

令和3年度
「無人自動運転等の先進 MaaS 実装加速化推進事業
(自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究開発・
社会実証プロジェクト (テーマ1))」報告書

令和4年3月

国立研究開発法人産業技術総合研究所
ヤマハ発動機株式会社
三菱電機株式会社
株式会社ソリトンシステムズ

令和3年度
「無人自動運転等の先進 MaaS 実装加速化推進事業
(自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究開発・社会実証
プロジェクト(テーマ1:2022年度に限定エリア・車両での遠隔監視のみ
(Lv4)で自動運転サービスの実現に向けた取組))」

目次

第1章 はじめに

1.1 事業目的	1
1.2 実施事業概要	1
1.3 二ヵ年の活動計画と成果目標	3
1.4 事業実施体制	4

第2章 事業モデルの整理

2.1 事業モデルの整理	1
2.1.1 関係者間の役割	1
2.1.2 ビジネスモデル版パターン化参照モデルを用いた検討	2
2.2 Lv4での運用を想定したリスクアセスメント	7
2.2.1 立会調査・現地ヒアリング	7
2.2.2 リスクアセスメント、低減策検討の実施	10
2.2.3 ルートアセスメント	14
2.2.4 リスクアセスメントの実施	23

第3章 運行条件の整理、評価

3.1 遠隔監視1:3の運用実証評価	1
3.1.1 遠隔監視での1:3の運用の実証評価	1
3.1.2 遠隔監視者の役割や習熟度、対応能力等の要件の整理	2
3.2 走行以外のタスク実証評価	4
3.2.1 走行時における実証評価	4
3.2.2 走行以外(緊急事態発生時)の実証評価	6
3.2.3 緊急時対応訓練	10
3.2.4 遠隔監視者等に求められる役割	14
3.2.5 リスク事象発生時の責任境界にかかる検討	17
3.2.6 保険によるリスク転嫁	25

第4章 車両、システムの開発

4.1 車両、システムのLv4化、高度化	1
4.1.1 永平寺町の自動運転走路における自己位置推定のための高精度地図の作成	1
4.1.2 永平寺町の自動運転走路における自己位置推定アルゴリズムの評価	9
4.1.3 端末交通での利用を想定した自己位置推定アルゴリズムの改良のための評価	13
4.1.4 端末交通における電磁誘導方式と自己位置推定・高精度地図による自動運転方式の併用の可能性の評価	18
4.1.5 車載器を用いた自動運転車両における車内安全監視システム	21
4.1.6 自動運転車両のための一時停止交差点における3D-LiDARを用いた発進判断	24
4.2 車両の開発	26
4.3 自動運転システムの開発	28
4.3.1 自動運転システム	28
4.3.2 自動運転車載システム	35
4.3.3 路側機システム	72
4.4 遠隔システム、管制システム	92
4.4.1 遠隔システム、管制システムの構成	97
4.4.2 遠隔システム・管制システムのセキュリティ対策	103
4.4.3 遠隔システム・管制システムのインターフェース改善	112
4.4.4 運行管理システム	136
4.4.5 通信システムのコスト削減、品質向上	145

第5章 まとめ

5.1 令和3年度(2021年度)の成果のまとめ	1
5.2 令和3年度事業で得られた課題	2
5.3 技術開発のポイントと今後の展開	3

第1章 はじめに

1.1 事業目的

世界的な脱炭素の潮流の中で、我が国においても、省エネルギーの一層の加速を通じて世界に貢献することが求められている。特に、運輸部門については、その中でもエネルギー消費の大部分を占める自動車分野において、自動運転等の先進モビリティサービスの早期の社会実装を通じて環境負荷を低減することが望まれている。また、自動運転等の先進モビリティサービスは、少子高齢化や都市部への人口集中をはじめとした我が国の社会構造の変化によって顕在化する様々な社会課題に対し、移動の自由の確保・地域活性化・交通事故削減・移動の効率化・人材不足解消などで貢献し、同時に、生活利便性の向上や産業競争力の強化により我が国全体の経済的価値の向上に寄与するものである。なお、社会課題解決に向けて、自動運転に対する期待は大きい。上記のように、自動運転等の先進モビリティサービスへの社会的な期待は高く、世界的な市場の立ち上がりも今後急速に見込まれることから、我が国の輸出産業の大きな柱でもある自動車産業の国際競争力を維持・強化するという観点からも、官民協調して、関連する取組全体を引き続き強力に押し進めることが重要である。

本プロジェクトは、自動運転レベル4（以降、Lv4）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のうち、テーマ1「2022年度に限定エリア・車両での遠隔監視のみ（Lv4）で自動運転サービスの実現に向けた取組」に関するものである。本事業の目的は、この題目の通りであり、「2022年度に限定エリア・車両での遠隔監視のみ（Lv4）で自動運転サービスの実現」することを目的としている。

1.2 実施事業概要

テーマ1に関する事業内容は、経済産業省・国土交通省が決定・公表した『『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』研究開発・社会実装計画（基本的事項）』のうち、テーマ1に係る、以下の成果目標及び取組方針を踏まえて実施する。

本テーマ1のプロジェクトでは、以下の公募要項に提示されている成果目標、取組方針、内容に基づいて2カ年の取組として想定し実施するものとする。

<成果目標>

- ・2022年度目途に限定エリア・車両での遠隔監視のみ（Lv4）で自動運転サービスを実現。
- ・遠隔監視のみ（Lv4）の基本的な事業モデルや制度設計を確立。

<取組方針>

- ・廃線跡等の限定エリアで、低速車両、遠隔監視のみ（Lv4）で自動運転サービスを実現する。
- ・技術確立、ビジネス運用に向け、遠隔監視者の役割や走行以外のタスクなどのあり方についても検討する。
- ・これらの成果は、Lv4制度設計に向けて、関係省庁に随時情報共有していく。

<本年度の取組方針>

- ・実証や事業化が先行している限定エリアにおける遠隔監視のみ（Lv4）の自動運転サービスの早期の事業化に向けて、可用性の高い車両、遠隔システム、通信装置の開発を進めると共に、特に遠隔監視システムの要件等を検討し、実証評価を推進し、制度設計に寄与する。

この成果目標及び取組方針に対して、国立研究開発法人 産業技術総合研究所（以後、産総研）を幹事機関とし、ヤマハ発動機株式会社（以後、ヤマハ）、三菱電機株式会社（以後、三菱電機）、株式会社ソリトンシステムズ（以後、ソリトン）との共同で提案するもので、産総研が全体を統括し、ガバナンスを管理して、コンソーシアムを組んで推進する。

2022 年度中に遠隔監視のみ（Lv 4）で自動運転サービスの実現を目指す地域としては、昨年度まで幹事機関等が、経済産業省・国土交通省の事業の一環で、自動運転のレベル 3（以降、Lv 3）の遠隔型自動運転システムの開発による実証と社会実装を進め、本年 3 月に事業化に至っている福井県吉田郡永平寺町とする。この永平寺町における走路である旧京福電鉄永平寺線跡地の参ろ一どは、取組方針であげられている「廃線跡等の限定エリア」に合致しており、低速車両を用いた Lv 3 の事業化が先行している地域であり、遠隔監視のみ（Lv 4）で自動運転サービスを実現に最適であると考えている。



図 1.2-1 対象走路とする永平寺参ろ一どと現在運行している車両

図 1.2-1 における下の点線矩形の示す荒谷—志比間：南側 2 km が現在、自動運転の Lv 3 での事業運行（土日、祝日、3 台を 1 名の遠隔監視・操作者が運行）が行われている走路で、東古市—荒谷間：北側 4 km が自動運転の Lv 2 での事業運行（平日、2 台をドライバが乗車して運行）が行われている走路である。この永平寺参ろ一どは、自転車歩行者専用道路であり、一般車車両の進入が規制された走路であり、管理する永平寺町役場との連携により、許可を得て自動運転車両の Lv 4 の実証を進めることとする。

現在、永平寺町で事業化している遠隔監視・操作型の自動運行装置（車両や遠隔システム等を含む）は、産総研が国土交通省の中部運輸局から、自動運転の Lv 3 の認可を受けたものである。これは、2016 年度から 2020 年度までの経済産業省・国土交通省の高度な自動走行・MaaS 等の社

会実装に向けた研究開発・実証事業のうち、「専用空間における自動走行等を活用した端末交通システムの社会実装に向けた実証」で研究開発を行ったものであり、長期のサービス実証などを経て事業化に至っているものの、車両や遠隔システムは研究機関で主に開発されたため、その信頼性や耐久性については、市販化の量産モデルとは言い難いものである。政府目標である「2025年度までに多様なエリアで、多様な車両を用いたLv4無人自動運転サービスを40カ所以上で実現」を進めていく上では、高い信頼性や耐久性を持つ市販化の量産モデルのような自動運行装置が必要である。しかし、Lv3の自動運転移動サービスが実現されているのは、永平寺町のみであり、車両メーカー等が量産化のための開発をすることには、採算性等の大きなリスクがある。そのため、本テーマ1の公募に対する企画提案としては、車両メーカーとしてのヤマハと、車両制御機器のメーカーとしての三菱電機、通信装置のメーカーとしてのソリトンと、これまでLv3の車両やシステムの開発を先導してきた産総研のノウハウを組み合わせ、Lv4の高い信頼性や耐久性を持つ市販化の量産モデルに近い車両や自動運行装置、遠隔システムを、2022年度中に開発することを目指す。車両には、2020年度までの研究開発や事業化で運行中の車両を有効活用（産総研管理車両を改造）し、Lv4への高度化への代替を進め、2022年度に4台程度の車両の自動運行装置の開発を目標とする。また、遠隔システムや通信システムについては、永平寺町のシステムの代替での検証を行いつつ、さらに他の地域での横展開や多様な車両での応用も考慮に入れ、10台程度の通信システムの開発を目標とする。

本プロジェクトにおいて四つの機関がコンソーシアムを組むことにより、前年度までの成果も効率的に活用し、自動運転のテーマや地域での実証の実施や事業全体の運営・管理においても、効率的かつ効果的な実施ができると考えている。また、永平寺町役場とは、現地実証やサービスの実現に向けた連携体制を組んで進める。さらに、現在のLv3の自動運転サービスの運行事業者であるまちづくり株式会社 ZEN コネクトとも事業性等の検討や実証に対して連携して進める予定である。

本プロジェクトにおける実施内容の各項目は、高い知見や研究開発能力を持つ機関を主体として取り組むことを基本とするが、各実施項目は相互に深く関連し連携が必要であることから、参加する全機関とのコンソーシアム形式として一体として実施し、連携して全体調和を図りつつ、成果の最大化に留意して行う。また、プロジェクトの推進に関しては、効率性・事業性や課題解決性を常に意識し、経済産業省と協議し、RoAD to the L4のコーディネート機関との総合的な調整に従い、外部有識者や関連事業者、国土交通省、警察庁等の関係省庁等を含め、テーマ1の分科会を設置し、開発計画や開発状況の確認や助言をいただきながら、推進するものとする。

1.3 二ヵ年の活動計画と成果目標

二ヵ年の活動計画と成果目標を以下にまとめて示す。

○2023年度からの永平寺参ろ一ど(南側2km)における自動運転レベル4の事業化を目標として、信頼性の高い市販化モデルとなる車両と自動運行装置の開発、汎用化のモデルとなる遠隔システムと通信システムの開発を行い、2022年度中に自動運転のレベル4の認可、走行審査を受け、サービス実証を実施する。

○自動運転移動サービスの横展開を可能とする対象エリアの拡大を目標として、公道交差部のある永平寺参ろ一ど(北側4km)においては、自動運転レベル3や4での運行を目指した開発を進め、複数台車両の遠隔監視の役割、MRMを含めた安全性の確保、遠隔からの支援等を検討し、サービス実証を実施する。これにより、2023年度以降にテーマ2の対象エリアの拡大に資する車両やシステムの開発を目指す。

○事業モデルや運行条件の整理、評価に関しては、永平寺参ろ一どにおける自動運転のレベル4での事業化をモデルとして、対象エリアの拡大を図ることを目標として、そのために必要となる参照モデルやマニュアルなどの構築を行う。

○通信システムや遠隔システムの開発は、永平寺町用に特化したものではなく、遠隔監視での運行管理などを伴う自動運転移動サービスの実現に欠かせない汎用システムを目標として開発を行う。

ただし、自動運転のレベル4の認可などは、関連する法制度の整備時期や状況によって影響を受けるため、それらを考慮して進めることとする。

以下に、各実施項目における2021年度の活動計画と成果目標の詳細を示す。

表 1.2-1 2021年度の活動計画と成果目標

		2021年度
1.事業モデルの整理	1.事業モデルの整理	○現状の自動運転Lv3とLv4との差分を分析し、事業モデルを整理 ○永平寺町参ろ一どの全域への拡張を想定した事業モデルを整理
2. 運行条件の整理、評価	2-1 遠隔監視1:3の運用実証評価	○Lv4を模擬した遠隔監視1:3の運用実証評価を実施し、Lv4における遠隔監視者に求められるスキルや運用の分析を行い、整備が必要なマニュアルやトレーニング、体制を特定して整理
	2-2 走行以外のタスク実証評価	○全体のサービスプロセスを踏まえ、現状のLv3における走行以外のタスクに対する対応状況を確認し整理 ○Lv4を想定した運用による、走行以外のタスクにおけるリスクを特定し、対策案を検討し整理、体制構築
3. 車両、システムの開発	3-1 車両、システムのLv4化、高度化	○自動運転システムの組込み化(ラビッドプロト)のLv4システム仕様設計、システム仕様書を策定 ○ステレオカメラシステムの機能向上 ソフトウェアの開発、組込み用VGUソフト開発、ソフトウェア仕様の策定 ○カート1台に対して市販化を想定したソナーシステム、前方カメラ、前方ミリ波レーダを組込み動作検証と評価 ○自動運行管理ECUを想定した機能をラビッドプロトタイプのコントロールユニットで実車機能評価 ○交差点エリアでのインフラセンシングの評価 ○実装したアルゴリズム(S/W)に関する設計、評価等のドキュメントの策定 ○機能安全、SOTIFに向けた構想策定
	3-2 遠隔システムのセキュリティ対策	○IoTの標準手法に則ったサイバーセキュリティ対策の実装実施 ○脅威分析・リスク分析の実施 ○機能安全面における車両と連携した安全停止方法、その他対処方法の検討・実装・評価
	3-3 遠隔システムのインターフェース改善	○管制サーバ仕様設計、仕様書の策定 ○現行管制サーバシステム置き換え、管理者UIの改善、ソフトウェア・仕様書の策定 ○開発した遠隔システムを用いて永平寺町での実証実験実施 ○1:3遠隔監視システムの設計・構築 ○車両側カメラ、通信装置等の実装 ○1:3遠隔監視システムの実証評価 ○運用上/技術的な課題の抽出と報告書
	3-4 通信システムのコスト削減、品質向上	○開発した新通信システムを用いて永平寺町での実証実験実施 ○新通信システム(遠隔基盤映像音声伝送システム)のコア機能の基礎設計・実装・機能検証 ○送信機ハードウェア・ソフトウェアの試作・実装

1.4 事業実施体制

本事業は、産総研が全体の取りまとめ役となり、各事業内容の項目に対して、高い知見や研究開発能力を持つ機関を主体とした共同提案の体制を組んで実施する。ただし、本事業は、各事業内容の項目は、相互に深く関連し、連携が必要であることから、参加する全機関とのコンソーシアム形式とし、連携して成果の最大化に留意して行う。また、プロジェクト全体の推進に関しては、外部有識者や関連事業者、経済産業省、国土交通省等の関係省庁等を含むテーマ1の分科会を設置し、開発計画や開発状況の確認や助言をいただきながら、推進するものとする。

以下に実施体制として、テーマ全体を統括するテーマリーダーを設置し、各コンソーシアム機関担当代表を入れた体制図を示す。本事業のテーマリーダー、機関担当代表は、各項目の推進に責任を持って実施する。また、実証地域として、福井県永平寺町と協力を連携をとって進めることとし、さらに、運行事業者となるまちづくり株式会社 ZEN コネクトに対しても、運用面に関して密接に連携をとることとして、すでに永平寺町などと調整済みである。

本プロジェクトの総合調整を行う RoAD to the L4 プロジェクトのコーディネート機関及びプロジェクトコーディネータに対しては、進捗報告などを行い、研究計画や実施内容の方向性や進め方の総合調整を受ける。また、自動運転関連の別テーマとは、コーディネート機関等を通して、ODD の類型化、適用地域の拡大、車両・遠隔システム・通信システム・インフラシステム等の検討などを連携し、テーマ1 の成果が活用されるように努める。また、について、自動車技術会の ITS 標準化委員会と連携し、低速自動運転車両関連の標準化に寄与することとする (ISO の LSAD : Low-speed automated driving への連携協力等)。

以下に、他の機関などとの連携も含めた体制図を示す。

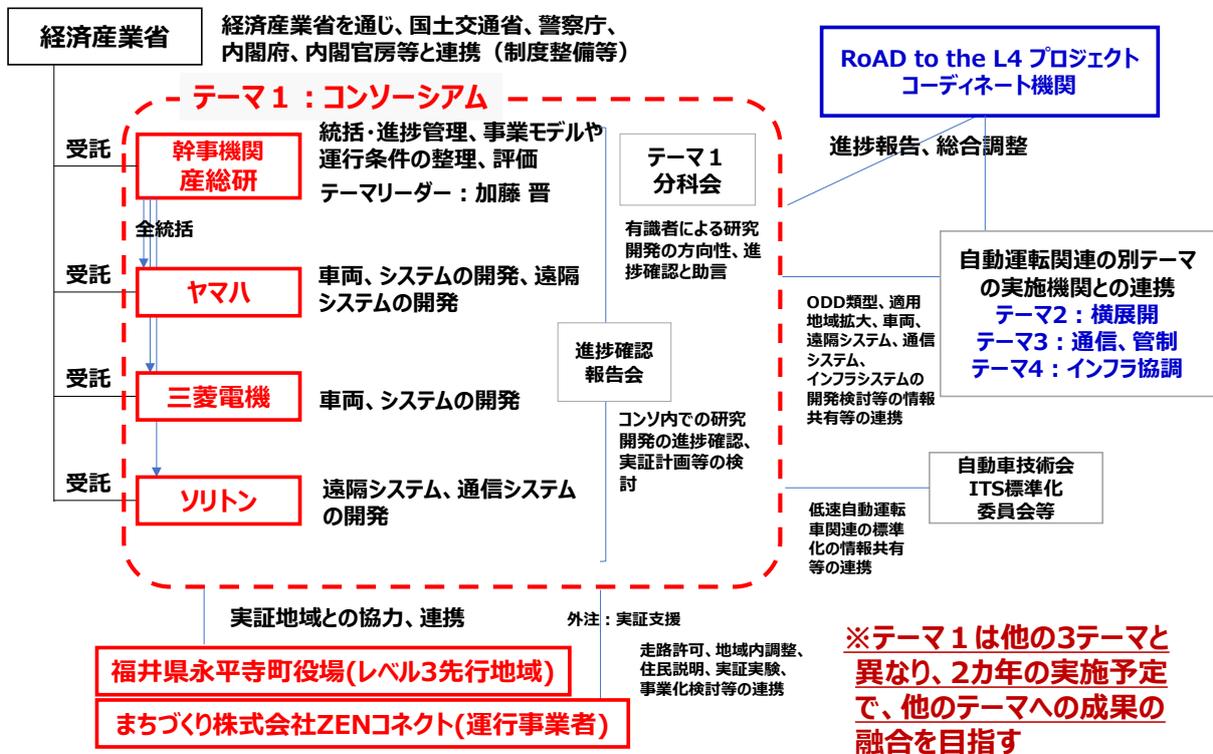


図 1.2-2 2021 年度の実施体制および役割分担

本報告書は、4 機関のコンソーシアムの令和 3 年度の成果をまとめたものであり、全体を幹事機関である産総研がまとめ、第 1 章、第 2 章、第 3 章を主に産総研、第 4 章は研究開発項目毎に、産総研、ヤマハ、三菱電機、ソリトンが分担し、第 5 章は産総研がまとめた。

第2章 事業モデルの整理

2.1 事業モデルの整理

本章では、事業性モデルの整理として、Lv4の自動運転による移動サービスの実現性が高く、実証や事業化が先行する福井県永平寺町の参ろ一どにおける遠隔監視のみの移動サービスを想定して、関係者間の役割の整理を行った。さらに、この事業の前身となっている、2020年度のラストマイル自動走行の実証評価において、作成した、ビジネスモデル版パターン化参照モデルからLv4の事業モデルとして、収支に対する論点が、現行のLv3と変わりなく、付加価値を加えていくことの重要性を導いている。さらに、永平寺と参ろ一どでのLv4の運行シナリオにそったリスクアセスメントを行い、その対策の検討を行い、Lv4の事業におけるリスク享受の検討を行った。

2.1.1 関係者間の役割

永平寺町におけるLv4自動運転移動サービスの実現を目指す上で、運用面・実務的な役割の在り方について、既に事業運行しているLv3自動運転移動サービスをベースに、Lv4無人自動運転サービスを想定した①関係者間の役割の整理等を行った。

以下の図の通り整理結果を示すが、あくまでも現段階の想定の一例であり、変更がありうる（本図では許認可に関する手続は除く）。

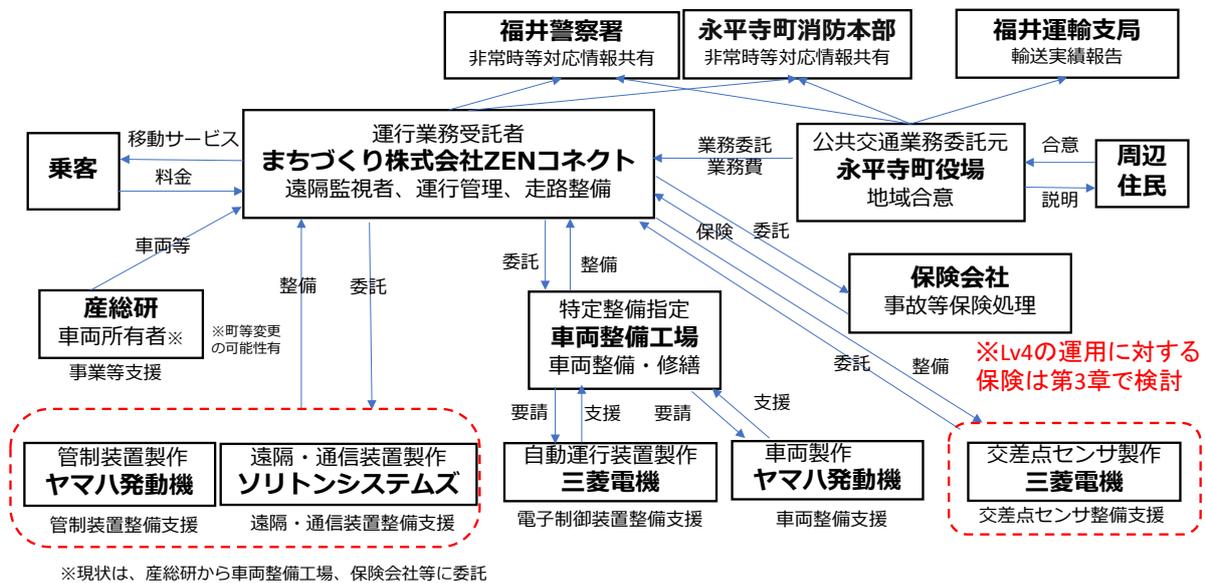


図 2.1.1-1 永平寺町 Lv4 の運用時の関係者間の役割

現在のLv4の開発を考慮した関係者の相関となっているが、横展開を図る時には、役割を基にして誰が担うかということを整理していくことで、整理がつくと考えられる。

2.1.2 ビジネスモデル版パターン化参照モデルを用いた検討

2.1.2.1 ビジネスモデル版パターン化参照モデルの位置付け

ビジネスモデル版パターン化参照モデルを用いた検討において、まず、その位置づけであるが、以下の図に示すように、内閣官房の自動運転官民協議会において、2020年モデルとして提案された「地域移動サービスにおける自動運転導入に向けた走行環境条件の設定のパターン化参照モデル」に対応した、「ビジネスモデル版パターン化参照モデル」を産総研では提案しており、それらの2つのモデルを用いて、地域に即した自動運転車両によるサービス導入検討時に、何について検討していかねばならないかを明確にすることを目的としたものである。

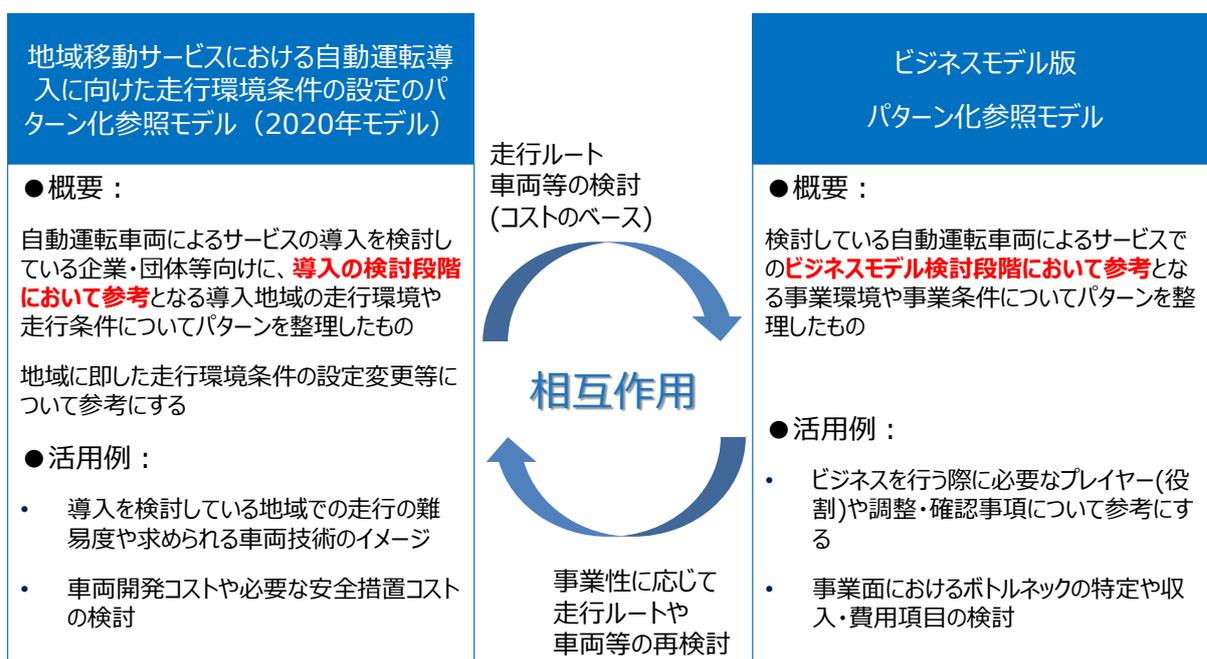


図 2.1.2-1 ビジネスモデル版パターン化参照モデルの位置づけ

走行環境条件の設定のパターン化参照モデルでは、永平寺町の走行環境条件などは、以下のように整理することができる。

事業モデル	ラストワンマイル
実証地域	福井県永平寺町
事業者名	産業技術総合研究所

項目		課題に対応するための技術要素			
		少			多
自然環境	1 時間	日中		夜	大雪は×
	2 天候	晴・曇	雨	雪	霧
走行環境	3 走行コース	直進のみ	左折あり ※右折なし	右折あり (信号あり交 差点、右折信号あり)	右折あり (信号なし交 差点、右折信号なし) 信号なし交差点
	4 公道/閉鎖空間	専用空間内 (敷地内)	専用空間 一部公道と交差	混在交通 周辺交通に制限有	混在交通
	5 運行速度	低速 (~20km/h)		~40km/h	~60km/h
	6 通信環境	良好	自転車歩行者専用道のため自転車 (軽車両)及び歩行者の状況を記載		不良
	7 歩車分離	歩行者自転車用柵等 あり	歩道あり	路側帯あり	路側帯なし
	8 交通量	ほとんどなし		散発的	多い
	9 実勢速度	低速	自転車専用道のため一般車両なし		40km/h程度

技術要素等のオプション		電磁誘導線+RFID			
車両性能	i 運行速度	低速 (~20km/h)	~40km/h	~60km/h	
	ii 位置特定技術 (走行タイプ)	電磁誘導線	磁気マーカー	GPS	LiDAR/センサー
	iii 認識技術 (障害物検知)	なし	ステレオカメラ	レーダー	LiDAR
	iv モニタリング技術 (車内監視カメラ)	なし	あり		+単眼カメラ
人的関与	v 運転手	運転席に乗車	運転席以外に 乗車	遠隔操作/監視 (車内には運転手なし)	
	vi 乗務員	車内見守り	車内事故防止	運転手	

図 2.1.2-2 走行環境条件の設定のパターン化参照モデルへの当てはめ (永平寺町事業)

ビジネスモデル版パターン化参照モデルの作成にあたっては、以下の図に示す、「ビジネスモデルキャンパス」と「公共交通計画手引き」を参照としている。

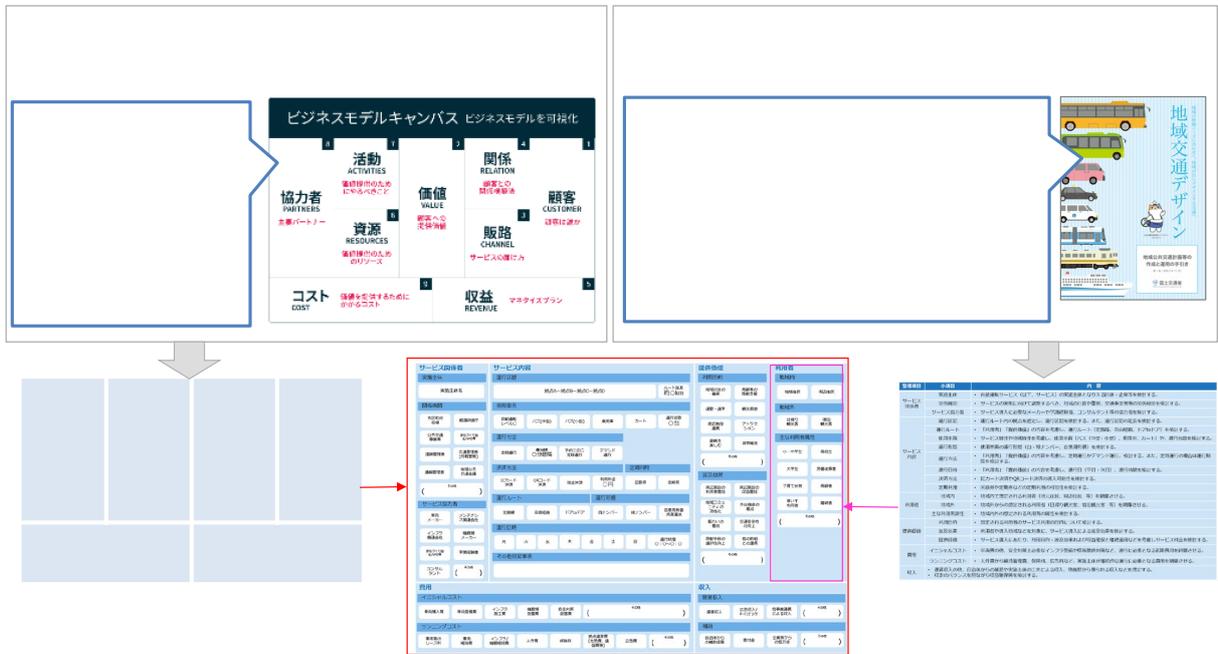


図 2.1.2-3 ビジネスモデル版パターン化参照モデルの作成

ビジネスモデル版パターン化参照モデルにおけるモデル構成および整理項目を以下の図で示す。これを永平寺町での Lv4 の事業を想定して当てはめ、さらに相関関係から、事業としての重要な検討事項を導き出した例（赤枠と矢印）を図で示す。これらのことから、レベル4での自動運転移動サービスを実現した際に、収支のバランスにおいては、乗客数が限られる地方部の移動サービスでは運賃収入だけでは成り立たないことが、容易に想定されるため、移動サービスだけでなく、何らかの付加価値を設けることが必要である。

サービス関係者	サービス内容	提供価値	利用者
実施主体 実施主体名 関係機関 市区町村役場 都道府県庁 公共交通事業者 まちづくり会社/NPO等 道路管理者 交通管理者(所轄警察) 運輸管理者 地域公共交通会議 (その他) サービス協力者 車両メーカー メンテナンス関連会社 インフラ関連会社 機器類メーカー まちづくり会社/NPO等 学識経験者 コンサルタント (その他)	運行区間 拠点A～拠点B～拠点C～拠点D ルート延長約〇km 使用車両 自動運転レベル〇 バス(中型) バス(小型) 乗用車 カート 運行台数〇台 運行方法 定時運行 運行頻度〇分間隔 予約に応じ定時運行 デマンド運行 決済方法 定期利用 ICカード決済 QRコード決済 現金決済 利用料金〇円 回数券 定期券 運行ルート 運行形態 定路線 自由経路 ドアtoドア 白ナンバー 緑ナンバー 自家用有償旅客運送 運行日時 月 火 水 木 金 土 日 運行時間 〇:〇～〇:〇 その他特記事項	利用目的 地域の足の確保 高齢者の移動支援 通勤・通学 観光周遊 周辺施設連携 アトラクション 景観を楽しむ 貨物輸送 (その他) 波及効果 周辺施設の利用者増加 周辺施設の収益増加 地域コミュニティの活性化 外出機会増加 賑わいの増加 交通安全性の向上 移動手段の選択性向上 他の取組との連携 (その他)	地域内 地域住民 周辺住民 地域外 日帰り観光客 宿泊観光客 主な利用者属性 小・中学生 高校生 大学生 労働従事者 子育て世帯 高齢者 車いす利用者 障害者 (その他)
費用 イニシャルコスト 車両購入費 車両整備費 インフラ施工費 機器類設置費 安全対策設置費 (その他) ランニングコスト 車両等のリース料 車両維持費 インフラ/機器維持費 人件費 保険料 拠点運営費(光熱費、通信費等) 広告費 (その他)	収入 営業収入 運賃収入 広告収入/スポンサー費 他事業連携による収入 (その他) 補助 自治体からの補助金等 寄付金 企業等からの協力金 (その他)		

