

**令和 5 年度
無人自動運転等の CASE 対応に向けた実証・支援事業
（自動運転レベル 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））**

報告書（公表）

令和 6 年 3 月

株式会社日本総合研究所
国立研究開発法人産業技術総合研究所
株式会社みちのりホールディングス
茨城交通株式会社
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

○序章

1.事業全体の成果目標・取組み方針	1
2.5 カ年計画	2
3.業務項目	2
4.実施体制（全体実施体制）	3
5.事業報告書の構成	4

○ひたち BRT での「レベル 4 実証」と「社会実装」の実現に向けた検討編

第 1 章 システム全体	1-1
1.1.ひたち BRT における自動運転化のロードマップの策定	1-1
1.2.ひたち BRT のレベル 4 運行に対するリスクアセスとリスク低減策の検討	1-9
1.3.上記検討に基づく全体システム設計と各種対応の妥当性確認	1-26
1.4.ひたち BRT のレベル 4 認可、社会実装に向けた制度対応	1-35
第 2 章 車両開発	2-1
2.1.過去の実証等やリスクアセスメントに基づく走行におけるリスクシナリオ	2-3
2.2.安全設計要件の整理	2-43
2.3.上記要件とこれまでの開発車両の仕様との整合確認と評価	2-52
2.4.上記評価とこれまでの実証等における課題解決のための機能改修と向上	2-86
2.5.乗務員乗車型レベル 4 車両としての認可取得（基準対応と試験評価）	2-95
第 3 章 インフラ連携	3-1
3.1.ひたち BRT で活用可能なインフラシステムとの連携における安全要件の 整理と実装（テーマ 4 との連携）	3-1
第 4 章 遠隔監視システム・車外 HMI	4-1
4.1.レベル 4 の運行上で必要となる遠隔監視の役割と機能要件の整理	4-1
4.2.ひたち BRT を想定した車外 HMI の受容性と行動変化の効果評価	4-13
4.3.ひたち BRT 走路での譲り合い等に対応した車外 HMI の提案と評価	4-14
第 5 章 実証評価	5-1
5.1.ひたち BRT での技術実証の準備	5-1
5.2.ひたち BRT での技術実証の実施	5-19
5.3.レベル 4 認可と営業運行に向けた実証分析と改善等の対応	5-31
5.4.ひたち BRT での実証や社会実装に対する社会受容性の醸成と実装評価	5-32
第 6 章 事業モデル	6-1
6.1.10 年後等を見据えた事業性の検討（サービス、経済性等）	6-2
6.2.段階的な実装のロードマップの作成	6-23
6.3.事業シミュレーションの実施と課題点の洗い出し	6-31

○ひたち BRT での「レベル 4 実証」を活用した横展開すべき課題に関する検討編

第 1 章 システム全体	1-1
1.1.自動運転化のロードマップの横展開に向けた留意点等の整理	1-1
1.2.ひたち BRT を事例としたリスクアセスメントから設計、妥当性確認までの 展開に向けた留意点等の整理	1-1
1.3.緊急車両の検知要件の整理と評価方法の提案に基づくコンペの実施	1-15
第 2 章 車両開発	2-1
2.1.安全設計要件や仕様に対する横展開に向けた留意点等の整理	2-1
2.2.ワンマン機能の実装	2-6
第 3 章 インフラ連携	3-1
3.1.ひたち BRT を事例としたインフラシステムとの連携における安全要件に対する 横展開に向けた留意点等の整理（テーマ 4 との連携）	3-1
第 4 章 遠隔監視システム・車外 HMI	4-1
4.1.無人化における遠隔監視の役割と機能要件の整理	4-1
4.2.ひたち BRT を事例とした車外 HMI の横展開における留意点等の整理	4-7
第 5 章 実証評価	5-1
5.1.ひたち BRT を事例とした実証評価に対する横展開での参照における留意点等の 整理	5-1
5.2.ひたち BRT を事例とした社会受容性に対する地域特性の留意点の整理	5-2
第 6 章 事業モデル	6-1
6.1.ひたち BRT を事例とした横展開で参考となる簡易収支モデルの作成	6-1

序章

序章

1. 事業全体の成果目標・取組み方針

本事業（以下、「テーマ 2」とする）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）」（以下、「RoAD to the L4」とする）の一部として実施されるものである。RoAD to the L4 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、実証実験の各取組みを連携させ、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みである。また、社会実装に向けては、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等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 は、2021 年度から「さらに、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み」として開始されたが、2023 年 12 月に「RoAD to the L4 の研究開発・社会実装計画（基本的事項）」が更新され、「公道交差を含む専用道区間等におけるレベル 4 自動運転サービスの実現に向けた取組み」とテーマ名称が変更されている。また、テーマ名称の変更と同時に、茨城県日立市のひたち BRT を実証フィールドとして自動運転レベル 4 での実証及び社会実装の実現に向けた取組みを推進すべく、成果目標及び取組み方針も変更された。最新の成果目標及び取組み方針は以下のとおりである。

【成果目標】

2025 年度末までにひたち BRT 路線内の公道交差を含む専用道区間等において、レベル 4 自動運転サービスを実現する。

【取組み方針】

- ・ 廃線跡等の公道交差を含む専用道区間等における自動運転レベル 4 での実証及び社会実装の実現に向けた取組みを推進する。
- ・ 上記の走行環境におけるレベル 4 自動運転の車両やシステムの開発を推進し、他地域展開に有用な ODD 設定等の事例を示す。
- ・ 乗務員乗車型や遠隔監視型のレベル 4 自動運転サービスにおける社会実装の横展開に有用なモデルを構築する。

2023 年度は、成果目標達成に向けて、ひたち BRT の専用道区間における乗務員乗車型レベル 4 自動運転移動サービスの社会実装に向けて取組みを推進してきた。

なお、遠隔監視型とは特定自動運行主任者(特定自動運行保安員兼務)が遠隔から監視するものである。また、乗務員乗車型とは特定自動運行主任者と特定自動運行保安員を兼ねた乗務員が乗車するものである。

2. 5 カ年計画

5 カ年計画（2021 年度～2025 年度予定）は、2021 年度の当初計画に基づいている。2023 年度は、中間目標として BRT 専用道区間における乗務員が乗車する形でのレベル 4 自動運転移動サービスの社会実装の実現に向けた取組みを実施してきた。並行して 2025 年度の最終目標である遠隔監視型のレベル 4 自動運転移動サービスの社会実装に向けた取組みも実施してきた。

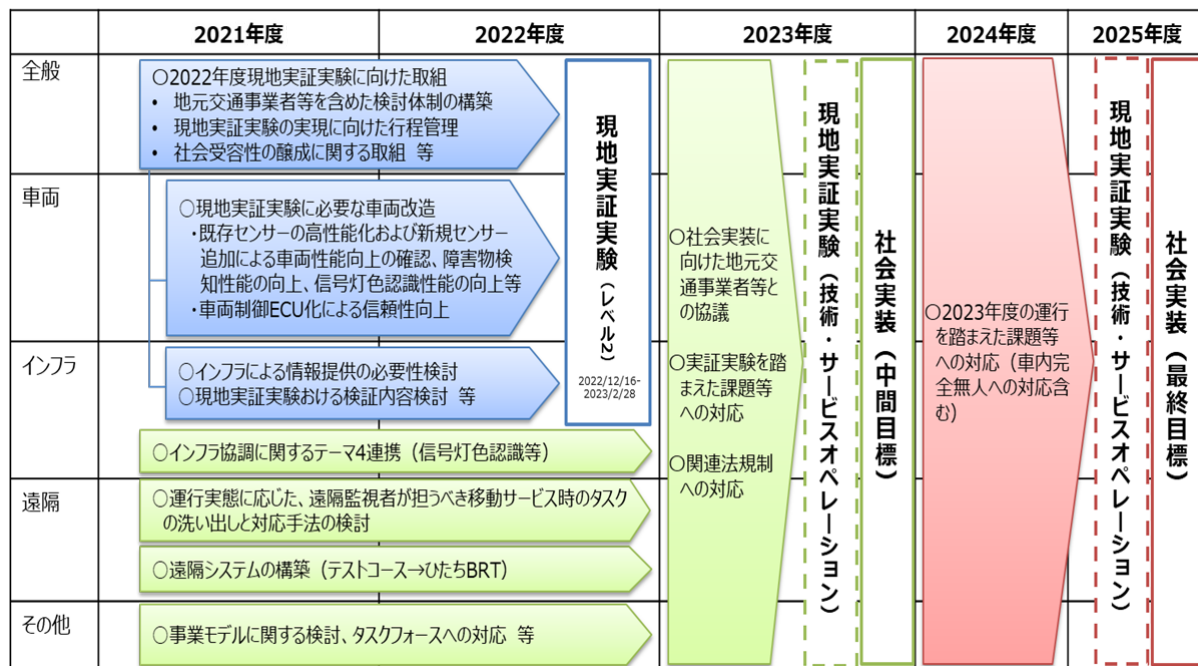


図 1 テーマ 2 の 5 カ年計画（2021 年度～2025 年度予定）

3. 業務項目

2023 年度実施募集要領に基づく業務項目を下記に示す。

表 1 業務項目

項目	単位	数量
1. ひたち BRT での「レベル 4 実証」と「社会実装」の実現に向けた検討	式	1
2. ひたち BRT での「レベル 4 実証」を活用した横展開すべき課題に関する検討	式	1

4. 実施体制（全体実施体制）

テーマ2の事業を遂行にするにあたっては、自動運転移動サービスの社会実装に向けて、技術開発面及び事業面に幅広い知見が必要となることから、専門知見を有する各機関でのコンソーシアム形式による推進の実施体制をとり、成果の最大化を目指す。なお、2021～2022年度 of 取組み状況等を概観し、自動運転移動サービスを運行する事業者や導入地域の地元自治体を抜きにしては社会実装ができないことを踏まえ、2023年度からは運行を担う事業者もコンソーシアムに参画する体制に見直しを行った。2023年度からのコンソーシアム体制の各機関の役割と知見を以下にて述べる。

株式会社日本総合研究所（以下「日本総研」）は、幹事機関として全体検討を取りまとめ、検討進捗を管理する役割を担う。日本総研は、2018年度のひたちBRTの自動運転バスの実証における作業工程管理や現地調整、受容性調査などの知見を有している。

国立研究開発法人産業技術総合研究所（以下「産総研」）は、全体システムの検討や定義、遠隔監視、車外HMI、緊急車検知、車内安全や実証評価の役割を担う。産総研は、2021年から2年間、本テーマ2における遠隔監視、車外HMI、緊急車検知、車内安全などの研究開発や実証評価を担当しており、それらの知見と継続推進が可能である。なお、テーマリーダーは産総研から社会実装等の取組み経験者を選定する。

株式会社みちのりホールディングス（以下「みちのり」）及び茨城交通株式会社（以下「茨城交通」）は、ひたちBRTの運行に携わる交通事業者等として運行モデルの検討や現地調整等の役割を担う。みちのり及び茨城交通は、2021年から2年間外注委託ではあったが運行モデルの検討や現地調整等の役割を担当しており、それらの知見と継続推進が可能である。

一般財団法人日本自動車研究所（以下「JARI」）は、乗務員乗車型レベル4のひたちBRT自動運転移動サービスの安全要求仕様を策定し妥当性を検証する役割を担う。JARIは、2021年から2年間、本テーマ2における車両等の安全走行戦略を担当しており、それらの知見と継続推進が可能である。

先進モビリティ株式会社（以下「先進モビリティ」）は、ひたちBRTにて運行させる自動運転バスを構築する役割を担う。先進モビリティは、2021年から2年間、本テーマ2における中型自動運転バスの開発と実証を担当しており、それらの知見と継続推進が可能である。

以下に、実施体制図を示す。

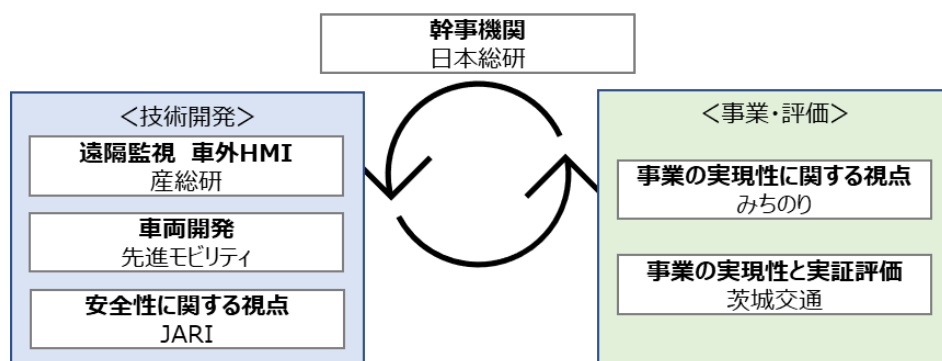


図2 実施体制図

5. 事業報告書の構成

業務項目を踏まえ、「ひたち BRT での「レベル 4 実証」と「社会実装」の実現に向けた検討」編と「ひたち BRT での「レベル 4 実証」を活用した横展開すべき課題に関する検討」編の 2 編の構成としている。

**ひたち BRT での「レベル 4 実証」と
「社会実装」の実現に向けた検討編**

第1章 システム全体

1.1. ひたち BRT における自動運転化のロードマップの策定

テーマ 2 の 5 か年計画（2021 年度～2025 年度予定）に関し、2023 年度の実績と課題を踏まえ、成果目標達成に向けたロードマップを策定する。以下に、テーマ 2 の事業概要、2023 年度の実績と、実績から得られた課題を述べる。また、2023 年度の実績と課題を踏まえて策定した 2024 年度～2025 年度にかけての自動運転化のロードマップについて説明する。

1.1.1. テーマ 2 の事業概要

(1) ひたち BRT の概要

ひたち BRT は茨城交通株式会社が運行する茨城県日立市内の路線バスで、「多賀駅～おさかなセンター」区間を運行する。このうち、「多賀駅～河原子 BRT」及び「南部図書館～おさかなセンター」は一般道区間だが、「河原子 BRT～南部図書館」は廃線跡の BRT 専用道区間となっている。

朝夕の時間帯は沿線住民の通勤・通学の利用が多く、自動運転バスが運行予定の平日昼間の時間帯は沿線住民の日常の生活移動としての利用が多い。

表 1.1.1-1 ひたち BRT の概要

バスの便数	往復合計 123 便
運行時間帯	06:00 頃～22:30 頃
主な利用者層	朝夕：沿線住民（通勤・通学） 日中：沿線住民（日常の生活移動）

(2) 自動運転化の対象区間（BRT 専用道区間）

テーマ 2 において、2025 年度の実績目標達成時に自動運転化の対象とする区間は、「河原子 BRT～南部図書館」の BRT 専用道区間約 6.1km としている。



図 1.1.1-1 自動運転化の対象区間

(3) BRT 専用道区間の走行環境の特徴

BRT 専用道区間は走路が一般道とバーステートで分離されており、警察から通行禁止道路通行許可が下りている茨城交通のバス車両を除く車両の進入禁止である。

ただし、BRT 専用道と一般道との交差点が 11 か所あり、一般の交通参加者の横断通行がある（なお、11 か所のうち、3 か所は車両用の交通信号機の設置あり）。

また、BRT 専用道とガードレールまたは緑石で歩車分離された歩道には、二輪車や歩行者等が並走しており、白縞の横断歩道、緑の横断指導線では横断通行がある。

なお、BRT 専用道区間は単線のため、各バス停に設置されている BRT 専用信号の赤/青により、往復バス車両が単線で鉢合せせずバス停ですれ違えるよう制御されている。



図 1.1.1-2 BRT 専用道区間の走行環境

(4) 自動運転バスの概要

自動運転バスは、中型バス（いすゞエルガミオ）をベースとして自動運転に必要な機器等を搭載した改造車両を使用している。



図 1.1.1-3 自動運転バスの概観

(5) 自動運転移動サービスの概要（運行開始当初）

自動運転移動サービスの運行開始当初は、以下の概要を想定している。今後の技術進展に応じて、運行時間帯拡大や立乗りへの変更なども検討を進める予定である。

表 1.1.1-2 自動運転移動サービスの概要（運行開始当初）

項目	概要
区間	BRT 専用道区間 6.1km（河原子 BRT～南部図書館）
運営/運行事業者	茨城交通株式会社
運行曜日	月・火・水・木・金（祝日を除く）
運行時間帯	9 時～17 時頃
便数	8 便
運行形態	路線定期運行
乗降場所	バス停
有償/無償	有償（利用区間に応じた運賃徴収）
車両	いすゞ エルガミオの改造車両
台数	1 台
立乗り or 着座	着座
座席数	28 名
主な利用者層	朝夕：通勤・通学 日中：スーパーへの移動等、沿線住民

1.1.2. 2023 年度の取組み成果（概要）

2023 年度は、中間目標の達成に向けて、乗務員乗車型のレベル 4 自動運転移動サービスの社会実装の実現に向けた取組みを実施した。

また、並行して 2025 年度成果目標の達成に向けて、遠隔監視型のレベル 4 自動運転移動

サービスの社会実装の実現に向けた取組みも実施した。

以下に主な取組み成果を記す。

(1) 乗務員乗車型レベル4の自動運転移動サービスの社会実装に向けた取組み

1) リスクアセスメントの実施

走行環境や交通状況に基づくリスクアセスメントだけでなく、レベル4自動運行移動サービスの運行プロセスを想定したリスクアセスメントを実施した。

関係者間のリスクに対応の土俵となるリスクアセスメントシートの作成とリスク評価に基づくリスク低減対策の検討をした。

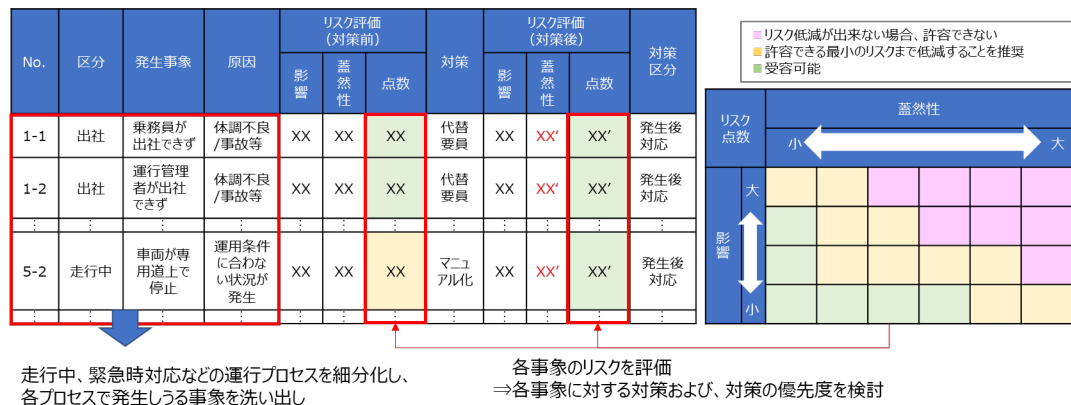


図 1.1.2-1 リスクアセスメントの検討

2) 交通環境調査

安全走行戦略の立案等の妥当性の説明に寄与するデータとして、ひたち BRT 専用道の交差点における一般道の一般車両等の交通量や速度変化などの交通実態を調査した。

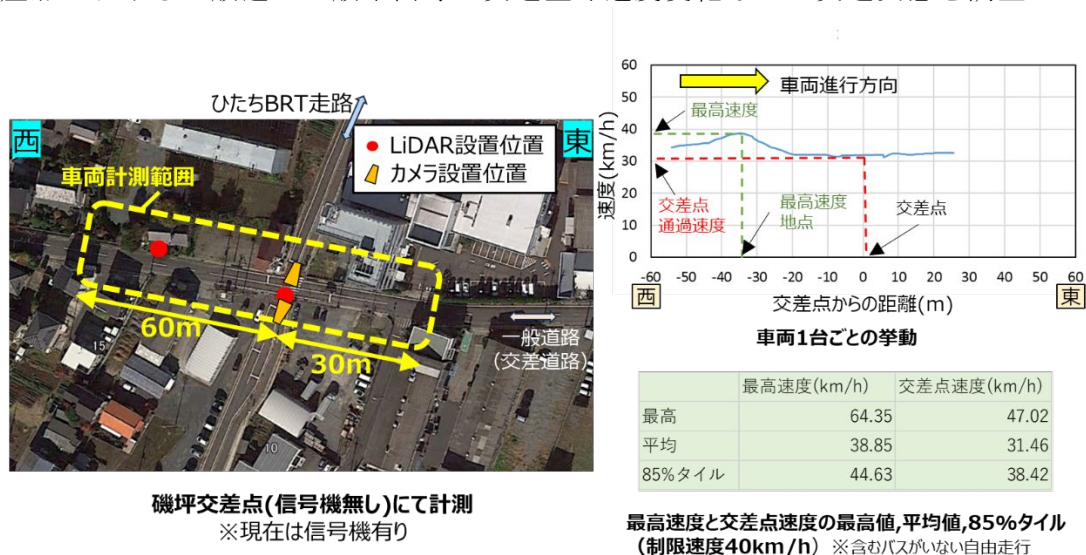


図 1.1.2-2 交通環境調査の概要

3) リスクシナリオの策定、安全走行戦略の確認

車両安全の確保に向け走路の場所等の特徴から 16 種に走行分類し、分類毎にリスクシナリオを作成した。リスクが高いシナリオについてテストコースで評価を行い、自動運転システムが設計どおりに動作していること、及び安全走行戦略が有効に機能しているかを確認した。

その上で日立現地での実証実験へ臨み、センサ検出性能や制御の課題を抽出し、車両開発へフィードバックした。

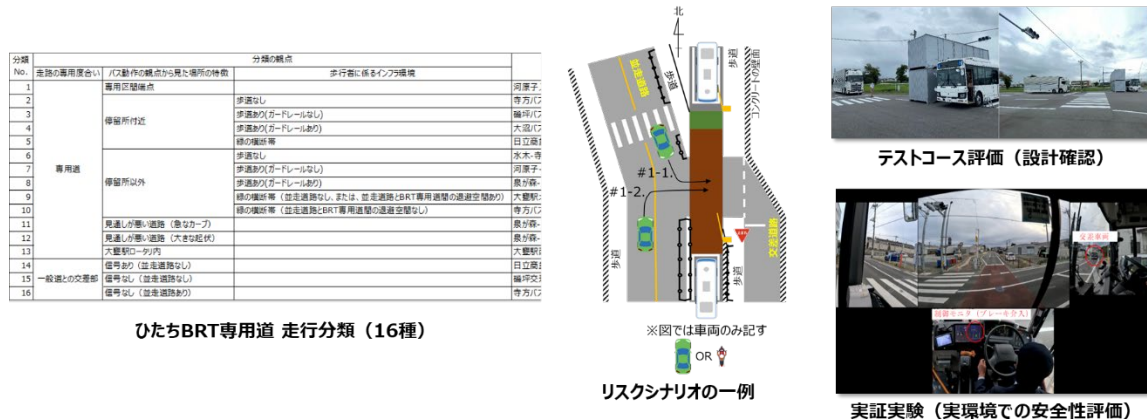


図 1.1.2-3 リスクシナリオの策定、安全走行戦略の確認

4) 安全走行戦略の策定、自動運転システム開発

安全な特定自動運行を実現するために、道路環境に応じた安全走行戦略を策定した。安全走行戦略に基づき、交差点等での認識性能の向上、スキャンマッチングの自己位置推定による制御安定性の向上、安全かつ円滑な移動となるように制御判断機能を向上させた。また、機能限界や ODD 外の判定機能の実装により、システム判断での安全な自動運行を停止させる機能の実装も行った。

結果として、自動運転バスが一定時間にわたり停車を継続して ODD 外と判定して自動運行を停止する頻度を大幅に低減させることに成功している。

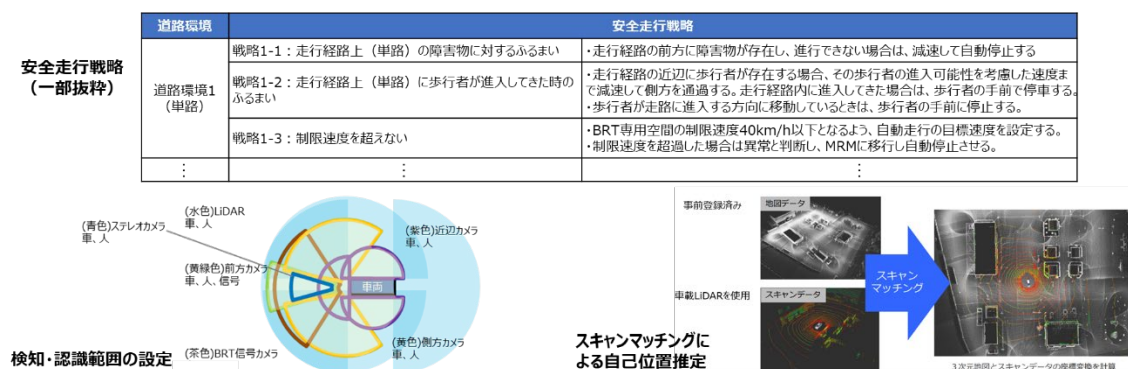


図 1.1.2-4 安全走行戦略の策定、自動運転システム開発

5) 実証走行による課題抽出と対応策の検証

2023 年 9 月、2023 年 12 月、2024 年 2 月に、ひたち BRT の現地で実証走行(レベル 2)

を行い、安全かつ円滑なレベル4自動運転による走行を実現するための課題を抽出し、それを解決する対応策を実施・検証した。

9月実証実験 2023年9月19日～10月13日	12月実証実験 2023年12月4日～12月22日	2月実証実験 2024年2月13日～3月1日
目的： レベル4の自動運転のセンシングや制御の技術検証と課題の抽出。 課題： 道路構造物等の過検知や、信号なし交差点における「譲り合い」など、複数の課題が洗い出された。 対応： 12月に実施する実証実験に向け、AIの追加学習による認識性の向上や、衝突予測等の判断を強化し車両停止が継続する場合に自動運転を停止するなどの対策を実施。	目的： 9月実証における課題対応策の有効性の確認と実走行での課題抽出。 成果： 道路構造物等の過検知は減少。車両停止が継続する場合に自動運転が想定通りに停止することを確認。 課題： 衝突予測等の判断を強化した制御により、安全ではあるが、車両停止状態の継続が多くなり自動運転の停止が多発発生。 対応： 安全性を担保しつつ、円滑な移動も考慮した制御への改良を実施。	目的： 12月実証における課題対応策の有効性の確認、交差点や横断歩道での安全かつ円滑な走行制御による自動運転の停止の減少等を確認。 現時点での評価： 自動運転の停止はほぼ無い状況。より円滑な走行のため、現地で調整を行いつつ実験走行継続実施。

図 1.1.2-5 2023 年度の自動運転実証実験の概要

(2) 遠隔監視型のレベル4自動運転移動サービスの社会実装に向けた取組み

1) 遠隔監視及び車内安全システムの開発仕様の検討と緊急自動車の検知評価

無人化に向け、必要な遠隔監視システム及び車内安全システムのタスク詳細を分析した。また、緊急自動車の接近をサイレン音から検知する技術に対する基本要件と評価方法を示し、評価を実施した。



乗務員動作詳細タスク抽出

乗務員動作詳細タスク分析結果

車内乗客安全の確認行動の調査
運転手の安全確認動作分析結果

※動画：中扉で乗車、前扉で降車
※動画例 https://www.hino.co.jp/rainbow_2/lineup/onestep/index.htm

確認項目	確認内容	確認方法	確認結果
■車内	乗客が手をかけていないか	目視確認	確認済み
■車外	乗客が手をかけていないか	目視確認	確認済み
■車内	乗客が手をかけていないか	目視確認	確認済み
■車外	乗客が手をかけていないか	目視確認	確認済み

確認項目	確認内容	確認方法	確認結果
乗客の乗降	乗客が手をかけていないか	目視確認	確認済み
乗客の乗降	乗客が手をかけていないか	目視確認	確認済み
乗客の乗降	乗客が手をかけていないか	目視確認	確認済み
乗客の乗降	乗客が手をかけていないか	目視確認	確認済み

図 1.1.2-6 車内安全システムの開発仕様の検討

緊急自動車の模擬車両とサイレン音スピーカー・アンプ等



サイレン音検知評価のコンペの様子



図 1.1.2-7 緊急自動車の検知評価

2) 車外 HMI の検討と実証

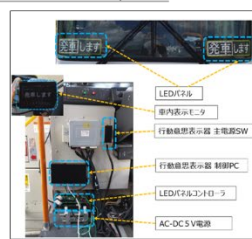
車外 HMI が必要とされる場面（交差点における譲り合いの抑制等）を整理、実証実験等による評価システムの構築（基準緩和プロセス含む）及び車外 HMI の効果検証をした。

車外HMIが必要とされる場面の抽出

NO.	交差点名称	対象	車外 HMI 有無	信号	ドーナツ
1	BRT南河原駅前入口	交差点	有	有	有
2	南河原駅前入口	交差点	有	有	有
3	日立橋下入口	交差点	有	有	有
4	日立橋上入口	歩道	有	有	有
5	日立橋上入口	歩道	有	有	有
6	日立橋上入口	歩道	有	有	有
7	日立橋上入口	歩道	有	有	有
8	日立橋上入口	歩道	有	有	有
9	日立橋上入口	歩道	有	有	有
10	日立橋上入口	歩道	有	有	有
11	日立橋上入口	歩道	有	有	有
12	日立橋上入口	歩道	有	有	有
13	日立橋上入口	歩道	有	有	有
14	日立橋上入口	歩道	有	有	有
15	日立橋上入口	歩道	有	有	有
16	日立橋上入口	歩道	有	有	有
17	日立橋上入口	歩道	有	有	有
18	日立橋上入口	歩道	有	有	有
19	日立橋上入口	歩道	有	有	有
20	日立橋上入口	歩道	有	有	有
21	日立橋上入口	歩道	有	有	有
22	日立橋上入口	歩道	有	有	有
23	日立橋上入口	歩道	有	有	有
24	日立橋上入口	歩道	有	有	有
25	日立橋上入口	歩道	有	有	有
26	日立橋上入口	歩道	有	有	有
27	日立橋上入口	歩道	有	有	有
28	日立橋上入口	歩道	有	有	有



実証実験システムの構築



車外HMIのシミュレーション環境の構築



実証実験でのデータ収集



図 1.1.2-8 車外 HMI の検討と検証

3) 事業モデルの検討

自動運転移動サービスの事業性試算のための事業シミュレーションを実施した。また、具体的な技術開発情報に基づいて、自動運転移動サービスの導入ロードマップを検討した。

また、遠隔監視型レベル 4 自動運転移動サービスを運行させるにあたり、自動運転システム以外にも含め、運行システム全体のリスク評価を体系的に実施した。上記にて説明した車内安全システムの検討のための車掌業務の詳細化を実施し、事業面での課題を抽出し、課題等もふめて自動運転バスに対する要求仕様の具体化検討を行った。

1.1.3. 成果目標達成に向けた課題

2023 年度の取組み成果から、自動運転技術開発、車内システム/周辺システム開発、安全性・事業性・社会受容性の検討の 3 項目それぞれの課題を得ている。

表 1.1.3-1 成果目標達成に向けた課題

項目	課題
自動運転技術の開発	・ MRM への移行割合の低減。 ・ 運行にかかる所要時間の短縮（冗長な動作の改善）。 ・ 無人での乗降客対応を実現する技術の開発。
車内システム／周辺システムの開発	・ 車掌業務の自動化。 ・ 車内における乗客の安全対策の自動化。 ・ 法制度要件に適合する周辺システムの開発。
安全性・事業性・社会受容性の検討	・ 遠隔監視型の運行システム全体でのリスクの検討 ・ 運行システム全体の評価方法の検討。 ・ 運行システム全体の要件や性能を踏まえた事業性の検討。 ・ 社会受容性の評価・社会受容性を向上する方策の検討。

1.1.4. 自動運転化のロードマップの策定

将来的に車内完全無人のレベル 4 自動運転移動サービスの運行開始を目指すにあたり、導入計画では、車両・システムの技術的な完成を待たずに段階的な導入を検討することが必要である。各段階における自動運転技術の到達レベルを踏まえて段階的に発展させていくステップを想定して計画を策定する必要がある。

前述の認識のもと、2023 年度の取組み成果と課題を踏まえ、成果目標達成に向けて 2024 年度、2025 年度にかけて乗務員乗車型から遠隔監視型へと移行していくまでのロードマップ（2023 年度時点）を策定した。

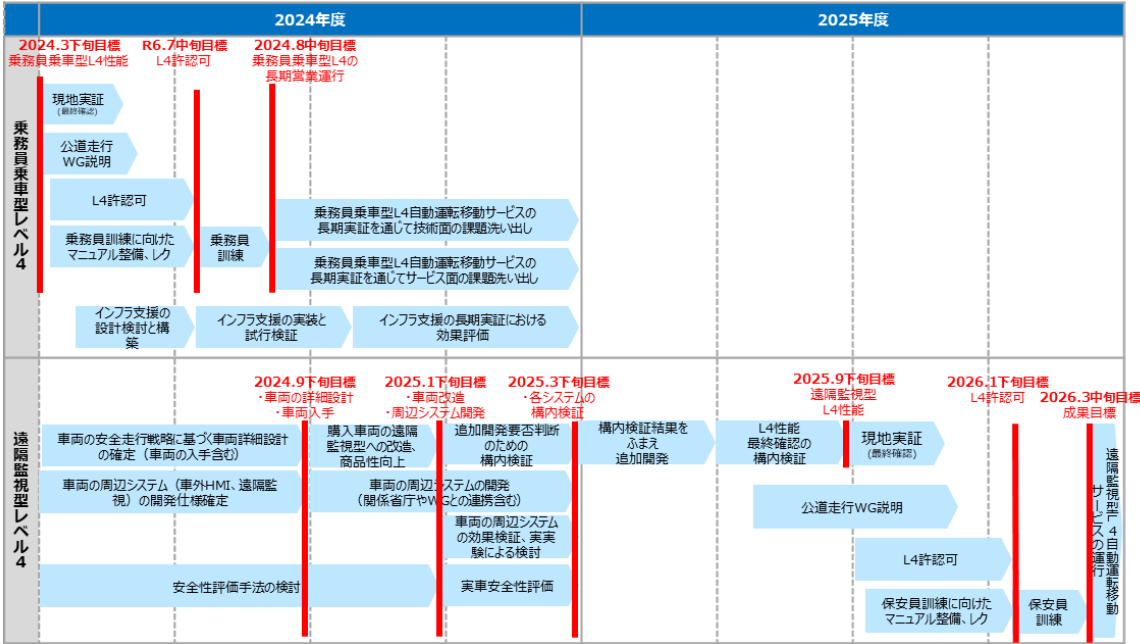


図 1.1.4-1 2023 年度時点の自動運転化のロードマップ（2024 年度～2025 年度予定）

1.2. ひたち BRT のレベル 4 運行に対するリスクアセスメントとリスク低減策の検討

ひたち BRT の「乗務員が乗車する形でのレベル 4 自動運転移動サービス」運行開始に向け、車庫出しから車庫入れまでの運用プロセス上でリスク評価し、リスク評価結果を関係者間で確認・協議し、費用対効果などを考慮した上でリスク低減策の方針を検討した。

1.2.1. リスクアセスメントの流れ

以下の工程で実施した。

(1) ルートアセスメント現地調査

現場、現物、ドキュメントにより現状把握し、ルートアセスメントを実施し、最後にヒアリングを実施

(2) 運用プロセスアセスメント(1 次)

ルートアセスメント現地調査で確認した結果及び関係機関から収集した各種資料をもとに、リスクアセスメント(プロセスの分析、ハザードの洗い出し、リスク分析・評価)とリスク低減策を検討

1.2.2. ルートアセスメント現地調査

(1) 目的

レベル 4 自動運転移動サービスの運行区間を対象に、乗降予定地、及び走行予定ルート上の道路施設、交通流に着目し、走行中や乗降時及び入出庫時における交通安全に関する潜在リスクを抽出することを目的とした。

(2) 調査ルート

今回の調査はレベル 4 自動運転が予定されている河原子バス停から南部図書館バス停の約 6.1km 区間を対象とした。



図 1.2.2-1 調査ルート

(3) 実施内容

①調査実施日

2023 年 4 月 19 日（水）09:00~15:00

②調査実施方法

走行ルート上の目視調査を中心に、ヒヤリ・ハット及び危険箇所等の特定を行った。調査は以下の調査実施項目に沿って徒歩で行い、調査実施者が目視による状況確認を行った。調査にはビデオカメラ、デジタルカメラを使用し撮影を行った。

③ヒヤリ・ハット及び危険箇所等の特定

撮影した映像を確認の上、必要に応じて特定したヒヤリ・ハット及び危険箇所において、調査員による目視調査を実施した。

④その他

調査対象外区間の一般道区間との接続箇所等において留意事項等がある場合は報告を行った。

停留所番号	停留所	調査グループA	調査グループB
6	河原子(BRT)	9:00～ ↓ ～12:00	～12:00 ↑ 9:00～
7	磯坪		
8	大沼 (BRT)		
9	大沼小学校東		
10	寺方		
11	水木 (BRT)		
12	泉が森		
13	大甕駅西口		
14	臨海工場西		
15	吹上橋		
16	どうのいり公園		
17	日立商業高校		
18	日立商業下		
19	南部図書館	～12:00	9:00～
茨城交通様ヒアリング(日立オフィス)		13:00～15:00	



出典：茨城交通HP

図 1.2.2-2 調査実施スケジュール

表 1.2.2-1 調査実施項目

【交通施設】

道路構造を対象にした調査項目

調査項目	調査内容
歩車区分状況の確認	歩車区分の設置種別についての確認を行う。
横断歩道設置状況の確認	横断歩道設置状況について確認を行う。
路面標示、舗装状況の確認	車路上の路面標示の状態や舗装面の状態について確認を行う。
交通標識、ミラーの設置状況の確認	標識の設置位置及びその視認性について確認を行う。
視認性の確認	走行上視認性を阻害する建造物や構造物がある箇所を抽出する。

交通施設（停留所）を対象にした調査項目

調査項目	調査内容
停留所付近の視認性の確認	乗客の停留所へ横断や乗降にあたり、視認性を阻害する建造物や構造物がある箇所を抽出する。
停留所周辺の機材の設置状況の確認	停留所周辺に設置されている機材等に着目し、車両からの視認性や走行を阻害する機材について確認を行う。

【交通流】

一般車・二輪車を対象にした調査項目

調査項目	調査内容
離合状況の確認	対面通行区間を対象に、自動運転車両の離合状況についての確認を行う。
右左折時の状況確認	公道との交差箇所周辺を対象に、走行する車両の右左折時の軌跡等の状況を確認する。
駐停車車両の有無	公道との交差箇所周辺及び専用区間との出入口付近において走行上支障のある駐停車車両の位置について確認を行う。

歩行者・自転車を対象にした調査項目

調査項目	調査内容
歩行者、自転車の通行状況の確認	停留所付近の歩行者、自転車の通行状況について確認を行う。
歩行者、自転車の横断状況の確認	横断歩道周辺の横断状況について確認を行う。

1.2.3. ルートアセスメント現地調査結果

(1) 交通実態に基づくハザードの洗い出し

今回の調査はレベル4自動運転が予定されている河原子バス停から南部図書館バス停の約6.1km区間を対象とした。調査を実施した河原子バス停から南部図書館バス停間には、両者を含み15か所のバス停が存在する。調査においては各バス停間における交通流や道路構造に着目し実施した。



出典：茨城交通HP

図 1.2.3-1 運行ルート

(2) ハザードの洗い出し及び結果分析

15か所のバス停間(14区間)において、自動車、歩行者、自転車等の走路状況を確認し、また、一般道等との交差箇所については、走行する車両の軌跡等の確認と自動運転車両との離合状況の確認を実施した。各バス停間において、洗い出したハザード(リスク)はのべ計63件でありその概要は以下のとおりである。63件のリスクを、自動運転に影響があると思われる「自動運転影響リスク」、自動運転・手動運転に関わらず運行一般に関すると思われる「一般リスク」に大別した。

表 1.2.3-1 洗い出したハザード（リスク）の分類

自動運転影響リスク	49 件(約 78%)
一般リスク	14 件(約 22%)

1) 複数のバス停間において抽出されたリスクは以下のとおりである。

・自動運転影響リスク

<12 区間において抽出> 1 件

①BRT 用信号が前方歩行中の利用者の陰に位置し自動運転車両搭載カメラで認識できない可能性

<6 区間において抽出> 1 件

①専用道上に雑木が伸びており自動運転車両に搭載した LiDAR(前方用・後方用)・カメラ(障害物・信号検知)・GNSS アンテナ・LTE アンテナ等と接触し、損傷する可能性

<4 区間において抽出> 1 件

①横断帯の歩行者が反対方向自動運転車両後部に隠れ、自動運転車両のセンサが認識できない可能性

<2 区間において抽出> 3 件

①専用道と交差する高架橋からと思われる落石を確認。落下物が自動運転車両本体や LiDAR(前方用・後方用)・カメラ(障害物・信号検知)・GNSS アンテナ・LTE アンテナを損傷する可能性

②専用道の橋梁前後専用道が勾配を伴いカーブしている。荒天時に自動運転車両が横滑りし防護柵に接触する可能性

③路面劣化の箇所において、自動運転車両の走行に影響する可能性

・一般リスク

<3 区間において抽出> 1 件

① バス停ベンチに腰かけた利用者が専用道側に転倒する可能性

2) 現地調査を踏まえリスクに対し、どのような観点から対策を検討するべきかを企図した「対策立案の観点」について、のべ 100 件起案した。結果を大きく 5 つの区分に分け集約すると以下のとおりである。

表 1.2.3-2 洗い出したハザード（リスク）に対する対策検討の観点

道路管理対策を観点に検討を要すると思われるもの	52 件
施設管理対策を観点に検討を要すると思われるもの	34 件
車両システム対策を観点に検討を要すると思われるもの	9 件
車両対策を観点に検討を要すると思われるもの	3 件
運行対策を観点に検討を要すると思われるもの	2 件

表 1.2.3-3 交通実態に基づくハザードの洗い出し結果①

区間	リスク番号	リスク	対策案・対策立案の観点
6河原子～	①	【自動運転影響リスク】 BRT用信号が前方歩行中の利用者の陰に位置し自動運転車両搭載カメラで認識できない可能性	・BRT用信号の設置高検討(施設管理) ・利用者への注意喚起の検討(施設管理)
	②	【自動運転影響リスク】 専用道と交差する高架橋からと思われる落石を確認。落下物が自動運転車両本体やLiDAR(前方用・後方用)・カメラ(障害物・信号検知)・GNSSアンテナ・LTEアンテナを損傷する可能性	・飛散防止の防護柵検討(道路管理) ・車両側落下物対策検討(車両管理)
	③	【自動運転影響リスク】 高架橋桁下の底面側コンクリートの劣化を確認。剥落片が自動運転車両本体やLiDAR(前方用・後方用)・カメラ(障害物・信号検知)・GNSSアンテナ・LTEアンテナを損傷する可能性	・高架橋桁の整備(道路管理) ・車両側落下物対策検討(車両管理)
	④	【自動運転影響リスク】 専用道法面の雑木の枝が自動運転車両のセンサに影響する可能性	・公有地：剪定の検討(道路管理) ・私有地：周辺住民への説明(道路管理)
	⑤	【自動運転影響リスク】 並走する一般道との合流点において、進入一般車両の左折時に自動運転車両のセンサに検知されない可能性	・自動運転車両の仕様調整 (車両システム管理)
7磯坪～	①	【自動運転影響リスク】 BRT用信号が前方歩行中の利用者の陰に位置し自動運転車両搭載カメラで認識できない可能性	・BRT用信号の設置高検討(施設管理) ・利用者への注意喚起の検討(施設管理)
	②	【自動運転影響リスク】 一般道信号と自動運転車両通過の連携が確認できず。一般道一般車と自動運転車両が接触する可能性	・BRT連動信号の検討(警察・道路管理)
	③	【一般リスク】 押しボタン式歩行者用信号機を押下せず横断を行う歩行者を確認。歩行者事故の可能性	・歩行者への注意喚起の検討(道路管理)
8大沼(BRT)～	①	【自動運転影響リスク】 停留所での自動運転車両上下線交差時、歩行者横断歩行中の利用者が対向側自動運転車両の後部に隠れ、自動運転車両センサが歩行者を認識できない可能性	・横断帯位置の見直し(施設管理) ・注意喚起の設置(施設管理)
	②	【自動運転影響リスク】 BRT用信号が前方歩行中の利用者の陰に位置し自動運転車両搭載カメラで認識できない可能性	・BRT用信号の設置高検討(施設管理) ・利用者への注意喚起の検討(施設管理)
	③	【自動運転影響リスク】 交差する一般道において、専用道との交差点地点の一時停止標示を遵守しない一般車が発現した場合、自動運転車両と接触する可能性	・交差車両認識対策の検討 (道路管理、車両システム管理)
	④	【自動運転影響リスク】 専用道上に雑木が伸びており自動運転車両に搭載したLiDAR(前方用・後方用)・カメラ(障害物・信号検知)・GNSSアンテナ・LTEアンテナ等と接触し、損傷する可能性	・雑木の剪定(道路管理) ・私有地雑木の場合は、周辺住民調整の検討(道路管理)
9大沼小学校東～	①	【自動運転影響リスク】 BRT用信号が前方歩行中の利用者の陰に位置し自動運転車両搭載カメラで認識できない可能性	・BRT用信号の設置高検討(施設管理) ・利用者への注意喚起の検討(施設管理)
	②	【自動運転影響リスク】 下り自動運転車両において横断帯の歩行者がバーゲート可動装置の陰となりセンサで認識できない可能性	・横断帯位置の検討(道路管理) ・注意喚起の検討(道路管理)
	③	【自動運転影響リスク】 自動運転車両が交差点通過の際、一般道を走行する一般車の左折をセンサで認識できない可能性	・減速等走行プログラムを検討(車両システム管理) ・一般道に注意喚起の検討(道路管理)
	④	【自動運転影響リスク】 下り自動運転車両が交差点通過の際、並走する歩道から横断帯に出てきた歩行者をセンサで認識できない可能性	・減速等走行プログラムを検討(車両システム管理) ・歩道に注意喚起の検討(道路管理)
	⑤	【自動運転影響リスク】 横断歩道と横断帯の接合部分に取り残され、自動運転車両が歩行者に接近する可能性	・安全島の検討(道路管理) ・減速等走行プログラムを検討(車両システム管理) ・横断歩道、横断帯に注意喚起検討(道路管理)
10寺方～	①	【自動運転影響リスク】 BRT用信号が前方歩行中の利用者の陰に位置し自動運転車両搭載カメラで認識できない可能性	・BRT用信号の設置高検討(施設管理) ・利用者への注意喚起の検討(施設管理)
	②	【自動運転影響リスク】 横断帯の歩行者が上り自動運転車両後部に隠れ、下り自動運転車両のセンサが認識できない可能性	・横断帯位置の検討(道路管理) ・注意喚起の検討(道路管理)
	③	【自動運転影響リスク】 上り自動運転車両が交差点通過の際、一般道を走行する一般車の交差点左折進入時に一時停止を行わず自動運転車両のセンサが認識できない可能性	・減速等走行プログラムを検討(車両システム管理) ・一般道に注意喚起の検討(道路管理)

区間	リスク番号	リスク	対策案・対策立案の観点
11水木(BRT) ～	①	【一般リスク】 専用道に面する停留所横の駐輪場自転車専用道に乗り入れる可能性	・自転車利用者への注意喚起の検討(施設管理)
	②	【自動運転影響リスク】 BRT用信号が前方歩行中の利用者の陰に位置し自動運転車両搭載カメラで認識できない可能性	・BRT用信号の設置高検討(施設管理) ・利用者への注意喚起の検討(施設管理)
	③	【自動運転影響リスク】 専用道上に雑木が伸びており自動運転車両に搭載したLiDAR(前方用・後方用)・カメラ(障害物・信号検知)・GNSSアンテナ・LTEアンテナ等と接触し、損傷する可能性	・雑木の剪定(道路管理) ・私有地雑木の場合は、周辺住民調整の検討(道路管理)
	④	【自動運転影響リスク】 路面劣化の箇所において、自動運転車両の走行に影響する可能性	・路面補修の検討(道路管理)
12泉が森～	①	【自動運転影響リスク】 BRT用信号が前方歩行中の利用者の陰に位置し自動運転車両搭載カメラで認識できない可能性	・BRT用信号の設置高検討(施設管理) ・利用者への注意喚起の検討(施設管理)
	②	【自動運転影響リスク】 路面劣化の箇所において、自動運転車両の走行に影響する可能性	・路面補修の検討(道路管理)
	③	【自動運転影響リスク】 専用道の橋梁前後専用道が勾配を伴いカーブしている。荒天時に自動運転車両が横滑りし防護柵に接触する可能性	・荒天時運行管理の検討(運行管理)
	④	【一般リスク】 調査当日、自転車の歩道乗り入れを確認。自転車転倒、歩行者接触等による事故の可能性	・自転車乗り入れ対策の検討(道路管理)
	⑤	【自動運転影響リスク】 下り方向、陸橋下り勾配途中の横断帯、乗車定員等加重状況により横断帯に進入し歩行者と接触する可能性	・減速等走行プログラムを検討(車両システム管理)
	⑥	【一般リスク】 歩行者が横断帯を通過後、横断歩道のない一般道を乱横断する可能性	・歩行者に注意喚起の検討(道路管理)
	⑦	【自動運転影響リスク】 横断帯へ侵入する歩行者が電気設備の陰となり、上り自動運転車両のセンサが認識できない可能性	・減速等走行プログラムを検討(車両システム管理) ・歩行者に注意喚起の検討(道路管理)
13大塚駅西口 ～	①	【自動運転影響リスク】 専用道付近の電車送電線からの電磁波による自動運転車両ECU誤作動の可能性	・影響確認の検討(車両システム管理)
	②	【自動運転影響リスク】 専用道上に雑木が伸びており自動運転車両に搭載したLiDAR(前方用・後方用)・カメラ(障害物・信号検知)・GNSSアンテナ・LTEアンテナ等と接触し、損傷する可能性	・雑木の剪定(道路管理) ・私有地雑木の場合は、周辺住民調整の検討(道路管理)
	③	【自動運転影響リスク】 専用道の橋梁前後専用道が勾配を伴いカーブしている。荒天時に自動運転車両が横滑りし防護柵に接触する可能性	・荒天時運行管理の検討(運行管理)
14臨海工場西 ～	①	【自動運転影響リスク】 横断帯の歩行者が反対方向自動運転車両後部に隠れ、自動運転車両のセンサが認識できない可能性	・横断帯位置の検討(道路管理) ・注意喚起の検討(道路管理)
	②	【自動運転影響リスク】 BRT用信号が前方歩行中の利用者の陰に位置し自動運転車両搭載カメラで認識できない可能性	・BRT用信号の設置高検討(施設管理) ・利用者への注意喚起の検討(施設管理)
	③	【自動運転影響リスク】 専用道隣地駐車場から一般車誤侵入の可能性	・防護柵の検討(道路管理)
	④	【一般リスク】 専用道コンクリート法面にスケートボードもしくはローラーブレードの滑走痕を確認。専用道目的外利用者の可能性	・注意喚起の検討(道路管理) ・法面对策の検討(道路管理)
	⑤	【自動運転影響リスク】 専用道上に雑木が伸びており自動運転車両に搭載したLiDAR(前方用・後方用)・カメラ(障害物・信号検知)・GNSSアンテナ・LTEアンテナ等と接触し、損傷する可能性	・雑木の剪定(道路管理) ・私有地雑木の場合は、周辺住民調整の検討(道路管理)

区間	リスク番号	リスク	対策案・対策立案の観点
15吹上橋～	①	【自動運転影響リスク】 横断帯の歩行者が反対方向自動運転車両後部に隠れ、自動運転車両のセンサが認識できない可能性	・横断帯位置の検討(道路管理) ・注意喚起の検討(道路管理)
	②	【自動運転影響リスク】 BRT用信号が前方歩行中の利用者の陰に位置し自動運転車両搭載カメラで認識できない可能性	・BRT用信号の設置高検討(施設管理) ・利用者への注意喚起の検討(施設管理)
	③	【一般リスク】 停留所ベンチに腰かけた利用者が専用道側に転倒する可能性	・設置位置、タイプの検討(施設管理)
	④	【自動運転影響リスク】 専用道と交差する高架橋からと思われる落石を確認。落下物が自動運転車両本体やLiDAR(前方用・後方用)・カメラ(障害物・信号検知)・GNSSアンテナ・LTEアンテナを損傷する可能性	・飛散防止の防護柵検討(道路管理) ・車両側落下物対策検討(車両管理)
	⑤	【自動運転影響リスク】 専用道上に雑木が伸びており自動運転車両に搭載したLiDAR(前方用・後方用)・カメラ(障害物・信号検知)・GNSSアンテナ・LTEアンテナ等と接触し、損傷する可能性	・雑木の剪定(道路管理) ・私有地雑木の場合は、周辺住民調整の検討(道路管理)
16どうのいり公園～	①	【自動運転影響リスク】 BRT用信号が前方歩行中の利用者の陰に位置し自動運転車両搭載カメラで認識できない可能性	・BRT用信号の設置高検討(施設管理) ・利用者への注意喚起の検討(施設管理)
	②	【一般リスク】 停留所と公園フェンスとの間に隙間を確認。利用者転倒等の可能性	・利用者への注意喚起の検討(施設管理)
	③	【一般リスク】 停留所ベンチに腰かけた利用者が専用道側に転倒する可能性	・設置位置、タイプの検討(施設管理)
17日立商業高校～	①	【自動運転影響リスク】 横断帯の歩行者が反対方向自動運転車両後部に隠れ、自動運転車両のセンサが認識できない可能性	・横断帯位置の検討(道路管理) ・注意喚起の検討(道路管理)
	②	【自動運転影響リスク】 横断帯は日立商業生徒が利用する歩道につながっており、登下校時は歩行者横断が頻出する可能性	・注意喚起の検討(道路管理)
18日立商業下～	①	【自動運転影響リスク】 BRT用信号が前方歩行中の利用者の陰に位置し自動運転車両搭載カメラで認識できない可能性	・BRT用信号の設置高検討(施設管理) ・利用者への注意喚起の検討(施設管理)
	②	【一般リスク】 「自転車乗り入れ禁止」柵の間隔があり、自転車の歩道誤侵入による自転車転倒、歩行者接触等事故の可能性	・自転車乗り入れ対策の検討(道路管理)
	③	【自動運転影響リスク】 「自転車乗り入れ禁止」柵に横断する小児が隠れる形になった場合、自動運転車両のセンサで認識できない可能性	・横断帯位置の検討(道路管理) ・注意喚起の検討(道路管理)
	④	【一般リスク】 一般道信号が青、自動運転車両用バースが上がっている場合、専用道への一般車誤侵入の可能性	・注意喚起の検討(道路管理) ・信号とバースの連動検討(警察、施設管理)
	⑤	【自動運転影響リスク】 横断帯の歩行者が反対方向自動運転車両後部に隠れ、自動運転車両のセンサが認識できない可能性	・注意喚起の検討(道路管理)
	⑥	【自動運転影響リスク】 専用道隣地との防護柵未設置の箇所を複数確認。誤侵入による事故の可能性	・防護柵の検討(道路管理) ・注意喚起の検討(道路管理)
	⑦	【一般リスク】 専用道隣地ブロック塀の傾斜を確認。倒壊等専用道への影響の可能性	・周辺住民調整の検討(道路管理)
	⑧	【自動運転影響リスク】 専用道上に雑木が伸びており自動運転車両に搭載したLiDAR(前方用・後方用)・カメラ(障害物・信号検知)・GNSSアンテナ・LTEアンテナ等と接触し、損傷する可能性	・雑木の剪定(道路管理) ・私有地雑木の場合は、周辺住民調整の検討(道路管理)
	⑨	【自動運転影響リスク】 専用道に隣接する住宅の柵に日干しされているシーツを確認。自動運転車両のセンシングに影響を与える可能性	・周辺住民調整の検討(道路管理)
	⑩	【一般リスク】 横断歩道の塗装劣化を確認。歩行者誤認の可能性	・塗装補修の検討(道路管理)

区間	リスク番号	リスク	対策案・対策立案の観点
19南部図書館	①	【一般リスク】 下り停留所から図書館への歩行経路(点字ブロック)が迂回しており、利用者が経路外を乱横断する可能性	・利用者への注意喚起の検討(施設管理)
	②	【自動運転影響リスク】 BRT用信号が前方歩行中の利用者の陰に位置し自動運転車両搭載カメラで認識できない可能性	・BRT用信号の設置高検討(施設管理) ・利用者への注意喚起の検討(施設管理)
	③	【一般リスク】 停留所ベンチに腰かけた利用者が専用道側に転倒する可能性	・設置位置、タイプの検討(施設管理)
	④	【自動運転影響リスク】 遮断棒に設置のラベル(反射板)が紫外線などにより劣化し、認識等が困難になる可能性	・管理方法の検討 (施設管理)

1.2.4. 運用プロセスアセスメント(1次)

(1) 概要

ルートアセスメント現地調査で確認した結果及び関係機関から収集した各種資料をもとに、リスクアセスメント(プロセスの分析、ハザードの洗い出し、リスク分析・評価)とリスク低減策の検討を実施した。

(2) プロセスの分析

ハザードの洗い出しに先立ち、業務プロセスの洗い出しを実施した。業務プロセスの洗い出しは、現地調査における現地関係者(茨城交通株式会社)等へのヒアリングのほか、過年度の実証実験に関連するドキュメントを踏まえ作成した。

(3) ハザードの洗い出し

洗い出したプロセスをもとにハザードの洗い出しを行った。ハザード洗い出しに際しては以下の項目を踏まえ実施した。

<自動運転移動サービスを想定した事故等の洗い出し観点>

- ・自動運転車などの新しい移動サービスを導入するにあたり、m-SHELの観点からそれぞれの要素を自動運転車両や新しい移動サービスに置き換えた場合、以下のリスクの洗い出し観点が考えられる。

1. ソフトウェア

- 作業や運行の手順、作業・運行の指示の内容やそれが記載されている手順書や指示書、点呼等での指示の出し方、教育訓練の方法など、ソフトに関わる要素

2. ハードウェア

- 運行や作業、整備に使われる道具、自動運転車両や(遠隔監視や)自動運転に関わる設備などハード的な要素

3. 環境

- 走行コースや周辺の環境、気象状況や作業や整備環境など、走行・作業環境に関わる要素

4. 本人(自動運転車両等の操作や作業に主体的に関わる人)

- 本人の心身や健康状態や身体的な能力、操作や作業に関する技量や知識やコンプライアンス意識に関する要素

5. 他人(本人に関係、関与する人)

- 本人に指示や命令する上司や操作・作業を一緒に行う同僚、自動運転車両の周辺を走行するその他の交通に関する要素

6. マネジメント

- 本人が所属する組織にいて、現場をコントロールする権限を保有している要員(運行管理者や安全統括管理者等)に関する要素

図 1.2.4-1 ハザードの洗い出しの観点

(4) リスク分析・評価

洗い出しによって特定されたハザードに関し、リスク分析によりリスク点数を算出し、リスク評価によって優先度を特定した。リスク分析に関しては、「危害のひどさ(影響)」(1～4点)と「危険の発生確率」(3～10点)の積によって算出し、「危険の発生確率」は発生の「頻度」、発生の「確率」、事象の「回避可能性」の3つの指標の和から算出した。危害のひどさ(影響)、危険の発生確率については、客観的な判断を行うためそれぞれ設定基準を設けた。

(5) 対策の策定

運行プロセス全体の安全性の確保を、車両やシステム、走行環境、運用対応で担保することを企図し、許容を超えるリスク等に対するリスク低減策の検討を各ステークホルダーと協議した。

1.2.5. 運用プロセスアセスメント(1次)結果

実地調査によるルートアセスメントを踏まえ、特定自動運行主任者同乗型(レベル4)の無人自動運転移動サービスにおける運用をプロセス毎に分解し、各プロセス単位でリスクを顕現化させ、対策を検討した。具体的には走路環境における運行プロセスを想定し、リスクの評価を行い、許容範囲を超えるリスクを把握の上、許容を超えるリスク等に対するリスク低減策の検討を行い、リスク検証と残存リスクへの追加対策等を検討した。その結果、運行プロセス全体の安全性の確保を、車両やシステム、走行環境、運用対応で担保できることになる見込みを確認した。

以下において今次採用したリスクアセスメント手法について、選択肢とした手法やリスク算出手法、評価項目の設定、洗い出しの観点などを説明・解説する。

(1) リスクアセスメント

リスクアセスメントは、職場の潜在的な危険性または有害性を見つけ出し、これを除去、低減するための手法(厚生労働省)であり、「輸送の安全」における「品質確保・維持」(PDCAサイクル)活動のひとつである。

P: 過去に発生した、あるいは発生が懸念される事故やヒヤリ・ハットとその被害の大きさを把握、予測(リスクアセスメント)

D: 事故・ヒヤリ・ハット防止の対策の実施

C: 実施した対策の効果の検証

A: 検証結果をもとに、追加対策などの実施

自動運転車などの新しい移動サービスの導入は、バス事業やタクシー事業といった既存の移動サービスと運営面や管理面等におけるプロセスが異なるため、具体的な走路環境が想定され、導入の検討の準備段階からリスクアセスメントを実施し、実証や社会実装段階までにリスク低減の対策実施、リスク評価の再検証、追加対策の実施を行い、運行全体の安全性の確保、車両やシステム等の安全面における品質確保を担保することが重要と考え

られる。

(2) リスク

リスク(R)は、対象とする事象の危険源によって危害が発生した場合の、「危害のひどさ(S)」と「危害の発生確率(Ph)」の組み合わせとして表すことができる。

リスク(R)＝「危害のひどさ(S)」×「危害の発生確率(Ph)」

また、「危害の発生確率(Ph)」は、「危険事象の発生確率(Ps)」、「暴露頻度や時間(F)」及び「危害回避の可能性(A)」の要素で構成されている。

リスクを評価する方法として、要素の加算や掛け合わせて評価する方法(スコアリング)や、グラフやマトリックスで評価する方法がある。本作業において採用したリスク評価手法等について後述する。

表 1.2.5-1 様々なリスクアセスメント手法の概要

手法	内容	特徴
加算法	リスク評価項目毎の評価点を加算し、合計点をリスク評価点としてリスクレベルを決定。	- 日本では多く利用される - リスク評価項目の増減が容易。 - リスク低減効果が見えにくい
積算法	リスク評価項目毎の評価点を積算し、合計点をリスク評価点としてリスクレベルを決定。	- 加算法の変形。 - リスク低減効果は加算法より反映しやすい。
マトリクス法	「危害のひどさ」と「危害の発生確率」に係わる副要素を、縦・横2軸の評価軸の組み合わせで示されるリスク評価点でリスクレベルを決定。	- リスク低減方策実施前後の比較が容易。 - 適用できるリスク要素に限界あり。
リスクグラフ法	リスク評価項目毎に評価の分岐経路を定め、最終的にリスクレベルを導く。	- 比較・妥当性確認が容易。 - リスク評価項目の評価分類は多くはできない。
ハイブリッド法	スコアリングとマトリクスの特徴を兼ね備えている。リスク評価項目毎の評価点を加算法と積算法を組み合わせ、合計点をリスク評価点としてレベルを決定。	- スコアリングで評価するパラメーターについては重み付けがはっきりする。 - マトリクス部の選択には経験や知識を要する。 - マトリクスよりは網羅性が広い。

(3) リスク洗い出しの観点：事故・ヒヤリ・ハットの原因

事故や事故につながる前段階としてのヒヤリ・ハットの原因は、大きく3つの種類に分類される。

①自然

台風、地震、落雷、雪崩などの自然現象が起因するもの。これら自然現象が予見される際に、適切な対応がなされなかった場合は人災となる。

②人工物

機械、車両や道路(付属物含む)、ネットワークシステムなどの人間が作成・構築したものに起因するもの。作成や構築段階で、事象の検討漏れ、検討不足や対応不足により事故等が発生した場合は人災となる。

③人間

装置や器具の操作を適切に行わない、自動車で歩行者をはねるなど、人間自身の行動に

起因するもの(ヒューマンエラー)。

あらゆる事故やヒヤリ・ハットの原因には、人間が深く関係しており、これら事故やヒヤリ・ハットをなくすためには、人間の問題を避けて通ることは言えないと考えられているため、自動運転車両の運用においても、車両の設計や走行システムや遠隔監視システムの取扱いにおいて人間の行動が介在するために、人間の行動を中心にリスクの洗い出しを進めることが重要である。事故・ヒヤリ・ハットの原因は、様々な要因が複雑に入り組んだ結果生じるものであるが、その要因の洗い出しの観点として、m-SHEL や 4M(5M)といった切り口から洗い出すことが重要である。

これらの観点から、日立市での自動運転バスの実証実験を対象に、運用や安全管理におけるプロセスを整理した上で、リスクを洗い出し、リスクアセスメントを実施した。また、例示した分析手法以外にも分析手法は存在するが、リスク評価や対策の検討を行う際にどの分析手法を用いるのかについては、事前に関係者間(ステークホルダー間)で合意を図っておくことが重要である。

(4) リスク洗い出しの観点：事故・ヒヤリ・ハットの原因

運用や安全管理のプロセスの整理や整理した項目毎にリスクを検討、リスク評価を行うにあたって、リスクアセスメントシートを活用することが望ましい。

リスクアセスメントシートは様々なシートが存在するが、リスクを漏れなく洗い出すためには、運行プロセスを可能な限り細分化することが望ましい。以下に、日立市で実施した際のリスクアセスメントシートを例示するとともに、リスクアセスメントシートへの記載項目の具体的な内容を示す。なお、リスクアセスメントは、一度のリスク評価で終わりではなく、リスクが許容できるようになるまでは、リスク低減対策に対して、繰り返しリスク評価をすることになる。

表 1.2.5-2 リスクアセスメントシート構成

No.	大区分	中区分	L4	発生事象 (故障／不能等)	原因事象・行為	原因事象・行為(例示)	リスク評価(対策前)				対策				リスク評価(対策後)				対策区分	
							危険の 顕在性 (影響) S	危険の 顕在性 Ph (影響) F	危険の 顕在性 Ps (影響) A	リスク点 数 R	マニュアル化 要否	内容	変遷要因型		方向性	危険の 顕在性 (影響) S	危険の 顕在性 Ph (影響) F	危険の 顕在性 Ps (影響) A		リスク点 数 R
													回答	状況						
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲		

(5) リスクアセスメントシートの項目の例と概要

洗い出したリスクの整理や評価(リスクアセスメント)を行うにあたっては、「リスクアセスメントシート」を活用することが望ましい。以下にリスクアセスメントシートへの記載項目例と概要を示す。

表 1.2.5-3 リスクアセスメントシートへの記載項目例と概要

項 目			概 要
②大区分			運行における流れを「出社」「運行前点検」「車庫⇒停留所」「乗車」「運賃収受」「走行中」「無線連絡」「停留所⇒車庫」「運行管理」「緊急時対応」の9つの区分に整理
③中区分			②の各区分を更に行動で分割し整理
④L4			L4運行およびL4乗務員(主任者)同乗型特有の事項について○
⑤発生事象(故障／不能等)			特にプロセス毎に発生しうると考えられる、故障やトラブル、エラー事象について記載
⑥原因事象・行為			「発生事象」で列挙したエラー事象の原因やエラーにつながる行為を記載
⑦原因事象・行為(例示)			「原因事象・行為」で記載した行為について、例を記載
リスク評価 (対策前)	⑧ 危害の酷さ		「発生事象」により、不具合事象が発生することで、実証実験や社会実装に与える影響を「人身傷害」、「財物損壊」、「運行(サービス)遅延・停止」の3つの観点から4段階で点数を記載。
	危険の 蓋然性	⑨危険の蓋然性	下記「頻度」「確率」「回避」の点数の和を記載
		⑩頻度	主に「発生事象」により危険が晒される時間を、「長時間」、「短時間」、「瞬間」の3段階で点数を記載
		⑪確率	「発生事象」により危険が発生する可能性を、「高い」、「起こり得る」、「起こりがたい」、「まれ」の4段階で点数を記載
		⑫回避	環境要因(天候不順、災害)などの回避が困難なリスク事象は、不可抗力的要素が強くあり、回避困難と判断、3点と評価。対策等で回避が可能なリスク事象については1点と評価
	⑬リスク点数		「危害の酷さ」と「危険の蓋然性」を掛け合わせた値を記載
対 策		⑭マニュアル化要否	運行事業者が対策対応を「マニュアル化」し文書化するか、文書化するに至らない「運用」で対応するのの目安(検討案)
		⑮内容	想定される不具合事象への主な対策内容
		⑯回答・状況	(本表作成時点での)対策の主体となる事業者と検討状況
		⑰方向性	「回答・状況」の説明
⑱リスク評価(対策後)			リスク対策後の上記⑨～⑫の見直し後点数
⑲対策区分			対策を「発生後対応」「未然対策」「対策不可」に分け、危険への影響を整理

(6) リスク点数の配分

リスク点数の算出には、対象とするシステムや環境、運用に対するリスク評価の経験やノウハウに基づいて、危害のひどさや発生確率に関して点数を配分することが一般的である。以下に日立市での運行を想定したリスク点数の配分例を例示する。配分にあたっては、事前に関係者間(ステークホルダー間)で調整・合意を図っておくことが重要である。

表 1.2.5-4 リスク点数の配分例（日立市での運行を想定）

酷さ	人身事故・物損事故	運行への影響
4	死亡・重傷、車両全損	運行停止
3	軽傷・車両破損(長期の修理期間)	中程度
2	軽傷未満(病院を受診)・車両破損(短期の修理期間)	軽微
1	軽傷未満(病院を受診せず)	一時的

発生 確率	頻度		確率	回避
	晒される頻度	晒される時間	危険事象の発生確率	危害を回避又は制限できる可能性
4	—	—	高い	—
3	頻繁	長時間	起こり得る	困難
2	時々	短時間	起こり難い	—
1	まれ	瞬間	低い	可能

(7) 対応するリスク領域の設定

「リスクアセスメントシート」に沿ってリスク整理や評価を実施後、優先的に対応するリスクを検討する必要がある。検討にあたっては、算出したリスク点数の結果に基づいて対応するリスクの優先度を検討することが一般的である。

優先的に対応するリスクかどうかについて、

- ① リスクが低減できない場合、許容できない領域(リスク)
- ② 許容できる最小リスクまで低減することを推奨する領域
- ③ 受容可能な領域

に分類することが望ましい。

これら優先して対応するリスク領域の設定にあたっては、事前に関係者間(ステークホルダー間)で調整・合意を図っておくことが重要である。以下に日立市での運行を想定して行ったリスクアセスメントの際のリスク領域の設定について例示する。

表 1.2.5-5 リスクアセスメントの際のリスク領域の設定（本実証実験を想定）

		危険の確率(Ph)=頻度(F)+確率(Ps) +回避(A)							
		3	4	5	6	7	8	9	10
影響 (S)	4	12	16	20	24	28	32	36	40
	3	9	12	15	18	21	24	27	30
	2	6	8	10	12	14	16	18	20
	1	3	4	5	6	7	8	9	10

- リスクが低減できない場合は許容できない領域（リスク点数：18点～40点）
- リスク低減策の実現性を考慮しながらも許容できる最小のリスクまで低減することを推奨する領域（リスク点数：7点～17点）
- 受容可能な領域（リスク点数：1点～6点）

(8) リスクアセスメントシート事例

以下に日立市での運行を想定して行ったリスクアセスメントにおける記入例を示す。以下に示しているリスクアセスメントシートはその一部のみを示しており、日立市での日々の自動運転バスの運用において、従事者が出社する段階から退社するまでの運用に関する運行プロセスを整理し、想定されるリスクについての洗い出しとその評価を行ったものである。これらの検討と設定は、対象とするシステムや環境、運用に対するリスク評価の経験やノウハウを持っている保険会社やリスクコンサルタント会社が、現地調査やヒアリングなどを行って作成し、リスク対策や回避については旅客自動車運送事業者・自動運行装置製作者など関係者と協議検討を行っている事例である。このような対策とリスク評価を繰り返し、旅客自動車運送事業者として許容できる点数までリスクを下げていく道筋を示すことで、運行の安全性を確保できるようになる。

繰り返しとなるがリスク評価後のリスク低減対策に対し、リスクが許容できるまで繰り返しリスク評価と低減対策を実施することが肝要である。

表 1.2.5-6 リスクアセスメントの記入例

※点数減は黄色塗つた

No.	大区分	中区分	L4	発生事象 (故障／不能等)	原因事象・行為	原因事象・行為 (例示)	リスク評価(対策前)				対策				リスク評価(対策後)				対策区分					
							危険 の 階級 (影 響) S	危険 の 階級 (計 算) F	危険 の 階級 (確 率) Ps	危険 の 階級 (回 避) A	リス ク 点 数 R	マ ニ ュ ア ル 化 要 否	内 容	重 複 回 避 型	危 害 の 階級 (影 響) S	危 険 の 階級 (計 算) F	危 険 の 階級 (確 率) Ps	危 険 の 階級 (回 避) A		リス ク 点 数 R				
乗務員同乗型																								
回答	状況	方向性																						
1-1	出社	出社	○	乗務員が出社できなかった	体調不良/突発的な事故・事象	発熱、腹痛、咳/運動経路上での交通事故、火災、天災	1	5	2	2	1	5	運用	運用(代替乗務員)	交通	検討	対象全乗務員に対し、主任者研修を実施予定のため、現行マニュアル運行と同等の対応が可能となる見込	1	4	1	2	1	4	発生後対応
1-2	出社	出社		運行管理者が出社できなかった	体調不良/突発的な事故・事象	発熱、腹痛、咳/運動経路上での交通事故、火災、天災	1	5	2	2	1	5	運用	運用(代替運行管理者)	交通	検討	運行管理者に対する主任者研修は予定なし、主任者同等の知識要件を検討	1	4	1	2	1	4	発生後対応
1-3	出社	出社	○	運行・運休の判断ができなかった	規程の不備	基準が不明瞭でマニュアルから中止かどうか判断できない	2	4	1	2	1	8	マニュアル化	マニュアル化(L4運行判断)	交通	検討	機能限界等を踏まえた判断基準を先任と共に作成する必要有	2	3	1	1	1	6	未然対策

(9) プロセスアセスメント(1次)結果の整理

リスクアセスメントによる評価の結果、高いリスク点数となった対応優先リスクに対し、リスク低減及び回避手段の検討を行った。なお、プロセスを抽出するために整理した業務フローは下図のとおりである。

運用プロセスについて、旅客自動車運送事業者等とのヒアリング等を映じ、第一次案としてリスクが懸念されるプロセスを 210 に整理した。各プロセスについて旅客自動車運送事業者、自動運行装置製作者等各ステークホルダーの意見を聴取し、第 1 次の各プロセスにおいて懸念されるリスクへの対策案をのべ 788 件起案した。その後数次にわたるヒアリング、検討を経て重複の削除、対策対応までの実現日数などを考慮し 155 のプロセスと、のべ 232 件の対策に集約を行った。

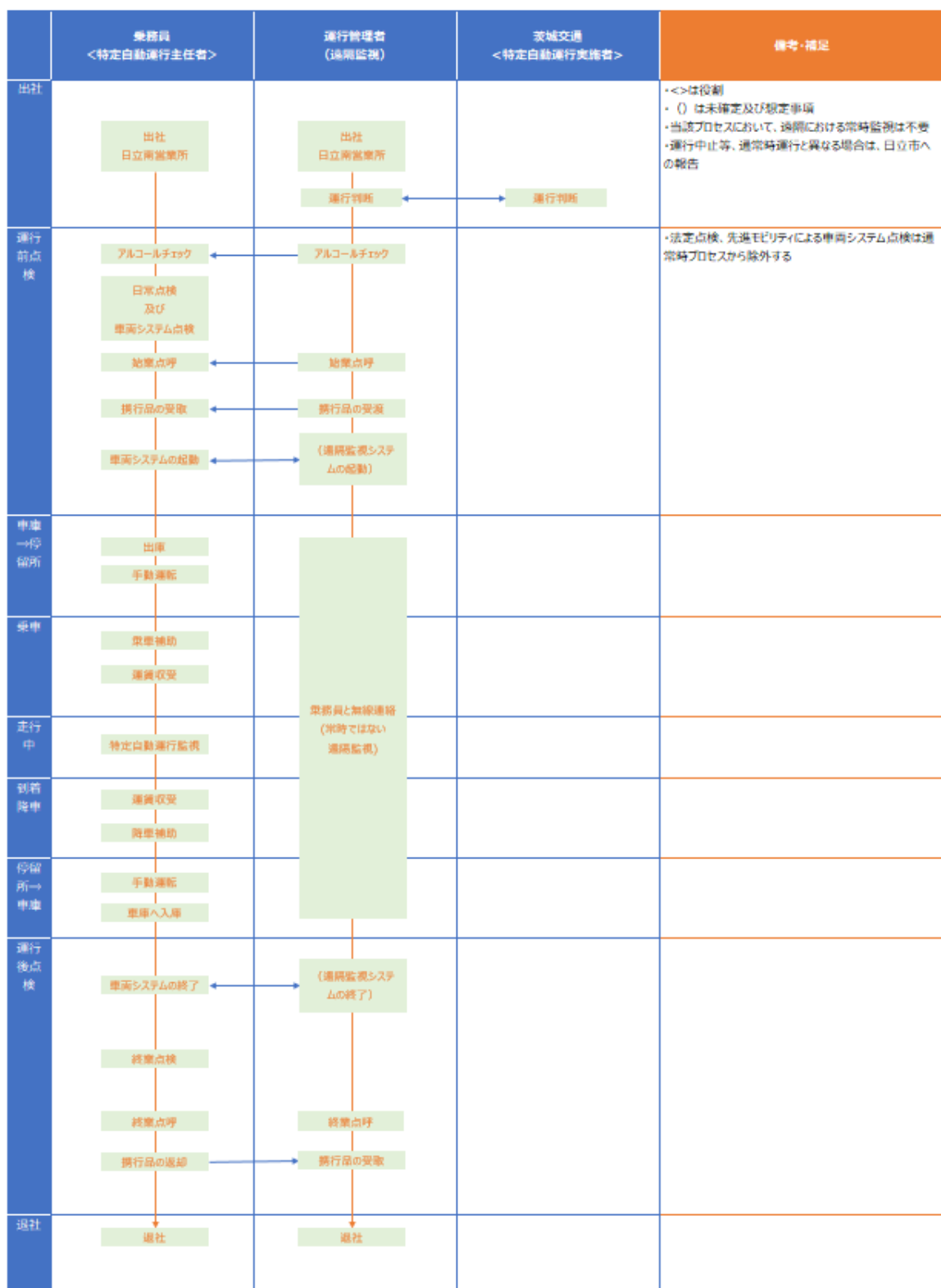


図 1.2.5-1 運行フロー

(10) 155 のプロセスのリスク評価(リスク点数)

リスクアセスメント手法に基づき、リスク点数を算出した結果は以下のとおりである。
なお、リスク点数及びその定義について関係者間で協議を行った。

表 1.2.5-7 プロセス区分毎のリスク点数分配（日立市での運行を想定）

プロセス区分	リスク点数													件数計
	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	16	18	20	
1出社			2			1	2		1			2		8
2運行前点検	3	1	1	3		3	1	1	1	1			2	17
3車庫⇒停留所		1							1		1		1	4
4運賃収受/乗車	5		2		2		2							11
5走行中	9		11	12	1	7	13	10	15	4			2	84
6無線連絡	3	1												4
7停留所⇒車庫	1	1		1					2		1			6
8運行管理				1		4								5
9緊急時対応				6		3	2		5					16
件数計	21	4	16	23	3	18	20	11	25	5	2	2	5	155

7	リスクが低減できない場合は許容できない領域（リスク点数：18点～40点）
84	リスク低減策の実現性を考慮しながらも許容できる最小のリスクまで低減することを推奨する領域（リスク点数：7点～17点）
64	受容可能な領域（リスク点数：3点～6点）

橙色となった「リスクが低減できない場合は許容できない領域」7 件の具体的なプロセスと対策は以下のとおりである。

表 1.2.5-8 リスクが低減できない場合は許容できない領域の具体的なプロセス

No.	大区分	発生事象 (故障／不能等)	原因事象・行為 (例示)	リスク評価 (対策前)						(S×Ph) リスク点数 R	マニュアル化要否	対策	
				危害の 顕さ (影響) S	危険の蓋然性Ph				内容			乗務員同 義型 回答	
					計	頻度 F	確率 Ps	回避 A					
1	1-4	出社	終日運行中止を決定した	予報されていなかった天候へ急変	3	6	2	1	3	18	マニュアル化	マニュアル化（L4運行判断）	茨城交通
2	1-5	出社	終日運行中止を決定した	路面陥没	3	6	3	2	1	18	適用	適用（L4運行判断）	茨城交通
3	2-5	運行前点検	点検時に異常が確認された（水没）	水災による水没	4	5	1	1	3	20	適用	適用（代替車両）	茨城交通
4	2-7	運行前点検	点検時に異常が確認された（火災）	火災（建屋、車両）	4	5	1	1	3	20	適用	適用（代替車両）	茨城交通
5	3-4	車庫⇒停留所	手動運転中に対人事故が発生した	もらい事故が発生した	4	5	1	1	3	20	適用	適用（事故時対応、L4代替車両）	茨城交通
6	5-42	走行中	車両が交差点内で自転車、歩行者、ランナーと接触した	対向するBRT車両の死角からの飛び出し	4	5	1	1	3	20	適用	適用（乗務員対応）	茨城交通
											自動運転システム	バス停付近で対向車両が近くにいる場合は、徐行し、発見したら停車する。	先進モビリティ
											設備管理	案内看板の作成	－
7	5-43	走行中	車両が交差点内で自転車、歩行者、ランナーと接触した	制動盤・電気設備・柵・フェンス・ブロック塀等の死角からの飛び出し	4	5	1	1	3	20	適用	適用（乗務員対応）	茨城交通
											自動運転システム	発見次第、減速行動に移し、なるべく被害を軽減する。	先進モビリティ
											設備管理	警告看板の設置	－

1.3. 上記検討に基づく全体システム設計と各種対応の妥当性確認

システム開発においては、V字モデルと言われる工程が良く使用されている。自動運転システムの開発においても、これを用いることが理想的である。V字モデルでは、基本的な例として、要求意義、要件定義、基本設計、詳細設計、開発、単体テスト、結合テスト、総合テスト、受入テストの9項目のうち、開発で折り返す形をとり、横並びになる要求定義に対しては総合テストが行われることになり、基本設計に対して結合テストが行われて、不具合が出れば出戻るというものである。

テーマ2では、2021年度から2年間は、運行事業者等がコンソーシアムに直接参画していなかった。また、自動運転システム開発は前例の少ない取組みのため、運行事業者としても自動運転システムの要求仕様を自動運転システム設計者に提示することが難しい状況にあり、自動運転システム設計者が運転操作を自動運転システムに置き換える開発が先行してきた経緯がある。そのため、今回の開発ではV字モデルに必ずしも沿ったものではなく、レベル4自動運転システムの位置づけの中で実現可能な開発が先行する中で現実的な移動サービスの実現を目指した要件定義などの合せ込みをしている。こうした検討経緯となった1つの理由には、新たに許認可が必要な自動運転車両と移動サービスを目指しているためという理由もある。ただし、最終的には、受入テストとしての安全性等の検証や運行に供するものとして問題のないものであるのかが重要であり、実際に運行する事業者等も含めて、設計確認ができるようなプロセスがあることが重要である。

レベル4自動運転移動サービスを実現するためのシステムの設計にあたっては、走行環境や交通状況、運行要求や運行計画等が与える影響が大きい。そのため、上記の1.2節で説明しているように、運行プロセス全体から俯瞰して、運行に対するリスクや円滑性、継続性、持続性等が運行側の求める許容できる範囲となるように全体のシステムが設計できるかが重要となる。

2023年度は、全体システム設計の見直しを行い、また、過去に検討したシステム構築や実証の分析結果についても再整理を行った。

まず、ひたちBRTにおける乗務員乗車型レベル4自動運転移動サービスの路線バス事業を想定した運行プロセスにおけるリスクアセスメントを行った。自動運転実証等におけるリスクアセスメントは、一般的に、適用する走行環境や交通状況に対する潜在的なリスクが存在するかなどを、その発生確率や重大性などをもとに評価し、そのリスクが許容できる範囲となるように対策をとっていくものである。今回は、そのような主に車両や走行環境に対するリスクの検討ばかりではなく、実際に運行を想定したリスクを洗い出すことによって、実際の移動サービスとしての社会実装にあたり、システム全体の設計を考えるところに立ち戻って進めることとしている。

リスクアセスメントは、テーマ1の福井県永平寺町において既に運行プロセスに応じたリスクの評価を行っており、テーマ1で実施したリスクの考え方やリスクの評価、対策による再評価などの手法、リスクアセスメントシートなど参考となる成果も活用して検討を進めてきた。

リスクアセスメントシートに記載されたリスク事象等は、ステークホルダーがリスク対策に対する議論をする上で、非常に重要な土俵部分であると言える。評価や対策を誰がど

の程度すれば良いのかは、ステークホルダー間できちんと役割や責任を整理しておく必要がある。

1.3.1. 全体システム設計の見直し

成果目標達成をするにあたっての第 1 ステップとして乗務員乗車型レベル 4 の長期営業運行を開始することを目指し、以下の手順で全体システムの設計の策定を行った。

- ・ レベル 4 の事業を想定した運行プロセスにおけるリスクアセスメント
- ・ 洗い出したリスクに対して 2024 年度で実施できる自動運転システムによるリスク対応策の確認
- ・ リスク対応策を踏まえ、乗務員乗車型レベル 4 自動運転サービスにおける全体システム設計

なお、以上の全体システム設計については、第 2 章以降で示す以下の検討につなげる前段階の整理としている。

- ・ リスクシナリオの整理
- ・ 安全走行戦略の策定

(1) リスク低減策における自動運転システムの整理（詳細は 1.2 節参照）

2025 年度に実現を目指す遠隔監視型レベル 4 自動運転移動サービスは、ひたち BRT のインフラの上を、自動運転レベル 4 の自動運転バス車両が遠隔監視センターと連携しながら自律走行することを想定している。

一方、リスク低減策の整理の結果を踏まえると、そのための第 1 ステップとして、自動運転システムの機能も踏まえ、車内に乗務員乗車型レベル 4 自動運転移動サービスをとし乗務員がバス車両に乗車した運行形態から運行開始を目指す目標設定とすることが妥当と確認した。

(2) 全体システム設計

レベル 4 自動運転移動サービスの全体システム設計を進めるにあたっては、まず地域の移動の需要や課題を把握し、ソリューションとしてのサービスを定義した後に、続いて、安全性と事業性を両立して当該サービスを実現するシステムの全体設計を実施する必要がある。

車両には実用的な技術が活用（性能は限定的）される一方で、限定空間を走行することから、走行環境条件（ODD）をさだめることで自動運転の弱点を補完し合理的な安全走行を実現することになる。よって、車両のみならず、道路インフラ、遠隔監視など複数要素からなる全体システム、及びそのサブシステム構成と機能分担等の検討が求められる。

2022 年度の報告書では、遠隔監視型 レベル 4 自動運転移動サービスの全体システム設計の構成図を示している。なお、自動運転を機能させるために密接につながっているサブシステムを含むシステム全体が安全設計に必要な対象である。

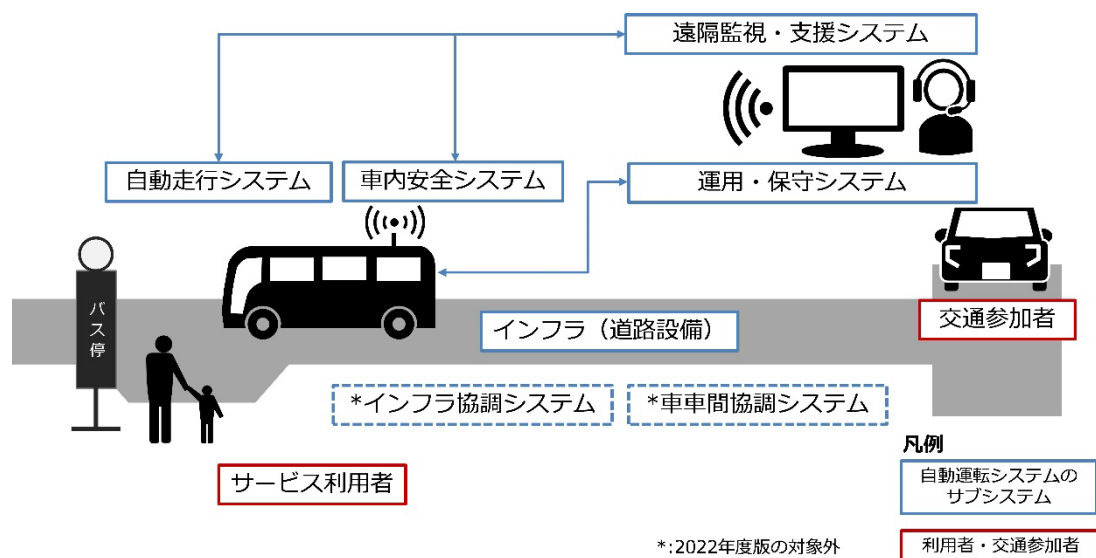


図 1.3.1-1 全体システム設計（遠隔監視型）

2023 年度は、遠隔監視型の全体システム設計を踏まえ、乗務員乗車型の全体システム設計を行った。以下に構成図を示す。

乗務員乗車型の全体システム設計は、自動運転バス車内に乗務員が乗車することから、車内安全システム、遠隔監視・支援システム、運用・保守システムの役割を運行事業者の関係者が担う点が遠隔監視型の全体システム設計との差となっている。

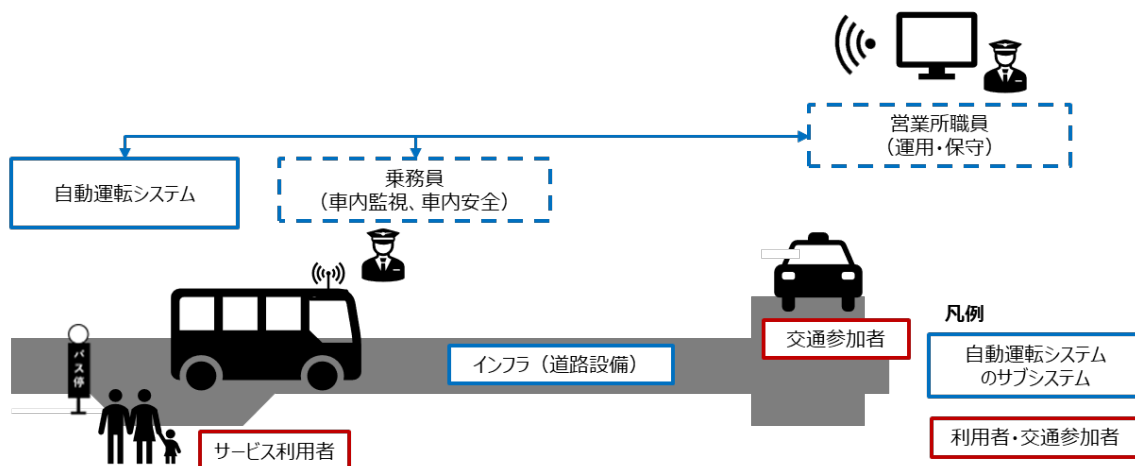


図 1.3.1-2 全体システム設計（乗務員乗車型）

1.3.2. リスク低減策の結果（運用プロセスアセスメント(2 次)結果）

リスク低減策の実行後に関するリスク再評価を行い、その結果を踏まえひたち BRT の現地関係者が許容できるリスクまで落とし込むための方策の検討・提案を行った。本ステップは、本来実施された対策のリスク評価を再度行うものであるが、本件実証実験が次年度へ変更となったことから、155 のプロセスに対し、232 の対策が実行されたと仮定し再評価を実施した。

(1) 再評価にあたり、以下の A, B2 つの段階で行った。

A：232 の対策を下記に分類し、効果を定義した。（表 1.3.2-1）

B：A の分類により、各対策にどのようなリスク評価への見直し効果があるかについて基本的な考え方を整理した。（表 1.3.2-2）

表 1.3.2-1 A：対策区分

A. 対策		下記のいずれかを表するものとする	
名称	機能	手法例	内容例
①未然対策	事前に対策することによりおもに 発生確率 を下げる可能性があるもの	・システム対応 ・マニュアル作成	・50cm以上の物体はセンサーで感知し停止 ・事前点検マニュアルに沿って発車前点検を実施
②発生後対応	発生に対応することによりおもに 頻度（ここではその状態にさらされる時間、と定義します） を下げる可能性があるもの	・乗務員等による運用 ・マニュアル作成	・運行管理者との連携を行い乗務員の事故処理対応を迅速化 ・システム停止後の対応方法をマニュアルに沿って実施し早期に運行を回復
③対応不可	おもにシステムでの対応を検討したものの、対効果の観点から有効な対策が当期においては達成見込みが厳しいもの	・システム対応	・道路陥没検知 ・定員乗車管理
④設備管理者マター	主に設備管理者が対応すべき事項であり、運行事業者が主体となりづらいもの	・道路管理 ・停留場管理	・橋梁からの剥落 ・停留場付近のフェンス増設

・上記①②のいずれかが対策欄に該当した場合、同項目はリスク対応可能と定義
・上記③または④、③及び④のみはリスク対応不可と定義
・従って、各プロセスにつき、「未然対策」もしくは「発生後対応」が提示されないもの、「システム対応不可」「設備管理者マター」のみのステップはリスク対応不可とした・・・今回のステップでは該当なし

表 1.3.2-2 B：リスク評価への影響

B. 対策によるリスク評価見直しにおける基本的な考え方			
リスク点数区分		見直しにおける基本的な考え方	補足
危害の酷さ	(影響)S	発生意象（事故発生）の前提が見直し前後で変更ないため、不変	－
危険の蓋然性Ph	頻度 F	主に 発生後対応 により低減	該当セルの値減もしくは既に最低値の場合は色付文字でマーキング表示
	確率 Ps	主に 未然対策 により低減	該当セルの値減もしくは既に最低値の場合は色付文字でマーキング表示
	回避 A	主に予期できない気象状況/故意の第三者行為を示すため対策では不変	－
リスク点数 R (S×Ph)		危害の酷さ+危険の蓋然性	上記のとおりリスク点数は変わらずなくとも低減要素となる場合有

表 1.3.2-1 のとおり、A において対策区分が「未然対策」として有効であると判断した場合は、表 1.3.2-2 の B において主に発生「確率」を低減させる効果があるとした。また「発生後対応」として有効であると判断した場合は B において主にその状態に晒される時間を意図する「頻度」を低減させる効果があるとした。ただし、既に「確率」「頻度」が下限値である「1」の場合は、リスク点数は表面上変化がないが、有効な対策が施されていることを表すため再評価後のリスク点数を色付きでマーキング表示することとした。

- (2) 対策を以上の区分にて集約すると、以下のとおりとなった。1 プロセスあたりいくつの対策が検討されているかを示している。84 件中 63 件、75%のプロセスに対しては複数の対策が検討されていることになる。

表 1.3.2-3 対策の集約

対策数	プロセス数
1 件	21 プロセス
2 件	56 プロセス
3 件	5 プロセス
4 件	2 プロセス

また、表 1.3.2-4 中のⅡでは、その対策が「未然対策のみ」若しくは「発生後対応のみ」(あるいは両方)のリスク評価に有効な対策であるかどうかを記載している。155 すべてのプロセスに対して「未然対策」若しくは「発生後対応」(あるいは両方)が検討されている。

表 1.3.2-4 プロセスあたり対策数及び対策区分

155プロセス のべ232対策

Ⅰ．1プロセスあたりの対策数の分布

対策数/プロセス	1～9計	1出社	2運行前点検	3車庫⇒停留所	4運賃収受	5走行中	6無線連絡	7停留所⇒車庫	8運行管理	9緊急時対応
1	87	8	16	4	9	21	4	6	5	14
2	61		1		2	56				2
3	5					5				
4	2					2				
計	155	8	17	4	11	84	4	6	5	16

Ⅱ．1プロセスあたりの対策内容の分布

対策数/プロセス	1～9計	1出社	2運行前点検	3車庫⇒停留所	4運賃収受	5走行中	6無線連絡	7停留所⇒車庫	8運行管理	9緊急時対応
①未然対策のみ	29	4	8		1	7		2	3	4
②発生後対応のみ	75	4	8	4	10	27	4	4	2	12
①及び②	51		1			50				
計	155	8	17	4	11	84	4	6	5	16

(参考)

③対応不可	14				2	12				
④設備管理者マター	13					12				1

(3) 「リスクが低減できない場合は許容できない領域」に対する、リスク点数の再度算出

表 1.3.2-5 のとおり、プロセス 7 件についてリスク点数を再度算出した結果、すべてのプロセスについて未然対策若しくは発生後対応が検討されており、対策が有効に機能した場合はリスクが低減する可能性がある。

表 1.3.2-5 リスクが低減できない場合は許容できない領域の具体的なプロセスの再評価

No.	大区分	発生事象 (故障/不能等)	原因事象・行為 (例示)	リスク評価 (対策前)								対策 内容	リスク評価 (対策後)								対策区
				危害の 態さ (影響) S	危険の蓋然性Ph				(S×Ph) リスク点数 R	危害の 態さ (影響) S	危険の蓋然性Ph				(S×Ph) リスク点数 R						
					計	頻度 F	確率 Ps	回避 A			計		頻度 F	確率 Ps		回避 A					
1	1-4	出社	終日運行中止を決定した	予報されていた天候へ急変	3	6	2	1	3	18	マニュアル化 (L4運行判断)	3	5	1	1	3	15	発生後対応			
2	1-5	出社	終日運行中止を決定した	踏切陥没	3	6	3	2	1	18	適用 (L4運行判断)	3	5	2	2	1	15	発生後対応			
3	2-5	運行前点検	点検時に異常が確認された (水没)	水災による水没	4	5	1	1	3	20	適用 (代替車両)	4	5	1	1	3	20	発生後対応			
4	2-7	運行前点検	点検時に異常が確認された (火災)	火災 (建屋、車両)	4	5	1	1	3	20	適用 (代替車両)	4	5	1	1	3	20	発生後対応			
5	3-4	車庫⇒停留所	手動運転中に対人事故が発生した	もらい事故が発生した	4	5	1	1	3	20	適用 (事故時対応、L4代替車両)	4	5	1	1	3	20	発生後対応			
6	5-42	走行中	車両が交差点内で自転車、歩行者、ランナーと接触した	対向するBRT車両の死角からの飛び出し	4	5	1	1	3	20	適用 (乗務員対応)	4	5	1	1	3	20	発生後対応			
											バス停付近で対向車両が近くにいる場合は、徐行し、発見したら停車する。 案内看板の作成	4	5	1	1	3	20	未対応 設備管理者マター			
7	5-43	走行中	車両が交差点内で自転車、歩行者、ランナーと接触した	制御盤、電気設備・柵・フェンス、ブロック等々の死角からの飛び出し	4	5	1	1	3	20	発見次第、減速行動に移し、なるべく被害を軽減する。 警告看板の設置	4	5	1	1	3	20	未対応 設備管理者マター			

1.3.3. ひたち BRT 責任分界点の検討

ひたち BRT の「乗務員が乗車する形でのレベル 4 自動運転移動サービス」事業における各ステークホルダーの責任分界点を整理し、ひたち BRT 自動運転実証等の状況に応じて、事業モデルや運行シナリオの見直しを行い、責任分界点を見直した。

(1) 内容

以下の 3 つの観点から整理した。

1) 無人自動運転移動サービス「プロセス毎責任区分」

「ひたち BRT 運行条件の整理・評価」、により抽出したレベル 4 の運行プロセスを分解し、リスクアセスメント事例をもとに「不具合事象」「影響を受ける方」「被害者」「事故原因者」「民事責任(対応可能性がある保険)」「刑事(行政)責任」について整理した。

2) 無人自動運転移動サービス「役割毎集約」

レベル 4 における主な役割毎に、想定事象と想定される責任を「民事(対人)」「民事(対物/機会損失)」「保険対応可能性」「刑事／行政」について整理した。

3) 無人自動運転移動サービス「法令等明細」

レベル 4 における主な関連法令等を記載し、「法律」「関連法令」「罰則等」「該当者」について整理した。

(2) 特定自動運行主任者同乗型(レベル 4)の無人自動運転移動サービスにおける事業モデル及びステークホルダーの責任分界結果

日立市での特定自動運行主任者同乗型(レベル 4)の無人自動運転移動サービスにおける、前項において実施したリスクアセスメント結果に基づく責任区分や法的責任を整理した。ステークホルダーを定義した上で、責任区分を 3 つのシートに分け整理し、各シートの活用例を説明する。

① プロセス毎責任区分シート

② 役割毎集約シート

③ 法令等明細シート

1) ステークホルダー

新たに無人自動運転移動サービスにおける責任分界を整理するにあたり、事業の役割を起点としたステークホルダーを定義した。なお、当年度においては道路交通法改正を受け、特定自動運行実施者及び特定自動運行従事者の役割が明確化されている。また、旅客自動車運送事業運輸規則により特定自動運行主任者同乗型における「特定自動運行主任者」(道路交通法)とおおむね重複する役割として特定自動運行保安員が規定された。しかしながら、本件取組においては特定自動運行主任者同乗型であるため、遠隔型等ほかの方式に比しステークホルダーが該当しない事業上の役割も想定される。

表 1.3.3-1 ステークホルダー

役割		ひたちBRTにおけるレベル4実装事例で 想定されるステークホルダー例
運行サービス事業	公共交通業務委託元	日立市
	運行業務受託者 (特定自動運行実施者)	茨城交通株式会社
	運行業務受託者 (特定自動運行従事者)	特定自動運行主任者/特定自動運行保安員：茨城交通株式会社
		現場措置業務実施者：同乗型のため無し
	車両所有者／事業等支援	先進モビリティ株式会社（茨城交通株式会社）
自動運行装置等製造	管制装置製作	同乗型のため無し
	遠隔・通信装置製作	同乗型のため無し
	自動運行装置製作	先進モビリティ株式会社
	車両製作	先進モビリティ株式会社
	交差点センサ製作	同乗型のため無し
整備・修繕	車両整備・修繕	車両：茨城交通株式会社 システム：先進モビリティ株式会社 HMI：産業技術総合研究所
道路・道路施設管理	道路施設補修・維持	日立市、茨城県（道路管理者）
通信	通信事業者	通信事業者
保険事故対応	保険事故対応	保険会社

