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 (自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究 開発・社会実証プロジェクト(テーマ2)」

成果報告書(公開版)

令和4年3月

日本工営株式会社 国立研究開発法人産業技術総合研究所 一般財団法人日本自動車研究所 先進モビリティ株式会社

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(自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究開発・社会実証プロジェクト (テーマ2)」

一目次一

| 序章 | | 1 |
|-------|------------------------------------|--------------|
| 1. | 事業全体の目標・成果目標 | 1 |
| 2. | 業務項目 | 2 |
| 3. | 実施体制(全体実施体制) | 2 |
| 4. | 事業報告書の構成 | 3 |
| | | |
| 高度化 | 編 | |
| 第 1 章 | 日立地域における高度化検討の概要 | 1-1 |
| 1.1. | 高度化検討におけるモデル地域の選定 | 1-1 |
| 1.2. | 日立地域における高度化検討の概要 | 1-1 |
| 1.2.1 | . 全体計画(案)の立案(5 か年のスケジュール) | 1-1 |
| 1.2.2 | 2. 自動運転移動サービス社会実装時の自動運転システム ODD(案) | の検討.1-2 |
| 1.2.3 | 3. 日立地域における移動サービスに係る対応方針 | 1-2 |
| 1.2.4 | l. 次年度の検討スケジュール | 1 - 2 |
| 第 2 章 | 走行環境、運行条件の整理、評価条件の整理・評価 | 2-1 |
| 2.1. | 無人自動運転移動サービスを想定した ODD/ユースケースの設定方法 | 2-1 |
| 2.1.1 | 走行環境の概要とユースケース整理 | 2 - 2 |
| 2.1.2 | 2. 自動運転車両の概要と車両性能の評価 | 2-12 |
| 2.1.3 | | |
| 2.1.4 | l. 本節のまとめと ODD 作成 | 2-27 |
| 2.2. | 安全設計ガイドの高度化 | 2-28 |
| 2.2.1 | . 安全設計ガイド(ドラフト版)検討 | 2-29 |
| 2.2.2 | 2. 具体事例 | 2-32 |
| 2.3. | セーフティアセスメントの高度化 | 2-36 |
| 2.3.1 | . システムの故障に伴うハザードの特定 | 2-37 |
| 2.3.2 | 2. 特定されたハザードのリスク見積 | 2-41 |
| 2.3.3 | 3. 安全設計の目標及び故障発生時に遷移すべきシステム状態の定義 | 2-43 |
| 2.3.4 | 機能レベルでの安全方策の定義 | 2-44 |
| 2.3.5 | 5. 技術レベルでの安全方策の実装 | 2-48 |
| 2.3.6 | S. 実装された安全方策の評価(設計検証) | 2-50 |
| 2.3.7 | 7. 実装された安全方策の評価(テストによる検証) | 2-58 |
| 2.3.8 | 3. 評価結果に基づく考察 | 2-61 |

| 2.4. | 簡易な仮想環境構築と活用の仕組み | 2-62 |
|-------|----------------------------------|------|
| 2.4.1 | . シーンの選定 | 2-62 |
| 2.4.2 | . 簡易な仮想環境の作成 | 2-66 |
| 2.4.3 | . 点群データビューアの作成 | 2-75 |
| 2.4.4 | . 簡易な仮想環境の活用 | 2-76 |
| 2.4.5 | . まとめ | 2-78 |
| 2.4.6 | . 課題 | 2-78 |
| 第 3 章 | 車両開発(高度化開発) | 3-1 |
| 3.1. | 車両設計 | 3-1 |
| 3.1.1 | . 自動運転レベルの高度化に向けた設計 | 3-3 |
| 3.1.2 | . 機能安全 | 3-6 |
| 3.2. | 車両開発(ハードウェア) | 3-10 |
| 3.2.1 | . システム認識範囲の拡張 | 3-10 |
| 3.2.2 | . 各部品配置詳細及び視野 | 3-12 |
| 3.3. | 車両開発(ソフトウェア) | 3-21 |
| 3.3.1 | . 自己位置推定 | 3-21 |
| 3.3.2 | . 物体認識評価 | 3-22 |
| 3.4. | 市街地路での物体認識試験 | 3-47 |
| 3.5. | 遠隔操作システムとの連携 | 3-57 |
| 第4章 | 無人自動運転移動サービスのサービス内容、事業モデルの整理 | 4-1 |
| 4.1. | 無人自動運転移動サービス内容の整理 | 4-1 |
| 4.1.1 | . 無人自動運転移動サービス内容の検討 | 4-1 |
| 4.2. | 事業モデルの検討 | |
| 4.2.1 | . 運行経費の検討 | 4-5 |
| 4.2.2 | . 関係者間の役割分担の検討 | 4-6 |
| 4.2.3 | . 事業効果の検討 | 4-8 |
| 4.2.4 | . 運行経費と料金収入のバランスの取れた事業モデルの在り方の検討 | 4-10 |
| 第5章 | 遠隔監視システムの開発 | 5-1 |
| 5.1. | 遠隔監視者の役割検討 | |
| 5.1.1 | . 想定運行サービスの調査と役割の整理【高度化の観点】 | 5-2 |
| | 遠隔監視システムの高度化 | |
| 5.2.1 | | |
| 5.2.2 | . ODD に応じた遠隔監視者による支援の整理 | |
| 5.2.3 | | |
| - | インフラ連携の仕組み検討 | |
| 6.1. | | |
| 6.1.1 | | |
| 6.1.2 | | |
| | インフラ連携の方針検討 | |
| 6.2.1 | . 既設インフラ | 6-13 |

| 6.2.2. | インフラ連携の設計対象 | 6-13 |
|--------|-----------------------------------|---------|
| 6.2.3. | ひたち BRT システムの高度化の大方針 | 6-13 |
| 6.2.4. | ひたち BRT システムの高度化検討 | 6-14 |
| 6.2.5. | 次年度の方針整理 | 6-14 |
| 第7章 ま | とめ | 7-1 |
| 7.1. 今 | 年度の成果と次年度に向けた課題 | 7-1 |
| 多様化編 | | |
| 第1章 多 | 様化検討の概要 | 1-1 |
| 1.1. 多 | 様化検討におけるタスクフォース | 1-1 |
| 1.1.1. | タスクフォースの目的 | 1-1 |
| 1.1.2. | タスクフォースの体制や連携 | 1-1 |
| 1.1.3. | タスクフォースの開催実績 | |
| 1.2. 多 | 様化検討の概要 | 1-3 |
| 1.2.1. | タスクフォースの全体像の整合 | |
| 1.2.2. | ODD 類型化の考え方 | 1-3 |
| 1.2.1. | ODD 類型化による代表的なユースケースの抽出 | 1-3 |
| 1.2.2. | ODD 類型化によるモデル地域選定 | 1-3 |
| 1.2.3. | ガイドラインの活用イメージ | 1-4 |
| 第2章 走 | 行環境、運行条件の整理、評価条件の整理・評価 | 2-1 |
| 2.1. 無 | 人自動運転移動サービスを想定した ODD/ユースケースの設定方法や |) |
| そ | の類型化 | 2-1 |
| 2.1.1. | これまでの類型化の基本的な考え方 | 2-1 |
| 2.1.2. | ODD、ユースケース等の用語の考え方 | 2-3 |
| 2.1.3. | ODD 類型化の目的・検討ステップ | 2-5 |
| 2.1.4. | ODD 類型化と代表的なユースケースの抽出 | 2-7 |
| 2.1.5. | モデル地域選定のための ODD 類型化結果(サービス、走行環境) | の集約 2-8 |
| 2.2. 安 | 全設計ガイドの多様化 | 2-9 |
| 2.3. セ | ーフティアセスメントの多様化 | 2-18 |
| 2.4. 簡 | 易な仮想環境構築と活用の仕組み | 2-19 |
| 2.4.1. | 既存のシミュレータ | 2-19 |
| 2.4.2. | 簡易な仮想環境 | 2-20 |
| 2.4.3. | 簡易な仮想環境データの利活用検討 | 2-27 |
| 2.5. 安 | 全設計に必要な汎用・基礎データ共有の仕組み | 2-29 |
| 2.5.1. | カメラシステム | 2-29 |
| 2.5.2. | ECU | 2-57 |
| 2.5.3. | 課題 | 2-60 |
| 2.6. Г | 日本版セーフティレポート(仮称)」公開情報・運用時方法検討 | 2-60 |
| 2.6.1. | 世界におけるセーフティレポートの先行事例の調査 | 2-60 |
| 2.6.2. | 日本版セーフティレポートのあり方の検討 | 2-73 |

| 2.6.3 | 3. ポータルサイトの作成 | 2-84 |
|-------|---------------------------------------|------|
| 2.7. | サービス社会実装ガイドラインの検討 | 2-86 |
| 2.7.1 | . サービス社会実装ガイドラインの位置付け | 2-86 |
| 2.7.2 | 2. 運用ガイドの検討 | 2-87 |
| 第 3 章 | : 車両開発(多様化開発) | 3-1 |
| 3.1. | 自動運転システムの多様化 | 3-1 |
| 3.1.1 | ・ 車両の多様化 | 3-1 |
| 3.1.2 | 2. 走行経路の多様化 | 3-2 |
| 第 4 章 | :無人自動運転移動サービス内容、事業モデルの整理 | 4-1 |
| 4.1. | 無人自動運転移動サービス類型の検討 | 4-1 |
| 4.1.1 | . 無人自動運転移動サービス実装に向けた課題、ニーズの分析 | 4-1 |
| 4.1.2 | 2. サービス類型の検討 | 4-4 |
| 4.2. | 事業モデルの多様化に向けた検討 | 4-6 |
| 4.2.1 | . 自動運転車両システムに求める機能、ニーズ、コストの整理 | 4-6 |
| 4.2.2 | 2. 無人自動運転移動サービスの事業構造 | 4-8 |
| 4.2.3 | 3. 地域公共交通の維持に関わる補助制度の検討 | 4-10 |
| 4.2.4 | l. MaaSによる他の移動手段との連携やデータ連携等の検討事例の整理 . | 4-14 |
| 第 5 章 | 遠隔監視システム開発 | 5-1 |
| 5.1. | 遠隔監視者の役割検討(役割毎の負荷の定量化に向けた構成要素の | |
| | 洗い出しと評価【多様化の観点】) | 5-1 |
| 第 6 章 | : インフラ連携の多様化 | 6-1 |
| 6.1. | 先行事例で得られた知見・課題の整理 | 6-1 |
| 6.1.1 | . 磁気マーカの有効性、施工方法の整理 | 6-1 |
| 6.1.2 | 2. SIP での信号連携の検討で得られた知見・課題の整理 | 6-11 |
| 6.2. | インフラ連携のあり方の検討 | 6-13 |
| 6.2.1 | . 信号あり交差点と信号なし交差点で必要とされるインフラ情報の比較. | 6-13 |
| 6.2.2 | 2. 交差点走行でのインフラ連携のあり方の検討 | 6-13 |
| 第7章 | まとめ | 7-1 |
| 7.1. | 今年度の成果と次年度に向けた課題 | 7-1 |

序章

.1. 事業全体の目標・成果目標

本テーマ事業は、「自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究開発・社会実装プロジェクト(RoAD to the L4)」に基づくものである。当該プロジェクトは、CASE、カーボンニュートラルといった自動車産業を取り巻く大きな動きを踏まえて、持続可能なモビリティ社会を目指すこと、レベル4等の先進モビリティサービスを実現・普及することによって、環境負荷の低減、移動課題の解決、我が国の経済的価値の向上に貢献することを目的として位置づけられており、技術開発、調査分析、実証実験の各取組を連携させ、レベル4等先進モビリティサービスの社会実装を目指す取組である。また、先進モビリティサービスの社会実装に向けて、プロジェクトコーディネータのもとで、データ活用・連携、利用者目線での評価などの共通する課題について、情報を共有し、相互に連携しながら取り組むことが求められている。

テーマ2事業については、「無人自動運転サービスの対象エリア、車両を拡大するとともに、事業性を向上する」ための取組であり、テーマ1「限定エリア・車両での遠隔監視のみ(Lv4)で自動運転サービスの実現」におけるシステム開発成果や事業モデル構築成果を先行ケースとして反映するとともに、テーマ4「混在空間でレベル4を展開するためのインフラ協調や車車間・歩車間の連携などの取組」において検討するインフラ連携システムに関し、テーマ2で実装を推進するサービスへの適用を図ることにより、テーマ間で連携しながら事業を推進する。

当該プロジェクトの研究開発・社会実装計画に基づき、テーマ2事業の5か年での成果 目標を以下の通りとする。

- ・2025 年度までに、多様なエリアで、多様な車両を用いた無人自動運転サービス (レベル4)を40カ所以上で実現。
- ・多様なサービスに展開できる事業モデルやインフラ・制度を構築。

本成果目標に向けて、今年度は以下の事項を目標として実施する。

- ・無人自動運転サービスのサービスモデルを整理し、車両開発者等で共有すること
- ・車両開発者や運行事業者の意見を踏まえ、ODD や運行条件に応じ、適切な安全性を有した仕様・機能の車両やシステムの開発に着手すること
- ・効率的な横展開に向けて、ODD の類型化やセーフティアセスメント手法等のあり方について整理すること

.2. 業務項目

業務項目を下記に示す。

表 1 業務項目

| 項目 | 単位 | 数量 | 備考 |
|-------------------------------|----|----|----|
| 1. 無人自動運転サービスのサービス内容、事業モデルの整理 | 式 | 1 | |
| 2. 走行環境、運行条件の整理、評価条件の整理・評価 | 式 | 1 | |
| 3. 車両、システムの開発 | 式 | 1 | |

.3. 実施体制(全体実施体制)

本事業は、日本工営が全体の取りまとめ役となり、高い知見や研究開発能力を持つ機関を主体とした共同提案の体制を組んで実施する。各事業内容が相互に深く関連し、連携が必要であることから、参加する全期間とのコンソーシアム形式とし、成果の最大化を目指す。以下に体制図を示す。

高度化検討では、レベル 3 以上の社会実装に向けて、地域関係者と一体となって、サービス、安全設計・評価、車両開発、遠隔・インフラ連携等の検討を進める。

多様化検討は、2023 年度以降の横展開の推進に向けて、タスクフォース (TF) で社会 実装を目指す事業者間の協調領域における社会実装に必要な事項の基本的な考え方の共 通理解を図る。

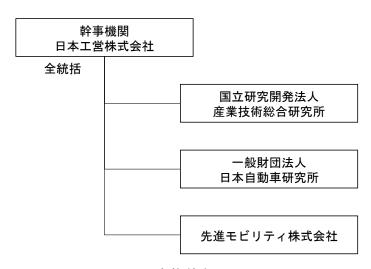


図 1 実施体制図

.4. 事業報告書の構成

テーマ2の目標達成に向けて、早期かつ確実に実現していくために、自動運転システムの高度化と多様化の両輪で進めことができる検討体制を構築し、プロジェクトを推進したため、事業報告書は高度化編と多様化編でそれぞれ作成した。事業報告書の構成を以下に示す。

表 2 事業報告書の構成

| | 章の構成 | 業務項目との対応 | | | | |
|-------|---------------------|------------------|--|--|--|--|
| 序章 | | _ | | | | |
| 高度化編 | i i | | | | | |
| 第1章 | 日立地域における高度化検討の概要 | _ | | | | |
| 第 2 章 | 走行環境、運行条件の整理、評価条件の整 | 2. 走行環境、運行条件の整理、 | | | | |
| | 理・評価 | 評価条件の整理・評価 | | | | |
| 第 3 章 | 車両開発 | 3. 車両、システムの開発 | | | | |
| 第 4 章 | 無人自動運転移動サービスのサービス内 | 1. 無人自動運転サービスのサー | | | | |
| | 容、事業モデルの整理 | ビス内容、事業モデルの整理 | | | | |
| 第 5 章 | 遠隔監視システムの開発 | 3. 車両、システムの開発 | | | | |
| 第6章 | インフラ連携の仕組み検討 | 3. 車両、システムの開発 | | | | |
| 第 7 章 | まとめ | _ | | | | |
| 多様化編 | i i | | | | | |
| 第1章 | 多様化検討の概要 | _ | | | | |
| 第 2 章 | 走行環境、運行条件の整理、評価条件の整 | 2. 走行環境、運行条件の整理、 | | | | |
| | 理・評価 | 評価条件の整理・評価 | | | | |
| 第 3 章 | 車両開発 | 3. 車両、システムの開発 | | | | |
| 第 4 章 | 無人自動運転移動サービス内容、事業モデ | 1. 無人自動運転サービスのサー | | | | |
| | ルの整理 | ビス内容、事業モデルの整理 | | | | |
| 第 5 章 | 遠隔監視システムの開発 | 3. 車両、システムの開発 | | | | |
| 第6章 | インフラ連携の多様化 | 3. 車両、システムの開発 | | | | |
| 第7章 | まとめ | _ | | | | |



第1章 日立地域における高度化検討の概要

1.1. 高度化検討におけるモデル地域の選定

中型自動運転バスによる実証評価等を踏まえて、日立地域はルートの中に専用空間を 含み走行環境面からみても実装の可能性が高い他、地域関係者が実装に向けた取組が進 んでいることから、日立地域をモデル地域として選定した。

1.2. 日立地域における高度化検討の概要

ひたち BRT におけるレベル 3 以上の自動運転移動サービスの社会実装に向けて、地域 関係者と一体となって、日立高度化検討会議を全 16 回実施し、自動運転での安全な走行 方法や移動サービス等について検討を行った。

自動走行に係る検討では、安全な走行方法を踏まえて、走行条件、環境条件、道路環境等の自動運転システムに係る社会実装時の QDD (案) を整理した。

移動サービスに係る検討では、車内安全やハンディキャップの方等への乗車のサポート等のサービスに係る項目について、車両・遠隔・運用等での役割分担を明確にし、役割分担に応じた対応方針を整理した。

1.2.1. 全体計画(案)の立案(5か年のスケジュール)

ひたち BRT での無人自動運転移動サービスの社会実装の実現に向けて、2022 年度は現地実証実験、2023 年度は中間目標として、乗務員乗車での自動運転移動サービスの社会実装、2025 年度は最終目標として、無人自動運転移動サービスの社会実装を目指す。

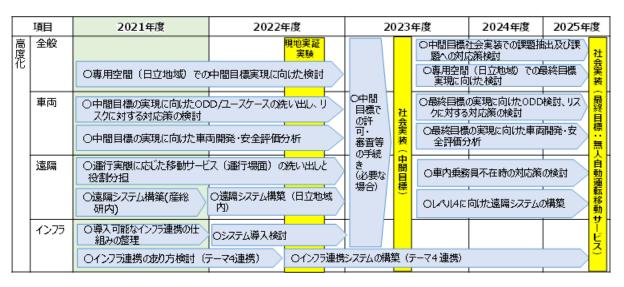


図 1.2.1-1 ひたち BRT での無人自動運転移動サービスの社会実装に向けた全体計画(案)

1.2.2. 自動運転移動サービス社会実装時の自動運転システム ODD (案) の検討

今年度の自動走行に係る検討結果を踏まえ、中間目標(2023年度)、最終目標(2025年度)時点での自動運転システムの ODD(走行条件、環境条件、道路条件・地理条件)を整理した。なお、ODDの大項目は「ラストマイル自動運転車両システム 基本設計書(国交省自動車局)」や「地域移動サービスにおける自動運転導入に向けた走行環境条件の設定のパターン化参照モデル(2020年モデル、内閣官房日本経済再生総合事務局)」を参照した。

整理した ODD (案) の項目を以下に示す。

- ○走行条件:乗務員の有無、走行区間、運行時間、乗客の有無、立席の有無、遠隔監視者、 車両台数、バス停の走行方法
- ○環境条件:天候(雨天、降雪、積雪、風)
- ○道路条件・地理条件:単路、交差点、バス停、緑の横断帯、BET 信号等の日立地域特有 の道路構造

1.2.3. 日立地域における移動サービスに係る対応方針

2023 年度は乗務員乗車となるため、基本的には乗務員が対応するが、出発時刻の判断 や音声案内等は車両システムで対応し、必要に応じて遠隔監視者によるサポートを行う ことで、乗務員の役割を軽減させる方針を整理した。

2025年度は車内無人化となるため、車両システム、遠隔システムでの対応を前提とし、必要に応じて現状の運用変更も視野に入れた検討を行う。

なお、事業者へのヒアリングにより実施されており、ノウハウ等も含めるため詳細は 割愛する。

1.2.4. 次年度の検討スケジュール

ひたち BRT での無人自動運転移動サービスの社会実装の実現のため、関係者間で設定した目標の実現に向けて、次年度の検討スケジュールを検討した。次年度、国土交通省・警察庁を始め地域関係者等との協議・調整を図る。

今後の課題として、関係省庁に関わる所管法令・ガイドラインや協議事項等を整理した。次年度関係省庁への直接的な働きかけや多様化検討のタスクフォースを活用した働きかけを行っていく。

第2章 走行環境、運行条件の整理、評価条件の整理・評価

2.1. 無人自動運転移動サービスを想定した ODD/ユースケースの設定方法

本章では、レベル 3 以上の無人自動運転移動サービスを導入する際に設定が必要なODD (運行設計領域) に関して、ひたち BRT を例に設定方法の検討を行なった手順・結果について述べる。本節で述べる ODD 設定の検討手順を図 2.1-1 に示す。ODD の設定では、まず、走行環境の特徴や自動運転車両の性能について整理したのち、走行環境における自動運転車両の運用方法を整理、最終的な ODD を設定している。本節では、ひたち BRT の走行環境の概要と想定されるユースケース例について 2.1.1 項で述べたのち、自動運転車両の概要と車両性能の一部を評価した結果について 2.1.2 項で述べる。その後、ひたち BRT における自動運転車両の運用方法について 2.1.3 項で述べたのち、2.1.4 項で ODD の素案について述べる。



図 2.1-1 本節の流れ

2.1.1. 走行環境の概要とユースケース整理

本項では、ひたち BRT の走行環境の概要を述べたのち、走行コースで想定されるユースケースについて述べる。

(1) 走行環境の概要

内閣官房日本経済再生総合事務局より発行された「地域移動サービスにおける自動運転導入に向けた走行環境条件の設定のパターン化参照モデル(2020年モデル)」「以下、「パターン化参照モデル」と呼ぶ)に従って、ひたち BRT の走行環境を整理する。パターン化参照モデルでは、「①時間」「②天候」といった環境に関する条件と「③走行コース」「④公道・閉鎖空間」「⑤運行速度」「⑥通信環境」「⑦歩車分離」「⑧交通量」「⑨実勢速度」といった道路・地理に関する条件によって、走行環境を整理している(図2.1.1-1)。以下、ひたち BRT における検討結果について述べる。

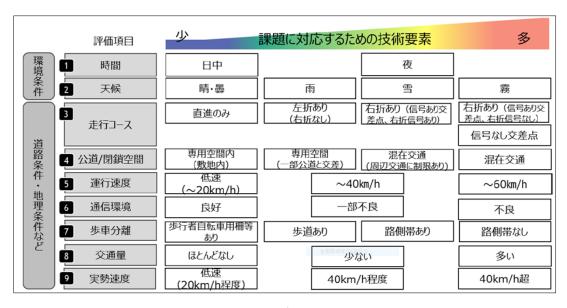


図 2.1.1-1 パターン化参照モデルにおける走行環境の分類

¹ 内閣官房日本経済再生総合事務局、「地域移動サービスにおける自動運転導入に向けた走行環境条件の設定のパターン化参照モデル (2020 年モデル)」

https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/jidousoukou/index.html

1) 環境条件

① 時間

自動運転車両にとって、日中の方が障害物などの認知性能が高く安全に走行できる。 カメラを用いた物体認知では、物体認知性能の良否に空間の明るさが大きく影響する。 2022 年度以降における現地実証実験では、日中の 9 時半から 17 時の間の走行を予定している。自動運転車両で安全に走行可能な具体的な照度条件の設定については、2.1.2(2)項で述べる車両の物体認知性能をもとに、2.1.3(1)1)項で述べる。

② 天候

自動運転車両が走行する天候の状況については、天候が良い方が視認性も高いなど、より運行上の課題が少ない。LiDAR やレーダを利用した物体認知では、空間中に雨、雪、霧などの粒子がある場合、LiDAR より照射されるビームが粒子によって散乱することにより、認知対象物までの距離を適切に測定できないことが分かっている。パターン化参照モデルでは、天候に関する条件を「晴れ・曇り」「雨天」「雪」「霧」に分類している。2022 年度以降の現地実証実験では、認知性能が低下する雨量 50mm/h 以上の場合や雪、霧の場合に運行を中止し、晴れ・曇りや雨量 50mm/h 未満の場合にのみ運行することを想定している。

2) 道路条件・地理条件など

③ 走行コース

パターン化参照モデルでは、走行コースを課題に対応するための技術要素の数によって分類しており、簡単なものから順に、「直進のみ」、「左折あり(右折なし)」、「右折あり(信号あり交差点、右折信号あり)」、「右折あり(信号あり交差点右折信号なし)」および「信号なし交差点」と5つの指標で分類している。

ひたち BRT のコースの全体と停留所一覧を図 2.1.1-2 に示す。



図 2.1.1-2 ひたち BRT のコースの全体図(左)と停留所一覧(右)

ひたち BRT は、「6 河原子」 - 「19 南部図書館」間のひたち BRT 専用道区間とそれ以外の混在交通下で成り立っている。ひたち BRT 専用道区間には、図 2.1.1-3 左上に示すような信号なし交差点が 8 箇所、図 2.1.1-3 右上に示すような信号あり交差点が 2 箇所存在する。また、図 2.1.1-3 下に示すように、歩行者が車道を横切るための緑の横断帯も複数箇所に設けられている。2022 年度以降の現地実証実験予定の区間は、「6 河原子」 - 「19 南部図書館」間のひたち BRT 専用道区間であるため、現地実証実験の走行コースは、「直進のみ」、「信号なし交差点」と「信号あり交差点」に該当する。





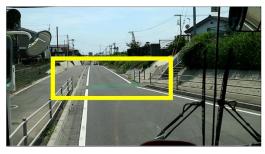


図 2.1.1-3 交差点と横断帯の例(左上:信号なし、右上:信号あり、下:横断帯)

④ 公道·閉鎖空間

自動運転車両が走行する道路条件については、走行ルートの閉鎖性が高いほど安全性が高く、運行上の課題が少ない。パターン化参照モデルでは、課題に対応するための技術要素が少ないものから順に「専用空間内(敷地内)」、「専用空間(一部公道と交差)」、「混在交通(周辺交通に制限あり)」および「混在交通」と 4 つの指標が設定されている。③でも述べた通り、現地実証実験予定のコースは、一部、一般道と交差する専用道なので、「専用空間(一部公道と交差)」に該当する。

⑤ 運行速度

自動運転車両が走行する速度については、速度が低いほど安全性が高く、運行上の課題が少ない。課題に対応するための技術要素が少ないものから順に「低速($\sim 20 \text{km/h}$)」、「 $\sim 40 \text{km/h}$ 」および「 $\sim 60 \text{km/h}$ 」と 3 つの指標が設定されている。

ひたち BRT 専用道区間における最大速度は、~40km/h を想定している。

⑥ 通信環境

自動運転車両では、GPS を利用した自己位置特定技術が利用されており、通信環境が良好であるほど運行上の課題が少ない。パターン化参照モデルでは、課題に対応するための技術要素が少ないものから順に「良好」、「一部不良」および「不良」と3つの指標が設定されている。ひたち BRT 専用道区間における GPS 電波の受信状況としては、「6河原子 (BRT)」 - 「7 磯坪」間 (図 2.1.1-4) や「12 泉が森」 - 「13 大甕駅」間の高架下で通信の低下が懸念されるため、「一部不良」に該当する。

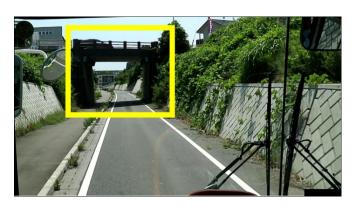


図 2.1.1-4 高架下の例 (「6 河原子(BRT)」―「7 磯坪」間)

⑦ 歩車分離

走行コースの歩車分離構造については、柵等により確実な歩車分離が確保されているコースほど安全性が高く、より運行上の課題が少ない。パターン化参照モデルでは、歩行者の分離の程度について、課題に対応するための技術要素が少ないものから順に「歩行者自転車用柵等あり」、「歩道あり」、「路側帯あり」および「路側帯なし」と4つの指標を設定されている。

ひたち BRT の「12 泉が森」 - 「19 南部図書館」間では、歩道と車道の間に図 2.1.1-5 左に示すようなガードレールが設置されているが、一部、「16 どうのいり公園」 - 「17 日立商業高校」間と「18 日立商業下」 - 「19 南部図書館」間には、図 2.1.1-5 右に示すような歩行者が通り抜けられるガードレールも存在する。隙間なしガードレールの場合、歩行者の飛び出しはほとんどないと考えられるが、隙間ありガードレールからは、歩行者の飛び出しを想定した走行が求められる。





図 2.1.1-5 歩車分離構造物のパターン例 (左:ガードレール隙間なし、右:ガードレール隙間あり)

一方、「6河原子(BRT)」-「12泉が森」間には、ガードレールが存在せず、図 2.1.1-6 に示すように、歩道と車道は縁石で分離されているのみである。ガードレールのない区間では、歩道の向かい側にある駐輪所などに向けて、歩行者が走路を横切ることもあるため、飛び出しを想定した走行方法の検討が必要となる。



図 2.1.1-6 歩車分離構造物のパターン例 (縁石のみ)

また、ひたち BRT には、路側帯のみが設置された区間も多く存在するが、その中でも、「7 磯坪」 - 「8 大沼 (BRT)」間と「18 日立商業下」 - 「19 南部図書館」間には、路側帯へ歩行者が入るケースも考えられる区間がある。図 2.1.1-7 の写真は、「18 日立商業下」 - 「19 南部図書館」間にある路側帯の様子である。図 2.1.1-7 の右側の歩道はガードレールによって閉じられているため、図の黄色枠内の横道から出てきた歩行者は、路側帯を歩いて写真奥にある南部図書館手前の交差点まで歩くことになる。自動運転車両の走行方法を検討するにあたっては、このような路側帯に歩行者がいる場合を想定した走行方法の検討が求められる。

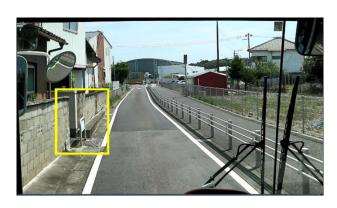


図 2.1.1-7 歩車分離構造物のパターン例 (路側帯のみ)

以上より、ひたち BRT の歩車分離は、「歩行者自転車用柵等あり(隙間あり)」、「歩行者自転車用柵等あり(隙間なし)」、「歩道あり(縁石)」、および、「路側帯あり」の4パターンがある。歩車分離構造物のパターンに応じた走行方法については、2.1.3(1)1)項で述べる。

⑧ 交通量

自動運転車両が走行する走行コースの交通量については、他の交通参加者の交通量が 少ないコースほど安全性が高く、より運行上の課題が少ない。パターン化参照モデルで は、課題に対応するための技術要素が少ないものから順に「ほとんどなし」、「少ない」 および「多い」と3つの指標が設定されている。

ひたち BRT の「6 河原子 (BRT)」 - 「19 南部図書館」は専用道であり、周辺車両は ダイヤに従って走行する他のひたち BRT のバス (手動運転)となる。ダイヤに従って走 行するため、自動運転バス走行時における周辺車両が密集することは想定されにくく、 「ほとんどない」に該当する。

⑨ 実勢速度

他の車両が混在する場合において、自動運転車両が走行する走行コースにおける自動運転車両以外の車両の実勢速度が低いケースほど安全性が高く、運行上の課題がより少ない。パターン化参照モデルでは、課題に対応するための技術要素が少ないものから順に「低速(20km/h 程度)」、「40km/h 程度」および「40km/h 超」の3つの指標が設定されている。

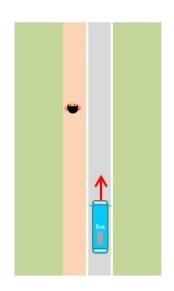
ひたち BRT の専用道区間を走行する車両の運行速度は「40 km/h」である。よって、実 勢速度も同様に「40 km/h」に該当する。

(2) 走行コースにおけるユースケース整理

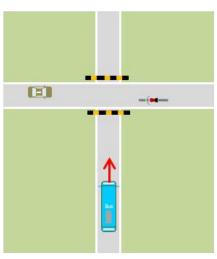
ひたち BRT において想定される自動運転車両の使われ方をユースケースとして洗い出す。ひたち BRT におけるユースケースの例としては、交差点の通過、歩行者わきの通過、停留所や退避エリアでの他車両とのすれ違い、一時停止・再発車、障害物衝突回避の停車・再発車、緊急時の縮退運転、などがあげられる。

図 2.1.1-8、図 2.1.1-9、図 2.1.1-10 に、ユースケース例のイメージ図を示す。本報告書では、ひたち BRT のユースケースの中でも、特に人身事故の危険性が高いケースとして、歩行者わき通過と信号なし交差点通過を例として走行方法を検討した結果について、2.1.3(1)項で述べる。











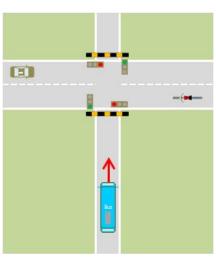


図 2.1.1-8 ユースケース例

(上:歩行者わきの通過、中:信号なし交差点の通過、下:信号あり交差点の通過)

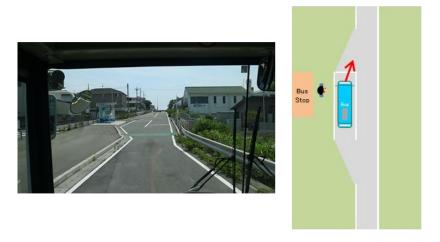


図 2.1.1-9 ユースケース例 (停留所での発着)

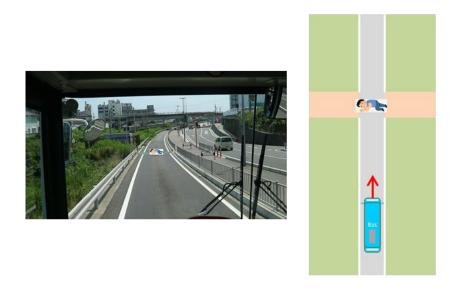


図 2.1.1-10 ユースケース例 (障害物衝突回避の停車・再発車)

2.1.2. 自動運転車両の概要と車両性能の評価

本項では、先進モビリティ株式会社が開発するいすゞ自動車株式会社のエルガミオの 改造車両となる自動運転車両について、自動運転車両の概要を整理したのち、車両性能 の一部を評価した結果について述べる。

(1) 自動運転車両の概要

本項では、先進モビリティ株式会社が開発する自動運転車両の概要について、2.1.1(1)項と同様に、「地域移動サービスにおける自動運転導入に向けた走行環境条件の設定のパターン化参照モデル(2020年モデル)」に従って整理する。パターン化参照モデルでは、自動運転車両について、「i運行速度」「ii位置特定技術」「iii認知技術」「iv モニタリング技術」「v乗車定員」といった車両性能に関する項目と、「vi運転手」「vii乗務員」といった人的関与に関する項目で整理している(図 2.1.2-1)。以下、先進モビリティ株式会社が開発する自動運転車両に対する検討結果について述べる。

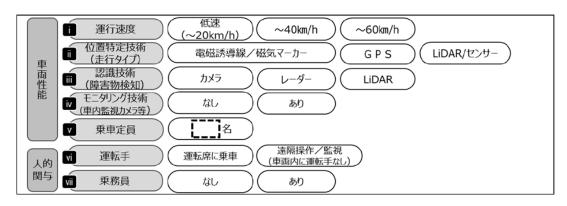


図 2.1.2-1 パターン化参照モデルにおける自動運転車両の分類

1) 車両性能

i 運行速度

パターン化参照モデルでは、自動運転車両が走行する速度について「低速 (20 km/h)」、「 $\sim 40 \text{km/h}$ 」および「 $\sim 60 \text{km/h}$ 」と3つのオプションが設定されている。

2022 年度以降の実証実験では、実勢速度と同様に約 40km/h での走行を想定している。

ii 位置特定技術(走行タイプ)

パターン化参照モデルでは、自動運転車両が自車の位置をどのように特定するかについて、「電磁誘導線/磁気マーカ」、「GPS」および「LiDAR/センサ」と3つのオプションが示されている。先進モビリティ株式会社の自動運転車両では、GPSと磁気マーカを併用したシステムとなっている。2.1.1(1)2) 項で述べた GPS の受信が低下する可能性がある区域については、磁気マーカにより安定した位置推定を行える。

iii 認知技術 (障害物検知)

パターン化参照モデルでは、進行方向に障害物がある場合の物体認知技術について、「カメラ」、「レーダ」および「LiDAR」と3つのオプションが示されている。先進モビリティ株式会社の自動運転車両には、その全てが搭載されている。照度・雨量といった天候条件に応じた認知性能の変化については、(2)で述べる。

iv モニタリング技術

パターン化参照モデルでは、自動運転車両内に乗客監視用のカメラ等が設置されているかについて「なし」および「あり」と2つのオプションが示されている。2022年度以降の現地実証実験では、遠隔モニタリングによる車内安全確認を実施するため「あり」に該当する

v 乗車定員

パターン化参照モデルでは、自動運転車両の定員についてのオプションが示されている。先進モビリティ株式会社が改造したいすゞのエルガミオの乗車定員は立席無しおよび改造により乗客 28 人となる。

2) 人的関与

vi 運転士

パターン化参照モデルでは、自動運転車両内に運転士を配置するか否かについて「運 転席に乗車」および「遠隔操作/監視(車両内に乗務員なし)」と2つのオプションが 示されている。2022年度以降の現地実証実験では、運転席に乗車した状態となる。

vii 乗務員

パターン化参照モデルでは、自動運転車両内に配置する乗務員について「なし」および「あり」と2つのオプションが示されている。2022年度以降の現地実証実験では、運転席に乗務員が存在するため、乗務員は「なし」となる。

(2) 車両性能の評価

ユースケースに対する走行方法や ODD を決めるには、車両の性能を適切に把握することが重要である。本項では、特に車両の物体認知性能について、先進モビリティ株式会社の自動運転車両(2020年度現地実証実験のモデル)の天候条件に対する認知性能の評価を行った結果について述べる。評価には、一般財団法人日本自動車研究所(以下「JARI」という)の特異環境試験場および V2X 市街地を利用した。特異環境試験場では、照度条件の他、雨天、霧などの自然環境を模擬した試験を行い、V2X 市街地では、図2.1.2-2 に示した交差点を模擬した交差交通認知試験や図 2.1.2-3 に示した並走する歩行者の認知試験を行った。

本報告書では、ひたち BRT で想定される環境条件において、雨や霧に比べ変化する頻度が激しい照度条件の変化に対して、歩道にいる歩行者認知を想定した特異環境試験場での試験結果について述べる。

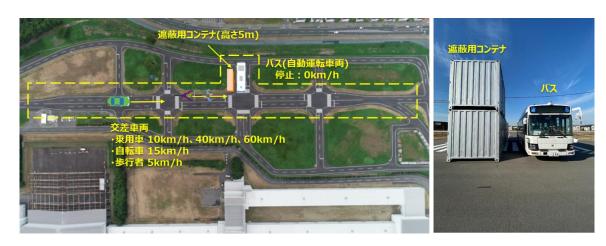


図 2.1.2-2 交差交通認知試験

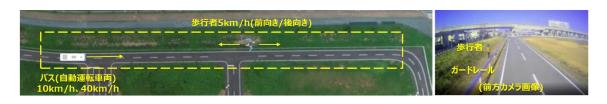


図 2.1.2-3 歩行者認知試験

1) 評価方法

歩行者を模擬したダミー人形の写真を図 2.1.2-4 の左に、自動運転車両およびダミー人形の配置図を図 2.1.2-4 の右に示す。ダミー人形は身長 160cm の歩行者を模擬しており、白のコートを着せた直立状態で配置する。このダミー人形を図 2.1.2-4 右の配置図の赤丸の位置に配置、照度を約 0lx、300lx、500lx、700lx、100lx、1300lx、1700lx と変化させる。各照度条件で約 10-30 秒間、カメラと LiDAR のデータを計測し、歩行者の認知可能距離を評価した。計測は、車両のヘッドライト不点灯の場合とハイビームありの場合の 2 パターンを行った。

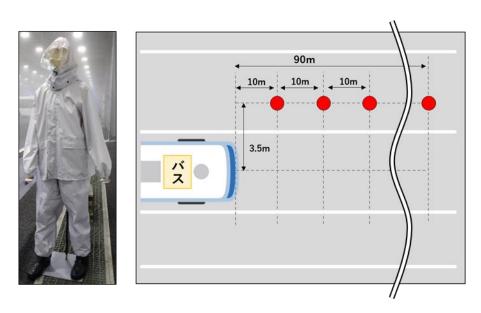


図 2.1.2-4 左:ダミー人形、右:実験における物体の配置図

2) 結果·考察

ヘッドライト不点灯の場合の評価結果を図 2.1.2-5 に示す。



図 2.1.2-5 ヘッドライト不点灯の場合の認知結果 (横軸:照度、縦軸:距離、〇:認知可能、×:認知不可能)

図 2.1.2-5 において、横軸は照度[lx]、縦軸は自動運転車両から歩行者までの距離[m]を表しており、〇と×は、それぞれ、該当する照度・距離条件における歩行者の認知可否を表している。図 2.1.2-5 から分かる通り、照度 532lx までは、60m 先の歩行者を認知できたのに対して、照度 310lx では、50m 先の歩行者までしか認知できず、照度 0lx においては、一切歩行者を認知できなかった(照度 740lx における 80m の歩行者は、認知できているが、常に認知可能ではなかったため、ノイズとして判断材料からは除外する)。一方、ハイビームありの場合の評価結果を図 2.1.2-6 に示す。



図 2.1.2-6 ハイビームありの場合の認知結果

(横軸:照度、縦軸:距離、〇:認知可能、×:認知不可能)

図 2.1.2-6 から分かる通り、照度 532lx までに加え、照度 310lx でも 60m 先の歩行者を認知することができた。さらに、照度 0lx においても、ハイビームを点灯することで、50m 先の歩行者までを認知できることが分かった。

自動運転車両の歩行者認知性能についてまとめると、以下の通りである。

- ヘッドライト不点灯では、60m 先の歩行者を認知するためには、照度が 532lx 以上 必要
- ハイビームありでは、照度が 310lx でも 60m 先の前方歩行者を認知することができ、0lx の場合でも、50m 先の歩行者を認知することができる。

評価結果を利用した走行可能な照度条件の設定方法については、2.1.3(1)1) 項で述べる。また、本報告書では、異なる照度条件での前方の歩行者認知のみに着目して評価を実施したが、同様の試験を雨・霧の発生下や、歩行者以外の障害物の設置、交差点を模擬した車両側方への交通参加者の配置など、様々なシナリオに対する認知性能の評価として実施することも可能である。環境条件に関する最終的な ODD は、それら全てを総合的に考慮した結果で設定される。

2.1.3. 走行環境における車両運用方法の検討

本項では、先進モビリティ株式会社の自動運転車両を、ひたち BRT の環境において利用する場合の運用方法について検討した結果を述べる。(1)では、ユースケースの中でも、特に危険が想定される歩行者わきと信号なし交差点の通過に対する走行方法を述べたのち、(2)において、走行コース上で自動運転車両の走行に悪影響を及ぼす危険性がある箇所と対処方法について述べる。

- (1) ユースケースに対する運用方法の検討
- 1) 歩行者わきの走行方法の検討

本項では、2.1.1(1)2) 項で整理した歩車分離構造に応じた歩行者わき通過方法について述べる。

安全な走行方法のモデルケースとして、歩道と車道がガードレールにより分離されている区間では、飛び出しを想定せずに走行し、また、歩道と車道の間にガードレールがなく縁石のみの場合は、車体端から約 1.5m より近い歩行者に対しては飛び出しの危険性を想定するとして、歩車分離構造および、図 2.1.3-1 で示す歩行者位置に応じた車両の制御を表 2.1.3-1 のように定義した。

A (歩道上、遠方) 歩行者位置 B(歩道上、近い) C(車道上) ガードレール 通常通り走行(歩行 (隙間なし) 者飛出し想定無し) 通常通り走行(歩 停止(歩行者が移 ガードレール 行者飛出し想定無 歩道と車道を 減速して通過(飛 動するまで待機、 (隙間あり) L) 分離する路肩 び出しの危険を想 必要に応じて遠隔 の構造 定) 監視等の支援を受 縁石 ける) 白線のみ 減速または停止 (縁石等無し)

表 2.1.3-1 歩車分離構造と歩行者位置に対する車両の制御

歩行者位置の定義



図 2.1.3-1 歩行者位置の定義

表 2.1.3-1 において、歩車分離構造物が隙間なしガードレールの場合、歩道からの歩行者の飛び出しは考慮せず、減速せずに定速で走行を続ける。一方、歩行者が車道にいる場合、車両は緊急停止する。歩車分離構造物が隙間ありガードレール、もしくは、縁石の場合は、車道から 1.5m 以内の歩行者(図 2.1.3-1 の B)の飛び出しは考慮し減速するが、1.5m 超離れた歩行者(図 2.1.3-1 の A)の飛び出しは考慮せず、減速せずに走行を続ける。歩行者が車道にいる場合は、隙間なしガードレールの場合と同様に、車両は緊急停止する。歩車分離構造物が路側帯のみの場合、歩行者のいる位置にかかわらず、歩行者手前で緊急停止を行い、歩行者が路側帯、もしくは、車道からいなくなるまで待機する。

隙間ありガードレール、および、縁石において、歩行者わきを減速して通過する場合 の走行方法に関する考え方を述べる。

40km/h において、減速度 0.13G(1.25m/s²、立ち客がいる列車における急減速の減速度 2)の場合における、歩行者の急な飛び出しに対し安全に停止可能な車速[km/h]を図 2.1.3-2 に示す。

| | | Dx [m] | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-----|--------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 |
| | 1.5 | # | # | # | 8.4 | 9.7 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 19 | 23 | 28 | 33 | 37 | 40 | 40 |
| | 1.4 | # | # | # | 8.3 | 9.6 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 19 | 23 | 28 | 33 | 37 | 40 | 40 |
| Dy [m] | 1.2 | # | # | 6.7 | 8.1 | 9.4 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 15 | 19 | 23 | 28 | 33 | 37 | 40 | 40 |
| | 1 | # | # | 6.4 | 7.9 | 9.2 | 10 | 12 | 13 | 14 | 14 | 15 | 19 | 23 | 28 | 33 | 37 | 40 | 40 |
| | 0.8 | # | 4.4 | 6.2 | 7.7 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 19 | 22 | 28 | 33 | 37 | 40 | 40 |
| | 0.6 | # | 4.1 | 5.9 | 7.4 | 8.8 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 19 | 22 | 28 | 33 | 37 | 40 | 40 |
| | 0.4 | # | 3.7 | 5.6 | 7.2 | 8.6 | 9.8 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 19 | 22 | 28 | 33 | 37 | 40 | 40 |
| | 0.2 | # | 3.4 | 5.3 | 7 | 8.4 | 9.7 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 19 | 22 | 28 | 33 | 37 | 40 | 40 |
| | 0 | 0 | 3 | 5.1 | 6.7 | 8.2 | 9.5 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 19 | 22 | 28 | 33 | 37 | 40 | 40 |

図 2.1.3-2 歩行者の急な飛び出しに対し安全に停止可能な車速[km/h]

図 2.1.3-2 において、横軸 D_x と縦軸 D_y は、それぞれ、バスから歩行者までの前方距離と側方距離を表しており、各セルは、距離 D_x , D_y の位置からの歩行者の飛び出しに対して手前で安全に停止可能な車速を表している。車速の算出には、式 2.1.3-1 を活用しており、想定飛び出し速度 v_c 、現在の歩行速度 v_x 、車速の最大値 V_{max} は、それぞれ、5km/h、4km/h、40km/h とした。

_

² 鉄道総研、列車減速度の適正レベルに関する検討 https://ci.nii.ac.jp/naid/10004625963

また、#は、式 2.1.3-2 を満たす場合を表し、歩行者が車道に達する前に自車が通過できるため加速に転じてもよいことを表す。

式 2.1.3-1、式 2.1.3-2 の導出については、本項の後半で述べる。

図 2.1.3-2 より、歩行者の急な飛び出しに対して車両が安全に停止するためには、60m 手前より歩行者の存在を認知して減速する必要がある。以降のパートでは、ひたち BRT で自動運転車両を走行させる場合に 60m の認知性能を担保できない可能性がある場合に 関する考察を行う。

環境条件の変化

自動運転車両の歩行者認知可能距離に関して、ヘッドライト不点灯の場合、照度が 532 lx以上ならば 60m 先まで認知可能だが、310 lx以下だと 50m までしか認知できないことが分かっている。また、ハイビームありの場合、照度が 310 lxで 60m 先の物体が見えるが、それ以下だと見えなくなる。よって、照度条件は、ハイビームありならば 310 lx以上、ヘッドライト不点灯ならば 532 lx以上の ODD を設定すべきとなる。

● 急勾配・急カーブによる視界不良

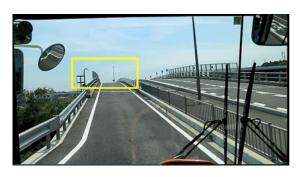




図 2.1.3-3 急勾配・急カーブの例 (左:「12泉が森」-「13大甕駅」間)

● 緑の横断帯からの横断歩行者の飛び出し

2.1.1(1)2) 項で述べたとおり、ひたち BRT 専用道区間には、歩行者が車道を横切るための緑の横断帯が設置されており、横断帯付近に歩行者がいる場合、歩行者の横断に備えて減速する必要がある。しかし、横断帯付近にある障害物の影響により見通しが悪く、横断帯付近に存在する歩行者を適切に認知できない可能性がある横断帯(図 2.1.3-4)が複数存在する。このような横断帯では、認知していなかった歩行者が急に飛び出した場合でも事故を防げるよう、徐行運転を行うなどの対策が必要となる。

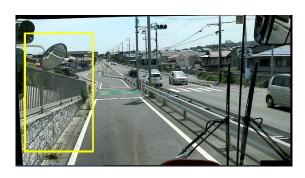


図 2.1.3-4 飛び出す歩行者の認知が難しい例(10 寺方停留所手前)

※数式の導出

歩行者の手前で停止できる車速(式 2.1.3-1)の導出

図 2.1.3-5 において、「歩行者がx方向に進む距離」と「車両が停止するまでの間にx方向に進む距離」の和が D_x 以下であれば衝突しないので、以下の条件を満たせば良い。

$$D_x > \frac{(V/3.6)^2}{2.98G} + \frac{v_x}{3.6}t_x$$

式 2.1.3-3

ここで、右式第一項と第二項は、それぞれ、車両がx方向に進む距離、歩行者がx方向に進む距離を表す。

 t_x は、歩行者がx方向に進行する時間を表し、以下の式で表される。

$$t_x = \frac{V/3.6}{9.8G} - \frac{D_y}{v_c/3.6}$$
 \Rightarrow 2.1.3-4

ここで、右式第一項と第二項は、それぞれ、車両が停止するまでにかかる総時間、歩 行者が**y**方向に進行する時間を表す。

式 2.1.3-4 を式 2.1.3-3 に代入すると以下の式を得られる。

$$D_x > \frac{(V/3.6)^2}{2 \cdot 9.8G} + \frac{v_x}{3.6} \left(\frac{V/3.6}{9.8G} - \frac{D_y}{v_c/3.6} \right)$$
 $\implies 2.1.3-5$

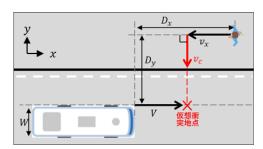
式 2.1.3-5 をVについて解くと、衝突前に停止できる車速(式 2.1.3-1)を導出できる。

※歩行者が車道に達する前に自車が通過できる条件(式 2.1.3-2)の導出

歩行者が最短距離で車道に到達する時間よりも、自車が仮想衝突地点を通過する時間 が短ければよい。

$$\frac{D_x}{V/3.6} < \frac{D_y}{v_c/3.6}$$
 $\stackrel{?}{\approx} 2.1.3-6$

ここで、式 2.1.3-7 の左式、右式は、それぞれ、車両が現在の車速で仮想衝突地点の通過に要する時間、歩行者が車道に到達するのに要する時間を表す。式 2.1.3-6 を解くことで、自車が先に通過できる条件(式 2.1.3-2)を導出できる。



| V | 現在の車速[km/h] |
|---------------|-------------------------|
| D_x , D_y | バス前方端点から歩行者までの距離[m] |
| G | バスの最大減速度[G] |
| v_c | 想定横断速度 [km/h] (例:5km/h) |
| v_{x} | 想定歩行速度[km/h](例:4km/h) |

図 2.1.3-5 歩行者わき通過の概略図と文字の定義

2) 信号なし交差点の走行方法の検討

信号なし交差点における自動運転車両の走行方法について検討した結果について述べる。一般的な乗務員を例とすると、信号なし交差点の走行方法は、以下の通りとなる。

- ① 停止線、および交差道路と交差する線で停止
- ② 交差道路に交通参加者がいない場合、もしくは、以下のどちらかの条件を満たす場合、加速して横断する。
 - i. 交差道路の交通参加者に横断の意思がない場合。
 - ii. 交差道路の交通参加者が遠方にいるため、自車が先に通過できる場合。

交差点における安全を確保するには、②における横断可否を自動運転車両が適切に判断する必要がある。以下、条件 i と ii の判断を自動運転車両で行う場合について述べる。

- i. 一般的な乗務員では、交差道路上の交通参加者の横断意思の判断要素として、「交通参加者が減速・停車しているか否か」や「交通参加者が自車両を認知しているか否か」などがある。前者については、車両に搭載されたセンサにより速度を推定することで実現可能であるが、後者に関しては、現状のシステムで判断することは困難である。よって、交差道路上の車両が停車しているか否かによって交通参加者の横断意思を判断し、交通参加者が一定時間以上停車している場合、交差道路を横断する走行方法が考えられる。
- 遠方にいる交通参加者が交差点に到達する前に自動運転車両が先に交差点を完全 ii. に横断できるならば、自動運転車両が先に横断を開始してもよいと考えられる。 また、仮に自動運転車両が交差点を完全に横断しきる前に交通参加者が交差点に 到達してしまう場合においても、交通参加者と交差点の間に十分な距離があれば、 交通参加者が交差点手前で安全に減速・停止することで事故を回避することがで きる。よって、ここでは、交差道路上の交通参加者が交差点手前で安全に減速・停 止するために必要な距離をもとに、自動運転車両が先に横断を開始してもよい距 離条件を検討する。例として、信号なしで交差道路が優先となる交差点において、 交差道路の制限速度が 40km/h の場合の自動車の事例を考える。 警察庁交通局の調 査3によると、交差点における優先道を走行する車両の速度分布は制限速度+20% 程度との結果があるため、本検討でも、40km/h の+20%となる 48km/h の車速まで を検討する。また、減速度について、2019年度経済産業省委託事業「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4によると、通常時の最 大減速度は 0.30G(2.9m/s²)であるとされている。48km/h で走行している車両が

https://www.npa.go.jp/koutsuu/kikaku/regulation_wg/1/siryou4.pdf

^{3 「}速度規制の目的と現状」資料(警察庁交通局資料)

⁴ 経済産業省委託事業「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(平成 31 年度) https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2019FY/000329.pdf

0.30G の減速度で減速した場合、停止までに約 30m が必要となる。つまり、交差 道路を走行する自動車が、30m より遠方におり、自動運転車両を認知できる場合、 交差道路の車両は交差点手前までに安全に停車することができるため、自動運転 車両が先に横断しても問題ないと考えられる。

先進モビリティ株式会社によると、ほとんどの交差点では、交差道路とすれすれの線まで自動運転車両が頭出しすれば、交差道路の見通しを 30m ほど確保できるが、一部、交差道路を見渡すことが難しい交差点があるとのことでだった。例として、図 2.1.3-6 に、「8 大沼 (BRT)」 - 「9 大沼小学校東」間の交差点の写真を示す。図 2.1.3-6 の交差点では、交差道路の黄色枠の先が樹木で覆われており、自動運転車両や交差道路上の車両から十分な見通し距離を確保できないとのことであった。見通しが難しい場所からの飛び出しに自動運転車両のみで対処することは難しいため、地域住民への注意喚起やインフラセンサによる死角情報の補完、遠隔監視者による操縦などが必要となる。



図 2.1.3-6 交差道路の見通しが悪い交差点 (「8 大沼 (BRT)」 - 「9 大沼小学校東」間)

(2) 危険箇所の抽出

ひたち BRT の走行環境において、自動運転車両の走行に悪影響を及ぼす可能性がある 危険箇所とそこにおける運用方法について述べる。

路面の経年変化(凹凸)

ひたち BRT 専用道区間で地面にひび割れが生じている区間の写真を図 2.1.3-7 に示す。図 2.1.3-7 の左側の写真は、「9 大沼小学校東」 - 「10 寺方」間、右側の写真は、「10 寺方」 - 「11 水木 (BRT)」間の一部の路面の様子である。ひび割れや轍などの凹凸の上をベテラン乗務員の操縦する車両が走行する場合、振動によって乗客が転倒してけがをしてしまうのを防ぐために、手前で減速してから走行しており、自動運転車両においても同様の走行方法が求められる。また、路面の凹凸は経年劣化によって新たに生じる可能性があるため、定期的に路面状態を確認し整備することが必要である。



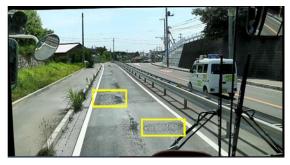


図 2.1.3-7 路面のひび割れの例

(左:「9大沼小学校東」一「10寺方」間、右:「10寺方」一「11水木(BRT)」間)

● 草木の成長、色変化

草木が成長し路上に侵入することで、車両の走行に悪影響を与える可能性がある 走路の写真を図 2.1.3-8 に示す。図 2.1.3-8 は、「6 河原子 (BRT)」 - 「7 磯坪」 間の様子であり、黄色枠内の草木が成長することで走路上に侵入し、自動運転車 両の走行を妨害する可能性がある。また、草木の色が季節によって変化するため、 色の違いが物体認知の誤認知(実際にはそこに物体が存在していないにもかかわ らず、物体が存在するという誤った情報を制御に送ってしまうこと)の原因とな りうる。そのため、定期的に走行コースの草木の成長を確認し、整備することが必 要である。

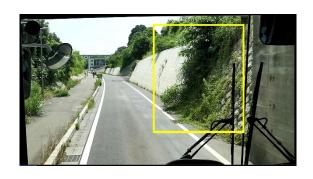


図 2.1.3-8 草木が走路上に侵入する可能性がある例 (「6河原子(BRT)」ー「7磯坪」間)

2.1.4. 本節のまとめと ODD 作成

本節では、レベル 3 以上の無人自動運転移動サービスを導入する際に設定が必要な ODD に関して、ひたち BRT を例に設定方法の検討を行なった手順・結果について述べた。

走行環境の概要とユースケースの整理例について述べた 2.1.1 項では、内閣官房日本経済再生総合事務局より発行された「地域移動サービスにおける自動運転導入に向けた走行環境条件の設定のパターン化参照モデル(2020 年モデル)」に従って、走行環境に関する環境条件や道路・地理条件を整理したのちに、走行環境における車両運送で想定される使用例(ユースケース)を整理した。特に、歩車分離構造物に関して、ひたち BRT には隙間あり・なしのガードレールや縁石など様々な形態があるため、構造物に応じた走行方法の検討が必要であることを述べた。

自動運転車両の概要と車両性能の評価結果について述べた 2.1.2 項では、先と同様にパターン化参照モデルに従って車両の基本性能や乗務員の有無などを整理したのちに、ODD 設定で必要な車両性能の評価結果について述べた。2020 年度現地実証実験の車両モデルにおける、照度変化に対する歩行者認知可能距離の評価試験では、60m 以上の認知可能距離を担保するためには、ヘッドライト不点灯の場合は照度 532 lx、ハイビーム点灯の場合は照度 310 lx以上が望ましいことが明らかになった。

2.1.3 項では、危険が想定されるユースケースに対する自動運転車両の走行方法の検討結果について述べたのち、走行コース上で自動運転車両の走行に悪影響を及ぼす危険性がある箇所と対処方法について述べた。歩行者わきの通過のパートでは、歩車分離構造物の形態に応じた車両制御方法の考え方の一例を述べ、また、信号なし交差点の通過のパートでは、交差道路における制限速度の+20%程度で走行してくる車両も考慮に入れた自車両の横断タイミングの検討例を述べた。

無人自動運転移動サービスを運用する地域における ODD を作成するためには、上記のような走行車両の性能に着目した運用方法や走行可能領域の検討に加え、サービスの利便性も考慮する必要がある。また、国交省自動車局による「ラストマイル自動運転車両システム 基本設計書」なども参考にしながら、最終的な ODD を作成する。

2.2. 安全設計ガイドの高度化

令和2年度自動走行ビジネス検討会傘下のサービスカー協調WGにおけるとりまとめ結果である、「走行環境・運行条件で想定されるリスクを網羅的に評価し、それに対応した車両の選定、自動運転システムの開発、ODDの設定、遠隔監視・操作など運行形態の設定、運行管理・保守点検体制の整備も含め、その安全対策をあらかじめ十分行う、セーフティアセスメントがきわめて重要。」5を受けて、安全確保に必要な知見を補うための安全設計ガイド・運用ガイド、安全が確保されていることを確認するためのセーフティアセスメント手法などを含めたセーフティアセスメントのガイドラインについて検討した。また、関連する取組として、設計データ共有の仕組みや仮想環境活用方法の検討、安全に関する取組情報を広く発信するための日本版セーフティレポートについて検討を行った。

 $^{^5}$ 2021 年 4 月 30 日 自動走行ビジネス検討会「自動走行の実現及び普及に向けた取組報告と方針」 Version $5.0 \sim \nu < \nu < \mu < 1$ 自動運転サービスの社会実装を目指して $\sim P41$ ②実証実験の安全対策の取組に係る評価<基本的な考え方>より

https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/jido_soko/pdf/20210430_03.pdf

2.2.1. 安全設計ガイド (ドラフト版) 検討

(1) 背景

自動運転車両の安全性を確保するためには、障害物認識性能、自己位置認識性能、危険回避のための運動性能、衝突安全性能など様々な観点から使用環境に応じて必要な機能や性能が定義され車両に実装される必要がある。限定空間での無人自動運転移動サービスにおいては、使用目的や走行ルートなどが限定されることによって、ユースケースやシナリオを大幅に削減することが可能となる。また、信号やガードレールなど安全確保に大きく寄与するインフラ整備、通信を介して交差点の死角情報を得るインフラ協調システム、遠隔監視・操作の活用などが期待できる。従って、自動運転車両に必要な機能・性能を軽減できるため早期の実用化が期待されている。

車両の電子化(特にセンサの高度化やアクチュエータの電動化など)と相まって電子制御・通信・IT技術等の飛躍的な進化によって、パソコンベースの制御システムを構築し自動運転車両を走行させることが容易となり、自動車メーカに限らず大学やIT系ベンチャー企業などでも自動運転車両を開発し走行させることが可能となった。高い事業意欲や優れた技術・アイデアを持つ人材や企業が無人自動運転移動サービス開発に参入してくれることは願わしいことであるが、自動運転車両を開発することに比べて、無人自動運転移動サービスとしての使用に耐える安全性を確保することは比較にならないほど難しく、安全設計の知見や経験に長けた自動車メーカであっても高度な自動運転システムの商品化には慎重である。

また、安全性を評価する観点からすると、基本的に、開発当事者以外の第三者によって実用上想定される条件の全てをシミュレーションや実車走行などで評価し安全であることを保証することは難しく、開発(設計&評価)段階で、想定ハザードの洗い出しとリスク分析が行われ、必要な安全方策が全て織り込まれていることが絶対条件となる。ただし、無人自動運転移動サービスでは限定空間かつ低速走行で安全を確保し易いものの、無人自動運転の社会実装は前例の無い挑戦であり、ハザードの洗い出しやリスク分析を定量的・論理的に行うことは容易ではない。

以上のことから、限定空間における高度な無人自動運転移動サービスの早期実用化の取組の中で、安全設計の知識や経験の濃淡によらず必要な安全性を確実かつ効率よく確保するために、車両・走行環境・運行方法などを類型化し、先行開発を通じて安全設計・評価の知見を蓄積(SA ガイドラインとして共有)し、高い事業意欲や優れたアイデア・技術を有する後続の開発を支援する必要がある。

(2) 目的

レベル 3 以上の高度な自動運転車両開発あるいは無人自動運転移動サービス実施者等が参照することを想定し、安全設計に必要な知識や参考となる手順、設計事例等を示した安全設計ガイド(ドラフト版)の策定を検討した。安全設計ガイドは、類型化する各事業モデルの社会実装を最初に手掛けるトップランナーの協力によって策定するもので、トップランナーにとっては事業関係者や社会に安全確保の取組を理解してもらう材料となることを想定している。主な狙いは、社会実装に成功した事業モデルを他に展開する2 番手以降(優れたアイデアや技術、高い事業意欲を持つ)のプレイヤーが安全な車両やサービスを効率良く確実に開発することを支援することを目的とする(必要な知見の不足から不安全なシステムが開発され事故が起こること等を防ぐ)。

(3) 安全設計ガイド策定の対象と日程(ロードマップ)

安全設計ガイドを含む、無人自動運転移動サービスの安全を確実かつ効率よく確保するためのセーフティアセスメントに係るガイドラインの整備日程の概略イメージ(図 2.2.1-1)を検討した。設計において安全をまずはひたち BRT バスの高度化(レベル 2→4)を対象にスタートし、本プロジェクト(RoAD to the L4)において 2025 年度までに 40箇所以上で実用化を目指すレベル 3 以上の無人自動運転移動サービス(BRT バスに限らずカートや乗用車等も視野に)を幅広く対象とすることとした。

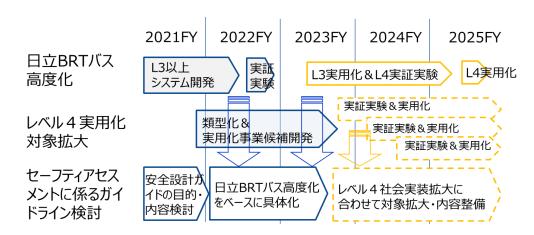


図 2.2.1-1 セーフティアセスメントに係るガイドライン整備日程イメージ

(4) 基本的な考え方

既に発行されている、国土交通省自動車局「自動運転車の安全技術ガイドライン6」や国土交通省自動車局先進安全自動車推進検討会「ラストマイル自動運転車両システム基本設計書7」、国土交通省自動車局「限定地域での無人無人自動運転移動サービスにおいて旅客自動車運送事業者が安全性・利便性を確保するためのガイドライン8」、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 Ver1.09、Ver2.010」等との記載項目や内容との整合を図りつつ、国際基準・標準の審議動向にも配慮した上で、無人自動運転移動サービスの安全設計・評価に必要な情報を補う「参考書」の位置づけに相応しい内容とすることに留意し、安全設計・評価の基本プロセスや各工程での実施要件、評価項目や評価方法、各種の外乱要因に対する安全マージン確保の考え方や具体事例、参考文献などを記載することとした。ただし具体化が過ぎると、競争領域に抵触することや将来の技術進化を妨げることなどが懸念されるため、記述の具体性(抽象度)については、関係の会議体や関係者に幅広く意見や要望を伺う機会を設けるなど、合意形成に努めることが重要との認識についてタスクフォース会議の場でも共通認識として確認した。

今年度は、ひたち BRT バスの走行コースにおいて、歩行帯を通行する歩行者の横を通過するケースと交差点を通過するケースを題材に、安全設計ガイドに記載する内容を検討した。

 $^{^6}$ 平成 30 年 9 月 国土交通省自動車局「自動運転車の安全技術ガイドライン」 https://www.mlit.go.jp/common/001253665.pdf

⁷ 令和 2 年 7 月国土交通省自動車局先進安全自動車推進検討会「ラストマイル自動運転車両システム 基本設計書」

https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001354517.pdf

⁸ 令和元年 6 月 国土交通省自動車局「限定地域での無人自動運転移動サービスにおいて旅客自動車運送事業者が安全性・利便性を確保するためのガイドライン」

https://www.mlit.go.jp/common/001295527.pdf

 $^{^9}$ 2020 年 10 月 一般社団法人日本自動車工業会 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 Ver1.0」

https://www.jama.or.jp/safe/automated_driving/pdf/framework.pdf

 $^{^{10}}$ 2021 年 12 月 一般社団法人日本自動車工業会 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 $\mathrm{Ver}2.0$ 」

https://www.jama.or.jp/safe/automated_driving/pdf/framework_ver_2_0.pdf

2.2.2. 具体事例

今年度は、ひたち BRT バスの走行コースにおいて、歩行帯を通行する歩行者の横を通過するケースと交差点を通過するケースを題材に、安全設計ガイドに記載する内容を検討した。なお、以下の事例はあくまでもバスの自動運転レベル高度化を対象とした検討であり、走行環境・運行車両・運行速度などが異なる場合にそのまま適用できるとは想定していないが、基本的な考え方として参考になることを期待して継続的に詳細検討や関係者との議論を進めてゆく。

(1) 事例 1: ひたち BRT バスの左前方を歩く歩行者の横を通過する場合の安全走行 方法の検討

自動運転走行するルートは、鉄道廃線跡地を活用してひたち BRT バス以外の車両が進入することのない専用道路環境を確保しているが、走行路の傍らに歩行帯の設置や歩行可能なスペースが存在し、ガードレールや縁石の有無など歩車分離構造も様々である。交通ルールでは歩行者は車道への侵入が禁止されているが、ひたち BRT バスの速度と歩行者の距離、歩車分離の状況、歩行者の動きなど様々な情報から、歩行者が突然ふらついたり車道方向に飛び出したりする危険があることを想定した予防運転に努める必要がある。(図 2.2.2-1 参照)

ベテランドライバの豊富な経験に裏打ちされた高度な危険予知能力を自動運転システムに求めることは難しく、自動運転システムが得ることのできる限られた情報から適切な安全走行ロジックを設計段階で定義する必要がある。また、歩行者や自転車など人間の行動を一義的に定義することも難しく、関連の文献や研究情報などを活用して対処すべき行動の定義(例:歩行者が飛び出す速度など)やその根拠などを具体化し、開発関係者に留まらず社会に広く受け入れてもらうことも考慮して安全設計ガイドに記載する内容を検討した。実際の計算方法については、2.1.3 項を参照のこと。



図 2.2.2-1 歩行者横を通過する風景

(2) 事例 2: 一般道路との信号なし交差点を通過する場合の安全走行方法の検討 図 2-2 に示すように、ひたち BRT 専用道区間が一般道路と交差する、信号のない交差 点において、「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」ように交差点を通過する方法について検討した。

我々が日常の運転において交差点を安全に通過するための基本的な運転行動としては、 交差点進入前に一時停止し(一時停止の義務がなくとも一時停止することで事故リスク が大きく低下する)、交差点内および交差道路などの交通状況を確認し、安全を確認し ながら交差点に進入し速やかに通過する、といったことが知られている。

ここに示すケース(図 2.2.2-2)では、一般道路側が優先で、バス走路に誤って一般車両が進入することを防止するために、バス走路側にゲートが設けられており、バスの接近を感知して自動で進入防止バーが上がる構造となっている。従って、ゲートの前で一旦停止し、バーが上がるのを待って安全を確認するため徐行して交差点に向けて進むことになるが、交差点に向かって一般道路を走行してくる周辺車両(二輪車や自転車など含む)の存在を確認するとともに、バスの存在を周辺車両に認知してもらうことも期待して、交差点進入直前で一時停止することになる。この場合に、道路環境(見通しの良さ)や、合理的に予見する必要がある周辺車両の動き(制限速度超過や前方不注意など)によって、交差点手前で一時停止するバスの位置や交差点に進入・通過できる安全が確保できているか否かの判断基準が異なる点が重要なポイントとなる。関係者で具体的なイメージを共有するために、図 2.2.2-3 に示す交差点通過のケースにおいて以下の通り仮の数字を挙げて設計事例を検討した。



図 2.2.2-2 一般道路との交差点風景

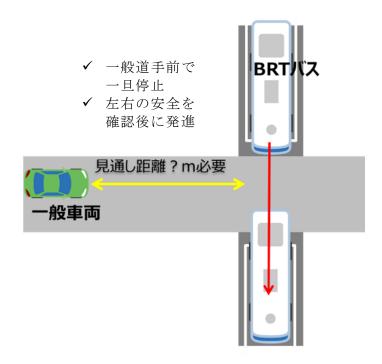


図 2.2.2-3 交差点通過イメージ

- 1) バス走行路と交差する一般道路を走行して交差点に進入してくる車両の速度に ついては、制限速度をある程度超過して走行する車が存在することは常識的に 予見されることであり、関連するいくつかの情報からここでは 20%の速度超過 を想定することとした。(仮に制限速度を 40km/h とすれば想定する最高速度は 48km/h=13.3m/s)
- 2) 一般道路を走行してくる車両からは進行方向正面にバスの存在を確認できるため、交差点に進入してくるバスを見落としてノーブレーキで交差点に進入してくる確率は低いと思われるが、ここでは最悪の場合として、一般道路を走行してくる車両は減速しないことを想定した。
- 3) バスが交差点の安全を確認して発進してから交差点を通過し終わるまでに必要な時間を、通常の運転手操作による走行観測情報から6秒と仮定した。

以上のことから、このケースにおいてバスが交差点に進入してくる一般道路の車両と衝突することなく交差点を通過できると判断するためには、約80m(13.3m/s×6s)先に車両が存在しないことを確認できるだけの見通しが必要なことがわかる。なお、道路が曲がっている場合は見通しできる距離が短くなるため、カーブミラー等を設置して必要な見通し距離を確保する必要がある。言い換えれば、この場所を安全に通過するために「80m以上の見通しが確保されていること」がODDの条件となる。

因みに、ひたち BRT バス専用道区間では、80m の見通しは確保されていないが、交差点での大きな事故は発生しておらず、机上で検討する様々な悪条件が重なるようなワーストケースが実際に発生する頻度は極めて低く、このことをどう考えるかについては今後の重要な課題と思われる。

また、以上のように自動運転バスは交差車両を確認したらその車両が交差点を通過し終わるのを待って発進することになるが、これまでドライバが運転するバスの走行実績においては、ここを通過する車両のほとんどが地元のドライバであり、交差点で一時停止しているバスが交差道路側の車両から認識された場合には、ほぼ 100%の確率でバスを優先的に通過させてくれるとのことである。従って、自動運転バスの導入初期には、安全性には問題ないが、交差車両から道を譲られても発進できないジレンマ状態が発生するので、その対策も必要と考えられる。

2.3. セーフティアセスメントの高度化

2021年度は、ひたち BRT の高度化 (レベル 3 以上に対応) に向けて、設計段階で想定した危険事象に対してリスクを許容レベルに下げるための方策検討と、安全方策実装後のテストを行ったエビデンス等を確認した。また、安全性に影響の大きい項目については、必要に応じて実環境を模擬したテストコースで実車を走行させて確認した。評価項目に応じて、評価する側として必要な情報と車両開発側として提供可能な情報のすり合わせを実施し、実車を使った安全性実験評価の必要性などを整理し、効率的で有効なセーフティアセスメント手法を検討した。

評価の結果、自動車機能安全(ISO 26262)の考え方に基づいて行った安全設計(故障が生じても MRM(Minimal Risk Maneuver、以下、「MRM」という)により安全な停車を可能とするための自動走行機能の冗長化など)が適切に実施されていることを確認した。課題としては、安全設計の目標をレベル 4 に向けて「故障発生時 MRM を実施後、避難場所またはバス停まで車両を移動させてから停止」と定義したが、2021 年度は既存のひたち BRT(レベル 2)を元に機能追加を実施したため、機能継続時間が限定的となる。そのため 2021 年度は目標を「故障発生時 MRM を実施後、同一車線上で停止」とした。従って、機能継続時間がより長くなるレベル 4 に向けては実装上の改善検討が必要である。本課題について 2022 年度の安全設計で検討する。

以下に検討結果の詳細を示す。

2.3.1. システムの故障に伴うハザードの特定

(1) アイテム定義

ひたち BRT システムの故障に伴うハザードを特定するため、アイテム定義を行った。 図 2.3.1-1 に対象となるアイテムを示す。アイテムは IF1-1~IF5-1 により構成される。 図の赤破線にアイテム境界を設定した。

なお、IF は Intended Functionality (意図した機能)の略である。

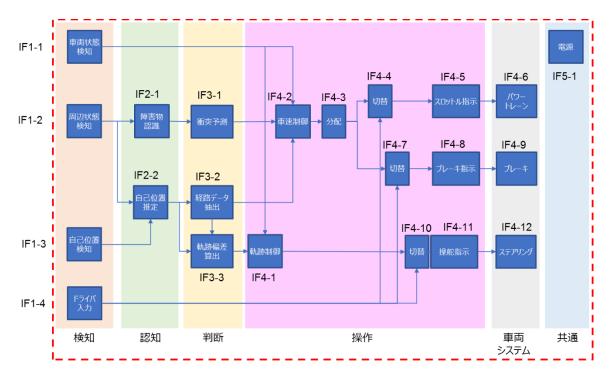


図 2.3.1-1 アイテム範囲

表 2.3.1-1 アイテムの機能

| 機能分類 | 機能No. | 機能名 | 機能説明 |
|------|--------|-------------------------------|--|
| 検知 | IF1-1 | 車両状態検知 | 車両状態(ヨーレート、車速、加速度など)を検知し、物理量(大きさ、時間など)に変換する機能 |
| | IF1-2 | 周辺状態検知 | 走行周辺環境を対象物(例:静止物、周辺車両、歩行者、車線など)を検知し、物理量(大きさ、距離など)に 変換する機能 |
| | IF1-3 | 自己位置検知 | GNSSまたは磁気マーカ(RD-ID付)による、自車座標(緯度/経度)を検知する機能 |
| | IF1-4 | ドライバ入力検知 | ドライバのアクセルペダル入力、ブレーキペダル入力、操舵トルク入力を検知し、操作量(電圧値、電圧パルス幅など)に変換する 機能 |
| 認知 | IF2-1 | 障害物認識 | 走行周辺環境の検知結果に基づき、周辺の静止物、移動物の位置や速度を認知する機能 |
| | IF2-2 | 自己位置推定 | スタティックMAPとランドマーク情報、走行周辺環境、自車座標、及び車両状態の検知結果に基づき、自車位置 (位置、速度、姿勢など)を推定する機能 |
| 判断 | IF3-1 | 衝突予測 | ダイナミックMAPに基づき、潜在リスクの予測や危険回避を判断し、目標軌跡や目標車速を計画する機能 |
| | IF3-2 | 経路データ抽出 | ダイナミックMAPに基づき、将来走行する経路データを読み出す機能 |
| | IF3-3 | 軌跡偏差算出 | ダイナミックMAPに基づき設定した走行ルートと実際に車両が走行した経路との横偏差を検出する機能 |
| 操作 | IF4-1 | 軌跡制御 | 計画された目標軌跡及び目標車速に基づき、軌跡追従するためのステアリング操舵角を演算する機能 |
| | IF4-2 | 車速制御 | 計画された目標軌跡及び目標車速に基づき、目標車速を実現する制御駆動力を演算する機能 |
| | IF4-3 | 分配(車速制御) | 指示された制御駆動力に基づき、エンジンとブレーキに対する制御量の分配を演算する機能 |
| | IF4-4 | 切替(自動orドライ バ、パワトレ系) | 自動運転制御中にドライバのアクセルペダル操作を検出し、切り替える機能 |
| | IF4-5 | スロットル指示 | エンジンスロットルを開閉する機能 |
| | IF4-6 | (車両システム) パワートレーン | 駆動力を生み出す機構 |
| | IF4-7 | 切替(自動or ドライ バ、ブレーキ系) | 自動運転制御中にドライバのブレーキペダル操作を検出し、切り替える機能 |
| | IF4-8 | ブレーキ指示 | 車速指令値、もしくは減速度指令値に従い、ブレーキ力を制御する機能 |
| | IF4-9 | (車両システム) ブレーキ | ブレーキ圧を調整する機能 |
| | IF4-10 | 切替(自動or ドライ バ、ステアリング 系) | 自動運転制御中にドライバのハンドル操作を検出し、切り替える機能 |
| | IF4-11 | 操舵指示 | 操舵角指令値に従い、操舵角を制御する機能 |
| | IF4-12 | (車両システム) ステアリング | ステアリングを操舵する機能 |
| 共通 | IF5-1 | 電源 | アイテムに電源を供給する機能 |
| その他 | | 記録装置 | 運行中の制御情報等を記録する機能 |
| | | ドアイバモニタ | ドライバの状態を監視する機能 |