図 2.1.2-4 ビジネスモデル版パターン化参照モデル (モデル構成および整理項目)

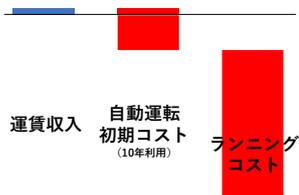
サービス関係者	サービス内容	提供価値	利用者
実施主体 まちづくり株式会社 ZENコネクスト 関係機関 市区町村役場 都道府県庁 公共交通事業者 まちづくり会社/NPO等 道路管理者 交通管理者(所轄警察) 運輸管理者 地域公共交通会議 (その他) サービス協力者 車両メーカー メンテナンス関連会社 インフラ関連会社 機器類メーカー まちづくり会社/NPO等 学識経験者 コンサルタント (その他)	運行区間 自動運転レベル4の遠隔監視による運行 ルート延長約2km 使用車両 自動運転レベル4 バス(中型) バス(小型) 乗用車 カート 運行台数3台 運行方法 定時運行 運行頻度〇分間隔 予約に応じ定時運行 デマンド運行 決済方法 定期利用 ICカード決済 QRコード決済 現金決済 利用料金100円 回数券 定期券 運行ルート 運行形態 定路線 自由経路 ドアtoドア 白ナンバー 緑ナンバー 自家用有償旅客運送 運行日時 月 火 水 木 金 土 日 運行時間 9:00～16:00 その他特記事項	利用目的 地域の足の確保 高齢者の移動支援 通勤・通学 観光周遊 周辺施設連携 アトラクション 景観を楽しむ 貨物輸送 (その他) 波及効果 周辺施設の利用者増加 周辺施設の収益増加 地域コミュニティの活性化 外出機会増加 賑わいの増加 交通安全性の向上 移動手段の選択性向上 他の取組との連携 (その他)	地域内 地域住民 周辺住民 地域外 日帰り観光客 宿泊観光客 主な利用者属性 小・中学生 高校生 大学生 労働従事者 子育て世帯 高齢者 車いす利用者 障害者 (その他)
費用 イニシャルコスト 車両購入費 車両整備費 インフラ施工費 機器類設置費 安全対策設置費 (その他) ランニングコスト 車両等のリース料 車両維持費 インフラ/機器維持費 人件費 保険料 拠点運営費(光熱費、通信費等) 広告費 (その他)	収入 営業収入 運賃収入 広告収入/スポンサー費 他事業連携による収入 (その他) 補助 自治体からの補助金等 寄付金 企業等からの協力金 (その他)		

レベル4の本格運行により地域としての魅力向上
 ドライバー人件費の削減
 報道等により興味を持った人が利用し、運賃収入増を期待する(と納税)

図 2.1.2-5 モデル使用例 (福井県永平寺町 LV4による 1:3 ケース)

- ◆ 新規路線としての自動運転移動サービスの導入（永平寺町）における収支
 - ・ 前提：量産車両の完全無人化の想定（ただし遠隔監視）、利用数は実証に基づき算出

永平寺町での収支例（3台導入）
過疎地・観光地モデル



- 収支が赤字
- 採算性成立
 - ・ 利用者数を増やす工夫、付加価値(広告、案内、警備、貨客混載、イベント等)
 - ・ 自治体による補助金や支援金
 - ・ ホテル、商業施設と連携した費用負担の体制構築

図 2.1.2-6 自動運転移動サービスの導入（永平寺町）における収支検討例

2.2 Lv4での運用を想定したリスクアセスメント

2.2.1 立会調査・現地ヒアリング

2.2.1.1 調査実施日

福井県永平寺町におけるリスクアセスメントの調査を実施した。
立会調査及び運行条件に関するヒアリングは以下に日時で実施した。

【12月2日（木曜日）】

No.	時間	調査（作業）項目
1	PM 1:00	東古市停留所、荒谷停留所へそれぞれ到着
2	PM 1:00～3:00	交通流調査
3	PM 3:00～PM 4:00	道路構造調査
4	PM 4:00	調査終了

【12月3日（金曜日）】

No.	時間	調査（作業）項目
1	AM 9:00	東古市停留所、荒谷停留所へそれぞれ到着
2	AM 9:00～AM 11:30	交通流調査
3	PM 1:00～PM 2:00	永平寺町 ヒアリング
4	PM 3:00～PM 4:00	まちづくり株式会社 ZEN コネクト ヒアリング
5	PM 4:00	調査終了

2.2.1.2 確認項目（未定稿）

立会調査及びヒアリングにおいて調査・確認した項目を以下に示す。

(1) 立会調査項目

【乗降地（東古市～荒谷）周辺】

No.	種別	項目
1	道路状況の特徴	舗装面の状況
2		車道・歩道の段差の有無
3		乗降客からの死角の有無 (有の場合：どのような構造物か)
4		路面標示の状況
5		注意喚起・案内表示の状況
6	付帯施設の状況	遠隔カメラ、スピーカーの状況
7	走行車両の特徴	車両走行位置
8	乗降客の状況	乗降位置

【乗降地（東古市～荒谷）間】

No.	種別	項目
1	道路状況の特徴	車路幅員の状況
2		舗装面の状況
3		落下物の有無
4		GSM、歩行者等からの死角の有無 (有の場合：どのような状況か)
5		路面標示の状況
6		注意喚起・案内表示の状況
7		ガードレール等防護柵の状況
8	走行車両の特徴	車両走行位置
9	沿道の状況	斜面の状況
10		樹木の状況
11	歩行者・自転車の状況	歩行者/自転車/ランニング等 通行者の方向

(2) ヒアリング項目

同日、まちづくり株式会社 ZEN コネクト、および永平寺町に対してヒアリングを実施した。ヒアリング項目については以下の通りである。

概要	ヒアリング項目
L3 運用の現状	<ul style="list-style-type: none">・オペレーション体制・実運用とマニュアル等の相違
サービス運用 全体の課題	<ul style="list-style-type: none">・イレギュラー事象の発生状況・運用上の課題、問題認識

2.2.2 リスクアセスメント、低減策検討の実施

立会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基に、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）およびリスク低減策の検討を実施した。

以下ではリスクアセスメント、リスクの低減策の手法について記述する。本実証実験におけるこれらの適用結果は、4. 作業実施結果にて記載する。

2.2.2.1 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、立会調査における現地関係者（永平寺町、ものづくり株式会社 ZEN コネクト）へのヒアリングの他、永平寺町でのこれまでの産総研の実証実験に関連するドキュメントを踏まえ作成した。

表 2.2.2-1 参照ドキュメント（昨年度）

No.	
1	【資料4】公道走行 WG 論点 整理表(永平寺) rA1
2	【資料5】永平寺ラストマイル（自動運行装置搭載車）の公道実証計画 rA1
3	永平寺 Lv3 に向けた JARI 試験の補足説明 Jr6
4	永平寺町自動走行運行マニュアル
5	事故発生時対応
6	実施計画書（永平寺町自動走行移動サービス 2020 年度実証）
7	車両システム始業前点検
8	点呼記録簿
9	実証利用実績
10	自家用有償旅客運送についてよくあるご質問
11	自家用有償旅客運送の変更登録の申請

2.2.2.2 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。

表 2.2.2-2 ハザード洗い出しの観点

洗い出しの観点	観点の例示
利用者の属性	年齢、介助の要否、地域住民、旅行者、外国人
運行計画	運行中止基準、システムマニュアル
乗降シーン	乗車時の待機状況、状況取扱
遠隔監視者	車両の回送、運行開始指示、監視
環境	路面、天候、参ろ一ど上の通行者
運転挙動	発進、一時停止、停車、緊急時挙動
緊急時対応	利用者の体調不良、利用者同士のトラブル、事故、火災
災害・大規模障害	地震、豪雨、停電、通信障害
その他	保安要員の不在、住民・観光客の理解

2.2.2.3 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、「危害の酷さ（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。危害の酷さ（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。

リスク点数(R) = 危害の酷さ（影響：S） × 危険の発生確率(Ph)

※危険の発生確率(Ph) = 頻度(F) + 確率(Ph) + 回避(A)

「危害の酷さ」については、リスク事象の発現により発生する「危害」を大きく「人身傷害」、「財物損壊」、「運行（サービス）遅延・停止」の3つの観点を特定し、これらの観点から最小1点、最大4点と定義づけた。4段階による評価は、経済産業省が発出している製品安全にかかる「リスクアセスメント・ハンドブック」等¹⁾を参照し、人身傷害については警察庁交通局より毎年公表される前年中に発生した「交通事故の発生状況」²⁾における分類を踏まえ、段階を特定した。物損に関しては、人身傷害における類型をもとに段階を特定した。またサービス遅延・停止については、定時性が求められる鉄道事業者が国土交通省へ報告する必要が発生する「輸送障害」（30分以上の輸送遅延が発生）³⁾を踏まえ段階を特定した。

表 2.2.2-2 危害の酷さ（影響）

危害の酷さ （影響）	4	3	2	1	備考
人身傷害	死亡、重傷 （全治30日以上を 要する）	軽傷 （全治30日未満）	軽傷未満だ が、医療機関 での診察を受 けた場合	ケガ無し／医 療機関での診 察を受けない 程度のケガ	第三者の場合は +1 （4の場合は据え置き）
財物損壊	車両の全損	長期にわたっ て修復が必要 な破損 （費用：大）	短期で復旧・ 修復が可能な 破損 （費用：小）	無傷／利用に 影響ない レベル 応急処置で修 復可能な破損	第三者資産の場合 は+1 （4の場合は据え置き）
運行遅延・ 停止	実証中断 運行再開の 目途を案内 できない状態	実証中断 翌日から再開 可能	実証中断 半日程度の 中断	30分以内の 遅延	

複合時の取扱い：「3」以上の影響が複数存在する場合は、影響度は「4」とする

【注】

- 1) 経済産業省 「リスクアセスメント・ハンドブック【第一版】」「リスクアセスメント・ハンドブック【実務編】」
- 2) 警察庁交通局 「令和2年中の交通事故の発生状況」
- 3) 国土交通省 「運輸省令第8号 鉄道事故等報告規則」（昭和62年2月20日）

「危険の発生確率」については、以下の3つの指標の和として表現されるが、それぞれ以下の通り定義づけた

指標	定義
頻度	実証実験にて確認された、あるいはされなかった事象、立会調査における確認事項を踏まえ、「頻繁」、「時々」、「まれ」の3段階で点数を特定した。
確率	「高い」、「起こり得る」、「起こりがたい」、「まれ」の4段階で評価した。評価にあたっては実証実験における確認事象、立会調査における確認事項や、当社における同型の車両を用いた実証実験における確認事象を踏まえ、原因事象・行為ごとに基準を設定した。 また、自動運転レベル4で想定される、「保安要員」が車内にいないことにより生じるリスクについては、通常の保安要員がいる平日運行と比較し発生確率を高く見積もった。
回避可能性	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点と評価した。対策等で回避が可能なリスク事象については1点と評価している。

上記の算式を踏まえ特定したリスク点数から、対策の優先度合いを定義づけるため、優先度の指標となる領域を定めた。優先度は3つの要素から構成され、A領域に該当するもの、B領域のうち点数が高いものについて優先的に対策案を検討した。

A領域 … リスクが低減できない場合は許容できない領域（例：リスク点数 18点～40点） ⇒リスクが実際に「起こり得」、且つそれが回避・制限できる可能性が低い事象であり、死亡やサービス等の停止につながるものと定義（＝対策が必要）
B領域 … リスク低減策の実現性を考慮しつつ最小のリスクまで低減すべき領域（例：リスク点数 7点～17点） ⇒A領域、C領域以外をB領域と定義（＝可能な限り対策を講じることが望ましい）
C領域 … 受容可能な領域（例：リスク点数 3点～6点） ⇒リスクの発生が「低い」事象、又は危害の影響が「一時的」であるものと定義

図 2.2.2-1 リスク点数の分類

2.2.3 ルートアセスメント

2.2.3.1 交通実態に基づくハザードの洗い出し

調査を実施した東古市停留所から荒谷停留所間には、16箇所の交差箇所が存在する。各交差箇所に応じ交通流や道路構造に着目し調査を実施した。

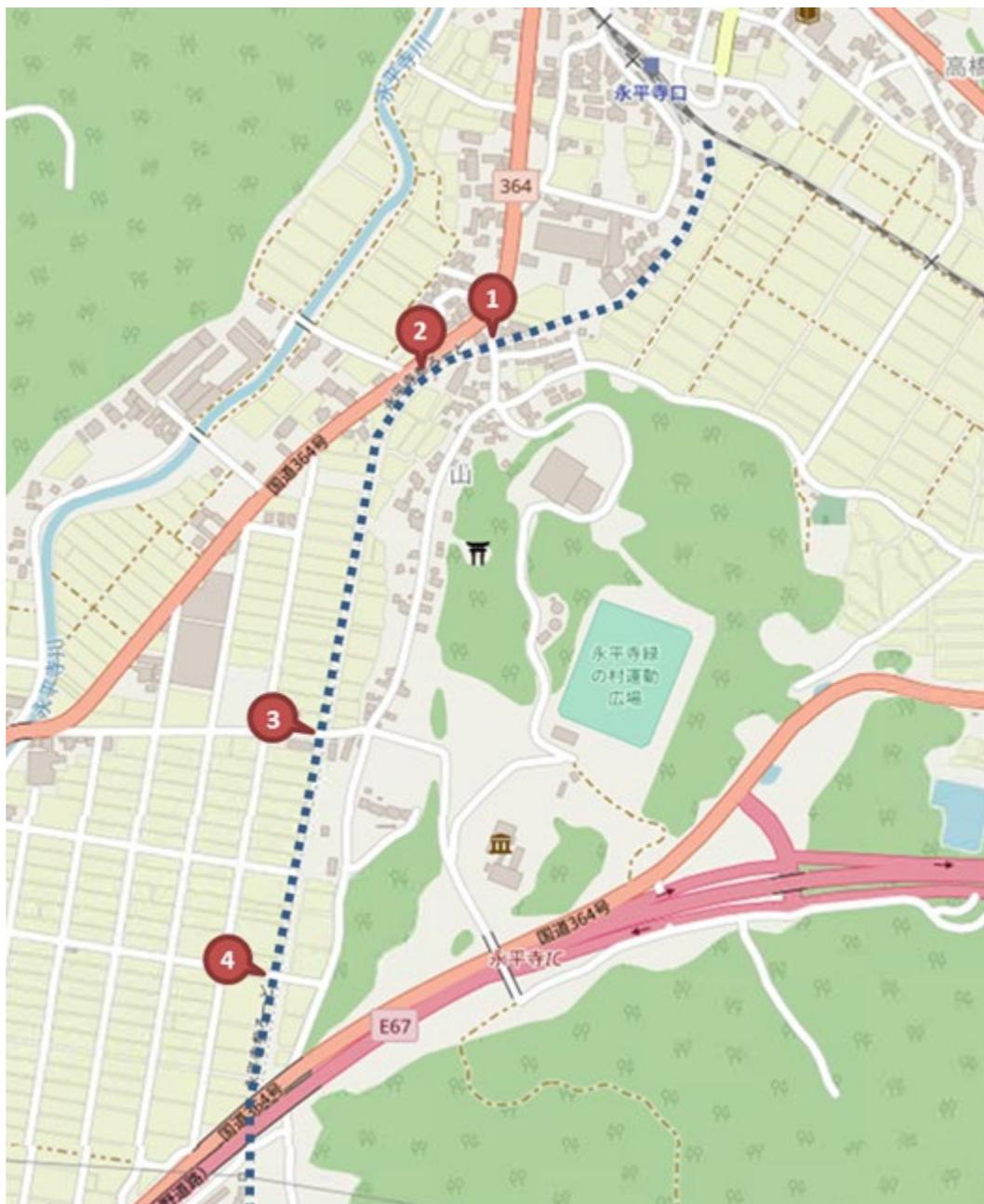


図 2.2.3-2 走行路①

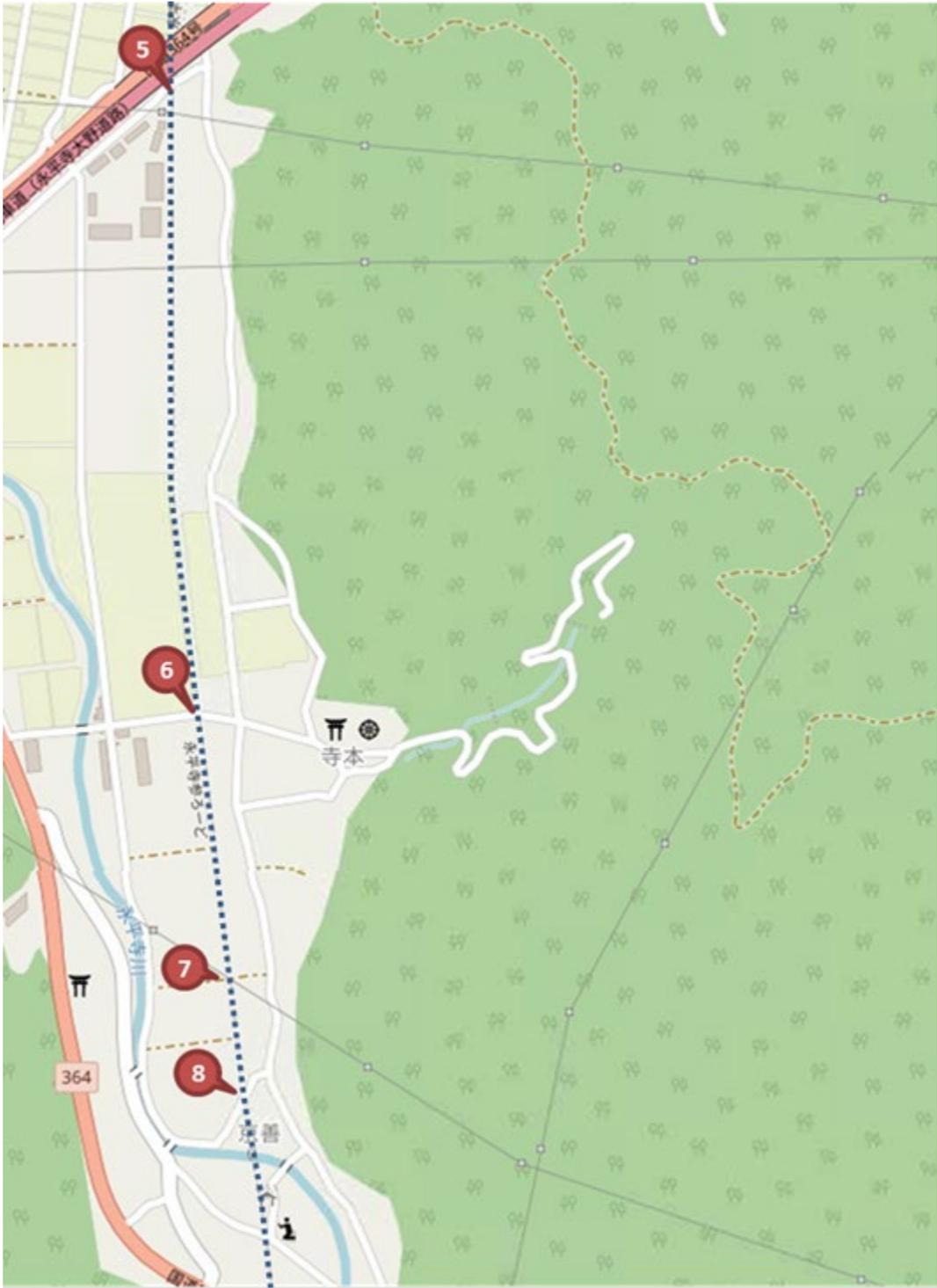


图 2.2.3-3 走行路②



図 2.2.3-4 走行路③



図 2.2.3-5 走行路④

16カ所の交差箇所において、自動車、歩行者、自転車等の走路状況を確認した。また、一定の交通流が確認される交差箇所については、簡易に速度の計測を実施した。

多くの交差箇所においては午前、午後の時間帯ともに、16の荒谷交差点を除き走行頻度の多い交差箇所は確認されなかった。ただし、一部交差箇所においては、交差点進入時に徐行を行わず通過する場面が見られ、それらの交差箇所に関しては他の交差箇所と比べて車両同士の接触リスクが高いと考えられるため、何らかのリスク低減策を講ずることが望ましいと考えられる。

以下では交通流が確認された交差箇所につき、交通流・道路構造からの想定されるリスク事象を考察する。

表 2.2.3-1 交通流（集約版）

No.	午前								午後							
	A※				B※				A※				B※			
	自動車	速度 (参考)	歩行者	二輪・ 自転車												
1	3	28.3km	1	0	2	25.9km	2	0	1		0	0	2		0	0
2									0		0	0	0		1	0
3	0		2	0	1	12.9km	2	0	0		0	0	3		0	0
4									0		2	0	0		0	0
5									0		2	0	0		0	0
6	0		1	0	1	36.7km	0	0	2		0	0	1		0	0
7									0		0	0	0		0	0
8									0		1	0	0		0	0
9	0		0	0	0		0	0	1		0	0	0		0	0
10	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0
11	1		0	0	2		0	0	3		0	0	7		多数	0
12	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0
13	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0
14	0		0	0	0		0	0	1		0	0	1		0	0
15	0		0	0	0		0	0	0		0	0	0		0	0
16	13	42.5km	0	0	12	40.0km	0	0	16	43.2km	0	0	14	37.9km	0	0

※A：1～9の交差箇所においては西側から東側へ、10～16の交差箇所においては南側から北側へ通行した車両や歩行者の数
 ※B：1～9の交差箇所においては東側から西側へ、10～16の交差箇所においては北側から南側へ通行した車両や歩行者の数

(1) 交差箇所 1

当該交差箇所では、AM・PMともに数台の自動車の走行が確認された。20km/h程度の速度での走行が確認された。交差箇所は民家等があり、参ろ一ど側、公道側いずれからも死角が生じるが、東側から西側への横断に関してはミラーが設置されており参ろ一ど上の走行車両を確認することができる（図 4-5～図 4-8）。



図 2.2.3-6 交差箇所(東古市側から撮影)



図 2.2.3-7 交差箇所(荒谷側から撮影)

付近を走る国道 364 号線から分岐する道路がある。国道 364 号線は片側 1 車線の道路で 50 km/h の速度制限がなされている。図のとおり「徐行」の道路ペイントがあるものの、一定の速度で交差点に進入し、車両と接触するリスクが他の交差箇所より高いことが想定されることから、交差点手前（交差点端から 10m～15m 手前）への自動運転車両が交差する旨の法定外看板の設置や道路反射鏡の増設が考えられる。



図 2.2.3-8 交差箇所(東側から撮影)



図 2.2.3-9 交差箇所(西側から撮影)

(2) 交差箇所 3

当該交差箇所では数台の車両の走行と歩行者の通行が確認された。当該交差箇所は死角になるような建物等はなく、見通しのよい交差点となっている。



図 2.2.3-10 交差箇所(東古市側から撮影)



図 2.2.3-11 交差箇所(荒谷側から撮影)

(3) 交差箇所6

当該交差箇所では数台の車両の走行と歩行者の通行が確認された。当該交差箇所は死角になるような建物等はなく、見通しのよい交差点となっている。



図 2.2.3-12 交差箇所(東古市側から撮影)



図 2.2.3-13 交差箇所(荒谷側から撮影)

(4) 交差箇所9

午後に1台の車両通行が確認されたものの、車両通行は他の箇所と比べても少なくなっている。交差している公道は単路で、交差箇所1と比較した場合には高速度での走行はしづらい環境となっている。



図 2.2.3-14 交差箇所(東古市側から撮影)



図 2.2.3-15 交差箇所(荒谷側から撮影)

影)

影)

(5) 交差箇所 1 1

当該交差箇所は小学校の駐車場への進入路であり、夕方の下校時には迎えの車両、下校の小学生の往来が多く確認された。交差箇所自体は見通しがよく、車両は徐行し進入していた。小学生の往来があるため、速度を落として走行しているものと思われる。



図 2.2.3-16 交差箇所(東古市側から撮影)



図 2.2.3-17 交差箇所(荒谷側から撮影)



図 2.2.3-18 車両の交差(停止線で一時停止)



図 2.2.3-19 下校中の児童と付き添い教員

また、下校に自動運転車両を用いる場面も確認された。停留所が明確に定められておらず、交差点内で車両を待つシーンが確認された。走行車両との接触を誘発するリスクがあると考えられ、一定の乗降が見込まれる停留所に関しては、安全な待機場所を明示しておくこと等が考えられる。



図 2.2.3-20 路上で車両を待つ様子



図 2.2.3-21 看板付近で車両を待つ様子

(6) 交差箇所 1 4

午後に 1 台の車両通行が確認されたものの、車両通行は他の箇所と比べても少なくなっている。



図 2.2.3-21 交差箇所(東古市側から撮影)



図 2.2.3-22 交差箇所(荒谷側から撮影)

(7) 交差箇所 1 6

当該交差箇所は電磁誘導線の敷設がされておらず、北側レベル 3 運用の場合においても、車内保安要員による手動走行、あるいは遠隔監視システムによる手動走行が必要となる。国道 364 号との交差箇所であり、一定の交通量、かつ時速 40 kmほどの速度での走行が確認された。

レベル 2 運用においては手動運転にて走行しており、周囲の交通流等を見極めて走行を行っている。レベル 3 かつ遠隔監視室からの遠隔操作による走行とする場合は、遠隔監視室より国道 364 号の走行状況が確実に把握でき、かつ遠隔操作による遅延が極力生じない形をとらないと、高速度の車両との接触リスクが高くなると考えられるため、横断部が確認できる遠隔カメラの設置及び国道 364 号を走行する車両に対して、自動運転車両の発進と連動した注意喚起標示機や回転灯の設置が考えられる。



図 2.2.3-22 交差箇所(東古市側から撮影)



図 2.2.3-23 交差箇所(荒谷側から撮影)

2.2.4 リスクアセスメントの実施

2.2.4.1 プロセスの整理

ドキュメントをもとにプロセスを整理した。プロセスに関連するステークホルダーとして、「利用者」、「遠隔監視者（荒谷2名、志比1名）」、「永平寺町・ZEN コネクト」、「産総研」を特定し、運行前、運行中、運行後のプロセスを特定した。なお、運行プロセスについては、【別紙】リスクアセスメントシートの「フロー（休日南）」、「フロー（平日北）」タブを参照されたい。

2.2.4.2 ハザードの洗い出し

ハザードの洗い出しの結果、休日のレベル4 運行において215 のリスク事象を特定した。リスク事象のうち、レベル4 運用（遠隔監視を常時必要としない、トラブル時に遠隔地に駆けつける必要がある など）を前提としたものと通常の運行時リスクを分けて記述している（詳細は【別紙】を参照されたい）。

2.2.4.3 リスク分析・評価

上記にて整理した分析・評価手法に沿って洗い出したハザードを分析したところ、A 領域として12 の事象を特定した。特定した事象は以下のとおりである。

運行前	地震が発生した
	風水災により車両が水没した
	火災により車両が損傷した
	走路の舗装が劣化していた
運行中	補助の必要な乗客が自力で降車する際に転倒
緊急時 対応	遠隔監視者が現場に駆け付けるまでに時間を要した
	遠隔監視者がモニター付近におらず、事故発生を認識できなかった
	代替の移動手段が手配できなかった
	代替の移動手段の手配が予定していた時間より長くかかってしまった
	事故原因が特定できず、責任主体が明確にならなかった
	運行後、遠隔監視者が新型コロナウイルスに感染していたことが判明した

	運行後、利用者の一人が新型コロナウイルスに感染していたことが判明した
--	------------------------------------

2.2.4.4 リスク低減策の検討

特定されたリスク事象に対するリスク低減策を検討した。

	リスク事象	リスク低減策
運行前	地震が発生した	<ul style="list-style-type: none"> 緊急時対応手順の作成：自然災害(予見可能・不可の場合) 緊急時再現訓練による定期的なスキル向上 サービス復旧までの手順作成
	風水災により車両が水没した	<ul style="list-style-type: none"> 緊急時再現訓練による定期的なスキル向上 サービス復旧までの手順作成
	火災により車両が損傷した	<ul style="list-style-type: none"> 緊急時対応手順の作成：代替車両の手配が必要な場合 緊急時再現訓練による定期的なスキル向上
	走路の舗装が劣化していた	<ul style="list-style-type: none"> 破損発生時の問合せ先の明確化 定期的なインフラ点検手順の策定
運行中	補助の必要な乗客が自力で降車する際に転倒	<ul style="list-style-type: none"> 緊急時対応手順の作成：運行中の人身対物事故 緊急時再現訓練による定期的なスキル向上
緊急時対応	遠隔監視者が現場に駆け付けるまでに時間を要した	<ul style="list-style-type: none"> 緊急時対応手順の作成 緊急時再現訓練による定期的なスキル向上 対応可能エリアへの要員配置
	遠隔監視者がモニター付近におらず、事故発生を認識できなかった	離席時代替要員の配置
	代替の移動手段が手配できなかった	<ul style="list-style-type: none"> 緊急時の代替移動手段手配の手順作成 定期的な緊急時の対応訓練の実施
	代替の移動手段の手配が予定していた時間より長くかかってしまった	<ul style="list-style-type: none"> 定期的な緊急時の対応訓練の実施
	事故原因が特定できず、責任主体が明確にならなかった	<ul style="list-style-type: none"> 正常系走行フローの定義 正常系を逸脱した場合の報告フロー整備
	運行後、遠隔監視者が新型コロナウイルスに感染していたことが判明した	感染症対策マニュアルに沿った対応
	運行後、利用者の一人が新型コロナウイルスに感染していたことが判明した	

今後、リスク低減策については、車両やシステムの技術開発に応じて、技術での解決や走行環境の改善などでの解決、運用面での解決等、コスト低減も考慮して検討し、永平寺町でのレベル4の自動運転移動サービスとしての実現を目指していく予定である。

第3章 運行条件の整理、評価

3.1 遠隔監視1：3の運用実証評価

3.1.1 遠隔監視での1：3の運用の実証評価

永平寺参ろ一どの南側2kmのLv4の運行は、まずは、現行のLv3と同様に、遠隔監視1：3を想定している。これらの運用の有効性、安全性等を、実証評価する必要があるため、関連する運行条件の整理・評価を実施した。

遠隔監視1：3の運用のLv4の運行業務プロセスを特定してリスク事象の洗い出し、リスクの評価を実施し、対策案の検討を実施、運行対応を整理した。これは、第2章において示した、Lv4を想定したリスクアセスメントの実施とその評価に示している。

まや、車両に仮設した遠隔システム等を用いた模擬運用実証評価の実施による有効性を検証している。これは、次の第4章での遠隔システムの開発の実証として、示している。

3.1.2 遠隔監視者の役割や習熟度、対応能力等の要件の整理

遠隔監視者の役割として、永平寺町でLv4を目指す上での運用面・実務的な役割の在り方について、事業運行している現行のLv3を参考にして、①遠隔監視の在り方の調査検討を行った。

「限定地域での無人自動運転移動サービスにおいて旅客自動車運送事業者が安全性・利便性を確保するためのガイドライン（令和元年6月 国土交通省自動車局）」に、Lv4において旅客自動車運送事業者として、対応することが必要とされる事項が示されており、そのうち、運行時の遠隔監視者の監視等による安全確保措置には、特に以下があげられる（永平寺町のLv3を参考）。

- **旅客の安全の確保**：旅客の乗降時の安全の確保 ⇒ ○遠隔から車室内及び車外の状況を把握、乗車中の旅客の安全の確保 ⇒ ○遠隔から車内にアナウンスする装置等を活用
- **運送実施のための体制整備**：運行情報の入力 ⇒ ○車両内自動、遠隔対応、運行中における車両位置の把握 ⇒ ○遠隔での位置把握、運賃及び料金の払戻し ⇒ ×遠隔は不可、後から対応
- **旅客の利便性の確保**：苦情処理、旅客及び公衆に対する応接等の対応 ⇒ ○遠隔から音声対話で応接、高齢者、障害者等に対する介助等の支援 ⇒ ×無人時介助支援は不可、事前予約で支援対応
- **非常時等の対応、連絡体制の整備**：以下の①～⑦対応すべき非常時等の状況における発生の有無、発生時の旅客の状況、発生した場所等を把握：①運行を中断したとき、②事故により旅客等が死傷したとき、③旅客が車内において法令の規定、公の秩序、善良の風俗に反する行為をするとき、④天災等（天災、異常気象、路線障害（土砂崩壊、路肩軟弱等）等）により輸送の安全の確保に支障が生ずるおそれがあるとき、⑤車両の重大な故障を発見し、又は重大な事故が発生するおそれがあるとき、⑥安全な運行に支障がある箇所を通過するとき、⑦踏切内で運行不能となったとき ⇒ ○状況把握、現場急行体制の整備等、遠隔地から対応する体制を