2) 責任分界

特定自動運行主任者同乗型(レベル 4)の無人自動運転移動サービスにおける責任検討に際し、日立市のリスクアセスメントの事例に基づき、自動運転移動サービスのステークホルダーに係る法的責任を概観できるよう整理した。整理の手法として「プロセス毎」、「役割毎」、「法令等明細」の各観点から、民事・刑事等責任分界へのアプローチ手法を取りまとめている。以下では「プロセス毎」、「役割毎」、「法令等明細」についてそれぞれの責任分界へのアプローチ手法について説明を行う。なお、法令に関して今後の法令改正により結果が異なる可能性がある。

3) プロセス毎

旅客自動車運送事業者の特定自動運行主任者(保安員)同乗型(レベル 4)無人自動運転移動サービス(以下「レベル4」)の運行プロセスを分解し、リスクアセスメント事例をもとに「不具合事象」「影響を受ける方」「被害者」「事故原因者」「民事責任(対応可能性がある保険)」「刑事(行政)責任」について整理した。レベル4実装時に想定される運行プロセスから不具合項目と対応を集約したリスクアセスメントシートを活用し、不具合事象(故障/事故等、営業用旅客運行における想定事例)について言及している。なお、保険対応可能性につ

いては、発生事象の状況及び事故時の引受保険会社約款によるため、必ずしも保険金の支払対象となることを示しているものではない。

表 1.3.3-2 プロセス毎責任区分

(内容例：ゲリラ豪雨により ODD 内で停止し、特定自動運行ができない場合)

大区分	中区分	L4	発生事象 (故障／不能等)	原因事象・行為	原因事象・行為 (例 示)	想定される不具合事象	影響(何が起ったのか)	被害者(影響を受ける 方)	原因区分	不具合原因者						
走行中	特定自動運行監視	○	車両が公道との交差点 箇所上 (ODD内)で 停止した	運用条件に合致しない 天候不順	ゲリラ豪雨	特定自動運行をできない状況が判 明した	運行遅延(中断・中止)	バス利用者	環境	その他						
	民事責任についての可能性考察								刑事・行政責任についての可能性考察							
	損害形態 (経済損、人的、物的)		責任主体 (間接責任)		根拠責任		根拠法令等(民事)		想定される保険商品		補足		責任主体		根拠法令等(刑事)	
	(経済損)機会損失		特定自動運行実施者		不法行為責任		民法第709条		—		運送約款で定時性不記載 のため免責 判例でも責任を否認					

4) 役割毎

旅客自動車運送事業者の特定自動運行主任者(保安員)同乗型(レベル 4)無人自動運転移動サービスにおける主な役割毎に、想定事象と想定される責任を「民事(対人)」「民事(対物/機会損失)」「保険対応可能性」「刑事／行政」について整理した。

表 1.3.3-3 役割毎責任区分

(内容例：運行業務受託者(特定自動運行実施者)の場合)

役割	ひたちBRTにおけるレベル4実 装事例で想定されるステークホ ルダー例	レベル4における 想定事象例	想定される責任(可能性のあるもの)					
			民事(対人)		民事(対物/機会損失)		保険対応可能性	
			責任 (根拠法)	責任 (根拠法)	責任 (根拠法)	責任 (根拠法)	想定される保険商 品	備考
運行サー ビス事業	運行業務受託者 (特定自動運行 実施者)	** 交通株式会社	自動車事故について責任 /過失がある	運行供用者責任(自動車損 害賠償保障法第3条)	不法行為責任 (民法第709条)		(対人)自賠責 保険 自動車 保険 (対物)自動車 保険	<現時点の基本的な考え方> ・自賠責保険 (レベル4までが適用する過渡期 における考え方) 自動運転にかかわる制度整備大綱で、対人賠償 を賄う自賠責においては、「自動運転システム利 用中の事故により生じた損害についても、従来の 運行供用者責任を維持することとされている ・自動車保険 (対人事故)自賠責保険に準じる予定 (対物事故)民法等、法律上の損害賠償責任 に対し補償提供の可能性(今後の事故事例の 蓄積による) (不正アクセス等)に起因する対人・対物事故) 特約 (被害者救済特約等)により補償提供の 可能性 (保険会社毎に決定) ・その他 (自動運転中の故障等に伴う、乗客の経済 損)特約により代替交通費を補償できる可能性 (保険会社毎に決定)
	運行業務受託者 (特定自動運行 従事者)	特定自動運行主任者 /特定自動運行保安員: ** 交通株式会社	自動車事故について責任 /過失がある	運行供用者責任(自動車損 害賠償保障法第3条)	不法行為責任 (民法第709条)			刑法第211条(個人) 道路交通法第75条 旅客自動車運送事業運輸規 則第15条 刑法第211条(個人) 道路交通法第75条

5) 法令等明細

旅客自動車運送事業者の特定自動運行主任者(保安員)同乗型(レベル 4)無人自動運転移動サービスにおける主な関連法令等を記載し、「法律」「関連法令」「罰則等」「該当者」について整理した。

表 1.3.3-4 法令等責任区分
(内容例：製造物責任の場合)

分類	当局	関連法令	法律	関連法令 1	関連法令 2	罰則等	想定事象 (遠隔監視のみ(レベル4)による自動運転サービス(以下「無人自動運転レベル4」))	該当者													運行に関する論点	
								公共交通安全委託元	特定自動運行実施者	特定自動運行主任者	現場指図業務実施者	車両所有者/事業者支援	管制装置製作	遠隔・通信装置製作	通信事業者	車両整備・修繕	自動運行装置製作	車両製作	交通安全センサ製作	道路施設補修・維持		保険事故対応
損害賠償	消費者庁	製造物責任法	(製造物責任) 第三条 製造業者等は、その製造、加工、輸入又は前条第三項第二号若しくは第三号の氏名等の表示をした製造物であつて、その引き渡したものの欠陥により他人の生命、身体又は財産を侵害したときは、これによって生じた損害を賠償する責めに任ずる。ただし、その損害が当該製造物についてのみ生じたときは、この限りでない。	(民法の適用) 第六百九条 製造物の欠陥による製造業者等の損害賠償の責任については、この法律の規定によるほか、民法（明治二十九年法律第八十九号）の規定による。	(民事)	○製品欠陥																○事故原因の特定(ソフト、ハード) ○ハッキングの場合製品の範囲

6) 責任分界検討の活用例

旅客自動車運送事業者の特定自動運行主任者(保安員)同乗型(レベル 4)無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の各整理シートの活用例として、プロセスから責任を検討する場合を表 1.3.3-5 に示した。運行時の故障発生 of 想定から、「Iプロセス毎責任区分シート」からあてはまる場所やプロセス、不具合事象、影響を確認していく。代表事例の記載のため、一致するものがない場合には、影響と原因事象が一致や類似したものがないかを確認する。更に原因事象と詳細原因を仮定することで、可能性のある不具合原因者、損害形態、責任主体がみえてくる。加えて、補足としてII、IIIのシートを用いて「役割と責任」及び、「法令等根拠」を確認していくことができる。

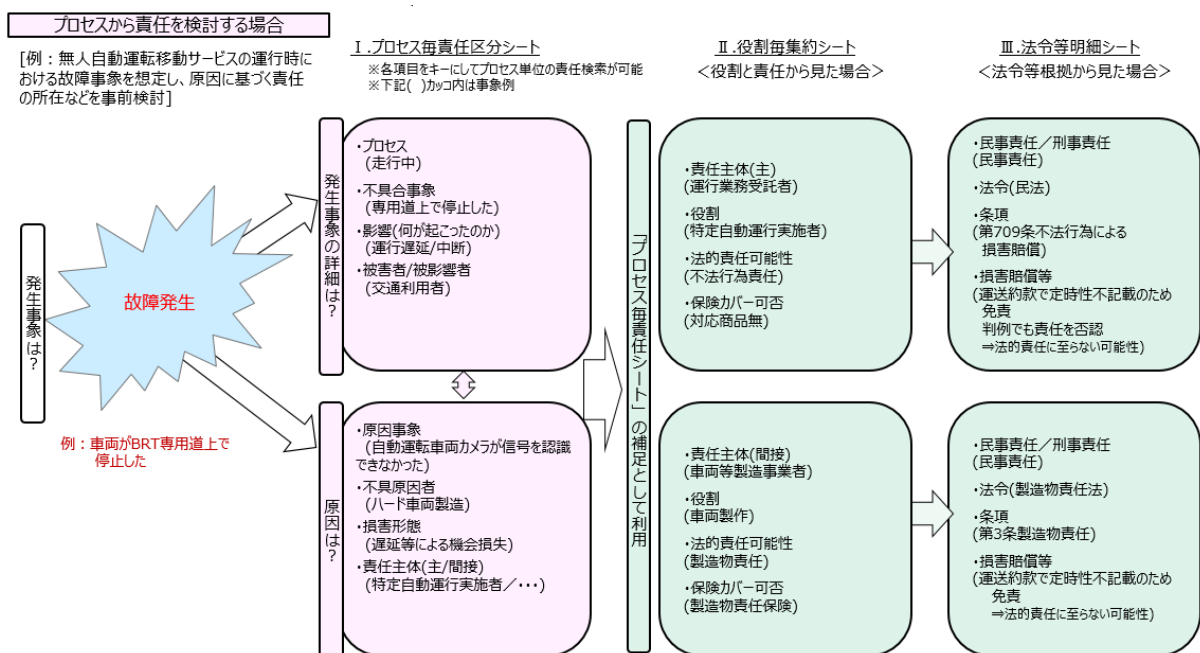


図 1.3.3-1 活用例：プロセスから責任を検討する場合について

1.4. ひたち BRT のレベル 4 認可、社会実装に向けた制度対応

1.4.1. 乗務員乗車型レベル 4 自動運転移動サービスにおける乗務員の法令上の役割

(1) 乗務員乗車型レベル 4 自動運転移動サービスのサービス概要

テーマ 2 では 2023 年度は、乗務員乗車型レベル 4 自動運転移動サービスの運行開始に向けた検討に注力をしてきた。

テーマ 2 の乗務員乗車型レベル 4 自動運転移動サービスでは、大枠の役割分担として運転操作に係る役割は自動運転システムが担うが車内監視・車内安全に関する役割は乗務員が担うことを想定している。全体システム設計を以下に示す。

レベル 4 自動運転移動サービスでは、走行時の責任の所在を明確にするため、自動運転システムには自動運行が困難な状況（故障、天候の急変等）に陥った際にも、運転者に運転操作を引き継がずに自動運転システムにて安全に停止する性能レベルが求められる。乗務員が運転操作に係る行為の一部を担うことは、レベル 4 ではないことを意味する。

したがって、システム全体設計を描く際には、両者の役割分担の想定について関係省庁にも事前確認してもらうことが重要になる。

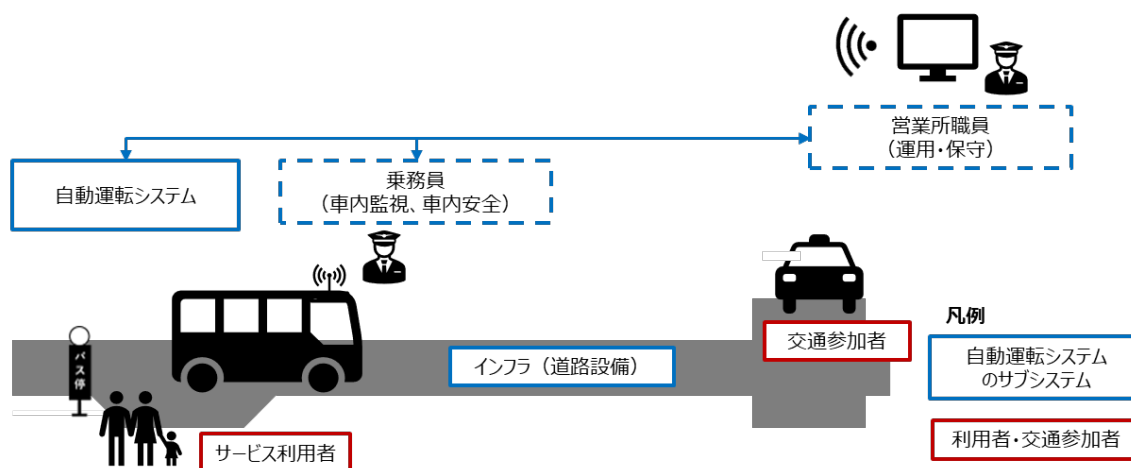


図 1.4.1-1 全体システム設計（乗務員乗車型）

(2) 乗務員の法令上の役割

乗務員乗車型レベル 4 自動運転移動サービスでは車内に乗務員がおり、車内監視・車内安全、乗客対応などのタスクを担うことを想定している。テーマ 2 では、道路運送車両法、道路交通法、道路運送法上の観点からの乗務員の法令上の役割は下表のとおり整理をしている。

道路運送車両法上の観点では、テーマ 2 では乗務員が担う法令上の役割は存在しない。

道路交通法上の観点では、テーマ 2 では乗務員が特定自動運行主任者の役割を担うことを想定している。特定自動運行主任者の役割は、運行時における作動状態の確認、異常発見時に特定自動運行を終了させるための措置、特定自動運行終了時の措置、交通事故があった場合の措置等である。現場措置業務実施者、特定自動運行主任者の義務を代

行させる存在である。

道路運送法上の観点では、テーマ2では乗務員が特定自動運行保安員の役割を担うことを想定している。特定自動運行保安員の役割は安全確保のための必要な指示や遵守事項の指導監督等である。

なお、乗務員の法令上の役割の整理にあたっては、令和5年に経済産業省・国土交通省より安全設計評価ガイドブックが刊行され詳細な検討がなされていたため、参考としている。

表 1.4.1-1 乗務員の法令上の役割

		乗務員と法令上の主な役割	
		乗務員	法令上の主な役割
法令	道路運送車両法	(自動運行装置が代替)	—
	道路交通法	特定自動運行主任者	運行時における作動状態の確認
			異常発見時に特定自動運行を終了させるための措置
			特定自動運行終了時の措置
			交通事故があった場合の措置
		現場措置業務実施者	特定自動運行主任者の義務を代行させる存在
	道路運送法	特定自動運行保安員	安全確保のための必要な指示や遵守事項の指導監督

1.4.2. 乗務員乗車型レベル4自動運転移動サービス運行開始に必要な許認可の整理

(1) 参考とした先行事例（テーマ1）

Road to L4 事業におけるテーマ1での福井県永平寺町における取組みでは、2023年5月に国内初となるレベル4自動運転移動サービスの運行開始を実現している。そこで、テーマ2では、テーマ1の許認可スケジュール等を参考にして、許認可申請手順及び許認可スケジュールを立案することとした。

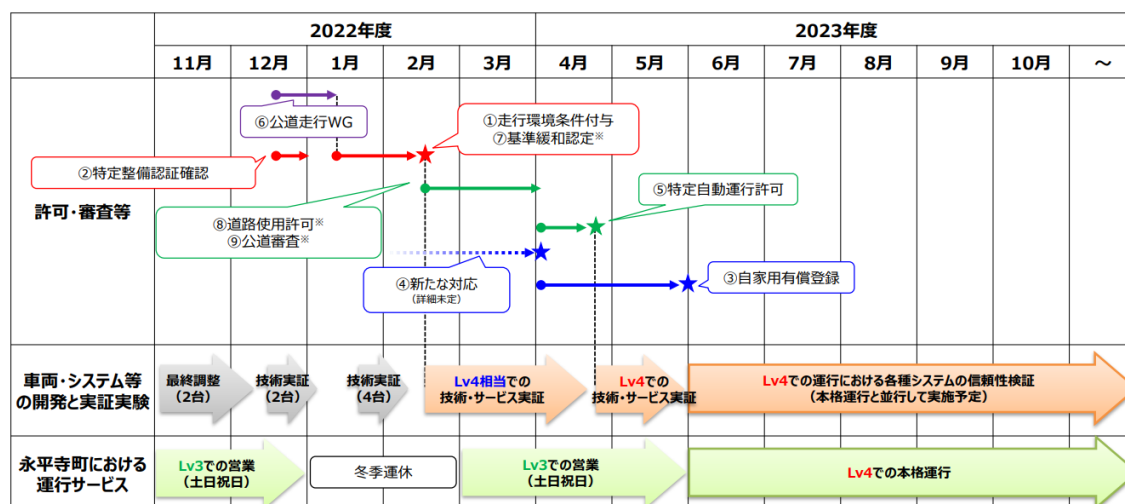


図 1.4.2-1 テーマ1における許認可申請スケジュール

(2) テーマ2のレベル4運行開始に向けて必要な許認可の整理

テーマ2では、許認可の関連法令として、道路運送車両法、道路交通法、道路運送法の観点から、自動運転移動サービスの運行開始に必要な許認可手続き等の洗い出しを行った。

なお、このほか自動運転/手動運転に関わらず必要な許認可等として道路運送車両法上における車両保安基準の緩和申請、道路交通法上における通行禁止道路通行許可申請なども存在する。これらは個別ケース毎に対応をしているが、自動運転に係る論点ではないため本報告書では説明を省略する。

表 1.4.2-1 乗務員乗車型レベル 4 自動運転サービス（テーマ 2）において
申請が必要な許認可一覧

関連法令	レベル 4 運行開始に向けて必要な許認可
道路運送車両法	(A)公道走行 WG での自動運行装置の安全性審査 (B)自動運行装置に対する走行環境条件付与 (C)特定整備認証（申請要否を確認中）
道路交通法	(D)特定自動運行許可
道路運送法	(E)旅客自動車運送事業に関する届出

(A) 公道走行 WG での自動運行装置の安全性審査

公道走行 WG の正式名称は「自動走行車公道走行ワーキング・グループ」であり、国土交通省自動車局主催の車両安全対策検討会に設置されているワーキング・グループの 1 つである。ワーキング・グループ設置当初の国土交通省の公表資料では、検討項目は「車両内の運転者による操作を必要としない自動走行システムの実証走行を行おうとする実施主体（以下「実証実施者」という。）が提案する実証計画、車両性能等に応じた、安全かつ円滑な実証走行を行うための条件、安全確保措置等」とされている。

テーマ 1 では、各種許認可手続きを進めるにあたり事前審議を受けており、国土交通省への確認も行い、テーマ 2 においてもテーマ 1 と同様に各種許認可手続きを進めるにあたり公道走行 WG の事前審議を受けることとなった。

(B) 自動運行装置に対する走行環境条件付与

自動運行装置に対する走行環境条件付与とは、自動運転システムが備わった車両の使用者が、国土交通省から、自動運転システム（＝自動運行装置）を用いて特定自動運行をしても良い道路状況、環境状況、走行状況などの条件の付与を受ける制度のことである。つまり、付与を受けた走行環境条件下でのみ特定自動運行が許可されるというものである。

申請先は、各地方運輸局であり、テーマ 2 では関東運輸局となる。

標準処理期間は、対外公表はされていないが、テーマ 1 の実績を踏まえテーマ 2 では最低 1 か月の期間を見込んでいる。

(C) 特定整備認証（申請要否を確認中）

特定整備認証とは、自動運転システム等の整備を行う整備事業者が、国土交通省から、「自動車特定整備事業者」の認証を受ける制度のことである。

申請先は、各地方運輸局であり、テーマ 2 では関東運輸局となる。

テーマ 2 においては、申請要否を含め、関係機関に確認を進めている。

(D) 特定自動運行許可

特定自動運行許可とは、運転者がいない状態での自動運転（特定自動運行）を行おうとする者が、都道府県公安委員会から、事前に特定自動運行の許可を受ける制度のことである。

申請先は、都道府県公安委員会であり、テーマ2では茨城県公安委員会となる。

標準処理期間は45日とされている。

提出書面として、申請書（特定自動運行計画）のほかに、道路運送法上の手続き状況がわかる書類などを添付提出する必要がある。

(E) 一般乗合旅客自動車運送事業に関する届出

一般乗合旅客自動車運送事業に関する届出は、旅客自動車運送事業者が、各地方運輸支局に対し本サービスを路線バスの1つの運行系統として運行開始する届出を行う制度のことである。

申請先は、各地方運輸支局であり、テーマ2では茨城運輸支局となる。

なお、先行事例のテーマ1では自家用有償旅客運送事業の許認可手続きを行っているが、テーマ2では旅客自動車運送事業に関する届出となるため、過去に前例がない届出となる。

1.4.3. 許認可スケジュールの立案

(1) 許認可申請手順の整理

1.4.2.節で整理した許認可について、各許認可申請時に必要な提出書面に着目し、許認可申請の手順の整理をした。

まず、特定自動運行許可は、走行環境条件の付与の取得後に申請が可能になる。特定自動運行許可の申請時に、走行環境条件付与書（写し）が必要となるためである。

また、一般乗合旅客自動車運送事業に関する届出は、特定自動運行の許可申請を開始した直後から申請が可能になる。旅客自動車運送事業に関する届出時に特定自動運行の許可見込みに関する書面を添付する必要があるためである。

したがって、許認可申請手順としては、最初に走行環境条件の申請を行い走行環境条件の付与を取得した後に、特定自動運行の申請を行い、並行して一般乗合旅客自動車運送事業に関する届出を進める手順となる。

(2) 許認可スケジュールの立案

上記の申請手順に留意をしつつ、許認可スケジュールを立案した。進捗状況に応じて随時見直し更新をかけており今後も更新される可能性はあるが、2023年3月時点では以下スケジュールを立案している。

なお、実際に許認可スケジュールを立案・更新する際には、地域関係各機関との情報共有にも留意をしながら進めることが重要になる。テーマ2では、無理がない許認可ス

スケジュールが立案・更新できおり許認可手続きの抜け漏れや見解の相違がないことについて、随時、地域関係各機関に確認を受けることでスケジュールの総帝位について情報共有をしながら進めている。

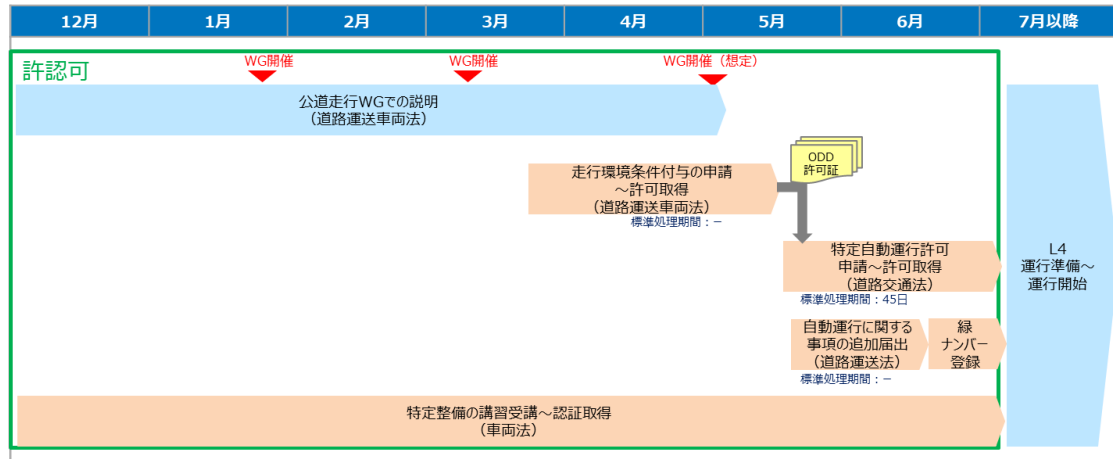


図 1.4.3-1 テーマ 2 の許認可スケジュール（2024 年 3 月時点想定）

1.4.4. テーマ 2 における許認可対応の進捗状況

策定した許認可スケジュールに沿って許認可対応を進めてきた。現在の進捗状況は、公道走行 WG において自動運転システムの安全性に関する説明を進めつつ、今後必要となる各種許認可手続きの提出書面等の準備を進めている段階にある。

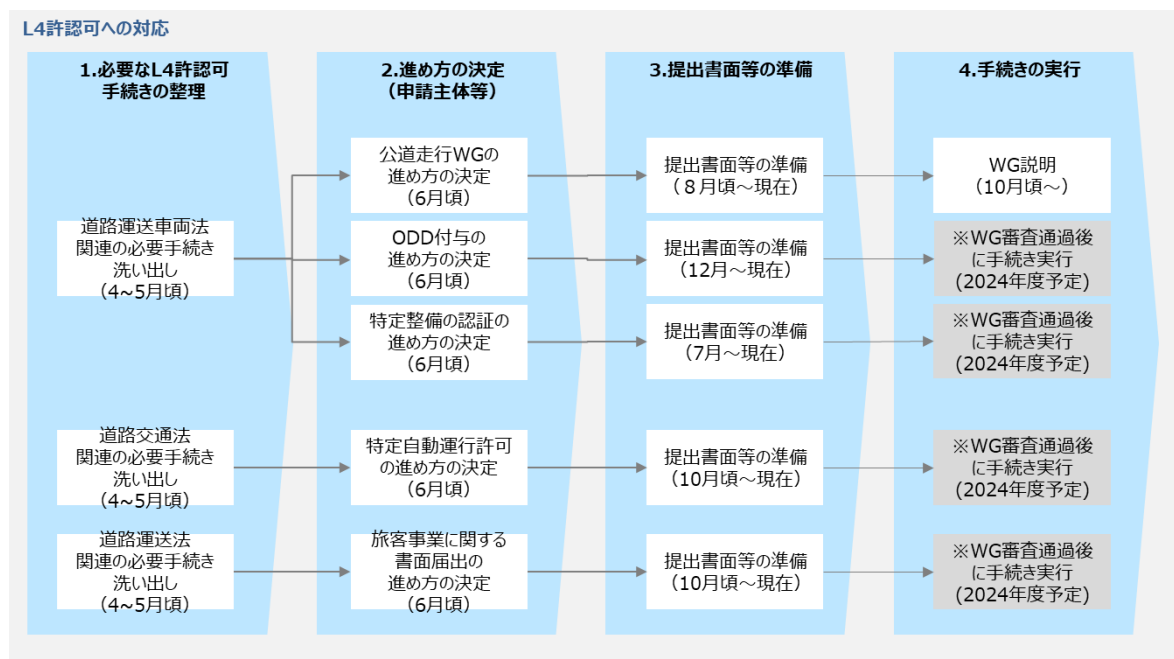


図 4.4.4-1 テーマ 2 の許認可対応の進捗

1.4.5. まとめ

2023 年度は、乗務員乗車型レベル 4 自動運転移動サービスにおける乗務員の法令上の役

割の整理、許認可申請手順の整理を行い、許認可スケジュールの立案を行った。また立案した許認可スケジュールに沿って自動運転車公道走行 WG への説明を進めつつ、並行してその他許認可申請に向けた事前準備も進めてきた。

2024 年度は、引き続き公道走行 WG への説明及び許認可申請に向けた準備を進め、許認可手続きを実行して許認可を取得し、乗務員乗車型レベル 4 自動運転サービスの運行開始を目指す予定を立てている。

第2章 車両開発

テーマ 2 では、茨城県日立市にて茨城交通株式会社が運行する路線バス「ひたち BRT」のうち、専用道区間での自動運転移動サービスの実現を目指し開発を行った。

図 2-1 にひたち BRT 路線図を示す。ひたち BRT 路線は、「多賀駅から河原子」区間、及び、「南部図書館からおさかなセンター」区間では一般道を走行し、「河原子から南部図書館」区間のみ専用道区間になっている。一般道区間は運転士による手動運転を行い、専用道区間のみ自動運転を行う。

自動運転バスでは、LiDAR やカメラ、GNSS 等のセンサ情報をもとに、認知（自己位置推定・環境認識）・判断（経路計画・経路追従）、操作（ステアリング・アクセル・ブレーキ）を行っている。認知の部分では、複数の LiDAR、カメラ、GNSS などの外界センサを使って検知するため、例えば走路の上を交差する道路などがある場合は、GNSS の途切れによって自己位置推定の精度が低下することなども考えられる。カメラを使った環境認識においては、走行する周辺の構造物との重なりによって認識率が低下することなども考えられる。あるいは、交差道路の形状や接続する角度などによって見通し距離、通過速度や検出方向が異なるため、交差交通の認識率や安全走行戦略が変わってくる可能性もある。

よって、まず自動運転で走行する現地環境を把握し、自動運転バスに対して影響が出る走路の特徴などを理解した上で車両開発を進めた。



図 2-1 ひたち BRT 路線図

ここからは、BRT 専用道区間の特徴について説明する。

図 2-2 に示すとおり、ひたち BRT 専用道区間はバーゲートやガードレールで走行路と一般道が分離されており、一般車両や自転車などが通行しない。一方、一般道との交差部は一般車両や歩行者等が存在する。また、BRT 専用道内でも歩道が並行して整備されている区間では、横断歩道や緑の横断指導線で歩行者が横断する環境である。

バス停間の走路は、バス 1 台分が走行できる幅員であるため、各バス停でのすれ違いを基本とし、各バス停に設置された BRT 信号によって停止・発進を行っている。

一般道との交差は 11 か所あり、うち 3 か所にひたち BRT バスに有効な交通信号が設置されている。



図 2-2 ひたち BRT 専用道区間の特徴

BRT 専用道を走行する自動運転バスの開発にあたって、まず、安全目標を定義した。

国際規格「安全側面－規格への導入指針」(ISO/IEC Guide 51:2014¹)においては、安全の定義を「許容不可能なリスクがないこと」、許容可能なリスクを「現在の社会の価値観に基づいて、与えられた状況下で受け入れられるリスク」と定めている。これを受けて、国土交通省が平成 30 年に発行した「自動運転車の安全技術ガイドライン²」に示す安全目標としては、「自動運転車が満たすべき車両安全の定義」として「自動運転システムが引き起こす人身事故であって合理的に予見される防止可能な事故が生じないこと」と定めている。

以上のことを踏まえて、車両開発にあたっては抽象度の高いレベルの安全目標「ODD の範囲内において自動運転に起因する人身事故が生じない」を設定し開発を進め、その安全目標を達成するよう安全走行戦略を検討し、設計評価、実証実験での安全性評価、及び、裏付けデータとなる交通環境調査を実施した結果について以下に記す。加えて、乗務員乗車型のレベル 4 自動運転バスの認可に向けて対応した内容について記す。

¹ ISO/IEC Guide 51:2014 Safety aspects Guidelines for their inclusion in standards
<https://www.iso.org/standard/53940.html>

² 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 平成 30 年 9 月
<https://www.mlit.go.jp/common/001253665.pdf>

2.1. 過去の実証等やリスクアセスメントに基づく走行におけるリスクシナリオ

安全目標「ODD の範囲内において自動運転に起因する人身事故が生じない」を達成するために、自動運転バスが走行するひたち BRT 専用道内でこういったリスクが想定されるかを検討する。しかし、交通参加者の位置や動き、走行状態など様々な状況を組み合わせて検討するやり方では、非常に煩雑になり効率的な検証が行えない。よって、ひたち BRT 専用道の走行環境を考慮した上で分類を行い、その分類ごとに想定されるリスク（危険の度合い）を検討した上で、過去の実証実験で発生した介入事例、及び、リスクアセスメントの結果からリスクが高いとみなされる一般道との交差点を考慮して検討を進めた。

2.1.1. 走行環境の分類

リスクシナリオの作成にあたっては、自動運転システムに影響を与える可能性のある要素を踏まえ、ひたち BRT 専用道の全コースに対して走行路の特徴を表す細部の要素を把握することが重要である。一例を図 2.1.1-1 に示す。

例えば、交差点では一般道の交差交通があり一般車両やバイク、歩行者、自転車が走行するため、周辺交通に対する検知性能の確保が求められ、かつ、自動運転バスが交差点手前で一時停止する必要があるなどほかの環境と大きく異なる。また、BRT 専用道脇に並走歩道が存在する場合は、歩行者の飛び出しに対応できる検知性能の確保と応答性が求められ加減速の仕方も変わってくる。

そういった走行環境が自動運転の制御や走行方法に影響を与える要素を把握し、走路全体をまとめたものを図 2.1.1-2 に示す。

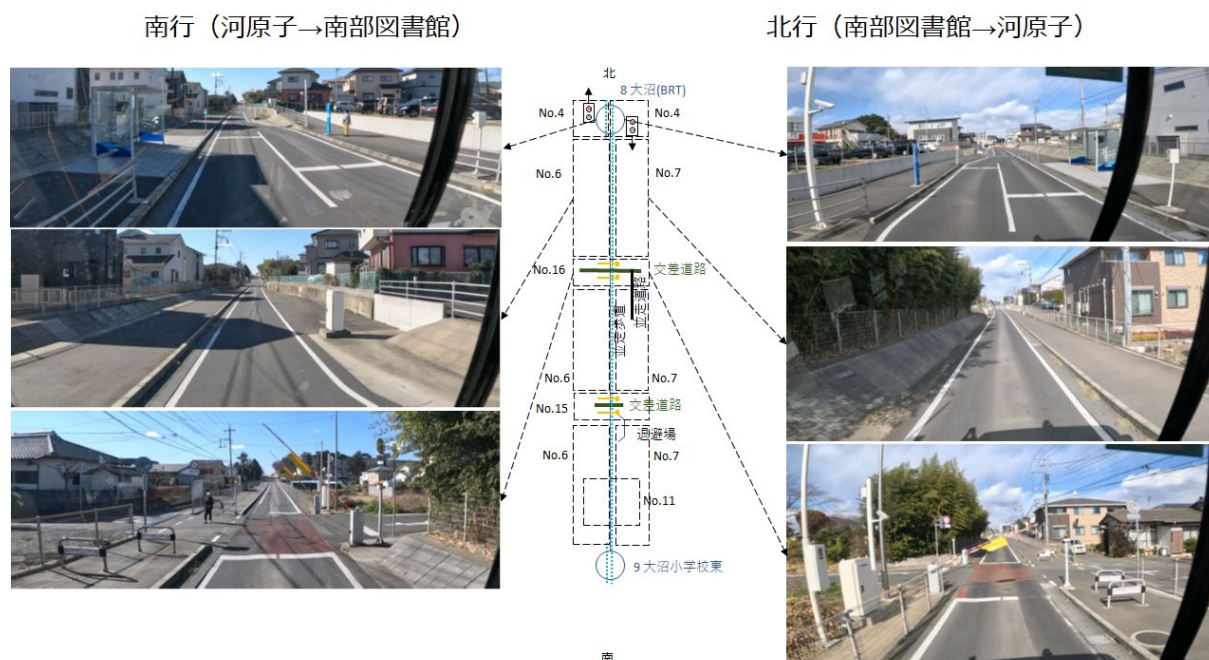


図 2.1.1-1 走行路の特徴を表す細部の把握

表 2.1.1-1 走行環境分類

分類 No.	分類の観点		
	走路の専用度合い	バス動作の観点から見た場所の特徴	歩行者に係るインフラ環境
1	専用道	専用区間端点	
2		停留所付近	歩道なし
3			歩道あり(ガードレールなし)
4			歩道あり(ガードレールあり)
5			緑の横断指導線
6		停留所以外	歩道なし
7			歩道あり(ガードレールなし)
8			歩道あり(ガードレールあり)
9			緑の横断指導線(並走道路なし、または、並走道路とBRT専用道間の退避空間あり)
10			緑の横断指導線(並走道路とBRT専用道間の退避空間なし)
11		見通しが悪い道路(急なカーブ)	
12		見通しが悪い道路(大きな起伏)	
13		大甕駅ロータリー内	
14	一般道との交差点	信号あり(並走道路なし)	
15		信号なし(並走道路なし)	
16		信号なし(並走道路あり)	

(1) 走路の専用度合い

走路の専用度合いという観点で、「専用道」はバースタップによって一般車両は進入できない、また、並走歩道のある場所でも自転車通行は禁止されているため、ここでの交通参加者はほかの路線バスと歩行者のみである。一方、一般道と交差する「一般道との交差点」は、自動車、バイク、自転車、歩行者が存在し走行環境が大きく異なるため分類した。

(2) バス動作の観点

ひたち BRT は運転士が運転する一般道区間と自動運転区間が存在する。よって、一般道から自動運転区間に入るとき、及び、出るときに「手動運転から自動運転、あるいは、その逆」に切り替えられるためほかの区間と大きく異なる。またバス停付近では、乗客の乗り降り、バス待ちの乗客が存在するため、飛び出しや横切りなどが発生しやすくほかの環境と異なるため分類した。

見通しが悪い道路(急なカーブ・大きな起伏)では、カーブの先や起伏の谷の部分の障害物が検出できない可能性が高く環境が大きく異なるため分類した。

大甕駅ロータリー内は、バス停が3つ設置され手動運転によるバスが同時に存在する区間でもある。また、ロータリー中心部分には、時間待ちの手動運転によるバスが停車していることもある。更に、手動運転のバスは一般道から出入りするため交差点のような接続部分もありほかの環境と異なるため分類した。

一般道との交差点の多くは信号が設置されていないが、一部の交差点に信号が設置されている。信号あり交差点では BRT バスが優先的に走行できるため分類した。また信号なしの交差点の一部には、並走道路が隣接しており、BRT 専用道を挟むような形の交差点であり、並走道路から右左折して交差へ進入する特徴があり分類した。

(3) 歩行者に係るインフラ環境

並走歩道やバス停においてガードレールが設置されている場所と設置されていない場所が存在する。ガードレールの有無によって、歩行者の飛び出しに対するリスクが異なるため分類した。また、バス停付近や走路途中に緑の横断指導線が存在し、走路を歩行者が横切る場所となりほかの環境と異なるため分類した。

2.1.2. リスクシナリオの作成

ここでは、16 に分類した走行環境ごとにリスクシナリオを作成した一例として、「No.16 信号なし交差点・並走道路あり」に分類されている大沼小学校東バス停南側交差点を示し説明を加える。図 2.1.2-1 に大沼小学校東バス停南側交差点の道路環境を示す。

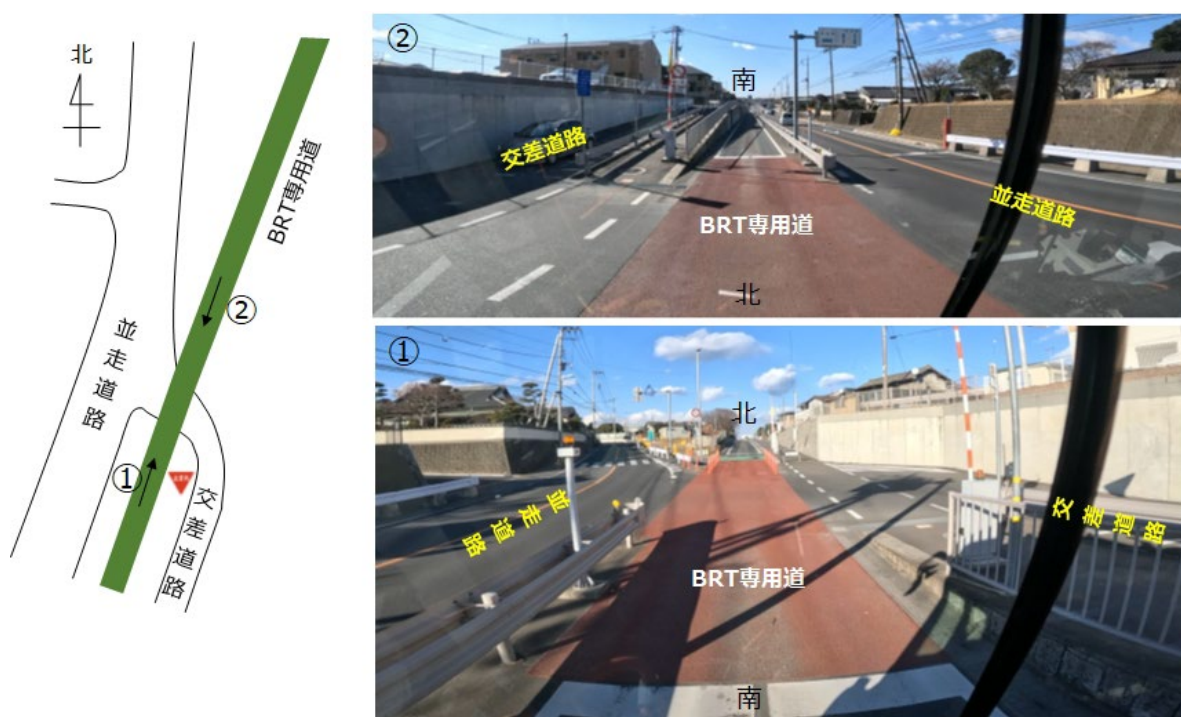


図 2.1.2-1 大沼小学校東バス停南側交差点の道路環境

大沼小学校東バス停南側交差点は、並走道路が北から南へ向かって徐々に BRT 専用道に近づく、交差点付近で BRT 専用道と交わり、交差点南側では並走する構造である。

また交差道路は交差点で直交し、交差点付近から離れると緩やかな勾配を持つ坂道であり、BRT 専用道と並走するものの完全に分離されている構造である。

この交差点は、自動運転バスから並走道路の交通状況を確認する際、並走道路の北側は BRT 専用道から徐々に離れていくため、遠方から交差点へ向かって来る車両の確認がしにくい特徴がある。また、並走道路と BRT 専用道の距離が隣接しているため、並走道路から BRT 専用道へ右左折してくるか直進するかを見分けることが非常に困難な点が挙げられる。通常、人が運転する場合、右左折しようとする車両の方向指示器や減速度度合い、あるいは、相手の運転者の首振りや視線で判断する。しかし、自動運転バスの場合、現状の技術レベルでは方向指示器を見分けることも運転者の首振りや視線を見分けることもできない

ため、車両の減速度合いだけで判断しなければならない。

次に、リスクシナリオを考える際、自動運転バスの具体的な走行方法や安全に交差点の通過するための判断条件（以下、安全走行戦略と言う。）を前提に検討する必要がある。しかし、開発当初は具体的な安全走行戦略が決まっていなかったため、ここでは仮の安全走行戦略において検討を進めることとした。以下に安全走行戦略を示す。

【安全走行戦略（仮）】

1. バーゲートが開いたことを確認した上で交差点に向かって徐行する。
2. 周囲の安全を確認するため、交差道路・並走道路の交通を妨げず見通しが最大限確保できる位置まで進んで一時停止する。
3. 以下条件 1～条件 3 が満たされた場合に交差点へ進入する。

（条件 1）

並走道路を走行する車両が右左折しようとしている場合、右左折が完了する。

（条件 2）

自動運転バスの走路を横断している、又は、横断しようとしている歩行者、自転車がいる場合、横断が完了する。

（条件 3） a) 又は b) のいずれか

a) 交差道路の一時停止線手前を走行する車両がない。

b) 交差道路の一時停止線手前を走行する車両がいる場合、かつ、以下のいずれかのケース。

ケース A：BRT 専用道側が優先の場合。

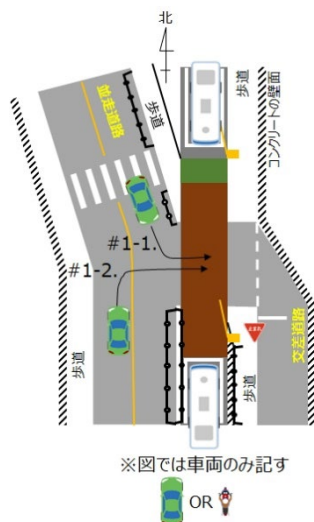
ケース B：ほかの交通参加者が優先関係を無視して交差点へ進入してくる危険性があるため、交差車両が一時停止線で停止するのを確認した、交差車両が交差点を通過した。

ここからは、検討したリスクシナリオを具体的に示す。基本的な進め方として、BRT 専用道を横切るあらゆる交通参加者の代表的な動きを定義していく。

(1) 並走道路から自動車の右左折

並走道路から乗用車又はバイクが右左折するシナリオを図 2.1.2-2 に示す。

並走道路南行の乗用車が左折するシナリオ（#1-1.）と、北行の車両が右折するシナリオ（#1-2.）が考えられる。



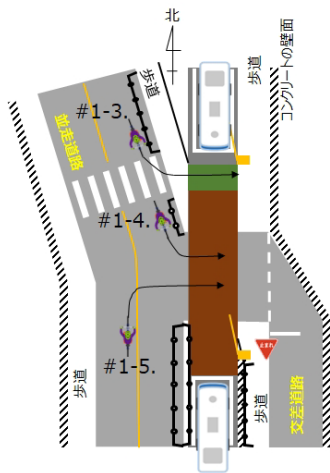
	シナリオ
#1-1.	・自動運転バスが周辺交通の安全確認の際、並走道路の南行車両（乗用車／バイク）が直進すると判断し交差点へ進入する。 ・その後、南行車両が交差点に進入する。（南行車両左折）
#1-2.	・自動運転バスが周辺交通の安全確認の際、並走道路の北行車両（乗用車／バイク）が直進すると判断し交差点へ進入する。 ・その後、北行車両が交差点に進入する。（南行車両左折）・その後、北行車両が加速し交差点を横切る。（北行車両右折）

図 2.1.2-2 並走道路から自動車の右左折

(2) 並走道路から自転車の右左折

並走道路から自転車が右左折するシナリオを図 2.1.2-3 に示す。

並走道路南行の自転車が左折するシナリオは緑の横断指導線（#1-3.）と交差点（#1-4.）、北行の自転車が右折するシナリオ（#1-5.）が考えられる。



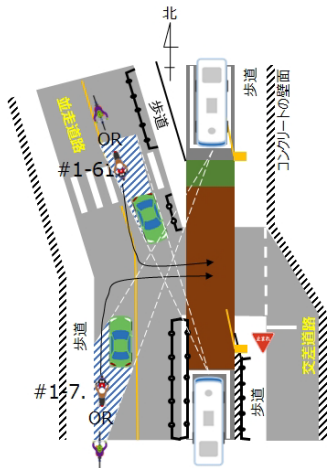
	シナリオ
#1-3.	・自動運転バスが周辺交通の安全確認の際、並走道路の南行自転車が直進すると判断し交差点へ進入する。 ・その後、南行自転車が緑の横断指導線に進入する。（南行自転車左折）
#1-4.	・自動運転バスが周辺交通の安全確認の際、並走道路の南行自転車が直進すると判断し、交差点へ進入する。 ・その後、南行自転車が交差点に進入する。（南行自転車左折）
#1-5.	・自動運転バスが周辺交通の安全確認の際、並走道路の北行自転車が直進すると判断し交差点へ進入する。 ・その後、北行自転車が交差点に進入する。（北行自転車右折）

図 2.1.2-3 並走道路から自転車の右左折

(3) 並走道路から追い越し二輪車の右左折

並走道路から先行車を追い越したバイク・自転車が交差点に右左折するシナリオを図 2.1.2-4 に示す。一時停止したバスから見て先行車の陰となり死角の部分青色の斜線で表している。その死角部分から回り込んで交差点へ向かって来るシナリオである。

並走道路南行のバイク・自転車が左折するシナリオ（#1-6.）、北行のバイク・自転車が右折するシナリオ（#1-7.）が考えられる。



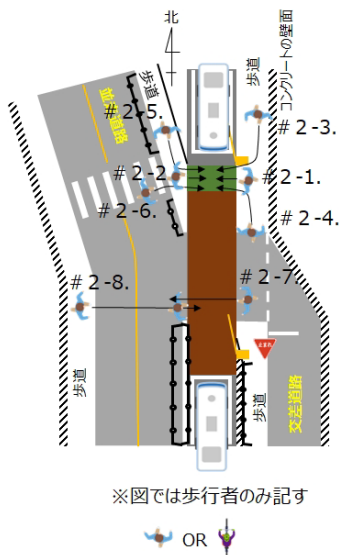
	シナリオ
#1-6.	・北行自動運転バスが周辺交通の安全確認の際、並走道路の南行車両（乗用車）が一時停止していると判断し交差点へ進入する。 ・その後、南行車両の死角にいたバイク／自転車が交差点に進入する。（南行車両左折）
#1-7.	・南行自動運転バスが周辺交通の安全確認の際、並走道路の北行車両（乗用車）が一時停止していると判断し交差点へ進入する。 ・その後、北行車両の死角にいたバイク／自転車が交差点に進入する。（北行車両左折）

図 2.1.2-4 並走道路から追い越し二輪車の右左折

(4) 歩行者・自転車の横断

歩行者・乗用車のシナリオを図 2.1.2-5 に示す。歩行者・乗用車のシナリオは、動きの自由度が高く、並走道路脇にある歩道からの横断や BRT 専用道脇にある並走歩道からの横断など様々な横断が考えられる。

BRT 専用道脇にある並走歩道から緑の横断指導線を渡るシナリオ（#2-1.、#2-3.、#2-4.）とその反対側である並走道路脇にある歩道や横断歩道から緑の横断指導線を渡るシナリオ（#2-2.、#2-5.、#2-6.）、及び、並走歩道から直接 BRT 専用道を横断するシナリオ（#2-7.）とその反対側である並走道路の遠い側の歩道から直接 BRT 専用道を横断するシナリオ（#2-8.）が考えられる。



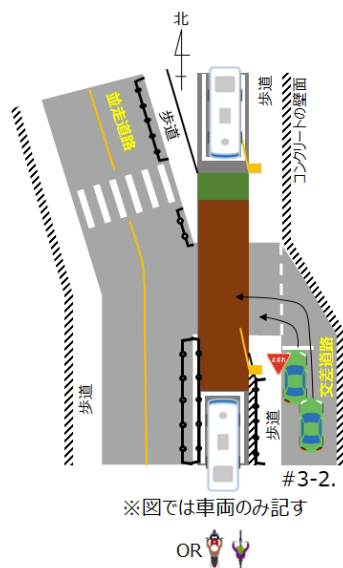
	シナリオ
#2-1.	・自動運転バスが周辺交通の安全確認の際、歩行者／自転車が緑の横断指導線付近で停止していると判断し交差点へ進入する。
#2-2.	・その後、歩行者／自転車が緑の横断帯を横断する。
#2-3.	・自動運転バスが周辺交通の安全確認の際、BRT専用道の並走歩道を通る歩行者／自転車が直進すると判断し交差点へ進入する。
#2-4.	・その後、歩行者／自転車が緑の横断帯を横断する。
#2-5.	・自動運転バスが周辺交通の安全確認の際、並走道路の歩道を通る歩行者／自転車が停止すると判断し交差点へ進入する。
	・その後、歩行者／自転車が緑の横断帯を横断する。
#2-6.	・自動運転バスが周辺交通の安全確認の際、並走道路の横断歩道を渡る歩行者／自転車が停止すると判断し交差点へ進入する。
	・その後、歩行者／自転車が緑の横断帯を横断する。
#2-7.	・自動運転バスが周辺交通の安全確認の際、歩行者／自転車がBRT専用道の並走歩道上で停止していると判断し交差点へ進入する。
	・その後、歩行者／自転車がBRT専用道を横断する。
#2-8.	・自動運転バスが周辺交通の安全確認の際、歩行者／自転車が並走道路の歩道上（あるいは交差点内）で停止していると判断し交差点へ進入する。
	・その後、歩行者／自転車がBRT専用道を横断する。

図 2.1.2-5 歩行者・自転車の横断

(5) 交差道路から追い越し車両の左折

交差道路からの左折のシナリオを図 2.1.2-6 に示す。交差道路には一時停止線があり、

その付近から乗用車・バイク・自転車が左折するシナリオ（#3-1.）及び、バスが来たことを確認してその前をすり抜けようと乗用車・バイク・自転車が加速して左折するシナリオ（#3-2.）が考えられる。

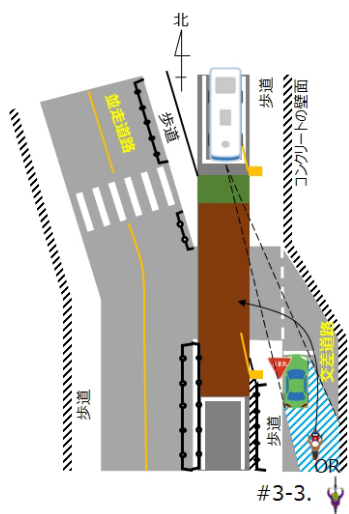


	シナリオ
#3-1.	・自動運転バスが周辺交通の安全確認の際、西行車両（乗用車／バイク／自転車）が一時停止していると判断し、交差点へ進入する。 ・その後、西行車両も動き出し交差点へ進入する。
#3-2.	・自動運転バスが周辺交通の安全確認の際、西行車両（乗用車／バイク／自転車）が一時停止すると判断し、交差点へ進入する。 ・その後、西行車両が自動運転バスの前をすり抜けようと交差点へ進入する。

図 2.1.2-6 交差道路から追い越し車両の左折

(6) 交差道路から追い越し二輪車の左折

交差道路から一時停止した先行車を追い越したバイク・自転車が左折するシナリオを図 2.1.2-7 に示す。交差道路の一時停止線で止まっている車両を追い越しバイク・自転車が左折するシナリオ（#3-3.）が考えられる。なお、乗用車を含めなかったのは、交差道路の幅員が狭く追い越しができないためである。



	シナリオ
#3-3.	・自動運転バスが周辺交通の安全確認の際、西行車両（乗用車）が一時停止したと判断し、交差点へ進入する。 ・その後、車両の死角にいたバイクまたは自転車が交差点へ進入する。

図 2.1.2-7 交差道路から追い越し二輪車の左折

(7) 走路上の障害物

走路上の障害物のシナリオを図 2.1.2-8 に示す。走路上にある落下物や歩行者・自転車が転倒などした横臥者のシナリオ（#4-1.）、BRT 専用道の先を進む先行バスや対向バス、あるいは、緊急車両が走行・停車しているシナリオ（#4-2.）が考えられる。

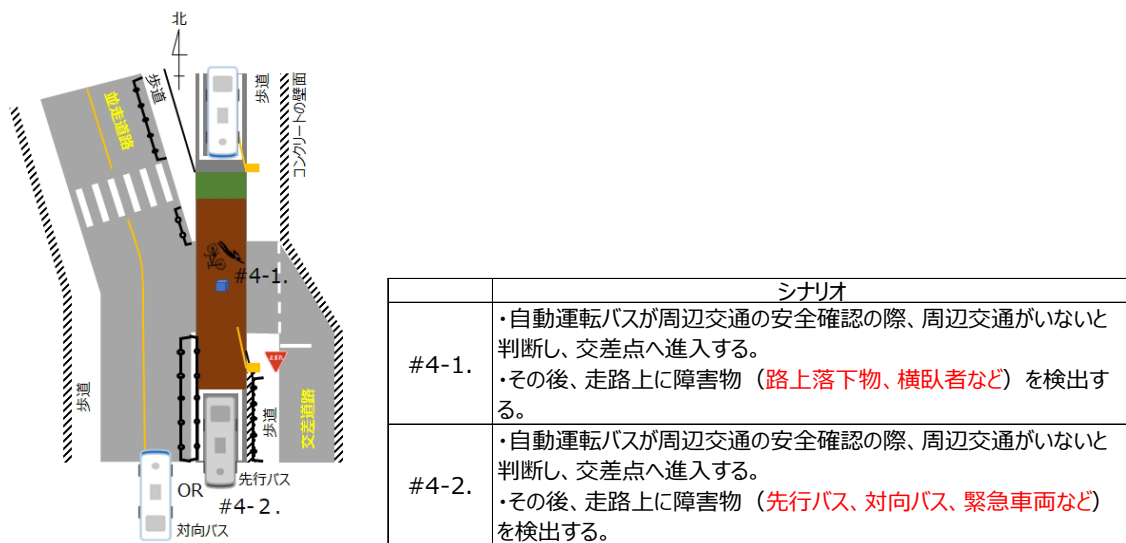


図 2.1.2-8 走路上の障害物

以上の詳細なリスクシナリオの検討結果に基づき、衝突のリスクを伴うシナリオを以下のように抽出し車両開発を進めた。

【リスクシナリオ】

① 並走道路の車両

サービス性（定時性）の問題などから、並走道路からの車両が右左折を完了するのを待たずに、自動運転バスが交差点へ進入する場合、相手車両の不意な加速によって衝突する。（#1-1.～#1-7.）

② 歩行者、自転車(#2-1.～#2-8.)

- 自動運転バスの走路を横断している歩行者・自転車が走路を渡り終え、自動運転バスが動き出した後、向きを変えて再び走路に戻り衝突する。
- 自動運転バスの走路付近で立ち止まっていた歩行者・自転車が、自動運転バスが動き出した後、突然走路へ飛び出し衝突する。
- 歩道・横断歩道から歩行者・自転車が飛び出し、走路を横断し衝突する。
- 交差道路で一時停止している車両の陰から自転車が飛び出し走路を横断し衝突する。

③ 交差道路の車両(#3-1.～#3-3.)

交差道路から来た車両が一時停止するだろうと判断し、自動運転バスが交差点へ進入した後、自動運転バスよりも先に通過しようと交差点へ進入したケースで衝突リスクが発生する。

④ 走路上の障害物(#4-1.～#4-2.)

2.1.3. その他の取組み

リスクシナリオを検討する上で、机上で考えたシナリオが実際の走行環境の実態と合致していることを確認することが非常に重要である。現地の交通環境調査は過去いくつかの方法が実施されているが、ある地点・区間の速度や通行数のカウントに留まり、安全走行戦略・リスクシナリオの妥当性検証に必要な周辺交通の時間・場所における連続的な変化（加減速状態や走行経路など）は含まれていなかった。そこで、効率的な現地交通環境調査方法の開発を行った取組みについて以下に記す。また周辺交通の実際のふるまいを反映したリスクシナリオを理解するには、文書による記述だけでは状況がつかみにくい課題があり、アニメーションによって具体的なイメージがつかみやすくするツール（簡易な仮想環境）整備についても以下に記す。

(1) 現地交通環境調査

1) 背景

「自動運転車の安全技術ガイドライン」に示された安全目標「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」を達成するためには、レベル4自動運転移動サービスを実施するコース上でのほかの交通参加者の動き（速度、ふるまい等）やセンサ性能に影響を与える西日などを考慮した安全走行戦略の検討や検知性能の達成が必要となる。

ほかの交通参加者の動きの例としては、道路構造や制限速度、信号の有無など机上で分かる情報だけでなく、実際の走行コースで交通参加者（車両、自転車、歩行者など）がどの程度の速度で走行しているか、あるいは、自動運転移動サービス車両を認識した際にどのような減速が行われるかなどが挙げられる。

これらの交通参加者の動きを把握するには、少なくとも代表的な交通環境の地点で交通実態の調査を実施し、その後はその調査結果を参考に社会実証データを積み上げていき、以前の調査結果が適用できず、新たな交通形態での交通参加者の動きの把握が必要となった場合には追加で調査を実施すればよいと考えられる。このようにして求めた交通参加者の動きを把握した上で自動運転システムの制御仕様開発を行っていく必要がある。なお、ある程度の確からしさで「傾向」として扱うためには、一定以上（ひとつの目安として100件以上）のデータ数を確保する必要がある。

2) 目的

- (A) ひたち BRT 自動運転レベル4で走行するコースの交通実態を調査し、交通参加者の行動傾向に関する仮説や安全走行戦略の妥当性を評価する材料を獲得する。特に自動運転移動サービス車両を認識した際にどのような減速が行われるかなど、交通参加者の動きを把握する。
- (B) RTL4プロジェクトの目標（2025年頃に50か所以上）達成に向けて、日本各地で実用化に取り組む事業において、必要に応じた交通環境調査を軽い負担で実施できるよう、効率的かつ安価なデータ計測・解析手法の確立を目指す。

3) ひたち BRT における交通環境調査

(A) 調査方法

交通参加者の動きを効率的に把握するためには、以下の項目を満たしていることが必要である。

- ・ 交通参加者の移動経路や速度変化、最高速度発生地点の計測ができること
- ・ 自動運転バスを認識した際の減速行動などの計測ができること
- ・ 同様の目的で使用実績があり、必要なときに誰でも実施できること
- ・ 交通参加者の行動を安全走行戦略の検討に必要な精度で計測可能なこと
- ・ 生データから必要なデータ抽出までの加工や分析が容易なこと
- ・ 方法の利用、流用、改良により、実用性の向上や普及が見込めること

過去の交通実態調査には以下のような方法がある。

- ・ ストップウォッチを用いた方法：観測者が走行する車両を1台ごとにストップウォッチを使って一定区間を走行する通過時間を測定する方法である。人が操作するため人海戦術となり、ある程度の誤差が含まれる。この方法は一地点の計測であり移動経路などは計測できない。
- ・ ビデオカメラを用いた方法：一定の距離間にビデオカメラを設置し、撮影した映像から2つの地点の通過時間を読み取って各車両の走行速度を算出する方法である。この方法は一地点の計測であり移動経路などは計測できない。
- ・ ドップラー計測器を用いた方法：レーダのドップラー現象を応用した、いわゆるスピードガンを用いて速度を計測する方法である。機器操作には無線免許と従事者免許を必要とする。この方法は一地点の計測であり移動経路などは計測できない。

いずれも上記項目を満たしていない。

(B) 今回実施した方法

上記必要な項目を鑑み、新規手法として以下を検討し精度検証後ひたち BRT 走行ルートにて実施した。

a) 計測手法概要

LiDAR センサ+Autoware (Autoware は Linux と ROS をベースとした自動運転システム用オープンソースソフトウェア) を用いることで、多くの対象数に対して連続的に効率的にデータ計測でき、解析の多くを自動化できる。

b) 初期の機器構成

磯坪交差点にて使用した機器構成を表 2.1.3-1 に示す。また設置イメージを図 2.1.3-1 に示す。

表 2.1.3-1 初期機器構成

機器	機器名称	台数	利用方法
LiDAR	HDL-32e	1	物標トラッキング用
	VLP-16	1	物標トラッキング HDL-32eにて取得ができないエリアの補完
カメラ	C1	2	LiDARデータ 確認用
PC	Linux	3	データロギング用PC
バッテリー		6	各種センサー及びPC用バッテリー 入れ替え含む

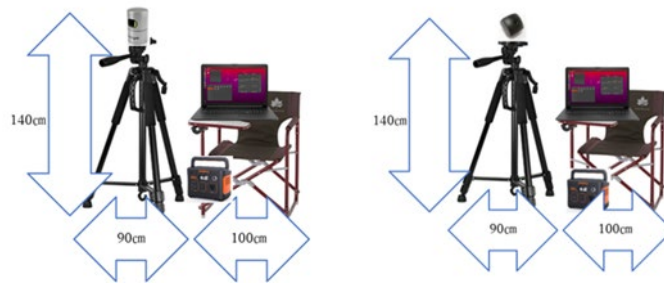


図 2.1.3-1 初期の機器構成

c) 改善後の機器構成

後述する（2.1.3(1)3）(D) a) 初期構成の課題に対して改善した機器構成を表 2.1.3-2 に示す。LiDAR を高性能化し 1 台とした。

表 2.1.3-2 改善後の機器構成

機器	機器名称	台数	利用方法
LiDAR	OT-128	1	物標トラッキング用
カメラ	C1	2	LiDARデータ 確認用
PC	Linux	2	データロギング用PC
バッテリー		3	各種センサー及びPC用バッテリー 入れ替え含む

d) 検出対象

LiDAR にて取得した点群データから物体の形状を検知、分類分け、トラッキングを行い、検出情報を出力する。検出情報を表 2.1.3-3 に示す。

表 2.1.3-3 検出情報

検出情報	内容
検知時間	分解能:100ms
分類	乗用車、大型車、二輪車、歩行者
位置	重心位置の座標
速度	1~1000km/h

e) 測定手順（図 2.1.3-2）

LiDAR＋自動運転 OS（Autoware）を使ってリアルタイムで測定する。

- (ア) LiDAR と Autoware を搭載した PC をセッティング
- (イ) データロギング開始
- (ウ) 物標の速度情報、種別分け（車、人、自転車）をリアルタイムで実施

(エ) リスト化

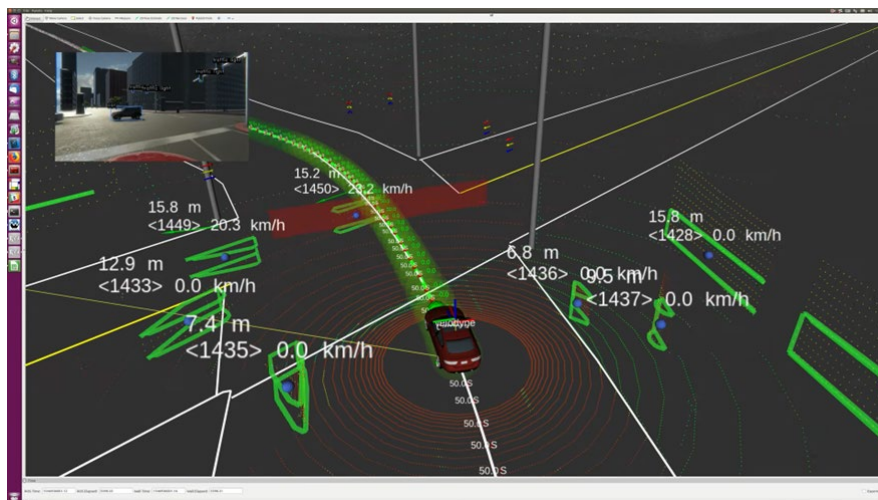


図 2.1.3-2 検出イメージ

f) 精度（測量精度）³検証

JARI 試験場（V2X 市街地）内での物標位置情報の精度検証を行った。MMS（Mobile Mapping System）計測及びトータルステーションでの測量で測定対象物（車両、自転車、歩行者）の絶対位置を計測し、同時に本手法により位置情報を取得し、両者を比較することで精度を求めた。この結果の一例を表 2.1.3-4 に示す。

表 2.1.3-4 精度検証結果例

交差点からの位置	精度(m)		
	車両	自転車	歩行者
0m	0.251	0.216	-
10m	0.228	0.092	0.353
20m	0.518	0.123	0.143
30m	0.258	0.234	0.059
40m	0.925	-	0.148
50m	0.551	-	-
60m	0.722	-	-
右折	0.414	0.103	0.038
左折	0.196	0.340	0.480

今回の精度検証結果から、車両に関しては精度 1m 以内で 60m 先まで検知可能、自転車、歩行者に関しては、精度 60cm 以内で 40m 先まで検知可能であった。今回の調査では移動

³ 測量精度とは絶対位置との誤差のことで単位は m 又は cm で表す。一般的な測量では精度 0.05～0.20m 程度である。今回の計測では移動経路のズレであり、例えば横断歩道中心を歩いているのに最大精度分ずれて歩いていると計測される。

経路や最高速度位置等に影響するがこの精度で十分と判断した。なお、速度の誤差は LiDAR の仕様で決まり、約 $\pm 1\text{km/h}$ （計測距離 3～200m）でありこれも十分と判断した。

(C) 調査場所

a) 磯坪交差点（図 2.1.3-3）

信号のない交差点で、交通量が最も多く交差車両の速度が最も高い場所（制限速度が最も高い 40km/h）である。交差車両の実勢速度を基に必要な検知距離を求め、安全走行戦略の妥当性を確認するために選定した。（LiDAR2 台の調査方法で実施）



図 2.1.3-3 磯坪交差点

b) 大沼小学校南交差点（図 2.1.3-4）

信号のない交差点で構造が複雑であり、BRT 走行路西側に平行した道路（並走道と表記）と BRT 走行路を挟んだ東側の道路（側道と表記）がある。並走道路から側道へ進行する車両の実勢速度を基に安全走行戦略の妥当性を確認するため選定した。

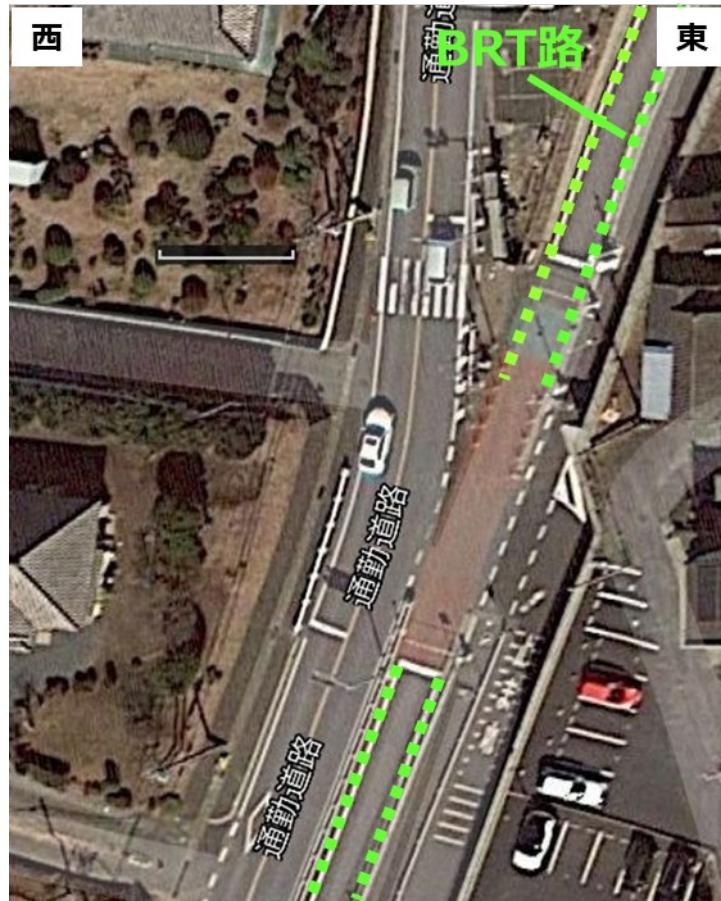


図 2.1.3-4 大沼小学校南交差点

c) 南部図書館交差点（図 2.1.3-5）

信号のない交差点で交通量が2番目に多く見通し距離が短く、また側道からの進入もある。交差点を横断する車両の実勢速度を基に安全走行戦略の妥当性を確認するため選定した。



図 2.1.3-5 南部図書館交差点

d) 河原子バス停南交差点 (図 2.1.3-6)

信号のない交差点で交通量は少ないが交差道路の見通しが悪い。交差点を横断する車両の実勢速度を基に安全走行戦略の妥当性を確認するため選定した。

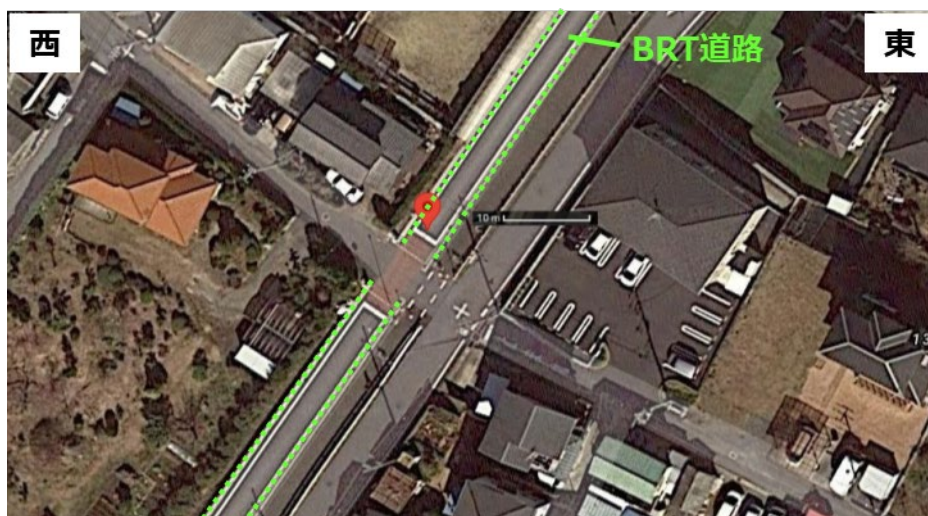


図 2.1.3-6 河原子バス停南交差点

(D) 結果

a) 磯坪交差点

(ア) 調査日時

2023年8月7日(月)～8月9日(水) 8時～15時30分 計24時間

(イ) 調査項目と仮説

調査項目：交差道路（東進）の交差点進入速度と、BRTバスの近接有無による変化

仮説：バス近接時に安全を確保するため減速する

(ウ) 結果

交差道路（東進）の交差点進入速度の速度分布をバス近接有無により図 2.1.3-7、図 2.1.3-8 に示し、交差点進入速度の最大値、平均値、85%タイル値⁴を表 2.1.3-5 にまとめた。バス近接無時の 85%タイル値は基準道路の実勢速度（40km/h 規制道路；以降推測実勢速度と記載）⁵[2]より小さく、バス近接時の速度は n 数が少なく妥当性を判断できない。

また、初期の機器構成（2.1.3(1)3）(B) b)）で実施したため、2 台の LiDAR のデータを結合する必要がある、結合点が合わないなどの要因でデータの欠落や解析に時間がかかってしまう課題が発生した。以降の計測ではこの課題を対策した改善後の機器構成にて計測を実施している。

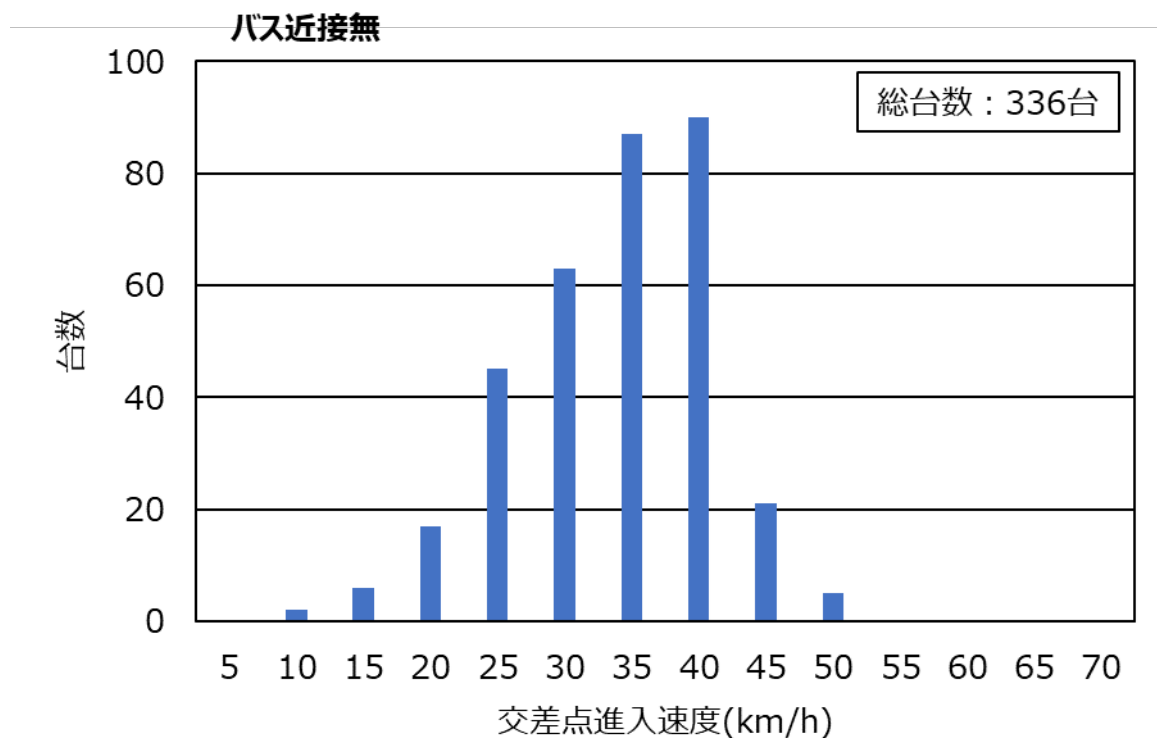


図 2.1.3-7 交差点進入速度分布（バス近接無）@磯坪交差点（東進）

⁴ ある道路における速度分布の 85%タイル（速度分布の累積百分率で 85%にあたる速度）をその道路の実勢速度とみなす（警察庁交通局「速度規制の目的と現状」 出典：警察庁交通局「速度規制の目的と現状」の P9「2 規制速度決定の基本的考え方」より）

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

⁵ 警察庁交通局「速度規制の目的と現状」では実勢速度（40km/h 制限道路）を 51.9km/h としている。

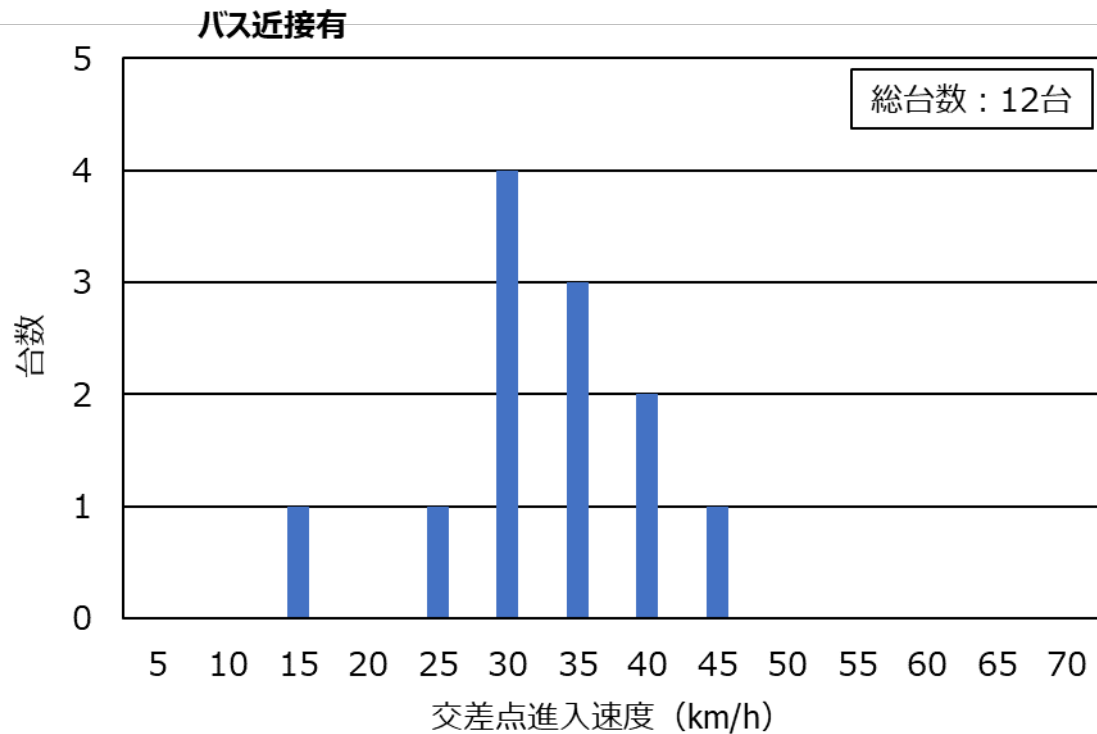


図 2.1.3-8 交差点進入速度分布（バス近接有）@磯坪交差点（東進）

表 2.1.3-5 バス近接有無による交差点進入速度@磯坪交差点

交差点進入速度 (km/h)	東進	
	近接無	近接有
最大値	47.0	44.2
平均	31.1	30.7
85%タイル	38.0	37.4

b) 大沼小学校南交差点

(ア) 調査日時

2024 年 1 月 23 日（火）～1 月 26 日（金） 8 時 30 分～16 時 計 30 時間

(イ) 調査項目と仮説

①調査項目：並走道路（南下／北上）の実勢速度と、BRT バスの近接有無による変化

仮説：BRT 路との交差点を通過しないためバス近接有無による変化なし

②調査項目：並走道路から交差点を通過し側道へ抜けるときの交差点通過速度と BRT バスの近接有無による変化

仮説：バスより先に通過したいと考えバス近接時のほうが交差点通過速度は速くなる

③調査項目：側道から交差点を通過し並走道路へ進入するときの交差点通過速度と BRT バスの近接有無による変化

仮説：一時停止がありバスを先に通過させたいと考えバス近接時のほうが交差点通過速度は遅くなる

(ウ) 結果

- ① 並走道路南下方向及び北上方向の最高速度分布をバス近接有無により図 2.1.3-9、図 2.1.3-10、図 2.1.3-11、図 2.1.3-12 に示し、最高速度の最大値、平均値、85% タイル値を表 2.1.3-6 にまとめた。南下、北上とも、バス近接無時の 85% タイル値は推測実勢速度 (40km/h 制限道路) より小さく、バス近接時でも変化はない。
(仮説どおり)

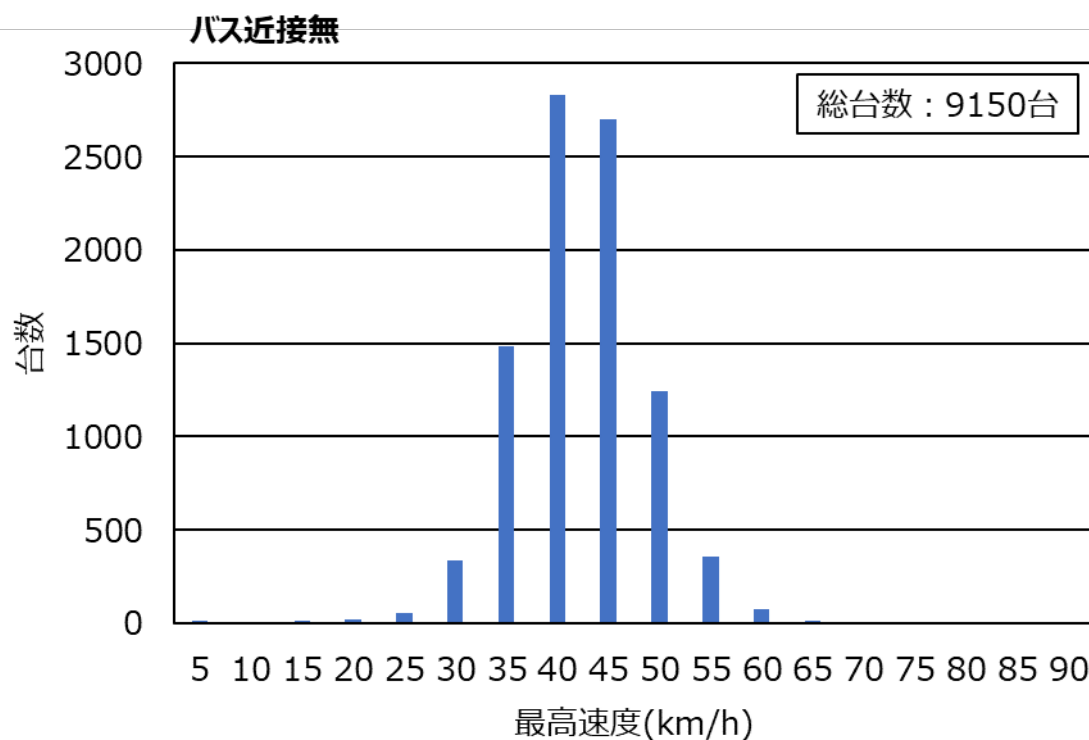


図 2.1.3-9 最高速度分布 (バス近接無) @大沼小学校南交差点 (南下)

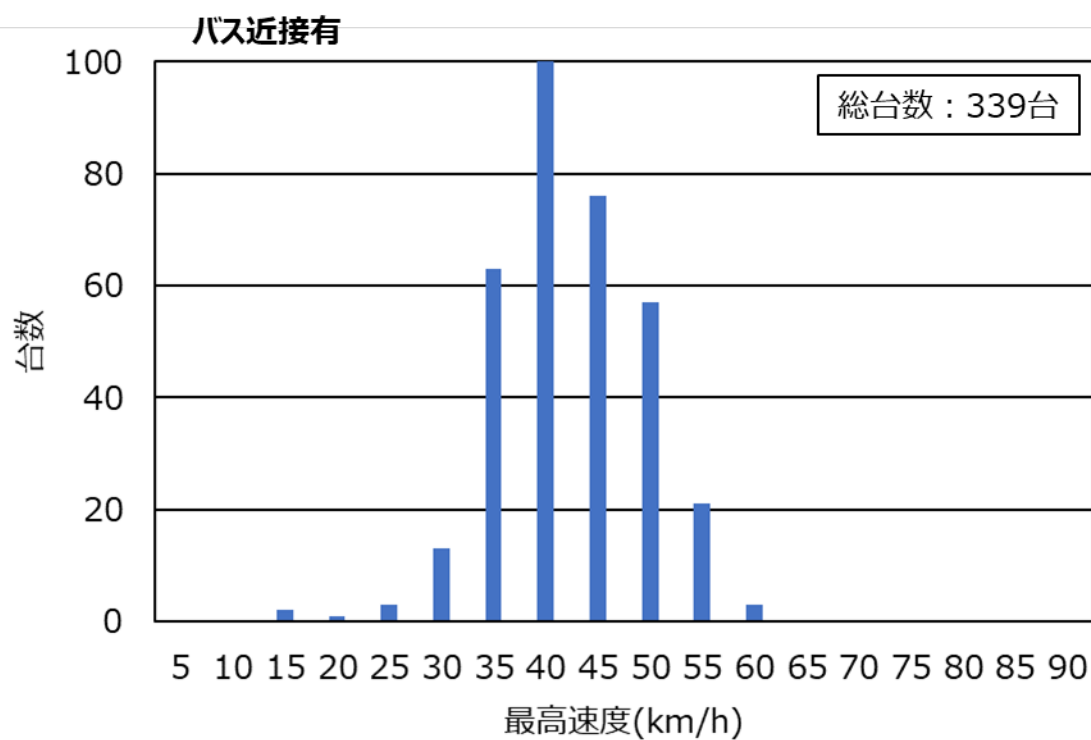


図 2.1.3-10 最高速度分布（バス近接有）@大沼小学校南交差点（南下）

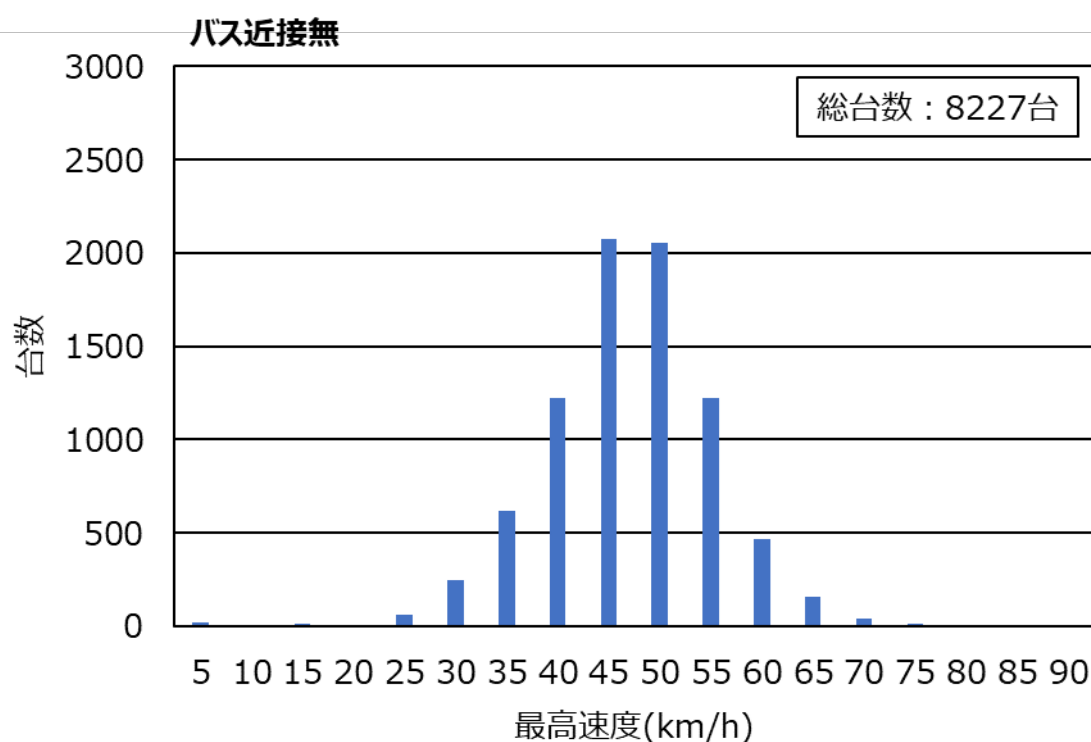


図 2.1.3-11 最高速度分布（バス近接無）@大沼小学校南交差点（北上）

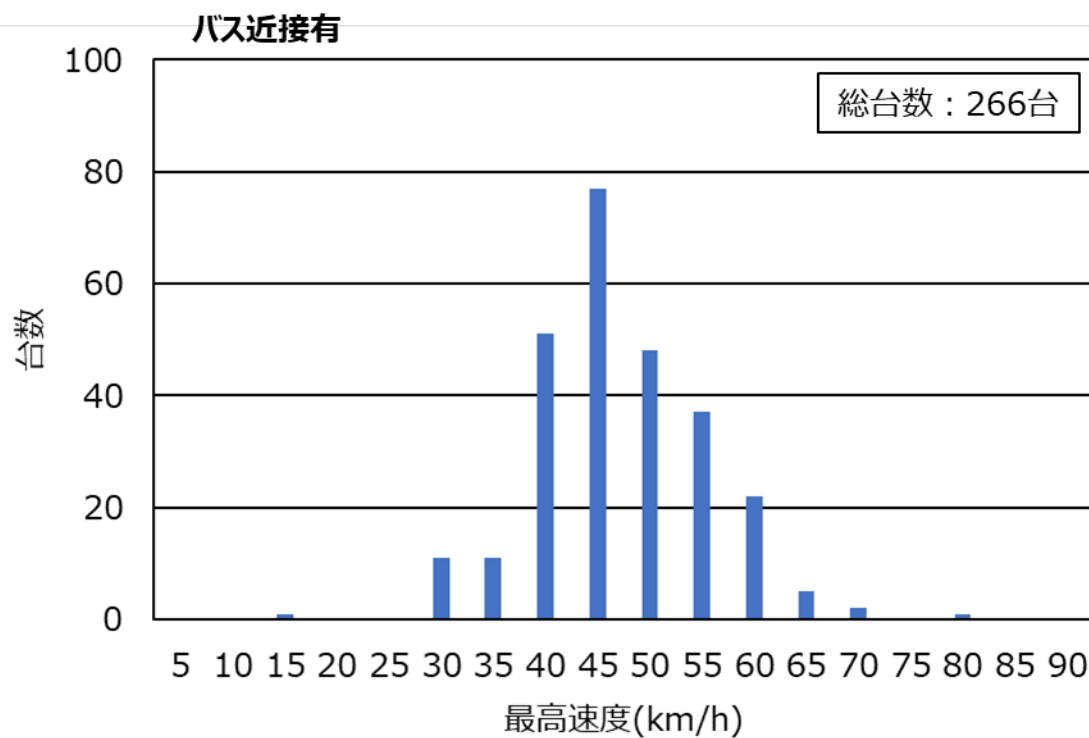


図 2.1.3-12 最高速度分布（バス近接有）@大沼小学校南交差点（北上）

表 2.1.3-6 バス近接有無による最高速度@大沼小学校南交差点

最高速度 (km/h)	南下		北上	
	近接無	近接有	近接無	近接有
最大値	67.1	67.1	81.1	75.6
平均	39.7	39.7	44.3	44.5
85%タイル	45.8	45.8	52.2	53.3

- ② 並走道路から交差点を通過し側道へ抜けるときの交差点進入速度分布をバス近接有無により図 2.1.3-13、図 2.1.3-14に示し、交差点進入速度の最大値、平均値、85%タイル値を表 2.1.3-7 にまとめた。バス近接時の速度は n 数が少なく妥当性を判断できない。

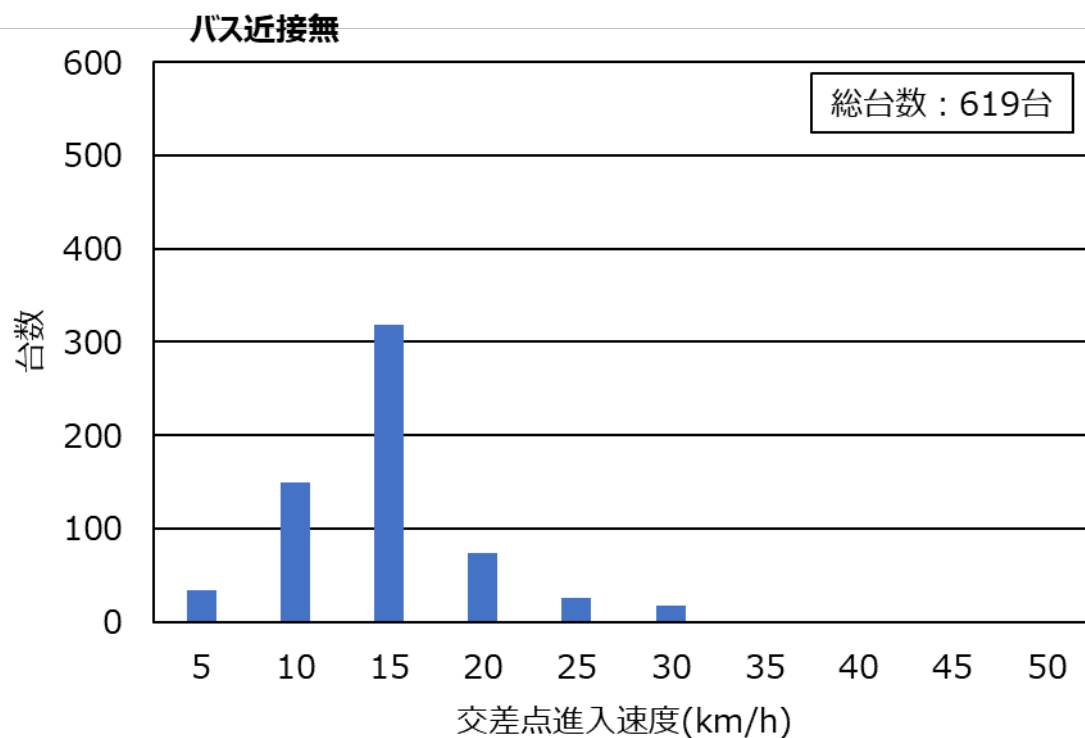


図 2.1.3-13 交差点進入速度分布（バス近接無）
@大沼小学校南交差点（並走道から進入）

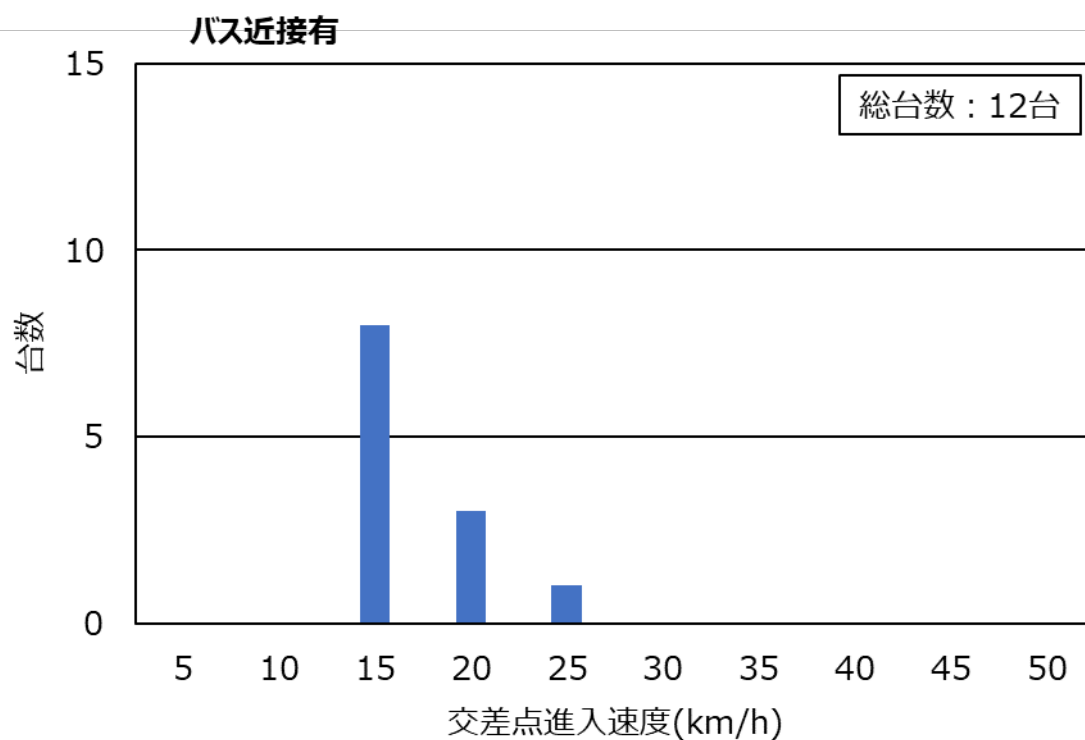


図 2.1.3-14 交差点進入速度分布（バス近接有）
@大沼小学校南交差点（並走道から進入）

表 2.1.3-7 バス近接有無による交差点進入速度（並走道→側道）@大沼小学校南交差点

交差点進入速度 (km/h)	並走道→側道	
	近接無	近接有
最大値	28.8	21.6
平均	12.2	14.3
85%タイル	16.2	19.3

- ③ 側道から交差点を通過し並走道路へ進入するときの交差点進入速度分布をバス近接有無により図 2.1.3-15、図 2.1.3-16 に示し、交差点進入速度の最大値、平均値、85%タイル値を表 2.1.3-8 にまとめた。バス近接時の速度は n 数が少なく妥当性を判断できない。

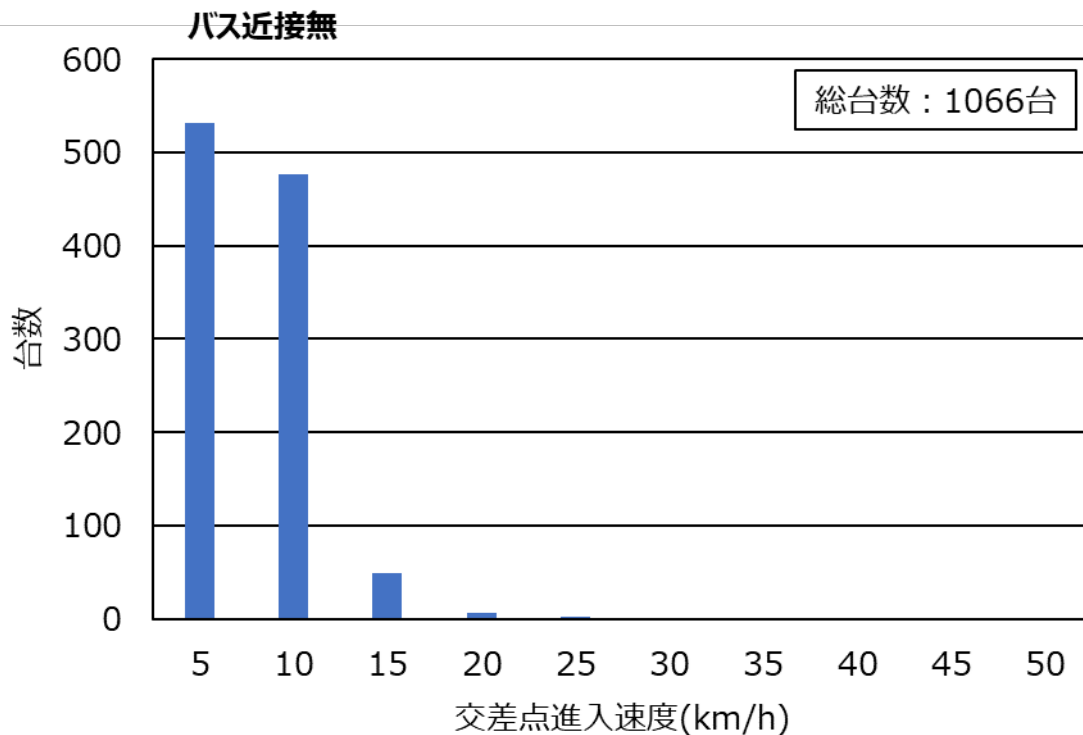


図 2.1.3-15 交差点進入速度分布（バス近接無）
@大沼小学校南交差点（側道から進入）

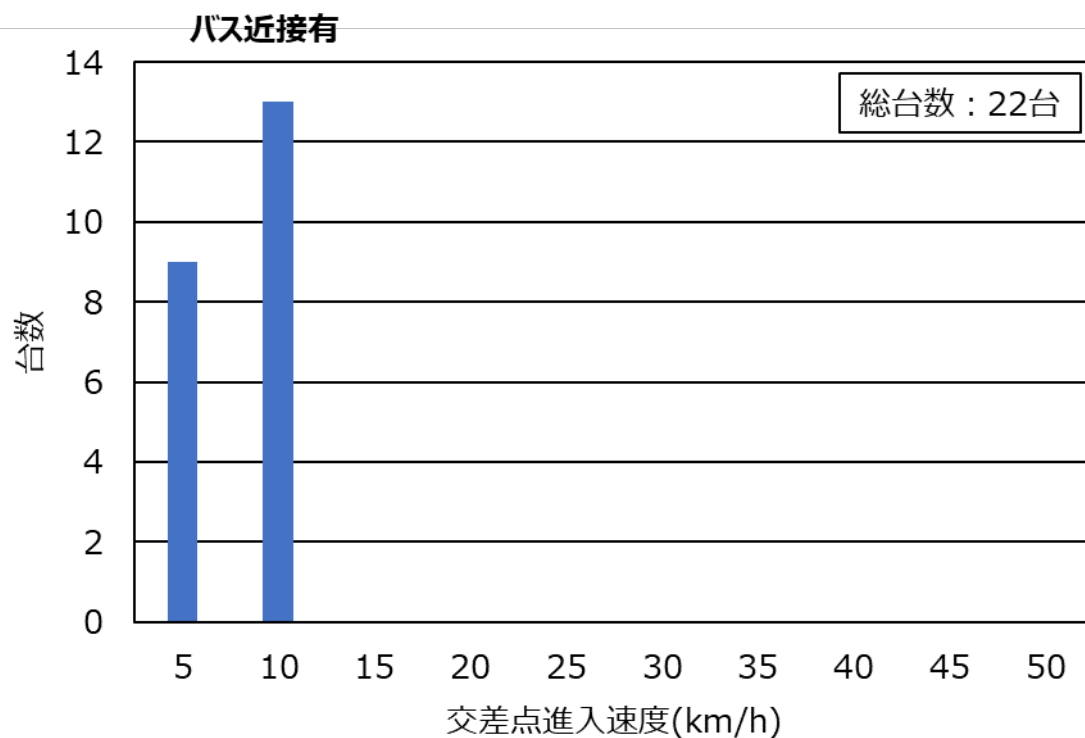


図 2.1.3-16 交差点進入速度分布（バス近接有）@大沼小学校南交差点（側道から進入）

表 2.1.3-8 バス近接有無による交差点進入速度（側道→並走道）@大沼小学校南交差点

交差点進入速度 (km/h)	側道→並走道	
	近接無	近接有
最大値	23.1	8.1
平均	5.1	5.1
85%タイル	8.5	7.7

c) 南部図書館交差点

(ア) 調査日時

2024 年 2 月 2 日（木）～2 月 2 日（金） 8 時～16 時 計 16 時間

(イ) 調査項目と仮説

調査項目：交差道路（東進／西進）の交差点進入速度と、BRT バスの近接有無による変化

仮説：バス近接時に安全を確保するため減速する

(ウ) 結果

交差道路（東進／西進）の交差点進入速度の速度分布をバス近接有無により図 2.1.3-17、図 2.1.3-18、図 2.1.3-19、図 2.1.3-20 に示し、交差点進入速度の最大値、平均値、85%タイル値を表 2.1.3-9 にまとめた。東進、西進とも、バス近接無時の 85%タイル値は推測実勢速度（38.9km/h；30km/h 制限道路）より小さく、バス近接時の速度は n 数が少なく妥当

