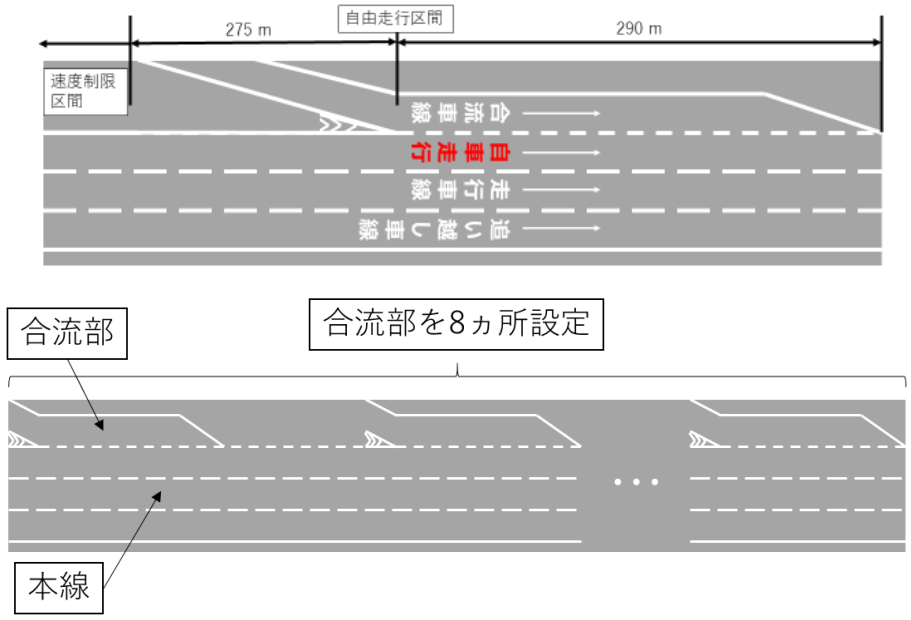


図 3.2.4.1-1　実験 1 の道路環境

② 実験 2（図 3.2.4.1-2）

・ドライバが運転する自車両は本線の中央の車線を走行

・追い越し車線には他車両が走行



図 3.2.4.1-2 実験 2 の道路環境

b） イベント

① 実験 1（図 3.2.4.1-3）

・自車両（ドライバ）が各合流部を通過する際に、合流する車両（AD 車）が本線に進入

・合流する車両は決められた位置により合流させるように設定

・実験参加者は危険を感じた場合、ブレーキのみで対応するよう教示

・実験参加者は、速度制限区間内は実験条件の速度を目標に走行、速度制限区間を超えたら普段通りの走行をするように教示

・実験参加者は 4 回走行し、合流車両の車両挙動に対するドライバの運転行動と合流車両に対する主観評価を計測

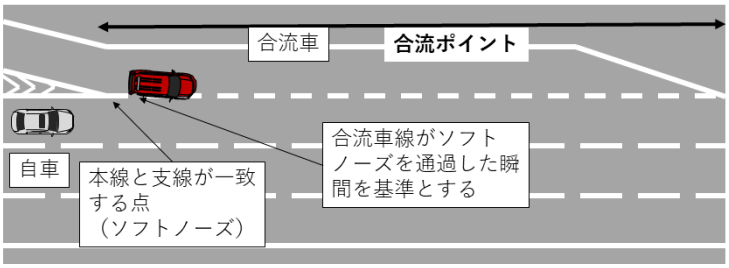


図 3.2.4.1-3 実験 1 のイベント

② 実験 2：カットイン（図 3.2.4.1-4）

・自車両（ドライバ）が本線を走行する際に、車群が本線左側走行車線に進入

・ある 1 台のカットインする車両(AD 車)は、決められたタイミングでカットインするように設定

・実験参加者は危険を感じた場合、ブレーキのみで対応するよう教示

・実験参加者は実験条件の速度になるべく近づけつつも、普段通りの走行をするように教示

・実験参加者は 4 回走行し、カットイン車両の車両挙動に対するドライバの運転行動とカットイン車両に対する主観評価を計測

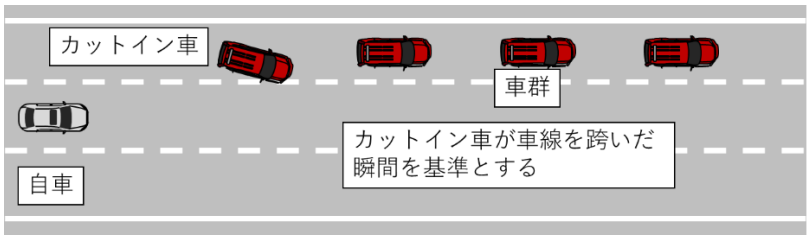


図 3.2.4.1-4　実験 2 のイベント

c)　実験条件

①　実験 1（表 3.2.4.1-1）

イベント時の自車両と合流車両の状況を以下に示す。

・自車速度 2 水準：70、80km/h

・合流車速度 2 水準：60、70km/h

・車間距離 4 水準：20、30、50、100m

・合流ポイント（ソフトノーズからの距離）2 水準：　20、70m

イベント直前に合流車両は 5km/h 加速する。

表 3.2.4.1-1　実験 1 の条件

条件番号	自車速度[km/h]	合流車速度[km/h]	車間距離[m]	合流ポイント[m]
1	70	60	20	20
2	70	60	20	70
3	70	60	30	20
4	70	60	30	70
5	70	60	50	20
6	70	60	50	70
7	70	60	100	20
8	70	60	100	70
9	70	70	20	20
10	70	70	20	70
11	70	70	30	20
12	70	70	30	70
13	70	70	50	20
14	70	70	50	70
15	70	70	100	20
16	70	70	100	70
17	80	60	20	20
18	80	60	20	70
19	80	60	30	20

20	80	60	30	70
21	80	60	50	20
22	80	60	50	70
23	80	60	100	20
24	80	60	100	70
25	80	70	20	20
26	80	70	20	70
27	80	70	30	20
28	80	70	30	70
29	80	70	50	20
30	80	70	50	70
31	80	70	100	20
32	80	70	100	70

② 実験 2（表 3.2.4.1-2）

イベント時の自車と合流車の状況は以下に示す。

・自車速度 2 水準：70、80km/h

・カットイン車速度 2 水準：60、70km/h

・車間距離 4 水準：20、30、50、100m

イベント直前にカットイン車両は 5km/h 加速する。

表 3.2.4.1-2 実験 2 の条件

条件番号	自車速度[km/h]	カットイン車速度[km/h]	車間距離[m]
1	70	60	20
2	70	60	30
3	70	60	50
4	70	60	100
5	70	70	20
6	70	70	30
7	70	70	50
8	70	70	100
9	80	60	20
10	80	60	30
11	80	60	50
12	80	60	100
13	80	70	20
14	80	70	30
15	80	70	50
16	80	70	100

d)　主観評価の方法

主観評価は図 3.2.4.1-5 のアンケートを DS 車内のナビに表示して実施する。

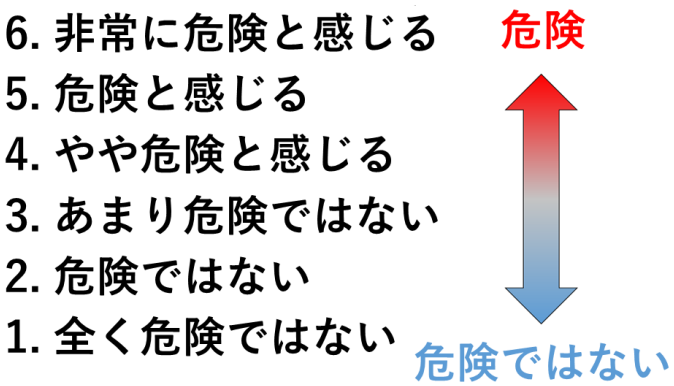


図 3.2.4.1-5　主観評価

（3）　実験参加者の属性・人数

a)　実験 1 の参加者属性と人数

実験 1 では、高速道の合流部における被合流側のドライバの運転行動を調査することを目的としているため、月 1 回以上高速道路を利用している実験参加者を優先して募集を行った。そのため、条件に合致する割合が高いと考えられる、30～60 歳代の男女を多めの年齢層とした。一方、その年齢層によるドライバの運転行動を比較するために、比較的若い年齢（20 歳代）と高齢（60 歳代）の実験参加者も募集した。参加者属性と募集人数を表 3.2.4.1-3 に示す。

本実験では、40 人の実験参加の協力を得た。実験参加者の属性を図 3.2.4.1-6 に示す。実験参加者 40 名の内訳は男性 20 名、女性 20 名であり、平均年齢は 44.58 歳（22～68 歳）、平均運転経験年数は 24.95 年（3～49 年）、平均年間走行距離は 10,496km（約 500～50,000km）であった。

表 3.2.4.1-3　実験 1 の実験参加者属性と募集人数

		年齢層		
		20 歳以上～30 歳未満	30 歳以上～60 歳未満	60 歳以上～70 歳未満
性別	男性	5 名	10 名	5 名
	女性	5 名	10 名	5 名
合計		40 名		

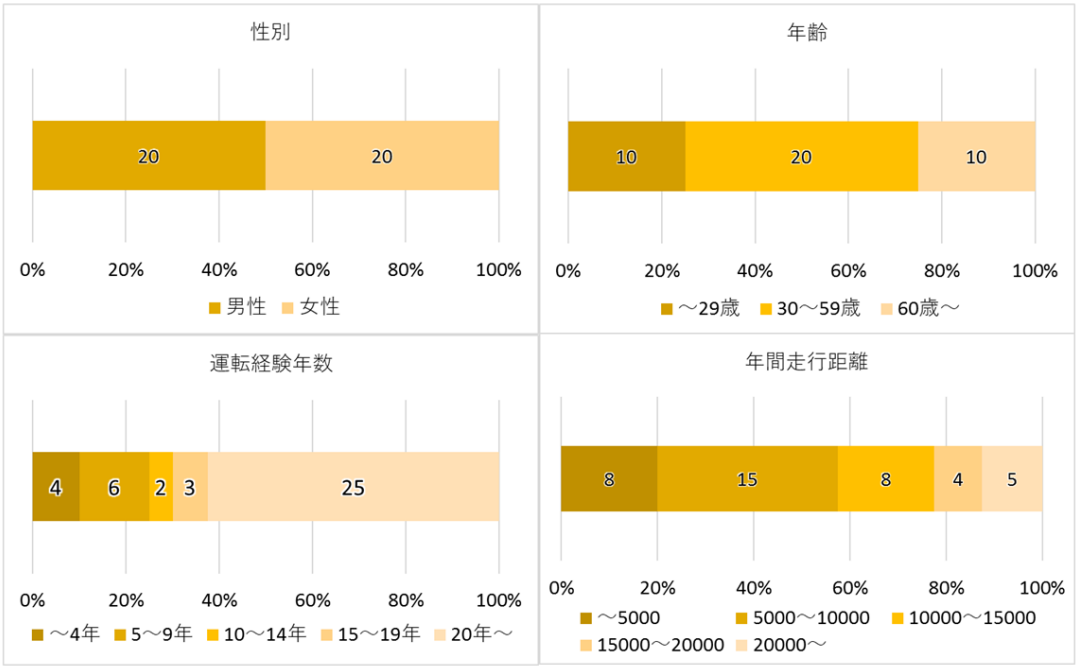


図 3.2.4.1-6　実験 1 参加者の属性

b)　実験 2 の参加者属性と人数

実験 2 においても、実験 1 と比較するため、実験 1 と同等の属性を優先して募集を行った。参加者属性と募集人数を表 3.2.4.1-4 に示す。

本実験では、38 人の実験参加の協力を得た。その中の 37 人分のデータを有効データとし、分析対象とした。実験参加者の属性を図 3.2.4.1-7 に示す。実験参加者 38 名の内訳は男性 21 名、女性 17 名であり、平均年齢は 48.71 歳（21～69 歳）、平均運転経験年数は 28.10 年（3～50 年）、平均年間走行距離は 12,461km（約 2000～50,000km）であった。

表 3.2.4.1-4　実験 2 の実験参加者属性と募集人数

		年齢層		
		20 歳以上～30 歳未満	30 歳以上～60 歳未満	60 歳以上～70 歳未満
性別	男性	5 名	11 名	5 名
	女性	5 名	11 名	5 名
合計		42 名		

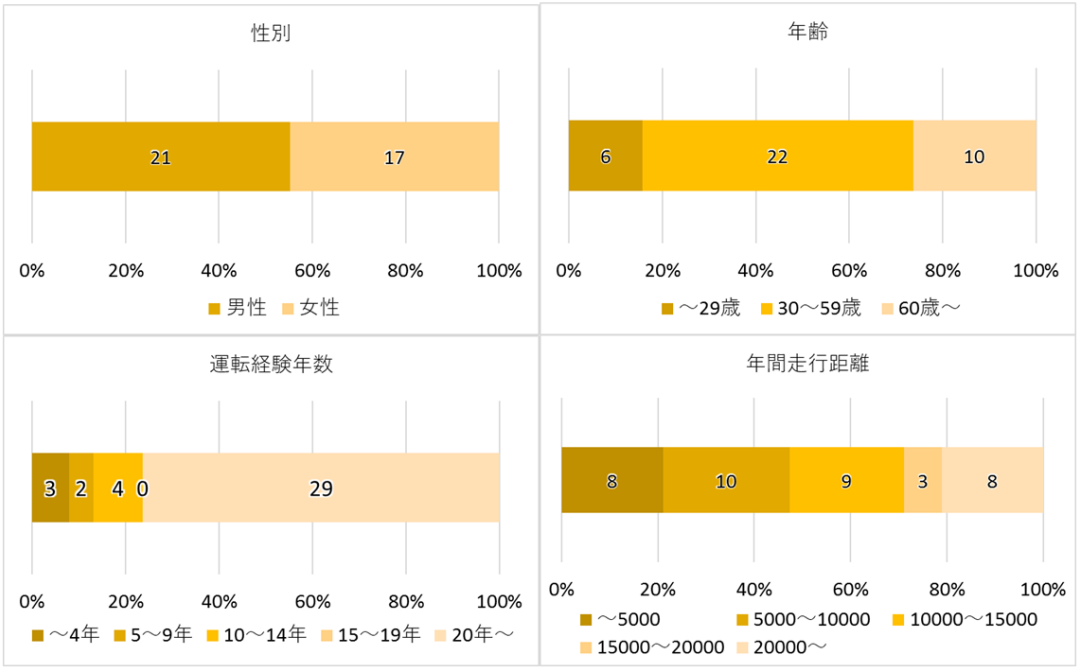


図 3.2.4.1-7　実験 2 参加者の属性

（4）　実験結果とまとめ

a）実験 1 の分析結果

実験 1 に関しては、合流部付近走行中における、ドライバ間の平均速度と合流車両との車間距離を、実験条件ごとに比較する。また、追い越しを行なったドライバに関する運転行動も分析対象とする。そして、条件ごとに行ったドライバによる主観評価も分析する。

最初に、追い越しが起こった条件とその件数を表 3.2.4.1-5 に示す。

表 3.2.4.1-5　追い越しが観測された条件と件数

条件番号	自車速度[km/h]	合流車速度[km/h]	車間距離[m]	合流ポイント[m]	件数
1	70	60	20	20	2
2	70	60	20	70	3
3	70	60	30	20	1
4	70	60	30	70	2
9	70	70	20	20	5
10	70	70	20	70	3
11	70	70	30	20	1
12	70	70	30	70	2
13	70	70	50	20	1
14	70	70	50	70	1
17	80	60	20	20	5
18	80	60	20	70	8
19	80	60	30	20	2
20	80	60	30	70	1
25	80	70	20	20	4
26	80	70	20	70	4
28	80	70	30	70	1

なお、衝突する例は、ドライバが追い越しをする際では条件 9 で 1 件観測され、合流車を合流させる場合では観測されなかった。

追い越しを行なった（最後に加速を行なった）タイミングにおける自車速度、車間距離、TTC^{-1} （TTC：Time to Collision)、および THW（THW：Time Head Way）に関するグラフを図 3.2.4.1-8 に示す。設定車間距離 20m は条件 1、2、9、10、17、18、25、26、設定車間距離 30m は条件 3、4、11、12、19、20、28、設定車間距離 50m は 13、14 である。なお、TTC^{-1} と THW の算出方法はそれぞれ式 3.2.4.1-1 と式 3.2.4.1-2 に示す。ここで、v_{ego}は自車速度 m/s、v_{other}は他車速度 m/s、dxは車間距離 m である。

$$\mathrm{TTC}^{-1} = \frac{1}{\mathrm{TTC}} = \frac{v_{ego} - v_{other}}{dx} \qquad \text{式 3.2.4.1-1}$$

$$\mathrm{THW} = \frac{dx}{V_{ego}} \qquad \text{式 3.2.4.1-2}$$

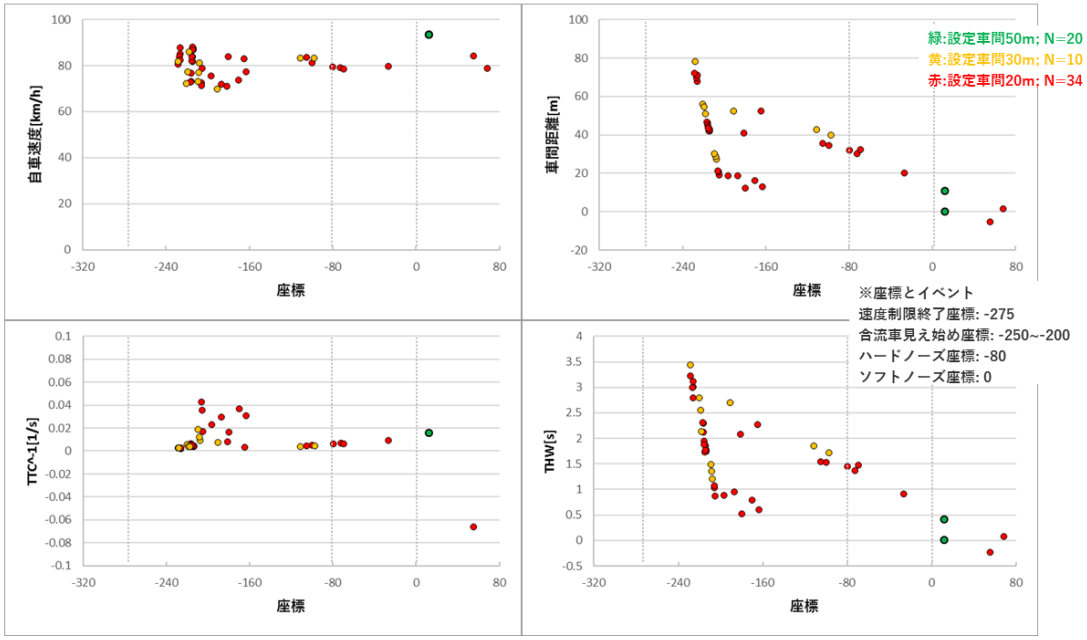


図 3.2.4.1-8　追い越しを確認した条件と種々のパラメータ

追い越しを始めるタイミングは、自車両がハードノーズ到達前に起こる傾向があるものの、ハードノーズ以降であっても追い越しをする件数が 8 件観測された。ハードノーズ到達前の追い越しは、合流車両が見え始めた直後から加速をすることで、合流車両を後ろに合流させようとしていることが示唆される。なお、車間距離が 0m 以下の時に追い越しを行なった状況は、追い越した後に加速することで合流車両との衝突を避けるためと考えられる。

次に、追い越しが起こらなった場合について、相対速度が同じ条件に関して、自車両の座標と平均自車速度・平均車間距離に関するグラフを図 3.2.4.1-9 から図 3.2.4.1-16 に示す。

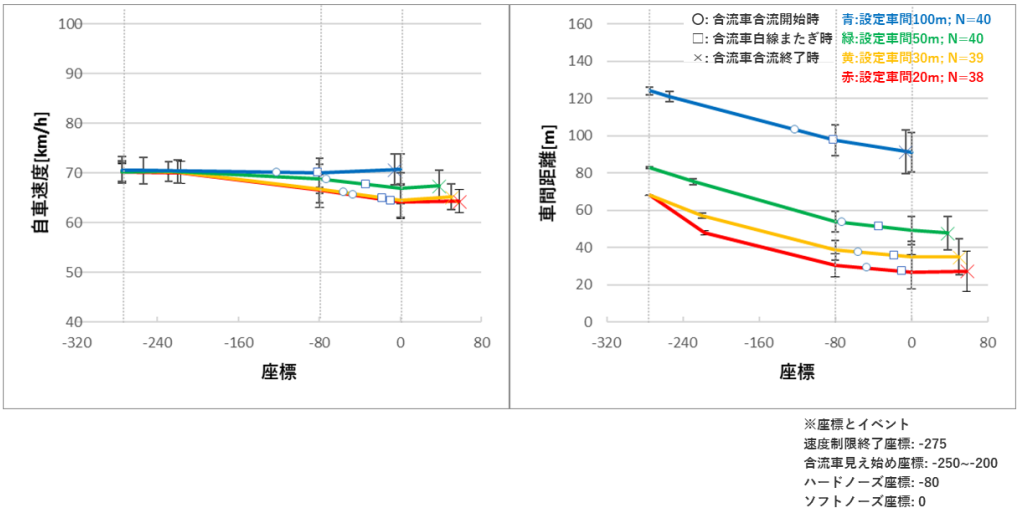


図 3.2.4.1-9　条件 1、3、5、7 における自車座標と平均自車速度・平均車間距離

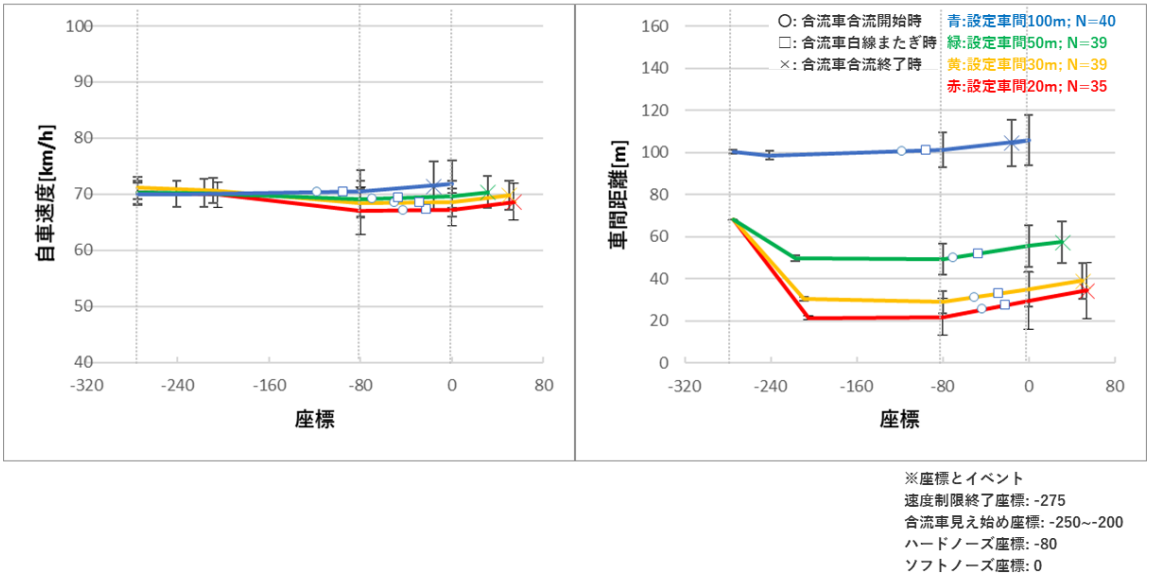


図 3.2.4.1-10　条件 9、11、13、15 における自車座標と平均自車速度・平均車間距離

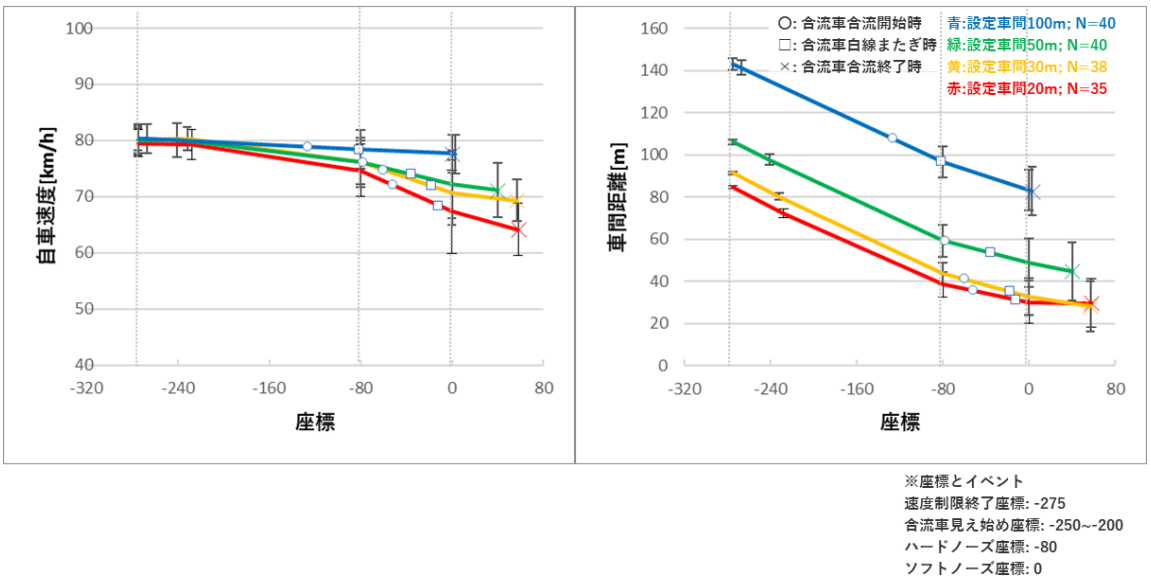


図 3.2.4.1-11　条件 17、19、21、23 における自車座標と平均自車速度・平均車間距離

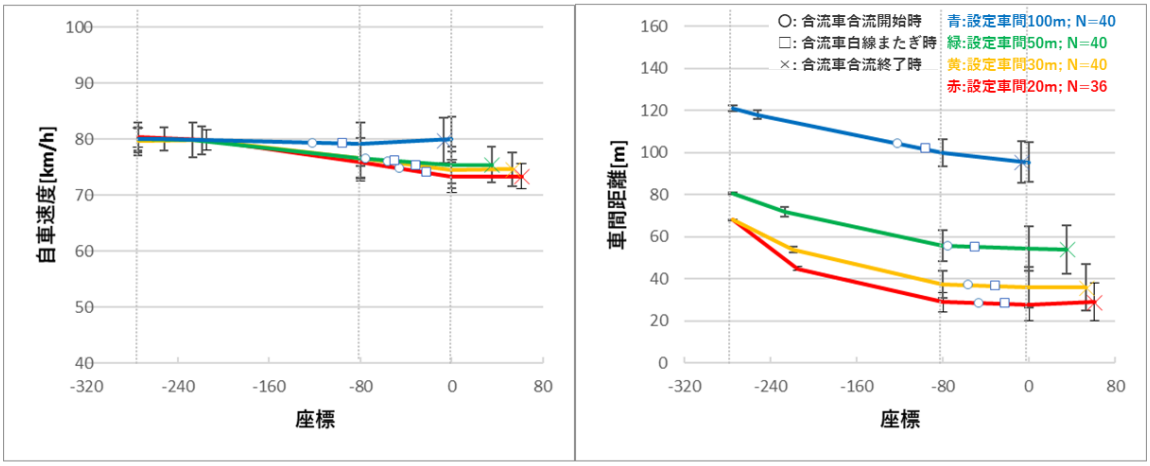


図 3.2.4.1-12　条件 25、27、29、31 における自車座標と平均自車速度・平均車間距離

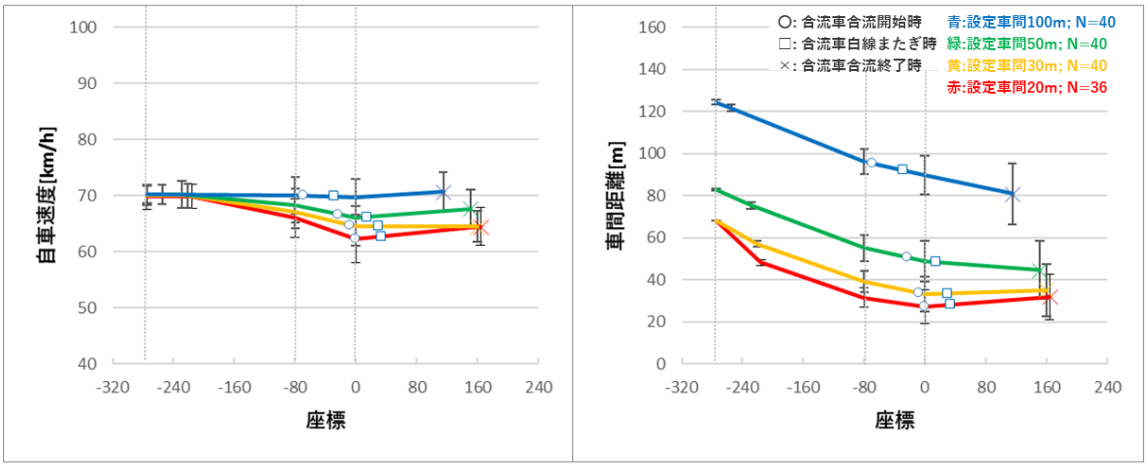


図 3.2.4.1-13　条件 2、4、6、8 における自車座標と平均自車速度・平均車間距離

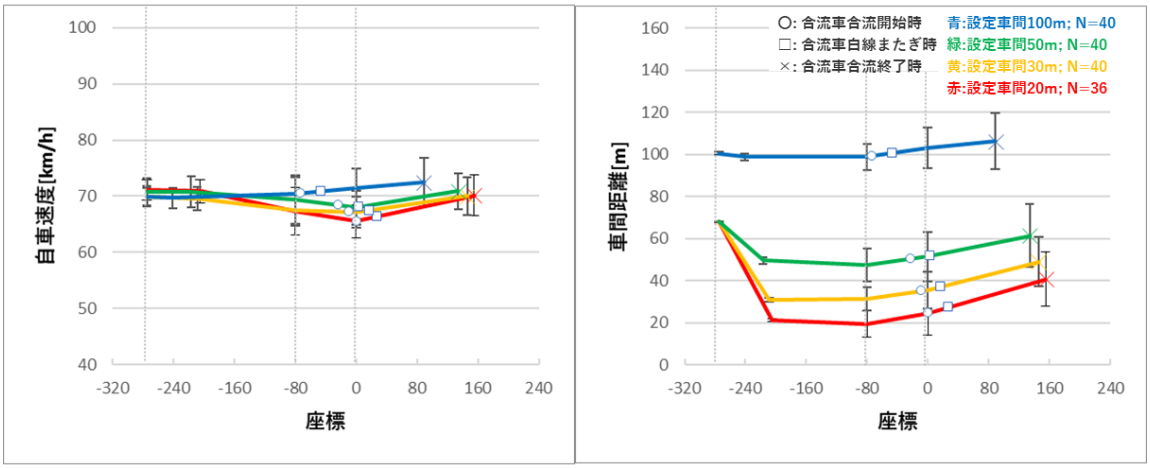


図 3.2.4.1-14　条件 10、12、14、16 における自車座標と平均自車速度・平均車間距離

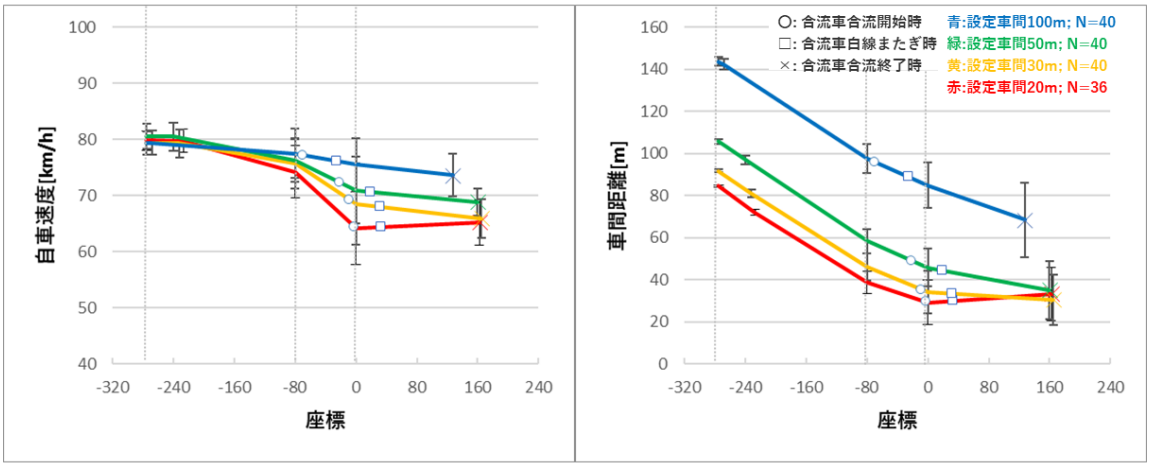


図 3.2.4.1-15　条件 18、20、22、24 における自車座標と平均自車速度・平均車間距離

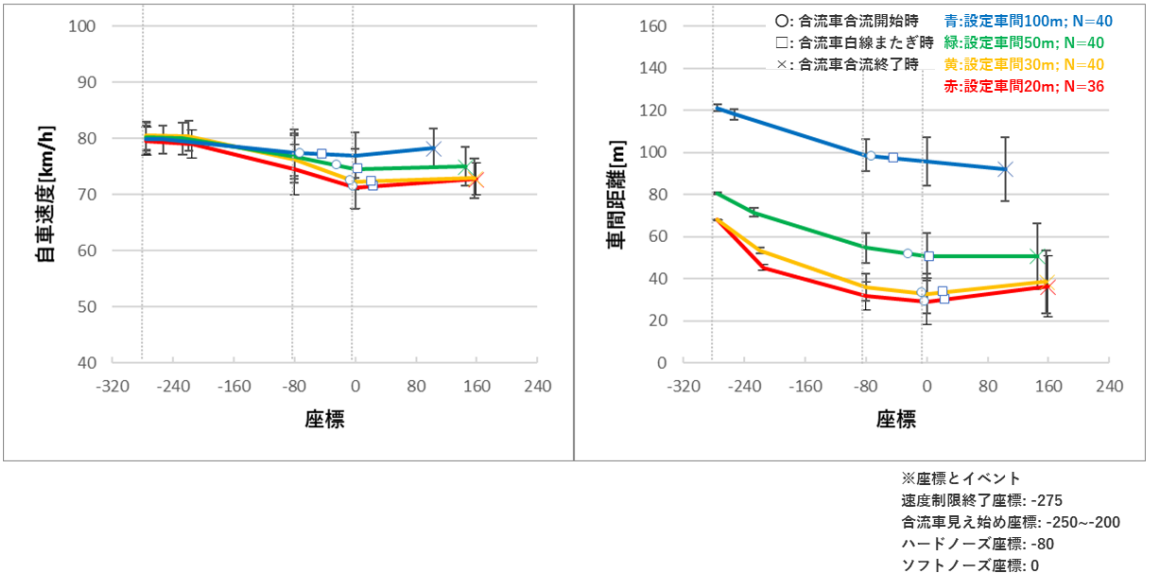


図 3.2.4.1-16　条件 26、28、30、32 における自車座標と平均自車速度・平均車間距離

いずれの条件においても、自車両は合流部に差しかかり、合流車両が見え始めてからハードノーズ到達までは速度維持、その後減速するような運転行動がみられる。その減速の具合は、相対速度が大きいほど（自車速度のほうが合流車速度よりも速いほど)、大きい傾向がみられる。また、設定車間距離よりも広めに車間距離を確保する傾向もみられる。

合流ポイントに関しては、合流ポイントが 20m（ソフトノーズに近い側）で合流された場合は、合流終了までは速度を低くする傾向がみられた。一方、合流ポイントが 70m では、合流車両が白線をまたぐまではドライバは速度を低くし合流をさせるものの、その後は速度を上げる傾向がみられた。これは、合流後は合流車両の速度が上がることを期待していると考えらえる。

また、車間距離に関しては、20m と 30m 条件は同等のドライバの運転行動がみられた。これは、車間距離が 30m 以下ではドライバは危険を感じて、衝突を回避するために減速などを行なうためと考えられる。

一方、自車速度と合流車速度では、相対速度が同じ条件（例えば条件 1、3、5、7 V.S. 25、27、29、31）では、類似した運転行動がみられる。これは、合流車両との相対速度をもとに、ドライバは運転行動を決しているためと考えられる。

これらの結果より、追い越しを行なった場合と行なわなかった場合を比較する。追い越しを行なったドライバが存在した条件に絞り、追い越しを行なった場合は最後に加速した地点における TTC^{-1} と、追い越しを行なわなかった場合はハードノーズ到達地点における TTC^{-1} を比較したグラフを図 3.2.4.1-17 に示す。なお、相対速度が同じ条件は 1 つの水準としてまとめている。

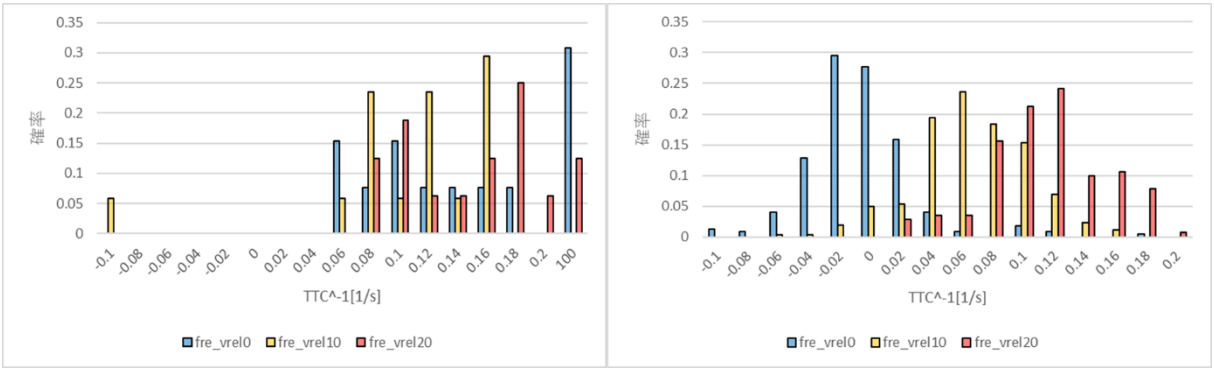


図 3.2.4.1-17　追い越し（左）と被合流（右）時の TTC^{-1}

追い越しは、相対速度の条件によらず、TTC^{-1}[1/s]が 0.06 から 0.2（TTC 換算では約 5s から 16.7s）で行われている。一方、被合流時における、ハードノーズ到達時の TTC^{-1} は相対速度によって異なり、相対速度が大きいほど TTC^{-1} が大きい傾向がみられる。相対速度が 0km/h 条件では、TTC^{-1} が負になる場合も散見される。これは、合流時に合流車両が加速するためと考えられる。

そして、実験条件ごとの主観評価の結果を図 3.2.4.1-18 に示す。追い越しが確認された条件は赤で囲んで示す。なお、追い越しを行なったドライバには、合流車線にいた合流車両に対する印象を回答させた。

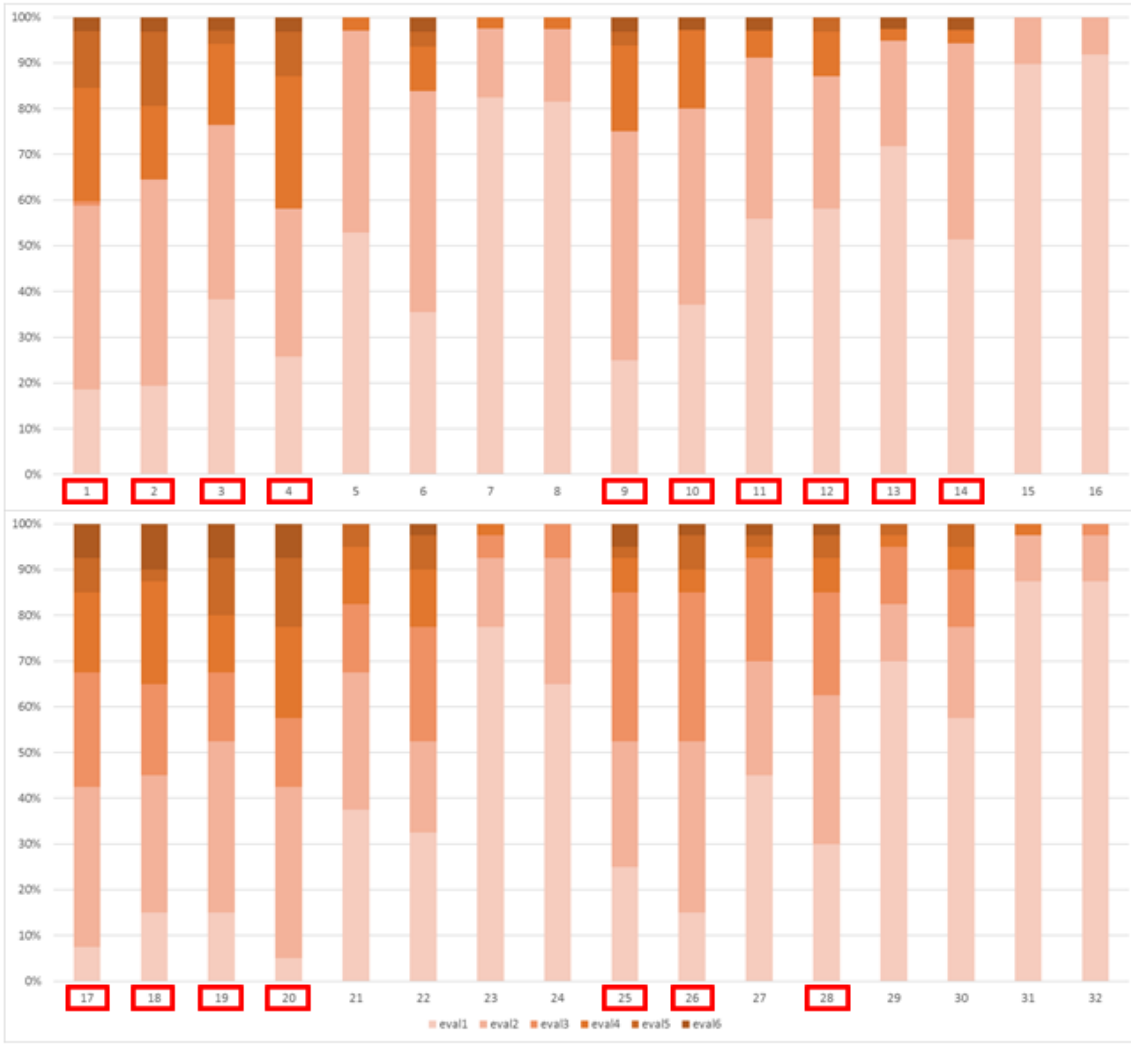


図 3.2.4.1-18　実験 1 の主観評価

主観評価では、車間距離が小さい条件や相対速度が大きい条件では、5 や 6（危険と感じる、非常に危険と感じる）と回答したドライバが多いという傾向がみられた。しかし、そのような条件であっても 1 や 2（全く危険ではない、危険ではない）という回答もあった。そのようなドライバへの事後アンケートでは、「合流してくることが分かったため、危険とは思わなかった」、「速度の調整ができたため、怖くなかった」などの意見も散見された。

これらの運転行動や主観評価の分析より、相対速度が 10 から 20km/h かつ、TTC^{-1}[1/s] が 0.06 から 0.2 の運転行動を詳細に分析することで、合流部のクライテリアを検討することが可能であると考えられる。

b)　実験 2 の分析結果

実験 2 においても実験 1 と同様に、カットイン直前のドライバの運転行動（平均速度やカットイン車両との車間距離）を分析対象とする。また、実験 1 と同様に、条件ごとに行った実験参加者による主観評価も分析する。

実験 2 では、実験 1 と同等の AD 車の車両挙動をとるようなパラメータを、本線走行時のカットイン条件で設定し、合流部と本線とでドライバの運転行動と主観評価を比較することを目的としている。この時、特に衝突の可能性が高い条件（臨界条件）において、合流部と本線のドライバの運転行動を比較することで、合流部用のクライテリアを検討することにつながると考える。

衝突の危険性が高い条件は、S-Critical（臨界車間距離）と呼ばれる指標を用いることとする。これは、UN R157（高速道路における車線維持機能に関する自動運転技術に関する規則）の中に定められている車線変更要件である。S-Critical の算出方法を式 3.2.4.1-3 に示す。

$$S_{\text{Critical}} = \begin{cases} (v_{rear} - v_{ACSF}) * t_b + \frac{(v_{rear} - v_{ACSF})^2}{2*a} + v_{ACSF} * t_G \ (\text{if } v_{rear} - v_{ACSF} > 0) \\ v_{rear} * 1[\text{s}] \ (\text{otherwise}) \end{cases} \quad \text{式 3.2.4.1-3}$$

v_{rear}	接近車両の速度もしくは 130km/h の低い値
v_{ACSF}	ACSF 車（車線変更車）の速度
a	3m/s²（接近車両の減速度）
t_B	0.4s（車線変更操作開始後に接近車両の減速が開始する時間）
t_G	1s（接近車両の減速後の車両間の残り間隔）

式 3.2.4.1-3 に示した通り、S-Critical は車線変更する車両が車線変更する際に、後続車両との必要な車間距離を示す値である。

実験 2 において、S-Critical で計算される必要車間距離よりも設定車間距離が小さい条件は、表 3.2.4.1-2 に則ると条件 1（設定車間距離: 20m、S-Critical: 17.6m）、条件 9（設定車間距離: 20m、S-Critical: 13.5m）、条件 13（設定車間距離: 20m、S-Critical: 18.0m）の 3 通りである。実験 1 において、これらと同等の条件であるのは表 3.2.4.1-1 中における条件 1、2、17、18、25、26 の 6 通りである。しかし、実験 1 において合流ポイントが 70m である条件は、合流車両が見え始めてから合流を開始するまでかかる時間に関して合流ポイントが 20m の条件に比べて長いために、合流車両が合流を開始するまでの間のドライバの運転行動が多岐にわたること、および実験設定として、合流車両がソフトノーズ到達時に設定車間距離に到達するように車両挙動を決定しているため、実験 2 の結果と比較することは難しい。そのため、今回は（A）実験 1 の条件 1 と実験 2 の条件 1、（B）実験 1 の条件 17 と実験 2 の条件 9、および（C）実験 1 の条件 25 と実験 2 の条件 13 の 3 通りに絞って運転行動を比較することとする。なお、比較する際には実験 1 において追い越しをしていない場合のみを対象とする。

まず、合流車両、およびカットイン車両が白線をまたぐタイミングにおいて、自車両と

の相対速度と車間距離について比較したグラフを図 3.2.4.1-19 から図 3.2.4.1-21 に示す。黒線は S-Critical の臨界条件を表す。なお、青は車間距離が S-Critical を満たす（達成）場合、赤は満たさない（未達）場合をそれぞれ表す。また、S-Critical を満たす場合と満たさない場合の件数を表 3.2.4.1-6 に示す。

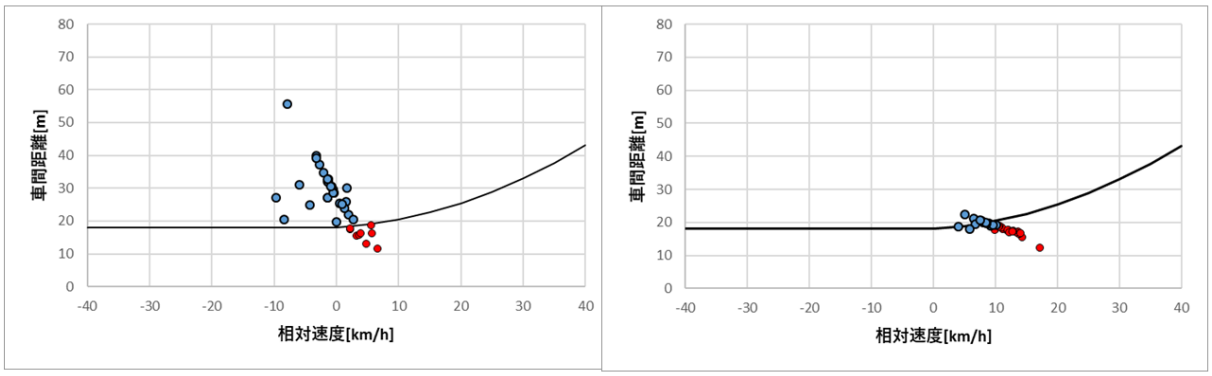


図 3.2.4.1-19　条件 A における相対速度と車間距離: 合流部（左）、 本線（右）

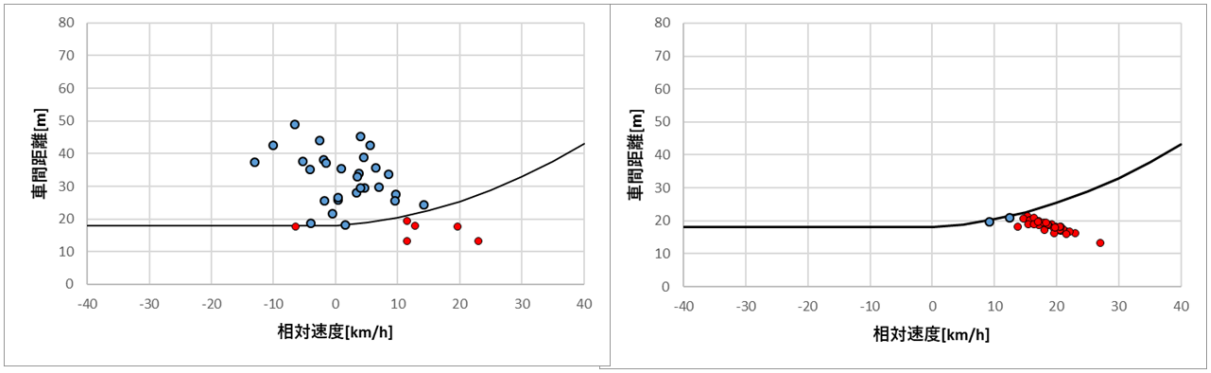


図 3.2.4.1-20　条件 B における相対速度と車間距離: 合流部（左）、 本線（右）

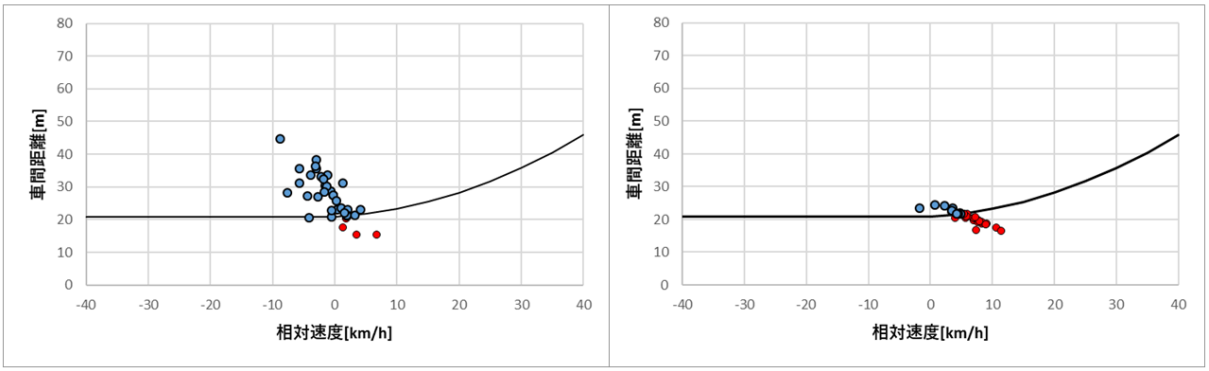


図 3.2.4.1-21　条件 C における相対速度と車間距離: 合流部（左）、 本線（右）

表 3.2.4.1-6 S-Critical 達成件数と未達件数

条件	合流部 達成	合流部 未達	本線 達成	本線 未達
A	29	9	15	22
B	29	6	2	35
C	32	4	10	27

どの条件においても、合流部のほうが車間距離が大きい傾向がみられる。分散分析の結果、条件 A、B、C いずれの場合においても有意差（A: $F(1,73)=30.576$、$p<.001$、B: $F(1,70)=118.856$、$p<.001$、C: $F(1,71)=31.610$、$p<.001$）を確認した。これは、実験 1 の合流部側の実験では、合流車両の速度は合流を開始するまでは一定であるため、合流車両が見え始めてからドライバは、合流車両との相対速度や車間距離を考慮しながら加減速を行なうことができるためと考えられる。一方、実験 2 の本線側では、設定車間距離に達した際にカットインを始めるようにしているため、車間距離は狭く、ばらつきが小さい傾向がみられる。また相対速度に関しては、合流部のほうが相対速度が小さい（自車両と合流車両との速度が近い）傾向がみられる。相対速度に関しても、分散分析の結果いずれの条件の場合においても有意差　（A: $F(1,73)=188.346$、$p<.001$、B: $F(1,70)=53.529$、$p<0.001$、C: $F(1,71)=95.538$、$p<0.001$）　を確認した。

S-Critical の達成状況は表 3.2.4.1-6 に示す通り、合流部のほうが達成件数が多い傾向がみられる。これは上述したとおり、合流部では合流車両が見えてから速度や車間距離を調整する猶予が与えられる一方、カットイン条件ではカットインするタイミングの予測ができず、速度や車間距離の調整が難しいためと考えられる。

次に最大減速度を比較する。最大減速度に関するグラフを図 3.2.4.1-22 から図 3.2.4.1-24 にそれぞれ示す。また、基本統計量と分散分析の結果を表 3.2.4.1-7 に示す。

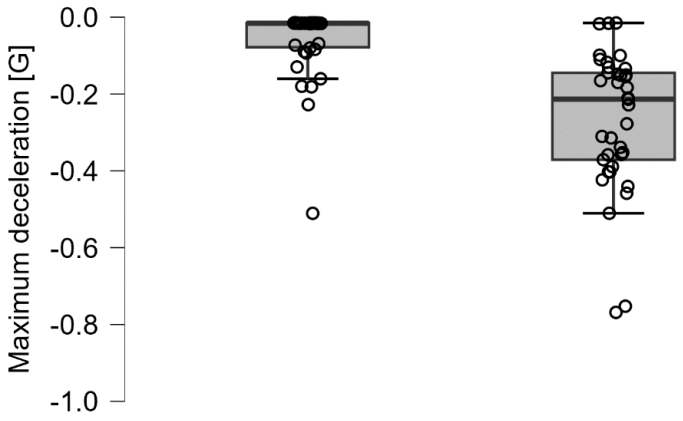


図 3.2.4.1-22　条件 A における最大減速度: 合流部（左）、 本線（右）

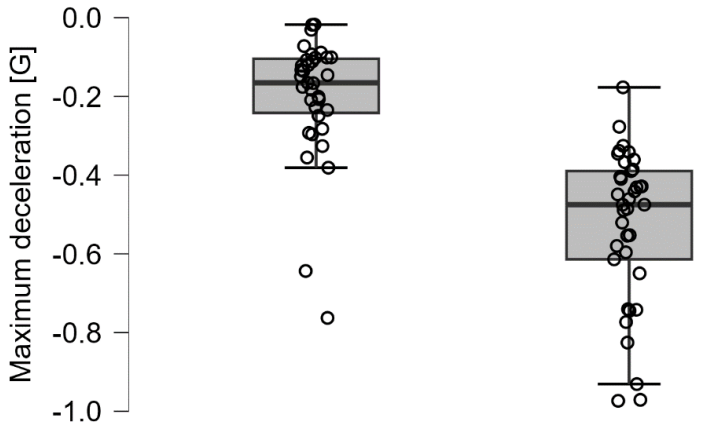


図 3.2.4.1-23　条件 B における最大減速度: 合流部（左）、 本線（右）

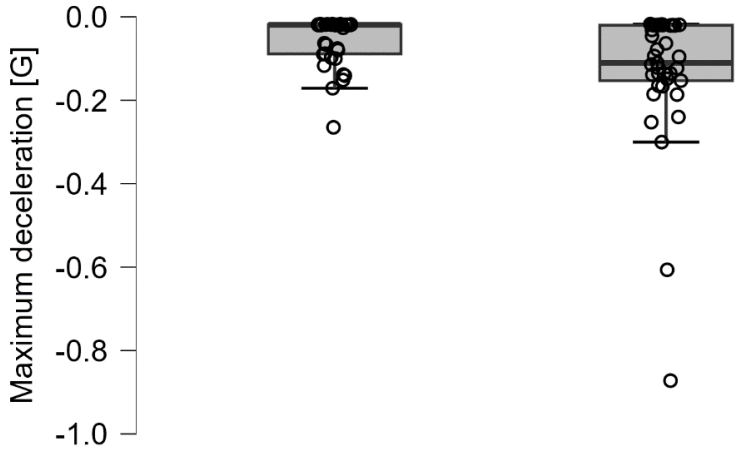


図 3.2.4.1-24　条件 C における最大減速度: 合流部（左）、 本線（右）

表 3.2.4.1-7 条件ごとの最大減速度[G]に関する基本統計量と検定結果

	A 合流部	**A 本線**	**B 合流部**	**B 本線**	**C 合流部**	**C 本線**
平均	-0.060	-0.267	-0.200	-0.526	-0.057	-0.133
上位 95%信頼区間	-0.030	-0.209	-0.149	-0.463	-0.038	-0.079
下位 95%信頼区間	-0.090	-0.325	-0.252	-0.589	-0.076	-0.188
標準偏差	0.094	0.180	0.156	0.196	0.059	0.168
最小値	-0.511	-0.768	-0.763	-0.973	-0.265	-0.872
最大値	-0.014	-0.015	-0.018	-0.177	-0.018	-0.017
分散分析結果	$F(1,73)=39.276$、$p<.001$		$F(1,70)=60.382$、$p<.001$		$F(1,71)=6.583$、$p=.012$	

平均値で比べると、いずれの条件においても本線側のカットイン条件の方が減速度の絶対値が大きいことがわかる。分散分析の結果では条件 C では有意差がみられなかった。これらの結果より、同じパラメータを用いた車線変更シナリオでは、本線側のカットイン条件のほうが、後続車両に急ブレーキを踏ませていることが示唆される。

なお、比較対象ではない条件を含む、最大減速度に関するグラフを図 3.2.4.1-25（合流部）と図 3.2.4.1-26（本線）に示す。これらを比較すると、S-Critical の条件では、他の条件に比べて最大減速度が大きい傾向があること、および、合流部は本線に比べて最大減速度が小さく、緩やかな減速をしやすい傾向があることが示唆される。

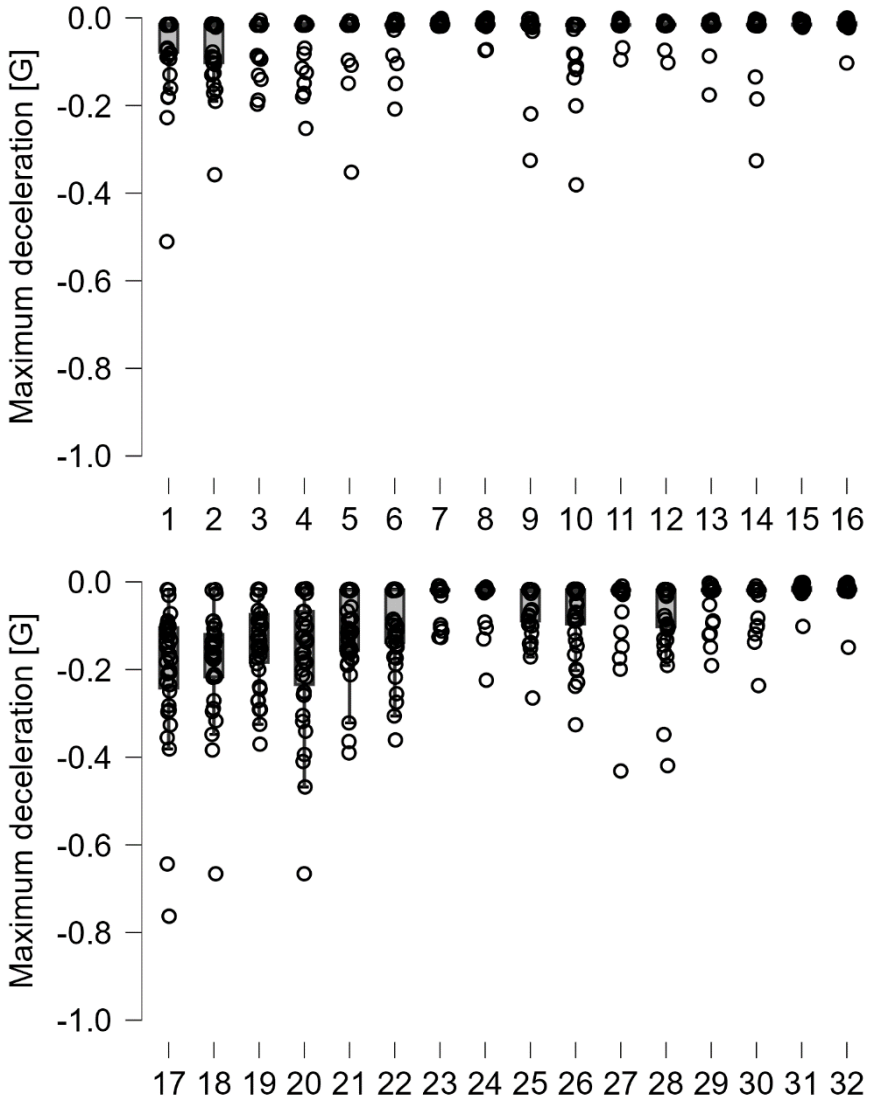


図 3.2.4.1-25　合流部における最大減速度

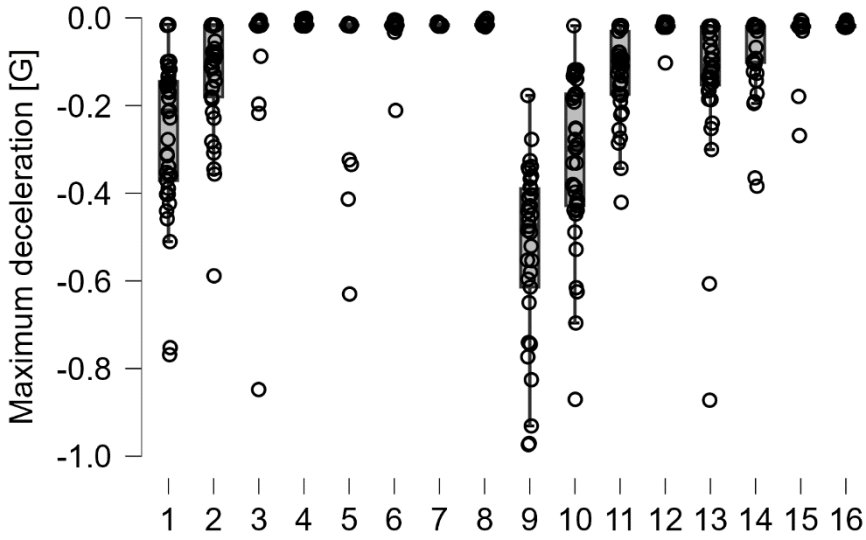


図 3.2.4.1-26　本線における最大減速度

最後に主観評価を条件ごとに比較した結果を図 3.2.4.1-27 示す。

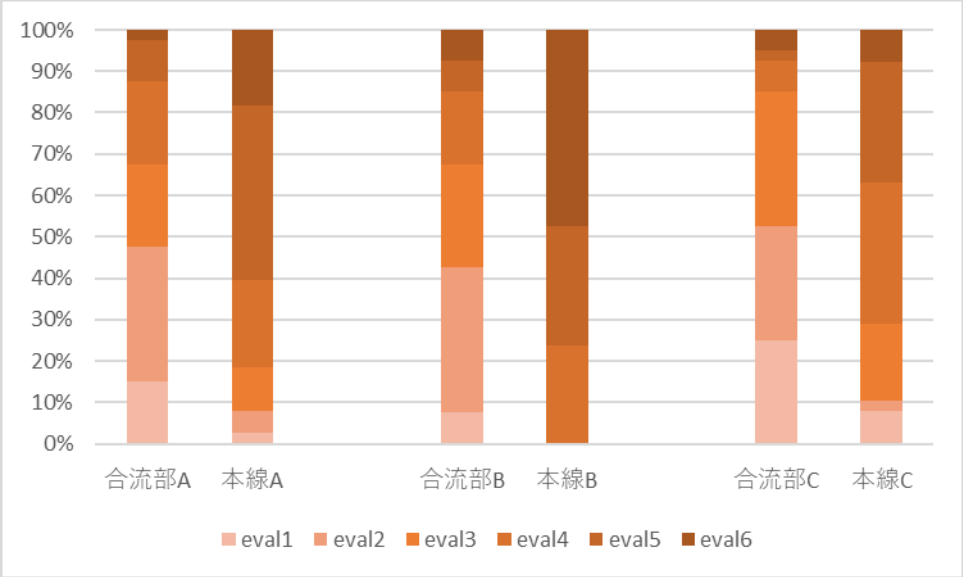


図 3.2.4.1-27　条件ごとの主観評価の比較

いずれの条件においても、本線側のカットイン条件の方が点数が高く、危険と感じる割合が高い傾向が示唆される。また平均値は、条件 A では合流部 2.85、本線 4.50、条件 B では合流部 3.05、本線 5.24、条件 C では合流部 2.50、本線 3.97 である。比較対象を含まない主観評価の結果を図 3.2.4.1-28 に示す。なお、青枠は上述した条件である。

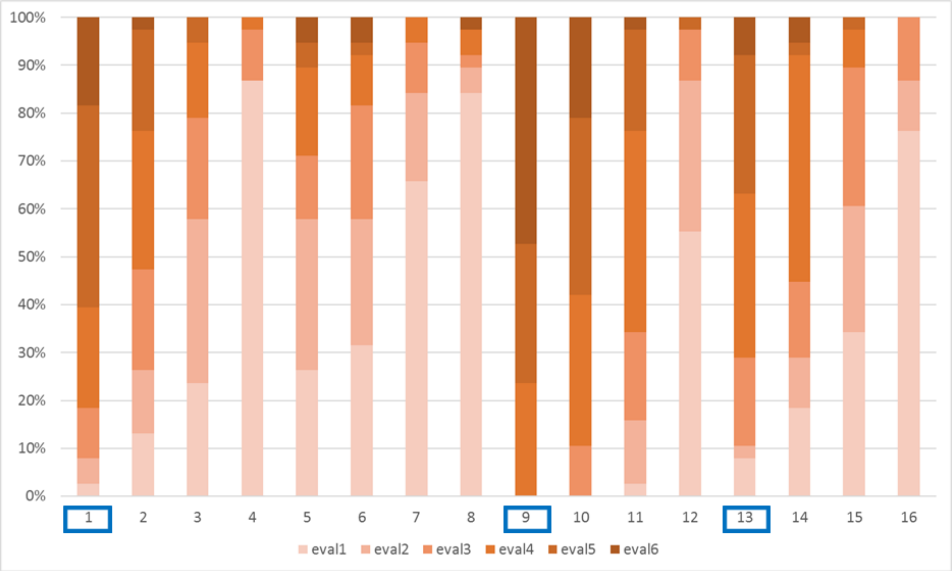


図 3.2.4.1-28　実験 2 における条件ごとの主観評価の結果

主観評価の結果から、S-Critical の条件の時は危険と感じる割合が高い傾向が示唆される。

これらの実験結果の比較から、同じ AD 車による合流とカットインの挙動であっても、合流部と本線では車線変更される際のドライバの運転行動や AD 車に対する印象が異なる傾向が示唆される。その他の S-Critical 以外の条件についても、ドライバの運転行動や主観評価を比較することによって、合流部用のクライテリアを検討することが可能になると考えられる。

3.2.4.2　突発的な運転交代要請に対するドライバ反応特性

（1）　実験概要

自動運転システムを使用するドライバは、システムがあらかじめ提示する運転交代要請である RtI（Request to Intervene）にしたがって運転を引き継ぐことが求められ、引継ぎが完了するまでの応答特性についてはさまざまな調査がされている。一方で、突発的な事象に伴う運転交代では急な要請に対してもドライバは引き継ぐことが求められるが、そのような状況下での運転引継ぎ時の応答特性について調査した事例は少ない。突発的な運転交代においては、ドライバがハンドルから手を離した状態（ハンズオフ）から引き継ぐことが想定され、ハンズオフ状態のドライバがどのように応答できるかを把握する必要がある。そこで、突発的な運転交代時にハンズオフ状態のドライバの運転引継ぎ時の応答特性に関する客観的なエビデンスを DS（Driving Simulator）を用いた実験によって取得することを目的とする。本実験では、旋回中と直進中の RtI に対するドライバの応答特性を調査する。

a）　実験 1：旋回中の運転引継ぎ条件

カーブ区間の走行中に発生する急な RtI に対するドライバの応答特性を調査する。自動運転システムの設計として、RtI が発生してから自動走行が完全に解除されるまでの時間条件を操作し、各条件における応答特性を比較する。

b）　実験 2：直進中の突発的な運転引継ぎ条件

直線区間の走行中に突発的な事象により発生する急な RtI に対するドライバの応答特性を調査する。ハンズオフとハンズオンにおけるドライバの応答特性を比較する。

（2）　実験条件

a）　道路環境

実験 1 における道路環境を図 3.2.4.2-1 の左に示す。450R のカーブ区間で、ドライバは片側 2 車線の自動車専用道路の左側車線を自動走行によって走行した。自車の速度は 107 km/h とした。発生した横加速度は約 0.2 G であった。カーブ区間の走行中には自車の周辺を他車が走行した。また、道路の外側にはガードレールを設置した。

実験 2 における道路環境を図 3.2.4.2-1 の右に示す。ドライバは、片側 2 車線の自動車専用道路の左側車線を自動走行によって走行した。自車の速度は 90 km/h とした。直進区間の走行中には自車の前方と、右車線の前方を他車が走行した。



図 3.2.4.2-1　道路環境

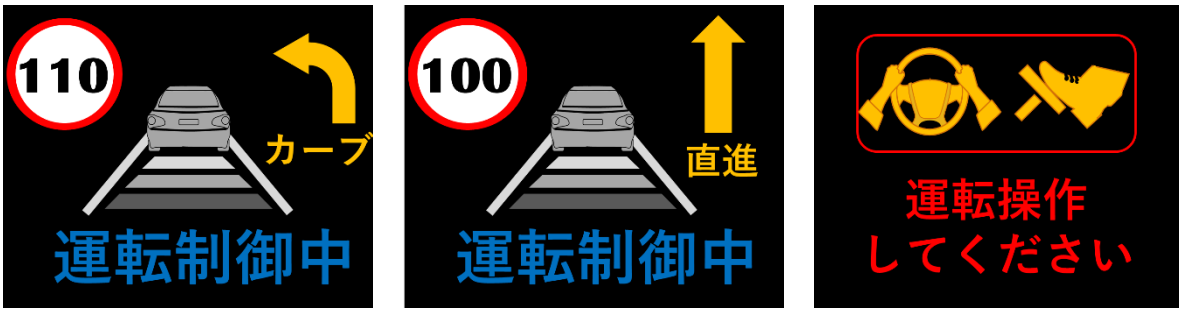
b）　イベント

各実験条件で AD システムによる RtI が発生し、RtI を知らせる HMI（Human-Machin Interface）を提示した。RtI の提示位置を図 3.2.4.2-2 に示す。現在の自動運転の状態を通知する方法として、運転席速度メータに現在の状態をイラストと文字で表示した。RtI 時は運転の交代要請を示すイラストと文字を表示し、それと同時に信号音を提示した。



図 3.2.4.2-2　RtI の提示位置

自動走行システムの HMI の概要を図 3.2.4.2-3 に示す。カーブ区間では（a）が提示され、直線区間では（b）が提示され、RtI 時は（c）が提示される。RtI 時の信号音は、1.0 kHz＋1.50 倍の複合音 0.2 秒周期で、duty 比は 70%／1 秒間とした。RtI を示すイラスト、文字、信号音はドライバが運転操作するまで提示し続けた。実験参加者に対して、自動で走行中の周辺監視の義務はドライバに課されており、RtI が発生した場合は適切に操作して手動運転に切り替えるように教示した。



（a）　（b）　（c）

図 3.2.4.2-3　自動走行システムの HMI：
a：カーブ区間の自動運転時、b：直線区間の自動運転時、c：RtI 提示時

各実験におけるイベントを図 3.2.4.2-4 に示す。実験 1 では、カーブ区間で RtI が発生し、ドライバが適切に運転操作しなければ、車両が右の車線に逸脱するように設計した。RtI が発生してから AD による操舵が徐々に解除されるようにシステムを設計した。

実験 2 では、直線区間において前方車両が約 0.3G で減速している最中に RtI が発生し、ドライバが適切に運転操作しなければ、前方の車両に衝突するように設計した。RtI が発生した直後に AD によるブレーキが解除されるようにシステムを設計した。

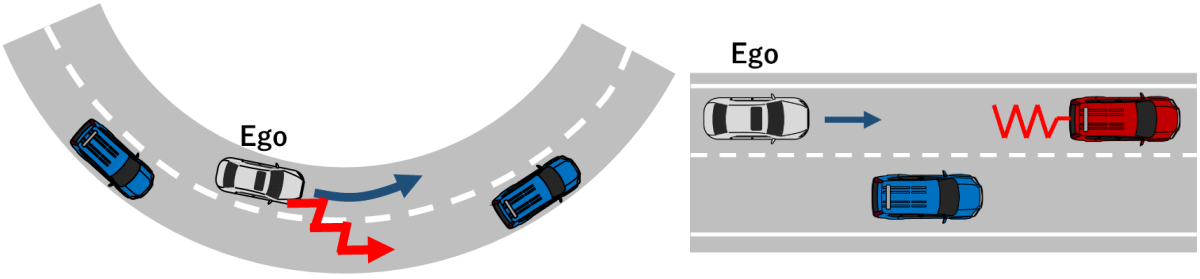


図 3.2.4.2-4　実験イベント

c)　実験条件

各実験の条件を表 3.2.4.2-1 表 3.2.4.1-1 に示す。実験 1 では、RtI が発生してから自動走行が完全に解除されるまでの時間として、1.1 秒、2 秒、3 秒の 3 条件を設定した。実験 2 では、手の位置としてハンズオフとハンズオンの 2 条件を設定した。実験参加者 1 名に対して実験 1 と実験 2 のそれぞれ 1 条件を割り当てて、グループ間比較を行った。表 3.2.4.2-1 に示すように、実験 1 と実験 2 の各条件の実施回数が均等となるように、A～F の 6 種類のパターンを準備し、各実験参加者に対して 1 パターンを割り当てた。

また、突発的な RtI に対するドライバ行動を対象とするため、実験を実施した順序についても分析した。1 回目に実施した試行を先条件とし、2 回目に実施した試行を後条件として定義した。実験全体で、実験 1 と実験 2 のどちらを先に実施するかは均等となるようにした。

表 3.2.4.2-1　実験条件

	A	B	C	D	E	F
1 回目	実験 1 1.1 秒	実験 2 ハンズオフ	実験 1 2 秒	実験 2 ハンズオフ	実験 2 ハンズオン	実験 1 4 秒
2 回目	実験 2 ハンズオフ	実験 1 1.1 秒	実験 2 ハンズオン	実験 1 2 秒	実験 1 4 秒	実験 2 ハンズオフ

（3）　実験参加者概要

本実験では、高速道における突発的な運転引継ぎ要請でのドライバの応答特性を調査することを目的としているため、月 1 回以上高速道を利用している実験参加者を優先して募集した。また、運転引継ぎに対する反応時間と実験参加者の年齢層に関係がある可能性を

考慮して、表 3.2.4.2-2 に示すように若年者（21 歳以～40 歳未満）、中年者（40 歳以～55 歳未満）、高齢者（55 歳以～70 歳未満）とグループを分けて募集した。

実験では 83 名から実験参加の協力を得た。実験参加者の属性を図 3.2.4.2-5 に示す。男性 41 名、女性 42 名で、平均年齢は 48.94 歳（25～48 歳）だった。平均運転経験年数は 28.48 年（5～50 年）で、平均年間走行距離は 8,919.37 km（約 100～70,000 km）であった。

表 3.2.4.2-2　実験参加者属性と募集人数

	21 歳以～40 歳未満	40 歳以～55 歳未満	55 歳以～70 歳未満
男性	12 名	14 名	16 名
女性	11 名	16 名	14 名
合計	83 名		

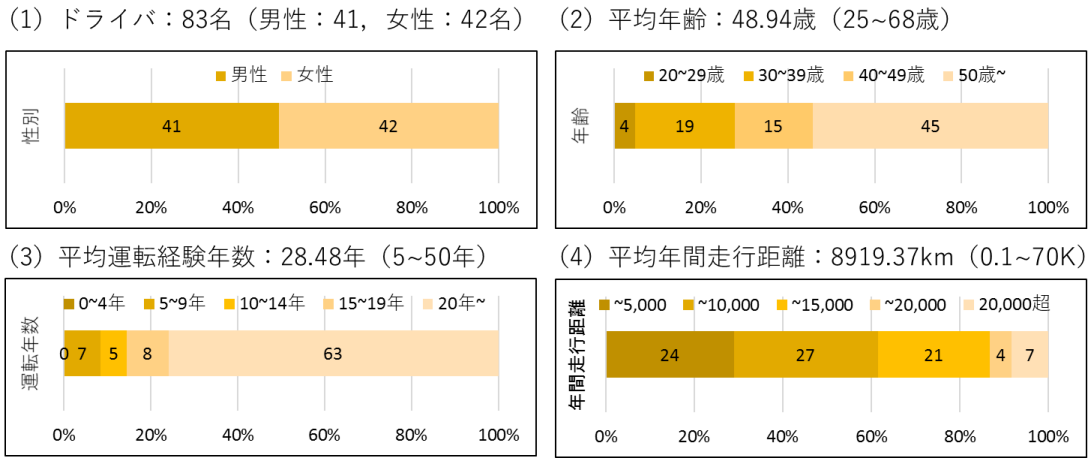


図 3.2.4.2-5　実験参加者の属性

（4）　実験 1 の結果

a）　実験 1 の分析方法

①　各条件の RtI 時の自動運転システムの設計

・実験条件による RtI 時のステアリングトルク指令値の変化

図 3.2.4.2-6 に示すように、実験条件により RtI から運転操作までのシステムからのステアリングトルク指令値を設定した。本実験条件では、RtI 前の自動運転走行でカーブ走行中に車線を逸脱しないためには、約 6 N・m の操舵トルクが必要である。RtI が発生した場合、1.1 秒条件ではシステムからのステアリングトルク指令値が 0 N・m になり、システムによる横制御が完全に切れ、ドライバの反応がない場合には 1.1 秒後に車両が逸脱するように設定した。2.0 秒条件と 4.0 秒条件はそれぞれ RtI からステアリングトルク指令値が徐々に減り、設定された条件で車両が逸脱するように設定した。

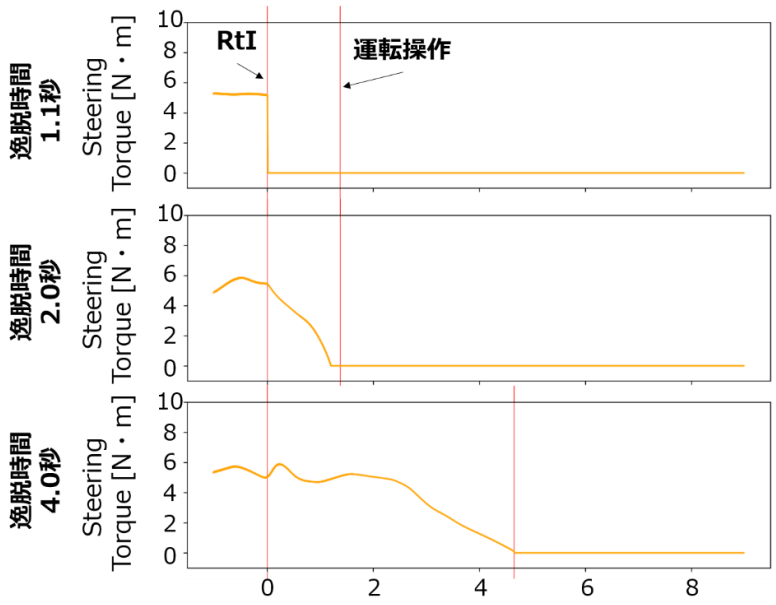


図 3.2.4.2-6　実験条件の RtI 時のシステムからのステアリングトルク指令値

・運転操作時間によるステアリングトルク指令値の変化

図 3.2.4.2-7 に、4.0 秒条件で異なる運転操作によるシステムからのステアリングトルク指令値の変化を示す。2.0 秒条件と 4.0 秒条件のステアリングシステムは RtI からトルク指令値が徐々に減少するように設定されているが、ドライバによる運転操作が発生するとトルク指令値が 0 N・m になり、完全手動運転になるように設定した。

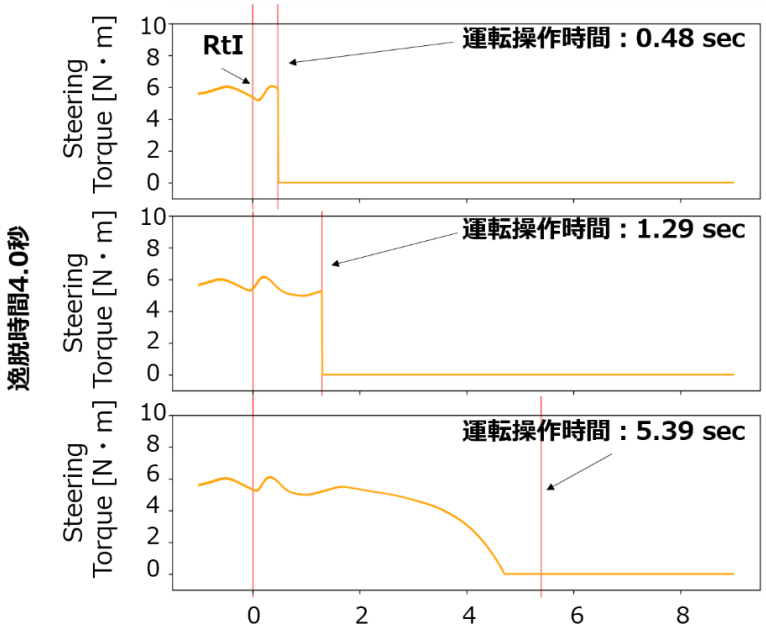


図 3.2.4.2-7　逸脱時間 4.0 秒条件の運転操作時間によるシステムからのステアリングトルク指令値の変化

② 分析パラメータ抽出

図 3.2.4.2-8 は実験条件による RtI から車線逸脱までの余裕時間を示す。ドライバの応答特性を調査するため、RtI に対するドライバの反応である「RtI から運転操作が発生する前のドライバの行動」と、運転操作後の車両状態である「運転操作してからの行動」の二つに分けて分析した。また、実験終了後の主観評価と実験についてのインタビュー内容について分析した。また、順序については条件間で差が見られなかった。



図 3.2.4.2-8　実験条件による逸脱余裕時間

・運転操作前のドライバの行動

RtI から運転操作までの時間は、運転引継ぎのパフォーマンス推定に有用である。道路環境や周辺環境により危険度は異なると考えられるが、事故を回避するたの最も重要なパラメータであると考えられる。さらに、ハンズオフが可能な一部の AD システムの場合、周りの環境を正しく認識し状況に合う運転引継ぎ行動をとる必要がある。Lotz, A.（2020）らは RtI に対する反応時間を、RtI が発生してから道路環境を確認するまでの時間である TTEoR（Time to Eyes on Road）、ステアリングを把持するまでの時間である TTHoS（Time to Hands on Steering）、手動運転に交代するための三つの行動（ステアリング、アクセル、ブレーキ）をとるまでの時間である TTFR（Time to First Reaction）に分けてパラメータの重要度を分析した[1]。その結果、実験参加者には自動運転システムの経験がなく、テストコースでの走行が初めてという制約条件があったが、TTFR の平均は 1.087 秒（SD=0.417 秒）、TTHoS の平均は 0.727 秒（SD=0.253 秒）、TTEoR の平均は 0.364（SD=0.425 秒）の結果が、作成したシナリオ上では最も早い時間だった。

本実験も同様に、高速道路のカーブ走行中の突発的な RtI によるドライバの反応を調査することが目的であるため、ドライバの状況認識による反応方法やその反応時間のパラメータを調査する必要がある。そのため、図 3.2.4.2-9 に示すように、RtI から操作準備（①）と RtI から運転操作（①＋②）で分け、その方法と時間の調査を行った。ただし、ドライバがハンドルを握るか、ペダルに足を置くことを操作準備として定義し、ハンドルかペダルの操作量がしきい値を超えることを運転操作として定義した。操作準備と運転操作の方法はステアリング、アクセル、ブレーキの三つとした。それぞれの条件でしきい値を設定し、いずれかの操作量がしきい値を超えた場合に自動運転を解除した。ステアリングはトルクの 5.0 N・m、アクセルはストロークの 10 %、ブレーキはストロークの 5 %をしきい値とした。また、RtI が提示されてからハンドルを握るまでの時間をステアリング把持時間として定義した。

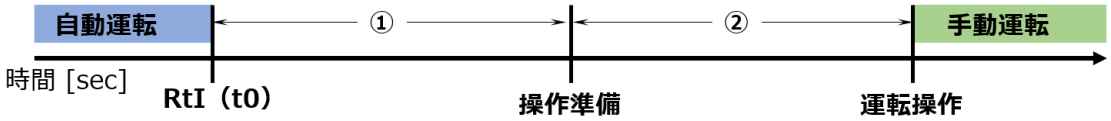


図 3.2.4.2-9　運転操作前のドライバの行動の二つのパラメータ
（操作準備までの時間、運転操作までの時間）

・運転操作後のドライバの行動

運転操作前のドライバの応答特性により、その後の安全性を評価するために運転操作後の最大移動量について図 3.2.4.2-10 のように調査を行った。パラメータは走行軌跡を道路座標系に変換し、RtI が発生した時刻の車両の右前輪の横位置（y 軸）の変化の内、初期位置から最も離れた位置を調査した。このパラメータに関しては、道路環境、走行速度、運転操作後の AD システムの設計などに影響を受ける可能性があるため、本実験条件での運転操作後のドライバの危険度の評価のみに使用した。

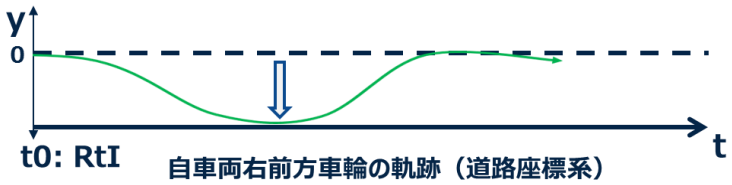
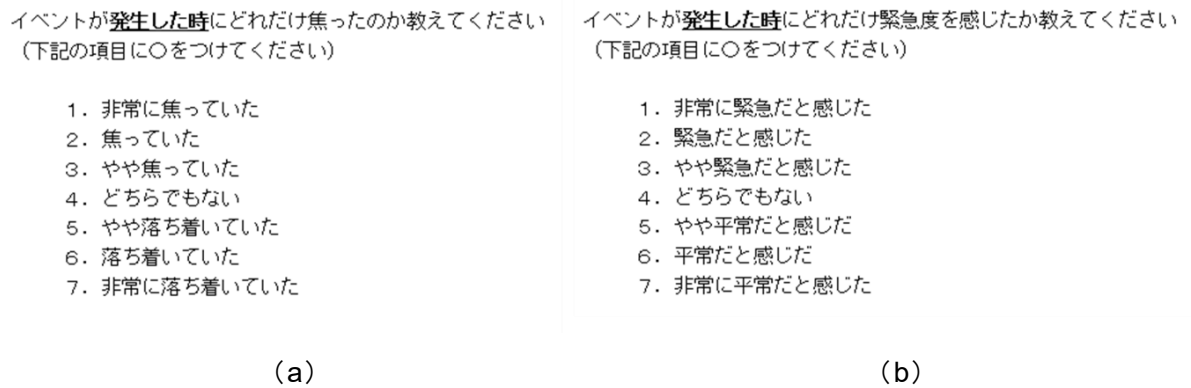


図 3.2.4.2-10　運転操作後のドライバの行動のパラメータ（最大横移動量）

・主観評価

RtI が発生した時のドライバの感情について調査するために、実験後に図 3.2.4.2-11 に示す主観評価を行った。主観評価は焦り具合と状況の緊急度の二つの項目で構成され、7 段階のリッカート尺度で調査を行った。物理的なドライバの応答性のパラメータとの比較およびその原因の考察のため、得点の統計分析を行った。



（a）　　（b）

図 3.2.4.2-11　実験後アンケートの内容
a：状況による焦り具合、b：状況の緊急度

b)　実験 1 の有効データ数

実験 1 で調査された実験参加者属性ごとの有効データ数を表 3.2.4.2-3 に示す。実験は性別、年齢からのドライバの反応時間などの応答特性に影響がある可能性を考慮し、条件毎に各年齢層と性別で均等に調査を行った。実験参加者 83 名の内 4 名の実験参加者は運転操作後、逸脱された車線を維持し走行を続けたため、車線を逸脱しないためのドライバの行動を調査している本実験の内容と異なるため今回の分析データとしては含めなかった。また、1.1 秒条件の 25 件のデータの内、1 名のドライバが運転操作に対する反応なしで中央分離帯と衝突したので、このデータについては運転操作前のドライバの行動データは分析対象とはせず、右前方の車輪の最大移動量のみ使用した。

表 3.2.4.2-3　実験 1 の実験参加者属性ごとの有効データ数

性別	年齢	1.1 秒	2.0 秒	4.0 秒
男性	21～39	4	4	4
	40～54	4	5	4
	55～69	3	6	5
女性	21～39	5	2	3
	40～54	4（衝突 1 件）	5	5
	55～69	5	5	5
計		25	27	27

c)　実験 1 の分析結果

まず、分析結果の概要を以下のようにまとめる。運転操作の前と後のドライバの行動については後述する。

・ドライバの操作行動

I.　本実験結果は、カーブ走行中の突発的な運転交代要請に対する運転操作は車線逸脱までの余裕時間によって変化する可能性を示している。

II.　RtI 提示からハンドルを把持するまでに、大多数は約 0.9～1.4 秒の時間が必要であり、最大で約 2.0 秒の時間を要した。

III.　1.1 秒条件は余裕時間が最も小さいこともあり、RtI 後の操作準備と、運転操作までの時間が最も短かった。

IV.　4.0 秒条件では、RtI 提示後の操作準備と運転操作の双方を完了した時点での、隣接車線までの余裕時間が比較的長かった。

V.　少数ではあるが､4.0 秒条件では運転操作行動が比較的遅くなるケースも見られた。

・左右方向の最大移動量

I. RtI 後の車両の右方向の最大移動量は、1.1 秒条件（約 2.1 m）、2.0 秒条件（約 1.2 m）、4.0 秒条件（約 1.0 m）の順に小さかった。

II. 4.0 秒条件では、他の条件に比べてドライバ間のばらつきが小さかった。

III. 4.0 秒条件では、他の条件に比べて突発的な運転交代要請に対する運転操作と操作後の適切な操作が期待できる。

IV. 本実験データは運転操作によってステアリングトルク指令値がキャンセルされる設定で取得したものであり、トルク指令値の徐減を維持する設定であれば左右方向の最大移動量がより改善される可能性がある。

① 運転操作前のドライバの行動

まず、各条件による運転操作前までのドライバの応答特性の概要を、図 3.2.4.2-12 **エラー! 参照元が見つかりません。**と以下のようにまとめる。分析結果の詳細については後述する。

I. 1.1 秒条件では、最も迅速に行動しているが、約 40%が運転操作した時点で隣接車線に到達していた。

II. 2.0 秒条件では、概ね隣接車線に到達する前に運転操作できるが、間に合わないドライバも存在した。

III. 4.0 秒条件では、2.0 秒条件と同程度の水準で運転操作できることに加え、その後にドライバが操作を実行するまでの余裕時間も残った。ただし、少数だが特異な事例が見られた。

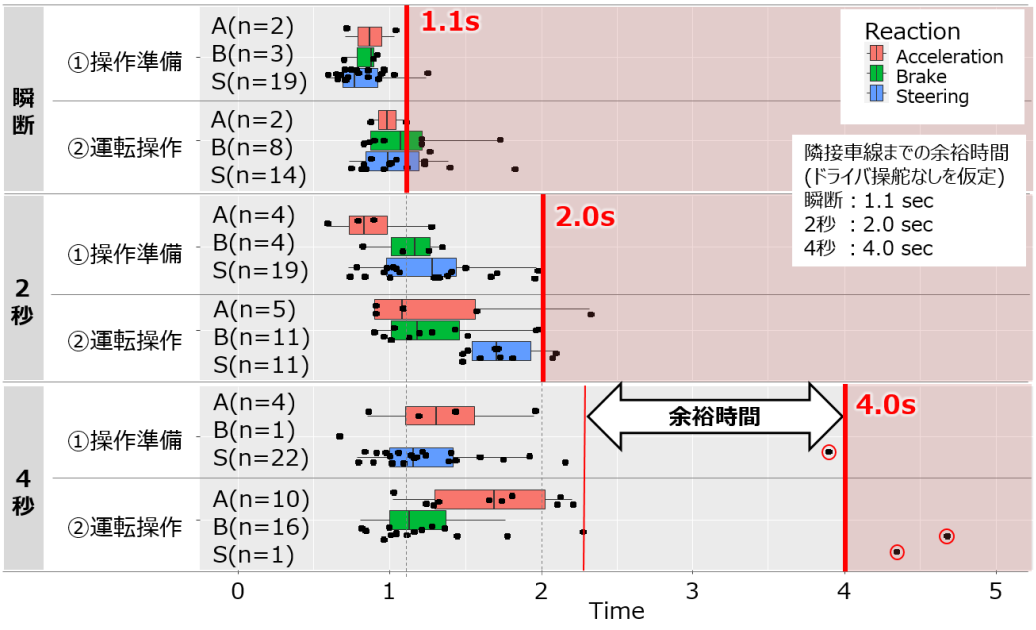


図 3.2.4.2-12　実験条件によるドライバの操作準備と運転操作の方法と時間

・操作準備方法および時間

実験条件によるドライバの運転操作と準備行動の方法の割合について図 3.2.4.2-13 と表 3.2.4.2-4 に示す。いずれの条件でもステアリング把持による運転操作準備が最も多く、その割合が少ない条件でも 70 %であることが確認された。アクセルペダルとブレーキペダルによる準備行動については大きい差は見られず、二つの方法を合わせて全体の約 20～30 %のドライバが、運転操作準備行動としてペダルへの反応を示した。ステアリング把持による準備行動が多かった理由は、高速道における R450 のカーブを 107 km/h で走行中に突発的な RtI が発生しているため、ドライバは車両の加減速度の制御より、RtI 後車両が手動運転に変わった時に操舵制御で車線を逸脱しないためステアリング把持が最も多かったと考えられる。