整備して対応と、予め明確にして関係者間で共有

- ・ **降車、乗車及び発車は遠隔監視者が対応**：Lv4としてどのような判断や操作が許容されるのかは、要検討事項であり、認可の範囲にも影響を受ける。

上記にしてしたものでは、現行の運行においても対応が難しい事項があり、現実的な移動サービスとしての対応と遠隔監視者に求められる役割については、責任の所在や許容される事項の有無（他の代替え手段等も含め）等は整理が必要と考える。

表 3.1-1 国交省のガイドラインに基づく遠隔監視のあり方の検討

ガイドラインにおける検討対象項目		検討結果
旅客の安全の確保	・旅客の乗降時の安全の確保	遠隔から車室内及び車外の状況を把握することで対応可能。
	・乗車中の旅客の安全の確保	遠隔から車内にアナウンスすることのできる装置等を活用することで対応可能。
非常時等の対応、連絡体制の整備	①運行を中断したとき ②事故により旅客等が死傷したとき ③旅客が車内において法令の規定、公の秩序、善良の風俗に反する行為をするとき ④天災等（天災、異常気象、路線障害（土砂崩壊、路肩軟弱等）等）により輸送の安全の確保に支障が生ずるおそれがあるとき ⑤車両の重大な故障を発見し、又は重大な事故が発生するおそれがあると認めるとき ⑥安全な運行に支障がある箇所を通過するとき ⑦踏切内で運行不能となったとき	状況把握、現場急行体制の整備等、遠隔地から対応する体制を整備し、対応する内容を予め明確にして関係者間で共有することで対応可能。
運送実施のための体制整備	・運行情報の入力	遠隔による入力に対応可能。
	・運行中における車両位置の把握	遠隔による位置把握は可能。
	・運賃及び料金の払戻し等	遠隔での対応は困難。遠隔で対話し、事後対応。
旅客の利便性の確保	・苦情処理、旅客及び公衆に対する応接等の対応	遠隔による音声対話で応接可能
	・高齢者、障害者等に対する介助等の支援	介助支援は困難。事前予約で対応可能。

自動運転に関連する法規として、道路交通法があるが、2022年3月4日に道路交通法の改正が閣議決定され、国会へと提出となっている。自動運転関連としては、レベル4の運行に関わるものがあり、成立すれば、2023年にもレベル4での公道での運行が実現される。今赤で、自動運転に関連する事項として報道されている内容を以下に整理して示す。

- ・ レベル4の車両の運行を「特定自動運行」とし、従来の「運転」と区別して定義
- ・ レベル4の移動サービス事業者は、走行場所の都道府県公安委員会に経路や運行日・時間帯、運送の対象者・物などの運行計画を提出し、事前許可（許可制）を義務付け。
 - ・ 公安委には地元の意向確認として路線地域の市町村長からの意見聴取も義務付け。
 - ・ 無許可や計画外運行は罰則（許可の取り消しや6カ月までの効力停止等）。
- ・ 移動サービス事業者には「特定自動運行主任者」の配置を義務付け。主任者は遠隔で運行を監視（一人で複数台運行も可能）。
 - ・ 事故が起きた際の通報や救護など運転者と同様の義務付け（対応体制整備が必須。違反すれば罰則対象：5年以下の懲役または50万円以下の罰金、事業者へ

の両罰規定も有)。

- ・ 自動車運転死傷行為処罰法違反ではなく、事業者や主任者が刑法の業務上過失致死傷罪に問われる可能性。

これを基に、遠隔監視者：特定自動運行主任者（道交法改正案）の主な運行中の役割（レベル4）の主に想定されるものを以下に示す。

- ・ 特定自動運行中は、遠隔から車両位置や状態を監視
 - ・ 常時監視は不要：どれくらいの頻度と情報等の監視が必要かは要検討・協議
- ・ 特定自動運行の走行を維持できない場合（ODD外）、MRMで自動停止、特定自動運行主任者にMRMの発生を通知
 - ・ 特定自動運行主任者が運行の継続のための対応を実施（状況判断をするための情報は遠隔システムから取得）
- ・ 乗客の呼出ボタン、緊急停止ボタンの操作された場合、特定自動運行主任者に通知
 - ・ 特定自動運行主任者が乗客との対話等対応、緊急停止の状況判断などの対応を実施

道交法の改正により、これまでの検討に対しての影響はほとんどないと考えられるが、今度、詳細については注視が必要である。

3.2 走行以外のタスク実証評価

3.2.1 走行時における実証評価

(1) 運行状況ヒアリングによる現状の対応状況確認

まちづくり株式会社 ZEN コネクトおよび永平寺町に対してヒアリングを実施した。
ヒアリングの結果について以下に整理した。

ヒアリング項目	ヒアリング結果
L3 運用の現状	<p>○運用状況</p> <ul style="list-style-type: none">・ 荒谷の遠隔監視者 1 名と運行管理者 1 名の体制・ 準備等含め 2 名で実施 <p>○運用可否判断</p> <ul style="list-style-type: none">・ ODD 可否判断は遠隔監視員による運行前のルート確認結果を踏まえ、遠隔監視員と運行管理者で判断・ 運行途中で問題が生じた場合は、2 名で判断・ 過去に雷が発生した際、雨量で中止判断を実施・ 運用に係る状況については、LINE グループで状況を共有
サービス運用 全体の課題	<p>○故障など</p> <ul style="list-style-type: none">・ RFID の二段階停止ができないことが起きた場合を想定すると最も怖く、確実な停留所での停止が必要（読み取りミスでも止まるなど）・ RFID エラーを表示してもらえるようにしてほしい <p>○RFID の破損</p> <ul style="list-style-type: none">・ 舗装面の伸縮等により破損が生じるのではないかと

(2) 運用プロセスの整理

レベル3における運用実態について、永平寺町及びまちづくり株式会社ZENコネクトへヒアリングを実施した結果、以下のプロセスで運用されていることを確認した。

その上で、運用においては「遠隔監視者」「運行管理者」「その他関係者 (ZEN コネクト、永平寺町)」の三者で運用されていることを確認した。

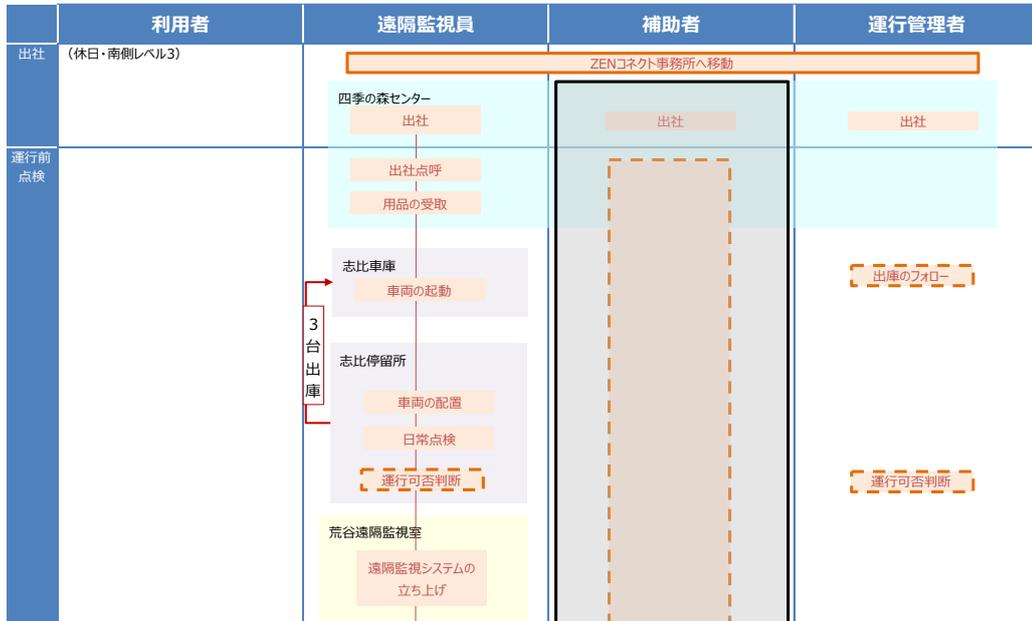


図 3.2.1-1 通常時の運用プロセス (1)

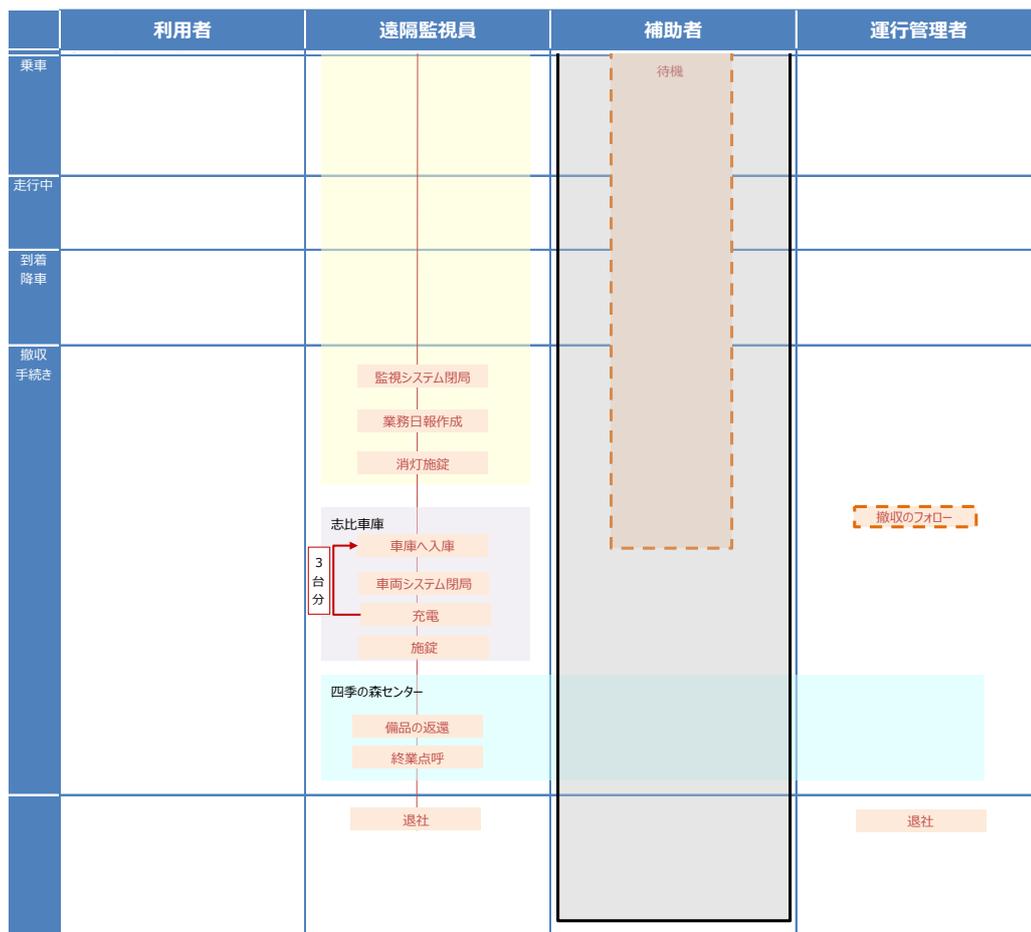


図 3.2.1-2 通常時の運用プロセス（2）

3.2.2 走行以外（緊急事態発生時）の実証評価

（1）運用プロセスの整理

前章において実施したリスクアセスメントにおいて、走行以外のタスクに関して、レベル3による運行を想定したリスクアセスメント結果からリスク点数が比較的高いリスク（A、B領域）に該当するものとして、緊急事態発生時（事故、急病人発生）に関する項目が高かった。

については、リスクアセスメントの結果を踏まえ、事故及び急病人の発生を想定した実証評価を実施した。

実証評価の前提の一つとして、既存の運用マニュアルによる緊急時の対応手順や連絡体制図、また主として自家用有償による運行を見据え、道路運送法及び道路運送車両法など現行の法制度や法制度を踏まえた運輸事業者における取組例を踏まえ、レベル3（4）での運用時における緊急対応手順例を作成した。

緊急対応手順例は次に示す場面（フェーズ毎）に整理を行った。

- ・車両停止・情報収集
- ・情報連携
- ・出勤・現場到着
- ・緊急車両到着
- ・搬送
- ・帰着

上記を踏まえ作成した緊急対応手順例を以下に示す。

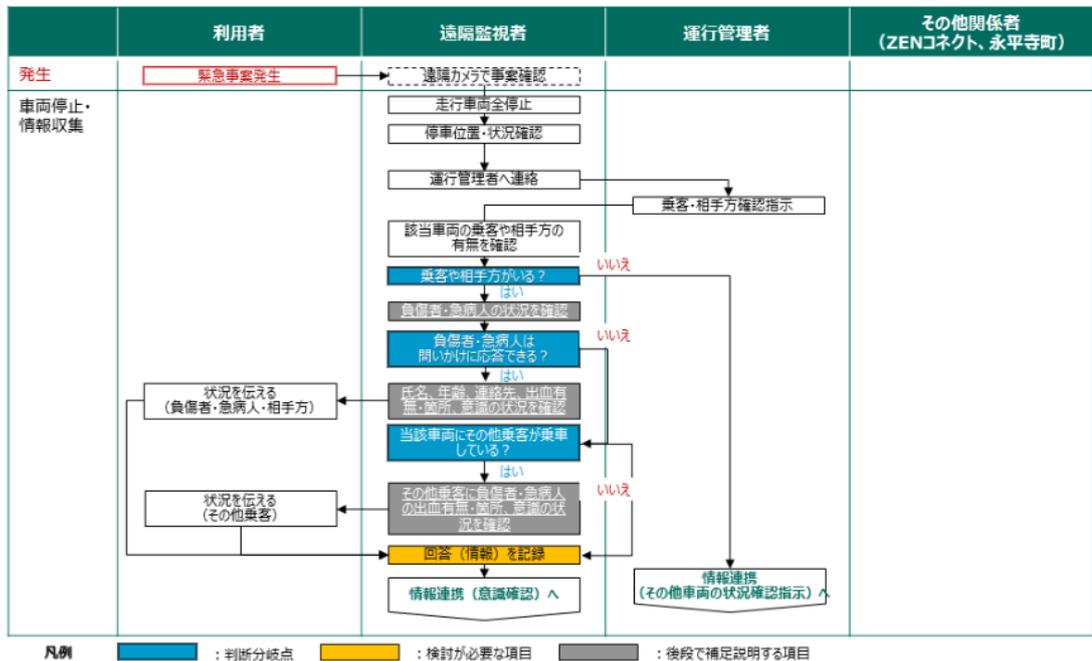


図 3.2.2-1 緊急時の運用対応手順例（1）

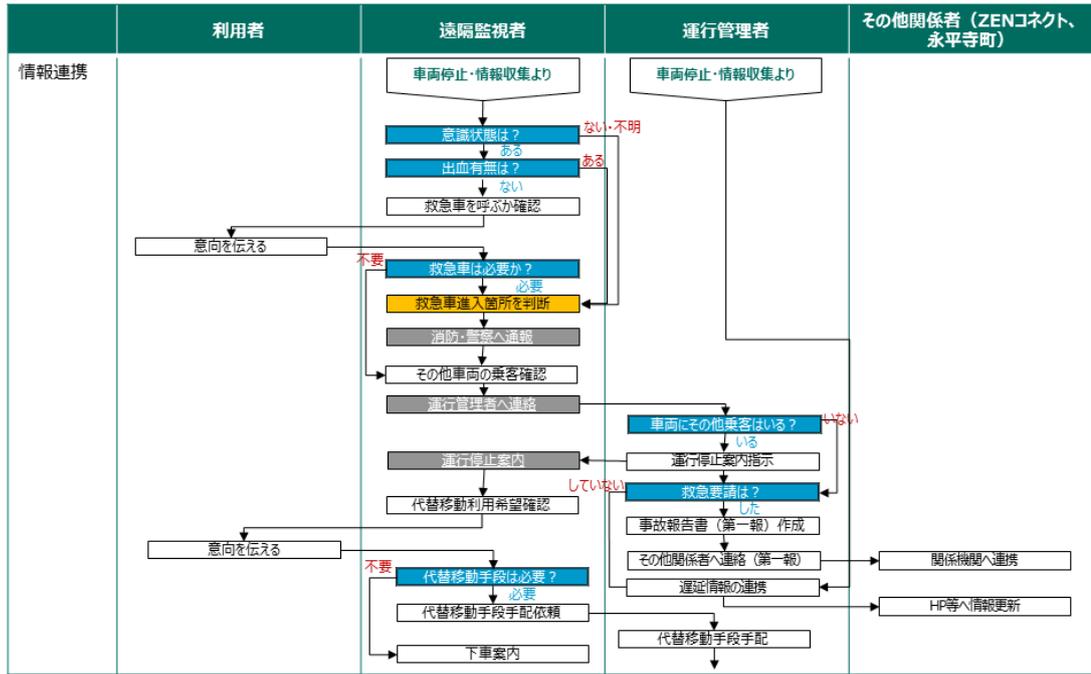


図 3.2.2-2 緊急時の運用対応手順例（2）

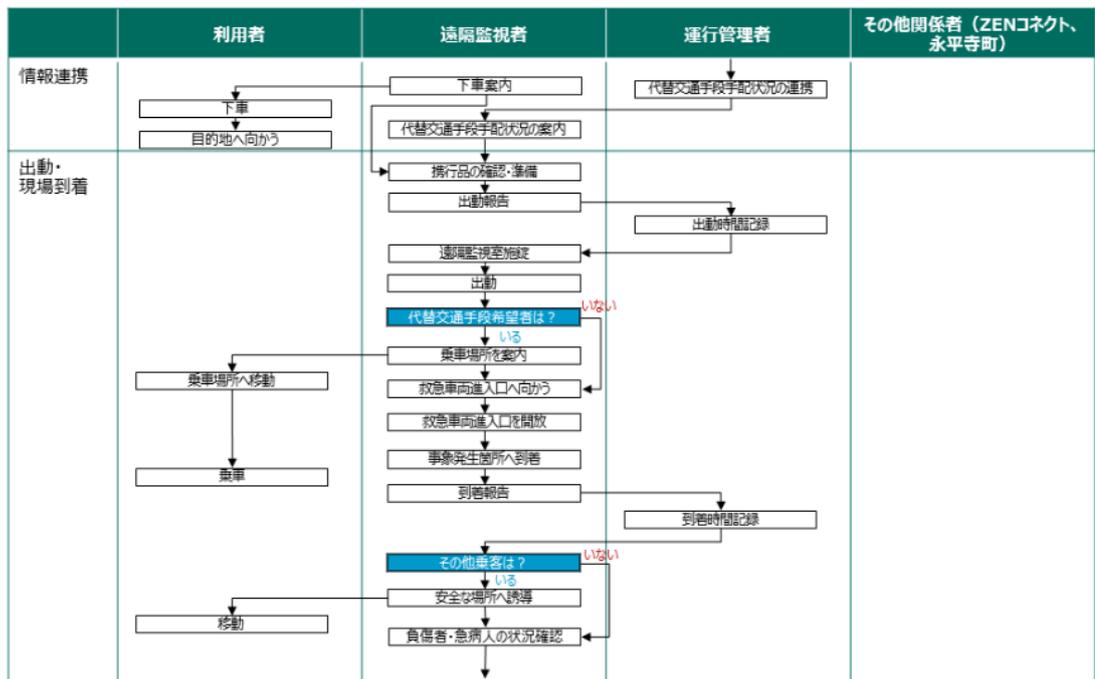


図 3.2.2-3 緊急時の運用対応手順例（3）

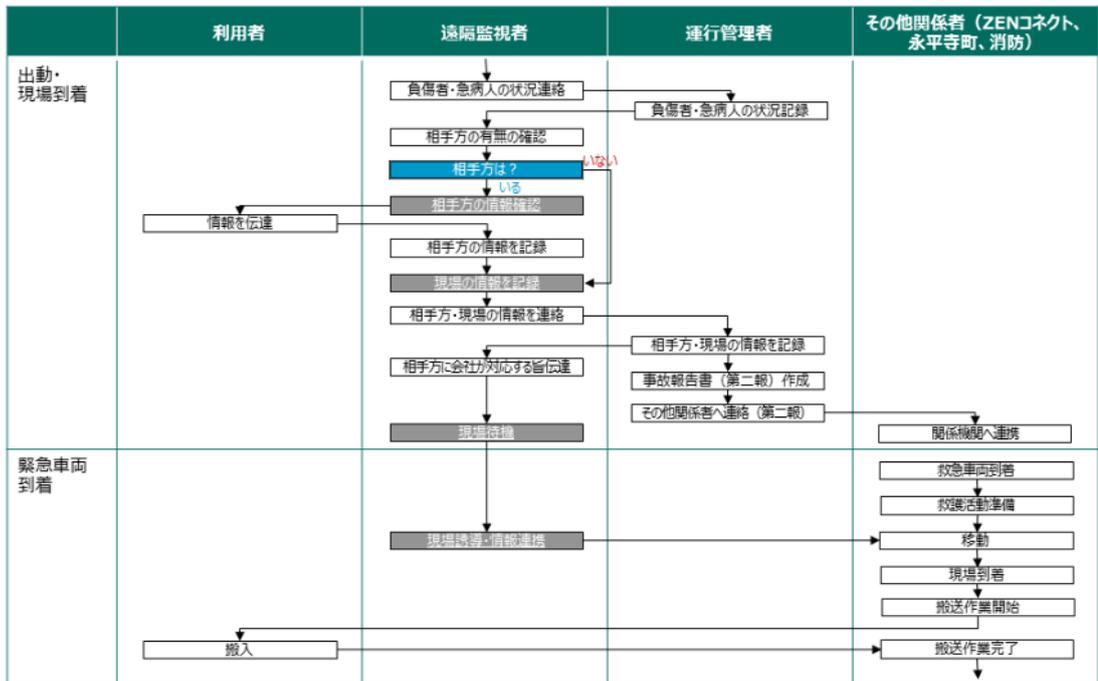


図 3.2.2-4 緊急時の運用対応手順例（4）

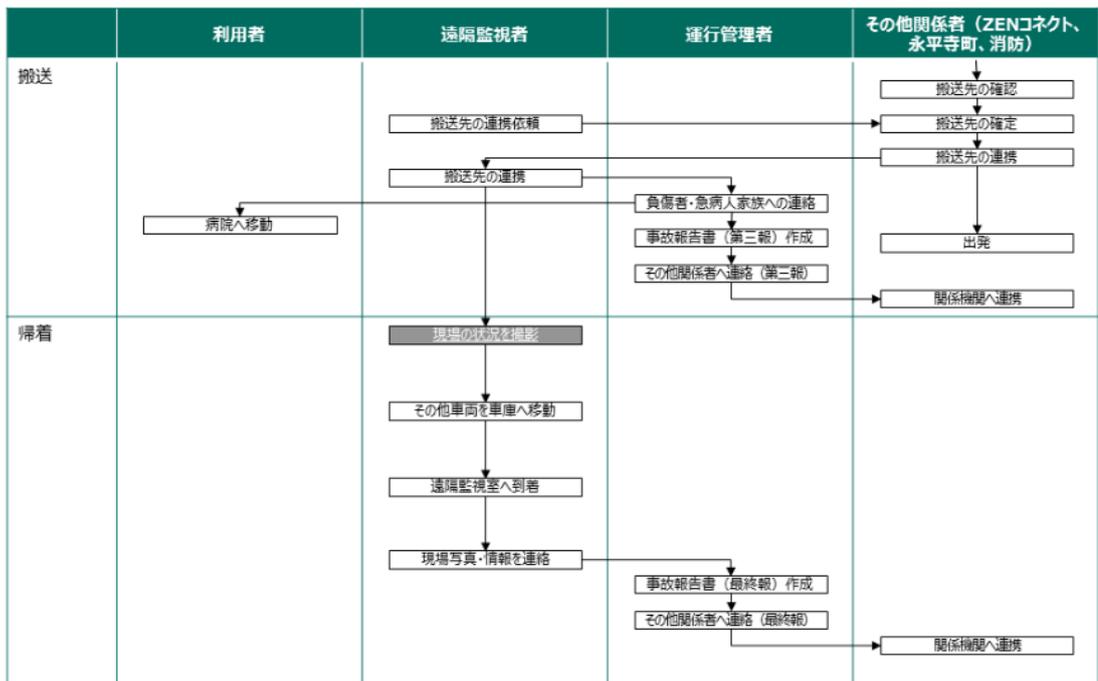


図 3.2.2-5 緊急時の運用対応手順例（5）

作成した手順例を基に、緊急時対応訓練を実施した。

3.2.3 緊急時対応訓練

遠隔監視者に求められる対応として、非常に役割と大きいものは、通常通行時ではなく、緊急時の対応と考えられる。そこで、永平寺町での緊急時対応訓練を行い、遠隔監視者の対応手順やマニュアル化などについての検討を行った。

3.2.3.1 訓練実施日

対応訓練は以下の日時において、福井県永平寺町における現行のLv3の運行を担っているまちづくり株式会社ZENコネクトの方に協力をいただき、実施した。

2022年2月18日（金） 9:00～13:30

時間	項目	概要
9:00	集合	Zen Drive 様本部（四季の森公園内）へ集合
9:00～9:30	準備	座学実施準備
9:30～10:15	座学	緊急時の対応手順及び連絡手順（案）についての説明
10:30～12:00	対応手順（案）確認	訓練参加者による緊急時の対応手順及び連絡手順（案）の再確認・質疑応答
11:00～12:00	訓練の実施	想定するリスクシナリオに沿った対応訓練の実施
12:30～13:30	ディスカッション	参加された運行管理者及び遠隔監視者とのディスカッション

3.2.3.2 シナリオ

対応訓練において実施したリスクシナリオを以下に示す。

シナリオの前提としたリスクは、レベル3による運行を想定したリスクアセスメント結果からリスク点数が比較的高いリスク（A、B領域）から設定した。

	概要
発生日時（想定）	×月×日（土） 13:19
状況	土曜日の午後に乗車していた乗客が走行中に急病を発症した。
状況詳細	<ul style="list-style-type: none">・第三駐車場付近を走行中に乗客が急病を発症。・遠隔監視者が遠隔監視室で車内に倒れこんだ状況を確認・状況は車内カメラの死角に倒れこんだため、詳しい状況は不明・トラブル発生時は3台の車両が自動運転により運行中

3.2.3.3 確認項目及び確認方法

（1）確認項目

対応訓練において調査した項目を以下に示す。

- ①対応に関する状況（情報内容）
- ②対応完了までの所要時間
- ③対応手順や対応項目に関する負担感

(2) 確認方法

実証担当者が目視によって、対応に関する状況及び対応完了までの所要時間を確認した。訓練終了後に、訓練参加者に対し対応手順や対応項目に関する負担感に関するヒアリングし、評価を行った。

3.2.3.4 実施結果と評価

前項で作成した緊急対応手順例を踏まえ、レベル3による運行を想定したリスクアセスメント結果を基に作成したリスクシナリオで訓練を行った。

(1) 訓練実施概要

訓練の実施概要について以下に記す。

1) 訓練実施場所

当初は遠隔監視室（遠隔監視者）、四季の森センター（運行管理者）、緊急事態発生想定箇所（第三駐車場付近）で実施する予定であったが、当日のコース周辺において積雪が多く、コース内に立入ることが出来なかったため、四季の森センターにおける机上訓練とした。

2) 訓練対象範囲

今回の訓練においては、遠隔監視員が遠隔カメラにて緊急事態を発生した時点から、救急車による搬送が完了した段階までを訓練対象と設定した。

3) 訓練参加者

訓練当日は2名の保安要員（遠隔監視、運行管理経験あり）の方が参加した。

4) 訓練実施方法

訓練は、参加した2名の保安要員がそれぞれ遠隔監視者、運行管理者役を担った。リスクシナリオ上に展開される状況については、弊社コンサルタントが状況を記載したカードを遠隔監視者役に対して提示することで、時系列上の状況を再現した。時系列上で発生する状況に応じて、運用対応手順（案）の対応項目・手順に沿って、確認項目、伝達・指示項目のやりとりを机上で実施した。

(2) 実施結果

実施した結果と訓練参加者へのヒアリングで抽出した課題及び改善点について、以下にまとめる。

1) 対応に関する状況（情報内容）

緊急事態の確認（覚知）から運行停止、運行管理者への報告において、確認項目や報告項目について大きな欠落はなかった。

また、現場に駆け付けたと想定した遠隔監視者から、発生した状況や要救護対象者の状況（出血・意識の有無）、その他車両における乗客の有無に関する情報など現場からの報告内容について大きな欠落はなかった。

運行管理者においては、確認項目や指示項目について大きな欠落はなかった。

2) 対応完了までの所要時間

訓練開始（緊急事態発生確認）から対応完了までに要した所要時間は約20分であったが、今回は机上訓練のため、遠隔監視室から発生現場（第三駐車場付近）への所要時間を加味する必要がある。

ヒアリングにおいて、遠隔監視室から発生現場への移動手段として自転車を想定していることから、自転車での所要時間を加味した。

今回の訓練では第三駐車場付近の発生を想定したが、遠隔監視室から当該地点まではおおよそ1.0km、自転車の走行速度を時速16.8km¹とした場合、所要時間は約4分となり、訓練開始から対応完了までに要した所要時間は24分程度となる。

緊急事態発生認知から現場への到着時間の目安として、約5分～10分以内での対応を目指しているとヒアリングにおいて確認をしたが、今回の訓練においては所要時間が10分以上を要する結果となった。

この結果について考えられる原因は、①緊急対応手順例が初見であったこと、②訓練で用いた対応手順と現在の運用手順の順番や項目数に関する乖離が大きかったことが考えられる。

3) 対応手順や対応項目に関する負担感

対応手順や対応項目に関する負担感及び課題として、以下の点がヒアリングにおいて明らかになった。

(1) 遠隔監視者

- ・現場への駆けつけについて、消防・警察への通報後に現場へ駆けつけると時間を要する。現場へ急行することを優先し、消防・警察への通報は運行管理者が実施する事で時間短縮と負担軽減となる。
- ・緊急事態・不具合発生対象車両以外の2台に乗客が乗車していた際の案内(状況説明や誘導)について、遠隔監視者が案内実施後に現場へ駆けつけると時間を要する。その他車両の乗客への案内は運行管理者が実施する事で時間短縮と負担軽減となる。

¹山本彰、大脇鉄也、上坂克巳「自動車の走行空間等の違いによる走行速度の際に関する分析」 月刊土木技術資料 53巻 12号 P54-55 2011年12月参照

- ・発生した内容や状況、深刻度によっては、現場へ駆けつけた遠隔監視者一人で対応することに負担を感じる。内容や状況、深刻度によって現場対応要員を増員することで負担軽減となる。
- ・発生箇所によっては、遠隔監視室から現場へ到着するまで時間を要する場合がある。四季の森センターに駐在している運行管理者が現場へ駆けつけ、対応するなど、遠隔管理者と運行管理者の役割を入れ替えることも検討が必要である。
- ・対応項目のボリュームや順番について、訓練を定期的実施すれば問題なく対応できると感じた。

(2) 運行管理者

- ・負傷者や急病者の家族への連絡及び病院への付添について、必要に感じるものの、省人化を目的に遠隔監視による運行を導入しているため対応が難しい。遠隔監視者及び運行管理者以外の要員が対応することで負担軽減となる。
- ・関係者への情報連携として、事故報告書作成のタイミングについて、①事故発生時（緊急車両要請時）②現場到着時、③帰着時（事故対応完了時）の3回が望ましい。

遠隔管理者等に求められる役割について、まちづくり株式会社 ZEN コネクト、永平寺町に対するヒアリング結果及び、走行以外（緊急事態発生時）の実証評価結果を踏まえ、次項に記述する。

3.2.4 遠隔監視者等に求められる役割

3.2.4.1 走行時

運行中（車両走行時）における遠隔監視者、運行管理者、その他関係者に求められる役割として、以下にまとめる。

（1）遠隔監視者

遠隔監視者は4.4.1（2）において、現行の道路交通法において交通事故が発生した場合の対応として、レベル3及び4において「運転者」と同様の義務及び責任が課せられると整理している。

このような解釈を前提とした場合、遠隔管理者に求められる役割は「運転者」と同様の役割が求められると考えられる。

運行前の役割として遠隔監視者には、自動運転車両の安全確認（運行前点検）及び走行ルートの安全確認及び運行管理者への報告が求められる。

運行中の役割としては、3台の車両の運行状況の確認と状況に応じた操作、乗降時の安全確認及び乗客への案内が求められる。また、適宜、遠隔監視者として判断の出来ない事象や乗客からの照会について、運行管理者へ報告・確認することも遠隔監視者の役割として考えられる。

運行後の役割としては、自動運転車両の安全確認（運行後点検）及び車内の忘れ物等の確認や運行管理者への運行中に確認した留意点や乗客からの要望・苦情やヒヤリ・ハット情報の報告が役割として求められる。

運行前、運行後の遠隔監視者の役割として自動運転車両の点検や走行ルートの安全確認が求められるが、これらの役割を実効性のあるものとするために、運行管理側が点検項目や確認事項をチェックリスト化し、記録することが考えられる。

（2）運行管理者

運行管理者は4.4.1（2）においては、現行の道路交通法において交通事故が発生した場合の対応として、遠隔監視者同様、事故を覚知した段階で各種対応が求められる可能性があるとして整理している。

このような解釈を前提とした場合、運行管理者に求められる役割は、現在の運輸事業者における「運行管理者」と同様の役割が求められると考えられる。

運行前の役割として運行管理者には、遠隔監視者に対する始業（出庫）点呼の実施が考えられる。具体的にはアルコールチェックと健康確認、運行当日の天候や留意する点などを指示・伝達し、その結果や内容を記録に残すことが役割として求められると考えられる。