性を判断できない。

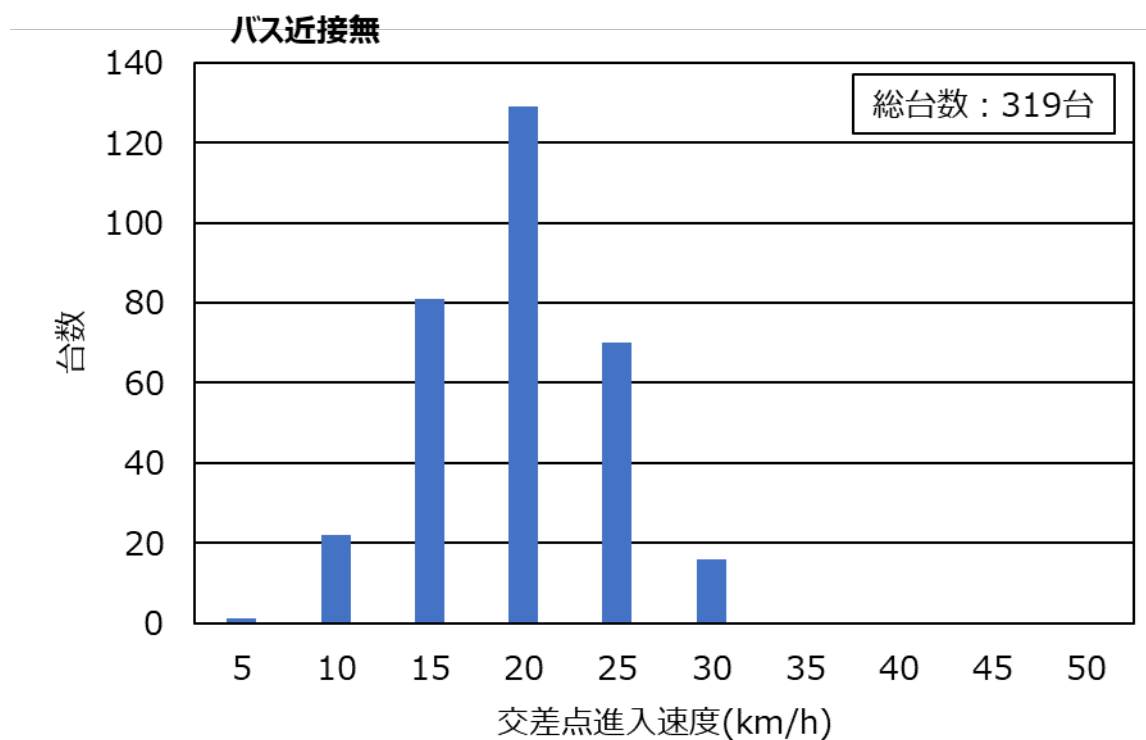


図 2.1.3-17 交差点進入速度分布（バス近接無）@南部図書館交差点（東進）

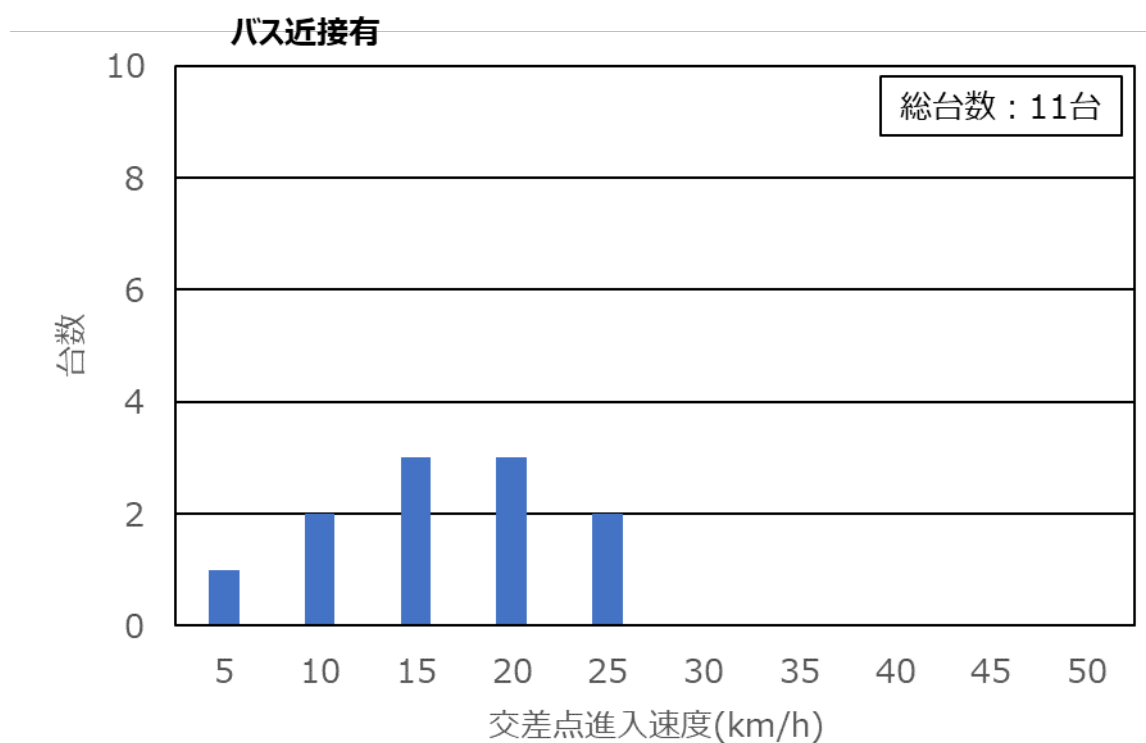


図 2.1.3-18 交差点進入速度分布（バス近接有）@南部図書館交差点（東進）

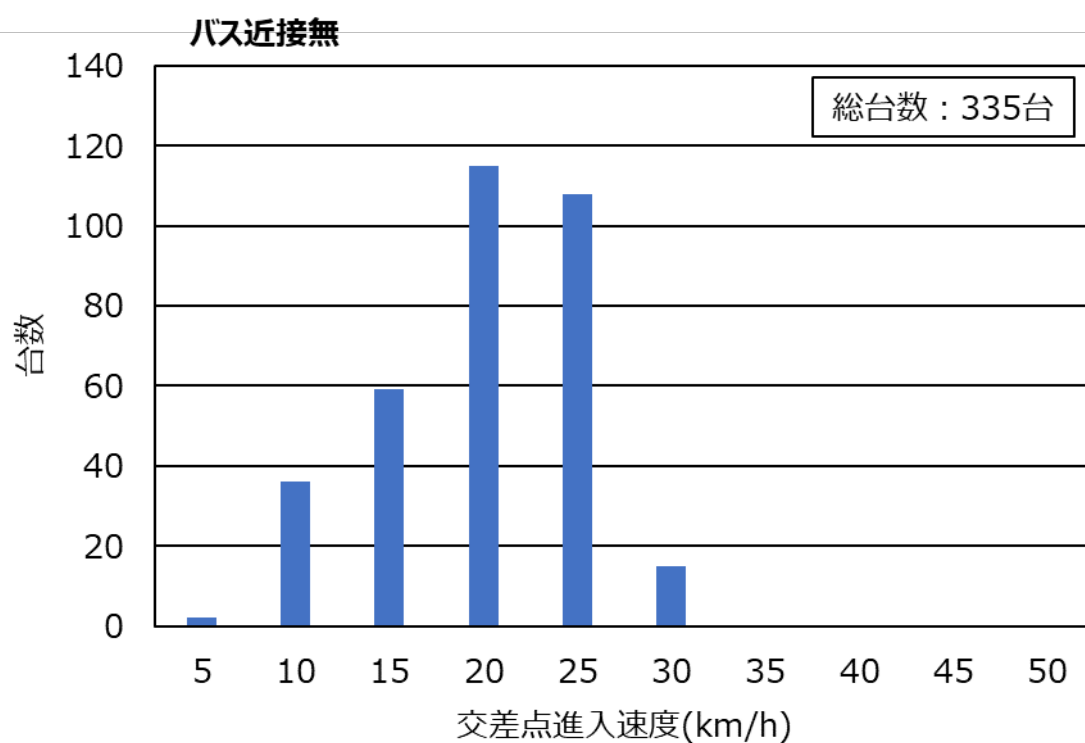


図 2.1.3-19 交差点進入速度分布（バス近接無）@南部図書館交差点（西進）

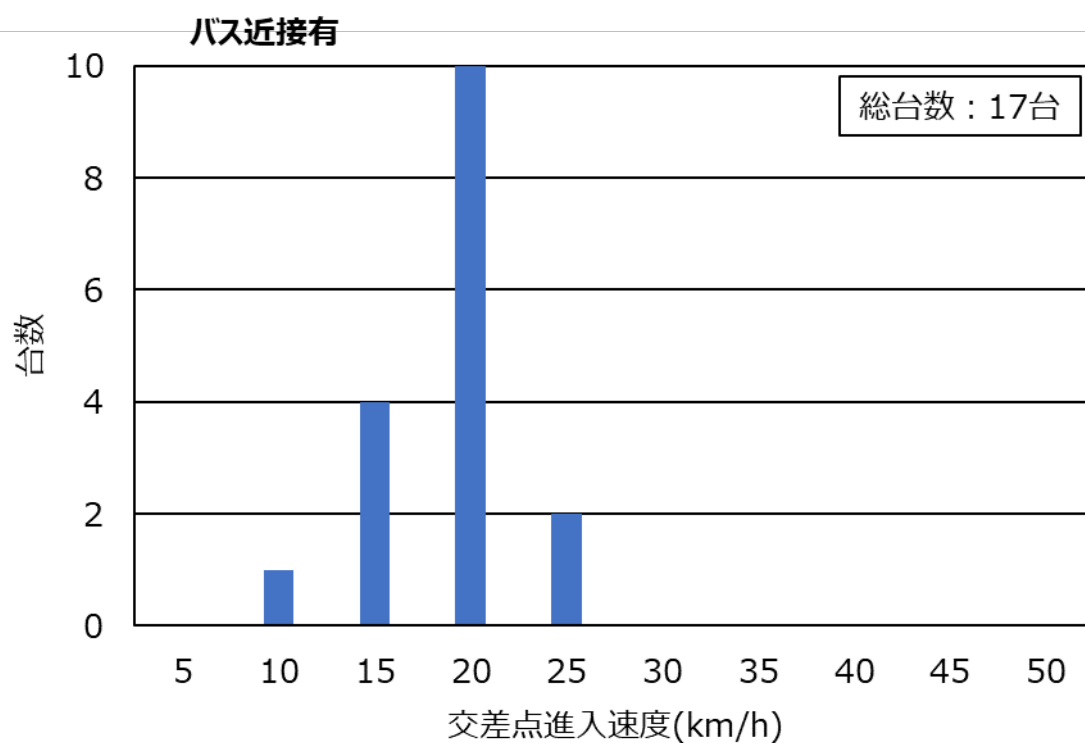


図 2.1.3-20 交差点進入速度分布（バス近接有）@南部図書館交差点（西進）

表 2.1.3-9 バス近接有無による交差点進入速度@南部図書館交差点

交差点進入速度 (km/h)	東進		西進	
	近接無	近接有	近接無	近接有
最大値	27.9	22.8	28.1	22.2
平均	17.0	14.6	17.5	15.8
85%タイル	21.9	20.1	22.7	19.7

d) 河原子バス停南交差点

(ア) 調査日時

2024 年 1 月 30 日（火）～1 月 31 日（水） 8 時～16 時 計 16 時間

(イ) 調査項目と仮説

調査項目：交差道路（東進／西進）の交差点進入速度と、BRT バスの近接有無による変化

仮説：バス近接時に安全を確保するため減速する

(ウ) 結果

交差道路（東進／西進）の交差点進入速度の速度分布をバス近接有無により図 2.1.3-21、図 2.1.3-22、図 2.1.3-23、図 2.1.3-24 に示し、交差点進入速度の最大値、平均値、85%タイル値を表 2.1.3-10 にまとめた。東進、西進とも、バス近接無時の n 数が少なく妥当性を判断できない。

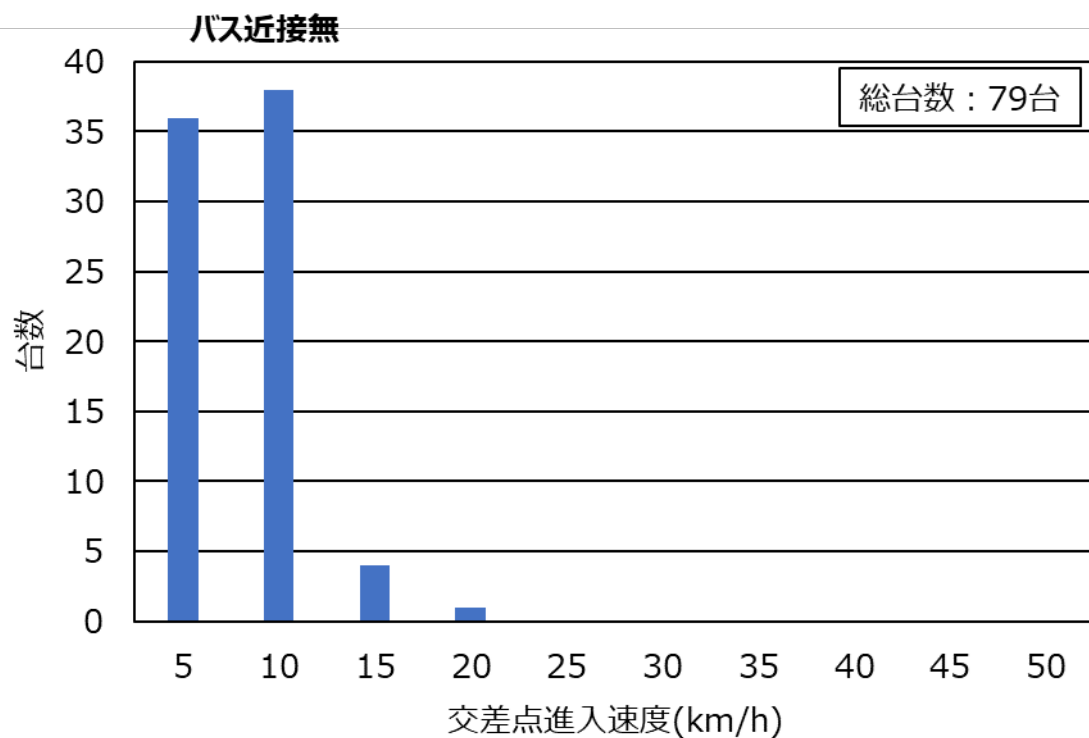


図 2.1.3-21 交差点進入速度分布（バス近接無）@河原子バス停南交差点（東進）

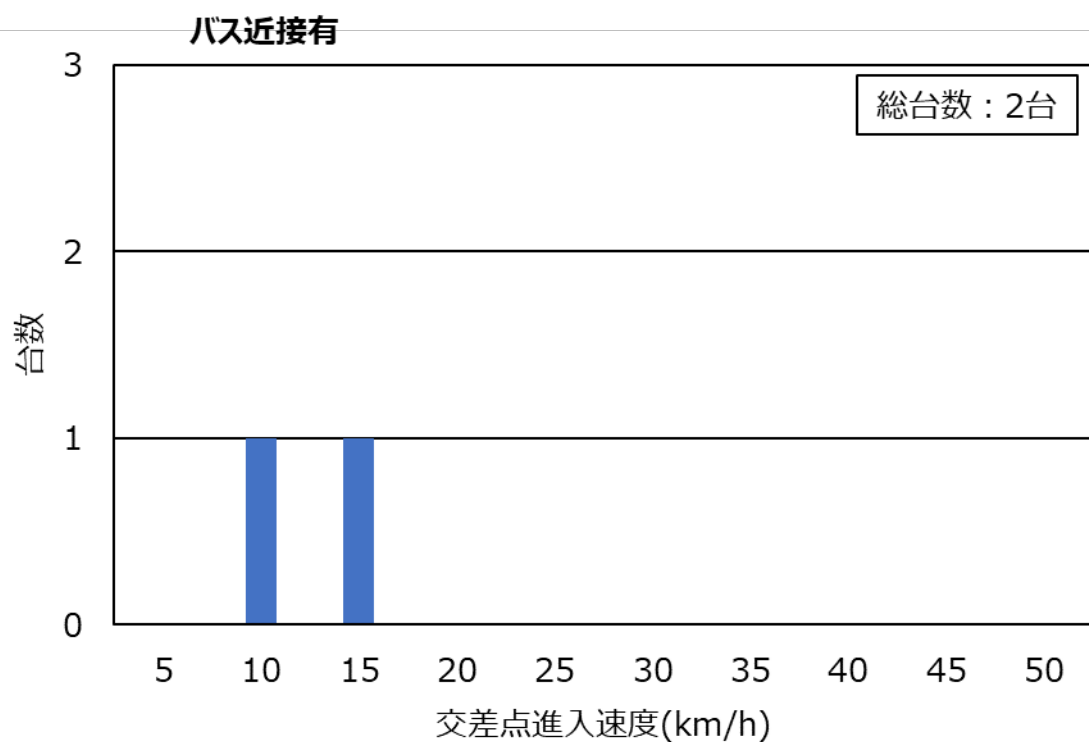


図 2.1.3-22 交差点進入速度分布（バス近接有）@河原子バス停南交差点（東進）

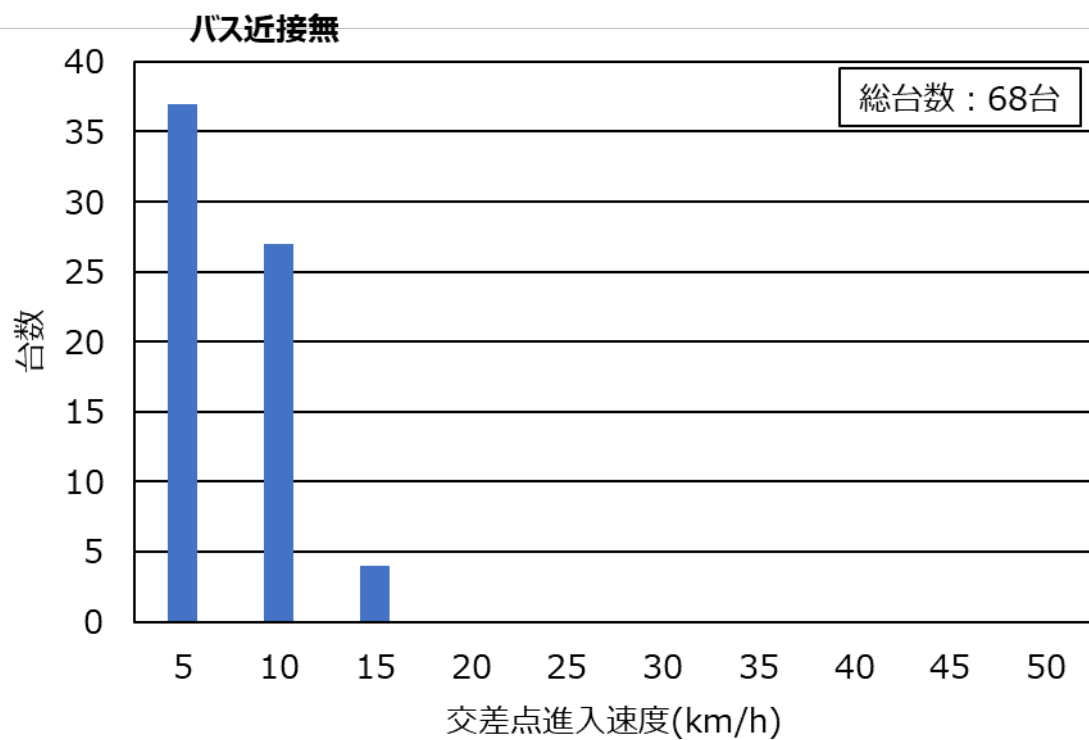


図 2.1.3-23 交差点進入速度分布（バス近接無）@河原子バス停南交差点（西進）

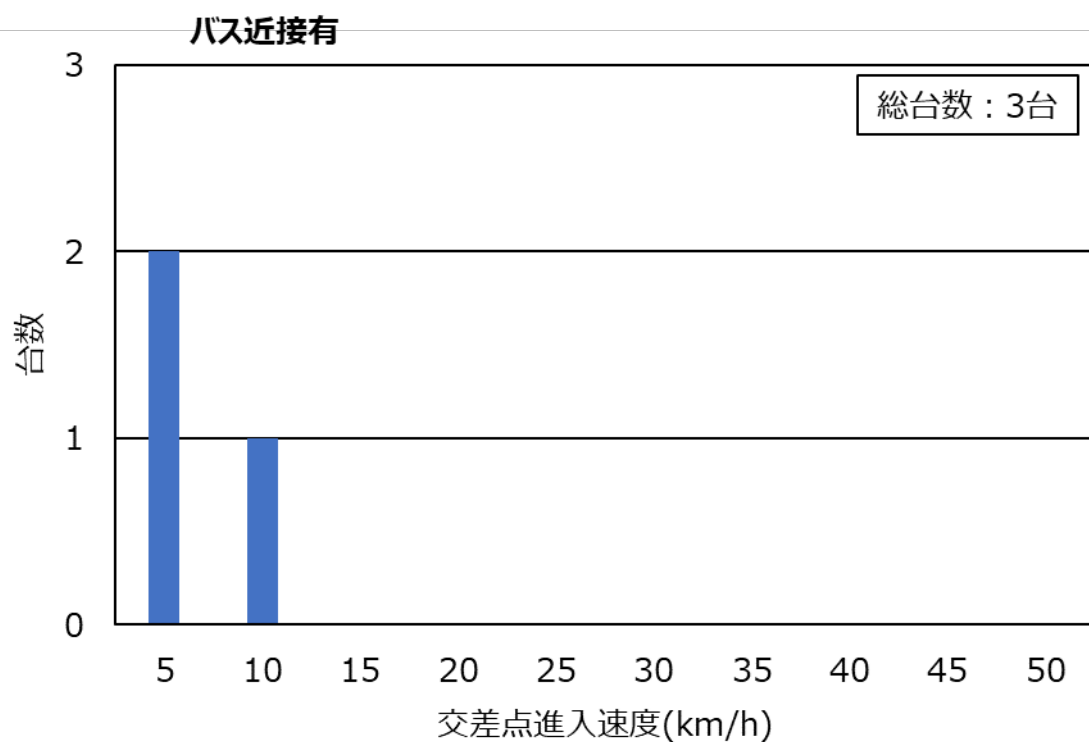


図 2.1.3-24 交差点進入速度分布（バス近接有）@河原子バス停南交差点（西進）

表 2.1.3-10 バス近接有無による交差点進入速度@河原子バス停南交差点

交差点進入速度 (km/h)	東進		西進	
	近接無	近接有	近接無	近接有
最大値	15.1	13.1	12.5	6.3
平均	5.5	10.1	5.4	4.3
85%タイル	7.7	12.2	8.0	5.7

e) まとめ

(ア) 調査方法の検討

新たな調査方法を検討し、以下のような特徴を持つ調査方法を確立した。

- ・効率的にデータ計測・解析が可能である。1 か所 4 日間の計測において、基本データの抽出に 2 週間、その後の解析に 4 週間程度を要することで結果が得られている。なお、解析についてもデータ処理自動化の推進と拡張を実行することにより 2 週間程度（計測終了から計 4 週間）に短縮できる見込みである。
- ・課題として、オクルージョン（LiDAR の前を車両等が横切る等）が発生するとデータが欠損することが挙げられる。この対策として、LiDAR の 2 台設置や高い位置への LiDAR 設置などが挙げられる。
- ・この手法は他地域（テーマ 4；柏の葉地区）へ展開し活用している（24 年 2 月）。

(イ) ひたち BRT における交通環境調査

- ・ひたち BRT の交通環境調査として 4 か所実施し、実勢速度や交通量等を得られた。おむね仮説どおりの結果となり安全走行戦略の妥当性を確認できた。ただし、BRT バス近接時のデータは n 数が少なく（100 以下）、統計的に「傾向」として扱えるレベルには達していない。

・磯坪交差点

交差道路の実勢速度は推測実勢速度より小さい。バス近接時の変化は n 数が少なく判断できなかった。

・大沼小学校南交差点

並走道路のバス近接無時の実勢速度は推測実勢速度より小さく、バス近接時でも変化はない。（仮説どおり）

・南部図書館交差点

交差道路の実勢速度は推測実勢速度より小さい。バス近接時の変化は n 数が少なく判断できなかった。

・河原子バス停南交差点

交差道路の実勢速度は推測実勢速度より小さい。バス近接時の変化は n 数が少なく判断できなかった。

4) 信号灯色認識に影響を与える太陽位置計算手法のプログラム化

2022 年度の実証実験において、太陽光の影響により信号灯色認識率が低下することが報告された。本来このような課題は設計段階・設計評価段階で十分な確認が行われるべきであるが、今後の再発防止の観点で 2022 年度に対応方法を検討し、太陽光が車載カメラの画角

内に入り画像の一部や全体が白くなる現象（フレア）が発生し認識に問題が出る可能性があるかどうかを計算できることを示した。

2023 年度は、上記計算手法のプログラム化を行う。またプログラムから算出される結果の確認をひたち BRT 交差点にて確認し、評価を行う。

(A) 目的

信号灯色認識に影響を与える太陽位置計算手法を簡易化（プログラム化）する。

(B) 評価対象

本プログラムでは信号機の視認性に影響を与えうる状況として、以下の 2 つのパターンを対象とする。

a) 順光フレア

ある位置（視点）から、ある日時において車載カメラや肉眼などを通して信号機を視認する際、太陽位置が信号機と同方向に存在する場合、太陽の強い照射光が幻惑などの視認性への影響を生じさせることがあり、以降順光フレアと記載する。順光フレア発生時のイメージを図 2.1.3-25 に示す。

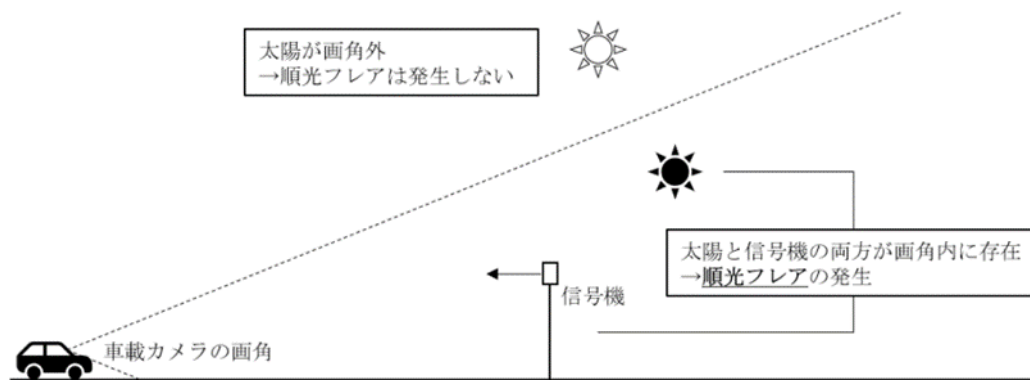


図 2.1.3-25 順光フレア

b) 反射光フレア

ある位置（視点）から、ある日時において車載カメラや肉眼などを通して信号機を視認する際、太陽位置からの光線が信号機によって反射され、その反射光が疑似点灯などの視認性への影響を生じさせることがあり、これを反射光フレアと記載する。反射光フレア発生時のイメージを図 2.1.3-26 に示す。

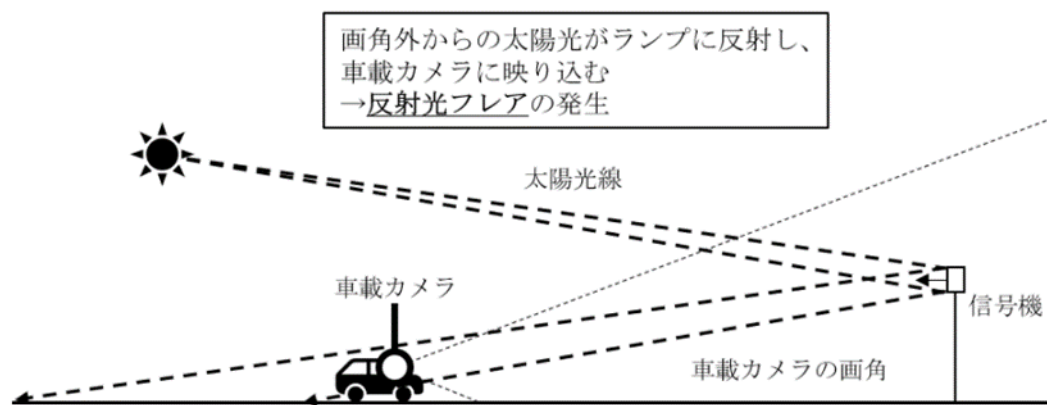


図 2.1.3-26 反射光フレア

(C) 計算に必要なパラメータ
計算に必要なパラメータを表に示す。

表 2.1.3-11 計算に必要なパラメータ

項目	パラメータ
信号機	位置（座標）、サイズ、向き
視点	信号機からの相対位置、向き
カメラ	水平視野角、垂直視野角、地上高
評価日	日にち、時刻

(D) 計算手順

- ① 対象とする視点と信号機のペア、及び評価を行う期間（開始日と終了日）を入力する。
- ② 開始日における時間経過での太陽位置の変化を求める。
- ③ 日の出の時刻における太陽位置が、順光フレアの発生条件を満たすかを判定する。
- ④ 同様に、反射光フレアの発生条件を満たすかを判定する。
- ⑤ 日の入り（太陽高度が $0[^\circ]$ 以下となる）まで、時刻を進めながら ③～④ の判定を繰り返す。
- ⑥ 終了日まで、日付を進めながら ②～⑤ の判定を繰り返す。
- ⑦ 順光フレア・反射光フレアのいずれか 1 つ以上の発生条件を満たした日付及び時刻を出力する。

(E) 順光フレアの発生判定

順光フレアの発生条件は、「信号機を視認する視点の視界内に太陽が存在する」場合とす

る。視点の信号機からの相対位置から垂直・水平それぞれの方向角を求める。

- 太陽の位置が信号機の前方に存在する場合、順光フレアは発生しない。
- 垂直方向において、太陽の高度が視点から信号機への方向±垂直方向の視角内に収まっている場合、条件を満たしている。
- 水平方向において、太陽の方位が視点から信号機への方向±水平方向の視野角に収まっている場合、条件を満たしている。

(F) 反射光フレアの発生判定

反射光フレアの発生条件は、「信号機からの反射光の照射範囲に視点が存在する」場合とする。信号機から見た視点の方向と太陽の位置から垂直・水平それぞれの反射光の照射範囲を求める。更に信号機と視点の向きが正対していない場合も考慮する。

- 太陽の位置が信号機より後方に存在する場合、反射光フレアは発生しない。
- 垂直方向において、視点から信号機上端・下端をそれぞれ通る直線の角度を求める。太陽の高度が求めた角度の範囲内であった場合、条件を満たしている。
- 水平方向において、信号機の左右端をそれぞれ通る直線の角度を求める。太陽の方位が求めた 2 つの角度の範囲内であった場合、条件を満たしている。

(G) 検証

実装したハレーション評価のシステムを用い、実際に現地でハレーションが発生している様子を撮影したデータ（実測データ）と比較して検証した結果を記す。

a) 検証方法

実測データは、ハレーションが発生しうると考えられる地点において実際に測定を行った日時と、その地点を走行した様子を収めた映像データで構成されている。今回の検証では、ハレーションが発生していると思われる実測データにおける地点及び日時において、ハレーション評価システムが発生を判定できているかを途中の計算結果などと併せて確認する。評価の実行時、設定する視点の各パラメータについては一律で同じものを使用する。設定する値を表 2.1.3-12 に示す。

表 2.1.3-12 検証にて用いる視点パラメータの設定値

パラメータ[単位]	設定値
水平視野角[°]	41
垂直視野角[°]	24
地上高[m]	2.0

b) 検証

茨城県日立市北部（河原子町 4 丁目付近交差点）における 2023 年 12 月 20 日 7 時 15 分付近の実測データを用いた検証を行う。本検証の対象とする信号機、及び視点の配置を図 2.1.3-27 に示す。実測データの内容から、順光フレアが発生している視点を「視点 1」、反射光フレアが発生している視点を「視点 2」とし、今回の検証の対象とする。



図 2.1.3-27 河原子町 4 丁目付近交差点の信号機及び視点の配置

(ア) 視点 1 (順光フレア) の評価

2023 年 12 月 20 日の実測データである動画のうち、視点 1 の地点における見え方の画像を図 2.1.3-28 に示す。画像から、当該地点から正面の信号機を視認しようとした際、カメラの視野内に太陽が存在しており、順光フレアの発生条件を満たしていることが確認できる。

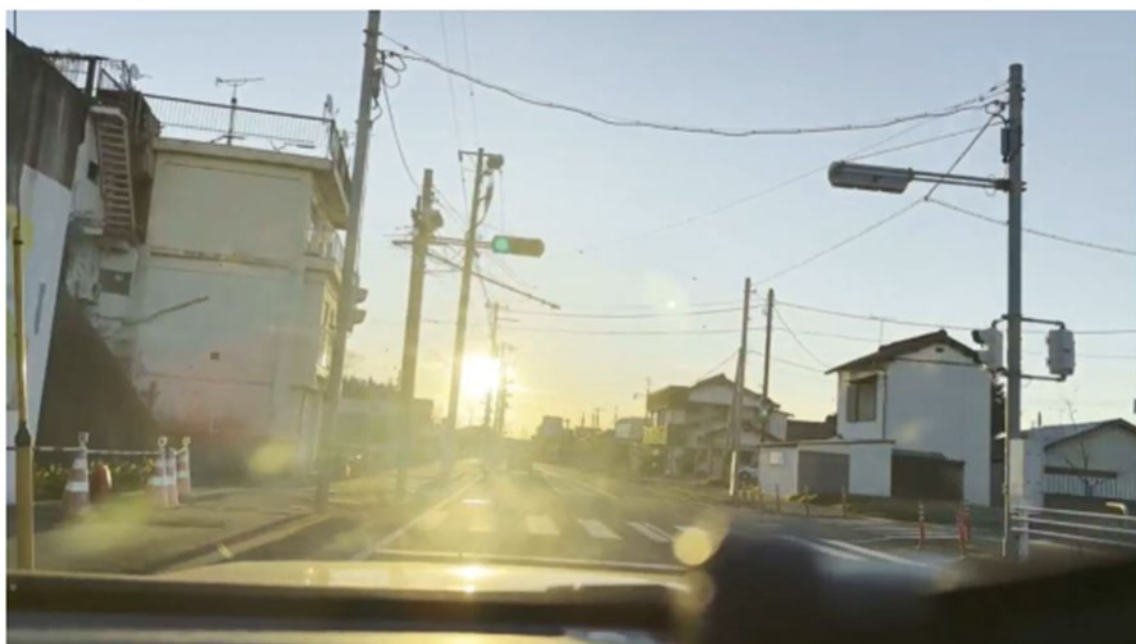


図 2.1.3-28 河原子町 4 丁目付近交差点における順光フレア（2023/12/20 7:11 頃）

この地点について、本プログラムを使用して発生可能性の評価を行った。発生時刻付近における順光フレアの評価を抜粋したものを表 2.1.3-13 に示す。計算にて順光フレアが発生している結果となり検証結果と一致した。

表 2.1.3-13 河原子町 4 丁目付近交差点における順光フレアの評価結果

時刻	垂直方向	水平方向
6:45	なし	なし
7:00	なし	発生
7:15	発生	発生
7:30	発生	発生
7:45	発生	発生

（イ） 視点 2（反射光フレア）の評価

2023 年 12 月 20 日の実測データである動画のうち、視点 2 の地点における見え方の画像を図 2.1.3-29 に示す。画像から、当該地点から正面の信号機を視認しようとした際、発光部分に太陽光が差し込むことで灯色の読み取りが困難となっており、反射光フレアの発生条件を満たしていることが確認できる。



図 2.1.3-29 河原子町 4 丁目付近交差点における反射光フレア（2023/12/20 7:11 頃）

この地点について、ハレーション評価システムを使用して発生可能性の評価を行った。発生時刻付近における反射光フレアの評価を抜粋したものを表 に示す。計算にて反射光フレアが発生している結果となり検証結果と一致した。

表 2.1.3-14 河原子町 4 丁目付近交差点における順光フレアの評価結果

時刻	垂直方向	水平方向
6:45	なし	なし
7:00	なし	<u>発生</u>
7:15	<u>発生</u>	<u>発生</u>
7:30	<u>発生</u>	<u>発生</u>
7:45	<u>発生</u>	<u>発生</u>

(H) まとめ

- ・2022 年度に対応方法を検討し、順光フレアが発生し認識に問題が出る可能性があるかどうかを計算できることを示した。2023 年度は、上記計算手法のプログラムを作成し、算出される結果を検証した。
- ・ひたち BRT ではある日時においてフレアが発生していることが分かっているが、一年を通してフレアが発生するかをこのツールを使って確認していく。
- ・本プログラムは他地域（テーマ 4；柏の葉地区）へ展開している（24 年 2 月）。

(2) 簡易な仮想環境整備

自動運転移動サービスの開発プロセスは以下のとおりと考えられる（図 2.1.3-30）。



図 2.1.3-30 自動運転移動サービスの開発プロセス

はじめに、地域の移動の需要や課題を把握し、ソリューションとしてどのようなサービスを提供するかを定義する。次に、それらに則って車両を選定し、現地の走行環境を調査し危険な箇所をピックアップした上で、走行方法を決定し走行制御システムを設計・実装する。更に、評価として、センサや制御方法の機能の検証のプロセスがある。並行して、地域住民に向けた社会受容性醸成のプロセスがあり、両者が相まって、社会実装へと至ることになる。

このプロセスの中で、仮想環境の活用が有効なのは、「設計・評価」と、「社会受容性醸成」、この2つのプロセスである。

設計評価では、実車での公道走行評価の代替となる検証を目的に、オブジェクトの特性、位置、サイズなどを精緻に模擬する、つまり、搭載されたカメラ・LiDAR・レーダなどの様々なセンサにとって高いリアリティを感じられる仮想環境の構築が行われており、SIP-adus 事業でのDIVPプロジェクトや自動車メカ各社で開発されている仮想環境が挙げられる。例えば、DIVPプロジェクトでは、環境モデルは高精細な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。更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。このため、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が開発できており、様々な交通環境下で再現性の高い安全性評価を実施可能である。しかし、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となるデメリットもある。そのほかの既存シミュレータについても、同様に多くの費用や高い知識を必要とする。

一方で、社会受容性醸成に用いる仮想環境は、関係者間で走行イメージを共有し安全走

行方策の妥当性を確認・理解することを目的に、利用者視点からの視覚情報を再現する、つまり、人間の眼にとってリアリティを感じられる画像的な仮想環境が求められる。ここでは、人間が注視するシーンのリアル性が重要であり、人間の注視への関与が低い部分は優先度が低いため、例えば、自車両と周りのクルマ・人の動き・相対位置の再現は高度に保ちつつ、それ以外は既存の地図などを利用することが可能であると考えられる。特に、無人自動運転移動サービスの開発は限定空間を走行するため、仮想環境は、簡易で短い開発期間で対応可能なものが求められる。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することで費用を低減し、高度な知識も不要な仮想環境（以降「簡易な仮想環境」と呼ぶ）を構築する。更にこの仮想環境を社会受容性醸成のみならず、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を検討する。

2023 年度では、上記で記述した「社会受容性醸成」以外の「簡易な仮想環境」の用途を検討した結果、次の3つの用途が挙げられた。これらの用途にも「簡易な仮想環境」を用いることでコストパフォーマンスを向上させ、「簡易な仮想環境」導入を促進できると考える。

- ・コンセプト立案（コース選定／安全方針決定等）
- ・安全性検証
- ・教育等

2024 年度は、上記用途の「教育等」に関連する、ひたち BRT 自動運転バスの乗務員や同路線の手動運転バスの運転者が、安全に走行できるように自動運転バスの挙動を理解できる動画資料案を作成し、サービス事業者にヒアリングを実施することで有効性を確認する。

1) 簡易な仮想環境の改良

上記用途での使用を踏まえ、2022 年度に構築した「簡易な仮想環境」の改良を実施した。

(A) 「簡易な仮想環境」の改良／追加点

以下に 2023 年度の変更点としてシナリオ設定方法の改良について記す。

- ・機能概要：車両/歩行者の行動タイミングと経路設定、歩行者の向き等のシナリオの設定方法の簡易化を行う。
- ・目的：安全走行シナリオを検証するためには、様々なシナリオを設定する必要があり、シナリオ設定方法を簡易にすることにより効率良く実施するため。
- ・経路の設定： GUI 操作により俯瞰図上に経路を表示し位置修正も可能とした。（図 2.1.3-31）
- ・経路の出力：設定した経路をファイル出力しシナリオファイル作成を容易にする
- ・シナリオ開始トリガ設定機能：シナリオ開始したい自車バスの位置を設定可能とする



図 2.1.3-31 GUI 操作による経路設定

(B) シーン追加

2022 年度までに作成した 8 シーンに新たに大沼小学校南交差点を追加した(図 2.1.3-32)。この場所は道路構造が複雑で危険シナリオが多く挙げられているため追加した。



図 2.1.3-32 大沼小学校南交差点例

(C) 運転者向け動画資料の作成

a) 対象シーン

複雑な交差点、特異な地点での安全走行戦略／方法を示し手動運転と異なる挙動を再現するため、大沼小学校南交差点を対象とする。

b) 文章資料では理解しにくい点

従来の運転者向け資料では理解しにくく、動画資料で理解しやすく表現できる項目を抽出し以下に列挙した。なお運転者向け資料として、2022 年版運転者トレーニング資料と安全走行 WG 資料を対象とした。

- ・ 検知対象/挙動（記載はあるが具体的な場所で例示）
- ・ 検知範囲
- ・ ウインカ点滅は検知できない点
- ・ 自動運転の挙動（停止、検知、判断、発進、再停止等）
- ・ 判断内容
- ・ MRM 移行後の挙動
- ・ 具体的な事例
- ✓ 例 1：交差点手前で車両が停止した場面
- ✓ 例 2：停止していた車両が急に動き出す場面

c) 動画の作成

構築した「簡易な仮想環境」にてベース動画を作成し、これを基にパワーポイントのアニメーション機能を用いて説明文や「検知範囲の表示」などを追加する。パワーポイントのアニメーション機能を使用したのは修正が容易なためである。

d) ヒアリング結果

自動運転バスの挙動を理解できる動画資料について賛同を得た。主な意見を以下に示す。

- ・ ひたち BRT 自動運転バスの運転者トレーニング資料として使用したい
- ・ 大沼小学校南交差点での挙動などは理解しやすくなった。説明テロップ内容は相談させてほしい
- ・ ほかの場所でも動画を作成して欲しい。サンプル動画を見てから希望シナリオを提示する
- ・ 交差点だけでなく、自走運転バスでの歩行者の見え方、バスの挙動についても実施して欲しい

e) まとめ

簡易な仮想環境を用いた自動運転バスの挙動を理解できる動画をひたち BRT 自動運転バスの運転者トレーニング資料として使用できることが分かった。2024 年の運転者トレーニングで活用していく。

2.2. 安全設計要件の整理

国土交通省が平成 30 年に発行した「自動運転車両の安全技術ガイドライン⁶」に示す安全目標としては、「自動運転車が満たすべき車両安全の定義」として「自動運転システムが引き起こす人身事故であって合理的に予見される防止可能な事故が生じないこと」と定めていることを踏まえて、BRT 専用道におけるレベル 4 自動運転バスを用いた移動サービスでは「ODD の範囲内において自動運転に起因する人身事故が生じない」ことを抽象度の高いレベルでの安全目標として定義した。

次に、具体的な安全設計要件、すなわち、安全を担保するための設計要件として、「前方車両検出距離何メートル以上」などの検出性能要件や「速度〇〇km/h 以上の飛び出しでも停止できること」など制御性能要件の具体化した。次に各要件を満たせるセンサ類を選定し設計を行うのが基本であるが、その一方で、自動運転車両の開発は、スタートアップ会社などが入手可能な市販のセンサを使って、市販されている車両を改造しながら製作しているのが現状である。

よって、まず開発中の車両がどのくらいの実力があるかを把握することから始め、達成できていない課題を抽出し、解決しながら開発を進めることとした。

以下に、リスクシナリオに基づく設計確認と実環境での安全性評価について記す。

(1) リスクシナリオに基づく設計確認

16 個の走行環境分類（表 2.2-1）から抽出したリスクシナリオからリスクの高いシナリオを検討し、実路での実証実験を実施する前にテストコースにて設計確認のため評価を行った内容を記す。

表 2.2-1 走行環境分類

分類 No.	分類の観点		
	走路の専用度合い	バス動作の観点から見た場所の特徴	歩行者に係るインフラ環境
1	専用道	専用区間端点	
2		停留所付近	歩道なし
3			歩道あり(ガードレールなし)
4			歩道あり(ガードレールあり)
5			緑の横断指導線
6		停留所以外	歩道なし
7			歩道あり(ガードレールなし)
8			歩道あり(ガードレールあり)
9			緑の横断指導線（並走道路なし、または、並走道路とBRT専用道間の退避空間あり）
10			緑の横断指導線（並走道路とBRT専用道間の退避空間なし）
11		見通しが悪い道路（急なカーブ）	
12		見通しが悪い道路（大きな起伏）	
13		大塚駅ロータリー内	
14	一般道との交差点	信号あり（並走道路なし）	
15		信号なし（並走道路なし）	
16		信号なし（並走道路あり）	

リスクの高いシナリオの抽出方法を簡単に説明する。

まず、分類 No.1 については専用区間端点であり手動運転区間となり、自動運転バスとし

⁶ 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 平成 30 年 9 月
<https://www.mlit.go.jp/common/001253665.pdf>

てのリスクシナリオはない。

分類 No2 から No.5 については図 2.2-1 に示すとおり、いずれもバス停付近のシナリオであり、衝突リスクとして高くなるシナリオは、「直交する歩行者（最大 5km/h と想定）の飛び出し」と、対向車両接近のため相対速度が高く発生し衝突までの余裕時間が少ない「対向バス出現」に集約された。

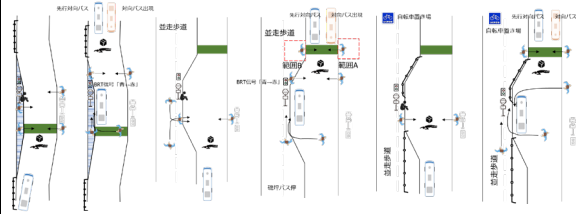
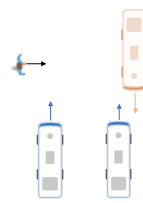
分類 No.	抽出したリスクシナリオリスト	衝突リスクが高いシナリオ
1	マニュアル運転区間のためなし	
2 3 4 5		停留所付近において、衝突リスクが高いのは「直交する歩行者の飛び出し」と相対速度が高くなり衝突までの余裕時間が最も少ない「対向バス出現」に集約される。 

図 2.2-1 走行環境分類 No.2～No.5 衝突リスクの高いシナリオ

分類 No.6 から No.11 については図 2.1.3-2 に示すとおり、いずれもバス停のない BRT 専用道であり、衝突リスクとして高くなるシナリオは、「直交する歩行者（最大 5km/h と想定）の飛び出し」と、相対速度が高くなり衝突までの余裕時間が最も少ない「対向バス出現」に集約された。

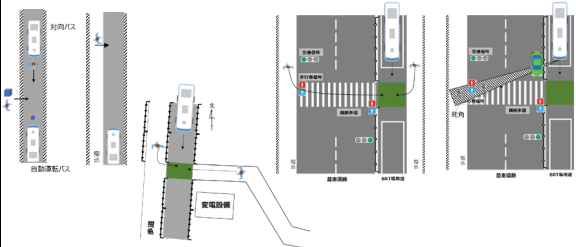
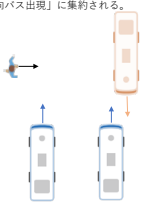
分類 No.	抽出したリスクシナリオリスト	衝突リスクが高いシナリオ
6 7 8 9 10 11		停留所以外のBRT専用道および急カーブ・大きな起伏がある走路において、衝突リスクが高まるのは「直交する歩行者の飛び出し」と相対速度が高くなり衝突までの余裕時間が最も少ない「対向バス出現」に集約される。 

図 2.2-2 走行環境分類 No.6～No.11 衝突リスクの高いシナリオ

分類 No.12 については図 2.2-3 に示すとおり大甕駅のロータリーであり、バス停が 3 つ、人が運転するバスが混在する空間である。また、人が運転するバスが一般道から出入りする道路が交差しており、ロータリーの構造をとるのはこの場所のみである。しかしながら、No.2～No.5 のバスロータリー付近のシナリオ及び No.14～No.16 の一般道との交差点のシナリオを組み合わせた内容であり、衝突リスクとして高くなるシナリオは No.2～No.5、No.14～No.16 に集約された。

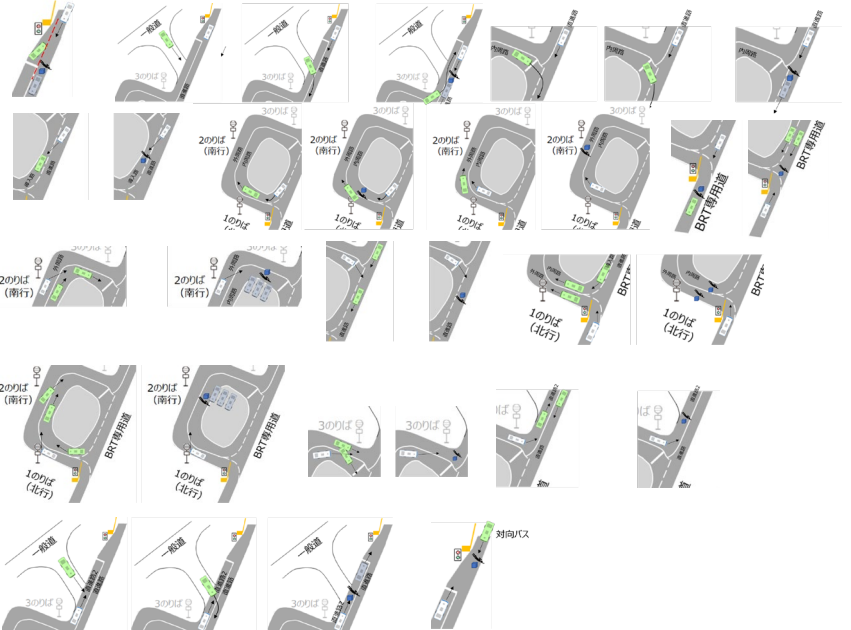
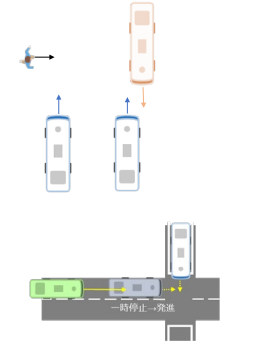
分類 No.	抽出したリスクシナリオ	衝突リスクが高いシナリオ
12		大塚ロータリーにおいて、衝突リスクが高まるのは「直交する歩行者の飛び出し」と相対速度が高くなり衝突までの余裕時間が最も少ない「対向バス出現」に集約される。 

図 2.2-3 走行環境分類 No.12 衝突リスクの高いシナリオ

分類 No.14～No.16 については図 2.2-4 に示すとおり、一般道との交差点である。その中でも特殊であるのは「並走道路からの左折」のシナリオである。並走道路の制限速度は40km/hであり、車両はその速度付近で流れていることが多い。その状況で、BRT 専用道側へ右左折してくる車両と並走道路を直進する車両を見分けることが必要になる。人が運転する場合は、車両の方向指示器を確認したり、運転者の首振り・視線などを確認したり、あるいは、ときにはアイコンタクトやお互いの身振り手振りで譲り合ったりして衝突リスクを下げている。しかしながら自動運転バスでは人間が一般的に行う方向指示器の確認や運転者の視線、身振り手振りは認識できず、向かって来る車両の減速度合いのみで判断しなければならない。並走道路から車両が高い速度で交差点へ進み、いきなり BRT 専用道側へ曲がって来た場合の衝突リスクが最も高くなることが考えられる。そのほかには、交差点道路に駐車車両がある場合に、その影から車両が飛び出す「交差点通過」シナリオ、交差点通過時にバスと交差車両がいわゆる「お見合い状態」に陥り同時発進するシナリオ、及び、「直交する歩行者（最大 5km/h と想定）の飛び出し」、相対速度が高くなり衝突までの余裕時間が最も少ない「対向バス出現」に集約された。

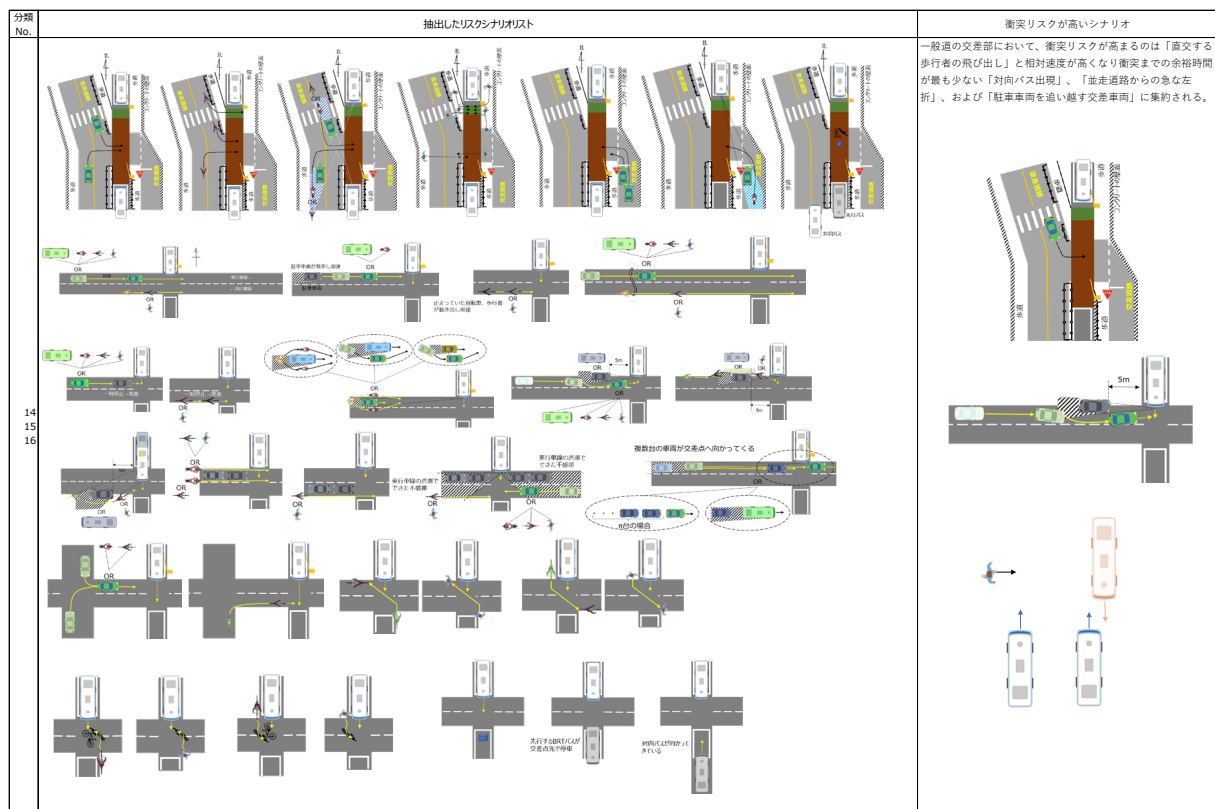


図 2.2-4 走行環境分類 No.14～No.16 衝突リスクの高いシナリオ

これらの結果から、リスクの高いシナリオとして抽出したリスクシナリオ「直交する歩行者（最大 5km/h と想定）の飛び出し（図 2.2-5 参照）」、「並走道路からの左折（図 2.2-6 参照）」、「直交する交差点通過（図 2.2-7 参照）」、「交差点一時停止後の同時発車（図 2.2-8 参照）」の 4 つのリスクシナリオについて、実路での実証実験を実施する前にテストコースで設計確認を行った結果を示す。なお、「対向バス出現」のシナリオについてはテストコースであっても実施には危険が伴うため、設計計算での確認としテストコースでの実施は行わなかった。

それぞれの評価について以下に説明を加える。

直交する歩行者の飛び出し評価については、UFO(Ultra flat Overrun able Robot⁷)に歩行者ダミーを載せて実施した。自動運転バスの制御と歩行者の飛び出しタイミングを合わせるため、慣熟走行を繰り返しながら歩行者と自動運転バスが最も近接するクリティカルなタイミングとなるよう実施した。

⁷ Ultra flat Overrun able Robot
https://www.acmwillowrun.org/wp-content/uploads/2018/10/ufo_flyer.pdf

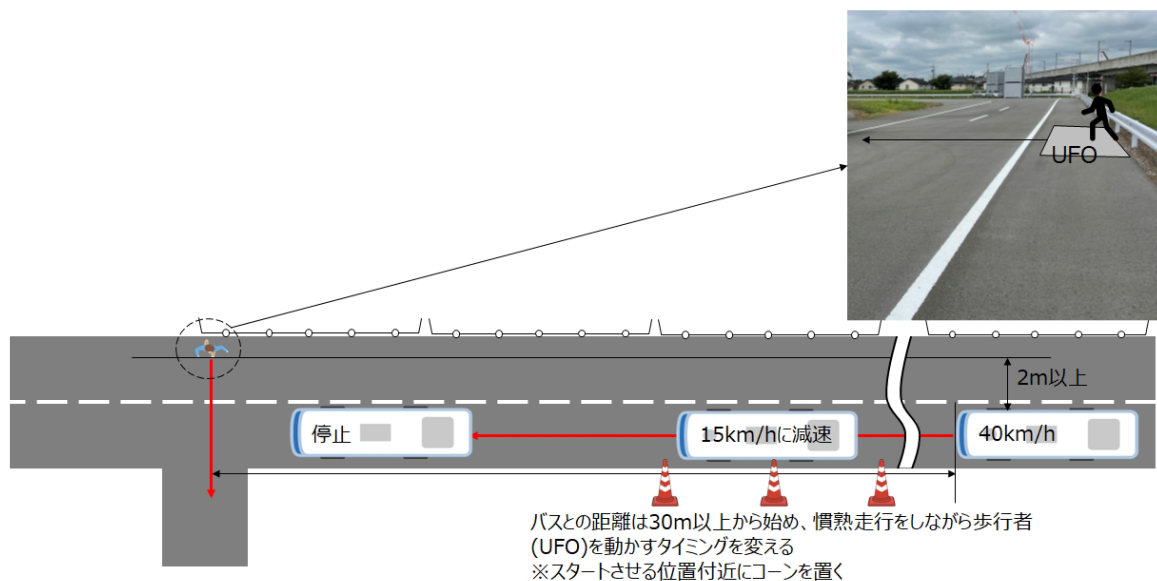


図 2.2-5 直交する歩行者の飛び出し

並走道路からの左折評価については、テストコースのレイアウト上、大沼小学校東バス停南側交差点と同じレイアウトがとれなかったため、左右対称にした形で実施した。歩行者の飛び出し評価と同様に UFO に自動車ダミー・自転車ダミーを載せて、慣熟走行を繰り返しながら UFO と自動運転バスが最も近接するクリティカルなタイミングとなるよう実施した。また並走道路からの左折（テストコースにおいては右折）については、安全かつクリティカルなタイミングを作るため、人の運転によるターゲット車を用いることで臨機応変に対処できる体制で実施した。

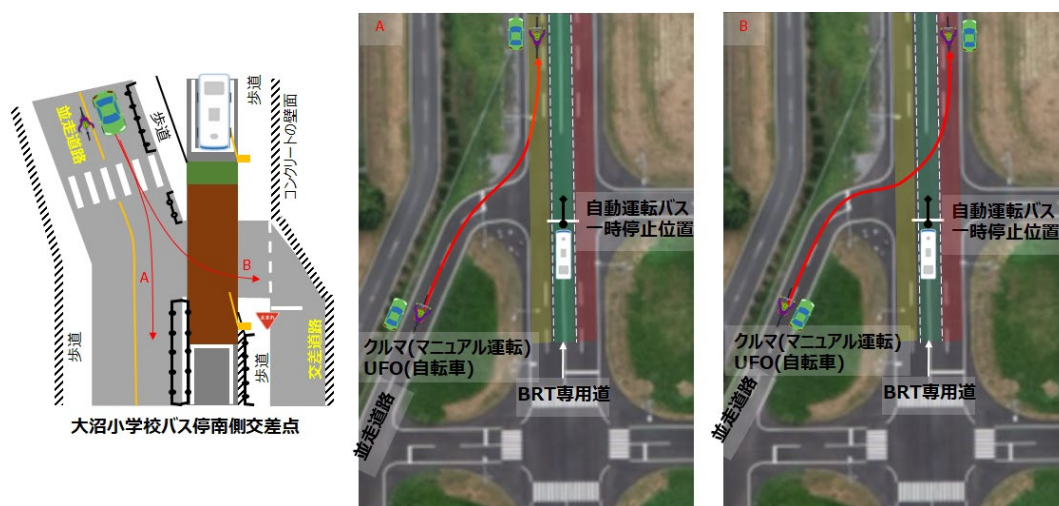


図 2.2-6 並走道路からの左折

直交する交差点通過評価については、自動運転バスが一時停止状態で実施できるため、実際の歩行者、自転車、人が運転する乗用車（～40km/h）で実施した。また安全を確保するため、万が一、自動運転バス側が誤って交差点へ進入しようとした場合は、運転席につ

歩行者 $x_1=0.5\text{m}$
 自転車 $x_1=0.5\text{m}$
 車両 $x_2=1.5\text{m}$
 駐車車両 $x_3=5\text{m}$

コンテナ(2.5m x 3.6m x 2.5m) 2段x3列

コンテナバス間隔=1.5m

駐車車両

ルート2

ルート1

$x_2(\text{m})$

$x_1(\text{m})$

$x_3(\text{m})$

Diagram illustrating the layout of a bus stop area with dimensions and vehicle placement:

- Container dimensions: コンテナ (2.5m x 3.6m x 2.5m) 2段 x 3列 (Containers: 2.5m x 3.6m x 2.5m, 2 rows x 3 columns).
- Container spacing: コンテナバス間隔 = 1.5m (Container-Bus interval = 1.5m).
- Bus stop width: 0.5(m).
- Distance from road edge to container row: 1.5(m).
- Distance from container row to bus stop: 5(m).

ひたち BRT での「レベル4 実証」と「社会実装」の実現に向けた検討編 2-48

なかった。この結果を以って実路による実証評価を行うこととした。

(2) 実路走行での実車テスト

テストコースでのリスクシナリオ評価が終了したので、センサやカメラ等の認識系の要素技術や自動運転制御に関する知見や開発経験を有するエキスパートによる第三者視点での安全性確認を実施した。以下にその方法について説明する。

1) 背景と目的、実施内容の概要

テストコースでの設計評価・確認が終わった後に、実証実験などの実路走行を行う際に、複数カメラを用いて、車外の走路と交通参加者、車内の制御モニタ画面、運転者動作などを撮影し走行動画の解析することによって、設計どおりの実装が成されているか、及び現地走行環境を鑑みて設計仕様やそのベースとした安全走行戦略が安全性の観点で妥当であったかなどを評価した。

具体的には、関係者の集中レビューにて、自動走行中の走行状態（自車両とほかの交通参加者のふるまい、周囲の道路環境、運転者の介入動作など）を記録した映像と車両の走行ログを時系列に突合せて、運転者介入シーン、認識系の誤認識と未検知のシーン、あるいは急減速など想定外の車両挙動シーンを抽出・解析し、実装と設計仕様に関する課題抽出を行った。

2) 評価設備と設置方法

動画撮影には2つの記録装置を用いて行う。

① 走行動画記録装置

車外の走路の状態及び交通参加者のふるまいを撮影するとともに、車内の運転者の仕草や様子を同時に撮影するために図 2.2-9 に示すとおり、走行動画撮影には小型の 360°カメラ⁸を用いて撮影を行った。取り付けには簡便なマグネットマウントと自由雲台を組み合わせ、運転士の視界を妨げないルームミラーの陰に設置した。

② 制御モニタ記録装置

走行中に必要な交通参加者（車両、自転車、歩行者など）が自動運転システム側で正しく認識されているか、自動運転システムが指示する目標車速が適切か、あるいは、手動介入が行われていないなどの自動運転制御の状態を知るには、制御モニタを録画する必要がある。録画する方法として図 2.2-10 に示すとおり、小型カメラ⁹で録画する方法や、制御モニタに出力している HDMI 信号を HDMI キャプチャード¹⁰で録画する方法があり、今回はキャプチャードによる録画データを使用した。

⁸ 小型 360° カメラ Insta360 X3
<https://www.insta360.com/jp/product/insta360-x3>

⁹ 小型アクションカメラ DJI Action 2
<https://www.dji.com/jp/dji-action-2>

¹⁰ アイ・オー・データ機器 ハードウェアエンコード HDMI キャプチャード GV-US2C/HD
<https://www.iodata.jp/product/av/capture/gv-us2chd/index.htm>



図 2.2-9 走行動画撮影用カメラと設置場所



図 2.2-10 制御モニタ撮影用カメラと設置場所

3) 課題抽出方法

最初に、取得した走行データと制御モニタ動画を同期させて一つの動画（図 2.2-11 参照）を作成する。

次に、その動画を用いて以下の観点で課題を抽出する。

- ・手動介入シーン抽出

「手動介入」が表示されたシーン（図 2.2-12 参照）がないか確認する。

- ・認識系の誤認識と未検知のシーン抽出

走路上や走路周辺に誤認識あるいは認識できていない対象がないか確認する。また、信号認識、BRT 信号に遅れや灯色認識誤りなどがいないか確認する。

- ・想定しない車両挙動のシーン抽出

交差点通過のシーンで、ヒヤリハットや急な停止、交差点通過までに時間がかかるなどがいないか確認する。

横断歩道や緑の横断指導線、走路に歩行者が近づく、あるいは、横切るシーンを確認しヒヤリハットや急な停止などがいないか確認する。

バス停に近づくシーン、及び、バス停から発車するシーンで、ヒヤリハットや急な停止などがいないか確認する。

走行映像全般を通して、走路の左右に偏って走行しているシーンがないか確認する。

これら抽出したシーンをフレームレベルで詳細に確認を行い、発生した事象について状況を課題管理表（図 2.2-13）へ記入する。課題管理表には、事象を発見した時点で発見者が「発生事象 No.」「起案日」「起案者」「発生した問題事象」「優先度」「要因特定期限」を記入し開発者と共有を行う。開発者は事象を確認し「要因特定完了日」「要因特定ステータス」「要因（分析・解析結果の詳細）」「要因カテゴリ」を逐次状況を記入し、関係者と共有する形で運営した。



図 2.2-11 合成動画（前方走行動画と制御モニタ）



図 2.2-12 手動介入シーン

1. 介入シーンと解析・原因確認

表 2.3-1 介入の分類と発生事象

大分類	発生事象
1)歩行者・車両・障害物への対応	専用道と一般道路との交差部における危険回避
	緑の横断帯における横断歩行者への対応
	ルート上の障害物回避（横断者／道路上の障害物）
	その他（バス停の立て看板前に人がいたためブレーキ操作（人を未検出））
	歩行者/車などの誤検知による停車
	すれ違い時の対向車両との接近
	通常BRTバスとの接近/鉢合わせによるブレーキ操作
	バーゲート開閉時の危険回避（バーゲートへの接近）
	発進しない/自動運転に切り替わらない
2)BRT信号への対応	青信号不認知によるアクセル操作
	信号通過・停止の判断の違いに伴う危険回避
3)警察信号への対応	交通用信号の赤信号による停車
	その他（信号は検知したが発信しない）
4)位置関連の対応	設定走行レーンからのブレ・ふらつき
	GPSエラーによる手動走行
	バス停止着時の不備（停止不十分・停止位置ズレ）
	バーゲート反応距離までのアクセル操作
5)機器の故障	ブレーキチェックランプ点灯による手動走行
	その他（車載モニターの不調）

上記表で大分類 1)～3)は、以下のようにまとめられる。

表 2.3-2 認識物標毎の課題、原因、対策

目的	使用カメラ	検知ロジック	22年度課題	原因	対策
人・車両等検知	近辺カメラ（魚眼カメラ）（赤色）	LiDARとフュージョンし物標情報と位置情報を組み合わせて人・車両等を検知	①魚眼のエッジ部分での検出ができない	エッジ部分は画像の歪みが大きい ため、エッジ部分に特化した学習が必要。 22年度学習データではエッジ部分について十分な学習ができていない。	魚眼カメラの22年度の走行データ及び追加取得データを使って再学習。
			②魚眼で、未検知・誤検出が発生	検出可能なエリアに入っているが、 22年度は学習データが不十分で、 検出精度が低い	
			③遠方(40m以上)が検出できない	魚眼カメラの特性上遠方は小さく映るため 検出ができない	
BRT信号検知	BRT信号カメラ（緑色）	信号枠を検知し、枠の中の色を読み取って灯色を検知	④信号枠を正しく認識できず、灯色を正しく把握できないケースが有る	現在のダイナミックレンジのカメラでは日光が強い場合等に信号枠を正しく検知できない	ダイナミックレンジが広いカメラを設置し、追加取得データを使って学習。
交通信号検知	前方カメラ（青色）	交通信号を検知し、灯色を読み取り	⑤スリットがある信号で青信号を検出できない	光量不足となり、通常の信号の学習データでは検出できない	光度条件が悪い学習データを使って再学習。

近辺カメラで検知できないに関しては、2 つ課題があった。

課題①：エッジ部分の検出ができない

カメラの撮影範囲は外周 360 度カバーできているが、エッジ部分では人・車両を検出できなかった。魚眼レンズの特性上エッジの歪みが大きく、22 年度の学習データでは検出ができなかったことが原因。

課題②：未検知・誤検知

学習データ不足により、中心部分でも未検知・誤検知が発生した。対策：22 年度の実走行データ・追加の学習データを学習させることで、検知範囲を拡大し欠損する領域をなくすとともに検出精度を上げる。

撮影範囲と検出可能範囲（22年度）

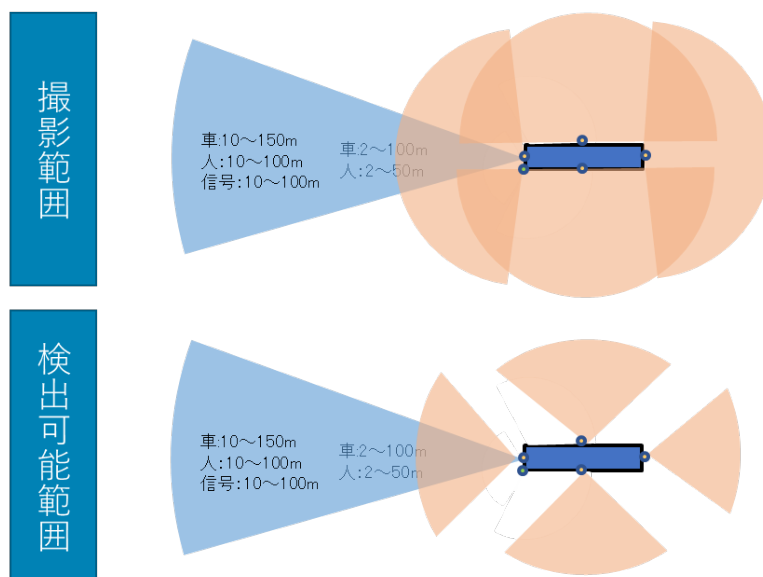


図 2.3-1 2022 年度の撮影範囲と検出可能範囲

課題③：遠方が検知できない

交差点において側方からくる車両を検知することができなかった。理由は側方からくる車両や歩行者を検知するにあたり LiDAR のみで検知する仕様であったが、実際には固定物も検知してしまい、必要な検知情報を制御システムに通知できなかったためである。

交差点で側方を遠方まで検知するため、人は 50m 先・車は 100m 先まで検知できる側方用遠方カメラを設置する（黄色）。追加学習データを取得し、学習させる。

人・車両等の検出は、「LiDAR による位置情報」and「魚眼カメラ or 側方カメラによる物標情報」が得られた際に検出する。

そこで側方の交通参加者が識別できるよう側方カメラを新設した。

22年度の側方に対する撮影範囲

23年度の側方に対する撮影範囲

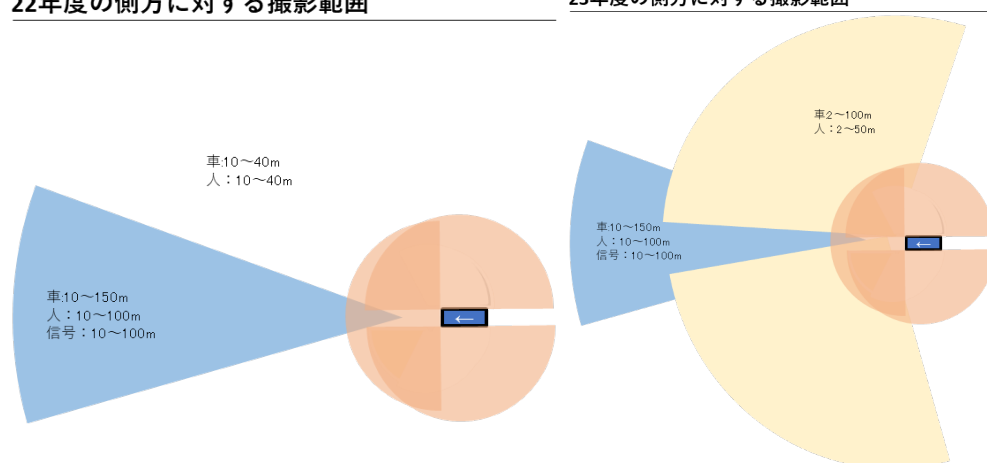


図 2.3-2 前側方のカメラ認識範囲の拡大

大分類 4)は、おもに RTK-GPS を主体とした自己位置推定を行ったことにより、電波状況が悪化したときに自己位置推定精度が悪化したことにより、ステアリングの手動介入が生じた。対応の方針として、LiDAR を用いたスキャンマッチングを採用することで、GPS の電波が悪化するような常用化においても安定して走行することができる。自己位置推定は、本自動運転システムにおいて重要な位置づけであることから、スキャンマッチングに対する冗長系として RTK-GPS、磁気マーカシステム、慣性航法を搭載する方針とした。

大分類 5)は、解析の結果、改造箇所のコネクタ勘合部分の接触不良であったことが分かったことから、補修することにより解決した。

2. 現状（令和４年度）の安全走行戦略の整理

令和４年度の安全走行戦略をまとめたものを以下に示す。なお、太字に関しては次項の安全走行戦略の改良での変化点になる箇所であり、次ページ以降で説明する。また、この太字の項目以外に乗務員乗車型レベル４として対応すべき項目についても記述している。

【バス専用道の単線区間】

- ・ 走行経路の前方に障害物が存在し、進行できない場合は、減速して停車する。
- ・ 走行経路の近辺に歩行者が存在する場合、その歩行者の進入可能性を考慮した速度まで減速して側方を通過する。走行経路内に進入してきた場合は、歩行者の手前で停車する。
- ・ 歩行者が走路に進入する方向に移動しているときは、歩行者の手前に停車する。
- ・ バス専用道の制限速度 40km/h 以下となるよう特定自動運行の目標速度を設定する。
- ・ 並走歩道に車道端から 2m 以内に歩行者がいる場合は、15km/h まで減速する。

【緑の横断指導線】

- ・ 緑の横断指導線、バス停付近では、歩行者の横断可能性があるため、その横断を妨げないようにあらかじめ減速して走行する。

【一般道との交差点】

- ・ 「青」であることの確定が難しい場合は、「赤」として対応する。
- ・ 交差点進入直前に青→黄に変わり、安全な停車が難しい場合は交差点内に進入する。
- ・ 各交差点では一時停車(3 秒)し、交差方向から進入する交通参加者の有無を確認する。
- ・ 交差点では、バーゲート前で停止し、鼻だし位置でもう一度停止する２段階停車を実施

【バス停】

- ・ 「青」であることの確定が難しい場合は、「赤」として対応する。

3. 安全走行戦略の改良

令和4年度から令和5年度で、走行分類が14分類から16分類へと変更になった。それに伴いリスクシナリオの見直しが実施された。また、令和4年度の手動介入に対する対策、これらを踏まえて安全走行戦略を変更している。

【並走歩道の歩行者に対するふるまい】

令和4年度の安全走行戦略では、ガードレールの有無にかかわらず並走歩道に車道端から2m以内に歩行者がいる場合は、15km/hまで減速するようにしていた。ガードレールがあるところにおいて歩行者の急な飛び出しを合理的に予見できるものではない。そのため、ガードレールがあるところでは25km/hまで減速するように変更し、安全を確保しながらより円滑な走行ができるようになった。



図 2.3-3 並走歩道の歩行者に対するふるまい

【交差点での停車回数の変更】

令和4年度の安全走行戦略の交差点進入においてバーゲート認識ができない可能性があったことから2段階停車をしていた。認識ソフトウェアの改善によりバーゲートの認識がより正しくできるようになったことから、交差点側方からくる交通参加者の通行妨げない、かつ検知できるところで停車するようになった。なお、バーゲートが開かなかったときは、バーゲートの前で停車する。これにより、安全を確保しながらより円滑な走行ができるようになった。

【専用道内を歩行している歩行者への対応】

本来専用道内を歩行してはいけないルール（横断歩道、緑の横断指導線を除く）になっているもの歩行者が専用道内を歩行しているケースがある。

走行軌跡内の歩行者や障害物に関しては、検出属性にかかわらず減速停車の対象としている。したがって、ガードレールや雑草などが入り込まないように、専用道の幅よりも検出幅を狭くしている。ここで問題となるのが、専用道の端を歩行している歩行者に対して減速することができないことである。そこで通常の減速停車対象エリアから 0.5m 以内に歩行者を検知した場合は、その歩行者の手前で停車できるように制御を行う仕様とした。

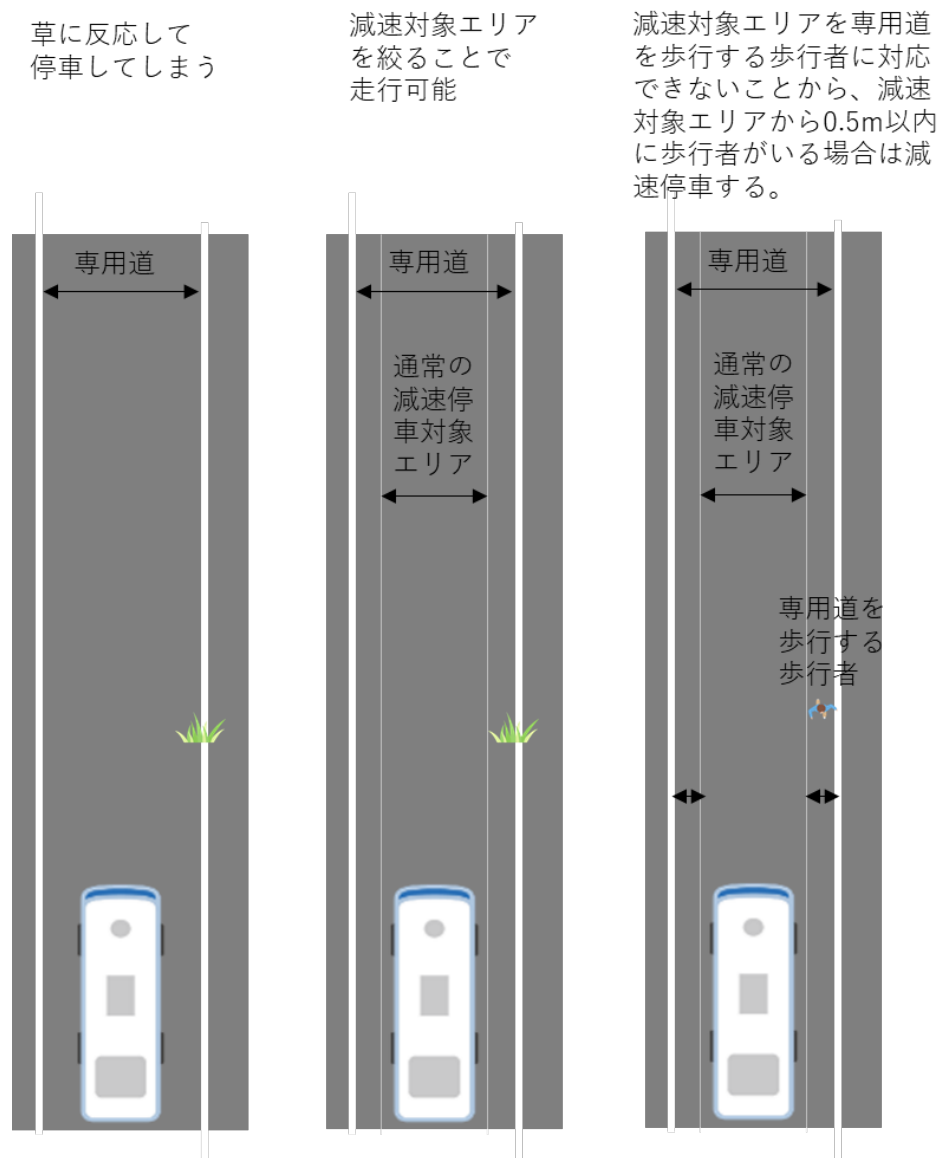


図 2.3-4 前方障害物に対する減速停車エリア変化点

【自動運転開始時の操作方法】

ベースとなっている車両は、パーキングブレーキとシフトに介入することができないため、自動運転開始時にブレーキを踏まないとクリープで前進してしまうことから、ブレーキを踏んでいた。乗務員乗車型レベル4自動運転バスとして、特定自動運行中にブレーキを踏むことになるため、これを回避するために操作方法を変更した。

手順

1. 許可スイッチを短押しし、走行ルートを選択する
(作動灯は、消灯 or 1s 周期の点滅のとき)
2. 自動運転開始場所まで移動し、停車する。
3. パーキングブレーキを作動させ、シフトレバーを N にする。
4. ブレーキペダル・アクセルペダルから足を離しハンドルから手を離す。
5. 許可スイッチを長押しする。
→ 自動運転開始（作動灯が点灯）になり、ブレーキが自動で作動する。走行経路から横に 1m 以内、走行経路との方向ずれが 1deg 以内である必要があり、外れているとキャンセルされるため、1. から操作が必要となる。
6. シフトレバーを D にし、パーキングブレーキを解除する。
7. 許可スイッチを長押しする。
→ ブレーキが自動で解除され、車両が動き出す。

【手動介入に対するふるまい】

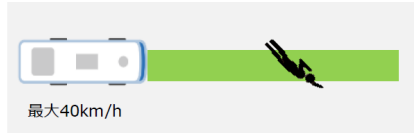
乗務員乗車型レベル4自動運転バスとして特定自動運行中にアクセル・ブレーキ・ハンドルのいずれかの操作があった場合は、MRM に移行する仕様とした。これは、L4 として特定自動運行中に上記手動介入をすることは通常状態と異なるためである。

【横臥者に対するふるまい】

横臥者の検知する機能を追加

- **最悪のシナリオ**として「専用道区間における最大速度の40km/hで走行中に路上に子供の横臥者の存在」想定。カメラによって横臥者（様々な身長、向き、服装）を認識し、**減速停車して衝突を回避する機能を搭載**している。

代表シナリオ（図）



仕様概要

- 路上横臥者はカメラによって横臥者と認識し、減速して停車する機能を搭載している。
- カメラ映像で最も小さく見える向き（頭がバスの正面に向き）でも横臥者を検知できている。
- 初回検知から0.5sで確定し、ブレーキがかかり始めるまでに0.2sかかることから、空走時間は、0.7sとしている。
- 最大40km/hで走行中、40m先の横臥者を検知し、40m手前から0.25Gで減速すると37mで停車することから、衝突を回避できる。

機能/性能（机上計算）

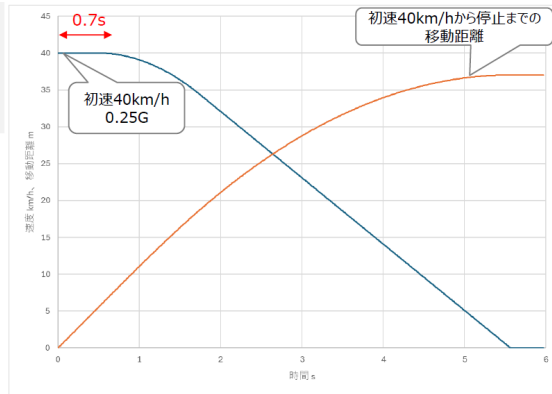


図 2.3-5 横臥者に対する仕様とその性能

【自己位置推定の冗長化】

スキャンマッチングを採用することで、GPS の電波が悪化するような常用化においても安定して走行することできる。スキャンマッチングに対する冗長系として RTK-GPS、磁気マーカシステム、慣性航法を搭載しており、いずれかが失陥又は位置推定精度が悪化したときは、MRM を発動する。

- **通常時は、LiDARと高精度地図データとのスキャンマッチングのみを用いて自己位置推定**をする。
- **スキャンマッチング等に異常が発生した時は、異常が生じていない他の方式を選択して利用し、MRMに移行して停車する。**
（スキャンマッチング、RTK-GNSS、磁気マーカ等を用いた自己位置推定方式はそれぞれ独立して機能する）

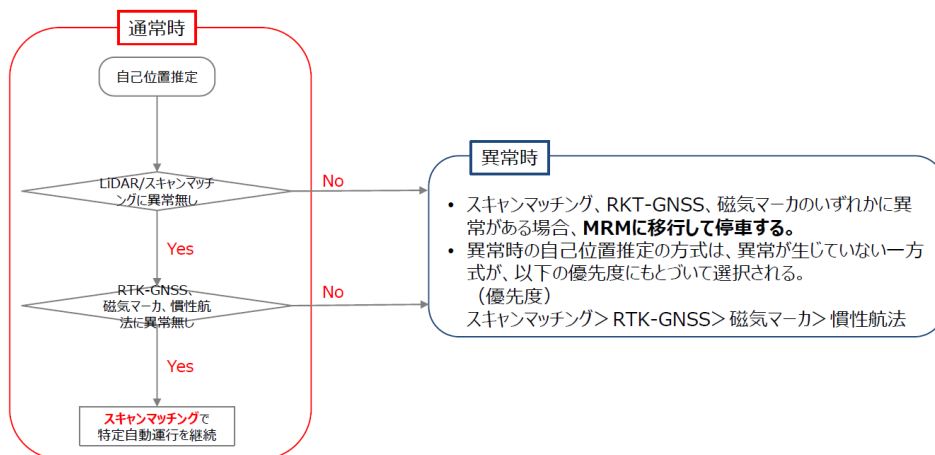


図 2.3-6 自己位置推定の異常判定とそのふるまい

【ロータリー内走行経路の修正及び一時停止の追加（データでの対応）】

ロータリー内でのほかのバスとの接触を防ぐため、白線に合わせて走行するのではなく、余裕を持った走行軌跡で走行するよう設定した。（運行事業者である茨城交通と整合済み）また、ロータリーが出るときの右左折時は一時停止し、ほかのバスが侵入してくる状況のときは、停車して待つ。

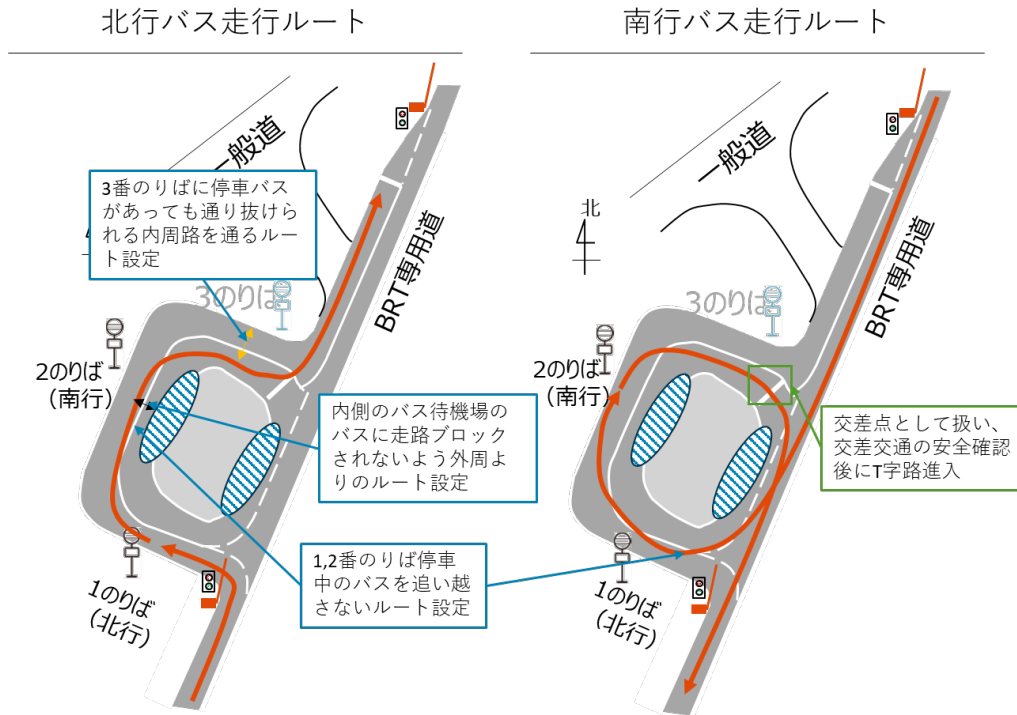


図 2.3-7 大甕駅ロータリーでの走行経路

4. 車両開発可否検討及び車両開発

車両開発可否検討を行い、下記対応を実施した。

(1) ハードウェアの変更

令和4年度は、交差点において側方からくる車両を検知することができなかった。理由は側方からくる車両や歩行者を検知するにあたり LiDAR のみで検知する仕様であったが、実際には固定物も検知してしまい、必要な検知情報を制御システムに通知できなかったためである。

そこで側方の交通参加者が識別できるよう側方カメラを新設した。



図 2.3-8 新設した側方カメラ

ひたち BRT には対向バスとすれ違い走行をするために BRT すれ違い信号が設置されている。この BRT すれ違い信号を検知するために車両の左前方 LiDAR の下に専用のカメラを設置している。令和4年度もこのカメラを設置していたが、ダイナミックレンジが狭いため検知性能が良くなかった。そのため、TIER4 製 C1 カメラ（水平画角 120deg）に置き換えをした。



図 2.3-9 置換した BRT すれ違い信号認識カメラ

本自動運転バスの最低地上高は 33.5cm であり最低地上高以上の物体を検知し衝突を回避できるようにする必要がある。しかしながら、令和 4 年度のセンサレイアウト及びセンサ性能では 50cm 未満の物体を検知することができなかった。そこで、地上高 30～50cm の物体検知用 LiDAR の設置し認識ソフトウェアを新規で追加することにより、本要件をクリアすることができる。なお、前輪が落下物を乗り上げた場合、15cm の高さまでは、操安性に問題ないことから、15～30cm の高さの物体に関しては、前輪の前に排障器を設置することで、この課題を解決する見通しである。なお、排障器は 2024 年 6 月末までに設置予定である。



図 2.3-10 落下物検出用 LiDAR

認識エリアは図 2.3-11 のようになる。

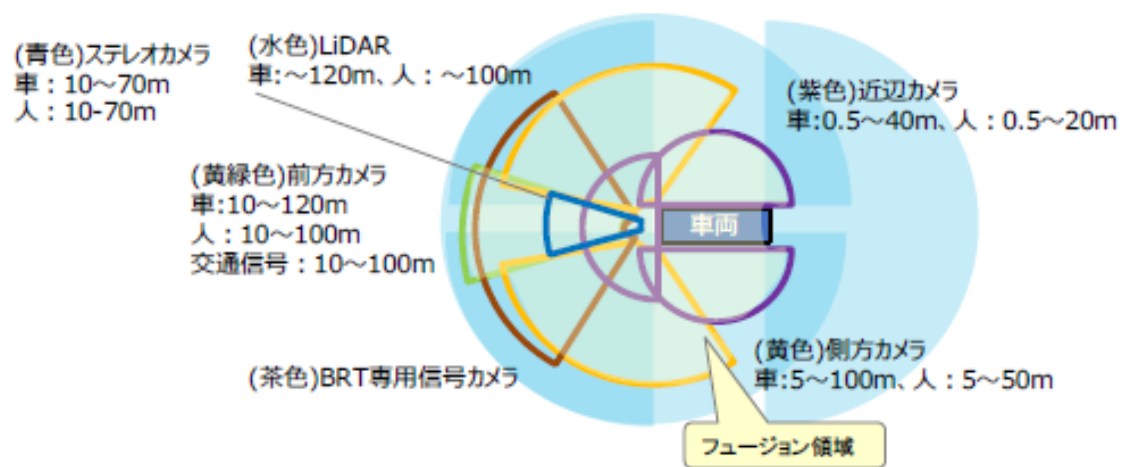


図 2.3-12 認識範囲

電源ハーネスの異常により自動運転制御システム全体が失陥しないよう、電源ハーネスの冗長化を行っている。これにより、片方が失陥した場合にそれを検知して MRM を発動し、安全に MRC の状態に移行できる仕様となっている。

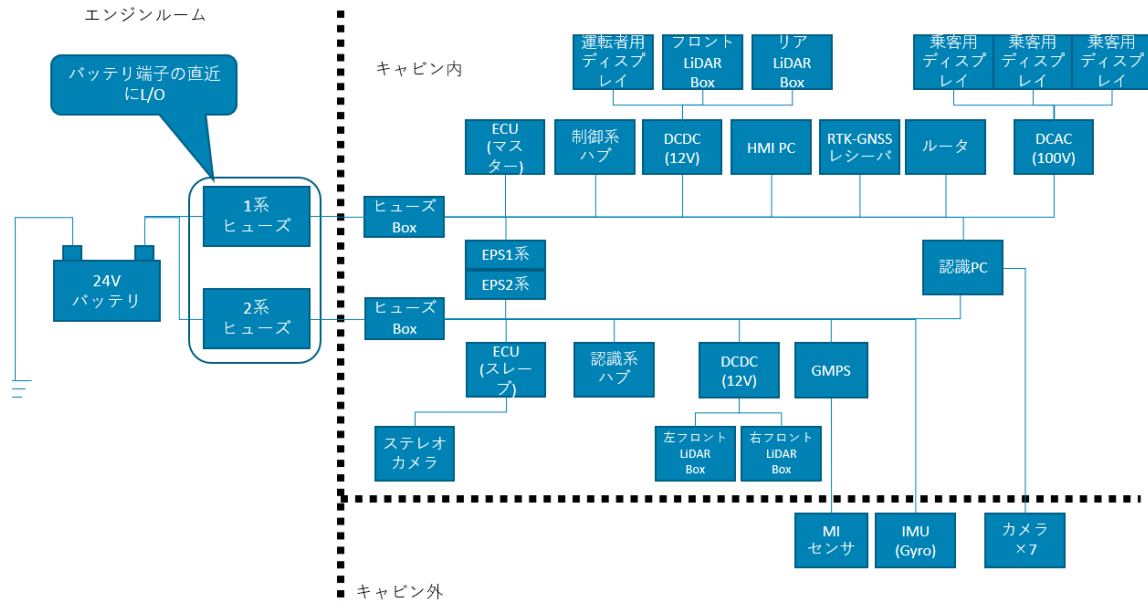


図 2.3-13 電源ハーネスの冗長化

(2) ソフトウェアの変更

ソフトウェアは大きく分けて2つあり、認識ソフトウェアと制御ソフトウェアがある。

1) 認識ソフトウェアの変更点

(A) 周辺検知カメラの再学習

ひたち BRT で走行したデータに加え、別途、ひたち BRT 専用道の各交差点での映像を追加取得しアノテーションを実施した。そのデータを用いて再学習を行い検出率と誤検知率の改善を行った。

(B) 新設した側方カメラの学習

市街地の映像データに加え、ひたち BRT 専用道の各交差点での映像を追加取得しアノテーションを実施した。そのデータを用いて再学習を行い検出率と誤検知率の改善を行った。

(C) 変更した BRT すれ違い信号の学習

ひたち BRT 専用道の BRT すれ違い信号の映像を追加取得しアノテーションを実施した。そのデータを用いて再学習を行い検出率と誤検知率の改善を行った。

(D) 機能限界（雨量、風速、照度、視程（霧）、センサ被覆）

気象計のデータ、視程計のデータをリアルタイムで計測し、障害物や信号を検知できない気象条件の閾値を設定し、機能限界であることを制御ソフトウェアに通知する機能を追加した。

カメラや LiDAR の被覆検知機能も追加し、上記同様に被覆検知結果を制御ソフトウェアに通知する機能を追加した。

(E) 地上高 30～50cm の物体検知用 LiDAR の設置

2.3.4.(1)に記述した LiDAR を追加した。

(F) 横臥者検知のための学習

前方カメラで横臥者を検知できるよう、横臥者の映像を学習モデルに投入し、横臥者を検知したら制御システムに通知するソフトウェアを追加した。

2) 制御ソフトウェアの変更点

(A) 並走歩道の歩行者に対するふるまい

2.3.3 に記載した安全走行戦略に基づき、制御ソフトウェアを改良し、実証した。

(B) 交差点での停車回数の変更

2.3.3 に記載した安全走行戦略に基づき、制御ソフトウェアを改良し、実証した。

(C) 専用道内を歩行している歩行者への対応

2.3.3 に記載した安全走行戦略に基づき、制御ソフトウェアを改良し、実証した。

(D) 自動運転開始時の操作方法

2.3.3 に記載した安全走行戦略に基づき、制御ソフトウェアを改良し、実証した。

(E) 手動介入に対するふるまい

2.3.3 に記載した安全走行戦略に基づき、制御ソフトウェアを改良し、実証した。

(F) 横臥者に対するふるまい

2.3.3 に記載した安全走行戦略に基づき、制御ソフトウェアを改良し、実証した。

(G) 自己位置推定の手法及び、自己位置推定に用いるセンサの失陥時への対応

2.3.3 に記載した安全走行戦略に基づき、制御ソフトウェアを改良し、実証した。

(H) 横断歩道、緑の横断指導線付近にいる歩行者に対するふるまい

後述する 2.4 に記載した安全走行戦略に基づき、制御ソフトウェアを改良し、実証した。

(I) 故障診断機能の追加

自動運転を動かすための基本機能ブロック及び機能一覧から、エレメントを考慮した機能ブロック図を作成した。その機能ブロック図から故障診断すべきエレメントを明確化し、故障診断を追加した機能ブロック図及び故障診断機能一覧を作成した。