(2) ハザード分析

本項ではアイテム定義のアーキテクチャをもとに、ハザード(危害の潜在的な源)を特定した。具体的にはアイテムの各機能が故障したときの車両のハザードを特定した。シチュエーションはひたち BRT バスの走行路線をもとに検討したユースケース、例えば、直線走行、カーブ走行、交差点通過、バス停などを想定した。表 2.3.1-2 に $HAZOP^{11}$ よる分析結果例(IF1-1 車両状態検知機能)、

-

 $^{^{11}}$ HAZOP (Hazard and operability study) : ISO 26262 でアイテムのハザードを特定するための手法の 1 つ

表 2.3.1-3 にハザード特定結果例を示す。アイテムの各機能が故障した場合、主なハザードとして操作系(ステアリング、パワートレイン、ブレーキ)に着目すると「6 つのハザード(HZ1~HZ6)が特定(×で表示)」され、上位機能(検知、認知、判断)の故障により、「全てのハザードが生じる可能性」があることがわかった。

なお、ハザードの特定にあたり、現行の ISO 26262 に従い E/E (Electrical and/or Electronic;電気/電子、以下「E/E」という)システムの機能故障を対象とし、例えばセンサの性能限界等については考慮しない。

表 2.3.1-2 HAZOP 分析結果例

| | | | ハザードの種類 | | | | | |
|----------------------|------------------------|---|---------------------|---------------------------|------|-----|-----|------|
| | | | HZ1 | HZ2 | HZ3 | HZ4 | HZ5 | HZ6 |
| 着目点 | ガイドワード | 影響 | 操舵失陥 (操舵しな い) | セルフステ ア (勝手に操 舵) | 加速不良 | 急加速 | 急減速 | 制動失陥 |
| ** #* O ** ## | 車両状態データ有り | 意図機能 | | | | | | |
| 動作の有無 (No) | 車両状態データ無し | 車両状態(車速、ヨーレート等)が認識できず、 適切な制御量を算出できない。適切な操舵、加 滅速制御が行えない | × | × | × | | × | × |
| 動作の程度 | 車両状態のデータが実より大きい | 車両状態(車速、ヨーレート等)が誤った値の データとなり、適切な制御量を算出できない。 適切な操舵、加減速制御が行えない | × | × | × | × | × | × |
| (Less/More) | 車両状態のデータが実より小さい | 車両状態(車速、ヨーレート等)が誤った値の データとなり、適切な制御量を算出できない。 適切な操舵、加減速制御が行えない | × | × | × | × | × | × |
| 誤った値 (Other than) | 誤った車両状態の入力 | 車両状態(車速、ヨーレート等)が誤った値の データとなり、適切な制御量を算出できない。 適切な操舵、加減速制御が行えない | × | × | × | × | × | × |
| 動作の向き (Reverse) | 車両状態のデータの向きが逆 | 車両状態(車速、ヨーレート等)が誤った値の データとなり、適切な制御量を算出できない。 適切な操舵、加減速制御が行えない | × | × | × | × | × | × |
| 動作のタイミン | 位置情報の更新が早い | _ | | | | | | |
| グ (Early/Late) | 位置情報の更新が遅い | 車両状態(車速、ヨーレート等)が遅延し誤った 値のデータとなり、適切な制御量を算出できな い。適切な操舵、加減速制御が行えない | × | × | × | × | × | × |
| 動作の順序 | 位置情報送信順序が乱れる | 車両状態(車速、ヨーレート等)が誤った値の データとなり、適切な制御量を算出できない。 適切な操舵、加減速制御が行えない | × | × | × | × | × | × |
| (Before/Aftere | _ | - | | | | | | |
| 動作の質(As | 量を多くを位置情報を演算す る(回数) | - | × | × | × | × | × | × |
| well as/Part of) | 量を少なく位置情報を演算す る(回数) | 車両状態(車速、ヨーレート等)が遅延し誤った 値のデータとなり、適切な制御量を算出できな い。適切な操舵、加減速制御が行えない | | | | | | |

表 2.3.1-3 ハザード特定結果例

| | | | ハザードの種類 | | | | | |
|------|------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------------|------|-----|-----|------|
| | | | HZ1 | HZ2 | HZ3 | HZ4 | HZ5 | HZ6 |
| 機能分類 | 機能No. | 機能名 | 操舵失陥 (操舵しな い) | セルフステ ア (勝手に操 舵) | 加速不良 | 急加速 | 急減速 | 制動失陥 |
| 検知 | IF1-1 | 車両状態検知 | × | × | × | × | × | × |
| | IF1-2 | 周辺状態検知 | | | × | | × | × |
| | IF1-3 | 自己位置検知 | × | × | × | | × | × |
| | IF1-4 | ドライバ入力検知 | | 安全機構の | 為対象外 | | | |
| 認知 | IF2-1 | 障害物認識 | × | × | × | | × | × |
| | IF2-2 | 自己位置推定 | × | × | × | | × | × |
| 判断 | IF3-1 | 衝突予測 | × | × | × | | × | × |
| | IF3-2 | 経路データ抽出 | × | × | × | | × | × |
| | IF3-3 | 軌跡偏差算出 | × | × | | | | |
| 操作 | IF4-1 | 軌跡制御 | × | × | | | | |
| | IF4-2 | 車速制御 | | | × | × | × | × |
| | IF4-3 | 分配(車速制御) | | | × | × | × | × |
| | IF4-4 | 切替(自動orドライ バ、パワトレ系) | | | × | × | × | × |
| | IF4-5 | スロットル指示 | | | × | × | | |
| | IF4-6 | (車両システム) パワートレーン | | | × | × | | |
| | IF4-7 | 切替(自動orドライ バ、ブレーキ系) | | | | | × | × |
| | IF4-8 | ブレーキ指示 | | | | | × | × |
| | IF4-9 | (車両システム) ブレーキ | | | | | × | × |
| | IF4-10 | 切替(自動or ドライ バ、ステアリング 系) | × | × | | | | |
| | IF4-11 | 操舵指示 | × | × | | | | |
| | IF4-12 | (車両システム) ステアリング | × | × | | | | |
| 共通 | IF5-1 | 電源 | × | × | × | × | × | × |
| その他 | | 記録装置 | | 制御に関わら | | | | |
| | ドアイバモニタ 車両制御に関わらない為対象外 | | | | | | | |

2.3.2. 特定されたハザードのリスク見積

本項では上記の各ハザードにシチュエーションを加えたハザーダスイベントついてリスクアセスメント (E:Exposure; 曝露、C:Controllability; コントローラビリティ、S:Severity; シビアリティの評価) および ASIL (Automotive Safety Integrity level; 自動車安全度水準、以下、「ASIL」という)を検討した。表 2.3.2-1 にリスクアセスメントの結果例を示す。エクスポージャ評価についてはひたち BRT バス路線を走行する一般的な条件 (例、車速40km/h など) におけるシチュエーションを選定し、高とした。走行中の故障によりハザードが発生し、バスが衝突した場合などのシビアリティ評価の根拠は明確ではないため、衝突時の乗客のシビアリティは高とし、車内事故のような乗客が転倒時のシビアリティは低とした。次に、コントローラビリティ評価について自動運転レベル 3 以上を想定するとドライバは通常ステアリングから手を離しており、衝突をする前のドライバ回避操作の反応時間が遅れると考えられる。そこで、回避は困難としコントローラビリティを高とした。したがって、表中に ASIL のレベルは明記せず、各ハザーダスイベント (HZ1~HZ6) に関する ASIL について HZ3 加速不良は無となり、それ以外は中、高となった。また、表 2.3.2-2 に示すような歩行者や車両を含めたシナリオも検討したが、エクスポージャが低いと想定され各シナリオの ASIL は低となった。

表 2.3.2-1 リスクアセスメントの結果例

| No. | 区分 | Item | Hazard | Situation | Scena Hazardous Eve イメージ | | Harm | E 頻度 | C 回避困難 | S 傷害度 | 総合判断 |
|-----|------------|------------|----------------|---|--|---|-------------------------------|---------|-----------|----------|------|
| HZ1 | 操舵失陥 | 操舵制御 | おいて必要 | 自車は専用道路の カーブを自動走行 で曲がろうとして いる。 | 版画像・カーブ 物能及与 ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ ・ | 自車は専用道路のカーブを自動走行で曲がろうとしてしいる状況で、必要な操舵がされず、カーブを曲がれずに車線を逸脱し側壁と衝突する。 | 自車が側壁に衝突し、運転 者や乗客が傷害を負う。 | 高 | 高 | 高 | 高 |
| HZ2 | セルフ ステア | 操舵制御 | 自動運転において不必要ない。 | 自車は専用道路を 自動走行で直進し ている | 世界スステア・直接 | 自車は専用道路を自動走行 で直進している状況で、操 舵され、車線を逸脱し側方 の壁に衝突する. | 自車が側壁に衝突し、運転 者や乗客が傷害を負う。 | 高 | 高 | 高 | 高 |
| нzз | 加速不良 | エンジン 制御 | 自動運転に要なかできない | 自車は専用道路を 自動走行で直進し ている | 施統不負 加速不負 | 自車は専用道路を自動走行 で直進している状況で、定 速まで加速しようとしたが 加速できない. | 危害は発生しない | - | - | 無 | 無 |
| HZ4 | 急加速 | | | 自車は専用道路の カーブを自動走行 で曲がろうとして いる。 | Signal State | 自車は専用道路のカーブを 自動走行で曲がろうとして いる状況で急加速し、車線 を逸脱し側壁と衝突する。 | 自車が側壁に衝突し、運転 者や乗客が傷害を負う。 | 高 | 高 | 高 | 高 |
| HZ5 | 急減速 | ブレーキ 制御 | 自動運転におって急減をする | 自車は専用道路を自動走行で直進している | (市)京 | 自車は専用道路を自動走行 で直進している状況で、急 減速し車内の立席乗客が転 倒する. | 車内の立席乗客が転倒し、 傷害を負う | 高 | 高 | 侹 | ф |
| HZ6 | 制動失陥 | ブレーキ 制御 | おいて必要 | 自車は専用道路の 停留所で自動走行 で停止しようとし ている | 八八次 | 自車は専用道路の停留所で 自動走行で停止しようとし ている状況で、自車は減速 できず路屑縁石と衝突す る。 | 自車が路肩縁石に衝突し、 運転者や乗客が傷害を負う。 | 高 | 高 | 高 | 高 |

表 2.3.2-2 リスクアセスメントで検討した他のシナリオ例



2.3.3. 安全設計の目標及び故障発生時に遷移すべきシステム状態の定義

(1) 安全目標および安全状態

本項では、各危険事象についてハザード分析およびリスクアセスメントの結果から安全目標(SG; Safety Goal、以下、「SG」という)、安全状態(SS; Safe State、以下、「SS」という)を定めた。表 2.3.3-1 に結果を示す。安全目標は 2.3.1(2)ハザード分析で特定した急加速、急減速、操舵失陥などの「各ハザードを防止すること」とし、ASIL 中または高を付与した。 加速不良については ASIL 無しのため SG、SS を定めていない。

また、安全目標達成の考え方を「バス路線走行中にBRTシステムに故障が発生した場合、ドライバに引き継ぐ。」とし、「引継ぎ要求(TOR: Take Over Request)時間の間、自動運転システムの制御を継続する。」を実現するため、安全状態は、「各制御系の機能を継続する。」とした。

なお、本検討ではドライバが故障時運転交代を行う自動運転レベル3を想定しており、 レベル4以上になりドライバへの運転交代が無い場合の安全状態、例えば「故障発生後 にバスを減速、停止する等」についてはMRMも含めて機能を検討する必要がある。

表 2.3.3-1 安全目標と安全状態例

| | 安全目標(SG) | 安全状態(SS) | |
|--------|----------------|----------|-----------------|
| SG No. | 内容 | ASIL | |
| SG1 | バス路線を走行中に車線逸脱に | 高 | ステアリング制御系(上位機能を |
| | 至る操舵失陥を防止する。 | | 含む)の機能を継続する。 |
| SG2 | バス路線を走行中に車線逸脱に | 高 | ステアリング制御系(上位機能を |
| | 至るセルフステアを防止する。 | | 含む)の機能を継続する。 |
| SG3 | 加速不良の SG は無し | 無 | 加速不良の SS は無し |
| SG4 | バス路線を走行中に危害に至る | 高 | パワートレイン制御系(上位機能 |
| | 急加速を防止する。 | | を含む)の機能を継続する。 |
| SG5 | バス路線を走行中に危害に至る | 中 | ブレーキ制御系(上位機能を含 |
| | 急減速を防止する。 | | む)の機能を継続する。 |
| SG6 | バス路線を走行中に危害に至る | 高 | ブレーキ制御系(上位機能を含 |
| | 制動失陥を防止する。 | | む)の機能を継続する。 |

2.3.4. 機能レベルでの安全方策の定義

本項では、アイテム定義の機能ブロック図の中で故障するとハザードが発生し、安全目標を侵害する可能性のある IF を特定し、故障を検出して安全状態に遷移させるために「主系の故障を検出した場合、主系を停止し冗長系で継続する」ことを基本とした安全方策を適用した。また、ドライバに故障の発生と運転の引継ぎを告知するための警告機能の方策も適用した。表 2.3.4-1 に各 IF に対する安全方策を定義した機能レベルの安全要求: Functional Safety Requirement(以下、「FSR」という)を示す。なお、IF1-4(ドライバ入力)はそれ自身が安全方策なので FSR は不要とした。また IF4-6(パワートレイン)、IF4-9(ブレーキ)、IF4-12(ステアリング)は車両システムのアクチュエータなので対象から除外した。また、表中 ID のみ記載された項目は検討段階で削除された FSR であり、トレーサビリティを確保するため削除せずに残している。

表 2.3.4-1 機能安全要求の定義

| FSR-ID | 機能ブロック名 | 機能安全要求 |
|-------------|--|--|
| FSR1-1 | 車両状態検知故障診断 | 車両状態検知(車速等)の故障を検知し、機能を継続できる場合 |
| | | はドライバに警告して走行を続ける。機能を継続できない場合は |
| | | 車両状態検知機能の出力を停止し MRM を実施して減速すると共 |
| | | にドライバに警告する。 |
| FSR1-2 | 周辺状態検知故障診断 | 周辺状態検知(レーダー等)の故障を検知し、機能を継続できる |
| | | 場合はドライバに警告して走行を続ける。機能を継続できない場合はアルガスを |
| | | 合は周辺状態検知機能の出力を停止し MRM を実施して減速する |
| FSR1-3 | 自己位置検知故障診断 | と共にドライバに警告する。 自己位置検知 (レーダー等) の故障を検知し、機能を継続できる |
| F 5 K 1 - 5 | 日口位直検和故障診断 | 日 |
| | | 一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一一 |
| | | と共にドライバに警告する。 |
| FSR2-1 | 障害物認識故障診断 | 障害物認識(物体認識演算等)の故障を検知し、機能を継続でき |
| 151(2-1 | 早 古 10 10 10 10 10 10 10 10 | る場合はドライバに警告して走行を続ける。機能を継続できない |
| | | 場合は障害物認識機能の出力を停止しMRMを実施して減速する |
| | | と共にドライバに警告する。 |
| FSR2-2 | 自己位置推定故障診断 | 自己位置推定(自己位置推定演算等)の故障を検知し、機能を継 |
| | | 続できる場合はドライバに警告して走行を続ける。機能を継続で |
| | | きない場合は自己位置推定機能の出力を停止し MRM を実施して |
| | | 減速する。 |
| FSR3-1 | 衝突予想故障診断 | 衝突予想(衝突予想演算等)の故障を検知し、検知後は衝突予想 |
| | | 機能の出力を停止し MRM を実施して減速すると共にドライバに |
| | | 警告する。 |
| FSR3-2 | 経路データ抽出故障診断 | 経路データ抽出(経路データ抽出演算等)の故障を検知し、検知 |
| | | 後は経路データ抽出機能の出力を停止し MRM を実施して減速す |
| | | ると共にドライバに警告する。 |
| FSR3-3 | 軌跡偏差故障診断 | 軌跡偏差(軌跡偏差演算等)の故障を検知し、検知後は軌跡偏差 |
| | | 機能の出力を停止し MRM を実施して減速すると共にドライバに |
| | | 警告する。 |
| FSR4-1 | 軌跡制御故障診断 | 軌跡制御(軌跡制御演算等)の故障を検知し、検知後は軌跡制御 |
| | | 機能の出力を停止し MRM を実施して減速すると共にドライバに |
| FSR4-2 | ++ ++ ++ 1 //en ±1, 17 ± = \(\text{Nor} \) | 警告する。 |
| FSR4-2 | 車速制御故障診断 | 車速制御(車速制御演算等)の故障を検知し、検知後は車速制御機能の出力を停止し MRM を実施して減速すると共にドライバに |
| | | 機能の出力を停止し MRM を美地して微速すると共にトライハに 警告する。 |
| FSR4-3 | 分配故障診断 | 音音 9 る。 分配 (分配演算等) の故障を検知し、検知後は分配機能の出力を |
| F3K4-3 | 万 配 奴 陴 診 例 | 停止し MRM を実施して減速すると共にドライバに警告する。 |
| FSR4-4 | 切替故障診断 (パワートレイン) | 切替の故障を検知し、検知後は切替機能の出力を停止し MRM を |
| 1 5104-4 | 別自政権的例 (ハン ドレイン) | 実施して減速すると共にドライバに警告する。 |
| FSR4-5 | スロットル指示故障診断 | スロットル指示の故障を検知し、検知後はスロットル指示機能の |
| | 2.1.2 11 7. 11 7. 11 12 12 12 13 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 | 出力を停止し MRM を実施して減速すると共にドライバに警告す |
| | | る。 |
| FSR4-6 | - | - |
| FSR4-7 | 切替故障診断 (ブレーキ) | 切替の故障を検知し、検知後は切替機能の出力を停止し MRM を |
| | | 実施して減速すると共にドライバに警告する。 |
| FSR4-8 | ブレーキ指示故障診断 | ブレーキ指示の故障を検知し、検知後はブレーキ指示機能の出力 |
| | | を停止し MRM を実施して減速すると共にドライバに警告する。 |
| FSR4-9 | - | - |

| FSR4-10 | 切替故障診断 (ステアリング) | 切替の故障を検知し、検知後は切替機能の出力を停止し MRM を 実施して減速すると共にドライバに警告する。 |
|---------|------------------|---|
| FSR4-11 | 操舵指示故障診断 | 操舵指示の故障を検知し、検知後は操舵指示機能の出力を停止し MRM を実施して減速すると共にドライバに警告する。 |
| FSR4-12 | _ | - |
| FSR4-13 | 切替(パワートレイン) | スロットル制御を継続できない場合は、冗長系に切り替え MRM を実施して減速する。その間ドライバのアクセルペダル操作を検 出した場合は制御をドライバ操作に切り替える。 |
| FSR4-14 | 切替 (ブレーキ) | ブレーキ制御を継続できない場合は、冗長系に切り替え MRM を 実施して減速する。その間ドライバのブレーキ操作を検出した場 合は制御をドライバ操作に切り替える。 |
| FSR4-15 | 切替(ステアリング) | 操舵制御を継続できない場合は、冗長系に切り替え MRM を実施 して減速する。その間ドライバのハンドル操作を検出した場合は 制御をドライバ操作に切り替える。 |
| FSR4-16 | 切替(ウィンカーランプ) | ウィンカ制御を継続できない場合は、冗長系に切り替え MRM を 実施して減速する。その間ドライバのウィンカ操作を検出した場 合は制御をドライバ操作に切り替える。 |
| FSR4-17 | 切替故障診断 (パワートレイン) | 切替の故障を検知し、検知後は切替機能の出力を停止し MRM を 実施して減速すると共にドライバに警告する。 |
| FSR4-18 | 切替故障診断(ブレーキ) | 切替の故障を検知し、検知後は切替機能の出力を停止し MRM を 実施して減速すると共にドライバに警告する。 |
| FSR4-19 | 切替故障診断(ステアリング) | 切替の故障を検知し、検知後は切替機能の出力を停止し MRM を 実施して減速すると共にドライバに警告する。 |
| FSR4-23 | 警告 | 各ブロックが故障を検知した場合、ドライバへの警告、故障個所 の表示、MRM 警告、TOR 警告等を行う。 |
| FSR5-1 | 車両状態情報選択 | 車両状態検知の故障を検知し、検知した場合多重化されたセンサ の中から有効なデータを選択する。 |
| FSR5-2 | 周辺状態検知情報選択 | 周辺状態検知の故障を検知し、検知した場合多重化されたセンサ の中から有効なデータを選択する。 |
| FSR5-3 | 自己位置検知情報選択 | 自己位置検知の故障を検知し、検知した場合多重化されたセンサ の中から有効なデータを選択する。 |
| FSR5-4 | 障害物認識 (冗長系) | 走行周辺環境の検知結果に基づき周辺の静止や移動物の位置や速 度を認知する。 |
| FSR5-5 | 自己位置推定(冗長系) | スタティック MAP とランドマーク情報、走行周辺環境、自車座標、及び車両状態の検知結果に基づき自車位置(位置、速度、姿勢など)を推定する。 |
| FSR5-6 | 衝突予測 (冗長系) | ダイナミック MAP に基づき潜在リスクの予測や危険回避を判断 し、目標軌跡や目標車速を計画する。 |
| FSR5-7 | 経路データ抽出(冗長系) | ダイナミック MAP に基づき将来走行する経路データを読み出す。 |
| FSR5-8 | 軌跡偏差算出 (冗長系) | ダイナミック MAP に基づき設定した走行ルートと実際に車両が 走行した経路との横偏差を検出する。 |
| FSR5-9 | スロットル指示 (冗長系) | エンジンスロットルを開閉する。 |
| FSR5-10 | ブレーキ指示 (冗長系) | 車速指令値もしくは減速度指令値に従いブレーキ力を制御する。 |
| FSR5-11 | 操舵指示 (冗長系) | 操舵角指令値に従い操舵角を制御する。 |
| FSR5-12 | 軌跡制御 (冗長系) | 計画された目標軌跡及び目標車速に基づき軌跡追従するためのス テアリング操舵角を演算する。 |
| FSR5-13 | 車速制御 (冗長系) | 計画された目標軌跡及び目標車速に基づき目標車速を実現する制御駆動力を演算する。 |
| FSR5-14 | 分配 (冗長系) | 指示された制御駆動力に基づきエンジンとブレーキに対する制御 量の分配を演算する。 |
| FSR5-15 | 切替(パワートレイン) | ドライバのアクセルペダル操作を検出した場合は制御をドライバ操作に切り替える。 |
| FSR5-16 | 切替(ブレーキ) | ドライバのブレーキ操作を検出した場合は制御をドライバ操作に 切り替える。 |
| FSR5-17 | 切替(ステアリング) | ドライバのハンドル操作を検出した場合は制御をドライバ操作に 切り替える。 |
| FSR6-1 | 車両状態情報選択故障診断 | 車両状態情報選択の故障を検知し、検知検出した場合ドライバに 警告する。 |
| FSR6-2 | 周辺状態情報選択故障診断 | 周辺状態情報選択の故障を検知し、検知した場合ドライバに警告する。 |
| FSR6-3 | 自己位置検知情報選択故障診断 | 自己位置検知情報選択の故障を検出し、検出した場合ドライバに 警告する。 |
| FSR6-4 | 障害物認識故障診断 (冗長系) | 障害物認識 (冗長系) の故障を検知し、検知した場合ドライバに 警告する。 |
| FSR6-5 | 自己位置推定故障診断(冗長系) | 自己位置推定(冗長系)の故障を検知し、検知した場合ドライバに警告する。 |
| FSR6-6 | 衝突予想故障診断 (冗長系) | 自己衝突予想(冗長系)の故障を検知し、検知した場合ドライバ に警告する。 |
| FSR6-7 | 経路データ抽出故障診断(冗長系) | 経路データ抽出 (冗長系) の故障を検知し、検知した場合ドライ バに警告する。 |
| FSR6-8 | 軌跡偏差故障診断 (冗長系) | 軌跡偏差(冗長系)の故障を検知し、検知した場合ドライバに警告する。 |
| FSR6-9 | 軌跡制御故障診断 (冗長系) | 軌跡制御(冗長系)の故障を検知し、検知した場合ドライバに警告する。 |

| FSR6-10 | 車速制御故障診断 (冗長系) | 車速制御(冗長系)の故障を検知し、検知した場合ドライバに警 |
|---------|----------------------|----------------------------------|
| | | 告する。 |
| FSR6-11 | 分配故障診断 (冗長系) | 分配(冗長系)の故障を検知し、検知した場合ドライバに警告す |
| | | る。 |
| FSR6-12 | スロットル指示故障診断 (冗長系) | スロットル指示(冗長系)の故障を検知し、検知した場合ドライ |
| | | バに警告する。 |
| FSR6-13 | ブレーキ指示故障診断 (冗長系) | ブレーキ指示(冗長系)の故障を検知し、検知した場合ドライバ |
| | | に警告する。 |
| FSR6-14 | 操舵指示故障診断 (冗長系) | 操舵指示(冗長系)の故障を検知し、検知した場合ドライバに警 |
| | | 告する。 |
| FSR6-15 | 切替(パワートレイン)故障診断(冗長 | 切替 (パワートレイン) (冗長系) の故障を検知し、検知後した |
| | 系) | 場合ドライバに警告する。 |
| FSR6-16 | 切替 (ブレーキ) 故障診断 (冗長系) | 切替 (ブレーキ) (冗長系) の故障を検知し、検知後した場合ド |
| | | ライバに警告する。 |
| FSR6-17 | 切替 (ステアリング) 故障診断 (冗長 | 切替 (ステアリング) (冗長系) の故障を検知し、検知後した場 |
| | 系) | 合ドライバに警告する。 |
| FSR7-1 | 電源故障診断 | 電源の故障を検知し、検知した場合 MRM を実施して減速すると |
| | | 共に、ドライバに警告する。 |

図 2.3.4-1 に定義した FSR を配置した機能レベルのブロック図を示す。図中 FSR の ID が付いたものが新たに追加された安全機構のブロックである。IF の故障を検出して安全状態に移行する機能、IF の故障検出結果(図中 "A"の信号)に従い警告表示又は TOR 及び MRM を行う機能、IF が機能を継続できない場合のバックアップとなる冗長系機能、冗長系の故障を検出して安全状態に移行する機能、及び冗長系の故障検出結果(図中"B"の信号)に従い警告表示又は TOR 及び MRM を行う機能が追加された。

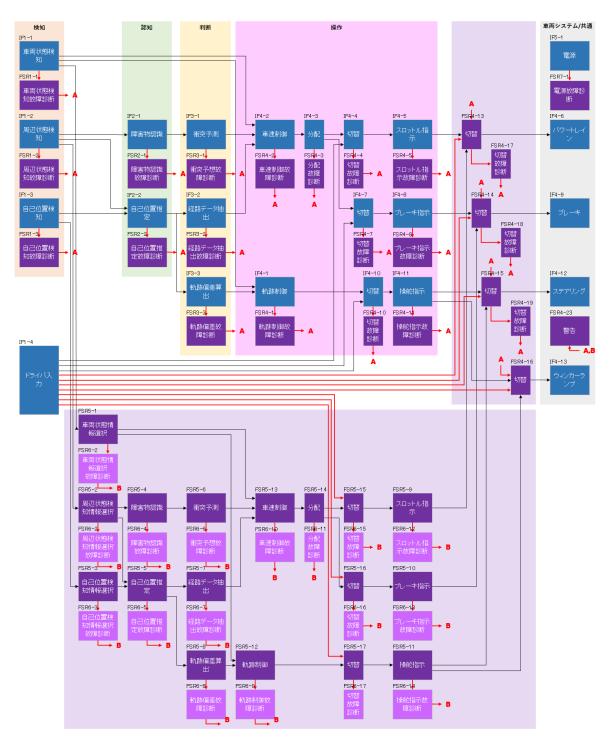


図 2.3.4-1 機能ブロック図

2.3.5. 技術レベルでの安全方策の実装

本項では、FSR で定義された安全方策を実装するための技術レベルの安全要求: Technical Safety Requirement(以下、「TSR」という)を定義し、事前に想定したアーキテクチャに TSR を実装した。表 2.3.1-1 に TSR の定義(一部抜粋)、図 2.3.5-1 に TSR を実装したアーキテクチャを示す。

表 2.3.5-1 技術安全要求の定義(抜粋)

| FSR-ID | 機能ブロック名 | FSR | TSR-ID | 対象エレメント | TSR |
|--------|----------------|--|-----------|---------------------|---|
| FSR1-1 | 車両状態検知故 障診断 | 車両状態検知(車速等)の 故障を検知し、機能を継続 | TSR1-1-1 | ジャイロセンサ | センサ出力値を制御 ECU に 出力する。 |
| | | できる場合はドライバに警告して走行を続ける。機能 を継続できない場合は車両 状態検知機能の出力を停止 | TSR1-1-2 | 制御 ECU | 出力急変によりジャイロセン サの故障を検知した場合、慣 性航法に切り替えるのを止め 警告灯を点灯する。 |
| | | し MRM を実施して減速す ると共にドライバに警告す る。 | TSR1-1-3 | 制御 ECU | LSDC による演算結果比較等 により制御 ECU の故障を判 定する。 |
| | | | TSR1-1-4 | 制御 ECU 冗長系制御 ECU | 制御を冗長系制御 ECU に切り替え MRM に移行する。 |
| | | | TSR1-1-5 | 車速センサ | センサ出力値を制御 ECU に 出力する。 |
| | | | TSR1-1-6 | 制御 ECU | 車速センサ値を車輪速センサ値、慣性航法の車速、GNSS 車速などと比較して、車速センサ値の固着、急変を検知し 故障と判定する。 |
| | | | TSR1-1-7 | 車輪速センサ | センサ出力値を制御 ECU に 出力する。 |
| | | | TSR1-1-8 | 制御 ECU | 車輪速センサ値を車速センサ値、慣性航法の車速、GNSS 車速などと比較して、車速センサ出力の固着、急変を検知 し故障と判定する。 |
| | | | TSR1-1-9 | GNSS | 速度情報を制御 ECU に出力 する。 |
| | | | TSR1-1-10 | 制御 ECU | 車速センサ又は車輪速センサ の故障を検知した場合、 GNSS 車速により車両制御を 継続し、警告灯を点灯する。 |
| | | | TSR1-1-11 | 制御 ECU | 車速センサ値、車輪速センサ値、慣性航法の車速、GNSS 車速から2つ以上の車速情報 が得られなくなった場合、機 能継続ができない故障と判定 し、警告及びTORの発報を 行い、ドライバの反応が無け ればMRMへ移行する。 |
| | | | TSR1-1-12 | 制御 ECU | 電源投入時の BIST(Build In Self Test)により制御 ECU の 故障診断機構の故障を検知 し、検知した場合はドライバ に警告して走行を開始しない こと。 |

TSR割り当て

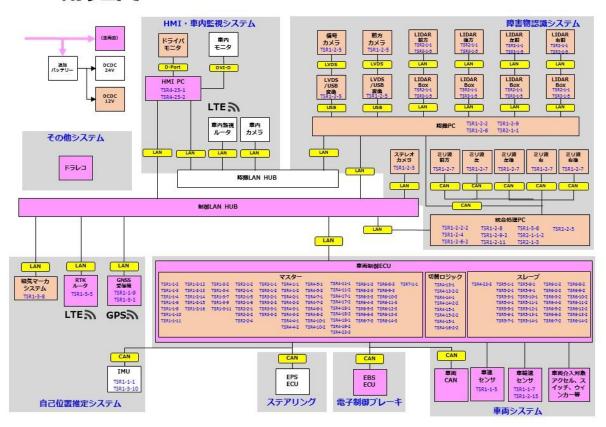


図 2.3.5-1 安全方策実装後のシステムアーキテクチャ

2.3.6. 実装された安全方策の評価(設計検証)

導出した安全方策の適切性を検証するために、TSR 仕様、システムアーキテクチャ設計、状態遷移図等の設計資料の検証レビュー、およびシステムアーキテクチャに対するFTA (Fault Tree Analysis) による安全分析を実施した。

(1) 安全方策適用前

図 2.3.6-1~2.3.6-9 に、安全方策適用前の FTA による安全分析結果を示す。安全目標を直接侵害する故障(シングルポイント故障)が、検知、認識、判断、操作、電源系のブロック毎に存在することが分かる。なお、今回はドライバ監視については安全設計から除外しているので分析では考慮していない。

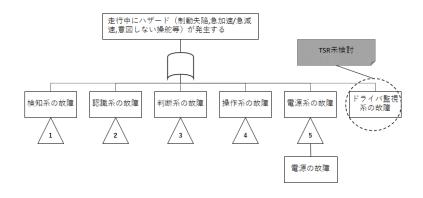


図 2.3.6-1 安全設計前の安全分析結果 (システム全体)

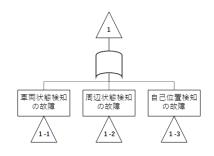


図 2.3.6-2 安全設計前の安全分析結果 (検知系)

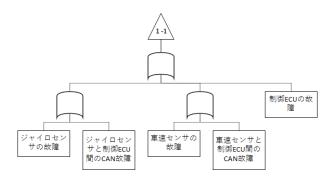


図 2.3.6-3 安全設計前の安全分析結果 (検知系:車両状態検知)

高度化編2-51

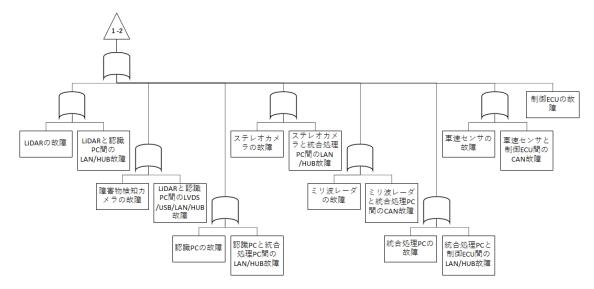


図 2.3.6-4 安全設計前の安全分析結果 (検知系:周辺状態検知)

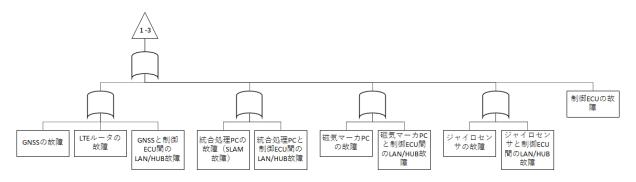


図 2.3.6-5 安全設計前の安全分析結果(検知系:自己位置検知)

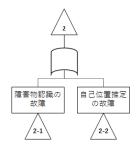


図 2.3.6-6 安全設計前の安全分析結果(認識系)

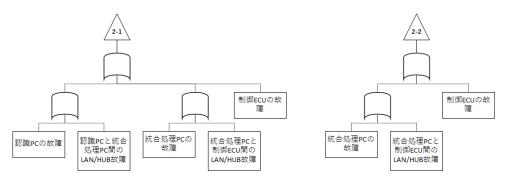


図 2.3.6-7 安全設計前の安全分析結果 (認識系:障害物認識)

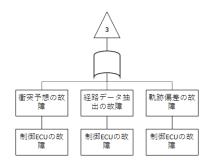


図 2.3.6-8 安全設計前の安全分析結果 (認識系:自己位置推定)

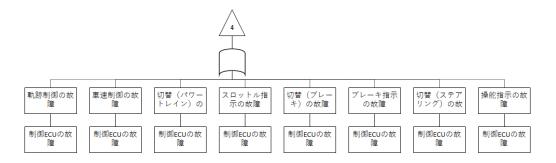


図 2.3.6-9 安全設計前の安全分析結果(操作系)

(2) 安全方策適用後

図 2.3.6-10~2.3.6-20 に、安全方策適用後の FTA による安全分析結果を示す。 TSR で 定義された安全機構が各ブロックに配置されたことにより、シングルポイント故障が複数の独立した故障の組み合わせによって安全目標を侵害する故障(マルチプルポイント故障)に変わったことが分る。また、図中の"(Latent)"と記された TSR で故障検出機能の故障(レイテント故障)を検出するための安全方策が適用されており、故障が潜在化しないための対策も考慮されている。以上により安全性が高まったことが立証された。

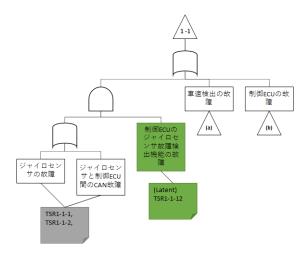


図 2.3.6-10 安全設計後の安全分析結果(検知系:車両状態検知)

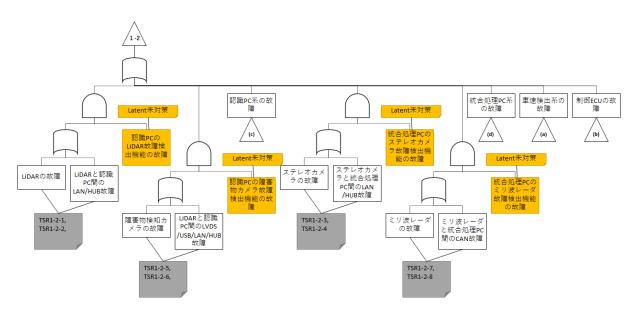


図 2.3.6-11 安全設計後の安全分析結果 (検知系:周辺状態検知)

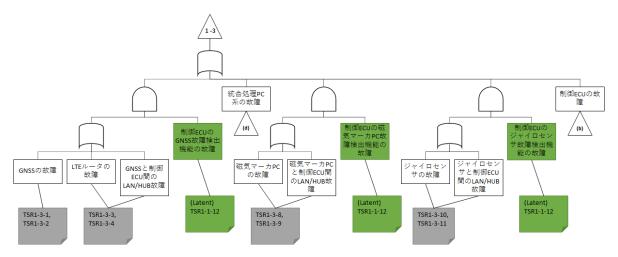


図 2.3.6-12 安全設計後の安全分析結果(検知系:自己位置検知)

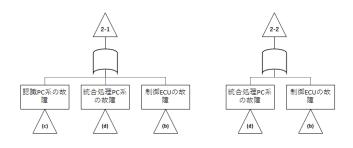


図 2.3.6-13 安全設計後の安全分析結果 (認識系)

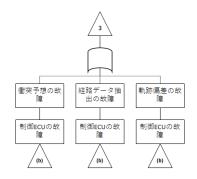


図 2.3.6-14 安全設計後の安全分析結果(判断系)

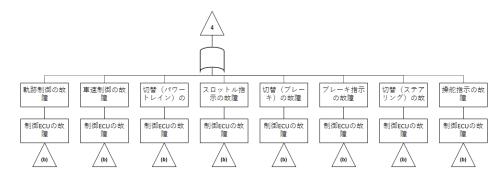


図 2.3.6-15 安全設計後の安全分析結果(操作系)

高度化編2-55

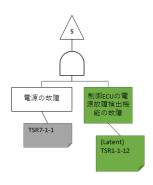


図 2.3.6-16 安全設計後の安全分析結果 (電源系)

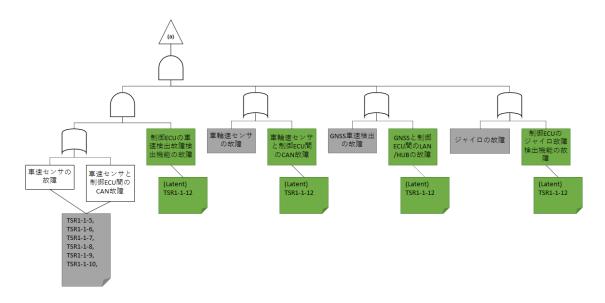


図 2.3.6-17 安全設計後の安全分析結果 (車速検出系の故障)

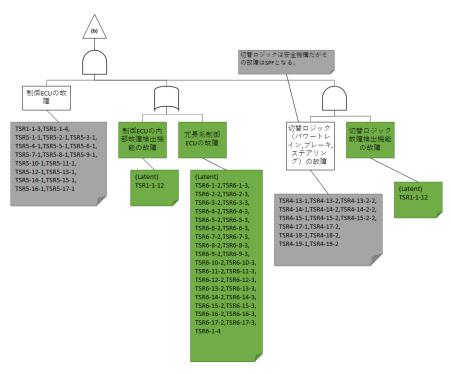


図 2.3.6-18 安全設計後の安全分析結果(制御 ECU の故障)

高度化編2-56

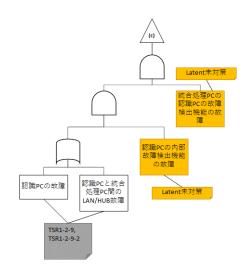


図 2.3.6-19 安全設計後の安全分析結果(認識 PC 系の故障)

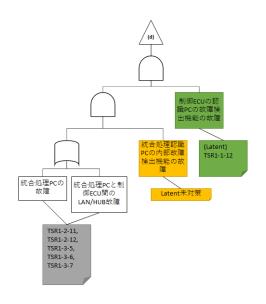


図 2.3.6-20 安全設計後の安全分析結果(統合処理 PC 系の故障)

(3) 設計検証によりみつかった課題

一つ目の課題として、今回のシステムでは検知系及び認識系に汎用パーソナルコンピュータ(以下、「PC」という)が使用されているため、PC に対する安全方策が十分考慮されていない点が挙げられる。FTA の結果からも、認識用 PC 及び統合処理用 PC による故障検出機能の故障(レイテント故障)に対する安全方策が定義されていないことが分かり、これらの故障が潜在化する可能性がある。今後の実装でも PC が継続して使用されるのであれば、PC に対する安全設計の考え方を明確にして安全を論証できるようにする必要がある。

二つ目は故障発生後の機能継続についての課題が挙げられる。今回の安全設計では「故障時に各制御系の機能を継続する」という安全状態に従い、一部の故障については警告灯によるドライバ通知を行うのみで自動運転は継続させるという方策を採用している。例えば冗長系 ECU の故障を検出した場合、主系の制御 ECU が正常であれば警告灯を点灯させるのみで自動運転を継続される仕様となっている。しかし、安全の観点では故障を検出して安全状態に移行した後は、できるだけ早く修理を行うのが適切だと考えられる。運行サービス上の要求と安全とのバランスを考慮した上で、故障発生時の機能継続についてはあらためて明確な方針を決めた上で仕様を見直す必要がある。

三つ目の課題として、ドライバ監視機能についての考慮が挙げられる。今回は安全設計から除外されたが、TORによるドライバ反応が求められる条件においてはドライバ監視機能の安全設計も追加で行う必要があると考える。

2.3.7. 実装された安全方策の評価 (テストによる検証)

(1) TOR機能、MRM機能の搭載と確認試験

自動運転の高度化に向けては車両走行条件から外れた場合に運転手への交代要求を行う TOR、および運転手が運転を引継げない場合に車両を停止させる MRM が必要であるが、ベース車両にはこれらの機能が搭載されていないため追加で搭載した。TOR、MRM の発動条件に関しては、ODD およびヒューマンファクタ面からの議論が必要となるため、条件判断のロジックは除いて各機能のみを搭載し、発動は疑似信号により行った。

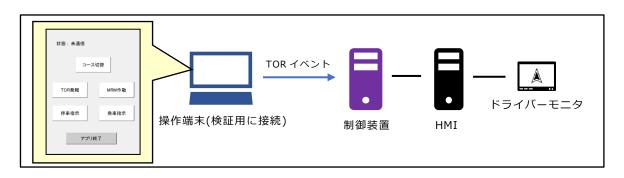


図 2.3.7-1 TOR/MRM 検証のシステム構成

機能追加に伴い、図 2.3.7-1 に示す構成で TOR および MRM の機能検証を行った。操作端末から走行条件を外れたとする TOR イベント信号を自動運転システムに送信することで、模擬的に TOR を発報させる。その後、運転手からの操作介入がない状態を継続し、MRM として車両が非常停止することを確認した。

操作端末から TOR イベントが送信され自動運転システムがイベントを受信すると、ドライバモニタ上に図 2.3.7-2 左側に示す運転引継要求メッセージが表示される。MRM へ移行させるためその後も操作介入を行わず自動運転状態を継続すると、TOR 発報から一定時間経過後に MRM が作動し、ドライバモニタ上に図 2.3.7-2 右側に示す MRM による緊急停止メッセージが表示され、設定減速度で減速を行い車両が停止することを確認した。





図 2.3.7-2 HMI 表示(左: TOR、右: MRM)

(2) 安全方策の評価

前項で実施されたリスクアセスメントにおいて、リスクレベルが中又は高と見積もられた項目について安全方策の設計を行ったところであるが、その実装については実路の状況も考慮して行う必要がある。本年度においては実路での走行を行わなかったため、テストコース内にて模擬故障を発生させる実験を行い、故障時の車両挙動等の計測し、ひたちBRT専用道区間に車両を適用する際の基礎データ収集を行った。

試験は国立研究開発法人産業技術総合研究所北コース内で実施し、図 2.3.7-3 に示す仮コースを自動運転バスに設定した。この走行コースにおいて故障が発生した時の挙動を計測した。本実験ではセルフステアが発生するような故障モードを自動運転システムに注入した。

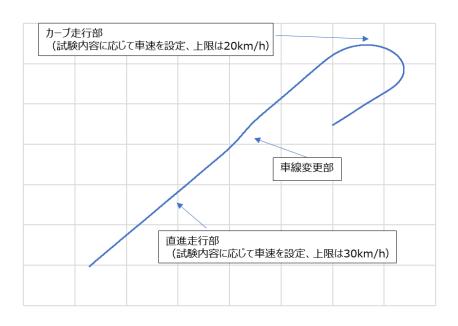


図 2.3.7-3 テストコース内に設定した自動運転バスの模擬走行コース

試験は安全を確保するため、直線走行中にカーブ走行中の操舵指示を与えてセルフステアが発生した際の横方向の移動量を計測した。車速は 20km/h、30km/h の 2 水準で実施した。

(3) 試験結果

図 2.3.7-4 に車速 20km/h 時の車両走行軌跡を示す。グラフ中の灰色の領域はひたちBRT 専用道区間の走行車線(車線幅 3.5m) との対比のため追記した。試験の結果、ひたちBRT 専用道区間での走行を考慮した場合、セルフステア発生後に自動運転車両が走行車線端に達するまでの時間は 1 秒程度であり、セルフステア発生時には MRM の発動が妥当と考えられる。併せて予定経路から離れた際の安全方策を導入する指標としての横変位を計測できたため、方策を盛り込んだ試験を今後実施することとする。

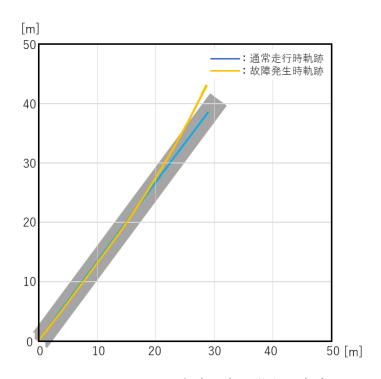


図 2.3.7-4 セルフステア発生時の車両挙動(車速 20km/h)

2.3.8. 評価結果に基づく考察

自動走行機能に故障が生じても人への危害を生じさせないために、自動車機能安全 (ISO 26262) の考え方に基づいて安全設計を行い、故障が生じても MRM により安全な 停車を可能にするための自動運転機能の冗長化などの方策を適用した。その方策が適切に設計に落とし込まれていることを設計時のレビューや安全分析により評価し、更に実車でのテストにより設計が正しく実装されているかを検証し、MRM が有効に機能することを確認した。この結果により、設計時の評価および実車による検証を正しく行うことで、安全性が実証できることが確認でき、ISO 26262 に基づく評価の考え方がセーフティアセスメント手法として有効であることが立証された。

今後の課題としては、今回検討したドライバが故障時運転交代を行う自動運転レベル3から、ドライバへの運転交代が無いレベル4以上になったときに、故障発生後直ちにバスを減速して停止するのではなく、車両を退避場所又はバス停まで移動させてから停止させる等の考え方が求められる。従って、MRMも含めた更なる安全方策の検討、及び今回の安全性評価手法の有効性の検討があらためて求められる。

2.4. 簡易な仮想環境構築と活用の仕組み

多様化編 2.4 節で述べているように、無人自動運転移動サービスの開発では、特定の走行コースのみに限定され仮想環境の利用頻度が少ないため、SIP-adus 事業での DIVP プロジェクト¹²のような仮想環境を用いるには採算性が悪く、またシミュレータの高い知識を持った技術者の確保が困難であると想定される。そこで無人自動運転移動サービスに必要な機能に限定しかつモデルも簡素化した簡易な仮想環境を構築し、これを開発プロセス全体で活用していく。本節では、自動運転システム開発者がひたち BRT での走行シーン(歩行者脇通過、交差点通過等)で安全な走行方法やその有効性を検討するために、多様化編 2.4.2 項で示した簡易な仮想環境を作成する。この仮想環境は、公開されている情報(航空写真や地図)と撮影動画のみを用いて作成した。

またひたち BRT 専用道区間の MMS(Mobile Mapping System) 13 点群データ(既存)が入手できたため、簡易な仮想環境構築時に正確な道路勾配などの値を入力する目的で、 MMS データを目視で簡便に読み取れるビューアを作成した。

2.4.1. シーンの選定

ひたち BRT 専用道区間における危険シーンとして、以下の 7 箇所を選定した。なお走行コースは図 2.4.1-1 に示す(再掲)。



図 2.4.1-1 ひたち BRT のコースの全体図(左)と停留所一覧(右)

¹² SIP cafe~自動運転~自動運転の未来を拓くセンサシミュレーション【DIVP】 https://sip-cafe.media/info/6240/

 $^{^{13}}$ MMS とは、3 次元レーザー計測機とデジタルカメラによって、道路面および道路周辺の 3 次元座標データや連続カラー画像などを取得する移動式測量システムである。

(1) 見通しの悪い信号のない交差点

危険シーン 1 (「7 磯坪」 – 「8 大沼 (BRT)」間)を図 2.4.1-2 に示した。見通しの悪い(約 60m;図左側)交差点での周辺車両との衝突を想定した。



図 2.4.1-2 危険シーン1

(2) 歩行者横断帯(並走路の横断歩道と接続)

危険シーン 2 (「9 大沼小学校東」-「10 寺方」間)を図 2.4.1-3 に示した。横断帯の 左側手前が柵のあるスロープの歩道で、スロープの終点から横断帯を通じて、図右側に 横断できる構造となっている。横断帯の左側の柵の奥から歩行者が飛び出すことを想定 した。



図 2.4.1-3 危険シーン 2

(3) アップダウンのある単路

危険シーン 3 (「11 水木 (BRT)」 – 「12 泉が森」間)を図 2.4.1-4 に示した。急勾配な登り走路頂点の先の走路上に、落下物など走行の障害になるものがあるかどうかを判断することは難しく、この落下物との衝突を想定した。



図 2.4.1-4 危険シーン3

(4) 両側並走路との交差点

危険シーン 4 (「9 大沼小学校東」 - 「10 寺方」間)を図 2.4.1-5 に示した。カーブしている図左側並走路の車両が道なりに走行している場合に、その車両が BRT バス専用道区間に進入(白色点線矢印)しないと誤判断する場合や、図右側並走路手前側の柵によってできる死角からの進入車両(黄色点線矢印)との衝突を想定した。



図 2.4.1-5 危険シーン 4

高度化編2-65

(5) 両側並走路との交差点と横断歩道

危険シーン 5 (「10 寺方」 - 「11 水木 (BRT)」間)を図 2.4.1-6 に示した。図左側並走路は低地からの登りとなっており、その死角からの進入車両との衝突や、図右側並走路進入へのため、BRT バス専用道区間上での一時停止により滞留する車両への衝突を想定した。



図 2.4.1-6 危険シーン 5

(6) 構造物による見通しの悪い歩行者横断帯

危険シーン 6(「12 泉が森」 - 「13 大甕駅」間)を図 2.4.1-7 に示した。横断帯図右側は構造物により見通しが悪く、ここからの歩行者の飛び出しを想定した。



図 2.4.1-7 危険シーン 6

(7) カーブによる見通しの悪い歩行者横断帯

危険シーン 7 (「17 日立商業高校」 - 「18 日立商業下」間)を図 2.4.1-8 に示した。 横断帯図右側が走行路のカーブと構造物により見通しが悪く、ここからの歩行者の飛び 出しを想定した。



図 2.4.1-8 危険シーン7

2.4.2. 簡易な仮想環境の作成

多様化編 2.4 節で示した簡易な仮想環境を作成する。この際、シミュレータの構成モデルは多様化編 2.4.2. (4) 項で述べたように簡易化している。

(1) 2次元地図の指定範囲

指定範囲は 2.4.1 項で選定した危険シーン 7 箇所の前後 30m の範囲とした。

(2) 手法

仮想環境に走行路および周辺構造物を再現する方法として、一般に公開されている地図を利用して作成する手法を選択し、必要に応じて航空写真や実際の走行動画、点群データを活用した。

1) 公開地図

公開地図として OpenStreetMap¹⁴を利用する。仮想環境に走行路および周辺構造物を再現するワークフローは次の 3 つのステップで進行する。

- ステップ1:緯度経度による範囲設定を行う。
- ステップ 2:標高データ、OpenStreetMap の道路情報、構造物情報をもとに自動生成を行う。
- ステップ3:走行可能な道路であるかのチェックを行う。

上記の 4 ステップによるワークフローにより、2 次元地図情報から構造物を付加することが可能である。

2) 航空写真、走行動画

OpenStreetMap では道路の線(白線等)は定義されていないため、再現するために航空 写真や実際の走行動画を用いて追加した。また、道路に付属するガードレール、標識等 の情報もほぼ欠落しているため実際の走行動画から確認し追加した。さらに OpenStreetMap に含まれる建物(家・ビル)等は平面図ベースのため立体的な構造は不明 であり、走行動画から高さや見え方(テクスチャを貼るなど)を再現した。

3) 点群データ

本来であれば標高データも取得できるが、ひたち BRT 専用道区間での OpenStreetMap では私有地であり標高データが欠落していたため、点群データの標高情報を使用し高低 差を再現した。

¹⁴ OpenStreetMap は ODbL 1.0 ライセンスのもと活動がすすめられている、自由に利用が可能で、編集が可能な世界地図を構築する協同作業プロジェクトである。 https://www.openstreetmap.org/

(3) 実施例

1) 危険シーン1

上記手法による危険シーン1の作成過程を例として示す。

- 地形作成 (図 2.4.2-1)
- 柵の作成、道路幅の修正、地形の修正(図 2.4.2-2)
- ファイル構造仕様検討
- 明るさの調整、柵の修正、地形の修正(図 2.4.2-3)
- 標識の設置、白線の修正 、バス用バーの作成 (図 2.4.2-4)
- 各部再修正、細部調整
- シナリオ作成 (図 2.4.2-5)

見通しの悪い交差点左側からくる車両との衝突を再現した(図には衝突シーンを含まず)。

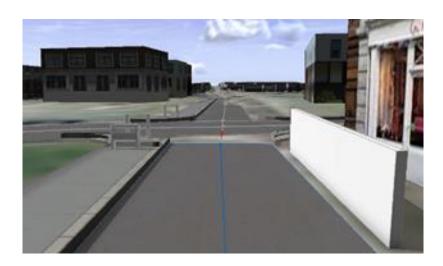


図 2.4.2-1 地形作成



図 2.4.2-2 柵の作成



図 2.4.2-3 明るさ調整



図 2.4.2-4 標識等の設置



図 2.4.2-5 危険シーン 1 シナリオ

2) 危険シーン 2

危険シーン 2 シナリオ例を図 2.4.2-6 に示す。横断帯の左側の柵の奥から歩行者が飛 び出しを再現した。



図 2.4.2-6 危険シーン 2 シナリオ

3) 危険シーン 3

危険シーン 3 シナリオ例を図 2.4.2-7 に示す。急勾配な登り走路頂点の先の走路上に 落下物があるかどうかを判断することは難しく、この落下物との衝突を再現した。(右 図赤破線円内が落下物)

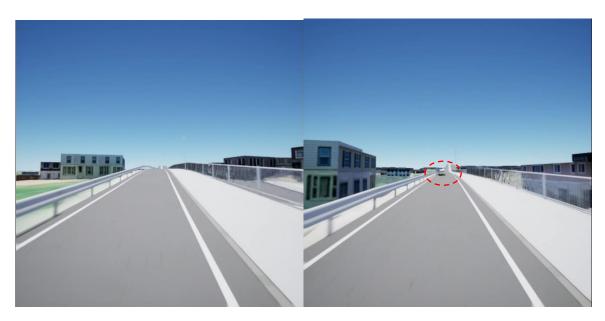


図 2.4.2-7 危険シーン 3 シナリオ

(左) 落下物見えない (右) 落下物見える

4) 危険シーン 4

危険シーン 4 シナリオ例を図 2.4.2-8 に示す。図左側並走路からの進入車両との衝突を再現した。 (図には衝突シーンを含まず)

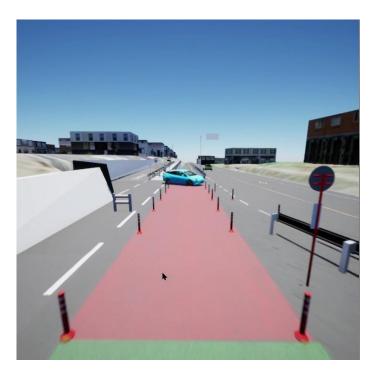


図 2.4.2-8 危険シーン 4 シナリオ

5) 危険シーン 5

危険シーン 5 シナリオ例を図 2.4.2-9 に示す。図左側並走路進入へのため、BRT バス専用道区間上での一時停止により滞留する車両への衝突を再現した。(図には衝突シーンを含まず)



図 2.4.2-9 危険シーン5シナリオ

6) 危険シーン 6

危険シーン 6 シナリオ例を図 2.4.2-10 に示す。横断帯図右側は構造物で見通しが悪く、ここからの歩行者の飛び出し(赤破線内)を再現した。



図 2.4.2-10 危険シーン 6 シナリオ

(左:構造物の陰で見えない、右:構造物の陰から出現く赤破線内>)

7) 危険シーン 7

危険シーン 7 シナリオ例を図 2.4.2-11 に示す。横断帯図右側が走行路のカーブと構造物により見通しが悪く、ここからの歩行者の飛び出しを再現した。



図 2.4.2-11 危険シーン7シナリオ例

高度化編2-75

2.4.3. 点群データビューアの作成

簡易な仮想環境構築時に正確な道路勾配などの値を入力するため、既存のひたち BRT 走行コース Mobile Mapping System (MMS) 計測データ(点群データ)を入手し、点群データを目視確認する為のビューアを作成した。実際にビューアで表示した例を、図 2.4.3-1 に示す。ポインタで示した点の、(X,Y) そして標高の値が表示されている。マウス右クリックホールドで視点の回転、また中央のホイールで、ズームイン・ズームアウトが可能である。

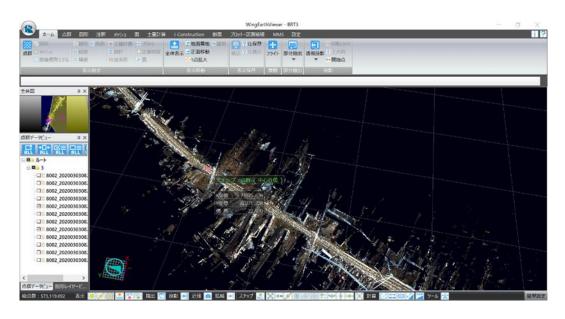




図 2.4.3-1 ビューア表示例15

_

¹⁵ 出典:アイサンテクノロジー株式会社

2.4.4. 簡易な仮想環境の活用

上記で作成した 7 箇所の仮想化した危険シーンを関係者(自動運転システム開発者、 運行事業者等)間でイメージを共有し、各危険シーンでの安全な走行方法(歩行者脇通 過、交差点通過等)の有効性を検討した。

具体的には以下に示す仮想環境で危険シーンを再現した。なお、この危険シーンを再現するために使用した PC 仕様は以下の通りである

商品名: G-Tune EP-X 型番: 2109EP-X299

CPU: インテル (R) Core (TM) i9-10980XE

グラフィックス: NVIDIA GeForce RTX 3080/10GB

(1) 危険シーンにおけるセンサ検知範囲の確認

危険シーンを車両が通過する際のカメラシステムおよび LiDAR の検知範囲を再現し動画化した。静止画例を図 2.4.4-1 に示した。

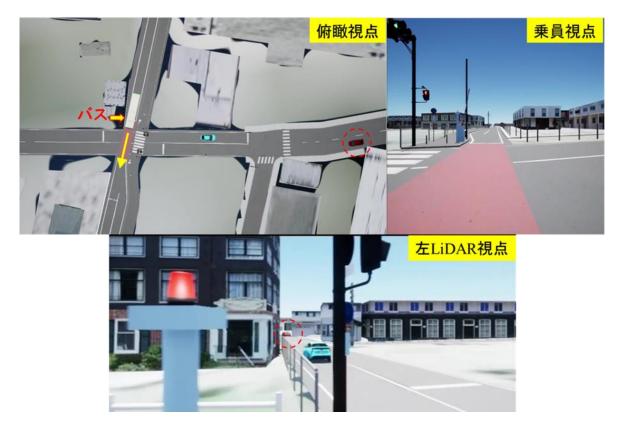


図 2.4.4-1 センサ検知範囲再現例

バスが停止線を越えた位置で初めて交差点左側からの車両が左側面 LiDAR の検知範囲に入っていることが確認できる。即ち停止線で一旦停止の後ゆっくり鼻だししての検知が必要であることが確認できた。

(2) シナリオの再現

歩道を歩く歩行者脇を通過する際に歩行者が飛び出すシナリオを再現した。車両の速度と飛び出しのタイミングをパラメータとし、動画化した。静止画例を図 2.4.4-2 に示した。

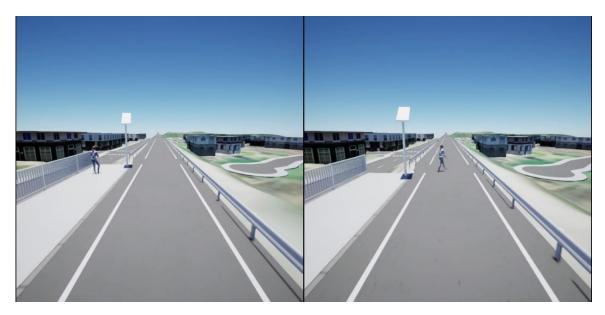


図 2.4.4-2 飛び出し再現例 (左:飛び出し前、右:飛び出し後)

歩行者脇の走行方法をイメージできるようなシナリオを再現することで、走行方法の 有効性の確認などの活用が可能である。

2.4.5. まとめ

- (1) ひたち BRT における 7 か所の仮想化した危険シーンおよび点群データビューアを 作成した。
- (2) 7 か所の仮想化した危険シーンを関係者(自動運転システム開発者、運行事業者等)間でイメージを共有し、各危険シーンでの安全な走行方法(歩行者脇通過、交差点通過等)の有効性を検討した。

2.4.6. 課題

本節にて示した簡易な仮想環境は、実際に活用していく開発者の目線での検証がまだ十分に行えていない。よって、ひたち BRT における開発関係者に展開し、その有効性を検証する必要がある。また、入力データや各モデルを簡略化したことによる操作性の低下などが懸念されるため確認を行い、開発関係者にとって使いやすくなるよう改善を行っていく。

第3章 車両開発(高度化開発)

第2章で実施された、走行環境、運行条件の整理結果及び安全設計ガイドに基づいて 車両開発を実施する。遠隔監視システム、インフラとの連携要素については役割分担の 明確化等が必要となるため、過年度事業における実施内容等を考慮して実施することと した。

3.1. 車両設計

本事業では、車両開発の効率化を図るため、過年度事業である"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"にて用いたレベル 2 自動運転バス(ベース 車両:いすゞ自動車製 エルガミオ)を用いた。



図 3.1.1-1 車両外観



図 3.1.1-2 車両内装(運転席付近)

| 項目 | | 内容 | 備考 | |
|-----------|-----------|------------------------|----------|-------------------------------------|
| ベース 車両 | 名称 | エルガミオ | | |
| | タイプ | 中型バス 路線 2ドア (前折・中引) | ノンステップ | |
| | 座席 | 着座28名(定員56) | | 10.6 |
| | 型式 | 2KG-LR290J4 | | 1945(輪廻) 1695輪廻) 足器器 器器 |
| | 車両重量 | 8300 kg | | 2300(全幅) 45 1765 4400(輸服) 8990(全長) |
| | 車両総重量 | 11380 kg | | 外観寸法概要(センサー含まず) |
| エンジン | 型式 | 4HK1 | | 71 ED 372 DV. S. (C) 3 |
| | 総排気量 | 5.19 L | | |
| | 燃料 | 軽油 | | |
| | 燃料タンク容量 | 130 L | | |
| | 燃費値 | 6.0 km/L | (カタログ値) | |
| | トランスミッション | 5速AT | | |
| 寸法 | 全長 | 8990 mm | | |
| | 全幅 | 2480 mm | センサー込み | |
| | 全高 | 3040 mm | | |
| | 最低地上高 | 125 mm | (車高調節あり) | |
| | ホイールベース | 4400 mm | | |
| | 最小回転半径 | 7.6 m | (カタログ値) | |
| | タイヤサイズ | 245/70R19.5 | | 車内レイアウト(いすゞ自動車株式会社様webサイトより引用・一部編集) |

図 3.1.1-3 車両諸元および車内レイアウト

3.1.1. 自動運転レベルの高度化に向けた設計

本年度はモデル地域として設定した日立地域(ひたち BRT 専用道区間)を ODD とした場合の自動運転車両の高度化に関する設計検討を行い、これを実現するための車両の開発を行った。

本事業では過年度に使用した自動運転バスの高度化を図るため、目標とする自動運転 レベルを 3 以上と想定したときの差分を表 3.1.1-1 に整理した。

本事業の目標 (レベル 3 以上)ベース車両 (レベル 2)自己位置推定手法2 つ以上の手法1 つの手法経路追従走行デジタルマップに基づく走行デジタルマップに基づく走行走行環境認識システムが実施運転手が実施

表 3.1.1-1 自動運転バスの高度化に伴う改造前車両との比較

自動運転レベルの高度化に伴い、自動運転レベル 2 以下 (手動運転バス含む)では必要とされていなかった項目についても車両システムで実施する必要があり、これらの項目についての設計を行った。

(1) 走行制御設計

自動運転バスの走行制御はあらかじめ設定された経路に対して、自車の位置を進める制御を行っている。このため、自動運転レベル2では経路から外れた場合は乗務員が状況に応じて手動介入を行うこととしている。

これに対し、レベル 3 以上では自動運転システムが主体となるため、走行制御においても経路を逸脱することのない様な設計を行う必要がある。走行制御において最も重要となる要素は自己位置推定精度であり、自己位置の推定手法について、本事業で高度化を行う自動運転バスには RTK-GNSS と磁気マーカシステムを搭載していたが、GNSS の受信感度が悪い箇所では磁気マーカシステムのみでの自己位置推定となるため、磁気マーカシステムが故障した場合には安全な走行が困難となる。このため、これまでのシステムに SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)機能を搭載し、GNSS 受信可能な領域では GNSS と SLAM で自己位置推定を行い、磁気マーカによる走行領域では磁気マーカと SLAM で自己位置推定を行う。搭載した機能の評価についてはひたち BRT 専用道区間での位置精度検証を行う予定であったが、中止となったため機能の搭載のみを行った。

経路設定に用いるデジタルマップについては過年度事業と同じものを設定しているが、これに SLAM 用マップを追加搭載した。図 3.1.1-4 に搭載した SLAM マップイメージを示す。

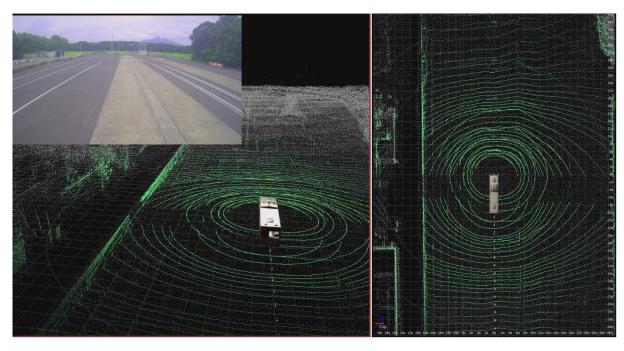


図 3.1.1-4 SLAM マップイメージ

(2) 認識に関する設計検討

自動運転車両の高度化に必要な要素に歩行者などの認識技術が挙げられる。ベースとした自動運転バスはレベル 2 であったため、発車時等の安全確認を乗務員が行っており、車両に搭載していたセンサ群において図 3.1.1-5、図 3.1.1-6 に示すように車両前方、側方に死角が存在していた。このため、車両搭載センサの死角をなくすようにセンサの追加検討を行った。

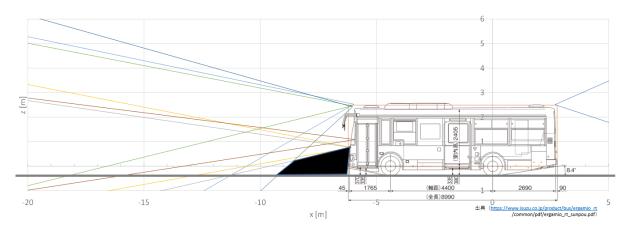


図 3.1.1-5 車両前方センサ死角 (黒色部)

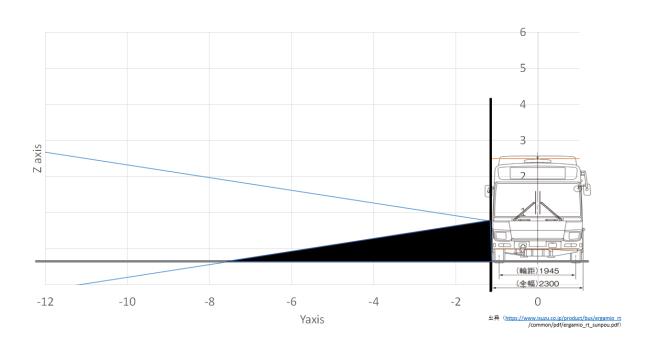


図 3.1.1-6 車両側方センサ死角 (黒色部)

3.1.2. 機能安全

(1) ベース車両システム

第2章において自動運転バスについてのセーフティアセスメントを行ったが、本節ではアセスメントに用いたシステムについて紹介する。

アセスメント対象としたシステム構成は図 3.1.2-7、システムの機能ブロックを図 3.1.2-8 に示す。これらはベース車両のものであり、自動運転レベルはレベル 2 である。

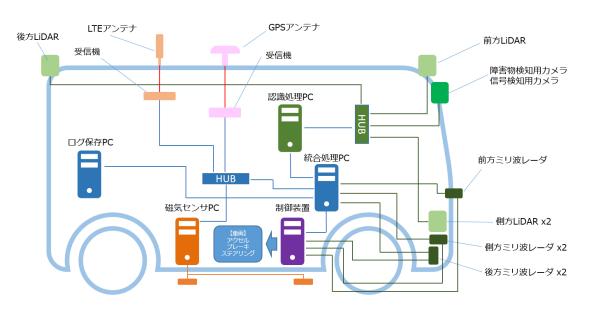


図 3.1.2-7 ベース車両搭載システム

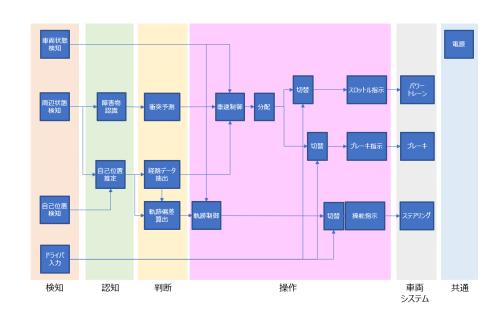


図 3.1.2-8 ベース車両システム機能ブロック

前節の通り、高度化のベースとなる自動運転バスはレベル 2 車両であり、本構成に対するリスクアセスメントの結果を受けて、システムを高度化する。

前章でも述べているが、図 3.1.2-8 に示す各ブロックについて以下に概要を示す。

表 3.1.2-2 機能ブロック概要

| ブロック名 | 説明 |
|---------|----------------------------|
| 車両状態検知 | センサにより車両の状態(車速、ヨー、加速度等)を検知 |
| 周辺状態検知 | センサにより車両の周囲状況を検知 |
| 自己位置検知 | GNSS等により車両の座標を検出 |
| ドライバ入力 | 運転手の入力(ハンドル、ペダル操作)を検知 |
| 障害物認識 | 検知した情報から障害物を抽出する |
| 自己位置推定 | GNSS情報と周囲情報から車両位置を推定 |
| 衝突予測 | 認識した障害物が車両の走行に影響を及ぼすか判定 |
| 経路データ抽出 | 一定時間後までの経路データの呼び出し |
| 軌跡偏差算出 | 走行予定経路と自車の走行経路との差分を抽出 |
| 車速制御 | 車両速度の制御量を導出 |
| 軌跡制御 | 車両の横方向の制御量を導出 |
| スロットル指示 | 車両への加速指示 |
| ブレーキ指示 | 車両への減速指示 |
| 操舵指示 | 車両への操舵指示 |

ベースとなる車両は自動運転レベル 2 であり、各ブロックは 1 重系となっているが、 安全性に大きく影響するステアリングシステムは 2 重系を構成している。

(2) システムの高度化

上記をベースとしで、自動運転レベルの高度化を目指し、第2章においてシステム要素の冗長性を増した構成にてリスクアセスメントを行い、図3.1.2-9に示すシステム構成にて評価を得た。このため、本事業で行う高度な自動運転システムの構成はこれに沿うよう開発を行った。

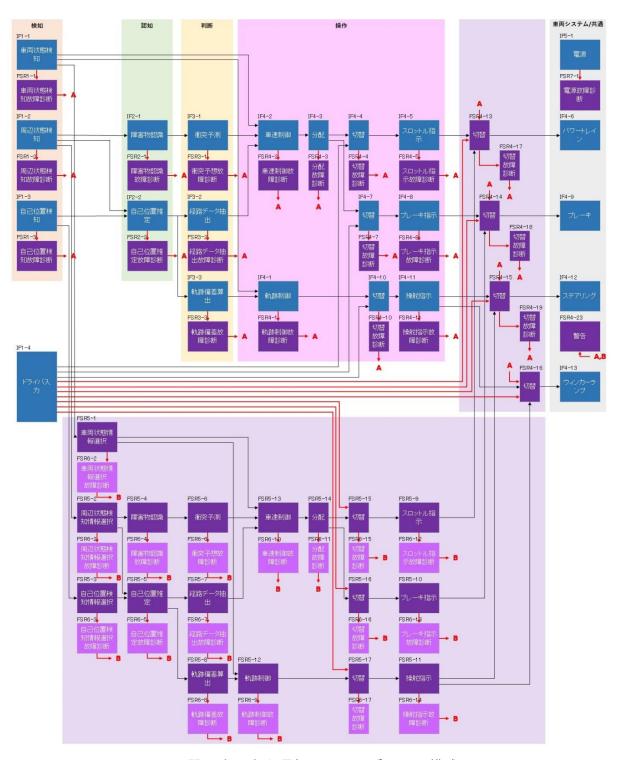


図 3.1.2-9 開発する自動運転システムブロック構成

これに伴い、自動運転システムの状態遷移についてもレベル 2 では図 3.1.2-10 であったものが、図 3.1.2-11 に示すようになり、縮退運転時にも自動運転制御の継続が可能となるよう設計した。

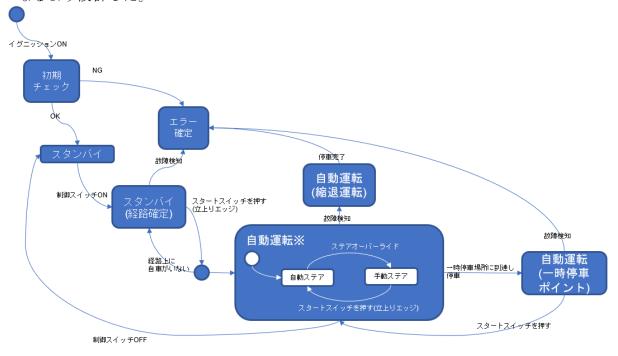


図 3.1.2-10 ベース車両の自動運転システム状態遷移

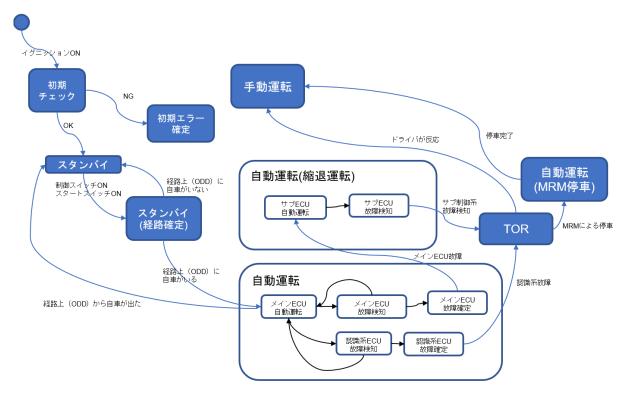


図 3.1.2-11 開発する自動運転システムの状態遷移

3.2. 車両開発 (ハードウェア)

前節で述べた設計に基づき、高度化に向けたセンサ類の搭載を行った。

3.2.1. システム認識範囲の拡張

ベースとなる車両のセンサの死角をなくすため、センサの増設等を行った。

下図の①~⑤に対応するセンサを下表に示す。また、同図中に車体座標系の定義も併 せて記載している。

座標原点位置

-前後位置(X):後輪車軸のセンター 左右位置(Y):センター -高さ位置(Z):ホイールセンタ位置(路面+400mm)

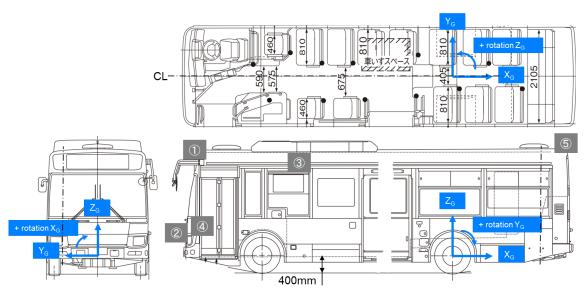


図 3.2.1-1 座標系の定義とセンサ配置

開発車両に搭載したセンサとその位置を図 3.2.1-1 に示す。本事業では死角をなくすためのセンサの追加に加えて、認識性能の向上等を目的としてセンサの更新も併せて実施した。

表 3.2.1-1 センサ搭載位置

| Sumbol | Item | Sensor Local Axis | | | |
|--------|-------------|-------------------|---------|---------|--|
| Symbol | item | XG [mm] | YG [mm] | ZG [mm] | |
| | 遠方LiDAR | -5959.6 | 0 | 2543.2 | |
| 1 | 信号カメラ ※1 | -6009 | 0 | 2480.3 | |
| | 前方カメラ ※1 | -6016.9 | 0 | 2393.9 | |
| 2 | 前方ミリ波レーダー | -6143.9 | 0 | 438 | |
| | 側面カメラ ※2 | -5653.5 | ±1180.7 | 2116.5 | |
| 3 | 側面LiDAR ※1 | -6058.9 | ±1157 | 761.7 | |
| 3 | 側面ミリ波レーダー | -6043.9 | ±1222.9 | 649.9 | |
| | 側面後方ミリ波レーダー | -5927 | ±1180 | 649.9 | |
| 4 | 後方LiDAR | 2686.3 | 0 | 2514.3 | |
| 4) | 後方カメラ ※2 | 2751.9 | 0 | 2392.3 | |