これらは、道路運送法に関連する省令やガイドラインで求められている安全管理体制の構築・維持に必要であり、運輸事業者においても運行管理者の役割として位置付けられている。運行中の役割として、遠隔監視者からの問合せに対する対応及び走行環境に影響を

及ぼす状況（天候や周辺の交通・道路状況や他の交通機関の運行状況等）の情報連携及び指示や注意喚起が求められると考えられる。同時にこれら問合せ内容や情報連携や指示、注意喚起の内容の記録も役割として求められると考えられる。

運行後の役割として、遠隔監視者に対する終業（帰庫）点呼の実施が考えられる。遠隔監視者へのアルコールチェックの実施や健康確認、運行中に確認した留意点や乗客からの要望・苦情やヒヤリ・ハット情報の確認が役割として求められる。

合わせて、自動運転車両の安全確認（運行後点検）の結果確認も役割として考えられる。

（3）その他関係者

その他関係者に求められる役割について、利用者となる町民や町外からの来訪者に対する運行状況に関する関係機関への連携が求められる。

3.2.4.2 走行時以外（緊急事態・不具合発生時）

走行以外（緊急事態・不具合発生時）における遠隔監視者、運行管理者、その他関係者に求められる役割として、以下にまとめる。

（1）遠隔監視者

遠隔管理者に求められる役割として、車両の運行停止操作及び現場における初動対応が求められる。

具体的には、負傷者・急病者に対する救護及び危険防護措置が求められる。また、負傷者・急病者に関する状況確認及び運行管理者への連携、状況に応じて、乗降地でのその他乗客の安全な箇所への誘導も求められる。

関連して、現場における救急車両の進入路の開放及び救急隊員の誘導が考えられる。

これら遠隔監視者に求められる役割を發揮するために、現場における対応項目を取りまとめたチェックリストを準備・配備することも必要と考えられる。

（2）運行管理者

運行管理者は、現場へ駆けつけた遠隔監視者からの報告内容を踏まえ、消防・警察への通報やその報告内容を鑑み、現場対応要員の増員に対する判断・指示が求められる。

これらの対応は、運輸事業者における緊急事態対応時の運行管理者が担う役割と同様である。

一方で、レベル3及び4における運用特性として遠隔監視者1人で3台の車両を操作・監視をしているため、緊急事態が発生した場合、残りの2台の対応が遠隔監視者で対応が困難な場面が想定される。そのため、運輸事業者の運行管理者とは異なり、永平寺モデルにおいては、運行管理者の役割として、その他車両の乗客に対する案内（状況説明や誘導）も求められる。

現在、四季の森センターの遠隔監視システムからは車両への音声案内が実施できない状況となっているため、現在の四季の森センターに設置されている遠隔監視システムから運行車両へ案内が出来るよう、音声入力装置の取付けも必要と考えられる。

一方で、発生場所によっては遠隔監視室からの移動時間が5分以上要することも想定される。迅速な対応を実現するためには、発生場所によっては遠隔監視者と運行管理者の役割の入れ替え、役割分担に関する担当エリアを設定することも必要と考えられる。

については、遠隔監視者も運行管理者と同等の知識や力量を保有することが望ましいと考えられる。

(3) その他関係者（ZEN コネクト、永平寺町）

緊急事態・不具合発生時においては、現場での対応状況を踏まえ、利用者となる町民や来訪者に対する情報提供や関係機関への情報連携が役割として求められる。

また、事故の被害者への対応や救急搬送された病院での搬送者家族への連絡や付添、発症確認時の説明も役割として求められる。

加えて、緊急事態の深刻度によっては、現場での対応者の心理的な不安も訓練で明らかになった。この点については、現在の運輸事業者のドライバーにおいても同様である。そのため遠隔監視者及び運行管理者の補助業務が行えるよう、緊急事態発生時においては四季の森センターへの待機や場合によっては現場の対応補助も役割として求められる。

3.2.5 リスク事象発生時の責任境界にかかる検討

3.2.5.1 特定されたリスク事象への対応

リスクアセスメントにおいて、「交通事故発生時の対応」、「車内事故時の対応」、「災害時の対応」などがリスク事象として特定された。以下では永平寺町での運営体制、特に遠隔監視を前提としたサービスにおいて、どの当事者がどのような責任を負うのかについて検討を行う。

(1) 前提となる永平寺町での運営体制

永平寺町での自動運転サービスの休日運行においては、1人の遠隔監視者が3台の車両運行を管理する形で、かつ車内に保安要員を置かない遠隔監視のみの運用となっている。以下の検討では、上記の前提で、「遠隔監視者」(1名)、遠隔監視者の「補助要員」(1名)、「運行管理者」(1名)の3名に加え、緊急時には運営会社である「まちづくり株式会社ZENコネクト」の社員が対応できる前提として検討を行う。

(2) 対人・対物事故が発生した場合

自動運転車両の運行中对人・対物事故が発生した場合、対応事項と対応者、対応に不備があった場合の責任について整理する。

表 3.2.5-1 対応主体と論点：対人対物事故

対応事項	対応主体(レベル4)	論点	備考(根拠法令)
車両を安全な位置に停止	車両	接触を検知し停車できるか 車両が停まらない場合には誰が停めるか	道路運送車両法 道路交通法
被害者・被害物の確認	遠隔監視者	車載カメラから車外の被害者や被害物を確認できるか	道路交通法
乗客の安全確認	遠隔監視者		道路運送法
他の車両の状況確認	遠隔監視者	他の車両に乗客がいる場合にどのように状況を把握するか	道路運送法
緊急出動(現場)	遠隔監視者	所定の時間以内に現地に到着できるか どこから向かうか どのように向かうか(予備 GSM or 他的手段)	(ガイドライン※)
救急車の手配	遠隔監視者		道路交通法 (ガイドライン※)
警察への連絡	遠隔監視者		道路交通法
応急措置	遠隔監視者	適切な応急措置をできるか	道路運送法
運行管理者への連絡	遠隔監視者	運行管理者に現地状況を把握する必要があるか 運行管理者が各対応者に適切な指示を出せるか 各対応者が運行管理者の指示を踏まえ適切に対応できるか	—
被害者家族への連絡 (死者・重傷者が出た場合)	遠隔監視者	被害者の情報をどのように入手するか	(ガイドライン※)

対応事項	対応主体(レベル4)	論点	備考(根拠法令)
遺留物の保存	遠隔監視者		(ガイドライン※)
事故状況報告書の作成	遠隔監視者		
救急車両対応	遠隔監視者		(ガイドライン※)
警察対応(現場確認)	遠隔監視者		道路交通法
乗客への説明	補助要員/遠隔監視者	車内アナウンスをどのように行うか 待ち時間等をどのように伝えるか 途中下車等を許容するか 返金対応をどのように行うか	道路運送法
他の移動手段の手配(乗客)	補助要員/遠隔監視者	どの別手段を用いるのか そこでかかる費用をどのように精算するか	道路運送法
運行停止の対外アナウンス	補助要員/遠隔監視者	利用者にどのように伝達するか	—
対応状況の把握	運行管理者	確認事項を理解しているか	—
対応者への指示	運行管理者	指示事項を理解しているか	—
関連当事者への連絡	運行管理者	連絡網が整備されているか 連絡後の各当事者の役割が明確か	—

対応事項	対応主体(レベル4)	論点	備考(根拠法令)
事故の発生原因究明	開発側	原因を特定できるか 特定できた場合に保険会社の求償に応じるか	—

※本表における「ガイドライン」とは以下のものを指す。

国土交通省自動車局(2019)「限定地域での無人自動運転移動サービスにおいて旅客自動車運送事業者が安全性・利便性を確保するためのガイドライン」

対人対物事故が発生したケースにおいては、被害者対応および乗客対応（事故が発生した車両および他の車両）が必要となる。そのため上記の検討では、運行管理者が四季の森センターに留まり各種オペレーションの指示を行う、遠隔監視者が現地対応を行う、また、四季の森センターの補助要員が車内の乗客対応を継続することと仮定している。

道路交通法では、交通事故が発生した場合、直ちに車両等の運転を停止し、負傷者の救護、危険防止措置（車両の安全な場所への移動など）、警察署への報告を行うことが「運転者」および「その他の乗務員」に課されている（道路交通法 72 条 1 項）。現行の道路交通法においては、自動運転レベル 3 車両において「運転者」の存在が前提となっており、当該運転者が上記の義務を負うと解することができると考えられる。一方レベル 4 においては、運転者に相当する者が不在であっても、ODD 外にいたった場合もリスク極小化を図ることができることとなる。「その他の乗務員」は「運転者を補助しその運転に関与する者」と広く解す余地がある定めとなっており、レベル 4 における遠隔監視者などに関してもこれらの義務が存置される可能性が大きい。そのため、遠隔監視者および運行管理者は事故を覚知した段階で各種対応を行うことが求められ、それらを怠った場合、道路交通法に基づく刑事責任が科される可能性がある。

道路運送法では、旅客事業者としての各種権利義務が定められている。永平寺町では自家用有償旅客運送（道路運送法 78 条）による運行が行われており、関連規定に沿った対応が必要となる。各種義務の詳細は、道路運送法に関連する省令（施行規則、旅客自動車運送事業運輸規則）やガイドライン等に定めがある。法令やガイドラインにて求められる体制の構築等を怠った、あるいは定められた義務を履行しなかった場合、道路運送法上の刑事責任や、旅客事業の取消等の行政処分を被る可能性がある。

道路運送車両法においては、車両の規格や車両検査にかかる規定が定められている。また自動運転車両に関しては満たすべき要件を定めた各種ガイドラインがある。開発時点はもとより、車両の保守点検において、メーカー側が負うべき事項と車両の所有者が負うべき事項を明確化する必要がある。

事故発生時の民事法上の賠償責任の観点においては、対人事故か対物事故により多少の変化が生じ得る。対人事故においては、自動車損害賠償保障法の適用有無が論点となりうるが、国土交通省の「自動運転における損害賠償責任に関する研究会」報告書においては、「限定地域での無人自動運転サービス（レベル 4）については、運送サービスを顧客に対して提供する車両の保有者である自動車運送事業者を運行供用者として、また、かかる自動車運送事業者のために限定領域外等において遠隔監視・操作を行う者がいれば、かかる遠隔監視・運転者を運転者として、それぞれ観念」できるとされている。同見解に基づくと、永平寺町モデルにおいては遠隔監視者および事業者である ZEN コネクト社いずれも運行供用者責任を負うこととなる。対物事故においては民法の不法行為責任の原則通りの対応となり、遠隔監視者が不法行為責任（民法 709 条）、ZEN コネクト社は民法の使用人責任（民法 715 条）を負うことが想定される。その際に自賠法の運行供用者責任と異なり、レベル 4 車両において遠隔監視者が賠償責任を負うのか、あるいはそれらを被害者が主張立証することができるのかという論点が生じ得る。また事故が車両の欠陥に起因する疑いがある場合に被害者の請求先が定まらず被害者救済に遅れが生じる恐れがある。対人・対物

いずれのケースにおいても、実際の行為者（遠隔監視者等）と事業者（ZEN コネクト社）間での求償の可否等も問題となりうるが、裁判例（福岡高裁昭和 47 年 8 月 17 日）では自賠法 4 条の規定から使用者責任における求償規定である民法 715 条 3 項の類推適用が可能とするものがあること、また判例（最判昭和 51 年 7 月 8 日）において 715 条 3 項の求償権は信義則に照らし限定的に認められること等を踏まえ、原則として賠償義務の履行は事業者である ZEN コネクト社において行われることを想定し、損害保険等においてリスクの転嫁を行うことが望ましいものと考えられる。

事故の発生原因究明に関しては、賠償責任の負担先にも関わってくる余地があり、重要な問題点となる。現在の損害保険実務においては、被害者救済を目的とした特約等により被害者への賠償を行うことが可能となるが、その後保険会社は求償権を代位取得し、事故の原因に応じて本来賠償責任を負う者に対して求償をおこなっていくこととなる。運転者による操舵を前提としない自動運転レベル 4 において、事故発生の原因が車両・監視システム側、インフラ側（道路路面、電磁誘導線、RFID など）、事業者側にあることが考えられる。車両・監視システム側（車体、センサー類）に瑕疵があった場合はメーカーの製造物責任等が問われる可能性があり、インフラ側の損害に起因する場合には当該道路の管理者に対し土地工作物責任等を負う可能性がある。一方で車両等やインフラいずれに起因する場合も、事業者側において適切な措置を怠っていた場合、事業者側にも一定の賠償責任が生じる恐れがある。例えば、車両検査を適切に実施していなかった、オペレーティングシステムのアップデート要請があったにも関わらず対応を怠った、インフラに損傷が発生しており運行に支障がある可能性があることを把握していたにも関わらず運行を継続した、といった事例があげられる。

求償権の確保および事業者側の対応事項を明確化するために、メーカーより車両の正常な運行時に係る挙動、それらに基づく日常点検の項目、異常発見時の修理にかかる対応フロー、システムのアップデート対応にかかるフロー等を整理し、異常が発生した際にはメーカーと共同で原因究明および対策を講じるといった対応が通常時より求められるものと考えられる。

（3）車内でのトラブル（急病人など）が発生した場合

自動運転車両の運行中に急病人や乗客同士のトラブルが発生した場合、対応事項と対応者、対応に不備があった場合の責任について整理する。

表 3.2.5-2 対応主体と論点：車内トラブル

対応事項	対応主体(レベル4)	論点	備考(根拠法令)
車両を安全な位置に停止	車両	車内での乗客の状況をふまえ停車できるか 車両が停まらない場合には誰が停めるか	道路運送車両法 道路交通法
他の車両の状況確認	遠隔監視者	他の車両に乗客がいる場合にどのように状況を把握するか	道路運送法
緊急出動(現場)	遠隔監視者	所定の時間以内に現地に到着できるか どこから向かうか どのように向かうか(予備 GSM or 他的手段)	(ガイドライン※)
救急車の手配	遠隔監視者		道路交通法 (ガイドライン※)
応急措置	遠隔監視者	適切な応急措置をできるか	道路運送法
運行管理者への連絡	遠隔監視者	運行管理者に現地状況を把握する必要があるか 運行管理者が各対応者に適切な指示を出せるか 各対応者が運行管理者の指示を踏まえ適切に対応できるか	—
被害者家族への連絡 (死者・重傷者が出た場合)	遠隔監視者	被害者の情報をどのように入手するか	(ガイドライン※)
救急車両対応	遠隔監視者		(ガイドライン※)
乗客への説明	補助要員/遠隔監視者	車内アナウンスをどのように行うか 待ち時間等をどのように伝えるか 途中下車等を許容するか 返金対応をどのように行うか	道路運送法
他の移動手段の手配(乗客)	補助要員/遠隔監視者	どの別手段を用いるのか	道路運送法

対応事項	対応主体(レベル4)	論点	備考(根拠法令)
		そこでかかる費用をどのように精算するか	
運行停止の対外アナウンス	補助要員/遠隔監視者	利用者にどのように伝達するか	—
対応状況の把握	運行管理者	確認事項を理解しているか	—
対応者への指示	運行管理者	指示事項を理解しているか	—
関連当事者への連絡	運行管理者	連絡網が整備されているか 連絡後の各当事者の役割が明確か	—

※本表における「ガイドライン」とは以下のものを指す。

国土交通省自動車局(2019)「限定地域での無人自動運転移動サービスにおいて旅客自動車運送事業者が安全性・利便性を確保するためのガイドライン」

車内トラブルが発生した際に、主に道路運送法上の旅客運送事業者としての各種対応が検討余地のある内容となる。

道路運送法および旅客自動車運輸事業運輸規則では、旅客運輸事業者は、交通事故も含めた「事業用自動車の運行を中断」した際には、旅客の運送を継続すること、旅客を出発地まで送還することその他旅客を保護することが求められる（運輸規則 18 条 1 項各号）。国土交通省の「限定地域での無人自動運転移動サービスにおいて旅客自動車運送事業者が安全性・利便性を確保するためのガイドライン」においては、自家用有償旅客運送においてもこれらの規定等を参照し、「運転者が車内にいる場合と同等の安全性及び利便性を確保することが必要」とされている。

車内での急病人等が確認された際には、その急病人への対応ももとより、中断した輸送サービスをどのように復旧するののかについての基準づくりが必要となる。交通事故とは異なり車両側の問題が生じていない場面において、急病人が乗っている車両にてどのようなオペレーションをとるべきか、また遠隔監視・複数台運用における他の車両の乗客をどのように目的地あるいは出発地に輸送するののかについて検討を行い、体制を構築しておくことが求められる。

3.2.6 保険によるリスク転嫁

民事的な賠償責任に関しては、対応策のひとつに損害保険によるリスク移転が考えられる。これらは万一の事故発生時に賠償資力を担保し、被害者救済および事業への影響を低減する観点からも重要となる。

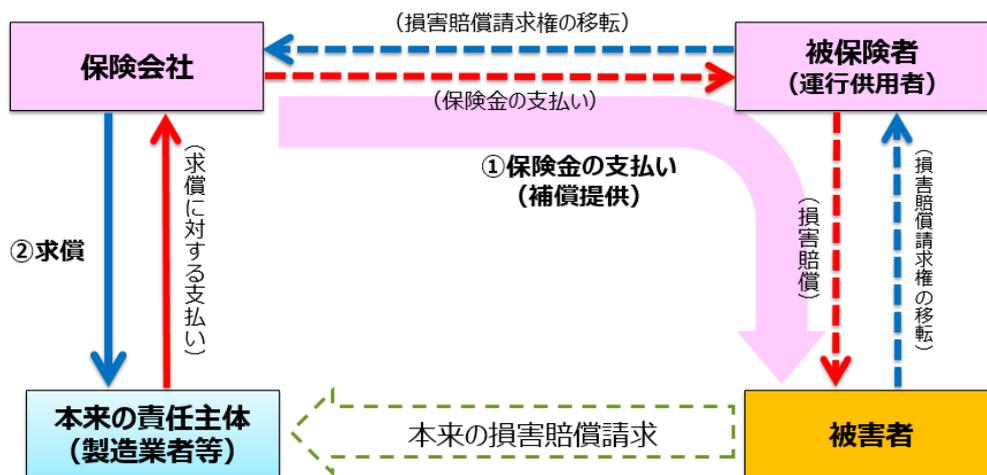
(1) 手配を要する損害保険（自動車保険）

移動サービス事業者が手配を要する保険としては、賠償資力の確保、被害者救済等の観点からも、自動車保険の検討は必須となる。

対人事故では、レベル 4 までの自動運転車両においても運行供用者に責任を負担させる現行制度の維持が確認されており、永平寺町モデルにおいては、遠隔監視者および事業者である ZEN コネクト社がこの運行供用者責任を負うこととなる。

もっとも、自動運転システムの欠陥により生じた事故について運行供用者（実際には、保険会社等）が賠償金を支払った場合には、保険会社等は、事後に、本来欠陥について責任を負担すべき製造業者等に対して支払った分の請求（求償）を行い、責任負担の公平化を図ることとなるが、運行供用者が一次的な責任負担を行うことは、迅速な被害者救済の観点からも有効性が高いものとされる。

【責任主体が運行供用者以外である場合の損害賠償の流れ】



- ① 運行供用者を一次的な責任主体として、被害者の損害に対し補償提供（保険金支払い）
- ② その後、保険会社等が、本来の責任主体に対し求償（責任分担の公平化）

図 3. 2. 6-1 責任主体が運行供用者以外である場合の損害賠償の流れ

自動車保険は、移動サービス事業者が対人事故で運行供用者責任を負担した場合に対する補償（対人賠償責任保険）の他にも、対物事故における民法上の不法行為責任を負担した場合の補償（対物賠償責任保険）、乗客等の傷害に対する補償（人身傷害保険）、車両自体の破損等に対する補償（車両保険）、事故発生時等における代替交通手段の費用に対する補償（費用保険）等を組み合わせた総合補償として構成されており、自動運転車両の走行関わるリスクに対して、概ね備えられるものとなっている。

また、自動運転車両の対人・対物事故においては、第三者の不正アクセスや自動運転車両の欠陥等に起因して発生した場合等、直ちに事故原因や責任主体を特定できず、保険金支払までに時間を要する懸念があるが、各損害保険会社では、責任主体の特定を待たずに補償を提供し被害者救済を図れる仕組み（被害者救済費用特約）を構築しており、自動運転移動サービス事業者にとっては、利便性が高いものと考えられる。

自動運転車両に適用される保険料については、センサー等の装備追加等、車両価額の高額化に伴い車両保険料等で増額が想定されるものの、所定の条件を満たす衝突被害軽減ブレーキや走行環境に対し保険料割引を導入している損害保険会社もあり、一般の自動車に比べ、約1割以上の保険料低減が図られる事例もある。今後の自動運転技術の高度化により安全性の向上が確認できれば、更に保険料低減率は拡大していくことも考えられる。

(2) 手配を要する損害保険（自動車保険以外）

自動運転車両による移動サービス事業では、その実現形態によって、自動車保険の補償範囲に含まれない事故の発生も想定され、自動車保険以外の保険手配の検討が必要となる場合が考えられる。

例えば、路側に設置したセンサーやカメラの落下等、自動運転車両以外の管理施設・設備の不備等に起因して対人・対物事故が発生した場合には、移動サービス事業者が施設管理者として賠償責任を負う可能性がある。こうしたリスクの所在が認められる場合には、施設所有（管理）者賠償責任保険の手配検討が必要となろう。

また、遠隔監視システムへの外部からの不正アクセス等があった場合には、サーバー上の企業情報・個人情報の漏洩により管理者である移動サービス事業者がその責任を問われる可能性や、サーバーダウンにより自動走行車両が走行不能となったことで、事業収入の喪失や不測の費用支出（復旧、原因究明、再発防止等）、他人の業務に支障を与えたことによる責任負担等が生じる可能性がある。こうしたリスクの所在が認められる場合には、サイバー保険等の手配検討も必要となろう。

その他、道路や道路付属物の不備等に起因して対人・対物事故が発生した場合には、道路管理者が施設管理者として賠償責任を負う可能性があり、全国市有物件災害共済会を通じた道路賠償責任保険（道路を対象とする施設所有（管理）者賠償責任保険）の手配の確認、検討も必要となろう。

永平寺町モデルでは、その実現形態や管理状況から、上記リスクは顕在化していないが、今後の走行範囲の拡大や他地域への展開の中では、都度リスク実態に応じた適切なリスク移転を検討していくことが必要となる。リスク移転の検討に際しては、既存の保険商品で対応していないリスクが出現してくることも想定されるが、損害保険会社は、これらへの対応検討を多面的に行いつつ、移動サービス事業の事業安定性の確保や利便性向上、被害者保護の拡充等を図っていく必要がある。

(3) 遠隔監視レベル4における損害保険上の論点

遠隔無人レベル4において、自動運転移動サービス事業者は、道路交通法、道路運送法等の要請からも、事故やトラブル等緊急時の対応として、状況把握や現場急行体制の構築等、遠隔地から対応する体制を整備しておく必要がある。

緊急時対応が発生した場合、遠隔監視者は、緊急時の対応手順に従って、現場急行のほか、乗客への案内や緊急車両の要請、代替交通機関の手配等、日常業務とは異なる不慣れた対応を集中的に行うこととなるため、対応遅延リスク等を低減するためにも緊急時再現訓練による定期的なスキル向上や現場急行対応可能エリアへの要員配置等を講じておくことが重要となる。

今後、走行範囲の拡大を進めていく中においては、遠隔監視拠点から事故現場が遠い場合にも対応していく必要が出てくるが、対応にあたっては保険会社や警備会社等の機能を

活用していくことも検討余地があろう。これらの事業者は、自動運転サービスを想定した緊急時の現場急行や各種手配業務等の実証実験を行っており、移動サービス事業者がこれらの事業者の機能を活用することにより、遠隔監視者や運行管理者の負担軽減や要員不足の解消を期待できる。

特に、1人の遠隔監視者が複数台の自動運転車両を監視する形態においては、緊急時対応後、遠隔監視者が早期に他の自動運転車両の監視業務へ復帰できる体制を構築していくことは、より安定的な移動サービスの提供を可能とし、利便性向上や普及促進を図る上でも有効であると考えられる。

【緊急時対応における遠隔監視者・運行管理者の負担軽減策の検討】

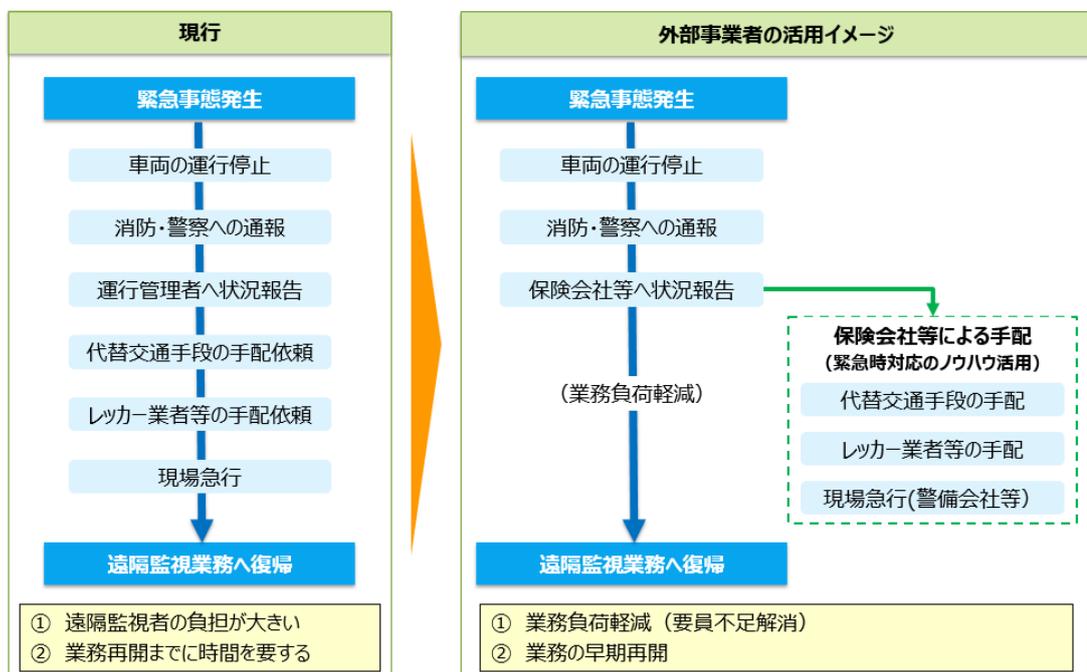


図 3.2.6-1 緊急時対応における遠隔監視者・運行管理者の負担軽減策の検討

第4章 車両、システムの開発

4.1 車両、システムのLv4化、高度化

現状の永平寺町のLv3の自動運行装置のシステムは、産業用の車載PCによるものであるが、本開発では、自動運転システムの量産を目指した組込みシステムとし、より高信頼、低コストとなるLv4自動運転システムを開発し、対象エリアの拡大を含めた自動運転移動サービスの社会実装に資する車両や自動運行装置の高度化を実現する。

ここでは要素技術の開発も含めて述べる。Lv4の実現にむけた高精度地図や自己位置認識については、産総研からの再委託先の慶應義塾大学SFC研究所が担当し、車内安全監視システムや交差点での自動発進判断については、産総研が担当している。また、車両と管制システムの開発はヤマハ発動機、自動運転システムの開発は三菱電機、遠隔システムと通信機の開発はソリトンシステムズがそれぞれ担当している。

4.1.1 永平寺町の自動運転走路における自己位置推定のための高精度地図の作成

ここでは、永平寺町の自動運転走路における自己位置推定のための永平寺口駅～志比（門前）間の高精度地図の作成と評価について報告する。

4.1.1.1 高精度地図の作成の方法

高精度地図の作成の方法について説明する。

(1) ライダーセンサの計測点の取得と座標変換

ライダーセンサ（ペロダイン社製32層ライダー）およびRTK-GNSSアンテナ、受信機（ノバルテル社製2周波RTK-GNSS、デュアルアンテナ方式により方位計測も可能）を搭載した車両によりコースを低速（時速約10km程度）で走行し、ライダーセンサにより計測した点群と車両の位置、向きを車載PCに記録した。記録のため走行したコースは、永平寺口駅の車庫付近から、自動運転車のコースに沿って荒谷の国道を横断し、志比までの区間と、永平寺口駅～荒谷間の交差点のうち、車両が走行できる交差道路の約100mの区間を走行した。記録したデータをPCにより、演算することで、ライダー中心の座標系で記録されているライダー点群の各点の位置情報を絶対座標系に変換した。本件研究の座標系は、X：東方向、Y：北方向、Z：高さ方向のメートル単位とし、座標の原点は、荒谷の遠隔監視室付近（北緯36.0653142度、東経136.3406324度）としている。

(2) 高精度地図の作成

走行領域を2次元（XY方向）の0.1m×0.1mの格子に分割し、各計測点のX座標、Y座標により各格子に計測点を格納していく。各格子に内包される計測点の平均反射強度を求め、図示することで、航空写真のような高精度地図を作成することができる。以下の各項で示す地図は、この形式の地図である。車載のライダーセンサで得られた計測点の位置・赤外線レーザー光の反射強度の点群をこの地図と照合し、類似度評価を行うことで、車両の自己位置を推定することができる。また、走行領域を1m×1mの格子として、各格子に内包される地面以外の構造物等の計測点（1m以上の高さの計測点を抽出）のX座標平均値、Y座標平均値、X座標分散、Y座標分散、XY座標の共

分散を求め格納することでも高精度地図を作成した。この地図は、車載のライダーセンサで得られた地面以外の計測点の位置を用いて、NDT (Normal Distribution Transform) スキャンマッチングと呼ばれるアルゴリズムにより、自己位置を推定することが可能である。

4.1.1.2 作成した高精度地図の全体像

図 4.1.1-1 に作成した全体像の高精度地図と航空写真を示す。文書への貼り付けのため縮小されているが、縮小前の高精度地図は、1 ピクセルが 0.1m に相当する。ライダーセンサの計測点を RTK-GNSS で計測した位置、向きにより座標変換するため、本研究の計測の機器構成では、RTK-GNSS による高精度測位（測位誤差 0.1m 以下）が出来ない場所では地図が作成できない。永平寺口駅～荒谷の区間の全域の高精度地図を作成することができたが、荒谷～志比は樹木による、測位衛星からの信号の遮断が長い区間で発生したため、荒谷～志比全域の高精度地図を作成することができなかった。

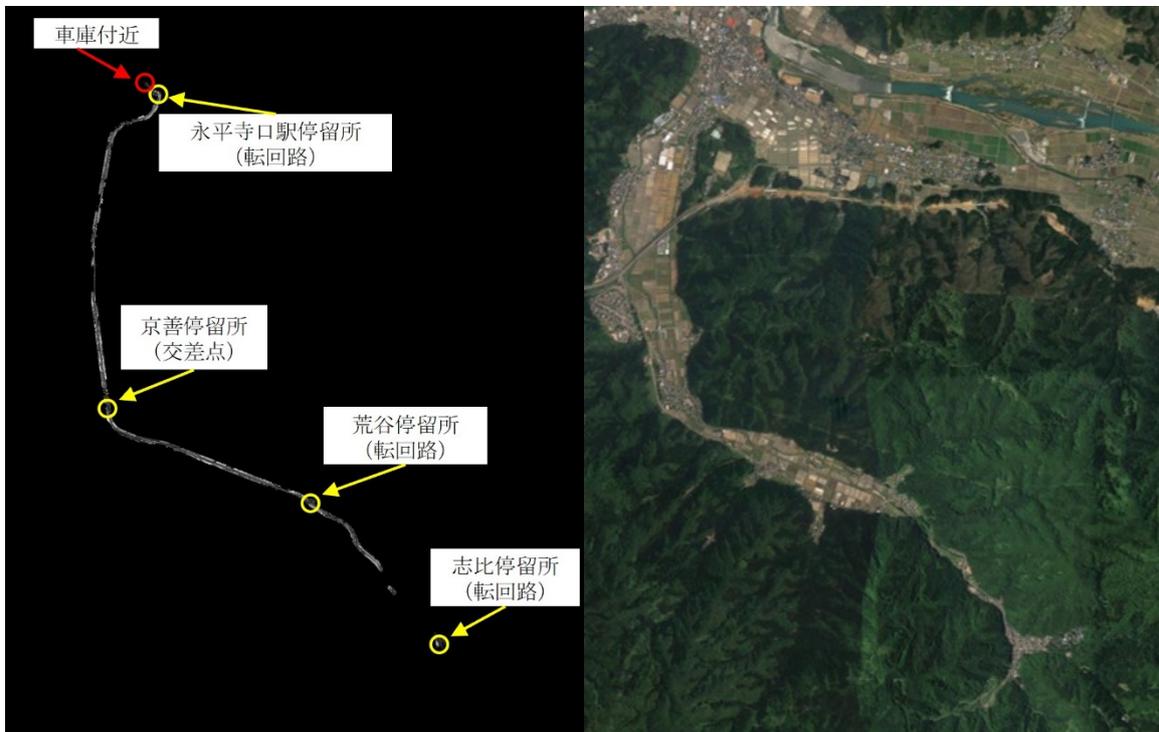


図 4.1.1-1 全体図の高精度地図と航空写真(Google Earth より)

4.1.1.3 詳細図の例1：交差点

図 4.1.1-2 に、この項で例示する交差点の位置を示す。図 4.1.1-3～図 4.1.1-10 に交差点における高精度地図と航空写真 (Google Earth) を示す。