故障診断機能を制御ソフトウェアに組み込み、故障が発生した場合は MRM を発動し、安全に MRC の状態に移行できる仕様とした。

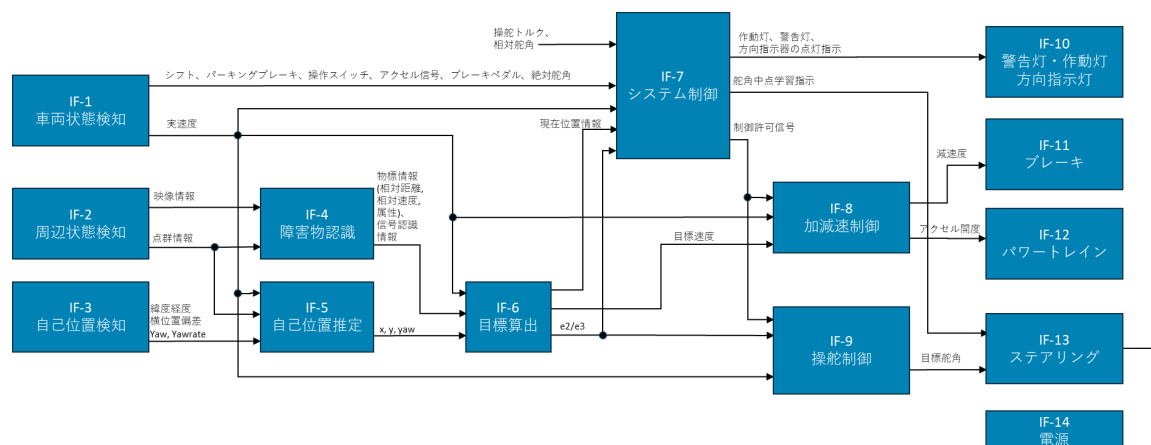


図 2.3-14 基本機能ブロック図

表 2.3-3 機能一覽表

ID	機能		機能概要
	大分類	小分類	
IF-1	車両状態検知	(1)制御許可を判断するための車両状態検知 (2)走行情報検知	自動運転制御許可を判断するための車両状態（シフト位置、パーキングブレーキ状態、制御スイッチON/OFF等）を検知する機能 走行中の車両状態（ヨーレート、車速、加減速など）を検知する機能
IF-2	周辺状態検知	—	周辺環境の映像、物体との相対位置、距離等を検知する機能
IF-3	自己位置検知	—	RTK-GNSSまたは磁気マーカー情報による自己座標（緯度、経度、yaw）及びIMUによるヨーレートを検知する機能
IF-4	障害物認識	(1)周辺の物体情報の取得 (2)障害物認識	周辺状態検知の結果に基づき、周辺の物体ごとの相対位置・相対速度を取得する機能 周辺の物体のうち、自車の位置（単路部、信号なし交差点、信号あり交差点、緑横断帯）、物体の位置、属性（BRT信号、交通信号、歩行者、二輪車、自動車）を基に物体を障害物として認識する機能。 ただし、自車の走路前方は属性以外の物体に関わらず全ての物体を障害物として認識する。
IF-5	自己位置推定	(1)自己位置推定 (2)自己位置推定手法の選択	4つの走法で自己位置を推定する機能 ①スキャンマッチング走法：主にLiDARの点群情報と三次元地図をマッチングさせ自己位置を推定する走法 ②磁気マーカー走法：走路に敷設された磁気マーカーとの位置関係で走路に対する横方向の自己位置を推定し、GPSで走路方向の自己位置を推定する走法 ③GPS走法：RTK-GNSS情報を元に自己位置を推定する走法 ④慣性航法：IMUを用いて任意の位置からの相対位置で自己位置を推定する走法 上記①～④のうち、道路環境に応じて事前設定した走法を選択し、その走法で自己位置を推定する機能（基本は①、②で走行し、③、④はMRM移行・停車時に用いる）
IF-6	目標算出	(1)障害物に対する目標車速算出 (2)走行ルート情報の取得 (3)目標速度算出 (4)軌跡偏差算出(e2/e3)	障害物認識の相対位置、速度から自車との衝突可能性を予測し、障害物との衝突回避可能な車速を算出する機能 自己位置推定の位置情報と事前設定の走行ルート情報（場所ごとのx,y,yaw,設定速度）を取得する機能 走行ルートの車速と、障害物に対する目標車速のうち最も低い車速を目標車速として算出する機能 自己位置推定の結果と、走行ルート間の位置、向きの偏差を算出する機能
IF-7	システム制御	(1)制御許可信号 (2)点灯指示	車両状態、自車の位置、機器の故障可否情報を基に自動運転状態の可否を判断する機能（自動運転可の場合、制御許可信号を発信） 警告灯、作動灯、方向指示灯の点灯を制御する機能
IF-8	加減速制御	—	制御許可信号を受信した場合のみ動作。 実速度と目標速度の差分から目標速度に近づく加減速度を算出し、ブレーキ・パワートレインを制御する機能
IF-9	操舵制御	—	制御許可信号を受信した場合のみ動作。 軌跡偏差から目標舵角を算出し、ステアリングを制御する機能
IF-10	警告灯／作動灯／方向指示灯	—	警告灯、作動灯、方向指示器の点灯
IF-11	ブレーキ（外部システム）	—	電子制御ブレーキ作動
IF-12	パワートレイン（外部システム）	—	パワートレイン作動
IF-13	ステアリング（外部システム）	—	ステアリング操作
IF-14	電源	—	電源システムの動作

表 2.3-4 エレメント一覧表

ID	機能名	エレメントNo	エレメント (23年度)	出力先			出力データ
				出力先	I/F		
IF-1	車両状態検知	1	車速センサ	IF-8, IF-5	CAN		エンジン回転速 (車速)
		2	車輪速センサ	IF-8, IF-5	CAN		車輪速
		3	ブレーキペダル	IF-8	CAN		ブレーキペダル入力値
		4	アクセルペダル	IF-8	CAN		アクセルペダル入力値
		5	シフト・パーキングブレーキ	IF-7	CAN		シフト位置・パーキングブレーキ状態
		6	制御スイッチ	IF-7	CAN		スイッチ状態
IF-2	周辺状態検知	7	ステレオカメラ	IF-4	LAN		周辺の物体との相対距離情報
		8	フロント上部遠方カメラ	IF-4	USB		周辺映像
		9	フロント上部近辺カメラ	IF-4	USB		周辺映像
		10	左側方近辺カメラ	IF-4	USB		周辺映像
		11	右側方近辺カメラ	IF-4	USB		周辺映像
		12	フロント左サイド信号用カメラ	IF-4	USB		周辺映像
		13	フロント上部左サイド側方カメラ	IF-4	USB		周辺映像
		14	フロント上部右サイド側方カメラ	IF-4	USB		周辺映像
		15	フロント上部LiDAR	IF-4	LAN		周辺の三次元点群情報
		16	フロント右サイドLiDAR	IF-4	LAN		周辺の三次元点群情報
		17	フロント左サイドLiDAR	IF-4	LAN		周辺の三次元点群情報
		18	リア上部LiDAR	IF-4	LAN		周辺の三次元点群情報
IF-3	自己位置検知	19	RTK-GNSS	IF-5	LAN		GPSデータ
		20	IMU	IF-5	LAN		ヨーレート
		21	GMPS	IF-5	LAN		磁気マーカ情報
IF-4	障害物認識	22	認識PC	IF-6	ECU内部I/F		障害物情報
		23	統合処理PC	IF-6	ECU内部I/F		障害物情報
IF-5	自己位置推定	24	制御ECU	IF-6, IF-9	ECU内部I/F		x,y,yaw情報
IF-6	目標算出	24	制御ECU	IF-7, IF-9	ECU内部I/F		ウィンカー情報, 目標速度, 目標x,y,yaw
IF-7	システム制御	24	制御ECU	IF-8, IF-9	ECU内部I/F		制御許可信号
		24	制御ECU	IF-10	CAN		点灯指示
IF-8	加減速制御	24	制御ECU	IF-11	CAN		速度G指示
		24	制御ECU	IF-12	ジカ線		アクセル開度指示 (アナログ値)
IF-9	操舵制御	24	制御ECU	IF-13	CAN		目標舵角
IF-10	警告灯／作動灯／方向指示灯	25	作動灯	—	—		—
		26	警告灯	—	—		—
		27	ブレーキランプ	—	—		—
		28	ウィンカー	—	—		—
IF-11	ブレーキ (外部システム)	29	電子制御ブレーキシステム	IF-10	CAN		点灯指示
IF-12	パワートレイン (外部システム)	30	パワートレインシステム	—	—		—
IF-13	ステアリング (外部システム)	31	EPSシステム	IF-9	CAN		運転者操舵トルク
IF-14	電源	32	電源システム	—	—		—

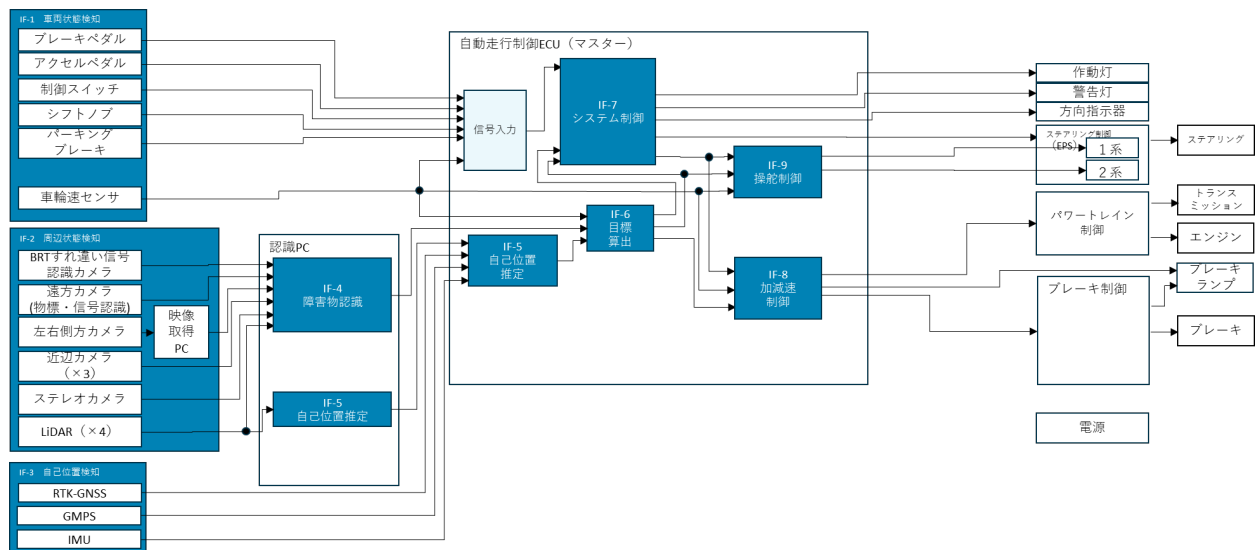


図 2.3-15 エレメントを考慮した機能ブロック図

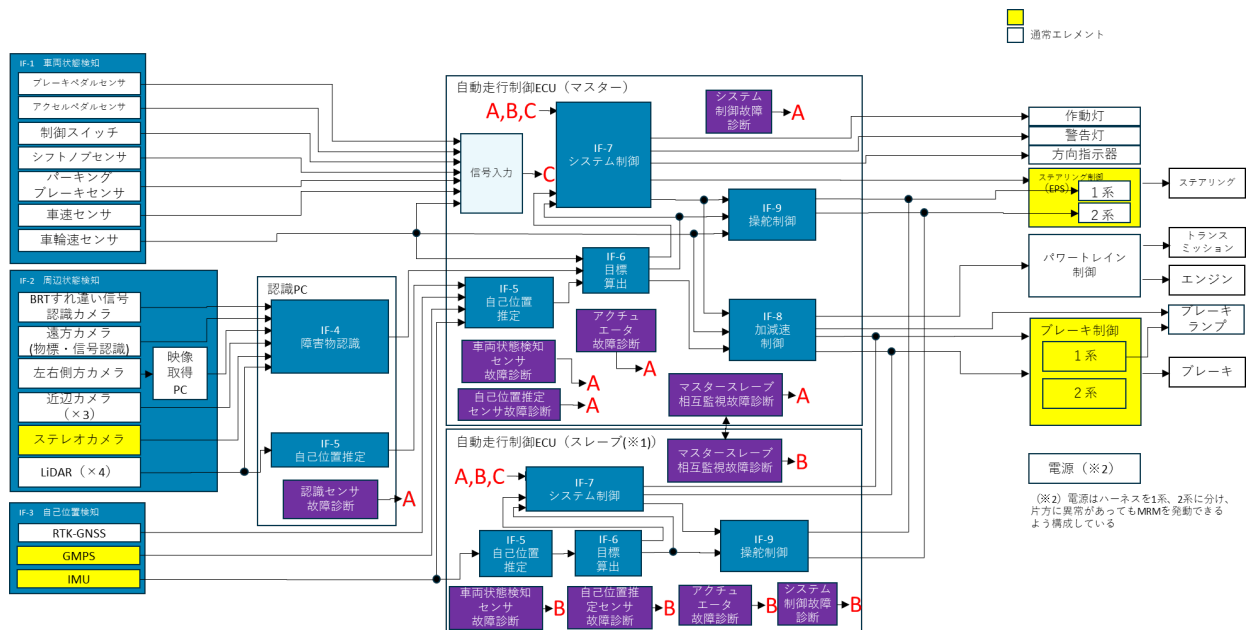


図 2.3-16 故障診断を追加した機能ブロック図

表 2.3-5 自動制御 ECU、認識システムの故障診断機能一覧

自動制御ECU

故障診断ブロック名	故障診断対象エレメント	診断項目	故障確定後の動作	備考
車両状態検知センサ故障診断	ブレーキペダルセンサ	通信異常チェック (CAN)	故障をシステム制御ブロックに通知した後にMRMへ移行	
	アクセルペダルセンサ	ブレーキスイッチとブレーキ作動比較チェック		
	シフトノブセンサ	センサ電圧チェック		
	パーキングブレーキセンサ	通信異常チェック (CAN)		
	車速センサ	通信異常チェック (CAN)		
	車速センサ	車速センサとの比較チェック		
自己位置推定センサ故障診断	RTK-GNSS	通信異常チェック (CAN)		
	GNSS	GNSS自己診断結果のチェック		
	IMU	通信異常チェック (CAN)		
	IMU	データ異常チェック		
アクチュエータ故障診断	ブレーキ制御(1系)	1系ブレーキ自己診断結果のチェック		
	ブレーキ制御(2系)	通信異常チェック (CAN)		
	ブレーキ制御(2系)	2系ブレーキ自己診断結果のチェック		
	ブレーキ制御(2系)	通信異常チェック (CAN)		
システム制御故障診断	ブレーキエア(EBS)	ブレーキエアチェック		
	ステアリング制御 (EPS)	通信異常チェック (CAN)		
	ステアリング制御 (EPS)	ステアリングシステム自己診断結果のチェック		
	ステアリング制御 (EPS)	通信異常チェック (CAN)		
マスター・スレーブ相互故障診断	自動制御ECU	電源異常 速度偏差チェック 横偏差チェック	認識PCから故障を受信後システム制御ブロックに通知した後にMRMへ移行 故障をシステム制御ブロックに通知した後にMRMへ移行	物標認識用パケット、信号認識用パケット、スキャンマッチング用パケット
	認識PC	通信異常チェック (LAN) 認識センサ故障診断結果のチェック チャレンジレスポンスデータ異常 通信異常チェック (CAN)		

認識PC

故障診断ブロック名	故障診断対象エレメント	診断項目	故障確定後の動作	備考
認識センサ故障診断	遠方カメラ(物標・信号認識)	通信異常チェック、電圧異常チェック	故障情報を自動制御ECUに通知する	
	左右側方カメラ	通信異常チェック、電圧異常チェック		
	近辺カメラ (×3)	通信異常チェック、電圧異常チェック		
	近辺カメラ (×3)	通信異常チェック、電圧異常チェック		
	LIDAR (×4)	通信異常チェック、電圧異常チェック		
	BRTすれ違い信号認識カメラ	通信異常チェック、電圧異常チェック		
故障診断ブロック名	ステレオカメラ	通信異常チェック、ステレオカメラ自己診断結果のチェック		
	ステレオカメラ	通信異常チェック、ステレオカメラ自己診断結果のチェック		

5. 機能評価

前項で開発した車両の事前評価を行った。項目としては以下のものを評価した。

- ・並走道路からの右左折に対するふるまい
- ・見通しの悪い交差点での発進停止のふるまい
- ・飛び出し歩行者に対するふるまい
- ・交差点での同時発車に対するふるまい
- ・信号のない横断歩道や緑の横断指導線における歩行者に対するふるまい
- ・横臥者に対するふるまい
- ・落下物に対するふるまい

以下の2つに関しては、第3者試験にて確認した。

- ・ODD外、機能限界検知機能の評価
- ・故障診断機能の評価

- ・並走道路からの右左折に対するふるまい

並走道路から車両が斜めに進入してくるシナリオにおいて、交差点を一時停止したのちに当該車両を検知している間は停車を続け、車両が通り抜けた後に自動で発進することを確認した。

交差点で一時停止したことを確認した。

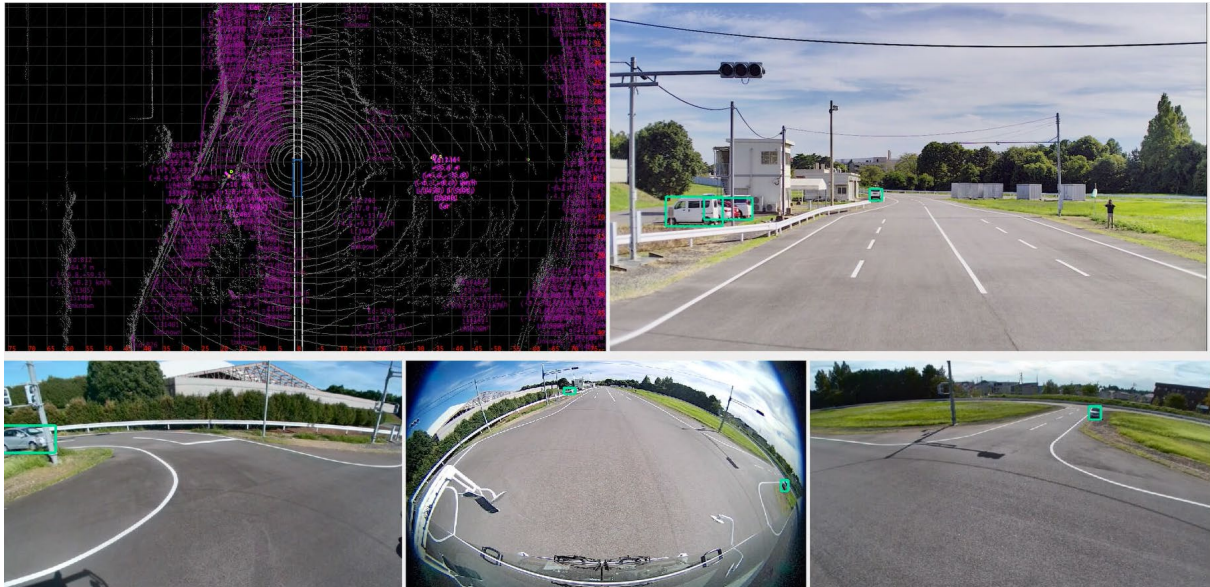


図 2.3-17 並走道路との交差点の一時停止のタイミング

並走道路から車両が斜めに進入してきていることを検知し、停車を続けていることを確認した。



図 2.3-18 並走道路から車両が来ているタイミング

- ・見通しの悪い交差点での発進停止のふるまい

見通しの悪い交差点の右側から車両が来るシナリオにおいて、検知できる位置まで前進し、車両が通過してから自動で発進することを確認した。

検知できるところまで、移動中

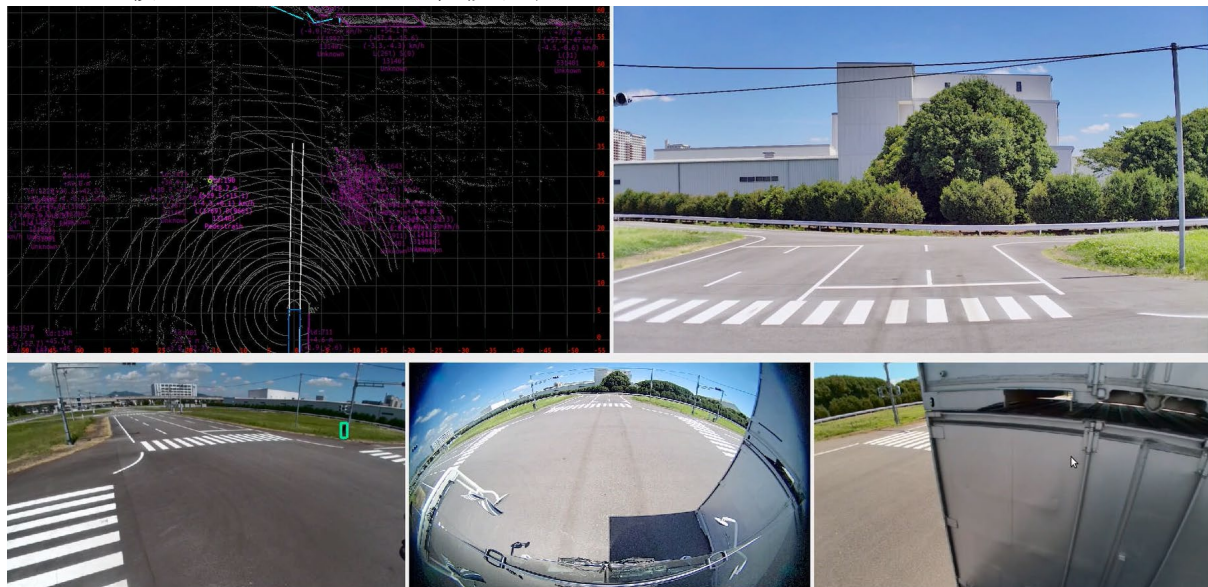


図 2.3-19 交差点での一時停止位置まで移動しているタイミング

検知できるところで停車し、右からくる車両を検知できていることを確認



図 2.3-20 交差点での一時停止位置で右方からくる車両が近づいているタイミング

通過完了まで、停車を続けていることを確認した。



図 2.3-21 交差点での一時停止位置で車両が通り過ぎるまで停車しているタイミング

通過完了したことから、自動で発進することを確認した。



図 2.3-22 交差車両が通過した後、発進したタイミング

- ・飛び出し歩行者に対するふるまい

右側から歩行者が 5km/h で飛び出してくるシナリオにおいて、歩行者を検知後に減速し、衝突を回避できることを確認した。

歩行者飛び出し前



図 2.3-23 歩行者飛び出し前のタイミング

歩行者飛び出しを検知後に減速することを確認した。

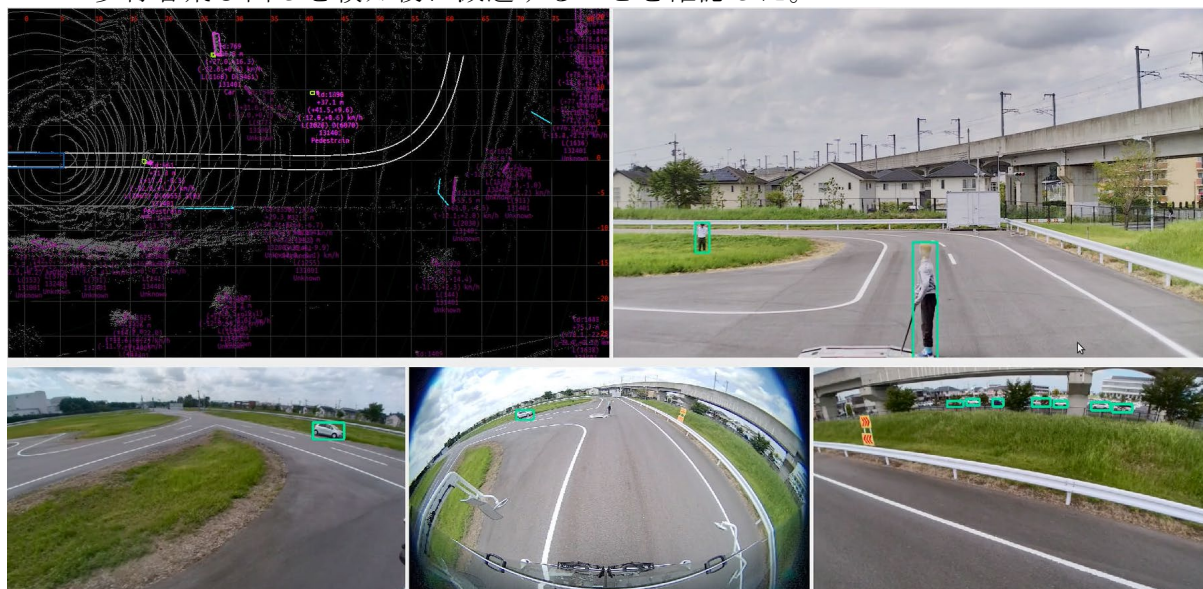


図 2.3-24 歩行者の飛び出しを検知したタイミング

減速の結果、衝突回避できたことを確認した。



図 2.3-25 歩行者の飛び出しによる衝突を回避したタイミング

- ・交差点での同時発車に対するふるまい

交差点で側方の車両が自動運転バスと同時に発車したときにその動きを検知して停車できることを確認した。また、側方の車両が停車のままの場合は、自動で発進することを確認した。

交差点で一時停止前に右側方から車両が先の停車している。

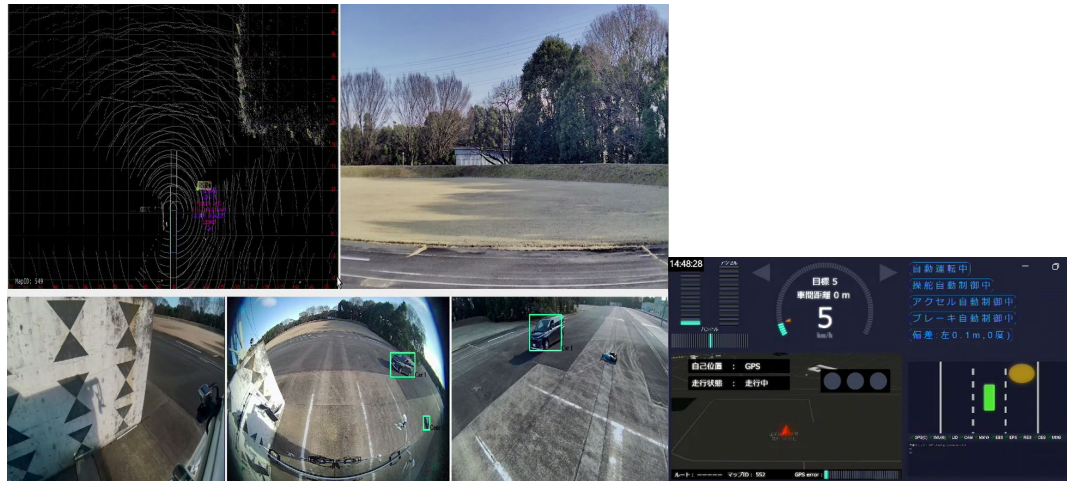


図 2.3-26 交差点で側方車両が先に停車しているタイミング

右側方の車両が停車していたので発進したが、同時に右側方の車両も発車した。



図 2.3-27 交差点で側方車両が自動運転バスと同時に発進したタイミング

右側方の車両も発車したのを検知し、自動運転バスが停車した。



図 2.3-28 交差点で側方車両の動きを検知して停車したタイミング

側方の車両が停車のままの場合は、自動で発進することを確認した。



図 2.3-29 側方車両の停車を検知して発進したタイミング

- ・信号のない横断歩道や緑の横断指導線における歩行者に対するふるまい

横断歩道を模擬してコースを設定し、横断歩道脇に歩行者が立っているときに動きがなければ、再発進することを確認した。

横断歩道脇の歩行者を検知できていることを確認した。



図 2.3-30 模擬横断歩道に到達する直前のタイミング

歩行者を検知して、模擬した横断歩道前での停車を確認した。



図 2.3-31 模擬横断歩道にいる歩行者を検知したタイミング

横断歩道脇に歩行者が立っているときに動きがなければ、再発進することを確認した。



図 2.3-32 模擬横断歩道にいる歩行者が動かないことを検知して発車したタイミング

- ・横臥者に対するふるまい

横臥者（子供ダミーの頭を車両側に向けた状態）に自動運転バスが接近するシナリオで、横臥者を検知して停車することを確認した。

139m 先の横臥者を検知できることを確認した。



図 2.3-33 横臥者の検知したときのタイミング

横臥者を検知して停車することを確認した。



図 2.3-34 横臥者を検知し停車したときのタイミング

- ・落下物に対するふるまい

高さ 26cm の段ボールを設置したシナリオで、段ボールを検知し減速停車できることを確認した。

147m 先の段ボールを検知できることを確認した。



図 2.3-35 段ボールを検知したタイミング

段ボールを検知し減速停車できることを確認した



図 2.3-36 段ボールを検知し停車したときのタイミング

第3者試験として、2023年11月に以下を実施した。一部の試験は、達成基準を満たさなかったことから、2024年3月に再試験を実施する。（試験報告書が発行されるのは2024年5月初旬の予定）

- ・ ODD 内におけるリスクシナリオに対する評価
- ・ ODD 外となるシナリオに対する評価（条件外、機能限界）
- ・ 不具合のシナリオに対する評価（故障やセンサ被覆）

子供ダミーや自転車ダミーを検知できず、試験をクリアできなかったことから再学習を行った後、2024年3月に再試験を実施する。（試験報告書が発行されるのは2024年5月初旬の予定）

表 2.3-6 ODD 内となるシナリオにおける第3者試験項目

試験番号	試験名称
1-1	対歩行者減速停止（歩行者静止）
1-2	対歩行者減速停止（歩行者対向）
1-3	対歩行者減速停止（歩行者同方向）
1-4	対歩行者減速停止（歩行者横断）
1-5	対歩行者減速停止（歩行者飛び出し）
1-6	対歩行者減速停止（歩行者寝転び）
1-7	対自転車減速停止（自転車対向接近）
1-8	対自転車減速停止（自転車割り込み）
1-9	対自転車減速停止（自転車横断）
1-10	対自転車減速停止（自転車飛び出し）
1-11	対車両減速停止（停止車両）
1-12	対車両減速停止（割り込み）
1-13	対車両減速停止（交差：走行車両）
1-14	対車両減速停止（交差：停止車両）
1-15	対車両減速停止（すれ違い）
1-16	対動物減速停止
1-17	対障害物減速停止

・ ODD 外、機能限界検知機能の評価

ODD 外、機能限界は、以下の項目を実施した。

2-15 に関して、基準を満たさなかったため、2024 年 3 月に再試験を実施する。（試験報告書が発行されるのは 2024 年 5 月初旬の予定）

表 2.3-7 ODD 外となるシナリオにおける第 3 者試験項目

2-1	経路外発進
2-2	走行中の経路逸脱
2-3	GNSS測位精度低下
2-4	マップマッチング精度低下
2-5	磁気マーカ位置情報エラー
2-6	車線逸脱時のガードレール衝突回避
2-7	故意なハンドル急操舵による逸脱
2-8	走行中の経路逸脱
2-9	降雨検知
2-10	降雪検知
2-11	濃霧検知
2-12	低照度検知
2-13	運行速度制限
2-14	すれ違い信号機認識
2-15	緊急車両サイレン検知

- ・故障診断機能の評価

故障診断は、以下の項目を実施した。

3-2,3-6 に関して、基準を満たさなかったため、2024 年 3 月に再試験を実施する。（試験報告書が発行されるのは 2024 年 5 月初旬の予定）

表 2.3-8 不具合のシナリオにおける第 3 者試験項目

3-1	前方障害物検知センサ（故障，断線）
3-2	前方障害物検知センサ（飛来物）
3-3	側方障害物検知センサ（故障，断線）
3-4	側方障害物検知センサ（飛来物）
3-5	信号認識用カメラ（故障，断線）
3-6	信号認識用カメラ（飛来物）
3-7	位置認識センサ通信異常（GNSS）
3-8	位置認識センサ通信異常（磁気マーカ）
3-9	位置認識センサ通信異常（マップマッチングアプリ）
3-10	位置認識センサ通信異常（IMU）
3-11	位置認識センサ通信異常（車速情報）
3-12	制御ECU不具合
3-13	操舵アクチュエータ不具合
3-14	ブレーキ不具合
3-15	アクセル不具合
3-16	電源故障

2.4. 上記評価とこれまでの実証等における課題解決のための機能改修と向上

令和5年度において、ひたちBRTにて実証実験を3回実施した。実証実験で新たに生じた課題に対する対応を行ってきた。本項では課題解決のための機能改修及び向上に関してまとめた。

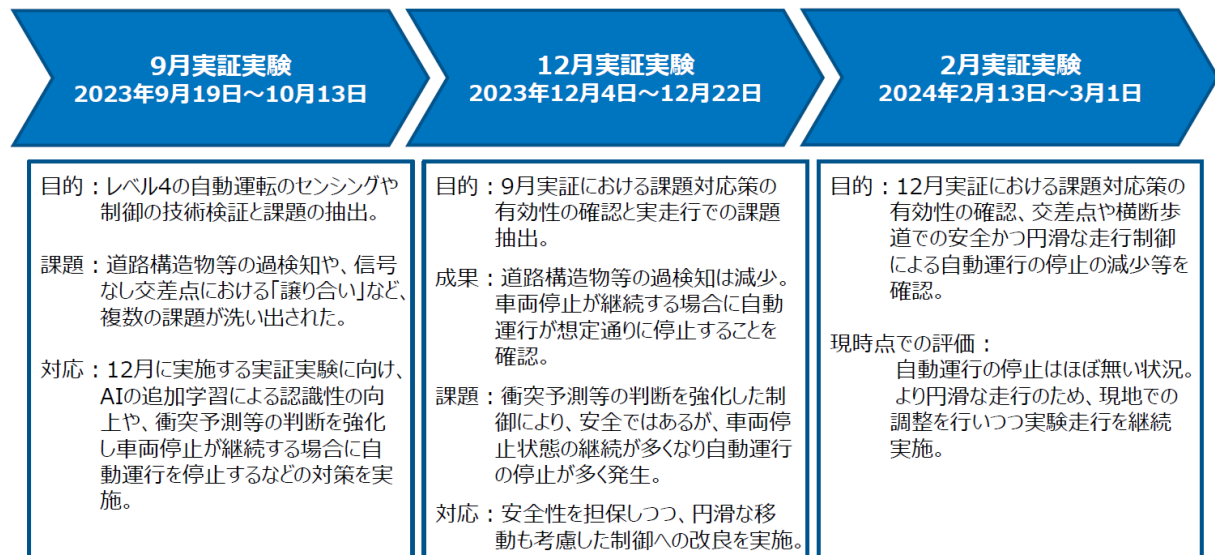


図 2.4-1 2023 年度の実証実験サマリー

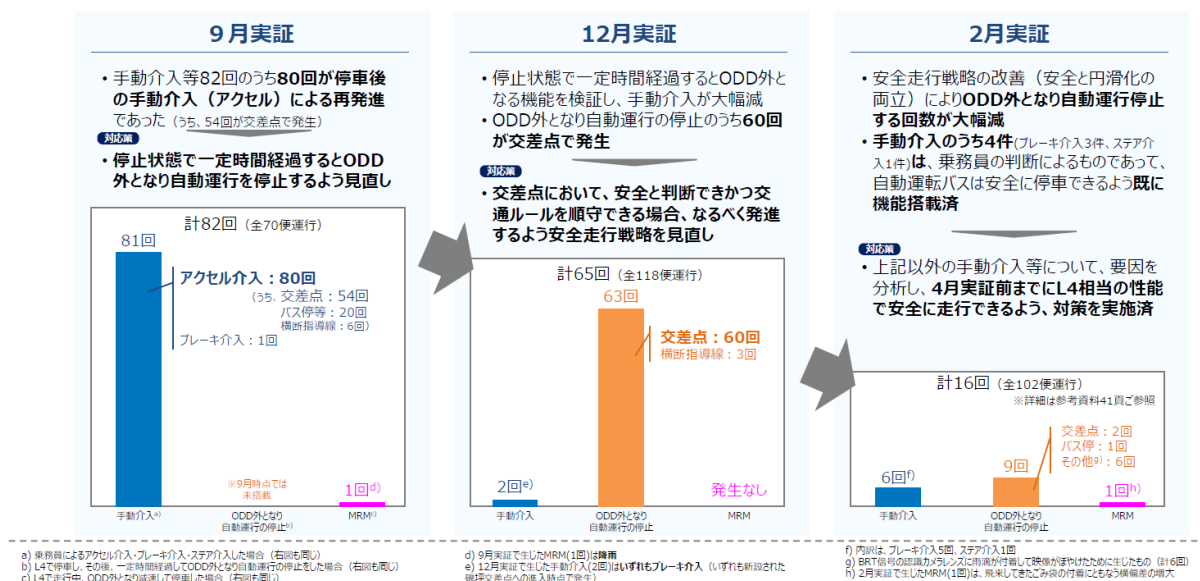


図 2.4-2 2023 年度の実証実験における手動介入、ODD 外判定の変化

9月、12月、2月の実証を踏まえ、安全走行戦略の変更を行っている。各変更に伴い、手動介入、MRM の発生、ODD 外判定の発生頻度を大幅に低減できた。以下に安全走行戦略の変更内容を示す。

【横断歩道、緑の横断指導線付近にいる歩行者に対するふるまい】

走行分類より横断歩道、緑の横断指導線の分類番号は赤枠の項目であり、これらを各交差点又はバス停において走行分類分けすると表 2.4-1 となる。

- 複数の信号無し交差点で、交差車両の停車を判断した後の発進―再停車後に再発進できず、手動介入等が発生。
- 交差車両が自動運転バスの通過に要する時間よりも長ければゆっくりと発進する戦略に変更。

①交差点の「譲り合い」への対応

9月実証

手動介入
(アクセル介入)
14回
(全70便)

- ・ 交差点手前の所定停車位置で停車後、交差車両のTTCを3秒間計測し、TTCが通過に要する時間よりも長ければゆっくりと発進
- ・ 発進した際に、交差車両も同時発進した場合、自動運転バスは再停車し、交差車両が通過するまで停車を継続
- ・ 再停車した後は、自動運転バスの交差点通過が優先されるケースでも再発進できないため、アクセル介入による再発進が14回発生

12月実証

ODD外による
自動運行の停止
25回
(全118便)

- ・ 手動介入(アクセル)を減らすため、上記の戦略に加え、一定時間(30秒以上)停車を継続する場合は、ODD外と判断して自動運行を停止する戦略を追加
- ・ 手動介入は無くなったが、ODD外による自動運行の停止が25回発生



2月実証

ODD外による
自動運行の停止
0回
(全102便)

- ・ 9月実証の戦略を、交差点手前の所定停車位置で停車後、交差車両のTTCを0.1秒ごとに計測(左右の動的状況を同時に確認可能)し、そのTTCが自動運転バスの通過に要する時間よりも長い状態が連続1秒以上であれば、ゆっくりと発進する戦略に変更。
- ・ ただし、一時停車中の交差車両が同時発進した場合は、自動運転バスは再び停車。このとき、交差車両も同時に再び停車した場合は、上の行の戦略(1秒間停車を判断して再発進)を繰り返す。
- ・ 上記の戦略の改善により、2月実証において、信号無し交差点における「譲り合い」を原因とするODD外による自動運行の停止は発生していない。

図 2.4-3 交差点の「譲り合い」への対応まとめ

- 大沼小学校南交差点/寺方バス停南交差点で、所定位置からの発進後に交差点進入を検知すると停車し、並走道路を走行する車両が存在する限り停車を継続。これにより、手動介入等が発生。
- 交差点手前の所定停車位置で停車後、並走道路を走行する一般車両のTTCを0.1秒ごとに計測(左右の動的状況を同時に確認可能)し、そのTTCが自動運転バスの通過に要する時間よりも長い状態が連続1秒以上であれば、ゆっくりと発進する戦略に変更。

②並走道路から交差点に進入する車両への対応

9月実証

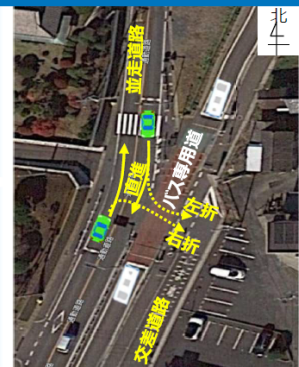
手動介入
(アクセル介入)
7回
(全70便)

- ・ 安全確認し所定位置からの発進した後、並走道路を走行する一般車両の交差点への進入を検知した場合、検知範囲内で並走道路を走行する車両が存在する限り停車を継続
- ・ 直進車両が続く場合(並走道路から右左折してくる可能性が小さい場合)でも停車を継続してしまうため、アクセル介入による再発進が7回発生

12月実証

ODD外による
自動運行の停止
22回
(全118便)

- ・ 手動介入(アクセル)を減らすため、上記の戦略に加え一定時間(30秒以上)停車を継続した場合はODD外と判断して自動運行を停止する戦略を追加
- ・ 手動介入(アクセル)は無くなったがODD外による自動運行の停止が22回発生



2月実証

ODD外による
自動運行の停止
0回
(全102便)

- ・ 9月実証の戦略を、交差点手前の所定停車位置で停車後、並走道路を走行する一般車両のTTCを0.1秒ごとに計測し、そのTTCが自動運転バスの通過に要する時間よりも長い状態が連続1秒以上であれば、ゆっくりと発進する戦略に変更。
- ・ ただし、一時停車中の一般車両が同時発進した場合は自動運転バスは再び停車。このとき、一般車両も同時に再び停車した場合は、上の行の戦略(1秒間判断して再発進)を繰り返す。
- ・ 上記の戦略の改善により、2月実証において、同交差点における並走道路の一般車両の存在によるODD外による自動運行の停止は発生していない。

図 2.4-4 並走道路から交差点に進入する車両への対応まとめ

- 車両用交通信号機はあるが歩行者用信号機がない交差点で、歩行者が横断歩道付近で滞留している場合に、**車両用交通信号機が青色でも歩行者に横断意思が無い場面で停車を継続**するため手動介入等が発生。
- **車両用交通信号機の青色に従い、ゆっくりと発進し徐行で交差点に進入**する戦略に変更。なお万が一、歩行者飛び出しがあっても、飛び出しに対応する機能で衝突せず停車が可能である。

③滞留する歩行者への対応

9月実証

手動介入
(アクセル介入)
25回
(全70便)

- ・ 横断歩道付近に歩行者が存在する場合は、進入可能性を考慮して**歩行者が横断歩道付近から立ち去るまで停車を継続**
- ・ 車両用の交通信号機が青色で、歩行者に横断意思が無いと判断される場合に、**アクセル介入による再発進が25回発生**



12月実証

ODD外による
自動運行の停止
22回
(全118便)

- ・ 手動介入(アクセル)を減らすため、上記の戦略に加え**一定時間(3分以上)停車を継続した場合はODD外と判断して自動運行を停止**する戦略を追加
- ・ 手動介入(アクセル)は無くなったが、**ODD外による自動運行の停止が22回発生**

2月実証

ODD外による
自動運行の停止
0回
(全102便)

- ・ **車両用の交通信号機の灯色(青色)に従い、ゆっくりと発進して交差点に進入する戦略に変更。**
- ・ なお、**万が一歩行者が飛び出しても自動運転バスは歩行者の飛び出しに対応する機能を備えており、衝突せずに停車が可能。**【15~16頁ご参照】
- ・ 上記により、同交差点において滞留歩行者による**ODD外による自動運行の停止は発生していない。**

図 2.4-5 滞留する歩行者への対応まとめ

表 2.4-1 走行環境の 16 分類

分類No.	分類の観点	歩行者に係るインフラ環境	対象区間の例
1	走路の専用度合い		
2	バス動作の観点から見た場所の特徴		
3	専用区間 端点		河原子入口、南部図書館
4	歩道なし		寺方
5	歩道あり(ガードレールなし)		磯坪
6	歩道あり(ガードレールあり)		大沼
7	緑の横断帯		日立商業高校
8	歩道なし		水木-寺方間の一部区間
9	歩道あり(ガードレールなし)		河原子-磯坪間
10	歩道あり(ガードレールあり)		泉が森-大壺駅間
11	緑の横断帯(並走道路なし)		大壺駅→多賀駅の大壺駅の先
12	緑の横断帯(並走道路有・退避空間なし)		寺方バス停北側
13	見通しが悪い道路(急なカーブ)		泉が森-大壺駅の鉄道上の橋
14	見通しが悪い道路(大きな起伏)		No10鉄道上の橋から泉が森側
15	大壺駅ロータリー内		大壺駅西口
16	信号あり	横断歩道(並走道路なし)	日立商業下交差点
17	信号なし	横断歩道(並走道路なし)	磯坪交差点
18	信号なし	横断歩道(並走道路あり)	寺方バス停南側

表 2.4-2 各交差点、バス停における種類、走行分類のまとめ

交差点、バス停	種類	走行分類 No.	道交法 38条適用
日立商業下バス停の南側交差点	歩行者信号あり横断歩道	12	×
日立商業バス停の南側	緑横断帯	9	×
日立商業バス停	緑横断帯	2～5	×
どうのいり公園バス停	緑横断帯	2～5	×
吹上橋バス停	緑横断帯	2～5	×
臨海工場西バス停	緑横断帯	2～5	×
大甕－泉が森間	緑横断帯	9	×
泉が森バス停	緑横断帯	2～5	×
泉が森－水木間	緑横断帯	9	×
水木バス停	緑横断帯	2～5	×
水木バス停の北側交差点	歩行者信号なし（交通信号あり） 横断歩道	12	×
寺方バス停の南側交差点	信号無し横断歩道	－	○
寺方バス停	緑横断帯	2～5	×
寺方－大沼小学校間①	緑横断帯	9	×
寺方－大沼小学校間②	緑横断帯 （並走道路には歩行者信号あり）	15	×
大沼小学校東バス停の南側交差点	緑横断帯	16	×
大沼小学校東バス停	緑横断帯	2～5	×
大沼バス停	緑横断帯	2～5	×
磯坪バス停	緑横断帯	2～5	×

・信号のある交差点の横断歩道でのふるまい

1. 交差点では、徐行速度（10km/h）まで減速して走行する。
2. 信号が黄色、赤、不定の場合は、停止線で停車する。
3. 青の場合は通過するが、交差点の先に自車両が入れるだけのスペースがない場合は青でも通過しない。また、青でも走行軌跡内に進入可能性のある障害物がある場合は、停車する。
4. 信号無視の歩行者がいる場合は、停車する。
5. 水木バス停の北側交差点、磯坪バス停の南側交差点において、横断歩道付近に歩行者が滞留している場合は停車していたが、道交法 38 条の適用外であることから、停車しない。

日立商業下バス停の南側交差点



水木バス停の北側交差点



磯坪バス停の南側交差点

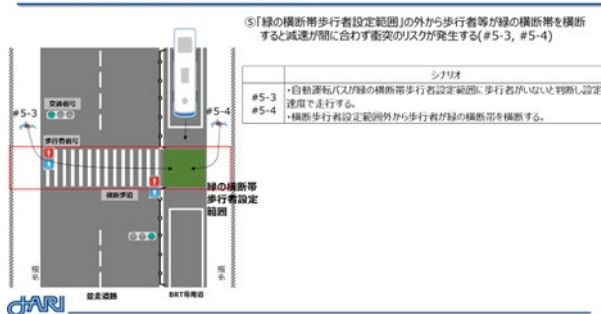


図 2.4-6 信号のある交差点

・信号のない交差点の横断歩道でのふるまい

1. 緑の横断指導線では、徐行速度（10km/h）まで減速して走行する。
2. 緑の横断指導線 に歩行者がいれば、停車する。
3. 緑の横断指導線の端 から 1m(※1)以内にいる場合は、緑の横断指導線・横断歩道の手前で停車する。ただし、横断歩道の端から 1m 以上離れていて、「5s(※2)以上横断歩道に向かってきていない」場合は、渡る意思がないものと判断し、発進する。また、歩行者が横断歩道に向かって動いた場合は停車する。
4. 歩道から横断歩道まで （30m(※3)）に歩行者がいて横断歩道に近づいている場合は、停車する。このとき、歩行者が横断歩道に到達するまでの時間よりもバスが横断歩道に到達する時間が短い場合、停車しない。

新分類のリスクシナリオ詳細(5/7)



寺方バス停の南側交差点



図 2.4-7 信号のない交差点の横断歩道

※1 1m の根拠

「18-2 訂版 執務資料道路交通法解説」（東京法令出版）P374 より
横断歩道の端から 1m 以内にいる歩行者は、『「横断している歩行者」と解されている』ため。

※2 5sの根拠

「18-2 訂版 執務資料道路交通法解説」（東京法令出版）P375 より、『手を挙げている人や歩き出している人は「横断しようとしている歩行者」として解されている』とある。手を挙げていることを検知することは現状できないが、バスが停車すれば横断しようとする人は速やかに横断すると考えるのが合理的であることから、その時間を5sとした。

※3 30mの根拠

分類6～11, 15に対するリスクシナリオ#5-3, 4より、どこまで見る必要があるかという観点において、小走り（10km/h $\div$ 2.78m/s）で横断帯や横断歩道に向かってくる歩行者が、バスが通過するまでにかかる時間10sとし、横断歩道や緑横断帯に到達する距離から算出した。

・バス停に設置された緑の横断指導線（上線側、下り線側の接続するもの）

1. 緑の横断指導線では、徐行速度（10km/h）まで減速して走行する。
2. 緑の横断指導線  に歩行者がいれば、停車する。
3. 緑の横断指導線の端  から1m(※4)以内にいる場合は、横断していると判断し、停車する。（リスクシナリオ2, 3より）「5s(※5)以上横断歩道に向かってきていない」場合は、渡る意思がないものと判断し、発進する。また、歩行者が緑の横断指導線に向かって動いた場合は停車する。
4. 歩道から横断歩道まで  （30m(※6)）に歩行者がいて横断歩道に近づいている場合は、停車する。このとき、歩行者が横断歩道に到達するまでの時間よりもバスが横断歩道に到達する時間が短い場合、停車しない。

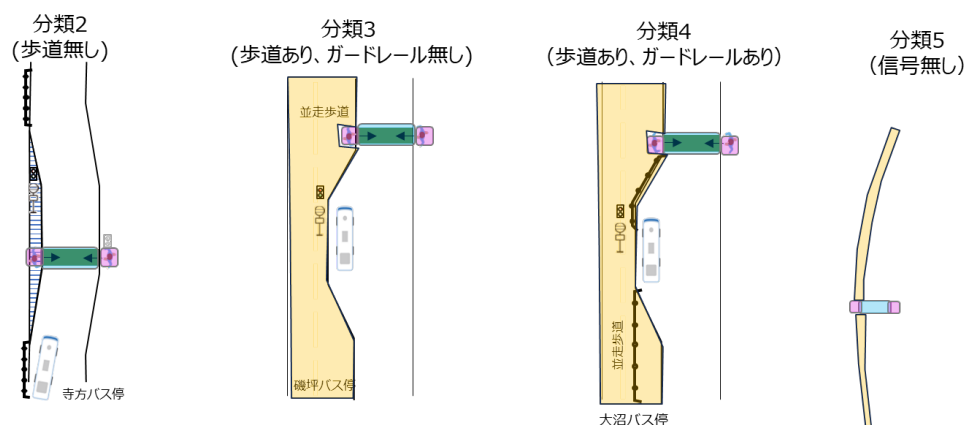


図 2.4-8 緑の横断指導線

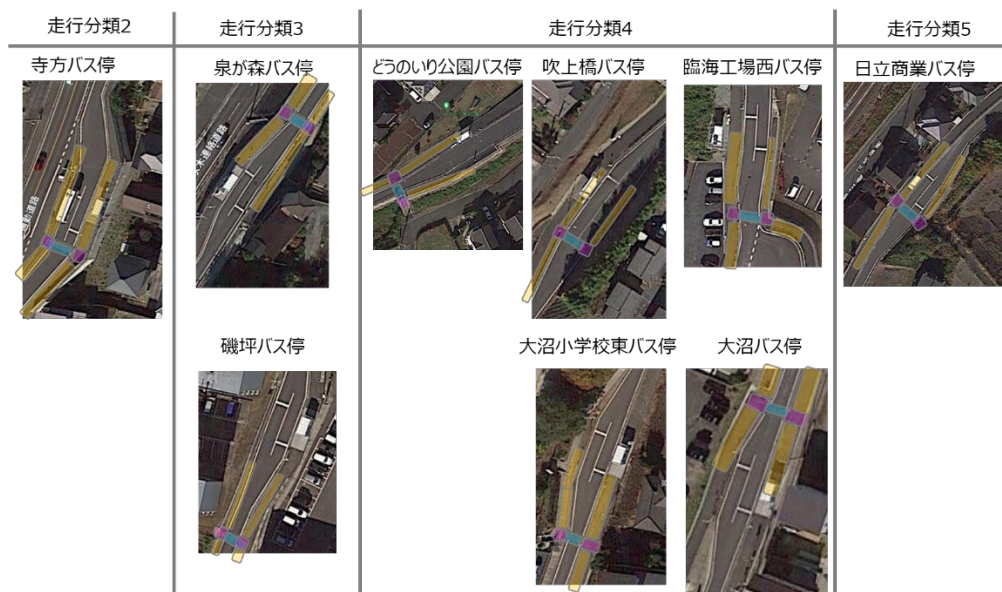


図 2.4-9 各緑の横断指導線の実際の箇所

※4 1m の根拠

道交法 38 条適用外ではあるものの 「18-2 訂版 執務資料道路交通法解説」 （東京法令出版） P374 より

横断歩道の端から 1m 以内にいる歩行者は、『「横断している歩行者」と解されている』するというのは、緑横断帯に対しても安全上同じ取り扱いにするのが合理的と考える。

※5 5s の根拠

道交法 38 条適用外ではあるものの 「横断しようとしている歩行者」と解釈としては、※2 と同様に考えるのが合理的であることから 5s とした。

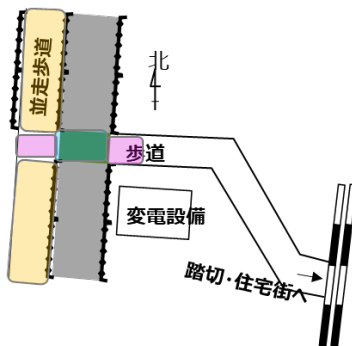
※6 30m の根拠

分類 2～5 には、分類 6～11, 15 に対するリスクシナリオ #5-3,4 のようなシナリオはないが、同様のことが想定するのが合理的であり、※3 と同じと考える。

・BRT 専用道の単線区間における緑の横断指導線（生活道路を接続するもの）

1. 緑の横断指導線では、徐行速度（10km/h）まで減速して走行する。
2. 緑の横断指導線  に歩行者がいれば、停車する。
3. 緑の横断指導線の端  から 1m(※4)以内にいる場合は、横断していると判断し、停車する。（リスクシナリオ 2,3 より）「5s(※5)以上横断歩道に向かってきていない」場合は、渡る意思がないものと判断し、発進する。また、歩行者が緑の横断指導線に向かって動いた場合は停車する。
4. 歩道から横断歩道まで  （30m(※6)）に歩行者がいて横断歩道に近づいている場合は、停車する。このとき、歩行者が横断歩道に到達するまでの時間よりもバスが横断歩道に到達する時間が短い場合、停車しない。

走行分類9



走行分類15

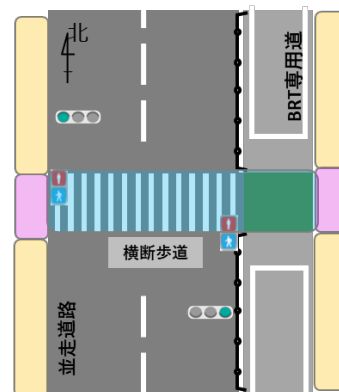


図 2.4-10 BRT 専用道の単線区間における緑の横断指導線

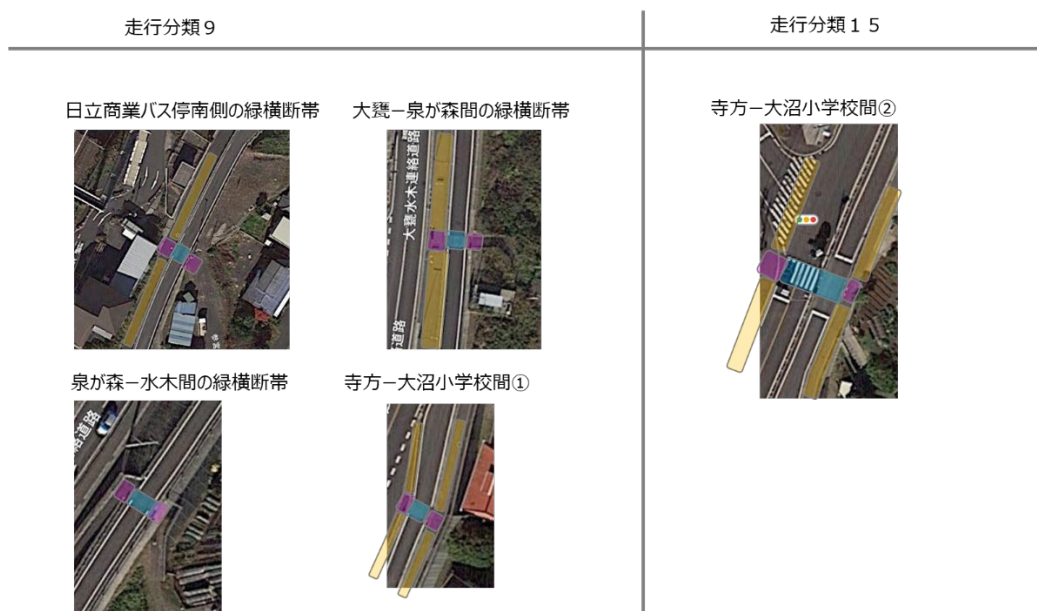
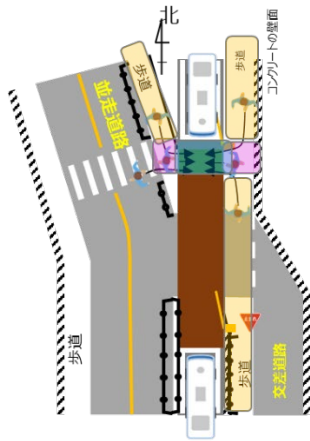


図 2.4-11 分類 9,15 の実際の緑の横断指導線

・ 走行分類 1 6 における緑の横断指導線

1. 緑の横断指導線では、徐行速度（10km/h）まで減速して走行する。
2. 緑の横断指導線  に歩行者がいれば、停車する。
3. 緑の横断指導線の端  から 1m(※4)以内にいる場合は、横断していると判断し、停車する。（リスクシナリオ 2,3 より）「5s(※5)以上横断歩道に向かってきていない」場合は、渡る意思がないものと判断し、発進する。また、歩行者が緑の横断指導線に向かって動いた場合は停車する。
4. 歩道から横断歩道まで  （30m(※6)）に歩行者がいて横断歩道に近づいている場合は、停車する。このとき、歩行者が横断歩道に到達するまでの時間よりもバスが横断歩道に到達する時間が短い場合、停車しない。



大沼小学校東バス停の南側交差点



図 2.4-12 走行分類 16 における緑の横断指導線とその実際の航空写真

2.5. 乗務員乗車型レベル4車両としての認可取得(基準対応と試験評価)

乗務員乗車型レベル4車両としての認可取得に向けて実施してきたことを以下にまとめた。

公道走行WGでの説明資料の主な記述内容は、以下のとおりである。

- ・ ひたち BRT の概要説明
- ・ 自動運転区間におけるポイント説明
- ・ 自動運転車両の機能、性能説明
- ・ 安全走行戦略の説明
- ・ 冗長系に関する説明
- ・ 3 回分の実証実験における課題とその対応の説明

公道走行WGでは、2024年3月までに計3回実施した。2024年4月末に4回目を実施後、走行条件付与を関東運輸局から受けることで乗務員乗車型レベル4の認可を受けられる予定である。



図 2.5-1 乗務員乗車型レベル4許認可に向けたスケジュール概要

第3章 インフラ連携

3.1. ひたち BRT で活用可能なインフラシステムとの連携における安全要件の整理と実装（テーマ 4 との連携）

インフラシステムとの連携に関しては、「テーマ 4：混在空間でレベル 4 実現のためのインフラ協調や車車間・歩車間通信連携などの取組み」において、通信技術を用いた自動運転車両と道路に設置されたインフラ側のセンサシステム等との連携した制御などの検討がなされている。インフラシステムとの連携による効果や責任の境界などの課題の検討については、テーマ 4 に任せるものとして、テーマ 2 においては、ひたち BRT の走路環境におけるインフラシステムとの連携の必要性を見直し、2023 年度は車両の自律化を基本とした技術開発による自動運転システムの構築に集中して取り組むものとした。その理由は、インフラシステムとの連携の利点は、車載のセンサで検知が困難な車両走行の安全性に関わる状況や情報がインフラシステムから得られることであり、このような場合でなければ必要性は低いといえるためである。また、インフラシステムとの連携は、通信を用いて情報を受け取ることになるため、通信品質が保証されることが必要になる。インフラシステムと連携して、その情報を車両制御に用いる場合には、車載のセンサと同様に扱えることが要求されると考えられる。インフラシステムを安全に走行するための情報源とするならば、その情報の信頼性の向上や不具合時の対応を、通信品質も含めて検討して、実装しなければならず、自動運行装置の一部としてみなせるような安全要件となること想定される。これらのことから車載のセンサよりも実装には、安全性やコスト効果など、検討すべき課題が多いと考えたためである。

ひたち BRT の環境におけるインフラシステムとの連携を必要性を含めて、以下に事例をあげて、考察する。

(1) カーブミラーが設置された見通しの悪い交差点

カーブミラーは運転者席から交差する道路の状況が目視確認できないような場所に設置されているものである。自動運転車両の場合は、車両の先端などにセンサを設置することで、多少、交差路にセンサが出ることが許容できる範囲であれば、車載センサのみで交差する道路の状況を検知することが可能となる。車載センサの検知範囲が、安全に走行する上で十分な距離をもっているものであれば、インフラシステムの必要性はないと考えられる。車載センサの搭載位置を考えた上で、センサの死角となる部分が走行の安全性の大きな影響を及ぼすのであれば、インフラシステムの必要性がでてくるが、走行速度を遅くし、停止がすぐできるような対応で解決されることもある。

(2) 交通信号機の設置された交差点

交通信号機の現示情報は、車載カメラによる灯火色を AI 技術などを用いて認識されることで検知制御することが可能となってきた。西日や豪雨、霧や雪などで運転者に

においても視認が難しい状況では、カメラを用いた検知も難しくなるため、信号機との通信を用いることが考えられる。また、現示の残り時間などの情報を通信を用いて得られれば、信号の切り替わり目におけるジレンマを低減することには役立つが、運転者が通常得られない情報であるため、必ずしも必要であるとは言えない。ひたち BRT の場合は、バス停などに設置されている対向バスとのすれ違い用の BRT 信号が設置されているが、交通信号と同様に車載センサによる検知技術で検知が可能である。また、バス専用道に一般車両が入らないようにバースゲートが設置されているが、この開閉には、バスに設置する RFID のタグと路面下のループコイルによって、バスの走行に合せた開閉ができるようになっている。そのため、インフラシステムとの連携までの必要性は低いと考えられる。ただし、ほかの交通参加者のふるまいが課題となるような複雑形状の交差点等において、バスの走行を注意喚起する情報提示はインフラシステムによる支援となると考えられる。信号機のように行動を制約するものではないが、安全性や円滑な交通に寄与するものとして、次年度に実装実証することを想定し、装置構成の検討を行った。

第4章 遠隔監視システム・車外 HMI

4.1. レベル 4 の運行上で必要となる遠隔監視の役割と機能要件の整理

4.1.1. 無人化に向けての必要な遠隔監視及び車内安全システムのタスク詳細分析

車内乗客安全の確認行動タスクの分析を行い、無人化での自動運転バスでの遠隔監視と車内安全システムに必要な要件の洗い出しを行い、無人化に向けての必要要件対応の検討を行った。次年度では実装に向けてより具体的な検討を行う。

(1) レベル 4 自動運転タスクの運行スタイルによる違いの洗い出し

レベル 4 自動運転でのタスクを運行スタイル（車内有人・車内無人）の違いによる運用の考え方の洗い出しを行った。

(2) 遠隔監視システム構築に必要な機能等の明確化

レベル 4 無人運転バスの運行では、安全性、効率性及び快適性が重要となる。特に、遠隔監視システムにおいて乗務員と同様の車内乗客の安全確保を達成するために、まず、乗務員が実施している確認行動のタスク調査を行った。次に、それらのタスクが実施される運行シーンにおいて、どのような危険性が生じるかを抽出し、危険性を回避するために要求される項目の洗い出しを行った。併せて、車内システム（運転タスク）と車掌タスク（システムベンダー）でのタスクを明確化した。更に、検討したシステム要求により危険性（危害の影響）が緩和されることを検証するため、危険性のシステム要因抽出と対応策（図 4.1-3～図 4.1-11）の検証を行った。

1) 車内乗客安全の確認行動の調査

車内乗客安全の確認行動を調査するため、以下の 3 ステップで進めた。

- ステップ 1

産業技術総合研究所構内でバスの運行を模擬する実証実験を行った。所員により運転者と乗客のロールプレイングを行い、運転者が、いつ・どこを見て、何に注意を払っているか、その結果、どのような行動を取るかを確認した。

- ステップ 2

ステップ 1 の結果から実験計画を立て、交通事業者の協力を得て交通事業者のバスと運転者により実証検証を行い、詳細に確認行動を記録した。

- ステップ 3

ステップ 1 とステップ 2 の結果を整理して、車内乗客安全の確認行動を表にまとめた。

2) レベル4自動化システムに要求される項目の洗い出し

車内乗客安全の確認行動の調査のステップ3では、実際の路線バス運行で起こりうる危険性が交通事業者から寄せられた。そこで、運行シーンごとに起こり得る危険性を整理して、危険性を回避してリスクを低減するシステムの要求を抽出した。

3) バス車内での危険性の分析からシステム要件の抽出及び対応策の検討

検討したシステム要求により危害が緩和されることを検証するため、**BowTie**を用いて検証した。**BowTie**図では、事象（危険源）を具現化する原因と発生を防ぐバリア、また結果としての影響（危害）と緩和するバリアを洗い出して可視化した。洗い出しは、いつ危険が起こるか（ドア開閉時、発進時、走行中）、どのような危険（又は避けたいこと）が起こるか（安全性、可用性、車内トラブル、車両事故、火災、事件）の組み合わせで行った。

- (A) ドア開閉時 x 安全性
- (B) ドア開閉時 x 可用性
- (C) 発進時 x 安全性
- (D) 走行中 x 安全性
- (E) 走行中 x 車内トラブル①
- (F) 走行中 x 車内トラブル②
- (G) 走行中 x 車両事故
- (H) 走行中 x 火災
- (I) 走行中 x 事件

ただし、現時点において車内システムと遠隔監視システムの対応は、仮案であり、次年度に向けて事業者等を交えて正式に決定する必要がある。

(A) ドア開閉時 x 安全性

ドア開閉時には、転倒のリスクがあり得る。具体的には、扉に接触したり、ステップを踏み外したりする危険性を把握した。

発生防止のための本質的な対策としては、ステップの踏み外しを防ぐために滑らないステップを採用する。ステップを見やすくする対策もある。システム要求としては、扉への接触を防ぐため、人が扉に近づいたらドアを開閉させないためのセンサを設ける。

転倒が発生した際の影響緩和策としては、ほかの乗客が転倒した人を見つけて通報するシステムや、遠隔から監視して転倒者を発見するシステムが考えられる。また、転倒者の手当のために駆けつけるまで、車内システムのアナウンス機能を利用して、遠隔から声かけすることで対応することを検討した。

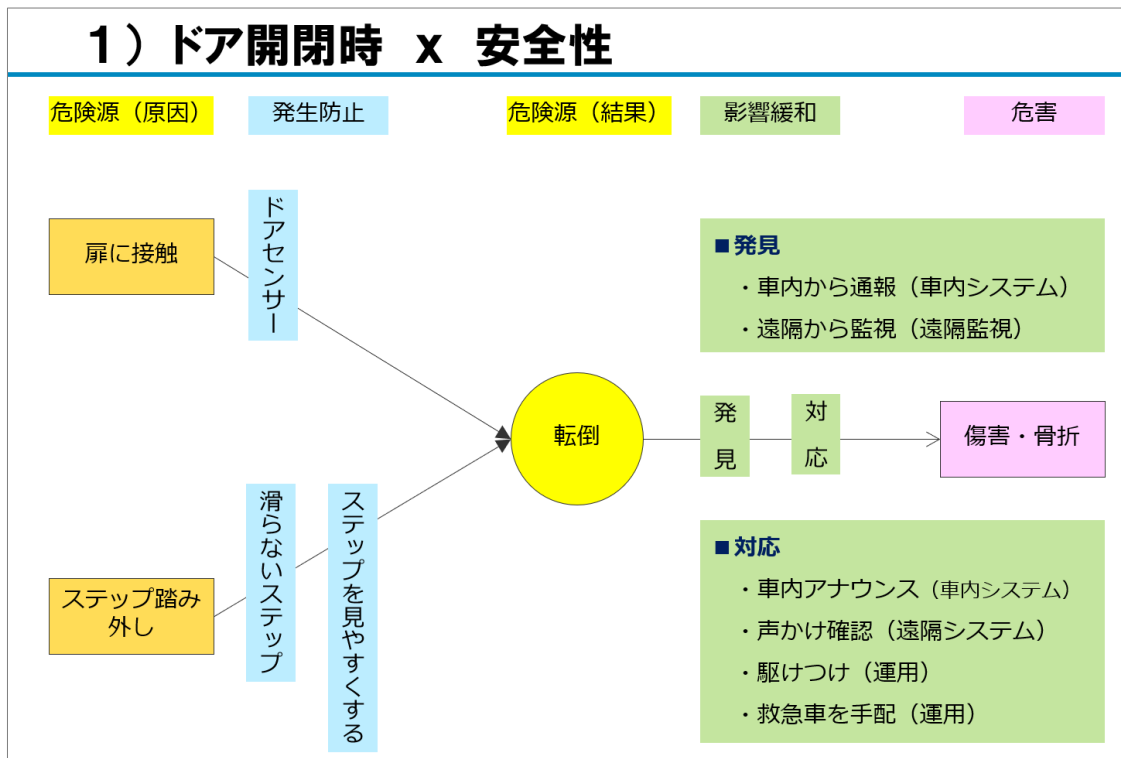


図 4.1-1 ドア開閉時 x 安全性

(B) ドア開閉時 x 可用性

ドア開閉時の可用性の問題として、人がドア付近に滞留したり、ドアが故障したりすると、ドアが閉められず運行できないことを把握した。

システム要求としては、発報が一定時間持続した場合に遠隔システムへ通知して、車内システムのアナウンス機能を利用して遠隔から状況を確認し、整備士が駆けつける運用を検討した。

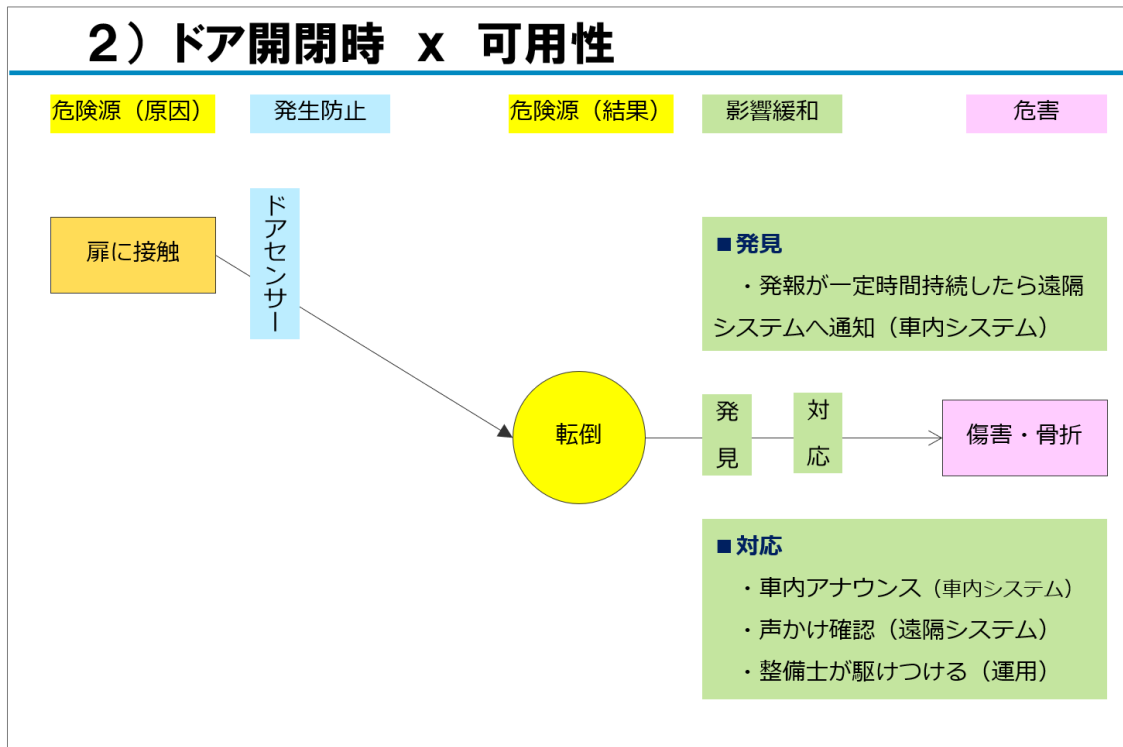


図 4.1-2 ドア開閉時 x 可用性

(C) ドア開閉時 x 安全性

発進時には、転倒のリスクがあり得る。具体的には、着座ができていない状態で発進して転倒したり、良い座席を見つけるために移動して転倒したりすることを把握した。

発生防止のシステム要求としては、着座センサや移動検知センサを設けて着座していない状況や移動を検知した場合は、車内アナウンスを行い、不安全行動を防ぐ。補助対策として、定期的な啓蒙キャンペーンを行うことも検討した。

転倒が発生した際の影響緩和策としては、ほかの乗客が転倒した人を見つけて通報するシステムや、遠隔から監視して転倒者を発見するシステムが考えられる。また、転倒者の手当のために駆けつけるまで、車内システムのアナウンス機能を利用して、遠隔から声かけすることで対応することを検討した。

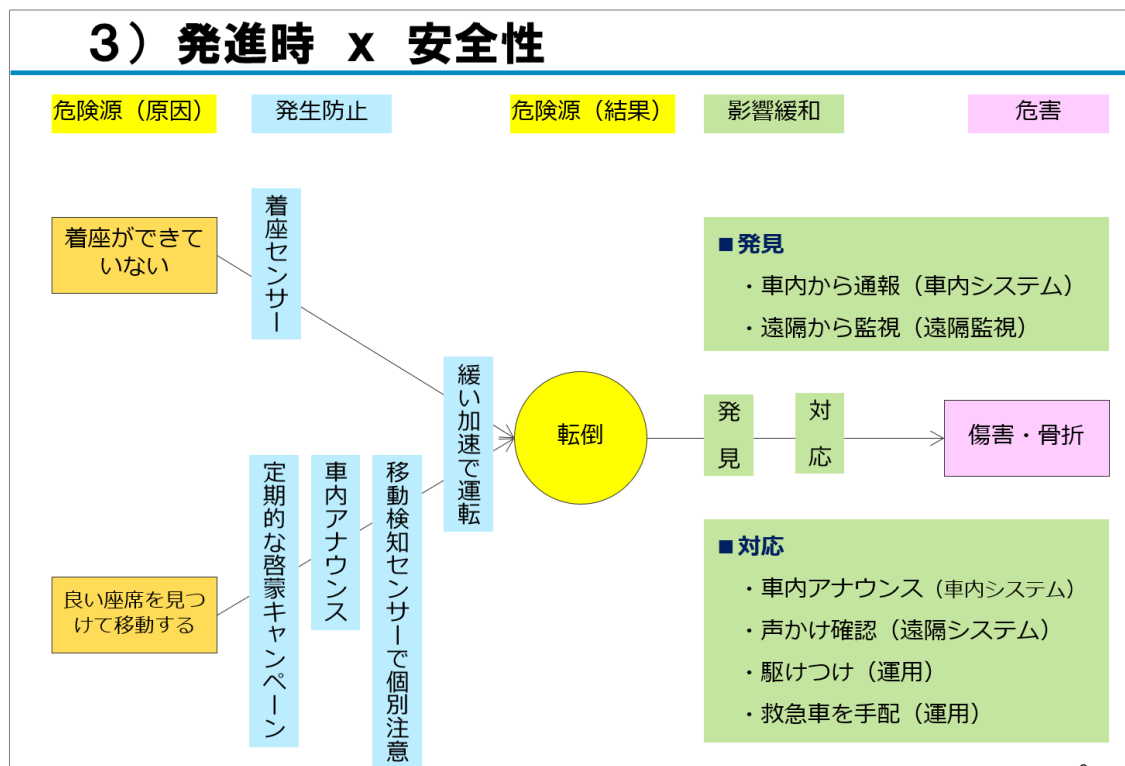


図 4.1-3 発進時 x 安全性

(D) 走行中 x 安全性

走行中に転倒のリスクがあり得る。具体的には、両替のために移動したり、降車に備えて前方に移動したり、手すりにつかまらなかったりした際に、車両の加減速の影響を受けて転倒する危険性を把握した。

発生防止のための本質的な対策としては、これらの不安全行動を見越した緩い加速での運転を行う。システム要求としては、移動を検知して個別に注意することが考えられる。補助対策として、定期的な啓蒙キャンペーンを行うことも検討した。

転倒が発生した際の影響緩和策としては、ほかの乗客が転倒した人を見つけて通報するシステムや、遠隔から監視して転倒者を発見するシステムが考えられる。また、転倒者の手当のために駆けつけるまでの間、車内システムのアナウンス機能を利用して、遠隔から声かけすることで対応することを検討した。

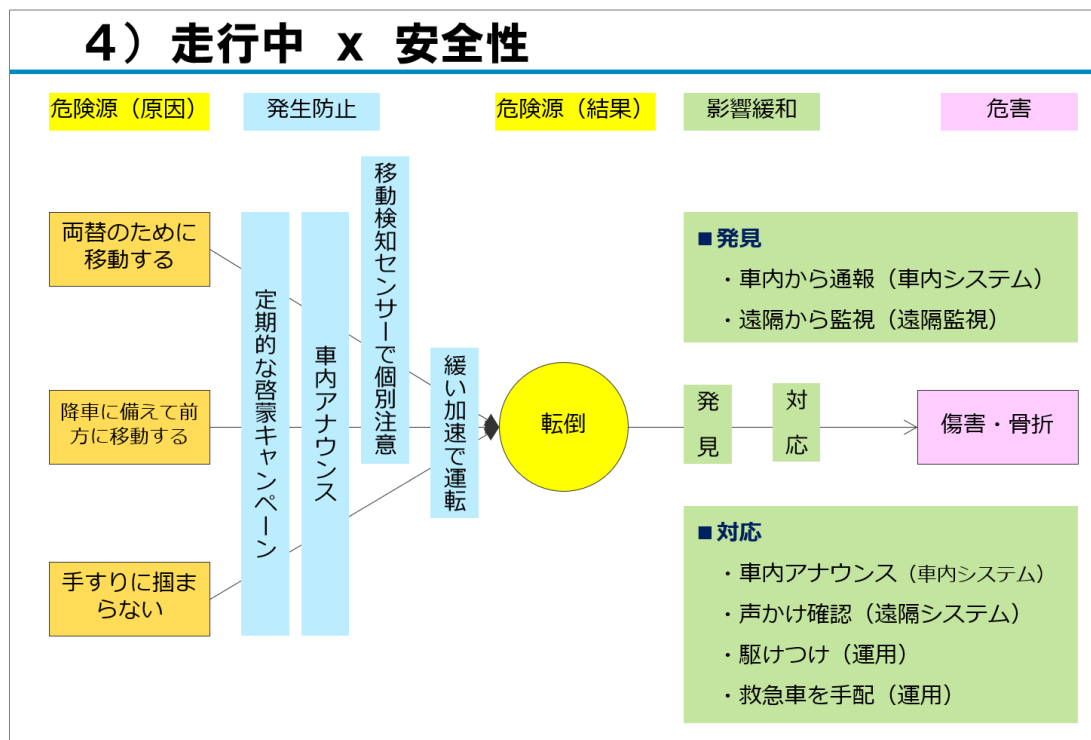


図 4.1-4 走行中 x 安全性

(E) 走行中 x 車内トラブル①

走行中に車内トラブルにより車内秩序が混乱するリスクがあり得る。具体的には、車内で喧嘩が起きたり、痴漢が発生したり、泥酔者が乗車したりする危険性を把握した。

発生防止のための本質的な対策は難しく、補助対策としてのポスターの掲示など、定期的な啓蒙キャンペーンを行うことも検討した。

車内秩序が混乱した際の影響緩和策としては、乗客が通報するシステムや、遠隔から監視して車内トラブルを発見するシステムが考えられる。また、対応のために駆けつけるまでの間、車内システムのアナウンス機能を利用して、遠隔から声かけすることで対応することを検討した。

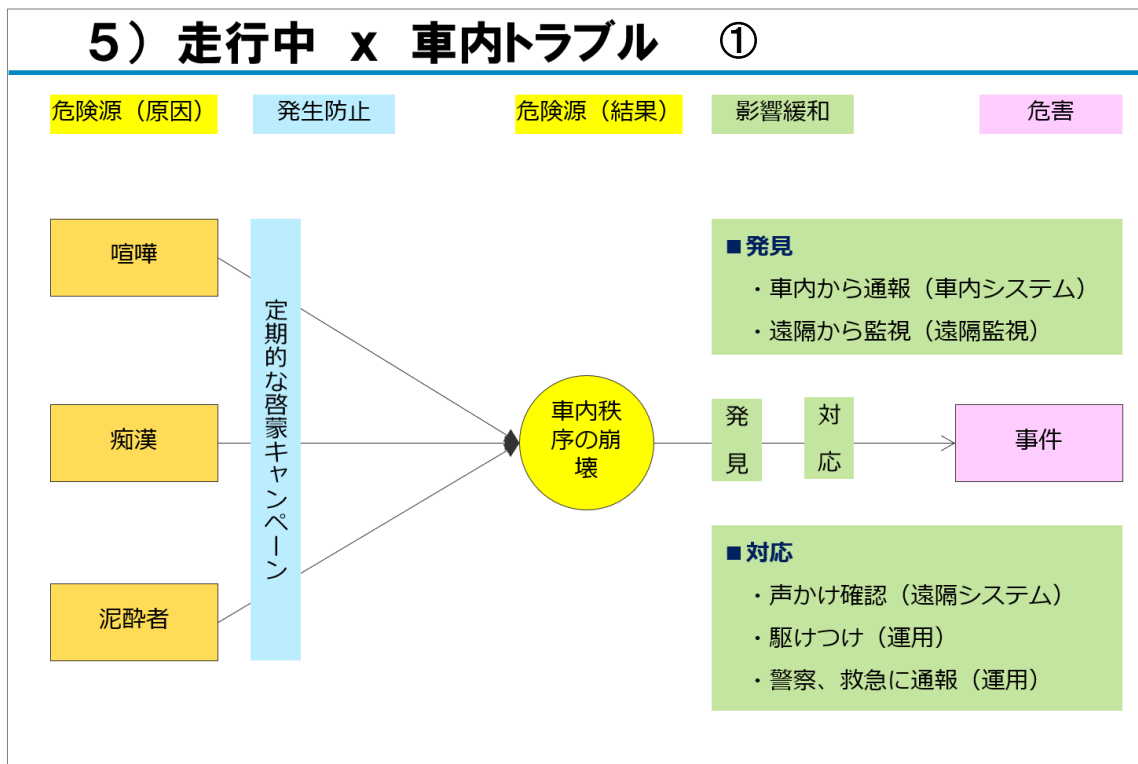


図 4.1-5 走行中 x 車内トラブル①

(F) 走行中 x 車内トラブル②

走行中に乗客が体調不良や怪我により動けなくなるリスクがあり得る。

発生防止のための本質的な対策は難しく、補助対策としてのポスターの掲示など、定期的な啓蒙キャンペーンを行うことも検討した。

影響緩和策としては、乗客が通報するシステムや、遠隔から監視して補助や手当が必要なものを発見するシステムが考えられる。また、対応のために駆けつけるまでの間、車内システムのアナウンス機能を利用して、遠隔から声かけすることで対応することを検討した。

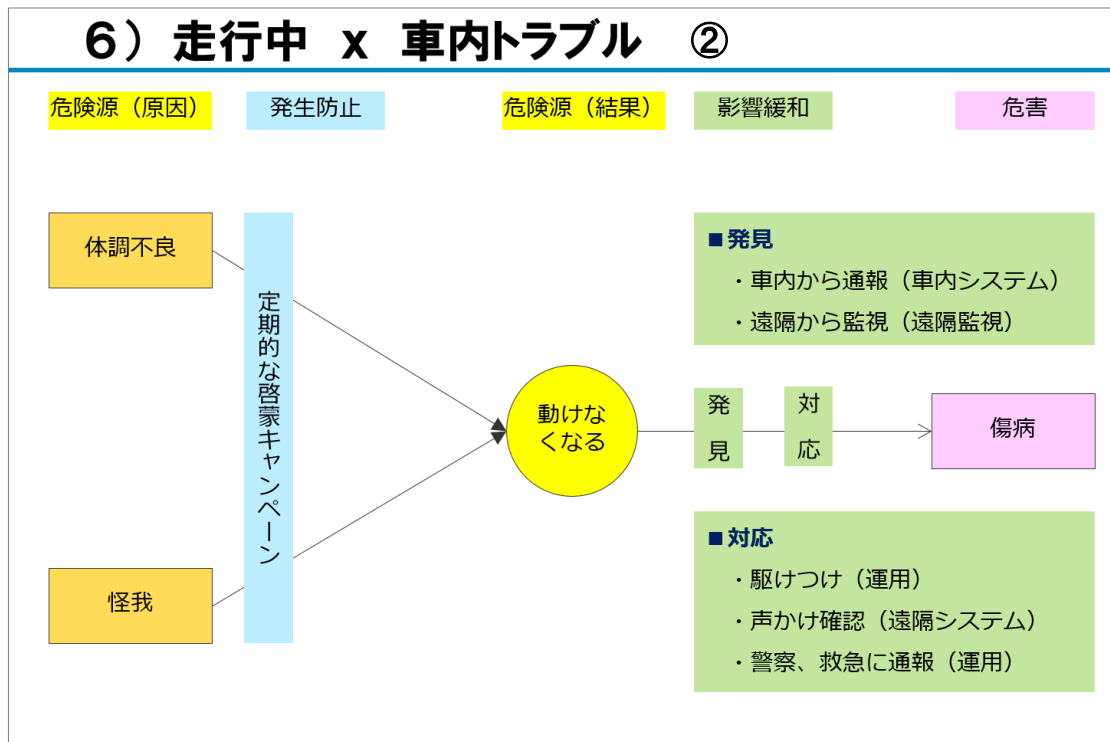


図 4.1-6 走行中 x 車内トラブル②

(G) 走行中 x 車両事故

走行中に車両事故が発生して、乗客が転倒するリスクがあり得る。

発生防止のための本質的な対策は難しく、補助対策として、車外 HMI により周囲の車両への注意喚起を検討した。

転倒が発生した際の影響緩和策としては、ほかの乗客がその状況を通報するシステムや、遠隔から監視して転倒者を発見するシステムが考えられる。また、転倒者の手当に駆けつけるまでの間、車内システムのアナウンス機能を利用して、遠隔から声かけすることで対応することを検討した。

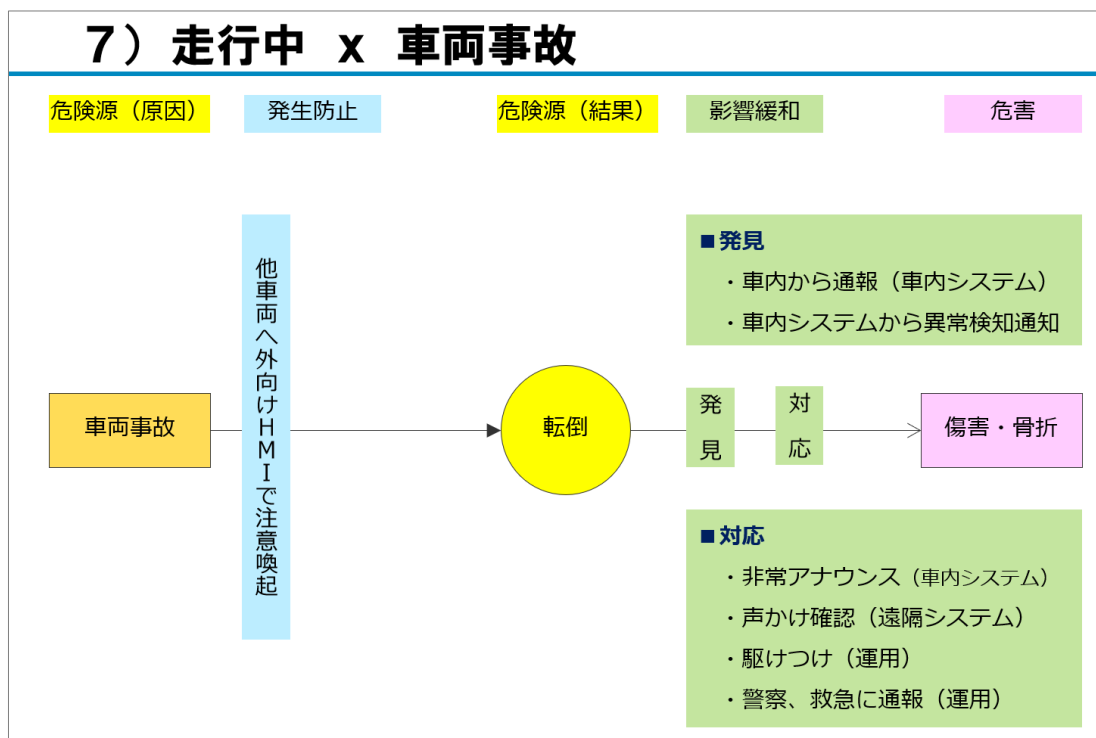


図 4.1-7 走行中 x 車両事故

(H) 走行中 x 火災

走行中に車内火災が発生し火傷するリスクがあり得る。

発生防止のための本質的な対策は難しく、補助対策として、火災防止のポスターの掲示など、定期的な啓蒙キャンペーンを行うことも検討した。

火災が発生した際の影響緩和策としては、乗客が通報するシステムや、車内環境の異常を検知するシステムが考えられる。また、車内システムのアナウンス機能を利用して遠隔から声かけしたり、ドアのロックを開放したりする機能を検討した。

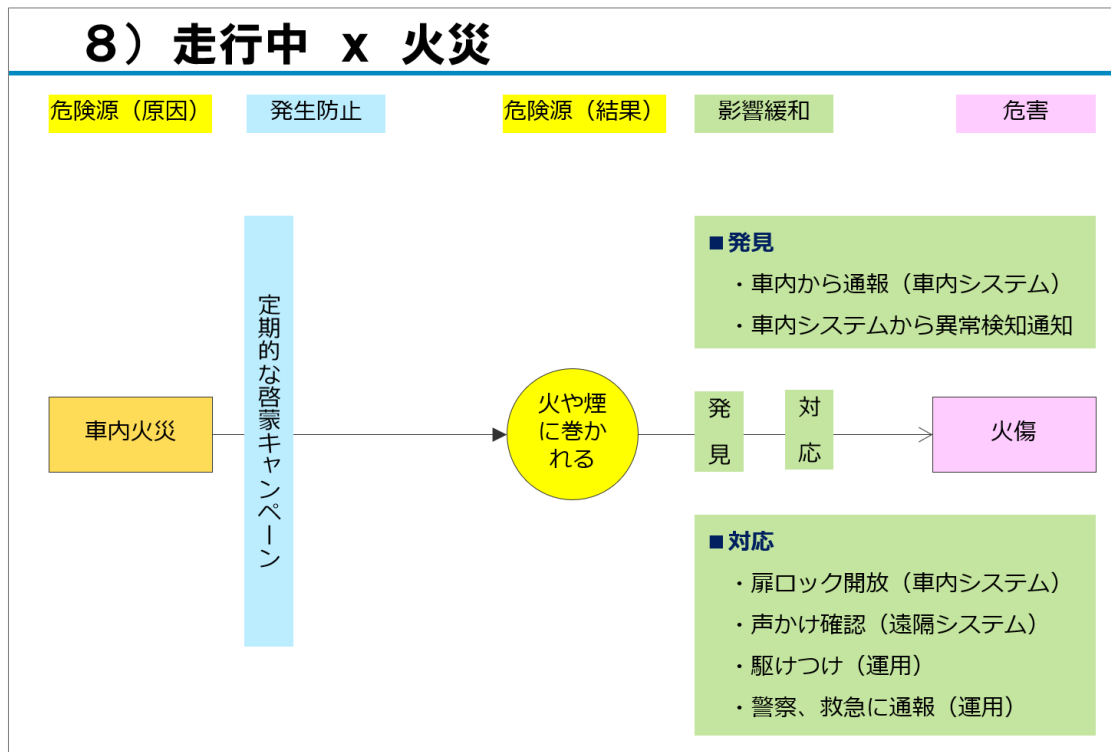


図 4.1-8 走行中 x 火災

(I) 走行中 x 事件

稀なケースではあるが、走行中にバスジャックなどの事件が発生するリスクがある。発生防止のための対策は難しい。

乗客を危険から守る影響緩和策としては、乗客が通報するシステムや、遠隔から監視するシステムが考えられる。また、車内システムのアナウンス機能を利用することを検討した。

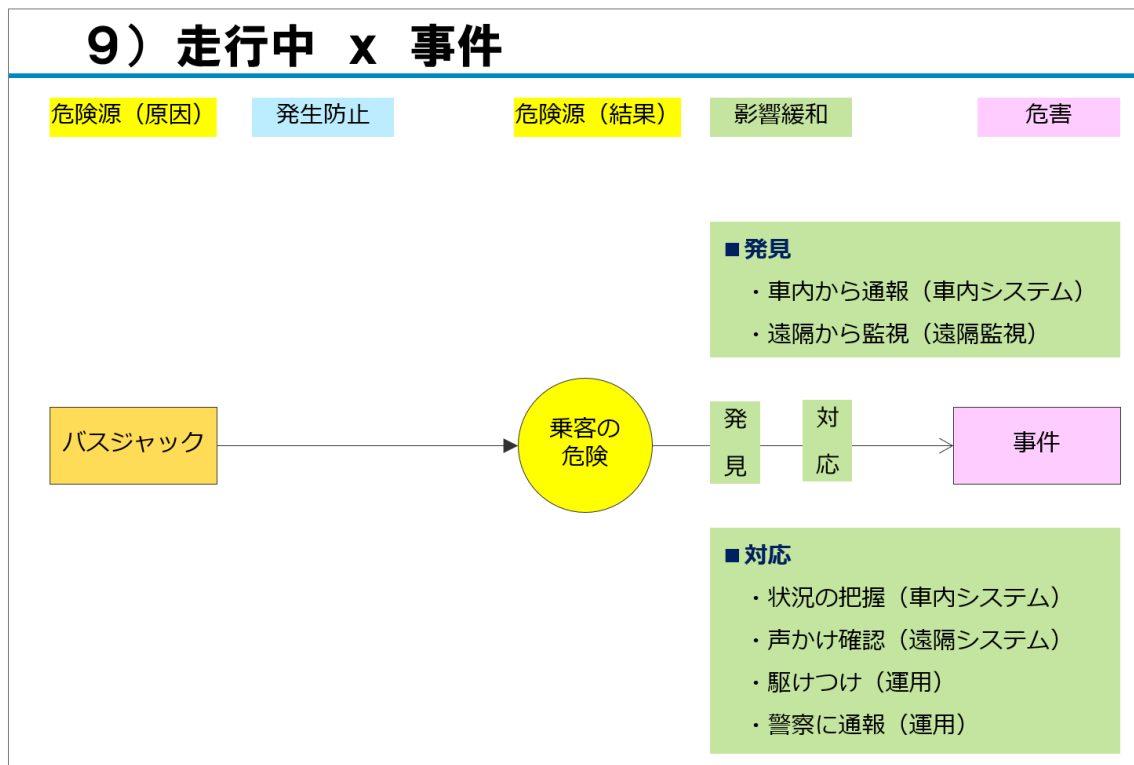


図 4.1-9 走行中 x 事件

(3) 次年度の実装に向けての対応

本年度での検討をもとに、通常時に緊急事象が発生する状況を具体化し、故障・事故・急病人等の事例と対応方針を検討して、自動化での遠隔監視対応の容易性・重要性の検討すべき多くの事例や対応調査を行った。

これらの調査をもとにレベル 4 無人前提での乗務員確認のためのシステム要求及び遠隔監視システムへの要求を整理・共有するとともに、将来に向けて、事業性と実用に耐えうるシステム構築のために、遠隔監視シーケンス案、全体システム構成案、システムにおける必要機能の検討を行った。

次年度では、ベンダーを巻き込み、システム化や実用化を見据えた（実用に耐えうる）システムの構築に向けた検討や事業性の考え方を元にしたシステム構成、遠隔監視者との負担感についても検討する。

4.2. ひたち BRT を想定した車外 HMI の受容性と行動変化の効果評価

4.2.1. 車外 HMI の取組み

ひたち BRT 専用道と一般道との交差点では、一般車などの通行に加え、横断歩道や緑の横断指導線では歩行者の横断などもあり、従来のバス運転者は身振り手振りで優先通行権の行使や譲りを行っている。従って、無人化に向けて安全で円滑な走行を実現するために自動運転バスとほかの交通参加者の間にコミュニケーションが不可欠であると考ええる。テーマ 2 では、車外 HMI による自動運転バスの行動意思表示により生じる可能性のある譲り合いによる停滞や認識間違いによるリスク等の低減を目的として、効果検証のためのデータ収集を実施した。

(1) 表示期間

- ・ 10 月実証：動作確認及び発出タイミングの確認 (10/12)
- ・ 12 月実証：車外 HMI の有無による影響を検証するためのデータ収集 (12/11～12/22)
- ・ 2 月実証：車外 HMI の有無による影響を検証するためのデータ収集 (2/21～3/1)

※ 12 月、2 月実証におけるそれぞれ後半期間に実施

(2) 表示場面

自動運転バスの発進前後のうち、特に必要と考える場面とした。

- ・ 公道交差点における自動運転バスの一時停止後の発進行動を車外に表示
- ・ 緑横断帯における自動運転バスの横断者検知による停止後の発進行動を車外に表示
(バス停における自動運転バスの発進行動を車外に表示)

(3) 表示場所

自動運転区間における一般道との交差部

- ・ 信号なし一般道交差部 8 ヶ所
(市営磯坪団地南においては、12/18 に信号設置後は実施なし)
- ・ 信号あり交差点 1 ヶ所

NO.	交差点仮称	対象	車外HMI 実施	信号	バナー
1	BRT南部図書館側出入口	交差点			有
2	南部図書館バス停北	交差点			有
3	日立商業下バス停南	交差点		有	有
4	日立商業高校バス停南	歩道			
5	日立商業高校バス停構内	歩道			
6	どうのいり公園バス停構内	歩道			
7	吹上橋バス停構内	歩道			
8	臨海工場西バス停構内	歩道			
9	常盤線第一細田踏切西	歩道			
10	泉が森バス停構内	歩道			
11	ことうさく幼児公園西	歩道			
12	水木	車道	○	有	有
13	寺方BRTバス停南	車道	○		有
14	寺方BRTバス停構内	歩道			
15	大沼団地バス停用歩道	歩道			
16	大沼団地バス停北 信号	歩道			
17	大沼小南	車道	○		有
18	大沼小東バス停構内	歩道			
19	大沼小北	車道	○		有
20	大沼BRTバス停南	車道	○		有
21	大沼BRTバス停構内	歩道			有
22	大沼BRTバス停北	車道	○		有
23	市営磯坪団地南	車道	○(※)	(※)	有
24	磯坪バス停構内	歩道			
25	金沢川北	車道	○		有
26	交流センター南	車道	○		有
27	河原子BRTバス停構内	歩道			
28	BRT河原子側出入口	車道			



※12/18 6便より信号設置(設置後は車外HMIの表示なし)

図 4.2-1 車外 HMI の表示場所

4.3. ひたち BRT 走路での譲り合い等に対応した車外 HMI の提案と評価

4.3.1. 車外 HMI の構築

(1) 車外 HMI に採用した LED 掲示板及び設置位置

表示内容の情報が見やすく、情報が速やかに認識しやすい文字や色彩の検討をした。また、交通の妨げや混乱のもととなる連続的な点滅等を行わないこととした。

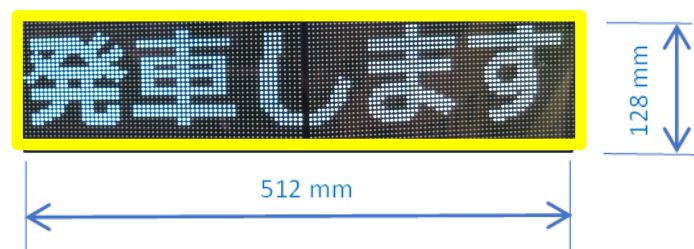


図 4.3-1 車外 HMI 掲示板の寸法

●表示文字

- ・文字 : “発車します”という文字
- ・文字色 : 白
- ・背景色 : 黒
- ・視認性向上化 : 掲示板の外枠に、マーキング(黄色)枠を施工

●発光方法

- ・連続的な点滅等によりほかの交通の妨げや混乱を引き起こさないこと
- ・表示タイミングは自動運転バスの想定する場面での発進時のみ点灯

●車外 HMI 掲示板の設置位置及び寸法

車外 HMI が運転者の注意を逸らさず、視界の妨げにならない位置であり、交通参加者から認識しやすい設置位置の検討をした。

- ・設置位置 : 車内フロントガラス下隅の左右(下縁 約 150cm 以内) ※[1]
- ・掲示寸法 : 縦 128mm × 横 512mm × 2 枚(左右)



図 4.3-2 車外 HMI 掲示板の設置位置及び寸法

●光度

灯火基準が保安基準に沿った光度であることの確認

- ・“発車します”の光度 : 109 [cd] ※光度 300cd 以下 ※[2]
- ・表示パネルのドット数 : 32[dot]×128[dot]
- ・表示パネルのサイズ : 128[m]×512[m]
- ・「発車します」の点灯ドット数 : 1137[dot]

- ・ LED パネルの定格輝度：6000[cd/m²]

◆ 1 m²あたりのパネルのドット数

$$= \frac{\text{表示パネルのドット数}}{\text{表示パネルのサイズ}}$$

$$= \frac{32 [\text{dot}] \times 128 [\text{dot}]}{128 [\text{mm}] \times 512 [\text{mm}]} = \mathbf{62500} [\text{dot}] \quad \textcircled{1}$$

