令和５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６年３月

（委託先）

一般財団法人日本自動車研究所

令和 5 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　安全性評価戦略サブワーキンググループ ..... I - 2
1.4　令和 5 年度の事業目標 ..... I - 3
1.4.1　事業のスコープ ..... I - 3
1.4.2　個別テーマごとの目標 ..... I - 4

第 2 章　自動運転車の社会実装を支援するための安全性評価基盤の構築 ..... II - 1
2.1　一般道評価に対応するシナリオ基本仕様の検討 ..... II - 2
2.1.1　ニーズの高い一般道シナリオの抽出 ..... II - 2
2.1.2　ニーズの高い一般道シナリオの基本仕様検討 ..... II - 4
2.2　シナリオ DB の公開 ..... II - 8
2.2.1　ニーズの高いシナリオ DB 機能の整理 ..... II - 8
2.2.2　公開版シナリオ DB の開発 ..... II - 10
2.2.3　公開に向けたクラウド環境の構築 ..... II - 43
2.2.4　公開における意見集約とまとめ ..... II - 45
2.3　道路形状や法規を加味したシナリオ絞り込み手法の研究 ..... II - 47
2.3.1　他車位置を加味した一般道シナリオの考え方の整理 ..... II - 48
2.3.2　道路構造物と関連法規の整理 ..... II - 50
2.3.3　シナリオ絞り込み手法 ..... II - 50
2.3.4　道路形状や法規を加味した絞り込み手法のまとめ ..... II - 68
2.4　安全性評価における実車試験法の検討 ..... II - 70
2.4.1　シミュレーション妥当性検証における実車試験法の検討 ..... II - 70
2.4.2　模擬ターゲットによる一般道向けシナリオの再現性検討 ..... II - 74
2.5　自動運転車の社会実装を加速するための安全性評価基盤の構築 ..... II - 99
2.6　第 2 章のまとめ ..... II - 106

第 3 章　交通外乱シナリオ DB の分析及び検討 ..... III - 1
3.1　一般道の安全性評価に必要な論証体系・手法の検討 ..... III - 1
3.1.1　対歩行者シナリオ体系の構築 ..... III - 1
3.1.2　対四輪車の Logical シナリオの作成 ..... III - 10
3.1.3　一般道安全性評価に必要な安全論証体系の検討 ..... III - 26
3.2　合理的に予見可能（Reasonably foreseeable）な範囲の特定手法の研究 ..... III - 34

3.2.1　24 シナリオの網羅性確認 ..... III - 34
3.2.2　シナリオパラメータの十分性検討 ..... III - 45
3.3　回避可能な範囲の特定手法の研究 ..... III - 56
3.3.1　交差点の直進×直進 出会い頭シナリオのクライテリアの検討 ..... III - 56
3.3.2　一般道評価に必要なクライテリアに関する考え方の検討 ..... III - 69
3.4　シナリオ管理における導出エビデンス・処理プロセス規定の検討 ..... III - 85
3.4.1　シナリオ作成に用いたデータの透明性 説明性の向上 ..... III - 85
3.4.2　シナリオ作成に用いたデータの信頼性の可視化 ..... III - 94
3.4.3　効率的かつ継続的なシナリオ導出の仕組み検討 ..... III - 112
3.5　第 3 章のまとめ ..... III - 128

第 4 章　安全性評価手法の標準化に向けた国際連携・成果発信 ..... IV - 1
4.1　今後の標準化に向けた国際連携・協調の推進 ..... IV - 1
4.1.1　ISO3450X 策定に向けた TC22/SC33/WG9 への参加 ..... IV - 2
4.1.2　欧米関連研究機関との連携構築 ..... IV - 4
4.2　国際会議・学会等におけるプロジェクト成果発信 ..... IV - 11
4.2.1　国際会議等における成果発信 ..... IV - 11
4.2.2　国内会議・学術誌等における成果発信 ..... IV - 13
4.3　第 4 章のまとめ ..... IV - 18

第 5 章　研究開発全体企画・管理 ..... V - 1
5.1　令和 5 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（SWG）の運営および議事内容 ..... V - 3

第 6 章　まとめ ..... VI - 1
6.1　自動運転車の社会実装を支援するための安全性評価基盤の構築 ..... 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　安全性評価手法の標準化に向けた国際連携・成果発信 ..... VI - 2

Appendix-A ..... A - 1
Appendix-B ..... B - 1
Appendix-C ..... C - 1
Appendix-D ..... D - 1
Appendix-E ..... E - 1
Appendix-F ..... F - 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。今後既存の取り組みだけでは抜本的な解決が困難と予想されるため、新たな取り組みである自動運転（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、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）および自動運転技術（レベル 3、4）に必要な認識技術等の研究事業の AD-URBAN（以下、「AD-URBAN」という）と連携しつつ、自動運転および先進運転支援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）。

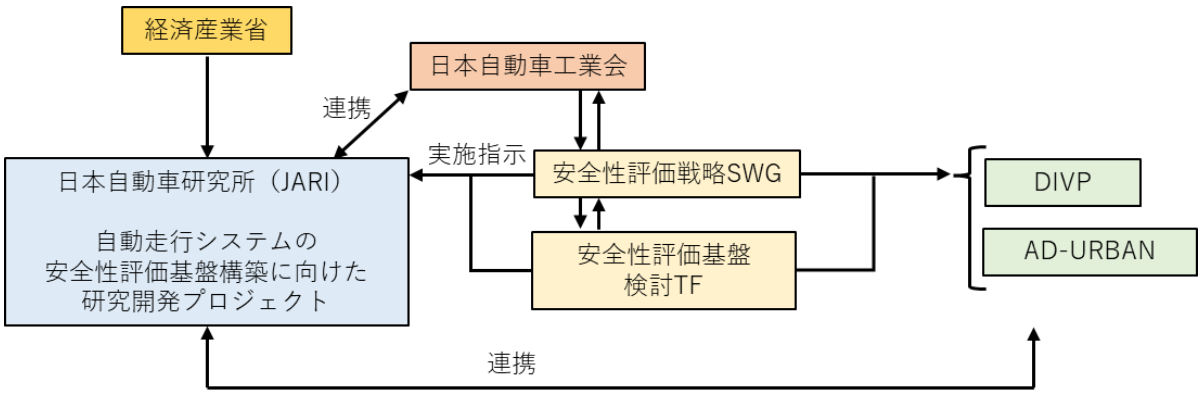


図 1.2-1　実施体制

1.3　安全性評価戦略サブワーキンググループ

本事業の技術開発方針の策定や進捗にあたっては、自動運転に関係する学界・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サブワーキンググループ（SWG）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。当会議体における委員名簿を表 1.3-1 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
安全性評価戦略サブワーキンググループ　委員名簿

氏名（敬称略）	組織名	所属/役職（備考）
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（第2回まで）
匂坂 敦志	（一社）日本自動車工業会	自動運転部会 副部会長（第3回から）
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 品質監査室 機能安全課 課長
小出 啓介	ソニーセミコンダクタ ソリューションズ（株）	車載事業部 オートモーティブ戦略部 国際標準化・知財戦略担当　部長（第3回まで）
門下 康平	ソニーセミコンダクタ ソリューションズ（株）	車載事業部 オートモーティブ戦略部 NP推進室 室長（第4回から）
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

1.4　令和 5 年度の事業目標

1.4.1　事業のスコープ

令和 7 年度に目指す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、令和 2 年度までに 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、4 年度にはシナリオ DB が出力するシナリオが仮想環境・AD システム等に結合してシナリオが循環する安全性評価基盤が構築された。令和 5 年度からの 3 年間は、これらの成果を中核に位置づけ、国内・海外のさまざまなステークホルダー（自動車/AI/IT 等の研究・開発・評価、サービス提供、政策立案、事故調査等）の活用・参画を促す仕組みを順次整備していき、継続的に AD システムの安全性が向上するために有用な基盤を構築していくことが重要な課題といえる。

そのため令和 5 年度における事業スコープ（図 1.4.1-2）は、令和 4 年度までに構築された安全性評価基盤をさらに実用的なものにすべく、これまでのシナリオ DB を一般道に対応できるような拡張仕様の策定を進める。また、AD 開発・評価プロセスへの活用を視野にいれ、ユーザが利用しやすい環境での提供やニーズの高い機能の実装も取り組む。今後の継続的なシナリオ更新に向けて、エビデンス管理の仕組みとシナリオ DB の結合に向けた検討を行う。

さらに、AD の安全性評価手段の多様性（シミュレーション試験、実車試験、公道走行試験など）にも対応できるように、実車を使った AD 車の安全性評価実験法に関しての知見も整理し、シミュレーションツールの妥当性確認などを支援できるための検討を行う。

以上の取り組みで得られた成果によって、構築した安全性評価基盤をさらに実用的なものへ進展させつつ、これらの成果を継続的に発信することで、日本のプレゼンスを向上させ、国際標準化の議論を主導する。

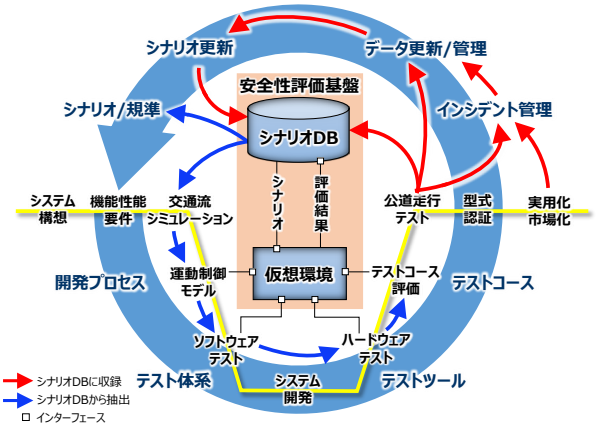


図 1.4.1-1　継続的な安全性評価フレームワーク（最終目標）

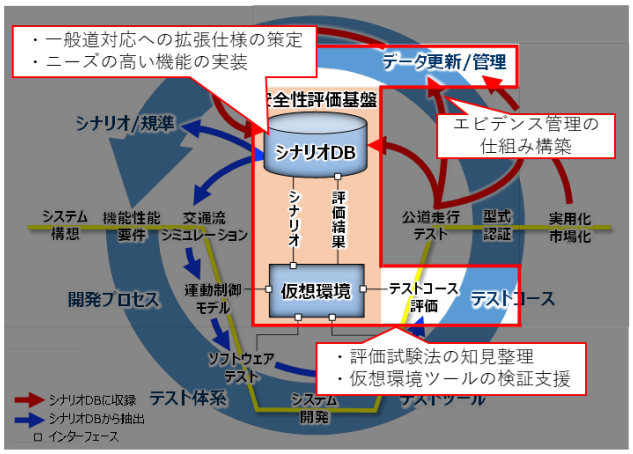


図 1.4.1-2　令和 5 年度のスコープ

1.4.2　個別テーマごとの目標

令和 5 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　自動運転車の社会実装を支援するための安全性評価基盤の構築

AD 車が満たすべき必要十分な安全性を担保するには、原理原則に基づくシナリオベースアプローチによるエンジニアリングフレームワークに基づき、認識外乱・交通外乱・車両外乱を体系的に組み合わせたシナリオを用いてシミュレーションや実車試験等で AD 開発者が安全性を評価することに加えて、対外的に証明・説明していく必要がある。

令和 4 年度までに SAKURA プロジェクトでは自専道・一般道のシナリオ体系のモデル化を実施し、自専道におけるシナリオ DB としての基本仕様（ファンクショナルシナリオの参照、ロジカルシナリオ設計、コンクリートシナリオ生成）に基づいた構築を完了した。また、シナリオ DB が AD 開発現場で活用されることを目指して OEM やサプライヤを対象にシナリオ DB で生成されるシナリオを提供し、シナリオ DB に対する現場開発者目線のニーズを収集すると共に、シナリオ DB の機能拡張（交通流データ分布等の拡張、インターフェースの改良等）を実施した。

令和 5 年度は、自専道シナリオが実装されたシナリオ DB を AD 開発現場へ公開するための環境（クラウド環境利用等）を整備し、OEM やサプライヤへのシナリオ DB の一次提供を実施する（初回は期間限定の運用を想定）。自専道シナリオの実装で培った知見を用いて、一般道におけるシナリオ DB の基本仕様を検討する（MaaS 等の社会実装動向を鑑み、優先シナリオを選定して先行的に着手）。また、AD 車の運行設計領域（道路条件・環境条件等）に合わせて網羅的なシナリオ体系から安全性評価の対象となるシナリオを限定・抽出する検討（運行設計領域を定める情報に基づいて対応すべきファンクショナルシナリオを特定できる機能等）も実施する。

将来的に AD 車の普及によって交通流実態に変化が生じることが想定されるため、継続的なシナリオ更新（既存データ活用による交通流分布の更新や市場投入後に生じた事故/インシデントの取り扱い等）に関しての検討を実施する。今後の安全性評価は多様な試験

形態（シミュレーション試験、実車試験、公道試験等）で実施されることを考慮し、シミュレーションツールの妥当性を示すための AD 実車試験法をはじめ、効果的なテスト手法に関する検討も実施する。これらの検討により、AD の社会実装を加速する安全性評価基盤の活用拡大と継続的な安全性評価体制の方向性を提言する。

事業の推進にあたっては、令和 4 年度に引き続いて安全性評価手法の全体を検討している JAMA と連携して進める。

1.4.2.2　交通外乱シナリオ DB の分析および検討

AD の社会実装の前提として、国際連合・自動車基準調和世界フォーラムおよび国土交通省は、AD 車の運行設計領域内において合理的に予見可能で回避可能な範囲を定め、その範囲内の全ての人身事故を防止することを求めている。したがって、合理的に予見可能な範囲と回避可能な範囲の特定手法を確固たる理論に基づいて確立しなければならない。

令和 4 年度までの取り組みでは、JAMA が作成した自専道の交通外乱 24 シナリオに基づき、都市間高速（新東名・東名高速道路）や都市高速（首都高速道路）の実交通流データの収集、本線のシナリオや合流路・分岐路の道路形状に起因するシナリオの交通外乱シナリオの分析（データ分析・パラメータ範囲の特定等）を行い、基本的な 24 シナリオの範囲に関して一通りの分析を実施した。また、UN R157 の機能拡張（上限速度の引き上げ・自動レーンチェンジ）に関する国際的な議論が始まったことを受け、レーンチェンジ時の後方車に対する安全性を判断するクライテリアの検討も実施した。一般道シナリオに関しては、自専道でのシナリオ体系の考え方・実装形式を踏襲して、シナリオ DB に組み込める形式（統一モデリング言語：Unified Modeling Language）で一般道シナリオ体系（対四輪車）を実装した。

令和 5 年度は、自専道よりも複雑な環境である一般道の安全性評価に必要な論証体系とはどのようなものかを明らかにするため、一般道の AD 開発・実用化動向（オーナーカー、サービスカー）を鑑みたケーススタディ等の取り組みを実施する。また、これまでに分析した自専道のシナリオ（合理的に予見可能な範囲等）の妥当性を確認するために、道路形状や走行環境の差異による影響の分析結果をふまえて評価範囲の十分性を検証する。

本テーマを進めるにあたり、国内における AD 関連プロジェクトとの協調（RoAD to the L4 等）、国内外の先行事例の調査および諸外国の研究機関との共同研究等も活用する。

（1）　一般道の安全性評価に必要な論証体系・手法の検討

自専道よりも複雑な環境である一般道の安全性評価に必要な論証体系とはどのようなものであるのかを明らかにする。一般道を走行する AD は、特定のルートのみを走行する等の観点で運行設計領域を限定することが現状は一般的であり、このような実態に即した評価手法が求められるためである。

令和 5 年度は、JAMA の「自動運転の安全性評価フレームワーク」、関連する国際規格（ISO21448：SOTIF、UL4600 等）、一般道を対象とした AD 開発・実用化動向（一般道の

国内における AD 関連プロジェクト等）も鑑みたケーススタディ等を実施する。これらの検討結果をふまえ、安全性評価結果を第三者が納得できるように示すために必要なことを明らかにする。

また、令和 4 年度に引き続き、対四輪車以外のファンクショナルシナリオの作成を進めるとともに、交差点評価のためのロジカルシナリオ・コンクリートシナリオの作成手法も検討する。

（2） 合理的に予見可能（Reasonably foreseeable）な範囲の特定手法の研究

AD 車の安全性として求められる「合理的に予見可能で回避可能な範囲を定め、その範囲における全ての人身事故を防止すること」の考え方に基づき、24 シナリオにおける合理的に予見可能な範囲の分析を実施してきた。現状、SAKURA プロジェクト内で収集した自専道の実交通流データは一部地域でのデータとなっている。

令和 5 年度は、これまでに定義したパラメータ範囲について、道路形状や走行環境の差異が合理的に予見可能な範囲に影響があるかどうか明らかにする。一般道では自専道よりもシナリオが複雑かつ多様になるため、自専道のアプローチ（実交通流データ収集・分析による予見可能な範囲の特定）をベースにしつつ、一般道評価のための合理的に予見可能な範囲の特定手法の考え方を検討する。また、令和 5 年度に新たに特定した合理的に予見可能な範囲はシナリオ DB に順次実装することも進める。

（3） 回避可能 (Preventable) な範囲の特定手法の研究

AD 車がどの程度安全でなければならないか、その評価方法・評価尺度は国際的にも複数のアプローチについて議論が行われている。日本では、シナリオによって異なる対応水準（例えば、注意深く有能）のヒューマンドライバの振る舞いをモデル化することで AD 車の比較対象と位置づけたクライテリアの検討を進めているところである。令和 4 年度までの研究を引き継ぎ、シナリオの評価に求められる運転者を定義する論理的な考え方の研究と定義に用いるエビデンスを実験・調査等によって取得する。一般道の評価を想定し、対歩行者・対自転車のシナリオを対象とした検討も着手する。また、国内外の調査を通してヒューマンドライバとの比較以外のクライテリアの考え方の動向についても整理する。クライテリアの研究にあたっては、実験で得られた結果の妥当性を確認する位置づけも含めて通常走行領域から逸脱した場面の分析が不可欠であることから、事故/ヒヤリハットデータ等の分析も実施する。

（4） 導出エビデンス・処理プロセス規程を用いたシナリオ管理

第三者が納得できるように説明性・透明性を確保した評価を実施するためには、合理的に予見可能な範囲を導出する分析に使用した実交通流データのエビデンス（データ属性・処理プロセス履歴）を追跡可能な形式で管理することが欠かせない。このように管理できる仕組みを構築することで、今後の継続的なシナリオ更新を想定した既存データの品質チ

ェックや処理プロセスの共通化が図れる。令和 5 年度は、シナリオの合理的に予見可能な範囲等の分析に用いたデータの整理方法（アーカイブ化、検索対応等）および管理方法（データの精度・品質保証のプロセス等）をシナリオ生成に活用する可能性のあるデータ（計測車両・定点観測等）に適用できるように整備する。

1.4.2.3　安全性評価手法の標準化に向けた国際連携・成果発信

安全性評価に関する国際標準や業界団体の活動が非常に活発化しているなか、令和 4 年度は日本がリーダーとなっている ISO34502（シナリオに基づく安全性評価フレームワーク）の策定活動を支援し、2022 年 11 月に ISO34502 が IS 発行に至る成果が得られた。また、従来の活動を継続して独 PEGASUS ファミリー（V&VM）・欧 SUNRISE（HEADSTART 後継）の各種プロジェクト・業界団体や独仏欧等の諸外国との連携・協調を推進した。令和 5 年度は、将来的な国際標準化活動を視野に入れつつ、一般道評価手法、安全論証体系、シナリオ・データシェアリング等の観点で国際連携・協調の活動を実施する。さらに、従来の欧州連携に加えて、ロボットタクシー等の実用化が先行している北米の大学・研究機関との連携を進める。また、SAKURA プロジェクトとして戦略的かつ効果的に国際協調・標準化活動を行っていくため、成果の見せ方を工夫しつつ資料・取り組み内容を、ホームページを通じて公開するとともに、国際会議・国際学会等において積極的に成果を発信する。

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　自動運転車の社会実装を支援するための安全性評価基盤の構築

自動運転の安全性に関しては、シミュレーションによる評価、テストコースによる評価、実際の交通環境（路上試験）での評価を適切に組み合わせ[1]、自車が安全であること（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[2]）を証明していくことが求められている。しかしながら、自動運転システムは対応すべきシチュエーションが先進運転支援システム（ADAS）に比較すると膨大となっている。そのため、従来開発のように実車を使った評価では安全性を評価しきれないといった課題が出てくる。例えば、評価しなければならないパラメータ空間（合理的に予見可能な範囲など）に対して公道ですべてのパラメータの組み合わせを網羅することは現実的ではない。また、テストコースなどでのロボットターゲットなどの実験機材を用いてパラメータ空間を網羅する実験は可能ではあるが多大なるリソースが必要となる。そのため、自動運転システムの安全性評価においては実車での検証領域を最低限にし、シミュレーションによる検証領域をどれだけ拡大できるかが極めて重要になる。令和 4 年度までの本事業においては高速道路にフォーカスを当てて、シミュレーションで利用できる交通外乱シナリオを生成する安全性評価基盤であるシナリオデータベース（以下、「シナリオ DB」という）構築や実車試験観点においては既存の実験機材（ダミーシステムなど）でどこまでシナリオの再現が可能であるかといった安全性評価のための手段に関する検証を実施してきた。

本章では、今年度に取り組んだ自動運転のシミュレーション検証に活用可能な安全性評価基盤であるシナリオ DB および実車を用いた試験法に関しての取り組みを示す。安全性評価基盤として、自専道シナリオの実装で培った知見を用いて、一般道シナリオのなかから優先度の高いシナリオを例題に一般道におけるシナリオ DB の基本仕様を具体化した。令和 4 年度までに構築したシナリオ DB（自専道）の機能を OEM などに公開できるようにクラウド環境等を用いた環境の整備を行い、一定の期間でシナリオ DB の公開を実施した。また、ファンクショナルシナリオを参照できる機能に加えて、各社が開発している AD 車の運行設計領域（道路条件・環境条件等）に基づいて網羅的なシナリオ体系から対応すべきシナリオを特定・抽出できる機能の検討も実施した。また、シミュレーションを活用した安全性評価のための要件であるシミュレーションが実車を適切に代替えできているという点を示すための実車試験法や既存の実験機材（ダミーやそのけん引装置など）がどこまでの範囲であればシナリオを再現できるかも検証した。

参考文献

[1]　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　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　（2024 年 3 月現在）
[2] 国土交通省，自動運転車の安全技術ガイドライン，
https://www.mlit.go.jp/common/001253665.pdf（2024 年 3 月現在）

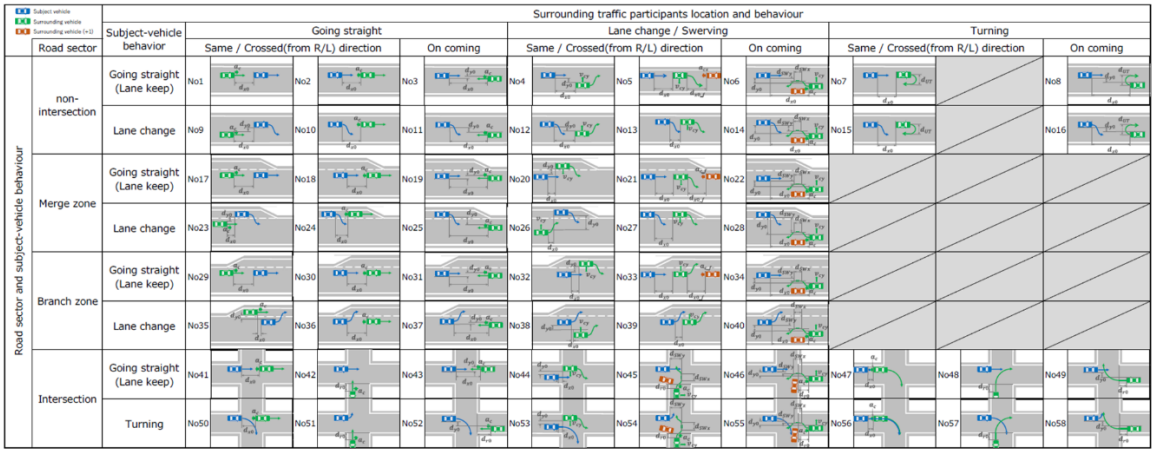
2.1　一般道評価に対応するシナリオ基本仕様の検討

シナリオ DB に一般道シナリオを入れ込むために、一般道シナリオの優先度とモデル（＝シナリオ基本仕様）を検討した。2.1.1 項にニーズの高い一般道のシナリオの抽出方法を、2.1.2 項にニーズの高い一般道シナリオの基本仕様を述べる。

2.1.1　ニーズの高い一般道シナリオの抽出

モデルを検討する前に、その対象となる一般道シナリオを抽出した。「一般道特有であること」「事故が多いこと」を優先度の尺度とし「自動運転の安全性評価フレームワーク Ver3.0」[1]で体系化された 58 の交通外乱シナリオ（対四輪シナリオ）から一般道シナリオを抽出するものとした。表 2.1.1-1 に 58 の交通外乱シナリオを示す。

表 2.1.1-1　58 の交通外乱シナリオ
（「自動運転の安全性評価フレームワーク Ver3.0」[1]から引用）



58 シナリオの中で「一般道特有であること」の観点から、抽出対象を交差点シナリオに限定した。表 2.1.1-1 の下 2 行（合計 18 のシナリオ）が交差点シナリオである。

次に、「事故が多いこと」の観点から抽出対象を更に限定するために、令和 4 年度の道路交通事故を調査した。内閣府ホームページに掲載された「令和 4 年中の道路交通事故の状況」[2]で示された「事故類型別交通死亡事故発生件数」を図 2.1.1-1 に示す。

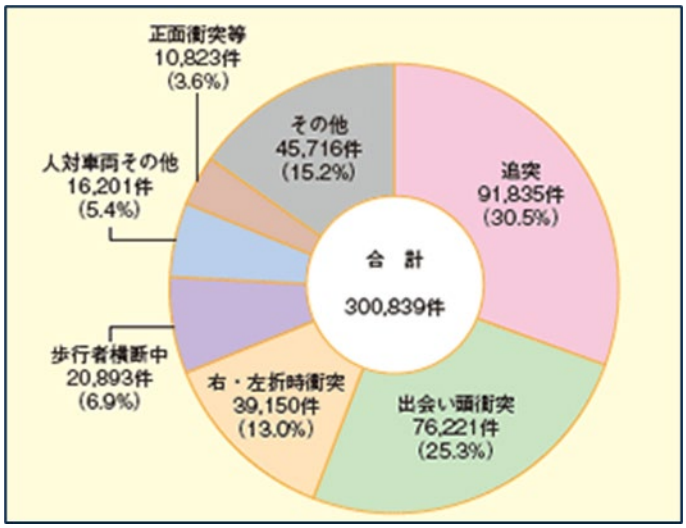


図 2.1.1-1　「事故類型別交通事故発生件数（令和 4 年度）」
（内閣府ホームページより引用）

事故発生件数から、対四輪の交差点事故としては出会い頭衝突と右左折時衝突が多いと推定し、「交差点、自車 Lane Keep×交差点右側車両加速」（＝出会い頭衝突）と「交差点、自車 Turn Right×対向車 加速」（＝右折時衝突）のシナリオをシナリオ基本仕様の対象として抽出した。

図 2.1.1-2 に「交差点、自車 Lane Keep×交差点右側車両加速」の概略図を、図 2.1.1-3 に「交差点、自車 Turn Right×対向車 加速」の概略図を示す。いずれも「自動運転の安全性評価フレームワーク Ver3.0」[1]からの引用である。なお、事故類型別交通事故発生件数にある、出会い頭衝突や右・左折時衝突では複数のフレームワークが該当するが、車両が最も単純な動きとなるようなシナリオを基本仕様として定義した。

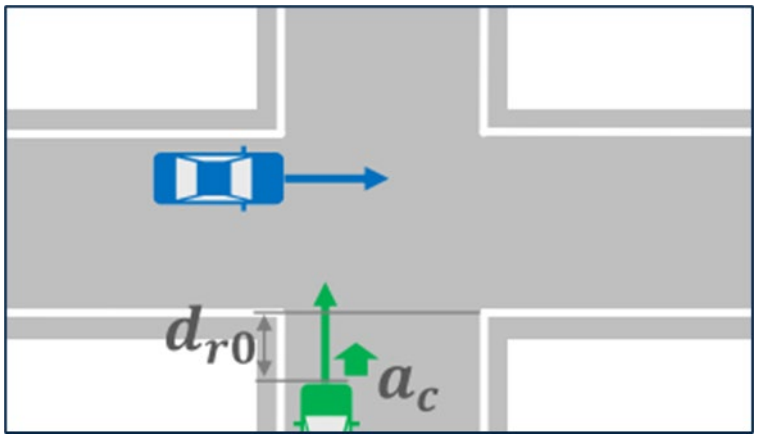


図 2.1.1-2　「交差点、自車 Lane Keep×交差点右側車両加速」の概略図（青色の車が自車（AD 車）、緑色の車が他車（交差点右側車両）、「自動運転の安全性評価フレームワーク Ver3.0」[1]から引用であり、図中の変数は本文では使用しない。）

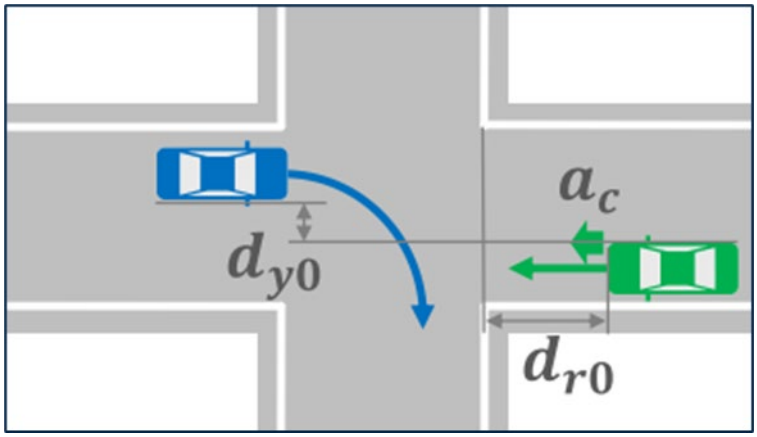


図 2.1.1-3　「交差点、自車 Turn Right×対向車 加速」の概略図（青色の車が自車（AD 車）、緑色の車が他車（対向車）、「自動運転の安全性評価フレームワーク Ver3.0」[1]から引用であり、図中の変数は本文では使用しない。）

2.1.2　ニーズの高い一般道シナリオの基本仕様検討

「交差点、自車 Lane Keep×交差点右側車両加速」「交差点、自車 Turn Right×対向車 加速」の順にそれぞれのモデルを説明する。

2.1.2.1　「交差点、自車 Lane Keep×交差点右側車両加速」のモデル

シナリオにおける自車（AD 車）と他車の振る舞いを図 2.1.2.1-1 に示す。

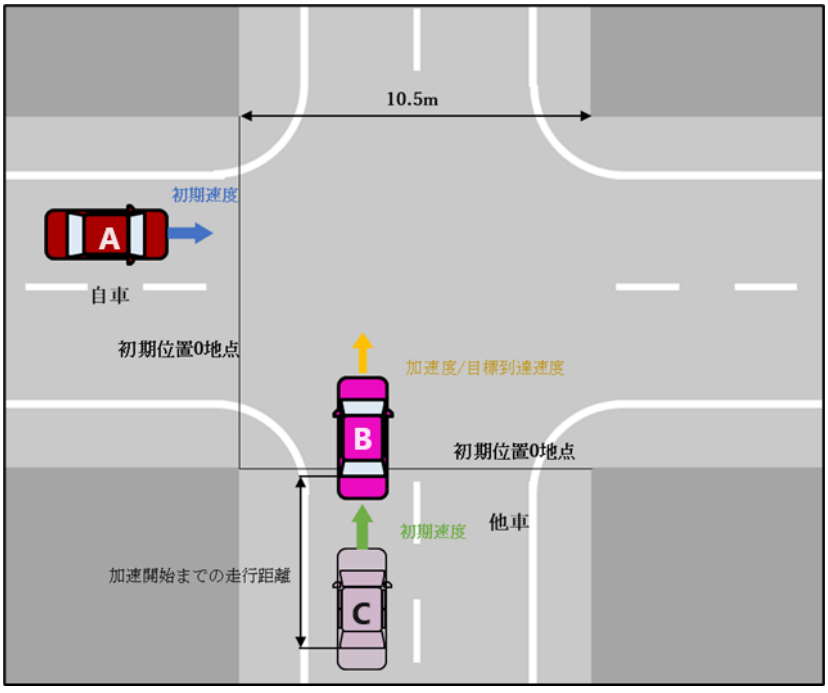


図 2.1.2.1-1　「交差点、自車 Lane Keep×交差点右側車両加速」における自車と他車の振る舞い

「交差点、自車 Lane Keep×交差点右側車両加速」のシナリオパラメータを表 2.1.2.1-1 に示す。自車は車線中央を走行し、「初期速度」を保ったまま、直進状態で交差点に進入するものとする。図 2.1.2.1-1 の自車（A）は「初期位置」を表す。

他車も車線中央を走行し、「初期速度」で一定区間（図 2.1.2.1-1 の「加速開始までの走行距離」に相当）を走行した後、加速を開始する。「目標到達速度」に達した後、一定速で走行する。また、他車は自車と同じく直進状態で交差点に進入する。他車（C）は「初期位置」を、他車（B）は加速を開始した位置を示す。

自車・他車とも車両の基点位置（道路上の車両の位置）は OpenSCENARIO[3]の通例に従い後輪軸の中央に置く。その様子を図 2.1.2.1-2 に示す。

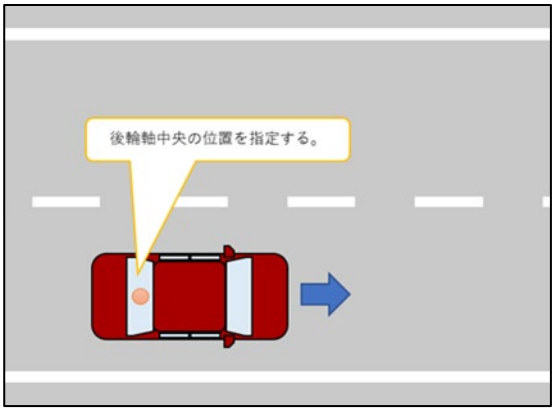


図 2.1.2.1-2　車両の基点位置（後輪軸中央）

自車の「初期位置」は図 2.1.2.1-1 の「初期位置 0 地点」（縦線）を座標原点として交差点外側をプラスとして記述する。他車の「初期位置」も同様に「初期位置 0 地点」（横線）を座標原点として交差点外側をプラスとして記述する。このようなシナリオを記述するパラメータをここではシナリオパラメータと呼ぶ。

表 2.1.2.1-1　「交差点、自車 Lane Keep×交差点右側車両加速」のシナリオパラメータ

対象	パラメータ
自車	初期位置[m]
	初期速度[km/h]
他車	初期位置[m]
	加速開始までの走行距離[m]
	初期速度[km/h]
	加速度[m/s^2]
	目標到達速度[km/h]

2.1.2.2 「交差点、自車 Turn Right×対向車 加速」のモデル化

シナリオにおける自車と他車の振る舞いを図 2.1.2.2-1 に示す。

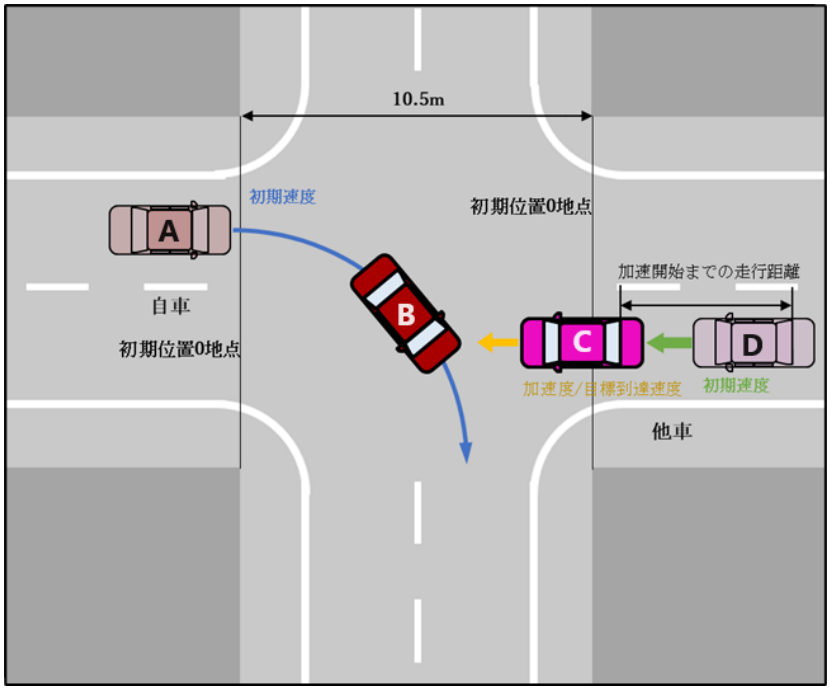


図 2.1.2.2-1 「交差点、自車 Turn Right×対向車 加速」における
自車と他車の振る舞い

「交差点、自車 Turn Light×対向車 加速」で定義するシナリオパラメータを表 2.1.2.2-1 に示す。自車は「初期速度」を保ったまま車線中央を走行し、交差点進入後に右折するものとする。図 2.1.2.2-1 の自車（A）は「初期位置」を、自車（B）は交差点右折時を示す。

他車も車線中央を走行し、「初期速度」で一定区間（図 2.1.2.2-1 の「加速開始までの走行距離」に相当）を走行した後、加速を開始する。「目標到達速度」に達した後、一定速で走行する。また、他車は直進状態で交差点に進入する。他車（D）は「初期位置」を、他車（C）は加速を開始した位置を示す。

自車・他車とも車両の基点位置（道路上の車両の位置）は OpenSCENARIO[3]の通例に従い後輪軸の中央に置く。

自車の「初期位置」は図 2.1.2.2-1 の「初期位置 0 地点」（左側の縦線）を座標原点として交差点外側をプラスとして記述する。他車の「初期位置」も同様に「初期位置 0 地点」（右側の横線）を座標原点として交差点外側をプラスとして記述する。

表 2.1.2.2-1　「交差点、自車 Turn Right×対向車 加速」のシナリオパラメータ

対象	パラメータ
自車	初期位置[m]
	初期速度[km/h]
他車	初期位置[m]
	加速開始までの走行距離[m]
	初期速度[km/h]
	加速度[m/s^2]
	目標到達速度[km/h]

参考文献

[1]　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　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　（2024 年 3 月現在）

[2]　令和 5 年度 交通安全白書　第 1 編　陸上交通　第 1 部　道路交通　第 1 章　道路交通事故の動向　第 2 節　令和 4 年中の道路交通事故の状況　2 交通死亡事故等の特徴

https://www8.cao.go.jp/koutu/taisaku/r05kou_haku/zenbun/genkyo/h1/h1b1s1_2.html　（2024 年 3 月現在）

[3]　OpenSCENARIO

https://www.asam.net/standards/detail/openscenario/　（2024 年 3 月現在）

2.2　シナリオ DB の公開

令和 4 年度までに実施した「自動運転システム開発現場担当者のシナリオ DB に対するニーズ調査結果」をもとに、優先順位の高い機能を織り込んだ公開版シナリオ DB を開発し、JAMA AD 安全性評価分科会の委員各社に公開した。自動運転システムの開発現場担当者に安全性評価への活用を想定して使用していただき、更なるニーズ、意見、要望などをヒアリングして整理した。2.2.1 項にニーズの高いシナリオ DB 機能の整理結果、2.2.2 項に公開版シナリオ DB の開発内容、2.2.3 項に公開するためのクラウド環境の構築内容、2.2.4 項に公開における意見集約結果について述べる。

2.2.1　ニーズの高いシナリオ DB 機能の整理

令和 4 年度に実施した「シナリオ DB へのニーズ調査結果と必要な提供価値（機能）」[1]のそれぞれのニーズに応える機能の織り込み優先順位を判断するために、縦軸を機能、横軸を優先順位の評価指標としたマトリクスを作成して優先順位を整理した（表 2.2.1-1）。灰色のハッチング部分はそれぞれ記載の理由により対象より除外した。その整理結果より令和 5 年度以降の織り込み機能の計画を策定した。令和 5 年度は、表 2.2.1-1 の「織り込み計画」の令和 5 年度の A から G の機能を織り込んで公開版シナリオ DB を開発した。

表 2.2.1-1　シナリオ DB へのニーズの優先順位と織り込み計画

提供価値カテゴリー	ニーズ調査結果による必要な機能	対応の優先順位	優先順位の評価指標					織り込み計画		
			ユーザーニーズ	機能確立の難度		各提供価値内での提供インパクト	海外プロジェクトとの差別化有無	R5年度	R6年度	R7年度
				機能・運用体制構築期間	追加リソース・ケイパビリティ					
体系的・柔軟なシナリオ設計	・網羅的なシナリオ体系からの評価シナリオの抽出(FS～CSの抽出)	高	高	短	不要	高	無	A ○	○	○
	・交通環境変化などに対応した継続的なシナリオ更新(各企業・団体等の外部データ活用、履歴管理)	中	高	長	リソース・ケイパビリティ共に必要	高	無		△	○
	・評価シナリオ(OpenSCENARIO準拠)の市販シミュレーション毎の個別対応についての情報提供	シナリオDBとして機能実装するのではなく、ノウハウ提供を想定しているため、公開計画からは除外								
	・評価シナリオの設定に係るC&C Driver Model等を利用した判定基準(クライテリア)の組み込み	中	高	長	リソース・ケイパビリティ共に必要	高	無	C ○	○	○
	・ASAM OpenSCENARIO/DRIVEを用いたシナリオ生成	高	高	短	不要	高	無	E ○	○	○
交通実態に基づく評価条件の設定	・評価シナリオの導出根拠提供(トレーサビリティ・履歴管理・元データの品質検査)	高	高	長	リソース・ケイパビリティ共に必要	高	有	F ○	○	○
	・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・信号サイクル等)	高	高	中	リソースのみ必要	高	有	B ○	○	○
	・ロバスト性検証用のシナリオ提供(厳しめ等の判定基準)	高	高	短	不要	中	無	D ○	○	○
	・事故・ニアミス事例のシナリオ提供(事故低減効果の算出)	高	高	長	リソース・ケイパビリティ共に必要	高	有		△	○
	・軌跡データ等の精度ランクの付与	提供価値②「交通実態に基づく評価条件の設定」内の「シナリオの導出根拠提供」に機能としては内包されるため、公開計画からは除外								
	・大型車(自車・周辺車両)のシナリオ提供	現段階の方針としては実装要否含め、今後検討するため、公開計画からは除外								
	・合理的予見可能な範囲の定量化(ODDに基づくCSの上下限設定)	高	高	中	リソースのみ必要	高	有	B ○	○	○
	・回避可能な範囲の定量化(ODDに基づくCSの上下限設定)	高	高	中	リソースのみ必要	高	有	C ○	○	○
	・各国・各県毎の分析(地域差を織り込んだ評価シナリオの設定)	中	高	長	リソースのみ必要	中	無		△	○
テスト結果の可視化	・被害軽減(Best Effort)効果解析	現段階の方針としては26年度以降の開発を視野に、差別化の方向性、その他潜在ニーズをまずは特定するため、公開計画からは除外								
	・Reasonably Foreseeable & Preventable領域の重畳表示	高	高	短	不要	高	無	G ○ ※	○	○
	・FAIL(衝突)の場合の要因分析	現段階の方針としては実装要否含め、今後検討するため、公開計画からは削除								
	・Euro NCAP実車評価レポート相当のSim結果の可視化	高	中	短	不要	中	有		○	○
その他提供価値	・外部(各社・各団体等)の実交通データを活用	提供価値①「体系的・柔軟なシナリオ設計」内の「交通環境変化などに対応した継続的なシナリオ更新」に機能としては内包されるため、公開計画からは除外								
	・ユーザー各社データを持ち寄って協調(各社の販売店ビルでの定点観測等)									
	・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)	提供価値①～⑦に紐づく機能を他領域へのサービス提供することが趣旨であるため、機能重複の観点から公開計画上は除外 (一方、実現にあたっては1/F改修が必要なため、他領域への検討が具体化されたタイミングで検討)								
	・道路データ(OpenDRIVE)の提供(事故多発地点,代表ライブラリ等)	ニーズの具体化が必要なため、機能イメージが明らかになったタイミングで、公開計画への組み込みを改めて検討								
	・道路構造(交差点、中央分離体有無、横断歩道等）に合致した評価シナリオ抽出									
	・データ取得・解析～シナリオ抽出～パラメータ解析の各ソリューション提供	シナリオDBとして機能実装するのではなく、提供価値①～⑦に紐づく機能をサービスとして提供する想定のため、公開計画上は除外								
	・実車試験によるシミュレーション妥当性検証	シナリオDBとして機能実装するのではなく、その他サービスとして提供するものを想定しているため、公開計画上は削除								
	・認証審査の書類作成などのサポート									
	・シナリオ抽出・テスト計画自動策定・実行機能の実装	現段階の方針としては実装要否含め、今後検討するため、公開計画からは削除								
	・Testing SystemとのAPI連携									

※Preventable領域のみ

令和 5 年度に開発した公開版シナリオ DB を活用するユーザー目線でのユースケース例を図 2.2.1-1 に示す。A から G は、表 2.2.1-1 の令和 5 年度織り込み機能の A から G に対応する。

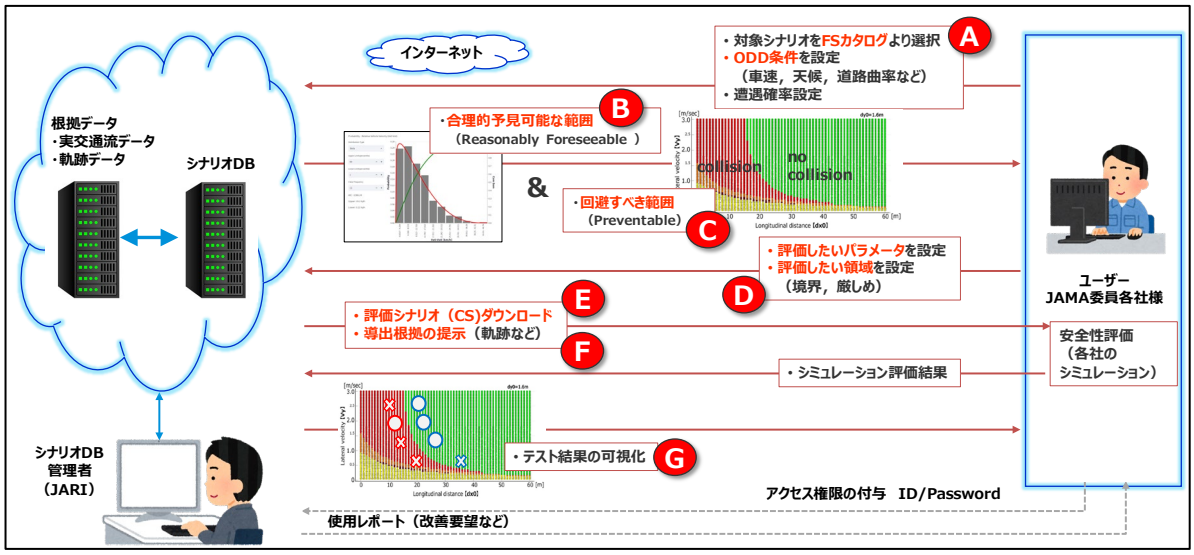


図 2.2.1-1　公開版シナリオ DB のユーザーユースケース例

2.2.2　公開版シナリオ DB の開発

シナリオ DB に織り込まれた A から G までの機能を説明する（表 2.2.2-1）。

表 2.2.2-1　シナリオ DB に織り込まれた機能

機能略称	機能詳細
A	対象シナリオのFSカタログからの選択、ODD条件の設定
B	合理的予見可能範囲の算出
C	回避可能な範囲の算出
D	評価したいパラメータの設定、評価したい領域の設定
E	評価シナリオ（コンクリートシナリオ；CS）ダウンロード
F	導出根拠の提示
G	テスト結果の可視化

ユーザーはインターネットを介してシナリオ DB にログインした後、シナリオ DB のユーザーインタフェースにサポートされながら、A から G の機能を実行する。本項ではこのユーザーインタフェースを中心に機能の説明を行う。

シナリオ DB には機能を切り替えるユーザーインタフェースが用意されている。このインタフェースを説明した後に A から G の機能を説明する。

また、本項ではシナリオ No.4（本線、自車 Lane Keep×先行車 カットイン）の安全性評価を例にとり、諸機能を説明する。図 2.2.2-1 にシナリオ No.4 の概略を示す。

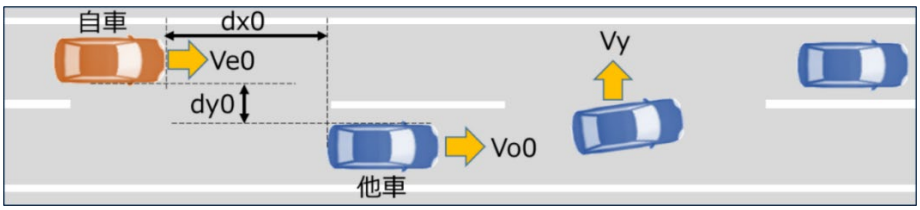


図 2.2.2-1　シナリオ No.4 の概略（橙色の車が自車（AD 車）、青色の車が他車、「自動運転の安全性評価フレームワーク Ver3.0」[2]）から引用である。）

シナリオ No.4 は合計 5 つのパラメータ（自車と他車の進行方向車間距離 dx0、自車初期速度 Ve0、自車と他車の横方向車間距離 dy0、他車初期速度 Vo0、他車横速度 Vy）で記述される。このような、シナリオを記述するパラメータ（＝シナリオパラメータ）はシナリオ毎に定義されている。

2.2.2.1　機能を切り替えるユーザーインタフェース

ユーザーがシナリオ DB にログインした直後、シナリオ DB は図 2.2.2.1-1 に示す初期画面を表示する。

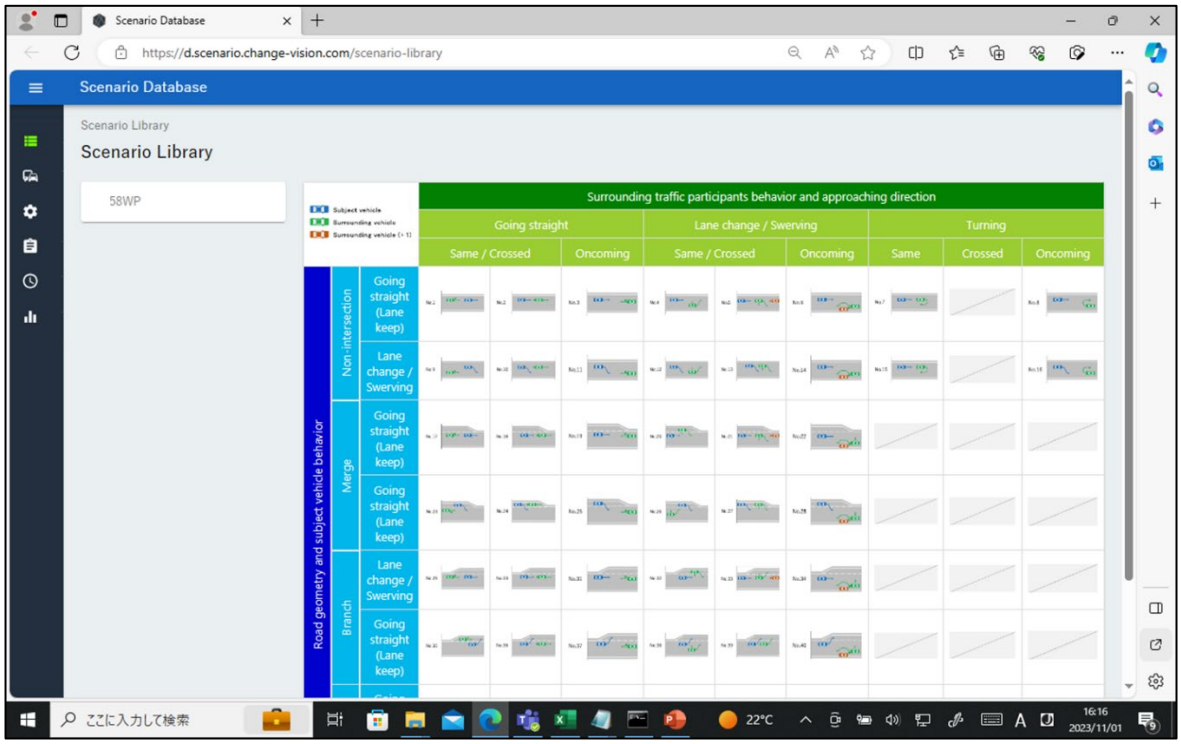


図 2.2.2.1-1　ログイン直後のシナリオ DB の画面

シナリオ DB は交通外乱の 58 シナリオを表示すると同時に、シナリオ DB の機能を切り替えるインタフェースを画面左側に表示する。図 2.2.2.1-2 にその拡大図を示す。



図 2.2.2.1-2　機能を切り替えるインタフェース

6 つのアイコンから構成され、ユーザーがいずれか 1 つを押下・選択すると、シナリオ DB はそのアイコンに関連付けられた機能を実行する画面を表示する。

各アイコンに関連付けられた機能を図 2.2.2.1-3 に示す。

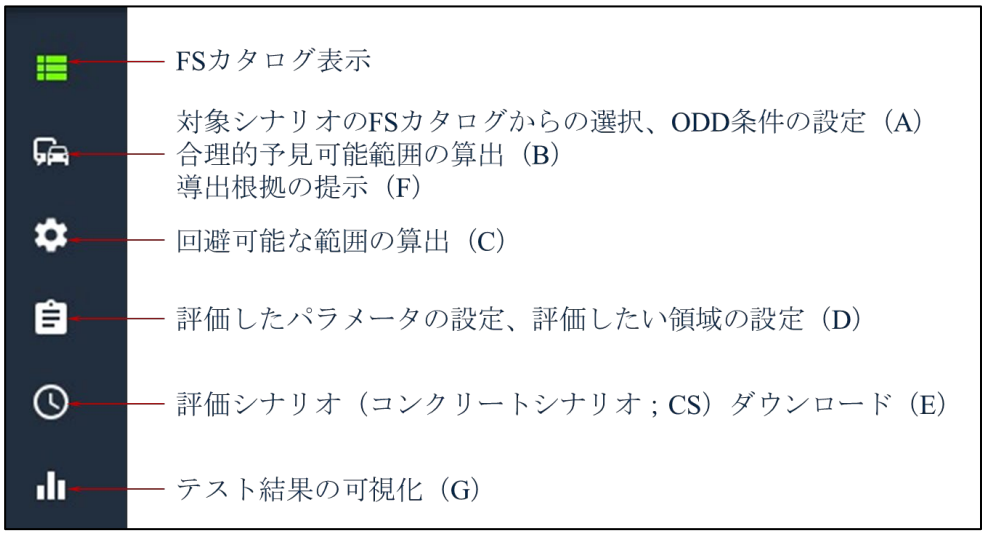


図 2.2.2.1-3　アイコンで選択される機能

例えば、A、B、F の機能を実行するためには、ユーザーは上から 2 番目のアイコンを押下する必要がある。以降、A から G の機能を説明する。

2.2.2.2　機能 A「対象シナリオの FS カタログからの選択、ODD 条件の設定」

シナリオ DB は、定点観測や計測車両で得られたデータに基づく交通流分布データベース（以下、「交通流分布 DB」という）を内部に保持している。交通流分布 DB は 58 シナリオに分類された多数のシナリオ例（以下、「事例」という）から構成され、各事例毎にシナリオパラメータ等の情報が保存されている。

機能 A に関して、シナリオ DB は安全性評価の対象シナリオと評価車両の Operational Design Domain（以下、「ODD」という）条件に合致する事例を交通流分布 DB から抽出す

る。そして、事例群のなすパラメータ分布を算出し表示する。算出されたパラメータ分布は 2.2.2.3 目の合理的予見可能範囲の算出に用いられる。

機能を切り替えるインタフェース（図 2.2.2.1-2）の、上から 2 番目のアイコンをユーザーが押下することにより、シナリオ DB は図 2.2.2.2-1 に示す画面を追加表示する。

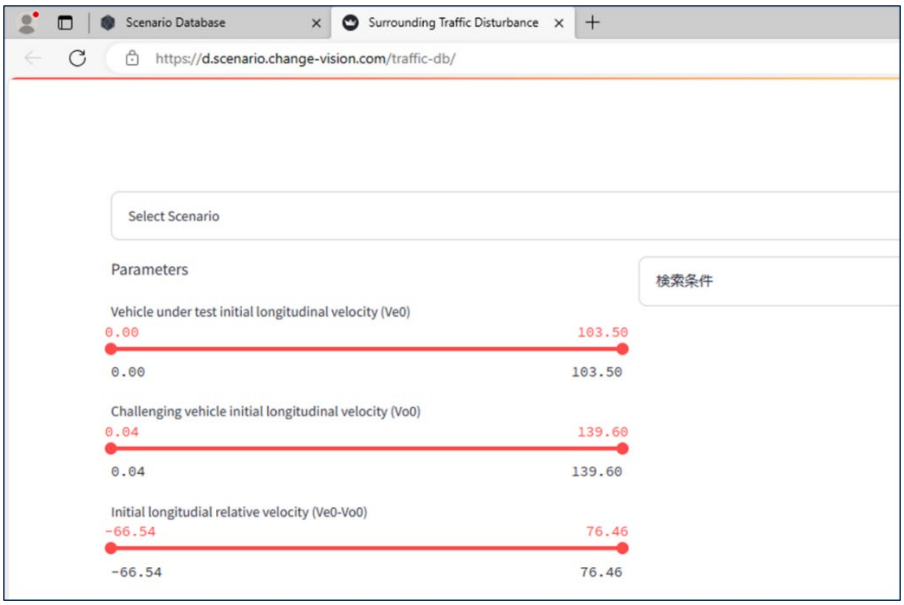


図 2.2.2.2-1　初期画面

最初に「対象シナリオの FS カタログからの選択」を説明する。ユーザーが「Select Scenario」ボタンを押下することにより、シナリオ DB は合理的予見可能範囲の算出が可能な複数のシナリオを表示する（図 2.2.2.2-2）。

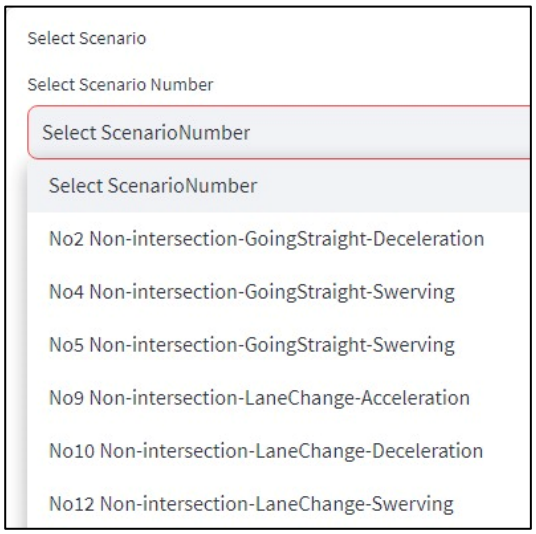


図 2.2.2.2-2　合理的予見可能範囲の算出が可能なシナリオの表示

ユーザーがそれらの 1 つを押下・選択すると、シナリオ DB は選択されたシナリオの概略を表示すると同時に、そのシナリオに該当する事例を交通流分布 DB から抽出する。そ

して、抽出された事例数や事例群のなすパラメータ分布を算出し表示する。

ユーザーがシナリオ No.4（「No4 Non-intersection-GoingStraight-Swerving」）を押下・選択した場合に表示されるシナリオの概要を図 2.2.2.2-3 に示す。自車（青色）と他車（緑色）の挙動を示す図は「自動運転の安全性評価フレームワーク Ver3.0」[2]からの引用である。シナリオパラメータの変数名および定義が「Parameters」の下に表示される。

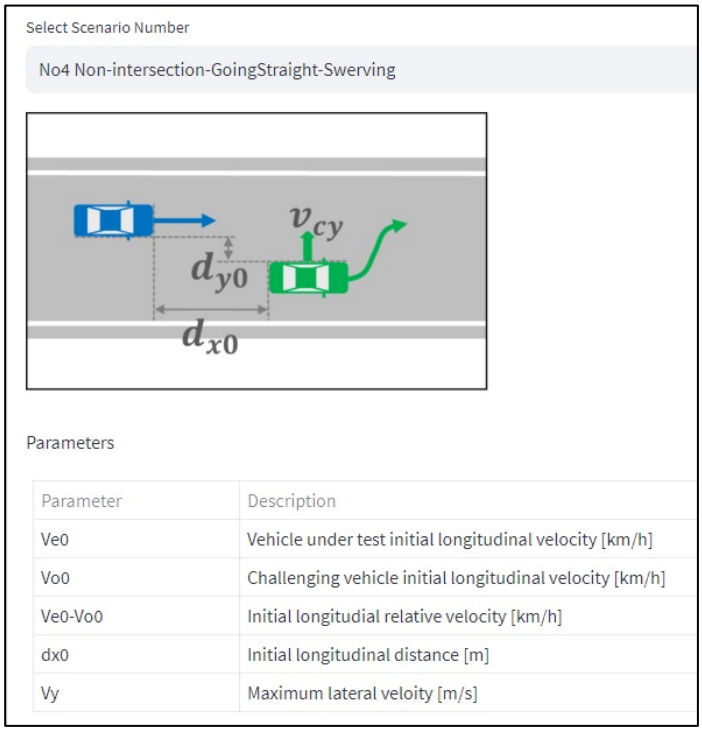


図 2.2.2.2-3　選択されたシナリオの概略

シナリオ DB の事例抽出結果を図 2.2.2.2-4 に示す。シナリオを記述する 5 つのパラメータの最大値・最小値ならびに抽出事例数が表示される。「414 Results」の 414 が抽出事例数である。

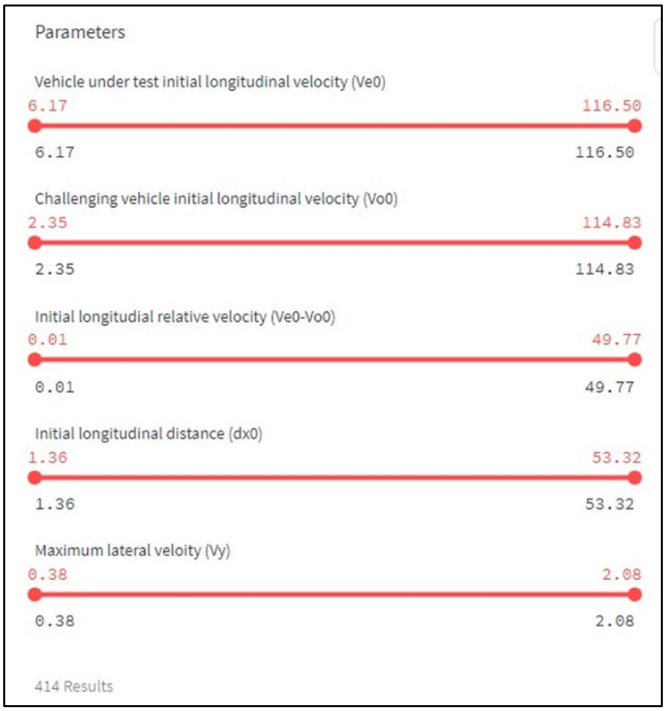


図 2.2.2.2-4　事例抽出結果（シナリオ No.4 の例）

シナリオ DB が算出したパラメータの分布の例を図 2.2.2.2-5 に示す。パラメータの 1 つである自車初期速度 Ve0 の分布は灰色のヒストグラムで表示される。赤色の線・緑色の線は合理的予見可能範囲の算出に関連する情報であり、2.2.2.3 目で詳細を説明する。

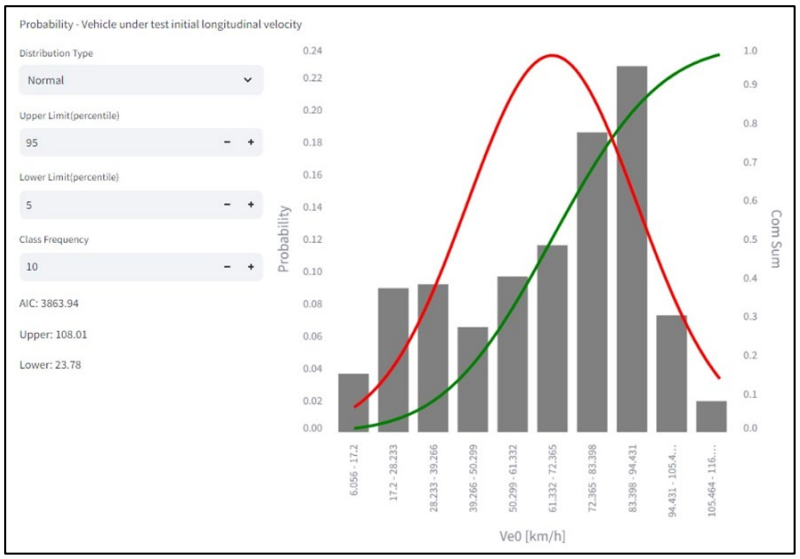


図 2.2.2.2-5　パラメータ Ve0 の分布（シナリオ No.4 の例）

シナリオ DB は参考文献[3]で提案された手法に基づいて「合理的予見可能範囲の算出」を行う。公開版シナリオ DB では表 2.2.2.2-1 に示すシナリオが「合理的予見可能範囲の算出が可能なシナリオ」として実装されている。

表 2.2.2.2-1　公開版で実装されたシナリオ

FSカタログ			実装されたシナリオ
58 シナリオ	交差点無し	レーンキープ	No.2 減速、No.4 カットイン、No5. カットアウト
		レーンチェンジ	No.9
	合流	レーンキープ	No.20
		レーンチェンジ	No.23
	分岐	レーンキープ	No.32
		レーンチェンジ	No.35

次に ODD 条件の設定を説明する。対象シナリオを指定することによりシナリオ DB は抽出された事例群の中から、評価車両の ODD 条件に合致する事例を抽出する。ODD の例として、自動運転の運行速度領域や天候、場所等が考えられる。ここでは自動運転の運行速度領域を例にとり、ODD 条件の設定を説明する。

事例抽出結果を図 2.2.2.2-6 に再掲する。

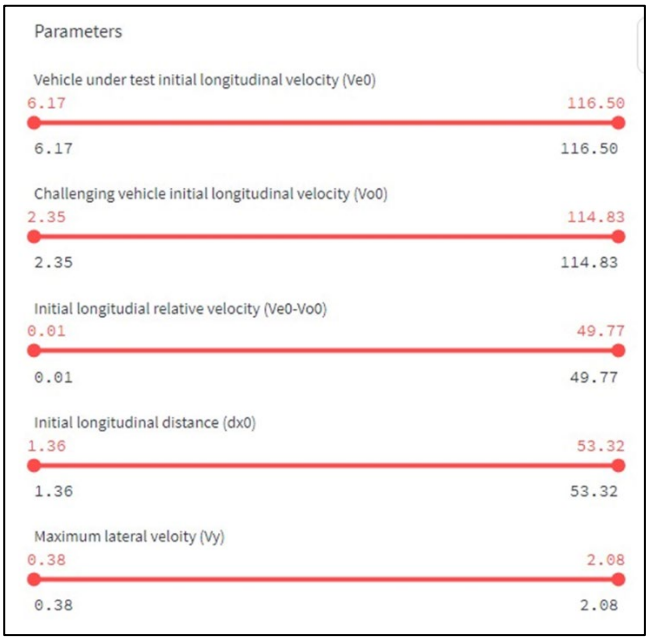


図 2.2.2.2-6　事例抽出結果（再掲）

合計 5 つのパラメータの最大値・最小値が表示されているが、この画面は ODD 条件を設定するインタフェースにもなっている。各パラメータの赤色の線の両端（赤色の丸）を左右にスライドさせることにより、ユーザーは事例を抽出する範囲を指定できる。例えば、自動運転の運行速度領域を 0～60[km/h]に設定したい場合は、図 2.2.2.2-7 のようにパラメータ Ve0 の赤色の丸をスライドさせれば良い。

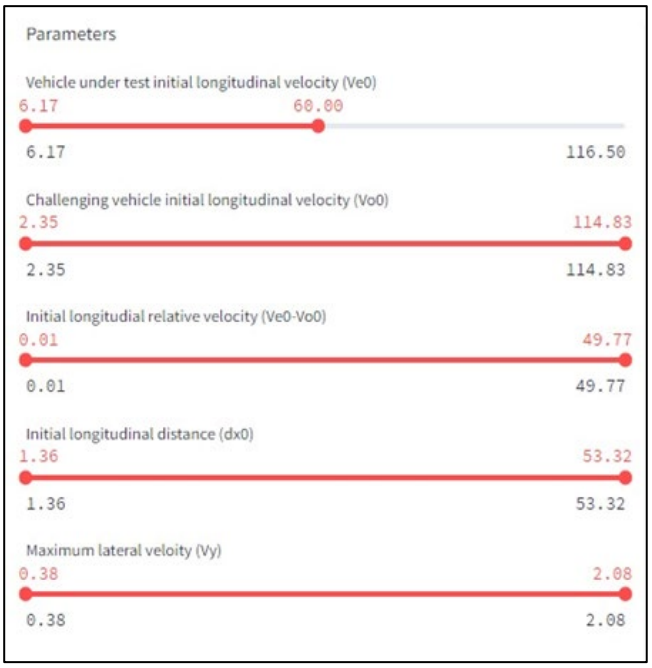


図 2.2.2.2-7　「ODD の設定」の例（自動運転の運行速度領域）

シナリオ DB は安全性評価の対象シナリオと評価車両の ODD 条件に合致する事例を抽出しパラメータ分布を表示する。パラメータ Ve0 の分布の例を図 2.2.2.2-8 に示す（灰色のヒストグラムがパラメータの分布を表す）。

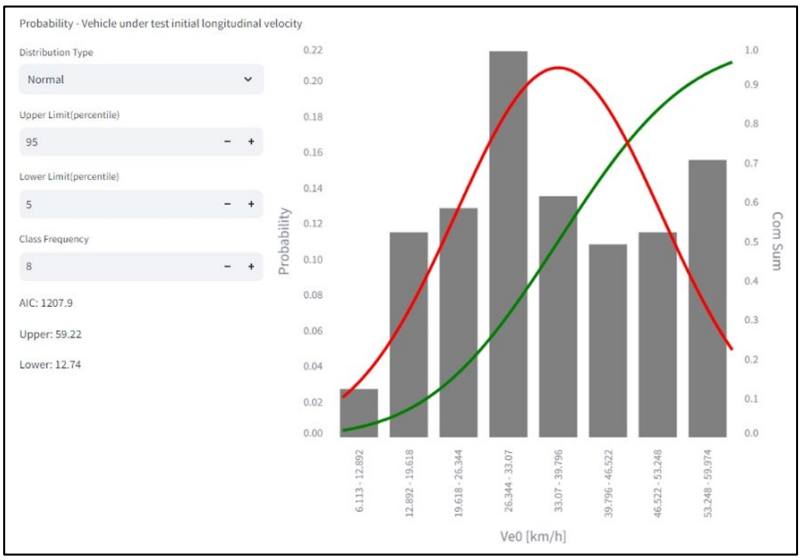


図 2.2.2.2-8　パラメータ分布（自車初期速度 Ve0）

ここで得られたパラメータ分布は「合理的予見可能範囲の算出」に用いられる。

2.2.2.3　機能 B「合理的予見可能範囲の算出」

パラメータ分布の最大値と最小値のなす区間を用いて合理的予見可能範囲とすることが考えられる。しかしながら、評価すべきでない外れ値が最大値もしくは最小値に選ばれる可能性がある。それとは逆に、評価すべき値が区間に含まれない可能性もある。これらを避けるために、正規分布などの確率分布でパラメータ分布を近似し、その確率分布の 2 つのパーセンタイル（例えば 1 パーセンタイルと 99 パーセンタイル）で合理的予見可能範囲を定義することが考えられる。シナリオ DB はこのような考え方に基づいて合理的予見可能範囲を算出する[3]。

2.2.2.2 目に引き続き、シナリオ No.4 を例として詳細を説明する。シナリオ DB はパラメータ（自車初期速度 Ve0）の分布（灰色のヒストグラム）を表示すると同時に、それを近似する確率分布（赤色の線）、その累積分布（緑色の線）も表示する（図 2.2.2.3-1）。

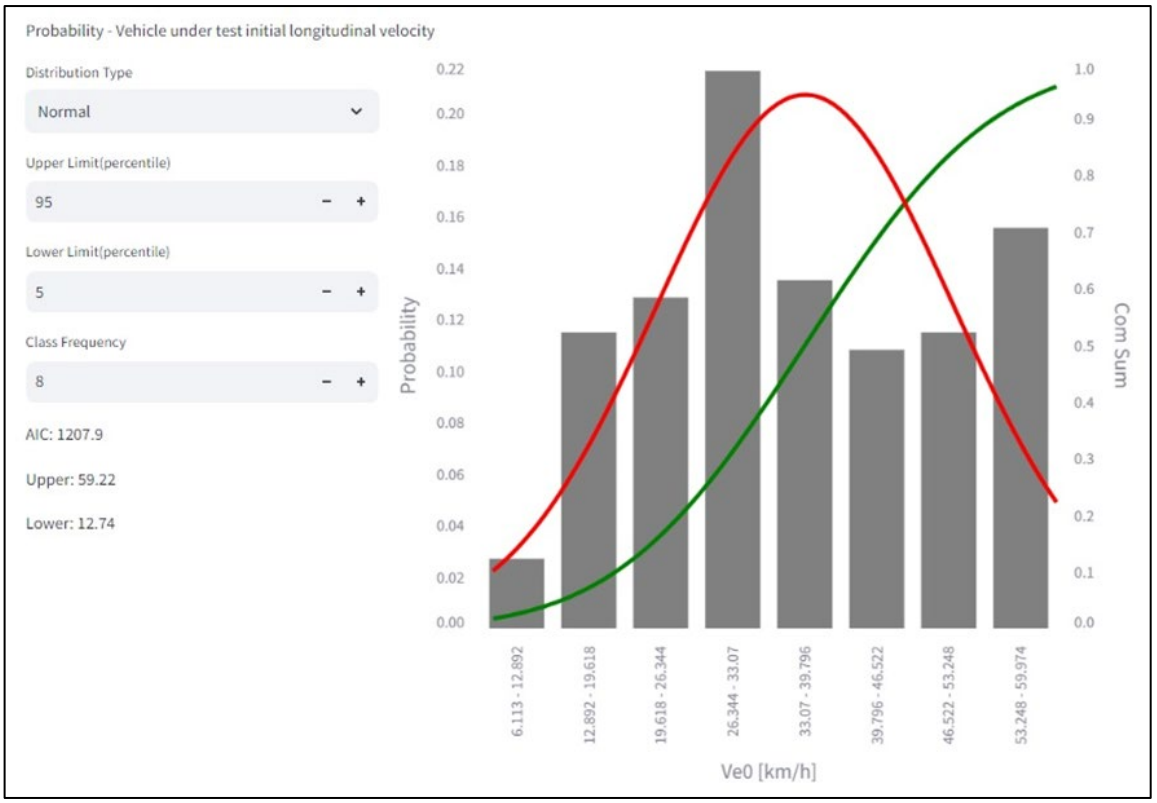


図 2.2.2.3-1　パラメータ分布、確率分布、累積分布

シナリオ DB は画面左側に確率分布の型やパーセンタイルを指定するインタフェースを表示する。図 2.2.2.3-2 にインタフェースの拡大図を示す。

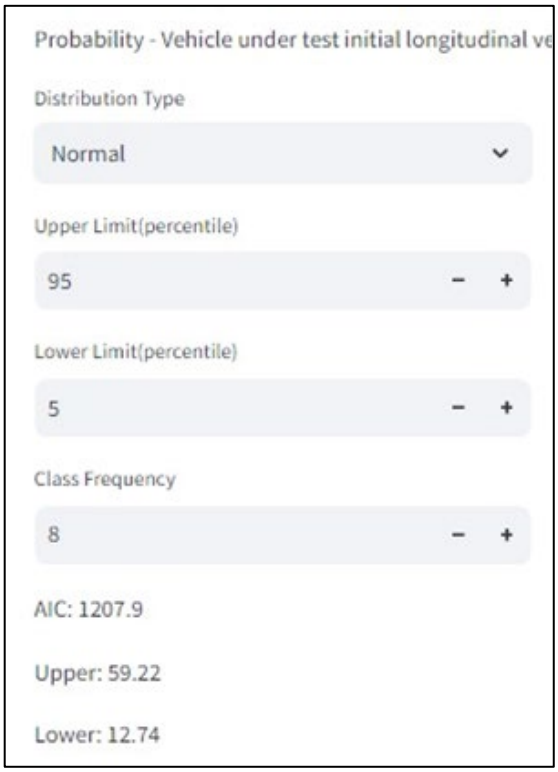


図 2.2.2.3-2　確率分布の型・パーセンタイルを指定するインタフェース

ユーザーは「Distribution Type」を用いて確率分布の型を指定する。「Normal」（正規分布）・「Exponential」（指数分布）・「Beta」（β 分布）から選択できるようになっており、パラメータ分布の特性・形状から最適と思われる分布を指定する。

ユーザーは「Upper Limit(percentile)」「Lower Limit(percentile)」を用いて確率分布の上限パーセンタイル・下限パーセンタイルを指定する。シナリオ DB はそれらに相当するパラメータ値を算出し、「合理的予見可能範囲」の上限・下限として「Upper」と「Lower」に表示する。

図 2.2.2.3-2 は確率分布を正規分布とし、上限・下限パーセンタイルをそれぞれ 95 と 5 に指定した例である。シナリオ DB はパラメータ値の上限・下限として 59.22[km/h]と 12.74[km/h]を算出したことを示している。これら上限・下限のなす区間が「合理的予見可能範囲」となる。

参考として上限・下限パーセンタイルを 99 と 1 に設定した例を図 2.2.2.3-3 に示す。

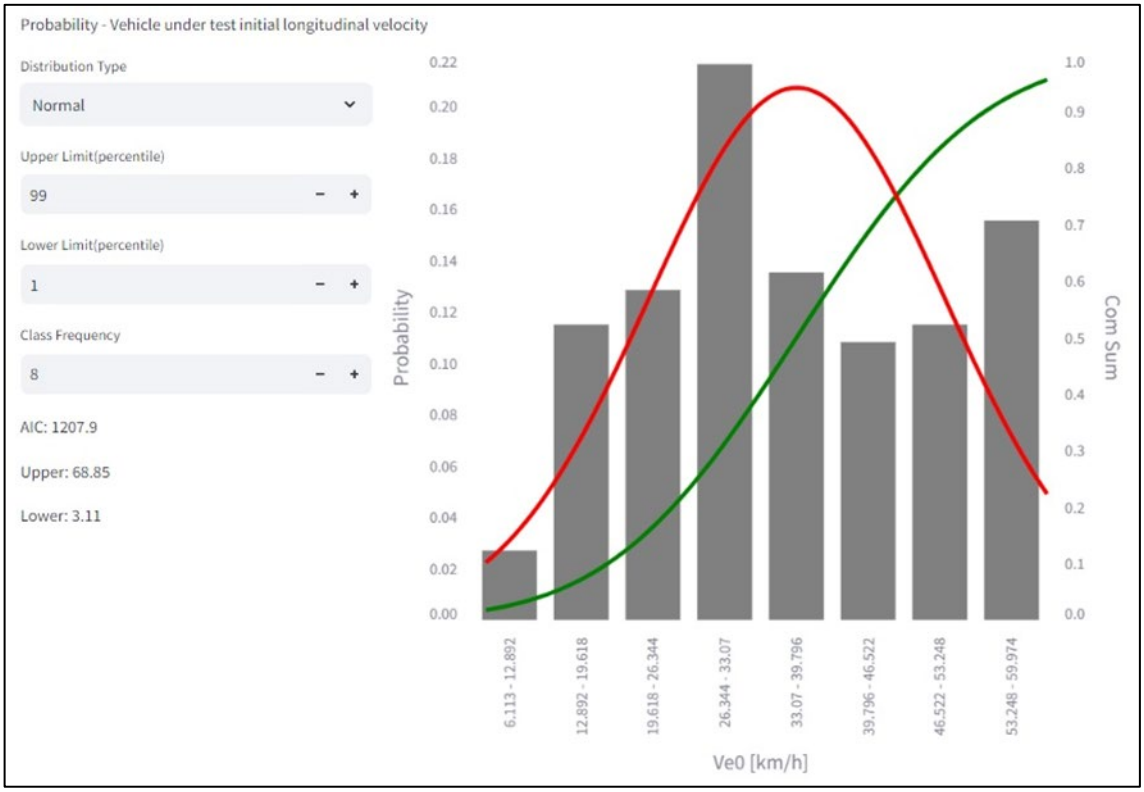


図 2.2.2.3-3　合理的予見可能範囲の算出（シナリオ No.4　自車初期速度 Ve0）

上限・下限はそれぞれ 68.85[km/h]と 3.11[km/h]となった。これら上限・下限がなす区間は先ほど算出した区間よりも広くなっている。

合理的予見可能範囲はシナリオを記述するパラメータ毎に定義される。図 2.2.2.3-4 にシナリオ No.4　他車初期速度 Vo0 に対するパーセンタイル値の算出結果を示す。

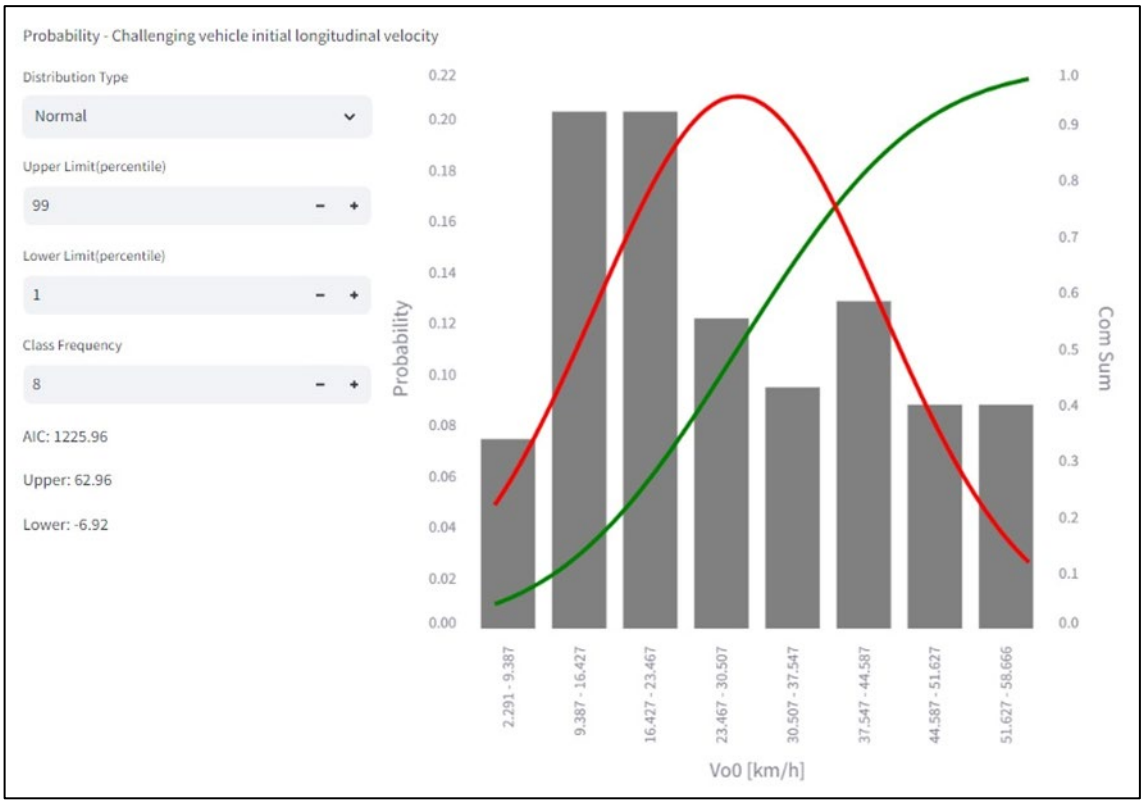


図 2.2.2.3-4　合理的予見可能範囲の算出（シナリオ No.4　他車初期速度 Vo0）

上限・下限はそれぞれ 62.96[km/h]と 6.92[km/h]となっている。これら上限・下限がなす区間がパラメータ他車初期速度 Vo0 に関する合理的予見可能範囲となる。

以上、シナリオ DB がユーザーをサポートしながら、「確率分布でパラメータ分布を近似し、その確率分布の 2 つのパーセンタイルで合理的予見可能範囲を算出する」機能を説明した。

2.2.2.4　機能 C「回避可能な範囲の算出」

UNR-157[4]の Annex には、シナリオ No.2・No.4・No.5 に対する「回避可能な範囲」が記載されている。

シナリオ DB はこれらに基づきシナリオ No.2・No.4・No.5 に対する「回避可能な範囲」を保存しており、ユーザーが 3 つのシナリオのいずれかを評価シナリオとして選定した場合、回避可能な範囲を用いた評価仕様の作成を行うことができる。

回避可能な範囲は自車・他車の大きさに影響される。シナリオ DB はその大きさに応じて回避可能な範囲を再計算する機能を有する。ここでは再計算の詳細を説明する。

機能を切り替えるインタフェース（図 2.2.2.1-2）の、上から 3 番目のアイコンをユーザーが押下することにより、シナリオ DB は図 2.2.2.4-1 に示す画面を表示する。

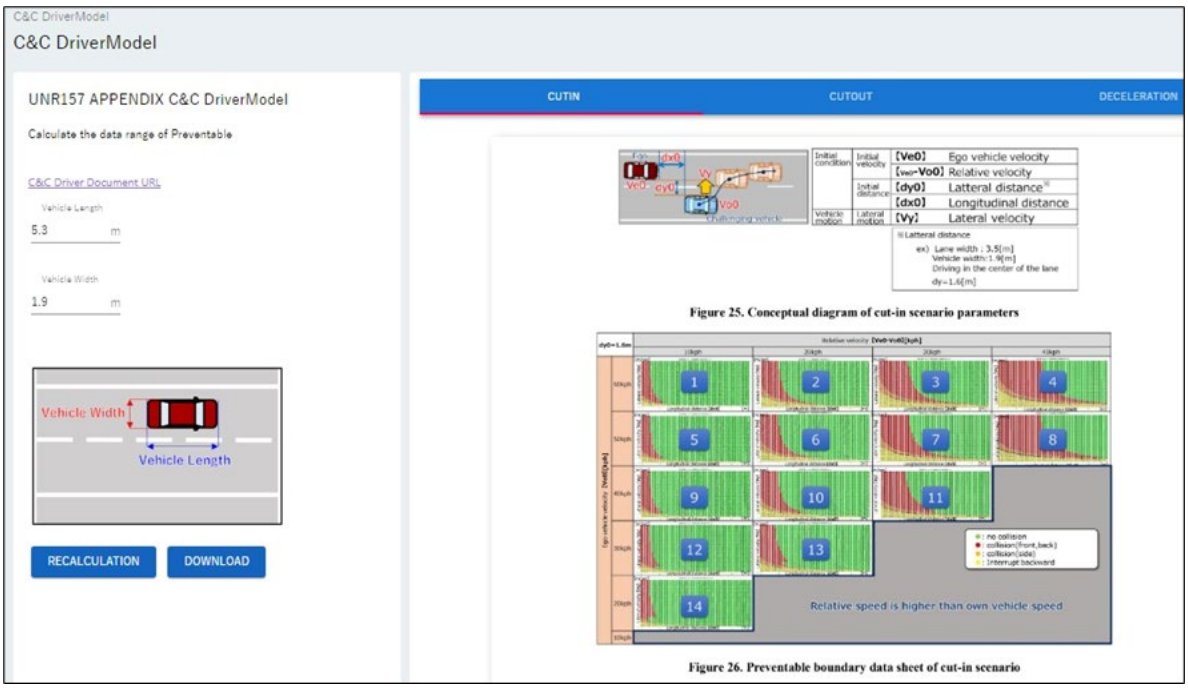


図 2.2.2.4-1　「回避可能な範囲の算出」で表示される画面

画面右上に選択可能な 3 つのシナリオ「CUTIN」・「CUTOUT」・「DECELERATION」が表示される（シナリオ No.4・No.5・No.2 に相当する）。ユーザーがそれらの 1 つを押下・選択すると、シナリオ DB は選択されたシナリオの概略ならびに回避可能な範囲（緑色の領域）・回避不可能な領域（緑色以外の領域）を表示する。図 2.2.2.4-1 はユーザーがシナリオ No.4 を選択した例を示す（「CUTIN」の下側の赤いアンダーラインが選択されたシナリオを示している）。

「回避可能」は「自車と他車の衝突を回避することが可能」を略記したものである。すなわち回避可能な範囲は自車や他車の大きさに影響される。公開版シナリオ DB では自車・他車の大きさを同じとし、そのデフォルトを全長 5.3[m]、全幅 1.9[m]としている。画面左側に表示されているデフォルトをユーザーが修正して「RECALCULATION」を押下

すると、シナリオ DB は回避可能な範囲を再計算する。その結果は内部に保存され、回避可能な範囲を用いた評価仕様の作成時に利用される。

2.2.2.5　機能 D「評価したいパラメータを設定、評価したい領域を設定」

シナリオ DB が評価仕様を作成する機能を説明する。2 つの方法がある。1 つ目は、シナリオを記述するパラメータ毎に、ユーザーが評価したい領域を直接指定する方式である。2 つ目は、回避可能・不可能な領域の境界線近傍に、ユーザーが評価シナリオを指定する方式である。

最初に 1 つ目の方式を説明する。機能を切り替えるインタフェース（図 2.2.2.1-2）の、上から 4 番目のアイコンをユーザーが押下することにより、シナリオ DB は図 2.2.2.5-1 に示す画面を表示する。

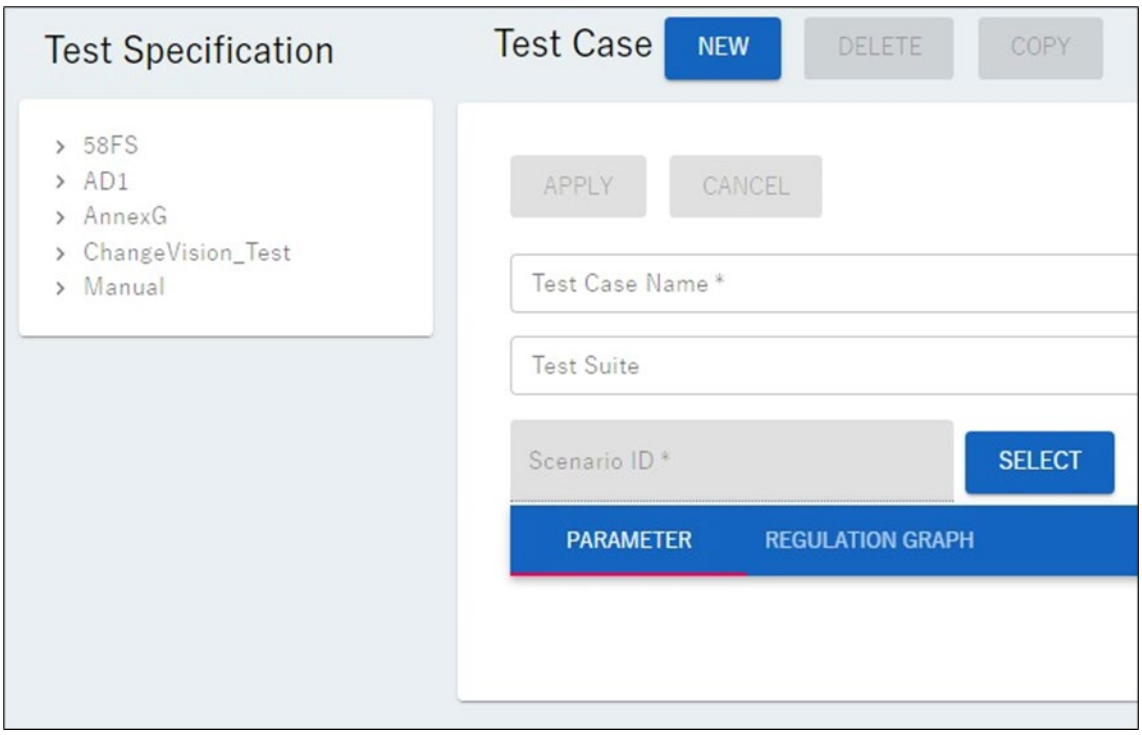


図 2.2.2.5-1　評価仕様作成の初期画面（1 つ目の方式）

ユーザーが「SELECT」のボダンを押下することにより、シナリオ DB は図 2.2.2.5-2 に示す画面を表示する。

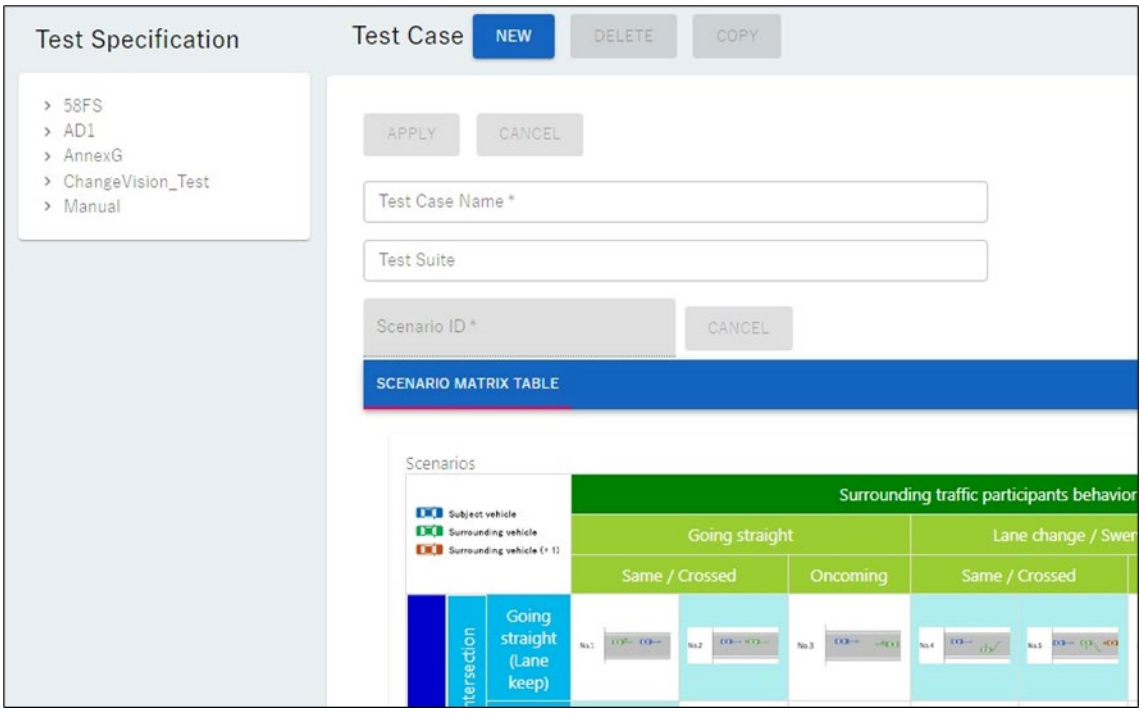


図 2.2.2.5-2　評価仕様の新規作成画面（1 つ目の方式）

「SCENARIO MATRIX TABLE」に表示された 58 シナリオのいずれか 1 つをユーザーが押下・選択すると、シナリオ DB は図 2.2.2.5-3 に示すような、選択されたシナリオの詳細設定画面を表示する（シナリオ No.4 を選択した例を示す）。

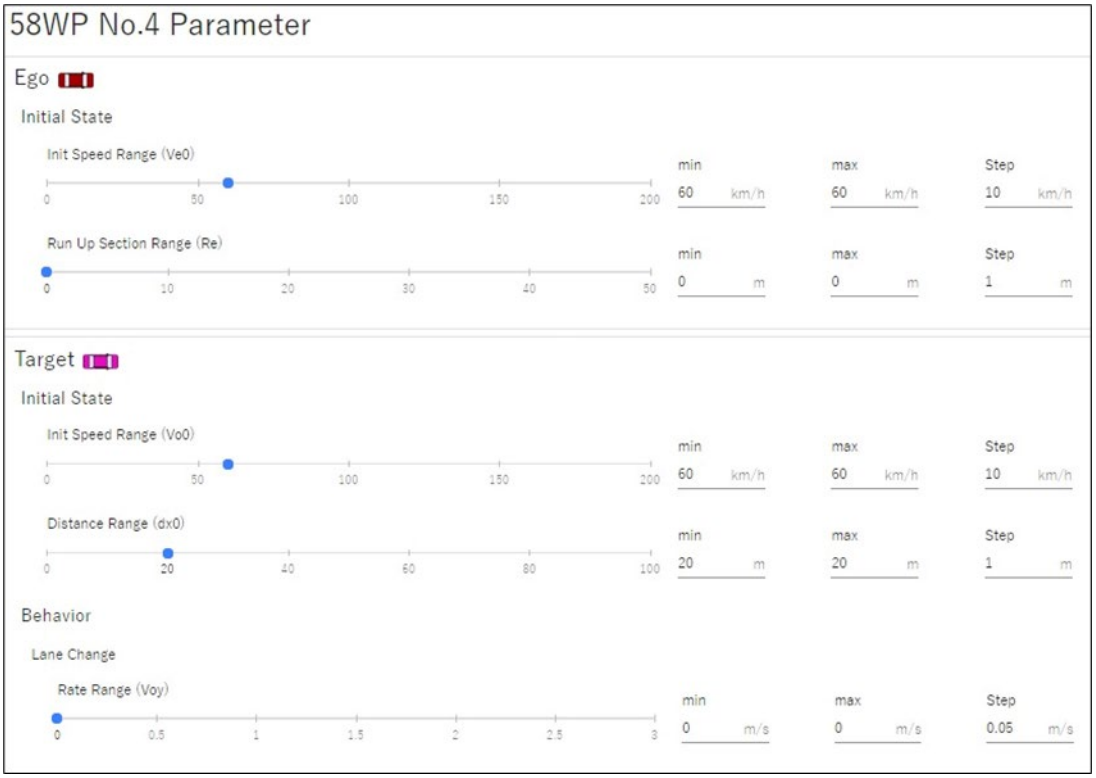


図 2.2.2.5-3　評価仕様の詳細設定画面（1 つ目の方式）

シナリオ DB はシナリオ毎に評価したいパラメータを保存しており、評価仕様の詳細設定画面に自動表示する。

ユーザーが各パラメータの範囲ならびに間隔を指定することにより評価仕様が作成される。各パラメータの評価したい範囲は各変数毎に用意された青色の丸印を左右にスライドすることにより設定できる。また、「min」（最小値）「max」（最大値）にユーザーが数値を直接入力することでも設定できる。間隔に関しては「Step」にユーザーが数値を直接入力して設定する。

各パラメータの範囲は合理的予見可能範囲に基づいて設定する。

設定の例を図 2.2.2.5-4 に示す（説明上、範囲を絞った仕様になっている）。

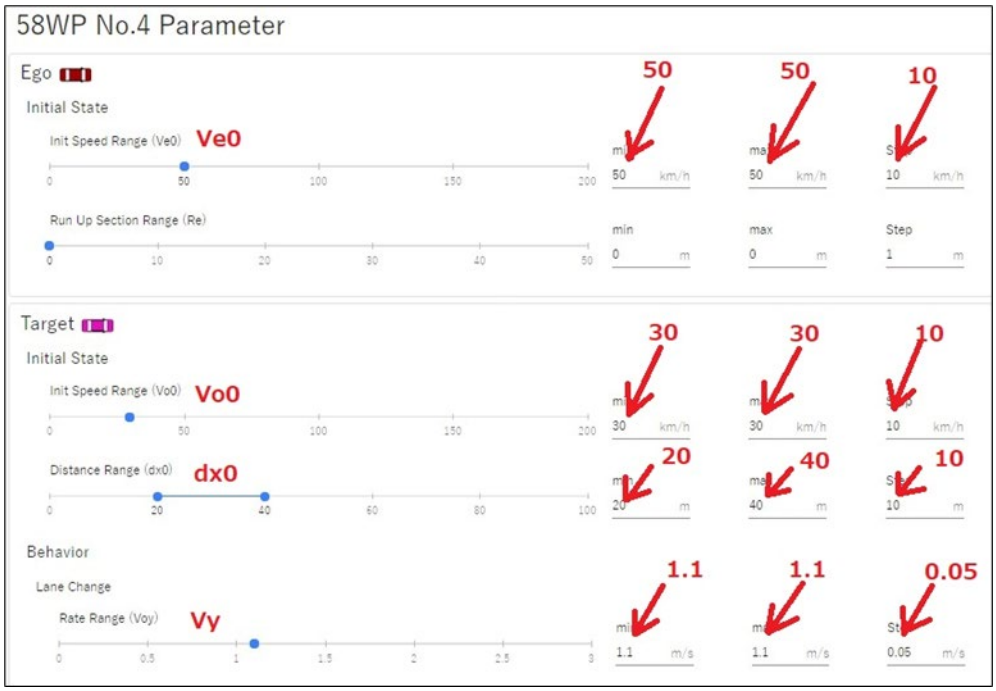


図 2.2.2.5-4　評価仕様の設定例（1 つ目の方式）

これは自車初期速度 Ve0 を 50[km]、他車初期速度 Vo0 を 30[km/h]、車間距離 dx0 を 20[m]から 40[m]まで 10[m]毎すなわち、20[m]、30[m]、40[m]の 3 つ、他車横速度 Vy を 1.1[m/s]に設定した仕様である。評価シナリオ数は 3 つとなっている。

ユーザーが図 2.2.2.5-2 の画面に戻って「Test Case Name *」に評価仕様名を入力し「APPLY」ボタンを押下することにより、シナリオ DB は評価仕様を内部に保存する。本報告ではこの評価仕様名を「No4_Foreseeable」とする。2.2.2.6 目の説明で「No4_Foreseeable」が利用される。

次に 2 つ目の方式（ユーザーが回避可能・不可能な領域の境界線近傍に評価シナリオを指定する方式）を説明する。

機能を切り替えるインタフェース（図 2.2.2.1-2）の、上から 4 番目のアイコンをユーザーが押下することにより、シナリオ DB は図 2.2.2.5-5 に示す画面を表示する。

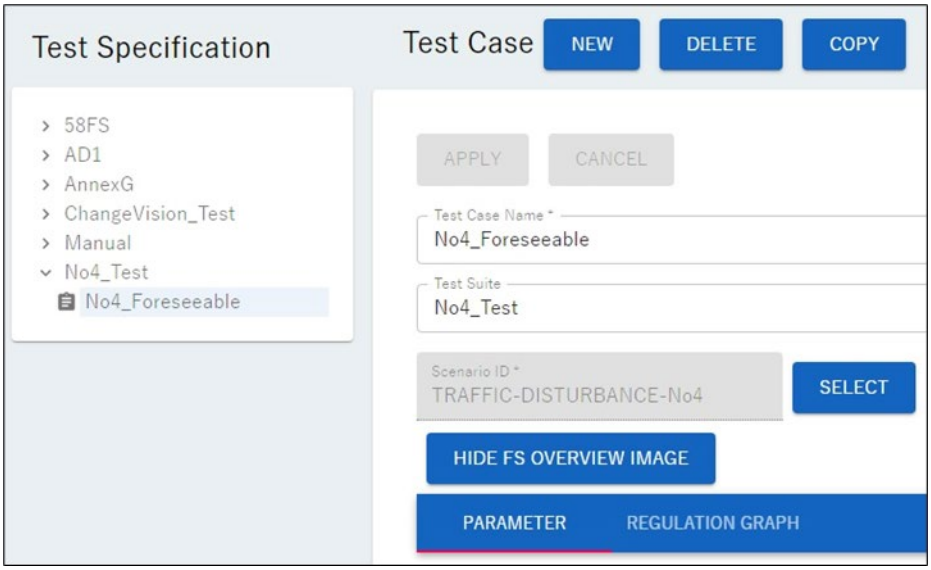


図 2.2.2.5-5　評価仕様作成の初期画面（2 つ目の方式）

ユーザーが「NEW」「SELECT」のボダンを順次押下し、「SCENARIO MATRIX TABLE」（図 2.2.2.5-2 を参照のこと）のシナリオ No.4 を押下・選択すると、シナリオ DB は図 2.2.2.5-6 に示す画面を表示する。

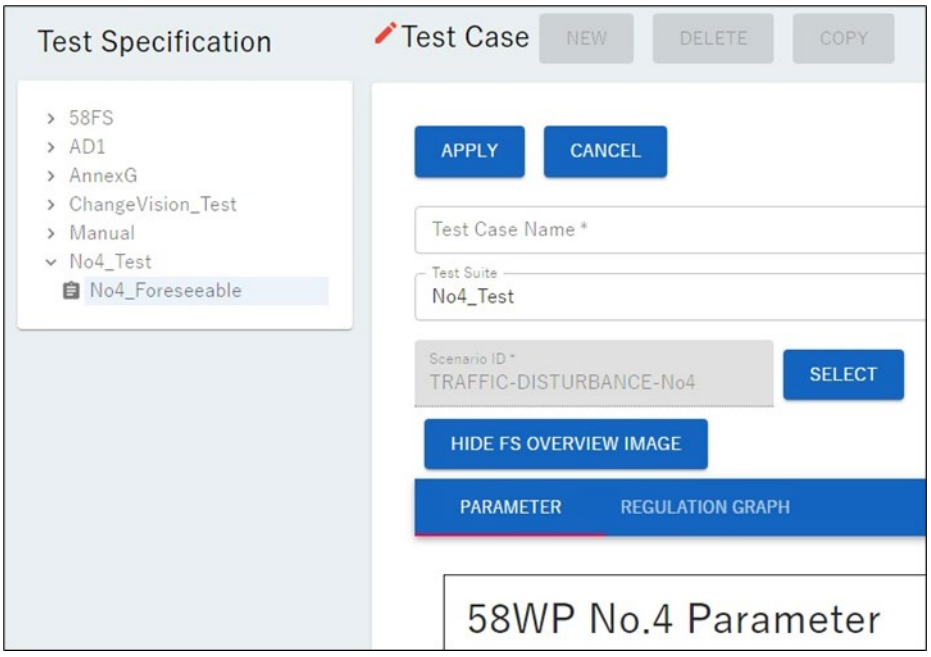


図 2.2.2.5-6　評価仕様の新規作成画面（2 つ目の方式）

ユーザーが「REGULATION GRAPH」のボタンを押下すると、シナリオ DB は図 2.2.2.5-7 に示す画面を表示する。



図 2.2.2.5-7　評価仕様の詳細設定画面（2 つ目の方式）

画面に表示されている回避可能・不可能な範囲は、2.2.2.4 目の「回避可能な範囲の算出」の結果が反映されている。

ユーザーが「Verify edge cases」のボタンを押下すると、シナリオ DB は図 2.2.2.5-8 に示す画面を表示する。

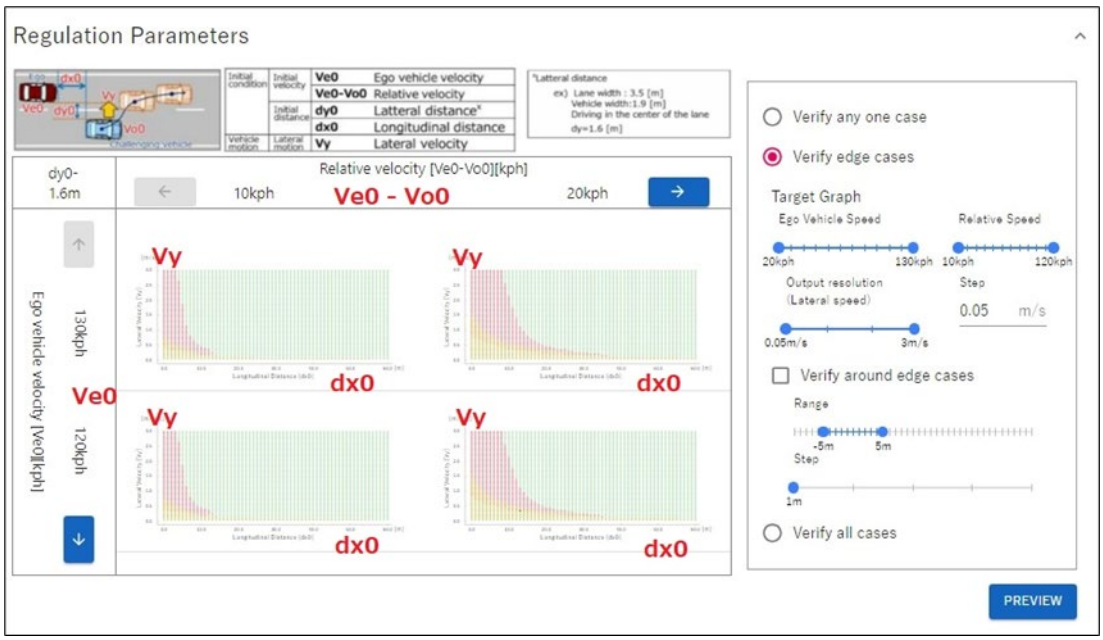


図 2.2.2.5-8　回避可能・不可能領域の境界近傍の評価シナリオ設定（2 つ目の方式）

ユーザーは、シナリオ DB が画面右側に用意したインタフェースを用いて、シナリオパラメータの範囲および間隔を入力する。その入力例を図 2.2.2.5-9 に示す。

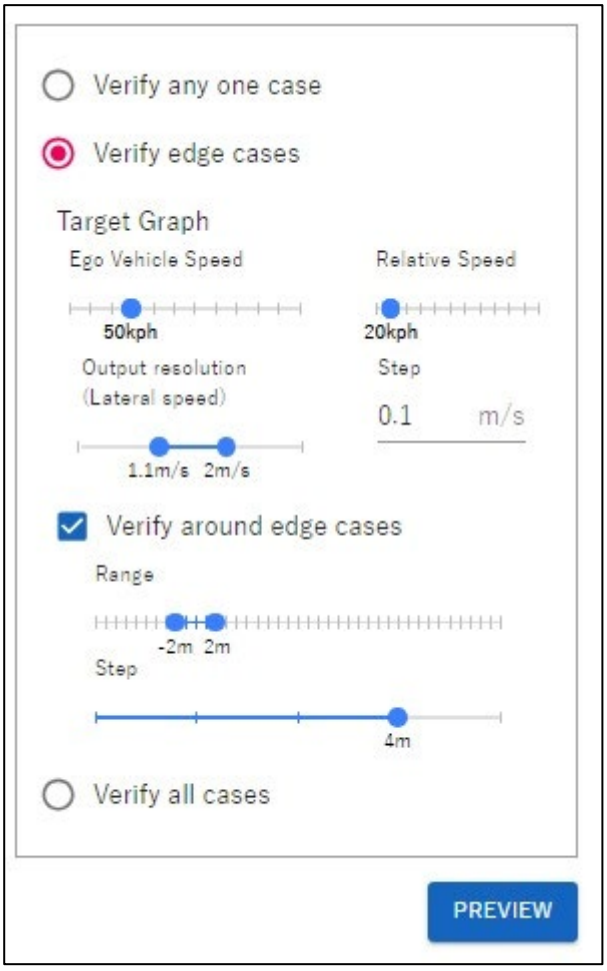


図 2.2.2.5-9　回避可能・不可能領域の境界線近傍での評価シナリオ設定例（2 つ目の方式）

自車初期速度 Ve0 は 50[km/h]、相対速度 Ve0 – Vo0 は 20[km/h]、他車の横速度 Vy は 1.1～2.0[m/s]の範囲で 0.1[m/s]毎、車間距離は回避可能・不可能領域の境界線の-2～2[m]の範囲で 4[m]毎（すなわち、±2[m]の 2 つ）に設定した例である。この設定により合計 20 の評価シナリオが定義されたことになる。シナリオ DB が回避可能・不可能範囲の図にこれら 20 の評価シナリオを重畳表示したものを図 2.2.2.5-10 に示す（赤字は補足として追記したものである）。図中の青色の点が評価シナリオを表している。

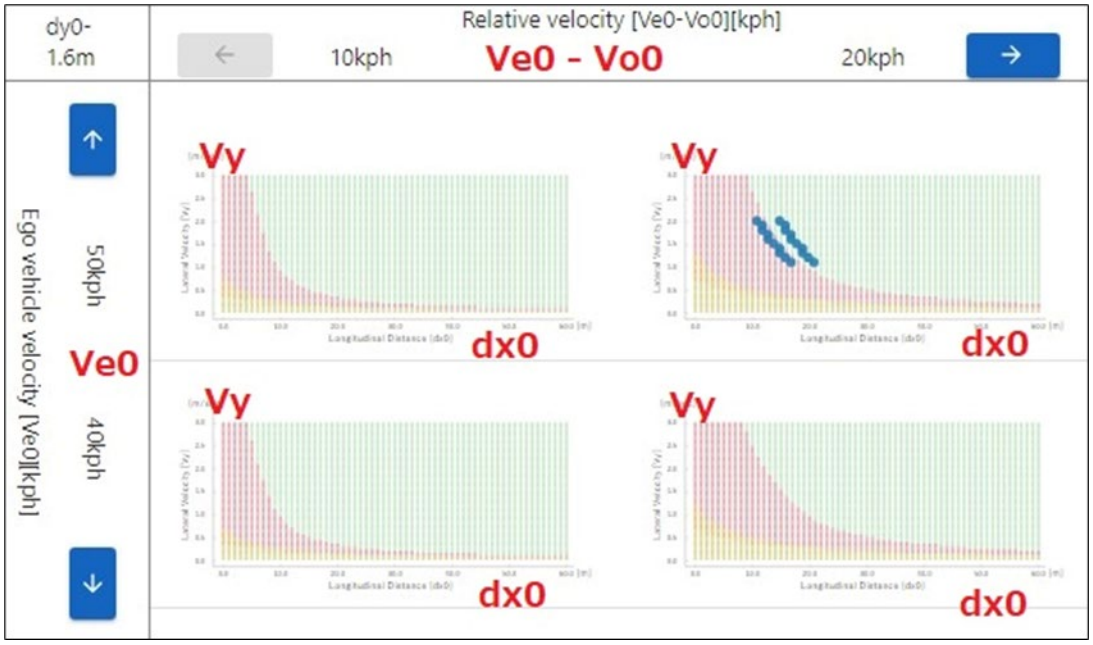


図 2.2.2.5-10　回避可能・不可能領域と評価シナリオの重畳表示例（2 つ目の方式）

ユーザーが図 2.2.2.5-2 の画面に戻って「Test Case Name *」に評価仕様名を入力し「APPLY」ボタンを押下することにより、シナリオ DB は評価仕様を内部に保存する。本報告ではこの評価仕様名を「No4_Preventable」とする。2.2.2.6 目の説明で「No4_Preventable」が利用される。

2.2.2.6　機能 E「評価シナリオ（コンクリートシナリオ；CS）ダウンロード」

シナリオ DB は評価仕様に基づいて評価シナリオファイルを作成し、ユーザーPC にダウンロードする。評価仕様「No4_Foreseeable」を例にとり、評価シナリオファイルを作成・ダウンロードする機能を説明する。

機能を切り替えるインタフェース（図 2.2.2.1-2）の、上から 5 番目のアイコンをユーザーが押下することにより、シナリオ DB は図 2.2.2.6-1 に示す画面を表示する。

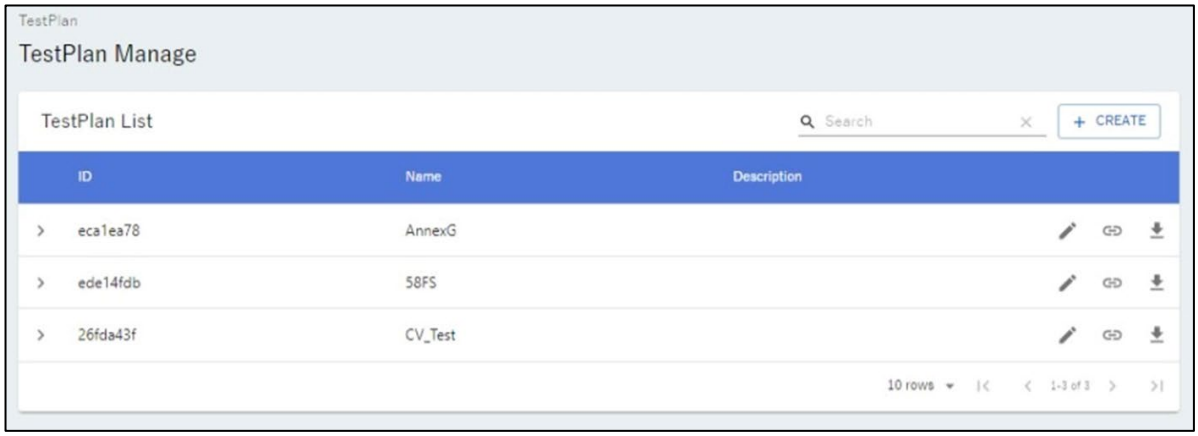


図 2.2.2.6-1　評価シナリオファイル作成・ダウンロードの初期画面

評価シナリオファイルを作成する単位をここではテストプラン「TestPlan」と呼ぶ。ユーザーが「+CREATE」ボタンを押下することにより、シナリオ DB は図 2.2.2.6-2 に示す、テストプランを新規作成する画面を表示する。

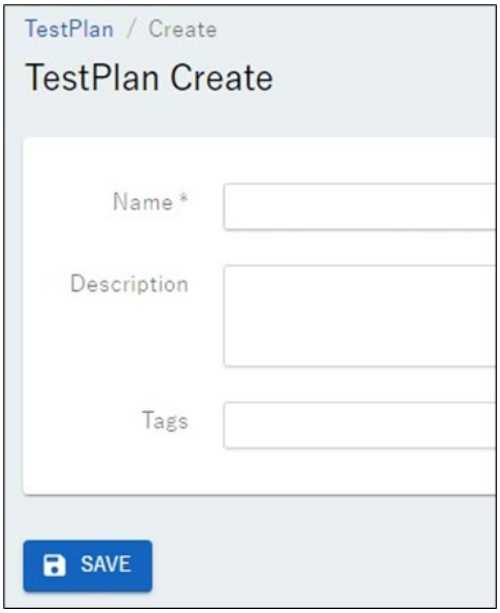


図 2.2.2.6-2　テストプランの新規作成

ユーザーが「Name」にテストプラン名を、「Description」に説明事項を入力し、「SAVE」ボタンを押下すると、シナリオ DB は図 2.2.2.6-3 のように追加されたテストプランを表示する。（図 2.2.2.6-3 は、テストプラン名として「No4_Foreseeable_Test」を、説明事項として「例 1」を入力した例を示す。）

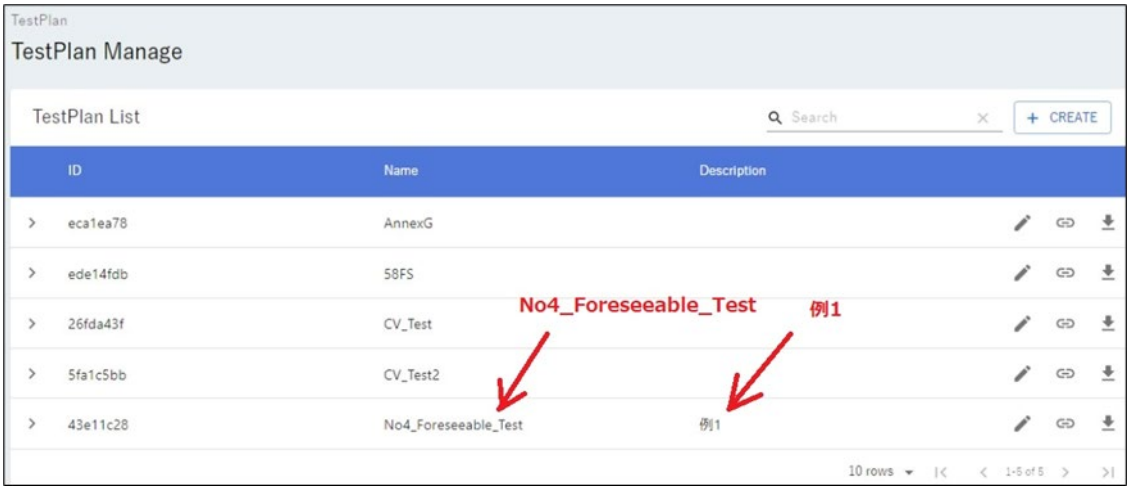


図 2.2.2.6-3　追加されたテストプラン

追加されたテストプランの行の右側に表示される 3 つのアイコンの内、左から 2 番目のアイコンをユーザーが押下すると、シナリオ DB は図 2.2.2.6-4 に示すような、テストプランの詳細を設定する画面を表示する。

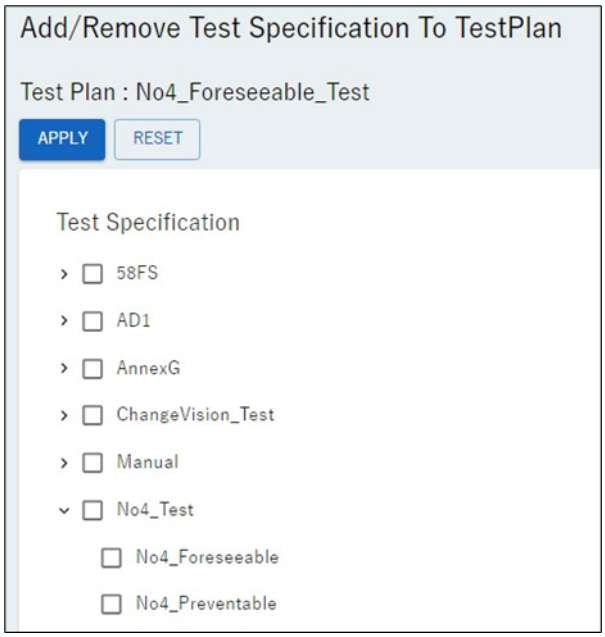


図 2.2.2.6-4　テストプランの詳細設定

テストプランの評価シナリオファイルは、「Test Specification」（複数の評価仕様を整理したフォルダ）から評価仕様を選択することで定義される。ユーザーが「APPLY」ボタンを押下すると、シナリオ DB はテストプランの定義する評価シナリオファイルを作成し保存する。例えば、ユーザーが評価仕様 No4_Foreseeable にチェックを入れ「APPLY」ボタンを押下すると、シナリオ DB は評価仕様 No4_Foreseeable に対応する 3 つの評価シナリオファイルを作成し保存する。評価シナリオファイルは OpenSCENARIO（Version1.2）[5]で記述されている。

図 2.2.2.6-3 の 3 つのアイコンの内、一番右側のアイコンをユーザーが押下すると、シナリオ DB はユーザーPC にテストプランの定義する評価シナリオファイルをダウンロードする。

評価シナリオファイル以外に道路を記述する OpenDRIVE[6]ファイル（Version1.7、1 つ)、およびシミュレーション結果を記録するファイル（1 つ）も同時にダウンロードされる。最後のファイルはシミュレーション結果をシナリオ DB 上で可視化するために必要となる。

2.2.2.5 目で説明した評価仕様 No4_Preventable に対しても同様に評価シナリオファイルをダウンロードできる。すなわち、ユーザーがテストプラン名を新たに設定し（No4_Preventable_Test)、評価仕様 No4_Preventable にチェックを入れ「APPLY」ボタンを押下すると、シナリオ DB は評価仕様 No4_ Preventable に対応する 20 の評価シナリオファイルを作成・保存しダウンロードする。

2.2.2.7　機能 F「導出根拠の提示」

2.2.2.3 目で示したように、シナリオ DB は蓄積した交通流分布 DB をもとに合理的予見可能範囲を導出している。その導出根拠として「交通流分布 DB を構成する各事例にリンクする情報」を提示する機能をシナリオ DB は備えている。図 2.2.2.7-1 と図 2.2.2.7-2 に各事例にリンクする情報の一部を示す。情報のリンクを表す図は ER Diagram（Entity Relationship Diagram）と呼ばれ、データベース設計における代表的な設計図である。

図 2.2.2.7-1 で示される「パラメータリスト」は、「運行 ID」「パラメータリスト ID」「output_version」等で構成され、「パラメータリストファイル」「ツール：パラメータ化処理」「時系列データ」とリンクされている。また、図 2.2.2.7-1 と図 2.2.2.7-2 で示される「時系列データ」は、「シーン抽出結果」「ツール：時系列データ切り取り処理」とリンクされている。このように、情報間にリンクが張られており、ユーザーはリンクをたどって導出根拠となる必要な情報を調べることができる。

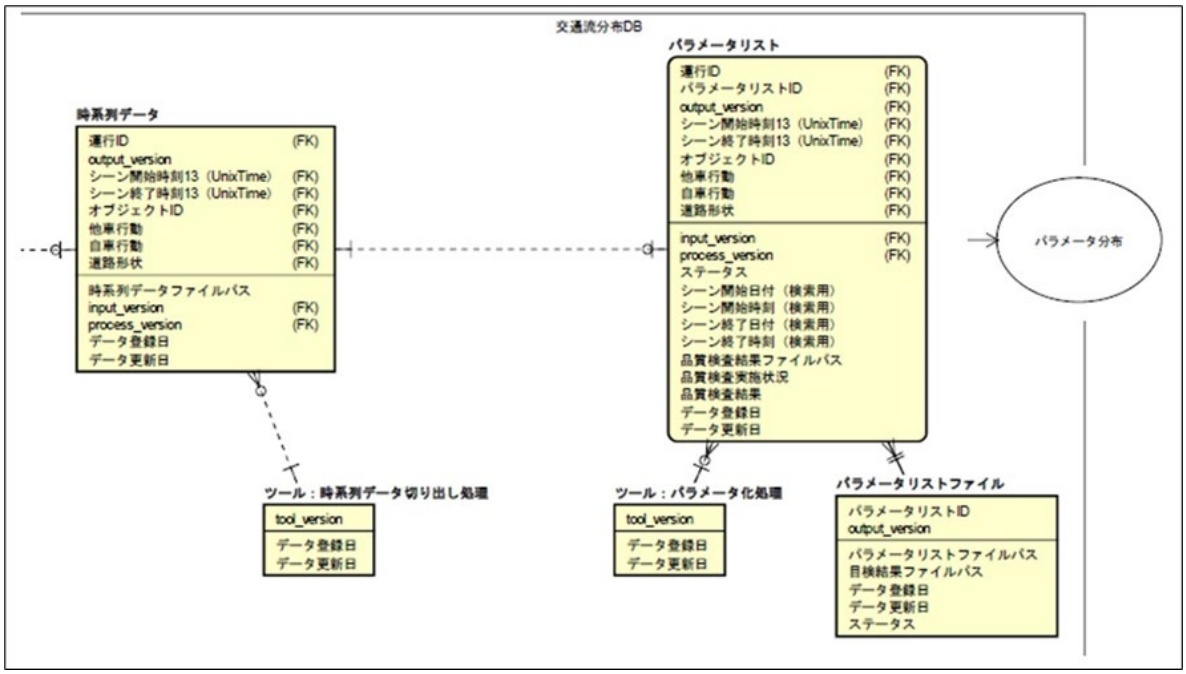


図 2.2.2.7-1　事例にリンクする情報の一部（その 1）

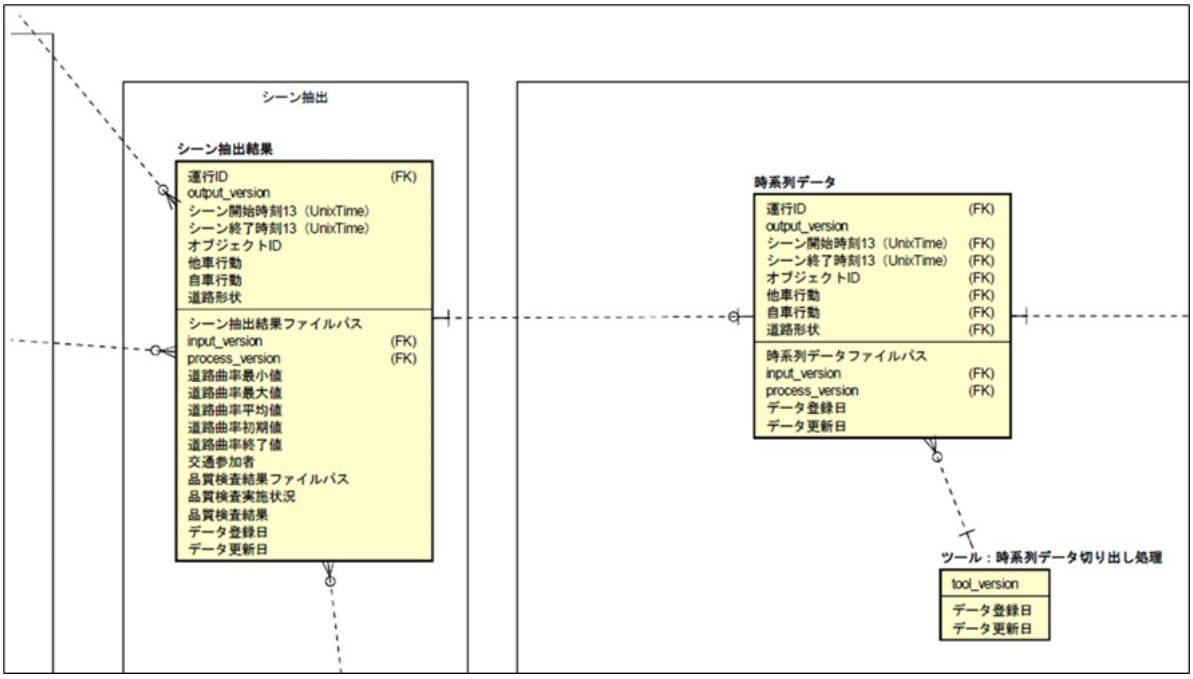


図 2.2.2.7-2　事例にリンクする情報の一部（その 2）

シナリオ No.4 の事例を例にとり、シナリオ DB が事例にリンクする情報を提示する機能を説明する。

機能を切り替えるインタフェース（図 2.2.2.1-2）の、上から 2 番目のアイコンをユーザーが押下し、「Select Scenario」「No4 Non-intersection-GoingStraight-Swerving」を順に押下すると、シナリオ DB は図 2.2.2.7-3 に示す画面を表示する。

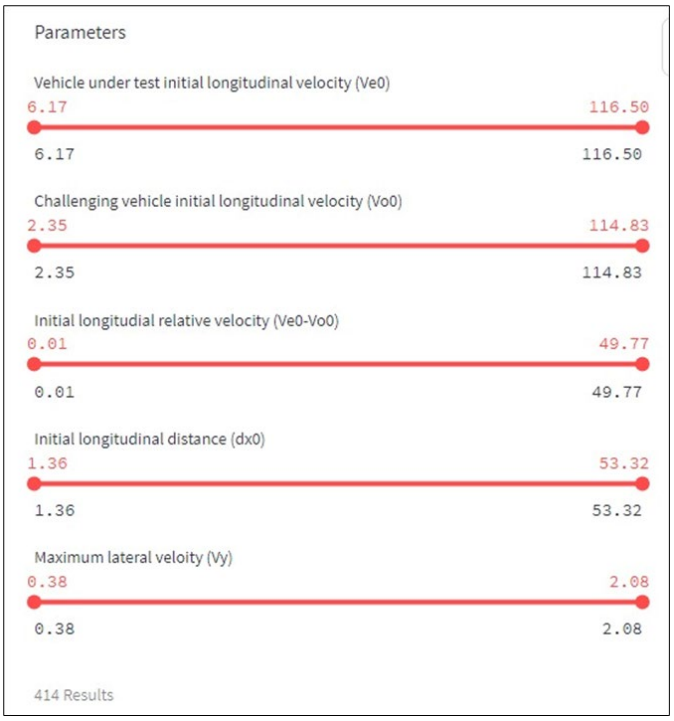


図 2.2.2.7-3　対象シナリオをシナリオ No.4 とした時の画面（上側）

シナリオ DB は同じ画面の下方に 2 変数の相関図を表示する（図 2.2.2.7-4）。

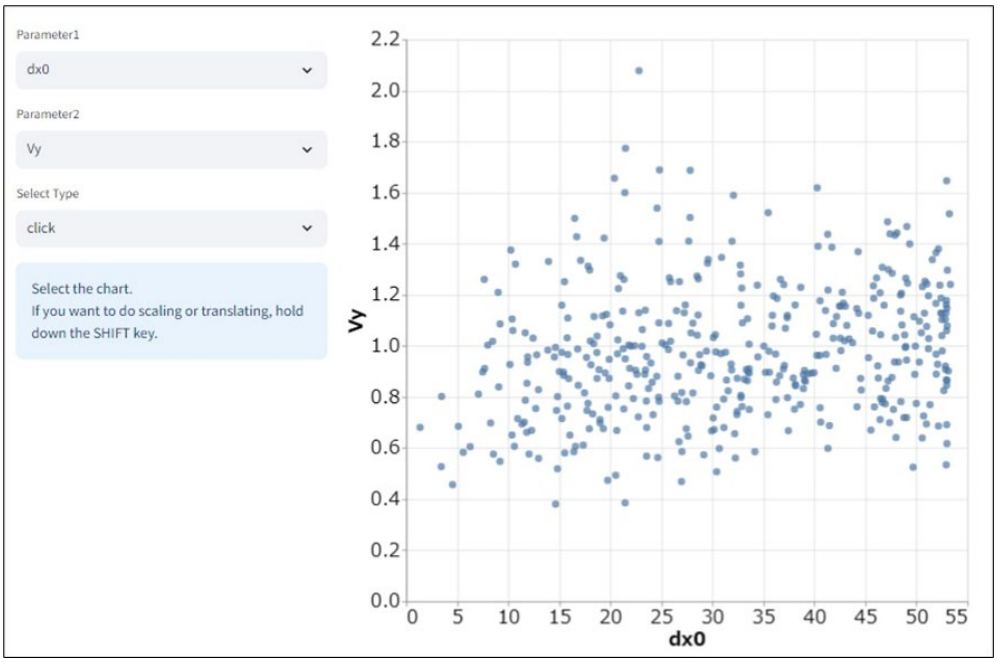


図 2.2.2.7-4　2 変数間の相関図

図 2.2.2.7-4 の例では、右側はパラメータ dx0 と Vy の相関図となっている。この相関図の青色の点それぞれは事例を表している。まず、事例を選択する方法を説明する。