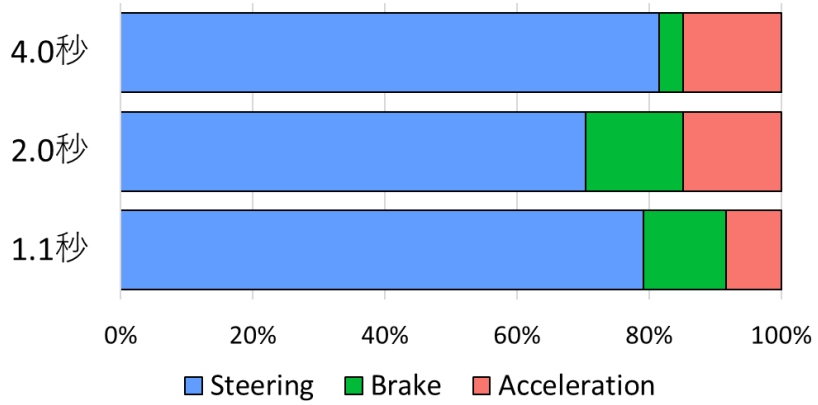


図 3.2.4.2-13　実験条件による運転操作準備方法

表 3.2.4.2-4　実験条件による運転操作準備方法

	1.1 秒	2.0 秒	4.0 秒
Steering	19（79%）	19（70%）	22（81%）
Brake	3（13%）	4（15%）	1（4%）
Acceleration	2（8%）	4（15%）	4（15%）
Total	**24（100%）**	**27（100%）**	**27（100%）**

図 3.2.4.2-14 に示すように、操作準備の方法については、実験条件による差は見られなかったが、操作準備をとるまでの反応時間に関しては条件による差が確認された（F（2, 72）=9.569, p<.001）。操作準備時間は 1.1 秒条件でもっとも早く（Mean=0.80, SD=0.15）、2.0 秒条件（Mean=1.18, SD=0.37）、4.0 秒条件（Mean=1.33, SD=0.63）順で遅くなった。統計的な差を確認した結果、1.1 秒条件では、2.0 秒条件より早く（p=.006）、4.0 秒条件より早い（p<.001）ことを確認した。2.0 秒条件と 4.0 秒条件の操作準備時間には統計的な有意差は確認されなかった。1.1 秒条件において、1 名のドライバが操作準備に 1.24 秒を要したため、逸脱までに操作準備を完了できなかったが、それ以外のドライバは車線逸脱前

までに準備行動を完了した。操作準備時間は車両逸脱までの余裕時間に大きく関係があり、逸脱までの余裕時間が少ないほど早くなることを確認した。ただし、周りの状況を完全に把握している場合の人間ドライバの反応時間が約 0.7～0.75 秒であること[2]と、本実験における 1.1 秒条件の操作準備時間の平均は約 0.8 秒（SD=0.15）であり、他の条件よりも早かったことから、物理的に限界の反応時間だった可能性も考えられる。2.0 秒条件と 4.0 秒条件では、逸脱までの余裕時間が長くなるほど反応時間が長くなり、標準偏差も大きくなることを確認した。ただし、4.0 秒条件において、1 名のドライバが操作準備に 3.89 秒を要し、他のドライバの反応時間と大きな差があったが、2.0 秒条件と 4.0 秒条件では統計的な有意差は見られず、2.0 秒条件と比べて大きな差はないことを確認した。これらの結果により、逸脱までの余裕時間が長くなるほど操作準備時間も遅くなるが、ある程度の逸脱までの余裕時間以上になった場合には操作準備時間は変わらない可能性が考えられる。

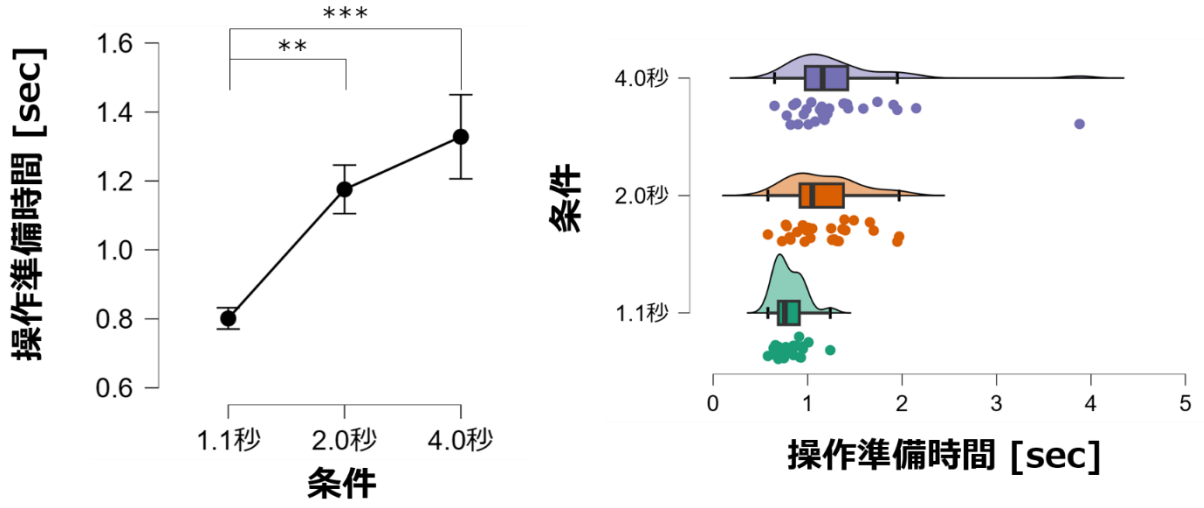


図 3.2.4.2-14　実験条件による運転操作準備時間

・ステアリング把持時間

操作準備方法として、ドライバの 70 %以上が運転操作の前にステアリングを把持していた。カーブ走行中の突発的な RtI の対応としてはステアリング把持までの時間が重要なパラメータの一つであると考えられる。したがって、RtI からステアリング把持までの時間を調査した。ステアリング把持時間を図 3.2.4.2-15 に示す。ステアリング把持時間は 1.1 秒（Mean=0.89, SD=0.37）、2.0 秒（Mean=1.21, SD=0.07）、4.0 秒（Mean=1.39, SD=0.13）の順で早いことを確認した。条件による統計的な有意差が確認された（F（2, 76）=7.167, p=.001）ため、各条件間の統計的な差を確認した結果、1.1 秒条件では、2.0 秒条件より早く（p=.035）、4.0 秒条件より早い（p<.001）ことを確認した。2.0 秒条件と 4.0 秒条件の間には統計的な有意差は確認されなかった。全体のステアリング把持時間の平均は約 0.9～1.4 秒だった。多くのドライバは 2 秒以内にハンドルを把持したが、ステアリングの把持までに 2 秒以上を要するケースも見られた。

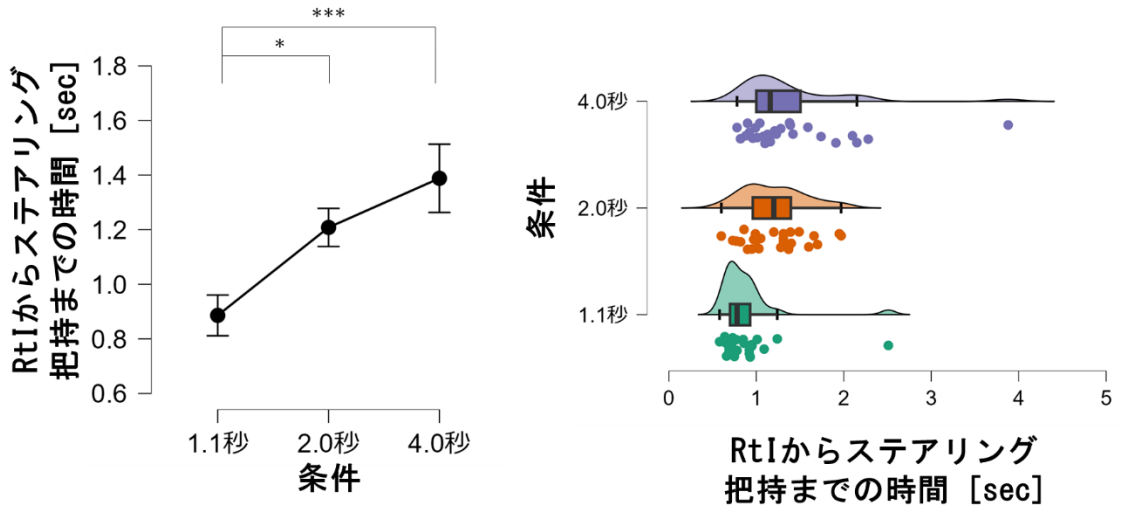


図 3.2.4.2-15　実験条件による RtI からステアリング把持までの時間

・運転操作方法および時間

操作準備までは、多くの実験参加者が先にステアリング把持による操作準備行動を行っていたが、図 3.2.4.2-16 と表 3.2.4.2-5 に示すように、運転操作行動は条件により異なることを確認した。逸脱までの余裕時間が長くなるほど、ステアリング把持で準備行動を行ったとしてもアクセルかブレーキペダルによる車両の縦制御を行う傾向があった。ステアリングによる運転操作は 1.1 秒条件で 58 %と最も多く、2.0 秒条件では 41 %、4.0 秒条件では 4 %（1 名）のみだった。これらの結果より、車線逸脱までの余裕時間が運転操作行動の方法に影響を及ぼしたと考えられる。

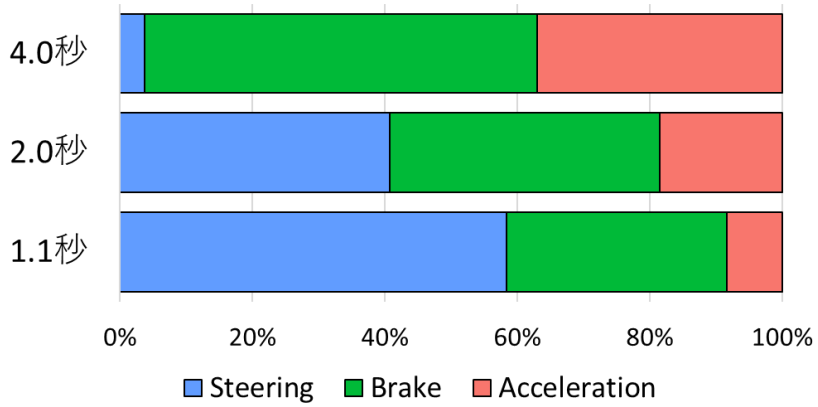


図 3.2.4.2-16　実験条件による運転操作方法

表 3.2.4.2-5　実験条件による運転操作方法

	1.1 秒	2.0 秒	4.0 秒
Steering	14（58%）	11（41%）	1（4%）
Brake	8（33%）	11（41%）	16（59%）
Acceleration	2（8%）	5（19%）	10（37%）
Total	**24（100%）**	**27（100%）**	**27（100%）**

逸脱までの余裕時間が長くなるほどペダルによる操作が多くなった原因を考察するために、RtI から運転操作までの車両の横加速度を調査した。ただし、横加速度の変化を定量的に評価するために使用したパラメータは変化量を表すため、RtI から運転操作までの車両の横加速度の標準偏差を使用した。横加速度の変化は実験の設定条件であるが、本実験条件の道路環境と自車両状態を一般化するために数値として図 3.2.4.2-17 に示す。実験条件による RtI から運転操作までの横加速度の標準偏差には統計的な有意差が確認され（F（2, 76）=209.05, p<.001）、1.1 秒条件（Mean=0.88, SD=0.13）、2.0 秒条件（Mean=0.50, SD=0.04）、4.0 秒条件（Mean=0.12, SD=0.07）の順で高いことを確認した。グループ間の統計的な有意差を確認した結果、すべてのグループで統計的な有意差（p<.001）を確認した。

この結果から、横加速度の変化が大きい場合には、横方向制御に対する緊急度が高まったため、ステアリングによる運転操作が多くなった可能性がある。また、横加速度の変化が小さい場合、横方向制御に対する緊急度が比較的低かった可能性がある。ドライバの主観的な緊急度の評価については後述する。また、ステアリングとペダルによる運転操作のしきい値が異なっていた影響により、ペダルの運転操作が多かった可能性もある。

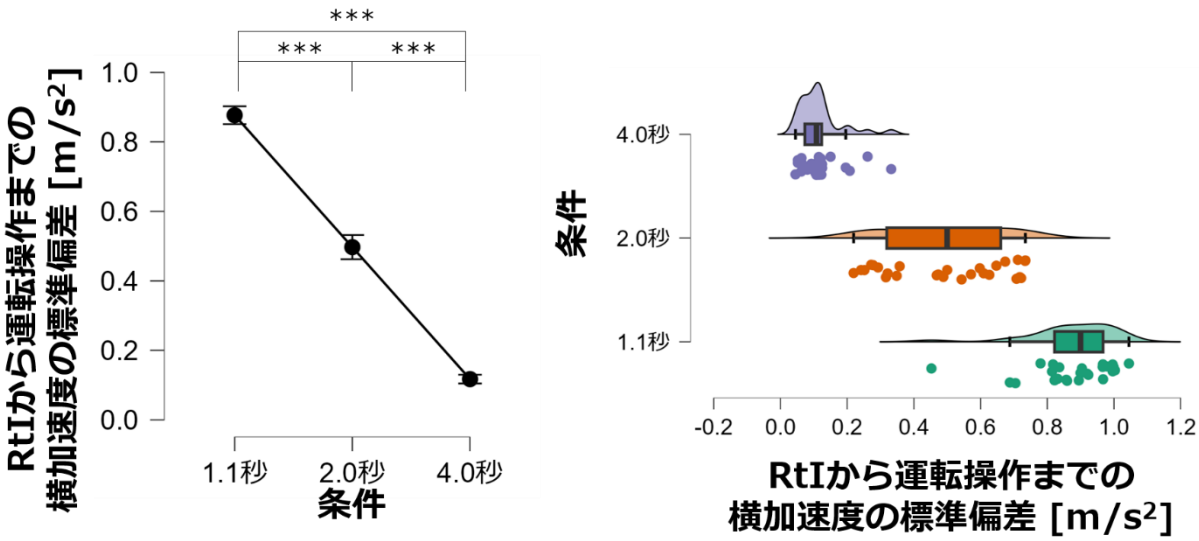


図 3.2.4.2-17　実験条件による RtI から運転操作までの横加速度の標準偏差

図 3.2.4.2-18 に、各条件における運転操作時間を示す。操作準備の傾向と同様に、1.1 秒条件（Mean=1.07, SD=0.28）、2.0 秒条件（Mean=1.49, SD=0.42）、4.0 秒条件（Mean=1.61, SD=0.94）の順で反応時間が早いことを確認した。また、条件による運転操作時間に統計的な有意差を確認した（$F(2, 75)=5.296$, $p=.007$）。グループ間の統計的な有意差を確認した結果、1.1 秒条件では、2.0 秒条件より早く（$p<.001$）、4.0 秒条件より早かった（$p<.001$）。また、2.0 秒条件と 4.0 秒条件の操作時間には統計的な有意差は確認できなかった。

運転操作までに 4.0 秒以上を要したドライバについては、練習走行で RtI に対する運転操作を十分に練習したにも関わらず、ハンドル操作をどのようにすればいいのかわからなかった、どのタイミングでハンドルを操作すればいいのかわからなかったなどのコメントがあった。

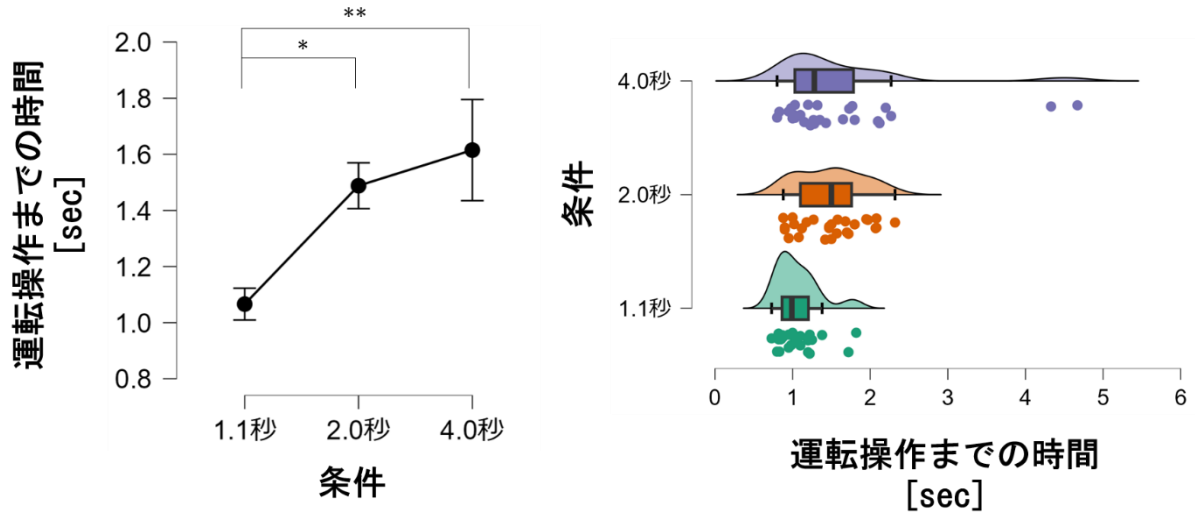


図 3.2.4.2-18　実験条件による運転操作時間

② 運転操作後のドライバの行動

まず、各条件による運転操作後までのドライバの応答特性の概要を以下のようにまとめる。分析結果の詳細については後述する。

I. 運転操作するまでの時間は 1.1 秒条件が最も短かったが、運転操作した時点で既に自車位置が隣接車線となるケースが比較的多く発生していた。また、2.0 秒条件においても同様の傾向が見られた。

II. 4.0 秒条件では 2.0 秒条件と同様に、多くのケースにおいて約 2.0 秒で運転操作が行われるため、隣接車線までの余裕時間が長くなった。一方で、運転操作に 4.0 秒以上を要するケースも見られた。

・最大移動量

運転操作後のドライバの運転操作クオリティおよび安全性を評価するために、調査を行った。本実験では左側カーブでの走行中の突発的な RtI に対する反応を調査するため、自車両の右前方の車輪位置の変化量を調査した。このパラメータは、走行している環境や速度条件により大きく変化すると考えられるため、RtI が発生した時刻を初期位置とし、カーブの外側に移動するほど値が小さくなるように移動量を定義した。最大移動量は 1.1 秒条件（Mean=-2.56, SD=1.23）、2.0 秒条件（Mean=-1.57, SD=0.78）、4.0 秒条件（Mean=-1.05, SD=0.08）の順で多いことを確認した。図 3.2.4.2-19 に示すように、実験条件により統計的な有意差が確認された（$F(2, 76)=20.067$, $p<.001$）。また、実験条件間の差を確認した結果、1.1 秒条件は 2.0 秒条件と 4.0 秒条件より移動量が多いことを確認した（$p<.001$）。また、2.0 秒条件と 4.0 秒条件では統計的な有意差は確認されなかった。

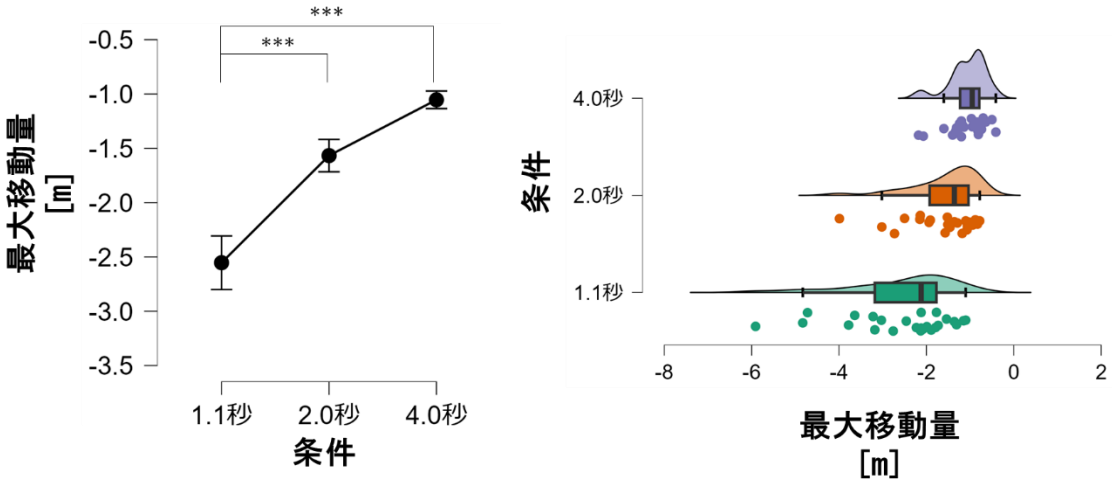


図 3.2.4.2-19　実験条件による最大移動量

③ドライバの主観評価

RtI 時のドライバの主観的な緊急感を調査するため、実験終了後に主観評価を行った。主観評価は RtI が発生した状況に対しての焦り、緊急度について調査を行った。図 3.2.4.2-20（a）に示すように、焦りについては逸脱までの余裕時間が少ないほど高い水準の焦りを感じたドライバが多い傾向が確認された（F（2, 76）=10.912, $p<.001$）。グループ間の有意差を確認した結果、4.0 秒条件では、1.1 秒条件よりも焦りを感じておらず（$p<.001$）、2.0 秒条件よりも焦りを感じていない（$p=.041$）ことを確認した。主観評価の 7 段階評価では、2.0 秒条件は平均 2.56、4.0 秒条件は平均 1.80 で 1.1 秒条件において、平均的に高い水準の焦りを感じたドライバが多かったが、1.1 秒条件と 2.0 秒条件間では統計的な有意差は確認されなかった。

一方、緊急度に関しては図 3.2.4.2-20（b）に示すように、すべてのグループ間で統計的な有意差が確認された（$F(2, 76)=15.316$, $p<.001$）。1.1 秒条件でドライバは 4.0 秒条件（$p<.001$）と 2.0 秒条件（$p=.009$）よりも高い緊急度を感じて、2.0 秒条件は 4.0 秒条件の時より高い緊急度を感じていた（$p=.043$）。

1.1 秒条件と 2.0 秒条件に関して、焦りの主観評価では有意差が確認されなかったが、

緊急度の主観評価では有意差が確認された。したがって、逸脱までの余裕時間が少ないほど緊急度および焦りを高く感じるが、焦りについては逸脱までの余裕時間が 2.0 秒以下になると同じ水準になると考えられる。

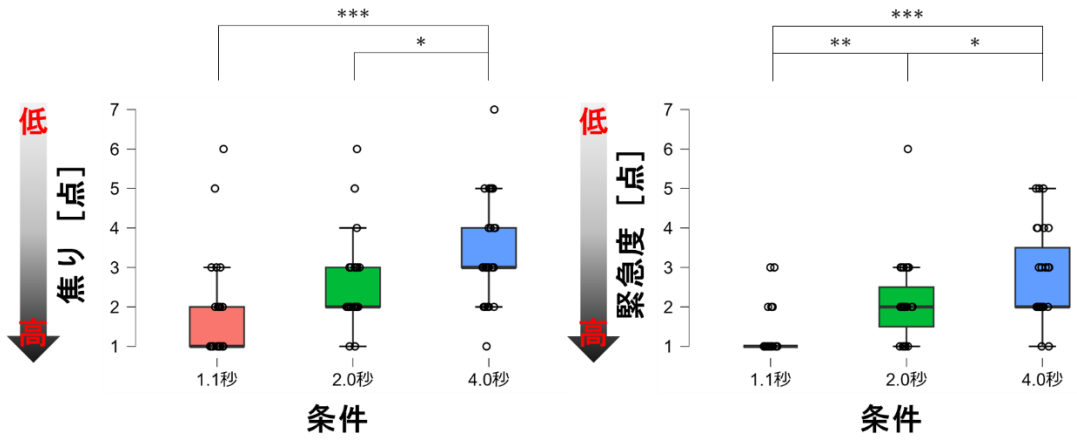


図 3.2.4.2-20　実験条件による主観評価：焦り（a）、緊急度（b）

（5）　実験 2 の結果

a）　実験 2 の分析方法

①　各条件の RtI 時の自動運転システムの設計

図 3.2.4.2-21 に、本実験における自車両と先行車両の加速度特性を示す。自車両の ACC（Adaptive Cruise Control）機能が動作している最中に先行車両が減速を始め、先行車両の減速開始から 0.9 秒後に、ACC 機能の自動ブレーキによって自車両も減速を開始した。自車両の減速開始から 1.25 秒後に機能失陥に陥り、RtI を提示するとともに自動ブレーキを解除した。先行車両の減速度は 0 G から一定の割合で 0.3 G まで増加した。自車両の減速度は 0 G から一定の割合で 0.4 G まで増加し、RtI の提示後、速やかに 0 G まで減少した。

TTC（Time To Collision）は、現在の速度で自車両が走行し続けた場合に、先行車両に衝突するまでの時間として定義した。先行車両の減速開始とともに TTC も減少し始め、自車両の減速開始後、先行車両の減速度である 0.3 G よりも自車両の減速度が大きくなった後、増加し始めた。機能失陥による RTI の提示後、TTC は再び減少し始め、ドライバが何も操作をしない場合、RtI の提示から 3.7 秒で先行車両と衝突するように設計した。

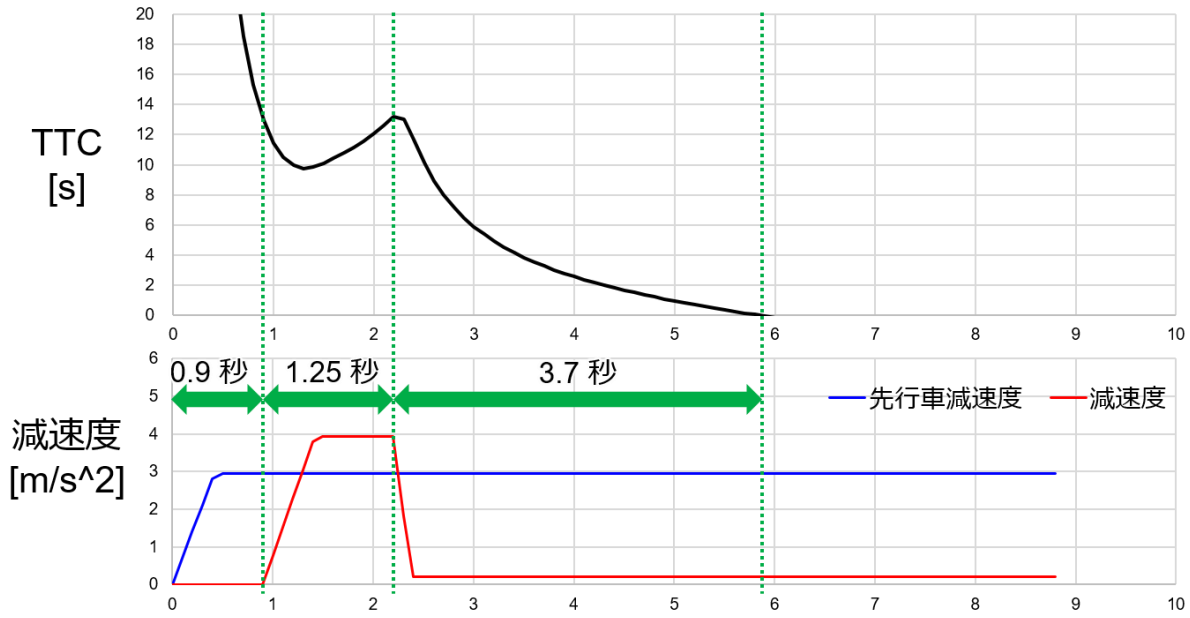


図 3.2.4.2-21　自車両と先行車両の加速度特性と TTC の概要

図 3.2.4.2-22 に、RtI 提示時の自車両と先行車両の状態を示す。自車両は 90 km/h、先行車両は 83.3 km/h、車間距離は 27 m とした。車線変更による先行車両との衝突回避行動を抑制するため、右の車線に隣接車両を配置した。

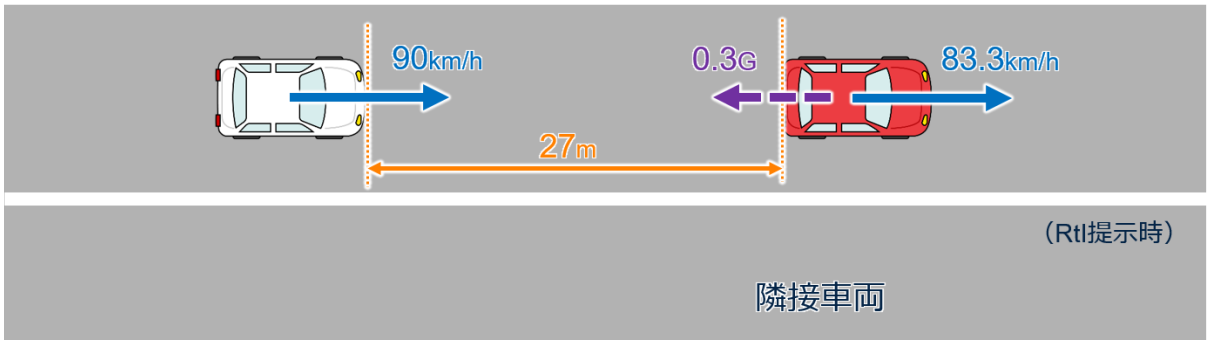


図 3.2.4.2-22　RtI 提示時の自車両と先行車両の状態

②　分析パラメータ抽出

本実験では、ハンズオフとハンズオンの二つの水準によるドライバの応答特性の違いを調査した。ハンズオフでは、カーブ条件と同様にドライバはハンドルから手を離した状態で車両に搭乗した。ハンズオンでは、ドライバは両手をハンドルに触れた状態を維持しながら搭乗した。

ドライバの応答特性を調査するため、カーブ条件と同様に、RtI に対するドライバの反応である「RtI から運転操作が発生する前のドライバの行動」と操作後のドライバの運転行動である「運転操作してからの行動」の二つに分けて分析した。また、実験終了後のインタビュー内容について分析した。

・運転操作前のドライバの行動

カーブ条件と同様に、高速道路を走行中の突発的な運転操作要請に対するドライバの反応の調査を目的として、ドライバの状況認識による反応方法や反応時間を分析した。図 3.2.4.2-9 に示すように、RtI に対する運転操作の準備（①）と、RtI に対する運転操作（①＋②）の二つに分け、それらの方法と時間を調査した。

・運転操作後のドライバの行動

運転操作後の安全性などを評価するため、操作後の最小 TTC を分析した。RtI が提示された後の区間について、先行車両に対する自車両の TTC を計算し、それらの中で最も値が小さいものを最小 TTC として定義した。ただし、最小 TTC は道路環境、走行速度、運転操作後の自動運転システムの設計などに大きく影響を受ける可能性があるため、本実験条件での運転操作後のドライバの危険度の評価のみに使用した。

ドライバの運転操作後の運転精度と安全性を評価するために、最小 TTC を調査した。図 3.2.4.2-23 に、本実験における最小 TTC の概要を示す。自車両の先端から先行車両の後端までの距離と、両者の相対速度から TTC を計算し、RtI の提示後に最小となった TTC として定義した。また、高速道の直線部で RtI が提示されるため、車両の方位角は考慮せずに計算した。

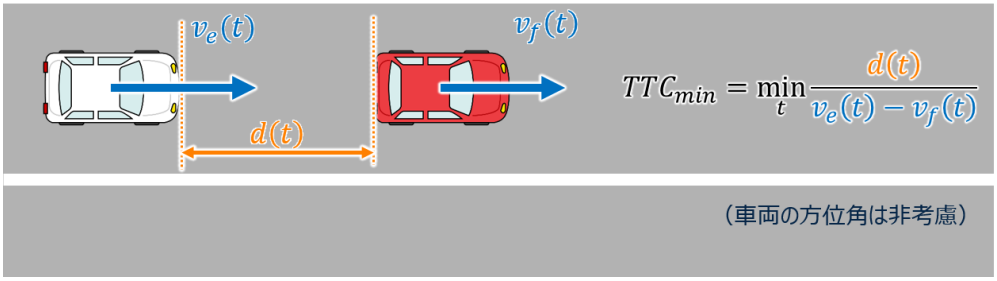


図 3.2.4.2-23　運転操作後のドライバの行動のパラメータ（最小 TTC）

b）　実験 2 の有効データ数

本実験の参加者を属性ごとに分類した有効データ数を表 3.2.4.2-6 に示す。カーブ条件と同様に、実験参加者の性別や年齢などの個人特性が、ドライバの反応時間などの応答特性に影響を及ぼす可能性があるため、各条件で性別と年齢層を均等に割り当てた。ただし、カーブの 3 条件との組み合わせなどの制約から、直線条件における先と後の水準に関しては、ハンズオフとハンズオンの各水準で異なる人数で実験を実施した。具体的には、先と後の総数は同等であるが、ハンズオフでは先条件の方が人数が多く、ハンズオンでは後条件の方が人数が多くなった。

83 名の実験参加者の内、1 名の参加者はカーブ条件を実施した後、実験を中断したため直線条件のデータは取得できなかった。また、6 名の実験参加者が先行車両との衝突を回避できなかったため、この 6 名に対しては追加で個別の分析を行った。衝突に関する分析は後述する。

表 3.2.4.2-6　実験 2 の実験参加者属性ごとの有効データ数

性別	年齢	ハンズオフ		ハンズオン	
		先	後	先	後
男性	21～39	4	2	2	4
	40～54	6	3	1	4
	55～69	4	2	4	6
女性	21～39	4	1	1	4
	40～54	4	2	4	6
	55～69	6	3	1	4
計		28	13	13	28

c)　実験 2 の分析結果

まず、分析結果の概要を以下のようにまとめる。運転操作の前と後のドライバの行動については後述する。

・ドライバの運転操作行動

I. 本実験における直線走行中の突発的な運転交代場面に対して、ドライバはブレーキ操作によって操作準備と運転操作を実施することが多かった。

II. ハンズオフ条件では、RtI 提示からハンドルを把持するまでに約 1.2 秒の時間を要した。

III. RtI 提示から運転操作までに約 1.3 秒の時間を必要とするが、最大で約 2 秒の時間を要するケースも見られた。

IV. ハンズオンとハンズオフおよび試行の順序によって、RtI 後の操作準備や運転操作の時間に影響が生じる可能性があるが、本実験では約 0.3 秒の差であった。

・先行車との最小 TTC

I. RtI 後の先行車との最小 TTC を比較したところ、ハンズオンとハンズオフによる差は確認されなかった。

II. 最小 TTC に差がなかった要因として、ドライバが減速操作量を適切に調整したことが考えられる。

III. 試行の順序による最小 TTC に差が見られたが、カーブ条件の実施による RtI の経験によって、運転交代を多少とも予測していた可能性がある。

IV. 運転操作後に先行車と衝突するケースも見られ、その主な原因としては、運転操作に時間を要したことや十分な減速ができなかったことが考えられる。

① 運転操作前のドライバの行動

まず、各条件による運転操作前までのドライバの応答特性の概要を、図 3.2.4.2-24 と以下のようにまとめる。分析結果の詳細については後述する。

I. ハンズオフ条件では、操作準備と運転操作ともに約 7 割のドライバがブレーキによって対応した。また、運転操作までに約 2.5 秒の時間を要するドライバがいた。

II. ハンズオン条件では、操作準備と運転操作ともに約 8 割のドライバがブレーキによって対応した。また、運転操作までに約 2 秒の時間を要するドライバがいた。

III. 操作準備、運転操作の行動については、先と後の条件で同様の傾向であった。

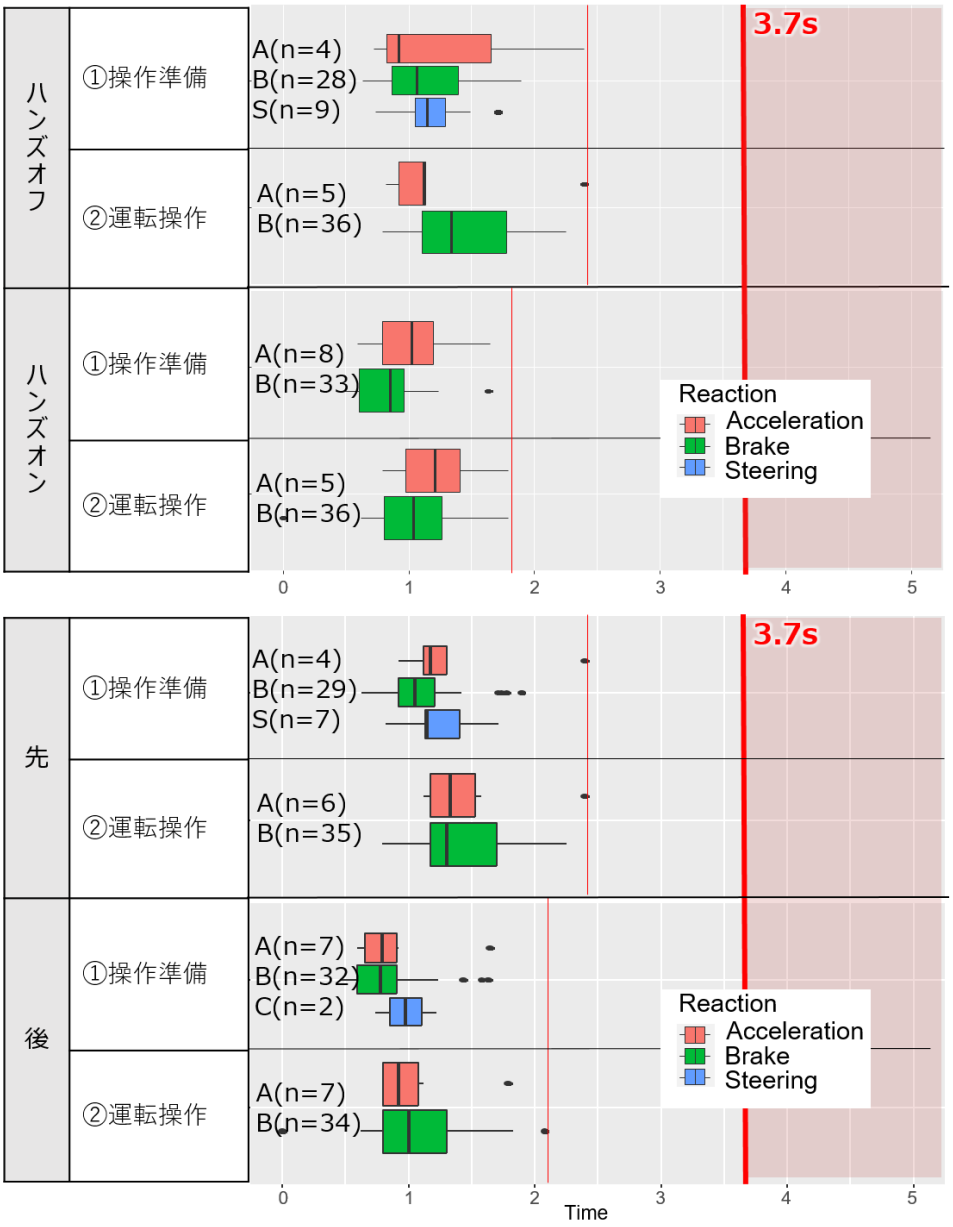


図 3.2.4.2-24　実験条件によるドライバの操作準備と運転操作の方法と時間

・操作準備方法および時間

図 3.2.4.2-25 に各条件におけるドライバの運転操作準備の方法の数を示す。ただし、ハンズオンでは RtI が提示される前からハンドルに手を触れているため、ステアリングによる操作準備は除外した。すべての条件でブレーキペダルによる運転操作準備が最も多く、最も割合が小さい条件でも約 68 %だった。ステアリングとアクセルペダルによる準備行動については大きな差は見られなく、二つの方法を合わせて約 20～30 %だった。ブレーキペダルによる準備行動が多かった理由としては、本実験では先行車両が減速している最中での RtI であり、また、右の車線には隣接車両が存在しているため、ブレーキ操作によって衝突を回避しようとしたためであると考えられる。運転操作の適切な方法は道路環境によって変化するが、本実験ではハンズオフかハンズオンかの違いのみであるため、各水準による差は見られなかったと考えられる。

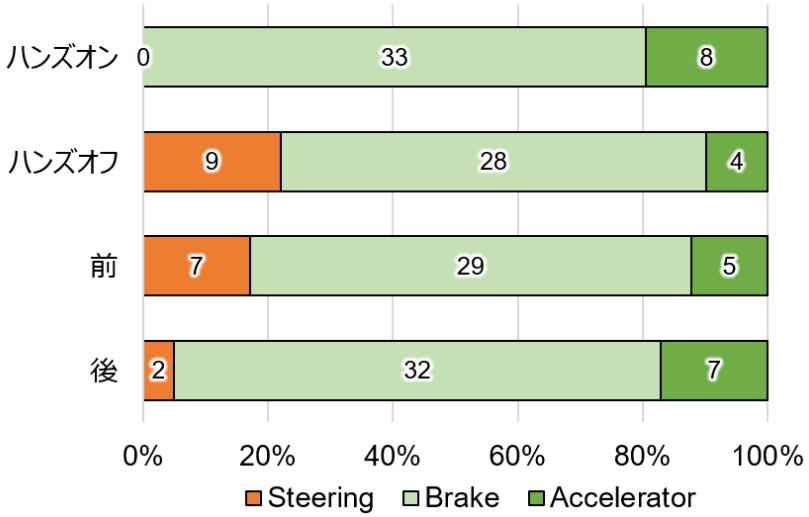


図 3.2.4.2-25　実験条件による運転操作準備方法

運転の操作準備をとるまでの反応時間について、ハンズオフとハンズオンによる手の位置と、先か後かの順序による差を確認した。まず、手の位置について、操作準備時間はハンズオン条件の方が早く（Mean=0.790, SD=0.437）、ハンズオフ条件の方が遅い傾向となった（Mean=1.04, SD=0.526）。順序については、先条件の方が遅く（Mean=1.11, SD=0.360）、後条件の方が早い傾向となった（Mean=0.724, SD=0.539）。すべての参加者が RtI の提示から 3.7 秒以内に操作準備を完了しており、最も時間が長い参加者でも約 2.5 秒だった。

次に、統計的な差を確認した。まず、手の位置と順序の交互作用を確認するために二元配置分散分析を実施した。その結果、手の位置と順序による交互作用は見られなかった（F（1,77）=0.134, p=.72）。そのため、手の位置と順序の各条件に対して主効果を確認した結果、図 3.2.4.2-26 に示すように、手の位置の有意差と（F（1,77）=6.15, p=.015）、順序の有意差が見られた（F（1,77）=9.70, p=.0026）。ただし、手の位置と順序ともに、操作を準備するまでの時間の差は約 0.3 秒であり、大きな差はなかった。

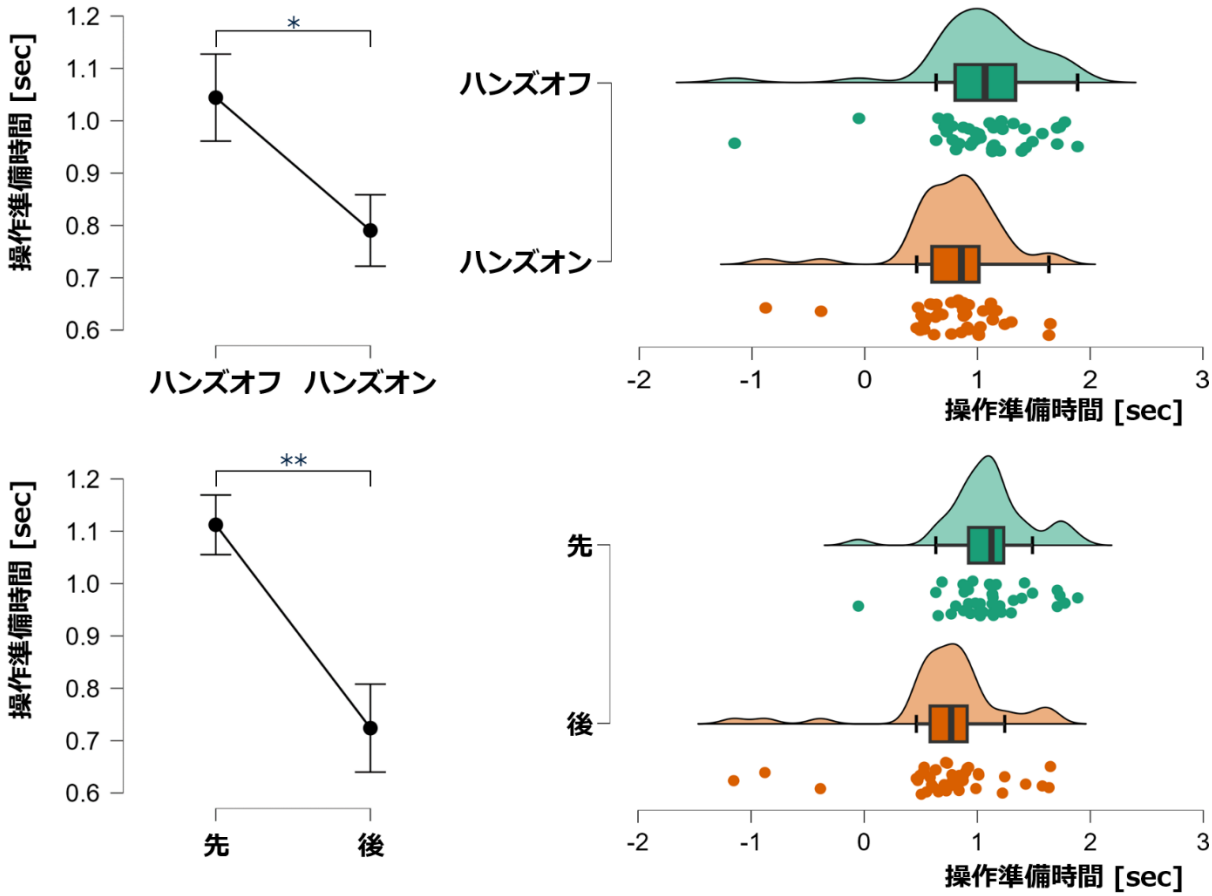


図 3.2.4.2-26　実験条件による運転操作準備時間

・ステアリング把持時間

操作準備方法として、ドライバの約 70～80 %がブレーキによる準備をしていたが、ハンズオフとハンズオンの違いや、カーブ条件との比較のため、ハンズオフ条件における RtI からステアリング把持までの時間を調査した。ただし、ハンドルを握らずにペダル操作のみで運転操作した 3 名の参加者は除外した。図 3.2.4.2-27 に結果を示す。ステアリング把持の時間の平均は約 1.2 秒で、最大は約 2.5 秒だった（Mean=1.34、SD=0.511）。また、先条件の方が時間が長く（Mean=1.45, SD=0.571）、後条件の方が時間が短い傾向となった（Mean=1.09, SD=0.210）。

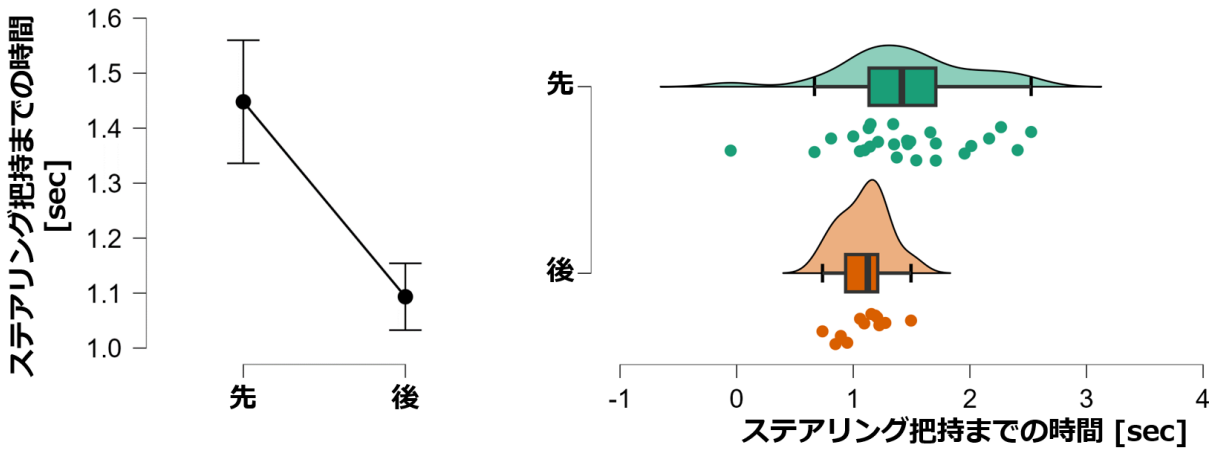


図 3.2.4.2-27　実験条件による RtI からステアリング把持までの時間

・操作方法および時間

図 3.2.4.2-28 に運転の操作方法の概要を示す。運転の操作準備では、多くの実験参加者がブレーキによる準備を行い、ハンズオフ条件ではステアリングによる準備もわずかに見られた。一方で、運転操作では、ブレーキによる運転操作が最も多く、すべての条件で80%以上となった。また、ステアリングによる運転操作は 1 件もなかった。各水準による操作方法の差は見られなかった。

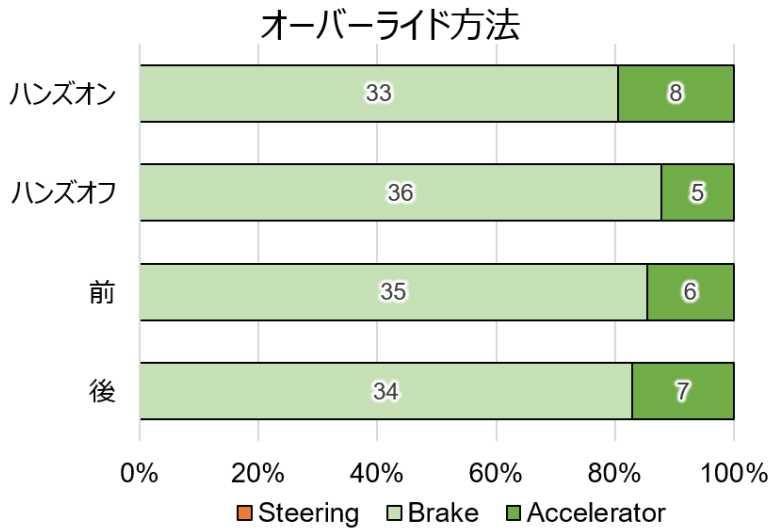


図 3.2.4.2-28　実験条件による運転操作方法

運転の操作準備と同様に、運転操作までの反応時間について、ハンズオフとハンズオンによる手の位置と、先か後かの順序による差を確認した。まず、手の位置について、運転を操作するまでの時間はハンズオン条件の方が早く（Mean=1.08, SD=0.350）、ハンズオフ条件の方が遅い傾向となった（Mean=1.40, SD=0.441）。順序については、先条件の方が遅く（Mean=1.41, SD=0.390）、後条件の方が早い傾向となった（Mean=1.07, SD=0.397）。すべての参加者が RtI の提示から 3.7 秒以内に運転操作を完了しており、最も時間が長い参

加者でも約 2.5 秒だった。
次に、統計的な差を確認した。まず、手の位置と順序の交互作用を確認するために二元配置分散分析を実施した。その結果、手の位置と順序による交互作用は見られなかった（F（1,78）=0.777, p=.38）。そのため、手の位置と順序の各条件に対して主効果を確認した結果、図 3.2.4.2-29 に示すように、手の位置の有意差と（F(1,78)=14.7, p<.001）、順序の有意差が見られた（F（1,78）=8.39, p=.0049）。ただし、手の位置と順序ともに、操作するまでの時間の差は約 0.3 秒であり、大きな差はなかった。

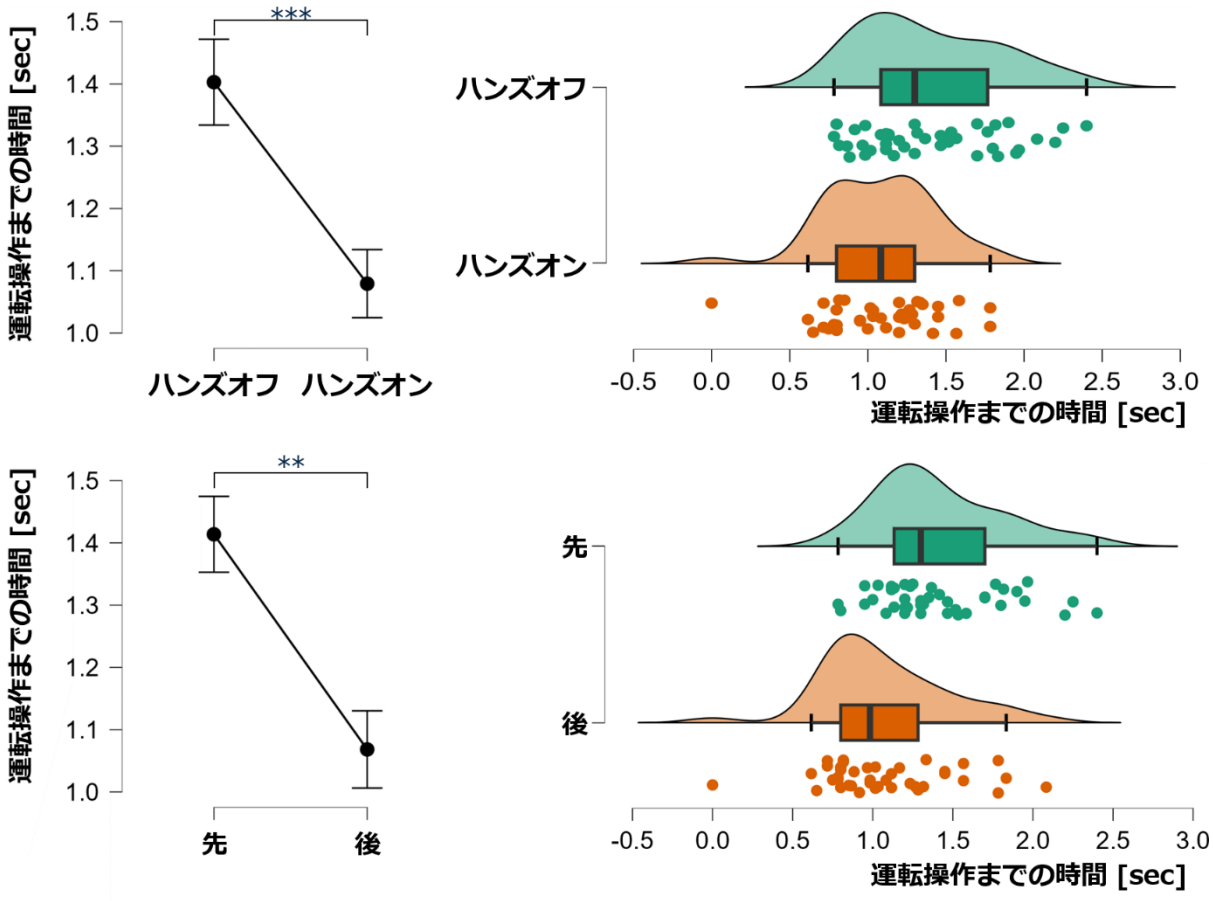


図 3.2.4.2-29　実験条件による運転を操作するまでの時間

② 運転操作後のドライバの行動

まず、各条件による運転操作前までのドライバの応答特性を以下のようにまとめる。分析結果の詳細については後述する。

I. ハンズオンとハンズオフによる最小 TTC の有意差は見られず、約 2.5 秒だった。
II. 先と後の順序による違いは、約 0.7 秒だった。
III. 先行車と衝突するケースが 6 件見られた。引継ぎに時間を要する、または引継ぎ後の減速操作が十分でないなどの原因が考えられる。

・最小 TTC

運転操作前のドライバ行動と同様に、ハンズオフとハンズオンによる手の位置と、先か後かの順序による差を確認した。まず、手の位置について、最小 TTC はハンズオン条件の方が長く（Mean=2.35, SD=1.09）、ハンズオフ条件の方が短い傾向となった（Mean=1.95, SD=0.910）。順序については、先条件の方が短く（Mean=1.81, SD=0.871）、後条件の方が長い傾向となった（Mean=2.49, SD=1.05）。

次に、統計的な差を確認した。手の位置と順序の交互作用を確認するために二元配置分散分析を実施した。その結果、手の位置と順序による交互作用は見られなかった（$F(1,78)=0.398$, $p=.53$）。そのため、手の位置と順序の各条件に対して主効果を確認した結果、図 3.2.4.2-30 に示すように、手の位置の有意差は見られず（$F(1,78)=3.49$, $p=.65$）、順序の有意差は見られた（$F(1,78)=6.94$, $p=.010$）。ハンズオフとハンズオンによる差は約 2.5 秒であり、先と後による差は約 0.7 秒だった。

手の位置について、操作準備と運転操作までの時間の間には有意差があったが、最小 TTC には有意差がなかった。このことから、操作が遅れた参加者が比較的強くブレーキを踏んだことで、最小 TTC に差が出なかったと考えられる。そのため、RtI 後の最大減速度を調査したところ、手の位置の主効果について有意な差が見られた（$F(1,78)=4.61$, $p=.035$）。したがって、ハンズオフとハンズオンでは、操作準備と運転操作による多少の差はあるが、減速度を適切に調節することで、安全性を示す指標の一つである最小 TTC には差が出なかったと考えられる。

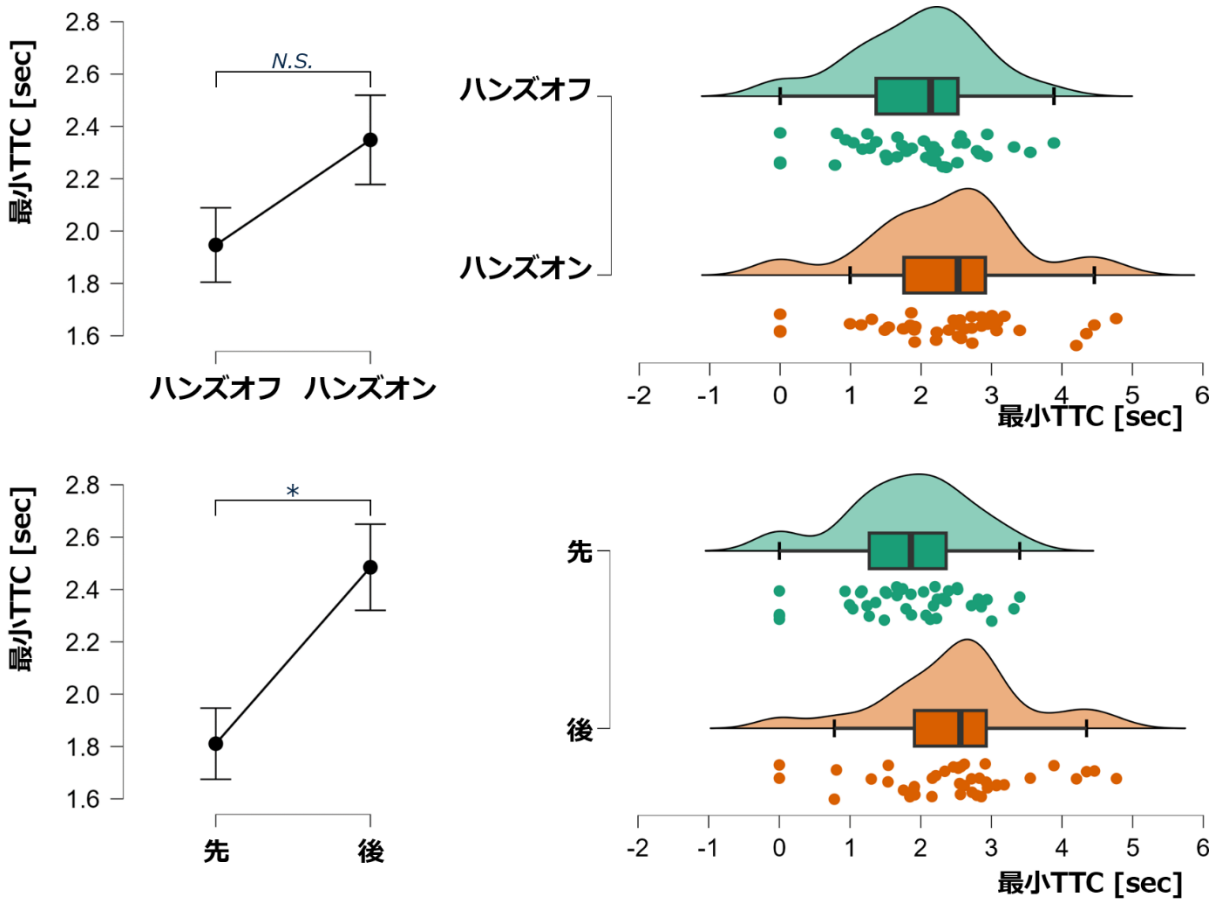


図 3.2.4.2-30　実験条件による最小 TTC の分析結果

・衝突したドライバの分析

最小 TTC が 0 秒となるケース、すなわち先行車両と衝突するケースが 6 件見られたため、それぞれ個別に分析した。表 3.2.4.2-7 に、衝突した各ドライバの RtI に対する運転操作の方法、運転操作までの時間、最大減速度、RtI 提示後にブレーキを踏んだ時刻、RtI 提示後にアクセルを踏んだ時刻、衝突時の相対速度を示す。衝突した原因としては、操作時または操作後にアクセルを踏んだこと、運転操作までに時間を要したこと、操作後の減速が不十分なことなどが考えられる。また、衝突したドライバのコメントとしては、高速道なので止まるのは駄目だと思いアクセルも踏んだ、後続車からの衝突が気になった、ブレーキを踏む量を見誤った、などがあった。

表 3.2.4.2-7　衝突したドライバの分析

手の位置	順序	操作方法	操作までの時間 [s]	最大減速度 [m/s²]	ブレーキ時刻	アクセル時刻	衝突時の相対速度 [km/h]
ハンズオン	先	ブレーキ	1.42	9.17	-	1.33	11.0
		アクセル	1.58	6.70	0.583	-	15.5
	後	アクセル	1.78	9.71	0.908	-	21.3
ハンズオフ	先	ブレーキ	2.20	8.19	-	N/A*	28.4
		アクセル	2.40	6.83	0.350	-	34.2
	後	ブレーキ	1.17	7.63	-	1.58	25.2

* アクセルを踏まなかったため除外。

・ドライバの主観評価

先と後の条件で、操作準備と運転操作までの時間や最小 TTC に差が見られた。これは、本実験では走行中の突発的な RtI に対するドライバの反応の調査が目的であり、カーブ条件を体験した後の条件では、RtI の発生などを実験参加者があらかじめ予想していたためであると考えられる。そこで、実験に関する参加者のコメントから、テキストマイニングによっていくつかの主要な文脈を抽出し、RtI を予測していたのかを調査する分析を行った。図 3.2.4.2-31 に結果を示す。先条件では、「音による気づき」、「注意緩慢」などの数が多く、RtI の発生を意識せず、RtI を知らせる提示音で知覚した可能性がある。また、後条件では「予測」の数が多く、事前に RtI の発生を予測していた可能性がある。

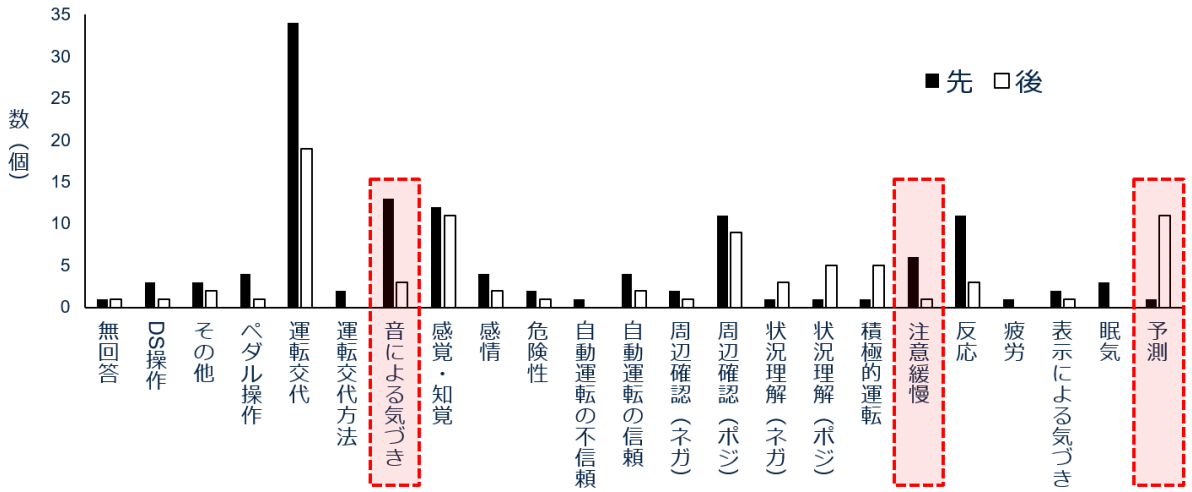


図 3.2.4.2-31　参加者のコメントによる主観評価

そこで、上記の結果で「予測」を含むコメントをしていた実験参加者と、それ以外の実験参加者の運転操作までの時間を比較した。結果を図 3.2.4.2-32 に示す。大きな差は見られなかったが、RtI を予測していた参加者の方が、運転操作までの時間がわずかに短かった。RtI の発生を予測はしていたが、運転操作までの時間に大きな差が出るほどではなか

ったと考えられる。

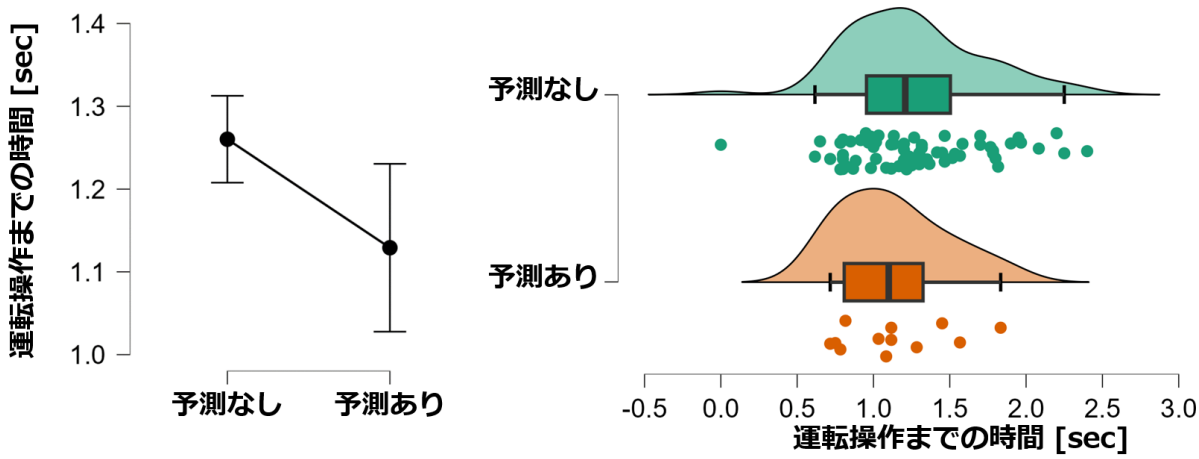


図 3.2.4.2-32　RtI を予測していた参加者と予測していなかった参加者の運転操作時間

（6）　まとめ

a）　実験 1：旋回中の運転引継ぎ条件

・ドライバの操作行動

I.　本実験結果は、カーブ走行中の突発的な運転交代要請に対する運転操作は車線逸脱までの余裕時間によって変化する可能性を示している。

II.　RtI 提示からハンドルを把持するまでに、大多数は約 0.9～1.4 秒の時間が必要であり、最大で約 2.0 秒の時間を要した。

III.　1.1 秒条件は余裕時間が最も小さいこともあり、RtI 後の操作準備と、運転操作までの時間が最も短かった。

IV.　4.0 秒条件では、RtI 提示後の操作準備と運転操作の双方を完了した時点での、隣接車線までの余裕時間が比較的長かった。

V.　少数ではあるが、4.0 秒条件では運転操作行動が比較的遅くなるケースも見られた。

・左右方向の最大移動量

I.　RtI 後の車両の右方向の最大移動量は、1.1 秒条件（約 2.1 m）、2.0 秒条件（約 1.2 m）、4.0 秒条件（約 1.0 m）の順に小さかった。

II.　4.0 秒条件では、他の条件に比べてドライバ間のばらつきが小さかった。

III.　4.0 秒条件では、他の条件に比べて突発的な運転交代要請に対する運転操作と操作後の適切な操作が期待できる。

IV.　本実験データは運転操作によってステアリングトルク指令値がキャンセルされる設定で取得したものであり、トルク指令値の徐減を維持する設定であれば左右方向の最大移動量がより改善される可能性がある。

b)　実験 2：直進中の突発的な運転引継ぎ条件

・ドライバの運転操作行動

I. 本実験における直線走行中の突発的な運転交代場面に対して、ドライバはブレーキ操作によって操作準備と運転操作を実施することが多かった。

II. ハンズオフ条件では、RtI 提示からハンドルを把持するまでに約 1.2 秒の時間を要した。

III. RtI 提示から運転操作までに約 1.3 秒の時間を必要とするが、最大で約 2 秒の時間を要するケースも見られた。

IV. ハンズオンとハンズオフおよび試行の順序によって、RtI 後の操作準備や運転操作の時間に影響が生じる可能性があるが、本実験条件下では約 0.3 秒の差であった。

・先行車との最小 TTC

I. RtI 後の先行車との最小 TTC を比較したところ、ハンズオンとハンズオフによる差は確認されなかった。

II. 最小 TTC に差がなかった要因として、ドライバが減速操作量を適切に調整したことが考えられる。

III. 試行の順序による最小 TTC に差が見られたが、カーブ条件の実施による RtI の経験によって、運転交代を多少とも予測していた可能性がある。

IV. 運転操作後に先行車と衝突するケースも見られ、その主な原因としては、運転操作に時間を要したことや十分な減速ができなかったことが考えられる。

参考文献

[1] Lotz, A., Russwinkel, N., & Wohlfarth, E. (2020). Take-over expectation and criticality in Level 3 automated driving: a test track study on take-over behavior in semi-trucks. Cognition, Technology & Work, 22, 733-744.

[2] Green, M. (2000). " How long does it take to stop?" Methodological analysis of driver perception-brake times. Transportation human factors, 2(3), 195-216.

3.2.5　合流シナリオにおける危険度指標の研究

本項では、合流路におけるシナリオに関して、加減速をベースとした危険指標の考え方の整理を実施した。

3.2.5.1　合流シナリオの整理

合流シナリオには、I.自車が本線直進中に他車が合流してくるシナリオと、II.自車が本線に向かって合流するシナリオの二種類がある（図 3.2.5.1-1）。I.については、カットインシナリオをカットイン地点制約条件つきで応用できると考えられるため、ここでは、II.自車合流シナリオに焦点を当てる（ここでの自車は AD システムが搭載されている車両と定義し、他車はヒューマンドライバを想定する。）。

次に、II.を考えた場合、詳細シナリオは、

（A）車列間に合流するシナリオ

（B）最後尾に合流するシナリオ

（C）先頭に合流するシナリオ

の三つに分類（図 3.2.5.1-1）することができる。

自車にとっては、この三つは選択肢であって、その時の状況判断で自車（自動運転車）が選択する。但し、三つの詳細合流シナリオのそれぞれで衝突メカニズムが異なるため個別の危険度指標が求められる。そのため、合流シナリオにおける危険度指標に関して顕在的な危険を予測するような指標を求められるように定式化を実施する。

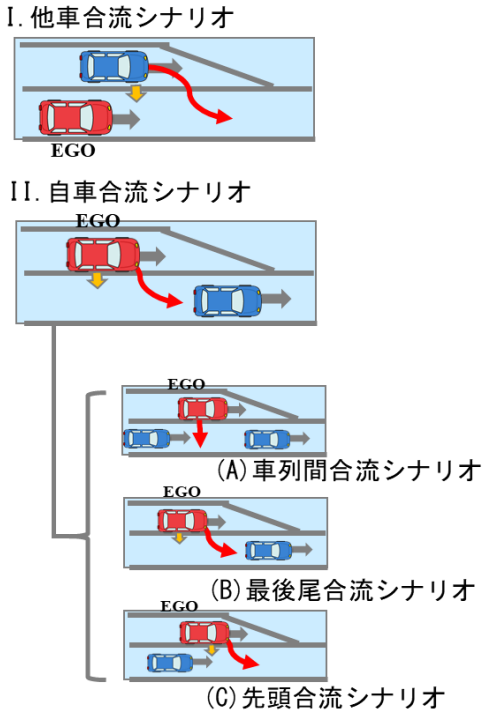


図 3.2.5.1-1　合流シナリオの分類

（1） 合流シナリオの危険度定量化の考え方

自車合流シナリオの危険度は、現在の走行環境情報から予測可能な衝突を想定し、それを回避する回避力の大きさ（すなわち加速度）が大きい場合、あらかじめ危険度が高いと判断する。回避加速度の大きさは以下のように分類する（図 3.2.5.1-2）。

各危険レベルの境界条件は、研究用仮値として、Normal 領域の上限は通常の運転中に使用される加減速度の範囲と考え、乾燥路面加速側で 0.2g*、乾燥路面減速側で-0.3g*とする。追突やカットインシナリオ危険領域においてはこの上限値を、交通妨害に対する回避力の大きさ（緊急回避ブレーキ開始相）としていたのに対し、合流シナリオにおいては、自車が危険を与える側であるからこれらの設定をしている。

（*）正式にはこの値は OEM や政策決定者によって定められるので、今回は定量化のために数値の仮置きを実施している。

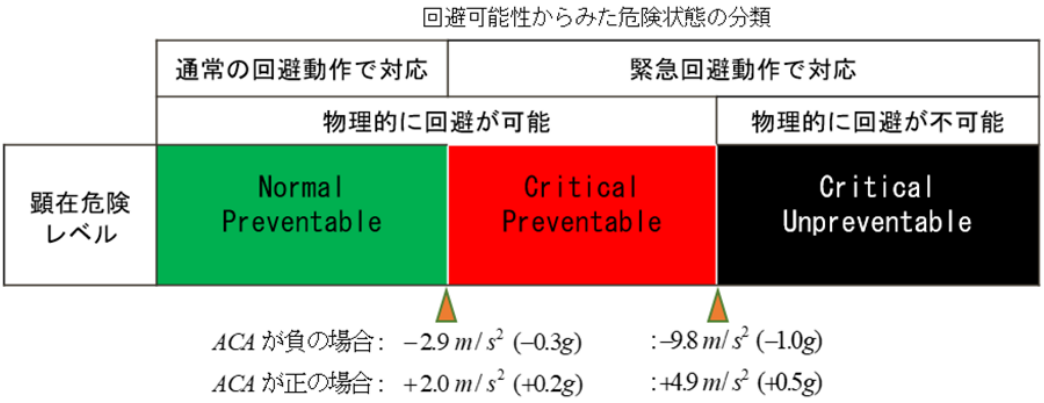


図 3.2.5.1-2 合流シナリオにおける危険状態の分類

（2）　車列間合流シナリオの危険度定量化

（A）車列間合流シナリオに関して検討を進めるにあたりどのような動きで合流を実際に行うかを整理した。ランプ路にいるドライバは、まず本線上の車列のギャップを検知する。次に、そのギャップに進入可能な状態にするように、合流点に至るまでに、ドライバは車両の速度を調整する。その上で合流点にてギャップの中に余裕を持って合流する、という一連のプロセスを経て安全に合流していると整理した（図 3.2.5.1-3）。そのため、この経験的ドライバの行動モデルを定量化する。

まず、（A）のメカニズムについての基本理論の検討を行う。合流点までに、本線上の他車と同じ速度に自車速度を調整し、本線上他車のギャップ位置に至ることができる走行環境パラメータの条件を理論的に導く。

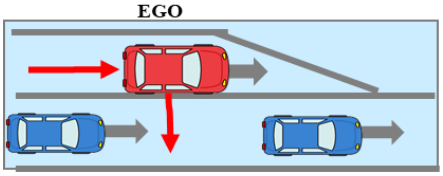


図 3.2.5.1-3　（A）車列間合流のシナリオモデル

自車が、本線上の車列ギャップ空間に合流する様子を、図 3.2.5.1-4 のように表す。まず、図 3.2.5.1-4 の左において、現在の状態を t=0 とし、ここで自車は合流可能か否かを予測するものとする。t=0 において、自車速を V_{e0}、先行他車 Obj1、後続他車 Obj2 の車列の速度は同一速度として V_{o0}、自車から合流地点までの距離を J_e とする。

図 3.2.5.1-4 の右のように、自車が本線に合流する時刻 $t=t_{in}$ において、事故のない合流のためには、先行車両 Obj1 の後端が合流地点に到着する時刻に、自車先端位置は J_e 以前の位置に至り、かつ車速 V_e を V_{o0} に調整できていればよい（*）。さらに、$t=t_{in}$ において、後続車両 Obj2 の先端が合流点に到達する時刻に、自車後端位置は Je 以降の位置に至り、かつ車速 V_e を V_{o0} に調整できていればよい。

（*）実際の合流では、車速を他車と同一に調整してから合流するのみならず、加減速しながら合流するあるいは合流後に速度を最終調整する、などの方法がある。この基礎検討では、もっとも簡単な車速を同一にしてから合流する場合を検討している。

自車が合流点に至るまでに、車速を目標速度に調整するには、最低でも二種類の G で加減速する必要がある。この 2 つの加速度を G_{e1}、G_{e2} とすれば、自車が初期速度 V_{e0} から G_{e1} 加速を t1 秒間持続した時に移動する距離をまず計算する。次に、その到達距離および到達車速度を初期条件として、次に G_{e2} 加速で移動する移動距離を計算し、両者を合算すれば、最終的な移動距離 Je が式 3.2.5.1-1 のように得られる。

$$Je = \frac{1}{2} G_{e2} \cdot t_{in}^{\,2} + \left(V_{e0} + \left(G_{e1} - G_{e2} \right) \cdot t_1 \right) \cdot t_{in} - \frac{1}{2} \left(G_{e1} - G_{2e} \right) \cdot t_1^{\,2} \qquad \text{式 3.2.5.1-1}$$

一方、最終的な自車の到達速度 Ve は以下の式 3.2.5.1-2 のように得られる。

$$V_e = V_{e0} + G_{e1} \cdot t_1 + G_{e2} \cdot (t_1 - t_{in}) \qquad \text{式 3.2.5.1-2}$$

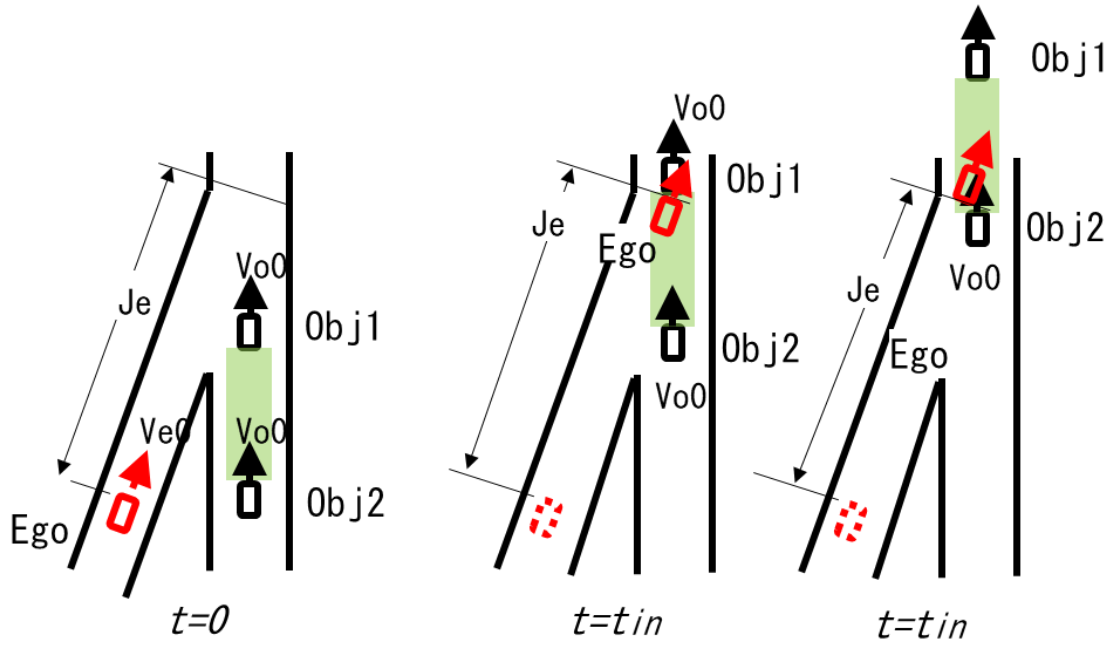


図 3.2.5.1-4　合流できる条件導出の構成図

上記の Je の式および Ve の式から、Je の式を、自車の到達速度 Ve および合流点到達時間 t_{in} の関数として書き直すと、以下の式 3.2.5.1-3 が得られる。

$$Je(V_e, t_{in}) = -\frac{G_{e2} \cdot G_{e1} \cdot t_{in}^{\,2} + 2\left(V_{e0} G_{e2} - V_e G_{e1} \right) \cdot t_{in} + \left(V_e - V_{e0} \right)^2}{2\left(G_{e1} - G_{e2} \right)} \qquad \text{式 3.2.5.1-3}$$

この式は、許容可能な G_{e1} と G_{e2} の加減速を前提とし、自車初期速度 Ve0 としたときに、自車は、t_{in} 時刻に速度 Ve で Je（Ve、t_{in}）の移動距離に到達する、ということを意味する。従ってこの式を用いれば、合流時刻、合流地点において本線車両と衝突を起こさない合流可能性を検討することができる。

例えば、初期条件として自車の合流点までの距離 J_{e0}、車速 V_{e0}、他車列の速度 V_{o0} を考え、本線上の車列の先行車両後端が合流地点に至るまでの時間を t_{in} とする。条件として許容可能な G_{e1}、G_{e2} の値を与えられたものとして加減速した結果、自車は Je の移動距離に到達すると解釈できる。そして、特に自車車速は車列の速度と同一に調整するものとす

れば、$Ve=V_{o0}$ と代入すればよい。

この結果、この Je の値が Je_0 より小さく計算されれば、先行他車が合流点を通過した後に自車が合流点に到達することを意味し、先行他車の後ろに合流可能であると判断される。一方、上記計算された Je の値が Je_0 より大きければ、先行他車が合流点を通過する前に自車が合流点に到達してしまうことを意味し、合流したら先行他車と衝突するため合流不可能であると判断される。

以上、合流路から車速を調整し車列間に合流できる条件の基礎的検討を行い、合流可否を決める根拠となる基礎方程式を導いた。

次に、車列間合流シナリオ（図 3.2.5.1-5）では、以下の二つの衝突危険可能性が考えられる。

・合流後の先行車（Obj1）に後ろから追突する可能性
・合流後の後続車（Obj2）から追突される可能性

そのため、自車の速度を車列車両の速度に等しく調整できた場合には、合流は安全であると言える。

そこでまず合流後の Obj1 に追突することを考え、この追突を回避できる加速度（実際は減速度）の大きさを計算する。

まず合流するには、自車は車列間ギャップが存在する時間中に合流点に至っていなければならない。Obj1 の後端が合流点に至る時刻（t_{1oj}）とすれば、t_{1oj} 時刻における自車先端の X 方向位置は、合流点の X 方向位置より手前にいなければならず、かつ、自車後端の X 方向位置は、Obj2 先端の X 方向位置より前方にいなければならない。

この条件が成立する場合に、Obj1 への追突を回避できる限界加速度を求め、以下の式 3.2.5.1-4 が得られる。なお、現在の自車加速度（G_{e0}）、自車速度（V_{e0}）、Obj1 の速度（V_{o0}）、自車と Obj1 との X 方向相対距離（D_{1x}）、回避加速度の発生遅れ（τ）としている。

$$ACA^{mergeA}_{trans\_objrr} = \frac{-Ge0^2\tau^2 + 2\tau Ge0(Vo0 - Ve0) - (Vo0 - Ve0)^2}{-\tau^2 Ge0 + 2\tau(Vo0 - Ve0) + 2D1x} \qquad \text{式 3.2.5.1-4}$$

同様に、合流後の Obj2 に追突することを考え、この追突を回避できる加速度の大きさを計算すれば以下の式 3.2.5.1-5 のようになる。

$$ACA^{mergeA}_{trans\_objfr} = \frac{-Ge0^2\tau^2 + 2\tau Ge0(Vo0 - Ve0) - (Vo0 - Ve0)^2}{-\tau^2 Ge0 + 2\tau(Vo0 - Ve0) + 2D2x} \qquad \text{式 3.2.5.1-5}$$

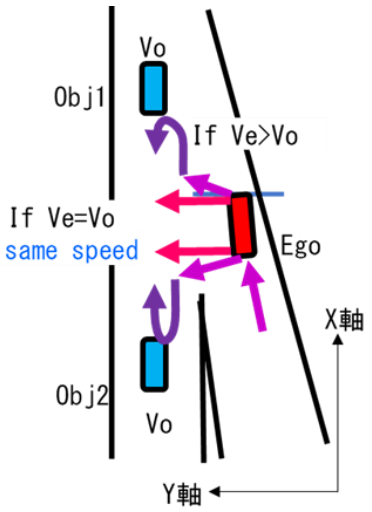


図 3.2.5.1-5　（A）車列間合流の衝突可能性モデル

（3）　最後尾合流シナリオにおける危険度指標の提案

図 3.2.5.1-6 に示した（B）最後尾合流シナリオにおいて、衝突の可能性がある危険モードは三つ考えられる。

・合流時に車両（Obj3）の側面に接触する可能性
・自車が合流点に停車して車両（Obj3）の側面に接触する可能性
・自車の速度超過で合流後に車両（Obj3）に追突してしまう可能性

そこで、まず合流時の Obj3 に側面接触することを考え、この接触を回避できる加速度（実際は減速度）の大きさを計算する。

まず合流するには、Obj3 が合流点を通過する以降に、自車は合流点に至っていなければならない。Obj3 の後端が合流点に至る時刻（t_{3oj}）、現在の自車加速度（G_{e0}）、自車速度（V_{e0}）、Obj3 の速度（V_{o0}）、自車と Obj3 との X 方向相対距離（D_{3x}）、自車から合流点までの X 方向距離（J_{ex}）、Obj3 から合流点までの X 方向距離（J_{o3}）、回避加速度の発生遅れ（τ）、自車の全長（L_e）とすると、t_{3oj} 時刻における自車位置 Xe（t_{3oj}）=Obj3 後端位置が限界条件となるから、これを解いて必要加速度を求める（式 3.2.5.1-6）。

$$ACA_{sideyield}^{mergeB} = \frac{(2J_{ex} - 2(V_{e0} + \tau G_{e0}) \cdot t_{3oj} + \tau^2 G_{e0})}{(t_{3oj} - \tau)^2} \qquad \text{式 3.2.5.1-6}$$

ただし、この合流が成功するには、自車車速が Obj3 車速に等しいか遅くなければならないため、自車の t3oj 時刻における X 方向速度（Vex（t_{3oj}））には条件がある。

二つ目に、自車が合流点に停車して Obj3 に側面接触することを考え、この接触を回避できる加速度の大きさを同じように計算すれば式 3.2.5.1-7 となる。

$$ACA^{mergeB}_{side\_last\&yield} = \frac{(V_{e0}+\tau G_{eo})^2}{2\tau V_{e0} - 2t_{3oj}V_{o0} + \tau^2 G_{eo} - 2(J_{e0} - J_{o3})} \qquad \text{式 3.2.5.1-7}$$

三つ目に、自車の速度超過で合流後の車両（Obj3）に追突してしまうことをモデル化すると式 3.2.5.1-8 となる。

$$ACA^{mergeB}_{trans\_objrr} = \frac{-G_{e0}{}^2\tau^2 + 2\tau G_{e0}(V_{o0}-V_{e0}) - (V_{o0}-V_{e0})^2}{-\tau^2 G_{e0} + 2\tau(V_{o0}-V_{e0}) + 2D_{3x}} \qquad \text{式 3.2.5.1-8}$$

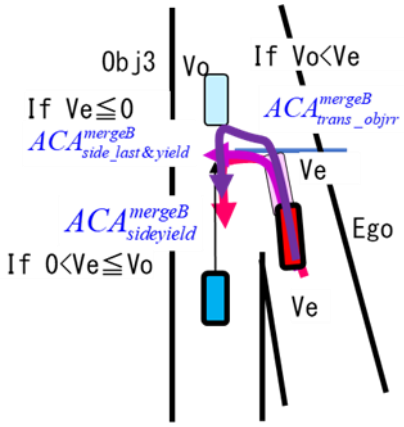


図 3.2.5.1-6　（B）最後尾合流の衝突可能性モデル

（4）　先頭合流シナリオにおける危険度指標の提案

図 3.2.5.1-7 に示した、（C）先頭合流シナリオにおいて衝突の可能性がある危険モードは二つ考えられる。

・合流時に車両（Obj4）の側面に接触する可能性
・合流後に自車の速度が低く、車両（Obj4）から追突を受ける可能性

まず合流時の Obj4 に側面接触することを考え、この接触を回避できる加速度の大きさを計算する。合流するには、Obj4 が合流点に至る前に、自車は合流点に至っていなければならない。Obj4 の先端が合流点に至る時刻（t_{4oj}）、現在の自車加速度（G_{e0}）、自車速度（V_{e0}）、Obj4 の速度（V_{o0}）、自車と Obj4 との X 方向相対距離（D_{4x}）、自車と Obj4 との X 方向相対距離（D_{4x}）、自車から合流点までの X 方向距離（J_{ex}）、Obj4 から合流点までの X 方向距離（J_{o4}）、回避加速度の発生遅れ（τ）、自車の全長（L_e）とする。t_{4oj} 時刻における自車位置 Xe（t_{4oj}）=Obj4 後端位置が限界条件となるから、これを解いて必要加速度を求める（式 3.2.5.1-9）。

$$ACA_{sidepass}^{mergeC} = \frac{(2(J_{ex}+L_e)-2(V_{e0}+\tau G_{e0})\cdot t_{4oj}+\tau^2 G_{e0})}{(t_{4oj}-\tau)^2} \qquad \text{式 3.2.5.1-9}$$

ただし、この合流が成功するには、自車車速が Obj4 車速に等しいか速くなければならないため自車の t_{4oj} 時刻における X 方向速度の条件がある。

二つ目に、自車の速度が低く合流後の車両（Obj4）に追突を受けてしまうことを定式化する（式 3.2.5.1-10）。

$$ACA_{trans\_objfr}^{mergeC} = \frac{-G_{e0}{}^2\tau^2+2\tau G_{e0}(V_{o0}-V_{e0})-(V_{o0}-V_{e0})^2}{-\tau^2 G_{e0}+2\tau(V_{o0}-V_{e0})+2D_{4x}} \qquad \text{式 3.2.5.1-10}$$

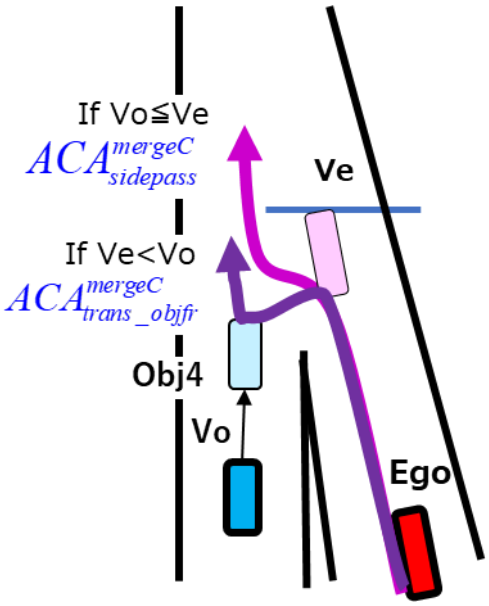


図 3.2.5.1-7　（C）先頭合流の衝突可能性モデル

3.2.5.2　合流シナリオにおける危険度指標のまとめ

合流シナリオを、（A）車列間に合流するシナリオ、（B）最後尾に合流するシナリオ、（C）先頭に合流するシナリオ、の三つに分類した上で、個別の衝突モードに関する危険度指標を提案した。

3.2.6　交差点出会い頭における危険度指標の研究

本項では、一般道の交差点における出会い頭に関して、加減速をベースとした考え方の整理を実施した。

3.2.6.1　交差点での出会い頭事象の整理

自車は直進しているとし、そこに交差車線から他車が走行してきた場合の衝突回避のあり方を検討する。自車進行車線に他車車が飛び出してくるという交通妨害に対し、強い力で回避しなければならない、あるいは回避できない場合を危険度が高いシチュエーションであると考える（ここでの自車は AD システムが搭載されている車両と定義し、他車はヒューマンドライバを想定する。）。

交通妨害の発生予測としては、他車の動きを含めたパラメータの値が得られている場合（顕在化危険の予測）および対象車が死角から飛び出す可能性のある場合（潜在化危険の予測）を検討する必要がある。

交差点出会い頭衝突を回避するシナリオは、（A）他車の軌道手前で停車して衝突を回避するシナリオ、（B）他車が通り過ぎた直後に直進して衝突を回避するシナリオ、（C）他車より先に通過して衝突を回避するシナリオ、の三つに分類することができる（図 3.2.6.1-1）。

自車にとっては、この三つは選択肢であって、その時の状況判断で自車が選択していることになる。そして、三つのシナリオそれぞれで衝突メカニズムが異なるため、個別の危険度指標が求められる。