※1:ベース車両から変更したセンサ

※2:追加したセンサ

3.2.2. 各部品配置詳細及び視野

① -1 遠方 LiDAR

センサ仕様から視認距離は市街地で用いるバス (60km/h 以下での走行を想定)では十分と考えられるため、過去事業で使用したセンサからの変更は行っていない。

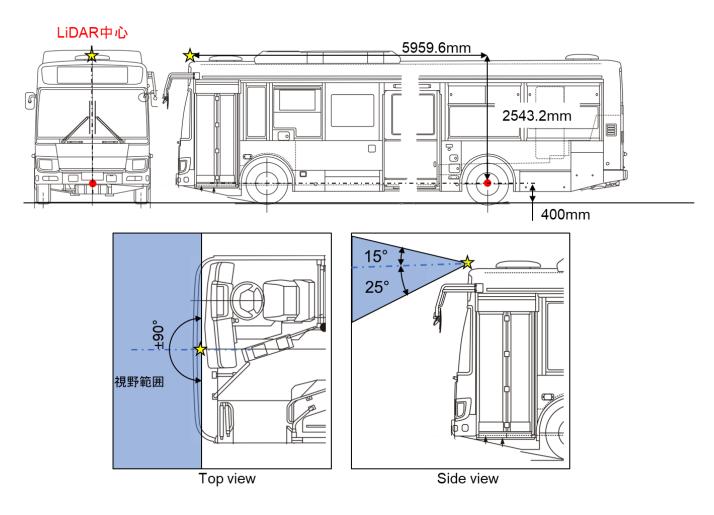


図 3.2.2-2 遠方 LiDAR 配置と視野範囲

① -2前方遠方カメラ (信号カメラ兼用)

既存搭載品に対し搭載位置の変更はないが、信号認識における課題 (周囲照度の低い環境等)対策のため、カメラの変更 (主に低照度対策) を実施した。

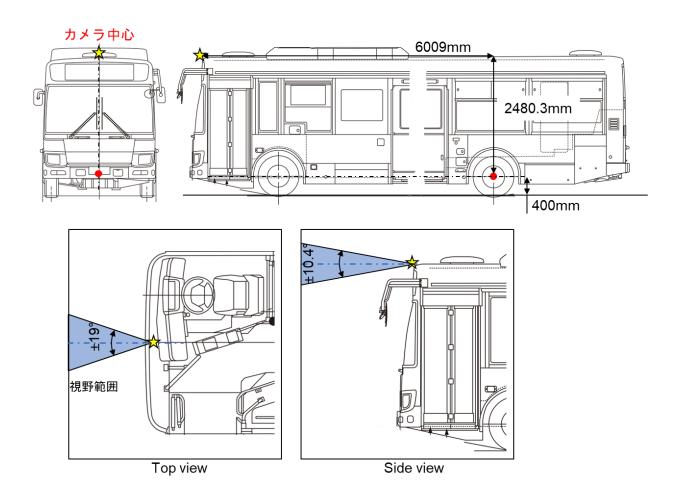


図 3.2.2-3 信号カメラ配置と視野範囲

①-3前方近傍カメラ

車両前方及び、車両フロント部直近が視野に入るカメラを搭載し、車両前方の死角を なくすようにした。

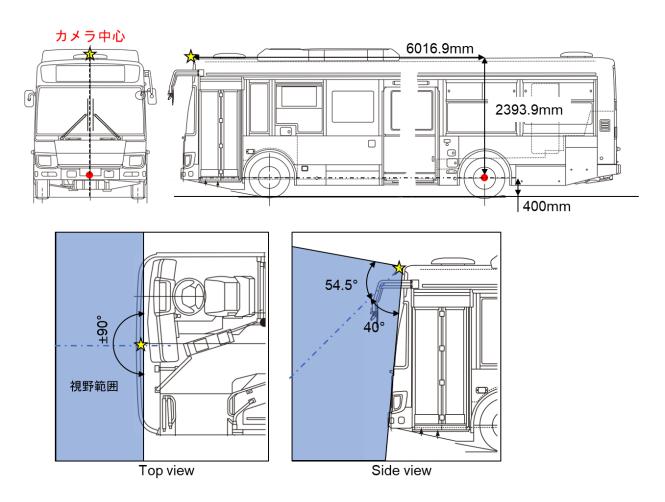


図 3.2.2-4 前方カメラ配置と視野範囲

② 前方ミリ波レーダ

既存搭載品からの変更はなく、前方の物体を検知可能な位置に搭載している。

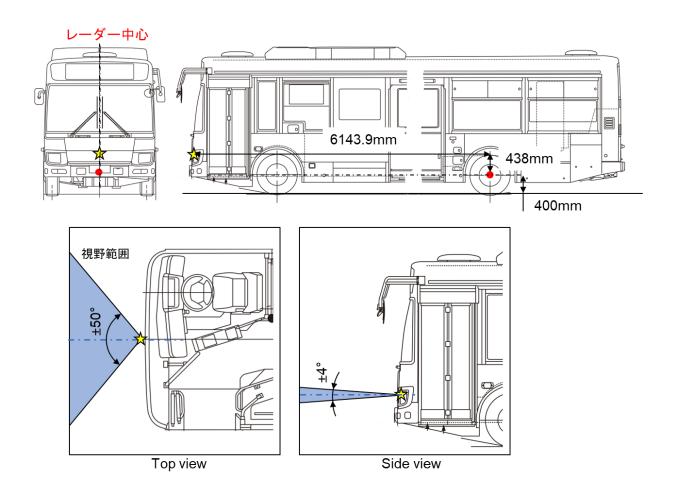


図 3.2.2-5 前方ミリ波レーダ配置と視野範囲

③ 側面カメラ

車両の右側、左側の直近の物体等を検出するため、カメラを新設した。カメラは前方 近傍検出用と同じものを搭載した。

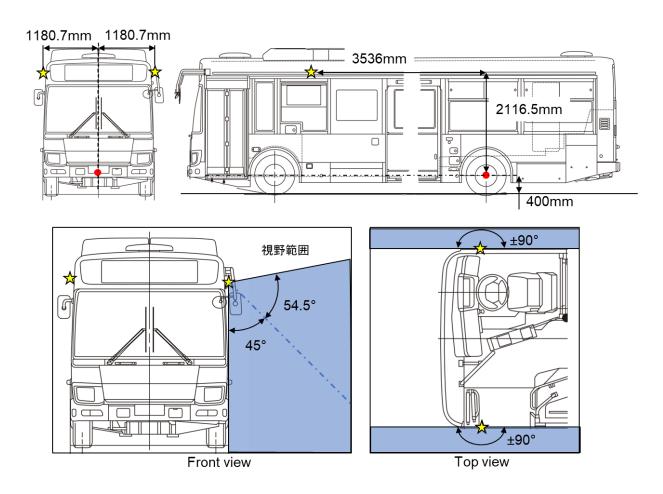


図 3.2.2-6 側方カメラ配置と視野範囲

④−1側面 LiDAR

ベース車両からの変更点なし。

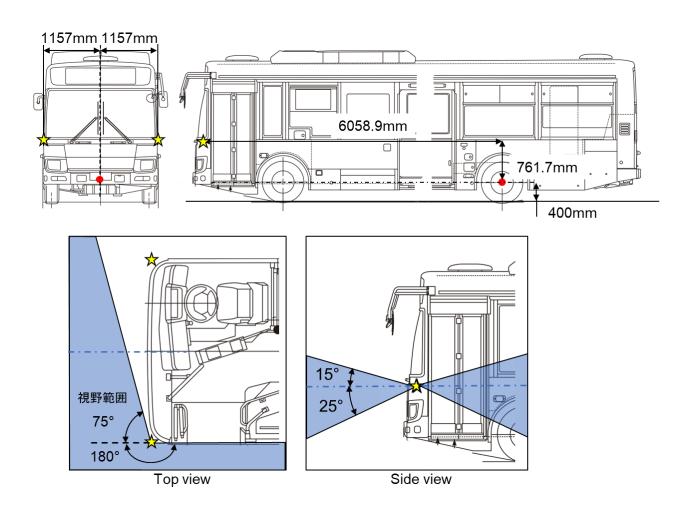


図 3.2.2-7 側面 L i D A R配置と視野範囲

④-2側面ミリ波レーダ

ベース車両からの変更点なし。

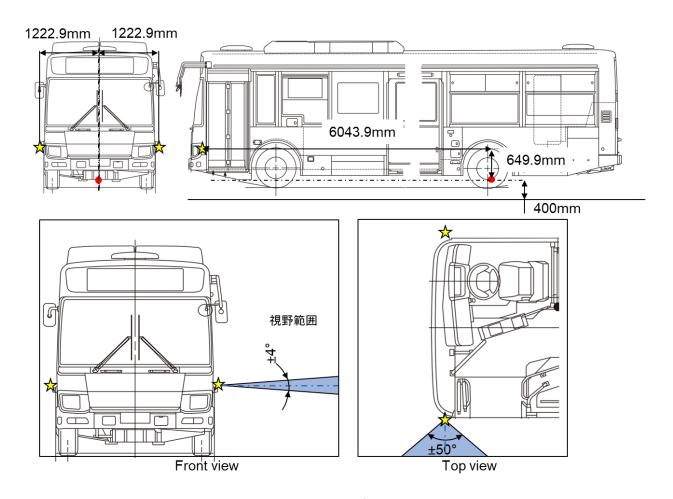


図 3.2.2-8 側面ミリ波レーダ配置と視野範囲

④-3後側方ミリ波レーダ

ベース車両からの変更点なし。

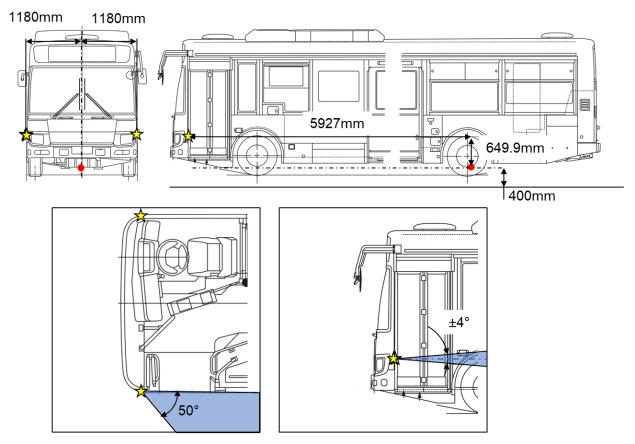


図 3.2.2-9 後側方ミリ波レーダ配置と視野範囲

⑤後方カメラ

車体後方の死角をなくすため新設した。カメラは前方近傍用と同じものを搭載した。

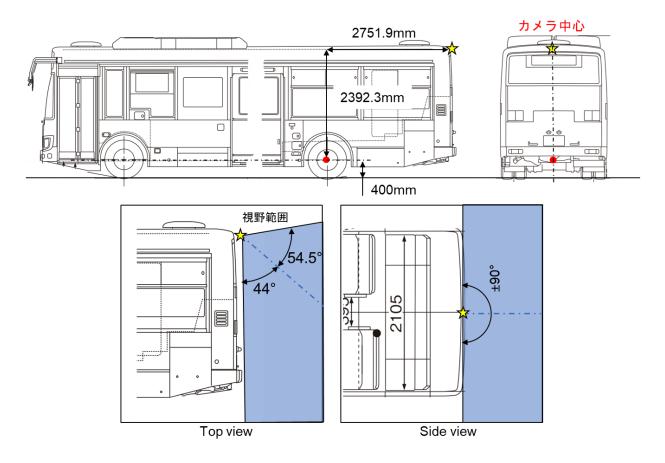


図 3.2.2-10 後方カメラ配置と視野範囲

3.3. 車両開発 (ソフトウェア)

車両に搭載するソフトウェアについては、自己位置推定機能、認識機能、安全機能についてアップデートを実施した。

3.3.1. 自己位置推定

自己位置推定については前述の通り、従来の GNSS、磁気マーカに加えて SLAM 機能を搭載したが、実車での評価が実施できなかった。このため、過年度の事業においてひたち BRT 専用道区間で走行した際に収集したセンサデータを用いて、オフラインで本機能による位置推定精度の評価を行った。

その結果を図 3.3.1-1 に示す。

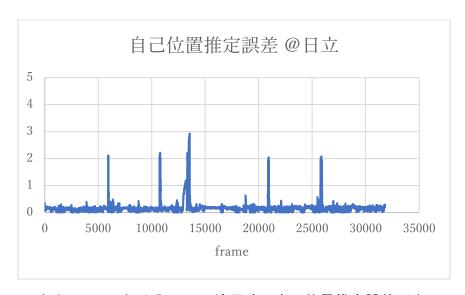


図 3.3.1-1 ひたち BRT における SLAM 適用時の自己位置推定誤差 (オフライン)

センサデータを用いたため、横軸はデータ取得時のフレーム数となっているが、ひたち BRT 路のおさかなセンターから多賀駅までの経路について評価を行った。この結果、一部で数 m の自己位置誤差は出ているものの、経路の大部分で SLAM での自己位置推定が使用可能であると推測される。次年度以降は現地でのデータをもとに自己位置推定精度の評価を行い、自己位置推定誤差が大きくなる箇所については個々の分析を行い、推定誤差を縮めるような調整、開発を行う。

3.3.2. 物体認識評価

障害物の物体認識機能については前述の通りセンサの追加を行っているが、ベース車両に対してセンサ視野が重なる部分が多いため、効果的な認識技術戦略を検討中である。このため、本事業では高度化に向けた技術更新部分の比較を容易にするため、ベース車両のセンサ構成にて、過年度の認識ソフトウェアと機能更新を行ったソフトウェアの評価を実施した。

(1) 認識可能領域の評価

過年度の現地実証実験において使用した認識システムによって障害物を認識できる領域を定量的に把握するため、産業技術総合研究所つくば北サイトにて車両近傍領域と遠方領域についてそれぞれ評価した。認識対象として黒服を着せた高さ 120cm のマネキンと高さ 50cm のコンクリートブロックを用いた。





図 3.3.2-2 物体認識評価風景(マネキン(左)、コンクリートブロック(右))

1) 車両近傍の評価

車両近傍の認識可能領域を把握するため、車両周辺を 1m 幅のグリッドで区切り、各セルの中央に配置した認識対象物体の認識可否を評価した。評価範囲としては道路走行中の隣接車線を想定して車体各端面から 4m までとした。図 3.3.2-3 と図 3.3.2-4 に示す○印は認識できた領域、×印は認識できなかった領域を表している。

-8m -7m -6m -5m -4m -3m -2m -1m 0m 1m 2m 3m 4m 5m 6m 7m 8m 9m -5m -4m -3m 0 0 0 0 0 0 -2m -1m 0 0 0m バス 後方 前方 1m 0 Ω 0 2m 3m 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 4m 0 5m

図 3.3.2-3 マネキンの認識試験結果

-8m -7m -6m -5m -4m -3m -2m -1m 0m 1m 2m 3m 4m 5m 6m 7m 8m 9m -5m -4m -3m 0 0 0 -2m -1m 0m 後方 バス 前方 1m 2m 0 0 0 3m 4m $5m^{1}$

図 3.3.2-4 コンクリートブロックの認識試験結果

マネキンについては図 3.3.2-3 に示すように車両前方の一部、車両後方の認識ができなかった。これに対する要因考察を行った。

①車両前方

- 車両前方の左右直近においてはセンサと対象物体との距離が近いため点群に高さ方 向の幅がなく、認識できなかった

②車両後方

- 車両後方の上部に LiDAR を取り付けているが、センサの真下にあたる車両後方の 直近はセンサの垂直視野範囲に含まれていないため認識できなかった コンクリートブロックについては図 3.3.2-4 に示すように車両前方、後方とも認識できなかった。これに対する考察を行った。

①車両前方

- あらかじめコンクリートブロックを学習していないため、車両前方のカメラでは認識 できなかった
- 車両直近の領域では LiDAR の垂直視野外となり点群が形成されず、車両に隣接 していない領域でも対象物が小さく点群が少ないため認識アルゴリズムの設定に より認識できなかった

②車両後方

- 前方領域と同様、対象物が小さく点群が少ないため認識アルゴリズムの高さに関する 設定条件により認識できなかった

2) 車両遠方の評価

車両前方の障害物を想定して 0 度と 45 度、T 字路での側方からの接近物を想定して 85 度、車両後側方からの接近物を想定して 135 度と 175 度の方向に対して認識限界距離の 測定を行った。

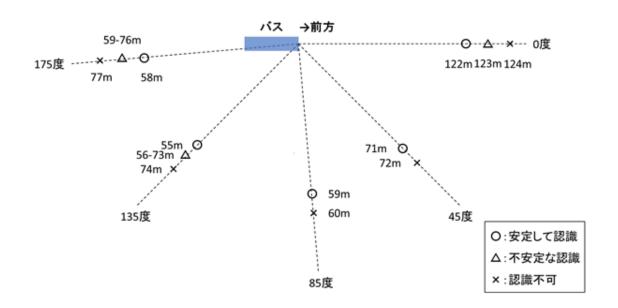


図 3.3.2-5 マネキンの認識距離

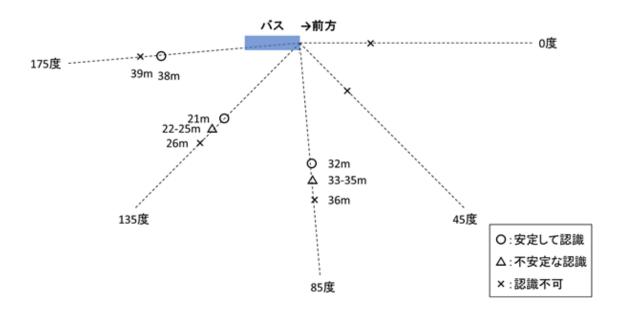


図 3.3.2-6 コンクリートブロックの認識距離

図 3.3.2-5 に示すように、マネキンについて、バスと対象物の角度によって視認距離の差が見られた。

①0 度方向

- 車両に対して 120m 程度まで認識可能であることを確認した。カメラと LiDAR 情報に基づく Deep Learning により遠方までの認識が可能となっている。

②45度、135度、175度方向

- 車両に対して 70m 程度まで認識可能であることを確認した。車両前方または車両後 方の上部に取り付けた高解像度 LiDAR が有効な範囲だが、解像度がカメラより劣 るため、認識距離が前方に対して劣る結果となった。

③85 度方向

- 車両に対して 60m 程度まで認識可能であること確認した。車両前方の上部に取り付けた高解像度 LiDAR の視野範囲内であるが、認識アルゴリズムの設定により認識 距離が更に短くなっている。

コンクリートブロックについても図 3.3.2-6 に示すようにバスと対象物の角度によって視認距離の差が見られた。

①0度、45度方向

- いずれの方向においてもコンクリートブロックは認識できなかった
- コンクリートブロック画像の学習していないため、カメラでは認識できなかった
- コンクリートブロックを認識可能なセンサが LiDAR のみであったが、複数のセンサが取り付けてある車両前方については、LiDAR 単独の認識を許容していなかったため、システム全体としては認識できなかった。

②85度、135度、175度方向

- コンクリートブロックは 20-30m 程度まで認識可能であった。この範囲は高解像度 LiDAR の視野範囲内であるが、認識アルゴリズムの高さに関する設定条件により 50cm の物体は認識しづらかった

(2) 認識プログラムの更新

更新した認識プログラムの性能を評価するため、車両のセンサ構成は過年度のまま、 前節と同様の評価試験を実施した。

1) 車両近傍領域の評価

図 3.3.2-7 に高さ 120cm のマネキンを対象としたときの認識結果、図 3.3.2-8 に高さ 50cm のコンクリートブロックを対象としたときの認識結果を示す。図中の〇印は認識できた領域、×印は認識できなかった領域を表している。

| | m -7 | m -6 | 5m -5 | 5m -4 | 4m -3 | 3m - | 2m - | 1m (|)m 1 | lm 2 | 2m 3 | m 4 | m 5 | m 6 | m 7 | m 8 | m 9n |
|------------|------|------|-------|-------|-------------|------|------|------|------|------|------|-----|----------------|-----|-----|-----|------|
| -5m -4m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -4111 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -2m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| -1m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | × | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0m | × | × | × | × | 34 - | L | | バス | | | | 4 | - - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1m | × | × | × | × | 後フ | J | | , | | | | Ħ | 方 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | × | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

図 3.3.2-7 マネキンの認識試験結果(更新ソフトウェア)

| | m -7 | 'm -6 | 5m -5 | 5m -4 | 4m -3 | 3m -: | 2m - | 1m (|)m 1 | .m 2 | 2m 3 | m 4 | m 5 | m 6 | m 7 | m 8 | m 9n |
|------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-----|----------|-----|-----|-----|------|
| -5m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | × | × | 0 | 0 | 0 |
| -4m -3m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | × | × | × | × | × | 0 | 0 |
| -2m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | × | × | × | × | × | × | × | 0 |
| -1m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | × | × | × | × | × | × | × | × |
| 0m | × | × | × | × | 44 | Ļ | | バス | | | | ىد | <u>-</u> | × | × | × | × |
| 1m | × | × | × | × | 後フ | 7 | | | | | | 刖 | 方 | × | × | × | × |
| 2m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | × | × | × | × | × | × | × |
| 3m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | × | × | × | × | × | × | 0 |
| 4m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | × | × | × | × | × | 0 | 0 |
| 5m | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | × | × | 0 | 0 | 0 |
| 2111 | | | • | • | | | • | • | • | • | • | | • | | • | • | |

図 3.3.2-8 コンクリートブロックの認識試験結果(更新ソフトウェア)

図 3.3.2-7 に示すようにマネキンについて、認識できない領域が更新前のソフトウェアに比べて縮小されたとことを確認した。

①車両前方

- 車両の左右直近で認識できない領域が残存した。これは LiDAR の最短検知距離が 1m であるため点群が形成されず認識できなかったためであり、今年度追加した側 カカメラによる認識でカバーできると考えられる。

②車両後方

-車両後方の上部に LiDAR を取り付けているため、更新前と同じくセンサの真下にあたる車両後方の直近はセンサの垂直視野範囲に含まれていないため認識できなかった。こちらについても、今年度搭載した後方カメラでの検出を行う予定としている。

図 3.3.2-8 に示すようにコンクリートブロックについて、認識できない領域が更新前のソフトウェアに比べて縮小されたことを確認した。

①車両前方

- 更新前に比べて車両前方の比較的遠いところは認識できたが、直近の領域では LiDAR の垂直視野外となり点群が形成されず、認識できなかった。

②車両後方

- 更新前に比べて車両後方認識領域は拡大されたが、センサの真下にあたる車両後方 の直近はセンサの垂直視野範囲に含まれていないため認識できなかった

(3) 車両遠方領域の評価

図 3.3.2-9 に高さ 120cm のマネキンを対象としたときの認識結果を、図 3.3.2-10 に高さ 50cm のコンクリートブロックを対象としたときの認識結果を示す。

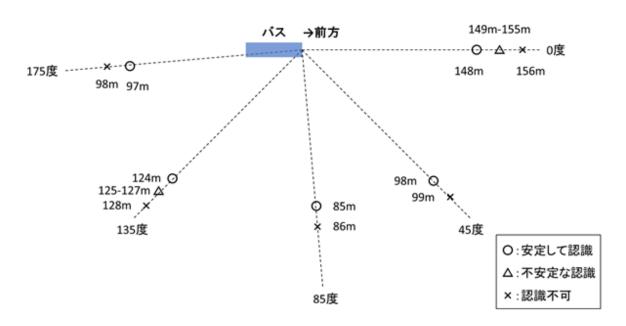


図 3.3.2-9 マネキンの認識距離(更新ソフトウェア)

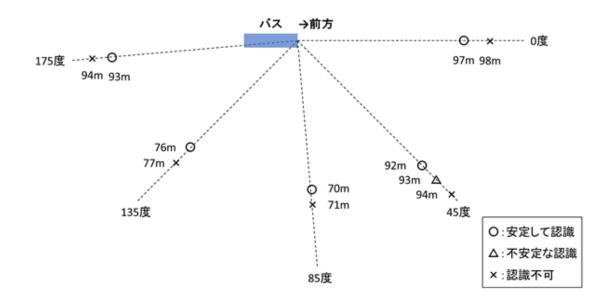


図 3.3.2-10 コンクリートブロックの認識距離 (更新ソフトウェア)

マネキンについて図 3.3.2-9 に示すように、バスと対象物の角度によって視認距離の差が見られたが、更新前に比べて認識距離が伸びたことを確認した。

①0度方向

- 更新前に比べて 20m 程度認識距離が伸びたことを確認した。Deep Learning に基づく 認識アルゴリズムの設定により、遠方の認識が可能となった。

②45 度、85 度、135 度、175 度方向

- 前方と同様に更新前に比べて認識距離が伸びたことを確認した。角度によって若干の 差はあるものの、概ね 20m 程度の認識距離の改善が見られた。

コンクリートブロックについても図 3.3.2-10 に示すように、更新前ソフトウェアに対して認識距離が伸びた結果が得られた。

①0度、45度、175度方向

- 更新前のソフトウェアではコンクリートブロックを認識できていなかったが、更新後 ソフトウェアでは認識可能となり、90m程度まで認識可能可能であることを確認した。

②85 度、135 度方向

- LiDAR との相対的な位置関係から点群の見え方の違いが生じ、0 度、45 度、175 度方向と比べて認識距離がやや劣るものの、70m 程度まで認識可能となり、大きな改善が見られた。

(4) 環境変化時の認識性能評価

過年度の実証実験おいて使用した認識システムの耐環境性能を把握するため、一般財団法人日本自動車研究所(JARI)の特異環境試験場を利用して照度、雨量、霧濃度の3つの環境状況を変化させたときの認識率について評価した。認識率については次のように算出した。

認識率 = (認識できたフレーム数)/(評価に使用したフレーム数)

1) 照度変化試験(前方領域の物体認識評価)

車両の前方 30m、60m、90m の距離にマネキンを配置し、照度を変化させたときの認識率を評価した。照度は計 7 パターン(1600lux、1300lux、1000lux、700lux、500lux、300lux、0lux)変化させており、それぞれの場合で車両のハイビームの OFF/ON を切り替えた。このときのカメラ画像と認識率のグラフを以下に示す。





図 3.3.2-11 照度 1600 lux (左) ハイビーム OFF (右) ハイビーム ON





図 3.3.2-12 照度 1300 lux (左) ハイビーム OFF (右) ハイビーム ON





図 3.3.2-13 照度 1000 lux (左) ハイビーム OFF (右) ハイビーム ON





図 3.3.2-14 照度 700 lux (左) ハイビーム OFF (右) ハイビーム ON





図 3.3.2-15 照度 500 lux (左) ハイビーム OFF (右) ハイビーム ON





図 3.3.2-16 照度 300 lux (左) ハイビーム OFF (右) ハイビーム ON

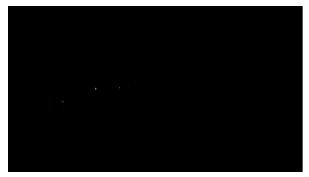




図 3.3.2-17 照度 0 lux (左) ハイビーム OFF (右) ハイビーム ON

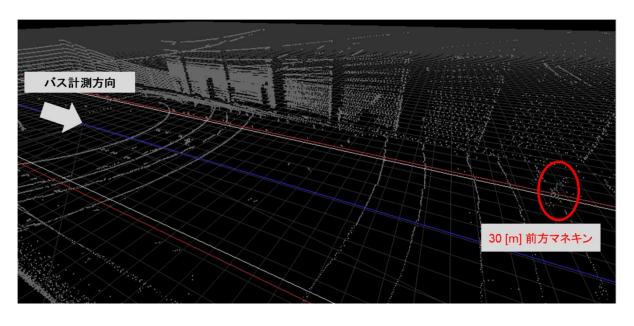


図 3.3.2-18 LiDAR 点群例

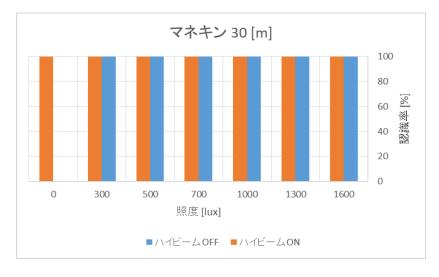


図 3.3.2-19 前方マネキン認識結果(設置距離 30m)

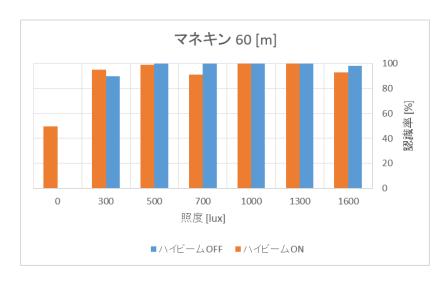


図 3.3.2-20 前方マネキン認識結果 (設置距離 60m)

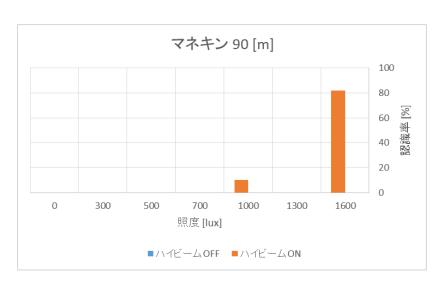


図 3.3.2-21 前方マネキン認識結果(設置距離 90m)

認識結果結果

- ①照度 0 lux のとき車両のハイビーム OFF の場合はいずれの距離でも認識不可
 - 真っ暗になるためカメラによる認識が不可能となり、LiDAR で認識できるものの、過年度システムにおいては車両前方領域について LiDAR 単独での認識を許容していなかったため認識できなかったと考えられる。
- ②30 m、60 m 前方のマネキンは 0 lux の場合を除いて安定して認識可
 - カメラを用いた Deep Learning に基づく認識が有効であり、安定して認識できた。
- ③90 m 前方のマネキンはほぼ認識不可
 - 前述の屋外試験においては 120m まで認識できていたが、マネキンに着せた服の色と 施設内の背景色とほぼ同じとなっており、カメラで認識しづらい環境だったと考えられる。

2) 照度変化試験(側方領域の物体認識評価)

T 字路での側方からの接近物を想定して、車両の右方向に歩行者、自転車、自動車を配置して静的評価試験を実施した。照度 1600 lux と 0 lux の 2 パターンに対し、車両前面中心から横方向に、対象物までの距離を 100 m から 0 m まで 10 m 刻みで接近させた。照度が 0 lux で対象が自動車の場合は対象自動車のハイビーム OFF/ON を切り替えて評価した。このときの認識率のグラフを以下に示す。

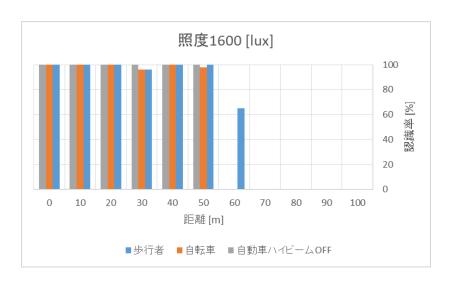


図 3.3.2-22 側方障害物の認識率 (照度 1600 lux)

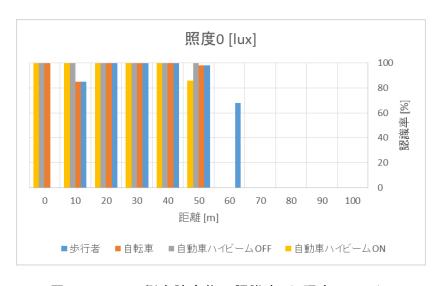


図 3.3.2-23 側方障害物の認識率 (照度 0 lux)

認識結果

- 過年度の認識システムでは車両の側方 60 m 以遠のデータを処理しない仕様であった ため認識できなかった。(処理範囲の境界上のため 60 m のとき歩行者マネキンはたま に認識できるが、自転車および自動車は先端部分の少ない点群だけを処理するため認 識できなかった)

3) 雨量変化試験(前方領域の物体認識評価)

車両の前方 30m、60m の距離にマネキンを配置し、雨量を変化させたときの認識率を評価した。雨量は計 3 パターン(30mm/h、50mm/h、80mm/h)変化させ、それぞれの雨量において照度を上述の計 7 パターン変化させた。このときのカメラ画像及び LiDAR 点群例と、認識率のグラフを以下に示す。







図 3.3.2-24 試験場風景

(左上:雨量 30mm/h、右上:雨量 50mm/h、左下:雨量 80mm/h)

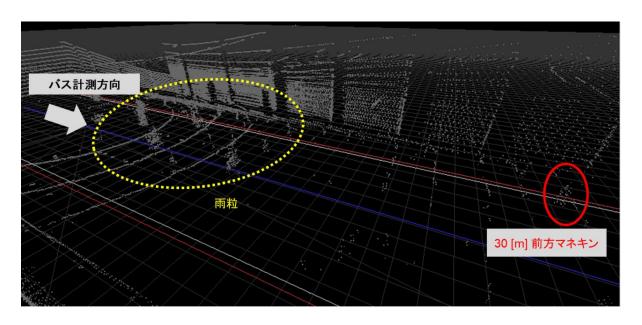


図 3.3.2-25 雨中試験の LiDAR 点群例 (雨量 30mm/h)

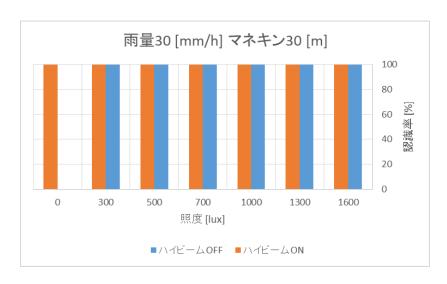


図 3.3.2-26 雨中認識試験結果(マネキン 30m、雨量 30mm/h)

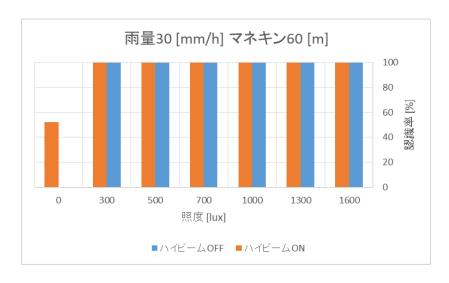


図 3.3.2-27 雨中認識試験結果(マネキン 60m、雨量 30mm/h)

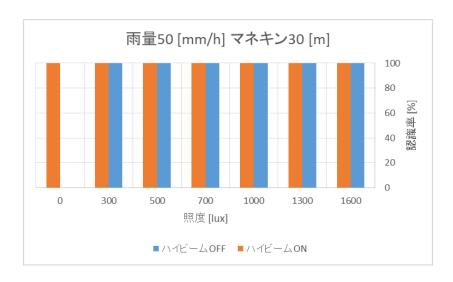


図 3.3.2-28 雨中認識試験結果(マネキン 30m、雨量 50mm/h)

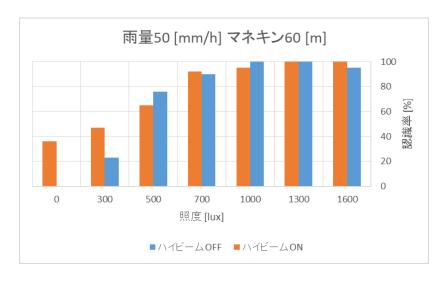


図 3.3.2-29 雨中認識試験結果(マネキン 60m、雨量 50mm/h)

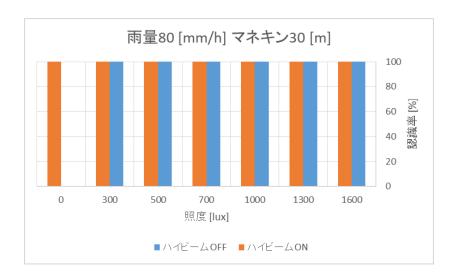


図 3.3.2-30 雨中認識試験結果(マネキン 30m、雨量 80mm/h)

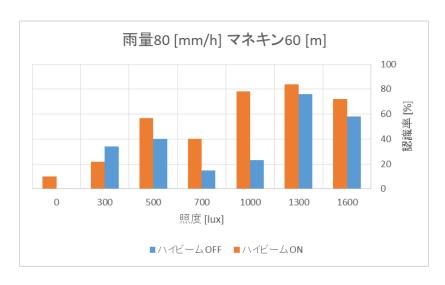


図 3.3.2-31 雨中認識試験結果(マネキン 60m、雨量 80mm/h)

雨中での認識試験結果

- ①30m 前方のマネキンは雨量によらず安定して認識可
- 真っ暗になる照度 0 lux・ハイビーム OFF の場合を除いて安定して認識できていた。 ②60 m 前方のマネキンは雨量が増えるにつれて照度低下の影響が増加
 - 雨量 30 mm/h の場合は安定して認識できたが、50 mm/h の場合は照度減少に伴って認識率も減少し、80 mm/h の場合はいずれの照度においても不安定な認識となった。

この結果より、過年度の認識ソフトウェアでは 50mm/h 以下の雨量では前方障害物を安定して認識できており、背景色と障害物が区分できる環境では 90m 程度先まで認識できていることから、本車両における雨量による ODD 判定の境界は 50mm/h 付近にあると推察される。

4) 雨量変化試験(側方領域の物体認識評価)

T 字路での側方からの接近物を想定し、車両の右方向に歩行者、自転車、自動車を配置して静的評価試験を実施した。照度は 1600 lux とし、雨量を計 3 パターン (30 mm/h、50 mm/h、80 mm/h) 変化させた。このときの認識率のグラフを以下に示す。

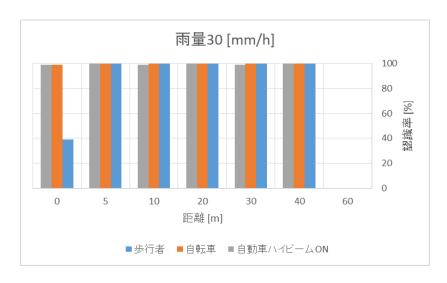


図 3-32 側方障害物認識結果 (雨量:30mm/h、照度 1600lux)

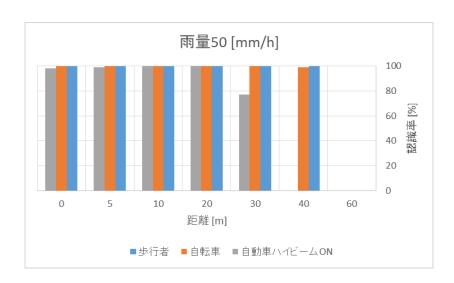


図 3-33 側方障害物認識結果 (雨量:50mm/h、照度 1600lux)

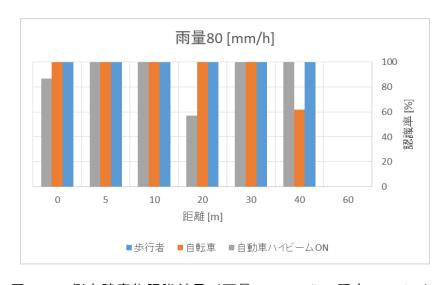


図 3-34 側方障害物認識結果 (雨量:80mm/h、照度 1600lux)

高度化編3-39

試験結果

- ①前述の通り過年度の認識システムでは車両の側方 60 m 以遠のデータを処理しない仕様であったため認識できなかった。
- ②雨量 80 mm/h の場合は前方試験に比べて認識率は高かったが、スプリンクラーの直下 に物体が位置する場合は認識率が低くなる結果が得られた。

5) 霧中変化試験(前方領域の物体認識評価)

車両の前方 30m、60m の距離にマネキンを配置し、霧濃度を変化させたときの認識率を評価した。霧の濃度を示す視程距離は計 4 パターン (80m、60m、40m、20m) 変化させ、それぞれの霧濃度において照度を上述の計 7 パターン変化させた。このときのカメラ画像及び LiDAR 点群例と、認識率のグラフを以下に示す。

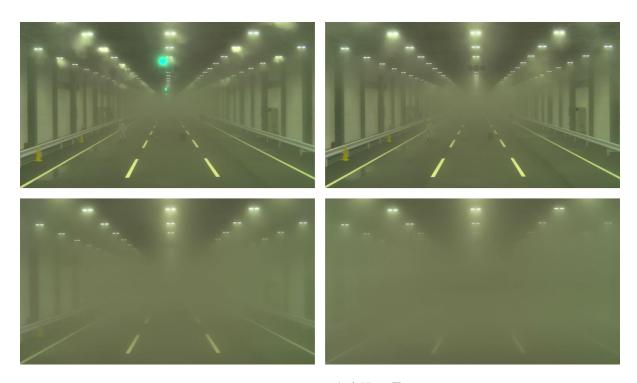


図 3.3.2-35 試験場風景

(左上: 視程 80m、右上: 視程 60m、左下: 視程 40m、右下: 視程 20 m)

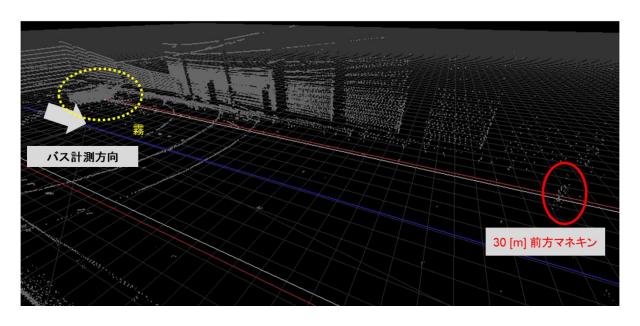


図 3.3.2-36 霧中試験での LiDAR 点群例 (視程距離 80m)

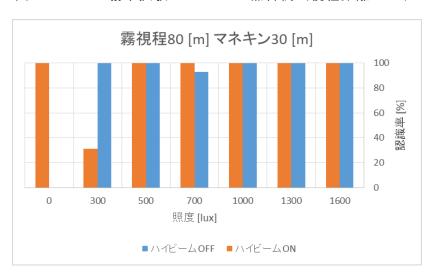


図 3.3.2-37 霧中試験結果(視程 80 m、マネキン前方 30m)

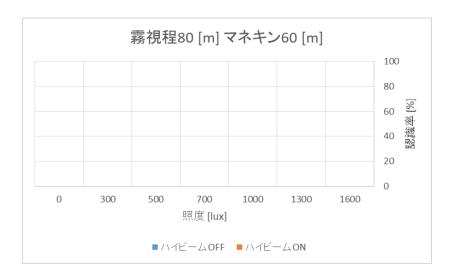


図 3.3.2-38 霧中試験結果(視程 80 m、マネキン前方 60m)

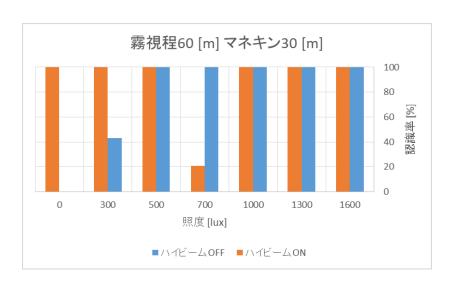


図 3.3.2-39 霧中試験結果(視程 60 m、マネキン前方 30m)

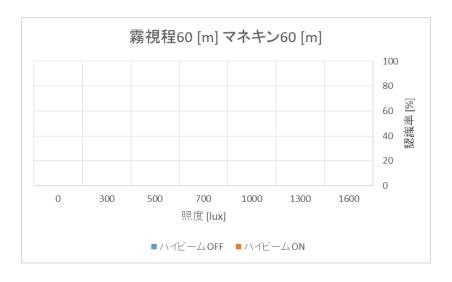


図 3.3.2-40 霧中試験結果(視程 60 m、マネキン前方 60m)

高度化編3-42

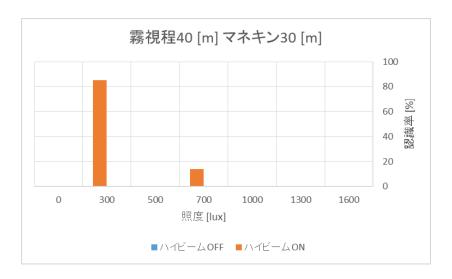


図 3.3.2-41 霧中試験結果(視程 40 m、マネキン前方 30m)

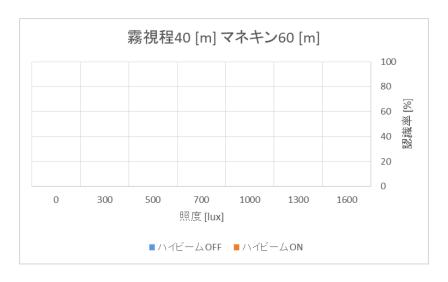


図 3.3.2-42 霧中試験結果(視程 40 m、マネキン前方 60m)

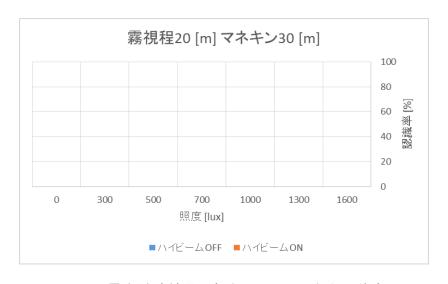


図 3.3.2-43 霧中試験結果(視程 20 m、マネキン前方 30m)

高度化編3-43

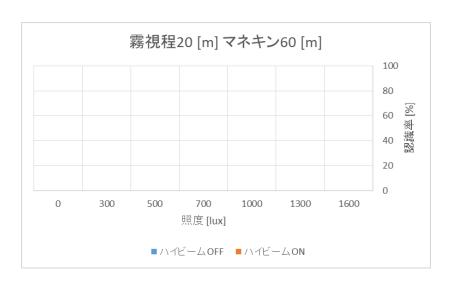


図 3.3.2-44 霧中試験結果(視程 20 m、マネキン前方 60m)

霧中認識試験結果(前方)

霧が発生している状態では視程距離以上のマネキンを検出することができず、比較的 照度が高い領域(1000 lux 以上)では視程距離内のマネキンは検出可能であったが、霧 が発生した際の ODD 設定には今後検討が必要となり、例えば安定して認識可能な距離 で停止可能な速度設定にするなどの方策が考えられる。

6) 霧濃度変化試験(側方物体認識評価)

T字路での側方からの接近物を想定して、車両の右方向に歩行者、自転車、自動車を配置して静的評価試験を実施した。照度は 1600~lux~eし、霧の濃度を示す視程距離を計 4~パターン (80~m、60~m、40~m、20~m) 変化させた。このときの認識率のグラフを以下に示す。

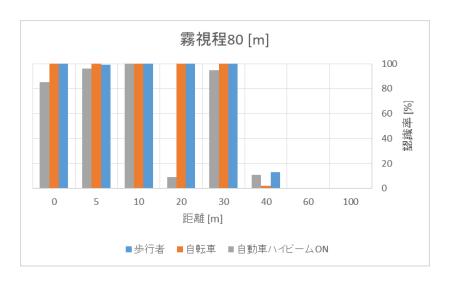


図 3.3.2-45 霧中側方障害物認識結果 (視程 80 m、照度 1600lux)

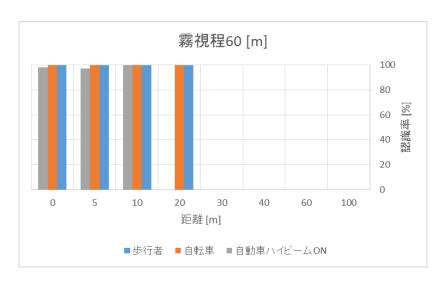


図 3.3.2-46 霧中側方障害物認識結果 (視程 60 m、照度 1600lux)

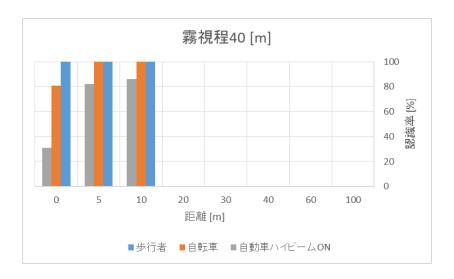


図 3.3.2-47 霧中側方障害物認識結果 (視程 40 m、照度 1600lux)

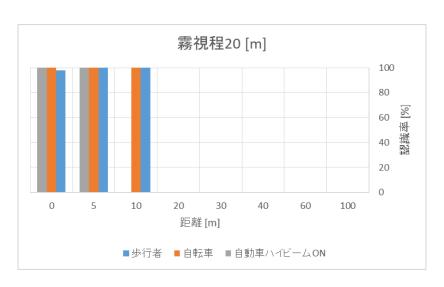


図 3.3.2-48 霧中側方障害物認識結果 (視程 20 m、照度 1600lux)

霧中側方障害物認識試験結果

- ①視程距離 80 m の場合は安定して認識できるのは 30 m までであり、30 m 以遠では認識不可能であった
- ②視程距離 $40\,\mathrm{m}$ 、 $20\mathrm{m}$ の場合は認識できるのは $10\,\mathrm{m}$ までであり、車両直近まで近づかないと認識できなかった

3.4. 市街地路での物体認識試験

前節まではトンネル内での障害物等の認識試験を行ったが、実走行路に近い環境での認識試験を実施した。試験は一般財団法人日本自動車研究所(JARI)のテストコースである V2X 市街地路を使用して実施した。

(1) 車両前方の歩行者認識 (ガードレールあり)

ガードレールの外側および内側を車両の走行方向に対して対向または並行に移動する 歩行者について、物体認識試験を実施した。このとき車両は 10 km/h と 40 km/h の 2 パ ターンの速度で走行しており、それぞれ 3 回ずつ実施した。

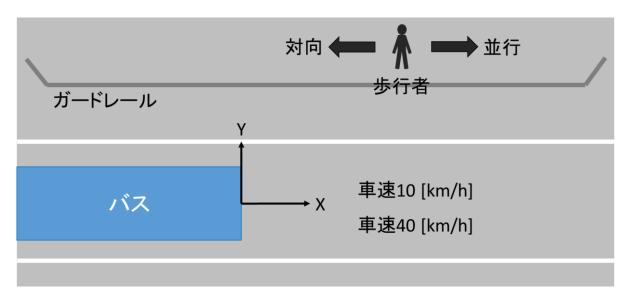


図 3.4-1 ガードレール外側の歩行者の認識試験条件

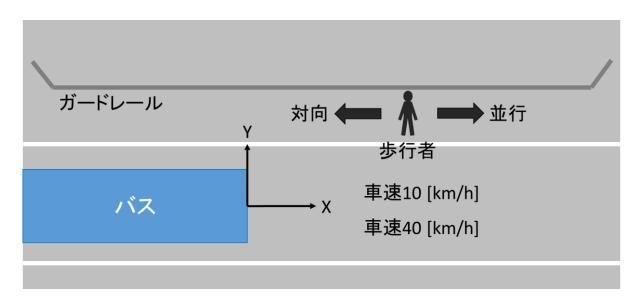


図 3.4-2 ガードレール内側の歩行者の認識試験条件



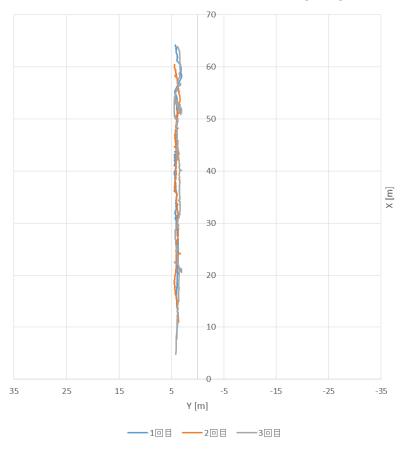


図 3.4-3 歩行者認識試験結果

上に示す図 3.4-3 は 10 km/h で走行する車両に対向して移動する歩行者を認識したときの検出位置を示している。図中の検出位置座標は車両の前面中心を原点とし、X 軸は車両進行方向を正とし、Y 軸は車両の左方向を正とした。横位置検出精度をみるうえで XY を同スケールで表現すると細かな変化を確認できないため、以下に示す結果では Y 軸 (横位置)を拡大して表現する。

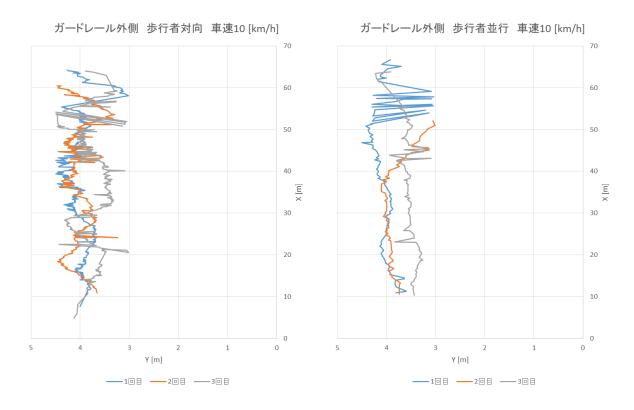


図 3.4-4 ガードレール外側の歩行者の検出位置(左:対向、右:並行 車速 10km/h)

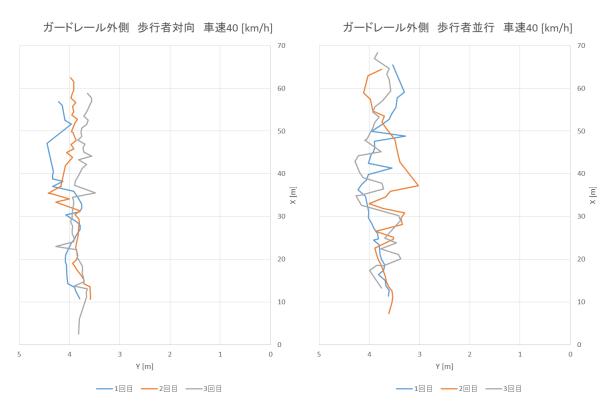


図 3.4-5 ガードレール外側の歩行者の検出位置(左:対向、右:並行 車速 40km/h)

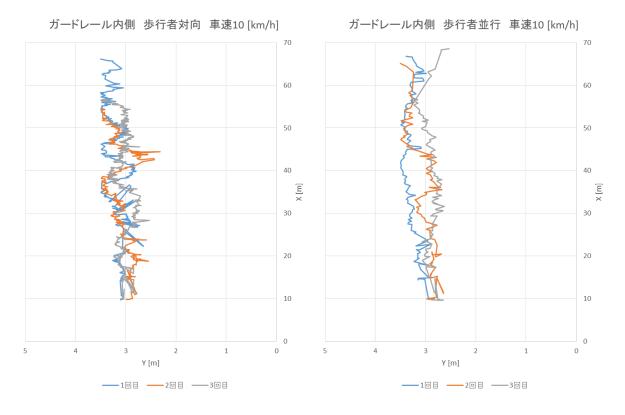


図 3.4-6 ガードレール内側の歩行者の検出位置(左:対向、右:並行 車速 10km/h)

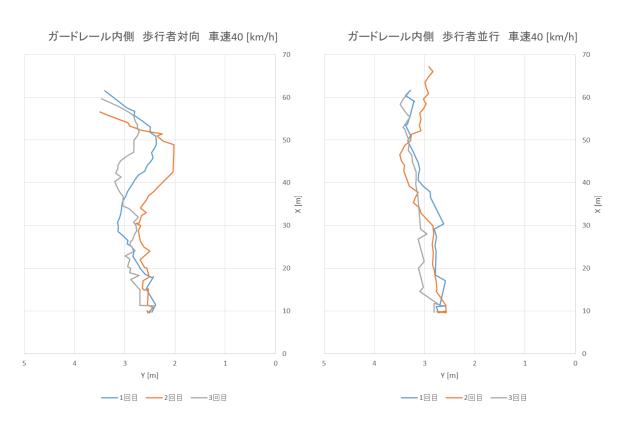


図 3.4-7 ガードレール内側の歩行者の検出位置(左:対向、右:並行 車速 40km/h)

(2) 車両前方の歩行者認識 (ガードレールなし)

車両の左側を車両の走行方向と並行して移動する歩行者に対して物体認識試験を実施した。このとき車両は 10 km/h と 40 km/h の $2 \text{ パターンの速度で走行しており、歩行者が移動する車両からの横方向のオフセット距離を変えて、それぞれ 3 回ずつ実施した。$

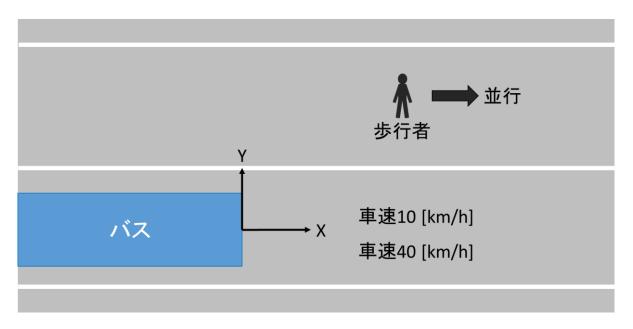


図 3.4-8 車両に対して並行に移動する歩行者の認識試験 (ガードレールなし)

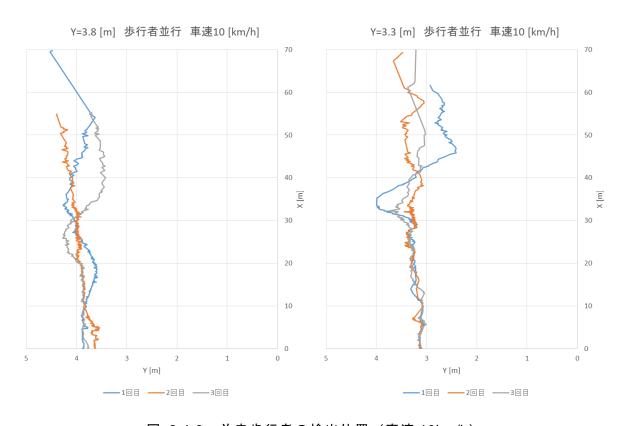


図 3.4-9 並走歩行者の検出位置(車速 10km/h)

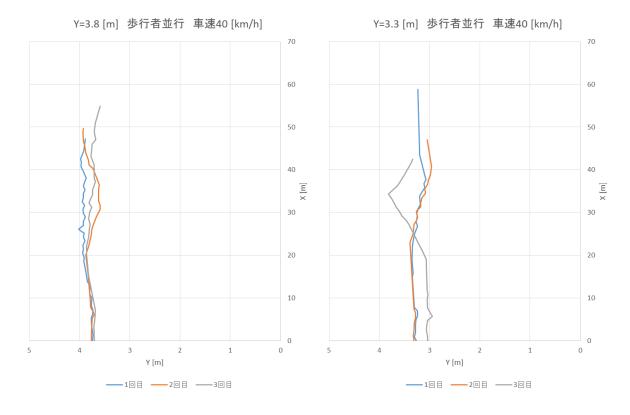


図 3.4-10 並走歩行者の検出位置(車速 40km/h)

試験結果

(1)、(2)の試験結果より、車両から遠方になるほど、歩行者の横方向の検出位置にバラツキがみられたものの、歩行者に近づくと横方向距離のバラツキは小さくなる傾向にあるため、歩道がある環境で自動運転バスを走行させる際に歩行者との横方向距離に応じた車速設定は困難ではないと考えられる。本試験は更新ソフトウェアでの評価が未実施であるため、今後評価を行う。

(3) 車両側方からの接近物に対する物体認識

交差点等において車両の側方から車両へ接近する物体、または車両近辺から車両の側方へ離れていく物体に対して認識試験を実施した。対象物体は歩行者、自転車、自動車の3種類で、自動車は10 km/h、40 km/h、60 km/h の速度で走行し、それぞれの条件において3回ずつ実施した。

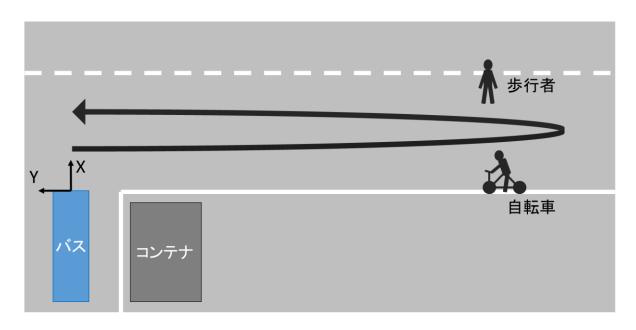


図 3.4-11 側方障害物認識試験(対象は車両から離れ、再び接近する)

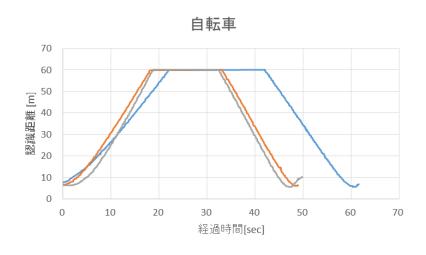


図 3.4-12 自転車の認識距離結果

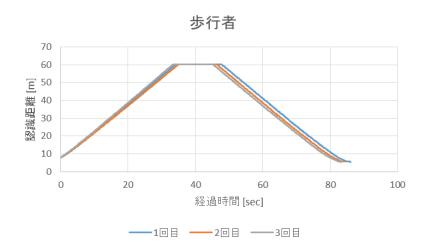


図 3.4-13 歩行者の認識距離結果

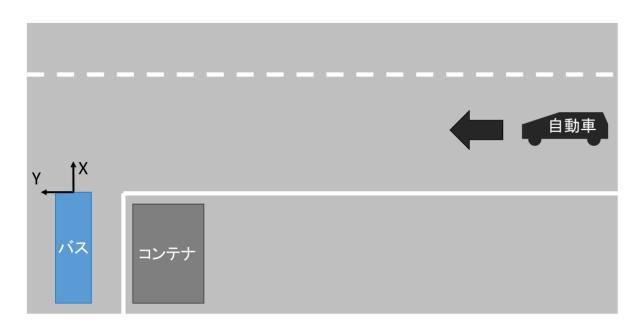


図 3.4-14 車両の認識試験(自車両に対して死角から近づき、自車両前を通過)

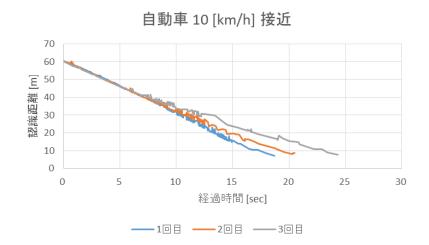


図 3.4-15 側方車両の認識距離(側方車 10km/h で接近)

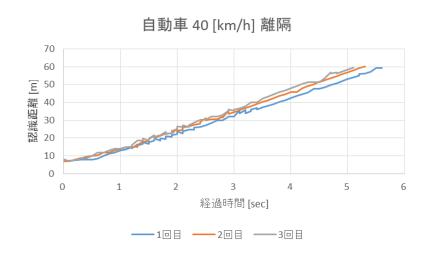


図 3.4-16 側方車両の認識距離(側方車 40km/h で離れる)

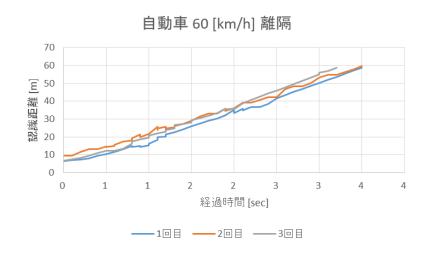


図 3.4-17 側方車両の認識距離(側方車 60km/h で離れる)

高度化編3-55

側方車両認識試験結果

V2X 路においては図 3.4-15~図 3.4-17 に示すように、自車両に対して 60m の距離から車両の認識が可能であり、かつ、接近、離隔が判定可能であることが分かった。このため、交差点での走行方法として、一旦停止による左右確認は今回の試験と同等の環境では可能であることを確認した。今後は更新ソフトウェアを用いて視認距離の拡大ついての確認も行う。

3.5. 遠隔操作システムとの連携

遠隔監視システムとの連携を想定し、遠隔監視システムから車両への発車、停車ができるように機能追加を行った。検証は TOR、MRM と同様のシステム構成で確認を行った。

遠隔監視システムからの指示として操作端末から停止指示および発車指示信号を自動運転システム側へ送信した。自動運転システムで停止指示信号を受信するとドライバーモニタ上に停止指示をしたことを表すメッセージが表示され(図 3.5-1 左)、車両が停止した。その後、操作端末から発車指示信号を自動運転システムへ送信し、発車できるか確認を行った。自動運転システムが発車指示信号を受信するとドライバーモニタ上に発車指示を受信したことを表すメッセージ(図 3.5-1 右)が表示され、車両の停止状態が解除された。その後車両は、走行コースとして設定されていた目標速度に向けて加速することが確認できた。





図 3.5-1 HMI表示(左:停止指示受信時、右:発車指示受信時)

第4章 無人自動運転移動サービスのサービス内容、事業モデルの整理

4.1. 無人自動運転移動サービス内容の整理

日立地域における移動の在り方、ニーズに応じた無人自動運転移動サービス内容の検討を行った。その際、運行主体者となる運行事業者や地方自治体の受容性と現時点での自動運転技術レベルとを照らし合わせながら、最適な無人自動運転移動サービス構築の検討を行った。

4.1.1. 無人自動運転移動サービス内容の検討

(1) ひたち BRT の運行状況の整理

日立地域の無人自動運転移動サービス内容の検討にあたり、現行のひたち BRT の運行ルート、運行ダイヤを把握した。

ひたち BRT は多賀駅前~おさかなセンターを運行区間としており、河原子 BRT~南部図書館の間が専用道区間、その他区間が一般道区間となっている。

平日の多賀駅前停の運行ダイヤをみると朝夕のピーク時を除き、概ね1時間に3便程 度運行している。

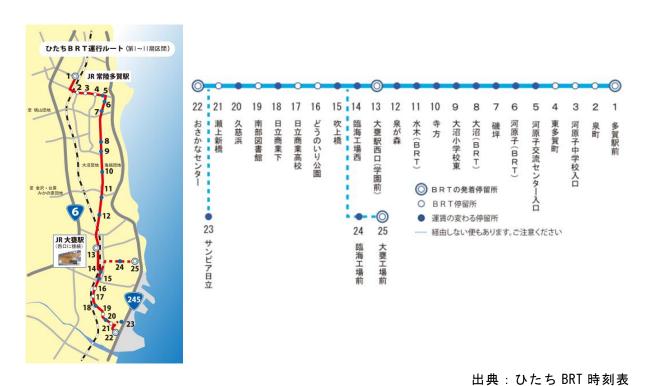


図 4.1.1-1 ひたち BRT 運行ルート

| | BRT 大藝 | RT・大沼BRT経由 悪駅西口(学園前) 節略図表示 | 河原 | 子B· | В | RT 大 | 護西口・ 甕工場前 | 河原 | i子Β・ | 大沼B・大甕西口・日商・南部図経由 BRT おさかなセンター 系統第四次元 |
|----|--------|----------------------------------|----------|----------|----------|------|--------------|----|------|---|
| 06 | 01 21 | 41 | | | | | | 11 | 31 | 51 |
| 07 | 01 | | 11 36 | 16 41 | 21 51 | 26 | 31 | | | |
| 08 | 31 | | 01 | 11 | | | | 25 | 44 | 51 |
| 09 | 06 21 | 41 | | | | | | 11 | | |
| 10 | 21 | | | | | | | 01 | 41 | |
| 11 | 01 41 | | | | | | | 21 | | |
| 12 | 21 | | | | | | | 01 | 41 | |
| 13 | 01 41 | | | | | | | 21 | | |
| 14 | 21 | | | | | | | 01 | 41 | |
| 15 | 01 41 | | | | | | | 21 | | |
| 16 | 21 | | | | | | | 01 | 41 | |
| 17 | 16 41 | | | | | | | 01 | 31 | 51 |
| 18 | 01 21 | 44 | | | | | | 11 | 31 | 57 |
| 19 | 06 46 | | | | | | | 16 | 26 | 32 |
| 20 | 16 46 | | | | | | | 01 | 31 | 57 |
| 21 | | | | | | | | 08 | 36 | |
| 22 | | | | | | | | 05 | 35 | |

出典:茨城交通 HP

図 4.1.1-2 ひたち BRT 運行ダイヤ (多賀駅前、平日)

(2) 運行場面の洗い出し

無人自動運転移動サービス内容の検討にあたり、運行事業者との協業で、乗務員の一連の対応の流れを運行場面の分類ごとに洗い出し、類型化してとりまとめた。運行場面ごとの対応方針については、遠隔監視者の役割検討内で整理した。

運行場面の整理にあたって、大分類としてシステムが正常作動するかどうかで区分し、 通常時は、緊急時として生命や安全を著しく害する場面と、平常時として緊急時を除く 日常的な運行の場面に分類する。

表 4.1.1-1 運行場面の分類の考え方

| 運行場面の分類 | | 運行場面の分類 | 考え方 | | |
|-----------------------|-------|-----------|------------------------------|--|--|
| • 通常 | | | | | |
| | 平常時緊急 | | 緊急時を除く日常的な運行の場面 | | |
| | | 緊急時 | システム正常かつ生命や安全を著しく害する可能性のある場面 | | |
| $\lceil \cdot \rceil$ | • 異常 | | | | |
| | | 車内のサービス機器 | 機器の不具合・故障が発生した | | |

表 4.1.1-2 運行場面の類型

| 分類 | 運行場面の類型 |
|----------|---------------------------------|
| 通常 (平常時) | ①車内安全確認、②車外安全確認、③料金収受対応、④バス停状況確 |
| | 認、⑤ドアの開閉、⑥停車出発の判断、⑦乗車のサポート |
| 通常 (緊急時) | ①車内転倒、②車内トラブル、③車両火災・事故、④バスジャック |
| 異常時 | ①安全運行に係るもの、②上記ではないが、対応が必要なもの、 |
| | ③早急に対応する必要はないが、運行管理者への連絡が必要なもの |

表 4.1.1-3 運行場面の洗い出し及び類型化の整理【通常(平常時)】

| 運行場面 | | | |
|-------|----------|---------------|-------------------|
| 分類 | 類型 | 車両状態 | 事象 |
| 通常時 | ①車内安全確認 | 出発時の対応 | 出発判断(車内安全確認) |
| (平常時) | | | 出発時の音声案内 |
| | | | 車内の事故防止のアナウンス |
| | | 走行中の対応 | 車内安全確認 |
| | | | 車内放送 |
| | ②車外安全確認 | 出発時の対応 | 出発判断(車外安全確認) |
| | ③料金収受対応 | 乗車時の対応 | 乗客がICカードタッチしたか確認 |
| | | | 乗客が整理券を取得したか確認 |
| | | 降車時の対応 | 現金での運賃の支払い |
| | | | ICカードでの運賃の支払い |
| | | | 運賃未払い |
| | ④バス停状況確認 | 出発時の対応 | 飛び乗り客、乗せ忘れ客の有無確認 |
| | | 走行中の対応 | 機器操作(バス停送り操作) |
| | | | 通過判断 |
| | | | 通過時の機器操作 |
| | | | 待ち客の見逃し確認 |
| | | 降車時の対応 | 降車客がいないことの確認 |
| | ⑤ドアの開閉 | 乗車時の対応 | ドアを開く |
| | | 出発時の対応 | ドアを閉じる |
| | | 降車時の対応 | 前扉(降車扉)を開ける→中扉(乗車 |
| | | 14-13-05/1/10 | 扉)を開ける |
| | ⑥停車・出発の判 | | 出発時刻の判断 |
| | 断 | 走行中の対応 | 降車ボタンとの連動 |
| | ⑦乗車のサポート | 乗車時の対応 | ハンディキャップ(車いす)の方が一 |
| | | | 人で乗車できない場合への対応 |
| | | | ハンディキャップ(ベビーカー、視覚 |
| | | | 障碍者等)の方が一人で乗車できない |
| | | | 場合への対応 |

表 4.1.1-4 運行場面の洗い出し及び類型化の整理【通常(緊急時)・異常時】

| 運行場面 | | | |
|-------|-------------|--------|-----------------------------|
| 分類 | 類型 | 車両状態 | 事象 |
| 通常時 | ①車内転倒 | 乗車時の対応 | ドアの開閉による乗客の転倒 |
| (緊急時) | | 出発時の対応 | 乗客が車内で転倒(停車・発進時) |
| | | 走行中の対応 | 乗客が車内で転倒(走行中) |
| | ②車内トラブル | | 乗客に起因する車内トラブル(車内秩序の維持) |
| | | | 乗客に起因する車内トラブル (苦情処理) |
| | | | 乗客に起因する車内トラブル(生命を保護するための処置) |
| | | | 乗客に起因する車内トラブル(善意で対応しているもの) |
| | ③車両火災・事故 | | 人身・物損事故 |
| | | 停車中の対応 | 人身・物損事故 |
| | | 走行中の対応 | 車内火災 |
| | | | 車両火災 |
| | ④バスジャック | | バスジャック |
| 異常時 | ①安全運行に係るもの | 1 | 自動ドア装置故障 |
| (機器の | | _ | 運賃収受システムが故障 |
| 不具合・ | | 1 | 案内表示システムが故障 |
| 故障) | | 1 | LED行先表示器が故障 |
| | | 1 | 降車信号装置(押しボタン)が故障 |
| | | 1 | 空調システムが故障(真夏日orコロナ) |
| | ②上記ではないが、対応 | | 案内表示システムが故障 |
| | が必要なもの | | |
| | ③早急に対応する必要は | _ | 車内灯等が故障 |
| | ないが、運行管理者への | _ | 空調システムが故障(真夏日orコロナ以外) |
| | 連絡が必要なもの | _ | 運行管理システムが故障 |

(3) 無人自動運転移動サービス内容の整理

現行のひたち BRT の運行状況や運行場面の整理を踏まえ、地域関係者と一体となって議論し、運行事業者の受容性やニーズと現時点での自動運転技術レベルとを照らし合わせ、2023 年度は乗務員が乗車する自動運転移動サービス、2025 年度は乗務員が乗車しない自動運転移動サービスを目指すこととした。

具体的な無人自動運転移動サービス内容について、乗務員の有無、走行区間、運行時間、乗客の有無、立席の有無、遠隔監視者、車両台数、バス停の走行方法の項目を設定した。なお、事業者へのヒアリングにより実施されており、ノウハウ等も含めるため詳細は割愛する。

4.2. 事業モデルの検討

4.1 で検討したサービス内容を踏まえ、具体的な運行経費(イニシャルコストやランニングコスト)の費目を検討した。また、サービスに係る関係者間の役割分担、事業効果、運行経費と料金収入のバランスのとれた事業モデルの在り方を検討した。

4.2.1. 運行経費の検討

ひたち BRT 専用道内の無人自動運転移動サービスの導入にあたり、システム導入に係る初期費用(イニシャルコスト)及び維持費用(ランニングコスト)に係る費目を整理した。検討にあたり、地域関係者へヒアリングを行い、維持費用の費目内に通信費や耐久年数等を追加した。

運行経費は現地実証実験等を踏まえ更なる精査が必要となる。また、精査した運行経費を事業主体、運行主体に共有し、料金収入のバランスのとれた事業モデルのあり方について次年度以降運行主体と連携し検討を行う。

表 4.2.1-1 システム導入に係る初期費用及び維持費用に係る費目

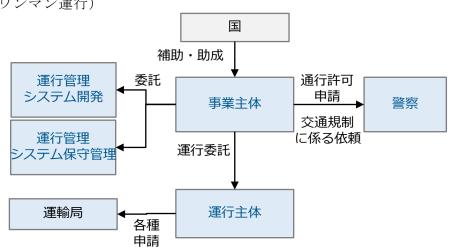
| 項目 | 初期費用に係る費目 | 維持費用に係る費目 | 備考 |
|--------|------------------------|-------------|--------------|
| 自動運転 | ・車両費 | ・点検、車検費用 | ・認証、登録費用は型式認 |
| 車両 | ・自動運転システム | •機器更新費用(機器 | 定を取れば不要 |
| | 費 | の耐久年数に応じ | ・車両調律費はルート変更 |
| | • 車両改造費 | て発生) | ごとに必要 |
| | ・料金収受等の既存 | ・車両保険 (緑ナンバ | ・車両点検に使用する機器 |
| | システム改修費 | <u>-</u>) | は初期費用等に含まない |
| | ・車両調律費 | | ・点検費用には機器保証も |
| | ・認証、登録費用 | | 含む |
| 遠隔監視 | ・遠隔監視システム | • 通信費 | _ |
| システム | 費 | • 電気代 | |
| | ・車両への設置費用 | • 点検費用 | |
| | | •機器更新費用(機器 | |
| | | の耐久年数に応じ | |
| | | て発生) | |
| 路側セン | センサ費 | • 通信費 | _ |
| サ | ・路側、車両への機器 | • 電気代 | |
| | 設置費 | • 点検費用 | |
| | | •機器更新費用 | |
| 信号協調 | ・信号協調システム | • 通信費 | _ |
| システム | 費 | • 電気代 | |
| | ・路側、車両への機器 | • 点検費用 | |
| | 設置費 | •機器更新費用 | |
| 磁気マー | ・磁気マーカ設置費 | ・舗装工事等による | ・2m間隔での設置が必要 |
| カ | | 磁気マーカの埋め | |
| | | 戻し費用 | |
| BRT 特有 | •機器更新費 | ·維持管理費 | _ |
| の機器と | | • 通信費 | |
| の連携 | | | |
| | | | |

4.2.2. 関係者間の役割分担の検討

ひたち BRT 専用道区間内の無人自動運転サービスの導入を検討するにあたり、関係者間の役割分担について、日立市へのヒアリング結果も踏まえ、現状のワンマン運行時と無人自動運転移動サービス導入時の体系図と役割を以下に整理した。

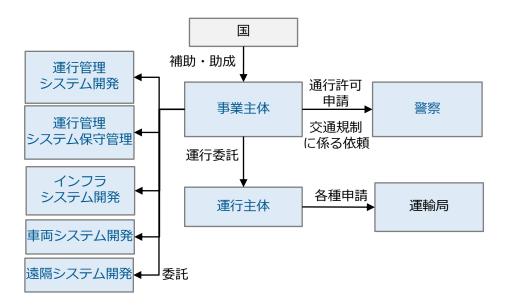
なお、ひたち BRT における無人自動運転移動サービス導入時の役割分担については、 ひたち BRT の事業主体及び運行事業者と協議し、継続的に検討を進める。

○現状 (ワンマン運行)



| 関係者 | 役割 |
|------------------|--|
| 事業主体 | 運行に係る業務委託 専用道内の設置機器の開発及び年間保守業務委託 車両購入補助 走行環境(専用道内の設置機器、路面舗装、磁気マーカ、植栽の伐採等)の整備・維持管理 警察への通行許可申請や交通規制に係る依頼・調整 |
| 運行主体 | 業務委託に基づく運行 車両整備・維持管理(法定点検:1回/3か月、車検:1回/年実施、運行主体独自の点検:1回/月実施) 車両故障時の対応 BRT信号、バーゲート、パトランプ等の機器の通信コスト負担 運輸支局への運行ダイヤ、ナンバー登録等の各種申請 |
| 警察 | • 通行許可申請の許可、交通規制に係る各種調整 |
| 運輸局 | ・ 各種申請の許可 |
| 運行管理システム 開発者 | ・ 業務委託に基づく運行管理システムの開発 |
| 運行管理システム 保守管理 | ・ 業務委託に基づく運行管理システムの維持管理(1 回/年点検を 実施、その他随時修繕を実施) |