図 2.2.2.7-4 の左側に「Select Type」が表示されている。それには「click」と「range」の 2 つの選択肢がある。ユーザーが「range」を選択し、右側の相関図の全範囲をドラッ

グした状態を図 2.2.2.7-5 に示す。

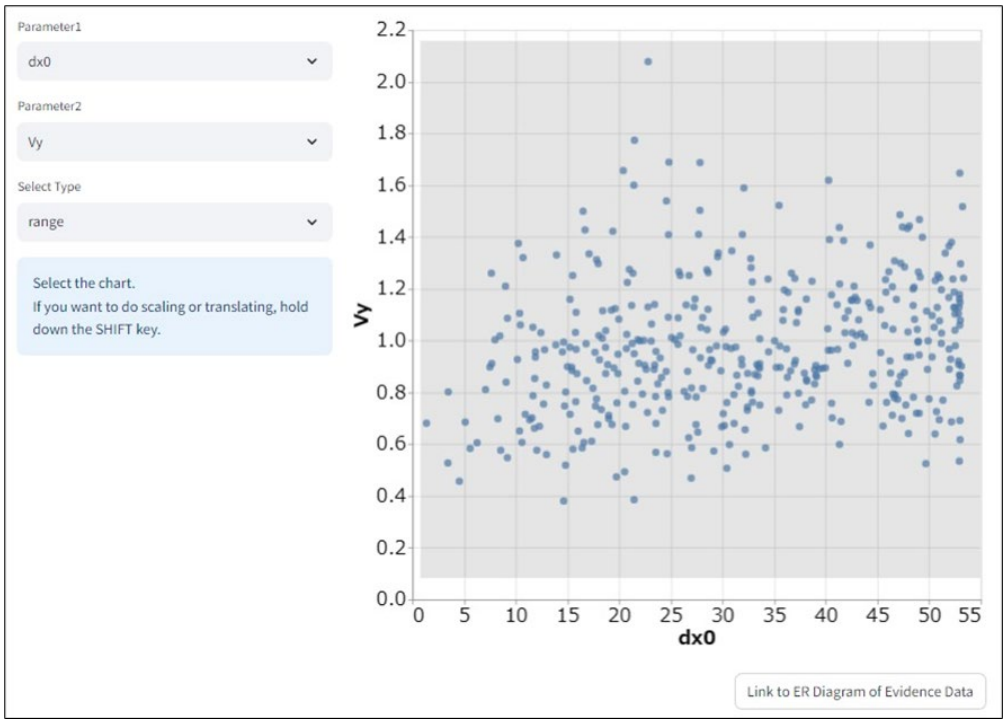
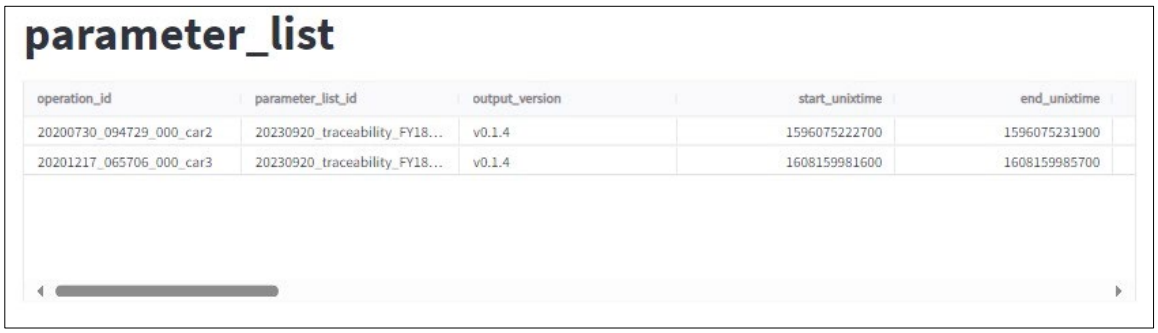


図 2.2.2.7-5　事例の選択

シナリオ DB は、図 2.2.2.7-6 に示すように、ドラッグされた領域に含まれる事例のパラメータリスト「parameter_list」を表示する。表示されている行それぞれが事例に対応する。公開版シナリオ DB では全事例のエビデンスデータの実装は完了していない。シナリオ No.4 に関しては 2 つ事例のみ完了しており、パラメータリストの 2 行はそれを表している。事例の選択に関する説明は以上である。


parameter_list

operation_id	parameter_list_id	output_version	start_unixtime	end_unixtime
20200730_094729_000_car2	20230920_traceability_FY18...	v0.1.4	1596075222700	1596075231900
20201217_065706_000_car3	20230920_traceability_FY18...	v0.1.4	1608159981600	1608159985700

図 2.2.2.7-6　事例の選択結果

次に事例にリンクされた情報の提示に関する機能を説明する。ユーザーが注目する事例の行を押下・選択すると、シナリオ DB は図 2.2.2.7-7 のように、選択された事例にリンクされた情報を提示する。（図 2.2.2.7-6 の上から 1 つ目の事例を押下した例を図示した。）

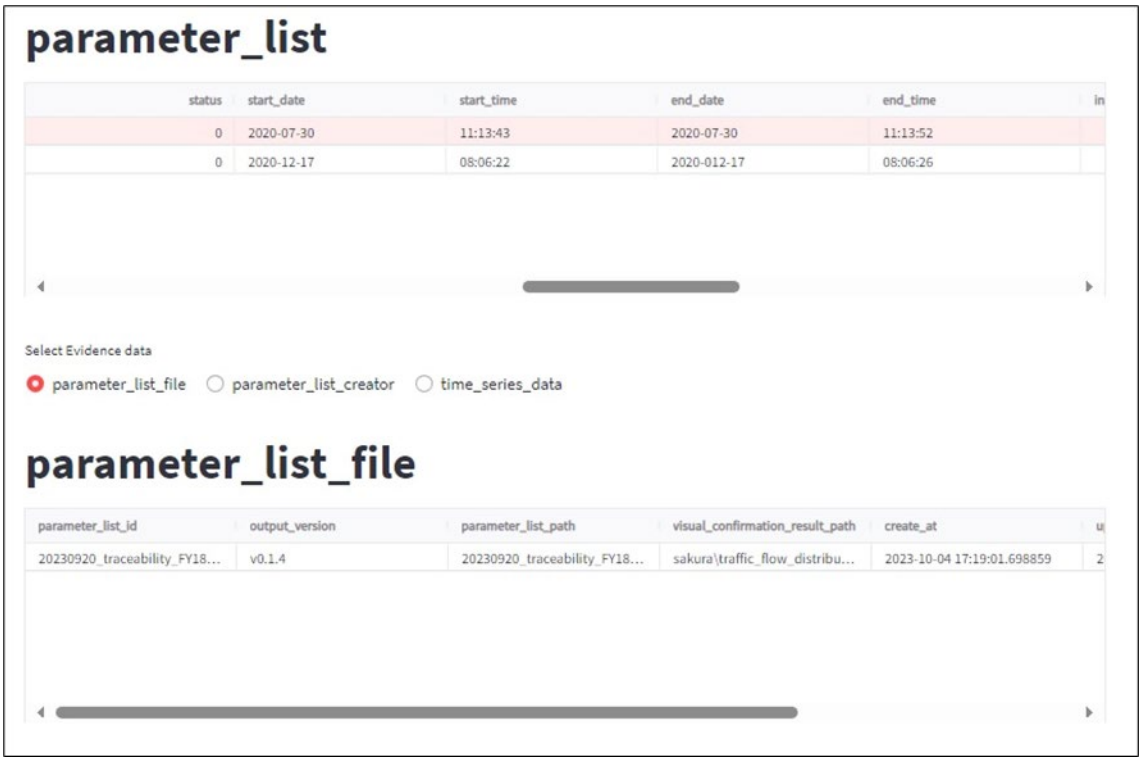


図 2.2.2.7-7　事例にリンクされた情報（パラメータリストファイル）

パラメータリスト「parameter_list」の下に選択されたエビデンスデータ「Selected Evidence data」の候補として「parameter_list_file」「parameter_list_creatror」「time_series_data」が表示される。これらは図 2.2.2.7-1 の「パラメータリストファイル」「ツール：パラメータ化処理」「時系列データ」に相当する。

選択されたエビデンスデータは赤色の丸で表され、その詳細情報が下段に提示される。図 2.2.2.7-7 の例では「parameter_list_file」が選択され、その詳細情報が下段に提示されている。

ユーザーが「parameter_list_creatror」もしくは「time_series_data」を押下・選択すると、シナリオ DB は選択された情報を提示する。ユーザーが「time_series_data」を押下した例を図 2.2.2.7-8 に示す。

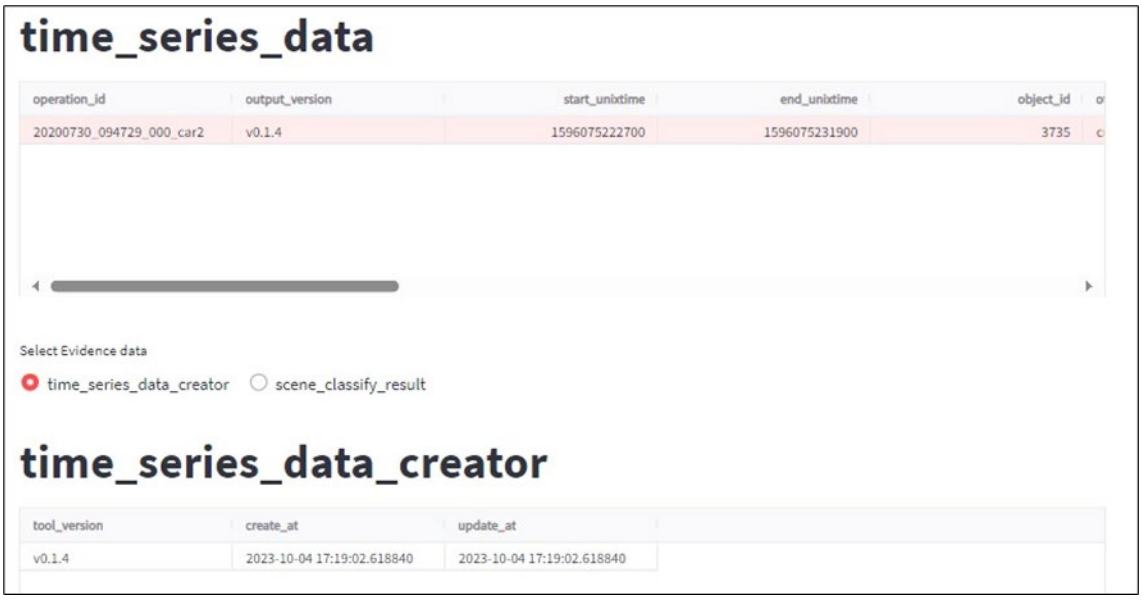


図 2.2.2.7-8　事例にリンクされた情報（時系列データ）

このようにユーザーが処理を適切に実行することにより、シナリオ DB は事例にリンクされたすべての情報を提示することができる。

2.2.2.8　機能 G「テスト結果の可視化」

2.2.2.6 目で説明したように、シナリオ DB が評価シナリオファイル（OpenSCENARIO[5] ファイル）をダウンロードした時に「シミュレーション結果を記録するファイル」（以下、「記録ファイル」という）もダウンロードする。ユーザーがこのファイルにシミュレーション結果を記録し、シナリオ DB にアップロードすると、シナリオ DB はこの結果の可視化を行う。以下、2 つの方式を説明する。

1 つ目は、シミュレーション結果を衝突・衝突回避の 2 つに分類し、その割合を円グラフに表示する方式である。テストプランのダウンロード時に作成される「記録ファイル」には、シミュレーション毎（評価シナリオ毎）に衝突・衝突回避の結果を保存する変数「value」が用意されている。衝突の場合は「FAIL」を、衝突回避の場合は「PASS」をユーザーは記録する。例えば、テストプラン No4_Foreseeable_Test のダウンロード時に作成される「記録ファイル」では図 2.2.2.8-1 のように 3 か所記入する（3 つの内、1 つ目は衝突「FAIL」、残り 2 つは衝突回避「PASS」とした）。

```
{
    "Version": "2023-10-24",
    "Results": [
        {
            "Sid": "43e11c28_TRAFFIC-DISTURBANCE-No4-00000001_1",
            "Observer": [
                {
                    "Name": "Collision",
                    "Value": "FAIL"
                }
            ]
        },
        {
            "Sid": "43e11c28_TRAFFIC-DISTURBANCE-No4-00000002_1",
            "Observer": [
                {
                    "Name": "Collision",
                    "Value": "PASS"
                }
            ]
        },
        {
            "Sid": "43e11c28_TRAFFIC-DISTURBANCE-No4-00000003_1",
            "Observer": [
                {
                    "Name": "Collision",
                    "Value": "PASS"
                }
            ]
        }
    ]
}
```


図 2.2.2.8-1　シミュレーション結果の記録例
（テストプラン No4_Foreseeable_Test の例）

このファイルをシナリオ DB が呼び込み、結果を可視化するプロセスを説明する。

機能を切り替えるインタフェース（図 2.2.2.1-2）の、上から 6 番目のアイコンをユーザーが押下することにより、シナリオ DB は図 2.2.2.8-2 に示す画面を表示する。

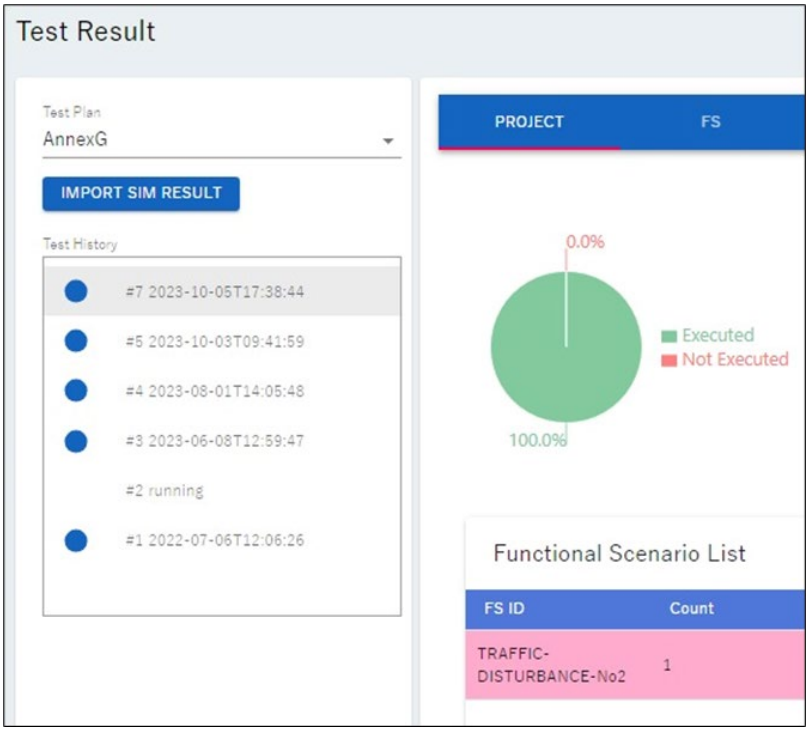


図 2.2.2.8-2　シミュレーション結果の可視化の初期画面

ユーザーがテストプラン「TestPlan」の欄に No4_Foreseeable_Test を入力し、「IMPORT SIM RESULT」のボタンを押下すると、シナリオ DB は図 2.2.2.8-3 に示すシミュレーション結果を表示する。

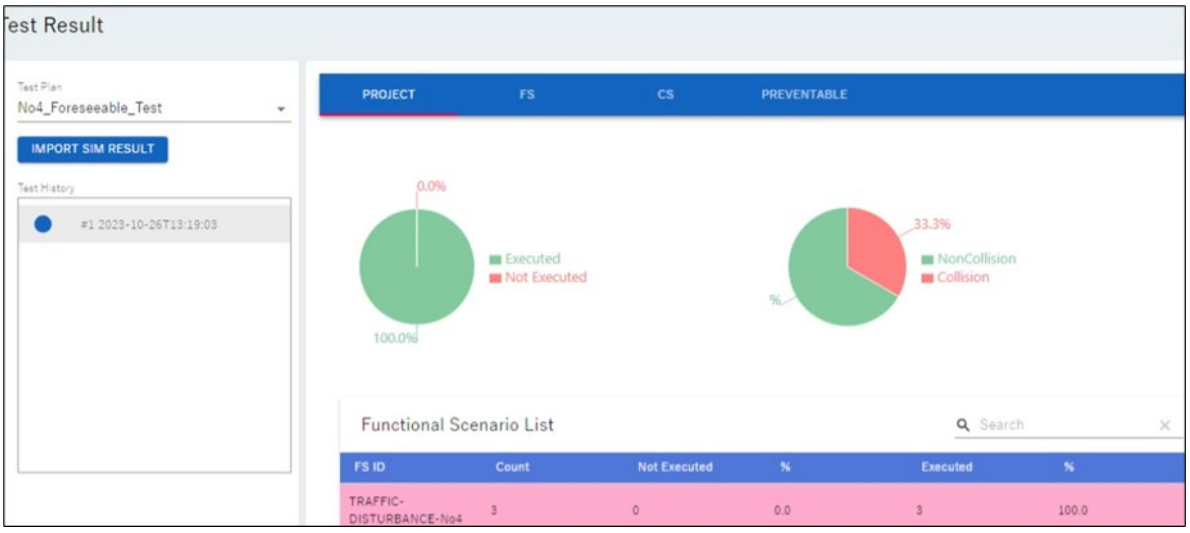


図 2.2.2.8-3　シミュレーション結果の可視化例（1 つ目の方式）

シミュレーションの衝突・衝突回避の割合（1 件衝突、2 件衝突回避）が右側の円グラフに表示される。衝突は赤色のエリア、衝突回避は緑色のエリアで表示される。

次に 2 つ目の方式を説明する。シミュレーション結果を衝突・衝突回避の 2 つに分類す

ることは 1 つ目と同じであるが、その結果を「回避可能・不可能な領域を表す図」に重畳表示する点が異なる。この方式はシナリオ No.2・No.4・No.5 において評価仕様が回避可能・不可能の境界線に基づいて作成された場合のみ利用できる。

テストプラン No4_Preventable_Test のダウンロード時に作成される「記録ファイル」の記入例を図 2.2.2.8-4 に示す。回避不可能領域のシミュレーション（評価シナリオ）に対応する 10 カ所には「FAIL」、回避可能領域のシミュレーション（評価シナリオ）に対応する 10 カ所には「PASS」を記入した。


```
{
    "Version": "2023-10-25",
    "Results": [
        {
            "Sid": "7a1532f9_TRAFFIC-DISTURBANCE-No4-00000001_1",
            "Observer": [
                {
                    "Name": "Collision",
                    "Value": "FAIL"
                }
            ]
        },
        {
            "Sid": "7a1532f9_TRAFFIC-DISTURBANCE-No4-00000002_1",
            "Observer": [
                {
                    "Name": "Collision",
                    "Value": "PASS"
                }
            ]
        },
```


（以下、18 の評価シナリオに対する記入例は省略した。）

図 2.2.2.8-4　シミュレーション結果の記録例
（テストプラン No4_Preventable_Test の例）

機能を切り替えるインタフェース（図 2.2.2.1-2）の、上から 6 番目のアイコンをユーザーが押下することにより表示される「シミュレーション結果の可視化の初期画面」（図 2.2.2.8-2 を参照）において、テストプラン「TestPlan」の欄に No4_Preventable_Test を入力し、「IMPORT SIM RESULT」ボタンを押下すると、シナリオ DB は図 2.2.2.8-5 に示す画面を表示する。

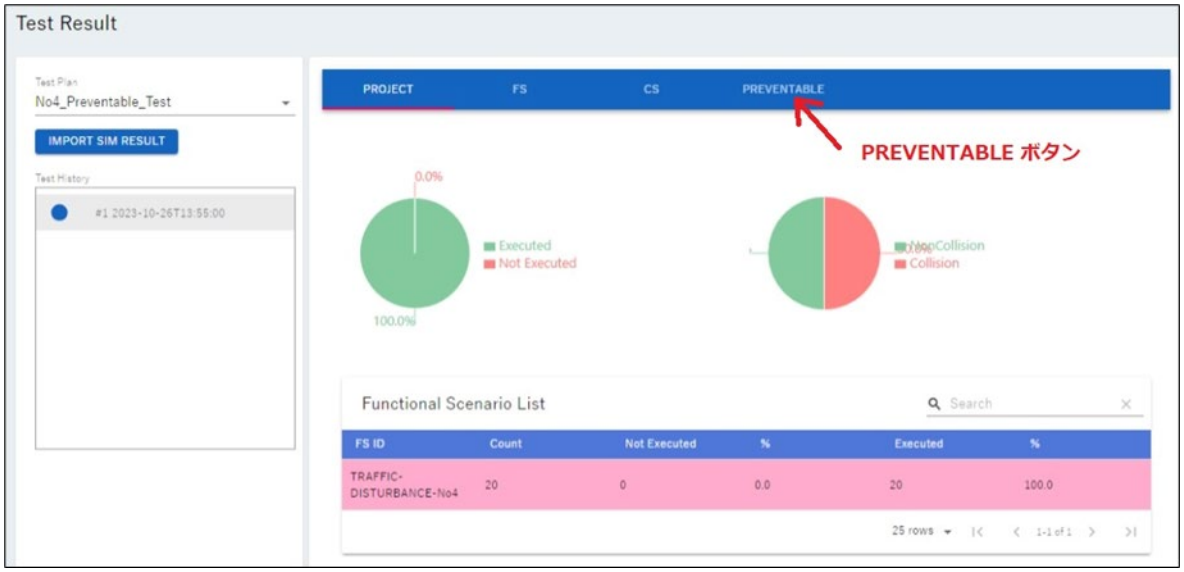


図 2.2.2.8-5　シミュレーション結果の可視化作業（2 つ目の方式）

「PREVENTABLE」ボタン、「TRAFFIC-DISTURBANCE-No4」ボタン（ピンク色で表示されたエリアの一番左側）をユーザーが順に押下すると、シナリオ DB は図 2.2.2.8-6 に示す画面を表示する。



図 2.2.2.8-6　シミュレーション結果の可視化例（2 つ目の方式）

4 つの図の右上の拡大図を図 2.2.2.8-7 に示す。

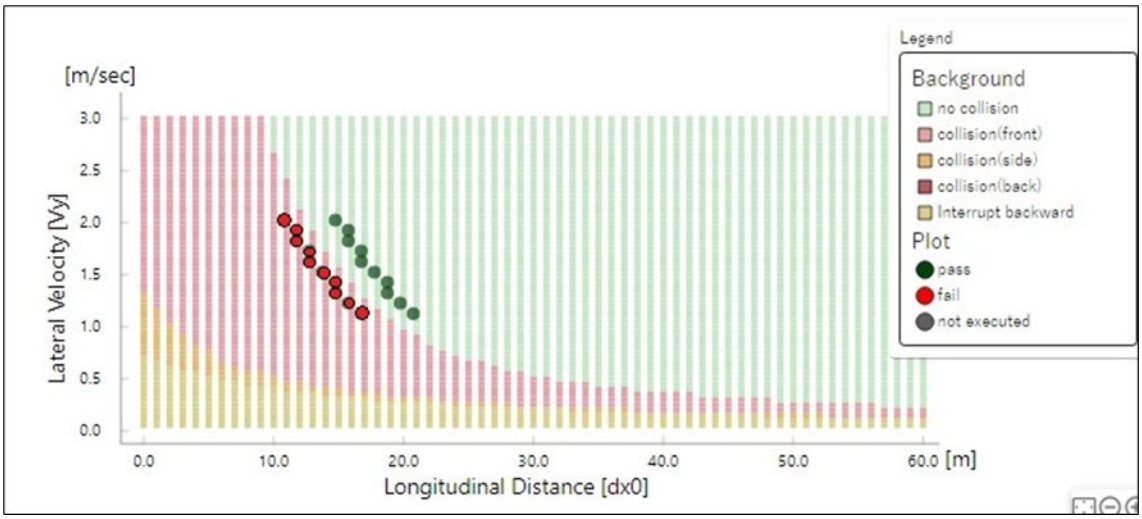


図 2.2.2.8-7　シミュレーション結果の可視化例（2 つ目の方式、拡大図）

赤色の丸は衝突（FAIL）した事例を、緑色の丸は衝突回避（PASS）した事例を表す。合計 20 の事例が回避可能領域（緑色の領域）・回避不可能領域（緑色以外の領域）の図に重畳表示される。

2.2.3　公開に向けたクラウド環境の構築

交通流分布 DB を含んだシナリオ DB 全体をシナリオ DB システムと呼ぶことにする。本項では、前年度までの取り組みをベースに 2.2.1 項および 2.2.2 項で検討した仕様に沿って改修されたシナリオ DB システムを外部公開するため、クラウド環境へ構築した際のインフラ構成について説明する。インフラ構成とは実際のネットワーク構成やアプリケーションを構成するコンテナ構成のことを指す。

シナリオ DB システムは、ブラウザ経由でアクセスする Web アプリケーションであり、シナリオ DB システムを構成するシナリオ DB と交通流 DB はそれぞれ独立した機能を持つ別アプリケーションであることを前提条件とした。

以下、シナリオ DB を Web 上に公開するための環境として、クラウド提供サービスである Amazon Web Service（AWS）上に構築したインフラ構成について説明する。**エラー! 参照元が見つかりません。**1 にシステム全体のインフラ構成を示す。

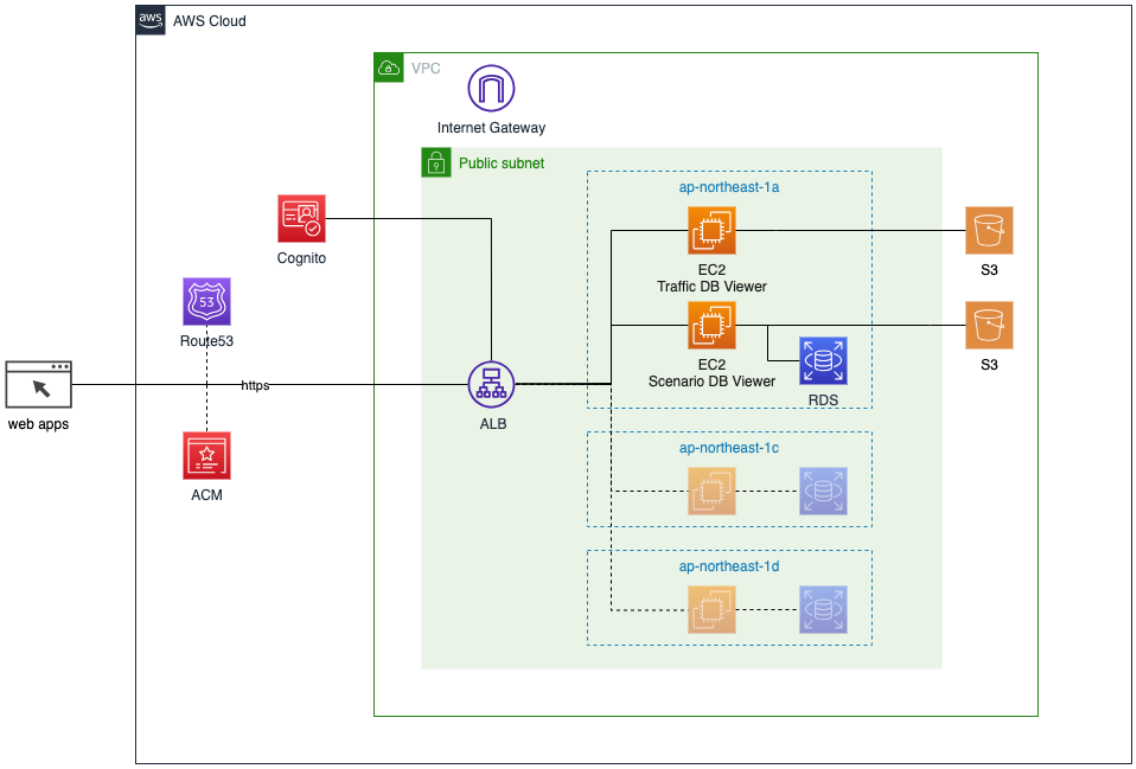


図 2.2.3-1　システム全体のインフラ構成（AWS）

各インフラの構成要素の詳細を**エラー! 参照元が見つかりません。**1 に示す。シナリオ DB システムがユーザーに利用される際の簡単な流れを以下に記載する。

図 2.2.3-1 の左端の「web apps」は、ブラウザで指定の URL を打ち込んだユーザーからアクセスされると「Cognito」を用いたユーザー認証を行う。正常に認証が行われた場合にのみ「web apps」からのリクエストに応じて「ALB」を介して、「EC2」上に配置した「Traffic DB Viewer」および「Scenario DB Viewer」から各種機能が提供される。

表 2.2.3-1　インフラの構成要素

要素名	説明
Route53	DNS※機能を提供するサービス。本システムでは ALB を Web 上に公開するためのドメイン名の登録に使用している。
VPC	AWS 上に独立した仮想ネットワークを提供するサービス。各種サーバーやデータベース間のネットワークを構築している。
ACM	ブラウザからアプリケーションへのアクセス経路をセキュアな通信である https 化するためのサービス。Route53 と関連付けて用いることで https 化を実現する。
Cognito	ユーザー認証のための基盤を提供するサービス。ユーザー認証が行われていないリクエストが届いた場合、Cognito が呼び出されユーザー認証のための UI（ダイアログ）を表示する。
ALB	リクエストパスに応じたルーティング機能や負荷分散の機能を提供するサービス。Cognito をはじめとするユーザー認証との連携機能も有する。
Internet Gateway	VPC 内部と外部のインターネットを接続するためのゲートウェイ機能を提供するサービス。
EC2 (Traffic DB Viewer)	交通流分布 DB の機能を提供するサーバー。
EC2 (Scenario DB Viewer)	シナリオ DB の機能を提供するサーバー。
RDS	RDB 型のデータベースを管理するためのサービス。Scenario DB のバックエンドのデータ管理を担う。
S3	交通流分布 DB、シナリオ DB の各アプリケーションのリソースを格納するためのストレージサービス。画面上で表示する画像などもリソースに該当する。

※DNS：ウェブサイトなどの場所を示すドメインと、実際に割り振られている識別番号である IP アドレス（123.456.78.9 のような 4 つの数字の組み合わせ）を紐付けるシステム

2.2.4　公開における意見集約とまとめ

JAMA の協力をいただき、AD 安全性評価分科会の委員各社に公開版シナリオ DB を説明した。説明会にはシステム開発の現場担当者にも参加していただいた。

シナリオ DB の開発の背景や、公開版シナリオ DB を用いた安全性評価プロセスを説明した後、シナリオ DB の狙いや機能に関する要望・意見を集約した。

集約件数は合計 77 件となった。互いに類似している要望・意見をグループにまとめ、それ以外を「その他の要望（対応済み含む）」とした結果を図 2.2.4-1 に示す。各グループの件数は円グラフの外側に記した。

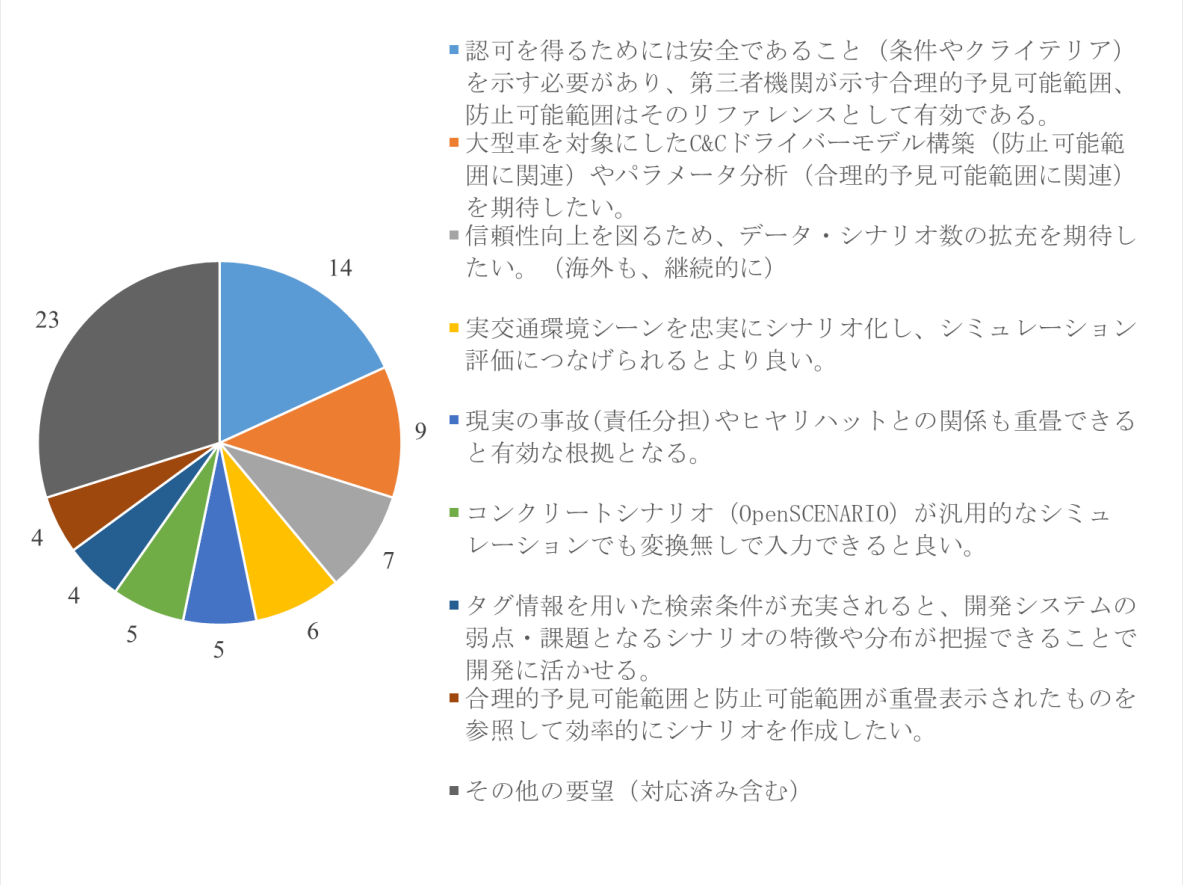


図 2.2.4-1　要望・意見集約結果

これら要望・意見を現状の進め方に関するもの、今後の期待に関するものに分類し、以下の結果を得た。

●現状の進め方に関するもの

①認可を得るためには安全であること（条件やクライテリア）を示す必要があり、第三者機関が示す合理的予見可能範囲、回避可能範囲はそのリファレンスとして有効である。

②これらの信頼性向上を図るため、データ・シナリオ数の拡充を期待したい（海外も、継続的に）。

③大型車を対象にしたC&Cドライバーモデル構築（回避可能範囲に関連）やパラメータ分析（合理的予見可能範囲に関連）を期待したい。
④タグ情報を用いた検索条件が充実されると、開発システムの弱点・課題となるシナリオの特徴や分布が把握できることで開発に活かせる。

●今後の期待に関するもの
⑤合理的予見可能範囲と回避可能範囲が重畳表示されたものを参照して効率的にシナリオを作成したい。
⑥現実の事故(責任分担)やヒヤリハットとの関係も重畳できると有効な根拠となる。
⑦実交通環境シーンを忠実にシナリオ化し、シミュレーション評価につなげられるとより良い。
⑧コンクリートシナリオ（OpenSCENARIO[5]）が汎用的なシミュレーションでも変換無しで入力できると良い。

いただいた多くの要望・意見は、本事業の目指す開発の方向性と合致していた。また、将来に向け更なる期待も寄せられた。

参考文献

[1] 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）2.1.1.2目
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2022FY/000450.pdf （2024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 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 （2024年3月現在）
[3] Defining Reasonably Foreseeable Parameter Ranges Using Real-World Traffic Data for Scenario-Based Safety Assessment of Automated Vehicles IEEE Access Volume10 2022
https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9743474（2024年3月現在）
[4] UN Regulation No. 157 - Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to Automated Lane Keeping Systems
https://unece.org/sites/default/files/2023-12/R157e.pdf （2024年3月現在）
[5] OpenSCENARIO
https://www.asam.net/standards/detail/openscenario/ （2024年3月現在）

2.3　道路形状や法規を加味したシナリオ絞り込み手法の研究

自動運転の安全性評価に資する一般道の対車両シナリオ体系に関しては、高速道路の対車両シナリオ体系をベースとし、58 シナリオ（ファンクショナルシナリオ）[1]で表現されている。また、自動運転車の安全性に関する基本的な考え方として、国土交通省の「自動運転の安全技術ガイドライン」[2] 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」と示されている。サービスカーなどでは運行設計領域（以下、「ODD」という）として運行経路があらかじめ決まっているため、その運行経路で出会う可能性のあるシナリオに対して安全性評価を実施し、その安全性を証明していくことが重要となる。そのためには、58 シナリオという網羅的なシナリオから ODD 内で出会う可能性のあるシナリオを絞り込み、安全性評価を実施していくことで過大な評価をすることなく効率的な安全性証明が可能となる。

上記の ODD 内で発生し得るシナリオを絞り込むためには、道路構造による物理的な制限や関連法規などによる制限を加味し、シナリオの絞り込み方法を検討する必要がある。

令和 3 年度においては、車両の動きに何らかの制限を課す可能性のある法規をモデル化した。令和 4 年度においては、車両の動きに何らかの制限を課す可能性のある基本的な道路構造に対してのモデル化を実施した。本年度はその法規および道路構造の制約モデルとシナリオ体系を紐づけることにより、シナリオの絞り込み手法に関して検討を実施した。また、シナリオ絞り込みに際して、自動運転車両から見た交通参加者の位置の情報も重要となるため、令和 4 年度の取り組みに追加で車線数などのより詳細な道路条件もシナリオを絞り込むための条件として考慮に入れた。（交通参加者が走行する位置によって、交通参加者の行動に制限がかかる場合とかからない場合が存在するため）

図 2.3-1 にシナリオ絞り込みまでの本取り組みの全体像を示す。

本手法を用いることにより、2.1 節や 2.2 節で述べられているシナリオ DB から自身が開発、評価したい自動運転車に対して必要な評価シナリオのみを効率的に抽出してくることが可能となる。

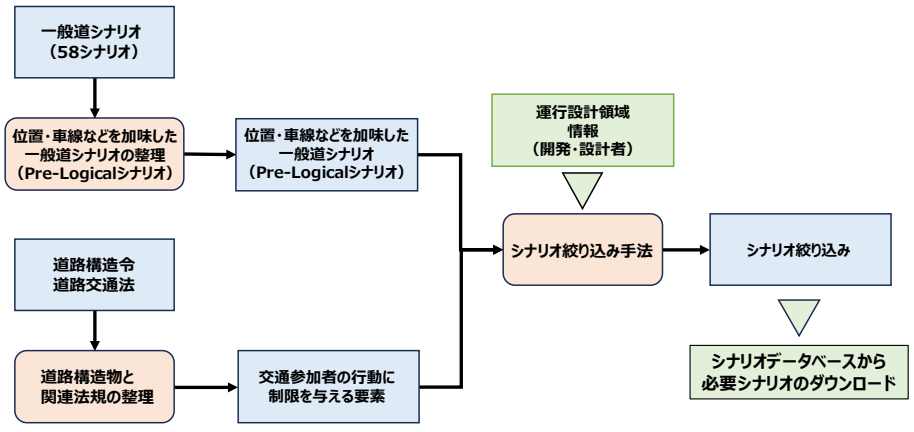


図 2.3-1　道路形状や法規を加味したシナリオ絞り込み手法の研究の全体像

2.3.1　他車位置を加味した一般道シナリオの考え方の整理

絞り込みの対象とした一般道シナリオを整理した結果を述べる。今回取り扱うシナリオはJAMAから発行されている「自動運転の安全性評価フレームワーク Ver3.0」[1]にて定義されている一般道シナリオ（58のファンクショナルシナリオ）に対し他車位置を付与したシナリオ（以下、「Pre-Logicalシナリオ」という）である（図 2.3.1-1）。

本取り組みでは、このPre-Logicalシナリオを対象とし、絞り込み手法の検討を行う。

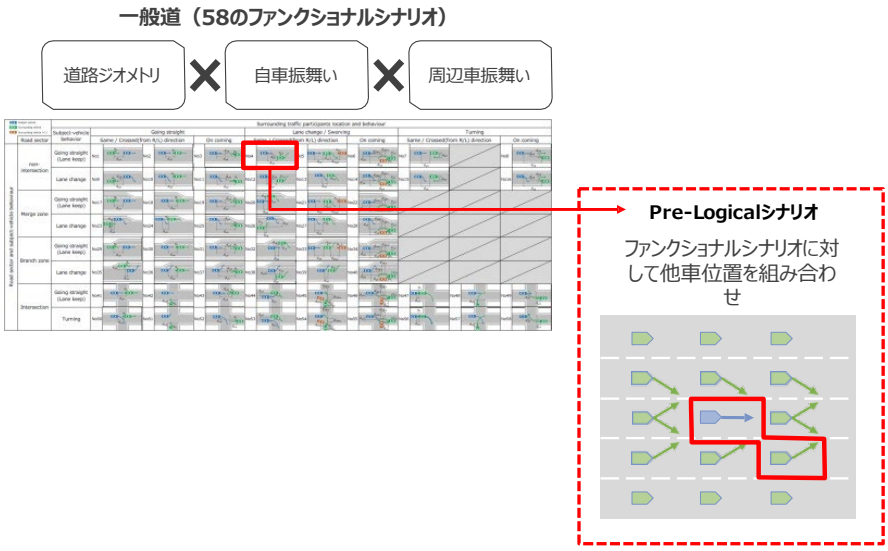


図 2.3.1-1　Pre-Logical シナリオの考え方

Pre-Logicalシナリオは、下記の4つの要素を組み合わせて形成される。「自動運転の安全性評価フレームワーク　Ver3.0」[1]では、下記1～3の要素でファンクショナルシナリオを定義しているが、本取り組みではPre-Logicalシナリオを扱うため、下記4の「車両位置」を追加し図 2.3.1-2および図2.3.1-3のように整理した。

1．道路ジオメトリ（Road geometry）
2．自車振る舞い（Ego vehicle behavior）
3．周辺車両振る舞い（Surrounding vehicle behavior）
4．車両位置（Vehicles position）

Road geometry
Non-intersection
Merge
Branch
Intersection

×

Ego vehicle behavior
Go straight
Lane change R
Lane change L
Right turn
Left turn

×

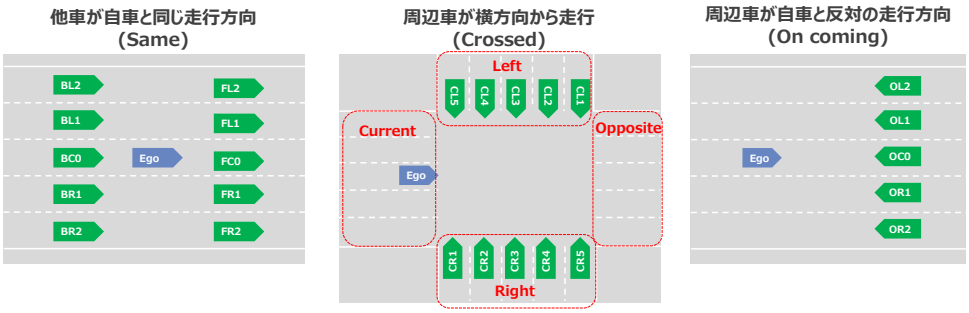
Surrounding vehicle behavior
Go straight
Lane change R
Lane change L
Swerve R
Swerve L
Right turn
Left turn
U turn

×

Vehicles position
Forward Center 0 (FC0)
Backward Center 0 (BC0)
Forward Right *n* (FR*n*)
Backward Right *n* (BR*n*)
Forward Left *n* (FL*n*)
Backward Left *n* (BL*n*)
On coming Center 0 (OC0)
On coming Right *n* (OR*n*)
On coming Left *n* (OL*n*)
Crossed Right *m* (CR*m*)
Crossed Left *m* (CL*m*)

*n*と*m*は下記の範囲の整数
■ $1 \leqq n \leqq 2$
■ $1 \leqq m$

図 2.3.1-2　Pre-Logical シナリオの構成要素整理



FC0 : Forward Center 0
BC0 : Backward Center 0
FR1 : Forward Right 1
FR2 : Forward Right 2
BR1 : Backward Right 1
BR2 : Backward Right 2
FL1 : Forward Left 1
FL2 : Forward Left 2
BL1 : Backward Left 1
BL2 : Backward Left 2

CR1 : Crossed Right 1
CR2 : Crossed Right 2
CR3 : Crossed Right 3
CR4 : Crossed Right 4
CR5 : Crossed Right 5
CL1 : Crossed Left 1
CL2 : Crossed Left 2
CL3 : Crossed Left 3
CL4 : Crossed Left 4
CL5 : Crossed Left 5

OC0 : On coming Center 0
OR1 : On coming Right 1
OR2 : On coming Right 2
OL1 : On coming Left 1
OL2 : On coming Left 2

図 2.3.1-3　自車位置と他車位置の関係性整理

また、図 2.3.1-2 に示す構成要素を網羅的に組み合わせるだけでは、自車と他車が衝突の可能性のない組み合わせなど、考慮不要なシナリオも含まれる。これらの考慮不要なシナリオを除外するための以下条件（表 2.3.1-1）を設けた。

表 2.3.1-1　Pre-Logical シナリオの構成要素を組み合わせるうえでの前提条件

No.	前提条件
1	自車と周辺車の衝突の可能性のない組み合わせは除外する
2	右折と左折の振る舞いは、交差点以外では考慮しない
3	自車は分岐路の支線を走行中、本線側に車線変更しない
4	自車・他車ともに合流路の本線を走行中、支線側に車線変更しない

2.3.2　道路構造物と関連法規の整理

シナリオの絞り込みの根拠となりうる道路構造物と関連法規の整理結果に関して述べる。

自動運転車両の ODD（機能・運行ルートなど）が定まると、その ODD 内に存在する道路構造物や法規による制限によって、自動運転車両や周辺車両の振る舞いが制限される。制限される振る舞いを含むシナリオを評価対象から除外することで、評価すべきシナリオが絞り込まれる。たとえば物理的な制限として、中央分離帯がある道路では、中央分離帯の向こう側の車線に車線変更することは物理的に不可能である。この場合、中央分離帯に隣接する車線を走行している車両が中央分離帯側へ車線変更するシナリオは除外可能となる。また、法的な制限として、車線変更禁止を示す黄色の車線境界線がある道路では、車線変更することは許されていない。この場合も、黄色線側への車線変更のシナリオも除外される。このような、中央分離帯や黄色線のような物理的または法的に車両の振る舞いを制限しうる要素を洗い出し、制限をうける振る舞いを整理した。（整理結果の詳細に関しては Appendix A 道路構造物と関連法規の整理結果を参照）

2.3.3　シナリオ絞り込み手法

Pre-Logical シナリオ（以下、「PL シナリオ」という）の絞り込みに関しての全体像を図 2.3.3-1 に示す。また、設計者の意図を反映させるためのオプションとして、下記の 2 項目を PL シナリオ絞り込みの際の考慮すべき項目として導入している。

- 道路外との接続考慮の有無
- 交差点での隣接パネルへの影響の有無

道路外との接続考慮を有りの場合は接続部分を交差点として扱う。また、無しの場合は接続部分を非交差点として扱うといった内容である（図 2.3.3-2（a））。また、交差点での隣接パネルへの影響の有無に関しては、自車や他車が交差点で膨らんで右左折/U ターンをする可能性があるかといった点で追加している。膨らんで右左折/U ターンが起きる場合は、膨らんでしまったがために右左折先の対向車線の延長線上に入ってしまうなどの衝突パターンが増える可能性を考慮するためである（図 2.3.3-2（b））。

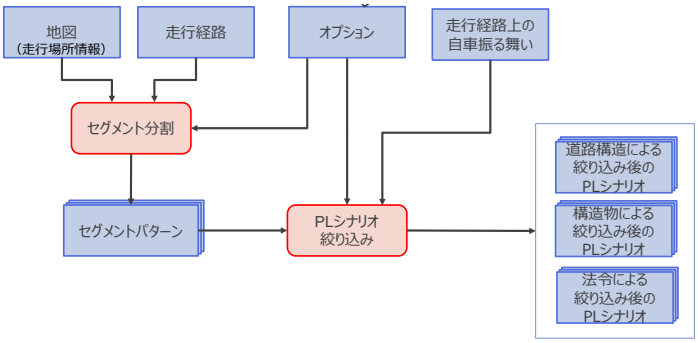
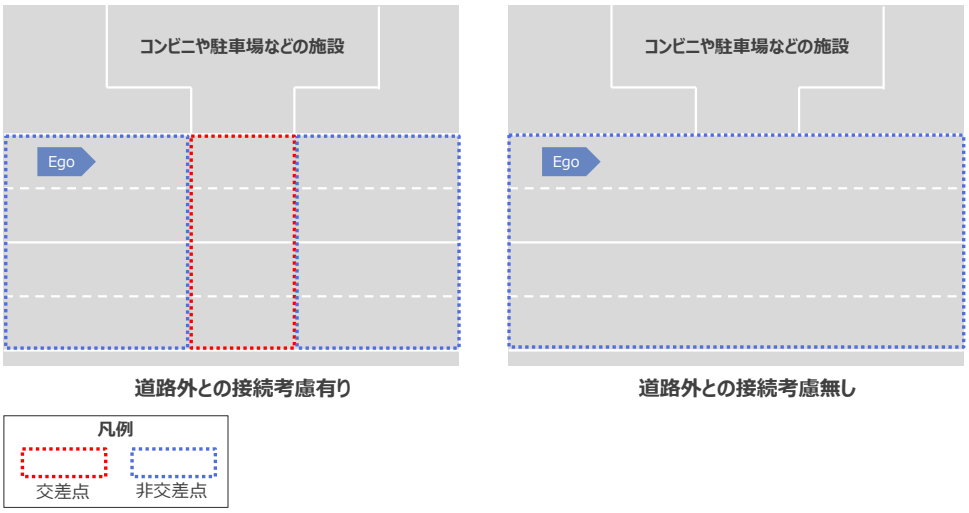
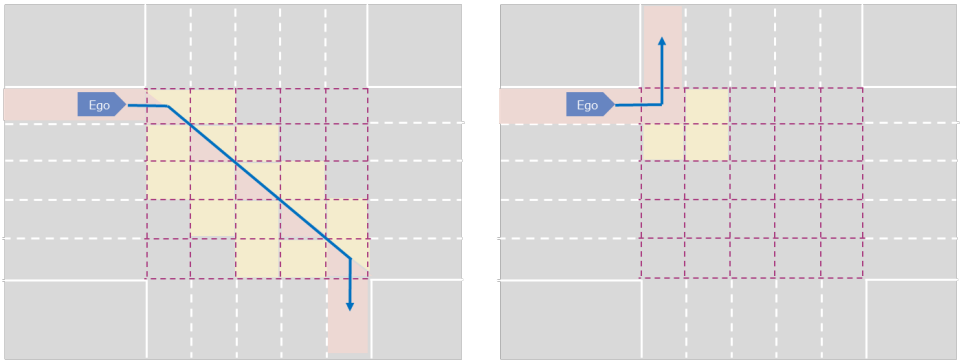


図 2.3.3-1　PL シナリオ絞り込み手法の全体像



（a）道路外との接続考慮の有無



（b）交差点での隣接パネルへの影響の有無

図 2.3.3-2　PL シナリオ絞り込みの際の考慮すべき項目のイメージ図

PL シナリオ絞り込みに関して、図 2.3.3-3 の例を用いて説明を行う。

図 2.3.3-3 では、「Start」で示す位置から「Goal」で示す位置までの間の薄赤で塗り潰している箇所を走行経路とした。

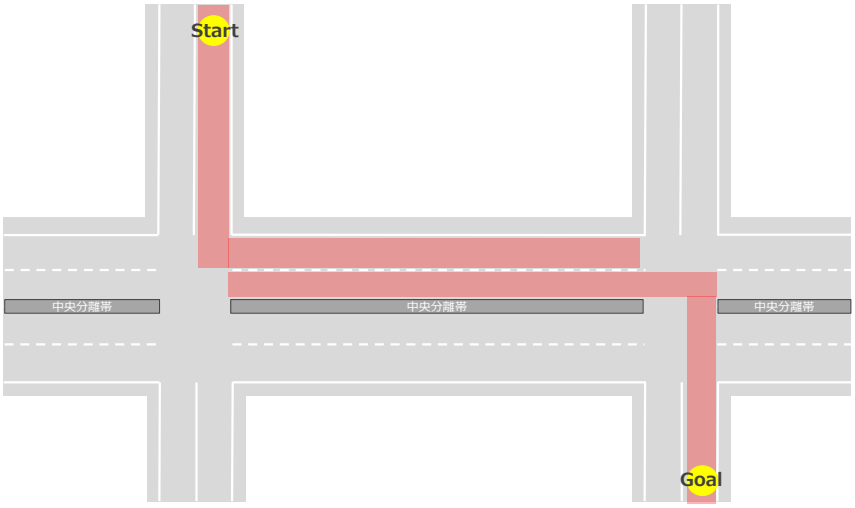


図 2.3.3-3　地図と走行経路の例

次に、与えられた走行経路に対して、道路形状の変化点で分割する。道路形状は、非交差点（Non-intersection）、合流路（Merge）、分岐路（Branch）、交差点（Intersection）のいずれかとする。

道路形状の変化点で分割した結果を図 2.3.3-4 に示す。

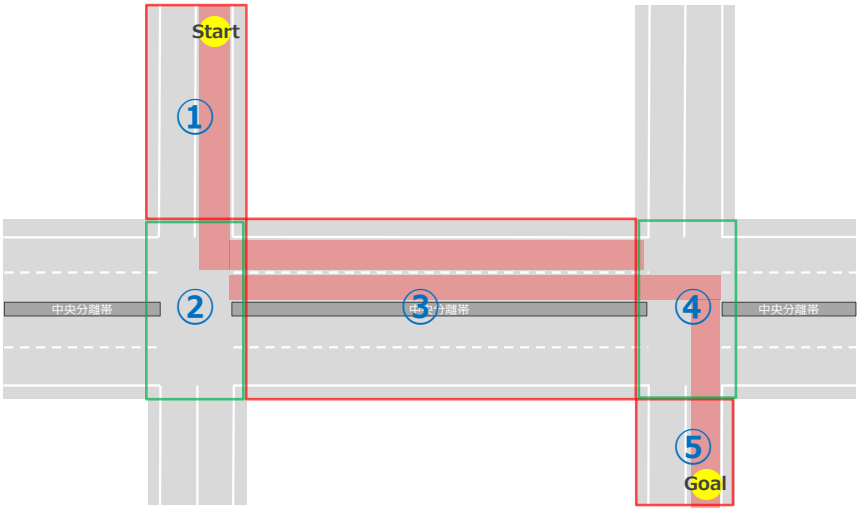


図 2.3.3-4　道路形状の判定結果の例

図 2.3.3-4 の①～⑤の各道路の道路形状を表 2.3.3-1 で示す。ここでは道路外との接続はなしとしている。

表 2.3.3-1　図 2.3.3-4 の道路形状

道路#	道路形状
①	非交差点
②	交差点
③	非交差点
④	交差点
⑤	非交差点

道路形状の変化点で分割された各道路に対して、2.3.2 項（および、Appendix A 道路構造物と関連法規の整理結果）であげたプロパティの変化点でさらに分割する（図 2.3.3-5）。プロパティの変化点で分割された単位を本手法では、セグメントと呼ぶ。

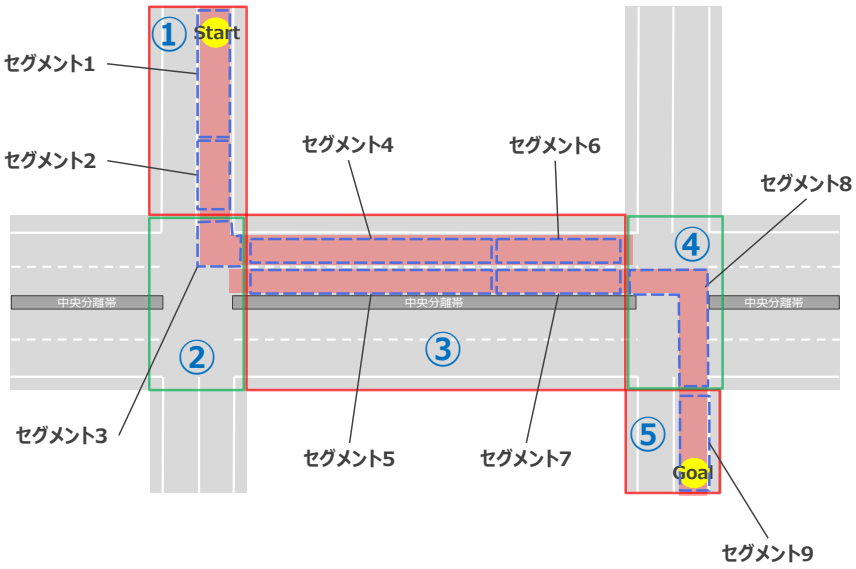


図 2.3.3-5　セグメント分割の結果

表 2.3.3-2 にて、各セグメントを構成しているプロパティを示す。「自車レーン」のプロパティは、自車が走行する車線の位置を番号で表している。最小値を 1 として、中央線に近い方が若い番号になるように連番を振っている（図 2.3.3-6）。

表 2.3.3-2　各セグメントのプロパティ

道路#	道路形状	セグメント#	プロパティ		
①	非交差点	1	車線数	自車線：1	
				対向車線：1	
			自車レーン：1		
			左側通行		
		2	車線数	自車線：1	
				対向車線：1	
			自車レーン：1		
			交差点の手前 30m		
			左側通行		
②	交差点	3	車線数	Current	流入：1，流出：1
				Left	流入：2，流出：2
				Right	流入：2，流出：2
				Opposite	流入：1，流出：1
			自車レーン：1		
			左側通行		

道路#	道路形状	セグメント#	プロパティ		
③	非交差点	4	車線数	自車線：2	
				対向車線：2	
			自車レーン：2		
			中央分離帯		
			左側通行		
		5	車線数	自車線：2	
				対向車線：2	
			自車レーン：1		
			中央分離帯		
			左側通行		
		6	車線数	自車線：2	
				対向車線：2	
			自車レーン：2		
			中央分離帯		
			交差点の手前 30m		
			左側通行		
		7	車線数	自車線：2	
				対向車線：2	
			自車レーン：1		
			中央分離帯		
			交差点の手前 30m		
			左側通行		
④	交差点	8	車線数	Current	流入：2
					流出：2
				Left	流入：1
					流出：1
				Right	流入：1
					流出：1
				Opposite	流入：2
					流出：2
			自車レーン：1		
			左側通行		
⑤	非交差点	9	車線数	自車線：1	
				対向車線：1	
			自車レーン：1		
			左側通行		

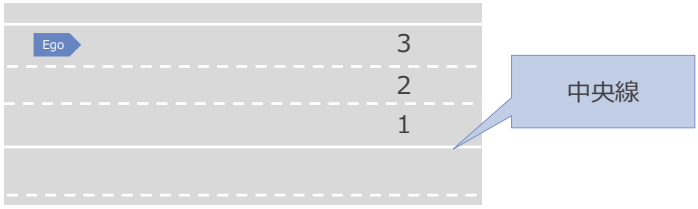


図 2.3.3-6　走行車線の番号付け

道路①は、「交差点手前 30m」のプロパティが現れる箇所とそうでない箇所でセグメントが分かれ、2 つのセグメントに分割される。道路③は、自車が走行する車線が 2 車線あるため、「自車レーン」のプロパティによって、まず 2 つに分かれ、さらに「交差点手前 30m」の有無でそれぞれ 2 つのセグメントに分割されるため、最終的には 4 つのセグメントに分かれる。この図 2.3.3-3 の例では走行経路全体は、9 つのセグメントに分割される。

次に、同じプロパティの組み合わせで構成されているセグメントをセグメントパターンとしてまとめる。表 2.3.3-2 より、セグメント 1 とセグメント 9 が同じプロパティを持つため、1 つのセグメントパターンとしてまとめられることがわかる。

この例（図 2.3.3-3）の走行経路から抽出される 8 つのセグメントパターンを表 2.3.3-3 で示す。

表 2.3.3-3　セグメントパターン一覧

セグメントパターン#	セグメント#	プロパティ		
1	1、9	車線数	自車線：1	
			対向車線：1	
		自車レーン：1		
		左側通行		
2	2	車線数	自車線：1	
			対向車線：1	
		自車レーン：1		
		交差点の手前 30m		
		左側通行		
3	3	車線数	Current	流入：1，流出：1
			Left	流入：2，流出：2
			Right	流入：2，流出：2
			Opposite	流入：1，流出：1
		自車レーン：1		
		左側通行		

セグメントパターン#	セグメント#	プロパティ		
4	4	車線数	自車線：2	
			対向車線：2	
		自車レーン：2		
		中央分離帯		
		左側通行		
5	5	車線数	自車線：2	
			対向車線：2	
		自車レーン：1		
		中央分離帯		
		左側通行		
6	6	車線数	自車線：2	
			対向車線：2	
		自車レーン：2		
		中央分離帯		
		交差点の手前 30m		
		左側通行		
7	7	車線数	自車線：2	
			対向車線：2	
		自車レーン：1		
		中央分離帯		
		交差点の手前 30m		
		左側通行		
8	8	車線数	Current	流入：2
				流出：2
			Left	流入：1
				流出：1
			Right	流入：1
				流出：1
			Opposite	流入：2
				流出：2
		自車レーン：1		
		左側通行		

この表 2.3.3-3 で示された各セグメントパターンに対して PL シナリオの絞り込みを実施する。

各セグメントパターンに対し、PL シナリオの絞り込みは下記の手順で実施する（図 2.3.3-7）。

- 道路構造による PL シナリオ絞り込み：道路形状、自車の振る舞い、および「車線数」と「自車レーン」のプロパティによって、衝突の可能性がない PL シナリオを除外する。
- 構造物による PL シナリオ絞り込み：道路構造によって絞り込まれた PL シナリオに対し、さらに「中央分離帯」などの構造物に関するプロパティによって物理的に起こりえない PL シナリオを除外する。
- 法令による PL シナリオ絞り込み：構造物によって絞り込まれた PL シナリオに対し、さらに「左側通行」などの法令に関するプロパティによって法的に禁止されている PL シナリオを除外する。

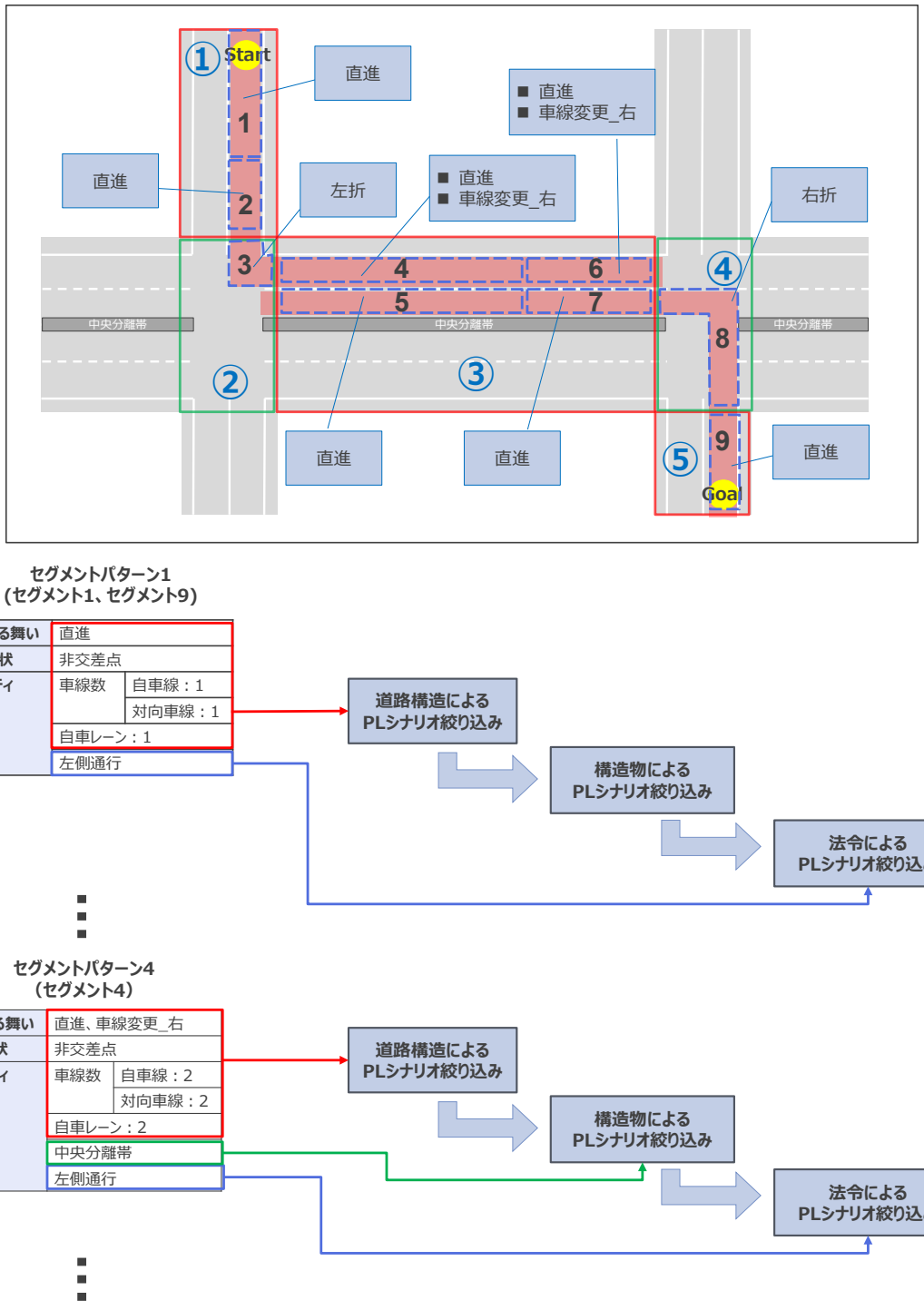


図 2.3.3-7　PL シナリオ絞り込みの概要

図 2.3.3-7 に示すセグメントパターン 4 を例にして各 PL シナリオ絞り込みに関して説明する。

（1） 道路構造による PL シナリオの絞り込み

セグメントパターン 4 に対して、道路構造による PL シナリオ絞り込みを適用する例を示す。セグメントパターン 4 の自車振る舞い、道路形状、道路構造に関するプロパティを表 2.3.3-4 に示す。

表 2.3.3-4　セグメントパターン 4 の情報

自車振る舞い	直進、車線変更_右	
道路形状	非交差点	
道路構造に関するプロパティ	車線数	自車線：2
		対向車線：2
	自車走行レーン	2

まずは、表 2.3.3-4 の道路形状と自車振る舞いから、下記の要素が除外される。

- 道路形状：合流（Merge）、分岐（Branch）、交差点（Intersection）
- 自車振る舞い：車線変更_左（Lane change L）、Right turn（右折）、Left turn（左折）

次に、車線数と自車レーンの情報から、考慮すべき周辺車両を明らかにする。セグメントパターン 4 の道路構造と自車位置を図 2.3.3-8 に示す。

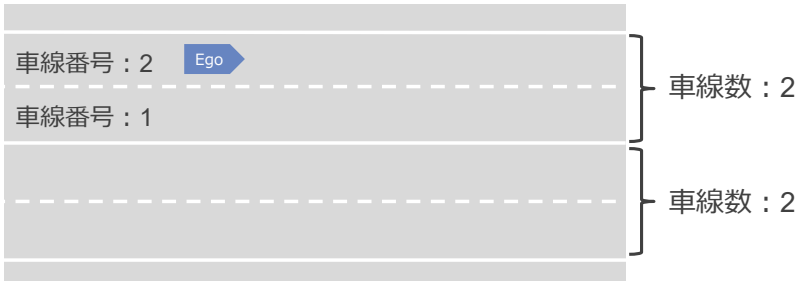


図 2.3.3-8　セグメントパターン 4 の道路構造と自車位置

上記の道路構造および自車位置において、考慮が必要な周辺車を図 2.3.3-9 に示す。

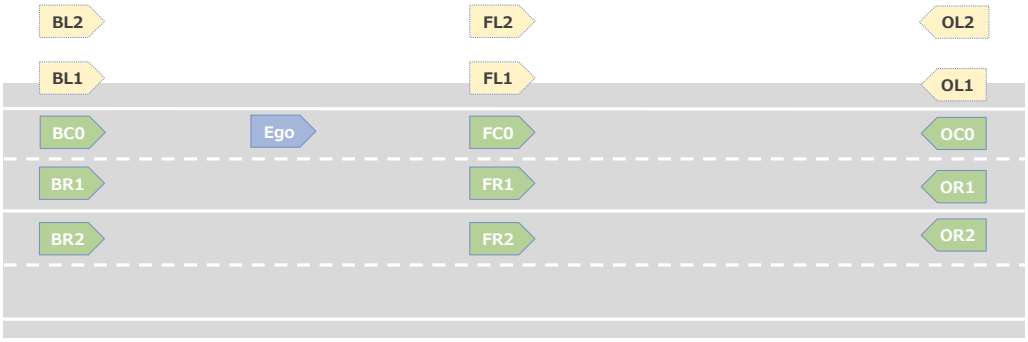


図 2.3.3-9　セグメントパターン 4 の道路構造での周辺車

自車は一番左端の車線を走行するため、自車より左側に周辺車は配置されない。そのため、図 2.3.3-9 において黄色で塗り潰された周辺車両が考慮対象から除外される。

自車と周辺車の配置が明らかになったら、この道路構造で起こりえない各周辺車の振る舞いを除外する。セグメントパターン 4 の道路構造において、考慮すべき周辺車の振る舞いを図 2.3.3-10 に示す。

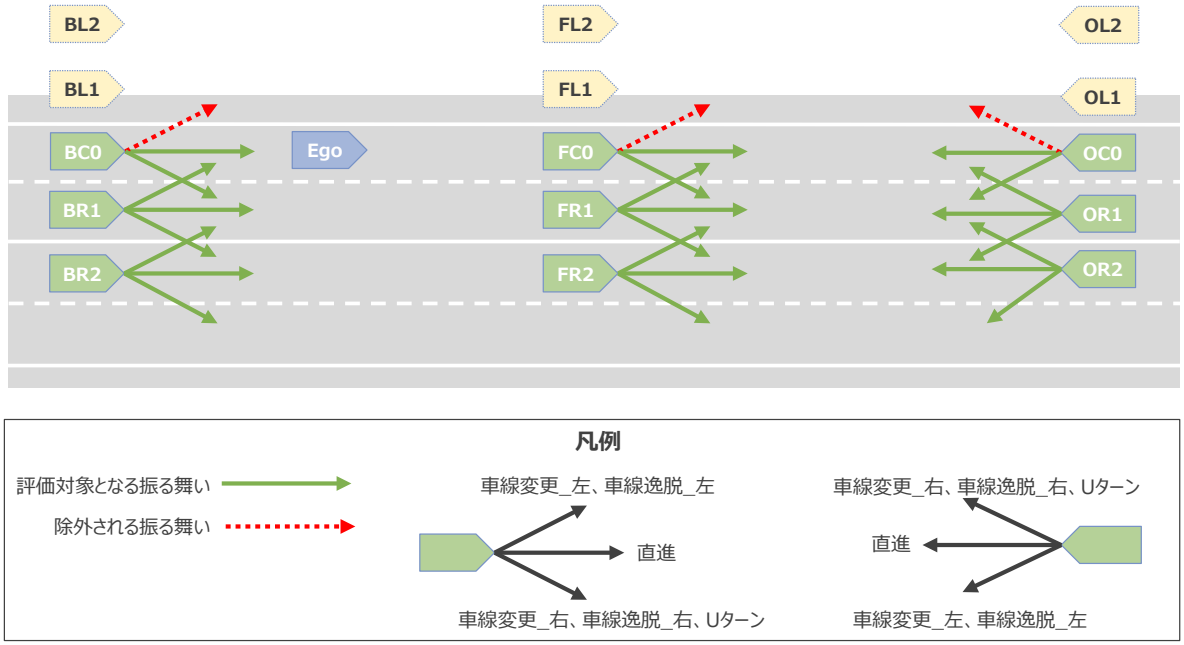


図 2.3.3-10　セグメントパターン 4 の道路構造での周辺車の振る舞い

自車と同じ一番左端の車線を走行している周辺車（BC0、FC0、OC0）は、自車から見て左方向への振る舞いは実施不可となる。

最後に評価対象とすべき自車の振る舞いと周辺車の振る舞いの組み合わせを検討する。セグメントパターン 4 で考慮すべき自車の振る舞いは、直進と車線変更_右である。それらに対して、衝突の可能性のある他車の振る舞いを組み合わせる。自車と周辺車の振る舞いの組み合わせのうち、衝突の可能性が有る組み合わせを選択していく。セグメントパターン 4 において、対象として選択された振る舞いの組み合わせを図 2.3.3-11 と図 2.3.3-12 に示す。

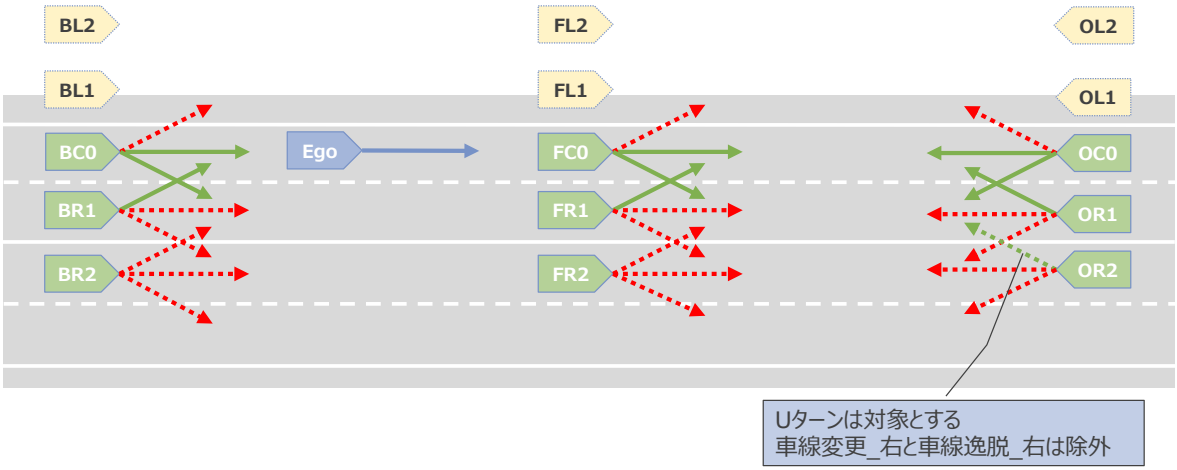


図 2.3.3-11　自車直進と周辺車の振る舞いの組み合わせ
（道路構造による絞り込み後）

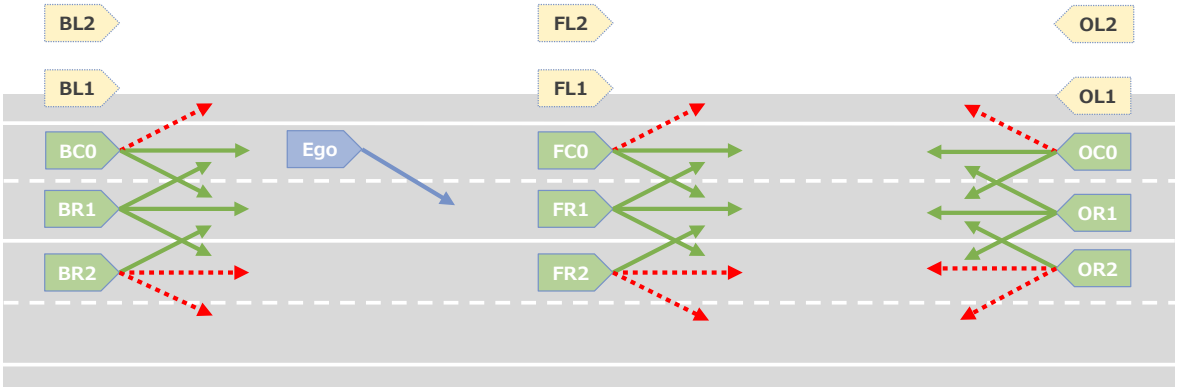


図 2.3.3-12　自車車線変更_右と周辺車の振る舞いの組み合わせ
（道路構造による絞り込み後）

図 2.3.3-11 と図 2.3.3-12 に示したものが道路構造による PL シナリオ絞り込み結果となる。表 2.3.3-5 に絞り込んだ結果得られた PL シナリオの数を示す。

表 2.3.3-5　道路構造による PL シナリオ絞り込み結果（セグメントパターン 4）

		他車の振る舞い								小計	計
		直進	車線変更_右	車線変更_左	車線逸脱_右	車線逸脱_左	右折	左折	Uターン		
		計	計	計	計	計	計	計	計		
		道路構造によるPLシナリオ絞り込み結果									
自車の振る舞い	直進	3	3	3	3	3	0	0	4	19	55
	車線変更_右	6	6	6	6	6	0	0	6	36	
	車線変更_左	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	右折	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	左折	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

残りのセグメントパターンについても、同じ要領で PL シナリオ絞り込みが可能である。

（2）　構造物による PL シナリオ絞り込み

構造物による PL シナリオ絞り込みは、道路上の構造物による物理的な制限があるときの PL シナリオを明確にする。これは（1）道路構造により絞り込まれた PL シナリオに対し適用し、さらなる PL シナリオの絞り込みを実施する。絞り込みに用いる情報は、各セグメントパターンの構造物に関するプロパティである。構造物に関するプロパティとは、道路上に設置されている中央分離帯や、ガードレールなどであり、道路の構造とは別で物理的に制限を与えるプロパティのことを指す。

ここでもセグメントパターン 4 に対して、構造物による PL シナリオ絞り込みを適用する例を示す。

セグメントパターン 4 の構造物に関するプロパティは、「中央分離帯」である（図 2.3.3-13）。

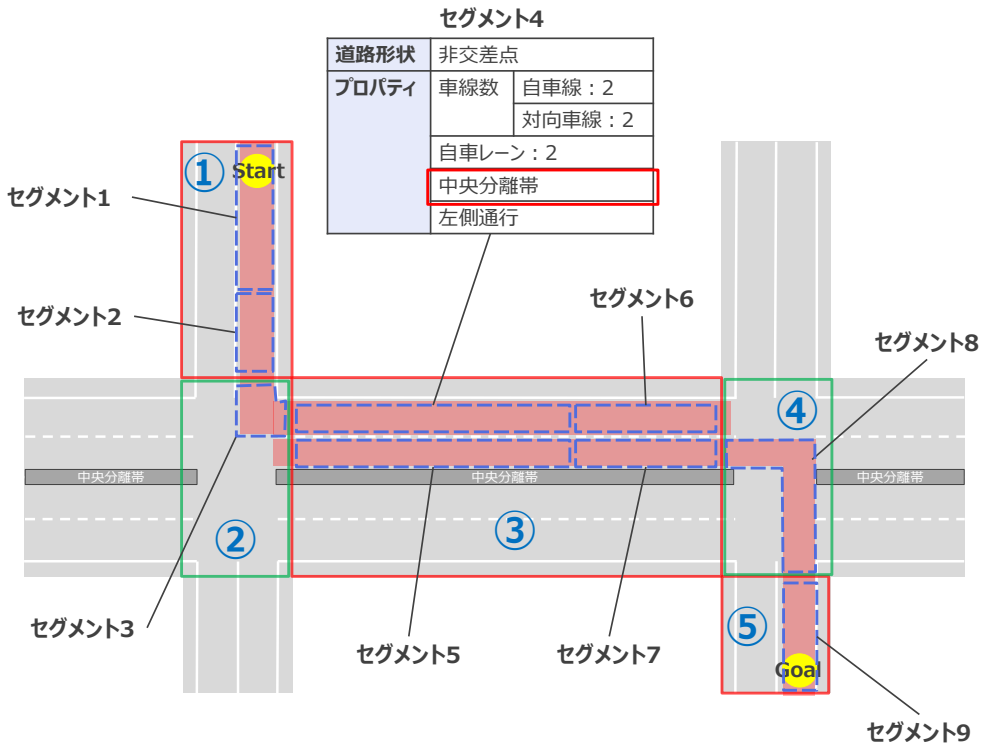


図 2.3.3-13　セグメントパターン 4 の構造物に関するプロパティ

中央分離帯があることによって、中央分離帯を越えるような振る舞いは制限されることになる。(1) で示した道路構造による PL シナリオ絞り込み結果に対して、構造物による PL シナリオ絞り込みを適用した結果を図 2.3.3-14 と図 2.3.3-15 で示す。

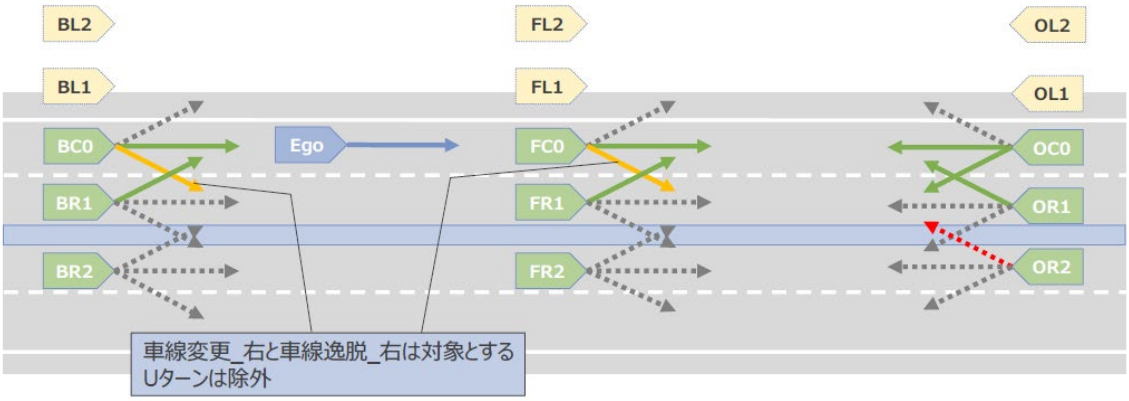


図 2.3.3-14　自車直進と周辺車の振る舞いの組み合わせ（構造物による絞り込み後）

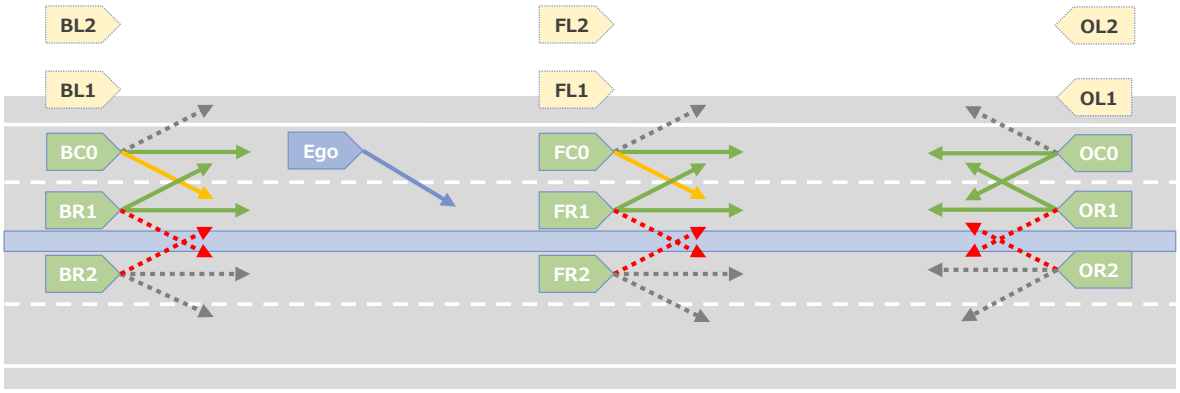


図 2.3.3-15　自車車線変更_右と周辺車の振る舞いの組み合わせ
（構造物による絞り込み後）

灰色の点線矢印は、道路構造による PL シナリオ絞り込みで除外された振る舞いを表し、赤点線矢印は、構造物による PL シナリオ絞り込みによって除外された振舞いを表す。また、オレンジ色の矢印は、一部のシナリオのみ除外されることを指す。今回では、U ターンのみ除外され、車線変更および車線逸脱は評価対象に含めることを表す。

表 2.3.3-6 に絞り込んだ結果得られた PL シナリオの数を示す。黄色で塗り潰している箇所は、道路構造による PL シナリオ絞り込み結果から道路の構造物による制約で PL シナリオ数がさらに減少したことを表す。

表 2.3.3-6　構造物による PL シナリオ絞り込み結果（セグメントパターン 4）

		他車の振る舞い								小計	計
		直進	車線変更_右	車線変更_左	車線逸脱_右	車線逸脱_左	右折	左折	Uターン		
		計	計	計	計	計	計	計	計		
		道路構造によるPLシナリオ絞り込み結果									
自車の振る舞い	直進	3	3	3	3	3	0	0	4	19	55
	車線変更_右	6	6	6	6	6	0	0	6	36	
	車線変更_左	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	右折	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	左折	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		構造物によるPLシナリオ絞り込み結果									
自車の振る舞い	直進	3	3	3	3	3	0	0	1	16	35
	車線変更_右	6	3	3	3	3	0	0	1	19	
	車線変更_左	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	右折	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	左折	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

（3）　法令による PL シナリオ絞り込み

法令による PL シナリオ絞り込みは、法的な制限があるときの PL シナリオを明確にする。これは道路構造及び構造物による絞り込みの結果で得られた PL シナリオ結果に対し適用し、さらなる PL シナリオの絞り込みを実施する。絞り込みに用いる情報は、各セグメントパターンの法令に関するプロパティである。法令に関するプロパティとは、左側通行や黄色線による追い越し禁止など、法的に制限を与えるプロパティのことを指す。これにより、物理的には実行可能だが、法的に許可されていない振る舞いを含む PL シナリオを除外する。

セグメントパターン 4 に対して、法令による PL シナリオ絞り込みを適用する例を示す。

セグメントパターン 4 の法令に関するプロパティは、「左側通行」である（図 2.3.3-16）。

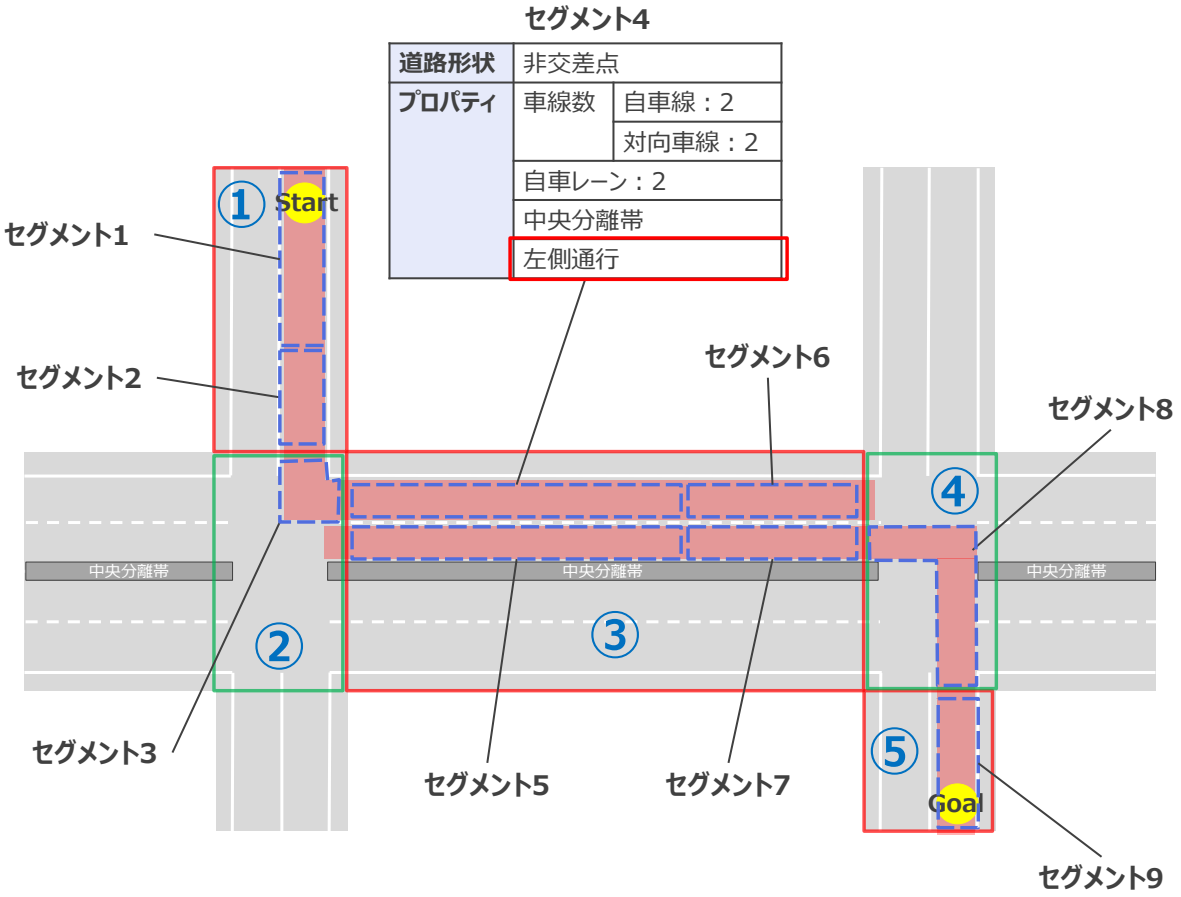


図 2.3.3-16　セグメントパターン 4 の法令に関するプロパティ

左側通行の規定によって、2 車線以上で構成されている道路では、自車と同一車線上、かつ自車へ向かってくる車両（On coming の車両）の振る舞いは評価対象から除外される。(2) で示した構造物による PL シナリオ絞り込み結果に対して、法令による PL シナリオ絞り込みを適用した結果を図 2.3.3-17 と図 2.3.3-18 で示す。

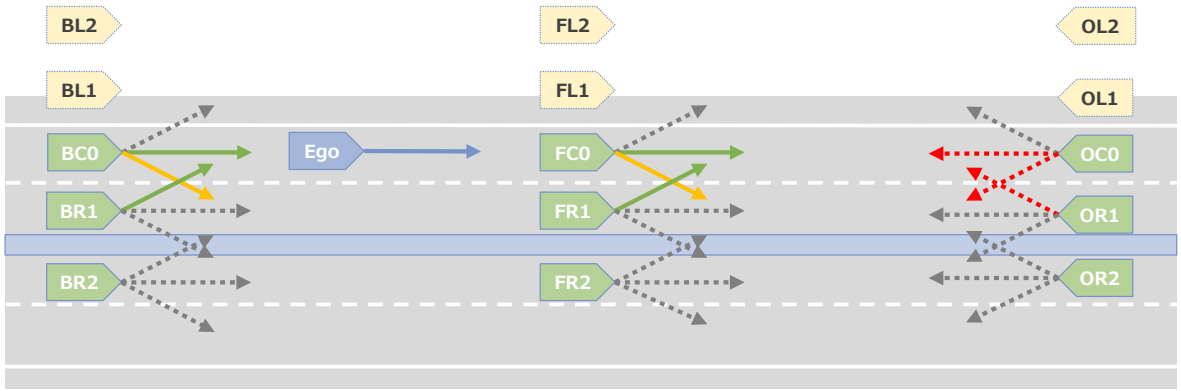


図 2.3.3-17　自車直進と周辺車の振る舞いの組み合わせ（法令による絞り込み後）

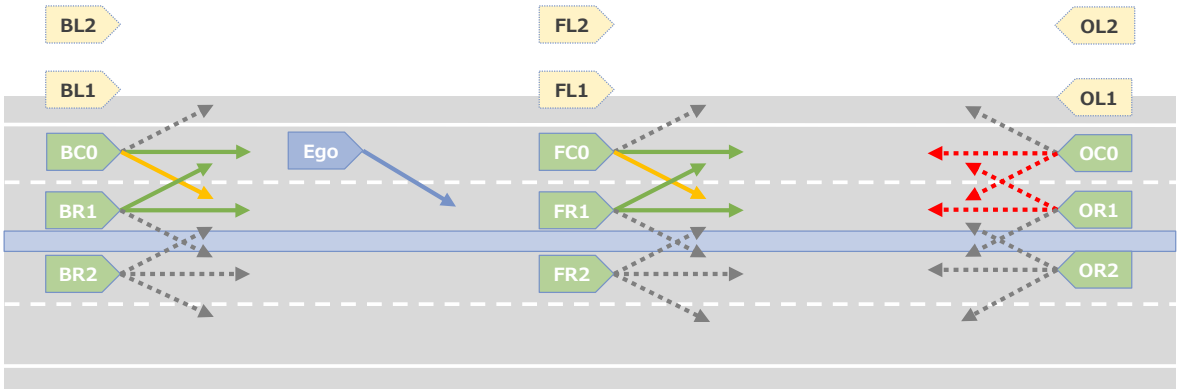


図 2.3.3-18　自車車線変更_右と周辺車の振る舞いの組み合わせ
（法令による絞り込み後）

灰色の点線矢印は、道路構造および構造物による PL シナリオ絞り込みで除外された振る舞いを表し、赤点線矢印は、法令による PL シナリオ絞り込みによって除外された振舞いを表す。また、オレンジ色の矢印は、U ターンのみ除外され、車線変更および車線逸脱は評価対象に含めることを表す。

表 2.3.3-7 に絞り込んだ結果得られた PL シナリオの数を示す。黄色で塗り潰している箇所は、前段の道路構造および構造物による PL シナリオ絞り込み結果と比べ、シナリオ数が減少したことを表す。

これら（1）から（3）までの PL シナリオ絞り込みを他のセグメントにも実行することで、運行経路内において評価が必要なシナリオが抽出される。

表 2.3.3-7　法令による PL シナリオ絞り込み結果（セグメントパターン 4）

		他車の振る舞い								小計	計
		直進	車線変更_右	車線変更_左	車線逸脱_右	車線逸脱_左	右折	左折	Uターン		
		計	計	計	計	計	計	計	計		
		道路構造によるPLシナリオ絞り込み結果									
自車の振る舞い	直進	3	3	3	3	3	0	0	4	19	55
	車線変更_右	6	6	6	6	6	0	0	6	36	
	車線変更_左	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	右折	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	左折	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		構造物によるPLシナリオ絞り込み結果									
自車の振る舞い	直進	3	3	3	3	3	0	0	1	16	35
	車線変更_右	6	3	3	3	3	0	0	1	19	
	車線変更_左	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	右折	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	左折	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		法令によるPLシナリオ絞り込み結果									
自車の振る舞い	直進	2	2	2	2	2	0	0	0	10	22
	車線変更_右	4	2	2	2	2	0	0	0	12	
	車線変更_左	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	右折	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	左折	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

2.3.4　道路形状や法規を加味した絞り込み手法のまとめ

道路構造、構造物および法規をモデル化し各シナリオと紐づけることにより、道路形状や法規を加味したシナリオ絞り込みが可能となった。これにより、サービスカーなど ODD（走行経路など）が限定的である自動運転車などに対して、その ODD 内において安全性評価が必要なシナリオを効率的に導き出すことが可能となった。また、本手法を用いることにより、2.1 節や 2.2 節で述べられているシナリオデータベースから自身が開発、評価したい自動運転車に対して必要な評価シナリオのみを効率的に抽出（ダウンロード）してくることが可能となる。

一方で、本手法に関しては対車両という観点でのシナリオ絞り込み手法であるため、一般道においては車両のみならず交通弱者という観点で歩行者に対しての安全性評価も重要である。そのため今後、本手法に関しては対歩行者も含んだ対応が必要であると考える。

参考文献

[1] 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 （2024 年 3 月現在）
[2] 国土交通省，自動運転車の安全技術ガイドライン,
https://www.mlit.go.jp/common/001253665.pdf（2024 年 3 月現在）

2.4 安全性評価における実車試験法の検討

自動運転システムの安全性評価に関して、自動運転システムは対応すべきシチュエーションが先進安全装置（以下、「ADAS」という）と比較すると膨大な数になってくる。そのため、従来の実車を使った評価のみでは、安全性を評価しきれないといった課題が出てくる。これに対して、シミュレーション、テストコース、実際の交通環境（路上試験）でのそれぞれの評価を適切に組み合わせ[1]、自車が安全であること（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[1]）を証明していくことが求められている。また、自動運転においてはADASなどに比べて高度な実験が必要となっているが、現状のADASの評価に活用されている実験機材（ダミーやそれらをけん引する装置など）ではすべてを再現できない可能性が考えられる。一方、シミュレーションでの評価に関しては、シミュレーションに用いるツール自体が実車試験（テストコース、実際の交通環境いずれも含む）を適切に代替できることを検証しておかなければならい。すなわち、シミュレーションの評価対象となるシナリオの一部で実車試験を行い、ツールが妥当であるという証明をしなければならない。

これらの課題に対して、令和4年度においては、シミュレーションの妥当性検証に必要な計測結果が取得できるか、実際の自動運転車両を用いた実車試験により確認した。また、現状のADASの評価用ダミーを用いて、高速道シナリオにおける他車挙動をどこまで物理的に実験機材で再現可能かも明らかにした。

本節では令和4年度に引き続き、シミュレーションが妥当であると証明するために必要な実車試験観点の整理結果を述べる。また、一般道シナリオ[2]特有の事象（Uターンなど）に対して、現状のADASの評価に活用されている実験機材でどこまで再現できうるかを検証した結果を述べる。

2.4.1 シミュレーション妥当性検証における実車試験法の検討

前述のとおり、自動運転システムは対応すべきシチュエーションがADASに比較すると膨大となっている。そのため、従来の開発である実車を使った評価では、安全性を評価しきれないといった課題が出てくる。例えば、評価しなければならないシナリオのパラメータ空間（合理的に予見可能な範囲）に対して公道ですべてのパラメータの組み合わせに遭遇するには膨大な距離を走行する必要があり現実的ではない。また、テストコースなどでのロボットターゲットなどの実験機材を用いてパラメータ空間を網羅する実験は可能ではあるが多大なリソースが必要となる。

そのため、自動運転システムの安全性評価においては実車ではなくシミュレーションによる実証の領域をどれだけ拡大出来るかが極めて重要になる。しかしながら、ただシミュレーションを行えばよいというわけではなく、実車試験を適切に代替えできているという事を証明したうえでシミュレーション試験を実行しなければならず、その証明がないままに実行してしまった場合はシミュレーション試験結果の信頼性および妥当性は損なわれてしまう。

本項では、協定規則第 157 号[3]のカットインシナリオを例題に実車試験とシミュレーション結果を比較し、シミュレーションツールの妥当性検証について検討した結果を示す。

（1） シミュレーションの妥当性検証における実車試験観点整理

実車試験におけるシミュレーションの妥当性検証には、日本自動車工業会が公開している「自動運転の安全性評価フレームワーク Ver3.0」[2]において、以下の 2 つの要件が定められている。

要件 1：衝突・非衝突の判定結果に寄与するパラメータを計算し出力できること

要件 2：計算結果の比較が可能となるために、計算により出力されたパラメータと実車試験で計測されたパラメータとの間に相関がある（”相関がある”とは、計算結果のパラメータの値が完全に一致することではなく、パラメータ値の変化が同様に振る舞うことを指す。）こと

要件 1 はシミュレータ自体の機能の話となるため、ここでは割愛する。要件 2 に関しては、令和 4 年事業報告書にシミュレータの結果と比較するための実車試験の結果を計測できることを示している。一方で、自動運転システムは複数のロジックが混在している可能性もあり、一点の実車試験結果とそれに対応する一点のシミュレーション結果を比較するだけで妥当性が検証できたとは言い切れない。例えば、クルーズコントロールのような減速制御と緊急ブレーキのような減速制御では同じ減速といった制御でもロジック自体が違う可能性がある。また、実車結果がシミュレーション結果より優れているという点を示すためには、車両が出せる最大減速性能時などのシチュエーションの実車試験結果も取得しておくことが好ましい。

そのため、カットインシナリオを例にするとシミュレーションとの妥当性検証のための実車試験におけるパラメータ設定の観点としては以下の点などを考慮していく必要がある。

・制御ロジックの切り替わりがあるポイント
・カットイン車両への対応動作として緩やかな減速度が発生するパターン
（余裕のある衝突回避における制動性能）
・カットイン車両への対応動作として最大減速度が発生するパターン
（緊急での衝突回避における制動性能）
・既存の実験機材において試験再現が可能なパラメータ範囲
（実車試験における物理的な制約）

（2） カットインシナリオにおける実車試験設定例

カットインシナリオ事例における実車試験例を図 2.4.1.1-1 に示す。

自動運転車が定常速度 Ve で走行する状態を作り、そこに車速 Vt で走行するカットイン車両（Target vehicle）が衝突余裕時間（以下、「TTC」という）で車線変更を横速度（Vty）で開始するカットインに対する対応動作の計測を行う。走行レーンは

直線で、レーン幅は 3.5m とする（ここでは 3.5m であるが、実際の妥当性検証用実車試験を行う、テストコースに合わせて設定)。パラメータ設定に関しては上記の観点を加味したうえで以下のパラメータを変化させてシミュレーションの妥当性検証に必要な実車試験結果を取得していくことが重要である。

・Ve： 自動運転車（自車）速度
・Vt： カットイン車両（ターゲット車）速度
・Vty： カットイン車両横速度
・TTC： カットイン開始時の衝突余裕時間

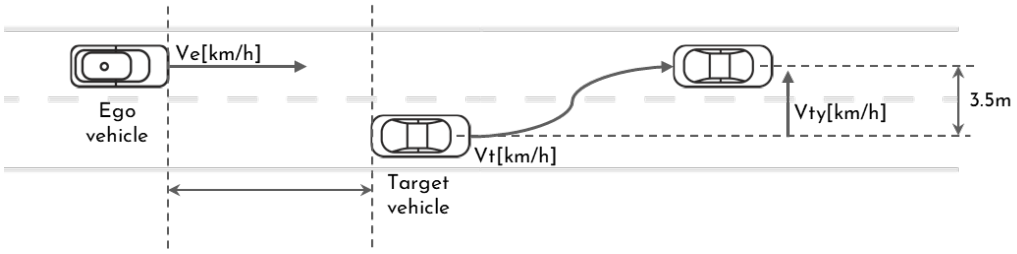


図 2.4.1.1-1　カットイン動作のパラメータ

例えば、シミュレーションの妥当性検証のための実車試験法観点を実車試験に組み込んだ場合、自車速度によってロジックに変化がある場合は Ve のパラメータ設定で変化部分を加味したバリエーションを試験する。また、緊急度によって制御に使われるロジックが変わる場合は Vt、Vty、TTC の設定を変化させて実車試験を行うなどの対応となる。これらのパラメータ設定においては、2.4.2 項で示される実験機材の物理的制約（性能限界）が存在するため、その点も考慮に入れたうえで実車試験のパラメータ設定を実施しなければならない。

（3）　検証可能なシミュレーションに関して考慮しなければならない要素の整理

シミュレーションが実車を適切に代替えできているという証明のため、実車試験結果とシミュレーション結果の相関性を検証するためには、シミュレーション側においても考慮しなければならない点が存在する。

シミュレータによる計算結果に関して、シミュレーション由来のばらつきを考慮していく必要がある。同じシミュレーション計算を同じ環境でかけたとして、シミュレーションの制御タイミングと評価対象の自動運転システムの制御タイミングが非同期で制御周期が近い場合に自動運転システムの制御タイミングの揺らぎによるばらつきが発生するなどが考えられるためである。そのため、シミュレーション側でのこのような挙動のばらつきがある場合は、ばらつきの影響を明確化し、その影響を排除したうえで評価しなければ結果の相関性を示したとしても信頼性が損なわれてしまう。

実際に実施したカットイン試験をシミュレータ（図 2.4.1.1-2）で再現した際

におけるばらつきの一例を図 2.4.1.1-3 に示す。シミュレーション実施毎に自動運転車とカットイン車両の車間距離にばらつきが生じていることがわかる。

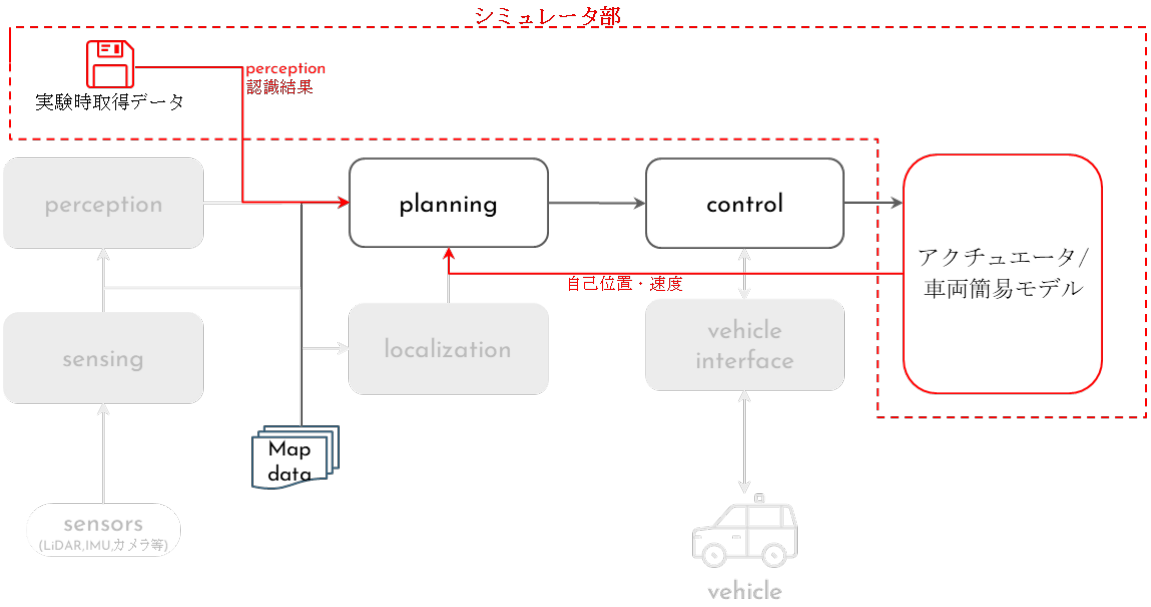


図 2.4.1.1-2　検証に利用したシミュレータの構成図

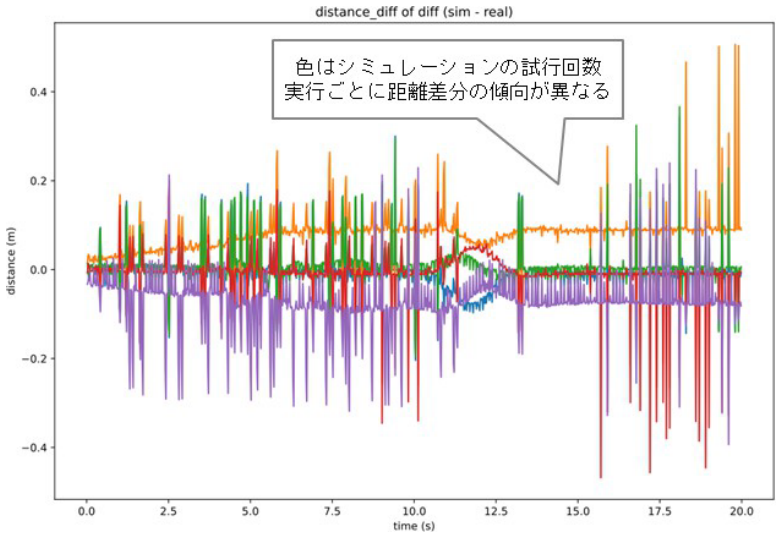


図 2.4.1.1-3　　実行毎のシミュレーション結果のばらつき例

シミュレーションの妥当性を検証するためにも、シミュレーション側の特性（ばらつきなど）を考慮したうえで、実車試験結果との相関性を示さなければならない。また、シミュレーション側の要件として、「自車停止もしくは定常状態に至った時点においてシミュレーションツール結果に対して実車試験結果の方が衝突回避対象となる車両との車間距離が長いこと」[2]を示す際にも、このばらつき特性を把握し、明示しておく必要がある。

（4） まとめ

シミュレーションの妥当性検証のための実車試験に関しては、自動運転システムの制御ロジックを考慮したうえで実車試験のパラメータを設定する必要がある。また、実車試験においてはシミュレーションと違い物理的な実験機材の制約（限界性能）があるため、それら制約を加味したうえで試験を実施しなければならない。また、シミュレーション結果と実車結果の相関関係を示すうえで、シミュレーションによるばらつきも考慮したうえで妥当性の検証を実施しなければならない。

参考文献
[1] 国土交通省，自動運転車の安全技術ガイドライン，
https://www.mlit.go.jp/common/001253665.pdf（2024 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 （2024 年 3 月現在）
[3] Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to Automated Lane Keeping Systems,
https://unece.org/sites/default/files/2023-12/R157e.pdf（2024 年 3 月現在）

2.4.2 模擬ターゲットによる一般道向けシナリオの再現性検討

自動運転の安全性評価においては、シミュレーションだけでなく、必要最低限のテストコースでの実車試験等を組み合わせることが想定されている。ここでは、各評価シナリオに対し、実車試験で再現できうる範囲を明確化することを目的として、試験に用いる模擬ターゲットの仕様等を調査した結果をまとめる。

2.4.2.1 模擬ターゲットと移動装置

（1） 車両ターゲット

一般社団法人日本自動車工業会が公開している「自動運転の安全性評価フレームワーク Ver.3.0」[1]（以下、「JAMA フレームワーク」という）では、自動運転の安全性評価のための交通外乱シナリオを示している。このシナリオには、自車前方を走行する先行車や、対向車線を走行する対向車、交差点に進入する交差車両の挙動が示されており、実車試験ではこれら車両の模擬が必要になる。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 2.4.2.1-1 に整理する。

車両を模擬するターゲットに関しては、国際規格（ISO19206-1[2]、ISO19206-3[3]）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車両タ

ーゲットがある。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、交差点での右折直進および出会い頭事故、また将来的には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 Soft Car 360 が多く採用されている。

表 2.4.2.1-1　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	 (https://www.messring.de/en/products/active-safety/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 Strikeable Surrogate Vehicle Target (SSV)	 (https://wolfcomposites.com/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
4activeC2	 (https://www.4activesystems.at/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
Soft Car 360	 (https://www.abdynamics.com/ja/products/track-testing/adas-targets/soft-car-360-1-1)	・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） VRU ターゲット

JAMA フレームワークでは、自動運転の安全性評価のための交通外乱シナリオを示しているが、これまでは対車両のシナリオが中心であり、歩行者や自転車などの交通弱者（Vulnerable Road User、以下「VRU」という）はまだ検討が進められている段階である。他方、各国 NCAP においては、既に VRU 対応の AEBS 性能評価のため、様々な VRU を模擬するターゲットが用いられている。AEBS に係る試験・実験用途として一般的に市販されている VRU を模擬したターゲットを表 2.4.2.1-2 に示す。

VRU を模擬するターゲットに関して、国際規格（ISO19206-2、ISO19206-4）が発行されている。既存の VRU ターゲットは、ADAS 評価において特に AEBS 試験への活用を主目的に開発されている。2010 年代中ごろから、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 においても前方を横断する歩行者への衝突被害軽減性能評価がスタートしており、歩行者を模擬した形状の VRU ターゲットがある。2018 年からは Euro NCAP において自転車への追突、および自転車との出会い頭シナリオが評価されるようになった。先ずこのような歩行者および自転車を模擬したターゲットについての規定である ISO19206-2 が 2018 年に発行された。2024 年 2 月からは、交差点での対二輪車事故の軽減を目的とした性能評価も始まっている。このシナリオには二輪車を模擬したターゲットが評価に用いられており、その規定として ISO19206-5 が検討されている。

表 2.4.2.1-2　一般的な自動車試験用途の VRU ターゲット（１／２）

ターゲット名称	ターゲット概観	主な仕様
4activePA-adult	 (https://www.4activesystems.at/4activepa)	・サイズ：1800mm(H)×500mm(W) ・重量：7.5kg ・衝突上限速度：60km/h ・ISO 適合：19206-2 ・使用実績：Euro NCAP, CNCAP, JNCAP, NHTSA, ACEA, Asian NCAP
Euro NCAP Pedestrian Target (EPTa)	 (https://www.messring.de/en/products/active-safety/adult-pedestrian-target/)	・サイズ：未公表 ・重量：未公表 ・衝突上限速度：60km/h ・ISO 適合：19206-2 ・使用実績：Euro NCAP, CNCAP, JNCAP, NHTSA, ACEA, Asian NCAP
4activePA-child	 (https://www.4activesystems.at/4activepa)	・サイズ：1154mm(H)×298mm(W) ・重量：4kg ・衝突上限速度：60km/h ・ISO 適合：19206-2 ・使用実績：Euro NCAP, CNCAP, JNCAP, NHTSA, ACEA, Asian NCAP
Euro NCAP Pedestrian Target child (EPTc)	 (https://www.messring.de/en/products/active-safety/euro-ncap-pedestrian-target-child-eptc/)	・サイズ：未公表 ・重量：未公表 ・衝突上限速度：未公表 ・ISO 適合：19206-2
4activeBS	 (https://www.4activesystems.at/4activebs)	・サイズ： （自転車）1200mm(H)×700mm(W) （サイクリスト）1800mm(H)×500mm(W) ・重量： （自転車）6kg （サイクリスト）4kg ・衝突上限速度：60km/h ・ISO 適合：19206-4 ・使用実績：Euro NCAP, JNCAP, ACEA

表 2.4.2.1-2　一般的な自動車試験用途の VRU ターゲット（２／２）

ターゲット名称	ターゲット概観	主な仕様
4activePA-adult	 (https://www.4activesystems.at/4activemc-gmt)	・サイズ： （二輪車）750mm(W) （ライダー）1800mm(H)×500mm(W) ・重量： （二輪車）11kg （ライダー）4kg ・衝突上限速度：60km/h ・ISO 適合：19206-5（ドラフト） ・使用実績：Euro NCAP
Soft Motorcycle 360	 (https://www.abdynamics.com/en/products/track-testing/adas-targets/soft-motorcycle-360)	・サイズ：1670mm(H)×610mm(W) ・重量：未公表 ・衝突上限速度：60km/h ・ISO 適合：19206-5（ドラフト） ・使用実績：Euro NCAP
4activePS-eKickboard-Scooter	 (https://www.4activesystems.at/4activeps-ekickboard-scooter)	・サイズ： （スクーター）1211mm(H)×490mm(W) （大人）1800mm(H)×500mm(W) ・重量： （スクーター）未公表 （大人）4kg ・衝突上限速度：60km/h ・ISO 適合：関連 ISO に準拠 ・使用実績：未公表
Playing Child Target（PCT）	 (https://www.nacinc.jp/car-safety/active-safety/product/playing-child-target.html)	・サイズ：680mm(H)×360mm(W) ・重量：2.2kg ・衝突上限速度：未公表 ・ISO 適合：接続部が ISO19206 に準拠 ・使用実績：未公表

（3） ターゲット移動装置

車両や VRU のターゲットの挙動を模擬するためには、動揺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 2.4.2.1-3 に整理する。

主に VRU 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、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 の試験で他車両の速度は最大 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。また，ALKS[4]（Automated Lane Keeping Systems：自動車線維持システム）は 2022 年に改正され、システムの作動が許可される最高速度は 60km/h から 130km/h に引き上げられた。これに対応できるターゲット移動装置は、最高速度 120km/h の GST120 がある。

表 2.4.2.1-3　一般的な自動車試験用途のターゲット移動装置（１／２）

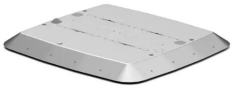
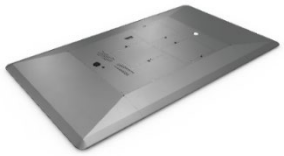
装置名称	装置概観	主な仕様
4activeFB Small	 (https://www.4activesystems.at/4activefb-small)	・最高速度：80km/h ・発生最大減速度：5m/s²（走行速度による） ・サイズ：2200mm(L)x 900mm(W) ・搭載可能なターゲット：歩行者，二輪車，動物
UFO nano	 (https://www.humaneticsgroup.com/products/active-safety-test-equipment)	・最高速度：20km/h ・発生最大減速度：3m/s² ・サイズ：800mm(L)x700mm(W) x15-65mm(H) ・搭載可能なターゲット：歩行者，自転車
UFO micro	 (https://www.humaneticsgroup.com/products/active-safety-test-equipment)	・最高速度：80km/h ・発生最大減速度：6m/s² ・サイズ：1050mm(L)x980mm(W) x70mm(H) ・搭載可能なターゲット：歩行者，自転車，二輪車
LaunchPAD 50	 (https://www.abdynamics.com/ja/products/track-testing/adas-targets/launch-pad)	・最高速度：50km/h ・発生最大減速度：5m/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

表 2.4.2.1-3　一般的な自動車試験用途のターゲット移動装置（２／２）

装置名称	装置概観	主な仕様
4activeFB Large	 (https://www.4activesystems.at/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 Black	 (https://www.humaneticsgroup.com/products/active-safety-test-equipment)	・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
GST120	 (https://www.abdynamics.com/ja/products/track-testing/adas-targets/guided-soft-target)	・最高速度：120km/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

2.4.2.2　模擬車両によるシナリオ再現性検討

JAMA フレームワークでは、「一般車両の交通外乱シナリオ」として 58 シナリオが示されている（図 2.4.2.2-1）．ここでは、周辺車両の挙動が、大きく「Going straight」「Lane change / Swerving」「Turning」の 3 つに分類されている。2021 年度～2022 年度の検討では、「Going straight」と「Lane change」のシナリオを対象に、模擬車両の加速、減速、平均横移動速度について再現可能な範囲を明確化した。続く本年度は、「Swerving」と「Turning」について、模擬車両を実際に走行させた挙動データを取得し、再現可能なシナリオの範囲を検討した。

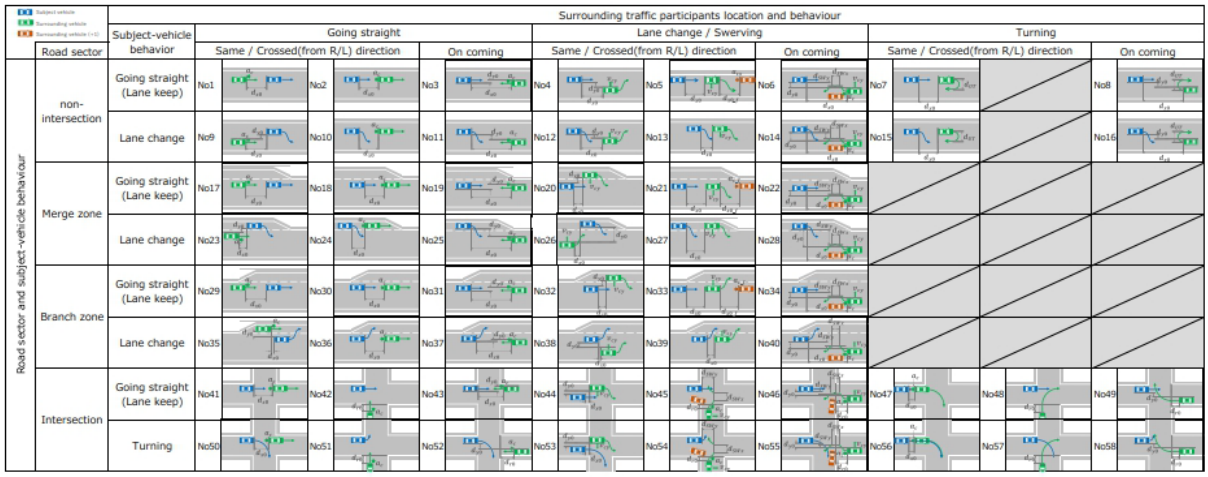


図 2.4.2.2-1　安全性評価フレームワーク（Ver.3）の一般車両の交通外乱シナリオ[1]

（1）　模擬車両による旋回（U ターン）再現性

a）　検討データの取得方法

模擬車両の挙動データ取得方法を表 2.4.2.2-1 に整理する。本データ取得は、ターゲット移動装置（GST）に、Euro NCAP にも採用されている車両ターゲット（Soft Car 360）を載せた状態で行った。使用した一般財団法人日本自動車研究所（以下、「JARI」という）のテストコース（Jtown V2X 市街地）を図 2.4.2.2-2 に示す。いずれの日程も路面はドライで、模擬車両を走行させる直前には挙動に影響を与える風速の高い状況がないことを確認している。

JAMA フレームワークの U ターンシナリオ（図 2.4.2.2-3）に示されている、周辺車両の代表的なパラメータの 1 つに旋回半径（dut）がある。実験では、旋回半径と走行速度の 2 つを走行条件として、それぞれを変更しながらデータを取得した。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 専用に用意されている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 2.4.2.2-4 に示す。U ターンシナリオにおいて、模擬車両に求められる挙動には、単路を走行中に旋回する場合と、交差点などで一時停止した状態から旋回を始める場合とが考えられる。そこで、目標とする速度まで加速した後、その速度を維持しながら旋回する走行パターン 1（図上段）と、停止状態より加速しながら旋回し、旋回が終了する時点で目標速度に到達するような走行パターン 2（図下段）の 2 つを設定した。旋回半径の走行条件は、車線幅 3.5m の片側 3 車線道路を想定し、追越車線から対向車線の第一車線に入ることを想定した旋回半径 5.25m と、対向車線の第二車線に入ることを想定した 3.5m の間で設定した。

模擬車両の挙動データは、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 により走行速度と位置、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、以降座標系については、図 2.4.2.2-4 の右下に表すように、走行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 2.4.2.2-1　模擬車両による U ターンシナリオ再現のデータ取得方法

模擬ターゲット	Soft Car 360
ターゲット移動装置	GST
コース	Jtown：V2X 市街地
路面	ドライ
シナリオ設定	・走行速度　：5～18km/h ・旋回半径　：3.50～5.25m
取得データ	・位置（X,Y）（100Hz） ・走行速度（100Hz） ・加速度（100Hz） ・ヨー角（100Hz）
走行風景	



図 2.4.2.2-2　Jtown V2X 市街地（中央直線路信号交差点付近）

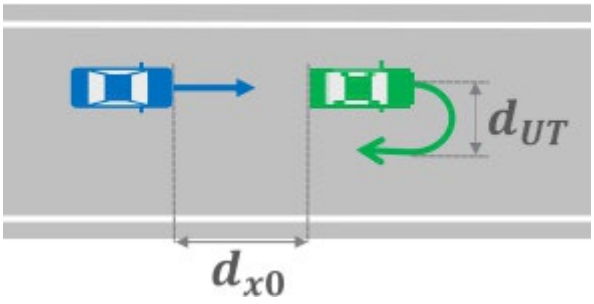


図 2.4.2.2-3　U ターンシナリオのパラメータ例[1]

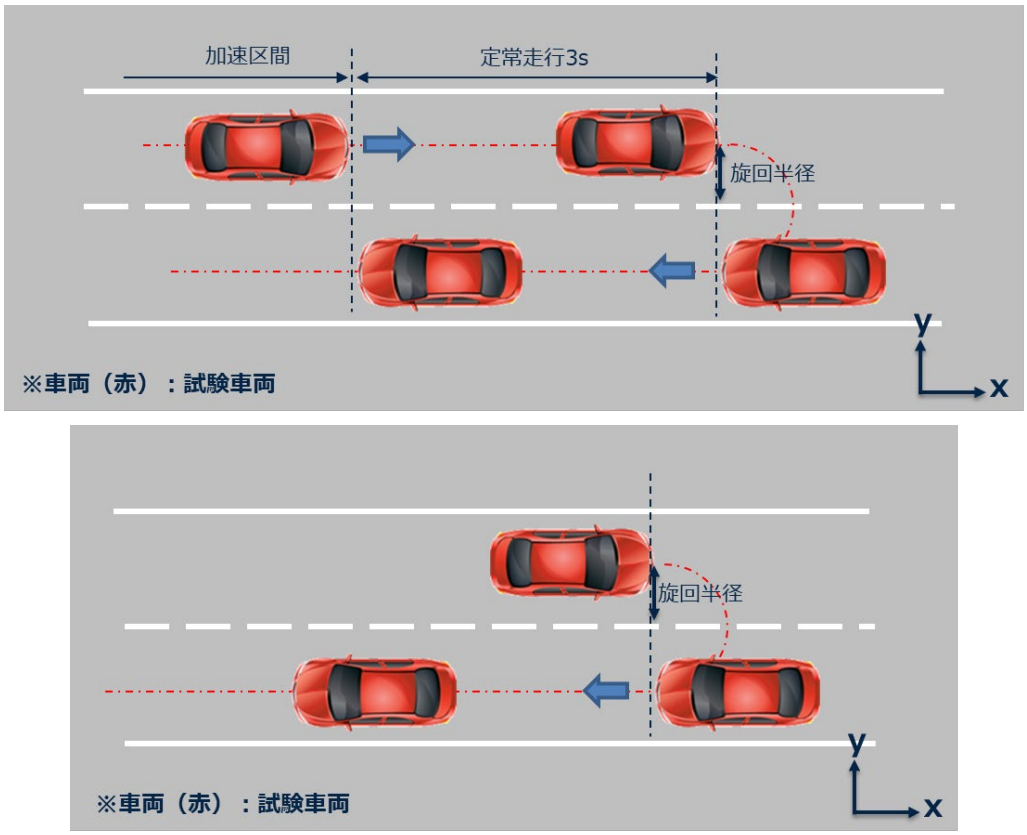


図 2.4.2.2-4　ターゲット移動装置による U ターンシナリオの設定イメージ

b）　データの解析と結果

模擬車両位置の計測結果（模擬車両の軌跡）と設定した目標軌跡とを比較した例を図 2.4.2.2-5 に示す。模擬車両は、旋回開始と同時に目標軌跡よりも内側を走行し、旋回終了付近では外側を通っている。この傾向は、データを取得した全ての条件で同様に確認された。

各走行条件での模擬車両の U ターン成否を整理した結果を図 2.4.2.2-6 と図 2.4.2.2-7 に示す。車幅約 1.7m の当該模擬車両が、U ターン先の車線（3.5m 幅）内に進入するためには、目標軌跡に対しての横偏差を±90cm 以下に抑える必要があることから、これを成否の判定基準とした。すなわち、目標軌跡に対して模擬車両の横偏差の最大値が 90cm 以内であれば成功、90cm を超えた場合を失敗とした。旋回半径が 4.50m よりも小さい走行条件では成功した走行が確認されなかったことから、当該模擬車両で再現できる旋回半径は 4.50m 以上であることがうかがえる。

次に、旋回半径 4.50m と 5.25m の全取得データについて、発生していた最大横加速度を、走行速度と旋回半径の走行条件ごとに整理して、図 2.4.2.2-8 と図 2.4.2.2-9 に示す。図中の橙色の点線は、横軸の走行速度で 4.50m／5.25m の旋回半径を走行するために必要な横加速度を表している。旋回を失敗した条件においても、最大横加速度が必要な横加速度とほぼ同程度まで得られていた。このことから、軌跡追従の失敗は、模擬車両が発生できる横加速度の限界ではなく、速度増加に伴う旋回軌跡への追従制御の特性である可能性が考えられる。走行パターンによらず、旋回半径 5.25m では 15km/h 超、旋回半径 4.50m

では 10km/h 程度までを再現可能な範囲とすることが妥当といえる。

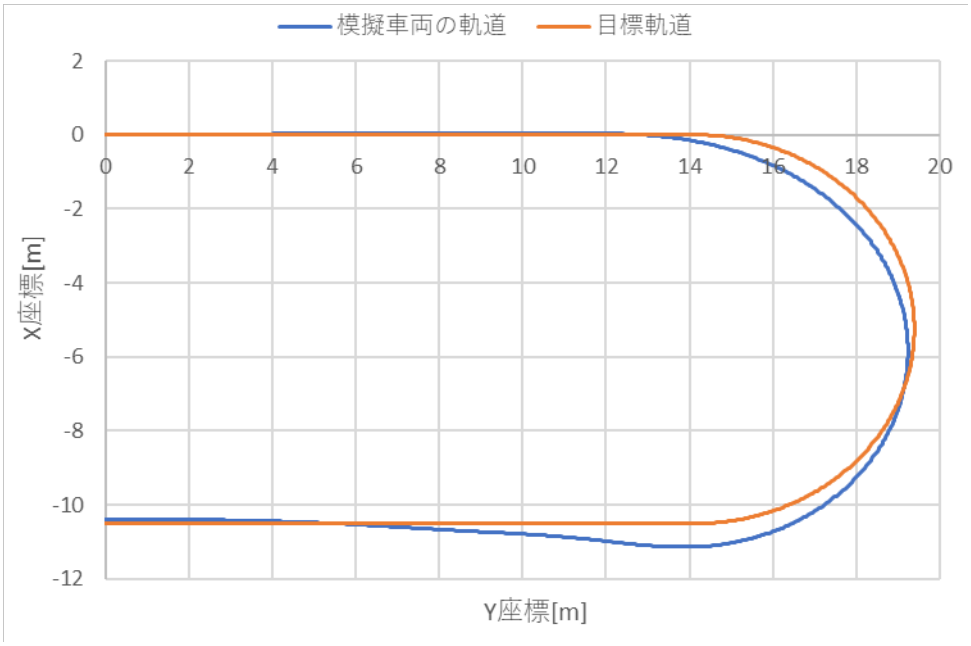


図 2.4.2.2-5　模擬車両の走行軌跡と目標軌跡の例
（シナリオ設定：旋回半径 5.25m、17km/h）

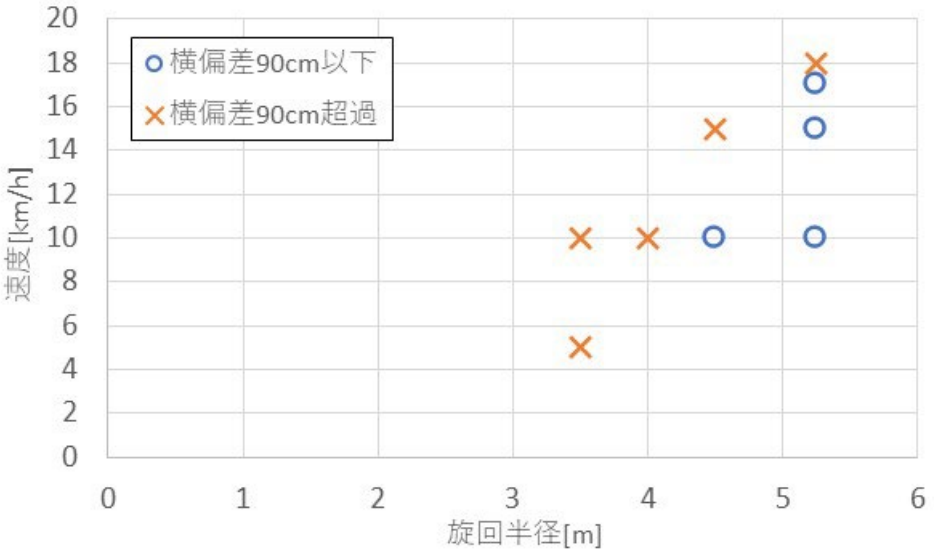


図 2.4.2.2-6　旋回半径と走行速度条件ごとの U ターン成否（走行パターン 1）

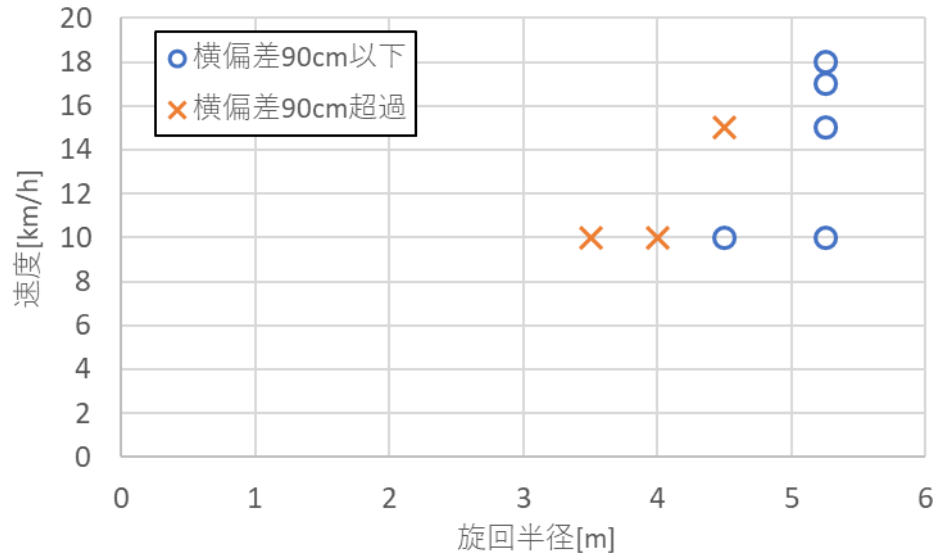


図 2.4.2.2-7　旋回半径と走行速度条件ごとの U ターン成否（走行パターン 2）

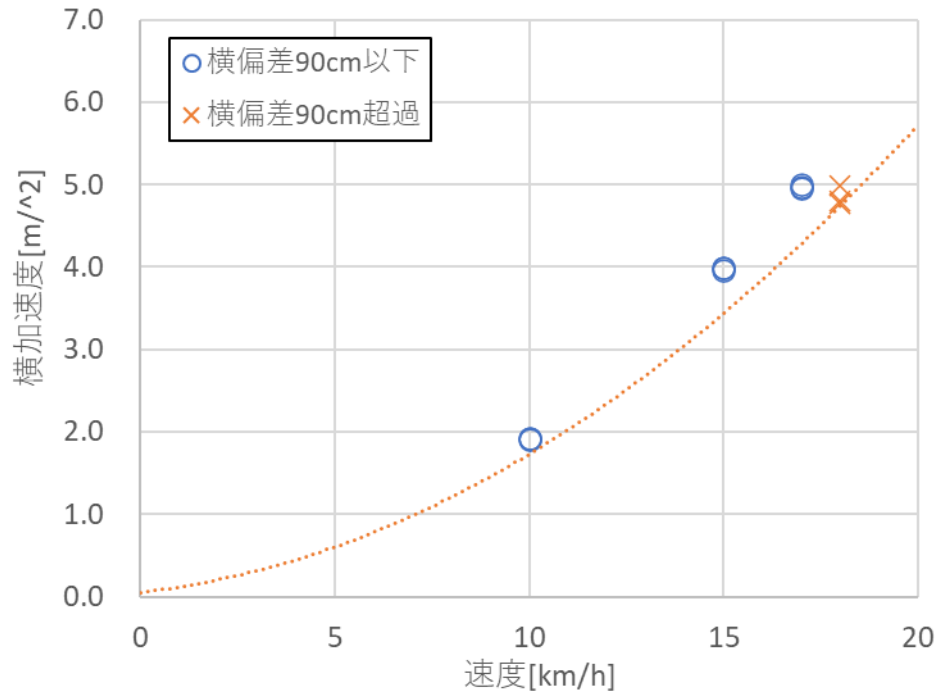


図 2.4.2.2-8　走行速度ごとの最大横加速度（旋回半径 5.25m）

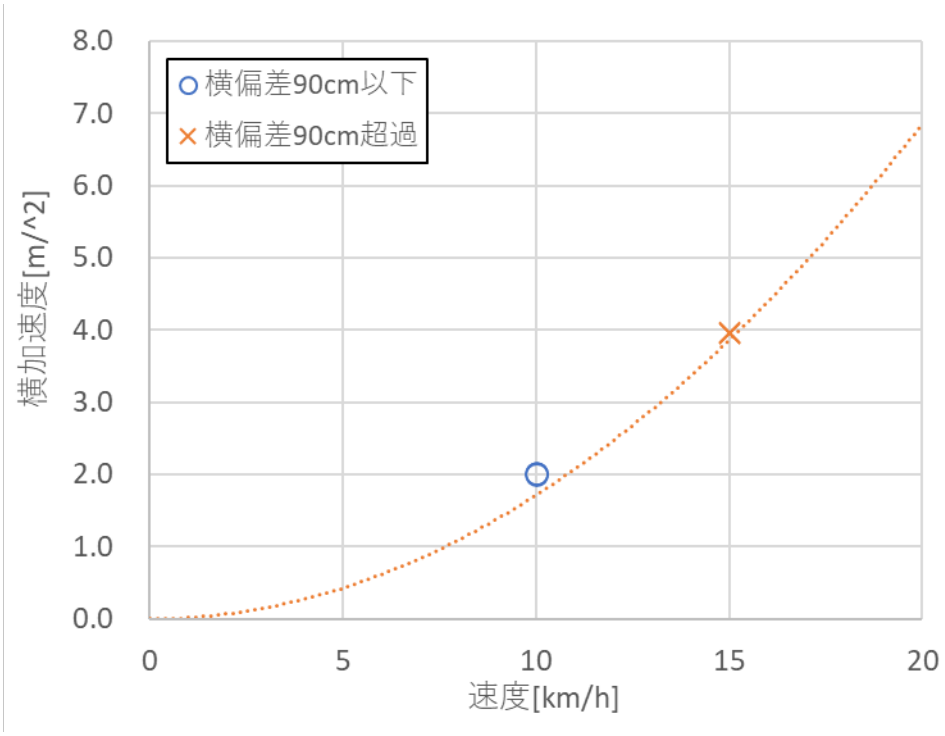


図 2.4.2.2-9　走行速度ごとの最大横加速度（旋回半径 4.50m）

（2）　模擬車両による Swerving 再現性

a）　検討データの取得方法

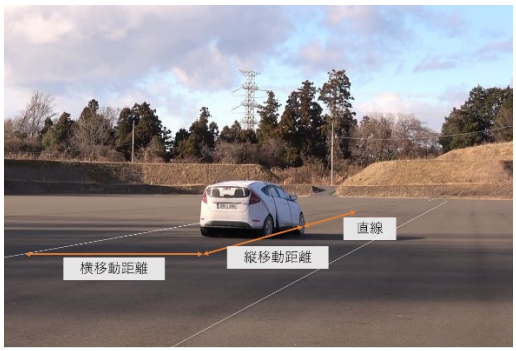
模擬車両の挙動データ取得方法を表 2.4.2.2-2 に整理する。データ取得は、同じ走行条件で各 3 回行った。本データ取得は、(1)U ターンシナリオのデータ取得時でも用いた、GST（ターゲット移動装置）と Soft Car360（車両ターゲット）で行った。使用した JARI のテストコース（城里テストセンターADAS 試験場）を図 2.4.2.2-10 に示す。いずれの日程も路面はドライで、データ取得の直前には模擬車両の挙動に影響を与える風速の高い状況がないことを確認した。