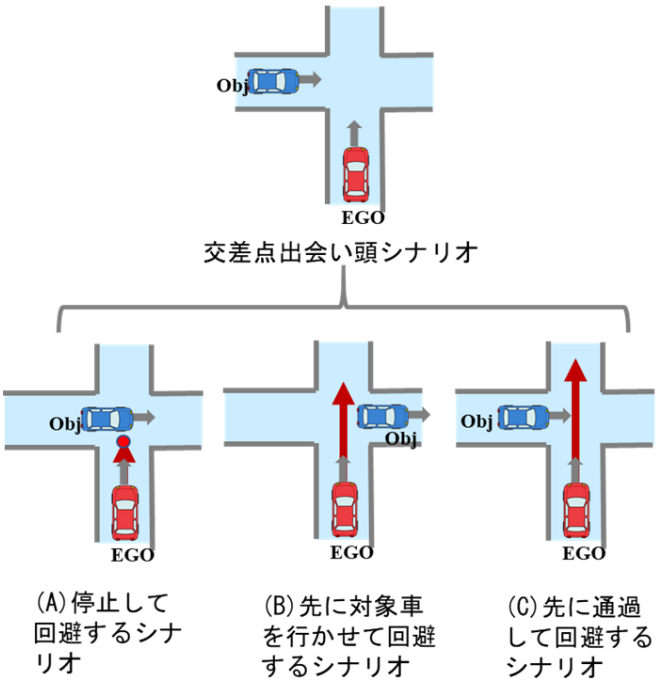


図 3.2.6.1-1　交差点における出会い頭の分類

（1） 交差点出会い頭シナリオの危険度定量化の考え方

出会い頭シナリオの危険度（図 3.2.6.1-2）は、現在の走行環境パラメータ情報（情報がある状態を”顕在”とする）から予測可能な衝突を想定し、それを回避する回避力の大きさ（すなわち加速度）が大きい場合、予め顕在危険度が高いと判断する。回避加速度の大きさは以下のように分類する。もう一つは、死角などで走行環境情報が得られないが発現可能性のある予測情報（潜在）から予測可能な衝突を想定し、それを回避する回避力の大きさ（加速度）が大きい場合、予め潜在危険度が高いと判断し、同じく以下のように分類する。

各危険レベルの境界条件は、研究用仮値として、 Normal 領域は、緊急回避システムがまだ作動しない範囲に相当すると考え、この上限値を、乾燥路面減速側で-0.6g*、緊急回避でも回避不可能な領域の下限は、乾燥路面限界値から減速側-1g とする。加速側としては、同様の考え方に基づき、Normal 領域上限を 0.3g*、Critical Unpreventable 下限を 0.5g と仮定する。

（*）正式にはこの値は OEM や政策決定者によって定められるので、今回は定量化のために数値の仮置きを実施している。

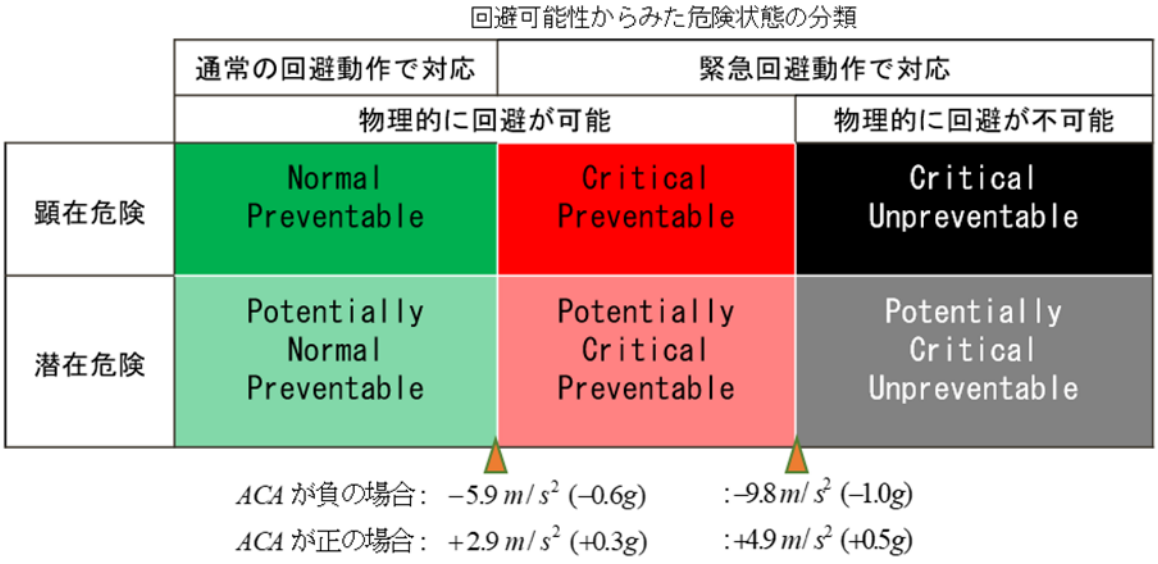


図 3.2.6.1-2 出会い頭シナリオにおける危険状態の分類

（2） 停止して回避するシナリオにおける危険度指標の提案

図 3.2.6.1-3 に示すように、（A）停止して回避するためには、交差車線から飛び出してくる他車側面までの X 軸方向距離を使って自車は停止しなければならないと考え、そのために必要な自車の限界加速度を求めることができ、式 3.2.6.1-1 が得られる。

なお、現在の自車加速度（G_{e0}）、自車速度（V_{e0}）、自車先端から他車側面までの X 方向相対距離（D_{x0}）、回避加速度の発生遅れ（τ）としている。

$$ACA_{last}^{crosspaths} = -\frac{(V_{e0}+\tau G_{eo})^2}{-2\tau V_{e0}-\tau^2 G_{eo}+2D_{x0}} \qquad \text{式 3.2.6.1-1}$$

但し、他車が自車の目の前を通り過ぎる時刻以降では、式 3.2.6.1-1 は無効となる。

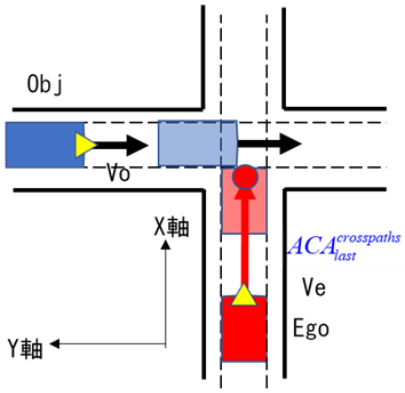


図 3.2.6.1-3 （A）停止して回避するモデル

【潜在危険がある場合】

図 3.2.6.1-4 に示すように、交差車線への視界に死角がある場合、死角内に存在している他車を認識することはできない。そこで、死角境界位置からいつでも他車が飛び出してくる危険性が潜在していると考える。

死角内に存在を仮想する他車の交差車線上の速度を Vo と仮定する（例えば、Vo 仮定値はこの交差車線で予見される値として、道路の制限速度を Vo とすることができる）。また、自車先頭から、死角境界上の他車の出現可能性のある位置までの距離（D_{bx},D_{by}）に基づき、計算される他車が飛び出す可能性のある XY 座標位置を求め、この位置から Vo 速度で他車が走行してくることを潜在危険妨害として仮定する。

以上の条件を設定の上で、自車が停止して回避する為に必要な自車の限界加速度は自車先端から潜在他車側面までの X 方向相対距離（D_{bx}）として、以下の式 3.2.6.1-2 で表される。

$$PACA_{last}^{crosspaths} = -\frac{(V_{e0}+\tau G_{eo})^2}{-2\tau V_{e0}-\tau^2 G_{eo}+2D_{bx}} \qquad \text{式 3.2.6.1-2}$$

但し、この潜在的他車が自車の目の前を通り過ぎる時刻以降では、式 3.2.6.1-2 は無効となる。

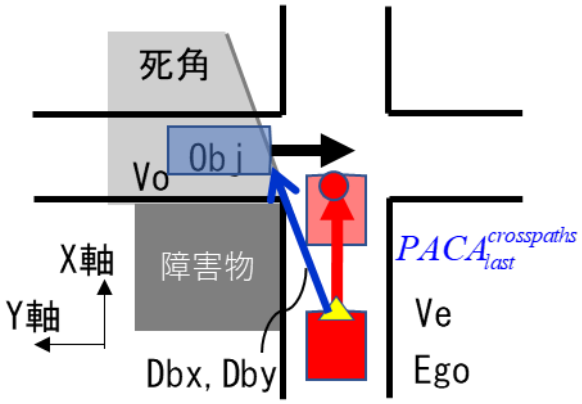


図 3.2.6.1-4　（A）で死角がある場合のモデル

（3）　先に他車を行かせて回避するシナリオにおける危険度指標の提案

図 3.2.6.1-5 に示すように、（B）他車を先に行かせて回避するためには、交差車線から飛び出してくる他車後端が自車の進行経路を通り抜けた時刻に、自車の先端が他車の後端位置に到達する必要があると考え、そのために必要な自車の限界加速度を求めることができ、以下の式 3.2.6.1-3 が得られる。なお、現在の自車加速度（G_{e0}）、自車速度（V_{e0}）、他車後端が自車進行経路を通り抜ける時刻（t_{out}）、自車先端から他車側面までの X 方向相対距離（D_{x0}）、回避加速度の発生遅れ（τ）としている。

$$ACA_{side\_yield}^{crosspaths} = \frac{-2V_{e0} \cdot t_{out} - 2\tau G_{e0} \cdot t_{out} + \tau^2 G_{eo} + 2D_{x0}}{(t_{out} - \tau)^2} \qquad \text{式 3.2.6.1-3}$$

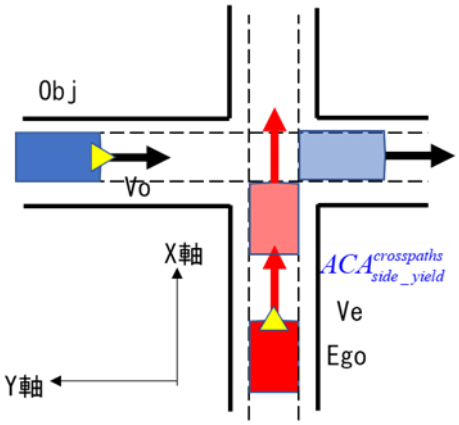


図 3.2.6.1-5　（B）先に他車を行かせて回避するモデル

【潜在危険がある場合】

3.2.6.1-6 に示すように、交差車線への視界に死角がある場合の計算も 3.2.6.1 の（1）の場合と同様である。

死角内に存在を仮想する他車の交差車線上の速度を Vo と仮定し、また、自車先頭から、死角境界上の他車の出現可能性のある位置までの距離（D_{bx}、D_{by}）に基づき、計算される他車が飛び出す可能性のある XY 座標位置を求め、この位置から Vo 速度で他車が走行してくることを潜在危険妨害として仮定する。

以上の条件を設定の上で、交差車線から飛び出してくると想定する潜在他車の後端が自車の進行経路を通り抜けた時刻に、自車の先端が他車の後端位置に到達するために必要な自車の限界加速度を以下の式 3.2.6.1-4 ように求めることができる。

$$PACA_{side\_yield}^{crosspaths} = \frac{-2V_{e0} \cdot t_{out} - 2\tau G_{e0} \cdot t_{out} + \tau^2 G_{eo} + 2D_{bx}}{(t_{out} - \tau)^2} \qquad \text{式 3.2.6.1-4}$$

但し、想定する潜在他車の後端が自車の進行経路を通り抜ける時刻を t_{out} としている。

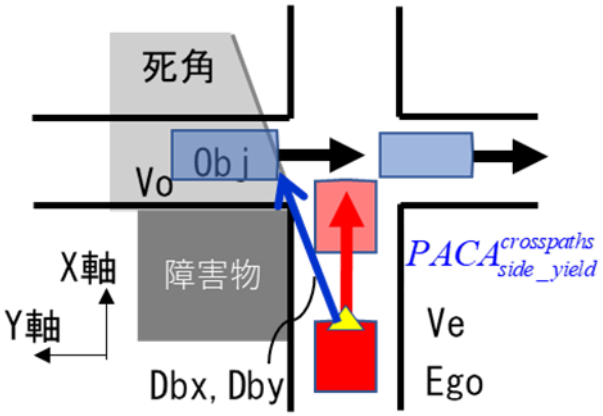


図 3.2.6.1-6　（B）で死角がある場合のモデル

（4）　先に通過して回避するシナリオにおける危険度指標の提案

図 3.2.6.1-7 に示すように、（C）自車が先に通過して回避するために、交差車線から飛び出してくる他車先端が自車の進行経路に入る時刻に、自車の後端が他車の先端位置に到達する必要があると考え、そのために必要な自車の限界加速度を求めることができ、以下の式 3.2.6.1-5 が得られる。なお、現在の自車加速度（G_{e0}）、自車速度（V_{e0}）、他車先端が自車進行経路に入る時刻（t_{in}）、自車先端から他車側面までの X 方向相対距離（D_{x0}）、回避加速度の発生遅れ（τ）としている。

$$ACA_{side\_pass}^{crosspaths} = \frac{-2V_{e0} \cdot t_{in} - 2\tau G_{e0} \cdot t_{in} + \tau^2 G_{eo} + 2D_{x0}}{(t_{in} - \tau)^2} \qquad \text{式 3.2.6.1-5}$$

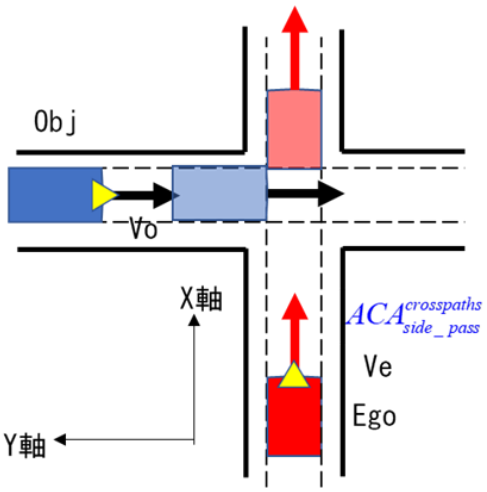


図 3.2.6.1-7　（C）先に通過して回避するモデル

【潜在危険がある場合】

図 3.2.6.1-8 に示すように、交差車線への視界に死角がある場合の計算も 3.2.6.1 の（1）および（2）の場合と同様である。

死角内に存在を仮想する他車の交差車線上の速度を Vo と仮定し、また、自車先頭から、死角境界上の他車の出現可能性のある位置までの距離（D_{bx}、D_{by}）に基づき、計算される他車が飛び出す可能性のある XY 座標位置を求め、この位置から Vo 速度で他車が走行してくることを潜在危険妨害として仮定する。

以上の条件を設定の上で、交差車線から飛び出してくると想定する潜在他車の先端が自車の進行経路に入る時刻に、自車の後端が他車の先端位置に到達するために必要な自車の限界加速度を以下の式 3.2.6.1-6 ように求めることができる。

$$PACA^{crosspaths}_{side\_pass} = \frac{-2V_{e0}\cdot t_{in} - 2\tau G_{e0}\cdot t_{in} + \tau^2 G_{eo} + 2D_{bx}}{(t_{in}-\tau)^2}$$

式 3.2.6.1-6

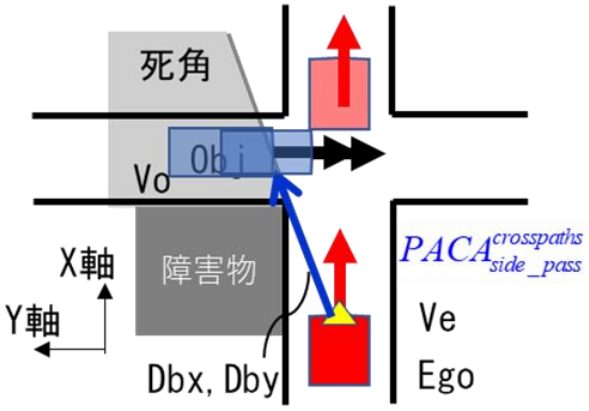


図 3.2.6.1-8　（C）で死角がある場合のモデル

3.2.6.2　交差点出会い頭における危険度指標のまとめ

直進中の自車に対し、交差車線から他車が走行してきた場合の出会い頭シナリオを、（A）他車の軌道手前で停車して衝突を回避するシナリオ、（B）他車が通り過ぎた直後に直進して衝突を回避するシナリオ、（C）他車より先に通過して衝突を回避するシナリオ、の三つに分類した上で、個別の衝突モードに関する危険度指標を提案した。

3.3 導出エビデンス管理・処理プロセス規程

安全性評価の実用化、実社会での利活用を促進するためには、「安全性評価結果の信頼性が高いこと」が重要な要素の 1 つである。そのため安全性評価結果の正確性、結論に至った経緯や根拠が明確であることは強く求められると予想される。

令和 3 年度事業では、安全性評価に求められる信頼性を担保する要素として「経緯や根拠（トレーサビリティ)」に注目し、トレーサビリティを確保する目的、想定される用途の仮説をたて、トレーサビリティデータ生成方法／データ構築システムの実現可能性、同年度に作成したトレーサビリティデータ案を用いた想定用途の実現可能性を評価した。

令和 4 年度事業では、安全性評価で扱うデータの品質を表す指針を「信頼性」「透明性」の 2 つに定めた。そして、それぞれを管理する仕組みとして「品質保証プロセス」「エビデンス管理（トレーサビリティを含む)」を試作し、これらの仕組みがデータ品質の確保／向上に寄与するかを検討した。

なお、指針となる「信頼性」「透明性」を以下のように定義した。

○信頼性（品質保証プロセスが担保する指針）

データがある一定の基準を満たし、その基準に対してどの程度正確であるかを示せる状態にする。具体的には各種データ導出で使用した機器からの出力データと算出アルゴリズムによる計算結果で得られたデータの品質を評価することでデータの品質を保証する。

○透明性（エビデンス管理が担保する指針）

SAKURA データに対する分析プロセスのあらゆる出力結果のデータの導出元（元データ、算出ロジックなど）を明確にし、各種データの根拠を説明可能な状態にする。これにより導出元が不明な情報の混入を排除し、データ透明性、説明性を担保する。

3.3.1 シナリオ分析用エビデンスの管理手法検討

本項では、シナリオ分析結果の根拠（裏付け）となるデータ（以下、「エビデンス」という）管理実現のために構築したシステムのプロトタイプとシステムが出力したデータにより、データ品質・説明性（透明性）の担保、シナリオ分析の拡充といった品質担保以外に有効と考えられている用途の実現性評価の結果について説明する。

3.3.1.1 背景

令和 3 年度「シーン抽出に関する処理手法・結果の管理」の取り組み結果として、データ収集において各プロセスが取り扱う情報のデータベース化およびデータ同士のつながりを「トレーサビリティデータ」という情報として定義することで、最後段プロセスである「シナリオ分析」の結果から導出元の最前段プロセスである「データ収集」まで遡り、プロセス実施時の状況（データ収集時の環境情報、プロセス実施時の使用ツールのバージョン情報など）、中間成果物など一気通貫で把握可能であることがわかった。この結果、令和 3 年度事業の成果として、トレーサビリティデータはシナリオ分析結果の根拠を示すための有効な手段になりえるという結論に至った。また、つながりに直接関わらない ODD 情報（天候など）もトレーサビリティデータの項目として管理することで、より細かな ODD 条件に該当するデータを抽出可能になることもわかった。

令和 4 年度事業では、令和 3 年度事業の成果をベースに対応範囲を拡大し、SAKURA データプロセスの各出力結果（以下、「エビデンスデータ」という）の管理機構も内包するシステムを考案し、その実現可能性と有効性評価を実施した。なお、本件の実施には、過去に SAKURA プロジェクトで収集した「計測車両による高速道の計測データ」を使用した。

具体的な対応内容は以下のとおり。

1. トレーサビリティデータの拡充
   （ア）トレーサビリティデータを作成する際に使用する元データの情報を見直し、データのつながり、シナリオ分析に有効な情報を追加する。
2. エビデンスデータ管理の見直しとトレーサビリティデータとの関連付け
   （ア）エビデンスデータを格納／取り出しが容易なストレージ機材へ移行、格納先情報をトレーサビリティデータに記録することにより、エビデンスデータを起点にプロセスの追跡と使用データ取得を容易にする。
   （イ）シナリオ分析結果の提供先である「外部向け UI（User Interface）」（シナリオ DB など）との連携を検討する。
3. トレーサビリティデータ作成機構の自動化
   （ア）トレーサビリティデータは、エビデンスデータおよびプロセス実施時の成果物を入力値として作成するが、作成作業について、システムによる自動化を検討する。
   ※令和 3 年度事業では検証用データを手作業で作成した。

※各プロセスの実行環境の問題から完全自動化は困難なため、可能な範囲で自動化に取り組む方針とする。

3.3.1.2 目的

令和 4 年度事業では、エビデンス管理の目的を以下の 2 つに定めた。

1. 外部向け UI からシナリオ分析～データ収集までのデータ追跡／取得を可能にする

令和 3 年度事業では、データ計測プロセスの範囲で履歴／根拠となる情報の追跡が可能であることを確認したが、テストシナリオを生成する外部向け UI の持つデータとの連携は実現していない。また、トレーサビリティ情報から取得できる情報についても少数であった。

令和 4 年度事業では、外部向け UI および SAKURA データプロセスの出力データ／中間データを見直し、安全性評価シナリオの導出に用いるデータを網羅的に追跡／取得が可能な仕組みにする。また、これらのデータを出力する仕組みは、システムによる自動化を目指す。

2. 詳細な ODD 条件によるデータ操作機構を確立する

今後、SAKURA プロジェクトで定めた交通流シナリオを詳細な ODD 条件で分類しようとする場合、現在のシナリオを構成するパラメータ以外の情報を必要とする可能性がある（例えば、走行時の天候など）。SAKURA データプロセスで取得したデータ項目には、シナリオを構成するパラメータ以外にもさまざまな情報を有しており、それらを利活用できるようにすることで、より高度なシナリオ分析が可能になる。

上記を踏まえ、「1. 外部向け UI からシナリオ分析～データ収集までのデータ追跡／取得を可能にする」で実施する出力データ／中間データの見直しと合わせ、それらデータを閲覧／操作する手段を検討する。具体的には、データ操作が可能な仕組みを構築し、現状の SAKURA データプロセスが管理するデータに対して、どの程度「データに閲覧／操作」が可能であるかを評価する。

3.3.1.3　令和 4 年度事業でのゴールと評価方法

令和 4 年度事業では、令和 3 年度事業で試作したトレーサビリティデータベースのデータ構造を改良するとともに、トレーサビリティデータを取り扱う各種機能を有するシステム「エビデンス管理システム」を構築し、3.3.1.2.に示す目的達成に向けた評価を実施した。エビデンス管理システムを含めた SAKURA データプロセスのシステム全体像を図 3.3.1.3-1 に示す。

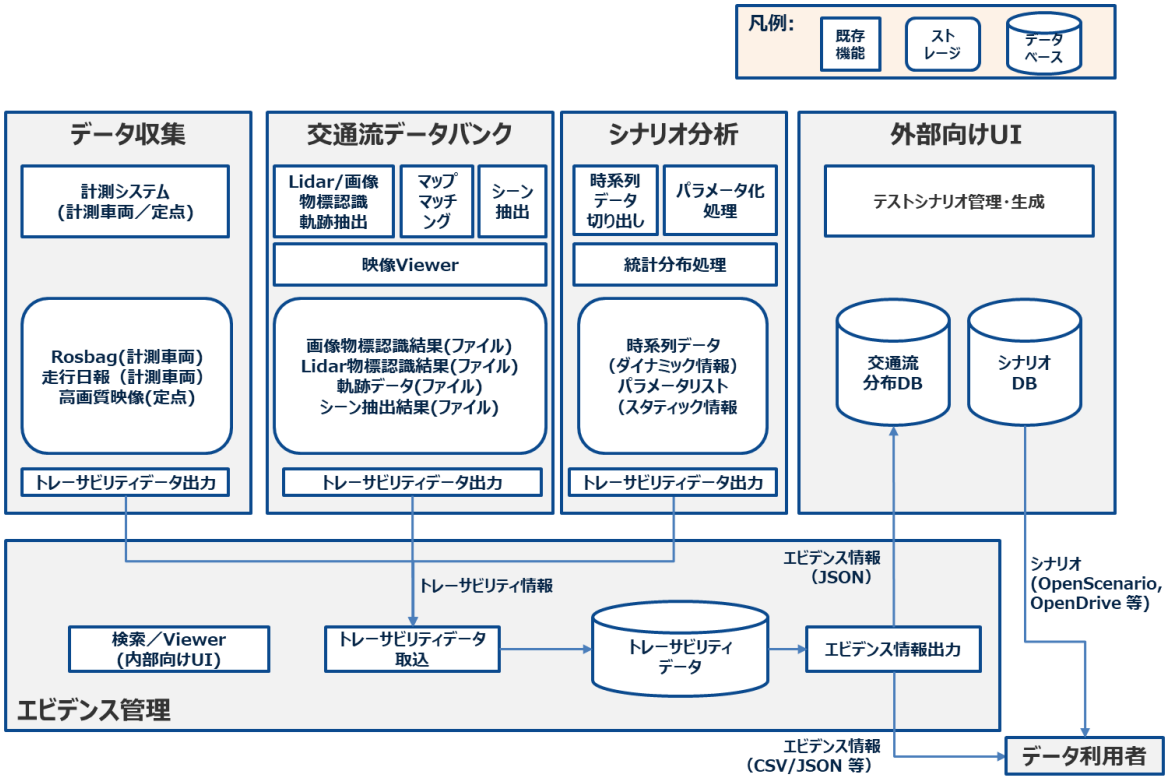


図 3.3.1.3-1　SAKURA データプロセス システム全体像

目的達成の評価方法について、具体的な評価項目を以下に示す。

1. トレーサビリティデータ生成方法の確立および自動化の実現可能性

各プロセスのエビデンスデータからトレーサビリティデータを生成する方法、さらに、システムによる自動生成の実現可能性を評価する。完全な自動生成が不可能な場合、可能な範囲を明確にする。

2. データ追跡の実現可能性

外部向け UI に格納されている「交通流分布 DB」が、SAKURA データプロセスにより取得した実交通流データをシナリオ分析することで得たパラメータおよびパラメータ分布情報を記録している。

この交通流分布 DB に記録しているパラメータ分布情報によって導出された安全性評価シナリオから、シナリオ導出に至るまでに使用した SAKURA データプロセスの各プロセ

スのエビデンスデータが取得可能であること確認する。

3. より詳細な ODD 条件によるデータの取得業務の実現可能性

SAKURA データプロセスにより取得／導出した情報のうち、交通流シナリオのパラメータでは使用していない項目（より詳細な ODD 条件）を用いて、より詳細なデータの取得が実現可能かを評価する。

3.3.1.4 取組概要

SAKURA データプロセスのシステムのうち、令和 4 年度事業で構築する範囲を図 3.3.1.4-1 に示す。

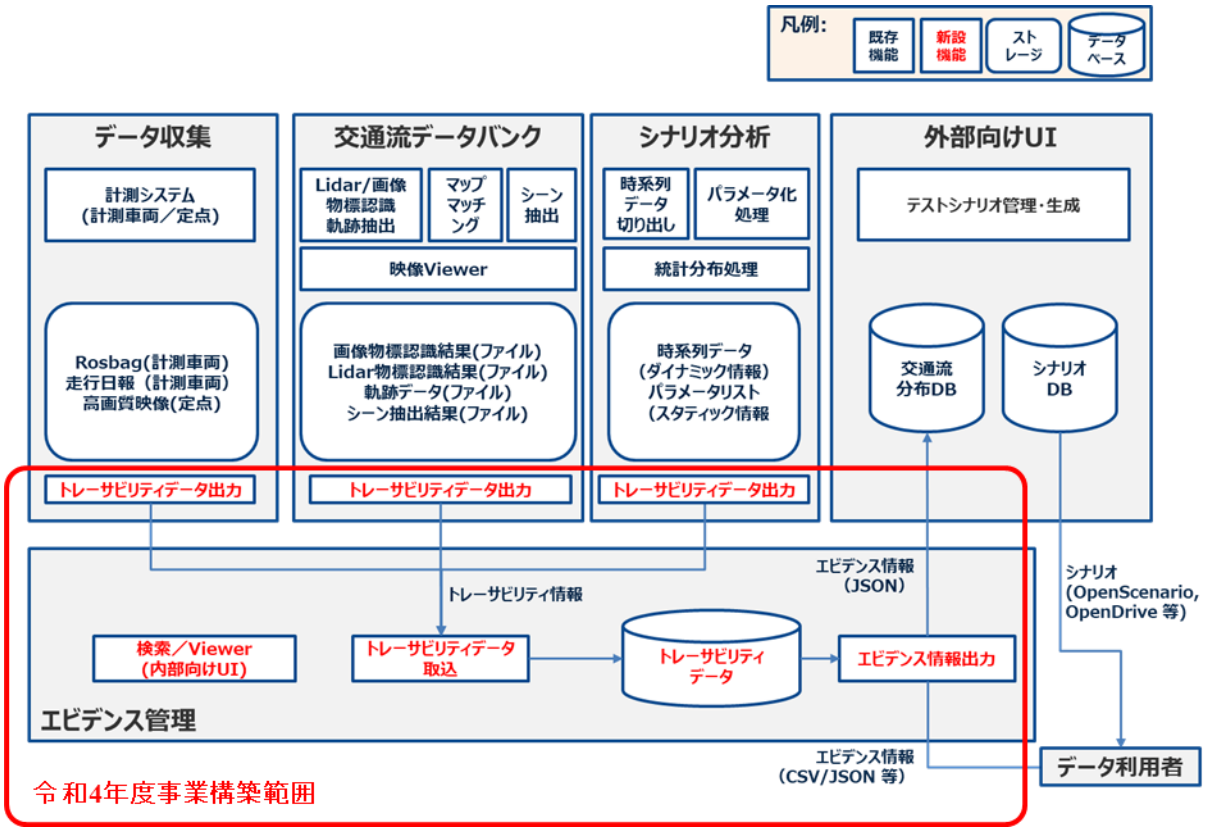


図 3.3.1.4-1 SAKURA データプロセス システム構成図（全体像）

エビデンスデータの管理、トレーサビリティデータの生成／管理業務を検討した結果、エビデンス管理システムには表 3.3.1.4-1 に示す機能が必要であるという結論に至った。各機能の詳細については、3.3.1.5（3）の機能要件にて述べる。

表 3.3.1.4-1　エビデンス管理システムの機能

#	機能名	説明
1	トレーサビリティデータ出力	エビデンスデータを入力として、トレーサビリティデータを生成する。
2	トレーサビリティデータ取込	#1.トレーサビリティデータ出力が生成したデータをトレーサビリティデータモデル（データベースシステム）に記録する。
3	エビデンス情報出力 （データ／ファイル）	■データ トレーサビリティデータの情報を JSON 形式のファイルに出力する。出力したファイルは外部向け UI およびデータ利用者へ提供し、利用されることを想定する。 ※外部向け UI の交通流分布 DB へのデータ取込は担当者の運用業務にて対応。 ■ファイル トレーサビリティデータに記録している各種エビデンスデータの格納先情報からエビデンスデータのファイルを取得する。出力したファイルはデータ利用者へ提供する運用を想定する。
4	検索／Viewer （内部向け UI）	トレーサビリティデータの閲覧、データ検索が実施できる。本機能の利用者はエビデンス管理システムの担当者を想定し、データ操作に関する様々な機能を有することを想定する。

これらエビデンス管理システムの各機能を使用し、3.3.1.3 で記述した（ゴールと評価方法）項目を評価する。各項目の具体的な評価方法は以下のとおり。

1. トレーサビリティデータ生成方法の確立および自動化の実現可能性
   - トレーサビリティデータ出力／取込をソフトウェアによって実現する。
   - ソフトウェアの実行のみ手作業とし、処理の大半を自動化した状態にする。

2. データ追跡の実現可能性
   - 外部向け UI にエビデンス情報表示機能を試作し、外部向け UI からトレーサビリティデータ、および SAKURA データプロセスのエビデンスデータを閲覧する仕組みが実現可能か確認する。

3. より詳細な ODD 条件によるデータの取得業務の実現可能性
   - 検索／Viewer（内部向け UI）のデータ検索機能を用いて、シナリオのパラメータとして使用していないが ODD 拡張に伴い必要になる可能性のある仮項目のデータ検索が実現できることを確認する。

3.3.1.5 システム要件

（1） システム構成

エビデンス管理システムの構成を説明するにあたり、図 3.3.1.3-1 に示したエビデンス管理システム周辺の各システムの役割について説明する（表 3.3.1.5-1）。

表 3.3.1.5-1 SAKURA データプロセスのシステム群

#	システム名	説明
1	データ収集	計測車両、定点観測機器を用いて、実交通流のデータ（RAW データ）を収集する。
2	交通流データバンク	#1.データ収集により集められたデータから、交通環境データ、車両動作データ（映像／数値）を生成する。 交通流データバンクは、以下のサブシステムにより構成／運用している。 1. 物標認識（点群） 2. 物標認識（画像） 3. マップマッチング 4. シーン抽出
3	シナリオ分析	#2.交通流データバンクにより生成された各種データより、安全性評価シナリオを生成するために必要なパラメータ分布を出力する。
4	外部向け UI	#3.のパラメータ分布情報から、安全性評価用の Logical Scenario、Concrete Scenario を生成する。また生成したシナリオによる安全性評価の実施状況を管理する。
5	エビデンス管理	#1.データ収集～#3.シナリオ分析のエビデンスデータを用いて、トレーサビリティデータの生成／管理、#4.外部向け UI やデータ利用者に向けたデータ提供機能を有する。

なお、各システムはインフラストラクチャーの都合上、それぞれ単独で稼働しており、システム間に通信回線などによる繋がりはない。システム間のデータ連携については、担当者による手作業にて実施した。

エビデンス管理システムのソフトウェア／ハードウェア面のシステム仕様詳細については、3.3.1.6 のシステム仕様にて述べる。

（2） 運用要件

エビデンス管理システムが提供する機能の要件を定めるにあたり、各機能を利用者がどのように操作するかを定義することが肝要である。令和 4 年度事業において エビデンス管理システムを用いた運用を、以下 4 件と定めた。

a） トレーサビリティデータ出力業務

トレーサビリティデータ出力業務は、エビデンス管理システムのトレーサビリティデータ出力機能を用いて、SAKURA データプロセスの各エビデンスデータからトレーサビリティデータを生成する。

なお、トレーサビリティデータ出力業務は、SAKURA データ分析のプロセス毎に実施する。これはプロセス毎にエビデンスデータの様式、内容が異なることに起因し、トレーサビリティデータ出力プログラムが異なるためである。そのため各プロセスの担当者が業務を実施する。

データ出力作業が完了したのち、後段のトレーサビリティデータ取込業務を実施するため、エビデンス管理の担当者による出力データの取得をもって業務は完了する。一連の過程を図 3.3.1.5-1、過程の説明を表 3.3.1.5-2 に示す。

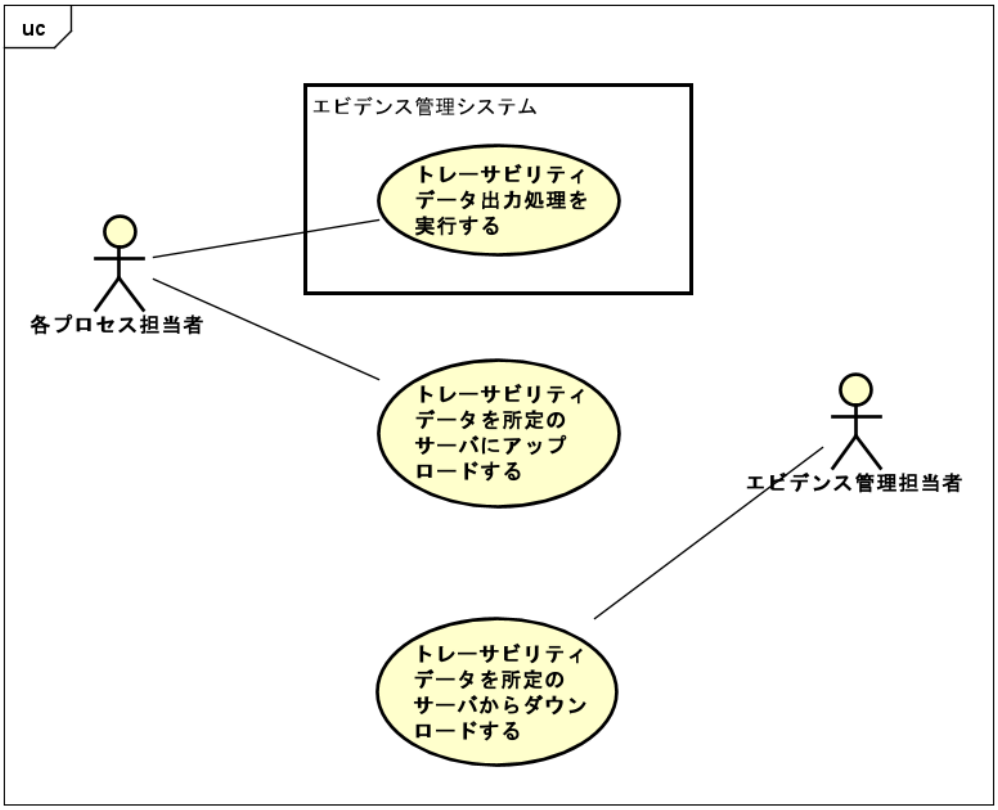


図 3.3.1.5-1　トレーサビリティデータ出力業務のユースケース

表 3.3.1.5-2　トレーサビリティデータ出力業務の説明

#	業務名	実施者	説明
1	トレーサビリティデータ出力処理を実行する	各プロセス担当者	トレーサビリティデータ出力機能を実行し、担当プロセスのエビデンスデータからトレーサビリティデータ（CSV、JSON などのファイル形式）を出力する。
2	トレーサビリティデータを所定のサーバにアップロードする	各プロセス担当者	トレーサビリティデータのファイルを、エビデンス管理システムが定めた所定のファイルサーバにアップロードする。
3	トレーサビリティデータを所定のサーバからダウンロードする	エビデンス管理担当者	ファイルサーバからトレーサビリティデータのファイルをダウンロードする。 ※その後トレーサビリティデータ取込業務を実施する想定。

b)　トレーサビリティデータ取込業務

トレーサビリティデータ取込業務は、トレーサビリティデータ出力業務で生成したトレーサビリティデータをエビデンス管理システム（トレーサビリティデータモデル）へ記録する。

トレーサビリティデータ取込業務も、出力業務と同様の理由から SAKURA データ分析のプロセス毎に実施する。トレーサビリティデータ取込業務が完了することで、検索／Viewer（内部向け）、エビデンス情報出力業務によるトレーサビリティデータ、エビデンスデータの取り扱いが可能になる。一連の過程を図 3.3.1.5-2、過程の説明を表 3.3.1.5-3 に示す。

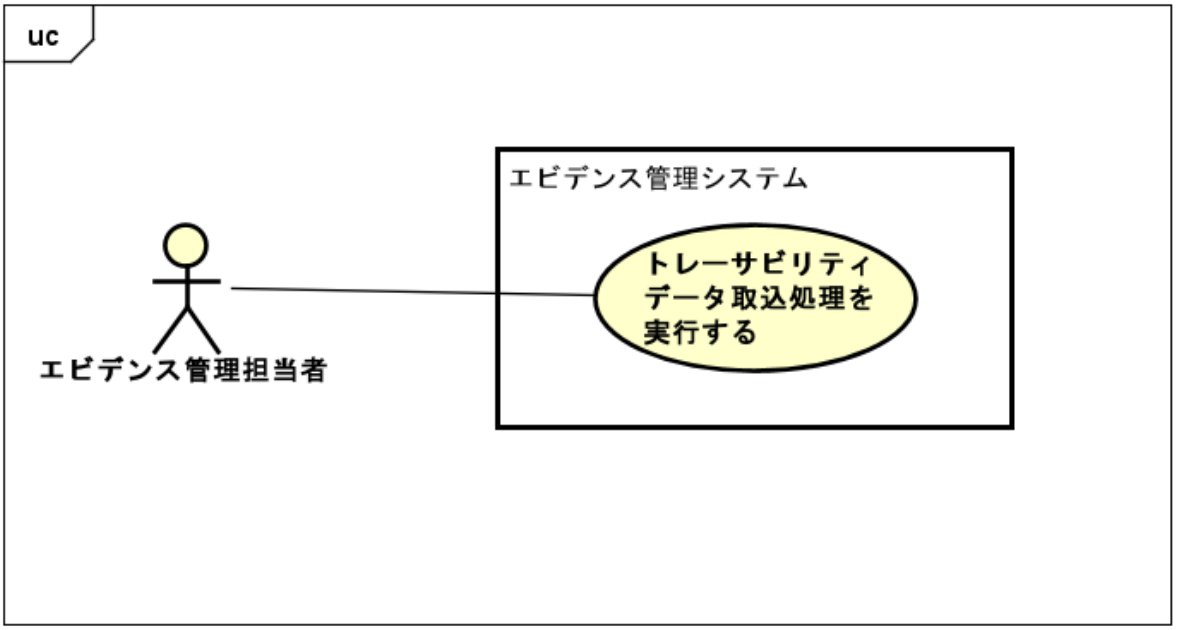


図 3.3.1.5-2　トレーサビリティデータ取込業務のユースケース

表 3.3.1.5-3　トレーサビリティデータ取込業務の説明

#	業務名	実施者	説明
1	トレーサビリティデータ取込処理を実行する。	エビデンス管理担当者	トレーサビリティデータ取込機能を実行し、トレーサビリティデータ出力機能から出力されたトレーサビリティデータファイル（CSV,JSON などファイル形式）のデータをトレーサビリティデータモデルへ記録する。

c)　エビデンス情報出力業務

エビデンス情報出力業務は、エビデンス情報出力、エビデンスファイルダウンロードの2つの業務を含んでいる。

1. エビデンス情報出力

シナリオ分析プロセスのアウトプットである「パラメータ分布情報ファイル（以下、「パラメータリスト」という)」に紐づくトレーサビリティデータをファイルに出力する。出力されるファイルは、データ収集（計測車両）の情報までを網羅する。

2. エビデンスファイルダウンロード

1.エビデンス情報出力によって取得したトレーサビリティデータファイルを入力とし、トレーサビリティデータに記録されているエビデンスデータの格納先情報から、各種エビデンスデータのファイルをダウンロードする。

一連の過程を図 3.3.1.5-3、過程の説明を表 3.3.1.5-4 に示す。

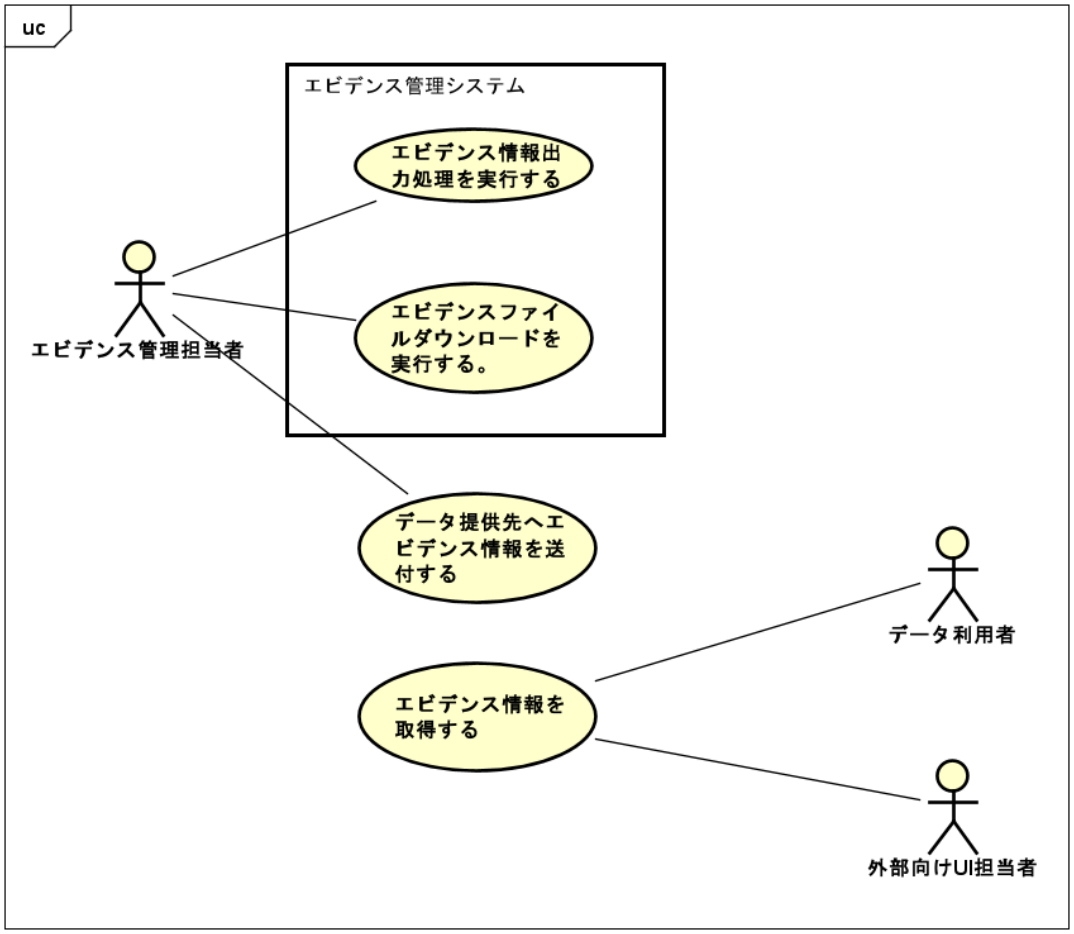


図 3.3.1.5-3 エビデンス情報出力業務のユースケース

表 3.3.1.5-4　エビデンス情報出力業務の説明

#	業務名	実施者	説明
1	エビデンス情報出力処理を実行する	エビデンス管理担当者	エビデンス情報出力機能を実行し、任意のパラメータリストリストに紐づくトレーサビリティデータを出力する。
2	エビデンスファイルダウンロードを実行する	エビデンス管理担当者	エビデンスファイルダウンロード機能を実行し、エビデンス情報出力機能から出力したトレーサビリティデータに紐づくエビデンスファイルをダウンロードする。
3	データ提供先へエビデンス情報を送付する	エビデンス管理担当者	#1、#2 で出力したエビデンス情報／ファイルをデータ提供先（データ利用者、外部向け UI 担当者を想定）へ送付する。
4	エビデンス情報を取得する	データ利用者、または外部向け UI 担当者	#3 で送付されたエビデンス情報／ファイルを受け取る。 外部向け UI 担当者の場合、外部向け UI の交通流分布 DB へデータを記録する。

d)　トレーサビリティデータ検索／各種情報取得業務

トレーサビリティデータモデルに格納されているデータを任意の条件で検索／閲覧でき、グラフなどさまざまな表現方法で可視化する。図 3.3.1.5-4、表 3.3.1.5-5 に業務内容を示す。

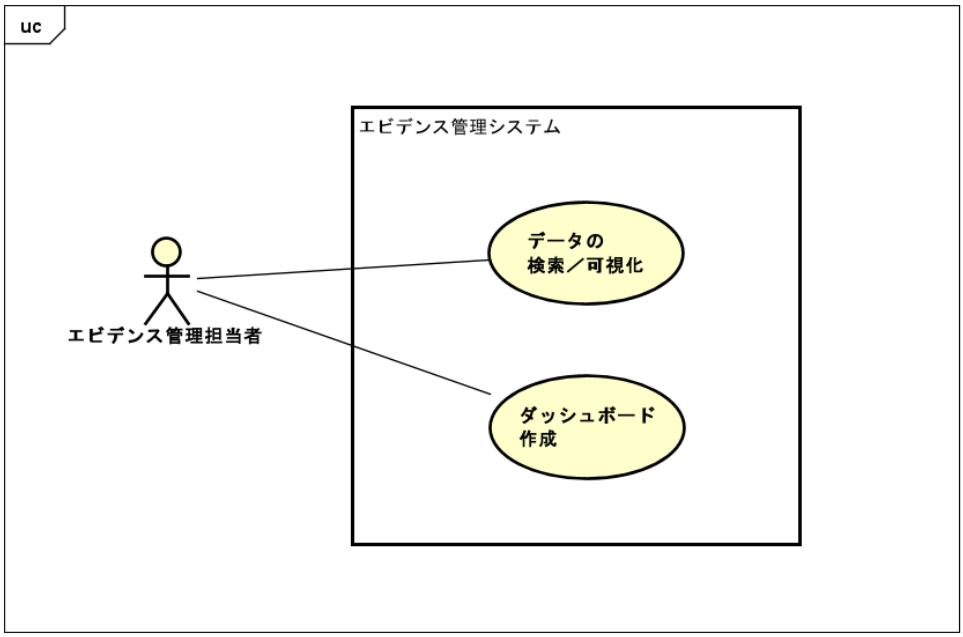


図 3.3.1.5-4　トレーサビリティデータ検索／各種情報取得業務のユースケース

表 3.3.1.5-5　トレーサビリティデータ検索／各種情報取得業務の説明

#	業務名	実施者	説明
1	データの検索／可視化	エビデンス管理担当者	トレーサビリティデータモデルに記録されているデータに対し、様々な条件による絞り込みやデータ結合などの操作により、任意のデータを閲覧／取得する。また、取得したデータを様々なグラフを用いて可視化する。
2	ダッシュボードの作成	エビデンス管理担当者	#1 で作成したデータやグラフを任意の固定の様式で素早く閲覧できるダッシュボードを作成する。

（3）　機能要件

表 3.3.1.4-1 エビデンス管理システムの機能で示した機能に 3.3.1.5（2）で記述した運用要件を加味／詳細化した機能一覧を表 3.3.1.5-6 に示す。本結果を開発範囲と定めた。

表 3.3.1.5-6　開発するエビデンス管理システムの機能一覧

#	機能名	分類	説明
1	トレーサビリティデータ出力	データ収集（計測車両）	計測車両の走行日報を入力として、トレーサビリティデータを生成する。
2		物標認識（点群）	計測車両にて取得した点群データ／各種センサデータから生成した物標認識結果を入力として、トレーサビリティデータを生成する。
3		物標認識（画像）	計測車両にて取得した画像データから生成した物標認識結果を入力として、トレーサビリティデータを生成する。
4		マップマッチング	実交通流（高速道）のマップマッチング結果を入力として、トレーサビリティデータを生成する。
5		シーン抽出	実交通流（高速道）のシーン抽出結果を入力として、トレーサビリティデータを生成する。
6		シナリオ分析	シナリオ分析で生成したパラメータリストおよび時系列データを入力として、トレーサビリティデータを生成する。
7	トレーサビリティデータ取込	データ収集（計測車両）	#1.トレーサビリティデータ出力（データ収集（計測車両））が生成したデータをトレーサビリティデータモデルに記録する。
8		物標認識（点群）	#2.トレーサビリティデータ出力（物標認識

			（点群)）が生成したデータをトレーサビリティデータモデルに記録する。
9		物標認識（画像）	#3.トレーサビリティデータ出力（物標認識（画像)）が生成したデータをトレーサビリティデータモデルに記録する。
10		マップマッチング	#4.トレーサビリティデータ出力（マップマッチング）が生成したデータをトレーサビリティデータモデルに記録する。
11		シーン抽出	#5.トレーサビリティデータ出力（シーン抽出）が生成したデータをトレーサビリティデータモデルに記録する。
12		シナリオ分析	#6.トレーサビリティデータ出力（シナリオ分析）が生成したデータをトレーサビリティデータモデルに記録する。
13	エビデンス情報出力（データ／ファイル）	エビデンス情報	トレーサビリティデータの情報を JSON 形式のファイルに出力する。出力したファイルは外部向け UI およびデータ利用者へ提供する運用を想定する。 ※外部向け UI の交通流分布 DB へのデータ取込は担当者の運用業務にて対応。
14		エビデンスファイル	トレーサビリティデータに記録している各種エビデンスデータの格納先情報からエビデンスデータのファイルを取得する。出力したファイルはおよびデータ利用者へ提供する運用を想定する。
15	検索／Viewer（内部向け UI）	データ検索／閲覧	トレーサビリティデータの閲覧、データ検索が実施できる。利用者としてはエビデンス管理システムの担当者を想定し、データ操作に関する様々な機能を有することを想定する。
16		ダッシュボード	表／グラフを定型の画面に表示したダッシュボードを作成する。

3.3.1.6　システム仕様

（1）　インフラストラクチャー

エビデンス管理システムのサーバ構成を図 3.3.1.6-1 に、各端末の役割を表 3.3.1.6-1 に示す。

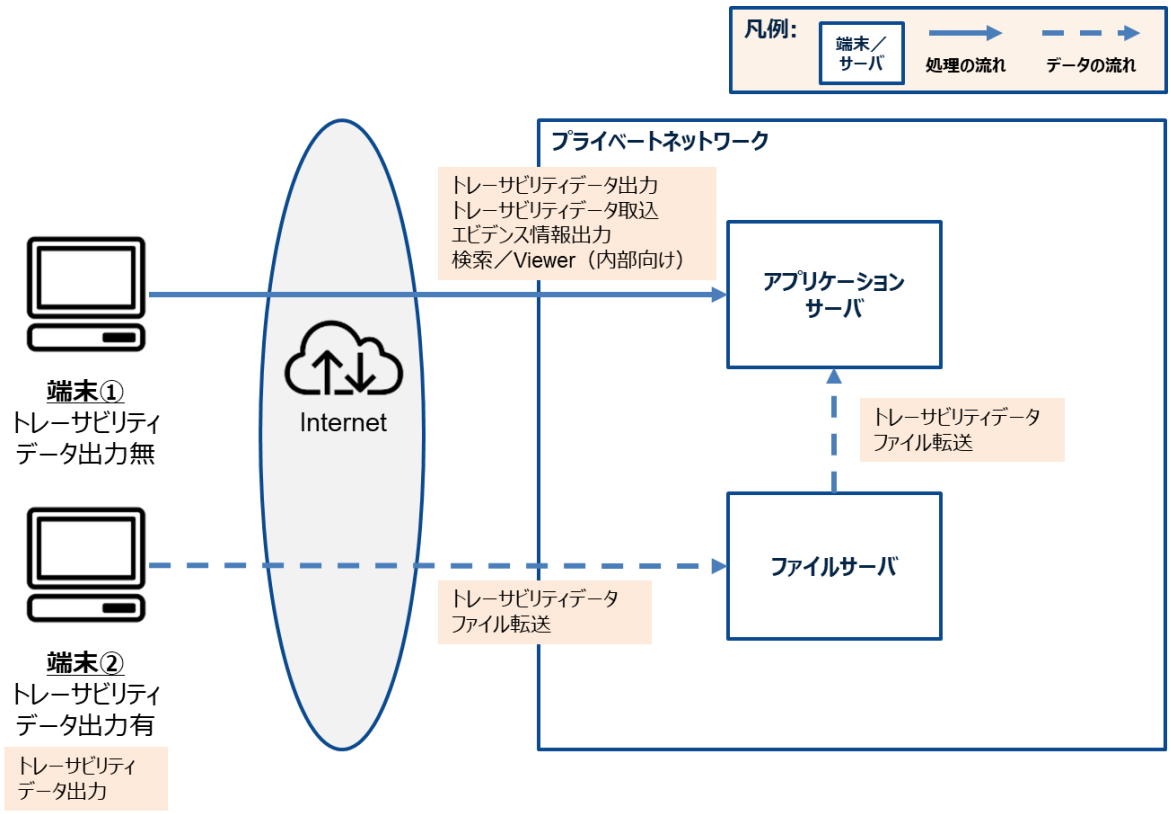


図 3.3.1.6-1　サーバ構成図

表 3.3.1.6-1　各端末／サーバの役割

#	端末／サーバ名	説明
1	端末① トレーサビリティデータ出力無	エビデンス管理システムを操作する端末。アプリケーションサーバで公開している各種機能を使用できる。
2	端末② トレーサビリティデータ出力有	#1 と同じくエビデンス管理システムを操作する端末だが、端末内にトレーサビリティデータ出力プログラムを有し、単独でトレーサビリティデータ出力を実行できる。端末内で実行したトレーサビリティデータ出力の結果はファイルサーバを経由してアプリケーションサーバへ配置し、トレーサビリティデータ取込以降の作業はアプリケーションサーバ上で実行する。 アプリケーションサーバへのアクセス制限などの理由で直接サーバ機能を利用できない場合でも効率的に作業を進められるようにトレーサビリティデータ出力のみ端末で実施できるようにしたもの。
3	アプリケーションサーバ	エビデンス管理システムの機能を提供するサーバ。
4	ファイルサーバ	#2.の端末で処理したトレーサビリティデータ出力結果をアプリケーションサーバに連携するためのサーバ。

アプリケーションサーバには、エビデンス管理システムの管理運用の効率化を狙い、コンテナ型のアプリケーション実行環境である Docker を用いて構築した。エビデンス管理システムは、アプリケーションソフトウェア、データベースシステムなどさまざまなソフトウェアを用いて構築しているが、コンテナ技術を用いることで、構成変更／拡張といった今後の環境変化に柔軟に対応できるシステムにすることを狙った。図 3.3.1.6-2 にアプリケーションサーバ内の構造を示し、表 3.3.1.6-2 に構成する各要素を説明する。

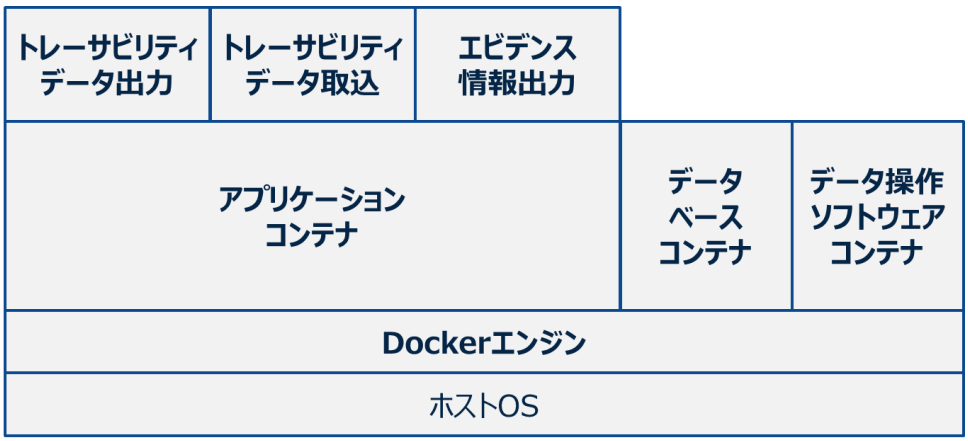


図 3.3.1.6-2　アプリケーションサーバの構造

表 3.3.1.6-2　アプリケーションサーバ各要素の説明

#	要素名	説明
1	ホスト OS	アプリケーションサーバのオペレーティングシステムソフトウェア。 ※使用ソフトウェアの詳細は 3.3.1.6（2）のソフトウェア仕様に記述
2	Docker エンジン	Docker ソフトウェア本体。Docker 上で稼働するコンテナの管理を担う。 ※使用ソフトウェアの詳細は 3.3.1.6（2）のソフトウェア仕様に記述
3	アプリケーションコンテナ	エビデンス管理システムの各機能の実行環境となるコンテナ。
4	データベースコンテナ	トレーサビリティデータモデルを管理するコンテナ。 ※使用ソフトウェアの詳細は 3.3.1.6（2）のソフトウェア仕様に記述
5	データ操作ソフトウェアコンテナ	エビデンス管理システムの「データ検索／Viewer（内部向け）」の機能を提供するコンテナ。 ※使用ソフトウェアの詳細は 3.3.1.6（2）のソフトウェア仕様に記述
6	トレーサビリティデータ出力	トレーサビリティデータ出力のソフトウェア。
7	トレーサビリティデータ取込	トレーサビリティデータ取込のソフトウェア。
8	エビデンス情報出力	エビデンス情報出力のソフトウェア。

（2） ソフトウェア仕様

エビデンス管理システムが稼働する端末（トレーサビリティデータ出力有)、アプリケーションサーバの構築に必要なソフトウェアを表 3.3.1.6-3、表 3.3.1.6-4 に示す。

表 3.3.1.6-3 端末（トレーサビリティデータ出力有）に導入したソフトウェア

#	要素名	ソフトウェア名	説明
1	OS	Windows	バージョン 10
2	エビデンス管理システム稼働環境	Python	バージョン 3.8.10
3		Python モジュール	SAKURA データプロセス毎に環境が異なる。詳細は 3.3.1.7 のエビデンス管理機能設計で述べる。

表 3.3.1.6-4 アプリケーションサーバに導入したソフトウェア

#	要素名	ソフトウェア名	説明
1	ホスト OS	Ubuntu	バージョン 20.04
2	Docker エンジン	Docker	バージョン 20.10.23
3	アプリケーションコンテナ	Ubuntu	バージョン 20.04 dockerhub にて公開中のコンテナを使用。
4		Python	バージョン 3.8.10
5		Python モジュール	SAKURA データプロセス毎に環境が異なる。詳細は 3.3.1.7 のエビデンス管理機能設計で述べる。
6	データベースコンテナ	PostgreSQL	バージョン 14.3 dockerhub にて公開中のコンテナを使用。
7	データ操作ソフトウェアコンテナ	Metabase	バージョン v0.45.2.1 dockerhub にて公開中のコンテナを使用。

（3） データモデル

トレーサビリティデータを記録するトレーサビリティデータモデルの構造について図 3.3.1.6-3、表 3.3.1.6-5 に示す。データモデルの構築には、リレーショナルデータベースシステム（以下、「RDBMS」という）（令和 4 年度事業では PostgreSQL を使用）を使用し、モデル 1 つずつをリレーショナルデータベースのテーブルで表現した。モデルは、SAKURA データプロセスのプロセス毎に管理しているため、プロセス毎のモデル（テーブル）の概要を説明する。各モデルの項目単位の説明は、3.3.1.7（1）トレーサビリティデータ出力／取込機能の各プロセス毎の機能説明にて示している。

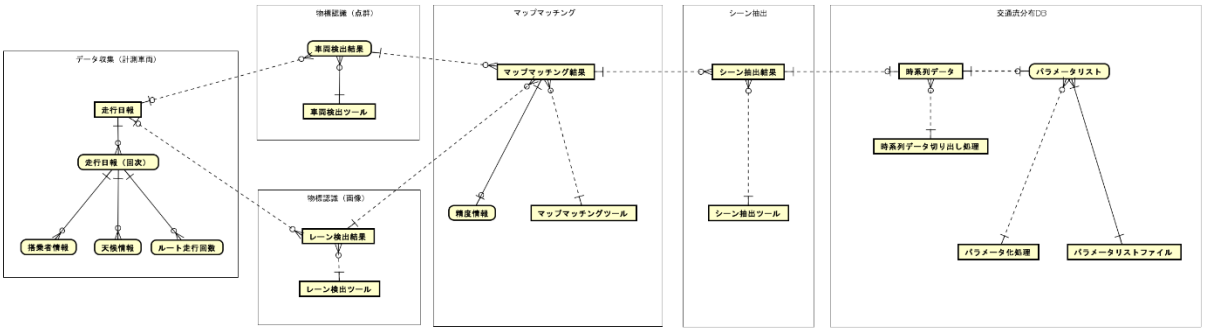


図 3.3.1.6-3　トレーサビリティデータモデル（全体像）

表 3.3.1.6-5　トレーサビリティデータモデルの説明

#	プロセス名	モデル名（テーブル）	説明
1	データ収集（計測車両）	走行日報	走行日報の情報
2		走行日報（回次）	走行 1 回当たりの走行ルート、搭乗者などの走行情報
3		ルート走行回数	定められたルート（区間）の走行回数
4		天候情報	走行時の天候情報
5		搭乗者情報	走行時の運転者、同乗者情報
6	物標認識（点群）	車両検出結果	点群から検出した周辺車情報
7		車両検出ツール	車両検出ツールのバージョン情報
8	物標認識（画像）	レーン検出結果	画像から検出したレーンマーカー情報
9		レーン検出ツール	レーン検出ツールのバージョン情報
10	マップマッチング	マップマッチング結果	マップマッチング結果（自車、周辺車、道路情報）の情報
11		マップマッチングツール	マップマッチングツールのバージョン情報
12	シーン抽出	シーン抽出結果	高速道交通流シナリオのシーン抽出結果情報
13		シーン抽出ツール	シーン抽出ツールのバージョン情報
14	交通流分布 DB	時系列データ	シーン抽出結果から得られたシナリオ該当シーンの自車、周辺車、道路情報の情報
15		時系列データ切り出し処理	時系列データ生成ツールのバージョン情報
16		パラメータリスト	時系列データから作成したシナリオのパラメータ分布情報
17		パラメータ化処理	パラメータリスト生成ツールのバージョン情報
18		パラメータリストファイル	パラメータリストを記録したファイルの情報

【補足：トレーサビリティデータモデルの設計方針】

トレーサビリティデータモデルの設計に当たり、データ収集（計測車両）、物標認識（点群）、物標認識（画像）、マップマッチングの 4 プロセスについては、各プロセスのエビデンスデータの情報を格納するモデルのデータ粒度を「ファイル単位（1 ファイルにつ

きテーブル 1 レコード)」とした。

現状これらの 4 プロセスは、処理 1 回につき 1 つまたは複数のファイルにデータを出力し、かつ出力したファイルのデータ量が大きい。これら出力ファイル内のデータをそのままリレーショナルデータベース化した場合（ファイル内 1 レコード（1 行または 1 ブロック）につきテーブル 1 レコード)、外部向け UI、データ検索／閲覧、ダッシュボード作成において、現実的な時間内に処理が完了しないリスクがある。また、データ量が膨大であるがゆえに、データ利用者への提供にも支障がでる恐れがある。

そのような背景から運用の実現性／処理性能を勘案し、令和 4 年度事業ではこれら 4 プロセスに限り「データ粒度はファイル単位」という方針を定めた。

3.3.1.7 エビデンス管理機能設計

（1） トレーサビリティデータ出力／取込機能

a） データ収集（計測車両）

データ収集（計測車両）とは、カメラ、LiDAR 等各種センサを搭載した車両（以降、計測車両）を用いて、実交通流の情報を収集する処理である。

データ収集（計測車両）のエビデンスデータの 1 つである、走行日報からトレーサビリティデータを生成、トレーサビリティデータモデルへデータを登録する方法を説明する。

① トレーサビリティデータ出力

i） 前提事項

トレーサビリティデータの作成元情報である走行日報は、走行時に搭乗者の人手によって記録した情報である。そのため、本機能を実装する前提として、走行日報に記載してある内容がすべて正しいという前提のもとプログラムを作成した。

ii） 設計概要

本機能の処理フローを図 3.3.1.7-1 に示す。概要としては、トレーサビリティデータ出力のプログラムに対し、走行日報のファイルパス等の情報を実行時パラメータとして与え、トレーサビリティデータを JSON 形式ファイルで出力する。

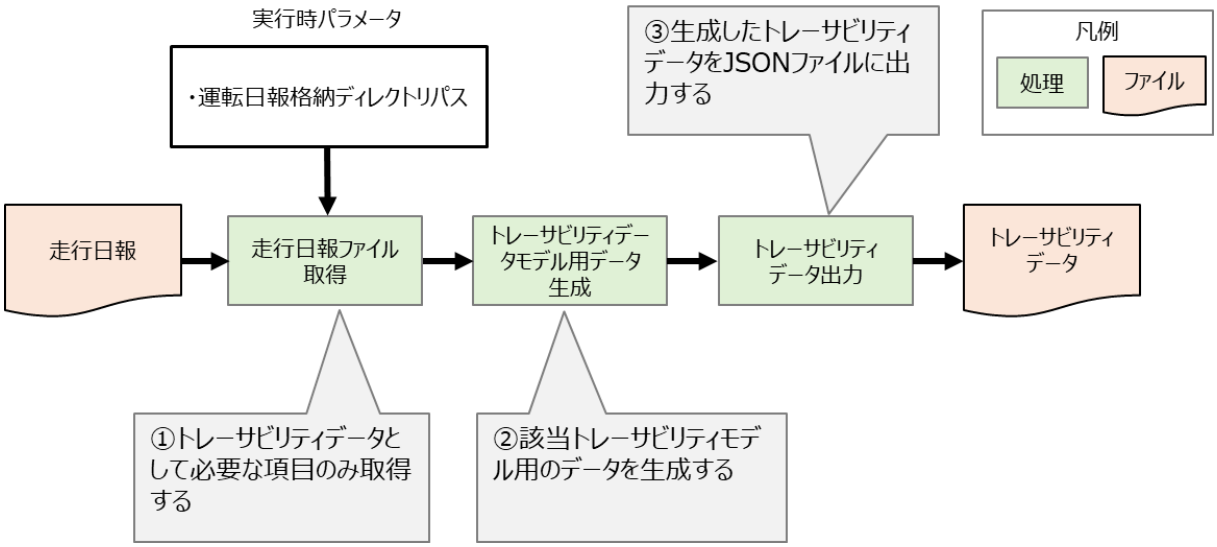


図 3.3.1.7-1　トレーサビリティデータ出力機能の処理フロー

処理フローに記載の各処理内容について説明する。

処理①：走行日報ファイル取得

走行日報を読み込み、トレーサビリティデータとして必要な項目を取得する。

処理②：トレーサビリティデータモデル用データ生成

処理①で取得したデータから、対象トレーサビリティデータモデル（走行日報、走行日報（回次）、ルート走行回数、天候情報、搭乗者情報）に合わせてデータを抽出し、出力ファイルの形式（データ構造、データ型）の仕様に合わせて加工する。

処理③：トレーサビリティデータ出力

出力ファイルの形式に加工したデータをファイルに出力する。

【補足】

※プログラムの実行時パラメータ詳細は、iv）プログラムの実行方法で述べる。

※出力ファイルの詳細は、v）出力ファイル仕様で述べる。

※処理途中でエラーが発生した場合は処理を中断し、ファイルは出力しない。

iii）　動作環境

本機能は表 3.3.1.6-1 で示した「端末②トレーサビリティデータ出力有」または「アプリケーションサーバ」で動作する。それぞれのスペックについては、3.3.1.6 システム仕様の（1）インフラストラクチャー、および（2）ソフトウェア仕様で述べた。本機能実現のために導入した Python のモジュールおよび、開発時点でのバージョンを表 3.3.1.7-1 に示す。

表 3.3.1.7-1 導入した Python モジュール

#	モジュール名	開発時点のバージョン
1	pandas	1.5.3
2	psyconpg2	2.9.5
3	psyconpg2-binary	2.9.5
4	PyYAML	6.0
5	openpyxl	3.1.0

iv)　プログラムの実行方法

本機能を実行するプログラムは、アプリケーションコンテナ上に図 3.3.1.7-2 のディレクトリ構成で配置する。

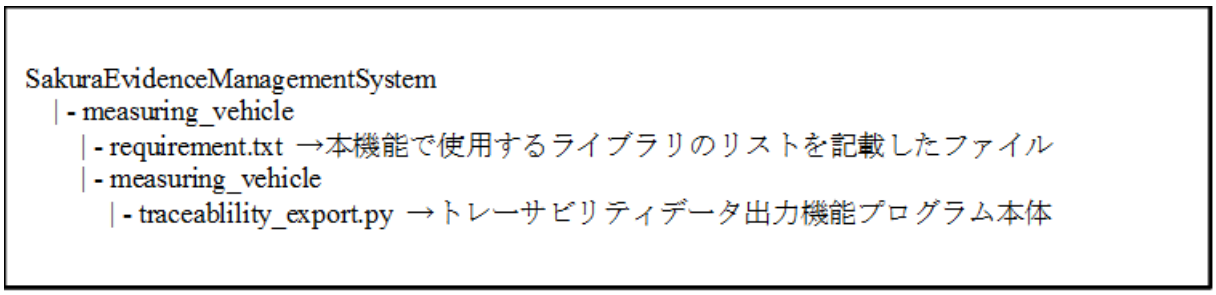


図 3.3.1.7-2.トレーサビリティデータ出力プログラムファイルとディレクトリ構成

プログラム本体である traceability_export.py はコマンドライン形式のプログラムである。プログラムの実行方法および実行時パラメータを表 3.3.1.7-2 に示す。

python3 ./measuring_vehicle/traceability_export.py
<走行日報格納ディレクトリパス>

表 3.3.1.7-2　プログラムの実行方法および実行時パラメータ

#	実行時パラメータ	必須	デフォルト値	内容
1	走行日報格納ディレクトリパス	○	-	処理対象の走行日報を格納したディレクトリ

データ計測（計測車両）のトレーサビリティデータ出力は、実行時パラメータで与えた走行日報ディレクトリ内を探索し、複数の走行日報を一括で処理する設計になっている。走行日報ファイル 1 つに対してトレーサビリティデータファイルを 1 つ出力する設計であり、ファイルは走行日報ディレクトリに出力する。

具体的なプログラムの実行例を図 3.3.1.7-3.に示す。

```
cd ./SakuraEvidenceManagementSystem/measuring_vehicle
python3 ./measuring_vehicle/traceability_export.py /home/Users/name/driving_report/2021/car4/高速道路
```

図 3.3.1.7-3　データ収集（計測車両）トレーサビリティデータ出力実行例

v)　出力ファイル仕様

プログラムによって出力されるファイルは、表 3.3.1.7-3 に示す情報をもった JSON 形式のデータであり、以下の命名規則に従ったファイル名で出力する。

<走行日報ファイル名>.json

<走行日報ファイル名>　・・・処理対象となった走行日報のファイル名

※拡張子は含まない

表 3.3.1.7-3　出力ファイル仕様

#	項目名	データ型	内容	データ取得元
1	走行日報	配列	走行日報モデルに登録するデータ	-
2	走行日報/ operation_id_origin	文字列	運行 ID（原型）	走行日報の運行 ID
3	走行日報/ car_id	文字列	計測車両 ID	走行日報の計測車両 ID
4	走行日報/ driving_daily_report_path	数値	日報ファイルパス	日報ファイルパス
5	走行日報/ case_type	文字列	計測対象（高速道／一般道）	走行日報の計測対象（高速道／一般道）
6	走行日報/ driving_daily_report	文字列	走行日	走行日報の走行日
7	走行日報/ country	数値	国	令和 4 年度事業段階では、1:日本を固定出力
8	走行日報（回次）	配列	走行日報（回	-

			次）モデルに登録するデータ	
9	走行日報（回次）/ operation_id_origin	文字列	運行 ID（原型）	走行日報の運行 ID
10	走行日報（回次）/ car_id	文字列	計測車両 ID	走行日報の計測車両 ID
11	走行日報（回次）/ round	数値	回次	走行日報の回次
12	走行日報（回次）/ start_datetime	文字列	走行開始日時	走行日報の走行開始日時
13	走行日報（回次）/ end_datetime	文字列	走行終了日時	走行日報の走行終了日時
14	走行日報（回次）/ start_point	文字列	出発地点	走行日報の出発地点
15	走行日報（回次）/ start_directions	数値	道路の方向（出発）	走行日報の道路の方向（出発）
16	走行日報（回次）/ end_point	文字列	到着地点	走行日報の到着地点
17	走行日報（回次）/ end_directions	数値	道路の方向（到着）	走行日報の道路の方向（到着）
18	ルート走行	配列	ルート走行回数モデルに登録するデータ	-
19	ルート走行/ operation_id_origin	文字列	運行 ID（原型）	走行日報の運行 ID
20	ルート走行/ car_id	文字列	計測車両 ID	走行日報の計測車両 ID
21	ルート走行/ round	数値	回次	走行日報の回次
22	ルート走行/ round_id	文字列	ルート ID	走行日報のルート ID
23	ルート走行/ driving_count	数値	走行回数	走行日報の走行回数
24	天候情報	配列	天候情報モデルに登録するデータ	-
25	天候情報/ operation_id_origin	文字列	運行 ID（原型）	走行日報の運行 ID
26	天候情報/	文字列	計測車両 ID	走行日報の計測車両 ID

	car_id			
27	天候情報/ round	数値	回次	走行日報の回次
28	天候情報/ record_datetime	文字列	記録日時	走行日報の記録日時
29	天候情報/ weather	数値	天気	走行日報の天気
30	天候情報/ temperature	数値	外気温度	走行日報の外気温度
31	搭乗者情報	配列	搭乗者情報モデルに登録するデータ	-
32	搭乗者情報/ operation_id_origin	文字列	運行 ID（原型）	走行日報の運行 ID
33	搭乗者情報/ car_id	文字列	計測車両 ID	走行日報の計測車両 ID
34	搭乗者情報/ round	数値	回次	走行日報の回次
35	搭乗者情報/ passenger_type	数値	搭乗者属性（運転者／同乗者）	走行日報の搭乗者属性（運転者／同乗者）
36	搭乗者情報/ passenger_name	文字列	搭乗者名	走行日報の搭乗者名

② トレーサビリティデータ取込

i) 設計概要

本機能の処理フローを図 3.3.1.7-4 に示す。概要としては、トレーサビリティデータ取込のプログラムに対し、トレーサビリティデータ出力で得た出力ファイルなどの情報を実行時パラメータとして与え、トレーサビリティデータをトレーサビリティデータモデルへ登録する。

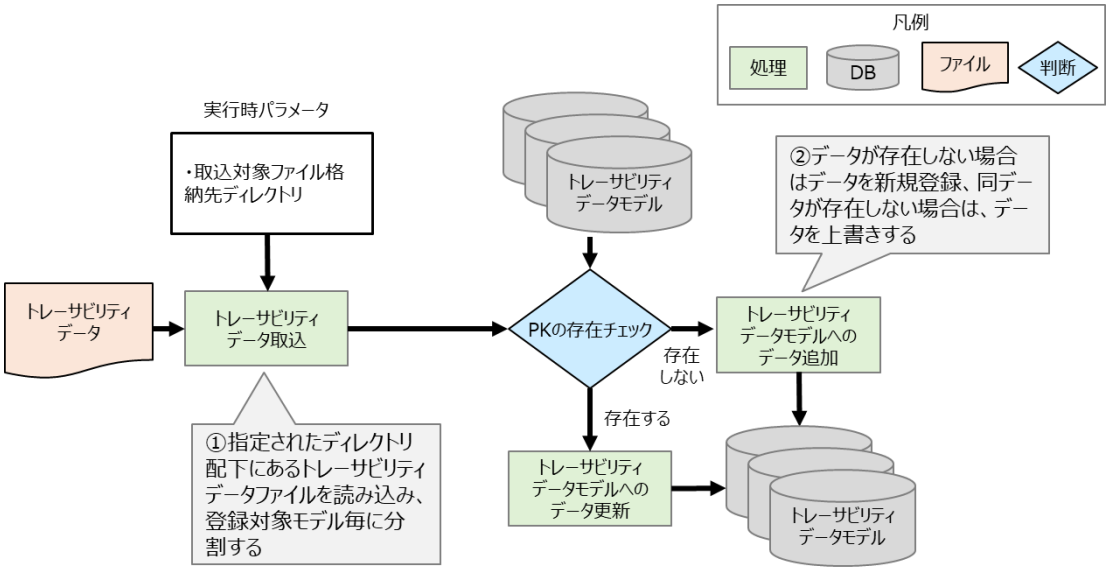


図 3.3.1.7-4 トレーサビリティデータ取込機能の処理フロー

処理フローに記載の各処理内容について説明する。

処理①：トレーサビリティデータ取込

トレーサビリティデータファイルからデータを取得する。データ収集（計測車両）は、トレーサビリティデータファイル内に「走行日報」「走行日報（回次）」「ルート走行回数」「天候情報」「搭乗者情報」のデータを内包するため、登録／更新対象のモデル毎に分けたデータセットを構築する。

処理②：トレーサビリティデータモデルへのデータ追加／更新

トレーサビリティデータの情報から取得した各データモデルのデータを登録する。各モデルでは、既にデータが登録されている場合があるため、データの有無を確認し、以下のとおり実施内容を判断する。

存在する　　：既存のデータを今回取得したデータで上書きする。

存在しない　：モデルにデータを追加する。

【補足】

※プログラムの実行時パラメータ詳細は、iii）プログラムの実行方法参照。

※更新対象のデータモデルの詳細は、iv）データモデル仕様参照。

ii)　動作環境

本機能は表 3.3.1.6-1 で示した「アプリケーションサーバ」で動作する。スペックについては、3.3.1.6 システム仕様の（1）インフラストラクチャー、および（2）ソフトウェア仕様で記述している通りである。本機能実現のために導入した Python のモジュール、および開発時点でのバージョンを表 3.3.1.7-4 に示す。

表 3.3.1.7-4　導入した Python モジュール

#	モジュール名	開発時点のバージョン
1	pandas	1.5.3
2	psyconpg2	2.9.5
3	psyconpg2-binary	2.9.5
4	PyYAML	6.0
5	openpyxl	3.1.0

iii)　プログラムの実行方法

本機能を実行するプログラムは、アプリケーションコンテナ上に図 3.3.1.7-5 のディレクトリ構成で配置する。

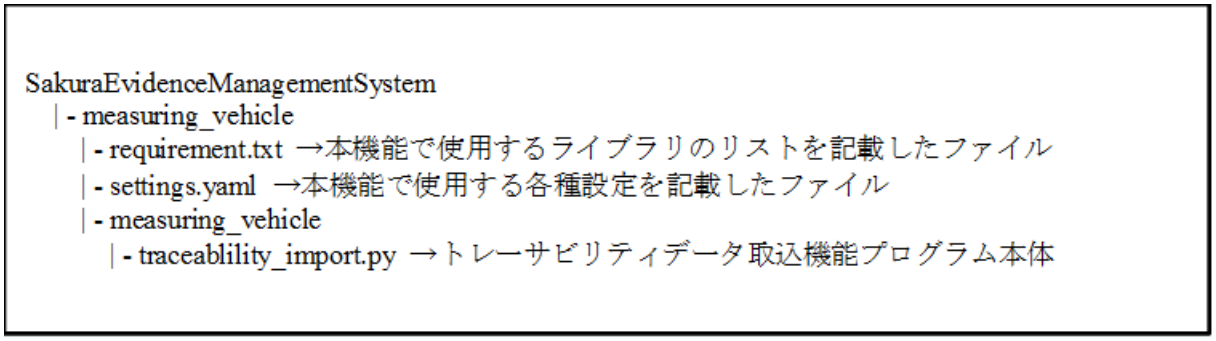


図 3.3.1.7-5　トレーサビリティデータ出力プログラムファイルとディレクトリ構成

プログラム本体である traceability_import.py はコマンドライン形式のプログラムである。プログラムの実行方法および実行時パラメータを表 3.3.1.7-5 に、設定ファイル settings.yaml の設定情報を表 3.3.1.7-6 に示す。

python3 ./measuring_vehicle/traceability_import.py
　　<トレーサビリティデータファイル格納ディレクトリパス>

表 3.3.1.7-5　プログラムの実行方法および実行時パラメータ

#	実行時パラメータ	必須	デフォルト値	内容
1	トレーサビリティデータファイル格納ディレクトリパス	○	-	処理対象のトレーサビリティデータファイルを格納したディレクトリ

表 3.3.1.7-6　設定ファイル情報（settings.yaml）

#	セクション	項目	内容
1	db	dbname	接続先データベース名
2		user	データベース接続に使用するユーザ ID
3		password	データベース接続に使用するパスワード
4		host	データベースサーバのアドレス
5		port	データベースサーバの通信ポート番号

データ計測（計測車両）のトレーサビリティデータ取込は、実行時パラメータで与えたディレクトリ内を探索し、複数のトレーサビリティデータファイルを一括で処理する設計になっている。

具体的なプログラムの実行例を図 3.3.1.7-6 に示す。

```
cd ./SakuraEvidenceManagementSystem/measuring_vehicle
python3 ./measuring_vehicle/traceability_import.py /home/Users/name/evidence_file/2021/car4/高速道路
```

図 3.3.1.7-6　データ収集（計測車両）トレーサビリティデータ取込実行例

iv)　データモデル仕様

データ収集（計測車両）のトレーサビリティデータ取込が登録するトレーサビリティデータモデルのモデル図を図 3.3.1.7-7 に、モデルの項目情報を表 3.3.1.7-7～11 に示す。

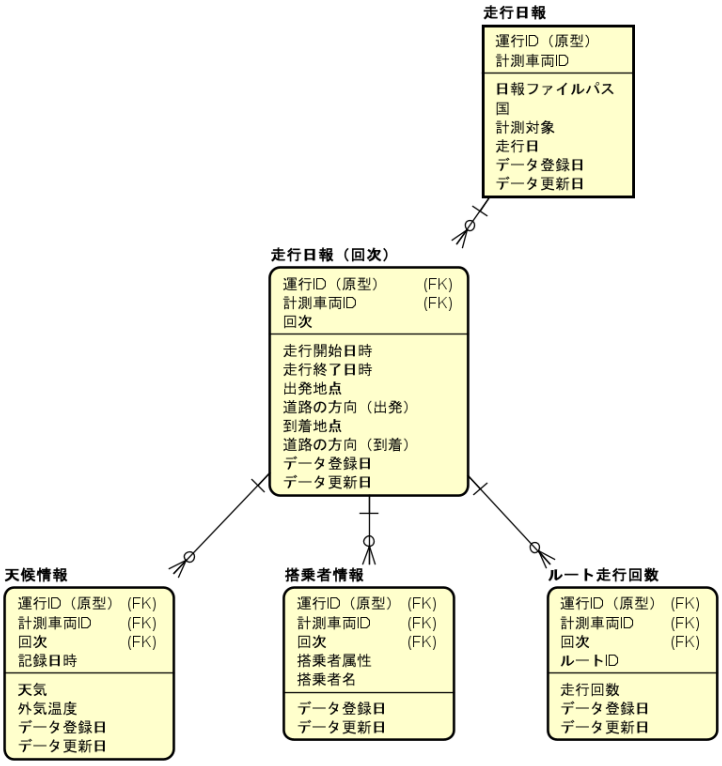


図 3.3.1.7-7　トレーサビリティデータ取込（データ収集（計測車両））が登録するモデル

表 3.3.1.7-7　走行日報の項目

#	項目名	データ型（桁数）	内容	データ取得元
1	operation_id_origin	VARCHAR（40）	運行 ID（原型）	取込対象ファイルの同項目
2	car_id	VARCHAR（20）	計測車両 ID	取込対象ファイルの同項目
3	driving_daily_report_path	VARCHAR（1000）	日報ファイルパス	取込対象ファイルの同項目
4	country	INT	国	取込対象ファイルの同項目
5	case_type	INT	計測対象	取込対象ファイルの同項目
6	driving_daily_report_date	DATE	走行日	取込対象ファイルの同項目

7	create_at	TIMESTAMP	データ登録日	データ登録時のみシステム時刻を登録
8	update_at	TIMESTAMP	データ更新日	データ登録／更新時にシステム時刻を登録

表 3.3.1.7-8　走行日報（回次）の項目

#	項目名	データ型（桁数）	内容	データ取得元
1	operation_id_origin	VARCHAR（40）	運行 ID（原型）	取込対象ファイルの同項目
2	car_id	VARCHAR（20）	計測車両 ID	取込対象ファイルの同項目
3	round	INT	回次	取込対象ファイルの同項目
4	start_datetime	TIMESTAMP	走行開始日時	取込対象ファイルの同項目
5	end_datetime	TIMESTAMP	走行終了日時	取込対象ファイルの同項目
6	start_point	VARCHAR（100）	出発地点	取込対象ファイルの同項目
7	start_directions	INT	道路の方向（出発）	取込対象ファイルの同項目
8	end_point	VARCHAR（100）	到着地点	取込対象ファイルの同項目
9	end_directions	INT	道路の方向（到着）	取込対象ファイルの同項目
10	create_at	TIMESTAMP	データ登録日	データ登録時のみシステム時刻を登録
11	update_at	TIMESTAMP	データ更新日	データ登録／更新時にシステム時刻を登録

表 3.3.1.7-9　ルート走行回数の項目

#	項目名	データ型（桁数）	内容	データ取得元
1	operation_id_origin	VARCHAR（40）	運行 ID（原型）	取込対象ファイルの運行 ID（原型）
2	car_id	VARCHAR（20）	計測車両 ID	取込対象ファイルの計測車両 ID
3	round	INT	回次	取込対象ファイルの回次
4	route_id	VARCHAR（10）	ルート ID	取込対象ファイルのルート ID
5	driving_count	INT	走行回数	取込対象ファイルの走行回数
6	create_at	TIMESTAMP	データ登録日	データ登録時のみシステム時刻を登録
7	update_at	TIMESTAMP	データ更新日	データ登録／更新時にシステム時刻を登録

表 3.3.1.7-10　天候情報の項目

#	項目名	データ型（桁数）	内容	データ取得元
1	operation_id_origin	VARCHAR（40）	運行 ID（原型）	取込対象ファイルの運行 ID（原型）
2	car_id	VARCHAR（20）	計測車両 ID	取込対象ファイルの計測車両 ID
3	round	INT	回次	取込対象ファイルの回次
4	record_datetime	TIMESTAMP	記録日時	取込対象ファイルの記録日時
5	weather	INT	天気	取込対象ファイルの天気
6	create_at	TIMESTAMP	データ登録日	データ登録時のみシステム時刻を登録
7	update_at	TIMESTAMP	データ更新日	データ登録／更新時にシステム時刻を登録

表 3.3.1.7-11　搭乗者情報の項目

#	項目名	データ型（桁数）	内容	データ取得元
1	operation_id_origin	VARCHAR（40）	運行 ID（原型）	取込対象ファイルの運行 ID（原型）
2	car_id	VARCHAR（20）	計測車両 ID	取込対象ファイルの計測車両 ID
3	round	INT	回次	取込対象ファイルの回次
4	passenger_type	INT	搭乗者属性	取込対象ファイルの搭乗者属性
5	passenger_name	VARCHAR（100）	搭乗者名	取込対象ファイルの搭乗者名
6	create_at	TIMESTAMP	データ登録日	データ登録時のみシステム時刻を登録
7	update_at	TIMESTAMP	データ更新日	データ登録／更新時にシステム時刻を登録

b)　物標認識（点群）

物標認識（点群）では、計測車両により収集されたデータを入力とし、データ送付仕様書に沿った形式で物標認識結果を出力する。データ送付仕様書の例を表 3.3.1.7-12 に示す。

表 3.3.1.7-12　データ送付仕様書の例

データ型詳細

データ型	データ型		有意データ	データ周波数	有効範囲	無効値	単位	説明
velodyne_msgs/VelodyneScan	std_msgs/Header.msg header	uint32 seq			0:4294967295	-	-	フレームのID。メッセージごとに増加。自動で計算。
		time stamp			???	-	秒	タイムスタンプ
		string frame_id			???	-	-	点群を扱う座標系。
	velodyne_msgs/VelodynePacket.msg	time stamp			???	-	秒	タイムスタンプ
		uint8[1206] data	○	10Hz	0:255	-	-	実際の点群データ
sensor_msgs/Image	std_msgs/Header.msg header	uint32 seq			0:4294967295	-	-	フレームのID。メッセージごとに増加。自動で計算。
		time stamp			???	-	秒	タイムスタンプ
		string frame_id			???	-	-	???
	uint32 height				1920	-	px	画像の高さ(px)
	uint32 width				1200	-	px	画像の幅(px)
	string encoding				???	-	-	画像のエンコード方法。(include/sensor_msgs/image_encodings.h)事前に設定。
	uint8 is_bigendian				0:1	-	-	データ型の入力法。デフォルトの値を利用
	uint32 step				0:4294967295	-	byte	画像1px行のバイト長。自動で計算
	uint8[] data		○	30Hz	0:255	-	-	実際の画像データ。
pioneer_msgs/Raw	std_msgs/Header.msg header	uint32 seq			1:inf	-	-	フレームのID。メッセージごとに増加。
		time stamp			0:inf	-	ナノ秒	タイムスタンプ(Unix)
		string frame_id			-	-	-	デフォルトの設定値. 特に設定していません。
	std_msgs/Int32	int32 length			0:	GPS-M2d	Byte	1つのメッセージのバイト数
	std_msgs/Uint8	uint8[] message	○	約20～25Hz	-		-	メッセージの内容
nmea_msgs/Sentence	std_msgs/Header.msg header	uint32 seq			1:inf	-	-	フレームのID。メッセージごとに増加。
		time stamp			0:inf	-	ナノ秒	タイムスタンプ(Unix)
		string frame_id			gps_m2	-	-	デフォルトの設定値. gps_m2に設定
	string sentence		○	約10～15Hz	-	-	-	NMEAセンテンス
sensor_msgs/Imu	std_msgs/Header.msg header	uint32 seq			1:inf	-	-	フレームのID。メッセージごとに増加。
		time stamp			0:inf	-	ナノ秒	タイムスタンプ(Unix)
		string frame_id			gps_m2	-	-	デフォルトの設定値. gps_m2に設定

データ送付仕様書は、物標認識（点群）以降のプロセスのために物標認識処理の出力データ仕様を記載したファイルであり、データの項目やそのデータ型、値域などの情報が記載されている。物標認識処理結果は ROSBAG 形式（.bag ファイル）で出力されるが、物標認識の後段で実施される解析処理用に、CSV 形式での数値データや JPEG 形式の画像データも同時に出力する。エビデンス管理ではこのうち CSV ファイルを入力とし、CSV ファイルの情報を読み込むことで、JSON 形式のトレーサビリティデータを出力する。出力されたトレーサビリティデータは続くトレーサビリティデータ取込機能によってトレーサビリティデータモデルに登録される。

エビデンス管理機能の設計にあたっては、現在までに解析を終えているデータや解析処理後にトレーサビリティデータを更新する可能性を考慮し、物標認識処理の一部に組み込むのではなく独立な機能として設計を進めた。一方で、解析処理時に同時にトレーサビリティ情報を出力するため、物標認識処理の後段で自動的に処理が実行されるように物標認識処理の改修も実施し、業務の効率化／自動化を狙った。物標認識（点群）におけるエビデンス管理の処理フローの全体像を図 3.3.1.7-8 に示す。