◆ 「発車します」の点灯ドット数 = **1137** [dot] ②

◆ 表示(「発車します」)の光度

$$= \text{定格輝度} [\text{cd/m}^2] \times \frac{\textcircled{2} (\text{点灯ドット数})}{\textcircled{1} (1 \text{ m}^2 \text{あたりのパネルのドット数})}$$

$$= 6000 [\text{cd/m}^2] \times \frac{1137 [\text{dot}]}{62500 [\text{dot}]} \quad \textcircled{2} \quad \textcircled{1}$$

$$\approx \mathbf{109} [\text{cd}]$$

(2) システム構成

車内システム(先進モビリティ PC)から車外 HMI 発出信号を受信し LED 掲示板による車外の点灯・消灯を行う。

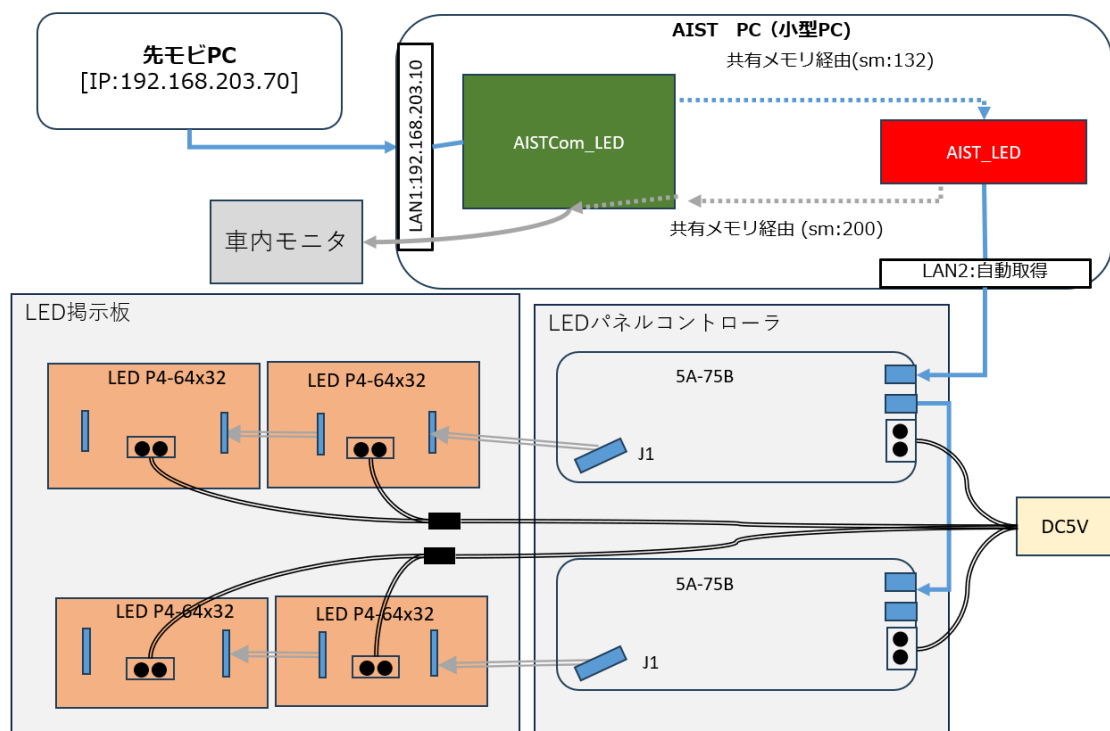


図 4.3-3 システム構成

(3) 構成品の配置

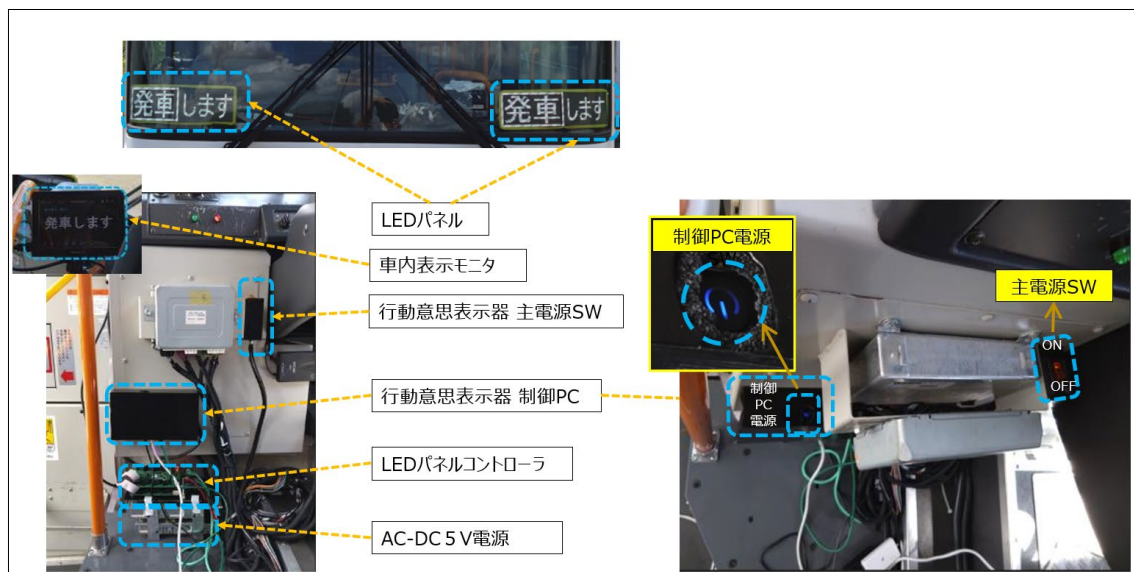


図 4.3-4 構成品の配置

(4) 車外 HMI の表示

1) 車内表示モニタ

車外に表示している LED 掲示板の内容を車内モニタに表示し、レベル 2 での自動運転バスでの運転者から車外 HMI の表示内容を運転席から確認可能な対応を行った。



図 4.3-5 車内表示モニタ

2) 車外表示

正面及び左右斜め前から車外 HMI の表示内容を確認可能



図 4.3-6 車外からの表示状況

3) 運転席からの車外 HMI のミラーでの見え方

運転者から車外 HMI の表示状態を運転席からミラーで確認できることを確認した。

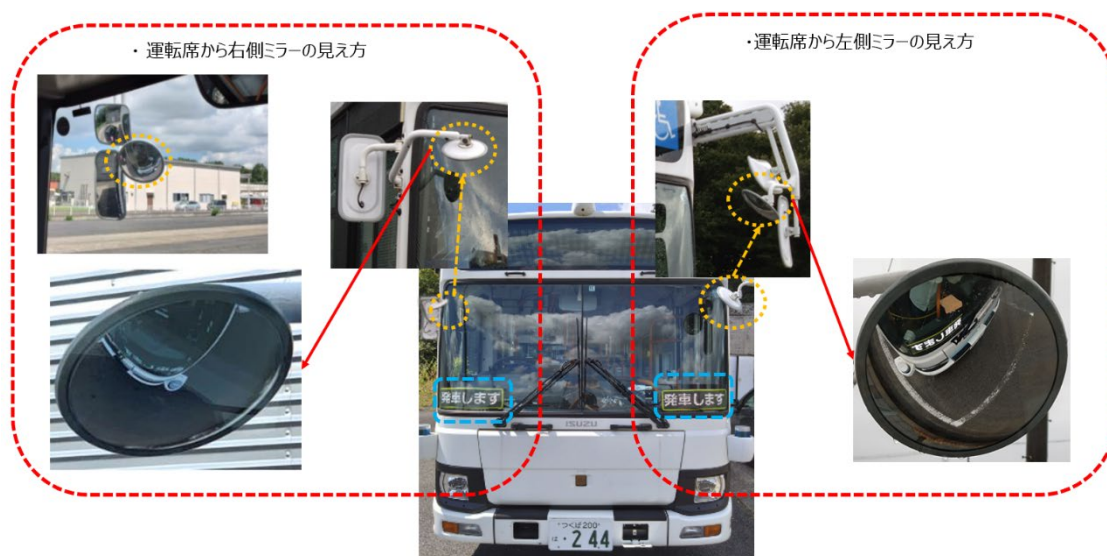


図 4.3-7 運転席からの車外 HMI のミラーでの見え方

(5) ひたち BRT 実証時の車外 HMI

・車外 HMI 表示前



図 4.3-8 車外 HMI 表示前

・車外 HMI 表示中



図 4.3-9 車外 HMI 表示中

4.3.2. 車外 HMI の表示タイミング

- ・ 停止状態であることは表示しない。
- ・ 自動運転バスのセンサ情報等による発進判断後、交差点を通過するまでの数メートルまで発進状態であることを表示させる。ただし、9 月実証を経て発進後にセンサ感知等にて交差点で自動運転バスが停止した際も車外 HMI が表示されていることにより、ほかの交通参加者を困惑する場面があったため、12 月実証から交差点で停止した際は車外 HMI も停止するタイミングに修正した。

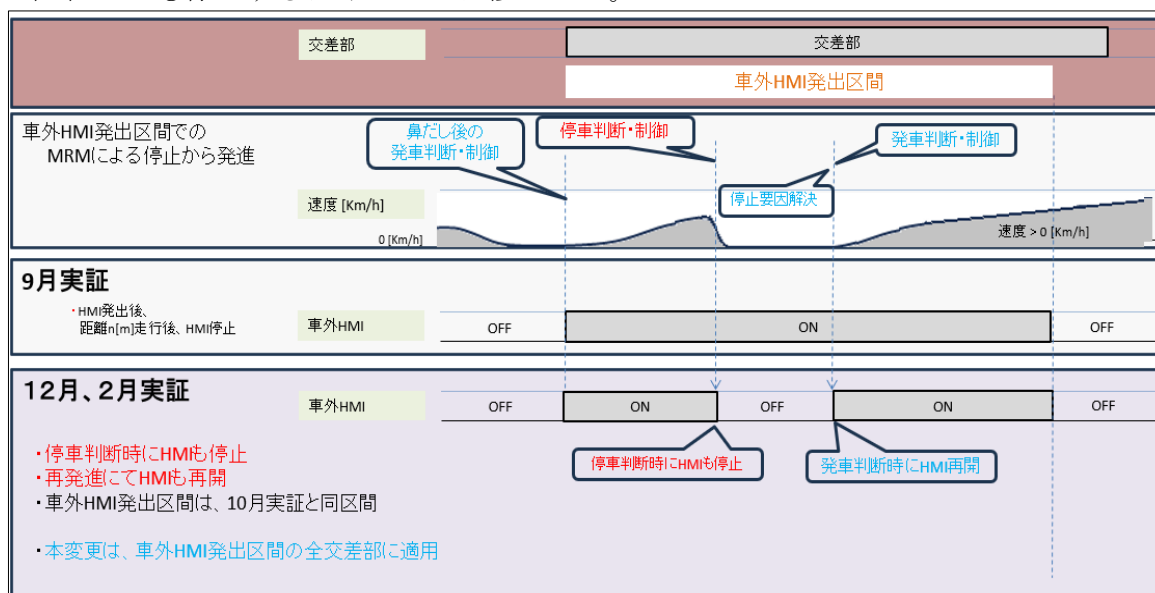


図 4.3-10 車外 HMI の表示タイミング

4.3.3. 基準緩和への対応

車外 HMI の実証実験を行うにあたり、使用する LED 掲示板の点灯/消灯による光度が増減する灯火や車が動作を行うとする旨をほかの交通に対し指示する表示灯となるため、基準緩和認定申請を行った。

(1) 対象となる条項

- ・細目告示第 140 条 6 項 ※[4]
- ・細目告示第 218 条 6 項 ※[5]
- ・細目告示第 140 条 7 項 ※[6]
- ・細目告示第 218 条 7 項 ※[7]

(2) 基準緩和の必要性

交差点等において出合った自動車等と譲り合いになった際に、手動運転では運転者がアイコンタクト・手振り等で自車が先に動くか相手車を先に行かせるかを確認し合っている。自動運転では手振り等の代替手段として、フロントガラス横下位置に表示パネルを追加設置して「発車します」の表示により自車の行動を知らせることで、より円滑な交通を促す。

- 細目告示第 140 条 6 項、細目告示第 218 条 6 項 ※[4] ※[5]

光度が増減する灯火(表示「発車します」/消灯)のため、基準緩和認定が必要

- 細目告示第 140 条 7 項、細目告示第 218 条 7 項 ※[6] ※[7]

発進動作を行うとする旨を他の交通に対し指示することを目的のため、基準緩和認定が必要

認定により適用を除外する保安基準の条項	認定により適用を除外する保安基準の内容
細目告示第 140 条 6 項	自動車には、次に掲げる灯火を除き、点滅する灯火または光度が増減する灯火を備えてはならない。
細目告示第 218 条 6 項	自動車には、次に掲げる灯火を除き、点滅する灯火又は光度が増減する灯火を備えてはならない。
細目告示第 140 条 7 項	自動車には、次に掲げる灯火と連動して作動する灯火を備えてはならない。
細目告示第 218 条 7 項	自動車には進路の変更、加速、減速、停止その他の動作を行うとする旨を他の交通に対し指示することを目的としたものを備えてはならない。

図 4.3-11 認定により適用を除外する保安基準の条項内容

(3) 安全対策

■ 条項に対しての安全対策

- 細目告示第 140 条 6 項、細目告示第 218 条 6 項 ※[4] ※[5]

運転席から対象灯火の常時確認が可能であり、車外用 HMI の機能が正常でない場合においては、速やかに電源の OFF が可能。また、必要に応じて、車両の停止を行う。

なお、当該車外用 HMI は、交差点等における一時停止後の発進を決めた時か

ら数秒後まで表示するものであり、連続的な点滅を行うものではないため、他の交通の妨げ及び幻惑する恐れが少ない。

➤ 細目告示第 140 条 7 項、細目告示第 218 条 7 項 ※[6] ※[7]

運転席から対象灯火の常時確認が可能であり、車外用 HMI の機能が正常でない場合においては、速やかに電源の OFF が可能。また、必要に応じて、車両の停止を行う。

なお、当該車外 HMI の表示内容が車両の発進動作と相違なく、他の交通の妨げ及び幻惑する恐れが少ない。

■ 車外 HMI の詳細

① HMI の構造（電球の数、電源供給、構成など）：

LED パネルを使用（32×128 灯の LED を用いて点画イメージで文字を発光、電源供給はバス内 100V コンセントから AC-DC 電源にて DC5V を供給）

②光度（カンデラ）：

109 cd 以下（フィルタ等で調整可）

③表示する文字：

「発車します」という文字

④表示する文字の色：

白色

⑤表示方法：

- ・ 交差点で一時停止後に、交差点を安全に通過できるかを自動運転バスが安全に発進できると判断した際に、車外 HMI（LED パネル）に「発車します」と表示。
- ・ 表示後約 2 秒後に自動運転バスが発進。
（状況変化によりバスが危険検知をした際は、車両停止とともに表示も消去する）

- ・ 交差点通過後の車外 HMI の文字消去は、GPS の位置情報や一定速度に達することにて判断。
- ・ ただし、本実験はレベル 2 での実験のため、車外 HMI に関わらず、運転者の判断でオーバーライドするその際は、LED パネルは消灯。

⑥安全対策：

- ・ 運転席手前に車外 HMI の表示内容をミラーで確認可能。
- ・ 車外 HMI の機能が正常でない場合においては、運転者が速やかに車外 HMI の電源を切ることで、運用停止・復旧、必要に応じて車両を停車する。

4.3.4. 車外 HMI の効果検証

(1) 評価方法

自動運転の実証実験期間内で、車外 HMI なしと車外 HMI ありの期間でのドライブデータ映像を以下の観点で比較した。

- ・前方の録画：お見合い発生する回数が減ったのか？
- ・乗務員の録画：手振り身振りの回数が減ったのか？
- ・車外 HMI 提示時、コンソーシアムメンバーによる外部からの観察と効果評価

1) データ抽出・分類

交通参加者ありのシーンから”譲り合いなし”、”交通参加者から譲る”、”バスから譲る”の3分類で集計を行った。

なお、譲り合いの条件及びデータ収集の条件や交差点の詳細を下記に示す。

(A) 譲り合い 合致条件

- ・交差点に進入したが、渡りきる前に止まった場合
(歩行者、一時停止なし箇所での自動車)
- ・停止線から先に進んでいる自動車がいたが、渡りきる前に停止した場合
(一時停止あり)
- ・一時停止など優先順位の関係でこちらが通過するまでずっと止まっている自動車
→右折する際に後続車が渋滞しても待機している自動車がいる (寺方・大沼小南)
→状況的にこちらが動かないと永遠と渋滞し兼ねない状況(寺方・大沼小南)

(B) 譲り合い 不一致条件

- ・対象となる歩行者、自動車がいない
- ・歩行者、自動車はいたが、進路上で交錯することはなかった。
- ・歩行者、自動車がおり、交錯したが止まることなくそのまま通過した
→要因：標識無視・状況が硬直する(お互い一旦止まる)前に交差点通過

(C) データ収集の概要

- ・車外 HMI なし：12/04 ～ 12/11 4 便 計 39 便
342 交差映像 (1 便 9 ヶ所、欠損を除く)
交通参加者ありは 53 回 (15.5%)
- ・車外 HMI あり：12/11 5 便 ～ 12/22 計 66 便
596 交差映像 (1 便 9 ヶ所、欠損を除く)
交通参加者あり 133 回 (22.3%)

(2) 集計結果

表 4.3-1 集計結果（車外 HMI なし）

eHMIなし				
	譲り合いなし	交通参加者から譲る	バスから譲る	合計
交流センター南	1	2	0	3
金沢川	0	4	0	4
市営磯坪団地南	3	5	1	9
大沼BRTバス停北	0	3	1	4
大沼BRTバス停南	0	3	0	3
大沼小北	0	7	0	7
大沼小南	0	6	4	10
寺方BRTバス停南	1	11	1	13
水木	0	0	0	0
合計	5	41	7	53

表 4.3-2 集計結果（車外 HMI あり）

eHMIあり				
	譲り合いなし	交通参加者から譲る	バスから譲る	合計
交流センター南	5	3	1	9
金沢川	1	4	0	5
市営磯坪団地南	12	4	4	20
大沼BRTバス停北	1	5	1	7
大沼BRTバス停南	1	4	0	5
大沼小北	1	25	1	27
大沼小南	5	14	12	31
寺方BRTバス停南	2	20	3	25
水木	1	0	3	4
合計	29	79	25	133

(A) 交差点の詳細

各交差点の詳細を下図に示す。

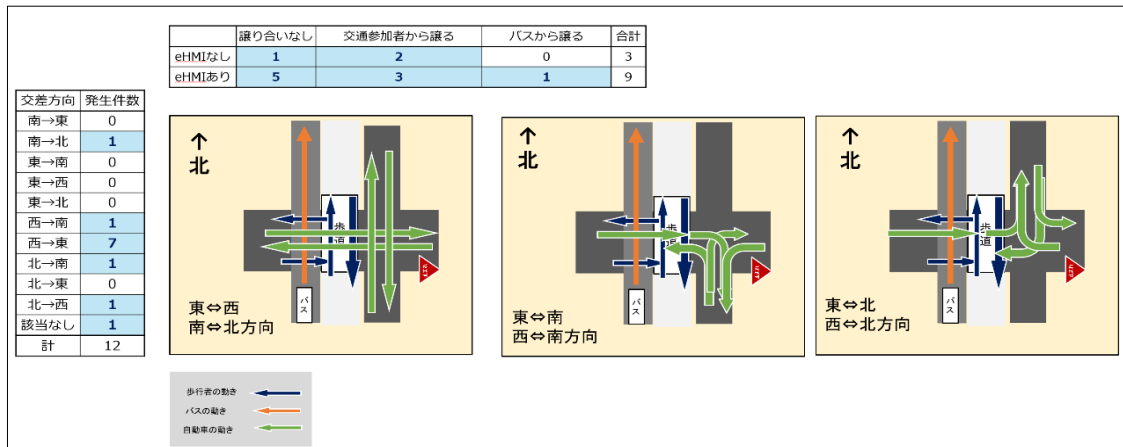


図 4.3-12 集計結果（交流センター南）

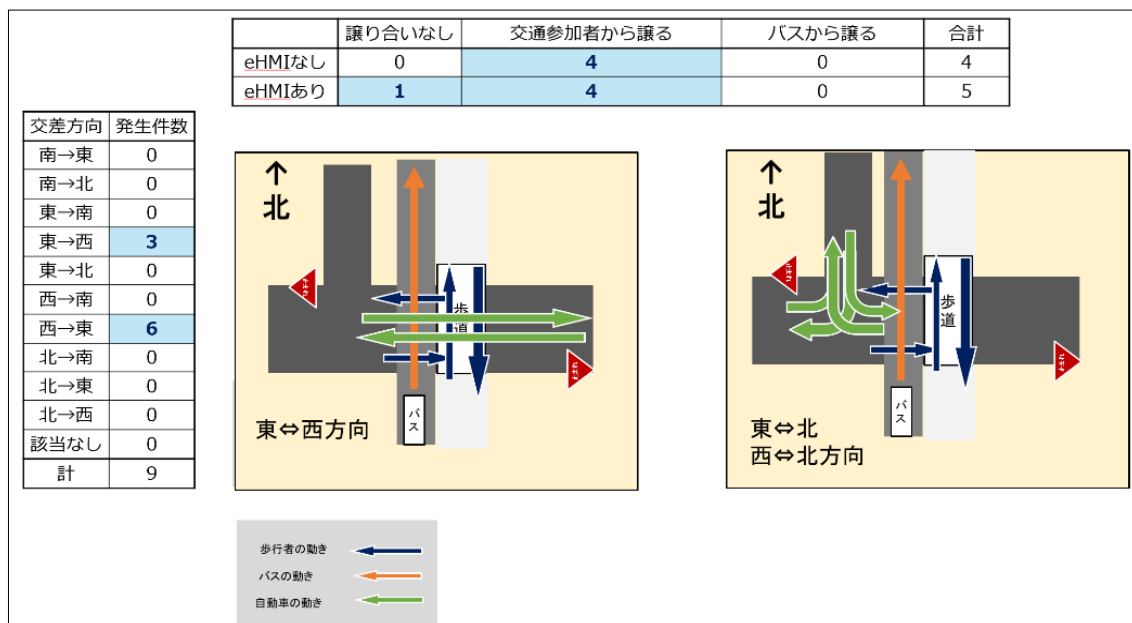


図 4.3-13 集計結果（金沢川）

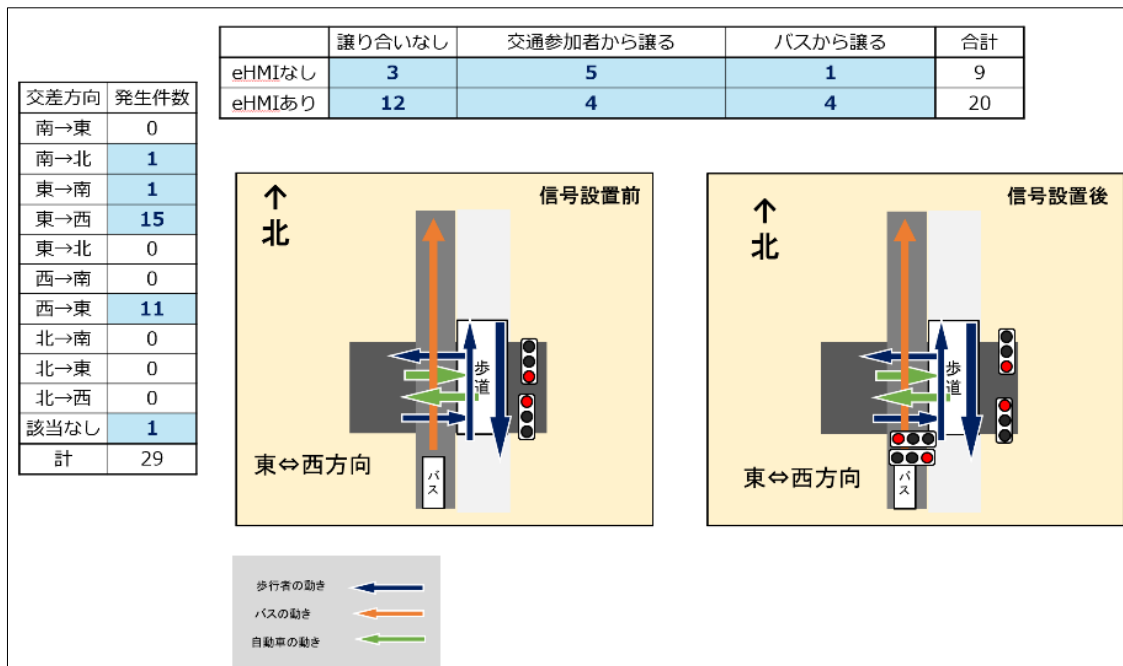


図 4.3-14 集計結果（市営磯坪団地南）

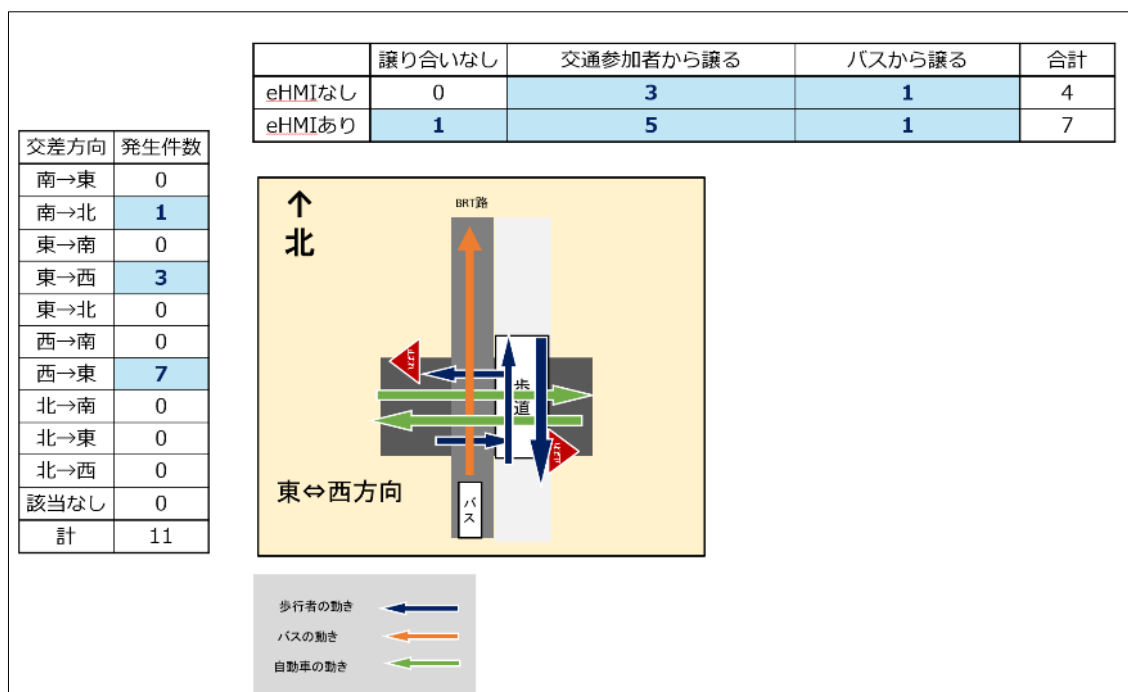


図 4.3-15 集計結果（大沼 BRT バス停北）

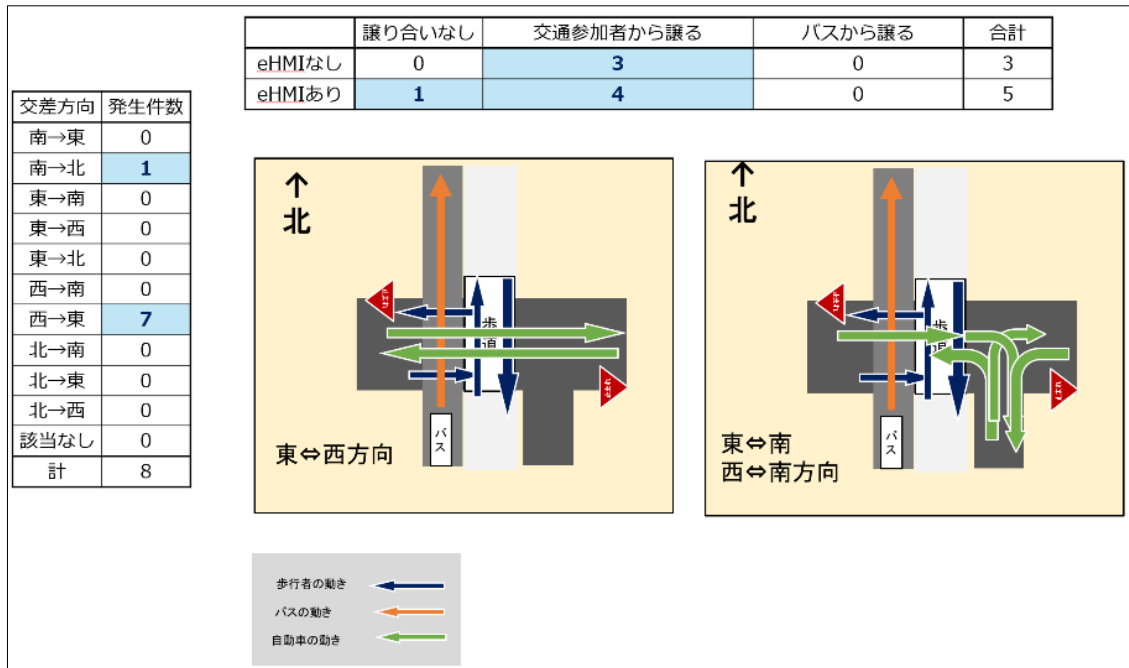


図 4.3-16 集計結果（大沼 BRT バス停南）

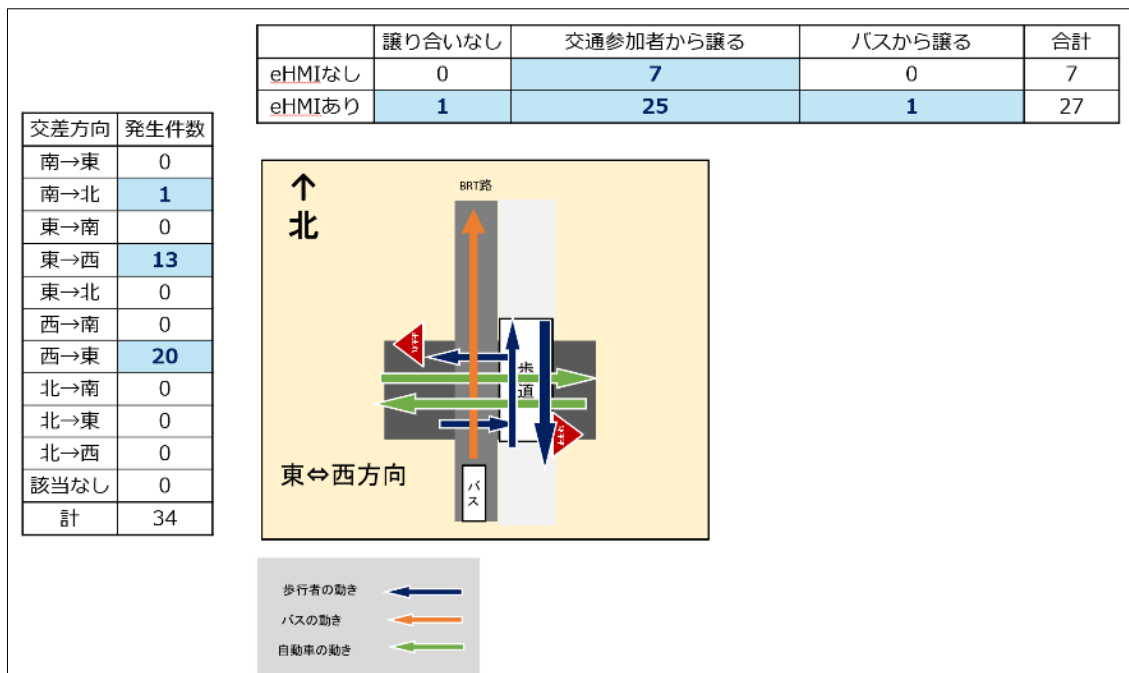


図 4.3-17 集計結果（大沼小北）

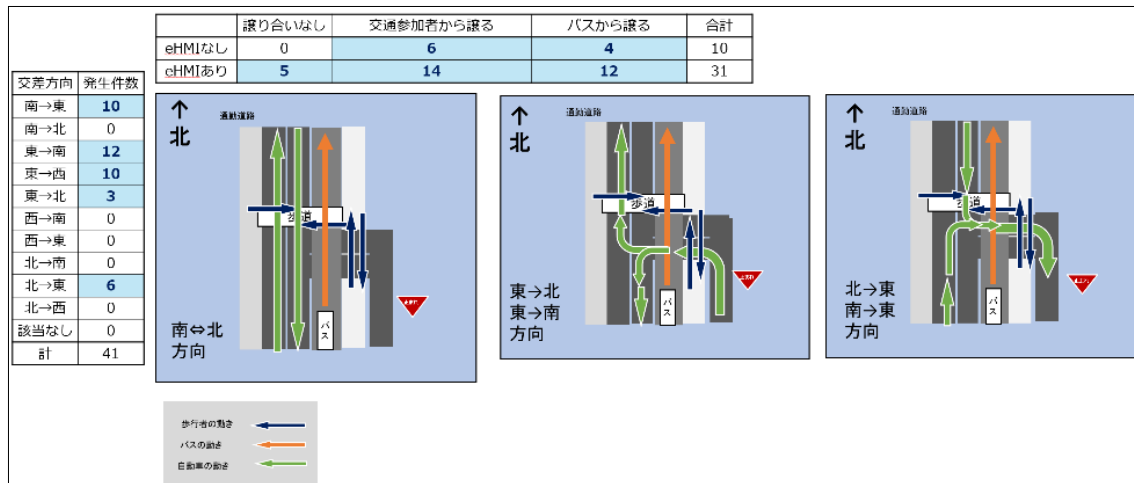


図 4.3-18 集計結果（大沼小南）

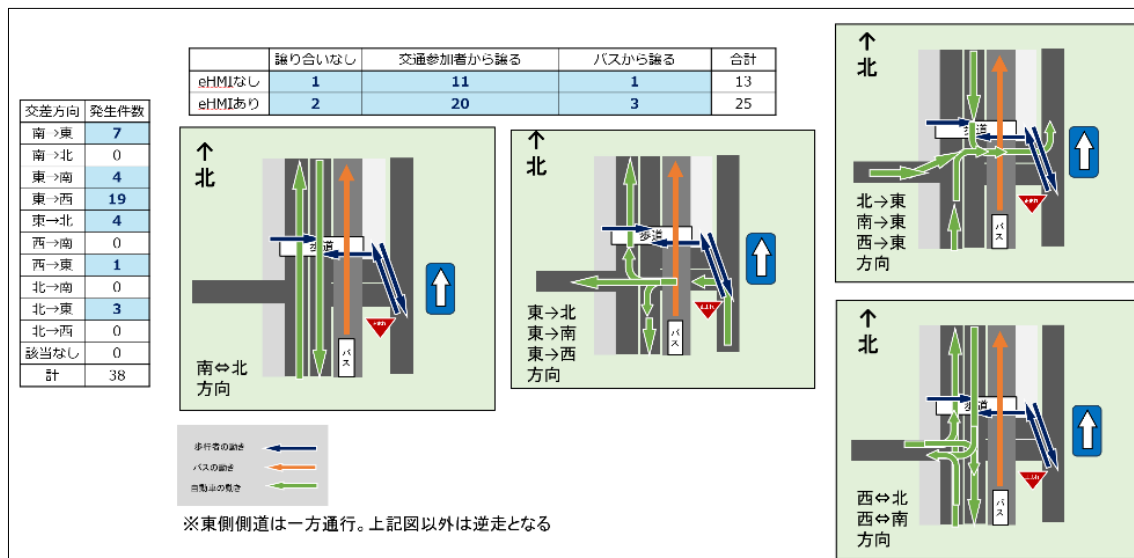


図 4.3-19 集計結果（寺方 BRT バス停南）

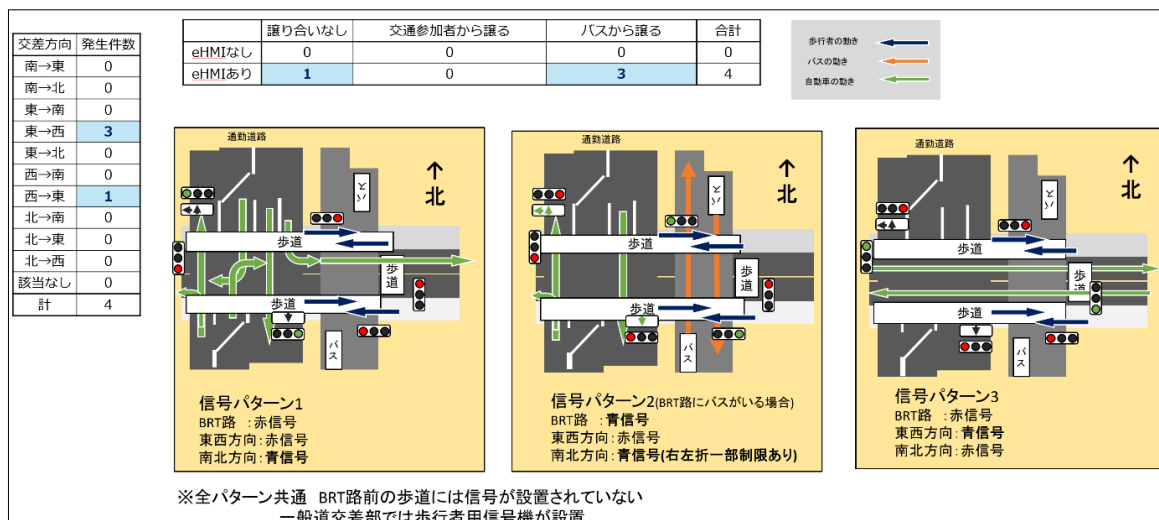


図 4.3-20 集計結果（水木交差点）

(3) 結果及び考察

交差方向と譲り合いのデータを整理集計し、車外 HMI が有効と考えられる事例データを収集したが、有効性を統計的に証明できるデータを得ることができなかった。その要因として以下の事項が考えられる。

- ・発出するタイミングが遅いため、交通参加者がバスの動きで判断したのか、又は車外 HMI で判断したかは不明である。
- ・交差点の構造を配慮した視認性は課題である。
- ・そもそも全員に視認されるのは不可能である。

以上のことから、車外 HMI の最適化及び有効性や社会受容性の評価は、実験室で行う方がより効率的であると考えられる。

4.3.5. VR 環境を用いた車外 HMI の検証

前述の電光掲示板型車外 HMI を開発していく上で、現実でデータ収集を行うには運行頻度や交通量の問題から、十分なサンプル数が確保できるか不安があった。そのため実機の開発、検証と並行して、仮想環境(VR 環境)を用いた開発、評価方法の模索も並行して行った。

この節では、現実のバス路線を再現した VR 環境において自動運転バスと遭遇するイベント、交差点環境のみを現実から抽出した上でそれ以外はそれらしい架空の町である VR 環境と遭遇イベント、について説明する。

(1) 現実を再現した VR 環境

まず、現実のバス路線を再現した VR 環境における遭遇イベントについて説明する。図 4.3-21 は図 4.2-1 内 22 番の交差点である。図 4.3-22 はひたち BRT バス路線をモデルとして作成された VR 環境内に存在する図 4.3-21 をモデルにした交差点である。この VR 環境内の交差点において、ヘッドマウントディスプレイ(HMD)を装着した被験者が乗用車を運転して交差点に進入し、自動運転バスと遭遇する体験ができるイベントを作成した。(図 4.3-23) この遭遇イベントの体験では、車外 HMI の有無や大きさ、取り付け位置などを操作可能であり、その違いを乗用車運転者の視点から観察することができる。(図 4.3-24、図 4.3-25) この遭遇イベントの体験結果を利用して、車外 HMI の有無や大きさ、文字表示の色などによって乗用車から認識しやすい車外 HMI の形式を検討した。



図 4.3-21 大沼バス停北交差点



図 4.3-22 VR 環境内の交差点



図 4.3-23 バスと乗用車の遭遇イベント



図 4.3-24 HMI 無し



図 4.3-25 HMI 有り

(2) 車外 HMI を評価するための VR 環境

次に、車外 HMI を評価するために、ひたち BRT 内の一般道との交差点環境のみを再現し、それ以外はそれらしい風景を再現した架空の町の VR 環境を作成した。図 4.3-26 は、作成した VR 環境を俯瞰視点で撮影したものである。HMD を装着した被験者は前述の VR 環境と同様に図 4.3-26 中の赤線部分を運転する体験ができる。合計で 10 分程度の運転をしながら、被験者は赤丸の箇所にあるバス専用道との交差点で自動運転バスと遭遇するイベントを体験する。(図 4.3-27、図 4.3-28)



図 4.3-26 架空の町の VR 環境の俯瞰図



図 4.3-27 VR 環境内で運転している様子



図 4.3-28 自動運転バスとの遭遇イベント

この遭遇イベントの体験を利用して、被験者が自然な運転体験の中で自動運転バスと遭遇した際に車外 HMI の効果や影響がどれだけみられるかの検証を行った。具体的には、表示内容や点滅等の装飾効果、バスの動きとのタイミング等の心理的な評価や、加減速とステアリングの入力値から客観的な評価を得ることを検討している。また、より自然な運転体験を得るためにこの VR 環境内では対向車の出現や標識などによる指示が各所に設置されている。(図 4.3-29、図 4.3-30)

当初、作成した VR 環境を用いて被験者実験を行い車外 HMI の効果検証を行う予定であったが、今年度は被験者実験の申請通過が間に合わないと思われたため、動作確認及び研究チーム内での小規模な予備実験にとどまった。



図 4.3-29 仮想空間内の対向車



図 4.3-30 仮想空間内の標識

●保安基準の条例

[1] 細目告示第 39 条 3 項九

大型特殊自動車及び小型特殊自動車の窓ガラスに取り付けられたワイパーモータ、扉の開閉取手（ガラス削り込みを含む。）及びガラス取り付け用金具等であって、次に掲げる要件に該当するものイ 前面ガラスにあつては、当該ガラスの上縁であつて、車両中心面と平行な面上のガラス開口部の実長の 20%以内の範囲又はガラス開口部周囲から各 100mm 以内の範囲に貼り付けられたものであること。ロ 側面ガラスにあつては、ガラス開口部周囲から各 150mm 以内の範囲に貼り付けられたものであること。

[2] 細目告示第 140 条 12 項

自動車に備える灯火は、前照灯、前部霧灯、側方照射灯、低速走行時側方照射灯、昼間走行灯、側方灯、番号灯、後部霧灯（第 6 項第 15 号又は同項第 17 号に掲げるものに限る。）、後面に備える駐車灯、制動灯、後退灯、方向指示器、補助方向指示器、非常点滅表示灯、後面衝突警告表示灯、緊急制動表示灯、速度表示装置の速度表示灯、室内照明灯、緊急自動車の警光灯、道路維持作業用自動車の灯火、自主防犯活動用自動車の青色防犯灯、火薬類又は放射性物質等を積載していることを表示するための灯火、旅客自動車運送事業用自動車の非常灯、緊急自動車及び道路維持作業用自動車に備える他の交通に作業中であることを表示するための電光表示器、運転者異常時対応システムが当該自動車を制御していることを他の交通に対して表示するための電光表示器、アンサーバック機能を有する灯火及び走行中に使用しない灯火（前面に備える駐車灯を除く。）を除き、光度が 300cd 以下のものでなければならない。

[3] 細目告示第 218 条 12 項

自動車に備える灯火は、前照灯、前部霧灯、側方照射灯、低速走行時側方照射灯、昼間走行灯、側方灯、番号灯、後部霧灯（第 6 項第 15 号から第 17 号までに掲げるものに限る。）、後面に備える駐車灯、制動灯、後退灯、方向指示器、補助方向指示器、非常点滅表示灯、緊急制動表示灯、後面衝突警告表示灯、速度表示装置の速度表示灯、室内照明灯、緊急自動車の警光灯、道路維持作業用自動車の灯火、自主防犯活動用自動車の青色防犯灯、火薬類又は放射性物質等を積載していることを表示するための灯火、旅客自動車運送事業用自動車の非常灯、緊急自動車及び道路維持作業用自動車に備える他の交通に作業中であることを表示するための電光表示器、運転者異常時対応システムが当該自動車を制御していることを他の交通に対して表示するための電光表示器、アンサーバック機能を有する灯火及び走行中に使用しない灯火（前面に備える駐車灯を除く。）を除き、光度が 300cd 以下のものでなければならない。

[4] 細目告示第 140 条 6 項

自動車には、次に掲げる灯火を除き、点滅する灯火又は光度が増減する灯火（色度が増変することにより視感度が増減する灯火を含む。）を備えてはならない。

[5] 細目告示第 218 条 6 項

自動車には、次に掲げる灯火を除き、点滅する灯火又は光度が増減する灯火（色度
が変化することにより視感度が変化する灯火を含む。）を備えてはならない。

[6] 細目告示第 140 条 7 項

自動車（緊急自動車を除く。）には、次に掲げる灯火と連動して作動する灯火（保安
基準第 32 条から第 41 条の 5 までに規定するものを除く。）及び次に掲げる灯火以外
の灯火であって、自動車が右左折、進路の変更、加速、減速、停止その他の動作を行
うとする旨を他の交通に対し指示することを目的としたものを備えてはならない。

[7] 細目告示第 218 条 7 項

自動車（緊急自動車は除く。）には、次に掲げる灯火と連動して作動する灯火（保安
基準第 32 条から第 41 条の 5 までに規定するものを除く。）及び次に掲げる灯火以外
の灯火であって、自動車が右左折、進路の変更、加速、減速、停止その他の動作を行
うとする旨を他の交通に対し指示することを目的としたものを備えてはならない。

第5章 実証評価

5.1. ひたち BRT での技術実証の準備

5.1.1. 実施期間の設定

道路交通法改正に伴い、現地で実際に自動運転を行う技術実証は、2022 年度にも実施していた。一方でその際に明らかとなった技術的課題等を精査し、自動運転の営業運行開始に向けて、引き続き実証を繰り返す必要がある。

実証期間の設定における与条件は、以下の 6 つの観点に分けられる。

- ① 期初の実証開始までに必要な準備
- ② 十分な評価を得るために必要な実証の実施回数
- ③ 十分な評価を得るために必要な一度の実証における運行便数
- ④ 悪天候等の要因による、実証期間中の運行不可能日等の予備日数
- ⑤ 一度の実証後、次の実証開始までの課題整理と改善対策の作業
- ⑥ 期末の成果報告・取りまとめ作業

これらの観点はそれぞれ以下の設定に影響する。

- ① 期初の実証開始時期
- ② 実証の実施回数
- ③ 一度の実証の実施日数
- ④ 一度の実証の実施日数（予備日）
- ⑤ 実証間のインターバル期間
- ⑥ 期末の実証完了時期

これらの観点に対し、技術的な作業量や収集が必要となるデータ量等を鑑み、実証は 3 回実施することとし、それぞれの実施期間を以下のとおり設定した。

【第一回実証】2023 年 9 月 4 日～2023 年 10 月 13 日

【第二回実証】2023 年 11 月 20 日～2023 年 12 月 22 日

【第三回実証】2024 年 2 月 13 日～2024 年 3 月 1 日

5.1.2. 走行ルートの設定

多賀駅前～おさかなセンター間で運行中のひたち BRT に自動運転バスを導入することを見据え、走行ルートは現行のひたち BRT と同一とした。

また、昨年度の実証実験での走行ルート設定の考え方と同様、河原子 BRT～南部図書館間は、一般道との交差部を除いて一般車が走路上に存在しない BRT 専用道区間であり、その他の区間に比べて、自動運転技術を用いた無人運行が早期に実現すると考えられていることから、今年度実証実験でも、走行ルートのうち、BRT 専用道区間（河原子 BRT～南部図書館間）を自動走行区間とした。



図 5.1.2-1 自動及び手動走行区間の概要

5.1.3. 運行ダイヤの設定

車両開発状況により、自動運転によりバスを運行した場合、人による運行に比べて所要時間が増加することが予測された。また、ひたち BRT では、営業便が朝のラッシュ時にはおおむね 5 分間隔、夕方のラッシュ時にはおおむね 10 分間隔で運行されていることに加え、BRT 専用路内でのバス同士の追い越しは困難である。そのため、朝夕のラッシュ時には、通常の営業運行便の運行を妨げる恐れがあることから、自動運転バスは運行しないこととした。

次に、営業運行便とのすれ違いが無理なく行えるかを、ダイヤグラムを用いて机上検討の結果、下表のと通りの時刻で運行することとした。なお、自動運転バスは調律作業の結果により所要時間が変動することや、営業便が時刻表から数分遅延して走行する可能性があることから、第一回実証走行の状況を踏まえて、必要に応じて第二回・第三回実証走行の運行ダイヤを見直すこととした。

表 5.1.3-1 運行ダイヤ（第一回実証）

おさかなセンター→多賀駅

停留所名	1便	3便	5便	7便
おさかなセンター	8:49	10:40	13:25	15:21
瀬上新橋	8:50	10:41	13:26	15:22
久慈浜	8:51	10:42	13:27	15:23
南部図書館	8:51	10:42	13:27	15:23
日立商業下	8:53	10:44	13:29	15:25
日立商業高校	8:54	10:45	13:30	15:26
どうのいり公園	8:55	10:46	13:31	15:27
吹上橋	8:56	10:47	13:32	15:28
臨海工場西	8:57	10:48	13:33	15:29
大みか駅西口（学園前）	9:00	10:51	13:36	15:32
泉が森	9:04	10:55	13:40	15:36
水木（BRT）	9:06	10:57	13:42	15:38
寺方	9:11	11:02	13:47	15:43
大沼小学校東	9:14	11:05	13:50	15:46
大沼（BRT）	9:17	11:08	13:53	15:49
磯坪	9:21	11:12	13:57	15:53
河原子（BRT）	9:24	11:15	14:00	15:56
河原子交流センター入口	9:25	11:16	14:01	15:57
東多賀町	9:26	11:17	14:02	15:58
河原子中学校入口	9:26	11:17	14:02	15:58
泉町	9:27	11:18	14:03	15:59
多賀駅前	9:29	11:20	14:05	16:01

多賀駅→おさかなセンター

停留所名	2便	4便	6便	8便
多賀駅前	9:42	11:45	14:22	16:22
泉町	9:44	11:47	14:24	16:24
河原子中学校入口	9:45	11:48	14:25	16:25
東多賀町	9:45	11:48	14:25	16:25
河原子交流センター入口	9:46	11:49	14:26	16:26
河原子（BRT）	9:47	11:50	14:27	16:27
磯坪	9:50	11:53	14:30	16:30
大沼（BRT）	9:52	11:55	14:32	16:32
大沼小学校東	9:55	11:58	14:35	16:35
寺方	9:58	12:01	14:38	16:38
水木（BRT）	10:03	12:06	14:43	16:43
泉が森	10:05	12:08	14:45	16:45
大みか駅西口（学園前）	10:09	12:12	14:49	16:49
臨海工場西	10:12	12:15	14:52	16:52
吹上橋	10:13	12:16	14:53	16:53
どうのいり公園	10:14	12:17	14:54	16:54
日立商業高校	10:15	12:18	14:55	16:55
日立商業下	10:17	12:20	14:57	16:57
南部図書館	10:19	12:22	14:59	16:59
久慈浜	10:19	12:22	14:59	16:59
瀬上新橋	10:20	12:23	15:00	17:00
おさかなセンター	10:21	12:24	15:01	17:01

表 5.1.3-2 運行ダイヤ（第二回実証）

おさかなセンター→多賀駅					多賀駅→おさかなセンター				
停留所名	1便	3便	5便	7便	停留所名	2便	4便	6便	8便
おさかなセンター	8:44	10:40	13:25	15:21	多賀駅前	9:42	11:45	14:22	16:22
瀬上新橋	8:45	10:41	13:26	15:22	泉町	9:44	11:47	14:24	16:24
久慈浜	8:46	10:42	13:27	15:23	河原子中学校入口	9:45	11:48	14:25	16:25
南部図書館	8:46	10:42	13:27	15:23	東多賀町	9:45	11:48	14:25	16:25
日立商業下	8:48	10:44	13:29	15:25	河原子交流センター入口	9:46	11:49	14:26	16:26
日立商業高校	8:49	10:45	13:30	15:26	河原子（BRT）	9:47	11:50	14:27	16:27
どうのいり公園	8:50	10:46	13:31	15:27	磯坪	9:50	11:53	14:30	16:30
吹上橋	8:51	10:47	13:32	15:28	大沼（BRT）	9:52	11:55	14:32	16:32
臨海工場西	8:52	10:48	13:33	15:29	大沼小学校東	9:55	11:58	14:35	16:35
大みか駅西口（学園前）	8:55	10:51	13:36	15:32	寺方	9:57	12:00	14:37	16:37
泉が森	8:59	10:55	13:40	15:36	水木（BRT）	10:01	12:04	14:41	16:41
水木（BRT）	9:01	10:57	13:42	15:38	泉が森	10:03	12:06	14:43	16:43
寺方	9:05	11:01	13:46	15:42	大みか駅西口（学園前）	10:07	12:10	14:47	16:47
大沼小学校東	9:08	11:04	13:49	15:45	臨海工場西	10:10	12:13	14:50	16:50
大沼（BRT）	9:10	11:06	13:51	15:47	吹上橋	10:11	12:14	14:51	16:51
磯坪	9:13	11:09	13:54	15:50	どうのいり公園	10:12	12:15	14:52	16:52
河原子（BRT）	9:15	11:11	13:56	15:52	日立商業高校	10:13	12:16	14:53	16:53
河原子交流センター入口	9:16	11:12	13:57	15:53	日立商業下	10:14	12:17	14:54	16:54
東多賀町	9:17	11:13	13:58	15:54	南部図書館	10:16	12:19	14:56	16:56
河原子中学校入口	9:17	11:13	13:58	15:54	久慈浜	10:16	12:19	14:56	16:56
泉町	9:18	11:14	13:59	15:55	瀬上新橋	10:17	12:20	14:57	16:57
多賀駅前	9:21	11:17	14:02	15:58	おさかなセンター	10:18	12:21	14:58	16:58

表 5.1.3-3 運行ダイヤ（第三回実証）

おさかなセンター→多賀駅					多賀駅→おさかなセンター				
停留所名	1便	3便	5便	7便	停留所名	2便	4便	6便	8便
おさかなセンター	8:41	10:40	13:25	15:21	多賀駅前	9:42	11:45	14:22	16:22
瀬上新橋	8:42	10:41	13:26	15:22	泉町	9:44	11:47	14:24	16:24
久慈浜	8:43	10:42	13:27	15:23	河原子中学校入口	9:45	11:48	14:25	16:25
南部図書館	8:43	10:42	13:27	15:23	東多賀町	9:45	11:48	14:25	16:25
日立商業下	8:45	10:44	13:29	15:25	河原子交流センター入口	9:46	11:49	14:26	16:26
日立商業高校	8:46	10:45	13:30	15:26	河原子（BRT）	9:47	11:50	14:27	16:27
どうのいり公園	8:47	10:46	13:31	15:27	磯坪	9:50	11:53	14:30	16:30
吹上橋	8:48	10:47	13:32	15:28	大沼（BRT）	9:52	11:55	14:32	16:32
臨海工場西	8:49	10:48	13:33	15:29	大沼小学校東	9:55	11:58	14:35	16:35
大みか駅西口（学園前）	8:52	10:51	13:36	15:32	寺方	9:57	12:00	14:37	16:37
泉が森	8:56	10:55	13:40	15:36	水木（BRT）	10:01	12:04	14:41	16:41
水木（BRT）	8:58	10:57	13:42	15:38	泉が森	10:03	12:06	14:43	16:43
寺方	9:02	11:01	13:46	15:42	大みか駅西口（学園前）	10:07	12:10	14:47	16:47
大沼小学校東	9:05	11:04	13:49	15:45	臨海工場西	10:10	12:13	14:50	16:50
大沼（BRT）	9:07	11:06	13:51	15:47	吹上橋	10:11	12:14	14:51	16:51
磯坪	9:10	11:09	13:54	15:50	どうのいり公園	10:12	12:15	14:52	16:52
河原子（BRT）	9:12	11:11	13:56	15:52	日立商業高校	10:13	12:16	14:53	16:53
河原子交流センター入口	9:13	11:12	13:57	15:53	日立商業下	10:14	12:17	14:54	16:54
東多賀町	9:14	11:13	13:58	15:54	南部図書館	10:16	12:19	14:56	16:56
河原子中学校入口	9:14	11:13	13:58	15:54	久慈浜	10:16	12:19	14:56	16:56
泉町	9:15	11:14	13:59	15:55	瀬上新橋	10:17	12:20	14:57	16:57
多賀駅前	9:18	11:17	14:02	15:58	おさかなセンター	10:18	12:21	14:58	16:58

5.1.4. 実施計画等の策定

以上の検討結果を踏まえ、現地実証実験計画を策定した。計画書は、現地実証実験計画に関する基本的な事項を網羅した「実験計画書」のほか、事故等発生時の対応と連絡体制を整理した「緊急時対応・緊急連絡網」を策定した。策定した計画書等を以下に示す。

(1) ひたち BRT 実証実験計画書

ひたちBRT_実証実験実施計画書 ～2023年9月自動運転技術実証～

230831 (案)

実施主体：先進モビリティ株式会社

目次

1. 実施体制	P3
2. 実証実験の概要（概要、実験期間、実験区間、実験車両）	P4
3. 運行方法（運行区間、運行体制、運行ダイヤ、運行速度等）	P9
4. 事前準備（車両準備、車両調律、ドライバートレーニング、緊急時の情報伝達訓練、関係者試乗等）	P12
5. 検証・評価（検証項目、検証方法）	P16
6. 安全運行体制の構築に向けた取組（ヒヤリハット/手動介入シーンの共有、地元住民への注意喚起）	P17
7. 工程計画	P22
8. 緊急対応	P23

1. 実施体制

L4プロジェクトの実施主体：経済産業省・国土交通省
 ひたちBRT実証実験実施体制：下表の通り

関係主体	実証実験の実施・総括	運行方法の検討	車両調律等事前準備	車庫証明	車検証(使用者)の変更	通行許可証申請・発行	車両の運転	地域住民への注意喚起	安全運行体制の検討・実施	検証項目の設定、実施	実証実験の助言
コンセン	先進モビリティ	○	○	○	(車検証写し)		○	○	○	○	
	日本総研										○
	産業技術総合研究所				○	(委任状)				○	○
	日本自動車研究所									○	○
施設管理者・運行事業者	茨城交通	○		○	(申請)	○	(申請)	○	○		○
	みちのりホールディングス										○
	日立市							○			○
地域関係者	茨城運輸支局				○	(発行)					○
	茨城県										○
	茨城県警察本部										○
	日立警察署			○	(発行)	○	(発行)				○
	関東経済産業局										○

3

2. 実証実験の概要

2.1. 実証実験の概要

実験期間	2023年9月4日～2023年10月13日 ▶ 現地適合：9/4～9/15 ▶ 本番実証：9/19～10/13 【予備】2023年11月20日～2023年12月22日 現地適合：11/20～12/1 本番実証：12/4～12/22 (※悪天候等によりデータ取得が十分でなかった場合に備え予備期間を設定)
走行ルート	- 河原子BRT～南部図書館の専用道空間の区間を自動運転レベル2で走行(※) - 大塚ロータリーは、自動運転での走行可能かを検証する(※技術的にはL4相当にあるが、運転席にドライバーが乗車しL2で走行させる。)
走行車両	- エルガミオ(いすゞ自動車)の改造車両 - ナンバープレートは白色(一般営業での運行ではない)
運行ダイヤ等	- FY22ひたちBRT自動運転実証試験と同様の運行ダイヤ ▶ 平日昼間(おおむね9:00～17:00)の現行路線バス運行ダイヤの合間に8便(4往復) - バス停での停車有無 ▶ 専用道： ✓ 全バス停で停止し、設定した乗客の乗降時間経過後に出発 ✓ バス停では停止後3秒でドアを開ける(停止前に乗客が立たない様に行動してもらうことを想定)、ドアを閉めた後5秒で発車(乗客着席時間を想定)する予定 ▶ 一般道： ✓ バス停は通過(多賀駅及びおさかなセンターでは待機のため停車)
乗客	関係者以外は乗車させない



4

2. 実証実験の概要

2.2. 実験車両

- ・ 走行予定車両：いすゞ・エルガミオの改造車両を使用

■ベース車両諸元

全長：8.99m

全幅：2.48m

全高：3.04m

定員：56名（着座28名）

※ただし、本年度の実証実験においては
安全性を考慮して立ち席なしで運行予定。



図 走行予定車両（昨年度実証実験時撮影）

5

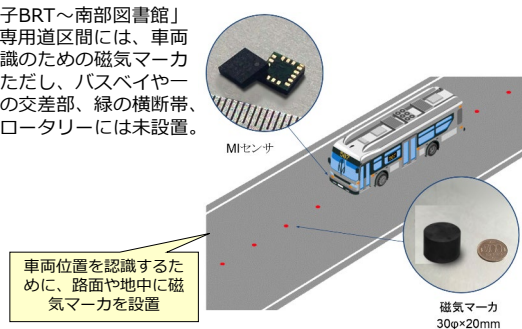
3. 運行方法

3.1. 運行区間

- ・ 全体では「多賀駅～おさかなセンター」の区間を走行。
- ・ 「河原子BRT～南部図書館」のBRT専用道区間（約6.1km）でレベル2自動走行（※）。
- ・ 「河原子BRT～南部図書館」以外の一般道区間は手動走行。
- ・ 運行中の転回／待機は、多賀駅ロータリー、およびおさかなセンターロータリーを予定。

（※技術的にはレベル4相当にあるが、運転席に運転者が乗車し、レベル2で自動走行）

「河原子BRT～南部図書館」のBRT専用道区間には、車両位置認識のための磁気マークあり。ただし、バスペイヤー一般道との交差点、緑の横断帯、大賀駅ロータリーには未設置。



9

3. 運行方法

3.2. 運行体制

ドライバー：先進モビリティにて手配

3.3. 運行ダイヤ

- FY22ひたちBRT自動運転実証試験と同様の運行ダイヤ
 - 平日昼間（おおむね9:00~17:00）
 - 現行路線バス運行ダイヤの合間に計8便（4往復）
- 多賀駅及びおさかなセンターでは待機のため停車

表 実証実験の運転ダイヤ

	おさかな センター		南部図書 館		大甕駅 西口		河原子 (BRT)		多賀駅
1 便	8:49	→	8:51	→	9:00	→	9:23	→	9:28
2 便	10:21	←	10:19	←	10:09	←	9:47	←	9:42
3 便	10:40	→	10:42	→	10:51	→	11:14	→	11:19
4 便	12:30	←	12:28	←	12:18	←	11:56	←	11:51
5 便	13:30	→	13:32	→	13:41	→	14:04	→	14:09
6 便	15:01	←	14:59	←	14:49	←	14:27	←	14:22
7 便	15:21	→	15:23	→	15:32	→	15:55	→	16:00
8 便	17:01	←	16:59	←	16:49	←	16:27	←	16:22

10

3. 運行方法

3.4. 運行速度

- 運行速度は、最高約40km/hを予定しており、一般道との交差部等は一時停止する。

3.5. バス停での停車有無

- 専用道
 - 全バス停で停止し、設定した乗客の乗降時間経過後に出発
 - バス停では停止後3秒にドアを開ける（停止前に乗客が立たない様に行動してもらうことを想定）
 - ドアを閉めた後5秒にバス停を発車（乗客着席時間を想定）
- 一般道
 - バス停は通過

11

4. 事前準備

4.1. 車両搬入【8月下旬頃 車両搬入予定】

- ・茨城交通日立南営業所へ車両搬入。

4.2. 車検証の使用者変更の申請【8月下旬頃】

- ・車両搬送後、茨城交通にて車両点検を行う。
- ・茨城交通は、車検証の使用者変更申請を茨城運輸支局に提出し、茨城交通に変更する。

4.3. 通行許可証の申請【8月下旬頃】

- ・茨城交通は、日立警察署に車検証とドライバー名簿を提出し、通行許可証の申請を行う。
- ・（許可証発行まで日立警察署への申請から1週間～10日程度必要）

4.4. 車庫証明の申請【8月下旬頃】

- ・茨城交通は、日立警察署に自動車保管場所証明申請書を提出し、車庫証明の申請を行う。
- ・その後、茨城交通日立南営業所にて保管する。
- ・自動運転バス車両の鍵は日立南営業所で保管する。

4.5. 車両装飾【9月上旬頃】

- ・車両調律期間から行先表示（車両前後、左側面）や車両マグネットで車両前後、左右側面に「自動運転実証実験中」と記載し、実証実験実施中であることを認識できるようにする。
- ・一般乗車できないことが分かるようドア付近に「一般乗車できません」と記載したマグネットを貼り付ける。
- ・ラッピングを実施する。

12

4. 事前準備

4.6. 車両調律（現地適合）

- ・実証実験に向けて、マッピング、速度設定、磁気マーカの走行確認を2週間程度行う。

車両調律の概要	実施時期	備考
マッピング（走行軌跡の作成）	2023年9月第1週	1週間想定
速度設定	2023年9月第1週/第2週	2週間想定
磁気マーカ、SLAMの走行確認	2023年9月第1週/第2週	2週間想定

13

4. 事前準備

4.7. 緊急時の情報伝達訓練

(1)目的

交通事故やその他緊急連絡が必要な場面が実証実験期間中に発生した場合に、緊急連絡網が確かに機能するかを確認することを目的として、緊急連絡網確認のための訓練（以下、本訓練）を実施する。

(2)実施日時

8月30（水） 15:00～16:30

(3)本訓練で想定する事象

（訓練事象の想定）

2023年8月30日（水）9:00ごろ、磯坪停留所の付近の一般道との交差点において、実験車両が専用道出口を発車後、一般道を走行する自転車と接触する事故が発生した。自転車を運転していた1名が接触時の衝撃により足に軽いけがをしている。
救急車の手配および警察への連絡は終了している。実験車両は、ハザードランプを点滅させて、停車中である。事故発生時、実験車両には、茨城交通ドライバーと先進モビリティ各1名の計2名が乗車しており、自転車は1名が乗車していた。

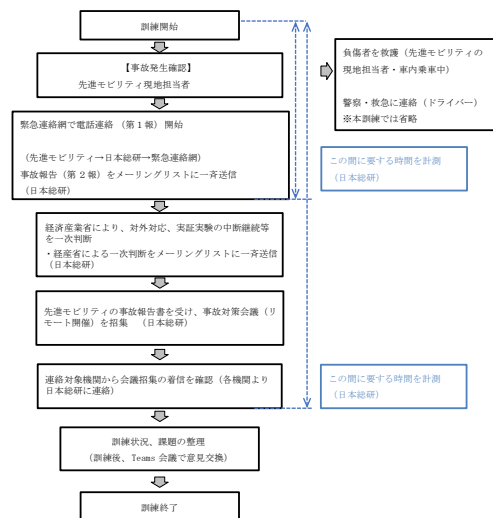
（本訓練の内容）

本訓練では、緊急時連絡網に従い、関係者全員による緊急連絡を実施。連絡網および連絡に要する時間を確認し、習熟に向けて課題を明らかにする。

14

4. 事前準備

(4)実施フロー：



15

5. 検証・評価

5.1. 検証目的、検証項目

検証目的：2022年度実証での課題検証、およびL4認証に向けた走行データの収集
取得データの一部を公道走行WGに提出予定

検証項目	機能	判定基準
自動運転機能	自己位置推定機能	単路においては磁気マーカ横位置情報との比較し、偏差が規定値（20cm：仮）以内であるか
	障害物衝突回避機能	ロータリーで走行経路を阻害している車両がある場合に停車できるか
		障害物（乗用車、トラック、歩行者など）を認識し、車間をキープ(停車を含む)できるか
	発車機能	BRTすれ違い信号の青信号を正しく認識できるか
		交通信号の青信号を正しく認識できるか
		交差点先の進入スペースを正しく認識できるか
		交差道路からくる車両（乗用車、トラック、二輪車）を正しく認識できるか
		交差道路からくる歩行者を正しく認識できるか
	停車機能	BRTすれ違い信号が、黄色、赤または不定の時に停車できるか
		交通信号が、黄色、赤または不定の時に停車できるか
		バーゲートが開いていないときバーゲートを認識し、停車できるか
単路部の走行時間	—	
信号無し交差点の通過時間	—	一時停車から通過するまでの時間が12s以下であること（交差車両などいない場合）
信号あり交差点の通過時間	—	一時停車から通過するまでの時間が12s以下であること（信号無視する交差車両などいない場合）
速度制御性能	—	目標速度が一定になってから30s以内までに±2km/h以内に収まっていること。
停車位置精度	—	停車位置のばらつきが前後方向±40cm、横方向±30cm以下であること
横位置制御性能	—	直線においては横方向±20cm、カーブ中においては横方向±40cm以下であること。

16

6. 安全運行体制の構築に向けた取組

6.1. ヒヤリハット/手動介入シーンの共有

・ヒヤリハット/手動介入シーンが発生した場合は以下の段取りで情報共有する。

■実施方法

- ・ヒヤリハット事象/手動介入シーンの記録者（先進モビリティ）が日報を記録。
- ・毎日の運行終了後にメール等で共有。
- ・ヒヤリハット事象/手動介入シーン、運行上の留意点や改善点は技術面定例会議（毎週水曜日）にて確認する。

■共有メンバー

- ・テーマ2 コンソメンバー（日本総研、産総研、みちのりHD、茨城交通、JARI、先進モビリティ、Laboro.AI）

■共有内容

- ・ヒヤリハット事象/手動介入シーン
- ・その他、自動運転システムが停止するなどして乗務員乗車型L4の車内乗務員にて確認/対応が必要となった事象

等

17

6. 安全運行体制の構築に向けた取組

- ・自動運転バスへの注意喚起を図るため、沿線住民や沿線小学校へのチラシ配布、各バス停での掲示等を実施する。
- ・実施内容の詳細を以下に示す。

方法	配布・掲示先	対応者	配布物	部数	日程等
配布	ひたちBRT沿線の各住戸等	印刷＆ポスティング：先進モビリティ	チラシ (A4)	12,000部	8月下旬配送
	ひたちBRT沿線の小学校	印刷：日本総研 配布：茨城交通 経由で日立市に納品		1,700部	9月上旬
掲示	各バス停 (22箇所)	印刷＆掲示 茨城交通		42部	8月下旬掲示
説明	ひたちBRTサポーターズクラブ ＊地元自治会、学校関係者等の関係団体で構成する組織	日立市			8/9に説明実施



図 チラシの配布先

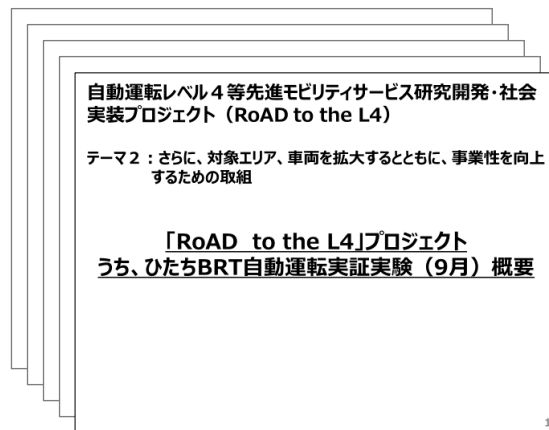
出典：ラクスル株式会社HP

20

6. 安全運行体制の構築に向けた取組

- ・また、前頁までに示した住民/住民組織向けの実証周知のほかに、地域関係機関に対しても「ひたちBRT自動運転実証実験（9月）概要資料」を用いて、茨城交通から、9月実証の概要説明、周知を行う。

ステークホルダー	時期
日立市（市長、市議会を含む）	7月中旬～下旬
茨城県	8/8（火）
茨城運輸支局	7/25（火）
茨城県警本部	8/4（金）
日立警察署	8/3（木）



21

6. 安全運行体制の構築に向けた取組

6.4. 走路上への人員配置

- ・実験区間は専用道であるが、一般道との交差点や通学時間帯の安全誘導等が必要となる場所が想定されるため、2019年度の中型バス実証実験期間中に安全対策として路上に誘導員を水木交差点（時間帯に応じて寺方停付近の緑の横断帯に移動）に配置した。
- ・2020年度のドライバーヒアリングにおいても継続実施の要望があったことを踏まえ、今年度も誘導員を配置する。
- ・2020年度実証実験時の人通り等の実績を踏まえ、小中学校の登下校時間（朝、夕）において危険が予見される場合に限り、専用道の急な横断の防止や自動運転バス接近の注意喚起を図るため、誘導員を配置する。

（配置時間帯・場所）

朝 ①寺方停付近の緑の横断帯

夕 ②水木交差点



①寺方停付近の緑の横断帯



②水木交差点



22

7. 工程計画

- ・概略工程計画は以下に示すとおり。

	7月	8月	9月	10月
実証実験			調律作業 実証実験	
市広報	[7/11]8/20号原稿〆切	8/20号 実施案内、注意喚起		
地元説明		チラシ・ポスター配布 サポーターズクラブへの説明	小学校へのチラシ配布	

23

8. 緊急対応

- ・緊急対応方法については、別紙「ひたちBRT9月実証実験における緊急時対応、緊急連絡網～テーマ2 コンソ全体方針～」(以下、緊急時対応方針)に示す。緊急時対応方針の内容は以下の通り。

基本的対処方針

実証実験中に事故が発生した場合の基本的対応

対外対応スケジュール

事故発生後の実施期限ごとの実施内容、意思決定・指示内容

実証実験事故報告書(様式)

実施機関が作成する実験事故報告書の様式

電話連絡網(第一報)

事故発生事実(第一報)を漏れなく迅速に周知する連絡網

緊急連絡(第一報)受領後の行動指針

第一報後の時系列ごとの各機関の行動および連絡体制(別紙)

(2) 緊急時対応・緊急連絡網

注) 個人名及び連絡先を省いて掲載する。

～令和5年度無人自動運転等のCASE対応に向けた実証・支援事業～

自動運転レベル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
RoAD to the L4
(テーマ2)

ひたちBRT9月実証実験における
緊急時対応、緊急連絡網
～テーマ2 コンソ全体方針～

経済産業省

および

日本総研、産総研、みちのりHD、茨城交通、JARI、先進モビリティ

Strictly Confidential

1

基本的対処方針

1. 実証実験中に事故が発生した場合の事故対応（被害者対応、報道対応、事故の原因究明等を含む）は、実証実施機関の先進モビ（以下、実施機関）が実施。発生時から通常BRT運行事業者の茨城交通、およびコンソ幹事機関の日本総研（以下、幹事機関）に適宜連絡を行う。幹事機関は、事業委託元の経産省製造産業局自動車課（以下、経産省自動車課）に連絡を行い、経産省自動車課から指示があれば実施機関に連絡する。実証実験は、原則、一時中断。
2. 実施機関は安全管理に関する状況を確認し、現地調査を実施する。
3. 幹事機関は、実施機関にて事実関係が一定程度整理された段階で、速やかに、加藤晋テーマリーダー（産総研）を座長とし、コンソーシアム参加団体、経産省自動車課、国土交通省自動車局で構成される事故対策会議第1回（WEB会議等）を開催し、実証実験再開可否、対外対応方針等を検討。経産省自動車課は、当該対外対応方針等について、適宜関係省庁等と協議し、その結果を踏まえ、対外対応方針等を決定。
4. ただし、事故発生に関して、記者会見、プレスリリース等を要する場合は、事故発生に関する最初の記者会見、プレスリリース等は、原則として、実施機関または経産省自動車課において実施し、主として事実関係等を説明。
5. 上記4.以降の記者会見、プレスリリースは、原則として実施機関が実施する。ただし、事前に事故対策会議に発表する内容を報告等するとともに、記者会見等については、必要に応じ、経産省自動車課が同席。
6. 追加の事実等が判明した場合、加藤晋テーマリーダー（産総研）を座長とし、コンソーシアム参加団体、経産省自動車課（国土交通省自動車局）で構成される事故対策会議第2回（WEB会議等）を開催し、実施機関より事故の状況、原因等の説明を受ける。経産省自動車課は、実証実験を中断していた場合には再開可否を判断等するとともに、対外対応方針等を検討し、必要に応じ、関係省庁と協議し、実証実験の再開可否、対外対応方針等を決定。
7. 事故原因が判明して再発防止策が定まった後、対外対応方針および実験再開可否方針を決定する。なお、方針決定前に第三者委員会の開催をするか、および事前に関係省庁と協議をするかは、経産省自動車課が決定。

（※なお、幹事機関は、取得情報は常にテーマリーダーに共有。密に連携しながら各対応を進めるものとする。）

Strictly Confidential

2

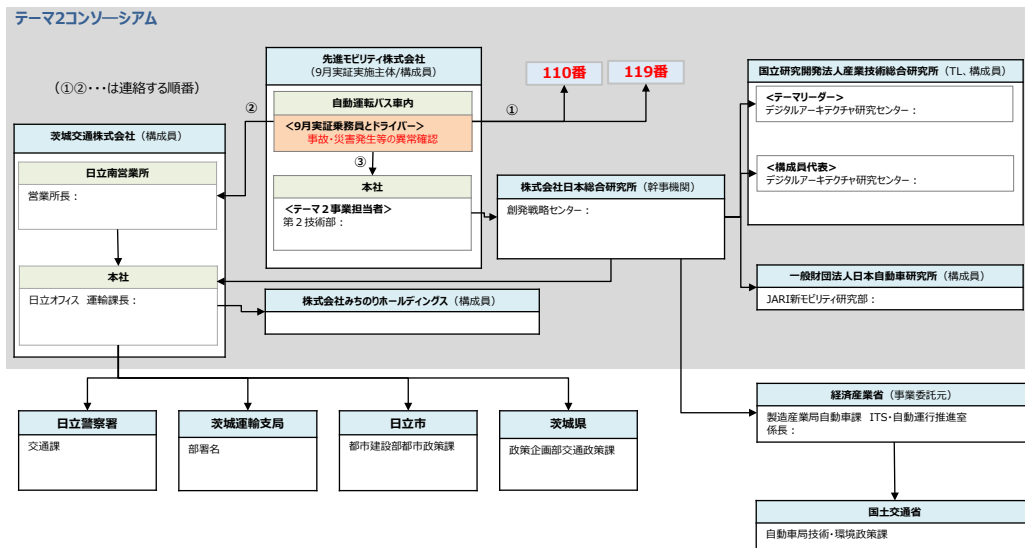
(※なお、幹事機関は、取得情報は常にテーマリーダーに共有。密に連携しながら各対応を進めるものとする。)

3

2

4

電話連絡網（第一報）

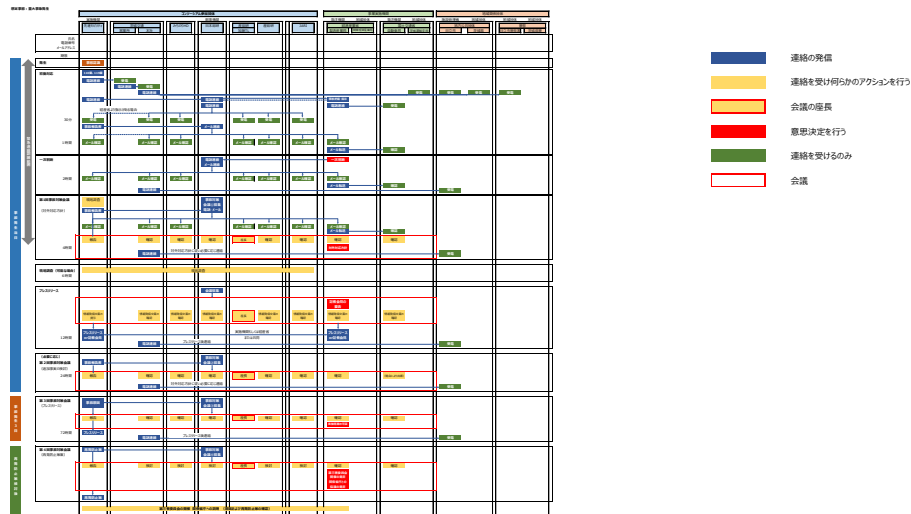


Strictly Confidential

5

緊急連絡（第一報）受領後の行動指針

- 「縦軸：時系列 × 横軸：関係ステークホルダー」として、各ステークホルダーの時系列ごとに対応すべき事項をフロー図で整理。（詳細は別紙参照）



Strictly Confidential

6

5.2. ひたち BRT での技術実証の実施

5.2.1. 技術実証の全体像

テーマ2における、現地 BRT 専用道における走行実証実験3回の位置づけは以下のとおりである。

- ・ 9月実証では、机上及び試験場において開発した車両が、実際の走行環境において想定外の挙動や危険な走行をしないかについて確認した。想定外の挙動をした場合や、乗務員が危険を感じた場合には、手動介入にてブレーキやアクセルを作動した。
- ・ 9月実証で明らかになった課題は、12月実証実施までに、ロジックの変更、追加、パラメータの変更などにより、車両が想定していた動作をし、手動介入が発生しないよう対応した。12月実証では、想定外の挙動をしないことと、安全に走行することを確認するとともに、営業運行を実施する際の課題を明らかにした。
- ・ 12月実証で明らかになった主な課題は、安全な走行を実現するため、ODD 外判定による自動運行停止が頻繁に発生したことであった。2月実証までに、自動運行停止を減少させる対応をおこない、実証では、スムーズで安全な走行が実現できることを確認した。

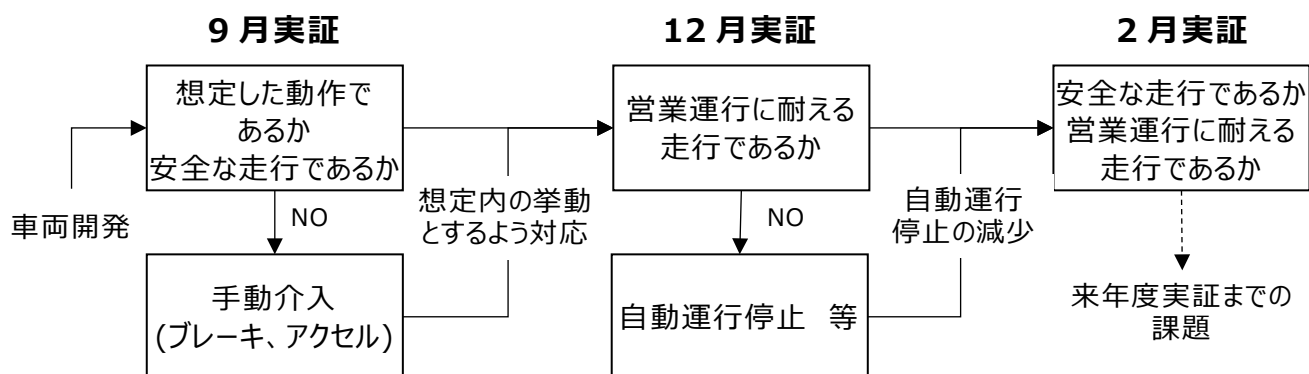


図 5.2.1-1 3回の技術実証の関係

5.2.2. 技術実証の実施内容（9月実証）

(1) 実証実験期間と日数、便数

2023年9月19日（火）～10月13日（金）のうち、土日祝日を除く 8:49（第1便出発時刻）～17:01（最終便到着時刻）に実験を行った。ただし、また、構造変更（車外 HMI の設置によるもの）の理由により便数を減少した日もある。9月実証における実証実験日数及び便数は以下のとおり。

表 5.2.2-1 実証実験期間、日数、便数

実施期間	2023 年 9 月 19 日（火）～10 月 13 日（金）
予定実施日数	18 日
日走行便数	北向：4 便 南向：4 便 合計：8 便
運行休止日数	なし
運行休止便数	2 便（運行休止日は除く）
実施日数、便数	18 日、142 便（北向 71 便、南向 71 便）

(2) 実証実験の検証項目

9 月実証の目的は、机上及び試験場において開発した車両が、実際の走行環境において想定外の動や危険な走行をしないかについて確認することであるため、特定の検証項目は設定しなかった。

(3) 確認された課題

1) 手動介入

9 月実証では、80 回のアクセル介入と、1 回のブレーキ介入が発生し、ステア介入は 0 回、合計 81 回の手動介入が発生した。介入発生が多かった個所と回数は、水木交差点で 25 回（アクセル介入）、磯坪バス停南側交差点で 12 回（アクセル介入）である。

表 5.2.2-2 手動介入の発生状況（9 月実証）

場所	発生回数			主な要因	備考
	アクセル	ブレーキ	ステア		
磯坪バス停の南側交差点	12	—	—	交差車両及び歩行者によるもの	交通信号設置中
大沼小学校東バス停の南側交差点	7	—	—	並走車両及び歩行者によるもの	
水木交差点	25	—	—	歩行者によるもの	専用道に歩行者信号無し
寺方バス停の南側交差点	8	—	—	並走車両及び歩行者によるもの	
大沼小学校東バス停の南側交差点の南側横断帯	6	—	—	歩行者によるもの	横断帯付近に滞在
大沼バス停の南側交差点	1	1	—	交差車両によるもの	
河原子バス停の南側交差点	1	—	—	交差車両によるもの	
臨海工場西バス停	1	—	—	バス停にいる歩行者を検知	
日立商業バス停	1	—	—	バス停にいる歩行者を検知	
大磯駅バス停	9	—	—	バス停にいる歩行者を検知	
大沼小学校東バス停	1	—	—	バス停にいる歩行者を検知	
大沼バス停	2	—	—	バス停にいる歩行者を検知	
河原子バス停	2	—	—	バス停にいる歩行者を検知 すれ違い信号誤認識	
大磯駅ロータリー内	4	—	—	駅ホームの人を検知	

アクセル介入の原因は大きく 5 つに分類される。

① 信号なし交差点における「譲り合い」

信号なし交差点において交差車両を確認した場合、自動運転バスは交差点手前の所定停車位置で停車後、交差車両が交差点を通過するか停車したことを確認し発進するが、

発進した際に、交差車両も同時発進した場合、衝突回避のため自動運転バスは再停車する。再停車後は再発進するロジックとはしていなかったため、停車状態が継続し乗務員判断でアクセル介入した。

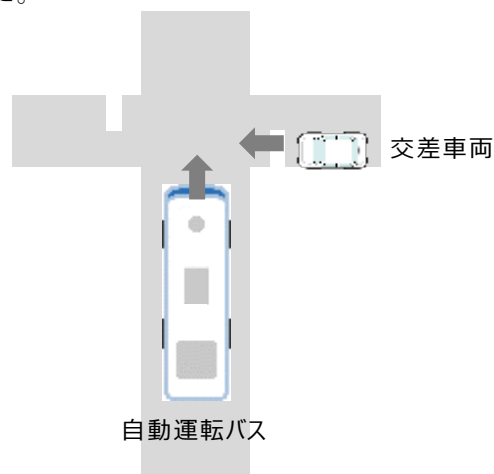


図 5.2.2-1 アクセル介入の原因（信号なし交差点での譲り合い）

② 並走道路の一般車両連続走行による停止

BRT 専用道に一般道が並走し、かつ専用道と一般道の交差点がある場合、自動運転バスは、並走道路を走行する一般車両の交差点への進入を検知した場合は停車する。並走道路を走行する車両が連続する場合、検知範囲内に車両が存在する限り、右左折する可能性が低い場合でも停車を継続する。そのため、並走道路の車両が交差点に進入しないと乗務員が判断した場合アクセル介入を行った。

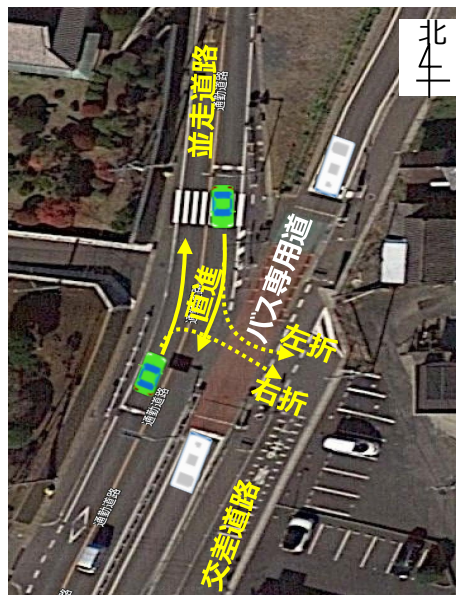


図 5.2.2-2 アクセル介入の原因（並走道路の一般車両連続走行）

③ 横断歩道付近における歩行者の滞留

車両用交通信号機はあるが、歩行者用信号機がない交差点において、横断歩道付近に歩行者が存在する場合は、進入可能性を考慮して歩行者が横断歩道付近から立ち去るまで停車を継続する。歩行者が横断歩道付近から立ち去らない場合、車両用の交通信号機が青色で、歩行者に横断意思がないと乗務員が判断した場合に、アクセル介入を行った。



図 5.2.2-3 アクセル介入の原因（横断歩道付近における歩行者の滞留）

④ 誤検知

BRT 専用道が駅に近接している個所で、ホームに存在している鉄道利用者を歩行者と誤認識して停車した場合、アクセル介入を行った。

また、道路構造物を歩行者と誤検知する場合も存在した。

⑤ すれ違い信号の赤認識

BRT 専用道においては、すれ違い区間に BRT 専用信号機を設置し、対向車が通過するまで待機することとなっているが、自動運転バス側の信号が青にもかかわらず赤と認識し、停車状態が継続し乗務員判断でアクセル介入を行った。原因は、特定個所で特定時間帯に、信号機の躯体に西日が映るため赤色と判断したものである。

2) その他の課題

上記のほか、ごくまれに専用道内に歩行者が侵入した場合に減速しなかったため、乗務員判断でブレーキ介入した。

上記を含め、実証実験実施時に発生した課題一覧を示す。上記以外の課題については、微細な設定変更などにより現地で対応したものである。

表 5.2.2-3 課題一覧（9月実証）

要因No.	要因カテゴリ	ステータス				効果確認 期限	効果確認 完了日	対策 (立案内容、実行状況の概要)	背反事象の検討
		要因分析	対策立案	対策実行	効果確認				
1	目標速度マップの傾きが緩い	完了	完了	完了	完了	2023/9/22	2023/9/20	目標速度マップにおいて、速度カーブの傾きを立てる	・ステアリングを大きく切るところで十分に減速しないと曲がり切れない。 ・バス停付近以外の緑横断帯や交差点などの位置がずれると加減速タイミングがずれる
2	速度制御に定常偏差が発生している	完了	完了	完了	完了	2023/9/22	2023/9/20	速度F/Bの積分項を上げる。	・大きくしすぎると、目標速度に対してオーバーシュートが発生したり、不安定になる。
3	乗客向けディスプレイの分割表示をしていない	完了	完了	完了	完了	2023/9/26	2023/9/26	分割表示をする。	画面は小さくなって見づらくなる
4	道路構造物を歩行者と誤検知する	完了	完了	対応中	対応中	2023/10/6		ひたちBRTの走行データを追加学習し、誤検知を低減する。（前方カメラ(済)、側方カメラ(済)、近辺カメラ(学習中)）	過学習による誤検知の可能性がある
5	不要な認識結果を使用している	完了	完了	完了	完了	2023/9/26	2023/9/28	設定情報作成ツールに設定ミスであることをわかるように表示する。	設定ミス表示のロジックにバグがあり、ミスに気が付けない場合がある。
6	交差車両も停止し続け、お見合い状態	完了	完了	完了	完了	2023/9/26	2023/9/28	乗務員の判断で発車トリガを入れられるようにする	使い慣れてしまうと、頻繁に押すようになってしまう。
7	走行軌跡データの不具合	完了	完了	完了	完了	2023/9/22	2023/9/20	スキャンマッチングのデータから走行軌跡データを作成する際は、停車時のデータを取り除く	取り除きすぎてしまうと、低速時の走行軌跡データ精度が低下する。
8	すれ違い信号の赤を青と誤認識する	完了	完了	完了	完了	2023/10/6	2023/10/13	ディープラーニングから昨年使用していたコンピュータビジョン方式に変更する。	青信号を赤信号と認識する確率が増える（赤信号を青信号と取らないようにするため）
9	断続的に交通参加者が近付いたり、誤検知があると発進できない	完了	完了	完了	完了	2023/9/26	2023/9/28	発進可能条件の成立が連続2.5sになっているため、1sに変更する。	成立時間を短くすぎると、停車せずに進んでしまう可能性がある。
10	認識結果を使用するエリア設定の設定ミス	完了	完了	完了	完了	2023/9/26	2023/9/28	設定情報作成ツールに設定ミスであることをわかるように表示する。	設定ミス表示のロジックにバグがあり、ミスに気が付けない場合がある。
11	走行軌跡上のみのACC対象としている	完了	完了	完了	対応中	2023/9/26	経過確認中	左前と右前で車両側方から1m以内に歩行者を検知した場合は、ACC対象とする。	誤検知した場合は、停車してしまう。
12	横断帯や横断歩道付近の歩行者の検知結果を広く使っているため、横断帯の手前から発車できない。	完了	完了	完了	完了	2023/9/26	2023/9/28	横断帯中央から前後2mにいるときは停車、それ以外の場所にいるときは、バスの方向に向かっているときに停車とした。	前後2mから少し離れたところで歩行者がとどまっていると停車できない
13	認識システムの処理負荷が過大	完了	完了	完了	完了	2023/9/26	2023/10/13	認識ログデータ取得のフレームレートを下げる	後日シミュレーションする際に同じようにできない
14	交通信号が青でも歩行者が横断中は発車しないようにできていたが、青だったため発進した直後に黄色に変わった	完了	完了	完了	完了	2023/9/26	2023/10/6	青信号でも歩行者がいる場合は、次の青まで待つ	横断歩道の近くにずっといられると動けない
15	信号停止エリアを間違えて設定	完了	完了	完了	完了	2023/9/28	2023/9/28	設定情報作成ツールに設定ミスであることをわかるように表示する。	設定ミス表示のロジックにバグがあり、ミスに気が付けない場合がある。
16	自動運転エリアの設定ミス	完了	完了	完了	完了	2023/9/28	2023/9/28	設定情報作成ツールに設定ミスであることをわかるように表示する。	設定ミス表示のロジックにバグがあり、ミスに気が付けない場合がある。
17	すれ違い信号の青を赤と誤認識する	完了	対応中	対応中	未着手	2023/10/6		追加学習を行うことで誤検知を低減する	過学習による誤検知の可能性がある
18	ロータリー内でのACC対象エリアが狭かった	完了	完了	完了	完了	2023/10/6	2023/10/6	ACC対象エリアを広げる	広げすぎると、オーバーハング外にあるものに対してでも停車してしまう。
19	認識結果を扱うエリアの広げるタイミングが一時停止よりも後になっていた	完了	完了	完了	完了	2023/9/28	2023/9/28	設定情報作成ツールに設定ミスであることをわかるように表示する。	設定ミス表示のロジックにバグがあり、ミスに気が付けない場合がある。
20	バーゲートの認識不良	完了	完了	完了	完了	2023/10/6	2023/10/6	閾値の設定変更	閾値を下げすぎると誤検知する
21	一時停止後同時に発進する。	完了	対応中	未着手	未着手	2023/12/10		・車外HMIで発進の意思を表示する。 ・（検討中）一時停止箇所の前に先に停止している車両があれば、車両がなくなるまで、待ち続ける	車外HMIに気が付かず、相手が発信する可能性あり。 車両がいなくなるまで動けない。
22	減速度が弱い	完了	完了	完了	完了	2023/10/6	2023/10/13	停止間際の減速度を上げる	強くしすぎるとカクッンブレーキになり、弱すぎると止まり切れない
23	信号機が無い交差点における歩行者優先	完了	完了	未着手	未着手	2023/11/1		一定以上停車している場合は、MRMで自動運転中止する。（将来的には信号をつけていたきたい）	外乱要因で自動運転がキャンセルされる
24	バーゲートの仕様の理解	完了	完了	完了	完了	2023/10/10	2023/10/10	長時間停車によりバーゲートが閉まった場合は、乗務員が無線で営業所に連絡して開けてもらうようにする。	ー

5.2.3. 技術実証の実施内容（12月実証）

(1) 実証実験期間と日数、便数

2023年12月4日（月）～12月22日（金）のうち、土日祝日を除く 8:41（第1便出発時刻）～16:58（最終便到着時刻）に実験を行った。ただし、12月4日、午前2便は完熟走行のため手動運転をした。12月実証における実証実験日数及び便数は以下のとおり。

表 5.2.3-1 実証実験期間、日数、便数

実施期間	2023年12月4日（月）～12月22日（金）
予定実施日数	15日
日走行便数	北向：4便 南向：4便 合計：8便
運行休止日数	0日
運行休止便数	2便（運行休止日は除く）
実施日数、便数	15日、118便（北向59便、南向59便）

(2) 9月実証の課題への対応

12月実証の開始までに、9月実証で確認された課題への対応を以下のとおり行った。

表 5.2.3-2 9月実証の課題と対応

課題	対応内容
信号なし交差点における「譲り合い」	1.交差車両が停車継続した場合にシステム判断で発車する仕組みの導入を図る。 2.交差車両通過待ちが30秒以上継続する場合に、システム判断でODD外と判断し自動運行を停止する。
並走道路の一般車両連続走行による停止	一定時間（30秒以上）停車を継続した場合はODD外と判断して自動運行を停止
横断歩道付近における歩行者の滞留	信号なし横断歩道や緑横断帯付近に歩行者が一定時間以上留まっている場合、システム判断でODD外と判断する。
誤検知	今回の誤認識シーンと類似する学習データを用意して追加学習する。
専用道内の歩行者侵入時の非減速	1.専用道内(横方向距離で判断)に歩行者を検知した場合は、減速対象とする。 2.同一の歩行者が一定時間以上専用道内にとどまった場合にODD外と判断し自動運行を停止する。
すれ違い信号の赤認識	1.認識ロジックの変更は、不安全な誤認識(赤→青)を招く懸念があるため、現時点での対応は見送り。 2.信号による停車が30秒以上継続している場合は、システム判断でODD外と判断し自動運行を停止する。

(3) 実証実験の検証項目

12月実証では、上記の対応が想定どおりの挙動を示すかということについて検証を行うとともに、9月実証では判明しなかった課題についても明らかにした。

表 5.2.3-3 12月実証の検証項目

項目	検証内容
信号なし交差点における交差車両	1.交差車両が停車継続した場合には自動運転バスが発進する。 2.交差車両通過待ちが30秒以上継続する場合に、自動運行を停止する。
並走道路における一般車両連続走行による停止	一定時間（30秒以上）停車を継続した場合は自動運行を停止する。
横断歩道付近における歩行者の滞留	信号なし横断歩道や緑横断帯付近に歩行者が一定時間以上留まっている場合、自動運行を停止する。
誤検知	9月実証で誤検知の対象となった、構造物、駅ホームの人などを誤検知しない。
専用道内の歩行者侵入時の非減速	1.専用道内に歩行者が侵入した場合に減速する。 2.同一の歩行者が一定時間以上専用道内にとどまった場合は、自動運行を停止する。
すれ違い信号の赤認識	信号による停車が30秒以上継続する場合に、自動運行を停止する。

(4) 確認された成果

9月実証時における課題についてはすべて想定した挙動を示すことを確認した。

(5) 確認された課題

9月実証における課題への対応を行った結果、手動介入事象は減少したが、並走道路における一般車両連続走行時における自動運行停止など、システムがODD外と判断して自動運行を停止する事象が頻発した。手動介入が発生しないという点では改善したが、営業運行の実施という観点からは、自動運行停止はできるだけ少なくする必要がある。

1) 9月実証からの変化

手動介入及びODD外判定による自動運行停止の回数を、9月実証と12月実証で比較を行った。9月実証における手動介入回数81回に比べ、12月実証では手動介入2回、ODD外判定による自動運行停止回数が63回となった。

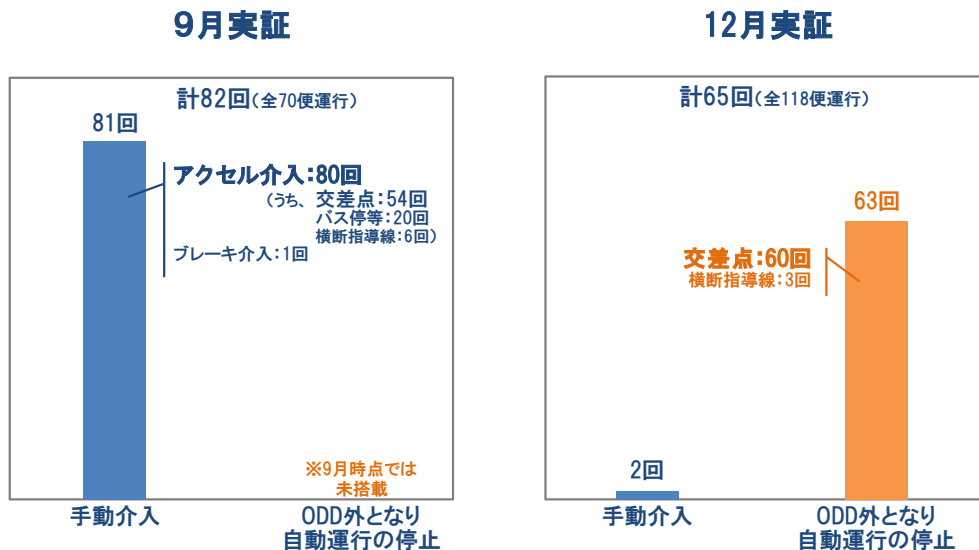


図 5.2.3-1 9月実証と12月実証の比較

5.2.4. 技術実証の実施内容（2月実証）

(1) 実証実験期間と日数、便数

2024年2月13日（火）～3月1日（金）のうち、土日祝日を除く 8:41（第1便出発時刻）～16:58（最終便到着時刻）に実験を行った。ただし、2月13日、午前2便は完熟走行のため手動運転をした。12月実証における実証実験日数及び便数は以下のとおり。

表 5.2.4-1 実証実験期間、日数、便数

実施期間	2024年2月13日（火）～3月1日（金）
予定実施日数	13日
日走行便数	北向：4便 南向：4便 合計：8便
運行休止日数	0日
運行休止便数	2便（運行休止日は除く）
実施日数、便数	13日、102便（北向51便、南向51便）

(2) 12月実証の課題への対応

2月実証の開始までに、12月実証で確認された課題への対応を以下のとおり行った。なお、西日によるすれ違い信号の赤認識については、認識ロジックを変更する場合のデグレーションも考慮する必要があるため、対応についてコンソーシアム内で慎重に検討し、2月実証での対応は見送ることとした。

表 5.2.4-2 12 月実証の課題と対応

項目	課題	対応
信号なし交差点における「譲り合い」	交差車両と自動運転バスが同時発進した際は、交差車両が過ぎ去るまで停車を継続するが、譲り合い状態となり停車が長時間継続した場合、ODD 外と判定され自動運行停止となる。	交差車両及び並走車両による停車継続を回避するため、以下のとおり安全走行戦略を変更。 交差点手前の所定停車位置で停車後、交差車両及び並走車両の TTC (Time to Collision : 衝突までの時間) を 0.1 秒ごとに計測し、TTC が自動運転バスの通過に要する時間よりも長い状態が連続 1 秒以上であれば、ゆっくりと発進する。 なお、交差車両及び並走車両が同時発進した場合は再停車し、上記を繰り返す。
並走道路の一般車両連続走行による停止	並走道路から交差点への進入可能性がある一般車両が存在する場合、すべての一般車両が過ぎ去るまで停車を継続ため、停車が長時間継続した場合、ODD 外と判定され自動運行停止となる。	以下の 2 点の対応を行った。 1. 従前、横断歩道又は横断帯から 2m 以内に存在する歩行者を横断の可能性のある歩行者として認識していたが、これを 1m 以内に変更する。(根拠) 2. 車両用交通信号機はあるが歩行者用信号機がない交差点では、歩行者が横断歩道の 1m 以内に存在しても、車両用交通信号機の灯色 (青色) に従い、ゆっくりと発進する。(根拠)
横断歩道付近における歩行者の滞留	歩行者が横断歩道付近で滞留している場合、歩行者に横断意思がない場面でも歩行者が立ち去るまで停車するため、停車が長時間継続した場合、ODD 外と判定され自動運行停止となる。	