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 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 2.4.2.2-11 に示す。Swerving の挙動は、2 回のレーンチェンジ（LC）と、その間の直進区間とで構成される。JAMA フレームワークの Swerving シナリオ（図 2.4.2.2-12）には、周辺車両の代表的なパラメータとして、走行速度と LC の横移動速度・横移動距離、および直進区間の距離が示されている。本実験でデータを取得した走行パターンは、車線幅 3.0m の路肩のない一般道を 30km/h で走行している車両が、車線左側に寄せて停車している車幅 1.7m の車両を回避する場面を想定した。ソフトウェアでの LC の設定は、縦移動距離と横移動距離を規定する構成となっている（図 2.4.2.2-13）。LC の横移動距離は、停車車両と模擬車両との側方距離をどの程度確保するかで決まる。本実験では、側方距離を 1.0m と 1.5m に設定した。この場合の横移動距離は 2.05m と 2.55m になる。縦移動距離は LC 始点と終点とを結んだ時の角度が 8.3°、12.5°、16.7°になるよう横移動距離ごとに設定した。そ

れぞれの角度設定で、横移動速度が 1.2m/s、1.8m/s、2.4m/s を想定できる。2 つの LC をつなぐ直進区間の距離は 0～20m とした。なお各走行での 1 回目と 2 回目の LC は同じ設定にした。

模擬車両の挙動データは、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 により走行速度と位置、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、座標系については、図 2.4.2.2-13 の右下に表すように、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 2.4.2.2-2　模擬車両による Swerving シナリオ再現のデータ取得方法

ターゲット	Soft Car 360	
移動装置	GST	
コース	STC：ADAS 試験場	
路面	ドライ	
シナリオ設定	・走行速度 ・LC 角度 ・直進区間 ・横移動量	：30km/h ：8.3,12.5,16.7° ：0～20m ：2.05m, 2.55m
取得データ	・位置（X,Y） ・走行速度 ・加速度 ・ヨー角	（100Hz） （100Hz） （100Hz） （100Hz）
走行風景		

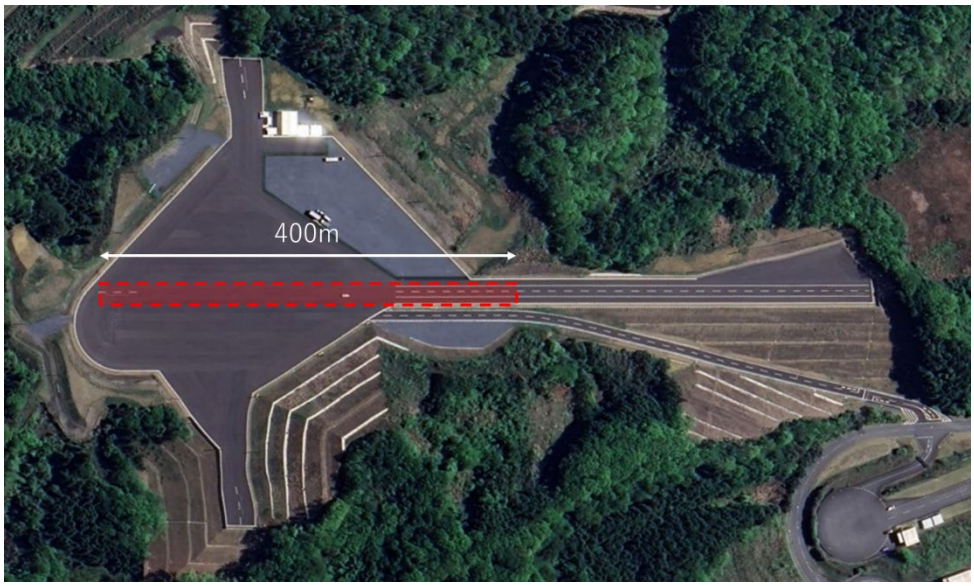


図 2.4.2.2-10　STC ADAS 試験場

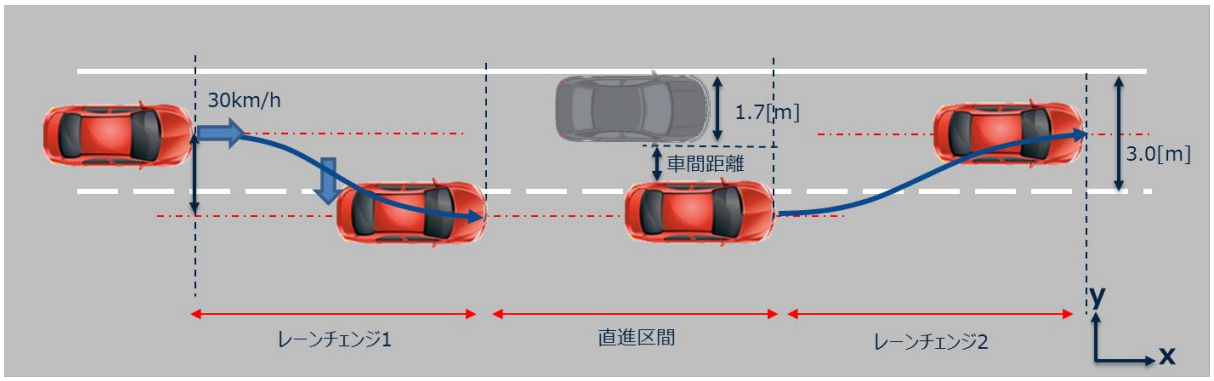


図 2.4.2.2-11　ターゲット移動装置による Swerving シナリオの設定イメージ

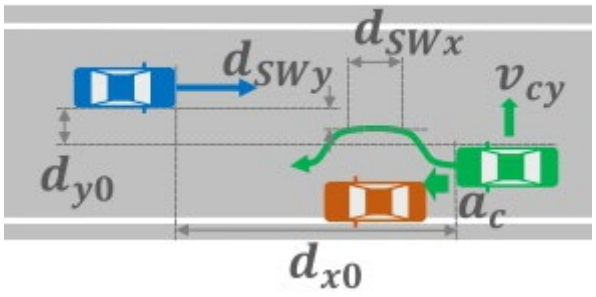


図 2.4.2.2-12　Swerving シナリオのパラメータ例[1]

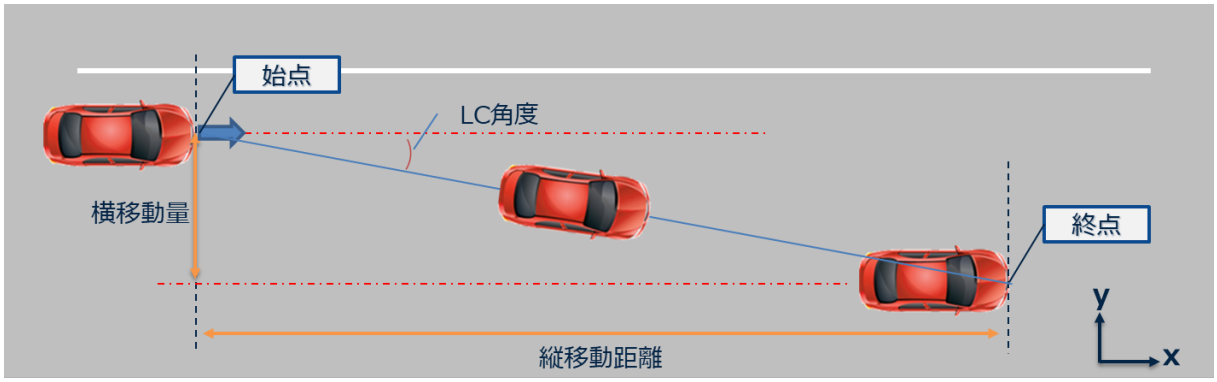


図 2.4.2.2-15　Swerving 時のレーンチェンジ設定パラメータ

b）　データの解析と結果

模擬車両位置の計測結果（走行軌跡）と設定した目標軌跡とを走行条件ごとに比較した例を図 2.4.2.2-14～図 2.4.2.2-16 に示す。直進区間の設定距離が短いと目標の横移動距離に到達していないことがわかる。

直進区間の設定距離の条件ごとに、各走行の最大横移動量を分析した結果を図 2.4.2.2-17～図 2.4.2.2-22 に示す。赤色の点線は設定した目標の横移動距離を表している。横移動距離 2.05m の場合、直線区間の設定距離が 0～5m では目標の横移動距離に到達していないのに対し、10m 以上では目標値付近まで横移動していた。また、横移動距離 2.55m に設定した場合も同様の傾向であった。

模擬車両の走行軌跡を見ると、模擬車両は目標軌跡よりも早いタイミングで横移動を開始し、レーンチェンジ完了前にゆるやかに舵を戻しており、その制御動作は LC の 1 回目と 2 回目で同様であった。これは LC 完了後のオーバーシュート軽減を意図した制御であると考えられ、直進区間の設定距離が短く横移動距離が目標値に到達しない挙動は、この制御の影響によるものと推察される。LC の制御設定を変えることで、短い直進区間でも目標の横移動距離を達成できる可能性が示唆されることから、その検証が今後の課題として挙げられる。

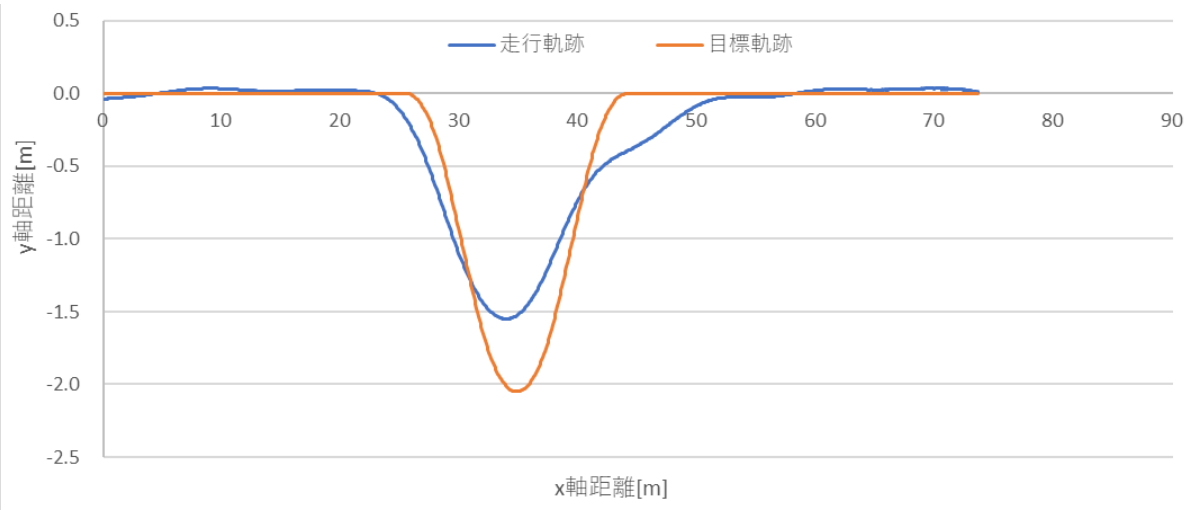


図 2.4.2.2-14　直進区間の設定距離ごとの走行軌跡と目標軌跡
（直進区間の設定距離：0m、横移動距離 2.05m、LC 設定角度：12.5°）

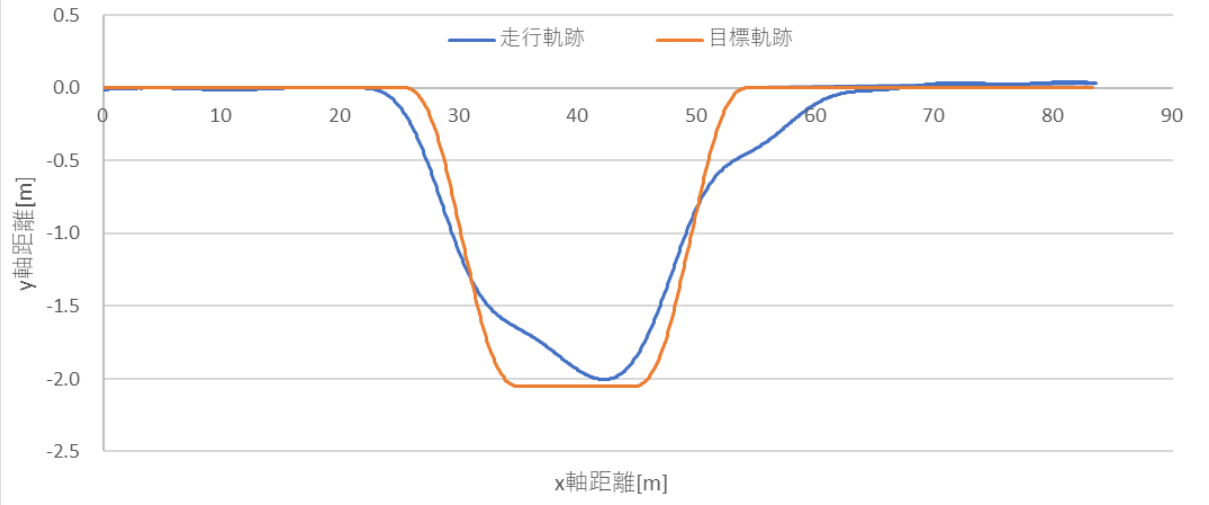


図 2.4.2.2-15　直進区間の設定距離ごとの走行軌跡と目標軌跡
（直進区間の設定距離：10m、横移動距離 2.05m、LC 設定角度：12.5°）

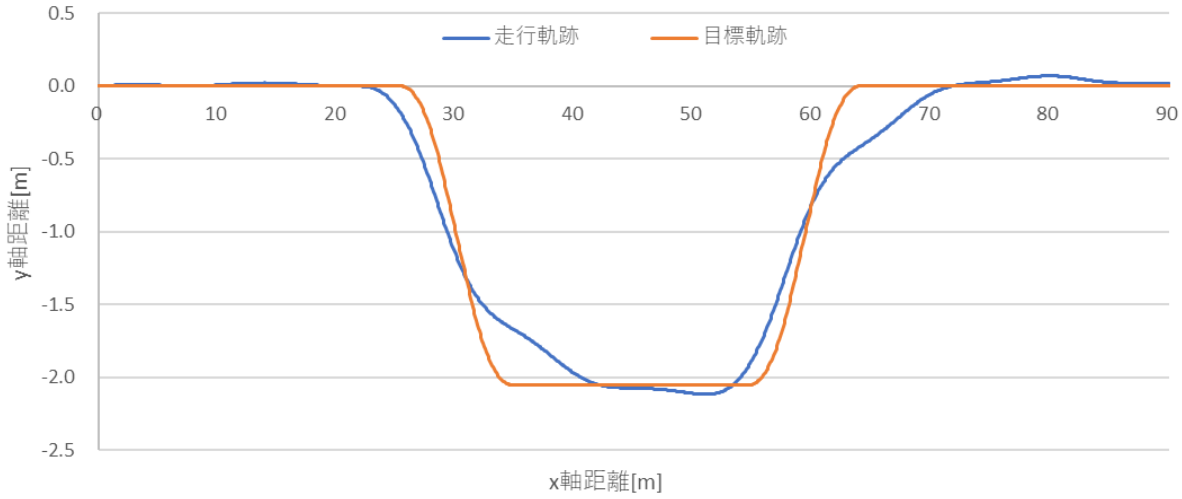


図 2.4.2.2-16　直進区間の設定距離ごとの走行軌跡と目標軌跡
（直進区間の設定距離：上から 20m、横移動距離 2.05m、LC 設定角度：12.5°）

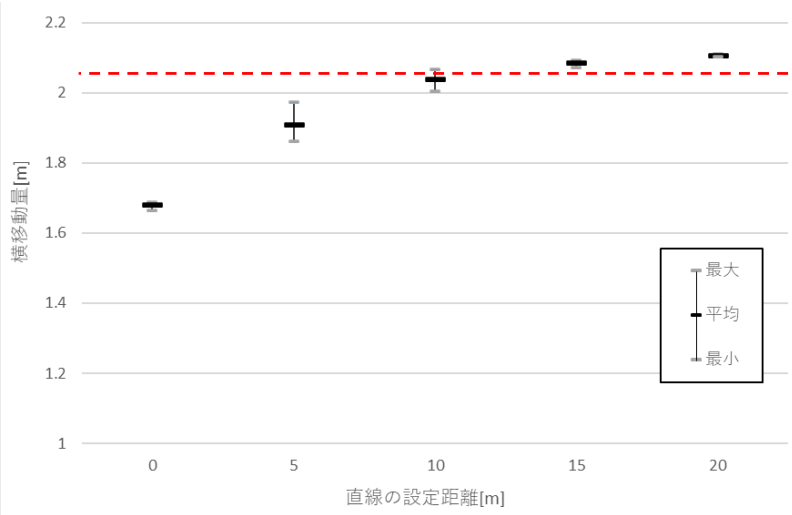


図 2.4.2.2-17　直進区間の設定距離ごとの最大横移動量
（LC 角度：8.3°、横移動距離：2.05m）

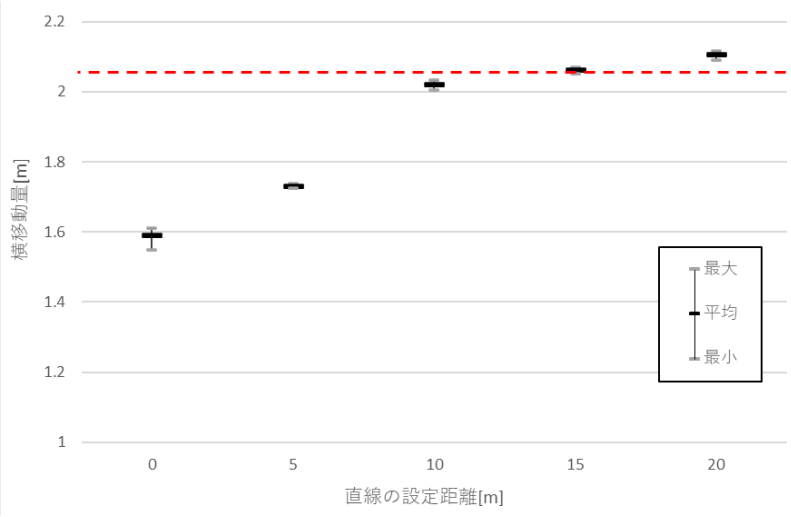


図 2.4.2.2-18　直進区間の設定距離ごとの最大横移動量
（LC 角度：12.5°、横移動距離：2.05m）

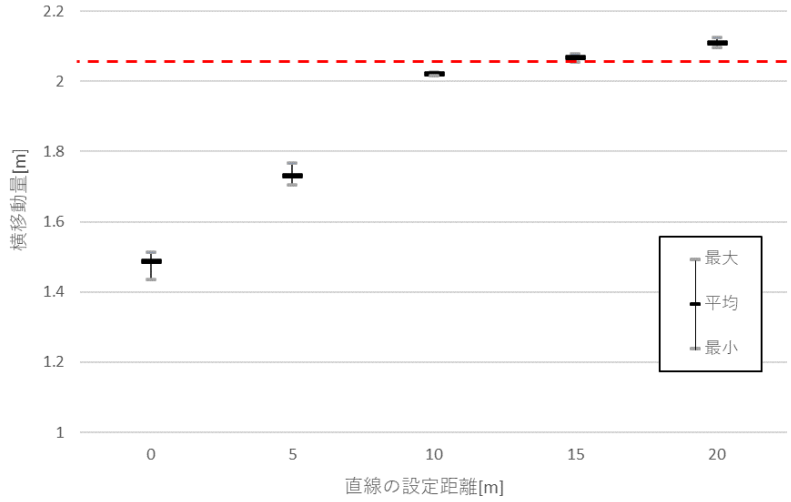


図 2.4.2.2-19　直進区間の設定距離ごとの最大横移動量
（LC 角度：18.9°、横移動距離：2.05m）

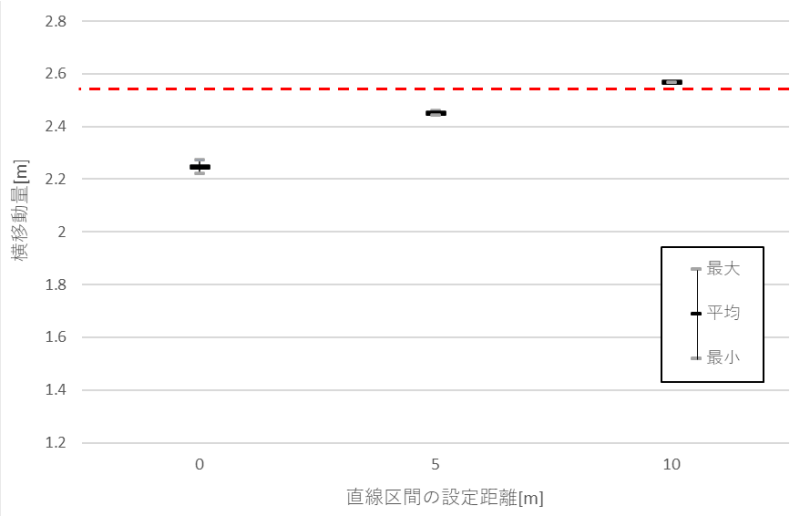


図 2.4.2.2-20　直進区間の設定距離ごとの最大横移動量
（LC 角度：8.3°、横移動距離：2.55m）

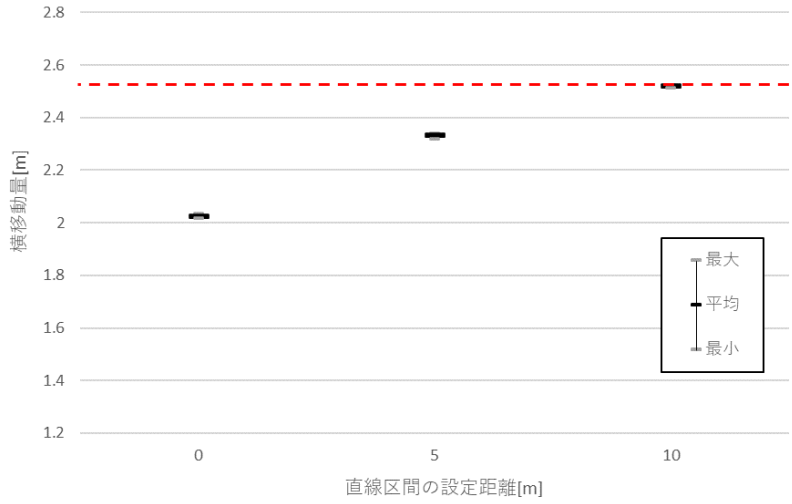


図 2.4.2.2-21　直進区間の設定距離ごとの最大横移動量
（LC 角度：12.5°、横移動距離：2.55m）

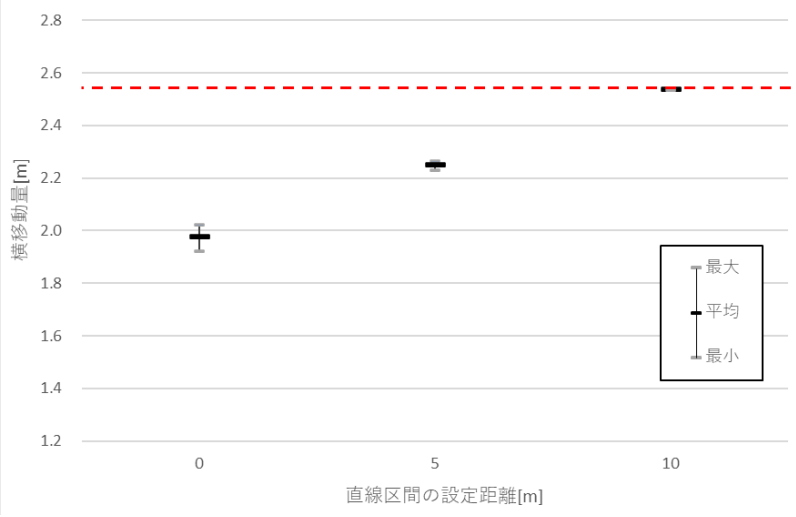


図 2.4.2.2-22　直進区間の設定距離ごとの最大横移動量
（LC 角度：18.9°、横移動距離：2.55m）

2.4.2.3　模擬歩行者によるシナリオ再現性検討

一般道を想定した自動運転の安全性評価においては自専道に対して歩行者などの交通参者に対する安全性も担保していかなければならない。そのため、交通外乱シナリオに歩行者の挙動を組み込むことは大きな課題であり、3.1.1 項で対歩行者シナリオに関して検討を実施している。歩行者に関しては車両とは異なる歩行者特有の挙動の 1 つとして、その場での方向転換が考えられる。そのため、対歩行者シナリオにおける実車試験に関して方向転換の再現では、模擬歩行者がどの程度小さく旋回できるかが重要な要素であることから、ここでは模擬歩行者を実際に走行させた挙動データを取得し、実現可能な旋回半径と速度との関係を調査した。

a)　検討データの取得方法

模擬歩行者の挙動データ取得方法を表 2.4.2.3-1 に整理する。本データ取得は、ターゲット移動装置である UFO compact および UFO nano に、Euro NCAP にも採用されている歩行者ターゲット（4activePA-adult）を載せて実施した。使用した JARI のテストコース（Jtown 多目的市街地）を図 2.4.2.3-1 に示す。いずれの日程も路面はドライで、模擬歩行者を走行させる直前には挙動に影響を与える風速の高い状況がないことを確認している。

表 2.4.2.3-1　模擬歩行者のデータ取得方法

	模擬歩行者 A	模擬歩行者 B
移動装置	UFO compact	UFO nano
ターゲット	4activePA-adult	4activePA-adult
コース	Jtown：多目的市街地	Jtown：多目的市街地
路面	乾燥アスファルト路面	乾燥アスファルト路面
シナリオ設定	・加速度　：1m/s^2 ・旋回半径　：6,12m	・加速度　：1m/s^2 ・旋回半径　：1,2,3,6,12m
取得データ	・位置（X,Y）　100Hz ・走行速度　100Hz ・加速度　100Hz ・横ずれ量　100Hz	・位置（X,Y）　100Hz ・走行速度　100Hz ・加速度　100Hz ・横ずれ量　100Hz
走行風景		



図 2.4.2.3-1　Jtown 多目的市街地（100×100m 広場）

模擬歩行者の走行は、各ターゲット移動装置専用に用意されているソフトウェアで行った。データの取得は、各ターゲット移動装置に内蔵された GNSS/INS を用いた。図 2.4.2.3-2 にソフトウェアで設定した目標軌跡と実際に取得したデータ（軌跡）の一例を示す。直進で目標速度まで加速し、その速度を維持したまま指定した半径で右旋回するようにした。その際の旋回半径は、ターゲット移動装置のソフトウェアで入力可能な最小値に設定した。図の例では、11.38km/h の速度で、半径 2m で 180° 右旋回するよう設定した

が、実際の走行では、模擬歩行者が目標軌跡を大きく逸脱して自動停止し、目標停止位置に到達できていない。

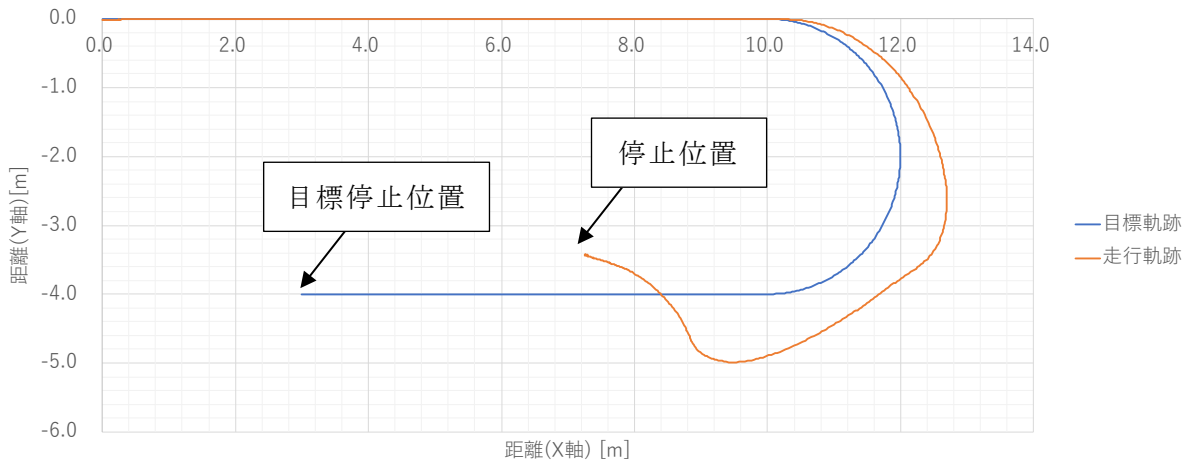


図 2.4.2.3-2　目標軌跡と走行軌跡の比較例

b)　データの解析と結果

データ取得は、同じ走行条件で各 3 回行った。図 2.4.2.3-3 に模擬歩行者 A の実験結果を示す。横軸は目標軌跡として設定した旋回半径の大きさ、縦軸は設定した旋回半径と目標速度で走行するために必要な横加速度を、それぞれ示している。図中の“◯”は、目標軌跡と走行軌跡との最大横偏差が±0.05m 以内のケースが確認できた条件、“△”印は±0.15m 以内のケースが確認できた条件をそれぞれ示している。なお、Euro NCAP の対歩行者 AEBS 試験で許容されている横偏差は、横断歩行者ケースで±0.05m、背面追突ケースで±0.15m に規定されている。

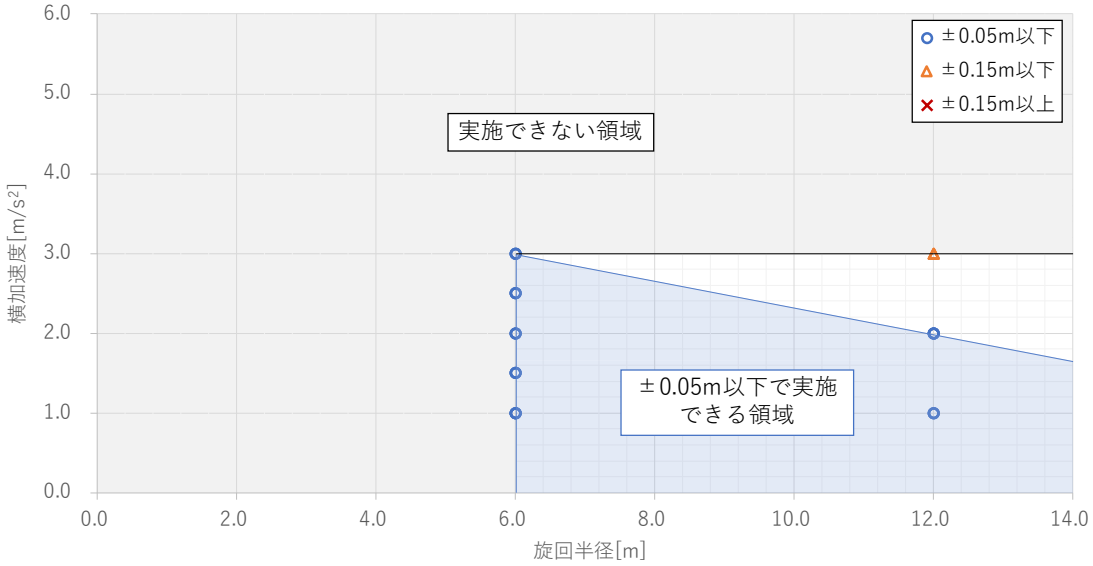


図 2.4.2.3-3　シナリオを実行可能な旋回半径と横加速度（模擬歩行者 A）

模擬歩行者 A のソフトウェアでは、最大横加速度：3m/s^2、最小旋回半径：6m の設定制限があり、それらを満たさない範囲の条件は実行することができない。旋回半径 6.0m の条件では最大横加速度の 3m/s^2 でも±0.05m の精度で走行できているが、旋回半径が大きくなるにつれて精度を保つことができる横加速度条件の範囲は小さくなる傾向が見られた。

次に、図 2.3.2.3-4 に模擬歩行者 B の実験結果を示す。図中の“○”と“△”は、図 2.4.2.3-3 と同様に横偏差が±0.05m 以下、±0.15m 以下のケースがそれぞれ確認できた条件、“×”は横偏差が±0.15m 以内の横偏差が確認できなかったケースを、それぞれ示している。

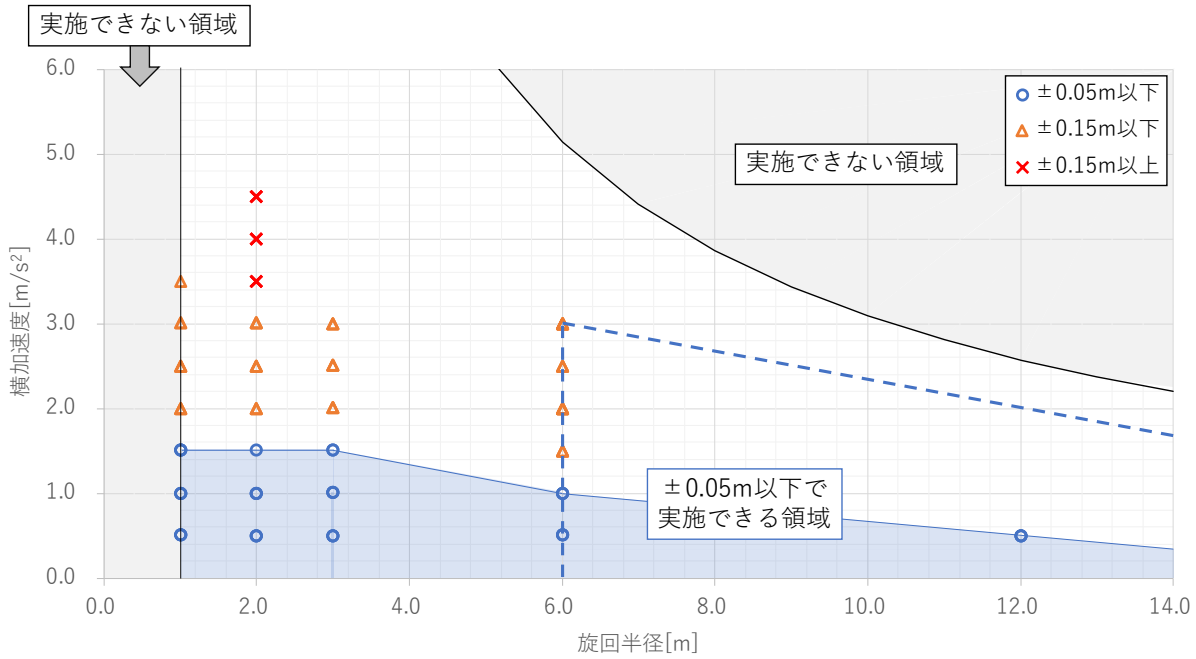


図 2.4.2.3-4　シナリオを実行可能な旋回半径と横加速度（模擬歩行者 B）

模擬歩行者 B のソフトウェアでは、旋回半径 1.0m 未満、もしくは速度が 20km/h を超える条件は設定できないようになっている。旋回半径に関しては、模擬歩行者 A では実施できない 6.0m 以下の旋回半径でも実行できるが、横偏差を高精度で保つことができる横加速度は比較的小さい傾向がみられた。旋回半径が 6.0m 以上の領域では、破線で示した模擬歩行者 A よりも、高精度で実施できる条件設定は限られる。模擬歩行者 B ターゲット移動装置は、模擬歩行者 A で用いた移動装置よりも小さく軽いため、搭載した歩行者ターゲットの慣性の影響を受けやすいことが理由として挙げられる。

以上の結果から、その場で方向転換して飛び出してくるような歩行者の挙動を再現する場合には模擬歩行者 B を使用し、駆け足など速く大きな曲線を描いて向きを変える歩行者を再現する場合には模擬歩行者 A を用いるなどの使い分けが考えられる。

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/safe/automated_driving/pdf/framework_ver_3_0.pdf （2024 年 3 月現在）

[2] ISO 19206-1: Road vehicles--Test devices for target vehicles, vulnerable road users and other objects, for assessment of active safety functions--Part 1: Requirements for passenger vehicle rear-end targets

[3] ISO 19206-3: Road vehicles--Test devices for target vehicles, vulnerable road users and other objects, for assessment of active safety functions--Part 3: Requirements for passenger vehicle 3D targets

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

2.5　自動運転車の社会実装を加速するための安全性評価基盤の構築

（1）　安全性評価基盤の構築の全体像

政府は自動運転サービスについて、2025 年度（令和 7 年度）を目途に 50 か所程度、2027 年度（令和 9 年度）には 100 か所以上実現するという目標を掲げている。このような目標を達成するためには自動運転車の社会実装が加速していく必要があるといえる。そこで、図 2.5-1 が示すように自動運転車の安全性評価に関係するプロジェクトが連携し、安全性評価基盤を構築している。この基盤においては、SAKURA プロジェクトのシナリオ DB、DIVP プロジェクトの仮想評価環境、AD-URBAN プロジェクトの自動運転システムが接続し、継続的に安全性が向上することを狙っている。安全性評価基盤を構築するためには、シナリオ DB と仮想評価環境を接続するための技術課題、仮想評価環境と自動運転システムを接続するための技術課題が存在するため、これらの技術課題の解決に向けて 3 つのプロジェクトが連携しながら取り組んでいるところである。

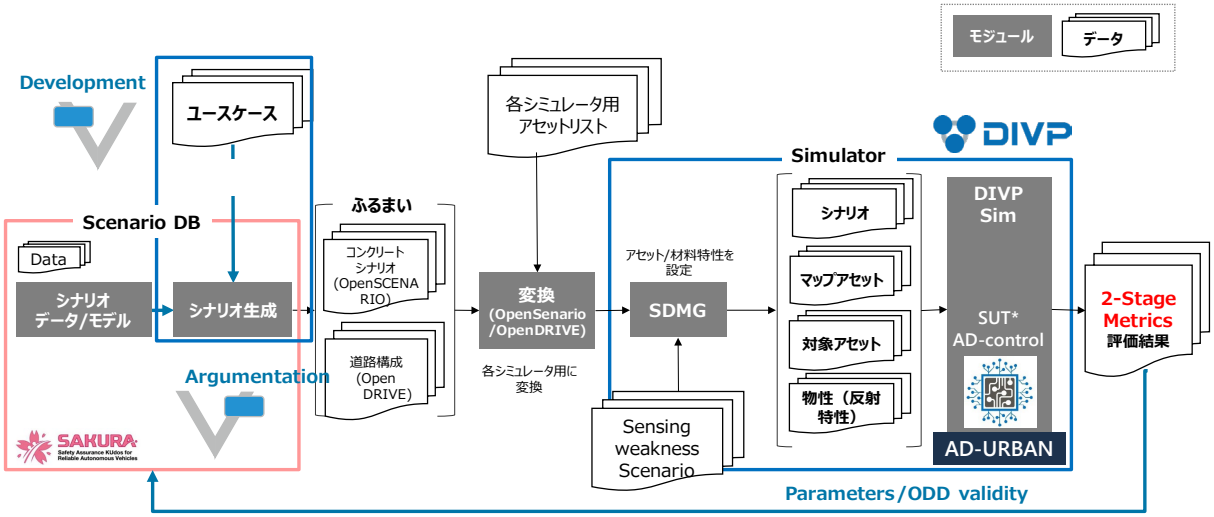


図 2.5-1　自動運転車の安全性評価基盤の全体像

図 2.5-2 は、安全性評価基盤を構築するための 3 プロジェクトが連携する推進体制を示している。目指す姿として、自動運転技術導入に対する地域ニーズ、サービス向上にむけた一般道対応などの ODD 拡張、オーナーカーの自動運転技術のレベルアップを設定し、3 つの Team（0/1/2）の活動を通して技術課題の解決を図っている。Team0 は、各地域実証や OEM との連携による・ニーズ・ユースケースの収集と研究成果の発信を通して全体方針・研究戦略を策定する[1]。Team1 は、シナリオ DB と仮想評価環境を接続するための技術課題を解決するため、具体的なユースケースに基づいてシナリオと評価指標を検討する。Team2 は、仮想評価環境を用いた評価結果と自動運転システムを結合した評価体系を確立する。

このような形で各プロジェクトの取組みを連携し、シナリオ・仮想評価環境・自動運転システムがつながる効率的な安全性評価を実現できる環境を構築していく。このうち、本節では、本事業に関係する Team1 の活動内容について記述する。



図 2.5-2　安全性評価基盤の構築に向けた体制と Team1 の役割

図 2.5-3 は、3 プロジェクトが目指す安全性評価のための 2-Stage 評価コンセプト[1]を示している。2-Stage の 1-Stage 評価とはセンサ性能要件から定めたセンサ認識性能評価であり、この評価によって自動運転システムの認識性能の定量評価結果が得られる。2-Stage 評価とは実交通流シナリオに基づく自動運転安全性評価であり、他の交通参加者との遭遇しうる相対関係に対する経路計画・制御・車両運転性能評価結果が得られる。この 2 つの Stage の結果を統合することによって、自動運転システムが設定する ODD 内の交通外乱と認識外乱を考慮した安全性評価を実施することが可能となる。

Team1 は、図 2.5-3 に示したようにユースケースに基づくシナリオ・安全性評価指標を開発することが実施項目となる。一般道評価用のシナリオ体系から評価対象として選定されたシナリオを仮想評価環境で実行するために必要なシナリオインターフェースを定義するとともに、安全性を判断するための評価指標案と評価基準案について具体化し、そのアウトプットを Team2 へ提供することが役割である。

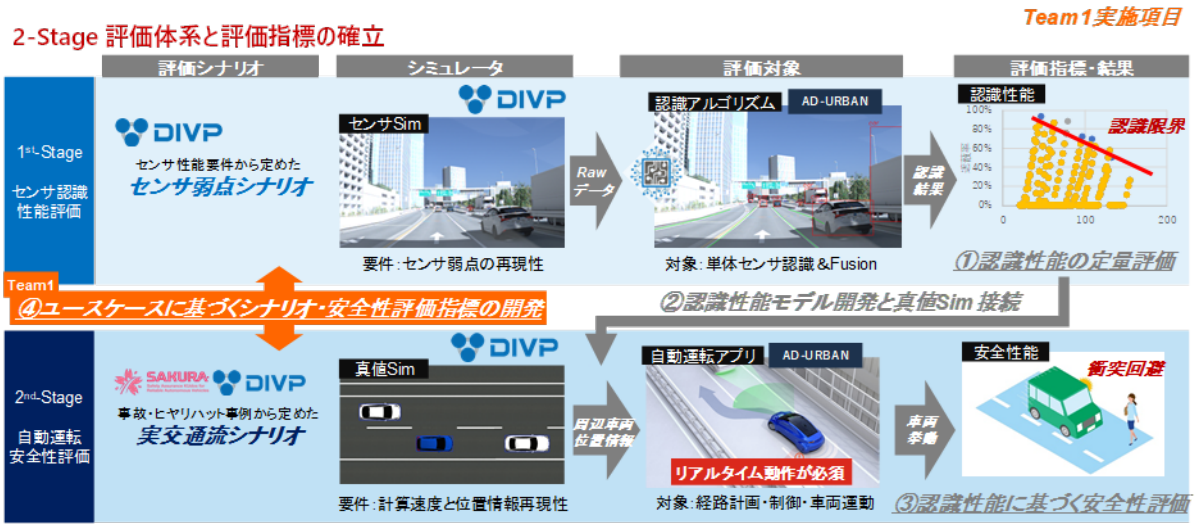


図 2.5-3　安全性評価のための 2-Stage 評価コンセプト

（2） 構築中の安全性評価基盤を活用した安全性評価の実施例

図 2.5-4 は、構築中の安全性評価基盤を活用した安全性評価を実施対象として選定した RoAD to the L4 プロジェクトのテーマ 2（茨城県日立市）の走行ルートの概略[2]である。鉄道跡地をバス専用道路空間として整備された区間を自動運転バスが走行するが、一部区間で一般道との交差や歩道と並走する区間があり、完全な専用空間ではない環境も走行する。

今年度は、一般道との交差する箇所のなかから自動運転バスが非優先側から進入する箇所を評価対象として選定した。評価にあたっては、道路環境をなるべく現実に即した形で仮想評価環境内に再現し、この環境を AD-URBAN の自動運転システムが認識・判断の観点で安全に通過できるかを確認した。



図 2.5-4　RoAD to the L4 プロジェクトテーマ 2（茨城県日立市）の走行ルート[1]

図 2.5-5 が特定の交差点を対象とした 2-Stage 評価を進めるための実施項目と、Team1 と Team2 の連携関係を示している。2-Stage 評価の実施項目は、ユースケースの特定、シナリオの選定、シミュレーション環境の構築、評価対象との接続、評価指標の適用・結果の取得である。Team1 は、このうちユースケースに基づくシナリオの選定、シミュレーション実行のためのシナリオインターフェース定義、安全性を判断するための評価基準案の提示を実施する。

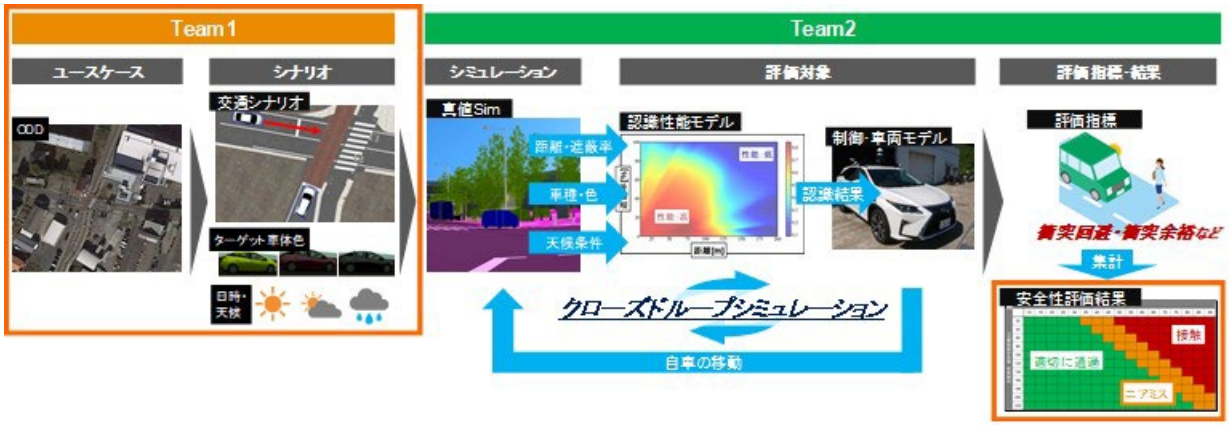


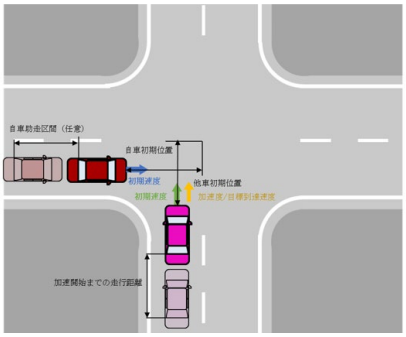
図 2.5-5　2-Stage 評価のための実施項目と Team1 と Team2 の連携関係

（3）　交差点シナリオ評価のためのシナリオ定義・評価範囲・評価基準案の提示

安全性評価の対象として交差点において二車両がそれぞれ直進する出会い頭シナリオが選定されたため、図 2-5-6 にシナリオ概要およびシナリオパラメータを示す。交差点に対して自車と他車が直進で進入するシナリオを定義するため、自車に関するパラメータとしては初期位置と初期速度が必要であり、他車に関するパラメータとしては初期位置、加速開始までの走行距離、初期速度、加速度、目標到達速度が必要であると定義した。

これらのパラメータが指定された場合にシミュレーションが実行できるように Team2 と連携を進め、DIVP の仮想評価環境において交差点評価シナリオが実行できる準備を進めた。

シナリオ概要



シナリオパラメーター覧

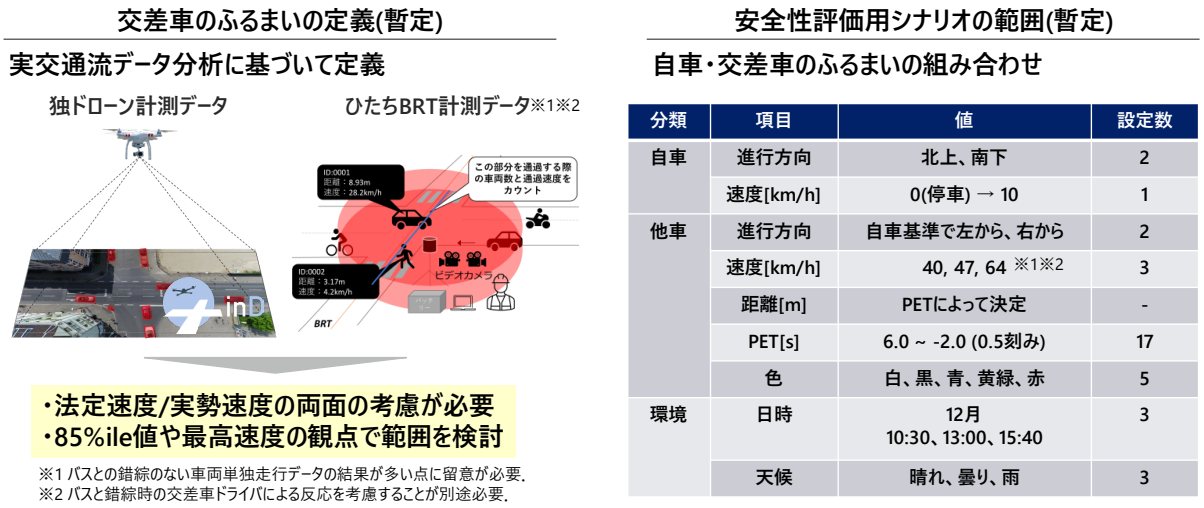
対象	パラメータ	変数名	UI
自車	初期位置[m]	-	直接入力
	初期速度[km/h]	Ve0	直接入力
他車	初期位置[m]	-	選択式 [直接入力/自動計算] ※非入力の場合は車両同士が衝突する位置で自動計算
	加速開始 までの走行距離[m]	-	選択式 [直接入力/自動計算] ※非入力の場合は車両同士が衝突する位置で自動計算
	初期速度[km/h]	Vo0	直接入力
	加速度[m/s^2]	ac	直接入力
	目標到達速度[km/h]	-	直接入力

図 2.5-6　交差点シナリオのパラメーター覧

前述したように定義した交差点シナリオのパラメータ定義に沿って、安全性評価のためのパラメータ範囲を暫定的に定義した。図 2.5-7 に示すように、実交通流データに基づいて交差点における交差車両のふるまいを暫定的に定めた。ドイツで収集されたドローン計測データの分析結果については 3.1.2 項を参照されたい。海外において収集されたデータの分析結果と合わせて、該当する交差点で計測されたデータの分析結果も参照して暫定的

な評価範囲を定義した。ただし、実際の交差点で計測されたデータのなかには、交差車とバスが同時に交差点に接近する事例はほとんど含まれず、あくまで交差車両が単独で交差点に接近・通過した結果が多いこと、バスと錯綜した場合には交差車両側のドライバが減速するなどの反応の考慮することについて留意する必要がある。

交差点における安全性評価用シナリオの範囲としては、自車の進行方向・速度、他車の進行方向・速度・距離・PET（Post Encroachment Time：二車両が交差する時間差）[3]・色、日時・天候の環境条件の観点で具体的に定め、Team2 に提供した。



分類	項目	値	設定数
自車	進行方向	北上、南下	2
	速度[km/h]	0(停車) → 10	1
他車	進行方向	自車基準で左から、右から	2
	速度[km/h]	40, 47, 64 ※1※2	3
	距離[m]	PETによって決定	-
	PET[s]	6.0 ~ -2.0 (0.5刻み)	17
	色	白、黒、青、黄緑、赤	5
環境	日時	12月 10:30、13:00、15:40	3
	天候	晴れ、曇り、雨	3

図 2.5-7　交差点安全性評価用シナリオの範囲（例）

図 2.5-8 は、交差点通過の安全性評価に関する前提条件を示している。交差車のふるまいとしては、PET が示す時間差に合わせて距離を配置し、初期条件で走行し、その速度を維持して交差点へ接近し、そのまま初期速度を維持して交差点を通過する。一方、自車のふるまいとしては、一時停止線で一時停止し、停止状態から発進し、10km/h まで加速し、交差点を通過する。

したがって、交差車および自車の二車両が予め設定された時間差で通過する条件を前提に、自動運転システムの認識・判断によって安全な通過を実行できるかどうかを評価する。このとき、自動運転システムが安全な通過を実行できるかを評価する観点として、「接近する交差車と衝突しないこと」に加えて、「接近する交差車を妨害しないこと」の 2 つの観点を設定した。

このとき、交差車を妨害しないことを判断するため、道路交通法[4]第 1 章総則の第 2 条定義の 22 項（進行妨害）に関する記述内容（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）を参照した。この定義を定量的に評価するための有効な指標として、今回は PET を用いた時間差によって評価する方法を採用した。ただし、今回採用した PET が進行妨害の有無を判断するために最適な指標であるかどうかについては議論の余地があり、より有効な指標があるかどうかについて継続して調査を進めていくことが必要である。

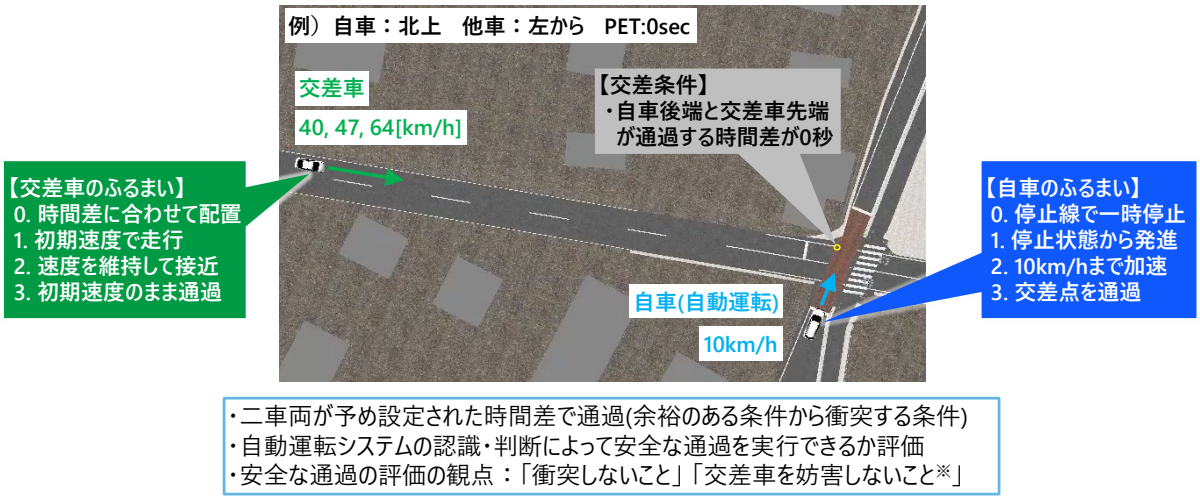


図 2.5-8　交差点通過の安全性評価に関する前提条件
（交通参加者のふるまいと初期の交差条件）

図 2.5-9 は、交差点通過時の安全性を判断するための時間差の定義と評価基準案を示している。前述したとおり、二車両の交差する危険度合いについて時間差を用いて表現する指標で、車両 A が通過して車両 B が差し掛かるまでの時間の差を示し、値が大きいほど安全な状態を示す指標である。

さらに、どの程度の時間差が確保できれば進行妨害にあたるかどうかを明らかにするため、ドライビングシミュレータを用いた走行実験を実施した。この結果の詳細な内容は、3.3.1 節を参照されたい。時間差を 1 秒、3 秒、5 秒の 3 つの水準で約 30 名の実験参加者の反応を調査した結果、1 秒では約 60%の実験参加者がブレーキを操作した結果より、交差車のドライバは 3 秒程度の時間差を確保できないと妨害されたと感じる可能性が高いことを示した。実験結果に基づいて今回の安全性を判断する暫定的な評価基準案を具体化し、Team2 に提供した。

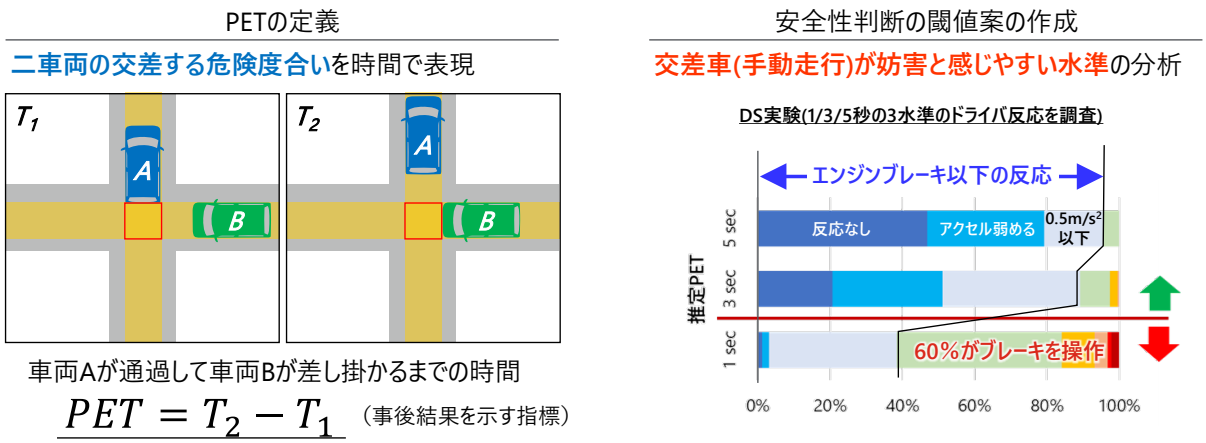


図 2.5-9　交差点通過時の安全性を判断するための時間差（PET）の定義と評価基準案

参考文献

[1] AD Safety assurance 研究基盤 Team0、2023 年度以降の研究体制案 2023 年度第 1 回 安全性評価戦略ワーキンググループ報告資料 p.7、（2024 年 3 月現在）
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/automobile/jido_soko/anzensei_hyoka/2023_0121team0_kennkyuutaisei.pdf

[2] RoAD to the L4 プロジェクト Web サイト、各地の取り組み（テーマ 2 の取り組み）、https://www.road-to-the-l4.go.jp/activity/theme02/ （2024 年 3 月現在）

[3] B. L. Allen et al.、Analysis of Traffic Conflicts and Collisions、Transportation Research Record、vol. 667、pp. 67–74 （1978）

[4] 道路交通法（第 1 章・第 2 条・第 22 項）、https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=335AC0000000105 （2024.3.18 参照）

2.6 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、優先順位の高い一般道シナリオの基本仕様の作成とシナリオ DB（自専道）の OEM への公開と要望・意見集約、道路形状や法規を加味したシナリオ絞り込み手法の研究、安全性評価シミュレーションの妥当性検証のための実車試験法の検討を行った。

シナリオ DB の一般道シナリオに関しては、優先順位の高いシナリオとして、一般道特有で、かつ事故件数が多い交差点での出会い頭衝突と右折時衝突を抽出し、シナリオパラメータの基本仕様を作成した。また、令和 4 年度までに実施した開発現場のニーズ調査結果をもとに、優先順位の高い機能を織り込んだ公開版シナリオ DB を開発し、クラウド環境を構築して日本自動車工業会 JAMA の AD 安全性評価分科会の委員各社に公開し活用いただいた。開発現場より得られた多くの要望・意見は、本事業の目指す開発の方向性と合致しており、また、将来に向け更なる有益な期待も寄せられた。

シナリオ絞り込み手法の研究に関しては、道路構造、構造物および法規をモデル化し各シナリオと紐づけることにより、道路形状や法規を加味したシナリオ絞り込みが可能となった。これにより、サービスカーなど ODD（走行経路など）が限定的である自動運転車など対して、その ODD 内において安全性評価が必要なシナリオを効率的に導き出すことが可能となった。また、本手法を用いることにより、2.1 節や 2.2 節で述べられているシナリオ DB から自身が開発、評価したい自動運転車に対して必要な評価シナリオのみを効率的に抽出（ダウンロード）してくることが可能となる。

安全性評価シミュレーションの妥当性検証のための実車試験に関しては、自動運転システムの制御ロジックを考慮したうえで実車試験のパラメータを設定することが重要である。また、シミュレーション結果と実車結果の相関関係を示すためには、シミュレーションによるばらつきも考慮したうえで妥当性の検証を実施しなければならない。実車試験の際には、シミュレーションと違い物理的な実験機材（ダミーやそのけん引装置など）の制約（限界性能）があることが本取り組みにより明確化された。そのため、それら制約を加味したうえで実車試験を計画・実施しなければならない。

国内の安全性評価プロジェクトと連携し、シナリオ DB と仮想評価環境と開発中の自動運転システムを接続する安全性評価基盤の構築を推進した。今後の自動運転車の社会実装を加速するため、今年度は社会実装の近い事例を評価対象として、交差点を安全に通過するシミュレーション実行条件を具体化した。二台の車両が交差点を直進する出会い頭シナリオを実行するために必要なパラメータの定義、国内外の実交通流データに基づく交通参加者のパラメータ範囲の特定、二台の車両の通過する時間差を用いた安全性判断のための評価基準案を提示した。

第 3 章　交通外乱シナリオ DB の分析及び検討

本章では、自専道よりも複雑な環境である一般道の安全性評価を実施するため、論証体系・手法の検討、合理的に予見可能な範囲の特定手法の検討、回避可能な範囲の特定手法の検討、および導出エビデンス・処理プロセス規定を用いたシナリオ管理について述べる。

3.1　一般道の安全性評価に必要な論証体系・手法の検討

本節は、自専道に比べて道路形状・交通参加者種別・振る舞いの点で複雑な一般道の安全性評価を実施するために必要な論証体系・手法について検討した内容について述べる。

3.1.1 項では、安全性を評価するためには、自動運転システムが遭遇しうる交通外乱のパターンを定義することが必要であり、昨年度は対四輪車の交通外乱パターンを 58 パターンにまとめた。この考え方を踏襲し、対歩行者シナリオ体系として必要な交通外乱パターンを定義するとともに、定義したシナリオ体系が国内外の事故実態に基づいて作成された事故パターンをカバーしているかどうかを確認する。

3.1.2 項では、対四輪車の交通外乱パターンから事故件数も多い出会い頭パターンのシナリオを選定し、国内外で収集された実交通流データを分析した結果に基づいて Logical シナリオを構成するパラメータ範囲を特定する。制限速度は同じであるが、道路形状の異なる場所で収集された実交通流データの分析結果を比較することにより、今後の交差点シナリオの一般化・汎用化に向けた基礎的な検討も実施する。

3.1.3 項では、JAMA が提唱する自動運転の安全性評価フレームワーク Ver.3.0 に記載されている内容を分析し、自動運転システムの安全性を主張するための論証構造がどの範囲まで展開できるのかをまとめる。さらに、ISO34502（シナリオベースの安全性評価フレームワーク）と ISO21448（SOTIF：意図した機能の安全性）の相互に関係する箇所・内容について考察する。

上記の内容を通して、一般道における安全性評価に関して安全性評価シナリオ生成、安全性評価結果を用いた論証の観点で実効性のある方法論に発展させていく。

3.1.1　対歩行者シナリオ体系の構築

図 3.1.1-1 に JAMA の自動運転の安全性評価フレームワーク Ver3.0 で定義している交通外乱シナリオ分類と構造を示す [0]。交通外乱シナリオは評価シナリオを網羅的に作成するために構築された体系であり、四輪車、二輪車、VRU（Vulnerable Road User）などの交通参加者の種類の定義や交通参加者がいる道路環境や自車両・他交通参加者の行動などで定義されている。今までの検討では、対車両（General vehicle）について焦点を当てていたが、実環境を加味した交通外乱を扱うためには、対車両以外の交通参加者にも焦点を当てていかなければならない。例えば、一般道では VRU の単路・交差点での横断行動や信号などがない共有空間（Shared space）での混在交通も検討しなければ、一般道での安全性評価が網羅的に検討されたとは言えない。したがって、この 3.1.1 項では VRU、特にその中でも交

通参加者頻度が最も高い歩行者について Functional Scenario（以下、「FS」という）を検討する。

FS 作成の流れは JAMA の自動運転の安全性評価フレームワークで定義している交通外乱シナリオ分類にしたがい、VRU の「歩行者」を対象とし、交通外乱シナリオ構造による構成要素をまとめる。次に、構成要素により考えられるパターンを抽出し、網羅的に説明できるシナリオ体系を構築する。

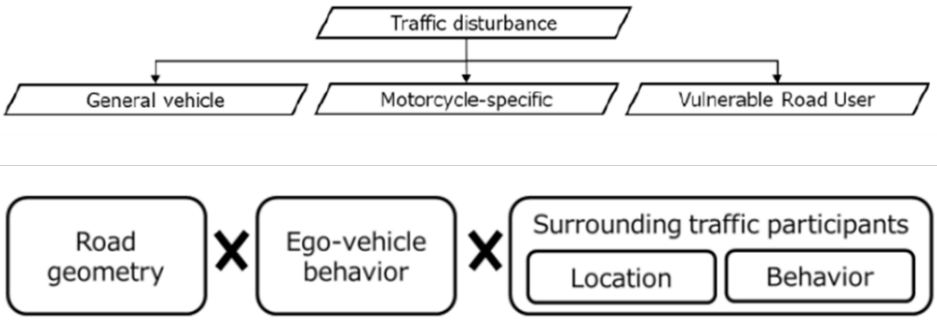


図 3.1.1-1 JAMA Automated Driving Safety Evaluation Framework の交通外乱シナリオ分類（上）、交通外乱シナリオ構造図（下）[0]

3.1.1.1 構成要素による一般道対歩行者 FS の提案

網羅性の高い FS を作成するためには、シナリオを構成する要素（図 3.1.1-1 の下段各ブロック）を定義し、各要素に当てはまる項目をもれなく抽出する必要がある。構成要素は JAMA フレームワークの交通外乱シナリオ構造に従い、「道路環境：Road geometry」、「自車両挙動：Ego-vehicle behavior」、「他交通参加者（位置・挙動）：Surrounding traffic participants (Location, Behavior)」の三つとし、それぞれの項目について検討した。ここで、詳細すぎる項目の分類は網羅性を評価することが難しいため、一定の抽象度をもった項目とするように留意した。その結果、得られた一般道対歩行者 FS 構成要素および項目を表 3.1.1.1-1 に示す。まず、道路環境は、単路（Non intersection）・交差路（Intersection）とした。なお、一般的な道路として合流・分岐車線、ラウンドアバウトなども存在するが、歩行者とのインタラクションを評価する場合、交差路に集約しても支障はないため、道路環境のアイテムから除外した。自車両行動要素のアイテムは、直進（Go straight）、車線変更（Lane change/Swerve）、旋回（Turn）が考えられる。ここで、急に方向を変えるなどの行動（Swerve）は回避行動と考えるため、本シナリオ構成要素アイテムには含めない。また、単路での旋回として、例えば、道路脇の駐車場などが考えられるが、これらは交差と同様の扱いと考えられるため、旋回は交差路のみとし、車線変更に関しては交差路でも単路でも同様のため、単路のみでの項目としてまとめる。

最後に、他交通参加者（歩行者）行動要素の項目はシナリオ開始時の歩行者の位置と行動として、On driving path と Into driving path と定義した。On driving path と Into driving path の概要を図 3.1.1.1-1 に示す。

表 3.1.1.1-1　一般道対歩行者 FS の構成要素

構成要素		項目	備考
日本語表記	英語表記（案）		
道路環境	Road Geometry	Non intersection, Intersection	Merge、Branch は不要
自車両行動	Ego-vehicle Behavior	Go straight, Lane change/Swerve (Non intersection) Go straight, Turn (intersection)	対四輪シナリオと同様
歩行者行動	Pedestrian Behavior	On driving path, Into driving path	

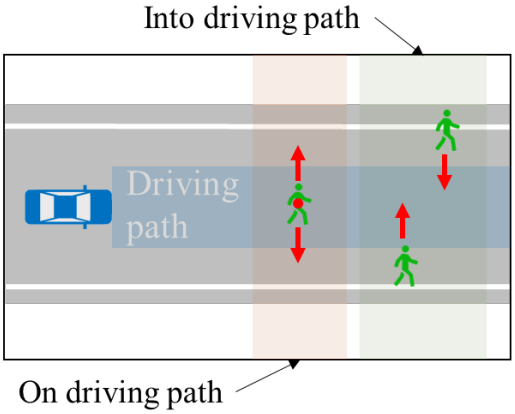


図 3.1.1.1-1　On driving path，Into driving path の概要

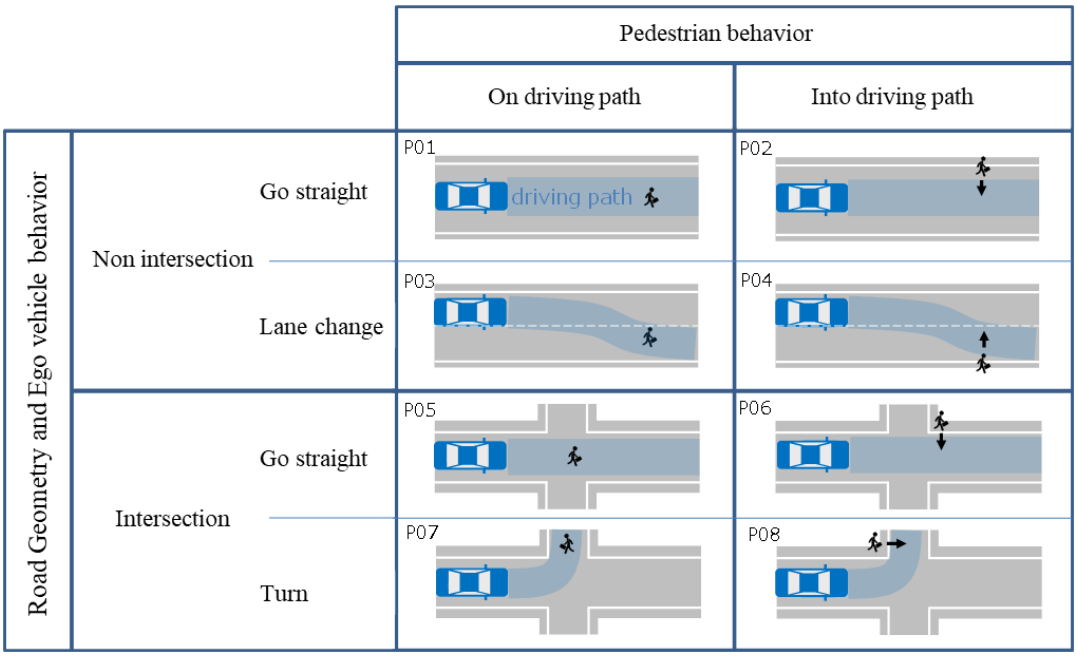
ここで On driving path とは、シナリオ開始時の自車両の予想走行軌跡（Driving path）上に位置していることを意味する。Into driving path はシナリオ開始時の歩行者は自車両の Driving path の外側に位置し、Driving path に入ってくることを意味する。ここで、FS の段階では不要であるが、パラメータを付与し、定量的な Logical Scenario（以下、「LS」という）を定義する段階で必要となるため、各アイテムにおける歩行者の行動について述べる。On driving path における歩行者の行動は停止・Driving path の左方向に移動・Driving path の右方向に移動の三つの行動でまとめられる。なお、自車両の進行方向の前後方向については、対歩行者のシナリオのため、縦方向の相対速度は自車両の進行速度と大きく変わらないと仮定し、歩行者停止と同様にまとめる。

Into driving path における歩行者の行動は Driving path の左方向に移動・Driving path の右方向に移動の二つの行動でまとめ、Driving path 外側で停止の場合は危険事象には至らないため考慮しない。

作成した一般道対歩行者 FS の構成要素から作成したシナリオカテゴリを表 3.1.1.1-2 に示す。一般道対歩行者 FS は単路 4 シナリオ、交差路 4 シナリオ、計 8 シナリオで構成さ

れる。

表 3.1.1.1-2　一般道対歩行者のシナリオカテゴリ



3.1.1.2　対歩行者 FS の網羅性検証

公道で起きている対歩行者のインタラクションを網羅していることを理論的に証明することは困難であるものの、安全性評価の目的を考慮し、少なくとも事故が起きている場面を網羅していることが必要条件と考え、国内外の対歩行者事故パターン体系と比較を行った。

比較対象とした対歩行者事故パターン体系は三つあり、一つ目は ITARDA (Institute for Traffic Accident Research and Data Analysis)が SIP (Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program)プロジェクトでまとめた日本国内の交通事故パターン[0]、二つ目はドイツ IGLAD (Initiative for the Global Harmonisation of Accident Data)の 事故パターン[0]、最後はオーストラリアの事故パターン (DCA: Definitions for Classifying Accident)[0] である。

シナリオを比較した結果を表 3.1.1.2-1 に示す。表の数字は比較対象の事故パターンと本検討で提案した対歩行者 FS を比較し、比較対象のパターンがどれだけ該当したかを意味している。比較の結果、SIP の事故パターンで提案した対歩行者 FS に該当しないパターン（車両の後退による歩行者との事故）が存在していたが、これらのパターンは駐車場など、一般公道上での事故パターンではないため、一般道の自動運転車両の安全性評価のために必要なパターンはすべて網羅できているといえる。

表 3.1.1.2-1　シナリオの網羅性検討のための対歩行者シナリオの比較

Road geometry	Ego vehicle behavior	SIP		IGLAD		DCA	
		Pedestrian behavior		Pedestrian behavior		Pedestrian behavior	
		On driving path	Into driving path	On driving path	Into driving path	On driving path	Into driving path
Non intersection	Go straight	8	22	5	15	3	4
	Lane change			6			
Intersection	Go straight	2	11		27		1
	Turn	1	9		12		1

数字は対歩行者 FS で網羅できる対象事故パターンの数

また、比較対象の事故パターン（SIP、IGLAD、DCA）の内、提案した対歩行者 FS に該当するパターンがない・少ないシナリオが存在する理由について、比較対象の事故パターンに対して、提案した対歩行者 FS の分類の詳細度が異なることが考えられる。比較対象の事故パターンの定義が詳しく書かれていないものの、例えば、SIP の事故パターンは自車両の直進と旋回は分類しているが、車線変更については分類していない。そのため、自車両の直進のパターンの中に自車両の車線変更のパターンが包含されている可能性がある。図 3.1.1.2-1 は SIP の事故パターンの中、自車両が単路を走行中の歩行者との事故パターンの一部を示している。図 3.1.1.2-1 では単路のみを示しているが、確認したすべての SIP の事故パターンでは、自車両の直進と旋回のみで分類している。また、IGLAD の事故パターンでは 6 件の自車両の車線変更時の事故パターンが確認されているが、これらのパターンは自車両の前方障害物を回避した後の事故の意味が大きいため、全体的には自車両直進と旋回で分類していると考えられる。IGALAD と DCA の事故パターンの内、交差路の On driving path が存在しない理由も単路での事故に分類していると考えられる。ここで、自車両の行動の分類方法が異なり、一対一の比較は不可能であるが、少なくとも比較対象の事故パターンが提案している対歩行者 FS に存在していることから十分網羅できていると考えられる。

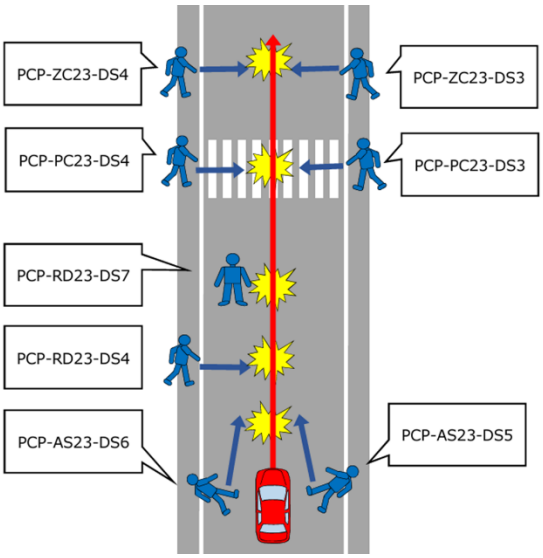
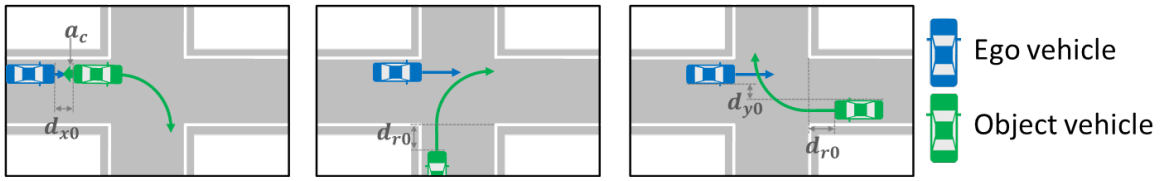


図 3.1.1.2-1　SIP の事故パターンの例（単路走行中の歩行者との事故）[0]

3.1.1.3　対歩行者 FS のパラメータ付与

作成された対歩行者の FS カテゴリの安全性評価のために必要十分なパラメータの付与については、対車両シナリオのパラメータを付与（図 3.1.1.3-1）と同様に下記基本方針で作成する[0].

a) 対車両のシナリオの考え方を踏襲
b) 歩行者の位置、速度、進行方向をパラメータとして設定
c) 交差点における自車右左折（Turn）シナリオでは、交差点中心に対して歩行者の相対的な縦・横位置を定義



参考（対車両　交差点　自車直進の例）
Sameは相対距離，Crossは交差点までの距離，Oncomingは交差点までの距離とオフセット量

図 3.1.1.3-1　対車両の FS のパラメータ付与[0]

（1）　Driving path の定義

FS の構成要素の歩行者の行動を Driving path との相対的な位置で定義しているが、Driving path の明確な定義は定まっていない。LS 化のためのパラメータ付与のためには、Driving path の形や範囲について検討する必要がある。ここでは、Driving path を、「車幅+α」か「車線全体」のいずれかで定義する方法について述べる。

Driving path の範囲を「車幅+α」とする場合、自車の走行軌跡に対して横方向に「車幅+α」の範囲で帯状の Driving path が定義される。「+α」の値に明確な定義はないが、自車の横方

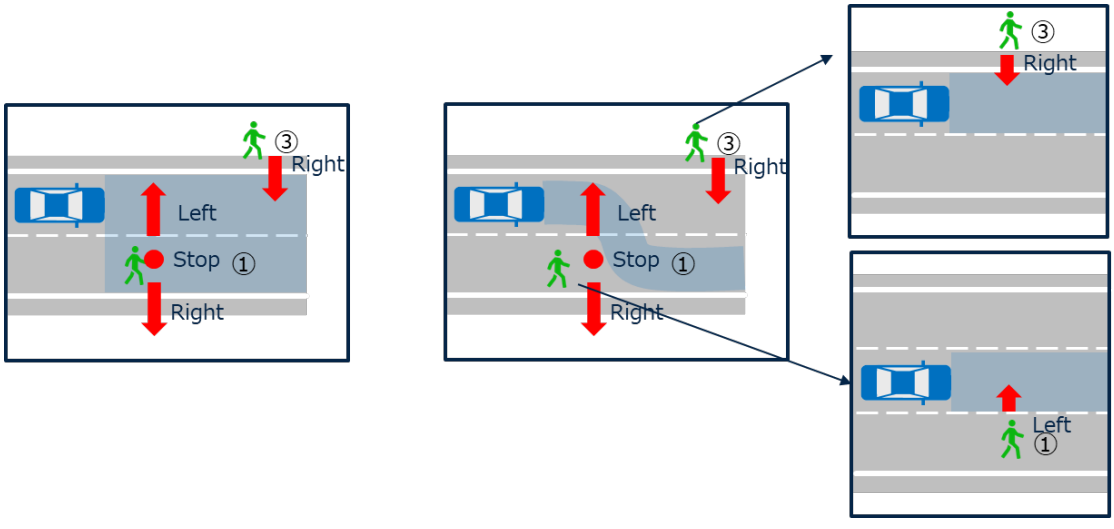
向のふらつきや、交通弱者に対して非接触の影響を与える範囲などを考慮することが考えられる。

一方で、Driving path の範囲を「車線全体」とする場合、車線維持であれば自車が走行している車線全体、車線変更の際は自車が走行している車線および車線変更後の車線全体、旋回の場合は旋回前に自車が走行している車線全体、交差点全体、旋回後に自車が走行する車線全体、を Driving path と定義する。

いずれの定義方法にもメリット・デメリットがあり、例えば「車幅+α」の方法は車線の概念がない場合にも Driving path を正確に表現できるが、車線の概念がある場合、「車線全体」とした方が座標系の定義が道路に固定されているため、テスト条件を設定することが容易である。

また、 Driving path を「車線全体」とするか、「車幅+α」とするかによって、歩行者の行動アイテム（Into/on driving path）の境界が変化するが、いずれの定義方法でも網羅性は変わらない。例えば、車線変更シナリオの On driving path で、図 3.1.1.3-2（a）の位置①の同じ位置（図 3.1.1.3-2（b））だとしても、自車両との距離が極端的に近い場合、もしくは、車線変更後程度の距離がある場合（図 3.1.1.3-2（a）の位置③）について考えるときに、「車線全体」で定義する場合は一つのシナリオで集約できるが、「車幅+α」の場合は歩行者の複数位置の Into driving path シナリオになることが考えられる。また、実際に実車テストやシミュレーションによる安全性評価時を考慮すると、自車両の予想軌跡全体を把握しないと、配置する対歩行者の配置を決めることが難しいことも考えられる。

いずれかの方法に決定するためには、対歩行者に対するクライテリアを検討する必要があるため、本研究では「車線全体」、「車幅+α」の二つの定義を併記する。



(a) (b)

図 3.1.1.3-2　Driving Path の定義を「車線全体」（a）と「車幅+α」（b）にした場合の安全性評価シナリオの分類の違い

（2）　パラメータの定義

安全性評価のために必要十分なパラメータは対象とする歩行者の「位置」・「移動方向」・

「移動速度」で構成され、それぞれのパラメータは自車両との相対的な位置関係を把握するためのパラメータと道路環境との位置関係を把握するように下記のように構成される。

a) 歩行者位置のパラメータ

・ 単路部シナリオ

- 縦方向の距離

d_{x0}：進行方向距離は自車前端から歩行者中心までの相対距離

- 横方向の距離

d_{ry0}：On the path シナリオは Driving path 右側からの距離

d_{ry0}：Into the path シナリオは歩行者よりの Driving path の端部からの距離

・ 交差点部シナリオ

- 自車 Go straight シナリオは単路部と同様の考え方でパラメータ付与

d_{crx0}、d_{cry0}：自車右左折（Turn）シナリオは、交差点中心からの距離

b) 歩行者の移動方向

θ_p：自車の初期進行方向を基準とした時の反時計回りの角度

c) 歩行者の移動速度

v_p：合成速度

ここで、パラメータは自車両・道路環境からの相対関係で構成されているため、Driving path の種類により値が変わることが考えられるが、パラメータの意味は変わらない。表 3.1.1.3-1 と表 3.1.1.3-2 はそれぞれ Driving path を「車線全体」とした場合と「車幅+α」とした場合の対歩行者の FS カテゴリの安全性評価のために必要なパラメータの模式図を示す。

表 3.1.1.3-1　Driving Path を「車線全体」とした場合の対歩行者の FS カテゴリ

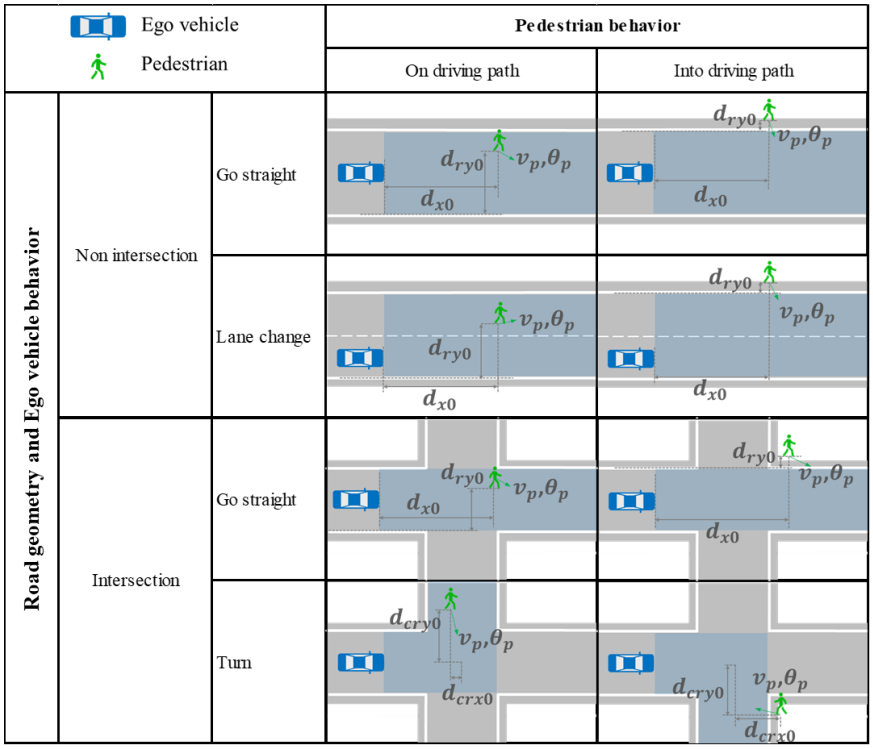
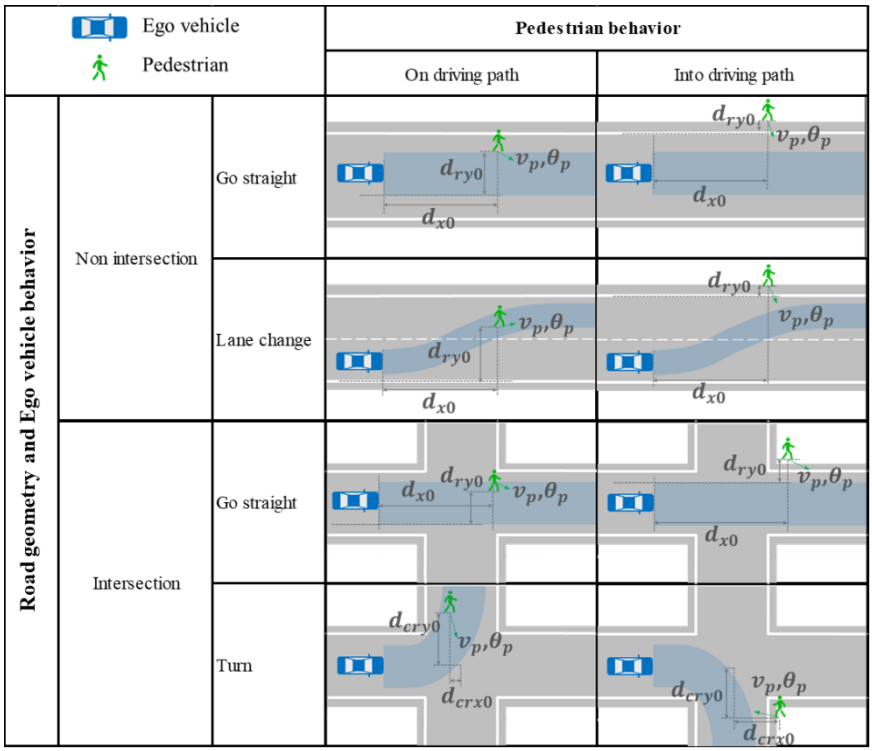


表 3.1.1.3-2　Driving Path を「車幅+α」とした場合の対歩行者の FS カテゴリ



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 Ver3.0、2022
[2] Institute for Traffic Accident Research and Data Analysis, ＳＩＰ事故パターン分析, https://www.itarda.or.jp/materials/sip_pattern_analytic/data, 2018
[3] Initiative for the global harmonization of accident data, Codebook, 2020
[4] Sadia Afroza, Ashim K Debnath, Kazem Ghabraie, and Amir Sobhani, Can movement types provide better insights than DCA (Definitions for Classifying Accidents) codes for crashes involving pedestrians?, In Australasian Transport Research Forum (ATRF), 43rd, 2022, Adelaide, South Australia, Australia.
[5] 一般財団法人日本自動車研究所, 2023 年度 JARI 委託研究（一般道自動運転安全性評価シナリオ構築に関する研究）, 2023

3.1.2 対四輪車の Logical シナリオの作成

JAMA の自動運転安全性評価フレームワーク Ver.3.0[1]では、一般道で自動運転車が遭遇しうる対四輪車交通外乱シナリオ（Functional シナリオ、以下、「FS」という）は 58 種類とされている。自動運転車は合理的で予見可能な範囲で事故を起こさないことが求められるため、58 種類の FS に対して自車、他車の挙動がとりうるパラメータの範囲をそれぞれ定義する必要がある。さらに、58 種類の FS を Concrete シナリオ（試験条件）に落とし込むためには、パラメータ間の相関も分析する必要がある。そこで本項では、国内の一般道における交通事故発生率が高い右折車と対向直進車が交錯する場面（No. 52）と出会い頭場面（No. 42）を優先度の高い評価シナリオとして分析する（図 3.1.2-1）。

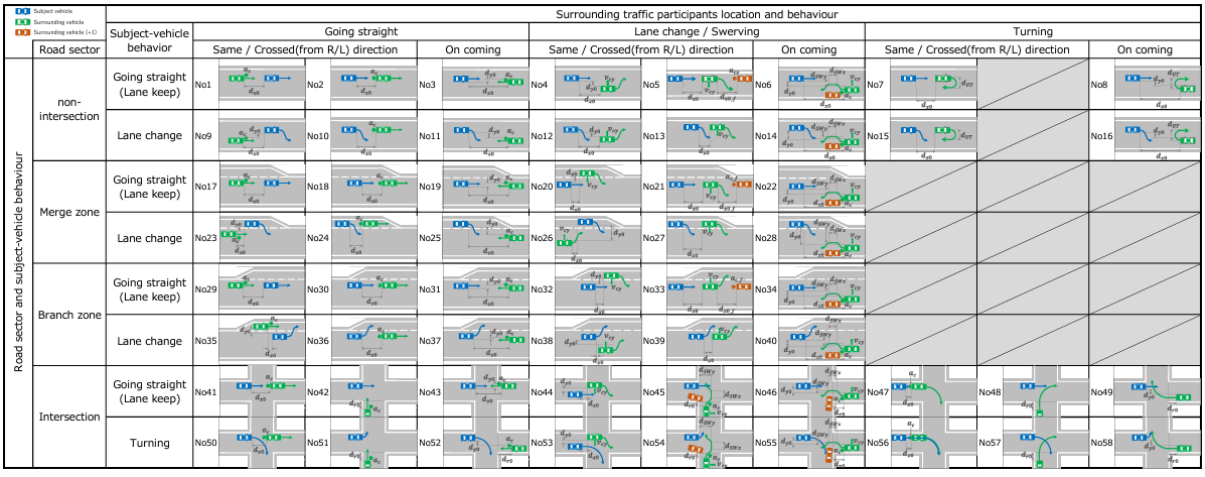


図 3.1.2-1 一般車両の交通外乱シナリオ[1]

3.1.2.1 直進車が減速しながら交差点に接近する右折・直進場面（No. 52）における Logical シナリオパラメータの相関分析

本事業では、これまでにドイツの 3 都市（ブラウンシュヴァイク市、ハノーファー市、ハンブルク市）で計測車により取得された海外既存データを入手し、左直場面（左折車対

直進車、日本での右折・直進に相当）における Logical シナリオ（以下、「LS」という）のパラメータについて相関分析を実施してきた。具体的には、直進車が定速あるいは加速しながら交差点に接近する場面に関しての相関分析を実施した。

一方、左折車対直進車において、直進車は減速しながら交差点に接近する場合も考えられることから、当該場面で直進車がとりうるパラメータの相関を分析する。分析対象データの仕様は表 3.1.2.1-1 の通りである。

表 3.1.2.1-1　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
減速している直進車の定義	「データの範囲」における直進車の速度が 0.1km/h 以上であり、かつ直進車が交差点中心において交差点中心から 80m 手前よりも 3km/h 以上減速していること
減速直進車の数	638 台

ここで、分析に用いるパラメータを表 3.1.2.1-2 に示す。

表 3.1.2.1-2　分析で用いるパラメータ

変数名	単位	説明
v_{max}	km/h	直進車の進行方向における最大速度
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	$v_{cross} - v_{max}$
a_{min}	m/s	直進車の進行方向における最小加速度

まず、データの範囲における直進車の最大速度 v_{max} と交差点中心での速度 v_{cross} の差 Δv について分析する。Δv のヒストグラムを図 3.1.2.1-1 に示す。Δv が-5km/h の直進車が最も

多く、Δv の 5 パーセンタイル値は-19.25km/h、Δv の平均値は-8.24km/h であった。したがって、分析対象となる直進車のほとんどは急激な減速をしないことがわかる。

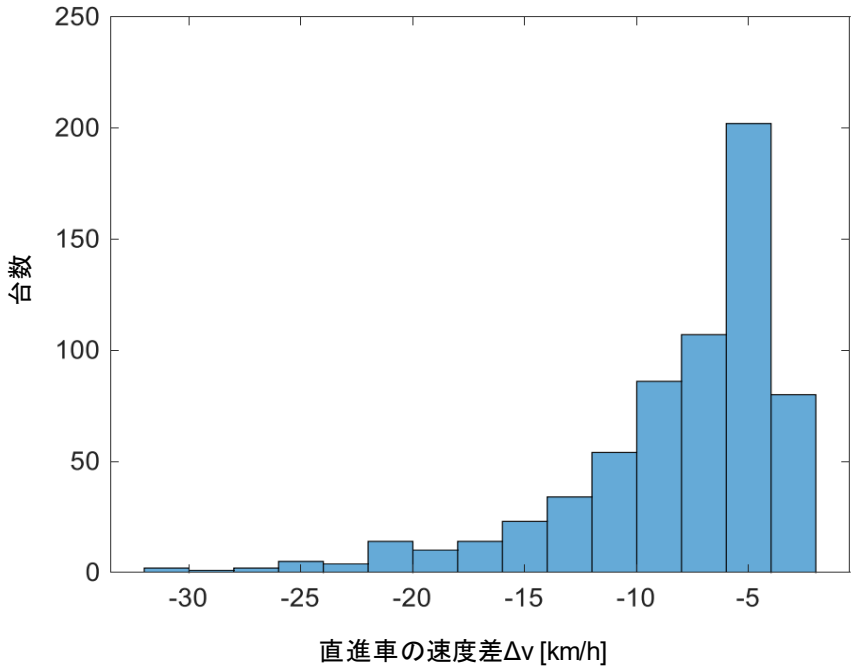


図 3.1.2.1-1　直進車の速度差 Δv のヒストグラム

次に、直進車が交差点中心に到達した際の進行方向速度 v_{cross} と Δv の関係を図 3.1.2.1-2 に示す。v_{cross} が大きいほど Δv は大きくなり（0 に近づく）、v_{cross} と Δv の間には強い正の相関がある（R^2=0.89）。データの分布を見ると、v_{cross} が小さい場合は交差点に接近する間に大きく減速する直進車とそうでない直進車が存在するが、v_{cross} が大きくなればなるほど大きく減速する直進車の数は減少する。この理由として、比較的低速で交差点を通過する直進車は対向方向の左折車（日本では右折車）などの周辺の状況に応じて速度を変化させていることが考えられる。

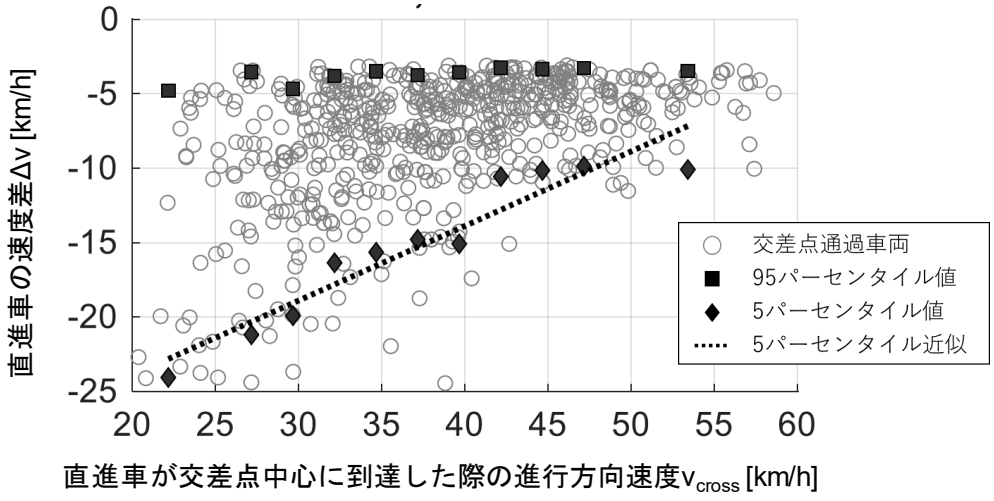


図 3.1.2.1-2　直進車が交差点中心に到達した際の進行方向速度 v_{cross} と Δv の関係

左折車対対向直進車シナリオにおいて直進車が減速しながら交差点に接近する場合のパラメータの特徴について分析した。その結果、直進車は緩やかな減速で交差点に接近する場合が多いことと、交差点を低速で通過する直進車は比較的速い速度から大きく減速して交差点に接近する場合や、元々低速で走行していて交差点にはあまり減速せずに接近する場合など、多様な挙動が存在することが分かった。

3.1.2.2　海外既存データを用いたパラメータ範囲検討

3.1.2.1 目では令和 4 年度までの本事業と同様のデータを用いて右直（左直）シナリオにおけるパラメータの相関分析を実施した。そして、効率的な安全性の証明のためには、シナリオで定義しているパラメータの合理的に予見可能な範囲（以下、「パラメータ範囲」という）の調査が必要である。さらに、一般道の交差点形状や規模は多岐にわたることから、道路環境が走行する車両の挙動に影響を与える可能性がある。そこで、ここではシナリオで定義しているパラメータ範囲の調査および異なる場所で計測されたデータを分析することで、右直シナリオにおける車両挙動の地域性を検討する。本目で対象とするシナリオは、交差点での二台の車両が直進で交差する場面である出会い頭場面（No. 42）と右折・直進場面（No. 52）である（図 3.1.2.2-1）。

（1）　対象対車両 FS とパラメータ抽出方法

LS 化のためのシナリオは JAMA フレームワーク[1]で定義された 58 シナリオのうち二つの対車両 FS（No. 42、52）を対象とした（図 3.1.2.2-1）。これらは、自専道と異なる一般道の特有の場面である。また、対象とする二つのシナリオは日本の一般道における事故発生率がもっと高いことから一般道の安全性評価のために最も優先度が高いといえる。なお、自専道で検討していた前方衝突、車線変更、分岐・交流なども一般道 FS に拡張されているが、基本的な考え方は自専道と同様であり、パラメータ範囲の違いのみで安全性評価が可能である。表 3.1.2.2-1 は JAMA の自動運転安全性評価フレームワーク Ver.3.0 で提案した、シナリオ別の LS パラメータ種類とその説明をまとめている[1]

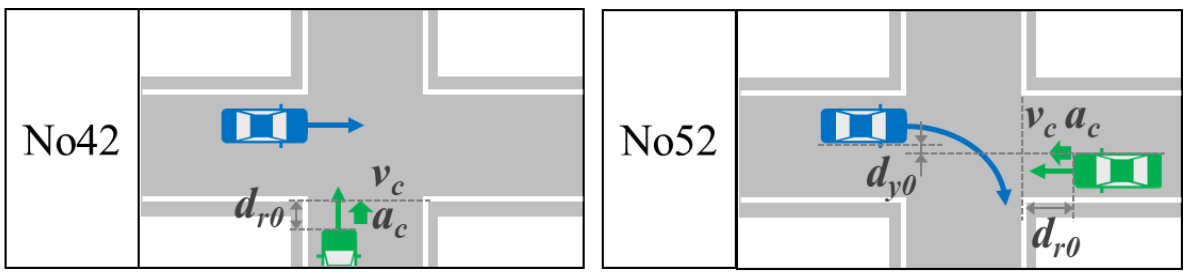


図 3.1.2.2-1　対車両の FS（No. 42、52）カテゴリ

表 3.1.2.2-1　対車両の FS（No. 42、52）の LS パラメータ種類と説明

FS	Parameter layer 1	Parameter layer 2	単位	説明
No. 42	位置	d_{r0}	m	交差点進入までの距離（縦）
	速度	a_c	m/s^2	加速度 (縦)
		v_c	m/s	速度 (縦)
No. 52	位置	d_{y0}	m	自車両との距離（横）
		d_{r0}	m	交差点進入までの距離（縦）
	速度	a_c	m/s^2	加速度 (縦)
		v_c	m/s	速度 (縦)

（2）　交差点の対車両 LS の安全性評価を考慮したデータ取得方法

パラメータとして明示されてはいないものの、計測データからパラメータを取得するためにはシナリオの開始、終了のタイミングを定義する必要がある。特に、異なる交差点を通過するデータが混在するため、一般化された開始・終了タイミングの定義が望ましい。また、データ計測の観点からはシナリオの開始時点は自車両の何かの挙動を開始する時刻もしくはある場所を通過する時刻と設定した方がシナリオの抽出が容易である。これらを考慮し、自車両相当の車両が交差点に進入する時刻をシナリオ開始時刻とした。ただし、自車両が交差点に進入する前の行動が他車両のパラメータに影響するかについても調査するため、この研究では自車両の交差点進入前の位置を数段階に分けて比較も行う。自車両の交差点進入前の 30 m から 10 m 単位で交差点進入までのパラメータを算出する。

（3）　パラメータ抽出のための使用データセット

ドイツ RWTH Aachen 大学の ika（Institute for Automotive Engineering）で提供している inD（Intersection Dron Dataset）からパラメータ抽出を行った**エラー! 参照元が見つかりません。**。こちらのデータセットは大学や研究機関にオープンソースとして、四つの交差点の NDD（Naturalistic Driving Data）を提供している。前述の通り、今回分析対象のシナリオ、特に出会い頭（No. 42）場面については、交通信号がない交差点で多く発生する場面であるが、使用の検討を行った国内のデータの中では交通信号がない交差点のデータがなかったため海外データを利用した。ただし、ドイツの通行は日本とは左右対称であるため、交通シナリオの分析も左右反転して行った。今回分析対象とする交差点の詳細は表 3.1.2.2-2 に示す。

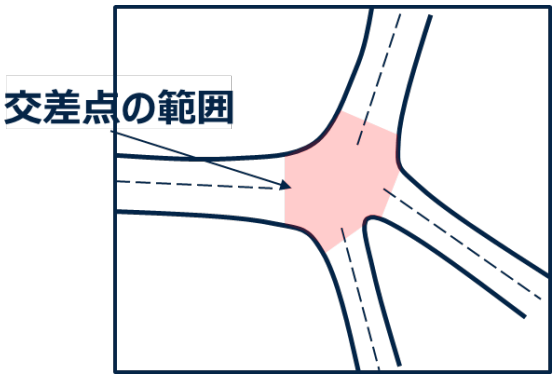
交差点のタイプは 2 か所の丁字路交差点と 2 か所十字路交差点であり、すべての交差点の制限速度は 50 km/h である。また、交差点の規模の概略として、データセットの認識範囲内のすべての車線数を明記している。交差点別に登場する交通参加者の種類を確認するために、車両と VRU（Vulnerable Road User）に分けて時間当たりの登場数も明記している。

表 3.1.2.2-2　使用データセットの詳細

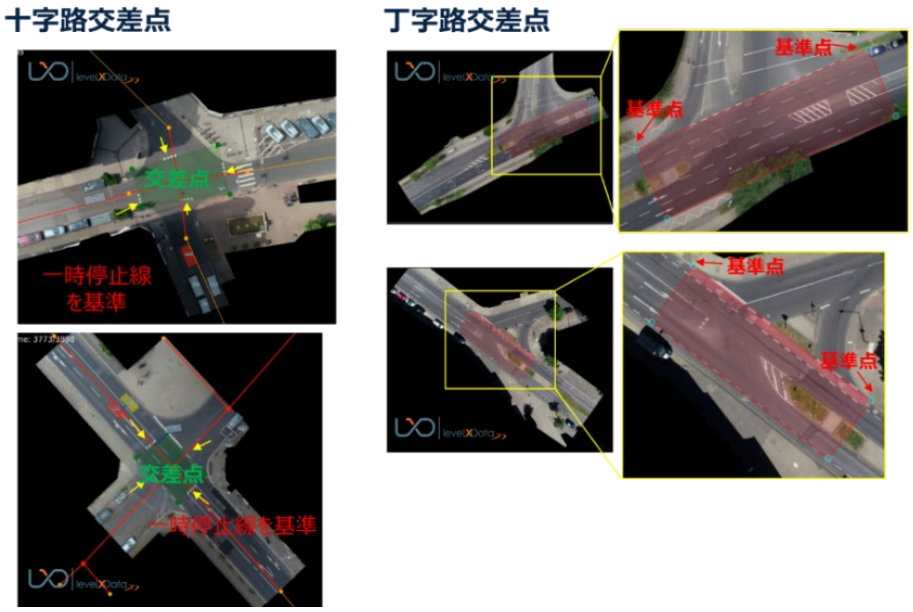
ID	交差点タイプ		制限速度 (km/h)	車線数	データ取得曜日	計測時間：計 (hr)	計測時間：平均 (hr)	計測時間：SD (hr)	登場車両：平均 vehicle/hr	登場車両：SD vehicle/hr	登場VRU：平均 vehicle/hr	登場VRU：SD vehicle/hr
0	T		50	8	月~水	1.84	0.26	0.04	1138.02	141.66	131.19	68.21
1	Cross		50	5	月~火	3.09	0.28	0.03	809.27	113.27	394.16	102.19
2	Cross		50	4	火~水	4.04	0.34	0.03	601.01	36.82	937.26	110.21
3	T		50	5	木	0.85	0.28	0.00	1405.89	130.14	97.55	11.60

（4）　パラメータ算出方法

対象としている交差点での FS のパラメータ種類に交差点進入位置との相対的な位置関係（d_{r0}）を定義しているため、交差点の進入位置の定義が必要である。日本の道路交通法では「交差点　十字路、丁字路その他二以上の道路が交わる場合における当該二以上の道路（歩道と車道の区別のある道路においては、車道）の交わる部分をいう」（第一章　第二条　五）と交差点を定義している。ただし、これらの定義は交差点の交差部分を意味しているため、安全性を評価するための LS の交差点進入の定義とは異なる。例えば、交差する角度が大きい場合、交差する部分は車両が実際旋回する場所と異なる可能性がある。一方、道路交通法の「停車及び駐車」の交差点に関する停車禁止は「交差点の側端又は道路の曲がり角から五メートル以内の部分」（第三章　第九節　第四十四条　二）のようなっていて、「交差点の側端又は道路の曲がり角から」の部分を交差点進入のように説明している。安全性を評価するためには、交差する車両の軌跡が重なる（インタラクションがある）可能性があるすべての部分をカバーしなければならない。したがって、ここでのデータ抽出のための交差点進入位置を「1. 一時停止がある交差点では一時停止」、「2. 一時停止がない交差点では道路の直線から曲がり始まる地点」と定義する。図 3.1.2.2-2 は LS パラメータ抽出のための交差点の定義と使用するデータセットの交差点を示す。



(a)



(b)

図 3.1.2.2-2　LS パラメータ抽出のための交差点の定義（a）と使用するデータセットの交差点の定義（b）

（5）　交差点出会い頭場面（No. 42）の対車両の LS 化

No. 42 のパラメータを抽出するために、車両 2 台のインタラクションを検出した。インタラクションはある時間帯に設定エリア内に存在する複数の車両とし、NDD は時系列データの形となっているため、データ記録範囲外の車両も対象となる。ここで、No. 42 のシナリオに該当するインタラクションは計 212 件検出された。ただし、検出区間内のすべての時刻で 2 台のデータが取得できたもののみを残す、つまり図 3.1.2.2-3 のように車両①が設定時点に到着した時（交差点進入時刻）の車両②が範囲外であれば除外すると、件数は 68 件となる。しかしながら、68 件のデータでは、合理的に考えられるパラメータ範囲を検討するには n 数が少ない。なおデータ抽出の対象となる交差点の概寸を図 3.1.2.2-4 に示した.

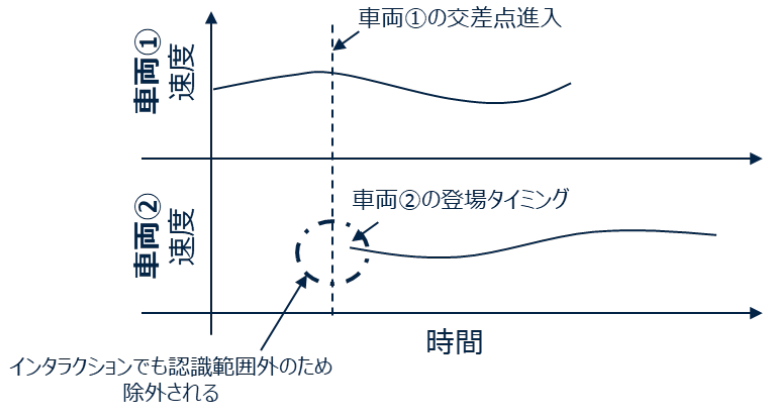
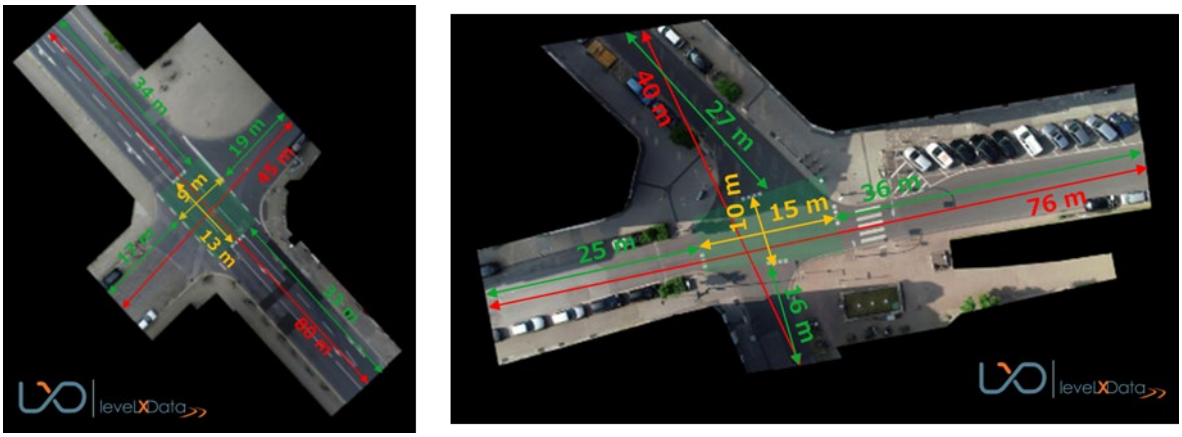


図 3.1.2.2-3　No. 42 のシナリオ抽出の件数が少ない理由



(a)　　(b)

図 3.1.2.2-4　inD の十字路交差点の仕様とパラメータ抽出のための交差点範囲の仕様

そこで、自車の位置条件を除外し、他車両の d_{r0} 別の速度・加速度パラメータ算出を行った。ただし、自車両相当の車両とインタラクションされた車両の条件（交差点に後で接近する）は維持している。パラメータ算出基準は d_{r0} を 6 段階（d_{r0}=-30、-20、-10、0、10、20m）で分けて行い、交差点進入前から交差点進入後までの速度・加速度のパラメータ範囲を算出した。

算出結果を図 3.1.2.2-5 に示す。結果から、他車両（後で交差点を通過）が加速度を減らすのは、交差点進入前の 20 m（d_{r0}=20 m）からであることが確認された。

また、安全性評価のためのパラメータ範囲について考察を行う。30 m 時点（d_{r0}=-30 m）のデータについては n 数が少ない（n=12）ため、検討に難しさがあるが、20～0 m（d_{r0}=-20、-10、0 m）のデータについては安全性評価のためのパラメータ範囲として活用できると考えられる。安全性評価のために合理的に考えられる加速度範囲の考察を行うと、交差点進入前は加速・減速（もしくは等速）のパターンが考えられるが、少なくとも減速の場面は安全性評価のためには不要のため、加速のパターンだけ検討する。

加速する場面で加速度の上限値を考察すると、交差点進入前 d_{r0}=(-30、-20、-10、0 m)の加速パラメータの 95%ile もしくは 75%ile の値の中で最も大きい値が上限値として活用で

きると考えられる。パラメータ範囲を検討するために抽出された結果を表 3.1.2.2-3 に示す。これらの範囲について、安全性評価のために引き続き検討する必要があると考えられる。

・95%ile：2.19 m/s^2
・75%ile：1.77 m/s^2

詳細の統計値は「Appendix-B No.42 の LS パラメータ詳細」を参照。

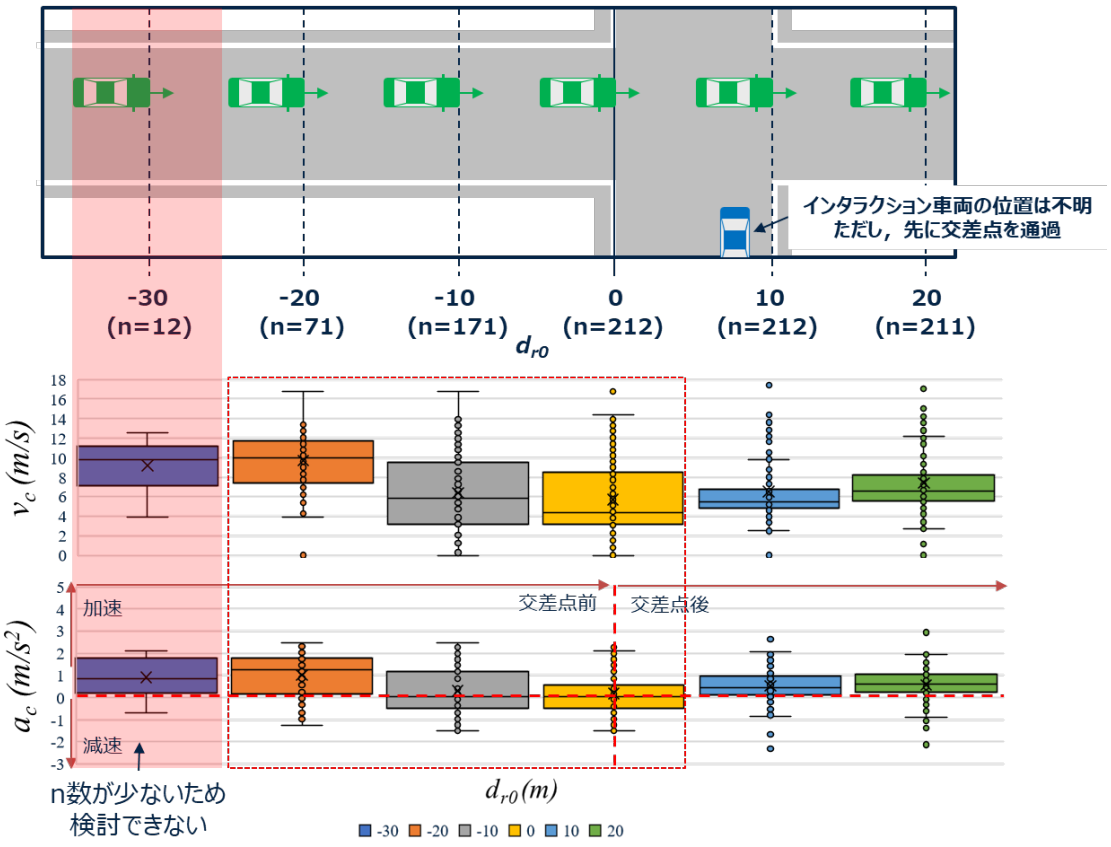


図 3.1.2.2-5　dr0 による他車両の速度・加速度の変化

表 3.1.2.2-3　dr0 による LS パラメータの抽出結果

	d_{r0}=-30		d_{r0}=-20		d_{r0}=-10		d_{r0}=0		d_{r0}=10		d_{r0}=20	
	n=12		n=71		n=171		n=212		n=212		n=211	
%ile	v_c	a_c	v_c	a_c	v_c	a_c	v_c	a_c	v_c	a_c	v_c	a_c
100%	12.55	2.11	16.77	2.46	16.77	2.46	16.77	2.46	17.42	2.62	17.02	2.94
95%	12.42	2.03	13.33	2.19	12.80	1.99	12.63	1.97	12.97	1.76	12.93	1.47
75%	11.16	1.64	11.60	1.77	9.53	1.14	8.44	0.53	6.79	0.97	8.19	1.06
50%	9.84	0.84	9.99	1.29	6.08	0.08	4.33	0.02	5.56	0.45	6.58	0.60
25%	7.26	0.23	8.00	0.21	3.15	-0.47	3.15	-0.50	4.82	0.12	5.58	0.26
5%	4.74	-0.31	5.59	-0.54	2.07	-1.41	1.25	-1.41	3.44	-0.64	4.24	-0.59
0%	3.93	-0.68	3.93	-1.24	0.29	-1.50	0.00	-1.50	0.20	-2.31	1.14	-2.14

（6）　交差点右折・直進場面（No. 52）の対車両の LS 化

No. 52 のパラメータを抽出するために、車両 2 台のインタラクションを検出した結果、右折・直進場面が 242 件が検出された。抽出されたパラメータ範囲を図 3.1.2.2-6 と表 3.1.2.2-4 に示す。ここで、d_{r0} と d_{y0} については、その最小値と最大値がパラメータ抽出に使用した NDD のデータ取得範囲により従属的に変わることが考えられるが、評価する自動運転システムの性能により d_{r0} のパラメータ範囲が必要である可能性がある。これらの抽出されたパラメータ範囲から安全性評価の時に活用できる。

詳細の統計値は「Appendix-C No.52 の LS パラメータ詳細」を参照。

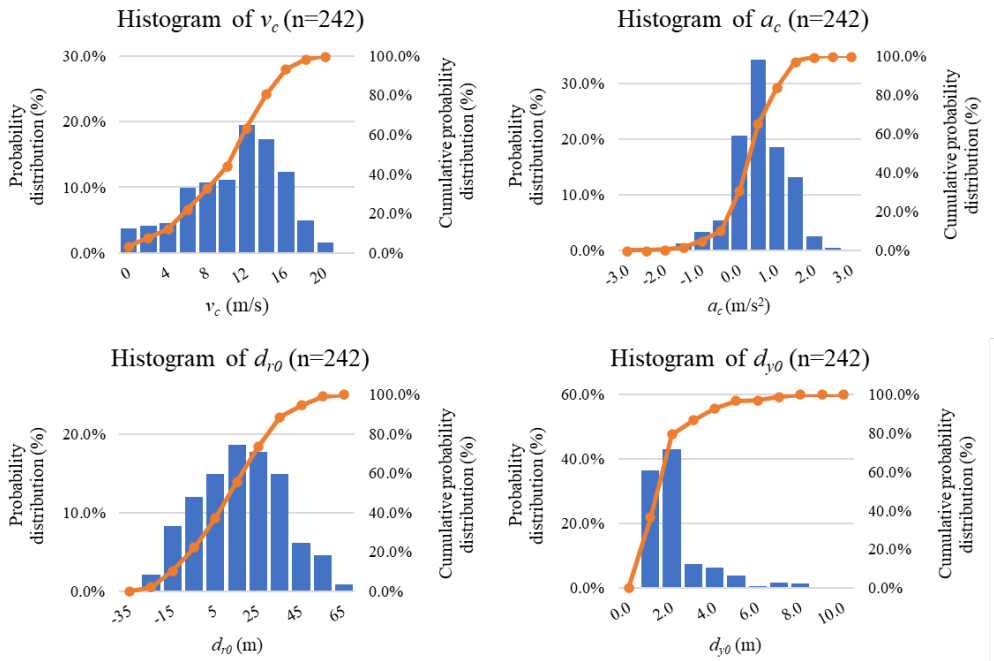


図 3.1.2.2-6　一般道対車両の LS（No. 52）パラメータのヒストグラム

表 3.1.2.2-4　一般道対車両の LS（No. 52）パラメータの統計値

Percentile	Parameter (No. 52)							
	v_c		a_c		d_{r0}		d_{y0}	
100%ile	18.85		2.17		58.86		7.36	
95%ile	16.22		1.34		45.70		4.21	
75%ile	13.25		0.73		26.32		1.84	
50%ile	10.97	m/s	0.18	m/s^2	11.96	m	1.27	m
25%ile	6.77		-0.07		-1.98		0.69	
5%ile	0.01		-0.98		-21.75		0.15	
0%ile	-0.02		-2.19		-33.31		0.02	
								n=242

今回、対車両の LS パラメータ範囲を四つの交差点から検討したが、実際には交差点ごとにパラメータ範囲に差があることも考慮する必要がある。もし、交差点の環境によりパラメータ範囲の差が大きい場合は、安全性評価のために、LS パラメータ範囲を決められるモデルが必要である。そのため、No. 52 のシナリオについて交差点の環境によりパラメータ範囲が変わるかについて検討を行った。

3.1.2.3 交差点右折・直進場面（No. 52）のパラメータ範囲の一般化検討

（1） 交差点の環境要因

環境によるパラメータ範囲を調査するためには、まず交差点の環境要因を把握する必要がある。ここで、道路の一般的な要因も含め、交差点の環境要因を検討する。先ず、道路一般の要因を考察すると、「交通信号有無」、「制限速度」、「道路規模」、「交通量」、「時間帯」、「天気」などが考えられる。また、交差点のみの要因を考察すると、「交差点形（丁字路、十字路など)」、「交差点規模」、「交差点角度」などが考えられる。ここで、使用する NDD で検討できる要因を検討すると、下記のような要因が分析対象となる。

・交差点要因
　交差点形：丁字路、十字路
　交差点規模：車線数

・統制要因（同一条件）
　交通信号有無：交通信号なし
　制限速度：50 km/h

ここで、使用する NDD から交差点角度も抽出可能であるが、対象とする場面の車両行動が直進のため、今回の分析では除外した。

（2） 要因によるパラメータ範囲の変化

環境要因からパラメータを抽出した結果を図 3.1.2.3-1 に示す。速度（v_c)、自車両との横距離（d_{y0}）が道路要因により変化することを確認した。ここで、d_{y0} については車線数が多くなると、自然にその範囲が大きくなるものであるため、交差点規模により変化が見られたと考えられる。また、交差点の形により変化があるように確認できたのは、今回調査した交差点では丁字路交差点が比較的規模の大きい交差点だったためと考えられる。

速度（v_c）パラメータについては交差点規模が大きくなるほどその範囲も同様に高くなる傾向がみられ、評価する交差点規模により、パラメータ範囲を限定できる可能性があると考えられる。ただし、今回の調査は 50 km/h の制限速度のデータのみであり、引き続き検討が必要であると考えられる。

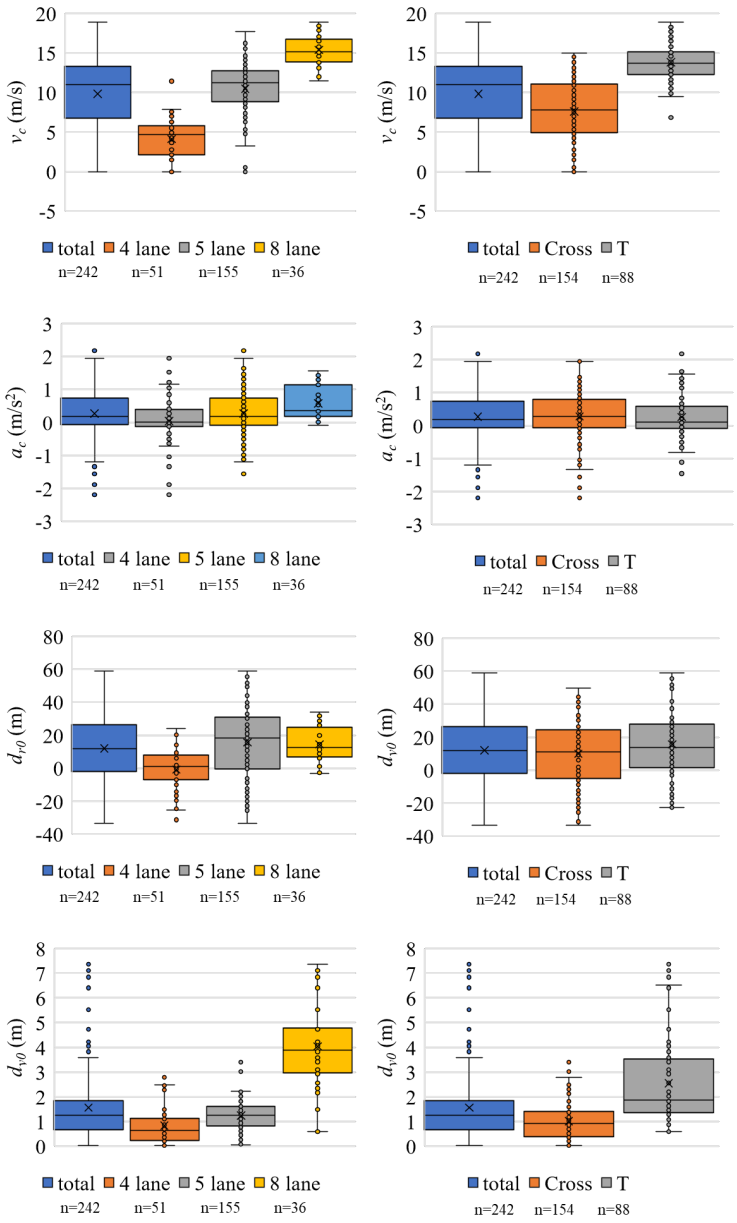


図 3.1.2.3-1　交差点要因による No. 52 の各パラメータ範囲の差

3.1.2.4　国内既存データを用いた LS 化検討

3.1.2.2 目では、実交通データに基づいてパラメータ範囲を定義する手法の妥当性を検討するため、海外既存データを用いてパラメータ分布の調査を行った。ただし、走行ルートごとに遭遇するパターンやそのパラメータ範囲は異なる可能性があり、特定の AD システムにおけるごとに必要十分な安全性評価を行うためには、その走行ルートにおけるパラメータ範囲を定義する必要がある。そこで、今後の国内における AD システムの社会実装を想定し、国内既存データを用い、本事業で定義している安全性評価のためのプロセスへの適用可能性について検討する。

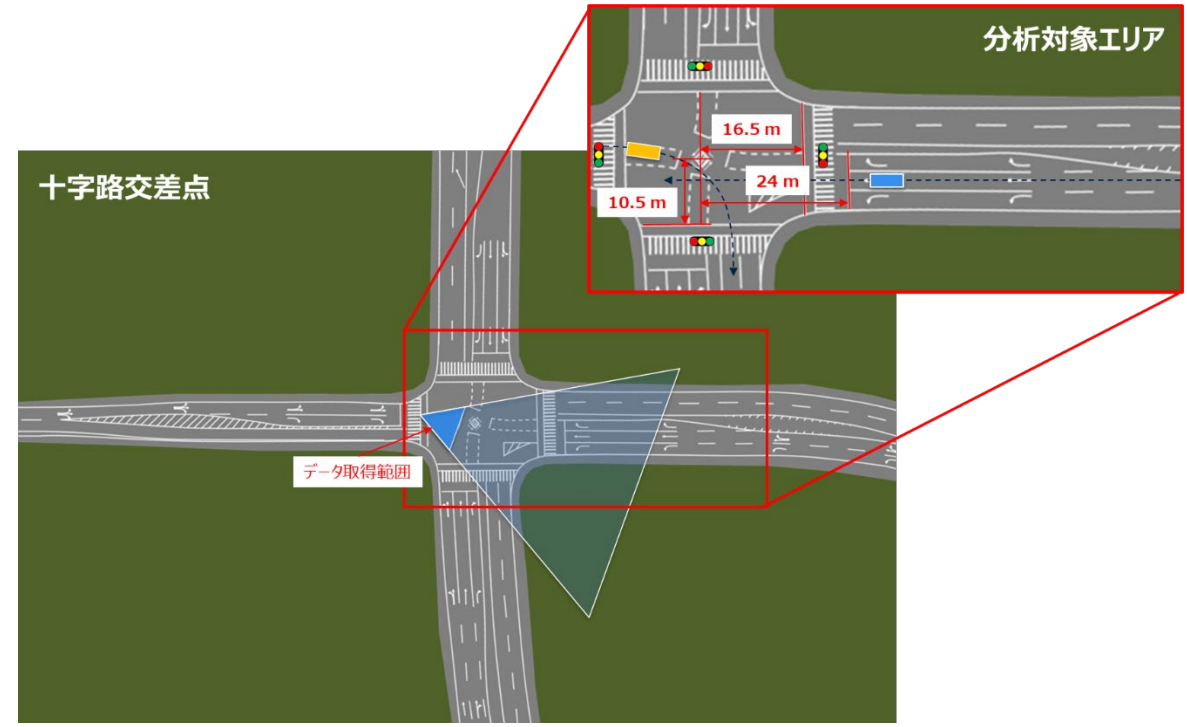
（1） 分析対象交差点の詳細

表 3.1.2.4-1 に対象とした国内既存データの詳細を示す。対象とした交差点は十字路交差点1ヶ所と丁字路交差点1ヶ所であり、両方とも交通信号で整備されている交差点である。

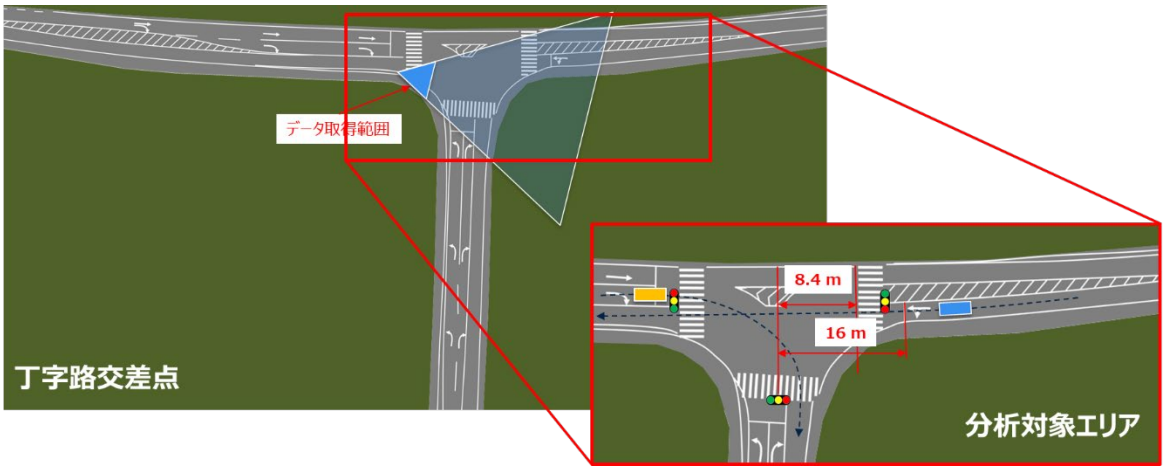
計測期間は曜日により交通量が異なる可能性を考慮して月曜日から日曜日まで計測している。図 3.1.2.4-1 は対象としている各交差点の様子を示す。分析で使用している交通データは一台のライダー（LiDAR: Light Detection and Ranging）から計測したデータであるため、データの計測区間が限定的である。ただし、交差点での No.42 と No.52 シナリオの分析のためには対象となる直進車両が主となるため、図 3.1.2.4-1 で示しているように直進車両が計測できるように設定されている。ただし、両交差点とも交通信号がある交差点であり、No.42 の出会い頭場面のパラメータ範囲の調査には使用できないと考えられるため、ここでは No.52 の右折・直進場面のみ対象として分析を行う。

表 3.1.2.4-1 計測対象交差点と計測期間

項目	情報
対象交差点	十字交差点（1 ヶ所） 丁字交差点（1 ヶ所）
計測曜日	月～火　各日　0:00～翌 0:00 水～日　各日　7:00～19:00
計測時間（計）	108 時間



(a)



(b)

図 3.1.2.4-1　計測対象の交差点の様子と計測範囲

パラメータ範囲の調査の前に、交差点環境によりパラメータ範囲が異なる可能性があるため、交差点を通過している車両の速度および交通量について図 3.1.2.4-2 のように調査した。調査の結果、両交差点で登場している交通参加者車種の比率については大きい差が見られなかったが、平均速度および交通量については十字路交差点が高いことが確認された。これは、対象としている十字路交差点が丁字路交差点より規模が大きいことで、3.1.2.3 目で述べたように交差点規模による差である可能性が高い。

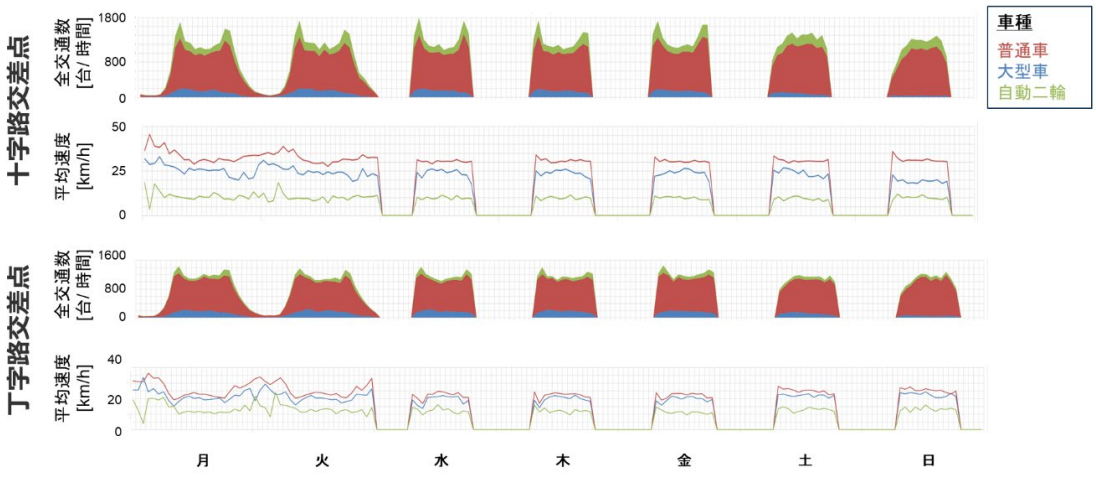
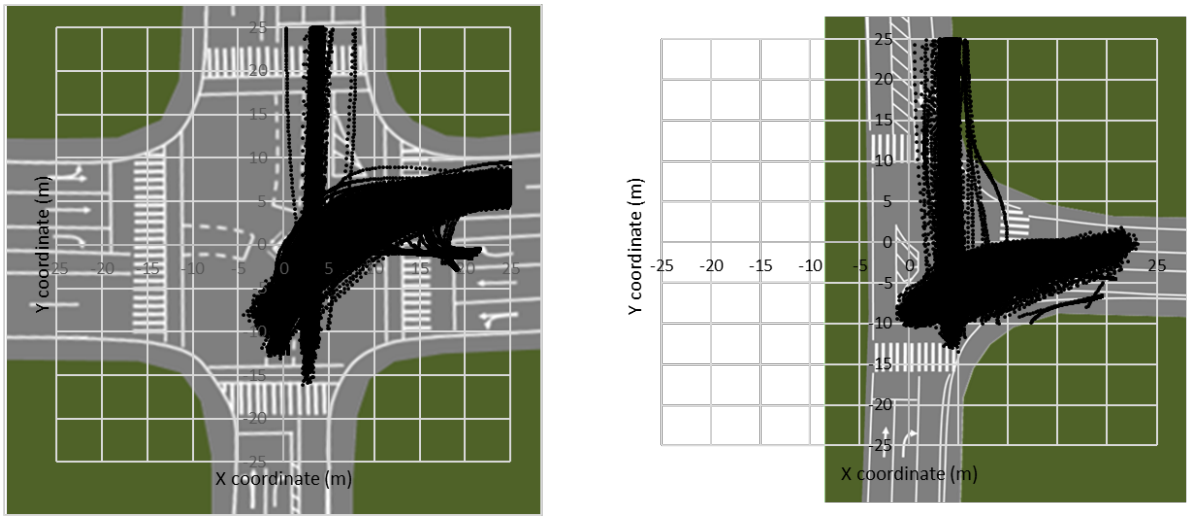


図 3.1.2.4-2　各交差点の計測された車両台数および平均速度

（2）　国内既存データの LS 化可能性検討

図 3.1.2.4-3 は 108 時間計測データの中で、24 時間分の交差点内の右折車両と直進車両の軌跡を示す。全体 108 時間分のデータでは、交差点を通過した直進車両は十字路交差点約 4500 台、丁字路交差点約 12000 台で計測された。交差点 No. 52 シナリオの LS 化のためには、直進車両と右折車両の相対的な縦横位置と直進車両の速度・加速度の情報が必要である。今回検討を行ったデータでは、直進車両の速度・加速度パラメータは計測されているため、LS 化が可能であることが考えられる。ただし、両車両の相対的な位置関係については車両の大きさの情報がないが、車両の一般的な大きさを仮定して算出することは可能であると考えられる。そのため、今後は車両の軌跡と進行方向から両車両の相対的な位置関係について計算するアルゴリズム開発などが必要であると考えられる。



(a)　　(b)

図 3.1.2.4-3　各交差点の直進車両と右折車両の軌跡

（a: 十字路交差点、b:丁字路交差点）

3.1.2.5 まとめ

3.1.2 項では、右折・直進場面を対象に、直進車が減速して交差点に接近する際のパラメータの相関分析と、右折・直進場面全体のパラメータ範囲の分析を実施した。そのほか、出会い頭場面を対象に、パラメータ範囲の分析を実施した。その結果、右折・直進場面において直進車が減速しながら交差点に接近する場合、直進車が交差点を通過する際の速度と交差点に接近する際の速度変化量に強い相関があることがわかった。

また，海外既存データから右折・直進場面と出会い頭場面のパラメータ範囲について調査し、交差点規模により直進車両が交差点を通過する時の速度・加速度範囲が異なる可能性があることを確認した。また、国内既存データを用いて LS 化の可能性について調査を行い、速度・加速度パラメータについて LS 化の可能性を確認した。ただし、車両の大きさの情報がなかったことから、今後は位置情報に関するパラメータを計算できるアルゴリズムの開発が必要である。

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/safe/automated_driving/pdf/framework_ver_3_0.pdf （2024 年 3 月現在）

[2] Bock, J., Krajewski, R., Moers, T., Runde, S., Vater, L., & Eckstein, L. (2020, October). The ind dataset: A drone dataset of naturalistic road user trajectories at german intersections. In 2020 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV) (pp. 1929-1934). IEEE.