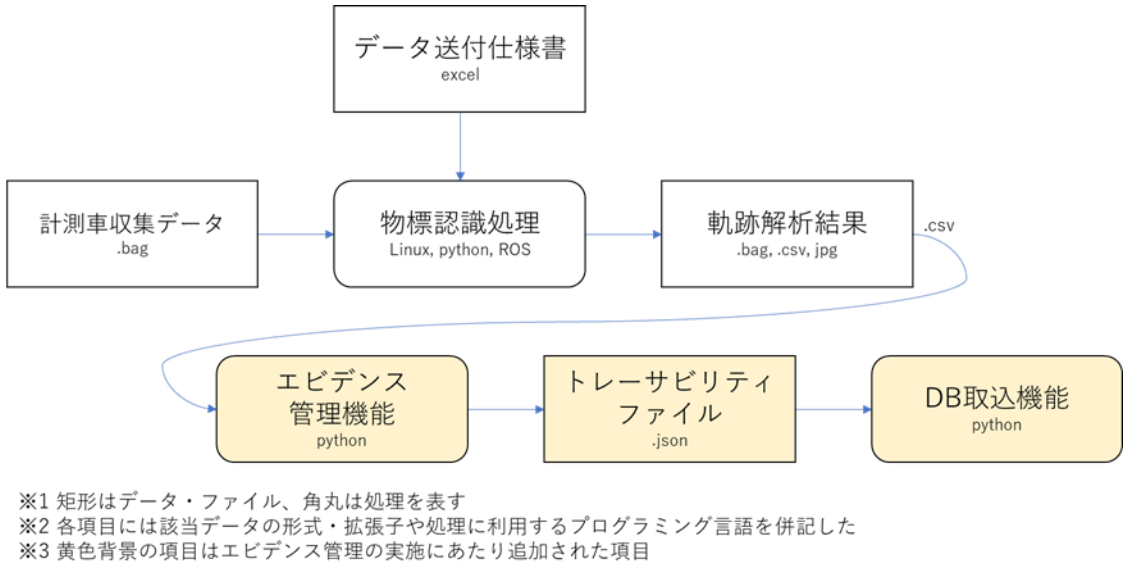


図 3.3.1.7-8　エビデンス管理処理フロー全体像

物標認識（点群）のエビデンスデータからトレーサビリティデータを生成、トレーサビリティデータモデルへデータを登録する方法を説明する。

① トレーサビリティデータ出力

i) 設計概要

図 3.3.1.7-8 に示したエビデンス管理処理フローのうち、トレーサビリティデータ出力が担う範囲を図 3.3.1.7-9 に示す。

※プログラムの実行時パラメータ詳細は、iii）プログラムの実行方法に記述する。

※出力ファイルの詳細は、iv）出力ファイル仕様に記述する。

※処理途中でエラーが発生した場合は処理を中断し、ファイルは出力しない。

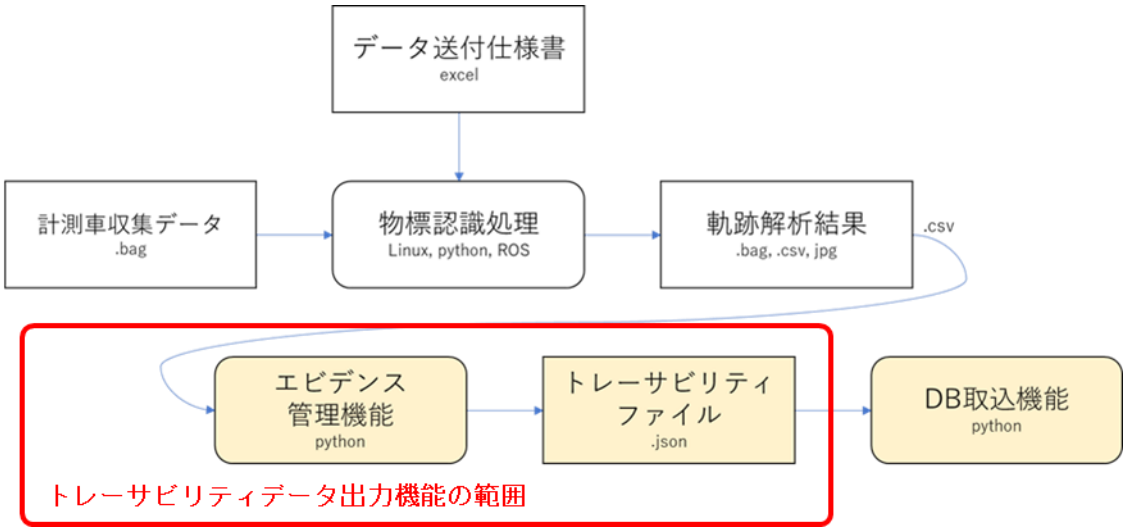


図 3.3.1.7-9　トレーサビリティデータ出力機能の処理フロー

ii)　動作環境

本機能は表 3.3.1.6-1 で示した「端末②トレーサビリティデータ出力有」または「アプリケーションサーバ」で動作する。それぞれのスペックについては、3.3.1.6 システム仕様の（1）インフラストラクチャー、および（2）ソフトウェア仕様にて記載している。本機能実現のために導入した Python のモジュールおよび、開発時点でのバージョンを表 3.3.1.7-13 に示す。

表 3.3.1.7-13　導入した Python モジュール

#	モジュール名	開発時点のバージョン
1	wheel	0.38.0
2	fire	0.4.0
3	psycopg-binay	3.0.16
4	pydantic	1.9.2
5	PyYAML	6.0

iii)　プログラムの実行方法

本機能を実行するプログラムは、アプリケーションコンテナ上に図 3.3.1.7-10 のディレクトリ構成で配置する。

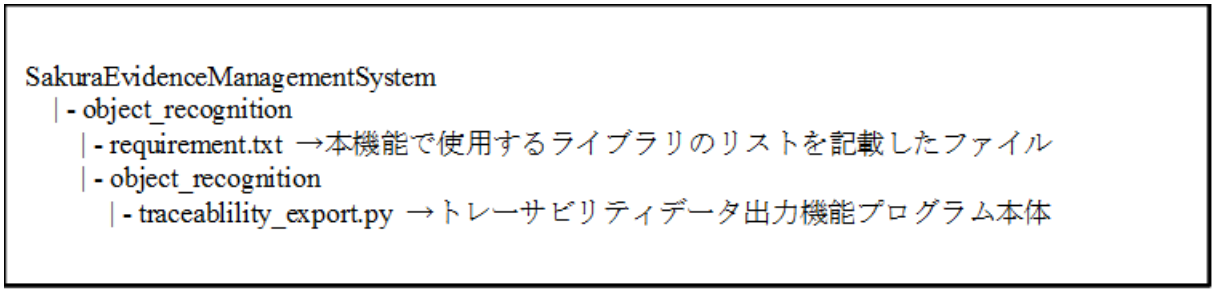


図 3.3.1.7-10 トレーサビリティデータ出力プログラムファイルとディレクトリ構成

プログラム本体である traceability_export.py はコマンドライン形式のプログラムである。プログラムの実行方法および実行時パラメータを表 3.3.1.7-14 に示す。

```
python3 ./object_recognition/traceability_export.py
    <trip directory>
    --processing_year <year>
    -o <output file>
```

表 3.3.1.7-14　プログラムの実行方法および実行時パラメータ

#	実行時パラメータ	必須	デフォルト値	内容
1	<trip directory>	○	-	処理対象の物標認識結果を格納したディレクトリ
2	--processing_year	○	-	処理年度
3	-o		-	出力ファイルのパス 指定しない場合は、標準出力に結果を出力する

具体的なプログラムの実行例を図 3.3.1.7-11 に示す。

```
cd ./SakuraEvidenceManagementSystem/object_recognition
python3 ./object_recognition/traceability_export.py tests/sample_data/20211123_162928_000_car3
–processing_year 2022 -o tracability.json
```

図 3.3.1.7-11　物標認識（点群）トレーサビリティデータ出力実行例

iv)　出力ファイル仕様

プログラムによって出力されるファイルは、表 3.3.1.7-15 に示す情報をもった JSON 形式である。ファイル名は実行時パラメータ“-o”で指定したファイル名で出力する。

表 3.3.1.7-15　出力ファイル仕様

#	項目名	データ型	内容	データ取得元
1	operation_id	文字列	運行 ID	認識結果の格納ディレクトリ名
2	process_version	文字列	process_version	認識結果ファイルに記録された処理ツールのバージョン情報
3	front_images_path	文字列	前方狭角カメラ収録画像リスト	当該認識結果のファイル名
4	front_wide_images_path	文字列	前方魚眼広角カメラ収録画像リスト	当該認識結果のファイル名
5	gps_m2_gnss_path	文字列	GPS センサから抽出した GNSS 情報	当該認識結果のファイル名
6	gps_m2_imu_path	文字列	GPS センサから	当該認識結果のフ

			抽出した IMU 情報	ァイル名
7	gps_m2_nmea_sentence_path	文字列	GPS センサから抽出した NMEA 情報	当該認識結果のファイル名
8	gps_m2_raw_path	文字列	GPS センサ生データ	当該認識結果のファイル名
9	gps_m2_sensor_path	文字列	GPS センサから抽出したセンサ情報	当該認識結果のファイル名
10	left_front_images_path	文字列	左前方狭角カメラ収録画像リスト	当該認識結果のファイル名
11	left_rear_images_path	文字列	左後方狭角カメラ収録画像リスト	当該認識結果のファイル名
12	left_wide_images_path	文字列	左方魚眼広角カメラ収録画像リスト	当該認識結果のファイル名
13	mobileye_after_market_lane_path	文字列	Mobileye センサから取得されるレーン種別等の情報	当該認識結果のファイル名
14	mobileye_ahbc_path	文字列	Mobileye センサから取得されるハイ/ロービーム情報	当該認識結果のファイル名
15	mobileye_aws_display_path	文字列	Mobileye センサから取得されるアイウォッチに関する警告情報	当該認識結果のファイル名
16	mobileye_can_raw_path	文字列	Mobileye センサから取得される CAN 信号データ	当該認識結果のファイル名
17	mobileye_fixed_foe_path	文字列	Mobileye センサから取得される消失点情報	当該認識結果のファイル名
18	mobileye_lane_path	文字列	Mobileye センサから取得される	当該認識結果のファイル名

			レーン曲率等の情報	
19	mobileye_obstacle_data_path	文字列	Mobileye センサから取得される障害物情報	当該認識結果のファイル名
20	mobileye_obstacle_status_path	文字列	Mobileye センサから取得される障害物検出状況	当該認識結果のファイル名
21	mobileye_tsr_path	文字列	Mobileye センサから取得される標識位置等の情報	当該認識結果のファイル名
22	mobileye_tsr_vision_only_path	文字列	Mobileye センサから取得される標識種別等の情報	当該認識結果のファイル名
23	rear_images_path	文字列	後方狭角カメラ収録画像リスト	当該認識結果のファイル名
24	rear_wide_images_path	文字列	後方魚眼広角カメラ収録画像リスト	当該認識結果のファイル名
25	right_front_images_path	文字列	右前方狭角カメラ収録画像リスト	当該認識結果のファイル名
26	right_rear_images_path	文字列	右後方狭角カメラ収録画像リスト	当該認識結果のファイル名
27	right_wide_images_path	文字列	右方魚眼広角カメラ収録画像リスト	当該認識結果のファイル名
28	vehicle_can_raw_path	文字列	車両 CAN 信号生データ	当該認識結果のファイル名
29	tracked_object_path	文字列	自車周辺物標認識結果	当該認識結果のファイル名
30	lane_info_path	文字列	自車左右白線情報	当該認識結果のファイル名
31	gpsm2_li_path	文字列	GPS センサ LI ファイル	当該認識結果のファイル名
32	gpsm2_loc_path	文字列	GPS センサ LOC	当該認識結果のフ

			ファイル	ァイル名
33	operation_id_origin	文字列	運行 ID（原型）	認識結果の格納ディレクトリ名
34	car_id	文字列	計測車両 ID	認識結果の格納ディレクトリ名

② トレーサビリティデータ取込

i） 設計概要

図 3.3.1.7-8 に示したエビデンス管理処理フローのうち、トレーサビリティデータ取込が担う範囲を図 3.3.1.7-12 に示す。

※プログラムの実行時パラメータ詳細は、iii）プログラムの実行方法に記載。

※出力ファイルの詳細は、iv）データモデル仕様参照。

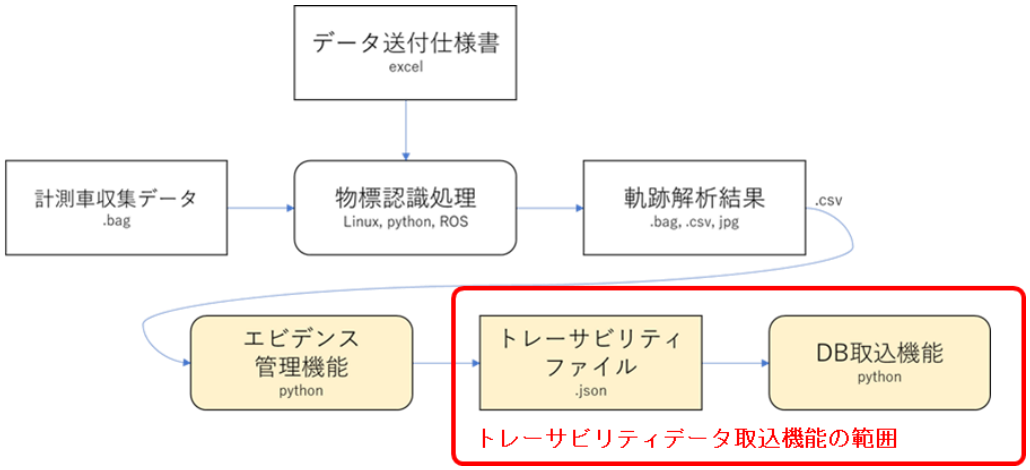


図 3.3.1.7-12 トレーサビリティデータ取込機能の処理フロー

ii） 動作環境

本機能は表 3.3.1.6-1 で示した「アプリケーションサーバ」で動作する。スペックについては、3.3.1.6 システム仕様の（1）インフラストラクチャー、および（2）ソフトウェア仕様に記載している。本機能実現のために導入した Python のモジュールおよび、開発時点でのバージョンを表 3.3.1.7-16 に示す。

表 3.3.1.7-16 導入した Python モジュール

#	モジュール名	開発時点のバージョン
1	wheel	0.38.0
2	fire	0.4.0
3	psycopg-binay	3.0.16
4	pydantic	1.9.2
5	PyYAML	6.0

iii)　プログラムの実行方法

本機能を実行するプログラムは、アプリケーションコンテナ上に図 3.3.1.7-13 のディレクトリ構成で配置する。

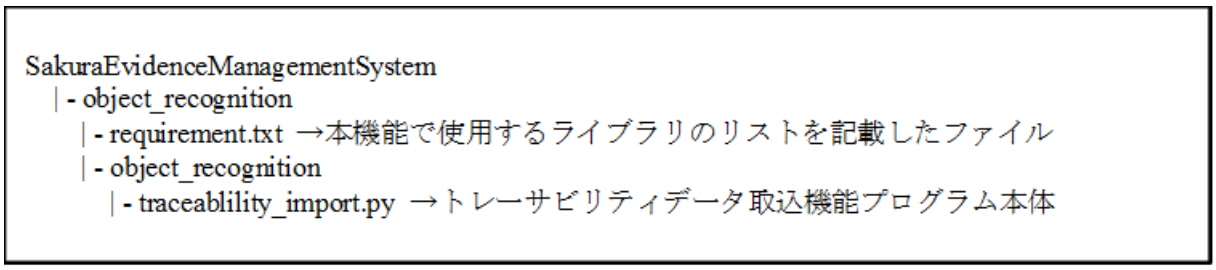


図 3.3.1.7-13　トレーサビリティデータ取込プログラムファイルとディレクトリ構成

プログラム本体である traceability_import.py はコマンドライン形式のプログラムである。プログラムの実行方法および実行時パラメータを表 3.3.1.7-17 に、設定ファイル settings.yaml の設定情報を表 3.3.1.7-18 示す。

```
python3 ./object_recognition/traceability_import.py
    -f <input file>
```

表 3.3.1.7-17　プログラムの実行方法および実行時パラメータ

#	実行時パラメータ	必須	デフォルト値	内容
1	-f	○	-	取込ファイルのパス 指定しない場合は、標準入力から情報を得る

表 3.3.1.7-18　設定ファイル情報（settings.yaml）

#	セクション	項目	内容
1	db	dbname	接続先データベース名
2		user	データベース接続に使用するユーザ ID
3		password	データベース接続に使用するパスワード
4		host	データベースサーバのアドレス
5		port	データベースサーバの通信ポート番号

具体的なプログラムの実行例を図 3.3.1.7-14 に示す。

```
cd ./SakuraEvidenceManagementSystem/object_recognition
python3 ./object_recognition/traceability_import.py -f
tests/sample_data/20211123_162928_000_car3.json
```

図 3.3.1.7-14 物標認識（点群）トレーサビリティデータ取込実行例

iv)　データモデル仕様

物標認識（点群）のトレーサビリティデータ取込が登録するトレーサビリティデータモデルのモデル図を図 3.3.1.7-15 に、モデルの項目情報を表 3.3.1.7-19～20 に示す。

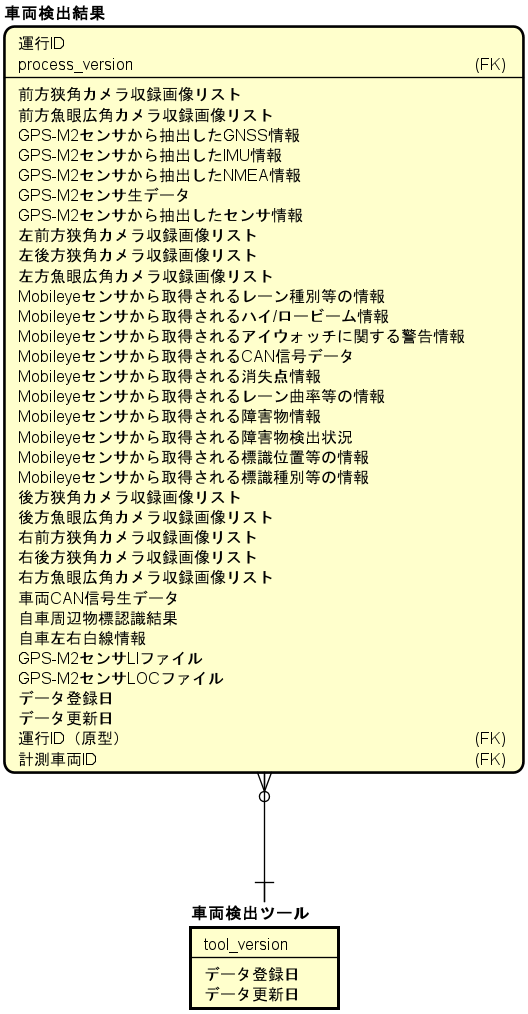


図 3.3.1.7-15　トレーサビリティデータ取込（物標認識（点群））が登録するモデル

表 3.3.1.7-19　車両検出結果の項目

#	項目名	データ型（桁数）	内容	データ取得元
1	operation_id	VARCHAR（40）	運行 ID	取込対象ファイルの同項目
2	process_version	VARCHAR（1000）	process_version	取込対象ファイルの同項目
3	front_images_path	VARCHAR（1000）	前方狭角カメラ収録画像リスト	取込対象ファイルの同項目
4	front_wide_images_path	VARCHAR（1000）	前方魚眼広角カメラ収録画像リスト	取込対象ファイルの同項目
5	gps_m2_gnss_path	VARCHAR（1000）	GPS センサから抽出した GNSS 情報	取込対象ファイルの同項目
6	gps_m2_imu_path	VARCHAR（1000）	GPS センサから抽出した IMU 情報	取込対象ファイルの同項目
7	gps_m2_nmea_sentence_path	VARCHAR（1000）	GPS センサから抽出した NMEA 情報	取込対象ファイルの同項目
8	gps_m2_raw_path	VARCHAR（1000）	GPS センサ生データ	取込対象ファイルの同項目
9	gps_m2_sensor_path	VARCHAR（1000）	GPS センサから抽出したセンサ情報	取込対象ファイルの同項目
10	left_front_images_path	VARCHAR（1000）	左前方狭角カメラ収録画像リスト	取込対象ファイルの同項目
11	left_rear_images_path	VARCHAR（1000）	左後方狭角カメラ収録画像リスト	取込対象ファイルの同項目
12	left_wide_images_path	VARCHAR（1000）	左方魚眼広角カメラ収録画像リスト	取込対象ファイルの同項目

13	mobileye_after_market_lane_path	VARCHAR（1000）	Mobileye センサから取得されるレーン種別等の情報	取込対象ファイルの同項目
14	mobileye_ahbc_path	VARCHAR（1000）	Mobileye センサから取得されるハイ/ロービーム情報	取込対象ファイルの同項目
15	mobileye_aws_display_path	VARCHAR（1000）	Mobileye センサから取得されるアイウォッチに関する警告情報	取込対象ファイルの同項目
16	mobileye_can_raw_path	VARCHAR（1000）	Mobileye センサから取得される CAN 信号データ	取込対象ファイルの同項目
17	mobileye_fixed_foe_path	VARCHAR（1000）	Mobileye センサから取得される消失点情報	取込対象ファイルの同項目
18	mobileye_lane_path	VARCHAR（1000）	Mobileye センサから取得されるレーン曲率等の情報	取込対象ファイルの同項目
19	mobileye_obstacle_data_path	VARCHAR（1000）	Mobileye センサから取得される障害物情報	取込対象ファイルの同項目
20	mobileye_obstacle_status_path	VARCHAR（1000）	Mobileye センサから取得される障害物検出状況	取込対象ファイルの同項目
21	mobileye_tsr_path	VARCHAR（1000）	Mobileye センサから取得される標識位置等の情報	取込対象ファイルの同項目
22	mobileye_tsr_vision_only_path	VARCHAR（1000）	Mobileye センサから取得される標識種別等の情報	取込対象ファイルの同項目
23	rear_images_path	VARCHAR（1000）	後方狭角カメラ収録画像リスト	取込対象ファイルの同項目
24	rear_wide_images_path	VARCHAR（1000）	後方魚眼広角カメラ収録画像リスト	取込対象ファイルの同項目
25	right_front_images_path	VARCHAR	右前方狭角カメラ	取込対象フ

		（1000）	収録画像リスト	ァイルの同項目
26	right_rear_images_path	VARCHAR（1000）	右後方狭角カメラ収録画像リスト	取込対象ファイルの同項目
27	right_wide_images_path	VARCHAR（1000）	右方魚眼広角カメラ収録画像リスト	取込対象ファイルの同項目
28	vehicle_can_raw_path	VARCHAR（1000）	車両 CAN 信号生データ	取込対象ファイルの同項目
29	tracked_object_path	VARCHAR（1000）	自車周辺物標認識結果	取込対象ファイルの同項目
30	lane_info_path	VARCHAR（1000）	自車左右白線情報	取込対象ファイルの同項目
31	gpsm2_li_path	VARCHAR（1000）	GPS センサ LI ファイル	取込対象ファイルの同項目
32	gpsm2_loc_path	VARCHAR（1000）	GPS センサ LOC ファイル	取込対象ファイルの同項目
33	create_at	TIMESTAMP	データ登録日	データ登録時のみシステム時刻を登録
34	update_at	TIMESTAMP	データ更新日	データ登録／更新時にシステム時刻を登録
35	operation_id_origin	VARCHAR（40）	運行 ID（原型）	取込対象ファイルの同項目
36	car_id	VARCHAR（20）	計測車両 ID	取込対象ファイルの同項目

表 3.3.1.7-20　車両検出ツールの項目

#	項目名	データ型（桁数）	内容	データ取得元
1	tool_version	VARCHAR（1000）	tool_version	取込対象ファイルの process_version
2	create_at	TIMESTAMP	データ登録日	データ登録時のみシステム時刻を登録
3	update_at	TIMESTAMP	データ更新日	データ登録／更新時にシステム時刻を登録

c)　物標認識（画像）

物標認識（画像）では、計測車両にて収集された画像データを入力とし、レーンマーカーの検出結果を出力する。

物標認識（画像）のエビデンスデータからトレーサビリティデータを生成、トレーサビリティデータモデルへデータを登録する方法を説明する。物標認識（画像）におけるエビデンス管理の処理フローの全体像を図 3.3.1.7-16 に示す。

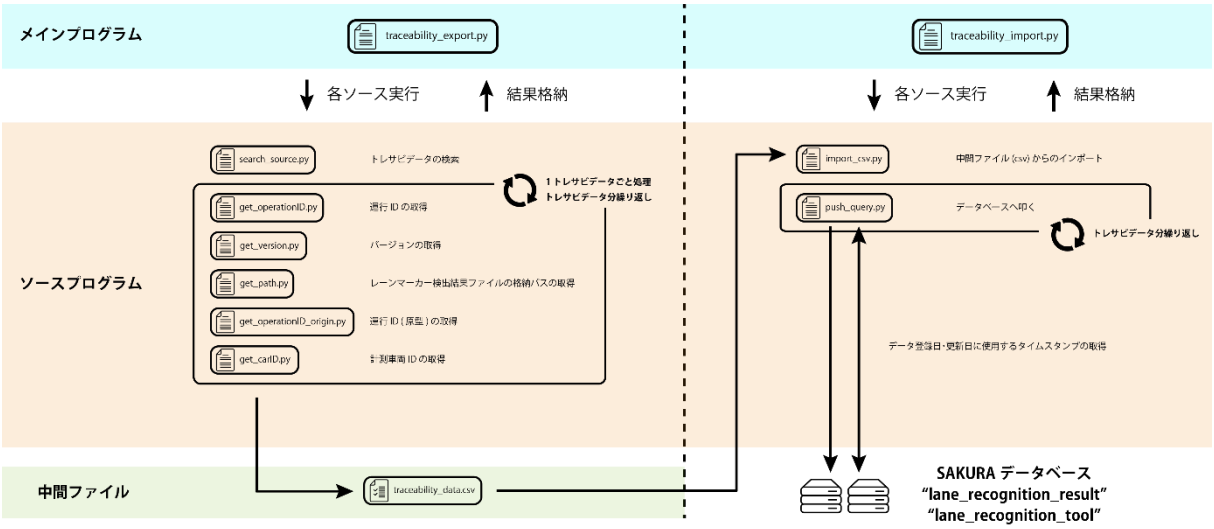


図 3.3.1.7-16　エビデンス管理処理フロー全体像

①　トレーサビリティデータ出力

i)　設計概要

図 3.3.1.7-16 に示したエビデンス管理処理フローのうち、トレーサビリティデータ出力が担う範囲を図 3.3.1.7-17 に示す。

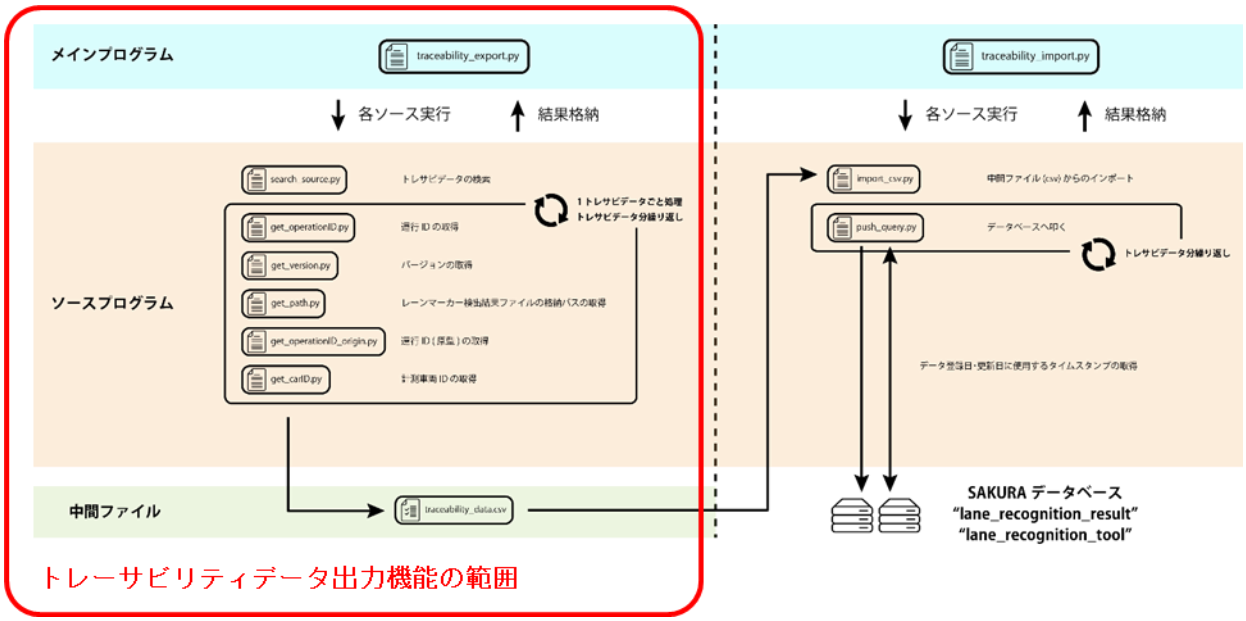


図 3.3.1.7-17　トレーサビリティデータ出力機能の処理フロー

処理フローに記載の各処理内容について説明する。

処理①：トレーサビリティデータの検索

レーンマーカー検出結果のファイルを検索、記録されているデータを読み込む。

処理②：トレーサビリティデータとして出力する項目の取得

処理対象の CSV ファイルから、トレーサビリティデータとして出力する各項目情報を取得する。取得する項目の詳細は、iv）出力ファイル仕様で記載。

処理③：ファイルへの出力

処理②で取得したデータを CSV 形式で、ファイルへ出力する。

ii）　動作環境

本機能は表 3.3.1.6-1 で示した「端末②トレーサビリティデータ出力有」または「アプリケーションサーバ」で動作する。それぞれのスペックについては、3.3.1.6 システム仕様の（1）インフラストラクチャー、および（2）ソフトウェア仕様で記載している。本機能実現のために導入した Python のモジュールおよび、開発時点でのバージョンを表 3.3.1.7-21 に示す。

表 3.3.1.7-21　導入した Python モジュール

#	モジュール名	開発時点のバージョン
1	numpy	1.24.2
2	psycopg2-binary	2.9.5
3	tqdm	4.64.1
4	halo	0.0.31
5	defer	1.0.4
6	PyYAML	6.0

iii)　プログラムの実行方法

本機能を実行するプログラムは、アプリケーションコンテナ上に図 3.3.1.7-18 のディレクトリ構成で配置する。

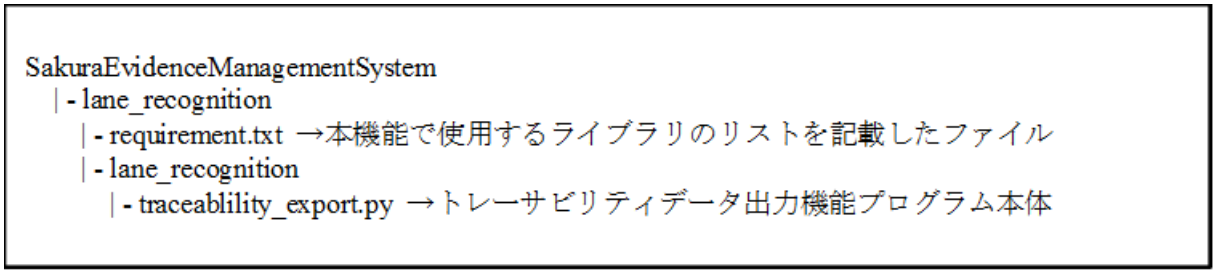


図 3.3.1.7-18　トレーサビリティデータ出力プログラムファイルとディレクトリ構成

プログラム本体である traceability_export.py はコマンドライン形式のプログラムである。プログラムの実行方法および実行時パラメータを表 3.3.1.7-22 に示す。

```
python3 ./lane_recognition/traceability_export.py
    --target <target_directory>
    --processing_year <year>
    --output <output file>
    --help
```

表 3.3.1.7-22　プログラムの実行方法および実行時パラメータ

#	実行時パラメータ	必須	デフォルト値	内容
1	--target	○	-	処理対象の物標認識結果を格納したディレクトリ
2	--processing_year	○	-	処理年度
3	--output	○	-	出力ファイルのパス
4	--help		-	ヘルプ情報の表示

具体的なプログラムの実行例を図 3.3.1.7-19 に示す。

```
cd ./SakuraEvidenceManagementSystem/lane_recognition
python3 ./lane_recognition/traceability_export.py –target /host/data_sample –processing_year 2021 –
output ./traceability.csv
```

図 3.3.1.7-19　物標認識（画像）トレーサビリティデータ出力実行例

iv)　出力ファイル仕様

プログラムによって出力されるファイルは、表 3.3.1.7-23 に示す情報をもった CSV 形式である。ファイル名は実行時パラメータ“--output”で指定したファイル名で出力する。

表 3.3.1.7-23　出力ファイル仕様

#	項目名	データ型	内容	データ取得元
1	operation_id	文字列	運行 ID	認識結果のファイル名
2	version	文字列	process_version	認識結果ファイルに記録されたレーンマーク推定アルゴリズムのバージョン
3	data_path	文字列	レーンマーカー検出結果ファイルパス	当該認識結果のファイル名
4	operation_id_origin	文字列	運行 ID（原型）	認識結果の格納ディレクトリ名
5	car_id	文字列	計測車両 ID	認識結果の格納ディレクトリ名

②　トレーサビリティデータ取込

i)　設計概要

図 3.3.1.7-16 に示したエビデンス管理処理フローのうち、トレーサビリティデータ取込が担う範囲を図 3.3.1.7-20 に示す。

※プログラムの実行時パラメータ詳細は、iii）プログラムの実行方法で記載する。

※出力ファイルの詳細は、iv）データモデル仕様で記載する。

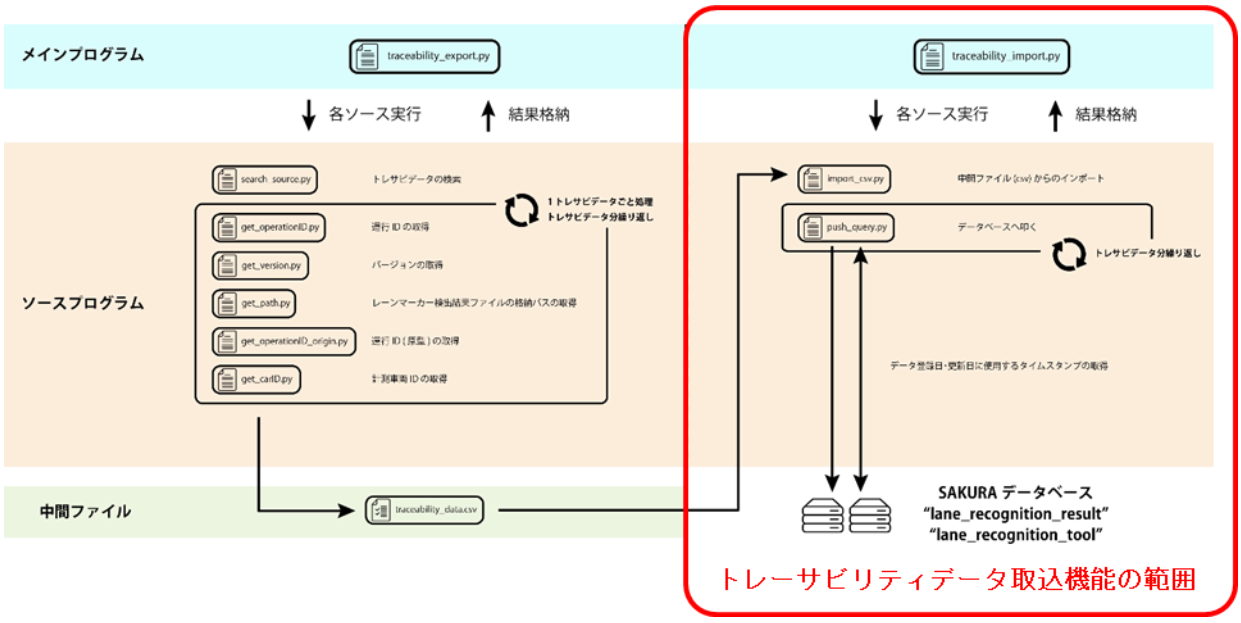


図 3.3.1.7-20　トレーサビリティデータ取込機能の処理フロー

処理フローに記載の各処理内容について説明する。

処理①：トレーサビリティデータの取得

指定のトレーサビリティデータファイルからデータを取得する。

処理②：処理対象モデルへのデータ追加／更新

トレーサビリティデータの情報から取得したデータを対象モデルへ登録する。モデルには、既にデータが登録されている場合があるため、データの有無を確認し、以下のとおり実施内容を判断する。

存在する　　：既存のデータを今回取得したデータで上書きする。

存在しない　：処理対象モデルに今回取得したデータを追加する。

※処理対象モデルの詳細は、iv）データモデル仕様で記載する。

ii）　動作環境

本機能は表 3.3.1.6-1 で示した「アプリケーションサーバ」で動作する。スペックについては、3.3.1.6 システム仕様の（1）インフラストラクチャー、および（2）ソフトウェア仕様を参照。本機能実現のために導入した Python のモジュールおよび、開発時点でのバージョンを表 3.3.1.7-24 に示す。

表 3.3.1.7-24　導入した Python モジュール

#	モジュール名	開発時点のバージョン
1	numpy	1.24.2
2	psycopg2-binary	2.9.5
3	tqdm	4.64.1
4	halo	0.0.31
5	defer	1.0.4

iii)　プログラムの実行方法

本機能を実行するプログラムは、アプリケーションコンテナ上に図 3.3.1.7-21 のディレクトリ構成で配置する。

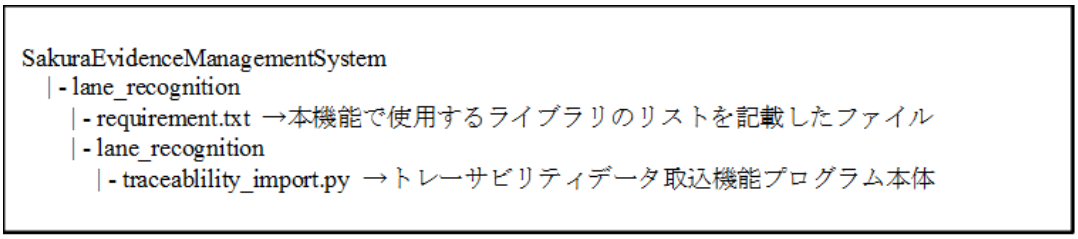


図 3.3.1.7-21　トレーサビリティデータ取込プログラムファイルとディレクトリ構成

プログラム本体である traceability_import.py はコマンドライン形式のプログラムである。プログラムの実行方法および実行時パラメータを表 3.3.1.7-25 に、設定ファイル settings.yaml の設定情報を表 3.3.1.7-26 に示す。

```
python3 ./object_recognition/traceability_import.py
    --input <input file>
```

表 3.3.1.7-25　プログラムの実行方法および実行時パラメータ

#	実行時パラメータ	必須	デフォルト値	内容
1	--input	○	-	取込ファイルのパス
2	--help		-	ヘルプ情報の表示

表 3.3.1.7-26　設定ファイル情報（settings.yaml）

#	セクション	項目	内容
1	db	dbname	接続先データベース名
2		user	データベース接続に使用するユーザ ID
3		password	データベース接続に使用するパスワード
4		host	データベースサーバのアドレス
5		port	データベースサーバの通信ポート番号

具体的なプログラムの実行例を図 3.3.1.7-22 に示す。

```
cd ./SakuraEvidenceManagementSystem/lane_recognition
python3 ./lane_recognition/traceability_import.py –input ./traceability.csv
```

図 3.3.1.7-22 物標認識（画像）トレーサビリティデータ取込実行例

iv)　データモデル仕様

物標認識（画像）のトレーサビリティデータ取込が登録するトレーサビリティデータモデルのモデル図を図 3.3.1.7-23 に、モデルの項目情報を表 3.3.1.7-27～28 に示す。

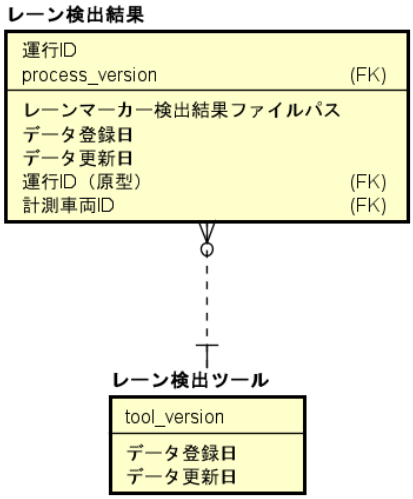


図 3.3.1.7-23　トレーサビリティデータ取込（物標認識（画像））が登録するモデル

表 3.3.1.7-27　レーン検出結果の項目

#	項目名	データ型（桁数）	内容	データ取得元
1	operation_id	VARCHAR（40）	運行 ID	取込対象ファイルの同項目
2	process_version	VARCHAR（1000）	process_version	取込対象ファイルの同項目
3	lane_marker_path	VARCHAR（1000）	レーンマーカー検出結果ファイルパス	取込対象ファイルの同項目
4	create_at	TIMESTAMP	データ登録日	取込対象ファイルの同項目
5	update_at	TIMESTAMP	データ更新日	取込対象ファイルの同項目

6	operation_id_origin	VARCHAR（40）	運行 ID（原型）	取込対象ファイルの同項目
7	car_id	VARCHAR（20）	計測車両 ID	取込対象ファイルの同項目

表 3.3.1.7-28 レーン検出ツールの項目

#	項目名	データ型（桁数）	内容	データ取得元
1	tool_version	VARCHAR（1000）	tool_version	取込対象ファイルの process_version
2	create_at	TIMESTAMP	データ登録日	データ登録時のみシステム時刻を登録
3	update_at	TIMESTAMP	データ更新日	データ登録／更新時にシステム時刻を登録

d)　マップマッチング

マップマッチングでは、計測車両、定点観測機器を用いて収集したセンサデータや各種物標認識結果、地図データを入力とし、自車および周辺車の位置関係を中心に速度、距離などのシナリオ分析に用いる各種数値データを生成する。

マップマッチングのエビデンスデータからトレーサビリティデータを生成、トレーサビリティデータモデルへデータを登録する方法を説明する。

①　トレーサビリティデータ出力

i)　設計概要

本機能の処理フローを図 3.3.1.7-24 に示す。

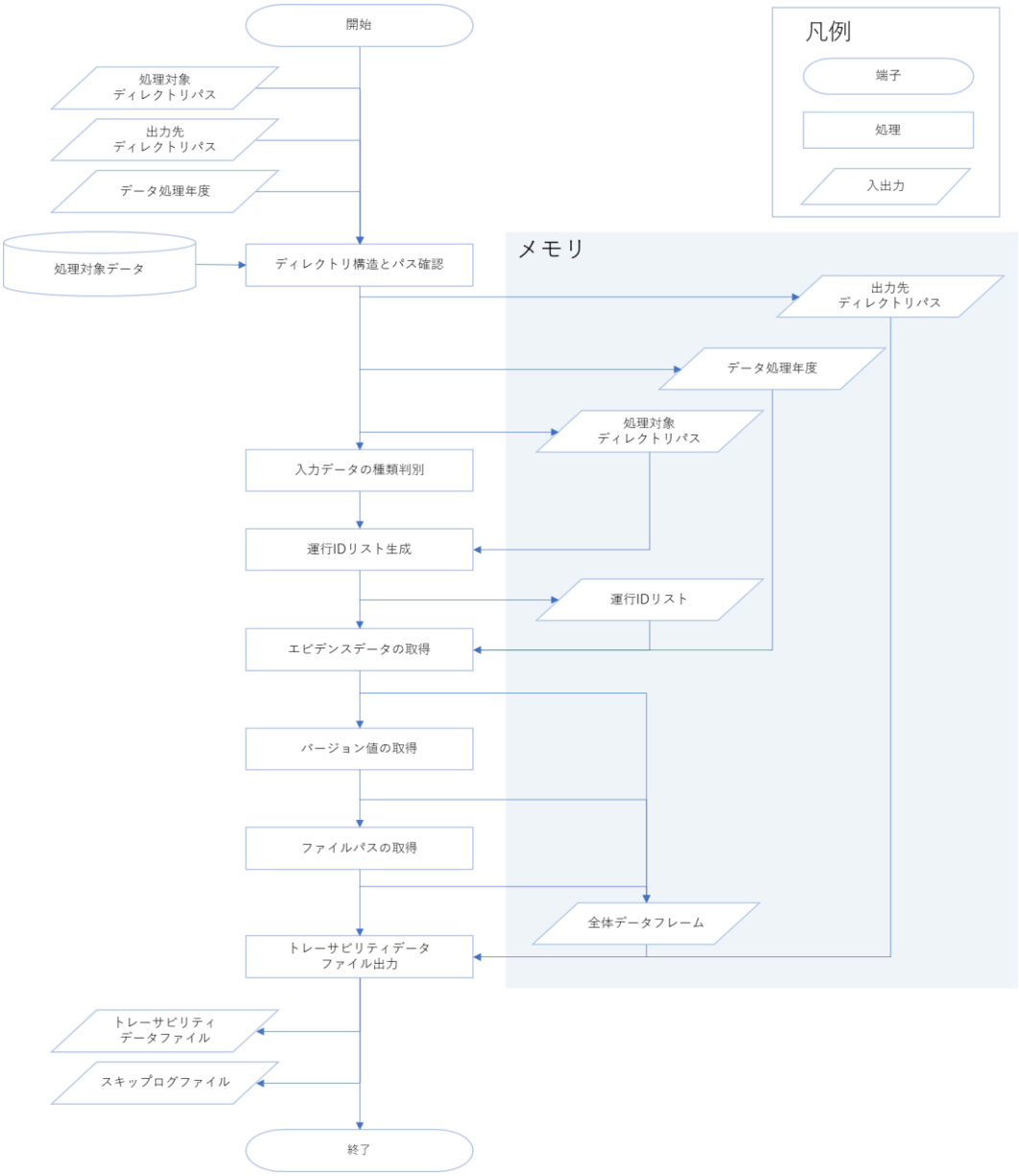


図 3.3.1.7-24　トレーサビリティデータ出力機能の処理フロー

処理フローに記載の各処理内容について説明する。

処理①：ディレクトリ構造とパス確認

実行時パラメータで与えられるパス情報に対して、適切な情報が与えられているかを確認する。確認内容は以下のとおり。

処理対象ディレクトリパス：　マップマッチング結果が格納されたパスか確認

出力先ディレクトリパス　：　指定パスが存在するか確認

※プログラムの実行時パラメータ詳細は、iii）プログラムの実行方法に記載する。

処理②：入力データの種類判別

処理対象が計測車両データなのか定点データなのかを判別する

処理③：運行 ID リスト作成

マップマッチングのトレーサビリティデータ出力は、複数運行のデータを一括処理する仕様で設計している。本処理では、実行時パラメータで与えられた処理対象ディレクトリパスを探索し、処理対象の運行 ID を取得する。

処理④：エビデンスデータの取得

処理③で取得した運行 ID のエビデンスデータ（マップマッチング結果）を読み取り、トレーサビリティデータに出力する情報を収集する。

処理⑤：バージョン値の取得

エビデンスデータ自体およびエビデンスデータを生成するために使用したデータ、ツールのバージョン情報を取得する。

処理⑥：ファイルパスの取得

実行時パラメータ「処理対象ディレクトリパス」を用いて、エビデンスデータの格納先パスを導出する。

処理⑦：トレーサビリティデータファイル出力

処理④～⑥までに取得したデータをトレーサビリティデータとして、実行時パラメータ「出力先ディレクトリパス」に CSV 形式ファイルで出力する。

※出力ファイルの詳細は、iv）出力ファイル仕様に記載する。

【補足】

※処理途中でエラーが発生した場合は処理を中断し、ファイルは出力しない。

ii)　動作環境

本機能は表 3.3.1.6-1 で示した「端末②トレーサビリティデータ出力有」または「アプリケーションサーバ」で動作する。それぞれのスペックについては、3.3.1.6 システム仕様の（1）インフラストラクチャー、および（2）ソフトウェア仕様に記載している。本機能実現のために導入した Python のモジュールおよび、開発時点でのバージョンを表 3.3.1.7-29 に示す。

表 3.3.1.7-29　導入した Python モジュール

#	モジュール名	開発時点のバージョン
1	pandas	1.5.3
2	psycopg2-binary	2.9.5
3	SQLAlchemy	1.4.46
6	PyYAML	6.0

iii)　プログラムの実行方法

本機能を実行するプログラムは、アプリケーションコンテナ上に図 3.3.1.7-25 のディレクトリ構成で配置する。

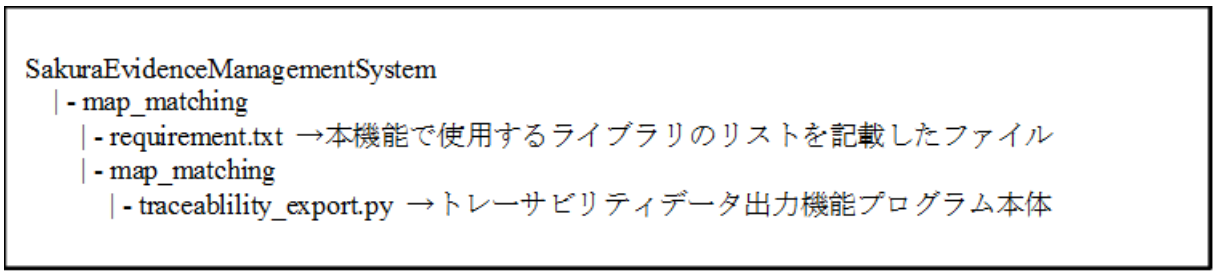


図 3.3.1.7-25　トレーサビリティデータ出力プログラムファイルとディレクトリ構成

プログラム本体である traceability_export.py はコマンドライン形式のプログラムである。プログラムの実行方法および実行時パラメータを表 3.3.1.7-30 に示す。

python3 ./map_matching/traceability_export.py
<処理対象ディレクトリパス>
<出力先ディレクトリパス>
<処理年度>

表 3.3.1.7-30　プログラムの実行方法および実行時パラメータ

#	実行時パラメータ	必須	デフォルト値	内容
1	処理対象ディレクトリパス	○	-	処理対象のマップマッチング結果を格納したディレクトリ。 指定ディレクトリ配下に運行 ID 単位に複数の運行データのディレクトリが配置される構造を想定。
2	出力先ディレクトリパス	○	-	ファイルの出力先パス
3	処理年度	○	-	処理年度

具体的なプログラムの実行例を図 3.3.1.7-26 に示す。

```
cd ./SakuraEvidenceManagementSystem/map_matching
python3 ./map_matching/traceability_export.py sample_data/2021 ./ 2021
```

図 3.3.1.7-26　マップマッチングトレーサビリティデータ出力実行例

iv)　出力ファイル仕様

プログラムによって出力されるファイルは、表 3.3.1.7-31 に示す情報をもった CSV 形式である。マップマッチングのトレーサビリティデータ出力は、処理した運行 ID 単位にファイルを出力する仕様となっており、出力先ディレクトリパス配下に以下の命名規則に従ったファイル名で出力する。

<output_version>_<処理対象データのディレクトリ名>.csv

<output_version>：

エビデンスデータのバージョン

<処理対象データのディレクトリ名>：

実行時引数「処理対象ディレクトリパス」のディレクトリ名

（例）output_version：230222101011、処理対象のディレクトリ名：2019、の場合

ファイル名：230222101011_2019.csv となる。

表 3.3.1.7-31　出力ファイル仕様

#	項目名	データ型	内容	データ取得元
1	operation_id	文字列	運行 ID	認識結果のファイル名
2	output_version	文字列	output_version	エビデンスデータに含まれるバージョンファイルのファイル名
3	pioloc_path	文字列	pioloc ファイルパス	認識結果の PIOLOC ファイル名
4	autenv_path	文字列	autenv ファイルパス	認識結果の ATUENV ファイル名
5	mobeye_path	文字列	mobeye ファイルパス	認識結果の MOBEYE ファイル名
6	ibeo_path	文字列	ibeo ファイルパス	認識結果の IBEO ファイル名
7	rdaxis_path	文字列	rdaxis ファイルパス	認識結果の PRDAXIS ファイル名
8	input_type	文字列	入力データの種類	計測車両は”measuring_vehicles”、定点観測は”fixed_point”
9	input_version_object_recognition	文字列	input_version_object_recognition	マップマッチング処理で使用した物標認識（点群）のバージョン（process_version）
10	input_version_lane_recognition	文字列	input_version_lane_recognition	マップマッチング処理で使用した物標認識（画像）のバージョン（process_version）
11	process_version	文字列	process_version	マップマッチング処理したツールのバージョン
12	gnss_error_path	文字列	GNSS センサ誤差ファイルパス	エビデンスデータ格納先パスとエビデンスデータに含まれる PIOACC のファイル名より導出
13	self_vehicles_error_path	文字列	自車位置誤差ファイルパス	エビデンスデータ格納先パスとエビデンスデータに含まれる PIOLOC_error のファイル名より導出
14	other_vehicles_error_path	文字列	他車位置誤差ファイルパス	エビデンスデータ格納先パスとエビデンスデータに含

				まれる aut_other_abs_position_error のファイル名より導出
15	total_error_path	文字列	位置誤差ファイルパス	エビデンスデータ格納先パスとエビデンスデータに含まれる total_error のファイル名より導出
16	tool_version	文字列	tool_version	マップマッチングツールのバージョン
17	db_system_version	文字列	db_system バージョン	エビデンスデータに含まれるバージョンファイルのファイル内容
18	aut_other_abs_position_version	文字列	aut_other_abs_position バージョン	エビデンスデータに含まれるバージョンファイルのファイル内容
19	export_deliverables_version	文字列	export_deliverables バージョン	エビデンスデータに含まれるバージョンファイルのファイル名
20	high_accuracy_lonlat_version	文字列	high_accuracy_lonlat バージョン	エビデンスデータに含まれるバージョンファイルのファイル内容
21	gpsm2_tool_version	文字列	gpsm2 解析ツールバージョン	エビデンスデータに含まれるバージョンファイルのファイル内容

② トレーサビリティデータ取込

i) 設計概要

本機能の処理フローを図 3.3.1.7-27 に示す。

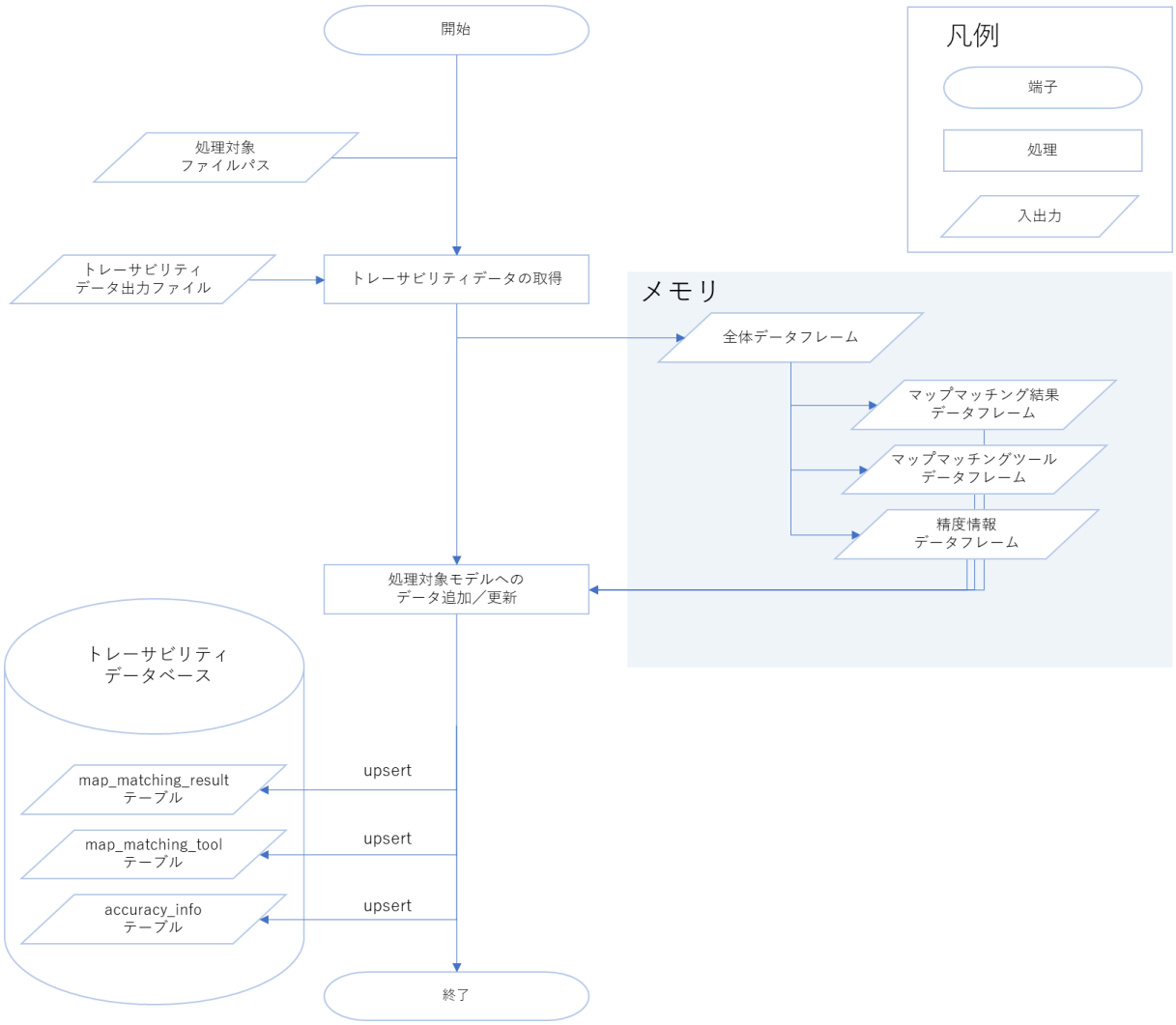


図 3.3.1.7-27　トレーサビリティデータ取込機能の処理フロー

処理フローに記載の各処理内容について説明する。

処理①：トレーサビリティデータの取得

指定のトレーサビリティデータファイルからデータを取得する。

処理②：処理対象モデルへのデータ追加／更新

トレーサビリティデータの情報から取得したデータを対象モデルへ登録する。モデルには、既にデータが登録されている場合があるため、データの有無を確認の上、以下のとおり実施内容を判断する。

存在する　　：既存のデータを今回取得したデータで上書きする。

存在しない　：処理対象モデルに今回取得したデータを追加する。

【補足】

※プログラムの実行時パラメータ詳細は、iii）プログラムの実行方法に記載する。

※処理対象モデルの詳細は、iv）データモデル仕様に記載する。

ii）　動作環境

本機能は表 3.3.1.6-1 で示した「アプリケーションサーバ」で動作する。スペックについては、3.3.1.6 システム仕様の（1）インフラストラクチャー、および（2）ソフトウェア仕様を参照。本機能実現のために導入した Python のモジュールおよび、開発時点でのバージョンを表 3.3.1.7-32 に示す。

表 3.3.1.7-32 導入した Python モジュール

#	モジュール名	開発時点のバージョン
1	pandas	1.5.3
2	psycopg2-binary	2.9.5
3	SQLAlchemy	1.4.46
6	PyYAML	6.0
1	pandas	1.5.3

iii）　プログラムの実行方法

本機能を実行するプログラムは、アプリケーションコンテナ上に図 3.3.1.7-28 のディレクトリ構成で配置する。

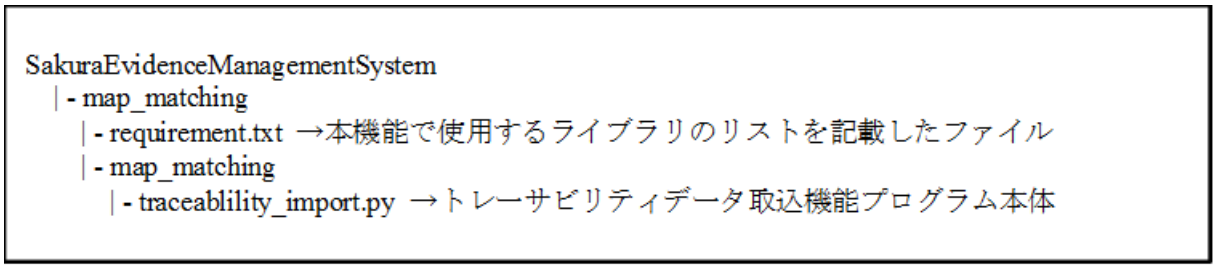


図 3.3.1.7-28　トレーサビリティデータ取込プログラムファイルとディレクトリ構成

プログラム本体である traceability_import.py はコマンドライン形式のプログラムである。プログラムの実行方法および実行時パラメータを表 3.3.1.7-33 に、設定ファイル settings.yaml の設定情報を表 3.3.1.7-34 示す。

python3 ./map_matching/traceability_import.py
　　<処理対象トレーサビリティデータ出力ファイル絶対パス>

表 3.3.1.7-33　プログラムの実行方法および実行時パラメータ

#	実行時パラメータ	必須	デフォルト値	内容
1	処理対象トレーサビリティデータ出力ファイル絶対パス	○	-	取込ファイルのパス（絶対パス形式）

表 3.3.1.7-34　設定ファイル情報（settings.yaml）

#	セクション	項目	内容
1	db	dbname	接続先データベース名
2		user	データベース接続に使用するユーザ ID
3		password	データベース接続に使用するパスワード
4		host	データベースサーバのアドレス
5		port	データベースサーバの通信ポート番号

具体的なプログラムの実行例を図 3.3.1.7-29 に示す。

```
cd ./SakuraEvidenceManagementSystem/map_matching
python3 ./map_matching/traceability_import.py home/user/230222101011_2019.csv
```

図 3.3.1.7-29 マップマッチングトレーサビリティデータ取込実行例

iv)　データモデル仕様

マップマッチングのトレーサビリティデータ取込が登録するトレーサビリティデータモデルのモデル図を図 3.3.1.7-30 に、モデルの項目情報を表 3.3.1.7-35～37 に示す。

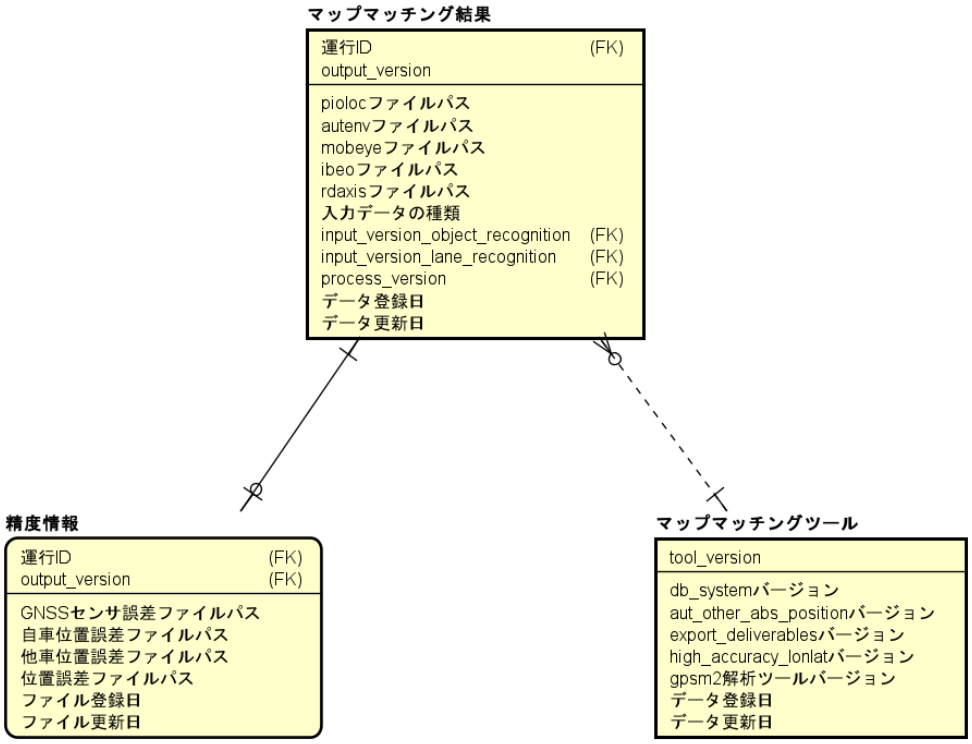


図 3.3.1.7-30　トレーサビリティデータ取込（マップマッチング）が登録するモデル

表 3.3.1.7-35　マップマッチング結果の項目

#	項目名	データ型（桁数）	内容	データ取得元
1	operation_id	VARCHAR（40）	運行 ID	取込対象ファイルの同項目
2	output_version	VARCHAR（1000）	output_version	取込対象ファイルの同項目
3	pioloc_path	VARCHAR（1000）	pioloc ファイルパス	取込対象ファイルの同項目
4	autenv_path	VARCHAR（1000）	autenv ファイルパス	取込対象ファイルの同項目
5	mobeye_path	VARCHAR（1000）	mobeye ファイルパス	取込対象ファイルの同項目
6	ibeo_path	VARCHAR（1000）	ibeo ファイルパス	取込対象ファイルの同項目
7	rdaxis_path	VARCHAR（1000）	rdaxis ファイルパス	取込対象ファイルの同項目

8	input_type	VARCHAR（40）	入力データの種類	取込対象ファイルの同項目
9	input_version_object_recognition	VARCHAR（1000）	input_version_object_recognition	取込対象ファイルの同項目
10	input_version_lane_recognition	VARCHAR（1000）	input_version_lane_recognition	取込対象ファイルの同項目
11	process_version	VARCHAR（1000）	process_version	取込対象ファイルの同項目
12	create_at	TIMESTAMP	データ登録日	取込対象ファイルの同項目
13	update_at	TIMESTAMP	データ更新日	取込対象ファイルの同項目

表 3.3.1.7-36　マップマッチングツールの項目

#	項目名	データ型（桁数）	内容	データ取得元
1	tool_version	VARCHAR（1000）	tool_version	取込対象ファイルの process_version
2	db_system_version	VARCHAR（50）	db_system バージョン	取込対象ファイルの同項目
3	aut_other_abs_position_version	VARCHAR（50）	aut_other_abs_position バージョン	取込対象ファイルの同項目
4	export_deliverables_version	VARCHAR（50）	export_deliverables バージョン	取込対象ファイルの同項目
5	high_accuracy_lonlat_version	VARCHAR（50）	high_accuracy_lonlat バージョン	取込対象ファイルの同項目
6	gpsm2_tool_version	VARCHAR（50）	gpsm2 解析ツールバージョン	取込対象ファイルの同項目
7	create_at	TIMESTAMP	データ登録日	データ登録時のみシステム時刻を登録
8	update_at	TIMESTAMP	データ更新日	データ登録／更新時にシステム時刻を登録

表 3.3.1.7-37　精度情報の項目

#	項目名	データ型（桁数）	内容	データ取得元
1	operation_id	VARCHAR（40）	運行 ID	取込対象ファイルの process_version
2	output_version	VARCHAR（1000）	output_version	取込対象ファイルの同項目
3	gnss_error_path	VARCHAR（1000）	GNSS センサ誤差ファイルパス	取込対象ファイルの同項目
4	self_vehicles_error_path	VARCHAR（1000）	自車位置誤差ファイルパス	取込対象ファイルの同項目
5	other_vehicles_error_path	VARCHAR（1000）	他車位置誤差ファイルパス	取込対象ファイルの同項目
6	total_error_path	VARCHAR（1000）	位置誤差ファイルパス	取込対象ファイルの同項目
7	create_at	TIMESTAMP	ファイル登録日	データ登録時のみシステム時刻を登録
8	update_at	TIMESTAMP	ファイル更新日	データ登録／更新時にシステム時刻を登録

e）　シーン抽出

シーン抽出とは、SAKURA データプロセスにおいてマップマッチングの結果から交通流シナリオの条件に合致するシーンにラベルを付与する処理である。このラベルとは交通流シナリオの ODD 条件である「道路形状」「自車動作」「他車動作」をはじめとした、シナリオ分析で使用する情報を指す。そして、このラベル付けした結果（エビデンスデータ）を「仕分け結果」と呼称する。

シーン抽出プロセスのエビデンスデータである、シーン抽出結果からトレーサビリティデータを生成、トレーサビリティデータモデルへデータを登録する方法を説明する。

①　トレーサビリティデータ出力

i）　概要設計

本機能の処理フローを図 3.3.1.7-31 に示す。概要としては、トレーサビリティデータ出力のプログラムに対し、仕分け結果のファイルパスなどの情報を実行時パラメータとして与え、トレーサビリティデータを CSV 形式ファイルで出力する。

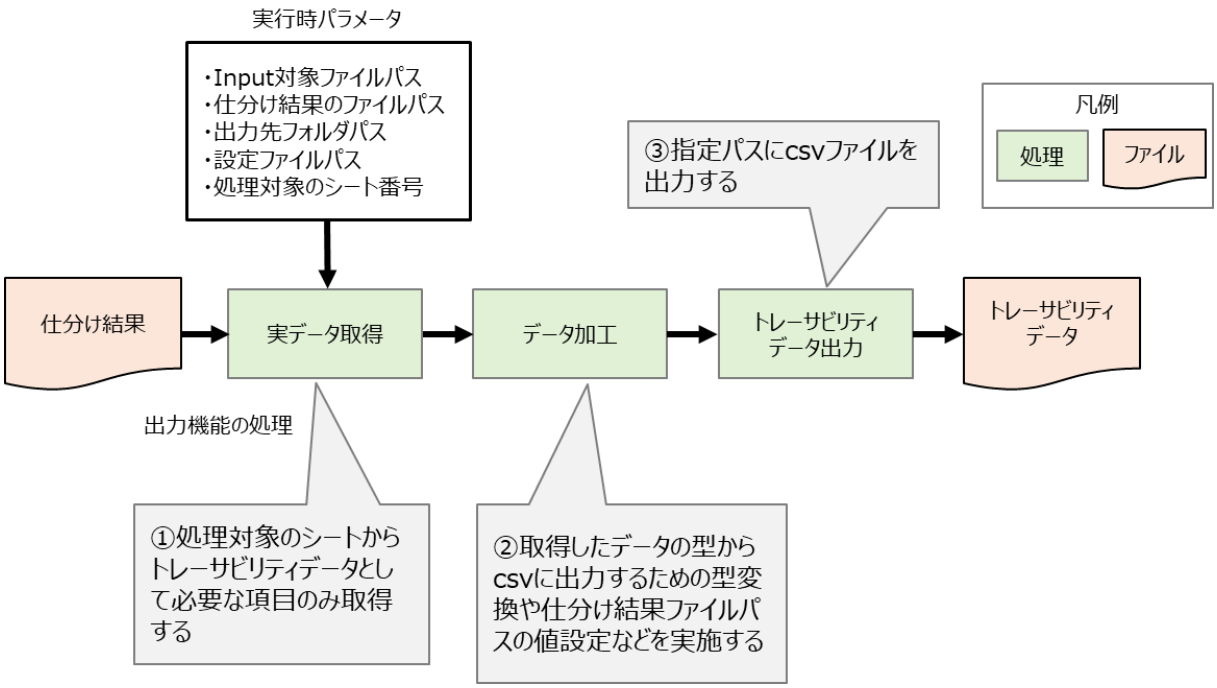


図 3.3.1.7-31　トレーサビリティデータ出力機能の処理フロー

処理フローに記載の各処理内容について説明する。

処理①：実データ取得

仕分け結果を読み込み、トレーサビリティデータに必要な項目を取得する。

処理②：データ加工

処理①で取得した情報を、出力ファイルの形式（データ構造、データ型）の
の仕様に合わせて加工する。

処理③：トレーサビリティデータ出力

出力ファイルの形式に加工したデータをファイルに出力する。

【補足】

※プログラムの実行時パラメータ詳細は、iii）プログラムの実行方法に記載する。

※出力ファイルの詳細は、iv）出力ファイル仕様に記載する。

※処理途中でエラーが発生した場合は処理を中断し、ファイルは出力しない。

ii）　動作環境

本機能は表 3.3.1.6-1 で示した「端末②トレーサビリティデータ出力有」または「アプリケーションサーバ」で動作する。3.3.1.6 システム仕様の（1）インフラストラクチャー、および（2）ソフトウェア仕様で記載している。本機能実現のために導入した Python のモジュールおよび、開発時点でのバージョンを表 3.3.1.7-38 に示す。

表 3.3.1.7-38　導入した Python モジュール

#	モジュール名	開発時点のバージョン
1	boto3	1.17.100
2	pandas	1.5.3
3	psyconpg2-binary	2.9.5
4	PyYAML	6.0
5	openpyxl	3.1.0

iii)　プログラムの実行方法

本機能を実行するプログラムは、アプリケーションコンテナ上に図 3.3.1.7-32 のディレクトリ構成で配置する。

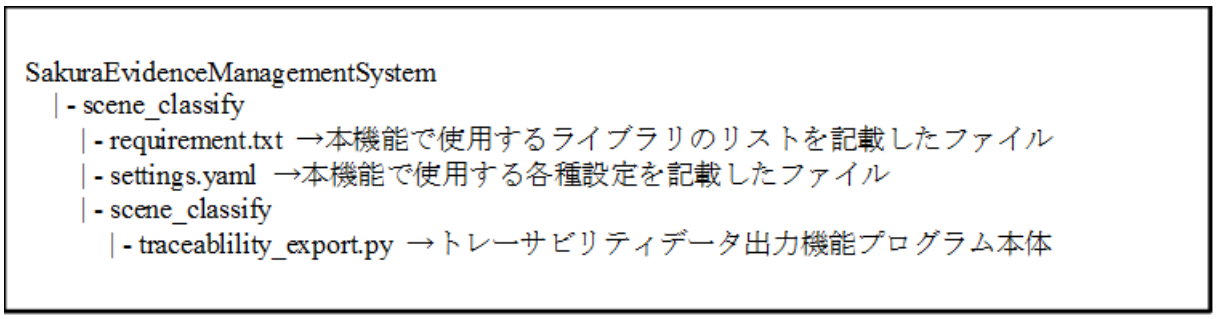


図 3.3.1.7-32　トレーサビリティデータ出力プログラムファイルとディレクトリ構成

プログラム本体である traceability_export.py はコマンドライン形式のプログラムである。プログラムの実行方法および実行時パラメータを表 3.3.1.7-39、-- setting_file_path に指定する設定ファイルの内容を表 3.3.1.7-40 に示す。

```
python3 ./scene_classify/traceability_export.py
  --target_file_path <file path>
  --classify_path <file path>
  --output_folder_path <folder path>
  --setting_file_path <file path>
  --excel_sheet_no <no>
```

表 3.3.1.7-39　プログラムの実行方法および実行時パラメータ

#	実行時パラメータ	必須	デフォルト値	内容
1	--target_file_path	○	-	処理対象の仕分け結果ファイルのパス
2	--classify_path	○	-	仕分け結果の保管先ファイスパス（トレーサビリティデータの

				項目で必要）
3	--output_folder_path		プログラム実行ディレクトリ	トレーサビリティデータの出力ファイルパス
4	--setting_file_path		settings.yaml	プログラム実行の設定ファイルパス
5	--excel_sheet_no		0	仕分け結果（Excel 形式）の情報を記録しているシート番号

表 3.3.1.7-40　--setting_file_path に指定する設定情報

#	セクション	項目	内容
1	directory_file	out_file_prefix	出力ファイルの接頭辞
2		out_directory_path	--output_folder_path のデフォルト値
3	excel	sheet_no	--excel_sheet_no のデフォルト値

具体的なプログラムの実行例を図 3.3.1.7-33 に示す。

```
cd ./SakuraEvidenceManagementSystem/scene_classify
python ./scene_classify/traceability_export.py --target_file_path ./仕分け結果_20221017_首都高_東池袋.xlsx --classify_path sakura/ULS/2022/fixed_point /210223110145_v2.2.14/仕分け結果_20221017_首都高_東池袋.xlsx
--output_folder_path ./output_data --setting_file_path ./settings.yaml
--excel_sheet_no 2
```

図 3.3.1.7-33　シーン抽出トレーサビリティデータ出力実行例

iv）　出力ファイル仕様

プログラムによって出力されるファイルは、表 3.3.1.7-41 に示す情報をもった CSV 形式であり、以下の命名規則に従ったファイル名で出力する。

scene_classify_result-<YYYYMMDDhhmmss>.csv

<YYYYMMDDhhmmss>　・・・出力日時

表 3.3.1.7-41　出力ファイル仕様

#	項目名	データ型	内容	データ取得元
1	operation_id	文字列	運行 ID	仕分け結果の operation_id
2	output_version	文字列	シーン抽出ツール実行後に付与される version	仕分け結果の output_version
3	start_unixtime	数値	シーン開始時刻	仕分け結果の start_unixtime
4	end_unixtime	数値	シーン終了時刻	仕分け結果の end_unixtime
5	object_id	数値	オブジェクト ID	仕分け結果の object_id
6	other_action	文字列	他車行動	仕分け結果の other_action
7	self_action	文字列	自車行動	仕分け結果の self_action
8	road_shape_high_quality	文字列	道路形状	仕分け結果の road_shape_high_quality
9	classify_path	文字列	仕分け結果ファイルパス	実行時パラメータの classify_path
10	input_version	文字列	マップマッチング結果の version	仕分け結果の input_version
11	process_version	文字列	シーン抽出ツールの version	仕分け結果の process_version
12	min_pseudo_curve	数値	道路曲率最小値	仕分け結果の min_pseudo_curve
13	max_pseudo_curve	数値	道路曲率最大値	仕分け結果の max_pseudo_curve
14	mean_pseudo_curve	数値	道路曲率平均値	仕分け結果の mean_pseudo_curve
15	init_pseudo_curve	数値	道路曲率初期値	仕分け結果の init_pseudo_curve
16	end_pseudo_curve	数値	道路曲率終了値	仕分け結果の end_pseudo_curve
17	mode_object_type	数値	交通参加者	仕分け結果の mode_object_type

② トレーサビリティデータ取込

i) 設計概要

本機能の処理フローを図 3.3.1.7-34 に示す。トレーサビリティデータ取込のプログラムに対し、トレーサビリティデータ出力で得た出力ファイルなどの情報を実行時パラメータとして与え、トレーサビリティデータをトレーサビリティデータモデルへ登録する。

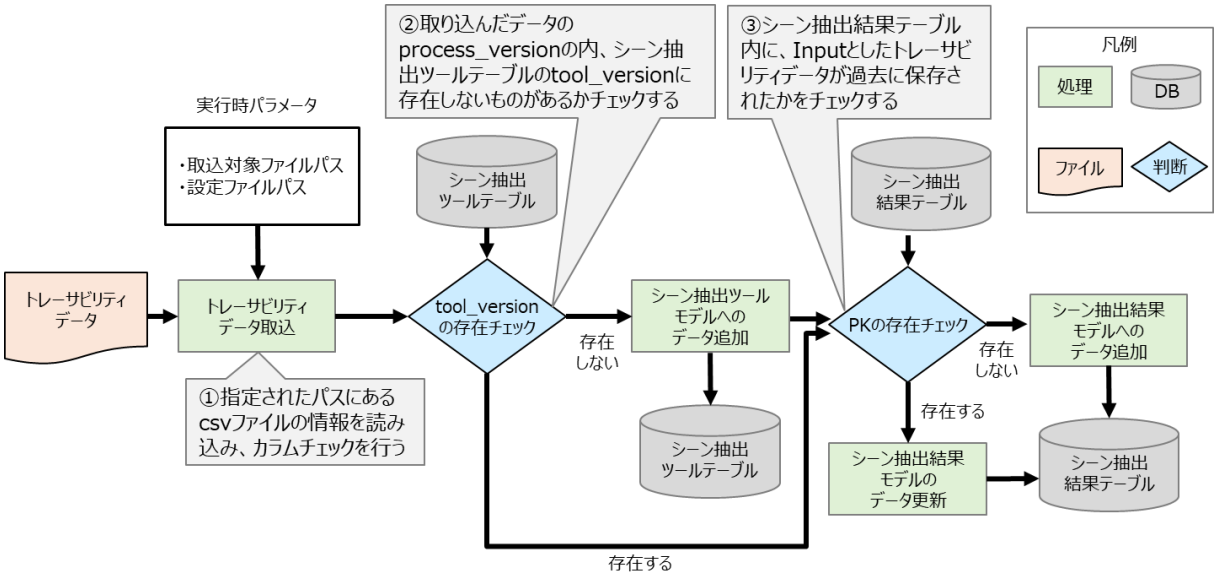


図 3.3.1.7-34　トレーサビリティデータ取込機能の処理フロー

処理フローに記載の各処理内容について説明する。

処理①：トレーサビリティデータ取込

トレーサビリティデータファイルからデータを取得する

処理②：シーン抽出ツールモデルへのデータ追加

トレーサビリティデータの情報から、仕分け結果の出力に使用したシーン抽出ツールのバージョン情報を取得し、シーン抽出ツールモデルへデータを登録する。

シーン抽出ツールモデルには、既にデータが登録されている場合があるため、データの有無を確認の上、以下のとおり実施内容を判断する。

存在する　　：何もしない。

存在しない　：シーン抽出ツールモデルにバージョン情報を追加する。

処理③：シーン抽出結果モデルへのデータ追加／更新

トレーサビリティデータの情報から、シーン抽出結果を取得し、シーン抽出結果モデルへデータを登録する。シーン抽出結果モデルには、既にデータが登録されている場合があるため、データの有無を確認の上、以下のとおり実施内容を判断する。

存在する　　：既存のデータを今回取得したデータで上書きする。

存在しない　：シーン抽出結果モデルにシーン抽出結果情報を追加する。

【補足】
※プログラムの実行時パラメータ詳細は、iii）プログラムの実行方法に記載する。
※更新対象のデータモデルの詳細は、iv）データモデル仕様に記載する。

ii）　動作環境

本機能は表 3.3.1.6-1 で示した「アプリケーションサーバ」で動作する。スペックについては、3.3.1.6 インフラストラクチャーおよびソフトウェア仕様を参照。本機能実現のために導入した Python のモジュールおよび、開発時点でのバージョンを表 3.3.1.7-42 に示す。

表 3.3.1.7-42　導入した Python モジュール

#	モジュール名	開発時点のバージョン
1	boto3	1.17.100
2	pandas	1.5.3
3	psyconpg2-binary	2.9.5
4	PyYAML	6.0
5	openpyxl	3.1.0

iii）　プログラムの実行方法

本機能を実行するプログラムは、アプリケーションコンテナ上に図 3.3.1.7-35 のディレクトリ構成で配置する。

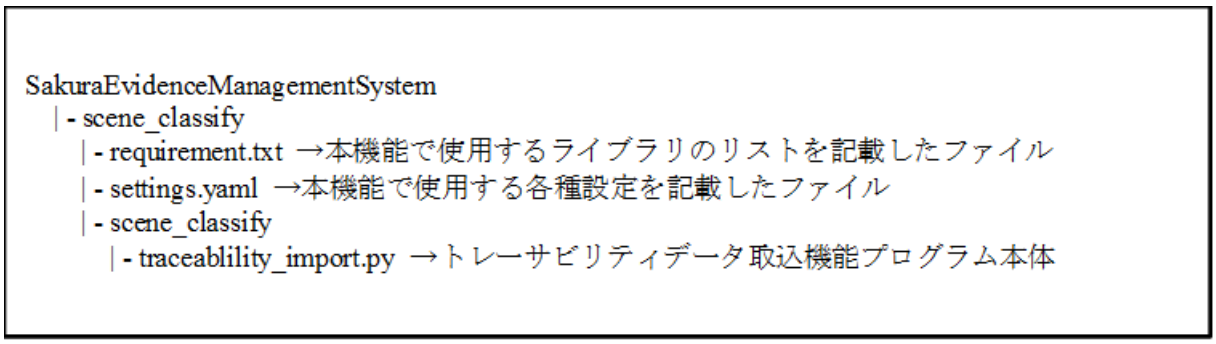


図 3.3.1.7-35　トレーサビリティデータ取込プログラムファイルとディレクトリ構成

プログラム本体である traceability_import.py はコマンドライン形式のプログラムである。プログラムの実行方法および実行時パラメータを表 3.3.1.7-43 、-- setting_file_path に指定する設定ファイルの内容を表 3.3.1.7-44 に示す。

```
python3 ./scene_classify/traceability_import.py
  --target_file_path <file path>
  --setting_file_path <file path>
```

表 3.3.1.7-43　プログラムの実行方法および実行時パラメータ

#	実行時パラメータ	必須	デフォルト値	内容
1	--target_file_path	○	-	取込対象のトレーサビリティデータファイルのパス
2	--setting_file_path		settings.yaml	プログラム実行の設定ファイルパス

表 3.3.1.7-44　--setting_file_path に指定する設定情報

#	セクション	項目	内容
1	db	dbname	接続先データベース名
2		user	データベース接続に使用するユーザ ID
3		password	データベース接続に使用するパスワード
4		host	データベースサーバのアドレス
5		port	データベースサーバの通信ポート番号
6		target_table_name	シーン抽出結果モデルの物理名
7		column_name_list	シーン抽出結果モデルの項目一覧

具体的なプログラムの実行例を図 3.3.1.7-36 に示す。

```
cd ./SakuraEvidenceManagementSystem/scene_classify
python3 ./scene_classify/traceability_import.py --target_file_path ./scene_classify_result-
20220930131958.csv –setting_file_path ./settings.yaml
```

図 3.3.1.7-36　シーン抽出トレーサビリティデータ取込実行例

iv)　データモデル仕様

シーン抽出のトレーサビリティデータ取込が登録するトレーサビリティデータモデルのモデル図を図 3.3.1.7-37 に、モデルの項目情報を表 3.3.1.7-45～46 に示す。

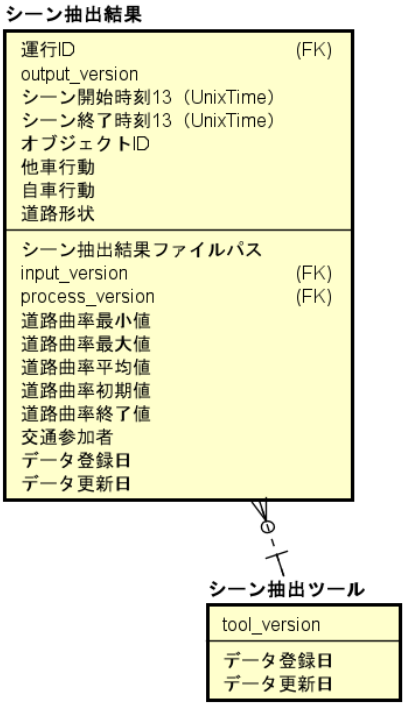


図 3.3.1.7-37　トレーサビリティデータ取込（シーン抽出）が登録するモデル

表 3.3.1.7-45　シーン抽出結果モデルの項目

#	項目名	データ型（桁数）	内容	データ取得元
1	operation_id	VARCHAR（40）	運行 ID	取込対象ファイルの同項目
2	output_version	VARCHAR（1000）	シーン抽出結果の version	取込対象ファイルの同項目
3	start_unixtime	BIGINT	シーン開始時刻	取込対象ファイルの同項目
4	end_unixtime	BIGINT	シーン終了時刻	取込対象ファイルの同項目
5	object_id	INT	オブジェクト ID	取込対象ファイルの同項目
6	other_action	VARCHAR（20）	他車行動	取込対象ファイルの同項目
7	self_action	VARCHAR	自車行動	取込対象ファイルの同

		（20）		項目
8	road_shape_high_quality	VARCHAR（10）	道路形状	取込対象ファイルの同項目
9	classify_path	VARCHAR（1000）	シーン抽出結果のファイルパス	取込対象ファイルの同項目
10	input_version	VARCHAR（1000）	マップマッチング結果の version	取込対象ファイルの同項目
11	process_version	VARCHAR（1000）	シーン抽出ツールの version	取込対象ファイルの同項目
12	min_pseudo_curve	DOUBLE PRECISION	道路曲率最小値	取込対象ファイルの同項目
13	max_pseudo_curve	DOUBLE PRECISION	道路曲率最大値	取込対象ファイルの同項目
14	mean_pseudo_curve	DOUBLE PRECISION	道路曲率平均値	取込対象ファイルの同項目
15	init_pseudo_curve	DOUBLE PRECISION	道路曲率初期値	取込対象ファイルの同項目
16	end_pseudo_curve	DOUBLE PRECISION	道路曲率終了値	取込対象ファイルの同項目
17	mode_object_type	INT	交通参加者	取込対象ファイルの同項目
18	create_at	TIMESTAMP	データ登録日	データ登録時のみシステム時刻を登録
19	update_at	TIMESTAMP	データ更新日	データ登録／更新時にシステム時刻を登録

表 3.3.1.7-46　シーン抽出ツールモデルの項目

#	項目名	データ型（桁数）	内容	データ取得元
1	tool_version	VARCHAR（1000）	シーン抽出ツールの version	取込対象ファイルの process_version
2	create_at	TIMESTAMP	データ登録日	データ登録時のみシステム時刻を登録
3	update_at	TIMESTAMP	データ更新日	データ登録／更新時にシステム時刻を登録

f)　交通流分布作成

交通流分布作成は、実交通流データの数値データを分析し、交通流シナリオの各シナリオ単位にシナリオを特定するためのパラメータおよびパラメータの値がとりうる値の範囲を導出する。交通流分布作成のためには各シナリオのパラメータをリスト化したパラメータリストが必要になる。このパラメータリストとは、例えば、本線車道、自車車線維持、他車 cut-in シナリオの場合、パラメータとなる自車速度 Ve、他車速度 Vo（相対速度 Vo－Ve）、車間距離 dx0、他車横速度 Vy の 4 つのパラメータをリスト化したもので、表 3.3.1.7-47 のようなものである。

表 3.3.1.7-47　パラメータリスト（例）

#	自車速度 Ve [km/h]	他車速度 Vo [km/h]	車間距離 dx0 [m]	他車横速度 Vy [m/s]
1	84.3	72.1	37.0	1.24
2	58.7	54.3	37.0	0.91
3	19.0	12.0	14.8	0.80
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

このパラメータリスト作成フローを図 3.3.1.7-38 に示す。図 3.3.1.7-38 に示すとおり、入力は前段プロセスの物標認識（点群および画像）、マップマッチング、およびシーン抽出のエビデンスデータを用い、シーンの目視確認、時系列データ切り出し処理、パラメータ化処理の 3 つの処理を経て、パラメータリストが出力される。

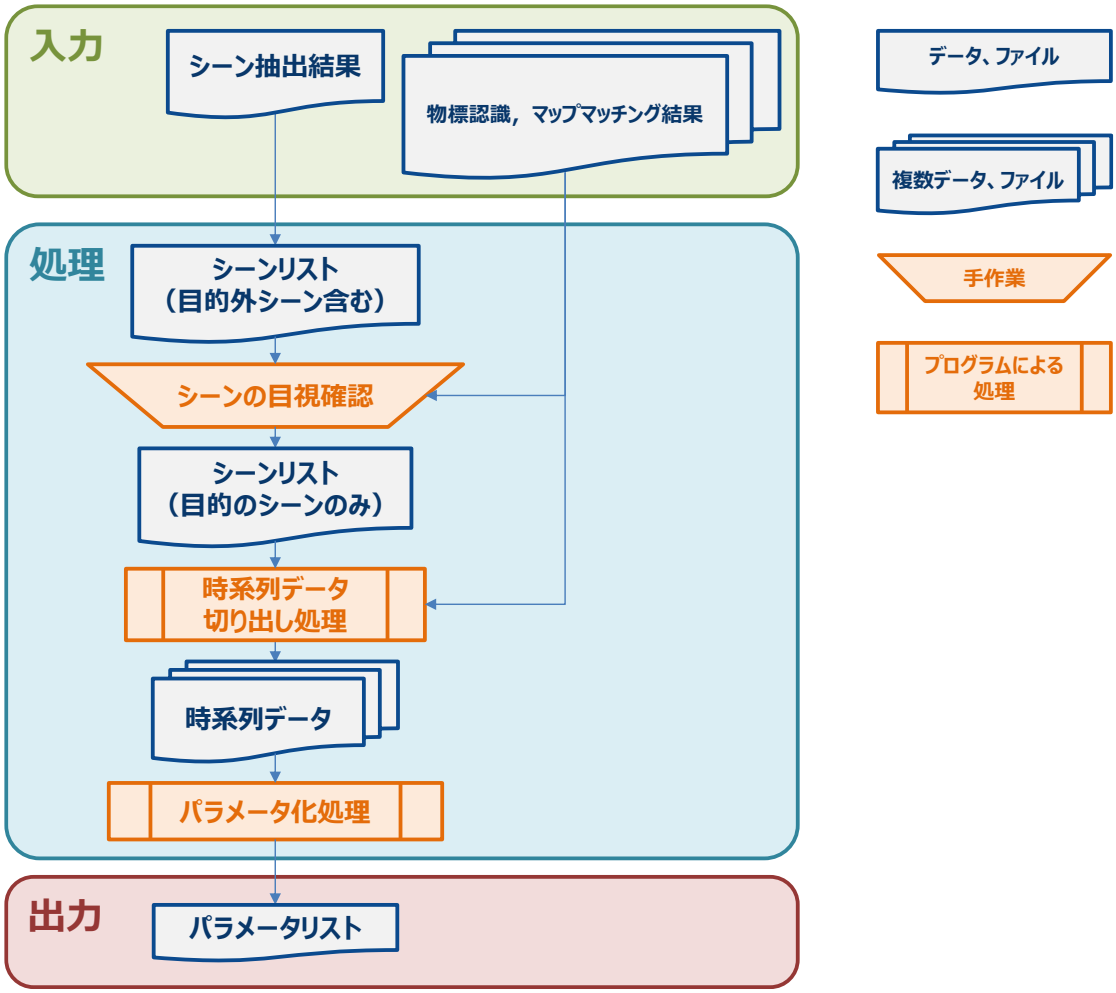


図 3.3.1.7-38　パラメータリスト作成フロー

交通流分布作成プロセスのエビデンスデータである時系列データまたはパラメータリストから、トレーサビリティデータを生成し、トレーサビリティデータモデルへデータを登録する方法を説明する。

①　トレーサビリティデータ出力

i)　概要設計

本機能の処理フローを図 3.3.1.7-39 に示す。トレーサビリティデータ出力のプログラムに対し、時系列データ等の情報を実行時パラメータとして与え、トレーサビリティデータを CSV 形式ファイルで出力する。