○自動運転移動サービス導入時



| 関係者 | 役割 |
|-----------------|---|
| 事業主体 | 運行に係る業務委託 専用道内の設置機器の開発及び年間保守業務委託 車両購入補助 走行環境(専用道内の設置機器、路面舗装、磁気マーカ、植栽の伐採等)の整備・維持管理 警察への通行許可申請や交通規制に係る依頼・調整 |
| 運行主体 | 業務委託に基づく運行 車両整備・維持管理 車両故障時の対応 BRT 信号、バーゲート、パトランプ等の機器の通信コスト負担 運輸支局への運行ダイヤ、ナンバー登録等の各種申請 |
| 警察 | • 通行許可申請の許可、交通規制に係る各種調整 |
| 運輸局 | ・ 各種申請の許可 |
| 運行管理システム開発者 | ・ 業務委託に基づく運行管理システムの開発 |
| 運行管理システム保守管理 | ・ 業務委託に基づく運行管理システムの維持管理 |
| インフラシス テム開発者 | ・ 業務委託に基づくインフラシステムの開発、維持管理 |
| 車両システム 開発者 | ・ 業務委託に基づく車両システムの維持管理 |
| 遠隔 システム 開発者 | ・ 業務委託に基づく遠隔システムの開発、維持管理 |

4.2.3. 事業効果の検討

車内無人化となった場合の事業効果について、運転時間等の変化の視点で検討する。 バスを含む自動車運転者については、厚生労働省が以下の改善基準告示(「自動車運 転者の労働時間等の改善のための基準」(平成元年〈1989〉2月9日 労働省告示第7号) を策定し、国土交通省もこの改善基準告示をそのまま引用して勤務時間等告示(「旅客 自動車運送事業運輸規則第21条第1項の規定に基づく事業用自動車の運転者の勤務時 間及び乗務時間に係る基準」(平成13年〈2001〉12月3日 国土交通省告示第1675号)) を定めている。

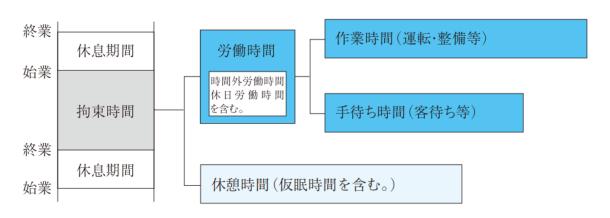
(参考) 昭和三十一年運輸省令第四十四号

旅客自動車運送事業運輸規則

(過労防止等)

第二十一条 旅客自動車運送事業者は、過労の防止を十分考慮して、国土交通大臣が告示で定める基準に従って、事業用自動車の運転者の勤務時間及び乗務時間を 定め、当該運転者にこれらを遵守させなければならない。

厚生労働省で示されている「バス運転者の労働時間等の改善基準のポイント」によると、乗務員の労働時間は作業時間(運転、整備等)、手持ち時間(客待ち等)で構成されている。厚生労働省が示す「自動車運転手の労働時間等の改善のための基準」が定める拘束時間を遵守し、休息期間を確保するよう事業者に義務付けられている。乗務員の1日の運転時間は2日(始業時刻から起算して48時間)平均で9時間が限度となっており、9時間を超えると改善基準告示に違反することとなる。また、連続運転時間は4時間が限度となっている。運転開始後4時間以内又は4時間経過直後に運転を中断して30分以上休憩等を確保しなければならない。自動車運転の業務においては、時間外労働及び休日労働は1日の最大拘束時間(16時間)、4週間の拘束時間(原則260時間、労使協定がある場合は286時間)が限度である。



※出典:自動車運転手の労働時間等の改善のための基準(厚生労働省)

図 4.2.3-1 拘束時間、休息期間等の基準

(参考)

自動車運転者の労働時間等の改善基準告示の概要(バス等)

| 区 分 | バス等 | 条文 |
|-----------------------|---|-------------------|
| 拘束時間 | 4週平均で1週間当たり 65時間 (貸切バスを運行する営業所において運転の業務に従事する 者、貸切バスに乗務する者及び高速バスの運転者については、 労使協定があるときは、52週のうち16週間までは、4週平均で 1週間当たり71.5時間まで延長可) 1日原則13時間 最大16時間(15時間超えは1週2回以内) | 5①1 5①2 5①2 |
| 休息期間 | 継続8時間以上 運転者の住所地での休息期間が、それ以外の場所での休息期間 より長くなるように努めること | 5①3 5② |
| 拘束時間・ 休息期間の 特 例 | 分割休息期間、2人勤務、隔日勤務及びフェリー乗船における 特例は、労働省労働基準局長通達の定めによる | 5③ |
| 運転時間 | 2日平均で1日当たり 9時間 4週平均で1週当たり 40時間 (貸切バスを運行する営業所において運転の業務に従事する 者、貸切バスに乗務する者及び高速バスの運転者については、 労使協定があるときは、52週間についての運転時間が2080時間 を超えない範囲内において、52週のうち16週間までは、4週平 均で1週間当たり44時間まで延長可) | 5①4 5①4 |
| 連続時間 | 4時間以内(運転の中断には、1回連続10分以上、かつ、合計 30分以上の運転離脱が必要) | 5①5 |
| 時間外労働 | 一定期間は2週間及び1か月以上3か月以内の期間を協定 | 54 |
| 休日労働 | 2週間に1回以内、かつ、4週の拘束時間及び最大拘束時間の 範囲内 | 5⑤ |

出典:バス運転者の労働時間等の基準 - 自交総連のホームページ

http://www.jikosoren.jp/bus_jikyo/siryou/bus-kaizenkijyun.pdf

注)上表右欄は、「自動車運転者の労働時間等の改善のための基準 (平成元年二月九日)(労働省告示第七号)」の条項号を示す。

そのため、車内無人化となった場合では、現状のワンマン運行している運行時間のうち、車内無人化となった区間の乗務員の運転時間が削減され、乗務員の連続運転時間に大きく縛られることなくダイヤ設定が可能となるため、運行事業者にとっては路線単体ではなく、周辺路線を含めてサービスレベルの改善が期待できると考えられる。

一方で、車両台数の制約、車内無人化区間外の乗務員の人員配置など、上記の効果を発現するための検討事項もある。また、今回検討した事業効果はレベル 4 を前提としたものであることから、技術の進展に応じて精査が必要となる。日立地域においても今後は運行事業者と一体となり事業効果等を踏まえた事業モデルを検討する必要があることから、2022 年度に計画している実証実験等の結果を運行主体にも共有し、自動運転システム全体の技術レベルに応じた持続可能な事業モデルの検討を継続的に行う。

4.2.4. 運行経費と料金収入のバランスの取れた事業モデルの在り方の検討

運行経費の検討を踏まえ、無人自動運転移動サービスの導入にあたり、自動運転に係るコストが必要となることから、運行経費と料金収入のバランスの取れた事業モデルを検討する必要がある。

日立地域においては、MaaS 実証実験にも取り組んでおり、自家用車に依存した生活の地方における MaaS モデルの確立を目指し、既存の交通モードと先行して実施しているデマンドサービスや自動運転をシームレスにつなぐアプリの提供、およびサービスを支える情報技術基盤を実証している。

他の移動手段とも連携し特定の路線だけでなくエリア全体としてサービスを提供する 事業モデルも想定されることから、地域の移動特性にあったサービス設計を継続的に検 討する。

茨城県日立市における地方都市型MaaS実証実験 (国土交通省 新モビリティサービス推進事業選定(地方都市型))



く実証実験概要>

自家用車に依存した生活の地方におけるMaaSモデルの確立を目指し、既存の交通モードと先行して実施しているデマンドサービスや自動運転をシームレスにつなぐアプリの提供、およびサービスを支える情報技術基盤を日立地域で実証する。

- ○実験期間:2019年11月~2020年2月
- ○参画する事業者等

日立市、茨城県、茨城交通(株)、電鉄タクシー(株)、 (株)みちのりホールディングス、(株)日立製作所、 (株)常陽銀行、国立大学法人茨城大学

- OMaaSアプリの構築・提供
 - <対象交通手段>

鉄道、バス(路線バス・BRT)、タクシー、 Alオンデマンド交通(通勤型、ラストワンマイル型)

- <提供するサービス> 経路検索・予約・決済
- ○特記事項
 - ・デジタルチケットの提供
 - ※路線バス、BRTの切符

茨城交通が提供する水戸市内の一日乗車券等の検討

- ・日立市内の商店等と連携、クーポン配布検討
- ・みちのりHDで運営しているオープンデータシステムの活用

<展開エリアイメージ>

- 1. 提供サービス
- A) 日立版MaaSアプリのリリース (検索、決済、チケット発券)
- B) 通勤型デマンドサービスの提供
- C) ラストワンマイル型デマンドサービス の提供
- 2. 利用できる交通機関

日立エリアの茨城交通バス、BRT、 タクシー、デマンドバス



<MaaSデータ統合システムイメージ>



出典:国交省資料

図 4.2.4-1 日立市における MaaS 実証実験概要

第5章 遠隔監視システムの開発

5.1. 遠隔監視者の役割検討

無人自動運転移動サービスの社会実装において、自動運転車両システムの単体でのレベル3、4を満足するためには、自動運転車両のシステムの冗長化が求められる。一方、将来の無人自動運転移動サービスにおいては、実用化に向けて様々な形態や利用法が考えられるが、自家用車のような車両台数が見込めないこともあり、多くのセンサやアクチュエータを有した冗長系のシステムは、高コスト構造となる。高コスト構造な車両を使った場合、無人自動運転移動サービスにおける事業性が困難になる可能性が高い。そこで、遠隔監視者や乗務員を含めることで、トータルとしてのサービスの持続性・継続性の観点を満たし、かつ実際の運行事業者が受け入れられる現実的なサービス形態を実現することが重要である。そのため、遠隔監視者の役割を検討し、様々な事象毎の整理をすることが必要である。

本項では、上記の実現に向けて、本年度に検討した遠隔監視者の役割を説明する。本検討ではひたち BRT を対象とし、ひたち BRT における高度化を目指し、日立地域のバス運行事業者との密な連携を図りながら検討を進めた。なお、無人自動運転移動サービスの実現のためには、自動運転の制御に関わる部分と無人移動サービスに関わる部分があり、どちらにおいてもあらゆる場面や条件を想定し、それぞれにおいての対応を整理する必要がある。今年度においては、まだ自動走行における走り方や ODD の設定がきちんとされていないため、走行制御については、考え方を整理して取りまとめた。また、無人移動サービスに関しては、乗務員等の役割を参考にするとともに、詳細に取りまとめた。なお、無人移動サービスにおいては、本来は車内の乗務員の方が行っているバスの車内サービスと車内安全等を含むものである。

5.1.1. 想定運行サービスの調査と役割の整理【高度化の観点】

今年度における、ひたち BRT に関連する事業者等を含めた議論の結果、2023 年度においては車内に乗務員(大型免許 2 種)ありでの自動走行、2025 年度に向けて乗務員なしの自動走行を目指すことになった。そのため、2025 年度の最終ゴールに向けては、車内無人化である所謂乗務員なしを目指して役割の検討を行った。役割については、すでに自動運転レベル 3 を達成している永平寺町の自動走行モデルを参考にしつつ、ひたちBRT 地域をモデル地域として設定し、実際の運行事業者の想定するサービス・環境の中で、運行事業者が遠隔監視者、車内添乗員、システム(車両、遠隔監視、インフラ)に求めたい役割を 2023 年度の乗務員あり、2025 年度の乗務員なしで検討を行った。

遠隔監視者と乗務員の役割検討にあたり、下記の 4 象限を対象とし、システムの対応 範囲、遠隔監視者・乗務員の役割を軸に整理した。図 5.1.1-1 に象限における概念図を示 す。

- 「第1象限」システム正常時で通常走行
- 「第2象限」システム正常時で緊急時(システムが対応可能かで遠隔監視者の対応が 異なる)
 - 「第3象限」システム異常時で通常走行
- 「第4象限」システム異常時で緊急時(単体の冗長化による解決、遠隔によるバックアップ)

自動走行制御については、最終目的であるひたち BRT における自動走行レベル 4 を想定してシステムの事象の流れをフローチャートとして整理した。図 5.1.1-2 に制御におけるシステムのフローチャートを示す。先に述べた通り、今年度は、まだ正確に ODD や制御に関する走行詳細は決まっていないため、今年度での想定は仮のものとして整理としている。

無人移動サービスについては、先に述べた象限を想定し、通常走行時、緊急時、異常時の3つのパターンに分けて整理をした。次年度以降においてこれらの整理を事業者等にも確認し、特に的外れな役割等になっていないかを確認するとともに、最終的にひたち BRT における遠隔監視に関するマニュアル化を目指す。以下では、まず全体に整理した概要、整理された通常走行時、緊急時、通常時の役割に分けて説明する。なお、事業者へのヒアリングにより実施されている部分が含まれるため、一部は簡易的な表現にとどめる。

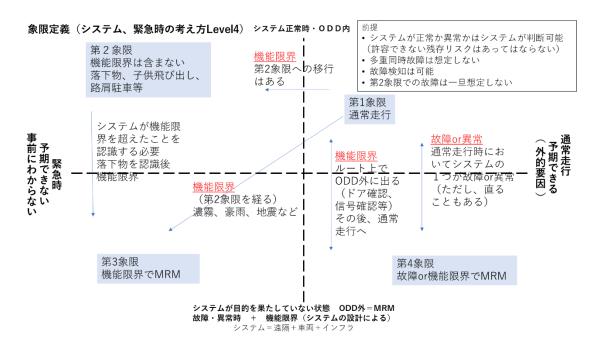
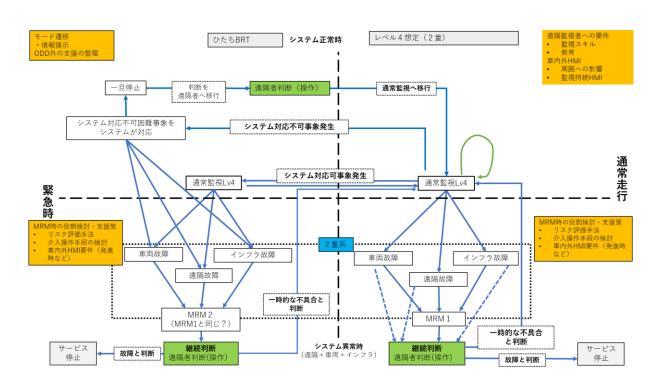


図 5.1.1-1 象限の概念図(自動走行制御)



故障診断ができる前提)

図 5.1.1-2 ひたち BRT におけるレベル 4 を想定したシステムの仮のフローチャート (自動走行制御)

5.2. 遠隔監視システムの高度化

遠隔監視者/乗務員の役割検討の中で整理された項目おいて、システムの高度化で対応するべき項目の検討を行った。下記の項目に対し、日立地域をモデル地域とした高度化の検討と、多様なエリアで、多様な車両を用いたサービスを多地域で展開することを念頭に横展開に向けた多様化の検討を並行して実施した。なお、テーマ1との密な連携を視野にいれ、テーマ1の技術会議にも出席をするとともに、テーマ1のPLとも常時ディスカッションを行い、こちらの検討の方向性や検討事項に的外れな箇所が存在しないか、テーマ1の成果をうまく取り込むことを常に確認しながら検討を進めた。以下ではそれぞれの項目の検討状況を説明する。なお、一部非公開情報については詳細を割愛した。

5.2.1. 遠隔監視者や無人車両内外への HMI の高度化に向けた機能の検討

(1) 遠隔監視者の HMI の検討

本年度においては、遠隔監視者の役割が整理中であり、遠隔監視者のタスクが固まっ ていない。一方で、遠隔監視者においては、基本的なタスクは監視であるため、時間変 化とともに覚醒度が落ちることが容易に想像される。今年度は、遠隔監視者の役割を一 旦仮で定義し、時間変化による処理能力の変化と処理能力の維持について、情報提示支 援システムの存在が処理能力に影響するかという 2 つの点を評価するため、将来的なひ たち BRT における遠隔監視の実証に向けた取組として、予備的な被験者実験を行った。 なお、今年度は自動運転の実地での走行が行われていないため、これまでの自動運転の 実証実験で得られた、ひたち BRT バスのドライブレコーダー映像を編集し、遠隔監視者 のパフォーマンス及び HMI の評価実験用のシステムを構築した。この実験システムを利 用し、被験者実験を通じて、遠隔監視者の常時監視と異常検知のパフォーマンスの時間 変化を調査した。加えてその実験と同時に、監視者パフォーマンス維持及び向上のため の HMI の検討を行った。図 5.2.1-1 に実際の被験者実験の風景を示す。国立研究開発法 人産業技術総合研究所の北サイトにある遠隔監視室を利用し、Psychopy 3.0 を用いた遠 隔監視タスクを模擬したプログラムを作成した。2020年度に行われた、ひたち BRT に おける自動運転レベル2の実証実験におけるドライブレコーダー映像を図 5.2.1-1 の遠 隔監視用の5つのモニタに表示し、被験者はその映像を監視して、2種類の監視タスク に従事してもらった。

- 1. バスが停留所に接近する際の「通過」か「停車」の判断タスク。停留所に乗客がいない場合は、「通過」ボタンを押すのが正答になる。停留所に乗客がいる場合は、「停車」ボタンを押すのが正答になる
 - 2. バスの車内映像にある異常(青い光点)を検出するタスク

遠隔監視者への情報提示 HMI の検討として、停留所までの時間を提示する場合と提示しない場合との 2 つの実験条件(図 5.2.1-2)を設定した。また、実験では、被験者の脳電 EEG(Brain Amp 社製脳波計)と眼電 EOG、視線(Pupil Lab 社製 invisible)を計測した。実験後に、被験者の眠気尺度 KSS、努力尺度 RSME、及びワークロード尺度 NASA-

TLX を取得した。本実験では、客観的な覚醒度指標として、遠隔監視作業中の4分毎の平均瞬目持続時間を算出した。脳波計を用いて、右目眼窩上下に装着した2つの電極を双極導出して眼電位を求めた。眼電図を1,000Hzのサンプリング周波数で計測し、0.5Hzの低域遮断フィルタ及び30Hzの高域遮断フィルタを適用した。産総研で自作した瞬目判定プログラムを使用して、瞬目の基準となる眼電位の変化を特定した。まずは予備的な監視課題での被験者実験を行ったが、予想通り、被験者が課題後には課題前より覚醒度の低下の傾向が見られた。図 5.2.1-3 に結果を示す。

平均瞬目持続時間の結果(図 5.2.1-4)からみると、監視課題開始最初の 12 分間、瞬目の持続時間が上昇する傾向を見られ、監視者の覚醒度はどんどん下がることを示された。なお、予備実験のサンプル数少ないため、条件間の統計的比較は行っていない。監視者の主観的な負担感(NASA-TLX)について、図 5.2.1-5 に示す。時間表示なし条件が時間表示あり条件よりも負担感が大きいことが示唆された。実験は、一人あたり3ブロック分行い、1ブロックあたり、通過判断4試行、停車判断4試行、車内異常2試行をランダムに提示した。1ブロックあたり12分~15分程度の時間に設定した。全体の誤答率について、時間表示なしの場合は、3ブロック目の誤答率が1~2ブロックより高かった。一方、時間表示ありの場合は、3ブロック目の誤答率が1~2ブロックより高かった。一方、時間表示ありの場合は、この上昇傾向が見られなかった。また、異常検知の反応時間については、図 5.2.1-6 に示す。3ブロックとも、時間表示あり条件が時間表示なし条件よりも反応が速いことが示唆された。以上のことから、監視作業開始以降に覚醒度の低減により監視パフォーマンスが落ちた一方で、時間表示あり条件では負担感を減少し、パフォーマンス維持に効果があると考察される。

また、実験後の被験者からのコメントでは、遠隔監視タスクを行う際に、停留所までの時間表示がある場合に、直前まで監視しない傾向になるため、負担感が減る一方、眠気が上がるという傾向があった。遠隔監視のタスクにおいては、作業の負担感と覚醒度のバランスを取ることによって、遠隔監視者のパフォーマンスを維持することが重要であると考えられる。また、監視作業では5つのモニタに自動運転車両の前後左右及び車内の映像を映していたが、特定の監視作業を行うために、特定のモニタしか見なかったという意見も得られた。以上により、必要になる情報を強調して提示することが合理的である可能性が高いと考える。

今回は、被験者人数が多くはないため、あくまでも現段階の傾向からではあるが、特に低い覚醒度においてもすぐに対応が行えるよう、モード遷移時においては遠隔監視者の注意を引くための仕組みまたは、覚醒度を上げるような支援が必要である。また、今回のような非常に単純な情報提示であっても負担感が減る傾向にあることから、単純な監視動画だけでなく、遠隔監視者に対して支援が可能な情報提示も有効である可能性が得られた。

今後は、今年度得られた結果を活用しつつ、まずは自動走行における走り方や遠隔監視者のタスクが明確化された遠隔監視者のタスクについて、パフォーマンスを維持できるような情報提示や支援方法を考えるとともに、今年度構築した実験システムを用いて、被験者実験を行う予定である。なお、被験者においても、新型コロナウイルス感染症等

の対策を十分にし、様々な被験者の特性の違いなども考慮した実験を行っていきたい。



図 5.2.1-1 遠隔監視の評価実験システムと実験風景



図 5.2.1-2 情報提示を変化させた実験条件:時間提示なし(左)と時間提示あり(右)

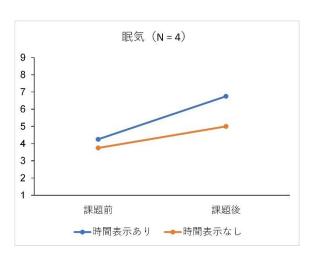


図 5.2.1-3 覚醒度の低下傾向

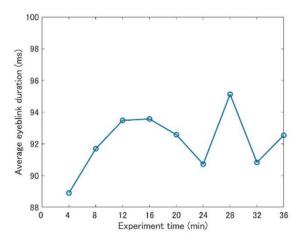


図 5.2.1-4 Average eyeblink duration (瞬きの継続時間の平均)

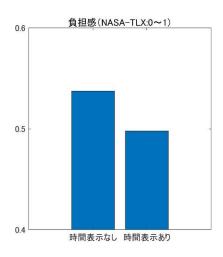
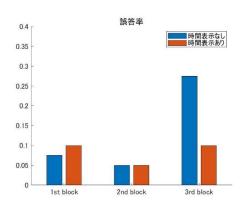
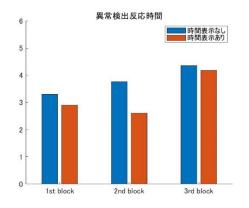
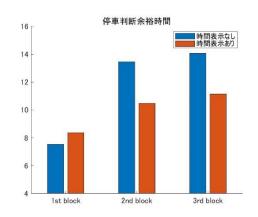


図 5.2.1-5 実験結果(負担感)







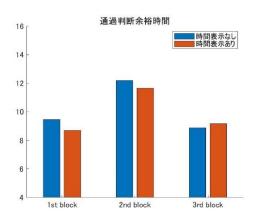


図 5.2.1-6 実験結果 (左上から誤答率、異常検出反応時間、停車判断余裕時間、通過判 断余裕時間)

- (2) 無人車両の車内外への HMI の検討
- ① 車外への HMI

自動運転車両が市民に受け入れられ、また社会へ広く普及していくためには、既存の交通環境における安全性を損なうことの無い更なる安全性の向上と革新的な利便性が必須である。車外 HMI はこれを満たす手段の一つであり、従来乗務員など人間の手によって行われていた周囲交通参加者とのコミュニケーションをシステムで代替するほか、人間のみでは行えなかった複雑な情報のやり取りを可能にする概念である。一方で、あくまでも車両側からのアウトプットが主になるため、周囲への強制力があるものではなく安全性と利便性の向上にとどまるものであり、本報告内においても絶対的安全の確保や必須情報交信のための手段としての車外 HMI の使用は想定の範囲外である。

本項では、自動運転バスの運行時に発生する様々な場面において、ルールに則った有効な車外 HMI を検討し、被験者実験を通じた受容性評価を行う。情報提示方法は、音、光、表示板などの出力装置を組み合わせた検討を行うこととし、運行事業者などの意見も参考にしつつ、効果的な提示方法を明らかにすることを目指した。

以下ではそれぞれの項目に分けて詳細に説明する。

i) 国内外の先行研究

国内における車外 HMI の先行研究の事例を挙げる。2020 年度「戦略的イノベーション 創造プログラム(SIP)第 2 期/自動運転(システムとサービスの拡張)/自動運転の高度 化に即した HMI 及び安全教育方法に関する調査研究」の成果報告書 [1] (以下、SIP 第 2 期報告書という)では、横断歩行者に対して車外 HMI でのコミュニケーションを図った際に生じる負の影響を改善する方法の研究等が行われた。SIP 第 2 期報告書の前年度版である SIP 第 1 期報告書では、横断する歩行者に対して車外 HMI を用いたコミュニケーションを行った際、歩行者が横断時に対向車線の確認を怠り安全が損なわれることがあるという車外 HMI の負の影響が確認された。この影響に関する検証の結果、自動運転車両が停止する意図を伝えるよりも、横断を試みる歩行者に対して先に渡るよう譲る意図

を伝える方が安全確認を怠る傾向がみられた。

また、文献ベースではあるが、国外の車外 HMI に関する文献調査を行った。以下に、 文献ごとに分けて紹介する。Mirnig ら^[2]は、無人運転バスの事故状況の周知に関する研 究として、緊急時における音声 HMI を紹介した。被験者 24 名の実環境の実験では、HMI による情報の有効性を確認した。Forke ら^[3]は、バスと歩行者の意思疎通に関する研究と して、視覚的な車外 HMI のアイコンとテキストを開発し、歩行者の安心感を高める条件 を評価した。Lau ら[4]は、車外 HMI と車両挙動が矛盾する際の歩行者に与える影響につ いて研究を行い、被験者 49 名の実験の結果、歩行者は HMI の情報に依存する傾向が示 された。Anund ら[5]は、市営バスの車外 HMI を開発しリスク軽減の評価および実証を行 った。運転手に焦点を当てたバーチャルリアリティ実験(VR 実験)では、自動化移行時 の HMI の効果を確認した。Weber ら[6]は、車外 HMI が歩行者に与える影響に関して VR 実験を行い、文化的背景が異なる国で比較したところ、HMI 情報には地域性が必要であ るという結論に至った。Faas ら^[7]は、自動運転車と歩行者の相互作用に関する研究とし て、5 種類の光ベースの車外 HMI を提案した。被験者 59 名の実環境での実験の結果、 点滅する車外 HMI の有効性を確認した。Wang ら^[8]は、自動運転車が歩行者と接触する 際の車外 HMI に関する研究として、テキスト方式やグラフィック方式等 4 種類を評価し た。被験者 12 名の実環境での実験では、各方式の効果が検証された。Aramrattana ら「り」 は、自動運転車の隊列走行に関する研究として、他の運転手とのインタラクションのた めの車外 HMI を提案した。ドライビングシミュレータによる実験の結果、高速道路での 合流時に車外 HMI の効果が確認された。Colley ら[10]は、自動運転トラックの車外 HMI が歩行者に与える影響に関する研究として、被験者 20 名の VR 実験でトラックの脇を通 り過ぎる歩行者の安全性を評価した。

これらの文献をまとめると、評価方法に関しては実験条件等を統一するために VR などを用いるものが多いが、基本的に車外 HMI の提案と有効性の評価を人数の大小はあるが、被験者実験での評価を行っている。また、先に述べた SIP2 期報告書と同様に、車外 HMI において、正の側面と負の側面での効果が確認されている。加えて、文献ごとに正確な車外 HMI の利用想定を設定している。そのため、本検討においても、最終的には被験者での有効性を確認すること、また正の影響と負の影響を考慮した仮説を構築し、場面・条件設定を正確に行った上で、両面での評価をできるような実験の設計が必要であると言える。また、文献の特徴としては、文献は新しいものが多く、自動運転の車外 HMI については、まだこれから研究が進んでいくという印象である。一方で、自動運転の関連研究が近年活発化していることからも、今後の車外 HMI の研究も加速化されていくと考えられ、引き続きの情報収集は必要であると考える。

ii) 課題設定

2021年度では、この SIP 第 2 期報告書の結果や他の先行研究の事例等を踏まえた上で、 ひたち BRT のモデル地域での活用を目的とした車外 HMI を検討した。

まずモデル地域におけるユースケースの把握と HMI が活用できる場面を検討し、車外 HMI の活用によって発生しうる利点を整理した。モデル地域のバス専用道内で想定され

る道路環境は主に交差点、単路部、バス停とその他に分けられる。その中で、ひたち BRT における車外 HMI での検討するシーンのパターンとして 28 パターンを想定した。その中から、これまで検討が行われてきた既存研究等の比較を行い、下記の3つを一旦の対象とした。

- 1. 単路部
- 2. バーゲート (図 5.2.1-7 参照)
- 3. 緑の横断帯(図 5.2.1-8 参照)

今年度は上記の検討の中から、テーマ2におけるタスクフォースでも議題に上がった、単路部において車外 HMI を活用することで安全や効率を向上させることについて実験的に検討を始めることとした。具体的には、単路部において柵の無い歩道を歩く歩行者を自動運転バスが検知したときにかけられる減速を、車外 HMI による歩行者とのコミュニケーションで減らすことを想定した。これは、車外 HMI によって歩行者にバスの存在を知らせ、回避行動をとっていただくことで、歩行者の安全とバス運行効率の向上が見込めるものである。また、単路部においては想定される交通参加者が自動運転バスと歩行者に限られることから、この場面での想定が交差点や他の場面で車外 HMI を活用する際の基本になりうることも考えられる。図 5.2.1-9 は想定される場面のイメージ図、図5.2.1-10 は実際にモデル地域を走行するバス車両の車載カメラ映像からキャプチャした想定場面の一例である。

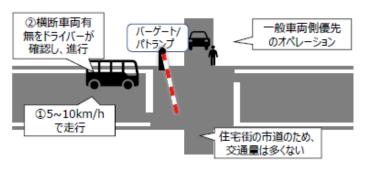


図 5.2.1-7 バーゲートの図

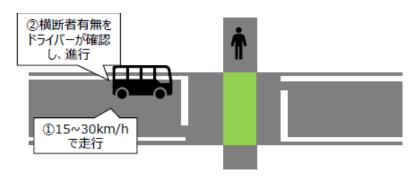


図 5.2.1-8 緑の横断帯の図

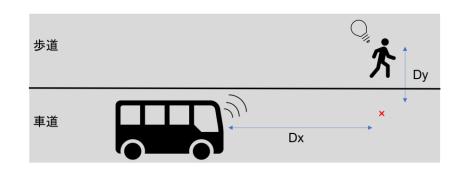


図 5.2.1-9 想定環境のイメージ図



図 5.2.1-10 想定環境の実例

iii) 実験環境の構築

前述の場面を想定して整備した実験環境について説明する。想定場面における自動運転バスの挙動パラメータは、定常走行時の規定速度は 40km/h、自動運転バスが検知した障害物との接触を回避するために、減速をかけ始める距離はバスから障害物までが 50mになる地点とした。減速をかけ始める条件として、自動運転バスが障害物のそばを通過するときのバスと障害物の間隔が 1.5m 以内であることとした。理想的に 50m 先の障害物を検知した時点でその障害物が人間であると判断できるものとして、減速開始から歩行者の位置に到達するまでの猶予時間は約 9 秒であり、この猶予時間の間に車外 HMI を用いて自動運転バスが歩行者のそばを通過するときの安全と効率の向上を目指した。

a) 実験環境の構築

まず音声を利用した車外 HMI の検証のために整備した実験環境について説明する。 Arduino と MP3 再生モジュールを利用してコンピュータからのシリアル通信が行われた ときに指定の音源を車外に向けて放送する環境を整備した。(図 5.2.1-11、図 5.2.1-12、図 5.2.1-13)



図 5.2.1-11 Arduino Uno



図 5.2.1-12 MP3 再生モジュール

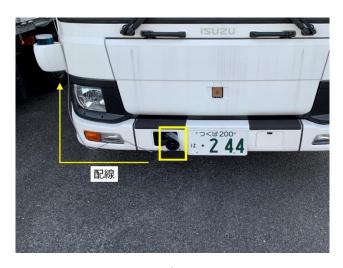


図 5.2.1-13 スピーカ取付位置



図 5.2.1-14 簡易騒音測定の様子

図 5.2.1-12 に示す MP3 再生モジュールは、マイクロ SD カードや USB メモリに保存された音声ファイルを再生することができ、外部スピーカに対して定格 1.5W を出力するアンプを内蔵している。この出力は Arduino 側のプログラム制御で 0 (ミュート) または 1 から 30 のいずれかに設定することができる。この車外放送設備を用いてバス車両の前面に設置したスピーカ(図 5.2.1-13)から放送を行い、放送の有無による騒音レベルの差を簡易的に測定した。(図 5.2.1-14)測定の結果バスの前方 30m 地点での差が 10 dB 以上あることが確認され、平常時であればはっきりと放送が聞き取れることを確認した。

次に、車外放送設備から実際に放送する音源の検討結果について説明する。音源は以下の7種類を用意した。

「(チャイム)バスにご注意ください。」

「(チャイム)車道から離れてください。」

「(チャイム)安全な距離をお取りください。」

「(チャイム)バスが通ります。安全な距離をお取りください。」

「(チャイム)自動運転バスにご注意ください。」

「(チャイム)自動運転バスが通ります。距離をお取りください。」

「(チャイム)自動運転バスが通ります。車道側にご注意ください。」

それぞれ一般的なバスアナウンスの音声や歩行者にとってほしい行動、自動運転バスであることの強調などの理由で選択している。最も再生時間が長い音声は 7 番の約 5.3 秒であった。放送音源は、アナウンス部分をテキスト読み上げソフトで作成し、作成したアナウンスと権利規約上使用可能なチャイム音源と合成して作成した。表 5.2.1-1 に音源作成に使用したソフトウェア、素材を示す。

表 5.2.1-1 実験機器(ソフト)

| ソフトウェア,素材 | 名称,配布元 |
|-------------|-----------------|
| テキスト読み上げソフト | VOICEVOX:春日部つくし |
| チャイム効果音 | 魔王魂 |
| 音声合成ソフト | Audacity |

この提案された音声に関して、簡易な受容性に関する被験者実験を行い、その妥当性について評価した。前提として、提案されたアナウンスはあくまで例であり実証実験などで実際に使用するものにするには、まだ精査が必要であることを確認した。まず、音声放送内で伝える情報はより具体的であるほうが良いという意見が散見された。これは、放送内容が「注意してほしい」や「気を付けて」では自動運転に対する知識量の差によって歩行者がとる行動や認識する危険に差が生じてしまう可能性が理由である。電車のホームにおける点字ブロックなど基準になりやすいものが無いため、具体的な行動量を伝えるために文章内容が増えると、猶予時間を超え、歩行者の回避行動の余裕を奪う結果につながりかねないことを考慮して文章内容を考えるべきという結論に至った。次に、文章の構成について、チャイム音で音声放送に気が向くことから、先に行動の促しをしてもいいのではないかという意見を頂いた。これは歩行者が放送を聞いてから実際に動き出すまでの時間を考慮すると、バスの存在や挙動を伝えることよりも行動の要求を先にしたほうが安全と効率の向上という目的に沿うのではないかということが理由である。先に持ってくる行動の要求文章によって被験者の感じる不快感などが変化しうるのかなどを調べ、検討すべきという結論に至った。

b) 表示を用いた車外 HMI

次に、文字表示を用いた車外 HMI の検証のために用意した実験機材について説明する。 図 5.2.1-15 に示す LED 表示盤は、設定用ソフトウェアを用いて表示する文章を設定で きるものである。表示色は緑、橙、赤の三色であり、表示文字の修飾内容としてスクロ ール表示や点滅、明暗反転などがある。



図 5.2.1-15 LED 文字表示盤

この LED 表示盤を用いてバスの自動運転の状況や歩行者など周囲交通参加者へのお願いなどを伝えていくことを想定して、表示盤に表示されている文字の見え方が距離によってどう変化するかを検証した。文字表示盤をバスの前面に仮設置してメッセージを表示し、離れたところからの見え方を確認した様子を図 5.2.1-16から図 5.2.1-19に示す。撮影された写真では判別しづらいが、LED 表示盤には橙色で「自動運転中」と表示されている。晴天の日中、肉眼による確認においては 40m 付近まで文字の判別をすることができ、50m 離れた位置では点灯していることの確認にとどまり、文字の判別は困難であった。



図 5.2.1-16 10m



図 5.2.1-17 20m



図 5.2.1-18 30m



図 5.2.1-19 40m

c) 次年度以降の課題

次年度以降、音声、文字表示いずれの車外 HMI に関しても検討を引き続き行っていく予定ではあるが、次年度においては、本格的に走行方向も見えてくることから、車外 HMI 手段の想定とその検証方法を詰めていく必要がある。加えて、検証方法のための実験環境の高度化、実験における評価方法である実験シナリオの精査を行っていく必要がある。実験環境に関して、停車中のバス車両からの検証が可能であることは確認したが、実際に走行する車両における聞こえ方、見え方を検証する必要があり、走行中であっても安全な実験が行えるような環境を構築する必要がある。特に、LED表示盤についてはサイズ、重量も大きく、その取り付け位置や方法について事業者の意見も聞きながら、検討する必要がある。今回の音、表示盤において、事業者の意見を伺った点も踏まえ、今後の車外 HMI の効果を正確に検討するとともに、コストなども見据えた検討を引き続き事業者とのヒアリングを通じて行っていく必要がある。

参考文献

- [1] SIP-adus, "2020 年度「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第 2 期/自動運転(システムとサービスの拡張)/自動運転の高度化に則した HMI 及び安全教育方法に関する調査研究」成果報告書", 2021 March, https://www.sip-adus.go.jp/rd/rddata/rd04/206.pdf, 参照 Feb. 2022
- [2] A.G.Mirnig et al. "Suppose your bus broke down and nobody came: A study on incident management in an automated shuttle bus" Personal and Ubiquitous Computing vol 24, pp.797– 812 ;Springer, 2021
- [3] J.Forke et al. "Understanding the Headless Rider: Display-Based Awareness and Intent-Communication in Automated Vehicle-Pedestrian Interaction in Mixed Traffic" Multimodal Technol.Interact.2021; 5(9),51
- [4] M.Lau et al. "Investigating the Interplay between eHMI and dHMI for Automated Buses: How Do Contradictory Signals Influence a Pedestrian's Willingness to Cross?" In AutomotiveUI '21 Adjunct: 13th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, September 2021; pp.152–155.
- [5] A. Anund et al. "Adaptive ADAS to support incapacitated drivers Mitigate Effectively risks through tailor made HMI under automation" In the the ADAS & ME project: https://www.adasandme.com/
- [6] Weber et al. BMW "CROSSING THE STREET ACROSS THE GLOBE" A study on the effects of EHMI on pedestrians in the US, Germany and China
- [7] S.M. Faas et al. "Daimler "External HMI for self-driving vehicles: Which information shall be displayed?" Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour Vol 68, January 2020, Pages 171-186

- [8] Y. Wang et al. "A Filed Study of External HMI for Autonomous Vehicles When Interacting with Pedestrians" International Conference on HCII 2020: HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems. Automated Driving and In-Vehicle Experience Design pp 181-196
- [9] M. Aramrattana et al. "Safety and experience of other drivers while interacting with automated vehicle platoons" Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, Vol10, June 2021, 100381
- [10] M.Colley et al. "Evaluating Highly Automated Trucks as Signaling Lights" In 12th AutomotiveUI'20, September 21–22, 2020, Virtual Event, DC, USA. 11 pages. https://doi.org/10.1145/3409120.3410647

② 車内への HMI

今年度においては、先に述べられた日立地域における事業性の検討の結果より、乗務員をなくすことが 2025 年度の目標とされた。そのため、本検討においても、乗務員がいないことを想定とした場合における車内 HMI の検討を行った。

乗務員がいない場合では、無人車両の利用者である乗客に対して、車内システムまたは、遠隔監視者(遠隔監視システム)から、必要に応じた安全・サービスが提供されることが重要である。先の役割検討において、サービスの役割分担の整理がなされており、引き続き検討が必要ではあるが、本節ではそれらのサービス等においての車内の乗客に対してのインタフェースである車内 HMI 自体の検討を行ったのでここに報告する。

効率的で受容性の高い車内 HMI を提案するためには、エビデンスとして主張できる被験者数による被験者実験による有効性の評価が必要である。一方で、実験において、HMI を評価する場合は、多くのパターンの実験が必要となり、膨大なコストと時間がかかるため、ある程度の予備実験を行いながら真に評価するものに絞った評価が必要である。加えて、車内 HMI に関する国内外の検討結果等を十分に参照することで、不必要な実験の削減やこれまでの検討結果を活用した有効性の高い評価実験を行うことが可能となる。これらの状況を鑑みて、車内 HMI の検討をできる環境を構築し、既存研究・検討を十分に参考にしながら、今年度においては、必要なデータを得るための実験的な検討を開始している。上記の検討において、社会実装を目指す際には、実際の交通事業者の意見を伺いながら、検討を進めていくことも重要であるため、まだ想定段階ではあるが、様々な情報提供サービスにおいても意見を伺う機会を通じて検討を行った。

以下ではそれぞれの項目に分けて詳細に説明する。

i) 車内 HMI 国内外の関連研究

車内 HMI を検討するにあたり、国内外における先行研究の調査を行った。まだ、自動 運転に特化した車内 HMI の研究は多くは行われていないが、低速の自動運転車両の実験 が進む特にヨーロッパでのいくつか研究が実施されていた。Sebastian Stadler ら凹は、自 律走行車における乗員の不快感を軽減するための適切な HMI デザインに関する調査を 実施した。被験者 7 名の VR 実験を行い、乗客の行動、快適性、確実性を評価した。そ の結果、情報を提供する HMI は高い快適性をもたらし、ジェスチャーは VR 実験におい て効率的な測定方法であると結論づけた。Hannah Biermann ら^[2]は、高性能自律移動サー ビスに対するユーザの態度、およびコミュニケーション技術やサービスに対するユーザ の要求を探るため、959人の参加者を対象にオンラインアンケート調査を実施した。そ の結果、人々は自動運転車に対して肯定的な態度を持っていることがわかった。また、 自動運転車を利用する際には、他の応用分野で既に知られている技術の方が好まれるこ とが分かった。Alexander G. Mirnig ら [3] は、自動運転シャトルバスにおける経路情報の 最適な表示方法について研究した。彼らは、13人の参加者を募り、3つのシナリオ(1. 伝統的なリスト、2.抽象的な地図、3.現実的な地図)を体験させた。そして、「ユーザ体 験アンケート」を用いて、どのデザインが最も優れているかを明らかにした。Peter Fröhlich ら^[4]は、55 名の参加者を対象とした試乗会を通じて、車両の認識・意思伝達に

対する乗客の要求を調査し、「テキスト」「アイコン」「AR」の中から最適なデザイン 要素を導き出すことができた。その結果、車両認識・意思伝達のための画面が必要であ ることが明らかになった。また、マルチタイプのコミュニケーションは、より効果的で あることがわかった。Luis Oliveira らいは、完全自律走行車とのインタラクションにイ ンタフェースがどのように影響するかを評価した。具体的には、彼らは、レベル4の車 両実験を通して、好みのインタフェース装置(車載または個人用装置)を探索するため に被験者20名を募集し、アンケートによって、信頼性、有用性、ユーザ体験、作業負荷 を測定した。その結果、参加者はタブレットとオーバーヘッドディスプレイを好んで使 用することが分かった。多くの文献では、仮想空間も含めて、被験者実験による評価ま でを行っており、特に受容性や快適性に着目する検討が多かった。 車外 HMI と比較する と被験者は、自動運転の利用者が想定されており、今後自動運転を継続的に利用しても らうためにも受容性、快適性等は最も重要なファクターとなる。このあたりも参考にし ながら車内 HMI の検討を行っていくことが得られた。これらの文献は、もちろん一部に とどまるが、自動運転特有の車内 HMI の検討自体は非常に少ない。一方で、自動運転と いうキーワードを外した車内 HMI としての文献も存在するため、車内の乗客とのインタ ラクションという点においては引き続き調査を進めながら検討を行っていきたい。

参考文献

- [1] S. Sebastian et al. "Designing Tomorrow's Human-Machine Interfaces in Autonomous Vehicles: An Exploratory Study in Virtual Reality." Augmented Reality and Virtual Reality. Springer, Cham, 2020. 151-160.
- [2] H. Biermann et al. "Shut Up and Drive? User Requirements for Communication Services in Autonomous Driving". In: Krömker H. (eds) HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems. Automated Driving and In-Vehicle Experience Design. HCII 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol 12212. Springer, Cham.
- [3] G. Mirnig et al. "Where does it go? A study on visual on-screen designs for exit management in an automated shuttle bus." Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, 2019.
- [4] P. Fröhlich et al. ""What's the Robo-Driver up to?" Requirements for Screen-based Awareness and Intent Communication in Autonomous Buses." i-com 18.2, 2019. 151-165.
- [5] Luis Oliveira et al. "Evaluating How Interfaces Influence the User Interaction with Fully Autonomous Vehicles", Automotive UI '18: Proceedings of the 10th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications, September 2018. 320-331.

ii) バス車内模擬実験環境の構築

自動運転のバスにおいて、車内の状況を再現し様々な場面を想定し比較検討を行うた めの実験環境の構築を行った。車内の状況を再現するためのバスのバーチャルリアリテ ィ(VR)環境及びシステムを構築した。図 5.2.1-20 に今回用いたデバイスの写真を示す。 VR で用いたデバイスは、VALVE 社製 INDEX VR を用いた。また、VR 環境下で用いる トラッカー機器として VIVE トラッカーも用いた。これらのデバイスを用いて、VR 実験 を可能とするため産総研の実験室内のスペースにおいて、VR 環境を整備した。図 5.2.1-21 に実験室内に構築した VR 環境の外観を示す。実験室内では、バスの車内を想定 しているため、人が複数名入れるような広さを確保した。実験や検討時に人が入らない ように注意書きとともに枠を設定した。図 5.2.1-22 に VR 環境を実行するシステムの構 成図を示す。VR機器とPCをUSBで接続し、モニタで確認できるようになっている。 なお、VR 環境においては、今回のひたち BRT で使う自動走行バス (いすゞ自動車株式 会社製エルガミオ)の車内をできる限り精密に再現した。バスの車内においては、利用 者に向けた表示として、車内モニタの設置が想定されており、その車内モニタに HMI と しての様々な表示を行えるような改造も行った。なお、通常走行時において、バスの運 転手が行っている注意喚起(発進、停止、左右旋回、急制動、乗降中)を一旦の例とし て想定し、図 5.2.1-23 のように表示を行えるようにした。

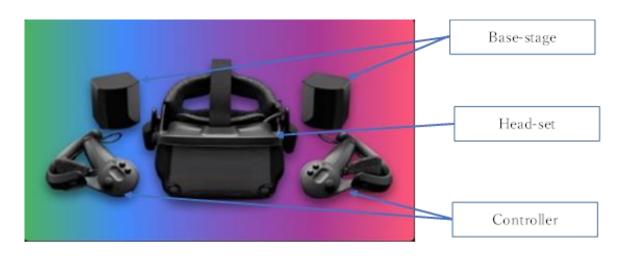


図 5.2.1-20 バス車内を再現できる VR 環境装置

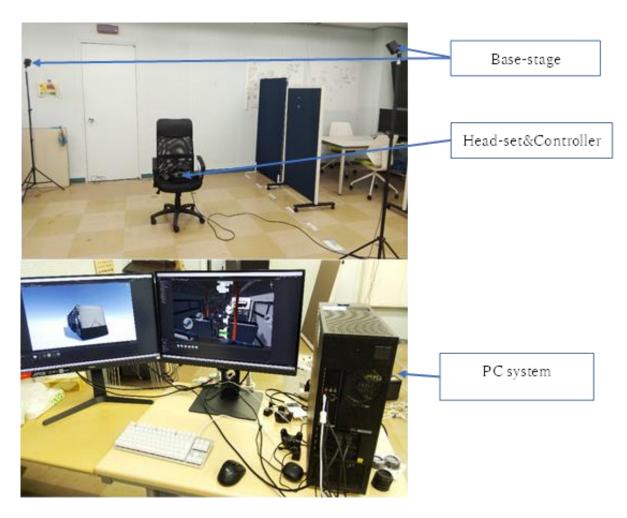


図 5.2.1-21 バス車内を再現できる VR 環境外観

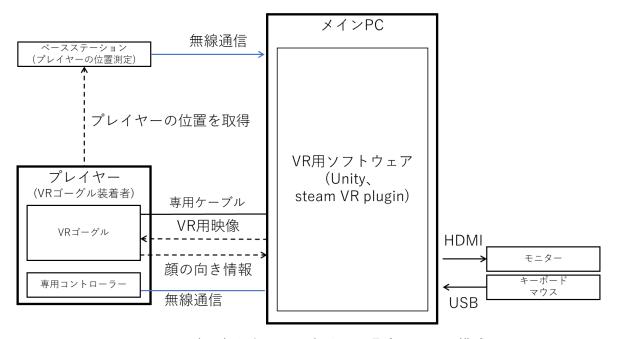


図 5.2.1-22 バス車内を再現できる VR 環境システム構成





図 5.2.1-23 バス車内を再現した VR

表 5.2.1-2 VR 装置

Table 1 VR 装置

| Components | Amount |
|--------------|--------|
| Headset | 1 |
| Base-station | 1 |
| Controller | 2 |





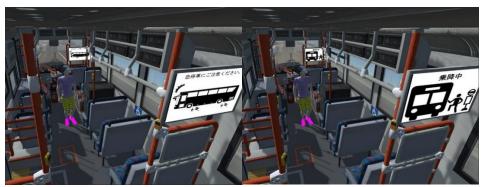


図 5.2.1-24 VR 環境内での HMI の例(左上から発進、制動、左旋回、右旋回、急停止、乗降時)

iii) 構築した実験環境を用いた被験者実験による評価

上記で説明した車内 VR 実験システムを用いて、予備的な被験者実験を行い車内 HMI の評価を行った。今年度は、バスの走行形式も固まっていないため、まずは想定ができるバスの運転手が行っている注意喚起(発進、停止、左右旋回、急制動、乗降中)についての評価を行った。また、本実験で構築した VR 車内実験装置を用いて、実験における改善点を探るための評価も行い、次年度以降で追加される車内 HMI の手法における受容性等の評価実験に向けた改善点を収集した。

実験では、図 5.2.1-24 に示されているように、テキストとイラストに加えて、車内案内の音声も作成し、マルチモダリティの車内 HMI の表示システムを VR 環境にて構築した。これらの車内 HMI 表示に対して、予備的な被験者実験を通じて、車内 VR 環境において車内 HMI の検討を行うことが可能であることが確認できた。また、自動運転バスの発車時、走行時、乗降時に乗客の受容性における主観報告を取得し、以下の知見を得られた。

- ・ 「通常運行中に次の停留所」や「停留所までの予測時間」などの情報を提示する と、より実際的のシーンを作成できる
- 車内放送のボリュームを調整することで、分かりやすさと煩わしさのバランスを 取れる
- ・ 車内モニタに表示される内容の色分けで、より注意喚起の効果がある また、本被験者実験の結果からヒアリングを行うことで、今後の検討課題としては、 下記が挙げられた。
 - ・ 降車ボタンと車内 HMI 表示 (視覚、聴覚) の連動を VR 環境にて再現すること
 - ・ VR 環境にて被験者の視線や反応を取ることで、乗客の感覚や行動を客観的に評価 できる指標の開発
 - ・ 走行中のバスを模擬する VR 環境の酔いを防ぐ方法
 - ・ 自動運転バスにおける緊急時のシナリオのバリエーションを増やすこと

上記の実験検討の結果及び、これまでの国内外の研究成果及び事業者の意見を踏まえて、今後の検討課題の整理を行った。今後の流れとして、次年度以降に固まるであろう走行制御等を踏まえた車内 HMI の検討課題の整理を行い、車内 HMI における仮説を立てるとともに、仮説を実証するための実際の実験計画を行う。その際、被験者の身体的な安全や新型コロナウイルス等の感染防止策などを十分に配慮するとともに、所内の安全倫理委員会の審査を経て、実際に多くの被験者の募集から実験の実施までを行う予定である。実験の実施においては今年度構築した模擬的な実験環境を利用する予定ではあるが、可能であれば実際の実験車両のバスにおいての検討を行うことで、より実環境に近い検討も行うことを想定する。

5.2.2. ODD に応じた遠隔監視者による支援の整理

遠隔監視者の役割については、交通事業者等とのヒアリングを通じて、今年度の成果取りまとめについて説明した。特にこれまでは、通常時、異常時、緊急時の3つの視点での役割の議論の結果を整理していた。一方で、ODD外という点においては、交通事業者としてサービスを維持することが求められるため、無人自動運転移動サービスという環境において、遠隔監視者によるサービスの維持・対応が必要となる。本項では、遠隔監視者による支援の整理を行い、今後必要な支援方法や機能等として参考とすべきものをまとめたので、報告する。

■ 支援検討方法

遠隔監視者への支援内容を抜け漏れなく洗い出すため、最初に体系を検討した。運行サービスの先行検討例を参考に、システム状態(正常/異常)に大別することから始めた。図 5.2.2-1 及び図 5.2.2-2 が支援検討方法を表したものである。

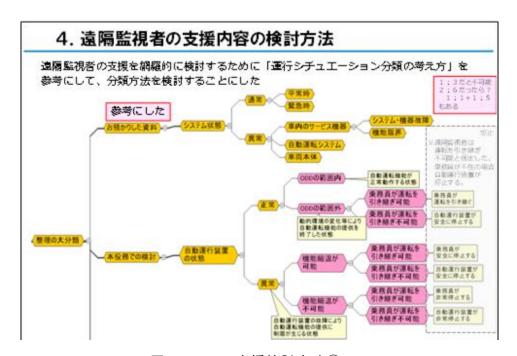


図 5.2.2-1 支援検討方法①

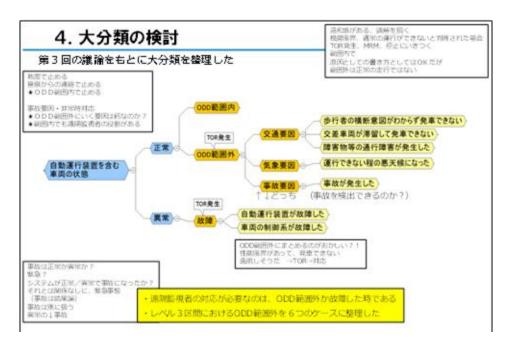


図 5.2.2-2 支援検討方法②

ひたち BRT において想定されている、自動走行の場面・場所等の環境や昨年までの走行動画や現状想定している自動走行の方法を考慮し、様々な想定を行った結果、最終的に以下の3分類とした(図 5.2.2-3)。



図 5.2.2-3 運転に関わる対応事象の分類

表 5.2.2-1 運転に関わる対応事象の分類

| 運転に関わる対応事象の分類 | 例 |
|---------------------|-----------------------------|
| 平常時 | (正常運行の監視) |
| 異常事態の発生 (緊急性が低い) | ODD 範囲外、 自動運行装置の故障、車両の故障 |
| 緊急事態の発生 | 車両との接触、衝突 |

(1) 前提として想定する自動運行装置の機能要件 (例)

遠隔監視者の支援を検討するために、運行設計領域の前提する機能を一旦仮決めした。 まだ、今年度の段階においては、最終的なひたち BRT における自動走行の走り方や運行 設計領域 (ODD)、車両の機能などが正確に決まっていないため、今年度においては仮 の設定とした。



図 5.2.2-4 自動運行装置の機能要件

- 自動運行装置が提供する機能要件
- ① 該当法規(道路交通法、道路運送車両法、旅客自動車運送事業運輸規則)を遵守して走行する
- ② 予め決められた経路を走行する
- ③ 時刻に合わせ、乗客の乗車・着席を待って発車する
- ④ 停留所で停車し、乗客の降車まで停車を続ける
- ⑤ 障害物を検知して衝突を回避するように速度を落とし必要ならば停車する
- ⑥ 車外の人や車両に走行意志を伝えられる
- ⑦ 車内外の状況を確認できる
- ⑧ 車外の車両、歩行者にメッセージを伝えられる

■ 自動運行装置の性能要件

- ① 走行ルートの幅員で操舵できること
- ② 走行ルートの曲率で操舵できること
- ③ 最高速度でも衝突せずに安全に停止できる障害物検知性能であること
- ④ 複数の手段で自己位置検知すること
- ⑤ 運行時間の照度においてカメラが撮像できること
- ⑥ 最新の道路を反映した地図を持つこと
- ⑦ 走行ルートに信号がある場合、取得できること

- (2) 想定する運行設計領域 (例)
- i) 走行区間は、自動運転のレベル3とし、南部図書館から大甕駅のロータリー手前まで、大甕駅のロータリー後から河原子BRTまでとした。

表 5.2.2-2 想定する運行設計領域①

| 124 | nh | 144 | 14 |
|-----|----|-----|----|
| ·白 | XX | 燼 | |
| | | | |

| 十字路 交差車両が進入しないこと 丁字路 交差車両が進入しないこと 環状交差点/ロータリー 環状交差点/ロータリーがないこと 一方岐 複数車線 複数車線がないこと 横断歩道 一方通行 対向車が来る場合は待避場所があること 対面通行(白線・分離帯あり) 対面通行でないこと 対面通行(区分なし) 対面通行でないこと 対面通行でないこと 対面通行であること 路肩があること 路肩があること 路肩があること 路側帯 | | | 7件2 |
|--|------|----------------|------------------------|
| 一般道 一般道でないこと 閉鎖環境/専用空間 専用空間であること 対向車が来る場合は待避場所があること 橋 ※1 トンネル/高架下 高架下で位置を取得できる手段を持つこと ※2 ・ 十字路 交差車両が進入しないこと 丁字路 交差車両が進入しないこと 環状交差点/ロータリー 環状交差点/ロータリーがないこと 合流 ・ | 分類 | 項目 | レベル3区間 |
| 関鎖環境/専用空間 専用空間であること 道路形態 単路 対向車が来る場合は待避場所があること 橋 ※1 | 道路種別 | 自動車専用道 | 自動車専用道でないこと |
| 道路形態 単路 対向車が来る場合は待避場所があること 橋 ※1 | | 一般道 | 一般道でないこと |
| 橋 ※1 トンネル/高架下 高架下で位置を取得できる手段を持つこと ※2 十字路 交差車両が進入しないこと 丁字路 交差車両が進入しないこと 環状交差点/ロータリー 環状交差点/ロータリーがないこと 合流 - 分岐 も数車線 複数車線がないこと 横断歩道 - 画行区分 専用道 専用道であること 一方通行 対向車が来る場合は待避場所があること 対面通行(白線・分離帯あり) 対面通行でないこと 対面通行(区分なし) 対面通行でないこと 超行帯 車道 車道であること 路屑 路屑があること 路側帯 路側帯があること | | 閉鎖環境/専用空間 | 専用空間であること |
| トンネル/高架下 高架下で位置を取得できる手段を持つこと ※2 十字路 交差車両が進入しないこと | 道路形態 | 単路 | 対向車が来る場合は待避場所があること |
| 十字路 交差車両が進入しないこと 丁字路 交差車両が進入しないこと 環状交差点/ロータリー 環状交差点/ロータリーがないこと 合流 - | | 橋 | ※ 1 |
| 丁字路 交差車両が進入しないこと 環状交差点/ロータリー 環状交差点/ロータリーがないこと 合流 | | トンネル/高架下 | 高架下で位置を取得できる手段を持つこと ※2 |
| 環状交差点/ロータリー 環状交差点/ロータリーがないこと 合流 - 分岐 - 複数車線 複数車線がないこと 横断歩道 - 通行区分 専用道 専用道であること 一方通行 対向車が来る場合は待避場所があること 対面通行(白線・分離帯あり) 対面通行でないこと 対面通行(区分なし) 対面通行でないこと 超行帯 車道 車道であること 路肩 路肩があること 路側帯 路側帯があること | | 十字路 | 交差車両が進入しないこと |
| 合流 | | 丁字路 | 交差車両が進入しないこと |
| 分岐 複数車線 複数車線 横断歩道 複数車線がないこと 再用道 通行区分 専用道 専用道であること 対向車が来る場合は待避場所があること 対面通行(白線・分離帯あり)対面通行でないこと 対面通行(区分なし)対面通行でないこと 対面通行であること 通行帯 車道 車道であること 路屑があること 路側帯 | | 環状交差点/ロータリー | 環状交差点/ロータリーがないこと |
| 複数車線 横断歩道複数車線がないこと通行区分専用道専用道であること一方通行 対面通行(白線・分離帯あり)対面通行でないこと対面通行(区分なし)対面通行でないこと通行帯車道車道であること路肩 路側帯路側帯があること | | 合流 | 0 |
| 横断歩道 - 専用道 専用道であること - 方通行 対向車が来る場合は待避場所があること 対面通行 (白線・分離帯あり) 対面通行でないこと 対面通行 (区分なし) 対面通行でないこと 車道 車道であること 路肩 路肩があること 路側帯 路側帯があること | | 分岐 | - |
| 通行区分 専用道 専用道であること | | 複数車線 | 複数車線がないこと |
| 一方通行 対向車が来る場合は待避場所があること 対面通行(白線・分離帯あり) 対面通行でないこと 対面通行(区分なし) 対面通行でないこと 連道 車道であること 路肩 路肩があること 路側帯 路側帯があること | | 横断歩道 | 49 |
| 対面通行(白線・分離帯あり) 対面通行でないこと 対面通行(区分なし) 対面通行でないこと 通行帯 車道 路肩 路肩があること 路側帯 路側帯があること | 通行区分 | 専用道 | 専用道であること |
| 対面通行 (区分なし) 対面通行でないこと 通行帯 車道 車道であること 路肩 路肩があること 路側帯 路側帯があること | | 一方通行 | 対向車が来る場合は待避場所があること |
| 通行帯 車道 車道であること 路肩 路肩があること 路側帯 路側帯があること | | 対面通行(白線・分離帯あり) | 対面通行でないこと |
| 路肩 路肩があること 路側帯 路側帯があること | | 対面通行(区分なし) | 対面通行でないこと |
| 路側帯があること | 通行帯 | 車道 | 車道であること |
| | | 路肩 | 路肩があること |
| 歩道 歩道があろこと | | 路側帯 | 路側帯があること |
| 72,000 | | 歩道 | 歩道があること |

気象条件

| 分類 | 項目 | レベル3区間 |
|------|---------|---------------------|
| 気象条件 | 降雨、降雪、霧 | センサーが作動しないほどの量でないこと |
| | 雷 | 車両に落雷するほどの状況でないこと |

水色部分は考慮しない

表 5.2.2-3 想定する運行設計領域②

交通文脈

| 分類 | 項目 | レベル3区間 |
|---------|-----------|----------------------|
| 時間帯(照度) | 日中 | - |
| | 夜間 | 撮像できる照度であること |
| 路面 | 積雪 | 積雪がないこと |
| | 凍結 | 凍結がないこと |
| 路上障害物 | 駐車車両 | 駐車車両がないこと |
| | 工事 | 工事がないこと |
| | 陥没 | 陥没がないこと |
| | 水没 | 水没がないこと |
| | 側溝 (排水施設) | ※ 3 |
| | 樹木 (植樹帯) | 樹木が道路にはみ出ないこと |
| | 消防用施設 | 地図に記載されていること ※4 |
| | 停留所 | - |
| 交差路 | 十字路 | 交差車両が進入しないこと |
| | 丁字路 | 交差車両が進入しないこと |
| 信号 | 信号(点灯) | 信号を取得できること ※5 |
| | 信号(点滅) | 点滅信号がないこと |
| | 信号 (矢印) | 信号を取得できること |
| | 信号 (歩行者) | 信号を取得できること |
| | 手信号 | 手信号が行われていないこと |
| その他 | 緊急車両 | 緊急車両が通過しないこと |
| | 逆光 | 逆光でないこと |
| | 左折 | 左折がないこと |
| | 右折 | 右折がないこと |
| | 混在交通 | 混在交通がないこと |
| | 交通量の多さ | 交差する道路の交通量が多くないこと |
| | 見通しの悪さ | 交差する道路に見通しの悪い場所がないこと |

水色部分は考慮しない

ii) ODD パターンの見通しを立て、これまでに公開されている ODD に関する資料 を参考とし(図 5.2.2-5、及び図 5.2.2-6 に参考したものを記す)、文章表現の運 行設計領域を作成した。



図 5.2.2-5 想定する運行設計領域③

出典:国土交通省 HP https://www.mlit.go.jp/report/press/content/001391990.pdf



図 5.2.2-6 想定する運行設計領域④

走行環境条件

- ① 道路状況
- ・ 南部図書館から大甕駅のロータリー手前まで、大甕駅のロータリー後から河 原子 BRT まで (レベル 3 区間)。
- ② 環境条件
- ・ ベース車両が安全走行できる気象状況であること。
- 自動運行装置が利用するセンサが正常動作する気象状況であること。
- ・ BRT 専用空間であること。
- ③ 走行状況
- ・ 自動運行装置が障害物を検知した場合に安全に停止できる走行速度であること。
- ・ 交差路を通行できる交通量であること。
- (3) 遠隔監視者の役割と支援の検討
 - 次のように遠隔支援者の役割検討を進めた。
 - ① 求められていることは「遠隔監視者の支援」である。
 - ② 遠隔監視者の役割は自動運転車両が対応できないこと、かつ、路側設備でも対応できないことである。
 - ③ 通常は、自動運転車両でも路側設備でも対応できないことがないように設計されている前提とする。
 - ④ 遠隔支援者の役割の条件は、機器が自動では判断・対応できないケースである と考えられる。
 - 「ユースケース」をもとに、上記 5.2.2. (3) ④の事例を検討する。

i) 歩行者の横断意図がわからず自動運転車が発車できない

表 5.2.2-4 歩行者の横断意図がわからず自動運転車が発車できない

| | | 避けたい こと | | 発生要因 | | H4.0 | | 1 | | | |
|-----|-------|---------------------------|------|-------|-------------|-----------|------|---------|-------------|--------------|-------|
| ID | タイトル | (未対応 時に表出 する問 題) | 環境要因 | 自動運転車 | 他者(他車両、歩行者) | 現状のドライバ対応 | 路側設備 | 車両システム | 遠隔監視者/操作者 | 遠隔監視者への支援要件 | 関連法規 |
| | 歩行者の横 | 自動運転 | 信号機が | 横断歩道に | 歩行者が横 | 歩行者 | なし | ・車外カメラ | ①車両システムからの引 | ・車外カメラ | 道路交通法 |
| | 断意図がわ | 車が発車 | 設置され | 歩行者を検 | 断歩道の端 | に話し | | ・車外マイク | き継ぎ要求を確認する | - 歩行者の位置に向きを | 第38条 |
| | からず自動 | できない | ていない | 知すると発 | に立ったま | かけて | | ・車外スピー | ②停車理由を確認する | 調整できること | 運輸規則 |
| | 運転車が発 | | | 車できない | ま動かない | 確認 | | カー | ③車外設備で車外と歩行 | - 歩行者の表情がわかる | 第1条 |
| | 車できない | | | | | し、発 | | ・車外表示装置 | 者の状況を確認する | 解像度であること | 第2条 |
| | | | | | | 車する | | | ④車外設備で歩行者に横 | ・車外マイク | |
| 720 | | | | | | | | | 断するよう伝える | - 歩行者の会話が集音で | |
| 1 | | | | | | | | | ⑤車外設備で歩行者の横 | きる感度であること | |
| | | | | | | | | | 断を確認する | ・車外スピーカー | |
| | | | | | | | | | ⑥車外設備で周囲の安全 | - 歩行者に聞こえる音量 | |
| | | | | | | | | | を確認する | に調整できること | |
| | | | | | | | | | ⑦車両システムに発車を | ・車外表示装置 | |
| | | | | | | | | | 指示する | - 歩行者から読める大き | |
| | | | | | | | | | | さの文字であること | |



図 5.2.2-7 歩行者の横断意図がわからず自動運転車が発車できない①

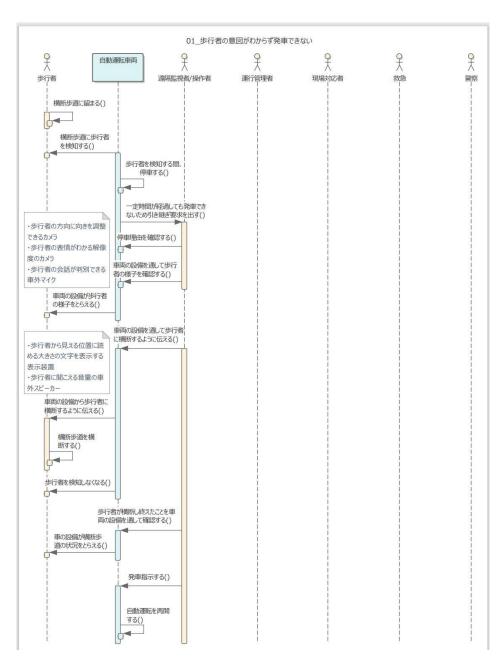


図 5.2.2-8 歩行者の横断意図がわからず自動運転車が発車できない②

ii) 交差車両が障害となり自動運転車が発車できない

表 5.2.2-5 交差車両が障害となり発車できない

| | | 避けたい こと | | 発生要因 | | mut o | | | 対応方針案 | | |
|----|-------|---------------------------|------|-------|-------------|-----------|------|---------|-------------|--------------|-------|
| ID | タイトル | (未対応 時に表出 する問 題) | 環境要因 | 自動運転車 | 他者(他車両、歩行者) | 現状のドライバ対応 | 路側設備 | 車両システム | 遠隔監視者/操作者 | 遠隔監視者への支援要件 | 関連法規 |
| | 交差車両が | 自動運転 | 信号機が | 交差車両の | 交差車両が | 交差車 | ・交差点 | ・車外カメラ | ①車両システムからの引 | ・車外カメラ | 道路交通法 |
| | 障害となり | 車が発車 | 設置され | 通行を優先 | 絶え間なく | 両の合 | カメラ | ・車外表示装置 | き継ぎ要求を確認する | - 滞留車両の位置に向き | 第36条 |
| | 自動運転車 | できない | ていない | する | 交差点に進 | 間を見 | (交差す | | ②停車理由を確認する | を調整できること | 運輸規則 |
| | が発車でき | | | | 入する | 計ら | る道路の | | ③車外設備で車外と滞留 | - 滞留車両の状況がわか | 第1条 |
| | ない | | | | | い、発 | 交通量が | | 車両の状況を確認する | る解像度であること | 第2条 |
| | | | | | | 車する | 多い場 | | ④車外設備で車両に通行 | ・車外表示装置 | |
| 2 | | | | | | | 合) | | の意志を伝える | - 滞留車両から読める向 | |
| - | | | | | | | | | ⑤車外設備で車両が途切 | きであること | |
| | | | | | | | | | れる合間を見つける | - 滞留車両から読める大 | |
| | | | | | | | | | ⑥車外設備で周囲の安全 | きさの文字であること | |
| | | | | | | | | | を確認する | | |
| | | | | | | | | | ⑦車両システムに発車を | | |
| | | | | | | | | | 指示する | | |



図 5.2.2-9 交差車両が障害となり発車できない①

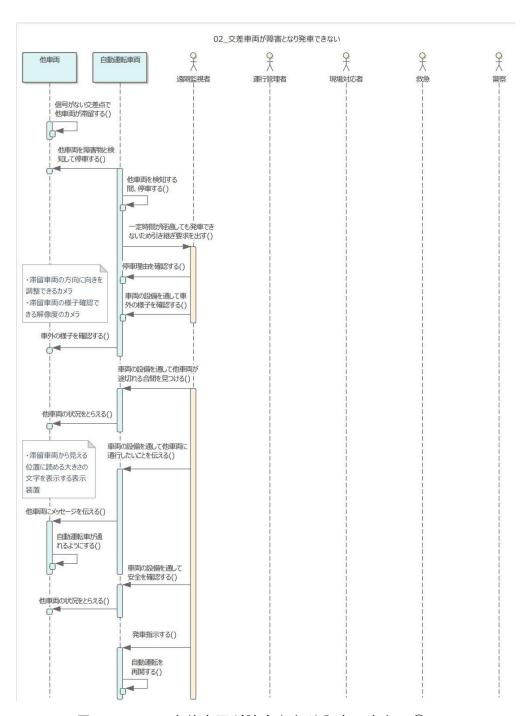


図 5.2.2-10 交差車両が障害となり発車できない②

信号のない交差点(車線が設定された道路)



図 5.2.2-11 信号のない交差点①



図 5.2.2-12 信号のない交差点②

iv) 運行できない程の悪天候

表 5.2.2-6 運行できない程の悪天候

| | | 避けたい こと | | 発生要因 | | | | | | 対応方針案 | | | |
|----|-----------------|--|------|-----------|-------------|-------------------|------|--|--|--|--|---|------------------------------------|
| ID | タイトル | (未対応 時に表出 する問 題) | 環境要因 | 自動運転車 | 他者(他車両、歩行者) | 現状の ドライ バ対応 | 路側設備 | 車両システム | 遠隔監視者/操作者 | 遠隔監視者への支援要件 | 現場対応者 | 運行管理者 | 関連法規 |
| | 運行できない程の悪天 候 | が誤動自 東京 は で は で で の の の の の の の の の の の の の | 悪天候 | センサー性能の限界 | | 運中し業報で断ぐ 事にし判仰 | なし | 常動作しない状況を検知したら 安全に停止す る) ・車外カメラ ・警告灯 | ②車両システムに停止指 示する ③警告灯を点灯する ④車外設備で車外の状況 を確認する ⑤車内設備で旅客の状況 | - 周囲の安全を確認できること - 道路が走行可能か冠水 状況などがわかる解像度 であること - 警告灯 - 停止していることが車 両の周囲にわかること | ⑥手動で車 両を運転す る ⑥旅客を安 全な場所に 送り届ける | ①遠隔監報 ・ 音が現台 ・ 音が現台 ・ 音が現台 ・ 音が現る ・ 音が ・ 音が ・ 音が ・ できる ・ できる | 運輸規則 第1条 第2条 第20条 第49条 |

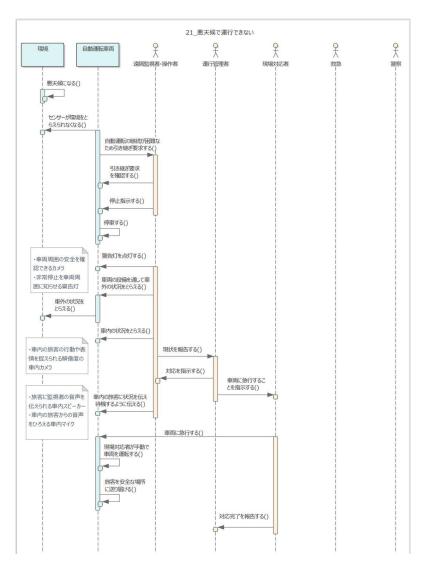


図 5.2.2-13 運行できない程の悪天候

v) 障害物等の通行障害

表 5.2.2-7 障害物などの通行障害

| | | 避けたい こと | | 発生要因 | | | | Yes | | 対応方針案 | | | | |
|----|---------------|---------------------------|-------------|------|-------|--------------------------------------|-------------------|--------------------|--|---|--------------------------------------|--|------------|------|
| ID | タイトル | (未対応 時に表出 する間 題) | 時に表出 する間 | 環境要因 | 自動運転車 | 他者 (他車 両、歩 行者) | 現状のド ライバ対 応 | 路側設備 | 車両システム | 遠隔監視者/操作者 | 遠隔監視者への支援要件 | 現場対応者 | 運行管理者 | 関連法規 |
| 22 | 障害物等の 通行障害 | 運行が継ない | 路上の障害物 | | なし | 車止害り安認行する、をきないでは、をきないできないできないである。を連門 | なし | 障害物を検知し たら安全に停止 | ③車内設備で旅客の状況 を確認する ④事業車に状況を報告する ⑧車内設備で旅客に状況 を伝え待機するように伝 える | 確認できる解像度であること ・車内カメラ ・旅客の様子や表情がわかる解像度であること ・車内スピーカー ・旅客に聞こえるように 自量を調整できること ・車内マイク ・旅客の会話が確認でき | 取り除く ①周囲の安 全を確認す る ②事業車に | ③油の金属の 通いかき 動物の受傷が を連列を 現場す 場場で 対象を 対象を 対象を 対象を がある。 がある。 がある。 がな。 がなる。 がな。 がなる。 がなる。 がなる。 がなる。 がなる。 がなる。 がなる。 がなる。 がなる。 がなる。 がな。 がなる。 がなる。 がなる。 がな。 がな。 がな。 がな。 がな。 がな。 がな。 がな | 第1条 第2条 | |

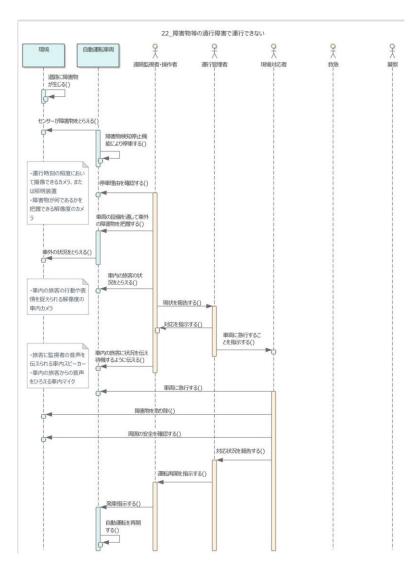


図 5.2.2-14 障害物などの通行障害

vi) 自動運行装置が故障

表 5.2.2-8 自動運行装置が故障

| | | 避けたい こと | | 発生要因 | | -Diba ii | | | | 対応方針案 | | | | | | | |
|------|------|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|-------|--|---------------------|--|---|------------------------------------|-------------|-------|-------|------|
| ID : | タイトル | (未対応 時に表出 する問 題) | 時に表出 する問 題) | 時に表出 する問 題) | 時に表出 する問 題) | 時に表出 する問 題) | 環境要因 | 自動運転車 | 他者 (他車 両、歩 行者) | - 現状のド ライバ対 応 | 路側設備 | 車両システム | 遠隔監視者/操作者 | 遠隔監視者への支援要件 | 現場対応者 | 運行管理者 | 関連法規 |
| 31 | | 事故につながる | なし | 自動運行装置の故障 | なし | | なし | | ③車両システムからの引き継ぎ要求を確認する ②車両システムに停止指示する ③車外設備で車外の状況を確認する ④車内設備で旅客の状況を確認する ⑤事業者に状況を報告する ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ | | ⑩現場に急 行する動車で ・ 一面を ・ 一面を 一面を ・ 一面を ・ 一面を ・ 一面を ・ 一面を ・ 一面を ・ 一面を 一面を 一面を 一面を 一面を 一面を 一面を 一面を | ⑥遠陽監視者 協のか告で受願を を受願を を受願な に対る の現場を は指示す のは のの のでは のの では のの では のの では のの では のの のの では のの のの のの のの のの のの のの のの のの の | 運輸規則 第1条 第2条 第49条 第50条 | | | | |