3.1.3 一般道安全性評価に必要な安全論証体系の検討

自動運転システムの安全性評価・保証の体系は各国で様々なアプローチで取り組まれているが、日本には日本自動車工業会の自動運転の安全性評価フレームワーク Ver.3.0（以下、フレームワークという）がある[1]。本フレームワークは現在、自動運転システムの安全保証のフレームワークとして自動車業界に認知されているが、フレームワークに基づく安全性評価をいかに論証するかという観点の記述は必ずしも十分ではない。そこで、本フレームワークに沿った安全性評価活動が自動運転の社会実装を支援する安全性評価基盤となることを目指して、フレームワークが示す内容を安全性論証の観点で構造化を行うとともに、関連する国際規格である ISO21448（SOTIF、意図した機能の安全性）[2]との関係性についても整理を行う。

3.1.3.1 安全論証構造の構築に向けた調査・分析

フレームワークを主要な対象とするほか、必要に応じて ISO21448、ISO34502(自動運転システムにおけるシナリオベース安全性評価フレームワーク)[3]をはじめとする他規格等の内容を参照し、安全論証構造を構築するための調査・分析を行う。これにより、各規格の相互関係から、安全論証の論理的な抜け漏れや重複を検出するとともに、自動運転システムの安全論証全体を GSN（Goal Structuring Notation、ゴール構造表記法）図[4]による視

覚的表現を併用し、論証体系の全体像を分かりやすく整理する（**図 3.1.3.1-1**）。フレームワークが示す安全論証の考え方を実践可能にする安全論証構造を構築することにより、将来的に自動運転の開発における安全論証や、安全論証テンプレートの構築に利用されることを目的とし、調査・分析を行う。

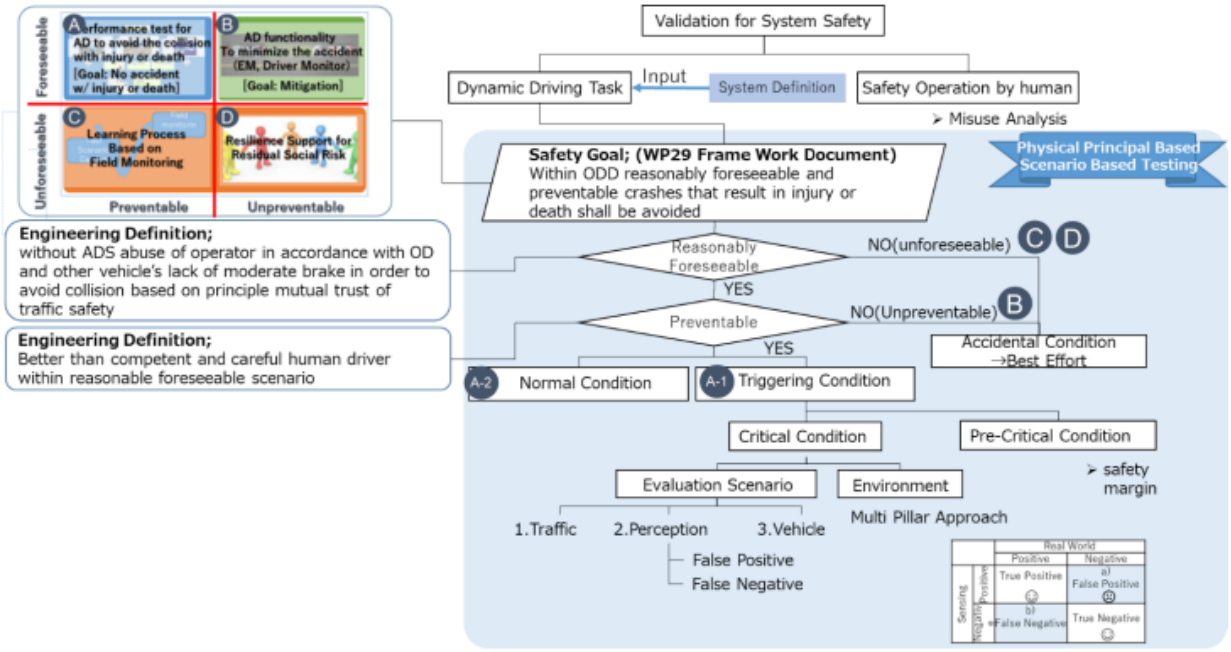


図 3.1.3.1-1　フレームワークによる安全論証構造図[5]

3.1.3.2　GSN 図による安全論証構造の構築

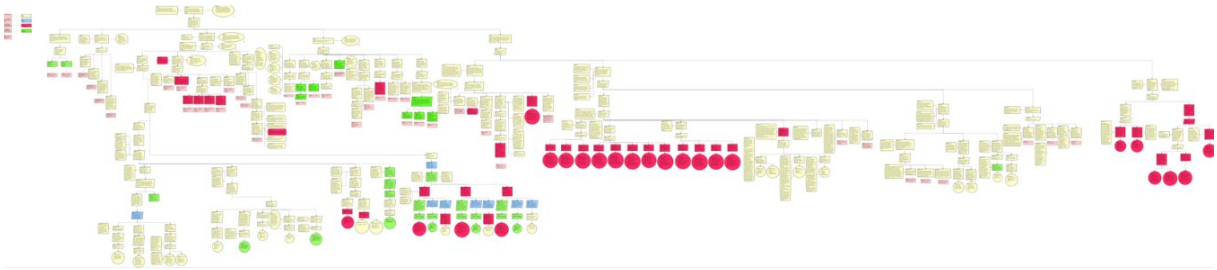
フレームワークについて GSN 図で安全論証体系を構築する場合には、図 3.1.3.2-1 が示すような GSN が提供するゴール、コンテクスト、証跡、戦略という基本モデル要素を用いた[4]。論証としてはゴール（goal）から演繹的に始まり、証跡（solution）に至る構造を持つ。さらに、コンテクスト（context）と 戦略（strategy）が利用される。フレームワークの安全論証の体系化を構築するために採用した方法は、フレームワークの説明文と図の全体を分析し、安全論証の要素を抽出するものである。それらの抽出されたものを GSN 図を用いて論証構造となるよう組み立てを行った。これにより、フレームワークにおいて、どのような根拠でどのような判断を行い、分析、抽出、論証構造の組み立てが行われたかを明確に示すことが出来る。

名称	図表現	説明
ゴール(goal)		達成すべき主張点
戦略(stragety)		どのように論証するかの戦略
文脈(context)		論証される際の文脈
証跡(solution)		論証を支持する根拠資料、データ

図 3.1.3.2-1　GSN による安全論証構造の構成要素

3.1.3.3　フレームワークの安全論証構造を示す GSN 全体図

フレームワークの安全論証構造の全体像を GSN 図として構築する。ここで、安全論証構造の全体を構築するにあたっては、エビデンスがどのように保証のための成果物として活用されるかという観点で開発プロセスとの連携を意識した。図 3.1.3.3-1 は、フレームワークの記述内容を調査・分析し、その結果に基づいて作成した安全論証構造を示した GSN の全体図である。



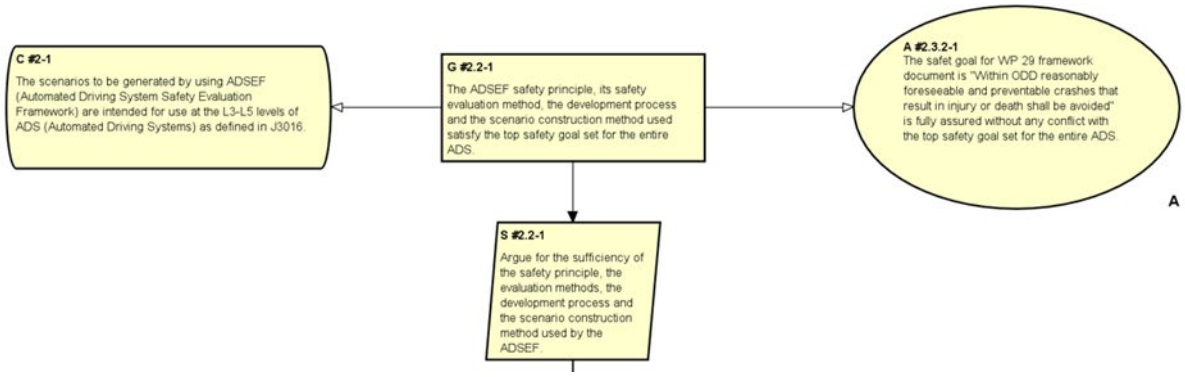
凡例(GSN 記法に、色により独自の意味を加えたものである)
黄色：フレームワークの記述に忠実に解釈
青色：フレームワークの説明文に課題がある場合の意訳
赤色：フレームワークに説明が無いが、図等の他情報から追記
緑色：フレームワークに記載が無いが、安全論証の構造上必要と判断し追記

図 3.1.3.3-1 フレームワーク GSN 全体図

一般的な GSN による記法では、論理構造の終点で証跡を記述することで論証が終了するが、今回実施したフレームワークの安全論証構造の分析ではそのような論証構造に至らなかった箇所が散在しており、構造化のために新たな解釈を追加した箇所が存在する。証跡は論証の根拠資料や、成果物（WP）を示すものであるが、フレームワークは必ずしも通常の安全規格における成果物を明示的に記述する形式を踏襲していない点が理由として挙げられる。今回フレームワークの GSN 図作成に当たり、証跡の記述の無い部分については GSN 記法を拡張し、意訳や、図表からの類推により補完し記載、または記載の無いことを明示した。

3.1.3.4　フレームワーク GSN 図最上位構造

安全論証の最上位の構造は以下（図 3.1.3.4-1）のように、フレームワーク 全体の安全原理、安全評価方法、開発プロセス、シナリオ構築方法が集約され、ADS 全体（車両レベル）の安全目標を満足していることを述べている。最上位の安全目標がゴールであり、安全論証全体でゴールである目標の安全性を論証し、安全保証が行われていることを主張する。



G #2.2-1	The ADSF safety principle, its safety evaluation method, the development process, and the scenario construction method used satisfy the top safety goal set for the entire ADS.
C #2-1	The scenarios to be generated by using ADSEF as defined in J3016[4]
A #2.3.2-1	The safety goal for WP 29 framework document is “Within ODD reasonably foreseeable and preventable crashes that result in injury or death shall be avoided is fully assured without any conflict with the top safety goal set for the entire ADS
#2.2-1	Argue about the sufficiency of the safety principle, the evaluation methods, the development process, and the scenario construction method used by the ADSEF.

図 3.1.3.4-1　GSN 図（最上位構造）

3.1.3.5　フレームワーク GSN 図 Competitive careful human driver 部構造

以下の GSN 図（図 3.1.3.5-1）では、フレームワークが対象とする ADS のパフォーマンスの標準モデルである competitive careful human driver（注意深く有能なドライバ）についての論証構造を示す。

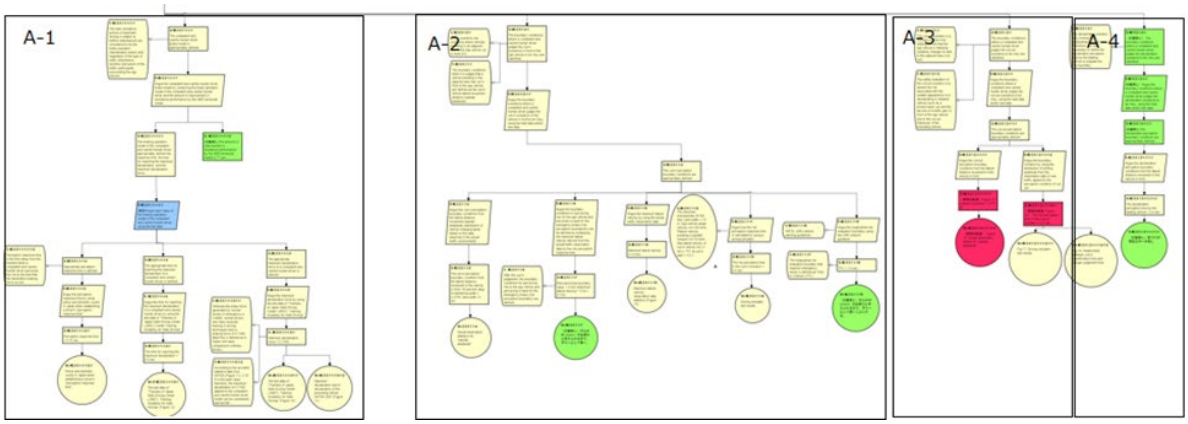


図 3.1.3.5-1　GSN 図（competitive careful human driver 部構造）

A-1 のトップゴールは以下のもので、competent and careful human driver の brake model に関する論証である。

A-1	G 2.3.3.1-1-1-1	The competent and careful human driver brake model is appropriately defined.

A-2 のトップゴールは以下のもので、competent and careful human driver が cut-in scenario において、自車両前方のカットイン・シナリオを危険と判断する境界条件の特定する条件に関する論証になっている。

A-2	G 2.3.3-1-2-1	The boundary conditions where a competent and careful human driver judges the cut-in scenarios in front of the ego vehicle to be risky are identified.

A-3 のトップゴールは A-2 と同様な内容を cut-out scenario について論証するものである。

A-3	G 2.3.3.1.2-1	The boundary conditions where a competent and careful human driver judges the cut-out scenarios to be risky are identified.

A-4 のトップゴールは同様な内容を deceleration scenario について論証するものである。

A-4	G 2.3.3.1.3-1	The boundary conditions where a competent and careful human driver judges the deceleration scenarios to be risky are identified.

トップのゴールだけ見ると、非常に類似した論証構造が下位にあるように推測するが、内容はかなり異なっている。

3.1.3.6　フレームワークと ISO 21448(SOTIF)の安全論証構造の関連性分析

今回構築した安全論証構造の妥当性を確認するために、安全性論証に関する規格である ISO21448(SOTIF)との関連性を分析する。フレームワークが示すシナリオを用いた安全性評価の考え方を採用している ISO 34502 においては、ISO 21448 と組み合わせて使うことが記述されており、両者の処理フローチャートの比較調査することによりフレームワークと SOTIF のそれぞれの論理構造についての関連を明確にする。

（1）　フレームワークと ISO 21448 の関連性分析事例

解析事例として、フレームワークの予見可能性と防止可能性の相互関係の解析を取り上げる。C&C ドライバモデルを用いて Preventable と分類された Critical Scenario に対し、許容される水準の安全性が確保されるか評価した結果、試験が Fail となったシナリオに関しては ODD から除外するという設定を行う。新たに設定された ODD 範囲内において Preventable と分類されたシナリオが全て Not Hazardous に分類されるまで評価を繰り返す。その結果、Preventable と分類されたシナリオが全て Not Hazardous に分類された最終的な状態は図 3.1.3.6-1 となる。これらによってフレームワークと SOTIF の論理構造について関連性を説明できる。

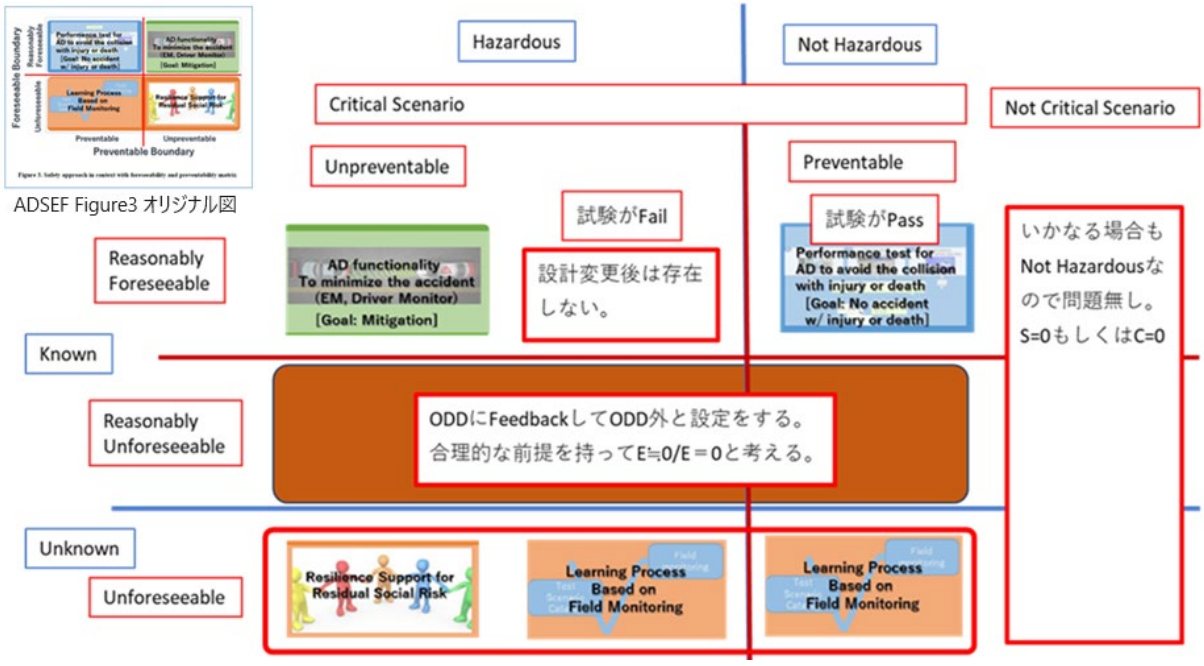


図 3.1.3.6-1　SOTIF The four scenario areas とフレームワークとの関係性

（2）　フレームワークと ISO 21448 SOTIF の関連性分析事例

フレームワークにおける全ての安全論証に関する記述を解析し、ISO 21448 の Clause 番号毎に具体的にどの部分がフレームワークと関連するかを分析し、図 3.1.3.6-2 のように

整理した。分析した結果に基づいて、ISO 21448 のフローチャートにおける関連性を図中に〇と×を用いて示した。

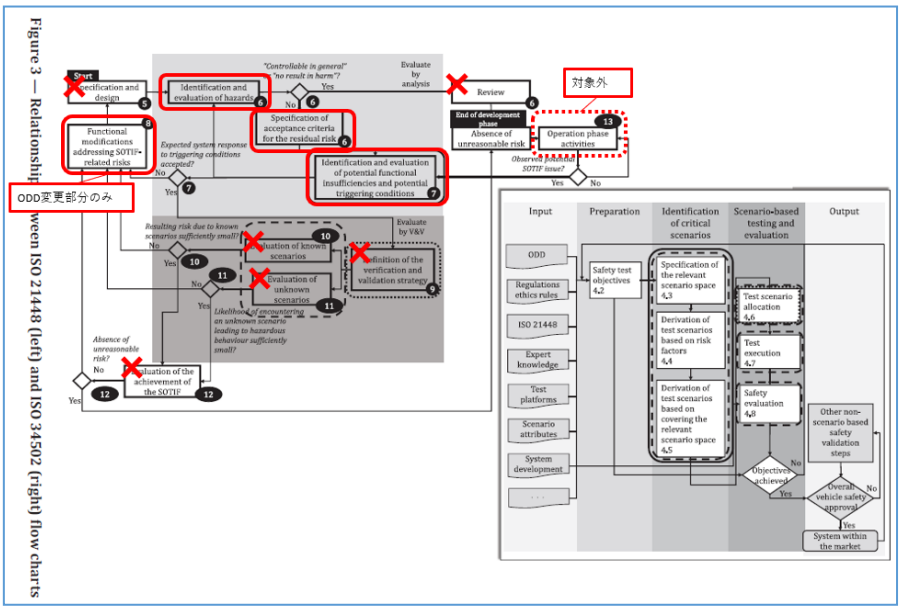


図 3.1.3.6-2　ISO 34502 と SOTIF の処理フローチャートの関連性確認結果[2]

フレームワーク と SOTIF との関係を解析した結果、SOTIF においては Annex A に二種類の安全論証（A.1.2 GSN Example 1 と A.1.3 GSN Example 2）が示されている。今回の分析の結果、SOTIF Example 1 の GSN 図における Solution と Context に含まれる Work Products の一部にフレームワークの活動の一部が関連することが確認できたため、フレームワークの論証構造への関連付けと、そこに関連する SOTIF Example 1 の Goal をボトムアップで関連付けることができた。しかし、その結果として判明したのはフレームワークでは ISO 21448 で定義された、仕様の不十分性（Functional Insufficiency）やトリガー条件（Triggering Conditions）を明確に区別していないといった課題が明らかになり、詳細な関連付けについては SOTIF とフレームワークの用語定義等を明確にすることでより詳細な関連付けが可能になる。

3.1.3.7　安全論証の分析方法の特徴と成果

一般に安全論証を構築する方法論は、作成者の個々の判断に依存し、恣意的であり、その論証を構築する根拠を理解するのに困難が生じる場合があることが多い。しかし、GSN を用いて論証構造を分析することで、フレームワークの記述内容についてどのような根拠でどのような判断を行い、分析、抽出、論証構造の組み立てが行われたかを明示することができた。また、今回の分析資料を利用することにより、今後のフレームワークの論証構造・記述内容に関する改訂作業について計画的に進められることも可能である。

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/safe/automated_driving/pdf/framework_ver_3_0.pdf（2024 年 3 月現在）

[2] ISO21448:2022、Road vehicles Safety of the intended functionality（2022）

[3] ISO34502:2022、Road vehicles Test scenarios for automated driving systems Scenario based safety evaluation framework（2022）

[4] SAE J3016:202104、Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles（2021）

3.2　合理的に予見可能（Reasonably foreseeable）な範囲の特定手法の研究

3.2 節では合理的に予見可能な範囲の特定手法の要素研究として、道路形状の違いに対するシナリオパラメータの一般化、および地域性の違いに対する既存データの十分性について分析した結果を述べる。
これまで、特定の高速道合流部データを計測し、パラメータ分析を行ってきたが、道路形状が変わるとパラメータの範囲も変化することが考えられる。そのため、網羅的な安全性評価のためには、道路形状の違いを収れんする一般化モデルの構築が重要である。
また、地域の違いによるパラメータ分布の違いも考えられるが、すべての道路でデータを計測することは現実的ではない。そこで、これまでに取得したデータと新規に異なる地域で取得したデータを比較し、既存のデータが十分にリスクのある場面を抽出できているのかを分析する。

3.2.1　24 シナリオの網羅性確認

自専道の交通外乱シナリオとして定義されている 24 シナリオに対して、令和 4 年度までに検討してきた合理的に予見可能な範囲に関して道路形状が違っていた場合でも包含できるような手法の整理を実施する。

3.2.1.1　対象シナリオ

本検討に関して、合流部カットインシナリオ（以下、「合流シナリオ」という） を用いてパラメータの道路形状とパラメータに関して検討する。合流シナリオにおける自車（Ego）および他車（Object vehicle）挙動（パラメータ）定義を図 3.2.1.1-1 に示す。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。

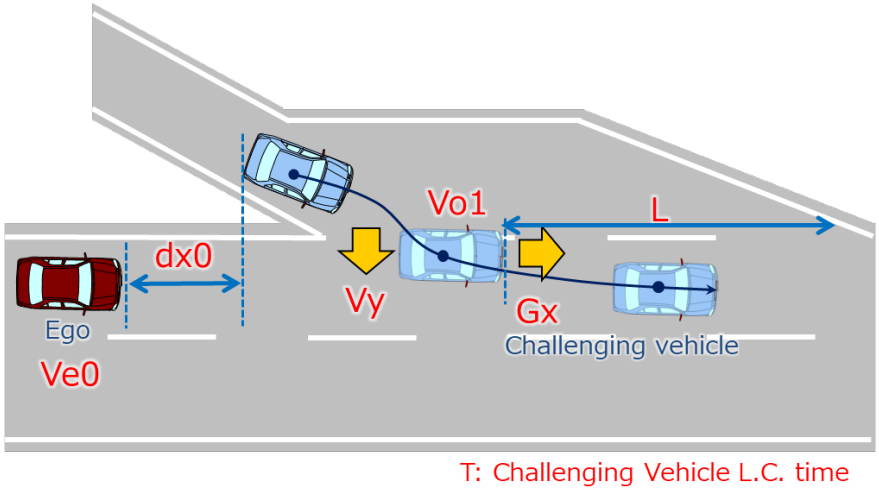


図 3.2.1.1-1　　合流シナリオのパラメータ

なお、合流シナリオの分析に関しては、令和 2 年度報告書[1]、および令和 3 年度報告書[2]にて報告している。

3.2.1.2 シナリオの評価対象パラメータと計測概況

合流部カットインシナリオは、東池袋 IC（以下、「東池袋」という）、渋谷 IC（以下、「渋谷」という）、および横浜町田 IC（以下、「横浜町田」という）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 3.2.1.2-1 に、計測データのソースと取得件数を、表 3.2.1.2-2 に示す。表 3.2.1.2-2 に示す取得件数は、定点カメラで計測し、データ処理ができた車両の台数である。また、各合流路の計測日時に関するデータを表 3.2.1.2-3 に示す。そして、分析対象の合流路のおおよその大きさを図 3.2.1.2-1 と表 3.2.1.2-4 にそれぞれ示す。なお、データの計測に関する詳しい内容は、平成 31 年度報告書[3]、令和 2 年度報告書[4]、および令和 4 年度報告書[5]を参照。

表 3.2.1.2-1　合流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 acceleration	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 3.2.1.2-2　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			東池袋	渋谷	横浜町田
Ego-vehicle longitudinal velocity	自車速度	Ve0	km/h	21213	18465	18362
Challenging-vehicle longitudinal velocity	他車速度	Vo1	km/h	21213	18465	18362
Relative longitudinal distance	車間距離	dx0	m	21213	18465	18362
Challenging-vehicle lateral velocity	他車横速度	Vy	m/s	21213	18465	18362
Challenging-vehicle acceleration	他車加速度	Gx	m/s^2	21213	18465	18362
Distance to sink of merging lane	終端距離	L	m	21213	18465	18362
Challenging vehicle Lane change （L.C.） time	他車車線変更時間	T	s	21213	18465	18362

表 3.2.1.2-3　計測データの取得日時

合流路	日時
東池袋	2019/8/3-2019/8/9
渋谷	2022/8/27-2022/8/31
横浜町田	2019/8/22

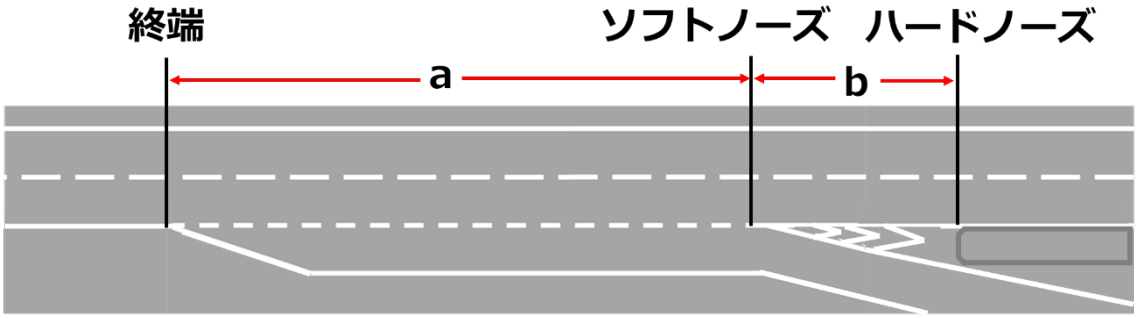


図 3.2.1.2-1　合流路のイメージ図

表 3.2.1.2-4　合流路の寸法

	a [m]	b [m]	a+b [m]
東池袋	15	50	65
渋谷	45	135	180
横浜町田	80	20	300

3.2.1.3 分析対象データ

計測されたデータのうち、合流シナリオに関するデータを対象とする。まず、計測開始時と終了時に存在した車両について、東池袋、渋谷、横浜町田のそれぞれでまとめた結果を表 3.2.1.3-1 から表 3.2.1.3-3 にそれぞれ示す。これらの表のうち、計測開始時と終了時の両方が合流車線にいる車両は、合流の途中で計測が打ち切られているデータである。なお、横浜町田は 3 車線の道路である。

表 3.2.1.3-1 東池袋の計測開始時と終了時の車両数

合計 21213 件		計測終了		
		合流車線	第 1 走行車線	追い越し車線
計測開始	合流車線	4	1432	7
	第 1 走行車線	0	6915	230
	追い越し車線	0	112	12483

表 3.2.1.3-2 渋谷の計測開始時と終了時の車両数

合計 18465 件		計測終了		
		合流車線	第 1 走行車線	追い越し車線
計測開始	合流車線	11	1386	179
	第 1 走行車線	0	7130	261
	追い越し車線	0	428	9070

表 3.2.1.3-3 横浜町田の計測開始時と終了時の車両数

合計 18362 件		計測終了			
		合流車線	第 1 走行車線	第 2 走行車線	追い越し車線
計測開始	合流車線	13	3599	1141	219
	第 1 走行車線	0	1388	84	3
	第 2 走行車線	0	175	5670	174
	追い越し車線	0	0	225	5671

次に、計測データの交通量（Q）、交通密度（K）、空間平均速度（V）を求めることで、計測時の交通環境を調査した。その結果を用いて、分析対象のデータを非渋滞に限定した。これは、横浜町田のデータには渋滞のデータが存在しないこと、および合流シナリオを検討するうえで、合流する車が比較的自由な環境で合流行動を行う際のパラメータを抽出するためである。なお、交通量（Q）、交通密度（K）、空間平均速度（V）の間には、Q=KV の関係が成り立つ[6]。東池袋、渋谷、横浜町田のそれぞれで、交通量、交通密度、空間平均速度をそれぞれ求めた結果を図 3.2.1.3-1 から図 3.2.1.3-3 にそれぞれ示す。

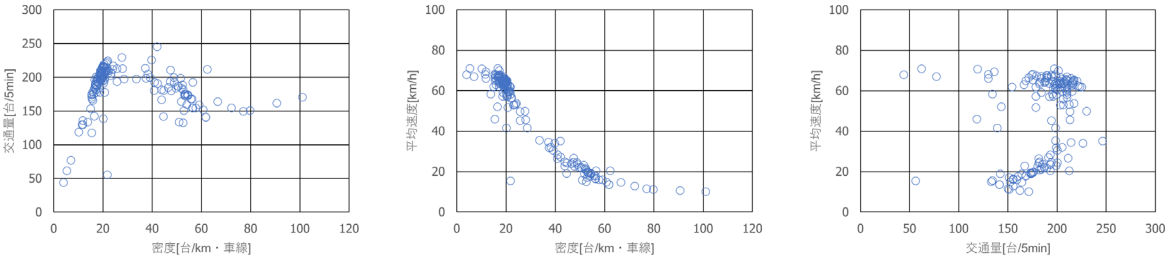
各々の Q-K 図が示すように、ある交通量までは密度と交通量は比例して増加する。一方、密度が過大となると交通量が減少するような関係を示す。本研究における計測データ

では計測処理の関係上、密度が過大になる点は確認できない。しかしながら、例えば、図 3.2.1.3-1 の東池袋の Q-K 図では、密度が約 35[台/km・車線]付近で密度が過大になると推察される。このような最大交通量を与えるような密度の状態を臨界密度、臨界という[7]。臨界を超える量の車がいる状態を渋滞、密度が低い状態を非渋滞という。

次に、各々の K-V 図が示すように、密度が低い場合には平均速度が高く、密度が高くなると平均速度は遅くなるという相関関係を示す。本研究では、今までの報告資料にて低速度域と定義してきた 0-40[km/h]と同様に、平均速度が 40[km/h]以下の状態を渋滞とした。

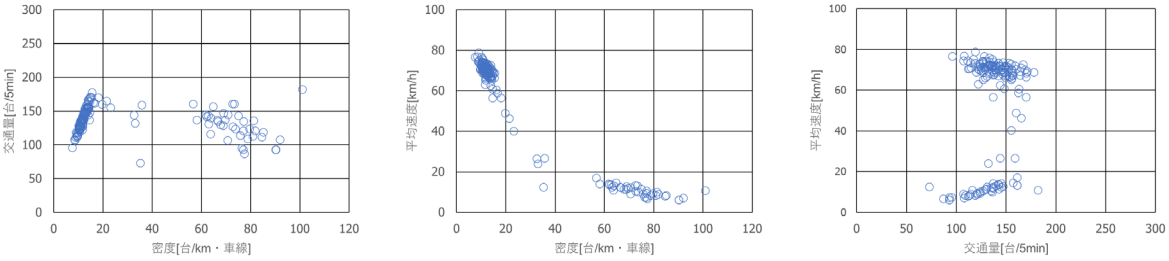
最後に、Q-V 図はここまで見てきた、交通量と平均速度の二つの変数をとってプロットしたものである。

図 3.2.1.3-1 から図 3.2.1.3-3 までの結果をもとに、非渋滞を、平均速度が 40[km/h]以上かつ、密度が 35[台/km・車線]以下の状態と定めた。この状態を満たす時間帯と、図 3.2.1.1-1 のような合流シナリオに絞り、さらに、数値のエラーがないデータを分析対象として抽出した。その結果を表 3.2.1.3-4 に示す。表 3.2.1.2-2 や表 3.2.1.3-1 から表 3.2.1.3-3 のデータに比べ、合流シナリオのデータが少ないのは、合流する車の後ろに車がいない場合が多いためである。



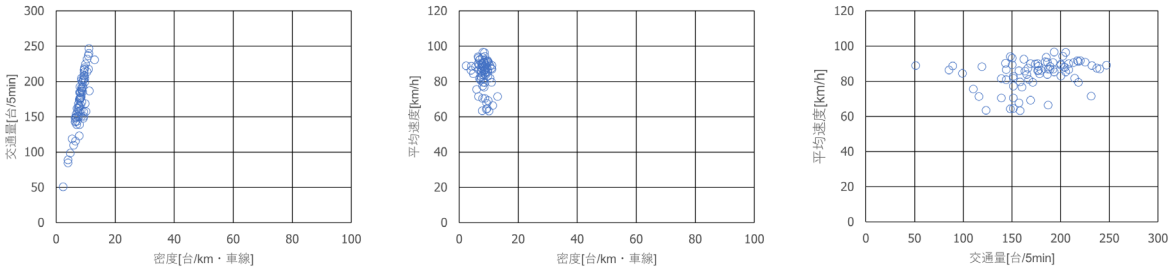
Q－K 図　　K－V 図　　Q－V 図

図 3.2.1.3-1　東池袋の Q－K，K－V，Q－V に関するデータ



Q－K 図　　K－V 図　　Q－V 図

図 3.2.1.3-2　渋谷の Q－K，K－V，Q－V に関するデータ



Q－K 図　　K－V 図　　Q－V 図

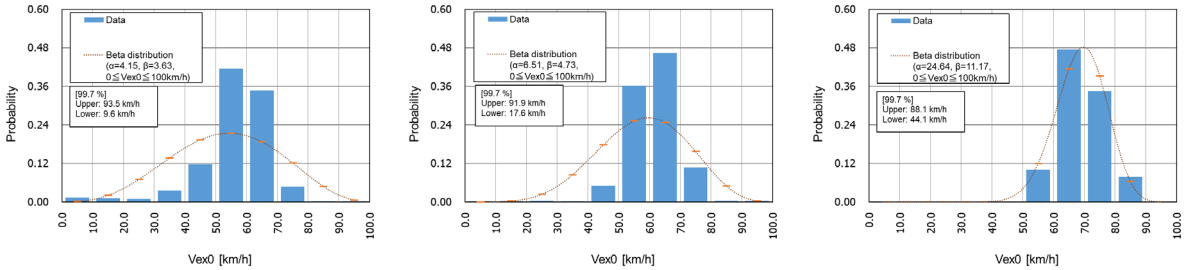
図 3.2.1.3-3　横浜町田の Q－K，K－V，Q－V に関するデータ

表 3.2.1.3-4　合流シナリオの件数

合流路	分析対象件数
東池袋	1133
渋谷	586
横浜町田	139

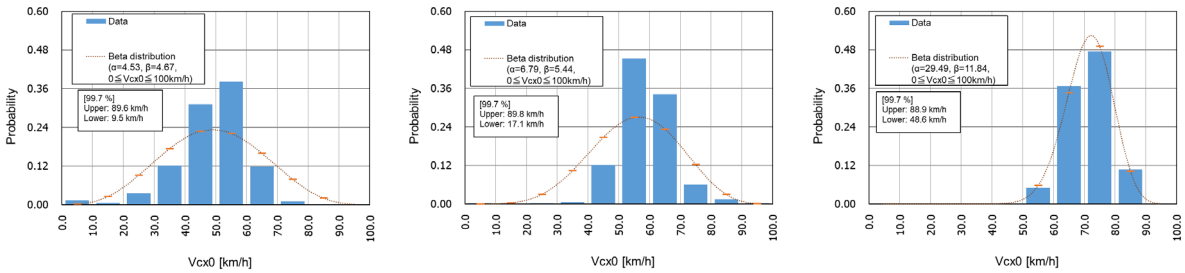
3.2.1.4　合流シナリオパラメータ分布の推定と比較

各パラメータの分布を図 3.2.1.4-1 から図 3.2.1.4-7 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。



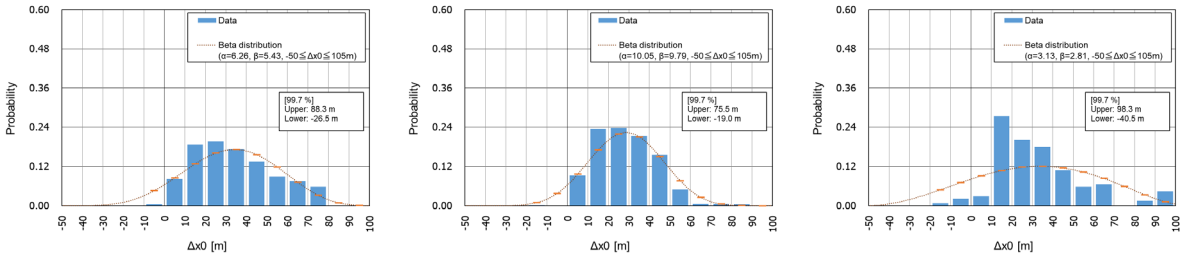
東池袋　　渋谷　　横浜町田

図 3.2.1.4-1　合流部シナリオ-自車速度分布



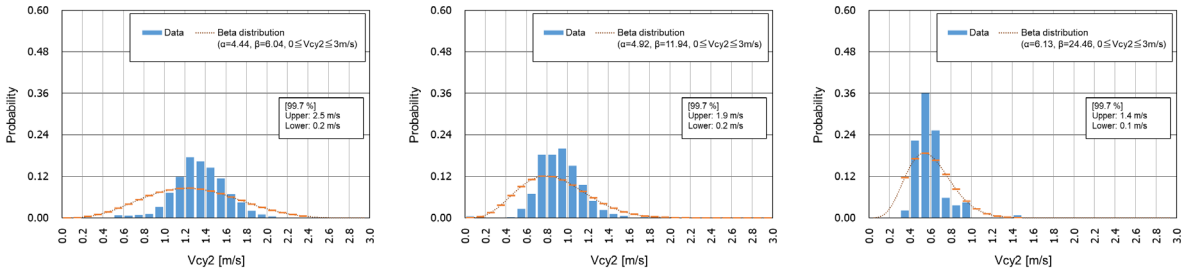
東池袋　　渋谷　　横浜町田

図 3.2.1.4-2　合流部シナリオ-他車速度分布



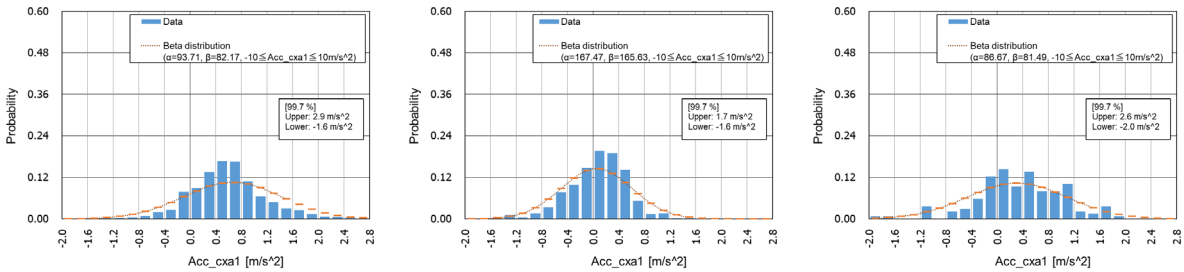
東池袋　　渋谷　　横浜町田

図 3.2.1.4-3　合流部シナリオ-車間距離分布



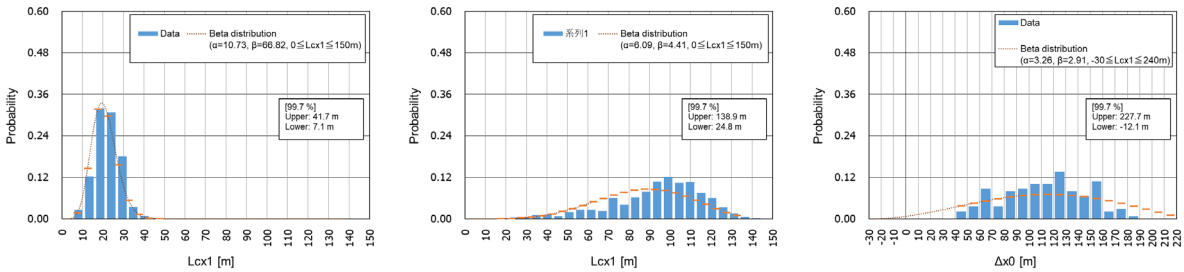
東池袋　　渋谷　　横浜町田

図 3.2.1.4-4　合流部シナリオ-他車横速度分布



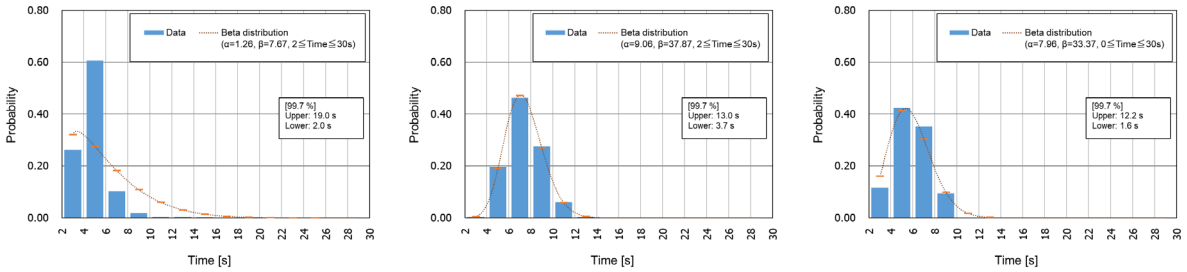
東池袋　　渋谷　　横浜町田

図 3.2.1.4-5　合流部シナリオ-他車平均加速度分布



東池袋　　渋谷　　横浜町田

図 3.2.1.4-6　合流部シナリオ-終端までの距離分布



東池袋　　渋谷　　横浜町田

図 3.2.1.4-7　合流部シナリオ-車線変更時間分布

図 3.2.1.4-1 と図 3.2.1.4-2 より、東池袋と渋谷に関して、自車速度と他車速度の最頻値帯が 50-70 [km/h]なのに対して、横浜町田では、60-80 [km/h]であることがわかる。これは制限速度が、首都高である東池袋と渋谷は 60 [km/h]であること、および東名高速である横浜町田は 100 [km/h]であるためと考えられる。

図 3.2.1.4-3 の車間距離の分布では、東池袋と渋谷は比較的 0-80 [m]に収まるような分布であるのに対して、横浜町田は裾の長い分布形状となっている。これは、合流区間が広いため、ドライバが後方の車両との位置関係を把握し、任意のタイミングで合流することができるためと考えられる。

図 3.2.1.4-4 の横速度の分布では、表 3.2.1.2-4 に示した通りに合流路が短い東池袋では大きく、逆に合流路が長い横浜町田では小さい分布となっている。これは、合流路が小さいほど、早く合流しようという運転行動を示唆している。

図 3.2.1.4-5 の他車平均加速度では、東池袋と横浜町田に比べて渋谷はやや小さい傾向がみられる。これは、東池袋は合流路が短いため、早く本線側の速度に合わせること、横浜町田では合流路が長いため、十分に加速してから本線に合流しようとするためと考えられる。

図 3.2.1.4-6 の終端までの距離分布は合流路の長さが違うため、分布もそれぞれ異なっている。

図 3.2.1.4-7 の車線変更時間分布では、合流路が短い東池袋では短い（すぐに合流する）、逆に合流路が長い横浜町田では長い（ゆっくり合流する）傾向がみられる。

3.2.1.5　合流路形状を用いたパラメータ分布の推定の検討

合流シナリオに関するパラメータに関して、合流路の長さを加味したパラメータの一般化を試みる。これによって、全国各地の合流場面でデータを計測せずに、パラメータ範囲を検討できる。

今回は、3.2.1.4 で考察し、合流路の形状によってパラメータの範囲が異なると考えた、他車横速度と終端までの距離に関して一般化を検討する。

（1）　他車横速度

他車横速度の分布は、図 3.2.1.4-4 にて示した。これを箱ひげ図に書き直したものを図

3.2.1.5-1 に示す。これより、合流路長が長くなるほど、横速度が小さくなることを改めて確認できる。

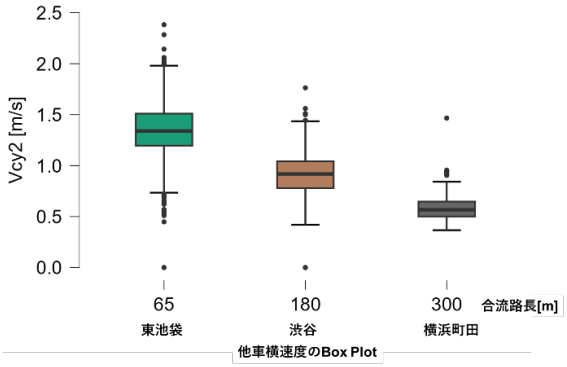


図 3.2.1.5-1　合流路ごとの他車横速度の箱ひげ図

次に、目的変数を他車横速度、説明変数を合流路長として、単回帰分析を行った。その結果を表 3.2.1.5-1 に示す。これより、横速度は合流路長L[m]を用いて、

$$V_{cy2} = 1.561 - 0.003 * L$$

と推定できる。なお。調整済み決定係数は 0.529 であった。

表 3.2.1.5-1 他車横速度に関する単回帰分析の結果

	係数	標準偏差	標準化係数	t	p
切片	1.561	0.010		150.422	<.001
L[m]	-0.003	7.426×10^{-5}	-0.727	-45.647	<.001

今回は、単回帰分析を実施した。調整済み決定係数が 0.529 のモデルであったものの、さらにパラメータや今回考慮しなかった変数等を用いて推定モデルの精度をあげることは、今後の課題となる。

（2）　終端までの距離

終端までの距離の分布は、図 3.2.1.4-6 にて示した。これを箱ひげ図に書き直したものを図 3.2.1.5-2 に示す。これより、合流路長が長くなるほど、終端までの距離が長くなることを確認できる。

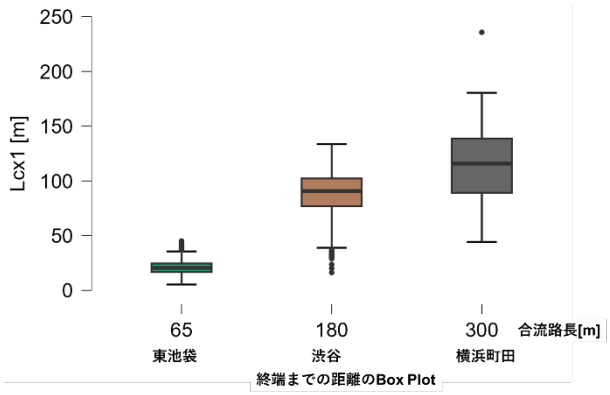


図 3.2.1.5-2　合流路ごとの終端までの距離の箱ひげ図

合流するときの位置と合流路の終端までの距離は、合流路の長さに影響すると考えられる。そのため、このパラメータを合流路ごとで比較するには、合流車が白線をまたぐ位置が合流路の長さのどのあたりであるかを揃える必要がある。今回は、終端までの距離を、ハードノーズから合流路終端までの長さ（図 3.2.1.2-1 の a+b、値に関しては表 3.2.1.2-4 を参照）で割ることで、合流路の何分目で合流車が白線をまたいだかを分析した。その結果を図 3.2.1.5-3 に示す。

この図では、0 に近いほどハードノーズ側で、1 に近いほど終端側で合流していることを示している。この結果より、東池袋では、合流路の奥側で、渋谷は中心から奥側で、横浜町田は中心以降で合流している傾向がみられる。表 3.2.1.5-2 に統計量に関してまとめたものを示す。なお、横浜町田は、計測開始地点よりも外側にハードノーズがあるため、ハードノーズ付近で合流したデータは存在しないことを考慮する必要がある。

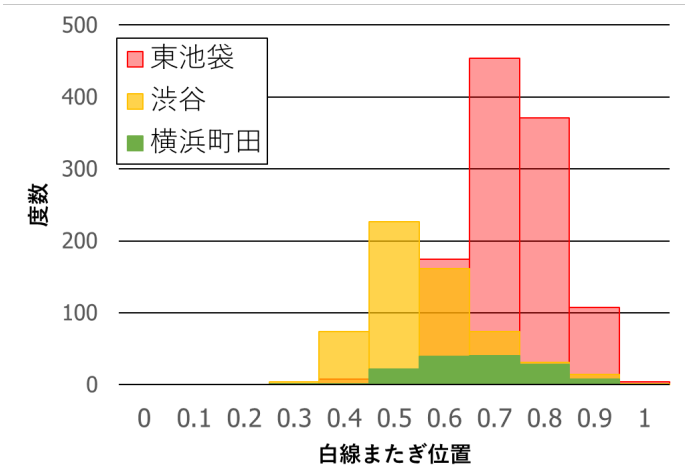


図 3.2.1.5-3　合流車が白線をまたいだ位置と合流路との相対的な位置

表 3.2.1.5-2　白線またぎ位置と合流路長に関する統計量

	平均値	中央値	標準偏差	最小値	最大値
東池袋	0.681	0.684	0.089	0.305	0.917
渋谷	0.513	0.496	0.114	0.258	0.909
横浜町田	0.618	0.614	0.115	0.214	0.852

これらの統計量をもとに、合流車が白線をまたぐであろう位置を推定するモデルを作成することは今後の課題となる。

参考文献

[1] 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, III-155, 2021 年 3 月, https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2020FY/000631.pdf.

[2] 経済産業省, 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）, III-9, 2022 年 3 月, https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2022FY/000450.pdf.

[3] 経済産業省, 平成 31 年度　高度な自動走行システム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, III-75, 2020 年 3 月, https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2022FY/000450.pdf.

[4] 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, III-64, 2021 年 3 月, https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2020FY/000631.pdf.

[5] 経済産業省, 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）, III-3, 2023 年 3 月, https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2022FY/000450.pdf.

[6] 佐佐木綱ら, 『交通工学』, 国民科学社, 1992.

[7] 河上省吾ら, 『交通工学第 2 版』, 森北出版, 1987.

3.2.2　シナリオパラメータの十分性検討

日本国内において地域によって交通流が粗密であったり、運転の挙動が異なっていたりといった地域特有の特異性が見受けられることがある。そのため、シナリオのパラメータが地域によって差異が生じるのかを分析し、パラメータ範囲の十分性を検討する。

3.2.2.1　対象シナリオ

本検討に関して、カットイン（以下、「cut-in」という）シナリオを用いてパラメータの十分性を検討する。cut-in シナリオにおける自車（Ego）および他車（Object vehicle）挙動（パラメータ）定義を図 3.2.2.1-1 に示す。使用するパラメータは、自車初期速度

【Ve0】、相対初期速度【Ve0-Vo0】、初期車間距離【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抽出する。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い速度での cut-in の状況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。

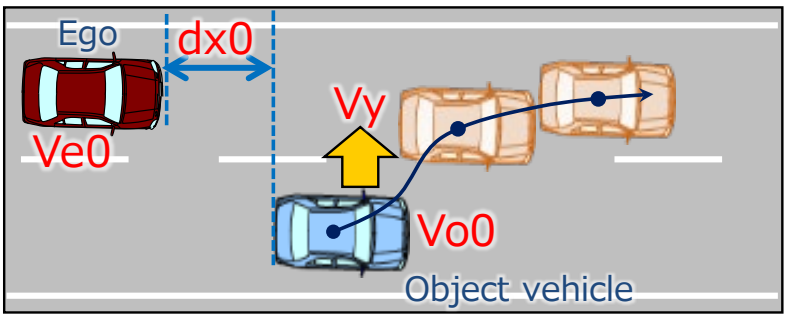


図 3.2.2.1-1　cut-in シナリオのパラメータ

なお、cut-in シナリオの分析に関しては、令和元年度報告書[1]、および道路形状による cut-in シナリオのパラメータ範囲の十分性に関しては令和 4 年度報告書[2]にて報告している。

3.2.2.2　シナリオ該当場面の抽出

cut-in シナリオは、計測車で計測したデータを元に作成した。使用するパラメータおよび計測データのソースを表 3.2.2.2-1 に示す。

表 3.2.2.2-1　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	自車相対初期速度	Ve0-Vo0	km/h	初期値	直接計測
Ego-relative longitudinal distance	自車初期車間距離	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

3.2.2.3　分析対象データ

分析対象としては令和元年度と令和 2 年度にて計測された首都高速道路（以下、「首都高」という）と東名高速道路（以下、「東名」という）のデータ、および、令和 4 年度に

計測された九州自動車道（以下、「九州」という）のデータである。データ計測車両によるデータ計測の詳しい運行経路は、昨年度までの報告書に記載されている[3,4,5]。

データの取得件数を表 3.2.2.3-1 に示す。首都高の計測車平均速度が低いのは、制限速度が 60km/h であるためと考えられる。ここで、表 3.2.2.3-1 にある離反とは cut-in 車両が加速しながら自車の前に cut-in する事象であり cut-in 最中およびその後は自車から遠ざかっていく、接近とは逆に減速しながら cut-in してくる事象であり cut-in 最中およびその後は自車に近づいてくる事を示している。また、分析対象を接近条件に絞っているのは、cut-in された時に自車に近づいてくるような危険な事象を検討するためである。なお、分析対象となるデータの信頼性を担保するため、データに対して目検を実施し、cut-in している事象を確認できたデータのみを使用している。

表 3.2.2.3-1　計測に状況とデータの取得件数

	計測期間	合計走行時間[h]	合計走行距離[km]	計測車平均速度[km/h]	観測 cut-in 数(離反・接近)[件]	分析対象 cut-in 数(接近)[件]
首都高	2019/9/17-12/25, 2020/7/29-10/21	1462	70435	48	50731	183
東名	2019/9/17-12/26, 2020/1/7-1/21, 2020/7/29-12/17	1546	88096	57	24586	193
九州	2022/10/19-12/23	452	33496	74	5231	247

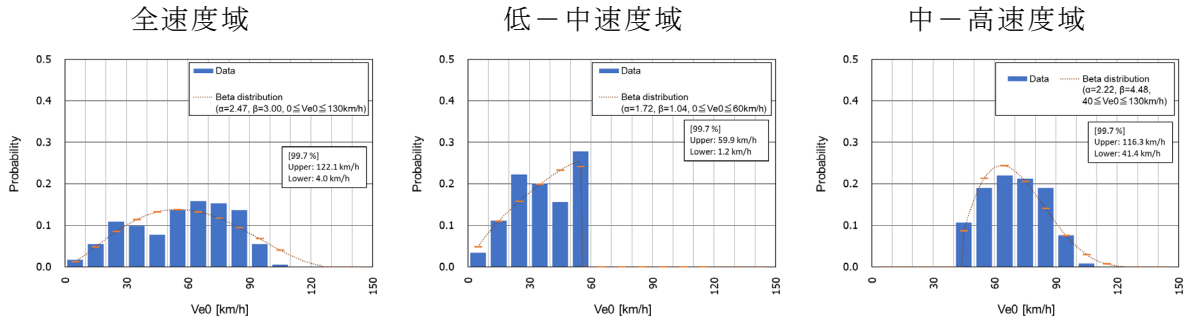
3.2.2.4　各地域におけるパラメータ分布の推定と比較

各地域におけるパラメータ分布の推定と比較を行う前に計測車の速度に基づきデータを分割した。これは、交通流の特性が速度域によって異なるためである。低速域では、交通量と平均速度に正の相関があるのに対して、高速域では負の相関に遷移する。そのため、低速度域は計測車が 0-40km/h、中速度域は 40-60km/h、高速度域は 60km/h 以上と設定した。分割したデータごとのデータ数を表 3.2.2.4-1 に示す。表 3.2.2.4-1 と表 3.2.2.3-1 より、九州を計測した際は、低速度域のデータ数が少ない、すなわち渋滞にはほとんど出会わなかったことが示唆される。

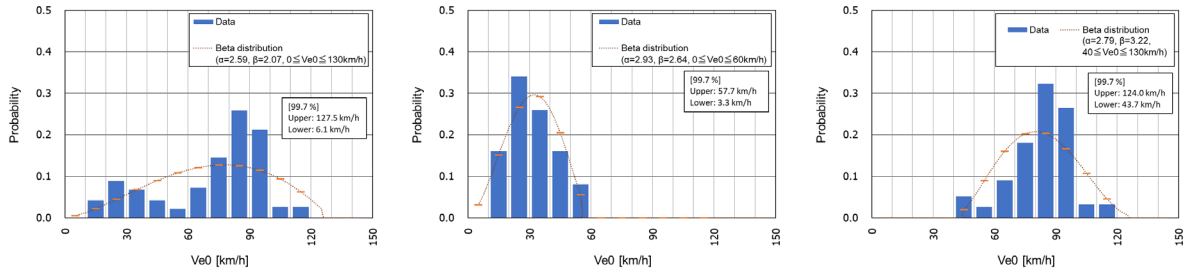
次に、パラメータの分布推定結果を図 3.2.2.4-1 から図 3.2.2.4-4 にそれぞれ示す。なお、状態が遷移する速度帯である中速度域は、低速度域、高速度域のそれぞれに含める。

表 3.2.2.4-1 各走行道路と速度域のデータ数

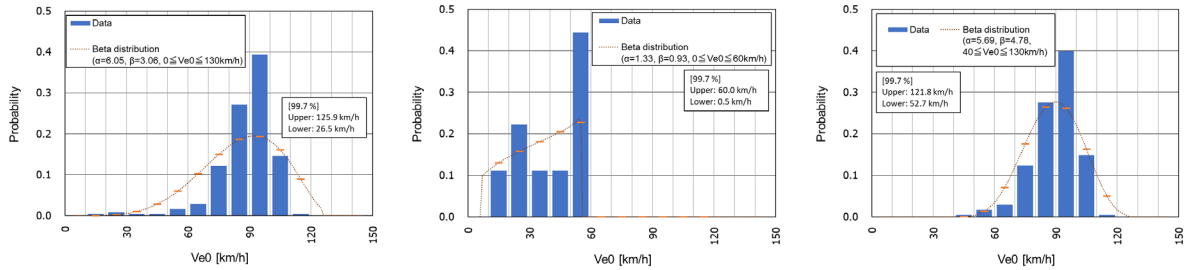
	低速度域[件]	中速度域[件]	高速度域[件]	合計[件]
首都	51	39	93	183
東名	38	12	143	193
九州	4	5	238	247



(a) 首都高



(b) 東名



(c) 九州

図 3.2.2.4-1　cut-in シナリオの首都高・東名・九州の自車初期速度分布

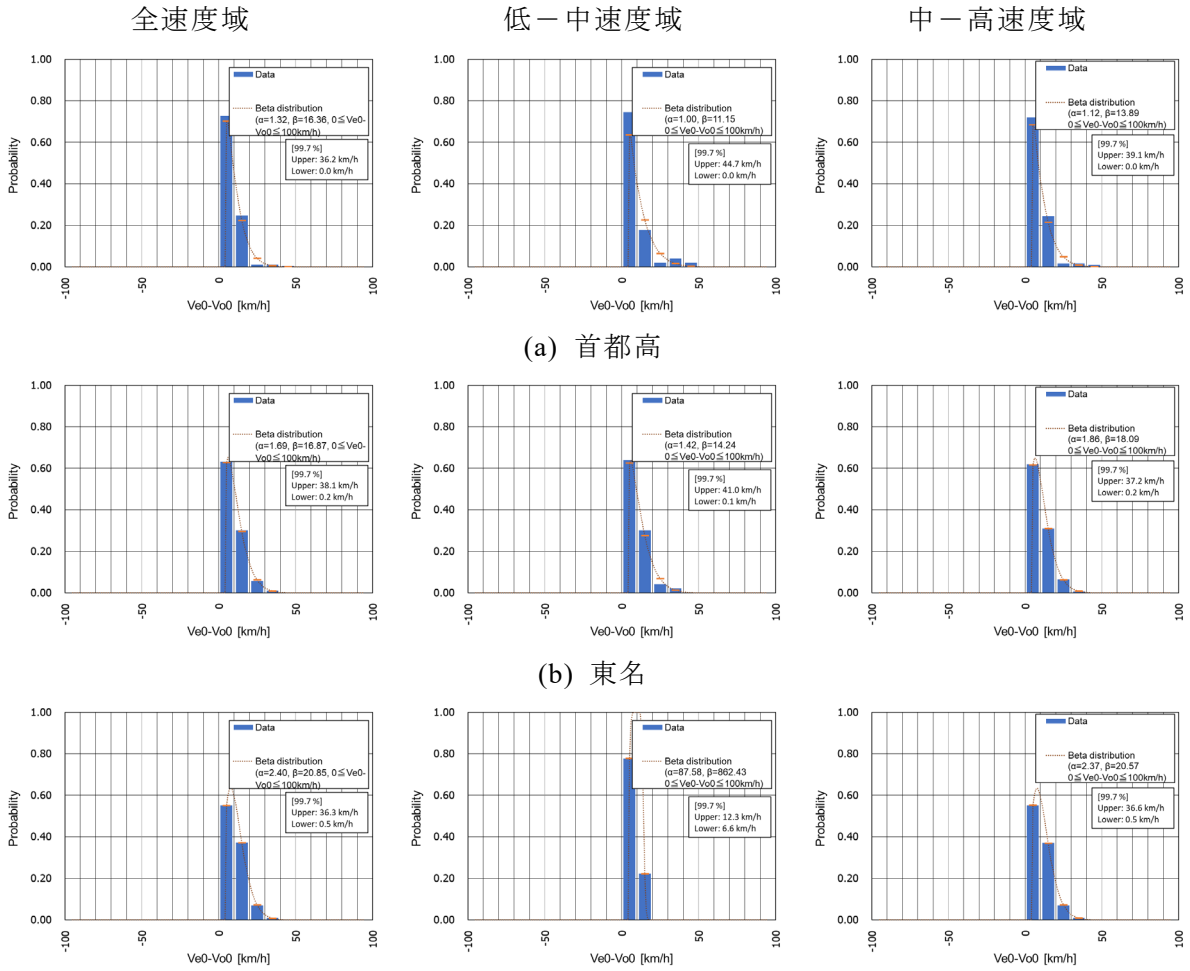
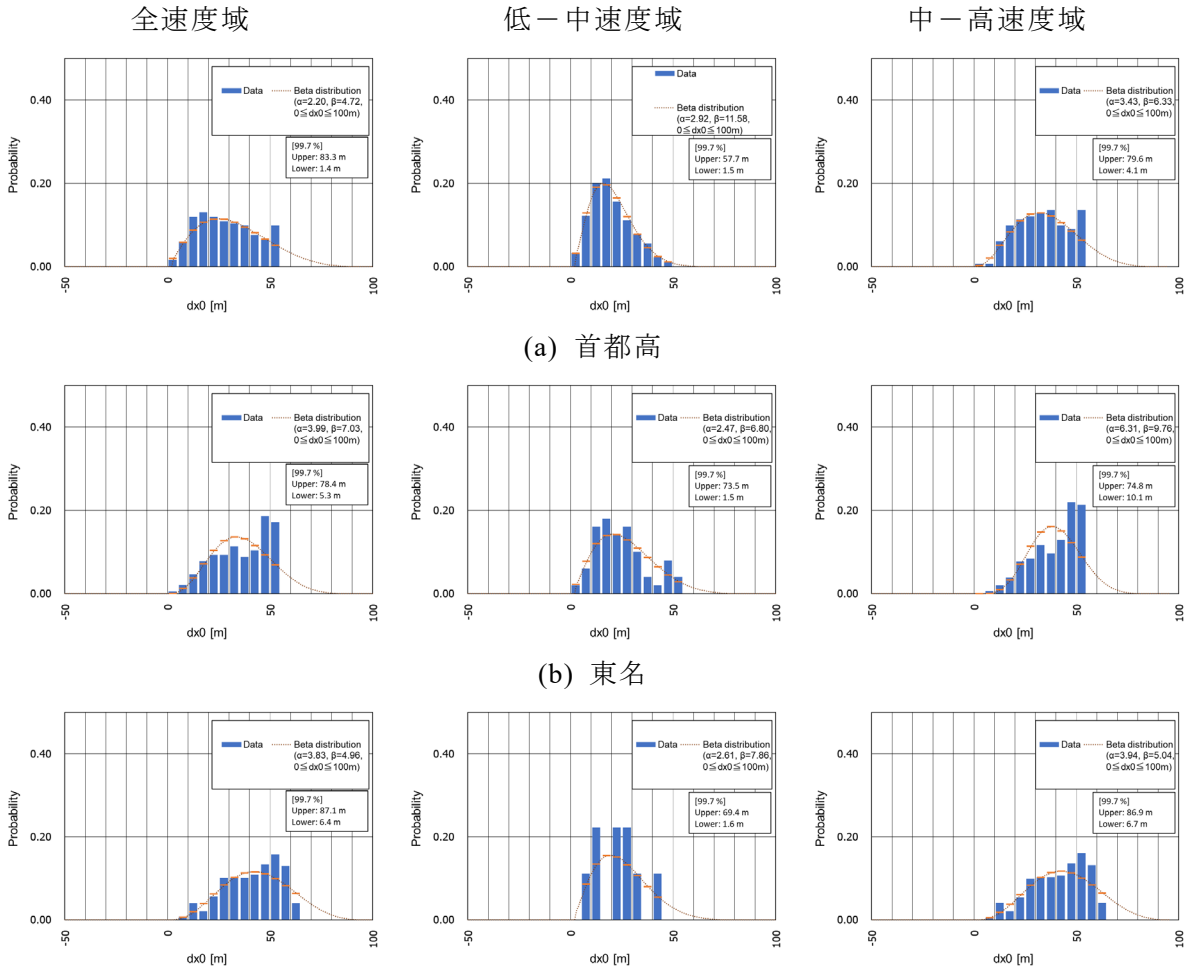


図 3.2.2.4-2　cut-in シナリオの首都高・東名・九州の自車相対初期速度分布



(a) 首都高

(b) 東名

(c) 九州

図 3.2.2.4-3　cut-in シナリオの首都高・東名・九州の自車初期車間距離分布

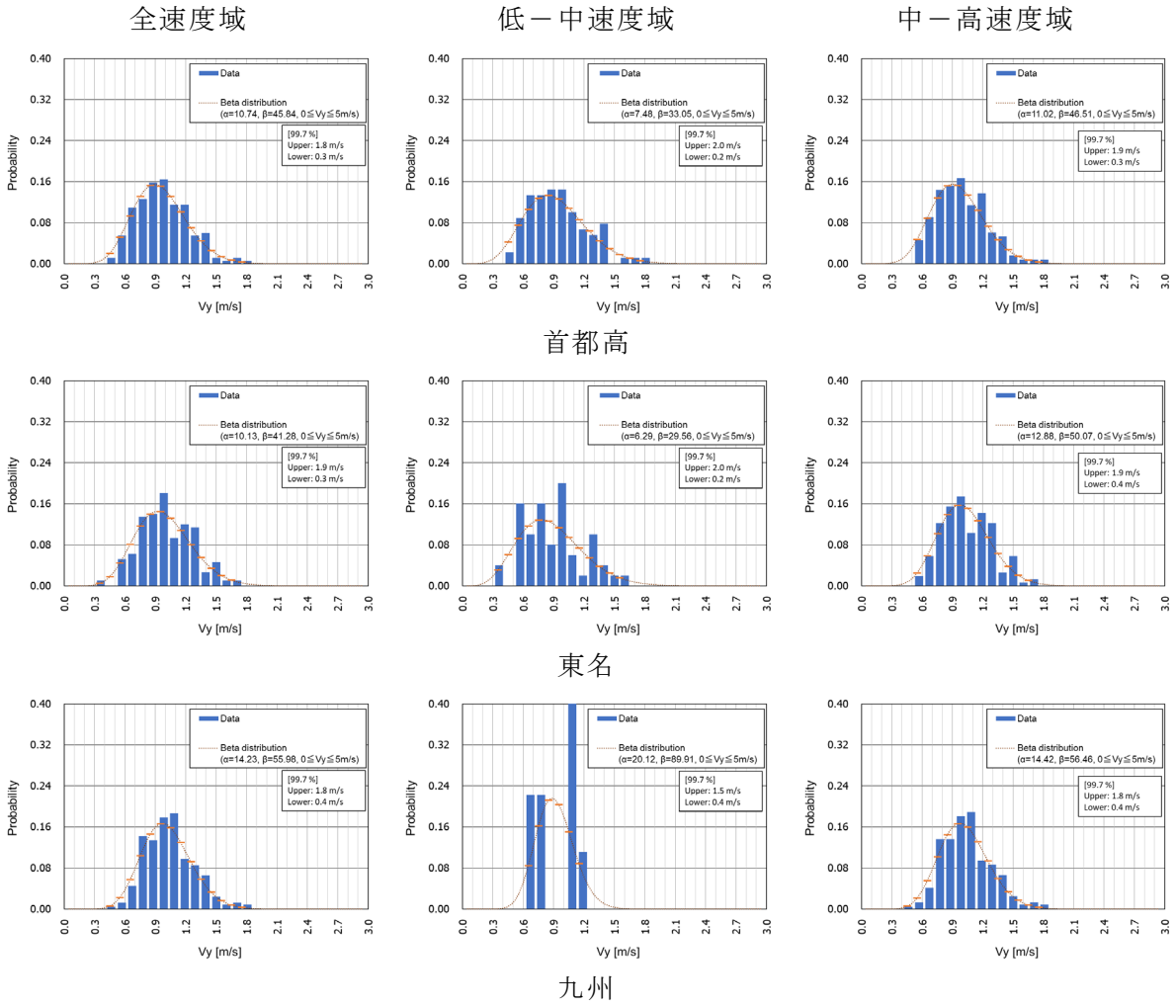


図 3.2.2.4-4　cut-in シナリオの首都高・東名・九州の相対横速度分布

図 3.2.2.4-1 より、自車初期速度は、特に中-高速度域において、首都高はほか二つの路線に比べて低い傾向（東名、九州の上位 99.7 パーセンタイルの値がそれぞれ 124.0km/h、121.8km/h に対して首都高は 116.3km/h）が見られた。これは制限速度による影響のためと考えられる。また、図 3.2.2.4-3 より、車間距離に関しては、中-高速度域において、九州がほかの路線に比べて大きい傾向（首都高、東名の上位 99.7 パーセンタイルの値がそれぞれ 79.6m、74.8m に対して九州は 86.9m）が見られた。 一方、図 3.2.2.4-2 と図 3.2.2.4-4 より、相対速度や横速度に関しては、地域差を確認できるほどの差異は見られなかった。

これらの結果から、シナリオのパラメータ範囲は、地域によって大きく異なることはないものの、例えば自車速度は、地域（制限速度）による若干の差異があることを示唆していると考えられる。

3.2.2.5　同速度におけるパラメータ分布の推定と比較

3.2.2.4 では、首都高、東名および九州において、cut-in シナリオのパラメータを推定することで、若干の地域間差が見られることを示した。ここでは、制限速度がほぼ同じであり、道路構造も近い東名と九州に絞ってパラメータを比較する。これにより、同等の速度で走行した際の各パラメータの遭遇確率を比較でき、パラメータの十分性を検討できる。今回は、制限速度を 80km/h としたときに、それよりもやや遅い 60-80km/h と、やや速い 80-100km/h に限定して、分布を推定・比較する。

東名、九州における、60-80km/h と 80-100km/h の速度帯のデータ数をまとめた表を表 3.2.2.5-1 に示す。

表 3.2.2.5-1 各道路と速度域のデータ数

	60-80km/h[件]	80-100km/h[件]	合計[件]
東名	42	91	133
九州	37	164	201

次に、3.2.2.4 での取り組みと同様に、パラメータを推定した結果を図 3.2.2.5-1 から図 3.2.2.5-4 にそれぞれ示す。

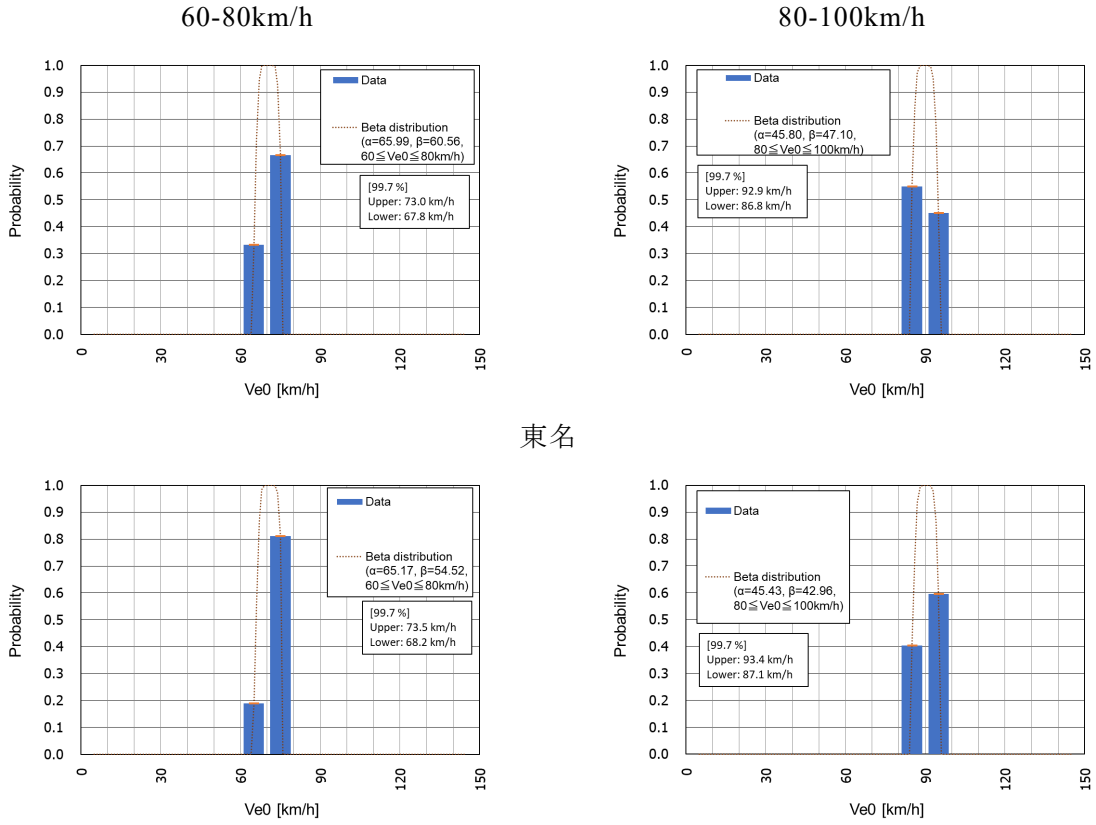
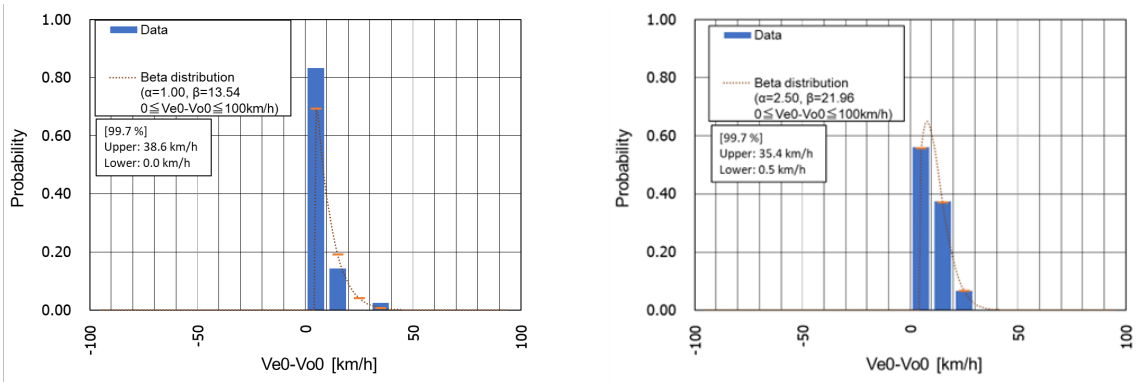
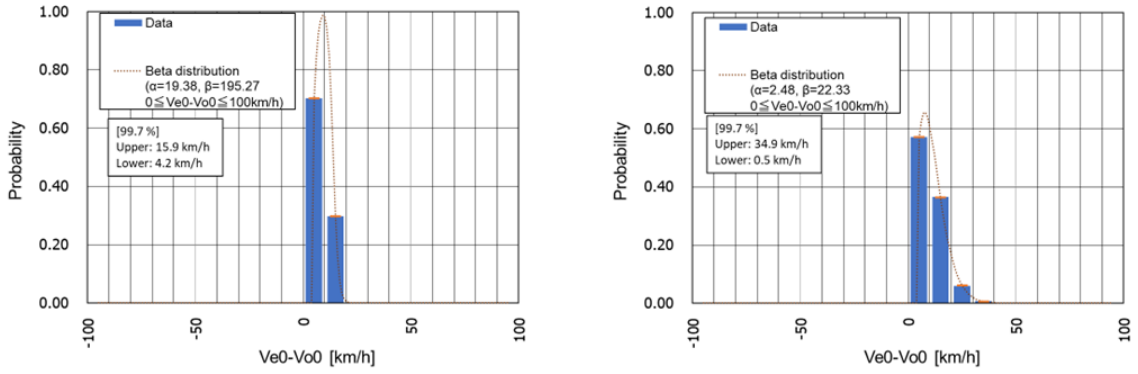


図 3.2.2.5-1　cut-in シナリオの東名・九州の自車初期速度分布

60-80km/h　　80-100km/h



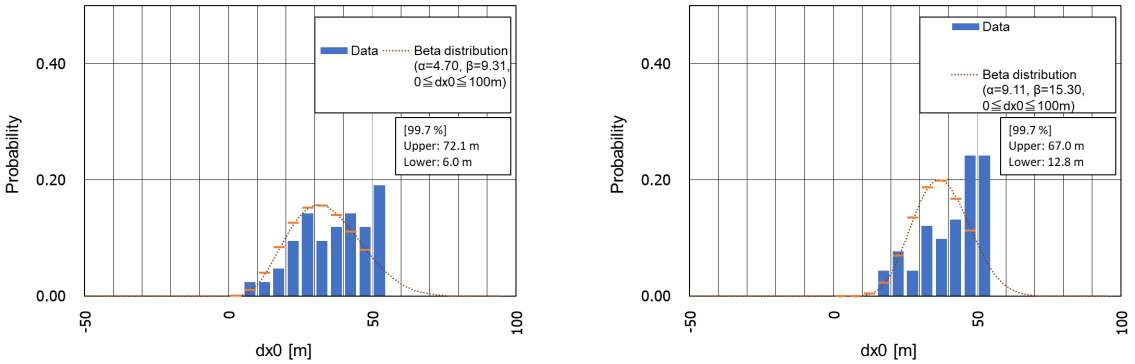
東名



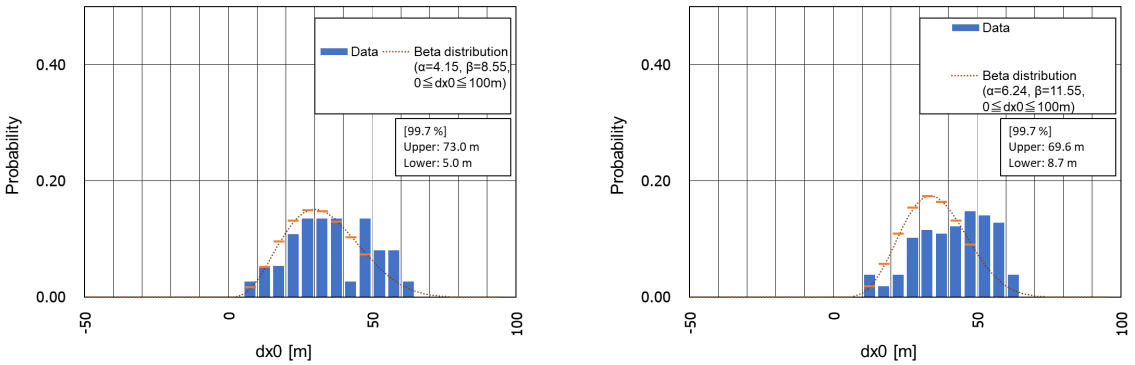
九州

図 3.2.2.5-2　cut-in シナリオの東名・九州の自車相対初期速度分布

60-80km/h　　80-100km/h



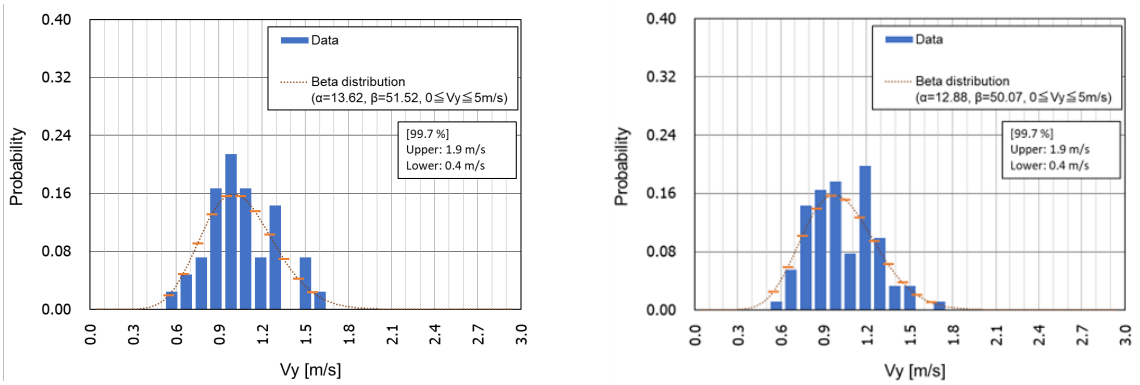
東名



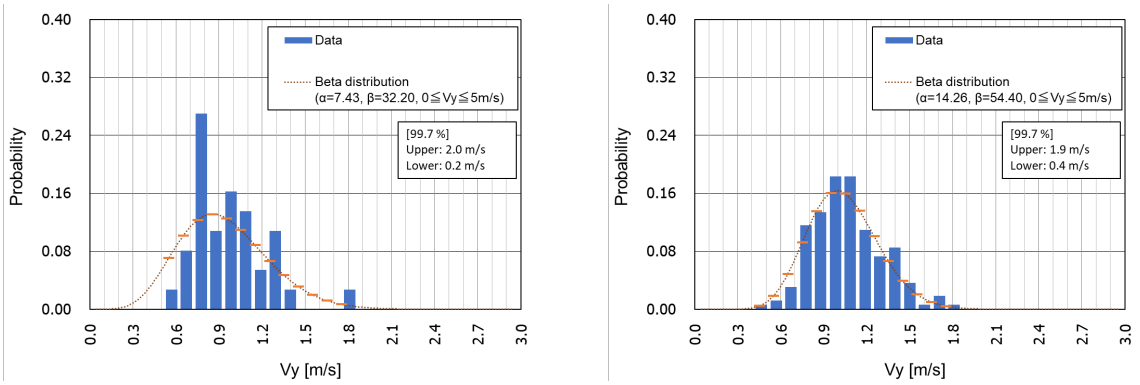
九州

図 3.2.2.5-3　cut-in シナリオの東名・九州の自車初期車間距離分布

60-80km/h　　80-100km/h



東名



九州

図 3.2.2.5-4　cut-in シナリオの東名・九州の相対横速度分布

図 3.2.2.5-3 の車間距離を推定する際は、汎用的なセンサレンジや遭遇頻度を考慮して、車間距離 50m までのデータにもっとも当てはまるように、分布を推定した。

パラメータ推定の結果から、東名と九州において 99.7%タイル値でパラメータを比較すると、基本的にはどのパラメータも差異は確認できなかった。これは、同速度で走行している際には、どの地域においても同等の cut-in シーンに遭遇することを示唆している。すなわち、パラメータ範囲は十分であると考えられる。そのため、高速道路における制限速度規制区間を網羅できるように走行場所を選びデータを収集することで地域性を加味したパラメータ範囲を算出できると考えられる。

一方、課題として、得られたパラメータを基に地域性も加味された合理的に予見可能な範囲（パラメータ範囲）を算出するための定式化、およびその定式化されたモデルをシナリオデータベースに反映し、合理的に予見可能な範囲をシナリオデータベース上で確認できる、および拡充することが挙げられる。

参考文献

[1] 経済産業省, 平成 31 年度　高度な自動走行システム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, III-113, 2020 年 3 月, https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2019FY/000329.pdf.

[2] 経済産業省, 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）, III-24, 2023 年 3 月, https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2022FY/000450.pdf.

[3] 経済産業省, 平成 31 年度　高度な自動走行システム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, III-9, 2020 年 3 月, https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2019FY/000329.pdf.

[4] 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, III-2, 2021 年 3 月, https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2020FY/000631.pdf.

[5] 経済産業省, 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）, III-18, 2023 年 3 月, https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2022FY/000450.pdf.

3.3　回避可能な範囲の特定手法の研究

本節は、自動運転システムの安全性評価において回避可能な範囲を特定する手法について、手動運転車のドライバ行動・反応に着目した定量的な評価基準案を調査した結果と衝突する危険性に関する評価指標を検討した結果を述べる。

3.3.1 項では、一般道の交差点において二車両がともに直進する出会い頭シナリオの安全性を判断する評価基準案を作成する。今回は、自動運転システムが非優先側から交差点へ進入するパターンを対象としたため、衝突しないことに加えて優先車の進行を妨害しないことの定量化を試みる。定量化に向けて、交差点出会い頭シナリオを対象としたドライビングシミュレータ実験の結果を分析する。

3.3.2 項では、対四輪車の交通外乱パターンの安全性評価に適用できる危険性評価指標を用意するため、衝突を回避するために必要な減速度の単位で定量的に算出できる評価指標について検討する。これまでに用意した追突シナリオと異なり、交差点の出会い頭や右折対直進のシナリオは回避条件が複数存在するため、パターンに応じて衝突を回避する減速度を算出できる手法を提案する。

上記の内容を通して、一般道における安全性評価に関して、自動運転システムが非優先側から進入するシナリオの安全性を判断する評価基準案を具体化し、安全性評価基盤を活用した交差点評価に活用する。また、衝突を回避するための減速度という単位で危険性の大小を定量化する評価指標を提案し、評価シナリオのパターンが増大していくことへ対応する。

3.3.1　交差点の直進×直進 出会い頭シナリオのクライテリアの検討

交差点での交通外乱シナリオにおける安全性について、二台の車両がどのように交錯した場合が安全であるのか、その基準（以下、「クライテリア」という）を具体化しておかなければ評価される自動運転システム（以下、「ADS」という）が安全であるという証明が困難である。その交錯観点での基準はシナリオごとに異なることが考えられる。例えば、ADSが主体的に行動を起こす場合と、受動的に他車両の行動に反応する場合でクライテリアの考え方が大きく異なる。受動的に反応する場合はぶつからないことが条件となりえるが、主体的に行動を起こす場合はぶつからないだけでなく、妨害をしないことが求められる可能性がある。これまで日本からは、受動的に他車両の行動に反応する場合について、自車車線維持の受動的なシナリオにおけるクライテリアを提案し、一部は国際基準にも反映されている。一方で、主体的に行動を起こすシナリオにおける基準は十分に検討がされていない。そのため、主体的に行動を起こす場面の一例である、出合い頭シナリオを例に基準となりうる指標の検討を行った。本項では、対象とする場面の選定方法から、その対象場面における DS 実験の条件、その結果を述べ、安全性評価クライテリアの材料として活用することを目的とする。

3.3.1.1　一般道でのクライテリア検討場面の選定

一般道の FS（ファンクショナルシナリオ）は 58 シナリオで構成され、それぞれのシナリオについて安全性を説明・評価・証明するためのクライテリアが必要である。シナリオ体系の中でクライテリアの考え方において重複可能なシナリオも存在するが、重複不可能なその他シナリオに関しては新たな検討が必要であることは明確である。これまでに、クライテリア検討は自車両・他車両のレーンチェンジ場面や交差点の右折・直進シナリオを対象に行われた。特に、一般道交差点でのシナリオである右折・直進シナリオについては、令和 3 年度に検討を行った[1]。令和 3 年度の検討の結果、他車両が右折する場面において、直進車両との相対的な位置関係を仮想衝突地点を通過する時間差で整理し、“交差点への進入時間の Time Gap 4.5 秒（仮想衝突地点にいる時間差 1.5 秒）程度であれば妨害と感じない”という水準を提案した。また、交差点での死角や通過速度などの要因が妨害水準に影響するかについても検討を行い、通過速度と妨害水準に相関がある可能性を示した。

一方で、出会い頭の特に、自車両が先に通過できる基準については、先行研究事例が見当たらないため、今年度の検討対象とする場面は一時停止のない出会い頭場面とし、他車両ドライバの妨害水準を定量化した。（道路交通法による交差点通過については、「**エラー! 参照元が見つかりません。**」を参照）

3.3.1.2　出会い頭場面でのクライテリア検討のための運転行動調査

（1）　実験条件設定

自動運転車両の挙動による他車両への影響を定量化するために本実験では、自動運転車両相当の車両をオブジェクトとして設定し、他車両相当の車両を一般ドライバに運転してもらい、車両挙動の変化および主観評価により妨害の有無を分析した。なお、詳細な実験条件については以下に述べる。

まず、両車両が交差点に到達する時刻を基準にして、図 3.3.1.2-1 のように他車両が先に通過する場合と自動運転車両が先に通過する場合が考えられる。ここで、他車両が先に通過する場合、ADS は受動的に衝突を回避することが求められるため、従来の考え方を踏襲することが可能である。一方で、ADS が先に通過する場合はどれだけの相対関係があれば他車両に妨害と感じさせないかの検討が必要となる。そのため、DS 実験の条件としては両車両の交差点到達時刻を実験条件として設定する。

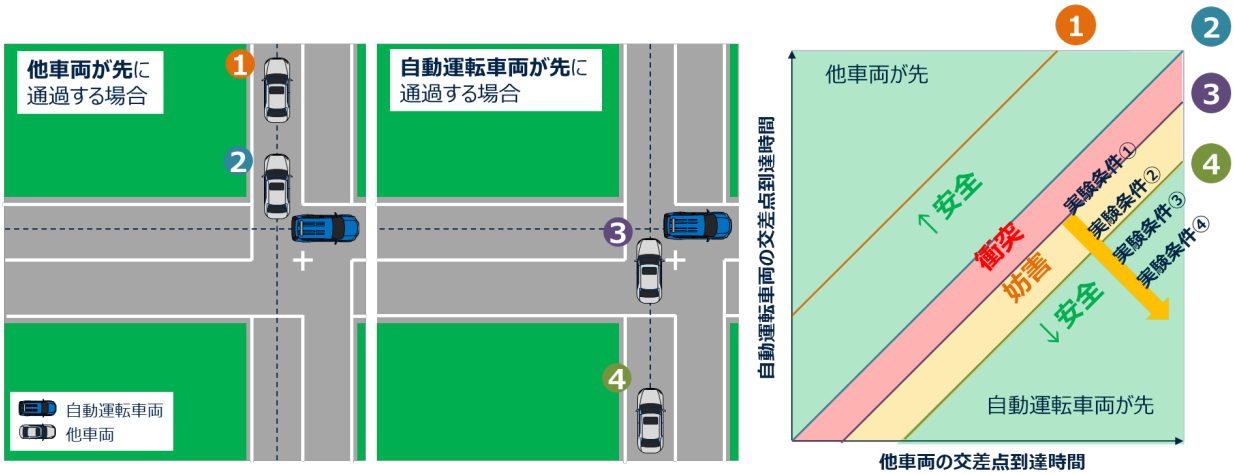


図 3.3.1.2-1　実験条件設定（左）と妨害の定量化との関係（右）

DS 実験のために設計した道路環境を図 3.3.1.2-2（左）に示す。交差点は ITARDA が提案した交差点規模基準を参考に、小規模交差点（幅員 5.5 m 以下）と設定した[2]。道路環境を小規模の交差点と設定した理由は日本国内の交差点における出会い頭事故が小規模交差点で最も多かったためである[3]。実験条件の制御は「t1'：自動運転車両が見え始める時刻」、「t3：自動運転車両が Conflict area を通過する」、「t4：他車両が Conflict area に到達する」と定義し、t3 から t4 までの時間を調整して行った。ここで、自動運転車両が見え始める時刻（t1'）が実験結果に影響する可能性があるため、t1'から t3 までの時間はすべての条件で 7 秒に設定するように障害物（Obstruction）を設置した。

分析対象となる他車両の行動については、「t1：他車両ドライバが認識・判断した時刻」、「t2：行動（減速行動など）を開始した時刻」、「t3：行動を終了した時刻」と設定し、自動車線維持システム（以下、「ALKS」という）のクライテリア検討を参考にドライバの「認知/判断」、「行動」、「余裕時間」に分けて、分析を行う[4]。

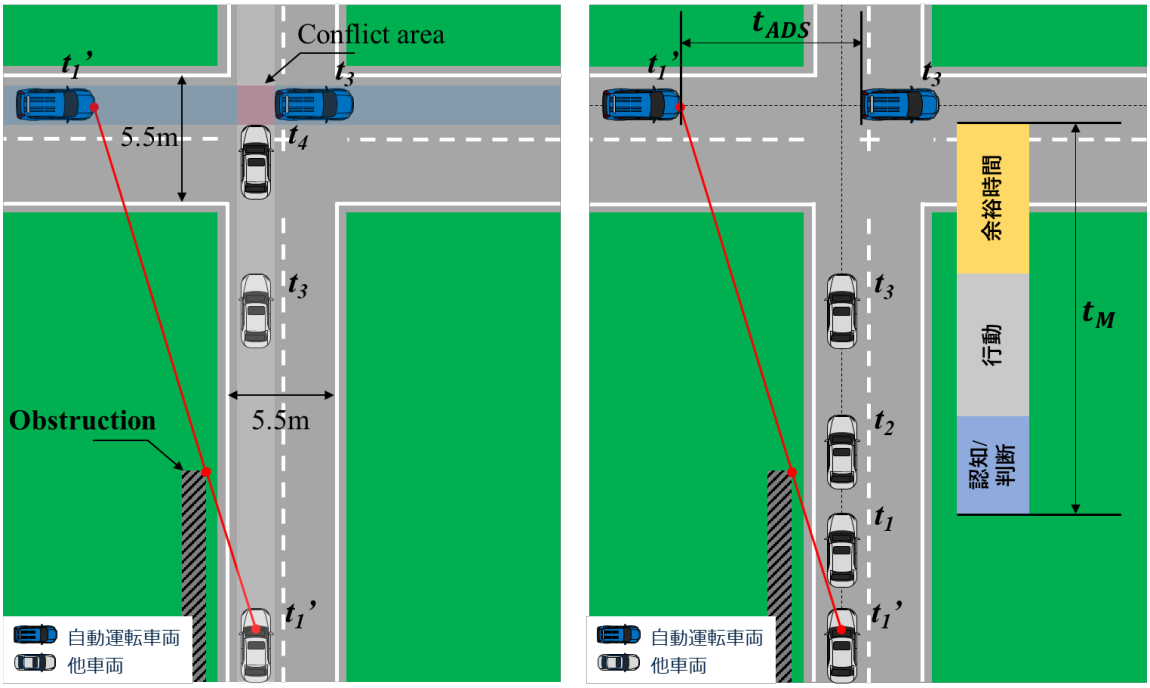


図 3.3.1.2-2　実験の道路環境（左）及び計測対象（右）

ここで、「余裕時間」の定義は PET （Post Encroachment Time）を用いて計測を行う。PET は交差する場面で車両が Conflict area を通過した後に、交差する車両が Conflict area に到達するまでと定義され[5]、本研究では t3 の時刻から t4 の時刻までの時間と定義できる。図 3.3.1.2-3 は実験条件と計測パラメータの関係を示す。実験条件は他車両が減速行動をしない場合の Conflict area へ到達するまでの時間を推定 PET として定義し、制御を行った。推定 PET 条件について、1.5 秒から 2.5 秒の間で妨害を感じることがあると予想されるため 2 回実施し、それ以外の条件については 1 回実施した。また、交通参加者の速度により妨害の水準が変化するかについて検討するために、実験参加者車両速度を実験条件として制御を行った。さらに、位置関係による条件が実験参加者の行動により変化することで、妨害に対するアンケート結果が変化する可能性があるため、実験参加者の運転有無も実験条件として制御した。ただし、運転無しの条件では実験参加者になるべく手動運転を行っているように心掛けて実施するように教示を行った。

最終的な実験条件は下記のように計 42 の条件で設定した（表 3.3.1.2-1）。

実験条件：「運転有無（2）」×「実験参加者車両速度条件（3）」×「推定 PET（7）」

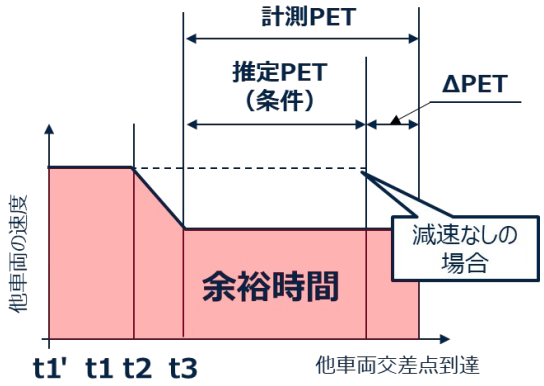


図 3.3.1.2-3　実験条件と計測パラメータの関係

表 3.3.1.2-1　交差点通過時の妨害水準推定のための DS 実験の条件

運転有無	実験参加者車両 速度 (km/h)	推定 PET (sec)
有	20	1.0
無	40	1.5
	50	2.0
		2.5
		3.0
		4.0
		5.0
自動運転車両（登場車両）速度は全条件同様：30 km/h		

妨害水準の主観評価は図 3.3.1.2-4 のように設計し、1 条件の試行ごとに行った。評価内容は妨害を感じた水準について 6 段階の尺度で構成され、実験参加者間の個人差がある可能性があることから、妨害の基準点（4. やや妨害された）を提示し実験参加者の個人差を排除するようにした。

実験は実験参加者の走行速度条件と運転有無条件に合わせ 6 回に分けて実施した。また、実験参加者間シナリオは順序効果を考慮し、実験条件は実験参加者間ランダムにし、走行中に約 30%程度のダミー条件（登場車両なし、登場方向変化）を追加し、実験を行った。



図 3.3.1.2-4　妨害水準を調査するための実験中アンケート内容

（2）　実験参加者

本実験は、普通免許を有する一般ドライバ 43 名（平均年齢：46.9 歳、標準偏差：12.8 歳）、に対して実施した。実験参加者の属性を図 3.3.1.2-5 に示す。実験参加者は性別、年齢により結果が変化する可能性を考慮し、均等に募集を行った。運転年数については、年齢を均等にしていることから、運転年数が長い実験参加者が多いが、年間走行距離（平均距離：7,867 km、標準偏差：8,033 km）は比較的に均等な実験参加者が募集されていることから、片寄りがない一般ドライバのデータが取得できたと考えられる。

なお、実験参加者全員について実験者による書面での実験内容の説明を行った上で本実験への参加に対する同意書（インフォームドコンセント）を得た。

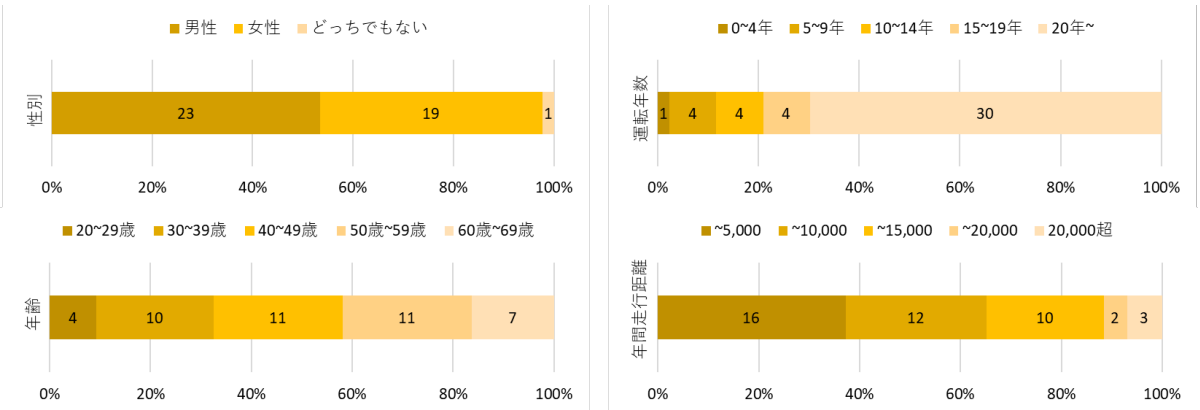


図 3.3.1.2-5　実験参加者属性

（3） 運転シミュレータ概要

DS 実験で使用したシミュレータは、6 自由度の動揺装置および回転テーブルから現実的な運転環境を再現できる全方位 DS である。DS の様子は図 3.3.1.2-6 と図 3.3.1.2-7 に示す。本シミュレータには、映像用のスクリーンが設置されており、水平方向および垂直方向の画角は、それぞれ 360 度、65 度となっている。

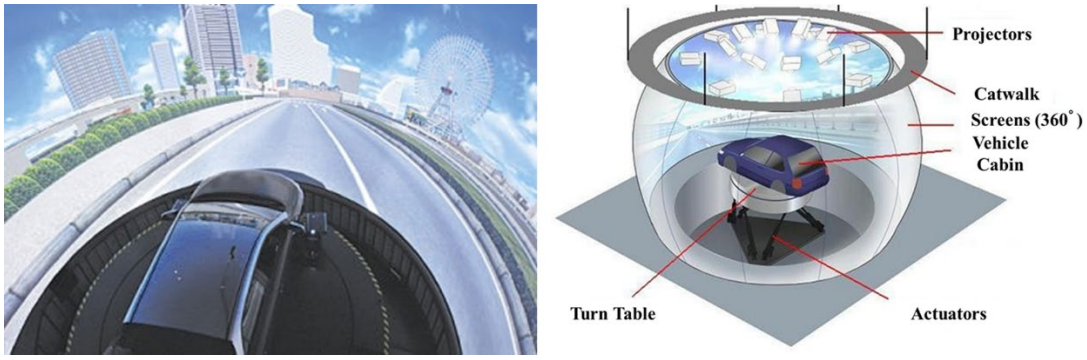


図 3.3.1.2-6　利用したドライビングシミュレータシステム



図 3.3.1.2-7　DS 実験時のシミュレータ内部の様子

（4） 実験結果

・妨害の範囲

本研究では、他車両の「認知/判断」・「操舵」・「余裕時間」から妨害の範囲を定量的に評価する。そのため、下記の条件を満たせば妨害ではないと考えた。

・十分な余裕時間を残せる
・他車に急な減速をさせない

十分な余裕時間は、PET で定量化できるため、PET がある閾値以下の場合は妨害と判断できる。また、他車の急な減速は、本実験では ΔPET を用いて評価した。ここで、ΔPET は推定 PET と実際の PET の変化量であり、推定 PET は実験開始時の速度が維持されたと仮定した場合の PET である。ΔPET は、実験参加者の行動によりどれだけ初期条件から変化されたかを総合的に評価できる。例えば、ΔPET が 0 秒の場合は、実験参加者が初期条件から何も行っていないことを意味し、ΔPET の値が大きくなるほど、条件により実験参加者が何か行動を行ったことを意味する。そのため、ΔPET から今回制御している実験条件でどの条件が妨害だったのかを確認できる。また、推定 PET は初期条件でもあるため、実験条件と同義である。図 3.3.1.2-8 は ΔPET から妨害の条件を探すための方法を示す。図 3.3.1.2-8 で示しているように、ΔPET が 0 に近い場合は、妨害とは言えない。ただし、ドライバが不安を感じる程度に危険な場面になるほどその値は変化しはじめることが考えられる。そのため、本研究では ΔPET の値が変化した条件を妨害された条件と定義する。

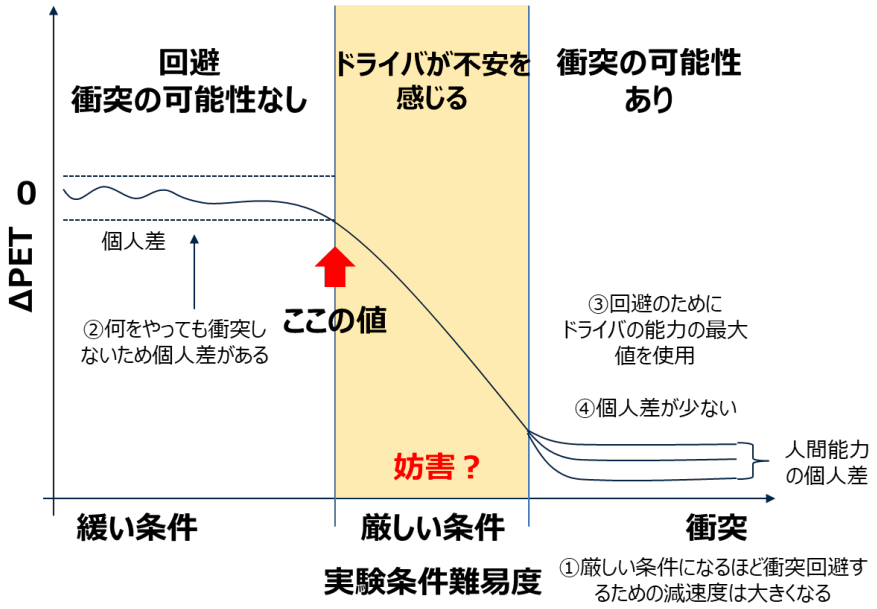


図 3.3.1.2-8　ΔPET に基づいたドライバが妨害を感じた実験条件の検討方法

図 3.3.1.2-9 は実験条件（運転有り条件のみ）ごとの ΔPET を示す。図 3.3.1.2-9 の縦軸は ΔPET を、横軸は推定 PET（実験条件）を意味する。また、凡例は実験参加者速度条件を意味し、それぞれのマーカは実験結果の平均値、エラーバーは標準誤差を意味している。それぞれのマーカのデータ数については、1.5 秒から 2.5 秒条件は 28 件のデータであり、それ以外の条件は 14 件のデータである。結果は、推定 PET が減少することにより、ΔPET も減少する傾向が確認されたが、実験参加者速度条件による差は大きくないことが確認された。ただし、この結果のみでは妨害を感じる・感じない感覚が把握できないため、主観評価を追加で分析を行う。

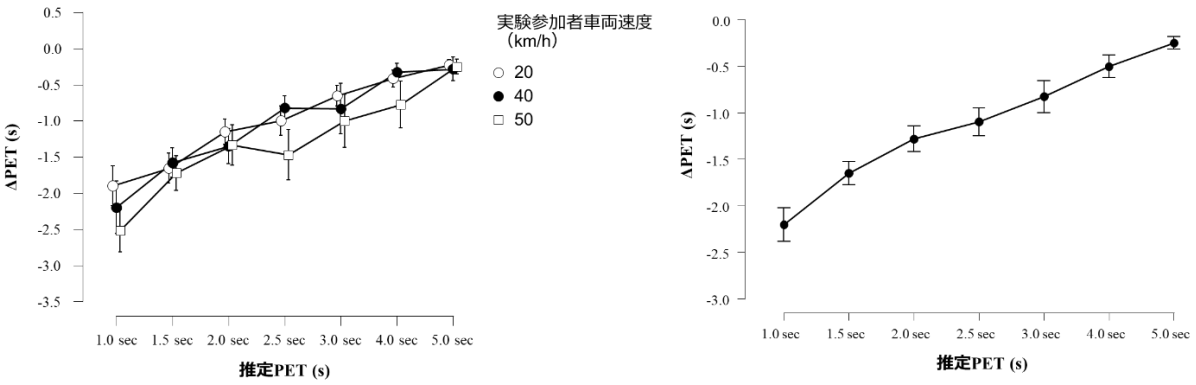


図 3.3.1.2-9　実験条件によるΔPET
（実験参加者速度条件別（左）、実験参加者速度条件分類なし（右））

妨害水準を調査するための主観評価結果（運転有り・無し条件）を図 3.3.1.2-10 に示す。また、それぞれの条件の平均と標準偏差を表 3.3.1.2-2 に示す。主観評価結果は実験参加者速度条件および推定 PET 条件ごとに整理したが、実験参加者速度条件には大きい差がなく、推定 PET 条件ごとに大きい差がみられたことから、推定 PET 条件でまとめた結果のみを示す。

結果、運転なしの条件がありの条件より平均点数が高いことが確認された。これは、運転なしでは設定した初期条件のままであり、車間距離が小さいためだと考えられる。75%ile 値が 4 点（妨害の許容範囲）になる条件は実験参加者の運転あり、なし条件両方、推定 PET2.5 秒以下であることが確認された。これらの結果から、妨害を感じる条件は推定 PET2.5 秒以下の可能性が高いことが確認された。

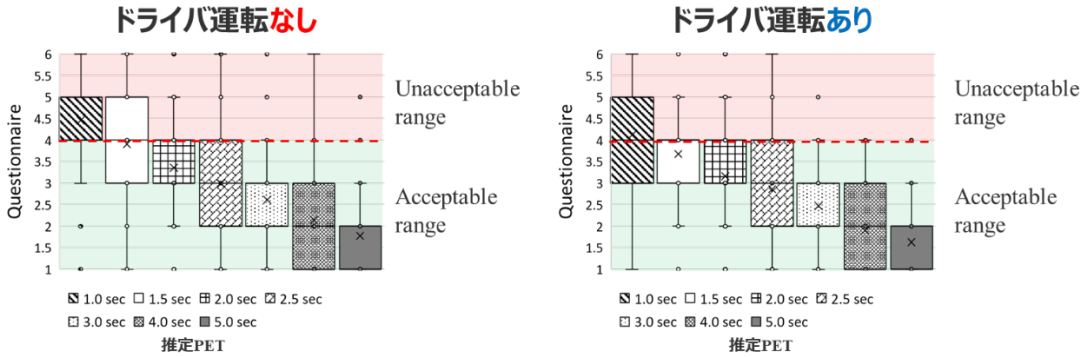


図 3.3.1.2-10　妨害水準の推定のための主観評価結果
（実験参加者運転無し条件（左）、実験参加者運転有り条件（右））

表 3.3.1.2-2　妨害水準の推定のための主観評価結果

			推定 PET						
			1.0 秒	1.5 秒	2.0 秒	2.5 秒	3.0 秒	4.0 秒	5.0 秒
運転有無	無し	n	129	258	258	258	129	129	129
		平均	4.46	3.91	3.36	2.99	2.61	2.14	1.77
		標準偏差	1.13	1.15	1.21	1.19	1.21	1.06	0.96
	有り	n	129	258	258	258	129	129	129
		平均	4.12	3.67	3.16	2.86	2.47	1.89	1.62
		標準偏差	1.21	1.20	1.06	1.04	1.02	0.88	0.81

・余裕時間（PET）

妨害を感じない余裕時間の検討のために各実験条件による PET を図 3.3.1.2-11 に示す. PET は推定 PET 条件が小さくなるほど、小さくなる傾向があり、ある値以下にはならなく従属されることが確認された。これは、ドライバが許容できる余裕時間の限界がある可能性を示す。また、実験参加者車両速度条件による差は大きく見られなかったため、表 3.3.1.2-3 のように統計分析（2 元配置置分散分析：2-way ANOVA）を行った。

その結果、PET は推定 PET 条件により統計的な有意差（p<.001）が確認されたが、実験参加者車両速度条件（p=.09）とその相互効果（p=.968）は、統計的な有意差が確認されていない。そのため、今回の実験参加者車両速度条件間は同様な PET 結果であることとし、推定 PET による PET の変化のみでまとめる。

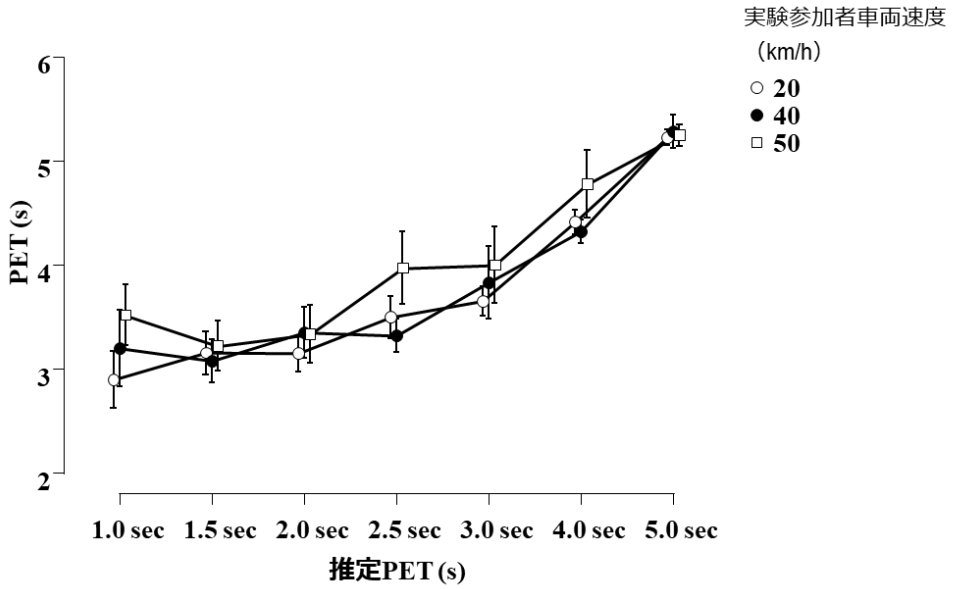


図 3.3.1.2-11　推定 PET と実験参加者速度条件による PET の変化

表 3.3.1.2-3　推定 PET と実験参加者速度条件による PET の変化（2-way ANOVA）

Cases	Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
推定 PET	179.957	6	29.993	23.440	< .001
実験参加者車両速度	6.196	2	3.098	2.421	0.090
推定 PET ＊実験参加者車両速度	5.947	12	0.496	0.387	0.968
Residuals	504.139	394	1.280		

図 3.3.1.2-12 は、推定 PET 条件による PET の変化を示す。上記のように、ドライバが許容できる余裕時間に限界がある可能性があり、その境界は推定 PET が 3 秒以下でも PET の平均値が約 3 秒以下にならないことから約 3 秒が境界である可能性が高い。妨害を感じる推定 PET が約 3 秒であることを検討するために、各条件別に統計分析（多重比較法：Games-Howell）を表 3.3.1.2-4 のように行った。その結果、推定 PET 条件 1 秒から 3 秒までの条件は統計的な有意差が確認されていない。また、推定 PET1 秒から 3 秒の条件はそれ以上の条件と統計的な有意差が確認された。この結果は、推定 PET が小さいほど PET が少なくなるが、推定 PET が 3 秒以下になるとその変化はなくなることを意味する。

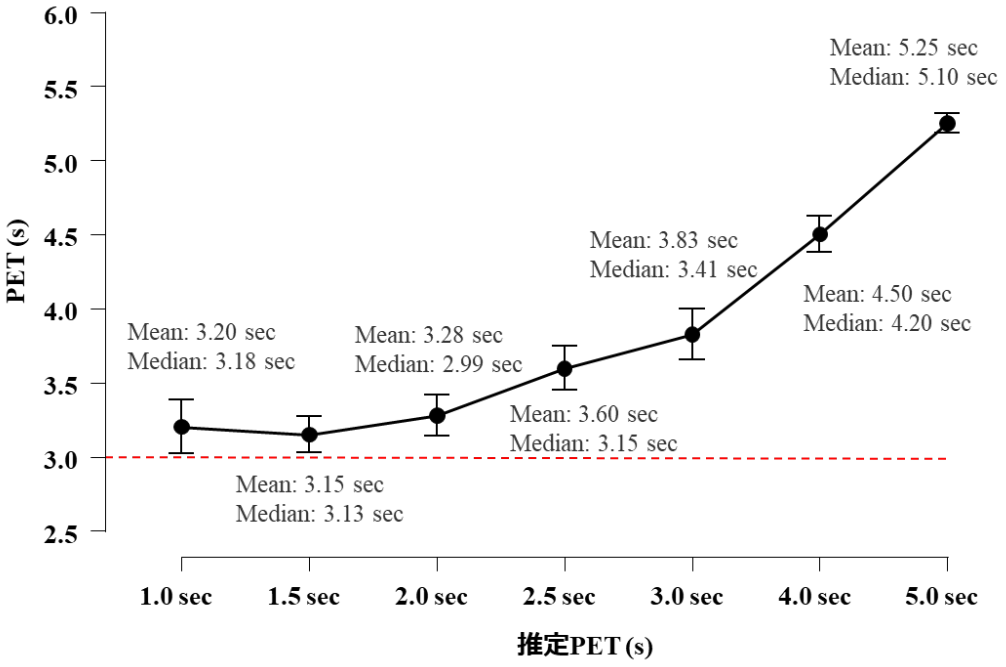


図 3.3.1.2-12　推定 PET 条件による PET の変化

表 3.3.1.2-4　推定 PET 条件による PET の変化（Games-Howell）

Comparison	Mean Difference	SE	t	df	p_{tukey}
1.0 sec - 1.5 sec	0.053	0.219	0.240	80.368	1.000
1.0 sec - 2.0 sec	-0.078	0.226	-0.343	87.269	1.000
1.0 sec - 2.5 sec	-0.395	0.234	-1.690	93.566	0.624
1.0 sec - 3.0 sec	-0.624	0.250	-2.497	81.860	0.174
1.0 sec - 4.0 sec	-1.300	0.218	-5.969	72.086	< .001
1.0 sec - 5.0 sec	-2.048	0.192	-10.646	52.191	< .001
1.5 sec - 2.0 sec	-0.130	0.185	-0.703	162.118	0.992
1.5 sec - 2.5 sec	-0.447	0.194	-2.308	157.052	0.247
1.5 sec - 3.0 sec	-0.676	0.213	-3.175	83.387	0.033
1.5 sec - 4.0 sec	-1.352	0.174	-7.756	111.148	< .001
1.5 sec - 5.0 sec	-2.101	0.141	-14.853	118.151	< .001
2.0 sec - 2.5 sec	-0.317	0.202	-1.570	159.756	0.702
2.0 sec - 3.0 sec	-0.546	0.221	-2.476	90.511	0.180
2.0 sec - 4.0 sec	-1.222	0.183	-6.661	116.057	< .001
2.0 sec - 5.0 sec	-1.970	0.153	-12.917	111.909	< .001
2.5 sec - 3.0 sec	-0.229	0.228	-1.004	96.869	0.952
2.5 sec - 4.0 sec	-0.905	0.192	-4.703	118.827	< .001
2.5 sec - 5.0 sec	-1.653	0.163	-10.132	107.308	< .001
3.0 sec - 4.0 sec	-0.676	0.212	-3.192	73.740	0.032
3.0 sec - 5.0 sec	-1.424	0.186	-7.675	53.113	< .001
4.0 sec - 5.0 sec	-0.748	0.139	-5.369	63.764	< .001

Note. Results based on uncorrected means.