図 4.1.1-2 高精度地図上と航空写真の交差点位置

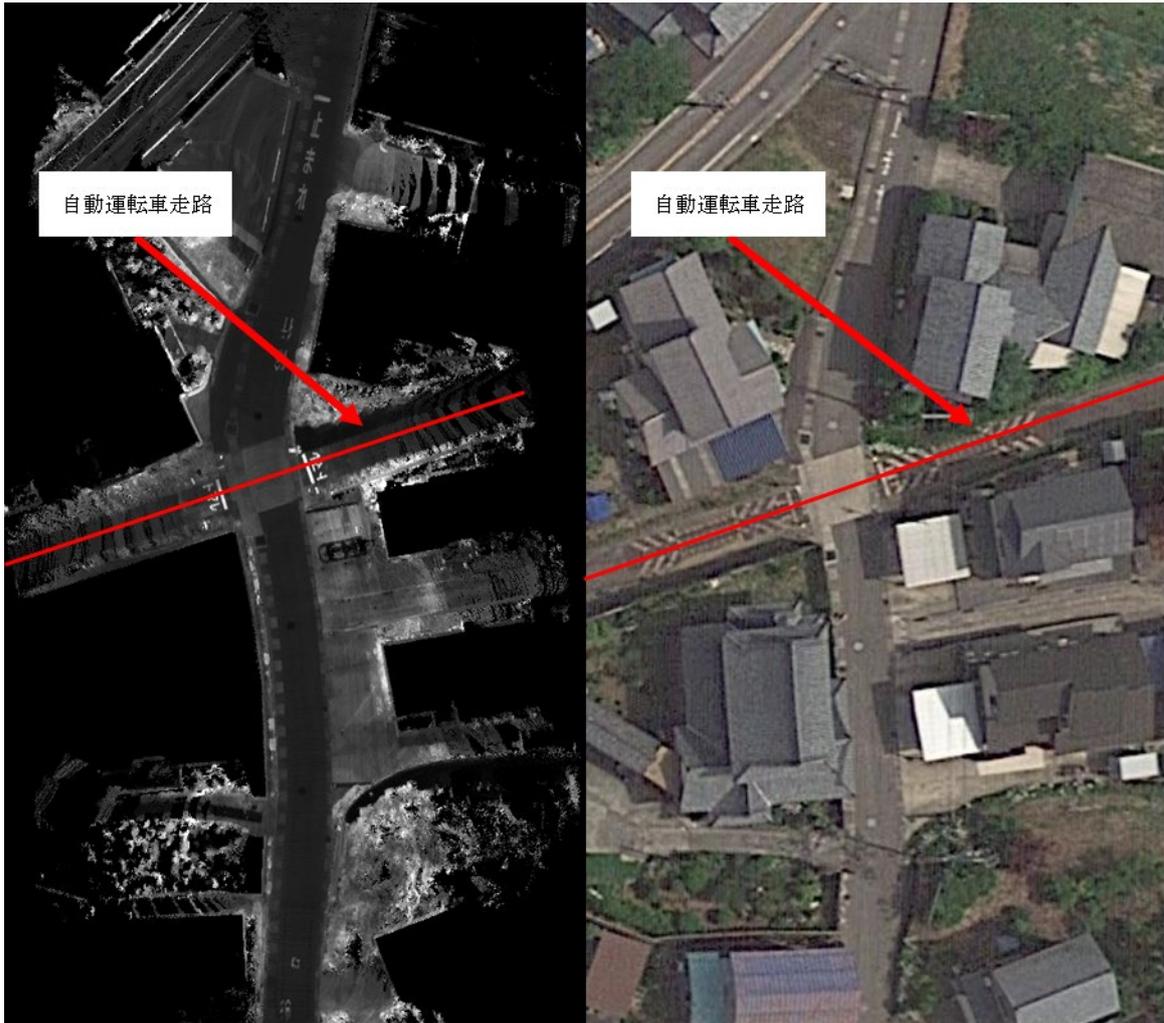


図 4. 1. 1-3 交差点①の高精度地図と航空写真(Google Earth より)

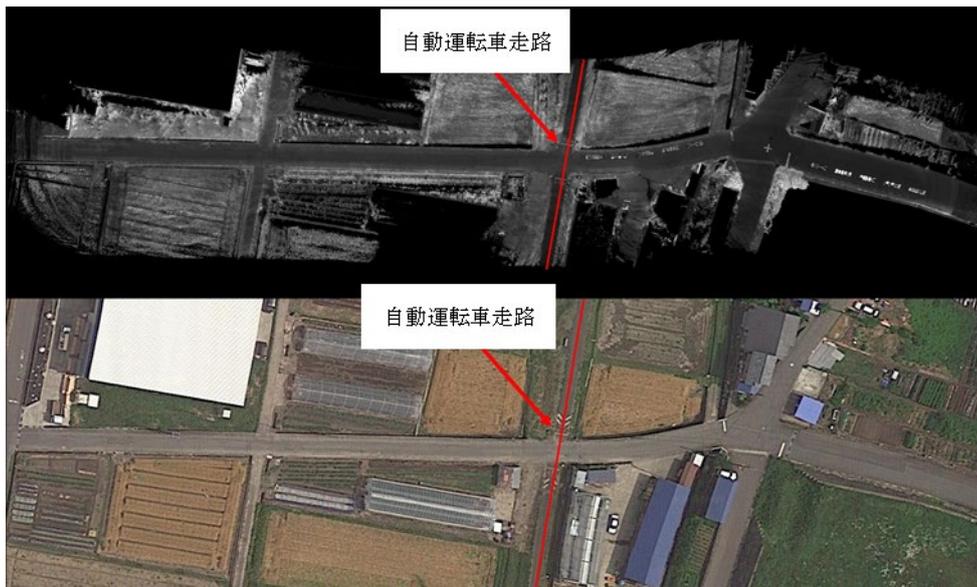


図 4. 1. 1-4 交差点②の高精度地図と航空写真(Google Earth より)

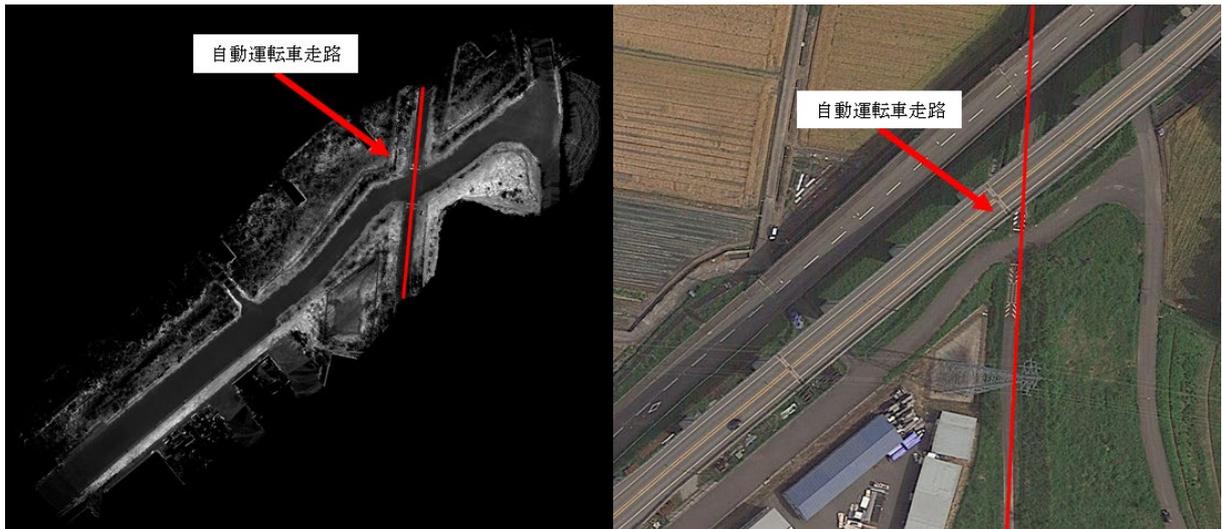


図 4. 1. 1-5 交差点③の高精度地図と航空写真(Google Earth より)

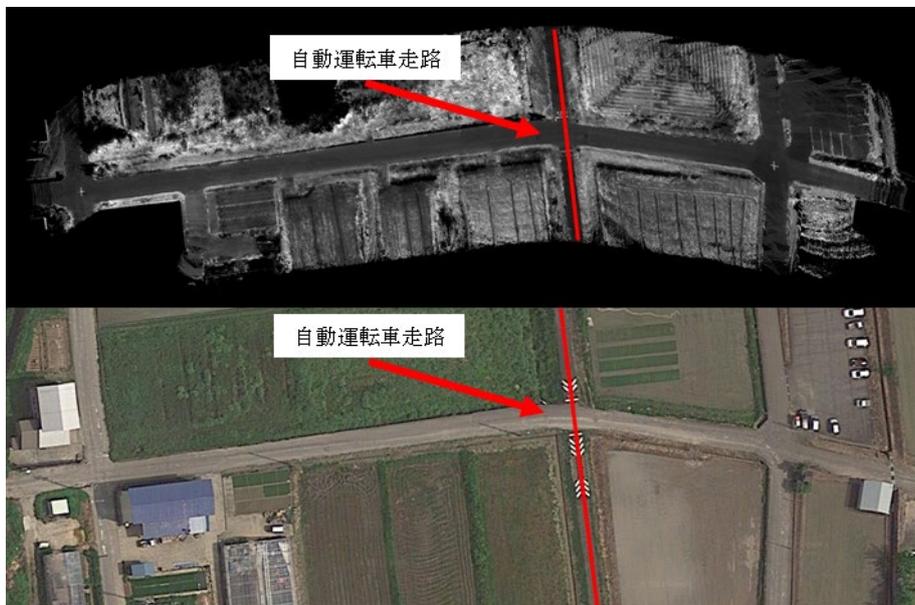


図 4. 1. 1-6 交差点④の高精度地図と航空写真(Google Earth より)

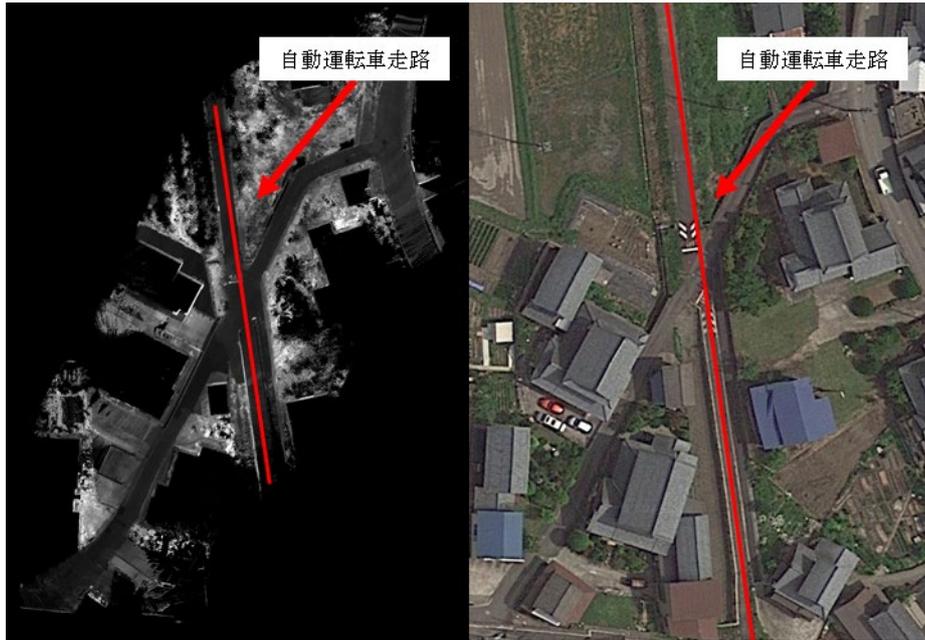


図 4.1.1-7 交差点⑤の高精度地図と航空写真(Google Earth より)

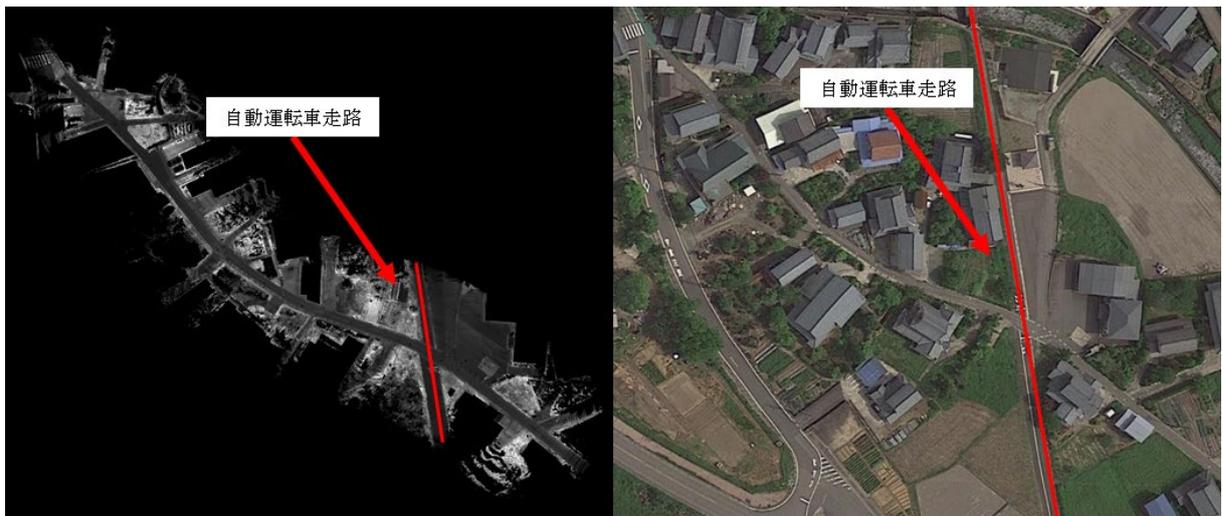


図 4.1.1-8 交差点⑥の高精度地図と航空写真(Google Earth より)

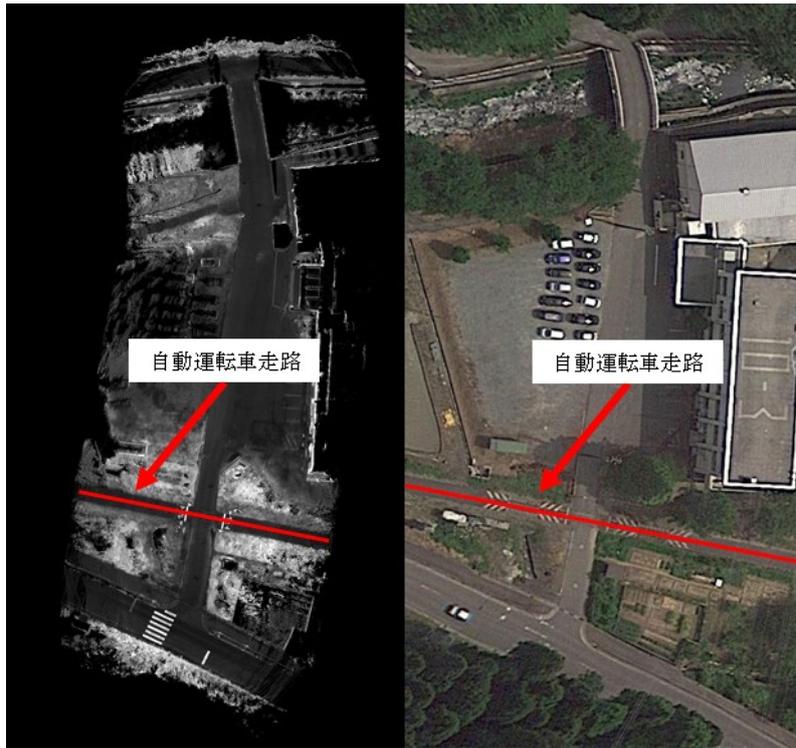


図 4.1.1-9 交差点⑦の高精度地図と航空写真(Google Earth より)

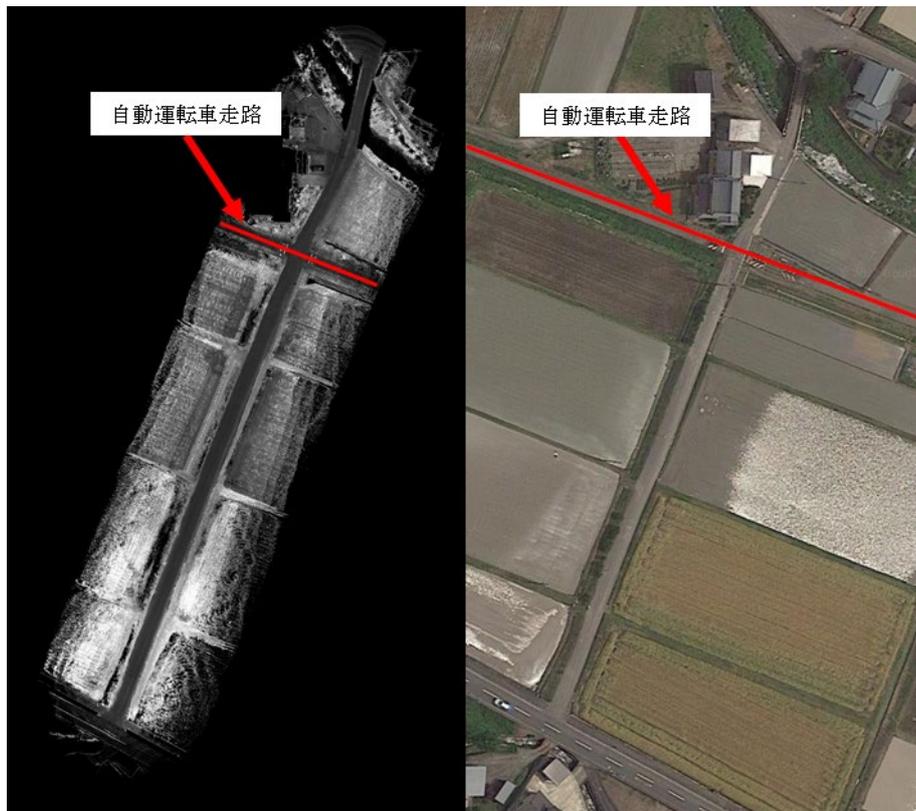


図 4.1.1-10 交差点⑧の高精度地図と航空写真(Google Earth より)

4.1.1.4 詳細図の例2：荒谷の国道交差エリア

図 4.1.1-11 に荒谷の国道交差エリアの高精度地図の詳細図と航空写真（緯度 36.065467、経度 136.340643 付近）を示す。

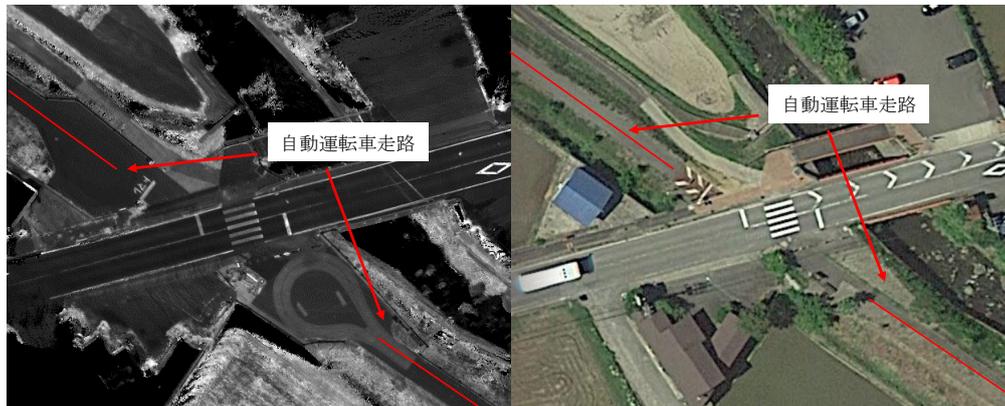


図 4.1.1-11 転回路の高精度地図と航空写真(Google Earth より)

4.1.1.5 詳細図の例3：車庫付近

図 4.1.1-12 に作成した高精度地図の詳細図と航空写真（緯度 36.095717、緯度 136.326515 付近）を車庫付近の例を示す。



図 4.1.1-12 車庫付近の高精度地図と航空写真(Google Earth より)

4.1.2 永平寺町の自動運転走路における自己位置推定アルゴリズムの評価

この節では、4.1.1 で報告した高精度地図を利用した自己位置推定アルゴリズムによる自己位置推定の評価について報告する。自己位置推定の評価は、永平寺口駅（カート車庫付近）～荒谷の区間について行った。以下の各項では自己位置推定アルゴリズムと推定区間、自己位置推定評価結果について報告する。

4.1.2.1 自己位置推定アルゴリズムと評価区間

自己位置推定アルゴリズムは、以下の2つのアルゴリズムを用いた。

自己位置推定アルゴリズム1：NDT スキャンマッチングによる自己位置推定

自己位置推定のための高精度地図は、1m×1mの格子に計測時に得られた計測点の地表面以外の計測点について、X座標、Y座標の平均値や共分散を格納したものである。これらの値を用いて、各格子毎に確率密度関数を作成する。車両で計測されたライダーセンサの計測点群について、各計測点の位置に対応する格子内の確率密度関数の値を評価関数の値とし、最も評価関数の値が高くなる位置を自己位置として推定する。このアルゴリズムは、周囲の構造物との位置関係から自己位置推定を行うアルゴリズムであり、高精度地図の格子サイズが1m×1m程度の大きさであっても（地図の格子が大きくなれば地図のデータ量を小さくすることができる）、0.2m以下の精度で自己位置推定が可能である特徴を持つ。

自己位置推定アルゴリズム2：反射強度の類似度評価によるマッチングによる自己位置推定

自己位置推定のための高精度地図は、0.1m×0.1mの格子に計測時に得られた計測点の平均反射強度を格納したものである。車両で計測されたライダーセンサの計測点群について、各計測点の位置に対応する反射強度のパターンを生成し、この反射強度パターンと高精度地図のパターンの類似度が最も高くなる位置を自己位置として推定する。このアルゴリズムは、地表面の反射強度パターンにより自己位置推定を行うアルゴリズムであり、構造物が存在しなくても、路面の塗装による反射強度の差、走路と走路以外の部分での反射強度の差に特徴があれば、自己位置推定が可能である特徴を持つ。

各自己位置推定の評価では、初期位置をRTK-GNSSで合わせた上、車速とヨーレートセンサにより、デッドレコニングによる自己位置を求め、そこから、±1m、±2度の範囲で、評価関数进行评估し、デッドレコニングによる自己位置を補正したものを自己位置推定値としている。自己位置推定は、図2-2-1に示す、永平寺口駅車庫付近～荒谷を9区間に分けて行った。

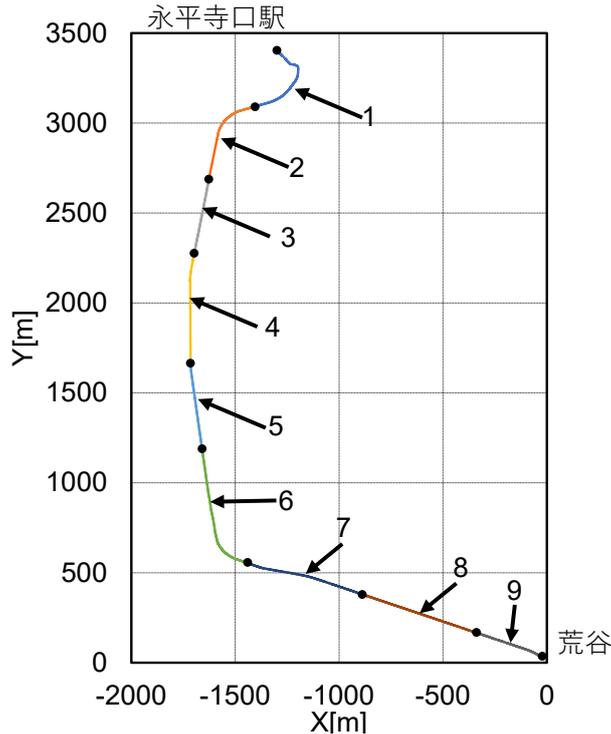


図 4.1.2-1 自己位置推定の評価区間

4.1.2.2 自己位置推定評価結果

表 4.1.2-1 に、各アルゴリズムによる各区間の自己位置推定評価結果を示す。RTK-GNSS による計測位置に対する誤差を評価し、区間の全域において、自己位置推定の誤差が 0.2m 以下、1m 以下となった場合は○、そうでない場合は×として表記している。評価の結果、反射強度の類似度評価による自己位置推定では、全ての区間において 0.2m 以下の精度で自己位置を推定できた。一方で、NDT スキャンマッチングによる自己位置推定では、各区間の一部では、0.2m 以下の精度で自己位置推定ができるものの、自己位置推定精度が大きく悪化する場所があった。区間 9 では、1m 以下の精度で自己位置推定が実現できたが、他の区間では、区間中の 1 つ以上の場所で自己位置の推定の誤差が 1m を上回り、リセット処理（自己位置を RTK-GNSS の計測位置に戻す処理）が必要となった。図 4.1.2-2～5 に、評価したデータの例として、区間 1、区間 9 における自己位置推定の誤差、各アルゴリズムによる自己位置推定による車両軌跡を示す。

NDT スキャンマッチングによる自己位置推定で、高精度な自己位置推定ができない箇所が多々生じた理由は、永平寺口駅～荒谷間の農地を通過するような箇所では、自己位置推定のためのマッチングのための構造物が検出できないためである。一方で、反射強度の類似度評価による自己位置推定では、構造物ではなく、車両周辺の環境を面として扱うため、構造物が無くても自己位置推定が可能あり、永平寺口～荒谷間のような環境でも十分に自己位置推定ができることが確認できた。但し、農地において、季節によって農作物の有無、農作物の生育状況により、広い範囲で大きく反射強度が変わる可能性があり、高精度地図の逐次更新が必要であると考えられる。

荒谷～志比間の区間については、高精度地図が作成できなかったため、評価はしていないが、MMS 測量業者が計測した計測データを利用すれば、地図を作成することは可能であると考えられる。荒谷～志比の区間では、樹木が多いため NDT スキャンマッチングによる自己位置推定には有利であるが、木々の葉の生育や伐採等により、構造物の位置が大きく変わる可能性がある。反射強度の類

似度評価による自己位置推定でも植物の生育状況や、落葉の影響により、走行環境の反射強度が大きく変わる可能性がある。

表 4.1.2-1 各区間における自己位置推定の結果

区間	NDTスキャンマッチングによる自己位置推定		反射強度類似度評価による自己位置推定	
	誤差0.2m以下	誤差1m以下	誤差0.2m以下	誤差1m以下
1	×	×	○	○
2	×	×	○	○
3	×	×	○	○
4	×	×	○	○
5	×	×	○	○
6	×	×	○	○
7	×	×	○	○
8	×	×	○	○
9	×	○	○	○

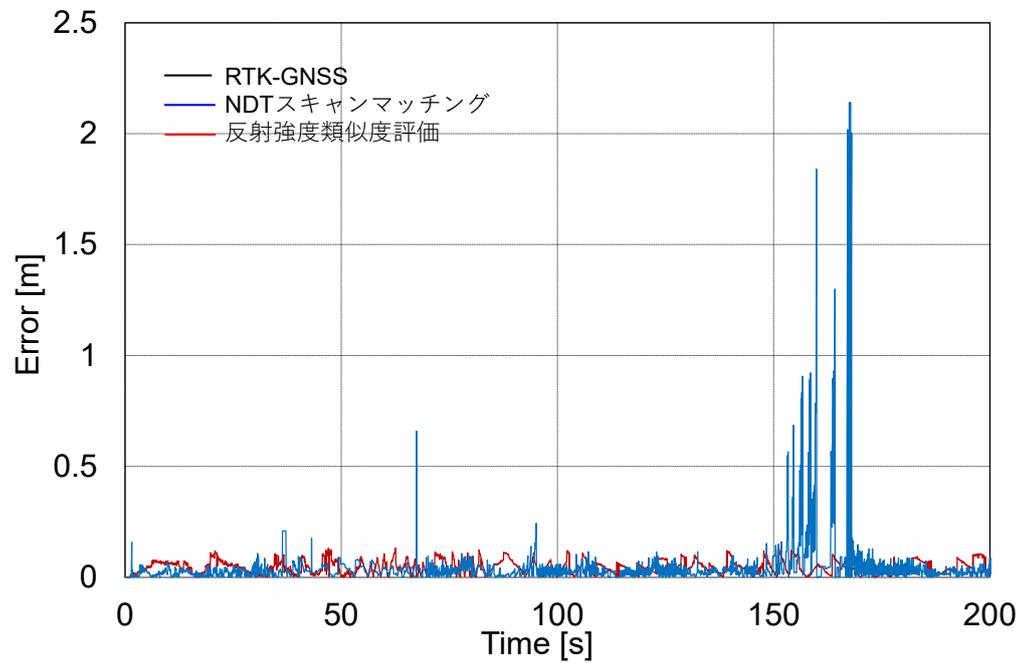


図 4.1.2-2 区間 1 における自己位置推定の誤差

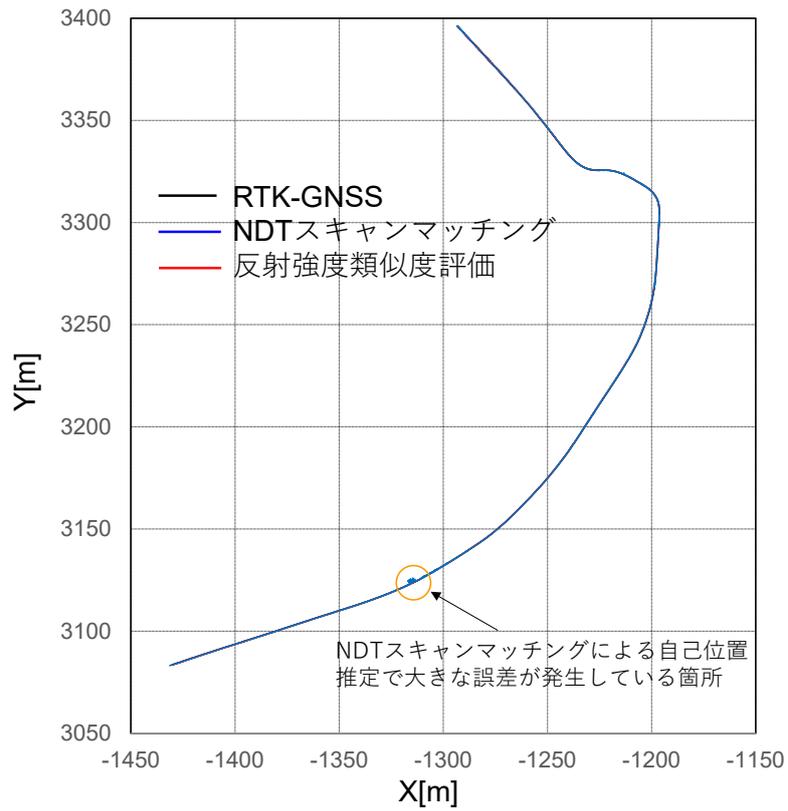


図 4. 1. 2-3 区間 1 における自己位置推定による車両軌跡

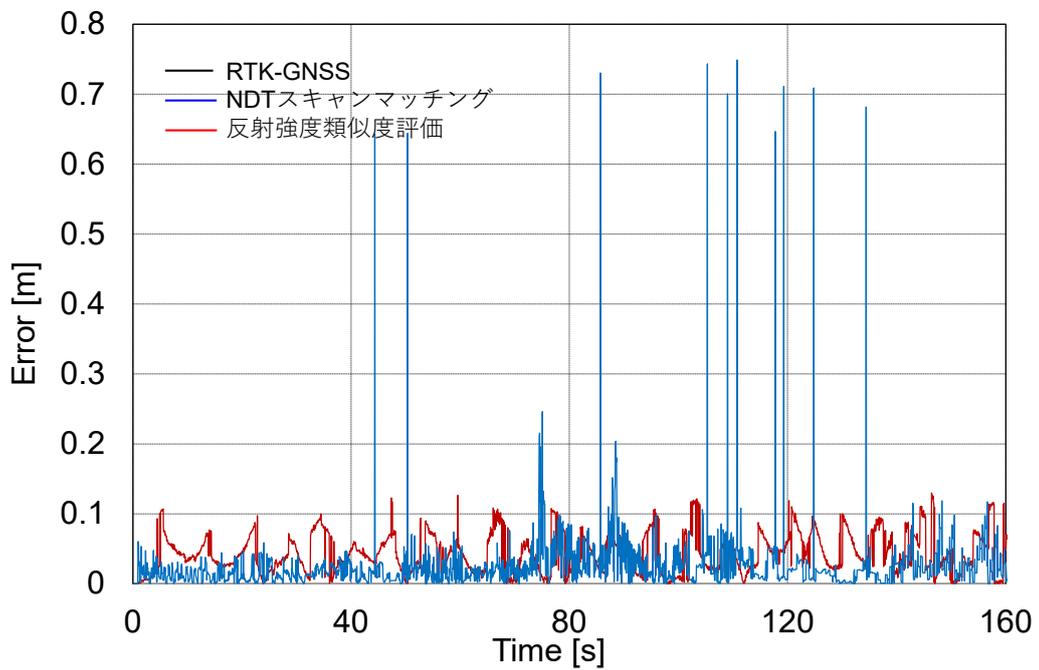


図 4. 1. 2-4 区間 9 における自己位置推定の誤差

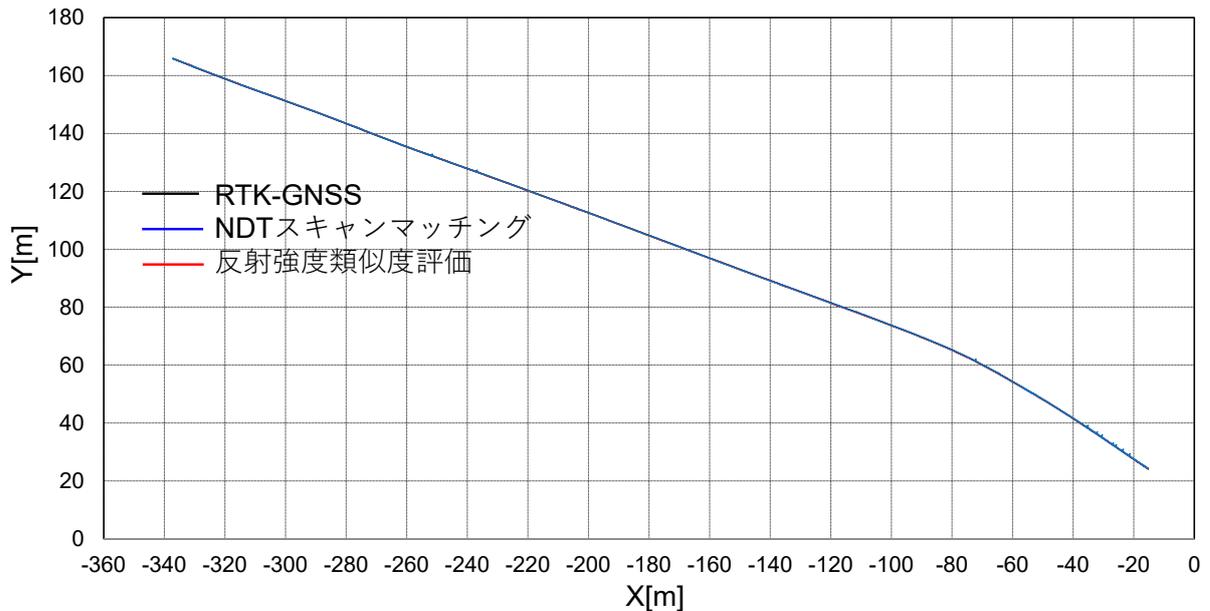


図 4. 1. 2-5 区間 9 における自己位置推定の誤差

4. 1. 3 端末交通での利用を想定した自己位置推定アルゴリズムの改良のための評価

ここでは、永平寺町の自動運転システムのような端末交通での利用を想定した自己位置推定アルゴリズムの改良について報告する。端末交通では、消費電力やスペースの制約から、計算機の演算負荷が小さいことが望ましい。また、自己位置推定の際のマッチングの対象に植物が多く含まれることから、地図の逐次更新ができることが望ましい。以下の各項では、上記の要望に対応する可能性の検討として、NDT スキャンマッチングアルゴリズムを対象として、計算負荷の低減、地図の逐次更新について構内走路にて評価を行った。