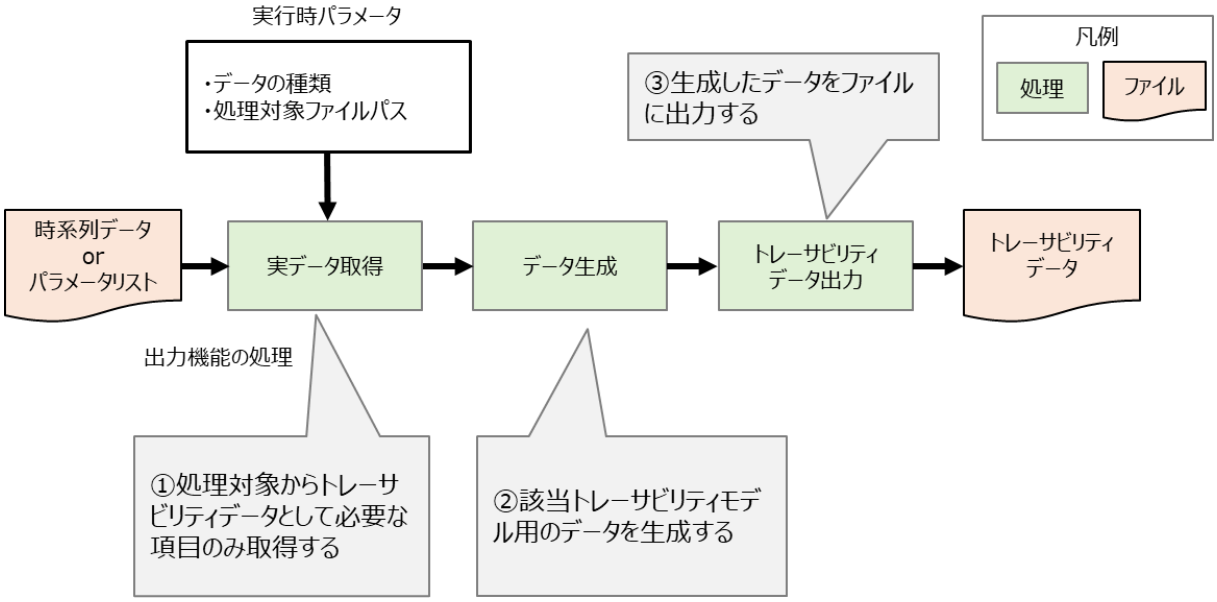


図 3.3.1.7-39　トレーサビリティデータ出力機能の処理フロー

処理フローに記載の各処理内容について説明する。

処理①：実データ取得

時系列データまたはパラメータリストのファイルを読み込み、各トレーサビリティデータに必要な項目を取得する。

処理②：データ生成

処理①で取得した情報を、出力ファイルの形式（データ構造、データ型）の仕様に合わせて加工や、エビデンスデータの格納先パス情報などを導出する。

処理③：トレーサビリティデータ出力

生成したトレーサビリティデータをファイルに出力する。

【補足】

※プログラムの実行時パラメータ詳細は、iii）プログラムの実行方法に記載する。

※出力ファイルの詳細は、iv）出力ファイル仕様に記載する。

※処理途中でエラーが発生した場合は処理を中断し、ファイルは出力しない。

ii）　動作環境

本機能は表 3.3.1.6-1 で示した「端末②トレーサビリティデータ出力有」または「アプリケーションサーバ」で動作する。それぞれのスペックについては、3.3.1.6 システム仕様の（1）インフラストラクチャー、および（2）ソフトウェア仕様に記載している。本機能実現のために導入した Python のモジュールおよび、開発時点でのバージョンを表 3.3.1.7-48 に示す。

表 3.3.1.7-48　導入した Python モジュール

#	モジュール名	開発時点のバージョン
1	numpy	1.23.3
2	pandas	1.5.0
3	psyconpg2	2.9.4
4	python-dateutil	2.8.2
5	pytz	2022.4
6	six	1.16.0
7	PyYAML	6.0

iii)　プログラムの実行方法

本機能を実行するプログラムは、アプリケーションコンテナ上に図 3.3.1.7-40 のディレクトリ構成で配置する。

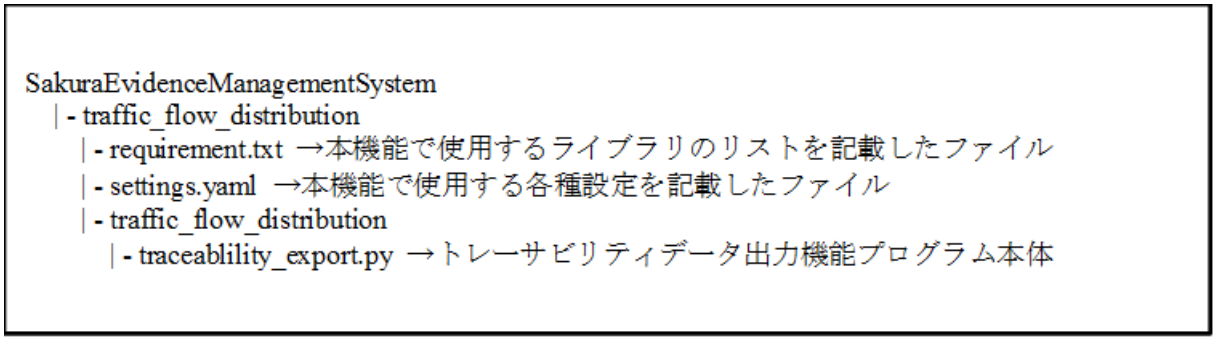


図 3.3.1.7-40　トレーサビリティデータ出力プログラムファイルとディレクトリ構成

プログラム本体である traceability_export.py はコマンドライン形式のプログラムである。プログラムの実行方法および実行時パラメータを表 3.3.1.7-49 に示す。

```
python3 ./traffic_flow_distribution/traceability_export.py
 --mode <no>
 --input <file path>
```

表 3.3.1.7-49　プログラムの実行方法および実行時パラメータ

#	実行時パラメータ	必須	デフォルト値	内容
1	--mode	○	-	0：時系列データを処理 1：パラメータリストを処理
2	--input	○	-	処理対象の時系列データまたはパラメータリストファイルのパス

具体的なプログラムの実行例を図 3.3.1.7-41 に示す。

```
cd ./SakuraEvidenceManagementSystem/traffic_flow_distribution

# 時系列データからトレーサビリティデータを出漁する
python3 ./traffic_flow_distribution/traceability_export.py --mode 0 –input
00001_20201214_141101_000_car2_1607926429000_7800_02724.csv

# パラメータリストからトレーサビリティデータを出漁する
python3 ./traffic_flow_distribution/traceability_export.py --mode 1 --input
OutputEvidence_1674527660.csv
```

図 3.3.1.7-41　シーン抽出トレーサビリティデータ出力実行例

iv)　出力ファイル仕様

時系列データから生成したファイルは表 3.3.1.7-50 に示す情報を、パラメータリストから生成したファイルは表 3.3.1.7-51 に示す情報を CSV 形式のファイルに出力する。出力するファイルのファイル名は、以下の命名規則により決定する。

traceability_<mode>_<time>.csv

<mode>：時系列データは「TimeHistory」、パラメータリストは「ParameterList」

<time>　：処理時刻（UnixTime 形式）

表 3.3.1.7-50　出力ファイル仕様（時系列データ）

#	項目名	データ型	内容	データ取得元
1	no	数値	時系列データを切り出した順番	-
2	op_id	文字列	運行 ID	時系列データのファイル名
3	starttime	数値	シーン開始時刻	時系列データのファイル名
4	endtime	数値	シーン終了時刻	時系列データのファイル名
5	obj_id	数値	オブジェクト ID	時系列データのファイル名
6	ego_behavior	文字列	自車行動	時系列データの同項目
7	other_behavior	文字列	他車行動	時系列データの同項目
8	road_geometry	文字列	道路形状	時系列データの同項目

9	input_ver	文字列	input_version	時系列データの同項目
10	process_ver	文字列	process_version	時系列データの output_ver
11	output_ver	文字列	output_version	時系列データの同項目
12	csv_file	文字列	時系列データファイルパス	時系列データの同項目

表 3.3.1.7-51　出力ファイル仕様（パラメータリスト）

#	項目名	データ型	内容	データ取得元
1	parameter_list_id	文字列	パラメータリスト ID	
2	no	数値	時系列データを切り出した順番	-
3	op_id	文字列	運行 ID	時系列データのファイル名
4	start_unixtime	数値	シーン開始時刻 13	時系列データのファイル名
5	end_unixtime	数値	シーン終了時刻 13	時系列データのファイル名
6	obj_id	数値	オブジェクト ID	時系列データのファイル名
7	ego_behavior	文字列	自車行動	パラメータリストの同項目
8	other_behavior	文字列	他車行動	パラメータリストの同項目
9	road_geometry	文字列	道路形状	パラメータリストの同項目
10	input_ver	文字列	input_version	パラメータリストの同項目
11	process_ver	文字列	process_version	パラメータリストの同項目
12	output_ver	文字列	output_version	パラメータリストの同項目
13	start_date	数値	シーン開始日付（検索用）	start_unixtime から日付を YYYY/MM/DD 形式に変換

14	start_time	数値	シーン開始時刻（検索用）	start_unixtime から時刻を HH:MM:SS 形式に変換
15	end_date	数値	シーン終了日付（検索用）	end_unixtime から日付を YYYY/MM/DD 形式に変換
16	end_time	数値	シーン終了時刻（検索用）	end_unixtime から時刻を HH:MM:SS 形式に変換

② トレーサビリティデータ取込

i) 設計概要

本機能の処理フローを図 3.3.1.7-42 に示す。トレーサビリティデータ取込のプログラムに対し、トレーサビリティデータ出力で得た出力ファイル等の情報を実行時パラメータとして与え、トレーサビリティデータをトレーサビリティデータモデルへ登録する。

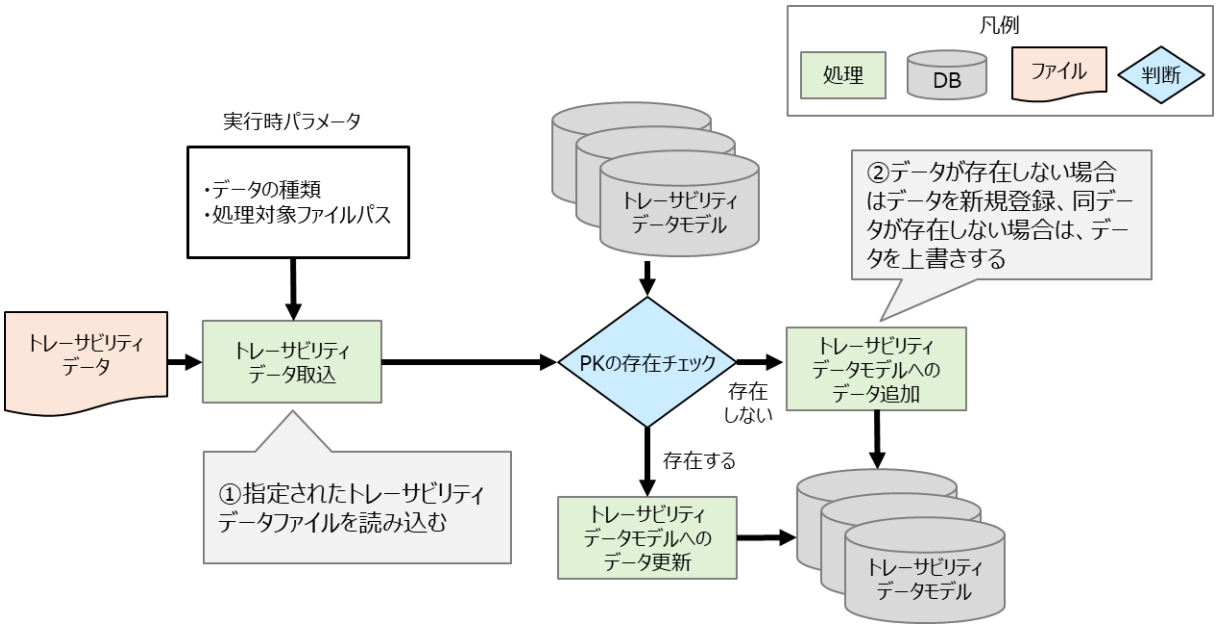


図 3.3.1.7-42 トレーサビリティデータ取込機能の処理フロー

処理フローに記載の各処理内容について説明する。

処理①：トレーサビリティデータ取込

トレーサビリティデータファイルからデータを取得する

処理②：トレーサビリティデータモデルへのデータ追加／更新

トレーサビリティデータの情報から、更新対象モデルの情報を取得し、モデルへデータを登録する。各モデルには、既にデータが登録されている場合があるため、データの有無を確認の上、以下のとおり実施内容を判断する。

存在する　　：既存のデータを今回取得したデータで上書きする。
存在しない　：モデルにデータを追加する。

【補足】
※プログラムの実行時パラメータ詳細は、iii）　プログラムの実行方法参照。
※更新対象のデータモデルの詳細は、iv）　データモデル仕様参照。

ii）　動作環境

本機能は表 3.3.1.6-1 で示した「アプリケーションサーバ」で動作する。スペックについては、3.3.1.6 システム仕様の（1）インフラストラクチャーおよび（2）ソフトウェア仕様に記載している。本機能実現のために導入した Python のモジュールおよび、開発時点でのバージョンを表 3.3.1.7-52 に示す。

表 3.3.1.7-52　導入した Python モジュール

#	モジュール名	開発時点のバージョン
1	numpy	1.23.3
2	pandas	1.5.0
3	psyconpg2	2.9.4
4	python-dateutil	2.8.2
5	pytz	2022.4
6	six	1.16.0
7	PyYAML	6.0

iii）　プログラムの実行方法

本機能を実行するプログラムは、アプリケーションコンテナ上に図 3.3.1.7-43 のディレクトリ構成で配置する。

```
SakuraEvidenceManagementSystem
  | - traffic_flow_distribution
    | - requirement.txt →本機能で使用するライブラリのリストを記載したファイル
    | - settings.yaml →本機能で使用する各種設定を記載したファイル
    | - traffic_flow_distribution
      | - traceablility_import.py →トレーサビリティデータ取込機能プログラム本体
```

図 3.3.1.7-43　トレーサビリティデータ取込プログラムファイルとディレクトリ構成

プログラム本体である traceability_import.py はコマンドライン形式のプログラムである。プログラムの実行方法および実行時パラメータを表 3.3.1.7-53、設定ファイル settings.yaml の設定情報を表 3.3.1.7-54 に示す。

```
python3 ./traffic_flow_distribution/traceability_import.py
 --mode <no>
 --input <file path>
```

表 3.3.1.7-53　プログラムの実行方法および実行時パラメータ

#	実行時パラメータ	必須	デフォルト値	内容
1	--mode	○	-	0：時系列データを処理 1：パラメータリストを処理
2	--input	○	-	取込対象のトレーサビリティデータファイルのパス

表 3.3.1.7-54　--setting_file_path に指定する設定情報

#	セクション	項目	内容
1	db	dbname	接続先データベース名
2		user	データベース接続に使用するユーザ ID
3		password	データベース接続に使用するパスワード
4		host	データベースサーバのアドレス
5		port	データベースサーバの通信ポート番号
6		target_table_name	シーン抽出結果モデルの物理名
7		column_name_list	シーン抽出結果モデルの項目一覧

具体的なプログラムの実行例を図 3.3.1.7-44 に示す。

```
cd ./SakuraEvidenceManagementSystem/traffic_flow_distribution

# 時系列データからトレーサビリティデータを出漁する
python3 ./traffic_flow_distribution/traceability_import.py --mode 0 --input
traceability_ParameterList_1674543619.csv

# パラメータリストからトレーサビリティデータを出漁する
python3 ./traffic_flow_distribution/traceability_import.py --mode 1 --input
traceability_ParameterList_1674543619.csv
```

図 3.3.1.7-44　シーン抽出トレーサビリティデータ取込実行例

iv)　データモデル仕様

シーン抽出のトレーサビリティデータ取込が登録するトレーサビリティデータモデルのモデル図を図 3.3.1.7-45 に、モデルの項目情報を表 3.3.1.7-55～59 に示す。

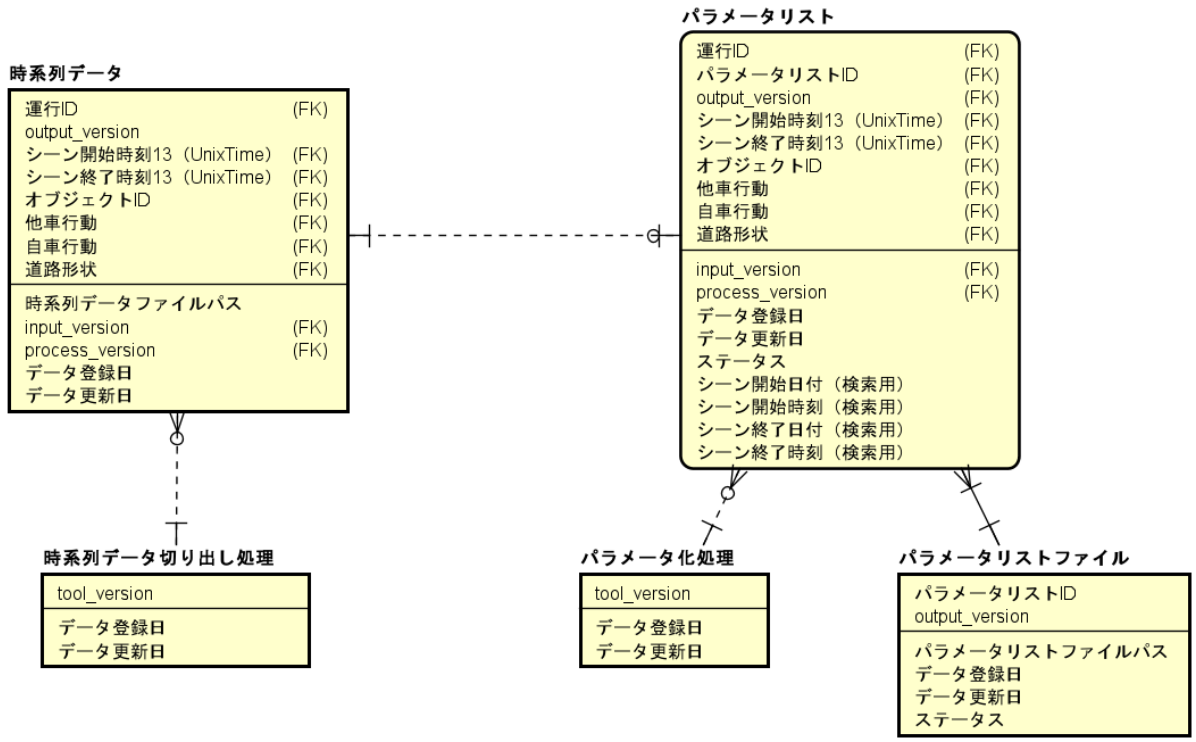


図 3.3.1.7-45　トレーサビリティデータ取込（交通流分布作成）が登録するモデル

表 3.3.1.7-55　パラメータリストモデルの項目

#	項目名	データ型（桁数）	内容	データ取得元
1	operation_id	VARCHAR（40）	運行 ID	取込対象ファイル（パラメータリスト）の同項目
2	parameter_list_id	VARCHAR（100）	パラメータリスト ID	取込対象ファイル（パラメータリスト）の同項目
3	output_version	VARCHAR（1000）	output_version	取込対象ファイル（パラメータリスト）の同項目
4	start_unixtime	BIGINT	シーン開始時刻 13（UnixTime）	取込対象ファイル（パラメータリスト）の同項目
5	end_unixtime	BIGINT	シーン終了時刻 13（UnixTime）	取込対象ファイル（パラメータリスト）の同項目
6	object_id	INT	オブジェクト ID	取込対象ファイル（パラメータリスト）の同項目
7	other_action	VARCHAR（20）	他車行動	取込対象ファイル（パラメータリスト）の同項目
8	self_action	VARCHAR（20）	自車行動	取込対象ファイル（パラメータリスト）の同項目
9	road_shape_high_quality	VARCHAR（10）	道路形状	取込対象ファイル（パラメータリスト）の同項目
10	input_version	VARCHAR（1000）	input_version	取込対象ファイル（パラメータリスト）の同項目
11	process_version	VARCHAR（1000）	process_version	取込対象ファイル（パラメータリスト）の同項目
12	create_at	TIMESTAMP	データ登録日	データ登録時のみシステム時刻を登録
13	update_at	TIMESTAMP	データ更新日	データ登録／更新時に

				システム時刻を登録
14	start_date	DATE	シーン開始日付（検索用）	取込対象ファイル（パラメータリスト）の同項目
15	start_time	TIME	シーン開始時刻（検索用）	取込対象ファイル（パラメータリスト）の同項目
16	end_date	DATE	シーン終了日付（検索用）	取込対象ファイル（パラメータリスト）の同項目
17	end_time	TIME	シーン終了時刻（検索用）	取込対象ファイル（パラメータリスト）の同項目

表 3.3.1.7-56　パラメータリストファイルモデルの項目

#	項目名	データ型（桁数）	内容	データ取得元
1	parameter_list_id	VARCHAR（100）	パラメータリスト ID	取込対象ファイル（パラメータリスト）の同項目
2	output_version	VARCHAR（1000）	output_version	取込対象ファイル（パラメータリスト）の同項目
3	parameter_list_path	VARCHAR（1000）	パラメータリストファイルパス	パラメータリスト ID、output_version を用いて導出。
4	create_at	TIMESTAMP	データ登録日	データ登録時のみシステム時刻を登録
5	update_at	TIMESTAMP	データ更新日	データ登録／更新時にシステム時刻を登録

表 3.3.1.7-57　パラメータ化処理モデルの項目

#	項目名	データ型（桁数）	内容	データ取得元
1	tool_version	VARCHAR（1000）	パラメータ化処理の version	取込対象ファイル（パラメータリスト）の process_version
2	create_at	TIMESTAMP	データ登録日	データ登録時のみシステム時刻を登録
3	update_at	TIMESTAMP	データ更新日	データ登録／更新時にシステム時刻を登録

表 3.3.1.7-58　時系列データモデルの項目

#	項目名	データ型（桁数）	内容	データ取得元
1	operation_id	VARCHAR（40）	運行 ID	取込対象ファイル（時系列データ）の同項目
2	parameter_list_id	VARCHAR（100）	パラメータリスト ID	取込対象ファイル（時系列データ）の同項目
3	output_version	VARCHAR（1000）	output_version	取込対象ファイル（時系列データ）の同項目
4	start_unixtime	BIGINT	シーン開始時刻 13	取込対象ファイル（時系列データ）の同項目

			（UnixTime）	
5	end_unixtime	BIGINT	シーン終了時刻 13（UnixTime）	取込対象ファイル（時系列データ）の同項目
6	object_id	INT	オブジェクト ID	取込対象ファイル（時系列データ）の同項目
7	other_action	VARCHAR（20）	他車行動	取込対象ファイル（時系列データ）の同項目
8	self_action	VARCHAR（20）	自車行動	取込対象ファイル（時系列データ）の同項目
9	road_shape_high_quality	VARCHAR（10）	道路形状	取込対象ファイル（時系列データ）の同項目
10	time_series_data_path	VARCHAR（1000）	時系列データファイルパス	運行 ID、output_version、時系列データファイルパスを用いて導出。
11	input_version	VARCHAR（1000）	input_version	取込対象ファイル（時系列データ）の同項目
12	process_version	VARCHAR（1000）	process_version	取込対象ファイル（時系列データ）の同項目
13	create_at	TIMESTAMP	データ登録日	データ登録時のみシステム時刻を登録
14	update_at	TIMESTAMP	データ更新日	データ登録／更新時にシステム時刻を登録

表 3.3.1.7-59　時系列データ切り出し処理モデルの項目

#	項目名	データ型（桁数）	内容	データ取得元
1	tool_version	VARCHAR（1000）	パラメータ化処理の version	取込対象ファイル（時系列データ）の process_version
2	create_at	TIMESTAMP	データ登録日	データ登録時のみシステム時刻を登録
3	update_at	TIMESTAMP	データ更新日	データ登録／更新時にシステム時刻を登録

（2）　エビデンス情報出力

a）　概要設計

本機能の処理フローを図 3.3.1.7-46 に示す。エビデンス情報出力のプログラムに対し、パラメータリスト ID などの情報を実行時パラメータとして与え、条件に該当するトレーサビリティデータモデルの情報を取得し、JSON 形式のファイルに出力する。本機能の対象となるデータモデルは、3.3.1.6 システム仕様の（3）データモデルに記載の全てのモデルを対象にする。

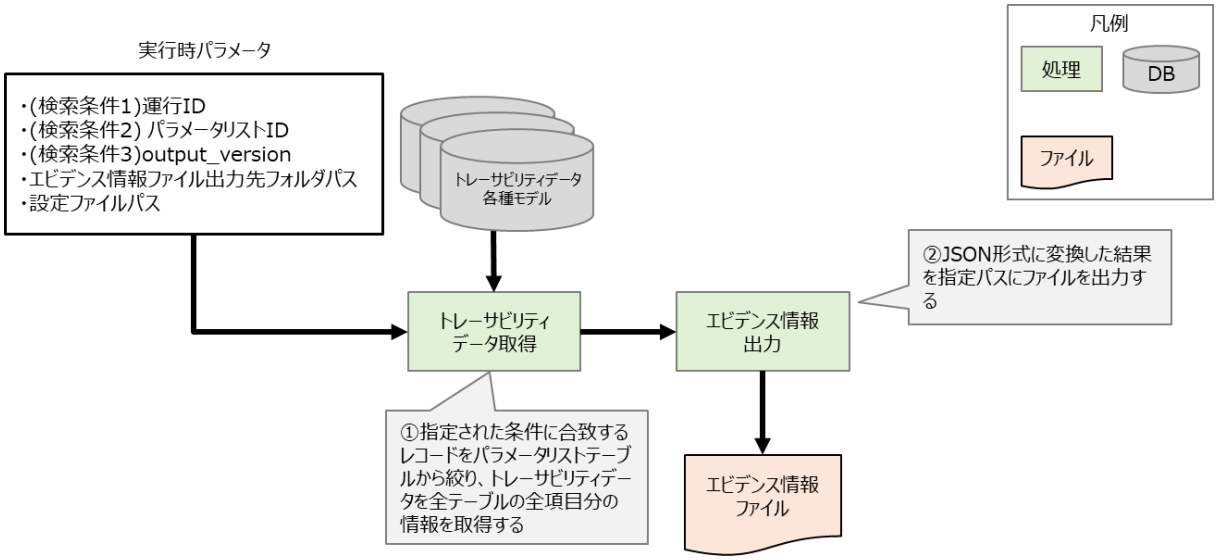


図 3.3.1.7-46　エビデンス情報出力機能の処理フロー

処理フローに記載の各処理内容について説明する。

処理①：トレーサビリティデータ取得

トレーサビリティデータ取込にて登録したトレーサビリティデータモデルの全テーブルのデータの中から、実行時パラメータで指定された検索条件に一致するデ

ータを抽出する。

処理②：エビデンス情報出力

抽出したデータをモデルの関連性を構造化した JSON 形式に加工し、対象モデル全項目の値を格納したファイル（以下、「エビデンス情報ファイル」という）を出力する。出力結果に運行 ID の異なるデータが含まれる場合、エビデンス情報ファイルは運行 ID 毎に分割する。

【補足】

※プログラムの実行時パラメータ詳細は、c)プログラムの実行方法参照。

※出力ファイルの詳細は、d)出力ファイル仕様参照。

※処理途中でエラーが発生した場合は処理を中断し、ファイルは出力しない。

b)　動作環境

本機能は表 3.3.1.6-1 で示した「アプリケーションサーバ」で動作する。スペックについては、3.3.1.6 システム仕様の（1）インフラストラクチャー、および（2）ソフトウェア仕様を参照。本機能実現のために導入した Python のモジュールおよび、開発時点でのバージョンを表 3.3.1.7-60 に示す。

表 3.3.1.7-60　導入した Python モジュール

#	モジュール名	開発時点のバージョン
2	pandas	1.5.3
3	psyconpg2-binary	2.9.5
4	pysmb	1.2.9.1
5	PyYAML	6.0

c)　プログラムの実行方法

本機能を実行するプログラムは、アプリケーションコンテナ上に図 3.3.1.7-47 のディレクトリ構成で配置する。

```
SakuraEvidenceManagementSystem
  | - evidence_export
    | - requirement.txt →本機能で使用するライブラリのリストを記載したファイル
    | - settings.yaml →本機能で使用する各種設定を記載したファイル
    | - evidence_export
      | - evidence_export.py →エビデンス情報出力機能プログラム本体
```

図 3.3.1.7-47　エビデンス情報出力プログラムファイルとディレクトリ構成

プログラム本体である evidence_export.py はコマンドライン形式のプログラムである。プログラムの実行方法および実行時パラメータを表 3.3.1.7-61、-- setting_file_path に指定する設定ファイルの内容を表 3.3.1.7-62 に示す。

```
python3 ./evidence_export/evidence_export.py
--operation_id <id>
--parameter_list_id <id>
--output_version <version>
--output_folder_path <folder path>
--setting_file_path <file path>
```

表 3.3.1.7-61　プログラムの実行方法および実行時パラメータ

#	実行時パラメータ	必須	デフォルト値	内容
1	--operation_id		-	パラメータリストモデルの検索条件として用いる運行 ID を一つ指定する
2	--parameter_list_id		-	パラメータリストモデルの検索条件として用いるパラメータリスト ID を一つ指定する
3	--output_version		-	パラメータリストモデルの検索条件として用いる output_version を一つ指定する
4	--output_folder_path		プログラム実行ディレクトリ	出力先ディレクトリのパスを指定する
5	--setting_file_path		settings.yaml	設定ファイルのパスを指定する

表 3.3.1.7-62　--setting_file_path に指定する設定情報

#	セクション	項目	内容
1	db	dbname	接続先データベース名
2		user	データベース接続に使用するユーザ ID
3		password	データベース接続に使用するパスワード
4		host	データベースサーバのアドレス
5		port	データベースサーバの通信ポート番号

具体的なプログラムの実行例を図 3.3.1.7-48 に示す。

```
cd ./SakuraEvidenceManagementSystem/evidence_export
python3 ./evidence_export/evidence_export.py
--operation_id ikebukuro_b_20190806_081100_367_00001 --parameter_list_id plid_001
--output_version o001 --output_folder_path ./output_data
--setting_file_path ./settings.yaml
```

図 3.3.1.7-48 シーン抽出トレーサビリティデータ出力実行例

d)　出力ファイル仕様

プログラムによって出力されるファイルは、以下の命名規則に従ったファイル名で出力する。

<検索結果として取得したデータの運行 ID>.json

エビデンス情報ファイルの内容としては、実行時パラメータにて指定した検索条件に合致するパラメータリストモデルのデータと関連する全モデルのデータを入れ子構造にして出力する。図 3.3.1.7-49 に出力ファイルの構造および出力例を示す。



図 3.3.1.7-49　エビデンス情報ファイルのフォーマットと出力例

エビデンス情報出力が出力するファイルは、データ利用者がエビデンス情報ファイルを参照する際の目次資料としても、トレーサビリティデータのデータモデルを利用できるよう設計した。トレーサビリティデータモデルは、パラメータリストモデルを頂点とした親子構造であるため、データ表現に入れ子構造を採用した。データモデルとエビデンス情報ファイルの出力例の対応図を図 3.3.1.7-50 に示す。

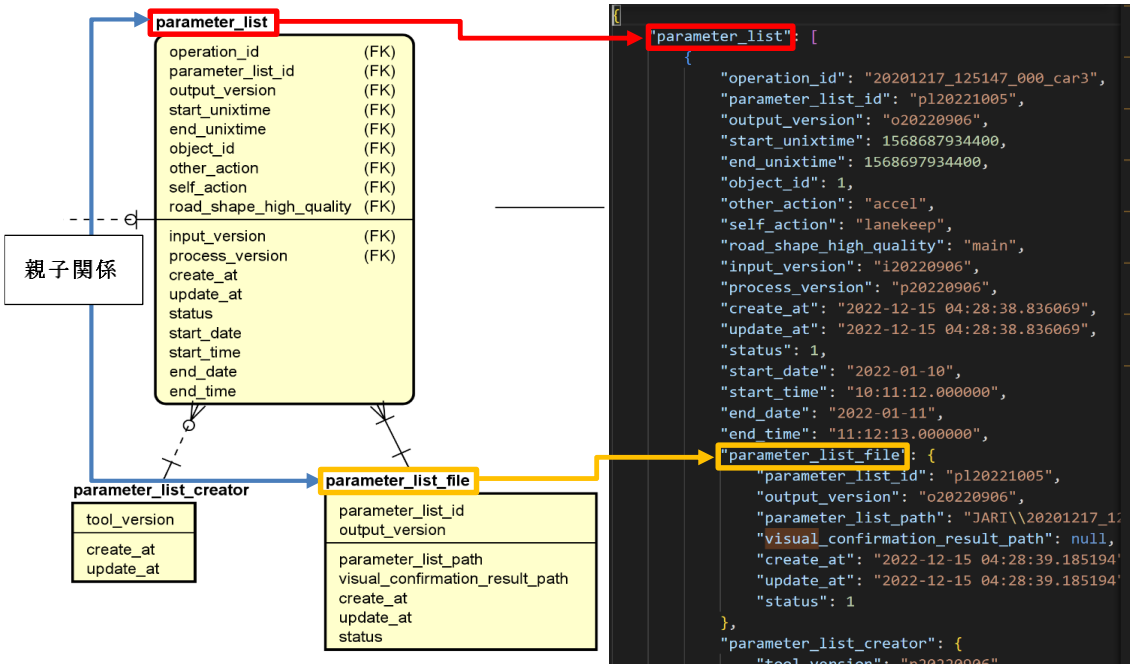


図 3.3.1.7-50　データモデルとエビデンス情報ファイルの出力例の対応図

（3）　エビデンスファイルダウンロード

a）　前提事項

本機能を稼働するには、以下の条件を満たす必要がある。

1. エビデンスデータの格納先は SMB（Server Message Block）プロトコルが有効なファイルサーバに格納されており、プログラム実行端末とネットワークで接続できること。
2. ダウンロード可能なファイルは、トレーサビリティデータモデルの項目で「ファイルパス（RDBMS の物理項目名で末尾が“_path”の項目）」に格納しているファイルであること。

b）　概要設計

本機能の処理フローを図 3.3.1.7-51 に示す。エビデンスファイルダウンロードのプログラムに対し、エビデンス情報ファイル、ダウンロード先ディレクトリパス等の情報を実行時パラメータとして与え、エビデンス情報ファイルに記録されているエビデンスデータのファイルを指定先にダウンロードする。

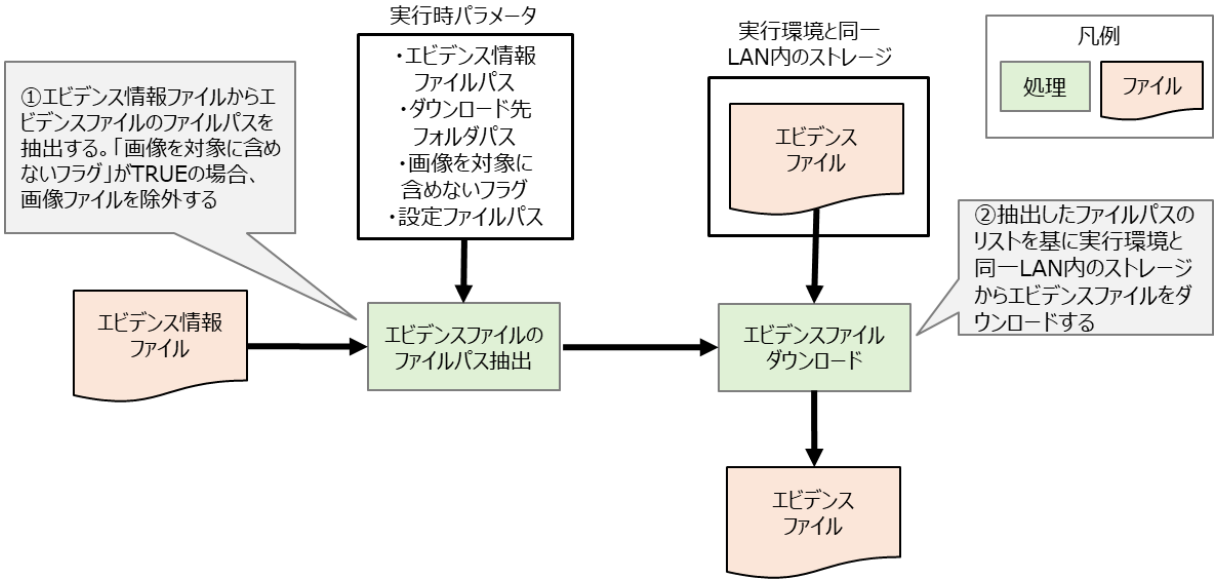


図 3.3.1.7-51　エビデンス情報出力機能の処理フロー

処理フローに記載の各処理内容について説明する。

処理①：エビデンスファイルのファイルパス抽出

エビデンスファイルからファイルパス項目を取得する。得られたファイルパスのストレージを探索／ファイル情報を得て、ダウンロードファイルリストを作成する。

処理②：エビデンスファイルファイルダウンロード

ダウンロードファイルリストのファイルを、SMB プロトコルを用いて実行時パラメータのダウンロードパスに、ダウンロードする。

【補足】

※SMB（Server Message Block）プロトコルとは、ファイル共有のプロトコルの一種である。

※プログラムの実行時パラメータ詳細は、d)プログラムの実行方法参照。

※ダウンロードの途中でエラーが発生した場合は処理を中断する。その際、既にダウンロードが完了したファイルについては、そのままにする仕様となっている。

c)　動作環境

本機能は表 3.3.1.6-1 で示した「アプリケーションサーバ」で動作する。スペックについては、3.3.1.6 システム仕様（1）インフラストラクチャーおよび（2）ソフトウェア仕様を参照。本機能実現のために導入した Python のモジュールおよび、開発時点でのバージョンを表 3.3.1.7-63 に示す。

表 3.3.1.7-63　導入した Python モジュール

#	モジュール名	開発時点のバージョン
2	pandas	1.5.3
3	psyconpg2-binary	2.9.5
4	pysmb	1.2.9.1
5	PyYAML	6.0

d)　プログラムの実行方法

本機能を実行するプログラムは、アプリケーションコンテナ上に図 3.3.1.7-52 のディレクトリ構成で配置する。

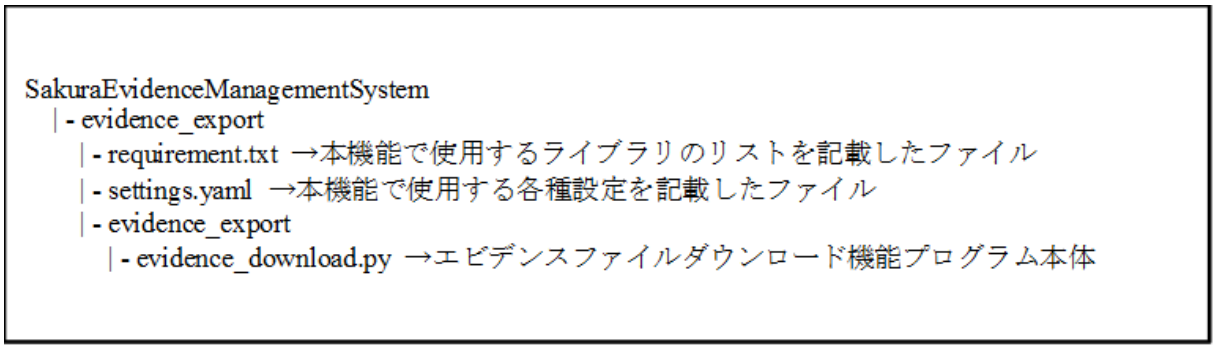


図 3.3.1.7-52　エビデンスファイルダウンロードプログラムファイルとディレクトリ構成

プログラム本体である evidence_download.py はコマンドライン形式のプログラムである。プログラムの実行方法および実行時パラメータを表 3.3.1.7-64、-- setting_file_path に指定する設定ファイルの内容を表 3.3.1.7-65 に示す。

```
python3 ./evidence_export/evidence_download.py
--target_file_path <file path>
--output_folder_path <folder path>
--exclude_image_flag <flag>
--setting_file_path <file path>
```

表 3.3.1.7-64　プログラムの実行方法および実行時パラメータ

#	実行時パラメータ	必須	デフォルト値	内容
1	--target_file_path	○	-	エビデンス情報ファイルのパスを指定する
2	--output_folder_path		プログラム実行ディレクトリ	ダウンロード先ディレクトリのパスを指定する
3	--exclude_image_flag		FALSE（画像を含めない）	画像ファイルのダウンロード要否を指定する ・設定値が TRUE の場合： 画像ファイルはダウンロード対象に含めない ・設定値が FALSE の場合： 画像ファイルはダウンロード対象に含める
4	--setting_file_path		settings.yaml	設定ファイルのパスを指定する

表 3.3.1.7-65　--setting_file_path に指定する設定情報

#	セクション	項目	内容
1	samba	id	ファイルサーバの認証 ID（SMB）
2		password	ファイルサーバの認証パスワード（SMB）
3		net_bios	ファイルサーバの NetBIOS 名
4		ip_address	ファイルサーバのアドレス
5		port	ファイルサーバとの通信ポート番号
6		shared_folder	エビデンスデータ共有ディレクトリ
7	file	image_extensions	画像ファイル拡張子の一覧 ※実行時パラメータ --exclude_image_flag=TRUE が指定された場合、image_extensions に設定の拡張子を持つファイルはダウンロード対象外となる。

e)　出力ファイル仕様

エビデンスファイルダウンロードでダウンロードしたファイルは、実行時パラメータ --output_folder_path で指定したパスに保存される。その際、ダウンロード先のディレクトリ構成は、ダウンロード元のディレクトリ構成を維持した状態でファイルを保存する。

3.3.1.8　評価結果

3.3.1.3 で定めた評価項目毎に、エビデンス管理手法検討の評価結果について述べる。

（1）　トレーサビリティデータ生成方法の確立および自動化の実現可能性

トレーサビリティデータモデル生成方法の確立については、SAKURA データプロセスに定めた「データ収集（計測車両）」「物標認識（点群）」「物標認識（画像）」「マップマッチング」「シーン抽出」「シナリオ分析」それぞれでトレーサビリティデータ出力／取込機能を実装し、各々のプロセスのエビデンスデータから、トレーサビリティデータを生成する機能を実現した。具体的には、Python で作成したコマンドライン方式のプログラムを実行環境で実行し、トレーサビリティデータモデルへデータを蓄積する。これにより、データ生成／登録の具体的な施策の実現および一連の流れを確立した。

自動化については、3.3.1.6 システム仕様に記載したインフラストラクチャー上の制約により、SAKURA データプロセス毎にトレーサビリティデータ出力／取込を実施する必要があるため、完全自動化にまでは至らなかった。しかしながら、インフラストラクチャーの制約に関しては今後の見直しにより十分改善が可能である。例えば、各プロセスの処理状況を監視し、プロセスの実行完了を検知したら後段プロセスの処理を実行する、というプロセスの監視／実行管理の仕組みを構築することは技術的に可能である。ただし、現行の SAKURA データプロセスの処理の中で自動化できていない部分（目視による正誤確認など）があるため、SAKURA データプロセスの処理自体が自動化に向けて見直しが必要と言える。

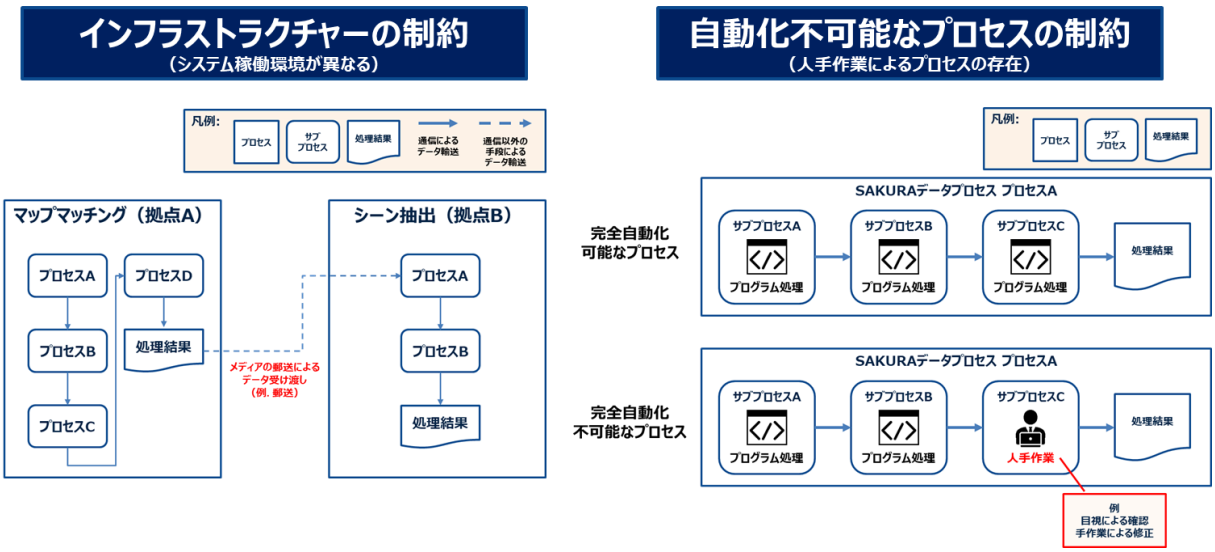


図 3.3.1.8-1　完全自動化を阻害する要因の一例

そのため、完全自動化を実現するためには、インフラストラクチャー、SAKURA データプロセスの運用、両面から対策を講じることが肝要である。いくつかの課題はあるものの、これまで構築した各種システムを拡張することでより自動化されたシステムは実現可能な見通しが得られた。

（2） データ追跡の実現可能性

SAKURA プロジェクトで過去に計測車両で収集したデータ数件からトレーサビリティデータを生成し、エビデンス情報出力機能にて出力したデータを外部向け UI に取り込み、交通流分布からエビデンスデータの追跡可能性を確認した。

外部向け UI にて表示した交通流分布グラフの例を図 3.3.1.8-2、図 3.3.1.8-3 に示す。

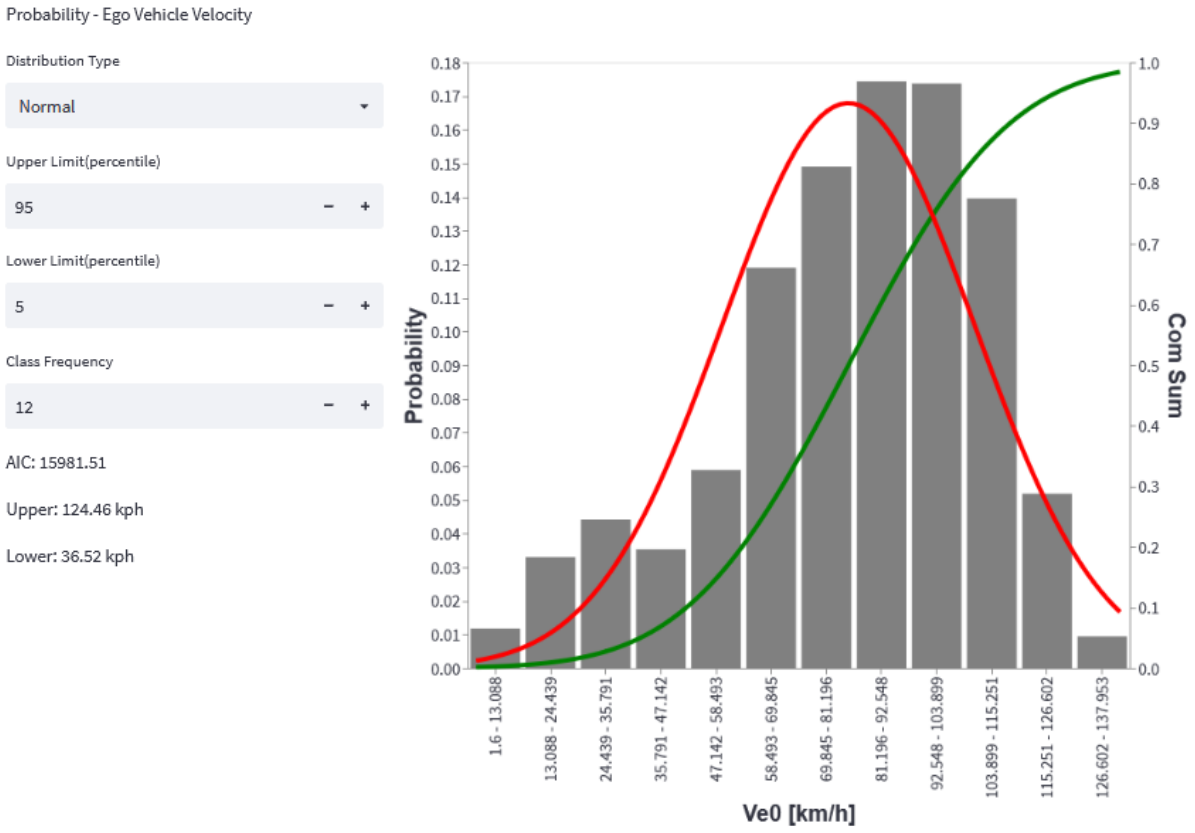


図 3.3.1.8-2　交通流分布グラフ

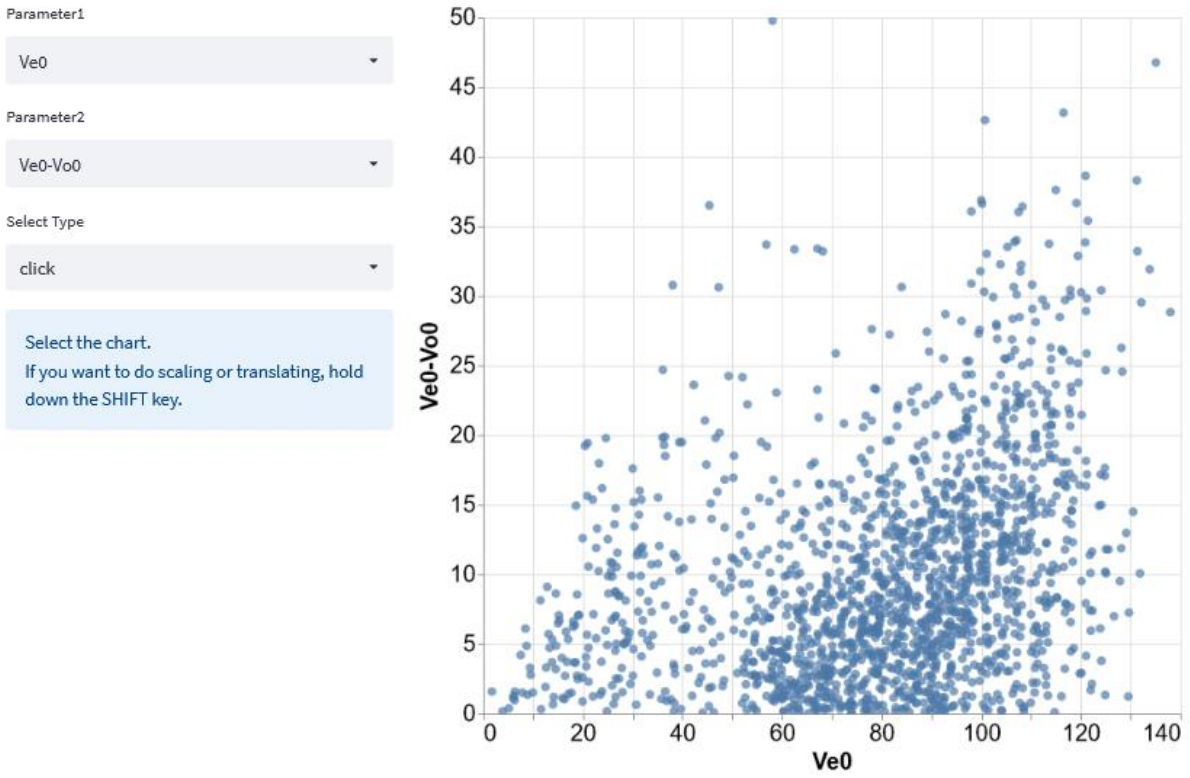


図 3.3.1.8-3　交通流分布グラフ（散布図）

令和 4 年度事業の実装では、散布図の 1 点（パラメータ）から導出元となるエビデンス情報を表形式で表示する機能を検討した。図 3.3.1.8-4 に、エビデンス情報の 1 つであるパラメータリストの表示までの導線と表示結果を示す。同図で示している情報は、3.3.1.6 システム仕様（3）データモデルで示したトレーサビリティデータのモデル「パラメータリスト（parameter_list)」の情報を表示している。



図 3.3.1.8-4　交通流分布グラフ（散布図）からエビデンス情報を表示

データモデルは、パラメータリストからさらに「時系列データ（time_series_data)」「シーン抽出結果（scene_classify_result)」・・・のように追跡できる構造であるため、外部向け UI 上で具体的な可視化を試みた。図 3.3.1.8-5 に外部向け UI 上での操作でパラメータリストからシーン抽出結果まで遡り、トレーサビリティデータを取得する流れを示す。



図 3.3.1.8-5　前段プロセスのエビデンスデータを遡って閲覧

図 3.3.1.8-2～5 に示したように、交通流分布のパラメータからトレーサビリティデータモデルの構造に従い、パラメータリスト、時系列データ、シーン抽出結果までの情報を遡ることができた。令和 3 年度事業では暫定的なデータによる確認にとどまったが、令和 4 年度事業では、SAKURA データプロセスの最新のデータフォーマットを用い、外部向け UI やデータ利用者までを考慮して設計したデータモデルにて、最終的にデータ追跡が可能であることが分かった。また、各情報の中には各プロセスの結果であるエビデンスデータの格納場所が記録されているため、別途実装したエビデンスファイルダウンロード機能を用いることで、トレーサビリティデータ、エビデンスデータの双方を取得可能であることも示される結果となった。

以上の結果から、エビデンス管理システムが「根拠となるデータの追跡」をシステムとして実現していること、また、利用者がエビデンスデータを取得するまでの一連の運用が実現できており、令和 4 年度事業で想定の環境／運用において、データの追跡は実現可能であることが示された。

（3） より詳細な ODD 条件によるデータの取得業務の実現可能性

3.3.1.1 で触れた、「データ検索では交通流シナリオの分析では使用しないが、より詳細な条件による ODD の絞込み」が実現できるよう、トレーサビリティデータモデルには、検索用途として利用可能な項目を検討し、いくつかの項目をモデルに追加した。検討した「より詳細な ODD 条件」に該当する項目のうち、令和 4 年度事業で実現できたものを含め、利用可能となった検索条件を表 3.3.1.8-1 に示す。

表 3.3.1.8-1 令和 4 年度事業にて実現した検索向け ODD 条件

#	業務名	値／選択肢
1	他車行動	cut_in：カットイン cut_out：カットアウト deceleration：減速 acceleration：加速
2	自車行動	lanekeep：車線維持 lanechange：車線変更
3	道路形状	main：本線 merge：合流 branch：分岐 ramp：ランプ
4	データセット	measuring_vehicle： 計測車両 fixed_point：定点観測 driving_behaviour：運転行動 DB
5	計測対象	0：高速道路 1：一般道
6	国情報	0:日本 1:米国 2:中国 3:欧州
7	交通参加者	0: 普通車 1: トラック 2: ２輪車 3: 歩行者 4: 自転車 5: 不明
8	道路曲率最小値	数値
9	道路曲率最大値	数値
10	道路曲率平均値	数値
11	道路曲率初期値	数値

12	道路曲率終了値	数値
13	天気	0:晴れ 1:曇り 2:雨 3:雪

これにより、データ検索／Viewer（内部向け UI）や、外部向け UI、そのトレーサビリティデータモデルの仕組みである RDBMS を扱うさまざまなソフトウェアを用いてデータを絞込めることを確認した。データ検索／Viewer（内部向け UI）を用いたデータ絞り込みを図 3.3.1.8-6 に、ダッシュボードの作成を図 3.3.1.8-7 に示す。



図 3.3.1.8-6　データ検索／Viewer（内部向け UI）を用いてデータを絞り込み
（条件：道路形状＝本線、他車行動＝カットイン／アウト、加速、減速のいずれか）



図 3.3.1.8-7　ダッシュボード作成

この結果、トレーサビリティデータモデルの項目の設計次第で、さまざまかつ柔軟なデータ検索／閲覧の仕組みを構築できる見通しが得られた。

3.3.1.9　まとめ

令和 4 年度事業では、令和 3 年度事業の成果であるトレーサビリティ確保の仕組みを拡張し、SAKURA データプロセスが出力するエビデンスデータの管理までを担うエビデンス管理の仕組みを具体的なシステムに落とし込むことができ、現時点で想定する機能／運用面においても実現可能であることが明らかとなった。また、トレーサビリティデータモデルの拡充とエビデンス管理システムの機能を組み合わせることで、より詳細な条件に該当するシナリオ分析の実現、SAKURA プロジェクトのデータ利活用を希望する利用者が、柔軟に利用できる形で提供可能な見通しが得られた。

また、シナリオベースの考えに則った安全性評価の視点からエビデンス管理手法の検討結果を評価すると、安全性評価の中心的な仕組みであるシナリオ DB において、シナリオ DB が持つ付加価値をさらに高める可能性が示された。エビデンス管理システムは、従来の SAKURA データプロセスに対して横断的に関わる制約の多いシステムでありながら、システムとして柔軟なインターフェースおよび機能でまとめられた汎用性の高いシステムである。その汎用性の高さは、今後シナリオ DB の付加価値を高める施策の実施に寄与すると考えられる。例えば、令和 4 年度事業では計測車両による高速道のデータにとどまったが、定点観測にて計測したデータや一般道のデータなど、他の計測手法や計測データへの拡張、また、品質保証プロセスの評価結果といった異なる切り口のデータとも関連付けるよう拡張ができるよう設計されており、将来、シナリオ DB がより多様な情報を保持することが可能になる。シナリオ DB の付加価値を最大化することに対し、エビデンス管理システムがその一端を担い、実現に向けて大きく寄与すると考えられる。

3.3.2　シナリオ分析用エビデンスの品質保証プロセスの検討

3.3.2.1　品質保証プロセスの検討の目的

自動運転車の機能は進化していくものであり、機能進化に合わせた安全性評価の実施が求められる。さらに、自動運転車などの普及に伴って交通環境が変化する可能性もあり、安全性評価ではシナリオや合理的に予見可能な範囲を実交通流の実態に合わせ継続的に更新していく必要があると考える。しかしながら、合理的に予見可能な範囲の分析には多くの交通流データが必要となっている。そのため、それら交通流データが継続的に増加していくと、人手のみで管理することは困難となる。また、交通流データの継続的な担保に際してステークホルダー（個社や大学など）が所有している既存データ（継続的に収集され、共用の可能性があるもの）を広く活用することが継続的な更新に向けての鍵となると考えるが、品質要件を満たさないデータを分析対象としてしまうと分析結果の合理性・信頼性が損なわれる可能性がある。そこで、合理性・信頼性を担保できるようにデータの品質検査・保証の仕組みを検討し品質保証プロセスを構築した。

3.3.2.2　品質保証プロセスの概要

SAKURA プロジェクトでは実交通流データをシナリオ分析に使用できるデータにするために、計測車両や定点観測により取得した実交通流データから自車および他車の車両軌跡情報を算出し、そこから該当するシナリオを抽出する一連の処理プロセス（以下、「SAKURA 処理プロセス」という）を実行している（図 3.3.2.2-1）。

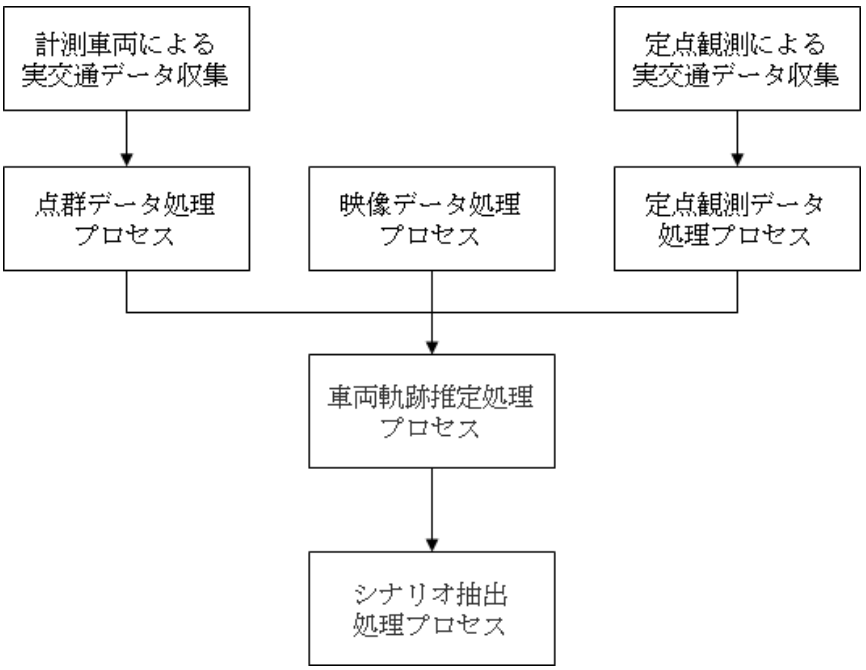


図 3.3.2.2-1　SAKURA 処理プロセス

各処理プロセスでは図 3.3.2.2-2 で示すように 1 つ前の処理プロセスで出力したデータをプロセスに入力し（①）、プロセスを実行し（②）、解析したデータを出力し（③）、次のプロセスに解析データを渡す（④）一連のプロセスを連続的に実行しシナリオ分析に使用できるデータを作成している。

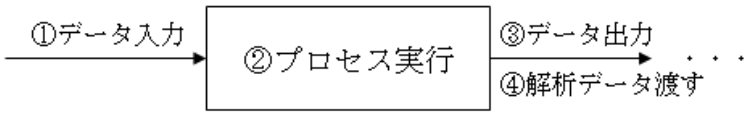


図 3.3.2.2-2 処理プロセスでのフロー

SAKURA 処理プロセスを迅速かつ正確に実行するためには次の処理プロセスに正確なデータを渡さなければならない。一方で、各処理プロセスはそれぞれ処理の実行内容や実行環境が異なるため次の処理プロセスが実行を開始する段階では前処理プロセスで生成したデータが正確なデータかどうかを知ることができないため、自処理プロセスの処理結果に対して信頼性を担保することができなかった。今までは SAKURA 処理プロセスの最終工程およびシナリオ分析工程にて人による目検で信頼性・品質の担保を実施していた。そのため、このような課題を解決するために既に構築済みの SAKURA 処理プロセスに品質保証プロセスを組み込むことでデータに信頼性を機械的に担保できるように次の 2 つの観点で検討した。

・SAKURA 処理プロセスに適合できるような品質保証プロセスを構築する
・各処理プロセスで生成したデータの検査方法を構築する

これらの観点で検討した各処理プロセスでの品質検査プロセスの概要を説明する。

（1） 全体の概要

SAKURA 処理プロセスの処理実行体系を維持したまま品質保証プロセスを組み込むため、図 3.3.2.2-2 で示したフローに解析データを後処理プロセスに渡す前に品質保証プロセス（⑤）を追加した（図 3.3.2.2-3 の赤枠）。



図 3.3.2.2-3 品質保証プロセスの追加

品質保証プロセスでは a）欠損データと b）定義範囲外データを検出するような品質検査を実施した。品質検査は検査基準の定義が記載された c）データコンテンツ仕様書または検査定義書に基づいて解析データの検査を実施し、検査実施後に検査結果が確認できるように d）品質情報タグを記録し、e）品質検査結果レポートを生成して品質保証プロセスが完了する（図 3.3.2.2-4）。

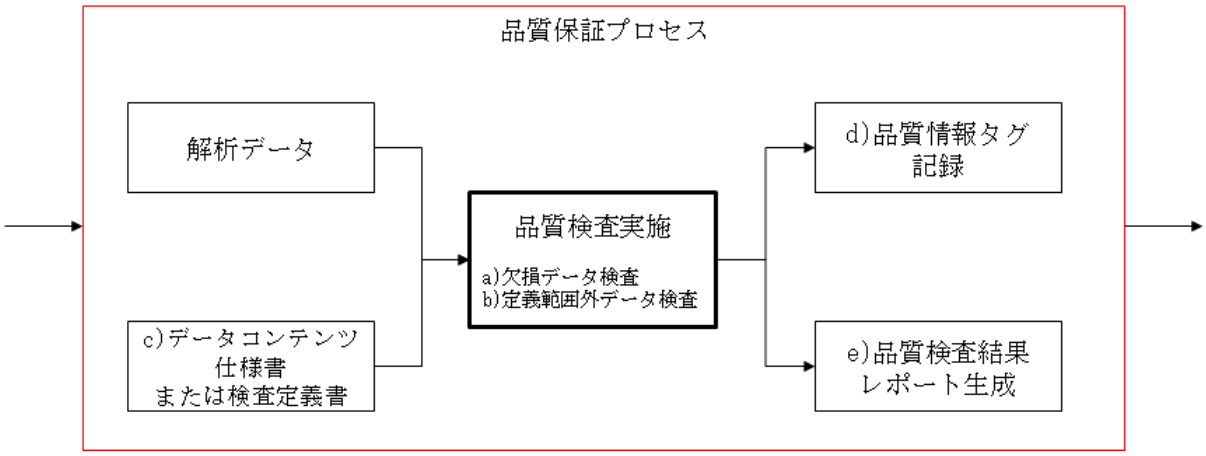


図 3.3.2.2-4 データ品質検査プロセスのフロー

a)　欠損データ

計測車両に搭載しているセンサ機器から計測システムに計測データを伝送する際に物理的な計測センサ類の劣化などや、走行する環境条件によって変化する車両などのあらゆる機器から発信する信号の干渉などから本来であれば記録されるデータが正常に記録されないことがあり、これを欠損データと定義し品質検査の対象とした。例えば図 3.3.2.2-5 では各時刻毎（緑矩形）にデータが記録されているのが正常であるが、赤セル箇所は何も数値が記録されていないため、このような状態を欠損データとした。このようなデータがあるとデータの信頼性の低下の要因となるので品質検査で検出した。

	A	B	C	D	E	F	G
1	1.6E+12	35.031628	137.22618	0	2	35.0316	137.226
2	1.6E+12	35.031628	137.22618	0	2	35.0316	137.226
3	1.6E+12	35.031628	137.22618	0	2	35.0316	137.226
4	1.6E+12	35.031628	137.22618	0		35.0316	137.226
5	1.6E+12	35.031628	137.22618	0	2	35.0316	137.226
6	1.6E+12	35.031628	137.22618	0	2	35.0316	137.226
7	1.6E+12	35.031628	137.22618		1	35.0316	137.226
8	1.6E+12	35.031628	137.22618	0	2	35.0316	137.226
9	1.6E+12	35.031628	137.22618	0	2	35.0316	137.226
10	1.6E+12	35.031628	137.22618	0	2	35.0316	137.226
11							

図 3.3.2.2-5　欠損データの例

b)　定義範囲外データ

解析データにはセンサ機器の製品仕様などでは定義されてない値が出力されないように、あらかじめデータの仕様として値の信号範囲等を定義しておく。例えば図 3.3.2.2-6 の赤枠に示すようにデータの信号範囲を-15.0≦x≦15.0 と定義したにも関わらず出力結果の赤セル箇所のように出力データは 16.76101 となっており、その範囲を超えて出力した値を品質検査によって検出した。



	A	B	C	D	E	H	I
1	1.61E+12	35.0316276	137.226182	0	2	0.759241	0
2	1.61E+12	35.0316276	137.226182	0	2	0.759654	0
3	1.61E+12	35.0316276	137.226182	0	2	0.760158	0
4	1.61E+12	35.0316276	137.226182	0	2	0.76064	0
5	1.61E+12	35.0316276	137.226182	0	2	16.76101	0
6	1.61E+12	35.0316276	137.226182	0	2	0.761169	0
7	1.61E+12	35.0316276	137.226182	0	1	0.76133	0
8	1.61E+12	35.0316276	137.226182	0	2	0.761194	0
9	1.61E+12	35.0316276	137.226182	0	2	0.760966	0
10	1.61E+12	35.0316276	137.226182	0	2	0.760395	0

信号範囲	-15.0[degree]~15.0[degree]
分解能	処理系に依存
データ型	float
更新周期	計測車両:100[msec] 定点観測:16[msec]

図 3.3.2.2-6　定義範囲外データの例

c)　データコンテンツ仕様書または検査定義書

品質検査を実施する際に検査対象となるデータの定義が記載されている（図 3.3.2.2-7)。ここに記載している検査定義と実際の生成データの値を比較して定義に従った値となっているかを判断し、その検査結果を d）品質情報タグに記録する。

	論理列名	検査定義	集計単位
4	交差点合流点フラグ	0,1	summary_copy
5	シーン開始時の自車の緯度	[-90,90]	summary_copy
6	シーン開始時の自車の経度	[-180,180]	summary_copy
7	シーン中の最小道路曲率[1/m]	[-1,0.99999]	summary_copy
8	シーン中の最大道路曲率[1/m]	[-1,0.99999]	summary_copy
9	運行番号	string	summary_datatype
10	検出された他車両のID	numeric	summary_datatype
11	タイムID	numeric	summary_datatype

図 3.3.2.2-7　検査定義書の例

d)　品質情報タグ

c）検査定義書を用いて品質検査した結果の品質情報タグを記録する（図 3.3.2.2-8)。解析データに記録している個々のデータに対応した品質検査結果が記録されており、品質情報タグが記録されたファイル（以下、「品質情報タグファイル」という）を生成する。

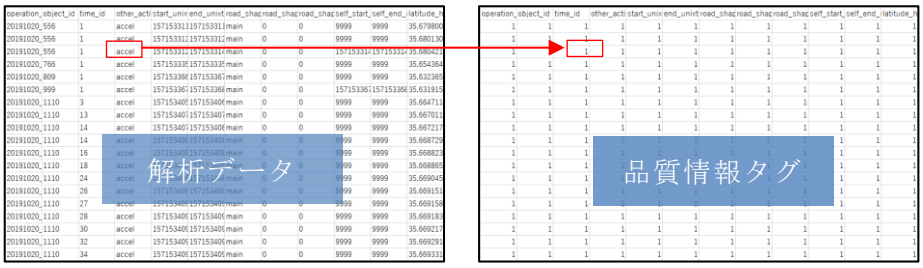


図 3.3.2.2-8　品質情報タグの例

e)　品質検査結果レポート

品質情報タグファイルに記録された検査結果がまとまった情報が記載されている（図 3.3.2.2-9)。このレポートには 1 回のデータ収集走行（エンジン ON から OFF まで）で保存するデータ（以下、「運行データ」という）ごとに解析データの品質検査結果が記録されており、処理プロセスで生成されたデータの信頼性を担保する役割をしている。ここで合格となったものについては安全なデータとして利用または参照できることが保証される。

	B	C
検査運行ID:		PIOLOC_20200730_094729_000_car2
総検査数:		2646762
正常1:検査基準値内のデータ:		2225255
注意1:例外状態の通知:		27523
注意2:システム上で無効と判断したデータ:		224018
注意3:一般的な交通状況で想定される範囲外のデータ:		169966
異常1:定義された信号範囲外のデータ:		0
異常2:欠損データ(空白値):		0
異常3:システム上で定義された形式に適合しないデータ:		0
総合判定:		OK
検査実施日:		2023年01月12日 19:20:46
検査ツールver:		品証Apl V1.00
仕様書ver:		提供コンテンツ仕様書_Ver1.08

図 3.3.2.2-9　品質検査結果レポートの例

a）～e）を品質保証プロセスの構築で必要な基本要素として定義し、各処理プロセスに品質保証プロセスとして組み込んだ。

（2）　点群データ処理プロセス

品質検査を含む点群データ処理プロセスは図 3.3.2.2-10 に示すようなフローで実施される。図 3.3.2.2-10 の矩形はデータ/ファイルを表し、角丸は処理を表す。データの場合、該当データの形式（拡張子）を併記しており、処理の場合には、処理に利用するプログラミング言語などを併記している。網掛け（黄色）となっている項目については品質検査の実施にあたって追加された項目である。点群データ処理プロセスでは、計測車両により収集されたデータを入力とし、データ送付仕様書に沿った形式で点群データ処理結果を出力する。その後品質検査が実行され、品質情報タグファイルおよび品質検査結果レポートが出力される。検査では、軌跡解析結果を入力とし、データ送付仕様書や交通法規などから定義された品質検査用の検査仕様書に沿って検査を実施し、定義範囲外のデータや客観的に判断して不適合なデータが軌跡解析結果に含まれていないかを確認した。

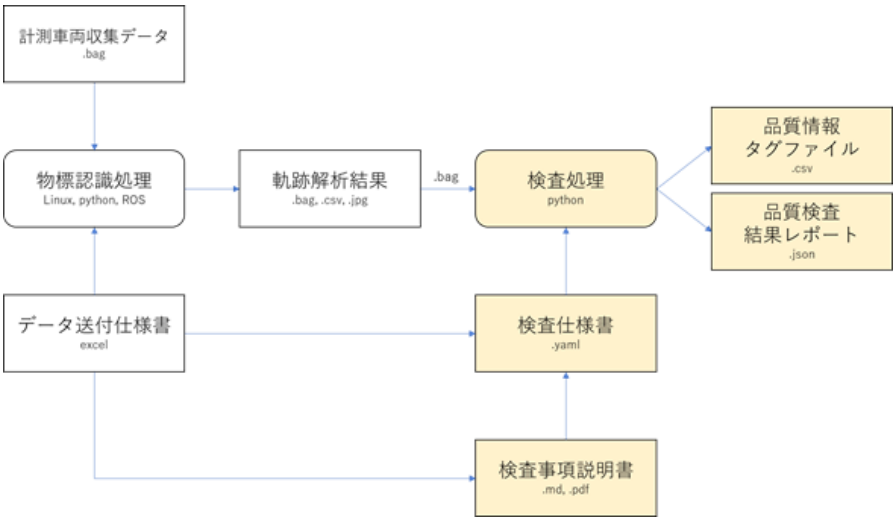


図 3.3.2.2-10　品質検査を含む点群データ処理プロセスのフロー

（3） 映像データ処理プロセス

品質検査をする対象データは、計測車両の自車走行車線における左右レーンマーカーの類別結果、左右レーンマーカーからの位置、および姿勢角の推定結果で構成される解析データである。そこで映像データ処理プロセスでは、欠損データや定義範囲外データのみを不適合データとして品質保証プロセスを確立した（図 3.3.2.2-11）。

入力データとして、自工程.csv と仕様書を検査プログラムに与える。自工程.csv は、映像データ処理プロセスで解析したデータであり、仕様書は欠損データや定義範囲外データ等の定義が記載されている。自工程.csv と仕様書を検査プログラム内のタグ作成 module の入力とし、品質情報タグファイルを生成した。その品質情報タグファイルをレポート作成 module の入力とし、品質検査結果レポートを生成した。

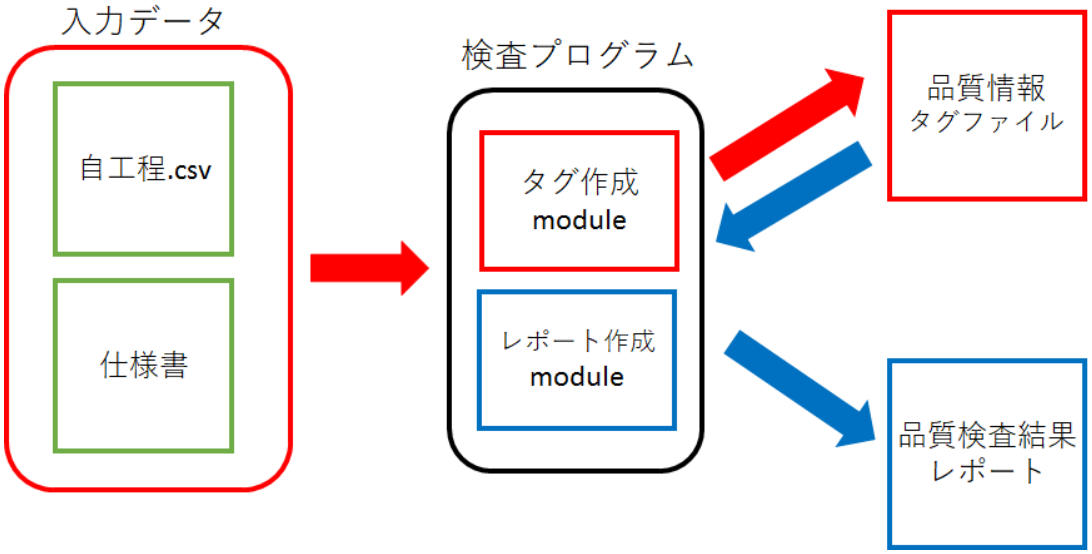


図 3.3.2.2-11 品質保証プロセスの概要

（4） 定点観測データ処理プロセス

定点観測では、図 3.3.2.2-12 に示すプロセスにより、車両軌跡データを導出している。S3 プロセスで誤った車両検出結果は、S5 プロセスにおいて手作業により修正を実施している。このため、S9 プロセスで出力する車両軌跡データは、実際に存在しない軌跡データが生成される事が発生しない。このため、S8 の検査では、軌跡データが示す交通流が実画像の車両挙動と一致しているかを目視により確認した。

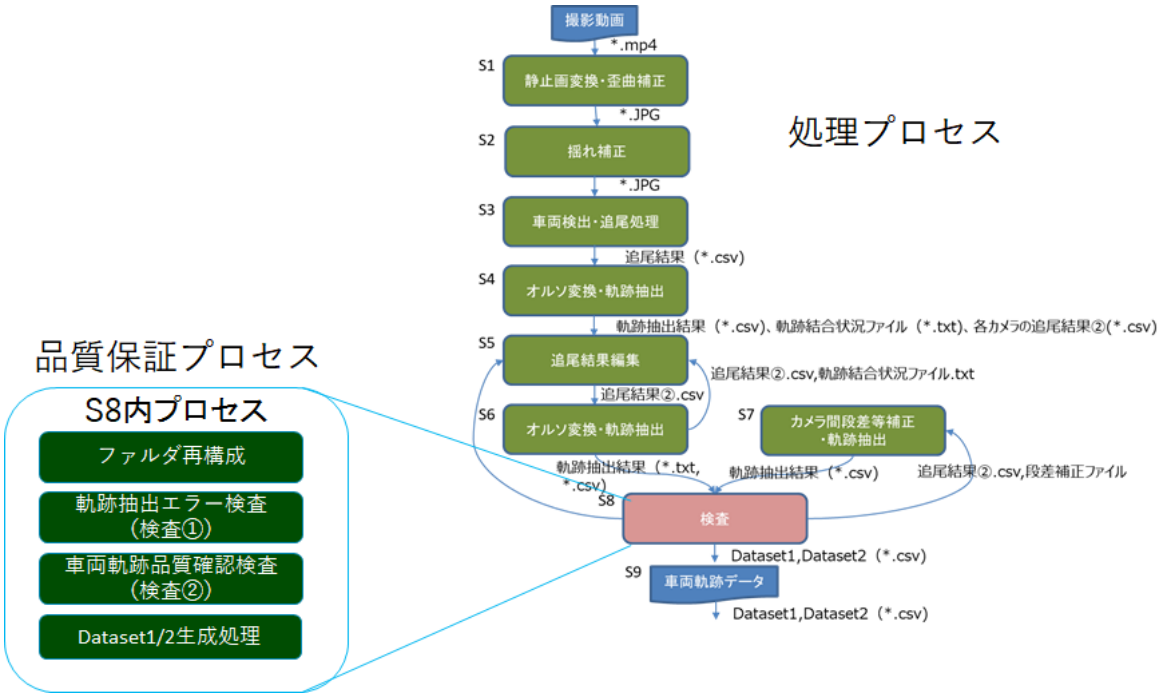


図 3.3.2.2-12　定点観測データ処理プロセス

（5）　車両推定処理プロセス

車両推定処理プロセスの品質保証プロセスは下記 6 点の要素により構成される。

①データコンテンツ仕様書

②検査仕様書

③検査基準定義ファイル

④品質検査ツール

⑤品質情報タグファイル

⑥品質検査結果レポート

データコンテンツ仕様書（①）にて定義された各データを解析する軌跡データ処理システムを設計し、入力データを軌跡データ処理システムで処理した結果、軌跡データファイルが得られる。データコンテンツ仕様書に基づき検査基準値を明示した検査仕様書（②）と品質検査ツール（④）および検査基準定義ファイル（③）を用いて軌跡データファイルがデータコンテンツ仕様書に規定される基準に適合するかどうかを検査し、検査結果として品質情報タグファイル（⑤）と品質検査結果レポート（⑥）を出力した（図 3.3.2.2-13）。

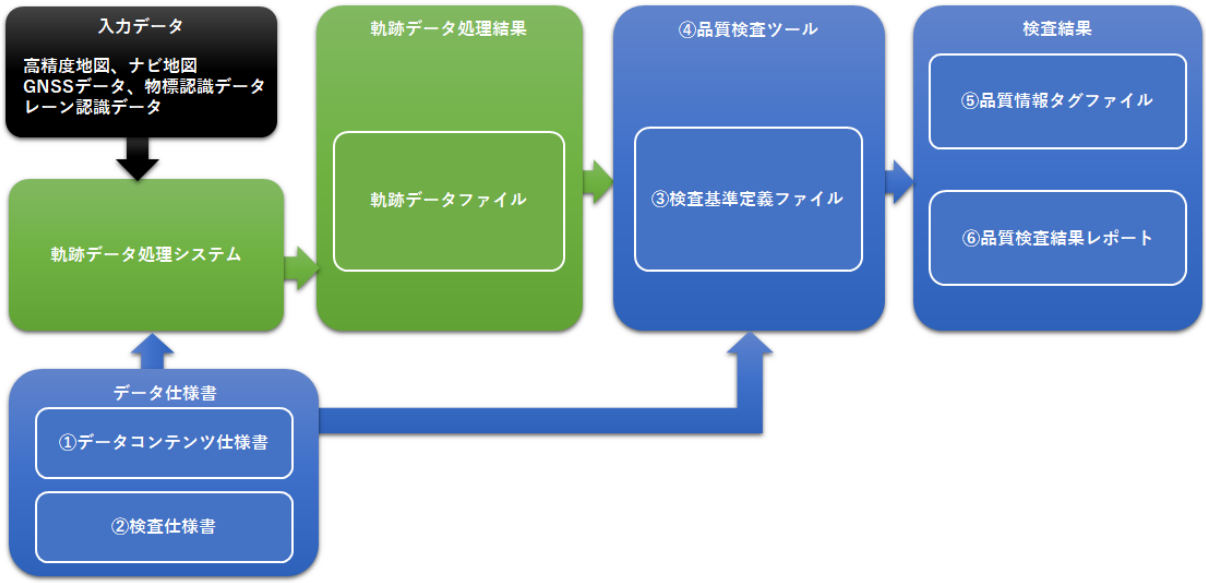


図 3.3.2.2-13　品質保証プロセス概略図

（6）　シナリオ抽出処理プロセス

シナリオ抽出処理プロセスでの品質検査を実施するにあたり、その前提となる仕様検討プロセス、仕分け処理プロセスとの関係、それぞれの構成要素を図 3.3.2.2-14 に示し、品質保証プロセスの概要を説明する。

シナリオを分類するための仕様（表 3.3.2.2-1 の#1）を検討し、この仕様から仕分け結果_データコンテンツ仕様書（#2）と品質検査定義書（#3）を作成した。仕分けアルゴリズム（#4）は仕分け結果_データコンテンツ仕様書と品質検査定義書に基づき実装されている。仕分け結果（#5）は仕分けアルゴリズムにより作成した。品質検査（#6）は、仕分け結果が検査仕様とおりに出力されているかを確認するため品質検査定義書を必要とする。

品質検査の結果は、検査合格、不合格を記録した品質情報タグファイル（#7）、検査実施数、確認事項毎の合格数、不合格数、検査結果の判定を記録した品質検査結果レポート（#8）として生成した。

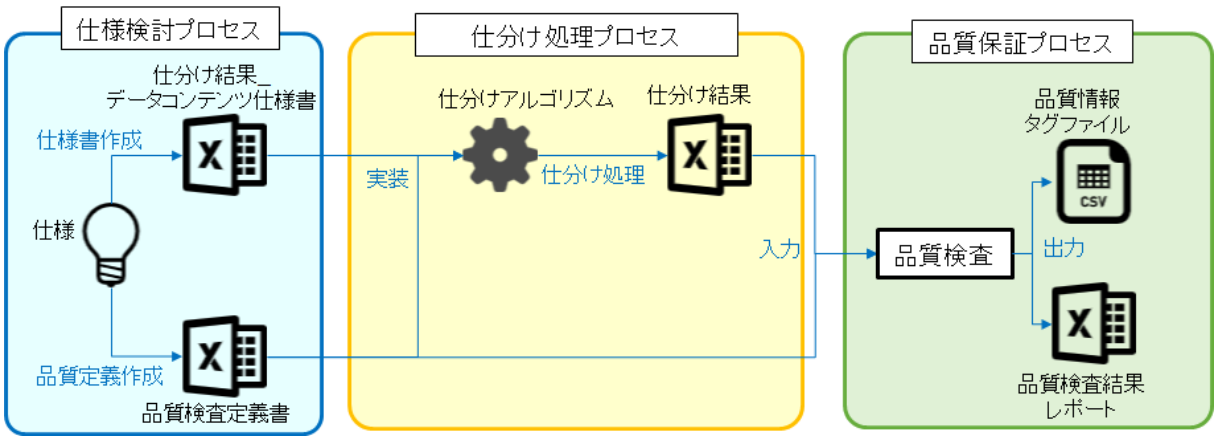


図 3.3.2.2-14　プロセスの関係と構成要素

シナリオ抽出処理プロセス内の各プロセスを構成する要素を表 3.3.2.2-1 に示す。

表 3.3.2.2-1　各プロセスの構成要素

#	構成要素	内容
1	仕様	運転行動を分類するための要件、方法論、実現方法等を定義
2	仕分け結果_ データコンテンツ仕様書	仕分け結果の各項目の一覧と演算有無を記載（出力データ、仕分けの元データ、演算有無、演算方法等）
3	品質検査定義書	#2 に記載の各項目の想定する値の定義（許容する文字列のリスト、数値の範囲等）
4	仕分けアルゴリズム	シナリオを分類するための仕様をプログラム化したもので仕分け結果を生成
5	仕分け結果	シナリオ抽出処理プロセスの出力であり、品質検査プロセスにおける検査対象
6	品質検査	仕分け結果が品質検査定義書に記載された定義を満たしているか確認する手段で検査はツールにより実施
7	品質情報タグファイル	品質検査結果の検査合格、不合格を記録したファイル
8	品質検査結果レポート	品質検査結果の検査実施数、確認事項毎の合格数、不合格数を記録したファイル

3.3.2.3　品質検査手法の説明

各品質保証プロセス内で実施した品質検査手法について説明する。品質検査は各処理プロセス内でデータ解析時の処理内容によって出力したデータの性質が大きく 2 つに分類される。

a）センサ機器からのデータを演算処理した解析データ

b）解析データ a）からデータの検索等を行った抽出データ

処理プロセス毎に生成しているデータの分類を表 3.3.2.3-1 にまとめた。

表 3.3.2.3-1　処理プロセス毎の解析データの分類

処理プロセス名	a）センサ機器からのデータを演算処理した解析データ	b）解析データ a）からデータの検索等を行った抽出データ
点群データ処理プロセス	○	－
映像データ処理プロセス	○	－
定点観測データ処理プロセス	○	－
車両推定処理プロセス	○	－
シナリオ抽出処理プロセス	○	○

この 2 つの分類で品質検査手法が異なるので各処理プロセスで実施した品質検査手法を説明する。

（1）　点群データ

点群データはセンサ機器からのデータを演算処理して解析したデータに分類され、品質検査の検査処理は検査プログラムに検査仕様書と軌跡解析結果を入力し、物標認識処理結果に問題が無いかを数値を比較して判断する。検査プログラムは、軌跡解析結果を 1 フレームごとに解析し、検査仕様と照らし合わせ、データ欠損や定義範囲外の出力などの不適合データが含まれていないかを確認する。検査処理が終了すると品質情報タグファイルと品質検査結果レポートを出力する（図 3.3.2.3-1）。

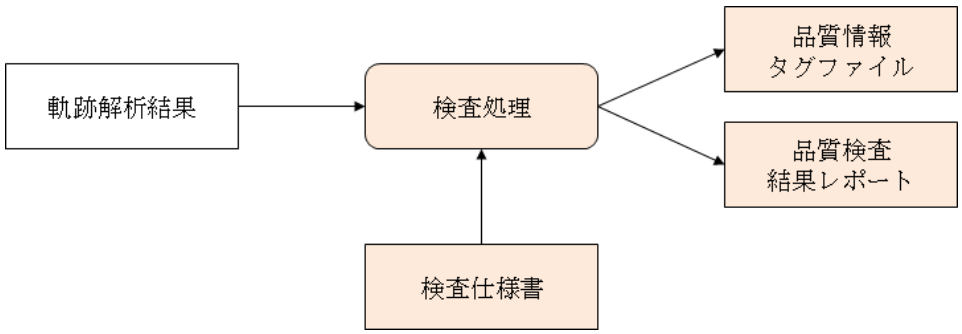


図 3.3.2.3-1　点群データ検査フロー

図 3.3.2.3-2 に検査で使用する仕様書の例を示す。仕様書はコンピュータで読み込みが容易な形式にて作成されており、検査対象となる項目やそれぞれの値域などが定められている。検査仕様書にはデータ送付仕様書から取得されるデータの取得周波数や値域、検査事項説明書から取得される正常域の情報などが定義されている。

```yaml
output_settings:
  frequency: 10   # 品質評価を行う時間の間隔（CSVモードでのtime列の時間間隔に相当）(Hz)
summary_settings:
  valid_ratio_threshold: 0.99  # 正常値の割合が何以上であれば合格とするかのしきい値
conditions:
  - rosbag_prefix: "20"
    required_topics:
      - /autoware/tracked_object  # 物体検出およびトラッキングの結果が含まれるトピック
      - /autoware/lane_info       # レーン検出の結果が含まれるトピック
    topic_conditions:
      /autoware/tracked_object:   # 物体検出およびトラッキングの結果が含まれるトピックの設定
        frequency: 10             # このトピックのメッセージが何Hzで記録されているべきか
        msg_type: "meti_pegasus_msgs.msg.TrackedObjectArray" # 想定するメッセージ型
        contents:
          header.seq:                 # `header.seq` に対する設定
            min_value: 0              # 値域の最小値
            max_value: 4294967295     # 値域の最大値
            min_valid: 0              # 正常域の最小値
            max_valid: 4294967295     # 正常域の最大値
          header.stamp:
            min_value: 0
            max_value: 9223372036854775807
            min_valid: 0
            max_valid: 9223372036854775807
          header.frame_id:
            choices: ["velodyne"]     # 値域の項目
          objects[].id:   # 検出された任意のオブジェクトの id に対する設定
            min_value: 1
            max_value: 4294967295
            min_valid: 1
            max_valid: 4294967295
          objects[].label:
            choices: ["car", "truck", "motorcycle"]
          ...
      /autoware/lane_info:  # レーン検出の結果が含まれるトピックの設定
        frequency: 10
        msg_type: "meti_pegasus_msgs.msg.PolynomialLaneInfo"
        contents:
          curb_detected:
            min_value: 0
            max_value: 1
            min_valid: 0
            max_valid: 1
          ...
```

図 3.3.2.3-2　検査仕様書の一部

品質検査における出力ファイルは品質情報タグファイルおよび品質検査結果レポートの2種類である。

a)　品質情報タグファイルの出力

検査結果を詳細に示したファイルであり、図 3.3.2.3-3 に示すように、各行にデータ時刻、各列にデータの項目を持つ。各要素は検査結果を示している。品質情報タグファイルにはどの時刻に問題が生じたかなど、詳細な検査結果を確認することができる。

time	/autoware/lane_info.lane_width	/autoware/lane_info.lane_offset	/autoware/lane_info.lane_poly_coeffs[2]
1545181910	0	0	0
1545181910	0	0	0
1545181910	0	0	0
1545181910	0	0	0
1545181910	0	0	0
1545181911	3	0	1
1545181911	3	0	1
1545181911	0	0	0
1545181911	0	0	0
1545181911	0	0	0
1545181911	0	0	0

図 3.3.2.3-3　品質情報タグファイルの例

b)　品質検査結果レポートの出力

品質情報タグファイルの結果をまとめたものであり、プログラムへの読み込みに適した形式にて出力した。品質検査結果レポートは品質情報タグファイルとは異なり、運行データに対する検査結果を一目で把握することができるため、データ品質の確認作業や結果の判断を容易に実施することができるようになる（図 3.3.2.3-4）。


```
{
  "valid": 3442550,
  "invalid (missing values)": 24,
  "invalid (out of value range)": 0,
  "invalid (out of valid range)": 346,
  "number of items checked": 3442920,
  "validation passed": "true",
  "record id": "20181219_101149_000_car1",
  "validated at": "Tue Dec 20 16:27:52 JST 2022",
  "tool version": "v22.12.2",
  "config version": "v22.12.2"
}
```


図 3.3.2.3-4　品質検査結果レポートの例

（2） 映像データ処理プロセス

映像データ処理プロセスでの品質検査では計測車両の自車走行車線における左右レーンマーカーの類別結果、左右レーンマーカーからの位置、および姿勢角の推定結果について仕様書の定義に基づいて検査をする。検査が完了すると品質情報タグファイルと品質検査結果レポートが生成される。品質情報タグファイルと品質検査結果レポートは検査処理毎に作成される。

a） 仕様書

データ仕様書と検査用仕様書の 2 種類があり、データ仕様書には欠損データや使用範囲外データなどの不適合データとなる基準を記載する。一方で、検査用仕様書にはデータ仕様書に記載されているデータを、検査プログラムの入力として適当な形式で記載した。

i） データ仕様書

データ仕様書は、表 3.3.2.3-2 に示す検査項目に対して、許容する信号範囲や分解能、データ型、更新周期等を記載した。データ仕様書のテンプレートを図 3.3.2.3-5 に示す。

表 3.3.2.3-2 データ仕様書に記載する項目一覧

検査項目	仕様書における名称
タイムスタンプ	Time_stamp
左側レーンマーカーの種類	lane_marker_type_left
右側レーンマーカーの種類	lane_marker_type_right
左側レーンマーカーとの距離	lane_distance_left
右側レーンマーカーとの距離	lane_distance_right
左側レーンマーカーとの角度	attitude_angle_left
右側レーンマーカーとの角度	attitude_angle_right
自車の姿勢角	attitude_angle
レーン解析アルゴリズムのバージョン	version