なお、上記対応の前提として、車両及び歩行者と衝突の可能性がある場合は停車することはすべて共通している。

(3) 実証実験の検証項目

上記の対応により自動運転バスが想定どおりの挙動を示し、ODD 外判定による自動運行停止が減少するか、ということについて検証を行った。

表 5.2.4-3 2 月実証の検証項目

項目	検証内容
信号なし交差点における「譲り合い」	・ 信号なし交差点において交差車両を検知した場合、過度な「譲り合い」なく自動運転バスが交差点を通過する。 ・ 交差車両が発進した場合、停車をして交差車両を先に通過させる。 ・ 「譲り合い」を原因とする ODD 外判定自動運行停止が発生しない。
並走道路の一般車両連続走行による停止	・ 並走道路の一般車両を検知した場合でも、衝突の恐れがない場合は自動運転バスが停車を継続せず交差点を通過する。 ・ 並走道路の一般車両が交差点に進入する場合、停車をして一般車両を先に通過させる。 ・ 並走道路の一般車両の連続走行を原因とする ODD 外判定自動運行停止が発生しない。
横断歩道付近における歩行者の滞留	・ 横断歩道又は横断帯から 1m 以上離れて歩行者が立ち止まっている場合、自動運転バスは停車せず通過する。 ・ 車両用交通信号機はあるが歩行者用信号機がない交差点では、歩行者が滞留していても、車両用交通信号機の灯色（青色）に従い発進する。

(4) 確認された成果

上記の対応により、12 月実証で ODD 外による自動運行停止が発生していた個所では、発生回数が 0 回となった。また、当該個所において乗務員が危険と判断するような事象は発生しなかった。

9 月実証、12 月実証、2 月実証における手動介入、ODD 外判定による自動運行停止、MRM（Minimal Risk Maneuver：異常発生時など安全走行を継続できないと判断した場合、路肩への停車など安全確保を行う制御）の回数の変化を示す。

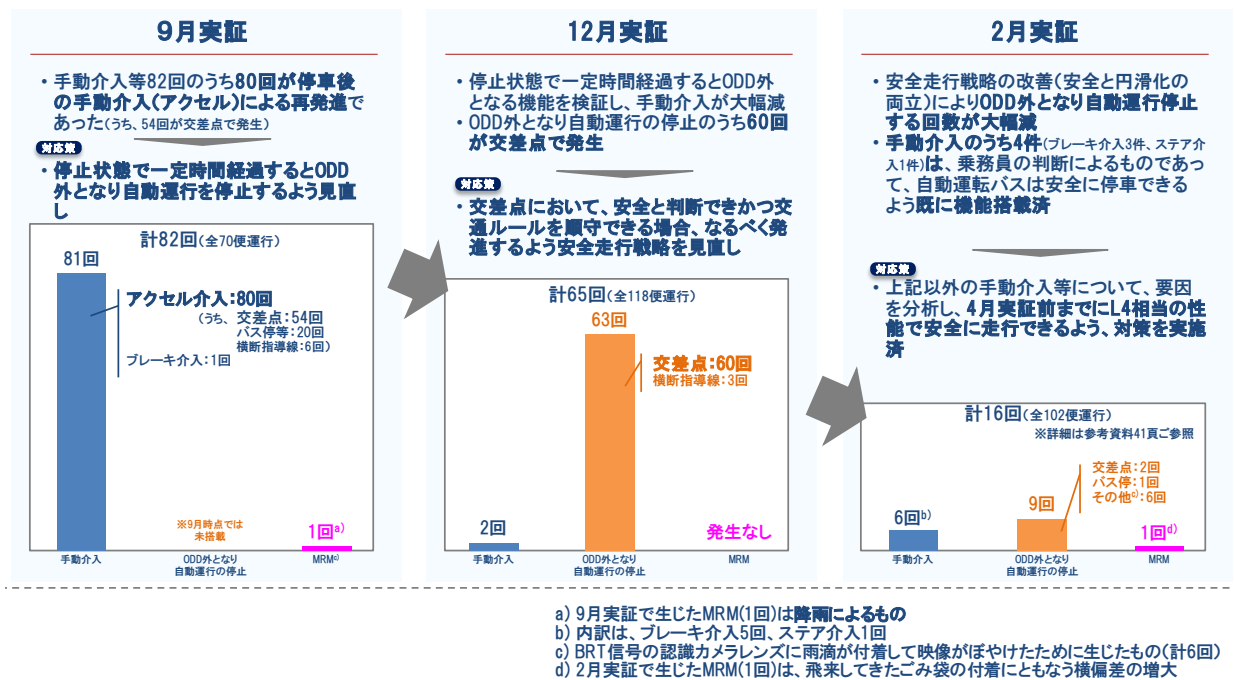


図 5.2.4-1 9月実証、12月実証、2月実証の比較

(5) 確認された課題

上記のとおり、2月実証では自動運転バスの停車という、営業運行に影響を与える事象を極力減少させることを実現したが、同時に以下のような課題が明らかとなった。

1) 信号新設交差点におけるブレーキ介入

磯坪バス停南側交差点には、2月実証の前に押しボタン式信号機が新たに設置された。この交差点の信号機は交差点前に設置されているため、交差点より前に自動運転バスが信号機の灯色を検知できない範囲が存在している。自動運転バスが信号側センサに到達する前に押しボタンで青になったため、車両は停車位置を超え進行したが、交差点に入る前に信号が赤に変わった。赤信号時の車両の位置が交差点より前であったため、乗務員判断でブレーキ介入を行った。

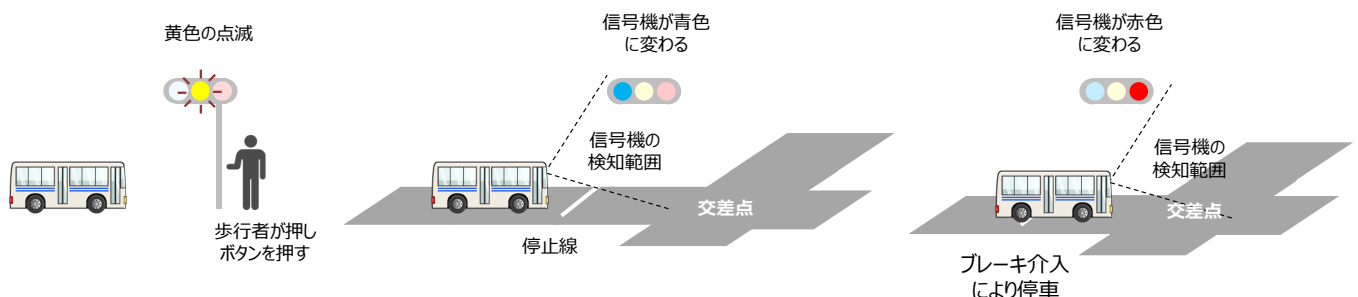


図 5.2.4-2 信号新設交差点におけるブレーキ介入

2) 雨滴によるカメラ映像のぼやけ

降雨時に BRT すれ違い信号を検知するカメラに雨滴が付着したため、映像がぼやけて信号機の灯色が認識できず、その場で停車し動けなくなった。一定時間停車後 ODD 外と判断され自動運行停止となった。

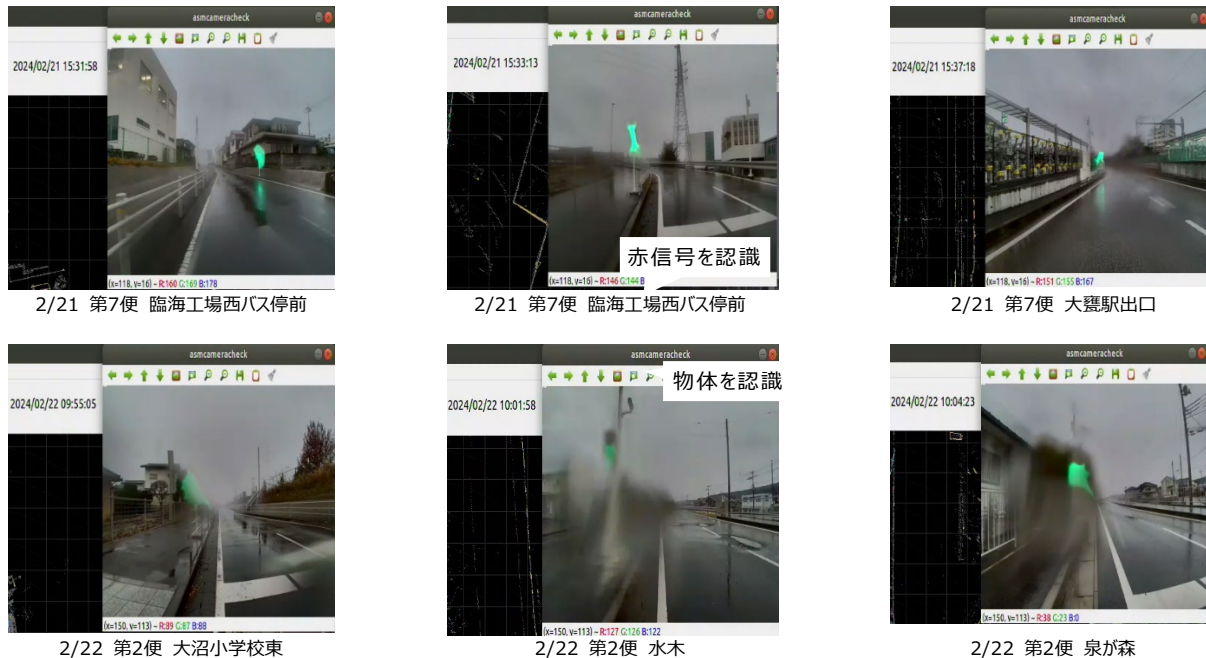


図 5.2.4-3 雨滴によるカメラ映像のぼやけ

3) バス車両の最低地上高以下の路上障害物

2 月実証での走行時に、BRT 専用道内に鳥が進入しそのまま動かないという事案が発生した。鳥は微小な大きさであったため障害物として認識されず、また地上高 33.5cm (車両の最低地上高) 以下であり、タイヤへ巻き込む恐れがあったため、乗務員がブレーキ介入し鳥を除去した。



図 5.2.4-4 進行方向上の鳥とカメラの認識

5.3. レベル4 認可と営業運行に向けた実証分析と改善等の対応

5.3.1. 技術実証により明らかになった課題

9月、12月、2月の3回の技術実証により、結果として以下の事項が課題として残ることとなった。

表 5.3.1-1 本年度技術実証によって明らかになった対応前の課題

現象	発生条件	2月実証時の対応
信号機新設交差点における交差点進入前の赤色への変更	磯坪バス停南側交差点において信号検知可能地点外で赤色に変更される場合	乗務員によるブレーキ介入
雨滴によるカメラ映像のぼやけによる BRT すれ違い信号検知不可	降雨時で BRT 信号検知用のカメラに雨滴が付着した場合	乗務員によるアクセル介入
小規模障害物の検知、排除不能	小型動物等が BRT 専用道内に進入して動かない場合	乗務員によるブレーキ介入
BRT すれ違い信号の赤認識	西日が BRT すれ違い信号の枠に反射し赤色が目立つ場合	ODD 外と判定し自動運行停止

5.3.2. レベル4 認可と営業運行に向けた改善等の対応

上記に示した課題を解決し、レベル4 認可と営業運行を実現するため、以下のとおりの改善を行う。

表 5.3.2-1 課題解決のための改善等の対応

現象	対応策	実施期限
信号機新設交差点における交差点進入前の赤色への変更	磯坪バス停南側交差点の信号が青色灯色であった場合、いったん赤色になるまで待つて次の青色で発進する。	来年度技術実証までに対応
雨滴によるカメラ映像のぼやけによる BRT すれ違い信号検知不可	1. 親水処理（コーティング剤塗布）を行う 2. 上記で効果が確認できなかった場合はエアワイパーを取り付ける	1. 来年度技術実証までに対応 2. 来年度技術実証の検証結果により必要であれば 12 月までに対応
小規模障害物の検知、排除不能	1. タイヤ前輪の前に排障器を設置し、バス車両の最低地上高 33.5cm 以下の路上障害物をタイヤに巻き込まないようにする。	1. 営業運行の試験走行を行う本年 6 月末までに対応 2. テストコース確認を本年度中に実施。誤検知性能確認を来年度技術実証前に実施

現象	対応策	実施期限
	2. バス車両の地上高 33.5cm 以上の路上障害物を検知できる機能も追加搭載を検討中。	
BRT すれ違い信号の赤認識	色だけではなく輝度も組み合わせた認識ロジック変更を行う。	仕様決定を 10 月末 検証を 11 月末までに実施

5.4. ひたち BRT での実証や社会実装に対する社会受容性の醸成と実装評価

ひたち BRT での自動運転レベル 4 での運行を想定し、専用道沿いの沿線住民、専用道沿線に立地する大学の学生、職場（工場）の従業員に対して、自動運転の社会受容性を把握するため、アンケート調査を行った。本アンケート調査は筑波大学にて実施されている社会受容性を図るための共通的な調査手法を取り入れ、継続的に同じ評価項目で評価することや、他地域での受容性を検証することを目的としている。

以下、調査項目、分析結果の概要を述べる。

5.4.1. 自動運転の社会受容性を評価するための指標

アンケート調査で用いる指標は、SHOW（欧州委員会 HORIZON 2020 傘下「レベル 4 モビリティサービスの実現を目指すプロジェクト」）が指定する自動運転の社会受容性を把握するためのアンケート調査項目（表 5.4.1-1）で、SHOW 統一指標と記載）に、既往研究から自動運転システムへの信頼、リスク認知、地域愛着などの指標を加え、表 5.4.1-1 のとおりに整理した。

なお、社会受容性とは、「企業・施設・新技術などが地域社会や国民の理解・賛同を得て受け入れられること（デジタル大辞泉）」とされるが、抽象概念であり、その具体的な定量化の試みは試されているものの単一指標での把握は困難であると考えられている¹⁾。

表 5.4.1-1 自動運転の社会受容性を評価する指標（案）

質問項目		質問内容	出典
SHOW統一指標に基づく質問			
利用経験	次の交通手段を使ったことがありますか。		SHOW統一指標
	自動運転の電車	自動運転の電車	
	自動運転バス	自動運転バス	
	個人自動運転車	個人所有の自動運転車	
	その他自動運転	その他の自動運転車(タクシー、ライドシェアリング等)	
クルマ運転頻度	あなたの自動車運転頻度をお答えください(年・月・週のいずれか1つを選んで運転日数を回答)		SHOW統一指標
自動運転導入段階	自動運転システムの技術がどの段階に達したら社会に導入すべきだと思いますか。1つお答えください		SHOW統一指標
AVs利用意図	自動運転車の以下の項目について、あなたはどのくらい同意しますか。		SHOW統一指標
	共用	自動運転車が共用であれば使いたい	
	個人利用	自動運転車が個人利用であれば使いたい	
	非利用	自動運転車は使わない	
	バス導入賛否	自動運転バスを日立市に導入することに賛成である	
Avs/バス利用目的	あなたは自動運転バスをどのような目的で使うと思いますか？当てはまるものを全てお答えください。		SHOW統一指標
Avs移動意識	自動運転バスによる移動について、以下の項目にあなたはどのくらい同意しますか。		SHOW統一指標
	楽しい	移動が楽しくなる	
	リラックス	移動がリラックスできるものになる	
	快適	移動が快適になる	
	安全	移動が安全になる	
	苦にならない	移動が苦にならない	
	速い	移動が速くなる	
	安価	移動が安価になる	
あなたのまち(地域)に対する意識と自動運転バスについて、最も当てはまる番号を選択してください。			
地域疎外	自分と自分の住む地域は一心同体という感じがする		羽島剛史、渡邊望、藤井聡、竹村和久、ヘーゲル「人間疎外」とオルテガ「大衆」との関連についての実証分析、人間環境学研究、Vol.10 No.2, pp.99-107, 2012.
地域愛着	選好	日立市が好きだ	鈴木春菜、藤井聡：地域愛着が地域への協力行動に及ぼす影響に関する研究、土木計画学研究・論文集、Vol.25-2, pp.357-362, 2008.
	感情	日立市にずっと住み続けたい	
地域誇り度	日立市に住んでいることを誇りに思う		
CP源泉誇り度	自動運転バスを町民(住民)として誇りに思う		伊藤香織：シビックプライドの源泉としての都市環境及び諸要素、都市計画学論文集、Vol.54 No.3, pp.615-622, 2019.
居住期間	日立市に住み始めてからの期間を教えてください		SHOW統一指標
居住地域種別	あなたの住んでいるところは右のいずれに当てはまりますか。		SHOW統一指標
信頼、リスク認知に関する質問項目			
信頼	技術	自動運転の技術は信頼できると思いますか。	谷口綾子：自動運転システムの社会的受容とその規定因の二時点変化に関する日英独三カ国比較、第62回土木計画学研究発表会・講演集、2020/11.
	行政	自動運転に関する法律やガイドラインなど「社会的な仕組み」をつくる政府・自治体を信頼できると思いますか。	
	社会システム	自動運転に関する保険など「社会的な仕組み」をつくる企業を信頼できると思いますか。	
	構築関連企業	自動運転のシステムをつくる企業を信頼できると思いますか。	
	Avs開発企業	自動運転のシステムをつくる企業を信頼できると思いますか。	
自動運転システムの以下の項目について、以下の項目にあなたはどのくらい同意しますか。			
リスク認知	恐ろしさ	あなたは自動運転システムを恐ろしいと思いますか。	Wang, Z., 谷口綾子, Enoch, M., Jeromonachou, P., 森川高行：自動運転システムに対する賛否意識の日英比較分析—リスク認知に着目して、土木学会論文集D3(土木計画学)、Vol.75, No.5(土木計画学研究・論文第36巻)、1191-1200, 2019.
	未知性	あなたは自動運転システムについて良く知っていると思いますか。	
	制御可能性	あなたは、ご自身のスキルや努力によって、自動運転システムによる事故を避けることができると考えますか	

5.4.2. 時系列での変化を補足する手法の整理

調査の目的は、自動運転技術の社会における受容性の現状を把握し、今後の変化を予測するとともに、受容性を高めるための施策を実施し、その効果を測定することにある。今後の変化を正確に把握し、施策の効果を評価するためには、変化前及び施策実施前の社会受容性のベースライン（基準値）を確立することが重要である。この目的のために、本調査では、自動運転レベル4の自動運転技術の実証実験実施前である2024年2月に、沿線住民、沿線に位置する大学の学生、及び沿線の職場（工場）の従業員を対象に第一回目のアンケート調査を行った。今後も、実証実験中及び施策実施後に同様のアンケートを実施する予定である。なお、社会受容性の変化を厳密に測定するためには、同一人物に対してアンケートを行う（パネル調査を実施する）ことが重要である。このため、第一回のアンケート調査では、今後も同様の調査への参加を同意してくれる被験者にメールアドレスを登録してもらった。また、このパネル調査で有効なサンプル数を確保できなかった場合は、沿線住民、大学生、工場従業員などの母集団を設定し、その母集団を対象にしたアンケート調査を実施し、結果を比較することにより、社会受容性の変化を把握することが可能である。

5.4.3. アンケート調査の実施概要

以下にアンケート調査の実施概要を示す。

■ 調査目的

5.4.2 項のとおり。

■ 調査対象

ひたち BRT の沿線住民、日立製作所の通勤者、茨城大学の学生、茨城キリスト教大学の学生

■ 調査方法

ひたち BRT 沿線周辺の 12,000 世帯に対して、実証実験（2024/2/13～3/1）のお知らせ（チラシ）と返信用封筒と合わせてアンケート用紙を投函した。なお、アンケート用紙には Web アンケートでの回答用 QR コードも記載した。

日立製作所の通勤者、茨城大学の関係者、茨城キリスト教大学の関係者に対しては、Web アンケートを案内した。

■ 調査期間

2024/1/24～2/29

■ 回収状況

有効回答数 757 票

■ 調査項目

以下 A)～D)の分類について複数項目の質問を実施。質問項目は図 5.3.1-1 のとおり。

- A) 回答者の基本属性に関する質問
- B) SHOW 統一指標に基づく質問
- C) 信頼、導入ストーリー、リスク認知に関する質問
- D) 乗務員常駐の必要性に関する質問

番号	質問項目	質問内容	選択肢	質問タイプ	出典
A	基本属性				
A1	生年月日	あなたの生年月日と郵便番号をお答えください。 ※この項目は、本回答と今後の調査（数回予定）の回答を、個人を特定しないようにリンクさせて統計解析を行うためのものです	(西暦) 年 月 日 郵便番号：〒 ____ - ____	記述	
A2	性別	該当する性別をお答えください。	1.男性 2.女性 3.その他 4.答えたくない	単一選択	
A3	学歴	最終学歴を教えてください。	1.中学校 2.高等学校 3.専門学校・短大・高専 4.大学(学士) 5.大学院（修士） 6.大学院（博士） 7.その他 _____	単一選択	
A4	職業	現在の職業を教えてください。	1.フルタイム就業者 2.フリーランサー 3.パート・アルバイト 4.学生 5.主婦/主夫 6.無職/退職 7.その他 _____	単一選択	
A5	世帯人数	現在の世帯人数をお答えください。	____人	記述	
A6	世帯構成	現在の世帯の構成をお答えください。	1.一人住まい 2.夫婦のみ 3.二世帯同居(子どもと同居) 4.二世帯同居（親と同居） 5.三世帯同居 6.その他 _____	単一選択	周南市市民アンケート調査，2019.
A7	免許の有無	保有している自動車運転免許をお答えください。（いくつでも）	1.原付 2.自動二輪（普通・大型） 3.普通 4.準中型 5.中型 6.大型 7.大型特殊 8.小型特殊 9.けん引 10.運転免許は持っていない	複数選択	
A8	世帯年収	前年度のあなたが属する世帯年収（税込み）をお答えください。	1.200万円未満 2.200～599万円 3.600～999万円 4.1000～1499万円 5.1500万円以上 6.不明	単一選択	東京都市圏交通計画協議会：東京都市圏パーソントリップ調査 データ利活用の手引き,2023. https://www.tokyo-pt.jp/static/hp/file/data/tebiki.pdf
A9a	身体的特徴	あなたの身長を教えてください		記述	
A9b		あなたの体重を教えてください		記述	
A10		あなたの健診結果は以下のいずれに該当しますか？	1.メタボリックシンドローム 2.メタボリックシンドローム予備軍 3.いずれも非該当	単一選択	
B SHOW統一指標に基づく質問					
B1	利用経験	次の交通手段を使ったことがありますか。			
B1-1		自動運転の電車	自動運転の電車	単一選択	SHOW統一指標
B1-2		自動運転バス	自動運転バス		
B1-3		個人自動運転車	個人所有の自動運転車		
B1-4		その他自動運転	その他の自動運転車（タクシー、ライドシェアリング等）		
B2-1	クルマ運転頻度		あなたの自動車運転頻度をお答えください（年・月・週のいずれか1つを選んで運転日数を回答）	選択記述	SHOW統一指標
B2-2	公共交通利用頻度	電車	あなたの電車の利用頻度をお答えください（年・月・週のいずれか1つを選んで利用日数を回答）	選択記述	
B2-3		路線バス	あなたの路線バスの利用頻度をお答えください（年・月・週のいずれか1つを選んで利用日数を回答）		
B2-4		自転車	あなたの自転車運転頻度をお答えください（年・月・週のいずれか1つを選んで運転日数を回答）		
B2-5		徒歩	あなたの徒歩で出かける頻度をお答えください（年・月・週のいずれか1つを選んで日数を回答）		
B3	自動運転導入段階		自動運転システムの技術がどの段階に達したら社会に導入すべきだと思いますか。1つお答えください	単一選択	SHOW統一指標

B4	自動運転車の以下の項目について、あなたはどのくらい同意しますか。							
B4-1	AVs利用意識	共用	自動運転車が共用であれば使いたい	1. 全くそう思わない～ 4. どちらともいえない～ 7. とてもそう思う 99. 該当なし	単一選択	SHOW統一指標		
B4-2		個人利用	自動運転車が個人利用であれば使いたい					
B4-3		非利用	自動運転車は使わない					
B4-4		バス導入賛否	自動運転バスを日立市に導入することに賛成である					
B5	AVsバス利用目的		あなたは自動運転バスをどのような目的で使うと思いますか？当てはまるものを全てお答えください。	1. 好奇心 2. 観光 3. 通学・通学 4. 日常的な用事 5. レジャー 6. その他_____	複数選択	SHOW統一指標		
B6	自動運転バスによる移動について、以下の項目にあなたはどのくらい同意しますか。							
B6-1	AVs移動意識	楽しい	移動が楽しくなる	1. 全くそう思わない～ 4. どちらともいえない～ 7. とてもそう思う 99. 該当なし	単一選択	SHOW統一指標		
B6-2		リラックス	移動がリラックスできるものになる					
B6-3		快適	移動が快適になる					
B6-4		安全	移動が安全になる					
B6-5		苦にならない	移動が苦にならない					
B6-6		速い	移動が速くなる					
B6-7		安価	移動が安価になる					
B7	あなたのまち(地域)に対する意識と自動運転バスについて、最も当てはまる番号を選択してください。							
B7-1	地域疎外		自分と自分の住む地域は一心同体という感じがする	1. 全くそう思わない～ 4. どちらともいえない～ 7. とてもそう思う 99. 該当なし	単一選択	羽島剛史, 渡邊望, 藤井聡, 竹村和久: ヘーゲル「人間疎外」とオルテガ「大衆」との関連についての実証分析, 人間環境学研究, Vol.10 No.2, pp.99-107, 2012.		
B7-2	地域愛着	選好	日立市が好きだ			鈴木春菜, 藤井聡: 地域愛着が地域への協力行動に及ぼす影響に関する研究, 土木計画学研究・論文集, Vol.25-2, pp.357-362, 2008.		
B7-3		感情	日立市にずっと住み続けたい					
B7-4	地域誇り度		日立市に住んでいることを誇りに思う					
B7-5	AVs態度	うれしい	自動運転バスを見かけたらちょっと「うれしい」と思う				渡辺健太郎: 自動運転システムの社会的受容・「システムによる交通ルール違反」の許容/地域のシビックプライドに与える影響, 筑波大学大学院博士課程 理工情報生命学術インシステム情報工学研究群 修士論文, 2022.	
B7-6		運が悪かった	自動運転バスを見かけたら「運が悪かった」と思う				渡辺健太郎: 自動運転システムの社会的受容・「システムによる交通ルール違反」の許容/地域のシビックプライドに与える影響, 筑波大学大学院博士課程 理工情報生命学術インシステム情報工学研究群 修士論文, 2022.	
B7-7		しかたない	自動運転バスがゆっくり走るの「しかたない」と思う				伊藤香織: シビックプライドの源泉としての都市環境及び諸要素, 都市計画学論文集, Vol.54 No.3, pp.615-622, 2019.	
B7-8	AVs配慮行動	見守り	自動運転バスを見守ろうと思う					
B7-9		路上駐車	自動運転バスが走る路線では、路上駐車を控えようと思う					
B7-10		ゆずる	自動運転バスがきたら、道をゆずろうと思う					
B7-11	動意図	追い抜き	クルマやバス・バイクに乗っていて、自動運転バスがいたら「追い抜きたい」と思う					
B7-12			CP源泉誇り度			自動運転バスを町民（住民）として誇りに思う		
B8	居住期間		日立市に住み始めてからの期間を教えてください。	() 年くらい	記述	SHOW統一指標		
B9	居住地域種別		あなたの住んでいるところは右のいずれに当てはまりますか。	1. 街なか (Urban) 2. 郊外 (Suburban) 3. いなか (Rural)	単一選択	SHOW統一指標		

C 信頼、導入ストーリー、リスク認知に関する質問項目					
C1-1	信頼	技術	自動運転の技術は信頼できると思いますか。	単一選択	谷口綾子: 自動運転システムの社会的受容とその規定因の二時点変化に関する日英独三カ国比較, 第62回土木計画学研究発表会・講演集, 2020/11.
C1-2		行政	自動運転に関する法律やガイドラインなど「社会的な仕組み」をつくる政府・自治体を信頼できると思いますか。		
C1-3		社会システム構築関連企業	自動運転に関する保険など「社会的な仕組み」をつくる企業を信頼できると思いますか。		
C1-4		Avs開発企業	自動運転のシステムをつくる企業を信頼できると思いますか。		
C2	導入ストーリー	自動運転システムの導入を巡って、以下の議論があります。あなたはそれぞれの論調に同意しますか。 (自動運転はレベル5(ドライバーは完全に運転に不関与)を想定してください。)			
C2-1		自動車交通事故減少	自動車同士の交通事故を減少させるため、自動運転システムによって自動車の安全性を向上すべきである	単一選択	中尾聡史, 田中皓介, 谷口綾子, 神崎直次, 久木田水生, 宮谷台香純, 南手健太郎: 自動運転システムの社会的受容の日英独比較分析ーAVsを巡る論調に着目して, 第62回土木計画学研究・講演集, 2020.
C2-2		歩行者交通事故減少	歩行者が被害者となる交通事故を減少させるため、自動運転システムによって自動車の安全性を向上すべきである		
C2-3		交通渋滞緩和	交通渋滞の緩和のため、自動運転システムを導入すべきである		
C2-4		高齢者外出支援	高齢者の外出支援のため、自動運転システムを導入すべきである		
C2-5		CO2削減	交通システム全体の効率化により二酸化炭素排出量を削減するために、自動運転システムを導入すべきである		
C2-6		過疎地外出支援	過疎地の交通弱者の外出支援のため、自動運転システムを導入すべきである		
C2-7		移動有効活用	移動時間の有効活用のため、自動運転システムを導入すべきである		
C2-8		運転費削減	バスやタクシー、トラックなどの運転費削減のため、自動運転システムを導入すべきである		
C2-9		運転手不足解消	バスやタクシー、トラックなどの運転手不足解消のため、自動運転システムを導入すべきである		
C2-10		経済活性化	我が国(地域)の経済活性化のため、自動運転技術の社会的実装を進めるべきである		
C2-11		国際競争対抗	自国の自動車産業が国際競争に負けないように、自動運転技術の社会的実験を進めるべきである		
C2-12		国費投入	自動運転技術の社会的実装を支援するため、我が国の政府は国費を投入すべきである		
C2-13		規制緩和	自動運転技術の社会的実装のため、我が国は道路交通に関する規制を緩和(安全基準を緩める)すべきである		
C2-14	走行実験	自動運転技術を開発するため、我が国は公道での自動運転システムの走行実験をできるだけ早く行うべきである			
C3	リスク認知	自動運転システムの以下の項目について、以下の項目にあなたはどのくらい同意しますか。			
C3-1		恐ろしさ	あなたは自動運転システムを恐ろしいと思いますか。	単一選択	Wang, Z., 谷口綾子, Enoch, M., Ieromonachou, P., 森川高行: 自動運転システムに対する賛否意識の日英比較分析ーリスク認知に着目して, 土木学会論文集D3(土木計画学), Vol.75, No.5(土木計画学研究・論文集第36巻), I_191-I_200, 2019.
C3-2		未知性	あなたは自動運転システムについて良く知っていると 思いますか。		
C3-3	制御可能性	あなたは、ご自身のスキルや努力によって、自動運転システムによる事故を避けることができると 思いますか。			
D 乗務員常駐の必要性に関する質問項目					
D1	乗務員常駐必要性	ひたちBRTが完全自動運転バス(運転士がいらない)になったとします。この時、例えば車掌さんのような【乗務員】がいたほうがいいと思いますか？(運転は自動運転システムが行い、乗務員は関与しません。)		単一選択	岩田剛弥, 谷口綾子, 溝口哲平: 自動運転バスの利用意向の要因分析ー乗務員有無・乗務員の保有免許に着目してー, 土木計画学研究・論文集(CD-ROM), Vol. 65, 2022.
D1	乗務員必要免許	D1にて「1. いた方がいい」を選択した方のみお答えください。 完全自動運転バスの【乗務員】(運転はしない)には、どの免許が必要だと思いますか？(複数回答可) なお、現在、バスやタクシーのドライバーには第二種免許が必要となっています。第二種免許とは、運賃をもらってお客さんを乗せることのできる免許です。		単一選択	
			1. いた方がいい 2. いなくてもいい 3. いらない方がいい 1. 大型二種免許 (路線バス/観光バス) 2. 大型一種免許 (ダンプカーや大型トラック) 3. 普通二種免許 (タクシー/ハイヤー/運転代行) 4. 普通(一種)免許 (一般の運転免許) 5. 運転免許はいらない		

図 5.4.3-1 アンケートでの質問項目一覧

5.4.4. アンケート調査の結果(概要)

質問に対する主な回答は以下のとおり。その他の質問に関する回答は参考に記載する。

(1) 回答者の基本属性に関する質問への回答

- 沿線住民、大学の学生、工場従業員からは、およそ1：2：2の割合で回答があった。また、回答者の男女比はおよそ6：4であった。

	男性	女性	答えたくない	合計
沿線住民	75	70	1	146
大学の学生	151	171	6	328
工場従業員	254	29	0	283
合計	480	270	7	757

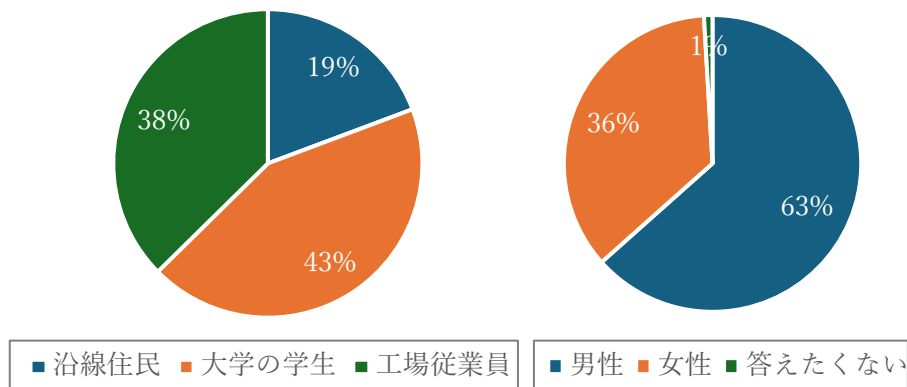


図 5.4.4-1 回答者の基本属性

(2) SHOW 統一指標に基づく質問への回答

- ・ 自動運転の電車（ゆりかもめ等）の利用がある回答者が 61%で多数派であった一方、自動運転バス、個人所有の自動運転車、自動運転車（タクシー、ライドシェアリング等）については 80%以上の回答者が利用したことがなかった。
- ・ 自動運転バスを住民として誇りに思っている回答者が半数以上見られた。

B1. 次の交通手段を使った事がありますか？	ある	ない	わからない	合計
自動運転の電車（ゆりかもめ等）	464	269	24	757
	61%	36%	3%	100%
自動運転バス	61	683	13	757
	8%	90%	2%	100%
個人所有の自動運転車	128	612	17	757
	17%	81%	2%	100%
その他の自動運転車（タクシー、ライドシェアリング等）	137	604	16	757
	18%	80%	2%	100%

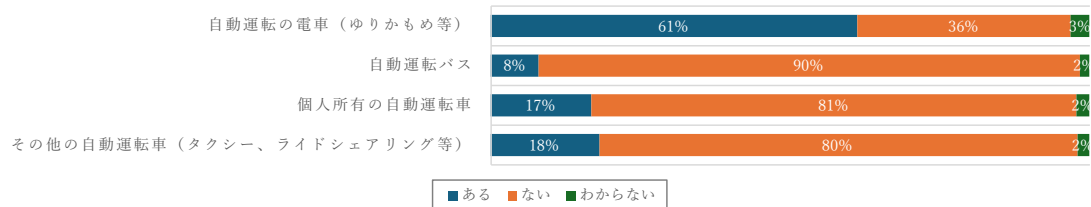


図 5.4.4-2 回答者の交通手段の利用経験

		← どちらともいえない →							該当無し 99	合計
		1	2	3	4	5	6	7		
B7-1.	自分と自分の住む地域は一心同体という感じがする	71	86	107	249	135	57	47	5	757
		9%	11%	14%	33%	18%	8%	6%	1%	100%
B7-2.	日立市が好きだ	22	29	50	145	208	141	159	3	757
		3%	4%	7%	19%	27%	19%	21%	0%	100%
B7-3.	日立市にずっと住み続けたい	88	75	120	179	106	81	101	7	757
		12%	10%	16%	24%	14%	11%	13%	1%	100%
B7-4.	日立市に住んでいることを誇りに思う	30	35	69	225	184	94	110	10	757
		4%	5%	9%	30%	24%	12%	15%	1%	100%
B7-5.	自動運転バスを見かけたらちょっと「うれしい」と思う	27	17	26	129	189	173	195	1	757
		4%	2%	3%	17%	25%	23%	26%	0%	100%
B7-6.	自動運転バスを見かけたら「運が悪かった」と思う	495	101	69	68	9	9	4	2	757
		65%	13%	9%	9%	1%	1%	1%	0%	100%
B7-7.	自動運転バスがゆっくり走るの「しかたない」と思う	38	39	65	134	192	143	146	0	757
		5%	5%	9%	18%	25%	19%	19%	0%	100%
B7-8.	自動運転バスを見守ろうと思う	10	6	12	87	180	197	263	2	757
		1%	1%	2%	11%	24%	26%	35%	0%	100%
B7-9.	自動運転バスが走る路線では、路上駐車を控えようと思う	34	31	30	89	98	122	337	16	757
		4%	4%	4%	12%	13%	16%	45%	2%	100%
B7-10.	自動運転バスがきたら、道をゆずろうと思う	31	29	40	188	139	119	202	9	757
		4%	4%	5%	25%	18%	16%	27%	1%	100%
B7-11.	クルマやバス・バイクに乗っていて、自動運転バスがいたら「追い抜きたい」と思う	218	83	73	214	85	48	28	8	757
		29%	11%	10%	28%	11%	6%	4%	1%	100%
B7-12.	自動運転バスを住民として誇りに思う	36	25	30	205	169	108	169	15	757
		5%	3%	4%	27%	22%	14%	22%	2%	100%

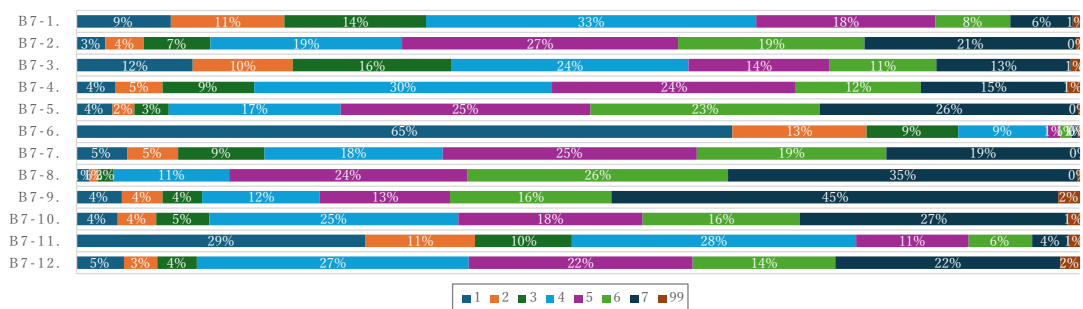


図 5.4.4-3 回答者の地域への愛着・誇りや自動運転バスへの態度

(3) 信頼、導入ストーリー、リスク認知に関する質問への回答

- ・ 自動運転に関する技術や社会的な仕組み、企業に対して信頼できると思うかという質問に対してはどちらともいえないに近い回答（3～5）が 70%前後見られた。
- ・ 自動運転システムに対するリスク認知に関して、自動運転システムについてよく知っているかという質問に対し、半数以上の回答者が知っている側の回答（5～7）を選択していた。

C1. ○○を信頼できると思いますか？		全くそう思わない		← どちらともいえない →			とてもそう思う		該当無し	合計
		1	2	3	4	5	6	7	99	
C1-1.	自動運転の技術	11	18	86	233	277	84	48	0	757
		1%	2%	11%	31%	37%	11%	6%	0%	100%
C1-2.	自動運転に関する法律やガイドラインなど「社会的な仕組み」をつくる政府・自治体	19	33	97	234	231	87	56	0	757
		3%	4%	13%	31%	31%	11%	7%	0%	100%
C1-3.	自動運転に関する保険など「社会的な仕組み」をつくる企業	10	20	73	249	227	100	78	0	757
		1%	3%	10%	33%	30%	13%	10%	0%	100%
C1-4.	自動運転のシステムをつくる企業	6	4	28	191	281	166	81	0	757
		1%	1%	4%	25%	37%	22%	11%	0%	100%

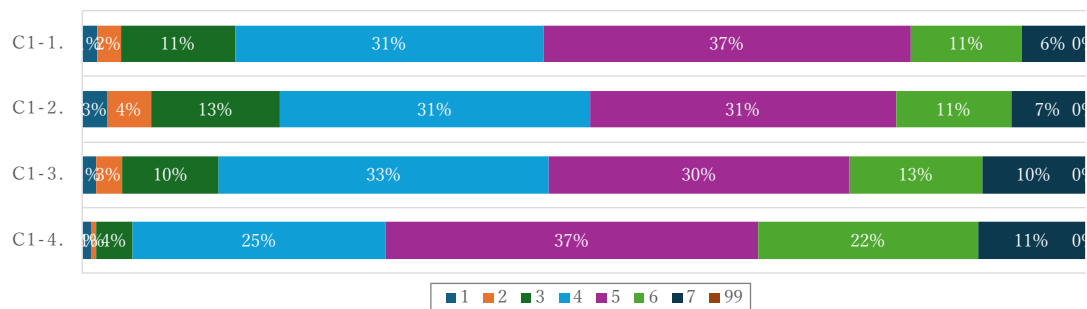


図 5.4.4-4 回答者の自動運転に対する信頼

C3. 自動運転システムの以下の項目について、 どのくらい同意しますか？		全くそう思わない		← どちらともいえない →			とてもそう思う		該当無し	合計
		1	2	3	4	5	6	7	99	
C3-1.	あなたは自動運転システムを恐ろしいと思 いますか。	11	18	86	233	277	84	48	0	757
		1%	2%	11%	31%	37%	11%	6%	0%	100%
C3-2.	あなたは自動運転システムについて良く知っ ていると思いますか。	19	33	97	234	231	87	56	0	757
		3%	4%	13%	31%	31%	11%	7%	0%	100%
C3-3.	あなたは、ご自身のスキルや努力によって、 自動運転システムによる事故を避けることが できると思いますか。	10	20	73	249	227	100	78	0	757
		1%	3%	10%	33%	30%	13%	10%	0%	100%

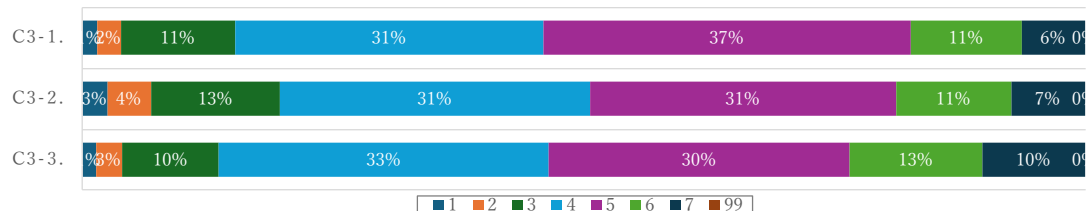


図 5.4.4-5 回答者の自動運転システムのリスク認知

(4) 乗務員常駐の必要性に関する質問への回答

- ・ ひたち BRT において自動運転バスが実現した場合に乗務員がいた方がいいと答えた回答者は 53%と半数以上いた。

D1. ひたちBRTが完全自動運転バス(運転士がいらない)になったとします。この時、例えば車掌さんのような【乗務員】がいたほうが良いと思いますか？ (運転は自動運転システムが行い、乗務員は関与しません。)	いた方がいい	いなくてもいい	いない方がいい	合計
	400	331	26	757
	53%	44%	3%	100%



図 5.4.4-6 回答者が考える乗務員の必要性

5.4.5. 社会受容性のベースライン（基準値）の把握

社会受容性は、それが抽象概念であり、単一指標で計測することは難しいことを述べたところであるが、既往研究によって「社会に受け入れておくことに賛成か、反対か」が代理指標となり得ることが示されている¹⁾。そこで、本項では、アンケート設問で設定した、自動運転導入への賛否意識を集計し、把握する。

(1) 沿線住民の社会受容性のベースライン（基準値）

図 5.4.5-1 に、沿線住民が、設問「自動運転バスを日立市に導入することに賛成である」に対して、全くそう思わない（数値の 1）～どちらとも言えない（数値 4）～とてもそう思う（数値 7）の 7 件法で回答した、回答数、割合、平均値（回答した数値を連続値とみなして集計）を示す。図 5.4.5-1 より、自動運転バス導入に対して賛成であると思っていない人（選択肢 3 以下）の数は、4 人、3%と少数であり、多くの人が賛成であると思っていることが明らかになった。

【質問】

自動運転バスを日立市に導入することに賛成である

【選択肢】		回答者数	割合
全くそう思わない	1	0	0%
	2	1	1%
	3	3	2%
どちらともいえない	4	21	14%
	5	28	19%
	6	25	17%
とてもそう思う	7	68	47%
合計		146	
平均値		5.90	

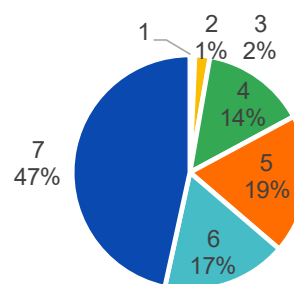


図 5.4.5-1 沿線住民の社会受容性のベースライン（基準値）

(2) 大学の学生の社会受容性のベースライン（基準値）

図 5.4.5-2 に、大学の学生が、設問「自動運転バスを日立市に導入することに賛成である」に対して、全くそう思わない（数値の 1）～どちらとも言えない（数値 4）～とてもそう思う（数値 7）の 7 件法で回答した、回答数、割合、平均値（回答した数値を連続値とみなして集計）を示す。図 5.4.5-2 より、自動運転バス導入に対して賛成であると思っていない人（選択肢 3 以下）の数は、27 人、9%と少数であり、沿線住民より賛成していない人の割合が多いものの、多くの人が賛成であると思っていることが明らかになった。

【質問】

自動運転バスを日立市に導入することに賛成である

【選択肢】		回答者数	割合
全くそう思わない	1	5	2%
	2	12	4%
	3	10	3%
どちらともいえない	4	61	19%
	5	53	16%
	6	70	21%
とてもそう思う	7	117	36%
合計		328	
平均値		5.51	

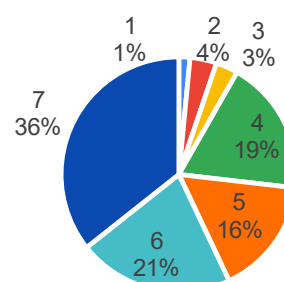


図 5.4.5-2 大学の学生の社会受容性のベースライン（基準値）

(3) 工場従業員の社会受容性のベースライン（基準値）

図 5.4.5-3 に、工場従業員が、設問「自動運転バスを日立市に導入することに賛成である」に対して、全くそう思わない（数値の 1）～どちらとも言えない（数値 4）～とてもそう思う（数値 7）の 7 件法で回答した、回答数、割合、平均値（回答した数値を連続値とみなして集計）を示す。図 5.4.5-3 より、自動運転バス導入に対して賛成であると思っていない人（選択肢 3 以下）の数は、10 人、3%と少数であり、多くの人が賛成であると思っていることが明らかになった。また、とてもそう思うを選択した人が 58%と、沿線住民、学生と比較して最も多かった。

【質問】

自動運転バスを日立市に導入することに賛成である

【選択肢】		回答者数	割合
全くそう思わない	1	6	2%
	2	3	1%
	3	1	0%
どちらともいえない	4	17	6%
	5	42	15%
	6	49	18%
とてもそう思う	7	159	57%
合計		277	
平均値		6.13	

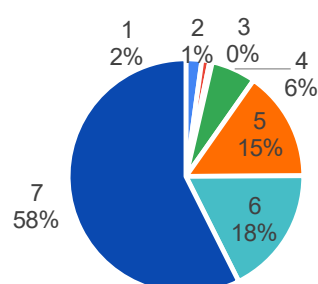


図 5.4.5-3 工場従業員の社会受容性のベースライン（基準値）

5.4.6. 自動運転の社会受容性を高めるための施策の整理

(1) 自動運転の社会受容性に影響を与えている要因分析

自動運転の社会受容性を高めるための施策を検討するためには、どのような要因が社会受容性に影響を与えているのか明らかにする必要がある。

そのため、自動運転バス導入賛否意識を従属変数に、本アンケート調査で把握した各項目を独立変数とした重回帰分析(Microsoft Excel 分析ツール使用)を行い、自動運転バス

導入賛否意識に影響を与える要因を把握することを試みる。表 5.4.6-1 自動運転バス導入賛否意識を従属変数、アンケート各項目を独立変数とした重回帰分析結果に、本アンケート調査で回答があった、沿線住民、学生、工場従業者員で分析対象の指標すべて回答した回答者 717 人分のデータを重回帰分析した結果を示す。

表 5.4.6-1 自動運転の社会受容性を評価する指標（案）より、自動運転バス導入賛否意識に有意に影響を与える要因として、以下 6 点が明らかになった。

①学生の方が賛成の度合いが低い

②女性の方が賛成の度合いが低い（女性の方が男性よりも自動運転導入に賛成する度合いが低いのは一般的な傾向である 1））

③ゆりかもめ等自動運転の電車利用経験がある人の方が賛否の度合いが高い

（自動運転バスの利用経験は自動運転バス導入賛否意識に影響を与えていなかった。これは既に社会に実装されている自動運転システムの利用を経験することが、自動運転バス導入賛否意識に有意に影響する可能性を示唆するものである）

④自動運転バスを住民として誇りに思う人の方が賛成の度合いが高い

⑤自動運転の技術を信頼している人の方が賛成の度合いが高い

⑥自動運転のシステムをつくる企業を信頼している人の方が賛成の度合いが高い

（政府や保険会社への信頼は、自動運転バス導入賛否意識に影響を与えていなかった。）

表 5.4.6-1 自動運転バス導入賛否意識を従属変数、アンケート各項目を独立変数とした重回帰分析結果

日立市への自動運転バス導入賛否意識	β	t	p
切片	2.969	10.316	0.000
学生（学生=1 それ以外=0）	-0.243	-2.264	0.024 *
高齢人口（65歳以上=1 それ以外=0）	0.082	0.187	0.852
性別（女性=1 男性=0）	-0.453	-4.293	0.000 ***
自動運転の電車利用経験（有=1 無=0）	0.266	2.709	0.007 ***
自動運転バス利用経験（有=1 無=0）	0.225	1.265	0.206
個人所有の自動運転車利用経験（有=1 無=0）	0.208	1.405	0.161
タクシー、ライドシェアリングの自動運転車利用経験（有=1 無=0）	-0.231	-1.600	0.110
車の利用頻度 回数/週	-0.004	-1.088	0.277
自動運転バスを住民として誇りに思う※	0.171	5.241	0.000 ***
自動運転の技術への信頼 ※	0.292	6.324	0.000 ***
自動運転に関する法律やガイドラインなど「社会的な仕組み」をつくる政府・自治体への信頼 ※	-0.018	-0.361	0.718
自動運転に関する保険など「社会的な仕組み」をつくる企業への信頼 ※	-0.007	-0.142	0.887
自動運転のシステムをつくる企業への信頼 ※	0.175	3.156	0.002 ***
リスク認知 未知性（あなたは自動運転システムについて良く知っていると思いますか） ※	-0.013	-0.411	0.681
地域愛着（日立市が好きだと思う） ※	0.015	0.463	0.643
※全くそう思わない（数値の1）～どちらとも言えない（数値4）～とてもそう思う（数値7）の7件法			
調整済みR2乗 = 0.26			
β : 標準化係数 t: t値 p: 有意確率（両側）			

(2) 自動運転の社会受容性を高めるための施策

前号で明らかになった自動運転の社会受容性に影響を与えている要因に基づき、受容性を高める施策について考察し、表 5.4.6-2 に整理する。

表 5.4.6-2 自動運転の社会受容性を高めるための施策(案)

自動運転の社会受容性に影響を与えている要因と傾向	受容性を高める施策（案）
①学生の方が賛成の割合が低い	③～⑥に示す施策の対象として重点化する。
②女性の方が賛成の割合が低い	③～⑥に示す施策の対象として重点化する。
③ゆりかもめ等自動運転の電車利用経験がある人の方が賛否の割合が高い	ゆりかもめ等自動運転の電車の利用を呼び掛ける。又は、既に社会に実装されている自動運転システムが存在することを周知する。
④自動運転バスを住民として誇りに思う人の方が賛成の割合が高い	既往研究 ²⁾ では、行政への信頼が、誇り度に影響していることを指摘している。このため、自動運転バスが、住民の誇りになり得るためには、行政への信頼を醸成する取組みが有効である可能性がある。
⑤自動運転の技術を信頼している人の方が賛成の割合が高い	自動運転の技術の信頼を獲得するような情報提供、説明会、ワークショップなどを開催する。また技術に知人が関わっている場合、その信頼性が高まる可能性があることから、沿線住民等が技術開発（簡単な部分でも）に関わる余地を提供することも考えられる。
⑥自動運転のシステムをつくる企業を信頼している人の方が賛成の割合が高い	システムをつくる企業の信頼を獲得するため、企業と沿線住民との接点を増やす取組みを実施する。

以下では、一見、社会受容性を高める効果がありそうな施策ではあるものの、前号の分析では、効果が見込めない可能性が示唆されたものを示す。

- ・ 自動運転バスの利用経験は自動運転バス導入賛否意識に影響を与えていなかったため、実証実験への参加を呼び掛け、実際に自動運転バスを体験してもらう方法は、自動運転の社会受容性を高める効果が見込めない可能性が示唆されている。体験を通して、技術や企業への信頼を獲得することが重要と考えられる。なお、既往研究²⁾では、自動運転バスに乗車する機会を設けることが、社会受容性を醸成する際に有効であることが示されており、その乗車機会の内容を精査する必要があると考える。
- ・ 自動運転システムをよく知っていると思っていることは、自動運転バス導入賛否意識に影響を与えていなかったため、単に自動運転システムの説明をすることは、自動運転の社会受容性を高める効果がない可能性が示唆されている。知識を獲得してもらうのではなく、技術や企業への信頼を獲得することが重要と考えられる。

1) 谷口綾子，富尾祐作，川嶋優旗，Marcus Enoch，Petros Ieromonachou，森川高行：自動

運転システムの社会的受容－賛否意識とリスク認知に着目して，土木計画学研究・講演集(CD-ROM) Vol.56, 2017.

- 2) 渡辺健太郎，谷口綾子，岩田剛弥：自動運転システムが地域のシビックプライドに与える影響-自動運転システムの社会的受容-，土木計画学研究・講演集(CD-ROM)，Vol.66, 2022.

5.4.7. 【参考】アンケートでの回答一覧

A1. あなたの生年月日お答えください			
1940年	～	1949年	1
1950年	～	1959年	13
1960年	～	1969年	103
1970年	～	1979年	99
1980年	～	1989年	100
1990年	～	1999年	124
2000年	～	2009年	303
その他			14
合計			757

A2. 該当する性別をお答えください	
男性	480
女性	270
答えたくない	7
合計	757

A3. 最終学歴を教えてください	
中学校	5
高等学校	274
専門学校・短大・高専	67
大学（学士/在学中）	282
大学院（修士）	123
大学院（博士）	6
合計	757

A4. 現在の職業を教えてください	
学生	320
工場従業員	283
フルタイム就業者	101
主婦/主夫	19
パート・アルバイト	15
無職/退職	11
フリーランサー	7
自営業	1
合計	757

A5. 現在の世帯人数をお答えください	
1人	203
2人	119
3人	197
4人	163
5人	52
6人	17
7人	4
その他	2
合計	757

A6. 現在の世帯の構成をお答えください	
一人住まい	218
二世帯同居（親と同居）	215
二世帯同居（子どもと同居）	195
夫婦のみ	88
三世帯同居	35
その他	6
合計	757

A7. 保有している自動車運転免許をお答えください ※複数選択可	
原付	149
自動二輪（普通・大型）	109
普通	639
準中型	50
中型	45
大型	6
大型特殊	6
小型特殊	3
けん引	2
運転免許は持っていない	59

A8. 前年度のあなたが属する世帯年収（税込み）をお答えください	
200万円未満	138
200~599万円	175
600~999万円	212
1000~1499万円	95
1500万円以上	23
不明	114
合計	757

A9a. あなたの身長をでお答えください		
～	149cm	15
150cm	～	149
160cm	～	225
170cm	～	292
180cm	～	39
回答なし		37
合計		757

A9b. あなたの体重をでお答えください		
～	49kg	102
50kg	～	195
60kg	～	184
70kg	～	127
80kg	～	71
90kg	～	18
100kg	～	11
回答なし		49
合計		757

A10. あなたの健診結果は以下のいずれに該当しますか？	
メタボリックシンドローム	65
メタボリックシンドローム予備軍	104
いずれも非該当	552
回答なし	101
合計	757

B1. 次の交通手段を使った事がありますか？	ある	ない	わからない	合計
自動運転の電車（ゆりかもめ等）	464	269	24	757
自動運転バス	61	683	13	757
個人所有の自動運転車	128	612	17	757
その他の自動運転車（タクシー、ライドシェアリング等）	137	604	16	757

B2. あなたの、1ヶ月における自動車運転頻度をお答えください	
運転しない	155
月1～5日程度	127
月6～10日程度	162
月11～15日程度	32
月16～20日程度	42
月20日以上	63
毎日	176
合計	757

B3. 自動運転システムの技術がどの段階に達したら社会に導入すべきだと思いますか？	
「完全に安全」になってから導入すべき	163
「人間より安全」になってから導入すべき	293
「人間と同程度に安全」になってから導入すべき	268
「人間未満の安全性能」でも導入すべき	31
いかなる状況でも「導入すべきではない」	2
合計	757

B4. 自動運転車の以下の項目について、あなたはどのくらい同意しますか？		全くそう思わない ← どちらともいえない → とてもそう思う							合計
		1	2	3	4	5	6	7	
B4-1.	自動運転車が共用であれば使いたい	37	21	33	179	176	125	186	757
B4-2.	自動運転車が個人利用であれば使いたい	36	27	51	188	165	107	183	757
B4-3.	自動運転車は使わない	287	144	91	160	38	17	20	757
B4-4.	自動運転バスを日立市に導入することに賛成である	11	16	14	101	123	145	347	757

B5. あなたは自動運転バスをどのような目的で使うと思いますか？ ※複数選択可	
好奇心	302
観光	272
通勤・通学	447
日常的な用事	389
レジャー	202
その他	9
使わない	24

B6. 自動運転バスによる移動について、 以下の項目にあなたはどのくらい同意 しますか？		全くそう思わない ← どちらともいえない → とてもそう思う							該当無し 99	合計
		1	2	3	4	5	6	7		
B6-1.	移動が楽になる	51	39	61	238	138	95	125	10	757
B6-2.	移動がリラックスできるもの になる	44	38	94	287	109	73	103	9	757
B6-3.	移動が快適になる	36	18	54	234	153	111	144	7	757
B6-4.	移動が安全になる	19	29	73	327	141	90	74	4	757
B6-5.	移動が苦にならない	46	31	47	272	137	94	119	11	757
B6-6.	移動が速くなる	64	60	94	302	107	59	65	6	757
B6-7.	移動が安価になる	39	30	48	222	132	138	146	2	757

B7. あなたのまち(地域)に対する意識と 自動運転バスについて最も当てはまる 番号を選択してください.		全くそう思わない← どちらともいえない → とてもそう思う							該当無し 99	合計
		1	2	3	4	5	6	7		
B7-1.	自分と自分の住む地域は一心 同体という感じがする	71	86	107	249	135	57	47	5	757
B7-2.	日立市が好きだ	22	29	50	145	208	141	159	3	757
B7-3.	日立市にずっと住み続けたい	88	75	120	179	106	81	101	7	757
B7-4.	日立市に住んでいることを誇 りに思う	30	35	69	225	184	94	110	10	757
B7-5.	自動運転バスを見かけたら ちょっと「うれしい」と思う	27	17	26	129	189	173	195	1	757
B7-6.	自動運転バスを見かけたら 「運が悪かった」と思う	495	101	69	68	9	9	4	2	757
B7-7.	自動運転バスがゆっくり走る のは「しかたない」と思う	38	39	65	134	192	143	146	0	757
B7-8.	自動運転バスを見守ろうと思 う	10	6	12	87	180	197	263	2	757
B7-9.	自動運転バスが走る路線で は、路上駐車を控えようと思 う	34	31	30	89	98	122	337	16	757
B7-10.	自動運転バスがきたら、道を ゆずろうと思う	31	29	40	188	139	119	202	9	757
B7-11.	クルマやバス・バイクに乗って いて、自動運転バスがいたら 「追い抜きたい」と思う	218	83	73	214	85	48	28	8	757
B7-12.	自動運転バスを住民として誇 りに思う	36	25	30	205	169	108	169	15	757

B8. 日立市に住み始めてからの期間を教えてください		
	～ 1年	7
1年	～ 5年	183
5年	～ 10年	78
10年	～ 20年	150
20年	～ 30年	184
30年	～ 40年	58
40年	～ 50年	42
50年	～ 60年	40
60年	～ 70年	13
70年	～	2
合計		757

B9. あなたの住んでいるところは下のいずれに当てはまりますか？	
街なか (Urban)	242
郊外 (Suburban)	311
いなか (Rural)	204
合計	757

C1. ○○を信頼できると思いますか？		全くそう思わない ← どちらともいえない → とてもそう思う							合計
		1	2	3	4	5	6	7	
C1-1.	自動運転の技術	11	18	86	233	277	84	48	757
C1-2.	自動運転に関する法律やガイドラインなど「社会的な仕組み」をつくる	19	33	97	234	231	87	56	757
C1-3.	自動運転に関する保険など「社会的な仕組み」をつくる企業	10	20	73	249	227	100	78	757
C1-4.	自動運転のシステムをつくる企業	6	4	28	191	281	166	81	757

C2. あなたは以下の論調に同意しますか？（自動運転はレベル5（ドライバーは完全に運転に不関与）を想定してください。）		全くそう思わない ← どちらともいえない → とてもそう思う							合計
		1	2	3	4	5	6	7	
C2-1.	自動車同士の交通事故を減少させるため、自動運転システムによって自動車の安全性を向上すべきである	6	9	18	72	169	171	312	757
C2-2.	歩行者が被害者となる交通事故を減少させるため、自動運転システムによって自動車の安全性を向上すべきである	4	11	18	64	166	162	332	757
C2-3.	交通渋滞の緩和のため、自動運転システムを導入すべきである	16	17	44	165	162	131	222	757
C2-4.	高齢者の外出支援のため、自動運転システムを導入すべきである	10	9	12	71	146	160	349	757
C2-5.	交通システム全体の効率化により二酸化炭素排出量を削減するために、自動運転システムを導入すべきである	22	25	32	162	188	122	206	757
C2-6.	過疎地の交通弱者の外出支援のため、自動運転システムを導入すべきである	7	5	11	60	146	162	366	757
C2-7.	移動時間の有効活用のため、自動運転システムを導入すべきである	16	17	40	187	154	124	219	757
C2-8.	バスやタクシー、トラックなどの運転費削減のため、自動運転システムを導入すべきである	12	14	27	125	160	139	280	757
C2-9.	バスやタクシー、トラックなどの運転手不足解消のため、自動運転システムを導入すべきである	8	7	20	63	136	155	368	757
C2-10.	我が国（地域）の経済活性化のため、自動運転技術の社会的実装を進めるべきである	10	5	19	108	183	145	287	757
C2-11.	自国の自動車産業が国際競争に負けないように、自動運転技術の社会的実験を進めるべきである	12	18	26	116	149	132	304	757
C2-12.	自動運転技術の社会的実装を支援するため、我が国の政府は国費を投入すべきである	17	12	24	158	152	132	262	757
C2-13.	自動運転技術の社会的実装のため、我が国は道路交通に関する規制を緩和（安全基準を緩める）すべきである	100	68	80	179	110	77	143	757
C2-14.	自動運転技術を開発するため、我が国は公道での自動運転システムの走行実験をできるだけ早く行うべきである	14	14	51	153	176	126	223	757

C3. 自動運転システムの以下の項目について、どのくらい同意しますか？		全くそう思わない ← どちらともいえない → とてもそう思う							合計
		1	2	3	4	5	6	7	
C3-1.	あなたは自動運転システムを恐ろしいと思いますか。	109	135	149	197	109	31	27	757
C3-2.	あなたは自動運転システムについて良く知っていると思いますか。	154	127	114	193	120	28	21	757
C3-3.	あなたは、ご自身のスキルや努力によって、自動運転システムによる事故を避けることができると思いますか。	74	84	91	283	133	46	46	757

D1. ひたちBRTが完全自動運転バス(運転士がいらない)になったとします。この時、例えば車掌さんのような【乗務員】がいたほうが良いと思いますか？ (運転は自動運転システムが行い、乗務員は関与しません。)	いた方が いい	いなくても いい	いない方が いい	合計
	400	331	26	757

D2. (D1にて「1. いた方がいい」を選択した方のみお答えください。)	
完全自動運転バスの【乗務員】(運転はしない)には、どの免許が必要だと思いますか？ なお、現在、バスやタクシーのドライバーには第二種免許が必要となっています。第二種免許とは、運賃をもらってお客さんを乗せることのできる免許です。	
大型一種免許(ダンプカーや大型トラック)	31
大型二種免許(路線バス/観光バス)	217
普通(一種)免許(一般の運転免許)	75
普通二種免許(タクシー/ハイヤー/運転代行)	51
運転免許はいらない	24
回答無し	2
合計	400

第6章 事業モデル

自動運転技術の実装に向けた事業性検討を行うため、本章では図 6. 1 に沿った流れで検討を行い、自動運転技術の実装時の事業性検討を行う。本検討の流れは、初めに自動運転の技術レベルを適切に把握（6.1.3）し、その想定に基づいて想定される自動運転の運行形態を設定（6.2.1）する。並行して現状の有人での運行形態の洗い出し（6.1.1）を行い、それらと想定される自動運転の運行形態の差分（6.1.2）を抽出する。

その上で自動運転技術の実装における事業性検討のうちコスト部分の試算は、運用コストを費目ごとに積算する方法は採らず、現状の運行コストとの差分を積み上げる手法を採用する。これは自動運転技術が未成熟な発展途上の技術であり、価格そのものや運用条件なども大きく変わることが想定され、現時点で正確な推計をしても仕方ないためである。また今回検討する路線は既存事業として展開されている路線であり、一般管理費のような共通コストの配賦を検討しても、試算精度が低く正確性に欠けるため、より簡便な方法を採用した。また売り上げについては自動運転化にそのものによって得られる増収効果は限定的であることから、運行頻度の増加による効果を反映することとした。これらの推計手法をシミュレーションモデルとして整理（6.3.2）し、現時点で把握しうるコストパラメータから事業性を検討（6.3.3）した。これらの試算を踏まえ試算に影響の大きいコスト要素について別途検討（6.3.4）し、ロードマップへ反映（6.2.1）した。これらを踏まえ、自動運転システムへの要求仕様をまとめた（6.2.2）。

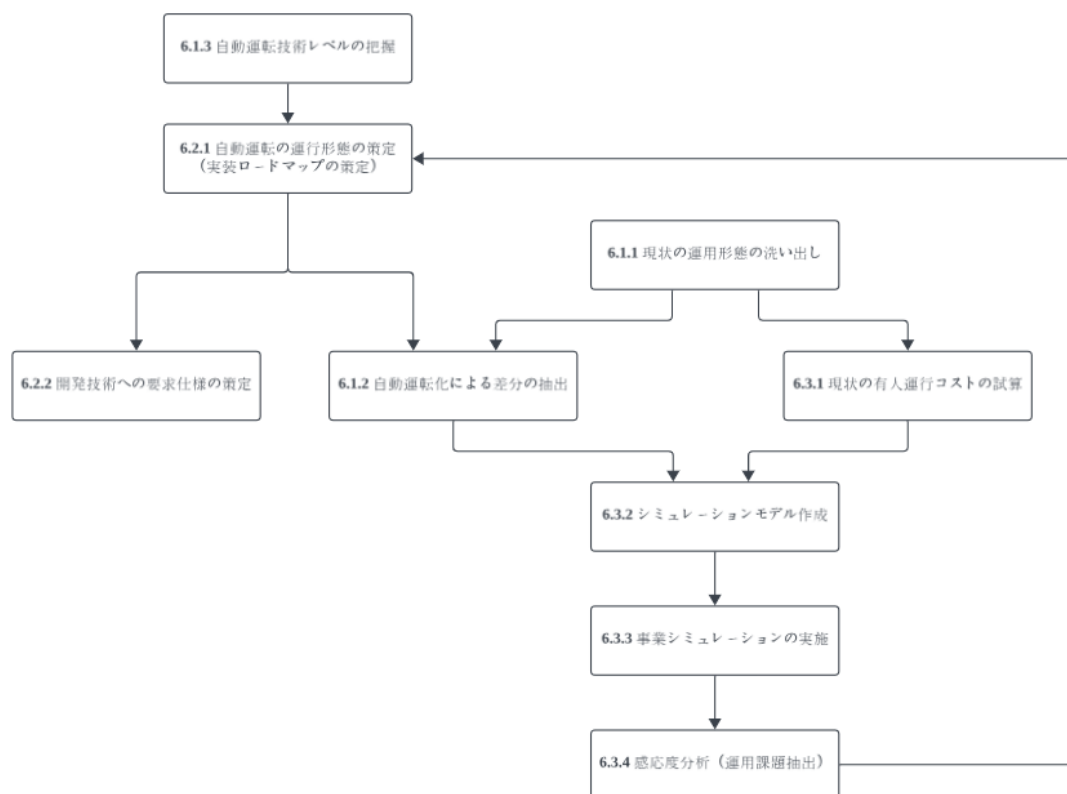


図 6.1 事業モデルの検討フロー

6.1. 10 年後等を見据えた事業性の検討（サービス、経済性等）

6.1.1. 現状の運用形態の洗い出し

初めに自動運転技術を適用する前の路線バスの有人運行時の形態について整理する。本整理はひたち BRT を運行する茨城交通株式会社の運行現場へのヒアリング・観察を通して行い、結果をまとめたものになる。なお実際のヒアリングではすべての関係する項目について幅広く整理を行ったが、本検討結果では業務全体を抜け漏れなく記載するのではなく、コスト試算上大きく関係する部分に注目して整理した。

(1) 運行する系統・路線と車両との関係整理

路線バスの運行は図 6.1.1-1 にあるように、階層的に管理されている。路線バスと呼ばれるサービスは、道路運送法で定められている一般乗合旅客自動車運送事業（乗合輸送）と呼ばれるサービス形態で、不特定多数の旅客を運送するバスサービス（以下、路線バス）を指す。路線バスでは、道路運送法の 21 条に定められた輸送サービスの形態で「路線定期運行とは、路線を定めて運行するものであって、設定しようとする運行系統の起終点及びバス停の時刻設定が定時である運行の形態をいう。」と定められている。そのため、系統・路線と呼ばれる事前に走る経路（バス停の停車順と走行ルート）が定まっており、各系統・路線でバス停毎の出発時間が決められ運行されている。この系統・路線で定められた一続きの運行を便と呼んでおり、路線バスは事前に定められた便に沿っ

て運行される。

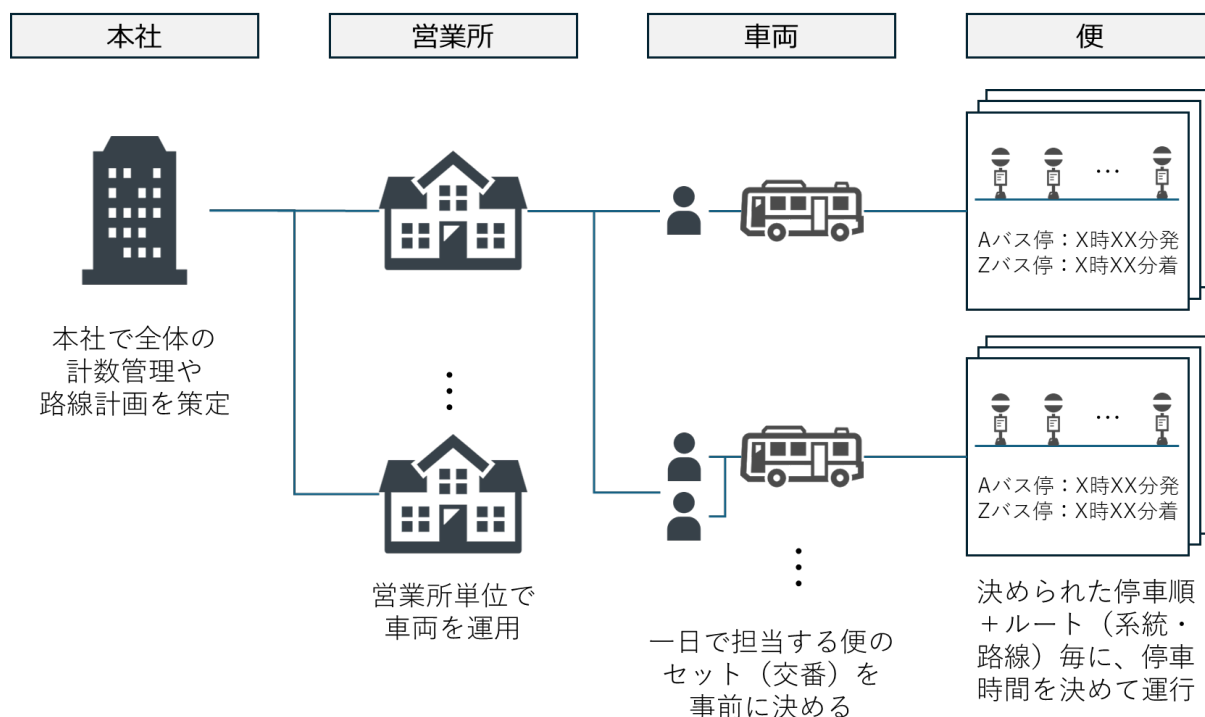


図 6.1.1-1 路線バスサービスの運用形態の概要

これらの便を運行するため、特定の便をひとまとめにして、車両や運転者に対して割り振ったシフトを交番（仕業）と呼び、これらを事前に計画することを運行計画と呼び、運行計画を立てることで適切な運行を実現している。（図 6.1.1-2 を参照）また便の組み合わせでは特定の系統・路線の便を必ずしも往復するわけではなく、終着バス停から利用者を乗せず、別の系統・路線まで移動する「回送」運行を挟むことで、効率的な運用を実現している。さらに運転者には通常の労働者に課される休憩時間などの労務管理のルールだけでなく、自動車運転者の労働時間等の改善のための基準（通称、「改善基準」）と呼ばれる自動車運転を行うものに対する規制があり、それらを遵守しながら運行するため計画が組まれている。

こうした日々の交番（仕業）は営業所単位で、その地域で運行する便を運用するに足る数十～数百程度の交番を策定し、日々運用を行っている。策定した交番・仕業に対して、営業所に所属する運転者を勤務に割り振り、各交番を一定のローテーションしながら担当する形で運用している。なお車両も同様に交番に対してローテーションする場合や、交番・仕業に対して固定する運用など、いくつかの形式が存在する。

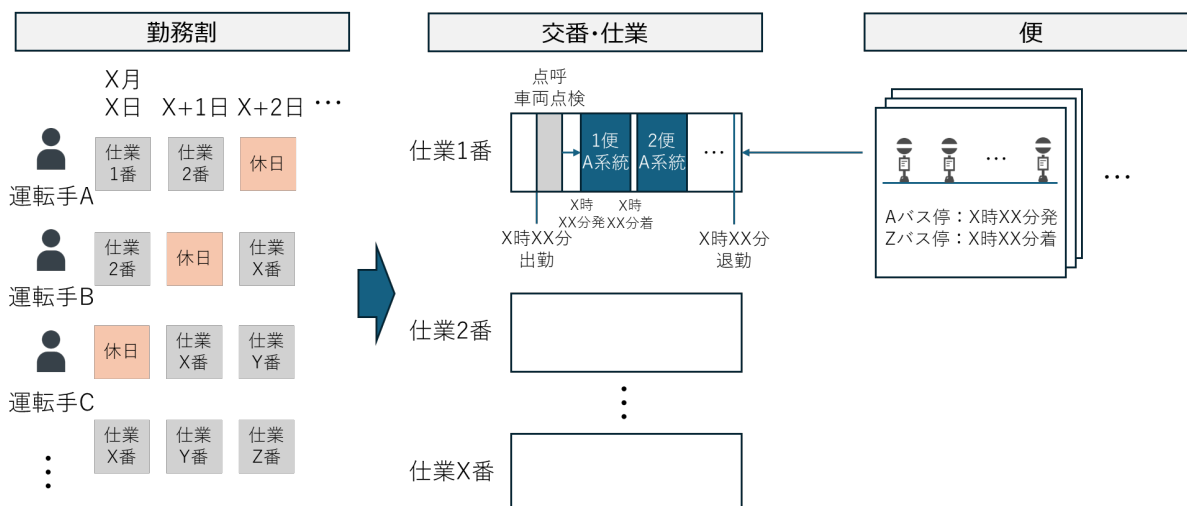


図 6.1.1-2 交番・仕業と勤務割り振りの作成イメージ

基本的な路線運用は各営業所にて行われ、複数の営業所での運用を本社側で管理する形になっている。本社側では各路線の売り上げや運行コストの計数管理、路線やダイヤの企画・検討、車両調達など多岐にわたる共通的な業務を担っている。これらの本社費用が各営業所、路線に配賦され、各路線に専属的に帰属しない運行コストの共通費となっている。なおコストに関する詳細は、別章にて詳述する。

(2) 運行にかかる人員配置

路線バスの運行は、営業所を中心に人員配置がされている。

バスの運行を担当する運転者は通常の運転者以外に運行時間、便が限られる嘱託運転者が存在する。運行管理者は「運転者の乗務割の作成、乗務記録の管理、休憩・睡眠施設の保守管理、運転者の指導監督、業務前後の点呼による運転者の疲労・健康状態等の把握や安全のための指導など多岐にわたっています。人や車両の動向を掌握して常に安全を確保する高度な判断力と、運転者にいつも適切な指示を行う優れた指導力とが求められます。¹⁾」と定められている。営業所には法律で定められた点呼等の運行に責任を持つ運行管理者が定められた人数配置されており、業務の一部を支援する運行管理補助者とともに業務にあたっている。営業所には整備士が常駐（営業所の規模によって異なる）しており、車両の日常的な点検から修理までを担っている。営業所には各車両からの売り上げ集計・管理や乗務員の勤務時間の計算、窓口業務などを担当する事務員が配置されており、各種人員をまとめる役割の所長が配置されている。

各営業所を取りまとめる役割として、本社運輸課が路線の企画や自治体との折衝を担い、車両整備の計画策定や計数管理を行う整備課が各営業所の車両整備担当と連携をしている。本社には他に安全管理や経営企画などや、総務部や経理部などの間接部門があり、それらの人員が運行業務を間接的に支えている。

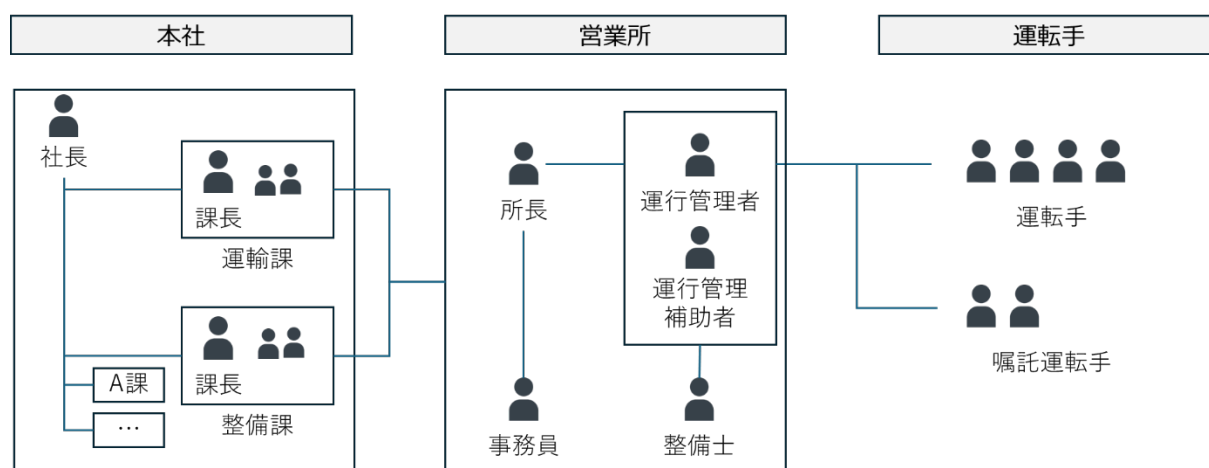


図 6.1.1-3 各部署の人員配置イメージ

¹ <https://www.unkan.or.jp/about.html>

(3) 車両・設備関係

ひたち BRT は現在最大 14 台の大型／中型車両を用いて運用されており、朝晩のピーク時間帯の輸送量を確保している。



中型バス車両



大型バス車両

図 6.1.1-4 ひたち BRT で運用される車両

路線運用に関わる設備は、運用拠点となる営業所がおさかなセンターバス停から約 1.5km の距離にある日立南営業所があり、業務点呼や整備、車両保管を行う拠点となっている。またおさかなセンター、大甕駅西口、多賀駅前バス停はターミナル機能を有しており、車両の一時的な駐停車ができる機能を持っている。

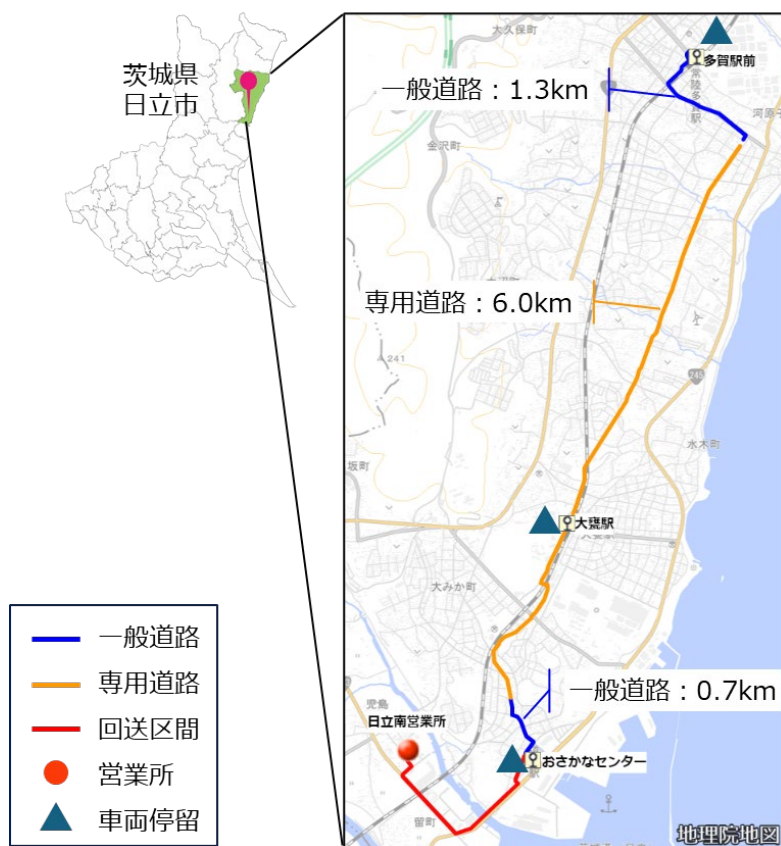


図 6.1.1-5 営業所とターミナル駅の位置関係

ひたち BRT は専用道が整備されており、専用道区間においては車両のすれ違いができないため、に示した専用信号にて簡易的な閉塞制御がされており、一定区間ごとに退避部が設けられている。専用信号は中央集中型の制御ではなく閉塞区間前後が独立して連携し、制御する形式となっており、専用道路地中に埋設された車両検知用のループコイルと車載の RFID タグが連携した制御が行われている。

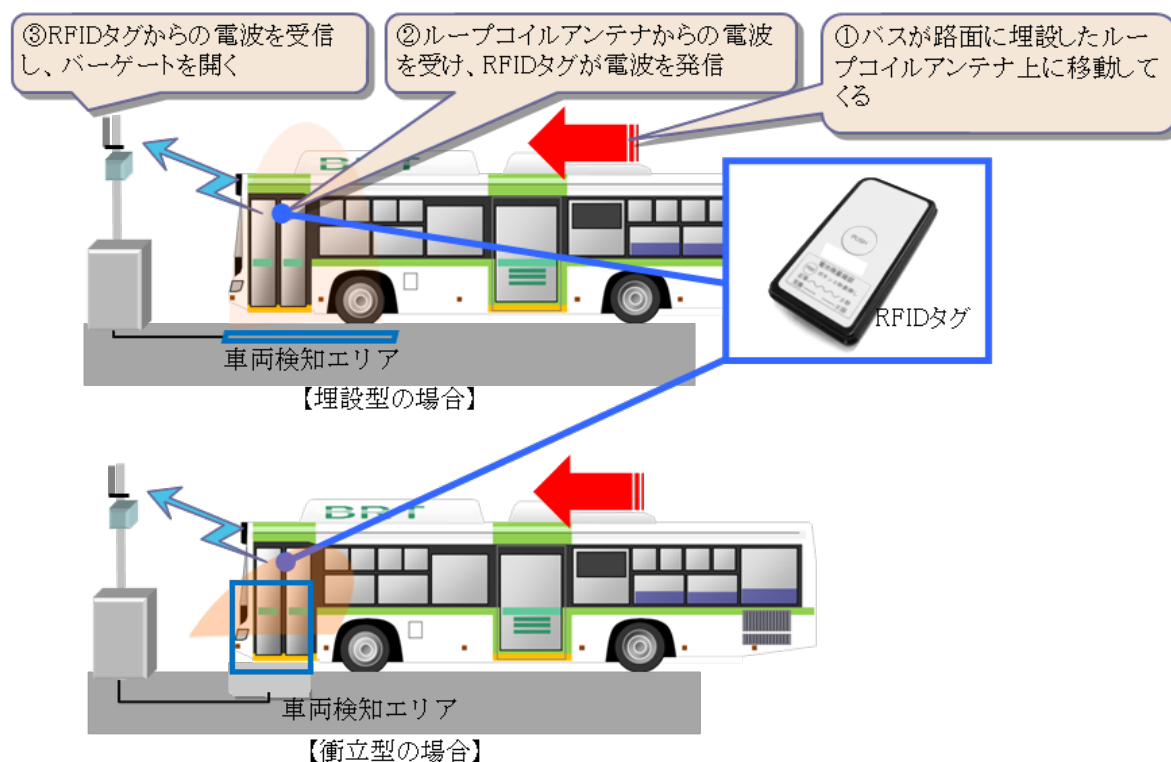


図 6.1.1-6 専用道路内の信号・バーゲートの制御概要²

² ひたち BRT（第Ⅱ期区間）運行管理システム仕様書から引用

また専用道路区間において一般道路と交差する箇所はバーゲートが専用道路側に設置されており、一般車両の誤進入を防いでいる。専用道路内のこれらの設備は専用信号が26箇所、バーゲートが23箇所設置されている。（図 6.1.1-7）

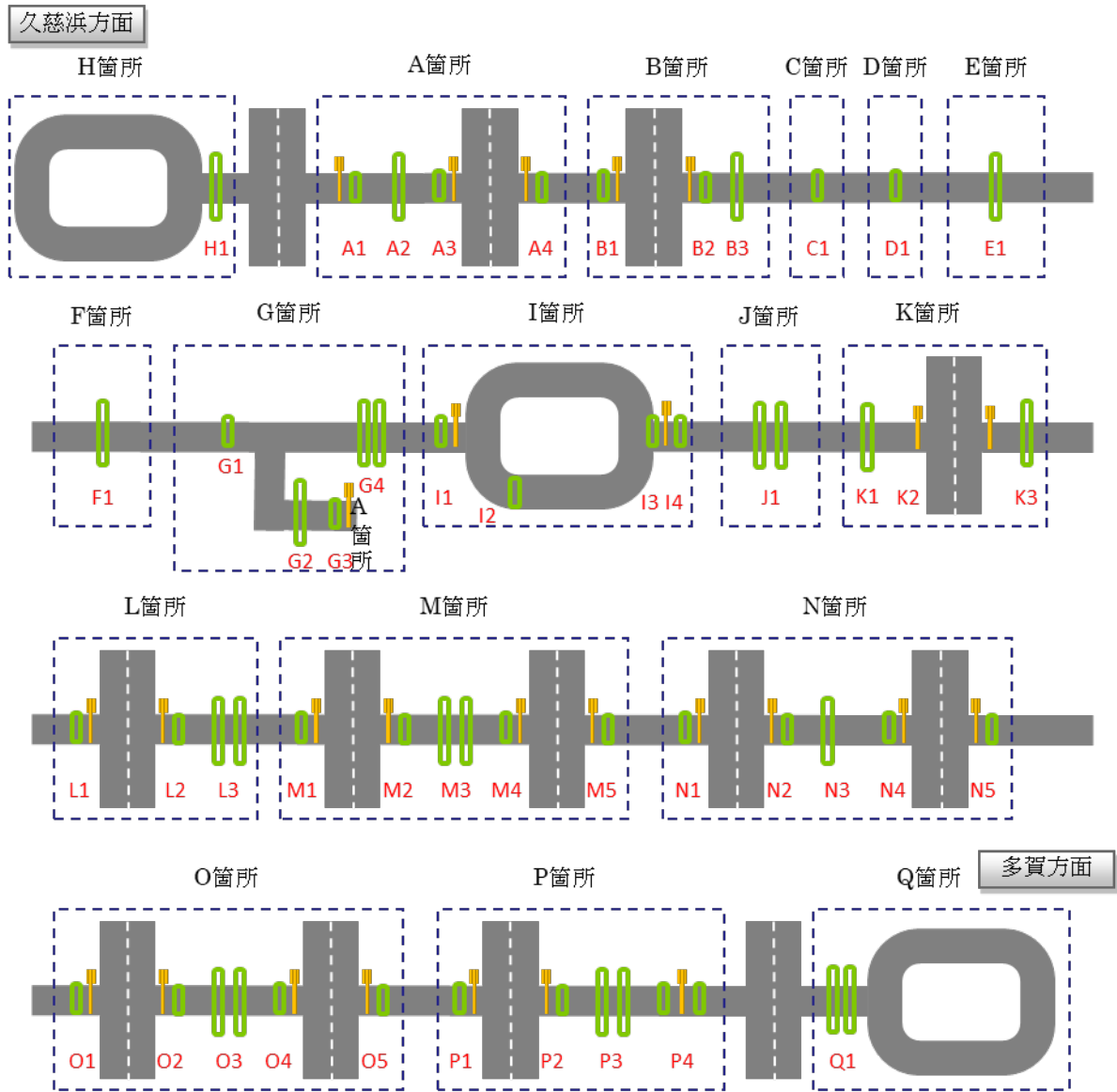


図 6.1.1-7 ひたち BRT における専用設備の設置概要

表 6.1.1-1 専用道内の設置設備一覧

項	機器名称	数量	単位	設置箇所毎の設置数量																
				H	A	B	C	D	E	F	G	G4	I	J	K	L	M	N	O	P
1	ループコイルアンテナ(埋設)	38	式	1							2	4	2	2	4	6	6	6	5	
2	ループコイルアンテナ(衝立)	2	式																	2
3	乗務員向け接近表示器(Ⅱ期)	26	式		1	2			2	2	0	2	2	2	2	2	2	2	3	
4	バーゲート	23	式									2		4	2	4	4	4	3	
5	回転灯	20	式									2			3	4	4	4	3	
6	監視カメラ	31	式	1	3	2			1	1	1	1	3	1	2	2	3	3	3	1
7	車両検知センサー	4	式											4						
8	超音波センサー	2	式																	2

(4) ひたち BRT の運行系統と便数

2024 年度 3 月末時点でひたち BRT を走る路線は平日 131 便、土日祝日 62 便が運行されている。ひたち BRT の路線では、以下の表の通り 11 系統が運行されており多賀駅～おさかなセンターまでの運行を軸に、大甕駅西口～多賀駅前のみを走る便が運行本数を補完し、平日の朝晩を中心に大甕工場前～多賀駅前を運行する便が運行している。

表 6.1.1-2 ひたち BRT の運行系統一覧

	発駅	経由地	行先	運行便数		備考
				平日	土日祝日	
①	多賀駅 発	-	大甕駅西口	24 便	0 便	平日のみ運行
②		大甕駅西口	大甕工場前	10 便	0 便	平日朝晩を中心に運行
③		大甕駅西口	おさかな C	8 便	2 便	平日朝晩を中心に運行
④		サンピア日立	おさかな C	23 便	30 便	日中時間帯に運行
⑤	大甕駅 西口発	-	おさかな C	4 便	0 便	平日朝のみ運行
⑥		-	多賀駅	21 便	0 便	平日のみ運行
⑦	大甕工 場前発	大甕駅西口	多賀駅	11 便	0 便	平日晩のみ運行
⑧	おさか な C 発	-	大甕駅西口	1 便	0 便	平日早朝のみ運行
⑨		サンピア日立	大甕駅西口	3 便	0 便	
⑩		-	多賀駅	8 便	5 便	平日早朝のみ運行
⑪		サンピア日立	多賀駅	18 便	25 便	

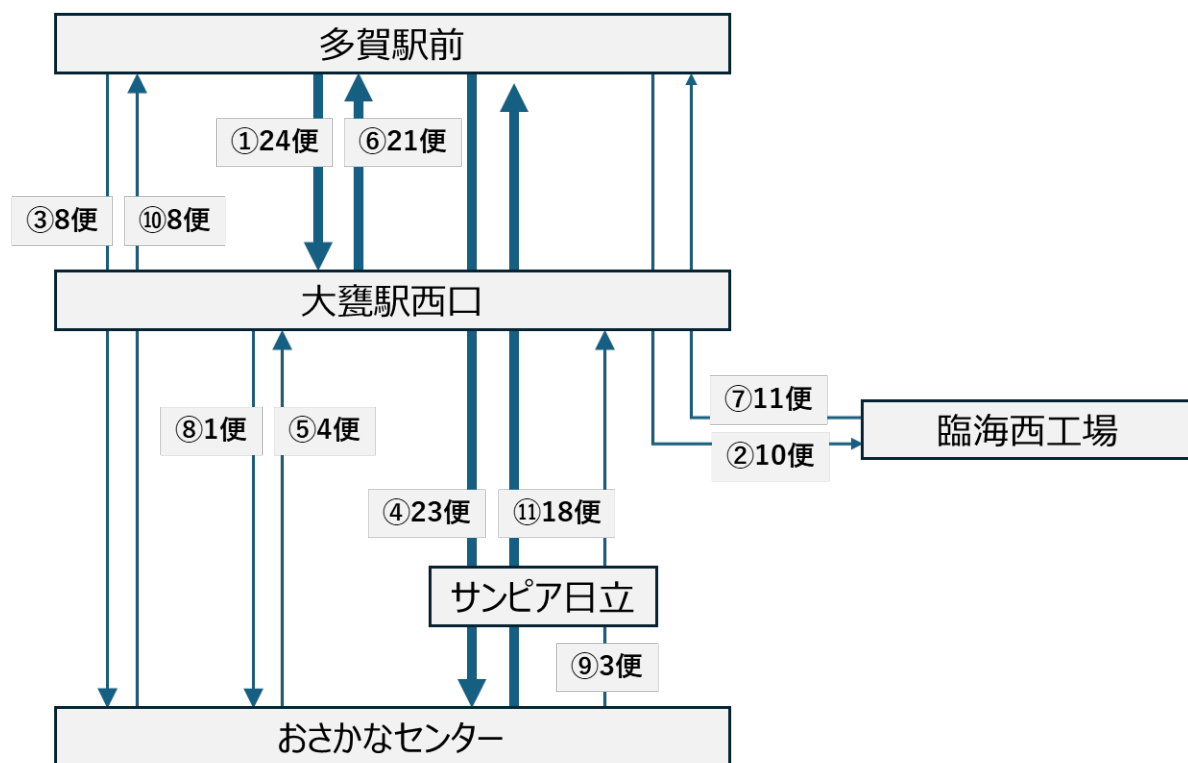


図 6.1.1-8 ひたち BRT の運行系統と便数の模式図

6.1.2. 自動運転化による差分の抽出

現状の運用において整理した項目に対して、自動運転レベル4の乗務員無型での運行を想定した際に運用が変化するものを各項目で抽出し、どのような運用を想定するのかを各項目でまとめた。特にコスト要因に大きく影響を与えるポイントについて検討を行っており、本項で議論する項目以外でも検討すべき項目はあるが、事業性検討において主たる視点に絞って項目を挙げている。

- (1) 運転者・車掌（乗務員）業務の変化
- (2) 遠隔での監視・対応体制の変化
- (3) 運行管理者の業務内容の変化
- (4) 整備関連業務の変化
- (5) 自動運転車両の運用可能時間帯の変化
- (6) 自動運転車両の走行速度の変化
- (7) 自動運転化するベース車両の電動化
- (8) 路側設備への追加・改修
- (9) 運用のバックアップ体制

(1) 運転者・車掌（乗務員）業務の変化

本実証で目指す自動運転レベル4の乗務員無型の業務では、運転者が行っている運転操作に加えて、車掌業務として行っている乗客対応や乗降判断とドア開閉、着座確認などの安全業務、非常時の乗客誘導などもシステムを通じた操作対応を行う。車掌業務では、主に①特定自動運行主任者としての役割、②特定自動運行保安員としての役割、③旅客輸送サービスに係る業務に分類され、それぞれ以下表 6.1.2-1 に記載した業務を担う必要がある。

表 6.1.2-1 路線バスにおいて乗務員が担う業務

①特定自動運行主任者としての役割	②特定自動運行保安員としての役割	③旅客輸送サービスに係る業務
・ 運行の開始・終了 ・ 運行中の対応 ・ 自動運転装置の正常作動の確認 ・ MRM による停止後の運転再開 ・ 運行終了時の措置 ・ 交通事故時の措置	・ 車内安全確保 ・ 早発確認 ・ 旅客の乗降確認 ➤ ドアの開閉 ➤ 発車指示等 ・ その他緊急対応 ・ MRM 移行時に他の交通を阻害する可能性がある場所（交差点内など）に自動車両が停車した際、安全な位置に車両を移動・停車	・ 運賃収受 ・ 乗降時のサポートが必要な旅客への対応 ・ 旅客への声掛け

以後の車内における運転者・車掌（乗務員）の役割の変化の検討では、ひたち BRT における車両の運転操作は専用道路／一般道路に分けて整理し、各年度における現時点での達成目標を整理する。また車掌（乗務員）業務は、完全自動化を最終目標とし、その途上で遠隔からの操作を前提とした整理をすることとする。これらの 2 軸で達成目標年度を定めることで、事業性試算の前提条件として整理する。（図 6.1.2-1）

		24年度	25年度	26年度	27年度	28年度
運転業務	専用道	L4	L4	L4	L4	L4
	一般道路	L2	L4	L4	L4	L4
乗務員業務	特定自動運行主任者	車内に添乗する乗務員が各役割を兼務	遠隔対応		遠隔対応 (特定自動運行保安員を兼務)	
	特定自動運行保安員		遠隔対応 (特定自動運行保安員が兼務)	システム自動対応		
	車掌業務					

図 6.1.2-1 運転者・車掌（乗務員）の役割変化の整理イメージ

(2) 遠隔での監視・対応体制の変化

有人運行では運転操作や車掌業務を遠隔から監視はしておらず、業務開始時の点呼以降は運転者の自律的な対応となっている。自動運転レベル4以降の運行では、「特定自動運行に係る許可制度」に沿った運用や「旅客自動車運送事業運輸規則の解釈及び運用について」に記載内容に沿った運用を想定する。整理されているこれらの運用に沿って、ひたちBRTでは現行の運行管理者及び運行管理補助者の体制に加え、特定自動運行主任者と得て自動運行保安員を配置する。特定自動運行主任者は既存の運行管理者の一部が兼務することを想定し、監視対象台数の変化（1人対N台の割合の変化）や監視対象台数の変化に応じて適切な人員配置を計画する。また自動運行保安員の一部は緊急時の現場への駆け付け対応を行うことを想定し、運行路線のいずれの場所にも一定時間で駆け付けれる現場措置業務実施者として、路線近辺の待機が可能な場所に人員配置を目指す。