4. 1. 3. 1 自己位置推定の計算負荷の低減の可能性に関する評価

自己位置推定の計算負荷の低減として、2つの方法を評価した。一つは、計算における演算量の低減である、もう一つは、計算に使用するライダーセンサの計測点の低減である。以下では、各手法による計算負荷の低減効果と自己位置推定の精度について報告する。

自己位置推定計算における計算量の低減

NDT スキャンマッチングでは、ライダーセンサからの計測点群の位置から、その位置における確率密度関数の値を算出する必要があり、この計算量の低減を試みた。

一つ目の手法としては、確率密度関数の計算における指数関数の計算、平方根の計算において、値を丸めた上、計算の値の答えのテーブルを配列変数で用意しておき、計算をせずに配列変数の値を参照する手法を試みた。この手法では、指数関数、平方根の計算が不要となる一方で、指数関数、平方根の計算結果の値の精度が厳密な計算よりも低下する。この方法を『方法①』として表記する。

もう一つの手法は、走行領域を 1m×1m の格子に分割して作成された高精度地図（各格子には、

地図作成時の計測点のXY座標の平均値、分散、共分散が格納されている)から、0.05m毎に確率密度関数の値を計算し、あらかじめ、走行領域を0.05m×0.05mの格子に分割した高精度地図を別途用意し、各値を格納する。計算時は、各計測点のXY座標から対応する値を高精度地図から抽出し、計算値として採用する手法である。この方法は、計算がほとんど不要になるが、車両のライダーセンサの計測点の精度が0.05mとなってしまう、地図のサイズが大きくなってしまう。この方法を『方法②』として表記する。

図4.1.3-1、図4.1.3-2に新川崎タウンキャンパス内走路での自己位置推定の結果を示す。図2-3-1は、ライダーセンサの1スキャンあたりの計算時間(CPUはノートPC用Core i7)であり、方法①により10%程度、方法②により30%程度の計算時間の短縮が実現できた。図2-3-2はRTK-GNSSによる位置に対する自己位置推定値の誤差であり、各手法で大きく変わることは無かった。計算時間だけ考えれば、方法②が有効であるが、高精度地図のサイズが大きくなることに留意する必要がある。

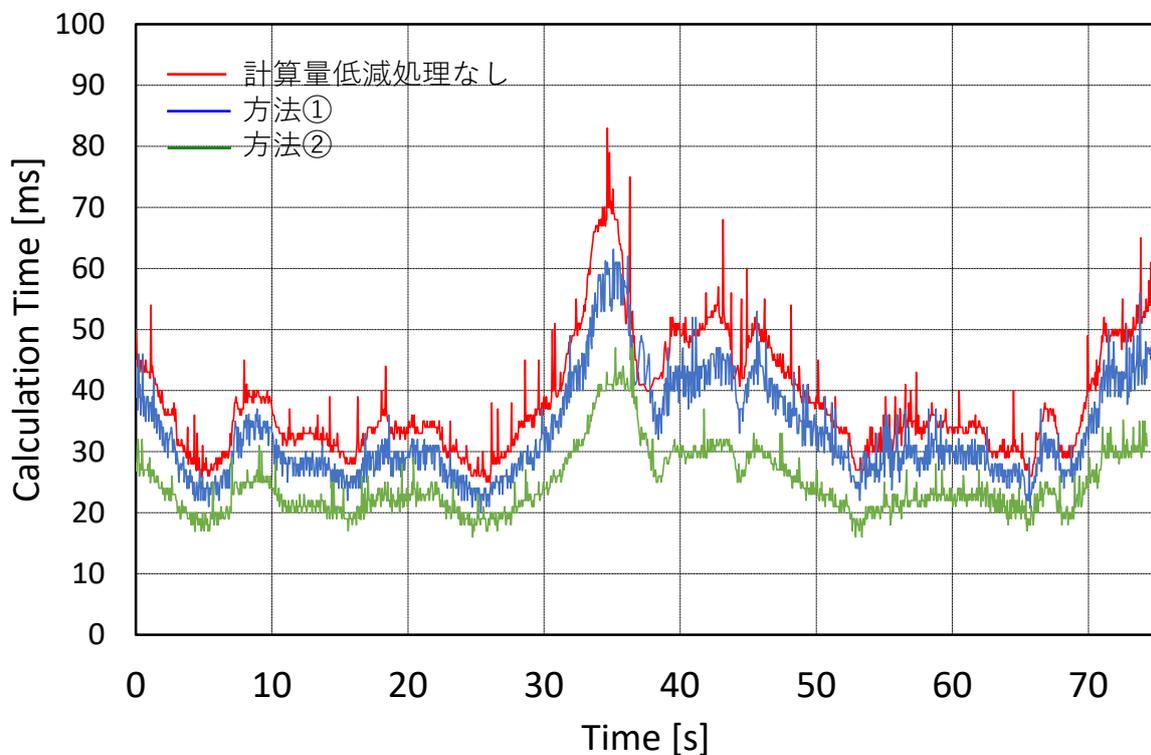


図4.1.3-1 自己位置推定の計算量の低減処理による計算時間の比較

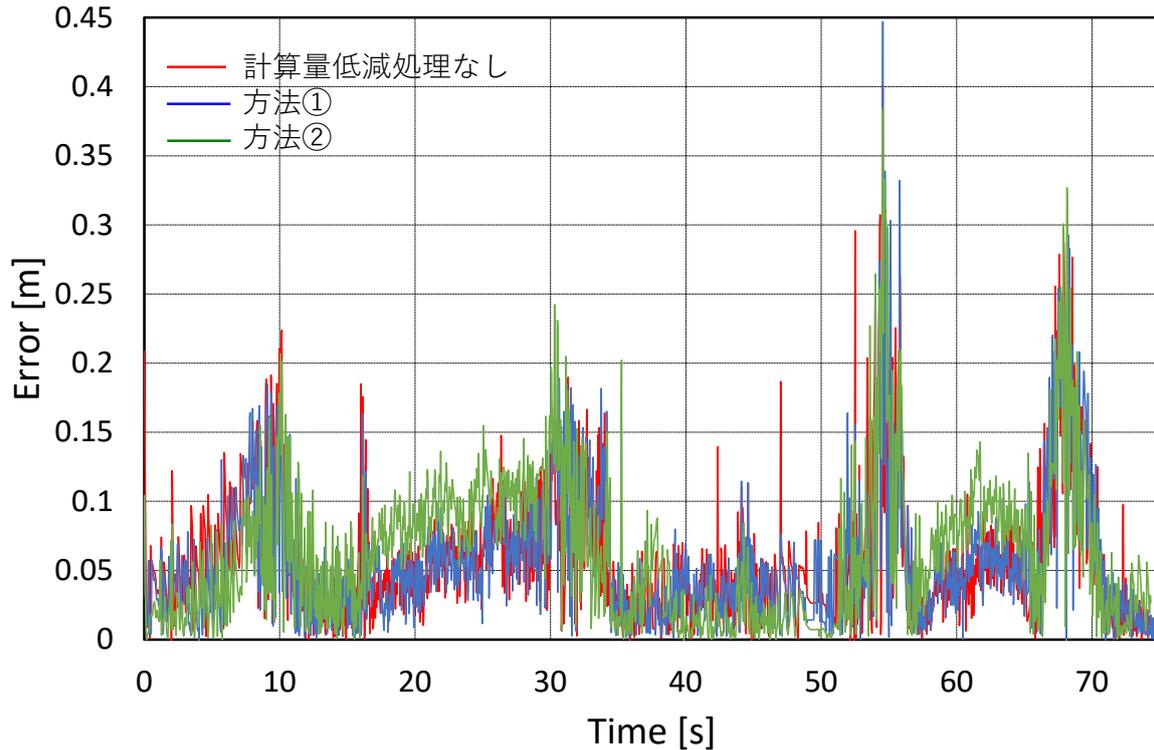


図 4. 1. 3-2 自己位置推定の計算量の低減処理による自己位置推定誤差の比較

計算に使用するライダーセンサの計測点の低減

NDT スキャンマッチングでは、ライダーセンサからの計測点群の位置から、その位置における確率密度関数の値を算出する必要があり、計測点を間引きして、計算量を低減することを試みた。この評価で使用したライダーセンサは、水平方向に約 0.4 度の分解能を持つ。ここで、高さが指定する範囲に存在する全ての計測点を使用した場合、水平方向に 1 つおきに採用した場合 (0.8 度分解能に相当)、水平方向に 2 つおきに採用した場合 (1.2 度分解能に相当)、水平方向に 2 つおきに採用した場合 (1.6 度分解能に相当) した場合を比較した。

図 4. 1. 3-3、図 4. 1. 3-4 に新川崎タウンキャンパス内走路での自己位置推定の結果を示す。図 4. 1. 3-3 は、ライダーセンサの 1 スキャンあたりの計算時間であり、分解能に反比例する形で計算時間が短縮されることを確認した。図 4. 1. 3-4 は RTK-GNSS のよる位置に対する自己位置推定値の誤差であり、評価を行った分解能の範囲では、大きく変わることは無かった。

自己位置推定を行う際、ライダーセンサの計測点を必要以上に処理して、無駄に演算負荷をかけている可能性があることを確認した。よって、計算に使用する計測点の調整は、計算負荷の短縮に重要であることを確認した。

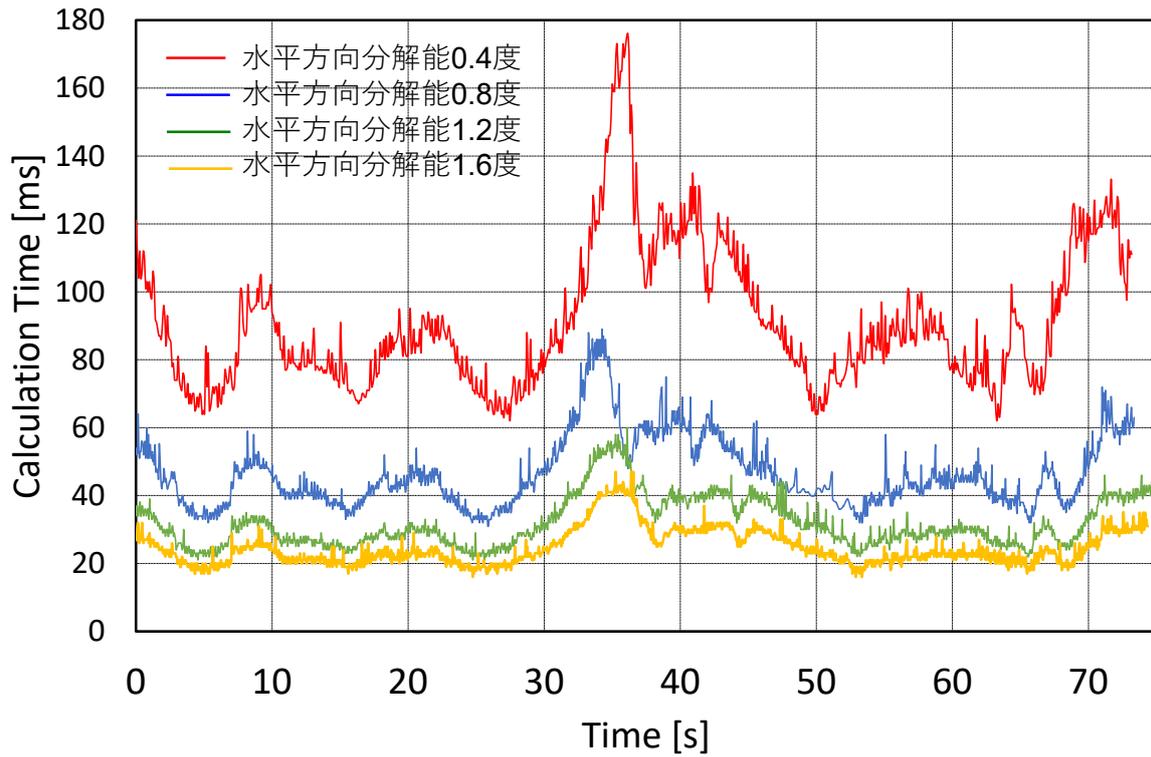


図 4. 1. 3-3 自己位置推定のライダーセンサ計測点数の低減による計算時間の比較

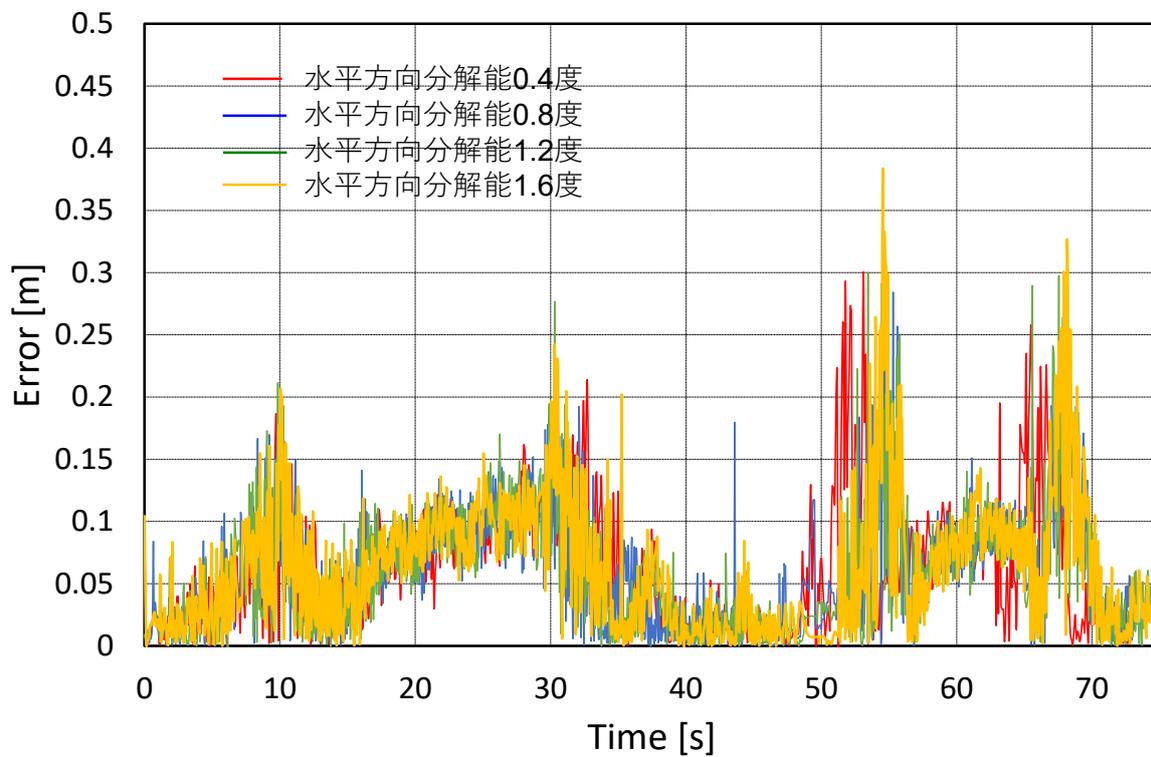


図 4. 1. 3-4 自己位置推定のライダーセンサ計測点数の低減による自己位置推定誤差の比較

4.1.3.2 地図の逐次更新の可能性の評価

NDT スキャンマッチングや反射強度の類似度評価による自己位置推定では、走行環境に車や人、一時的な構造物があり、高精度地図と実際の環境が一部異なっている場合、その影響は、他の候補（位置、向き）にも同じように影響するため、多くの場合、相対的には正しい位置、向きが最も評価関数の値が高くなるため、自己位置推定が可能である。しかし、畑の植物の成長など、反射強度や高さに広い範囲で影響する場合は、自己位置推定の精度が劣化すると考える。このような変化は緩やかに起こることが多いため、地図の更新により対応するが可能であると考えられる。しかし、地図の更新の際に、高精度な測量機器を用いるのであれば、大きなコストとなる。そこで、高精度地図の作成（RTK-GNSS などを使用）→高精度地図による自己位置推定→自己位置推定に基づく地図の更新→更新した高精度地図による自己位置推定→自己位置推定に基づく地図の再更新→再更新した高精度地図による自己位置推定・・・のように、初回の地図作成以降は、地図による自己位置推定により更新すれば良いと考える。一方で、更新毎に、自己位置の推定位置がずれると、そのずれの蓄積により、地図自体がずれていき、結果として、RTK-GNSS の絶対座標と合わなくなっていく可能性がある。また、パスなどが絶対座標で定義されている場合は、地図とずれていくことになる。

この項の評価では、更新前の地図で自己位置推定を行い、その位置情報に基づいて地図を更新するプロセスを繰り返すことで、複数回更新された高精度地図による自己位置推定が RTK-GNSS の座標値とどの程度異なるのかを評価した。

慶應義塾大学新川崎タウンキャンパス内の走路で、RTK-GNSS とライダーセンサを搭載した車両で走行し、ライダーの計測点群を取得する。これを用いて、NDT スキャンマッチング用の高精度地図を作成し、同じ点群を用いて自己位置推定を行い、その座標に基づいて地図を再作成する。図 2-3-5 は、再作成のプロセスを 50 回繰り返したものと、再作成前の自己位置推定を比較したものである。50 回更新した高精度地図による自己位置推定の誤差は、更新前の高精度地図による自己位置推定の結果よりも、誤差が大きくなるものの更新前の地図で 0.2m 以下の誤差の範囲では 0.2m 以下の誤差であり、更新前の地図で 0.3m 程度の誤差の場所でも、それを増幅せず、同程度の誤差となることを確認した。すなわち、RTK-GNSS 等の高精度な測量装置を用いた地図作成を 1 回行えば、しばらくは、高精度地図による自己位置推定により、高精度地図を更新できる可能性があることを確認した。第 4.1.2.2 項の評価の通り、永平寺町での走路（永平寺口～荒谷）では、NDT スキャンマッチングの適用は難しいが、反射強度の類似度評価による自己位置推定では全域で 0.2m 以下の精度が実現できるため、反射強度の類似度評価のための地図を、自己位置推定により更新できれば、畑の農作物の有無や生育状況による反射強度の変化に対応した地図更新が可能であると考えられる。

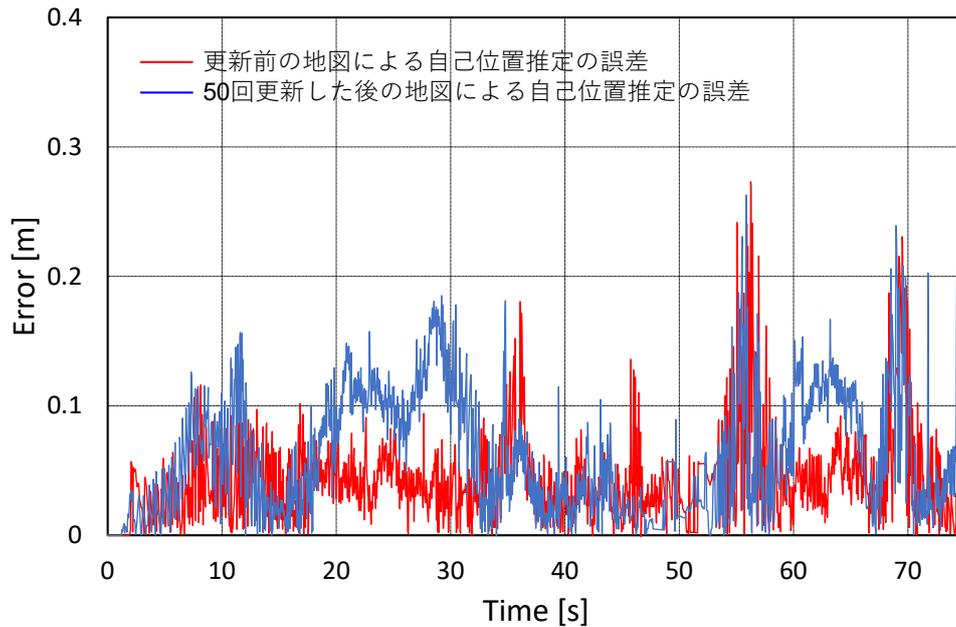


図 4. 1. 3-5 更新前の高精度地図と 50 回更新後の高精度地図による自己位置推定結果の比較

4. 1. 4 端末交通における電磁誘導方式と自己位置推定・高精度地図による自動運転方式の併用の可能性の評価

永平寺町の自動運転システムは、電磁誘導線に追従する方式であり、静的な状況下での速度制御や停止制御は路面に設置された RFID により行われるため、高精度地図と自己位置の情報がなくとも経路走行が可能である。この節では、自己位置推定・高精度地図による自動運転方式を併用することで、電磁誘導線を外れた範囲にも自動運転が可能であるかを確認した。

駆動、制動、操舵が可能な実験車に RTK-GNSS、ライダーセンサ、電磁誘導線センサを搭載し、電磁誘導線への追従制御アルゴリズム、自己位置と高精度地図を使用した自動運転制御アルゴリズムを用意し、自動運転制御ソフトウェアに組み込んだ。図 4. 1. 4-1 に示すように、電磁誘導線への追従は、外周コースで走行できるようにし、自己位置推定と高精度地図を使用した自動運転制御では、内周コースを走行できるようにした。ここで、走行開始地点から、電磁誘導線への追従走行を行い外周コースを 1 周した後、切り替えポイント 1 で、自己位置推定と高精度地図を使用した自動運転制御に切り替える、その後、ポイント 2 まで走行した後、電磁誘導線への追従走行に切り替えて外周コースを半周して、走行終了ポイントまで走行する。

図 4. 1. 4-2、図 4. 1. 4-3 に走行時の車両軌跡、速度を示す。切替ポイントでは、自己位置推定と高精度地図による目標コースと、電磁誘導線を同一にしているため、特に切り替え時に大きな操舵なども発生することなくスムーズに切替を行いながら、両方式での自動運転ができることを確認した。

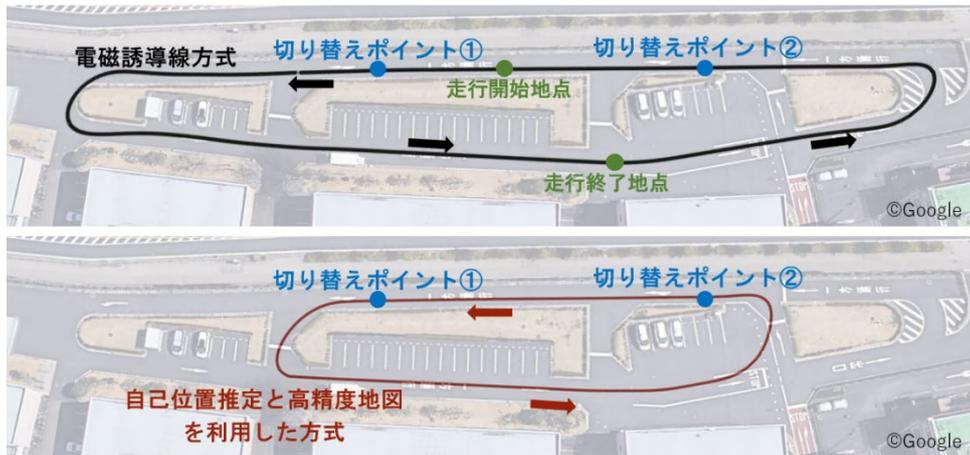


図 4. 1. 4-1 電磁誘導線方式と自己位置推定・高精度地図を利用した方式による自動運転コース

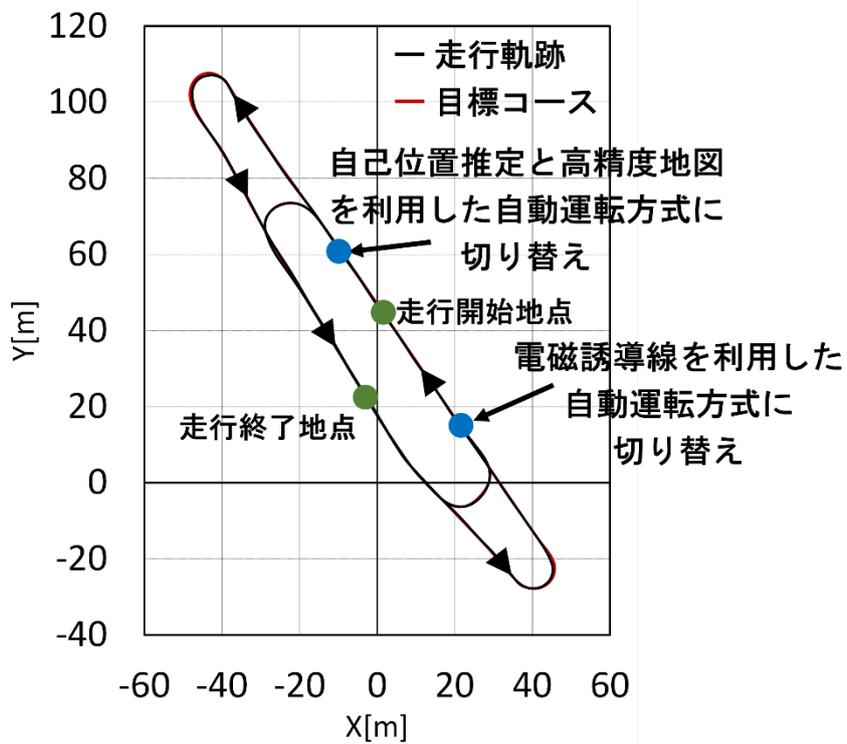


図 4. 1. 4-2 実験結果（走行軌跡）

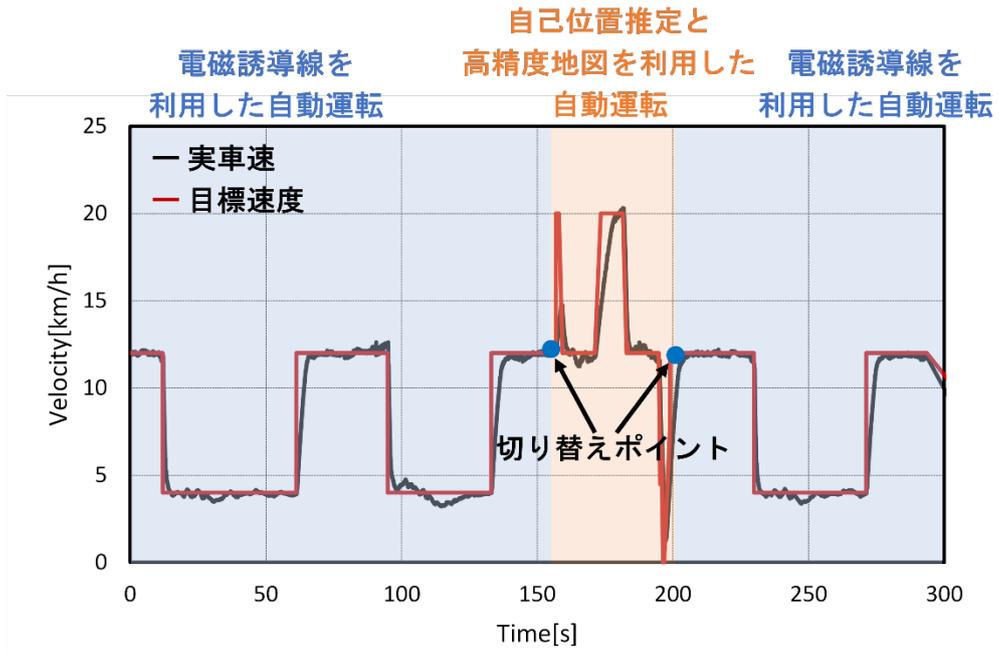


図 4. 1. 4-3 実験結果 (速度)

4.1.5 車載器を用いた自動運転車両における車内安全監視システム

4.1.5.1 背景と目的

福井県永平寺町では、国内初の常時監視が不要な自動運転のレベル3の遠隔型の自動運転移動サービスの技術開発を行い、町が本格運行を現在も行っている。現在、遠隔の1名が3台運行しているが、乗降の安全監視や発進の判断と操作は、人が行う必要があり、人の介在が必要であり、負担であり、完全自動化になっていない。ここでは、自動運転レベル4の移動サービスとして、完全自動化を目指した、車内カメラを用いた乗降など車内安全の判定システムの開発について示す。