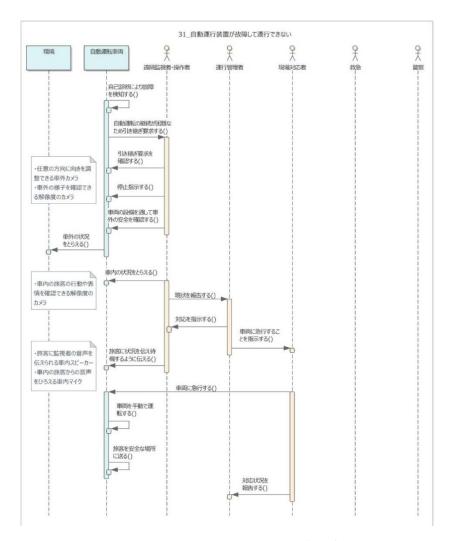


図 5.2.2-15 自動運行装置が故障

vii) 車両が故障

表 5.2.2-9 車両が故障

| | | 避けたい こと | | 発生要因 | | THE ST. OF | | | | 対応方針案 | | | |
|----|-------|---------------------------|------|-------|-------------|-------------------|------|--------|---|--|---|--|-------------------------------|
| ID | タイトル | (未対応 時に表出 する問 題) | 環境要因 | 自動運転車 | 他者(他車両、歩行者) | 現状の ドライ バ対応 | 路側設備 | 車両システム | 遠隔監視者/操作者 | 遠隔監視者への支援要件 | 現場対応者 | 運行管理者 | 関連法規 |
| 32 | 車両が故障 | 事故につながる | なし | 車両の故障 | | ・運行止・者絡・者格・ | なし | | ①停車理由を確認する ②車外設備で車外の障害 物を確認する ③車内設備で旅客の状況 を確認する ④事業者に状況を報告する 多車内設備で旅客に状況 を伝え待機するように伝える | る解像度であること ・車内カメラ - 旅客の様子や表情がわ かる解像度であること ・車内スピーカー - 旅客に聞こえるように 音量を調整できること ・車内マイク - 旅客の会話が確認でき ること | に連絡する の事故であれば警察の 連絡する の代替事を でがな場所で 全な場所はる 送り届ける | 況はちを受視を をを現るる に示する ではいまする ではなるがあれる。 ではなるがあまする。 ではなるがあまする。 ではなるがあまする。 ではなるがあまする。 ではないる。 ではないる。 ではないる。 ではないる。 ではないる。 ではないる。 はない。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はない。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はない。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はない。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はない。 はないる。 はないる。 はないる。 はないる。 はない。 はないる。 はないる。 はないる。 はない。 はないる。 はない。 もな | 運輸規則第1条 第1条 第24 第50条 |

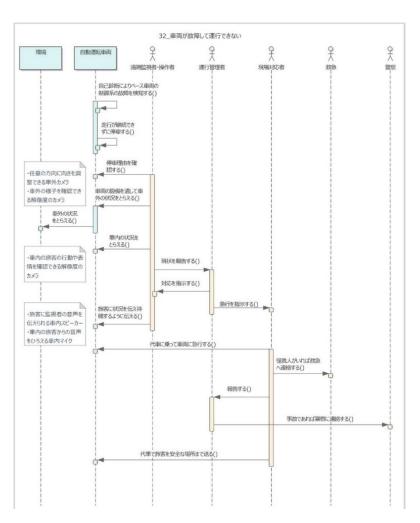


図 5.2.2-16 車両が故障

viii) 車両への接触・衝突の発生(交通要因)

| | タイトル | 避けたいこと (未対応時に表出する問題) | 养生要因 | | | | 对応方針案 | | | | | | |
|----|------|-----------------------------|------|-----------------------|----------------|---|-------|--|--|---|--|------------------------|--|
| ID | | | 環境要因 | 白動運転市 | 他者 (他車 両、歩 行者) | 現状のドライバ 対応 | 路側設備 | 車両システム | 遠隔監視者/操作者 | 遠隔監視者への支援要件 | 現場対応者 | 運行管理者 | 関連法規 |
| 23 | | 乗客や車 両の周囲 の人が死 傷する | なし | 急な飛び出 しに対処で きない | | ・運行を中止する。事業者に連絡する。事業者に連絡する。事業者に連絡する。をときに応める。のでは、急必ずるときに応める。では、急必ずるとかのでは、自然のでは | | 触を検知したら 非常停止して警 告灯を点灯す る) ・車外カメラ | ③非常停止の理由を検認する ②車外設備で車外の状況を 程認する ③車外の人や車両への接触 や衝突であれば、教急に連絡する ③事業者に状況を報告する | -車外の状況を確認できる解像度であること ・車内カメラ・旅客の様子や表情がわかる解像度であること ・車内スピーカー ・旅客に聞こえるように 音量を調整できること ・車内マイク ・旅客の会話が確認でき | 場に急行する 個怪我人がいた ら救護する 個代替車両で旅 客を安全な場所 に送り届ける | を指示する ⑩遠隔監視者からの | 道路交通法 第72条 連輪4条 第2条条 第19条条 第26条 |

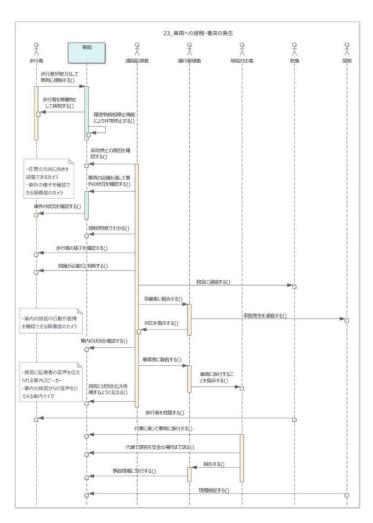


図 5.2.2-17 車両への接触・衝突の発生(交通要因)

(4) 本項目における現状の結果と今後の課題

先に述べた通り、ひたち BRT の自動走行の仕方等が完全に決まっていないため、今回はできる限り予測を行いながらの仮設定での考え方で検討を行った。今年度の検討結果と今後の課題について以下にまとめて報告する。

- 前提とした自動運行装置の機能/性能と運行設計領域 (ODD)
- ① 本報告の機能/性能、ODDは役割を抽出するにあたり想定した一例である。
- ② 自動運行装置の機能/性能の制約が明確になった時点で改めて ODD を設 定する必要がある
- ODD の範囲内/範囲外
- ③ ODD 範囲外になりそうな場合に引き継ぎ要求を発し、システムから人へ引き継ぎすることを想定する。
- ④ その場合、引き継ぎ要求を発している段階では ODD 範囲内、引き継がれた 時から、または、引き継ぎできずに MRM を実行する際は ODD 範囲外とする。
- ⑤ ODD の範囲内/範囲外が論点になるのは、事故が発生した際の責任の所在 を明確にする場合だと考えられる。
- ⑥ 上記⑤の点において法務関係者を交えた深掘りが必要である。

■ 役割の分担の仕方

- ⑦ 国交省のガイドラインを参考に、遠隔監視、現場急行などの専門的な役割と、 それらの役割を管理する運行管理の二つに大別し、管理者に情報を集める こと、また、判断と指示は管理者から発することを原則として、役割を分担 した。
- ⑧ ただし、⑦において緊急性を要する対応は、発見者が一次対応するように分担した。(例:遠隔監視者が車外カメラを通して歩行者の負傷を確認したら、すぐに救急に連絡する。)

■ 遠隔監視者の支援

⑨ 本報告では一例として支援装置の要件を挙げた。実際には必要な行動が起こされることで効果を発揮するので、適切な方法であるか行動分析学などによる評価が必要である。

5.2.3. 遠隔システムによる安全確保に関する評価実験および評価方法の検討

遠隔監視システムを利用した無人自動運転移動サービスを想定した際の役割等については、先の報告においての現状の状態を説明した。これらの実際の遠隔監視や必要に応じて求められる遠隔操作においては、あらゆる状況や場面においても、常に安全の確保が非常に重要である。そのため安全確保に向けた検討を行うため、永平寺町や日立地域をモデルとして場面や環境を想定し、あらゆる状況を模擬できるような評価実験システムを構築した。また、評価実験システムに加えて、どのような評価を行うべきかについては、無人自動運転移動サービスのレベル4を考慮した場合においては、特に緊急時、異常時において対応が必要となるため、それらを評価するための評価方法の検討を今年度に行った。以下にそれぞれに分けて詳細に説明する。

(1) 構築した評価実験システム

① 自動運転車両

実験システムにおいては、ひたち BRT で用いる実際の自動運転バスを用いて、国立研究開発法人産業技術総合研究所北サイトのテストコース内において、自動運転を模擬できるようなシステムの改造を実施した。図 5.2.3-1 において、実際に自動走行を行っている場面を示す。テストコース沿いには様々な実験、検討が行えるよう、模擬的にバス停を設置し、バス停での停止、通過、発車等の一連の動作が模擬できるようになっている。加えて、高度化の方で議論を行っているバス停での停車指示であるが、通常停車、通常通過、ボタンによる停車の 3 パターンが考えられているため、それらもあらかじめ設定できるようにした。また、自動走行においては同じテストコース内敷地において、3 つのコースを設定し、こちらもあらかじめ設定できるようにした。なお、国立研究開発法人産業技術総合研究所北サイトテストコース内においては、一般車や一般人の立ち入りが制限されているのに加えて、見通しもよいため比較的安全な実験が可能となっている。

また、自動運転レベル3、レベル4での実験を見据え、ToR(Takeover Request)や MRM (Minimum Risk Maneuver) の機能を有しており、信号を与えるとそれぞれ ToR と MRM が実行される。ToR の信号が入った場合、ドライバへの引継ぎを促しドライバへの権限 移譲を行うモードになっている。また、MRM の信号が入った場合は、減速がかかり自動でバスが停車するようモードになっている。ただし、本来の MRM は交差点内等、停止してはいけない場所等の設定を行い、安全な場所で停止という動作であるが、今年度の自動走行ルートにおいては、交差点内を想定していないため、MRM の動作はできる限り早く、減速停止という機能となっている。なお、ひたち BRT のコースにおいては、交差点内も存在するため、上記を考慮した MRM になる必要がある。





図 5.2.3-1 自動走行バスの自動走行実験風景









図 5.2.3-2 自動走行バスの自動走行車内風景

② 遠隔監視システム

実際の自動運転を監視するためのシステムの改造を行うため、次年度の実走行の際に使用するための遠隔監視システムの構築や遠隔監視の実験が行える実験環境の構築を行った。主にひたち BRT のコース上で走るための実用化を見据えた遠隔監視システムの構築とその遠隔監視システムを基礎として、遠隔監視のための HMI や多様化を見据えた基礎的な実験を行うためのシステムの拡張を行った。以下にそれぞれに分けて説明する。なお、公開することでセキュリティ上の懸念も生じるため、一部非公開とする。

i) 遠隔監視システム(ひたち BRT 評価用)

■ 概要

ひたち BRT における遠隔監視システムの改造を行った。これは元々、昨年度の経済産業省において実証が行われた遠隔システムをベースとし、今年度は信頼性の向上と遅延の削減を目標とした改造を行った。

今回構築したシステムを図 5.2.3-3 に示す。有効性確認の実験として、開発した遠隔監視システムのデータ収集機能を自動運転バスへ搭載し、サーバ上に導入した遠隔監視システムと接続し、動作確認を行った。実験機材の構成を図 5.2.3-4 に示す。確認内容を図 5.2.3-5 に示す。車載機器とデータ連携の確認画面を図 5.2.3-6 に示す。

実際のバスを用いて、国立研究開発法人産業技術総合研究所内のテストコースにおいて、車載評価実験を行った。その結果、自動運転システムから送信される情報、車載カメラの映像情報が、遠隔監視画面上に適切に表示され、遅延についても改善されていることが確認された。また、インフラ側との接続予定のポートとそれらに関する表示画面の準備及び遠隔操縦を見据えた改造も同時に行った。これらは、次年度以降において実際のインフラやバス側の車両制御方式の改造が行えた際には実際に有効性を確認する予定である。

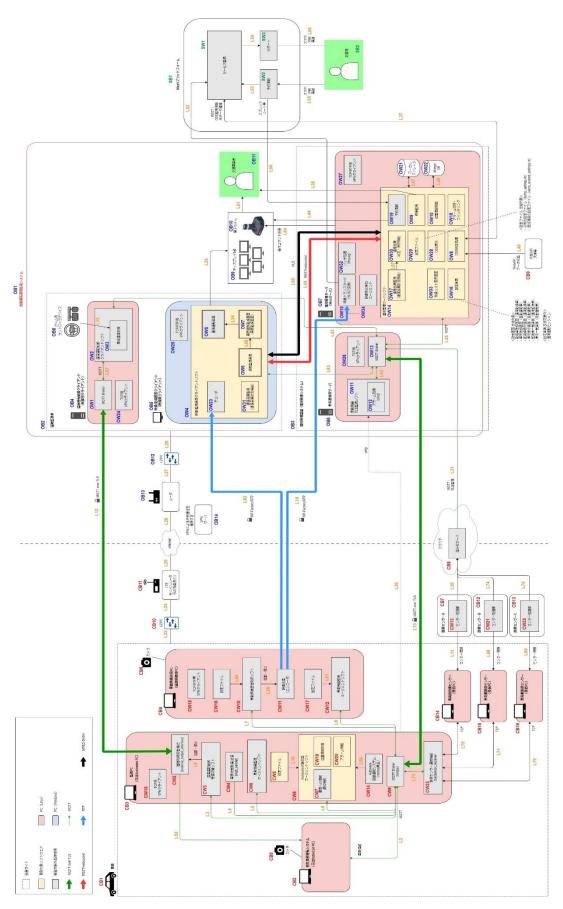


図 5.2.3-3 システム構成図

実験機材構成概略

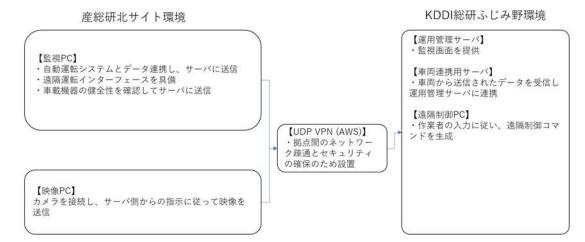


図 5.2.3-4 実験機材構成

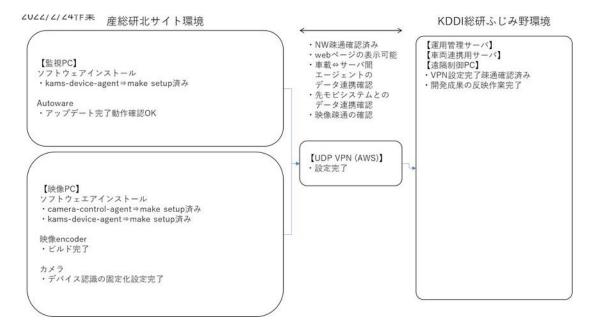


図 5.2.3-5 確認作業内容



図 5.2.3-6 車載機器とのデータ連携確認画面

- ii) 遠隔監視システム(高度化を目指した被験者評価実験システムの拡張)
- i)で構築しているひたち BRT での実証評価用の遠隔システムを拡張し、遠隔監視の HMI 評価や多様化の視点での検討における自動運転バスや端末交通等の無人自動運転移動サービス運用時の遠隔監視や遠隔操作の表示等の情報提示手法、操作手法等を評価するための実験システム構築を行った。ここでは、拡張した機能や構築した遠隔監視システムについて説明する。

a) 表示部分

HMI 表示における検証を行うための拡張を行った。2023 年度においては一人の監視 者で1台のバスの監視が想定されているが、今後の N 台を想定した場合において、多く の情報を表示する必要がある。これまで国立研究開発法人産業技術総合研究所では永平 寺町において、1 対 3 の運用の表示システムを構築しているが、永平寺町の場合は、監 視対象がカートであり、車内の広さ及び車両の大きさから、監視として多くのカメラを 必要としなかった。加えて、永平寺町の環境下では、他の車両が存在しない環境であり、 非常に限られた対象物であった。そのため、大きめの画面を4台で車内外の映像及び車 両の状態表示を行うだけで、一人の監視者が監視するための十分な情報を提供すること ができたと考える。一方で、ひたち BRT のバスは車内だけでも多くのカメラが必要であ るのに加えて、車外の確認、他車両(対向のバスや交差点)を含む走行環境を考えると 多くの情報が必要である。また、今後のひたち BRT ではない、多様な環境を考えた場合 は、さらに車外の映像確認が必要になると予想される。これらは、遠隔監視の情報とし ての HMI の検討になるが、検討要素は多くある。例えば、人の視点からどの程度の高さ がいいか、どの範囲内であればいいか、どのような情報を監視者に提供するべきか、緊 急時等においてはどのような提示方法があるかなどがあり、これらの検証・評価が可能 な表示システムとした。

次に、カメラ等の画素や遅延の影響も考慮できる拡張を行った。遠隔監視は通信を通じてカメラの画像や車両の情報が送られてくるため、通信の遅れが発生した場合はその情報も遅延を含んだものとなる。通信を使う前提では、多少なりとも遅れは確実に発生することに加えて、情報量が多くなった場合や通信環境によってはかなりの遅れが発生する可能性がある。そのため、通信遅れなどの影響の効果を検証するため、遅延をあえて発生させることのできる機能を追加した。

図 5.2.3-7 にシステムの構成を示す。なお、システムは元々の永平寺町で実施したレベル3のシステムを拡張したシステム(通信部分は後述)となっている。

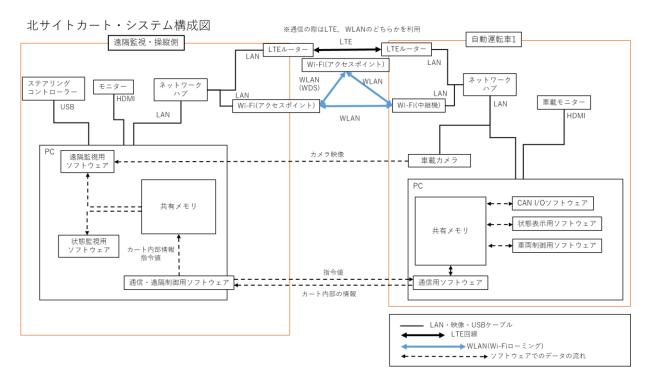


図 5.2.3-7 拡張した実験システム構成



図 5.2.3-8 拡張した遠隔監視システム

b) 通信

この項では、本年度構築した遠隔監視・遠隔操作評価システムの通信系について説明する。遠隔監視・遠隔操作評価システムの PC は、グローバル IP アドレス、ローカル IP アドレスによる通信を可能としている。このため、外部のクラウドシステムや車両がインターネット経由で PC のグローバル IP を宛先として遠隔監視・遠隔操作評価システムの PC に接続し、情報送信を行うことが可能である。一方で、遠隔監視・遠隔操作評価装置の PC から、車内の IP カメラ等に接続する場合、PC から車内のネットワーク内の機器にパケットを到達させる必要がある。車側がグローバル IP を持つ、持たないに関わらず、インターネット経由でこれを可能とし、また車の機器から遠隔監視・遠隔操作評価システムのローカルネットワーク上の機器にアクセスできるように VPN サーバを設置した。この場合、VPN クラインアント機能を有する LTE ルーター等を車両側に搭載し、この VPN サーバに接続することで、遠隔制御 PC→VPN サーバ→インターネット→LTE ルーター (VPN クライアント) →車両側 IP カメラの経路でアクセスが可能となる。さらに、評価実験を実施する走路が限定されるが、遠隔監視・遠隔操作評価システムのローカルネットワークに無線 LAN で直接接続できるようにアクセスポイントを設置している。

通信プログラムは、ひたち BRT の中型自動運転バスとの通信のために用いることが、本年度の使用目的であるが、遠隔監視・操作の評価のために様々なタイプの通信やデータ内容に対応できるようにした。受信したデータは、他のアプリケーションで読み書きできる共有メモリに格納される形とした。また送信データについては、共有メモリに格納された情報を送信する形にした。共有メモリは、OS(本研究では Windows としている)上のメモリを複数のアプリケーションで共有することで、アプリケーション間の情報の共有や伝達を行い連携させるためのメモリ領域である。昨年度以前の端末交通の技術開発、現地実証実験における車両制御プログラムや遠隔監視・遠隔操作のプログラムで、この手法が使われており、本研究でも、この手法に対応する形で通信プログラムを作成した。

c) 応用と今後

今後の様々な評価を行えるような遠隔監視システムの構築を行った。自動運転のバス側の仕様にも合わせたシステムとすることで、これまで構築してきた自動走行カート、自動走行バスのどちらも実験ができるようになっている。現在はひたち BRT での事象を中心に考えているが、次年度以降は多様化に向けた議論とも合わせ、必要な遠隔監視における実験を行っていく予定である。

(2) 安全確保を見据えた緊急時等の想定検討

遠隔監視者は、発生する通信遅延による画像遅延、制御遅延、情報遅延を考慮しつつ、車両の周囲の安全を確認する必要がある。そのため、先に検討した MRM の想定の中で、どのような情報が必要かの検討を行った。 MRM においては、本テーマ 2 において、現在想定している MRM 事象を元にした、MRM 場面を想定した検討を行った。 MRM では、そのパターンごとにどのようなことを遠隔監視者がする必要があるかということを整理する必要があり、MRM の事象ごとに特に遠隔監視者側で対応すべき項目とタスクについてフローチャートを作成することで明らかにした。その際、遠隔側においてはどのような対応をすべきかについて、概要ではあるが取りまとめた。まだ、最終的な走行制御が決まってないため、一旦仮で想定される MRM における対応について個別にフローチャートの形で取りまとめた。 MRM が発動された場合において、3 つの情報が上がってくるという前提で、3 つの対応パターンを取りまとめた。また、本フローチャートは、まだ関係者との議論ができていないため、本フローチャートが、レベル3や4を確実に担保できるわけではなく、あくまでも現状の想定としてのフローとなる。

まず、MRM の想定として気象条件による MRM があるが、気象条件においては、遠隔 監視側(管制側)において情報を得ることができるという考えもあるため、2つの入力 のラインがあるフローチャート(図 5.2.3-9)を作成した。

次に、通行障害における MRM 事象として、図 5.2.3-10 においてフローチャートを作成した。今回は、走行環境やセンサの環境がまだ完全に固まってはいないため、一旦車両の下に人・モノが潜り込んでいることは想定外としてのフローチャートを作成した。ただし、センサの位置やカメラ等の関係から潜り込みも考慮する必要がある場合は、それに応じたフローチャートにする必要がある。

一方、車両故障においては、現在縮退制御における考え方がまだ固まっていないため、 故障における MRM 事象として、図 5.2.3-11 においてフローチャートを作成した。今後、 縮退制御等の考え方が整理され、故障(制御系)及び故障(認識系)と分けられる場合 は、フローチャートも2つに分けて考える予定である。加えて、基本的に乗客が存在す る場合においては、乗客への安全対応が最優先となるが、遠隔監視者からの直接の対応 は難しいため、基本的には現地への人(事業者)の派遣が必要となる。一方で、到着に は時間がかかることから、それまでの間の対応もフローチャートにまとめた。図 5.2.3-12 に示す。

加えて、MRM 後においては、運行停止(現地に人が駆けつけて対応)する場合と、遠隔監視者からの指示での MRM 後の再開が考えられる。現在、遠隔監視者からの走行開始においては、引き続きその役割・責任等について正確に定まっていないものの、一旦遠隔監視者からの再開があると想定した場合の、確認事項等を含めたフローチャートも作成した。図 5.2.3-13 に示す。なお、これらのフローチャートは、現在の想定であり、まだ修正される可能性は残る。

これらのフローチャートにより、現段階のものではあるが、緊急時の操作である MRM 毎における求められる遠隔監視や緊急時の操作を洗い出すことができた。すなわち、フ

ローを満足させることができることがシステムにおける必要な要件である。なお、先の遠隔監視者の役割検討の節と重複するが、現在のシステムにおいて、満足される機能が実現できていない場合は、今後のシステム構築において満たす必要があるということになるため、車内システム、遠隔監視者、遠隔監視システム、運用の変更のいずれかによって、解決するべき機能ということが言える。

(3) 情報提示における HMI 及び遠隔監視システム評価方法の検討

今年度は、本検討においてこれまで国立研究開発法人産業技術総合研究所の永平寺町の Level 3 において構築されたプログラムを用いて、HMI の構築に向けた検討を開始した。これまで構築してきた HMI では、すべての情報の提示を遠隔監視者に行っており、遠隔操作時においても変わらない情報提示を行っていた。これは先に述べた通り、電動カートを用いる環境であるため、元々ある情報量が多くないためすべて表示をしても、十分に対応可能な情報量であった。一方で、ひたち BRT など、バス利用等において、実際の実験検討を行う際には必要な情報を明確にわかりやすく抽出して提示することが必要であるため、次年度以降において、これまでの検討の結果や、今後走行方針が本格的に決定される際に出てくる情報等も加味しながら、網羅的に実験検討ができるシステムの構築を行っていく予定である。なお、現状では、ひたち BRT において遠隔操作の想定は低いということが確認されている一方、極低速での運用も依然として残されていることに加え、カートのような元々低速電動車においては引き続き想定及び検討が必要であることも見据えて、遠隔操作における HMI 等においても検討ができるようなシステムの改造も行った。

今年度に検討し、構築した HMI の一部については、自動運転/手動運転のモード、目 標速度、速度、操舵角、通信状態、車両位置を表示するものとした。車両位置について は、構内の CG を用い車両を配置することで、俯瞰視点や、車外視点から車両の位置を 確認できるようソフトウェア上への表示も行った。さらに、IPカメラの情報として、ド ライブレコーダーカメラの合成映像、車内映像、車両周囲映像を表示した。実験車を構 内にて自動運転で走行させて、本研究で構築した遠隔監視・操作評価システムのハード ウェア、ソフトウェアにより遠隔監視を行った。カメラ映像の遅延が生じることがあっ たが、手動運転/自動運転モード、車両状態、車両位置、周囲映像、車内映像が概ね良 好に監視できることが確認できた。映像の遅延については、一律に起こるわけではなく、 ドライブレコーダーの映像、車外映像は遅延がほとんど生じなかったが、車内映像に大 きな遅延が発生する場合あること確認した。このカメラでは、魚眼カメラで撮影した天 井からの映像を処理して視点変更を行った映像を表示している。この映像の変換処理に 時間がかかっている可能性があり、映像の遅延は通信による遅延や映像のエンコード、 デコードに加え、映像の視点変換処理も遅延の要因になっている可能性がある。図 5.2.3-14 に監視画面の様子(自動運転切替前、自動運転による直進中、自動運転による左 折中)を示す。また、今回は、遠隔操作の検証は行っていないが、ジョイスティックや ハンドル型入力装置の入力情報が本研究で構築した通信プログラムにより、車両側に伝 達されることを確認した。すなわち、車両側の車両制御プログラムを改変することで、 地上局からの指令による操舵や速度の制御が可能となる。

情報の優先順位については、上述した遠隔監視の役割の検討等を考慮するとともに、HMIの検討の結果も含めると、あくまでも緊急時の情報が優先されるべきと考えられる。加えて、HMIにおいては、特にシンプルで必要な情報だけが表示されるとともに、状況によって情報の種類が増加するまたはハイライトされるようなシステムというものが好

ましいと考えられる。これらは、あくまでも仮説の段階であり、次年度以降に、自動走行の走り方が固まることでの遠隔監視に与える影響の有無を確認しつつ、必要に応じて遠隔監視の実験システムのアップデートも行いながら、実際の評価方法の策定を提案していき、評価に関する実験等も検討していく次第である。

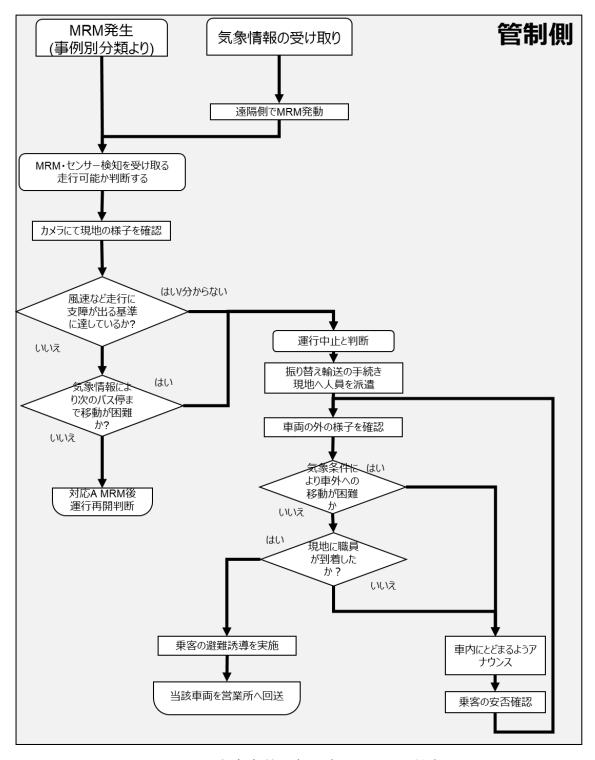


図 5.2.3-9 気象条件に起因する MRM の対応

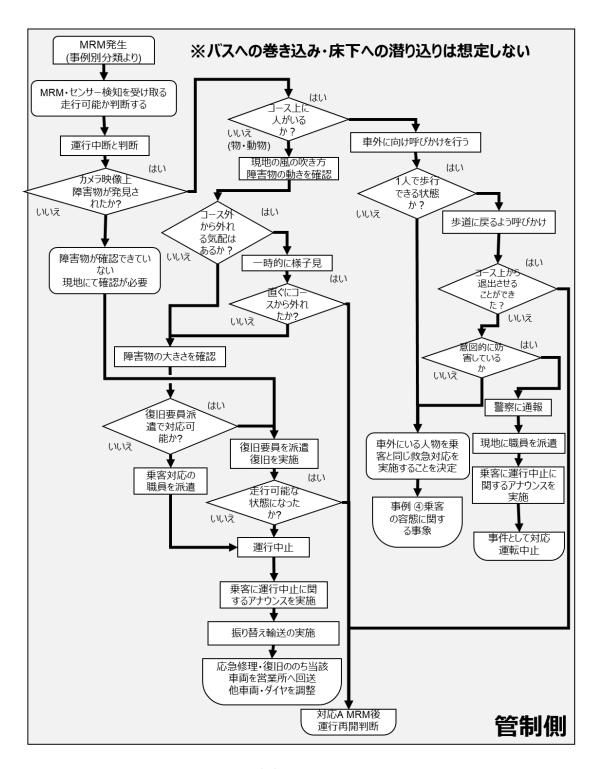


図 5.2.3-10 通行障害に起因する MRM の対応

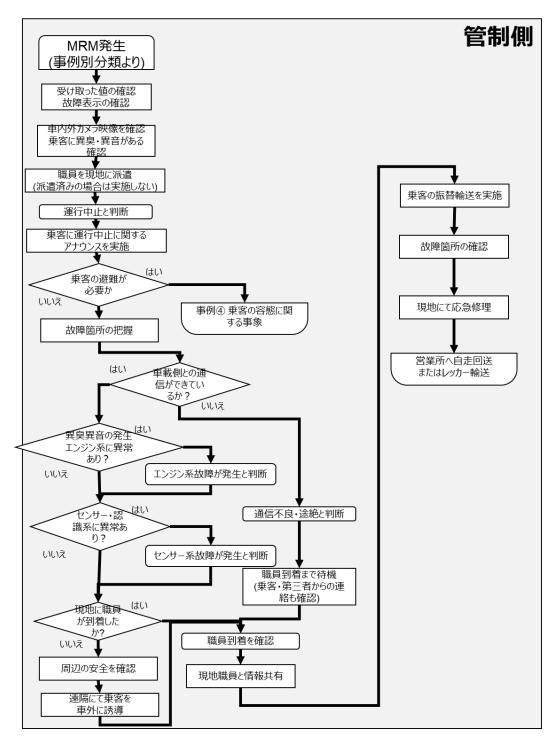


図 5.2.3-11 故障に起因する MRM の対応

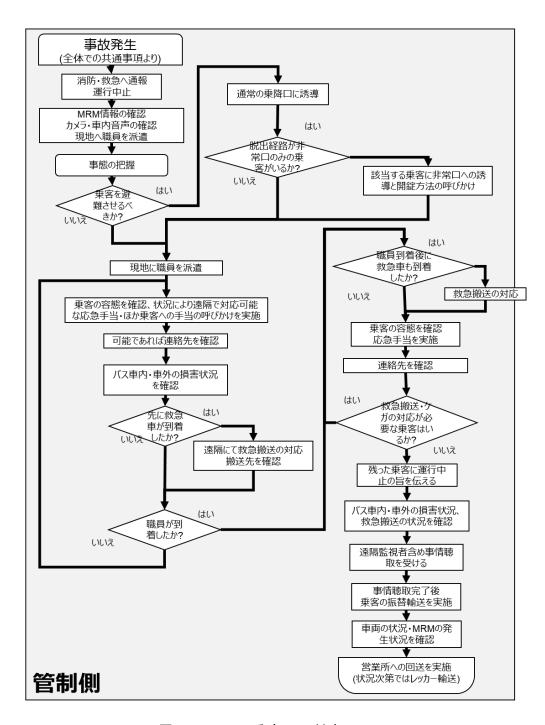


図 5.2.3-12 乗客への対応

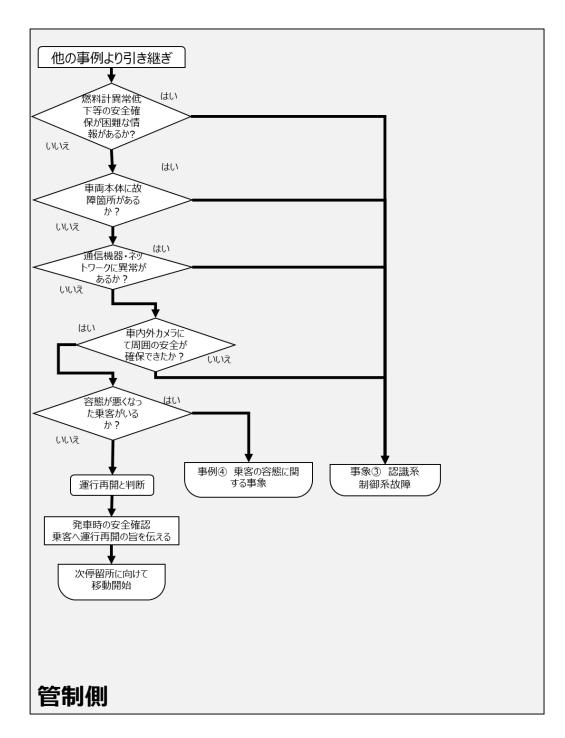


図 5.2.3-13 運行再開の例

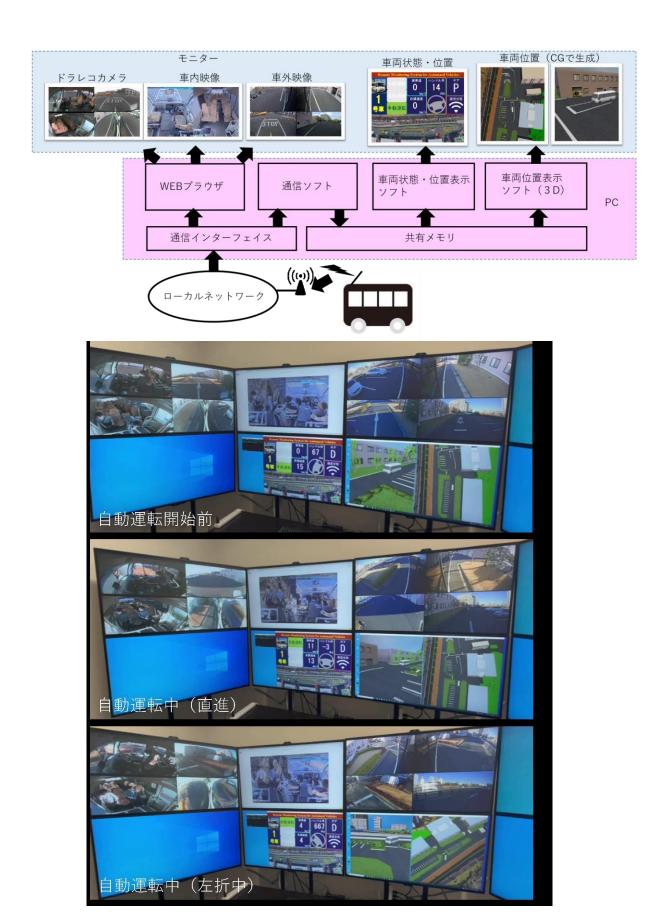


図 5.2.3-14 監視画面の様子

第6章 インフラ連携の仕組み検討

これまでの実証でのインフラ連携事例を踏まえ、日立地域において導入可能なインフラ連携の仕組みについて整理し、ひたち BRT 専用道区間特有のインフラ (バーゲート制御機能や車両すれ違い支援機能等) との連携の仕組みについて検討する。

以降、日立地域における BRT インフラシステムを「ひたち BRT システム」と呼ぶこととする。

6.1. 現状把握

6.1.1. 国内で実施された実証実験でのインフラ連携事例

(1) ひたち BRT の事例

ひたち BRT 専用道区間にて実施したインフラ連携の事例を以下と図 6.1.1-1 に示す。

- 案件名:「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」 うち、「【端末交通(ラストマイル自動走行)】(専用空間における自動走行等を 活用した端末交通システムの社会実装に向けた実証)」
- 発注元:経済産業省 製造産業局 自動車課 ITS・自動走行推進室
- 概要:ひたちBRTにて、茨城交通株式会社を事業者として選定し、2020年10月30日~2021年3月5日の期間でBRT路線における中型バス(2台)を用いてバス運行事業者による実証評価を行った。

中型自動運転バスの実証実験の概要

- 中型自動運転バスによる実証を行う5つの交通事業者を、2019年10月に選定。
- 交通事故の削減や高齢者の移動手段の確保等に資するものとして、中型自動運転バスによる公共 移動サービスの事業化に向けた検証を進める。

経緯

- ○2018年度まで小型自動運転バスの実証を実施していたが、事業性を向上するため、中型自動運転バスについても実証をし、バスモデルを確立するため、多様な走行環境において実証を行う。
- ○このため、全国からバス運行事業者等について公募し、13事業者からの応募があり、外部有識者などによる厳正な審査を経て、5つの事業者を選定。
- ○2019年度は、中型自動運転バス2台を開発するとともに、小型 自動運転バスによるプレ実証を採択事業者のうちの1事業者 (西日本鉄道)にて実施。

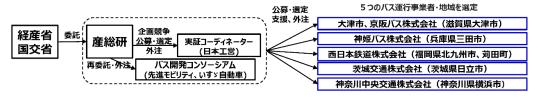


【使用車両】

- ・車両: エルガミオ (いすゞ自動車) 改造・全長:9m、全幅:2.3m、全高:3m ・乗車定員56人 (座席28人) ※
 - ※登録時に変更の可能性あり

今年度の予定

2020年度:5事業者、5カ所、1カ所3~6ヶ月の期間で実証を実施



2020年度実証概要: 茨城交通株式会社(茨城県日立市)

BRT路線における自動運転バスの社会実装



場所

·茨城県日立市

ひたちBRT 常陸多賀駅〜大甕駅〜道の駅日立おさかなセンター (延長約10km、うち専用道区間約7km、既設ルート)

時期 (準備期間含む)

・2020年10月上旬~2021年3月上旬

運行計画

• 運行本数:1日4往復程度

• 乗降場所:常陸多賀駅、大甕駅、道の駅日立おさかなセンター 他

・乗 客:一般住民・運 賃:有料

6

出典:経済産業省ニュースリリース資料

(https://www.meti.go.jp/press/2020/07/20200710002/20200710002-1.pdf)

図 6.1.1-1 ひたち BRT でのインフラ連携の事例

(2) SIP 自動運転 東京臨海部実証実験の事例

戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) の中で実施されたインフラ連携の事例を以下と図 6.1.1-2~図 6.1.1-6 に示す。

- 案件名:戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第2期「自動運転(システムとサービスの拡張)」
- 発注元:内閣府
- 概要:
 - ①臨海副都心地域(一般道)

2019 年 10 月以降、信号情報配信によるインフラ協調システムの実証実験を行われている。具体的には、自動運転走行時の信号現示の認識率向上を図るため、二重系(車載センサ+インフラ情報の通信)による信号現示認識や、信号先読み情報(残業数)の有効性検証を行った(図 6.1.1-2、図 6.1.1-3)。

②羽田空港と臨海副都心等を結ぶ首都高速道路(一般道を含む)

2019年10月以降、インフラ協調システム(合流支援、ETC 通過支援)の実証実験 と、道路交通に対するインパクトアセスメントが行われている(図 6.1.1-4、図 6.1.1-5)。

③公衆広域ネットワーク(V2N)による交通環境情報配信

2021年11月以降、交通環境情報のさらなる広範囲での利用促進に向けて、V2Nによる交通環境情報配信を用いた実証実験が行われている。新たに公衆広域ネットワーク (V2N) を利用した交通環境情報を配信、利活用することが出来る実験環境を整えることで、より多様なユースケースにおける検証を実施する。新たな交通環境情報として、車両プローブ情報を活用した車線別道路交通情報、気象情報、模擬緊急走行車情報、信号情報(V2N)を追加し、その有効性の検証を行う(図 6.1.1-6)。

2. 臨海副都心地域 (一般道)

(1) 概要

多数の交差点があり、歩行者や自転車が往来し自動運転でない一般車を含む 混流交通環境下である有明・お台場地区の一般道において、信号情報配信に よるインフラ協調システムの実証実験と、道路交通に対するインパクトアセ スメントを実施します。



(2) 実証技術の例(信号情報実証実験)



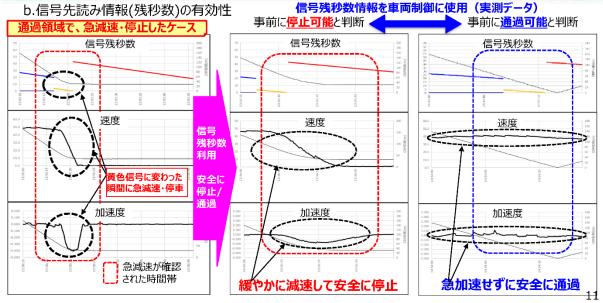
出典:SIP adus 資料

(https://www.sip-adus.go.jp/fot/fot01_02.php)

図 6.1.1-2 SIP 東京臨海部実証実験におけるインフラ連携事例(臨海副都心地域)①

3. 実験参加者提出データ、分析結果と予測値 (2) 臨海副都心地域 期待するOUTPUT 車両検知センサ認識低下時でも信号情報利用 a.自動運転におけるインフラ信号情報(信号現示情報) で交差点通過可能 の有効性(信号灯色判断困難時の影響削減化) インフラ情報を使わなかった場合(実測データ) インフラ情報を利用した場合(実測データ) 速度(km/h) ㎢ 速度(km /þ) h 50 信号灯色 逆光で信号認識精度が低下し、 逆光時でも、信号残秒数情報を使い インフラ情報 停止できるように自動で減速 減速無しで交差点を通過 を使っていない 青信号であったため交差点通過し再加速 方路1 加速度 (G) データから インフラ情報を使った場合の 0 -0.1 車載カメラ映像(逆光有) 加速度 (G) 車両挙動の G 3 変化 信号現示 信号灯色 方路1 方路1 方路2 方路2 方路3 方路3 L (CC) 交差点を通過した時間帯 [22] 交差点を通過した時間帯 車載カメラ映像(逆光無) 10 尾験参加者提出デ





出典: SIP-adus Workshop 2020 資料

(https://www.sip-adus.go.jp/evt/workshop2020/file/sr/SR_09J_Tsuda.pdf)

SIP 東京臨海部実証実験におけるインフラ連携事例(臨海副都心地域)② 図 6.1.1-3

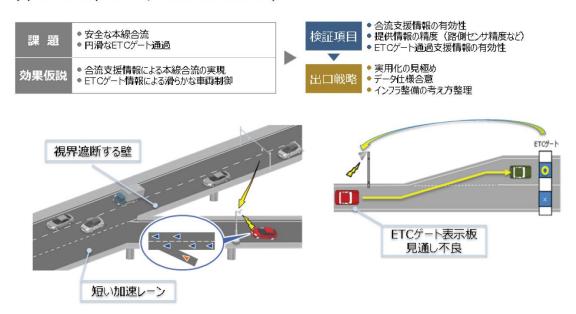
4.羽田空港と臨海副都心等を結ぶ首都高速道路 (一般道を含む)

(1) 概要

SIP第1期で実証実験が行われた高速道路での自動運転のエリアを拡張するため、インフラ協調システム(合流支援、ETC通過支援)の実証実験と、道路交通に対するインパクトアセスメントを、首都高速道路で行います。



(2) 実証技術の例(ETCゲート/本線合流支援情報実証実験)



出典:SIP adus 資料

(https://www.sip-adus.go.jp/fot/fot01_04.php)

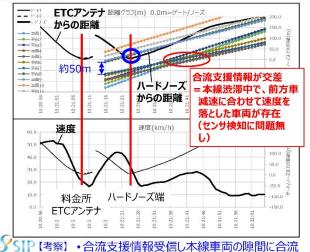
図 6.1.1-4 SIP 東京臨海部実証実験におけるインフラ連携事例(首都高速道路)①

3. 実験参加者提出データ、分析結果と予測値



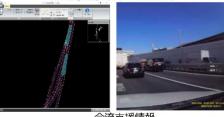
(3) 首都高速道路

インフラ提供データと車両挙動の例



•本線車両低速走行、合流後20~30km/hで走行

ETCゲート通過支援情報 (ビューア表示と実験用映像記録装置画像表示比較) 2020年2月28日 12:02:49



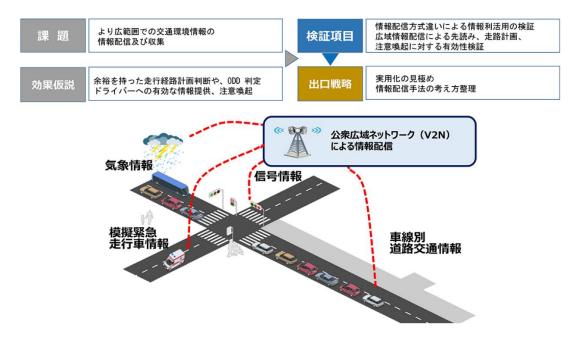
合流支援情報 (ビューア表示と実験用映像記録装置画像表示比較) 2020年2月28日 12:03:11

2020年2月28日 12:03:11 12

出典:SIP-adus Workshop 2020 資料

(https://www.sip-adus.go.jp/evt/workshop2020/file/sr/SR_09J_Tsuda.pdf)

図 6.1.1-5 SIP 東京臨海部実証実験におけるインフラ連携事例(首都高速道路)②



出典: SIP adus 資料

(https://www.sip-adus.go.jp/fot/fot01_01.php#f01_01)

図 6.1.1-6 SIP 東京臨海部実証実験における V2N 情報活用事例

(3) 岐阜市の事例

岐阜県にて実施されたインフラ連携の事例を以下と図 6.1.1-7 に示す。

● 概要:2021年10月23日~2021年10月30日の期間で、岐阜県岐阜市にて自動運転バスの実証試験が実施された。2箇所において信号機からサーバ経由で自動運転車両に信号情報を伝送し、信号交差点までの距離を踏まえて停止・通過を制御するインフラ情報を行った。





出典:ソフトバンク株式会社ブレスリリース資料

 $(https://www.softbank.jp/drive/set/data/press/2021/shared/20211022_01.pdf)$

図 6.1.1-7 岐阜市におけるインフラ連携事例

6.1.2. 現地調査

現地調査を行い、現況設備の状況や周辺環境等の把握を行った。

- (1) 調査概要
- 1) 調査日時
- 令和3年9月22日(水)

2) 調査場所

ひたち BRT システムのインフラを把握するとともに、過年度の実証実験で実施したような路側センサによる障害物検知についても今後実施する可能性があるため合わせて確認した。以下のような類型で整理し、調査場所を決定した。

● 南部図書館停前の交差部 :信号のない交差点(車線が設定された道路)

大甕駅付近 :緑の横断帯

◆ 大沼小学校東停付近の交差部 : 信号のない交差点(車線が設定された道路)◆ 磯坪停付近の交差部 : 信号のない交差点(車線が設定された道路)

● 寺方 : 信号のない交差点+横断歩道

● 水木 : 信号交差点(感応式)

- 3) 調査内容
- 現地状況の確認
- 既設インフラ機器配置状況の確認
- 既設システム構成の確認

(2) 調査結果

現地調査結果を図 6.1.2-1~図 6.1.2-6 に示す。各箇所で、バーゲート(侵入防止バー)、 BRT 信号(すれ違い信号)、制御盤などのひたち BRT システム特有のインフラを確認した上で、路側センサの設置箇所や検知・伝達イメージを整理した。

1) 南部図書館停前の交差部

類型③:信号のない交差点(車線が設定された道路) 位置①: 全体概況 16南部図書館停前の交差部 位置(2): 見通しが 悪い場所 : 侵入防止バ 位置(3): : すれ違い信号 悪い場所 : 信号機 確認結果 ・見通しが悪く横断方向の車両を検知しにくいことが予 想される。 ・同方向の横断歩行者との交錯も考えられる。 ・中央分離帯(バス停付近)に路側センサを設置することで、横断方向の車両検知を支援することができる。 位置④:検知・伝達イメージ(1) 位置⑤: 検知・伝達イメージ(2)

背景航空写真の出典:NTTインフラネット株式会社 GEOSPACE 電子地図

図 6.1.2-1 現地調査結果(南部図書館停前の交差部)

2) 大甕駅付近



背景航空写真の出典:NTTインフラネット株式会社 GEOSPACE 電子地図

図 6.1.2-2 現地調査結果 (大甕駅付近)

3) 大沼小学校東停付近の交差部

類型③:信号のない交差点(車線が設定された道路) ⑥大沼小学校東停付近の交差部



出典:NTTインフラネット株式会社 GEOSPACE 電子地図より作成

図 6.1.2-3 現地調査結果 (大沼小学校東停付近の交差部)

4) 磯坪停車付近の交差部

類型③:信号のない交差点(車線が設定された道路) ⑤磯坪停車付近の交差部





位置①:全体概況

位置①:全体概況



位置②:交差部付近

確認結果 ・専用路と一般道路の交差部で、特に北側 から通過する際に死角が発生している。横断 方向の車両を検知しにくいことが予想される。 ・死角の対向側に路側センサを設置すること で、車両検知を支援することができる。 ・もしくは、感応式信号によりバスが交差点部 に接近した際に、交差道路側の信号が赤という制御になれば、交差道路の信号を受信でき れば車両単独で通過可能であるが、警察と

背景航空写真の出典:NTTインフラネット株式会社 GEOSPACE 電子地図

図 6.1.2-4 現地調査結果 (磯坪停車付近の交差部)

5) 寺方

類型②:信号のない交差点+横断歩道 ⑩寺方停付近の交差部



背景航空写真の出典:NTTインフラネット株式会社 GEOSPACE 電子地図

図 6.1.2-5 現地調査結果(寺方)

6) 水木

類型④:信号交差点(感応式) ⑧水木





確認結果 ・交差点部で、信号連携があるとより効果的な停止・発進動作が期待できる

背景航空写真の出典:NTTインフラネット株式会社 GEOSPACE 電子地図

図 6.1.2-6 現地調査結果(水木)

6.2. インフラ連携の方針検討

6.2.1. 既設インフラ

ひたち BRT システムにおいてインフラ連携を検討するにあたり、現場側(ひたち BRT 専用道区間)にて、特に制御盤と BRT 信号・バーゲートの役割を整理した。

6.2.2. インフラ連携の設計対象

インフラ機器の役割を考慮して、インフラ連携によりバスの自動走行を支援するため に、以下が設計対象候補として考えられる。

【インフラ連携を行うための設計対象候補】

- バーゲート:バス側に開閉信号や故障信号を伝送する。
- BRT 信号:バス側に灯色信号や故障信号を伝送する。
- 制御盤:バーゲートや BRT 信号の情報を集約して、バス側に伝送する。
- 既設サーバ:集約した開閉信号や灯色信号、故障信号を伝送する。

よって、ひたち BRT での無人自動運転移動サービスを支援するために、バーゲート、BRT 信号、制御盤、既設サーバをインフラ連携の設計対象候補とする。

6.2.3. ひたち BRT システムの高度化の大方針

既設のひたち BRT システムのインフラを設計対象候補として、灯色信号や開閉信号、 故障信号の伝送により車両制御をサポートする場合、対象設備が多く、既設インフラの 改造費が膨大になることが予想される。

コストメリットの観点から、以下の方針でひたち BRT システムの高度化を行う予定である。

【高度化の大方針】

- ① 基本は、車両カメラ増設やバーへの反射材追加を行い、BRT 信号の灯色情報やバーゲートの開閉情報を検知・認識し、車両検知できるようにする。
- ② 車両制御のサポートとして、インフラ側から情報の伝送も検討する。

ここで、インフラ情報の通信方法としては、V2N (Vehicle to Network) と V2I (Vehicle to Infrastructure) の 2 種類を想定する。V2N は、制御盤などを改修して、クラウドサーバ経由で車両にインフラ情報を伝送する方法である。V2I は、インフラ機器や制御盤を改造(信号分岐、無線装置を追加)し、車両にインフラ情報を伝送する方法である。

6.2.4. ひたち BRT システムの高度化検討

前項で示した高度化の大方針①、②を実施するために、関係機関に対してヒアリングを行った。その上で、システム構成(案)を複数検討し比較検討を行った。

当初想定していたカメラ配置では認識できる信号は3箇所程度であるが、カメラ増設により他の箇所も確認可能であることがわかった。ただし、実際にフィールド検証を行った結果ではないため、大方針②において灯色信号の伝送を含め検討を行うこととした。大方針①は、前段で整理した通り、車両側に搭載するカメラやセンサ等でバーゲートの開閉やBRT信号の灯色情報を検知・認識して車両制御を行うものである。

大方針②は、インフラ情報の伝送ルートが複数案考えられるため、整備コストや施工 にあたっての必要日数、現行サービスへの影響度等を考慮し、対応方針を引き続き検討 する必要がある。

6.2.5. 次年度の方針整理

前項で整理した通り、大方針①・②で高度化を進める方針としたが、遠隔運転支援サーバのインタフェース仕様など、要求仕様が不明な点が多い。

そこで、2022 年度は、大方針①の実施、および大方針②を実施する際の要件定義等、 詳細検討を行う期間として位置づけとした。

第7章 まとめ

7.1. 今年度の成果と次年度に向けた課題

高度化編の各章で検討した事項について、今年度の成果と次年度に向けた課題をとりまとめた。とりまとめた内容を以下に示す。

表 7.1-1 今年度の成果と次年度に向けた課題

| 章項目 | 今年度の成果 | 次年度に向けた課題 |
|----------|---------------------|----------------------|
| 第1章 | ・地域関係者との議論を踏まえ、ひ | ・2023 年度のレベル 3 社会実装の |
| 日立地域にお | たち BRT に導入可能なサービス | 目標に向けて、安全設計、レベル |
| ける高度化検 | 内容と目標を設定 | 3 認可・審査等に向けたプロセス |
| 討の概要 | | の詳細化 |
| 第2章 | ・ひたち BRT 自動運転バスのユー | ・ユースケース毎のリスクの網羅 |
| 走行環境、運行 | スケースを洗い出して、リスク | 的な検討 |
| 条件の整理、評 | が高いものを抽出 | |
| 価条件の整理・ | ・ひたち BRT 走路の主要なユース | ・現地実証実験における ODD や安 |
| 評価 | ケース(並走歩行者通過/交差点 | 全走行方法の妥当性の検証、レ |
| F. 1,5-1 | 通過)で安全走行方法を検討 | ベル3化に向けた残存課題への |
| | ・ひたち BRT 自動運転バス(レベル | 対応 |
| | 3)の現地実証実験に向けて ODD | 7,1,7,1 |
| | を定義 | |
| | ・危険事象に対してリスクを許容 | ・MRM も含めた更なる安全方策の |
| | レベルに下げるための方策検討 | 検討及び今回の安全性評価手法 |
| | 及び安全方策実装後の評価 | の有効性の検討 |
| | ・簡易な仮想環境の構築(ひたち | ・仮想環境の有効性検証 |
| | BRT における危険シーン 7 か所) | 灰心绿壳 5万 |
| 第3章 | ・レベル3以上に向けた車両開発 | ・現地実証実験における搭載した |
| 車両開発(高度 | (センサ類の搭載、ソフトウェ | 機能の検証・評価 |
| 化開発) | アの更新、自動走行機能の冗長 | 小灰 化二、人人公 四二 一 日 一 四 |
| | 化、TOR/MRM 機能等) | |
| | ・物体認識試験や信号認識試験の | |
| | 実施による評価・分析 | |
| | ・遠隔監視システムとの連携を想 | |
| | 定した機能追加 | |
| 第4章 | ・走行区間や運行時間など具体的 | ・サービスとして成り立つかどう |
| 無人自動運転 | な無人自動運転移動サービス内 | かも含めた無人自動運転移動サ |
| 移動サービス | 容の設定 | ービスの在り方の検討 |
| のサービス内 | ・運行経費、サービスに係る関係者 | ・自動運転システム全体の技術レ |
| 容、事業モデル | 間の役割分担、事業効果を踏ま | ベルに応じた持続可能な事業モ |
| の整理 | えた事業モデルの整理 | デルの検討 |
| 第5章 | ・運行事業者へのヒアリングによ | ・車内サービス (安全) の実現に向 |
| 遠隔監視シス | り、運行実態に応じた移動サー | けた遠隔監視者の役割検討及び |
| テムの開発 | ビスの洗い出した上で、遠隔監 | 機能や運行・運用の見直し |
| | 視者、車内乗務員、システムの役 | ・車両、遠隔側で対応する部分だけ |
| | 割を整理 | でなく、法改正やガイドライン |
| | | 改正も視野に入れた対応策の検 |

| 章項目 今年度の成果 | | 次年度に向けた課題 | | |
|--------------------------|--|---|--|--|
| | ・テストコースでの遠隔監視シス テムの開発と車内外 HMI も含め た基礎検討を開始 | 計 ・遠隔監視システムのアップデー トと車内外 HMI の検証方法の具 体化 | | |
| 第6章 インフラ連携 の仕組み検討 | ・日立地域において導入可能なインフラ連携(バーゲート、BRT信号)の仕組みの整理 | ・インフラ連携システムの要件定 義等の詳細検討及び現地実証実 験における評価・検証 | | |



第1章 多様化検討の概要

1.1. 多様化検討におけるタスクフォース

タスクフォースでは、2023 年度以降の横展開の推進に向けて、社会実装を目指す事業者間の共通理解を図ることを目的し、自動運転システム全体の一連のプロセスにおいて、自動運転車両が担うサービス・事業の類型化、サービス提供を考慮した ODD 設定プロセスを検討する他、ODD 設定以降のプロセス整理(設計ガイドやセーフティアセスメント、認証に向けた取組の考え方)について議論した。

1.1.1. タスクフォースの目的

2025 年度までに無人自動運転移動サービスの 40 箇所以上での実現(政府目標)を目指し、テーマ 2 では、多様なエリア・車両で展開されるような環境の整備に向け検討を進めている。タスクフォースでは、社会実装を目指す事業者間での協調領域に関する基本的な考え方の整理や整合を図ることを目的とする。

1.1.2. タスクフォースの体制や連携

タスクフォースの組織体制は、自動運転システムの安全性向上に関する研究に従事され幅広い知見がある、東京大学情報理工学系研究科情報科学科 加藤真平准教授を座長とし、車両 OEM、自動運行装置等提供業者運行事業者、安全評価に関する事業者、運行関連事業者等で構成される組織とする。また、オブザーバーとして経済産業省・国土交通省・内閣府・警察庁、RoAD to the L4 コーディネート機関が参加するとともに、他テーマなどと連携を図りながら議論を進めていく。

1.1.3. タスクフォースの開催実績

今年度は全 4 回のタスクフォースを実施した。実施したタスクフォースの日時、会議 形態、議事内容を次項に示す。なお、各回のタスクフォースの実施にあたり、タスクフ オースに参画する企業・団体ごとに事前ヒアリングを行い、タスクフォース資料に意見 を反映した。

表 1.1.3-1 タスクフォースの開催実績

| 回数 | 日時 | 会議形態 (場所) | 議事内容 |
|----|-------------------------------|--|---|
| 1 | 2021/11/2 (火) 16:00~18:00 | 対面(AP 東京八重洲 11 階 K ルーム)、WEB 会 議併用 | 1.開会挨拶 2.座長挨拶 3.設立趣意・規約等 4.タスクフォースで協調的に解決すべき課題 5.今後の進め方 6.質疑応答・意見交換 7.閉会 |
| 2 | 2021/12/10 (水) 13:00~15:00 | 対面(AP 東京丸の内 3 階 E+F+Gル ーム)、WEB 会議併用 | 1.開会 2.検討課題に関するご紹介 3.タスクフォースに関する審議事項等 (1)第 1 回 TF の振り返り及び今後の進め方の基本方針 (2)ODD 等の類型化について・類型化の目的・全体像等・安全走行に関するアンケート結果概要・各社からのご意見(類型化・安全走行) 4.先行地域での検討状況紹介【報告・意見照会】 ・ひたち BRT でのセーフティアセスメントの進め方 5.今後の進め方 6.閉会 |
| 3 | 2022/1/24 (月) 13:00~15:00 | WEB 会議 | 1. 開会 2.タスクフォースに関する審議事項等 (1)第 2 回 TF の振り返り (2)タスクフォースの進め方 (3)SA ガイドラインについて (4)交差点・単路での安全走行の考え方 3.次回の予定について 4.閉会 |
| 4 | 2022/3/11 (金) 13:00~15:00 | 対面 (AP 東京八重洲 13 階 A ルー ム)、WEB 会 議併用 | 1. 開会 2.第 3 回 TF の振り返り 3.ODD 類型化について ・代表的なユースケース抽出 ・モデル地域選定の考え方 4.SA ガイドラインなどについて ・各委員の意見について ・位置づけや活用方法について 5.今後の進め方について 6.閉会 |

1.2. 多様化検討の概要

1.2.1. タスクフォースの全体像の整合

2025 年度までに多様なエリアで、多様な車両を用いた無人自動運転移動サービスを 40 箇所以上で実現という目標達成に向けて、社会実装を目指す事業者間で、協調領域における社会実装に必要な事項の基本的な考え方について整合を図れていないことが課題である。基本的な考え方の整合にあたっては、ODD(想定されるサービスや走行環境条件)や ODD に対応するシステム構成は、多岐に渡ることから、効率的に考え方の整合を図るために、適切な粒度で類型化することが重要である。

1.2.2. ODD 類型化の考え方

ODD (サービス・走行環境) やシステム構成を類型化し、①代表的なユースケースの抽出による安全の考え方の整合、②モデル地域での ODD 設定の考え方の整合を図る。

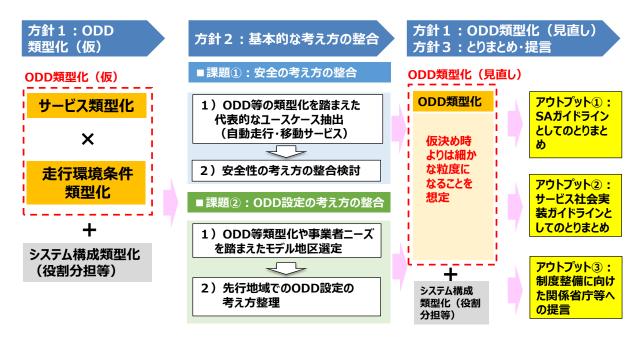


図 1.2-1 · ODD 類型化の考え方

1.2.1. ODD 類型化による代表的なユースケースの抽出

タスクフォースで委員へ確認した ODD を分類する上での優先度の高い分類項目、意見照会結果を踏まえ、ODD の類型化を検討し、類型化に起因する代表的なユースケースを整理した。

1.2.2. ODD 類型化によるモデル地域選定

タスクフォースでは、網羅的にサービスや道路環境をカバーするため新たなモデル地域の検討が必要である。モデル地域を選定するために、前述の ODD 類型化結果(サービス、走行環境)を集約した。次年度以降、新たにモデル地域として選定し、タスクフォースで安全の考え方の整合を図る議論を進める。

1.2.3. ガイドラインの活用イメージ

今後、類型化した ODD と代表的なユースケースや役割分担、SA ガイドラインで記載する安全走行の考え方を紐づけることで、事業者が参照しやすいようなとりまとめが必要である。類型した代表的なサービス毎にチェックシートでのとりまとめを想定する。

第2章 走行環境、運行条件の整理、評価条件の整理・評価

2.1. 無人自動運転移動サービスを想定した ODD/ユースケースの設定方法やその類型化

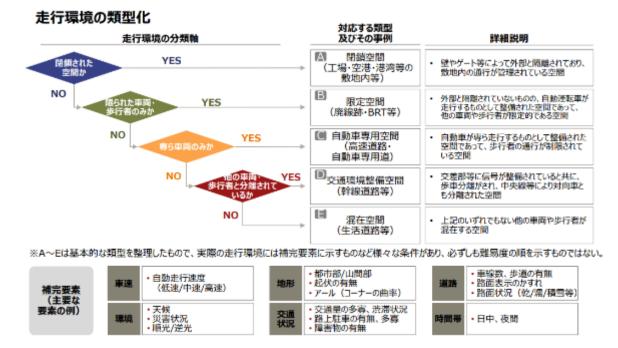
2025 年度までに全国 40 箇所で実用化の目標に向けて、これまでに実施されている実証実験や、NEDO (国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構) 先導プロジェクトなどを参考に幅広く ODD/ユースケース類型案を作成した。ODD/ユースケース類型化の素案については、タスクフォースで審議し、合意形成を図り、検討を進めた。これまでの日立地域での検討結果を基にインフラ連携等を考慮し ODD/ユースケース類型化を具体化した。

2.1.1. これまでの類型化の基本的な考え方

自動走行ビジネス検討会では、無人自動運転移動サービスの実現及び普及に向けたロードマップの策定に向けて、事業者ヒアリングや海外における事例に基づき、基本的な類型を整理している。以下に自動走行ビジネス検討会で整理した類型化の考え方を示す。自動走行ビジネス検討会では、個別地域の ODD に応じて車両開発や安全性評価を実施することは非効率的であり、ODD を類型化し、それに応じてセンサ構成等のモジュール化やリスク評価手法のパターン化を行うことで、他の地域に円滑に横展開する方策を検討する方針が示されている。

2. 無人自動運転サービスの実現及び普及に向けたロードマップ①

将来課題検討WGにおいては、事業者ヒアリングや海外における事例に基づき、以下のとおり自動運転の走行環境として5つの基本的な類型と補完要素に取りまとめた。



2. 無人自動運転サービスの実現及び普及に向けたロードマップ②

実証実験を行う事業者へのヒアリング等を通じて、各類型に当てはまるサービス形態の事例を整理。



 それぞれのイメージは代表的なま行ケースを例示的に示しているため、実際はこれも条件に限らない 道路状況、インフラ(ハード・ソフト)、人/単微との干燥、気候等の要素が組み合わさることで自動走行の運行条件の機器変は変わる。

出典:経済産業省·国土交通省

2.1.2. ODD、ユースケース等の用語の考え方

ODD、ユースケース、シナリオの各文献における記述を整理し、検討を進める際の用語の認識についてタスクフォースで共有化を図った。以下に各用語の考え方を示す。

表 2.1.2-1 用語の考え方(1/2)

| m ** | 各文献におけ | ーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーーー | +v > T- | | | |
|-----------------|-----------------------|---------------------------------------|-------------------|--|--|--|
| 用語 | 内容 | 出典 | 考え方 | | | |
| ODD | 自動運転システムが | 自動運転車の安 | (課題)ODD という言葉に、ラス | | | |
| | 正常に作動する前提 | 全技術ガイドラ | トマイル自動運転車両システム基 | | | |
| | となる設計上の走行 | イン(国土交通 | 本設計書では、設計されている特 | | | |
| | 環境に係る特有の条 | 省自動車局:平 | 定の範囲との記載であるが、走行 | | | |
| | 件。 | 成 30 年 9 月) | 環境条件のみなのか、運行環境(移 | | | |
| | 自動運転の機能が作 | ラストマイル自 | 動サービス)を含んだものなのか | | | |
| | 動するように設計さ | 動運転車両シス | が曖昧である | | | |
| | れている特定の範囲。 | テム基本設計書 | ⇒ODD は、走行環境条件だけでな | | | |
| | 書によっては 限定領 | (国土交通省自 | く、移動サービスに関する条件も | | | |
| | 域あるいは走行環境 | 動車局:令和 2 | 考慮した、"運行設計領域(設計さ | | | |
| | 条件とも称される。 | 年7月) | れている特定の範囲)" とする | | | |
| | 分類項目】 | | | | | |
| | ○道路条件、地理条件 | | ⇒ラストマイル自動運転車両シス | | | |
| | ○環境条件 | | テム基本設計書での走行環境条件 | | | |
| | ○走行条件 | | のみを示す場合は、走行環境条件 | | | |
| | | | と明記し、ODD という用語は使わ | | | |
| | | | ない。 | | | |
| ユース | 自動運転シーンを具 | AD ユースケー | 車両と周辺交通参加者だけでな | | | |
| ケース | 体的に記述したもの。 | ス分科会資料 | く、乗員・乗客等を含めて一連の行 | | | |
| | | (自工会) | 動・動作において一部分をくり抜 | | | |
| | ユースケースとは、ド | 2017年自動走行 | いたもの。 | | | |
| | イツ PEGASUS プロジ | ビジネス検討会 | | | | |
| | ェクトの Logical | 報告書※ドイツ | 使用するときは、車外安全が中心 | | | |
| | Scene に対応するも | PEGASUS プロ | である自動走行ユースケース、車 | | | |
| | \mathcal{O}_{\circ} | ジェクトを参考 | 内安全が中心である移動サービス | | | |
| | Scene とは、一連の行 | | ユースケースに使い分ける | | | |
| | 動(動作)における一 | | | | | |
| | 部分のくり抜いたも | | | | | |
| | のを指す | | | | | |

表 2.1.2-2 用語の考え方(2/2)

| Ш ⇒т | 各文献における | ±x > +- | | |
|------|-------------------------------|-------------|------------|--|
| 用語 | 内容 | 出典 | 考え方 | |
| シナリ | 一連の行動(動作)の初めから | 2017 年自動走行ビ | 一連の動作の始まりか | |
| オ | 終わりまでを指す。 | ジネス検討会報告 | ら終わりまでを指す。 | |
| | ドイツ PEGASUS プロジェク | 書 | ユースケースよりも詳 | |
| | トにおいては、Functional | ※ ド イ ツ | 細な記載と位置づける | |
| | Scenario , Logical Scenario , | PEGASUS プロジ | | |
| | Concrete Scenario の 3 種類を定 | ェクトを参考 | | |
| | 義している。 | | | |
| | Functional Scenario: 車両が走 | | | |
| | 行する際の交通環境の構成要 | | | |
| | 素を指す | | | |
| | Logical Scenario:構成要素のパ | | | |
| | ラメーターの範囲を定義した | | | |
| | ものを指す | | | |
| | Concrete Scenario : 構成要素 | | | |
| | を特定しパラメーターを一つ | | | |
| | に決めた、いわゆるテストに | | | |
| | 使用するものを指す | | | |

2.1.3. ODD 類型化の目的・検討ステップ

(1) ODD 類型化の目的

2025 年度までに多様なエリアで、多様な車両を用いた無人自動運転移動サービスを 40 箇所以上で実現という目標達成に向けた課題を踏まえ ODD 類型化の目的を整理する。

目標達成に向けては、社会実装を目指す事業者間で、協調領域における社会実装に必要な事項の基本的な考え方について整合を図れていないことが課題である。基本的な考え方の整合にあたっては、ODD(想定されるサービスや走行環境条件)や ODD に対応するシステム構成は、多岐に渡ることから、効率的に考え方の整合を図るために、適切な粒度で類型化することが重要である。

表 2.1.3-1 目標達成に向けた課題

| 社会実装に向 | 無人自動運転移動サービスを導 | 自動運転システムを構築する事業 | | | |
|---------|-----------------|------------------|--|--|--|
| けた課題 | 入する事業者(主に自治体や交通 | 者(主に車両・インフラ・遠隔シス | | | |
| | 事業者など) | テム開発者等) | | | |
| 移動サービス | サービスを導入する地域や社会 | 安全性が担保されたシステムが導 | | | |
| の大前提とな | に対して、安全性が担保できるよ | 入される他、効率的なシステム開 | | | |
| る安全性の考 | うになる | 発を促進できる | | | |
| え方の整合 | | | | | |
| 自動運転シス | 無人自動運転移動サービスを導 | サービスを導入する事業者のニー | | | |
| テム全体の | 入することが可能であるかどう | ズにあったシステムが導入される | | | |
| ODD 設定の | か判断できる | 他、効率的なシステム開発を促進 | | | |
| 考え方の整合 | | | | | |

(2) 目標達成に向けた検討ステップ

(1)を踏まえタスクフォースで目標達成に向けた検討ステップを議論した。以下の検討ステップで検討を進めることで合意した。

ODD (サービス・走行環境) やシステム構成を類型化し、①代表的なユースケースの抽出による安全の考え方の整合、②モデル地域での ODD 設定の考え方の整合を図る。また、より細かい粒度での ODD 等の類型化の見直しを行い、事業者による活用を目的としたガイドラインや制度整備に向けた関係省庁への提言をまとめていく。

ステップ①:無人自動運転移動サービス導入可能性を判断するためのサービス、走行 環境条件、システム構成の類型化

ステップ②:安全設計や安全性評価要件、ODD 設定の考え方の整合

ステップ③: SA ガイドライン、サービス社会実装ガイドラインのとりまとめ、必要に 応じて制度整備に向けた提言を実施

ステップ 1: ODD ステップ1:ODD類型化(見直し) ステップ2:基本的な考え方の整合 類型化(仮) ステップ3:とりまとめ・提言 ■課題①:安全の考え方の整合 ODD類型化(見直し) ODD類型化(仮) 1) ODD等の類型化を踏まえた ODD類型化 アウトプット①: サービス類型化 代表的なユースケース抽出 SAガイドライン X (自動走行・移動サービス) としてのとりまと 仮決め時 め 走行環境条件 よりは細か 2) 安全性の考え方の整合検討 な粒度に 類型化 なることを アウトプット②: 想定 サービス社会実 ■課題②:ODD設定の考え方の整合 装ガイドラインと システム構成類型化 してのとりまとめ 1) ODD等類型化や事業者ニーズ (役割分担等) を踏まえたモデル地区選定 アウトプット③: 制度整備に向け システム構成 2) 先行地域でのODD設定の た関係省庁等へ 類型化(役割 考え方整理 の提言 分担等)

図 2.1.3-1 タスクフォースの検討ステップ

2.1.4. ODD 類型化と代表的なユースケースの抽出

(1) 交通規制(専用・優先・混在)の定義

ODD を分類する上での重要な要素である交通規制(専用・優先・混在)の定義を整理した。

| 交通 | 定義 | 他交通参加者 | 主な相違点 | | | |
|----|------------|----------|----------|------|--|--|
| 規制 | 上我 | 他父通参加有 | 他交通参加者 | 路上駐車 | | |
| 専用 | 自動運転車両のみが走 | なし | _ | _ | | |
| | 行が許された区間 | | | | | |
| 優先 | 自動運転車両の走行が | 自転車、二輪車、 | 通行可であるが、 | 駐車禁止 | | |
| | 優先される区間 | 自動車 | 妨害してはなら | | | |
| | | | ない | | | |
| 混在 | 他交通参加者と同等の | すべて | 混在して走行 | 存在する | | |
| | 位置づけとなる区間 | | | | | |

表 2.1.4-1 交通規制の定義と主な相違点

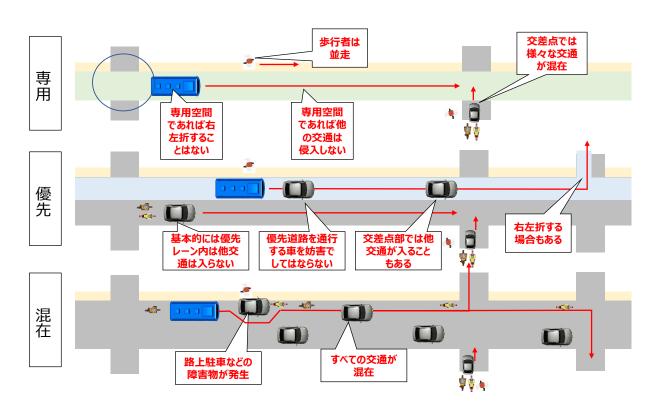


図 2.1.4-1 交通規制 (専用・優先・混在)の定義

(2) サービス

タスクフォースで委員へ確認した ODD を分類する上での優先度の高い分類項目、意 見照会結果を踏まえ、サービスの類型化と代表的な移動サービスユースケースを検討し た。

(3) 走行環境(道路環境および走行環境)

タスクフォースで委員へ確認した ODD を分類する上での優先度の高い分類項目、意 見照会結果を踏まえ、道路環境、走行環境の類型と代表的な自動走行ユースケースを検 討した。

2.1.5. モデル地域選定のための ODD 類型化結果(サービス、走行環境)の集約

タスクフォースでは、網羅的にサービスや道路環境をカバーするため新たなモデル地 域の検討が必要である。モデル地域を選定するために、前述の ODD 類型化結果 (サービ ス、走行環境)を集約した。以下に集約した結果を示す。

| | サービス分類要素 | | | 道路環境 | | | | | |
|-----|---|------|-----------|----------------|--------------|------------------|-----------------|-----------|-----|
| | | | | 交通規制×道路構造 | | | | | |
| | 移動エリア・ネットワーク | 移動速度 | 動速度 車両タイプ | 専用 | | 優先 | | 混在 | |
| | | | | 単路 | 交差点 | 単路 | 交差点 | 単路 | 交差点 |
| 地方部 | ₩₩₩ | 中高速※ | 中・大型バスタイプ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 単純 | 」 拠点施設間 | 中高速 | 乗用タイプ | - | - | - | - | 0 | 0 |
| | | 低速 | カートタイプ | 0 | 0 | - | ODD類型Ⅲ | 0 | 0 |
| | 地域拠点~地域内 | 中低速 | 小型バスタイプ | _ODD数 | | _ (E | デル地 <u>域</u> :要 | 討) 🔾 | 0 |
| | | 中速 | 乗用タイプ | (モデル地域 | : 水平守町) - | _ | _ | 0 | 0 |
| | 5 5 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 | 中速 | 中・大型バスタイプ | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | ターミナル〜地域拠点 | 中高速 | 乗用タイプ | _ | - | _ | _ | 0 | 0 |
| | | 中低速 | 小型バスタイプ | - | - | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 市街地~ターミナル | 中速 | 中・大型バスタイプ | - | | - (| NDD類型Ⅳ | 0 | 0 |
| | | 中高速 | 乗用タイプ | ODD (モデル地域: | | | ル地域:柏の第 | () | 0 |
| 1 | | 低速 | カートタイプ | - | - | - % | 新たに選定 | 0 | 0 |
| 複雑 | 市街地内 | 中低速 | 小型バスタイプ | - | - | - | - | 0 | 0 |
| 都市部 | | 中速 | 乗用タイプ | - | - | _ | - | 0 | 0 |

緑: ひたちBRT (移動速度: 中速、車両タイプ: 中型バスタイプ、道路環境: 専用(一部一般道との交差部; 混在あり)) 青: 永平寺町(移動速度: 低速、車両タイプ: カートタイプ、道路環境: 専用(一部一般道との交差部; 混在あり)) 橙: 柏の葉(移動速度: 中速、車両タイプ: 中型バス、道路環境: 混在)

※:高速は混在空間のみが該当する

図 2.1.5-1 ODD 類型化結果の集約

2.2. 安全設計ガイドの多様化

RTL4 プロジェクトにおいて、2025 年度に 40 箇所以上、2030 年度に 100 箇所以上を目標に無人自動運転移動サービスの社会実装を推進するにあたり、類型化するサービスのそれぞれに必要な安全性を確実かつ効率的に確保するために、自動運転車両開発者や無人自動運転移動サービス開発者等が参照する参考書・手引書として、安全設計ガイドの多様化に向けた記述項目や内容、開発後の車両の運用方法などについて検討した。

今年度は、ひたち BRT の走行コースにおいて、歩行帯を通行する歩行者の横を通過するケースと交差点を通過するケースを題材に、安全設計ガイドに記載する内容を検討した。なお、以下は、ひたち BRT バス高度化により得られた知見も参考に、多様化について検討した事例である。2021 年度は大別して以下の三点について実施した。

(1) 無人自動運転移動サービスにおける安全設計プロセス事例調査

自動運転車両を開発する事業者の協力を得て、その開発プロセスと各工程における実施内容、実施方法、開発環境や課題などについて調査した。

図 2.2-1 にシステムの安全ライフサイクルを示す。図 2.2-1 における開発ステージ(青セル)、運用ステージ(緑セル)、リスクマネジメントステージ(オレンジセル)によってサービスの安全性確保と安全性論証の実現を目指している。以下に概要を述べる。