・行動量（アクセル・ブレーキペダルの踏みかえ）

妨害を感じない程度の条件でのドライバの行動量を計測するために、アクセル・ブレーキペダルの踏みかえ行動と、減速行動に分けて分析を行った。アクセル・ブレーキペダルの踏みかえ行動は 3 段階の速度調整行動「行動なし（No reaction）：ペダル操舵などの行動を変えていない」、「アクセルコントロール（Accel. control）：アクセルペダルによる速度調整を行った」、「エンジンブレーキ（Engine brake）：アクセルペダルを完全にオフにし、エンジンブレーキによる速度調整を行った」と分類した。減速行動については、減速開始から交差点通過まで減速度の平均値を計測した。計測方法としては、縦方向の加速度の内マイナスの値の平均を算出し、2 回以上に分けて減速行動を行った場合も全体の平均として算出した。ブレーキペダルによる減速行動は、5 段階（0.5m/s^2 刻み）に分けて分析を行った。

図 3.3.1.2-13 は推定 PET 条件ごとのドライバの行動を示す。その結果、速度調整以上の

減速行動を行った割合は推定 PET 条件が少なくなるほど、大きくなることが確認された。これらの結果から、推定 PET が 3 秒以下の条件では全体の 3 割以上のドライバがエンジンブレーキおよびブレーキペダルによる積極的な減速行動を行っていないことが確認される。

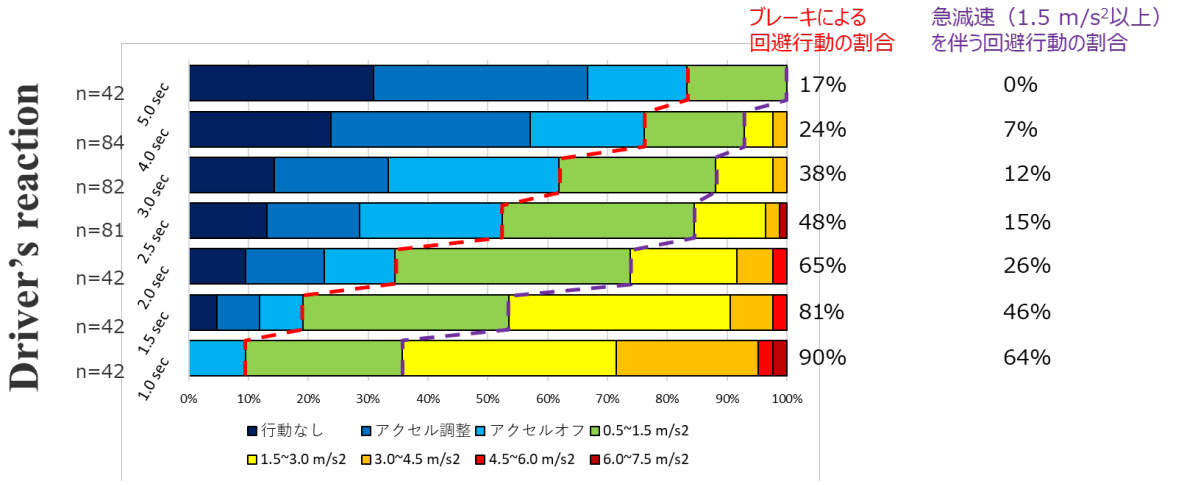


図 3.3.1.2-13　推定 PET 条件によるドライバの行動

3.3.1.3　他車両ドライバが妨害を感じる範囲の検討

DS 実験の結果と自動運転車両の制御の観点から考察すると、交差点通過までの自車両の予想挙動と対象となる他車両の予想挙動から衝突の判定有無をリアルタイム計算しながら走行することが考えられる。この場合、自車両と他車両の Conflict area の計算が可能となるため、他車両の予想余裕時間もリアルタイムで計算することが可能である。つまり、自動運転車両が交差点を通過する時には他車両の予想余裕時間の閾値があれば、そのまま通過するか、減速もしくは停止するかの判断が可能となる。本研究では DS を用いて限られた条件で実験を行ったが、実験の条件の範囲での他車両ドライバが妨害を感じないための余裕時間は 3 秒前後にある可能性がある。また、補足として、妨害を感じた時の他車両のドライバの行動はエンジンブレーキより強い減速行動を行うことが確認された。

3.3.1.4　クライテリア検討実験のまとめ

一般道の交差点での安全性のためのクライテリアの種類について検討し、その結果に基づいて出会い頭の場面を選定し、クライテリアの検討を行った。

検討方法として一般ドライバ 43 名に対して DS 実験を行い、妨害を感じる相対的な位置関係について定量化した。実験では、車両の位置関係（推定 PET）、実験参加者速度条件から実験参加者の行動の変化を調査した。実験結果から、設定している実験条件の範囲では車両の位置関係（推定 PET）以外の要因からは行動の変化が見られない。また、位置関係を自動運転車両の制御の観点から、自車両が交差点通過した時の他車両の「余裕時間」として分析を行った。その結果、ドライバは推定 PET3 秒以下から減速を伴う行動の割合が増加し、推定 PET2.5 秒以下から心理的な妨害を感じる傾向が確認された。実験結果を以下

にまとめる。

・心理的な妨害は推定 PET 2.5 秒以下（アンケート結果から）
・物理的な行動の変化は推定 PET 約 3.0 秒以下（PET 指標から）
　ただし、今回の実験は等速の速度条件、死角がない条件で実施しているため、ドライバが妨害を感じる可能性がある道路環境要因について引き続き検討が必要である。

参考文献
[1] 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），2023
[2] Institute for Traffic Accident Research and Data Analysis (ITARDA)， 道路環境からみた出会い頭事故，イタルダ・インフォメーション，2007
[3] 佐藤潤弥，廣田正樹，& 野村拓未， 出会い頭事故防止に向けた交差点環境の分析， ITS シンポジウム，16，4-B， 2018
[4] Sou Kitajima, Ryosuke Katoh, Joohyeong Lee, Hiroki Nakamura, Hideaki Satoh, Koichiro Ozawa, & Eiichi Kitahara，Driver Behavior Model to Define a Preventable Boundary for Scenario-based Safety Evaluation of Automated Driving，Conference: 7th International Symposium on Future Active Safety Technology toward zero traffic accidents (FASTzero'23)，2023
[5] 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

3.3.2　一般道評価に必要なクライテリアに関する考え方の検討

（1）　交通外乱シナリオに対する危険度指標の基礎式準備状況

JAMA の自動運転の安全性評価フレームワーク Ver3.0 では、一般車両の交通外乱シナリオについて、道路形状、自車両の動作、および周囲車両の位置や動作の組み合わせにより、図 3.3.2-1 に示す合計 58 シナリオが提示されている。この図では縦軸に道路形状、自車両の動作を示し横軸に周囲車両の位置および動作を示したものでマトリックスを構成している。

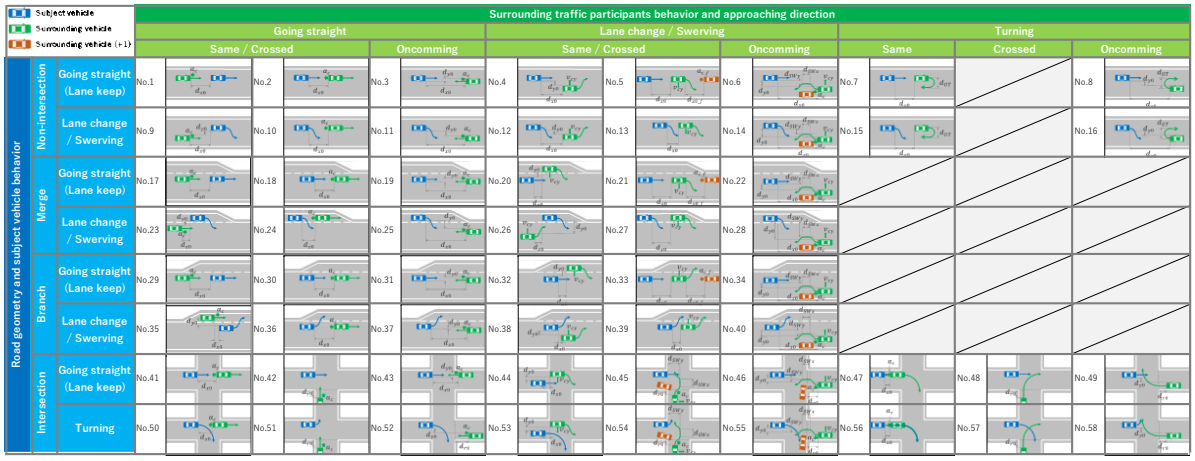


図 3.3.2-1　対車両の交通外乱シナリオ(58 パターン)

自動車が他車等に衝突する危険性を定量化するために様々な研究者が評価指標を提案している[1]。平岡ら[2]が考案した減速度の単位で危険度を定義するコンセプトを発展させる形で、今関ら[3][4][5]は ACA（Acceleration for Collision Avoidance：衝突回避減速度）という指標の基準式を構築し、図 3.3.2-2 に示す 7 シナリオについて構築した。

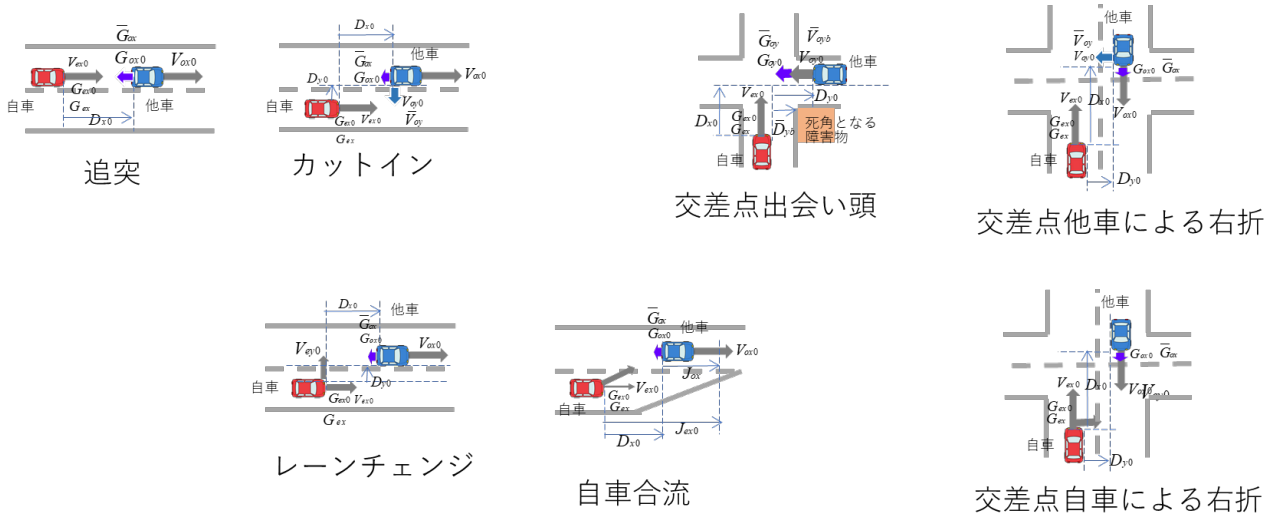


図 3.3.2-2　危険度指標 ACA が構築されている 7 シナリオ

図 3.3.2-3 は、交通外乱シナリオ体系に対する危険度指標 ACA の基準式の準備状況を示している。この図では、実線枠で囲んだ No2 追突、No4 カットイン、No9 レーンチェンジ、No23 合流、No42 出会い頭、No49 右直（自車直進他車右折形態）、No52 右直（自車右折他車直進形態）は、危険度指標 ACA の基準式を構築した 7 つのシナリオである。短い破線枠で囲んだものは、上記の 7 シナリオに対して道路形状が異なることを示している。No18 は合流地点での追突シナリオであり、No30 は分岐地点での追突シナリオである。No20 は合流地点でのカットインシナリオであり、No32 は分岐地点でのカットインシナリオである。No35 は分岐地点での合流シナリオである。No41 は交差点での追

突シナリオで、No44 は交差点におけるカットインシナリオである。これらの基準式は、上記の基本となる 7 つのシナリオの基準式を応用することで評価できる。
次に、長い破線で囲んだ No45 と No55 は、それぞれ No42 と No52 に対して第 3 車が死角となる位置に存在するケースである。この場合、自車と対象車との関係は同様であり、同じ基準式を使用できるが、対象車が認識できない点と動きが直線的でないことに留意が必要である。また、緑色の塗りつぶしは、対象車が後方に位置するケースと前方から向かってくるケースで、今回の検討の対象外とした。以上より、58 のシナリオに対して、16 のシナリオについて基準式の準備ができている。これらのシナリオは、交通事故統計においても発生頻度が高いことから、危険度指標を整備する優先度が高いといえる。
表 3.3.2-1 には各ナンバーの危険度指標の基準式を示す。

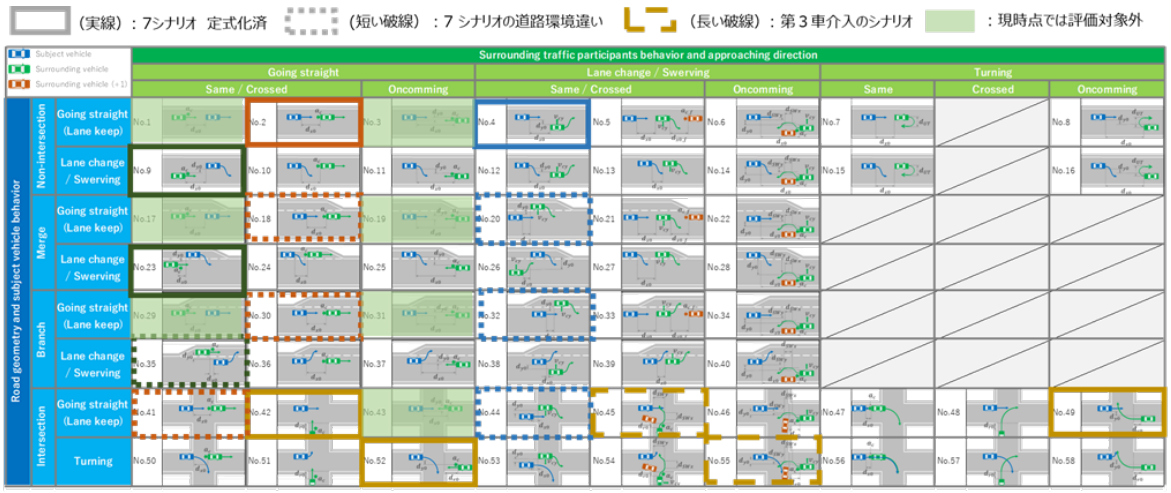
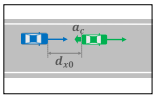
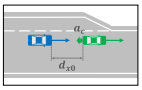
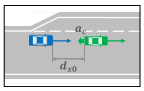
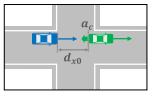
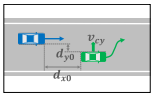
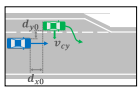
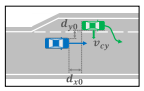
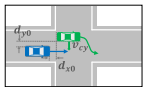
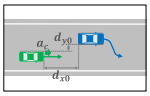
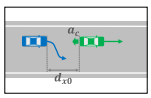
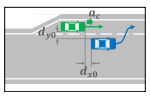
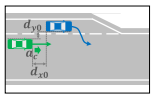
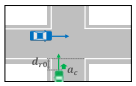
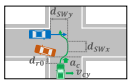
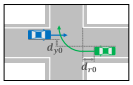
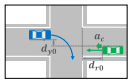


図 3.3.2-3　一般車両の交通外乱シナリオに対して危険度指標の基準式の準備状況

表 3.3.2-1 一般車両の交通外乱シナリオに対して危険度指標の基準式

Base No.	Extend No.	イラスト	名称	基礎式
No2	–		自車追突	$ACA_{trans}^{rearend}=\frac{G_{e0}(G_{e0}-G_o)\tau^2+2G_{e0}(V_{e0}-V_{o0})\tau+(V_{e0}-V_{o0})^2+2G_o(X_{e0}-X_{o0})}{(G_{e0}-G_o)\tau^2+2(V_{e0}-V_{o0})\tau+2(X_{e0}-X_{o0})}$ $ACA_{last}^{rearend}=\frac{G_o(V_{e0}+G_{e0}\cdot\tau)^2}{2G_o(X_{e0}-X_{o0})+2G_oV_{e0}\cdot\tau+G_oG_{e0}\cdot\tau^2+V_{o0}^2}$
	No18		合流部での 自車追突	No2の自車追突の基礎式を流用可能。
	No30		分岐部での追突	No2の自車追突の基礎式を流用可能。
	No41		交差点での自車追突	No2の自車追突の基礎式を流用可能。
No4	–		他車カットイン	$ACA_{trans}^{cutin}=\frac{G_{e0}(G_{e0}-G_o)\tau^2+2G_{e0}(V_{e0}-V_{o0})\tau+(V_{e0}-V_{o0})^2+2G_o(X_{e0}-X_{o0})}{(G_{e0}-G_o)\tau^2+2(V_{e0}-V_{o0})\tau+2(X_{e0}-X_{o0})}$ $ACA_{side-yield}^{cutin}=\frac{G_o\cdot t_{in}^2+2t_{in}(V_{o0}-V_{e0}-G_{e0}\cdot\tau)+G_{e0}\cdot\tau^2+2(X_{o0}-X_{e0})}{(t_{in}-\tau)^2}$
	No20		合流部での他車カットイン	No4の他車カットインの基礎式を流用可能
	No32		分岐部での他車カットイン	No4の他車カットインの基礎式を流用可能
	No44		交差点での他車カットイン	No4の他車カットインの基礎式を流用可能
No9			自車(先行)レーンチェンジ	$ACA_{side-yield}^{lanechange}=\frac{G_o\cdot t_{in}^2+2t_{in}(V_{o0}-V_{e0}-G_{e0}\cdot\tau)+G_{e0}\cdot\tau^2+2(X_{o0}-X_{e0})}{(t_{in}-\tau)^2}$ $ACA_{side-pass}^{lanechange}=\frac{G_o\cdot t_{in}^2+2t_{in}(V_{o0}-V_{e0}-G_{e0}\cdot\tau)+G_{e0}\cdot\tau^2+2(X_{o0}-X_{e0}+L_e+L_o)}{(t_{in}-\tau)^2}$ $ACA_{trans-objfr}^{lanechange}=\frac{G_{e0}(G_{e0}-G_o)\tau^2+2G_{e0}(V_{e0}-V_{o0})\tau+(V_{e0}-V_{o0})^2+2G_o(X_{e0}-X_{o0})}{(G_{e0}-G_o)\tau^2+2(V_{e0}-V_{o0})\tau+2(X_{e0}-X_{o0})}$ $ACA_{trans-objfr}^{lanechange}=\frac{G_{e0}(G_{e0}-G_o)\tau^2+2G_{e0}(V_{e0}-V_{o0})\tau+(V_{e0}-V_{o0})^2+2G_o(X_{e0}-X_{o0}-L_e-L_o)}{(G_{e0}-G_o)\tau^2+2(V_{e0}-V_{o0})\tau+2(X_{e0}-X_{o0}-L_e-L_o)}$
	No10		自車(後続)レーンチェンジ	No9の基礎式を流用可能。追突を操舵で回避するケースは、ニアミスデータでは54件有り。
	No35		分岐部での自車レーンチェンジ	No9の自車レーンチェンジの基礎式を流用可能。
No23			自車合流	$ACA_{sideyield}^{merge}=\frac{(2J_{ei}-2(V_{e0}+\tau G_{e0})\cdot t_{3aj}+\tau^2G_{e0})}{(t_{3aj}-\tau)^2}$ $ACA_{side_lastyield}^{merge}=\frac{(V_{ei0}+\tau G_{ei0})^2}{2\tau V_{ei0}-2t_{3aj}V_{ai0}+\tau^2G_{ei0}-2(J_{ei0}-J_{ai0})}$ $ACA_{sidepass}^{merge}=\frac{(2(J_{ei}+L_i)-2(V_{e0}+\tau G_{e0})\cdot t_{4aj}+\tau^2G_{e0})}{(t_{4aj}-\tau)^2}$ $ACA_{trans_objfr}^{merge}=\frac{-G_{e0}^2\tau^2+2\tau G_{e0}(V_{e0}-V_{e0})-(V_{e0}-V_{e0})^2}{-\tau^2G_{e0}+2\tau(V_{e0}-V_{e0})+2D_{3i0}}$ $ACA_{trans_objfr}^{merge}=\frac{-G_{ei0}^2\tau^2+2\tau G_{ei0}(V_{ai0}-V_{ei0})-(V_{ai0}-V_{ei0})^2}{-\tau^2G_{ei0}+2\tau(V_{ai0}-V_{ai0})+2D_{4i0}}$

Base No.	Extend No.	イラスト	名称	基礎式
No42			出会い頭	$ACA_{side_yield}^{headon} = \frac{-2V_{ex0}\cdot t_{out} - 2\tau G_{ex0}\cdot t_{out} + \tau^2 G_{ex0} + 2D_{ex0}}{(t_{out}-\tau)^2}$ $ACA_{last}^{headon} = -\frac{(V_{ex0}+\tau G_{ex0})^2}{-2\tau V_{ex0} - \tau^2 G_{ex0} + 2D_{ex0}}$ $ACA_{side_pass}^{headon} = \frac{-2V_{ex0}\cdot t_{in} - 2\tau G_{ex0}\cdot t_{in} + \tau^2 G_{ex0} + 2D_{ex0}}{(t_{in}-\tau)^2}$ $ACA_{side_last\&yield}^{headon} = -\frac{(V_{ex0}+\tau G_{ex0})^2}{-2\tau V_{ex0} - \tau^2 G_{ex0} + 2D_{ex0}}$
	No45		第3者が死角となる出会い頭	No42の出会い頭の基礎式を流用可能。但し、対象車との距離測定の難易度が増す
No49			右直他車右折	$ACA_{last}^{objrightturn} = \frac{(V_{e0}+G_{e0}\cdot\tau)^2}{G_{e0}\cdot\tau^2 + 2V_{e0}\cdot\tau + 2(X_{e0}-d_{ac})}$ $ACA_{side_pass}^{objrightturn} = \frac{G_{e0}\cdot\tau^2 - 2t_{in}(V_{e0}+G_{e0}\cdot\tau) + 2(d_{ac}-X_{e0}+W_o+L_o)}{(t_{in}-\tau)^2}$ $ACA_{side_yield}^{objrightturn} = \frac{G_{e0}\cdot\tau^2 - 2t_{out}(V_{e0}+G_{e0}\cdot\tau) + 2(d_{ac}-X_{e0})}{(t_{out}-\tau)^2}$
No52			右直自車右折	$ACA_{side_pass}^{egorightturn} = \frac{G_{e0}\cdot\tau^2 - 2t_{in}(V_{e0}+G_{e0}\cdot\tau) + 2(d_{ac}+L_o)}{(t_{in}-\tau)^2}$ $ACA_{last}^{egorightturn} = \frac{(V_{e0}+G_{e0}\cdot\tau)^2}{G_{e0}\cdot\tau^2 + 2V_{e0}\cdot\tau - 2d_{ac}}$ $ACA_{side_yield}^{egorightturn} = \frac{G_{e0}\cdot\tau^2 - 2t_{out}(V_{e0}+G_{e0}\cdot\tau) + 2d_{ac}}{(t_{out}-\tau)^2}$
	No55		第3者が関連する右直自車右折	No52の右直自車右折の基礎式を流用可能。但し、対象車との距離測定の難易度が増す

（2） 交差点右折シナリオの危険度指標の導出

a） 対向右折車の動きを考慮するパターンの追加

一般道右直シナリオ用の危険度指標に ACAtrans（右折車の動きを考慮したうえで自車が停止して回避するパターン）の導出を追加する。追加する目的は、ACAlast（自車が停止して回避するパターン）の初期状態では自車と CP（交差ポイント）の関係によって ACAlast の値が大きく算出される点と対向右折車の動き（速度、加速度）を考慮できていない点の課題を解決することでなる。図 3.3.2-4 に右直シナリオの危険度指標に ACAtrans を追加したものを示す。ACApass と ACAyield に関しては参考文献[4]を参照。

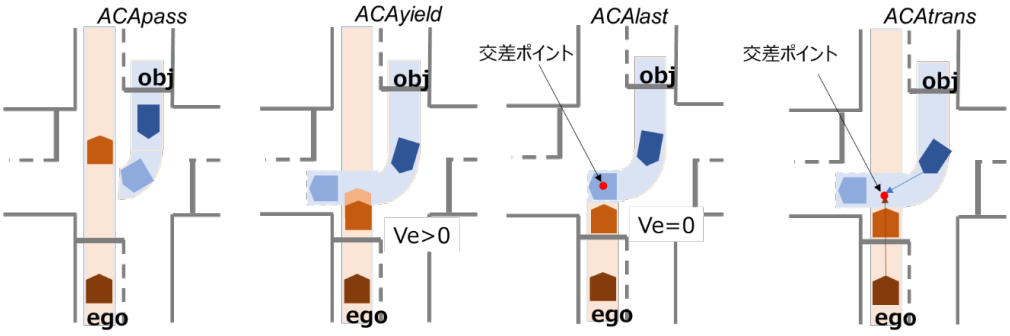


図 3.3.2-4 交差ポイントとの関係・右折車状態を考慮した ACAtrans の追加

b) ACAtrans の定義式の導出

図.3.3.2-5 は、右直シナリオの ACAtrans 導出の簡易モデルを示したものである。ACAtrans の導出は全て X 方向成分で算出している。ego は、自車の進行方向が X 方向のため、その数値を使用するが、obj の場合は自車の進行方向と X 方向に角度があるため θ を使用して変換する必要がある。

Xr ：X 方向相対距離

Xe : *ego* の位置

Xox : *obj* の X 方向位置

Ve : *ego* 速度

Vo : *obj* 速度

Vox : *obj* X 方向速度

Ge : *ego* 加速度

Go : *obj* 加速度

Gox : *obj* X 方向加速度

θ : obj の進行方向と X 方向の偏向角度

*) 両車共進行方向をプラスとする。

端末の“0”は初期値

（ｔ）は時間の関数を表す

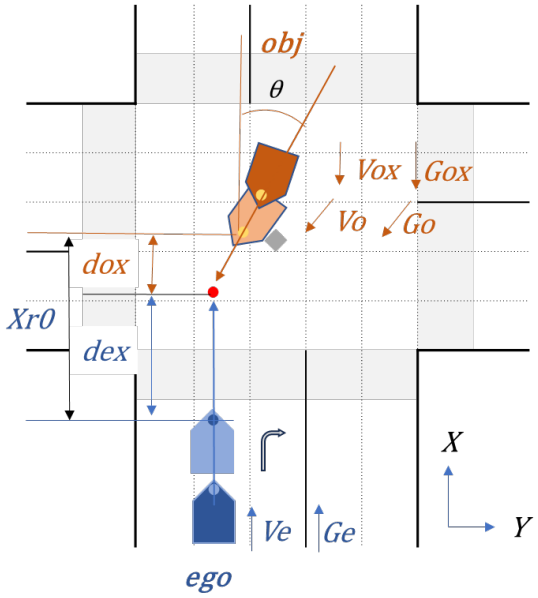


図 3.3.2-5 右直シナリオの ACAtrans 導出の簡易モデル

以下に、ACAtrans の導出式を示す。

$$V_{ox}(t) = V_{ox0} + G_{ox0}t \quad \cdots式\ 3.3.2\text{-}1$$

$$X_{ox}(t) = X_{r0} - (V_{ox0}\ t + \frac{1}{2}G_{ox0}t^2) \quad \cdots式\ 3.3.2\text{-}2$$

Ego の速度および位置に関しての導出式示す。

$$V_e(t) = V_{e0} + G_{e0}\ \tau + Ge(t-\tau) \quad \cdots式\ 3.3.2\text{-}3$$

$$X_e(t) = V_{e0}\ \tau + \frac{1}{2}\,G_{e0}\tau^{\,2} + (V_{e0} + G_{e0}\ \tau)(t-\tau) + \frac{1}{2}\,Ge(t-\tau)^{\,2} \quad \cdots式\ 3.3.2\text{-}4$$

Xox と Xe を基に相対距離 Xr を求めると次式の通りである。

$$Xr\ (t) = Xox(t) - Xe(t)$$
$$= \frac{1}{2}(\ Ge - G_{ox0})\ t^2\ + ((\ V_{e0} - V_{ox0}\ ) - (\ Ge - G_{e0}\ )\ \tau\ )\ t \qquad \cdots式\ 3.3.2\text{-}5$$
$$+(\ \frac{1}{2}\ (\ Ge\ -\ G_{e0}\ )\ \tau^{\,2}\ -\ X_{r0})$$

上記 *Xr(t)*の 2 次式の判別式から *Ge* について解くと *ACAtrans* が求まる。
両者の相対速度、加速度を　$V_{r0} = V_{e0} - V_{ox0}$　　$G_{r0} = G_{e0} - G_{ox0}$　とする。

$$ACAtrans\ = \frac{V_{r0}{}^2 + 2G_{ox0} * X_{r0} + (2\ V_{r0} + G_{ox0}\ \tau)\ G_{e0}\ \tau}{-2X_{r0} + 2V_{r0}\ \tau + G_{r0}\ \tau^{\,2}} \qquad \cdots式\ 3.3.2\text{-}6$$

次に、上記の式で使用している obj.の X 方向成分の速度 Vox と加速度 Gox の求め方について示す。図 3.3.2-6 は、obj の右折時の状態を示し、Vox を求めるものである。V は車両の進行方向の速度である。これに対し、X 軸との角度が Δθ とすると X 方向の速度は式 3.3.2-7 で求まる。

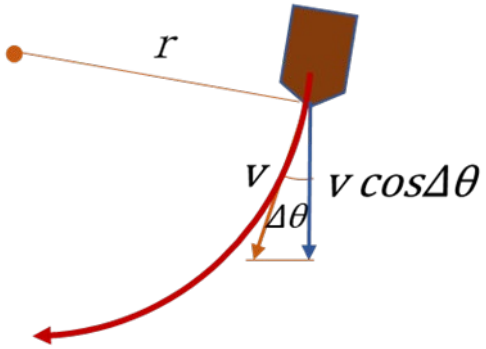


図 3.3.2-6 Vox の求め方

接線方向速度：$v_{接線方向} = v\cos\Delta\theta$　　…式 3.3.2-7

図 3.3.2-7 は、Gox を求めるものである。接線方向の速度変化 Δv は、V+ΔV の cosΔθ 成分から v を引くことで求まる。式 3.3.2-8 に数式を示す。Δv を時間で微分することで接線方向の加速度が求まる。式 3.3.2-9 に数式を示す。

接線方向速度変化：$\Delta v = (v+\Delta v)\cos\Delta\theta - v$　　…式 3.3.2-8

接線方向加速度　：$a = \lim_{\Delta t \to 0} \left(\frac{\Delta V}{\Delta t} \right)$　　…式 3.3.2-9

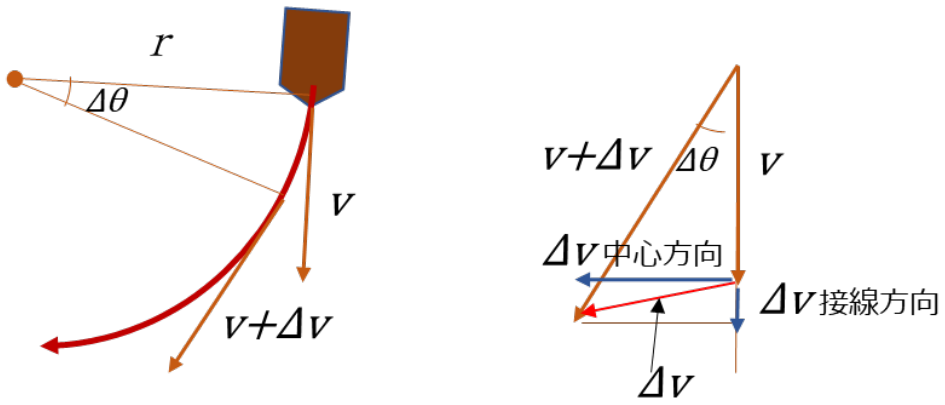


図 3.3.2-7 Gox の求め方

これらの考え方に基づいて簡易モデルを用いて Vox と Gox を求めた結果を図 3.3.2-8 と図 3.3.2-9 に示す。図 3.3.2-8 より、Vo は 10kph の一定速度で進んでいるが、Vox は旋回が進むにつれて速度は小さくなり、右折が完了した段階では Vox は 0 を示す。一方で、Go は速度が一定のため 0 であるが、Gox は旋回が進むにつれて減速度が大きくなることが分かる。

〔前提条件〕・車速　Ve＝40kph, Vo＝10kph

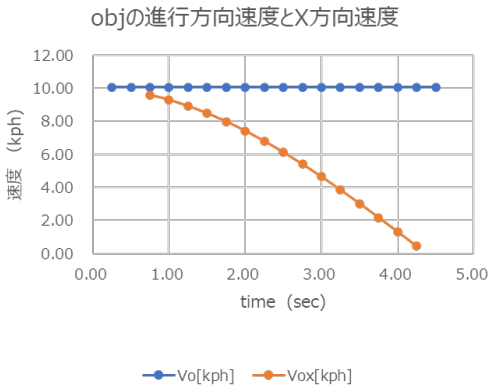


図 3.3.2-8 簡易モデルでの obj の進行方向速度と X 方向速度の関係

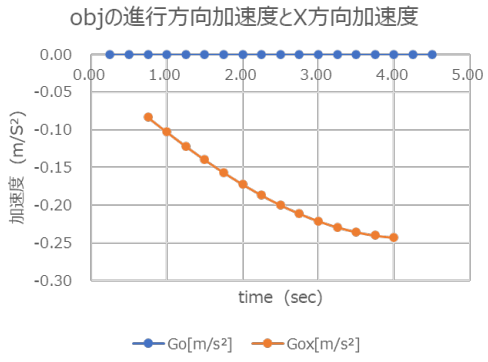


図 3.3.2-9 簡易モデルでの obj の進行方向加速度と X 方向加速度の関係

c) ACAlast と ACAtrans の比較

［簡易モデルを用いた比較］

右直シナリオの危険度評価においては自車の減速に関して 2 種類の ACA があるため、両者の間にどの様な関係・特徴があるかについて簡易モデルを用いて比較した。図 3.3.2-10 は、簡易モデルによって算出した ACAlast と ACAtrans の推移を比較したものである。ACAlast の初期の減速度が－6m/s^2 のような大きい値を示しているが、このような傾向は ACAtrans では確認できない。この差の要因は、ACAtrans は自車と他車の相対距離を用いて計算していることによるものと考えられる。一方、初期値が異なる特徴以外では、簡易モデルを用いて算出された値は類似した傾向を示している。

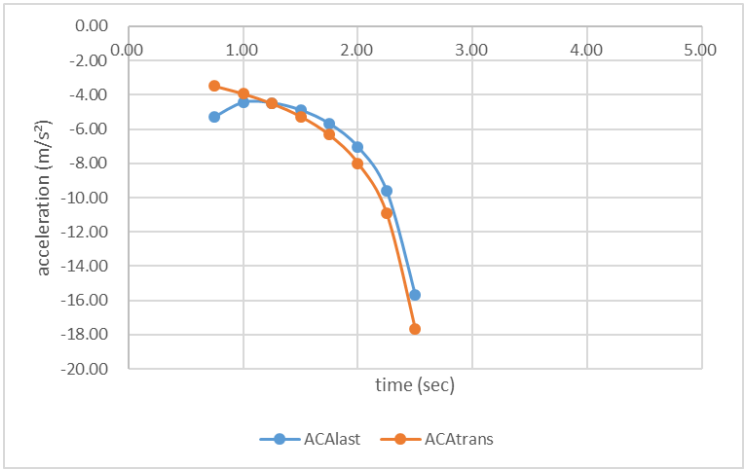


図 3.3.2-10 簡易モデルでの ACAlast と ACAtrans の比較

［定義式の考察］

危険度指標を算出するための定義式を比較すると、ACAlast の定義式は式 3.3.2-10 で示され、簡略化のために反応時間 tau を除くと式 3.3.2-11 となる。この式より、ACAlast は自車速度と交差ポイントまでの距離で算出されることが分かる。一方、ACAtrans の定義式は式 3.3.2-12 であり、簡略化のために反応時間 tau を除くと式 3.3.2-13 となる。この式より、ACAtrans は自車と他車の相対速度と相対距離の関係に加え他車の加速度を減算する点で考慮していることが分かる。このために ACAtrans は、他車が加速している状態の場合では大きな値を示すように変わる。危険度指標を用いた評価にあたっては、交差ポイント地点で停止することによって自車との衝突を回避できる。また、右直の場合は他車の進行方向が旋回により変化するため、他車が加速していても必ずしも危険度が増大するとは限らない。以上より、他車の状態を考慮する改良を加えた ACAlast を採用した方がより現実に即した評価を可能にすると考えられる。

$$ACAlast = \frac{(Ve0+Ge0*tau)^2}{Ge0*tau^2+2Ve0*tau-2*Dego} \quad \cdots式\ 3.3.2\text{-}10$$

式 3.3.2-10 より反応時間 tau を除くと式 3.3.2-11 となる。

$$ACAlast = -\frac{Ve0^2}{2*Dego} \quad \cdots式\ 3.3.2\text{-}11$$

$$ACAtrans = \frac{Vr0^2+2Gox*Xr0+(2Vr0+Gr0*tau)Ge0*tau}{-2Xr0+2Vr0*tau+Gr0*tau^2} \quad \cdots式\ 3.3.2\text{-}12$$

式 3.3.2-12 より反応時間 tau を除くと式 3.3.2-13 となる。

$$ACAtrans = -\frac{Vr0^2+2Gox*Xr0}{2Xr0} = -\frac{Vr0^2}{2Xr0} - Gox \quad \cdots式\ 3.3.2\text{-}13$$

(3) 一般道の交差点車両出会い頭シナリオにおける安全速度の研究

これまでの出会い頭シナリオの研究では、直進中の自車に対し、交差車が走行してきた場合の出会い頭シナリオを、（A）交差車の軌道手前で停車して衝突を回避するシナリオ、（B）交差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）交差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。

評価にあたって、対象車の動きを含めた走行環境パラメータの値が得られる場合（顕在化した危険の把握）、交差車が死角から飛び出す可能性のある場合（潜在的な危険の予測）も考慮して危険度指標を検討した。これまでの研究では、事故や危険度レベルの高い事象では、対象車が顕在化した時点で既に unpreventable（衝突回避が困難な状況）の状態に至っているケースが多いことが分かった。現実に発生している出会い頭事故の場合もこのようなケースが多いと考えられる。

そこで、右直で研究した交差予測ポイントを出会い頭シナリオにも適用することで危険度指標を求めることを実施する。交差点付近の障害物を想定した簡易モデルを作成し、交差車を発見した時点での ACAlast を求め、その値が-3.0m/sec²、-6.0m/sec²といった特定の値を超えないような速度を求める。ここで求めた速度以下で走行することができれば衝突は回避できるため、この速度を推奨安全速度と述べる。また、推奨安全速度に関して幾何学的な考察も行う。推奨安全速度は、図 3.3.2-11 のように自車が優先道路を走行中に交差点で交差車が停止をせず直行したケースで交差車を認識した時点で ACAlast が示す減速度で衝突を回避できる速度を示す。

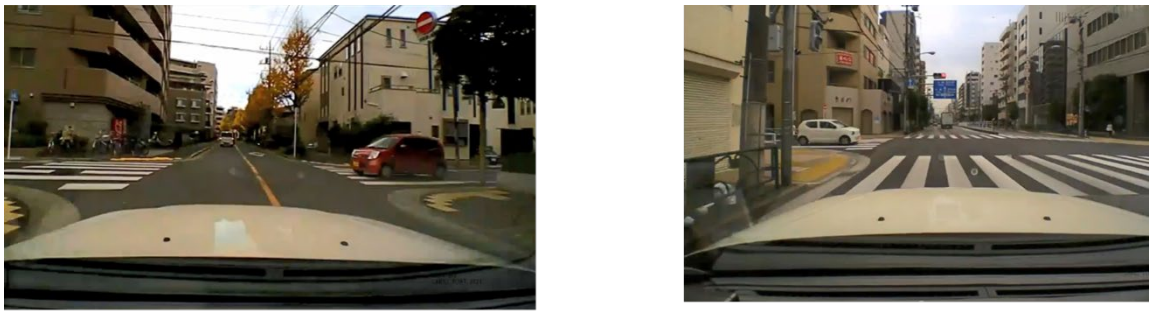


図 3.3.2-11 出会い頭ニアミス事例における交差車を認識した時点の映像

a) 一般道の交差点出会い頭シナリオの簡易モデルによる安全速度の検討

［ACAlast による安全速度の算出］

出会い頭シナリオの推奨安全速度について簡易モデルを用いて算出方法を検討する。図 3.3.2-12 にモデルの一例を示す。自車と他車は交差地点で同時刻に到達することを前提とする。また、自車と他車の間の交差点角に occlusion（遮蔽物）を配置して死角を設けた。

これにより、自車は occlusion の影響がなくなった時点で他車を認識することになる。図 3.3.2-13 に簡易モデルを用いて実行したシミュレーションの初期状態を示す。自車と他車の軌跡および occlusion との位置関係より、自車から他車を認識する限界地点を黄色で示すポイントで示す。図 3.3.2-13 では、他車がまだ認識する限界地点に到達していないため、自車は他車を認識することができない。一方、図 3.3.2-14 では、他車が認識する限界地点にすでに到達しているために自車は他車を認識できる。この時点の ACAlast を算出することになる。

出会い頭の簡易モデル
〔前提条件〕
・交差ポイント迄の距離
（初期値）
X0 = 50.0m
Y0 = 25.0m
・側方間隔
Le = 4.5m
Lo = 4.5m
・車速
Ve＝40kph
Vo= 20kph
・加速度
Ge=0
Go=0
・フレームレート：0.25sec

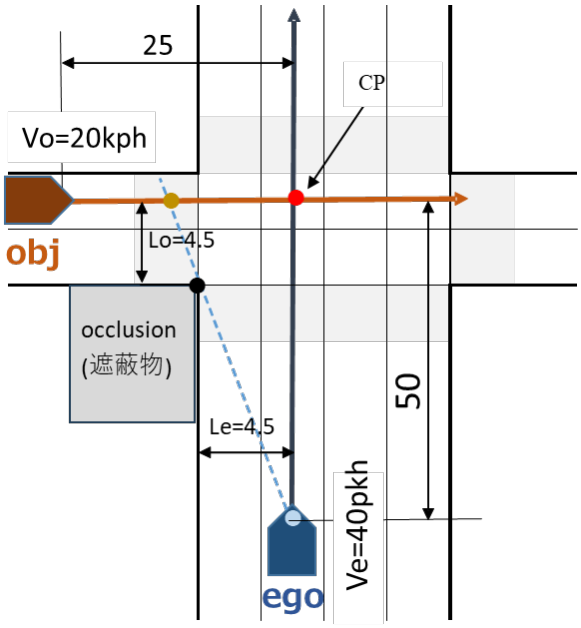


図 3.3.2-12 出会い頭シナリオ簡易モデル

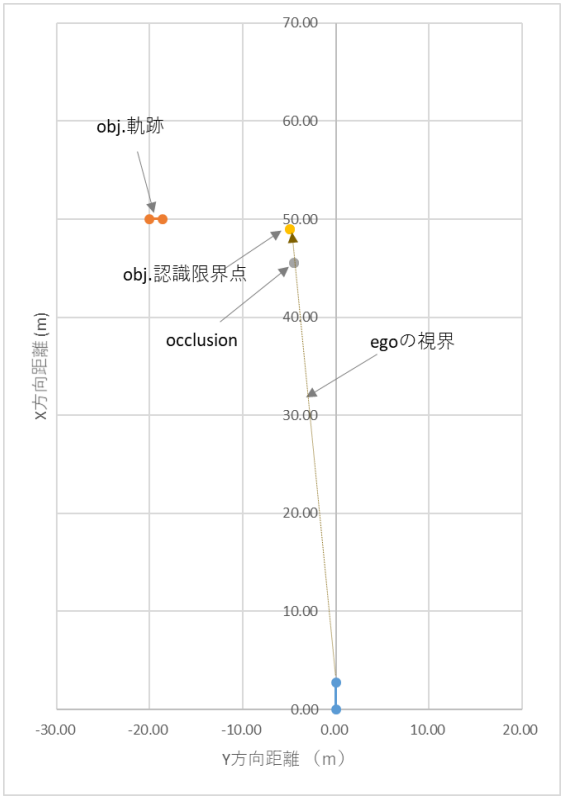


図 3.3.2-13 出会い頭シナリオ
シミュレーションの初期状態

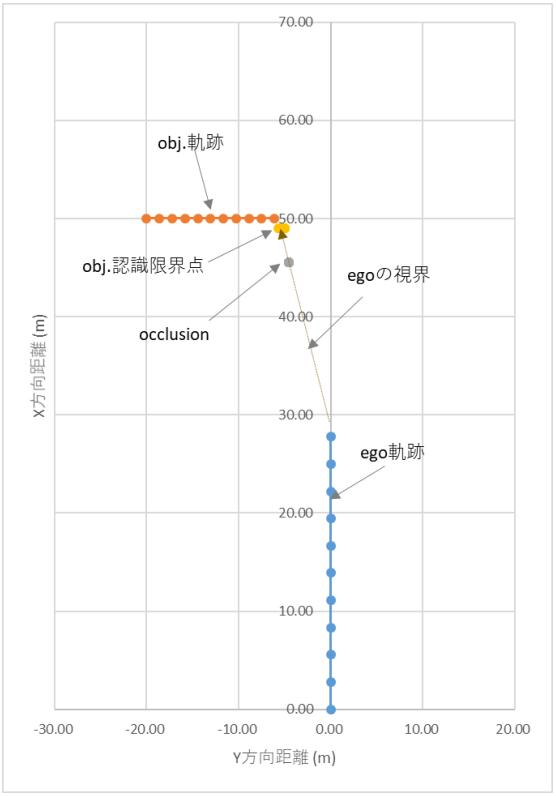


図 3.3.2-14 出会い頭シナリオ
シミュレーションの認識時点

自車から交差ポイントまでの初期の距離 Xe を 50m で固定した。前述した交差ポイントにおいて同時刻で両車両が到達するために必要な他車から交差ポイント間の初期の距離 Yo を自車速度 Ve と他車速度 Vo により求める。その結果を表 3.3.2-2 に示す。この表に基づいて ACAlast の値を算出した結果を図 3.3.2-15 に示す。このグラフより自車が他車を認識できた時点の ACAlast の値を特定する。これらの結果をまとめた結果を図 3.3.2-16 に示す。このグラフは自車の側方距離 Le=4.5m とした場合の Vo によって求められる Ve と ACAlast の関係を示したものである。これにより、Ve が大きくなるにつれて Vo が大きくなり、その状態に応じて ACAlast の値も増大することが分かる。

表 3.3.2-2　Xe=50m で固定した場合の各速度別の Y0 の値(m)

		Ve (kph)				
		10	20	30	40	50
Vo (kph)	10	50.00	25.00	16.67	12.50	10.00
	20	100.00	50.00	33.33	25.00	20.00
	30	150.00	75.00	50.00	37.50	30.00
	40	200.00	100.00	66.67	50.00	40.00

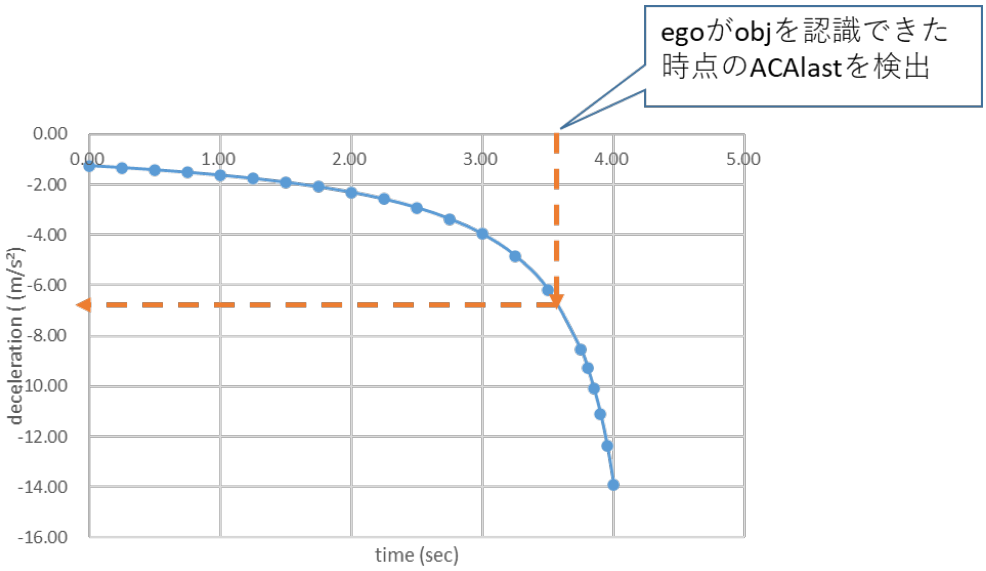


図 3.3.2-15 出会い頭シナリオを対象とした簡易モデルを用いた ACAlast 算出結果
(Ve=40kph, Vo=20kph)

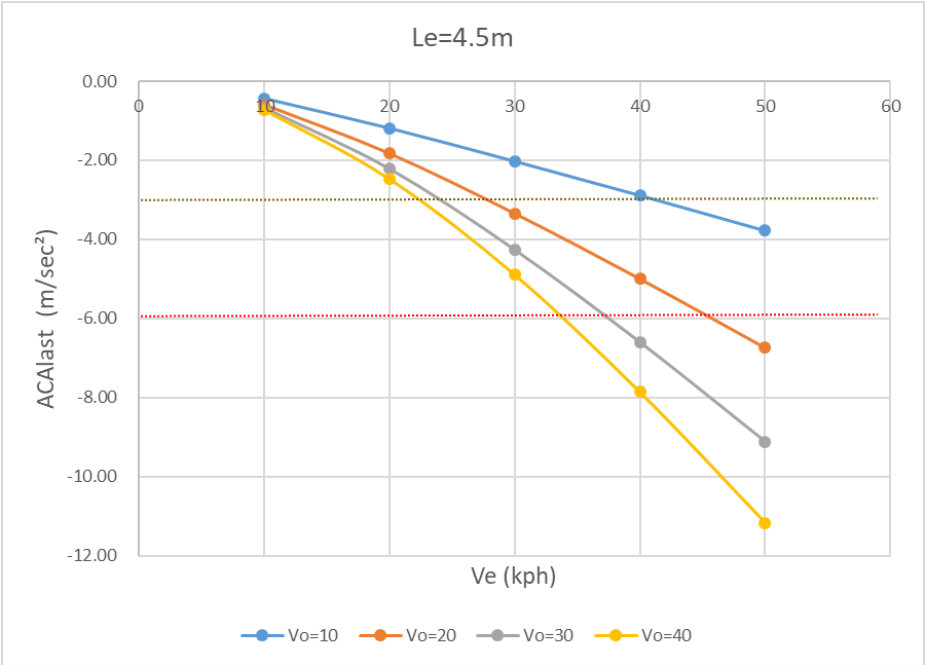


図 3.3.2-16　Vo をパラメータとした Ve と ACAlast の関係

次に、図 3.3.2-16 の結果に基づいて表 3.3.2-3 に示す Vo と Ve の ACAlast についてのマトリックスを作成する。この表より、Vo 別に ACAlast が-3.0、-6.0m/s²となる Ve を直線補間して求める。その結果として ACAlast が 3.0m/s²と 6.0m/s²を示す場合の Vo と Ve の関係を図 3.3.2-17 に示す。Vo が大きいほど推奨安全速度 Ve は小さくなり、Vo が 10kph の場合は 3.0m/s²と 6.0m/s²の差は約 35kph であるが、Vo が 40kph の場合は約 10kph に減少することが分かる。

表 3.3.2-3 各速度別の ACAlast 算出(m/s²)
(Le=3.0m, Lo=3.0m)

		Ve (kph)				
		10	20	30	40	50
Vo (kph)	10	-0.53	-1.55	-2.75	-4.02	-5.35
	20	-0.67	-2.21	-4.26	-6.60	-9.11
	30	-0.73	-2.55	-5.14	-8.37	-12.01
	40	-0.76	-2.77	-5.80	-9.35	-13.94

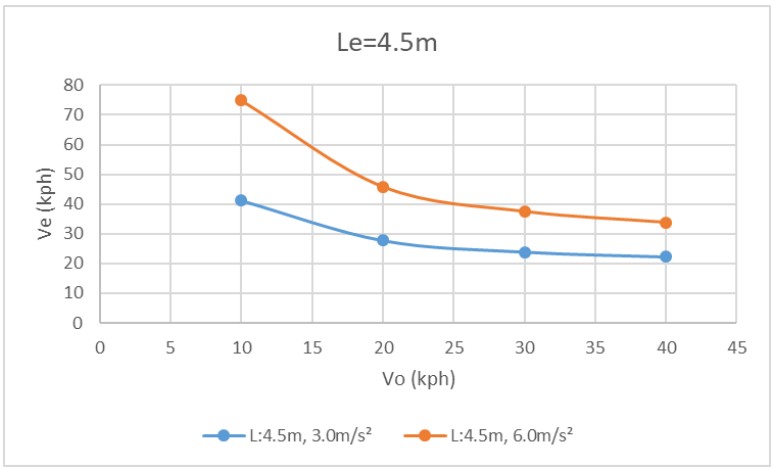


図 3.3.2-17 ACAlast が 3.0m/s²と 6.0m/s²の場合の Vo と Ve の関係

図 3.3.2-18 に自車の側方距離 Le が異なる場合の ACAlast と推奨安全速度に対する影響をまとめた。Le が小さいほど他車を認識できるタイミングが遅れ、交差ポイントまでの距離が小さくなり ACAlast が大きくなる。これにより推奨安全速度は小さくなる。

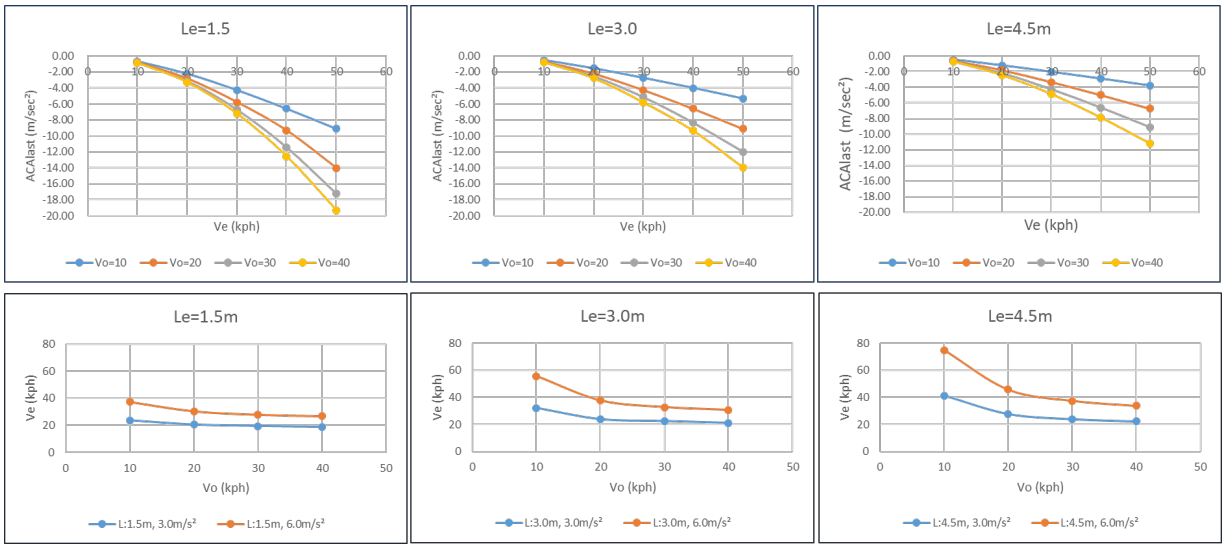


図 3.3.2-18　Le が異なることの推奨安全速度に対する影響

［幾何学モデルによる考察］

以上、ACAlast を用いて推奨安全速度を算出する方法を検討したが、幾何学的にも推奨安全速度を求めることが可能である。図 3.3.2-19 に、出会い頭の幾何学モデルを示す。交差ポイントにおいて自車と他車が同時に到達することを前提にすると、Xe と Xo の比率は Ve と Vo の比率と同一となる。また、この比率は、Xe から Lo を引いたものと Le との比率との同一となる関係があり、この関係は式 3.3.2-14 のように示すことができる。

制動距離 De は、式 3.3.2-15 で示され、Xe ≧ De であれば衝突が回避できる。式 3.3.2-14 と式 3.3.2-15 から Ve を Le、Lo、Ge、Vo を用いて表すことで式 3.3.2-16 が求まる。

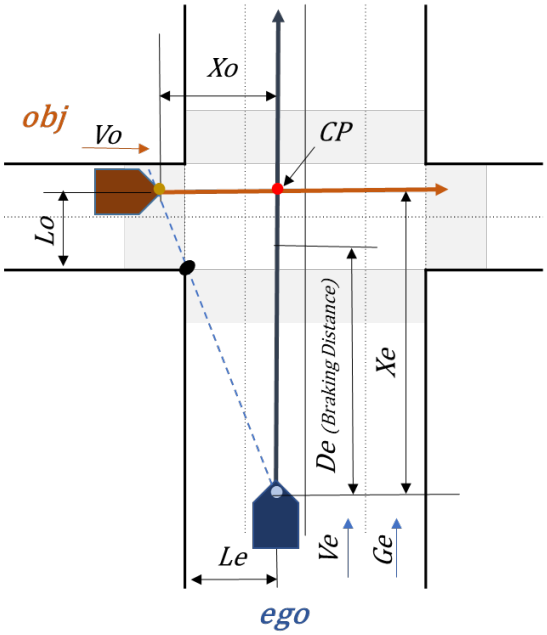


図 3.3.2-19 出会い頭シナリオの幾何学モデル

$$\frac{Xo}{Xe} = \frac{Vo}{Ve} = \frac{Le}{Xe-Lo} \qquad \cdots式\ 3.3.2\text{-}14$$

$$De = -\frac{Ve^2}{2*Ge} \qquad \cdots式\ 3.3.2\text{-}15$$

$$Ve = \frac{2*Le*Ge+\sqrt{((2*Le*Ge)^2 + 8*Lo*Ge*Vo^2)}}{2*Vo} \qquad \cdots式\ 3.3.2\text{-}16$$

図 3.3.2-20 は、推奨安全速度に関して ACAlast から算出した値と幾何学的公式から算出した値を比較した結果を示す。この比較によって両者はほぼ同等であることが分かる。なお、ACAlast の算出値の方が若干小さい要因としては、反応時間を考慮していることが挙

げられる。このように幾何学的モデルでは、計算が容易で様々なケースを検討することが可能となる。

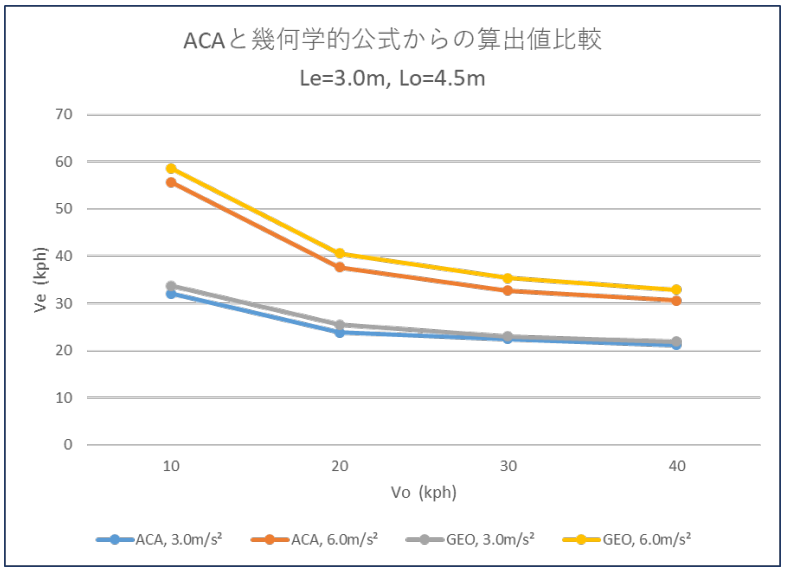


図 3.3.2-20　推奨安全速度について ACAlast と幾何学的公式から算出した結果の比較

参考文献

[1] S. Kitajima et al.、Comparison of Evaluation Indices Concerning Estimation of Driver's Risk Perception - Risk Perception of Rear-end Collision to a Preceding Vehicle、Review of Automotive Engineering、vol. 30、pp. 191-198、doi:10.11351/jsaereview.30.191 (2009)

[2] T. Hiraoka et al.、Collision Risk Evaluation Index Based on Deceleration for Collision Avoidance (First Report) – Proposal of a New Index to Evaluate Collision Risk Against Forward Obstacles、Review of Automotive Engineering、vol. 30、pp. 429-437、doi:10.11351/jsaereview.30.429 (2009)

[3] T. Imaseki et al.、Predicting the Severity of Driving Scenario for Rear-End and Cut-In Collisions Using Potential Risk Indicator Extracted from Near-Miss Video Database、SAE Int. J. Trans. Safety、vol. 9、No. 2、pp. 187-204 (2021)

[4] T. Imaseki et al.、Criticality Metrics Study for Safety Evaluation of Merge Driving Scenarios, Using Near-miss Video Data、SAE Int. J. Trans. Safety、Vol. 12、No. 1、pp. 1-18 (2023)

[5] T. Imaseki et al.、Safety Assessment Methodology of Automated Driving scenarios、7th Int. Symposium on Future Active Safety Technology toward zero traffic accidents (FAST-zero'23)、No.Wed-PM2-C-3、pp. 1-6 (2023)

3.4　シナリオ管理における導出エビデンス・処理プロセス規定の検討

自動運転システムの安全性評価は、合理的に予見可能な範囲において防止可能な事故を生じないことを示す必要がある。本事業においては、3.2 節に示すように、合理的に予見可能の範囲の特定手法に関して研究をしている。それらの特定手法を用いて導き出された合理的に予見可能な範囲を対象に自動運転システムの安全性評価を実施する。

一方で、その安全性評価に活用する合理的に予見可能な範囲は説明性・透明性を担保した客観的な指標に基づかなければならない。すなわち、範囲が妥当であるといった点とその妥当性を導き出したエビデンスが正しいデータであるという事を保証しておかなければならない。具体的には、合理的に予見可能な範囲を導出したエビデンスである実交通流データを各分析プロセスと品質情報や諸元などの情報に紐づけて管理（トレース管理）しておく必要がある。また、合理的予見可能な範囲は自動運転車の普及などに伴う交通流の変化および、自動運転機能の進化により変化していくものである。そのため、合理的に予見可能な範囲を更新していく仕組みに対して、この紐づけ管理をはじめから入れておくことも重要となる。

本節においては、合理的に予見可能な範囲のシナリオ分析に用いられたエビデンスデータの管理および継続的な更新の仕組みに関して述べる。3.4.1 項ではシナリオデータベースに実装されたシナリオ分析結果の説明性、透明性を担保するためのデータの紐づけ管理に関して示す。3.4.2 項ではシナリオ分析に用いたエビデンスデータの品質の視える化の実施結果を示す。3.4.3 項では実交通流の実態に合わせた合理的に予見可能な範囲の継続的な更新に向けて効率的かつ継続的なシナリオ導出の仕組みについて検討した結果を示す。

3.4.1　シナリオ作成に用いたデータの透明性 説明性の向上

本項では、外向けユーザーインターフェース（以下、「外向け UI」という）であるシナリオ DB の一つの機能である交通流分布データベース（以下、「交通流分布 DB」という）に格納されたシナリオデータに対して、データ計測からシナリオ分析に関わる各分析プロセスの処理結果として生成されるエビデンスデータとそのデータの品質検査結果ファイルの紐づけ（関連付け）を行うことによるデータの透明性の向上、および各データの品質情報を交通流分布 DB で参照可能にすることによるデータの説明性の向上の実現可能性を検討した結果について説明する。

ここで示すシナリオデータは、実交通流データがシナリオ分析までの分析プロセスを経て、シナリオに該当するデータとして抽出されたデータを指す。

3.4.1.1　シナリオ作成に用いたデータの透明性 説明性の向上に向けた実施内容

令和 4 年度事業においては、データの透明性・説明性の向上に向けた活動として、データ計測からシナリオ分析までに関わる各分析プロセスと出力されるデータに対して紐づけを行い、トレーサビリティデータとして紐づけ情報を保持した。また、分析に活用した

データ（エビデンスデータ）とその分析によって生み出されたデータの紐づけも実施している。その結果、データ計測からシナリオ分析における下流分析プロセスから上流分析プロセスまでのエビデンスデータが追跡/取得可能となった。

令和 5 年度事業では、データの透明性・説明性の向上に向けた活動であるエビデンス管理に関して以下の 3 点を実施した。

1. シナリオデータに対してエビデンスデータと品質検査結果ファイルの関連付けを可能にする

令和 4 年度事業では、「品質保証プロセスの規定」の活動として、各分析プロセスのエビデンスデータに対して、定義した基準を満たしているか検査する仕組みを構築することで品質を評価し、データの信頼性を担保した。

令和 5 年度事業では、各分析プロセスのエビデンスデータに対する品質検査結果ファイルの格納先の仕様を定め、品質検査結果ファイルの格納先をトレーサビリティデータに項目として追加することで、エビデンスデータと品質情報を関連付けて管理できる状態にする。最終的にはシナリオデータの導出元である各分析プロセスの出力データに対して、品質情報の根拠となる品質検査結果の詳細な内容を常時参照可能である状態にすることでデータの透明性の向上につながる。

2. 交通流分布 DB からエビデンスデータの品質情報を参照可能にする

令和 4 年度事業では、エビデンス管理システムの出力結果と交通流分布 DB とを連携し、交通流分布のパラメータに紐づく下流分析プロセスから上流分析プロセスまでのトレーサビリティデータを表示した結果、データの流れが参照可能であることを証明した。

令和 5 年度事業では、各分析プロセスのトレーサビリティデータに品質検査実施状況などを含む品質情報を項目として追加し、それぞれの状態を値として設定する仕組みに関してエビデンスを管理するシステムに追加することで、シナリオデータ作成に用いた各データの品質に関する情報を参照可能にする。最終的にはシナリオ作成に用いた各データの信頼性の可視化することで、データの説明性の向上につながる。

3. 定点観測における計測データをトレーサビリティデータに変換する仕組みを確立する

令和 4 年度事業では、エビデンス管理を実施する対象を計測車両による高速道路のデータ（以下、「計測車両データ」という）に留めたが、令和 5 年度は定点観測にて計測したデータ（以下、「定点観測データ」という）もエビデンス管理対象に含める。具体的にはデータ収集（定点観測）プロセスのエビデンスデータをトレーサビリティデータに変換する仕組みを確立するために、定点観測用のエビデンス管理システムを構築する。また、「1. シナリオデータに対してエビデンスデータと品質検査結果ファイルの関連付けを可能にする」と「2. 外部向け UI からエビデンスデータの品質情報を参照可能にする」で実施する施策を定点観測データにも適用することにより、定点観測データの透明性と説明性の向上につながる。

3.4.1.2　令和 5 年度事業でのゴールと評価方法

令和 5 年度事業では、令和 4 年度事業で定義したトレーサビリティデータベースのデータ構造に品質情報の項目を追加するとともに、品質検査結果ファイルより読み込んだ品質情報を追加した項目の値として設定できるようにエビデンス管理システムを改修する。それによって、外部向け UI である交通流分布 DB 上で品質情報を含むトレーサビリティデータを参照可能にする。また、定点観測データのトレーサビリティデータをファイルに出力するトレーサビリティデータ出力機能および出力したファイルをデータベースに反映するトレーサビリティデータ取込機能を構築することをゴールとする。上記を実現することで 3.4.1.1 で定義した目的を達成できるかを評価した。

SAKURA データ分析プロセスのシステムのうち、令和 5 年度事業で対応する範囲を図 3.4.1.2-1 に示す。

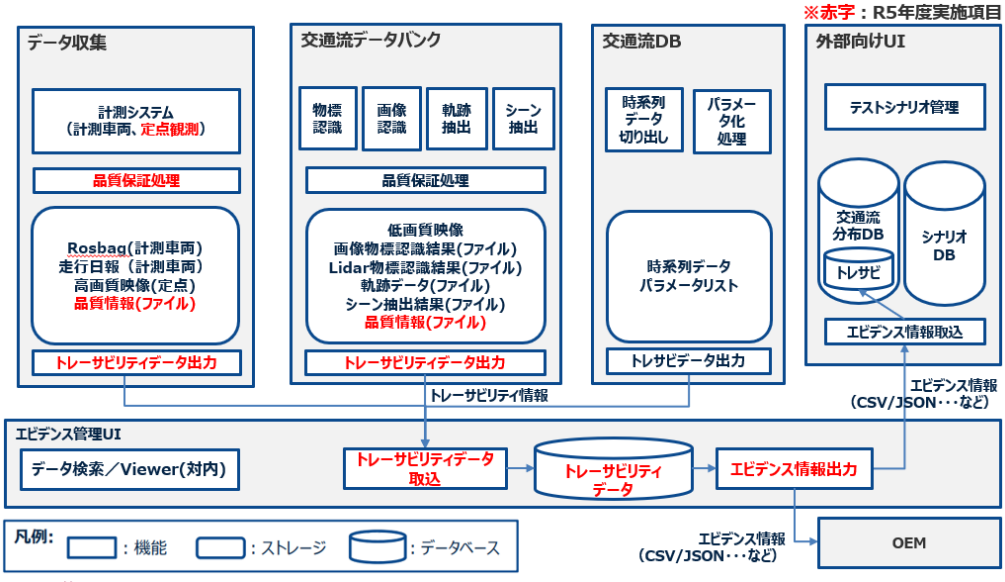


図 3.4.1.2-1 システム構成図と令和 5 年度の対応範囲

上記の対応範囲を踏まえて、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. エビデンスデータと品質検査結果ファイルの関連付けによるデータの透明性の向上の実現可能性
   - ファイルの保管場所であるストレージ（以下、「ストレージ」という）における、各分析プロセスのエビデンスデータに対する品質検査結果ファイルの格納先構成（以下、「ストレージディレクトリ構成」という）を定義する
   - 上記で定義したファイルの格納先から品質検査結果ファイルをダウンロード可能な状態にする

2. エビデンスデータの品質情報の可視化によるデータの説明性の向上の実現可能性
   - 改修したトレーサビリティデータ出力/取込機能を用いて、品質情報がトレーサビリティデータの項目として出力されることを確認する
   - 交通流分布 DB 上でトレーサビリティデータとして、各分析プロセスのエビデンスデータの品質情報（品質検査実施状況、品質検査結果、品質検査結果ファイルパスの 3 項目）の値が確認できる状態にする

3. 定点観測データのトレーサビリティデータの可視化によるデータの透明性と説明性の向上の実現可能性
   - 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
   - 構築したトレーサビリティデータ出力/取込機能を用いて、品質情報がトレーサビリティデータの項目として出力されることを確認する

3.4.1.3 評価結果

3.4.1.2 令和 5 年度事業でのゴールと評価方法で定めた評価項目毎に、シナリオ作成に用いたデータの透明性説明性の向上の実現可能性の評価結果について述べる。詳細に関しては Appendix-E を参照。

1. エビデンスデータと品質検査結果ファイルの関連付けによるデータの透明性の向上の実現可能性

Appendix-E のストレージディレクトリ構成に記載の通り、エビデンスデータを管理するストレージ上に分析プロセス別で品質検査結果ファイルを格納するディレクトリの作成ルールとデータ収集（定点観測）プロセスのエビデンスデータおよび品質検査結果ファイルを格納するディレクトリの作成ルールを定義した。作成ルールを定義する上で考慮した点としては、エビデンスデータ内に複数の運行 ID の情報が含まれている分析プロセスにおいて、品質検査結果格納用ディレクトの配下に運行 ID ごとのディレクトリを複数作成することで、運行 ID ごとに分けられているトレーサビリティデータとのマッピングを取りやすくした。令和 5 年度はこのように定義したルールに基づいた品質検査結果ファイルの格納先をエビデンスデータの格納先を保持しているトレーサビリティデータの項目「品質検査結果ファイルパス」に設定できるようトレーサビリティデータ出力・取込機能を改修した。その結果、処理対象となるエビデンスデータに紐づく品質検査結果ファイルを入力として指定したトレーサビリティデータ出力機能と取込機能を実行することで、エビデンスデータと品質検査結果ファイルの関連を DB 上でトレーサビリティデータとして確認できる方法を確立した。

上記の結果、出力されたトレーサビリティデータに対して、品質情報の追加に対応したエビデンス情報出力機能とエビデンスファイルダウンロード機能を実施することで、ストレージ上からエビデンスデータとそれに対応する品質検査結果ファイルをまとめてダウンロードすることが可能となった。ストレージ上の（versioninfo フォルダは除き）ダウン

ロード対象としたエビデンスデータ格納先と品質検査結果ファイルの格納先の状態を図 3.4.1.3-1 に、エビデンスファイルダウンロード機能の実行結果および実行後の出力先の状態を図 3.4.1.3-2 に示す。

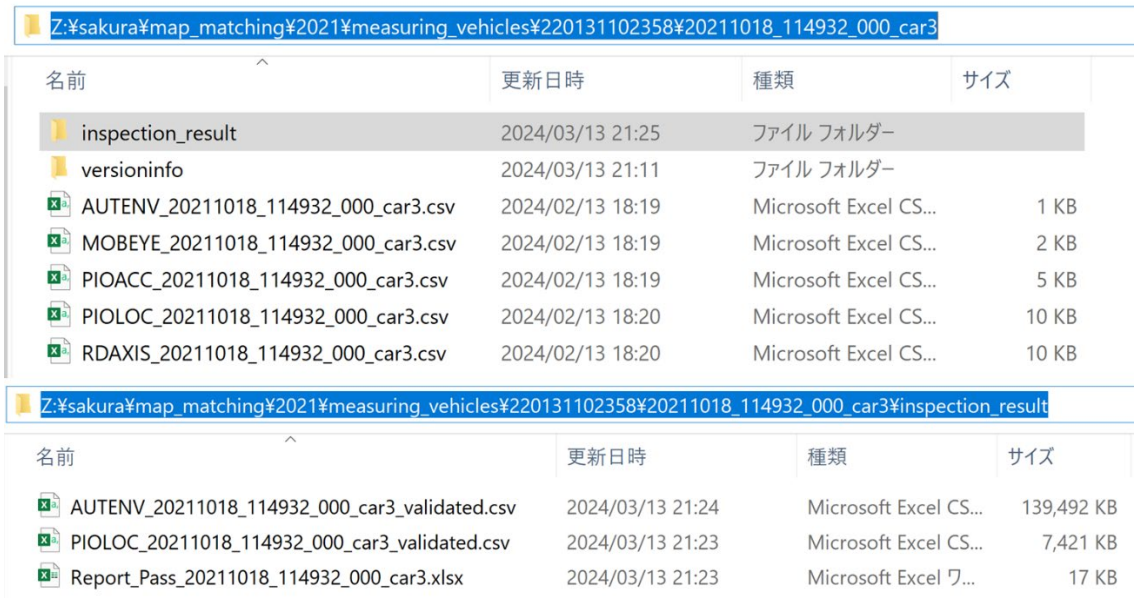


図 3.4.1.3-1 ストレージ上のダウンロード対象

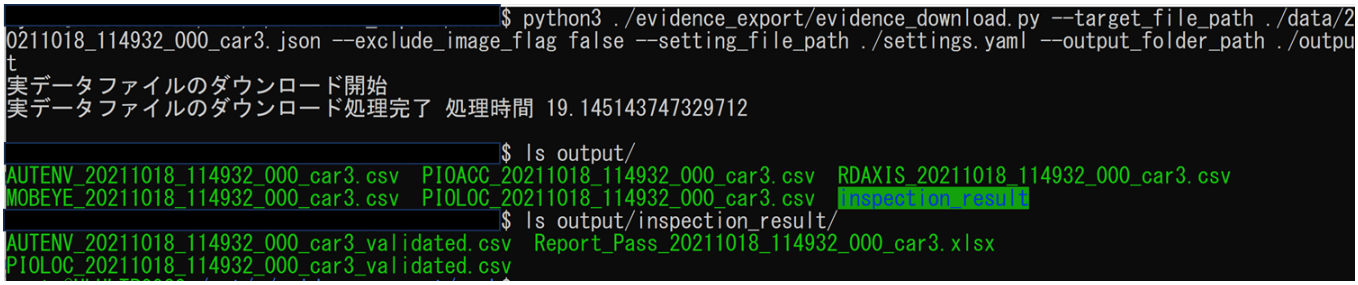


図 3.4.1.3-2 エビデンスファイルダウンロード機能の実行結果

これにより、将来的にダウンロードした各ファイルをユーザに提供することで、エビデンスデータと品質検査結果ファイルの関連付けによるデータの透明性の向上は実現可能であるという結論に至った。

2. エビデンスデータの品質情報の可視化によるデータの説明性の向上の実現可能性

評価項目 1.の評価プロセスにおいて、「品質検査結果ファイルパス」は改修したトレーサビリティデータ出力/取込機能を用いて、品質情報がトレーサビリティデータの項目として出力されることを確認した。1. と同様なプロセスでトレーサビリティデータ出力・取込機能を実施した上で、出力されたトレーサビリティデータを確認した。上記確認に入力として用いた、品質検査結果ファイルの状態とファイル名を図 3.4.1.3-3 に、出力結果を図 3.4.1.3-4 に示す。

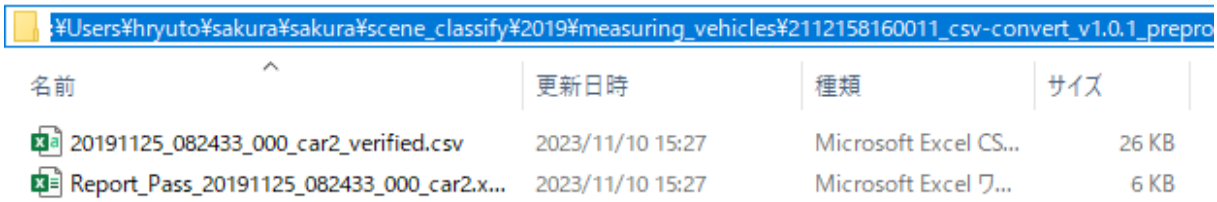


図 3.4.1.3-3 トレーサビリティデータの入力となる品質検査結果ファイル

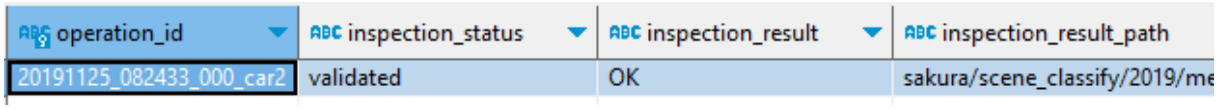


図 3.4.1.3-4 トレーサビリティデータ（品質情報）の出力結果

図 3.4.1.3-3 にて、対象の品質検査結果ファイルが存在するため、図 3.4.1.3-4 のトレーサビリティデータ上で、「inspection_status」（品質検査実施状況）の値が実施済みを示す”valideated”として表示されており、入力された品質情報がトレーサビリティデータに反映されている。同様に図 3.4.1.3-3 にて、品質検査結果ファイル名に検査結果の合格を示す”Pass”が含まれているため、図 3.4.1.3-4 のトレーサビリティデータ上で、品質検査結果が設定される「inspection_result」の値が合格を示す”OK”として表示されている。以上の点から入力された品質情報が DB 上のトレーサビリティデータに正しく反映されていると判断した。

次に、上記のような品質情報を含めたトレーサビリティデータをエビデンス情報出力機能で出力したファイルを外部向け UI である交通流分布 DB に取り込み、交通流分布 DB から各分析プロセスのエビデンスデータの品質情報（品質検査実施状況、品質検査結果、品質検査結果ファイルパスの 3 項目）の値が確認できるかを確認した。

令和 5 年度は交通流分布 DB を改修し、散布図の 1 点（パラメータ）から品質情報を含めたエビデンスデータを表示できるようにした。図 3.4.1.3-5 に、エビデンスデータの 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。ただし、パラメータリストのエビデンスデータは品質情報を含まない。



図 3.4.1.3-5 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更に「時系列データ(time_series_data)」「シーン抽出結果(scene_classify_result)」「マップマッチング結果(map_matching_result)」「レーン検出結果(lane_recognition_result)」のように追跡できる構造である。図 3.4.1.3-6 に交通流分布 DB 上での操作でパラメータリスト～レーン検出結果まで遡った際の表示結果を示す。

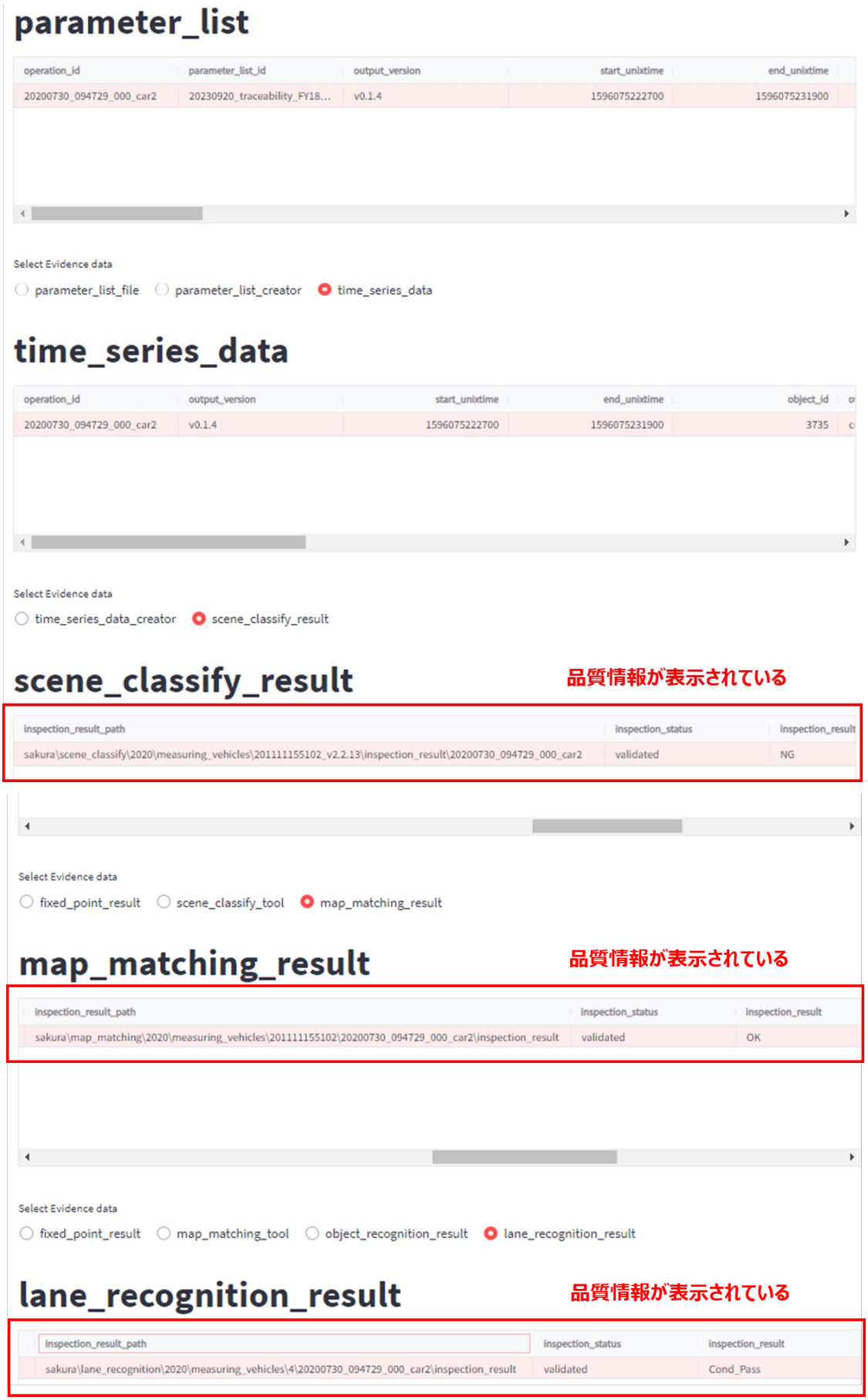


図 3.4.1.3-6 品質情報を含むエビデンスデータまで遡って閲覧した結果

図 3.4.1.3-6 に示したように、外部向け UI である交通流分布 DB から各分析プロセスのエビデンスデータの品質情報（品質検査実施状況、品質検査結果、品質検査結果ファイルパスの 3 項目）の値をユーザが確認できる状態となった。

以上の結果から、データの信頼性に直結する品質情報を可視化することでデータの説明性の向上は実現可能であるという結論に至った。

3. 定点観測データのトレーサビリティデータの可視化によるデータの透明性と説明性の向上の実現可能性

定点観測データに対するトレーサビリティデータ出力/取込機能をソフトウェアによって実現したことは Appendix-E 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（定点観測）にて記載した。

構築したトレーサビリティデータ出力/取込機能を用いて、定点観測データの品質情報が DB 上のトレーサビリティデータの項目として出力されることを確認した。上記確認に入力として用いた、品質検査結果ファイルの状態とファイル名を図 3.4.1.3-7 に、トレーサビリティデータの出力結果を図 3.4.1.3-8 に示す。

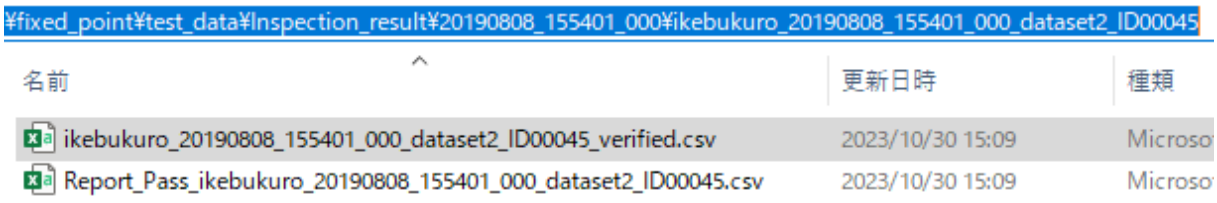


図 3.4.1.3-7 定点観測のトレーサビリティデータの入力となる品質検査結果ファイル

operation_id	inspection_status	inspection_result	inspection_result_path
ikebukuro_20190808_155401_000_00045	validated	OK	sakura/fixed_point/2021/fixed_p

図 3.4.1.3-8 定点観測のトレーサビリティデータ（品質情報）の出力結果

図 3.4.1.3-7 にて示されている品質検査結果ファイルに関する情報が、評価項目 2.と同様に図 3.4.1.3-8 のトレーサビリティデータの品質情報として反映されている。

以上の結果から、定点観測も計測車両のトレーサビリティデータと同様に品質情報を含めた状態で可視化することにより、データの透明性と説明性の向上は実現可能であるという結論に至った。

3.4.1.4 まとめ

令和 5 年度事業では、令和 4 年度事業の成果であるトレーサビリティデータベースのデータ構造に品質情報の項目を追加するとともに、品質検査結果ファイルより読み込んだ品質情報を追加した項目の値として設定できるようにエビデンス管理システムを改修するこ

とができた。それによって、外部向け UI である交通流分布 DB 上で品質情報を含むトレーサビリティデータを参照可能にし、シナリオ作成に用いたデータの透明性、説明性の向上は実現可能であるということが分かった。また、定点観測データのトレーサビリティデータを取り扱う各種機能を構築し、計測車両のトレーサビリティデータと同様の状態で可視化することにより、SAKURA で扱う全ての種類のデータの透明性と説明性の向上は実現可能であるということが分かった。

これによってシナリオ DB が信頼性の高い情報を保持していることを証明し、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したと考えられる。

今後のエビデンス管理システムの課題として考えられる事とその対策を下記に記載する。

1 点目は、外部 UI である交通流分布 DB の絞り込み条件の追加およびユーザからの要望に伴うデータ項目の追加が発生した際の開発は、令和 5 年度の実績を鑑みると短期間では実現できないことが自明であるという点である。そのため、早めに絞り込み条件の変更要望を取りまとめて、開発に着手する必要があると考えられる。

2 点目は、現時点の仕様では外部参照可能なトレーサビリティデータに紐づく各プロセスのエビデンスデータであるファイル（以下、「エビデンスファイル」という）および品質検査結果ファイルはユーザに提供可能であるが、エビデンスファイル内の検索条件に合致する運行 ID およびタイムスタンプに紐づく軌跡情報などの具体的な値はエビデンスファイル内を目視で確認する必要があるという点である。そのため、今後は、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参照し、上記のような具体的な値を検索結果として出力できるように機能拡張することで、ユーザが必要な情報にアクセスするまでの時間を短くしておくことが必要であると考えられる。

3 点目は、エビデンス情報出力機能の作成に用いた言語である Python は通常はガベージコレクション[1]により自動的に不要なメモリが開放されるが、トレーサビリティデータに定点観測データが追加されたことにより、処理するデータの規模が大きくなり、解放されない領域が蓄積してメモリリークが発生する可能性があるという点である。これまでのデータ処理実験の範囲内でメモリリークは発生していないが、現状のプログラムでは明示的なメモリ開放を行っていないため、今後より大規模なデータ処理をする可能性がある場合は明示的なメモリ開放を処理に追加するなどの対策をしておくことが望ましい。

参考文献

[1] Python 3.12.2 documentation https://docs.python.org/3/library/gc.html (2024 年 3 月現在)

3.4.2　シナリオ作成に用いたデータの信頼性の可視化

自動運転の社会実装の前提として、国際連合・自動車基準調和世界フォーラムおよび国土交通省は、自動運転車の運行設計領域内において合理的に予見可能で回避可能な範囲を定め、その範囲内の全ての人身事故を防止することを求めている。したがって、合理的に予見可能な範囲と回避可能な範囲の特定手法を確固たる理論に基づいて確立しなければな

らない。また、第三者が納得できるように説明性・透明性を確保した評価を実施するためには、合理的に予見可能な範囲を導出する分析に使用した実交通流データのエビデンス（データ属性・処理プロセス履歴）を追跡可能な形式で管理することが欠かせない。

本項ではシナリオデータベースに実装されたシナリオの説明性を担保するため、シナリオ作成に用いたデータ・分析結果の信頼性を可視化できるように各処理プロセスの内容を細分化し、それぞれの処理で使用しているデータやアルゴリズムの精度の情報を調査し、シナリオ作成に使用したデータが計測システムの影響まで遡って追跡可能な情報を構築した内容を報告する。なお、本文には概要のみを記載し、詳細は Appendix-F で述べる。

3.4.2.1　軌跡データ生成プロセスの概要

本事業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で計測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、シナリオ作成に必要となるデータ生成の一連のプロセス（以下、「軌跡データ生成プロセス」という）を実行している（図 3.4.2.1-1）。

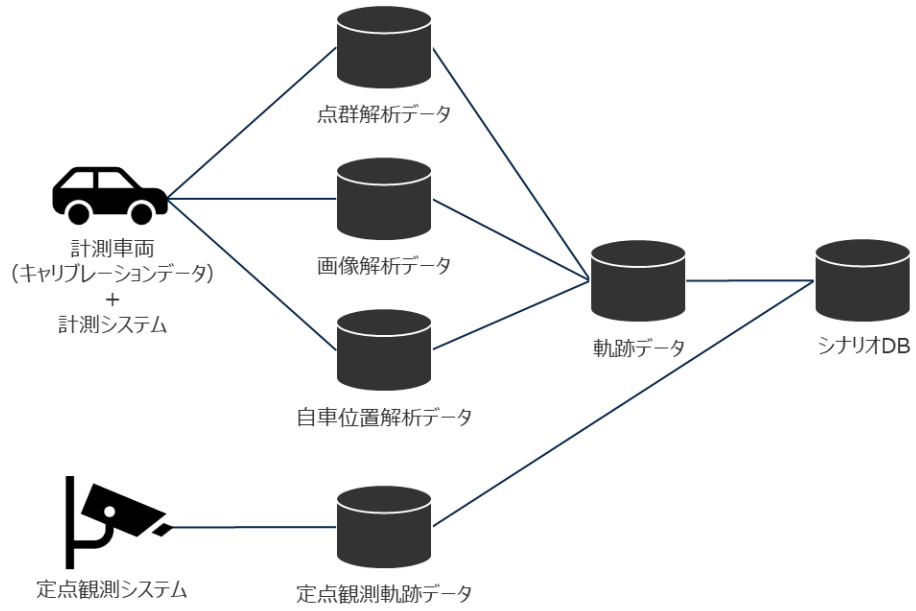


図 3.4.2.1-1　軌跡データ生成プロセス

軌跡データ生成プロセスでは計測システムで構築されている複数の計測機器によって測定されたデータを各データ生成プロセス内で処理を行い、それらを組み合わせて最終的に軌跡データを生成している。

本項では軌跡データ生成プロセスを階層化し、各プロセスにおいて精度に影響する要因かを明確にした。また、各プロセス同士がどのように接続されて最終的な軌跡データの精度に影響を及ぼすのかを明らかにした。さらに、テストコースでの走行データを用いて、計測データの精度を検証した。

（1） 全体の概要

シナリオ作成に用いるデータ（以下、「SAKURA 軌跡データ」という）の精度の影響を検討するにあたり検討対象となるデータの分類を行った。SAKURA 軌跡データは図 3.4.2.1-2 に示す通りセンサなどで計測したデータを機械学習や解析プログラムなどを使って出力後にそれらを統合して生成した。

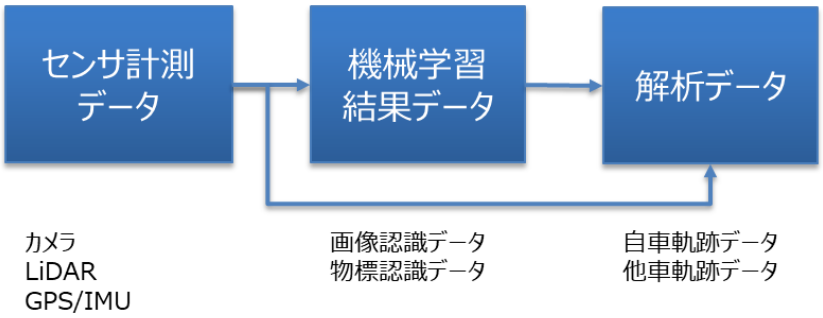


図 3.4.2.1-2 データの分類

（2） センサ計測データ

センサ機器を使って実際に計測したデータを意味し、カメラでは画像、LiDAR は点群データ、GPS/IMU は自車位置、車両挙動データをそれぞれ出力する。表 3.4.2.1-1 に計測システムに搭載しているセンサの一覧を示す。

表 3.4.2.1-1 計測に使用したセンサー覧

センサ種類	製品名
カメラ	iDS 社製 UI-3060CP-C-HQ KOWA 社製 LM6HC SONY 社製 魚眼カメラ
LiDAR	Velodyne 社製 VLP-16、VLP-16 Hi-Res
GNSS/IMU	パイオニア社製 GPS-M2

センサ機器で計測をするときは正確な測定データを出力するためにセンサ機器の設置位置の測定やキャリブレーションを行う。これを実施しないと SAKURA 軌跡データの生

成と基となっているセンサ機器から出力したデータの精度に影響が出る。

また、センサ機器にはそれぞれに製品仕様があり、これによって出力する結果が大きく異なる。例えば物体までの距離を測定するセンサの LiDAR はその測定距離の仕様が 100 m と 50 m では出力時のデータの有効範囲が異なる。

そのため、図 3.4.2.1-3 に示すようにセンサ計測データはキャリブレーションとセンサ機器の製品仕様がセンサ計測データの精度に影響する。各センサの精度の影響についての検討結果は Appendix-F に詳述する。

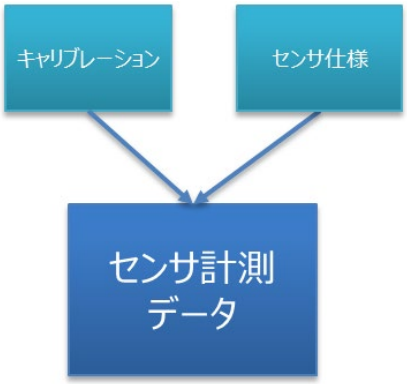


図 3.4.2.1-3　センサ計測データの精度影響関連図

（3）　機械学習結果データ

図 3.4.2.1-4 に示すようにセンサ機器で計測した計測データはそのままでは数値化されていないために画像認識又は物標認識などの機械学習を使ってデータを数値化する。画像認識ではカメラで撮影した画像を画像認識アルゴリズムで処理しレーンマーカまでの距離などを推定して数値化する。また、物標認識では LiDAR で計測した点群データを物標認識アルゴリズムで処理し他車までの距離などを数値化しており、それぞれのアルゴリズムの特性から精度の影響についての検討内容は Appendix-F に詳述する。

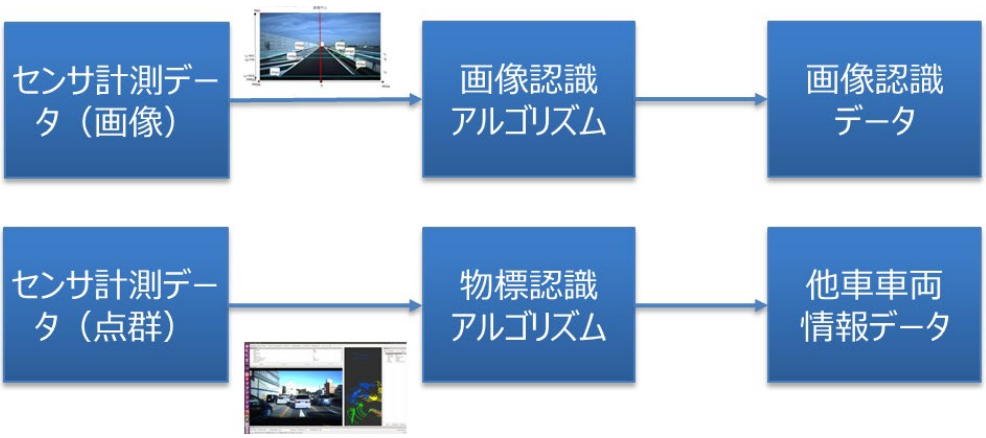


図 3.4.2.1-4　機械学習結果データの生成概要

さらに、機械学習アルゴリズムは機械学習するための学習データが必要となりその学習データの精度も機械学習結果データの精度に影響する。

（4） 解析データ

車両の位置情報を計測したセンサ計測データや（3）機械学習結果データを使って最終的に自車と他車の位置情報や車両の挙動情報などを算出する。GNSS/IMU のセンサ機器を使って自車の位置を計測したのちに、画像認識データに含まれている左右のレーンマークまでの距離と道路の詳細な情報が含まれている高精度地図データを使って左右方向の位置の補正を行い高精度な自車の位置情報を算出している（図 3.4.2.1-5）。また、他車は他車車両情報データを使って自車との相対距離などのデータを用いて算出している。解析データには地図データが必要となるためそれらのデータの精度も解析データの精度に影響する。これらの複数の入力情報を統合して解析したデータの精度の影響についての検討内容は Appendix-F に詳述する。

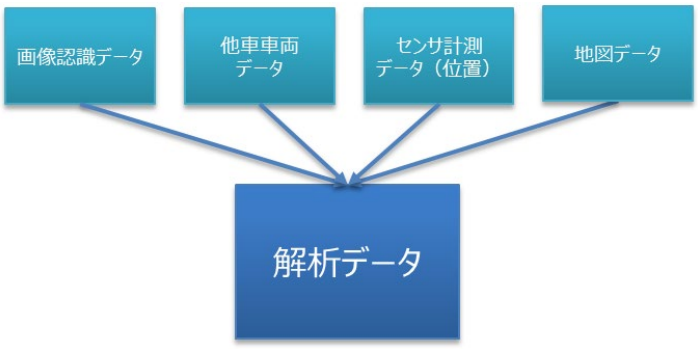


図 3.4.2.1-5 解析データの精度影響関連図

3.4.2.2 物標認識処理プロセスの精度仕様

（1） 処理プロセスの構成

物標認識処理プロセスの構成は図 3.4.2.2-1 とおりである。また、表 3.4.2.2-1 に物標認識処理の結果で生成される出力データを示す。図中の独自処理では、物標の大きさの統一、フレーム補間、物標 ID の付与などを行った。

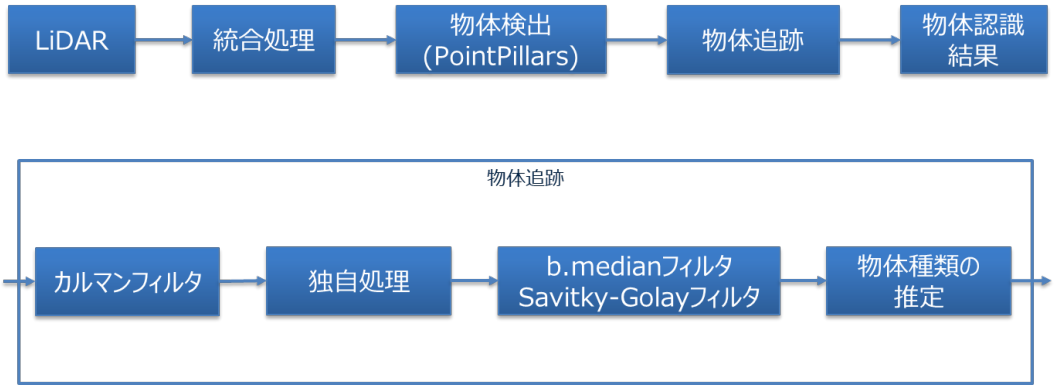


図 3.4.2.2-1　物標認識処理プロセスの構成

表 3.4.2.2-1　物標認識処理による生成物

ID	内容
HDL-1	タイムスタンプ
HDL-2	物標位置
HDL-3	物標角度
HDL-4	物標の大きさ
HDL-5	物標相対速度
HDL-6	物標認識スコア
HDL-7	物標走行車線
HDL-8	物標種別
HDL-9	物標 ID
HDL-10	CIPV フラグ
HDL-11	車線変更フラグ

物標認識処理プロセスでは、計測車両からのセンサ計測データと事前に取得しておいたキャリブレーションデータを利用し、1）計測車両に搭載されている複数の LiDAR センサからの情報を統合する（点群統合処理）。次に、2）統合後の点群データを入力とし PointPillars[1]と呼ばれる物体検出モデルを利用し、自車両周辺に存在する車両などの位置・向き・大きさといった情報を取得する。この時、事前に人手によりアノテーションしたデータを利用して学習した、学習済みの機械学習モデルを利用する。最後に、3）物体追跡処理により物体検出から得られた時系列の物標情報を統合し、各フレームの独立した物標位置情報を時間的に連続な物標の軌跡データに変換した。

（2）　精度検証結果

a）　物体検出の精度検証結果

物体検出の精度を検証する実験を行った。この検証では、人手により付与された正解の

物標位置・大きさのデータと物体検出モデルで推定された物標位置・大きさを比較した。評価は物標位置に対しては標準偏差、大きさに対しては二乗和平方根誤差を利用した。それぞれ値が小さいほうが誤差は少なく精度が高いことを示す。

結果を図 3.4.2.2-2、図 3.4.2.2-3 にそれぞれ示す。物体位置精度については前後方向の標準偏差が 17.9 cm、左右方向の標準偏差が 7.9 cm であった。物体の大きさについては、前後方向の誤差が 29.0 cm、左右方向の誤差が 5.0 cm であった。それぞれ車両の大きさや物標相対位置のスケールに対して十分に小さい値と考えられ、一定程度の誤差が存在していることも確認できるが、シナリオの構築において十分な精度であると考えられる。

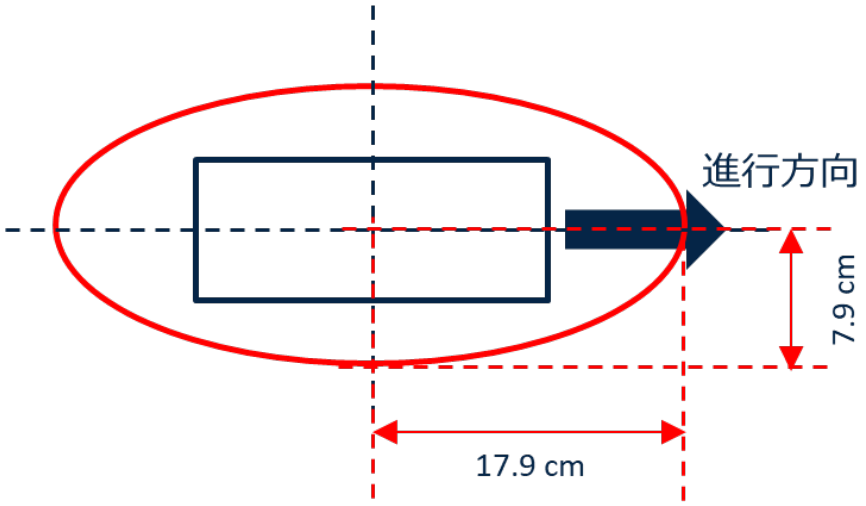


図 3.4.2.2-2　物標位置の精度（他車中心位置に対する標準偏差の値を示す）

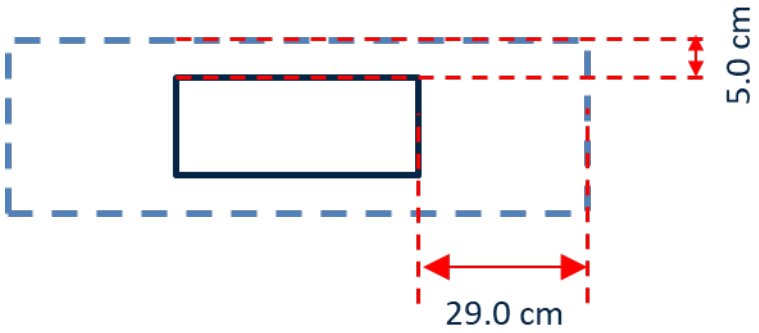


図 3.4.2.2-3　物標の大きさの精度（他車アノテーション真値に対する平均誤差）

b)　物体追跡の精度検証結果

物体検出の結果と同様に、物体追跡の結果出力される物標位置の精度についても検証を行った。この検証では VBOX センサを搭載した実車を利用し、VBOX センサの出力する位置情報を真値として利用した。なお、VBOX センサの出力値には車両ごとに時刻ずれが存在すると考えられるため、最も誤差が小さくなるように時刻の補正を行っている。評価は物標位置と同様に標準偏差を用いて実施した。

結果を図 3.4.2.2-4 に示す。図には物体検出のみを実施した結果と物体追跡を組み合わせた場合の結果をあわせて載せている。結果から、物体追跡を行うことで他車位置に対す

る標準偏差が減少することが確認され、精度が向上することが分かった。しかしながら、物体追跡の処理を実施しても、一定程度の誤差が残されることも確認できた。

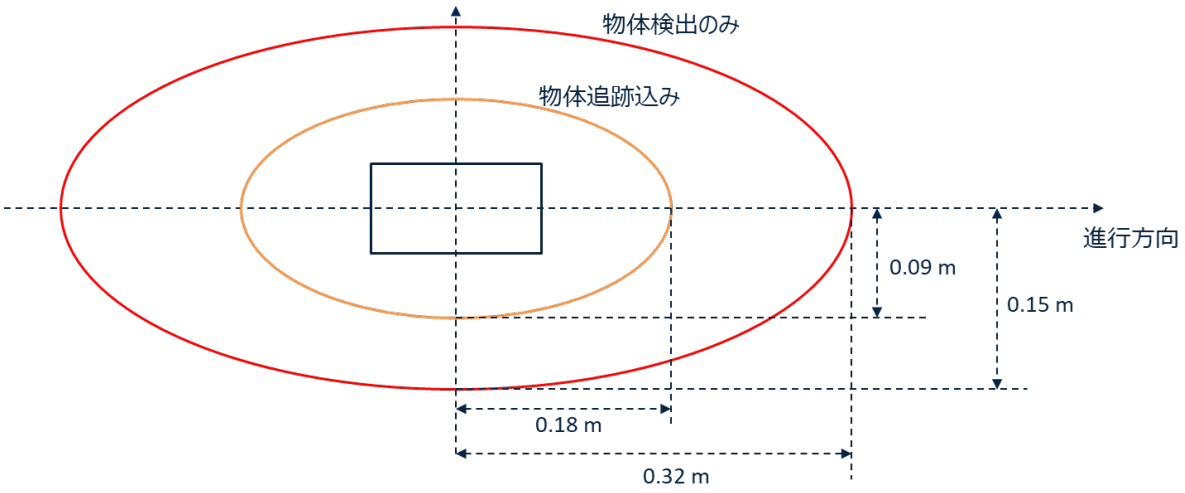


図 3.4.2.2-4　物体追跡前後の他車物標位置推定精度の比較

3.4.2.3　画像認識処理プロセスの精度仕様

（1）　処理プロセスの構成

深層学習を用いたレーンマーク解析およびレーンマークに対して計測車両の位置・姿勢推定に関する処理プロセス（以下,「画像認識処理プロセス」という）についての概要を述べる。図 3.4.2.3-1 に画像認識処理プロセスのブロック図を示す。ブロック内に記載している“a”は他のプロセスから提供されたものを表し、“b”は自プロセス内での処理、または、処理によって出力された結果である。各出力の内容は KT-1～8 として表 3.4.2.3-1 に示す。

画像認識処理プロセスの具体的なフローは画像展開処理にて計測システムから計測されたデータ一式（以下、「rosbag データ」という）から、挟角レンズを装着したカメラにて車両の進行方向が撮影された画像（以下、「前方挟角画像」という）と、魚眼レンズを装着したカメラにて車両の左右側方が撮影された画像（以下、「左方広角画像」、「右方広角画像」という）が展開される（図 3.4.2.3-1 の①）。rosbag データからの画像データ展開の際にタイムスタンプ（KT-1）が出力される。

展開された画像を用いて、深層学習モデルである CondLaneNet[9]によるレーンマーク検出処理にて、前方挟角画像からレーンマークを検出する（図 3.4.2.3-1 の②）。検出されたレーンマークの結果は、深層学習によるレーンマーククラス分類処理と、左右それぞれの広角画像においてレーンマークが出現する位置の予測に用いられる。

レーンマーククラス分類では，レーンマークについて実線や破線などの種別を判定しており（図 3.4.2.3-1 の③）、判定結果としてレーン種別（KT-3、KT-4）が出力される。

出現位置予測では、計測車両に取り付けられたそれぞれのカメラのレンズひずみ校正パラメータ、カメラ取付位置・角度、カメラ内部パラメータを利用して、左右それぞれの

広角画像中でのレーンマーク出現位置を予測する（図 3.4.2.3-1 の④）。

予測結果から左右それぞれの広角画像におけるレーンマークの出現領域候補を絞り、画像処理により精度よく検出して計測車両の位置・姿勢推定に用いる（図 3.4.2.3-1 の⑤）。

位置・姿勢推定の結果として、計測車両とレーンマークまでの距離（KT-2、KT-3）、計測車両とレーンマークとの角度（KT-6、KT-7）、計測車両の姿勢角（KT-9）を出力する。

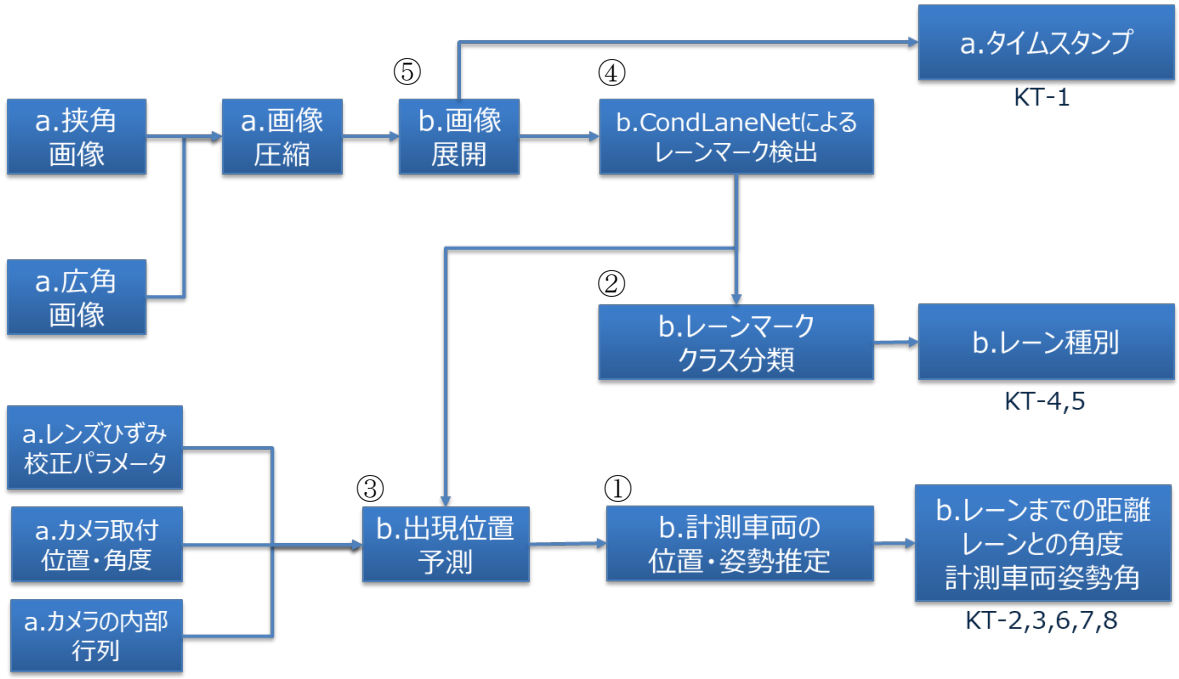


図 3.4.2.3-1　画像認識処理プロセスのブロック図

表 3.4.2.3-1　画像認識処理プロセスにて出力されるデータ

項目	名称
KT-1	タイムスタンプ
KT-2	左側レーンマークとの距離
KT-3	右側レーンマークとの距離
KT-4	左側レーンマークの種類
KT-5	右側レーンマークの種類
KT-6	左側レーンマークとの角度
KT-7	右側レーンマークとの角度
KT-8	計測車両姿勢角

（2） 精度検証結果

ハフ変換に基づくレーンマークの線分検出精度と分離し、距離精度のみを評価するため、画像から検出しやすい線を用いた。検証は図 3.4.2.3-2 のように計測車両の IMU 基準としたレーンマークとの距離を測定している。実験環境は車両の左右の後輪から 50 cm 間隔の位置にラインを引き、画像から距離推定した結果と実際の計測結果を比較した結果を表 3.4.2.3-2 に示す。

結果について，まずは IMU から 190 cm 程度の距離について考察する。この距離は車線幅が 325 cm や 350 cm のレーン中央付近を走行している状況が近いと考える。この時の左右平均誤差は 0.6 %であるため、位置精度として 2 cm 以下で計測できることが期待される。その後はレーンマーカまでの距離が長くなると誤差も比例し、440 cm 程度のところでは平均誤差が 7.7 %まで増加する。ただし、IMU とレーンマークとの距離が左右ともに 440 cm 以上となる状況は車線変更時にも発生しないことから、左右のうちの距離が近い方に重みを大きく付して平均を算出する等、後段処理の工夫により、より高精度な位置計測が可能となると期待される。

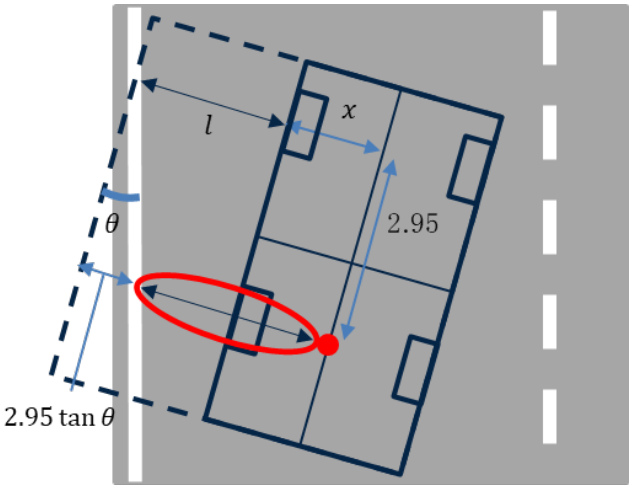


図 3.4.2.3-2 IMU 基準での距離推定概要

表 3.4.2.3-2 レーンマークと計測車両との距離推定に関する精度評価実験結果

実測値 [cm]	(右)137.0 (左)136.3	(右)187.0 (左)186.3	(右)237.0 (左)236.3	(右)287.0 (左)286.3	(右)337.0 (左)336.3	(右)387.0 (左)386.3	(右)437.0 (左)436.3
計測値 [cm] (画像処理)	(右)144.2 (左)135.4	(右)189.0 (左)182.0	(右)235.1 (左)227.9	(右)280.1 (左)270.1	(右)325.7 (左)311.7	(右)361.8 (左)360.4	(右)409.7 (左)396.5
平均誤差 [%]	2.3	0.6	2.2	3.9	5.3	6.6	7.7

3.4.2.4 自車他車軌跡化処理プロセスの精度仕様

（1） 処理プロセスの構成

自車他車軌跡化処理プロセスは①位置推定処理プロセス、②車両軌跡化処理プロセスで構成され、更に②車両軌跡化処理プロセスは（a）一次解析、（b）数値解析、（c）道路座標軸化の 3 つのプロセスから構成される。

各プロセスの概要は下記のとおりである。

①位置推定処理プロセス（図 3.4.2.4-1）
カーナビゲーションで用いる地図（以下、「ナビ地図」という）と自車位置を計測するための GNSS センサとして 実績のある GPS-M2（以下、「GPS-M2」という）の計測データを用いてマップマッチング処理を行い PIOLOC#1 データを生成する

②車両軌跡化処理プロセス（図 3.4.2.4-2）
（a）一次解析：①で生成した PIOLOC#1、画像認識結果（3.4.2.3）、物標認識結果（3.4.2.2）のデータを統合する
（b）数値解析（高精度化処理）：（a）で統合したデータ及び高精度地図を用いて高精度自車位置推定を行う
（c）道路座標軸化[18]：(b)で生成した高精度自車位置と、自車が実際に通過したレーンの中央線である道路座標軸として自車位置と道路区画線距離の情報を推定した軸（以下、「推定軸」という）および高精度地図のポリゴンの中心点から算出したポリゴン中央軸を用いて道路座標データの計算をする[19]。

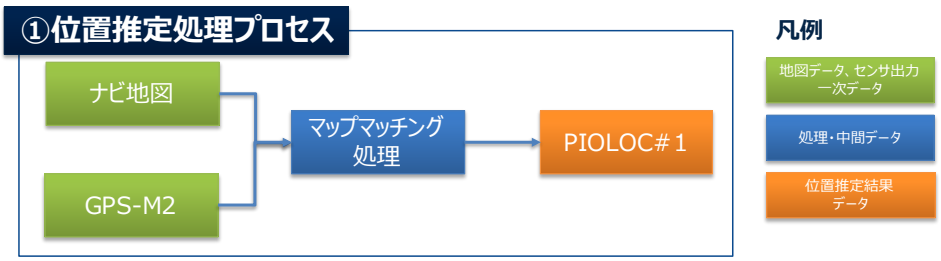


図 3.4.2.4-1　位置推定処理プロセスの構成

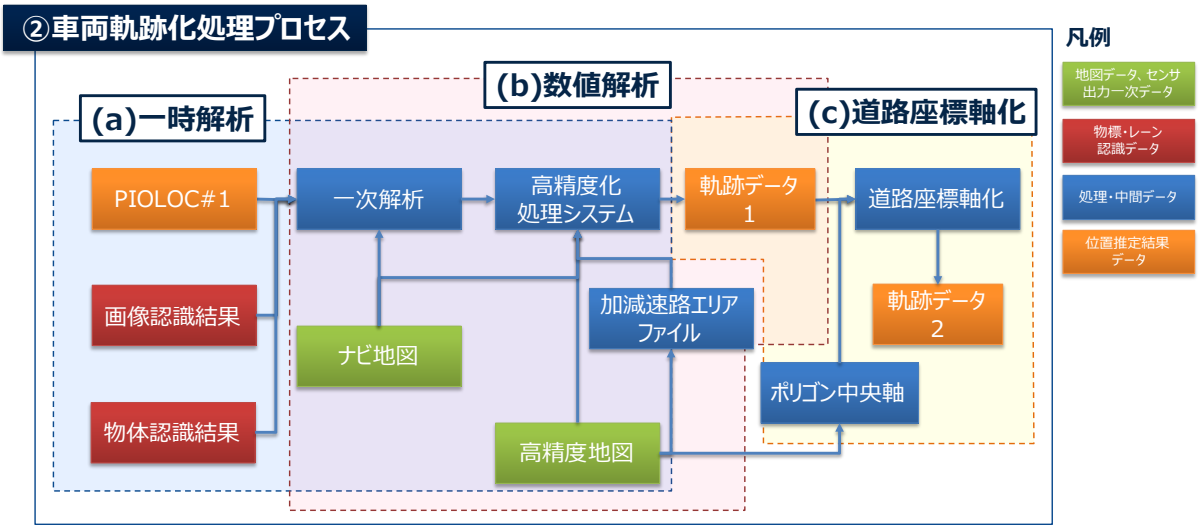


図 3.4.2.4-2　車両軌跡化処理プロセスの構成

（2）　精度検証結果

道路座標軸化処理で用いるポリゴン中央軸の精度について、特定の条件において精度がどの程度の値になるか検証を行った。また、自車他車軌跡化プロセス全体としての精度検証実験として令和 2 年度（2020 年度）に新パーティクル処理を用いた高精度自車位置推定の性能評価が自動運転評価拠点（Jtown）の多目的市街地エリアにて実施され、所定の条件において精度検証のためのデータ収集が行われた[22]。

そのデータを使った検証結果について報告する。

a）　評価車両の車速パルス精度検証結果

計測車両として用いている車両の車速パルスについてダイナモ試験により特性評価を実施した。ダイナモ試験機のリファレンス速度値に対する低速域(20 km/h 以下)でリニアリティの誤差が大きい傾向がみられたが、20 km/h 以上の領域では±0.5 %以内であり良好な結果であることを確認した。

1 パルス当たりの距離計測結果において、計測車両の GPS-M2 の距離精度は-0.116 %となることを確認した。

b）　ポリゴン中央軸の精度検証結果

ポリゴン中央軸の精度検証のため、実際の計測車両軌跡データにて新パーティクル処理が適用された区間から所定の範囲を選定して評価した結果、σ ＝0.00042 m となった。検証に用いた区間は東名高速道路足柄付近であり、車線幅の設定値は 3.6 m であるのに対して約 0.01 %に相当するためポリゴン中央軸の生成精度の影響は非常に小さいと考えられる。ただし、この値は今回の検証区間における結果であり、道路形状などの条件が異なる区間においては結果の値も異なると考えられる。

この確認に用いた検証区間やデータ点数などについて表 3.4.2.4-1 に示す。

表 3.4.2.4-1 検証条件と結果

項目	結果
道路名	東名高速道路下り
道路形状	片側 3 車線の中央車線
検証区間距離	約 3.8 [km]
検証区間ポリゴン中央軸データ点数	3944
左右レーンまでの距離の差の平均値	0.00029 [m]
左右レーンまでの距離の差の標準偏差	0.00042 [m]

c)　自車他車軌跡化プロセス全体としての精度検証

検証の条件および結果を以下に記載する。

（i）検証の条件について

①検証対象区間について

検証の対象が新パーティクル処理の精度検証であるため、計測データのうち新パーティクル処理が適用された 1 連の区間のみを選定して検証対象とした。

②真値について

自車他車軌跡化プロセス全体としての精度を検証するためには比較対象となる真値が必要である。当時の検証においては地上に設置した基準局からの位置情報データによって高精度な測位を実現する Real Time Kinematic 測位（以下、「RTK 測位」という）が可能な VBOX[23]（GNSS/IMU ユニットの製品名）を自車に取り付け、このデバイスからの出力として得られた緯度経度を真値として用いた。

③検査対象データについて

自車走行データの取得は従来の計測車両をそのまま用い、通常通り GNSS/IMU、物標認識、画像認識の各データをインプットデータとして用いた。

（ii）検証結果

（i）の条件で行った検証の結果、オフセット補正を適用したのち自車と真値の差の値について標準偏差の値をとると、前後方向：16.4 cm、左右方向：1.3 cm となった。

また、同様の条件で道路座標軸化結果について自車と真値の差の標準偏差の値をとると 1.5 cm となった。

これらの結果の値は上記条件において得られた値であるため、走行経路や区間の長さなど条件が異なれば結果の値も変わると考えられる。

3.4.2.5　定点観測処理プロセスの精度仕様

定点観測システムは図 3.4.2.1-1 のとおり、計測車両の計測システムのように複数のセンサを統合して軌跡化するのではなくセンサ機器としてカメラのみを使用した単体システムで完結しているため、異なるシステムでの統合的な精度仕様は必要ないために主に内部のデータフローについて述べる。

定点観測で得られる軌跡データの精度について述べる。定点観測では、複数の精度悪化要因が複雑に関連しており、各処理プロセスが、最終出力である軌跡の精度に与える影響を定量的に導くのは困難である。

今後の軌跡精度向上に向けて、処理プロセスの各々において軌跡精度を悪化させる要因を定性的に述べる。

（1）　全体データフロー

定点観測において車両軌跡データを得るまでのデータフローを図 3.4.2.5-1 に示す。本データフローには大きく 5 つの処理プロセスがあり、精度悪化要因が処理プロセス間で関連していることがわかる。

精度悪化要因は、画像に起因するもの、データに起因するもの、手作業によるものに大別される。図 3.4.2.5-1 ではそれぞれボックス形状を変えて表記した。処理プロセス毎に精度に影響を与える要素については Appendix-F に詳述する。

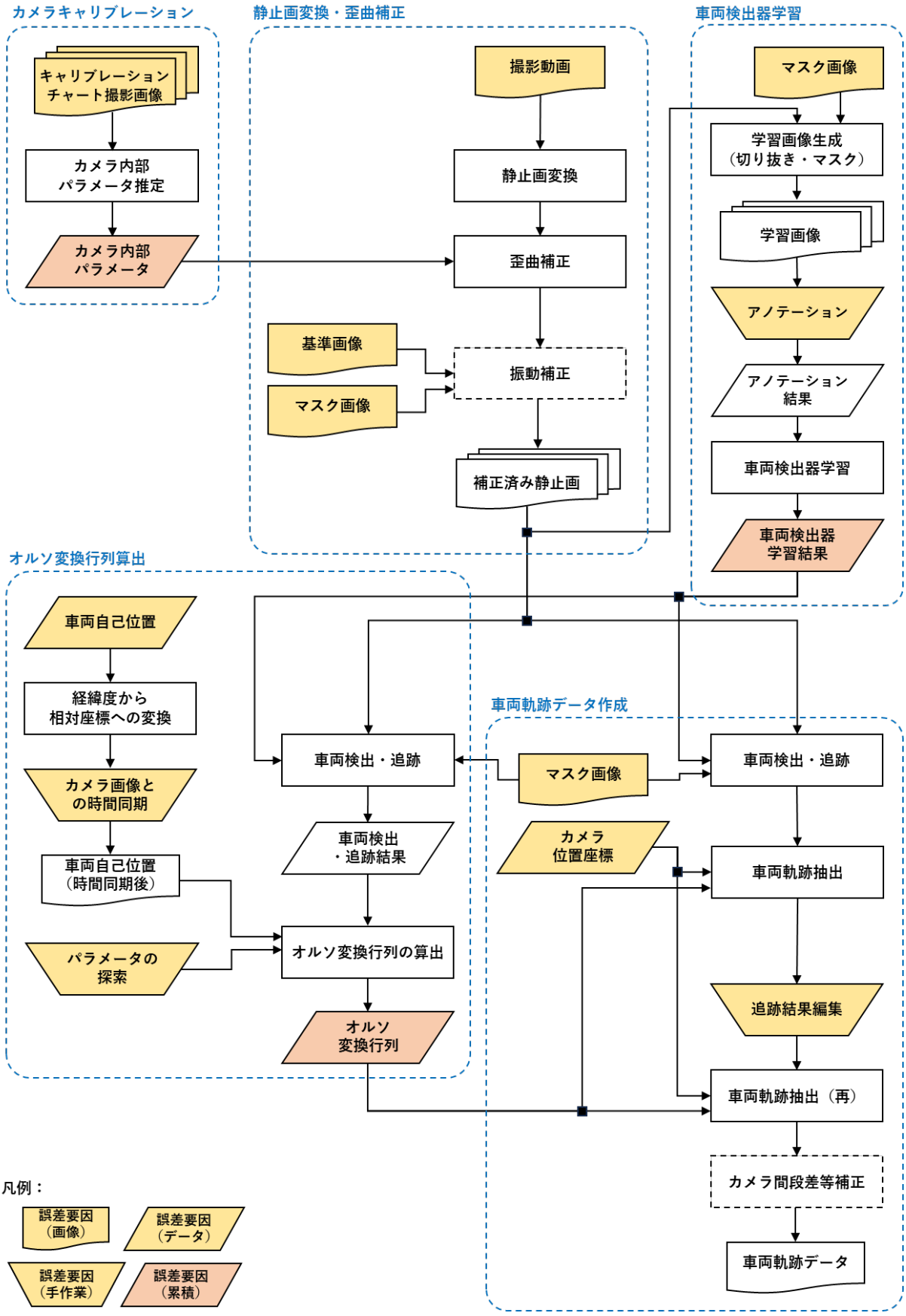


図 3.4.2.5-1　全体データフロー

（2） 精度検証

精度検証は、シナリオ分析済みの 8 地点（八王子、八王子 2 回目、池袋下り、池袋上り、渋谷、町田上り分岐、町田上り合流、日ノ出）で実施を行ったうち、渋谷の精度検証結果を以下に示す。計測精度評価は、計測車両がランプ路および本線の走行車線と追越車線を走行する 3 シーンに対して実施した。　図 3.4.2.5-2 に本計測における結果をプロットする基準となる相対座標の軸設定を示す。原点 0 は（35° 39'29.7985"N、139° 42'26.181"E）に設定した。X 軸は緯線と並行に設定し北方向を正とする。Y 軸は経線と並行にし、西方向を正としたものの各シーンの計測誤差の標準偏差を表 3.4.2.5-1 にまとめて示す。

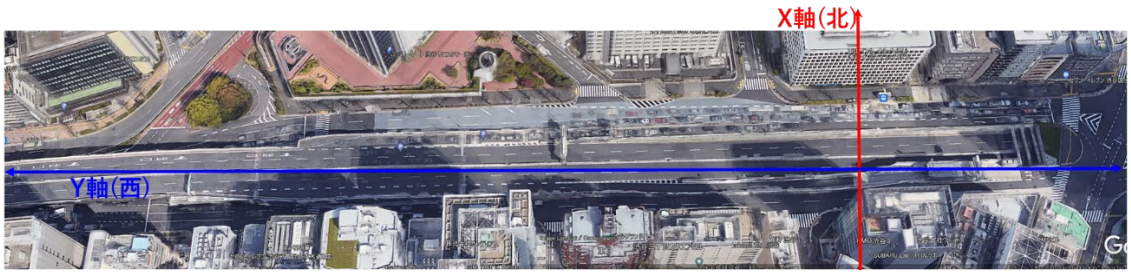


図 3.4.2.5-2　原点・XY 軸の設定について

表 3.4.2.5-1　計測精度評価結果

シーン	走行レーン	誤差の標準偏差 σ（m）	
		車両進行方向	横方向
S01*	ランプ路	0.1860	0.0370
S02	走行車線	0.1472	0.0287
S03	追越車線	0.1451	0.0356

*真値取得の関係で Y=260m までが評価範囲（他は Y=280m まで）

3.4.2.6　まとめ

本年度は SAKURA 処理システムで生成した解析データの生成過程を詳細に分解してどのようなセンサ機器、データ又はアルゴリズムを使用して生成したのかが追跡できるようになった。その結果、シナリオ作成に用いた SAKURA 軌跡データがどのような精度のものによって生成されたのかが分かるようになった。

図 3.4.2.6-1 のとおり生成過程を追跡できるようになったことで SAKURA 軌跡データから計測システムまで遡ることができるために、使用したセンサ機器の種類やアルゴリズムなどの仕様を、データを活用するユーザーが知ることができる。そして SAKURA プロジェクトで使用しているデータの信頼性が可視化されることで、シナリオの説明性を担保できるようなシナリオデータベースの構築に貢献できるようになった。

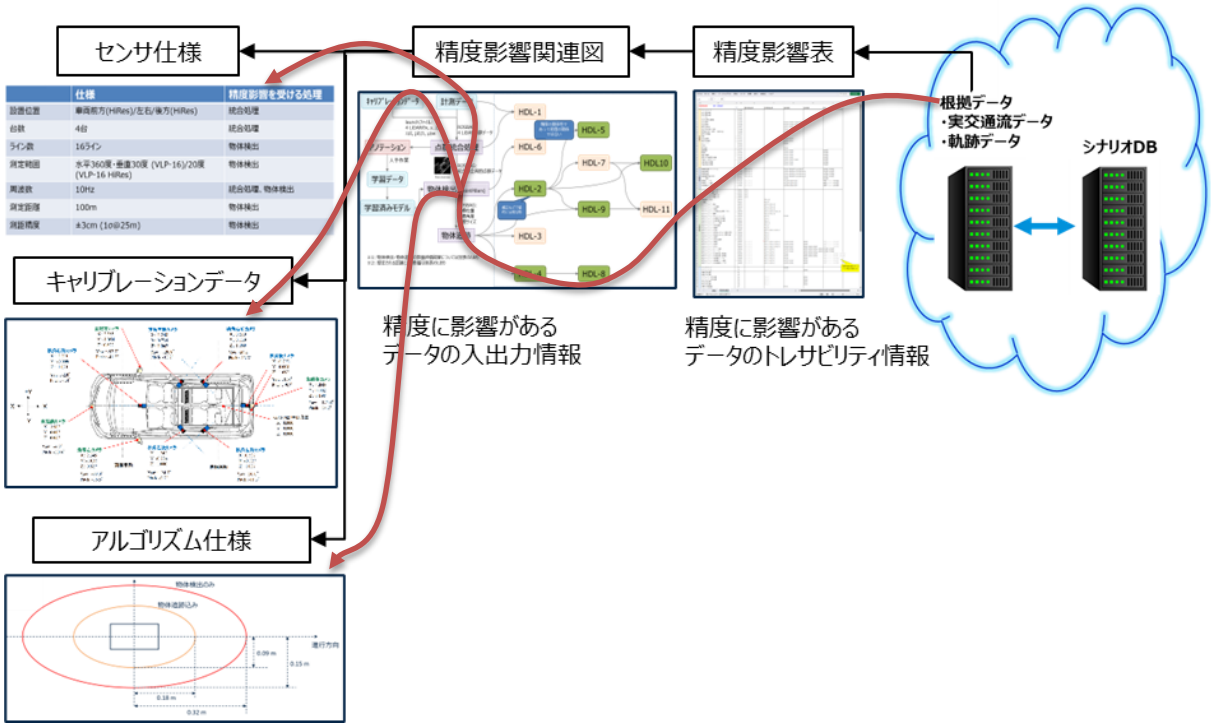


図 3.4.2.6-1 SAKURA 軌跡データの追跡例

参考文献

[1] A. H. Lang, S. Vora, H. Caesar, L. Zhou, J. Yang, and O. Beijbom, “PointPillars: Fast encoders for object detection from point clouds,” arXiv:1812.05784, 2018.

[2] Velodyne Puck (VLP-16) Datasheet, http://www.mapix.com/wp-content/uploads/2018/07/63-9229_Rev-H_Puck-_Datasheet_Web-1.pdf (Online; Accessed 2024/02/29).

[3] VLP-16 Hi-Res Datasheet, http://www.mapix.com/wp-content/uploads/2018/07/63-9318_Rev-E_Puck-Hi-Res_Datasheet_Web.pdf (Online; Accessed 2024/02/29).

[4] 経済産業省, “平成 31 年度「高度な自動走行システム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」成果報告書,” 2020.

[5] C.M. Bishop, “Pattern Recognition and Machine Learning,” Springer, 2006.

[6] G. Welch and G. Bishop, An introduction to the Kalman filter, University of North Carolina at Chapel Hill, 1995.

[7] W. K. Pratt, Digital Image Processing, John Wiley & Sons, 2007.

[8] S.J. Orfanidis, Introduction to Signal Processing, Prentice Hall, 1996.

[9] Liu, L., Chen, X., Zhu, S., & Tan, P. (2021). Condlanenet: a top-to-down lane detection framework based on conditional convolution. In Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (pp. 3773-3782).

[10] IDS Imaging Development Systems GmbH UI-3060CP-C-HQ Rev.2 (AB00605)仕様センサ
https://jp.ids-imaging.com/IDS/datasheet_pdf.php?sku=AB00605 （2024 年 3 月現在）

[11] FRAMOS Sony Pregius IMX174LQJ-C
https://www.framos.com/en/products/imx174lqj-c-16222 （2024 年 3 月現在）

[12] 経済産業省　平成 31 年度 高度な自動走行システム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
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2019FY/000329.pdf　（2024 年 3 月現在）
[13] Tomatosliu, T., Li, C. C., Zhou, K. K., & Wang, K. (2020). Tusimple-benchmark.
https://github.com/TuSimple/tusimple-benchmark.
[14] NumPy - Home - About Us
https://numpy.org/about/　（2024 年 3 月現在）
[15] Pan, X., Shi, J., Luo, P., Wang, X., & Tang, X. (2018, April). Spatial as deep: Spatial cnn for traffic scene understanding. In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence (Vol. 32, No. 1).
[16] Liu, B., Feng, L., Zhao, Q., Li, G., & Chen, Y. (2023). Improving the Accuracy of Lane Detection by Enhancing the Long-Range Dependence. Electronics, 12(11), 2518.
[17] Y. LeCun and Y. Bengio.“Convolutional networks for images, speech, and time-series”, The Handbook of Brain Theory and Neural Networks. MIT Press,1995.
https://www.researchgate.net/publication/216792820_Convolutional_Networks_for_Images_Speech_and_Time-Series　（2024 年 3 月現在）
[18] 一般財団法人日本自動車研究所 平成 31 年度 高度な自動走行システム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 p.III-27 2020.
[19] 一般財団法人日本自動車研究所 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　p .III-23 2021.
[20] 一般財団法人日本自動車研究所 平成 31 年度 高度な自動走行システム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　p.III-31 2020.
[21] 一般財団法人日本自動車研究所 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 p. III-25 2021.
[22] 一般財団法人日本自動車研究所 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　p.III-19 2021.
[23] VBOX JAPAN VBOX_VBOX [オンライン]. Available: https://www.vboxjapan.co.jp/VBOX/VBOX.html. [アクセス日: 28 2 2024].
[24] 一般財団法人日本自動車研究所 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　p .III-12 2021.