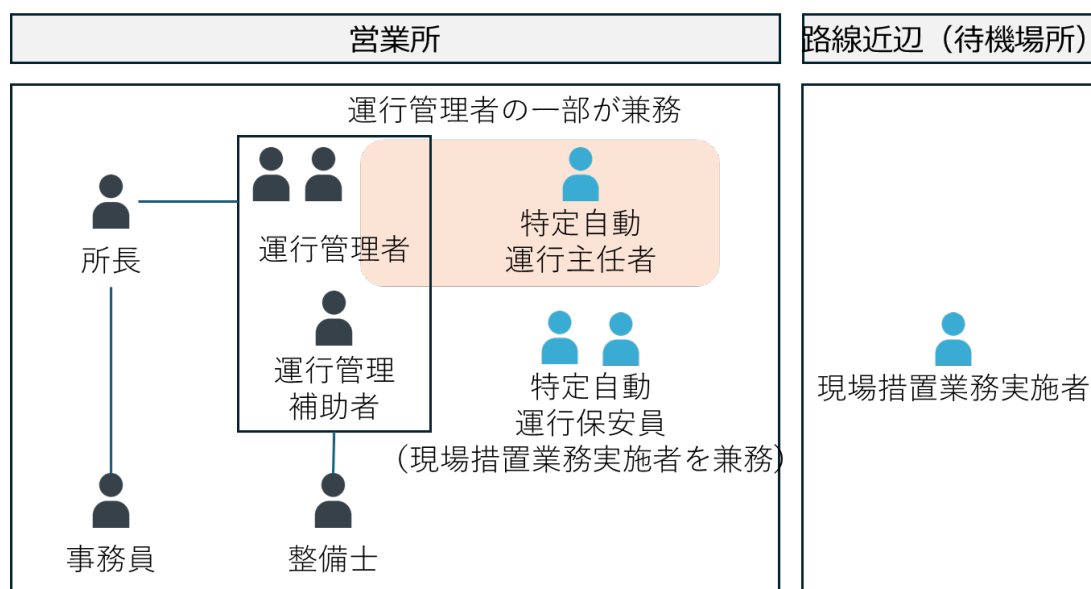


図 6.1.2-2 想定する遠隔監視体制

(3) 運行管理者の業務内容の変化

自動運転レベル4での運行では車両操作を自動運転システムが行い、運転者が原則として車両操作に関わらないため、運行管理者が行う業務のうち運転者に対しての点呼業務や運転者の健康状態の把握、運転者への運転指導などは不要になるとも考えられるが、現行の「旅客自動車運送事業運輸規則の解釈及び運用について」の通達では、これまでと同様に運行管理業務を果たすことが求められていることから、運行管理者及び運行管理補助者の人員配置は特に変化しないと仮定し、以下の事業性試算を行う。

(4) 整備関連業務の変化

路線バスの車両整備では1か月単位の自主的な車両点検、3か月と12か月ごとの法定点検、12か月ごとに車検が行われ、車両の経年劣化に合わせて各種整備を計画的に実施している。これらの点検及び整備は自社の営業所併設の整備工場及び、自社の中核的な整備拠点で実施している。一方で自動運転車両では、従来の車両点検等は当該工場で実施できるが、自動運転機器に対しての点検をどの程度実施できるのかは現時点では定かではない。また自動運転車両の自動運転に関わる機器や部品等の交換・修理は高度な技術が必要となるため、自社の整備士が担当することが難しいと考えられる。そのため車両の修理・整備等を自社工場ではなく、自動運転車両の提供者の向上に送り（センドバック方式）で対応し、車両がない期間は有人運行車両で対応するまたは、自動運転車両の予備車両で運行する体制構築が必要になる。また車両整備期間がこれまでよりも長くなれば、こうした対応を行う比率が高くなり、車両の稼働率が低くなるため事業性に影響が大きくなる。整備方式や整備期間を含めた想定を体制の関係性を図 6.1.2-3 のように整理し、事業性試算を行う。

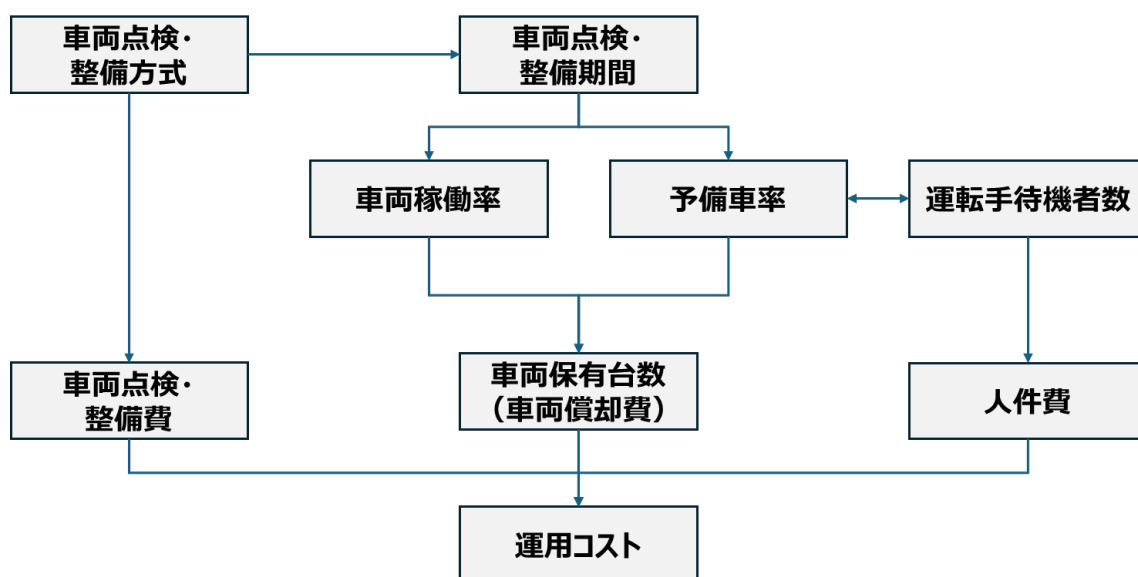


図 6.1.2-3 車両整備に関連する影響因子の整理

(5) 自動運転車両の運用可能時間帯の変化

現行の路線バスでは平日は5時台～22時まで運行しており、自動運転バスへの転換でも同様の時間帯での運行が期待される。しかし現状の自動運転レベル4で設定されているODDでは日照条件が定められており、すべての運行時間帯での運用が難しい。また朝晩のピーク時間帯では有人運行のバスがターミナル等の混在空間でよりイレギュラーな運行操作を行うため、同様に現状での運行が難しい。一方でこれらの時間帯での運行ができなければ、自動運転車両の運行による生産性向上の効果が限定的になるため、徐々に走行可能時間帯を広げる必要がある。

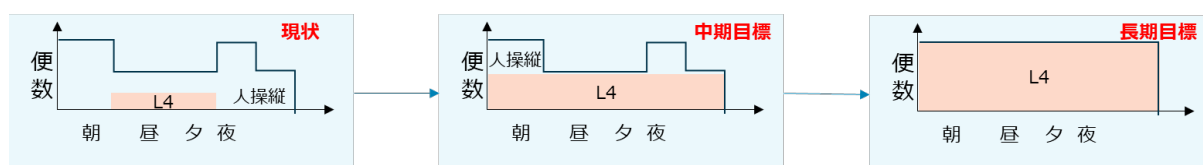


図 6.1.2-4 運行時間帯の拡大のステップイメージ

現状から中期目標を達成するためには①ラッシュ時間帯の走行、②夜間の走行、③路線を担う全車自動運転での走行の3段階で拡大するステップを想定し、それぞれのステップを超えるために以下表 6.1.2-2 運行時間拡大のために解決すべき課題整理に整理した課題を解決することで適用可能性が高くなると想定され、以後の事業性検討ではこれらの解決見込み時期に沿って運用体制を想定する。

表 6.1.2-2 運行時間拡大のために解決すべき課題整理

想定ステップ	解決すべき課題
①ラッシュ時間帯の走行	・ 大甕駅のロータリーを走行できるか ・ 走行時間が通常バスより遅延しないか ・ 多客対応できるか（立ち客の許容度合い、乗降時の必要時間等）
②夜間の走行	・ 夜間でも昼間と同様の性能で走行することができるか
③路線を担う全車自動運転での走行	・ MRM の発生頻度の低減

(6) 自動運転車両の走行速度の変化

現状の有人車両では、図 6.1.2-5 のように平均時速約 17km で運行しており、速達性を維持した運行を行っている。ひたち BRT では専用道区間内は単線であり、すれ違い車両が一定退避場所にて待機する時間が発生する。そのため自動運転車両が有人車両に交じって走行する場合、自車速度が遅いと運行時間に影響するだけでなく、他車の運行時間にも影響が生じる。ピーク時間帯ではこの対向車に与える遅延効果が顕著になり、路線全体での輸送能力が低下することで、朝晩のピーク時間帯での輸送力不足が懸念され、自動運転車両も一定の運行速度が求められる。

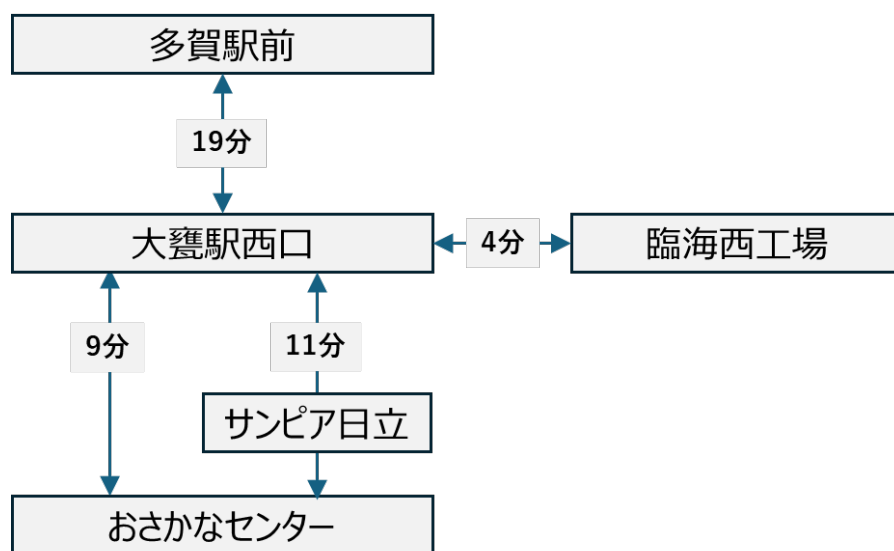


図 6.1.2-5 各運行区間の所要時分

一方で現行の自動運転車両の走行では、現時点での走行実証では多賀駅前～おさかなセンターまでの所要時間が+10 分程度で運行されており、有人運行車両に比べると大きく遅れている。以降の試算では速達性が改善されることを前提としてロードマップを策定し、運行頻度を設定して事業性を検討している。

(7) 自動運転化するベース車両の電動化

現状の自動運転車両はいすゞのディーゼル車両エルガミオをベース車両として用いているが、将来的には BEV をベース車両として利用することが想定される。しかし現状の日立南営業所では、BEV を充電するための設備が整備されていない。そのため営業所での夜間充電に対応した受電設備や休息充電器の設備投資が必要になると考えられる。また自動運転化後の走行時間帯が拡大した際には、走行途中での給電が必要になることも考えられ、その場合は路線途中の待機場所（多賀駅前、大甕駅西口、おさかなセンター）などにも受電設備と急速充電器の配置が必要になると考えられる。これらの設備コストは現状コストに含まれていないが、自動運転化による直接的なコストではないため、事業性検討では含まずに試算を行う。

(8) 路側設備への追加・改修

現行の自動運転車両は専用道区間内においては車両が自律的に走行しており、路側設備との連携は想定されていない。一方でひたち BRT の一般道路区間では、信号や見通しの悪い交差点などがあり、車両単体での走行性能向上によって自動運転レベル 4 を目指すのか、路側設備の支援を受けて走行するのかは現時点では定まっていない。技術面での研究開発方針は現時点では未定であるが、事業性試算においては路側設備の利用可能性があることから、事業性検討に含まれるコストとして織り込んだ試算を行う。

現時点で想定する路側設備としては①信号協調システム（灯火情報の取得）、②スマートポール（交差点の右左折支援機器）、③他交通参加者への接近情報表示機を想定する。これらの設備は以下図 6.1.2-6～図 6.1.2-9 に示した箇所に設置されており、事業性検討では設置シナリオを設定し、試算する。（ただし、路側設備の設置個所にすべてに設置する前提ではない。）

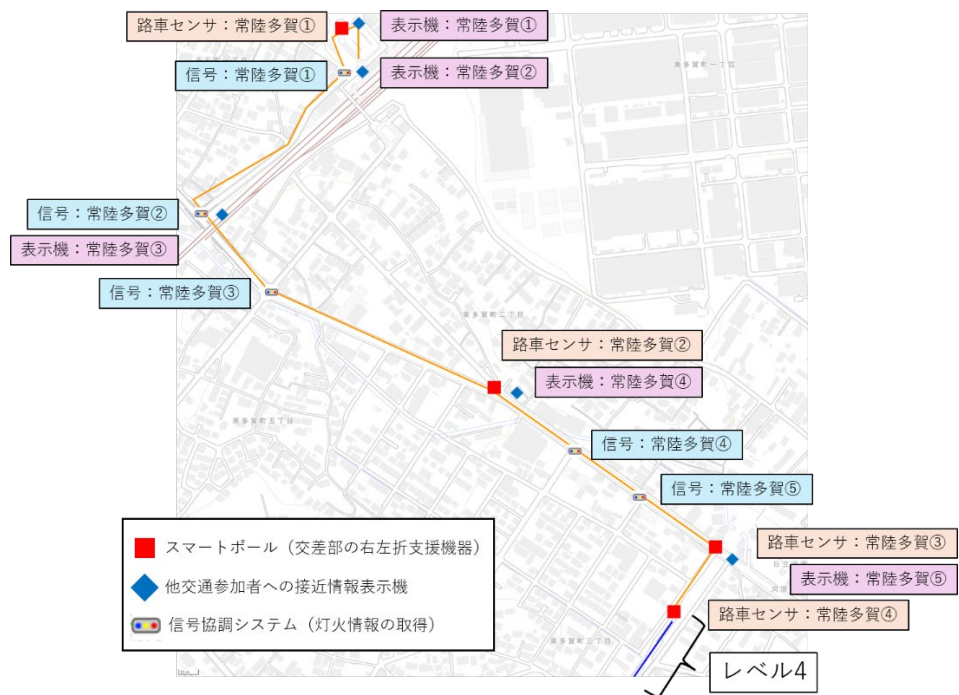


図 6.1.2-6 多賀駅前～河原子 BRT バス停までの一般道路区間の想定設備



図 6.1.2-7 河原子 BRT～大甕駅西口までの専用道路区間での想定設備

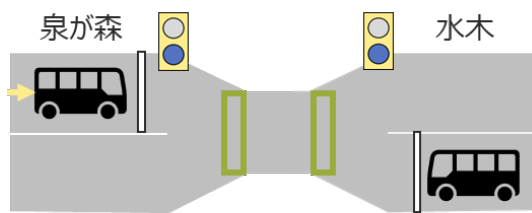


図 6.1.2-8 大塚駅西口～南部図書館までの専用道路区間での想定設備

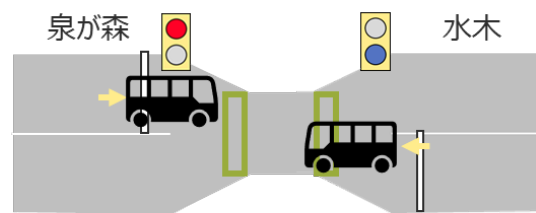


図 6.1.2-9 南部図書館～おさかなセンターまでの専用道路区間での想定設備

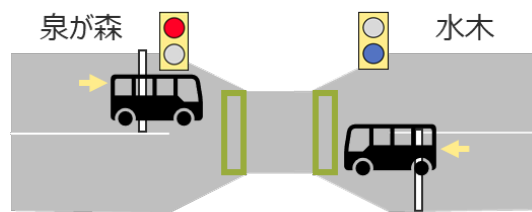
また上記とは別に専用道路区間内に設置されている専用信号において、閉塞制御が簡易的に行われているため、対向車と鉢合わせをする図 6.1.2-10 のような問題が発生している。



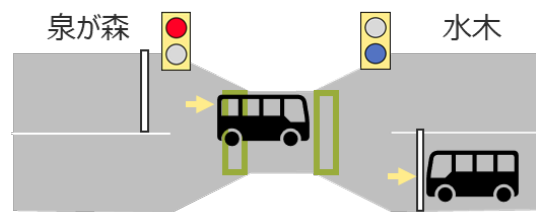
No.1
泉が森および水木停留所にバスが到着。
泉が森側は一時停止なし、水木側は一時
停止状態



No.3
先に水木側のバスがループコイルを踏み、
泉が森側の信号が赤に変化



No.2
泉が森および水木側のバスがほぼ同時に
信号を横切る。



No.4
水木側のバスおよび泉が森側のバスが単
路部に進入。水木側のバスが泉が森側の
バスに気付く後退

図 6.1.2-10 対向車との鉢合わせ事象の一例

自動運転車両では専用信号の灯火情報をカメラの画像認識機能で把握し、走行制御しているため、これらの問題が発生すると ODD になるため、現状では運行時間帯の調整や有人運行車両側の注意によってこれらの事象を避けている。しかし自動運転車両の導入台数が拡大すれば、これらの問題にも対処する必要があるため、路側設備及び車両制御システム側での設備改修が必要になると。事業性検討においてはこれらのコストを試算に反映させる。

(9) 運用のバックアップ体制

自動運転車両の運行では、ODD から外れることで運行継続が難しくなる事象や車両整備期間の長期化による設備のダウンタイム時の有人対応など、運用における有人運転者のバックアップ体制の構築が必要になる。緊急時に備えたバックアップ人員の配備率は、発生頻度や想定される事象範囲によって大きく異なるため、すべての事象に対して対応するための人員配置は現実的ではない。そのため比較的限られた最小限の人員配置に限定し、それらの人員では対応できない事象の発生頻度を一定の水準以下に抑えることを自動運転システムへの要求仕様として整理し、それが満たされる前提で事業性検討を行う。

6.1.3. 自動運転技術レベルの把握

本路線への導入を検討する自動運転システム全体の技術レベルの把握では、車両開発を行う先進モビリティ社からのヒアリングや開示された技術資料に基づいて整理、それ以外については公開資料を基に整理した。そのため自動運転車両に関する情報には秘密情報が含まれるため、本報告書では開示可能な範囲に限りて検討結果を記載する。

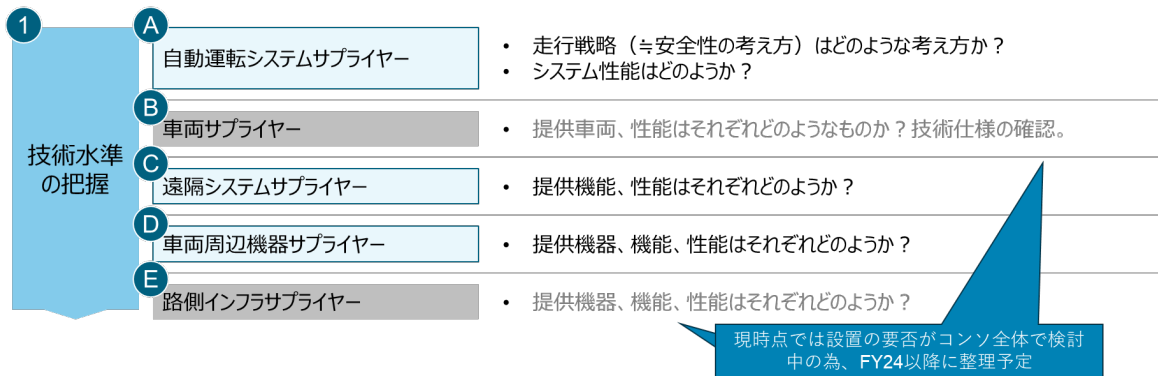


図 6.1.3-1 自動運転システムの技術レベルの把握方針

(1) 自動運転システムサプライヤー

テーマ2で開発している車両の基本的な安全走行戦略を「①歩行者飛び出し検知」「②交差点進入判断」を以下図 6.1.3-2 で整理した。これらの安全走行戦略は走行時間に直結しており、事業性における重要な視点になる。現状のテーマ2の開発では、安全性を最優先に考えており、有人運行と比較し走行時間が長くなりやすい戦略となっている。

項目 (2社の差分抜粋)		テーマ2コンソ車両
① 歩行者の飛び出し検知	実施範囲	全ての区間
	歩道の歩行者認識	- 必ず減速 - ガードレール有無で15km/h or 25km/h
	飛び出し予測	- 対象：人 - 衝突可能性あり→減速・停車
②交差点進入判断		交差車両と衝突しない理論値（必要検知距離）から必ず衝突しない状態での発進→発進判断に時間要する

図 6.1.3-2 自動運転車両の基本的な安全走行戦略の概要

また走行条件については夜間（照度が低い時間帯）対応、雨天時の走行条件、濃霧による視界不良があるため、走行可能な条件がどの程度に設定されるのかが事業性検討における検討課題になる。なお技術面での詳細は秘密情報に該当する情報が多いため、詳細は記載しない。

(2) 遠隔システムサプライヤー

遠隔監視システムにおける自動運転レベル4に向けた対応すべき観点としては、「法令対応」と「乗務員乗車型L4における乗務員業務の遠隔化」に絞って把握を行った。それ以外の項目はダイヤ編成システムなどの既存システムや、別システムでの対応として整理する。自動運転レベル4向けの遠隔システムとして必須である機能要求としては、下記の項目を想定しており、各社システムが対応しているかどうかを机上調査により整理した。

自動運転監視・制御：車内外の映像音声配信/通話、遠隔非常停止、不具合検知

車内安全自動監視：立ち客検知、ドア閉扉・着座検知までの停車維持

車両位置：バスロケ配信

なお本機能の整理はあくまで机上調査であり、各社の機能実装の状況については次年度以降に詳細なインタビュー・ヒアリング調査にて追加整理を行う。

運行管理システムの提供機能		機能提供有無（○：提供、⊖：不明 or 未提供）		
★：法令にて必須と規定されている機能		TIER IV	BOLDLY	NEC
自動運転監視・制御	★車外カメラでの走行映像配信	○	○	○
	★遠隔オペレーター用ディスプレイでの車内外映像表示	○	○	○
	バス非常停止の遠隔操作	○	○	⊖
	車両・車両システムの不具合の検知	⊖	⊖	⊖
車内安全自動監視	★車内状況の映像配信	○	○	⊖
	★車内音声の常時配信、乗客との通話装置	○	○	⊖
	★車外音声の常時配信、車外の人(警察等)との通話装置	⊖	⊖	⊖
	車内カメラ映像のアラート自動判定	⊖	○	⊖
	前後ドアの閉扉、乗客の着座を検知するまで停止継続	⊖	⊖	⊖
情報連携	走行ルート・各バス停での停発車時刻入力	○	○	⊖
車両位置	車両の位置情報の遠隔オペレーターへの配信	○	○	⊖

図 6.1.3-3 運行管理システムサプライヤーの提供機能比較

(3) 車両周辺機器サプライヤー

路線バスとして運行する車両では、運賃箱や条約向けのサイネージ・音声案内など乗客向けの機器などに関連する車両周辺機器が多く搭載されており、自動運転レベル4で乗務員無になると、遠隔または自動での対応が求められる。現時点では自動運転レベル4の乗務員無型で必要と想定される車両周辺機器・機能の洗い出しを表6.1.3-1にて行った。

表 6.1.3-1 車両周辺機器の必要機能の整理

	分類	必要機能
車両 メーカー	制御系	ハンドル/シフトレバー/ブレーキ/アクセル/パーキングブレーキ
	一般設備	ライト、ドア、窓
	空調設備	クーラー、ヒーター、デフロスター
	非常設備	非常灯、緊急停止ボタン、ドア手動開装置
車載機器 メーカー	情報管理	通信のGW機能
	運賃収受	運賃箱、金庫、ICカード対応、整理券発行機、両替機
	行き先案内	音声合成装置/スピーカー/情報表示ディスプレイ/乗客押しボタン
	車外向 HMI	乗降中表示器、EDS（車外向け行先表示器）、車外向けスピーカー
	車内監視	車内監視カメラ
	遠隔通話	非常用ボタン、乗客向け通話機器（電話でも可）/遠隔筆談セット
	ハンディキャップ 対応	スロープ、車椅子固定バンド
架装 メーカー	イタズラ 対応	運転席の仕切り

6.2. 段階的な実装のロードマップの作成

6.2.1. 自動運転の運行形態の策定（実装ロードマップの策定）

自動運転の運行形態は図 6.2.1-1 のような導入スケジュールを想定し、事業性検討を行う。（なお本想定ロードマップは事業性を検討するためのものであり、技術開発のスケジュールとは現時点では必ずしも一致しない。）

前項までの技術面における検討では、ひたち BRT には営業区間に専用道／一般道があり、回送区間の一般道の区分がある。さらにこれらの区分に走行時間帯が昼間、朝晩のラッシュ時間帯、夜間の3つに区分される。現時点での技術開発では、昼間／専用道におけるレベル4の許可取得を24年度の目標としており、本取組では25年度にレベル4の乗務員無型に移行する予定としている。

事業性試算では一般道でのレベル4での走行を実現するために、路側のインフラ設置により走行支援が行われることを想定している。これらの支援を受けながら26年度以降にレベル4での走行を実現し、27年度以降に乗務員無型での運行するシナリオを想定し、事業性検討を行う。

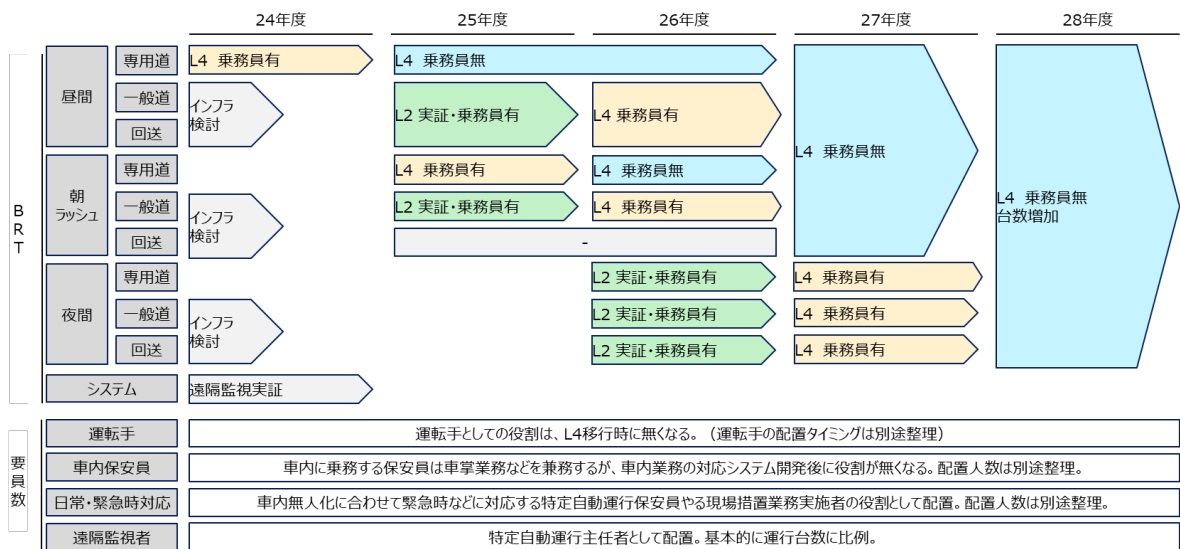


図 6.2.1-1 自動運転バスの実装スケジュール案について

本想定シナリオを想定すると、各運行系統においてレベル４乗務員有型（○）、レベル４乗務員無型（◎）で運行できるタイミングを以下表に想定整理した。また合わせて運行時間帯の要素を加味し、路線の優先度を１（早い）～４（遅い）で整理した。

表 6.2.1-1 各路線のレベル４での運行時期の見立てと導入優先度

	系統名	FY24	FY25	FY26	FY27	FY28	優先度
①	多賀駅～大甕駅西口			○	◎		2
②	多賀駅～大甕駅西口～大甕工場前			○	◎		3
③	多賀駅～大甕駅西口～おさかな C				○	◎	4
④	多賀駅～サンピア日立～おさかな C			○	◎		1
⑤	大甕駅西口発～おさかな C			○	◎		2
⑥	大甕駅西口発～多賀駅			○	◎		1
⑦	大甕工場前発～大甕駅西口～多賀駅				○	◎	4
⑧	おさかな C～大甕駅西口			○	◎		3
⑨	おさかな C～サンピア日立～大甕駅西口			○	◎		3
⑩	おさかな C～多賀駅				○	◎	4
⑪	おさかな C～サンピア日立～多賀駅			○	◎		1

6.2.2. 開発技術への要求仕様の策定

6.1 における検討内容と実装のロードマップに基づいて、自動運転システムに対しての要求仕様を以下の図 6.2.2 に示した通り、ヒアリングなどから整理を行い、5つの大分類において要求仕様として整理を行った。

- (1) サービスレベル
- (2) 運用容易性
- (3) 可用性
- (4) 持続性
- (5) 安全性

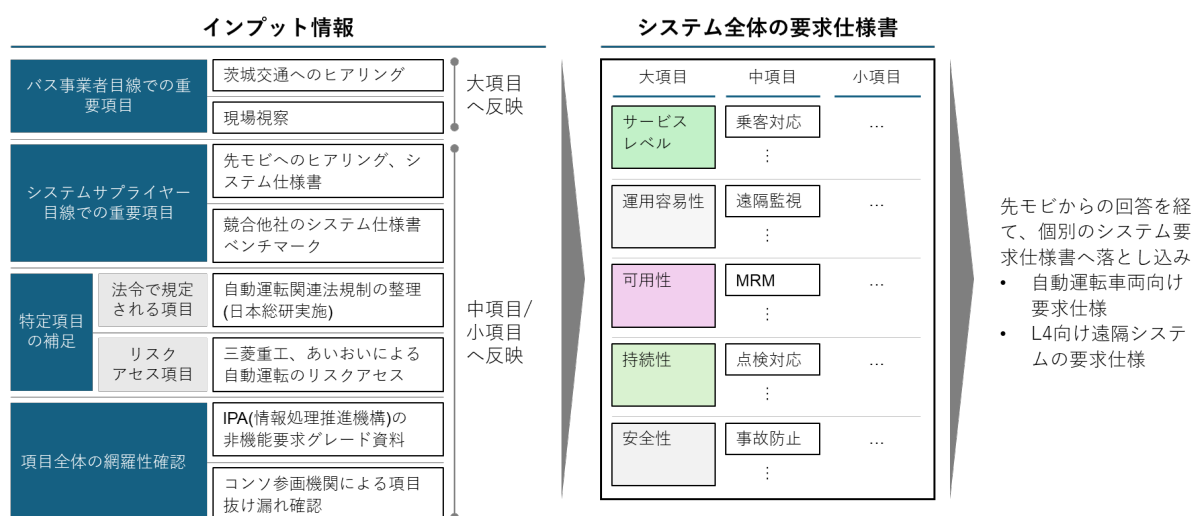


図 6.2.2 要求仕様の整理手法について

各要求仕様の詳細については、各社からのヒアリング内容が含まれ、秘密情報に該当する情報を含むため、本報告書では項目の概要を記載する。

(1) サービスレベル

サービスレベルの要求仕様では、走行時間や輸送人員などの路線運行時の要件として求められる基準を定めている。これらの基準を満たすことができれば、生産性の改善度合いが小さくなる。

表 6.2.2-1 サービスレベルとしての要求仕様

大項目	中項目	小項目	概要
サービスレベル	ー		・現状提供されているサービスの利用方法が一定踏襲され、全ての利用者が利用できる
	乗客対応		・車内無人においても、現在の利用者向けサービスと同水準のサービスを全ての利用者に提供できる
	停留所停車		・停留所の正しい停車位置±XXmに停車できる
	走行時間		・全線走行時に有人運行と比較してXX分以内の遅延で走行できる
	定時性		・ダイヤ情報に準拠した停留所発進、走行ができる
	輸送人員		・朝ラッシュ等のピーク時を含め、有人運行と同等の輸送人員を確保できる（1便あたり乗客可能数×時間あたり便数）
	走行可能環境		・ラッシュ時のロータリ内走行ができる（バス周辺環境条件） ・年間通して毎日X時からX時に走行できる（日照条件） ・気象条件に起因する運休頻度が年間XX%を下回る
	走行エリア		・ひたちBRTの専用道、その前後の一般道路区間を安全に走行できる（FY25テーマ2コンソとしてはBRT専用道まで） ・回送区間（回送ルートの走行・車庫への入庫等）を安全に走行できる

（※具体的な数値については秘密情報に該当するため記載を省略している。）

(2) 運用容易性

運用容易性についての要求仕様では、現状の有人運行の組織リソースの活用を前提に、自動運転システム対して求められる視点で整理している。自動運転システムは高度な技術が活用されているため、例えば運用を行う人員の必要スキルが専門的過ぎれば、運用を外部に依存することになったり、組織の切り分けが必要になるため、自車で一定程度完結するために運用容易性を要求仕様として整理する。

表 6.2.2-2 運用容易性の要求仕様

大項目	中項目	小項目	概要
運用容易性	—		・現状の組織リソースを一定程度前提として、外部にすべて依存せずに運用を自社で完結できる
	遠隔監視	管制	・リアルタイムでのダイヤおよび走行ルートの登録・変更等の運行管理業務（管制）が容易に行える
		監視	・法令遵守でX台/人のパスを無理なく同時に遠隔監視できる
	融通性		・安全性を担保できる範囲で速度パターン、走行レーン等の諸条件を事業者で容易に変更できる
	維持管理		・インフラ設備や自動運転車両の日常点検・維持管理が容易に行える
	運転手業務		・遠隔から有人運行時と同等の日報作成業務が容易に行える

(3) 可用性

レベル4での自動運転サービスでは事前に定められたODDにおいて運行されるが、ODDから外れれば、運行が中断され人による介入が発生する。そのためサービスが安定的に運行継続されなければ頻繁に人の介入が発生し、生産性の向上が図られない。そのため、自動運転システムがトラブルなく運用されるため、MRMに関する項目や耐障害性や回復性、セキュリティ要件を定め、安定的な運用を実現する要件を整理する。

表 6.2.2-3 可用性についての要求仕様

大項目	中項目	小項目	概要
可用性	—		・故障などのトラブルなく日々のサービスを安定的に運用できる
	MRM	MRM移行	・安全な走行ができないことを正しく検知した上で、MRMへ移行し、いかなる場合でも走路内に安全に停車できること（カーブ途中であっても走路内で停車できること）
		発生頻度	・MRMの発生頻度がX回/月/台以下 ・うち、緊急対応要員が必要となるMRMの発生頻度がX回/月/台以下
		原因の表示	・MRM発生後、特定自動運行主任者が状況を把握でき、適切な復帰対応を判断できる情報が出力される
		復帰	・MRM発生後の復帰指示からXX秒後に安全を確認した上で自動運転走行を自力で再開できる
	耐障害性	検知	・システムの故障を正しく検知できるシステムとなっていること
		定期報告	・システム提供者側でもシステムの稼働状況をモニタリングし、システムの稼働状況、ヒヤリハット等を整理したレポートをX回/年報告すること
		頻度	・1日以上サービス停止せざるを得ない自動運転システムの故障率がX%（X回/年）以下
	回復性	復旧作業	システム障害・故障発生時の迅速な対応ができること（対応体制の提示）
		可用性確認	システム障害・故障発生後はシステムの正常な稼働を確認した上で回復させること
		サポート体制	システム障害・故障時の技術者駆けつけサポート体制が整っていること
	セキュリティ	情報セキュリティ	情報セキュリティに関する適切な社内規定、ルールが存在し、これを順守している
		セキュリティリスク対策	セキュリティリスクの分析、診断、管理が適切に行われていること
		アクセス制限	適切なアクセス権限を付与できるシステムとなっている
		データの秘匿	通信データが暗号化されている
		ネットワーク対策	・不正通信を検知し、適切なログを残せること ・マルウェア対策がされていること

(4) 持続性

自動運転技術を既存路線に導入にすれば、トラブル等が発生しそれが継続した際に、有人での運行に戻すことが極めて難しい。そのため、サービス自体の可用性とともに、サービスが持続的に運行できることが重要になる。そのためトラブル時の対応や走行環境への変化対応の容易さなどの仕様について整理する。

表 6.2.2-4 持続性についての要求仕様

大項目	中項目	小項目	概要
持続性	—		・サービスが複数年にまたがり同様の条件で継続的に運用できる ・トラブル時の復旧や代替運用が容易にできる
	点検対応		・搭載機器やシステムに応じた適切な点検体制がとれること ・故障時の迅速な復旧もしくは代替手段がとれること
	災害時対応		・遠隔監視により省人化された運用体制においても、災害時の車両避難が容易にできること
	緊急時対応		・車内トラブルが発生した際に遠隔監視者から対応ができること
	更新対応		・将来的な搭載機器やシステムの性能改善を反映したアップデートができること
	環境変化への対応		・道路形状、信号等の走行環境の変化への対応方針が明確であり、その作業が容易にできること

(5) 安全性

これまでの4つの視点と異なり、自動運転システムを安全に運行するための要件について整理する。基本的にはレベル4での運行を実現するための法的・ルールへの適合することが必須要件であり、さらに運行システム全体でのリスクアセスメントを踏まえて整理することで安全性を担保する。

表 6.2.2-5 安全性についての要求仕様

大項目	中項目	小項目	概要
安全性	—		・サービス利用者が安全に利用できる ・サービス提供を行う事業者が安全に運行できる
	交通ルールの厳守		・交通ルールを厳守した走行、バス運行業務ができる ・信号灯色に従った走行ができる。信号故障時はMRM移行
	事故防止		・合理的に予見できる交通参加者との接触事故が生じないこと ・乗客が自動運転システムに介入できない仕組みであること
	被害軽減		・万が一事故が生じた場合も、その被害を可能な限り軽減する対策が取られていること
	事故の検知		・万が一事故が生じた場合も、それを検知し停車すること
	故障検知		・機能限界・機器故障を検知できること
	緊急停止		・機能限界・機器故障等で走行不可となった場合に、乗客の安全を確保しつつ、走路内で停止できること
	緊急車両対応		・自車周辺の緊急車両を検知し、適切に停車等の対応ができること
	乗客の安全		・平常時の乗降車、緊急時の対応を含めて、乗客が安全に乗車できる仕組みが整っていること
	車内トラブル対応		・車内トラブル（バスジャック、乗客の異変等）発生を検知し、遠隔監視含めて対応できること

6.3. 事業シミュレーションの実施と課題点の洗い出し

6.3.1. 現状の有人運行コストの試算

本試算のベースとなる現状の有人コストの推計では運行する交番（勤務シフト）や車両1台当たりの運行コスト推計方法もあるが、本試算では一般的に入手が容易な路線バスの運行費用である標準原価（実車走行キロ当たり輸送原価）として国土交通省から毎年公表されている数字を用いて試算する。なおキロコストには、運行に関わる直接的な経費の他に一般管理費なども含まれている。

表 6.3.1-1 路線バスの運行に関わる経費内訳³

分類	科目	概要
運送費	人件費	現業部門の従業員に係る人件費 (例：給与、手当、賞与、退職金、厚生福利費など)
	燃料油脂費	事業用自動車に係わる燃料費及び油脂費 (例：軽油費、LPガス費、油脂費など)
	修繕費	事業用固定資産の修繕に係わる費用 (例：車両修繕費、建物構築物修繕費など)
	減価償却費	事業用固定資産に係わる減価償却費 (例：車両減価償却費、建物構築物減価償却費など)
	保険料	事業用固定資産及び運送に係わる諸保険料 (例：自動車損害賠償保険料、建物火災保険料など)
	施設使用料	事業用固定資産に係わる使用料 (例：借地料、借家料など)
	自動車リース料	事業用自動車及びその付属品に係わるリース料 (メンテナンスリースの場合の整備料を含む)
	施設賦課税	事業用固定資産に係わる租税 (例：固定資産税、自動車重量税、自動車税など)
	事故賠償費	事故による見舞金、慰謝料、弁償金等
	道路使用料	有料道路料金
一般管理費	その他	現業部門に係わる経費で他の科目に属さないもの (例：被服費、水道光熱費、通信運搬費、旅費など)
	人件費	本社その他管理部門の従業員に係る人件費 (例：給与、手当、賞与、退職金、厚生福利費など)
	その他	管理部門に係わる経費で他の科目に属さないもの (例：被服費、水道光熱費、通信運搬費、旅費など)

出典：バスサービスハンドブック（土木学会）

³ 国土交通省資料から引用（<https://www.tb.mlit.go.jp/kinki/content/000010175.pdf>）

ひたち BRT における運行コスト試算は当該路線を含む北関東ブロックの標準原価（走行 1km 当たりの運行コスト）を用いることとした。本数値は 2022 年度の当該エリアを含む北関東ブロックの平均単価を採用している。

表 6.3.1-2 北関東ブロックの標準原価⁴

項	原価項目	単価（円/km）
1	人件費	216.64
2	燃料油脂費	35.92
3	車両修繕費	22.08
4	車両償却費	16.76
5	利子	1.12
6	諸経費	51.47
合計		343.99

⁴ https://www.bus.or.jp/cms/wp-content/themes/bus/images/about/publication/2022_busjigyo.pdf

6.3.2. シミュレーションモデルの作成

既存バス路線への自動運転技術の導入し事業性検討をするにあたり、コスト積み上げ式での試算は行わず、既存のバス事業の運行にかかるコストとの差分（増分）を推計し、自動運転車両における運行コストを見積もる方法を取る。これは自動運転化されても、燃料費などの運行にかかる経費の多くは変動せず、また現時点では車両価格などの各種コストパラメータの推定精度が低く変動も大きく、かつコストに占める主要因であることから各種コストを積み上げで精緻に見積もるよりも、既存事業との変化要素に注目し、その中でインパクトの大きい要素を把握することが重要であるためである。さらに売り上げについても自動運転化によって利用者単価が高くなることは想定しづらいため、コスト要素に主に注目した事業性検討を行う。

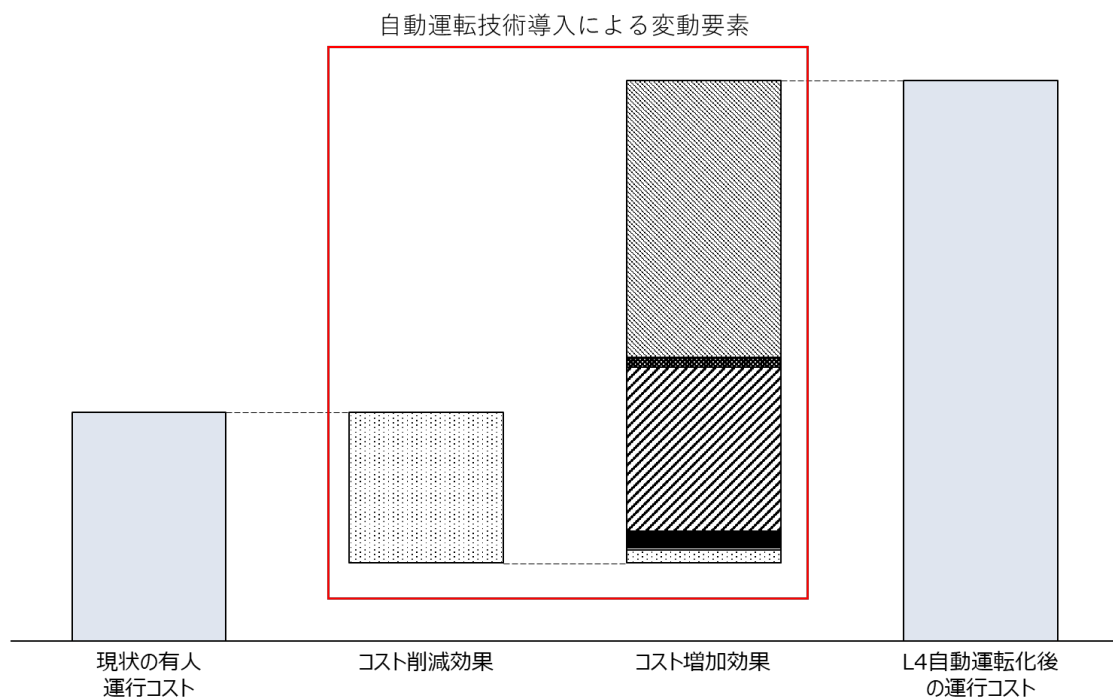


図 6.3.2-2 自動運転コストの推定手法について

6.3.3. 事業シミュレーションの実施

(1) 現状の有人運行コストの推定

本試算では有人運行時のベースコストを秘密情報である内部の実際のコストではなく、標準原価を用いて試算する。運行コスト積算のため路線を構成する各系統の走行距離と運行便数から年間での運行コストを表 6.3.3-1 と表 6.3.3-2 の通り計算した。本試算では路線全体で年間約 7,600 万円の運行コストがかかっていると試算した。なお本試算では車両の車庫への回送等の運行コストを含めていないため、実際の運行コストに比べて低くなっている。また表で整理した系統の優先度に応じて、ベースの運行コストがどの程度かかるのかを図 6.3.3-1 に整理した。

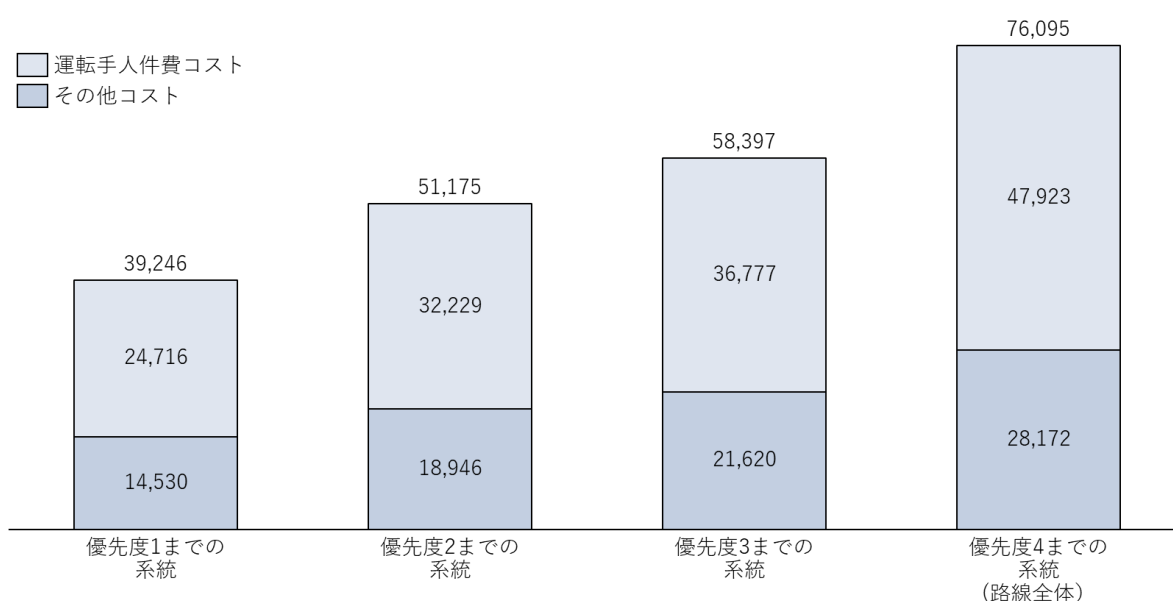


図 6.3.3-1 各系統の優先度ごとの運行コストの試算

表 6.3.3-1 ひたち BRT の運行コスト推計のための諸元①

項	原価項目	①多賀駅～ 大甕駅西口	②多賀駅～大甕 駅西口～大甕工 場前	③多賀駅～大甕 駅西口～おさか な C	④多賀駅～サン ピア日立～おさ かな C	⑤大甕駅発 ～おさかな C	⑥大甕駅西口発 ～多賀駅
1	走行距離（路線長）	5.4km	7.3km	8.0km	8.5km	2.7km	5.4km
2	運行時間帯	平日日中	平日朝	平日朝晩	日中時間帯	平日朝	平日日中
3	1 日当たりの便数 （平日／土日祝日）	24 便/0 便	10 便/0 便	8 便/2 便	23 便/30 便	4 便/0 便	21 便/0 便
4	1 日当たりの走行距離 （平日／土日祝日）	129.6km/0km	73km/0km	64km/16km	195.5km/255km	10.8km/0km	113.4km/0km
5	運行日数 （平日／土日祝日）	247 日/118 日					
6	年間路線運行コスト(千円)	11,012	6,202	5,438	16,611	918	9,635
7	内、運転者人件費コスト	6,935	3,906	3,425	10,461	578	6,068

表 6.3.3-2 ひたち BRT の運行コスト推計のための諸元②

項	原価項目	⑦大甕工場前発 ～大甕駅西口 ～多賀駅	⑧おさかな C～ 大甕駅西口	⑨おさかな C～ サンピア日立 ～大甕駅西口	⑩おさかな C～ 多賀駅	⑪おさかな C～ サンピア日立 ～多賀駅
1	走行距離（路線長）	7.3km	2.7km	3.1km	8.0km	8.5km
2	運行時間帯	平日夕方	平日朝	平日朝	早朝時間帯	日中時間帯
3	1 日当たりの便数 （平日／土日祝日）	11 便/0 便	1 便/0 便	3 便/0 便	8 便/5 便	18 便/25 便
4	1 日当たりの走行距離	80.3km/0km	2.7km/0km	9.3km/0km	64km/40km	153km/212.5km
5	運行日数 （平日／土日祝日）	247 日/118 日				
6	年間路線運行コスト（千円）	6,823	229	790	5,438	13,000
7	内、運転者人件費コスト	4,297	144	498	3,425	8,187

(2) 自動運転化に関連するコストパラメータの整理

自動運転技術の事業性を試算するために、想定される各種のコストパラメータを以下の表 6.3.3-3 の通りに整理した。なお本試算における各パラメータは実際の導入時のコストではなく、現時点で想定される数値として記載しており、実現することを担保するものではない。

表 6.3.3-3 事業性試算に係るパラメータ

項	コスト項目	想定コスト (千円)	備考
1	自動運転車改造費	100,000 千円/5 年	5 年間のレンタル価格として想定し、メンテナンス等の保守費用を含んだ価格として想定
2	遠隔監視員人件費	6,000 千円/年	特定自動運行主任者として対応する人件費を想定
3	緊急時対応員人件費	5,000 千円/年	トラブル時に現場に駆け付け対応する人件費を想定
4	設備点検員	5,000 千円/年	路側設備の巡回点検を行う人件費を想定
5	エンジニア	5,000 千円/年	車両設備や路側設備の修理対応要員人件費を想定
6	運行管制システム 利用料	20,000 千円/年・事業者	遠隔監視・管制を行うシステム利用料を想定
7	路側設備（右左折支援）	2,500 千円/箇所	LiDAR 等による右左折支援システムを想定 耐用年数は 2 年想定
8	信号協調システム	2,000 千円/箇所	信号灯色情報を得るためのシステムを想定 耐用年数 10 年想定
9	高精度地図作製費用	1,000 千円/路線	3 年に一回更新を想定
10	リスクアセス費	5,000 千円/路線	運行システム全体でのリスクアセス費を想定。10 年に一回更新を想定

(3) 最終的な運用台数・設備の想定

28 年度においてひたち BRT の全路線区間において、レベル 4 乗務員無型で運行する際の、想定車両台数や路側設備について表 6.3.3-4 に整理した。本整理は事業性試算を行うためのシナリオとして設定しており、実際の運用や設備状況として実施することが決まっているものではない。特に路側設備では、走行路上のすべての懸念される場所に設置することを想定した設備規模であり、実際の設置予定とは大きく異なっている。

表 6.3.3-4 事業性検討のための想定運用規模の整理

項	項目	想定運用規模
1	必要車両台数	8 台
2	予備車両	1 台
3	遠隔監視員人数	2 交代 2 名 合計 4 名
4	緊急時対応員人数	2 交代 2 名 合計 4 人
5	設備点検員	1 人
6	エンジニア	1 人
7	運行管制システム	1 契約
8	路側設備（右左折支援）	15 か所
9	信号協調システム	12 か所

(4) 28年度の全路線レベル4無人化した際の想定運行コスト

表 6.3.3-4 で想定した 28 年度における運行コストを図 6.3.3-2 で試算した。現状の前提ではレベル 4 で乗務員無型での運行が全路線で実現しても、運行コストは有人運行の現状に比べて約 4 倍の運行コストになり、事業性の成立が難しいことが想定される。特に車両費費用がコストに占める割合が大きく、事業コストが高くなる主要因となっている。またレベル 4 乗務員無型で遠隔で業務にあたる遠隔監視者や緊急時対応員などの人件費と路側設備点検員やエンジニアコストが、ひたち BRT 路線に専属的に配賦されることで、コスト高の要因となっている。

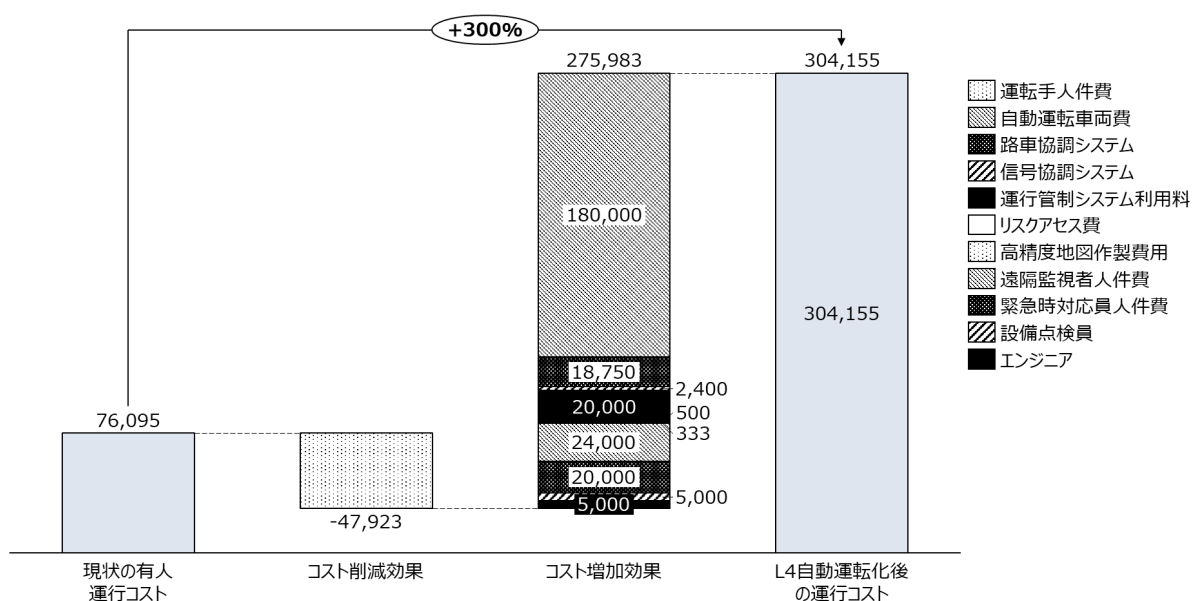


図 6.3.3-2 28 年度の路線全体での運行コストの試算結果

6.3.4. 感応度分析（運用課題抽出）

6.3.3 で試算した事業性評価シナリオでは非常に高い運行コストになっており、運行コストの改善を進め、事業性が成立するための条件を検討するため、原因分析を行った。運行コストの試算から、以下の３つの要素について分析した。

- (1) 量産化されていない高額な自動運転車両費
- (2) 固定費としての設備・システムの負担率
- (3) 効率的な運用体制の構築

各項目について背景にある課題を把握し、今後の方向性について検討した上で、コストがどの程度下がる可能性があるのかを項目ごとに検討し、最後にそれらを踏まえた事業性検討を行う。

(1) 量産化されていない高額な自動運転車両費

研究開発・市場の黎明期にある自動運転システムは、自動運転車両費に自動運転メーカーの研究開発費用が相当額含まれているため、高額となっていると推測される。将来的に自動運転車両の量産がされれば、量産化による製造価格の低減だけでなく、車両1台当たり含まれる研究開発費も低下することが期待され、自動運転車両の価格が大幅に低減することが期待される。一方で市場黎明期においては高額な車両に対する利用需要は限られており、そのままでは車両利用が進まず、結果的に販売価格の低下も進みづらい。こうした状況を打破するため、市場黎明期において購入補助金などを設定することで、利用常用を喚起し、生産台数を増やすことで好循環を生むことが政策的には期待される。

仮に量産によるコスト削減効果を累積車両製造台数が倍になるごとに一定のコスト改善効果があると仮定し、現状の車両製造台数はメーカ当たりで10台程度から量産が進んだ際の推計を図6.3.4にて試算した。試算では倍増するごとに低減する割合を3つのシナリオ（5%、10%、20%）で設定した。

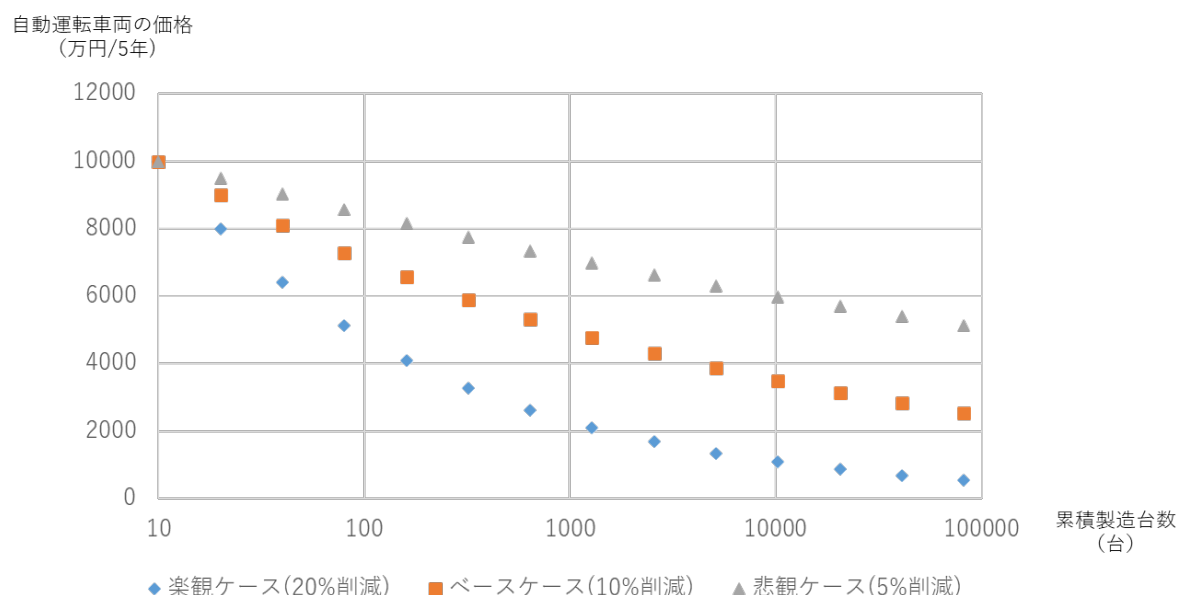


図 6.3.4 量産化によるコスト低減効果試算

国内における路線バスはストックベースで約60,000台あり、年間の製造台数は約2,000～2,500台と言われている。仮にストックベースで約4%程度が自動運転バスになるとすれば図6.3.4の試算では5年間の利用料がベースケースで4,304万円、楽観ケースで1,678万円、悲観ケースで6,634万円となる。本試算ではベースケースの4,304万円を試算に用いる。

(2) 固定費としての設備・システムの負担率

自動運転システムでは車両運行全体の管理や遠隔からの監視機能を有する運行管制システムや路側に設置する信号協調システムや路車協調システムといった、各種システム・設備の負担が新たに発生することで運行コストが大きくなっている。こうしたシステム・設備は運用台数や路線などの規模が拡大することで、設備を共同で利用するため、車両あたりや路線あたりで見た際の単位コストは小さくなる。本試算ではひたち BRT を運行する茨城交通の日立南営業所の当該路線のみを自動運転化することを想定しており、これらのコスト負担が大きくなっている。

現在デジタルライフライン全国総合整備計画が検討されており、それらの検討では路側インフラ設備を地域の多様な利用者と共同利用する仕組みが検討されており、固定的なコストの負担軽減が期待される。こうした前提に沿って、路線の設備負担率が軽減されると仮定し、現状の 100% 負担から 10% 程度の負担に軽減されると仮定し、試算を行う。

(3) 効率的な運用体制の構築

前項の試算と同様に、運行時の遠隔監視者や緊急時対応員などの人件費と路側設備点検員やエンジニアコストは運用路線や台数が増えることで、より効率的な人員配置が期待される。以後の試算では、それぞれ現状の 1/5 程度の効率性で運行できる前提で試算を行う。

6.3.5. 運行コストにおける課題が解決した際の運行コスト分析

これまでの課題分析から、表 6.3.5 にまとめた課題解決が達成された際の運行コストを図 6.3.5 試算した。現状の有人運行と比べてほぼ同額の運行コストと試算されることから、事業性が成立すると考えられる。

表 6.3.5 課題解決した際の各種前提の変化まとめ

	課題解決前（当初想定）		課題解決後（期待値）
車両単価（5年利用料）	10,000 万円	→	4,304 万円
運行管制システム	20,000 千円/年・事業者	→	2,000 千円/路線
路側設備（右左折支援）	2,500 千円/箇所	→	250 千円/箇所（路線分）
信号協調システム	2,000 千円/箇所	→	200 千円/箇所（路線分）
遠隔監視員人件費	6,000 千円/年		1,200 千円/年（路線分）
緊急時対応員人件費	5,000 千円/年		1,000 千円/年（路線分）
設備点検員	5,000 千円/年		1,000 千円/年（路線分）
エンジニア	5,000 千円/年		1,000 千円/年（路線分）

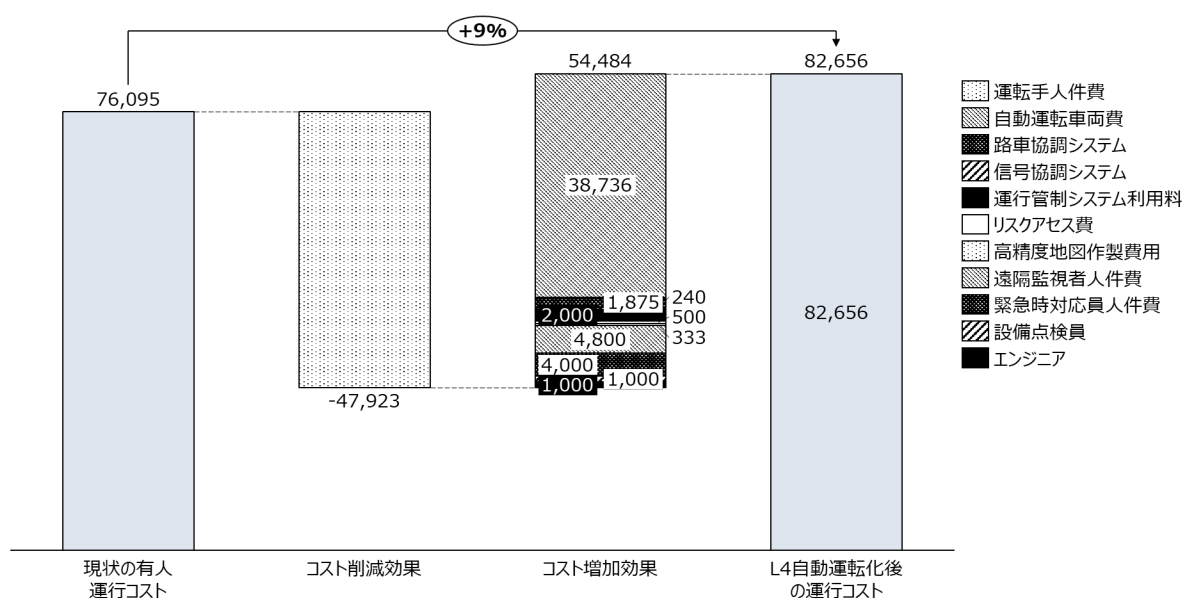


図 6.3.5 課題解決した際の運行コストの想定

6.3.6. まとめ

ひたち BRT の事業性試算では現在路線運行がされており、自動運転技術が実装し運行サービスレベルに変化がなければ、運賃収入等がそのままの水準で維持され则认为られる。そのため自動運転技術の導入によって運行コストに変化がなければ十分事業性が成立すると想定している。そのため本年度の試算では、運行コストに注目し、様々な前提条件を整理した上で、運行コストの試算を行った。ただし現在の研究開発段階で、市場が成立する前では各種のコストパラメータが非常に高く、事業性が整理するような水準にはない。そのため運行コストを改善する要素に注目し、一定の条件下の下で課題解決が進んだと仮定して、運行コストの試算を行っている。本年度の検討では路線全体でのレベル 4 乗務員無型の運行が達成され、複数路線での運用により効率的な運行が達成されることで事業性が成立する可能性が評価できた。

次年度以降においては、路線全体でのレベル 4 乗務員無型に至るより詳細な導入シナリオの検討や要求仕様の詳細化を進め、想定する導入シナリオに対して技術開発が実現するのかなどの F/S 検討を進めることを目指す。

**ひたち BRT での「レベル 4 実証」を活用した
横展開すべき課題に関する検討編**

第1章 システム全体

1.1. 自動運転化のロードマップの横展開に向けた留意点等の整理

自動運転技術の発展、許認可制度の整備などが進み、自動運転移動サービスは技術検証フェーズから本格実装フェーズに移行が進んでいる。

各地域において技術検証フェーズから本格実装フェーズへの移行を加速させるには、技術開発者だけでなく運行に携わる事業者も検討に加わることが非常に重要となる。テーマ2では2023年度から運行に携わる事業者が検討に加わったことで本格実装に向けた議論を深められている。以下に、本格実装フェーズに移行し、本格実装フェーズを推進するにあたっての論点・留意点を2つ示す。

1つ目の論点・留意点は、自動運転システム全体での運行設計・機能定義に関するものである。技術検証フェーズでは、自動運転システム全体での運行設計・機能定義は自動運転システム開発者が主に検討を進めていたところ、本格実装フェーズでは運行に携わる事業者も共同で検討を進めることが肝要になる。運行に携わる事業者は事業面からの要求仕様を自動運転システム開発者に提示し、自動運転システム開発者は事業面からの要求仕様も踏まえて自動運転システムの要件定義をすることにより、本格実装後に有用な自動運転システムの完成が可能になる。

2つ目の論点・留意点は、自動運転システム導入のロードマップ策定に関するものである。地域の社会受容性については中長期的に醸成する必要がある、自動運転技術についても段階的に地域に導入していくことが重要である。段階的な導入とは、例えば乗務員乗車型レベル4自動運転移動サービスを導入後に遠隔監視型レベル4自動運転移動サービスに移行するような導入の仕方である。その際、導入の各段階の技術的に目指す到達点は、自動運転システム開発者だけでなく運行に携わる事業者も理解することが必須である。自動運転システム開発者及び運行に携わる事業者、その他ステークホルダーの共通理解のもとで、自動運転システムを段階的に導入していくロードマップ作りが重要である。

1.2. ひたち BRT を事例としたリスクアセスメントから設計、妥当性確認までの展開に向けた留意点等の整理

テーマ2では乗務員乗車型レベル4自動運転移動サービスを想定したリスクアセスメントや事業モデル・運行シナリオ、責任区分に関する検討を行った。

1.2.1. レベル4による運行を想定した他地域への展開の検討

他地域への展開を企図し、旅客自動車運送事業者の乗務員乗車型レベル4自動運転移動サービスにおけるリスクアセスメント結果とともにステークホルダーの観点から責任分解について整理を行った。なお、この整理は、テーマ1の永平寺町のレベル4自動運転移動サービスの実現の取組みの成果を活かし、ひたち BRT の走行環境や路線バスの運行にあて

はめて検討した事例を基にしたもので、新たな法規の改正に対応したものである。

1.2.2. 「自動運転 L4 移動サービス_リスクアセスメントと分析シートの説明資料」について

本資料は、特定自動運行主任者同乗型（レベル 4）の無人自動運転移動サービス（以下「レベル 4」）の社会実装の促進に向け、茨城県日立市でのレベル 4 の実装に向けた取り組み事例にもとづき、今後、新たにレベル 4 の導入を検討する関係者等が、具体的な走路環境における運行を想定し、運行プロセスで想定されるリスクを評価し低減するためのリスクアセスメントと、そのリスク評価のためのリスクアセスメントシートの活用を説明し、更に結果を責任区分等の整理に用いることに対する参考資料としてまとめたものである。

■ 本資料の趣旨

- ◆ 本資料は、特定自動運行主任者同乗型（レベル4）の無人自動運転移動サービス（以下「レベル4」）の社会実装の促進に向け、茨城県日立市でのレベル4の実装に向けた取り組み事例に基づき、今後、新たにレベル4の導入を検討する関係者等が、具体的な走路環境における運行を想定し、運行プロセスで想定されるリスクを評価し低減するためのリスクアセスメントと、そのリスク評価のためのリスクアセスメントシートの活用を説明し、さらに結果を責任区分等の整理に用いることに対する参考資料としてまとめたものである。

■ 活用対象者

- ◆ 新たにレベル4の導入を検討する関係者等（具体的な地域での導入に関わるステークホルダー）
：自治体、旅客自動車運送事業者、車両製造者、自動運行装置製作者、保険会社等々

■ 活用方法(例)

- ◆ 具体的な走路環境における運行プロセスを想定し、リスクを事前調査するリスクアセスメントのために、リスクアセスメントシートや日立市の事例を活用可能。
- ◆ 上記のリスクアセスメントにおけるリスクの評価を行い、許容範囲を超えるリスクを把握
- ◆ 許容を超えるリスク等に対するリスク低減策の検討と実施を行い、リスク検証と残存リスクへの追加対策等を実施することで、運行プロセス全体の安全性の確保を、車両やシステム、走行環境、運用対応で担保することを確認。
- ◆ リスクアセスメントの結果に基づき、運用プロセスの各プロセス毎で想定されるリスクを「不具合事象」等として、責任区分等の整理として、「原因」、「責任」などの整理に活用。別紙「無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の整理について」参照

無人自動運転移動サービスにおけるリスクアセスメントとリスクアセスメントシート

【資料の構成】

資料は、無人自動運転移動サービスにおけるリスクアセスメントについて、下記のとおり、リスクアセスメント手法やリスク算出手法や評価項目の設定、洗い出しの観点などを説明・解説した本資料と、別添資料としてリスクの洗い出し結果やリスクアセスメントに用いるリスクアセスメント関連シートから構成される。

1. リスクアセスメントとリスクについて
2. リスクアセスメント手法
3. ハイブリッド法におけるリスク算出と評価項目の設定
4. リスク洗い出しの観点
 - 4.1. 事故・ヒヤリ・ハットの原因
 - 4.2. 参考 (m-SHEL、4 M(5 M)の概要)
 - 4.3. 自動運転移動サービスを想定した洗い出し観点
 - 4.4. 様々なリスク分析手法
5. リスクアセスメントシートについて
 - 5.1. リスクアセスメントシートの活用によるリスク評価
 - 5.2. リスクアセスメントシートの項目と概要例
 - 5.3. リスク点数の配分
 - 5.4. 対応するリスク領域の設定
 - 5.5. リスクアセスメントシートの記入例 (日立市での運行想定)
6. リスクアセスメント結果の活用例
リスクアセスメント結果に基づく責任区分や法的責任の整理について
7. リスクアセスメントの流れ
8. リスクアセスメントにおけるテーマ 1からテーマ 2への主な変更点

【別添資料】

リスクアセスメント関連シート(エクセル版)
・プロセスフロー
・点数算出・配分
・リスク領域
・リスクアセスメントシート(日立市L4 想定プロセス)
・リスクアセスメントシート(サンプル)
・対策検討集約

2

1. リスクアセスメントとリスクについて

＜リスクアセスメントとは＞

- ・リスクアセスメントは、職場の潜在的な危険性又は有害性を見つけ出し、これを除去、低減するための手法(厚生労働省)であり、「輸送の安全」における「品質確保・維持」(PDCAサイクル)活動のひとつである。
 - ・ P : 過去に発生した、あるいは発生が懸念される事故や ヒヤリ・ハットとその被害の大きさを把握、予測 (リスクアセスメント)
 - ・ D : 事故・ヒヤリ・ハット防止の対策の実施
 - ・ C : 実施した対策の効果の検証
 - ・ A : 検証結果をもとに、追加対策などの実施
- ・ 自動運転車などの新しい移動サービスの導入は、バス事業やタクシー事業といった既存の 移動サービスと運営面や管理面等におけるプロセスが異なるため、具体的な走路環境が想定され、導入の検討 の準備段階からリスクアセスメントを実施し、実証や社会実装段階までにリスク低減の対策実施、リスク評価の再検証、追加対策の実施を行い、運行全体の安全性の確保、車両やシステム等の 安全面における品質確保を担保することが重要である。

＜リスクとは＞

- ・ リスク(R)は、対象とする事象の危険源によって危害が発生した場合の、「危害のひどさ(S)」と「危害の発生確率(P h)」の組み合わせとして表すことができる。
- ・ リスク(R) = 「危害のひどさ(S)」×「危害の発生確率(P h)」
- ・ また、「危害の発生確率(P h)」は、「危険事象の発生確率(P s)」、「暴露頻度や時間(F)」および「危害回避の可能性(A)」の要素で構成されている。
- ・ リスクを評価する方法として、要素の加算や掛け合わせて評価する方法(スコアリング)や、グラフやマトリックスで評価する方法がある(次頁で詳述)。

3

2. リスクアセスメント手法

＜様々なリスクアセスメント手法の概要＞

- ・リスクアセスメント手法には、以下の表に示すように様々な手法がある。
- ・今回は、リスク点数の算出式として、リスク低減効果が反映しやすく、「危害の酷さ」と「被害の発生確率」を組み合わせた「ハイブリッド法」を採用した。

手法	内容	特徴
加算法	リスク評価項目毎の評価点を加算し、合計点をリスク評価点としてリスクレベルを決定。	・日本では多く利用される ・リスク評価項目の増減が容易。 ・リスク低減効果が見えにくい
積算法	リスク評価項目毎の評価点を積算し、合計点をリスク評価点としてリスクレベルを決定。	・加算法の変形。 ・リスク低減効果は加算法より反映しやすい。
マトリクス法	「危害のひどさ」と「危害の発生確率」に係わる副要素を、縦・横2軸の評価軸の組み合わせで示されるリスク評価点でリスクレベルを決定	・リスク低減方策実施前後の比較が容易。 ・適用できるリスク要素に限界あり。
リスクグラフ法	リスク評価項目毎に評価の分岐経路を定め、最終的にリスクレベルを導く。	・比較・妥当性確認が容易。 ・リスク評価項目の評価分類は多くはできない。
ハイブリッド法	スコアリングとマトリクスの特徴を兼ね備えている。リスク評価項目毎の評価点を加算法と積算法を組み合わせ、合計点をリスク評価点としてレベルを決定。	・スコアリングで評価するパラメーターについては重み付けがはっきりする。 ・マトリクス部の選択には経験や知識を要する。 ・マトリクスよりは網羅性が広い。

4

3. ハイブリッド法におけるリスク算出と評価項目の設定

＜ハイブリッド法におけるリスク点数の算出式＞

ハイブリッド法におけるリスク点数の算出式を以下に示す。

リスク(R)は「危害のひどさ(S)」と「暴露頻度や時間(F)」と「危険事象の発生確率(Ps)」と「危害回避の可能性(A)」の組み合わせで表すことが出来るため、ハイブリッド法での算出式は以下のとおりに示すことができる。

$$R = S \times \underbrace{(F + Ps + A)}_{Ph(\text{危害の発生確率})}$$

＜評価項目の設定と点数配分＞

- ・**リスク点数の算出にあたっては、評価項目**(「危害のひどさ(S)」、「暴露頻度や時間」「危険事象の発生確率」や「危害回避の可能性」)**毎に点数を配分**することが一般的である。
- ・**リスク点数の算出には、対象とするシステムや環境、運用に対するリスク評価の経験やノウハウに基づいて、点数配分を行うことが通例である。また、配分やリスク領域の決定にあたっては、事前に関係者間(ステークホルダー間)で調整・合意を図っておくことが重要**である。
- ・評価項目毎の点数の配分について、「危害の酷さ」や「暴露頻度や時間」と「危険事象の発生確率」については、多くの事例においては3～4区分に設定されていることが多い。その理由として、あまり細かく設定すると、区分毎の定義づけ(例：1点は〇〇に該当する等)において、その定義づけや関係者間での調整や合意が困難になることが推察される。
- ・また、評価項目毎の点数の定義や配分によって、例えば同業種の類似事例と比較した際に、算出結果に乖離が生じることも留意しておく必要がある。

5

4.1. リスク洗い出しの観点：事故・ヒヤリ・ハットの原因

<事故・ヒヤリ・ハットの原因>

事故や事故につながる前段階としての ヒヤリ・ハットの原因は、大きく3つの種類に分類される。

1. 自然
 - 台風、地震、落雷、雪崩などの自然現象が起因するもの
 - これら自然現象が予見される際に、適切な対応がなされなかった場合は人災となる
2. 人工物
 - 機械、車両や道路（付属物含む）、ネットワークシステムなどの人間が作成・構築したものに起因するもの
 - 作成や構築段階で、事象の検討漏れ、検討不足や対応不足により事故等が発生した場合は人災となる
3. 人間
 - 装置や器具の操作を適切に行わない、自動車で歩行者をはねるなど、人間自身の行動に起因するもの（ヒューマンエラー）

- ・ あらゆる事故やヒヤリ・ハットの原因には、人間が深く関係しており、これら事故やヒヤリ・ハットをなくすためには、人間の問題を避けて通ることは言えないと考えられる。
- ・ 自動運転車両の運用においても、車両の設計や走行システムや遠隔監視システムの取り扱いにおいて人間の行動が介在するために、人間の行動を中心にリスクの洗い出しを進めることが重要である。

- ・ 事故・ヒヤリ・ハットの原因は、さまざまな要因が複雑に入り組んだ結果生じるものであるが、その要因の洗い出しの観点として、m-SHEL※や4 M(5 M)※といった切り口から洗い出すことが重要である。

※：m-SHEL、4 M(5 M)の概要については、次頁を参照

6

4.2. リスク洗い出しの観点：参考(m-SHEL、4 M(5 M)の概要)

<m-SHEL>

m-SHELは次の単語の頭文字をとったものである。

	概要
①Software	作業手順や作業指示の内容、手順書や指示書や作業指示の出し方や教育方法などソフトに関わる要素
②Hardware	作業に使われる道具、機器、設備などのハード的な要素
③Environment	照明や騒音、温度や湿度、作業空間の広さなどのハード的な要素
④Liveware	作業者本人の体調や疲労、身体的能力や作業者に指示や命令をする上司や同僚などの人的な要素
⑤Management	作業者本人の直接の上司や役員、社長といった作業者本人とそれ以外の要素をマッチング(調整)し、バランスをとっていく要素

<4 M(5 M)>

4 M(5 M)の「M」は次の単語の頭文字をとったものである。

	概要
①Man	作業者本人、上司や同僚などの人間要素
②Machine	道具、機械、設備などのハードの要素
③Media	照明や騒音をはじめとする物理的環境、手順などの情報環境、同僚などの人間環境などの様々な環境要素
④Management	労働条件、制度や管理体制など、管理的な要素
⑤Mission	作業の目的や目標に関する要素

7

4.3. リスク洗い出しの観点：自動運転移動サービスを想定した洗い出し観点

＜自動運転移動サービスを想定した事故等の洗い出し観点＞

- 自動運転車などの新しい移動サービスを導入するにあたり、m-SHELの観点からそれぞれの要素を自動運転車両や新しい移動サービスに置き換えた場合、以下のリスクの洗い出し観点が考えられる。

1. ソフトウェア

- 作業や運行の手順、作業・運行の指示の内容やそれが記載されている手順書や指示書、点呼等での指示の出し方、教育訓練の方法など、ソフトに関わる要素

2. ハードウェア

- 運行や作業、整備に使われる道具、自動運転車両や自動運転に関わる設備などハード的な要素

3. 環境

- 走行コースや周辺の環境、気象状況や作業や整備環境など、走行・作業環境に関わる要素

4. 本人(自動運転車両等の操作や作業に主体的に関わる人)

- 本人の心身や健康状態や身体的な能力、操作や作業に関する技量や知識やコンプライアンス意識に関する要素

5. 他人(本人に関係、関与する人)

- 本人に指示や命令する上司や操作・作業を一緒に行う同僚、自動運転車両の周辺を走行するその他の交通に関する要素

6. マネジメント

- 本人が所属する組織において、現場をコントロールする権限を保有している要員（運行管理者や安全統括管理者等）に関する要素

※これらの観点から、日立市での自動運転車両の実証実験をサンプルに、運用や安全管理におけるプロセスを整理した上で、リスクを洗い出し、リスクアセスメントを実施している。

8

4.4. リスク洗い出しの観点：様々なリスク分析手法

＜様々なリスク分析手法＞

- リスク対策を検討するためにはリスク分析を行う必要があるが、その分析手法は以下の表に示すように様々な手法がある。

手法	内容	特徴
フェーズハザード分析	プロセスやシステムのハザード(危険性)を特定し、適切なリスク軽減策を立案するための定性的手法。	- 潜在的なハザードを特定し、発生確率、影響度、およびその重要性を評価 - 利点は、追加的な技術情報が不要であることだが、数値データが必要な場合がある
FMEA (フェーズフェイルモード・エフェクト・アナリシス)	設計の初期段階での製品やプロセスの失敗モードを特定し、その原因や結果、およびその重要度を評価するための定量的手法	リスク評価に数値データを使用することが可能
FMECA (フェーズフェイルモード・エフェクト・クリティカリティ・アナリシス)	FMEAの発展形であり、失敗モードに対する影響度を定量化し、優先順位をつけるために定量的データを使用する手法	- 複雑なシステムのリスク分析に最適 - 一般的に航空機、原子力発電所、自動車、薬、宇宙開発などの業界で使用されている
事故木(アキデントツリー)分析	事故の発生原因を特定し、その原因と結果を詳細に調べることで、事故の発生を予防するための手法	原因と結果を階層的に分類することが可能
なぜなぜ分析	根本原因を追究するために、現象や問題の「なぜ」を5回繰り返すことにより、その原因を特定する手法	- 単純で使いやすく、現象や問題の根本原因を見つけることが可能 - 製造業、サービス業、医療、教育など、あらゆる分野で活用されている

※以上に挙げた様々な分析手法以外にも分析手法は存在するが、リスク評価や対策の検討を行う際にどの分析手法を用いるのかについては、事前に関係者間(ステークホルダー間)で合意を図っておくことが重要である。

9

5.1. リスクアセスメントシートの活用によるリスク評価

<リスクアセスメントシートの活用>

- ・運用や安全管理のプロセスの整理や整理した項目毎にリスクを検討、リスク評価を行うにあたって、リスクアセスメントシートを活用することが望ましい。
- ・リスクアセスメントシートは様々なシートが存在するが、リスクを漏れなく洗い出すためには、運行プロセスを可能な限り細分化することが望ましい。以下に、日立市で実施した際のリスクアセスメントシートを示すとともに、次頁でリスクアセスメントシートへの記載項目の具体的な内容を示す。

No.	大区分	中区分	L4	発生事象 (故障／不能等)	原因事象・行為	原因事象・行為(例示)	リスク評価(対策前)				対策				リスク評価(対策後)				対策区分
							危険の 顕在性 (影響) S	危険の 顕在性 Ph	リスク 点数 R	マニュアル化 要否	内容	重要項目番号		危険の 顕在性 (影響) S	危険の 顕在性 Ph	リスク 点数 R			
												頻度 計 F	確率 率 Ps				回避 避 A	回答 状況	
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	

番号	項目	番号	項目	番号	項目
①	No.	⑦	原因事象・行為(例示)	⑬	リスク評価(対策前): リスク点数
②	大区分	⑧	リスク評価(対策前): 危険の顕在性	⑭	対策: マニュアル化要否
③	中区分	⑨	リスク評価(対策前): 危険の顕在性	⑮	対策: 内容
④	L4	⑩	リスク評価(対策前): 頻度	⑯	対策: 回答・状況
⑤	発生事象(故障／不能等)	⑪	リスク評価(対策前): 確率	⑰	対策方: 方向性
⑥	原因事象・行為	⑫	リスク評価(対策前): 回避	⑱	リスク評価(対策後)
				⑲	対策区分

※リスクアセスメントは、一度のリスク評価で終わりではなく、リスクが許容できるようになるまでは、リスク低減対策(⑮対策内容に基づく)に対して、見直し等繰り返しリスク評価をすることになる。

10

5.2. リスクアセスメントシートの項目と概要例

<リスクアセスメントシートの項目と概要の例>

- ・洗い出したリスクの整理や評価(リスクアセスメント)を行うにあたっては、「リスクアセスメントシート」を活用することが一般的である。リスクアセスメントシートへの記載項目の概要を示す。
- ・次頁以降に日立市での運行を想定した記載例を例示する。

項 目			概 要
②大区分			運行における流れを(出社)「運行前点検」(車庫→停留所)「乗車」(運賃収受)「走行中」(無線連絡)「停留所→車庫」(運行管理)「緊急時対応」の9つの区分に整理
③中区分			②の各区分を更に行動で分割し整理
④L4			L4運行およびL4乗務員(主任者)同乗型特有の事項について○
⑤発生事象(故障／不能等)			特にプロセス毎に発生しうると考えられる、故障やトラブル、エラー事象について記載
⑥原因事象・行為			「発生事象」で列挙したエラー事象の原因やエラーにつながる行為を記載
⑦原因事象・行為(例示)			「原因事象・行為」で記載した行為について、例を記載
リスク評価 (対策前)	⑧ 危険の酷さ		「発生事象」により、不具合事象が発生することで、実証実験や社会実装に与える影響を「人身傷害」、「財物損壊」、「(運行)遅延・停止」の3つの観点から4段階で点数を記載。
	危険の 顕在性	⑨危険の顕在性	下記「頻度」「確率」「回避」の点数の和を記載
		⑩頻度	主に「発生事象」により危険が晒される時間を、「長時間」、「短時間」、「瞬間」で点数を記載
		⑪確率	「発生事象」により危険が発生する可能性を、「高い」、「起こり得る」、「起こりがたい」、「まれ」の4段階で点数を記載
		⑫回避	環境要因(天候不順、災害などの回避が困難なリスク事象は、不可抗力的要素が強くあり、回避困難と判断)と評価。対策等で回避が可能なリスク事象については点と評価
	⑬リスク点数		「危険の酷さ」と「危険の顕在性」を掛け合わせた値を記載
対 策	⑭マニュアル化要否		運行事業者が対策対応を「マニュアル化」し文書化するか、文書化するに至らない「運用」で対応するの(較)を記載
	⑮内容		想定される不具合事象への主な対策内容
	⑯回答・状況		(本表作成時点で)対策の主体となる事業者と検討状況
	⑰方向性		「回答・状況」の説明
⑱リスク評価(対策後)			リスク対策後の上記⑧⑨⑩の見直し後点数
⑲対策区分			対策を「発生後対応」「未然対策」「対策不可」に分け、危険への影響を整理

11

5.3. リスク点数の配分

＜リスク点数の配分＞

- ・リスク点数の算出には、対象とするシステムや環境、運用に対するリスク評価の経験やノウハウに基づいて、危害の酷さや発生確率に関して点数を配分することが一般的である。
- ・以下に日立市での運行を想定したリスク点数の配分例を例示する。リスク点数の配分は、保険会社およびリスクコンサルタント会社の知見とノウハウで設定したものである。
- ・配分にあたっては、事前に関係者間(ステークホルダー間)で調整・合意を図っておくことが重要である。

酷さ	人身事故・物損事故	運行への影響
4	死亡・重傷、車両全損	運行停止
3	軽傷・車両破損(長期の修理期間)	中程度
2	軽傷未満(病院を受診)・車両破損(短期の修理期間)	軽微
1	軽傷未満(病院を受診せず)	一時的

発生確率	頻度		確率	回避
	晒される頻度	晒される時間	危険事象の発生確率	危害を回避又は制限できる可能性
4	—	—	高い	—
3	頻繁	長時間	起こり得る	困難
2	時々	短時間	起こり難い	—
1	まれ	瞬間	低い	可能

12

5.4. 対応するリスク領域の設定

＜対応するリスク領域の設定＞

- ・「リスクアセスメントシート」に沿ってリスク整理や評価を実施後、優先的に対応するリスクを検討する必要がある。検討にあたっては、算出したリスク点数の結果に基づいて対応するリスクの優先度を検討することが一般的である。
- ・優先的に対応するリスクかどうかについて、①リスクが低減できない場合、許容できない領域(リスク)②許容できる最小リスクまで低減することを推奨する領域 ③受容可能な領域に分類することが望ましい。
- ・これら優先して対応するリスク領域の設定にあたっては、事前に関係者間(ステークホルダー間)で調整・合意を図っておくことが重要である。
- ・以下に日立市での運行を想定して行ったリスクアセスメントの際のリスク領域の設定について例示する。

		危険の確率(Ph) = 頻度(F) + 確率(Ps) + 回避(A)								
		3	4	5	6	7	8	9	10	
影響 (S)	4	12	16	20	24	28	32	36	40	
	3	9	12	15	18	21	24	27	30	
	2	6	8	10	12	14	16	18	20	
	1	3	4	5	6	7	8	9	10	

リスクが低減できない場合は許容できない領域(リスク点数：18点～40点)

リスク低減策の実現性を考慮しながらも許容できる最小のリスクまで低減することを推奨する領域(リスク点数：7点～17点)

受容可能な領域(リスク点数：1点～6点)

13

5.5. リスクアセスメントシートの記入例(日立市での運行想定)

＜日立市における運行想定におけるリスクアセスメントシート：事例＞

- ・以下に日立市での運行を想定して行ったリスクアセスメントにおける記入事例を示す。
- ・以下に示しているリスクアセスメントシートはその一部のみを示して おり、日立市での日々の自動運転車両の運用において、従事者が出社する段階から退社するまでの運用に関する 運行プロセスを整理し、想定されるリスクについての洗い出しとその評価を行ったものである。対象とするシステムや環境、運用に対するリスク評価の経験やノウハウを持っている保険会社やリスクコンサルタント会社が、現地調査やヒアリングなどを行って作成し、リスク対策や回避については 旅客自動車運送事業者・システム開発者などの関係者と協議検討を行っている事例である。このような対策とリスク評価を繰り返し、運行事業者として許容できる点数までリスクを下げていく道筋を示すことで、運行の安全性を確保できるようになる。

																		※点数減は黄色塗りつぶし									
No.	大区分	中区分	L4	発生事象 (故障／不能等)	原因事象・行為	原因事象・行為 (例示)	リスク評価(対策前)					対策					リスク評価(対策後)					対策区分					
							危険 の 顕 著 性 (影 響) S	危険 の 顕 著 性 (影 響) F	危険 の 顕 著 性 (影 響) Ps	危険 の 顕 著 性 (影 響) A	リスク 点 数 R	マニュアル化 要否	内容	乗務員同乗車			危険 の 顕 著 性 (影 響) S	危険 の 顕 著 性 (影 響) F	危険 の 顕 著 性 (影 響) Ps	危険 の 顕 著 性 (影 響) A	リスク 点 数 R						
														回答	状況	方向性											
1-1	出社	出社	○	乗務員が出社できなかった	体調不良/突発的な事故・事象	発熱、腹痛、嘔/通勤経路上での交通事故、火災、天災	1	5	2	2	1	5	運用	運用(代替乗務員)	交通	検討	対象全乗務員に対し主任者研修を実施予定のため、現行マニュアル運行と同等の対応が可能となる見込	1	4	1	2	1	4	発生後対応			
1-2	出社	出社		運行管理者が出社できなかった	体調不良/突発的な事故・事象	発熱、腹痛、嘔/通勤経路上での交通事故、火災、天災	1	5	2	2	1	5	運用	運用(代替運行管理者)	交通	検討	運行管理者に対する主任者研修は予定なしも、主任者同等の知識要件を検討	1	4	1	2	1	4	発生後対応			
1-3	出社	出社	○	運行・運休の判断ができなかった	視程の不備	暴風が不明瞭でマニュアルから中止かどうか判断できない	2	4	1	2	1	8	マニュアル化	マニュアル化(L4運行判断)	交通	検討	視覚限界等を踏まえた判断基準を先Eビと共に作成する必要がある	2	3	1	1	1	6	未然対策			

※リスク評価後のリスク低減対策に対し、リスクが許容できるまで繰り返しリスク評価と低減対策を実施する。14

6. リスクアセスメント結果の活用例

＜リスクアセスメント結果に基づく責任区分や法的責任の整理について＞

- ・自動運転移動サービスの社会実装の促進のためには、「想定される不具合 発生事象」や「原因事象」にどのような責任が発生するのか、誰がその責任を負うのか、など関係者間の役割や法的責任等について検討を進めていく必要がある。
- ・リスクアセスメント結果を活用し、抽出したプロセス毎の「発生事象」や「原因事象」をもとに、「プロセス毎の責任区分」や「役割毎の責任」、またその根拠となる法令についての整理と合せ込むことで責任を事前把握することが可能となる。日立市での特定自動運行主任者同乗型 による自動運転 移動サービスの想定におけるリスクアセスメント結果の活用例については、別紙「無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の整理について」参照

													※点数減は黄色塗りつぶし									
No.	大区分	中区分	L4	発生事象 (故障/不能等)	原因事象・行為	原因事象・行為 (例示)	リスク評価(対策前)				マニュアル 化要否	内容	対策		リスク評価(対策後)				対策区分			
							危険 の 顕 著 性 (影 響) S	危険 の 顕 著 性 (影 響) F	危険 の 顕 著 性 (影 響) Ps	危険 の 顕 著 性 (影 響) A			回答	状況	方向性	危険 の 顕 著 性 (影 響) S	危険 の 顕 著 性 (影 響) F	危険 の 顕 著 性 (影 響) Ps		危険 の 顕 著 性 (影 響) A		
4-14	運賃収受	運賃収受	○	出発時に事故が発生した	お客様行為(自己都合)	出発時刻に乗り込もうとして車両と接触	3	1	1	1	9	運用	運用(乗務員対応)	交	済	視察客運行と同等の運行管理(事故時の連絡体制は整備済)	3	3	1	1	9	発生後対応
4-15	運賃収受	運賃収受	○	出発時に事故が発生した	特定の手順からの逸脱(逸失)	乗座前に車両が発進し転倒	3	1	1	1	9	運用	運用(乗務員対応)	交	済	視察客運行と同等の運行管理(乗車完了ボタンを乗務員が押下することになっている。)乗座の判定員変更管理	3	3	1	1	9	発生後対応
5-1	走行中	特定自動運行監視	○	車両がBRT専用道で停止した	運用条件に合致しない状況の発見	路面陥没	3	3	2	1	12	マニュアル化	マニュアル化(L4運行継続要請)	交	検討	VRM自動停止後のDOR(停止原因の確認方法と対応フロー)	2	5	2	2	11	発生後対応
5-1	走行中	特定自動運行監視	○	車両がBRT専用道で停止した	運用条件に合致しない状況の発見	路面陥没	2	6	3	2	1	12	自動運転システム	路面陥没劣化箇所走行時の減速等の制御	対	応	不	検	知	不	可	対応不能

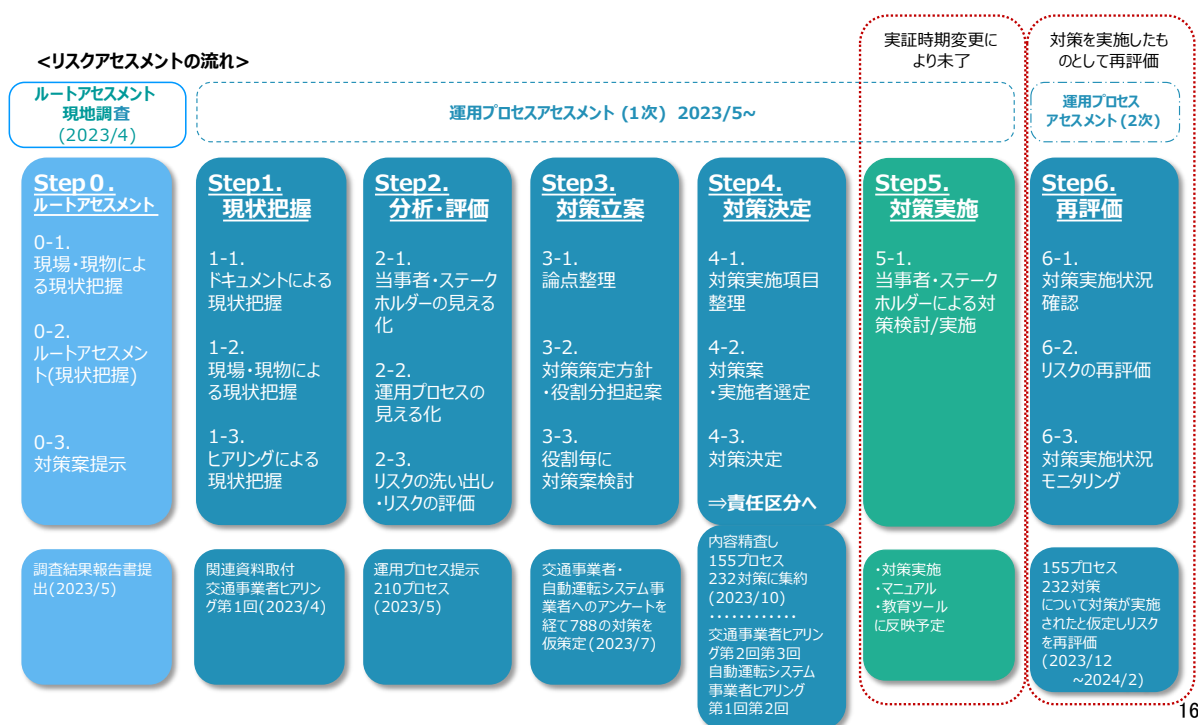
責任区分等取り纏め表シート「プロセス毎」シートへ

大区分	中区分	L4	発生事象 (故障／不能等)	原因事象・行為	原因事象・行為 (例示)	想定される不具合事象	影響(何対記述の式)	被害者(影響を受ける方)	原因区分	不具合原因者
走行中	自動運行監視	○	車両がBRT専用道で停止した	運用条件に合致しない状況の発見	路面陥没	特定自動運行をできない状況が判明した	運行遅延(中断・中止)	バス利用者	環境	その他

上段より続き

長事責任についての可能性考察				用事・行政責任についての可能性考察			
損害形態 (経済損、人的、物的)	責任主体 (間接責任)	根拠責任	根拠法令等(民事)	想定される保険商品	補償	責任主体	根拠法令等(用事)
(経済損)機会損失	特定自動運行実施者	不法行為責任	民法第709条	-	損害賠償責任	特定自動運行実施者	民法第709条

7. リスクアセスメントの流れ



16

1.2.3. 「無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の整理について」

本資料は、RoAD to the L4 各実証実験において「無人自動運転移動サービスの責任」について検討する際の参照資料となる。

無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の整理について

■ 本資料の趣旨

- ◆ 本資料は、RoAD to the L4各実証実験テーマにおける「無人自動運転移動サービスの責任」について検討する際の参照資料を企画し
 - **Why:** 特定自動運行主任者同乗型(レベル4)の無人自動運転移動サービス(以下「レベル4」)の社会実装促進に向け、
 - **How:** 茨城県日立市でのレベル4の実装に向けた取組事例に基づき、想定される運行プロセスにおける関係者間の役割、法的責任等を整理し、
 - **Whom:** 今後、新たにレベル4の開発や導入を検討する関係者を対象に、
 - **What:** 事前および不具合発生時の責任分担等の在り方の検討に活用可能な参考資料として、まとめたものである。

■ 活用方法(例)

- ◆ 運行プロセスに基づき、各プロセス毎の「不具合事象」、「原因」、「責任の所在」等について、事前に検討・把握することが可能であるため、
 - 各ステークホルダーが追うべき役割と法的責任を概観するとともに、事業において保険にて対応すべき箇所の事前検討が可能。
 - 実際に事象が発生した場合において、不具合事象等の例を検索することにより、想定される責任の所在等について把握することが可能。
 - 自動運転移動サービスに関連する法規について、具体的な該当部分を参照することが可能。
- ※具体的な利用例のステップは 7.8頁の「2. 無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の各整理シートの活用例①、②」を参照

1

無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の整理資料

【資料の構成】

これは、別資料の「自動運転L4移動サービス_リスクアセスメントと分析シートの説明資料」に示すように、リスクアセスメント結果の活用例としてのリスクアセスメント結果に基づく責任区分や法的責任を整理してまとめたものである。資料は、下記のとおり、責任区分等を以下のように3つのシートとして整理した概要と、各シートの活用として2つの例を説明した本資料と、別添資料として、取り纏め表シートから構成される。ただし、資料は関係者と未調整のものであり、今後、法改正への対応と共に関係者との確認等が随時必要である。

1. 無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の整理シートについて

- I. 無人自動運転移動サービス「プロセス毎責任区分シート」について
- II. 無人自動運転移動サービス「役割毎集約シート」について
- III. 無人自動運転移動サービス「法令等明細シート」について

2. 無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の各整理シートの活用例

活用例①：プロセスから責任を検討する場合について

活用例②：役割から責任を概観する場合について

【別添資料】

責任区分等取り纏め表シート(エクセル版)

- ・ガイド
- ・I. プロセス毎
- ・II. 役割毎集約
- ・III. 法令等明細

3. 責任区分整理におけるテーマ1からテーマ2への主な変更点

2

1. 無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の整理シートについて

- 【整理シートの構成】
- ・旅客自動車運送事業者の特定自動運行主任者（保安員）同乗型（レベル4）無人自動運転移動サービス（以下「レベル4」）における責任区分等を下記のとおり、プロセス毎の責任区分、役割毎の集約、法令等明細の3つの切り口により整理し、3つのシートを作成している。
 - ※ 作成日時点（2024年2月）の情報に基づき、責任区分の前提として整理
 - ※ 詳細は別添「責任区分等取り纏め表シート」を参照いただきたい。

シート名	内容
I. 無人自動運転移動サービス「プロセス毎責任区分シート」	レベル4の運行プロセスを分解し、リスクアセスメント事例をもとに「不具合事象」「影響を受ける方」「被害者」「事故原因者」「民事責任対応可能性がある保険」「刑事（行政）責任」について整理
II. 無人自動運転移動サービス「役割毎集約シート」	レベル4における主な役割毎に、想定事象と想定される責任を「民事（人）」「民事（対物/機会損失）」「保険対応可能性」「刑事／行政」について整理 ※シートIの運行プロセス毎の整理を、主な役割（player）を軸に再整理したもの
III. 無人自動運転移動サービス「法令等明細シート」	レベル4における主な関連法令等を記載し、「法律」「関連法令」「罰則等」「該当者」について整理