名称	変数名を明記
内容	変数の説明
取得方法	取得方法を明記
定義	値に対する定義を明記
信号範囲	信号の取りうる値を明記
分解能	基本的にデータ型に依存
データ型	データ型を明記
更新周期	更新周期を明記
異常値	異常値の場合の値を明記
特記事項	特記事項を明記
合否基準	テスト時の合格範囲を明記
基準選定理由	合格範囲の根拠を明記

図 3.3.2.3-5 データ仕様書のテンプレート

ii)　検査用仕様書

検査用仕様書を図 3.3.2.3-6 に示す。検査用仕様書は、データ仕様書に記載された合否基準の最小値と最大値で構成されており、検査プログラムで読み取ることが可能な形式で作成した。

Time_stamp	lane_marker_type_left	lane_marker_type_right	lane_distance_left	lane_distance_right	attitude_angle_left	attitude_angle_right	attitude_angle	version
	-1	-1	0.805	0.824	-0.223	-0.223	-0.223	1
	2	2	5.551	5.57	0.223	0.223	0.223	6

図 3.3.2.3-6　検査用仕様書

b)　品質情報タグファイルの作成

タグ作成 module のフローチャートを図 3.3.2.3-7 に示す。自工程データと、各データの合否基準が含まれる検査用仕様書をタグ作成 module の入力として与える。そして、3.3.2.4（2）-c）で詳述する品質情報タグの基準に基づき、生成処理を行い、最終的に品質検査タグファイルを作成した（図 3.3.2.3-8）。

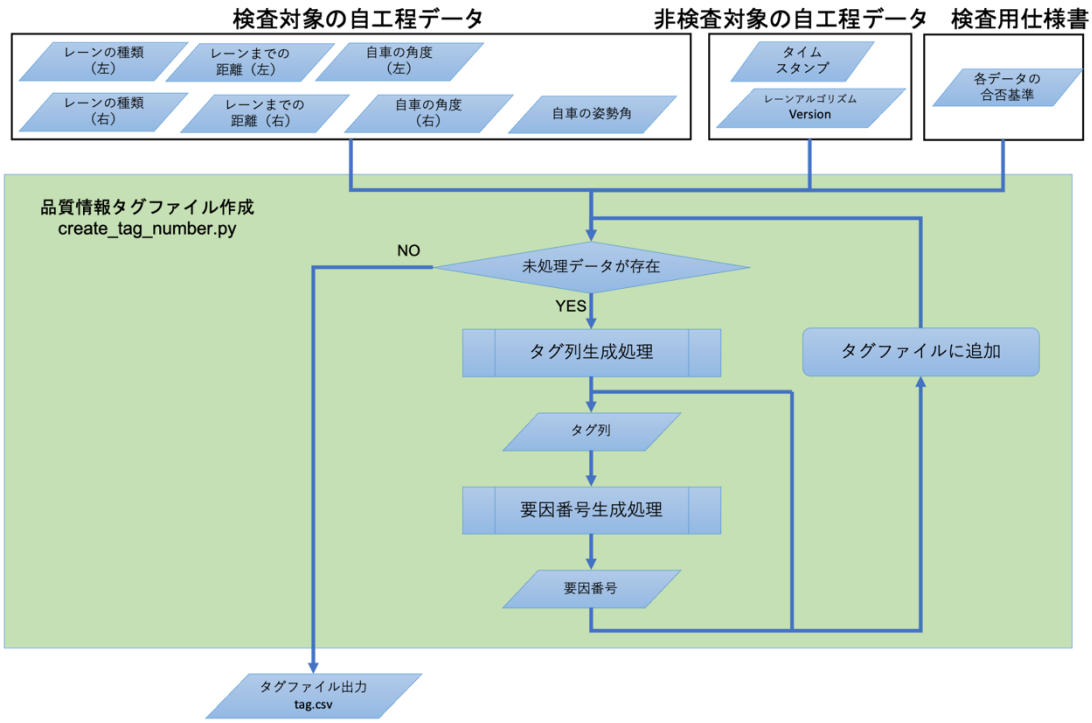


図 3.3.2.3-7　品質情報タグファイルの作成プロセス

Time_stamp	lane_marker_type_left	lane_marker_type_right	lane_distance_left	lane_distance_right	attitude_angle_left	attitude_angle_right	attitude_angle	version	factor_number
1.63547E+18	0	0	0	4	0	4	4	6	3
1.63547E+18	0	0	0	4	0	4	4	6	3
1.63547E+18	0	0	0	4	0	4	4	6	3
1.63547E+18	0	0	0	4	0	4	4	6	3
1.63547E+18	0	0	0	4	0	4	4	6	3
1.63547E+18	0	0	0	4	0	4	4	6	3
1.63547E+18	0	0	0	4	0	4	4	6	3
1.63547E+18	0	0	0	4	0	4	4	6	3
1.63547E+18	0	0	0	4	0	4	4	6	3
1.63547E+18	0	0	0	4	0	4	4	6	3
1.63547E+18	0	0	0	4	0	4	4	6	3
1.63547E+18	0	0	0	4	0	4	4	6	3

図 3.3.2.3-8　品質情報タグファイル例

c)　品質検査結果レポート作成

レポート作成 module のフローチャートを図 3.3.2.3-9 に示す。タグ作成 module で出力した品質情報タグファイルを入力とし、総検査数（タイムスタンプ数)、運行番号、総合判定を導出し、最終的に運行番号、総検査数、各要因番号のデータ数、総合判定、検査実施日、検査ツールバージョン、仕様書バージョンを記録した品質検査結果レポート（図 3.3.2.3-10）を作成した。

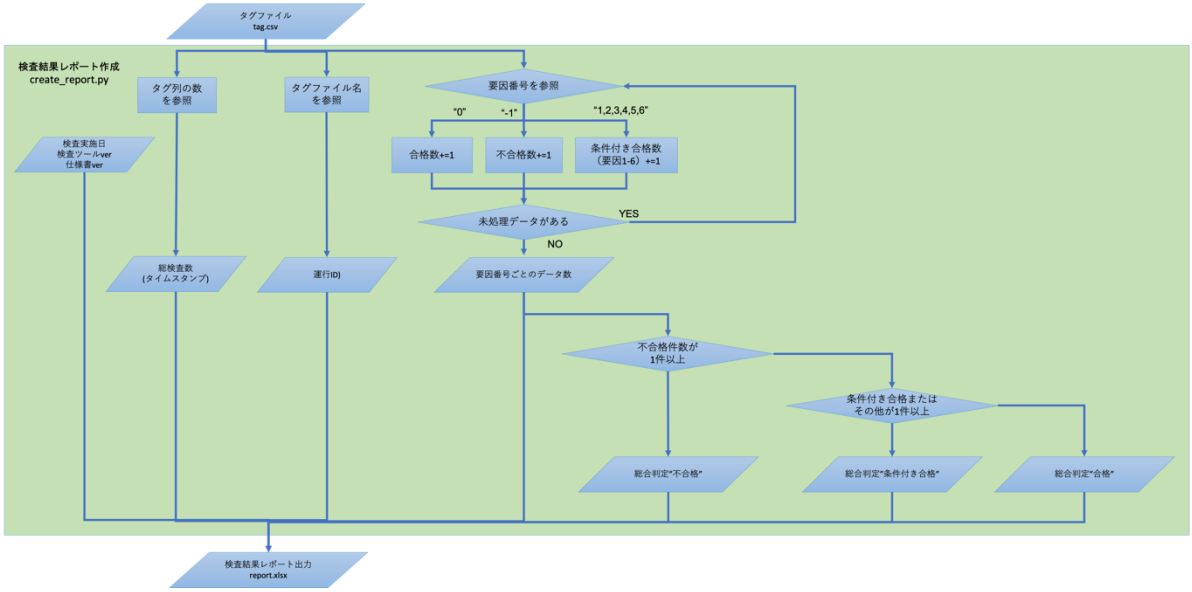


図 3.3.2.3-9　品質検査結果レポート作成プロセス

1	運行ID	20201019_095530_000_car3
2	総検査数	301049
3	合格	285414
4	条件付き合格（要因1）	623
5	条件付き合格（要因2）	163
6	条件付き合格（要因3）	14196
7	条件付き合格（要因4）	0
8	条件付き合格（要因5）	653
9	不合格	0
10	その他	0
11	総合判定	条件付き合格
12	検査実施日	2023/02/10
13	検査ツールver	1.00
14	仕様書ver	1.00

図 3.3.2.3-10　品質検査結果レポート

（3）　定点観測データ処理プロセス

定点観測データ処理プロセスでは軌跡データが示す交通流が実画像の車両挙動と一致しているかを目視により確認した。

a）　軌跡抽出エラー検査

本検査では、品質保証プロセスの前段の軌跡抽出プロセスにより生成された結果にフォルダ再構成処理を実施し、そこに格納されたデータの検査を実施した。図 3.3.2.3-11 に検査フローと検査対象となるファイルを示す。

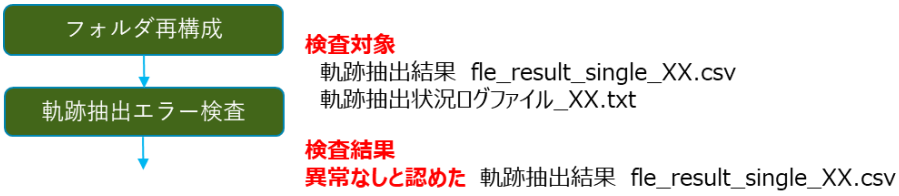


図 3.3.2.3-11　軌跡抽出エラー検査の検査対象

軌跡抽出結果と軌跡抽出過程での車両の結合状況を示す軌跡抽出状況ログファイルを検査対象とした。この検査を実施することで過去に発生した不具合が再発していない事とデータに不正値が存在していない事が確認でき、これらの検査でエラーが無い事を確認する事で検査完了とし検査結果を記載した（図 3.3.2.3-12）。

OK　0、　NG　1

20220827_133017_234		検証項目	結果	確認日
	①	fle_result_single.csvの末尾にタイムスタンプが00000000となるデータが存在しない事	0	2022.12.07
	②	認識結果IDに重複がないか確認	0	2022.12.07
	③	認識結果に抜けがないか（フレーム欠落）	0	2022.12.07

図 3.3.2.3-12 確認結果記載例（軌跡抽出エラー検査）

b)　車両軌跡品質確認検査

a）の軌跡抽出エラー検査で、データに異常がない事を確認後、計測値が実交通流と合致しているか確認を実施した（図 3.3.2.3-13）。

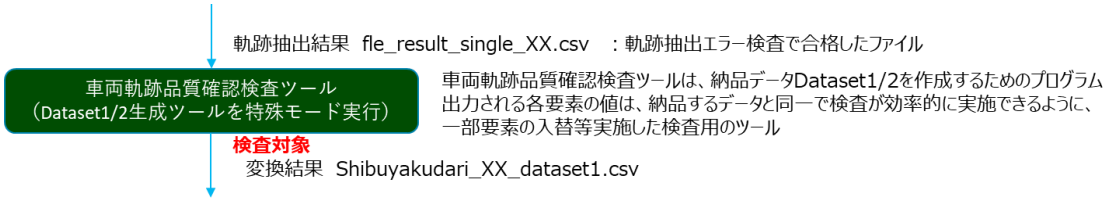


図 3.3.2.3-13 車両軌跡品質検査の検査対象

i)　横方向加速度の確認

①以下の条件を異常値として検出した

（横方向の加速度）＞ 0.04G　or　（横方向の加速度）＜ -0.04G

②①の結果に対して、実画像の目視により、合流/車線変更である事を確認し検査結果を記載した（図 3.3.2.3-14）。

T01				
①分岐した車両ID	②横加速度での検出ID	①に該当しない②	フレーム	実映像での車線変更
3	3	131	4402	有
76	110	197	6455	有
110	131	546	18154	有
226	197	617	21012	有
231	226	708	24402	有
253	231	724	25239	有
346	464	737	25712	有
356	466	772	27162	有
396	515	895	33947	有
432	519	933	35954	有
440	541	1012	39073	有
464	546	1028	39734	有
466	548	1040	40157	有
515	610	1062	41216	有
519	612	1074	41709	有

図 3.3.2.3-14　検査結果記載例（車両軌跡品質確認検査：横方向加速度）

ii)　進行方向加速度の確認

①以下の条件を異常値として検出した（渋滞で大量に車両 ID が検出されるため、確認漏れを防ぐために、特に大きな加減速は二重に確認することとした）。

（進行方向の加速度）＞ 0.2G　or　（進行方向の加速度）＜ -0.2G

②①の結果に対して実画像の目視により加速/減速している事を確認した。

③次に、以下の条件を異常値として検出した。

（進行方向の加速度）＞0.15G　or　（進行方向の加速度）＜　-0.15G

④③の結果に対して実画像の目視により加速/減速している事を確認し検査結果に記載した（図 3.3.2.3-15）。

T01							
acceleration_Lx(m/s^2)が2.0以上、-2.0以下のID				acceleration_Lx(m/s^2)が1.5以上、-1.5以下のID(※±2.0と混合)			
ID	フレーム	映像確認	備考	ID	フレーム	映像確認	備考
18	957	減速→加速		9	129	減速→車線変更(加速)	
254	13000	減速		14	680	減速→加速→加速→加速	
256	13044	減速		16	791	減速→車線変更(加速)	
259	13137	減速		17	899	減速→加速	
261	13206	減速		19	1010	減速→加速	
262	13260	減速		21	1129	減速→加速	
264	13346	減速		44	3671	車間詰まり	
275	13805	減速		59	4605	減速	
283	14083	減速		62	4832	減速	
285	14147	減速		70	5405	減速	

図 3.3.2.3-15　検査結果記載例（車両軌跡品質確認検査：進行方向加速度）

iii)　軌跡可視化ツールで軌跡確認

軌跡可視化ツールで全数軌跡確認し検査結果を記入した（図 3.3.2.3-16）。

シーケンス番号		
ID	結果	確認日
0	0	2022.12.07

OK:0,NG:1を記載

図 3.3.2.3-16　検査結果記載例

iv)　品質検査結果レポート

図 3.3.2.3-17 に記載のフォーマットと記載方法に従い、データフォルダ数分の検査を実施した結果を示す。

		記載方法
シーン/シーケンス	20220827_133017_234	:納品用フォルダ名称を記載
検査総数	754	検査a)～c)の検査合格数を記載
合格（有効軌跡数）	712	後工程に流す有効な軌跡数を記載
検査数（検査①）	3	検査a)の検査合格数を記載
検査数（検査②-1）	16	検査b)-iの検査合格数を記載
検査数（検査②-2)-1	3	検査b)-ii-①検査合格数を記載
検査数（検査②-2)-2	11	検査b)-ii-②の検査合格数を記載
検査数（検査②-3）	721	検査b)-iiiの検査合格数を記載
検査実施日	2022.12.07	検査実施日を記載
検査ツールVer	1	ツールバージョンを記載
検査仕様書Ver	1	検査仕様書のバージョンを記載

図 3.3.2.3-17　品質検査結果レポートのフォーマットと記載方法

（4）　車両推定処理プロセス

車両推定処理プロセスでは自車・他車の車両軌跡情報に対して品質検査を実施した。本処理プロセスでは点群データ処理プロセスや映像データ処理プロセスで解析したデータを使って自車・他車の車両軌跡を算出しており、前処理プロセスのデータコンテンツ仕様書などで定義しているデータの範囲を用いてデータの仕様を確定した。

品質検査は検査の属人化を排除するために品質検査ツールを開発してコンピュータ上で実施した。品質検査ツールの処理フロー（図 3.3.2.3-18）に示すように検査対象ファイル（自車軌跡情報ファイルと他車軌跡情報ファイル）と検査基準が定義している検査基準定義ファイル（図 3.3.2.3-19）を品質検査ツールに入力し検査を実行した。

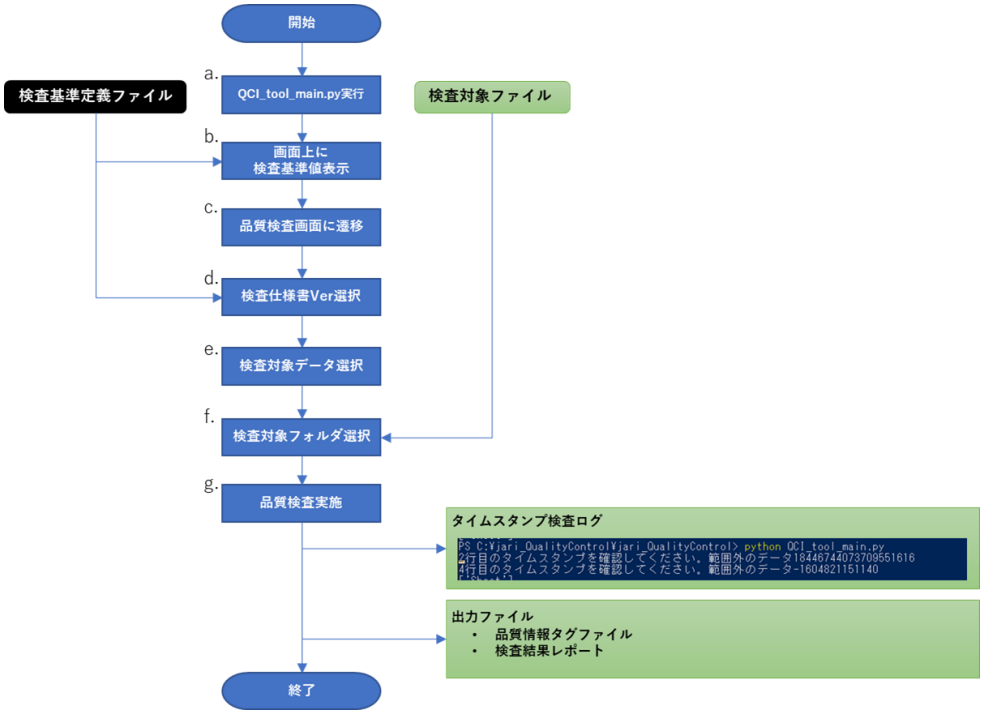


図 3.3.2.3-18　品質検査ツール処理フロー

```
# 車速
PL011:
 -Unit: 'kilo meter/hour'
 -Update-cycle:
  -Unit: 'msec'
  -Fixed point: 16
  -Measuring vehicles: 100
 -Data type: 'float'
 -Value:
  -fb:
   -Min: 0.0
   -Normal_max: 180
   -Max: 1854.0
   -Outliers: null
  -mv:
   -Min: 0.0
   -Normal_max: 180
   -Max: 1854.0
   -Outliers: null
 -Resolution: normal
```

図 3.3.2.3-19　検査基準定義ファイル

品質検査は、図 3.3.2.3-20 の検査フロー図で示しているとおり、検査対象データと検査基準定義値の比較を行い、a）で説明する正常、注意と異常を判定する。その結果を品質情報タグファイルへ記録し、品質検査結果レポートを生成した。

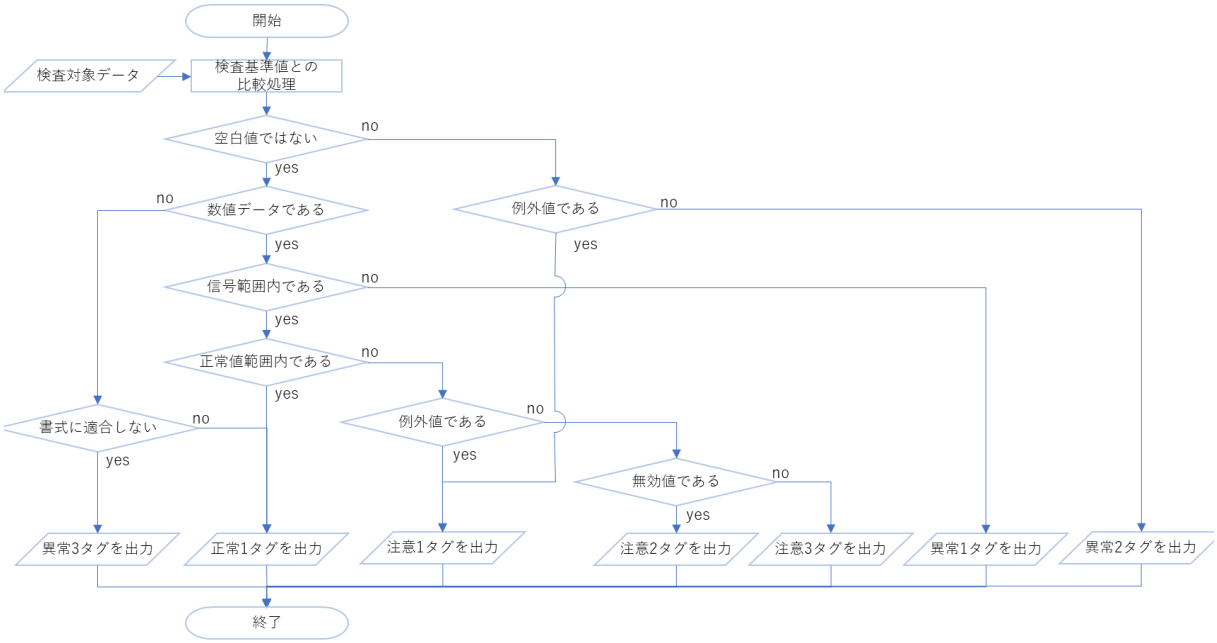


図 3.3.2.3-20　検査基準値に対する判定とタグ付け処理の対応

a)　品質情報タグファイルへの記録

品質検査ツールによる検査結果を正常、注意、異常に分類した。

・正常：正常値範囲内

・注意：正常値範囲外かつ信号範囲内

・異常：信号範囲外

品質情報タグファイルにはタイムスタンプと検査対象データに含まれる各データの検査結果に対応する品質情報タグ値が記録された（図 3.3.2.3-21）。

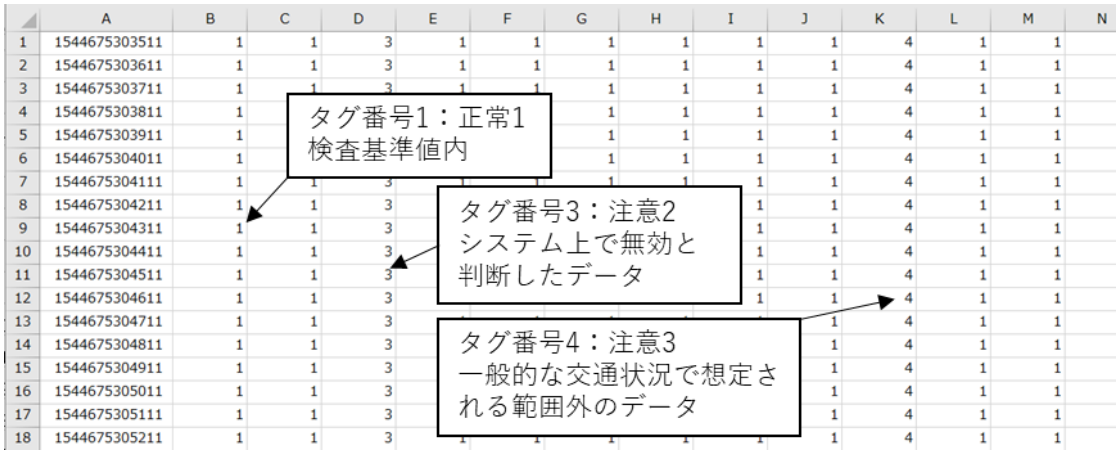


図 3.3.2.3-21　品質情報タグファイルの出力例

b)　品質検査結果レポートの生成

図 3.3.2.3-22 に示すとおり、品質検査結果レポートには、各運行データの検査結果集計、合否判定結果と品質検査の実施情報等を記載した。なお、品質検査結果レポートは品質検査ツールの実行後に自動的に生成される。

検査運行ID:	PIOLOC_20181213_132822_000_car1
総検査数:	5041218
正常1:検査基準値内のデータ:	3964844
注意1:例外状態の通知:	71016
注意2:システム上で無効と判断したデータ:	679867
注意3:一般的な交通状況で想定される範囲外のデータ:	325491
異常1:定義された信号範囲外のデータ:	0
異常2:欠損データ(空白値):	0
異常3:システム上で定義された形式に適合しないデータ:	0
総合判定:	OK
検査実施日:	2023年01月12日 19:20:46
検査ツールver:	品証Apl V1.00
仕様書ver:	提供コンテンツ仕様書_Ver1.08

図 3.3.2.3-22 品質検査結果レポート

品質検査結果レポートに記録される項目は下記のとおりである。

・検査運行 ID：検査対象の運行 ID

・総検査数：対象ファイルに含まれる検査データ数

・正常 1、注意 1～3、異常 1～3：各タグの出力件数

・総合判定：対象ファイルの合格（OK）/不合格（NG）判定結果

・検査実施日：検査ツールを実行した日時

・検査ツール ver.：検査ツールのバージョン値

・仕様書 ver.：検査対象データ生成及および検査に用いるデータコンテンツ仕様書のバージョン値

（5） シナリオ抽出処理プロセス

シナリオ抽出処理プロセスでは、出力する仕分け結果のデータが 2 種類存在する。この 2 種類のデータのイメージを図 3.3.2.3-23 に示す。

i.前処理プロセスから受領したデータの値をそのまま出力したデータ

ii.前処理プロセスから受領したデータの演算結果を出力したデータ

前処理プロセスから受領したデータの値をそのまま出力したデータ（i）は前処理プロセスにおいて品質が保証済みである前提とし、本品質検査プロセスにて保証する対象は、シナリオ抽出処理プロセスで新たに創出している前処理プロセスから受領したデータの演算結果を出力したデータ（ii）とした。

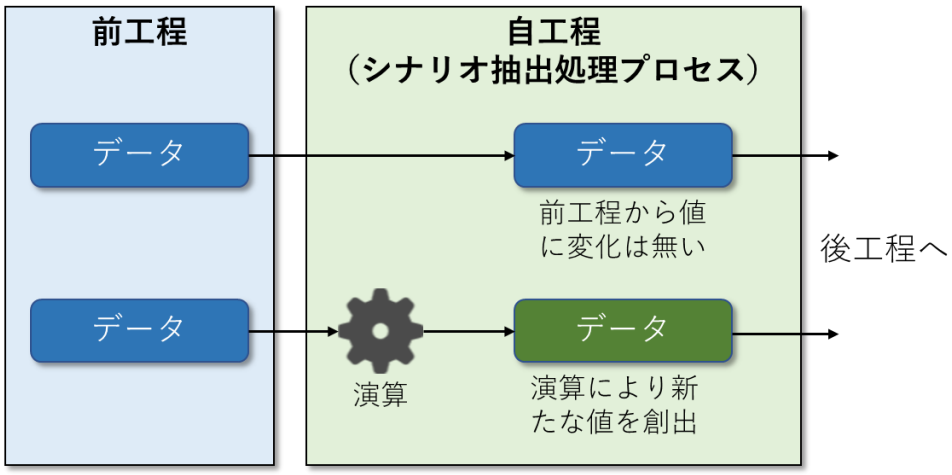


図 3.3.2.3-23　演算処理のイメージ

仕分け結果の出力データ項目と各項目の演算有無、演算方法は、仕分け結果_データコンテンツ仕様書に記載した。また、仕分け結果_データコンテンツ仕様書に記載している出力データ項目がとりうる値を品質検査定義書に記載した。

a)　仕分け結果_データコンテンツ仕様書の作成

演算有無の判断基準は、前処理プロセスの解析データを用いて新たな値を生成している場合に演算したと判断した。一方で、前処理プロセス内の値をそのまま仕分け結果の値として利用している場合（欠損値補完されたデータも含む）は演算していないと判断した。

なお、データ項目の演算が無いと分類されたものについて、仕分け結果_データコンテンツ仕様書には検索によるデータと記載した。

図 3.3.2.3-24 に仕分け結果_データコンテンツ仕様書の例を示す。

#	演算/検索	classify			preprocess					
		Outputデータ項目	処理内容	Inputデータ項目	Outputデータ項目	処理内容				
						欠損値埋め	単位変換	移動平均	演算	データコンテンツ名
1	検索	運行番号（operation_no）	フォルダ名から取得	運行番号（operation_no）	運行番号（operation_no）	×	×	×	×	運行データのフォルダ名
2	検索	検出された他車両のID（object_id）	AUTENVに記載の周辺オブジェクトのオブジェクトIDから取得	オブジェクトID（object_id）	オブジェクトID（object_id）	×	×	×	×	周辺オブジェクトのオブジェクトID（AE020）
3	演算	タイムID（time_id）	同一オブジェクトIDのレコードをタイムスタンプ順に並べて時間の差が0.3秒以上空いたとき、別走行シーンとして区別するID（前後のタイムスタンプの差分から判断）	タイムスタンプ（record_timestamp）	タイムスタンプ（record_timestamp）	×	○	×	×	タイムスタンプ（PL000）
4	演算	シーン開始時間（Unixtimestamp）（start_unixtime）	他車行動毎のシーン開始条件に合致するタイムスタンプ 令和3年度_報告書_ウルシステムズ.docx 4.5.3.3～4.5.3.7	タイムスタンプ（record_timestamp）	タイムスタンプ（record_timestamp）	×	○	×	×	タイムスタンプ（PL000）
5	演算	シーン終了時間（Unixtimestamp）（end_unixtime）	他車行動毎のシーン終了条件に合致するタイムスタンプ 令和3年度_報告書_ウルシステムズ.docx 4.5.3.3～4.5.3.7	タイムスタンプ（record_timestamp）	タイムスタンプ（record_timestamp）	×	○	×	×	タイムスタンプ（PL000）

図 3.3.2.3-24　仕分け結果_データコンテンツ仕様書例

b)　品質検査定義書の作成

仕分け結果_データコンテンツ仕様書で定められた各項目の値に従って、項目ごとに満たすべき品質を定義し、これらを品質検査定義書として作成した（図 3.3.2.3-25）。

論理列名	物理列名	検査対象	検査方法	検査定義	集計単位	備考
列順	columns_order	file	order	operation_no,object_id,time_id,other_action,・・・	summary_column	
他車行動分類	other_action	value	list	accel, decel, cut_in, cut_out, approach, cut_through	summary_category	
道路形状	road_shape_high_quality	value	list	main,ramp,branch,merge,irregular,unknown	summary_category	
自車行動分類	self_action	value	list	lanechange,lanekeep	summary_category	
自車速レンジ(文字)	自車速レンジ(文字)	value	regular_expression	^[+-]?¥d+km～[+-]?¥d+km$	summary_category	
シーン中の平均道路曲率[1/m]	mean_pseudo_curve	value	between	[-1,0.99999]	summary_calc	
運行番号	operation_no	value	data_type	string	summary_datatype	
検出された他車両のID	object_id	value	data_type	numeric	summary_datatype	
運行番号	operation_no	value	empty		summary_empty	
検出された他車両のID	object_id	value	empty		summary_empty	
タイムID	time_id	value	empty		summary_empty	
シーン中の平均道路曲率[1/m]	mean_pseudo_curve	value	exponential_notation		summary_exponentialnotation	

図 3.3.2.3-25　品質検査定義書例

c)　検査実施

仕分け結果_データコンテンツ仕様書と品質検査定義書によって仕分け結果が合致しているかを手動による確認ではなく、プログラムで機械的に確認できるよう検査ツールを作成した。これにより、品質検査結果にばらつきが生じないようにした。

品質検査は各データ項目の特徴（文字列，数値等のデータ型）に合わせて検査した。また、品質を確認した結果の合否は 3.3.2.4（5）に示すような判断基準を設け客観的に評価した。検査ツールは仕分け結果と品質検査定義書を入力し検査を実行する。検査の結果として、品質情報タグファイルと品質検査結果レポートの 2 種類のファイルを出力する。検査ツール、入力、出力の関係性を表 3.3.2.3-3 および図 3.3.2.3-26 に示す。

表 3.3.2.3-3　検査ツールの入力と出力

ファイル	入力/出力	形式	内容
仕分け結果	入力	エクセル	運行データをシナリオ抽出処理プロセスにより処理した結果
品質検査定義書	入力	エクセル	検査対象項目毎の品質を定義したもの
品質情報タグファイル	出力	CSV ファイル	検査対象項目毎の合格、不合格の結果を記録したもの
品質検査結果レポート	出力	エクセル	検査対象の仕分け結果に対する総合判定を記録したもの

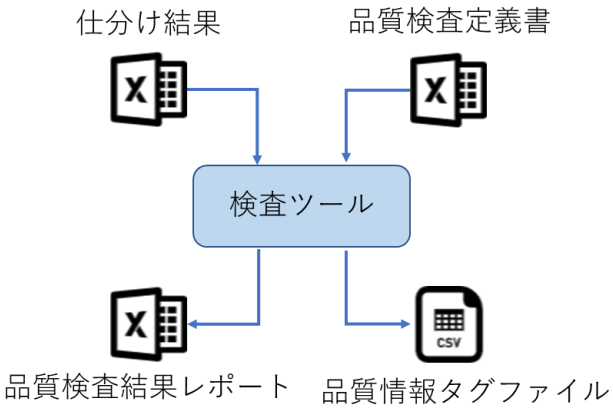


図 3.3.2.3-26　検査ツールの入力と出力

品質情報タグファイルには、検査合格、不合格を記録した。また、検査対象データと検査結果が対比できる仕様とした。品質検査結果レポートには検査ごとの検査実施数、確認事項毎の合格数、不合格数、検査結果の判定を記録した。

3.3.2.4　品質検査・保証基準の考え方

各品質保証プロセス内で実施した品質検査では、データの管理者や利用者がそのデータの品質情報が分かるように、検査結果の数値や合否判定を記載したレポートを作成することでデータの信頼性を証明することができた（図 3.3.2.4-1）。

検査運行ID	
総検査数	
検査結果判断基準1	
検査結果判断基準2	
検査結果判断基準3	
総合判定	
検査実施日	
検査ツールver	
仕様書ver	

図 3.3.2.4-1　品質検査結果レポートの記載項目

品質検査結果レポートには、検査を行ったデータの運行番号、総検査数、総合判定、検査実施日、検査ツールのバージョン、仕様書のバージョンを共通項目として出力した。一方で、各処理プロセスで作成されたデータの種類やそのデータの処理フローが異なるため、各品質保証プロセスの品質検査に対しての結果判断基準や総合判定の考え方について検討した。

また、この品質検査結果レポートは解析したデータの信頼性を示すだけでなく自処理プロセスを実行前に参照することができるため、前処理プロセスの品質結果に応じて処理プログラムを使い分けられることが可能となり、データ数は少なくてもよいから品質が良いものだけを使いたいケース（品質重視データ）や、その逆の品質は多少低くてもよいから多くのデータ数が欲しいケース（量重視データ）など、ニーズに応じた処理結果を生成することが可能となった（図 3.3.2.4-2）。

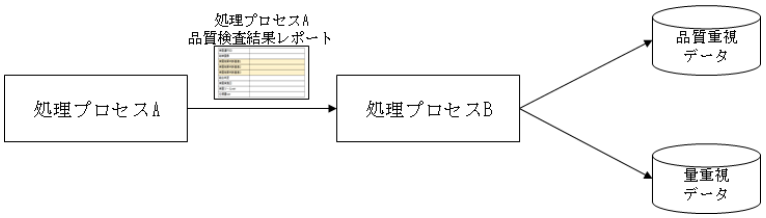


図 3.3.2.4-2　品質検査結果レポートの活用例

以下に各処理プロセスで検討した品質検査の判断基準の考え方について説明する。

（1） 点群データ処理プロセス

品質検査の実行時には、各データの値域や正常域などが定義された検査仕様書（図 3.3.2.3-2）が入力される。検査仕様書は検査事項説明書に沿って作成される。検査事項説明書には、検査対象の各項目について、概要、詳細な説明、データ送付仕様書により定義される値域、実交通環境や物理特性限界などを考慮した正常域、データ型、異常値および単位の情報が表形式で記載されている。また、備考欄には正常域の考え方など、検査の設計に役立つと考えられる情報を記載した。

正常域は、交通法規や車両の物理特性限界をもとに、現実的に正常の範囲内であると判断される値の範囲として定義し、一般に値域よりも値の範囲が制限される。図 3.3.2.4-3 の例では、認識された物標の前後方向位置について定義している。データの解析の仕様上、前後方向位置は浮動小数点型で定義され、その値域には実質的に制限がない。

一方、計測車両に搭載されている LiDAR センサはその認識範囲が前後 100m 程度である。また、物体検出モデルの学習範囲が前後 70m であることも考慮すると、前後 100m 程度が正常な認識範囲であると考えられる。そのため、正常域を前後 100m とし、例えば 120m の位置に物標が認識されたとしても、その結果は保証できないものと考え、品質保証プロセスにて検出される。同様の考えで、計測車両に搭載されるセンサの特性や実環境での車両自体の物理特性、日本の交通法規などをもとに各項目について正常域を設定した。たとえ値域内のデータであったとしても、正常域外であれば値域外とは分けて検出され、品質情報タグファイルに時刻ごとに検出結果が記録、出力される。表 3.3.2.4-1 に品質情報タグファイルに記録される数値の意味について示した。

pose.position.x

概要	前後方向位置
詳細	検出物標の自車中心座標における前後方向の位置座標
値域	-inf:inf
正常域	-100:100
データ型	float64
異常値	なし
単位	m
備考	自車正面方向が正、かつ検出物標の中心の座標．LiDARの計測限界・物標検出モデルの学習領域 (-70 mから70 m)を考えると-100 mから+100 m程度が信頼のおける区間の限界と思われる

図 3.3.2.4-3 検査事項説明書の例（前後方向位置）

表 3.3.2.4-1 品質情報タグファイル内の数値の意味

数値	意味
0	正常
1	値が存在しない（欠損データ）
2	値域外の値が入っている
3	正常域外の値が入っている

品質検査結果レポート（図 3.3.2.3-4 参照）には運行データ単位での総合判定が記録されており（表 3.3.2.4-2 の色付き箇所)、全項目の 99%以上が正常だった場合に合格の判定基準として定義した。

表 3.3.2.4-2　品質検査結果レポート記載事項の詳細

項目名	内容
valid	全項目・時刻に対する検査結果のうち正常と判定された個数
invalid　（missing values）	全項目・時刻に対する検査結果のうちデータ欠損が発生した個数
invalid　（out of value range）	全項目・時刻に対する検査結果のうち仕様値域外であった個数
invalid　（out of valid range）	全項目・時刻に対する検査結果のうち正常域であった個数
number of items checked	検査総数　（上記、正常・異常の項目数の総計に等しい）
validation passed	検査の総合判定結果であり、初期設定では全項目の 99%以上が正常であった場合に合格　（true）
record id	収録データの運行 ID
validated at	検査時刻
tool version	検査ツールのバージョン情報
config version	検査仕様書のバージョン情報

（2）　映像データ処理プロセス

検査対象データの合否基準において、定量的な基準が必要であるものを表.3.3.2.4-3 に示す。また、定量的な基準を導出する際に必要な、慣性計測装置（以下、「IMU」という）と各左右カメラの位置関係を図 3.3.2.4-4 に示す。

表 3.3.2.4-3　定量的な基準が必要な項目

項目	合否基準の最小値	合否基準の最大値
左レーンマーカーまでの距離	0.805	5.551
右レーンマーカーまでの距離	0.824	5.57
レーンマーカーまでの角度，姿勢角	-0.223	0.223

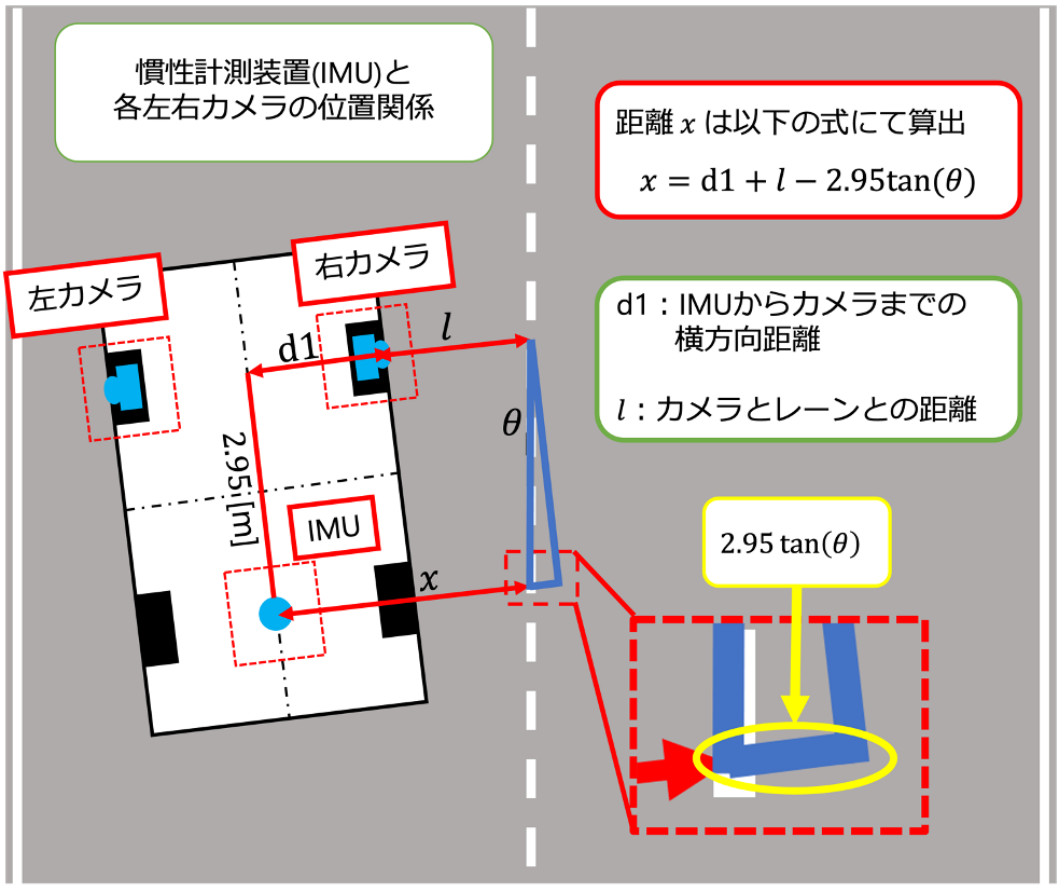


図 3.3.2.4-4　慣性計測装置（IMU）と各左右カメラの位置関係

a)　左右レーンマーカーまでの距離の合否基準

前輪から IMU までの縦方向距離を 2.95m、車道の幅を高速道基準より 3.75m とする。レーンマーカーまでの距離の最小値を図 3.3.2.4-5 に示す。距離が最小となる状況は、後輪がレーンマーカー上かつ前方カメラでレーンを検出可能な位置であると考える。そのため、IMU からカメラまでの横方向距離を$d1$とすると、後述するレーンマーカーまでの角度の最大値、最小値をもとにレーンマーカーまでの最小距離x_{min}を以下の式 3.3.2.4-1 により導出した。

$$x_{min} = d1 - 2.95\tan(0.223) \qquad \text{式 3.3.2.4-1}$$

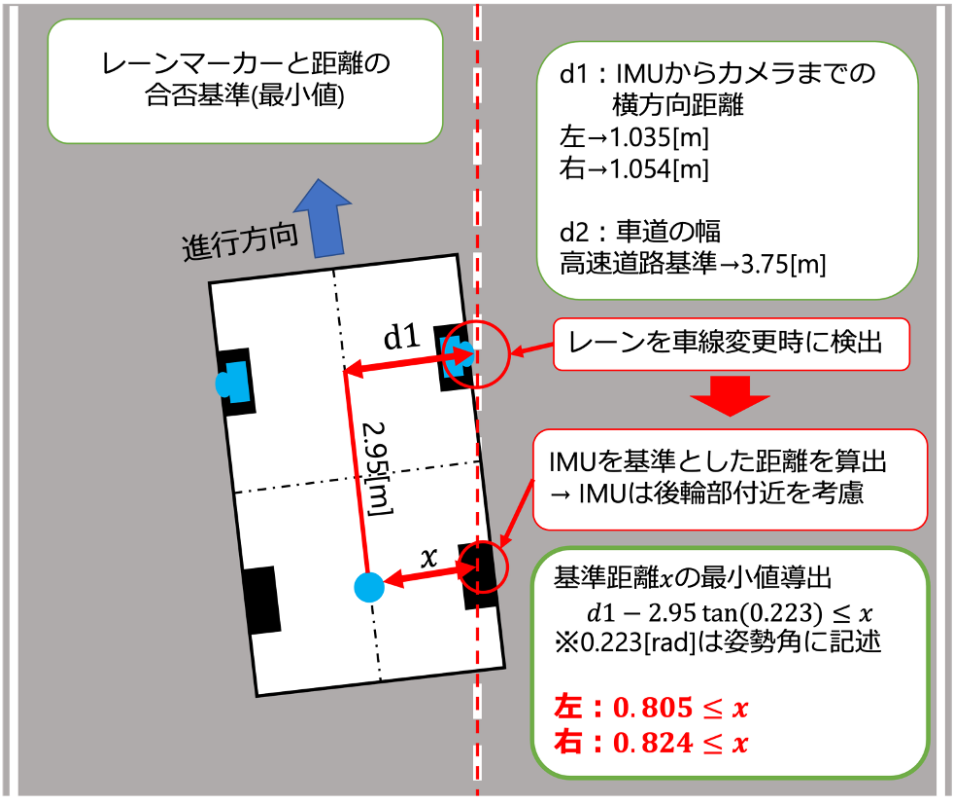


図 3.3.2.4-5　レーンマーカーと距離の合否基準（最小値）

一方で距離が最大となる状況は、レーンマーカーまでの距離の最大値を図 3.3.2.4-6 に示すとおり前輪がレーンマーカー上にあり、自車線が隣のレーンと判別された場合の、隣のレーンマーカーまでの距離であると考える。そのため、後述するレーンマーカーまでの角度の最大値、最小値をもとにレーンマーカーまでの最大距離を導出した（式 3.3.2.4-2）。

$$x_{max} = d1 + \frac{3.75}{\cos\ (0.223)} - 2.95\tan\ (-0.223) \qquad \text{式 3.3.2.4-2}$$

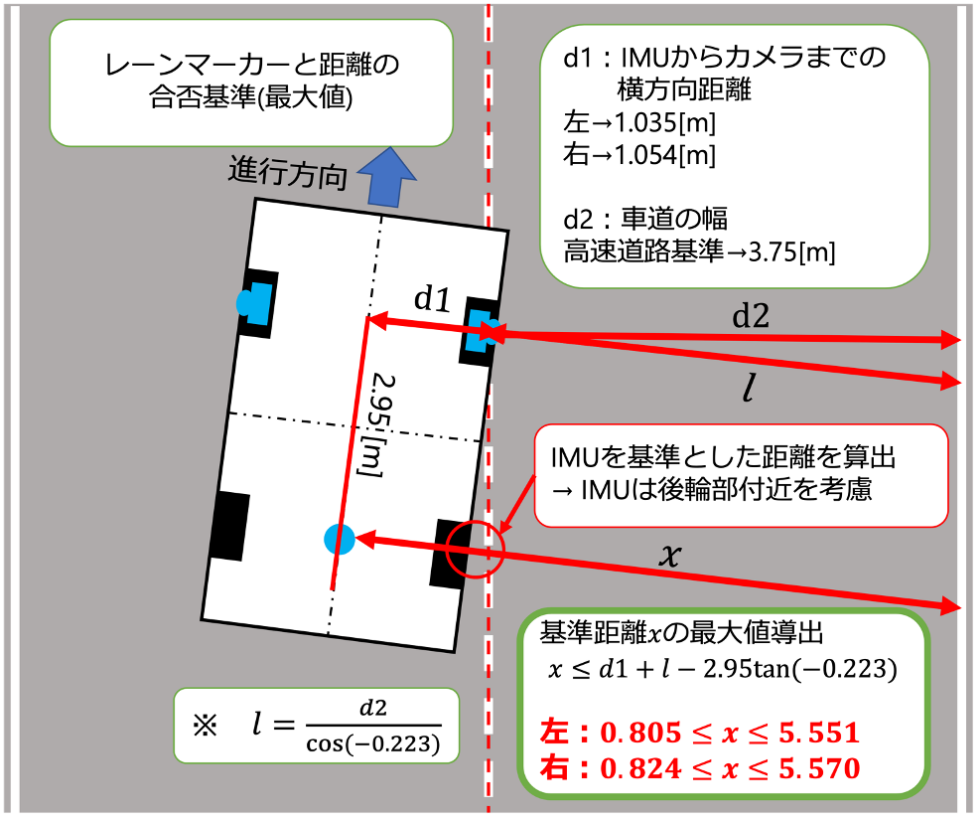


図 3.3.2.4-6　レーンマーカーと距離の合否基準（最大値）

b)　レーンマーカーまでの角度および姿勢角の合否基準

計測車の走行速度を 60km/h、車線変更に要する時間を 2.0s とする。この場合、図 3.3.2.4-7 に示すように、角度θ_m方向に 33.3m 移動する。また、車線の幅を高速道基準とした 3.75m に設定すると、基準角θ_αは以下のようになる。ここで、急ハンドルを考慮して、θ_αの 2 倍の角度である 0.223rad を最終的な合否基準に設定する。

$$\theta_\alpha = \frac{\pi}{2} - \cos^{-1}\left(\frac{3.75}{33.3}\right)$$

$$= 0.1115\ [rad]$$

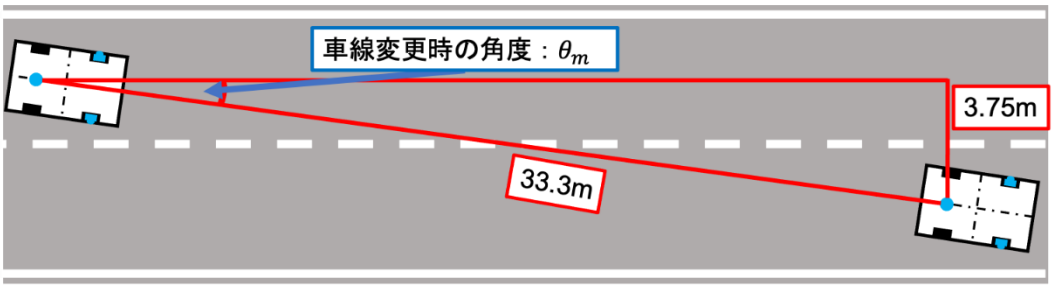


図 3.3.2.4-7　自車の角度に対する合否基準

c)　品質情報タグの基準

品質情報タグファイルに記録するタグの値として表 3.3.2.4-4 に定義した。

表 3.3.2.4-4　タグの定義

タグ番号	項目	説明
0	OK	どの NG 項目にも該当なし
1	NG（異常値が存在）	レーンマーカーの場合，類別カテゴリ以外の番号など（NaN 含む） 計測値の場合、各仕様書通り
2	NG（範囲外の値が存在）	レーンマーカーの場合、該当なし。 計測値の場合、各仕様書通り
3（左のデータ）	NG（データが存在しない、NaN が存在）	0.8 秒（16 フレーム=現在フレームと、その前 15 フレーム）以上連続で値が無い場合
4（右のデータ）		
5（左右のデータ）		

d)　品質検査レポートの判定基準

検査結果には、不合格基準に該当しないが合格と判定することが適当ではないデータも存在するため条件付き合格を定義した。表 3.3.2.4-5 に合格不合格と、条件付き合格の要因の種類と想定される状況の説明について示した。

表 3.3.2.4-5　要因番号の詳細

要因番号	説明	判定
-1	データに異常がある	不合格
0	データに問題なし	合格
1	両側レーンまでの距離・角度が未取得	条件付き合格（要因 1）
2	左レーンまでの距離・角度が未取得	条件付き合格（要因 2）
3	右レーンまでの距離・角度が未取得	条件付き合格（要因 3）
4	姿勢角度のみ値が未取得	条件付き合格（要因 4）
5	レーンまでの距離・角度の値が仕様書の範囲外	条件付き合格（要因 5）
6	その他	条件付き合格（要因 6）

（3） 定点観測データ処理プロセス

定点観測データでの合否の判断基準を記載する。

a）軌跡抽出エラー検査

本検査では表 3.3.2.4-6 に示す確認内容に従って検査を行い、確認方法記載の不正データの発生がなければ合格（OK）とする（図 3.3.2.4-8）。

表 3.3.2.4-6 軌跡抽出エラーの確認内容

	検査項目
①	軌跡抽出結果の末尾にタイムスタンプが 00000000 となるデータが存在しない事
②	認識結果 ID に重複がないか確認
③	認識結果に抜けがないか（フレーム欠落）

OK 0、 NG 1

		検証項目	結果	確認日
20220827_133017_234	①	fle_result_single.csvの末尾にタイムスタンプが00000000となるデータが存在しない事	0	2022.12.07
	②	認識結果IDに重複がないか確認	0	2022.12.07
	③	認識結果に抜けがないか（フレーム欠落）	0	2022.12.07

図 3.3.2.4-8 確認結果記載例

b） 車両軌跡品質確認検査

i） 横方向加速度の確認

横方向加速度の検査しきい値は、計測したデータをもとに決定した。図 3.3.2.4-9 は縦軸を横方向の加速度 m/s^2 とし、横軸を時間（Frame 数）に 400 台分の車両軌跡をグラフ化した。

車線変更を伴わない蛇行運転時に $0.3m/s^2$～$-0.3m/s^2$ 程度の横加速度が発生している事を確認したので、

（横方向の加速度）＞ 0.04G or （横方向の加速度）＜ -0.04G

を品質検査のしきい値とした。

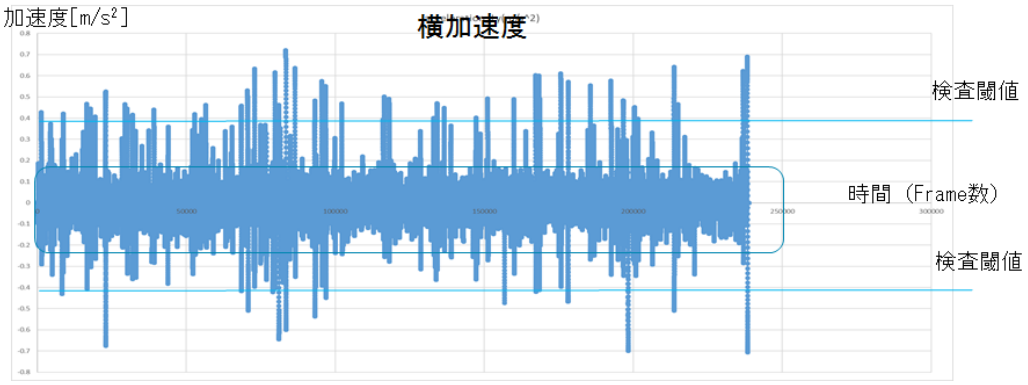


図 3.3.2.4-9　検査しきい値の根拠（横方向加速度）

ii)　進行方向加速度の確認

進行方向加速度の検査しきい値は、計測したデータをもとに決定した。図 3.3.2.4-10 は縦軸を進行方向の加速度 m/s² とし、横軸を時間（Frame 数）に 400 台分の車両軌跡をグラフ化した。渋滞時は、割込み時の加減速と、停車と発車を繰り返すので

（進行方向の加速度）＞ 0.15G　or　（進行方向の加速度）＜ -0.15G

の車両が 2000 台以上検出される事が想定されるため 2000 台程度で確認した値からしきい値を定めた。

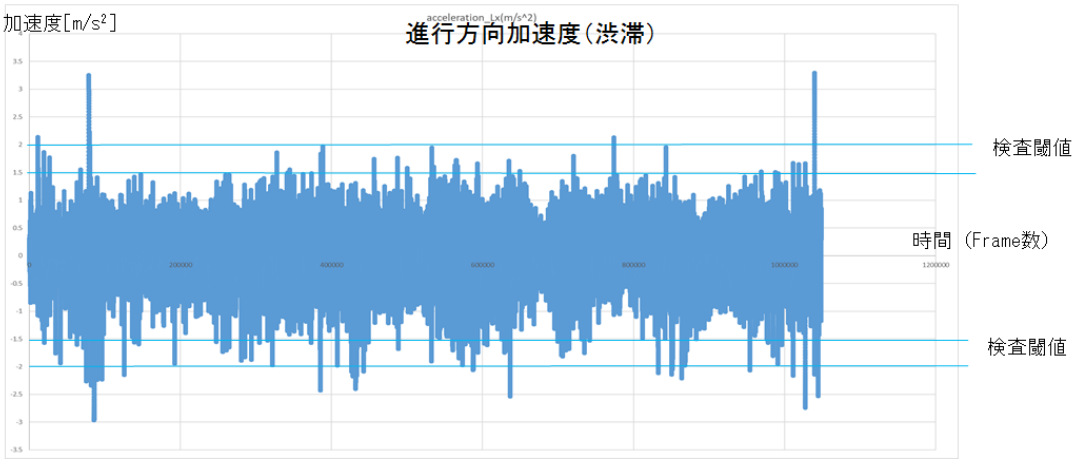


図 3.3.2.4-10　検査しきい値の根拠（進行方向加速度）

（4） 車両推定処理プロセス

品質保証プロセスにおける検査基準の前提として、データを生成する際に使用したデータコンテンツ仕様書に基づいて検査した。品質保証プロセス基準には、信号範囲、正常値範囲、例外値と無効値を定義し、品質検査において検査対象データが上記の検査基準値に適合するかどうかの判定結果を 7 種類の品質情報タグに分類し、それぞれに対応するタグ値を割り当てた（表 3.3.2.4-7）。

表 3.3.2.4-7 品質情報タグと判断基準

タグ値	品質情報タグの種類	判定基準
1	正常 1：検査基準値内	正常な処理で出力された検査基準値内の値
2	注意 1：例外状態の通知	システムが異常な状態にあることを通知する値（異常値）
3	注意 2：システム上で無効と判断したデータ	システム的に「使わない」と定義したデータに割り当てられる値
4	注意 3：一般的な交通状況で想定される範囲外のデータ	一般的な試験環境において発生しうる値の範囲を検査基準として設定
5	異常 1：定義された信号範囲外のデータ	センサ等から出力されるデータ型で定義されている値の範囲外 1 件でもあれば総合判定は不合格
6	異常 2：欠損データ（空白値）	出力されるべき値が出力されず空白となっている状態
7	異常 3：システム上で定義された書式に適合しないデータ	文字列書式が既定のパターンに適合しない場合の値

a） 信号範囲

信号範囲とは各データ項目の値を生成するシステム（以下、「軌跡データ処理システム」という）において定義される範囲を指す。例えばデータコンテンツ仕様書で規定されるデータ車両進行方向（方角）（絶対方位）では図 3.3.2.4-11 の赤枠に記載のとおり、信号範囲が 0~360 と規定されているため、信号範囲外の値は軌跡データ処理システムが正常に機能しているのであれば絶対に出力されることのない値である。

データID	PL009	カテゴリ	信号
名称	車両進行方向(方角)(絶対方位)		
内容	車両進行方向(方角)(絶対方位)		
取得方法	非開示		
定義	真北0.0[degree] 時計回り(右回り)を正方向 0≦x＜360[degree]		
更新周期	計測車両: 100[msec]	定点観測:	16[msec]
分解能	処理系に依存		
データ型	float		
単位	degree		
信号範囲	0.0 ～	360.0	
正常値範囲	– ～	–	
例外値	–		
無効値	–		
特記事項	*ローカライザ未学習時は不定値となります。		

図 3.3.2.4-11　車両進行方向（方角）（絶対方位）

b)　正常値範囲

正常値範囲は通常の交通状況で起こりえると考えられる値の範囲である。後述の例外値と無効値を除けば、この範囲内に無い値が出力された場合は、異常な交通状況や、センサの誤検出およびセンサデータの解析性能限界などによるものと考えられるため、現実とは異なる結果のデータ（以下、「誤りデータ」という）とした。

例えば、日本国内の自動車の制限速度は高速道で通常 100km/h、一部実験区間でも 120km/h であり、何らかの事情でこれを上回る場合でも国産車であれば通常はリミッターで 180km/h 以下に制限されることから 180km/h 以上の速度が出力された場合はセンサの誤動作などによる誤りデータの疑いが発生する。しかし、軌跡データ生成システムとしては誤りデータであったとしてもセンサから出力された値、あるいは前処理プロセスの解析結果の値を用いて正しく処理した結果であるため、システムとしての異常動作ではない。また、通常は発生しない 1G 以上の加速度が出力された場合、事故などが発生した状況を反映している可能性もある。

正常値範囲外のデータには注意タグを割り当て、出力される件数に関わらず合格と判定した。

c)　例外値

例外値は軌跡データ処理システムで例外が発生した際に出力する値である。例えば、通常は何らかの値が記録されるデータ記録欄に空白値があった場合に例外処理（システムが想定していないエラー）として-1 を例外値とした。例外値は軌跡データ処理システム的には正しく例外処理をした結果として出力される値であるため出力件数に関わらず合格と判定した。

d)　無効値

無効値は軌跡データ処理システムで無効であると判定した際に出力される値である。例えば、センサが信号受信していない場合などに有効な値を出力できないため実出力の代用値として無効値を設定。無効値は軌跡データ処理システムの処理上の問題を意味するものではなく正しく処理した結果として出力される値であるため出力件数に関わらず合格と判定した。

e)　総合判定

表 3.3.2.4-5 の異常タグ（異常 1~3 のいずれか）が 1 件でも出力された場合、総合判定は不合格と判定した。異常タグは軌跡データ処理システムにおいてあり得ない値であるため、処理結果全体の処理結果に疑義が生じ、後処理プロセスにて使用されるべきではないためである。

また、異常タグが 1 件も出力されなかった場合は全て OK（合格）と判定される。注意タグについては正常値範囲外かつ信号範囲内の値が検出された場合に出力されるが、注意タグの出力件数あるいは割合によらず総合判定を合格とした。

（5） シナリオ抽出処理プロセス

シナリオ抽出処理プロセスの品質検査は各データ項目の特徴に合わせて、表 3.3.2.4-8 に示す確認事項の内容で実施した。

表 3.3.2.4-8 確認事項の実現方法

#	確認事項	実現方法
1	不正文字列の確認（完全一致）	各値と想定する文字列のリストを突合し、想定通りの値かを確認
2	不正文字列の確認（書式一致）	正規表現を用いて各値が書式に一致するかを確認
3	数値が範囲内かの確認	各値が下限値以上、上限値以下であることを確認
4	データ型の確認	各値が、想定するデータ型であることを確認
5	欠損の確認	値が N/A（Not Avairable）でないことを確認
6	数値の指数表記の確認	各値に文字列として e または E が含まれていないことを確認
7	列の並び順の確認	想定するヘッダー名と並び順を確認

品質検査の合否は「値レベル」「運行 ID レベル」の 2 種類を定義した。

・値レベルの合否

1 データ毎の値（表 3.3.2.4-6）を確認事項に従って検査をして合格・不合格を判断

・運行 ID レベルの合否

1 運行データ毎の値レベルの合否を集約した結果をもとに合格・不合格を判断

品質検査を実施した結果、すべての確認事項で問題ない場合に後処理プロセスへ譲渡するため総合判定は値レベルの合否を集約した結果、不合格数が 0 件の場合のみ合格とした（図 3.3.2.4-12）。

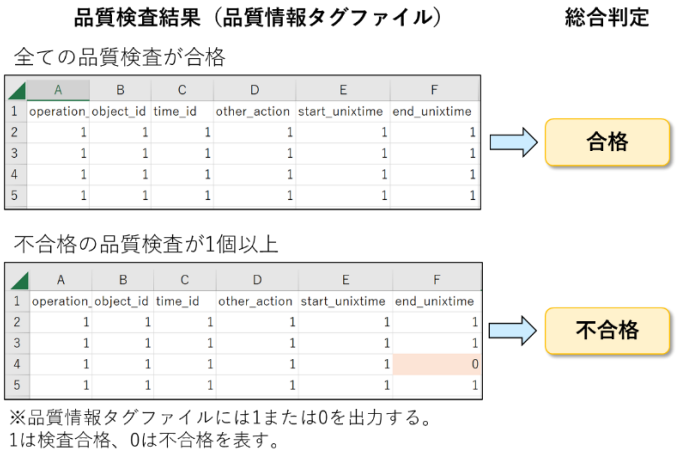


図 3.3.2.4-12 総合判定の決定方法

3.3.2.5　品質検査・保証の実施結果

SAKURA 処理プロセスの中で構築した各品質保証プロセスを実際に運用して欠損データや定義範囲外データが検出できているかを図 3.3.2.5-1 のフローに従って妥当性の検証を行った。

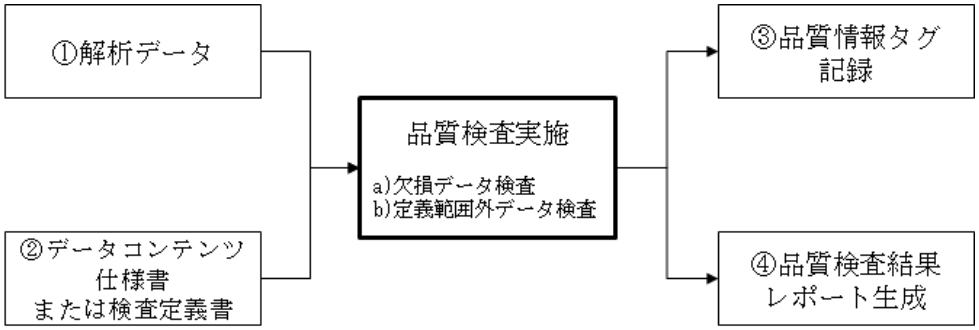


図 3.3.2.5-1　検証結果範囲

（1）　検査定義書の有用性の検証

点群データ処理プロセスで使用される検査定義書（3.3.2.3（1）では検査仕様書と記載）に基づいて品質検査を実施した。

検証対象ファイル：

・20191020_094349_000_car3_autoware_tracked_object.csv（図 3.3.2.5-1①）

・qa_conditions.yaml（図 3.3.2.5-1②）

・品質保証データ定義.pdf（図 3.3.2.5-1②）

期待する結果：

検査仕様書に記載している定義範囲外のデータであれば 1、2、3 のいずれかが記録され、定義範囲内のデータであれば 0 が記録されていること（数値は表 3.3.2.4-1 参照）

結果：

図 3.3.2.5-2 に示す通り検査仕様書に記載した前後方向位置の正常域範囲（-100≦x≦100）に対して解析データにはその範囲外（-100 以下）のデータが記録されており（図 3.3.2.5-3 の黄色セル）、品質検査によって正常域範囲外のデータとして品質情報タグファイルに期待通りのタグの値 3 が記録された（図 3.3.2.5-4 の黄色セル）。

pose.position.x

概要	前後方向位置
詳細	検出物標の自車中心座標における前後方向の位置座標
値域	-inf:inf
正常域	-100:100
データ型	float64
異常値	なし
単位	m
備考	自車正面方向が正、かつ検出物標の中心の座標．LiDARの計測限界・物標検出モデルの学習領域 (-70 mから70 m)を考えると-100 mから+100 m程度が信頼のおける区間の限界と思われる

図 3.3.2.5-2　検査仕様書記載の正常域範囲

1.57153E+18	2	15961	1.57E+18	velodyne	1046	truck	0.3.1.post1	-126.113	-19.351
1.57153E+18	3	15962	1.57E+18	velodyne	1046	truck	0.3.1.post1	-130.089	-19.2893
1.57153E+18	2	15963	1.57E+18	velodyne	1048	car	0.3.1.post1	-42.0086	-6.95182
1.57153E+18	2	15964	1.57E+18	velodyne	1048	car	0.3.1.post1	-41.744	-6.94484

図 3.3.2.5-3　解析データで該当箇所の確認

1571533840	0	0	0	0	0	3	0
1571533840	0	0	0	0	0	3	0
1571533840	0	0	0	0	0	0	0
1571533841	0	0	0	0	0	0	0

図 3.3.2.5-4　品質情報タグファイルで正常域範囲外データの検索

（2）　欠損データ検出の検証

点群データ処理プロセスを 3.3.2.3（4）の検査手法に従って品質検査を実施した。なお、判断基準は 3.3.2.4（4）に準拠している。

検証対象ファイル：

・20191020_094349_000_car3_autoware_tracked_object_verified.csv（図 3.3.2.5-1③）

・Report_Pass_20191020_094349_000_car3.json（図 3.3.2.5-1④）

期待する結果：

欠損データには 1 が記録されること（数値は表 3.3.2.4-1）

結果：

品質検査結果レポート（図 3.3.2.5-5）から総検査数 1932245 個に対して赤色の網掛け部分の通り 6033 個のデータに対して欠損データが検出され品質検査結果レポートに記録された。

```
{
   "valid": 1932245,
   "invalid （missing values）": 6033,
   "invalid （out of value range）": 0,
   "invalid （out of valid range）": 835,
   "number of items checked": 1939113,
   "validation passed": "true",
   "record id": "20191020_094349_000_car3",
   "validated at": "Tue Feb 21 13:53:45 JST 2023",
   "tool version": "v23.2.1",
   "config version": "v23.2.1"
}
```


図 3.3.2.5-5　品質検査結果レポート

次に品質タグ情報ファイルから欠損データ箇所を参照すると図 3.3.2.5-6 の赤の網掛け部分に示しているように期待通りに欠損データの 1 が記録されていることが確認できた。

time	/autow	/autow	/autow	/autow	/autow	/autow	/autow
1571532870	1	1	1	1	1	1	1
1571532870	1	1	1	1	1	1	1
1571532870	0	0	0	0	0	0	0
1571532870	0	0	0	0	0	0	0

図 3.3.2.5-6　品質情報タグファイル（軌跡データ）

欠損データとしてタグの値 1 が記録された物に対応する解析データを参照すると実際に欠損データとして記録されていたことが分かり、品質検査は期待通りに処理できていることが確認できた（図 3.3.2.5-7）。

1.57153E+18									
1.57153E+18									
1.57153E+18	6341	1.57E+18	velodyne	461	truck	0.3.1.post	-57.8614	-3.61259	1.863936
1.57153E+18	6342	1.57E+18	velodyne	461	truck	0.3.1.post	-58.8718	-3.67062	1.863936

図 3.3.2.5-7　解析データ（点群データ）での結果確認

（3）　定義範囲外データ検出の検証

軌跡データ処理プロセスについて、3.3.2.3（1）と（4）の検査手法に従って品質検査を実施した。なお、判断基準は 3.3.2.4（1）　と（4）に準拠している。

検証対象ファイル：

・20200730_094729_000_car2_autoware_tracked_object_verified.csv（図 3.3.2.5-1③）

・AUTENV_20200730_094729_000_car2_validated.csv（図 3.3.2.5-1③）

・Report_Pass_20200730_094729_000_car2.json（図 3.3.2.5-1④）
・Report_Pass_20200730_094729_000_car2.xlsx（図 3.3.2.5-1④）

期待する結果：

正常範囲外のデータに対して、点群データ処理プロセスの品質検査では 3 が記録され、車両推定処理プロセスでは 4 が記録されること（数値は表 3.3.2.4-1 と表 3.3.2.4-5 参照）

結果：

品質検査結果レポート（図 3.3.2.5-8、図 3.3.2.5-9）の緑色の網掛けのとおり、定義範囲外データ（invalid （out of value range））または定義された信号範囲外データとしての検出はないが、黄色の網掛けのとおり、一般の交通環境では起こりえないような正常域外のデータ（invalid （out of valid range））または一般的な交通状況で想定される範囲外データが検出できた。

また、一般の交通環境では起こりえないような正常域外のデータ、または一般的な交通状況で想定される範囲外データが含まていることを品質検査レポートで示すことができた。


```
{
 "valid": 3410404,
 "invalid （missing values）": 2298,
 "invalid （out of value range）": 0,
 "invalid （out of valid range）": 3018,
 "number of items checked": 3415720,
 "validation passed": "true",
 "record id": "20200730_094729_000_car2",
 "validated at": "Tue Feb 21 14:24:30 JST 2023",
 "tool version": "v23.2.1",
 "config version": "v23.2.1"
}
```


図 3.3.2.5-8　品質検査レポート（点群データ）

検査運行ID:	AUTENV_20200730_094729_000_car2
総検査数:	11140956
正常1:検査基準値内のデータ:	9024019
注意1:例外状態の通知:	467969
注意2:システム上で無効と判断したデータ:	1613887
注意3:一般的な交通状況で想定される範囲外のデータ:	35081
異常1:定義された信号範囲外のデータ:	0
異常2:欠損データ(空白値):	0
異常3:システム上で定義された形式に適合しないデータ:	0
総合判定:	OK
検査実施日:	2023年02月23日 12:41:32
検査ツールver:	品質検証ツールVer1.00
仕様書ver:	提供データコンテンツ仕様書Ver1.08 + 検査基準書Ver1.08

図 3.3.2.5-9　品質検査レポート（軌跡データ）

次に品質情報タグファイルから検出した箇所の詳細情報を探すため表 3.3.2.4-5 のタグ値 4（一般的な交通状況で想定される範囲外のデータ）で品質情報タグファイル内の情報を検索すると図 3.3.2.5-10 に示すとおり、該当箇所を抽出することができた。

```
1596074197711,1,1
    :
,107,1
,109,1
,110,1
,113,4
,114,4
    :
```

図 3.3.2.5-10　品質情報タグファイル（軌跡データ）

図 3.3.2.5-9 でタグ値 4 となっているデータは ID113 と ID114 が該当し、データコンテンツ仕様書（図 3.3.2.5-1②）から該当する ID を確認すると「周辺オブジェクトの速度」と「周辺オブジェクトの相対加速度」の値が検出対象データとなることが分かった（図 3.3.2.5-11）。ここでは ID113（周辺オブジェクトの速度）で説明する。

周辺オブジェクトの状態	107
周辺オブジェクトのブレーキランプ点灯開始	108
周辺オブジェクトの映像上の大きさ 車両の長さ	109
周辺オブジェクトの映像上の大きさ 車両の幅	110
周辺オブジェクトの検知回数	111
周辺オブジェクトの走行レーン	112
周辺オブジェクトの速度	113
周辺オブジェクトの相対加速度	114
周辺オブジェクトの偏心角	115

図 3.3.2.5-11　データコンテンツ仕様書（軌跡データ）

図 3.3.2.5-12 には解析データ（図 3.3.2.5-1①）の該当箇所を抜き出しており、そこには ID113（周辺オブジェクトの速度）：88.9321m/s がデータして記録されていた。時速に変換すると 320.1km/h となり、一般の交通状況で想定される範囲外のデータであることが確認できた。

```
1596074197711,1,0
：
,107,3
,109,5.2
,110,1.79
,113,88.9321
,114,-167.96
：
```

図 3.3.2.5-12　解析データ（軌跡データ）の一部

このように品質情報タグファイルと品質検査結果レポートより、データの品質情報を調査することが可能である。これらの情報を各解析データの品質保証エビデンスとしてデータの管理者だけでなく利用者に対しても品質保証ができることが検証できた。本年度事業で構築した品質保証プロセスは適切なプロセスとして運用することが妥当であることが確認できた。

3.3.2.6 まとめ

本年度は令和 3 年度までに構築した SAKURA 処理システムで生成する解析データの品質をデータ利用者や管理者が参照でき、さらに信頼して利用できるようにするために、既に構築されている SAKURA 処理システムに適合した品質保証プロセスを検討した。解析済みのデータと新たに解析するデータのそれぞれに対応できるような品質保証プロセスが構築でき、この品質保証プロセスを発展させることでステークホルダーが持つ既存データへの適用も可能となる。

各品質処理プロセスで品質検査を実施することで後処理プロセスに影響を及ぼすようなデータが事前に検出できるため、後処理プロセスでは検出したデータを除去および補正することができる。さらに、品質検査実施エビデンスが SAKURA 処理プロセスで処理したデータ（以下、「SAKURA データ」という）に添付されるので、信頼性が高いデータとして取り扱うことが可能となる。

また、3.3.1 で検討したシナリオ分析用エビデンスの管理のデータ追跡の機能に品質保証プロセスで生成した品質情報タグファイルと品質検査結果レポートを関連付けることで、例えば、交通流分布グラフ（散布図）にプロットした 1 つのパラメータから、そのデータの品質情報を遡ることが可能であり、それによってシナリオ DB から各処理プロセスの解析データの品質情報を参照できるようになる。

本年度の品質保証プロセスでは欠損データや定義範囲外データの検出の検討を進めてきたが、さらにシナリオ DB の信頼性を担保してくためにはセンサデータの精度品質（データの尤度など）にも拡充して検討をすることが肝要と考える。

SAKURA データの品質を担保するために、品質保証プロセスの適用範囲を拡充し、それらの基準を定義することで SAKURA データのデータ品質基準が策定でき、SAKURA データだけでなく既存データもシナリオ DB に取り込むことができる。このような取り組みにより、シナリオの合理的に予見可能な範囲を実交通流の実態に合わせ継続的に更新するデータは、品質が保証されるため、よりシナリオ DB の合理性・信頼性を高めることができるようになる。

3.4 第 3 章のまとめ

本章では、合理的に予見される範囲および回避可能な範囲の定義、ならびにデータベースの実用化に向けた取り組みに関して述べた。3.1 では合理的に予見可能な範囲を特定するための取り組み、および一般道での安全性評価の考え方について報告した。3.2 では回避可能な範囲の特定について報告し、3.3 でデータベースの信頼性・透明性を担保するための導出エビデンス管理・処理プロセスの検討について報告した。

合理的予見可能な範囲について、地域差や道路形状などが合理的予見可能な範囲に及ぼす影響に関する定性的な影響に関する予備的な検討の結果、地域による顕著な違いは見られなかった。一方で、道路形状に関しては、道路形状の異なる合流路同士を比較した結果、傾向が異なっていた。そのため、合流路におけるシナリオについての合理的に予見可能な範囲を決めるためには、道路形状が持つパラメータ（合流路の長さなど）も重要な要素となるため、その点も加味してパラメータ範囲の推定を実施していく必要がある。また、直線路と曲線路（カーブ）の違いが合理的に予見可能な範囲に与える影響に関しても影響に関する予備的な検討を実施したが、顕著な違いは見られなかった。

一般道への安全性評価の拡張に向けた取り組みに関しては、令和 3 年度までの取り組みに引き続き交差点におけるシナリオを対象として、シナリオを表現するためのパラメータについて検討した。その結果、時間的な要素を含むパラメータを用いることが一般道のシナリオを表現するうえにおいて重要であることが明らかとなった。また、AD 車の ODD（走行経路）などを鑑み、一般道において評価すべきシナリオの絞り込み手法に関する検討を実施し、AD 車が走行する経路において評価が必要なシナリオを抽出する手法を提案した。また、複雑化するシナリオ（シナリオを表現するパラメータ数の増加など）に対して、パラメータの優先順位をつける手法を構築した。

回避可能な範囲の特定については、AD 車の立場（影響を及ぼされる側や及ぼす側など）によってクライテリアはどうあるべきかの整理を行うとともに、DS を用いた実験を実施し、レーンチェンジシナリオや運転交代要請におけるドライバの特性データを収集した。また、実際のニアミスデータを用いた指標を提案した。

シナリオデータベースの信頼性・透明性の担保に関して、データ収集からシナリオ分析における一連のプロセスにおける品質保証の取り組みを明確化した。また、シナリオになるまでのデータ（生データや軌跡データ、シナリオパラメータデータなど）に関して、機械的な紐づけ（トレーサビリティ）を行い、シナリオデータベースとそのシナリオが作られたエビデンスの関連付けを実施した。

第 4 章　国際協調・標準化活動及び海外動向調査

本章では、本事業（SAKURA プロジェクト）に関連した国際協調活動ならびに自動運転システムの安全性に関連した標準化活動について示す。また、諸外国の自動運転システムの実用化に向けたプロジェクトなどの状況に関する調査結果を示す。

4.1　ISO 34502 策定に向けた国際協調/標準化の推進

本節では，　AD システムの安全性評価に関する ISO 規格の適用範囲と現況ならびに ISO 34502 策定に対する SAKURA プロジェクトの取り組みについて述べる。現在、AD の安全性やサイバーセキュリティに関する多くの国際標準の策定が進められている（図 4.1-1）。図の縦軸は自動化レベル[1]を表しており（Lv0: No Driving Automation～Lv5: Full Driving Automation）、横軸はそれぞれの標準が取り扱う安全領域を表している。

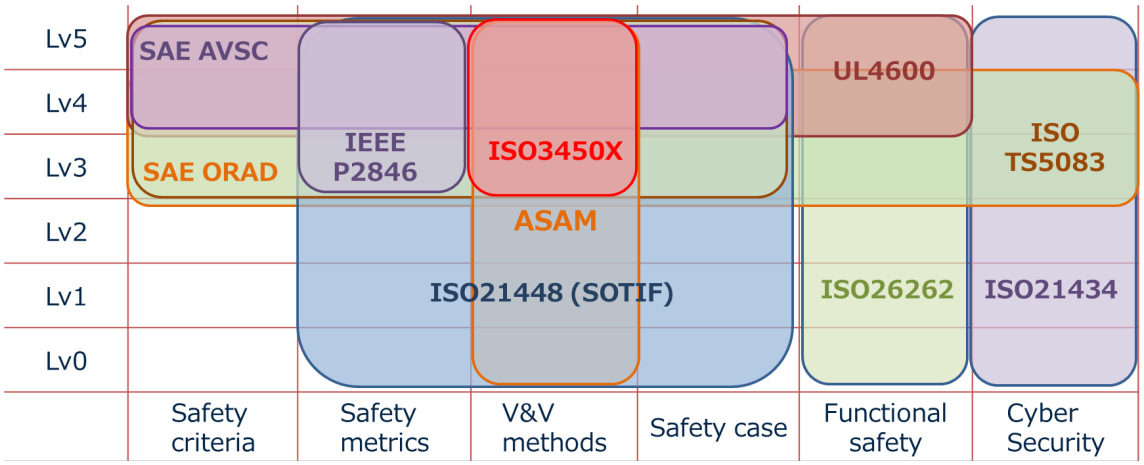


図 4.1-1　Overview of AD safety-related standards

SAE AVSC（Automated Vehicle Safety Consortium）[2]、SAE ORAD（On Road Automated Driving）[3]、UL4600[4]、ISO TS5083[5]では、レベル 3 以上の AD 車を対象とした安全ガイドラインとして、幅広い安全領域を網羅することに重点が置かれており、IEEE P2846[6]では標準化された安全指標の開発に重点が置かれている。

機能安全（ISO 26262）[7]とSOTIF（ISO 21448）[8]は異なる領域を対象とした安全性評価に有用な標準である。機能安全とは電気・電子システムの誤動作によって生じる不合理なリスクがないことと定義されており、ISO 26262は車両レベルのハザードを決定するためのハザード分析およびリスクアセスメントを規定している。これにより、システムの誤動作による潜在的なリスクを評価し、リスクを軽減するために必要なトップレベルの安全要求事項を定義することができる。外部環境や内部環境のセンシングに依存するシステムの中には、機能によって潜在的に危険な挙動をするものがある。そのため、ISO 21448は潜在的に危険な動作による不合理なリスクがないことと定義されている。

上記のすべての標準に加え、新しい一連の ISO 3450X[9-13]が検討されている。これらの

標準は、意図された機能に影響を与えるリスク要因と関連する潜在的に重大なシナリオを特定し、AD システムに不合理なリスクがないかどうかを評価するために適用するシナリオベースの安全評価プロセスを取り入れることによって、SOTIF に準拠するとともに仕様を追加するものである。ISO 3450X シリーズでは、シナリオベースの安全性に着目し、レベル 3 以上の検証・妥当性確認手法の標準化に焦点をあてている。これらの ISO 規格は、標準化されたプロセスを通じて開発されたシナリオを、異なるシミュレーションプラットフォームで適用できるようにするため、一連の詳細な技術規格と調整する必要がある。これらの技術的な詳細項目については、ASAM OpenX 標準に詳述されている[14]。

4.1.1 ISO 3450X シリーズの適用範囲と現況

ISO/TC22/SC33/WG9 において策定中の ISO 3450X シリーズを表 4.1.1-1 に示す。これらの標準はすべて、AD システムのテストシナリオに対するシナリオベースの安全性評価アプローチに関するものである。

表 4.1.1-1 ISO 3450X standards under development

ISO 文書 No	文書タイトル	スコープの概要	プロジェクトの状況	IS 発行の計画	リーダ (サブリーダ)
ISO 34501	Terms and definitions of test scenarios for automated driving systems 【用語と定義】	AD レベル 3 以上の用語と定義の明確化	IS 発行済	22 年 10 月	中国
ISO 34502	Scenario-based safety evaluation framework for Automated Driving Systems 【安全性評価シナリオの枠組み】	AD システムの試験シナリオと評価プロセスの技術枠組みの規格化	IS 発行済	22 年 11 月	日本 (ドイツ)
ISO 34503	Taxonomy for Operational Design Domain for an Automated Driving System 【ODD の分類】	AD システムの ODD を定義する階層分類の規格化	FDIS 準備中	23 年 5 月	UK (日本)
ISO 34504	Scenario attributes and categorization 【シナリオの評価】	試験シナリオの属性とカテゴリ分けの定義	DIS 投票中	24 年 5 月	オランダ (ドイツ)
ISO 34505	Test scenarios for automated driving systems — Scenario evaluation and test case generation 【シナリオ評価と試験条件の生成】	シナリオの評価と試験条件の生成	CD 準備中	未定	中国 (ドイツ)

ISO 34501[9]は AD システムのテストシナリオの用語と定義を規定している。レベル 3 以上の ADS への適用を想定した内容となっている。この標準は 2022 年 10 月に発行された。

ISO 34502[10]は AD システムのためのシナリオベースの安全性評価フレームワークのためのガイダンスを提供している。このフレームワークは製品開発時に適用されるシナリオベースの安全性評価プロセスを精緻化したものである。このフレームワークのガイダンスはレベル 3 以上の AD システムに適用されることを意図している。また、このシナリオに基づく AD システムの安全性評価フレームワークは高速道に適用される。この標準は 2022 年 11 月に発行された。なお、ISO 34502 の発行については、本事業である SAKURA プロジェクトの活動成果を活用する事で日本主導で行われた。

ISO 34503[11]は AD システムの運行設計領域（ODD）の定義を可能にする運行条件を指定するための最小限の階層的な分類の要件を規定したものである。主に、レベル 3 およびレベル 4 の AD システムに適用される。自動運転車のセーフティケース開発に携わる機関（特にトライアルやテストを行う機関）や商用展開を目的とする企業などが使用することを想定している。また、AD システムメーカがシステムの運用能力を定義するために使用することも想定されている。本標準は現在 FDIS の準備中であり、2023 年 5 月に発行される予定である。

ISO 34504[12]はシナリオに関する情報タグによるシナリオ分類アプローチを定義している。レベル 3 以上の AD システムに適用可能であり、都市部だけでなく地方や高速道路のシナリオにも適用可能である。本標準は現在 DIS の投票中であり、2024 年 5 月に発行される予定である。本標準の内容は ASAM Open X の技術標準[13]との互換性を実現するために必要なものである。

ISO 34505[14]はシナリオの評価および試験条件の生成法を定義している。本標準は現在 CD の準備中であり、内容についてはいまだ十分に議論が進んでいない。現時点では ISO 34502 と重複する記述が見られることから、それらの記述の修正を求めていくことや、今後の動向を注視する必要がある。

4.1.2　ISO 34502 策定に対する SAKURA プロジェクトの取り組み

ISO 34502「Road vehicles - Scenario-based safety evaluation framework for AD Systems」は SAKURA プロジェクトの活動成果を活用する事で日本の専門家の主導により作成された。具体的な取り組みとしては、テストシナリオに基づく評価プロセスの標準的要件を定義し、以下の項目に関しての情報を提供した。これらの主要な貢献を図 4.1.2-1 に示す。

- 物理原理シナリオベースのアプローチ
- 交通関連のクリティカルシナリオ
- 認識関連のクリティカルシナリオ
- 車両制御関連のクリティカルシナリオ
- ロジカルシナリオのパラメータ範囲の定義
- シナリオデータベース
- パラメータ範囲開発のための交通データの十分性に関する内容

2022 年 11 月に IS が発行された。

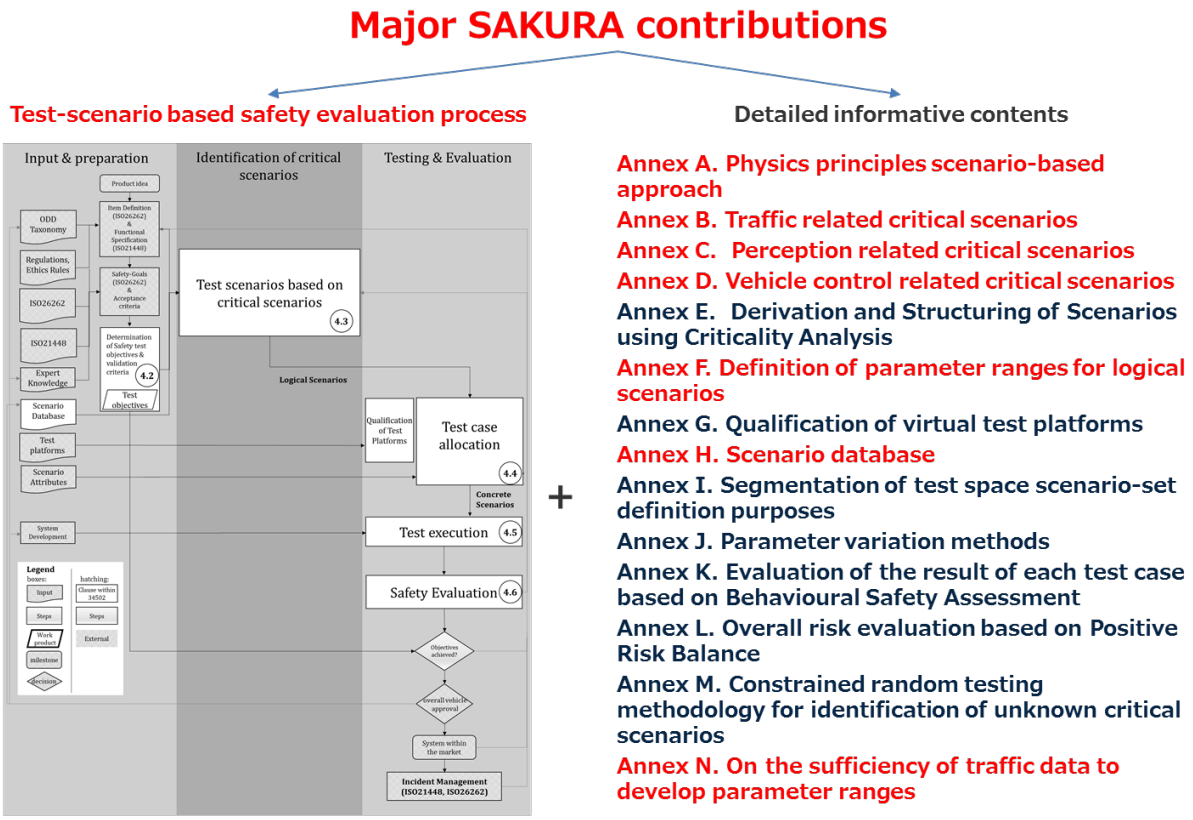


図 4.1.2-1　Contributions from SAKURA to ISO 34502 contents

参考文献

[1] SAE International J3016 "Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On Road Motor Vehicles"
https://www.sae.org/standards/content/j3016_202104/ （2023 年 3 月現在）
[2] SAE Automated Vehicle Safety Consortium
https://avsc.sae-itc.org/#about （2023 年 3 月現在）
[3] SAE On-Road Automated Driving (ORAD) committee activities
https://www.sae.org/works/documentHome.do?comtID=TEVAVS （2023 年 3 月現在）
[4] ANSI/UL 4600 Standard for Safety for the Evaluation of Autonomous Products
https://ul.org/UL4600 （2023 年 3 月現在）
[5] ISO/AWI TS 5083 Road vehicles — Safety for automated driving systems — Design, verification and validation
https://www.iso.org/standard/81920.html （2023 年 3 月現在）
[6] IEEE 2846-2022 IEEE Standard for Assumptions in Safety-Related Models for Automated Driving Systems
https://standards.ieee.org/ieee/2846/10831/ （2023 年 3 月現在）
[7] ISO 26262:2018 Road vehicles — Functional safety
https://www.iso.org/standard/68383.html （2023 年 3 月現在）
[8] ISO 21448:2022 Road vehicles — Safety of the intended functionality
https://www.iso.org/standard/77490.html （2023 年 3 月現在）
[9] ISO 34501:2022 Road vehicles — Terms and definitions of test scenarios for automated driving systems
https://www.iso.org/standard/78950.html （2023 年 3 月現在）
[10] ISO 34502:2022 Road vehicles — Scenario-based safety evaluation framework for Automated Driving Systems
https://www.iso.org/standard/78951.html （2023 年 3 月現在）
[11] ISO/FDIS 34503 Road vehicles — Taxonomy for operational design domain for automated driving systems
https://www.iso.org/standard/78952.html （2023 年 3 月現在）
[12] ISO/DIS 34504 Road vehicles — Scenario attributes and categorization
https://www.iso.org/standard/78953.html （2023 年 3 月現在）
[13] ISO/AWI 34505 Road vehicles — Test scenarios for automated driving systems — Scenario evaluation and test case generation
https://www.iso.org/standard/78954.html （2023 年 3 月現在）
[14] ASAM OpenX standards
https://www.asam.net/standards/ （2023 年 3 月現在）

4.2　諸外国との協調・国際会議におけるトレンドの調査

自動運転の安全性評価手法の開発は各国で進められているが、各メーカの開発にかかるコストの削減にもつながるため、国際的に協調した安全性評価基準・標準化を進めていくことが望ましい。本節では、各国の研究機関との協調活動や、国際会議における議論の動向について報告する。はじめに、4.2.1 では各国の研究機関との議論の状況を報告し、4.2.2 では、国際会議における調査結果について報告する。

4.2.1　諸外国との協調活動

4.2.1.1　ADScene （仏国）

ADScene プロジェクトは、先行していた MOOVE プロジェクトおよび SVA プロジェクトにおいて開発された「MOSAR」と呼ばれるテストシナリオの管理ツールをもとに、AD システム開発のため各種ツールの連携プラットフォームの提供を目的としている。走行シナリオ、HMI（Human machine interface）設計、検証や妥当性確認のためのツールを対象としている。