3.4.3　効率的かつ継続的なシナリオ導出の仕組み検討

3.4.3.1　目的

シナリオ ＤＢに実装される安全性評価シナリオには、自動運転の機能進化への対応と自動運転の普及に伴う交通環境の変化に対応して、合理的に予見可能な範囲を効率的かつ継続的に更新することが求められる。これまで、シナリオ導出処理プロセスの実行および処理実行結果となるシナリオ～エビデンスデータ～品質情報までの一連の過程を追跡・管理できる仕組みを構築してきた。しかしながら、現状の仕組みではデータを収集してからシナリオ ＤＢ に反映するのに処理時間、運用コストに課題があることから、効率的かつ継続的なシナリオ更新ができる仕組みを検討する必要がある。本事業では、計測車両、定点観測によるデータ収集・分析手法それぞれについて検討する

3.4.3.2　計測車両

（1）　概要

図 3.4.3.2-1 は、計測車両のデータ処理の全体像を表す。各々の処理、データおよびデータベースの詳細については「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）[1]」を参照されたい。図の通り、計測車両のデータは、複数処理が各々の実行環境と結びついており、シナリオ抽出に至るまでには、複数のオペレータによる実行を経るため、処理時間および運用コストに課題がある。そこで、計測車両の処理プロセスを統一の環境上に集約することで効率的かつ継続的なシナリオ更新ができる仕組みを検討する。

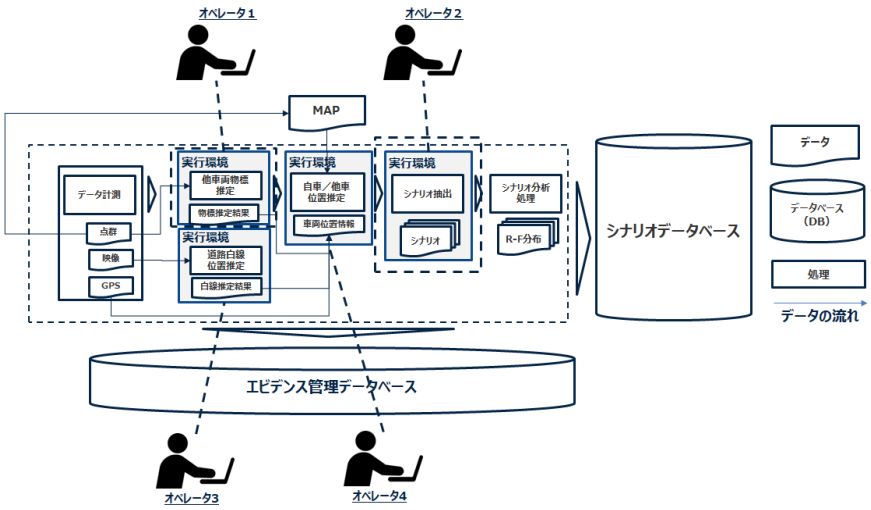


図 3.4.3.2-1　計測車両におけるデータ処理全体像

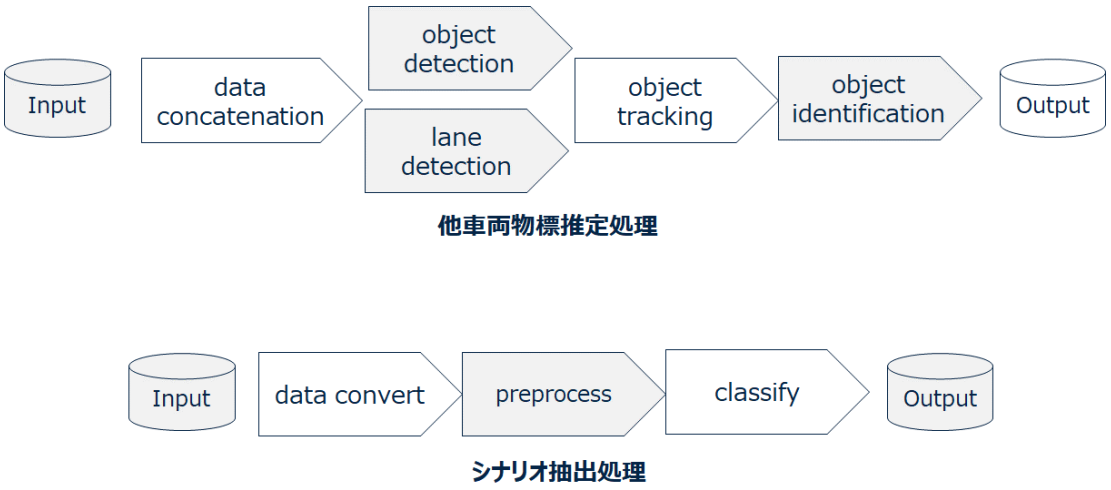


図 3.4.3.2-2　各処理でのプロセス詳細

さらに、個別の処理においても種々のプロセス実行が必要となっている。図 3.4.3.2-2 は、図 3.4.3.2-1 にて点線枠でフォーカスしている他車両物標推定処理とシナリオ抽出処理の内部プロセスについて示した図である。各プロセスの詳細については「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）[1]」を参照されたい。両処理において、複数のプロセスの駆動が必要であり、現状各プロセスを個別に駆動させ、手作業で作業を進めている。したがって、効率的かつ継続的なシナリオ導出を行うためには、各処理内でのプロセス自動化も必要であること。よって本事業おいて、各処理でのプロセス自動化および各処理が一気通貫で実行される統一環境（以下、「統合環境」という）の検討を実施する。なお、効率的かつ継続的なシナリオ導出のための統合環境の対象範囲としては、図 3.4.3.2-1 で表す他車両物標推定処理、道路白線推定処理、自車／他車位置推定処理、シナリオ抽出処理である。これらは、前段のデータ計測の結果を受け、パラメータ調整が必要であるが、ほぼ定型化されている処理のため、統合可能と考えている。一方、シナリオ分析については、除外とした。これは、一例として、交通流環境および道路環境を状況変化に応じて、継続的なシナリオ更新を実施する際に、その分析手法の再検討・調整が必要と考えられ、定型化が難しい部分であるためである。

（2）　効率的かつ継続的なシナリオ導出ための統合環境の要件

図 3.4.3.2-3 は、効率的かつ継続的なシナリオ導出のための統合環境の概略図を表している。図に示すように各処理を同一環境に配置し、各処理の実行状態を制御するコントローラを配置する仕様とした。コントローラ経由で、オペレータが操作を行うことで個別の処理をユーザ自身が操作することなく、実行することが可能となる。そのため、計測車両のデータがそろった時点でオペレーションを実行することで、シナリオ抽出結果を得ることが可能となる。図 3.4.3.2-4 は、図 3.4.3.2-3 の統合環境のソフトウェア構成図を表している。ホストサーバ上にあるミドルウェアがコントローラの役目を負い、適切な入出力を定義し、各プロセスの実行状況を監視することを行う。さらに、ミドルウェア上には、実行

環境条件を吸収する、コンテナ管理基盤が存在しており、環境依存の条件を管理する機能を有する。このような構成により、一気通貫のプロセス実行を可能とし、オペレーションの負荷を軽減させることを想定している。

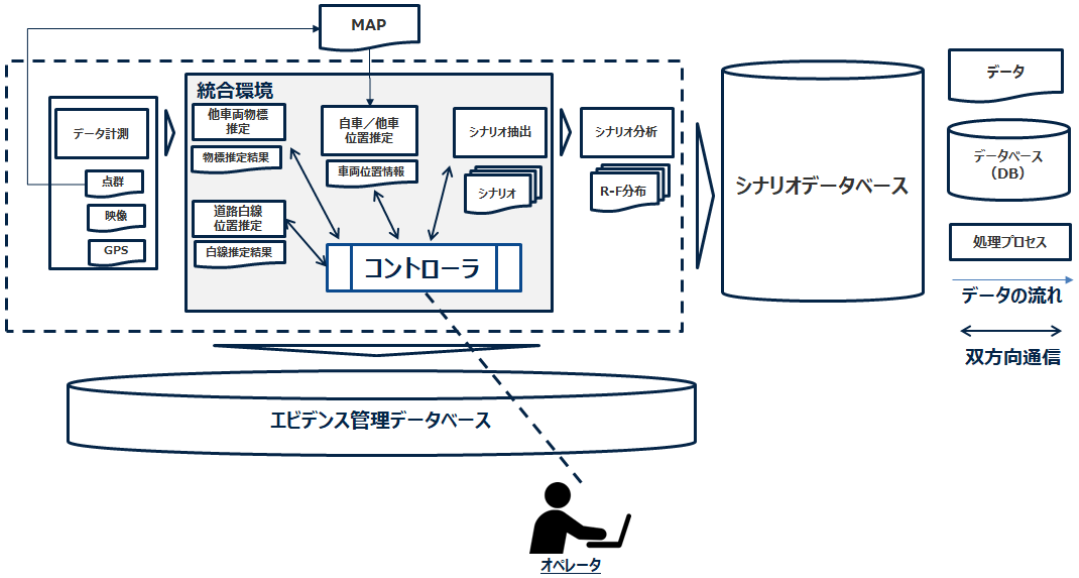


図 3.4.3.2-3 効率的かつ継続的なシナリオ導出のための統合環境

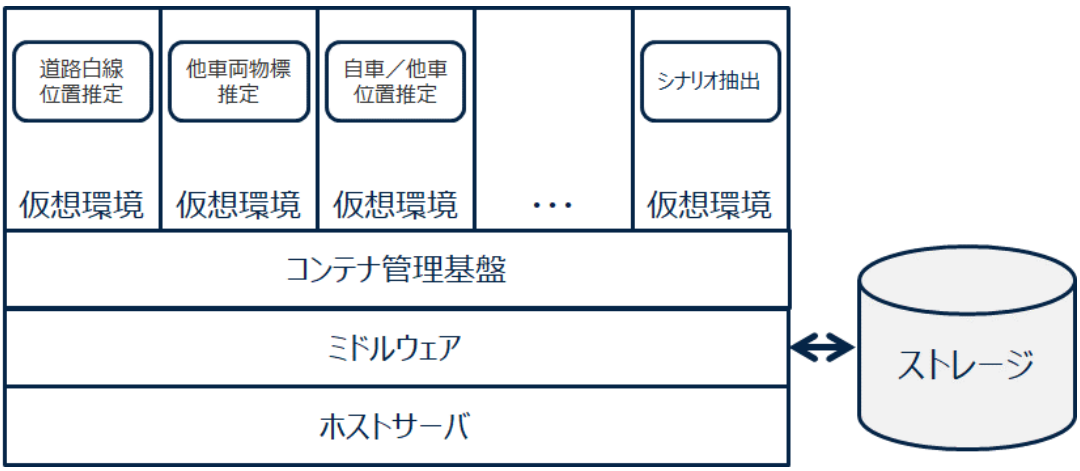


図 3.4.3.2-4 ソフトウェア構成図

（3） 効率的かつ継続的なシナリオ導出のための統合環境のシステム仕様

継続的なシナリオ導出を行う上で、システムの運用コストと耐障害への頑健性を確保することは重要である。すなわち、交通流環境や道路環境等の変化に応じたシナリオ導出を行うために、必要となるデータサイズに応じてシステムのスケールアップ／ダウンができること、さらに障害発生時に備えてバックアップ可能であることが必要となる。以上を鑑み、システム全体が冗長化され、耐障害を有しているクラウドを統合環境の実行環境として活用することに定めた。同時にクラウドを選択することで、プライベートな環境が構築できることによるセキュリティ確保、および統合環境の稼働／不稼働を迅速に切り替える即応性を兼ね備えたものとなる。

（4） 効率的かつ継続的なシナリオ導出のための統合環境の設計・実装

本年度については、他車両物標推定処理およびシナリオ抽出処理について、上記（2）要件および（3）仕様に基づき、設計・実装を行った。以下で、詳細を説明する。

a） 設計指針

シナリオ抽出処理および他車両物標推定処理は、コンピュータ上で動作するソフトウェアプログラムであり、図 3.4.3.2-2 のようなプロセスによって構成されている。これらプロセスは、それぞれが単独で実行可能なプログラムであり、従来の運用では担当者が各処理に対し、パラメータの設定、プログラムの起動を手動で実施していた。人手による作業の場合、プロセス間の実施タイミングに待ち時間が発生する、プロセスを実行するオペレータが常に状況を確認している必要があるといった効率面での課題があった。更に１つデータに対してオペレーションが発生するため、より多くのデータを継続的に処理しようとすると、データ量に応じて人手が必要になるという構造であった。

上記の課題を解決するための手段として、以下 2 つのコンセプトを掲げプロセスの改善を試みた。

1. 自動化

各処理の起動作業を 1 回のみ（現在はタスクごとに実施のため複数回必要）とし、その後結果が出力されるまではシステムがすべて自動で処理し、人手が介在しない仕組みにする。

2. 並列処理

多くのデータを処理するには現在の 1 プロセスのみで実行する仕組みでは限界がある。またサーバのリソースを使い切ることができず、リソースの無駄も発生している。より多くのデータを短期で処理するために、複数タスクを並列で実行する機構を開発し、リソースの効率化、時間当たりの処理数増加を図る。

1.自動化については、プロセスの起動管理をする機能を開発することとした。具体的には、初期プロセスの実行のみ人手で実行し、それ以降のプロセスは「起動管理の仕組み」が監視し、次プロセスの実行を自動的に実施するものである。これにより続くプロセスの起動処理、前プロセスの実行待ちを機械的に実行することが可能であり、作業効率の向上に寄与できると考えた。

2.並列処理については、1 台のサーバ上に複数のプロセスを稼働させ、複数運行番号を同時に処理できる仕組みを開発した。現行では 1 プロセスでサーバのリソース（CPU、メモリ）を使い切るほどの処理を実行しておらず、余剰のリソースがある。そこでプロセスを複数並列稼働する仕組みを開発し、リソースを余らせることなくプロセスに割り当て、処理させることで時間当たりの処理数を増やし、作業効率の向上を目指した。但し、プロ

セスの性質により、計算負荷の高いプロセス、一例としては他車両物標推定処理の object detection や object identification は計算負荷の高いプロセスであるため、並列度については個別の方針の元、設計している。

b)　実装

従来のプロセス実行フローを図 3.4.3.2-5 に、a）に記載の「1.自動化」に対応したプロセス実行フローを図 3.4.3.2-6 に示す。

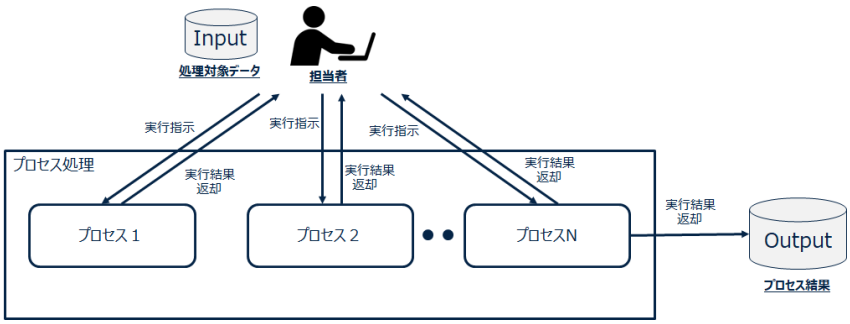


図 3.4.3.2-5 従来のプロセス実行フロー

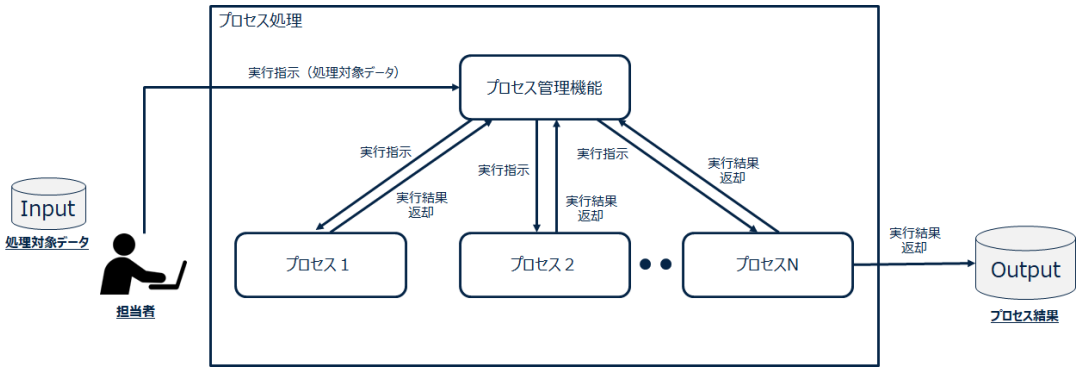


図 3.4.3.2-6 自動化を考慮したプロセス実行フロー

図 3.4.3.2-5、図 3.4.3.2-6 において矢印が処理の実施、結果の出力を表しているが、両図の担当者に注目すると担当者と接続している矢印が図 3.4.3.2-6 の方が少ない。これは担当者が実施する作業の数が少ないことを表している。

図 3.4.3.2-6 の改善後のフローでは、これまで担当者が実施していた各プロセスへの実行指示を「プロセス管理機能」が代替しており、これにより担当者は「所定のデータ処理を実施する」という指示だけを出せばよくなった。またプロセスごとに実行コマンド（実行指示）の形式が異なっているため、担当者は複数の実行コマンドを使い分ける必要があったが、1 つの実行コマンドだけ理解すればよい構造になるよう設計した。

「プロセス管理機能」に必要な要素は以下 3 点である。

1. 各プロセスの実行順序の把握

プロセス管理機能は、管理対象となっているプロセスが何かを把握しており、プロセス間の実行順序を把握している。

2. 各プロセスの実行パラメータと値の取得元情報の把握

プロセス管理機能は、各プロセスを実行するときに必要なパラメータ値と、実行時に設定する値の取得元を把握している

3. 各プロセスの実行機構

プロセス管理機能は、各プロセスの起動方法を把握している。そのため実行するプロセスが特定できれば適切な実行パラメータを取得／設定し、プロセスを実行する。

上記要素は、これまで担当者が確認／判断／実行することで実現していたものであるが、これらをルールとして定め、プログラミングすることで操作の再現とシステム化を実現した。また、今後のアップグレードにより追加プロセスが発生した場合（例えば、品質検査プロセスの追加)、プロセス管理機能の各要素を定め、機能をアップグレードすることにより担当者の作業量を増やすことなく処理できるよう設計した。

次に a）に記載の「2.並列処理」に対応した動作原理を図 3.4.3.2-7 に示す。

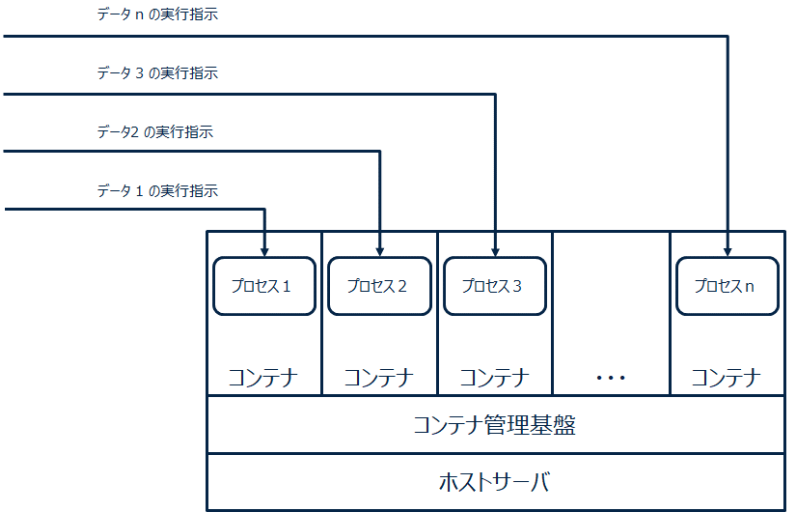


図 3.4.3.2-7 並列処理を考慮したプロセス処理の動作原理

サーバリソースを効率的に利用する並列処理を実現するために、コンテナ技術を用いた基盤を採用し、コンテナ上に各プロセスのプログラムを配置、独立して稼働する環境を構築した。コンテナ技術を用いて、各プロセスが実行に必要な単位にコンテナを作成し、ホストサーバのリソースで稼働できる分だけコンテナを並列に稼働する構造にした。これにより 1 台のホストサーバで複数件の前プロセスからの実行指示を同時に処理することができるようになり、単位時間当たりの処理数が向上、作業の効率に繋がった。

また、実行指示を出すプロセス、受けるプロセスがそれぞれ複数になったことで、どのプロセスを処理しているかを管理する必要があるが、実行プロセスの管理は図 3.4.3.2-6 の「プロセス管理機能」にて制御できるよう設計した。

c)　システム構成

構築したシステム構成を図 3.4.3.2-8 に、各構成要素の内容を表 3.4.3.2-1 に示す。

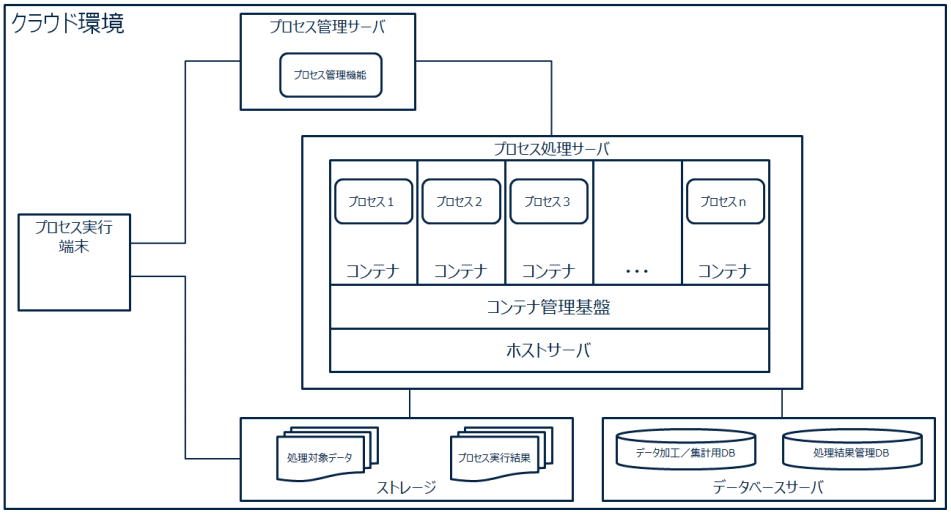


図 3.4.3.2-8 システム構成

表 3.4.3.2-1 システム構成要素の説明

No.	構成要素	説明
1	プロセス実行端末	プロセス処理を実行指示する端末
2	プロセス管理サーバ	プロセスの実行状況を管理するプロセス管理機能が稼働するサーバ
3	プロセス処理サーバ	プロセス処理を実行するサーバ
4	ストレージ	プロセスの処理対象データ、プロセス結果を保存するためのストレージ
5	データベースサーバ	プロセス処理で出力される中間データや、処理の結果を記録するためのデータベースサーバ

（5） まとめ

効率的かつ継続的なシナリオ導出のための統合環境について、検討を行った。統合環境の要件と仕様に基づき、他車両物標推定処理およびシナリオ抽出処理の統合環境への組み込みを実施した。

3.4.3.3 定点観測

（1） 概要

計測車両と定点観測の処理プロセスを将来的に「統合環境上」に集約して、効率的かつ継続的なシナリオ更新ができることを想定する。しかし、計測車両と定点観測の処理プロセスは、本質的な各特徴や個別事情により異なっており、効率面の課題（時間短縮、コスト低減）や継続面の課題（難易度の低減、障害の排除や緩和）が各々ある。

本目では、将来的な処理プロセスの統合運用も視野に入れて、定点観測による軌跡抽出までの詳細プロセス整理（作業手順書・ツール仕様書の整備）、および、運用時における課題整理を実施したので基礎検討としてまとめる。

（2） 定点カメラ観測による軌跡抽出までのプロセス整理

a） 定点観測の処理フロー

定点観測による高精度な実交通流の軌跡抽出を行うため、本事業では撮影から軌跡抽出に至るプロセスを構築してきた。本事業で構築したプロセスの処理フローを図 3.4.3.3-1 に示す。本処理フローは、工程①（仮想空間事前検討）、工程②（定点撮影、道路測量）、工程③（画像変換・物体検出追尾）、工程④（軌跡抽出）、工程⑤（編集・品質検査））の各工程から構成される。

b）　作業手順書・ツール仕様書の作成

定点観測による実交通流の軌跡データ収集を効率化・継続化するための課題を明確にすることを目的として、各工程①②③④⑤毎に、作業手順書とツール仕様書を新たに作成して整理を行った。ここでは、工程③（画像変換・物体検出追尾）を例にサンプルを示す。工程③の内部処理フローを図 3.4.3.3-2 に示す。図示した内部処理の詳細を作業手順書としてまとめた。図 3.4.3.3-3 に作業手順書の回転枠検出に関する一部を示す。図 3.4.3.3-4 にツール仕様書の回転枠検出実行ツールに関する一部を示す。



図 3.4.3.3-1　定点観測の処理フロー

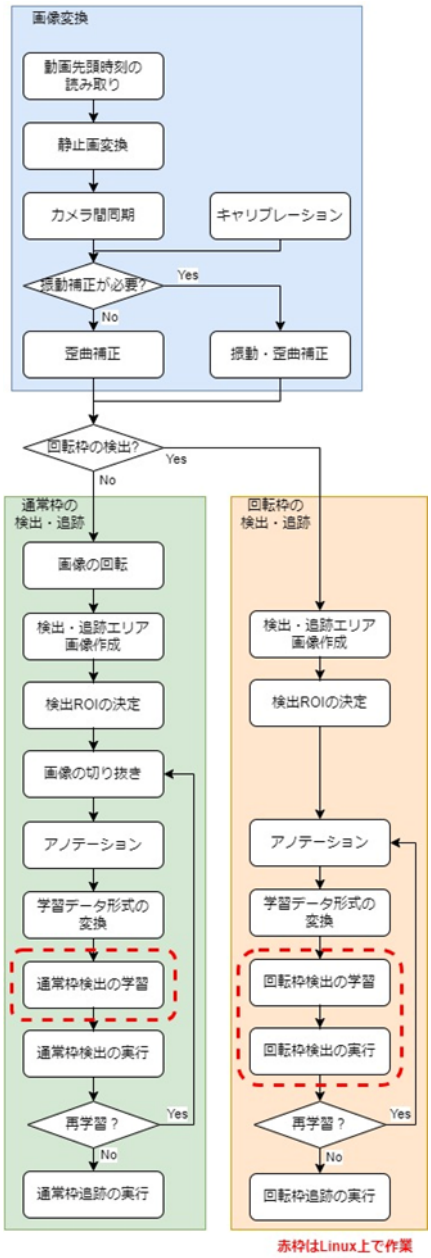


図 3.4.3.3-2　作業手順書サンプル／内部処理フロー
工程③（画像変換・物体検出追尾）

c)　回転枠検出

特に一般道における車両検出では、 車両の位置・形状を正確に把握するため、回転枠検出を行っている。回転枠検出エンジンは通常枠検出と同様、大画面を一度に処理することができない。そのため下記の構成を採っている。

・画像内に複数の ROI（Region of Interest; 着目領域）を設定する。
・これらの ROI を 1024×1024 画素に拡大または縮小して検出処理を行う。
・各 ROI の検出結果を検出枠の位置情報に基づいて統合する。

図 3.4.3.3-3 は一般道（神保町）での回転枠検出例を示している。通常枠による車両検出と同様、道路部分を覆うように ROI（黄色枠）を設定している。また、誤検出を抑制するために検出エリアの設定も可能であり、学習データについては各 ROI の画像と検出枠情報（中心位置・幅・高さ・回転角度・車種）を用意する必要がある。

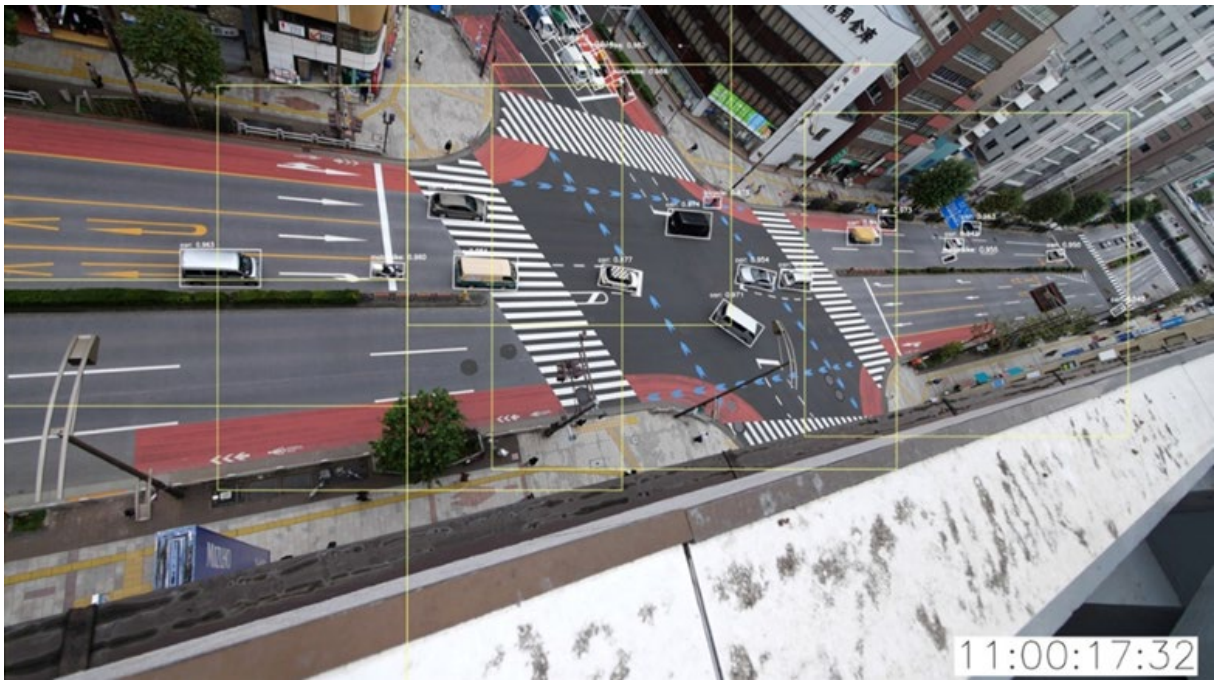


図 3.4.3.3-3　作業手順書サンプル／回転枠検出
工程③（画像変換・物体検出追尾）

項目	内容
名称	merge_s2anet_multiROIs.py
主要パラメータ	• 出力結果（画像・CSV ファイル）の保存先パス • 開始・終了フレーム • 入力画像の幅・高さ • 検出 ROI の座標値 • 検出信頼度の閾値
前提条件	• Linux の仮想環境上で実行環境を構築していること • Python で本ツールを実行すること
入力ファイル	• ツールパラメータ • 入力画像 • 検出エリア画像 • 学習結果
出力ファイル	• 回転枠検出の結果画像 • 回転枠検出の結果 CSV ファイル
機能概要	• 入力画像から車両を回転枠で検出する

図 3.4.3.3-4　ツール仕様書サンプル／回転枠検出実行ツール
工程③（画像変換・物体検出追尾）

（3）　効率的かつ継続的なシナリオ更新への課題整理

a）　課題整理 1（定点カメラ観測_工程①②）

工程①（撮影地選定、仮想空間事前検討）つまり撮影計画と、工程②（定点撮影、道路測量）つまり撮影実施において、効率面の課題（時間短縮、コスト低減）や継続面の課題（難易度の低減、障害の排除や緩和）を表 3.4.3.3-1 に整理した。なお、工程①②の課題は、統合環境とは直接には関係しない。

表 3.4.3.3-1　定点カメラ観測 工程①②の課題整理

プロセス	課題
工程① （撮影地選定・仮想空間事前検討）	①-A.ビルやインフラ所有者とのカメラ設置交渉（継続性の改善） ①-B.仮想環境構築にかかる費用・作業の効率化（効率性の改善
工程② （定点撮影・道路測量）	②-A.有人撮影と無人撮影の適切な選択（効率性・継続性の改善 ②-B.複数種の道路構造をまとめた定点撮影（効率性の改善）

課題①-A（ビルやインフラ所有者とのカメラ設置交渉）

ビル屋上や道路インフラなどに定点カメラを設置する場合、それらの所有者との設置交渉が必要である。この交渉は難易度が高く定点観測を実施する上で最初の大きなハードルとなる。経験上、公益目的であること、所有者にも何かしらの還元があることが重要である。本事業では、自動車業界に係る企業が所有するビル屋上を借用した事例（5 件）、自動車業界に無関係な企業が所有するビル屋上を借用した事例（2 件）、他は公道（橋梁上など）での撮影であった。

本事業では、道路インフラ（照明柱、信号機柱など）へカメラを設置することは無かったが、カメラ設置の承諾を得るには、道路インフラの所有者や管理者（国交省・警察・道路管理会社など）との交渉が必要であり、公益性や公共性が強く求められる。また、定点観測で得られた実交通流データが自動運転の安全性評価に使われて（合理的に予見可能な範囲の特定化など）、自動運転の早期社会実装を後押しすることで、死亡事故低減や渋滞解消など社会に大きく貢献して、定点観測によるデータ収集に協力頂ける社会土壌を醸成する必要がある。

課題①-B（仮想環境構築にかかる費用・作業の効率化）

本事業では、仮想環境構築には、ソフトウェアのライセンス取得と 3D 都市モデル地図の購入が必要であった。これらの費用は年々高騰しており、支出削減案として工程毎に実施年度を分けることが考えられる。具体的には、複数箇所の撮影をまとめて実施し、工程①、②を実施する年度と工程③以降を実施する年度を分けることで（図 3.4.3.3-5 参照）、共通部分の作業効率化や年度ごとに発生する費用の削減が可能となる。但し、複数個所の工程⑤のアウトプットがまとめて後工程（シナリオ抽出とシナリオ分析）に渡ることになるので、後工程への影響も確認する必要がある。

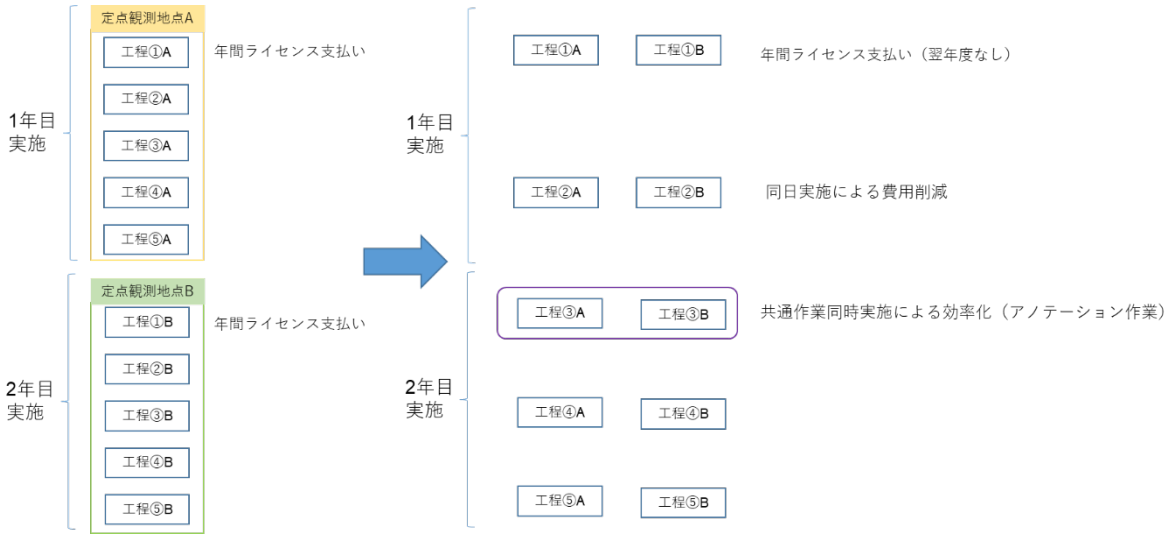


図 3.4.3.3-5　工程費用／作業の効率化例

課題②-A（有人撮影と無人撮影の適切な選択）

有人撮影（カメラ三脚設置、昼 8h 程度の撮影）は、データ収集の効率性は悪いがカメラ設置場所借用交渉の難易度は下がる。無人撮影（カメラ治具設置、昼夜 1week 程度の連続撮影）は、データ収集の効率性は良いがカメラ設置場所借用交渉の難易度は上がる。ビル所有者などとカメラ設置交渉を行う上で、選択肢を複数有することは重要である。

課題②-B（複数種の道路構造をまとめた定点撮影）

AD 安全論証に必要な道路構造が複数種あってそれらが隣接する場合、それらをまとめて定点観測することでコスト低減が期待できる。例えば、本事業では、必要条件を満たす合流路と分岐路が対向車線に隣接している場合は、両方がカメラ画角に収まるように画角設定を行いまとめて定点撮影を実施した。更に、道路測量もまとめて実施することで更なるコスト低減も期待できる。

b）課題整理 2（定点カメラ観測_工程③④⑤）

工程③のデータ処理（画像変換・物体検出追尾）、工程④のデータ処理（軌跡抽出）、工程⑤のデータ処理（編集・品質検査）において、効率面の課題（時間短縮、コスト低減）や継続面の課題（難易度の低減、障害の排除や緩和）を抽出して表 3.4.3.3-2 に整理した。なお、工程③④⑤の課題は、統合環境と直接に関係する。

表 3.4.3.3-2　定点カメラ観測 工程③④⑤の課題整理

プロセス	課題
工程③ （画像変換・物体検出追尾）	③-A.機械学習用アノテーション作業の複数地点まとめ実施（効率性の改善） ③-B.ストレージの高速化による処理時間短縮（効率性の改善） ③-C.歪特性既知の同一カメラ利用でキャリブレーション省略（効率性の改善） ③-D. オペレーティングシステム環境の混在対応（効率性の改善）
工程④ （軌跡抽出）	④-A.道路測量の複数地点まとめ実施による波及効果（効率性の改善）
工程⑤ （編集・品質検査）	⑤-A.撮影画質の向上、最新の物体検出追尾技術導入による編集作業の削減（効率性の改善）

課題③-A（機械学習用アノテーション作業の複数地点まとめ実施）

物体検出の精度を向上させるためには、撮影地点ごとの環境要因に注目する必要がある。車両のサイズ差、看板や路面ペイントの影響、そして環境光の画質への影響などがそれに含まれる。これらの要因を考慮して機械学習を行うためには、適切なデータ収集とそ

れに伴うアノテーション（正解付け）作業が不可欠である。本作業は撮影地点を増やすと一定工数が必要なため、1 地点毎単独で実施せず、複数地点のアノテーション作業をまとめて行う等で効率化が図られる。

課題③-B（ストレージの高速化による処理時間短縮）

本事業では、例えば、工程②で取得した動画から 15 時間の軌跡データを 4 カ月後に納品するために、複数台の PC による並列処理でデータを作成しており、現時点で 12TB の HDD を 8 台と高性能な PC を 6 台必要とした。

HDD の書き込み速度が工程の進捗のボトルネックとなっていることから、3 倍以上高速に書き込みができる SSD への置き換えによって全体の処理時間短縮が図られる。ただし、SSD の容量が限られているために、例えば、確認用映像を 4K から Full HD 解像度に変更して保存容量を削減するなど、データの必要性と処理全体のフローの見直しによる処理時間の最小化を検討する必要がある。ストレージの置き換えによって、本工程にかかる期間の半減が期待できる。

課題③-C（歪特性既知の同一カメラ利用でキャリブレーション省略 ）

キャリブレーション作業（歪曲補正に必要なカメラの内部パラメータと歪み係数の算出）を過去に同ツールを使って実施済みである同一個体カメラを、今回の定点カメラ撮影に利用した場合、キャリブレーション作業は省略可能である。その場合、過去に実施したキャリブレーション出力結果を使って歪曲補正のみ実施する。

課題③-D（Linux 環境と Windows 環境の混在対応）

現状、Linux 環境（通常枠検出の学習、回転枠検出の学習と実行のみが該当）と Windows 環境（他すべて）が混在している。混在解消が効率化に繋がると期待する。

課題④-A（道路測量の複数地点まとめ実施による波及効果）

MMS 車両による測量は高額であり、費用の大部分は 1 日の車両利用料にかかるため、複数地点の撮影を同日に実施することでコスト削減が図られる。

特徴的な路面ペイントの点群取得や映像との同期などは、高い精度が求められ、実施には経験と熟練が必要である。複数地点を同時に対応することで、作業の標準化とツールの使いこなし向上が期待でき、作業効率向上による工数の削減が期待できる。従って、この工程作業も複数地点同時に実施することで、工数の削減が期待できる。

課題⑤-A（撮影画質の向上、最新の物体検出追尾技術導入による編集作業の削減）

各種ビューアツールを使ったオペレータ作業（映像と検出枠の比較確認や補間修復など）には多くの時間がかかる。工程①②において、40m 以上の高所から撮影を実施し、適切な大きさで車両が映る場所を選定し、適切な機材を利用して鮮明な画像を撮影することが重要である。

また、車両追跡技術の更なる進化により、隠蔽シーンに対応できる堅牢なモデルが登場する可能性があり、継続的な最新技術の導入が必要である。これらの取り組みにより、作業時間の削減が期待できる。

（4） まとめ

定点観測による軌跡データの収集を、効率的かつ継続的なものとするために、先ずはプロセスを整理し 5 つの工程に分け、それぞれの作業手順書とツール仕様書としてまとめた。その上で、おもに運用面での課題を整理した。継続性を改善するためには、ビル屋上やインフラへカメラ設置するために所有者の多大な協力が必要である。そのためには、公益性・公共性が重要であり、本研究成果の社会貢献による社会受容性の継続的な醸成が必要である。また、効率性（コスト低減・時間短縮）を改善するためには、観測場所の種類と収集量がある程度まとまった実交通流データ収集計画と、運用プロセスの最適化が必要である。おもに運用面での課題をまとめるとともに幾つか具体的な改善提案も行った。

参考文献

[1] 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）

https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2021FY/000334.pdf

（2024 年 3 月現在）

3.5 第 3 章のまとめ

本章では、一般道の安全性評価に向けて、論証体系・手法、合理的に予見可能な範囲の特定手法、回避可能な範囲の特定手法、および導出エビデンス・処理プロセス規定を用いたシナリオ管理について検討した結果を述べた。

3.1 節では JAMA の安全性評価フレームワーク Ver.3.0 の論証構造の分析を実施した。ゴール構造記述法を用いて階層化を行い、当該フレームワークがカバーしている範囲および課題を明確にした。また、対歩行者シナリオ体系、および対四輪車出会い頭パターンのパラメータ範囲の分析結果をまとめた。

3.2 節ではこれまでに検討してきた合理的に予見可能な範囲の特定手法を一般化するため、複数の合流区間における合流挙動の分析、異なる地域で取得されたデータの比較を実施した。

3.3 節では一般道での回避可能な範囲を特定するための手法として、妨害の定量化に関する検討を行った。DS 実験を通して、一般ドライバが自動運転車との出会い頭場面で妨害と感じる基準を定量化した。また、衝突を回避するために必要な減速度を基に、潜在的な衝突リスクを評価する指標を提案した。

3.4 節では、合理的に予見可能な範囲の根拠となる実交通流データの説明性や透明性を保証するため、計測車および定点カメラから計測された生データから、シナリオ DB で公開される統計データまでの処理プロセスの詳細をまとめた。

第 4 章　安全性評価手法の標準化に向けた国際連携・成果発信

本章では、本事業である 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　今後の標準化に向けた国際連携・協調の推進

本節では、AD システムの安全性評価に関する ISO3450X の適用範囲と現況ならびに国際標準化に向けて各国と連携して取り組んでいる内容について述べる。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。

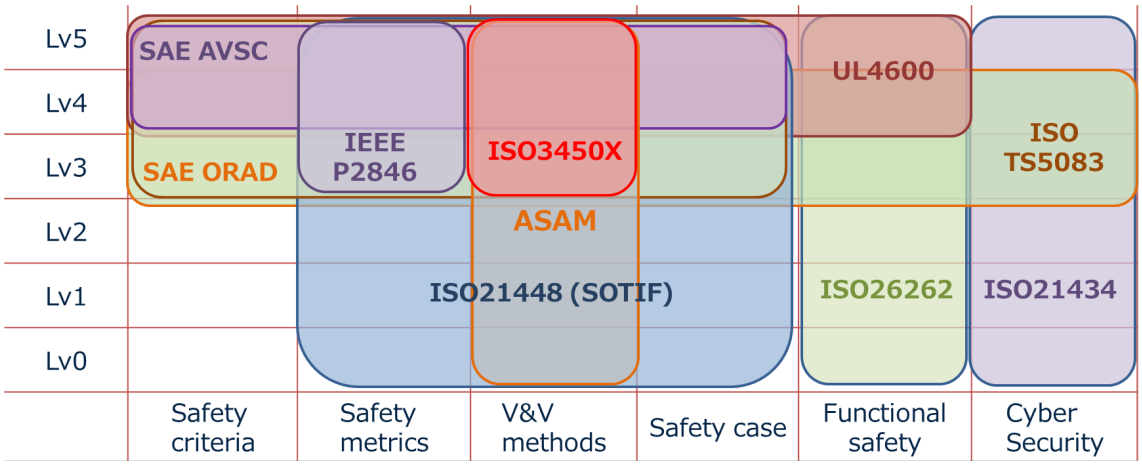


図 4.1-1　AD システムの安全性評価に関連した標準の概要

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（ISO26262）[7]とSOTIF（ISO21448）[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、ISO26262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、ISO21448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 ISO3450X 策定に向けた TC22/SC33/WG9 への参加

ISO/TC22/SC33/WG9 において策定中の ISO3450X 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　ISO3450X 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	IS 発行済	23 年 8 月	UK（日本）
ISO 34504	Scenario attributes and categorization 【シナリオの分類および属性】	試験シナリオの属性とカテゴリ分けの定義	IS 発行済	24 年 2 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	DIS 準備中	25 年 12 月	ドイツ（中国）

ISO34501[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 AD システム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。

ISO34502[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路に適用される。この標準は 2022 年 11 月に発行された。なお、ISO34502 の策定に関する活動は SAKURA プロジェクトの主要な取り組みとして日本の専門家を中心に行われた。

ISO34503[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。AD システム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。2023 年 8 月に発行された。

ISO34504[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。また、本標準の内容は ASAM Open X の技術標準[14]との互換性を実現するために必要なものである。この標準は 2024 年 2 月に発行された。

ISO34505[13]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。レベル 3 以上の AD システムへの適用を想定している。この標準では任意の AD システムが網羅すべきシナリオが定義されたと仮定した場合に、有限個の試験条件を選択する方法、およびその試験前後に確認すべき項目について規定している。CD の段階で ISO34502 との重複が懸念された点については、日本からの提案により修正され、ISO34502 との関係が明記された。具体的には、ISO34502 で定義されたシナリオを入力として試験条件を生成すること、また ISO34505 では試験が正しく実施されたかまでを対象としており（すなわち試験条件で AD システムが安全性基準を合格しているかは問題としない）、出力である試験結果は再度 ISO34502 のフローに戻し安全性を評価することが本文および概要を示すフロー図に明記された。この標準は現在 DIS の準備中であり、2025 年 12 月に発行される予定である。

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/
[2] SAE Automated Vehicle Safety Consortium
https://avsc.sae-itc.org/#about （2024 年 3 月現在）
[3] SAE On-Road Automated Driving (ORAD) committee activities

https://www.sae.org/works/documentHome.do?comtID=TEVAVS （2024 年 3 月現在）
[4] ANSI/UL 4600 Standard for Safety for the Evaluation of Autonomous Products
https://ul.org/UL4600 （2024 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 （2024 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/ （2024 年 3 月現在）
[7] ISO 26262:2018 Road vehicles — Functional safety
https://www.iso.org/standard/68383.html （2024 年 3 月現在）
[8] ISO 21448:2022 Road vehicles — Safety of the intended functionality
https://www.iso.org/standard/77490.html （2024 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 （2024 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 （2024 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 （2024 年 3 月現在）
[12] ISO/DIS 34504 Road vehicles — Scenario attributes and categorization
https://www.iso.org/standard/78953.html （2024 年 3 月現在）
[13] ISO/CD 34505 Road vehicles — Test scenarios for automated driving systems — Scenario evaluation and test case generation
https://www.iso.org/standard/78954.html （2024 年 3 月現在）
[14] ASAM OpenX standards
https://www.asam.net/standards/ （2024 年 3 月現在）

4.1.2 欧米関連研究機関との連携構築

4.1.2.1 SUNRISE（欧州）

SUNRISE[1]は HEADSTART[2]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 2025 年 8 月までの予定で活動が開始されている（図 4.1.2.1-1）。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。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、今後以下の 5 つの点で連携を進めることが提案された。また、2024 年 4 月に開催される中間報告会（Midterm event）にて、国際協調の一環として SAKURA プロジェクトに関する講演およびディスカッションを行うよう招待された。

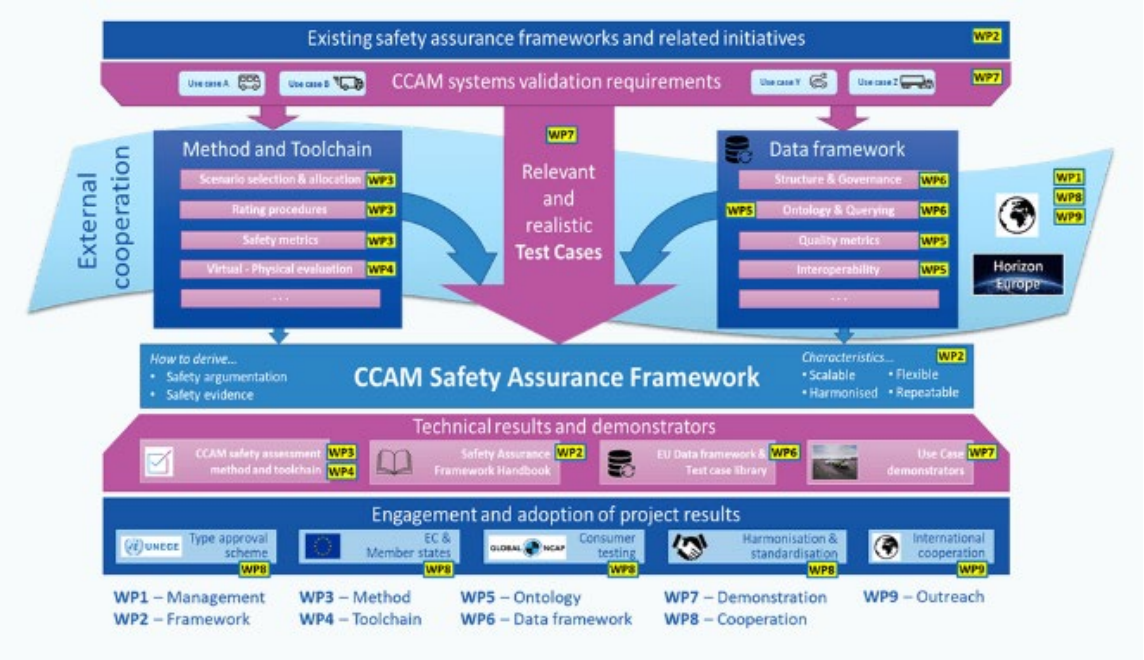


図 4.1.2.1-1　SUNRISE プロジェクトの活動スキーム

SAKURA プロジェクトと関連する SUNRISE の活動について以下に説明する。

（1）　Virtual validation

仮想環境を活用した試験を安全性評価に活用する際の条件などの枠組みを比較する。ただし、SAKURA プロジェクトでは直接仮想環境の開発を行っていないため、モデル仕様などについては踏み込まない。

（2）　Scenario

欧州各国のプロジェクトにおけるシナリオの定義方法・構造について比較を行い、共通点および相違点について整理する。特に、日本では網羅性や説明性を重視したシナリオ体系となっているのに対して、欧州ではユースケースを想定した環境外乱を含めた事例集を中心にシナリオを定義しているため、相互補完の可能性についても検討する。

（3） DB connection

SUNRISE では各国のデータベースを相互接続可能な状態にすること、すなわちユーザーが特定の条件で検索をすると各国のデータベースからそれぞれ該当するシナリオ（事例）のデータが参照できる構造を目標としている。ここに、SAKURA データベースの一部機能が接続される可能性を検討することで合意された。ただし、データベースの接続にあたっては、日本のステークホルダーの要望を優先し、経産省の承認の得られる範囲内で進めることとする。

（4） Glossary

SAKURA および JAMA が発行している日本提案の安全性評価手法に関する用語と、SUNRISE および欧州各国のプロジェクトが発行している文書の用語の定義を確認し、同じ定義でありながら別の用語が使われているもの、異なる定義でありながら同じ用語が使われているものを整理する。また、必要に応じて関連する標準・基準における定義を参照する。

（5） Outreach

これまでと同様に、連携促進のため年 2 回程度の対面会議開催を目指す。会議は、TRB-ARTS、ITS World Congress など国際会議に併せて開催する。同国際会議にての講演、パネルディスカッションにも参加し、それぞれの手法の共通点や相違点の理解が進むよう積極的に成果発信を行う。

4.1.2.2 Validation and Verification Methods（ドイツ）

独 VVM（Verification and Validation Methods）[3]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きた（図 4.1.2.2-1）。

当該プロジェクトが主導し、ITS European Congress（図 4.1.2.2-2）にて安全性評価に関するセッションが企画され、各プロジェクトの進捗状況の紹介および、国際協調に資する議論を行った。特に、安全性評価手法と、実用的な評価ツールの接続の課題について議論を行うため、手法、手段（ツール）それぞれの専門家が議論に参加した（図 4.1.2.2-2(a)）。また、11 月 21 日、22 日に同プロジェクトの最終成果報告会（Final event）が開催され、国際招待講演として、SAKURA プロジェクトの講演およびパネルディスカッションに登壇した（図 4.1.2.2-3）。

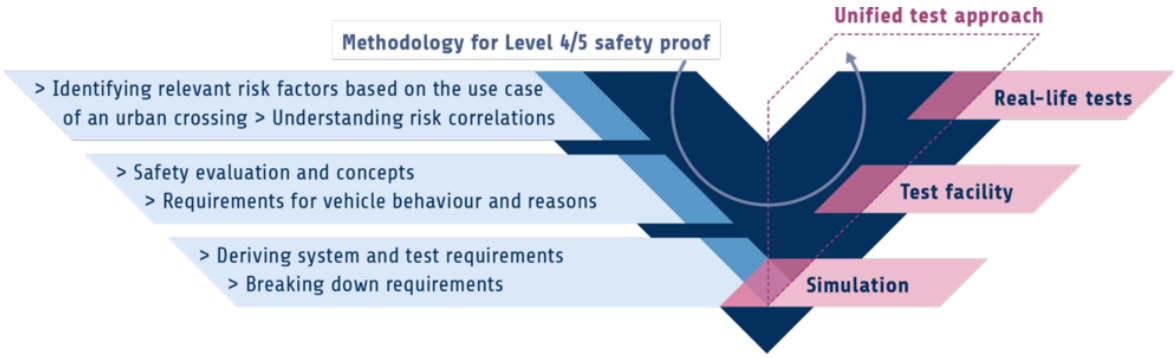
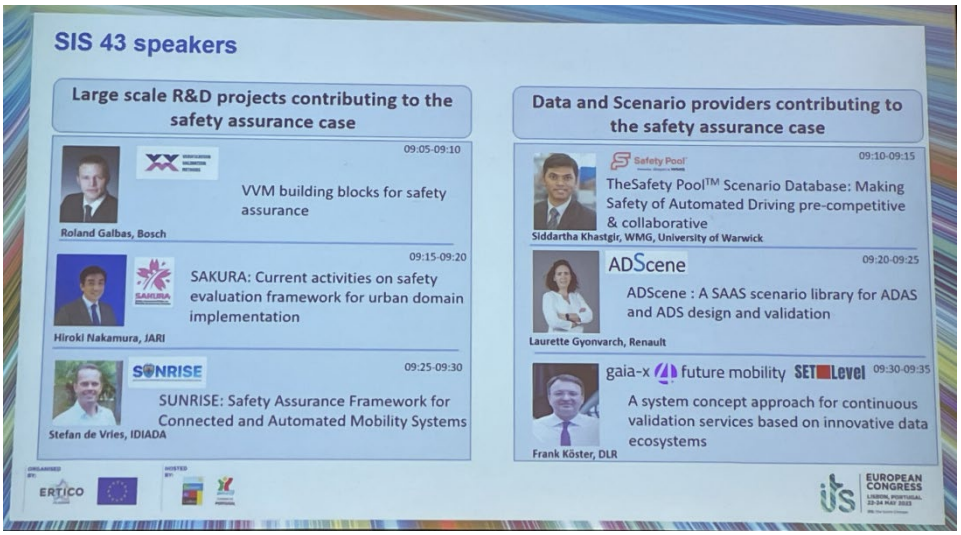
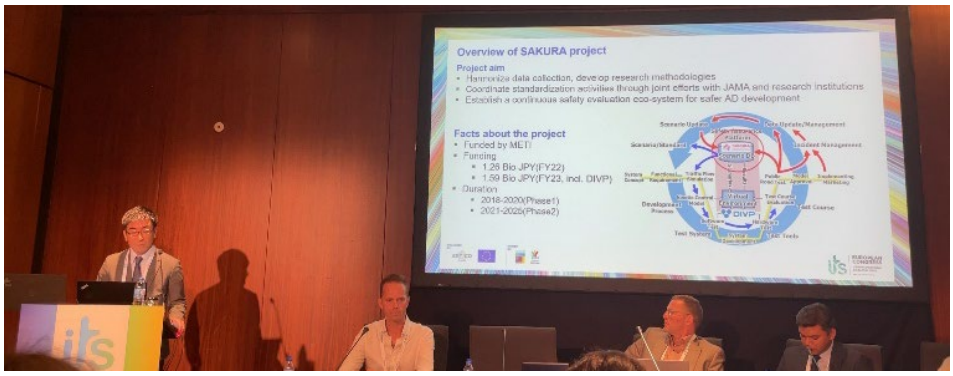


図 4.1.2.2-1　V&V Methods の目指す安全性論証体系



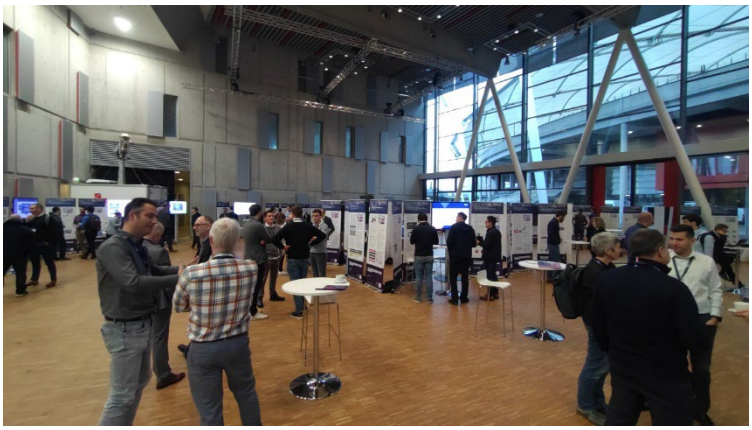


(a)モデレータおよび講演者

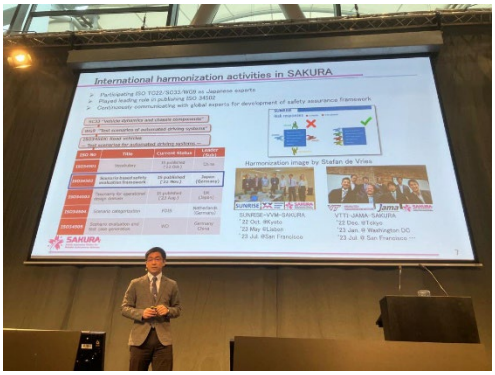


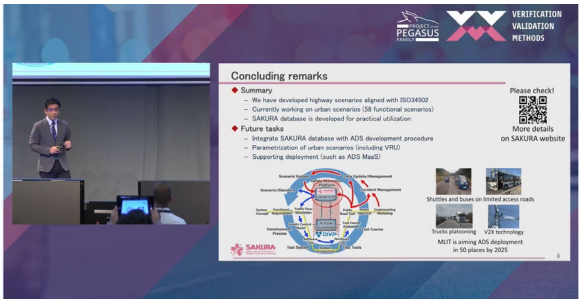
(b)SAKURA プロジェクトの紹介

図 4.1.2.2-2　ITS European Congress における講演およびパネルディスカッション



(a)　機器・ポスター展示





(b)　SAKURA プロジェクトの紹介：現地発表および Live 配信の様子

図 4.1.2.2-3　V&V Methods Final Event の様子

4.1.2.3　Virginia Tech Transportation Institute & Automated Mobility Partnership（米国）

米国最大の交通研究機関である Virginia Tech Transportation Institute[4]（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

SAKURA のシナリオ DB の開発や拡張に資するため、AMP 運営委員会の定例会議（月 1 回程度）に Steering Committee member として参加し、情報交換およびデータ分析ツールの拡張に関する要望を出している。本年度は、交差点シナリオの分析ツールの拡張、L2 相当のシステムの自動運転状態から手動運転に切り替わる際のドライバ行動の分析例などが紹介された。また、SAKURA プロジェクト関係者向けの個別ワークショップを開催し、データ計測からデータ管理に至るまで、実交通環境から取得されたデータベースを運用するためのノウハウの指導を受けた。

（2） 米国動向調査

米国は認証制度の違いから、AD システムの社会実装が先行している。そのため、社会実装を進める上での課題などもいち早く出てきており、日本での社会実装を進める上で参考とすべき点が多い。また、州の独立性が高いことから、州ごとに AD システムに対する受容性や、規制の策定状況も異なっており、実態を正しく把握することが重要である。そこで、政策や社会受容、産業界の動向などの調査を行った。以下その概要を示す。

a） 公共政策

・米国政府は徐々に連邦政府レベルでの規制を進めているが、その進捗は州や地方レベルの政策と比較して遅いため、産業界が参照する安全性に関する規制は州法が中心である。
・AD システムの安全性に関して、これまでの予見的なものから、実走行に基づく統計データが出始めた（図 4.1.2.3-1）。ただし、ほとんどがサービスカーの報告であり、個人所有の AD システムの事例はまだほとんどない。

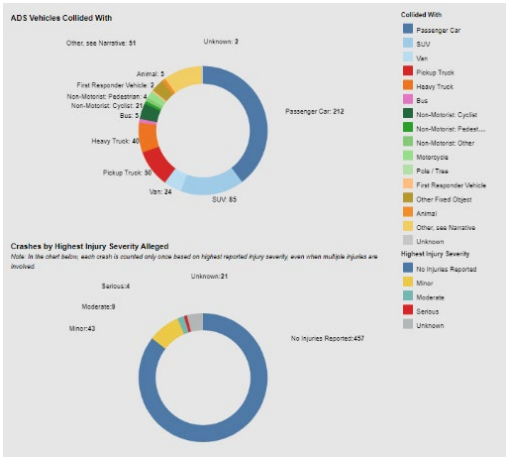


図 4.1.2.3-1 米国における AD システムの事故統計（2023 年）

・NHTSA は公道試験に関する規制の策定を AVTEST、免責に関しては AVSTEP が進めることを発表した。

b） 社会受容性

・実際にロボタクシーを利用した国民の受容性は高い傾向にあるが、事故報道などにより国民全体の受容性は低下傾向にある。

c） 産業界のトレンド

・Mercedes Benz が L3AD システムを発表。
・Cruise や Waymo の無人ロボタクシー事業が拡大している（その後 Cruise は認可取り消し）。
・大型車の AD システムの需要が大きい。

d）　本事業（SAKURAプロジェクト）へのフィードバック

・工事エリアの回避、緊急車両への対応、歩行者や自転車に対する事故が課題として挙げられている。
・従来手法である事故統計や、走行距離別事故件数の分析などによる安全性評価は必須であるため、それに向けた国内データの準備が必要である。

参考文献

[1] SUNRISE project website,
https://ccam-sunrise-project.eu/ (2024 年 3 月現在)
[2] HEADSTART project website
https://www.headstart-project.eu/
[3] V&V Methods project website,
https://www.vvm-projekt.de/en/ (2024 年 3 月現在)
[4] Virginia Tech Transportation Institute
https://www.vtti.vt.edu/　(2024 年 3 月現在)

4.2 国際会議・学会等におけるプロジェクト成果発信

4.2.1 国際会議等における成果発信

本研究開発プロジェクトに関連した国際会議における講演および国際学術誌への投稿の一覧を表 4.2.1-1～表 4.2.1-2 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 4.2.1-1 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講演および学術誌掲載論文）

No.	題名	発表者	発表先と現況 （種別）
(1) 再掲	Cut-out Scenario Generation with Reasonability Foreseeable Parameter Range from Real Highway Dataset for Autonomous Vehicle Assessment [1]	Husam Muslim Shun Endo Hisashi Imanaga Sou Kitajima Nobuyuki Uchida Eiichi Kitahara Koichiro. Ozawa Hideaki Sato Hiroki Nakamura	IEEE Access 23 年 4 月公開 （査読あり学術誌）
(2)	SAKURA: Current activities on safety evaluation framework for urban domain implementation	Hiroki Nakamura	ITS European Congress 23 年 5 月 22 から 24 日 （講演）
(3)	SAKURA follow-up overview	Sou Kitajima	TRB-ARTS23 23 年 7 月 9 から 13 日 （講演）
(4)	Driver Behavior Model to Define a Preventable Boundary for Scenario-Based Safety Evaluation of Automated Driving	Sou Kitajima Lee Joohyeong, Hiroki Nakamura Hideaki Satoh Koichiro Ozawa Eiichi Kitahara	FASTzero'23 23 年 11 月 8 から 11 日 （講演）
(5)	Overview of SAKURA Project - a Japanese safety case approach-	Hiroki Nakamura	V&V Methods Final Event 23 年 11 月 21、22 日 （講演）

表 4.2.1-2　本研究開発プロジェクトに関連した発表
（連携先による講演および学術誌掲載論文）

No.	題名	発表者	発表先と現況 （種別）
(6)	Comparison of German and Japanese Urban Intersection Data for Internationally Harmonized Logical Scenario Definition and Test Cases	Philip Wallis Roman Henze Hiroki Nakamura Ryo Hasegawa Sou Kitajima Genya Abe	FASTzero'23 23 年 11 月 8 から 11 日 （講演）

（1）Cut-out Scenario Generation with Reasonability Foreseeable Parameter Range from Real Highway Dataset for Autonomous Vehicle Assessment

発表先：IEEE Access

公開日：23 年 4 月 6 日

成　果：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を検討した内容を公開した。

（2）SAKURA: Current activities on safety evaluation framework for urban domain implementation

発表先：ITS European Congress 2023

日　程：23 年 5 月 22 から 24 日

場　所：リスボン（ポルトガル）

成　果：Safety assurance セッションにて，SAKURA のシナリオ DB の現状，DIVP/AD-URBAN と連携した安全性評価基盤の構築を出口とする日本全体の取り組み内容を報告し、パネルディスカッションに登壇した。同セッションでは他に SUNRISE（欧州）[2]、V&V Methods（ドイツ）[3]、Safety Pool（英国）[4]、ADScene（フランス）[5]、および SetLevel（ドイツ）[6]代表者からの講演があり、安全性評価手法および、社会実装のための手段に関する議論が交わされた。

（3）SAKURA follow-up overview

発表先：TRB-ARTS (Automated Road Transportation Symposium) ‘23

日　程：23 年 7 月 9 から 13 日

場　所：サンフランシスコ（米国）

成　果：Safety Assurance セッションにて一般道評価用の対四輪車および対歩行者シナリオ体系の策定状況を報告した。同セッションでは他に安全性評価関連プロジェクトとしては SUNRISE（欧州）、V&V Methods（ドイツ）、Hi-Drive（欧州）[7]、Safety Pool（英国）の取り組みが紹介され、また、AVSC から標準化の動向

が紹介された。さらに、パネルディスカッションでは、Waymo、Zoox、Aurora、Torc Robotics、Daimler AG から産業界の取り組みが紹介され、安全性評価手法、国際標準、社会実装の現状と課題について議論が交わされた。

（4）Driver Behavior Model to Define a Preventable Boundary for Scenario-Based Safety Evaluation of Automated Driving

発表先：FASTzero'23

日　程：23 年 11 月 8 から 11 日

場　所：金沢（日本）

成　果：回避可能な範囲を定義するためのヒューマンドライバモデルの考え方と自専道の本線レーンキープとレーンチェンジ用のモデルを報告し、当該講演会の Best Paper Award を受賞した。本報告の内容は慎重で有能な人間ドライバの基準（Competent and Careful Human Driver model）として国際基準にも採択されたもので、その科学的な妥当性が示された。

（5）Overview of SAKURA Project - a Japanese safety case approach-

発表先：V&V Methods Final Event

日　程：23 年 11 月 21、22 日

場　所：シュツットガルト（ドイツ）

成　果：SAKURA プロジェクトの最新状況，特に一般道評価用のシナリオ体系・クライテリアの定義コンセプトと具体例を紹介し、今後の国際標準化の加速に向けた PR を行った。当該イベントはドイツの V&V Methods プロジェクトの最終報告会であり、SAKURA プロジェクト、SUNRISE、Safety Pool は国際連携の一環として招待講演を行った。

（6）Comparison of German and Japanese　Urban Intersection Data for Internationally Harmonized Logical Scenario Definition and Test Cases

発表先：FASTzero'23

日　程：23 年 11 月 8 から 11 日

場　所：金沢（日本）

成　果：独 NFF の計測車データと日 SAKURA の定点観測データを用いて日独における交差点の車両挙動の特徴を比較した結果を報告した。

4.2.2　国内会議・学術誌等における成果発信

本研究開発プロジェクトに関連した国内会議等における発表・投稿の一覧を表 4.2.2-1 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 4.2.2-1　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講演および学術誌掲載論文）

No.	題名	発表者	発表先と現況 （種別）
(1) 再掲	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[8]	北島 創 中村 弘毅	計測と制御 Vol.62 No.5 特集号 2023 年 5 月 （査読なし紀要）
(2)	自動運転システムの安全性評価シナリオカタログ生成方法の提案 ―自動車専用道路における交通外乱シナリオのパターン―	今長 久 中村 弘毅 佐藤 秀亮	JSAE23 春季大会 23 年 5 月 24 から 26 日 （講演）
(3)	自動運転車の安全性評価 ～シナリオベースの評価手法および国際標準化の動向～	北島 創	スマートモビリティ研究拠点シンポジウム 2023(JSAE 協賛) 23 年 9 月 28 日 （講演）
(4)	自動運転の安全性評価手法の開発 ～国際標準化活動に向けた日本の取組～[9]	中村 弘毅 北島 創	自動車技術 23 年 11 月号 23 年 11 月 15 日 （査読なし紀要）
(5)	自動運転車の安全性評価～シナリオベースの論証体系と国際標準化の動向～	北島 創	安全コンセプト記法研究会オープンカンファレンス 2023 23 年 11 月 29 日 （講演）
(6)	一般道を走行する自動運転の実車安全性評価に対応する車両の位置計測手法の構築[10]	山口 直紀 菊地 一範	JARI Research Journal 24 年 2 月 10 日 （査読なし所報）
(7)	計測車両を用いた自動運転の安全性評価に関する実交通流データ収集技術の現状と今後の展望[11]	平山 泰司 大谷 健登 榎田 修一 松原 宏樹	JARI Research Journal 24 年 2 月 10 日 （査読なし所報）

（1）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
発表先：計測と制御 Vol.62 No.5 特集号
公開日：23 年 5 月
成　果：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要を解説し、また 2023 年 1 月時点における安全性評価に関する国

際標準化の動向を紹介した。

(2) 自動運転システムの安全性評価シナリオカタログ生成方法の提案
—自動車専用道路における交通外乱シナリオのパターン—
発表先：JSAE23 春季大会
日　程：23 年 5 月 24 から 26 日
場　所：横浜（日本）
成　果：JAMA および SAKURA プロジェクトが提案している 24 パターンのファンクショナルシナリオが、自動車専用道において起り得る錯綜形態をカバーした生成方法であることを述べ、シナリオ DB に収録されている評価シナリオの妥当性を示した。

(3) 自動運転車の安全性評価～シナリオベースの評価手法および国際標準化の動向～
発表先：スマートモビリティ研究拠点シンポジウム 2023(JSAE 協賛)
日　程：23 年 9 月 28 日
場　所：Web 開催
成　果：AD システムの安全性評価に関するシナリオベースの評価手法の最新動向を紹介するとともに，SAKURA プロジェクトにおける取組み(予見可能で防止可能なシナリオ導出とシナリオ DB 構築)を報告した。

(4) 自動運転の安全性評価手法の開発　～国際標準化活動に向けた日本の取組～
発表先：自動車技術 23 年 11 月号
公開日：23 年 11 月 15 日
成　果：23 年 8 月時点における自動運転車の安全性評価に関する国際標準化の動向として、ISO/TC22/SC33/WG9 の活動の概要，主に ISO34502 の概略を解説するとともに、同標準における JAMA および SAKURA プロジェクトの提案する手法を紹介した。

(5) 自動運転システムの安全性評価シナリオカタログ生成方法の提案
—自動車専用道路における交通外乱シナリオのパターン—
発表先：安全コンセプト記法研究会オープンカンファレンス 2023
日　程：23 年 11 月 29 日
場　所：東京（日本）
成　果：AD 車の安全性評価手法に関する研究動向・標準化動向とともに，SAKURA プロジェクトにおける取組みを広く PR した。

(6) 一般道を走行する自動運転の実車安全性評価に対応する車両の位置計測手法の構築
発表先：JARI Research Journal
公開日：24 年 2 月 10 日
成　果：従来の車両の位置計測の精度向上に GPS 補正信号を用いる手法は見通しの良

いことが前提となるため，本稿では一般道を走行する自動運転を評価できるように見通しの悪い環境において精度を確保する計測手法を構築した結果を報告した。

（7）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

発表先：JARI Research Journal

公開日：24 年 2 月 10 日

成　果：計測車両を用いた自動運転の安全性評価に関する実交通流データの収集技術の現状を紹介するとともに，これまでの取組みが継続的なデータ更新に向けた既存データ活用に有用であることを紹介した。

参考文献

[1] H. Muslim 他, Cut-out Scenario Generation with Reasonability Foreseeable Parameter Range from Real Highway Dataset for Autonomous Vehicle Assessment; IEEE Access, vol. 11, pp. 45349-45363, 2023, doi: 10.1109/ACCESS.2023.3268703.

[2] SUNRISE project website,
https://ccam-sunrise-project.eu/ (2024 年 3 月現在)

[3] V&V Methods project website,
https://www.vvm-projekt.de/en/ (2024 年 3 月現在)

[4] Safety Pool,
https://www.safetypool.ai/ (2024 年 3 月現在)

[5] ADScene, a scenario database for the validation of automated driving and driving-assistance systems via digital simulation
https://www.irt-systemx.fr/en/adscene-a-scenario-database-for-the-validation-of-automated-driving-and-driving-assistance-systems-via-digital-simulation/ (2024 年 3 月現在)

[6] SetLevel project website
https://setlevel.de/en (2024 年 3 月現在)

[7] Hi-Drive project website,
https://www.hi-drive.eu/ (2024 年 3 月現在)

[8] 北島創、中村弘毅、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；計測と制御 62 巻 5 号 p. 289-292、
DOI https://doi.org/10.11499/sicejl.62.289　(2023 年 5 月)

[9] 中村弘毅、北島創、自動運転の安全性評価手法の開発～国際標準化活動に向けた日本の取組～；自動車技術 77 巻 11 号 p.48-54、(2023 年 11 月)

[10] 山口直紀、菊地一範、一般道を走行する自動運転の実車安全性評価に対応する車両の位置計測手法の構築；JARI Research Journal　2023 年度 特集号、特集「自動運転 ～システムの安全性・受容性の評価～」、p.23-30 (2024 年 2 月)

[11] 計測車両を用いた自動運転の安全性評価に関する実交通流データ収集技術の現状と今後の展望；JARI Research Journal　2023 年度 特集号、特集「自動運転 ～システムの安全性・受容性の評価～」、

p.70-79 (2024 年 2 月)

4.3 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。令和 5 年度中には、8 月に ISO34503、2 月に ISO34504 が正式に発行（IS 化）された。本事業成果の打ち込み先である ISO34502 と合わせてシナリオベースの安全性評価に活用することが期待される。

欧米関連研究機関との連携構築として、欧州の SUNRISE、ドイツの V&V Methods、米国の VTTI と継続的なコミュニケーションを続けることで、欧米の最新動向を把握しながら、日本の安全性評価手法の PR を行った。また、米国の動向調査を実施し、社会実装の動向や、各州における AD システムに関連した法規などの調査を行った。

また、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。

第 5 章　研究開発全体企画・管理

5.1　令和 5 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 5 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。

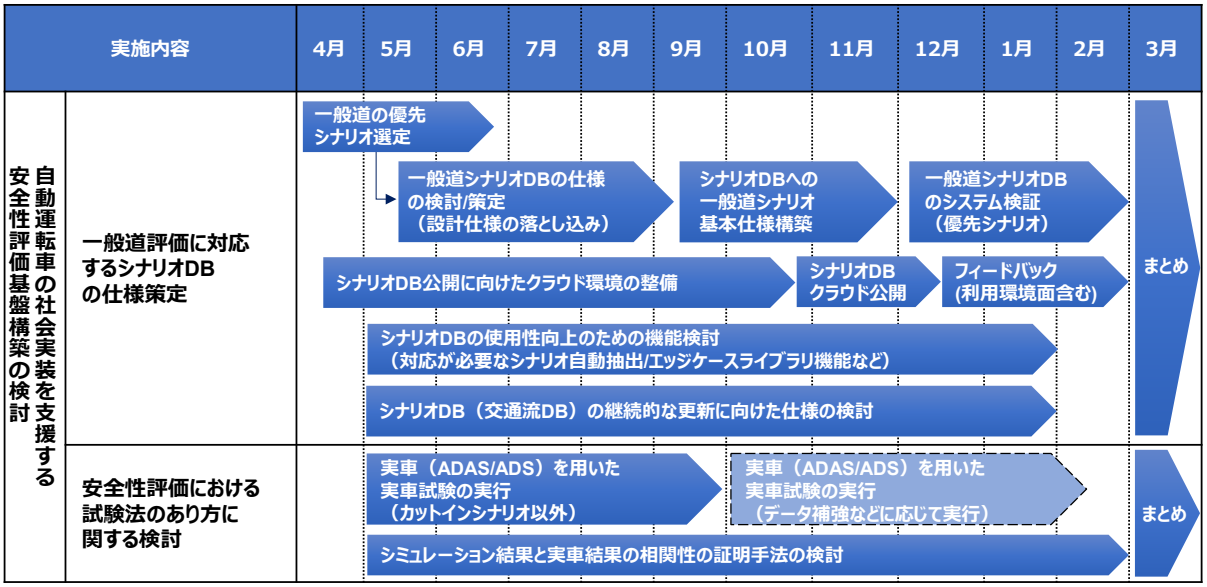


図 5.1-1　「自動運転車の社会実装を支援するための安全性評価基盤の構築」
令和 5 年度実施スケジュール

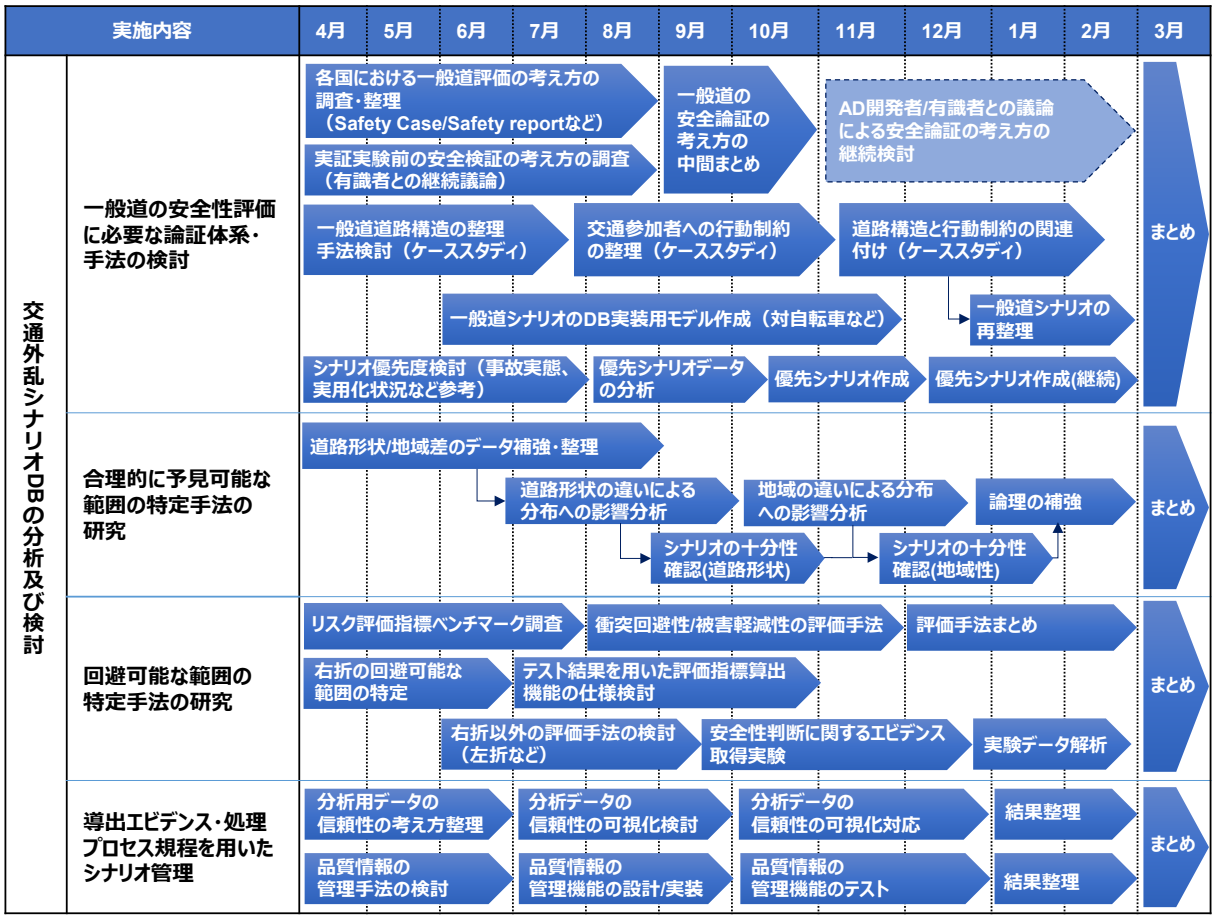


図 5.1-2　「交通外乱シナリオ DB の分析及び検討」
令和 5 年度実施スケジュール

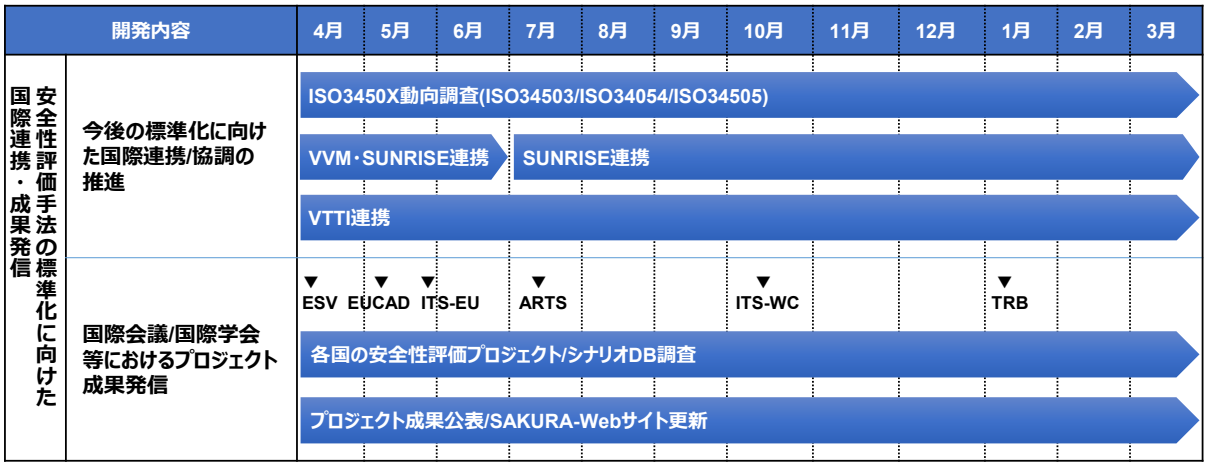


図 5.1-3　「安全性評価手法の標準化に向けた国際連携・成果発信」
令和 5 年度実施スケジュール

5.2　安全性評価戦略 WG（SWG）の運営および議事内容

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（第 4 回からは上位会議体の再編に伴い安全性評価戦略 SWG に名称を変更）を開催した。

以下に、令和 5 年度に実施した安全性評価戦略 WG／SWG の概要（本事業報告部分について）を示す。

① 令和 5 年度第 1 回　安全性評価戦略 WG

日　時：2023 年 7 月 3 日(月) 13:00-15:00
場　所：Web 開催

【主な議事内容】

令和 5 年度に実施する事業計画および 4 月～6 月までの進捗状況や国際標準化活動内容を報告し、研究の方向性に関して審議した。特に、一般道シナリオの整備、論証体系の対比について手法面で開発を進めること、手段の面では、より利用しやすいシナリオ DB にレベルアップさせることが提案された。

【主な指摘・コメント】

指摘事項①：提案された一般道 58 シナリオの網羅性をどこまで検討しているのか、例えば、ひたち BRT のユースケースや、上り坂の頂点付近での認識不調についても考慮されているのか？

回答①：58 シナリオですべての遭遇場面を網羅していると考えているが、その妥当性の検証は今後行う予定である。質問されたひたち BRT の走行ルートは 58 シナリオに含まれており、また、JAMA フレームワークの認識不調シナリオと組み合わせることで上り坂頂点付近での認識不調も網羅される

指摘事項②：対歩行者シナリオの基本的な考え方について、考慮すべきパラメータが多々あり、その組み合わせをすべて考慮していると評価シナリオの数が爆発的に増えてしまうのではないか？

回答②：歩行者のファンクショナルシナリオから実際の評価条件に落とし込むときに、歩道の有無や横断の角度などは、その次のレイヤでしっかり定義していくことでシナリオが用意できる。また、道路上の障害物についても、対四輪車と同様に、死角のシナリオとして体系としては準備されている。走行車両と歩行者の間に車両が止まっている場合も、体系に沿って作られていくものと考えている。

② 令和 5 年度第 2 回 安全性評価戦略 WG

日 時：2023 年 9 月 19 日(火) 10:00-12:00
場 所：Web 開催

【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。シナリオ DB の機能拡充に向けた取り組みとしては、JAMA 参加企業を中心に開発中の DB を利用してもらい、ニーズのヒヤリングを行うこと、一般道の安全性評価手法の検討ではドイツの公開データを利用してロジカルシナリオの導出手法を検討していくことなどが報告された。また、成果発信として、サンフランシスコで開催された TRB-ARTS にて JAMA とともに日本の安全性評価活動を PR したことが報告された。

【主な指摘・コメント】
指摘事項①：事故時の歩行者の挙動は一般的ではないと思われるがどのようなモデルを検討する予定か？
回答①：事故が起こる場合のモデルに関しては検討中であるが、安全性評価としては急に歩行者が横断してくる場合を検討している。

③ 令和 5 年度第 3 回 安全性評価戦略 WG

日 時：2023 年 12 月 18 日(月) 10:00-12:00
場 所：Web 開催

【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。シナリオ DB の機能拡充に向けた取り組みとしては、ヒヤリングの進捗として主なフィードバックや要望が紹介された。一般道シナリオの分析としては、交差点における右折車と直進車が交錯する際のパラメータ分析が紹介された。さらに、成果発信として、FAST-zero での講演内容が紹介された。

【主な指摘・コメント】
指摘事項①：海外に車両を展開していくうえで、SAKURA プロジェクトが提供するシナリオがどの程度活用可能か？
回答①：シナリオ、データ処理のプロセス、パラメータの定義は標準化されており、シナリオ DB もそれに準拠する形でデータを収録している。一方で、各パラメータの範囲については各国で異なる可能性があるが、海外への展開を見据えて日独のパラメータ比較などを実施し、一部成果は学術誌に公開されている。

④　令和 5 年度第 4 回　安全性評価戦略 SWG

日　時：2024 年 3 月 1 日(金) 15:00-17:00
場　所：Web 開催

【主な議事内容】
　令和 5 年度に実施した本事業の最終成果を報告した。一般道のシナリオ体系として、対四輪車は自専道 24 パターンを包含する一般道 58 パターンに拡張したシナリオを整理した他、新たに対歩行者 8 パターンを作成したことが報告された。また、シナリオ DB に標準形式のシミュレーション用シナリオを出力する機能の実装を進めたことが報告された。さらに、国際連携の取り組みとして、プレゼンスの向上に資する成果発信、および国際動向の調査を行ったことが報告された

【主な指摘・コメント】
　時間の都合により質疑なし

第 6 章　まとめ

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、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）および自動運転技術（レベル 3、4）に必要な認識技術等の研究事業の AD-URBAN（以下、AD-URBAN という）と連携しつつ、自動運転および先進運転支援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　自動運転車の社会実装を支援するための安全性評価基盤の構築

安全性評価基盤の構築に向けて、優先順位の高い一般道シナリオの基本仕様の作成と、シナリオ DB（自専道）の OEM への公開および要望・意見集約、道路形状や法規を加味したシナリオ絞り込み手法の研究、安全性評価シミュレーションの妥当性検証のための実車試験法の検討を行った。具体的な知見を以下に示す。

(1)シナリオ DB の一般道シナリオに関しては、優先順位の高いシナリオとして、一般道特有で、かつ事故件数が多い交差点での出会い頭衝突と右折時衝突を抽出し、シナリオパラメータの基本仕様を作成した。また、令和 4 年度までに実施した開発現場のニーズ調査結果をもとに、優先順位の高い機能を織り込んだ公開版シナリオ DB を開発し、クラウド環境を構築して JAMA の AD 安全性評価分科会の委員各社に公開し活用いただいた。開発現場より得られた多くの要望・意見は、本事業の目指す開発の方向性と合致しており、また、将来に向け更なる有益な期待も寄せられた。

(2)シナリオ絞り込み手法の研究に関しては、道路構造、構造物および法規をモデル化し各シナリオと紐づけることにより、道路形状や法規を加味したシナリオ絞り込みが可能となった。これにより、サービスカーなど ODD が限定的である自動運転車などに対して、その ODD 内において安全性評価が必要なシナリオを効率的に導き出すことが可能となった。また、本手法を用いることにより、2.1 節や 2.2 節で述べられているシナリオデータベースから自身が開発、評価したい AD 車に対して必要な評価シナリオのみを効率的に抽出（ダウンロード）してくることが可能となる。

(3)安全性評価シミュレーションの妥当性検証のための実車試験に関しては、自動運転システムの制御ロジックを考慮したうえで実車試験のパラメータを設定することが重要である。また、シミュレーション結果と実車結果の相関関係を示すためには、シミュレーションによるばらつきも考慮したうえで妥当性の検証を実施しなければならない。実車試験の際には、シミュレーションと違い物理的な実験機材（ダミーやそのけん引装置など）の制約（限界性能）があることが本取り組みにより明確化された。そのため、それら制約を加味したうえで実車試験を計画・実施しなければならない。

(4)国内の安全性評価プロジェクトと連携し、シナリオ DB と仮想評価環境と開発中の自動運転システムを接続する安全性評価基盤の構築を推進した。今後の AD 車の社会実装を加速するため、今年度は社会実装の近い事例を評価対象として、交差点を安全に通過するシミュレーション実行条件を具体化した。二台の車両が交差点を直進する出会い頭シナリオを実行するために必要なパラメータの定義、国内外の実交通流データに基づく交通参加者のパラメータ範囲の特定、二台の車両の通過する時間差を用いた安全性判断のための評価基準案を提示した。

6.2　交通外乱シナリオ DB の分析および検討

一般道の安全性評価に向けて、論証体系・手法、合理的に予見可能な範囲の特定手法、回避可能な範囲の特定手法、および導出エビデンス・処理プロセス規定を用いたシナリオ管理について検討した。具体的な成果を以下に示す。

(1)JAMA の安全性評価フレームワーク Ver.3.0 の論証構造の分析を実施した。ゴール構造記述法を用いて階層化を行い、当該フレームワークがカバーしている範囲および課題を明確にした。また、対歩行者シナリオ体系、および対四輪車出会い頭パターンのパラメータ範囲の分析結果をまとめた。

(2)これまでに検討してきた合理的に予見可能な範囲の特定手法を一般化するため、複数の合流区間における合流挙動の分析、異なる地域で取得されたデータの比較を実施した。

(3)一般道での回避可能な範囲を特定するための手法として、妨害の定量化に関する検討を行った。DS 実験を通して、一般ドライバが自動運転車との出会い頭場面で妨害と感じる基準を定量化した。また、衝突を回避するために必要な減速度を基に、潜在的な衝突リスクを評価する指標を提案した。

(4)合理的に予見可能な範囲の根拠となる実交通流データの説明性や透明性を保証するため、計測車および定点カメラから計測された生データから、シナリオ DB で公開される統計データまでの処理プロセスの詳細をまとめた。

6.3　安全性評価手法の標準化に向けた国際連携・成果発信

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。令和 5 年度中には、8 月に ISO34503、2 月に ISO34504 が正式に発行（IS 化）された。本事業成果の打ち込み先である ISO34502 と合わせてシナリオベースの安全性評価に活用することが期待される。

欧米関連研究機関との連携構築として、欧州の SUNRISE、ドイツの V&V Methods、米国の VTTI と継続的なコミュニケーションを続けることで、欧米の最新動向を把握しながら、日本の安全性評価手法の PR を行った。また、米国の動向調査を実施し、社会実装の動向や、各州における AD システムに関連した法規などの調査を行った。

また、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。

Appendix-A　道路構造物と関連法規の整理結果

（1）　道路構造物による制限の整理

道路構造令から抽出した、Pre-Logical シナリオに対し物理的な制限を与え得る道路構造上の要素（以下、「プロパティ」という）を表 A-1 に整理した。

表 A-1　道路構造令から抽出された道路構造を決定する要素

#	要素名					道路構造令の条項
1	道路					-
2		視距				第十九条
3		合成勾配				第二十五条
4		車道				第二条
5			縦断勾配			第二十条
6			片勾配			第二十四条
7			横断勾配			第二十四条
8			停車帯			第二条
9				幅員		第九条
10			自転車通行帯			第二条
11				幅員		第九条の二
12			車線			第二条
13				数		第五条
14				幅員		第五条
15			副道			第二条
16				幅員		第七条
17			車道の屈曲部			第十四条
18				緩和区間		第十四条
19				車道の曲線部		第十五条
20					曲線半径	第十五条
21					片勾配	第十八条
22			縦断勾配が変移する箇所			第二十二条
23				縦断曲線		第二十二条
24					曲線形	第二十二条
25					曲線半径	第二十二条
26			車両の通行の用に供するため分離帯が切断された車道の部分			第九条
27		路肩				第二条
28			車道（副道以外）との接続			第八条
29			副道との接続			第八条

#	要素名				道路構造令の条項
30			幅員		第八条
31			片勾配		第二十四条
32			横断勾配		第二十四条
33			側帯		第二条
34				幅員	第八条
35			路肩の曲線部		第十六条
36				片勾配	第十六条
37		歩道			第二条
38			幅員		第十一条
39			横断勾配		第二十四条
40			歩行者利便増進道路か否か		第四十一条
41			歩行者の滞留の用に供する部分		第十一条の二
42		自転車道			第二条
43			幅員		第十条
44			横断勾配		第二十四条
45		自転車歩行者道			第二条
46			幅員		第十条の二
47			横断勾配		第二十四条
48			歩行者利便増進道路か		第四十一条
49			歩行者の滞留の用に供する部分		第十一条の二
50		中央帯			第二条
51			幅員		第六条
52			側帯		第二条
53				幅員	第六条
54				片勾配	第十六条
55				横断勾配	第二十四条
56			分離帯		第六条
57				幅員	第六条
58		軌道敷			第二条
59			幅員		第九条の三
60		植樹帯			第二条
61			幅員		第十一条の四
62		路端			第八条
63	道路と一体となってその効用を全うする施設又は工作物及び道路の附属物				-
64		乗合自動車の停留所			第三十一条の三
65			交通島		第三十一条の三

#	要素名			道路構造令の条項
66		路面電車の停留場		第三十一条の三
67			交通島	第三十一条の三
68		自動車駐車場等		第三十二条
69		トンネル		第三十四条
70		橋		第三十五条
71	付加追越車線			第二条
72		幅員		第五条
73	屈折車線			第二条
74		幅員		第二十七条
75	登坂車線			第二条
76		幅員		第二十一条
77	変速車線			第二条
78		幅員		第二十七条
79	対向車線			第五条
80		幅員		第二十七条
81	連結路			第二十八条
82	自転車専用道路			第三十九条
83		幅員		第三十九条
84		勾配		第三十九条
85		線形		第三十九条
86		側方余裕を確保するための部分		第三十九条
87			幅員	第三十九条
88	自転車歩行者専用道路			第三十九条
89		幅員		第三十九条
90		歩行者利便増進道路か		第四十一条
91		勾配		第三十九条
92		線形		第三十九条
93		側方余裕を確保するための部分		第三十九条
94			幅員	
95		歩行者の滞留の用に供する部分		第十一条の二
96	歩行者専用道路			第四十条
97		幅員		第四十条
98		歩行者利便増進道路か		第四十一条
99		勾配		第四十条
100		線形		第四十条
101		歩行者の滞留の用に供する部分		第十一条の二
102	車線の数が増加し、若しくは減少する場合又は道路が接			第三条

#	要素名	道路構造令の条項
	続する場合におけるすりつけ区間	
103	付加追越車線、屈折車線、変速車線及び登坂車線のすりつけ区間	第三条
104	自動車が追越しを行なうのに十分な見とおしの確保された区間	第十九条
105	見とおし区間の長さ	第二十九条

次に、これら表 A-1 の要素のうち Pre-Logical シナリオに対して物理的な制限を与えないものを除外し、残った要素をプロパティとして表 A-2 に整理した。

令和 4 年度の取り組みでは、物理的な制限を与える道路上の設置物として縁石や柵等が抽出されている。本取り組みで抽出した 5.植樹帯は、これらと同じ道路上の設置物として考えることができるため、以降では「物理的障害物」のプロパティとしてまとめて定義する。

表 A-2　道路構造令から抽出されたプロパティと制限され得る振る舞い

#	プロパティ名	条項	制限され得る振る舞い												
			自車					周辺車							
			Go straight	Lane change R	Lane change L	Right turn	Left turn	Go straight	Lane change R	Lane change L	Swerve R	Swerve L	Right turn	Left turn	U turn
1	車線の数	第五条		×	×				×	×					×
2	車線の幅員	第五条	×					×							
3	副道の幅員	第七条	×					×							
4	中央分離帯	第六条		×	×				×	×					×
5	植樹帯	第十一条の四		×	×				×	×					

（2） 道路交通法による制限の整理

道路交通法（以下、「道交法」という）を用いて交通参加者の行動を法的に制限し得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。道路標識等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。その場合、「道路標識等」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、自動運転車両あるいは自動運転車両以外の交通参加者の行動に制限を課す可能性がある条項のうち、道路における工作物や道路標識等の存在あるいは道路形状を条件に持ち、一般道において車両の行動を制約し得る条項を対象とした。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、同時に3者以上の交通参加者が登場する条項、および他の交通参加者の有無や時刻によって制限が場所以外の要因で変化する条項を除外している。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。

令和4年度での取り組みでは、抽出されたプロパティは道路全体の要素として扱ったが、交通参加者の行動を制限する条件にはその交通参加者の位置が関係するため、ルールが道路のどの範囲に寄与するのかも考慮して本年度の取り組みではプロパティ抽出を行った。

抽出した各プロパティは、Pre-Logicalシナリオを構成する自車の振る舞いおよび周辺車の振る舞いへの寄与、または振る舞い（車両挙動）に関わるパラメータへの寄与の観点でそれぞれまとめ、表A-3および表A-4に示す。ここで、表内の制限範囲の列は各プロパティの制限範囲を示し、道路全体またはレーンごとの二種類で分類している。また、プロパティの中には特定の交通参加者にのみ制限を与えるような、その他の要素と組み合わせて考慮する必要があるものもある。そのようなプロパティに関しては、表内の組み合わせの列に考慮すべき要素を記述した。

表 A-3　道路交通法から抽出されたプロパティと制限され得る振る舞い

#	プロパティ名	条項 (標識令別表での番号)	制限範囲	組み合わせ	制限され得る振る舞い												
					自車					周辺車							
					Go straight	Lane change R	Lane change L	Right turn	Left turn	Go straight	Lane change R	Lane change L	Swerve R	Swerve L	Right turn	Left turn	U turn
1	歩行者用道路	第九条	全体	交通参加者種別	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
2	上り坂の頂上附近	第三十一条	全体										×	×			
3	進行方向別通行区分	第三十五条 第 1 項 (327 の 7-A～C)	全体		×			×	×	×					×	×	
4	追い越し禁止	第三十条 (314 の 2)	全体										×	×			
5	交差点	第三十条	全体										×	×			
6	勾配の急な下り坂	第三十条	全体										×	×			
7	車両通行帯無しのトンネル	第三十条	全体										×	×			
8	道路のまがりかど	第三十条	全体										×	×			
9	道路のまがりか	第三十条	全体										×	×			

#	プロパティ名	条項 (標識令別表での番号)	制限範囲	組み合わせ	制限され得る振る舞い												
					自車					周辺車							
					Go straight	Lane change R	Lane change L	Right turn	Left turn	Go straight	Lane change R	Lane change L	Swerve R	Swerve L	Right turn	Left turn	U turn
	ど附近																
10	上り坂の頂上	第三十条	全体										×	×			
11	踏切	第三十条	全体										×	×			
12	踏切の手前の側端から前に三十メートル	第三十条	全体										×	×			
13	交差点の手前の側端から前に三十メートル	第三十条	全体										×	×			
14	交差点（右折劣後）	第三十七条	全体		×			×	×	×					×	×	×
15	横断歩道等の手前の側端から前に三十メートル以内の道路の部分	第三十八条 第３項	全体										×	×			
16	一方通行	第八条	全体		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

#	プロパティ名	条項 (標識令別表での番号)	制限範囲	組み合わせ	制限され得る振る舞い												
					自車					周辺車							
					Go straight	Lane change R	Lane change L	Right turn	Left turn	Go straight	Lane change R	Lane change L	Swerve R	Swerve L	Right turn	Left turn	U turn
		第１項 (326-A～B、 326 の 2-A～B)															
17	交通整理なしの交差点（左方優先）	第三十六条 第１項	全体		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
18	安全地帯	第十七条第６項、	レーン		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
19	普通自転車の歩道通行区分	第十七条の二 第１項、 第六十三条の四 第１項の１ (114 の 3)	レーン	交通参加者種別	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
20	歩道等に入る	第十七条 第２項	全体	交通参加者種別		×	×				×	×					
21	追越しのための右側部分はみ出し通行禁止	第十七条 第５項の４ (314)	全体										×	×			

#	プロパティ名	条項 (標識令別表での番号)	制限範囲	組み合わせ	制限され得る振る舞い												
					自車					周辺車							
					Go straight	Lane change R	Lane change L	Right turn	Left turn	Go straight	Lane change R	Lane change L	Swerve R	Swerve L	Right turn	Left turn	U turn
22	けん引自動車の自動車専用道路第一通行帯通行指定区間	第七十五条の八の二 第２項、第３項 (327 の 6)	レーン	交通参加者種別	×	×	×			×	×	×					×
23	牽引自動車の高速自動車国道通行区分	第七十五条の八の二第３項 (327 の 3)	レーン	交通参加者種別	×	×	×			×	×	×					×
24	軌道敷内通行可	第二十一条 第２項の３ (402)	レーン	「軌道敷」プロパティ													
25	車両横断禁止	第二十五条の二 第２項 (312)	全体					×	×						×	×	
26	転回禁止	第二十五条の二 第２項 (313)	全体														×
27	路線バス等優先通行帯	第二十条の二 第１項	レーン	交通参加者種別	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

#	プロパティ名	条項 (標識令別表での番号)	制限範囲	組み合わせ	制限され得る振る舞い												
					自車					周辺車							
					Go straight	Lane change R	Lane change L	Right turn	Left turn	Go straight	Lane change R	Lane change L	Swerve R	Swerve L	Right turn	Left turn	U turn
		(327 の 5)															
28	進路変更禁止	第二十六条の二 第３項 (102 の 2)	レーン			×	×				×	×					
29	自転車以外の軽車両通行止め	第八条第１項 (308)	全体	交通参加者種別	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
30	大型乗用自動車等通行止め	第八条第２項 (306)	全体	交通参加者種別	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
31	大型貨物時自動車通行止め	第八条第１項 (305)	全体	交通参加者種別	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
32	車両（組み合わせ）通行止め	第八条第１項 (310)	全体	交通参加者種別	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
33	車両進入禁止	第八条第１項 (303)	全体		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
34	危険物積載車両通行止め	第四十六条 第３項 (319)	全体	交通参加者種別	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

#	プロパティ名	条項 (標識令別表での番号)	制限範囲	組み合わせ	制限され得る振る舞い												
					自車					周辺車							
					Go straight	Lane change R	Lane change L	Right turn	Left turn	Go straight	Lane change R	Lane change L	Swerve R	Swerve L	Right turn	Left turn	U turn
35	並進可	第六十三条の五 (401)	全体	交通参加者種別	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
36	普通自転車の交差点進入禁止	第六十三条の七 第２項 (114 の 4)	全体	交通参加者種別	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
37	横断歩道	第三十条、	全体										×	×			
38	けん引自動車の自動車専用道路	第七十五条の八の二 第１項	レーン	交通参加者種別	×	×	×			×	×	×					×
39	中央線	第十七条第４項	レーン			×					×		×				
40	右側通行	第十七条 第 5 項の 5 (202)	全体	「中央線」プロパティ													
41	立ち入り禁止部分	第十七条 第 6 項 (106)	レーン		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
42	軌道敷	第二十一条	レーン		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

#	プロパティ名	条項 (標識令別表での番号)	制限範囲	組み合わせ	制限され得る振る舞い												
					自車					周辺車							
					Go straight	Lane change R	Lane change L	Right turn	Left turn	Go straight	Lane change R	Lane change L	Swerve R	Swerve L	Right turn	Left turn	U turn
		第１項															
43	車両通行帯	第二十条第１項	全体			×	×				×	×	×	×			
44	車両通行帯が３以上ある	第二十条第１項	レーン			×					×						
45	車両通行区分	第二十条第２項 (327)	レーン	交通参加者種別	×	×	×			×	×	×					×
46	専用通行帯	第二十条 第２項 (327 の 4)	レーン	交通参加者種別	×	×	×			×	×	×					×
47	特定の種類の車両の通行区分	第二十条 第２項 (327 の 2)	レーン	交通参加者種別	×	×	×			×	×	×					×
48	普通自転車専用通行帯	第二十条第２項 (327 の 4 の 2)	レーン	交通参加者種別	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
49	車両通行止め	第八条第１項 (302)	全体		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
50	タイヤチェーン	第八条第１項	全体	交通参加者種別	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

#	プロパティ名	条項 (標識令別表での番号)	制限範囲	組み合わせ	制限され得る振る舞い												
					自車					周辺車							
					Go straight	Lane change R	Lane change L	Right turn	Left turn	Go straight	Lane change R	Lane change L	Swerve R	Swerve L	Right turn	Left turn	U turn
	を取り付けていない車両通行止め	(310 の 3)															
51	特定小型原動機付自転車・自転車一方通行	第八条第１項 (326 の 2-A～B)	全体	交通参加者種別	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
52	特定小型原動機付自転車・自転車専用	第八条第１項 (325 の 2)	全体	交通参加者種別	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
53	特定小型原動機付自転車・自転車通行止め	第八条第１項 (309)	全体	交通参加者種別	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
54	特定の最大積載量以上の貨物車等通行止め	第八条第１項 (305 の 2)	全体	交通参加者種別	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
55	普通自転車等及び歩行者専用	第八条第１項 (325 の 3)	レーン	交通参加者種別	×			×	×	×					×	×	×
56	歩行者通行止め	第八条第１項	全体	交通参加者種別	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

#	プロパティ名	条項 (標識令別表での番号)	制限範囲	組み合わせ	制限され得る振る舞い												
					自車					周辺車							
					Go straight	Lane change R	Lane change L	Right turn	Left turn	Go straight	Lane change R	Lane change L	Swerve R	Swerve L	Right turn	Left turn	U turn
		(331)															
57	歩行者等専用	第八条 第１項、第９項 (325 の 4)	全体	交通参加者種別	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

表 A-4　道路交通法から抽出されたプロパティと制限され得るパラメータ

#	プロパティ名	条項	制限範囲	組み合わせ	制限され得るパラメータ
1	歩行者用道路	第九条	全体		速度
2	最低速度	第二十三条 (324)	全体		速度
3	徐行	第四十二条 (329)	全体		速度
4	一時停止	第四十三条 (330)	全体		速度
5	最高速度	第二十二条第１項	全体		速度

#	プロパティ名	条項	制限範囲	組み合わせ	制限され得る パラメータ
		(323)			
6	道路外（に出るため左折するとき）	第二十五条第１項	全体		速度
7	道路外（に出るため右折するとき）	第二十五条第２項	全体		速度
8	交差点	第三十四条第１項、 第三十四条第２項	全体		速度
9	一方通行	第三十四条第４項 (326)	全体		速度
10	停止線	第三十八条第１項、 第四十三条	全体		速度
11	二段階停止線	第三十八条第１項、 第四十三条	全体		速度
12	安全地帯が設けられている道路の当該安全地帯の左側の部分	第四十四条第１項	全体		速度
13	横断歩道の前後の側端からそれぞれ前後に五メートル以内	第四十四条第１項	全体		速度
14	軌道敷	第四十四条第１項	全体		速度
15	交差点の側端	第四十四条第１項	全体		速度
16	交差点の側端から五メートル以内	第四十四条第１項	全体		速度
17	坂の頂上	第四十四条第１項	全体		速度
18	坂の頂上付近	第四十四条第１項	全体		速度
19	駐停車禁止	第四十四条第１項 (315)	全体		速度

#	プロパティ名	条項	制限範囲	組み合わせ	制限され得るパラメータ
20	交差点	第四十四条第１項	全体		速度
21	勾配の急な坂	第四十四条第２項	全体		速度
22	乗合自動車又はトロリーバスがその属する運行系統に係る停留所又は停留場	第四十四条第２項	全体		速度
23	路面電車停留所	第四十四条第５項	レーン		速度
24	火災報知機から一メートル以内	第四十五条第１項	全体		速度
25	駐車禁止	第四十五条第１項 (316)	全体		速度
26	道路工事が行われている場合における当該工事区域	第四十五条第１項	全体		速度
27	道路工事が行われている場合における当該工事区域の側端から五メートル以内	第四十五条第１項	全体		速度
28	人の乗降、貨物の積卸し、駐車又は自動車の格納若しくは修理のため道路外に設けられた施設又は場所の道路に接する自動車用の出入口	第四十五条第１項	全体		速度
29	駐車する場合に当該車両の右側の道路上に三・五メートル以上の余地がない	第四十五条第２項	全体	「車両幅」パラメータ	速度
30	駐車する場合に当該車両の右側の道路上に道路標識等により指定された距離以上の余地がない	第四十五条第２項	全体	「車両幅」パラメータ	速度

#	プロパティ名	条項	制限範囲	組み合わせ	制限され得る パラメータ
31	停車可能	第四十六条、 第四十八条 (404)	全体	速度 ＝0 を制限するプロパティ	速度
32	停止禁止部分	第五十条第２項 (107)	全体		速度
33	横断歩道等の手前の直前	第三十八条第２項	全体		速度
34	高齢運転者等標章自動車停車可	第四十五条の二 第１項 (403 の 2)	レーン	交通参加者種別	速度
35	高齢運転者等標章自動車駐車可	第四十五条の二 第１項 (402 の 2)	レーン	交通参加者種別	速度

（3） 標識令別表より抽出したプロパティへの追加情報

標識令別表では交通参加者の行動を制限する本標識だけでなく、本標識に補助的な情報を追加する補助標識に関する条項も記載されており、各プロパティによるシナリオへの寄与は補助標識による情報も考慮する必要がある。

ここでは、抽出されたプロパティの追加条件となる要素を標識令別表第二備考二より抽出した。抽出にあたって、時刻、注意、方向または規制理由に関する標識は除外した。抽出した補助標識とそれにより追加される情報をまとめたものを表 A-5 に示す。

表 A-5 標識令別表より抽出した補助標識により追加される情報

#	標識名称	番号	追加される情報
1	距離・区域	501	制限場所の条件
2	日・時間	502	制限時刻の条件
3	車両の種類	503-A、503-B、503-C、503-D	制限対象の条件
4	駐車余地	504	駐車のする車両の車幅の条件
5	駐車時間制限	504 の 2	制限時刻の条件
6	始まり	505-A、505-B、505-C	制限場所の条件
7	区間内	506	制限場所の条件
8	区域内	506 の 2	制限場所の条件
9	終わり	507-A、507-B、507-C、507-D	制限場所の条件
10	追い越し禁止	508 の 2	制限される振る舞いの内容
11	始点	513	制限場所の条件
12	終点	514	制限場所の条件

Appendix-B　No. 42 の LS パラメータ詳細

他車両 d_{r0}=-30

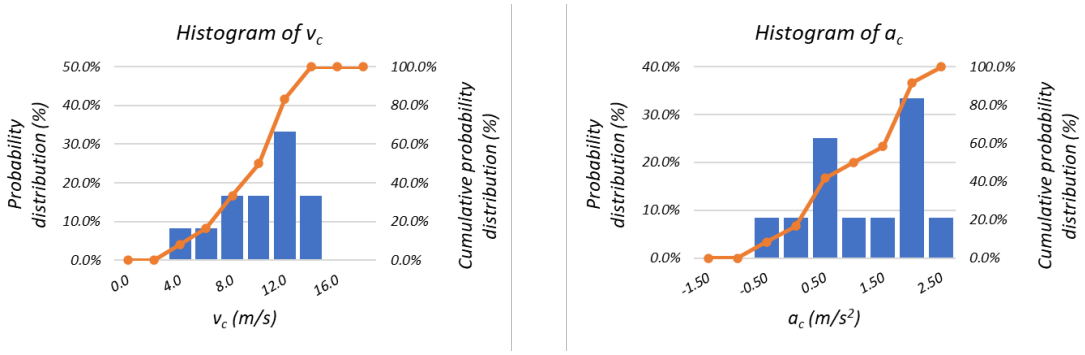


図 B-1　交差点直進車両の交差点進入 30m 前（d_{r0}=-30）の他車両の速度（v_c）（左）と加速度（a_c）（右）のヒストグラム（シナリオ No. 42）

表 B-1　交差点直進車両の交差点進入 30m 前（d_{r0}=-30）の他車両の速度（v_c）（左）と加速度（a_c）（右）のパーセンタイル（シナリオ No. 42）

n	%ile	v_c	a_c
12	100%	12.55	2.11
	95%	12.42	2.03
	75%	11.16	1.64
	50%	9.84	0.84
	25%	7.26	0.23
	5%	4.74	-0.31
	0%	3.93	-0.68

他車両 d_{r0}=-20

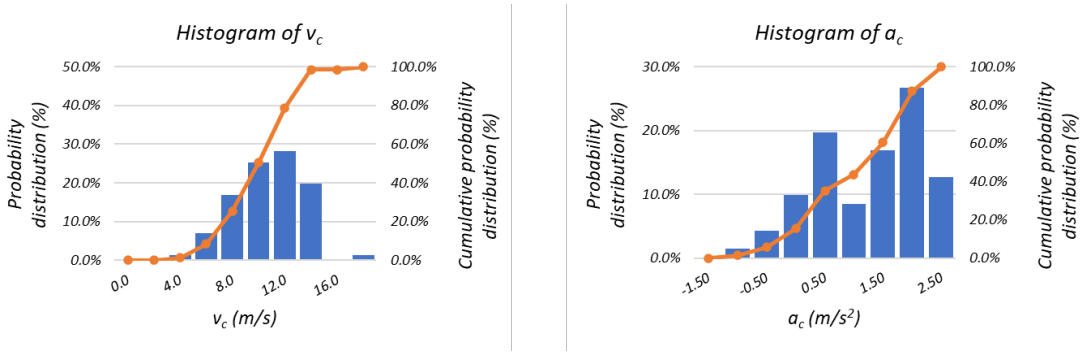


図 B-2　交差点直進車両の交差点進入 20m 前（d_{r0}=-20）の他車両の速度（v_c）（左）と加速度（a_c）（右）のヒストグラム（シナリオ No. 42）

表 B-2　交差点直進車両の交差点進入 20m 前（d_{r0}=-20）の他車両の速度（v_c）（左）と加速度（a_c）（右）のパーセンタイル（シナリオ No. 42）

n	%ile	v_c	a_c
12	100%	12.55	2.11
	95%	12.42	2.03
	75%	11.16	1.64
	50%	9.84	0.84
	25%	7.26	0.23
	5%	4.74	-0.31
	0%	3.93	-0.68

他車両 d_{r0}=-10

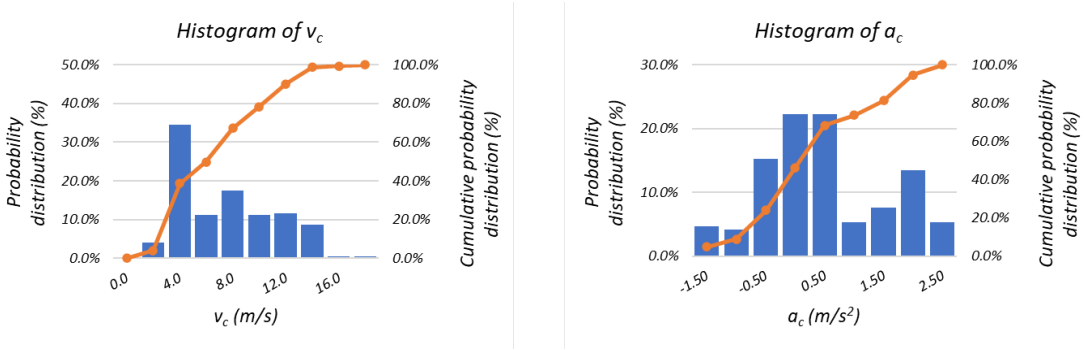


図 B-3　交差点直進車両の交差点進入 10m 前（d_{r0}=-10）の他車両の速度（v_c）（左）と加速度（a_c）（右）のヒストグラム（シナリオ No. 42）

表 B-3　交差点直進車両の交差点進入 10m 前（d_{r0}=-10）の他車両の速度（v_c）（左）と加速度（a_c）（右）のパーセンタイル（シナリオ No. 42）

n	%ile	v_c	a_c
171	100%	16.77	2.46
	95%	12.80	1.99
	75%	9.53	1.14
	50%	6.08	0.08
	25%	3.15	-0.47
	5%	2.07	-1.41
	0%	0.29	-1.50

他車両 d_{r0}=0

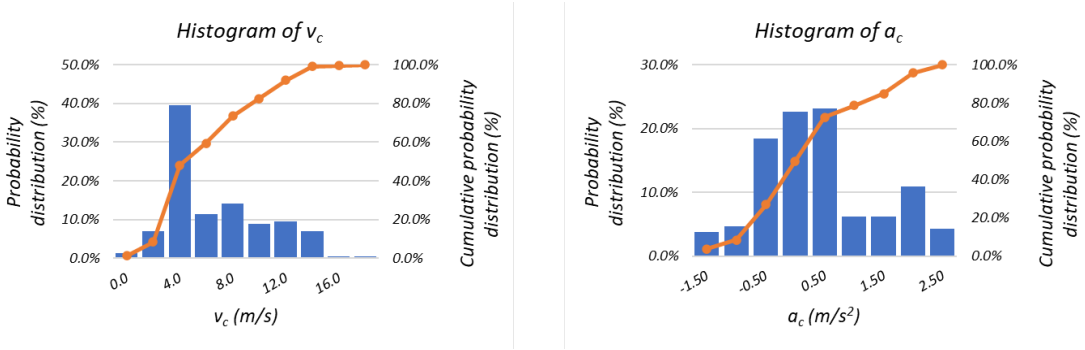


図 B-4　交差点直進車両の交差点進入時（d_{r0}=0）の他車両の速度（v_c）（左）と加速度（a_c）（右）のヒストグラム（シナリオ No. 42）

表 B-4　交差点直進車両の交差点進入時（d_{r0}=0）の他車両の速度（v_c）（左）と加速度（a_c）（右）のパーセンタイル（シナリオ No. 42）

n	%ile	v_c	a_c
212	100%	16.77	2.46
	95%	12.63	1.97
	75%	8.44	0.53
	50%	4.33	0.02
	25%	3.15	-0.50
	5%	1.25	-1.41
	0%	0.00	-1.50

他車両 d_{r0}=10

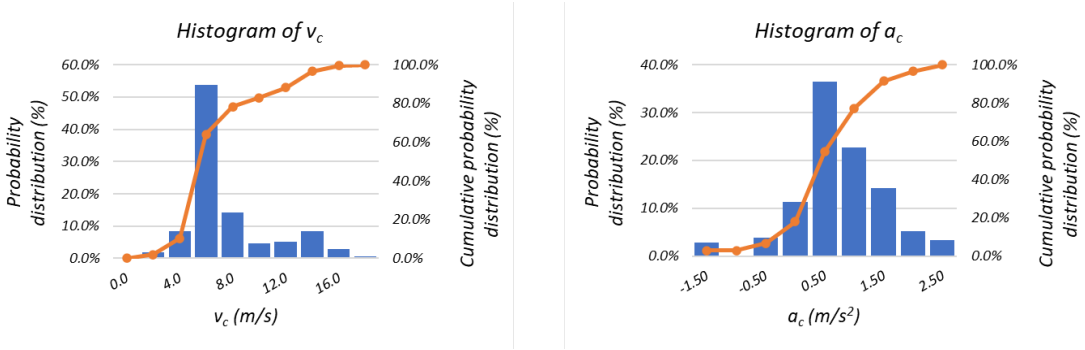


図 B-5　交差点直進車両の交差点進入 10m 後（d_{r0}=10）の他車両の速度（v_c）（左）と加速度（a_c）（右）のヒストグラム（シナリオ No. 42）

表 B-5　交差点直進車両の交差点進入 10m 後（d_{r0}=10）の他車両の速度（v_c）（左）と加速度（a_c）（右）のパーセンタイル（シナリオ No. 42）

n	%ile	v_c	a_c
212	100%	17.42	2.62
	95%	12.97	1.76
	75%	6.79	0.97
	50%	5.56	0.45
	25%	4.82	0.12
	5%	3.44	-0.64
	0%	0.20	-2.31

他車両 d_{r0}=20

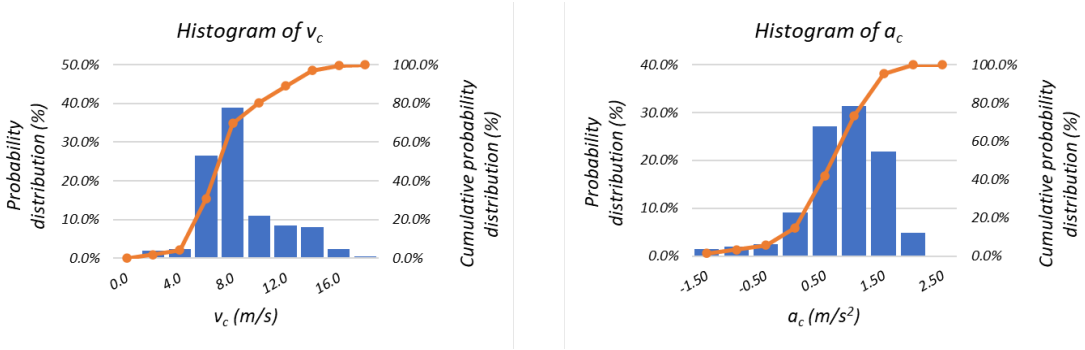


図 B-6　交差点直進車両の交差点進入 20m 後（d_{r0}=20）の他車両の速度（v_c）（左）と加速度（a_c）（右）のヒストグラム（シナリオ No. 42）

表 B-6　交差点直進車両の交差点進入 20m 後（d_{r0}=20）の他車両の速度（v_c）（左）と加速度（a_c）（右）のパーセンタイル（シナリオ No. 42）

n	%ile	v_c	a_c
211	100%	17.02	2.94
	95%	12.93	1.47
	75%	8.19	1.06
	50%	6.58	0.60
	25%	5.58	0.26
	5%	4.24	-0.59
	0%	1.14	-2.14

d_{r0}別の速度・加速度の散布図

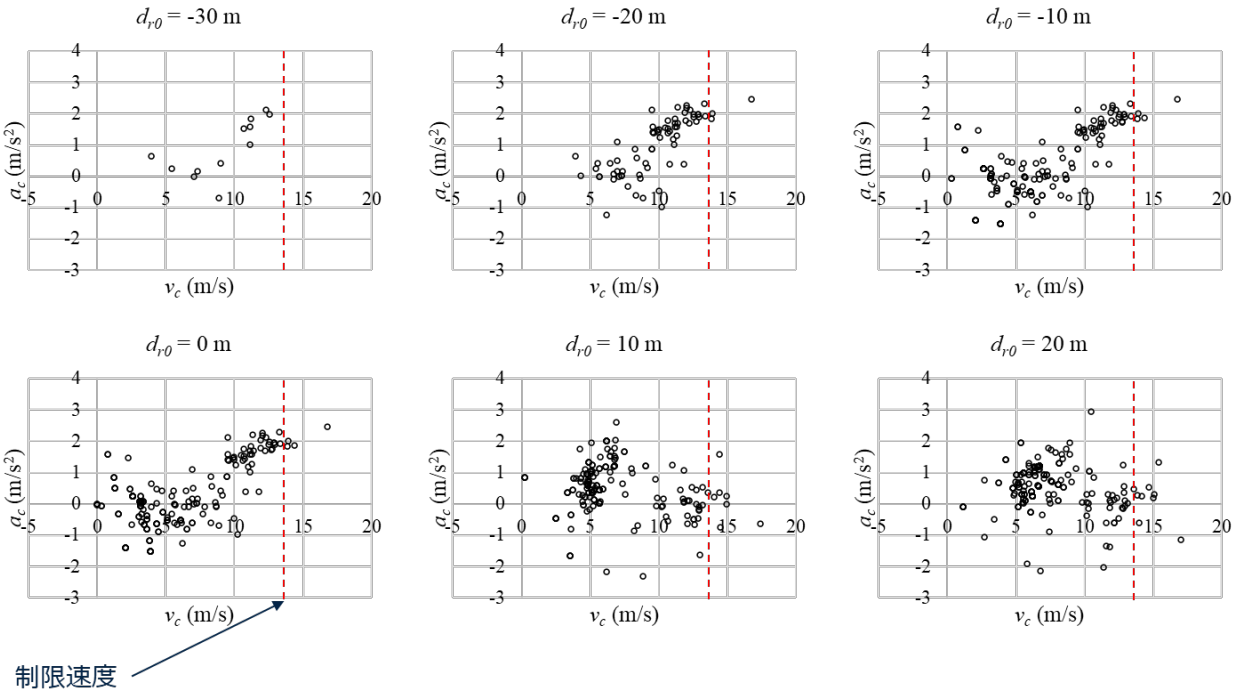


図 B-7　交差点直進車両の交差点通過時の速度（v_c）と加速度（a_c）の関係性（散布図）
（左上から交差点進入 30m 前（d_{r0}=-30）～交差点進入 20m 後（d_{r0}=20））
（シナリオ No. 42）

Appendix-C　No. 52 の LS パラメータ詳細

v_c

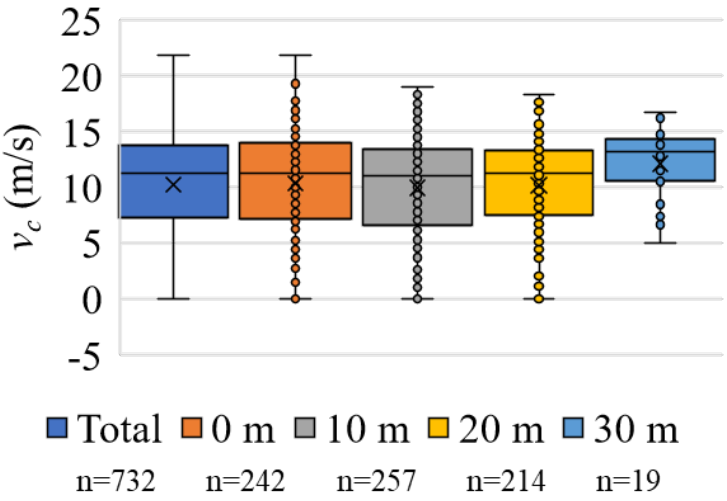


図 C-1　右折車両の交差点接近による直進車両の速度（v_c）変化（箱ひげ図）
（シナリオ No. 52）

表 C-1　右折車両の交差点接近による直進車両の速度（v_c）変化（パーセンタイル別）
（シナリオ No. 52）

	%ile	Ego vehicle position [m] 0 (n=242)	10 (n=257)	20 (n=214)	30 (n=19)	Unit
v_c	100%	18.85	18.16	17.27	16.68	m/s
	95%	16.22	15.92	14.92	14.50	
	75%	13.25	12.98	12.83	12.36	
	50%	10.97	10.87	10.74	10.76	
	25%	6.77	6.56	6.94	7.68	
	5%	0.01	0.01	0.17	6.50	
	0%	-0.02	-0.03	-0.01	5.03	

a_c

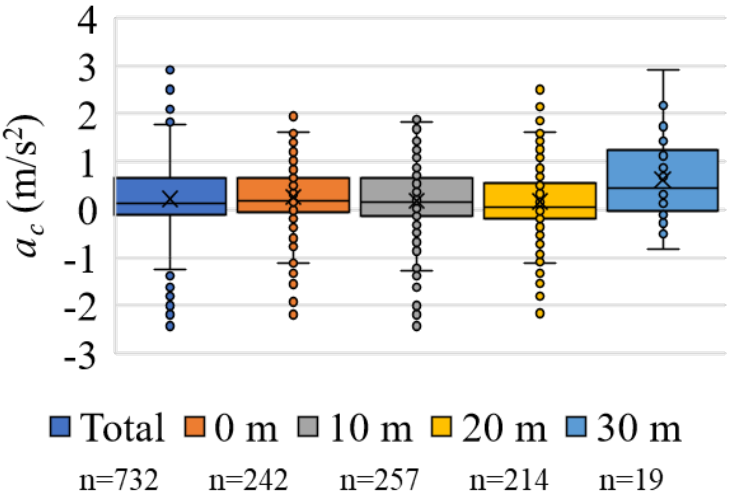


図 C-2　右折車両の交差点接近による直進車両の加速度（a_c）変化（箱ひげ図）
（シナリオ No. 52）

表 C-2　右折車両の交差点接近による直進車両の加速度（a_c）変化（パーセンタイル別）
（シナリオ No. 52）

	%ile	Ego vehicle position [m]				Unit
		0 (n=242)	10 (n=257)	20 (n=214)	30 (n=19)	
a_c	100%	2.17	1.91	2.15	2.92	m/s²
	95%	1.34	1.41	1.43	1.99	
	75%	0.73	0.65	0.41	1.56	
	50%	0.18	0.12	0.04	1.12	
	25%	-0.07	-0.16	-0.18	0.18	
	5%	-0.98	-1.24	-0.99	-0.53	
	0%	-2.19	-2.43	-2.17	-0.82	

d_{r0}

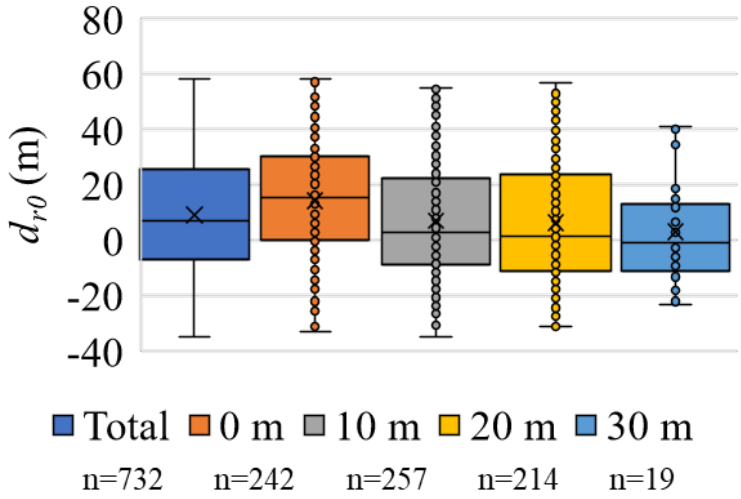


図 C-3　右折車両の交差点接近による直進車両と交差点進入までの距離（d_{r0}）変化（箱ひげ図）（シナリオ No. 52）

表 C-3　右折車両の交差点接近による直進車両と交差点進入までの距離（d_{r0}）変化（パーセンタイル別）（シナリオ No. 52）

		Ego vehicle position [m]				
	%ile	0 (n=242)	10 (n=257)	20 (n=214)	30 (n=19)	Unit
d_{y0}	100%	58.86	58.19	55.98	39.91	m
	95%	45.70	44.64	42.45	20.56	
	75%	26.32	23.89	22.98	9.35	
	50%	11.96	3.02	2.23	0.00	
	25%	-1.98	-8.13	-11.49	-10.47	
	5%	-21.75	-22.66	-24.97	-19.65	
	0%	-33.31	-34.95	-31.31	-22.25	

d_{y0}

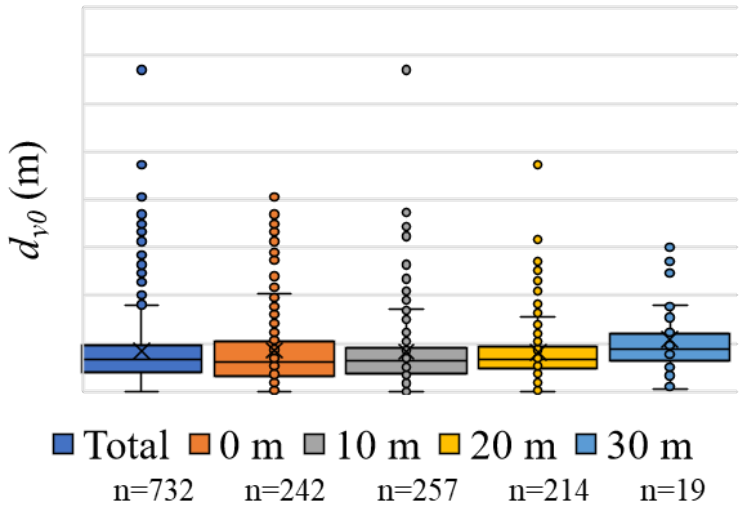


図 C-4　右折車両の交差点接近による直進車両と右折車両の横距離（d_{y0}）変化（箱ひげ図）（シナリオ No. 52）

表 C-4　右折車両の交差点接近による直進車両と右折車両の横距離（d_{y0}）変化（パーセンタイル別）（シナリオ No. 52）

	%ile	Ego vehicle position [m]				Unit
		0 (n=242)	10 (n=257)	20 (n=214)	30 (n=19)	
d_{y0}	100%	7.36	6.64	9.45	5.28	m
	95%	4.21	3.83	2.98	4.92	
	75%	1.84	1.73	1.69	2.31	
	50%	1.27	1.21	1.29	1.70	
	25%	0.69	0.71	0.84	1.04	
	5%	0.15	0.23	0.18	0.24	
	0%	0.02	0.01	0.01	0.22	