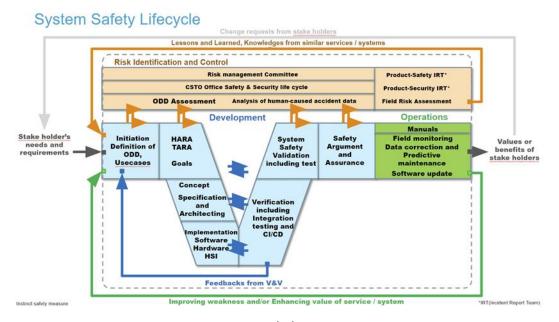


図 2.2-1 システムの安全ライフサイクル

1) 開発ステージ

今回、協力を得られた事業者は、UNECE WP.29 や国土交通省等のドキュメントを参考に、「許容不可能なリスクがないこと」、すなわち、「合理的に予見可能で回避可能な事故を起こさないこと」を自社の安全基準としている。

この安全基準の達成を目指し、自動運転システムの安全設計に関する国際標準である ISO/FDIS 21448 (SOTIF: Safety Of The Intended Functionality) や一般社団法人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」などを基に、ISO 26262 で規定する Failure に対する安全方策や ISO/SAE 21434 で規定するセキュリティ侵害に対する安全方策を同時に検討できるような開発プロセスの構築に取り組んでいる。開発プロセスは、以下の項目で構成される。

【開発プロセス】

- ODD 定義・シナリオ定義・機能定義
- ハザード特定とリスク評価
- 機能設計と仕様検討
- 各モジュールの設計検討
- 全体機能検証・妥当性評価
- 安全達成審査

2) 運用ステージ

安全性の維持向上のための各種運用マニュアル (トレーニングマニュアル含む) やメンテナンス要件を文書としてまとめ、関係者に確実な実行を周知・徹底する。運用中におけるヒヤリハットについては、3) に述べる組織体にて取り扱う。

3) リスクマネジメントステージ

無人自動運転移動サービスや自動運転システムの技術面に加え、組織としても継続改善を実現するため、ISO 26262 にならい設計者と独立した部署による安全性確保と安全性論証の審査体制をとっている。

この審査体制は、開発及び運用ステージにまたがって活動し、自社の安全基準の達成 や安全性の説明責任が実行されているか否かについてマネジメントする。具体的には、 設計-検証-評価におけるレビュー、リスクマネジメント、安全設計コンサルティング、安 全文化の維持向上(例:教育、コンピテンシ管理)が挙げられる。 (A) 設計-検証-評価におけるレビュー

レビューにおいて以下の項目を実施する。

- 開発プロセスにおいて、段階的にエビデンスに基づく合理的な判断を行う。
 - ▶ 安全開発行為(System Safety Life Cycle として定めた開発プロセス)の完全性
 - ▶ 開発及び運用ステージにまたがる各成果物との整合性
- 最終判断は CSTO (Chief Safety Technology Officer、最高安全技術責任者) が開発 プロセス 安全達成審査にて決定する。「合理的に予見可能で回避可能な事故を起 こさないこと」という安全基準に対する判断のポイントは以下の 2 点である。
 - ▶ 規定したプロセス通りに開発行為が行われたことが、エビデンスに基づいて 合理的に判断可能であるか
 - ▶ 安全性の説明責任が果たせているか(残存リスクに対する対処が明確になっているかを含む)
- 「許容不可能なリスク」の審査及び決定を行う。

(B) リスクマネジメント

リスクマネジメントとして以下の項目を実施する。

- 現地実証実験前に設計の成熟性や実験内容を審査する。また、走行範囲における 危険個所の特定を行い、対処計画を指示する。
- 設計や実験や運用におけるヒヤリハットの管理を行い、振り返りを実施し、関係 者に再発防止などの対応を徹底する。

(C) 安全設計コンサルティング

安全設計コンサルティングとして以下の項目を実施する。

- 国際標準の最新情報を元に、自社の System Safety Lifecycle の策定、安全開発行為 を実現する上での説明や支援を実施する。
- 無人自動運転移動サービスの開発運用で遵守すべき法規やガイドライン、ガイド を指示する。

(D) 安全文化の維持向上

● 勉強会を開催し、安全開発に関する教育を実施し、コンピテンシの維持向上を図っている。

(2) 安全設計ガイドの記載内容検討

本項では安全設計ガイドに記載する内容について検討した結果を述べる。

1) 基本的な考え方

記載項目と構成については、国土交通省から示されている「自動運転車の安全技術ガイドライン」「ラストマイル自動運転車両システム基本設計書」「限定地域での無人自動運転移動サービスにおいて旅客自動車運送事業者が安全性・利便性を確保するためのガイドライン」、一般社団法人日本自動車工業会から示されている「自動運転の安全性評価フレームワーク」など関連文献との整合を図りつつ、国際基準や国際標準の審議動向にも配慮し、無人自動運転移動サービスの安全設計・評価に必要な情報を補う「参考書」の位置づけに相応しい内容とする。安全設計・評価の基本プロセスや各工程での実施要件、評価項目や評価方法、各種の外乱要因に対する安全マージン確保の考え方や具体事例、参考文献などを記載するイメージである。ただし、具体化が過ぎると将来の技術進化を妨げること等が懸念されるため、記述の具体性(抽象度)についての関係者間での合意形成が重要である。

2) 概略構造(図 2.2-2 参照)

関連文献の構造や記載内容との整合を図りつつ、無人自動運転移動サービスや自動運転車両などの開発担当者が使いやすい「参考書」とする狙いから、開発プロセスに沿った構造が相応しいと思われるが、具体案を示しながら関係各方面の意見や要望を踏まえ、継続的に完成度の向上を目指すような進め方が望ましいと考える。

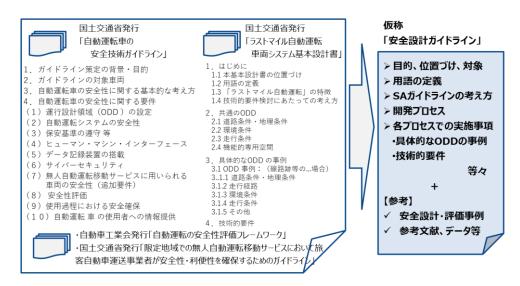


図 2.2-2 安全設計ガイドラインの概略構造

3) 記載事例 1: ODD の定義、周辺認識性能に関して

自動運転の安全設計において、衝突を避けるために認識すべき対象を定義することと、 それを認識するために様々な環境条件(明るさや天候など)を考慮した上での信頼性の 確保が重要となる。国土交通省から示されているガイドラインや基本設計書などでは、 以下のような関連する記述がなされている。

【関連する要件】

- ✓ 個々の自動運転車が有する性能及び使用の態様に応じた ODD を定め…
- ✓ ODD の範囲内で…自動運転システムが引き起こす人身事故(合理的に予見される防止可能な事故)が生じないよう、制御系やセンサ系の冗長性を確保すること
- ▼ 車両開発者はセンサが機能しないと判断する具体的な数値を規定することが望ましい。

安全設計ガイドでは、上記のことが実際の設計において確実かつ効率よく実施されるために、何をどうする必要があるかについて一層具体的な記述が必要となる。 参考までに、安全設計ガイドに記載する具体例(案)を以下に示す。

- (A) 走行経路上の障害物に対して安全な間隔を確保して走行する考え方や方策
 - →個々の障害物を定義し、センサごとの検出可能距離や分解能などの検討
- (B) 想定される路上落下物、乗り越えや衝突時の影響などから対応方策を定義する 方法
 - →衝突等が許されない障害物の大きさ等を確認し、必要に応じた回避策の検討
- (C) 雨や霧など想定されるセンサ認識性能低下要因に対する考え方や方策
 - →汚れなども考慮した性能低下要因の洗い出しと、必要に応じた対策の検討
- (D) ハザード分析及びリスクアセスメントの進め方
 - →機能安全 HARA 手法の応用、シミュレーションや実車での評価方法の検討

4) 記載事例 2:技術的要件に関して

安全設計ガイドの高度化において検討してきた、歩行者や交差交通車両等に対する安全な走行方法などについても安全設計ガイドに記載するべき内容となる。国土交通省から示されているガイドラインや基本設計書などでは、以下のような関連する記述がなされている。

【関連する要件】

- ✓ 車両は、他の自動車・歩行者・自転車等と安全な間隔を保つものとし、車両は、 急な進路変更をしないように走行することとする。
- ✓ 他の交通又は障害物との衝突のおそれがある場合には、衝突を回避するか又は衝突時の被害を最大限軽減するための制御を行うことができるものであること。

記載事例1と同様に、参考までに安全設計ガイドに記載する具体例(案)を以下に示す。

- (A) 走行路の脇を通行中の歩行者横を通過するケースにおける安全な走行方法
 - ✔ 歩行者の状態や歩車分離構造等の関係から急な飛び出しを予測する考え方
 - ✔ 飛び出し予測の状況に応じて安全に走行するための考え方や方法
 - ✔ 歩行者の飛び出し速度や確率、急な飛び出しに対する減速方法など
- (B) 一般道路と交差する交差点を通過するケースにおける安全な走行方法
 - ✔ 信号有無、見通し良否、優先/非優先等々それぞれのケースへの分類
 - ✓ 交差車両状態や道路構造等の関係に基づく、安全を確保する考え方や通過 方法
 - ✔ 信号等のインフラ、車外 HMI や遠隔監視・操作等の活用の考え方や方策

5) 記載事例 3: 安全性の評価に関して

安全設計と同様に安全性の評価方法についても安全設計ガイドに記載するべき内容となる。国土交通省から示されているガイドラインや基本設計書などでは、以下のような関連する記述がなされている。

【関連する要件】

- ✓ 個々の自動運転車が有する性能及び使用の態様に応じた ODD を定め…設定された ODD において合理的に予見される危険事象に関し、シミュレーション、テストコース又は路上試験を適切に組み合わせた検証を行い、その安全性を事前に確認すること
- ✓ ODD の範囲内で…自動運転システムが引き起こす人身事故(合理的に予見される防止可能な事故)が生じないよう、制御系やセンサ系の冗長性を確保すること

安全設計ガイドでは、上記のことが実際の設計において確実かつ効率よく実施されるために、自動運転の本来機能や、性能限界および機能不全等に対して、想定されるシナリオにおけるハザードの分析やリスク判定の方法、許容できないリスクが存在しない状態を確保するための安全方策の妥当性、実装された安全方策が正しく機能していること等をシミュレーションや実機で評価するための評価項目および評価手法等について、具体的な記述が必要となる。参考までに、安全設計ガイドに記載する具体例(案)を以下に示す。

- (A) 雨・霧・西日等の影響によってセンサ認識性能が必要レベル以下に低下した場合の影響や、設計した安全方策の機能や有効性を確認するための評価項目や評価方法
- (B) 交差点通過時にセンサで交差車両の距離,車速等を正しく検出し,自車が安全 に通過できる走行方法になっているかどうかを,確認するための評価項目や評 価方法
- (C) 降雨時に直線道路を 40km/h で走行中に操舵故障が発生した場合を想定して、 TOR を発報し乗務員に運転を引き継ぐ、または MRM によって安全に停止する ことを、模擬故障を発生させて確認する方法

6) 安全設計のポイントに関する考察

安全設計ガイドには、無人自動運転移動サービスの安全設計・評価に必要な情報を補う「参考書」として内容の具体性を期待される一方で、協調領域に留め、将来技術の進化を妨げることのない抽象度とすることが課題となる。障害物との衝突を回避して走行するための安全設計のポイントとしては、「動きを予見できる障害物」への対応と「動きを予見することが難しい障害物」への対応に分類することができるが、両者で競争・協調領域の考え方や課題などが大きく異なるため、それぞれについて、安全を確保するための要件や課題について考察した。

(A) 動き (静止を含む) の定義が可能な障害物への対応について

限定空間では、障害物や自然環境について概ね定義(定量化)可能である。また、センサ性能限界やノイズ、演算やアクチュエータの応答遅れなども定義可能である。走行路の地図情報と車載センサ(+インフラ)情報から障害物を認識し、衝突を回避する走行方法を導出することは比較的容易である。

従って、技術的な対応により、設計段階において安全の担保が可能で、基本的には競 争領域であるが、効率化のための協調が可能な分野と考えられる。

(B) 歩行者・周辺車両など「動きの確定が難しい障害物」への対応について

社会受容性を考慮すると、歩行者や周辺車両などの「合理的に予見可能な動き」については、一定の共通認識を構築する必要があると考えられる(制限速度超過や信号無視などをどの程度想定すべきかなど)。また、無人自動運転移動サービスは公共性を有することもあり、歩行者や周辺車両にも自動運転車両の存在や行動特性を認知してもらい、安全確保に協力してもらう必要がある。

従って、「合理的に予見可能な動き」の範囲は社会受容性に大きく依存するため、技術的な対応のみでは安全を確保できず、基本的には協調領域と考えられる。

以上のことから、動きが定義できる障害物に対する安全設計の範疇では、安全設計作業の効率化を目的とした協調領域に関する内容について、動きの確定が難しい障害物に対する安全設計の範疇では、社会受容性を確立することを目的とした協調領域に関する内容について、安全設計ガイドに記載することが必要と考えられる。ただし、競争・協調領域の具体的な境界については、自動車メーカとサプライヤ、安全設計の経験豊富な自動車メーカとスタートアップなど、それぞれの立場によって異なるので、今後は様々な角度から考察して具体の記載内容を提案しながら、関係者の合意形成を進めることが重要と考えられる。

(3) セーフティアセスメントとの関係についての考察

本項では安全設計ガイドと安全性評価(セーフティアセスメント)、第三者評価の必要性や考え方、現地実証実験や営業運行の許認可に関係する安全性審査との関係などについて考察する。

自動運転システムには、歩行者や周辺車両など、動きの確定が難しい障害物に対しても、「ODD の範囲内において、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」が求められる。そのため、開発において「合理的に予見される動き」を定義し、「事故回避策」を定義し、自動運転システムに「実装」し、「確実に機能することを確認」する必要があるが、社会受容性に深く係るため、歩行者・周辺車両など「動きの確定が難しい障害物」への対応について協調領域として取り組むテーマが多く存在する。

自動運転システムの開発者や評価者に限らず、関係者間で必要な認識や情報を広く共有するために、安全確保に係る考え方や方法、関連データなどを「安全設計ガイド」として記述し活用することが有効であり、また安全性の評価においては、ハザード・リスク分析の内容や、「安全設計ガイド」に示される予定の考え方や安全走行方法に準じて安全方策が実装され、正しく機能していることを確認し、現地実証実験や営業運行の許認可に関係する安全性審査でそれを説明することが求められると考えられる。

2.3. セーフティアセスメントの多様化

2021 年度は無人自動運転移動サービスにおける車両システムの安全設計の考え方、安全方策の事例、配慮事項等をレベル 3、レベル 4 など自動運転レベルに応じた記載について検討を開始した。特にサービスカーの車両システム開発で必要となる安全方策について整理するとともに、提供する無人自動運転移動サービスを考慮した安全性評価(セーフティアセスメント)のポイントについて検討することとした。

安全性の審査については、移動サービスの多様化に伴い審査対象が一部変化することも考えられる。従って審査に関係するセーフティアセスメント(評価)も移動サービスの内容に合わせた適切化に向けて、既存の関連法規との関係や、関連する国際基準・標準の動向などを鑑みながら今後関係機関で具体化の検討が進められるものと期待するが、検証、テストなど「安全設計の評価」に関わる内容は開発から審査に至る過程で有効に活用されるものでなければ存在価値が薄れることを念頭に置いて、その活用目的に沿った内容を目指す必要がある。また、もしも安全性評価や審査の目的で具体的かつ詳細な要件がとりまとめられるならば、「安全性評価」は「安全設計ガイド」、「安全性の審査に関係するセーフティアセスメント(評価)」の内容と整合する必要があるし、2者を一体化するなど開発から審査までの全体を見通して最適化を図ることが必要と考える。

信号やガードレールなど安全確保に大きく寄与するインフラ整備、通信を介して交差点の死角情報等を得るインフラ協調システムおよび遠隔監視・支援・操作システムの活用を含めた自動運転システム全体の安全性説明(ハザード・リスク分析や安全方策の内容など)は基本的に自動運転車両開発者(+サービス事業者)しか出来ないが、自動車メーカなどと比べてITベンチャーなどでは経験知見の不足が懸念される。しかしながら、経験知見豊富な自動車メーカなどがITベンチャーなどを直接支援することは考え難く、また競争関係にあるITベンチャーが相互に協力して取り組むことも考え難いので、経験知見の不足を補う第三者の支援が多様化に向けても必要と思われる。この第三者が申請者(自動運転車両やサービスの開発者)と個別に協力関係を構築し、開発情報の開示を受けて中立的な立場で安全性を評価し、例えば申請書類に第三者の評価情報を添えることで審査が簡素化されるようなことが可能となれば、安全性評価に関わる申請者や審査者の双方にとってメリットが生まれることも考えられる。その第三者評価には「安全性評価」の内容、「安全設計ガイド」が活用されることが多様化に向けても有効である。

2.4. 簡易な仮想環境構築と活用の仕組み

自動運転車の開発には仮想環境の構築が有効であるが、SIP-adus 事業での DIVP プロジェクトや自動車メーカ各社で開発されている仮想環境は、乗用車の高度な自動運転システム開発における信頼性検証などを対象にしており、有用性は高いが非常に多くの費用を必要とする。

例えば、DIVPプロジェクトでは、様々な交通環境下での再現性の高い安全性評価を行うため、リアル環境における実験評価と代替え可能な実現象との一致性の高い仮想化モデルを開発することを目的としている。そのために、環境モデルでは高精細な 3D 地図や、物体(構造物や車両、歩行者等)表面の電磁波反射特性を、実験計測に基づき再現している。また、センサモデルではセンサ検出原理に基づき物理現象をモデル化し、精密に再現している。さらにセンサの不調要因に関する情報をプロジェクトメンバで一元化し、これを再現できるようなモデル化を実施している。従って、モデル開発や仮想環境を作成するツールである仮想環境シミュレータ(以下、「シミュレータ」という)に非常に多くの費用、工数がかかり、また高度なシミュレータの知識が必要である。

その他の既存シミュレータについては以下に記述するが、同様に多くの費用や高い知識を必要とする。

これに対し無人自動運転移動サービスの開発では、特定の走行コースのみに限定され 仮想環境の利用頻度が少ないため、上記のような仮想環境を用いるには採算性が悪く、 またシミュレータの高い知識を持った技術者の確保が困難であると想定される。

そこで無人自動運転移動サービスに用いる仮想環境では、必要な機能に限定しかつモデルも簡素化した「簡易で安価な仮想環境」を構築し、費用を低減し高度な知識も不要なものとすることが必要である。さらにこの仮想環境を安全性評価のみならず、開発プロセス全体で活用することで採算性を向上させることが必要である。

2.4.1. 既存のシミュレータ

一般的に入手可能な既存のシミュレータを調査した結果(表 2.4.1-1)、何れも様々な拡張性を考慮して作られており、無人自動運転移動サービスの開発者向けとしては機能過多であり、技術的にも高度な知識が必要となる。また、コストも数百万円後半から一千万円近いものが多い。従って、DIVPプロジェクトで開発されているシミュレータや既存のシミュレータを、自動運転移動サービスの開発に適用すると以下の課題があると考える。

- 購入(使用)費用
- ・ 活用のための専門知識
- ・ センサモデル、車両モデル作り

表 2.4.1-1 既存シミュレータの機能比較

| 対応項目 | Cognata ¹ | VTD ² | CarMaker ³ | PreScan ⁴ | DRIVE Sim ⁵ | aiSim ⁶ | SVL ⁷ | CARLA ⁸ |
|--------------------|----------------------|------------------|-----------------------|----------------------|---------------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| 各種センサの対応 | 0 | 0 | 0 | Δ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 車両ダイナミクス の設定 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 環境(天候・時間 帯)の設定 | Δ | 0 | Δ | 不明 | 不明 | 0 | 0 | 0 |
| オープンな地図の 取り込み | 0 | 0 | 0 | 0 | 不明 | 0 | 0 | 0 |
| オープンな路面状 態の取り込み | 不明 | 0 | 0 | 不明 | 不明 | 不明 | × | 不明 |
| 3D アセットの追 加 | 0 | 0 | 不明 | 不明 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| オープンなシナリ オの取り込み | 0 | 0 | 0 | 0 | 不明 | 0 | × | 0 |
| 自動運転ソフトウ ェアとの連成 | 0 | 不明 | 0 | 不明 | 不明 | 0 | 0 | Δ |
| 外部連携インタフェース | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| リアルな描写の記 載 | 0 | 0 | 0 | 不明 | 不明 | 0 | 不明 | 不明 |
| AI学習データ用途 | 0 | 0 | 不明 | 不明 | 不明 | 不明 | 0 | × |
| 動作環境 | 不明 | 不明 | 不明 | 不明 | 不明 | 不明 | × | × |

2.4.2. 簡易な仮想環境

前述した3つの課題を改善する為、既存のシミュレータを基に下記を満たすようにしたものを、「簡易なシミュレータ」として定義した。

- 安価である。
- ・ハイスペックな PC ではなく、通常の PC で動作する。
- ・最先端の専門知識を必ずしも持たなくても活用できる。
- ・シミュレータに供するモデルの入手または作成が容易である。
- ・必要最低限の機能で安全性を評価できる(センサモデル、車両モデルの簡略化)。

https://www.cognata.com/jp/

² https://www.mscsoftware.com/ja/product/virtual-test-drive

³ https://ipg-automotive.com/jp/products-solutions/software/carmaker/

⁴ https://www.plm.automation.siemens.com/global/ja/products/simcenter/prescan.html

⁵ https://www.nvidia.com/ja-jp/self-driving-cars/simulation/

⁶ https://aimotive.com/aisim

⁷ https://www.svlsimulator.com/

⁸ https://carla.readthedocs.io/en/stable/

(1) シミュレータ構成

一般的なシミュレータの構成を図 2.4.2-1 に示す。シミュレータは中心となるコア機能と、周辺の4つのモデル(センサモデル・車両モデル・環境モデル・シナリオモデル)から構成される。

各構成部を簡単に説明する。

- コア機能:各モデルとやり取りし、シミュレータ全体を制御
- センサモデル:周辺環境の情報を取得する役割を担うモデル
- 車両モデル:車両ダイナミクスを考慮し、車両制御入力(加速や減速、ハンドル操作など)から車両挙動を算出するモデル
- 環境モデル:静止物体から構成される周辺環境を表現するモデル
- シナリオモデル:周辺環境に対する移動物体の挙動を表現するモデル

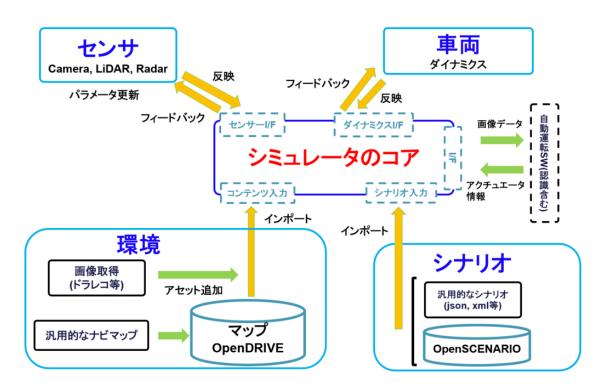


図 2.4.2-1 シミュレータの構成

以下に「簡易なシミュレータ」となるような各モデルを示す。

1) センサモデル

センサモデルは一般的には入手も作成も困難な場合が多い。そこで「活用のための専門知識」と「センサのモデル作り」に対する課題を改善するため、センサモデルを抽象化する。センサモデルは、カメラ・LiDAR・Radarに絞り、またパラメータも限定して考える。代表的なパラメータとして、解像度と Field of View(視野角;以下、「FoV」という)が挙げられる。対象物に対する測定精度は、下記の影響を受ける。

- 対象物までの距離が遠くなるほど、1 つの画素 (or 測定点) で対象物の広い範囲が表現されてくる為、対象物に割り当てられる画素は減り、精度は劣化する。
- 対象物までの距離が遠くなるほど入力値は減少し、ノイズの影響を受けやすくなる。

仮想環境の目的として「対象物を認識できるか」の判定が必要な場合は、対象物の画素数が把握できるようにするか、センサが認知できる範囲を示す必要があり、「対象物が死角に入っていないか」の判断だけでよい場合は、FoV だけのパラメータでよい。

2) 車両モデル

車両モデルとは、車両制御・運動モデルを規定したものであり、車両ダイナミックスに関する専門知識と開発期間が必要となる。そこで目的に応じた機能に限定することで 車両モデルを簡略化し、「経過時間毎の車速」を入力するだけで対応できるものとした。

3) 環境モデル

環境モデルには、仮想環境用地図(以下、一般的な地図と分けるため「マップ」という)と 3D アセットがあり、また環境モデルに影響を及ぼす因子として、天候や時刻等がある。

マップは、国際標準化団体 ASAM (Association for Standardization of Automation and Measuring systems) %が中心となって、自動運転の開発及び検証を効果的に行うために、様々なシミュレータへの入力を可能にすることを目的とした国際標準フォーマット "OpenDRIVE" がある。表 2.4.1-1 で調査したシミュレータでは、環境モデルとして OpenDRIVE が採用されている。資産の流用という観点、および今後も対応するシミュレータが増えてくる事が期待される入手性の観点から、簡易なシミュレータ向けとしても 望ましいと考え、OpenDRIVE を採用する。

3D アセットは、ポリゴン (形状) およびテクスチャ (外観) をベースとしたモデルである。アセットは静的アセットと動的アセットに大別され、下記のように分類される。

 $^{^9}$ 自動車の開発とテストにおけるツールチェーンの標準化を推進する非営利団体。国際的な自動車メーカ、サプライヤ、ツールベンダ、エンジニアリングサービスプロバイダおよび研究機関から構成されている。https://www.asam.net/

(A) 静的アセット

- 道路のスタイルを表現した、道路アセット
- 白線や横断歩道等を表現した、マーキングアセット
- 信号機や交通標識等を表現した、シグナルアセット
- その他、木や看板、柱、障害物などを表現した、プロップアセット
- 道路領域に属さない、建物アセット

(B) 動的アセット

- 道路領域を走行する、車両アセット
- 歩道領域および道路領域を通行する、歩行者アセット

これらはシミュレータ若しくは関連ツール内で、ある程度は用意されており、形状を表現したポリゴンと、表面のデザインを表現したテクスチャのセットから構成されている。用意されていない種類に関しては、ツールを使って自作するか、ウェブ等から購入する方法がある。アセットを探す代表的なサイトとして Unity (https://assetstore.unity.com/)がある。簡易なシミュレータでは、画質は重要では無く、テクスチャの無いポリゴンのみでも用途に支障は無い。

4) シナリオモデル

自車両や交通外乱(歩行者など)の挙動を直接与えるシナリオモデルとして、ASAM が 推奨する OpenSCENARIO を採用する。理由は、OpenDRIVE と同様である。

入手可能な地図からの環境モデル化 (2)

現在入手または作成可能な地図として、OpenStreetMap¹⁰ (無償)、各地図ベンダの地 図(有償)、デジタル道路地図11(有償)、点群データ(計測必要)から作成した地図等 が挙げられる。無償で利用できる OpenStreetMap はカバーされいる地域が限られている。 よって、ここでは上記のうち、道路管理者、カーナビゲーション製造者、地図作成者な ど広く共通基盤として利用され、カバーされている地域が広く、更新頻度も高いデジタ ル道路地図を利用した場合と、走行するコースを計測した点群データから作成した地図 を利用した場合について検討した結果を以下に記述する。なお、OpenStreetMap を利用し た場合については高度化編2.4.2項にて記述する。

デジタル道路地図 1)

OpenDRIVE に必要なデータに対し、デジタル道路地図に含まれるデータを比較すると、 以下の差異があった。

- 位置精度及び道路面の情報が不足している。
- 道路を基準としたデータ構造であり、OpenDRIVE に必要なレーンを基準とし た情報がない。
- 車両位置/姿勢を表現する為の座標の情報がない。
- デジタル道路地図には専用道路区間(私有地)は収録されていない場合がある。 デジタル道路地図だけでは、道路形状と一部の種別のみしか対応出来ない為、 OpenDRIVE に変換する為には、他の地図や素材データが必要である。

従って、不足しているコンテンツを収集・整備する為には要求されるコンテンツ及び 精度を明確にした上で、取得方法を検討する必要がある。

例:「交差点での構造物により見通しが遮蔽されるシーン」の場合、以下のコンテン ツが不足している。

- 道路面データ:道路幅員、道路面、歩道面、停止線、信号機位置/構成など
- 遮蔽物データ:建物(形状、高さ、透過有無)、柱状物、看板(道路外)など

この例では自車から認知できる範囲と遮蔽物の相対位置関係を取得することが必要で あることから、実際の走行動画等が必要と考えられる。

¹⁰ OpenStreetMap は ODbL 1.0 ライセンスのもと活動がすすめられている、自由に利用が可能で、編 集が可能な世界地図を構築する協同作業プロジェクトである。

https://www.openstreetmap.org/

¹¹・国土交通プラットフォーム: https://www.mlit-data.jp/platform/showcase/case-5.html

[・]デジタル道路地図サンプルページ(東京)

https://dev.gkan.jp/mapbox/example/layer_drm_tokyo.html

2) 点群データから作成された地図

点群データは道路沿線を高精度に計測する Mobile Mapping System(以下、「MMS」という) 12 により取得する。3 次元の直交座標(x,y,z)と色情報(R,G,B)で表される点の集まりで、各種構造物を表現したものである。この点群データから作成された地図はあらゆるオブジェクトを高精度に、一度で取得できる強みがある。ただし、走行動画や航空写真に比べると収集するにはコストがかかる点と、点群をオブジェクトに特定する手間(工数)がかかる点のため、3くのオブジェクトや高い精度を必要としないユースケースにおいては、過剰品質となる。その為、ユースケースを見極めた上で、点群を利用するか否かを、検討する必要がある。

(3) 低コスト化

既存のシミュレータをベースに、センサモデルと車両モデルを簡素化すること(「簡易なシミュレータ」の使用)及び無料のシミュレータやモデルを用いることにより仮想環境の構築を低コスト化できると考える。(4)で示す例では約400万円(工数含む)で構築可能である。

 12 MMS(Mobile Mapping System:モービルマッピングシステム)とは、3 次元レーザー計測機とデジタルカメラによって、道路面および道路周辺の3 次元座標データや連続カラー画像などを取得する移動式測量システムである。特に車両搭載型の 12 MMS が一般的に知られている。

(4) 簡易な仮想環境例(ひたち BRT)

自動運転システム開発者がひたち BRT での走行シーン(歩行者脇通過、交差点通過等)で安全な走行方法やその有効性を検討するために、上記手法のシミュレータを用いひたち BRT 走行シーンの一部の簡易な仮想環境を作成した。また、既存の MMS 点群データから点群データビューアを作成した。これらを高度化編 2.4 節にて活用した事例を示す。

1) 危険シーン7箇所の簡易な仮想環境

上記手法から以下を設定し、危険と想定されるシーン 7 箇所を作成した。

- センサモデル:カメラシステムと LiDAR を対象とし、FOV のみを定義した
- 車両モデル:直接シナリオを与える
- 環境モデル:マップとアセットを使用し、天候は標準状態のみとした
- シナリオモデル:想定されるシナリオを直接ファイル化した
- 環境モデル化: OpenStreetMap と航空写真からマップ化し、現地撮影動画も用いて静的アセットを配置し、動的アセットは直接シナリオ化した

2) 点群データビューア

走行コースの距離測定や勾配を定量するため、既存のひたち BRT 専用道区間の MMS 点群データを入手し、この点群データを目視確認する為のビューア (Wing Viewer: アイサンテクノロジー株式会社製) を作成した。

(5) まとめ

- センサモデルおよび車両モデル、環境モデルの構造を規定した「簡易なシミュレータ」を示し、無人自動運転移動サービスに必要な機能に限定した簡易な仮想環境を構築した。
- 既存のシミュレータをベースに必要最小限の機能とすることでコストを低減 できることを示した。
- 高度化編 2.4.4 項に述べたように、簡易な仮想環境を活用した。

2.4.3. 簡易な仮想環境データの利活用検討

今回検討した簡易な仮想環境は、一般的な研究開発用のシミュレーションと比較すれば相対的に安価であるものの、2.4.2(3)項に示した通り約 400 万円(工数含む)の費用がかかる。無人自動運転移動サービスを展開する上で、各自治体やサービス提供者にとってみれば、それでも大きな負担と考えられる。

そこで、自動運転開発を行うためのシミュレーション環境としての利用法以外の活用 方法を検討し費用対効果を上げ、シミュレーション環境導入への投資ハードルを下げる 目的で利活用の検討を実施した。

検討方法としては、自動運転開発用のシミュレータを提供するベンダ、および、プロモーションビデオなど制作を行う映像制作会社、自動運転用の高精度マップを提供するベンダから有識者を集め、今回作成した簡易な仮想環境の構成や機能を説明し、そのデータの活用方法についてアイデア抽出を行った。

簡易な仮想環境は、カメラやビデオで現場を撮影したような「写実性」や各種センサ原理に基づく「検出結果のリアリティ性」はなく、「人が目視で空間を把握」することに特化したシミュレーション環境であると言える。そのため、プロモーションビデオなどのエンターテイメントコンテンツへの活用やセンシングの忠実な再現性を求めようとすると大規模な変更が生じ、非常に高価なものとなってしまうため、簡易な仮想環境の特性を理解した上で、他のどのようなものに活用できそうかを中心にアイデアを抽出した。

(1) 検討結果

以下の通り、簡易な仮想環境の特性をまとめた上で、抽出されたアイデア例を示す。

【簡易な仮想環境の特性整理】

- ある時刻の空間形状だけでなく、走行することで変化する時間軸を含めた空間の 検証が可能である。
- 乗務員の視点、センサの視点、あるいは、歩行者の視点、交差道路を走行する車両 の乗務員の視点など、予め決めた視点での映像を作成できる。
- 現地に行かずに空間を把握ができ、図解よりも映像を使うことで複数の人と正確 に情報共有できる。
- その一方、現状では映像化の際に限られた視点からしか見ることができない。また視点を変更するためには時間と作業が発生する。

【利活用のアイデア抽出例】

● 再発防止対策の検討

事故やヒヤリハットが統計的に多い場所を抽出した上で環境を再現し、その走行環境を複数で共有・検証し、原因の究明や対策、効果の検証が行える。

乗務員の安全教育

新人乗務員などの安全運転研修材料として、危険個所の抽出や過去事例を研修参加者全員で同じ体験ができるため、効率的に効果的に教育が実施できる。

● 標識、看板、サイネージなどの設置場所の検討 乗務員の視点、歩行者の視点など目的に応じて変更し、設置場所、高さ、サイズな どの最適化が行える。

● 祭事の出店計画

道路および道路周辺の形状や寸法が含まれているため、祭事やイベントにおける 出店数の検討や配置などの計画立案を具体的に正確に行える。

● バスガイドのガイド内容の検討と検証

たとえば観光地などのバスガイドのアナウンス内容について、バスの走行速度に合わせ周辺風景が変化するので、どのタイミングでどの内容を話すのかなどの検討が正確に行える。

(2) まとめ

今回抽出したアイデアは、まだ制作側のアイデアに過ぎない。実際にそれらにニーズが存在するかについて、関係者へヒアリングを今後実施し対応を検討していく必要がある。

特記事項として、今回作成した簡易な仮想環境には 3D 空間情報がありながら「2D 映像での出力(映像を見る)」でのみ検討して進めてきたが、アイデア抽出で指摘があった内容として、「せっかく 3D 空間情報があるのだから、ヘッドマウントディスプレイを使ったバーチャルリアリティシステムと組み合わせることで、より空間把握が正確に行え、遠隔参加者がその場にいるような体験が可能になる」との指摘があったことを付け加えておく。

2.5. 安全設計に必要な汎用・基礎データ共有の仕組み

無人自動運転移動サービス開発者がセンサ(サブシステムを含む)等を外部調達する 場合、センサ性能情報などの入手性から効率的な選定や開発が困難となっている。

例えば汎用的なセンサを車載用途に使用する場合に、センサの認識外乱(センサや車両の内因的理由¹³または外因的理由¹⁴のために、危険を正しく認識できない状態)による影響などのデータが存在しない、もしくは提供されないことがあり、この場合これを基にした安全設計ができない。また、汎用的なセンサでは車載用途と比べ耐久性などが劣っている場合が多いがこのデータについても情報が少ない。さらに故障した場合の対処方法など不明な点が多い。

そこで自動運転システム開発者による効率的なセンサ選定、システム開発を支援するため、代表的なセンサ等の基本性能や、天候・昼夜などの環境や障害物の形・色の性能への影響など認識性能検討のための基礎データ、センサ等故障時の補給(交換)対応に必要な情報など、安全設計に必要な汎用・基礎データ共有の仕組みを構築することを狙いとする。

本年度は、無人自動運転移動サービス車両開発事業者が目的に応じて適切な部品の選定が可能となるように、部品として自動運転に使用される認識系部品(カメラシステム)、判断系部品(ECU)に関して把握しておくべき必要な情報を検討した。

2.5.1. カメラシステム

自動運転車に使用されるカメラシステムは、車室内または車室外に主に前方に向けられて複数個設置され、歩行者、信号の灯色、路上にある物体(路上落下物)等を認識するものである。例えば、車両最上部に望遠レンズを使用した遠距離用カメラシステムを搭載し信号の灯色を認識し、フロントガラス内側に広角レンズを使用した近距離用カメラシステムを搭載して自動運転車近くの歩行者を認識する等が考えられる。使用環境は、温度環境(使用時温度-30~80℃等)や天候(雨雪等)日照(昼夜、西日等)の変化に晒されることが想定される。これに対して例えばフロントガラス内側に設置することで雨滴の付着による視界不良をワイパ動作で防止するなどの工夫を行っているが、認識性能への影響などは明確になっていない。

カメラシステムはカメラ(レンズと撮像素子等)と認識器(認識アルゴリズム)に分けられる。また、カメラには車載向けと非車載向け(主に民生向け)があり、2.5.2 項でも述べているように車載向けでは必要な環境条件(例えば使用時温度- $30\sim80$ ℃等)での性能が保証されている。これに対して民生向けでは、車載向けよりも高解像度や高感度なものも存在するが、温度保証範囲が狭い(例えば使用時温度 $0\sim40$ ℃等)ことや、振動への耐久性が低いなど車載特有の環境条件に対応できていないため、無人自動運転移動

 $^{^{13}}$ 内因的理由の例には、部品の取付け(例えばセンサの取付けまたは製造上のばらつきに関連する不安定性)、または車両の状態(例えばセンサの方向を変更する不均一な荷重による車両の傾斜、または自転車ラックのような外部取付けによるセンサの遮蔽)が含まれる。

¹⁴ 外因的な理由には、周囲の車両によって誘発される環境条件 (例えば、センサの曇り、汚れ、光など)、または死角が含まれる。

サービスに使用する場合には環境に応じた対策が必要である。

認識器にはカメラで撮影された画像から歩行者や信号灯色等を特定(認識)するアルゴリズムが組み込まれており、一般にカメラ仕様ごとに学習させ最適化したものを使用する。学習とは例えば、歩行者(正面や側面、物を持っていたり自転車を押していたり等さまざまな状態が存在する)を定義し、ある画像を認識処理させ、歩行者を認識しなかったり、歩行者でないものを歩行者と認識するなどの誤認識をした場合に正解を与えて歩行者の認識性能を向上させることである。

Tier1 等が大量生産を前提に自動車メーカと共同で開発しているカメラシステムは容易に入手できない。また Tier1 等が自動車メーカ用に独自に開発しているものは入手可能であるが少量での使用では高価となり、市場規模が小さい無人自動運転移動サービス用途には適していない。このため、無人自動運転移動サービス開発者は、一般に入手できるカメラのみ購入し認識器は自社で開発する場合が多い。カメラシステムの開発においては、歩行者などの認識対象物をどのような環境でどの程度の距離、大きさを認識する必要があるかといった「認識性能目標」と、その性能目標を満たすカメラと認識器をどのように構成するかが、現時点ではまだ手探りの状態である。そこで、認識性能として定量的に比較できる認識率を定義し、実際の使用環境における各カメラ仕様の認識性能を比較しその差を明確にすることで、どのようなデータが選定に必要かを示すことを目的とする。

本年度は、歩行者、信号機、落下物を認識対象として、実際の使用環境における性能に影響が大きいと思われる照度変化、雨量の変化、逆光の環境下において、性能(解像度、ダイナミックレンジ、感度)が異なる6種類の車載向けカメラを使用し、認識性能を計測した。なお車両の認識については、サイズが大きく形状が特定しやすいため認識が容易であることから本評価での認識対象から除外した。また、カメラ性能の違いによる認識性能の差を明確にするため、その差が小さくなると想定される各カメラ仕様に最適化された認識器は使用せず、同一の条件で学習させた認識器を使用し認識性能を調査した。

(1) 調査条件

走行環境モデルとしてひたち BRT、車両モデルとしてバスを定めた。一般的な車両における車載カメラの設置条件である条件 1 のほか、バス車両を想定した条件 2 を追加した。

- 条件1(角度/高さ):0°/1m
- 条件 2 (角度/高さ):-10°(水平に対して下向き)/ 2.5m

自動運転システムによる安全な走行を目的として、ひたち BRT の環境の中から「歩行者」「路上落下物」「信号機」の3つを認識カテゴリとして選定した。また認識評価条件となる認識距離と自車速度を、カメラの特性である画角や視認性等の観点から、各認識カテゴリにおいて設定した。詳細を表 2.5.1-1 にまとめた。

| 認識カテゴリ | 距离性 | 自重速度 | カメラ | | | |
|----------|------|--------|--------------|------------------|--|--|
| 505歳カノコウ | 近二円柱 | 口半处皮 | タイプ | 設置角度/高さ | | |
| | 5m | 5km/h | 近距離用 | 0 °/ 1.0m | | |
| 歩行者 | 40m | 35km/h | 近距離用 遠距離用 | 0 °/ 1.0m | | |
| | 70m | 35km/h | 近距離用 遠距離用 | 0°/1.0m | | |
| 路上落下物 | 20m | 20km/h | 近距離用 遠距離用 | 0 °/ 1.0m | | |
| 16上冷下初 | 100m | 35km/h | 近距離用 遠距離用 | 0°/1.0m | | |
| | 15m | 停止 | 近距離用 | 0°/1.0m | | |
| 信号機 | 55m | 35km/h | 近距離用 遠距離用 | 0 °/ 1.0m | | |
| | 95m | 35km/h | 近距離用 遠距離用 | 0 °/ 1.0m | | |

表 2.5.1-1 認識カテゴリと調査条件

認識距離の評価範囲が 5~100m であることから、認識評価には近距離用と遠距離用の 画角の異なる 2 タイプのカメラを用い、撮像素子としては用途の異なる 3 種類を選定し た (計 6 種類)。

外乱として、ひたち BRT モデルおよびバス車両モデルにおいて想定される外乱要因の中から、以下を本調査での検討対象として選定した。

- 車両挙動:車載カメラの画質に影響を与える車両挙動のうち、車両の走行に係る 物理的な運動や特性である車両のロール/ピッチ/ヨーの挙動、車両の 速度、車両の振動を調査の対象とした。
- 天候、照度:一般的にデジタルカメラは、受光した光をデジタル信号化し画像 データを生成する仕組みである。自然環境がカメラの画質に影響 を与える外乱は様々考えられるが、光に影響を与える外乱とし て、自然環境から雨天、逆光(西日・夕日)、および照度を調査 外乱として選定した。

(2) 机上調查項目

調査条件のうち環境等の再現性等の点において、実環境および実機による評価が難し いカメラ設置条件、車両挙動については、机上調査として検討を行うこととした。

- (3) 机上調査結果
- 1) カメラ設置条件
- (A) 動的な要因が画質に与える影響

カメラのフレームレートおよび露光時間は、画像の応答性能や時間分解能を示すものであり、動的な物体を認識する際の認識性能に影響する特性である。また、画像による認識技術では対象物の輪郭の再現性は物体認識の性能に与える影響は大きく、画角に対する被写体の移動する割合が大きい運動ほど影響(ブレ)が大きくなる。対象物の輪郭のブレ度合いは、カメラと被写体との物理的な距離を軸として考えた場合、基本的に遠距離の被写体は影響が小さく(画角に対する移動割合が小さい)、近距離の被写体(画角に対する移動割合が大きい)は影響が大きい。通常カメラの露光時間は外部環境の照度に応じて制御を行うことから、低照度な環境下ほどカメラの露光時間は長くなり対象物の輪郭のブレへの影響が大きくなる。つまり照度に応じた対象物の輪郭のブレ度合いの影響が考えられる。

動的な要因による輪郭のブレが認識結果へ与える影響に関しては、認識器が認識可能 とする最小矩形画像サイズに認識対象画像を正規化し、その正規化画像において 1 画素 以上のブレが発生する場合、認識に影響が生じるものと考えられる。

(B) カメラ設置高さ:2.5m

設置高さによるカメラ画質等の影響については、設置高さの基準を 1m として考えた場合、基準の高さからの差分量に (1m よりも高いもしくは低い) 応じて、カメラから被写体までの距離が長くなる。この設置高さに応じて生じる距離の差分は、三平方の定理により算出が可能であり (図 2.5.1-1)、この影響は被写体との距離の増加に応じて影響は小さくなる。今回のカメラ評価において最も影響が大きくなる対象物は最近接の 5m 前方の歩行者だが、設置高さ 1m と 2.5m での被写体との距離差分は 22cm 程度 (約 4%) であり、2.5.1(3)1) (A) で述べている認識に必用な水平画素数の 1 ピクセル以下となることから、設置高さ 2.5m による認識率等へ影響はないものと考えられる。

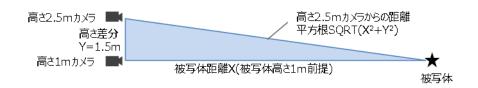


図 2.5.1-1 カメラ設置高さに応じた被写体との距離差分

(C) カメラ設置角度:-10°

カメラの設置角度によって、画角における被写体の 2 次元座標が変わるため、動的画質に影響が生じる。動的画質の観点では、移動体の進行方向の無限遠点と画角の中心が一致していることが望ましく、そこから外れるほど動的要因による画質の影響は大きくなる。

2) 車両挙動

車両のロール/ピッチ/ヨーの挙動を図 2.5.1-2 に示す。

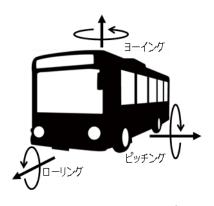


図 2.5.1-2 車両挙動ロール・ピッチ・ヨー

一般的にカメラの画角に対し被写体の移動する割合(量)が、3種の車両挙動の中で比較的大きいヨーおよびピッチにおいては、動的な要因として画質に影響は生じるものと考える。車両起因の振動に関しても車両挙動と同様で、振動の振幅(移動量)が画角に対する移動割合(量)として大きい場合は、動的な要因として画質に影響が生じる可能性がある。

車両速度により動的要因が大きくなる条件は、一般的にカメラの画角中心と進行方向 が概ね一致して移動していることを前提とした場合、以下が考えらえる。

- 画角内における画角の中心から被写体への2次元座標上の距離および相対速度
- 物理空間におけるカメラと被写体間の距離の逆数および相対速度

カメラの設置角度にも依るが、一般的に車載カメラの場合、画角中心から上方(空など)は遠方、下方(道路など)および側方は近傍の被写体が撮像される傾向にあり、画角の下方および側方は動的要因による画質への影響が大きくなる。例外的に、側方被写体であっても追い越し車両等のように、自車両と進行方向が概ね同様で相対速度が近い被写体は画角内の被写体の移動割合は小さく動的要因による画質の影響は小さくなる。

なお、現在市場に普及している運転支援システム等において、これら車両の挙動に伴うカメラ画質への外乱に関して、一般的なカメラの応答性能であるフレームレート (30fps) では顕著な課題は確認していない。

3) 故障時の対応

カメラ故障時は交換が望ましいが、同型番の製品が入手できない場合が多く、同等品への交換となってしまう場合がある。この際は認識器の再学習等の検討が必要である。

(4) 実機評価方法

本調査における実機評価は、カメラ仕様の違いによる実機カメラ画像による認識の基本性能と調査条件の外乱による認識性能について、比較・分析等を行うものとする。

1) 調査方法

今回の調査での認識評価は、実機カメラの画像から被写体の認識率を算出し、標準環境時の認識性能(以下、「基本性能」という)と外乱時の認識性能を比較し、カメラ仕様の違いによる認識性能の変化と画質に生じている外乱の影響の関係性について分析等を行う。

外乱に応じた認識性能の変化に関する分析は、基本性能を基準として比較を行うため、 基本性能は一定程度の認識性能が必要となる。そのため認識器は、被写体を一定程度認 識できることを基準にして選定を行った。また、路上落下物に関しては具体的な落下物 の定義が存在しないため、認識器が認識可能な物体から選定を行った。

(A) 認識器

認識器は、学習量により認識性能が変化するため、カメラ仕様の違いによる認識性能の差を評価するには同一の認識器を用いる必要がある。よって認識器は、一般的に広く公開されているオープンソースの中から、一定の学習が実施されている、歩行者用と信号機・路上落下物用として以下を選定した。従って、各カメラ仕様による最適化は実施されていない。

• 歩行者用

Generalizable Pedestrian Detection: The Elephant In The Room

·信号機 / 路上落下物用

Swin Transformer: Hierarchical Vision Transformer using Shifted Windows

(B) 認識率

認識率は、評価対象フレーム数に対する認識対象の被写体が認識に成功したフレーム数の割合とし、評価シーン毎に算出する。認識の成否判定は、評価画像のアノテーション(正解データ付与)結果と、認識器が出力する結果との比較を行い、それらの一致率によって成否を判定する。アノテーションは認識対象に対し位置(座標)と大きさ(矩形サイズ)情報を指定し、認識器は認識した物体の位置と大きさ情報に加え、信頼度(全フレーム中の正解フレーム割合)を出力する。成否の判定は、認識物体の位置と矩形サイズの重複割合(IoU;図 2.5.1-3)と信頼度をそれぞれ評価し、両者が閾値15以上を満たした場合に成功と判定する。

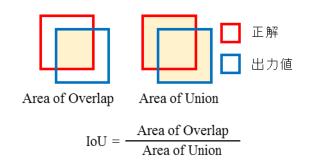


図 2.5.1-3 認識物体の位置と矩形サイズの重複割合(IoU)

(C) 評価フレーム数

各シーン評価フレーム数はおよそ 150 フレーム16とする。

(D) 認識画像の調整 (画像の切り出し)

認識器に入力した画像は、解像度の高い画像であっても認識器内で正規化された場合に、解像度が圧縮されてしまう可能性がある。この場合、解像度の高い画質特性が認識性能に反映されない可能性があるため、カメラの解像度特性を活かせるように認識対象の被写体に合わせて、各カメラ画像の切り出しを行っている。なお、遠距離カメラ仕様Cの信号機の認識においては、切り出し位置の調整も行っている。

 $^{^{15}}$ 正解の確からしさの閾値として 10 U は $^{0.5}$ 以上、信頼度は評価画像全体として 10 枚のうち誤検出 10 つとなる条件を設定した。

¹⁶ 評価環境のストレージ容量に律速したフレーム数

2) 実機評価施設

実機評価における評価環境は一般財団法人日本自動車研究所(JARI)施設の特異環境試験場(以下「施設」という)を利用し、調査条件の天候・照度は当該施設の設備によって再現を行った。

3) カメラ評価環境

(A) カメラモジュール

S 製カメラモジュール 3 タイプ仕様 A/仕様 B/仕様 C を用いた。各カメラのカメラ性能は図 2.5.1-2 の通りである。各項目の特性等は 4)カメラ選定の観点を参照のこと。

表 2.5.1-2 カメラ性能

| タイプ | 画素数 | フレームレート | ダイナミックレンジ | ハイダイナミックレンジ | LEDフリッカ |
|-----|-----------|---------|-----------|-------------|---------|
| | (H x V) | (fps) | (dB) | システム | |
| 仕様A | 1936x1220 | 30 | 110 | サブピクセル*1 | 0 |
| 仕様B | 2896x1876 | 30 | 120 | サブピクセル | 0 |
| 仕様C | 3840x1928 | 30 | 110 | D0L*2 | × |

*1 サブピクセル:単一ピクセル内に露光時間の長いサブピクセルを内蔵しているためLEDフリッカを防止できる
*2 Digital Overlap:異なる露光時間の画像を合成しハイダイナミックを実現する

また認識対象距離の範囲が $5\sim100$ m であることから、同一タイプのカメラに対し距離別(近距用・遠距離)の視野角の異なる(水平約 60° /約 120°) 2 タイプを用意し、計 6 種類(カメラ 3 タイプ×視野角 2 タイプ)のカメラを用意した。

(B) カメラシステム

評価カメラにおける撮像環境をなるべく同様にするために、6 種類のカメラモジュールを図 2.5.1-4 に示す様に治具を利用して 2 行 3 列に連結固定した。上段に近距離用となる視野角 120° の広角カメラ、下段に遠距離用となる視野角 60° の狭角カメラとして、左から仕様 B/仕様 C/仕様 A を配置し、評価車両(2018 年式ホンダオデッセイハイブリッドアブソルート EX (6AA-RC))の車内ダッシュボード上に固定設置した。



図 2.5.1-4 カメラシステム設置状況

(左:カメラモジュール固定治具 右:評価車両内ダッシュボード上)

カメラの制御、画像処理、撮像データの管理等を行うため、NVIDIA 社製 Jetson AGX Xavier¹⁷ を用いたプラットフォームを構築した(図 2.5.1-5)。プラットフォームはカメラ 2 台の対応が可能で、各カメラタイプにつき Jetson AGX Xavier1 台、計 3 台を連携したカメラシステムを構築した。プラットフォーム 3 台のうち 1 台をマスタとすることで、カメラ 6 台の同時制御を可能とし、撮像環境の整備と効率化の両立を図っている。なお、カメラモジュール固定治具による各カメラタイプ間の物理的な配置位置の差によって生じる画角等への影響、あるいはプラットフォームの仕様に基づく撮像タイミング等の影響については実機評価の調査範囲に含めないこととする。

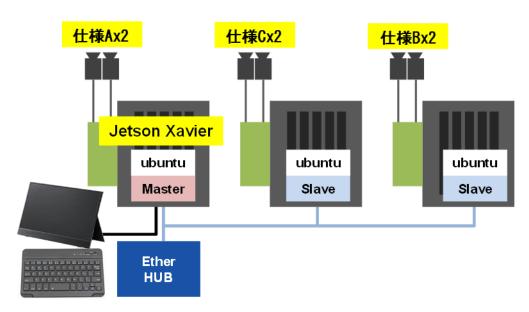


図 2.5.1-5 カメラシステム

多様化編2-37

¹⁷ NVIDIA® Jetson AGX Xavier™ https://www.nvidia.com/ja-jp/autonomous-machines/embedded-systems/jetson-agx-xavier/

4) カメラ選定の観点

(A) 画素数

カメラ画像の表示の細かさを表す指標として解像度(画素の密度)があるが、一般的 レンズの特性が同一であれば、画素数の多いカメラは解像度が高く、遠距離の視認性が 高くなる。

(B) フレームレート

フレームレートは、動画における単位時間あたりに処理させるフレームの数あるいは 頻度の指標を示す数値である。机上調査の動的な要因による画質においても触れたが、 フレームレート値が大きいカメラほど動的物体の輪郭のブレの影響は小さくなる。一方、 フレームレートは露光時間とトレードオフの性能となり、フレームレートが高いと 1 フ レームあたりの最大露光時間は短くなるため、光量不足等に起因したノイズによる画質 への影響の可能性は高くなる。

(C) ダイナミックレンジ

処理可能な信号の最大値と最小値の比率を表した数値(dB デシベル)で、カメラにおいて「露光可能な光の範囲」を指す。ダイナミックレンジ値が大きいほど低輝度から高輝度まで同時に再現できる光の範囲が広く、照度レベルの再現性能の高いカメラとなる。 屋外の太陽光はダイナミックレンジが広いカメラが必要とされる。

(D) 感度

少ない光量をロス・ばらつき無く効率的に信号化する性能で、低照度時の画質に大きく寄与する性能である。

今回の評価に用いたカメラの感度性能は、イメージセンサの特性等に応じて 仕様 B = 仕様 C

の性能順となっている。

(E) LED フリッカ

LED 光源が含まれる被写体では、LED の光源が周期的な明滅を繰り返すことから、カメラの撮像のタイミングと LED 光源の発光タイミングの関係から、LED 光源が消灯しているタイミングを撮像することによるちらつき、所謂 LED フリッカが生じる。図2.5.1-6に LED フリッカ例を示した。



図 2.5.1-6 LED フリッカ例

(特異環境試験場 LED 灯信号機カメラ仕様 C 撮影)

サブピクセル構造のカメラは、LED 光源の周期的な明滅の影響を受けない撮像が可能であるため、LED 光源を含む被写体の認識には優位性がある(仕様 A /仕様 B はサブピクセル構造のカメラであるが、画素数およびダイナミックレンジ性能からスペック上は仕様 B が上位となる)。

(F) 車載向け・非車載向けカメラ

車載向けの半導体製品は非車載向けと比較すると製品性能、動作保証温度、性能保証 温度、製品信頼性等に優れている。非車載向けカメラを使用した場合、車載向けカメラ が想定している使用環境上において正しく認識性能が得られない可能性がある。

(G) カメラ選定まとめ

価格やスペックでの上位機種に依らず、走行環境における制約(LED フリッカ対応有無や認識対象物の認識距離等)、あるいはセンシングシステムのアーキテクチャ(センサの視野角や数)に応じてセンサコンフィグレーションを検討し、その上で適切なカメラタイプを選択することが望ましい。

5) 認識対象物体

評価環境等から認識カテゴリの具体的な認識対象物体(以下、「被写体」という)を 以下の通り選定した(図 2.5.1-7)。

・歩行者:施設備品ダミー人形

•信号機:施設設備

・路上落下物:三角コーン、折りたたみコンテナ、スーツケース、折りたたみチェア



図 2.5.1-7 各認識対象の被写体

(左:歩行者ダミー人形 中:信号機 右:路上落下物)

認識評価条件と合わせて表 2.5.1-3 にまとめた。なお、路上落下物は標準環境で認識できることを事前確認し選定した。

表 2.5.1-3 認識対象物体と調査条件(距離等)

| 認識カテゴリ | 認識物体 | スペック | 距離 | カメラ | | |
|--------|--|---|-------|--------------|---------|--|
| | 高心高以1/07 144 | 2/199 | 近年 内脏 | タイプ | 設置角度/高さ | |
| 步行者 | 特異環境試験場備品 ダミー人形 | ・距離別に同仕様を3体用意 ・服装は雨具着用 ・雨天時は雨具フード有 | 5m | 近距離用 | 0°/1.0m | |
| | | | 40m | 近距離用 遠距離用 | 0°/1.0m | |
| | | ・走路から1.7m横に配置 - - | 70m | 近距離用 遠距離用 | 0°/1.0m | |
| 路上落下物 | 路上落下物4種 ・三角コーン赤、白 ・折りたたみコンテナ ・スーツケース ・折りたたみチェア | ・各サイズ(撮像面) 三角コーン(約W36.6 <u>D26H28.4</u> cm) 折りた。みコンテナ(約W40D40H79cm) スーツケース(約W37.5D23.0H54.5cm) 折りたたみチェア(約 <u>W39</u> D39 <u>H58</u> cm) | 20m | 近距離用 遠距離用 | 0°/1.0m | |
| | | | 100m | 近距離用 遠距離用 | 0°/1.0m | |
| 信号機 | 全4機 高さ4.5m ・LED光源(3機) ・ランプ光源(1機 95m) | 全4機 高さ4.5m ・LED光源 (3機 全距離) ・ランブ米源 (1機 95m) | 15m | 近距離用 | 0°/1.0m | |
| | | | 55m | 近距離用 遠距離用 | 0°/1.0m | |
| | | | 95m | 近距離用 遠距離用 | 0°/1.0m | |

施設内における各被写体の配置を図 2.5.1-8、図 2.5.1-9 に示す。

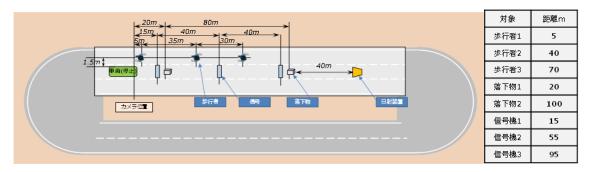


図 2.5.1-8 被写体配置模式図



図 2.5.1-9 施設内の被写体配置状況

6) 調査条件の再現

(A) 標準環境

施設照明を全灯(1600lx)した環境を本調査における標準環境とし、その際の性能を基本性能とする。

(B) 雨天

雨天は、施設における雨量設定 30/50/80mm/h の 3 段階の雨量レベルを施設内全域において降雨させて再現した。また雨天時の自動車の実用を鑑みて、評価車両のワイパ動作(間欠)および照度に応じてヘッドライトを点灯(ハイビーム/ロービーム)させ、照度やヘッドライト点灯等の条件と組み合わせて評価条件を設定した。

(C) 逆光(西日·夕日)

西日・夕日は施設の日照試験設備の日照機(図 2.5.1-10)を利用し、日照機では 2 段階の照射レベルと日照機に付属するフィルム有無(フィルム有:夕日)の 4 パターンを再現し、その上でカメラの露光時間を 10ms と 1ms の 2 パターンずつ撮影を行った。日照機は、評価カメラから 140m(図 2.5.1-8)の距離に設置し、95m 先の信号機に日照機の光源が重なるように配置し、日照機の照射光が評価カメラに直接照射する角度に調節した。各条件における評価カメラ前で計測した照度および色温度は表 2.5.1-4 の通りである。



図 2.5.1-10 日照試験設備

表 2.5.1-4 逆光各パターンの照度・色温度

| | 西日 | 西日 | 夕日 | 夕日 | |
|------|----------|-------|-------|------|--|
| フィルム | # | | 有 | | |
| レベル | 強 | 弱 | 強 | 弱 | |
| 照度lx | 25000 | 11500 | 14760 | 7000 | |
| 色温度K | 7280 | 7000 | 3000 | 3000 | |

(D) 照度

照度は、施設における照度設定 1600lx/200lx/消灯の 3 段階のレベルを施設内全域において適用させて再現した。また、消灯および照度 200lx+雨天時には、評価車両のヘッドライト(ハイビーム/ロービーム)の照射も条件に加えた。

表 2.5.1-5

7) 実機評価の評価シーン

実機評価の評価シーンは、標準環境および調査条件(認識対象・外乱)を組み合わせて表 2.5.1-5 の通り設定した。各シーンにおいて被写体を同時に撮影し、信号機は評価シーンそれぞれで「赤+矢印(直進・右折」「黄」「青」の3条件を切り替えて撮影を行った。

表 2.5.1-5 実機評価シーンの評価パターン

| シーン | 照度は | ^w۴5/h | 雨量 | 逆光 | シーン | 照度 lx | ヘッドライト | 雨 量 mm/h | 逆光 |
|-------|------|--------|----|----------------|------|----------|--------|------------------------|----|
| 標準 | 1600 | _ | _ | _ | 雨天1 | 1600 | - | 30 | _ |
| 照度 1 | 200 | _ | _ | _ | 雨天 2 | 200 | HIE-7 | 30 | _ |
| | | | | | 雨天3 | 200 | LowE-A | 30 | - |
| 照度 2 | 消灯 | HIE-7 | _ | - | 雨天4 | 200 | - | 30 | - |
| 照度3 | 消灯 | LOWE-4 | _ | - | 雨天 5 | 消灯 | HIE-7 | 30 | _ |
| 照度4 | 消灯 | ポジション灯 | _ | _ | 雨天 6 | 消灯 | LowE-A | 30 | _ |
| 照度 5 | SEAT | | | | 雨天7 | 1600 | - | 50 | _ |
| 照版 3 | 消灯 | _ | | _ | 雨天8 | 200 | HiP-7 | 50 | - |
| 逆光1 | 1600 | - | - | 西日強 | 雨天9 | 200 | LowE-A | 50 | - |
| 逆光 2 | 1600 | _ | - | 西日弱 | 雨天10 | 200 | - | 50 | _ |
| 逆光3 | 1600 | _ | _ | 西日強 1msec露光 | 雨天11 | 消灯 | HIE-7 | 50 | _ |
| | | | | 西日弱 | 雨天12 | 消灯 | LowE-7 | 50 | _ |
| 逆光4 | 1600 | _ | _ | 1msec露光 | 雨天13 | 1600 | - | 80 | _ |
| 逆光 5 | 1600 | _ | _ | 夕日強 | 雨天14 | 200 | HIE-7 | 80 | _ |
| 逆光 6 | 1600 | _ | _ | 夕日弱 | 雨天15 | 200 | LowE-7 | 80 | - |
| 逆光7 | 1600 | _ | _ | 夕日蓮 | 雨天16 | 200 | - | 80 | _ |
| AZ/U/ | 1000 | | | 1msec露光 | 雨天17 | 消灯 | HIE-7 | 80 | _ |
| 逆光 8 | 1600 | _ | _ | 夕日 1msec露光 | 雨天18 | 消灯 | LOWE-A | 80 | - |

(5) 実機評価結果

各実機評価シーンの認識結果画像、認識率、被写体の照度・色温度計測値等に基づいて、画質の影響や認識率の変化等の分析を行った。ここでは標準環境シーンについて詳細に記述し、その他のシーンは分析のまとめのみ記述する。

1) 標準環境シーン

(A) 歩行者

標準環境シーンでの歩行者の認識率評価結果を図 2.5.1-11 に示した。グラフの縦軸は認識率である。なお、遠距離カメラでは 5m の歩行者は視野範囲外であり、認識率は示していない。

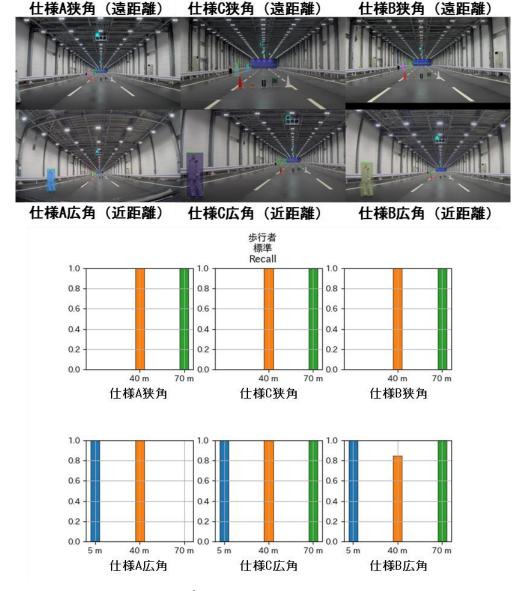


図 2.5.1-11 各カメラタイプの歩行者認識率評価結果(標準環境シーン)

(上段:遠距離カメラ 左:仕様 A 中:仕様 C 右:仕様 B) (下段:近距離カメラ 左:仕様 A 中:仕様 C 右:仕様 B) 遠距離カメラは各タイプの認識率に性能差はなく、40m・70m 歩行者は高い認識率を示している。近距離カメラは、仕様 A 70m 歩行者および仕様 B 40m 歩行者の認識率に性能差を示している。この性能差について、仕様 A は解像度が影響したものと推測する。仕様 B は距離の長い 70m の方が、認識率が高いことから解像度の影響ではなく、要因の明確化が今後の課題である。

歩行者の認識性能の定量化のため、性能境界値の条件と歩行者のアノテーションデータの矩形サイズの違いに着目する(表 2.5.1-6)。

用途 近距離 遠距離 カメラタイプ 仕様A 仕様B 仕様C 仕様A 仕様B 仕様C 5m歩行者 91x262 129x394 178x527 40m歩行者 14x41 23x62 29x81 24x69 35x110 53x88 70m歩行者 10x24 15x35 19x48 15x40 23x62 35x88

表 2.5.1-6 各カメラタイプの歩行者アノテーションデータ

認識成功の最小矩形サイズは 14 x 41 (近距離カメラ仕様 B 40m 歩行者; 青字)、認識 失敗の最大矩形サイズは 10 x 24 (近距離カメラ仕様 A 70m 歩行者; 赤字) となってい る。

相対的に情報量(画素数)の少ない水平方向に着目すると、認識に必用な水平画素数は11~14 画素と考えられ、カメラ仕様による違いは小さいと推定する。従って、画素数が多い(高解像度)仕様ではより小さい対象物が認識できる。

(B) 信号機

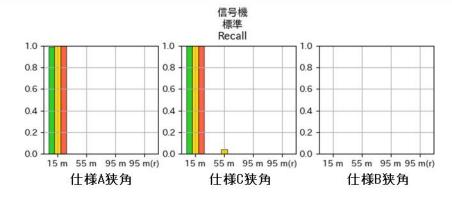
標準環境シーンでの信号機の認識率評価結果を図 2.5.1-12 に示した。グラフの縦軸は認識率である。なお、同条件での緑、黄、赤の値はそれぞれの信号機の灯色での結果を示している。



仕様A広角(近距離)

仕様C広角(近距離)

仕様B広角(近距離)



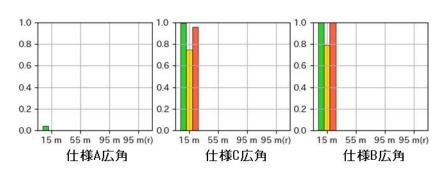


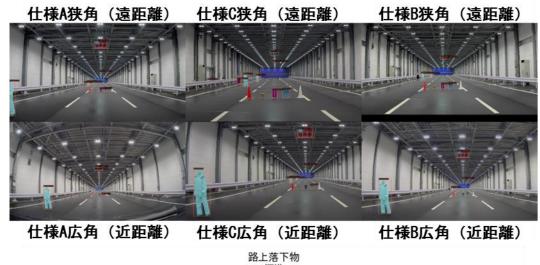
図 2.5.1-12 各カメラタイプの信号機認識性能 (標準環境)

(上段:遠距離カメラ 左:仕様 A 中:仕様 C 右:仕様 B) (下段:近距離カメラ 左:仕様 A 中:仕様 C 右:仕様 B)

遠距離カメラは、仕様 A および仕様 C において 15m 信号機を高い認識率として示している。仕様 B の 15m 信号機の認識率は画角から信号機が見切れているため認識できていない。近距離カメラは、仕様 A のみ 15m 信号機の認識率が低く、他カメラとは解像度の性能性によるものと考えられる。また、全てのカメラにおいて 55m 以降の信号機は認識できていない。この原因は、歩行者の認識率は標準シーンでは良好なことから認識器の学習量が少ないことと推定している。

(C) 路上落下物

標準環境シーンでの信号機の認識率評価結果を図 2.5.1-13 に示した。グラフの縦軸は認識率である。



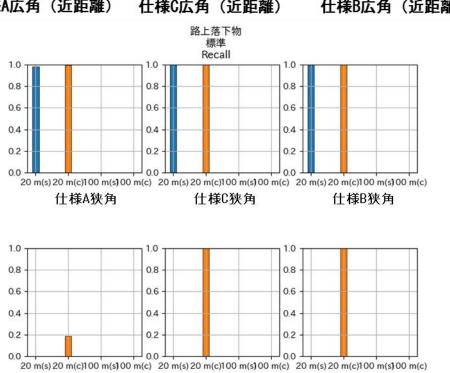


図 2.5.1-13 各カメラタイプの落下物認識性能(標準環境)*(s):スーツケース(c):チェア

仕様C広角

仕様B広角

仕様A広角

(上段:遠距離カメラ 左:仕様 A 中:仕様 C 右:仕様 B) (下段:近距離カメラ 左:仕様 A 中:仕様 C 右:仕様 B)

遠距離カメラでは 20m スーツケース・チェア共に高い認識率を示している。また、近距離カメラでは、仕様 B および仕様 C の 20m チェアのみ高い認識率を示している。これはカメラの解像度が影響していると考えられる。

被写体のサイズのみに着目すると、スーツケースに比べ折りたたみチェアの方が物理

的な水平サイズが 10cm ほど大きいため、折りたたみチェアの認識性能が高いひとつの 要因と思われる。

2) 標準シーン (まとめ)

歩行者と同様な解析を信号機と路上落下物で実施し、認識性能の定量化を行うことで 認識に必要な基本性能(水平画素数)の見積りが得られた。標準シーンでは画素数が多い(高解像度)仕様ではより小さい対象物が認識できる。

・歩行者 : 水平 11~14 画素・信号機 : 水平 79~121 画素

・路上落下物チェア : 水平 18~28 画素・路上落下物スーツケース: 水平 23~27 画素

3) 照度シーン

標準環境シーンの歩行者について記述する(図 2.5.1-14~図 2.5.1-18)。全カメラタイプにおいて照度に応じた認識性能の低下を示すが、特に消灯時に認識率の低下度合いは大きいが、仕様 A/仕様 Bと仕様 Cで傾向の違いが表れている(図 2.5.1-19 に標準環境に対する認識率をまとめた)。これは、カメラの感度の性能差が認識率の性能差として表れているものと考えている。仕様 Bは仕様 C よりも解像度の性能は低いものの、低照度時の認識性能には画素数のみだけではなく、感度性能も必要であり、これらをバランスよく構成する必要があるのではないかと考える。また、消灯時は車両のヘッドライトハイビームが認識性能の向上に効果がある。



図 2.5.1-14 照度シーン(2001x)歩行者

仕様A狭角(遠距離) 仕様C狭角(遠距離) 仕様B狭角(遠距離)

仕様A広角(近距離) 仕様C広角(近距離) 仕様B広角(近距離)

図 2.5.1-15 照度シーン (消灯+ハイビーム) 歩行者

仕様A狭角(遠距離) 仕様C狭角(遠距離) 仕様B狭角(遠距離) 仕様A広角(近距離) 仕様C広角(近距離) 仕様B広角(近距離)

図 2.5.1-16 照度シーン (消灯+ロービーム) 歩行者



仕様A広角(近距離) 仕様C広角(近距離) 仕様B広角(近距離)

図 2.5.1-17 照度シーン(消灯)歩行者

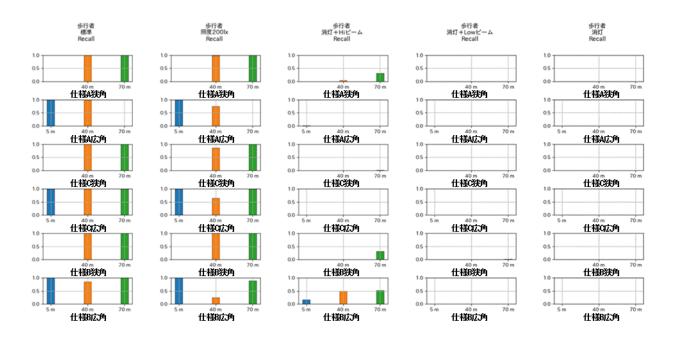


図 2.5.1-18 各カメラタイプの歩行者認識性能 (照度シーン)

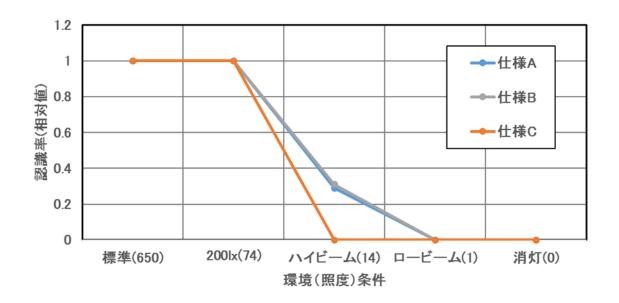


図 2.5.1-19 各カメラタイプの相対認識率 (対標準環境)

4) 逆光シーン

逆光シーンタ日弱 7000lx の評価例を図 2.5.1-20、図 2.5.1-21 に示した。光量が強く被写体に日照機の照射が重複している部分は、信号値が飽和しており被写体の再現ができないため認識はできない。日照機の照射光は指向性が強いため、画角内で光源から離れている 5m 歩行者は認識の性能を示した。今回の評価では日照機の照度レベルが強く認識シーンとしては厳しい条件と思われる。少なくとも 7000lx 以上の照度が直射するような状況では、信号の飽和やフレアの影響が大きく、特に光源近く被写体の認識は難しい。



図 2.5.1-20 逆光シーン(夕日弱 7000lx)歩行者

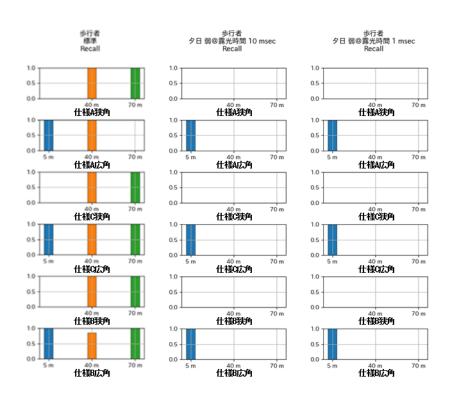


図 2.5.1-21 各カメラタイプの歩行者認識性能(逆光シーン タ日弱 7000lx)

5) 雨天シーン

雨天シーンの評価例を図 2.5.1-22、図 2.5.1-23、図 2.5.1-24 に示した。



江林心丛丹(丛尾雕) 江林心丛丹(丛尾雕) 江怀心丛丹(丛尾)

図 2.5.1-22 雨天シーン(雨量 30mm/h)歩行者)

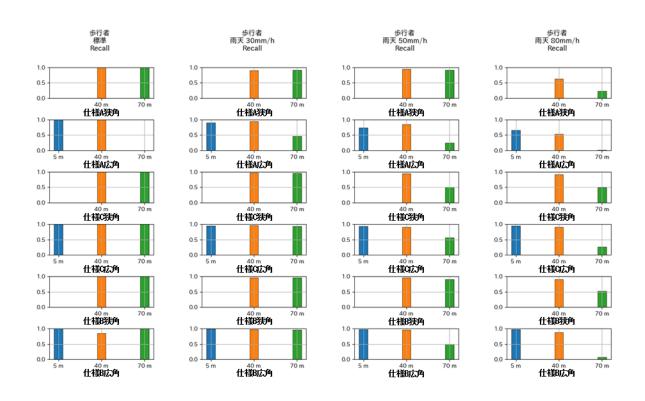


図 2.5.1-23 各カメラタイプの歩行者認識性能(雨天シーン 30,50,80mm/h)

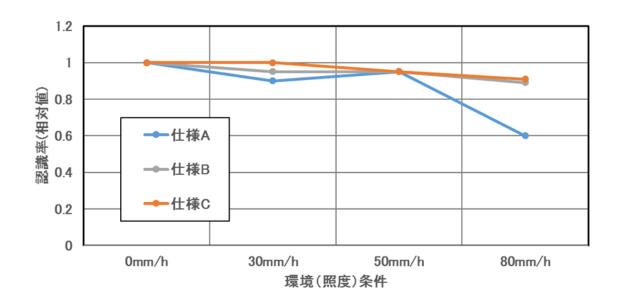


図 2.5.1-24 各カメラタイプの歩行者相対認識率(対標準環境)

雨天シーンでは複数の外乱要素が同時に発生しており、外乱要素として以下を列挙する。

(A) 車両ワイパの被写体への映り込み

今回の評価 150 フレームにおいて確認した結果、ワイパが被写体を直接的に遮る(図 2.5.1-25)割合はおよそ 7%であった。外乱度合いは大きいが、連続したフレームに影響が発生することはないため、一定程度のロバスト性をアルゴリズムで確保することによって、ワイパ映り込みによる影響は少ないと考えられる。