ADScene プロジェクトと本事業である SAKURA プロジェクトとの連携を検討するために、両プロジェクトの関係者間で議論を行い、2022 年 10 月にはオンラインでのテクニカルワークショップを開催した。ワークショップでは、交通環境データ収集、データ処理、シナリオ定義、開発中のシナリオ DB 管理ツールの詳細について、プレゼンテーションおよび詳細な議論が行われた。特に、ADScene からは 事故データから試験シナリオを抽出する機能について紹介された（図 4.2.1.1-1）。

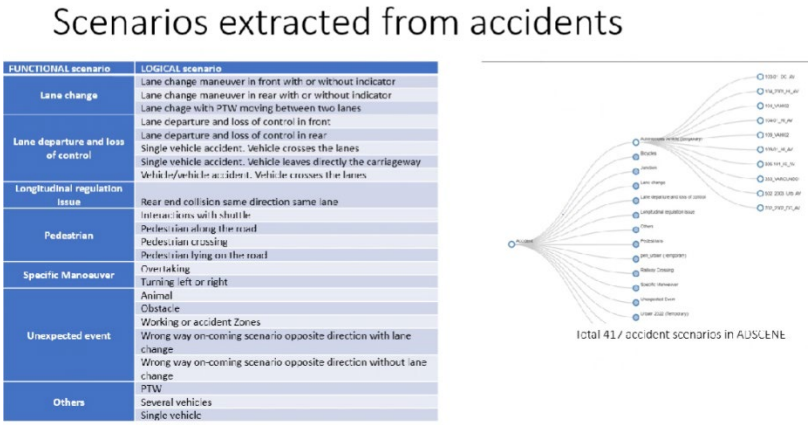


図 4.2.1.1-1　ADScene による事故データに紐づいたシナリオ抽出機能

4.2.1.2　Virginia Tech Transport Institute & Automated Mobility Partnership （米国）

米国最大の交通研究機関である Virginia Tech Transportation Institute（以下、「VTTI」という）では、市中を走行する自動車から収集された自然交通流データの分析が行われており、Automotive Mobility Partnership（以下、「AMP」という）と呼ばれるサービスにより、会員制ではあるものの、交通流データやその分析結果が提供されている。VTTI に対しては、米国運輸省（US DOT）も資金を拠出しており、一般市民に向けたデータ提供活動も進められている。SAKURA のシナリオ DB の機能拡張、北米における標準化の動向調査などを目的とし、以下の会議に参加し議論を進めた。

① AMP 運営委員会の定例会議

SAKURA のシナリオ DB の開発や拡張に資するため、AMP 運営委員会の月例会議に SAKURA プロジェクトメンバーが積極的に参加し、情報交換を行っている。本年度は、L2-ADAS 車両のデータ収集、交差点シナリオの収集などが紹介された。また、Automated Vehicle Safety Consortium のサポート活動として、レベル 2-ADAS 車両のニアミス、事故データを提供していることが報告された。さらに、死角シナリオのデータ追加状況などが紹介され、今後の活動に関する議論が進められた。

② VTTI-SAKURA 打ち合わせ

2023 年 11 月に SAKURA 関係者が VTTI を訪問し、関係者で打ち合わせを実施した。安全性評価、L2ADAS/L3ADS の運転交代、大型車の自動運転に関する議論を行った。

はじめに、交差点におけるリスク評価に関して、対向車との Post Enchroachment Time（PET）を導出し、妨害を評価する手法について議論を行った。今後、AMP のデータベースにも PET を算出可能なアルゴリズムを組み込むことが承認された。また、実交通データを用いた安全性評価について、通常の事故が起きていない場面での運転データ（Naturaristic Driving Study：NDS）のパラメータ外挿で危険な場面（Critical Scenario）が導出可能であるかを議論した。NDS の外挿によって再現可能な領域と、特異な場面の双方が存在し、NDS の外挿によって網羅できない範囲の安全性評価には事故データを取り込むことが必要であるといったことが議論された。

次に、レベル 2-ADAS/レベル 3-ADS の運転交代（Re-engagement）について以下のような議論がなされた。まず、運転タスクから解放されるレベル 2 やレベル 3 のシステム作動中は乗員が気を緩めていることがあり、運転交代要請（Request to Intervene、 RTI）に対して速やかにかつ安全に Re-engagement を行えないことが想定される。実際に VTTI の収集したデータにはそのような場面が多く含まれており、AD システムといえども、レベル 4、レベル 5 に至る過程ではヒューマンファクターを無視できない。SOTIF においても合理的に予見可能な誤使用を想定した設計を行うことを要求しており、Re-engagement の安全性をどのように評価すべきか議論を行った。

さらに、大型車の取組について、米国においては物流業界のドライバ不足や、過重労働が問題となっており、大型車の自動運転実用化の需要が大きいことが紹介された。

③　VTTI-JAMA-SAKURA ワークショップ

VTTI、JAMA、SAKURA 関係者で 2023 年 1 月に打ち合わせを実施し、特に今後の北米における AD の安全性評価について議論した。Waymo が ISO 34502 を引用して安全性評価を進めていること[1]や、AMP のデータベースに基づいて安全論証を実施していることが紹介された[2]。

また、日本の自動車メーカが米国市場展開する上で、米国の動向を把握することは重要であり、米国における標準化に向けた取り組みや大型車の AD に関する取り組みを共有することの重要性が議論された。さらに、日本国内のデータが限られている合流部のシナリオや一般道の交差点のシナリオなど、AMP データベースに収録されているデータの活用に関する議論を行った。高速道路の安全性シナリオパラメータの拡張や、一般道の安全性シナリオ構築に向けて上記データの活用をすることなど、引き続き議論を進める。

4.2.1.3　SUNRISE （欧州）および VVM（独）

SUNRISE[3]は HEADSTART[4]の後継プロジェクトとして、欧州における AD 車（通信による協調含む）の安全性評価フレームワークの開発を目的として設立された。安全性評価手法やデータの共有を目指して 2022 年 9 月から活動が開始されている（図 4.2.1.3-1）。SAKURA プロジェクトは前身の HEADSTART と共同で White Paper を発行した実績があるため、SUNRISE 関係者とも連携の必要性が議論されている。また、独 VVM（Verification and Validation Methods）[5]は PEGASUS の後継プロジェクトとして、包括的な安全性評価フレームワークを目指した活動を進めている（図 4.2.1.3-2）。

日欧の自動運転の安全性評価手法に関する国際協調を継続的に推進するため、SUNRISE、VVM の関係者と打ち合わせを実施し、今後以下の点で連携を進めることが提案された。ただし、技術、手法の共有については現時点で抽象的であるため、今後各プロジェクトの利害関係者との議論を進めながら具体化していくものとする。

①　合意事項

・協力は主に公開文書やオープンソース／データレベルで行う。

・協力分野については 1）国際連携 PR、戦略的協力、2）技術の共有、3）手法の共有、の 3 点で整理して議論する。

②　国際連携 PR、戦略的協力

・連携の推進のため、年 2 回程度の対面会議を目指す。

・対面会議は、ITS European/Wolrd Congress、TRB ARTS などの国際会議に併せて開催する。

・安全性評価における協力可能な分野の特定を行う。

・いずれかの国際会議で各プロジェクトの最新の研究成果を共有するセッションを企画する。

③　技術の交流

・データ、モデル、シナリオに関する技術情報を交換する

・代表的なシナリオに基づき、そのパラメータやシミュレーションタスクなど、実装ステップを対象とする。

④　手法の共有

・各プロジェクトの手法が類似する場合、シミュレーションやテスト環境への実装といった観点から、共有によって得られる利点について議論する。

・ISO 規格などへの標準化やオープンツールの活用についての議論を進める。

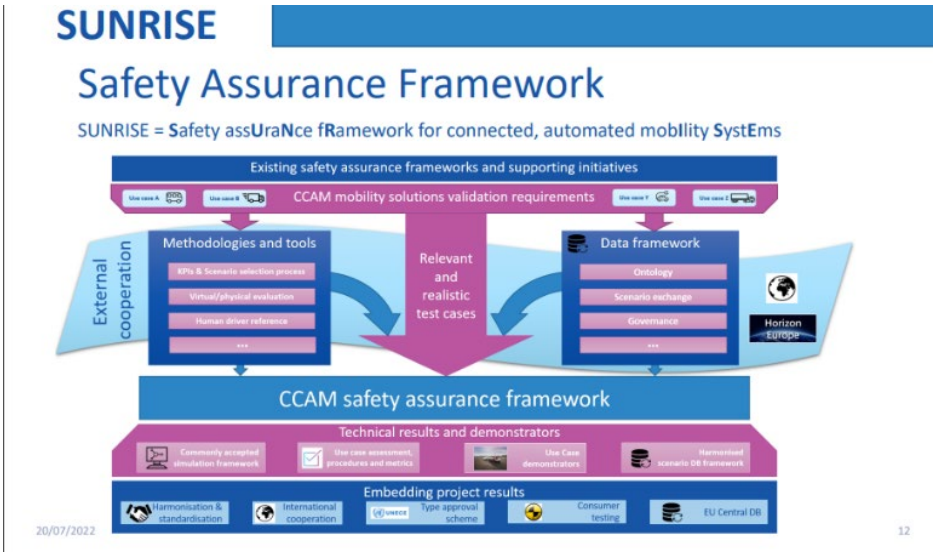


図 4.1.2.3-1　SUNRISE が提案する安全性評価フレームワーク

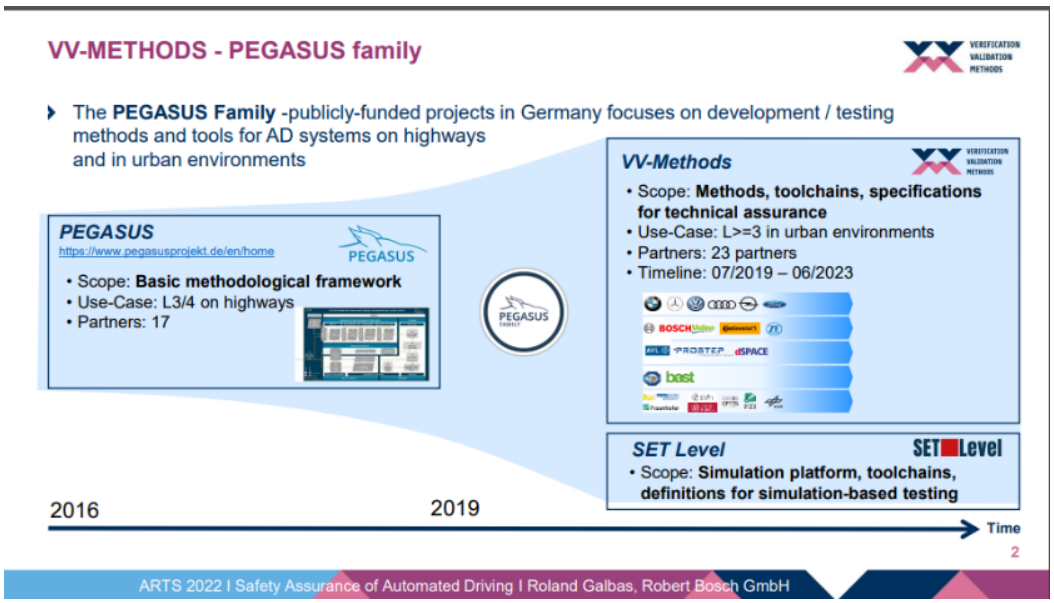


図 4.1.2.3-2　VVM の成り立ち

参考文献

[1] K.D. Kusano 他 Collision Avoidance Testing of the Waymo Automated Driving System
https://waymo.com/safety/　（2023 年 3 月現在）
[2] J. Engström 他　Modeling Road User Response Timing in Naturalistic Traffic Conflicts: A surprise-based framework
https://arxiv.org/pdf/2208.08651.pdf　（2023 年 3 月現在）
[3]SUNRISE
https://cordis.europa.eu/project/id/101069573　（2023 年 3 月現在）
[4] HEADSTART
https://www.headstart-project.eu/　（2023 年 3 月現在）
[5] Verification and Validation Methods
https://www.vvm-projekt.de/en/　（2023 年 3 月現在）

4.2.2 国際会議におけるトレンドの調査

本年度は多くの国際会議が対面で開催された。オンラインと比較して対面での発表はより最新の情報が公開されることが多く、また、実機によるデモンストレーションなども併設されることがあるため有益な情報を得やすい。以下、3 つの学会について調査結果をまとめた。なお、各学会の参加セッションのうち本事業の推進に関連する可能性の高いものを抜粋している。

4.2.2.1 TRB Automated Road Transportation Symposium 22（TRB-ARTS22）[1]

（1） 概要

日程：2022 年 7 月 18 日（日）～21 日（水）
場所：米国・ガーデングローブ
総括：①高度な自動運転（L3 以上）には通信（V2X）は必須と考えられている、②実交通データとモデル（シミュレーション）の両輪を活用して安全性を示す必要がある、③L4 までの自動運転においては遠隔監視・操作の活用を視野に入れるべきである、④国際的に協調して基準や標準の策定を進めていく必要がある、といったことが議論された。また、オンラインで公開されている情報は最新のものではないことが多く、特に実証実験は公開情報よりも数年は進んでいる印象を受けた。

（2） 政策・標準化関連セッション

① Digital Infrastructure for Roadway Transportation and Automation Integration

本セッションではデジタルインフラ実装によるメリットを実現するために、政府、産業界が取り組むべき事柄について議論がなされた。現在はまだデジタルインフラに関する用語や実装の優先順位について方針が定まっていないため、用語などの定義から始める必要がある。また、産業側としては、ビジネスモデルができないと先に進まないという意見が交わされた。

② ADS Standards Hot Topics: Operational Design Domain （ODD） & Operating Envelope Specification （OES）

SAE、ISO、ASAM、や NIST がそれぞれ取り組んでいる ODD や OES の標準化活動が紹介された。規制当局と OEM それぞれの立場から見た ODD の活用方法や、今後の標準化活動に向けて現状の課題が議論された。

③ Remote Assistance and Teleoperation for Automated Vehicle Operations

遠隔監視・操作は自動運転の普及を加速させる要素になりえるが、さまざまな課題がある。特に、遠隔監視者の訓練や試験に関する標準化の必要性、さまざまな通信規格や手法に対応して機能するように推奨すること、end-to-end の通信を模擬できるモデ

ルの必要性、V2Xのソフトウェア、通信の枠組みに関する標準を具体化すること、などが議論された。

④　Human Factors of Remote /tele operation for AVs

ISOにおける自動運転の遠隔操作の標準化活動について発表された他、SCANIA（スウェーデン)、DLR（独)、産総研（日）から各々が取り組んでいる遠隔操作を用いた自動運転の研究状況について説明があった。遠隔操作者の状況認識や注意散漫などのヒューマンファクター、HMIなど、遠隔操作者特有の課題について議論された。

（3）　安全性評価関連セッション

①　Safety Assurance of Automated Driving

安全論証に関する国プロの現況について、独、米、日から報告があった。また、規制側（当局側）が考える安全性論証の手法や、産業側（米4社）が考える安全論証フレームワークが紹介された。安全論証は引き続き国際的な調和が必要とされる一方で、産業界からも独自のフレームワークが複数提案されている。今後はそれらについて産学官において透明性の高い情報交換が必要であることが議論された。

②　AV Testing & Data Collection

はじめに、米国におけるデータ計測やシミュレーションの取組が紹介された（ADS Data Acquisition & Analytics Platform、CARMA CDA Simulation Platform、VOICES)。続いて欧州のARCADE CSA （EU)、HEADSTART、SUNRISE（EU）に関する取り組みが紹介され、データ共有の重要性やデータ共有の障害になる利害関係者の問題について議論された。標準化に向けては引き続き議論が必要で時間がかかること、現時点での標準化規格で不十分な点についてのレビューが必要なこと、一般的（世界的に）に受け入れられる安全性評価フレームワークの拡張に向けて新たなプロジェクトの必要性などが意見された。

（4）実用化関連セッション

①　Inconsistency of AV Traffic Flow Impact: Predictions in Literature

ACCが今後さらに普及した際の交通流への影響について複数の機関から発表があった。ACCは現在よりも渋滞を悪化させる可能性があるが、電動パワートレイン技術やコネクティッド技術によって、ACCの悪影響を緩和できることが示された（内燃機関車よりも電動車の方が自動運転技術との相性がよい)。

②　ADS Trucks: Potential to make the Road Safer – FMCSA Perspective

物流分野における職業運転者不足の懸念からトラックの自動運転の必要性に関する議論がなされた。産業界は職業運転者の仕事を奪うのではなく、より運転を安全で容易にするような技術開発を促進するべきとの議論がなされた。

③　Automated Trucking Research and Development

公共、民間、双方の視点から自動運転トラックに関する議論がなされた。すでに民間の分野で自動運転トラックの開発は進んでいるものの、自治体と連携して実用化を進める必要があり、そのために必要な検討項目に関する意見が交わされた。具体的には、安全性評価を含めた開発プロセスの透明性や、データの共有の必要性などが述べられた。

④　AVs in Rural America: What can we learn from the data?

Rural（市街地・住宅地ではない一般道）で AD 車を走行させる際の課題について、計測車によるデータ収集走行や AD 実証実験から得られたデータをもとに議論された。Rural は市街地以上に走行環境のバリエーションが多く、また企業・団体が持つデータもまだ少ないため、関連する全てのステークホルダーとオープンに課題を議論する必要がある。

⑤　Enhancing Mobility with Automated Shuttles and Buses

自動運転バスとシャトルに関する発表が行われ、市街地や大学キャンパス、空港などにおける実証事例が紹介された。走行データの分析や、技術応用、利害関係者による周知活動などについて議論された。

⑥　Interactive Traffic Management for Highly Automated Vehicles

インフラ協調を含めた V2X が今後の AD には必須の技術（ODD の拡張や交通ルールの適用に）であることが議論された。一方で、V2V や V2I のデータ通信品質の課題やヒューマンファクターなど予想されないマイナスの要素などが懸念事項として挙げられた。利害関係者間での連携やヒューマンファクターに関するさらなる研究の必要性が示された。

4.2.2.2　2022 ITS World Congress [2]

（1）　概要

日程：2022 年 9 月 18 日（日）～22 日（木）
場所：米国・ロサンゼルス
総括：本学会は、欧州、米国、日本の ITS 関連団体により共同開催される国際会議である。 ITS に関する 技術開発、政策、市場動向などについて、幅広い視点で議論意見 交換がされ 最新情報の入手が可能である。自動運転に関するセッションでは、①地域独特の課題、②社会受容性、③ 早期社会実装のための国際連携などについて議論された。

（2）　政策・標準化関連セッション

① SIS32: Automated Bus Consortium Digital Infrastructure for Roadway Transportation and Automation Integration

AECOM で設立した Automated Bus Consortium （ABC）の活動内容が共有された。現状では、サイズが小さい自動運転シャトルバス（Automated small vehicle shuttle）の技術については検証されつつあるが、フルサイズのバスのレベル 4 相当の技術についてはあまり検証されていない状態である。今後、EV のフルサイズバスを中心に開発する計画が進められている。フルサイズ自動運転バスの最新技術に関して紹介された（New Flyer の Level 4 Automated Bus と ADASTEC/KARSAN の Level 4 Automated Bus)。また、フルサイズ自動運転バスの検証実験のための検証ルート候補について紹介された。

② SIS46: Doing More with More: Putting Public Funds to Work to Eliminate Vulnerable Road User Fatalities

Vision Zero（交通事故死者数ゼロ）のためのプロジェクトが AD 技術の発達のために進んでいるが、AD 技術だけではなく、道路、歩行者などを統合的に考えるための、Road Safety Program 2030 の必要性について主張された。特に歩行者の行動をパターン化するのは非常に難しいので歩行者の動きなどを予測するための技術を研究する必要性について説明があった。各行政機関の取り組みとして、LA Metro からは道路で事故や危険を周りの車に警告するための C-ITS Road operator vehicle が紹介された。この車には CAN コントロールユニットやアンテナ（C-ITS、4G/LTE、GNSS）などが設置され、自動および手動で C-ITS メッセージを作成することができる。この車は 2022 年－2024 年に 100 台が普及する予定である。また、NYC DOT からは、過去 5 年間の事故データを分析したデータが紹介された。また、交通データ、事故データを確認できるウェブポータル（SIP Portal, Safety Data Viewer, Crash History）が紹介された。このサイトでは、マップベースで検索可能で、データや報告書をダウンロードできる。

（3） 安全性評価関連セッション

① SIS42: Extend the Operational Design Domain of Automated Vehicles to all Weather & Visibility Conditions Experienced 365 Days of Year

AD 技術で課題となっている ODD 範囲を広くするための実験、シミュレーション技術について紹介された。特に雨、水たまり、霧や雪などの状況で車線および物体を認識するための技術が紹介された。メルセデスベンツからは、濡れた道路で先行車がある場合、Spray 現象により LiDAR センサの精度が低くなる問題点を解決するため、LiDAR が濡れた道路に反射される現象をモデル化し精度をあげた事例が紹介された。続いて、Algolux からは、運送中に道路上で落とされた荷物などを検出するため、Image と Depth information を用いて深度を推定するための技術を紹介された。次に、Ansys が、霧によるセンサの認識精度低下を防ぐために水滴をモデル化し、Ansys プログラムによりシミュレーションする技術を紹介した。最後に、VTT からは、雪が積もっている道路を走行する際、Turbulent powder snow によるセンサの信頼性低下を防止するために、実車テストから得られたデータを AI 技術を用いて学習内容が紹介された。

② TS6: How to Measure and Evaluate Safety of Automate Vehicles

交通データの分析、運転支援システムに適用するための周辺車両の異常行動検出システム、一般道での自動運転技術のプロジェクトレビューについて発表があった。はじめに、アーヘン工科大学から High-Drive[3]データを用いて、実交データから道路環境による事故パターンについて分析を行った事例が紹介された。また、交通量と車線数に分け、走行距離ごとの事故発生をまとめた内容について紹介された。次に、Toyota Motor North America R&D から、怒り、急ぎなどのドライバの状態により不安全行動が発生する可能性について報告された。これらの不安全行動を検出するため、左右の車線を基準にした車両の横位置の変動からふらつきかどうかを判断するアルゴリズムを作成し、その結果が紹介された。

（4） 実用化関連セッション

① SIS13: ITS Data Access and Exchanges: Powering the Future of ITS

主に USDOT と ITS Joint Program Office が行っている Data Access and Exchanges Program について議論された。データ交換と AI 技術について 2 つのパネルセッションに分けて議論が進められた。

はじめのセッションでは自動運転上の Work Zone でのデータ収集のための Work Zone Data Exchange （WZDx） プロジェクトについて議論された。このプロジェクトのため、さまざまな活動が行われている。今後はデータの信頼性や交換方法が重要になり、その標準化活動が行われる見込みである。

2 つ目のセッションでは、US-DOT からデータ共有、処理、セキュリティのための AI およびマシンラーニング技術について議論された。AI 技術を用いたデータ交換のた

めの Integration Initiative （ROADII）プロジェクトが紹介された。物流分野における職業運転者不足の懸念からトラックの自動運転の必要性に関する議論がなされた。産業界は職業運転者の仕事を奪うのではなく、より運転を安全で容易にするような技術開発を促進するべきとの議論がなされた。

② SIS34: International Cooperation for Cooperative Level 4 Automated Mobility Service Deployment

レベル 4 自動運転車両を開発するための参加パネルの各国での取り組みについて紹介された。はじめに、東京大学柏の葉キャンパスで設立した Mobility Innovation Collaborative Research Organization （UTmobi）について紹介があり、その加入機関や設備について紹介された。また、RoAD to the L4、CooL4 の概要が紹介された。次にカリフォルニア大学の Center for Environmental Research and Technology （CE-CERT）について紹介され、自動運転技術のための研究、シミュレーション、V2X 技術に基づいた Smart Intersection について紹介された。特に V2X 技術に基づいた Smart Intersection のための技術である Cyber Mobility Mirror （CMM）のプロトタイプについて紹介された。次いで、VTT からは SHared automation Operating models for Worldwide adoption （SHOW）プロジェクトが紹介された。このプロジェクトは一般道での車速 18‐50km/h までの範囲でのレベル 4－5 と交通インフラ（５G、G5、IoT）をつなげることを目標にしている。最後に、Jacksonville Transportation Authorty からは Ultimate Urban Circulator （U2C）について紹介された。このプロジェクトでは 3 か所の地域に対して都心部移動用小型自動運転シャトルバスを提供することを目標にして活動を進めている。

4.2.2.3　TRB 102nd Annual meeting 2023 [4]

（1）　概要

日程：2023 年 1 月 8 日（日）～12 日（水）
場所：米国・ロサンゼルス
概要：TRB Annual Meeting に参加し、自動運転の海外動向調査を行った。具体的には、①US-DOT を中心とした米国の政策動向、②安全性評価に関連する手法や標準化に向けた動向、③MaaS など ADS の実用化に向けた活動を中心に調査を実施した。特に、米国の政策動向として National Roadway Safety Strategy を提言し、安全性向上に取り組むことが示された。また、その取り組みは主に bipartisan infrastructure law を原資とする。

（2）　政策関連

① USDOT: Innovations of the Bipartisan Infrastructure Law, Year One
パネリスト：T. Kunz （US-DOT）, P. Trottenberg （US-DOT 副長官）, C. Monje （US-DOT）, C. Coes （US-DOT）, N.I. Fernandez （FTA 管理者）, S. Pollack （FHWA 長官代理）, A. Bose （FRA 管理者）

Bipartisan Infrastructure Law の成立により輸送・交通に約 2,600 億ドル（道路交通だけでなく航空・船舶・鉄道を含む）が投資され、管轄する US-DOT は 700 人超を新規採用することが発表された。約 60%は道路や橋梁の保守など既存事業の拡充に充てられ、残りの一部が AD などの新規技術の研究・開発に充てられる見込みであることが発表された。また、大企業優遇ではないかとの質問に対しては、各州の運輸局と連携し、Project と Fund のマッチングを進めるとの回答がなされた。

② USDOT: National Roadway Safety Strategy: Progress to Date
パネリスト：L. Tran （OST）, P. Trottenberg （US-DOT 副長官）, S. Pollack （FHWA 長官代理）, R. Hutcheson （FMCSA 管理者）, A. Carlson （NHTSA 局長）, E. Schewninger （OST 上級政策顧問）

National-Roadway-Safety-Strategy の紹介および、その基本原理として Safe System Approach（SSA）が紹介された。具体的には NCAP の更新や、大型車 AEB に関して言及された。米国の死亡事故（人口当たり）が多い要因として、平均速度・シートベルト着用率・アルコール量が挙げられた。医療の面での期待として、事故発生から処置までの時間を改善することが死亡重傷リスク低下につながることが述べられた。

③ Potpourri of Transportation Safety：Public Policy, Education, and Training for Road Users of All ages（ポスターセッション）

道路交通の安全に関連する幅広いトピックをカバーするポスターセッション；様々な交通参加者に対する訓練・教育・公共政策に関する研究成果が発表された。自動運

転の安全性評価に関連しうる内容は以下のものがあった。

Evaluation of Driver Performance and Acceptance of a Simulated Restricted Crossing U-Turn Intersection；制限速度差のある無信号交差点の安全性向上に向けた取り組みとして、低速側の直進や左折を制限する構造が提案され、シミュレータ実験による検討結果が示された。広義ではラウンドアバウドに相当する形状とみなすことができる。

（3） 安全性評価関連

① Vehicle-Highway Automation Committee

自動運転に関連する米国および欧州・日本の官公庁事業の紹介、業界団体の取組や個別プロジェクトの進捗が紹介された。

はじめに、米国運輸省関連の活動として HASS COE および NHTSA の活動が紹介された。レベル 2-ADAS 搭載車両の事故報告の義務化や Research Portfolio の紹介がなされた。次に各国の活動として日本の SIP-adus、欧州連合の EU Green Deal、CCAM などの紹介がなされた。さらに、各国のプロジェクト報告として SHOW Project の進捗、JRC の自動運転に対する女性の意見集約の紹介、AASHTO AV Scanning Tour to UK、Cruise AV Rider Project による法規対応と安全論証の事例が紹介された。また、業界団体の取り組みとして IEEE AV Decision Making Group、SAE AVSC、ITS America、TRB Forum on Automated Vehicles and Shared Mobility の活動が紹介された。

② Automated Road Transportaiton Symposium 2023：Planning Workshop

23 年 7 月に開催される TRB-ARTS23 の企画会議が開催された。以下の内容が発表・議論された。はじめに、COVID19 の影響で中止していたポスターセッションが再開されることがアナウンスされた。次に、Breakout Session の企画案の募集が行われ、Policy, Safety, Operation のカテゴリに分類し，合計 40 以上のセッション案が提示された。

参考文献

[1] TRB Automated Road Transportation Symposium 2022 Archive
https://trb.secure-platform.com/a/page/AutomatedRoadTransportationSymposium/AutomatedRoadTransportationSymposium_Archive22 （2023 年 3 月現在）

[2] ITS World Congress 2022
https://www.itsamericaevents.com/world-congress/en-us.html （2023 年 3 月現在、プログラム等閲覧可能、トップページは ITSWC2025 ロゴに更新されている）

[3] High-Drive
https://www.ika.rwth-aachen.de/de/kompetenzen/projekte/automatisiertes-fahren/hi-drive-de.html
（2023 年 3 月現在）

[4] TRB 102nd Annual meeting 2023 Online Program
https://annualmeeting.mytrb.org/OnlineProgram/Browse （2023 年 3 月現在）

4.3 国際的な競争力の強化に向けた成果発信

4.3.1 投稿論文および成果発表

本研究開発プロジェクト（SAKURA プロジェクト）に関連した発表の一覧を表 4.3.1-1 から表 4.3.1-3 に示す。また、表下に発表の概要を示す。なお、一部内容は前年度報告書にも記載済であるが、公開日決定のため再掲する。

表 4.3.1-1 本研究開発プロジェクトに関連した発表
（プロジェクト関係者による発表論文その 1）

No.	題名	発表者	発表先と現況
（1） 再掲	Defining Reasonably Foreseeable Parameter Ranges Using Real-world Traffic Data for Scenario-based Safety Assessment of Automated Vehicles	H. Nakamura, H. Muslim, R. Kato, S. Watanabe, H. Nakamura, H. Kaneko, H. Imanaga, J. Antona-Makoshi, S. Kitajima, N. Uchida, E. Kitahara, K. Ozawa, S. Taniguchi	IEEE Access （2022 年 3 月 28 日公開）
（2） 再掲	A review of vehicle-to-vulnerable road user collisions on highways to support the development of automated vehicle safety assessments	H. Muslim J. Antona-Makoshi	Safety （2022 年 4 月 6 日公開）
（3）	Cut-out Scenario Generation with Reasonability Foreseeable Parameter Range from Real Highway Dataset for Autonomous Vehicle Assessment	H. Muslim S. Endo H. Imanaga S. Kitajima N. Uchida E. Kitahara K. Ozawa H. Sato H. Nakamura	IEEE Access （投稿済・査読中）

表 4.3.1-2　本研究開発プロジェクトに関連した発表
（プロジェクト関係者による発表論文その 2）

No.	題名	発表者	発表先と現況
(4)	自動運転車の安全性評価～シナリオベースの論証体系および国際標準化の動向	北島創 中村弘毅	計測と制御 Vol.62 No.5 特集号 ［解説］ （2023 年 5 月掲載予定）

（1）Defining Reasonably Foreseeable Parameter Ranges Using Real-world Traffic Data for Scenario-based Safety Assessment of Automated Vehicles

自動運転車が遭遇するシナリオ（カットインなど）に関する、実交通環境データを用いた遭遇頻度の算出手法および年間遭遇確率への変換と許容リスクしきい値による合理的に予見可能なパラメータ範囲（速度や車間距離）同定手法の提案。

（2）A review of vehicle-to-vulnerable road user collisions on highways to support the development of automated vehicle safety assessments

高速道上での車両と道路上に存在する人々（事故関係者や工事関係者など）との接触に関する調査報告。自動運転システムの安全性評価に必要な考慮すべき交通状況の提案。

（3）Cut-out Scenario Generation with Reasonability Foreseeable Parameter Range from Real Highway Dataset for Autonomous Vehicle Assessment

自動運転車が遭遇するカットアウトシナリオに関する、実交通環境データを用いた合理的に予見可能なパラメータ範囲（速度や車間距離）同定手法の提案。複数データを組み合わせたモデル化に関する妥当性の検討。

（4）自動運転車の安全性評価～シナリオベースの論証体系および国際標準化の動向～

自動運転車の安全性評価の考え方として主流になっているシナリオベースの論証体系の概説、および 2023 年 1 月時点における安全性評価に関する国際標準化の動向。

表 4.3.1-3　本研究開発プロジェクトに関連した発表
（連携先による発表論文）（その１）

No.	題名	発表者	発表先と現況
（1） 再掲	Generic Detection and Search-based Test Case Generation of Urban Scenarios based on Real Driving Data	S. Thal R. Henze R. Hasegawa H. Nakamura H. Imanaga J. Antona-Makoshi N. Uchida	2022 IEEE Intelligent Vehicles Symposium （IV) 掲載済

（1）Generic Detection and Search-based Test Case Generation of Urban Scenarios based on Real Driving Data

これまで高速道向けに開発されてきた、シナリオに基づく自動運転安全性評価手法を都市部へ適用するための改良。有限の試験回数で効率よく網羅性を高めるための試験条件生成手法の検討。

4.3.2　学会などでの成果発表活動

（1）ITS World Congress

発表先：2022 ITS World Congress
日程：2022 年 9 月 18 日（日）～22 日（木）
場所：米国・ロサンゼルス、ポスター発表
成果：欧州、米国、日本の ITS 関連団体により共同開催される国際会議において、日本における自動運転関連プロジェクトの連携状況ならびに成果を発表した（図 4.3.2-1）。また、自動運転の安全評価に資するための実交通データの分析方法について報告した。

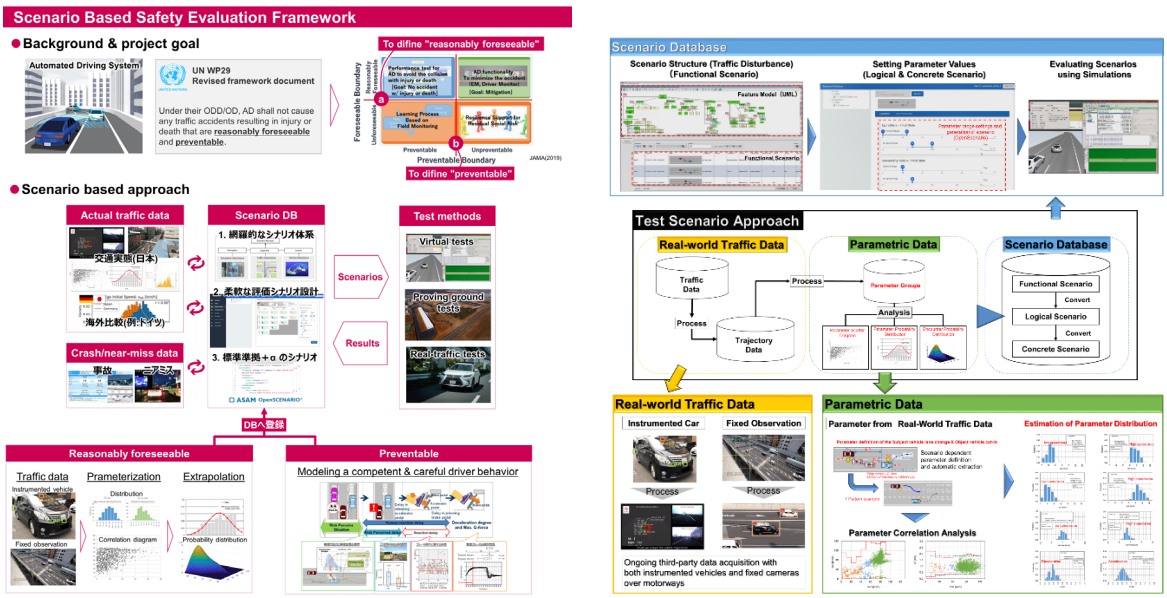


図 4.3.2-1　SAKURA シナリオデータベース概要紹介

（2）SIP-adus Worshop 2022

発表先：SIP-adus Worshop 2022（https://en.sip-adus.go.jp/evt/workshop2022/）
日程：2022 年 10 月 11 日（火）～12 日（水）Plenary Session
　　2022 年 10 月 13 日（木）Breakout Workshop
場所：京都、対面開催
成果：SIP 自動運転の重要テーマの一つである「Safety assurance」（安全性評価基盤のハーモナイズ）のセッションにおいて、本事業である SAKURA プロジェクト内での自動運転技術の安全性評価への取り組みと、日本国内にて展開されている DIVP プロジェクト（仮想空間での自動走行評価環境整備手法の開発）との連携成果を国内外に広くアピールした（図 4.3.2-2）。また、評価シミュレーションの条件として使用されるシナリオの提供からシミュレーション結果の一元管理までのコンセプトを紹介した。

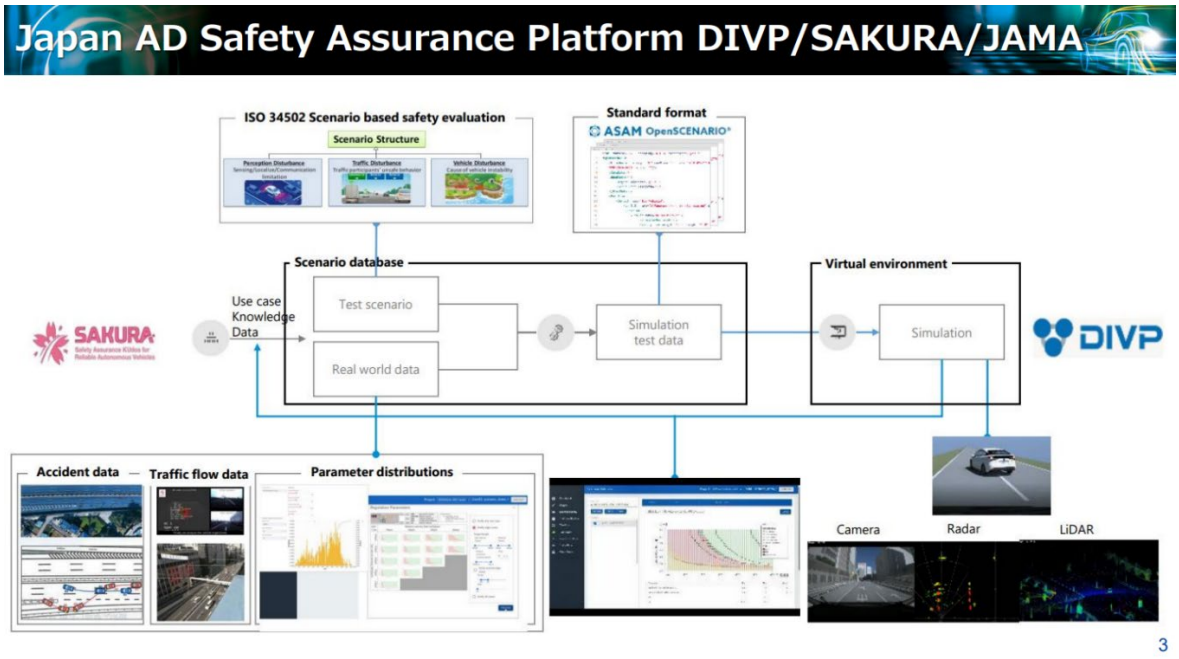


図 4.3.2-2　SAKURA-DIVP 連携状況の紹介

4.4　諸外国における自動運転に関連するプロジェクトや取り組みの調査

国際的に標準の議論が活発化してきており、日本も国際標準への打ち込みを積極的に実施しているところである。特に ISO34502 については、日本がリーダとなって国際的な議論を進めてきた。また、日本としてそれらの標準化活動の主導を継続していくためには各国での取り組みを整理・理解し、主要各国との調整を進めながら推進していく必要があった。そこで、4.4 では各国における自動運転（以下、「AD」という）を含めたモビリティの研究動向・開発戦略の調査結果を述べる。

4.4.1　欧米における自動運転安全性評価や社会的な受容性向上への取り組み

4.4.1.1　自動運転安全性評価におけるシミュレーション活用の動向

多様な機能を持つ L3 以上の AD システムのテストシナリオは、L2 以下の ADAS（Advanced Driver Assistance Systems、先進運転支援システム）のテストシナリオに比べて複雑化するため、テスト工数も増加し、実走行テストのみで全てのシナリオを評価することは困難となる。そこで、スケールメリットの高いバーチャルテストも組み合わせて安全性評価を行うことが必要となる。コンピュータ上のモデルを用いて行うバーチャルテストは、実車で行う実走行テストとのギャップに対する妥当性が懸念される。したがって、バーチャル環境で実施する AD 安全性評価の妥当性確保は国内外共通の課題である。ここでは、欧米の AD システムに適用するバーチャルテストの位置付け、自動車メーカの取り組み、産官学連携プロジェクト、および認証におけるバーチャルテスト導入への取り組みなどを例に挙げ、欧米の AD 安全性評価におけるシミュレーション活用の動向を述べる。

実走行テストとバーチャルテストは、それぞれにメリット、デメリットがある。そのため、それぞれの特性を考慮し、補完し合いながら妥当性とスケーラビリティの双方を満足する安全性評価を進めることが肝要となる（図 4.4.1.1-1）。

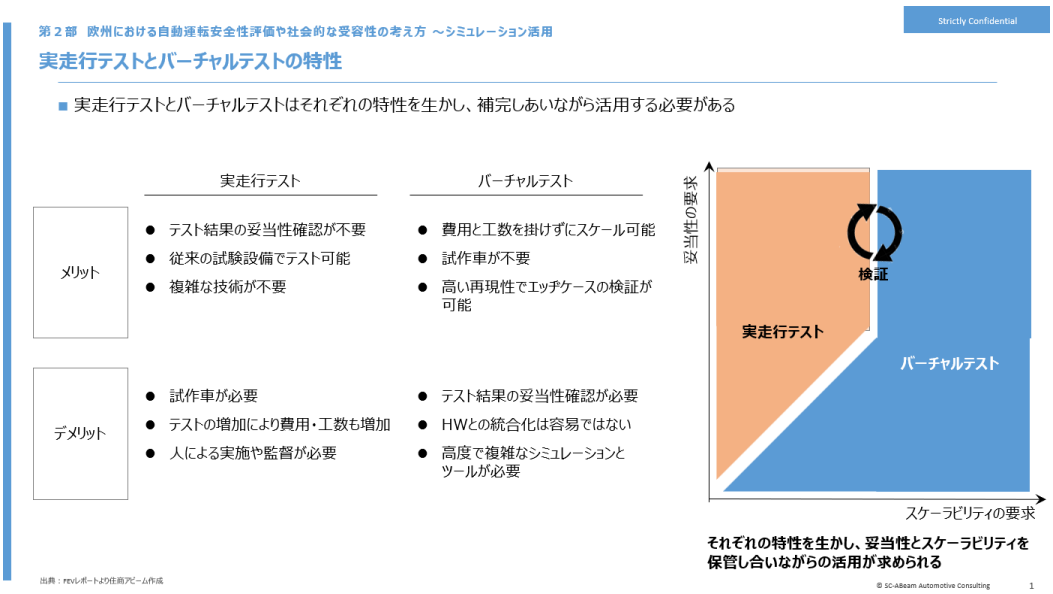


図 4.4.1.1-1　実走行テストとバーチャルテストの特性（出典：住商アビーム）

AD システムの開発における安全性評価の順序としては、バーチャルテスト、クローズドトラックテストに続いて公道走行テストの順で行われることが一般的である。開発の初期段階では仕様作成、コード作成、各コンポーネントの結合と進める中で、MiL（Model in the Loop シミュレーション）、 SiL（Software in the Loop シミュレーション）、HiL（Hardware in the Loop シミュレーション）といったコンピュータ上のバーチャルテストを行い、テストシナリオに対して効率的な安全性評価を行う。これらのバーチャルテストでは、クリティカルなパラメータの組合せ（特殊なケースと呼ぶ）を特定することが重要であり、これにより後工程であるクローズドトラックテストにて、テストシナリオを特殊なケースに限定して評価を行うことが可能となる。クローズドトラックテストでは、実車を用いて、テストコースなどの模擬走行環境で安全性評価を行うため、なるべくテストシナリオを絞って実施をすることが理想である。ここまでのテスト工程を経て、一定の安全性を確認した後、実車を用いて公道で安全性評価を行う。なお、これらの各テスト工程で得た結果は、工程間で相互に検証および改善を行うことで安全性評価の妥当性が確保されることになる（図 4.4.1.1-2）。

ここで、一つ例を挙げる。下図 4.4.1.1-2 の右側に、高速道におけるカットインシナリオの複数のパターンがある。縦軸に自車速、横軸に相手車速を条件としたそれぞれの組み合わせのグラフがマトリクスで配置されている。これら個々のグラフは、車間距離と車線速度の関係から接触判定（接触するケース）を示しており、クリティカルな局面の洗い出しが可能となる。このように、高速道のカットインシナリオは数多くあり、まずはバーチャルテストにて特殊なケースを絞り込むことが、効率的な安全性評価を行う上で有効となる。

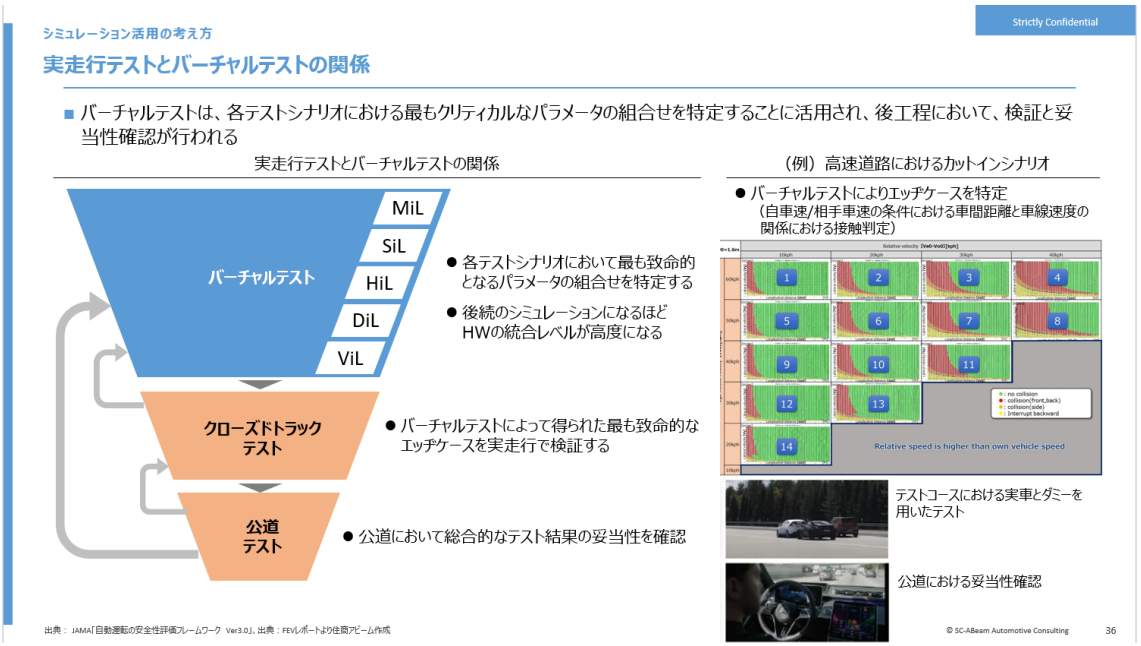


図 4.4.1.1-2　実走行テストとバーチャルテストの関係
（出典：住商アビーム、JAMA「自動運転の安全性評価フレームワーク　Ver3.0」より）

L3 以上の AD システムの機能は、例えば、センサフュージョン、オブジェクトトラッキング、画像認識、軌道計画など、L2 以下の ADAS よりも大幅に増え、また機能毎の要求性能も高くなる傾向があるため、テストのスコープは広がり、工数も増加する傾向にある。バーチャルテストは MiL、SiL、HiL と段階的に行われるが、なるべく上流で設計品質の作りこみを行うことが期待されるため、HiL 環境が構築される前段階の MiL や SiL で、可能な限り設計仕様やコーディングの品質向上を行いたい。そこで、昨今の動向としては Virtual ECU（ソフトウェアにより実現される仮想的な ECU）をターゲットとして先行評価を行うなど、新たな評価技術の導入がみられる（図 4.4.1.1-3）。

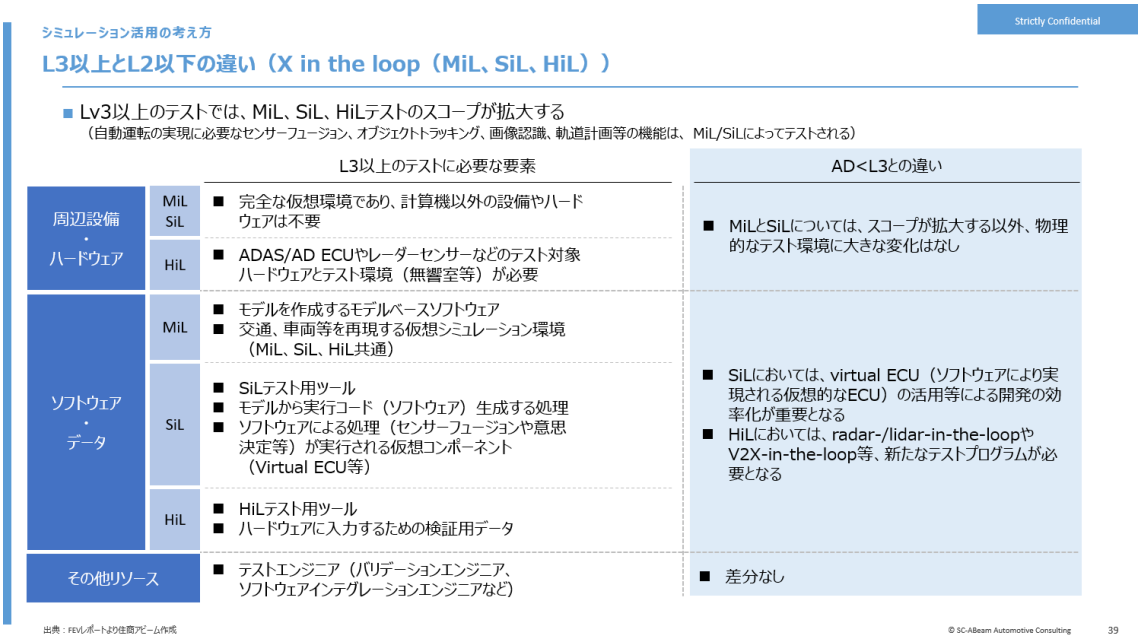


図 4.4.1.1-3　L3 以上と L2 以下の違い（X in the loop（MiL、SiL、HiL））
（出典：住商アビーム）

L3 以上の AD の安全性評価では、物理的なテスト環境に対する精度への要求も高くなる。この問題解決の一つの手段として注目されているのが Shadow testing である。Shadow testing とは、開発中のソフトウェアを、実車走行環境で稼働中のソフトウェアとバックグラウンドで比較することにより、そのパフォーマンスを評価することができる機能である。実車で Shadow testing を実行すれば、実走行環境で開発中ソフトウェアのテストが可能になる。また、搭載する車両を増やすことで、大量のテストログを取得でき、スケーラブルなテスト方法としての可能性があり、欧米でも着目されている（図 4.4.1.1-4）。

ただし、Shadow testing を行う場合、アーキテクチャの高度化、バックエンドシステムとのデータ転送、ソフトウェアアップデートなどの機能追加、およびセキュリティ要求の増加などがあり、この点では、L2 以下の ADAS と比較し、テストスコープは拡大する。

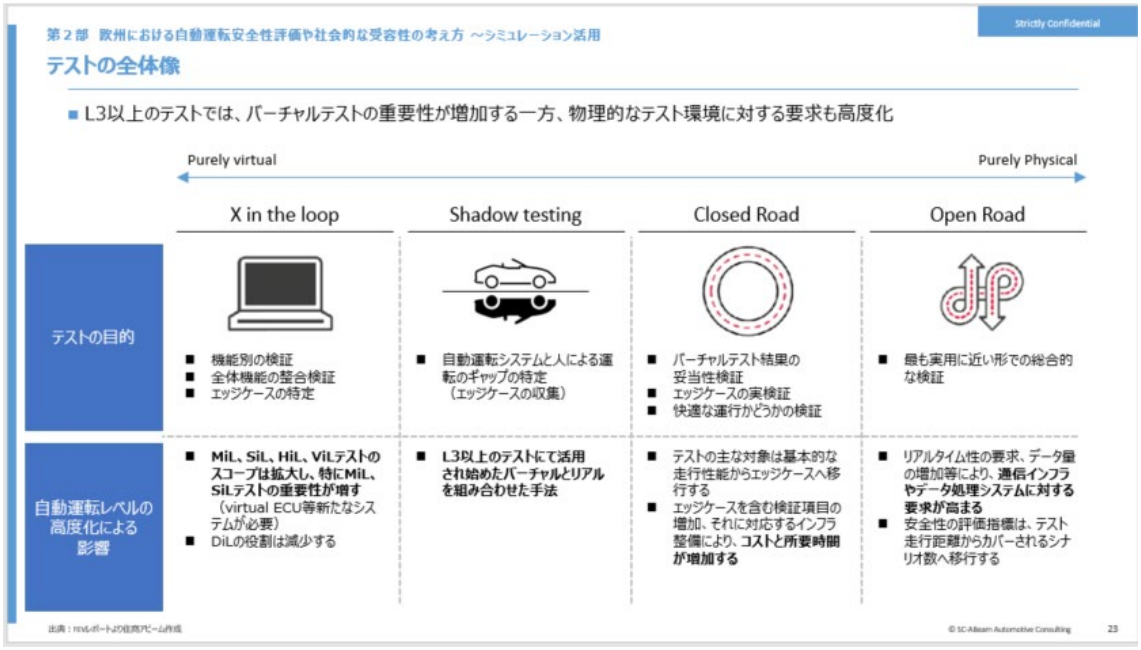


図 4.4.1.1-4　テストの全体像

（出典：住商アビーム）

L3 以上の AD システムの安全性評価におけるバーチャルテストの期待は高い。一方、拡大するスコープに対する効果的な評価の仕組みの確立は、欧米の各自動車メーカにとっても共通課題と認識されている。欧州では、L3 以上の自動運転システムのシミュレーションやデータ活用に関連するさまざまな産学官連携のプロジェクトが実施されている（図 4.4.1.1-5）。



#	プロジェクト名	目的	参画プレイヤー	シミュレーション	データ活用	予算(€)	プロジェクト開始
1	i4Driving	シミュレーションに活用する人間のふるまいライブラリ等を含むバーチャル評価の基盤開発	Pointis, simuro, TUM, DENSO, ZF, TU Delft	✓		6.7百万	2022年10月
2	MobiSpaces	モビリティ領域における信頼性の高いデータ活用プロセス等を含むデータガバナンス基盤開発	CRF, FUJITSU, BOSCH, AIT		✓	8.8百万	2022年9月
3	AUGMENTED CCAM	バーチャルテストベッド等を含む自動運転車両の実車及びデジタル評価インフラ開発	FEHRL, etra, PTV GROUP, Valeo, AIT	✓		11.1百万	2022年9月
4	PoDIUM	自動運転車両の為の信頼性が高く持続可能なV2Xインフラ開発	NOKIA, Applus+ IDIADA, BOSCH, etra, ICCS, Ulm	✓	✓	12.2百万	2022年10月
5	SUNRISE	安全性評価フレームワークの構築	Applus+ IDIADA, AVL, Infineon, Intempora	✓		13.5百万	2022年9月
6	VaViM	自動運転車システムのシミュレーションに使用される仮想モデルの信頼性検証	volvo	✓		不明	2022年2月
7	AI-SEE	悪天候下でも安全な自動運転走行を可能にするセンサー技術の高度化	BOSCH, Ansys, algolux, AVL		✓	10.0百万	2021年6月

図 4.4.1.1-5　EU の関連する産学官連携プロジェクトの事例

（出典：欧州委員会公開情報、AI-SEE 公開情報、住商アビーム）

欧州の産学官連携による SUNRISE プロジェクトは、妥当性のある安全性評価フレームワークを構築し、AD の社会受容性を高めることを目的としたプロジェクトである。多様な機能に対応するため、テストシナリオの生成方法やテストツールの開発などを行い、かつ、これらの手法の標準化を推進している（図 4.4.1.1-6）。



図 4.4.1.1-6　EU の関連する産学連携プロジェクトの事例　SUNRISE プロジェクト
（出典：欧州委員会公開情報、住商アビーム）

続いて AI-SEE プロジェクトについて述べる。現在市場化がされている L3 の AD の運転設計領域（ODD）範囲はまだ狭く、雪や雨、霧、逆光などの悪天候環境下においては、L3 での AD モードの稼働はまだまだ困難な実力であり、ユーザーベネフィットを考えた場合、実用性に欠ける。AI-SEE プロジェクトでは、OEM、AI ベンダ、センササプライヤなど 21 の団体が参画し、悪天候下においても AD 走行を可能にするような性能とロバスト性の高い、システムやセンサ技術の開発に取り組んでいる（図 4.4.1.1-7）。



図 4.4.1.1-7　EU の関連する産学官連携プロジェクトの事例　～AI-SEE プロジェクト～
（出典：AI-SEE 公開情報より、住商アビーム）

ここでは、OEM や Tier1 サプライヤによる AD システムの安全性評価への取り組み動向について述べる。先ず、既存 OEM、新興 OEM、および Tier1 サプライヤでのアプローチの違いを述べる。バーチャルテストの重要性が高まる中、既存 OEM は、IT 業界などを含む他業界とのパートナーシップを強化し、安全性評価技術、およびツールの拡充を行う。加えて、クローズドトラックテストの能力も強化するため、AD 用テストコースの拡充など、インフラ投資が目立つ。新興 OEM は、Shadow testing など、新しい安全性評価方法へのアプローチを行い、自前の評価システムで開発する傾向がみられる。Tier1 サプライヤは、自社で自動運転開発・評価プログラムを保有し、OEM に評価ツールを提供するなど、アプローチを進める（図 4.4.1.1-8）。



図 4.4.1.1-8　OEM やサプライヤにおける安全性評価アプローチやツール
（出典：住商アビーム）

既存 OEM 各社の動きを述べる。BMW は、DiL シミュレーション（ドライブシミュレータなどの Driver-in-the-Loop システムのこと）を持つ R&D 拠点の整備、およびチェコのソコロフのテストコースなど、AD 評価設備を整備する。ダイムラーでは、NVIDIA ドライブシステムといったシミュレーションプラットフォームに基づいた開発をベンツに導入することを発表。この協力体制により AI エキスパートやソフトウェアエンジニアが安全性評価に加担することの優位性を強調している。また同時に、Shadow testing の導入も進めている（図 4.4.1.1-9）。

ステランティスは、EV と自動運転の専用 R&D 拠点を米国とイタリアに整備。また、Waymo とのパートナーシップにも力を入れる。フォルクスワーゲンは、自動運転試作車両の公道実験に関して、モービルアイとの連携を強化し、安全性評価・開発を推進している（図 4.4.1.1-10）。

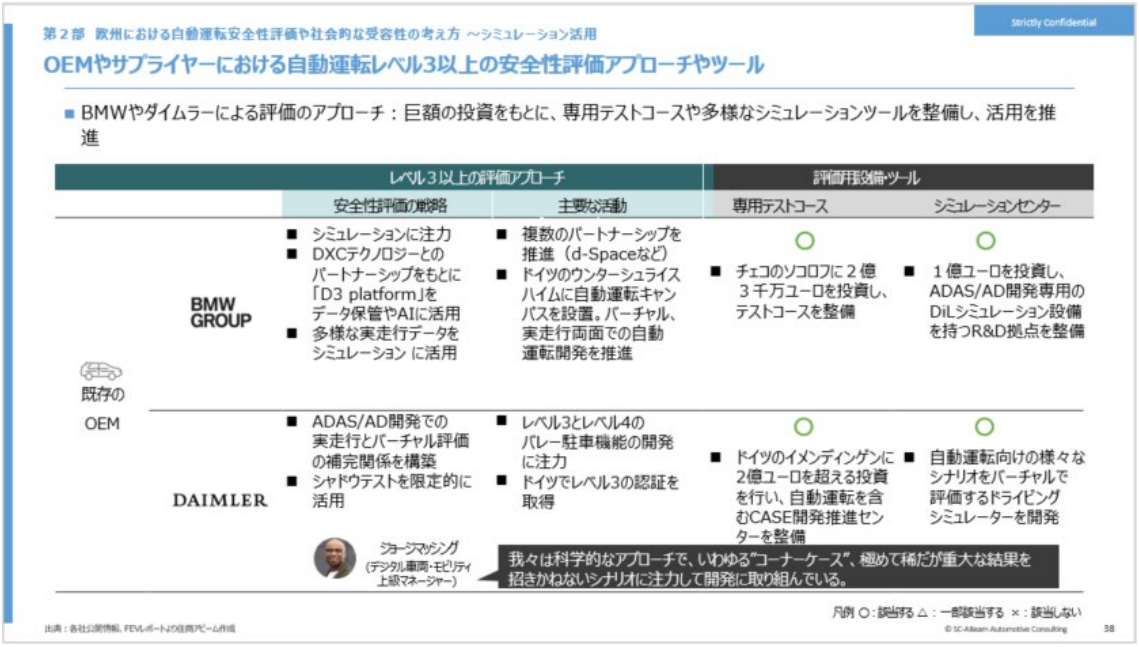


図 4.4.1.1-9　BMW やダイムラーによる評価のアプローチ
（出典：各社公開情報、住商アビーム）

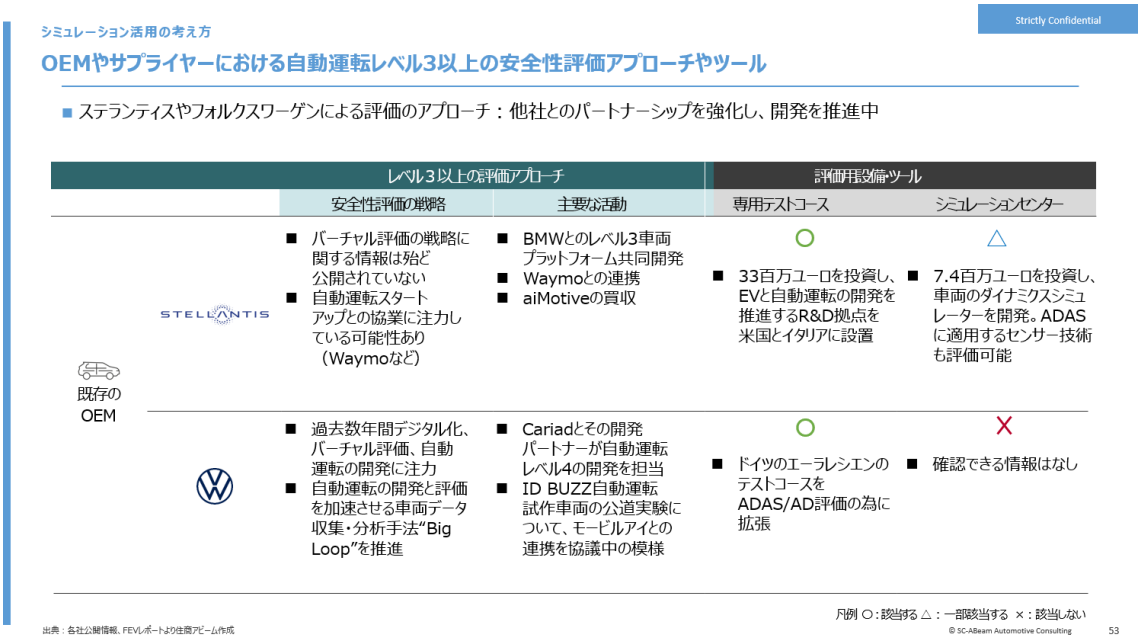


図 4.4.1.1-10　ステランティスやフォルクスワーゲンによる評価のアプローチ
（出典：各社公開情報、住商アビーム）

テスラや Waymo などの新興 OEM は、既存 OEM とは異なったアプローチをとる。専用設備への大規模な投資よりも、情報処理技術の強みを活かし、データ活用やシミュレーション技術など、従来の自動車開発の枠組みにとらわれない安全性評価手法を積極的に導入し、開発を推進している（図 4.4.1.1-11）。

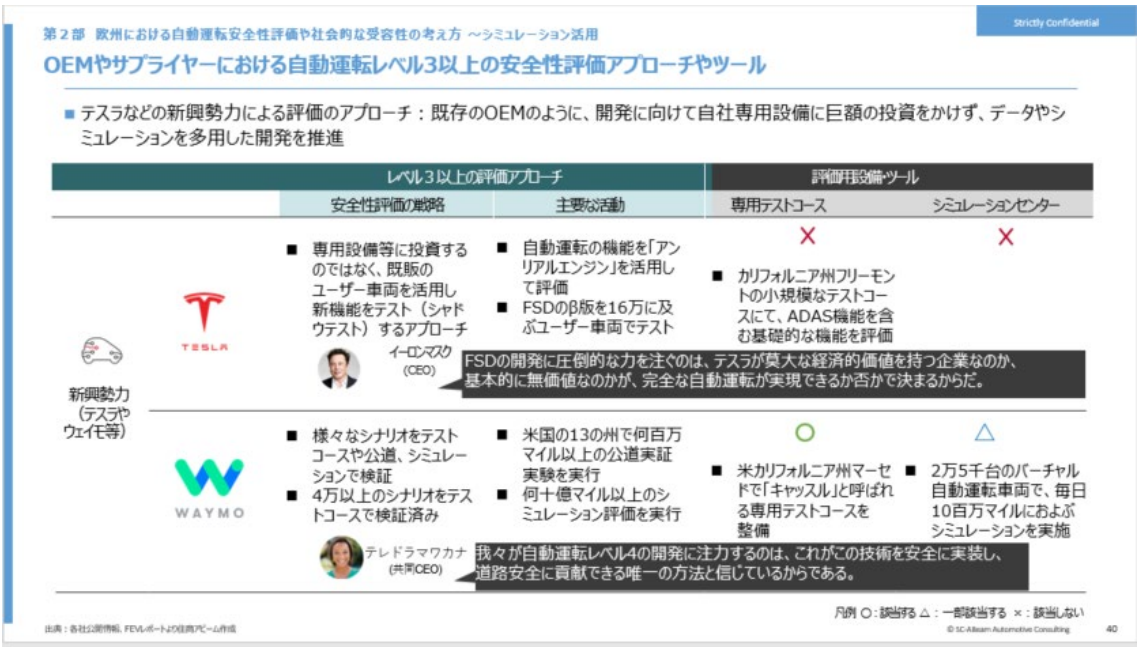


図 4.4.1.1-11　テスラなどの新興勢力による評価のアプローチ
（出典：各社公開情報、住商アビーム）

自動運転ロボタクシーのサービス事業者大手である GM Cruise のバーチャルテストに関する取り組みを述べる。GM Cruise のシステムでは、センサ情報をもとに物体の速度や旋回率から物体のキネマティクスを測定する。また、パーセプションでは深層学習を活用し、予測モデルをエンドツーエンドで構築している。これらの先進的なシステムを評価するため、4 つのツールを自前で開発し、自動運転シミュレーション環境の構築を実現している（図 4.4.1.1-12）。

シミュレーション環境では、現実の世界を正確にシミュレートするため、環境モデルの再現性にこだわる。特にライティングがシミュレーションの精度を大きく左右する要素と捉え、異なる時間帯や気象条件などを事細かにサンプリングし、精度の高いシミュレーション環境を構築している。



図 4.4.1.1-12　スケーラブルなシミュレーションを実現するためのツール開発（GM cruise）

（出典：Cruise Under the Hood 2021 プレゼンテーション内容より、住商アビーム）

欧州のレギュレーションを制定する国連欧州委員会や、自動車アセスメントの審議の中でも、バーチャルテストを用いた安全性評価結果の採用可能性についての検討がなされている。この動きを受けて各加盟国の法整備も追従して進んでいる。いずれの機関においても、バーチャルテストの採用には妥当性についての裏付けが必須とされ、重要な共通課題となっている（図 4.4.1.1-13）。



図 4.4.1.1-13　認証機関/第三者評価機関における
バーチャルテスト導入に向けた検討状況
（出典：UNECE、Euro NCAP、独連邦参議院、NHTSA の HP 等公開情報より、
住商アビーム）

第三者認証機関による自動運転の安全性評価について、ドイツの第三者機関 TÜV の事例を述べる。TÜV は機能安全の国際規格 ISO 26262 シリーズ に基づいた自動運転の Verification & Validation プロセスを構築し、自動運転の安全性評価の Capability を主張する。第三者認証機関が客観的な視点で自動運転の安全性評価を行うことで、社会からの信頼が得られるとしている（図 4.4.1.1-14）。

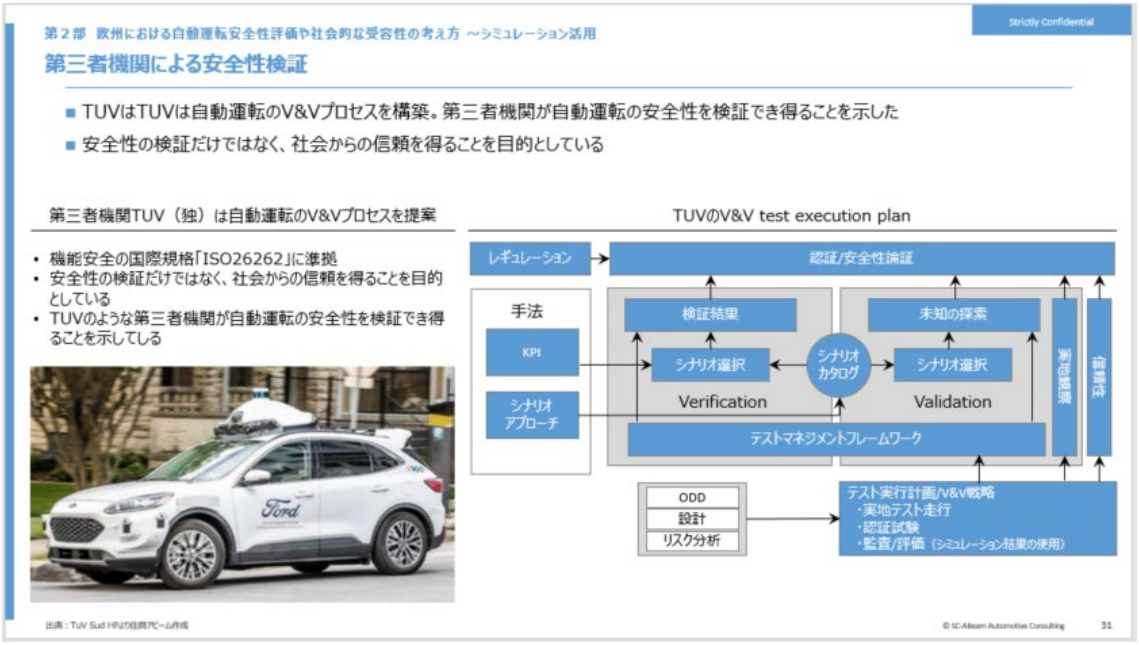


図 4.4.1.1-14　第三者機関による安全性検証
（出典：TÜV SÜD HP より、住商アビーム）

L3 以上の自動運転システムの多様な機能を網羅するテストシナリオは膨大となるため、欧米では、スケールメリットの高いバーチャルテストの導入が活発に行われている。コンピュータ上の仮想空間でモデルを用いて行うバーチャルテストの安全性評価は、妥当性の確保が共通課題であり、産学官連携のプロジェクトで評価フレームワークの開発や標準化が図られている。また、自動車メーカの活動では、従来の評価資産を活用しながら、バーチャルテストと実走行テストとの組み合わせで評価の妥当性を確保するアプローチに加え、Virtual ECU や Shadow testing など新しい技術を取り入れて、テストを効率的に行うためのアプローチがみられる。

4.4.1.2　自動運転の安全性に対する社会的受容性向上に関する取り組み

ここでは、AD の市場化において、個人所有の乗用車よりも先行する AD ロボタクシーの取り組みを調査し、欧米における AD の安全性に対する社会的受容性向上のための取り組みを述べる。

欧州においては、自動運転ロボタクシーによる移動サービスの運用はまだ発展途上である。一方で、自動運転シャトルは、公共交通インフラのラストワンマイルを埋める手段として有効と見なされ、比較的多くの国々で市場化が進んでいる状況である（図 4.4.1.2-1）。

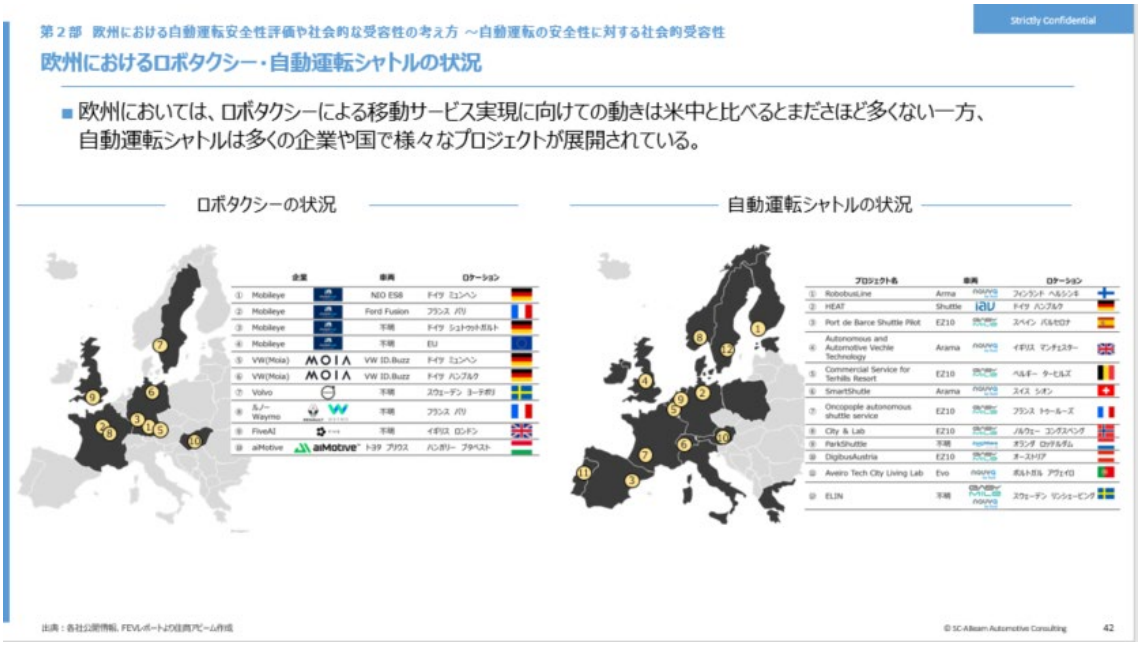


図 4.4.1.2-1　欧州各地域の自動運転ロボタクシーおよび自動運転シャトルの状況（出典：各社公開情報、住商アビーム）

欧州の AD ロボタクシー市場化に向けた具体的な動きを述べる。ライドシェアリングのサービス事業者である MOIA およびモービルアイは、これまでにドイツなどで段階的な実証実験を行い、自動運転の安全性評価と市場化のためのデータ収集を行ってきた（図 4.4.1.2-2）。2023 年度は、実証実験段階も終盤となり、市場運用が開始される年であるとみられる。具体例としては、モービルアイがドイツの複数の地域でパイロット運用を開始し、他のサービス事業者もそれに続くとみられている（図 4.4.1.2-3）。



第２部　欧州における自動運転安全性評価や社会的な受容性の考え方 ～自動運転の安全性に対する社会的受容性

Strictly Confidential

欧州におけるロボタクシーのテスト状況

■ 主に自動運転技術の検証と、データ収集を目的としたテストが実施されている。

期間	企業	ロケーション	パートナー	車両数	主要目的	次の方策
2021年	MOIA	ドイツ ミュンヘン	Arogo.ai	5	• データ収集 • 自動運転技術のテスト	2025年のハンブルクでのローンチに向け準備
2021年	mobileye	フランス パリ	RATP (パリ交通公団)	不明	• 顧客サービスと自動運転技術の実証実験	不明
2022年	mobileye	ドイツ シュトゥットガルト	なし	不明	• データ収集 • 自動運転技術のテスト	不明
2022年	mobileye	ドイツ ミュンヘン	Sixt Moovit	25	• 顧客サービスと自動運転技術の実証実験	2023年中のパイロット運用開始を発表

出典：各社公開情報、FEVレポートより住商アビーム作成

© SC-Alliteam Automotive Consulting　44

図 4.4.1.2-2　欧州における自動運転ロボタクシーの実証実験の事例
（出典：各社公開情報、住商アビーム）



第２部　欧州における自動運転安全性評価や社会的な受容性の考え方 ～自動運転の安全性に対する社会的受容性

Strictly Confidential

欧州におけるロボタクシーの動き

■ Mobileyeは、23年中にドイツ・ミュンヘンとダルムシュタットでロボタクシーのパイロット運用を開始することを、今年1月初旬に発表した。

■ また、VWは子会社でライドシェアリングサービスを提供するMOIAを通じ、2025年のローンチを計画している。

2019(発表)	2021	2021	2022	2022	2023	Unknown	2025
Level 4	Level 4	Level 4	Level 4	Level 4	Level 4	Level 4	Level 4
Renault & Waymo: • 2024年パリオリンピックをターゲットに、シャルル・ド・ゴール空港とパリ地区ラ・ディフェンス間に配備する計画だったが、現在まで更新情報はなし	**VW (MOIA):** • Arogo.AIと共にミュンヘンで試乗会を実施	**Mobileye:** • パリでロボタクシーをテスト • 倉庫の従業員を輸送	**Mobileye:** • シュトゥットガルトでデータ収集を中心とした自動運転をテスト	**Mobileye:** • SixtとMoovitと共にミュンヘンで2022年から25台のロボタクシーをテスト	**Mobileye:** • ドイツ・ミュンヘンやダルムシュタットでロボタクシーのパイロット運用を開始することを発表	**Volvo:** • 「Gothenburg Green City Zone」構想の一環で、具体的な展開時期は未定	**VW (MOIA):** • ハンブルクで2025年にロボタクシーをローンチする計画

出典：各社公開情報、FEVレポートより住商アビーム作成

© SC-Alliteam Automotive Consulting　43

図 4.4.1.2-3　欧州における自動運転ロボタクシーの具体的な市場化の動き
（出典：各社公開情報、住商アビーム）

AD の市場化に際し、世界で初めて L4 の AD を想定して施行したドイツ改正道交法でさえも、依然として課題は存在する。例えば、AD 車の所有者とは別に、技術監督者という役割が導入されているが、ODD 逸脱時の自動運転継続における技術監督者の位置づけについては曖昧な部分があり、交通事故時の責任の所在を明確にするためにも、法的に改善の余地がある（図 4.4.1.2-4）。

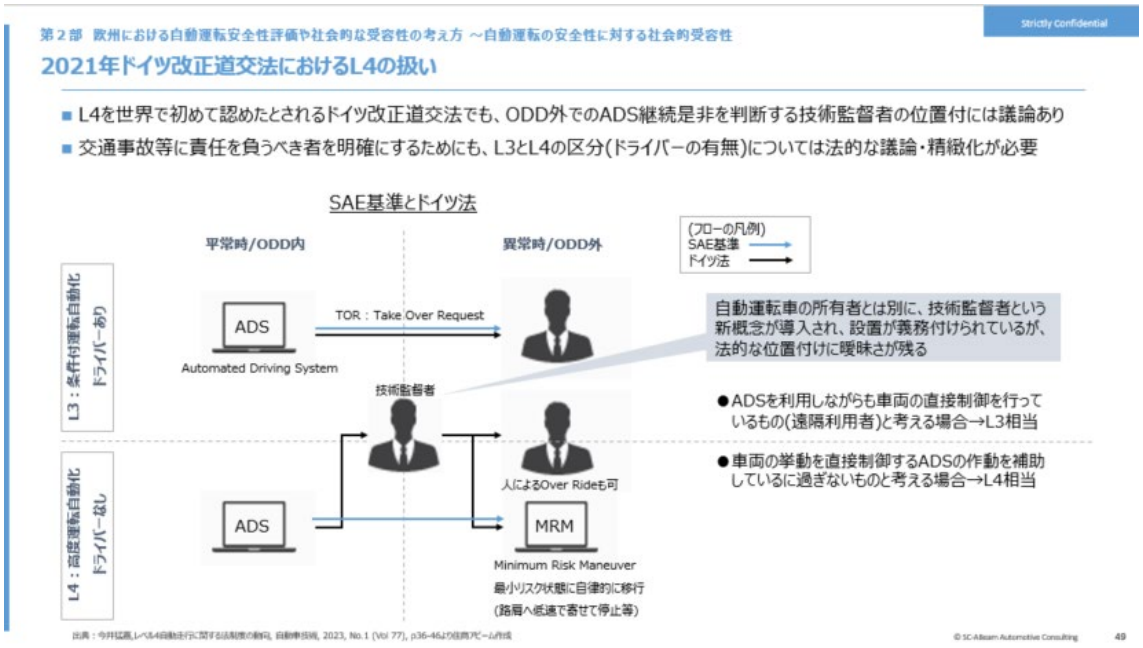


図 4.4.1.2-4　2021 年ドイツ改正道交法における L4 の扱い

（出典：今井猛嘉,レベル 4 自動走行に関する法制度の動向，自動車技術, 2023, No.1 (Vol 77), p36-46 より、住商アビーム）

倫理的な考え方についても規範化が困難な部分も残っている。例えば、人命に関わるトロッコ問題など、道徳的ジレンマの扱いに関して、システム設計やプログラミングでどう対応するかは現状では開発者に委ねられており、今後の社会的判断基準の形成によりその是非が問われるのが実態である（図 4.4.1.2-5）。

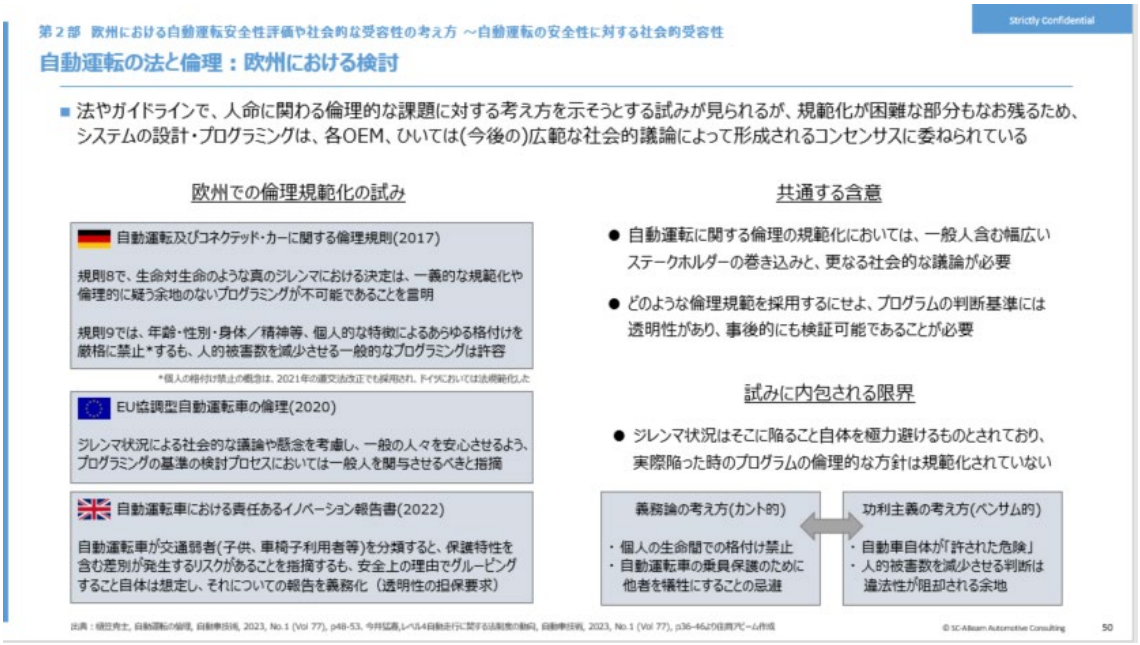


図 4.4.1.2-5　自動運転の法と倫理：欧州における検討
（出典：樋笠尭士，自動運転の倫理，自動車技術，2023, No.1 (Vol 77), p48-53、
今井猛嘉,レベル 4 自動走行に関する法制度の動向，自動車技術，2023, No.1 (Vol 77), p36-46 より、住商アビーム）

AD システムの市場化の達成には、社会的受容性を高めることが重要であり、そのためには、供給側と需要側の安全性に関するコミュニケーションが十分に形成されることがポイントと考える。自動運転ロボタクシーの市場化で世界をリードする北米では、サービス事業者を中心に安全性の確保とその積極的な発信を行う活動がみられる。ここで、その活動事例を述べる（図 4.4.1.2-6）。

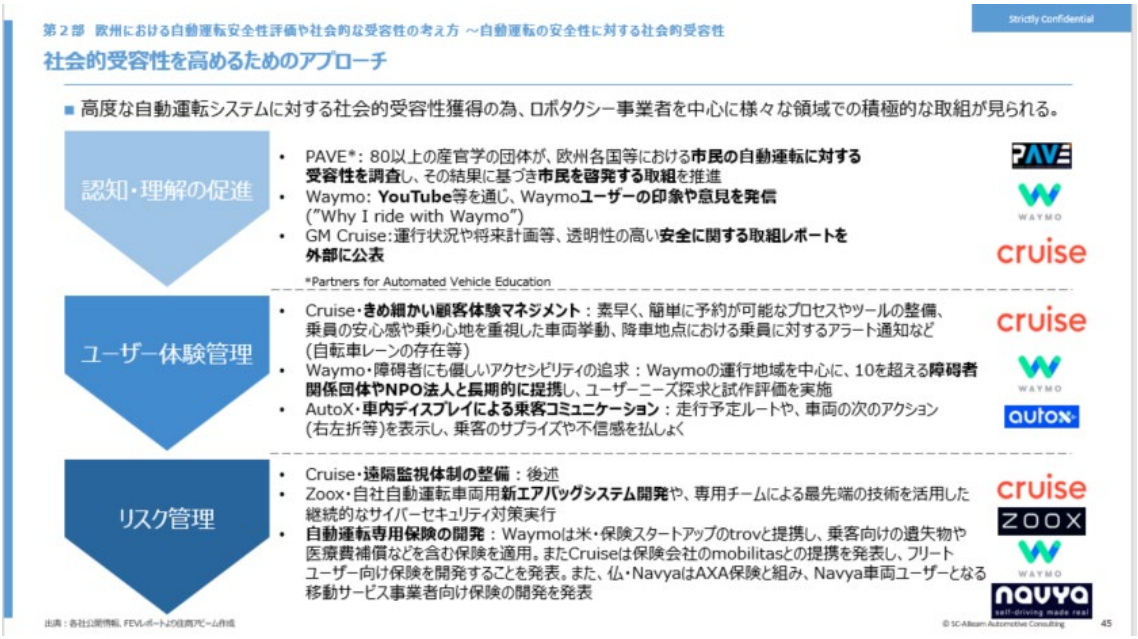


図 4.4.1.2-6　社会的受容性を高めるためのアプローチ
（出典：各社公開情報、住商アビーム）

北米の自動運転関連事業者の安全性への取り組みについて述べる。2017 年に NHTSA（NATIONAL HIGHWAY TRAFFIC SAFETY ADMINISTRATION） は VSSA（Voluntary Safety Self-Assessment）を提示し、自主的な安全性評価を実施するよう事業者に発信した。これを受け、各社から AD システムの安全性評価に対するアプローチが発表されている（図 4.4.1.2-7）。



図 4.4.1.2-7　北米における自動運転安全性の動向
（出典：NHTSA HP より、住商アビーム）

北米のロボタクシー事業者の GM Cruise は、2018 年に Cruise safety report を発行（2022 年に更新)、発行の目的を、「安全に対する取り組みについて詳しく説明することで、人々を教育し、信頼の獲得を目指す」としており、意欲的に安全性へのアプローチの発信を行っている。ここでは Cruise safety report の中に示される安全性への取り組みを述べる。GM Cruise の安全性への取り組みの全体像は、「Safety Mission」と「Safety Claim」からトレースされる 5 つの「Core Action」にて構成される。つまり活動全体が、Safety Mission である「世界最先端のドライバーレスサービスにより、ユーザーが大切にする場所、もの、体験への安全なアクセスを提供する使命」に繋がっている（図 4.4.1.2-8)。

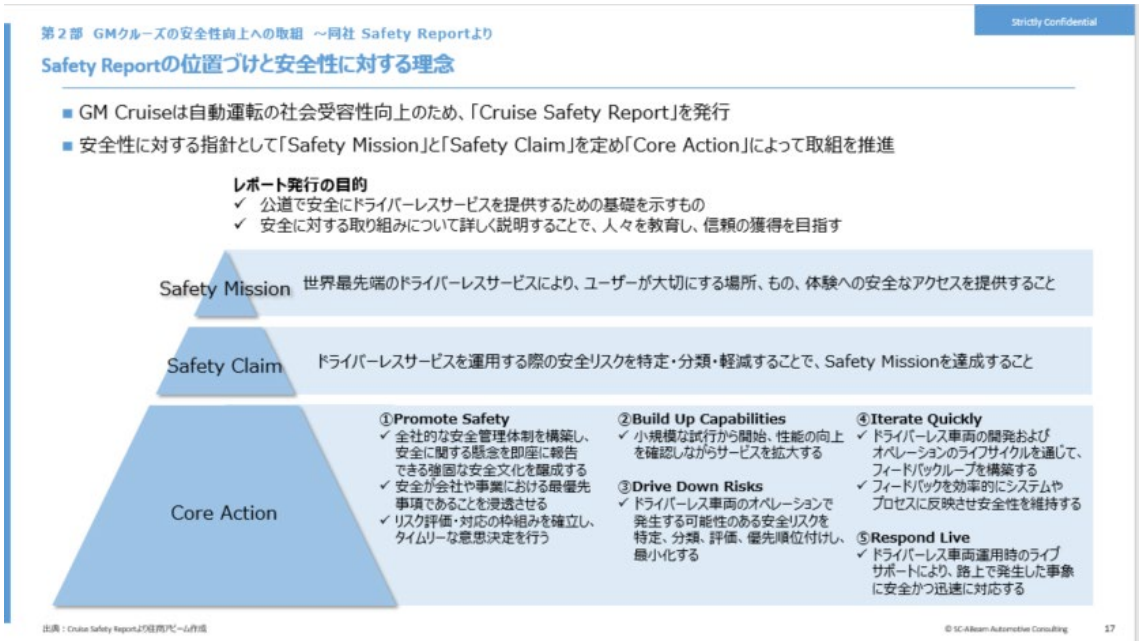


図 4.4.1.2-8　Safety Report の位置づけと安全性に対する懸念
（出典：Cruise Safety Report より、住商アビーム）

運行時に発生するリスクを低減するための技術的アプローチについて述べる。AD システムの開発から運用までのライフサイクルを通じたシームレスな安全性確保のため、5 つの類型からのアプローチを示している（図 4.4.1.2-9）。

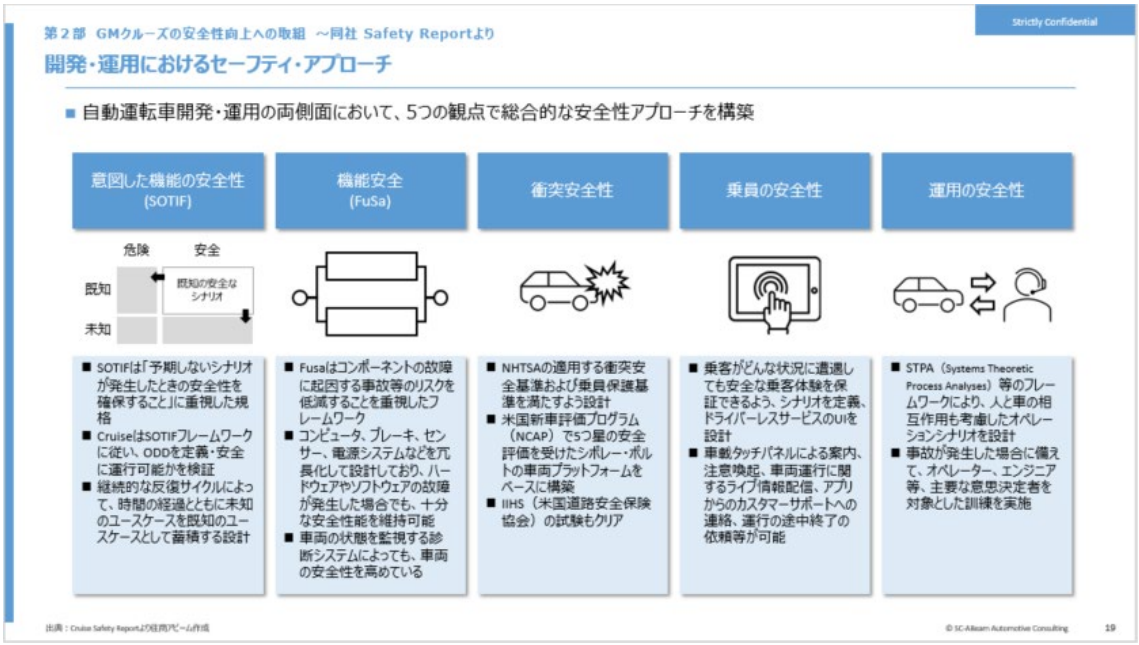


図 4.4.1.2-9　開発・運用におけるセーフティアプローチ
（出典：Cruise Safety Report より、住商アビーム）

組織運営の取り組みとしては、自動運転に関する公的規格へ準拠するのは当然とし、市場への実装を段階的に進めるビルドアップアプローチの導入、航空業界などのベストプラクティスを取り入れた安全管理システムの導入などに言及している（図 4.4.1.2-10）。