Appendix-D　実験場面選定：道路交通法による交差点通過方法

一般道でのクライテリアについて具体的に検討する前に、交差点での二つのシナリオ（No. 42、 52）が交差点通過のシナリオとしての「あるべき姿に」ついて道路交通法の内容から検討する。表 B-1 は交差点通過に関する道路交通法を示す。

道路交通法では、交差点通過時の当事者で右折車両と直進車両に分けて、それぞれ法規について定義されており、基本的な考え方は交差点を通過するときの方法について、「他車両を妨害しないように通過すること」とされている。ここで、道路交通法では進行妨害を次のように定義している。

「第一章　第二条　二十二　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」

つまり、自車両の動きにより、他車両の行動が「速度又は方向を急に変更」されることを意味している。これらの定義は定性的に表現されているため、安全性評価のために、どれだけ妨害されたかの定量化が必要となる。

次は、二つのシナリオ（No. 42、52）に対して、本研究で DS 実験を実施するための優先順位を検討する。シナリオの構成要素以外の道路環境から交差点通過時に遭遇する場面は図 D-1 のように、走行している車線（優先側、非優先側）や止まれ標識の有無が考えられる。各条件による No.42 と 52 シナリオのクライテリアについて検討を行う。

表 D-1　交差点通過に関する道路交通法

当事者	該当する道路交通法	説明
右折車	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
	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	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

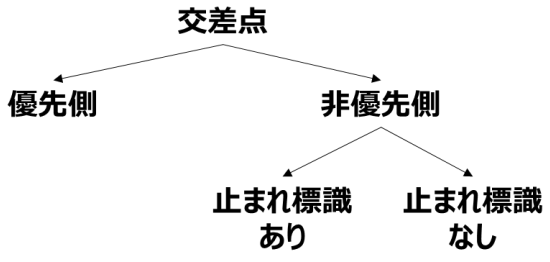


図 D-1　一般道交差点に遭遇する場面

まず、自車両が優先側を走行する場面を検討すると、自車両が第 2 当事者、つまり、「妨害を受ける側」となり、他車両が第 1 当事者「妨害する側」となる。この場合、妨害の定量化には、自車両のセンサーの機能限界、制動性能や安全マージンの設計が必要となる。これらの自車両が減速回避する課題については、特に ALKS (Automated Lane Keeping system)の評価のために議論されている。ALKS の安全性評価のために、合理的に予見できる防止可能な事故（Reasonably foreseeable and preventable）の防止可能な範囲について、C&C ドライバ（Competent and careful human driver）モデルを用いて定義している。

次は、自車両が非優先側を走行する場面を検討する。非優先側を通過する時には止まれの標識の有無により分類され、標識がある場合では、必ず一時停止しなければならない。この場面では、上記交差点通過に関する道路交通法（上表）で述べたように、他車両に妨害しないように発進する安全基準が必要となる。

最後に、自車両が非優先側の止まれ標識がない道路を走行する場合を検討する。止まれ標識がない交差点について道路交通法では、通過方法について以下のように定義している。

第三章　第六節　第三十六条　交差点における他の車両等との関係等

２　車両等は、交通整理の行なわれていない交差点においては、その通行している道路が優先道路（道路標識等により優先道路として指定されているもの及び当該交差点において当該道路における車両の通行を規制する道路標識等による中央線又は車両通行帯が設けられている道路をいう。以下同じ。）である場合を除き、交差道路が優先道路であるとき、又はその通行している道路の幅員よりも交差道路の幅員が明らかに広いものであるときは、当該交差道路を通行する車両等の進行妨害をしてはならない。

３　車両等（優先道路を通行している車両等を除く。）は、交通整理の行なわれていない交差点に入ろうとする場合において、交差道路が優先道路であるとき、又はその通行している道路の幅員よりも交差道路の幅員が明らかに広いものであるときは、徐行しなければならない。

つまり、交差道路が優先道路、もしくは道路の幅員が広い場合は、徐行する必要があり、交差する他車両の進行妨害をしてはならないことがわかる。

Appendix-E　シナリオ作成に用いたデータの透明性 説明性の向上に関する詳細内容

E.1　取組概要

3.4.1.2 で定義したゴールを達成するために追加・変更する必要があるコンテンツを表 E.1-1 にまとめた。

表 E.1-1 追加・変更対象となるエビデンス管理システムのコンテンツ

#	コンテンツ名称	内容
1	ストレージディレクトリ構成	○令和4年度エビデンス管理システムを構築したプロセス 　品質検査結果ファイルを格納する場所の定義追加 ○定点観測 データ収集（定点観測）プロセスのエビデンスデータおよび品質検査結果ファイルを格納する場所の定義追加
2	トレーサビリティデータモデル	○令和4年度エビデンス管理システムを構築したプロセス 　各プロセスのテーブルにエビデンスデータの品質情報（品質検査実施状況、品質検査結果、品質検査結果ファイルの3項目）の追加 ○定点観測 データ収集（定点観測）プロセスのトレーサビリティデータを管理するテーブルの追加（品質情報項目含む）
3	トレーサビリティデータ出力機能	○令和4年度エビデンス管理システムを構築したプロセス 　入力として品質検査結果ファイルを追加し、そこから読み取った情報を編集し、トレーサビリティデータの品質情報項目に値として設定できるよう改修 ○定点観測 　データ収集（定点観測）プロセスのエビデンスデータと対応する品質検査結果ファイルを入力として、トレーサビリティデータ（ファイル）を生成する機能の開発
4	トレーサビリティデータ取込機能	○令和4年度エビデンス管理システムを構築したプロセス 　トレーサビリティデータ出力機能で生成したファイルから読み取った値を、#2.で追加したトレーサビリティデータモデルの品質情報項目に記録できるよう改修 ○定点観測 トレーサビリティデータ出力機能で生成しファイルから値を読み取り、トレーサビリティデータ（データベース）として記録する機能の開発（品質情報項目含む）
5	エビデンス情報出力機能 （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機能。#2.で追加した各テーブルの品質情報項目と定点観測のテーブルを出力対象に追加できるよう改修 ■ファイル エビデンスデータであるファイルをダウンロードする本機能は令和5年度事業においてプログラムの改修が発生しない

上記の対応が完了した場合のイメージと取組内容との対応を図E.1-1に示す。

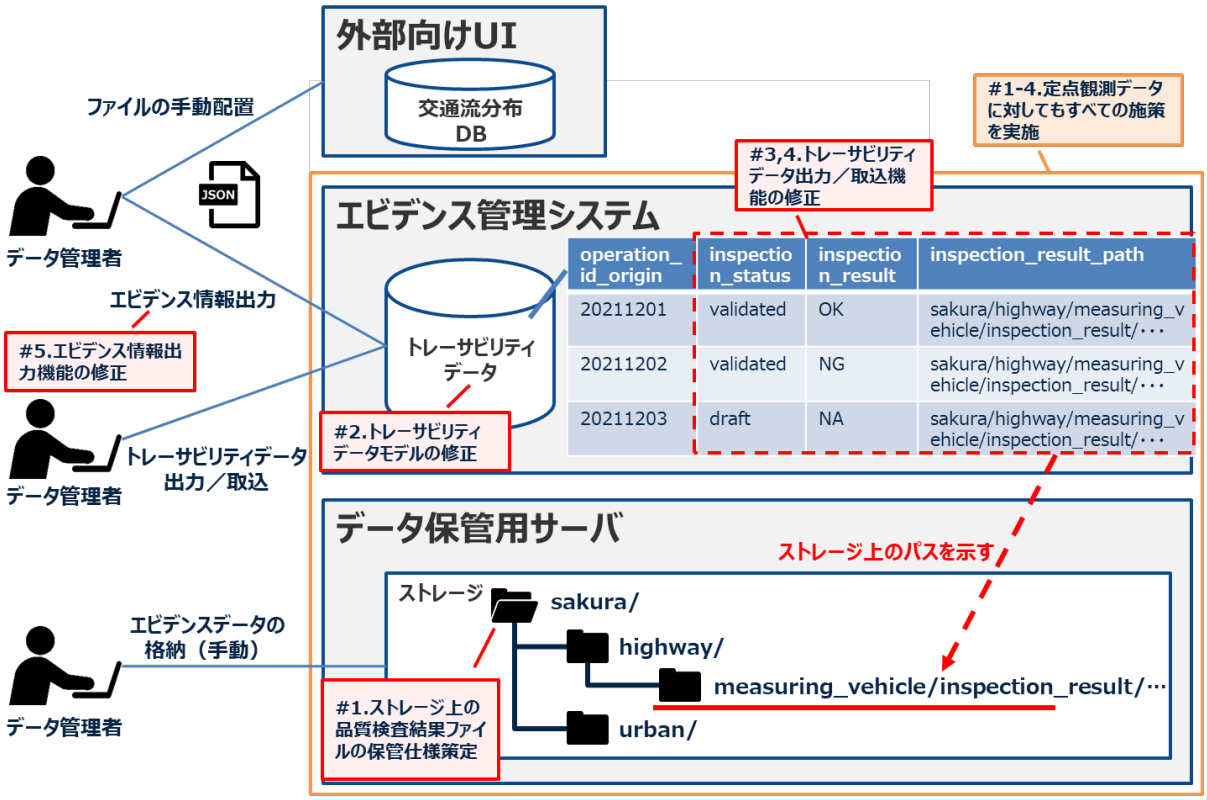


図 E.1-1　令和 5 年度事業が完了した場合のイメージと取組内容の対応

E.2　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 3.4.1.2-1 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、表 E.2-1 にまとめた。

表 E.2-1　SAKURA データ分析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、システム間のデータ連携については、令和 4 年度事業と同様に、担当者による手作業にて実施した。

（2）　機能要件

表 E.1-1 内で示した機能の内、令和 5 年度事業にて、追加・変更する機能を詳細化した機能一覧を表 E.2-2 に示す。本結果を令和 5 年度事業の開発範囲と定めた。

表 E.2-2　令和 5 年度事業で追加・変更するエビデンス管理システムの機能一覧

#	機能名	プロセス名	説明
1	トレーサビリティデータ出力	データ収集（定点観測）	定点観測の軌跡データとその品質検査結果を入力として、トレーサビリティデータを生成する。
		物標認識（点群）	計測車両にて取得した点群データ／各種センサーデータから生成した物標認識結果とその品質検査結果を入力として、トレーサビリティデータを生成する。
2		物標認識（画像）	計測車両にて取得した画像データとその品質検査結果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		マップマッチング	実交通流（高速道路）や定点観測のマップマッチング結果とその品質検査結果を入力として、トレーサビリティデータを生成する。
4		シーン抽出	実交通流（高速道路）や定点観測のシーン抽出結果とその品質検査結果を入力として、トレーサビリティデータを生成する。
5	トレーサビリティデータ取込	データ収集（定点観測）	#1.トレーサビリティデータ出力（データ収集（定点観測））が生成したファイルのデータ（品質情報含む）をトレーサビリティデータとして記録する。
		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））が生成したファイルのデータ（品質情報含む）をトレーサビリティデータとして記録する。
6		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））が生成したファイルのデータ（品質情報含む）をトレーサビリティデータとして記録する。
7		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）が生成したファイルのデータ（品質情報含む）をトレーサビリティデータとして記録する。
8		シーン抽出	#5.トレーサビリティデータ出力（シーン抽出）が生成したファイルのデータ（品質情報含む）をトレーサビリティデータとして記録する。
9	エビデンス情報出力（データ／ファイル）	-	定点観測のデータや各分析プロセスの品質情報含む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。

E.3　システム仕様

（1）　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 E.3-1、表 E.3-1 に示す。令和 4 年度事業完了時点からの主な変更点としては、データ収集（定点観測）に関するデータモデルの追加およびマップマッチングプロセスの精度情報の削除が該当する。モデルは、SAKURA データ分析プロセスの分析プロセス毎に管理しているため、ここでは分析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については、E.4 (1) トレーサビリティデータ出力／取込の各分析プロセス毎の機能説明に記載している。

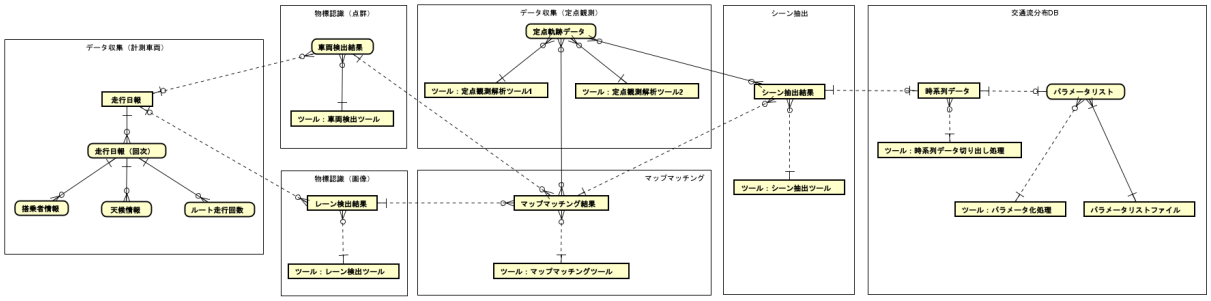


図 E.3-1　トレーサビリティデータモデル（全体像）

表 E.3-1　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	データ収集（定点観測）	定点軌跡データ	定点観測の軌跡の情報
7		定点観測解析ツール 1	撮影した動画から交通流の多いシーンを画像として抽出するツールのバージョンとパラメータ情報
8		定点観測解析ツール 2	画像から軌跡情報を抽出するツールのバージョンとパラメータ情報
9	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
10		車両検出ツール	車両検出ツールのバージョン情報
11	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
12		レーン検出ツール	レーン検出ツールのバージョン情報
13	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
14		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
15	シーン抽出	シーン抽出結果	高速道路交通流シナリオのシーン抽出結果情報
16		シーン抽出ツール	シーン抽出ツールのバージョン情報
17	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
18		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
19		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
20		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
21		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

（2）　ストレージディレクトリ構成

令和 5 年度事業では、エビデンスデータおよび品質検査結果ファイルを管理するストレージ上の格納先ディレクトリの構成として下記のルールを定義した。

- 令和4年度にエビデンス管理システムを構築した分析プロセスにおける、品質検査結果ファイルを格納するディレクトリの作成ルール
- データ収集（定点観測）プロセスのエビデンスデータおよび品質検査結果ファイルを格納するディレクトリの作成ルール

上記で定義したルールに基づいたストレージ上の格納先ディレクトリ（フォルダ）パスについて、下記の表 E.3-2 に示す。

表 E.3-2　各分析プロセスの格納先ディレクトリ（フォルダ）パス

#	プロセス名	格納先パス
1	データ収集 （定点観測）	○エビデンスデータ sakura/fixed_point/{処理年度}/{タイムスタンプ}_{管理番号}/ ○品質検査結果ファイル sakura/fixed_point/{処理年度}/{タイムスタンプ}_{管理番号}/ tragectories/pana_result/dataset2/{タイムスタンプ}/ inspection_result/{軌跡データ ID}/
2	物標認識 （点群）	○品質検査結果ファイル sakura/object_recognition/{処理年度}/measuring_vehicles/ {出力バージョン}/{運行 ID}/inspection_result/
3	物標認識 （画像）	○品質検査結果ファイル sakura/lane_recognition/{処理年度}/measuring_vehicles/ {出力バージョン}/{運行 ID}/inspection_result/
4	マップマッチング	○品質検査結果ファイル sakura/map_matching/{処理年度}/{データ種別}/{出力バージョン}/ {運行 ID}/inspection_result/
5	シーン抽出	○品質検査結果ファイル sakura/scene_classify/{処理年度}/{データ種別}/{出力バージョン}/ inspection_result/{運行 ID}/

【補足：表中で使用している用語の説明】
・処理年度：各分析プロセスにて、ツールを実行しエビデンスデータを出力した年度。
・タイムスタンプ：対象のエビデンスデータの入力データを収集した日時
・管理番号：データ収集（定点観測）プロセスにて、撮影した動画から選定したシーンを識別するために付与する記号
・軌跡データ ID：データ収集（定点観測）プロセスにて、シーンから検出された車両ごとの軌跡を識別するための ID
・出力バージョン：各分析プロセスにて、対象のエビデンスデータを出力した際のツールのバージョンを識別するための値
・運行 ID：データ収集（計測車両および定点観測）プロセスにて、シーンから検出されたタイムスタンプごとの運行情報を識別するための ID
した運行情報
・データ種別：マップマッチングプロセスおよびシーン抽出プロセスにて、処理対象とな

る計測車両のデータと定点観測のデータを識別するための記号。計測車両の場合、”measuring_vehicles”が、定点観測の場合、”fixed_point”が設定される

E.4　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（定点観測）

データ収集（定点観測）では、撮影した動画からシーンを選定し、処理を施し、仕様で定められた所定の形式（Dataset2）でそのシーンで検出された全ての車両に対する軌跡データを出力する。定点観測の処理概略を図 E.4-1 に示す。

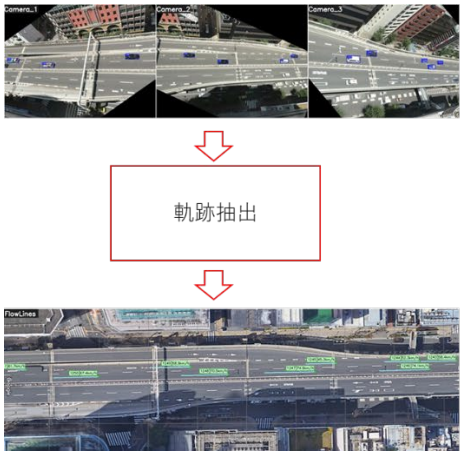


図 E.4-1　定点観測処理概略

①トレーサビリティデータ出力

ｉ）前提事項

図 E.4-2 は、2019 年 8 月 5 日に撮影した池袋の映像から 12 時 11 分をスタートとして 30 分間のシーンを切出し、その間に走行した車両軌跡に関して出力した結果の一部である。図 E.4-2 の例において ikebukuro_20190805_121100_834_dataset2_ID00003.csv の ID00003 はこのシーンにおいて検出した車両の ID を示している、大型車と 2 輪車が除外されている事で ID が不連続となっている事が分かる。

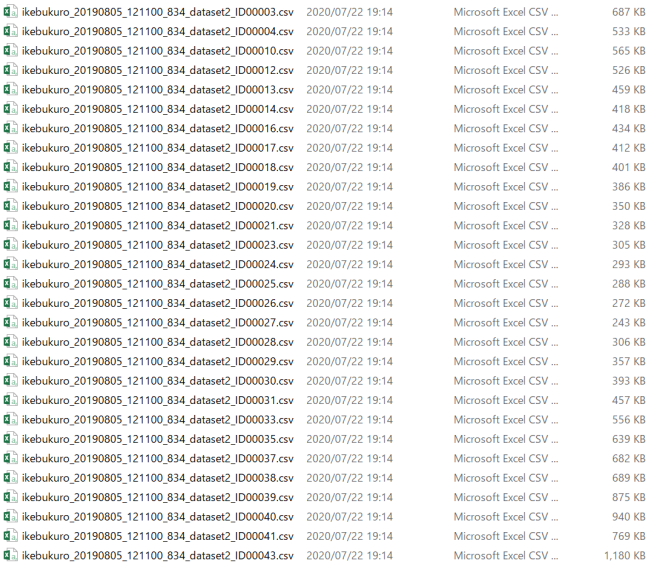


図 E.4-2　定点観測軌跡抽出結果（一部）

定点観測では、178 シーンから軌跡抽出を実施し約 17 万台の軌跡データを作成した。シーン毎に検出される車両台数も異なり、また大型車や 2 輪車が検出対象車両から除外されるため、検出された車両数と車両 ID を正確に取得するためには、各シーンの軌跡データが格納されているフォルダを確認し、軌跡データのファイル名を基にトレーサビリティデータを作成する必要がある。

定点観測で作成した際のファイル名で軌跡データが格納されている事を前提に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ツールを作成した。

また、定点観測では軌跡データを導出する際に用いたツールのパラメータ情報や、画像データ格納先パス、軌跡データ格納先パス等、トレーサビリティデータを構成する情報が多岐にわたるため、これらをシーン毎に整理した evidence_base.csv（詳細な項目情報は後述）を作成しこれが正しい事を前提にツールを作成した。

ⅱ) 設計概要

本機能の処理フローを図 E.4-3 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、Dataset2 格納の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、指定されたディレクトリに存在する軌跡データよりトレーサビリティデータとして定義された項目の値を抽出し、1 ファイルにまとめて出力する。

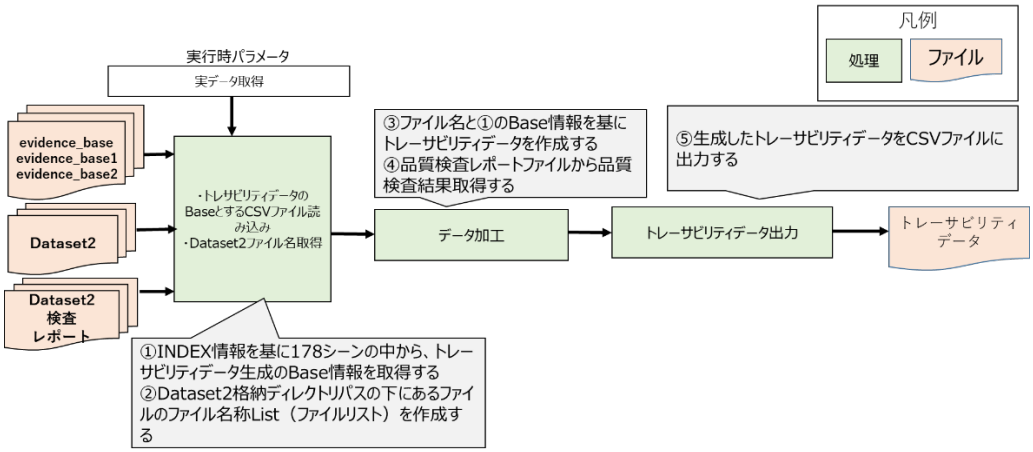


図 E.4-3　トレーサビリティデータ出力機能の処理フロー

処理フローに記載の各処理の内容について説明する。

処理①：INDEX 情報を基に 178 シーンの中から、トレーサビリティデータ生成の Base の情報が格納されている evidence_base.csv から該当シーンの情報を読み込み、このシーンにおけるトレーサビリティデータして必要な項目を取得する。
evidence_base1.csv からトレーサビリティデータのデータ型の取得を行い、evidence_base2.csv からトレーサビリティデータとして出力するファイルのカラムを取得する。

処理②：Dataset2 格納ディレクトリパスの下にあるファイルのファイル名称 List（ファイルリスト）を作成する。
軌跡データの ID 数が不連続で、正確な運行 ID が不明なので、ファイル名から判断する。ファイル名称 List は図 B.4-2 に示した軌跡抽出結果のファイル名の一覧を作成し、処理③の処理はその List 一つ一つに対して実施する。

処理③：データ加工
処理①で取得したデータと処理②で作成したファイル名称から、対象トレーサビリティデータ（車両軌跡 ID、軌跡抽出 Tool1 のパラメータ情報、軌跡抽出 Tool2 のパラメータ情報、カメラ映像格納パス、品質検査結果ファイルパス、品質検査実施状況、品質検査結果）の値を抽出し、出力ファイルの形式（データ構造、データ型）に合わせて加工する。

処理④：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参照。
※出力ファイルの詳細は、ⅴ) 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。

ⅲ) 設計詳細

ⅱ) 設計概要の処理内容において、詳細な仕様の説明が必要な処理について、以下に記載する。

処理①：

本処理で利用するevidence_base.csvの定義を表E.4-1に示す。

表 E.4-1　evidence_base.csv 定義項目

#	データ名称	内容
1	Place	データ取得場所を示し、process_version 2の定点観測解析ツール2のバージョンの一部として利用
2	管理番号	シーン管理番号を示し、process_version 1の定点観測解析ツール1のバージョンの一部として利用
3	納品時フォルダ名称	8～10のファイルパスの一部の文字列として使用
4	folder	8～10のファイルパスの一部の文字列として使用
5	納品時フォルダ名称（Place付）	8～10のファイルパスの一部の文字列として使用
6	処理年度	8～10のファイルパスの一部の文字列として使用
7	INDEX	納品した178シーンのシーン固有番号
8	tragectories_path	軌跡データ格納先ファイルパス
9	image_path	撮影映像格納先ファイルパス
10	品質検査結果	品質検査結果ファイルパス
11	軌跡抽出バージョン	定点観測解析ツール1のベースバージョンを示し、process_version1の定点観測解析ツール1のバージョンの一部として利用
12	段差補正	定点観測解析ツール1のgap_correctionに相当する値で段差補正をしているかどうかを"TRUE"or"FALSE"で表す
13	座標変換	定点観測解析ツールのベースバージョンを示し、process_version2の定点観測解析ツール2のバージョンの一部として利用
14	x_l	定点観測解析ツール1のeffective_range_lower_xの設定値
15	x_u	定点観測解析ツール1のeffective_range_upperの設定値

処理③：データ加工

入力である品質検査結果格納先フォルダ内に、指定された車両軌跡 ID の品質検査結果ファイルが存在しない場合は品質検査実施状況に未実施を示す"draft"を設定、品質検査結果ファイルパス及び品質検査結果は null とする。

入力として指定した品質検査結果格納先フォルダ内に、指定された車両軌跡 ID の品

質検査結果ファイルが存在する場合は、品質検査実施状況は実施済みを示す"validated"を設定、品質検査結果と品質検査結果ファイルパスを仕様に合わせて加工する。

iv) 動作環境

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 E.4-2 に示す。

表 E.4-2　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

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、図 E.4-4 の fixed_point フォルダ配下に、実行時に必要なファイルとともに配置する。

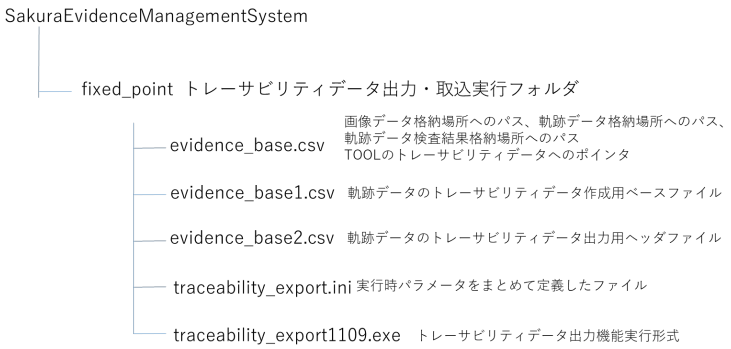


図 E.4-4　トレーサビリティデータ出力機能の実行に必要なファイル群と配置先

プログラムの実行方法を下記に、実行時パラメータを表 E.4-3 に示す。
起動引数として指定する ini ファイルのファイル名は可変であるが、実行ごとに新しいファイル名で新規作成する必要がある。

```
traceability_export1109.exe　-c traceability_export.ini
```

表 E.4-3　traceability_export.ini のパラメータ

#	実行時パラメータ	必須	デフォルト値	内容
1	Index	○	-	シーン番号 (178シーンに対して採番 evidence_base.csvに記載の情報を基に0-177の値を設定)
2	実行環境格納ディレクトリパス	○	-	出力機能実行用ファイルを格納したディレクトリ
3	軌跡データ品質検査結果格納ディレクトリパス	○	-	トレーサビリティデータ作成対象の軌跡データに対する品質検査結果を格納したディレクトリ
4	軌跡データ格納ディレクトリパス	○	-	トレーサビリティデータ作成対象の軌跡データを格納したディレクトリ
5	トレーサビリティデータ出力先ディレクトリパス	○	-	トレーサビリティデータ出力結果格納先ディレクトリ
6	トレーサビリティデータファイル名称	○	-	トレーサビリティデータの出力ファイル名称

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 E.4-4 に示す情報をもった CSV 形式のデータであり、traceability_export.ini で指定された出力先と出力ファイル名称に従いファイル出力する。

表 E.4-4　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	軌跡データファイル名称から設定
2	process_version1	文字列	軌跡抽出 Tool1 のパラメータ情報	evidence_base.csv の項目 11 と項目 2 を連結して生成
3	process_version2	文字列	軌跡抽出 Tool2 のパラメータ情報	evidence_base.csv の項目 13 と項目 1 を連結して生成
4	tragectories_path	文字列	軌跡データ格納先ファイルパス	evidence_base.csv の項目 8 より取得
5	fixed_point_image_path	文字列	撮影映像格納先ファイルパス	evidence_base.csv の項目 9 より取得
6	inspection_result_path	文字列	品質検査結果ファイルパス	evidence_base.csv の項目 10 より取得
7	inspection_status	文字列	品質検査実施状況	品質検査結果ファイルの存在有無により判定
8	inspection_result	文字列	品質検査結果	品質検査結果ファイルを読込、結果を反映
9	create_at	タイムスタンプ	登録日	-
10	update_at	タイムスタンプ	更新日時	-

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 E.4-5 に示す。概要としては、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指定し、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。

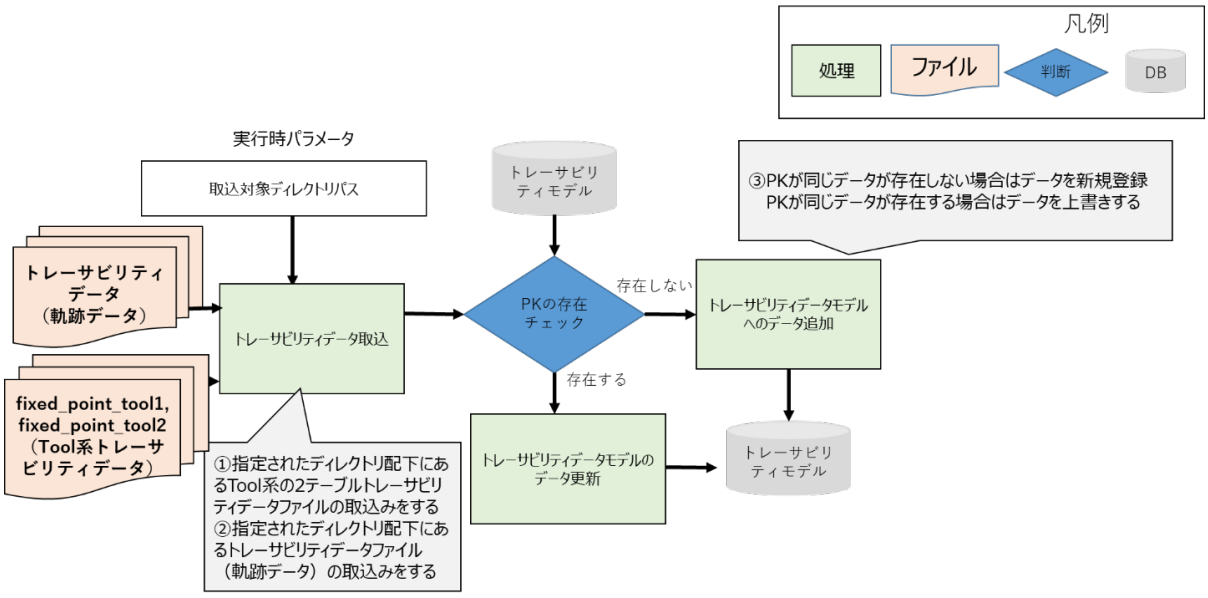


図 E.4-5　トレーサビリティデータ取込機能の処理フロー

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(Tool)

Tool に関するトレーサビリティデータをファイルから取得する。Tool は 2 ファイルあり、それぞれについて登録／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取込

軌跡データに関するトレーサビリティデータをファイルからデータを取得する。軌跡データはこのシーンにおいて、軌跡を求めた全ての車両データに関するデータセットを構築する。

処理③：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、Pk が同じであるデータの有無を確認の上、下記の通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 E.4-5 に示す。

表 E.4-5　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	2.9.7

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、図 E.4-6 の fixed_point ディレクトリ配下に、実行時に必要なファイルとともに配置する。



図 E.4-6　トレーサビリティデータ取込機能の実行に必要なファイル群と配置先

本機能は、windows、Linux の両 OS で実行する可能性があるため、2 種類のプログラムの実行方法および実行時パラメータを表 E.4-6 に示す。

（windows）traceability_import1109.exe　-c traceability_import.ini
（Linux）python traceability_import.py -c traceability_import.ini

表 E.4-6　traceability_import.ini のパラメータ

#	実行時パラメータ	必須	デフォルト値	内容
1	実行環境格納ディレクトリパス	○	-	taraceability_import1109.exe を格納したディレクトリ
2	トレーサビリティデータ	○	-	取込対象となるトレーサビリティデータファイル名
3	Dbnmane	○	-	接続先データベース名
4	user	○	-	データベース接続に使用するユーザ ID
5	password	○	-	データベース接続に使用するパスワード
6	host	○	-	データベースサーバのアドレス
7	port	○	-	データベースサーバの通信ポート番号

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トレーサビリティデータファイル内に存在する、複数の車両のデータを一括で処理する設計になっている。

ⅳ) データモデル仕様

定点観測によるデータ収集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 E.4-7 に、モデルの項目情報を表 E.4-7～9 に示す。

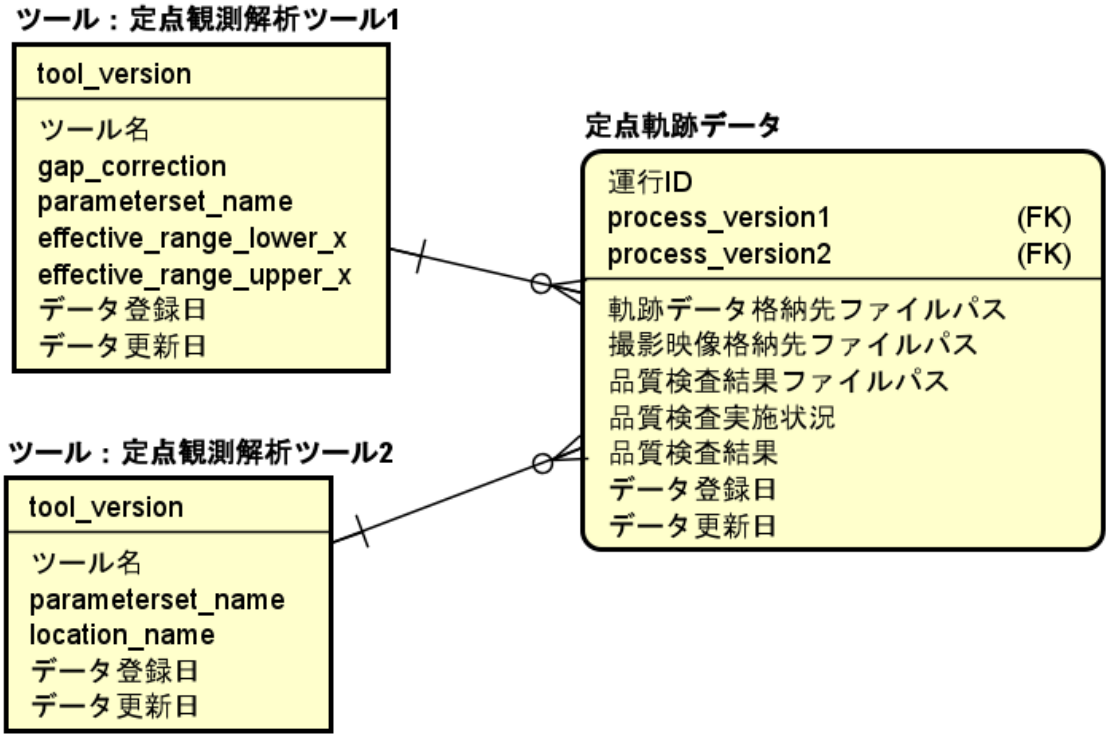


図 E.4-7　トレーサビリティデータ取込（定点観測）が登録するモデル

表 E.4-7　定点軌跡データの項目

#	項目名	データ型(桁数)	内容	データ取得元
1	operation_id	VARCHAR(150)	車両 ID	取込対象ファイルの同項目
2	process_version1	VARCHAR(100)	Tool1 のバージョン	取込対象ファイルの同項目
3	process_version2	VARCHAR(100)	Tool2 のバージョン	取込対象ファイルの同項目
4	tragectories_path	VARCHAR(1000)	軌跡データ格納先ファイルパス	取込対象ファイルの同項目
5	fixed_point_image_path	VARCHAR(1000)	撮影映像格納先ファイルパス/	取込対象ファイルの同項目
6	inspection_result_path	VARCHAR(1000)	品質検査結果ファイルパス	取込対象ファイルの同項目
7	inspection_status	VARCHAR(20)	品質検査実施状況	取込対象ファイルの同項目
8	inspection_result	VARCHAR(10)	品質検査結果	取込対象ファイルの同項目
9	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
10	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 E.4-8　定点観測解析ツール 1 の項目

#	項目名	データ型(桁数)	内容	データ取得元
1	tool_version	VARCHAR(100)	tool_version	取込対象ファイルの同項目
2	tool_name	VARCHAR(100)	ツール名	取込対象ファイルの同項目
3	gap_correction	VARCHAR(10)	gap_correction	取込対象ファイルの同項目
4	parameterset_name	VARCHAR(10)	parameterset_name	取込対象ファイルの同項目
5	effective_range_lower_x	INT	effective_range_lower_x	取込対象ファイルの同項目
6	effective_range_upper_x	INT	effective_range_ upper _x	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 E.4-9　定点観測解析ツール 2 の項目

#	項目名	データ型(桁数)	内容	データ取得元
1	tool_version	VARCHAR(100)	tool_version	取込対象ファイルの同項目
2	tool_name	VARCHAR(100)	ツール名	取込対象ファイルの同項目
3	parameterset_name	VARCHAR(10)	parameterset_name	取込対象ファイルの同項目
4	location_name	VARCHAR(100)	location_name	取込対象ファイルの同項目
5	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
6	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）

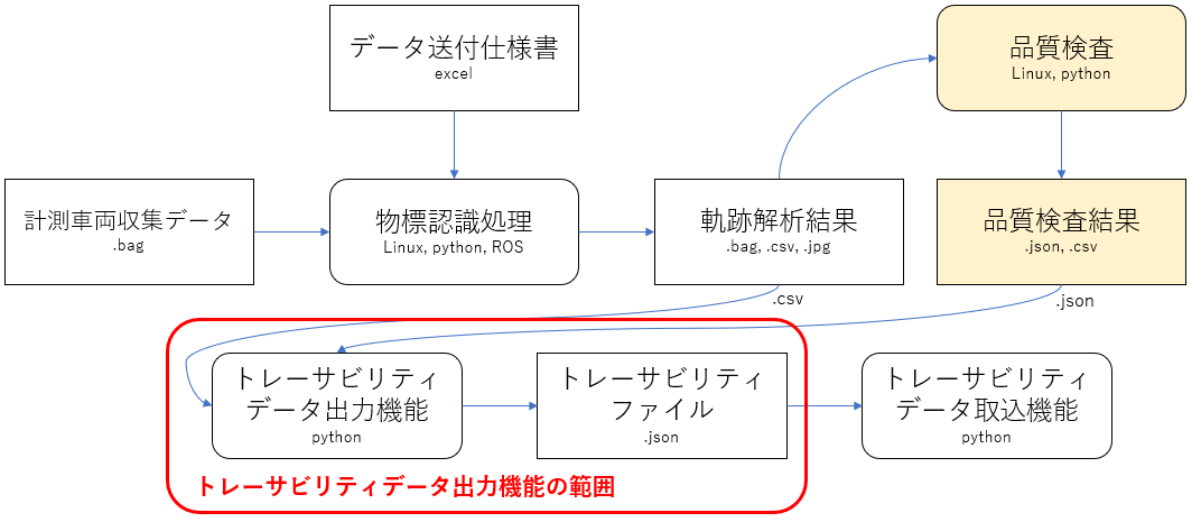
点群情報処理におけるエビデンス管理のため、令和 4 年度から LiDAR からの点群情報処理結果について、入出力データやそのバージョン情報といったトレーサビリティ情報を作成する機能を設計してきた。

令和 5 年度は同じく令和 4 年度に検討を行った品質検査結果との連携について検討し機能の追加・変更を行った。以下の各項目で、主に令和 5 年度に実施した改修内容について述べる。

① トレーサビリティデータ出力

ⅰ) 設計概要

物標認識（点群）におけるエビデンス管理の処理フロー全体像のうち、トレーサビリティデータ出力が担う範囲を図 E.4-8 に示す。



※1 矩形はデータ・ファイル、角丸は処理を表す
※2 各項目には該当データの形式・拡張子や処理に利用するプログラミング言語を併記した
※3 黄色背景の項目は令和5年度にエビデンス管理フローに追加された項目

図 E.4-8　トレーサビリティデータ出力機能の処理フロー

令和 5 年度からは品質検査結果を同時に管理するフローとなったため、令和 4 年度の処理フローに対して、品質検査プロセスを追加している。そのため、品質検査プロセスの品質検査結果を入力として追加した。品質検査結果から読み取った情報から「品質検査結果」「品質検査実施状況」「品質検査結果ファイルパス」の値を生成し、出力ファイルであるトレーサビリティデータファイルに出力できるよう改修した。

【補足】

※出力ファイルの詳細は、ⅳ) 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。

ⅱ) 設計詳細

図 E.4-8 の処理フローを実現するため、トレーサビリティデータ出力機能に下記のような改修を行った。

まず、品質検査結果フォルダパス内に、品質検査結果ファイルが存在するかどうかを確認し、存在する場合には品質検査実施状況として“validated”を、存在しない場合には“draft”を指定する。

その後、品質検査実施状況が“validated”の場合、品質検査結果ファイルを確認し、品質検査に合格している場合は、品質検査結果に“OK”を、不合格の場合には“NG”を指定する。なお、この確認の際に合否が判定できないなど品質検査結果ファイル自体に問題があると思われる場合には“NA”を設定することとした。

品質検査実施状況が“validated”の場合には、最後に品質検査結果ファイルパスに品質検査結果ファイルのパスを指定する。

ⅲ) プログラムの実行方法

プログラムの実行方法については、令和 4 年度から変更はなく、令和 5 年度に追加した品質検査結果については、ディレクトリ構造が決まっているため、既存の実行時パラメータである<trip directory>から自動的に取得される。

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 E.4-10 に示す情報を保持した JSON 形式のファイルである。令和 5 年度に追加された品質情報項目については赤枠で記載した。また、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。

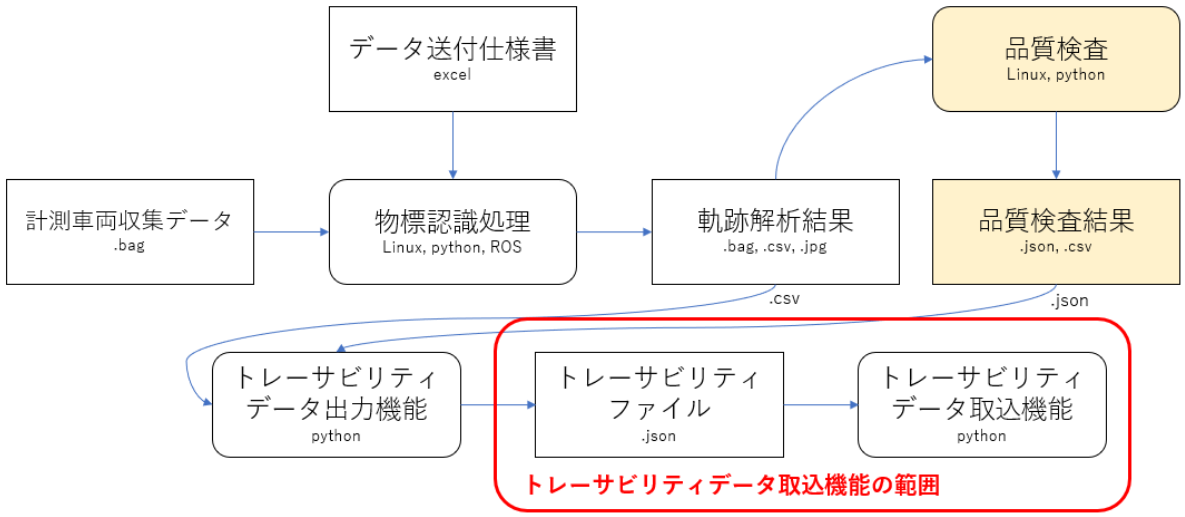
表 E.4-10　出力ファイル仕様

#	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-M2 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-M2 センサから抽出した IMU 情報	当該認識結果のファイル名
7	gps_m2_nmea_sentence_path	文字列	GPS-M2 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-M2 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-M2 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	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
14	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
15	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
16	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
17	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
18	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
19	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
20	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
21	gpsm2_li_path	文字列	GPS-M2 センサ LI ファイル	当該認識結果のファイル名
22	gpsm2_loc_path	文字列	GPS-M2 センサ LOC ファイル	当該認識結果のファイル名
23	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
24	car_id	文字列	計測車両 ID	認識結果の格納ディレクトリ名
25	inspection_result_path	文字列	品質検査結果ファイルパス	ストレージディレクトリ構成に沿って作成
26	inspection_status	文字列	品質検査実施状況	品質検査結果ファイルの有無で判定
27	inspection_result	文字列	品質検査結果	品質結果ファイルの有無及び品質検査結果ファイル名

② トレーサビリティデータ取込

ⅰ) 設計概要

物標認識（点群）におけるエビデンス管理の処理フロー全体像のうち、トレーサビリティデータ取込が担う範囲を図 E.4-9 に示す。



※1 矩形はデータ・ファイル、角丸は処理を表す
※2 各項目には該当データの形式・拡張子や処理に利用するプログラミング言語を併記した
※3 黄色背景の項目は令和5年度にエビデンス管理フローに追加された項目

図 E.4-9　トレーサビリティデータ取込機能の処理フロー

令和 5 年度はトレーサビリティデータファイルに追加された品質情報「品質検査結果」「品質検査実施状況」「品質検査結果ファイルパス」を取得し、対象となるデータモデルに登録するよう改修した。

【補足】

※更新対象のデータモデルの詳細は、ⅲ) データモデル仕様参照。

ⅱ) プログラムの実行方法

取込対象となるファイルの種類に変更がないため、プログラムの実行方法について、令和 4 年度から変更はない。

本プロセスのトレーサビリティデータ出力／取込機能では、標準入出力への出力／取込が可能であるため、パイプで繋げることで、物標認識結果から直接トレーサビリティデータをデータベースに取り込むことも出来る。

ⅲ) 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 E.4-10 に、モデルの項目情報を表 E.4-11～12 に示す。また、令和 5 年度に追加された品質情報項目については赤枠で記載した。

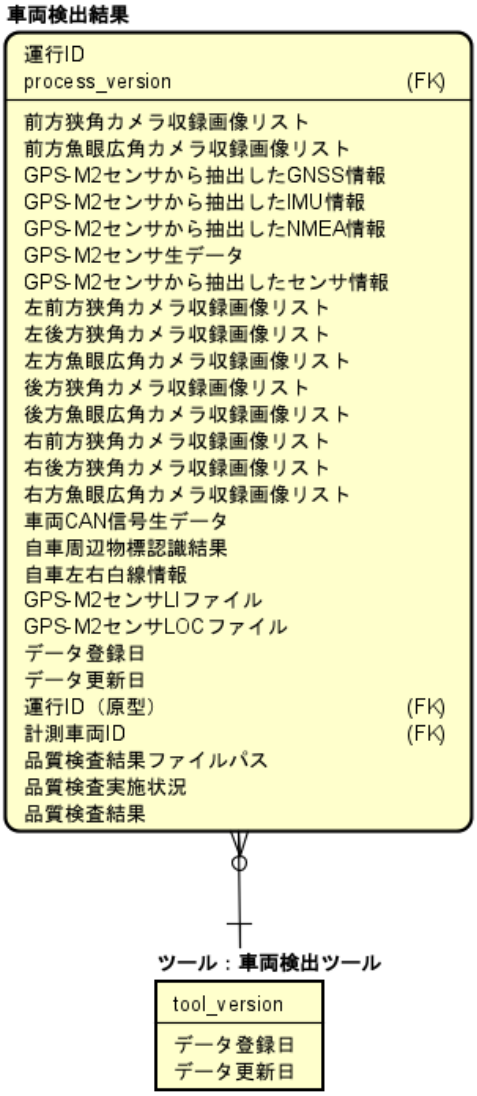


図 E.4-10　トレーサビリティデータ取込（物標認識（点群））が登録するモデル

表 E.4-11　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-M2 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-M2 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-M2 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-M2 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-M2 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	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
14	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
15	right_front_images_path	VARCHAR(1000)	右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
16	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
17	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
18	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
19	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
20	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
21	gpsm2_li_path	VARCHAR(1000)	GPS-M2 センサ LI ファイル	取込対象ファイルの同項目
22	gpsm2_loc_path	VARCHAR(1000)	GPS-M2 センサ LOC ファイル	取込対象ファイルの同項目
23	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
24	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
25	operation_id_origin	VARCHAR(40)	運行 ID（原型）	取込対象ファイルの同項目
26	car_id	VARCHAR(20)	計測車両 ID	取込対象ファイルの同項目
27	inspection_result_path	VARCHAR(1000)	品質検査結果ファイルパス	取込対象ファイルの同項目
28	inspection_status	VARCHAR(20)	品質検査実施状況	取込対象ファイルの同項目
29	inspection_result	VARCHAR(10)	品質検査結果	取込対象ファイルの同項目

表 E.4-12　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。

令和 5 年度は令和 4 年度に検討を行った品質検査結果との連携について検討し機能の追加・変更を行った。以下の各項目で、主に令和 5 年度に実施した改修内容について述べる。

①トレーサビリティデータ出力

ｉ) 設計概要

改修内容の説明の前にエビデンス管理システムにおける、トレーサビリティデータ出力機能の改修に関して、設計の前提となる事項について説明する。

- トレーサビリティデータ出力機能の入力データに関する事項
  トレーサビリティデータ出力機能は、実行時に解析データcsvファイル(以下、「解析データ」という)と品質検査結果であるcsvファイル(以下、「品質検査結果ファイル」という)が格納されている場所を指定する仕様となっている。そのため、プログラムがアクセス可能なフォルダに格納すれば、格納場所については場所を問わない。

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および追加・変更した処理のフローを図 E.4-11 に示す。

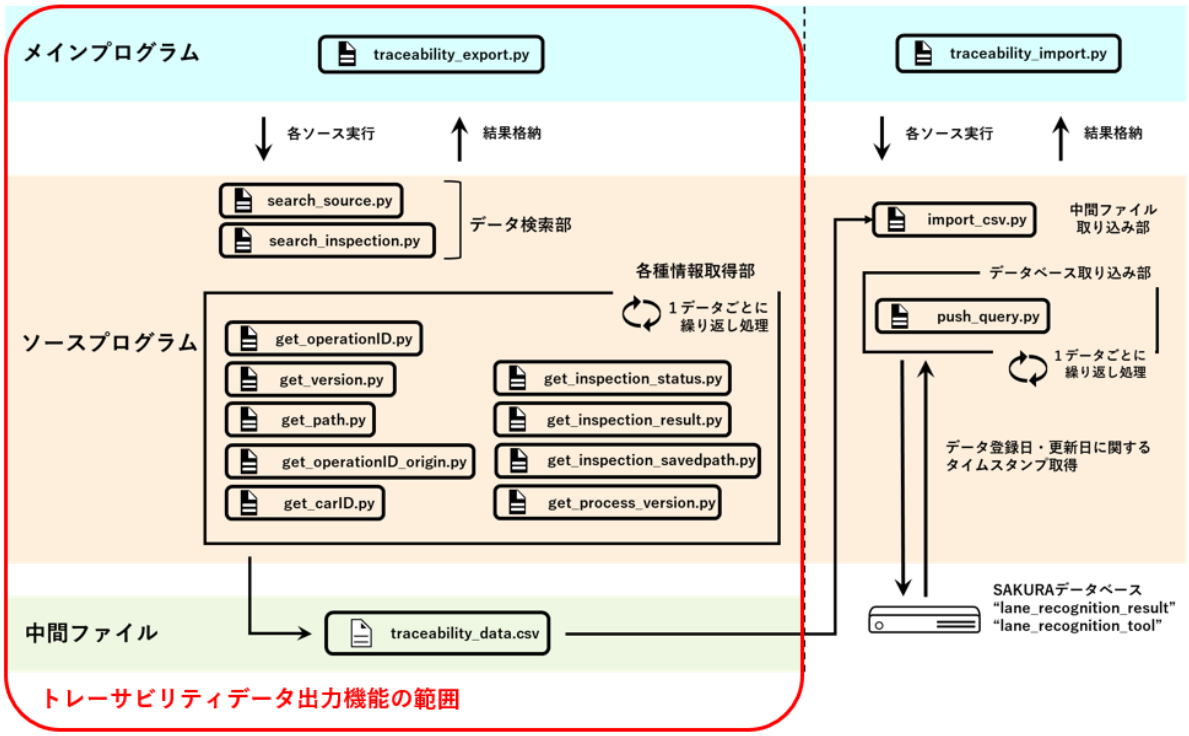


図 E.4-11　トレーサビリティデータ出力機能の処理フロー

令和 5 年度の変更点の概要としては、入力として追加した品質検査結果から読み取った情報から「品質検査結果」「品質検査実施状況」「品質検査結果ファイルパス」の値を生成し、出力ファイルであるトレーサビリティデータファイルに出力できるよう改修した。

処理フローに記載の各処理内容を令和 4 年度からの変更点を踏まえて説明する。

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

処理対象のレーンマーカー検出結果ファイルから、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。

処理③：品質検査結果の検索：令和 5 年度追加

品質検査結果ファイルを検索、運行ごとの品質情報を生成し、確認結果をトレーサビリティデータ出力の要素として追加する。

処理④：ファイルへの出力：令和 5 年度変更

処理②～③で取得したデータを CSV 形式で、ファイルへ出力する。

【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参照。

※出力ファイルの詳細は、iv) 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。

ⅱ) 設計詳細

本節では、図 E.4-11 トレーサビリティデータ出力機能の処理フロー内で令和 5 年度に新たに設計および実装したモジュールの詳細について説明する。

- search_inspection.py
  入力として、メインプログラム実行時に指定した品質検査結果ファイルが配置されているフォルダのパスを受け取る。
  - 入力されたパスに、文字列”report.xlsx”を足した品質検査結果ファイルパスを作成し、リスト化して出力する。
  - 入力がNoneの場合、空のリストを返す。
- get_inspection_status
  入力として「search_inspection.py」の出力であるリスト、「get_operationID.py」の出力である処理対象の運行IDの二種類を受け取る。
  - 入力された運行IDの品質検査結果ファイルが存在した場合、該当品質検査結果ファイルのファイルパスと、実行ステータスとして実施済みを表す値「validated」を返す。
  - 入力された運行IDの品質検査結果ファイルが存在しない場合、実行ステータスとして未実施を表す値「draft」を返す。
- get_inspection_result
  入力として品質検査結果ファイルパスと、実行ステータスを受け取る。
  - 実行ステータスが「validated」の場合、品質検査結果ファイル内に記録されている総合判定値「OK」「Cond_Pass」「NG」「NA」のいずれかを出力する。なお、「NA」は品質検査結果ファイルのフォーマットが破損している場合に返される値である。
  - 実行ステータスが「draft」の場合、「None」を返す。
- get_inspection_savedpath
  入力として、品質検査結果ファイルパス、実行ステータス、運行ID、処理年度を受けとる。処理年度はメインプログラムを実行した処理年度を指定する値である。
  - 実行ステータスが「validated」の場合、JARIにおける品質検査結果ファイルの保管先パスを入力されたデータを組み合わせて作成して返す。保管先パスの作成ルールはストレージディレクトリ構成に準拠する。
  - 実行ステータスが「draft」の場合、Noneを返す。
- get_process_version
  入力として、品質検査結果ファイルパスと実行ステータスを受け取る。
  - 実行ステータスが「validated」の場合、品質検査結果ファイル内の「出力データバージョン」からアウトプットバージョンを作成して返す。
  - 実行ステータスが「draft」の場合、Noneを返す。

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 E.4-12 のディレクトリ構成で配置する。

```
SakuraEvidenceManagementSystem
  | - lane_recognition
    | - 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
    | - lane_recognition
      | - traceablility_export.py →トレーサビリティデータ出力機能プログラム本体
    python3 ./lane_recognition/traceability_export.py
          --target_of_recognition <TARGET_RECOGNITION_DIR>
          --target_of_inspection <TARGET_INSPECTION_DIR>
          --output <OUTPUT_PATH>
          --processing_year <PROCESSING_YEAR>
          --help
```

図 B.4-12　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 B.4-13 に示す。

表 E.4-13　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_of_recognition or -tr	○	-	認識結果検索対象ディレクトリ 本年度の改修で変更された項目
2	--target_of_inspection or -ti	○		品質結果検索対象ディレクトリ 本年度の改修で追加された項目
3	--output or -o	○	-	中間ファイルの出力先パス
4	--processing_year or -py	○	-	処理年度
5	--help or -h		-	ヘルプ情報の表示

具体的なプログラムの実行例を図 E.4-13 に示す。

```
cd ./SakuraEvidenceManagementSystem/lane_recognition
python3 ./lane_recognition/traceability_export.py –tr /host/data_sample/ -ti
/host/data_sample/ –py 2021 –o ./traceability.csv
```

図 E.4-13　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 B.4-14 に示す情報をもった CSV 形式である。令和 5 年度に追加された品質情報項目については赤枠で記載した。また、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 E.4-14　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
6	inspection_result_path	文字列	品質検査結果ファイルパス	ストレージディレクトリ構成に沿って作成
7	inspection_status	文字列	品質検査実施状況	品質検査結果ファイルの有無で判定
8	inspection_result	文字列	品質検査結果	品質結果ファイルの有無及び品質検査結果ファイル名

② トレーサビリティデータ取込

ⅰ) 設計概要

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および改修、追加した処理のフローを図 E.4-14 に示す。

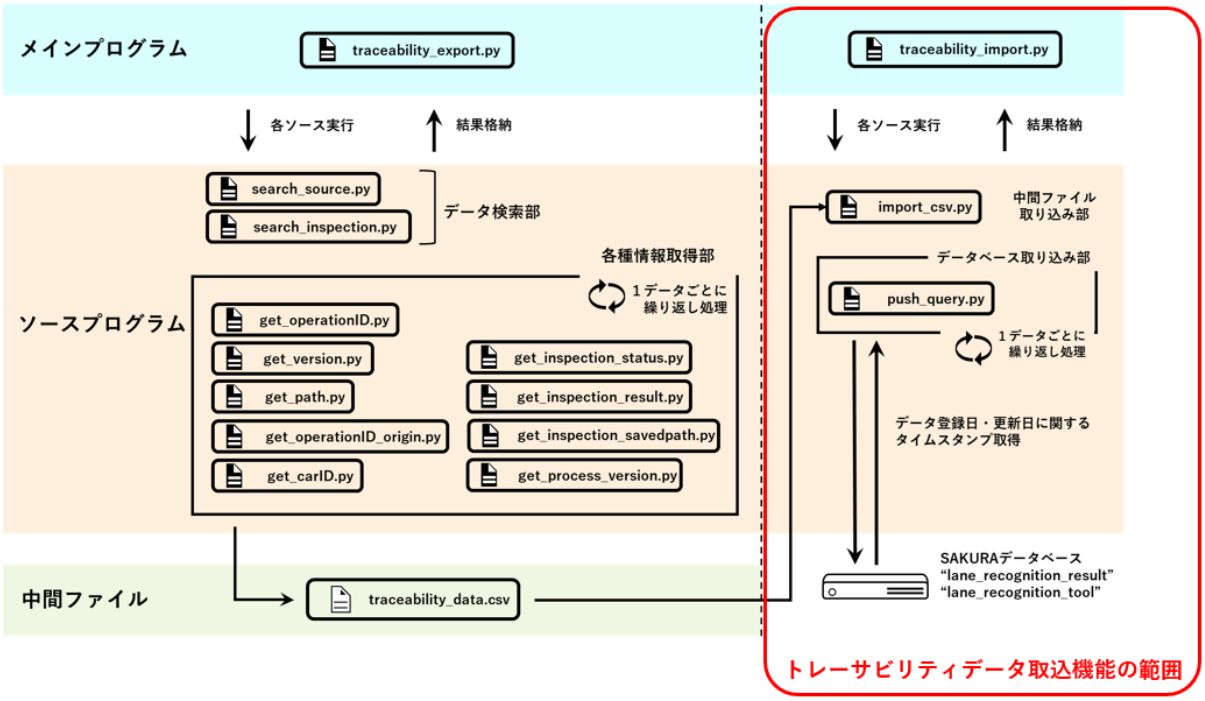


図 E.4-14　トレーサビリティデータ取込機能の処理フロー

令和 5 年度の変更点の概要としては、トレーサビリティデータファイル【トレーサビリティデータ出力機能の出力結果】に追加された品質情報「品質検査結果」「品質検査実施状況」「品質検査結果ファイルパス」を取得し、対象となるデータモデルに登録するよう改修した。

処理フローに記載の各処理内容を令和 4 年度からの変更点を踏まえて説明する。

処理①：トレーサビリティデータの取得：令和 5 年度変更

指定のトレーサビリティデータファイルから品質情報を含めたトレーサビリティデータを取得する。

処理②：処理対象モデルへのデータ追加／更新：令和 5 年度変更

品質情報を含めたトレーサビリティ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、下記の通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】

※更新対象のデータモデルの詳細は、ⅲ) データモデル仕様参照。

ⅱ) プログラムの実行方法　取込対象となるファイルの種類に変更がないため、プログラムの実行方法について、令和 4 年度から変更はない。

ⅲ) 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 E.4-15 に、モデルの項目情報を表 E.4-15～16 に示す。また、令和 5 年度に追加された品質情報項目については赤枠で記載した。

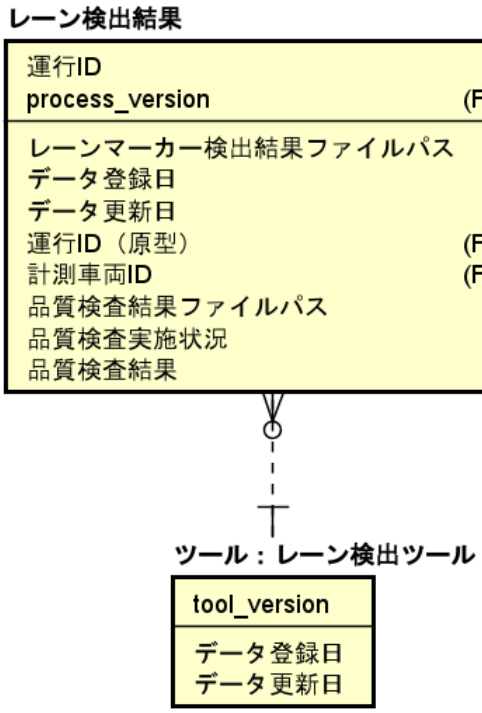


図 E.4-15　トレーサビリティデータ取込（物標認識（画像））が登録するモデル

表 E.4-15　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
8	inspection_result_path	VARCHAR(1000)	品質検査結果ファイルパス	取込対象ファイルの同項目
9	inspection_status	VARCHAR(20)	品質検査実施状況	取込対象ファイルの同項目
10	inspection_result	VARCHAR(10)	品質検査結果	取込対象ファイルの同項目

表 B.4-16　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ー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。

令和 5 年度は令和 4 年度に検討を行った品質検査結果との連携について検討し機能の追加・変更を行った。以下の各項目で、主に令和 5 年度に実施した改修内容について述べる。

①トレーサビリティデータ出力

ｉ) 設計概要

改修内容の説明の前に、トレーサビリティデータ出力機能の改修に関して、設計の前

提となる事項について説明する。

- トレーサビリティデータ出力機能の入力データに関する事項
  品質検査結果ファイルは品質保証プロセスの仕様で規定した通り各運行IDフォルダ直下に配置されていることを前提とする。

本機能の処理フローを図 E.4-16 に示す。

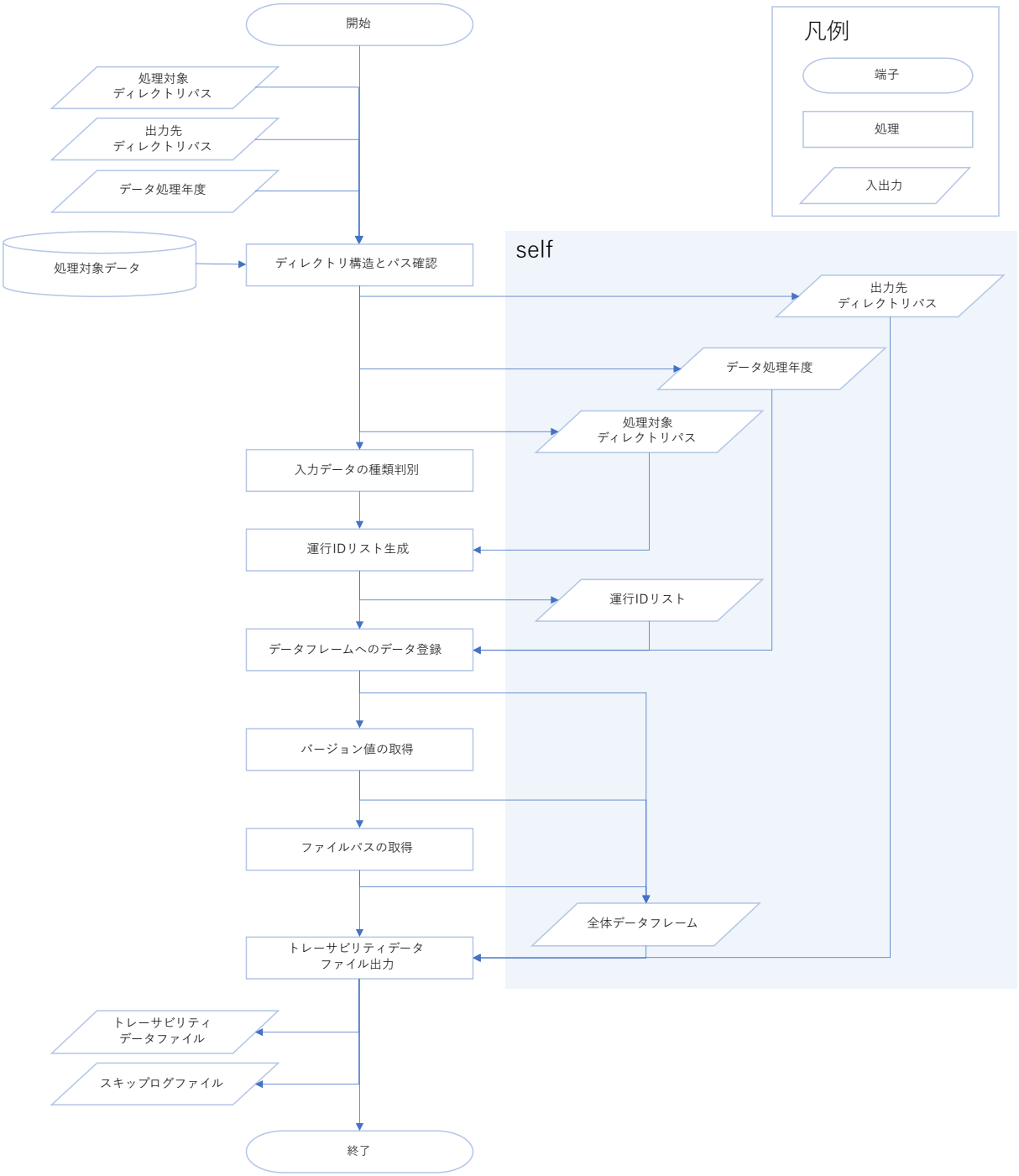


図 E.4-16　トレーサビリティデータ出力機能の処理フロー

令和 5 年度の変更点の概要としては、入力として追加した品質検査結果から読み取った

情報から「品質検査結果」「品質検査実施状況」「品質検査結果ファイルパス」の値を生成し、出力ファイルであるトレーサビリティデータファイルに出力できるよう改修した。
処理フローに記載の各処理内容を令和 4 年度からの変更点を踏まえて説明する。

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。確認内容は以下の通り。
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

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：データフレームへのデータ登録：令和 5 年度変更
処理③で取得した運行 ID の品質情報を含むトレーサビリティデータを一旦格納するデータフレーム（全体データフレーム）を作成する。

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し、トレーサビリティデータとして使用するデータを抽出して全体データフレームに書き込む。

処理⑥：ファイルパスの取得：令和 5 年度変更
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。また、品質検査結果ファイル有無および結果の確認とパスの取得を行い、結果を全体データフレームに書き込む。

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。バージョンファイル欠損により処理をスキップした運行 ID のリストをスキップログファイルとしてテキスト形式で出力する。
※出力ファイルの詳細は、iv) 出力ファイル仕様参照。

【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) 設計詳細

トレーサビリティデータ出力機能における変更点は下記の EX-1 から EX-6 の 6 点である。これらの機能を追加した関数の処理フローを図 E.4-17 に記載する。

EX-1：品質検査実施状況チェック

従来から実装していた管理対象ファイルパス取得のための find_file_path 関数（ⅰ) 設計概要の処理⑥の「ファイルパスの取得」の処理）に品質検査結果ファイル検出機能を追加した。具体的には、運行 ID フォルダ内に“Report”という文字列を含むファイルが存在するかどうかによって品質検査実施有無を判定し、存在する場合は品質検査実施有りと判定して全体データフレームの“inspection_status”列に“validated”を記入し、存在しない場合は品質検査実施なしと判定して全体データフレームの“inspection_status”列に“draft”、“inspection_result”列に“”、“inspection_result_path”列に“”を格納する。

EX-2：品質検査結果

find_file_path 関数にて品質検査結果ファイルを検出した場合、検出したファイル名に含まれる検査結果の表示“Pass”/“Fail”を用いて結果を判定し、“inspection_result”列に適宜値を設定して全体データフレームに格納する機能を追加した。

具体的には、ファイル名に“Pass”が含まれている場合“inspection_result”列に“OK”を設定、ファイル名に“Fail”が含まれている場合“inspection_result”列に“NG”を設定、どちらも含まれていない場合は品質検査ファイル名が想定と異なるため“inspection_result”列に“NA”を設定する。

また、後述の report_format_check 関数の実行結果がエラーの場合、および検出した品質検査結果ファイルのファイル名が所定の書式に適合しない場合についても品質検査結果ファイルのフォーマットが想定と異なるため“inspection_result”列に“NA”を設定する。

EX-3：品質検査結果ファイルパス

前述の EX-1 に記載の find_file_path 関数にストレージディレクトリ構成に準拠した品質検査結果ファイル配置場所に相当するパスを生成し、全体データフレームの inspection_result_path に格納する機能を追加した。

inspection_result_path に格納するパスはストレージディレクトリ構成に準拠する。

EX-4：品質検査結果ファイルフォーマットチェック

前述の EX-1 に記載の find_file_path 関数に品質検査結果ファイルの記載事項が所定のフォーマットに適合することを確認し、適合しない場合エラーとして EX-2 に記載の通り全体データフレームの“inspection_result”列に“NA”を格納するよう動作する。

EX-5：全体データフレームのデータ項目列追加

前述の EX-1 から EX-4 のとおり全体データフレームに品質検査結果関連の値を格納するため、全体データフレームに対応する項目列として“inspection_status”、“inspection_result”、“inspection_result_path”を追加した。

EX-6：execute メソッドに品質検査結果関連データ取得の実行コードを追加
前述の EX-1 から EX-4 に記載した品質検査結果関連データ取得を実行するために Execute メソッドで実行する find_file_path 関数の引数として第 1 引数に“inspection_result_path”、第 2 引数に“Report”という文字列を設定して実行するコードを追加した。なお、find_file_path 関数における第 1 引数の意味は取得した値の格納先となる全体データフレームの項目名、第二引数の意味は検出対象とするファイル種類名（検出対象ファイルに含まれる文字列）である。

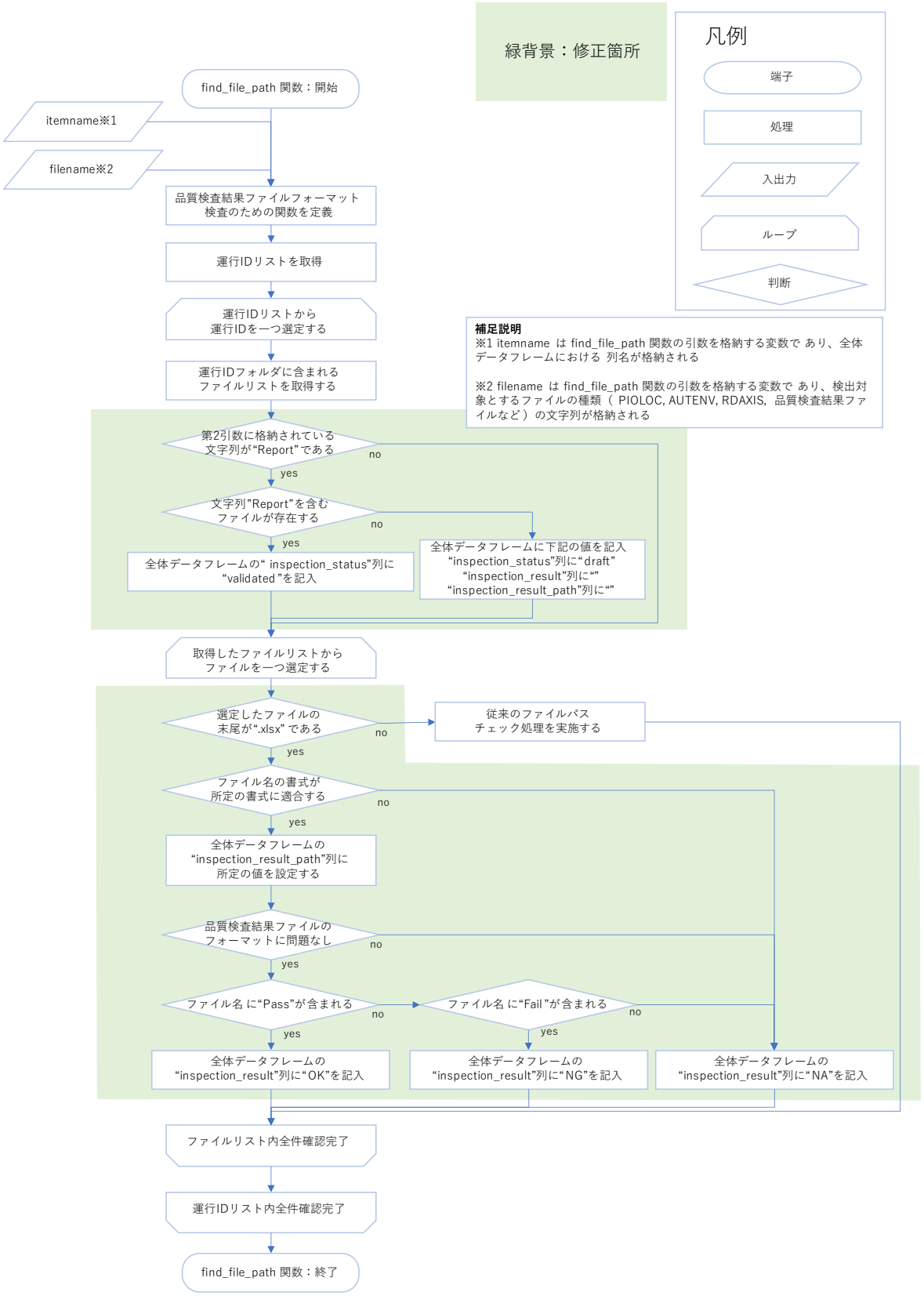


図 E.4-17　find_file_path 関数の処理フロー（変更点追記）

iii) プログラムの実行方法

プログラムの実行方法については、令和 4 年度から変更はなく、令和 5 年度に追加した

品質検査結果については、ディレクトリ構造が決まっているため、既存の実行時パラメータである処理対象ディレクトリから自動的に取得される。

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 E.4-17 に示す情報をもった CSV 形式である。令和 5 年度に追加された品質情報項目については赤枠で記載した。また、ファイルの出力単位とファイル名の命名規則については令和 4 年度から変更はない。

表 E.4-17　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	ibeo_path	文字列	ibeo ファイルパス	認識結果の IBEO ファイル名
6	rdaxis_path	文字列	rdaxis ファイルパス	認識結果の PRDAXIS ファイル名
7	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”
8	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）
9	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）
10	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
11	tool_version	文字列	tool_version	マップマッチングツールのバージョン
12	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
13	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
14	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
15	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
16	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
17	inspection_result_path	文字列	品質検査結果ファイルパス	ストレージディレクトリ構成に沿って作成
18	inspection_status	文字列	品質検査実施状況	品質検査結果ファイルの有無で判定
19	inspection_result	文字列	品質検査結果	品質結果ファイルの有無及び品質検査結果ファイル名

②トレーサビリティデータ取込

ｉ) 設計概要

改修内容の説明の前に、トレーサビリティデータ取込機能の改修に関して、設計の前提となる事項について説明する。

- 精度情報テーブルに関する事項

  R4年度版では精度情報（accuracy_info）テーブルの設定があったがこのテーブルに格納されるデータは実験的に生成したものであり、継続的に提供する可能性がなくなったため削除した。

本機能の処理フローを図 E.4-18 に示す。

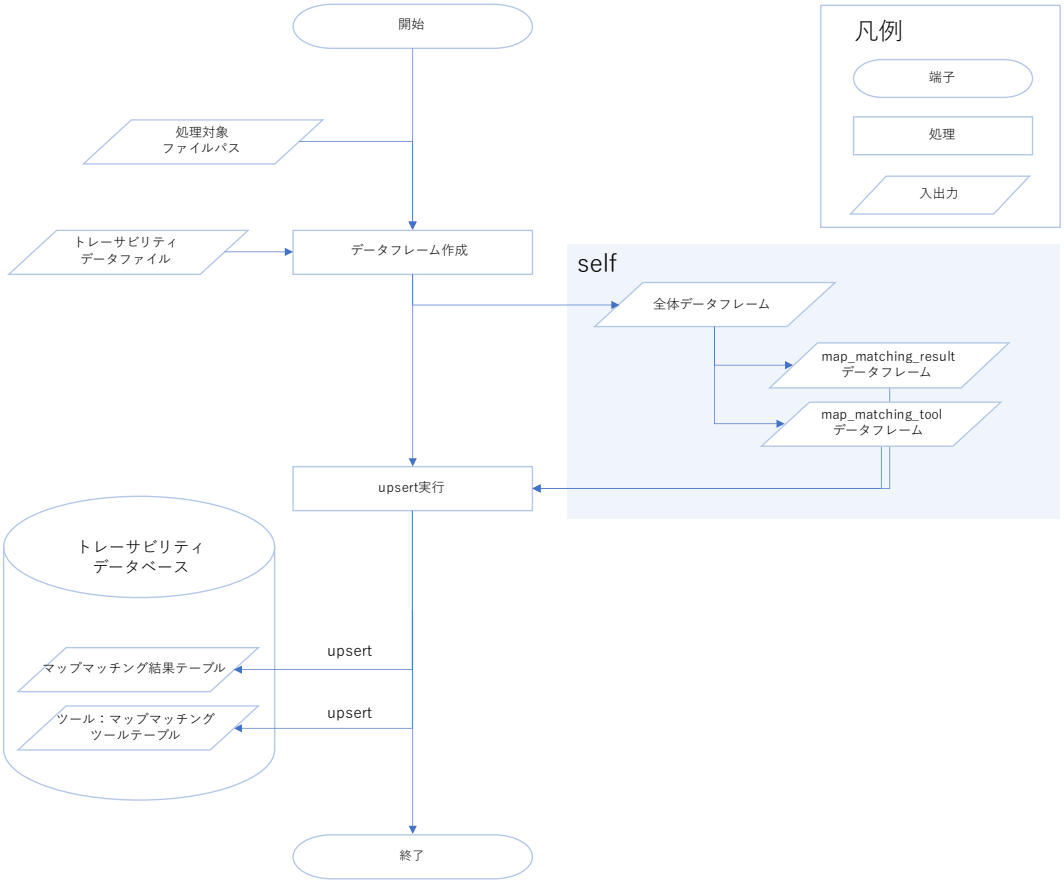


図 E.4-18　トレーサビリティデータ取込機能の処理フロー

令和 5 年度の変更点の概要としては、トレーサビリティデータファイル【トレーサビリティデータ出力機能の出力結果】に追加された品質情報「品質検査結果」「品質検査実施状況」「品質検査結果ファイルパス」を取得し、対象となるデータモデルに登録するよう改修した。また、個別データフレームのうち精度情報データフレームを削除した。

処理フローに記載の各処理内容を令和 4 年度からの変更点を踏まえて説明する。

処理①：トレーサビリティデータの取得：令和 5 年度変更

指定のトレーサビリティデータファイルから品質情報を含めたトレーサビリティデータを取得する。

処理②：処理対象モデルへのデータ追加／更新：令和 5 年度変更

品質情報を含めた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、下記の通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】

※処理対象モデルの詳細は、ⅲ) データモデル仕様を参照。

ⅱ) プログラムの実行方法

取込対象となるファイルの種類に変更がないため、プログラムの実行方法について、令和 4 年度から変更はない。

ⅲ) データモデル仕様

令和 4 年度の時点では実験的に生成した精度データを格納する設定で精度情報テーブルを作成したが、ⅰ) 設計概要に記載した通り今後同様のデータを継続的に取得する予定が無いため本年度はこのテーブルを削除した。

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 E.4-19 に、モデルの項目情報を表 E.4-18～19 に示す。また、令和 5 年度に追加された品質情報項目については赤枠で記載した。

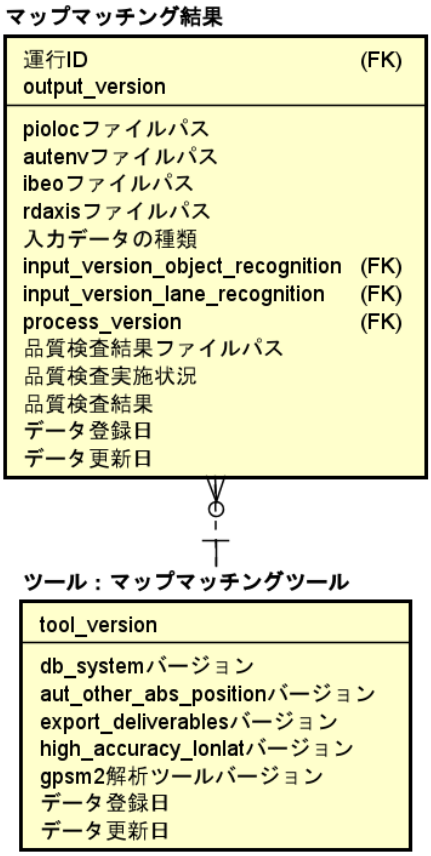


図 E.4-19　トレーサビリティデータ取込（マップマッチング）が登録するモデル

表 E.4-18　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	ibeo_path	VARCHAR(1000)	ibeo ファイルパス	取込対象ファイルの同項目
6	rdaxis_path	VARCHAR(1000)	rdaxis ファイルパス	取込対象ファイルの同項目
7	input_type	VARCHAR(40)	入力データの種類	取込対象ファイルの同項目
8	input_version_object_recognition	VARCHAR(1000)	input_version_object_recognition	取込対象ファイルの同項目
9	input_version_lane_recognition	VARCHAR(1000)	input_version_lane_recognition	取込対象ファイルの同項目
10	process_version	VARCHAR(1000)	process_version	取込対象ファイルの同項目
11	inspection_result_path	VARCHAR(1000)	品質検査結果ファイルパス	取込対象ファイルの同項目
12	inspection_status	VARCHAR(20)	品質検査実施状況	取込対象ファイルの同項目
13	inspection_result	VARCHAR(10)	品質検査結果	取込対象ファイルの同項目
14	create_at	TIMESTAMP	データ登録日	取込対象ファイルの同項目
15	update_at	TIMESTAMP	データ更新日	取込対象ファイルの同項目

表 E.4-19　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

e) シーン抽出

シーン抽出とは、SAKURA データ分析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。

令和 5 年度は令和 4 年度に検討を行った品質検査結果との連携について検討し機能の追加・変更を行った。以下の各項目で、主に令和 5 年度に実施した改修内容について述べる。

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 E.4-20 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。

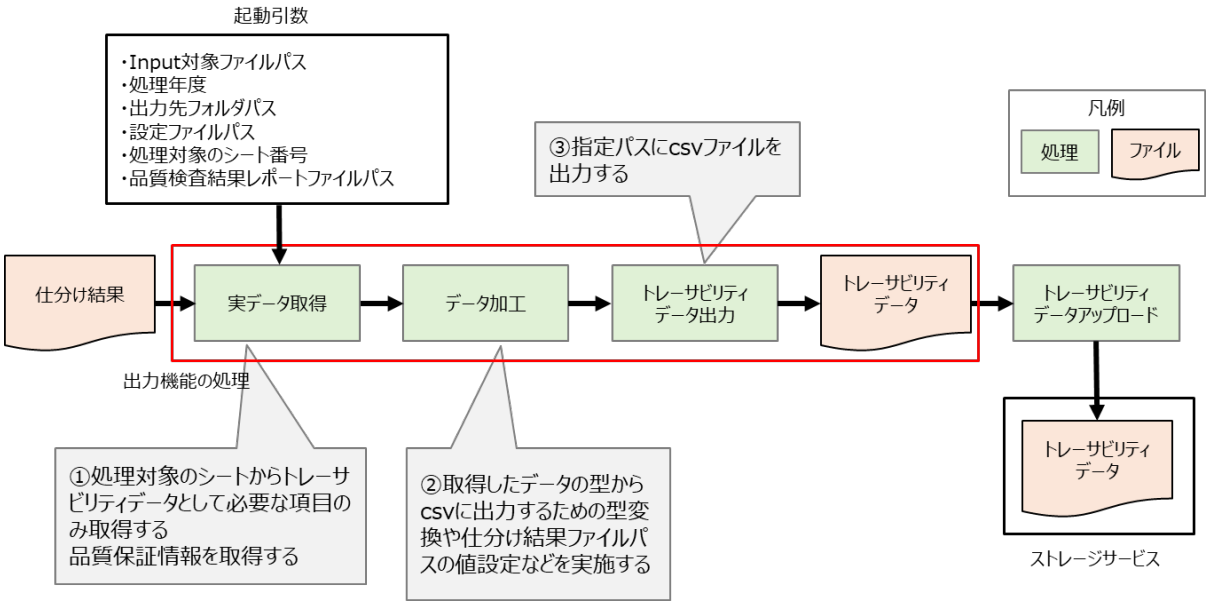


図 E.4-20　トレーサビリティデータ出力機能の処理フロー

令和 5 年度の変更点の概要としては、入力として追加した品質検査結果から読み取った情報から「品質検査結果」「品質検査実施状況」「品質検査結果ファイルパス」の値を生成し、出力ファイルであるトレーサビリティデータファイルに出力できるよう改修した。また、既存の処理対象である計測車両のデータと令和 5 年度から追加された定点観測のデータを判別できるように改修した。

処理フローに記載の各処理内容を令和 4 年度からの変更点を踏まえて説明する。

処理①：実データ取得：令和 5 年度変更

仕分け結果と品質検査結果ファイルを読み込み、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：令和 5 年度変更

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する。データの種類ごとのストレージ上の品質情報の加工方法は ii) 設計詳細参照。

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参照。

※出力ファイルの詳細は、iv) 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。

ii) 設計詳細

ｉ) 設計概要の処理内容において、詳細な仕様の説明が必要な処理について、以下に記載する。

- 定点観測のデータ追加によるファイル格納先の追加
  令和4年度の設計ではエビデンスデータ格納先のフォルダ名が「measuring_vehicles」固定であったが、令和5年度では定点観測の対応に伴い、フォルダ名で計測車両、定点観測のいずれかが判別できるよう、処理したデータに応じてフォルダ名を計測車両は「measuring_vehicles」、定点観測は「fixed_point」で切り替えることとした。
  表E.4-20に令和4年度と5年度の格納先の違いを示す。

表 E.4-20　エビデンスデータ格納先の変更点

年度	エビデンスデータ格納先パス
令和4年度	sakura/scene_classify/{処理年度}/measuring_vehicles/
令和5年度	sakura/scene_classify/{処理年度}/{measuring_vehicles|fixed_point}/

シーン抽出結果ファイルパスと後述の品質検査結果ファイルパスに含まれる処理年度は、起動引数の処理年度を使用する仕様に変更した。この変更は、従来運行 ID に含まれる日時情報から年度を取得する仕様であったが、運行 ID から取得できる年度は「データ収集」年度であり、エビデンス情報の管理はシーン抽出の処理を実施した年度である「処理年度」で管理する仕様に変更になったことが起因している。この改修に伴い、令和 4 年度時点の起動引数であるシーン抽出結果ファイルパス（--classify_path）は使用しない仕様に変更した。

- 品質情報の加工方法
  品質保証に関連する品質情報は、品質検査結果ファイルに含まれる情報であり、トレーサビリティデータ出力機能の起動引数に品質検査結果ファイルを指定することで取得した。品質情報の定義を表E.4-21に示す。

表 E.4-21　品質情報の定義

品質情報	物理名	設定値	設定値の説明
品質検査実施状況	inspection_status	draft、validated	品質検査の実施状況を表す項目。品質検査が実施済みで、品質検査結果ファイルが指定された場合validatedを挿入する。品質検査結果ファイルが指定されていない、または、存在しない場合draftを挿入する。
品質検査結果	inspection_result	OK、NG、NA、null	品質検査の結果を表す項目。品質検査結果ファイルの総合判定の値から設定する値を決定した。総合判定が合格の場合OK、不合格の場合NG、書式違い等により判定不能の場合NAを挿入する。品質検査結果ファイルが指定されていない場合、または、品質検査が未実施の場合はnullを挿入する。
品質検査結果ファイルパス	inspection_result_path	ストレージディレクトリ構成で定義されたファイルパス、null	品質検査結果ファイルが保存されているストレージのパスを表す項目。品質検査結果ファイルが指定されていない場合、または、品質検査が未実施の場合はnullを挿入する。

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 E.4-21 のディレクトリ構成で配置する。

```
SakuraEvidenceManagementSystem
  | - scene_classify
    | - 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
    | - scene_classify
      | - traceablility_export.py →トレーサビリティデータ出力機能プログラム本体
```

図 E.4-21　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 E.4-22 に示す。

```
python3 ./scene_classify/traceability_export.py
 --target_file_path <file path>
 --fiscal_year <year>
 --output_folder_path <folder path>
 --setting_file_path <file path>
 --excel_sheet_no <no>
 --inspection_file_path <file path>
```

表 E.4-22　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_file_path	○	-	処理対象の仕分け結果ファイルのパス
2	--fiscal_year	○	-	処理年度 本年度の改修で追加された項目
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
6	--inspection_file_path		-	品質検査結果ファイルパス 本年度の改修で追加された項目