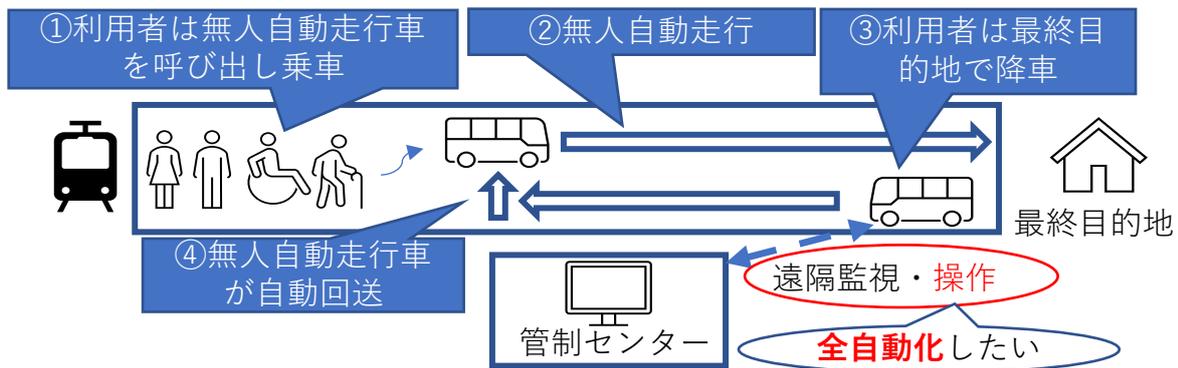


図 4.1.5-1 自動運転移動サービスの完全自動化に向けて

4.1.5.2 想定車両・カメラ設置位置

車両は、現在、永平寺町での自動運転移動サービスに使用されているものと同型のものを利用し、カメラは、車内をとらえるようにルームミラー上部に設置している。



- ・オープンキャビン構造
- ・6人乗り
- ・最高速度12[km/h]（自動運転時）
- ・カメラはルームミラー上部に設置
→容易に導入可能

図 4.1.5-2 自動運転車両とかめらの設置位置

4.1.5.3 提案手法

産総研では、本取組みを様々な方法でこれまでも研究してきたが、検知速度やコストを考慮した方法を今回は提案している。

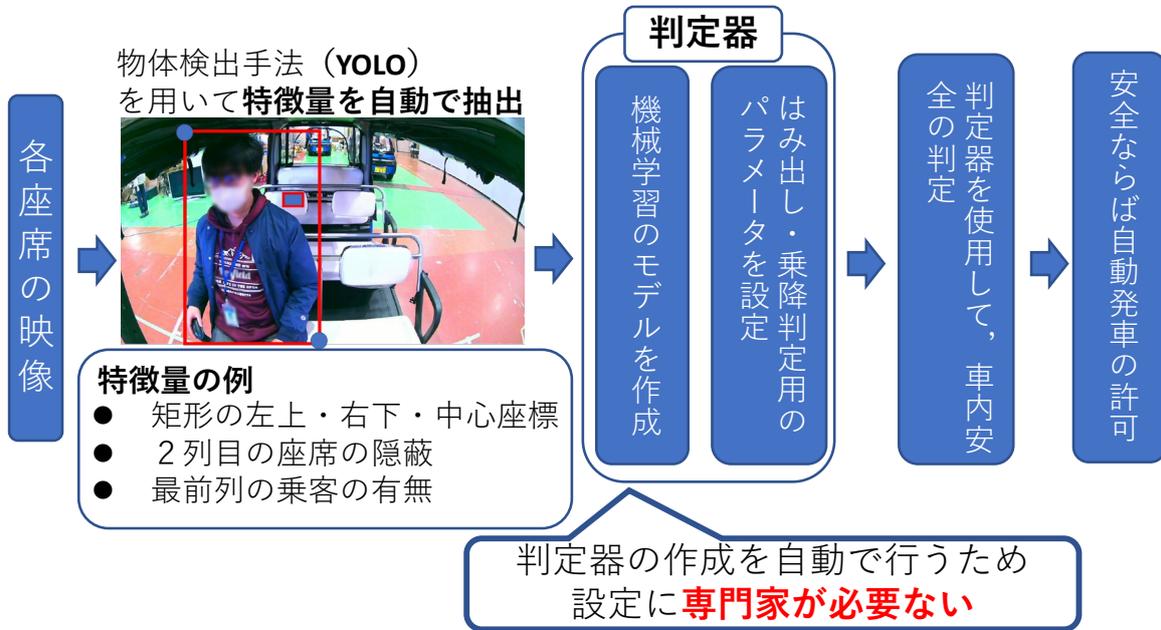


図 4.1.5-3 車内安全監視システムの提案手法

4.1.5.4 車内安全判定の仕組み

車内安全に対する判定の仕組みを以下の図で示す。乗客の乗降状態を判定できることによって、自動発車の許可を出すことが可能である。

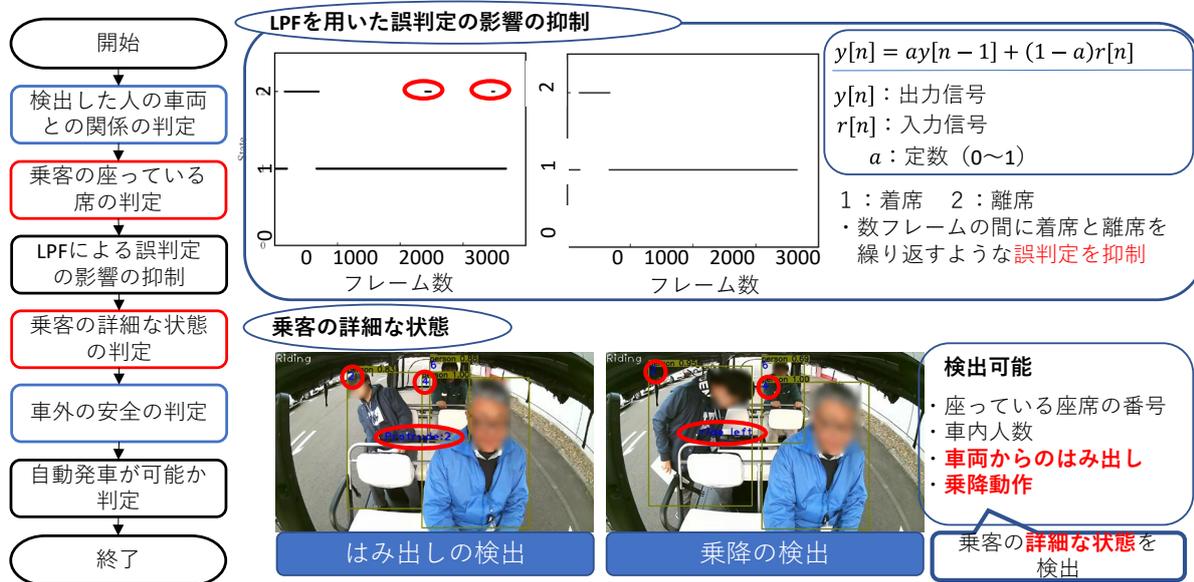


図 4.1.5-4 車内安全判定の仕組み



図 4.1.5-5 自動発車の許可

4.1.5.5 課題と今後の展望

実車での実験で、基本的な有効性が検証され、検出時間も NVIDIA の Xavier で 10fps ほどになっており、車載での実用化には、一定の目途が立ってきたと考えている。

本方式の課題としては、以下があげられる。

- ① 乗る気のない人の判別
- ② オクルージョンによる人検出の失敗
- ③ LPF による判定速度の遅延

また、今後の展望としては、以下に対応していく予定である。

- ①進入禁止エリアの設定・人毎に ID を設定
- ②③車両側方へのカメラの増設

4.1.6 自動運転車両のための一時停止交差点における 3D-LiDAR を用いた発進判断

4.1.6.1 背景と目的

福井県永平寺町では、国内初の常時監視が不要な自動運転のレベル 3 の遠隔型の自動運転移動サービスの技術開発を行い、町が本格運行を現在も行っている。これは、公道交差のない南側の走路であり、北側の走路では、公道交差があるため、実際の運用では、レベル 2 で運転者が乗車して行っている。そのため、今回、適用環境を拡大するため交差点での環境認識と発進判断の自動化を目標として、開発コスト、運用コスト、広角な環境認識を考慮し既存の車載センサである、3D-LiDAR を使用した、発進の自律的な判断についての提案を行っている。

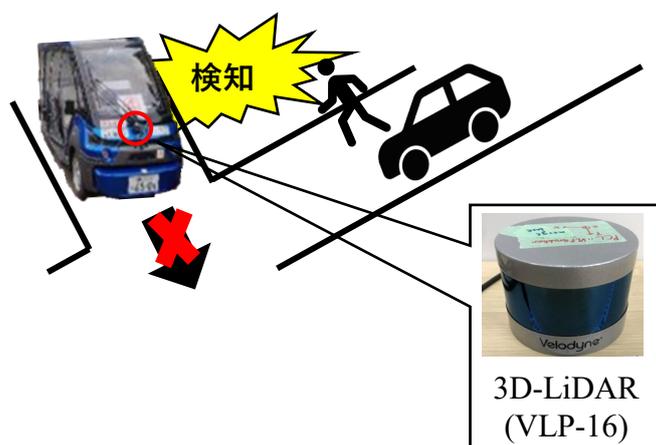


図 4.1.6-2 交差点における車載センサによる自動発進化に向けて

4.1.6.2 提案手法

先行研究としては、3次元地図を用いた環境認識 (SLAM) によるものがあるが、永平寺町の走路は、田んぼの中や畑の中であり、周囲に草木のある廃線跡地であるため、ランドマーク設定が困難であり、交差点の正確な位置合わせが困難であり、採用が難しい。また、歩行者や車両の識別を伴う特徴量推定による手法もあるが、センサから遠方は、形状特徴等の検知が困難である。そこで、今回、永平寺町の運用では、交差部は必ず、自動で一時停止を行うように設定されているため、その一時停止後の周辺認識で接近する移動体に着目した物体検知を行う手法を提案している。これにより、地図作成、位置合わせ、特徴量推定が不要となる。ちなみに、永平寺町の自動運転車両は、電磁誘導線上を走行する方式で、走路の環境にあった安全性、実用性、信頼性の高い方式であり、詳細な地図を必要としないシステムである。



図 4.1.6-2 発進判断までの提案手法の処理

4.1.6.3 実験結果

以下の図に示すように、実際の永平寺町の交差点において、歩行者や車両を検地することができ、交差点までの接近時間を計測することで、自動運転車両の交差点進入時間を閾値（5 秒）と仮置きし、比較したところ、発進可否の判定が可能であった。

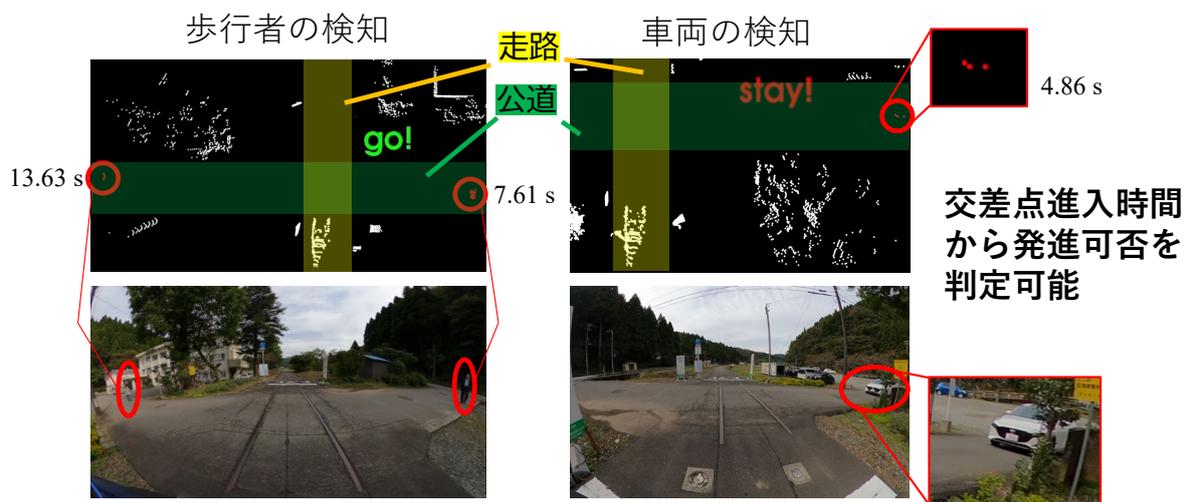


図 4.1.6-3 交差点における歩行者や車両の検知と発進可否判定の結果

4.1.6.4 まとめと課題

今回の研究開発から、揺らぐ草木等は検知せず、接近する物体だけを検知することが可能であり、SLAMなどの高精度な地図を利用しない方式での効率的な検知と発進判断が可能であると考えられる。課題としては、路面の起伏がある交差点では、正確な路面抽出が困難であることがあげられる。これに対しては、小エリアごとの路面推定を繰り返し、路面のポリゴンモデルを形成して対応することなどを検討している。

4.2 車両の開発

本事業において研究開発を進めるためのベース車両には、ヤマハモーターパワープロダクツ社のゴルフカーに対して公道走行可能な改造等を施した公道仕様車（ランドカー）を用いる。ゴルフカーと同様、このランドカーにおいても電磁誘導方式での自動運転が可能である。図 4.2-1 にベース車両のシステム構成を示す。

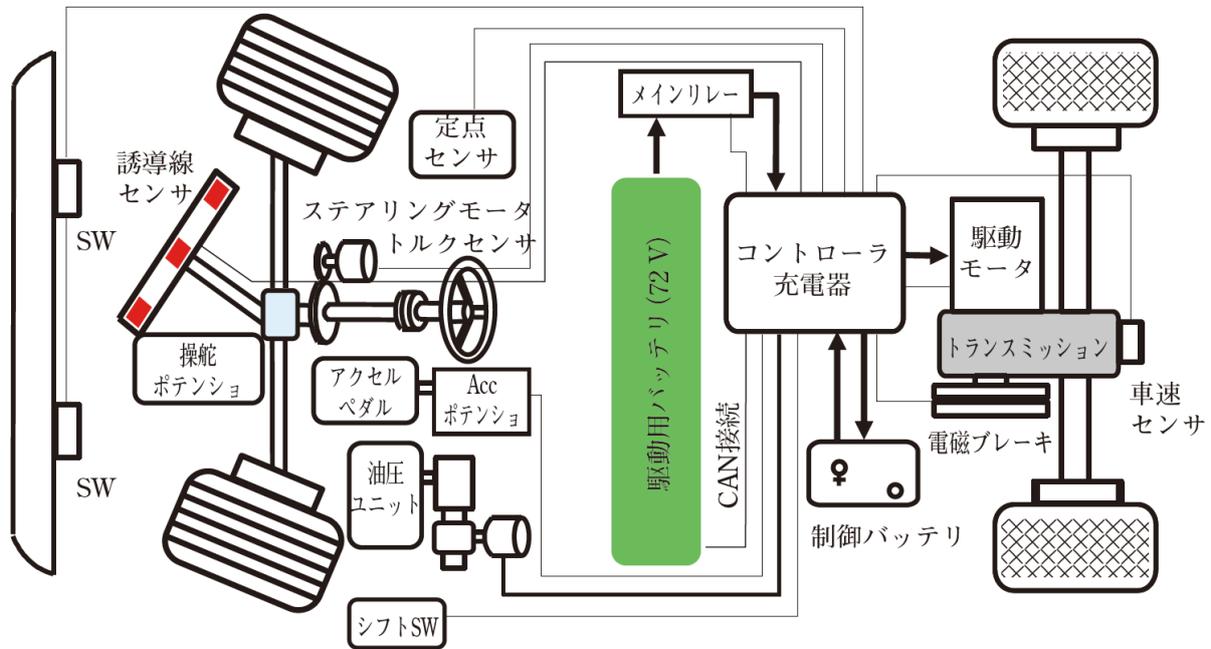


図 4.2-1 ベース車両のシステム構成

電磁誘導方式での自動運転は以下のように制御される。すなわち、操舵制御では、3つの誘導線センサで地面に敷設した誘導線の磁力を検知し、コントローラ（VCU：Vehicle Control Unit）が誘導線の位置を計算することで、誘導線上を走行するようにステアリングモータによるフロントタイヤ角の制御をおこなっている。車速制御では、目標車速と実際の車速、車両の斜度等を元に、VCUが駆動モータへの電流指示、モータの回生ブレーキ制御及び油圧ユニットによるブレーキ制御を実施することで、目標車速での走行となるよう制御をおこなっている。目標車速は地面に敷設したRFIDタグ等から指示が可能である。

上記に加え、本プロジェクト（ZEN L4）において遠隔監視のみ（L4）での高度な自動運転システムを開発していくにあたっては、より上位の判断を司るコントローラから車速制御をおこなえることが必要である。このためVCUには、外部からのコントロールを実現するインターフェースを備えている。

図 4.2-2 に、SAE J3016 で照会している運転行動全般のタスクの概略図を示す。運転行動全般は、Operational functions、Tactical functions、及び Strategic functions の3種類に大別される。運転の自動化とは DDT（Dynamic Driving Task）を自動化することを指す。DDTには Operational functions と Tactical functions が含まれるが、Strategic functions は含まれない。Operational functions は最も内側のループを指す。先述の電磁誘導方式においては、操舵制御は Lateral vehicle motion control を、車速制御は Longitudinal vehicle motion control を、それぞれ自動化していることとなる。さらに高度な運転の自動化のために、上位コントローラが OEDR（Object and event detection and response）を司る。

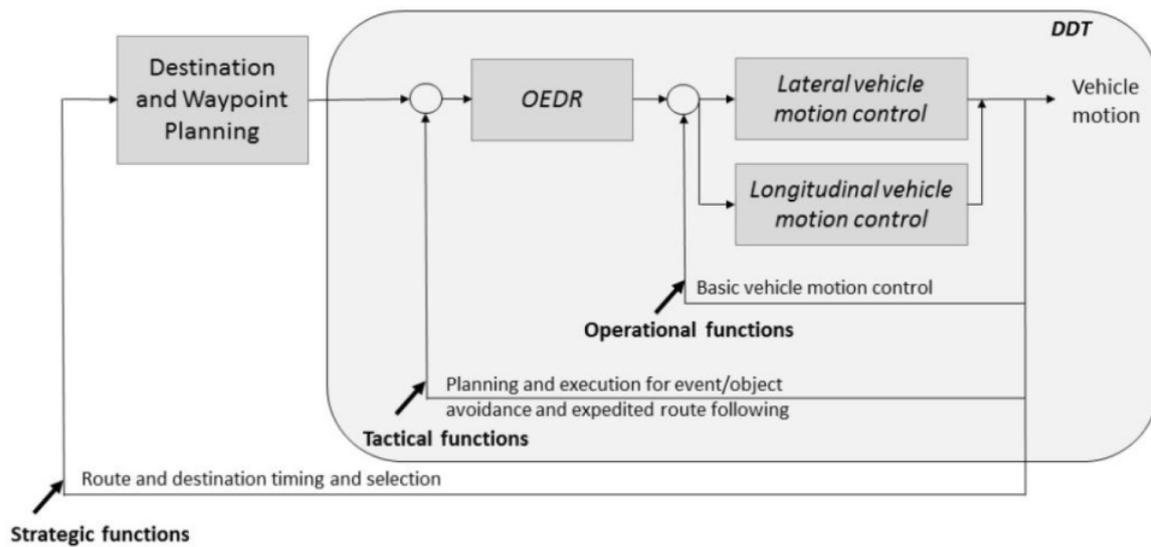


図 4.2-2 運転行動全般のタスクの概略 (出典：SAE J3016)

ZEN L4 において遠隔監視のみ (L4) での自動運転サービスの実現を目指し、2021 年度のシステム開発のベースとなるようシステム制御構成を検討した。これに沿ってユニット間でのインターフェースを検討し、車両の VCU ソフトウェア等についても仕様を策定し、実装を進めた。

4.3 自動運転システムの開発

4.3.1 自動運転システム

本節は、R3年度におけるヤマハ発動機の管制システムとソリトンシステムズの遠隔監視・遠隔操縦システムと連携することで、車両が管制からの運行指示に追従して乗員を目的地まで安全に輸送する自動走行機能と、遠隔地から車両のふるまいを制御する遠隔操縦機能とを備える自動運転Lv4を目指した自動運転システムの車両側の構成と機能について説明する。

4.3.1.1 自動運転システム構成

図4.3.1.1-1に本プロジェクトの自動運転システム全体構成図を示す。複数の自動運転車両（以下、車両）の運行を管理する管制システム、管制システムからの運行指示に基づいて走行する車両と、車内及び車外の状況を映像監視する遠隔監視システム、走行継続が困難な場合は遠隔地より一時的に車両の運転を代替する遠隔操縦システム、走行路の障害物を監視する路側機と路側機からの障害物情報を基にダイナミックマップを配信するMEC(Multi-access Edge Computing)サーバを有するシステムである。

ここで、車両は管制システムに車両位置情報、車速や異常状態といった車両状態情報、遠隔監視の映像遅延情報を送信する。管制システムはこれらの情報をもとに運行の開始もしくは停止を判断し、運行指示を含む運行管理情報を車両に送信することで、車両は電磁誘導線上の自動走行を開始する。

車両は電磁誘導線をトレースして走行するよう設計されているため、管制システムからの運行指示情報として横方向の制御量の指令は必要なく、主に運行時の車速とブレーキ指示情報といった縦方向の制御量を車両に送信する。車両は管制指示車速に追従するように走行制御し、障害物がない状態では管制指示車速のみで一連の運行を継続できる。

しかしながら、実態として永平寺町の走行路は歩車が完全に分離されておらず、走行路中に歩行者が侵入することは十分に予想される。このため、歩行者、自転車、車、動物その他障害物を監視する必要がある。本システムでは2つの手段で障害物検知を狙っており、1つは車両に搭載された障害物センサを用いて障害物を監視する手段と、もう1つは路側機を用いて障害物を監視する手段である。自車に搭載された障害物センサは自車近傍の障害物を検知でき、障害物検知情報を用いて減速あるいは緊急ブレーキを作動させることで、歩行者の安全を確保することができる。一方で車載センサでは他の障害物により遮蔽された障害物を検知できないため、出会い頭に車両と障害物とが衝突する可能性がある。このような状況ではMECサーバが路側機からのセンサ情報をダイナミックマップに変換して車両に配信することが有効で、車載の障害物センサが障害物を検知できない状況でも、路側機からのダイナミックマップ情報を基に車両は予め減速を決定でき、出会い頭事故を回避することが期待される。

上記のように障害物が自車近傍にある場合、車両は管制指示車速によらず自律的に障害物に対して減速・追従あるいは停止を判断するため、オペレータによる管制指示車速の変更は必要ない。また、障害物がなくなると車両が検知した時点で、自動的に管制指示車速に従った走行を継続する。このように、車両は管制指示車速に追従した走行あるいは障害物検知情報に基き決定した車速に自動的に切り替えて走行することで、管制は全体の運行を管理することに注力できる。なお、R3年度では路側機での検知機能開発に注力しているため、ダイナミックマップ配信による減速制御はR4年度に機能実装を目指す。

また、車両は遠隔監視・操縦システムとも通信を行い、車両から運行管理情報、車両に搭載された監視カメラの映像情報、車両位置情報、車両状態情報、車両内の乗客と会話可能な音声通話情報を送信する。これにより、遠隔監視者が周囲環境を監視することで安全な走行をさらに高めることができ、異常が発生して停止した場合でも乗員は遠隔監視者と音声会話によって乗員に

安心感を提供できる。さらに遠隔監視者による遠隔操縦への移行あるいは代替車の派遣といった措置が可能となる。

以上の構成によって、管制システムからの指示によって、車両は目的地まで乗員を管制からの運行指示に従い、走行路中に歩行者や自転車の侵入があっても適切に自動停止し、障害物が存在しなくなると運行を再開する。また、遠隔監視・操縦システムとの通信により遠隔監視者は常に周囲の状況を把握し、車両がデッドロックのような走行できない状況に陥っても、一時的に遠隔操縦することで車両は再度走行を再開できるメリットがあり、走行を継続する冗長性の高いシステムとなる。

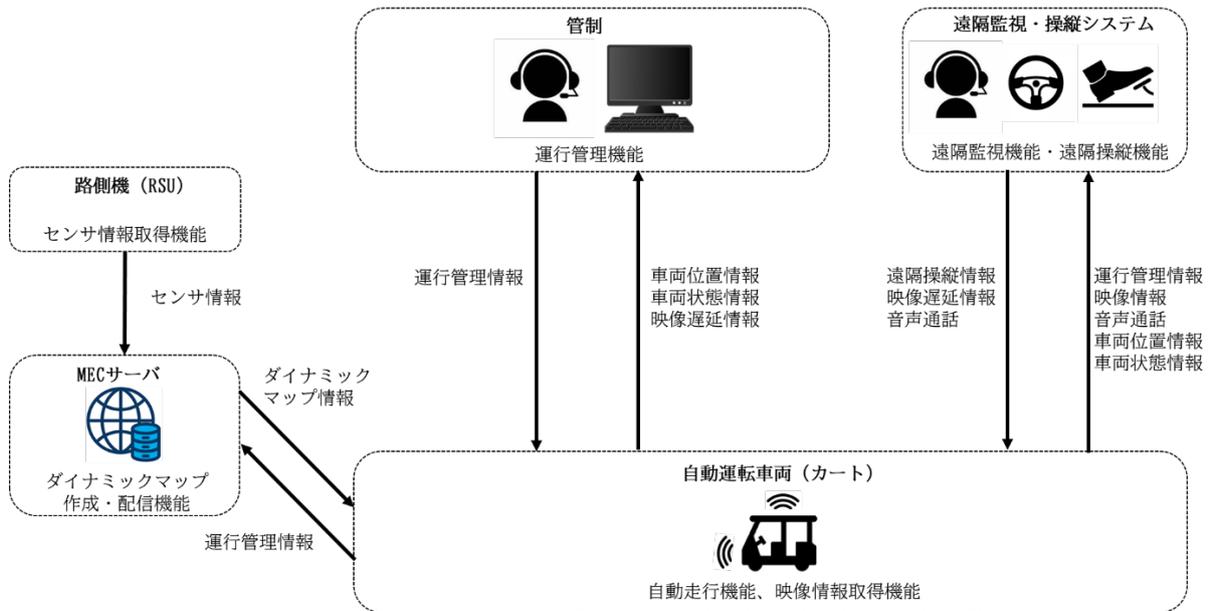


図 4.3.1.1-1 自動運転システム全体構成図

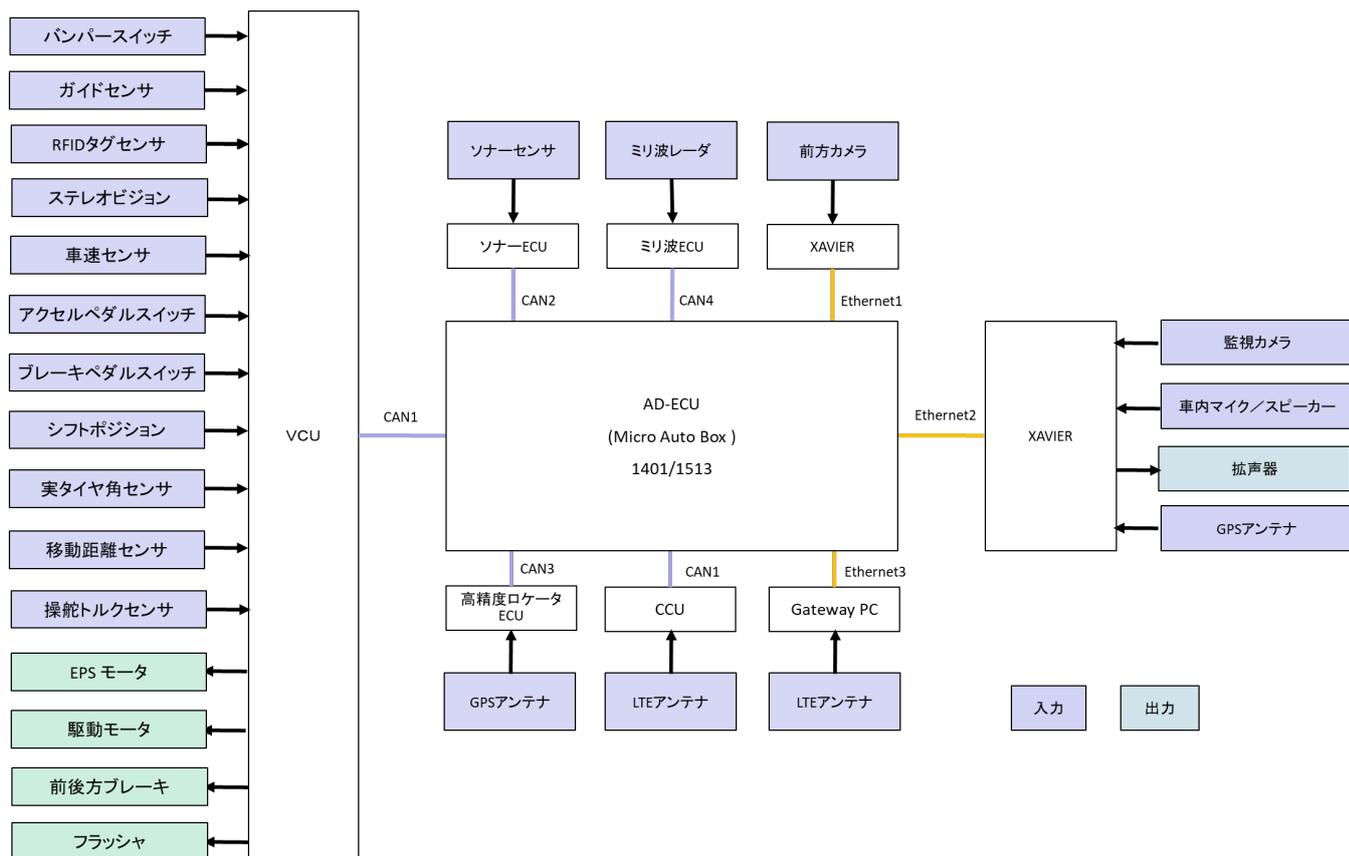


図 4. 3. 1. 1-2 車両システム構成図

図 4. 3. 1. 1-2 に本プロジェクトの車両システム構成図を示す。図の通り、AD-ECU には 4 つの CAN と 3 つの Ethernet が接続される。CAN1 では車速センサや移動距離センサといった車両情報の受信と、AD-ECU から EPS モータ、駆動モータ、前後方ブレーキへの指令値を送信し、各アクチュエータが加減速、制動、操舵を制御する。さらに管制からの運行指示情報を AD-ECU に送信する CCU も CAN1 に接続される。CAN2 はソナーセンサから入力される障害物情報、CAN4 はミリ波レーダから検出される障害物情報、Ethernet1 は前方カメラで検出した障害物情報をそれぞれ AD-ECU に送信する。また、CAN3 は高精度ロケータからの自車位置情報を AD-ECU に送信する。Ethernet2 は遠隔監視・遠隔操縦システムと通信する機器が接続されており、監視カメラや車内マイクとスピーカあるいは車外の歩行者に警報を発する拡声器等を備えられており、XAVIER を介してこれらの機器へのアクセスが可能である。なお、Ethernet3 は MEC サーバから配信されるダイナミックマップ情報を AD-ECU に送信する予定であるが R3 年度では未接続である。

以上の構成によって、管制からの運行指示は CCU を経由して AD-ECU に送信され、管制指示車速で追従するように、AD-ECU が VCU に目標車速を送信する。走行中は後述するソナーシステム (4. 3. 2. 2)、前方監視カメラシステム (4. 3. 2. 3)、ミリ波レーダシステム (4. 3. 2. 4) がそれぞれ検出した障害物情報に基づき、障害物追従制御 (4. 3. 2. 1. 4) に基いた加減速制御あるいは停止制御を行う。歩行者やその他障害物による走行路への急な侵入に対しては障害物情報をもとに被害低減ブレーキ制御 (4. 3. 2. 1. 5) を行う。

4.3.1.2 自動運転システム動作

まず、AD-ECU が起動した状態で、車両のキースイッチを ON 状態（手動）にすると、と初期状態に遷移する。その後、キースイッチを SELF 状態（自動）にすることで、待機状態に遷移する。待機状態になると、管制からの指示により手動走行、遠隔走行、もしくは誘導走行に遷移できる。通常の運用では誘導走行を想定しており、管制から誘導走行モードの指示があると誘導走行待機へ遷移する。この状態では車両は走行を開始しておらず、管制から指示车速が送信されることで、誘導走行中に遷移し、管制からの指示车速に従って車両が走行を開始する。

走行中に障害物がある場合は、誘導走行中から障害物追従走行中に遷移し、車両は減速し障害物と一定距離を保ったまま走行を継続する。障害物が停止している場合は、障害物と一定距離を保ったまま自車も停止し、障害物追従一時停止状態となる。その後、障害物との距離が一定以上離れた場合は障害物追従走行中に遷移し追従走行を継続する。あるいは障害物が自車前方から存在しなくなった場合は誘導走行中に遷移し管制指示车速に従って走行を継続する。

4.3.1.3 自動運転システム機能

表 4.3.1.3-1 に自動運転システム機能一覧を示す。合計 35 機能を実装予定であるが、R3 年度では気象センサや音声警報の仕様が未決定のため一部機能は未実装である。R4 年度での S/W 及び H/W 更新により下記機能を全て実装する計画である。

表 4.3.1.3-1 自動運転システム機能一覧

カテゴリ	No	機能	R3年度
管制指示による走行	1-1	管制からの運行指示で各車両が発進する。	○
	1-2	指示車速と実車速を12km/h以下に制限する。	○
	1-3	管制からの目標車速指示よりRFIDタグからの車速指示を優先し走行する。	○
	1-4	管制からの定点速度キャンセル指示により、RFIDタグからの車速指示を無視し走行する。	○
	1-5	管制からの目標車速指示よりRFIDタグからの停止指示を優先し停止する。	○
	1-6	管制からの定点停止キャンセル指示により、RFIDタグからの停止指示を無視し走行する。	○
	1-7	管制からの緊急停止指示で車両が停止する。音声による警報を発する。	△
障害物追従 (減速、一時停止、再加速)	2-1	障害物を検知すると車両は減速し、自車前方の障害物速度に追従走行する。	○
	2-2	追従走行中に自車前方の障害物が停止すると、一定距離を保ちつつ一時停止する。	○
	2-3	経路内で歩行または静止する歩行者を検知すると、車両は減速し一定距離を保ちつつ一時停止する。	○
	2-4	経路内にて車両の進行方向に対し対向に歩行する歩行者を検知すると、車両は減速し一定距離を保ちつつ一時停止する。	×
	2-5	経路内にて車両の進行方向に対し同方向に歩行する歩行者を検知すると、車両は減速し一定距離を保ちつつ一時停止する。	×
	2-6	自転車の割込みがあると、車両は減速し一定距離を保ちつつ一時停止する。	×
	2-7	最低地上高15cm以上(15*15*15cm)の障害物(動物)を検知すると、車両は減速し一定距離を保ちつつ一時停止する。	○
	2-8	最低地上高15cm以上(超音波センサでは8cm以上の物体を検知)の倒木や落石を検知すると、車両は減速し一定距離を保ちつつ一時停止する。	○
	2-9	一時停止後、30s以内に障害物が無くなると、車両は自動で再発進する。	○
	2-10	接近する自動車(対向から急接近)を検知すると、車両は減速する。	○
	2-11	経路近傍にいる歩行者を検知すると、車両は徐行しながら音声による警報を発して歩行者横を通過する。	△
	2-12	カーブ部で障害物を検知すると車両は減速し、一定距離を保ちつつ一時停止する。	△
障害物停止 (障害物追従で対応できないケース)	3-1	歩行者の急な飛び出しの場合に急ブレーキで停止する。音声による警報を発する。	△
	3-2	自転車の急な割込みの場合に急ブレーキで停止する。音声による警報を発する。	△
	3-3	バンパーに物体が接触した時に急ブレーキで停止する。音声による警報を発する。	△
遠隔操縦	4-1	遠隔操縦システムが選択した車両が遠隔操縦モードで走行する。	△
交通ルールによる運行制約	5-1	マイクで90dB以上のサイレン音を検知した時に自動停止。音声による警報を発する。	×
車内による自動運転停止	6-1	車内の緊急停止ボタン操作で車両が緊急停止。音声による警報を発する。	△
	6-2	保安員によるハンドル操作を検知した時に自動停止。音声による警報を発する。	△
	6-3	保安員によるブレーキ操作を検知した時に自動停止。音声による警報を発する。	△
遠隔操縦による自動運転停止	7-1	遠隔が緊急停止ボタンまたはブレーキ操作で全車両が停止する。音声による警報を発する。	△
気象センサによる自動運転停止	8-1	レインセンサで30mm以上の雨を検知した時に自動停止。音声による警報を発する。	×
	8-2	照度センサで120lx以下を検知した時に自動停止。音声による警報を発する。	×
インフラ、通信異常による自動運転停止	9-1	電磁誘導線の磁気が無くなった時に自動停止。音声による警報を発する。	△
車両異常・性能限界による自動運転停止	10-1	システム不動作の時は自動停止。音声による警報を発する。	×
	10-2	センサが電源喪失等で不動作の時は自動停止。音声による警報を発する。	×
	10-3	センサの検知不能状態を検知した時は自動停止。音声による警報を発する。	×
状態遷移上のデッドロック回避処理	11-1	障害物前で停止後、30秒以上動かない時は自動停止。音声による警報を発する。	△