図 2.5.1-25 ワイパ外乱

(B) ワイパ動作に伴う定常的な雨滴

ワイパ動作に伴う雨滴は、ワイパの動作範囲が定常的であるためフロントガラス上に固定的なパターン(位置、形状)として現れる(図 2.5.1-26)ため、カメラ設置位置によっては周期的に定常的な影響を受ける。車両のワイパ動作周期の仕様に依るため一様に定量的な表現はできないが、今回の評価環境ではおよそ画像データの 1/3 程度が認識に影響する。



図 2.5.1-26 ワイパ動作による固定パターンとなる雨滴外乱

(C) 画角内のフロントガラス上に付着する雨滴

雨天時の連続画像 4 フレームを図 2.5.1-27 に示す。ワイパが雨滴を掃いた直後の 2~3 フレーム目で信号を認識しているが、4 フレーム目で認識に失敗している。認識に必要な十分な情報量が確保できていない場合(認識性能の境界値付近)は、このようにフロントガラスに付着する雨粒によって認識性能のロバスト性が低下することが確認できる。これはカメラのレンズ付近において、画角内に広い範囲で雨粒による光の回折や散乱が発生し、像の輪郭に大きなブレを生じさせるためと考える。この様な影響は、雨量に応じて発生頻度は高くなる。









図 2.5.1-27 ワイパ直後の認識の変化 (左から 1→2→3→4)

(雨量 80mm/h 仕様 A 遠距離カメラ)

(D) 画角内に移りこむ雨滴による光の散乱・回折等

フロントガラス上の雨滴による散乱等によって生じた外乱事例を図 2.5.1-28 に示す。 光源の照射光が直接的に映り込む際に外乱が生じる。光源を含む被写体の場合、被写体 自体の認識率の低下のほかに、散乱・回折等によって生じる虚像による誤認識の割合が 高くなる。この場合、認識対象そのものの正確性とは別に、認識の信頼度が低下し、結 果として認識性能の低下を招く可能性がある。こうした誤認識等へのロバスト性は、学 習による効果によって高められる可能性がある。

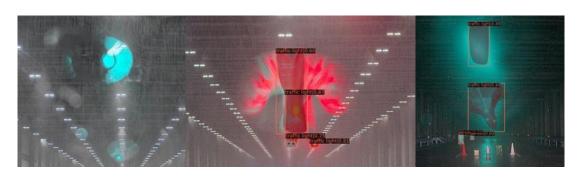


図 2.5.1-28 雨滴外乱の影響事例

(E) カメラー被写体間の空間上の雨粒

上記(A) ~(D) の影響を除いた外乱がカメラー被写体間の空間上の雨粒と考えられ、図 2.5.1-28 に例を示す。全体に白っぽくなり、仕様 C 画像が最も白い。このため、画像全体のヒストグラム分布も記載した。仕様 C のヒストグラムは、他カメラに比べて分布が狭く、特に低輝度に分布がないことがわかる。天井の光源は空間上の雨粒によってカメラ方向に散乱し、空間上の雨粒がノイズのような外乱を発生させている。このことにより画面全体の輝度分布は高輝度成分を多く含むものになり、このことによって低輝度部分の再現性が低下したと推測する。これらの分析にはカメラの性能や信号処理仕様等に基づいた詳細な分析が必要であり残課題とする。

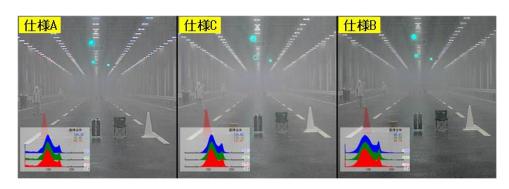


図 2.5.1-29 雨量 50mm/h 各カメラタイプ画像とヒストグラム分布 (ヒストグラムは左から低輝度→高輝度分布)

(6) まとめ

● 標準環境での物体認識

仕様の異なる 6 種類のカメラにおいて、各対象物の認識に必要な画素数の閾値はほぼ同等であることがわかり、認識率として定量化できた。つまりこの閾値より大きい画素数で対象物を撮影できれば認識できる。ただし落下物(スーツケース)では閾値が特定できず、他の要因があると推定する。さらに対象物の向きや大きさ、色等を変えるなど詳細な評価を実施することで、各対象物に対する認識性能目標を満足できるカメラの解像度やレンズの仕様が選定できると考える。

● 環境特性に応じた認識率の違い

- ➤ 照度が低下するときの認識率への影響は、カメラ感度が高いほうが小さい。特にハイビーム時に差が大きく認識率に約30%の差が発生した。今回の結果ではデータが十分ではないが、照度と認識率の関係を詳細に評価することで認識に必要な感度や照度を求め、カメラ仕様(感度)の選定や認識に必要な環境(明るさ)がわかると考える。
- ▶ 逆光の認識率への影響が大きく、今回の条件(最低照度で7000lx)では逆光対策としてシャッタスピードを短くしサブピクセル構造 (2.5.1(4)参照)を用いたダイナミックレンジの広いカメラ仕様においても認識ができず、カメラの性能差による認識率の評価できないことが分かった。従って、逆光におけるカメラの性能差を評価するには、さらに照度を下げて計測する必要がある。
- ➤ 降雨量の増加により認識率は低下傾向であるが、解像度が高いほうが認識率は高く、80mm/h では約30%高くなった。ただし、フロントガラスに付着する雨滴やワイパ自体の影響もあり、この影響は認識器側で排除する必要がある。

今回の評価では認識率の変化傾向は明らかになったが、ある環境条件(例えば照度○ lx)での物体認識に必要なカメラ性能(例えば感度○○以上)を算出できるほどの精度は得られていない。これを算出できれば、無人自動運転移動サービスで走行する環境やスピードに応じた認識性能目標を満足するカメラと認識器の構成を選定できると思われる。そのためにはより詳細なデータ取得(例えば照度と感度水準の増加)が必要であると考える。

(7) 課題

カメラ性能の違いによる認識性能の差を明確にするために、認識器としてオープンソースで提供されているもの(カメラ仕様に応じた最適化が行われていない)を利用したことから、認識率は全体的に低い値となった。これに対し、学習により各カメラに最適化させた認識器を用いて同様の調査を実施することで、認識器の効果を明確にすることと、目的にあった認識率でのカメラ仕様の比較ができるようにすることが必要である。

2.5.2. ECU

無人自動運転移動サービス開発者が、車載向けの ECU を製作するにあたり、部品単位での選定~設計~開発~製作するのは、ノウハウ不足、開発工数がかかり現実的ではない。また、自動車メーカ以外の企業が、車載向け ECU (大手自動車メーカへ直接納入するサプライヤが車載向け専用に設計、製造する ECU を指す)を調達するのも現状は困難である。従って、民生向け既製品を ECU として流用する事を前提とする。民生向け既製品の対象はデスクトップ/ノートパソコンおよび半導体メーカの評価ボードとし、民生向け・車載向けでの品質の違いを明確にし、安全性・信頼性を確保するのに必要な評価項目および注意点を明らかにする。

(1) ECU の評価項目

民生品を車両で使用する際の使用環境の変化(家屋内→車室内)を想定し、評価項目および方法を検討した。評価方法については、日本産業規格(JIS)の中で電子機器を輸送環境で使用する事を想定した環境試験方法をまとめた「環境試験方法ー電気・電子(JIS C 60068-2-x)」を参考にする。本試験方法より使用環境および設置個所に関わる試験方法の中から評価項目として必要なものを抜き出し、表 2.5.2-1 に示す。各評価項目ついては概要を記述する。

表 2.5.2-1 環境試験方法 - 電気 · 電子 (JIS C 60068-2-x) - 覧

| 規格番号 | 規格名称 |
|----------------|-------------------|
| JISC60068-2-1 | 低温(耐寒性)試験方法 |
| JISC60068-2-2 | 高温(耐熱性)試験方法 |
| JISC60068-2-6 | 正弦波振動試験方法 |
| JISC60068-2-11 | 塩水噴霧試験方法 |
| JISC60068-2-18 | 耐水性試験及び指針 |
| JISC60068-2-27 | 衝擊試験方法 |
| JISC60068-2-52 | 塩水噴霧サイクル試験方法 |
| JISC60068-2-64 | 広帯域ランダム振動試験方法及び指針 |
| JISC60068-2-68 | 砂じん(塵)試験 |

1) 全 ECU 共通 (5 項目)

全 ECU 共通で実施検討する項目を以下に記す。

- ・低温(耐寒性)試験方法(規格番号: JIS C 60068-2-1) 発熱がない供試品及び発熱がある供試品に適用する低温(耐寒性)試験である。適応 する試験の種類は試験 Ae(全試験時間を通じて通電する物)が妥当である。
- ・高温(耐熱性)試験方法(規格番号: JIS C 60068-2-2) 発熱がない供試品及び発熱がある供試品に適用する高温(耐熱性)試験である。適応 する試験の種類は試験 Be(全試験時間を通じて通電する物)が妥当となる。
- ・正弦波振動試験方法 (規格番号: JIS C 60068-2-6) 正弦波振動に耐える能力を決定するための標準的な試験である。
- ・衝撃試験方法(規格番号: JIS C 60068-2-27) 比較的頻度が少なく、かつ、繰返しがない衝撃、又は繰返しの多い衝撃を受ける機器 の試験である。
- ・広帯域ランダム振動試験方法及び指針(規格番号: JIS C 60068-2-64) ランダム振動を供試品に与えた場合、機能的及び/または構造的に許容できない劣 化がなく、供試品が動的な負荷に耐える能力を実証するための試験である。

2) 設置個所に関わる評価項目(3項目)

設置個所に関わる評価項目(水、塩水、外気に触れる可能性がある場合)を環境試験方法一電気・電子(JIS C 60068-2-x)より抜粋し、その概要を記す。詳細は各規格を参照されたい。下記評価項目(3項目)はECUの設置個所に応じて実施する。

- ・耐水性試験及び指針(規格番号: JIS C 60068-2-18) 滴下水・噴流水又は浸水にさらされる可能性がある製品に適用する試験である。適応 する試験の種類は試験 Ra¹⁸が妥当である。
- ・塩水噴霧試験方法(規格番号: JIS C 60068-2-52) 金属部品及び/又は非金属部品の性能を低下させる塩分を含んだ大気に対して、耐 久性をもつように設計された電気・電子部品又は装置に適用する試験である。
- ・砂じん(塵)試験(規格番号: JIS C 60068-2-68) 空気中に浮遊している粉じんと砂が電気・電子製品に及ぼす影響を調べるための試験である。適応する試験の種類は試験 Lc¹⁹が妥当である。

¹⁸ 主に人工降雨による試験、及び結露又は漏水による滴下水をシミュレートした試験法である。

¹⁹ 屋外や自動車の走る場所を想定した状況における密閉性と侵食の影響を調査する試験である。

(2) 民生品流用の注意点

民生向け既製品を ECU として流用する際、乗員の安全に(火災、感電等につながる) 関わる必要最低限の注意点を列挙する。民生品流用の際は下記項目に気をつける必要が ある。

1) 電源について

- ・電源ケーブルを絶縁処理する
- ・電源近傍を難燃素材での保護する

2) 設置について

・設置個所高温多湿な場所への設置は避ける。

・ECU 筐体の車体へ固定 車両運動(振動・衝撃)よる筐体のずれを防止する

・ECU の排熱の工夫 車内で適切に換気された設置環境であればよい 密閉空間では換気の工夫が必要である

- ・各ケーブルの車体への固定(振動によるずれ、摩耗の防止) 車両運動(振動・衝撃)よるケーブルの摩耗・劣化を防止する
- ・コネクタの篏合は十分か車両運動(振動・衝撃)よるコネクタの脱落を防止する

3) フェールセーフについて

車両操作(走る、止まる、曲がる)を ECU でコントロールする場合、万が一の ECU の 暴走に備え、ソフトウェアでの停止制御をプログラムに組み込む事や ECU への電源供給 を手動で瞬断する機構の検討も必要である。

(3) まとめ

ECU の安全性・信頼性を確保しつつ、民生品を流用する事で、ECU 開発の難しさや費用を低減するための方策について検討した。民生品と車載品の違いを調査した結果、民生品を ECU として流用するにあたり、必要な評価項目をガイドラインとしてまとめ、また流用時の必要最低限の一般的な注意点を整理した。その結果に即して実施・確認する事で、一定水準の安全性・信頼性を確保しつつ、ECU の開発の難しさや費用を低減し、部品の流通性にも繋がると考える。

2.5.3. 課題

開発者のニーズ(信号認識機能等)を具体化しながら、2021年度に得たデータの有効性を確認しつつ、不足する情報を定義して実車を使った走行状態での実験を行い開発者のニーズに合致するかを検証する必要がある。

2.6. 「日本版セーフティレポート(仮称)」公開情報・運用時方法検討

自動運転サービスの社会受容性を高めるためには、自動運転システムの安全に対する政府・企業の取り組みを広く伝える必要がある。日本における社会受容性の向上に寄与する「日本版セーフティレポート」の策定を目指し、日本や米国におけるセーフティレポートの先行事例や自動運転システムに関する公開情報を調査し、目的、内容、および運用方法等の検討を行う。

2.6.1. 世界におけるセーフティレポートの先行事例の調査

セーフティレポートの先行事例や自動運転システムに関する公開情報について、米国運輸省道路交通安全局(National Highway Traffic Safety Administration、以下、「NHTSA」という)²⁰のセーフティレポートに関するガイダンスとテンプレート、セーフティレポートの先行事例、その情報発信の方法(ポータルサイト)に関して公開情報等をもとに調査する。

 $^{20}~\%$ National Highway Traffic Safety Administration ~ (NHTSA) $_{\backprime}$ https://www.nhtsa.gov/

多様化編2-60

- (1) 米 NHTSA「AV2.0」について
- 1) 米 NHTSA の「AV2.0」

自動走行ビジネス検討会の報告書「自動走行の実現及び普及に向けた取組報告と方針 Version5.0」 21 をふまえて、日本版セーフティレポートの検討では、先行事例として米 NHTSA の米セーフティレポート「VSSA: Voluntary Safety Self-Assessment(自主的な安全性の自己評価。以下、「VSSA」という)」の取組を参照しつつ、我が国の制度や各社の事情などをふまえて日本版セーフティレポートを検討する。

先行事例の調査として、米 NHTSA が事業者に作成を推奨する VSSA のガイダンスを含む報告書「Automated Driving Systems: A Vision for Safety 2.0 (以下、「AV2.0」という)」²²を確認する。記載された安全性評価の方針と安全性要素の項目は、「AV2.0(2017)」の前年度に公開された「Federal Automated Vehicles Policy - September 2016 (米国自動運転方針。以下「AV1.0」という)」²³で提示されたものをワークショップなどの検討をふまえて「AV2.0」にて報告されたものである。

「AV2.0」では、自動運転の社会実装について、米国の致命的な自動車事故の主要因は人為的ミスであり、自動運転車は死亡者を大きく減らす可能性があるとその意義を伝えている。米国政府の姿勢として、連邦政府は不必要または意図しない障壁により、イノベーションの進歩を妨げないと述べている。「AV2.0」を通じて VSSA の作成を事業者へ推奨する目的は、主な関係者が自動運転車の実証と展開のベストプラクティスを検討し、設計する際の支援であるとしている。 VSSA の作成対象は自動運転システムがレベル 3~5の自動運転車であり、「AV2.0」の内容は技術の進化、自動運転車の普及、法制度の変更に伴い、随時、更新されると述べている。

米 NHTSA は、事業者が VSSA を作成し公開することについて次のように述べている。 VSSA では、安全性評価を行う視点である 12 の安全性要素の項目を用いて、安全性の目標と目標達成に向けたアプローチを記載する。事業者が VSSA を公開することは、自動運転車の実証と展開における安全性を達成するためのアプローチを示すことであり、自動運転車の安全性に対する国民の信頼を支援することである。 VSSA の作成と公開は完全に任意であり、法的拘束や強制はない。 事業者は、米国政府などに、 VSSA の提出を要求されることはない。 VSSA は実証や実装の前に作成し公開することを推奨するが、米 NHTSA は事業者にその提出を要求せず、実証または実装を遅らせることも要求しない。 VSSA は連邦政府の承認の対象でもない。 事業者は所有権のある知的財産を明らかにすることなく、安全へのアプローチを紹介する機会を得る。事業者は VSSA に事業の機密情報を含まないことを確認しなくてはならない。 事業者は公開した VSSA の更新もありうることを VSSA に明記する。米 NHTSA は事業者の VSSA の作成を支援するため、安全性要素の 1 項目 (Crashworthiness) を用いた例示的なテンプレートを作成し、公開している。

²¹ 経済産業省、自動走行ビジネス検討会 - 報告書「自動走行の実現及び普及に向けた取組報告と方針 Version5.0」、https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/jido_soko/20210430_report.html/ 22 米 NHTSA、Automated Driving Systems: A Vision for Safety 2.0、Voluntary Guidance、 https://www.nhtsa.gov/automated-driving-systems/voluntary-safety-self-assessment 23 米 NHTSA、Federal Automated Vehicles Policy - September 2016、 https://www.transportation.gov/AV/federal-automated-vehicles-policy-september-2016

2) 米セーフティレポート (VSSA) の安全性要素 (ガイダンス)

「AV2.0」に記載されている VSSA のガイダンスでは、VSSA への記載を推奨する 12 項目の安全性要素 (表 2.6.1-1 参照) を定めている。

表 2.6.1-1 VSSA の安全性要素 (米 NHTSA)

| 安全性要素 | 概要 |
|--|---|
| 1. System Safety | 自動運転システムの安全性確保のため、システムエンジニアリングアプローチを適用。 |
| 2. Operational Design Domain | 自動運転が正常に安全に動作する特定の条件、 各機能の制限/境界を記述。 |
| 3. Object and Event Detection and Response | 車両の安全な動作に影響を与える可能性のある物体や事象を検知し、反応を定める。 |
| 4. Fallback (Minimal Risk Condition: MRC) | 安全に運用できない場合、人間の運転者への移行、最小リスク状態への移行を定める。 |
| 5. Validation Methods | 自動運転の運転能力、衝突回避状況での性能、 フォールバックの制御性能を検証。 |
| 6. Human Machine Interface | 自動運転と人間の意思疎通を設計し、自動運転 の動作状態に関する情報を伝達。 |
| 7. Vehicle Cybersecurity | 自動運転のサイバーセキュリティのため、システムエンジニアリングアプローチを適用。 |
| 8. Crashworthiness | 別の車両が自動運転車に衝突するシナリオと、 乗員を最適に保護する方法を検討。 |
| 9. Post-Crash ADS Behavior | 衝突直後に、自動運転車を安全な状態に戻す方 法を検討。 |
| 10. Data Recording | 衝突の原因特定のため、事故発生時のデータを 記録し、取り出すことができる。 |
| 11. Consumer Education and Training | 従業員、販売店、卸売・代理店、利用者の教育 や訓練のプログラムを開発。 |
| 12. Federal, State, and Local Laws | 連邦、州、地方の法律の適用と対応を説明し、 運用地域の交通法規を考慮。 |

米セーフティレポート (VSSA) のテンプレート 3)

事業者が VSSA を作成するうえで参考となるよう、図 2.6.1-1 に示す通り、安全性要素 の1つ「Crashworthiness」を例示としたテンプレート²⁴を、米 NHTSA は Web サイトに公 開している。テンプレートは、安全性評価のガイダンス(AV2.0)に紹介された VSSAに 記載する安全性要素の項目とその推奨事項に基づき、作成されている。

器NHTSA

On September 12, 2017, U.S. DOT and NHTSA released new Voluntary Guidance — Automa Driving Systems 2.0. A Vision for Safety, it replaces the Federal Automated Vehicles Policy (FAVP) released in September 2016. Section 1 of this new guidance includes a recommendant that entities involved in the testing and deployment of Automated Driving System (ADS) provide an assessment of how they are addressing safety to the public.

provace an assessment on now mey are acaresing sarrey to the putous.

To support entities in this effort, NHTSA is providing a template on the types of summary information that entities may want to provide to the public to demonstrate how they are addressing safety. Below is an example to illustrate the type of summary information for the safety element of Crashworthness, just 1 of the 12 safety elements presented in the new Voluntary Guidance. It is based on a fictitious vehicle and provided for illustration and guidance. This fictitious vehicle is one that has received necessary exemptions from NHTSA. It is a Level 4 vehicle with four seats and two large doors.

Safety Element: CRASHWORTHINESS

- Structural Integrity

 Summary of crash simulation scenar

 Summary of benchmarks for testing.

 Protection of Occupants in the Vehicle
- If the vehicle contains a non-traditional seating configuration, include summary information related to the following:

 - Protection for the occupants expected to use the vehicle.
 Testing and countermeasures related to crash impact protection and the impact directions considered.
- directions considered.

 If appropriate, discussion of methods related to rollover protection.

 If the vehicle will transport children (those under age 12), a summary of child passenger safety measures to address:

 Child occupant detection and accommodations;

 Car seat use: anchors, tethers, designated seat locations; and

 Booster seat use and designated seat locations.

- Booster seat use and designated seat locations.

 Protection of Other Road Users
 Summary information of how the vehicle considers crash forces from other road vehicles or the infrastructure.
 - · Summary information of how the vehicle seeks to mitigate injuries to pedestrians and other vulnerable road users.

図 2.6.1-1 VSSA のテンプレート (米 NHTSA)

 $^{^{24}\,}$ $\,$ NHTSA $\,$ VSSA Template $\,$ https://www.nhtsa.gov/automated-driving-systems/voluntarysafety-self-assessment

- (2) 各事業者の米セーフティレポート (VSSA) について
- 1) 米セーフティレポート (VSSA) の公開

事業者はガイダンス (AV2.0) とテンプレートを参照し、VSSA を作成する。事業者は、VSSA を事業者の企業サイトに公開し、その後、米 NHTSA が Web サイト 25 にその URL リンクを連携する。(図 2.6.1-2 参照)



図 2.6.1-2 米セーフティレポート (VSSA) の作成と公開

2) 米セーフティレポート(VSSA)の基本調査

「AV2.0」の公開後、初となる VSSA を作成し公開したのは車両 OEM の GM である。 その後、米 NHTSA の Web サイトで公開されている VSSA は、現在 28 件(27 社、Mercedes Benz は自動運転のレベル別で 2 件公開) である。

この VSSA について、ガイダンス (AV2.0) の安全性要素 12 項目の充足度を調査した。 図 2.6.1-3 に示す調査の結果より、ガイダンスに基づき安全性要素 12 項目を記載する VSSA は 15 件 (5 割強)、項目名は一部異なるが小段落名や本文から安全性要素 12 項目 と照合可能な VSSA は 8 件 (3 割弱)、ガイダンスの安全性要素 12 項目を充足していな い VSSA が 4 件 (1 割強) あることが確認できた。

²⁵ 米 NHTSA、Company VSSA Disclosures、https://www.nhtsa.gov/automated-driving-systems/voluntary-safety-self-assessment

| 目次を見ると VGに基づくことが 一目瞭然 | レポートを見ると VGに基づくことが 確認できる | 目次やレポートからVGに基づくことは、ある程度確認できるが、 どの程度充足しているかは、照合表の確認、 文章を読むなどしないと、判断が難しい。 | | 安全性要素の 主要ワードが いくつか/ほとんど 含まれていない |
|---|---|---|---|--|
| VG項目を充足 レポート構成はVG通り | VG項目を充足 レポート構成は異なる | VG項目を充足 レポート構成は異なる 12項目との照合表あり | VG項目はほぼ充足 レポート構成は異なる | VG項目をある程度充足 VG項目を充足しない レポート構成は異なる |
| 1. BMW 2. EasyMile 3. Ford 4. GM 5. Ike 6. Local Motors 7. Lyft 8. Nuro 9. Robomart 10.Toyota 11.TuSimple | 1. AutoX 2. Mercedes- Benz/Bosch L4- L5 3. Mercedes Benz L3 4. Plus | 1. Argo AI 2. Aurora 3. Kodiak 4. Uber | 1. Motional 2. Navya 3. Nvidia 4. Waymo | ある程度充足 1. Pony.ai 充足しない 1. Apple 2. WeRide 3. Zoox > Appleは特に情報量が少ない。WeRideと Zooxは情報量はあるがVGとは大きく異なる (紹介資料のよう)。 |

図 2.6.1-3 各社 VSSA のガイダンス (VG) との充足度

3) 米セーフティレポート (VSSA) の深堀調査

米 NHTSA の Web サイトで公開された 28 件の VSSA について、ガイダンス (AV2.0) の安全性要素 12 項目と照合したところ、全体の 5 割強が 12 項目に関する記載を確認できた。次に VSSA のうち、自動運転車両・サービスの違いに着目して以下 6 件の深堀調査を実施し、安全性要素 12 項目にそれぞれ提示された推奨事項(各項目に 4~11 個あり)を確認した。

- ・シャトルバス(Easy Mile 社 1 件)
- ・デリバリ運搬用小型車両(Nuro 社1件)
- ·大型輸送車両(TuSimple 社1件)
- ・乗用車(Mercedes Benz 社 L3 と L4-L5 の 2 件)
- ・ロボタクシ(Waymo 社)

上記 6 件の VSSA について、ガイダンスで示す各安全性要素の推奨事項の記載有無を確認したところ、政府の推奨事項の全てに対応し記載している VSSA はなく、一部が限定的な情報になっていたり、欠落したりしていることが確認できた。(表 2.6.1-2 参照)

表 2.6.1-2 安全性要素の推奨事項の VSSA 記載状況

| 安全性要素 | 推奨事項の概要と記載が少ない推奨事項 |
|--|--|
| 1. System Safety | システムエンジニアリングアプローチと既存の標準規格を活用。ソフトウェアの説明は限定的。 |
| 2. Operational Design Domain | ODD 設計の手順を説明。ODD 外になる動的変化の対応(Fallback/MRC)の説明は限定的。 |
| 3. Object and Event Detection and Response | 搭載したセンサ等を説明。様々な状況の対応方針は (4:FB)(6:HMI)(8:衝突性能)で記載。 |
| 4. Fallback (Minimal Risk Condition: MRC) | Fallback/MRCの自社方針を説明。Lv3ではFallback、 Lv4では MRCを特に説明。 |
| 5. Validation Methods | ベース車両、HW、SW の検証を説明。独立した第 三者機関連携、業界連携は限定的。 |
| 6. Human Machine Interface | 自車と相互作用の可能性がある外部との情報伝達 を説明。設計と検証の手法の説明は限定的。 |
| 7. Vehicle Cybersecurity | 適用できる標準規格やフレームワークを採用し、対 策を実施。設計と検証の手法の説明は限定的。 |
| 8. Crashworthiness | 車体構造に基づく乗員保護(シートベルト等)を説明。他項目(4:FB) (9:PostCrash)で記載あり。 |
| 9. Post-Crash ADS Behavior | 衝突直後に車を安全な状態に戻す方法は他項目 (4:FB)(8:Crash)(10:Data)で記載多い。 |
| 10. Data Recording | 既存 EDR を活用。自動運転の制御情報の言及、政府当局への情報提供の記載は限定的。 |
| 11. Consumer Education and Training | 自社プログラムを紹介。プログラムで説明する自動 運転の機能/性能なの項目説明は限定的。 |
| 12. Federal, State, and Local Laws | 法適合する旨を記載。ある状況の場合に一時的に違 反することの対応の記載は全件無い。 |

シャトルバスを用いたレベル 4 の乗合サービス提供を検討する Easy Mile、トラック輸送(バス車両を用いた VSSA は現時点で発表されていない)の TuSimple について、輸送車両の自動化の視点から 2 社の VSSA を確認したところ、他の VSSA と比べて、乗員保護と情報伝達に関する記載が特徴として見られた。乗員保護に関する記載として、衝突直後の対応方針に乗客確認のため双方向通信ができる HMI の設計や、ドアアンロックシステムの採用の記載が確認できた。情報伝達に関する記載として、車内モニタ、アプリケーション、音声案内、車両基本機能(ライトやクラクション)、LED ディスプレイなど情報伝達機能の紹介や、他の交通参加者との情報伝達に関する紹介が確認できた。

自動運転レベル別に 2 種類の VSSA を作成した車両 OEM 事業者について、VSSA を確認した。Mercedes Benz グループでは、レベル 3 自動運転としてオーナーカー(セーフティドライバがいる)を前提とした VSSA を Mercedes Benz が公開し、レベル 4、5 の自動運転 (人間の運転者が不在) として相乗りサービスを想定した VSSA を Mercedes-Benz/Bosch が企業連名で公開している。

レベル 3 自動運転の VSSA では、既に製品化されている製品である DRIVE PILOT を

紹介し、顧客視点(車両オーナー)での VSSA として作成されている。よってセーフティドライバ (VSSA では、fallback ready user と記載) となる顧客に対して、どのように DRIVE PILOT が作動し、自動運転が難しい場合、どのように Fallback や Minimal Risk Condition につなげるかが記載されている。

一方、レベル 4、5 の自動運転を想定した VSSA では、現在は開発フェーズであることと、実証に向けた合意形成の視点から VSSA が記載されており、実証地域の自治体等との連携と協議や、レベル 4 以上での公道走行に関する法適合を米 NHTSA と協議中であることを紹介している。相乗りサービスを想定していることから、HMI (Human Machine Interface) の項目では、乗員や車外の交通参加者との情報伝達の方針を説明している。

- (3) 米 NHTSA の情報発信(ポータルサイト)
- 1) 米 NHTSA の当該情報に関する Web サイトの構成

米 NHTSA の Web サイトより、セーフティレポート(ガイドラインとテンプレート)のサイトと合わせて、自動運転の報告書が掲載されたサイト、自動運転関連情報(マップ等を用いた情報検索ツール、テキストでの情報検索ツール、関連情報のオープン APIの提供)を掲載しているサイトを、情報発信に関する公開情報調査の対象とする。(表2.6.1-3 参照)

| Web ページ | Web ページの内容 | | |
|------------|---|--|--|
| VSSA 掲載ペー | セーフティレポートのガイダンスとテンプレート、各社 VSSA が | | |
| ジ | 掲載されたページ。(https://www.nhtsa.gov/automated-driving- | | |
| | systems/voluntary-safety-self-assessment) | | |
| 報告書掲載ペー | 自動運転に関する報告書等(Av2.0 を含む)が掲載されたページ。 | | |
| ジ | (https://www.nhtsa.gov/vehicle-manufacturers/automated-driving- | | |
| | systems) | | |
| AV TEST | 実証情報の情報発信サイトとして、実証情報検索(ビジュアル表 | | |
| Initiative | 示、文字検索)、API 連携ツールが掲載されたページ。 | | |
| | | | |

(https://avtest.nhtsa.dot.gov/av-test/home)

表 2.6.1-3 米 NHTSA の情報発信 (ポータルサイト)

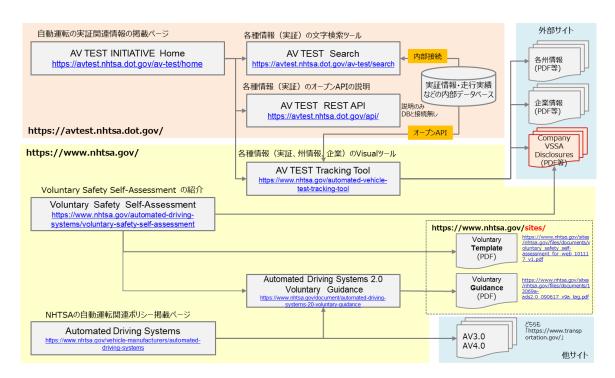


図 2.6.1-4 米 NHTSA の当該情報に関する Web サイトの構造

** NHTSA の当該情報に関する Web サイトのページ概要 Web サイトの構造を図 2.6.1-4 に示す。

VSSA 掲載ページ (https://www.nhtsa.gov/automated-driving-systems/voluntary-safety-self-assessment) は、ページタイトルとして「Voluntary Safety Self-Assessment」と記載されており、前文に VSSA の作成目的などが記載され、米 NHTSA の提供資料である VSSA のガイダンス (AV2.0) とテンプレートが掲載され、その下に、各事業者の VSSA への企業リンクが貼られている。

報告書掲載ページ(https://www.nhtsa.gov/vehicle-manufacturers/automated-driving-systems)は、ページタイトルとして「Automated Driving Systems」と記載されており、前文に米 NHTSA の自動運転の社会実装に向けた役割や主な活動などが記載され、その下に報告書として「AV2.0」「AV3.0」「AV4.0」の紹介と報告書の公開リンクが貼られている。今回、安全性の評価に関係するのは「AV2.0」であり、「AV3.0」以降は他の自動運転の領域に関する報告書である。また「AV1.0」にあたる「Federal Automated Vehicles Policy - September 2016」は「AV2.0」の公開とともにその役目を終了しているため、当掲載ページに紹介はない(ニュースリリースでは確認可能)。

「AV TEST Initiative」のページ (https://avtest.nhtsa.dot.gov/av-test/home) は、米 NHTSA が 2020 年 6 月に自動運転システムの安全性とテストの透明性を向上させるため立ち上げた「AV TEST Initiative (the Automated Vehicle Transparency and Engagement for Safe Testing Initiative)」の Web パイロットプロジェクト²⁶である。

Webページのページタイトルは「AV TEST Initiative Home」と記載されており、前文には AV TEST Initiative として自動運転の実証に関する情報提供としての役割や主な活動などが記載されており、その下には図 2.6.1-5 に示す「AV TEST Tracking Tool(ビジュアルツールを活用した情報検索)」、「AV TEST Search(文字による情報検索)」、「AV TEST REST API(実証情報の API 連携)」の概要の紹介と、該当ページへのリンクが貼られている。

「AV TEST Tracking Tool」はビジュアルツールを活用した情報検索であり、AV TEST Initiative の一環として、州や企業から自主的に提供された自動運転車両と実証に関する情報を、一般の人々も見やすいツールとして開発された。「AV TEST Tracking Tool」は「Testing Locations」「State Info」「Company Info」で構成される。「Testing Locations」は、実証場所(マッピング)、走行道路タイプ、車種でビジュアルツールが構成され、フィルター機能を用いて州と企業でソートが可能であり、マップ上の実証アイコンをクリックすると実証概要が表示される仕組みとなっている。また、拡大すると走行経路や走行区域も表示できる。「State Info」は、自動運転走行に関連する州の法律等のリンクが記載されている。「Company Info」は、企業名を選択すると、対象企業の VSSA 等の情報が表示され、リンクで該当情報を掲載したサイトへ遷移することができる。どれも検索すると、実証情報を格納したサーバのデータベースに問い合わせ、回答を得て、検

 $^{^{26}}$ # NHTSA. AV TEST Initiative. https://www.nhtsa.gov/press-releases/us-transportation-secretary-elaine-l-chao-announces-first-participants-new-automated

索結果をマップやグラフに表示する仕組みになっている。

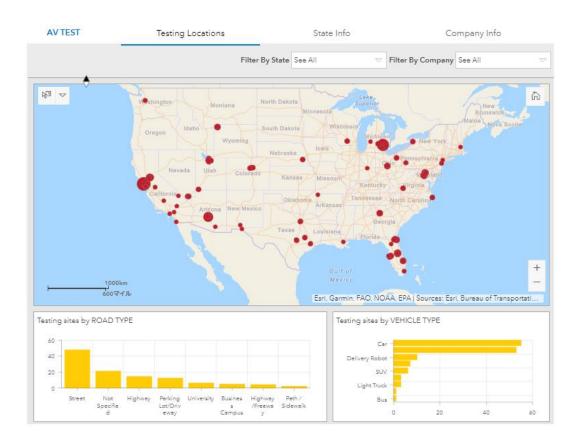


図 2.6.1-5 AV TEST Tracking Tool (米 NHTSA)

「AV TEST Search」は、文字による実証情報の検索ツールであり、検索の切り口として「TRACKER」「LOCATION」「VEHICLE」「OPERATION」が設定されており、検索すると、実証情報を格納したサーバのデータベースに問い合わせ、回答を得て、検索結果を表示する仕組みになっている。

「TRACKER」には、実証情報の提供主体、実証名称、実証形態(公道走行かテストコースかなど)の検索項目がある。「LOCATION」には、公道/私道、道路タイプ(一般道/高速道路など)、州、都市の検索項目がある。「VEHICLE」には、自動運転システム事業者、ベース車両の製造事業者、車種、車両モデル年、試作車かどうか、の検索項目がある。「OPERATION」には、実証責任者、運営責任者、実証状態(準備/実施/終了など)、セーフティドライバ(運転席/遠隔側)の有無、提供サービス(旅客輸送、貨物輸送、関係者のみなど)の検索項目がある。

「AV TEST REST API」は、実証情報を格納したサーバのデータベースに API を用いて連携する(情報を取得する方法)方法を紹介し、実装のためのソースコード及びサーバからの回答例が記載されたページである。実証情報として API 連携を提供しているカテゴリは「Participants(主に実証体制の情報)」「Trackers(主に実証情報)」「Variables (API 実装で用いる情報)」で構成されている。

- (4) 先行事例調査のまとめ
- 1) 米 NHTSA の取り組みの調査結果より

米 NHTSA で公開されている VSSA28 件を確認すると、ガイダンスに基づき安全性要素 12 項目を記載する VSSA は 28 件中 15 件 (5 割強) であり、安全性要素 12 項目の推奨事項を記載していない VSSA も多く確認できた。一方で、どの VSSA でも記載がされていない推奨事項 (例えば、一時的に特定の州の自動車運転法に違反する場合についての対応方針の説明) もある。このようにガイダンスに基づく、安全性要素 12 項目や推奨事項の記載粒度が異なるため、各 VSSA を横並びで比較することはできず、 VSSA を確認する実証などの関係者にとって、安全性要素 12 項目や推奨事項に沿い、どのように安全性を自主評価しているのか、他社の VSSA と比較しながら確認することは難しい。

米 NHTSA に公開されている VSSA (28 件)には、既に売却や撤退などを含めて事業を行っていない事業者をふくめてリンクエラー(5 件/28 件)があり、米 NHTSA の Web サイト掲載後の修正がうまく行われていないことも見受けられる。

VSSA の作成の参考となるよう例示として公開されているテンプレートは、ガイダンス (AV2.0) の安全性要素をふまえて「~の概要を記載する」などと記載例を紹介しているが、各安全性要素で記載する推奨事項と参照できる形で作成されていない。このことは、安全性要素の推奨事項の記載が、各社の VSSA にて記載事項や情報量の粒度が異なることにつながっていると考えらえる。

事業者が任意で作成する VSSA について、米 Center for Auto Safety(米国の自動車産業に焦点を当てた非営利の消費者擁護団体。以下「自動車安全センタ」という)は、2021年 4 月に、米 NHTSA の取組に基本的に賛同を伝えつつ、自主的で完全に任意で行う VSSA の仕組みは安全性の評価へ十分に機能しないと危惧し、公道走行するすべての自動運転車の実験車両に対して、標準化された情報収集を事業者に要求することをパブリックコメント²⁷で述べている。コメントでは、2018年にアリゾナで Uber の自動運転のテスト車両により歩行者が死亡したという国家運輸安全委員会(NTSB)の結論(最終レポート)において、公道で自動運転技術を検証する事業者に対して、米 NHTSA が安全データの収集を要求するよう推奨する記載をしたが、米 NHTSA はデータ収集には従事せず、Uber が公道での実証実験を再開したことが、自動車安全センタがパブリックコメントを出した背景であると述べている。Uber の事故をふまえて自動車安全センタでは、国家運輸安全委員会(NTSB)の結論より早い 2018年10月に、公道で自動運転技術をテストするすべての企業に、自動運転車の安全情報を連邦政府に提出することを義務付ける規則制定を当局に要請しており、安全性の自主的評価を行った VSSA も、作成と提出を義務付け、実証情報を「AV TEST Initiative」に公開するよう求めている。

安全情報の収集に関して米 NHTSA は 2021 年 6 月の発表²⁸にて、SAE レベル 2 高度運

28 米 NHTSA、NHTSA Orders Crash Reporting for Vehicles Equipped with Advanced Driver Assistance Systems and Automated Driving Systems、https://www.nhtsa.gov/press-releases/nhtsa-orders-crash-reporting-vehicles-equipped-advanced-driver-assistance-systems

 $^{^{27}}$ # Center for Auto Safety. Center for Auto Safety Comment on AV 2.0 Information Collection Request. https://www.autosafety.org/center-for-auto-safety-comment-on-av-2-0-information-collection-request/

転支援システム(ADAS)または SAE レベル 3-5 自動運転システム(ADS)を搭載した車両の製造業者とオペレータに、事故発覚から 1 日以内に自動運転車の事故情報を報告することを義務づけた。発表では、データを収集することは、連邦政府が自動運転車の安全性を注意深く監督しているという国民の信頼を醸成することに役立つと記載されており、ガイダンス (AV2.0) には、事故情報については VSSA に記載する推奨事項は無いが、別途、政府が事故情報を情報収集ができる仕組みが米国で確立されている。

2.6.2. 日本版セーフティレポートのあり方の検討

先行事例の調査結果をふまえて「日本版セーフティレポート」のあり方をガイダンス と、「日本版セーフティレポート」の作成が促進されるよう、記載内容の例などを紹介 するテンプレート(案)を策定するにあたり、そのあり方(考え方)を検討する。

日本版セーフティレポートの安全性要素(ガイダンスの構成) (1)

1) 先行事例調査をふまえた安全性要素の検討方針

国土交通省は2018年に「自動運転車の安全技術ガイドライン29」を策定し、自動運転 の早期実用化に向けて、国際基準が策定されるまでの間も、安全な自動運転車の開発・ 実用化を促進するため、自動運転車の安全技術ガイドラインを策定し、レベル3、4の自 動運転車が満たすべき安全性に関する要件を明確化している。

日本企業では株式会社ティアフォーが「セーフティレポート30」を 2020 年に公開して いる。レポートの構成をみると、米 NHTSA のガイダンス (AV2.0) の VSSA とは異なり、 実証実験の実績と自動運転の普及に向けたアプローチ、今後の技術開発、今後の事業と 社会環境整備について述べるなど、我が国の制度、地域の特性、自社の取組状況をふま えてレポートを構成したことが分かる。

日本版セーフティレポートでは、先行事例調査である米 NHTSA の VSSA の取組を参 照し、「自動運転車の安全技術ガイドライン」などの我が国の制度、各社の事情や現地 実証実験の目的や走行環境・条件、現地実証実験を行う地域の特性などをふまえて、日 本版セーフティレポートの構成を検討する。

2) 安全性要素の提案

表 2.6.2-1 に示す通り、米 NHTSA の VSSA の安全性要素 12 項目と、我が国の「安全 技術ガイドライン」の安全性要件10項目を比較すると、多くの項目が共通していること が分かった。一部、異なる項目としては、米 NHTSA の「OEDR」「Crashworthiness」「Post-Crash ADS Behavior」、我が国の「安全技術ガイドライン」の「(7)無人自動運転移動 サービスに用いられる車両の安全性(追加要件)」が異なることが分かった。

²⁹ 国土交通省自動車局、自動運転車の安全技術ガイドライン、

https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha07_hh_000281.html

³⁰ 株式会社ティアフォー、SAFET REPORT 2020

https://assets.ctfassets.net/rfp71c5fx4wl/2qucBNStIcWMHdv66s6l9k/218c33211025606924da8ace944da8ace946b6fd7/Safety-Report-Jpn-8_11-master_compressed.pdf

表 2.6.2-1 NHTSA 安全性要素と安全技術ガイドラインの項目照合

| NHTSA, AV2.0 (2017) 安全性要素 12 項目 | 国交省、安全技術ガイドライン(2018) 安全性に関する要件 10 項目 | | |
|------------------------------------|---|--|--|
| 1. System Safety | (2) 自動運転システムの安全性(②ODD 内で作動、③運転者 | | |
| | の意思、④冗長性の確保) | | |
| | (3) 保安基準の遵守等(②国際標準や業界標準の適合) | | |
| | (9) 使用過程における安全確保(①製作者などやシステム | | |
| | 供者のソフトウェアの update 措置、②使用者のソフトウェア | | |
| | update 措置) | | |
| 2. Operational Design Domain | (1) 運行設計領域(ODD)の設定(①特定条件の規定、②走 | | |
| | 行環境条件の設定) | | |
| 3. Object and Event Detection | _ | | |
| and Response | | | |
| 4. Fallback (Minimal Risk | (2) 自動運転システムの安全性(⑤Lv.3:フォールバック、 | | |
| Condition) | MRM) | | |
| 5. Validation Methods | (8) 安全性評価(①シミュレーション/テストコース/実路 | | |
| | の組合せた検証) | | |
| 6. Human Machine Interface | (4) ヒューマン・マシン・インターフェース (HMI) (① | | |
| | Lv.3:有する機能、②Lv.4:有する機能) | | |
| 7. Vehicle Cybersecurity | (6) サイバーセキュリティ(①サイバーセキュリティを考慮 | | |
| | した設計・開発) | | |
| 8. Crashworthiness | _ | | |
| 9. Post-Crash ADS Behavior | _ | | |
| 10. Data Recording | (5) データ記録装置の搭載(①データ記録装置の装備) | | |
| 11. Consumer Education and | (10) 自動運転車の使用者への情報提供(①使用者への情報提 | | |
| Training | 供の項目) | | |
| 12. Federal, State, and Local | (2) 自動運転システムの安全性 (①法令遵守) | | |
| Laws | (3) 保安基準の遵守等(①自動運転の保安基準の適合、③車 | | |
| | 両の保安基準の適合) | | |
| _ | (7) 無人自動運転移動サービスに用いられる車両の安全性 | | |
| | (追加要件) (①MRM、②遠隔監視、③非常ボタン、④自動通 | | |
| | 報、⑤非常時の伝達) | | |

我が国のセーフティレポートの安全性要素の項目について、まずは「安全技術ガイドライン」の項目を踏襲する。これに含まれず、米 NHTSA の安全性要素に含まれる

「OEDR」「自動運転車両の衝突性能(Crashworthiness)」「衝突後の自動運転システムの対応(Post-Crash ADS Behavior)」の 3 つを追加した安全性要素の項目を初案として提案する。(表 2.6.2-2 参照)

表 2.6.2-2 日本版セーフティレポートの安全性要素の項目初案

| 出所 | 安全性要素の項目 | 日本版セーフティ |
|-----------|--------------------------------|----------|
| | | レポートの項目 |
| 国交省、安 | (1) 運行設計領域(ODD)の設定 | 踏襲 |
| 全技術ガ | (2) 自動運転システムの安全性 | 踏襲 |
| イドライ | (3) 保安基準の遵守等 | 踏襲 |
| ン | (4) ヒューマン・マシン・インターフェース (HMI) | 踏襲 |
| | (5) データ記録装置の搭載 | 踏襲 |
| | (6) サイバーセキュリティ | 踏襲 |
| | (7)無人自動運転移動サービスに用いられる車両の | 踏襲 |
| | 安全性(追加要件) | |
| | (8) 安全性評価 | 踏襲 |
| | (9) 使用過程における安全確保 | 踏襲 |
| | (10) 自動運転車の使用者への情報提供 | 踏襲 |
| 米 NHTSA, | 対象物・事象検知・反応主体の定義(OEDR) | 追加 |
| ガイダン | 自動運転車両の衝突性能(Crashworthiness) | 追加 |
| ス (AV2.0) | 衝突後の自動運転システムの対応(Post-Crash ADS | 追加 |
| | Behavior) | |

「対象物・事象検知・反応主体の定義(OEDR)」とは、対象物・事象検知・反応主体の定義として、車両の安全な動作に影響を与える可能性のある物体や事象を検知し、反応を定めることである。「自動運転車両の衝突性能(Crashworthiness)」とは、自動運転車両の衝突性能として、別の車両が自動運転車に衝突するシナリオと、乗員を最適に保護する方法を検討することである。「衝突後の自動運転システムの対応(Post-Crash ADS Behavior)」とは、衝突後の自動運転システムの対応として、衝突直後に、自動運転車を安全な状態に戻す方法を検討することである。

これら3項目は、交通事業者・自治体等が自動運転システムの特性について理解を深めるための一助となること、乗員や他交通の安全確保から自動運転の安全設計として重要と考え、日本版セーフティレポートを構成する安全性要素の初期項目として提案する。

3) 日本版セーフティレポートの構成の提案(ガイダンスの骨子)

自動走行ビジネス検討会の報告書「自動走行の実現及び普及に向けた取組報告と方針 Version5.0」では、日本版セーフティレポートについて、「米 NHTSA の項目を参照しつ つ、我が国の制度、各社の事情、実証実験の目的や走行環境・条件、実証実験を行う地 域の特性などによって、各社において情報発信を行う項目を判断することが望ましい。 地域の関係者の理解と協力を得る上では、これらの項目と併せて、実証実験における自 動運転システムの全体像を示すことも重要」と言及しており、我が国における現地現地 実証実験の方針や安全対策の取組に係る情報発信のあり方を提示している。これらの考 慮事項は、日本版セーフティレポートの冒頭に前文や基本情報として、または適切な安 全性要素の項目に含めて記載することを、事業者が日本版セーフティレポートを作成す るうえで参考とするガイダンスに示す。(図 2.6.2-1 参照)

ガイダンスでは、国の検討をふまえた「前文」と「基本情報」、我が国の「安全技術ガイドライン」や米 NHTSA の VSSA 調査をふまえた「安全性要素」で構成することを紹介する。「前文」では、我が国の制度や各社の事情を踏まえて、日本版セーフティレポートの作成の目的(あり方)、作成の対象、作成に関する基本的な考え方を記載し、セーフティレポート作成での考慮事項とする。「基本情報」では、地域関係者の理解と協力を得るうえで、現地実証実験の目的、自動運転システムの全体像を示すことは重要であるため、これらを記載することを事業者に推奨する。

| | 日本版セーフティレポート(案) | | |
|-------|-----------------------------------|----|----------------------------|
| 前文 | 日本版セーフティレポートの作成での考慮事項 | 71 | 自動走行ビジネス検討会 「報告書ver5.0」 |
| 基本情報 | 実証実験の目的、自動運転システムの全体像 | | の考慮事項より |
| | 1. 運行設計領域 (ODD) の設定 | ך | |
| | 2. 自動運転システムの安全性 | | |
| | 3. 保安基準の遵守等 | | |
| | 4. ヒューマン・マシン・インターフェース(HMI) | | |
| | 5. データ記録装置の搭載 | L | 国交省「安全技術ガイドラ |
| | 6. サイバーセキュリティ | | イン」に含まれる項目 |
| 安全性要素 | 7. 無人自動運転移動サービスに用いられる車両の安全性(追加要件) | | |
| | 8. 安全性評価 | | |
| | 9. 使用過程における安全確保 | | |
| | 10. 自動運転車の使用者への情報提供 | J | |
| | 11. 対象物・事象検知・反応主体の定義(OEDR) | | NULTCAもどの調本外田 |
| | 12. 自動運転車両の衝突性能 | | NHTSAなどの調査結果 から、提案する項目 |
| | 13. 衝突後の自動運転システムの対応 | | |

図 2.6.2-1 日本版セーフティレポートの構成案(ガイダンスの骨子)

- (2) 日本版セーフティレポートの記載の推奨事項(ガイダンスの内容)
- 1) 前文と基本情報の推奨事項の提案

事業者が日本版セーフティレポートを作成するうえで参考とするガイダンスは、「前文」「基本情報」「安全性要素」で構成され、日本版セーフティレポートも、その構成を基本に作成されることを想定する。事業者がどのように安全性の自主評価を行い、実証実験の方針や安全対策の取組に係る情報発信を行うのか、参考となるよう各項目について、記載の推奨事項を提案する。

ガイダンスの前文では、我が国の制度や各社の事情を踏まえて「日本版セーフティレポートの作成の目的(あり方)」「作成の対象」「作成に関する基本的な考え方」を整理し、事業者のセーフティレポートの前文を記載する上での推奨事項とする。

「レポートの作成の目的(あり方)」では、自動走行ビジネス検討会の報告書(ver5.0)に基づき、その他政府資料を参照しながら、レポート作成の目的を記載する。「作成の対象」は、自動運転のレベルを限定せず、自動運転車を用いた実証実験を対象とする。また自動運転車両を用いた旅客輸送サービスを対象とする(今回は旅客輸送に限定する

が、今後、他の事業利用での作成も考えられる)。「レポートの作成主体」は、自動車製作者等及び自動運転車を用いた移動サービスのシステム提供者である。「作成に関する基本的な考え方」として、セーフティレポートの作成に関する考え方(ガイダンス)は、現地実証実験の方針や安全対策の取組に係る情報発信にかかる基本的な考え方を示したものであり、今後、国の検討や国際動向を踏まえて、適宜見直すことをガイダンスに記載する。また、セーフティレポートの作成は任意であり、作成の義務はない。セーフティレポートは情報発信のため公開されるため、事業者は所有権のある知的財産を明らかにすることや、機密の事業情報を含まないことを確認することとする。

ガイダンスの基本情報として、地域関係者の理解と協力を得る上で「実証実験の目的」「自動運転システムの全体像」を整理し、事業者のセーフティレポートの基本情報を記載するうえでの推奨事項とする。

「実証実験の目的」では、無人自動運転移動サービスの実装による、地域課題や事業者課題の解決への寄与、地域創生の促進など、自動運転システムを用いた現地実証実験を行う目的を記載する。「自動運転システムの全体像」では、自動運転システムの特性として、遠隔型自動運転システムおよび特別装置自動車、それ以外の自動運転車など、自動運転車の種別を記載し、どのように自動運転システムが認知・制御・判断するのか簡潔に記載する(詳細は、安全性要素で記載することとする)。これまでの走行実績として現地実証実験の数、走行距離などを記載する。自動運転システムのタイプや法制度を踏まえて、セーフティドライバの有無を記載する。自動運転システムのタイプや法制度を踏まえて、運転者の位置づけを明確にしたうえで、遠隔監視・操作の有無を記載する。移動サービスの運行管理と、自動運転の運行管理の体制を記載する。その他の安全対策として、路側センサや信号情報提供など、その他の安全対策を記載する。

2) 安全性要素の推奨事項の提案

日本版セーフティレポートに記載する安全性要素の推奨事項は、①国交省「安全性技術ガイドライン」の「安全性に関する要件(10項目)」の要件と、②米 NHTSA の VSSA の推奨事項に基づき提案した。そこで、日本版セーフティレポートの安全性要素で記載する推奨事項について、まずは「安全技術ガイドライン」に記載された各項目の要件を踏襲し、記載の推奨事項とする。次に、米 NHTSA の VSSA 調査より提案した、3 つの安全性要素(「安全技術ガイドライン」に記載のない項目)については、米 NHTSA のガイダンスの推奨事項に基づき事業者の多くが VSSA で記載していた事項を、日本版セーフティレポートの推奨事項に提案する。

なお、安全性要素の項目名は、現時点では「安全技術ガイドライン」と「AV2.0」の項目名を踏襲する。

■ [出所]安全技術ガイドライン(国土交通省)

· (1) 運行設計領域(ODD)の設定

「安全技術ガイドライン」の要件に加えて、①テスト・検証・評価のプロセスと手順の記載、②自動運転システムの機能制限/境界の記載を推奨事項として提案。

・ (2) 自動運転システムの安全性

「安全技術ガイドライン」の要件に加えて、「安全技術ガイドライン」の要件に加えて、①堅牢な設計および検証のプロセス、②業界標準の適用・準拠、③自動運転システムだけでなく、車両開発や輸送事業をふまえた設計と検証を推奨事項として提案。

・ (3) 保安基準の遵守等

「安全技術ガイドライン」の要件を、推奨事項とする。(VSSA の推奨事項に当要件の類似事項があるが、これらは「2. 自動運転システムの安全性」で提案済)

· (4) ヒューマン・マシン・インターフェース (HMI)

「安全技術ガイドライン」の要件に加えて、外部の交通参加者に自動運転システムの作動状況を認知することができる機能の記載を推奨事項として提案。

・ (5) データ記録装置の搭載

「安全技術ガイドライン」の要件に加えて、①衝突原因特定できるようプロセスを確立、②情報を保存、維持、取得できるプロセスの確立、③衝突状況が再現できるよう情報の記録を推奨事項として提案。

・ (6)サイバーセキュリティ

「安全技術ガイドライン」の要件に加えて、①堅牢な製品開発プロセスの確立、② 業界標準の適用・準拠、③関連情報の業界共有、④協調的な脆弱性の報告/公開ポリシーの採用 を推奨事項として提案。

・ (7)無人自動運転移動サービスに用いられる車両の安全性(追加要件)

「安全技術ガイドライン」の要件を、推奨事項とする。(VSSA をふまえた推奨事項の提案は無し)

· (8) 安全性評価

「安全技術ガイドライン」の要件を、推奨事項とする。(VSSA をふまえた推奨事項の提案は無し)

・ (9) 使用過程における安全確保

「安全技術ガイドライン」の要件を、推奨事項とする。(VSSA をふまえた推奨事項の提案は無し)

・ (10) 自動運転車の使用者への情報提供

「安全技術ガイドライン」の要件に加えて、資料作成による情報提供だけでなく、 教育や訓練のプログラムを開発、文書化、メンテナンス行うことを推奨事項とし て提案。

■ [出所] AV2.0 (米 NHTSA)

· 対象物・事象検知・反応主体の定義 (OEDR)

VSSA をふまえて、①OEDR 機能の評価、テスト、および検証のための文書化されたプロセスの確立、②自動運転の運転能力の評価、テスト、評価のため文書化されたプロセスの確立、③衝突回避機能の設計選択を評価、テスト、検証する文書化されたプロセスの確立を推奨事項として提案。(「安全技術ガイドライン」には要件がない項目)

· 自動運転車両の衝突性能(Crashworthiness)

VSSA をふまえて、乗員保護として、①衝突シナリオに基づく乗員保護の方法、②性能レベルの維持、③全ての年齢・サイズの乗客を保護、④座席構成の変更への対応への記載を推奨事項として提案。(「安全技術ガイドライン」には要件がない項目)

・ 衝突後の自動運転システムの対応(Post-Crash ADS Behavior)

VSSA をふまえて、①自動運転車を安全な状態に戻す方法、②衝突の程度に応じた 自動運転車の初動対応、③オペレーションセンタ等への関連データの共有を推奨 事項として提案。(「安全技術ガイドライン」には要件がない項目)

- (3) 日本版セーフティレポート作成の参考とするテンプレート案
- 1) テンプレートの提案

事業者のセーフティレポート作成において、我が国の政府公開情報や米 NHTSA の VSSA 調査をふまえて提案した「前文」「基本情報」「安全性要素」とその推奨事項を記載するにあたり、参考とするテンプレート案を作成し、事業者の一助とする。テンプレートでは、前述で整理した、安全性要素の項目とその記載推奨事項に基づき、どのように記載するのかを紹介する。以下はそのテンプレートの概要である。

■ セーフティレポートで記載する前文

我が国の制度や各社の事情を踏まえて、セーフティレポートの作成の対象、作成 に関する基本的な考え方を、各事業者はセーフティレポートの前文として記載す る。

■ セーフティレポートで記載する基本情報

地域関係者の理解と協力を得るうえで、実証実験の目的、自動運転システムの全体像を示すことは重要であるため、セーフティレポートに基本情報として記載することを、事業者に推奨する。

■ セーフティレポートで記載する安全性要素の推奨事項

(1) 運行設計領域 (ODD) の設定

実証実験で使用する自動運転車両の ODD を定め、その概要を記載する。ODD を 定めることで、走行環境や運用方法を制限し、自動運転システムが引き起こす人 身事故であって、合理的に予見される防止可能な事故が生じないことを確保して いることを紹介する。

・ (2) 自動運転システムの安全性

設定された ODD の範囲内において、自動運転システムが引き起こす人身事故であって合理的に予見される防止可能な事故が生じないことを確保するため、制御系やセンサ系の冗長性を確保する等によりシステムの安全性を確保していることを紹介する。

・ 設定された ODD の範囲外となった場合や自動運転車に障害が発生した場合等、自動運転の継続が困難となった場合には、最終的に車両を自動で安全に停止させる 仕組みがあることを紹介する。

・ (3) 保安基準の遵守等

自動運転車は、既に定められた自動運転に係る道路運送車両の保安基準を満たしていることを紹介する。また、保安基準の遵守等を説明するにあたり、関係する ISO 等の国際標準等を満たしていることを紹介する。

· (4) ヒューマン・マシン・インターフェース (HMI)

自動運転車は、これまで運転者が行っていた認知、判断及び操作をシステムが担うことから、システムの作動状況を運転者(または運行管理者)または乗員または自動運転車と相互作用の可能性がある外部の交通参加者に知らせるためのヒューマン・マシン・インターフェース(HMI)を備えていることを紹介する。

・ (5)データ記録装置の搭載

自動運転システムの作動状況や運転者の状況等をデータとして記録する装置を備 えていることを紹介する。

・ (6)サイバーセキュリティ

ネットワークに接続したコネクテッドカーである自動運転車の安全確保の観点から、サイバー攻撃に対するセキュリティ対策を講じていることを紹介する。

・ (7) 無人自動運転移動サービスに用いられる車両の安全性(追加要件)

無人自動運転移動サービスに用いられる車両の安全性について、そのほかの要件 を満たしていることを紹介する。

· (8)安全性評価

自動車製作者等または自動運転車を用いた移動サービスのシステム提供者は、設定された ODD において合理的に予見される危険事象に関し、シミュレーション、テストコースまたは路上試験を適切に組み合わせた検証を行い、その安全性について事前に確認していることを紹介する。

・ (9) 使用過程における安全確保

使用過程の自動運転車の安全確保の観点から、自動運転車の保守管理(点検整備) およびサイバーセキュリティを確保するためのソフトウェアのアップデート等に 係る措置を講じていることを紹介する。

・ (10) 自動運転車の使用者への情報提供

自動車製作者等(ディーラーを含む)または自動運転車を用いた移動サービスのシステム提供者は、自動運転車の使用者に対し、平易な資料等を用いて次の点を周知し、使用者が理解することができる措置を講じていることを紹介する。

· 対象物・事象検知・反応主体の定義(OEDR)

自動運転システムの作動において、運転タスク (DDT) のサブタスクであり、運転環境の監視 (対象物・事象の検知、認知、分類と、必要となる反応への用意) とそれらの対象物・事象に対する適切な反応の実行がされることを紹介する。

· 自動運転車両の衝突性能(Crashworthiness)

乗員保護として、衝突シナリオに基づく乗員保護の方法、性能レベルの維持、全て の年齢・サイズの乗客を保護、座席構成の変更への対応などを含む、自動運転車両 の衝突性能(乗員を保護する方法)について紹介する。

・ 衝突後の自動運転システムの対応(Post-Crash ADS Behavior)

自動運転車を安全な状態に戻す方法、衝突の程度に応じた自動運転車の初動対応、 オペレーションセンタ等への関連データの共有などを含む、衝突後の自動運転シ ステムの対応について紹介する。

- (4) 日本版セーフティレポートの情報発信のあり方(ポータルサイト)
- 1) ポータルサイトを活用した情報発信

自動走行ビジネス検討会の報告書(ver5.0)より、日本版セーフティレポートによる情報発信は各社の判断に委ねるものとするが、地域関係者に対し一覧性がある形で情報発信を行うため、各社が情報発信を行う場合にはその内容やリンクを掲載することができる専用のポータルサイトを政府にて設置することを検討する。

米 NHTSA は当初(2017)、VSSA のガイダンス(AV2.0)を公開後、そのガイダンスとテンプレート、事業者の VSSA 公開サイトのリンクを掲載した Web ページを作成した。その後(2020)、自動運転の現地実証実験に関するポータルサイト「AV TEST INITIATIVE」を立ち上げた際、その実証情報の検索ツールからも企業の VSSA 公開サイトへの確認が可能になった。このことから、我が国のポータルサイトを活用した情報発信においても、自動運転に関するポータルサイトを立ち上げ、日本版セーフティレポートの作成における上位概念として、自動運転の社会実装に向けた政府の取組を紹介し、その取組一環として日本版セーフティレポートを位置づけ、そのガイダンスとテンプレート、各社が作成したセーフティレポートを公開する進め方が考えられる。

- (5) 日本版セーフティレポートの検討のまとめ
- 1) 世界におけるセーフティレポートの先行事例の調査より

世界におけるセーフティレポートの先行事例として、米 NHTSA の VSSA とその情報発信の取組の調査結果から確認できたことは以下である。

米 NHTSA の Web サイトで公開される VSSA において、ガイダンスに基づき安全性要素 12 項目を記載する VSSA は全体の 5 割強にとどまること、ガイダンスに基づき安全性要素 12 項目を記載する VSSA を含めても、安全性要素の項目で記載を推奨するすべての事項をもれなく記載する VSSA は存在しないことが確認できた。ガイダンスとともに公開されているテンプレートは安全性要素の 1 項目のみだが、ガイダンスの推奨事項に沿う形でテンプレートは構成されていない。これらから、VSSA は完全に事業者の任意で作成されることもあり、各 VSSA の構成や内容は異なっており、項目と記載内容を横並びで単純に比較はできない。VSSA を確認する実証などの関係者にとって、安全性要素 12 項目や推奨事項に沿い、事業者がどのように安全性を自主評価しているのか、他社の VSSA と比較しながら確認することは難しい。

米 NHTSA の Web サイトで公開される VSSA には、既に事業撤退や他社に買収された 事業名もあり、その VSSA はリンクエラーも複数存在する。日本版セーフティレポート を政府のポータルサイトで公開するにあたり、事業者の現状把握、VSSA のリンクの確 認など、基本的なメンテナンスの仕組みは必要と考えらえる。

日本版セーフティレポートも作成は任意であること、記載する安全性要素の項目と記載事項についても推奨に留まるため、米国と同様に、安全性の評価が十分に機能しないのでは、という声もあがる可能性も考えらえる。日本版セーフティレポートと全く異なる仕組みであるが、米国が事故発覚から1日以内に自動運転車の事故情報の報告を義務付けたことからも、公道走行するすべての自動運転車の実験車両に対して、標準化された情報収集(特に事故情報など)を行う別の仕組みによる安全性の評価と確保も考えられる。

2) 日本版セーフティレポートの検討より

日本版セーフティレポートでは、先行事例調査である米 NHTSA の VSSA の取組を参照し、「自動運転車の安全技術ガイドライン」などの我が国の制度、各社の事情や実証実験の目的や走行環境・条件、現地実証実験を行う地域の特性などをふまえて、日本版セーフティレポートの構成を検討した。

米 NHTSA の VSSA の安全性要素 12 項目と、我が国の「安全技術ガイドライン」の安全性要件 10 項目を比較すると、多くの項目が共通していることが分かった。そこで、我が国のセーフティレポートの安全性要素の項目について、まずは「安全技術ガイドライン」の項目を踏襲した。これに含まれず、米 NHTSA の安全性要素に含まれる「OEDR」「自動運転車両の衝突性能 (Crashworthiness)」「衝突後の自動運転システムの対応 (Post-Crash ADS Behavior)」の 3 つを追加した安全性要素の項目を初案として提案した。

ガイダンスでは、国の検討をふまえた「前文」と「基本情報」、我が国の「安全技術ガ

イドライン」や米 NHTSA の VSSA 調査をふまえた「安全性要素」で構成することを紹介する。「前文」では、我が国の制度や各社の事情を踏まえて、日本版セーフティレポートの作成の目的(あり方)、作成の対象、作成に関する基本的な考え方を記載し、セーフティレポート作成での考慮事項とする。「基本情報」では、地域関係者の理解と協力を得るうえで、現地実証実験の目的、自動運転システムの全体像を示すことは重要であるため、これらを記載することを事業者に推奨する。

事業者のセーフティレポート作成において、我が国の政府公開情報や米 NHTSA の VSSA 調査をふまえて提案した「前文」「基本情報」「安全性要素」とその推奨事項を記載するにあたり、参考とするテンプレート案を作成し、事業者の一助とする。

先行事例の調査(米 NHTSA の VSSA)をふまえると、ガイダンスの冒頭にて、安全性要素の項目と推奨する記載事項はガイダンスで示した順番で記載することを伝えることで、日本版セーフティレポートの構成が標準化され、セーフティレポートを閲覧する関係者も、他セーフティレポートと比較しながら、該当のセーフティレポートを確認することができる。事業者がセーフティレポートを作成するうえで参考となるよう、ガイダンスとテンプレートは相互に連携して記載されるべきであり、その文体は箇条書きを用いるなど、簡潔で分かりやすく、適切に情報を伝えるよう配慮する必要がある。

3) 日本版セーフティレポートの情報発信(ポータルサイト)の検討より

先行事例の調査である米 NHTSA は当初(2017)、VSSA のガイダンス(AV2.0)を公開後、そのガイダンスとテンプレート、事業者の VSSA 公開サイトのリンクを貼った Webページを作成した。その後(2020)、自動運転の現地実証実験に関するポータルサイト「AV TEST INITIATIVE」を立ち上げた際、その実証情報の検索ツールからも企業のVSSA 公開サイトへの確認が可能になった。

このことから、我が国のポータルサイトを活用した情報発信においても、自動運転に関するポータルサイトを立ち上げ、日本版セーフティレポートの作成における上位概念として、自動運転の社会実装に向けた政府の取組を紹介し、その取組の一環として日本版セーフティレポートを建付け、そのガイダンスとテンプレート、各社が作成したセーフティレポートを公開することが考えられる。

米 NHTSA で公開されている VSSA は、既に事業撤退や他社に買収された事業名もあり、リンクエラーも複数存在する。我が国のポータルサイトでは、事業者の現状把握、セーフティレポートのリンクの確認など、基本的なメンテナンスの仕組みも必要と考えらえる。

我が国のポータルサイトの構築には、上位概念として自動運転の社会実装に向けた政府の取組に紐づく、日本版セーフティレポートの作成と公開の促進であることなど、ポータルサイトの目的とポータルサイトを見る対象者に応じた、適切な情報発信のあり方をふまえて、適宜、日本版セーフティレポートの検討を進める必要がある。

2.6.3. ポータルサイトの作成

日本版セーフティレポートを公開するポータルサイトについては、公開する目的、内容、運用方法などについて上位プロジェクトを含め検討中であるが、試行的に公開できるようポータルサイトを作成した内容について記載する。

図 2.6.3-1 にポータルサイトのページ構造、図 2.6.3-2 にページ構成、図 2.6.3-3 に作成したポータルサイトデザインについて示す。[1]トップページには本プロジェクト関連する情報を掲載し、上位プロジェクトである RoAD to the L4プロジェクトの関連リンク、セーフティレポートの関連リンクを配している。それに対応して[2]RoAD to the L4プロジェクト情報ページと[3]セーフティレポオート関連情報ページに分岐する。[3]セーフティレポートにはガイダンス、および、テンプレートのダウンロードリンクを配している。なお、各社のセーフティレポートについては、そのありようが議論されている段階であり発行事例がないためダミーを配置した。

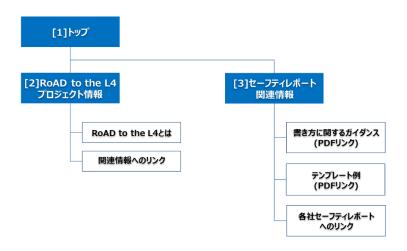


図 2.6.3-1 ページ構造

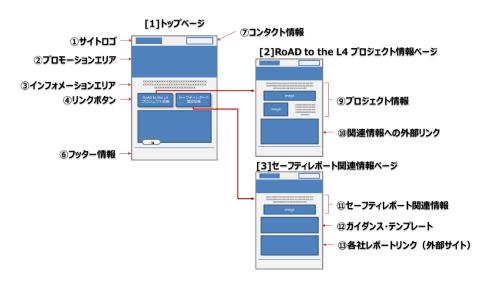


図 2.6.3-2 ページ構成

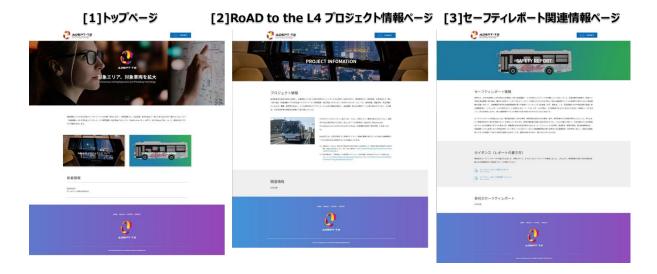


図 2.6.3-3 ポータルサイトデザイン

2.7. サービス社会実装ガイドラインの検討

2.7.1. サービス社会実装ガイドラインの位置付け

自動運転システム全体の ODD 設定の考え方を整理し、無人自動運転移動サービスを地域に導入する際の運行事業者の運用や地域関係者の機運や理解、協力の醸成に関わるプロセスと導入に向けた考え方を整理したものをサービス社会実装ガイドラインとして位置づけ、タスクフォースの議論や高度化検討の中での知見を反映し策定を目指す。サービス社会実装ガイドラインは、タスクフォースで議論する移動サービスユースケースでの役割分担や安全・サービス確保の考え方や、社会実装時の費用負担、補助金制度等との関係性が深く、現時点では記載する主な内容として以下が想定される。次年度以降、ガイドラインの活用方法、具体に記載する内容について検討を進める。

【移動サービスユースケースと関連する主な内容】

- ハンディキャップのある乗客が乗車する
- ・ 乗客が車内で移動し転倒する
- ・ 車内で乗客の安全を脅かすトラブルが発生する
- ・ 立席での乗客の安全への配慮(収支の面では立席は必要である)
- バスジャックなどの車内で乗客の安全を脅かすトラブルへの対応

【その他】

- ・ 社会実装におけるイニシャルコスト(車両購入、インフラ設置など)、ランニング コスト(車両整備やインフラ設備の管理など)に係る補助金制度、費用負担の考え 方
- ・ バス事業者や自治体など地域関係者との協働、役割分担の明確化
- 運行管理(車両の保管、整備点検)に関わる課題の整理

本年度は、サービス社会実装ガイドラインの一部として、無人自動運転移動サービス 事業者などが、自動運転車両の運行に携わる人員を対象に、自動運転車両の運行に必要 なルールや知識を共有するための運用ガイド(ドラフト版)を検討した。次項以降に運 用ガイド検討成果を示す。

2.7.2. 運用ガイドの検討

無人自動運転移動サービスの社会実装において、コストや技術の限界、サービス提供地域の実状などの制約によって、自動運転車両や遠隔監視など自動運転システムだけで必要な安全をカバーすることが難しく、運用方法の工夫(例えば始業前点検などでシステムの正常動作を確認)などにより補う場合がある。

しかしながら、サービス提供地域ごとの実情に合わせながら自動運転システムの安全に係る機能的な弱点を運用方法の工夫によって補うためには、一定以上の自動運転システムの専門知識が必要であり、サービス提供地域ごとに必要な人材などを確保し有効かつ十分な安全を確保する運用方策を策定することは難しい。

また、無人自動運転移動サービスは類型化し普及促進を図ることから、運用方法の工夫についても、異なる類型間でも共通して活用できる内容、同じ類型の中では共通して活用できる内容、類型や地域の実情などに合わせて個別に検討すべき内容などに分類することが可能であり、共通部分を可能な限り拡大することで確実かつ効率的に安全を確保できるようになる。

そこで、無人自動運転移動サービス事業者や自動運転システム開発者などが、運用における安全確保策を検討する際に参照することを想定した、自動運転サービスを安全に運用するための指針を示す運用ガイド(ドラフト版)を策定することを目標に、本年度は、既存の運用マニュアル記載事例や関係法令、関連する文献などを調査し、運用ガイドに記載すべき項目や記載内容などについて全体概要を検討した。

(1) 運用ガイドの策定方針

無人自動運転移動サービス事業者などが、自動運転車両の運行に携わる人員を対象に、 自動運転車両の運行に必要なルールや知識を共有するために必要な運用マニュアルを効 率的に作成する際に参照する運用ガイドを策定することを目指す。

運用ガイドには、運用マニュアルに記載すべき項目や事例などが、サービス・ODD・ 車両システムなどによって整理される類型ごとに示されることを想定する。例えば、運 用マニュアルに記載されるべき項目として「始業前の点検作業」が考えられるが、その 点検項目と内容は、ODDや車両システムに応じて異なると考えられる。

そこで、本年度は、移動サービスである旅客自動車運送事業のうち、一般乗合旅客自動車運送事業 (乗合バス)の業務を検討対象とし、他の事業については、2025 年度 40 箇所以上のレベル 4 社会実装を目指す展開計画に応じて、対象や内容の拡充を順次進めることとする。

(2) 運用ガイド策定の進め方

自動運転車の導入による一般乗合旅客自動車運送事業(乗合バス)の運用に関する業務には、運行管理や整備などに関する業務、乗務(運転以外)に関する業務、遠隔監視の業務などが存在し、自動運転レベルや遠隔監視・操作などを含む運用方法によって、それぞれの業務の担い手が変化する。そのため、自動運転車の区分(遠隔型、遠隔型以外)、自動運転レベル(Lv.2&3、Lv.4)、担い手(乗務員、遠隔操作者、自動運転システム、車掌、自動運転に携わる者)の組合せで運行パターンを定義した。

次に、交通事業者へのヒアリングをふまえて、一般乗合旅客自動車運送事業(乗合バス)の日々の業務、緊急時の対応に係る項目などを整理し、それを運用ガイドの章構成案とした。また、運用ガイドの記載内容については、手動運転車両による運行パターンにおける各項目での実施内容を整理し、自動運転システムを導入することで変化する業務や新しく追加が必要となる業務について検討した。

1) 無人自動運転移動サービスの業務の担い手

自動運転車の導入による乗合バス事業の乗務員の業務は、運転に関する業務、乗務(運 転以外)に関する業務、遠隔監視の業務に大別され、用いる自動運転システムにより担 い手が変化するため、業務や対応を行う担い手を以下のように整理して検討した。

■ 運行事業者

一般旅客自動車運送事業の許可をうけ、経営し、人事・任命権、決定権、決裁権等を有する者。(道路運送法における一般旅客自動車運送事業を経営する者、一般旅客自動車運送事業の許可を受ける者)

■ 運行管理者

運転の安全を確保する業務(乗務割の作成、休憩施設の保守、指導監督、健康管理など)を行う者。(道路運送法の第二十三条 運行管理者に基づく)

■ 整備管理者

自動車の点検及び整備並びに自動車車庫の管理に関する事項の処理を行う者。車両の保守管理(点検整備)及びサイバーセキュリティを確保し、自動車製作者等が定める各車両に固有の点検整備方式にも十分に配慮する。(道路運送車両法の第五十条整備管理者などに基づく)

■ 乗務員(従来の手動運転車両の乗務員、セーフティドライバを含む)

旅客自動車運送事業に係る旅客を運送する目的で運転しようとする者。レベル 2 自動運転の場合は、運転席に着座し周囲の安全を監視し自動運転システムを操作 する者。遠隔操作型ではないレベル 3 の場合は、運転席に着座し自動運転システ ムの作動継続が困難な場合に運転席で応対する者(通称セーフティドライバ)。 (道路交通法の第八十六条 第二種免許、「官民ITS構想・ロードマップ 2021」などに基づく)

■ 車掌(乗務員以外の乗務員(旅客輸送の視点))

道路及び交通の状況並びに輸送の状態により運転上危険があるとき、旅客の利便を著しく阻害するおそれがあるとき。非常時等において、適切に状況を把握し、運行中に必要となるもの(運転に係るものを除く。)について対応すること等を行う者。(旅客自動車運送事業運輸規則の第十五条 車掌の乗務、道路運送法の第二十七条 輸送の安全等、道路運送法の第二十八条 旅客の禁止行為、「限定地域での無人自動運転移動サービスにおいて旅客自動車運送事業者が安全性・利便性を確保するためのガイドライン」などに基づく)

■ 遠隔監視・操作者 (レベル 2, 3 では乗務員)

自動車から遠隔に存在する者が電気通信技術を利用して監視し、必要に応じその操作を行うことができる遠隔型自動運転システムを用いて、監視・操作をする者。 道路運送法上の乗務員に課された義務を負う。第二種運転免許を受けた者に限定する、指導監督を行う等の同法で求められている対応を行うことが必要。(「限定地域での無人自動運転移動サービスにおいて旅客自動車運送事業者が安全性・利便性を確保するためのガイドライン」などに基づく)

■ 保安要員(自動運転車両の視点)