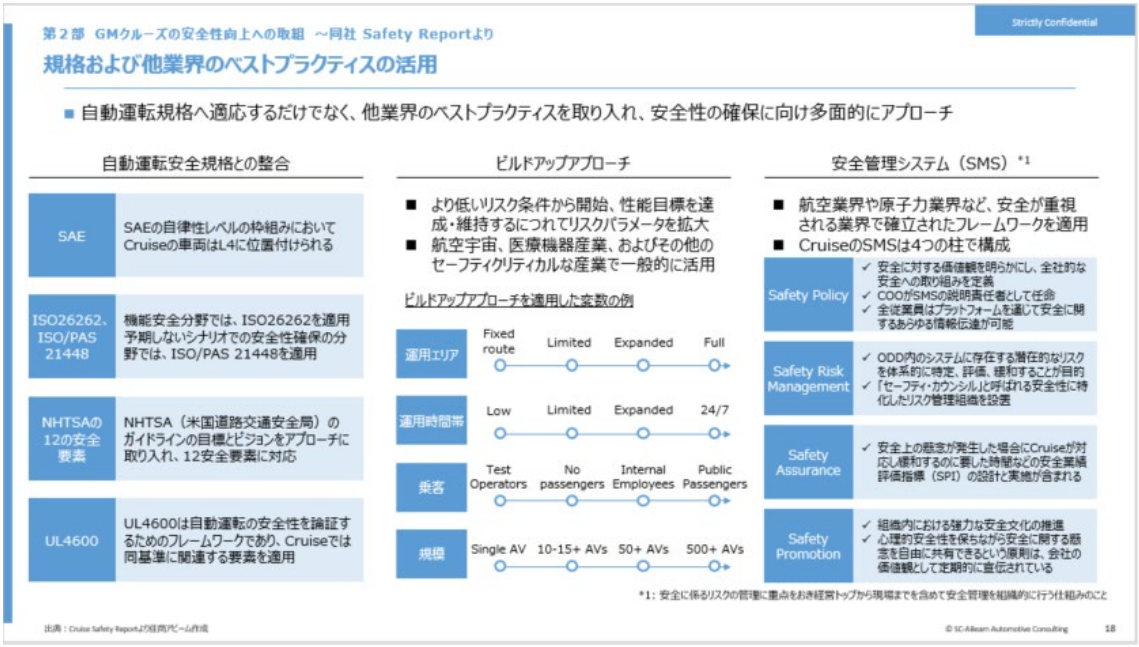


図 4.4.1.2-10　規格および他業界のベストプラクティス
（出典：Cruise Safety Report より、住商アビーム）

市場への段階的な実装では、最初はスーパーバイザーによる運転監視下のみでリリースが行われ、このフェーズで一定以上の安全性を確認してから、本格的にドライバーレス車両で市場投入されることとしている。また、両フェーズで多様な側面からの安全性評価へ取り組みが行われることを示している（図 4.4.1.2-11）。

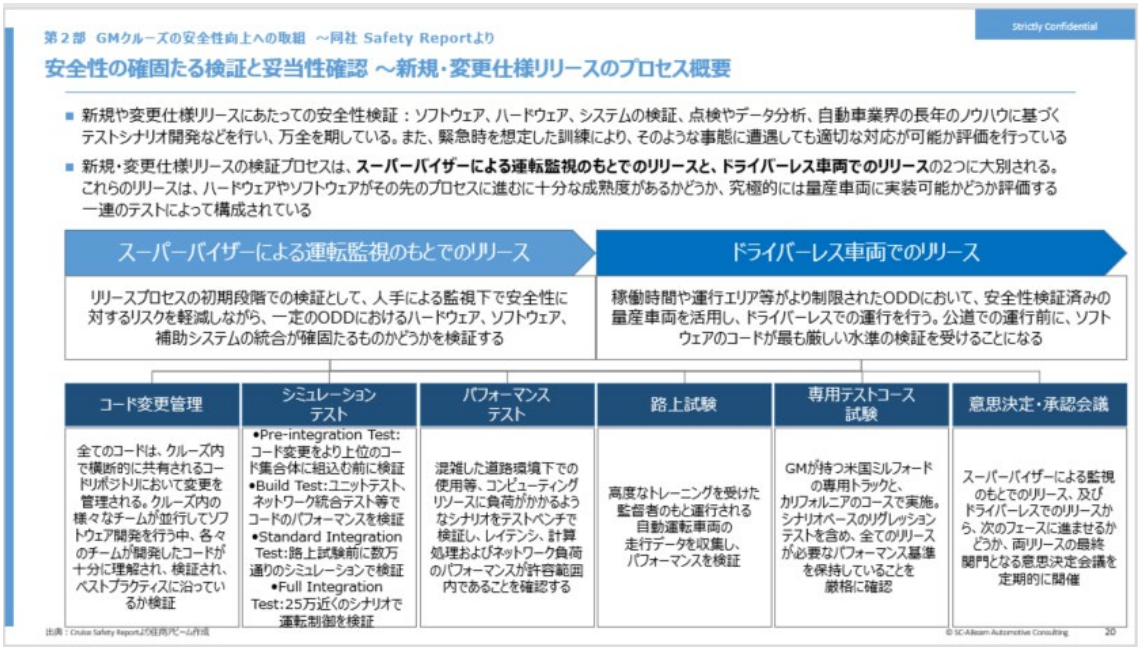


図 4.4.1.2-11　安全性の確固たる検証と妥当性確認　～ 新規・変更仕様リリースのプロセス構築

（出典：Cruise Safety Report より、住商アビーム）

安全性評価のテストシナリオは 4 つのパターンから開発される。この中で「ドライバーレスでの運行テストシナリオ」の開発では、車両が運行中に遭遇するさまざまなシナリオを導出するために航空宇宙業界の手法を用いるなど、特徴的な開発手法を採用している（図 4.4.1.2-12）。

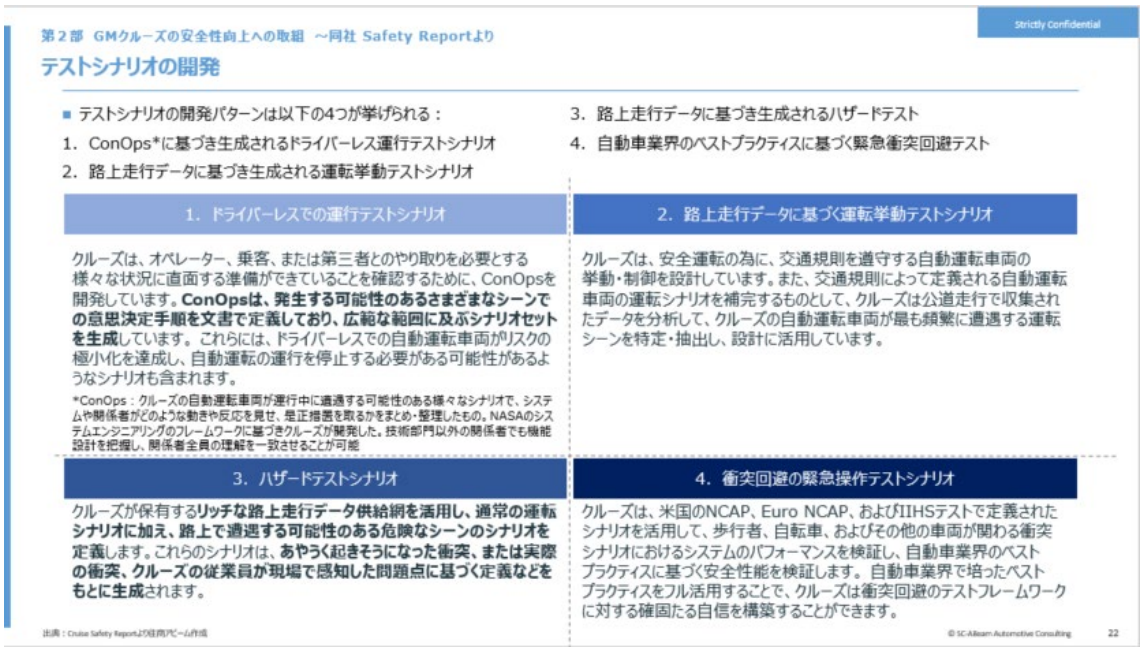


図 4.4.1.2-12　テストシナリオの開発

（出典：Cruise Safety Report より、住商アビーム）

AD システムサービスの社会受容性を高めるためには、安全、安心なサービスを乗客や地域住民に提供することがポイントとなる。そのためには、車両制御システムの安全性確保は勿論、乗客とのコミュニケーション機能や、車両運行を補助する機能を持つ運行補助システムの機能や信頼性も欠かせない要件となる。従って、運行補助システムについても段階的に検証プロセスを繰り返し、評価を行いながら開発を進めている（図 4.4.1.2-13）。

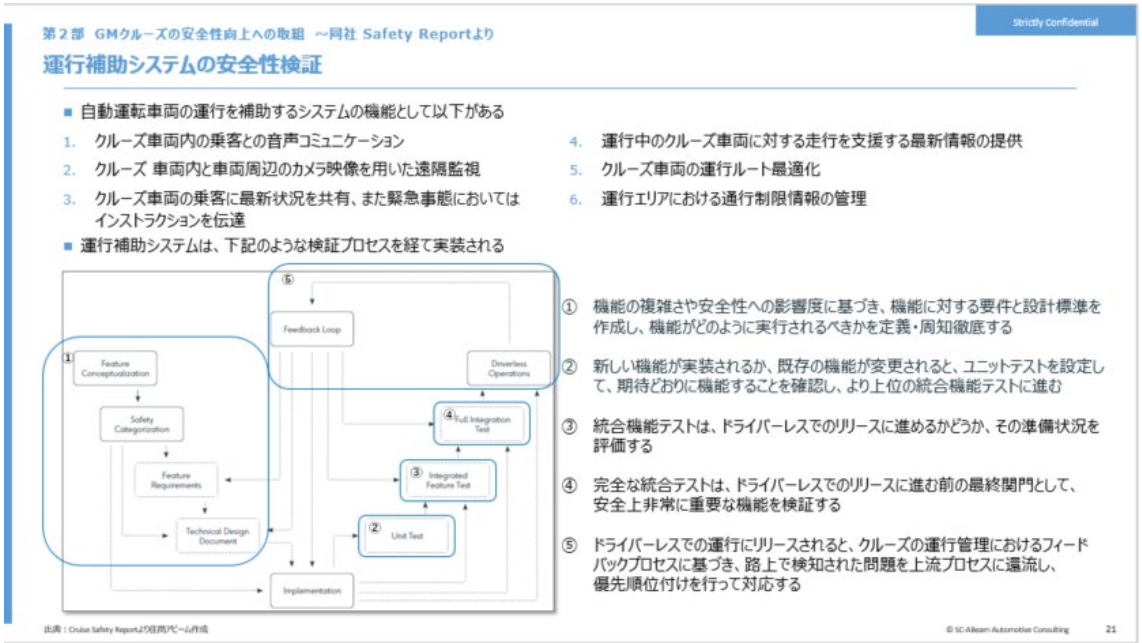


図 4.4.1.2-13　運行補助システムの安全検証

（出典：Cruise Safety Report より、住商アビーム）

安全、安心な運行サービスを提供することが社会受容性を高めることに繋がるため、顧客の特性に応じた分かりやすいインターフェース開発、コミュニケーションの質向上のための活動も強調している（図 4.4.1.2-14）。

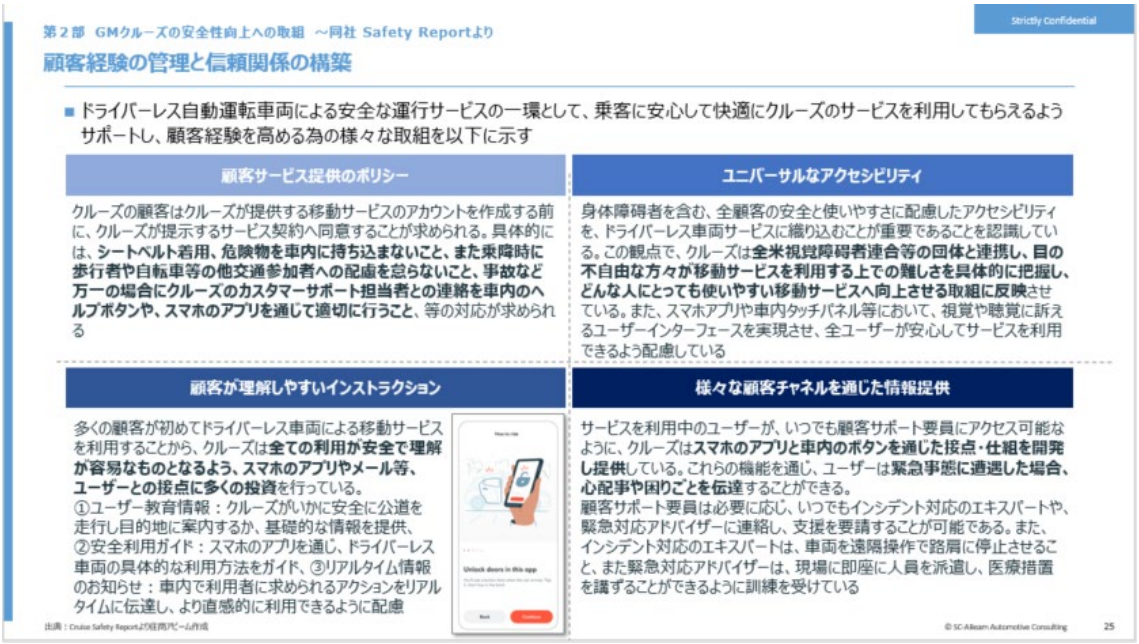


図 4.4.1.2-14　顧客体験の管理と信頼関係の構築
（出典：Cruise Safety Report より、住商アビーム）

GM Cruise は IT 機器などを利用したカスタマーサポート機能を提供することで、顧客の乗車時および非常時への案内など、ユーザーフレンドリーなコミュニケーションやサービスなどが可能としている（図 4.4.1.2-15）。



図 4.4.1.2-15　カスタマーサポートサービス（GM Cruise）
（出典：GM Cruise の公開情報より、住商アビーム）

運行時の遠隔監視、および現場サポートの体制は、ロボタクシー運行局面における危険度／重要度に応じて、4 つに区分されるサポート（人員）を組み合わせて提供する。つまり、平常運行時はフリートモニタリングシステムが運行管理を行うが、現場での対応が必要な緊急時は対面オペレーターが現地で対応するなど、各サポート（人員）の役割、権限が特定されており、自動運転システムの運行全般をカバーし、安全、安心を提供できるよう組織管理体制を構築している。（図 4.4.1.2-16、図 4.4.1.2-17）

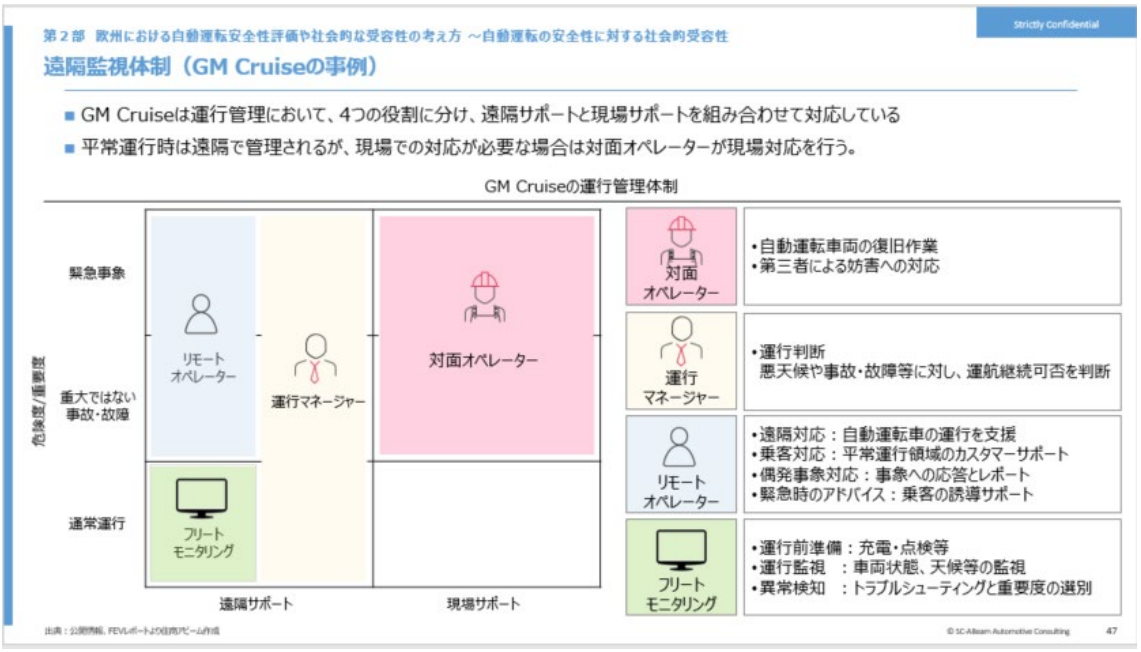


図 4.4.1.2-16　遠隔監視体制（GM Cruise の事例）
（出典：公開情報、住商アビーム）



図 4.4.1.2-17　GM cruise の運行サポート体制
（出典：Cruise Safety Report より、住商アビーム）

欧米における自動運転の市場化はすでにスタートしており、安全性確保に向けた自動運転事業者の自主的な活動が盛んに行われている。市場化の達成のためには、社会の受容性が高まることが条件となるため、自動運転制御システムの安全性の確保は勿論、地域や利用者が自動運転の安全性を理解できるようなシステム開発やコミュニケーション活動が見受けられる。

4.4.2　中国における自動運転に関連するプロジェクトや取り組み

4.4.2.1　中国知能網連汽車産業創新連盟（CAICV：China Industry Innovation Alliance for the Intelligent and Connected Vehicles）の取り組み

2017 年 6 月に、中国の知能網連汽車（ICV：Intelligent and Connected Vehicle）産業と技術の発展の促進を目的に、民間企業の連携によるイノベーションおよび国際交流の促進のために、中国工業信息部の指導のもと、中国自動車技術会（C-SAE）と中国自動車工業会（CAAM）および、関連企業、大学、研究機関によって設立された。

分科会活動やプロジェクト活動を通じて、政策や戦略の研究、共通技術の研究、産業標準や規制の研究開発、試験実証、産業化の促進、学術交流および国際協力、人材育成を行っている。現在、ICV に必要な下記の技術カテゴリに従い、分科会が設置され、技術ロードマップやフレームワーク策定作業を行っている。

また、技術開発および標準類作成を実務面で支えるために、傘下に国家知能網連汽車創新中心（国汽/CICV: National Innovation Center of Intelligent and Connected Vehicles）を置いている。

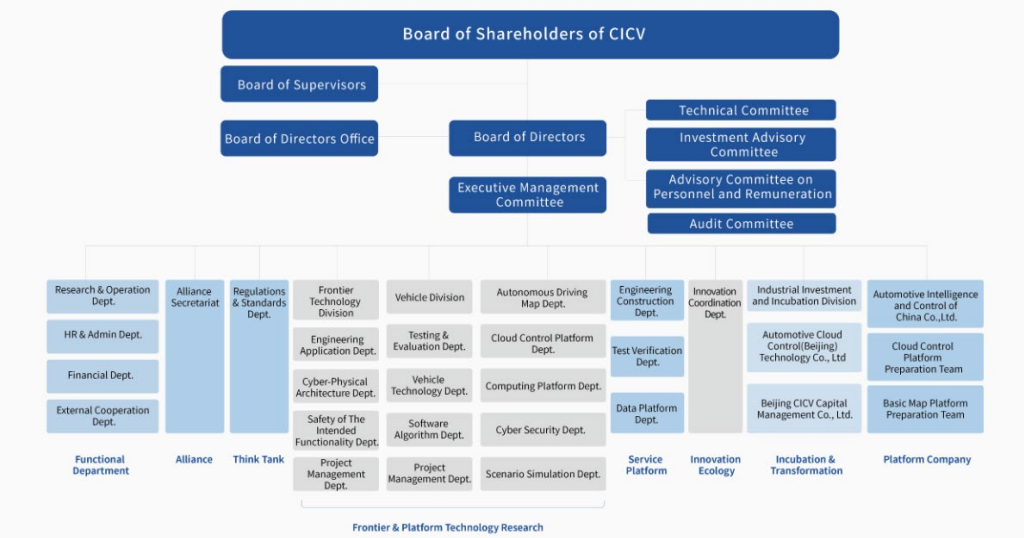


図 4.4.2.1-1　CAICV のミッションと組織図
（出典：中国知能網連汽車産業創新連盟ホームページ）

4.4.2.2　予期効能安全工作組（SOTIF working Group）の取り組み

予期効能安全工作組は AD の安全性に大きく関わる SOTIF の評価の標準化推進を目標として活動している。清華大学と CICV のリーディングおよび、関係国家認証機関のもとで CATARC、CAERI など評価機関や主要自動車メーカに加え、HMI 技術に注力しているファーウェイ（華為）、クアルコムなどの Tier1/Tier2、評価 TOOL ベンダ等が参加している（図 4.4.2.2-1）。

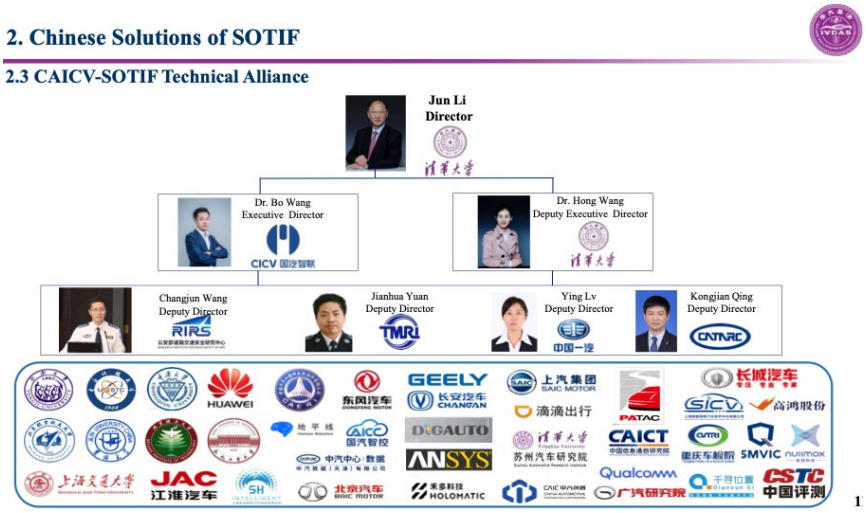


図 4.4.2.2-1　予期効能安全工作組の組織体系

（出典：Challenges, solutions and industry practices of SOTIF for Autonmous Vehucles in China_Tsinghua University_Tsinghua University_VVM_HZE）

AD の評価手段について、ドイツの PEGASUS プロジェクトや VVM プロジェクトは 6 Layer の評価シナリオモデルを採用しているのに対して、CAICV の SOTIF 分科会は SOTIF の評価として ODD を越えた時の車両の挙動、車両と人間のインタラクション（HMI）の評価も重要であるとして、車内情報 Layer を 7 Layer 目に加えた新たなシナリオモデルを採用している。CAICV の SOTIF-PJ が終了する 2024 年前後には ISO などの国際標準の議論の場に具体的な形で提案することが予想される（図 4.4.2.2-2、図 4.4.2.2-3）。

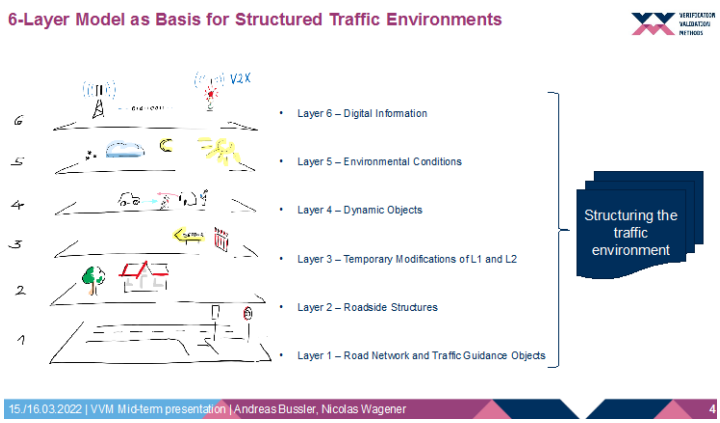


図 4.4.2.2-2　VVM プロジェクトの交通環境モデル

（出典:A Story of Scenarios-From Data and Knowledge to Scenarios for Testing, VVM Midterm Presentation_2022.3.16）

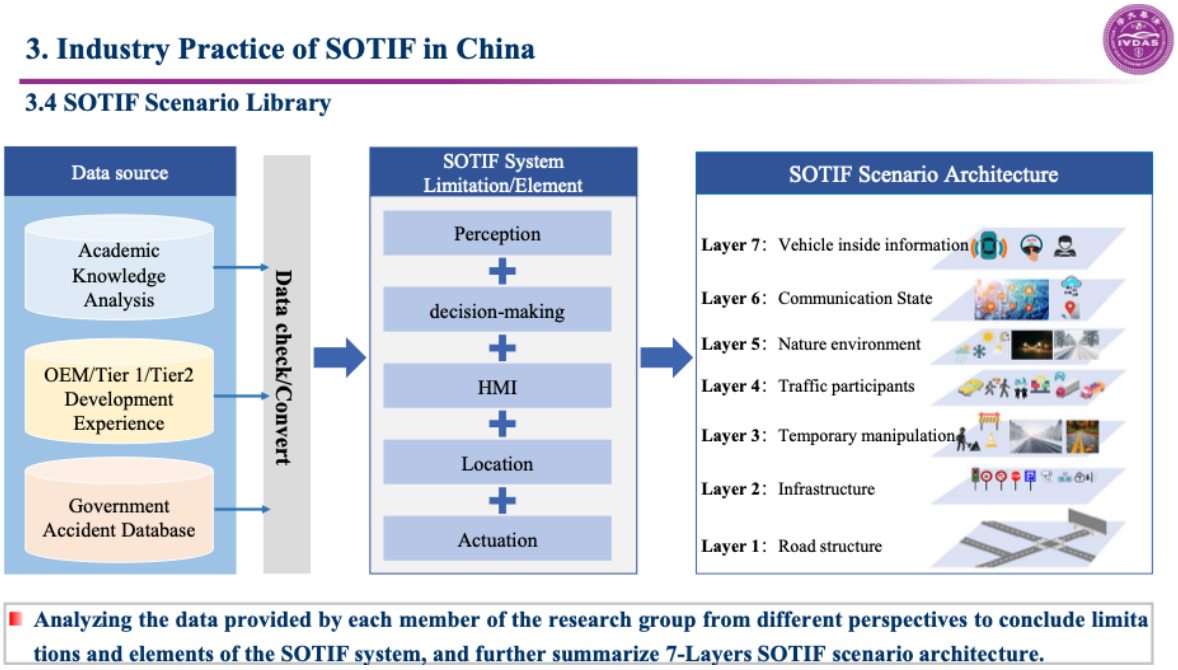


図 4.4.2.2-3　予期効能安全工作組組織の考案シナリオモデル

（出典：Challenges, solutions and industry practices of SOTIF for Autonmous Vehucles in China_Tsinghua University_Tsinghua University_VVM_HZE）

4.4.2.3　中国情報通信技術学院（CAICT：China Academy of information and Communications Technology）の取り組み

中国情報通信技術学院（CAICT）は 1957 年に設立された、工業情報化部直属の科学研究機関であり、通信およびセキュリティに関する施策支援および産業育成支援や国際標準化活動を行っている。

AD に関連する活動として、ICT（Information and Communication Technology）に関する白書を発行し、車-路-クラウド協調型自動運転の重要性と実現に向けた提案（図 4.4.2.3-1）を白書の形でまとめてきた。

・ICT 産業創新発展白書（2020 年）
・ICT 白書（2020 年、 2021 年、 2022 年）

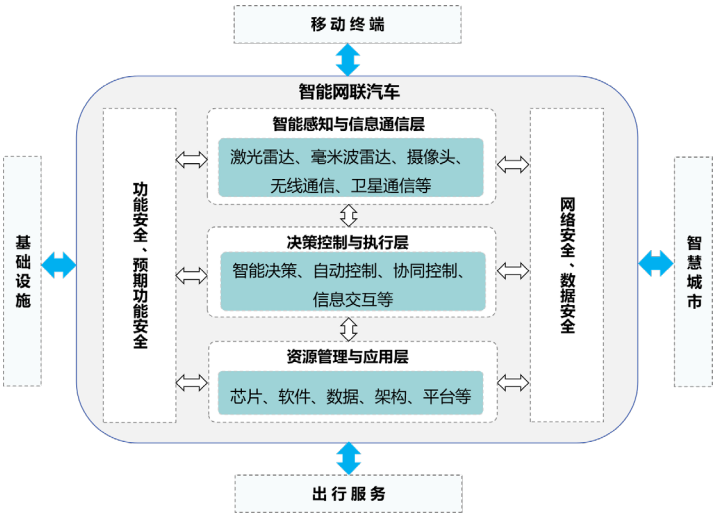


図 4.4.2.3-1　路-車間クラウド協調型自動運転フレームワーク
（出典：ICT 白書（2022 年））

さらに、C-SAE や CAICV、CSSA（中国通信標準化協会：China Communications Standards Association）と連携して、5G、6G、C-V2X（Cellular-V2X）関連の国内標準策定を支援し、ITU-T SG20、ISO-TC22 での AD 車の評価施設基準、ISO-TC204 での無線アクセスによる交通システム、ETSI での MEC 標準の提案等に加え、Autosar への V2X 仕様に関する要求活動や、ASAM での無線通信のシミュレーションに関する WG の設置提案など自動車分野での多面的な活動を行なっている。

2022 年 11 月に開催された ASAM International Conference で、CAICT は現在の ASAM の自動走行評価に関するシミュレーション環境の標準類では C-V2X について考慮されていないとして、そのシミュレーションおよび TOOL の標準化に関する提案を行った。提案内容は、自動走行の安全性評価において、ODD の要素として通信環境（電波の到達限界、反射波等）の影響を加味すべきであり、ASAM の AD 用標準評価シミュレーション体系、TOOL インターフェース、データフォーマットの議論の中に、C-V2X への対応も組み込むべきというものである。CAICT はこれらを検討するための WG の設置を提案している。

4.4.2.4　百度（バイドゥ）の動向

百度は、2013 年から AD の技術開発を手がけ始め、AD 車の開発を支援するオープンアーキテクチャ開発プラットフォーム“Apollo ”の開発と実証活動を通じて Waymo と並び、世界トップレベルの AD 実績を積んできた。

この経験を活かし、AD の車両プラットフォーム事業、AD 車両事業、クラウドを含むインテリジェント交通の 3 つの事業を展開している（図 4.4.2.4-1）。

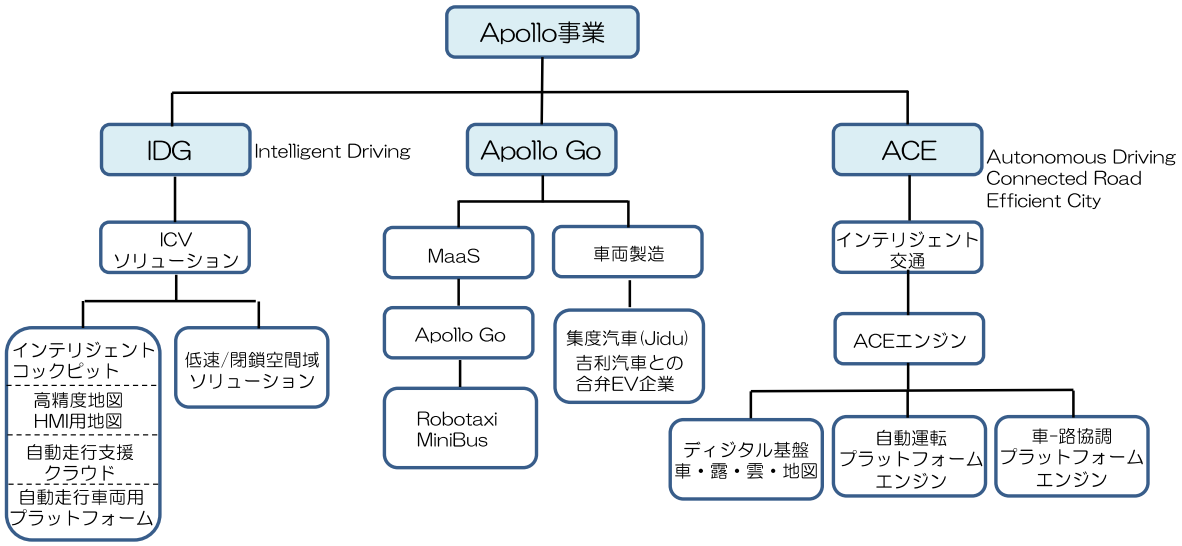


図 4.4.2.4-1　百度 Apollo 自動運転事業体制

（出典: Apollo 知能汽車製品技術展-標準化思考 2022 年 7 月および天豊証券資料より作成）

車両プラットフォーム事業には、高精度地図の作成部門を持っており、高精度地図（10cm 精度）を活かした自動運転技術であることを特徴としている。一般的には、高精度地図の作成コストが課題となるが、百度は、市中走行中の車両のデータから AI により自動生成することでコストダウンを図れるとしている。この高精度地図は、テスラ、フォード、ホンダ、上海汽車、吉利汽車など十数社の自動車メーカと共同作成している。

自動運転車両事業部門では、2023 年から、レベル 4 の自動運転車（ROBO-01）を、吉利汽車と合弁で設立した EV 会社の集度（Jido）汽車で、量産することを予定している。

ROBO-01 には、NVIDI 社の AI チップ Orin-X を 2 個組み込み 508TOPS の処理性能を実現したコンピュータユニット ANP-3 を搭載する（図 4.4.2.4-2）。



V: カメラ, R: Lidar, S: 超音波センサ

図 4.4.2.4-2　百度 Apollo 自動運転用コンピュータ

（出典: Apollo 知能汽車製品技術展-標準化思考 2022 年 7 月）

百度は、世界でトップレベルの走行距離の実績を持ち、そこから得られた安全性に対する知見から、周辺認識にはカメラと LiDAR のフュージョン方式が必須としており、この処理を担う高性能なベースコンピューティングプラットフォーム用 ECU を開発してきた。2024 年の市場投入を計画している Apollo RT-6 に搭載されるコンピュータ ECU の性能は 1200TOPS に達する（図 4.4.2.4-3）。

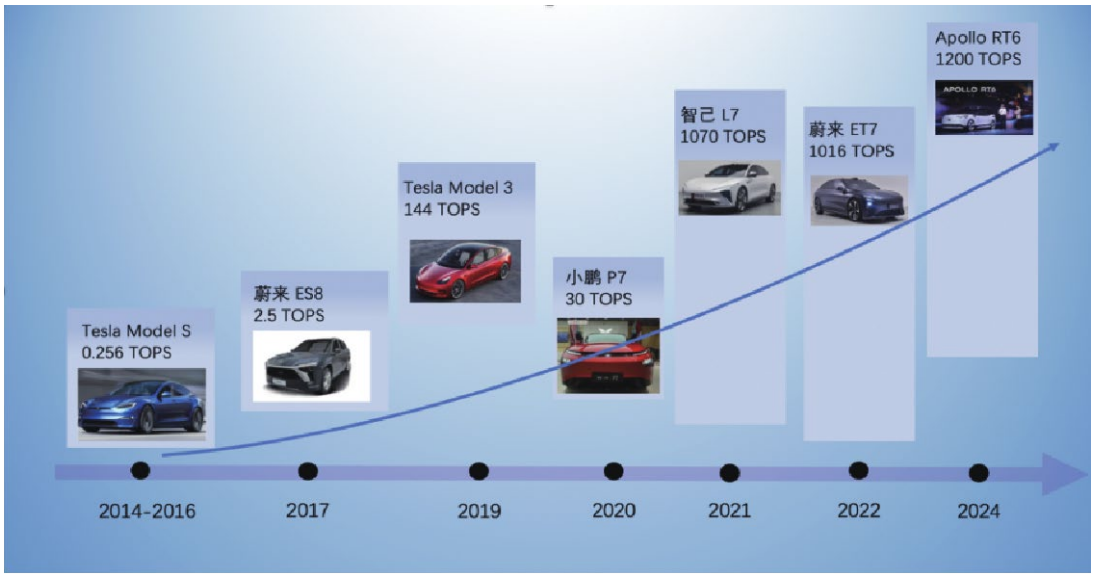


図 4.4.2.4-3　自動運転用コンピュータ性能の推移

しかし、一方で百度は、車両搭載のコンピュータ性能をさらに上げたとしてもレベル 4 の自立自動運転を実現するために必要な走行環境認識能力を確保するには困難が伴うことを公表している（図 4.4.2.4-4）。

ODD限制场景分类			典型场景举例	L4自动驾驶场景应对能力	扩展ODD的方式
一级分类	二级分类	三级分类			
动态实体	交通情况	交互冲突	机动车-机动车交互冲突：并线汇合冲突、前车急刹、加塞、切弯等突发行为	困难	车路协同感知/决策/规划
		交通阻塞	车辆停滞	困难	
			车辆排队或拥堵	困难	
	道路使用者	机动车	危险行为：超速、逆行、闯红灯等突发行为	困难	
		行人	危险行为：行人进入机动车道、鬼探头、闯红灯等突发行为	困难	
		非机动车	危险行为：非机动车进入机动车道、鬼探头、超速、逆行、闯红灯等突发行为	困难	
	非道路使用者	动物	动物闯入的突发行为	困难	
		其他	低矮障碍物、抛洒物、异常障碍物等	困难	
静态实体	道路类型	停车场	室内停车场	困难	
	道路表面	道路路面	积水、结冰、积雪、泥泞等	困难	车路协同控制（控环境）
	车道交叉	平面交叉	有信号控制交叉口	困难	车路协同感知/决策/规划
			无信号控制交叉口	困难	
			匝道分合流、岔道	困难	
			环形交叉口	困难	
	车道特征	车道标线	车道线模糊	困难	车路协同控制（控环境）
			无车道线	困难	
	道路边缘	边界线	无道路边界线	困难	
	道路设施	特殊设施	长隧道	困难	➢ 车路协同感知/决策/规划/控制（控车） ➢ 车路协同控制（控环境）
			桥梁	困难	
			立交	困难	
			铁路交叉口	困难	
		临时设施	道路施工	困难	
			交通事故	困难	
环境条件	天气	能见度	较差（大雾、大雪、大雨、沙尘暴、团雾等）	困难	
	连接性	信号强度	信号干扰	困难	
			无信号	困难	

図 4.4.2.4-4　AD 車が認識困難な運転シーンの例
（出典:自動運転に向けた車路連携のキーテクノロジーと展望 2.0 白書 清華大学、百度_2022 年 12 月 28 日）

4.4.2.5　中国における自動運転に関連するプロジェクトや取り組みまとめ

中国における ASAM や SOTIF に対しての AD 関連の標準化に向けた提案の多くは、AD 車のコネクティッド技術に対する提案である。これらの提案は百度が発表した、車両搭載のコンピュータ性能をさらに上げたとしてもレベル 4 の自立自動運転を実現するために必要な走行環境認識能力を確保するには困難が伴うことが背景にあり、レベル 4 の AD 車を実現するためには C-V2X や無線化アクセスなどのコネクティッド技術が必要不可欠だという事を中国は考えていると推測する。そのため、中国ではコネクティッド技術が AD の社会実装のためのキー要素となってくるものと考えられており、コネクティッド技術における基準・標準の提案が中国からは多く出てくるものと推測される。

4.5 既存の安全性評価に資するレポートに関しての調査

AD システムの安全性は、産業界のみならず、社会実装を許可する監督側の各国政府においても関心が高い。以下、各国の AD システムの安全性への考え方と、AD 車両／システムを開発・評価する企業／大学の安全性の方針に関する調査結果について記載する。

4.5.1 各国の AD システム安全性への考え方の整理

各国においては、AD システム開発を促進するために厳しい措置を避け、大半の制度は拘束力のないものとなっている。米国のランド研究所の Anderson[1]らは、AD システムに関連するリスクを、安全性、責任、プライバシー、サイバーセキュリティおよび業界への影響の 5 パターンであるとしている。シンガポール大学の Taeihagh[2]らは、これらのリスクに対応する各国の戦略内容に対して分類分けを実施している。それによると、安全性に関して、主要国・地域での戦略方針は、次のようになっている。米国、EU、英国、中国では、安全性へのリスクを事前に予期し、緩やかに政策や規制により制御する方針に分類されている。また、日本については、安全性へのリスクを事前に予期し、一時的に禁止・制限をとる方針に分類されている。特に中国においては、直近では日本と類似する方針であったが、近年大きく方針変更があったことが分かってきた。

4.5.1.1 米国

連邦政府が「国の安全基準」としての手引きを設定し、州政府が免許を発行後、AD システムの行動を規制している。その手引きは、米国の AD システムに関わる製造から実走までのすべての事業者を対象としており、運輸省道路交通安全局（以下、「NHTSA」という）が「車両性能ガイダンス」として示している[3]。NHTSA は、将来的にこれらの手引きを法律として施行する意向を持っている。しかし現在、NHTSA は AD システムに関わる事業者に対して、手引きを安全確保の指針とし対応する取り組みを「VSSA」という略語で公開するよう推奨している。米国としては、AD システムの実現に向けて、市場ドリブンなアプローチを推奨し、AD システムに厳しい規制を課すことに関心は薄く、緩やかに政策や規制で制御しようとしている。手引きについては、「Automated Driving Systems 2.0: A Vision for Safety」[4]として、2017 年に発行され、以降改訂が進んでいる。最新版は、2020 年発行の「Ensuring American Leadership in Automated Vehicle Technologies: Automated Vehicles 4.0」[5]である。この手引きは、公道で使用される AD システム開発事業者が、実験や導入をする際の指針であり、12 項目の Safety Element で構成されている。

4.5.1.2 EU

EU では、AD システムについて法的に許可しいるが、技術的リスクの観点より市民保護を重点としているため、厳しい条件が課されていた。欧州委員会は 2018 年に AD システムに関する戦略文書[6]を採択した。しかしこの年まで、この分野における EU 共通の法的枠組みは存在しなかった。基本的に、国別の AD システム評価は加盟国間での調整となり、相互承認に基づいているとしている。また、相互承認を合理的に行うことを目的とする、AD システムの EU 承認のための免除手続きに関するガイドラインを定めている。つまり、EU の規則が想定していない新しい AD システム技術は、EU のガイドライン上、各加盟国が自国内での使用を暫定的に承認することができ、保険などの問題をどう規制するかは、各加盟国の判断に委ねられたことになる。

4.5.1.3 英国

米国同様に、英国運輸省は AD システムのさまざまな状況下での安全性を確保するために、AD システム事業者向けのテストガイダンス[7][8]を 2015 年に公開し、2022 年に更新している。これらは新たな法的要件や障壁を導入するものではなく、これも法的な強制力はない。これは、英国内のあらゆる公道での試験を奨励し、当局の承認を必要とせずに許可するものである。英国は米国と同じく、イノベーションのための十分な余地を提供するために、厳しすぎる規制を課したり AD システムの安全性に過度なスタンスを取ったりしない傾向である。また英国は、AD システムの安全性が人間のドライバー（=有能で注意深い人）と同等とする安全目標（safety ambition）[9][10]についての協議を開始した。この目標は、公道での AD システムを許可するためのシステムが満たすべき基準を形成することである。

4.5.1.4 中国

中国において立法は、中国共産党の支配下にある全国人民代表大会とその常務委員会で行われている。中国政府は、AD システムが公道で走行することには消極的であり、予防的措置を講じながら安全リスクに対処する戦略を採用していた。そのため、公道での AD システム評価を管理するための法案対応に時間を要しているため、評価の実行が進まない状況であった。しかし 2016 年より、国家自動車標準化技術委員会は、自動車基準と規制の見直しを開始した。国家発展改革員会は、2025 年までのロードマップ計画として「知能化自動車の革新と発展に関する戦略」を発表しており、AD システム開発を加速している。2022 年に百度（Baidu）と Pony.ai は、ドライバが乗車している AD システムの認可を取得した。北京高度自動運転実証区が認可を与えており、北京市内の 60 平方キロメートルの指定区域での運行に限定される。また、深圳市や、重慶市でも、特定エリアに限定し、AD システムの実走の認可が進んでいる。また、事故の責任についても定めている。ドライバが乗車している場合、交通ルール違反や事故が発生した際に、運転手が賠償対象となる。しかし、完全に運転手がいない場合は、AD システムの所有者や管理者が当局の

処理の対象となる。仮に、事故がコネクテッドカーの欠陥によるものであれば、車の所有者や管理者は、メーカや業者に賠償を求めることができる。

4.5.1.5　その他周辺国

韓国は、米国など他の主要国に比べ、AD システムの商用化に向けた規制の見直しが遅れている。韓国の国土交通省は、2027 年にレベル 4 の AD 車両の商用化、2035 年には新車の半分をレベル 4 として発売することを目標と定めており、それに向けて法改正などの整備を進めている。

オーストラリアは、現行法は人間のドライバ向けに作られており、現状では AD システムをサポートしていない。2020 年に、国家交通委員会は、AD システムの安全フレームワークに関する規制が発表され、国内法と規制機関の設立について決定がなされた。

インドでは、交通事故の課題対応が、今後重要な側面を有している。しかしながら、世界中の企業が AD システム開発に注力する中、インドでは現在、クルーズコントロールと V2V システムの開発に限定している。現在の制度では、AD システムの実験および導入に対応した状況ではなく、安全のためのガイドラインもない状況である。

シンガポールは、AD システムの安全性を規制するための法改正を開始した。シンガポールの道路交通法が改正され、AD システムの導入に向けた対応を進めている。AD システムは、安全性評価に合格しなければならず、公道テスト前に安全に対する方針を策定しなければならない。また、AD システムが十分な能力を示した場合、人間ドライバ同乗の要件を免除することができる。

4.5.2 安全性に資するレポートから見る AD システムを開発・評価する企業の安全性の方針について

最初に安全性に対する標準化動向を抑え、企業の安全性に対する方針と主要な企業における安全性への取り組みについて、詳述する。

4.5.2.1 AD システムの開発・評価の前提となる標準化動向の整理

AD システムの社会的影響力が大きいことから、明確な基準に従いシステムの安全性を議論することは、重要となる。したがって、AD システムに関連する標準化の動きが加速している。ISO は、安全規格として、ISO 26262（機能安全）と ISO 21448（Safety of the Intended Function で、以下、「SOTIF」という）を発行している。ISO 26262 は、システムが高信頼で安全であるための、開発者に対する設計規格を規定している。また、ISO 21448（SOTIF）は、故障がない状態で意図した機能の安全性を保障することに重点を置き、システム障害によるリスクを低減することを目的とする。

IEEE は、AD システムの安全性へのワーキンググループを複数立ち上げている。IEEE P2846[11]、IEEE P2851[12]、IEEE P1228[13]がそれらに対応する。IEEE P2846 は、道路利用者の合理的に予見できるシナリオを定義するプロジェクトである。IEEE P2851 は、IP や SoC がデータ交換/相互運用をするためのデータフォーマットを標準化するプロジェクトである。また、IEEE P1228 は、故障が人命損失や深刻な損害を引き起こすソフトウェアの開発から廃棄までのライフサイクルすべてで安全性を考慮するとしている。

AVSC[14]は、SAE International が発足した自動運転車安全コンソーシアム（Automated Vehicle Safety Consortium）である。公道での AD システムの運転前後のテスト、データ収集、データの保護／共有、他の道路利用者との相互作用に焦点を当て、SAE レベル 4 および 5 の AD システムの安全規則の策定を推進している。米国企業の Aurora、GM、Waymo などの企業がメンバとなっており、VSSA 以外の対応が今後推進されると考えられる。

SaFAD[15]は、メンバ企業により自動運転のためのセーフティファースト（Safety First For Automated Driving）として公開されたホワイトペーパーである。SAE レベル 3 および 4 の設計および検証・妥当性確認手法に関する安全性について報告している。SaFAD は、安全な AD システムの開発・検証・妥当性確認に対するフレームワークとして広く知られた手法を参照し、ISO 26262 を補っている。また、政府などの公的機関に対して適切な規則の策定を促す指針を示しており、開発と認証を含めたプロセスとして注目されている。

UL4600[16]は、特定の設計手法、技術の使用を要求するのではなく、Safety Case 構築の標準である。解析、シミュレーション、テストコース、公道テストにおける Safety Case の組み合わせにより、AD システムの安全性を保障する。また、AD システムの開発者が設計要素の安全性を論証するためのチェックリストを提供している。

4.5.2.2 安全性に対する企業の方針

AD システムの安全性評価基盤の標準化が進む一方、AD システムの包括的な機能安全規格が存在しないため、安全性については多くの企業が ISO 26262 をベースラインとしている。ここで、ISO 26262 は、機能安全規格であり、Management of functional safety で安全文化が明記されており、安全に対する原点ともいえる。各企業においては、ISO 26262 がベースであり、次に示す複数の異なる規格やフォールトツリー解析（FTA）といった解析手法などを採用し、独自のアプローチで安全性の確保を進めている。Aptiv、Audi、Baidu、BMW、Continental、Daimler、FCA、HERE、Infineon らは、ISO 26262 でカバーできていない開発、テスト、検証のためのフレームワークについて、広く知られた手法を導入した SaFAD を推進している。また、Intel/Mobileye は、IEEE P2846[11]を推進しており、道路利用者の合理的に予見できるシナリオを定義し、AD システムがそのシナリオで安全かどうかを検証するとしている。また、Apple、Argo AI、Aurora、Autonomous a2z、EasyMile、Ford、GM、Ike、Kodiak、Lyft、Motional、Nuro、Nvidia、Waymo、Zoox らは、NHTSA 推奨の前述の VSSA を発行し、さらに ISO 26262 や ISO 26262 の影響を受けている UL4600[16]、AVSC[14]あるいは ISO 21448（SOTIF）の推進が模索されている。

他方、研究機関では、安全性を何百万マイルの車両試験とシミュレーションで保証するのは高負荷であり実現性に乏しいとし、よりスケールダウンした方法で安全性を検証できる仕組みを構築している。Caltech[17]では、車や歩行者の交通参加者が所定の規則に従った際の安全性を検証できるシミュレータを構築している。また、 INRIA[18]では、AD システムの走行経路計画の安全性を検証するフレームワークの検討を行っている。

4.5.2.3 安全性に対する各企業のレポート

（1）Aurora

安全性へのアプローチとして、Safety Case フレームワークの構築を行っている。これは、Aurora の AD システム車が公道で運転しても十分に安全であることを、特定の方針と論証により保障するとしている。安全性とは、一度だけ行う文書化作業ではなく、技術の進化に応じて再構築し安全な AD システムを提供し続けるため、Safety Case フレームワークを継続的に改善するとしている。そこには、安全性に関する考え方が、4 つの枠組みの中で述べられている。4 つの枠組みとはリスクを即座に周知する安全文化の実践、安全な技術開発、安全性に対する評価技術の確立、安全への人材教育である。

（2）Cruise

シェアリングを前提にした AD システム車を製作し、2022 年春からサンフランシスコで自動運転タクシーのサービスを展開している。Safety Report では、安全な商用 AD サービスの設計図であり、次の内容を含んでいる。安全管理するという安全哲学、運用設計領域（ODD）による設計、ロバストな検証、緻密な審査、および柔軟な運行サポートであ

る。

（3）Ford

米国の「Automated Driving Systems 2.0: A Vision for Safety」で示された 12 の ADS Safety Element（安全要素）に対応し、VSSA を発行している。「Automated Driving Systems 2.0: A Vision for Safety」は、公道で使用される AD システムを設計する事業者が実験もしくは導入を行う際のガイドラインである。Ford は、初期の ISO 26262 規格開発の段階から関与している。また、ISO 21448（SOTIF）では ISO 規格開発のための米国技術諮問グループ（USTAG）のリーダに選出され、システム理論プロセス解析（STPA）などのハザード解析技術を統合して適用した。この経緯から、車両の運用設計領域（ODD)、物体事象検知応答（OEDR)、最小リスク状態（MRC）を達成する安全要件と、関連する安全検証および妥当性確認手順を生成している。テストによって現在の要求事項の限界が明らかになると、その事象が設計プロセスにフィードバックされるようにしている。それによりドライバの介入が必要だったような故障が発生しても、機能し続けることができるブレーキ、ステアリング、電源のシステムを設計できるようになったとしている。

（4）GM

米国の「Automated Driving Systems 2.0: A Vision for Safety」で示された 12 の ADS Safety Element（安全要素）に対応し、VSSA を発行している。1 つ目の System Safety（システムの安全性）では「システムエンジニアリングのアプローチに基づく頑健な設計と検証のプロセス」を用いている。厳格なリスク分析を行い、多角的に検討するとしている。HAZOP やフォールトツリー解析といったトップダウンのハザードアセスメントと、設計の故障モード解析といったボトムアップのアセスメントの両方を実施し、AD システムがもたらすリスクを洗い出し、それに対応するための要件を策定している。設計指針として、2 つの重要な安全性能への指針を設けている。1 つ目は、単一故障や二重故障、共通故障があっても安全に走行できるようシステムに冗長性を持たせることである。2 つ目は、統計的に意味のある経験を通じて、定められた走行環境下で安全な運転行動を実証できることである。

（5）Intel/Mobileye

Mobileye の CEO である Amnon Shashua 教授と CTO の Shai Shalev-Shwartz 教授によって 2017 年に発表された Responsibility-Sensitive Safety（以下、「RSS」という）によって安全性を評価している。Baidu や Valeo、ランド研究所、アリゾナ州自動運転研究所でも採用していると発表されている。RSS モデルは、常識的な運転を数式と論理ルールのセットとして定式化したモデルである。RSS モデルは、危険な状況がいつ発生するかを示し、その危険を軽減するためのステアリングとブレーキの対応を規定する。危険の程度は、シナリオ、道路状況、地域の常識、車両の種類によって異なるため、他の交通機関が

どのような行動を取るかにより変化する。例えば、混雑するボストンでは普通とされる運転も、フェニックス郊外では危険かもしれない。すなわち、地域によって異なる歩行者や車両の交通状況を対応するために、地域ごとの一連のパラメータを用いて RSS を構成する必要があるとあり、一般道への自動運転における安全性では、地域性を鑑みることが不可欠となる。

（6）Lyft

米国の「Automated Driving Systems 2.0: A Vision for Safety」で示された 12 の ADS Safety Element（安全要素）に対応し、VSSA を発行している。Lyft は、AD システムの安全性について明確で理解しやすい指標を確立することがステークホルダーの信頼を得るための重要なステップであると考えており、他社にはあまり見られない指標を全面に打ち出している。この手法によって安全性を定量化し、可能な限り AD システムの性能と人間のドライバの性能の集計を比較している。また、この定量的な指標を業界で展開することで、より安全な AD システムの開発と、交通安全に関する社会的需要に役立つと考えている。しかし、具体的に何を測定し、指標とするかなどの詳細は示されていない。

（7）Tesla

自社のサイトで「Tesla Vehicle Safety Report」[19]を公開している。テスラでは、パッシブセーフティ、アクティブセーフティ、AD 支援によるテスラの乗車客だけでなく、道路を走るすべてのドライバの安全を守るために重要であると考えている。全世界のテスラ車から得た数十億マイルの実走行データ（そのうち 90 億マイル以上はオートパイロットを作動した走行）を使って、事故のさまざまな起こり方を理解し、テスラのドライバが事故を軽減または回避できるような機能の開発を行っている。また、テスラの車両が収集した最新の実世界データを考慮し、既存の安全機能のアップデート版もリリースしている。

（8）Waymo

700 台の自動運転車を運用しており、既にアリゾナ州で有料の自動運転タクシーのサービスを展開している。2022 年 10 月には自社の自動運転タクシーをロサンゼルスにも拡大すると発表した。ただし、このサービスを一般に公開するスケジュールについては明言していない。現在、AD システムの安全性を評価するための普遍的なアプローチがないため、Waymo は、同社の車両に対して保持しているベンチマークをより明確にするために、応答時間の論文[20]と衝突回避のベンチマークに関する論文[21]を発表した。前者では、人間の衝突回避能力を正確に測定する方法について説明し、後者では AD システムが平均的な人間のドライバよりも優れたドライバと比較した場合の概要を説明している。結果として、平均的な人間よりも優れたドライバである NIEON（Non-Impaired、 with Eyes always On the conflict）に対して、AD システムは優れた結果を示しているとしている。

（9）Argo AI

米国の「Automated Driving Systems 2.0: A Vision for Safety」で示された 12 の ADS Safety Element（安全要素）に対応し、VSSA を発行している。AD システムに関連する安全性リスクの包括的な評価に対応する。一貫した評価を確保するため、ISO 21448（SOTIF）と ISO 26262、AVSC などの標準に従っている。公道テストで稀に遭遇する特殊なケースに対しては、繰り返しテストを行い、安全性の検証を行っている。

参考文献

[1] J. M. Anderson, N. Kalra, K. D. Stanley, P. Sorensen, C. Samaras, and O. A. Oluwatola, Autonomous vehicle technology: a guide for policymakers. Santa Monica, CA: Rand Corporation, 2014.

[2]A. Taeihagh and H. S. M. Lim, “Governing autonomous vehicles: emerging responses for safety, liability, privacy, cybersecurity, and industry risks,” Transport Reviews, vol. 39, no. 1, pp. 103–128, Jan. 2019, doi: 10.1080/01441647.2018.1494640.

[3] Automated Driving Systems
https://www.nhtsa.gov/vehicle-manufacturers/automated-driving-systems （2023 年 3 月現在）

[4] AUTOMATED DRIVING SYSTEMS 2.0
https://www.nhtsa.gov/document/automated-driving-systems-20-voluntary-guidance（2023 年 3 月現在）

[5] Ensuring American Leadership in Automated Vehicle Technologies
https://www.transportation.gov/sites/dot.gov/files/docs/policy-initiatives/automated-vehicles/360956/ensuringamericanleadershipav4.pdf（2023 年 3 月現在）

[6] “On the road to automated mobility: An EU strategy for mobility of the future”https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0283&from=EN（2023 年 3 月現在）

[7] “The Pathway to Driverless Cars: A Code of Practice for Testing”(2015)
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/401562/pathway-driverless-cars-summary.pdf（2023 年 3 月現在）

[8] “Code of Practice: automated vehicle trialling”(2022) https://www.gov.uk/government/publications/trialling-automated-vehicle-technologies-in-public/code-of-practice-automated-vehicle-trialling（2023 年 3 月現在）

[9] Self-driving vehicles: new safety ambition
https://www.gov.uk/government/consultations/self-driving-vehicles-new-safety-ambition
（2023 年 3 月現在）

[10] “Connected and Automated Mobility 2025: realising the benefits of self-driving vehicles in the UK.”https://www.gov.uk/government/publications/connected-and-automated-mobility-2025-realising-the-benefits-of-self-driving-vehicles（2023 年 3 月現在）

[11] WG: VT/ITS/AV Decision Making
https://sagroups.ieee.org/2846/（2023 年 3 月現在）

[12] IEEE P2851 Working Group
https://sagroups.ieee.org/2851/（2023 年 3 月現在）

[13] IEEE P1228 - SOFTWARE SAFETY WORKING GROUP
https://sagroups.ieee.org/p1228/（2023 年 3 月現在）

[14] Automated Vehicle Safety Consortium
https://avsc.sae-itc.org/（2023 年 3 月現在）
[15] SAFETY FIRST FOR AUTOMATED DRIVING
https://group.mercedes-benz.com/documents/innovation/other/safety-first-for-automated-driving.pdf
（2023 年 3 月現在）
[16] UL Standards & Engagement
https://ul.org/UL4600（2023 年 3 月現在）
[17] K. X. Cai, T. Phan-Minh, S.-J. Chung, and R. M. Murray, “Rules of the Road: Safety and Liveness Guarantees for Autonomous Vehicles.” arXiv, Mar. 23, 2021. Accessed: Aug. 15, 2022. [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2011.14148（2023 年 3 月現在）
[18] Q. Liu et al., “Multiform Logical Time & Space for Mobile Cyber-Physical System With Automated Driving Assistance System,” in 2020 27th Asia-Pacific Software Engineering Conference (APSEC), Singapore, Singapore, Dec. 2020, pp. 415–424. doi: 10.1109/APSEC51365.2020.00050.
[19] Tesla Vehicle Safety Report
https://www.tesla.com/VehicleSafetyReport（2023 年 3 月現在）
[20] J. Engström, S.-Y. Liu, A. Dinparastdjadid, and C. Simoiu, “Modeling road user response timing in naturalistic settings: a surprise-based framework.” arXiv, Aug. 18, 2022. Accessed: Feb. 27, 2023. [Online]. Available: http://arxiv.org/abs/2208.08651（2023 年 3 月現在）
[21] J. M. Scanlon, K. D. Kusano, J. Engström, and T. Victor, “Collision Avoidance Effectiveness of an Automated Driving System Using a Human Driver Behavior Reference Model in Reconstructed Fatal Collisions,” 2022

4.6 第 4 章のまとめ

本章では、本事業に関連した国際協調活動ならびに AD システムの安全性に関連した標準化活動について示し、諸外国の自動運転システムの実用化に向けたプロジェクトなどの状況に関する調査結果を示した。

国際標準活動として、ISO3450X の現在の動向に関しての整理を行った。また、本事業成果の打ち込み先である ISO34502 については、令和 4 年（2022 年）11 月に正式文書（IS）が発行された。

国際協調活動および成果発信では、投稿論文および参加学会をとりまとめ、概要を報告した。

諸外国の AD システムの実用化に向けたプロジェクトなどの調査に関して、欧州・米国・中国の OEM の動向調査を実施し、各国の安全性評価の考え方を整理した。また、AD システム開発企業が発行している既存のレポートの網羅的な調査を実施し、企業の安全性に対する方針と主要な企業における安全性への取り組みについて整理した。

第 5 章　研究開発全体企画・管理

5.1　令和 4 年度における研究開発ロードマップ

本事業では、将来想定する自動運転（レベル 3 以上）において、自動運転システムの安全性評価を行う上での課題を明確化し、具体的な安全性評価手法の開発を行うとともに、自動運転システムの安全性評価に活用可能な安全性評価基盤の構築に取り組む。これらにより、自動運転システムの安全性評価手法の国際標準化などの議論に貢献する。

令和 4 年度における 3 テーマ各々の実施スケジュールを図 5.1-1 から図 5.1-3 に示す。

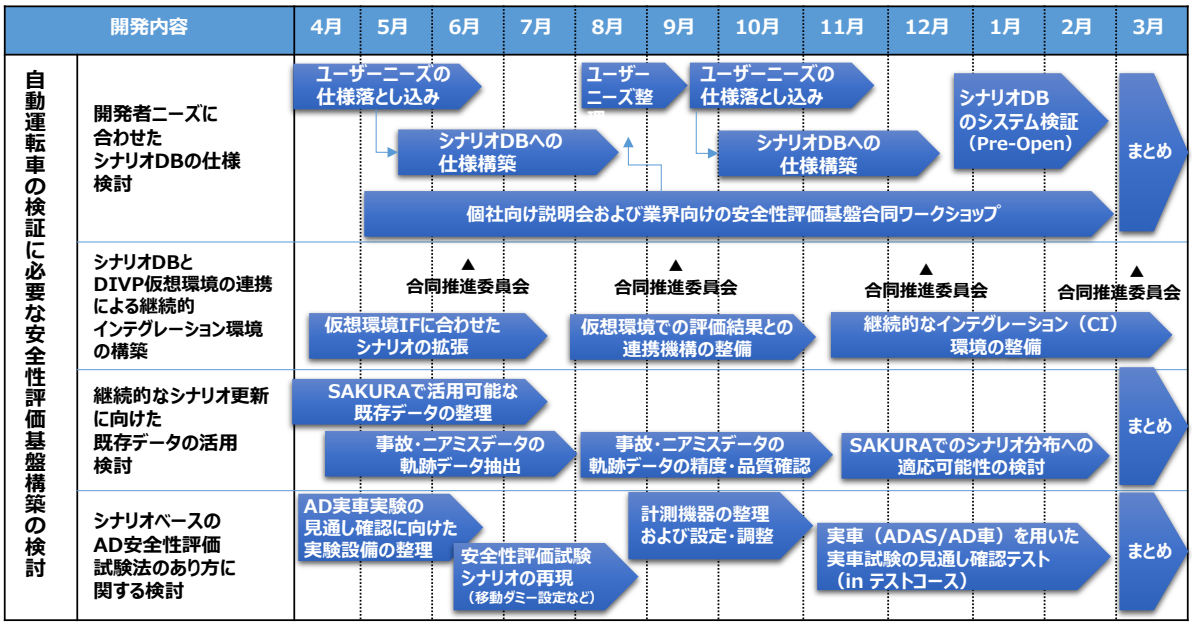


図 5.1-1　「自動運転車の検証に必要な安全性評価基盤構築の検討」
令和 4 年度の月別実施スケジュール

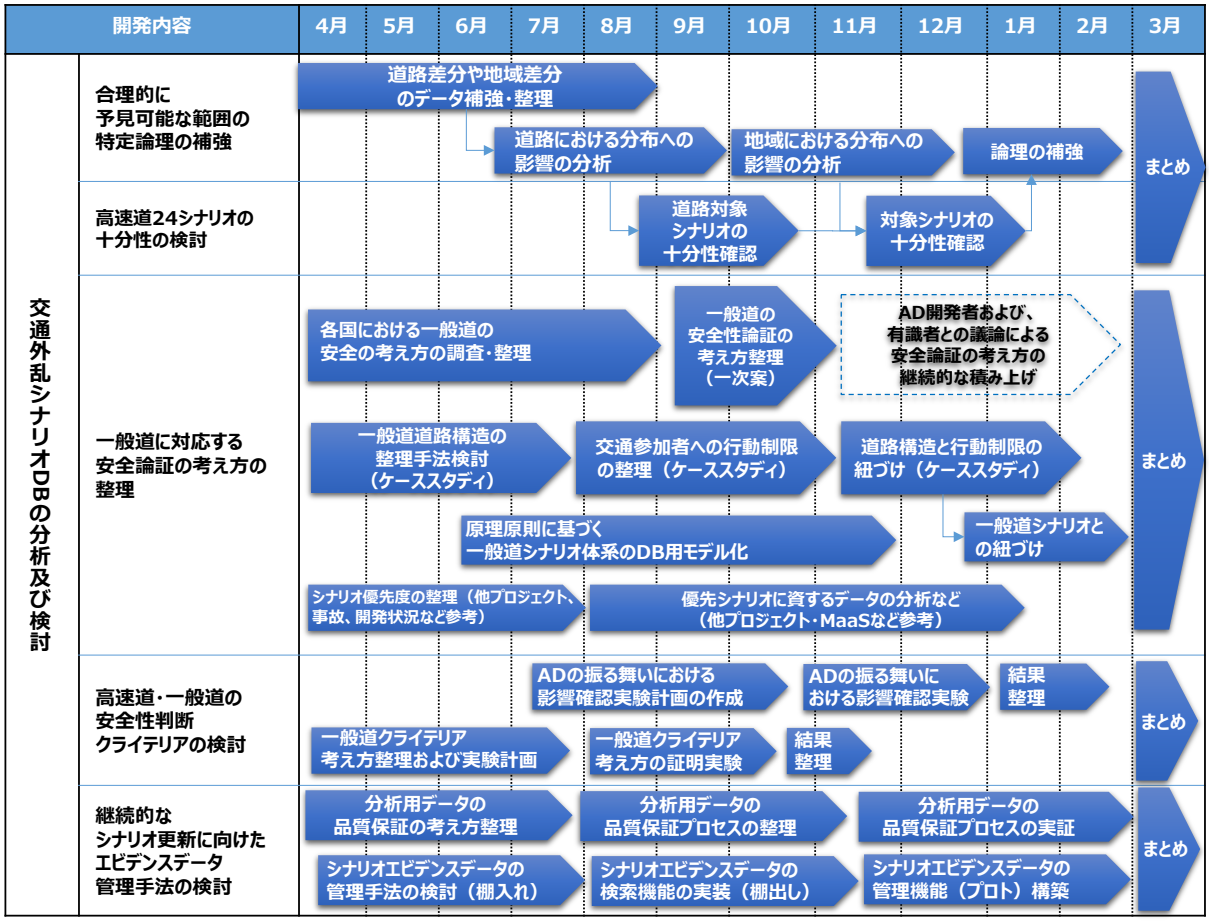


図 5.1-2　「交通外乱シナリオ DB の分析および検討」
令和 4 年度の月別実施スケジュール

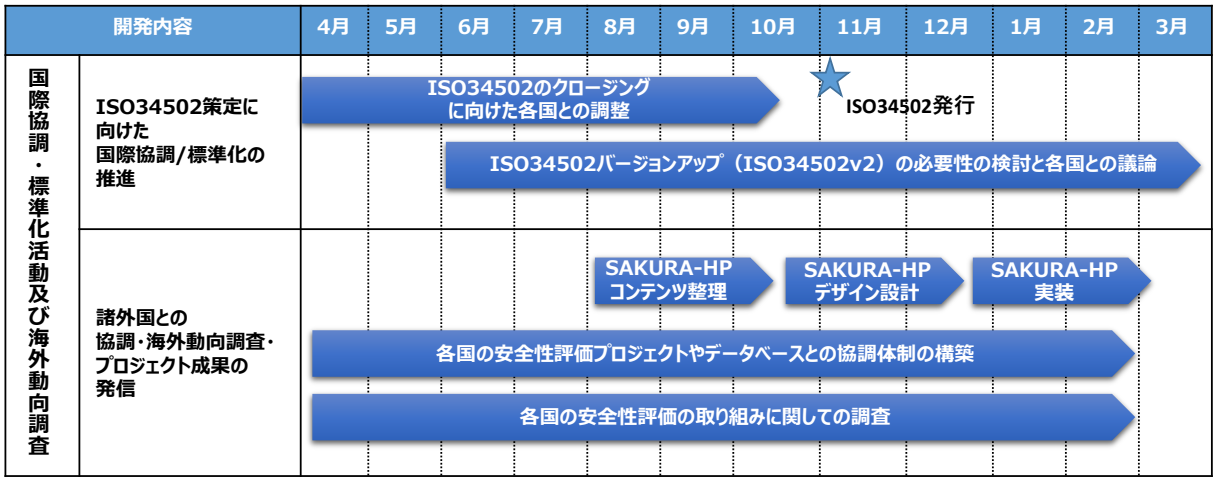


図 5.1-3　「国際協調・標準化活動および海外動向調査」
令和 4 年度の月別実施スケジュール

5.2　安全性評価戦略 WG および安全性評価基盤合同推進委員会の運営

本事業は、JARI が研究開発統括、全体企画、開発を行う。また、本事業の開発方針や技術内容および安全性評価基盤に関して、大学や自動車メーカなどの有識者による意見交換やアドバイスを頂く場として、安全性評価戦略 WG および安全性評価基盤合同推進委員会を開催した。

5.2.1　安全性評価戦略 WG の内容

以下に、令和 4 年度に実施した安全性評価戦略 WG の概要を記す。

①　令和 4 年度第 1 回　安全性評価戦略 WG

日　時：令和 4 年 6 月 24 日（金）13：00～15：00
場　所：Web 会議

主な議事内容
令和 4 年度に実施する事業計画および進捗状況や国際標準化活動内容を報告して、研究の方向性に関して審議した。

【主な指摘・コメント】
指摘：ISO34502 は今年 10 月に IS 化される予定とのことだが、対象範囲としては高速道のみという認識でよいか。また、実際の評価にあたっては、本標準に基づき進めていく想定だが、実際の評価まで落とした場合に、どこまで整理できているか。
回答：：対象については、ご理解の通り、高速道のみである。一般道については、2～3 年後に進めていくことを考えている。なお、実際の評価に向けては、現状、Annex に記載している範囲・内容までは整理できている状況にある。

指摘：合理的に予見可能な範囲の特定にあたっては、地域依存性の影響分析を実施するとのことだが、地域性を本検討に考慮する背景について、確認したい。
回答：SAKURA プロジェクトとしては、これまでの手法で推定した合理的に予見可能な範囲に地域性が影響しないことを検証にて確認したいと考えている。

指摘：回避可能な範囲（クライテリア）の検討について、アセスメント・法規・型式認証等がクライテリアとして導入されると、実際の現場でも活用が進むと考えているが、これらについてはどのような動きがあるか。
回答：SAKURA プロジェクトとしては、特定のアセスメント・法規・型式認証等を直接的に取り扱う訳ではないが、各種動向を把握しながら、どのような動きがあっても対応できるよう、評価結果の出力やシナリオ DB の提供方法を検討していくことを考えている。

指摘：一般道の交差点シーンにおけるシナリオについて、さまざまな交通参加者が同時に存在することを前提に、各交通参加者を時系列として捉えた場合のシナリオについては、どのように検討されているか。特に交差点においては、信号機も加わるため、シナリオの構築が難しいと考えている。
回答：現状は自専道でのコンセプトをベースに、自車に対する対向車や歩行者などの存在を個々に検証している。ただし、今後は個々の交通参加者だけでなく、自車に対する複数の交通参加者の動き・組み合わせやそれらが時系列として連続発生する場合などを段階的に検証していく必要があると考えている。

指摘：一般道については、PEGASUS を含む各国の検討状況とも足並みは揃っているか。
回答：自専道の検討にあたっては、PEGASUS をモニタリングしていたが、一般道については、北米の動向をモニタリングすることが重要と考えているため、関連する動向調査を進めていきたいと考えている。

指摘：交通状況が比較的複雑ではない自専道の場合、定点観測を通じた実交通データに基づくモデル構築は信頼性がある一方、一般道の交差点については、各交差点によってコンディションが異なるため、自専道と同様のアプローチにて、モデル構築を進めることは難しいと考えている。この点についてはどのように考えているか。
回答：現状は神保町の交差点について分析を進めているが、ご理解の通り、神保町のデータだけでは全てを網羅できないと考えている。従って、まずは交差点のパターンを整理した上で、可能な限り多くの実交通データを集め、説明性を担保できるよう、分析を進めていくことを考えている。

② 第 2 回 安全性評価戦略 WG

日 時：令和 4 年 9 月 6 日（火）10：00～12：00
場 所：Web 会議

【主な議事内容】
進捗状況や国際標準化活動内容を報告して、取り組み内容を審議した。

【主な指摘・コメント】
コメント：RoAD to the L4 においては、ひたち BRT や柏の葉のプロジェクトにおいて、交差点における直進・左折・右折、路上駐車の追い越しなど、具体的なユースケースを定めて検討を開始している。これらのユースケースについては、今回ご報告頂いた Functional Scenarios に当てはまるかと思うので、引き続き SAKURA と連携のうえ検討していければと思う。また対車両だけでなく、対二輪車・対自転車・対歩行者などにおける具体的なユースケースについても今後連携させて頂きたい。

指摘：一般道の評価条件の作成にあたり、DR（ドライブレコーダ）データを含むさまざまなデータを活用するとのことだが、過去に JARI が蓄積したデータについては活用される想定か。
回答：過去データについては、活用の可能性はあると考えている。一方、シナリオ作成にあたってはデータの品質・精度が重要になるため、まずは十分な品質のデータであるかどうかを確認したいと思う。

指摘：ひたち BRT や柏の葉の走行ルートにおいては、歩行者・自転車の影響が大きいため、対車両のみを対応するのではなく、歩行者・二輪車含めたシナリオを抽出できれば良いかと思う。
回答：一般道の安全性評価においては、具体的な走行ルート上での高リスクシナリオを抽出することが重要かと考えているため、対歩行者・二輪車についても本アプローチの延長線上で、併せて検討できればと思う。

③　第 3 回　安全性評価戦略 WG

日　時：令和 4 年 11 月 30 日（水）13：00～15：00
場　所：Web 会議

【主な議事内容】
進捗状況や国際標準化活動内容を報告して、取り組み内容を審議した。

ISO34502 が 11 月に国際標準として無事に発行された。

【主な指摘・コメント】
指摘：「DIVP 連携」について、交差点右折シナリオがシミュレータ上で再現できるとのことだが、更なる充実に向け、歩行者・自転車などの要素をどのタイミングでシミュレーション環境に追加・反映していく想定か。
回答：一般道シナリオの充実については、SAKURA プロジェクトでも想定はしている。歩行者・自転車については少なくとも次年度以降から体系として取り組んでいきたいと考えている。

指摘：品質保証の手順は重要な位置づけであると考えているが、データ収集とトレーサビリティデータの蓄積については、既にプロセスとして自動化されているか。
回答：データ収集・トレーサビリティデータの蓄積については、完全自動化ではなく、現状は半自動化している状況にある。計測システム、交通流データ、交通流分布 DB それぞれのシステムが異なる、かつ委託先の企業にて運用しているものも存在するため、それぞれに跨る部分については、手動でプロセスを回している。なお、各システム内でのプロセスについては、一部手動で確認する必要がある部分も存在はするが、概ね自動化の仕組みが構築できている状態にある。エビデンス管理については、トレーサビリティデータ出力と取り込みがプロセスとして存在するが、同様にシステムを跨ぐ部分については、手動でプロセスを回す状態である。ただし、こちらについても、出力処理・取り込み処理自体はプログラムを動かせば、自動でアウトプットまで繋がる仕組みをプロトタイプとして構築している。

指摘：これまでの報告では一般道のシナリオ爆発が発生するという話もあったが、最終的に Functional Scenario を 58 にまで絞り込めた要因をお伺いしたい。
回答：要素として旋回を一つに纏めたことが大きな要因として挙げられると思う。実際の DB 上では、右折・直進等、細かい要素を入れ込むことを考えている。

指摘：「一般道シナリオ体系の有効性確認」について、カバーしている事故は車両対車両という理解で良いか。また、その前提に立った場合、対歩行者との事故や道路構造物との衝突については、今後検討していく予定があるか確認したい。
回答：車両相互事故がカバー範囲になるため、二輪車・自転車までは包含されている。対

歩行者については、シナリオ作成から進めているため、事故データによる有効性検証も今後検討していく必要があると考えている。

指摘：他車の運転を妨げないという観点から、PET を用い、検討を進めていくことは良いアプローチと考えているが、この指標は車線変更にも適用可能なのか、確認したい。
回答：US-DOT の整理を見たところ、衝突ポイント・パターン別に見るべき観点は異なるものの、一般道にて想定されるシナリオには概ね適用できそうな見立てはある。
コメント：今後は自車が他車に不安を与えない、妨害をしないという観点でも保証していく必要があると考えているため、統一した指標での検討も視野に入れ、検討を進めてもらいたい。

④　第 4 回　安全性評価戦略 WG

日　時：令和 5 年 2 月 22 日（水）13：00～15：00
場　所：Web 会議

【主な議事内容】
・令和 4 年度に実施した本事業の最終成果を報告し、取り組み内容を審議した。

【主な指摘・コメント】
指摘：国際標準化に向けた活動として、ISO34505 が強調されているが、今後日本側の取り組みとしては ISO34505 を見据えて標準化を目指す理解でよいか。
回答：ISO34505 については、テストケース生成の観点で ISO34502 の提案内容と一部重複しているため、今後注視していくという意味で、赤字で強調している。

コメント：安全性評価は試験自体が複雑になってきていることだけでなく、各速度での検証など、試験工数が増えていることを踏まえると、本ツールを活用の上、試験全体が効率化できると良いと思う。

指摘：シナリオ DB に追加するシナリオについては、逆走などの予測が難しい事故に係るシナリオや、1 月の道交法改正で新たに認められるモビリティに関連するシナリオなど、未検討なシナリオも出てくると思うが、どの範囲まで SAKURA として検討を進める想定か。
回答：逆走などの予測が難しい事故に係るシナリオについては、社会全体として合意を形成しながら対象範囲を議論することが重要と考えている。また、新たなモビリティの観点では、新規のシナリオが想定されるため、シナリオ更新の仕組みを通じ、臨機応変に対応する必要があると考えている。
指摘：シナリオ更新の観点では、シナリオを増やすだけでなく、ある程度効率化・削減することも必要だと思うが、その点についてはどうか。
回答：実用化のレベルや状況に応じてシナリオを最適化することは重要であるため、今後も JAMA と連携しながら進められればと思う。

指摘：一般道の Functional Scenarios については 58 シナリオをまとめているが、犬や猫などの人間以外の動物に係るシナリオについては、今後どの範囲まで検討する想定か。
回答：自専道シナリオの検討時は、対動物に係る事故データも対象にしていたが、具体的な評価シナリオを検討する際は、対象から外れた経緯があったものと理解している。ただし、動物の種別によっては乗員に影響を及ぼすこともあるため、安全性評価の観点においては今後も継続的に議論する必要があると考えている。

指摘：データの品質保証にあたっては、データの改ざんを防ぐことを目的に、セキュリティの観点で考えられている施策はあるか。

回答：セキュリティについては、ストレージ・通信の暗号化、利用者制限によるセキュリティリスク軽減などの施策は現時点でも講じているものの、今後取り扱うデータの量・種類が増えることに応じてセキュリティ強化も考える必要があるため、本テーマについては引き続き検討を進めていく。

指摘：SAKURA の取り組みについては、標準化を見据えて検討を進めているとのことだが、その先の法規化に向けた動きがあれば教えて頂きたい。
回答：法規化に係る短期的な目標は明確にはないと認識しているが、まずは JAMA と連携の上、論証に係る考え方・体系を整理することを考えている。

5.2.2　安全性評価基盤合同推進委員会の内容

以下に、令和 4 年度に実施した安全性評価基盤合同推進委員会の概要を記す。

①　令和 4 年度第 1 回　安全性評価基盤合同推進委員会

日　時：令和 4 年 7 月 6 日（水）10：00～12：00
場　所：Web 会議

主な議事内容
・令和 4 年度での SAKURA-DIVP-SIP での取り組み内容を報告し、審議した。

【主な指摘・コメント】
指摘：シナリオ DB の運用にあたっては、NCAP などのシナリオが毎年増加・更新されていくものと考えているが、23 年度以降のシナリオ増加・更新分についてはどのように対応する想定か伺いたい。
回答：ご理解の通り、運用にあたっては、シナリオが陳腐化しないように更新が必要だと考えているものの、運用方法については現在検討中である。なお、NCAP については、シナリオのモデル化ができているため、シナリオの更新に際してフィードバックすることは可能である。

指摘：Metrics という言葉については、どのような定義で理解すればよいか。
コメント：Metrics の定義についてはチーム間ですり合わせを実施している段階ではあるものの、シミュレーションを行う上でのパラメータ範囲という位置づけで定義している。

② 令和 4 年度第 2 回 安全性評価基盤合同推進委員会

日 時：令和 4 年 10 月 7 日（金）10：00～12：00
場 所：Web 会議

主な議事内容
・令和 4 年度での SAKURA-DIVP-SIP での取り組み内容を報告し、審議した。

【主な指摘・コメント】
指摘：シミュレーションインタフェースという言葉については、各シナリオにおいて変化させるべき指標・物理量のことを指している理解でよいか。また、それらを最終的には国際標準として打ち込むことがチーム 1 の活動における一つの柱と捉えればよいか。
回答：シミュレーションインタフェースの定義については、ご理解の通りである。国際標準への打ち込みについては、天候などの物理量を表す部分は ASAM（Association for Standardization of Automation and Measuring Systems）にて国際標準化されているため、それらを活用しつつも、その他の補足できる領域については、日本からも ASAM に打ち込んでいきたいと考えている。

③　令和 4 年度第 3 回　安全性評価基盤合同推進委員会

日　時：令和 4 年 12 月 13 日（火）10：00～12：00
場　所：Web 会議

主な議事内容
・令和 4 年度での SAKURA-DIVP-SIP での最終成果を報告し、審議した。

【主な指摘・コメント】
コメント：PET（Post-Encroachment Time）以外の評価指標についても、考察・検討を進めている認識だが、進捗があれば継続的に共有してもらいたい。
回答：本件に係る検討としては、ドイツにて研究されている 40～50 種類程度の評価指標に係る論文について、現在調査中である。なお、PET などの定量指標については、研究内容が千差万別なため、統一的な評価指標として検討することが本取り組みの活動の意義と考えている。

コメント：交差点右折における安全性評価の考え方については、対象物をバイク・自転車・トラックなどに拡大した場合、物理量だけでは指標や判定基準が定まらないと想定されるため、対車両を皮切りに、それ以外についても今後議論を進めてもらいたい。

指摘：先行研究事例を調査するだけでなく、日本でも同じような環境でドライバを評価する実験が必要になると思うが、どうか。
回答：法規や運転マナーなどは定性的な記述になっていることも多いため、定量化を図ったうえで工学的に評価できるかについては、今後、SAKURA としても JAMA と連携しながら検討を進めていきたいと思っている。

第 6 章　まとめ

本事業では、これまで検討してきた高速道の安全性評価手法を一般道に拡張することに加え、シナリオベースの安全性評価に活用可能なシナリオを生成できるシナリオデータベース（以下、「シナリオ DB」という）の開発を実施した。また、内閣府 SIP 自動運転（システムとサービスの拡張）の仮想空間での自動走行評価環境整備手法の開発事業の DIVP®（Driving Intelligence Validation Platform）コンソーシアムと連携しつつ、AD および先進運転支援（ADAS）システムに係る開発プロセスなどに活用できる安全性評価基盤構築を検討してきた。また、国際的な競争力の担保のため、本事業成果の国際標準への打ち込みや成果発信も行ってきた。

各実施項目（テーマ）の事業成果を以下にまとめる。

6.1　自動運転車の検証に必要な安全性評価基盤構築の検討

自動運転の検証に必要な安全性評価基盤構築に関する取り組みについて示した。安全性評価基盤として、本事業で開発しているシナリオ DB および DIVP 仮想環境との結合について述べた。また、シナリオ DB を用いたシミュレーションの妥当性検証に向けた実車試験のあり方に関するフィジビリティスタディの結果についても示した。

シナリオ DB の開発に関して、現在実装しているファンクショナルシナリオに対して車線数の概念を入れることにより、ファンクショナルシナリオとロジカルシナリオの中間の抽象度を持つシナリオのモデルを作り上げ、シナリオデータベース上への実装を行った。この実装により、より交通実態に即したシナリオでの安全性評価が可能となる。また、交通流分布を参照できるユーザーインタフェース（交通流データベース）を改良したことにより、視覚的に各シナリオにおける分布情報を確認することが可能となった。

DIVP 仮想環境との結合に関しては、NCAP や一般道の交差点シナリオを代表例として取り扱い、仮想環境とシナリオデータベース間において相互にデータが授受できるインタフェースを構築した。また、DIVP 仮想環境にシナリオを入力するためのフォーマットの改良や、DIVP 仮想環境で出力された結果をシナリオ DB 側に格納できるようにインタフェースの調整も実施した。

シミュレーションの妥当性検証に向けた実車試験のあり方に関しては、既存の模擬車両で物理的に再現可能なシナリオのパラメータ範囲を特定するとともに、模擬車両の特性の整理を実施した。また、実際の AD 車を用いたシミュレーションの妥当性検証の一連のプロセスを実施し、課題の整理を実施した。

6.2　交通外乱シナリオ DB の分析および検討

合理的に予見される範囲および回避可能な範囲の定義、ならびにシナリオ DB の実用化に向けた取り組みに関して述べた。3.1 では合理的に予見可能な範囲を特定するための取り組みおよび一般道での安全性評価の考え方について報告した。3.2 では回避可能な範囲の特定について報告し、3.3 でシナリオ DB の信頼性・透明性を担保するための導出エビ

デンス管理・処理プロセスの検討について報告した。

合理的予見可能な範囲について、地域差や道路形状などが合理的予見可能な範囲に及ぼす影響に関する定性的な検証の結果、地域による顕著な違いは見られなかった。一方で、道路形状に関しては、道路形状の異なる合流路同士を比較した結果、傾向が異なっていた。そのため、合流路におけるシナリオについての合理的に予見可能な範囲を決めるためには、道路形状が持つパラメータ（合流路の長さなど）も重要な要素となるため、その点も加味してパラメータ範囲の推定を実施していく必要がある。また、直線路と曲線路（カーブ）の違いが合理的に予見可能な範囲に与える影響に関しても検証したが、顕著な違いは見られなかった。

一般道への安全性評価の拡張に向けた取り組みに関しては、令和 3 年度までの取り組みに引き続き、交差点におけるシナリオを対象として、シナリオを表現するためのパラメータについて検討した。その結果、時間的な要素を含むパラメータを用いることが一般道のシナリオを表現するうえにおいて重要であることが明らかとなった。また、AD 車の ODD（走行経路）などを鑑み、一般道において評価すべきシナリオの絞り込み手法に関する検討を実施し、AD 車が走行する経路において評価が必要なシナリオを抽出する手法を提案した。また、複雑化するシナリオ（シナリオを表現するパラメータ数の増加など）に対して、パラメータの優先順位をつける手法を構築した。

回避可能な範囲の特定については、AD 車の立場（影響を及ぼされる側や及ぼす側など）によってクライテリアはどうあるべきかの整理を行うとともに、DS を用いた実験を実施し、レーンチェンジシナリオや運転交代要請におけるドライバの特性データを収集した。また、実際のニアミスデータを用いた指標を提案した。

シナリオデータベースの信頼性・透明性の担保に関して、データ収集からシナリオ分析における一連のプロセスにおける品質保証の取り組みを明確化した。また、シナリオになるまでのデータ（生データや軌跡データ、シナリオパラメータデータなど）に関して、機械的な紐づけ（トレーサビリティ）を行い、シナリオ DB とそのシナリオが作られたエビデンスの関連付けを実施した。

6.3 国際協調・標準化活動および海外動向調査

本事業に関連した国際協調活動ならびに AD システムの安全性に関連した標準化活動について示し、諸外国の自動運転システムの実用化に向けたプロジェクトなどの状況に関する調査結果を示した。

国際標準活動として、ISO3450X の現在の動向に関しての整理を行った。また、本事業成果の打ち込み先である ISO34502 については、令和 4 年（2022 年）11 月に正式文書（IS）が発行された。

国際協調活動および成果発信では、欧州・ドイツ・フランス・米国との協調活動に加え、新規の 2 件の論文投稿および国際的にも影響力の大きい 2022 ITS World Congress および SIP-adus Worshop 2022 での発表内容をとりまとめた。

諸外国の AD システムの実用化に向けたプロジェクトなどの調査に関して、欧米中の OEM の動向調査を実施し、各国の安全性評価の考え方を整理した。また、AD 開発企業

が発行している既存のレポートの網羅的な調査を実施し、企業の安全性に対する方針と主要な企業における安全性への取り組みについて整理した。

Appendix-A　全方位視野ドライビングシミュレータ装置

A.1　実験装置

通常の運転では取りづらいドライバの反応特性などを実験で取得する際には、ドライビングシミュレータなどのシミュレーション環境を用いて計測を行う。今年度事業では図 A-1 に示すような JARI の全方位視野ドライビングシミュレータを用いた実験を実施し、ドライバの特性取りを行った。この全方位視野ドライビングシミュレータ装置はターンテーブル上に設置された車体を全方位視野の球面スクリーンが覆っており、実車乗車時と同等の視界が得られるようにプロジェクタから映像を投影することで、全方位のシミュレーションを実現している。また、ターンテーブルと反力装置により、走行中に発生する加速度や加加速度の再現が可能である。

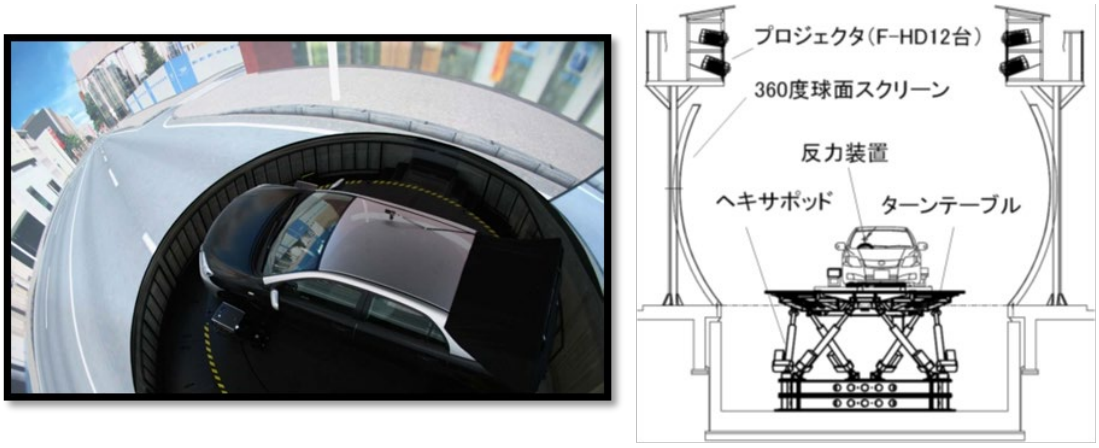


図 A-1　JARI 全方位視野ドライビングシミュレータ装置

A.2　走行環境

本シミュレータでは、道路環境や天候、他の車両などのオブジェクトなどを調整することが可能である。実験では、実際の走行環境に近づけるために道路環境は自動車専用道路、天候は晴れとし、他車両を配置する。他車両は、実験における試験車両として配置するものと、シミュレーションに対する実験参加者の没入感を増加させるために配置するものがある。

A.3　実験データ

A.3.1　シミュレータの計測情報

実験中にドライビングシミュレータで計測された情報を、参加者と条件ごとに管理する。計測されたデータを以下に示す。各計測情報の分解能は 100 Hz である。

- 車両情報（100 Hz）：
  位置、速度、加速度、角度、角速度、角加速度を計測する。
- 操作情報（100 Hz）：
  ペダル操作、ペダル開度、ブレーキ圧、ステアリング入力操舵角を計測する。
- 周辺状況情報（100 Hz）：
  他車両や白線などのオブジェクトとの相対距離を計測する。
- シミュレータ映像情報（30 fps）：
  車両前方の映像、速度計の映像を計測する。これらの映像は、後述する実験参加者映像情報と統合して一つの映像として出力する。

A.3.2　実参加者の映像情報

車内にカメラを設置し、実験参加者の運転操作などを記録する。カメラの設置位置を図 A-2 に示す。運転操作や運転中の視界に抵触しない位置に設置し、運転席後方からの映像と実験参加者の足元の映像を計測する。



図 A-2　実験参加者の操作などを撮影するカメラの設置位置

これらの映像とシミュレータ映像情報を統合して一つの映像を生成する。図 A-3 に、統合した映像の例を示す。シミュレータで計測された映像と、実験参加者の映像を同期して分析する。



図 A-3　実験時の映像データの計測例
左上：シミュレータの前方映像、右上：シミュレータの速度計映像、
左下：運転席後方からの映像、右下：実験参加者の足元映像

A.3.3　実験参加者の個人特性情報に関して

普段の運転状況と健康状態を把握するために、実験前にアンケートを実施する。また、実験実施に際して、インフォームドコンセントと同意書を参加者ごとにファイリングする。

－禁無断転載－

経済産業省委託

令和4年度
無人自動運転等のCASE対応に向けた実証・支援事業
（自動走行システムの安全性評価基盤構築に向けた研究開発プロジェクト）
成果報告書

令和5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）7924