具体的なプログラムの実行例を図 E.4-22 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
--fiscal_year 2022
--output_folder_path ./output_data
--setting_file_path ./settings.yaml
--excel_sheet_no 2
```

図 E.4-22　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 B.4-23 に示す情報をもった CSV 形式である。令和 5 年度に追加された品質情報項目については赤枠で記載した。また、ファイルの出力単位とファイル名の命名規則については令和 4 年度から変更はない。

表 E.4-23　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	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
17	inspection_result_path	文字列	品質検査結果ファイルパス	ストレージディレクトリ構成に沿って作成
18	inspection_status	文字列	品質検査実施状況	品質検査結果ファイルの有無で判定
19	inspection_result	文字列	品質検査結果	品質結果ファイルの有無及び品質検査結果ファイル名

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 E.4-23 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。

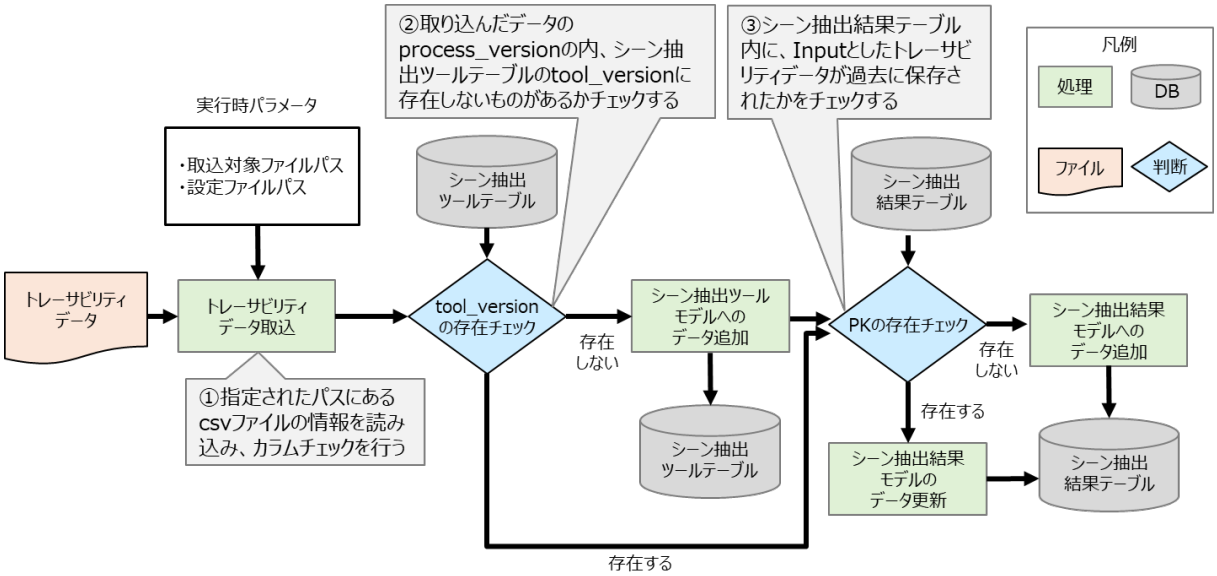


図 E.4-23　トレーサビリティデータ取込機能の処理フロー

令和 5 年度の変更点の概要としては、トレーサビリティデータファイル【トレーサビリティデータ出力機能の出力結果】に追加された品質情報「品質検査結果」「品質検査実施状況」「品質検査結果ファイルパス」を取得し、対象となるデータモデルに登録するよう改修した。

処理フローに記載の各処理内容を令和 4 年度からの変更点を踏まえて説明する。

処理①：トレーサビリティデータ取込：令和 5 年度変更

　指定のトレーサビリティデータファイルから品質情報を含めたトレーサビリティデータを

　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、下記の通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：令和 5 年度変更

品質情報を含めた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、下記の通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、ⅱ) 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、ⅲ) データモデル仕様参照。

ⅱ) プログラムの実行方法

取込対象となるファイルの種類に変更がないため、プログラムの実行方法について、令和 4 年度から変更はない。

ⅲ) 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 E.4-24 に、モデルの項目情報を表 E.4-24～25 に示す。また、令和 5 年度に追加された品質情報項目については赤枠で記載した。

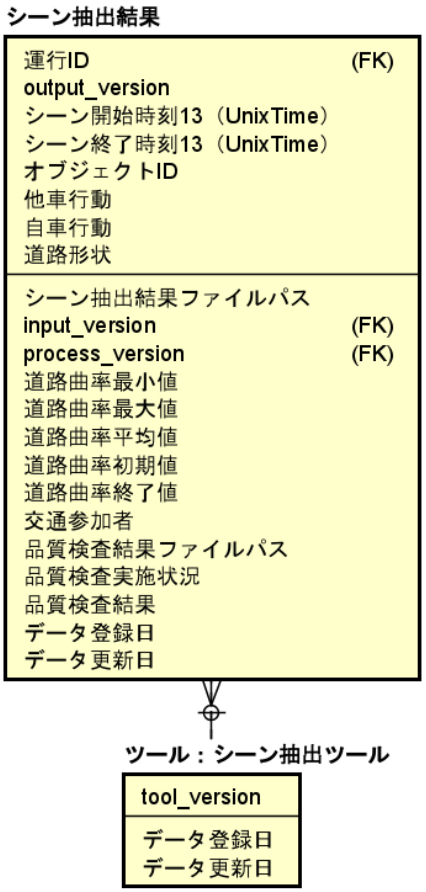


図 E.4-24　トレーサビリティデータ取込（シーン抽出）が登録するモデル

表 E.4-24　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(20)	自車行動	取込対象ファイルの同項目
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	inspection_result_path	VARCHAR(1000)	品質検査結果ファイルパス	取込対象ファイルの同項目
19	inspection_status	VARCHAR(20)	品質検査実施状況	取込対象ファイルの同項目
20	inspection_result	VARCHAR(10)	品質検査結果	取込対象ファイルの同項目
21	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
22	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 E.4-25　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

（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 E.4-25 に示す。概要としては、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 等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、B.3 システム仕様(1)データモデルに記載の全てのモデルを対象にする。

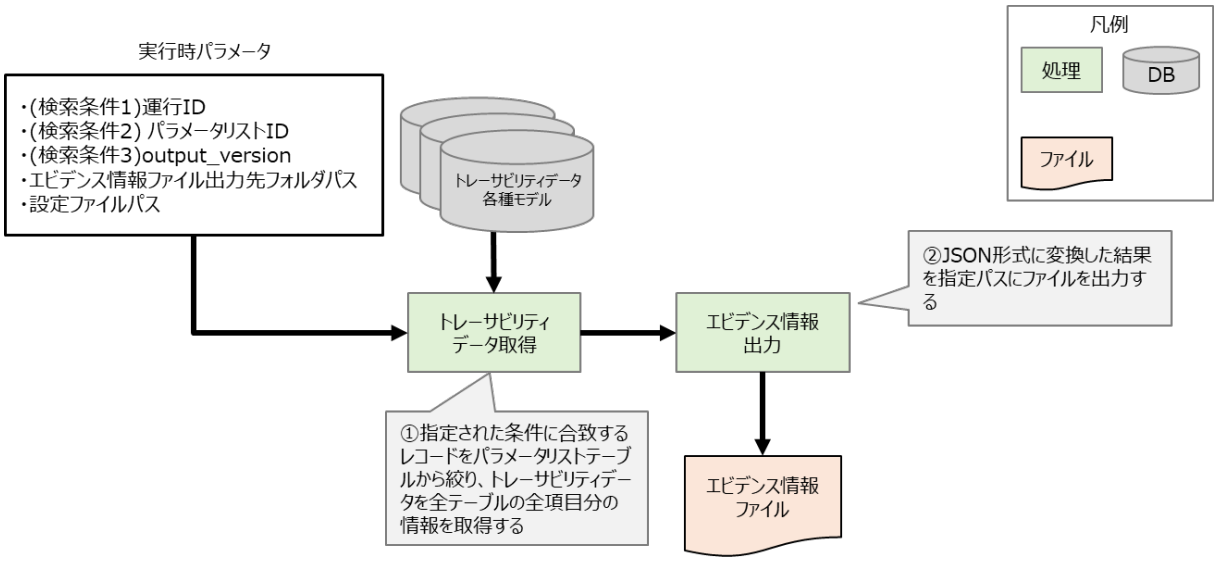


図 E.4-25　エビデンス情報出力機能の処理フロー

令和 5 年度の変更点の概要としては、下記 3 件の改修を実施した。

1. 品質情報項目の追加
2. 精度情報テーブルの削除に伴う出力項目の変更
3. 定点観測に関連する情報テーブルの追加に伴う出力項目の変更

処理フローに記載の各処理内容を令和 4 年度からの変更点を踏まえて説明する。

処理①：トレーサビリティデータ取得：令和 5 年度変更

トレーサビリティデータ取込にて登録した令和 5 年度版の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：令和 5 年度変更

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】

※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) 設計詳細

a) 設計概要に記載した 1.品質情報項目の追加については、トレーサビリティデータ取込の改修にてシーン抽出テーブルへの品質情報項目「品質検査結果」「品質検査実施状況」「品質検査結果ファイルパス」を追加したことに伴い、エビデンス情報出力の出力結果であるエビデンス情報ファイルに同項目を追加した。
2.精度情報テーブルの削除、3.定点観測関連のテーブル追加（定点軌跡データ、定点観測解析ツール1、定点観測解析ツール2）については、トレーサビリティデータベースの更新に伴い、エビデンス情報ファイルの出力項目を修正した。

c) プログラムの実行方法

取込対象となるファイルの種類に変更がないため、プログラムの実行方法について、令和 4 年度から変更はない。

d) 出力ファイル仕様

エビデンス情報出力の出力結果であるエビデンス情報ファイルには、トレーサビリティデータのテーブルに定義された要素は全て出力する仕様である。令和 5 年度に変更されたテーブルに対応しており、各テーブルの項目すべてをファイル出力する。

なお、運用上本機能の後に実行する「エビデンスファイルダウンロード機能」は令和 5 年度にプログラムの改修が発生しないため、記載しない。

Appendix-F　シナリオ作成に用いたデータの信頼性の可視化

F.1　データの信頼性の可視化の目的

自動運転の社会実装の前提として、国際連合・自動車基準調和世界フォーラムおよび国土交通省は、自動運転車の運行設計領域内において合理的に予見可能で回避可能な範囲を定め、その範囲内の全ての人身事故を防止することを求めている。したがって、合理的に予見可能な範囲と回避可能な範囲の特定手法を確固たる理論に基づいて確立しなければならない。また、第三者が納得できるように説明性・透明性を確保した評価を実施するためには、合理的に予見可能な範囲を導出する分析に使用した実交通流データのエビデンス（データ属性・処理プロセス履歴）を追跡可能な形式で管理することが欠かせない。

本項ではシナリオデータベースに実装されたシナリオの説明性を担保するため、シナリオ作成に用いたデータ・分析結果の信頼性を可視化できるように各処理プロセスの内容を細分化し、それぞれの処理で使用しているデータやアルゴリズムの精度の情報を調査し、シナリオ作成に使用したデータが計測システムの影響まで遡って追跡可能な情報を構築した内容を報告する。

F.2　軌跡データ生成プロセスの概要

本事業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で計測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、シナリオ作成に必要となるデータ生成の一連のプロセス（以下、「軌跡データ生成プロセス」という）を実行している（図 F.2-1）。

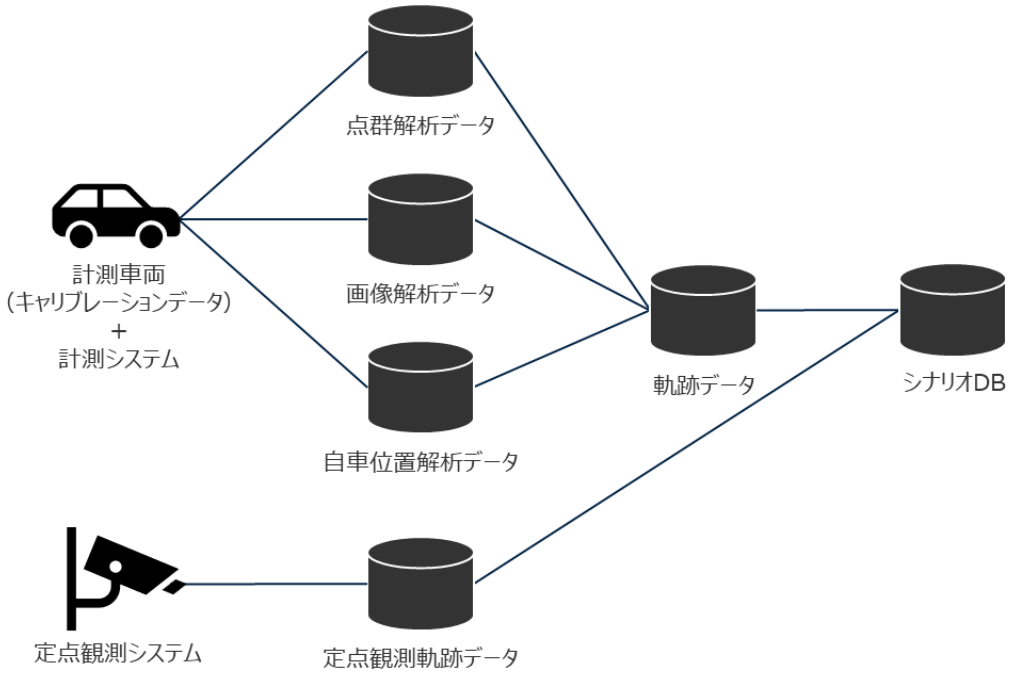


図 F.2-1　軌跡データ生成プロセス

軌跡データ生成プロセスでは計測システムで構築されている複数の計測機器によって測定されたデータを各データ生成プロセス内で処理を行い、それらを組み合わせて最終的に軌跡データを生成している。

本項では軌跡データ生成プロセスを階層化し、各プロセスにおいて精度に影響する要因かを明確にした。また、各プロセス同士がどのように接続されて最終的な軌跡データの精度に影響を及ぼすのかを明らかにした。さらに、テストコースでの走行データを用いて、計測データの精度を検証した。

（1） 全体の概要

シナリオ作成に用いるデータ（以下、「SAKURA 軌跡データ」という）の精度の影響を検討するにあたり検討対象となるデータの分類を行った。SAKURA 軌跡データは図 F.2-2 に示す通りセンサなどで計測したデータを機械学習や解析プログラムなどを使って出力後にそれらを統合して生成した。

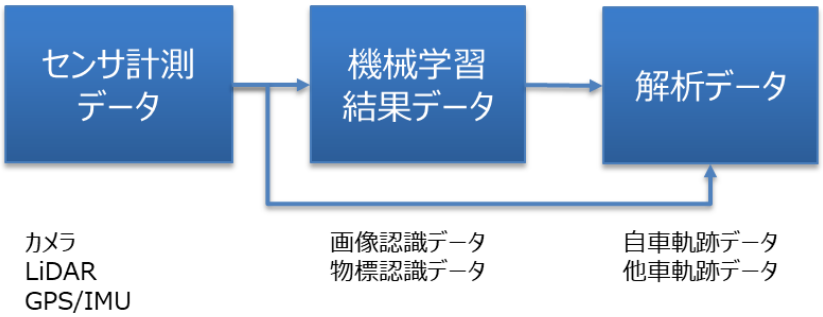


図 F.2-2　データの分類

（2） センサ計測データ

センサ機器を使って実際に計測したデータを意味し、カメラでは画像、LiDAR は点群データ、GPS/IMU は自車位置、車両挙動データをそれぞれ出力する。表 F.2-1 に計測システムに搭載しているセンサの一覧を示す。

表 F.2-1　計測に使用したセンサー覧

センサ種類	製品名
カメラ	iDS 社製 UI-3060CP-C-HQ KOWA 社製 LM6HC SONY 社製 魚眼カメラ
LiDAR	Velodyne 社製 VLP-16、VLP-16 Hi-Res
GNSS/IMU	パイオニア社製 GPS-M2

センサ機器で計測をするときは正確な測定データを出力するためにセンサ機器の設置位置の測定やキャリブレーションを行う。これを実施しないと SAKURA 軌跡データの生成と基となっているセンサ機器から出力したデータの精度に影響が出る。

また、センサ機器にはそれぞれに製品仕様があり、これによって出力する結果が大きく異なる。例えば物体までの距離を測定するセンサの LiDAR はその測定距離の仕様が 100 m と 50 m では出力時のデータの有効範囲が異なる。

図 F.2-3 に示すようにセンサ計測データはキャリブレーションとセンサ機器の製品仕様がセンサ計測データの精度に影響することが分かったため各センサの精度の影響について検討内容を次目以降で報告する。

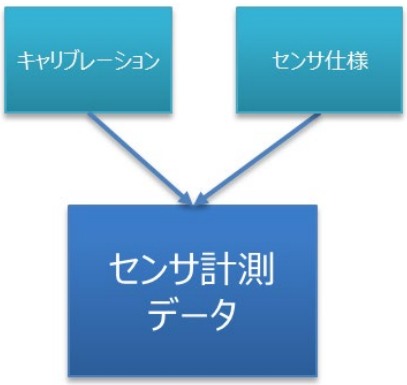


図 F.2-3　センサ計測データの精度影響関連図

（3）　機械学習結果データ

図 F.2-4 に示すようにセンサ機器で計測した計測データはそのままでは数値化されていないために画像認識又は物標認識などの機械学習を使ってデータを数値化する。画像認識

ではカメラで撮影した画像を画像認識アルゴリズムで処理しレーンマーカまでの距離などを推定して数値化する。また、物標認識では LiDAR で計測した点群データを物標認識アルゴリズムで処理し他車までの距離などを数値化しており、それぞれのアルゴリズムの特性から精度の影響についての検討内容を次目以降で報告する。

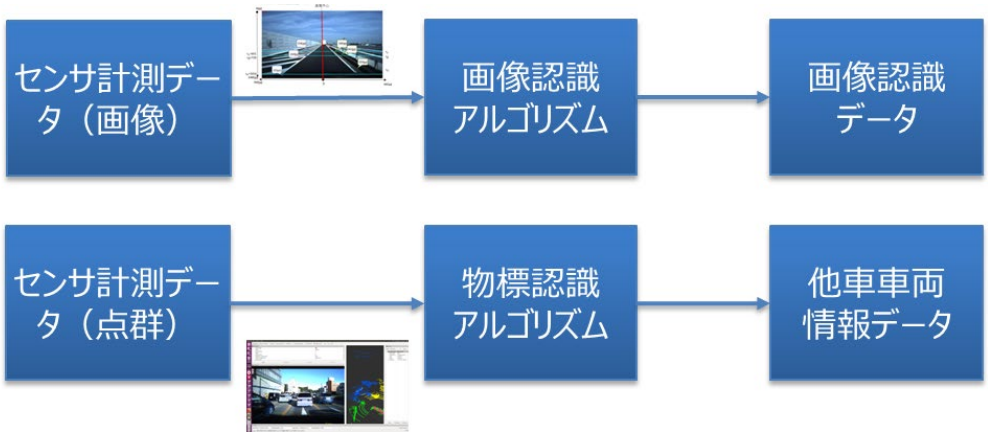


図 F.2-4　機械学習結果データの生成概要

さらに、機械学習アルゴリズムは機械学習するための学習データが必要となりその学習データの精度も機械学習結果データの精度に影響する（図 F.2-5）。

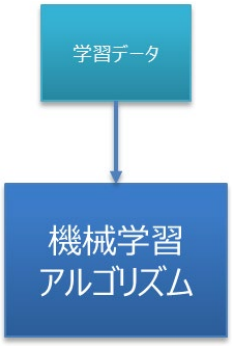


図 F.2-5　学習データの精度影響関連図

（4）　解析データ

車両の位置情報を計測したセンサ計測データや（3）機械学習結果データを使って最終的に自車と他車の位置情報や車両の挙動情報などを算出する。GNSS/IMU のセンサ機器を使って自車の位置を計測したのちに、画像認識データに含まれている左右のレーンマークまでの距離と道路の詳細な情報が含まれている高精度地図データを使って左右方向の位置の補正を行い高精度な自車の位置情報を算出している（図 F.2-6）。また、他車は他車車両情報データを使って自車との相対距離などのデータを用いて算出している。解析データには地図データが必要となるためそれらのデータの精度も解析データの精度に影響する。これらの複数の入力情報を統合して解析したデータの精度の影響についての検討内容を次目

以降で報告する。

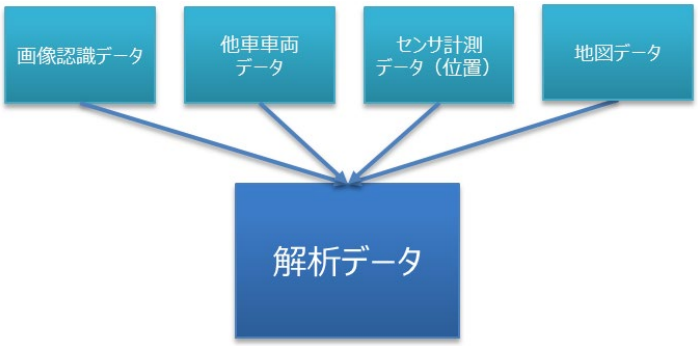


図 F.2-6　解析データの精度影響関連図

F.3　物標認識処理プロセスの精度仕様

（1）　処理プロセスの構成

物標認識処理プロセスの構成は図 F.3-1 とおりである。また、表 F.3-1 に物標認識処理の結果で生成される出力データを示す。図中の独自処理では、物標の大きさの統一、フレーム補間、物標 ID の付与などを行った。

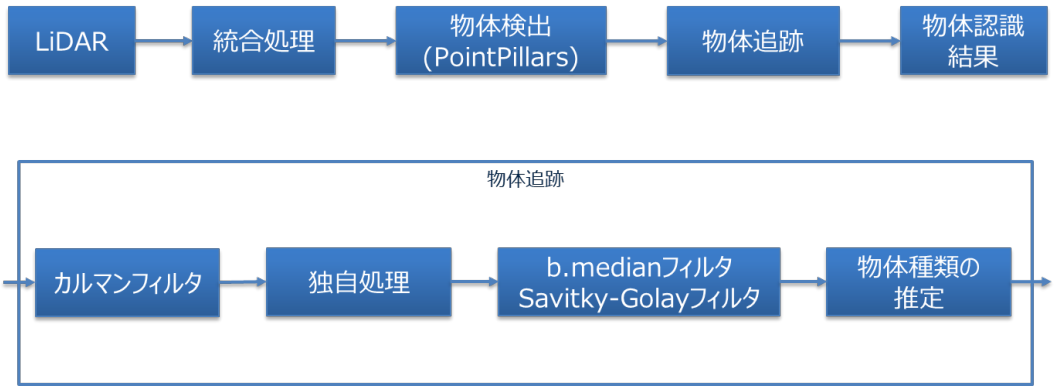


図 F.3-1　物標認識処理プロセスの構成

表 F.3-1　物標認識処理による生成物

ID	内容
HDL-1	タイムスタンプ
HDL-2	物標位置
HDL-3	物標角度
HDL-4	物標の大きさ
HDL-5	物標相対速度
HDL-6	物標認識スコア
HDL-7	物標走行車線
HDL-8	物標種別
HDL-9	物標 ID
HDL-10	CIPV フラグ
HDL-11	車線変更フラグ

物標認識処理プロセスでは、計測車両からのセンサ計測データと事前に取得しておいたキャリブレーションデータを利用し、1）計測車両に搭載されている複数の LiDAR センサからの情報を統合する（点群統合処理)。次に、2）統合後の点群データを入力とし PointPillars[1]と呼ばれる物体検出モデルを利用し、自車両周辺に存在する車両などの位置・向き・大きさといった情報を取得する。この時、事前に人手によりアノテーションしたデータを利用して学習した、学習済みの機械学習モデルを利用する。最後に、3）物体追跡処理により物体検出から得られた時系列の物標情報を統合し、各フレームの独立した物標位置情報を時間的に連続な物標の軌跡データに変換した。

（2）　センサ仕様が与える精度の影響

物標認識処理プロセスでは、LiDAR センサから取得されるデータを入力とするため、データ計測時、特に LiDAR センサの仕様が出力データに影響を与える。表 F.3-2 に計測車両に搭載した Velodyne 社製 VLP-16 センサの仕様と精度の影響を受ける処理についてまとめる。

計測車両には前後左右にそれぞれ、合計 4 台の LiDAR センサが搭載されており、前後の 2 台は垂直方向の分解能を向上させた HiRes モデルが利用されている。これらのセンサでは、データの取得は個々に実施されるが、物標認識処理プロセスではデータを統合するため、設置位置・設置台数は統合の精度に影響を与える。また、統合時にはタイムスタンプ情報を利用するため、センサの周波数 （時間分解能）も精度に影響すると考えられる。

一方、物体検出時には統合された点群を利用するため、直接的にはライン数・垂直方向の測定範囲、水平方向の測定範囲 （測定距離)、LiDAR センサ自体の推定精度が精度に影響を与える。また、測定周波数が低いと、フレームあたりの自車・他車の移動量が大きくなるため、測定周波数も物体検出に影響を与えると考えられる。なお、物体追跡処理

においては物体検出結果を利用するため、間接的にセンサ精度の影響を受けるといえるが、直接的な影響はほとんどないと考える。

表 F.3-2 センサの仕様[2, 3]と精度の影響を受ける処理

	仕様	影響を受ける処理
設置位置	車両前方(HiRes)/左右/後方(HiRes)	統合処理
台数	4 台	統合処理
ライン数	16 ライン	物体検出
測定範囲	水平 360 度・垂直 30 度 (VLP-16) /20 度 (VLP-16 HiRes)	物体検出
周波数	10Hz	統合処理、物体検出
測定距離	100m	物体検出
測距精度	±3cm (1σ@25m)	物体検出

（3） キャリブレーションが与える精度の影響

センサキャリブレーションは、物標認識処理以前に実施されるものであり、計測車両構築時やその後定期的に、センサ同士の位置関係などを把握するために実施される。センサキャリブレーションでは、ある基準に対して、4 つの LiDAR センサの位置 （x, y, z の 3 次元座標）と角度（roll, pitch, yaw 角）を取得する。物標認識処理プロセスの点群統合処理は、本キャリブレーション結果を用いて実施されるため、その後の精度に影響を与えることとなる。キャリブレーション作業自体は図 F.3-2 に示すようなツールを用いて人手で実施し、位置の計測の後、実際に点群データを確認・移動しながら目視により各 LiDAR センサからの出力が重なるように位置・角度の調整を行い実施される。そのため、目視の精度・LiDAR 可視化ツールの精度といったものが結果に影響を与えると考えられる。

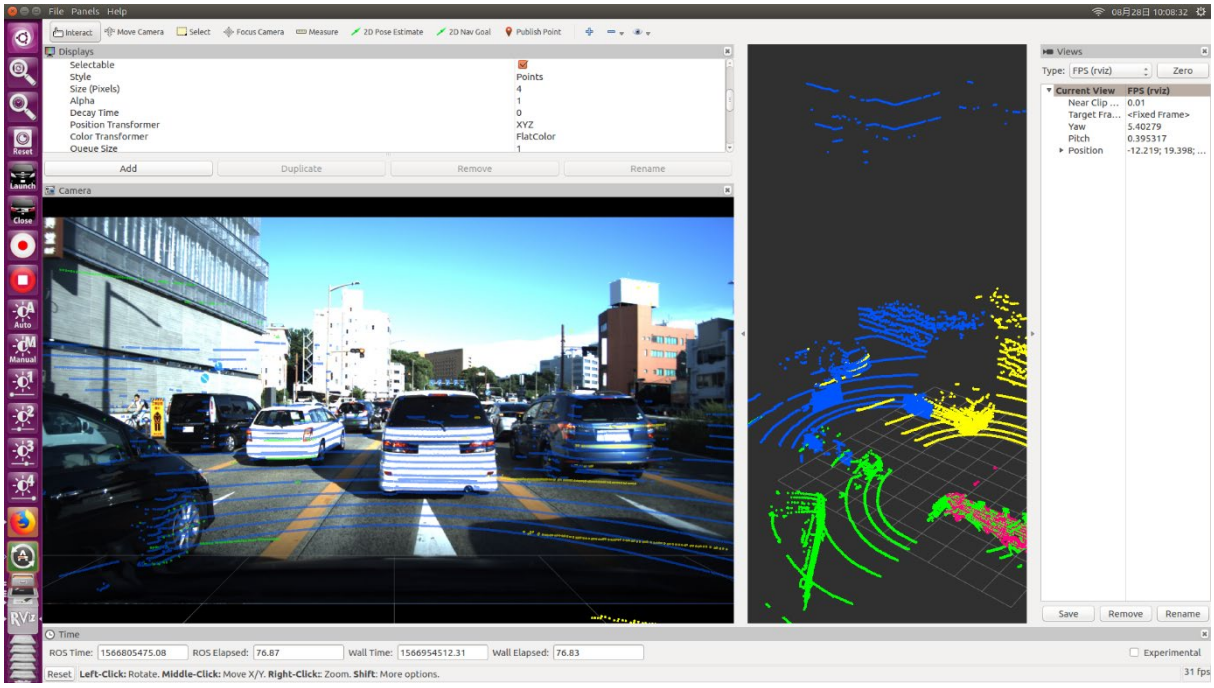


図 F.3-2　キャリブレーションに利用するツールの例

（4）　精度の関連図

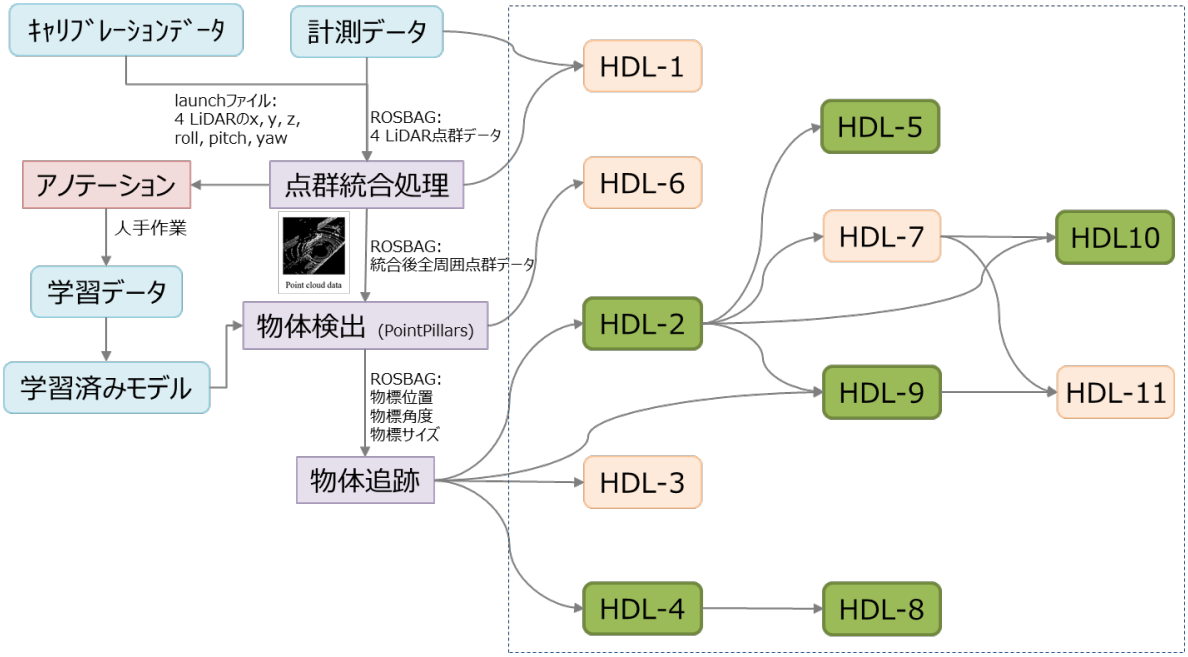


図 F.3-3　物標認識処理プロセスとその出力結果の精度関連図

図 F.3-3 に、図 F.3-1 に示した物標認識処理プロセスの構成と表 F.3-1 に示した生成物の精度に与える影響の関連図を示す。長方形が処理プロセスを、角丸の長方形がデータを表す。また、処理プロセスのうち紫色はシステムが自動で実施するもの、赤色が人手の作業を表す。データのうち、青色は物標認識処理の前に用意されるデータであり、それ以外が物標認識処理プロセスの出力である。出力は、さらに緑色で示す最終的な出力と、最終的

な出力の生成に利用される中間出力 （橙色）に分けることができる。タイムスタンプ（HDL-1）については、計測時に付与されるタイムスタンプと点群統合処理の影響を受ける。物標認識スコア（HDL-6）は、物標検出モデルから出力されるため、物体検出モデルに直接的な影響を受ける。残る指標については、物体追跡後に出力されるため物体追跡の影響を受ける。物標位置（HDL-2）・角度（HDL-3）・物標の大きさ（HDL-4）は直接物体追跡結果として出力される。物標相対速度（HDL-5）、物標走行車線（HDL-7）、物標 ID（HDL-9）については、追跡後の物標位置情報を利用しているため、直接的には物標位置に影響を受ける。物標種別は物標の大きさをもとに決定しているため、物標種別の精度は物標の大きさの精度に依存する。最後に CIPV フラグ（HDL-10）、車線変更フラグ（HDL-11）は、物標位置、物標走行車線、物標 ID を総合的に利用して判定される。

（5） 精度仕様

a） 点群統合処理精度仕様

点群統合処理では、4 台の LiDAR センサからの信号を統合し、周辺物標認識用の全周囲データを取得する。4 台の LiDAR センサは車両側面に搭載されており、各 LiDAR センサは車両から見て最大 180 度程度のデータしか取得できない （図 F.3-4）。この処理では、各 LiDAR センサから取得される点群データを統合することで、各 LiDAR センサの死角を補いあったような自車全周囲の点群データを獲得することができる。

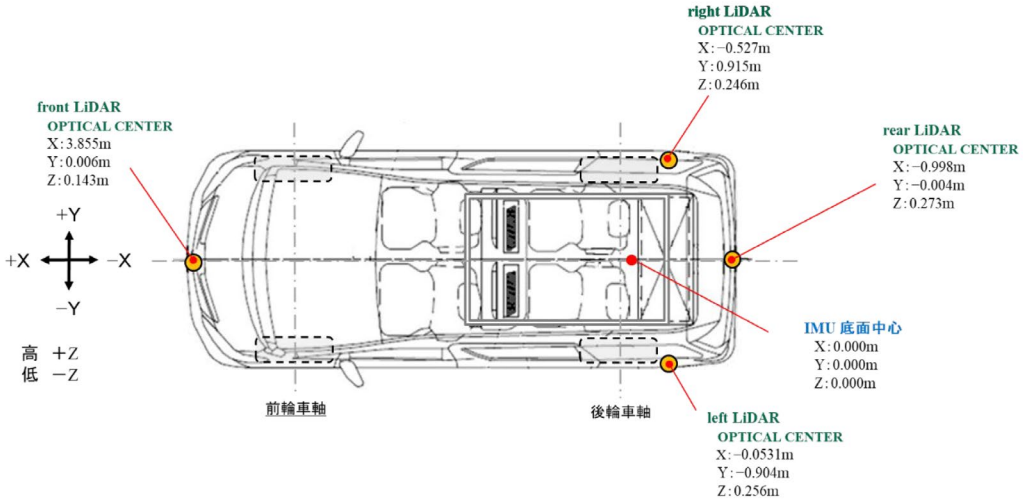


図 F.3-4 計測車両の LiDAR センサ搭載位置[4]

点群統合処理は、構築センサから付与されるタイムスタンプをもとに実施され、基準時刻を設定し、その時刻に最も近い LiDAR センサのデータを各センサから取得することで、全周囲の点群データとして出力する。図 F.3-5 にこの処理の概要を示し縦線は各 LiDAR の信号が入力された時刻を表す。なお、LiDAR センサのデータ取得間隔が 0.1 秒であるため、理論的には本処理で生じる時刻誤差の最大値は 0.1 秒となる。

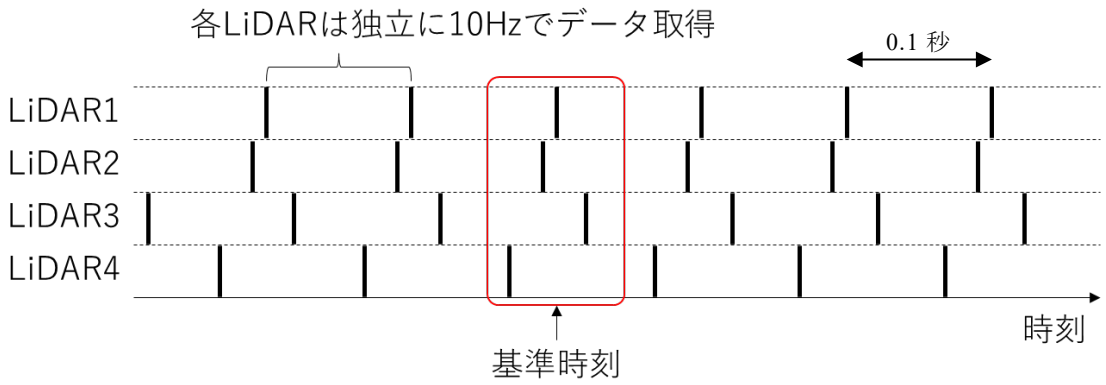


図 F.3-5　統合処理の概要

b）　物体追跡精度仕様

物体検出処理では、統合された全周囲点群データを入力とし、自車周辺物標の位置、大きさ、角度、物標種類といった情報を出力する。なお、ここでの結果は自車からの相対的なものである。物体検出モデルには PointPillars を利用した。モデルの学習には、第一東海自動車道および首都高速道路で取得した計測車両のデータを利用し、人手で正解データをアノテーションした 20,000 フレーム分のデータを用いた。

物体検出モデルは機械学習モデルであり、一定の誤差は発生するため、その誤差が精度に影響を与える[5]。また、学習データはあくまで人手によるアノテーション結果であり、そのアノテーション精度も出力に影響を与えると考えられる。

c）　物体追跡精度仕様

物体追跡では、物体検出で出力された物標位置や大きさの情報を時系列データとして扱い、同一物標の同定や結果の補正などを行うことで、最終的な周辺物標の位置・大きさ・角度・種類などの情報を出力する。追跡処理にはカルマンフィルタ[6]を利用し、その後、Median フィルタ[7]・Savitzky-Golay フィルタ[8]などを利用して結果の補正を行う。

物体追跡処理では、結果の補正等を通じて精度向上を目指しているが、補正の結果精度に影響を及ぼす可能性は存在する。また、追跡ミスなども存在するため、それらが出力精度に影響を与える。

表 F.3-3 に、物体検出・物体追跡それぞれについて、認識率等を用いて実際に精度評価を行った結果を示す。上矢印（↑）は値が大きいほど精度が高く、下矢印（↓）は値が小さいほど精度が高いことを示している。評価は次の各項目を利用して行った。

1）TPR (True-Positive Rate): 存在する物標を検出できた割合
2）FNR (False-Negative Rate): 存在する物標を検出できなかった割合
3）FPR (False-Positive Rate): 存在しない物標を検出してしまった割合
4）Precision: 適合率 (検出結果が実際に存在した割合)
5）Recall: 再現率 (存在する物標を検出できた割合)

6）F1-score: F 値 (Precision と Recall の調和平均)

結果から、物体追跡を行うことで FPR が大きく低下する、つまり、本来は存在しない物標の誤認識が大きく低下していることが分かる。結果として総合的な評価結果である F 値も大きく向上している。

表 F.3-3　物標認識及び物標追跡結果に対する認識率等の評価結果

	TPR ↑	FNR ↓	FPR ↓	Precision ↑	Recall ↑	F1-score ↑
物体検出後	0.706	0.294	0.957	0.003	0.706	0.005
物体追跡後	0.874	0.126	0.090	0.911	0.874	0.888

（6）　精度検証結果

a）　物体検出の精度検証結果

物体検出の精度を検証する実験を行った。この検証では、人手により付与された正解の物標位置・大きさのデータと物体検出モデルで推定された物標位置・大きさを比較した。評価は物標位置に対しては標準偏差、大きさに対しては二乗和平方根誤差を利用した。それぞれ値が小さいほうが誤差は少なく精度が高いことを示す。

結果を図 F.3-6、図 F.3-7 にそれぞれ示す。物体位置精度については前後方向の標準偏差が 17.9 cm、左右方向の標準偏差が 7.9 cm であった。物体の大きさについては、前後方向の誤差が 29.0 cm、左右方向の誤差が 5.0 cm であった。それぞれ車両の大きさや物標相対位置のスケールに対して十分に小さい値と考えられ、一定程度の誤差が存在していることも確認できるが、シナリオの構築において十分な精度であると考えられる。

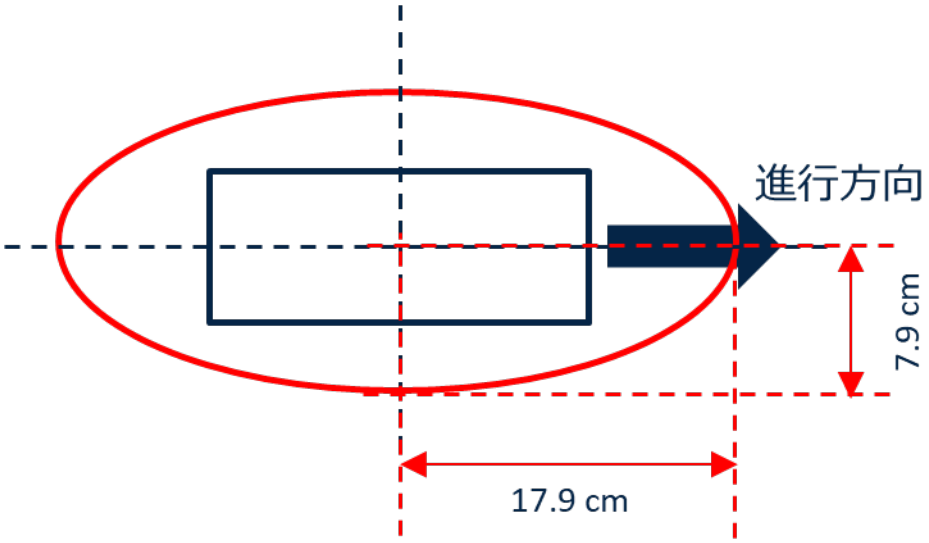


図 F.3-6　物標位置の精度 (他車中心位置に対する標準偏差の値を示す)

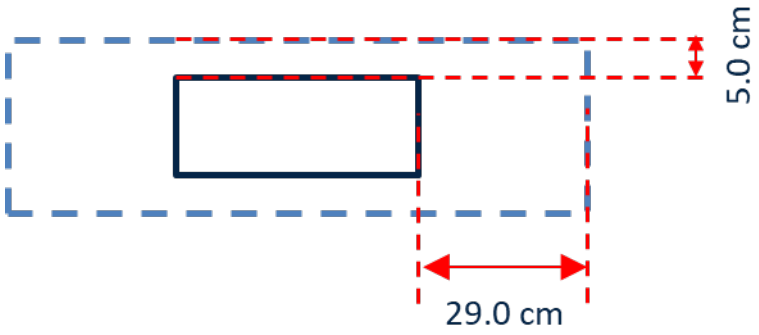


図 F.3-7　物標の大きさの精度 (他車アノテーション真値に対する平均誤差)

b)　物体追跡の精度検証結果

物体検出の結果と同様に、物体追跡の結果出力される物標位置の精度についても検証を行った。この検証では VBOX センサを搭載した実車を利用し、VBOX センサの出力する位置情報を真値として利用した。なお、VBOX センサの出力値には車両ごとに時刻ずれが存在すると考えられるため、最も誤差が小さくなるように時刻の補正を行っている。評価は物標位置と同様に標準偏差を用いて実施した。

結果を図 F.3-8 に示す。図には物体検出のみを実施した結果と物体追跡を組み合わせた場合の結果をあわせて載せている。結果から、物体追跡を行うことで他車位置に対する標準偏差が減少することが確認され、精度が向上することが分かった。しかしながら、物体追跡の処理を実施しても、一定程度の誤差が残されることも確認できた。

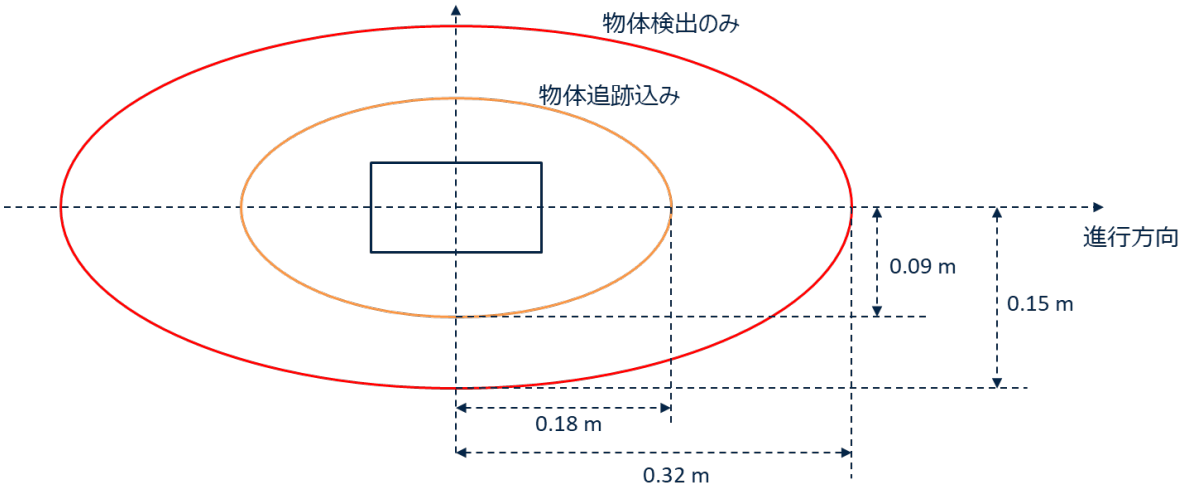


図 F.3-8　物体追跡前後の他車物標位置推定精度の比較

(7)　処理結果が与える精度への影響

物標認識処理プロセスの途中で認識誤りなどが発生した場合の精度への影響について考える。処理誤り・認識誤りは点群統合処理、物体検出、物体追跡の各過程で生じる可能性があると考えられる。想定される認識ミスの影響を表 F.3-4 にまとめる。

表 F.3-4　物標認識処理プロセスで想定される認識ミスの影響

処理	影響	該当生成物
点群統合処理	特定の LiDAR のデータが抜け落ちる場合、その領域の検出ができなくなる。 タイムスタンプずれの場合、物体検出での物体位置・大きさ・角度に影響が生じる。 ただし、瞬時的なものであれば物体追跡で補間される可能性が高い。	HDL-2,3,4
物体検出	瞬時的な認識ミスの場合、物体追跡で補間される可能性が高い。 他の物標の陰に隠れ続けるなど連続的に認識できなかった場合は、物標が消える・ID が変わるといった影響が考えられる。	HDL-9
物体追跡	物体追跡でのミスは補正されないため結果に直接影響する。 物標の大きさについてはミスをすると物標の位置に影響し、物標種別にも影響する。 物標位置のミスについては、相対速度の計算や ID の付与などに影響する。 物標 ID の付与を誤ると物標の移動軌跡に誤りが生じる。	HDL-2,4,8,9

F.4　画像認識処理プロセスの精度仕様

（1）　処理プロセスの構成

深層学習を用いたレーンマーク解析およびレーンマークに対して計測車両の位置・姿勢推定に関する処理プロセス（以下,「画像認識処理プロセス」という）についての概要を述べる。図 F.4-1 に画像認識処理プロセスのブロック図を示す。ブロック内に記載している“a”は他のプロセスから提供されたものを表し、“b”は自プロセス内での処理、または、処理によって出力された結果である。各出力の内容は KT-1～8 として表 F.4-1 に示す。

画像認識処理プロセスの具体的なフローは画像展開処理にて計測システムから計測されたデータ一式（以下、「rosbag データ」という）から、挟角レンズを装着したカメラにて車両の進行方向が撮影された画像（以下、「前方挟角画像」という）と、魚眼レンズを装着したカメラにて車両の左右側方が撮影された画像（以下、「左方広角画像」、「右方広角画像」という）が展開される（図 F.4-1 の①）。rosbag データからの画像データ展開の際にタイムスタンプ（KT-1）が出力される。

展開された画像を用いて、深層学習モデルである CondLaneNet[9]によるレーンマーク検

出処理にて、前方挟角画像からレーンマークを検出する（図 F.4-1 の②）。検出されたレーンマークの結果は、深層学習によるレーンマーククラス分類処理と、左右それぞれの広角画像においてレーンマークが出現する位置の予測に用いられる。

レーンマーククラス分類では，レーンマークについて実線や破線などの種別を判定しており（図 F.4-1 の③）、判定結果としてレーン種別（KT-3、KT-4）が出力される。

出現位置予測では、計測車両に取り付けられたそれぞれのカメラのレンズひずみ校正パラメータ、カメラ取付位置・角度、カメラ内部パラメータを利用して、左右それぞれの広角画像中でのレーンマーク出現位置を予測する（図 F.4-1 の④）。

予測結果から左右それぞれの広角画像におけるレーンマークの出現領域候補を絞り、画像処理により精度よく検出して計測車両の位置・姿勢推定に用いる（図 F.4-1 の⑤）。

位置・姿勢推定の結果として、計測車両とレーンマークまでの距離（KT-2、KT-3）、計測車両とレーンマークとの角度（KT-6、KT-7）、計測車両の姿勢角（KT-9）を出力する。

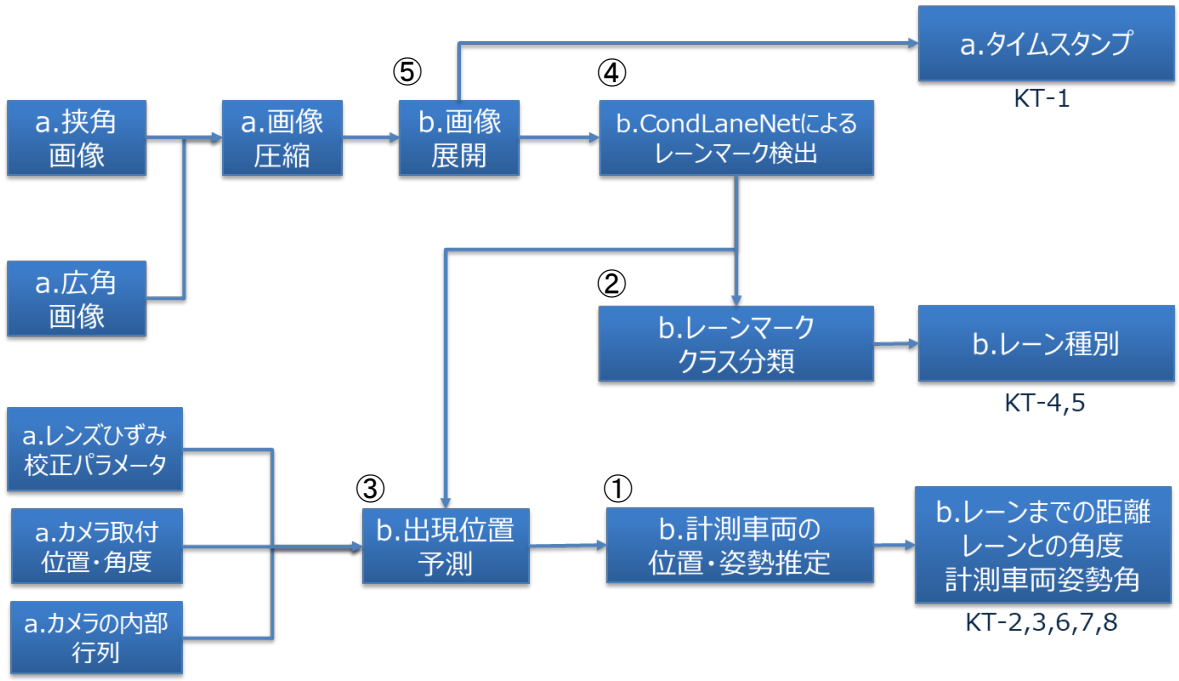


図 F.4-1　画像認識処理プロセスのブロック図

表 F.4-1　画像認識処理プロセスにて出力されるデータ

項目	名称
KT-1	タイムスタンプ
KT-2	左側レーンマークとの距離
KT-3	右側レーンマークとの距離
KT-4	左側レーンマークの種類
KT-5	右側レーンマークの種類
KT-6	左側レーンマークとの角度
KT-7	右側レーンマークとの角度
KT-8	計測車両姿勢角

（2）　センサ仕様が与える精度の影響

計測車両に搭載されているカメラセンサの仕様が精度に与える影響について調査した結果を報告する。計測車両に搭載されているカメラセンサは二種類あり、それぞれ「狭角カメラ」と「魚眼カメラ」である。挟角カメラのセンサ仕様は図 F.4-2、図 F.4-3 のとおりである。

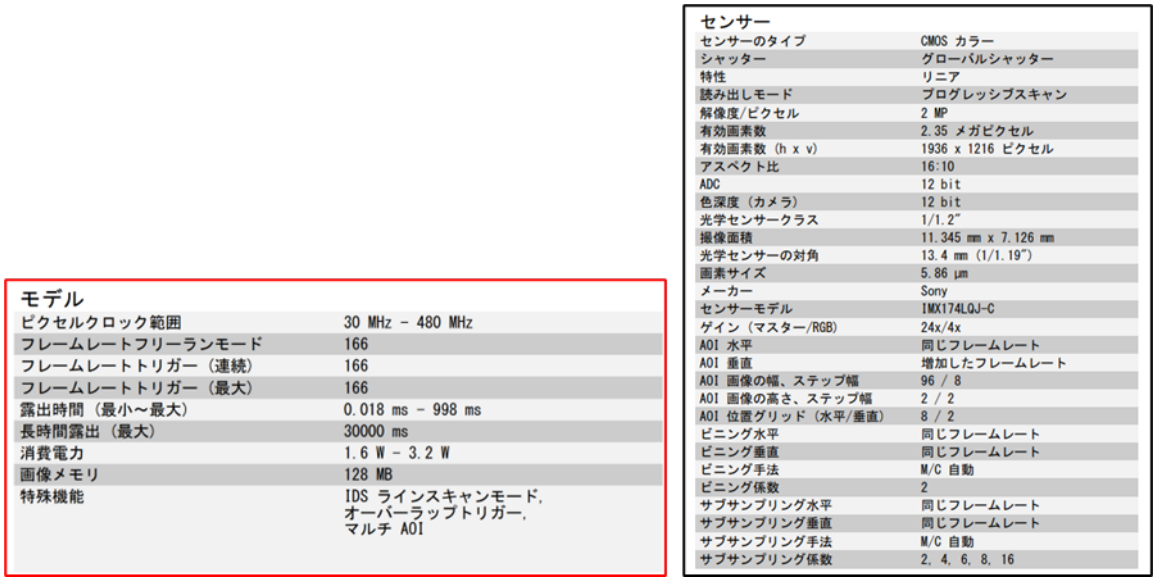
■センサ名：UI-3060CP-C-HQ

・用途：レーン種別判断

・設置位置：前方センター

・解像度：1280px×800px

・周波数：30Hz



モデル

ピクセルクロック範囲	30 MHz - 480 MHz
フレームレートフリーランモード	166
フレームレートトリガー（連続）	166
フレームレートトリガー（最大）	166
露出時間（最小～最大）	0.018 ms - 998 ms
長時間露出（最大）	30000 ms
消費電力	1.6 W - 3.2 W
画像メモリ	128 MB
特殊機能	IDS ラインスキャンモード, オーバーラップトリガー, マルチ AOI

センサー

センサーのタイプ	CMOS カラー
シャッター	グローバルシャッター
特性	リニア
読み出しモード	プログレッシブスキャン
解像度/ピクセル	2 MP
有効画素数	2.35 メガピクセル
有効画素数 (h x v)	1936 x 1216 ピクセル
アスペクト比	16:10
ADC	12 bit
色深度（カメラ）	12 bit
光学センサークラス	1/1.2"
撮像面積	11.345 mm x 7.126 mm
光学センサーの対角	13.4 mm (1/1.19")
画素サイズ	5.86 µm
メーカー	Sony
センサーモデル	IMX174LQJ-C
ゲイン（マスター/RGB）	24x/4x
AOI 水平	同じフレームレート
AOI 垂直	増加したフレームレート
AOI 画像の幅、ステップ幅	96 / 8
AOI 画像の高さ、ステップ幅	2 / 2
AOI 位置グリッド（水平/垂直）	8 / 2
ビニング水平	同じフレームレート
ビニング垂直	同じフレームレート
ビニング手法	M/C 自動
ビニング係数	2
サブサンプリング水平	同じフレームレート
サブサンプリング垂直	同じフレームレート
サブサンプリング手法	M/C 自動
サブサンプリング係数	2, 4, 6, 8, 16

図 F.4-2　挟角カメラの仕様[10]

Resolution [MP]	2.3
Horizontal Resolution [px]	1920
Vertical Resolution [px]	1200
Shutter Type	Global Shutter
Sensor Size	1/1.2 inch
Image Diagonal [mm]	13.27
Pixel Size x [µm]	5.86
Pixel Size y [µm]	5.86
Frame Rate [fps]	164.5
Chromatics	RGB
Interface	LVDS
Bit Depth	10, 12
Manufacturer	Sony
Aspect Ratio	16 : 9
Dymanic DB	73
Sensor Type	CMOS
Signal noise ratio [dB]	45
Full Well	31278
Read Noice	6
Quantum Efficiency Wavelength	532
Responsivity	000 V/lx*s, 35
Protective Film	Yes
Package	LGA
Pins / Balls	118
Max. Operating Temperature [°C]	75
Min. Storage Temperature [°C]	-10

図 F.4-3　挟角カメラに内蔵されているカメラセンサの仕様[11]

精度に影響を与える可能性のある要因は表 F.4-2 の通りである。

要因１として挙げた挟角カメラの設置位置・角度については、車両進行方向（前方）の撮影箇所に変化が生じるため、出現位置予測および計測車両の位置・姿勢推定の精度に影響を及ぼす。要因２として挙げた同期シャッター精度に関して、カメラ間の撮影時間の整合性が取れない場合に、複数カメラが同一時刻においてシャッターを切るタイミングにずれが生じる。出現位置予測においては前方カメラ画像からレーンマークを検出し、左右側方カメラのレーンマークの出現範囲を計算しているため、出現位置予測の精度に影響を及ぼす。要因３として挙げたシャッタースピードについては、露光時間内で破線における実線部を取得できない可能性が生じるため、レーンマーククラス推定及び出現位置予測の精度に影響を及ぼす。要因４として挙げたダイナミックレンジについては、白飛びや正確な色情報の取得が値によっては困難になるため、レーンマーク検出、レーンマーククラス推定、出現位置予測及び計測車両の位置・姿勢推定の精度に影響を及ぼす。

表 F.4-2　挟角カメラの仕様と精度影響を受ける処理の一覧

要因	仕様	精度影響を受ける処理
1.設置位置・角度	車両側方（左右）　に位置	出現位置予測 計測車両の位置・姿勢推定
2.同期シャッター精度	不明	出現位置予測
3.シャッタースピード	最大最小の記載のみ（0.018ms–998ms）	レーンマーククラス推定 出現位置予測
4.ダイナミックレンジ	73DB	レーンマーク検出 レーンマーククラス推定 出現位置予測 計測車両の位置・姿勢推定

計測車両に搭載された魚眼カメラは部品番号から正確な仕様を得ることができなかったため、詳細な仕様については記載できないが精度に与える影響については、表 F.4-2 で示したカメラセンサと同様の関係であるので、要因と精度に影響を受ける処理は同一であると考えられる。

（3）　キャリブレーションが与える精度の影響

計測車両に搭載されているセンサのキャリブレーションが精度に与える影響について調査した内容を報告する。

キャリブレーションとは、レンズ焦点距離などの内部パラメータと、カメラの位置・姿勢を表す外部パラメータ、レンズひずみ補正係数を求め、画像を補正する処理である。そのため、精度に影響を与えるキャリブレーションの要素としては、内部パラメータ、外部パラメータ、レンズひずみ補正係数になる（表 F.4-3）。

表 F.4-3 キャリブレーションの要素

内部パラメータ	カメラ固有の内部情報を表すパラメータ
レンズひずみ補正係数	レンズによる画像の歪みを補正して、歪みのない画像に変換するためのパラメータ
外部パラメータ	世界座標系でのカメラの位置と姿勢を表すパラメータ

走行前に事前に計測された各センサの高さ方向のパラメータは、車両に搭載されている GNSS/IMU 装置（以下、「IMU」という）を基準とした高さで記録されている（図 F.4-4 の緑矩形箇所）。しかし、位置姿勢計測のためには、地面からセンサまでの高さ情報が必要になるため、画像認識処理プロセスを実行する際は、地面からセンサまでの高さ情報が

必要である。

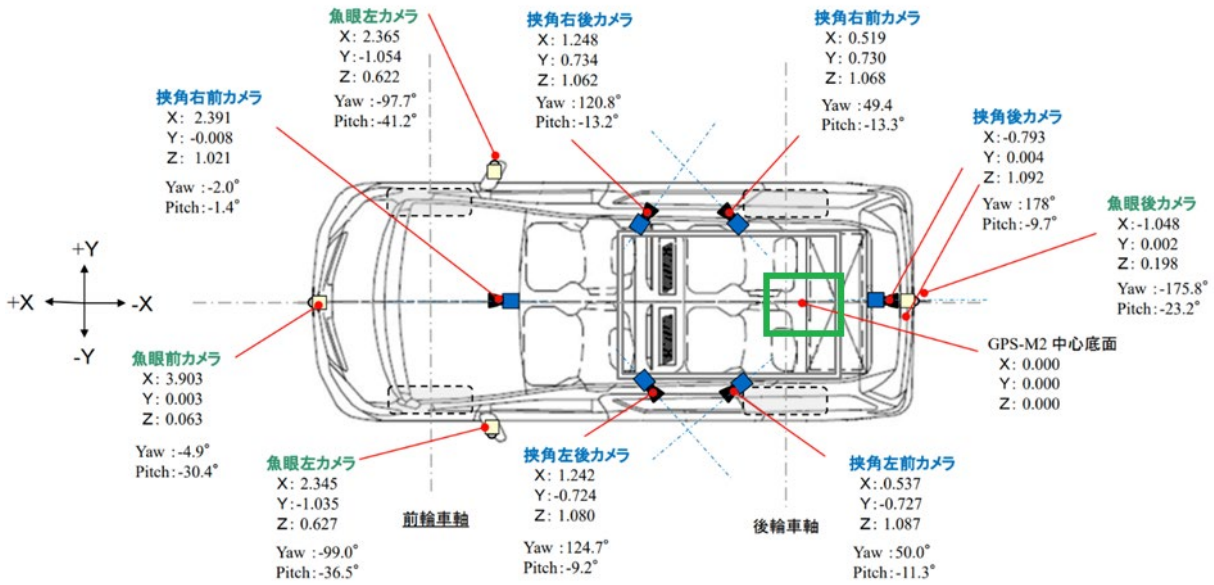


図 F.4-4　計測車両に搭載されている各種センサの外部パラメータ[12]

（4）　精度の関連図

画像認識処理プロセスにおける各モジュールの詳細について述べ、各処理内容が精度に及ぼす影響を示す。図 F.4-5 に示す画像認識処理プロセスについて、①画像展開処理、②レーンマーク検出処理、③レーンマーククラス推定処理、④出現位置予測処理、⑤計測車両位置・姿勢推定処理の 5 つの処理における、処理内容、入力データ、出力データを示す。画像認識処理プロセスにおけるフローにて用いている図形の定義については表 F.4-4 に示す。

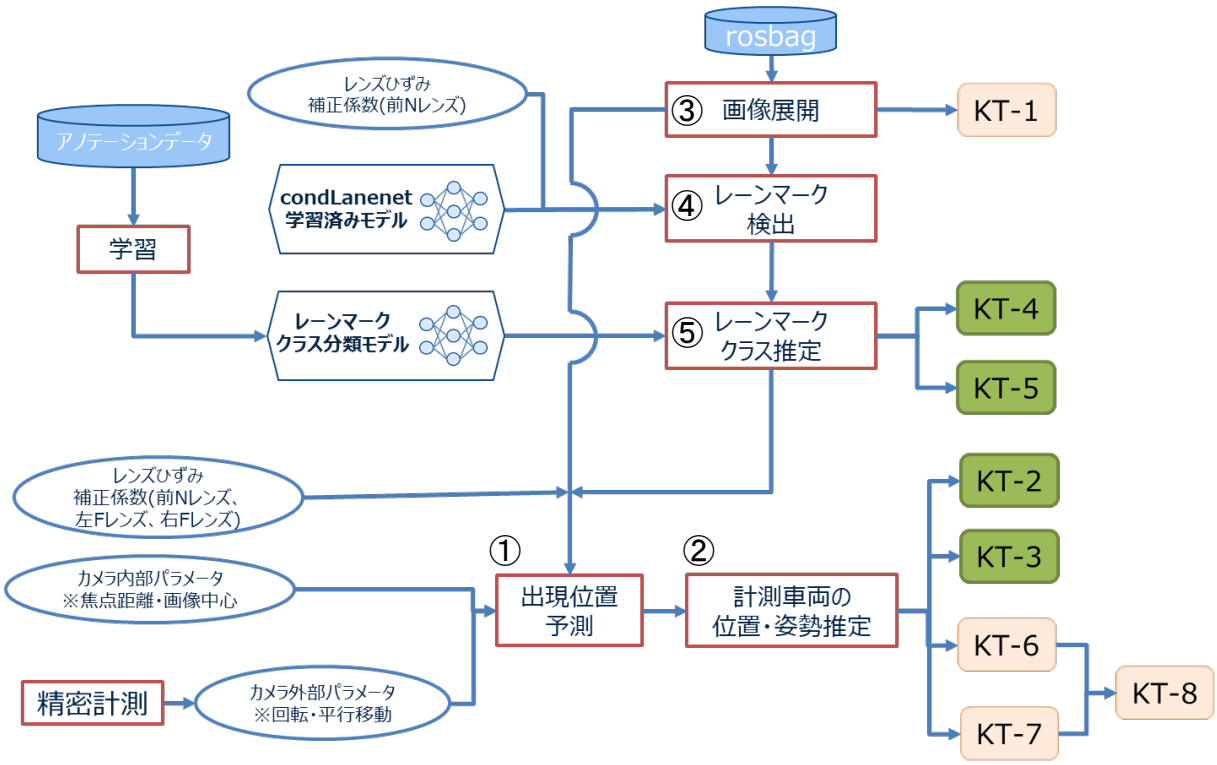


図 F.4-5 画像認識処理プロセスの全体処理フロー

表 F.4-4 画像認識処理プロセスのフローにおける図形の定義

図形	図形の定義
	大規模データ群 ※ 画像、アノテーション情報、タイムスタンプなど
	処理内容 ※「精密計測」のみ画像認識処理プロセス以外で処理
	カメラに関連するパラメータ
	深層学習による学習済みモデル
	出力データ ● 画像認識処理プロセスの処理結果であり、後工程で利用されるデータ
	出力データ ● 画像認識処理プロセスの処理結果ではないデータ ● 画像認識処理プロセスの処理結果であるが、後工程で利用されないデータ

a)　画像展開処理

画像展開処理の処理内容と入出力データの関連について図F.4-6に示す。

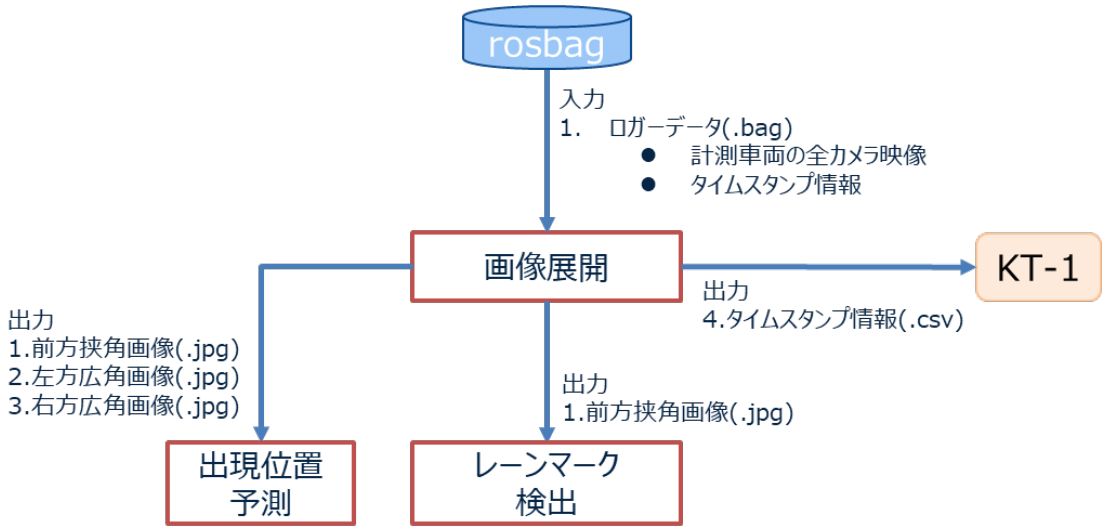


図 F.4-6　画像展開処理での入出力データの関連図

（i）処理内容

1.　rosbagデータに記録されている画像を展開
2.　画像展開時にタイムスタンプ情報（KT-1）を出力

（ii）入力データ

1.　ロガーデータ

・計測車両の全カメラ映像
・タイムスタンプ情報

（iii）出力データ

1.　前方挟角画像（1920 px×1080 px）
2.　左方広角画像（1280 px×800 px）
3.　右方広角画像（1280 px×800 px）
4.　タイムスタンプ情報

b)　レーンマーク検出処理

レーンマーク検出処理の処理内容と入出力データの関連について図F.4-7に示す。

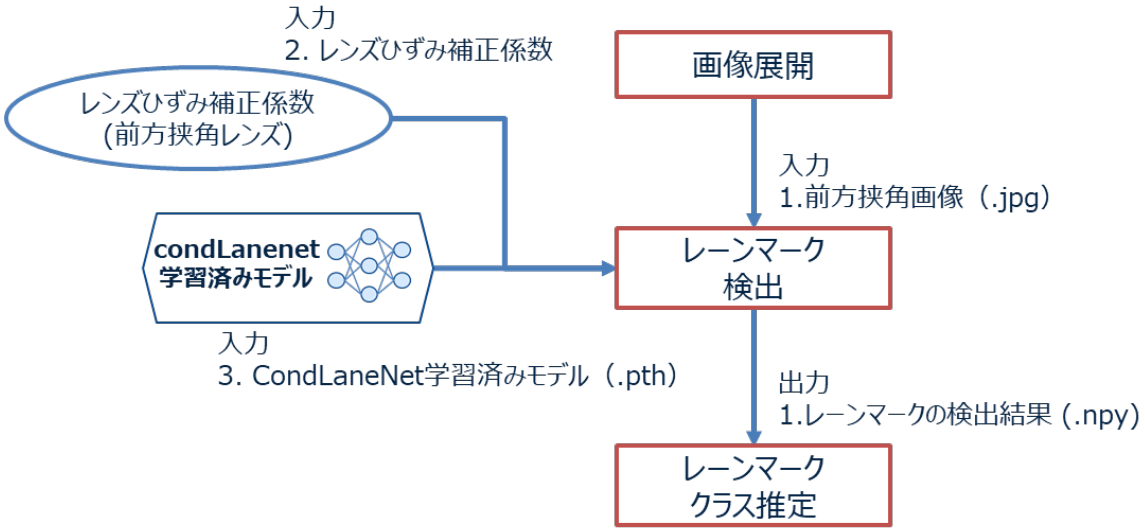


図 F.4-7　レーンマーク検出処理

（i）処理内容

1. 入力される前方挟角画像およびレンズひずみ補正係数を用い、レンズ歪みを補正
2. レンズ歪みを補正した前方挟角画像を入力として、CondLaneNet学習済みモデルによるレーンマーク領域を検出
3. 検出されたレーンマークに対して、独自アルゴリズムによる、計測車両の走行車線選択を適用
4. 計測車両の走行車線におけるレーンマーク検出結果に対して、カルマンフィルタを適用

（ii）入力データ

1. 前方挟角画像
2. レンズひずみ補正係数（前方挟角レンズ）
3. CondLaneNet学習済みモデル
   ※CondLaneNet学習済みモデルはTusimpleデータセット[13]で学習したMediumサイズのCondlaneNetモデルのパラメータが記録されたもの

（iii）出力データ

1. レーンマークの検出結果
   ※.npyファイルはpython言語のプログラムにおいて、numpy[14]で読み取り、使用するもの

c）　レーンマーククラス推定処理

レーンマーククラス推定処理の処理内容と入出力データの関連について図F.4-8に示す。

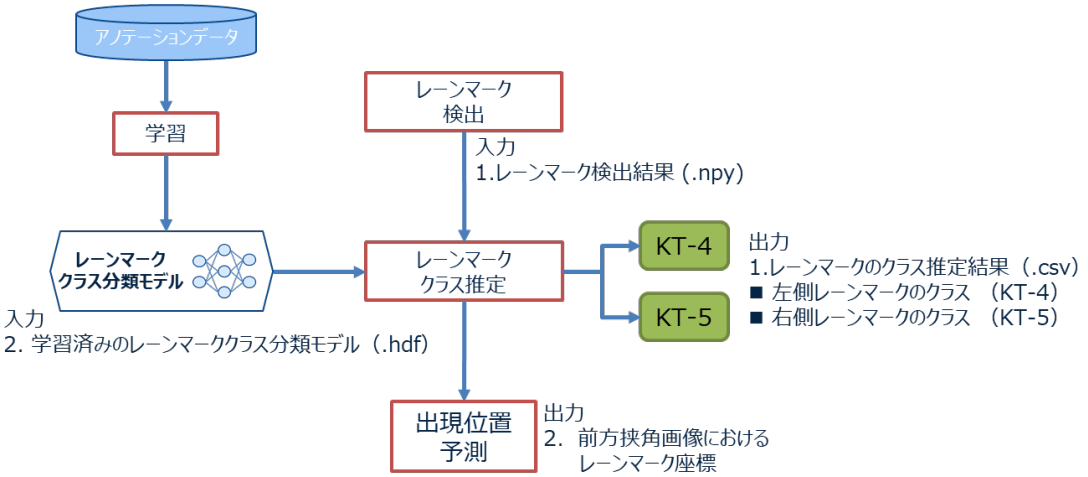


図 F.4-8　レーンマーククラス推定処理

（i）処理の内容

1. 前方挟角画像から切り出されたレーンマークの検出結果に対して、学習済みのレーンマーククラス分類モデルによるレーンマークのクラスを推定
2. 推定されたレーンマーククラス推定結果の時系列情報を用い、カルマンフィルタにより推定結果を補間・平滑化

（ii）入力データ

1. レーンマークの検出結果
2. 学習済みのレーンマーククラス分類モデル
   ※学習済みのレーンマーククラス分類モデルは人の手で画像に対してクラスを付与し、アノテーションデータで学習したパラメータ

（iii）出力データ

1. レーンマークのクラス推定結果

・左側レーンマークのクラス （KT-4）

・右側レーンマークのクラス （KT-5）

2. 前方挟角画像におけるレーンマーク座標
   ※位置・姿勢推定に用いるレーンマークの6点の座標

d）　出現位置予測

出現位置予測の処理内容と入出力データの関連について図F.4-9に示す。

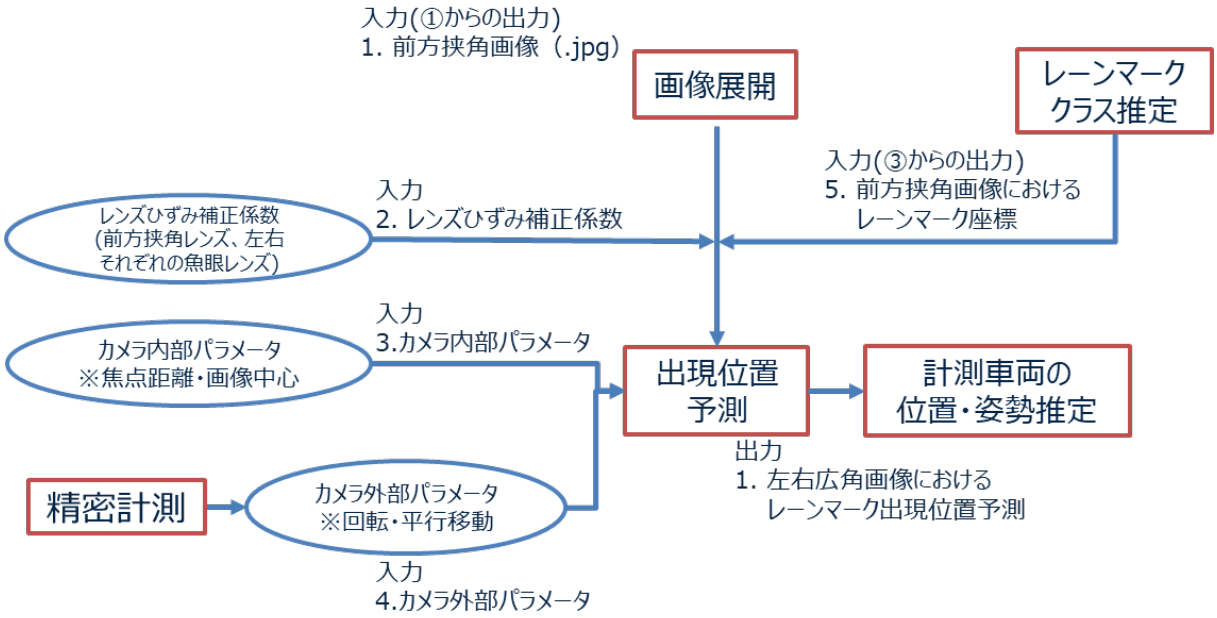


図 F.4-9　出現位置予測処理

（i）処理の内容

1. 前方挟角画像に対してレンズひずみ補正係数で歪みを補正する。
2. 前方挟角画像におけるレーンマーク座標から6点の座標を取得して、左側のレーンマークの座標のうち前方挟角画像のより手前側の座標(値が最も大きい高さ方向の座標)を取得する。右側レーンマークの座標についても同様に取得する。
3. 2.にて取得された左右のレーンマークの座標を、補正後の前方挟角画像の幅とカメラ内部・外部パラメータから、前方挟角画像における実世界上での左右のレーンマークの距離に変換する。
4. 実世界上での左右のレーンマークの距離に対して、1mのマージンを取った幅を左右広角画像におけるレーンマークの出現位置の範囲として予測する。

（ii）入力データ

1. 前方挟角画像
2. レンズひずみ補正係数（前方挟角レンズ、左右それぞれの魚眼レンズ）
3. カメラ内部パラメータ（前方挟角レンズ、左右それぞれの魚眼レンズの焦点距離・画像中心）
4. カメラ外部パラメータ（前方挟角レンズ、左右それぞれの魚眼レンズの取付角度・IMUからの平行移動距離）
5. 前方挟角画像におけるレーンマーク座標

（iii）出力データ

1. 左右広角画像におけるレーンマーク出現位置の予測結果

e)　計測車両位置・姿勢推定処理

計測車両位置・姿勢推定処理の処理内容と入出力データの関連について図 F.4-10 に示す。

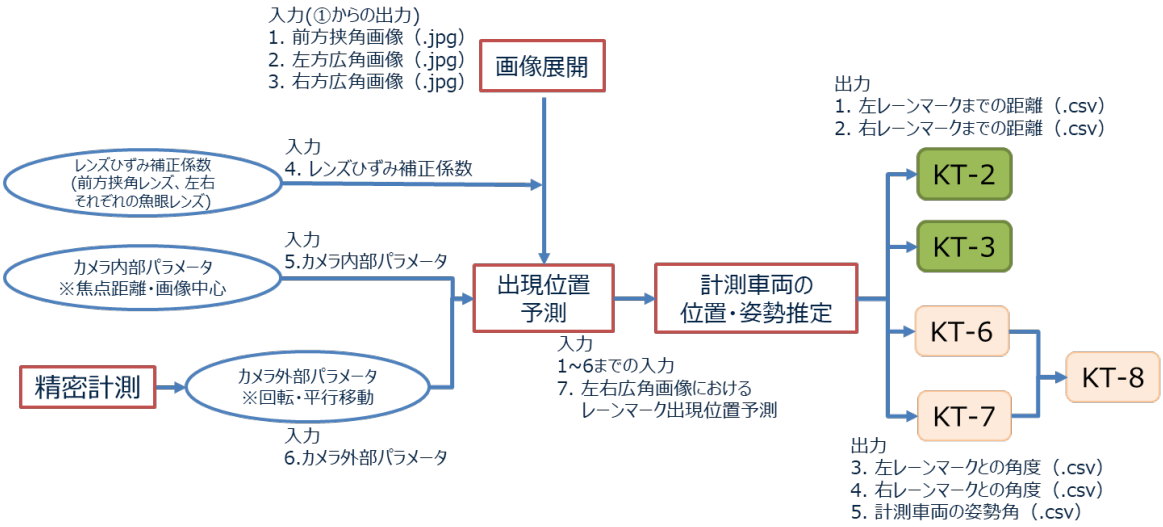


図 F.4-10　計測車両位置・姿勢推定処理

（i）処理内容

1. 入力される左右方向の広角画像およびレンズ歪み補正係数を用い、魚眼レンズ歪みを補正
2. 1.の結果に対し、入力されるカメラ外部パラメータを用い、回転を補正
3. 左右方向の広角画像それぞれにおいて、予測された出現位置に画像処理対象の領域を絞り、ハフ変換により直線近似で検出されたレーンマーク候補から、計測車両の走行車線を決定
   ※出現位置予測における範囲を定めることで、縁石やガードレールをハフ変換のレーンマーク候補から除く。
4. 3の結果と入力されたカメラ外部パラメータから、レーンマークまでの距離・角度を算出
5. 4の結果の時系列情報に対し、カルマンフィルタにより補間処理

（ii）入力データ

1. 前方挟角画像
2. 左方広角画像
3. 右方広角画像
4. レンズひずみ補正係数（前方挟角レンズ、左右それぞれの魚眼レンズ）
5. カメラ内部パラメータ（前方挟角レンズ、左右それぞれの魚眼レンズの焦点距離・画像中心）

6. カメラ外部パラメータ（前方挟角レンズ、左右それぞれの魚眼レンズの取り付け角度・IMUからの平行移動距離）
7. 左右広角画像におけるレーンマーク出現位置の予測結果

（iii）出力データ

1. 計測車両と左レーンマークまでのIMU基準距離（KT-2）
2. 計測車両と右レーンマークまでのIMU基準距離（KT-3）
3. 計測車両と左レーンマークとの姿勢角（KT-6）
4. 計測車両と右レーンマークとの姿勢角（KT-7）
5. 計測車両の姿勢角（KT-8）

（5） 精度仕様

レーンマーク検出処理、レーンマーククラス推定処理、計測車両の位置・姿勢推定処理（レーンマーク出現位置予測、レーンマークと計測車両との距離推定）に関する精度仕様について述べる。

a） レーンマーク検出処理

レーンマーク検出処理の精度仕様は、使用しているレーンマーク検出モデルである CondLaneNet（Tusimple データセットで学習した Medium サイズのモデルを使用）に依存する。使用しているモデルの精度に関して表 F.4-5 に示す。また、参考として CuLane データセット[15]で学習した CondLaneNet-Medium における路面状況による精度(F1 Score) への影響を表 F.4-6 に示す（各項目の説明は表 F.4-7 を参照)。通常の道路環境 （Normal）の精度は高いが，他の状況では精度が低下している。

表 F.4-5　Tusimple CondLaneNet-Medium の精度

Method	F1	Acc	FP	FN	FPS	GFLOPS
SCNN [28]	95.97	96.53	6.17	**1.80**	7.5	
EL-GAN [6]	96.26	94.90	4.12	3.36	10.0	
PINet [19]	97.21	96.70	2.94	2.63		
LineCNN [22]	96.79	**96.87**	4.42	1.97	30.0	
PointLaneNet [2]	95.07	96.34	4.67	5.18	71.0	
ENet-SAD [12]	95.92	96.64	6.02	2.05	75.0	
ERF-E2E [41]	96.25	96.02	3.21	4.28		
FastDraw [29]	93.92	95.20	7.60	4.50	90.3	
UFAST-ResNet34 [30]	88.02	95.86	18.91	3.75	169.5	
UFAST-ResNet18 [30]	87.87	95.82	19.05	3.92	312.5	
PolyLaneNet [31]	90.62	93.36	9.42	9.33	115.0	0.9
LSTR [25]	96.86	96.18	2.91	3.38	**420**	**0.3**
LaneATT-ResNet18 [32]	96.71	95.57	3.56	3.01	250	9.3
LaneATT-ResNet34 [32]	96.77	95.63	3.53	2.92	171	18.0
LaneATT-ResNet122 [32]	96.06	96.10	5.64	2.17	26	70.5
CondLaneNet-S	97.01	95.48	2.18	3.80	220	10.2
CondLaneNet-M	96.98	95.37	2.20	3.82	154	19.6
CondLaneNet-L	**97.24**	96.54	**2.01**	3.50	58	44.8

表 F.4-6　CuLane CondLaneNet-Medium における路面状況による精度[16]

Total	Normal	Crowded	Dazzle	Shadow	No line	Arrow	Curve	Night
78.74	93.38	77.14	71.17	79.93	51.85	89.89	73.88	73.92

表 F.4-7　CuLane CondLaneNet-Medium における路面状況の説明

Total	すべてのクラス（車線の状態）における評価を示す。
Nomal	normal driving conditions with clear lane markings. (レーンマークが鮮明な通常の交通環境)
Crowded	crowded traffic scenes with many vehicles. (多くの車両が存在する混雑した交通環境)
Dazzle	There are strong light sources on the road, such as headlights or sunlight, which may cause glare or reflection. (ヘッドライトや太陽光のような強い光源がある交通環境)
Shadow	scenes where shadows cast by vehicles or buildings obscure lane markings. (建物や車両の影でレーンマークが不明瞭である交通環境)
No line	scenes where lane markings are missing or very faint. (レーンマークが消えていたり，非常に薄かったりする交通環境)
Arrow	scenes where arrow markings indicate lane changing or turning. (車線変更や旋回を示す道路標示(進行方向別通行区分など)が存在する交通環境)
Curve	scenes where lanes are curved or bendy. (車線がカーブしていたり，曲がっている交通環境)
Night	night scenes with low illumination. (照明が少ない夜の交通環境)

b)　レーンマーククラス推定処理

レーンマーククラス推定処理の精度仕様は、“実線”、“破線”、“線なし”、“その他”、の４種類について類別をした。まず、計測車両の走行車線のレーンマークが検出されないときは、推定クラスを“線なし”、とする。レーンマーク検出処理より計測車両の走行車線のレーンマークが検出された場合は、図 F.4-11 に示す関心領域を探索してレーンマーク候補点を中心とする領域をクロップする。ここで、関心領域は、計測車両の前方 5 m から 200 m 程度までの範囲である。クロップされた領域画像を図 F.4-12 に示す画像認識用の レーンマーククラス分類モデル（Convolutional Neural Networks（CNN）[17]）に入力して、最終的に、“実線”、“破線” 、“その他”、“線なし”の４クラスに対して類別する。計測車両が撮影した映像からクロップ画像を目視にて 20,000 枚用意し、レーンマーククラス分類モデルの学習に利用した。また、学習画像とは別に 6,000 枚を追加で取得し評価したところ、96.5 %の類別精度であることを確認した。

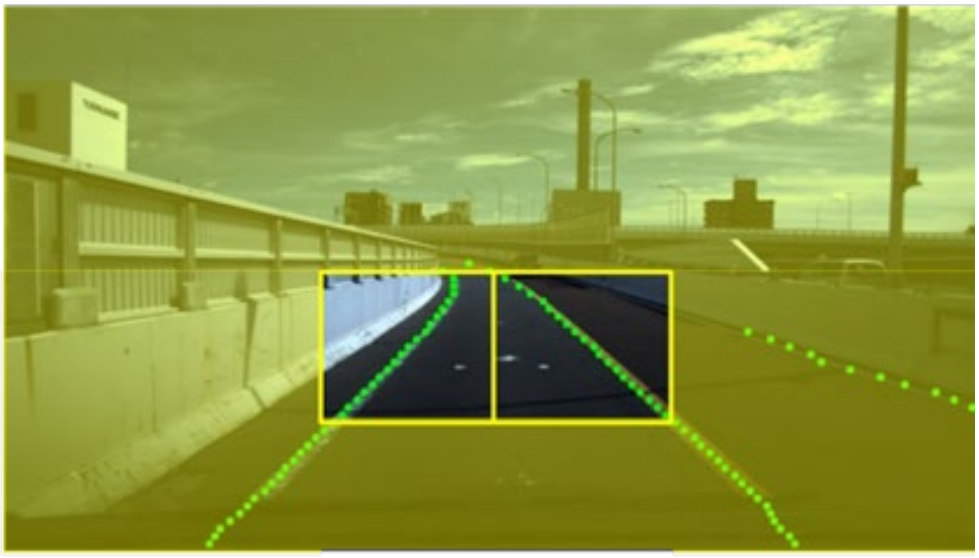


図 F.4-11　クロップ画像を獲得する関心領域

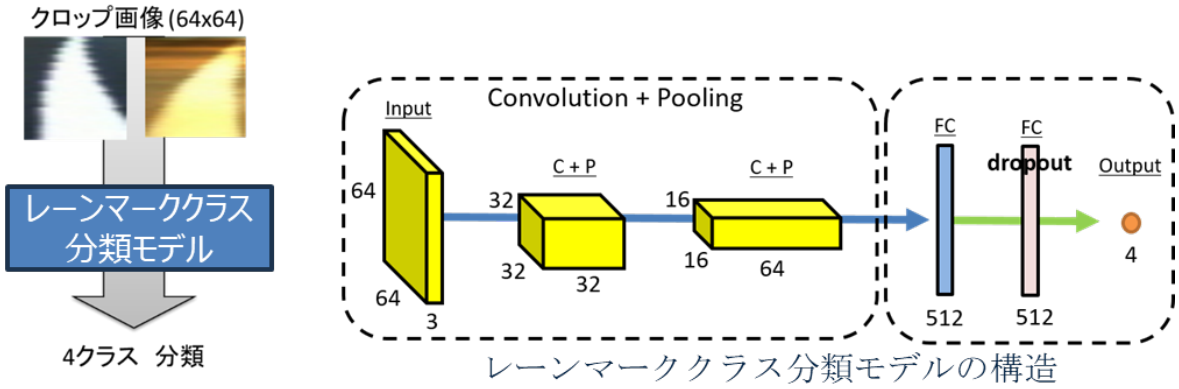


図 F.4-12　クロップされた領域画像を用いたレーンマーククラス分類

c)　計測車両の位置・姿勢推定処理

計測車両の位置・姿勢推定処理について、レーンマーク出現位置予測、レーンマークと計測車両との距離推定に関する精度仕様を述べる。レーンマーク出現位置予測の精度は、基本的には CondLaneNet の精度を引き継ぐ。予測方法として、図 F.4-13 のようにカメラ内部パラメータ、カメラ外部パラメータから前方カメラ画像上の距離を実世界上の距離に変換して、左方広角画像におけるレーンマークの出現位置を予測している。よって、カメラ内部パラメータ、カメラ外部パラメータ、タイムスタンプの同期などが正しいかつ、画像にノイズが載っていない場合には精度は約 100 %で機能する。

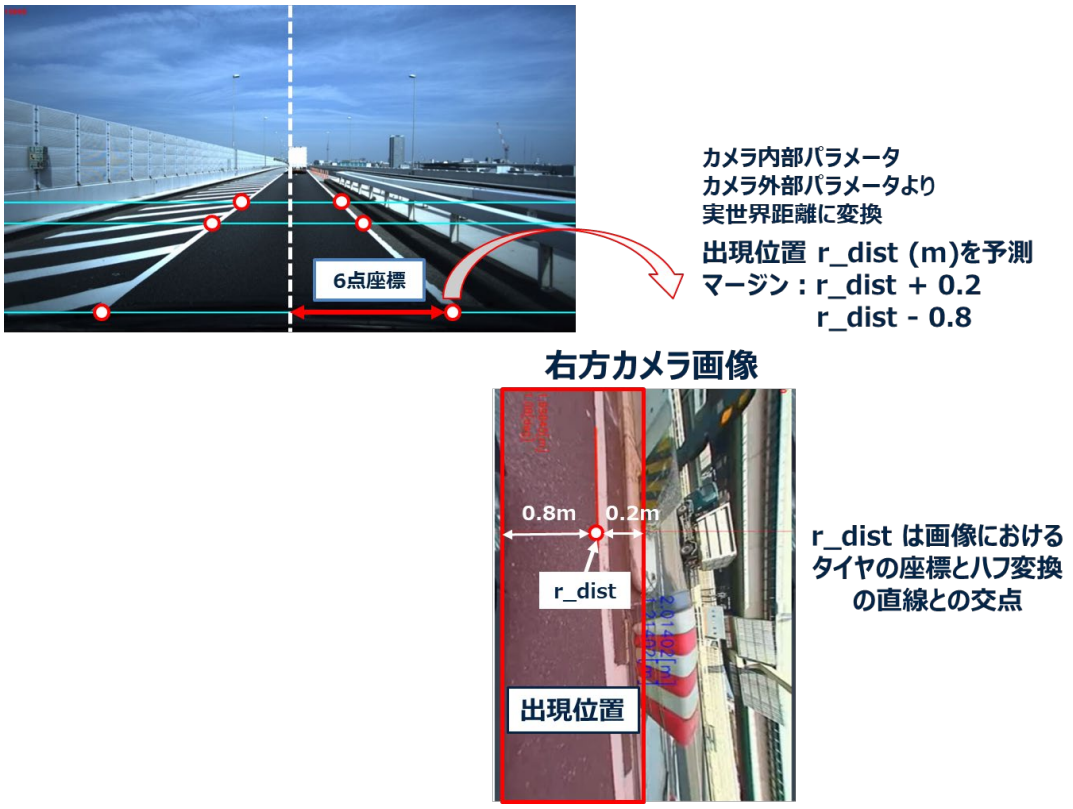


図 F.4-13　レーンマーク出現位置予測のイメージ

レーンマークと計測車両との位置推定（距離推定）の精度仕様としては、(6) に述べる距離推定の精度評価実験での結果に依存する。計測の結果は（6）に記載している表 F.4-8 のようになっており、精度はこの結果における誤差に従うものとする。

（6）　精度検証結果

ハフ変換に基づくレーンマークの線分検出精度と分離し、距離精度のみを評価するため、画像から検出しやすい線を用いた。検証は図 F.4-14 のように計測車両の IMU 基準としたレーンマークとの距離を測定している。実験環境は車両の左右の後輪から 50 cm 間隔の位置にラインを引き、画像から距離推定した結果と実際の計測結果を比較した結果を表 F.4-8 に示す。

結果について，まずは IMU から 190 cm 程度の距離について考察する。この距離は車線幅が 325 cm や 350 cm のレーン中央付近を走行している状況が近いと考える。この時の左右平均誤差は 0.6 %であるため、位置精度として 2 cm 以下で計測できることが期待される。その後はレーンマーカまでの距離が長くなると誤差も比例し、440 cm 程度のところでは平均誤差が 7.7 %まで増加する。ただし、IMU とレーンマークとの距離が左右ともに 440 cm 以上となる状況は車線変更時にも発生しないことから、左右のうちの距離が近い方に重みを大きく付して平均を算出する等、後段処理の工夫により、より高精度な位置計測が可能となると期待される。

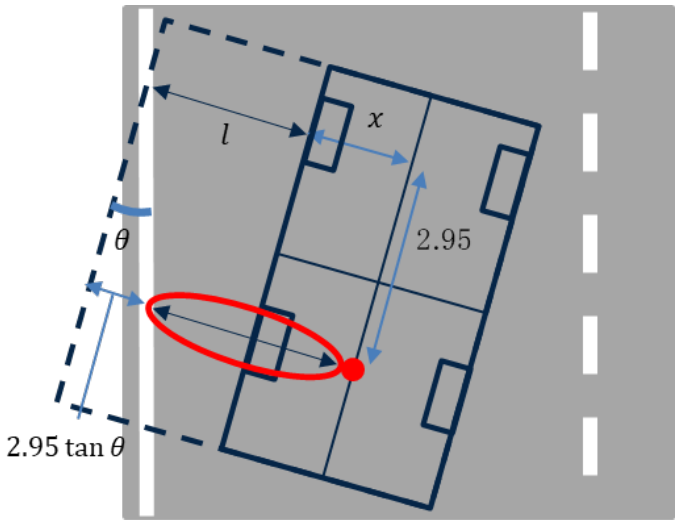


図 F.4-14　IMU 基準での距離推定概要

表 F.4-8　レーンマークと計測車両との距離推定に関する精度評価実験結果

実測値 [cm]	(右)137.0 (左)136.3	(右)187.0 (左)186.3	(右)237.0 (左)236.3	(右)287.0 (左)286.3	(右)337.0 (左)336.3	(右)387.0 (左)386.3	(右)437.0 (左)436.3
計測値 [cm] （画像処理）	(右)144.2 (左)135.4	(右)189.0 (左)182.0	(右)235.1 (左)227.9	(右)280.1 (左)270.1	(右)325.7 (左)311.7	(右)361.8 (左)360.4	(右)409.7 (左)396.5
平均誤差 [%]	2.3	0.6	2.2	3.9	5.3	6.6	7.7

（7）　処理結果が与える精度への影響

画像展開処理以外について、各処理に想定される認識ミスとその影響を表 F.4-9 に示す。各処理において入力画像が鮮明でない場合、特に画像上のレーンマークやその近辺が鮮明でない場合に認識ミスが起こると想定される。また、前段の処理に影響が出るほど、後段処理の結果に影響がある。

表 F.4-9　想定される認識ミスの影響

処理	影響
レーンマーク検出処理	画像中のレーンマークが鮮明ではない場合、検出できない可能性がある。検出に失敗した場合、レーンマークのクラス推定 （KT-4、KT-5）と、計測車両の位置・姿勢推定（KT-2、KT-3、KT-6、KT-7、KT-8） に影響が生じる。 ただし、瞬時的なものであれば、前後フレームの検出結果による補間が可能。
レーンマーククラス推定処理	レーンマーク未検出時や、影やレーンマークの擦れにより、クラス推定処理（KT-4、KT-5）に影響が生じる。ただし、カルマンフィルタにより、レーンマーク未検出シーンの補間と、レーンマークが切り替わるシーンなどにおける不安定な推定確率の平滑化が可能。
計測車両の位置・姿勢推定処理	画像中のレーンマークが鮮明ではない場合、ハフ変換による直線検出が出来ない可能性があり、左右レーンマークとの距離推定・角度推定（KT-2、KT-3、KT-6、KT-7）に影響が生じる。左右のレーンマークとの角度（KT-6、KT-7）が失敗している場合に、計測車両の姿勢角（KT-8）への影響が生じる。

F.5　自車他車軌跡化処理プロセスの精度仕様

（1）　処理プロセスの構成

自車他車軌跡化処理プロセスは①位置推定処理プロセス、②車両軌跡化処理プロセスで構成され、更に②車両軌跡化処理プロセスは（a）一次解析、（b）数値解析、（c）道路座標軸化の 3 つのプロセスから構成される。

各プロセスの概要は下記のとおりである。

①位置推定処理プロセス（図 F.5-1）
カーナビゲーションで用いる地図（以下、「ナビ地図」という）と自車位置を計測するための GNSS センサとして 実績のある GPS-M2（以下、「GPS-M2」という）の計測データを用いてマップマッチング処理を行い PIOLOC#1 データを生成する

②車両軌跡化処理プロセス（図 F.5-2）
（a）一次解析：①で生成した PIOLOC#1、画像認識結果（F.4)、物標認識結果（F.3）のデータを統合する
（b）数値解析（高精度化処理）:（a）で統合したデータおよび高精度地図を用いて高精度自車位置推定を行う
（c）道路座標軸化[18]：(b)で生成した高精度自車位置と、自車が実際に通過したレーンの中央線である道路座標軸として自車位置と道路区画線距離の情報を推定した軸（以下、

「推定軸」という）および高精度地図のポリゴンの中心点から算出したポリゴン中央軸を用いて道路座標データの計算をする[19]。

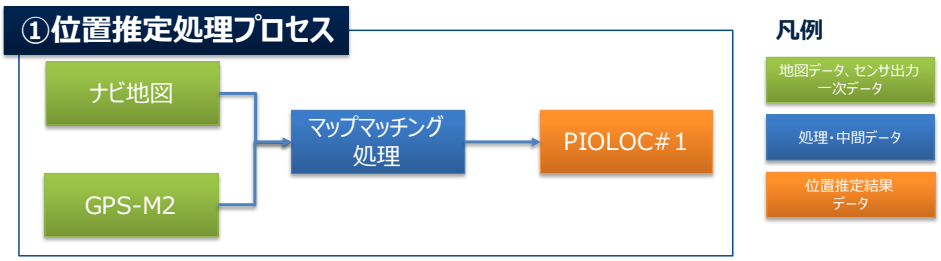


図 F.5-1　位置推定処理プロセスの構成

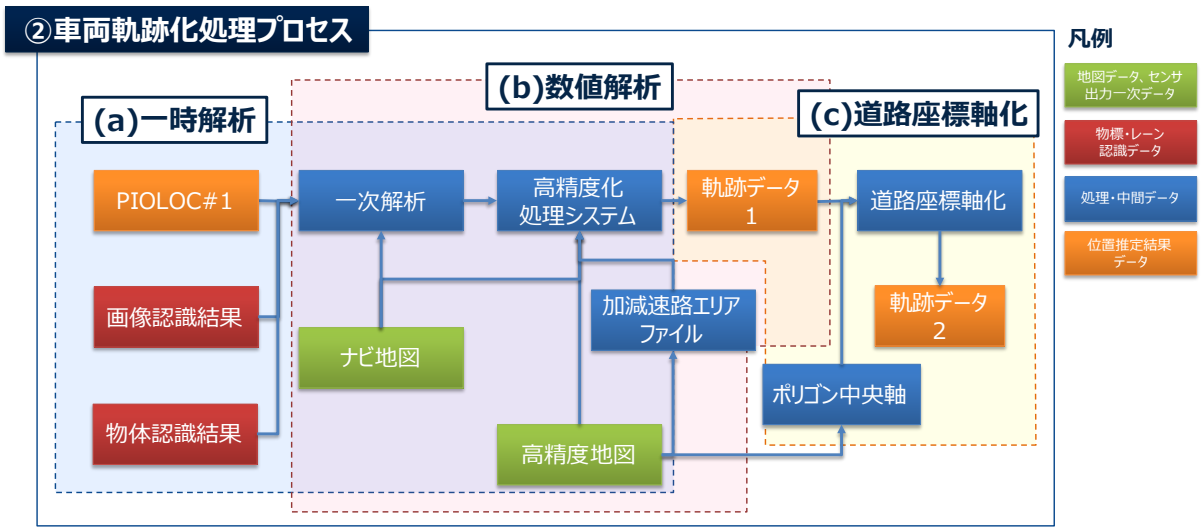


図 F.5-2　車両軌跡化処理プロセスの構成

（2）　センサ仕様が与える精度の影響

位置推定処理プロセスにおいて、(1) に記載した通り GPS-M2 の出力を用いているため、GPS-M2 内のセンサの精度が位置推定結果の精度に影響する。また、GPS-M2 の取り付け状態や車体の剛性なども位置推定結果の精度に影響する。

GPS-M2 の仕様は表 F.5-1 に記載しており、搭載しているデバイスのスペックは表 F.5-2 に記載している。

位置推定を行うにあたり、設置位置、入力信号の有無、GNSS アンテナ位置は位置推定の精度に影響を及ぼす前提条件である。

表 F.5-1　GPS-M2 仕様

用途	位置推定
設置位置	車両後輪車軸上の床に固定設置
台数	車 1 台につき 1 台
GNSS	GPS/GLONASS/SBAS/QZSS
センサ	6 軸センサ（ジャイロ/加速度）
入力信号	車速信号、後退信号
サイズ	110[mm](w)×40.8[mm](H)×95.6[mm](D)※突起部除く
使用電源	10.8[V] - 30.2[V]
最大消費電流	200[mA](14.4[V])　※アンテナ接続時
使用温度範囲	-10～＋60[℃]
シリアルポート (RS-232C)	D-SUB 9 ピンオス
GNSS アンテナ 位置	本体取付位置に対して車外の真上位置を推奨 ※GNSS 受信機が各衛星から電波を受けて推測する位置は、電波を受けた GNSS アンテナの位置になる

表 F.5-2　GPS-M2 搭載デバイスのスペック

デバイス			精度	備考(取付条件など)	影響のあるデータ
BOSCH 製 6 軸センサ	加速度センサ	オフセット	±0.09[G]	温度-40[℃]～+85[℃] typical	PL007 車両の傾斜角 PL012 前後加速度
		ゲイン	±5[%]	温度-40[℃]～+85[℃]	
	ジャイロセンサ	オフセット	±0.5[deg]	温度-40[℃]～+85[℃] typical	PL009 車両の進行方向 PL013 横方向加速度 PL014 ヨーレート PL015 右左折
		ゲイン	±5.5[%]	温度-40[℃]～+85[℃]	
ublox 製 GNSS 受信機	緯度経度		2[m]	CEP50[%]、24 時間定点、-130[dBm]、>6 衛星数	PL005 GNSS 緯度 PL006 GNSS 経度
	高度		-	定義なし	-
	方位		0.3[deg]	30[m/s]で 50[%]	PL009 車両進行方向
	速度		0.05[m/s]	30[m/s]で 50[%]	PL010 車両の移動量 PL011 車速

（3）　キャリブレーションが与える精度の影響

GPS-M2 を車両に取り付けたとき、精度に影響を及ぼす車両の特性にあわせた調整が必要な項目が存在する。

・GPS-M2 の設置角度
・GPS-M2 内蔵 6 軸センサのデバイス誤差
・車両の車速信号特性（車種、車両、タイヤによって異なる）

これらの影響を除去するためにキャリブレーションを実施する必要があり、キャリブレーションを実施するタイミングとしては下記のとおりである。
・GPS-M2 を初回に設置した後
-GPS-M2 の設置角度、GPS-M2 の内蔵 6 軸センサのデバイス誤差の補正のため
-車両の車速信号特性を補正するため
・GPS-M2 を別の車両に載せ替え、もしくは同一車両上で取り付け位置に変化があった時
-GPS-M2 の設置角度が変化するので、改めて補正するため
-別の車両に乗せ換えた場合は、車両の車速信号特性が異なるので、改めて補正するため
・タイヤを交換した後
-車両の車速信号の特性が変化するので、改めて補正するため
本事業で実施したキャリブレーションの方法は下記のとおりである。
・キャリブレーション値をクリア（完全初回起動時は不要）
・停止発進、直進、等速、右左折を含む走行を 1 時間程度実施
周囲および上空に屋根、高架道路、高い建物等の遮蔽物がなく GNSS 測位環境が良い場所で各直線が 100 m 程度の 8 の字の道路を走行すると効率的かつ精度よくキャリブレーションできる。

（4） 精度の関連表

位置推定処理プロセスで生成する PIOLOC#1 のデータの精度について、同データ内の関連するデータ ID、精度の条件、取付条件などの前提条件とその時の精度の目安値について表 F.5-3 に示す。この表の中に記載する PL0XX という表記は PIOLOC#1 のデータ ID を意味している。

車両軌跡化処理プロセスに関してはインプットデータとして PIOLOC#1、物標認識データ、画像認識データの精度とアウトプットとして生成される高精度自車軌跡、周辺車軌跡、道路座標軸化結果の各データの関連について表 F.5-4 から表 F.5-7 に示す。これらの表は各処理で生成されるデータの項目名およびデータ ID について、インプットを画像認識結果、物標認識結果、自車情報、他車情報、地図データに分類した中でそれぞれどのデータを参照しているかを記載しており、生成される各データ項目にどのデータが影響するかの関連性を示している。自車情報は位置推定処理プロセスで生成した PIOLOC#1 データに加え車両軌跡化プロセスの中で生成されるデータも含む。画像認識結果に記載するデータ ID（KT-XX）については表 F.4-1、物標認識結果に記載するデータ ID（HDL-XX）については表 F.3-1 に記載している。

表 F.5-3　位置推定処理プロセス精度関連表（条件および精度目安）

データ ID	名前	関連データ	精度条件	前提条件(取付等)	精度目安
PL005	GNSS 緯度	PL004	CEP50[%]、24 時間定点、-130[dBm]、>6 衛星数	PL004 が 1:有効、更新時	±2[m]
PL006	GNSS 経度				
PL007	車両の傾斜角	PL011、PL012	等速度走行、直進	取付角度が-10[度]～+20[度]	±1[deg]
PL009	車両進行方向（方角）（絶対方位）	PL014	GNSS 測位状況良好、直進	取付角度が-10[度]～+20[度]	±0.5[deg]
PL010	車両の移動量	-	7.2[km/h]以上	車速パルスに特性無し	0.1[%]
PL011	車速	-	7.2[km/h]以上、3σ	車速パルスに特性無し	2.7[km/h] ※速度変化の影響含む
PL012	前後加速度	-	0.5[m/s2]未満の等加速、3σ	取付角度が-10[度]～+20[度]	0.25[m/s2]
PL013	横方向加速度	PL011、PL014	7.2[km/h]以上、3σ	取付角度が-10[度]～+20[度]	0.22[m/s2]
PL014	ヨーレート	-	0.5[deg/s]未満の直進、3σ	取付角度が-10[度]～+20[度]	0.26[deg/s] ※変化量の影響含む

※PL001 自己位置(緯度)、PL002 自己位置(経度)、PL016 疑似曲率は非開示

※PL007 車両の傾斜角、PL009 車両進行方向、PL010 車両の移動量の精度は SAKURA の計測車両で使用している GPS/IMU の公称精度である

表 F.5-4　位置推定処理プロセスの精度関連表

		参照するデータ				
データ項目名	データID	画像認識結果	物標認識結果	自車情報	他車情報	地図
タイムスタンプ	PL000	-	-	-	-	-
自己位置(緯度)	PL001	-	-	-	-	-
自己位置(経度)	PL002	-	-	-	-	-
リンクID	PL003	-	-	-	-	-
GNSS位置の信頼度	PL004	-	-	-	-	-
GNSS緯度	PL005	-	-	PL004	-	-
GNSS経度	PL006	-	-	PL004	-	-
車両の傾斜角	PL007	-	-	PL011, PL012	-	-
走行方向(前進／後退)	PL008	-	-	-	-	-
車両進行方向（方角）（絶対方位）	PL009	-	-	PL014	-	-
車両の移動量	PL010	-	-	-	-	-
車速	PL011	-	-		-	-
前後加速度	PL012	-	-	-	-	-
横方向加速度	PL013	-	-	PL011, PL014	-	-
ヨーレート	PL014	-	-	-	-	-
右左折	PL015	-	-	-	-	-
擬似曲率	PL016	-	-	PL001, PL002	-	-
道路幅員	PL017	-	-	PL001, PL002	-	ナビ地図
車線数	PL018	-	-	PL001, PL002	-	ナビ地図
道路の種類	PL019	-	-	PL001, PL002	-	ナビ地図
信号/歩行者信号の有無	PL020	-	-	PL001, PL002	-	ナビ地図
交差点／合流点フラグ	PL021	-	-	PL001, PL002, PL003	-	ナビ地図
交差点進入前距離	PL022	-	-	PL001, PL002	-	ナビ地図
交差点退出後距離	PL023	-	-	PL001, PL002	-	ナビ地図

表 F.5-5　高精度自車軌跡の精度関連表

		参照するデータ				
データ項目名	データID	画像認識結果	物標認識結果	自車情報	他車情報	地図
高精度位置のアルゴリズム	PL024	KT-2,3	-	PL001~006,009~011,018,019	-	ナビ地図, 高精度地図
高精度緯度	PL025	KT-2,3	-	PL001~006,009~011,018,019,024	-	ナビ地図, 高精度地図
高精度経度	PL026	KT-2,3	-	PL001~006,009~011,018,019,024	-	ナビ地図, 高精度地図
高精度車両進行方向	PL027	KT-2,3	-	PL001~006,009~011,018,019,024	-	ナビ地図, 高精度地図
リンク種別	PL028	-	-	PL003	-	ナビ地図
高精度リンクID	PL029	-	-	PL025,PL026,PL027	-	高精度地図由来の中間ファイル
高精度リンク種別	PL030	-	-	PL025,PL026,PL027	-	高精度地図由来の中間ファイル
加減速路エリアID	PL031	-	-	PL025,PL026,PL027	-	高精度地図由来の中間ファイル

表 F.5-6　周辺車軌跡の精度関連表

		参照するデータ				
データ項目名	データID	画像認識結果	物標認識結果	自車情報	他車情報	地図データ
レーンマーカの種類（左）	AE001	KT-4	-	-	-	-
レーンマーカの種類（右）	AE002	KT-5	-	-	-	-
レーンマーカとの距離（左）	AE003	KT-2	-	-	-	-
レーンマーカとの距離（右）	AE004	KT-3	-	-	-	-
車間時間（THW）	AE010	-	HDL-10	-	-	-
交通量	AE012	-	HDL-8	-	-	-
前方オブジェクト接近	AE014	-	HDL-5, HDL-10	-	-	-
前方オブジェクトとの距離	AE016	-	HDL-2, HDL-10	-	-	-
前方オブジェクトの速度	AE017	-	HDL-5, HDL-10	-	-	-
前方オブジェクトとの衝突余裕時間（TTC）	AE018	-	HDL-2, HDL-5, HDL-10	-	-	-
前方オブジェクト種類	AE019	-	HDL-9, HDL-10	-	-	-
周辺オブジェクトのオブジェクトID	AE020	-	HDL-8	PL000	-	-
周辺オブジェクトの位置 前方向距離	AE021	-	HDL-2	-	-	-
周辺オブジェクトの位置 横方向位置	AE022	-	HDL-2	-	-	-
周辺オブジェクトのレーン移動	AE023	-	HDL-11	-	-	-
周辺オブジェクトの相対速度	AE025	-	HDL-5	-	-	-
周辺オブジェクトの種類	AE026	-	HDL-9	-	-	-
周辺オブジェクトの状態	AE027	-	HDL-2, HDL-3, HDL-5	-	-	-
周辺オブジェクトの映像上の大きさ 車両の長さ	AE029	-	HDL-4	-	-	-
周辺オブジェクトの映像上の大きさ 車両の幅	AE030	-	HDL-4	-	-	-
周辺オブジェクトの速度	AE033	-	HDL-5	-	-	-
周辺オブジェクトの相対加速度	AE034	-	HDL-5	-	-	-
周辺オブジェクトの緯度	AE043	KT-2, KT-3	HDL-1, HDL-2, HDL-8	PL000, PL025	AE020	高精度地図由来の中間ファイル
周辺オブジェクトの経度	AE044	KT-2, KT-3	HDL-1, HDL-2, HDL-8	PL000, PL026	AE020	高精度地図由来の中間ファイル
周辺オブジェクトの方位	AE045	-	HDL-1, HDL-3, HDL-8	PL000, PL027	AE020, AE043, AE044	高精度地図由来の中間ファイル
周辺オブジェクトのリンク種別	AE046	KT-2, KT-3	HDL-1, HDL-8	PL025, PL026	AE020, AE043, AE044, AE045	ナビ地図, 高精度地図
周辺オブジェクトのリンクID	AE047	KT-2, KT-3	HDL-1, HDL-8	PL025, PL026	AE020, AE043, AE044, AE045	ナビ地図, 高精度地図
周辺オブジェクトの交差点進入前距離	AE048	KT-2, KT-3	HDL-1, HDL-8	PL022	AE020, AE043, AE044	ナビ地図と高精度地図由来の中間ファイル
周辺オブジェクトの交差点進入後距離	AE049	KT-2, KT-3	HDL-1, HDL-8	PL023	AE020, AE043, AE044	ナビ地図と高精度地図由来の中間ファイル
周辺オブジェクトの高精度リンクID	AE050	KT-2, KT-3	HDL-1, HDL-8	PL029	AE020	高精度地図由来の中間ファイル
周辺オブジェクトの高精度リンク種別	AE051	KT-2, KT-3	HDL-1, HDL-8	PL025, PL026	AE020	高精度地図由来の中間ファイル
周辺オブジェクトの加減速路エリアID	AE052	KT-2, KT-3	HDL-1, HDL-8	PL025, PL026	AE020	高精度地図由来の中間ファイル

表 F.5-7　道路座標軸化結果の精度関連表

		参照するデータ				
データ項目名	データID	画像認識結果	物標認識結果	自車情報	他車情報	地図
自車x方向位置	B1	-	-	-	-	-
自車y方向位置	B2	-	-	PL025,026	-	高精度地図、ポリゴン中央線
オブジェクトx方向位置	B3	-	HDL-1,2,8	PL025,026	AE043,044	高精度地図、ポリゴン中央線
オブジェクトy方向位置	B4	-	HDL-1,2,8	-	AE043,044	高精度地図、ポリゴン中央線
相対x方向位置	B5	-	HDL-1,2,8	PL025,026	AE043,044	高精度地図、ポリゴン中央線
相対y方向位置	B6	-	HDL-1,2,8	PL025,026	AE043,044	高精度地図、ポリゴン中央線
自車x方向実速度	B7	-	-	PL011,027	-	高精度地図、ポリゴン中央線
自車y方向実速度	B8	-	-	PL025,026	-	高精度地図、ポリゴン中央線
オブジェクトx方向実速度	B9	-	HDL-1,2,5,8	PL011,025,026,027	AE043,044	高精度地図、ポリゴン中央線
オブジェクトy方向実速度	B10	-	HDL-1,2,5,8	PL011,025,026,027	AE043,044	高精度地図、ポリゴン中央線
相対x方向速度	B11	-	HDL-1,2,5,8	PL025,026,027	AE043,044	高精度地図、ポリゴン中央線
相対y方向速度	B12	-	HDL-1,2,5,8	PL025,026,027	AE043,044	高精度地図、ポリゴン中央線
自車姿勢方位	C1	-	-	PL027		高精度地図
オブジェクト姿勢方位	C2	-	-	-	AE045	高精度地図
自車姿勢方向	C3	KT-2,3	-	PL025,026,027	-	高精度地図、ポリゴン中央線
オブジェクト姿勢方向	C4	KT-2,3	-	PL025,026	AE045	高精度地図、ポリゴン中央線
左側にレーンチェンジ	L1	-	-	-	-	-
右側にレーンチェンジ	L2	-	-	-	-	-
左レーンまでの距離	L3	KT-2	-	-	-	-
右レーンまでの距離	L4	KT-3	-	-	-	-
左レーンまでの距離が保間されたか	L5	KT-2	-	-	-	-
右レーンまでの距離が保間されたか	L6	KT-3	-	-	-	-
左レーンタイプ	L7	KT-4	-	-	-	-
右レーンタイプ	L8	KT-5	-	-	-	-
レーン座標軸ステータス	L9	KT-2,3	-	PL025,026	-	高精度地図、ポリゴン中央線

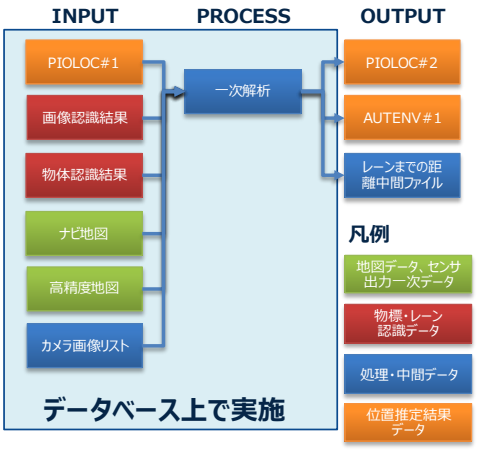
（5）　精度仕様

（1）に記載した車両軌跡化処理プロセスについての精度仕様を記載する。

a）　一次解析精度仕様

一次解析は車両軌跡化処理プロセスにおける高精度化処理に必要な各種データを統合する処理である。この処理ではインプットデータとして PIOLOC#1、画像認識結果、物標認識結果、ナビ地図、高精度地図、カメラ画像リストを用い、これらを統合して自車情報

中間ファイルとして PIOLOC#2、周辺オブジェクト情報中間ファイルである AUTENV#1、レーンまでの距離中間ファイルなどを生成する。この処理のブロック図及び各要素の内容について図 F.5-3 に示す。



INPUT		
項目	内容	データ形態
PIOLOC＃1	PL000~PL016	csvファイル
画像認識結果	KT-1~KT-5	csvファイル
物標認識結果	HDL-1~HDL-11	csvファイル
ナビ地図	ナビ用地図データ	データベース
高精度地図	道路形状ポリゴン及びリンク ID、ポリゴン中央線	データベース
カメラ画像リスト	各カメラの画像ファイルリスト	csvファイル

PROCESS & OUTPUT		
項目	内容	データ形態
PIOLOC＃2生成	マップマッチング補正を行った結果を PIOLOC#2 として生成する	csvファイル
AUTENV#1 生成	物標認識結果に PIOLOC由来の自車速度データ及び画像認識由来のレーン認識関連データを統合し、これらのデータを物標認識データのタイムスタンプに整合させてAUTENV#1 として生成する	csvファイル
レーンまでの距離中間ファイル生成	高精度地図と自車位置から推定するレーンまでの距離と画像認識結果の比較のための中間ファイル	csvファイル

図 F.5-3　一次解析の概要

物標認識で取得した周辺オブジェクト情報、画像認識で取得したレーンまでの距離情報、PIOLOC#1 の自車の絶対速度情報を統合して AUTENV#1 データを生成するが、この時の 3 種類のデータ記録タイミングは完全に一致していないため共通のタイムスタンプは通常存在しない。そのためデータの統合に際して①統合データテーブルの作成、②前値補完、③物標認識のタイムスタンプ基準でファイル出力、という 3 ステップの処理を行い三種のデータを統合した AUTENV#1 ファイルを生成する。このデータ統合処理について概念図を図 F.5-4 に示す。

このとき、AUTENV#1 に含まれるデータのうち物標認識由来のデータはデータ取得時のタイムスタンプに紐づいているが、画像認識および PIOLOC#1 由来のデータについては物標認識由来のタイムスタンプに前値補完で埋めた値を紐づけているため実際にデータが記録されたタイミングからずれた時点のデータが記入されることになる。発生し得るタイムスタンプずれの最大値は、各データのデータ記録周波数が AUTENV#1 及び PIOLOC#1 は 10Hz、画像認識結果データは 30 Hz であり、前値補完したのち物標認識データのタイムスタンプを基準とするため、PIOLOC#1 由来のデータは -99 ms、画像認識由来のデータは-33 ms となる。

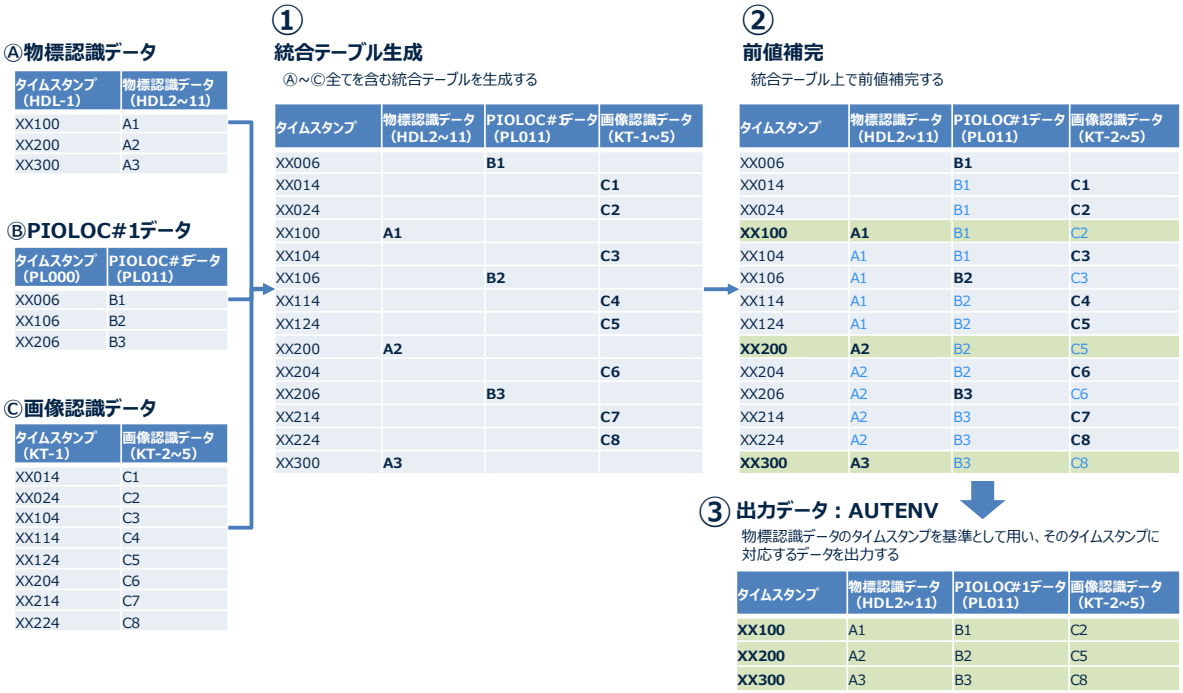
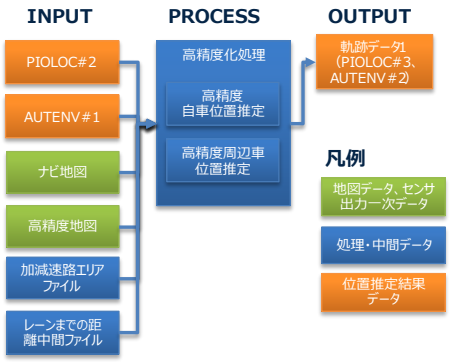


図 F.5-4　AUTENV ファイル生成の際のデータ統合の模式図

b）　高精度化処理精度仕様

高精度化処理では一次解析で生成された PIOLOC#2 および AUTENV#1 とナビ地図、高精度地図、加減速路のポリゴン形状および関連データ ID を格納した中間ファイルである加減速路エリアファイル、レーンまでの距離中間ファイルを用いて自車位置の高精度化処理を実施し PIOLOC#3 を生成する。また、ここで高精度化された自車位置データを基準として周辺車両の高精度化処理を実施し、AUTENV#2 を生成する。この処理のブロック図及び各要素の内容について図 F.5-5 に示す。



INPUT		
項目	**内容**	**データ形態**
PIOLOC＃2	PL001~006,009~011,018,019,024	csvファイル
AUTENV#1	AE001-004, AE020, AE025, AE043~045	csvファイル
ナビ地図	ナビ用地図データ	データベース
高精度地図	道路形状ポリゴン及びリンク ID	データベース
加減速路エリアファイル	加減速路エリアのポリゴン、リンク ID、下限側路エリアID（プログラムによる生成の後目視確認及び手作業による修正あり）	データベース
レーンまでの距離中間ファイル	レーンまでの距離	csvファイル

PROCESS & OUTPUT		
項目	**内容**	**データ形態**
自車位置高精度化（PIOLOC#3生成）	自車挙動データ、画像認識データ、及び地図データをを用いて高精度自車位置推定（新パーティクル処理）を行い、結果を記載したPIOLOC#3を生成する	csvファイル
周辺車位置高精度化(AUTENV#2生成)	高精度自車位置推定結果と周辺車データ、地図データを用いて高精度周辺車位置推定を行い、結果を記載したAUTENV#2を生成する	csvファイル

図 F.5-5　高精度化処理の概要

自車位置の高精度化処理は複数のアルゴリズムのうちGNSS受信状態やレーンまでの距離の有無、高精度地図使用可否など状況に応じて適したものを選定するようになっているが、最も優先的に採用を試みるアルゴリズムは高精度地図および画像認識による道路区画線までの距離（レーンまでの距離と同義）の測定結果を用いたパーティクル処理[20]（以下「新パーティクル処理」という）である。新パーティクル処理のアルゴリズムにおいては自車位置および自車速度、画像認識によるレーンまでの距離の推定精度、高精度地図の精度などインプットに由来する精度要因に加えて新パーティクル処理のアルゴリズム自体の計算精度を考慮する必要があると考えられる。

c)　道路座標軸化処理精度仕様

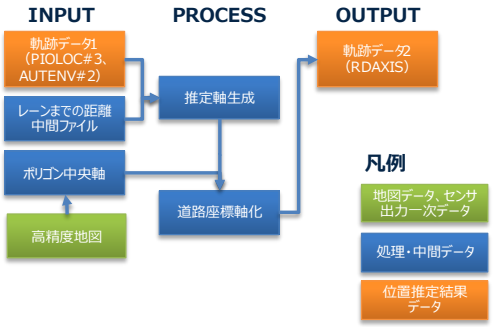
道路座標軸化処理では高精度化処理の結果として得られる自車および周辺車の挙動データを座標変換により車線中央線を軸とした座標系のデータに変換する。

この処理ではインプットとして軌跡データ１（PIOLOC#3、AUTENV#2)、高精度地図、高精度地図から作成したポリゴン中央軸もしくは後述の推定軸を用いて道路座標軸化された軌跡データ2（RDAXIS）を生成する。この処理のブロック図及び各要素の内容について図 F.5-6 に示す。

この処理における精度仕様として、軌跡データ１および高精度地図はこれらのデータ自体の精度はこれらのデータ生成時に決まっているが、道路座標軸化処理においてはポリゴン中央軸を基準として横方向の座標を計算する。そのポリゴン中央軸の精度は（6）b）の結果の通り 0.00041 m となった。

なお、レーン変更により複数のレーンを短い区間で通過することでポリゴン中央軸が１本の線とならない場合や、推定軸と比較した際にポリゴン中央軸が正しいと保証が出来ない場合は、ポリゴン中央軸の使用が不可としている。

ポリゴン中央軸の使用が不可の場合、高精度自車位置と自車からレーンまでの距離のデータを用いてレーン中央の座標を推定し、これを各運行の全区間について行うことで自車が走行したレーンの中央線を取得する手法を用いる。この方法で生成されたレーン中央線を推定軸[21]と呼ぶ。推定軸は高精度自車位置および自車からレーンまでの距離から生成されるためそれらの値が精度に影響する（図 F.5-7)。推定軸を用いた道路座標軸化処理の概要を図 F.5-8 に示す。



INPUT		
項目	内容	データ形態
PIOLOC#3	PL011,PL025~027	csvファイル
AUTENV#2	AE043~045	csvファイル
レーンまでの距離中間ファイル	レーンまでの距離	csvファイル
ポリゴン中央軸	高精度地図の車線形状ポリゴンにおいて左右レーンまで均等な距離となる線	データベース

PROCESS & OUTPUT		
項目	内容	データ形態
道路座標軸化①（推定軸生成）	ポリゴン中央軸が使えない場合に備え、高精度自車軌跡とレーンまでの距離の画像認識データを用いて推定した車線中央線（推定軸）を生成する	データベース
道路座標軸化②（RDAXIS生成）	高精度自車・他車軌跡データと推定軸及びポリゴン中央軸を用いて道路座標系軌跡データ（RDAXIS）を生成する	csvファイル

図 F.5-6 ポリゴン中央軸を用いた道路座標軸化処理の概要

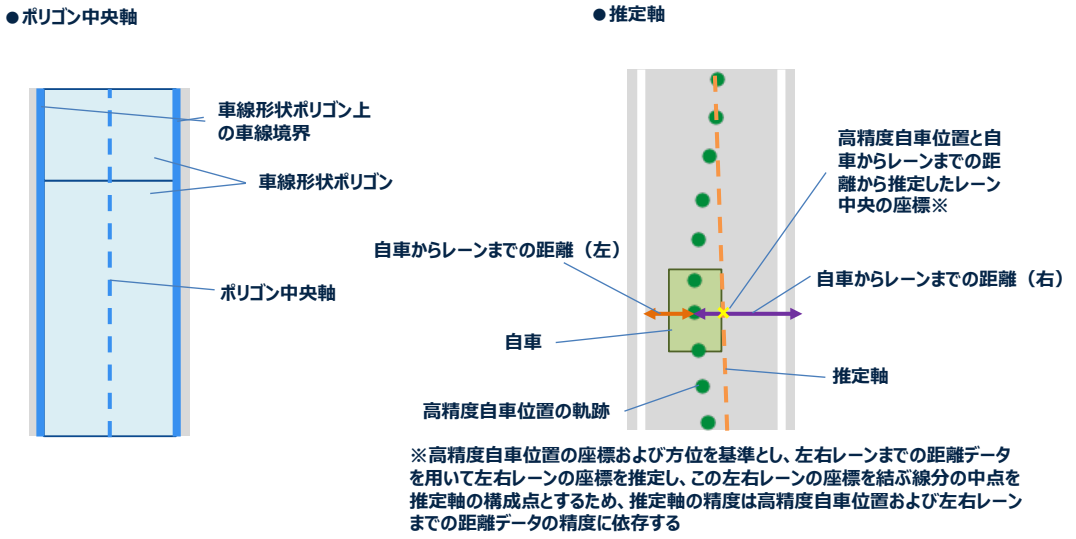
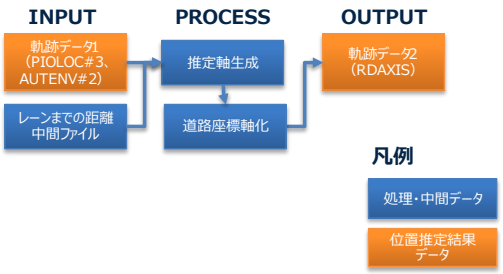


図 F.5-7 ポリゴン中央軸と推定軸の構成要素



INPUT		
項目	内容	データ形態
PIOLOC#3	PL011,PL025~027	csvファイル
AUTENV#2	AE043~045	csvファイル
レーンまでの距離中間ファイル	画像認識データからレーンまでの距離を抽出した中間ファイル	csvファイル

PROCESS & OUTPUT		
項目	内容	データ形態
道路座標軸化①（推定軸生成）	ポリゴン中央軸が使えない場合に備え、高精度自車軌跡とレーンまでの距離の画像認識データを用いて推定した車線中央線（推定軸）を生成する	データベース
道路座標軸化②（RDAXIS生成）	高精度自車・他車軌跡データと推定軸を用いて道路座標系軌跡データ（RDAXIS）を生成する	csvファイル

図 F.5-8 推定軸を用いた道路座標軸化処理の概要

（6） 精度検証結果

道路座標軸化処理で用いるポリゴン中央軸の精度について、特定の条件において精度がどの程度の値になるか検証を行った。また、自車他車軌跡化プロセス全体としての精度検証実験として令和 2 年度（2020 年度）に新パーティクル処理を用いた高精度自車位置推定の性能評価が自動運転評価拠点（Jtown）の多目的市街地エリアにて実施され、所定の条件において精度検証のためのデータ収集が行われた[22]。

そのデータを使った検証結果について報告する。

a） 評価車両の車速パルス精度検証結果

計測車両として用いている車両の車速パルスについてダイナモ試験により特性評価を実施した。ダイナモ試験機のリファレンス速度値に対する低速域(20 km/h 以下)でリニアリティの誤差が大きい傾向がみられたが、20 km/h 以上の領域では±0.5 %以内であり良好な結果であることを確認した。

1 パルス当たりの距離計測結果において、計測車両の GPS-M2 の距離精度は-0.116 %となることを確認した。

b） ポリゴン中央軸の精度検証結果

ポリゴン中央軸の精度検証のため、実際の計測車両軌跡データにて新パーティクル処理が適用された区間から所定の範囲を選定して評価した結果、σ＝0.00042 m となった。検証に用いた区間は東名高速道路足柄付近であり、車線幅の設定値は 3.6 m であるのに対して約 0.01 %に相当するためポリゴン中央軸の生成精度の影響は非常に小さいと考えられる。ただし、この値は今回の検証区間における結果であり、道路形状などの条件が異なる区間においては結果の値も異なると考えられる。

この確認に用いた検証区間やデータ点数などについて表 F.5-8 に示す。

表 F.5-8 検証条件と結果

項目	結果
道路名	東名高速道路下り
道路形状	片側 3 車線の中央車線
検証区間距離	約 3.8 [km]
検証区間ポリゴン中央軸データ点数	3944
左右レーンまでの距離の差の平均値	0.00029 [m]
左右レーンまでの距離の差の標準偏差	0.00042 [m]

c)　自車他車軌跡化プロセス全体としての精度検証

検証の条件および結果を以下に記載する。

（i）検証の条件について

①検証対象区間について

検証の対象が新パーティクル処理の精度検証であるため、計測データのうち新パーティクル処理が適用された 1 連の区間のみを選定して検証対象とした。

②真値について

自車他車軌跡化プロセス全体としての精度を検証するためには比較対象となる真値が必要である。当時の検証においては地上に設置した基準局からの位置情報データによって高精度な測位を実現する Real Time Kinematic 測位（以下、「RTK 測位」という）が可能な VBOX[23]（GNSS/IMU ユニットの製品名）を自車に取り付け、このデバイスからの出力として得られた緯度経度を真値として用いた。

③検査対象データについて

自車走行データの取得は従来の計測車両をそのまま用い、通常通り GNSS/IMU、物標認識、画像認識の各データをインプットデータとして用いた。

（ii）検証結果

（i）の条件で行った検証の結果、オフセット補正を適用したのち自車と真値の差の値について標準偏差の値をとると、前後方向：16.4 cm、左右方向：1.3 cm となった。

また、同様の条件で道路座標軸化結果について自車と真値の差の標準偏差の値をとると 1.5 cm となった。

これらの結果の値は上記条件において得られた値であるため、走行経路や区間の長さなど条件が異なれば結果の値も変わると考えられる。

（7）　処理結果が与える精度への影響

自車他車軌跡化プロセスにおいて高精度に自車位置推定を行う手法として新パーティクル処理を用いる際に、この処理を行うために必要な条件を満たしていなければ新パーティクル処理は適用されず他のアルゴリズムを用いた高精度化処理が実行される。通常は他のプロセスは新パーティクル処理より自車位置推定精度が劣るため、走行データにおいて新パーティクル処理を実行するための条件が満たせていない場合は自車位置推定結果の精度に影響があると考えられる。

また、自車位置高精度化の処理を実行するうえで必要なデータがあれば結果は出力されるが、入力されたデータに誤りや欠損がある場合は自車位置推定結果の精度にも影響を及ぼすと考えられる。これは、単に自車位置推定結果がセンサやデータの精度の範囲でばらつくだけでなく、誤認識に基づいて自車位置推定を行った場合はその結果も誤ったもの

になる可能性があることを意味する。

本検討においては処理結果が与える精度への影響調査として自車位置高精度化処理を正しく行うために必要な条件を整理することを行った。

自車位置高精度化処理を正しく行うために必要な条件について位置推定処理プロセスに関連する項目を表 F.5-9、車両軌跡化処理プロセスに関連する項目を表 F.5-10 に示す。

表 F.5-9　自車位置高精度化処理を正しく行うために必要な条件
（位置推定処理プロセスに関連する項目）

項目	満たすべき条件	満たされなかった場合の影響
GNSS 受信状態	正常に受信できている事	誤った道路にマッチングされる、あるいは道路へのマッチングがされず道路外の走行扱いとなる可能性があり、シーン抽出などにおいて誤判定の原因となり得る
ナビ地図マップマッチング	正しい道路にマップマッチングできている事	本線とランプのマッチングミスなどがあるとシーン抽出で誤検出の原因となり得る ※一次解析にてマップマッチングミスを修正する機能があるが、必ず修正できるとは限らない
センサ類取付状態	車体と一体となるよう緩みや仕様外の傾きなく確実に設置されている事	距離、速度、加速度、方位などの出力値が不正確になる可能性がある
GPS アンテナ取付位置	本体の位置が GNSS アンテナ直下であること	デッドレコニングによる位置推定時に GNSS アンテナ基準の座標に対してずれが生じる
GPS-M2 キャリブレーション	キャリブレーションが完了していること	速度、加速度、方位などの出力値が不正確になる可能性がある

表 F.5-10　自車位置高精度化処理を正しく行うために必要な条件
（車両軌跡化処理プロセスに関連する項目）

項目	満たすべき条件	満たされなかった場合の影響
周辺オブジェクト ID の一貫性	個別のオブジェクトに一意の ID を付与し、一時的に遮蔽されても継続して同じ ID としてトラッキングできること	一度付与された ID が別の車両に付与されるいわゆる ID ジャンプが発生し、周辺オブジェクトの挙動異常として現れる
各種センサ類のタイムスタンプの整合	同一運行内で各センサが参照・記録するタイムスタンプにずれが無いこと	自車と周辺オブジェクトの相対関係が実際の状況とずれることによりシーン抽出等に影響する可能性がある
加減速路エリア ID	正しい形状の加減速路エリアポリゴンが生成できていること	高精度リンク種別（PL030、AE051）、下限側路エリア ID（PL031、AE052）に正しくない値が設定される可能性がある
新パーティクル処理	新パーティクル処理が適用されていること	自車位置推定手法として新パーティクル処理より精度が劣る可能性が高い手法（レーンまでの距離を用いないパーティクル処理やデッドレコニングなど[24]）が用いられる
高精度地図	処理対象区間の高精度地図データがあること	新パーティクル処理が実行されない 道路座標軸化においてポリゴン中央軸を用いず推定軸のみを用いる

F.6　定点観測処理プロセスの精度仕様

定点観測システムは図 F.2-1 のとおり、計測車両の計測システムのように複数のセンサを統合して軌跡化するのではなくセンサ機器としてカメラのみを使用した単体システムで完結しているため、異なるシステムでの統合的な精度仕様は必要ないために主に内部のデータフローについて述べる。

定点観測で得られる軌跡データの精度について述べる。定点観測では、複数の精度悪化要因が複雑に関連しており、各処理プロセスが、最終出力である軌跡の精度に与える影響を定量的に導くのは困難である。

今後の軌跡精度向上に向けて、処理プロセスの各々において軌跡精度を悪化させる要因を定性的に述べる。

（1）　全体データフロー

定点観測において車両軌跡データを得るまでのデータフローを図 F.6-1 に示す。本データフローには大きく 5 つの処理プロセスがあり、精度悪化要因が処理プロセス間で関連していることがわかる。

精度悪化要因は、画像に起因するもの、データに起因するもの、手作業によるものに大別される。図 F.6-1 ではそれぞれボックス形状を変えて表記した。次目では、処理プロセス毎に精度に影響を与える要素について説明する。

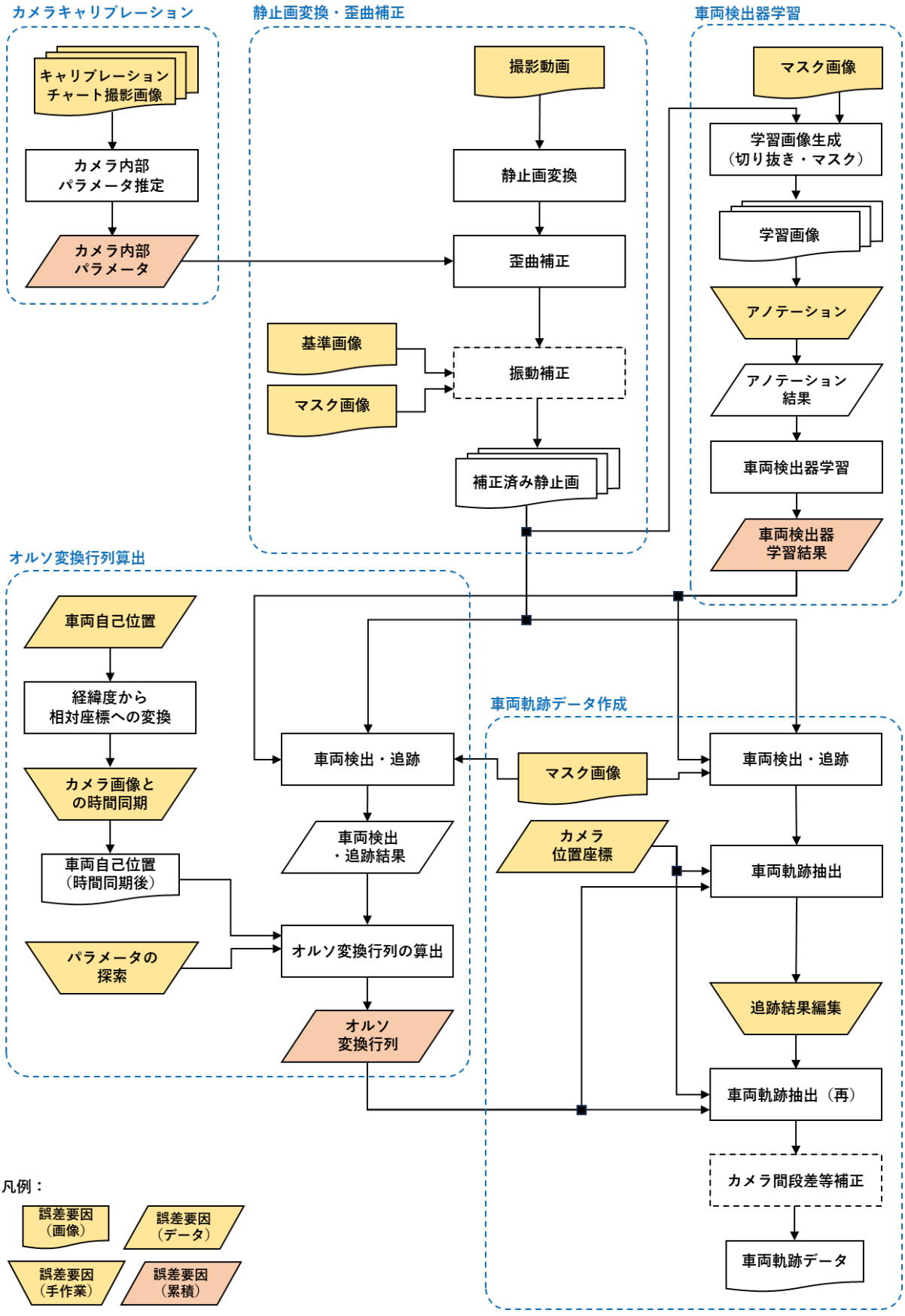


図 F.6-1　全体データフロー

（2） 個別データフロー

a） カメラキャリブレーション

図 F.6-2 にカメラキャリブレーションプロセスのフローを示す。カメラキャリブレーションは、カメラの内部パラメータを推定し、撮影結果の精度や再現性を向上させるために行われる。

キャリブレーションチャートを使用してカメラの性能を評価し、撮影結果と標準との差に基づいてカメラのパラメータを推定する。これにより、カメラが正確にシーンを捉え、撮影した映像や画像の精度が向上することが期待できる。

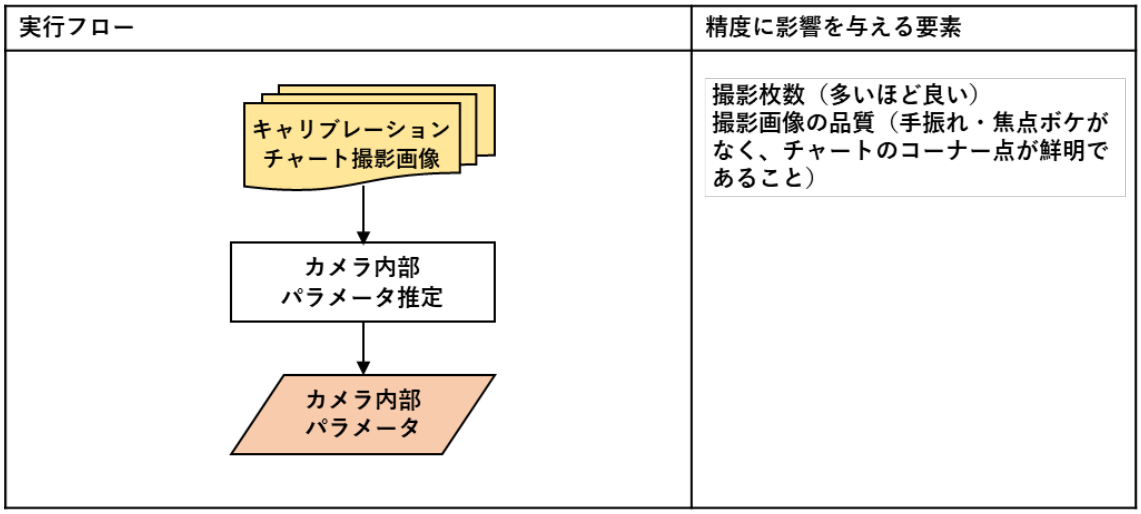


図 F.6-2　カメラキャリブレーションのデータフロー

b)　静止画変換・歪曲補正

図 F.6-3 に静止画変換・歪曲補正プロセスのフローを示す。このプロセスは、撮影した動画から画像や静止画を生成し、歪み補正や振動補正を行うことで、品質の高い静止画を得るためのものである。

カメラ内部パラメータを使用して歪みを補正し、基準画像とマスク画像を使用して画像間のブレを推定し、振動補正を行うことで、補正済みの静止画を得ることができる。これにより、撮影時の歪みやブレを補正することで、高品質な静止画を得ることができる。

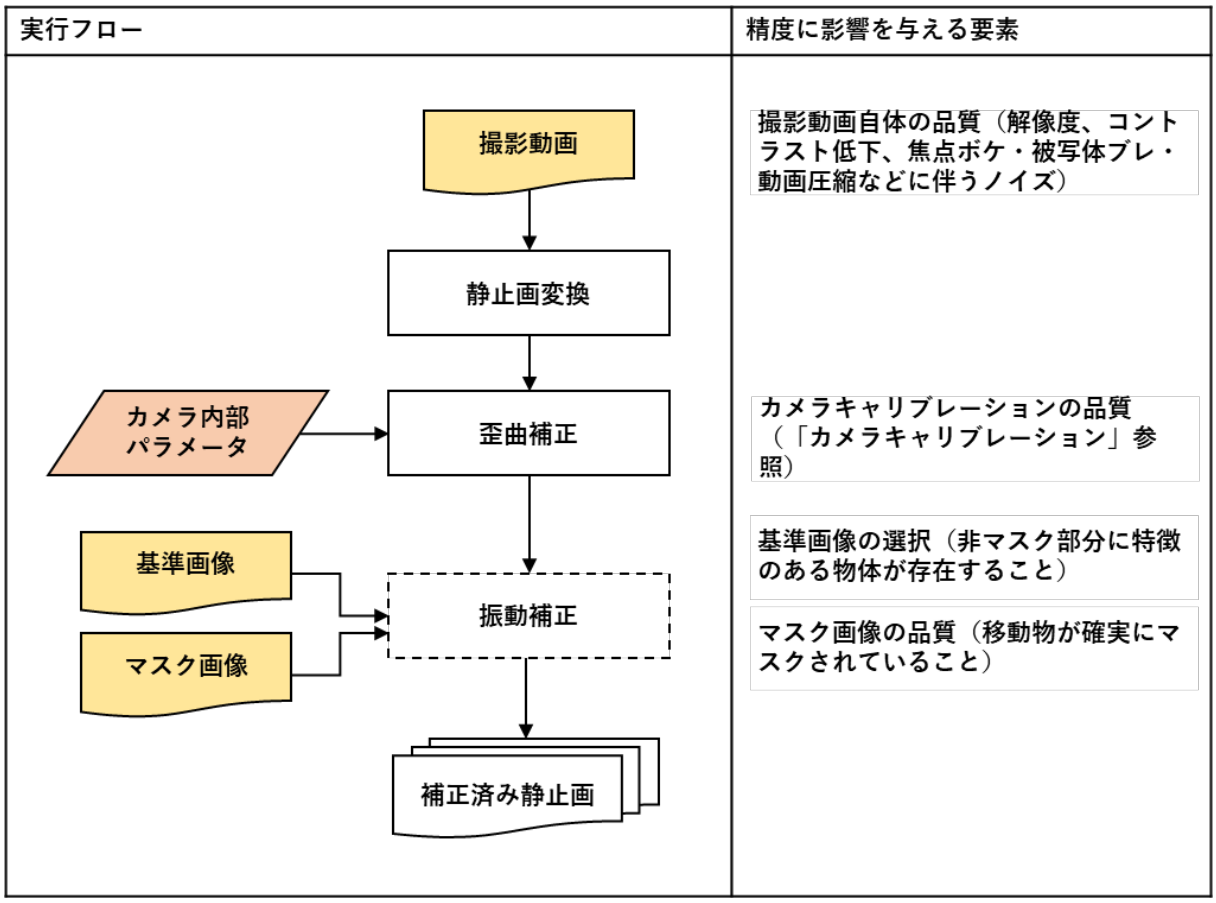


図 F.6-3　静止画変換・歪曲補正のデータフロー

撮影動画の品質に影響を与える代表的要素を表 F.6-1 にまとめた。

表 F.6-1　撮影動画の品質に影響を与える要素

諸元	有人撮影	無人撮影	説明
解像度（画素数）	3840×2160	3840×2160	・空間分解能に直接影響する。 ・画像 1 画素に対する実空間の変位は、画角、およびカメラと被写体との位置関係（距離と角度）に依存する。
画角（水平・広角端）	114 deg	97 deg	上記参照。 ・広角で撮影すればカメラ設置台数を少なくできるが、空間分解能は低下する。 ・遠方撮影時は画角を小さく（ズーム）することで、空間分解能を高める必要がある。
フレームレート	59.94 fps	30 fps	時間分解能を決定する。時間分解能は移動体の速度・加速度の算出に影響する。
シャッター速度	自動設定	自動設定	撮影環境の照度が低下した際に、以下の課題が顕著となる。両者はトレードオフの関係にあり、自動設定時はカメラベンダーの設計に依存する。 ・シャッター速度が速い場合、ランダムノイズが増大する。 ・シャッター速度が遅い場合、移動体に対する尾引き（ブラー）が発生する。
動画コーデック ビットレート	H.264 150Mbps	H.264 8192kbps	ビットレートは録画画像の画質（鮮明度）と録画時間に影響する。両者はトレードオフの関係にあり、記録媒体の容量と録画時間を勘案して決定する必要がある。

c)　車両検出器学習

図 F.6-4 に車両検出器学習プロセスのフローを示す。物体検出器の精度を改善するために、アノテーションと学習を組み合わせて実施する。

多くの画像データを収集し、それらの画像に対して物体の位置やクラスなどの情報をアノテーションする。このアノテーションされたデータを使用して、物体検出器の学習を行う。学習済みモデルが得られた後は、撮影したデータを使用してそのモデルの性能を評価し、精度改善を行う。その後、得られたモデルを再度使用して新しいデータに対して学習や評価を繰り返すことで、物体検出器の精度を向上させることができる。この過程を継続的に繰り返すことで、より高度な精度を持つ物体検出器が得られる。

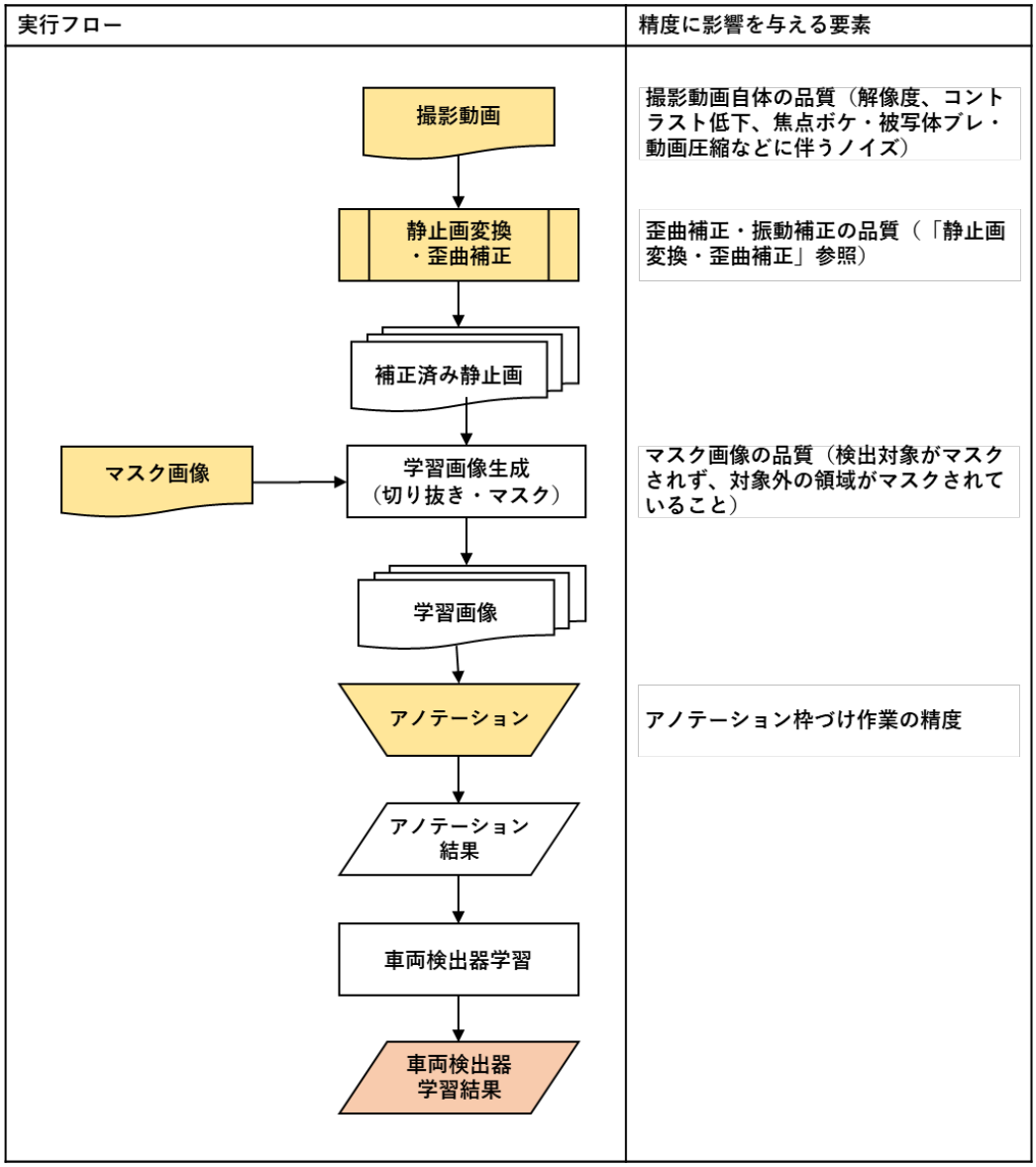


図 F.6-4　車両検出器学習のデータフロー

d)　オルソ変換行列の算出

図 F.6-5 にオルソ変換行列の算出プロセスのフローを示す。カメラで撮影した画像上に映るレファレンス車両とレファレンス車両の走行軌跡の関係からオルソ行列を生成する。

レファレンス車両の自己位置を緯度経度で取得される。カメラ画像の特徴的な道路ペイントをレファレンス車両中心が通過した時の映像フレーム番号と、特徴的な道路ペイントの緯度経度を記録する。実走行データとカメラ画像の同期を確立し、それぞれの座標系が整理される。物体検出結果の画像座標とレファレンス車両の走行軌跡の対応関係が整理されたら、それを基にオルソ行列を算出する。

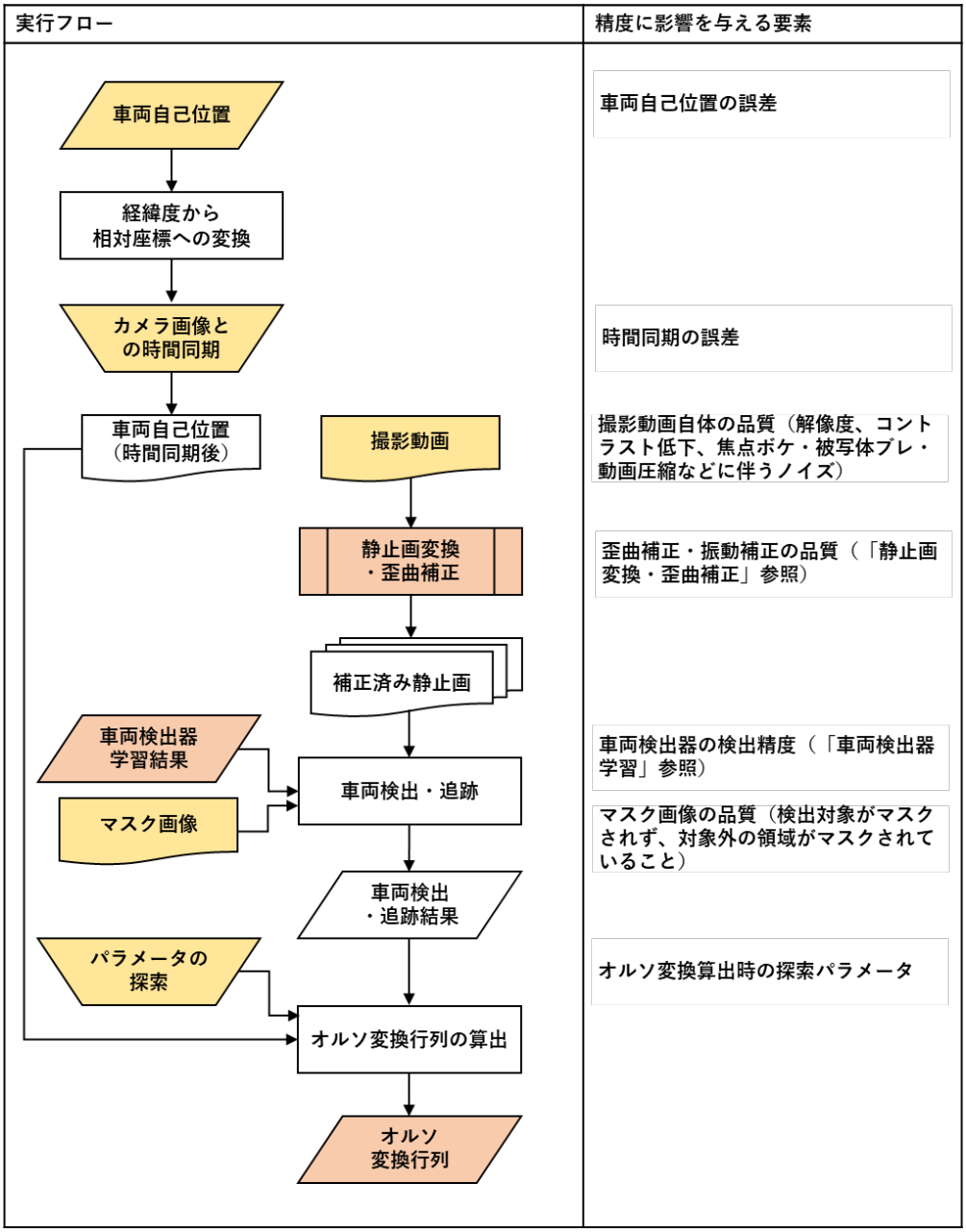


図 F.6-5　オルソ変換行列算出のデータフロー

e)　車両軌跡データ作成

図 F.6-6 に車両軌跡データ作成プロセスのフローを示す。d）までのプロセスを実施する事で、物体検出されたすべて車両に関して軌跡データを作成することが可能となる。

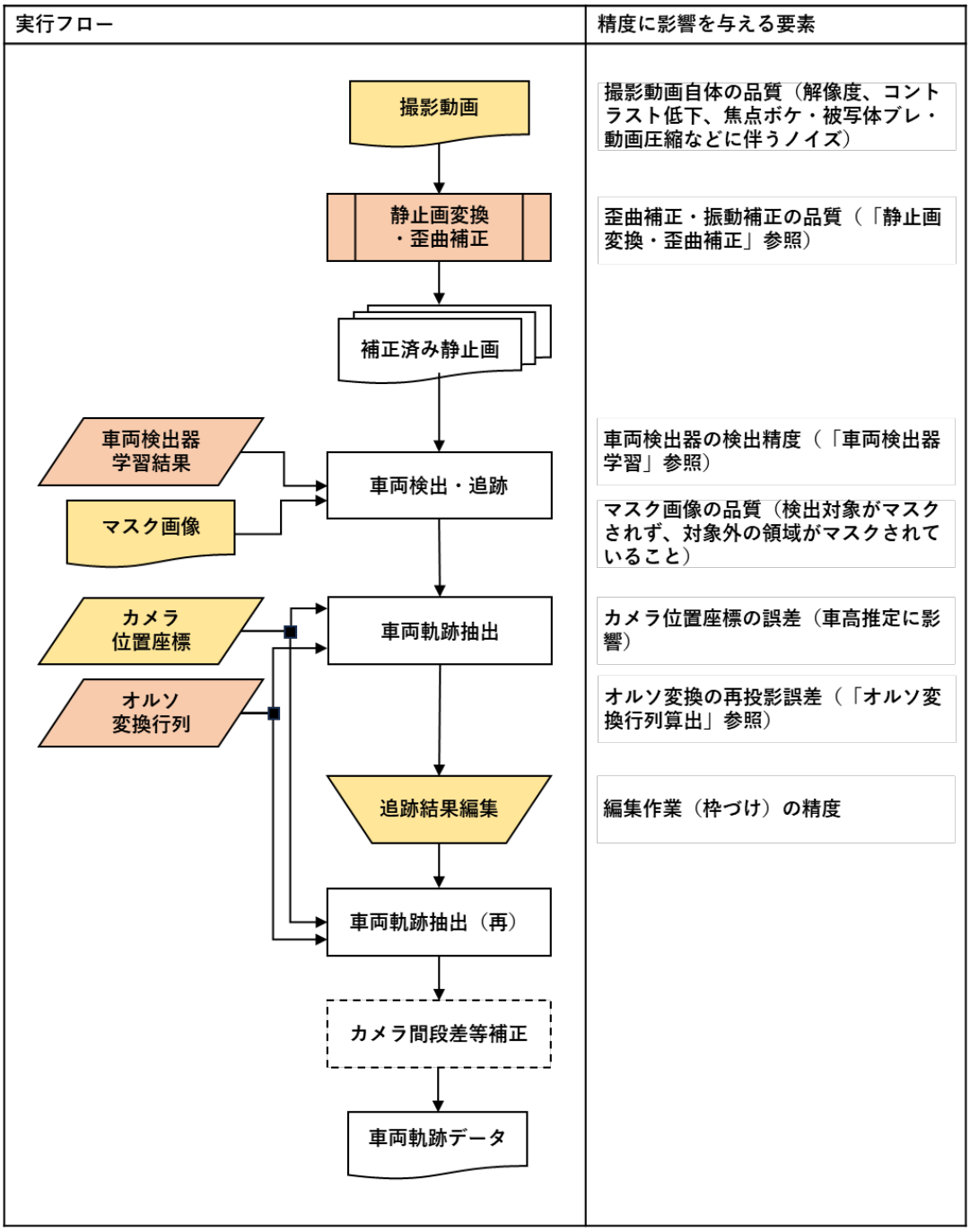


図 F.6-6　車両軌跡データ作成のデータフロー

（3） 精度検証

精度検証は、シナリオ分析済みの 8 地点（八王子、八王子 2 回目、池袋下り、池袋上り、渋谷、町田上り分岐、町田上り合流、日ノ出）で実施を行ったうち、渋谷の精度検証結果を以下に示す。計測精度評価は、計測車両がランプ路および本線の走行車線と追越車線を走行する 3 シーンに対して実施した。

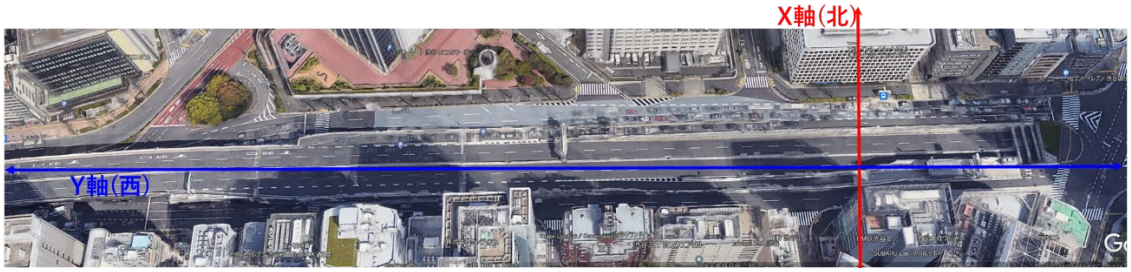


図 F.6-7　原点・XY 軸の設定について

図 F.6-7 に本計測における結果をプロットする基準となる相対座標の軸設定を示す。原点 0 は（35° 39'29.7985"N、139° 42'26.181"E）に設定した。X 軸は緯線と並行に設定し北方向を正とする。Y 軸は経線と並行にし、西方向を正としたものの各シーンの計測誤差の標準偏差を表 F.6-2 にまとめて示す。

表 F.6-2　計測精度評価結果

シーン	走行レーン	誤差の標準偏差 σ（m）	
		車両進行方向	横方向
S01*	ランプ路	0.1860	0.0370
S02	走行車線	0.1472	0.0287
S03	追越車線	0.1451	0.0356

*真値取得の関係で Y=260m までが評価範囲（他は Y=280m まで）

F.7　まとめ

本年度は SAKURA 処理システムで生成した解析データの生成過程を詳細に分解してどのようなセンサ機器、データ又はアルゴリズムを使用して生成したのかが追跡できるようになった。その結果、シナリオ作成に用いた SAKURA 軌跡データがどのような精度のものによって生成されたのかが分かるようになった。

図 F.7-1 のとおり生成過程を追跡できるようになったことで SAKURA 軌跡データから計測システムまで遡ることができるために、使用したセンサ機器の種類やアルゴリズムなどの仕様を、データを活用するユーザーが知ることができる。そして SAKURA プロジェクトで使用しているデータの信頼性が可視化されることで、シナリオの説明性を担保できるようなシナリオデータベースの構築に貢献できるようになった。

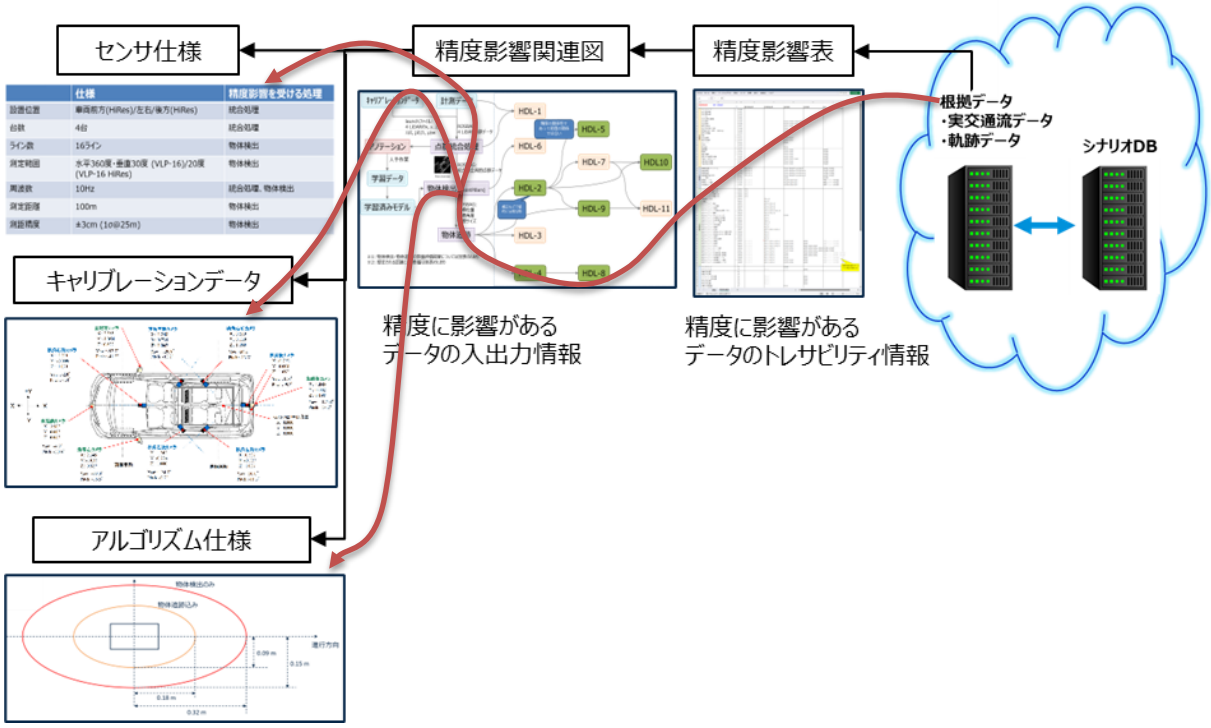


図 F.7-1 SAKURA 軌跡データの追跡例

参考文献

[1] A. H. Lang, S. Vora, H. Caesar, L. Zhou, J. Yang, and O. Beijbom, “PointPillars: Fast encoders for object detection from point clouds,” arXiv:1812.05784, 2018.

[2] Velodyne Puck (VLP-16) Datasheet, http://www.mapix.com/wp-content/uploads/2018/07/63-9229_Rev-H_Puck-_Datasheet_Web-1.pdf (Online; Accessed 2024/02/29).

[3] VLP-16 Hi-Res Datasheet, http://www.mapix.com/wp-content/uploads/2018/07/63-9318_Rev-E_Puck-Hi-Res_Datasheet_Web.pdf (Online; Accessed 2024/02/29).

[4] 経済産業省, “平成 31 年度「高度な自動走行システム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」成果報告書,” 2020.

[5] C.M. Bishop, “Pattern Recognition and Machine Learning,” Springer, 2006.

[6] G. Welch and G. Bishop, An introduction to the Kalman filter, University of North Carolina at Chapel Hill, 1995.

[7] W. K. Pratt, Digital Image Processing, John Wiley & Sons, 2007.

[8] S.J. Orfanidis, Introduction to Signal Processing, Prentice Hall, 1996.

[9] Liu, L., Chen, X., Zhu, S., & Tan, P. (2021). Condlanenet: a top-to-down lane detection framework based on conditional convolution. In Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (pp. 3773-3782).

[10] IDS Imaging Development Systems GmbH UI-3060CP-C-HQ Rev.2 (AB00605)仕様センサ
https://jp.ids-imaging.com/IDS/datasheet_pdf.php?sku=AB00605 （2024 年 3 月現在）

[11] FRAMOS Sony Pregius IMX174LQJ-C
https://www.framos.com/en/products/imx174lqj-c-16222 （2024 年 3 月現在）

[12] 経済産業省 平成 31 年度 高度な自動走行システム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
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2019FY/000329.pdf （2024 年 3 月現在）

[13] Tomatosliu, T., Li, C. C., Zhou, K. K., & Wang, K. (2020). Tusimple-benchmark.
https://github.com/TuSimple/tusimple-benchmark.

[14] NumPy - Home - About Us
https://numpy.org/about/ （2024 年 3 月現在）

[15] Pan, X., Shi, J., Luo, P., Wang, X., & Tang, X. (2018, April). Spatial as deep: Spatial cnn for traffic scene understanding. In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence (Vol. 32, No. 1).

[16] Liu, B., Feng, L., Zhao, Q., Li, G., & Chen, Y. (2023). Improving the Accuracy of Lane Detection by Enhancing the Long-Range Dependence. Electronics, 12(11), 2518.

[17] Y. LeCun and Y. Bengio.“Convolutional networks for images, speech, and time-series”, The Handbook of Brain Theory and Neural Networks. MIT Press,1995.
https://www.researchgate.net/publication/216792820_Convolutional_Networks_for_Images_Speech_and_Time-Series （2024 年 3 月現在）

[18] 一般財団法人日本自動車研究所 平成 31 年度 高度な自動走行システム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 p.III-27 2020.

[19] 一般財団法人日本自動車研究所 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　p .III-23 2021.
[20] 一般財団法人日本自動車研究所 平成 31 年度 高度な自動走行システム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　p.III-31 2020.
[21] 一般財団法人日本自動車研究所 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 p. III-25 2021.
[22] 一般財団法人日本自動車研究所 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　p.III-19 2021.
[23] VBOX JAPAN VBOX_VBOX [オンライン]. Available: https://www.vboxjapan.co.jp/VBOX/VBOX.html. [アクセス日: 28 2 2024].
[24] 一般財団法人日本自動車研究所 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　p .III-12 2021.

－禁無断転載－

経済産業省委託

令和5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6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）7921