3

I. 無人自動運転移動サービス「プロセス毎責任区分シート」について

- ＜シート概要＞
- ① 旅客自動車運送事業者の特定自動運行主任者（保安員）同乗型（レベル4）無人自動運転移動サービス（以下「レベル4」）の運行プロセスを分解し、リスクアセスメント事例をもとに「不具合事象」「影響を受ける方」「被害者」「事故原因者」「民事責任（対応可能性がある保険）」「刑事（行政）責任」について整理
 - ② レベル4実装時に想定される運行プロセスから不具合項目と対応を集約したリスクアセスメントシート（詳細は別添リスクアセスメント関連シート参照）を活用し、不具合事象（故障/事故等、営業用旅客運行における想定事例）について表記
 - ※ 法令について、作成時点の法令を適用しているため、今後の法令改正、内閣府令等により異なる可能性有
 - ※ 保険対応可能性については、発生事象の状況および事故時の引受保険会社約款によるため、必ずしも保険金の支払対象となることを示しているものではない

[内容例：ゲリラ豪雨によりODD内で停止し、特定自動運行ができない状況が発生した場合]

大区分	中区分	L4	発生事象 (故障/不能等)	原因事象・行為	原因事象・行為(例示)	想定される不具合事象	影響(何が起こったのか)	被害者(影響を受ける方)	原因区分	不具合原因者
走行中	特定自動運行監視	○	車両が公道との交差点上(ODD内)で停止した	運用条件に合致しない天候不順	ゲリラ豪雨	特定自動運行をできない状況が判明した	運行遅延(中断・中止)	バス利用者	環境	その他

上段より	民事責任についての可能性考察						刑事・行政責任についての可能性考察	
	損害形態 (経済損、人的、物的)	責任主体 (間接責任)	根拠責任	根拠法令等(民事)	想定される保険商品	補足	責任主体	根拠法令等(刑事)
	(経済損)機会損失	特定自動運行実施者	不法行為責任	民法第709条	-	運送約款で「定時性不正確のため免責」判例でも責任を否認		

4

Ⅱ. 無人自動運転移動サービス「役割毎集約シート」について

<シート概要>

旅客自動車運送事業者の特定自動運行主任者(保安員)同乗型(レベル4)無人自動運転移動サービスにおける主な役割(player)毎に、想定事象と想定される責任を「民事(対人)」「民事(対物/機会損失)」「保険対応可能性」「刑事/行政」について整理

※ 法令について、作成時点の法令を適用しているため、今後の法令改正、内閣府令等により異なる可能性有

※ 保険対応可能性については、発生事象の状況および事故時の引受保険会社約款によるため、必ずしも保険金の支払対象となることを示しているものではない

[内容例：運行業務受託者の場合]

役割			ひたちBRTCにおけるレベル4実装事例で想定されるステークホルダー例	レベル4における想定事象例	想定される責任(可能性のあるもの)						
					民事(対人)		民事(対物／機会損失)	保険対応可能性		刑事／行政 根拠法	保険対応可能性 (対応商品)
					責任 (根拠法)	責任 (根拠法)	想定される保険商品	備考			
運行サービス事業	運行業務受託者 (特定自動運行実施者)	* **交通株式会社	自動車事故について責任 ／過失がある	運行供用者責任(自動車損害賠償保障法第3条)	不法行為責任 (民法第709条)	(対人)自賠責 保険 自動車 保険 (対物)自動車 保険	＜現時点の基本的な考え方＞ ・自賠責保険(レベル4までが滞在する過渡期における考え方) 自動運転にかかわる制度整備大綱で、対人賠償を賄う自賠責においては、「自動運転システムが用中の事故により生じた損害についても、従来運行供用者責任を維持する」とこととされている ・自動車保険 (対人事故)自賠責保険に準じる予定 (対物事故)民法等、法律上の損害賠償責任に対し補償提供の可能性(今後の事故事例の蓄積による) (不正アクセス等に起因する対人・対物事故)特約(被害者救済特約等)により補償提供の可能性(保険会社毎に決定) ・その他 (自動運転中の故障等に伴う、乗客の経済損失により代替交通費を補償できる可能性(保険会社毎に決定))	刑法第211条(個人) 道路交通法第75条 旅客自動車運送事業運輸規則第15条	刑罰への保険対応は通常不可 →特約により弁護士費用等の補償提供の可能性(保険会社毎に決定)		
	運行業務受託者 (特定自動運行従事者)	特定自動運行主任者 / 特定自動運行保安員： * **交通株式会社	自動車事故について責任 ／過失がある	運行供用者責任(自動車損害賠償保障法第3条)	不法行為責任 (民法第709条)		刑法第211条(個人) 道路交通法第75条				

Ⅲ. 無人自動運転移動サービス「法令等明細シート」について

<シート概要>

旅客自動車運送事業者の特定自動運行主任者(保安員)同乗型(レベル4)無人自動運転移動サービスにおける主な関連法令等を記載し、「法律」「関連法令」「罰則等」「該当者」について整理

※ 法令について、作成時点の法令を適用しているため、今後の法令改正、内閣府令等により異なる可能性有

[内容例：製造物責任の場合]

分類	当局	関連法令	法律	関連法令 1	関連法令 2	罰則等	該当者																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
							公共交通業務委託元	特定自動運行実施者	特定自動運行主任者	現場措置業務実施者	車両所有者／事業等支援	管制装置製作	遠隔・通信装置製作	通信事業者	車両整備・修繕	自動運行装置製作	車両製作	交差点C／V制作	道路施設補修・維持	保険事故対応																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
損害賠償	消費者庁	製造物責任法	（製造物責任） 第三条 製造業者等は、その製造、加工、輸入又は（民法の適用） 前条第三項第二号若しくは第三号の氏名等の表示義務の責任については、この法律の規定によるほか、民法を以てした製造物であつて、その引き渡したものの欠陥による（明治二十九年法律第八十九号の規定による。） 責任 他人の生命、身体又は財産を侵害したときは、これによつて生じた損害を賠償する責めに任ずる。ただし、その損害が当該製造物についてのみ生じたときは、この限りでない。			（民事）																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		

2. 無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の各整理シートの活用例

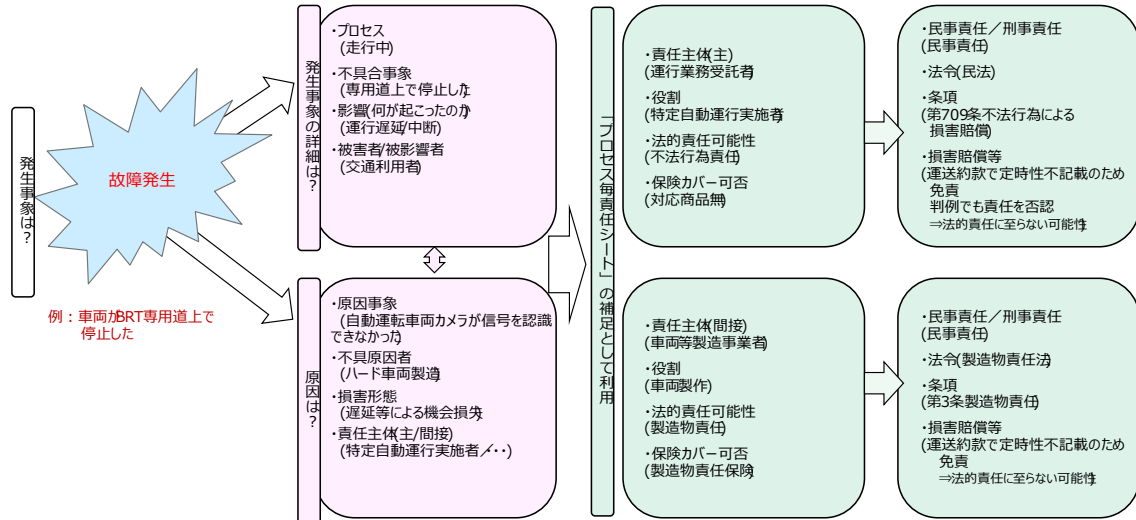
<活用例①：プロセスから責任を検討する場合について>

無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の各整理シートの活用例として、プロセスから責任を検討する場合について、以下に示す。

- 運行時の故障発生を想定し、I. プロセス毎責任区分シートからあてはまる場所やプロセス、不具合事象、影響を確認していく。代表事例の記載のため、一致するものが無い場合には、影響と原因事象が一致や類似したものがないかを確認する。さらに原因事象と詳細原因を仮定することで、可能性のある不具合原因者、損害形態、責任主体がみえてくる。
- 加えて、補足として「II」「III」のシートを用いて「役割と責任」および、「法令等根拠」を確認していくことができる。

プロセスから責任を検討する場合

[例：無人自動運転移動サービスの運行時における故障発生を想定し、原因に基づく責任の所在などを事前検討]



7

2. 無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の各整理シートの活用例

<活用例②：役割から責任を概観する場合について>

無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の各整理シートの活用例として、ステークホルダーの責任を概観することについて、以下に示す。

II. 役割毎集約シート

役割から責任を概観する場合

[例：無人自動運転移動サービスのステークホルダーの責任を概観する場合]

ステークホルダーの役割がいずれに該当するか

役割	ステークホルダー名
公共交通業務委託元	
運行業務受託者(特定自動運行実施者)	
運行業務受託者(特定自動運行従事者)	
車両所有者/事業等支援	
管制装置製作	-
遠隔・通信装置製作	-
自動運行装置等製造	
自動運行装置製作	
車両製作	
交差点センサ等製作	-
整備・修繕	車両整備・修繕
道路・道路施設管理	道路施設補修・維持
通信	通信事業者
保険事故対応	保険事故対応

○レベル4における想定責任/過失事例⇒	レベル4における想定責任/過失事例
○想定される責任と根拠法が、以下の観点で整理され表で示され概観可能	自動車事故について責任/過失がある
・民事(対人)	自動車事故について責任/過失がある
・民事(対物/機会損失)→対応する可能性のある保険	自動車事故対応について責任/過失がある
・刑事→対応する可能性のある保険	-
	-
	製品欠陥
	製品欠陥
	-
	製品欠陥
	整備瑕疵
	道路等の管理瑕疵
	通信瑕疵

8

1.3. 緊急車両の検知要件の整理と評価方法の提案に基づくコンペの実施

1.3.1. 緊急車両に対する法制度の調査

緊急車両に関連する主な法令は「道路運送車両の保安基準」、「道路交通法」である。

- ・道路運送車両の保安基準 第 49 条「緊急自動車」、及び細目第 75 条
- ・道路交通法（昭和 35 年法律第 105 号）

これら内容を以下の図に示す。

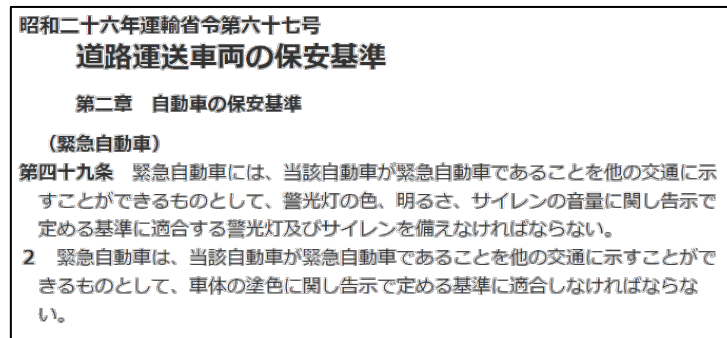


図 1.3-1 道路運送車両の保安基準 保安基準第 49 条「緊急自動車」

(緊急自動車)

第75条 緊急自動車に備える警光灯の色、明るさ、サイレンの音量、車体の塗色に関し、保安基準第49条第1項及び第2項の告示で定める基準は、次の各号に掲げる基準とする。

一 警光灯は、前方300mの距離から点灯を確認できる赤色のものであること。この場合において、警光灯と連動して作動する赤色の灯火は、この基準に適合するものとする。

二 サイレンの音の大きさは、その自動車の前方20mの位置において90dB以上120dB以下であること。この場合において、サイレンの音の大きさがこの範囲内でないおそれがあるときは、音量計を用いて次により計測するものとする。

イ 音量計は、使用開始前に十分暖機し、暖機後に校正を行う。

ロ マイクロホンは、車両中心線上の自動車の前端から20mの位置の地上1mの高さにおいて車両中心線に平行かつ水平に自動車に向けて設置する。

ハ 聴感補正回路はC特性とする。

ニ 原動機は、停止した状態とする。

ホ 計測場所は、概ね平坦で、周囲からの反射音による影響を受けない場所とする。

ヘ 計測値の取扱いは、次のとおりとする。

(1) 計測は2回行い、1dB未満は切り捨てたものとする。

(2) 2回の計測値の差が2dBを超える場合には、計測値を無効とする。ただし、いずれの計測値も本則に規定する範囲にない場合には有効とする。

(3) 2回の計測値 (4) により補正した場合には、補正後の値)の平均を音の大ききとする。

(4) 計測の対象とする音の大きさと暗騒音の計測値の差が3dB以上10dB未満の場合には、計測値から次表の補正値を控除するものとし、3dB未満の場合には計測値を無効とする。

(単位：dB)

計測の対象とする音の大きさと暗騒音の計測値の差	3	4	5	6	7	8	9
補正値	3	2					1

三 緊急自動車の車体の塗色は、消防自動車にあっては赤色とし、その他の緊急自動車にあっては白色とする。ただし、警察自動車、検察庁において犯罪捜査のために使用する自動車又は防衛省用自動車であって緊急の出動の用に供するもの、刑務所その他の矯正施設において緊急警備のため使用する自動車、入国者収容所又は地方入国管理局において容疑者の収容又は被収容者の警備のため使用する自動車、救急自動車のうち重度の傷病者でその居宅において療養しているものについていつでも必要な往診をすることができる体制を確保している医療機関が当該傷病者について必要な緊急の往診を行う医師を当該傷病者の居宅にまで輸送するために使用する自動車、公共用応急作業自動車、海上保安庁用自動車であって緊急自動車として取り扱われる自動車及び不法に開設された無線局の探査のため総務省において使用する自動車にあっては、この限りでない。

四 車体の塗色の大部分の塗色が前号に規定する塗色である場合は、前号の基準に適合するものとする。

図 1.3-2 細目第 75 条「緊急自動車」

第七節 緊急自動車等 (緊急自動車の通行区分等) 第三十九条 緊急自動車（消防用自動車、救急用自動車その他の政令で定める自動車で、当該緊急用務のため、政令で定めるところにより、運転中のものをいう。以下同じ。）は、第十七条第五項に規定する場合のほか、追越しをするためその他やむを得ない必要があるときは、同条第四項の規定にかかわらず、道路の右側部分にその全部又は一部をはみ出して通行することができる。 2 緊急自動車は、法令の規定により停止しなければならない場合においても、停止することを要しない。この場合においては、他の交通に注意して徐行しなければならない。 (緊急自動車の優先) 第四十条 交差点又はその附近において、緊急自動車が接近してきたときは、路面電車は交差点を避けて、車両（緊急自動車を除く。以下この条において同じ。）は交差点を避け、かつ、道路の左側（一方通行となつている道路においてその左側に寄ることが緊急自動車の通行を妨げることとなる場合にあっては、道路の右側。次項において同じ。）に寄つて一時停止しなければならない。 2 前項以外の場所において、緊急自動車が接近してきたときは、車両は、道路の左側に寄つて、これに進路を譲らなければならない。 （罰則 第二百十条第一項第二号） (緊急自動車等の特例) 第四十一条 緊急自動車については、第八条第一項、第十七条第六項、第十八条、第二十條第一項及び第二項、第二十條の二、第二十五條第一項及び第二項、第二十五條の二第二項、第二十六條の二第三項、第二十九條、第三十條、第三十四條第一項、第二項及び第四項、第三十五條第一項並びに第三十八條第一項前段及び第三項の規定は、適用しない。	2 前項に規定するもののほか、第二十二條の規定に違反する車両等を取り締まる場合における緊急自動車については、同条の規定は、適用しない。 3 もつぱら交通の取締りに従事する自動車で内閣府令で定めるものについては、第十八條第一項、第二十條第一項及び第二項、第二十條の二並びに第二十五條の二第二項の規定は、適用しない。 4 政令で定めるところにより道路の維持、修繕等のための作業に従事している場合における道路維持作業用自動車（専ら道路の維持、修繕等のために使用する自動車で政令で定めるものをいう。以下第七十五條の九において同じ。）については、第十八條第四項及び第六項、第十八條第一項、第二十條第一項及び第二項、第二十條の二、第二十三條並びに第二十五條の二第二項の規定は、適用しない。 (消防用車両の優先等) 第四十一条の二 交差点又はその付近において、消防用車両（消防用自動車以外の消防の用に供する車両で、消防用務のため、政令で定めるところにより、運転中のものをいう。以下この条及び第七十五條の二第二項において同じ。）が接近してきたときは、車両等（車両にあっては、緊急自動車及び消防用車両を除く。）は、交差点を避けて一時停止しなければならない。 2 前項以外の場所において、消防用車両が接近してきたときは、車両（緊急自動車及び消防用車両を除く。）は、当該消防用車両の通行を妨げてはならない。 3 第三十九條の規定は、消防用車両について準用する。 4 消防用車両については、第八条第一項、第十七条第六項、第十八條、第二十條第一項及び第二項、第二十五條第一項及び第二項、第二十五條の二第二項、第二十六條の二第三項、第二十九條、第三十條、第三十四條第一項から第五項まで、第三十五條第一項、第三十八條第一項前段及び第三項、第四十條第一項、第六十三條の六並びに第六十三條の七の規定は、適用しない。 （罰則 第一項及び第二項については第二百十条第一項第二号）
(本線車道に入る場合等における他の自動車との関係) 第七十五條の六 自動車（緊急自動車を除く。）は、本線車道に入ろうとする場合（本線車道から他の本線車道に入ろうとする場合にあっては、道路標識等により指定された本線車道に入ろうとする場合に限る。）において、当該本線車道を通行する自動車があるときは、当該自動車の進行妨害をしてはならない。ただし、当該交差点において、交通整理が行なわれているときは、この限りでない。 2 緊急自動車以外の自動車は、緊急自動車が本線車道に入ろうとしている場合又はその通行している本線車道から出ようとしている場合においては、当該緊急自動車の通行を妨げてはならない。 （罰則 第二百十条第一項第二号） (緊急自動車等の特例) 第七十五條の九 緊急自動車又は第四十一条第三項の内閣府令で定める専ら交通の取締りに従事する自動車については、第七十五條の五、第七十五條の七及び前條の規定は、適用しない。	(特定自動運行が終了した場合の措置) 第七十五條の二十二 特定自動運行主任者は、特定自動運行が終了した場合において、当該特定自動運行用自動車又は当該特定自動運行主任者に対し次の各号のいずれかの措置又は命令が行われているときは、直ちに、当該特定自動運行用自動車を当該措置又は命令に従つて通行させるため必要な措置を講じなければならない。 一 第四条第一項後段に規定する警察官の現場における指示 二 第六条第一項の規定による警察官等の交通整理 三 第七十五條の二十四の規定により読み替えて適用する第六条第二項の規定による警察官の禁止、制限又は命令 四 第七十五條の二十四の規定により読み替えて適用する第六条第三項の規定による警察官の指示 五 第六条第四項の規定による警察官の禁止又は制限 六 第七十五條の二十四の規定により読み替えて適用する第七十五條の三の規定による警察官の禁止、制限又は命令 2 特定自動運行主任者は、特定自動運行が終了した場合において、当該特定自動運行用自動車に緊急自動車若しくは消防用車両が接近し、又は当該特定自動運行用自動車の付近に緊急自動車若しくは消防用車両があるときは、直ちに、当該特定自動運行用自動車が当該緊急自動車又は消防用車両の通行を妨げないようにするため必要な措置を講じなければならない。 3 特定自動運行主任者は、特定自動運行が終了した場合において、当該特定自動運行用自動車が違法駐車と認められる場合は、直ちに、当該特定自動運行用自動車の駐車の方法を変更し、又は当該特定自動運行用自動車を当該場所から移動するため必要な措置を講じなければならない。

図 1.3-3 道路交通法（昭和 35 年法律第 105 号）

1.3.2. サイレン音源の調査（種類、設置位置、接近シナリオ等）

緊急車両で使用されている主なサイレン音は以下のとおりである。主なメーカー2 社とそのサイレン音を抜粋し以下の表 1.3-1 に示す。備考に示すように、サイレン音は、位置や状況によって使い分けがされていることがわかる。そのため、自動運転車両の走路環境や状況に合わせて、検知が必要となるサイレン音を精査することが必要と考えられる。

表 1.3-1 緊急車両で使用されている主なサイレン音

用途	基準ピーク周波数	内容	呼称	備考
警察 一般緊急車 (A社)	850Hz	ウー	4秒	通常の緊急走行時
			8秒	
			手動	取り締まり時
		ギューン	高警告音	交差点侵入時
警察白バイ (A社)	1500Hz	ウー	白バイ4秒	通常の緊急走行もしくは取り締まり時
			白バイ6秒	
			白バイ8秒	
救急車 (A社)	960/770Hz	ピーポー	サイレン	通常の緊急走行時
	850Hz	ウーピーポー	Mixサイレン	交差点侵入時
	385/480Hz	ファーファー	ハーモニック	住宅街走行時
			高警告（交差点）	交差点侵入時
			高警告（渋滞）	渋滞走行時
消防車 (A社)	780Hz	ウー	サイレン	主にレスキュー時
			手動	交差点、渋滞走行時
		ウーカンカン	サイレン+警鐘	主に火災時
			手動+警鐘	主に火災時の交差点、渋滞時
		ギューン	高警告（交差点）	交差点侵入時
			高警告（渋滞）	渋滞走行時
			手動高警告	交差点、渋滞走行時
消防 (B社)	850Hz	ウー	サイレン	主にレスキュー時
			手動	交差点、渋滞走行時
		ウーカンカン	サイレン+警鐘	主に火災時
			手動+警鐘	主に火災時の交差点、渋滞時
	850Hz	ウー	モーターサイレン100W	通常の緊急走行もしくは交差点など
	780Hz		モーターサイレン200W	

また、サイレンスピーカーの主な設置位置は緊急車両のルーフ上とフロントバンパー、グリル内の2種類である。それぞれの主な設置位置を以下の図に示す。

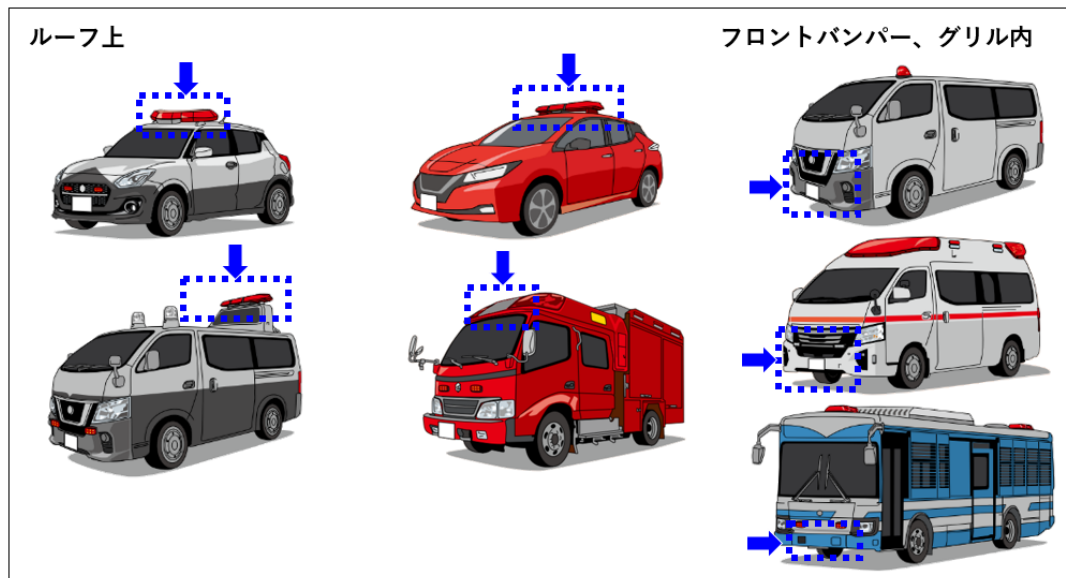


図 1.3-4 サイレンスピーカーの主な設置位置

更に、緊急車両接近シナリオを以下の図 1.3-5 に示す。図では、片側1車線の直進路と十字路交差のみを示しているが、実際には車線数や交差点形状は様々である。基本的

に接近する緊急車両の通行を妨げないことが必要であるため、後方や交差点の左右からの緊急車両の接近に対しては、最低限停止をすることが必要と考えられ、前方からの接近においても対向するほかの一般車両の状況に応じては、停止する必要があると考えられる。そのため、緊急車両の接近を検知することにより、自動運転車両が停止することができることが最低限必要であると考えられる。

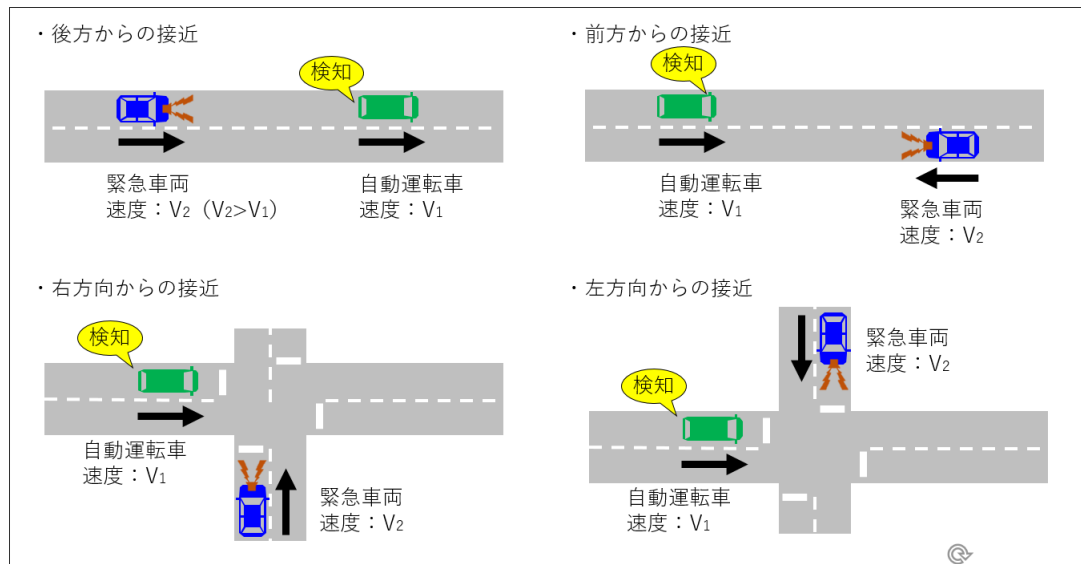


図 1.3-5 緊急車両接近シナリオ

1.3.3. サイレン音に対する環境起因等の外乱要素の調査

音に対する外乱要素を以下の表に示す。

表 1.3-2 外乱要素

項目	外乱要素
自然環境	風雨、雷などの騒音
周囲環境	自動車、飛行機、街宣車、などの騒音
周囲環境	建物等建築物によるサイレン音の反射音
速度環境	ドップラー効果による周波数変化

また、ドップラー効果影響を以下の表に示す。

表 1.3-3 ドップラー効果影響

想定事象からの相対速度抽出 [km/h]

ドップラー効果における各サイレン周波数の影響（参考）

		自動運転車両移動速度			サイレン 周波数(Hz)	速度差 (km/h)	測定側周波数(Hz)		サイレン 周波数(Hz)	速度差 (km/h)	測定側周波数(Hz)	
		0	20	-20			近づく	遠のく			近づく	遠のく
緊急車両 接近速度	40	40	60	20	385	20	391.2	379.0	850	20	863.7	836.7
						40	397.6	373.1		40	877.9	823.8
	60	60	80	40		60	404.3	367.5		60	892.5	811.3
	80	80	100	60		80	411.1	362.0		80	907.7	799.2
						100	418.2	356.7		100	923.3	787.5
					480	20	487.7	472.5	960	20	975.5	945.0
						40	495.7	465.2		40	991.5	930.4
						60	504.0	458.2		60	1008.0	916.3
						80	512.6	451.3		80	1025.1	902.7
						100	521.4	444.7		100	1042.8	889.4
					770	20	782.4	758.0	1500	20	1524.2	1476.5
						40	795.3	746.3		40	1549.2	1453.8
						60	808.5	735.0		60	1575.0	1431.8
						80	822.2	724.0		80	1601.8	1410.4
						100	836.4	713.4		100	1629.4	1389.6

1.3.4. サイレン音検知のための試験方法、試験、評価

試験、計測方法を以下に示す。

(1) 評価対象と内容

- a. 緊急車両のサイレン音を検知する装置（以下検知装置）のみの性能評価を行う。
検知装置を搭載する自動運転車両の制御等の評価は含まない。
- b. 評価で確認する項目は以下とする。
 - ・ 複数のサイレン音に対する検知性能（緊急車両の主なサイレン音：12 種を含む種別検知）
 - ・ 検知距離と検知後の解除距離の性能とその間の検知装置の出力
 - ・ サイレン音源が接近又は離隔におけるドップラー効果の影響に対する性能
 - ・ 前後左右の方向性に関する検知機能の有無（機能を有する装置のみ）
 - ・ サイレン音以外の音に対する反応の有無
- c. 評価実施場所は、国立研究開発法人産業技術総合研究所の試走路において、同じ環境と状況で評価するため、参加される複数台の検知装置を並べて評価計測を行う。また、評価計測は連続して行い、その間、参加者は検知装置に触れないものとする。
 - ・ 計測時における環境情報等を同時に記録する。

(2) 評価計測方法

- a. サイレンを搭載した車両を、サイレン音を鳴動させた状態で指定速度にて移動

させ、検知装置の検知や検知解除の位置を記録する。サイレンを搭載した車両を、サイレン音を鳴動させた状態で指定速度にて移動させ、検知装置の検知や検知解除の位置を記録する。

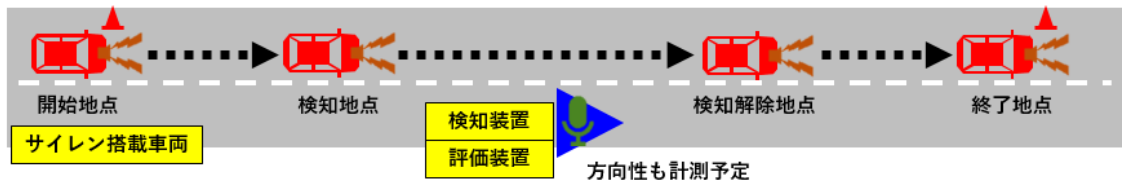


図 1.3-6 評価計測方法構成図

- b. 検知装置は、運営側で用意する評価装置に接続して検知信号を送信し、評価装置ではそれを記録する。評価装置との接続は、以下の図 1.3-7 に示すようにオープンコレクタ接続（検知中：ON、非検知：OFF）。評価装置へのオープンコレクタ接続：以下のような接続で信号（サイレン音の検知有無）を 20Hz 程度で記録する。この接続のほかに、検知装置の出力仕様に合わせて、LAN での UDP 接続などにも対応するようにした。

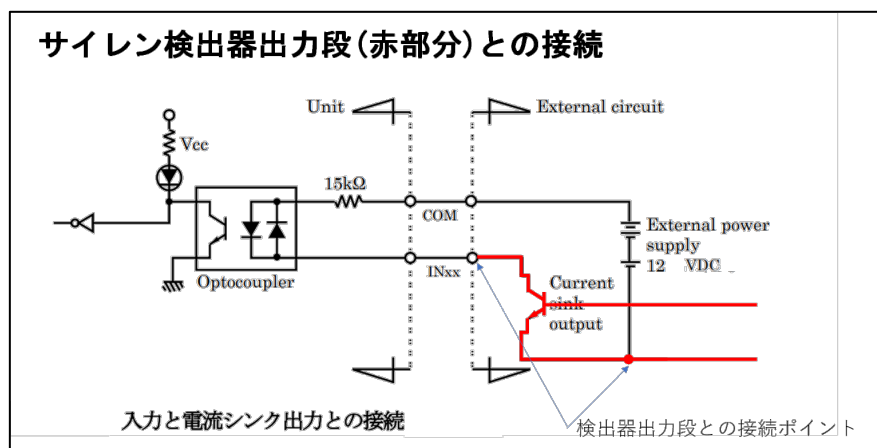


図 1.3-7 評価装置へのオープンコレクタ接続図

- c. 開始/終了地点から検知装置までの距離：約±150mを想定（隣接信号機の距離条件 150m を参考）とした。ただし、試験場の広さからこれに近い距離での計測ができることとしている。
- d. サイレン搭載車両速度は 40km/h、20km/h（想定：一般道での検知を想定）。
- e. 左右方向からの検知：緊急車両が前後から接近しているのか、左右から接近しているのかの判別機能を持っている場合のみ、その機能を評価する。
- f. 検出距離と解除距離の性能：距離の規定はないものと考えているが、目安と

して開始/終了地点から検知装置までの距離と、サイレン音が前方 20m の位置で 90dB 以上 120dB 以下の規定から、最低限、20m 程度では検知していることが求められると考えられる。

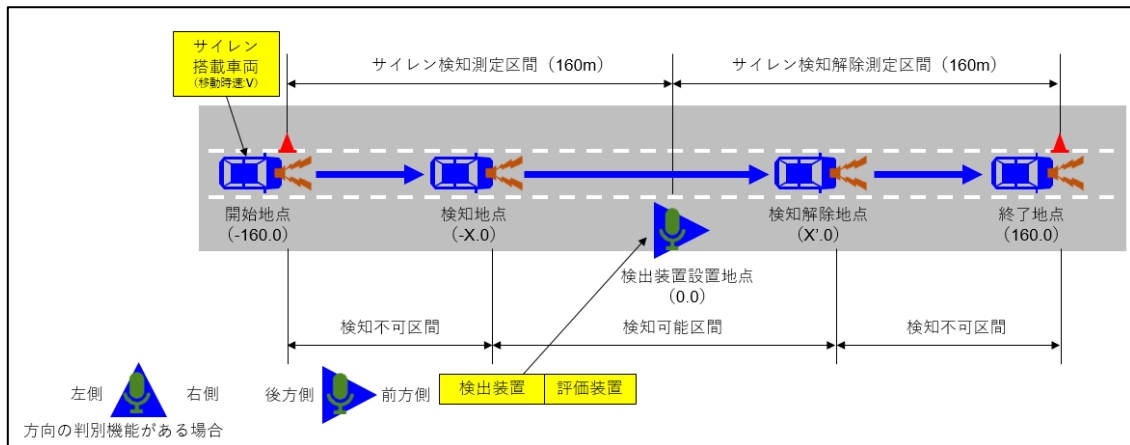


図 1.3-8 評価計測方法の流れ

- g. サイレン音の種類：市場保有の緊急車両で使用されている主なサイレン音の 12 種（以下の表 1.3-4 の①～⑫）を測定対象とする。ただし、サイレン音として基本的なものは①～⑥までであり、このサイレン音の検知は最低限求められるものである。ほかは、場所や状況、メーカーによる差異などもあり、自動運転車両の走行する環境や状況に合わせて、検知が必要であるかを判断する必要がある。

表 1.3-4 測定対象のサイレン①～⑫

用途	基準ピーク周波数	内容	呼称	試験用番号
警察 一般緊急車 (A社)	850Hz	ウー	4秒	①
			8秒	②
			手動	③
		ギュイーン	高警告音	—
警察白バイ (A社)	1500Hz	ウー	白バイ4秒	⑭
			白バイ6秒	⑮
			白バイ8秒	⑬
救急車 (A社)	960/770Hz	ピーポー	サイレン	⑤
	850Hz	ウーピーポー	Mixサイレン	⑦
	385/480Hz	ファーファー	ハーモニック	⑧
	850Hz	ギュイーンピーポー	高警告（交差点）	⑯
			高警告（渋滞）	⑰
消防車 (A社)	780Hz	ウー	サイレン	④
			手動	—
		ウーカンカン	サイレン+警鐘	⑥
			手動+警鐘	—
		ギュイーン	高警告（交差点）	⑱
			高警告（渋滞）	⑲
消防 (B社)	850Hz	ウー	サイレン	⑪
			手動	—
		ウーカンカン	サイレン+警鐘	⑫
			手動+警鐘	—
	850Hz	ウー	モーターサイレン100W	⑨
	780Hz		モーターサイレン200W	⑩

- h. サイレン音以外の音に対する反応の有無：街頭宣伝などのほかの自動車や飛行機の騒音を検知してしまわないか、また、テストコースの実環境で行うので、周囲の騒音があることも考えられ、そのときも検知可能かを評価する。
- i. 検知装置としての車両持ち込み：ほかの参加者の状況により、持ち込み調整可能性とする。
- j. 装置のスペックの指定：評価対象として、車載を想定した既開発を終えているような装置を想定。
- k. 反響音なども検知対象：テストコースでの反響音はあるが複雑な環境ではない。また、サイレン音は実際に使用されているものを使用する。
- l. 事前プレテストの実施：本評価試験日の1日前などに参加数や状況に応じてプレテストを実施する。
- m. 雨天時：実際の検知と同じ状態になるべく実施する。

- n. 学習する場合の学習データ支給、制限：学習データの支給は行わないこととする。

(3) コンペティションの実施と試験評価結果

a. コンペティションの日程と募集方法、参加数

- ・ コンペの試験日程は、2023 年 12 月 20 日～21 日と設定し、RoAD to the L4 プロジェクトの人の移動に関するタスクフォース会議等において、コンペの紹介を行い、応募を促した。また、自動運転車両の開発メーカーやスタートアップ企業にも直接連絡し、参加を促した。更に、サイレンアンプメーカーにも協力を得て関連する企業に対して、応募の打診を行った。
- ・ コンペの参加数は、以下の表のように、二者（A 社、B 機関）であり、装置概要を示す。

表 1.3-5 コンペ参加者とサイレン音検知装置の概要

	検知技術 レベル	装置状況 (持込)	種別検知機能	方向検知機能	評価装置と の接続方法
A 社	研究段階	車載状態 (車両持込)	有(救急車/消防 車/パトカー)	前後	Ethernet (UDP)
B 機関	実用・既 実装段階	検知装置 (マイクと PC 等)	有(今回検知の み)	無(今回 2 入 力)	オープンコ レクタ

2 社にとどまった理由は、①緊急車両の接近検知装置の開発をまだしておらず参加できない、②まだ研究開発段階であるためコンペとしての参加はできない、③自動運転車両にサイレン音検知装置を搭載しているが、ほかの実証走行で用いるために日程から参加ができない、④評価装置との接続部分の改修に時間と労力がかかるため参加ができない、などのご意見をいただいた。少なくとも研究段階のものを含めて、あと 4 者程度の参加が見込まれたところであった。これらを踏まえて、今後は、日程の設定やコンペとしての参加ではなく装置の基本性能を試すような参加を認めることを周知すること、更に、音源の学習なども可能とすることで、参加数を増やしたいと考えている。

b. 試験場所と天候

- ・ 試験場所 : 産総研つくば北事業所（茨城県つくば市寺具 1497-1）
- ・ 天候 : 晴れ

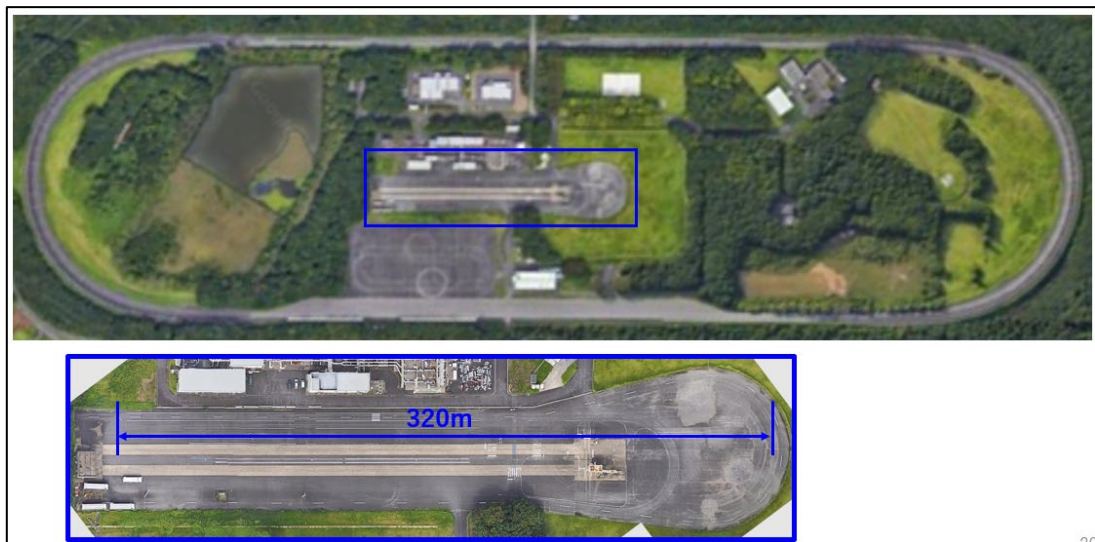


図 1.3-9 試験場所

c. 試験評価項目

- ・ 合計 48 種類（表 1.3-6 に示す）

（「サイレン：12 種類」×「速度：2 種類」×「接近方向：2 種類」）

※左右方向検知はその機能を備えた検出装置のエントリーがなかったため実施なし。

表 1.3-6 試験評価項目

サイレン：12種類				速度：2種類	接近方向：2種類
警察 ・一般緊急 A社	ウー	4秒	①	20km/h	前方
	ウー	8秒	②	40km/h	後方
	ウー	手動	③		
救急 A社	ピーポー	サイレン	⑤		
	ウー ピーポー	Mixサイレン	⑦		
	ピーポー	ハーモニック	⑧		
消防 A社	ウー	サイレン	④		
	ウー カンカン	サイレン+警鐘	⑥		
消防 B社	ウー	サイレン	⑪		
	ウー カンカン	サイレン+警鐘	⑫		
	ウー	モーターサイレン100W	⑨		
	ウー	モーターサイレン200W	⑩		

d. 測定内容

- ・ 接近時の検知距離、離脱時の解除距離、走行時の検知状態

e. サイレン搭載車両

- ・ サイレン搭載車両を以下の図 1.3-10 に示す。車両にループキャリアを設置し、その上に搭載をしている。

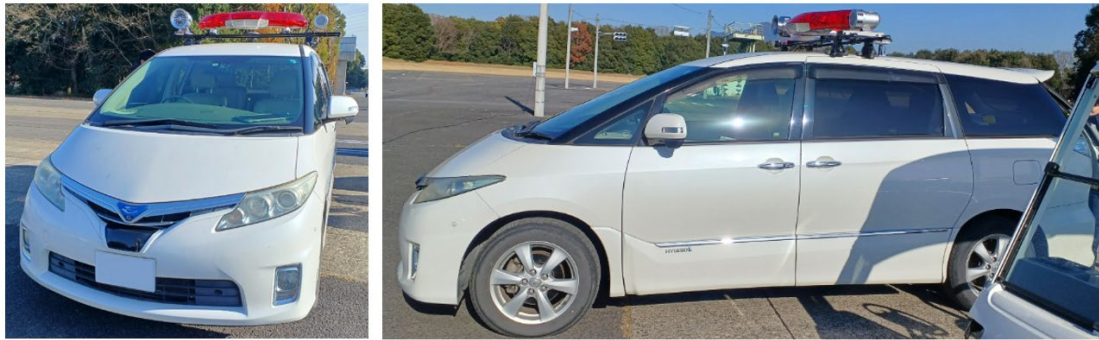
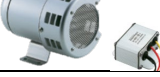


図 1.3-10 サイレン搭載車両

f. サイレン用機材

- ・ 試験評価で使用したサイレン用機材の一覧を以下の表 1.3-7 に示す。

表 1.3-7 試験で使用したサイレン用機材一覧

機材名称	用途	型式	メーカー
サイレンアンプ	警察・一般緊急車用	SAP-520PBV-Z 	(株) パトライト
サイレンアンプ	救急車用	SAP-520RBV 	(株) パトライト
サイレンアンプ	消防車用	SAP-520FB 	(株) パトライト
サイレンアンプ	消防車用	TSK-D151 	(株) 大阪サイレン製作所
モーターサイレン	消防車用	5SA、DSC-1 	(株) 大阪サイレン製作所
モーターサイレン	消防車用	7SA、DSC-2、SS615 	(株) 大阪サイレン製作所
スピーカー (散光式警光灯)	サイレンアンプ使用時 共通	AXS-12LKF-RR 	(株) パトライト

g. 計測状況

- ・ 検知方向：前方→後方（往路）の状況を以下の図に示す。

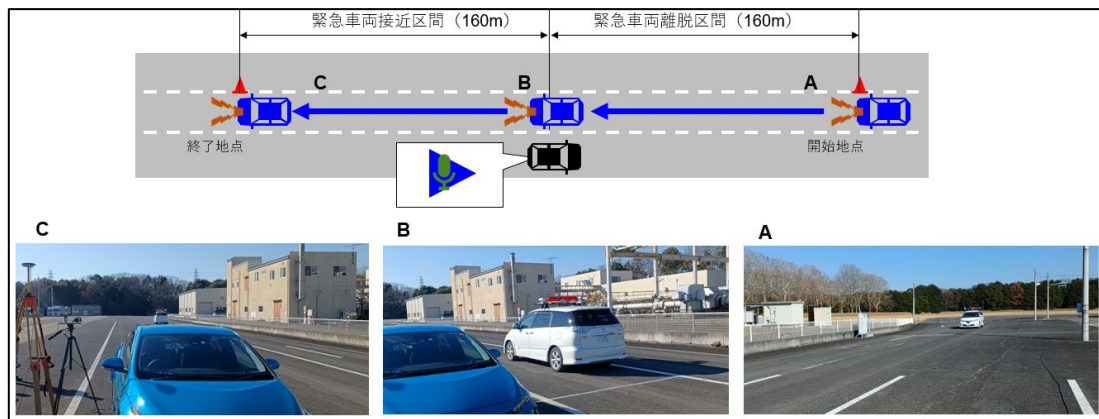


図 1.3-11 計測状況（往路）

- ・ 検知方向：後方→前方（復路）の状況を以下の図に示す。

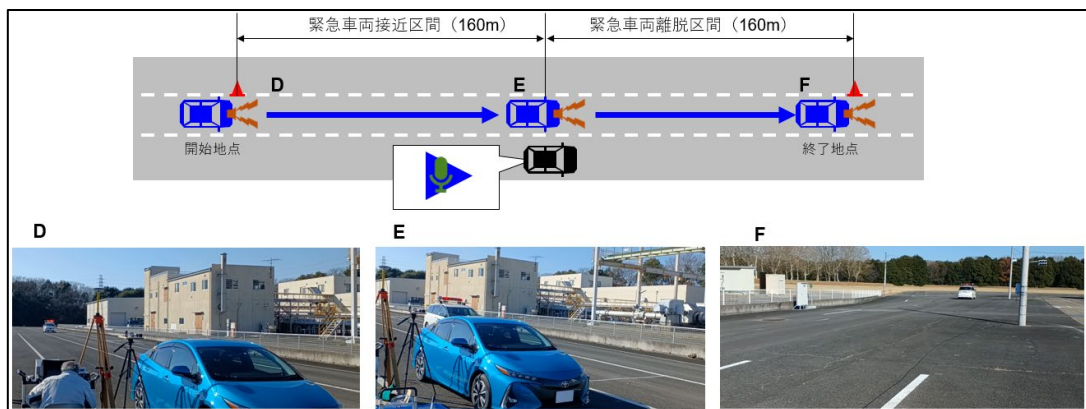


図 1.3-12 計測状況（復路）

h. 計測データ例

- ・ 計測データの例として B 機関の計測データを以下の表 1.3-8 に示す。サイレン音の種類として、基本的な①～⑥までは、遠い距離から検知していることがわかるが、⑦や⑧は検知距離が短くなっているが、20m 以上での検知ができていることがわかる。

表 1.3-8 計測データ例 (B 機関の計測データ例の一部)

サイレン 番号	サイレン種類	車両速度 (km/h)	走行方向	検知開始距離 (m):	検知終了距離 (m)	検知距離	最大音圧(dB)	最小音圧(dB)	備考
①	警察Aウー4秒	20	往路	142.858	-154.936	○	音圧未取得	音圧未取得	
			復路	-151.088	120.048	○	97.2	40.3	
②	警察Aウー8秒	20	往路	142.091	-157.565	○	96.7	39.9	
			復路	-149.333	131.212	○	96.6	39.9	
③	警察Aウー手動	20	往路	141.858	-170.494	○	101.2	37.8	
			復路	-141.195	144.295	○	96.8	39.1	
④	消防Aウー	20	往路	143.953	-154.041	○	99.3	37.8	
			復路	-150.322	144.463	○	97.1	37.5	
⑤	救急Aビーパー	20	往路	141.763	-154.074	○	96.5	38.8	
			復路	-148.747	143.727	○	102.7	38.7	
①	警察Aウー4秒	40	往路	143.597	-154.962	○	92.5	38.5	
			復路	-148.753	130.360	○	100.7	37.3	
②	警察Aウー8秒	40	往路	139.955	-154.758	○	96.7	36.9	
			復路	-148.779	107.790	○	96.7	36.9	
③	警察Aウー手動	40	往路	142.981	-155.319	○	99	36.2	
			復路	-148.953	141.867	○	99	35.7	
④	消防Aウー	40	往路	144.199	-153.765	○	97.7	35.8	
			復路	-150.527	139.213	○	96.8	35.8	
⑤	救急Aビーパー	40	往路	96.807	-108.854	○	102.6	39.6	
			復路	-146.748	38.434	○	101.8	38.2	
⑥	消防Aウーカンカン	20	往路	142.564	-155.474	○	98.8	40.2	
			復路	-150.537	136.651	○	101.2	38	
⑦	救急Aウービーパー	20	往路	77.158	-145.555	○	99.5	36.3	
			復路	-143.592	140.350	○	98.3	36.8	
⑧	救急Aハーモニックビーパー	20	往路	38.960	-34.363	○	97.1	36.2	検知距離が短い
			復路	-79.997	38.663	○	95.2	36.5	検知距離が短い

本報告書では、2 者のデータや評価の詳細は掲載しない。しかし、上記のような計測データの整理により、コンペに参加した 2 者ともに、基本的なサイレン音の検知は、検知距離結果などから十分に検知できていることが評価できている。ただし、サイレン音の検知は、検知後に自動運転車両をどのように動作させるのか、走行環境条件外とするのかなどによって、必要となる検知距離や方向検知の機能、検知状況(接近から通過までや接近のみ、連続制や断続検知)などが異なってくる。実際の走行環境に合わせて、自動運転車両に必要となるこれらの機能が異なるため、サイレン音の検知装置の目標とする性能が異なることになる。そのことから、評価に対しては、単純に検知距離の長短などでは比較できず、目標とする性能や機能に対する達成度を評価できることが重要であるといえる。今回の評価手法は、サイレン音の検知装置の機能や性能について、実際のサイレン音を用いて接近から通過まで、連続的な検知状況の評価が可能であるため、評価手法としても有効であると考ええる。

(4) 試験評価結果の分析

試験評価結果の分析例を以下の表 1.3-9 に示す。この表のように今回の評価手法を用いて、詳しく分析することができる。上記で述べたように目標が設定されていれば、それに対する評価が可能であると考ええる。

表 1.3-9 試験評価結果の分析例

評価項目	分析内容
多様なサイレンの検知	①～⑫全てのサイレン音の検知及び検知解除ができています。
検知距離	おおむね 140m～160m の間で検知ができています。（検知感度が高くサイレン搭載車両がスタート停車地点でサイレン音を検知している場合もあると見受けられる。） ただし、⑤、⑦、⑧などがほかの検知距離に比べ、短い。また距離のばらつきがある。
検知解除距離	おおむね 140m～160m の間で検知解除ができています。（検知感度が高くサイレン搭載車両がゴール停車地点でサイレン音を OFF 時に検知解除している場合もあると見受けられる。） ただし、⑤、⑧がほかの検知距離に比べ、短い。
左右方向からの検知区別	機能を備えていない。
前後方向からの検知の区別	機能を備えていない。
検知から検知解除までの状況	サイレン音により、断続的な検知になることもあるが、基本的なサイレン音に対しては連続的に検知状態が維持できている。
ドップラー効果の影響	20km、40km の速度でのドップラー効果の影響がなく検知及び検知解除ができています。
騒音の影響	測定環境下での外部騒音の影響は見受けられなかった。
その他	参考 ⑬（警察白バイ 8s_A 社）、⑮（警察白バイ 6s_A 社）の結果は未検知となったが、使用想定 của ヒアリングから、警察白バイの速度取り締まりなどの状況は想定外とのことであった。走行環境でそのような状況への対応が必要であるかは検討が必要である。

1.3.5. まとめ

緊急車両に対しては、道路交通法上の譲避の義務があり、自動運転車両においても必要な機能となる。そのため、今年度は緊急車両の接近を検知する機能として、サイレン音の検知に着目し、その具体化の要件などを整理した。また、サイレン音検知についての評価手法を提案し、それを用いたサイレン音検知装置の評価のコンペティションを実施し、2 種類の装置の試験を実施し、評価手法の妥当性等を検証することができた。まだ、緊急車両の接近検知の技術は、開発途上であり、また、検知方法もサイレン音の検知だけでなく、赤色回転灯などの点灯を含めた車両の認識などとの組合せることの提案などもある。現在、救急車といった一部の緊急車両の位置を通信装置によって得ることができるシステムの実証も行われてきている。ただし、パトカーなどについては位置情報の発出が困難と考えられる緊急車両もあり、普及には時間がかかると考えられる。そのため、次年度も引き続き、緊急車両の接近検知に対する技術開発を支援する取組みを継続し、評価手法については、必要な機能の試験評価としての妥当性を更に検証していく予定である。

ひたち BRT のバスにおいては、専用道を走行するため、特に公道との交差点部分において緊急自動車の接近を、今回のコンペにも参加した装置を搭載しサイレン音検知により交差点での一時停止から ODD 外として対応することを実装することができている。

第2章 車両開発

ひたち BRT での車両開発で得たノウハウや課題及び実環境での安全性評価のノウハウや課題について以下に記す。

2.1. 安全設計要件や仕様に対する横展開に向けた留意点等の整理

2.1.1. 安全走行戦略の横展開について

ひたち BRT の自動運転システムの安全走行戦略を他地域に横展開するあたり留意点は以下のとおりである。

- ・ 専用道のみであることから、交差点の右左折に対する安全走行戦略を定めていないことから、一般道においてはその安全走行戦略を定める必要がある。
- ・ 交通信号のある交差点はあるものの、通常は赤信号でありバスに反応して信号が青になる。そのため、結果的にバスは信号のある交差点でも一時停止する。また、交差点通過時の速度を 10km/h に抑えて通過していることから、通常の交差点直進時の速度よりも低い。一般道の交差点を青で直進する場合、通常の運転では速度を落とすことはないが、赤に切り替わるまでに交差点を通過可能か判断が難しいケースがあることに留意しなければならない。また、矢印信号に関してもひたち BRT 専用道にはないことから、安全走行戦略を新たに定める必要がある。場合によっては、車両だけでなくインフラ連携も必要と考えられる。
- ・ ひたち BRT の自動運転バスでは、交差点で必ず一時停止している。一般道では信号のない交差点かつ一時停止指示がない交差点で必ず一時停止するのは交通流の円滑性を考慮すると現実的ではないと考えられることから、これらを踏まえた安全走行戦略を定める必要がある。場合によっては、車両だけでなくインフラ側の改善なども必要と考えられる。
- ・ ひたち BRT の特定自動運行区間は専用道であることから、専用道（交差点を除く）の横から乗用車、バス、トラック、自動二輪車などが侵入してくることはない。しかしながら一般道では、道路わきの駐車場や店舗から出てくる可能性がある。場合によっては、街路樹などで物理的に手前からそういった車両を検知することができない場合があることから、そういった場所を走行するには、安全走行戦略の見直しが必要になる。
- ・ ひたち BRT の特定自動運行区間は車両 1 台分幅しかないため、ほかの車線はない。ところが一般道は、一方通行道路でもない限りは、対向車線や複数の車線があり、そこから車両が走行軌跡内に飛び出してくる可能性を否定できない。そのため、安全走行戦略の見直しが必要である。
- ・ 落下物に対するふるまいに関しても、停止するのかステアリングで回避するのかはひたち BRT 専用道とは考え方が異なると推測されるので、安全走行戦略を作っていく際に留意する点であると考ええる。

2.1.2. 実路走行での実車テスト

ひたち BRT 専用道で走行させる自動運転バスに搭載する自動運転システム開発において、センサやカメラ等の認識系の要素技術や自動運転制御に関する知見や開発経験を有するエキスパートによる第三者視点での安全性確認を実施し、様々な課題を抽出することができた。よって、他地域での自動運転開発に有効であると考え、その方法について以下に説明する。

1) 背景と目的、実施内容の概要

テストコースでの設計評価・確認が終わった後に、実証実験などの実路走行を行う際に、複数カメラを用いて、車外の走路と交通参加者、車内の制御モニタ画面、運転者動作などを撮影し走行動画の解析することによって、設計どおりの実装が成されているか、及び現地走行環境を鑑みて設計仕様やそのベースとした安全走行戦略が安全性の観点で妥当であったかなどを評価した。

具体的には、関係者の集中レビューにて、自動走行中の走行状態（自車両とほかの交通参加者の振舞い、周囲の道路環境、運転者の介入動作など）を記録した映像と車両の走行ログを時系列に突合せて、運転者介入シーン、認識系の誤認識と未検知のシーン、あるいは急減速など想定外の車両挙動シーンを抽出・解析し、実装と設計仕様に関する課題抽出を行った。

2) 評価設備と設置方法

動画撮影には2つの記録装置を用いて行う。

① 走行動画記録装置

車外の走路の状態及び交通参加者の振る舞いを撮影するとともに、車内の運転者の仕草や様子を同時に撮影するためには、図 2.1.2-1 に示すとおり、走行動画撮影には小型の 360° カメラ¹を用いて撮影を行った。

取付けが簡便なマグネットマウントと自由雲台を組み合わせ、運転士の視界を妨げないルームミラーの陰に設置した。

② 制御モニタ記録装置

走行中に必要な交通参加者（車両、自転車、歩行者など）が自動運転システム側で正しく認識されているか、自動運転システムが指示する目標車速が適切か、あるいは、手動介入が行われていないなどの自動運転制御の状態を知るには、認識制御状態ディスプレイを録画する必要がある。録画する方法として図 2.1.2-2 に示すとおり、小型カメラ²で録画する方法や、ディスプレイに出力している HDMI 信号を HDMI キャプチャーボード³（図 2.1.2-3 参照）で録画する方法があり、今回はキャプチャー

¹ 小型 360° カメラ Insta360 X3
<https://www.insta360.com/jp/product/insta360-x3>

² 小型アクションカメラ DJI Action 2
<https://www.dji.com/jp/dji-action-2>

³ アイ・オー・データ機器 ハードウェアエンコード HDMI キャプチャー GV-US2C/HD
<https://www.iodata.jp/product/av/capture/gv-us2chd/index.htm>

ボードによる録画データを使用した。



図 2.1.2-1 走行動画録装置

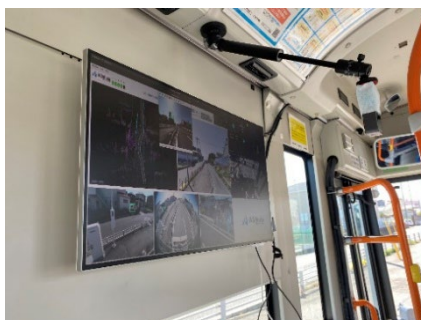


図 2.1.2-2 制御モニタ撮影用カメラと設置場所

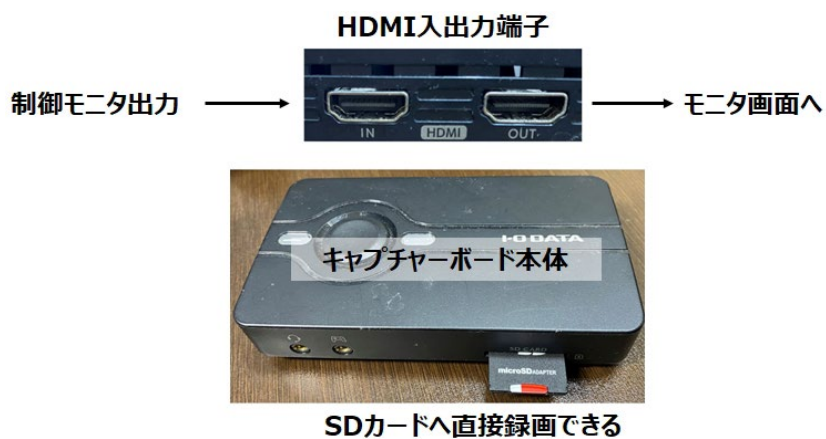


図 2.1.2-3 HDMI キャプチャーボード

3) 課題抽出方法

最初に、取得した走行動画と制御モニタ動画を同期させて一つの動画（図 2.1.2-4 参照）を作成する。

次に、その動画を用いて以下の観点で課題を抽出する。

- ・手動介入シーン抽出

「手動介入」が表示されたシーン（図 2.1.2-5 参照）がないか確認する。

- ・認識系の誤認識と未検知のシーン抽出

走路上や走路周辺に誤認識あるいは認識できていない対象がないか確認する。また、

信号認識に遅れや灯色認識誤りなどがないか確認する。

- ・想定しない車両挙動のシーン抽出

交差点通過や右左折のシーンで、ヒヤリハットや急な停止、交差点通過までに時間がかかるなどがないか確認する。

横断歩道や走路に歩行者が近づく、あるいは、横切るシーンを確認しヒヤリハットや急な停止などがないか確認する。

バス停に近づくシーン、及び、バス停から発車するシーンで、ヒヤリハットや急な停止などがないか確認する。

走行映像全般を通して、走路の左右に偏って走行しているシーンがないか確認する。

これら抽出したシーンをフレームレベルで詳細に確認を行い、発生した事象について状況を課題管理表（図 2.1.2-6）へ記入する。課題管理表には、事象を発見した時点で発見者が「発生事象 No.」「起案日」「起案者」「発生した問題事象」「優先度」「要因特定期限」を記入し開発者と共有を行う。開発者は事象を確認し「要因特定完了日」「要因特定ステータス」「要因（分析・解析結果の詳細）」「要因カテゴリ」など逐次状況を記入し、関係者と共有することが望ましい。



図 2.1.2-4 合成動画（前方走行動画と制御モニタ）



図 2.1.2-5 手動介入シーン

						高 中 低	手動介入 制御・検知に直接的に影響 制御・検知に間接的に影響	未着手 対応中 完了		
事象No.	起案日	起案者	発生した問題事象	優先度	要因特定 期限	要因特定 完了日	要因特定 ステータス	要因（分析・解析結果の詳細）	要因カテゴリ	
	2023/9/29	JARI（ビデオ）	試乗車（専用）動画：20230929JARI専用BRT101.mp4 乗降の乗降位置が乗降位置からずれており、乗降位置から離れた位置で乗降している。							
	2023/9/29	JARI（ビデオ）	試乗車（専用）動画：20230929JARI専用BRT102.mp4 乗降位置で乗降位置から離れた位置で乗降している。乗降位置で乗降しているが、乗降位置から離れた位置で乗降している。乗降位置で乗降しているが、乗降位置から離れた位置で乗降している。							

	2023/9/29	JARI（ビデオ）	試乗車（専用）動画：20230929JARI専用BRT103.mp4 乗降位置で乗降位置から離れた位置で乗降している。乗降位置で乗降しているが、乗降位置から離れた位置で乗降している。乗降位置で乗降しているが、乗降位置から離れた位置で乗降している。						
	2023/9/29	JARI（ビデオ）	試乗車（専用）動画：20230929JARI専用BRT104.mp4 乗降位置で乗降位置から離れた位置で乗降している。乗降位置で乗降しているが、乗降位置から離れた位置で乗降している。乗降位置で乗降しているが、乗降位置から離れた位置で乗降している。						

図 2.1.2-6 課題管理表の例

4) 効果と課題

実証実験中の車両試乗だけでは気づきにくい細かい検知・制御の課題部分にまで指摘が行える点で効果が高い。加えて、エキスパートによる第三者視点での安全性評価のため、開発者自身では気づきにくい部分までフラットな指摘が行えるメリットも大きい。

その一方、評価する車両の具体的な安全走行戦略や物標認識アルゴリズムを理解しないままの指摘になるため、正常な動作に対しても課題としてあげてしまうことも含んでいる。また動画処理が基本となるため、動画処理に適した PC、動画編集の知識も必要となる。

ひたち BRT 専用道での車両開発を通じて、課題管理表や動画を使って実態を把握しながらレビューを行った結果、関係者間での課題の共有や安全走行戦略・アルゴリズムの理解が深まりプロジェクトを推進する上で大きな効果を生んだと考える。

なお、この実路走行での実車テストについて、テーマ 4（柏の葉・協調型システム）の実証実験に展開し、図 2.1.2-7 に示すとおり、手動介入シーンなどの抽出において有効活用されている。



図 2.1.2-7 展開例（テーマ4 マニュアル介入シーン）

2.2. ワンマン機能の実装

令和5年度は、ワンマン機器の実装に向けたスケジュールを策定した。具体的には、実際にワンマンを実装する時期は、乗務員乗車型レベル4の自動運転バスの走行環境条件の付与を受けた後に設置することを予定している。

実装の結果に関しては、令和6年度の報告書にて報告する。

第3章 インフラ連携

3.1. ひたち BRT を事例としたインフラシステムとの連携における安全要件に対する横展開に向けた留意点等の整理（テーマ4との連携）

インフラシステムとの連携については、L4 実証と実装編の第3章のインフラシステムとの連携において、既に記載したように、テーマ4の取組みにおいて、詳細検討がなされることに任すものとする。横展開に向けた留意点としては、インフラシステムとの連携による効果や責任の境界などの課題の更なる検討のほか、通信品質の保証を含めた安全性、導入費用及び維持管理費用などを精査して考える必要がある。

また、交差点などにおける車両通過を電光掲示するようなシステムで、他の交通参加者への注意喚起を行うことは、自動運転車両に対してのみに有益なシステムではないことになると考えられる。このようなインフラシステムによる支援は、行動変容を効率的に促すようなタイミングと提示内容が求められるが、次年度以降で実装実証の機会があれば、効果評価を実施し、有効性等を検証したいと考えている。

第4章 遠隔監視システム・車外 HMI

4.1. 無人化における遠隔監視の役割と機能要件の整理

本年度は、車内無人に向けての役割や考え方を明確化し、無人化における遠隔監視での車内安全システムのルール・法律への対応の調査を行い総合調整コンソで行っている車内乗客安全 WG と共有した。

次年度は、引き続き WG と共有しながら車内安全システムのルール・法律への対応の調査を進め、無人化でのルール・法規の課題対応を目指す。

4.1.1. 完全無人化における遠隔監視・車内安全システムのルール・法律への対応可否

完全無人化に向けて、バスの車内安全に係わる法規・規格・ガイドライン等の調査を行った。

これらの調査をもとに、次年度は引き続きの調査とともに完全無人化における遠隔監視・車内安全システムにおいて、事業者が想定する仕様を含め、システムの構築に向けた検討を開始する。

(1) 法規と規格の調査

まず、国内のバス運行に係わる法令としては、道路運送法、旅客自動車運送事業運輸規則があり、運行事業者が遵守すべき安全管理、車両の整備、運転者の資格、運賃の設定、運行計画などが定められている。これらは車内安全を守るため、間接的に係わる項目である。特に、運輸安全マネジメントは、運転者を始めとする、従業員に対する安全教育や訓練を定期的に実施し、安全意識の向上と技能の維持・向上を図ることを求めている。

その他、道路交通法には、公道を走向する際に遵守すべき交通ルールが定められている。労働基準法、労働安全衛生法もバスの運転者が安全に運転できる労働環境を守る点において、間接的に関係する法令と考えられる。

次に海外の法規を調査した。自動車基準認証国際化研究センターでは、海外の法規規格との整合を取るための情報を提供しており、タイトルに「バス」が含まれるものを調査した。

米国では、Federal Motor Vehicle Safety Standards (FMVSS) が、バスの安全基準を定めている。車内安全に近いところでは、バスの非常口と窓の保持及び解放に関する安全基準である FMVSS 217 を確認した。事故や緊急時に乗客が迅速にバスから脱出できるようにするための要件を定めており、主な要求事項は下記のとおりである。

表 4.1-11 事故や緊急時に乗客が迅速にバスから脱出できるようにするための要件

項目	概要
非常口の数と配置	バスの大きさや乗車定員に応じて、特定の数の非常口を設ける。非常口は、乗客が容易にアクセスできる場所に配置すること。
非常口の識別	すべての非常口は、明確にマークされ、緊急時に乗客がそれらを容易に識別できるようにすること。
非常口の操作	非常口は、乗客が簡単に操作できるように設計すること。
保持と解放のメカニズム	非常口の扉や窓は、通常の運行中にはしっかりと固定されている必要があるが、緊急時には迅速に解放できるようにすること。
脱出経路の確保	非常口を使用してバスから脱出する際の経路は、障害物がなく、乗客が迅速に脱出できるようにすること。
耐久性と信頼性	非常口のメカニズムは、長期間にわたって信頼性を維持し、緊急時に確実に機能するように設計すること。

なお、日本でも非常口に係る保安基準が定められていることを確認した。

「1. 非常口に係る日本の基準と当該連節バスの非常口の仕様比較表」

<https://www.mlit.go.jp/pubcom/07/pubcomt42/02.pdf>

オーストラリアでも、バスの安全基準を確認した。車内安全に近いところでは、Australian Design Rule 68（ADR 68）は、衝突時の乗員の安全性を向上させることを目的としている。概要は下記のとおりである。

表 4.1-22 衝突時の乗員の安全性を向上させることを目的の概要

項目	概要
乗員保護の強化	衝突時に乗員が受ける衝撃を最小限に抑えること（シートベルトの強度や配置、座席の固定方法）。
シートベルトの装備	すべての座席にシートベルトを装備すること。
衝撃エネルギーの管理	バスの設計は、衝撃エネルギーを効果的に吸収し、分散させること。
乗員空間の維持	衝突時に乗員が安全な空間内に留まることができるように、バスの構造は十分な強度を持つこと。
耐久性と信頼性	シートベルトやその他の安全装置は、長期間にわたって効果的に機能し続けること。

(2) ガイドラインの調査

ガイドラインでは、国土交通省が発行しているガイドラインと、公益社団法人日本バス協会が実施している施策が車内安全に関連する。

1) 国交省によるガイドライン

「自動車運送事業者が事業用自動車の運転者に対して行う一般的な指導及び監督の実施マニュアル（令和５年１月６日改訂）」では、乗客が乗降するときの安全を確保するために留意すべき事項として、車内安全に係わる次の項目が書かれている。

表 4.1-33 乗客の乗降時において安全確保するために留意すべき車内安全に係わる項目

https://www.mlit.go.jp/jidosha/anzen/03safety/resource/data/bus_honpen.pdf

項目	対策
乗降時の乗客の安全確保	滑らかな発進・停止
	乗車・降車のときの注意
	貸切バスの乗降時の注意
高齢者・障がい者の乗降時の安全の確保	高齢者の安全の確保
	車いす使用者の安全の確保
	視覚障がい者の安全の確保
	ベビーカー利用者の安全の確保

これらの要点は、以下のとおりである。

- 乗客の乗降時には左後方からの車両が来ないか注意すること
- ドア開閉時に乗客を挟みこまないよう確認すること
- 立ち客も考慮して滑らかな加減速を行うこと
- 高齢者は迷惑をかけないように早めの行動をしがちなのでゆっくりと乗降させること
- 車いす使用者の乗降時の注意を確認すること
- 視覚障がい者には介助が必要かを確認してはっきりアナウンスすること
- ベビーカーは車輪のストッパーをかけ、補助ベルトで固定すること

2) 日本バス協会のガイドライン

公益社団法人日本バス協会では「バス事業における総合安全プラン 2025」を実施しており、令和７年（2025 年）までに乗合バスの車内事故件数 85 件以下とする目標を掲げている。車内事故を防ぐための以下の３点の施策をあげている。

- ドライブレコーダ映像を活用した安全運転教育
- 発進時の乗客の着席確認、アンダーミラーによる直前横断者の確認、安全基本動作の徹底
- 健康に起因する事故

また、定期的にキャンペーンを行い、以下の車内表示を行い乗客に事故防止の協力を働きかけている。

- 走行中には席を離れずに、急ブレーキにもご注意ください。
- 走行中に席を離れると、転倒などにより思わぬけがをする場合があります。
- お降りの際は、バスが停留所に着いて完全に止まってから席をお立ち願います。
- バス安全運転に徹しておりますが、やむを得ず急ブレーキを掛ける場合があります。
- 満席のため、お立ちになってご利用いただく場合には、吊革や握り棒にしっかりおつかまり下さい。

これらのうち、乗客の乗降時や発進時の項目は、無人化時にはシステムにより実現されることが期待される。

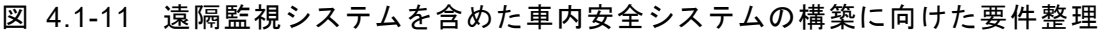
4.1.2. 遠隔監視の役割と機能要件

ひたち BRT の検討を踏まえつつ、遠隔監視システムを含めた車内安全システムの構築に向けた要件の整理を行った。以下に大分類と中分類、小分類で分けた要求案を示す。

なお、それぞれの機能を遠隔監視システムに持たせるのか、車内監視システムに持たせるのかについては、事業所の判断によるため、あくまでも横展開としての仮定として記す。

表 4.1-44 遠隔監視システムの要件

ID	大分類	中分類	小分類	要求
1	遠隔監視システム	発見	安全性・車内トラブル	バス車内で非常ボタンが押されたら警報すること。
2				バス車内の様子を、映像と音声で確認できること。
3			可用性	バスのドアセンサーの異常を警報すること。
4			緊急対応	バスで異常や故障が発生したら警報すること。
5				バス車内で火災が発生したら警報すること。
6		対応		
7				バス車内に取り付けられたスピーカーによりアナウンスできること。
8				バス車内に取り付けられたマイクにより乗客の声を確認できること。
9				バスの扉を開放できること。
10				
11	自動運転バス	走向制御		自動運転バスは、進入を開始したタイミングで信号が黄色になった際に、すぐに停止できる速度でなければ、走行を継続すること。
12				自動運転バスは、対向右折車両が進路妨害している際には、交差点に進入しないこと。
13				自動運転バスは、インフラからの情報と、自車が検知した情報が異なる場合、自車センサーに故障がなければ、自車の情報を採用すること。
14				自動運転バスは、他の優先通行車両や歩行者／自転車を検知しない状態が規定時間以上継続したら走行開始するが、検知の通知を受けたらすぐに停止できる速度で走行開始すること。
15				
16		車内システム	車内システム共通	車内システムは、非常ボタンが押されたことが確実に通知されるように機能安全開発されていること。
17				非常アナウンスは、火災による影響を受けにくい電気系統であること。
18				非常アナウンスは、機能安全開発されていること。
19				
20			非常ボタン	非常ボタンは、危険な場所（火元）を避けて押せるように複数の場所に設置されること。
21				
22			車内カメラ	車内カメラは、車内の各所を見渡すことができる視野角であること。
23				車内カメラは、車内の細部を確認できる解像度であること。
24				
25			ドア	ドアは、火災による影響を受けにくい電気系統であること。
26				ドアは、機能安全開発されていること／手動でも開扉できること。
27				



4.2. ひたち BRT を事例とした車外 HMI の横展開における留意点等の整理

4.2.1. 概要

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）」のテーマ 2 では、バス専用道を持つ茨城県の「ひたち BRT」で、レベル 4 の自動運転サービスを実現するための車外 HMI の提案と実証を行っている。レベル 4 実証と実装の報告書には、主にひたち 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交差点の環境に基づいた車外 HMI の実証実験について述べた。他方で、テーマ 2 の目標である無人自動運転移動サービスの横展開を考えると、様々な条件や設定など、ひたち BRT に適する車外 HMI の一般化における留意点をまとめる必要があると考える。そのため、多地域に展開していく際において、一般的な交通状況や異なる交通参加者向けて車外 HMI を実装する必要性や社会受容性に関する評価を行い、ひたち BRT の実証実験で得られた知見と合わせてまとめた。今年度では、車外 HMI の必要性と社会受容性について、一般車の運転者や歩行者にとって自動運転バスの外向け表示とその表示内容に対する主観感覚のウェブ調査を行った。

4.2.2. 外向け表示の必要性と社会受容性に関するウェブ調査

近年の研究では、自動運転車の導入による運転者同士や運転者と歩行者のコミュニケーションの空白を埋めるため、車外 HMI が重要であると主張されている。一方、車外 HMI はほかの交通参加者の注意散漫、混乱、いたずらなど、様々なネガティブな影響を引き起こす可能性があるため、その必要性や受容性について結論がまだ至っていないと言える。一般な交通参加者の意見を収集するため、車外 HMI の外向け表示の 3 パターンを考案し、その必要性と社会受容性に関するウェブ調査を行った。

表 4.2-1 質問紙の構成

項目	質問の文章
自動運転バスの安全性	あなたは自動運転バスを安全だと思いますか？ 自動運転バスと遭遇すると、より慎重に行動しようと思う
自動運転中であることの表示	自動運転バスでは、自動運転中であることを表示してほしい バスと遭遇した際に、自動運転中であるかどうかは気にならない
「発進」や「停車」などの挙動の表示	自動運転バスには、「発進」や「停車」などの挙動を周囲に知らせてほしい 自動運転バスであると分かると、いたずらや嫌がらせをする人がいると思う
交通参加者が取るべき行動の表示	自動運転バスと遭遇した際に、自分が進むべきか待つべきかなど取るべき行動を教えてほしい 自動運転バスの表示が気になって、危ないと思う

ウェブ調査の参加者は 1,804 名であった。PC で調査に協力してもらえる人を選定し、3 つの年齢群（18-34 歳、35-64 歳、65-84 歳）の男女に性別と年代の偏りなく調査を実施

した。様々な交通参加者のデータを収集するため、参加者に運転免許の有無や種類、普段の運転する頻度、距離などの質問を回答してもらった。結果として、運転している人（年間数日以上を運転している方）1,375人、免許を持っているが運転していない人206人、免許を持っていない人223人の回答データを収集した。質問紙は表 4.2-1 質問紙の構成表 4.2-1 に示すとおり、4つの項目に対して、ポジティブな意見とネガティブな意見の質問があって、計8個の質問がランダムな順番で構成された。それぞれの質問に対して、（全くそう思わない）は1、（あまりそう思わない）は2、（どちらでもない）は3、（少しそう思う）は4、（非常にそう思う）は5の5択で回答してもらった。調査の参加者に質問紙を提示する前に、無人の自動運転バスと一般車や歩行者が交差点などで遭遇する際のシミュレーション動画を複数回参加者に提示した。それらのシミュレーション動画では、車外 HMI なし、車外 HMI ありの動画があった。なお、普段運転しない人には、歩行者視点のみのシミュレーション動画を提示した。

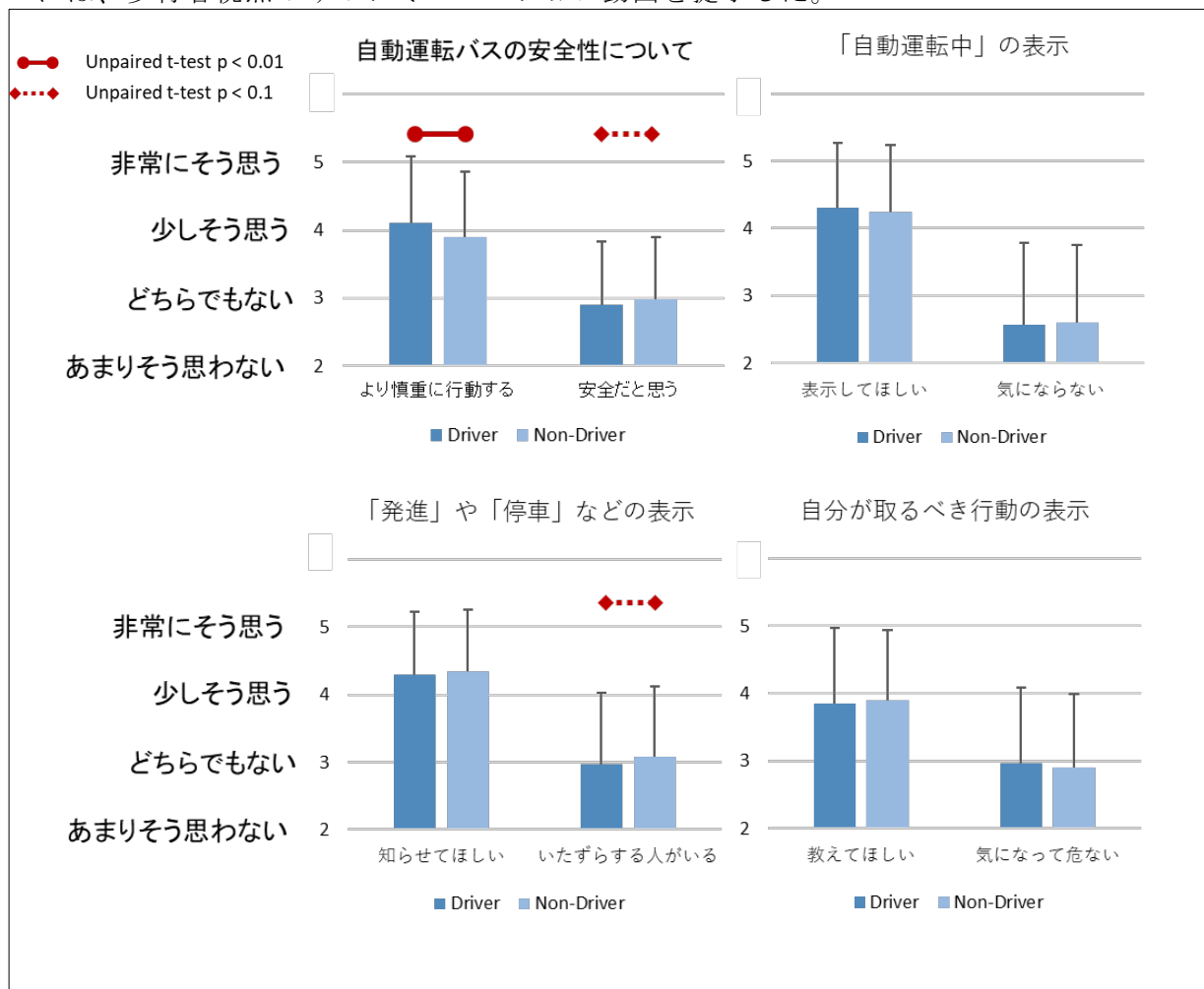


図 4.2-1 外向け表示の必要性和社会受容性に関するアンケート結果

結果は図 4.2-1 に示したとおり、①自動運転バスの安全性について、普段運転する人も運転しない人も自動運転バスと遭遇するとより慎重に行動すると回答した。そして、

運転しない人よりも、普段運転する人は「自動運転バス安全だ」との評点が低く、「より慎重に行動する」との評点が有意に高かった。②自動運転バスの「自動運転中」の表示について、参加者は全体的に「表示して欲しい」との評点が高く、「気にならない」との評点が低かった。運転する人と運転しない人の間に有意な統計差は認められなかった。③自動運転バスの「発進」や「停車」などの表示について、参加者は全体的に「知らせて欲しい」との評点が高く、「表示されるといたずらする人がいる」との評点が低かった。ただし、運転する人よりも、運転しない人は「いたずらする人がいる」との評点が高かった。④自動運転バスの交通参加者が取るべき行動について、参加者は全体的に「教えて欲しい」との評点が高く、「気になって危ない」との評点が低かったが、「教えて欲しい」の平均評点が4（少しそう思う）に至らなかった。運転する人と運転しない人の間に有意な統計差は認められなかった。

上記の結果を整理すると、車外 HMI の必要性の観点では、「自動運転中」や「発進」や「停車」などの表示について、全体的に（4: 少しそう思う）～（5: 非常にそう思う）の間に含まれていた。一方、交通参加者に対して「自分が取るべき行動」の表示については、全体的に（3: どちらでもない）～（4: 少しそう思う）の間に含まれていた。このことから、あえて行動指示のような表示をする意味はなく、「自動運転中」や自動バスの「発進」や「停車」などの暗示的な表示でも、ほかの交通参加者にとっての主観的な必要性を満たすものと考えられる。一般車運転者視点と歩行者視点の差の観点では、自動運転バスと遭遇する際に、運転する人（一般車運転者視点）の方がより慎重で自動運転バスの安全性を信頼しない傾向が見られた。また、車外 HMI に対するネガティブな意見について、運転する人（一般車運転者視点）の方が低かった結果があった。

総じてこれらの知見から、多少の差があるものの、普段運転する人も運転しない人も車外 HMI の表示に対してポジティブな意見が高く、受容性が高いと考えられる。ただし、車外 HMI の行動変容の効果や、視認性や発出するタイミングなどの最適な要因を提案するために、実験室実験と実証実験を含めて更なる検討を行う必要がある。

第5章 実証評価

5.1. ひたち BRT を事例とした実証評価に対する横展開での参照における留意点等の整理

ここで示す実証評価は、各種許認可を取得して乗務員乗車型レベル 4 自動運転移動サービスの運行開始を目指すにあたり、開発した自動運転システムが設計どおりの動作で走行していること、及び安全走行戦略が有効に機能していることを実地で評価検証することである。

以降、ひたち BRT を事例として、実施した実証評価の概要と、実証評価を横展開される際に参考となる留意点等を整理する。

5.1.1. ひたち BRT で実施した実証評価

ひたち BRT では、各種許認可を取得して乗務員乗車型レベル 4 自動運転移動サービスの運行開始を目指すにあたり、2023 年 9 月、2023 年 12 月、2024 年 2 月にひたち BRT の現地フィールドで実証実験（レベル 2）を行い、安全かつ円滑なレベル 4 自動運転による走行を実現するための課題を抽出し、それを解決する対応策を実施・評価検証を実施した。

9月実証実験 2023年9月19日～10月13日	12月実証実験 2023年12月4日～12月22日	2月実証実験 2024年2月13日～3月1日
目的： レベル4の自動運転のセンシングや制御の技術検証と課題の抽出。 課題： 道路構造物等の過検知や、信号なし交差点における「譲り合い」など、複数の課題が洗い出された。 対応： 12月に実施する実証実験に向け、AIの追加学習による認識性の向上や、衝突予測等の判断を強化し車両停止が継続する場合に自動運行を停止するなどの対策を実施。	目的： 9月実証における課題対応策の有効性の確認と実走行での課題抽出。 成果： 道路構造物等の過検知は減少。車両停止が継続する場合に自動運行が想定通りに停止することを確認。 課題： 衝突予測等の判断を強化した制御により、安全ではあるが、車両停止状態の継続が多くなり自動運行の停止が多く発生。 対応： 安全性を担保しつつ、円滑な移動も考慮した制御への改良を実施。	目的： 12月実証における課題対応策の有効性の確認、交差点や横断歩道での安全かつ円滑な走行制御による自動運行の停止の減少等を確認。 現時点での評価： 自動運行の停止はほぼ無い状況。より円滑な走行のため、現地で調整を行いつつ実験走行継続実施。

図 5.1.1-1 2023 年度の自動運転実証実験の概要

テーマ 2 では、2023 年度は計 3 回の技術実証を実施している。安全かつ円滑なレベル 4 自動運転による走行を実現するという目標達成には、3 回程度の実証検証を要することが横展開する際の参考となる。

なお、本実証では、成果目標となる遠隔監視型レベル 4 自動運転移動サービスへの移

行に向けた課題の確認もしており、車掌業務の無人化やトラブル対応などイレギュラー対応なども含めた幅広い項目について対応策の検討が必要になることも明らかにした。

対応策は、自動運転システムの改良、運用による対応、環境整備の視点で検討する必要があるが、検討のベースになるケースの洗い出しがされており、今後の横展開時の参考にできる。

5.1.2. 実証評価を横展開する際の留意点

2023 年度のひたち BRT の実証評価は、自動運転技術に関する技術実証のみを実施している。技術実証では、自動運転システム開発者が主体となるが、許認可のための説明が必要になったり、運行を担う事業者の負担になるかどうかの考慮が必要になったりといくつかの留意点を確認しており、以下に示す。

(1) 開発技術における根拠説明の徹底

安全走行戦略に基づいた開発を進めるにあたり、安全走行戦略の妥当性について定量的な根拠を交えながら論理的に説明する資料の整備が重要となる。

許認可申請のためには、自動運転システム開発者の設計思想も踏まえつつ、許認可に携わる関係各機関の審査の目線で理解してもらえる説明内容にすることが必須であり、この説明資料を作成するスキルが必要となる。

(2) 自動運転システムの開発方針の検討段階から必要となる運行事業者の視点

自動運転システム開発者の視点で検討した自動運転システムの開発方針が、運行事業者の整備点検の負担となったり運行オペレーションに組み込むことが難しかったりするとの理由で受入れが難しい可能性もありうる。

したがって、自動運転システム開発者は、自動運転システムの開発方針の検討段階から運行事業者の視点を入れることに留意することが重要となる。

5.2. ひたち BRT を事例とした社会受容性に対する地域特性の留意点の整理

ひたち BRT の沿線住民、近隣大学の学生、日立製作所の従業員を対象にした分析であるが、自動運転バス導入賛否意識に有意に影響を与える要因として、以下 6 点が明らかになった。

- ① 学生の方が賛成の度合いが低い
- ② 女性の方が賛成の度合いが低い（女性の方が男性よりも自動運転導入に賛成する度合いが低いのは一般的な傾向である¹⁾）
- ③ ゆりかもめ等自動運転の電車利用経験がある人の方が賛否の度合いが高い
（自動運転バスの利用経験は自動運転バス導入賛否意識に影響を与えていなかった。これは既に社会に実装されている自動運転システムの利用を経験することが、自動運転バス導入賛否意識に有意に影響する可能性を示唆するものである）

- ④ 自動運転バスを住民として誇りに思う人の方が賛成の度合いが高い
- ⑤ 自動運転の技術を信頼している人の方が賛成の度合いが高い
- ⑥ 自動運転のシステムをつくる企業を信頼している人の方が賛成の度合いが高い
(政府や保険会社への信頼は、自動運転バス導入賛否意識に影響を与えていなかった。)

これらの自動運転の社会受容性に影響を与えている要因に基づき、受容性を高める施策について考察し、表 5.2-1 に整理する。また、一見、社会受容性を高める効果がありそうな施策ではあるものの、効果が見込めない可能性の示唆も得られた。ほかの自動運転に取り組む地域では、ひたち BRT 周辺と差がある可能性はあるものの、おおむね同じようなアンケート調査結果を得られると考えられるため、参考にされたい。

表 5.2-1 自動運転の社会受容性を高めるための施策(案)

自動運転の社会受容性に影響を与えている要因と傾向	受容性を高める施策（案）
①学生の方が賛成の度合いが低い	③～⑥に示す施策の対象として重点化する。
②女性の方が賛成の度合いが低い	③～⑥に示す施策の対象として重点化する。
③ゆりかもめ等自動運転の電車利用経験がある人の方が賛否の度合いが高い	ゆりかもめ等自動運転の電車の利用を呼び掛ける。又は、既に社会に実装されている自動運転システムが存在することを周知する。
④自動運転バスを住民として誇りに思う人の方が賛成の度合いが高い	既往研究 ¹⁾ では、行政への信頼が、誇り度に影響していることを指摘している。このため、自動運転バスが、住民の誇りになり得るためには、行政への信頼を醸成する取組みが有効である可能性がある。
⑤自動運転の技術を信頼している人の方が賛成の度合いが高い	自動運転の技術の信頼を獲得するような情報提供、説明会、ワークショップなどを開催する。また技術に知人が関わっている場合、その信頼性が高まる可能性があることから、沿線住民等が技術開発(簡単な部分でも)に関わる余地を提供することも考えられる。
⑥自動運転のシステムをつくる企業を信頼している人の方が賛成の度合いが高い	システムをつくる企業の信頼を獲得するため、企業と沿線住民との接点を増やす取組みを実施する。

<効果が見込めない可能性の示唆>

- ・ 自動運転バスの利用経験は自動運転バス導入賛否意識に影響を与えていなかったため、実証実験への参加を呼び掛け、実際に自動運転バスを体験してもらう方法は、自動運

転の社会受容性を高める効果が見込めない可能性が示唆されている。体験を通して、技術や企業への信頼を獲得することが重要と考えられる。なお、既往研究¹⁾では、自動運転バスに乗車する機会を設けることが、社会受容性を醸成する際に有効であることが示されており、その乗車機会の内容を精査する必要があると考える。

- ・ 自動運転システムをよく知っていると思っていることは、自動運転バス導入賛否意識に影響を与えていなかったため、単に自動運転システムの説明をすることは、自動運転の社会受容性を高める効果がない可能性が示唆されている。知識を獲得してもらうのではなく、技術や企業への信頼を獲得することが重要と考えられる。

1) 渡辺健太郎，谷口綾子，岩田剛弥：自動運転システムが地域のシビックプライドに与える影響-自動運転システムの社会的受容-，土木計画学研究・講演集（CD-ROM），Vol.66，2022．

第6章 事業モデル

6.1. ひたち BRT を事例とした横展開で参考となる簡易収支モデルの作成

自動運転技術の適用では、ロボタクシーのようなデマンド型とひたち BRT のような定時定路線型で事業性検討の枠組みが異なる。デマンド型では例えばキロ当たりの運行コストと売上を推測することになるが、定時定路線型では路線単位での売上とコストを推定することになる。またひたち BRT のように既存路線への導入を行う場合と、新規路線への導入を行う場合が想定される。新規路線での事業性検討では、想定されるコストを積み上げていくことで、運行コストは比較的容易に推測できるが、運賃収入などの売上は読みづらく、事業性検討が難しい。一方で既存路線への導入では、運賃収入などの売上の推測は既に運用実績があることから比較的容易であるが、運行コストは既存の運用体制と重複したコストがあり、それらをどのように配賦するのかが、導入の各段階によって変化するため、事業性検討が難しい。本章では、定時定路線型の既存路線への導入を行う場合の事業性検討を簡単に推測するための簡易収支モデルを以下図 6.1- 1 に整理した。

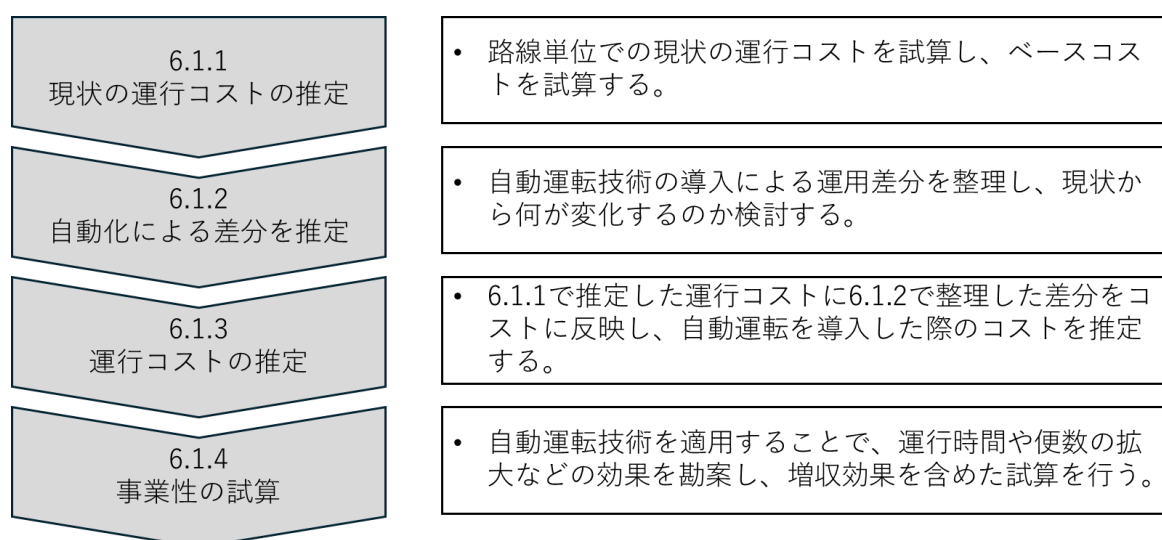


図 6.1- 1 簡易的な事業モデルの推定フロー

6.1.1. 現状の運行コストの推定

現状の路線の運行コストの推定では、運行する事業者自らが試算を行う場合は、内部で事業に用いている各種パラメータがあると考えられるため、それらを用いてより正確な運行コストを推定する。一方で連携する外部事業者などが運行コスト外挿する際の手法を以下で整理する。路線バスの運行コストは国内で横比較を容易に行うため、標準原価（実車走行キロ当たり輸送原価）という考え方が整理されており、運行する地域単位で原価が整理されている。車走行キロ当たりの輸送原価は、国交省やバス協会の各種統計資料にて公開されており、最新のものが利用できる。

標準原価を用いた運行コストを試算するためには、運行する路線の運行距離と運行便数を路線情報などから取得し、標準原価と積算することで、おおよその運行コストが外挿で

きる。本推計方法では、運行時の回送などのコスト推定は漏れるため、正確性には欠けるがおよその運行コスト水準を十分に推定することが簡便にできるため、有益であると言える。

6.1.2. 自動化による差分を推定

運行のベースとなるコストには、以下表 6.1.2- 1 に記載されたコスト科目が含まれており、これらの科目が自動運転技術の適用によって変化する科目を特定し、コスト試算に反映させることで、自動運転技術を適用したコスト推定ができる。

表 6.1.2- 1 運行費用の構成

分類	科目	概要
運送費	人件費	現業部門の従業員に係る人件費 (例：給与、手当、賞与、退職金、厚生福利費など)
	燃料油脂費	事業用自動車に係わる燃料費及び油脂費 (例：軽油費、LPガス費、油脂費など)
	修繕費	事業用固定資産の修繕に係わる費用 (例：車両修繕費、建物構築物修繕費など)
	減価償却費	事業用固定資産に係わる減価償却費 (例：車両減価償却費、建物構築物減価償却費など)
	保険料	事業用固定資産及び運送に係わる諸保険料 (例：自動車損害賠償保険料、建物火災保険料など)
	施設使用料	事業用固定資産に係わる使用料 (例：借地料、借家料など)
	自動車リース料	事業用自動車及びその付属品に係わるリース料 (メンテナンスリースの場合の整備料を含む)
	施設賦課税	事業用固定資産に係わる租税 (例：固定資産税、自動車重量税、自動車税など)
	事故賠償費	事故による見舞金、慰謝料、弁償金等
	道路使用料	有料道路料金
	その他	現業部門に係わる経費で他の科目に属さないもの (例：被服費、水道光熱費、通信運搬費、旅費など)
一般管理費	人件費	本社その他管理部門の従業員に係る人件費 (例：給与、手当、賞与、退職金、厚生福利費など)
	その他	管理部門に係わる経費で他の科目に属さないもの (例：被服費、水道光熱費、通信運搬費、旅費など)

出典：バスサービスハンドブック（土木学会）¹

試算するケースによって差分が生じる費用科目は異なるが、自動運転技術の適用でおおむね想定される、科目としては以下になる。なお大小様々な変化が想定されるが、事業性

¹ 国土交通省資料から引用（<https://www.tb.mlit.go.jp/kinki/content/000010175.pdf>）

に影響が大きい科目としては、人件費と設備償却費が大きく、特に設備償却費は現時点では正確に価格を推定することが難しいため、各科目を精緻に把握するよりも、影響の大きい科目の変化に注目し、推定することが肝要になる。

表 6.1.2- 2 自動運転技術の適用で変化が想定される科目

	科目	変化の視点
①	運送費・人件費（運転者）	運転者人件費（レベル 4 の実現で運転者人件費が削減される。ただし MRM など緊急時に旅客を乗せた状態で運行するためには大型 2 種免許が必要であり、一定のバックアップ体制の検討が必要。）
②	一般管理費・人件費（整備士）	自動運転車両の提供者との間で整備の役割が取り決められれば、新たな整備スキルを持った整備を配置するのか、簡易な整備のみ行うため負担が軽減されるのか決まる。
③	一般管理費・人件費（遠隔監視者・保安員・その他）	特定自動運行主任制度や各種マニュアルにて人員配置のルール・方針が提示されており、それらに合わせて人員配置の計画を立てる必要がある。また運行台数の増加に合わせて、1 対 N での監視数が増えることを織り込む必要がある。
④	修繕費	車両修繕は②の整備士人件費の検討で示したとおり、自動運転車両提供者との契約方針に依存するため、それを踏まえた要素の反映が必要になる。
⑤	減価償却費	減価償却費は以下の 3 つが想定される。いずれもコストに与える影響が大きいことから、漏れがないように整理することが必要になる。なお、各項目の単価は現時点では正確に推定できないことから、概算値をヒアリング等で把握するなどが必要になる。 ①自動運転車両の償却費（購入の場合） ②運行管理などのシステム償却費 ③路側インフラ設備の償却費
⑥	保険料	自動運転車両の運行における保険料は変化するが、全体の運行コストに与える影響は軽微であり、現時点では概算値で十分と考えられる。
⑦	その他（通信費）	遠隔監視システムなどを運用するにあたり、通信費が新たに発生し、通信速度や冗長性を担保した通信品質を実現するためには、これまでと異なるコストが発生するため、費用見積もりが必要になる。

6.1.3. 運行コストの推定

6.1.2 で整理した変化要素を運行コストとして反映し、コスト減少・増加分として反映し、現行の運行コストとの比較を行うことで、自動運転技術を適用した際の運行コストを推定できる。本推定では正確な運行コストを把握するよりも、コスト減少・増加に大きく影響を与える要素を把握し、事業性が成立するための要件を見極めることが重要になる。例えば、運用における人員配置数や車両コストの目標値などがあり、運用規模がどのようになれば事業性が見込めるのか、車両コストがどの程度下がれば事業性が見込めるのかなどが推測され、中長期的な事業の方向性を検討するのに役立つ。

6.1.4. 事業性の試算

自動運転技術の適用によって、人の運転とは異なり休憩等が基本的には必要でないため、運行時間の拡大や運行便数の増加が期待できる。これらの効果はダイヤの情報だけでは把握できず、車両や人の運行シフト（交番）と呼ばれる情報を運行事業者に開示してもらう必要がある。これらのシフトをもとに検討することで、便数などの増加による運賃収入の増分が試算できる。これらの効果を含め売上を推定することで、運行コストと合わせた事業性の試算・検討ができる。