遠隔型や特別装置自動車などで、抵触する保安基準があり、基準緩和を受けて公道実証が可能な場合、乗務員 1 名に加え、運行を補助する「保安要員」の配置が求められることもある。保安要員が乗車する場合は車掌業務も担うものとする。 (遠隔型自動運転システムを搭載した自動車の基準緩和認定制度の創設(第 6 回投資等ワーキング・グループにおいては、実績等をふまえてナビヤ車両については乗務員を補助する保安要員が 2021 年 4 月から撤廃された)

■ 自動運転に携わる者(遠隔監視者、自動運転車両の視点)

従来の「乗務員」や乗客等の単なる利用者ではないものの、自動運行にあたり状況 把握や連絡等の役割を果たす者が遠隔または車内のどちらかに存在する必要があ るとされており、このような運行に携わる者を「自動運転に携わる者³¹」と呼称し、 その位置付けや役割について以下のとおり想定する。なお、自動運転への関与の 内容や程度については現在検討が進められている。

- 遠隔にのみ存在する(車内には存在しない)。
- 遠隔からの運転操作は行わない。

³¹ 令和3年度警察庁委託調査研究 自動運転の実現に向けた調査検討委員会 検討結果報告書 p15【自 動運転に携わる者】

https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/council/3dai5kai.houkokusho.pdf

○ 1人で複数台の自動運転車両に関与する。

(令和2年度自動運転の実現に向けた調査検討委員会「自動運転の実現に向けた 調査研究報告書」に基づく)

2) 無人自動運転移動サービス運行パターンと各業務の担い手の変化

自動運転車の導入によるバス乗務員の業務の担い手の変化について、自動運転車の区分(遠隔型、遠隔型以外)、自動運転レベル(Lv.2&3、Lv.4)、担い手(乗務員、遠隔操作者、自動運転システム、車掌、自動運転に携わる者)の組合せによって、運行パターンを4種に整理した。 (表 2.7.2-1 参照)

運行パターン1 手動運転

運行パターン2 自動運転 (乗務員はセーフティドライバ)

運行パターン3 自動運転 (乗務員は遠隔監視・操作者)

運行パターン4 自動運転 (乗務員はシステム)

表 2.7.2-1 無人自動運転移動サービスの運行パターン

| | 運行パターン1 | 運行パターン2 | 運行パターン3 | 運行パターン4 |
|---------|---------|-----------|--------------|------------|
| 概要 | 手動運転車両を | 自動運転車両を | 自動運転車両を | 自動運転車両を |
| | 用いた、乗務員 | 用いた、運転席 | 用いた、遠隔に | 用いた、車内に |
| | が運転席にい | にセーフティド | 遠隔監視・操作 | 車掌(保安要員) |
| | る、従来運用の | ライバ(乗務員) | 者(乗務員)がお | がいる運用(想 |
| | 業務 | がいる運用(想 | り、車内に車掌 | 定:Lv.4 運行) |
| | | 定:Lv.2運行、 | (保安要員)が | |
| | | Lv. 3 運行) | いる運用(想定: | |
| | | | Lv. 2 運行、Lv. | |
| | | | 3 運行) | |
| 車両 | 従来の手動運転 | 自律型の自動運 | 遠隔型の自動運 | 自律型の自動運 |
| | 乗合バス車両 | 転乗合バス車両 | 転乗合バス車両 | 転乗合バス車両 |
| 自動運転レベル | _ | レベル2,3 | レベル2,3 | レベル4 |
| 乗務員 | 乗務員 | 乗務員(フォー | 遠隔監視・操作 | 自動運転システ |
| | | ルバック機能を | 者 | ム |
| | | 担うセーフティ | | |
| | | ドライバ) | | |
| 乗務員以外 | _ | _ | 車掌(保安要員) | 車掌(保安要員) |
| の乗務員 | | | | |
| 自動運転に携わ | _ | _ | _ | 自動運転に携わ |
| る者 | | | | る者(遠隔監視 |
| | | | | 者) |

- (3) 運用ガイドの章構成と記載内容
- 1) 運用ガイドの章構成

交通事業者へのヒアリングをふまえて、一般乗合旅客自動車運送事業 (乗合バス)の 日々の業務、緊急時の対応における項目を整理し、これを運用ガイドの章構成案とする。

第一章 日々の業務

- 1. 業務開始時(当日の運行開始前)
- 2. 出社時(自動運転車両の乗務員)
- 3. バス車両の準備・日常点検
- 4. 運行開始前の諸業務
- 5. 乗客乗車対応
- 6. 乗客降車対応
- 7. 乗客運送中~終点到着
- 8. 運行終了時の諸業務
- 9. 帰社時(自動運転車両の乗務員)
- 10. 業務終了時(当日の運行終了後)

第二章 緊急時の対応

- 1. 交通事故発生時の対応
- 2. 車両故障発生時の対応
- 3. 乗客トラブル時の対応
- 4. バスジャックへの対応
- 5. 危険物の持ち込み
- 6. 乗車定員のオーバ
- 7. ドアが開かない
- 8. ドアに乗客が挟まれる
- 9. 転倒者の対応
- 10. 荷物 (スーツケースなど) が車内で動く
- 11. 乗客の走行中の移動
- 12. 通過判断のミス
- 13. 乗客の運転・運用への干渉
- 14. 体調不調者への対応
- 15. 路側インフラ機器の故障

2) 運用ガイドの記載内容(一部の検討事例のみ掲載)

運用ガイドの記載内容については、手動運転車両による運行パターンにおける各項目での実施内容を整理し、自動運転システムを導入することで変化する業務や新しく追加が必要となる業務について検討した。

(A) 日々の業務において追加となる業務(遠隔監視・操作システム関連)

「遠隔監視・操作システム」の使用者は、遠隔型自動運転車の「乗務員」となるため、「乗務員」としての義務・業務があると考えられる。なお、遠隔監視に関する業務は、次の「遠隔監視システム」を参照。

■ 業務開始時(当日の運行開始前)

· 運行管理表の確認

遠隔監視・操作者は、運行管理者から運行管理表を受け取り、自分が遠隔監視・操作する路線、運転車両の確認を行う。

▶ 「操作」を含む場合、乗務員とみなされるため、現行の乗務員の業務を踏襲。

· 出勤点呼

遠隔監視・操作者は、運行管理者から出勤点呼を受ける。

- 1. 酒気帯び確認 (アルコール検知器に呼気吹込み)
- 2. 免許証の確認 (免許証をシステムにかざして、有効期限の確認)
- 3. 現在の運行状況等に関する確認
- ▶ 「操作」を含む場合、乗務員とみなされるため、乗務員の義務を負う(業務を担う)。

・ 遠隔監視・操作システムの起動

遠隔監視・操作者は、遠隔監視・操作システムを起動し、システムの日常点検を行う。 (事業者によっては、点検表に記入する)

▶ 現在、法制度の規定は無いが、車両と同じくシステムについても日常点検の必要性が考えられる。

・ 運行条件の確認

遠隔監視・操作者は、自動運転車両の ODD に基づき、運行条件を確認し、ODD を 外れる可能性がある場合も含めて、運行管理者へ報告し、運行の可否の判断と指 示を仰ぐ。

・ 遠隔監視・操作の実施

遠隔監視・操作者は、遠隔監視・操作システムを用いて、遠隔監視・操作を行う。

- 業務終了時(当日の運行終了後)
- ・ 遠隔監視・操作の日誌の記入

遠隔監視・操作者は、当日の運行を踏まえて、遠隔監視・操作の日誌をつける。 > 「操作」を含む場合、乗務員とみなされるため、現行の乗務員の業務を踏襲。

・ 遠隔監視・操作システムのオフ

遠隔監視・操作者は、遠隔監視・操作システムをオフする。 (システムのマニュアル に従い、ログオフまたはシャットダウンなどを行う)

(B) 日々の業務において追加される業務(遠隔監視システム関連)

「遠隔監視システム」の使用者は、自動運転に携わる者(警察庁「自動運転の実現に向けた調査研究報告書」)にあたり、自動運行の状況把握や連絡等の役割を果たす者として、以下の業務があると考えられる。ただし、法制度上で「自動運転に携わる者」(この場合は遠隔監視者)が負う義務、担う業務などの規定は整理されていない。

■ 業務開始時(当日の運行開始前)

運行管理表の確認

自動運転に携わる者(遠隔監視者)は、運行管理者から運行管理表を受け取り、自 分が遠隔監視する路線と車両の確認を行う。

▶ 警察庁「自動運転の実現に向けた調査研究報告書」における「状況把握」の業
務

· 出勤点呼

自動運転に携わる者(遠隔監視者)は、運行管理者から出勤点呼を受け、現在の運 行状況等に関する確認を行う。

警察庁「自動運転の実現に向けた調査研究報告書」における「状況把握」の業
務

・ 遠隔監視システムの起動

自動運転に携わる者(遠隔監視者)は、遠隔監視システムを起動し、システムの日常点検を行う。(事業者によっては、点検表に記入する)

▶ 警察庁「自動運転の実現に向けた調査研究報告書」における「状況把握」の業務

・ 遠隔監視の実施

自動運転に携わる者(遠隔監視者)は、遠隔監視システムを用いて、遠隔監視を行う。

▶ 警察庁「自動運転の実現に向けた調査研究報告書」における「状況把握・連絡等の役割」の業務

■ 業務終了時(当日の運行終了後)

・ 遠隔監視の日誌の記入

自動運転に携わる者(遠隔監視者)は、当日の運行を踏まえて、遠隔監視の日誌を つける。

▶ 警察庁「自動運転の実現に向けた調査研究報告書」における「連絡等の役割」 の業務

・ 遠隔監視システムのオフ

自動運転に携わる者(遠隔監視者)は、遠隔監視システムをオフする。(システムのマニュアルに従い、ログオフまたはシャットダウンなどを対応)

(C) 日々の業務において追加される業務(自動運転車関連)

旅客輸送に用いる自動運転車の乗務員(セーフティドライバ、遠隔操作者)は、「バス車両の準備・日常点検」、「運行終了時の諸業務」について、従来の乗務員の業務に追加される業務がある。手動のバス車両の場合、日常点検の項目の規定がある。今後、自動運転車の場合、自動運転バス車両の準備・日常点検について、自動運転システムの利用に基づく規定項目が追加される可能性も考えらえる。

■ バス車両の準備・日常点検

- ・ 乗務員による車両での自動運転システムの立ち上げ 乗務員(または乗務員)は、自動運転システムを立ち上げる。
- ・ 日常点検(自動運転)@車両の周り 乗務員(または乗務員)は、自動運転車両に関する日常点検の結果を日常点検表に 書き入れる。
- ・ **日常点検(自動運転)@運転席** 乗務員(または乗務員)は、自動運転システムに関する日常点検の結果を日常点検 表に書き入れる。

■ 運行終了時の諸業務

・ 自動運転システムを停止する

乗務員(または乗務員)は、自動運転システムを停止する。

(D) 日々の業務において変化する業務(自動運転車関連)

自動運転車を用いた旅客輸送事業(特に乗合バス事業)を行う場合、運行前後の諸業務や、運行中に遭遇する様々なシーンへの対応として走行環境条件(ODD)の範囲外と判断する場合を定義し、その際の対応方針や対応方法を検討し、業務として整理する必要がある。

■ 運行開始前の諸業務

・発進

乗務員は、車両を発進させて最初の停留所に向かう。

移動(回送)

乗務員は、営業所→最初の停留所へ、回送で移動する。

■ 運行中(乗客運送中~終点到着)

・ 交通規則に従った必要な一時停止

乗務員は、停止線前で車両の一時停止が必要な場合は、緩やかにブレーキを踏み こみ車両を停止させる。(乗客人数により、ブレーキのかかり方が異なるため、乗 客によりブレーキのかけ方を変更)

· ぬかるみや水たまりの上通過

乗務員は、速度を下げて徐行させ、泥土、汚水等を飛散させないようにする。

· 緊急車両接近

乗務員は、交差点を避けて、車両を道路の左側に一時停止させる。

· 踏切通過

乗務員は、踏切前で一時停止後、安全を確認し、変速装置を操作せずに踏切を通過させる。

移動(回送)

乗務員は、終点停留所→営業所へ、車両を回送する。

■ 運行終了時の諸業務

・ 営業所でバスを所定の位置に駐車

乗務員は、バス車両を所定の位置に駐車する。

(E) 緊急対応において追加される業務(路側インフラ関連)

路側インフラ(磁気マーカ、電磁誘導線、路車間通信を含む路側センサなど)を用いる場合、路側インフラ機器の故障を確認した際の対応手順や内容などを整理する必要がある。

■ 路側インフラ機器の故障

· 車両停車

乗務員は、車両を安全な場所に停車させる。

· 運行管理者へ報告

乗務員は、運行管理者に路側インフラの故障を報告する。

・ 路側インフラ保有者への連絡

運行管理者は路側インフラ管理者に故障の旨を伝え、対応を促す。

運行の継続可否の判断

連絡を受けた路側インフラ管理者は、修復可能かの判断をする。

振替輸送の判断

連絡を受けた運行管理者は、同車両による運行を中止する場合、利用者の振替輸送の手配をする。

・ 乗客の乗り換え

乗務員は、次の便(または臨時便)に乗り換えてもらうため、乗客に対して必要な指示を出す。

(4) 運用ガイドの策定に向けた、今後の検討ポイント

実際の旅客輸送事業(主に乗合バス事業)における営業運行を想定した際に、乗務員と車掌の業務整理、レベル4運行での運行責任(運転責任)の所在、遠隔監視システムの緊急停止ボタンの位置づけなど、既存の法制度や今後の法制度の整備をふまえて、関係者間で共通の認識を持つことが重要と考えられる。

第3章 車両開発 (多様化開発)

本事業において、無人自動運転移動サービスを 2025 年度に 40 箇所で実施するという 最終目標に向けて自動運転バスの高度化に加え、多様な地域での走行を可能とする開発 を行う。

3.1. 自動運転システムの多様化

自動運転システム要素については、車載センサの死角をなくすこと、それに伴う障害物認識精度を向上させることなど、高度化に向けた車両開発と重複する箇所が多いため割愛する。

本年度はひたち BRT 専用道区間における走行方法等の検討を行ってきたが、専用道かつ走行車両が決まっているため検討範囲は限られており、様々な地域で走行させる場合、①車両の多様化、②走行経路の多様化に対応可能な自動運転システムが求められる。

3.1.1. 車両の多様化

本年度高度化開発を実施した自動運転バスのベースとした車両は中型(幅 2.3m、長さ 9m、定員約 60 名)に分類されるが、路線バスサービスに用いられる車両は大型(幅 2.5m、長さ 11m、定員約 80 名)、小型(幅 2.1m、長さ 7m、定員約 30 名)の車両も用いられており、開発するシステムはこれらについても適用可能であることが求められる。

高度化開発の対象路線としているひたち BRT 専用道区間において、過年度事業において小型の自動運転バスを走行させており、本事業では大型バスの走行可能性について検討を行った。

大型バスを同経路で走行させるにあたり、搭載センサの種類、配置を中型バスと同等とした場合、多様化に向けては走行経路に対する制御精度の検証が必要となる。ひたちBRT専用道区間を想定した場合、車両横方向制御精度と大きな曲率を持つ経路での目標軌跡追従性能について検証が可能である。検証を進めるにあたり、大型バス用の自動運転制御ソフトウェアへSLAM機能を搭載し、路側物との接触を回避する機能の追加を行った。

ひたち BRT 専用道区間には磁気マーカが敷設されており、敷設設計は中型バスの走行 軌跡をもとに実施されていたため、大型バスが磁気マーカ上を走行可能か検証する必要 がある。このため、磁気マーカの敷設図をもとに磁気マーカ上を大型バスが走行した場 合に路側物と接触する可能性がある箇所について、幾何学的検証を行った。

検証を行った箇所は臨海工場西バス停と大甕駅の間にあるカーブであり、ひたち BRT 路における磁気マーカ敷設区間では旋回半径の小さい箇所である。この区間での大型バス走行軌跡は磁気マーカ上を走行した場合でも路側物との接触はないことを確認した。このほかに寺方バス停についても同様の検証を行い、磁気マーカ上を走行可能であることを確認した。

3.1.2. 走行経路の多様化

走行経路の多様化に向けて、高度化開発で検証を行った SLAM による自己位置推定精度について、ひたち BRT 以外の地域についても実施した。

SLAM の適用性を検討した地域は、大津市、北九州市、三田市、横浜市の4地域である。この結果、大津では、琵琶湖沿いの並木道において自己位置推定誤差が大きくなっていたが、その他のエリアでは安定して自己位置推定が可能であることを確認した。北九州では、北九州空港への連絡橋や、海沿いの周囲に建築物が少ないエリアで自己位置推定誤差が大きくなっているが、対策検討箇所が明確になっていることが分かる。三田では、コース全体を通して並木道となっており、この影響により自己位置推定誤差が大きくなっていることが推察され、SLAM 利用が困難であると考えられる。横浜では、全体を通して安定した自己位置推定が可能と考えられ、同コースは周囲に建物が多く、並木道のような区間もないため、SLAM を利用しやすい環境であると考えられる。

上記の結果より、無人での自動運転サービスを行う地域を増やしていく過程において 自己位置推定手段の多重化は重要な要素であり、各手法が得意とする地域が存在すると 考えられるため、今後も様々な地域でのデータを収集するとともに、他の自己位置推定 手法についても探索を行う必要がある。

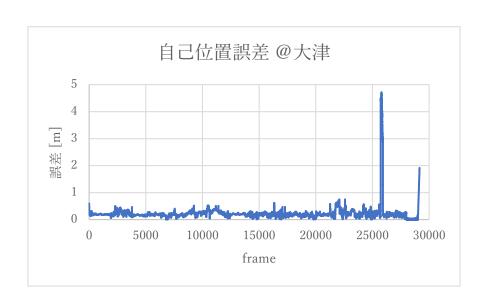


図 3.1.2-1 大津市における SLAM 適用時の自己位置推定誤差(オフライン)

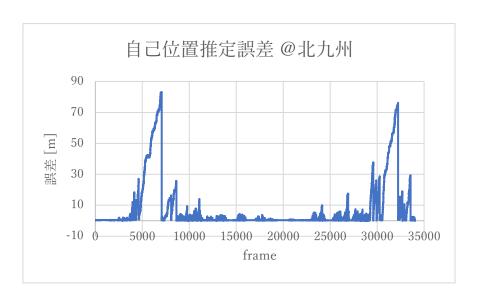


図 3.1.2-2 北九州市における SLAM 適用時の自己位置推定誤差 (オフライン)

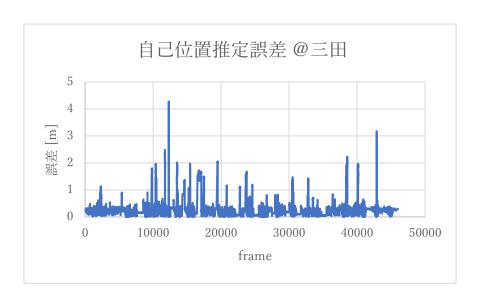


図 3.1.2-3 三田市における SLAM 適用時の自己位置推定誤差 (オフライン)

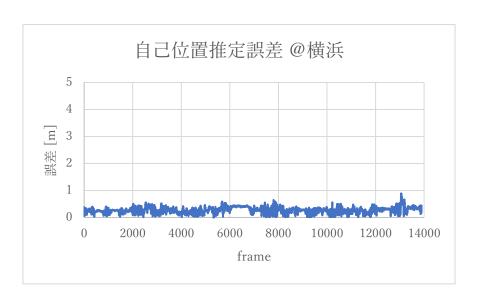


図 3.1.2-4 横浜市における SLAM 適用時の自己位置推定誤差(オフライン)

第4章 無人自動運転移動サービス内容、事業モデルの整理

4.1. 無人自動運転移動サービス類型の検討

多様なエリアで、多様な車両を用いたサービスを多地域で展開することを念頭に幅広く無人自動運転移動サービスの課題、ニーズを整理する。情報収集にあたっては、過年度に一般社団法人日本自動車工業会(自工会)にて実施された全国バス事業者を対象としたアンケート調査、今年度実施予定の地方自治体を対象としたアンケート調査と連携する他、ラストマイル自動移動サービスの早期実装を目指す事業者などを支援することを目的に、設立されている「RAPOC ラボ」での取組についてヒアリングを実施するなど、無人自動運転移動サービスに関する多様な取組・意見を収集・整理する。収集・整理結果をもとに想定される ODD、サービスモデル、運行及び事業体制等の関係性の分析を行う。

4.1.1. 無人自動運転移動サービス実装に向けた課題、ニーズの分析

実装に向けた課題や取組状況を把握するため、バス事業者、自治体を対象にアンケート・ヒアリングを実施した。無人自動運転移動サービスの課題を把握し、制度整備、対応策 (補助金等) の見直しのための検討材料として整理する。無人自動運転移動サービスのニーズを把握し、システム開発、サービス提供に繋がる知見として整理する。

整理にあたり、バス事業者、自治体全体及び無人自動運転移動サービスの導入意欲が 高い地域ごとの違いも把握する。

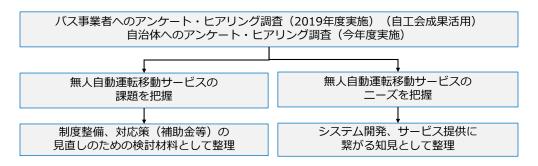


図 4.1.1-1 検討の位置付け

(1) バス事業者アンケート・ヒアリング調査

過年度に自工会にて実施された全国バス事業者を対象としたアンケート・ヒアリング 調査結果を開示いただき分析を行った。バス事業者全体、無人自動運転移動サービスの 導入意欲が高い地域の課題、ニーズの観点から分析を行った。

(2) 自治体アンケート・ヒアリング結果

自治体アンケート・ヒアリング調査は、一般社団法人日本自動車工業会と協働で実施した。バス事業者全体、無人自動運転移動サービスの導入意欲が高い地域の課題、ニーズの観点から分析を行った。バス事業者全体、無人自動運転移動サービスの導入意欲が高い地域の課題、ニーズの観点から分析を行った。自治体全体、無人自動運転移動サービスの導入意欲が高い地域の課題、ニーズの観点から分析を行った。

(3) 「RAPOC ラボ」での取組の整理

1) 「RAPOC ラボ」の概要

「RAPOC ラボ」は、地域が自動運転移動サービスを実装するにあたり、「許認可を含む地域の合意形成」と「走行環境の安全性確保」が円滑に進むよう、社会実装のプロセスの定型化に向けた検討を行っている。RAPOC ラボでの注力領域を以下に示す。

【許認可を含む地域の合意形成】

テーマ1 | 社会的価値の評価手法

自動運転移動サービスの社会実装に向けて、地域での合意形成を促進するため、直接 的影響(主に経済的価値)だけでなく、間接的影響(主に社会的価値)も含めて価値を 可視化する手法を検討する。

テーマ 2 | 自動運転移動サービスの事業構造

自動運転移動サービスのハード・システムの整備が促進されるよう、官・民の役割と 費用負担、資金調達手法を整理し、地域での合意形成と社会実装が進むよう、事業構造 を検討する。

テーマ3 | 自動運転の関連情報のナレッジ化の推進

自動運転移動サービスでは、自動運転車の公道走行やインフラ整備の許認可を含む合意形成に向けて、様々な知見が求められる。社会実装が効率的に計画的に進むよう、手順やポイントを整理する。

【走行環境の安全性確保】

テーマ4 | 走行環境の安全性確保

自動運転移動サービスにて、合理的な走行経路の選択や、安全対策の検討ができるよう、走行環境を道路構造単位で整理し、単位ごとに走行リスクを確認できる手法を検討する。

テーマ5|自動運転移動サービスの運用の安全性確保

システムが運転を担う無人自動運転移動サービスについて、安全性を担保しつつ事業 者負担を減少させるために、従来運転者が担っていた運転以外の業務をどうすべきか検 討する。

2) 「RAPOC ラボ」へのヒアリング

「RAPOC ラボ」に「テーマ 2:自動運転移動サービスの事業構造の取組み」について ヒアリングを実施した。「テーマ 2:自動運転移動サービスの事業構造の取組み」では、 インフラ整備まで含めた社会実装時の資金調達や事業構造の検討を行っており、自動運 転移動サービスに必要となるインフラ整備の視点についてヒアリングした。以下にヒア リング結果を示す。

○社会実装時の公共・民間の役割の整理

自動運転移動サービスの安全性を向上するためには、歩者分離・自己位置推定を目的とした道路改築及び道路附属物整備が有効となる。道路法において、道路及び道路附属物の管理者は、地方公共団体などと規定されている。特に自動運行補助施設は、令和 2年度の道路法改正時に道路附属物として新たに規定された。このように法制度上の整備は進められたが、地方公共団体などがインフラを率先して整備する動きに至っていない。

○経済的・社会的価値の可視化/定量化による地域内の合意形成

自動運転移動サービスの実装及びインフラ整備による経済的価値のみならず、社会的価値までを含めた便益を可視化/定量化すること、道路管理者である公共がその必要性に納得してインフラを整備することが重要。

○インフラ整備時の資金調達手法・事業構造の整理

道路及び道路附属物の管理は、地方公共団体などが一般会計予算・国庫支出金・地方 債などから資金を調達し、費用を負担する形が基本となる。ただし、民間の資金やノウ ハウを活用して設計・建設・運営を行うことにより、効率的かつ効果的に公共サービス を提供できる場合は、官民連携手法の活用も選択肢に上がる。例えば、路側センサの設 計・建設からデータの活用までを民間事業者が一体で行うことでコスト削減が期待でき る。さらに取得したデータを災害検知・交通量測定などの交通分野以外の公共サービス や、観光・保険などの民間サービスにも活用することで多角的な収益確保も見込める。

(4) まとめ

バス事業者、自治体アンケート・ヒアリング結果等で整理した課題、ニーズから多様なエリアで、多様な車両を用いたサービスを多地域で展開するための検討課題を整理した。今後、タスクフォース等も活用し継続的に以下の課題解決に向けて検討を進めていく必要がある。

- ・ ハンディキャップのある乗客への対応
- ・ 立席での乗客の安全への配慮(収支の面では立席は必要である)
- ・ バスジャックなどの車内で乗客の安全を脅かすトラブルへの対応
- ・ 車内乗務員の必要性 (無人自動運転に対する乗客の受容性)
- ・ 運行管理者、遠隔監視者など自動運転サービスに関わる者の資格要件の明確化
- ・ 社会実装におけるイニシャルコスト(車両購入、インフラ設置など)、ランニング コスト(車両整備やインフラ設備の管理など)に係る補助金制度、費用負担の考え 方
- ・ バス事業者や自治体など地域関係者との協働、役割分担の明確化
- ・ 運行管理(車両の保管、整備点検)に関わる課題の整理
- ・ インフラ整備まで含めた社会実装時の資金調達、事業構造の検討

4.1.2. サービス類型の検討

(1) 車両タイプと運行形態等の考え方の整理

これまでの自動運転サービスの実証実験の実績、タスクフォース委員へのヒアリングから、車両タイプと移動速度、運行形態、立席の有無の考え方を整理した。以下に整理した結果を示す。

| | 表 4.1.2-1 車 | 両タイプと運行形態等の考え方 |
|-------|-------------|----------------|
| 車両タイプ | 移動速度 | 運行形態 |

| 車両タイプ | 移動速度 | 運行形態 | 立席の有無 |
|---------|-------|---------------|-------|
| カート | 低速 | 定時定路線、デマンド | なし |
| | | (エリア・運行時間帯固定) | |
| 小型バスタイプ | 低速・中速 | 定時定路線 | あり |
| 中・大型バスタ | 中速・高速 | 定時定路線 | あり |
| イプ | | | |
| 乗用タイプ | 中速・高速 | 定時定路線、デマンド | なし |
| | | (エリア・運行時間帯固定 | |

(2) 移動エリア・ネットワークの考え方の整理

サービスを検討する上で重要な要素と想定される移動エリア・ネットワークについて、 認識の共有化を図るため考え方を整理した。

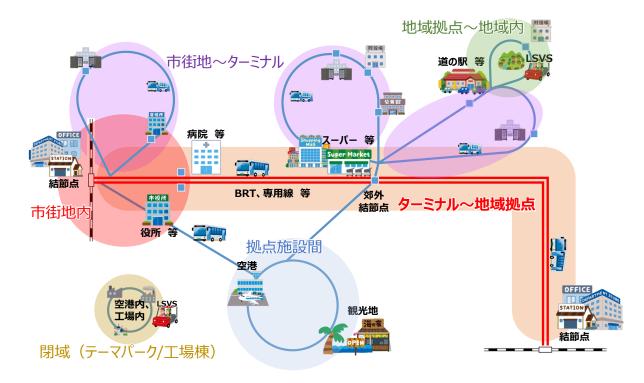


図 4.1.2-1 移動エリア・ネットワークイメージ

(3) サービス類型案の検討

2025年度までの社会実装を目指す時間軸、4.1.1で整理した課題、ニーズ、タスクフォースの委員に確認したサービスを検討する上での優先度の高い分類要素から無人自動運転移動サービスのサービス類型案を検討した。

(4) 代表的な移動サービスユースケースの検討

(3)で検討したサービス類型案から現状は乗務員が対応しているが、将来的に無人化となった場合に、役割分担等を含めて検討が必要なケースを検討し、ユースケースを抽出した。

ユースケースは、先行事例を参考に、大半のサービス類型に共通する課題を抽出している。なお、ユースケースは、車両と周辺交通参加者だけでなく、乗員・乗客等を含めて一連の行動・動作において一部分をくり抜いたものと定義した。「ユースケース」を使用するときは、車外安全が中心である自動走行ユースケース、車内安全が中心である移動サービスユースケースに使い分ける。

4.2. 事業モデルの多様化に向けた検討

多様なエリアでの無人自動運転移動サービスの展開に向け、最適な事業モデルの在り 方を検討する。最適な事業モデルの在り方について検討を進めるにあたって、中型バス 実証実験関係事業者や地方公共交通事業者や地方自治体等を対象としたヒアリング調査 を実施し、自動運転車両システムに求める機能やコストの他、地域ニーズ等を把握する。 また、事業性を高める取組として、地域公共交通の維持・完全に関わる補助制度等を整理し、制度活用にあたっての留意点等を整理した。

4.2.1. 自動運転車両システムに求める機能、ニーズ、コストの整理

中型バス実証実験関係事業者や地方公共交通事業者や地方自治体等を対象としたヒア リング調査を実施し、自動運転車両システムに求める機能やコストの他、地域ニーズ等 を把握した。

(1) バス事業者

| 77 17 | 17日 | 上 点 |
|-------|-----|---|
| 項目 | | 内容 |
| 求める機能 | • | 技術開発及び事業者に対する 技術支援の一層の取組の強化 が求 |
| | | められている。 |
| | • | 想定している運転自動化の難易度について、最も多い回答は「① |
| | | 高度な自動化」7 社で、これは <u>「歩車分離の無い一般生活道路」を</u> |
| | | <u>前提</u> としている。 |
| | • | 運転自動化を想定する車両について、 <u>中型バス以上でないと採算</u> |
| | | がとれないという意見と小型バスやワンボックスカー等を想定 |
| | | しているという意見があり、各社ごとに想定する車両は異なる。 |
| | • | 自動運転バス専用(優先)道路の設置や運行支援インフラ(磁気 |
| | | マーカ等)の整備 等が必要となる。 |
| | • | 無人運転の場合は、 遠隔監視・操作者と乗客とのコミュニケーシ |
| | | <u>ョンのためのシステム</u> (チャットロボットなど)が必要である。 |
| コスト | • | 採算性の課題を克服するために、 国や自治体からの補助金が必要 |
| | | であるとともに、「地域公共交通の維持には、 <u>利用者や地元の住</u> |
| | | 民によるさらなる費用負担(公助)が必要 である」との意見が出 |
| | | された。 |
| | • | 運転自動化のイニシャルコストが高いことが予想されることか |
| | | ら、バス車両は自治体等の公共が所有し事業者に運行委託する「公 |
| | | <u>有民営方式」を検討</u> する必要がある。 |
| 地域ニーズ | • | シャトル(BRT 等の運転自動化)とフィーダー(郊外へのバス) |
| | | の結節点での乗り換えへの利便性の確保と乗客の理解・受け入れ |
| | | <u>が必要</u> である。 |
| | • | 運行管理者や添乗員等の資格要件、添乗員の大型二種免許保有の |
| | | 要・不要等、運行管理の法体系を運転自動化にも対応したものに |
| | | 作り変えるべき。 |

(2) 自治体

| 項目 | 内容 |
|-------|---|
| 求める機能 | ・ 自動運転を実現するためには、駐停車車両の回避や狭隘区間での |
| | 対向車とのすれ違い等、自動運転の 技術水準の向上 やトンネルや |
| | 橋などでの GPS 感度向上 が必要である。 |
| | ・ 車両単独での自動走行は現段階では難しいため、信号情報、人・ |
| | 車両検知等の インフラ側からの支援も活用 する必要がある。 |
| | ・ GPS の感度が悪い箇所や見通しの悪い箇所等は 道路インフラ等の |
| | <u>支援が必要</u> となる。 |
| | ・ 実証実験では、1:1 の遠隔監視となっているが、採算性を確保する |
| | ため、自動運転サービス時に導入する 遠隔監視は 1:N(最低でも |
| | 遠隔監視者1名で車両2台以上を監視)の実現が必要となる。 |
| コスト | ・ 車両費の低価格化が進めば、運転自動化によるコスト削減が実現 |
| | でき、バス路線を維持することができるのではと期待している。 |
| | ・ 自動運転走行補助のための磁気マーカの有用性は感じているが、 |
| | 道路補修と併せて磁気マーカの補修が増えており、 <u>イニシャルコ</u> |
| | ストと同様の金額がメンテナンスコストとして発生 しているた |
| | め、 <u>磁気マーカの維持が課題</u> となっており、国からの補助等があ |
| | ると良い。 |
| 地域ニーズ | ・ 自動運転のビジネスモデルは <u>市街地で成立すると考えており</u> 、観 |
| | 光面というよりも、通勤・通学・買い物・通院など <u>「人の移動」</u> |
| | <u>の活用が中心になる</u> と考えている。 |
| | ・ 都心を結ぶ鉄道が現在ないため、 自動運転が鉄道の代わりに高頻 |
| | 度で運行 することを一つのイメージとして持っている。 |
| | ・ ポンチョなど小型バスでも立ち乗りが認められればビジネスと |
| | して成立可能である。 |
| | ・ 自動運転サービスの導入にあたり、EV(電気自動車)の活用や顔 |
| | 認証システムの導入など <u>新技術の取組の踏まえた検討を進めて</u> |
| | <u>いく必要</u> がある。 |

4.2.2. 無人自動運転移動サービスの事業構造

無人自動運転移動サービスの事業構造について、官・民の役割、想定される収支、インフラ整備の役割の視点で現状の法制度等を踏まえ検討した。

(1) 官・民の役割分担(旅客輸送サービスとインフラ整備の分離)

自動運転車を用いた旅客輸送サービスは、民営・公営の視点で、2種類の事業構造が想定される。

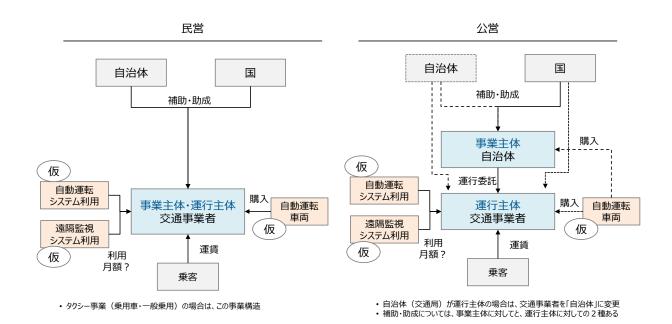
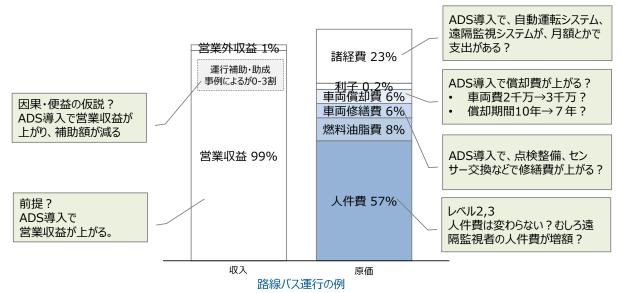


図 4.2.2-1 民営・公営の視点での旅客輸送サービスの事業構造

(2) 旅客輸送サービスにおける収支と原価

セーフティドライバーがいる自動運転車両を導入する場合、人件費・車両修繕費・車両償却費・諸経費が増額になると考えられる。路線バス運行の場合の収支、原価の割合について国交省資料をベースに整理した。以下に整理した結果を示す。



- 国交省 | 経常収支率 92.8%
- ・ 国交省 | 黒字事業者は、調査対象事業者全体の27.7%
- タクシー事業(乗用車)であっても、人件費が多くを占めるのは変わらない

図 4.2.2-2 路線バス運行の場合の収支と原価 (例)

(3) インフラ整備(施設区分)

自動運転で考えられるインフラ整備は、道路、道路附属物、道路占用物件、占用物件 への共架を想定する。

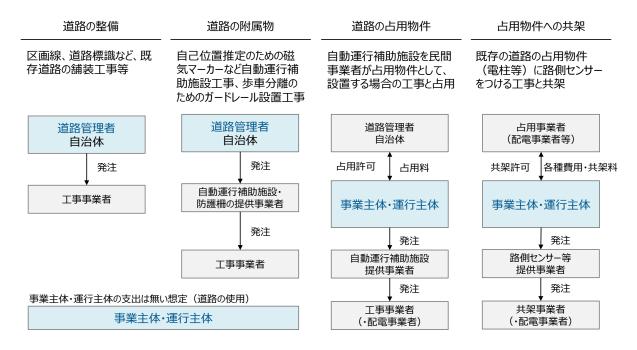


図 4.2.2-3 自動運転で考えられるインフラ整備と関係主体

(4) インフラ整備の担い手

無人自動運転移動サービスの導入でインフラ整備を行う場合、「磁気マーカ、電磁誘導線」と「路側センサ」の担い手(道路管理者、または民間事業者)について現状の考え方を整理した。

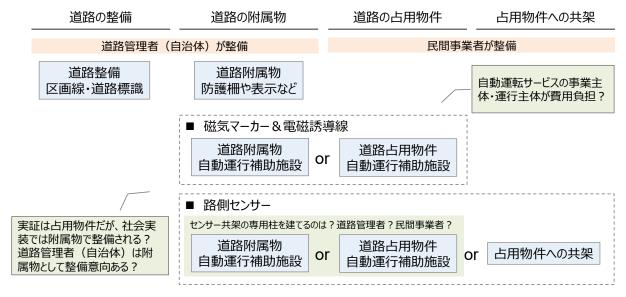


図 4.2.2-4 インフラ整備の担い手

4.2.3. 地域公共交通の維持に関わる補助制度の検討

事業性を高めるための取組の整理として、公共交通に関する補助金制度等を整理した。 4.2.2 で整理した現在の地域公共交通の費用負担の考え方、自動運転を想定した場合のインフラ整備の考え方など、事業持続性に関する視点を踏まえ調査を行った。

整理にあたっては、公共又は民間事業者が、無人自動運転移動サービスを実装する際に、既存の補助金制度の中から適用可能な補助制度を、費目ごとに参照/確認するための 資料となるよう留意した。

(1) 調査方針

以下の調査方針で整理を行う。

- 対象物(車両・道路など(言い換えるとリソース))+費用発生行為(購入・新設・ 改築など)の組み合わせを対象。
- ・ 対象物・費用発生行為は、原則、各法制度での規定に基づき整理する。
- ・ 対象物は、「上(公共交通関連)」と「下(インフラ関連)」の両者を調査対象と する。

(2) 対象

公共交通、インフラ整備、自動運転、公共交通との親和性の視点で調査を行った。

- ◆公共交通の視点
- ・車両 購入費
- ※路線バス、コミュニティバス、デマンドタクシー等の車両を想定(場合によっては EV 等に特定される場合もあり)
- ・自動運行装置 購入費(使用費)
- 運行補助
- ◆インフラ整備の視点
- •道路 新設費
- 道路 改築費
- 道路附属物 設置費
- ・道路附属物 修繕・維持費 等
- ◆親和性が高そうな補助金調査
- ・バス停、バスロケ、配車アプリ、水素バス/EV 等

(3) 調査方法

インターネットを活用し国、地方自治体の補助金等の調査を実施する。補助制度等は、「補助事業」「交付金」「その他(無利子貸付等)」に分類し、誰から誰への幾ら(上限/補助率等)程度、補助されるのかを整理した。調査は、補助制度の分類、補助等の主体(担当省庁/自治体、担当部局)、補助対象者、補助額(補助率/上限など)、期間(例:R3年度のみ、R3年度まで、など)、その他条件の項目で行った。

(4) 代表的な補助事業

乗合交通(主に乗合バスや自家用有償輸送)では、「地域公共交通確保維持改善事業」の「地域の特性に応じた生活交通の確保維持(地域公共交通確保維持事業)」の補助事業の活用が基本となる。

地域公共交通確保維持事業は、バス交通や離島航路・航空路といった生活交通の確保 維持を支援する事業で、以下の7つの補助を行っている。

- 1. 運行補助(地域間幹線)
- 2. 運行補助(地域内フィーダー)
- 3. 車両補助 (減価償却費及び金融費、車両保有が運行事業者の場合)
- 4. 車両補助 (購入額、公有民営の場合)
- 5. 車両補助 (購入額、自家用有償旅客運送の場合)
- 6. 講習補助 (講習費、自家用有償旅客運送の場合)
- 7. 車両補助(改造費、貨客混載用)

(5) 国の補助制度等の調査結果

国の補助制度等の調査結果の概要を以下に示す。詳細な調査結果は資料編に記載する。

表 4.2.3-1 国の補助制度等の調査結果

| カテゴリ | 費用 | 対象·備考 | | | | |
|--------------------------|---|-------------------------------------|---------------|--|--|--|
| 運行補助 | 深仁弗田 | 地域間幹線 | | | | |
| 连11冊切 | 運行費用 | 地域内フィーダー | | | | |
| | 減価償却費及び金融費 | 車両保有が運行事業者の場合 | | | | |
| 車両補助(用途別) | 購入額 | 公有民営の場合 一般乗合・一般乗用・自 | | | | |
| | 順人 領 | 自家用有償旅客運送の場合 | 有償旅客輸送事業にて利用さ | | | |
| | | ノンステップバス・リフト付きバス | れる主な補助制度等 | | | |
| 本王提弘(本廷 则) | Π# 3 <i>σ</i> #: | 福祉タクシー | | | | |
| 車両補助(車種別) | 購入費 | BRT連結バス | | | | |
| | | ハイブリッドバス・トラック、天然ガスバス・トラック | | | | |
| 主王学 摆叶 | 唯 1 | 燃料電池タクシー、電気バス、プラグインハイブリッドバス等、充電設備等 | | | | |
| 車両等補助 | 購入費·工事費 | 電気タクシー、プラグインハイブリッドタクシー、電気トラック、充電設備等 | | | | |
| 車両補助(その他) | 改造費 | 貨客混載用 | | | | |
| 講習補助 | 講習費 | 自家用有償旅客運送の場合 | | | | |
| ☆ ₩ △ | | 社会資本整備総合交付金 | | | | |
| 交付金 | _ | 防災安全交付金 | | | | |
| 無利ヲ代は | 道路整備費 | 地方道路整備臨時貸付金、地方道路整備 | | | | |
| 無利子貸付 | 設置工事費 | 自動運行補助施設 | | | | |
| 道路整備の補助 | 新設·改築費、維持費、修繕費 | 直轄国道、補助国道、都道府県道、市町村道 | | | | |
| 、 → = / ※ 3 +# 0上 | \ | 配車システム | | | | |
| システム導入補助 | システム費用 | バスロケーションシステム | | | | |

(6) 地方自治体の補助制度等の調査結果

地方自治体の補助制度等の調査結果の概要を以下に示す。

表 4.2.3-2 地方自治体の補助制度等の調査結果

| カテゴリ | 補助制度 | | 備考 | |
|------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------|--|
| 交付金 | 免許返納者支援交付金(那須塩原市) | | | |
| 運行補助 | 地域バス運行事業補助金(那須塩原市) | 自治体の運行補助 | 路線バス向け | |
| 運行補助 | 生活バス路線維持費補助金(那須塩原市) | (名称が異なることも あるが、基本的に他自 | コミュニティ交通向け | |
| 運行補助 | バス運行対策費補助金 (那須塩原市) | 治体も同様) | 国庫協調補助を用いた補助でコミュニティ交通向け | |
| 負担金 | 新型コロナ対策高齢者バス・タクシー利用促進事業負担金(沼津市) | | - | |
| 車両補助 | ハイブリッドバス導入補助金 (東京都) | | _ | |
| 設置補助 | バス停の上屋・ベンチの設置補助 (町田市) | | - | |

4.2.4. MaaSによる他の移動手段との連携やデータ連携等の検討事例の整理

(1) 先進パイロット地域が実施した取組とテーマ類型

令和3年度地域新 MaaS 創出推進事業において整理された「新しいモビリティサービスの社会実装に向けた知見集」から、令和3年度採択地域の取組とテーマ類型を整理するとともに、テーマ別の検証結果・導入効果や他地域で実施する際の留意点を整理した。なお、収集した事例は、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(無人自動運転等の先進 MaaS 実装加速化のための総合的な調査検討・調整プロジェクト)」業務とも連携し、情報を収集・整理した。

第5章 遠隔監視システム開発

5.1. 遠隔監視者の役割検討(役割毎の負荷の定量化に向けた構成要素の洗い出しと評価 【多様化の観点】)

高度化の章で述べた遠隔監視者に求められた役割は、特にひたち BRT における無人自動運転移動サービスを想定した条件や環境、設定に基づいたものである。他方で、本プロジェクトの目標である無人自動運転移動サービスの 40 地域への横展開を考えると、様々な条件や設定など、できる限りの一般化を行っていく必要がある。そのため、多地域に展開していく際において、遠隔監視を用いた無人自動運転移動サービスの設計の際に必要な情報として、遠隔監視者の役割をどのように設定するか、遠隔監視者に任せられるタスクの分量はどのくらいか、遠隔監視者に求められるスキル等に関係する情報を算出していくための検討が必要となる。

今年度では、それらの役割毎に求められるタスクの定量化の提案と役割において構成される要素およびそれらがどの程度対応できるかについての検討を行った。加えて、今年度の検討が本当に被験者実験として評価が可能かという点においては、高度化の章における遠隔監視者用の HMI の検討において紹介した実験での検討結果より、本項で述べている手法での評価が可能であることを示した。これは、本項の後半でも説明しているが、評価実験のための実験システムは同じものを利用するためであり、HMI の検討実験において実験が可能であったため、本項においての評価実験も可能であると考えるためである。以下では、役割として参考にした情報や役割の定量化の考え方、これまでの既存手法を踏まえた検討結果について詳細に説明する。

遠隔監視者におけるタスクの定量化の考え方について説明する。なお、今年度はまず通常時でのタスクの定量化を想定しているが、いわゆる通常時の中での異なるタスクも考慮し、異なるタスクに移行するモード遷移についても考慮した検討となっている。一人の人間が監視を行う場合において、適切な監視の状態を仮定すると一定時間(1-5分程度を想定)あたりの人の処理能力 (R) が作業量 (α) と切り替えコスト (β) を足したものを上回る必要があるため、下記の式が成り立つことになる。

$$R > \alpha + \beta$$

これを基礎とし、例として時間を軸として表すと、図 5.1-1 のようになる。この考え方は、通常運行時の遠隔監視者のワークフローを構成している複数の作業(例えば、バス停手前での待ち客の確認、発車時や降車時の安全の確認、通常運行中の車内の安全確認、通常運行中の車外の安全確認など)のそれぞれについて、遠隔監視者 1 名がバス 1 台の監視を行う 1:1 の状況下で、各作業に必要な時間(α)および次の作業に移行するための切り替え時間(β)を、被験者実験を通して算出するものである。なお、2025 年度の自動運転レベル 4 運行を想定し、走行中の TOR は発生しない、COPC operator initiated takeover はない、危険な状況では必ず COPC MRM が生じる、添乗員は乗務していないことを一旦

前提としている。

因みに、今年度においては遠隔監視者のひたち BRT におけるタスクが完全に固まっていないが、何の基礎情報を踏まえず、一般化をしていった場合は、的外れな一般化になる恐れがあるため、本検討ではまず、ひたち BRT を対象とした高度化の進捗を踏まえ、高度化の成果として抽出されてきたものを活用するところから始めた。

今回の定量化においての考え方の前提になっているのが、Rogers & Monsell^{III}にあるように、2 つ以上のタスクを行う際に、それらの課題間を時間的にスイッチングするというものである。複数の研究において、一定時間内に複数のタスクを与えるとタスクの切り替えのたびにコンテキストの切り替えや注意残留状態からのスイッチングに時間と負荷がかかることが報告されている。従って、遠隔監視者のワークフローを設計する際に、次の作業に移行するための切り替え時間(β)を事前に配慮しないと、タスクスイッチングによる時間や作業負荷を正しく評価できない。またタスクスイッチングの影響を考慮することで、1 人の遠隔監視者が N 台の自動運転車両を監視する場合にも適用できると考えられる。1 対 N 事態における遠隔監視の考え方については後述する。

また、実際の評価では、作業を行っている際の遠隔監視者の眠気や負担感などについての主観評定、および視線や脳波などの生体信号を同時に計測することで、遠隔監視者の状態推定も同時に行う予定である。これにより、遠隔監視者に求められるワークフロー(作業の種類、作業の回数、監視するバスの台数など)が、当該の HMI において安全かつ負担なく遂行できるものになっているかを検討することが可能になるとともに、HMI やワークフローの最適化においても、評価が可能になると考えられる。なお、 α ・ β および遠隔監視者の状態は、遠隔監視者自身の能力にも大きく依存すると考えられる。そのため、習熟や訓練による α ・ β および遠隔監視者の状態への影響の分析や HMI の効果評価も、本実験パラダイムを土台として行うこととする。

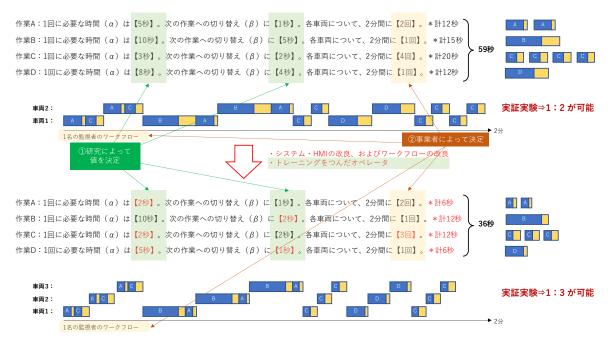


図 5.1-1 遠隔監視者のタスクの定量化と考え方の提案

今後の多様化における検討として、本プロジェクト (テーマ 2) で実施されているタスクフォースにおける委員・事業者の意見や他のアンケート結果でも特に意見されている部分についても注視しながら検討を行っていきたい。特に意見として聞かれるのは、下記である。

- 1. 遠隔監視者が一人で何台の自動運転車両の監視が可能か
- 2. 遠隔監視者には、どのようなスキル・資格が求められるのか(ここでは、法律や資格という観点ではなく、いわゆる人としての技能を示す。)

上記1に対しては、通常運行時の遠隔監視作業のワークフローが確定した後に、それ ぞれの監視作業に必要な作業時間と作業間の切り替え時間を算出し、遠隔監視者の処理 能力を超えない範囲内で最大台数を求めることが可能であると考えられる。

また、上記 2 に対しては、 α や β に対して遠隔監視者の特徴がどの程度の影響があるかを推定することにより、評価をしていきたい。これに加えて、高度化の章で説明した通り、遠隔監視のための HMI においても、HMI の効果により、 α や β にどの程度影響を与えるかを評価することによって、その影響を調査できると考えている。

今年度は、あくまでもこれまでのデータや文献調査での検討を行っている段階のため、 今回の考え方がそもそも遠隔監視タスクにおいて有効であるかについて実験等を通して 検討・修正を行っていく必要がある。今後は様々な検討から現時点で一般的と考えられ るタスクを例に実験シナリオに落とし込んで、 α や β の推定などを行う。その後、複数 の実験シナリオを作成し、実験を行っていきたい。

参考文献

[1] Rogers, R. D., & Monsell, S. (1995). Costs of a predictible switch between simple cognitive tasks. *Journal of experimental psychology: General*, 124(2), 207.

第6章 インフラ連携の多様化

6.1. 先行事例で得られた知見・課題の整理

2020年度までの「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」において実施された中型自動運転バスによる5つのバス運行事業者・地域における実証運行などといった先行事例で得られた知見・課題を整理する。

6.1.1. 磁気マーカの有効性、施工方法の整理

(1) 中型バス実証評価での磁気マーカの施工

中型バス実証評価では、自己位置推定に関し、GPS の受信強度が弱い(レベル2未満)の区間においては、磁気マーカを設置し、磁気マーカを設置しない区間において、GPSを補完する目的で Lidar による SLAM を活用し走行した。

中型バス実証評価では、各実証事業者の走行ルートで電波調査を実施し、GPS 感度低下区間において、磁気マーカの施工が必要な区間を整理した。以下に各実証ルートでの施工区間を示す。磁気マーカの個数は、2m間隔を想定した場合の概数で示している。

表 6.1.1-1 中型バス実証評価での磁気マーカ設置区間一覧

| | 磁気マーカ 区間延長 個数(概算) | | バス停数 | |
|----------------------|-------------------|--------|---------|-----------|
| | | | 全区間 | うち磁気マーカ区間 |
| 茨城交通 | 約440m(往復) | 220個 | 44個(往復) | 1個 |
| 神奈川中央交通 | 約2,960m(往復) | 1,480個 | 14個(往復) | 8個(往復) |
| 大津市・京阪バス | 約2,680m(往復) | 1,340個 | 8個(往復) | 2個 |
| 神姫バス ※全区間を磁気マーカ設置 | 約5,665m | 2,833個 | 15個 | 15個 |
| 西日本鉄道 | 約450m(往復) | 225個 | 6個(往復) | O個 |

区間延長 合計:約12,195m 個数 合計:6,098個

1) 電波調査結果

電波調査結果を次頁以降に示す。なお調査は先進モビリティ株式会社が実施した。

(A) 茨城交通株式会社

a) 調査概要

目的:実証実験の走行コースで下記2点の調査を実施した。

1.GPS電波状況

2.キャリア別(docomo、au、SoftBank)の通信状況

調査日時: 1回目: 9:00~

2回目:11:00~ 3回目:13:00~ 4回目:15:00~

実施内容:電波計測機材をバスに搭載し、下記項目の調査を行った。

・通信の状態

・GPSの状態

docomo、au、SoftBankにおける →位置精度(誤差量)

RSSI(通信信号強度) RSRQ(基準信号受信品質) →GPS (FixQuality) →衛星数

SINR(信号対干渉雑音比)

→補正情報更新間隔



計測車両

b) 調査結果概要

調査結果概要を下記に記す。

| 計測回 | ルート | 距離 | GPS状況 | キャリア別受信電波強度 | | |
|-------------|------------------------------------|-----------------------|-------|-------------|--------|----------|
| 를 (M기드) | <i>N</i> -F | BE 中級 | | docomo | au | softbank |
| 1回目(9:00~) | おさかなセンター前⇔常陸多賀駅前 (久慈サンビア日立経由なし) | 約16.2km (片道:8.1km) | 0 | 良 | 良 | 良 |
| 2回目(11:00~) | ↑ | 1 | Δ | 良 | 一部懸念有り | 良 |
| 3回目(13:00~) | おさかなセンター前⇔常陸多貿駅前 (久慈サンピア日立経由) | 1 | 0 | 良 | 良 | 良 |
| 4回目(15:00~) | 1 | 1 | ^ | 良 | 一部懸念有り | 良 |

【GPS計測結果】

- 一部の場所で<u>Fix Quality低下</u>を確認した。具体的には、高架下や周囲に遮蔽物がある地点。GPSアンテナ(仰角マスク25°)を遮蔽する割合が高い場所でFix Qualityが低下すると考えられる。
- 経路に隣接する建物があるような場所では、時間帯によっては比較的短時間のFix Qualityの低下が生じた。衛星の位置の違いが精度に影響していると考えられる。
- 遮蔽物の下で滞在時間が長い(渋滞や信号待ち含む)と、 GPS測位精度が低下が進むと考えられる。

【受信状況計測結果】

- RSSI(通信信号強度)は、3キャリアの中でSoftBankが1番安定していた。
- auは計測回によっては基本的なコネクティビティに必要な 最小信号強度しか得られなかった地点があったため、非推奨である。



(B) 大津市、京阪バス株式会社

a) 調査概要

■ 分析条件

- 実証実験走行時(2019年11月)取得データ
- ・先進モビリティの自動運転バス(ポンチョ型)による実測
- LTE通信はdocmo回線を使用

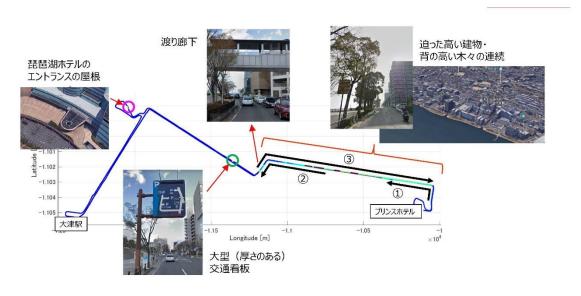


■ 結果

- ・明確な遮蔽物(琵琶湖ホテルのエントランスの屋根、びわ湖ホールの渡り廊下)の他、時間帯によりバラツキはあるが、概ね"なぎさ通り"では、並木とビル類の影響で衛星の補足が不安定になり、RTK-GPSが成立しなかったり、RTK-GPS状態ながら測位精度が悪化する傾向を確認した。
- 高いビルが隣接している場合は、マルチパスによる影響も考えられる。
- ・特に"なぎさ通り"は距離も長いことから、磁気マーカによる対策が推奨される。

b) 調査結果概要

以下の箇所において、GPS 精度の低下が発生した。



6

(C) 神奈川中央交通株式会社

a) 調査概要

目的:実証実験の走行コースで下記2点の調査を実施した。

1.GPS電波状況

2.キャリア別(docomo、au、SoftBank)の通信状況

調査日時: 2019年12月9日

1回目:16:00~ 2回目:19:00~ 2019年12月10日 3回目:7:00~ 4回目:10:00~ 5回目:13:00~

実施内容:電波計測機材をバスに搭載し、下記項目の調査を行った。

用語の意味はP.26に記載。

通信の状態

GPSの状態

docomo、au、SoftBankにおける

→位置精度(誤差量) →GPS (FixQuality)

RSSI(通信信号強度) RSRO(基準信号受信品質)

→衛星数

SINR(信号対干渉雑音比)

→補正情報更新間隔

b) 調査結果概要

| 日時 | ルート | 距離 | GPS状況 | キャリア別受信電波強度 | | |
|-------------------|---------------------|--------|-------|-------------|----|----------|
| □ P4 | <i>ν</i> -Γ | | | docomo | au | softbank |
| 1回目(12月9日 16:00~) | 山郷ネオポリス→本郷車庫前→桂山公園前 | 約6.7km | Δ | 良 | 良 | 良 |
| 2回目(12月9日19:00~) | ↑ | 1 | Δ | 良 | 良 | 良 |
| 3回目(12月10日 7:00~) | 1 | 1 | Δ | 良 | 良 | 良 |
| 4回目(12月10日10:00~) | ↑ | 1 | Δ | 良 | 良 | 良 |
| 5回目(12月10日13:00~) | ↑ | 1 | Δ | 良 | 良 | 良 |

【GPS計測結果】

- 一部の場所でFix Quality低下を確認した。具体的には、高架下や周囲に遮蔽物がある地点。GPSアンテナ(仰角マスク25°)を遮蔽する割合が高い場所でFix Qualityが低下すると考えられる。
- 経路に隣接する建物や樹木があるような場所では、時間帯によって比較的 短時間のFix Qualityの低下が生じた。衛星の位置の違いが精度に影響している と考えられる。
- 遮蔽物の下で滞在時間が長い(渋滞や信号待ち含む)と、 GPS測位精度が低下が進むと考えられる。

【受信状況計測結果】

- RSSI(通信信号強度)は、3キャリアの中でSoftBankが1番安定していた。
- docomo、auのRSSI計測値も安定しており、3キャリアで大きな違いはなかった。



計測車両

TH 10 6

(D) 神姫バス株式会社

a) 調査概要

目的:実証実験の走行コースで下記2点の調査を実施した。

1.GPS電波状況

2.キャリア別(docomo、au、SoftBank)の通信状況

調査時間: 【1日目】

> 1回目:16:00~ 2回目:19:00~ 【2日目】 3回目: 7:00~ 4回目:10:00~ 5回目:13:00~

実施内容:電波計測機材を一般車両に搭載し、下記項目の調査を行った。

用語の意味はP16に記載。

通信の状態

GPSの状態

docomo、au、SoftBankにおける →GPS (FixQuality)

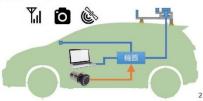
RSSI(通信信号強度)

→衛星数

RSRQ(基準信号受信品質)

→補正情報更新間隔

SINR(信号対干渉雑音比)



b) 調査結果概要

調査結果概要を下記に記す。

| 計測回 | 計測回 ルート 距離 | GPS状況 | # 7! | キャリア別受信電波強度 | | |
|-----------------|--------------------|---------|-------------|-------------|----|----------|
| \$ 1 Waled | <i>N</i> -F | B1: 问题 | GP54AJE | docomo | au | softbank |
| 1回目(1日目 16:00~) | ウッディタウン中央駅周辺(下図参照) | 約5.9 km | 0 | 良 | 不良 | 良 |
| 2回目(1日目 19:00~) | 1 | 1 | Δ | 良 | 不良 | 良 |
| 3回目(2日目 7:00~) | ↑ | 1 | 0 | 良 | 不良 | 良 |
| 4回目(2日目 10:00~) | ↑ | 1 | Δ | 良 | 不良 | 良 |
| 5回目(2日目 13:00~) | ↑ | 1 | Δ | 良 | 不良 | 良 |

【GPS計測結果】

- 2、4、5回目において一部の場所でFix Quality低下を確認した。具体的には、街路樹の傍や、高い建物(マンション)など。 遮蔽物近傍での滞在時間が長い(渋滞や信号待ち含む)とFix Qualityが低下すると考えられる。
- GPSアンテナの範囲(仰角マスク25°)を遮蔽する割合が高い場所でFix Quality低下を確認した。
- また1、3回目ではFix Qualityの低下が見られなかったことから、時間帯による衛星の位置の違いが影響していると考えられる。
- なお、落葉が進んでいる時期であり、初夏〜秋については本計測結果よりも GPS信号が途絶する割合が高くなるものと考えらえる。

【受信状況計測結果】

- RSSI(通信信号強度)は、3キャリアの中でSoftBankが1番安定していた。
- 中でもauの計測結果が一番悪く、基本的なコネクティビティに必要な 最小信号強度しかない地点があったため、本ルートでは使用するべきでない。



(E) 西日本鉄道株式会社

a) 調査概要

目的:予定された走行コースについて、下記2点の調査を実施した。

1.GPS電波状況

2.キャリア別(docomo、au、SoftBank)の電波状況

調査日時: 2019年10月8日

1回目:19:00~

10月9日

2回目: 7:00~3回目:10:00~ 4回目:13:00~ 5回目:16:00~

実施内容:電波計測機材を一般車両に搭載し、下記項目を計測した。 (用語の意味は巻末に記載する)

通信の状態

・GPSの状態

 \rightarrow docomo、au、SoftBank $\mathcal O$ RSSI(通信信号強度)

→GPS (FixQuality)

→衛星数

→補正情報更新間隔



b) 調査結果概要

調査結果概要を下記に記す。

| 日時 | ルート ED雑 GPS状況 | DE OF | CDCHAID | キャリア別受信電波強度 | | |
|------------------|---------------------|---------|---------|-------------|----------|---|
| □ P4 | | GP54XiX | docomo | au | softbank | |
| 1回目(10月8日19:00~) | 朽網駅→北九州空港→朽網駅 | 10.5 km | 0 | 良 | 良 | 良 |
| 2回目(10月9日 7:00~) | 1 | 1 | 0 | 良 | 良 | 良 |
| 3回目(10月9日10:00~) | ↑ ※一部通行止めのため走行不可 | 10.2km | 0 | 良 | 良 | 良 |
| 4回目(10月9日13:00~) | ↑ ※一部通行止めのため走行不可 | 10.2km | 0 | 良 | 良 | 良 |
| 5回目(10月9日16:00~) | 1 | 10.5km | 0 | 良 | 良 | 良 |

※右図赤矢印部(北九州空港→朽網駅時の)で、工事による通行止め (9:00~16:00)があったため、3回目と4回目は一部計測できなかった。

GPSは、全ルートに共通して下記4点の場所で、比較的短時間の Fix Quality低下を確認した。

具体的には、歩道橋、高い建物の周囲、庇の下等、 GPS受信機上空に遮蔽物がある場所である。

→ 速度が出ている状態で遮蔽物をすぐに通過できれば問題ないが、 遮蔽物の下で滞在時間が長い(渋滞や信号待ち)と 自動走行への影響が顕在化し得る。

通信信号強度は、キャリア別に多少の差はあるものの安定して通信できていた。



2) 磁気マーカ施工区間

(A) 茨城交通株式会社



磁気マーカ設置区間延長:約440m(往復)

磁気マーカ個数(概算): 220個

バス停数:44個(往復)

うち磁気マーカ区間 1個

(B) 大津市、京阪バス株式会社



磁気マーカ設置区間延長:2,680m(往復)

磁気マーカ個数(概算): 1,340個

バス停数:8個(往復)

うち磁気マーカ区間 1個

(C) 神奈川中央交通株式会社



磁気マーカ設置区間延長:2,960m(往復)

磁気マーカ個数(概算): 1,480個

バス停数:14個(往復)

うち磁気マーカ区間 8個(往復)

(D) 神姫バス株式会社



磁気マーカ設置区間延長:5,665m磁気マーカ個数(概算):2,833個

バス停数:15個

うち磁気マーカ区間 15個

(E) 西日本鉄道株式会社



磁気マーカ設置区間延長:450m(往復)

磁気マーカ個数(概算): 225個

バス停数:6個(往復)

うち磁気マーカ区間 0個

3) 磁気マーカの施工方法 磁気マーカの施工方法を以下に示す。

| | ①地中に埋めるタイプ | ②路面に貼り付けるタイプ |
|----------|--|--|
| 概要 | 5cm路面を掘削して、磁気マーカを埋める 磁気マーカー W 500cm H=35cm 余格を確保 元規則主人のため 建気マーカー | 路面にシート状の磁気マーカを貼り付け、その上にスリップ防止のためのシートを重ねる |
| 耐久性・ 安全性 | 〇:地中に埋めるため耐久性が高い(剥がれることはない) | △:路面に貼り付けているため、剥がれる可能性がある |
| 路面への 影響 | ×:掘削するため、路面への影響が大きい | 〇:貼り付けるタイプでは剥がす時も路面への影響が少ない |
| 施工期間 | Δ:掘削などがあり、部分的な規制が必要 | 〇:簡単な施工であり、規制は不可 |

- 4) 中型バス実証評価で得られた磁気マーカに関する知見 中型バス実証評価で得られた磁気マーカに関する知見を以下に示す。
- ・磁気マーカには埋設型と貼付型があり、費用・耐久性・施工性等で長短がある。
- ・敷設にあたり、測量及び安全性についての県警・自治体との事前の協議が必要。
- 敷設後に道路の補修や車線運用の見直しが生じることも想定して対策を検討しておく。
- ・ 路線バスの走行軌跡は一般車とは異なるため、路線バスの走行軌跡を考慮して設置する。
- ・ 高精度 3D 地図作成を外部の地図メーカに依頼する場合、地図の軌跡と磁気マーカ の軌跡を整合させるため、地図メーカと磁気マーカ敷設業者の調整が必要。両者 の軌跡にズレが生じていると、自動走行の際に走行位置のブレが生じやすい。
- ・ 路上駐車や工事関連等の回避により、磁気マーカの走行軌跡を外れた場合、磁気マーカの読み飛ばしにより走行位置(前後方向)のブレが発生する。そのため RFID 付き磁気マーカを一定間隔で設置し、位置情報を補正することが必要。

5) 磁気マーカの課題

過年度に実証実験を行った自治体、事業者にヒアリングを行い、実証後の磁気マーカの維持管理の課題を把握した。以下のヒアリング結果の通り、通常の道路の維持管理と合わせて磁気マーカの補修が必要となり、掘り返しのコストや再施工のコストが道路管理者の負担になっている。施工の低コスト化が課題である。

- ・ 磁気マーカの有用性を感じる一方、道路補修のタイミングと被り補修が増えている。イニシャルコストと同様の金額をメンテナンスコストとして、支払っている 感覚を受ける。
- 維持管理を続けていくことは道路管理者として課題となっている。

6) 令和2年改正道路法での磁気マーカの位置付け

令和2年の改正道路法において、自動運転車の運行を補助する施設を道路附属物として位置付けた。磁気マーカも自動運行補助施設として自動運行補助施設に係る技術基準が示された。

表 6.1.1-2 自動運行補助施設に係る技術基準

| | ①規定項目 | ②規定内容 | | |
|------|--|--|--|--|
| | 施設の性能 | ・定性的に規定(自動運行の補助に適切な磁界等の強さであること) | | |
| | 舗装に埋設する施設の設置 深さ | ・舗装等の機能に著しい影響を与えない ・既存の舗装の性能を著しく損ねることのないよう、輪荷重のかかり方に留意する | | |
| 設置基準 | 舗装に埋設する施設の舗装 や他の埋設施設への影響 | ・施工に係る基本的事項(設計で定めた条件の確保、付近の他構造物の使用性・安全性への配慮等) ・占用物件の維持管理に著しい支障とならない ・舗装材の再利用に著しい支障とならない | | |
| 準 | 人体・環境への影響の防止 | ・自動運行補助施設による磁界又は電波が人体や周辺環境に著しい影響を与えない | | |
| | 道路管理(路面清掃、除雪 作業等)や、他の道路施設 (橋梁等)の機能への配慮 | ・道路の維持管理(修繕を含め) / 橋梁、トンネル等の道路構造物の性能 / 他の埋設物 に著しい影響を及ぼさない | | |
| | 公示情報(必要な記録)の 明確化 | ・自動運行補助施設ごとに公示すべき情報(自動運行補助施設を使用する者に提供する情報)の項目を規定 | | |
| 点 | 基本的考え方 | ・「巡視」を中心とした点検を基本(第三者被害小) ・路線の特徴や自動車交通の影響、設置環境等を考慮する必要がある場合は個別に検討 ・維持管理水準は、他の路面下に設置する施設等に準じて規定(交通量によらず同じとする等) | | |
| 点検要領 | 舗装路面に埋設する特徴に 係る事項 | ・変状が路面に最初に発現することも念頭に、自動運行補助施設の点検時に舗装の状態を合わせて確認 | | |
| | 効率的な点検に必要な事項 | ・「重点的に着目する必要がある箇所」を予め特定し、主として当該箇所を対象に点検 ・交通安全施設等他の道路附属物に準じて規定(日常的な点検は外形的な点検のみとする等) | | |

※代表的な規定事項を記載

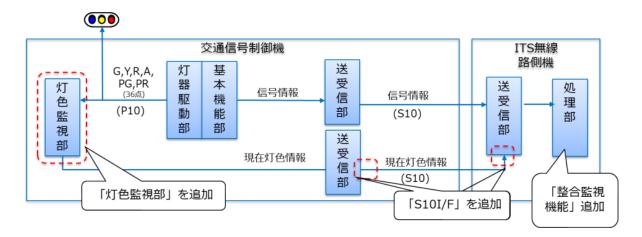
出典:国土交通省

6.1.2. SIP での信号連携の検討で得られた知見・課題の整理

2020年度「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)第2期/自動運転(システムとサービスの拡張)/自動運転の実現に向けた信号情報提供技術等の高度化に係る研究開発」で検討された、自動運転車両に特化した信号情報提供に係る路側インフラの高度化方策から信号との連携時の知見・課題を整理した。

達成すべき自動運転用信号情報の主な機能要件として、以下の3項目が定義された。

- ・ 信号情報精度は、信号情報と実際の灯色の誤差を±300ms 以下とすること
- ・ 信頼性向上として、灯器状態と信号情報の一致を確認し、異常発時に車両に通知 するフェールセーフ機能を実装すること
- ・ 可用性向上として、様々な信号制御方式において信号情報提供を実現すること



出典:2020年度「戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第2期/自動運転 (システムとサービスの拡張) /自動運転の実現に向けた信号情報提供技術等の高度化に係る研究開発」報告書

図 6.1.2-1 フェールセーフ機能の概要

一方で、以下の課題を確認した。以下の課題をテーマ 4 へ共有した上で、インフラ連 携に必要な信頼性、冗長性、車両との役割分担について連携して検討していく必要があ る。

- ・ フェール検知の一致性については一定の信頼性が確保されているが、情報を送信 中にデータが化けるかどうかについては精査が必要
- ・ 信号の中の判定機が現状一つしかないため、冗長化が必要
- ・ 協調型システムとしての標準化
- ・ サイバー攻撃への耐性
- 通信自体の精度と信頼性
- ・ 人・車両の検知は信号連携と同様のフェールセーフ機能は SIP でも検討されておらず、情報の信頼性、冗長性に関しては同様に課題を有する

【参考】自動運転車の安全技術ガイドライン(平成30年9月)

4. (2) 自動運転システムの安全性

・自動運転車は、設定された ODD の範囲内において、自動運転システムが引き起こす 人身事故であって合理的に予見される防止可能な事故が生じないことを確保する必要が ある。このため、制御系やセンサ系の冗長性を確保する等によりシステムの安全性を確 保するとともに、設定された ODD の範囲外となった場合(範囲外となりそうな場合を含 む。以下同じ。)や自動運転車に障害が発生した場合等、自動運転の継続が困難となっ た場合には、最終的に車両を自動で安全に停止させることが必要である。

6.2. インフラ連携のあり方の検討

テーマ 4 での検討状況と 6.1.2 で整理したインフラ連携の知見・課題を踏まえ、交差点の走行を対象としインフラ連携のあり方を検討した。

6.2.1. 信号あり交差点と信号なし交差点で必要とされるインフラ情報の比較

信号あり交差点と信号なし交差点で必要とされるインフラ情報について検討した。以下に検討結果を示す。

表 6.2.1-1 信号あり、なし交差点でのインフラ情報の比較

| | 車両が取得 する情報 | インフラが取得する情報 | 信頼性の考え方 |
|-------------|---------------|-------------------------------|---|
| 信号あり 交差点 | ·灯色情報 | ・灯色情報 ・交通参加者の位置・速度 ・残秒数 | ・フェール検知機能を装備し信頼性を確保(SIP事例より)・管制からの情報は正として活用 |
| 信号なし 交差点 | ・交通参加者 の位置 | ・交通参加者の位置・速度 | ・参考とする先進事例なし |

6.2.2. 交差点走行でのインフラ連携のあり方の検討

想定される自動運転システム全体での役割分担毎に交差点走行時の安全走行の考え方、 課題を検討し、インフラ連携のあり方について整理した。次頁に検討結果を示す。

車両システム単独の検知で信頼性が低い環境においては、インフラからの情報を主体的に活用することを前提として走行する。そのためには、インフラから取得する情報は、一定の信頼性が必要であり冗長性を持たせた上で車両に提供することが望まれる。また、走行時の責任区分についても明確にする必要がある。

本項の検討内容はテーマ 4 にも共有し、インフラ情報の信頼性、冗長性、責任区分について継続的に議論を行っていく。

表 6.2.2-1 交差点での安全走行の考え方

| | 役割分担 | 安全走行の考え方 | 課題 |
|--------------|----------------------------|---|--|
| 交差点 (信号有) | 車両単独 | ・ 車両システムで灯色情報を 検知・判断して進行・停止 | ・現時点の技術では車両単 独で 100%の検知は難し い。 |
| | 車両× インフラ 連携 | ・ 車両システムが信号灯色情報を検知する信頼性が低い環境は、インフラ連携システムからの灯色情報を判断して車両は進行・停止の判断 | ・インフラからの情報の位置付けの見直しが必要 (インフラからの情報を 車両制御に主体的に活用 前提) ・特に信号情報は、警察庁 との合意形成が必要 ・上記の位置付けに対応する機器が現時点では存在 しない |
| | 車両× インフラ 連携× 遠隔監視 | ・ 車両システムが信号灯色情報を検知する信頼性が低い環境は、インフラ連携、遠隔監視からの情報を判断して車両は進行・停止の判断 | ・遠隔監視者が1:1対応となる |
| | 車両単独 | ・ 車両システムで人・車両を 検知・判断して進行・停止 | ・現時点の技術では車両単 独で 100%の検知は難し い。 |
| | 車両× インフラ 連携 | ・車両システムが人・車両情報を検知する信頼性が低い環境は、インフラ連携システムからの灯色情報を判断して車両は進行・停止の判断 | ・信号あり交差点の課題と 同様 |
| 交差点 (信号無) | 車両× インフラ 連携× 遠隔監視 | ・車両システムが人・車両情報を検知する信頼性が低い環境は、インフラ連携、遠隔監視からの情報を判断して車両は進行・停止の判断 | ・遠隔監視者が1:1対応となる |
| | 運用 | ・信号機の設置 ・交通規制(優先/非優先、一 旦停止)の変更 ・バスから乗用車等に向けて 存在を知らせる(車外 HMI) | ・警察との調整が必要 ・他の交通参加者への有効な認知手法の検討が必要 |

第7章 まとめ

7.1. 今年度の成果と次年度に向けた課題

多様化編の各章で検討した事項について、今年度の成果と次年度に向けた課題をとり まとめた。とりまとめた内容を以下に示す。

表 7.1-1 今年度の成果と次年度に向けた課題

| 章項目 | 今年度の成果 | 次年度に向けた課題 |
|---|---|--|
| 第1章 多様化検討の 概要 | ・OEM、車両開発者、運行事業者等で構成するタスクフォースを立ち上げ・実施(計4回) | ・タスクフォースの継続実施及び 自動走行 WG、移動サービス WG の 立ち上げによる具体的な議論の 加速 |
| 第2章 走行環境、運行 条件の整理、評 価条件の整理・ 評価 | ・レベル 4 の無人自動運転移動サービスを導入するための適切なODD の類型化・SA ガイドライン、社会実装ガイドラインの検討・「日本版セーフティレポート」の公開方法や運営方法の検討 | ・無人自動運転移動サービスにおける SA ガイドライン、サービス社会実装ガイドラインの位置付け、アウトプットについて TF 構成員での共通認識を図る |
| 第3章 車両開発 第4章 無人自動運転 移動サービス内 容、事業モデル の整理 | ・大型車を用いた現地実証実験の 事前準備 ・社会実装における課題を機能・ニーズ、コストの面から事業者・自 治体アンケート、ヒアリングにより整理 | ・社会実装に向けた課題把握を踏まえ、コストや社会実装に向けた事業モデルの類型化 |
| 第5章 遠隔監視システムの開発 第6章 | ・テーマ1との連携を通じて、遠隔 監視システムの横展開を見据え た役割毎の負荷の定量化に向け た構成要素の洗い出しと評価 ・中型バス実証評価や SIP 事例か | ・将来の横展開を見据えた遠隔監 視機能の検討 ・テーマ4と連携して継続議論を |
| 用の早 インフラ連携 の多様化 | ・中空バス実証計価や SIF 事例から現状のインフラ連携の課題を整理し、テーマ 4 と連携しインフラから取得する情報の信頼性や役割分担、責任区分を検討 | ・ケーマ4と連携して継続議論を 行い、車載側、インフラ側の役割 分担やインフラ情報の信頼性、 冗長性、責任区分の整理 |