○：実装済、△：一部実装、×：未実装

表 4.3.1.3-1 から参照した機能の一例を機能図として図 4.3.1.3-1 と図 4.3.1.3-2 に示す。図 4.3.1.3-1 では No. 1-1 管制からの指示車速で発進する機能について示す。管制からの運行指示として、運行モード(管制)と目標車速(管制)がCCUに送信され、AD-ECUはCCUから送信される運行モード(CCU)と目標車速(CCU)を受信し、AD-ECU目標車速決定機能(AD-ECU)部で運行モード(AD-ECU)と目標車速(AD-ECU)をVCUに送信する。このような構成にすることで、車両は管制指示車速に追従するように走行する。

図 4.3.1.3-2 では No. 2-3 走行経路内で歩行または静止する歩行者を検知すると、車両は減速し一定距離を保ちつつ一時停止する機能について示す。図 4.3.1.3-1 と同様に管制指示車速に追従して走行する車両が、ミリ波、前方カメラ、超音波ソナーから出力される各障害物距離情報に

基づいて、図中の障害物監視 (AD-ECU) 機能が自車レーン内の障害物か否かを判断した上で車両を減速、もしくは緊急停止するかを決定する。障害物との距離が十分に離れている場合は、AD-ECU 目標車速決定機能 (AD-ECU) にて目標車速を管制指示車速から障害物距離にもとづく目標車速に変更する。もしくは障害物との距離が十分に離れていない場合は、AEB 判定フラグが ON となるため、目標車速 (AD-ECU) を「0」指示と、ブレーキ指示 (AD-ECU) を「ON」指示することで、駆動モータは駆動停止し、前後後ブレーキが作動し車両は緊急停止する。これにより、障害物検知距離に応じて車両は自律的に目標車速を決定でき、歩行者の安全を確保することができるシステムとなる。各障害物センサの詳細については 4.3.2 以降に説明する。

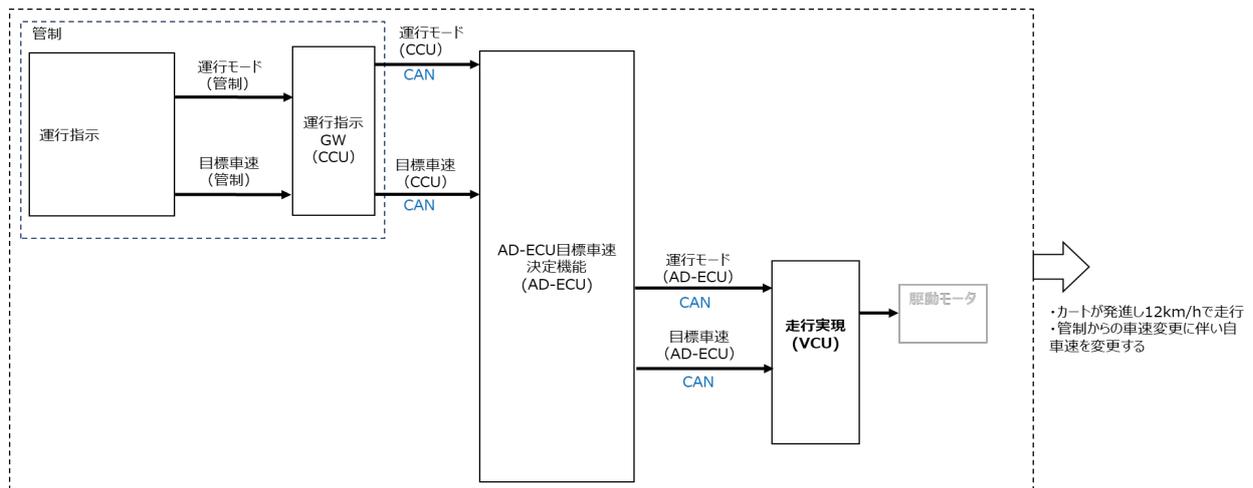


図 4.3.1.3-1 No. 1-1 機能図 (管制からの指示車速で発進する)

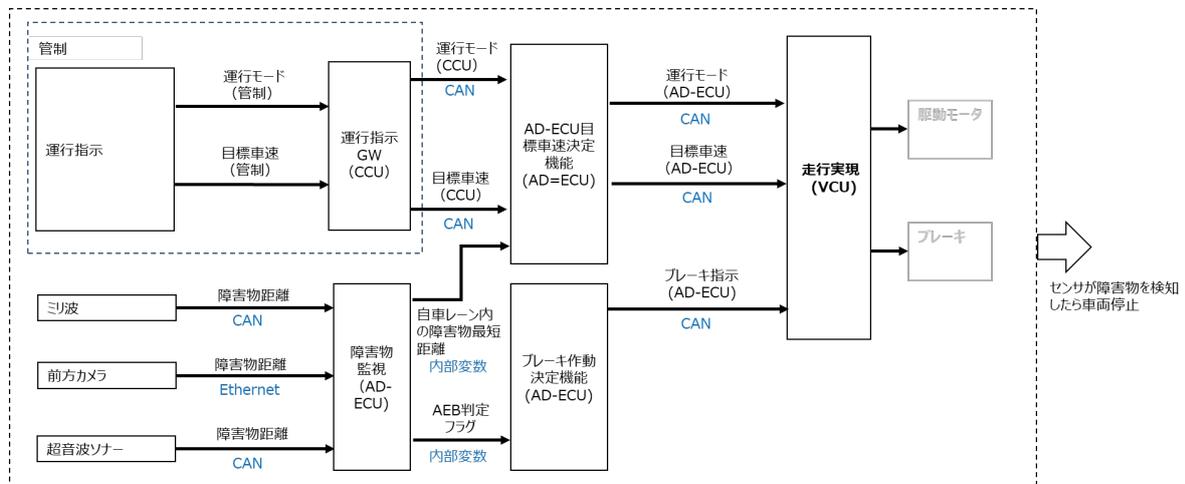


図 4.3.1.3-2 No. 2-3 機能図 (経路内で歩行または静止する歩行者を検知すると、車両は減速し一定距離を保ち一時停止する)

4.3.1.4 自動運転システム制約条件

自動運転システムの制約条件について示す。自動運転システムは、管制システムからの運行指示に従って自動走行の開始、加速・減速、緊急停止を行う。そのため、管制システムと車両システムの間で運行指示の送受信が成立していることが必要である。もし、管制システムと車両システムの間で運行指示の送受信が不成立の場合、自動運転システムは異常と判断して運行を停止する。また、車両システム内部に関して、車両システムを構成する AD-ECU や各種障害物センサ

(ソナーセンサ、ミリ波レーダ、高精度ロケータ) に異常がある場合、車両システムの内部異常と判断して自動運転システムは運行を停止する。

表 4.3.1.4-1 に異常の一覧を示す。

表 4.3.1.3-2 自動運転システム制約条件 (異常判定内容)

異常内容	備考
AD-ECU 内部異常	
CCU 通信異常	
障害物センサ異常	車載センサの異常

4.3.2 自動運転車載システム

自動運転車載システムは以下で構成される。4.3.2.1～4.3.2.6に各車載システムの詳細を記す。

- ・自動運転制御システム
- ・ソナーシステム
- ・前方監視カメラシステム
- ・ミリ波レーダシステム
- ・高精度ロケータシステム
- ・通信機器システム

図4.3.2-1に自動運転車載システム構成図、図4.3.2-2に自動運転車載システム設置概要図を示す。

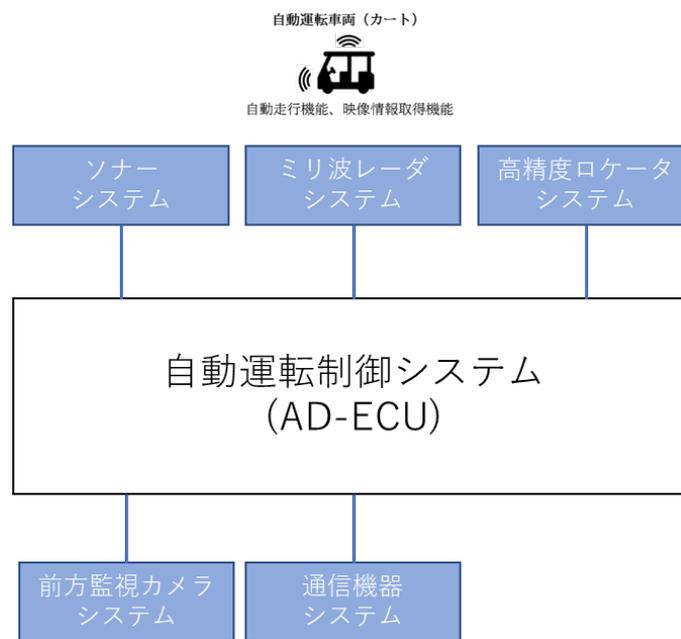


図 4.3.2-1 自動運転車載システム構成図



ソナーセンサ設置位置



高精度ロケータ設置位置



AD-ECU設置位置



前方監視カメラ設置位置



ミリ波レーダ設置位置(2箇所)



図 4. 3. 2-2 自動運転車載システム設置概要図

4.3.2.1 自動運転制御システム

自動運転制御システムの全体概要を図 4.3.2-1 に示す。以降の節にて、各部の詳細説明を行う。

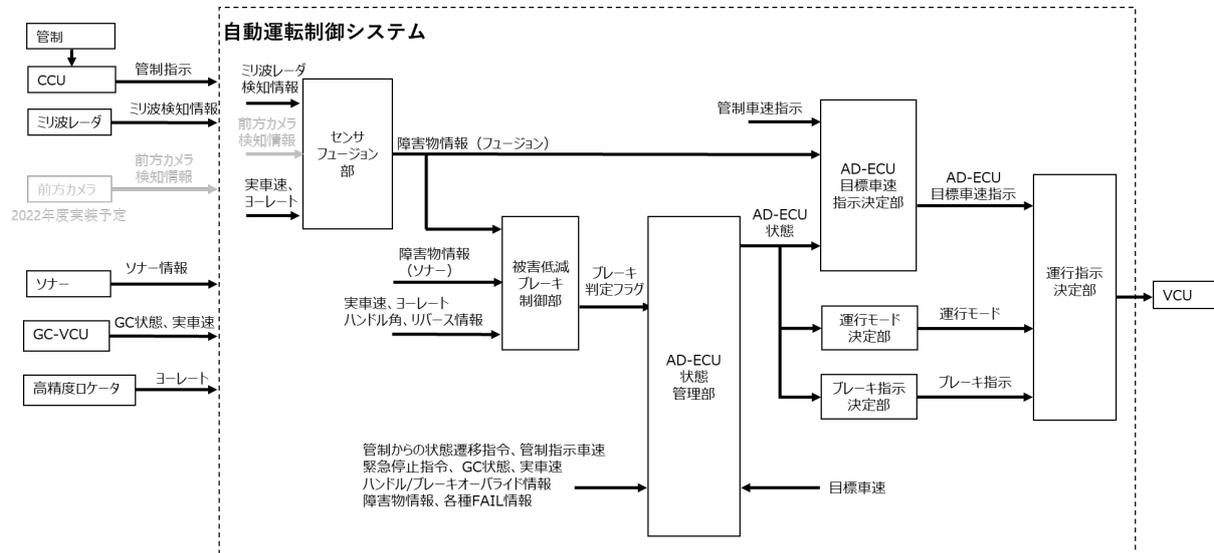


図 4.3.2-1 自動運転制御システムの全体概要

4.3.2.1.1 自動運転制御システム (AD-ECU 状態遷移管理部)

4.3.2.1.1.1 目的

4.3.1.2 に示した自動運転システム動作を実現する。

4.3.2.1.1.2 ソフトウェア実装

StateFlow による AD-ECU 状態遷移管理モデルを構築した。

4.3.2.1.1.3 AD-ECU 状態遷移確認結果

AD-ECU 状態遷移の確認結果について、データの一例を図 4.3.2.1.1.3-2 と図 4.3.2.1.1.3-3 に示す。

図 4.3.2.1.1.3-2 は上図 AD-ECU 状態遷移のシナリオ発進、追従、障害物停止 30 秒後に MRM 遷移の結果を示している。0 [s] から 15 [s] の間はシナリオ発進の遷移確認であり、AD-ECU 状態が 1→10→21→22 と遷移し、カートへの指示速度およびカート実車速は 0 [km/h] から 12 [km/h] に変化している。15 [s] から 30 [s] の間はシナリオ追従の遷移確認であり、自車から障害物までの距離が減少した結果、AD-ECU 状態が 22→23 と遷移し、カートへの指示速度およびカート実車速は 12 [km/h] から 6 [km/h] に変化している。30 [s] から 70 [s] の間はシナリオ障害物停止 30 秒による MRM の遷移確認であり、障害物までの距離がさらに減少した結果、AD-ECU 状態が 23→24→54 と遷移し、カートへの指示速度およびカート実車速は 6 [km/h] から 0 [km/h] に変化している。

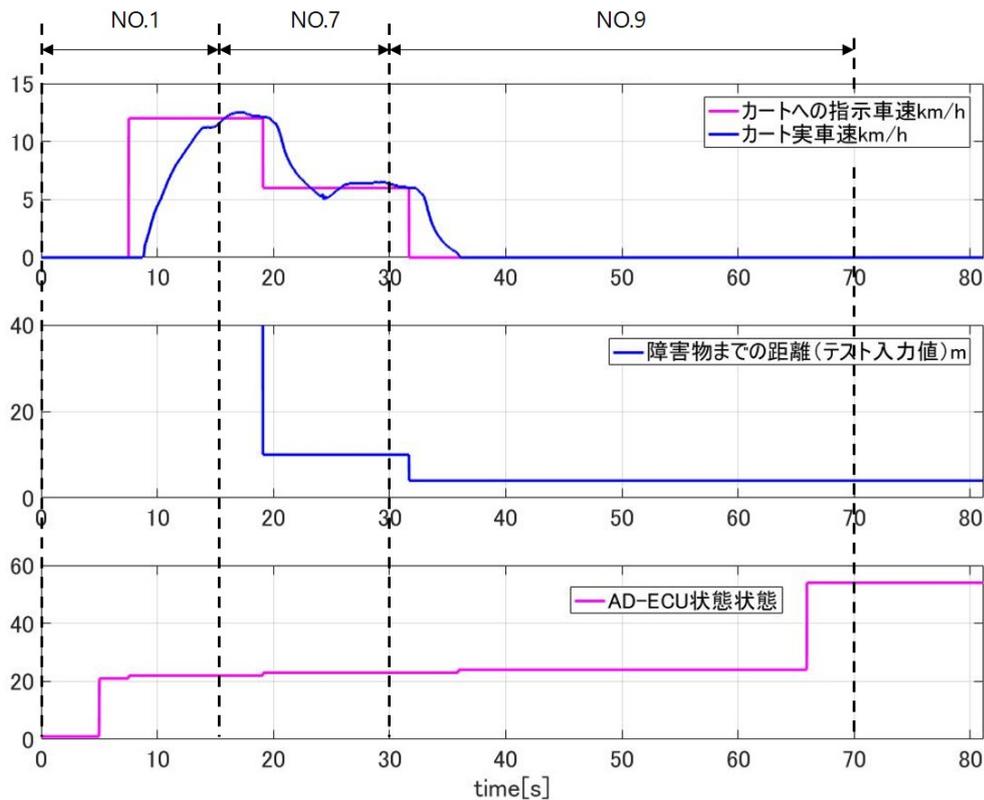
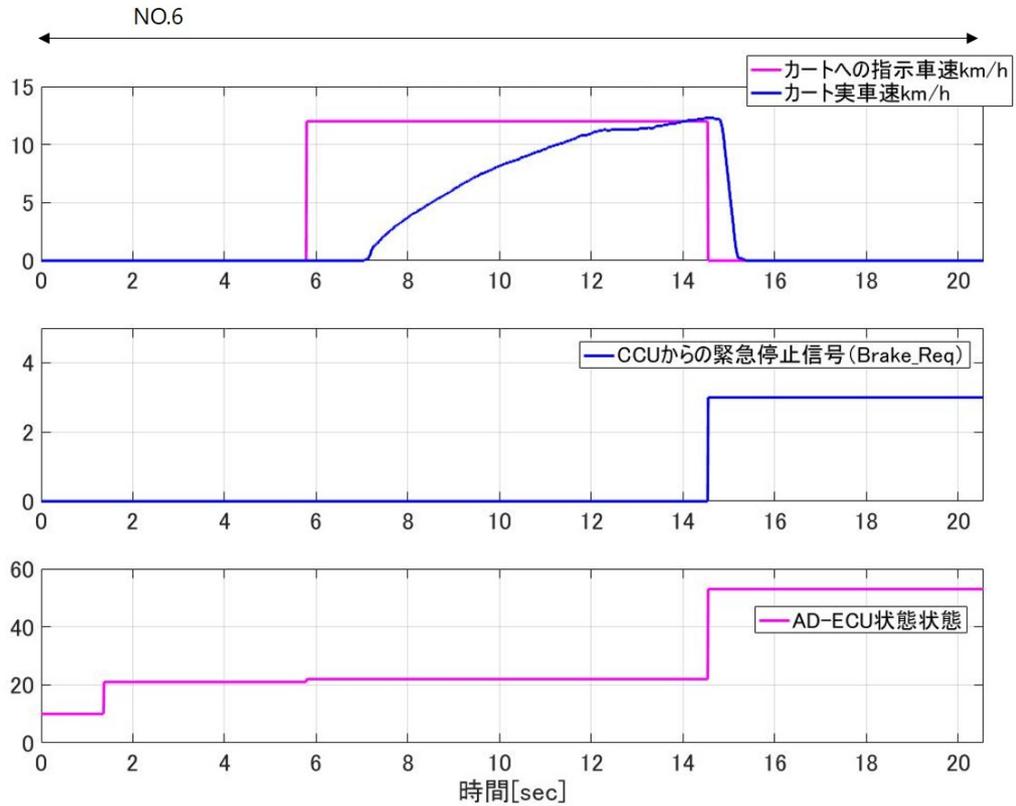


図 4.3.2.1.1.3-2 AD-ECU 状態遷移確認結果 (シナリオ No. 1 発進、No. 7 追従、No. 9 障害物停止 30 秒後に MRM 遷移)

図 4.3.2.1.1.3-3 は上図 AD-ECU 状態遷移のシナリオ緊急停止の結果を示している。15 [s] 頃に CCU からの緊急停止信号を受信した直後に AD-ECU 状態が 22→53 へ遷移している。また、カートへの指示速度が 12 [km/h] から 0 [km/h] に低下し、それに伴いカート実車速も 0 [km/h] に減速しカートが停止している。



AD-ECU 状態の変化 (緊急停止要求により MRM へ遷移 22→53)

図 4.3.2.1.1.3-3 動作確認データ例

4.3.2.1.2 自動運転制御システム（センサーフュージョン部）

4.3.2.1.2.1 目的

特性の異なるミリ波レーダと前方監視カメラのセンサ情報を活用し、各々の弱点を相互補完して、最適なデータを組み合わせたセンサフュージョンにより、誤検知・未検知を抑制する。

今回適用したセンサフュージョンは、非同期データを融合するセンサフュージョン技術を用いた。

4.3.2.1.2.2 システム構成

センサフュージョン処理に関連するシステム概要を図 4.3.2.1.2.2-1 に示す。ミリ波レーダからのミリ波検知情報と前方カメラからの前方カメラ検知情報及び、車速、ヨーレートの情報から後段制御部が必要な障害物情報を生成し、被害低減ブレーキ制御部と自動車速指示決定部に出力する。なお、前方カメラは、21年度は非搭載であり、22年度に搭載を予定している。

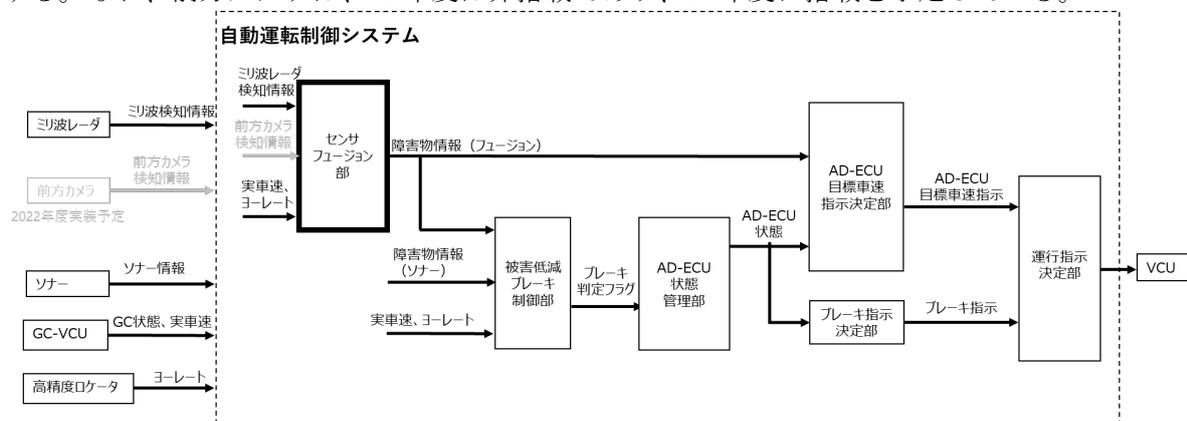


図 4.3.2.1.2.2-1 センサフュージョン関連システム構成図

4.3.2.1.2.3 センサフュージョン処理内容

センサフュージョン部の機能ブロック図を図 4.3.2.1.2.3-1 に示す。以降の節にて、各ブロックの詳細説明を行う。

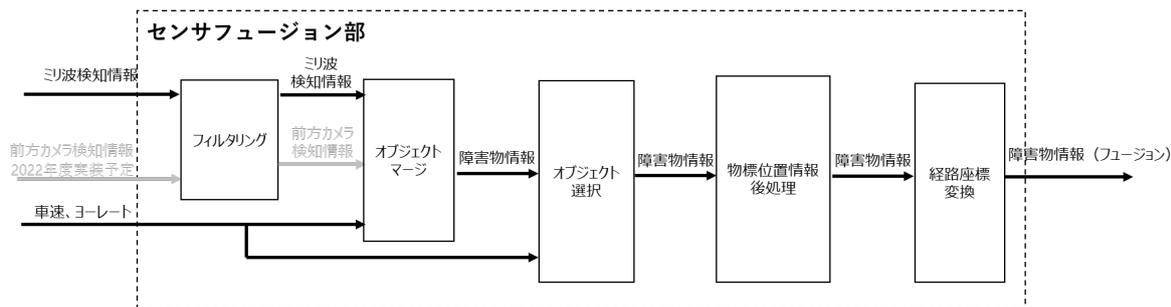


図 4.3.2.1.2.3-1 センサフュージョン機能ブロック図

4.3.2.1.2.3.1 フィルタリング処理

フィルタリング処理ブロックにおいては、各センサから出力される検知結果情報を入力とし、ノイズを除去した上で、後段のオブジェクトマージ処理ブロックで使用する情報を出力する。

4.3.2.1.2.3.2 オブジェクトマージ

オブジェクトマージブロックでは、特性の異なる複数のセンサから出力される同一オブジェクトの情報を統合し、統合後のオブジェクト情報を算出する。

4.3.2.1.2.3.3 オブジェクト選択

ラベリングブロックにおいては、オブジェクトマージブロックから出力されるフュージョン結果と、車両情報（車速・ヨーレート等）を入力とし、後段の処理を軽量化するために所定の基準で出力オブジェクトを厳選した上で、属性情報等の更新を行い、最終的な障害物情報（フュージョン結果）として出力する。

4.3.2.1.2.3.4 物標位置情報後処理

取得した物標位置情報のうち、原点を自車重心基準から自車前端基準に変換し、物標幅を設定する。また、センサ情報を後段の制御で処理しやすいようデータ整形を行う。

4.3.2.1.2.3.5 経路座標変換

物標と自車の相対位置・速度の座標系をXY座標系から経路座標系に変換する。車速、ヨーレート、障害物情報（フュージョン）の情報を入力とし、物標位置・速度（経路座標系）・加速度（経路座標系）を出力する。

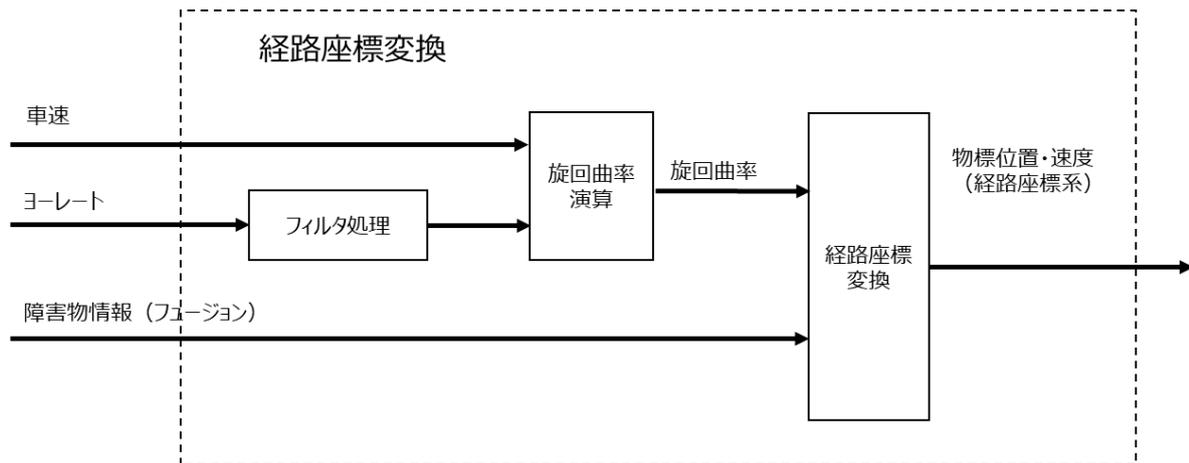


図 4.3.2.1.2.3.5.-1 経路座標変換 ブロック図

4.3.2.1.2.3.5.1 フィルタ処理

入力されたヨーレートにローパスフィルタを適用する。

4.3.2.1.2.3.5.2 旋回曲率演算

フィルタされたヨーレートと車速を用いて旋回曲率を演算する。

4.3.2.1.2.3.5.3 経路座標変換

経路を3次関数として、障害物から下ろした垂線と経路との交点を求める。

4.3.2.1.3 自動運転制御システム（被害低減ブレーキ制御部）

4.3.2.1.3.1 目的

センサフュージョン部出力及び、ソナー出力より、車両前方の障害物との衝突可能性が高いと判断した場合に緊急ブレーキ指示を出力することで、衝突による被害を軽減する。

基本的には、障害物を検知すると目標車速指示決定部の制御により、車両は減速し、自車前方の障害物にぶつからないよう追従走行するが、急な障害物の飛び出しなど、目標車速指示決定部による減速では衝突回避困難な場合に作動させることを本制御の目的としている。

4.3.2.1.3.2 システム構成

被害低減ブレーキ制御に関連するシステム概要を図 4.3.2.1.3.2-1 に示す。センサフュージョン部とソナー入力処理部からの障害物情報及び、車速、ハンドル角、ヨーレートの情報から衝突可能性を判断し、ブレーキ判定フラグを出力する。

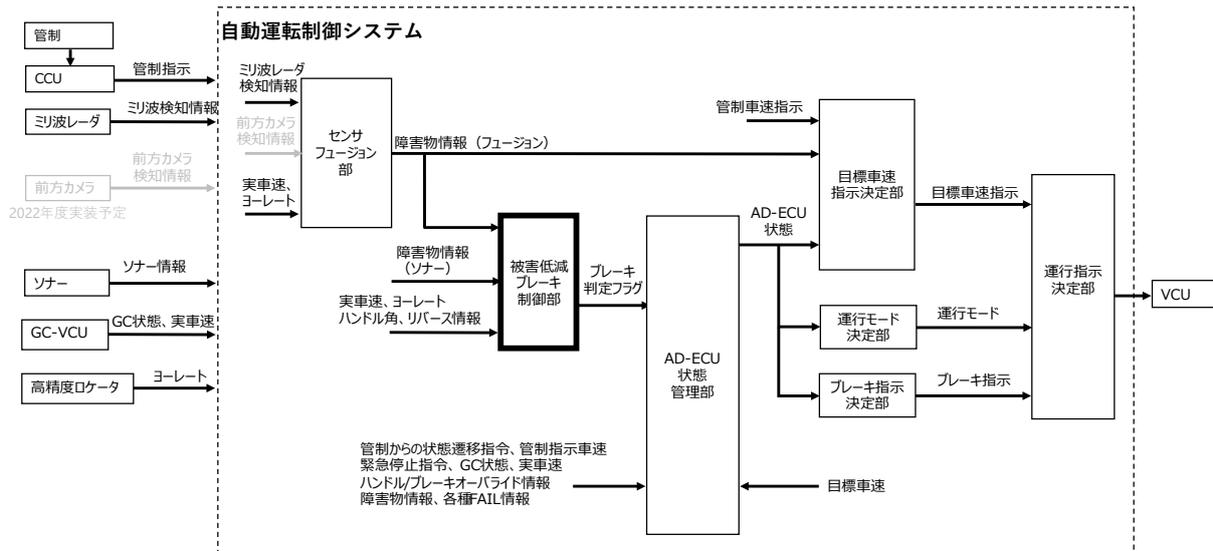


図 4.3.2.1.3.2.-1 被害低減ブレーキ制御関連 システム構成図

4.3.2.1.3.3 制御内容

被害低減ブレーキ制御部の制御ブロック図を図 4.3.2.1.3.3.-1 に示す。センサフュージョン部からの障害物情報に対する AEB 判定と、ソナー入力処理部からの障害物情報に対する AEB 判定は、分けて実施し、出力統合した上でブレーキ判定フラグを出力する。

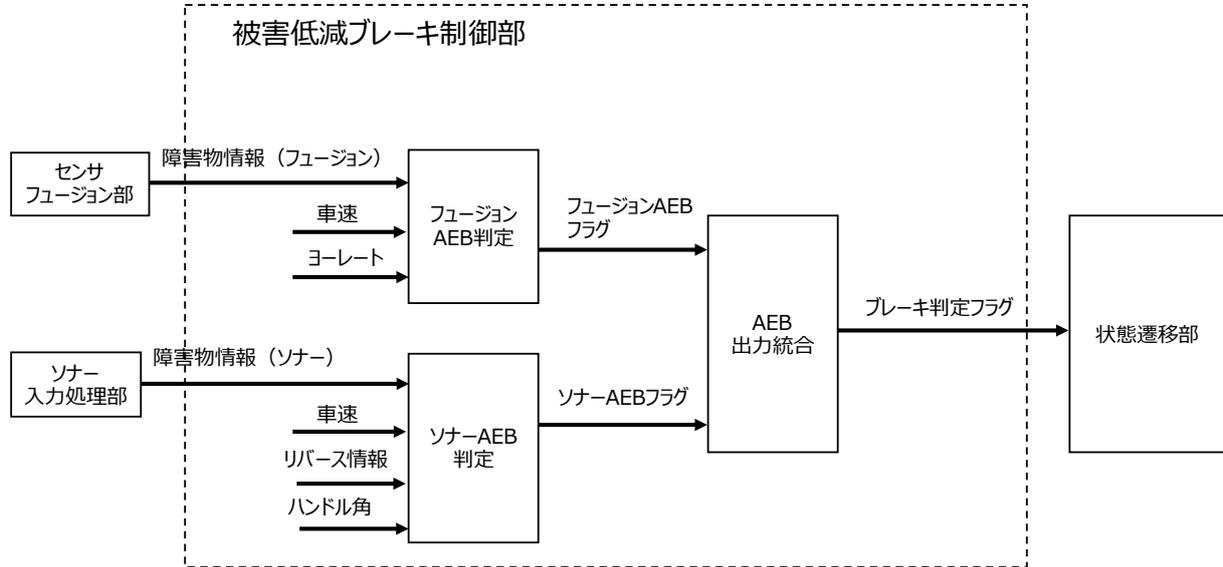


図 4.3.2.1.3.3.-1 被害低減ブレーキ制御 制御ブロック図

4.3.2.1.3.3.1 フュージョン AEB 判定

フュージョン AEB 判定部の制御ブロック図を図 4.3.2.1.3.3.1.-1 に示す。以降の節にて、各ブロックの詳細説明を行う。

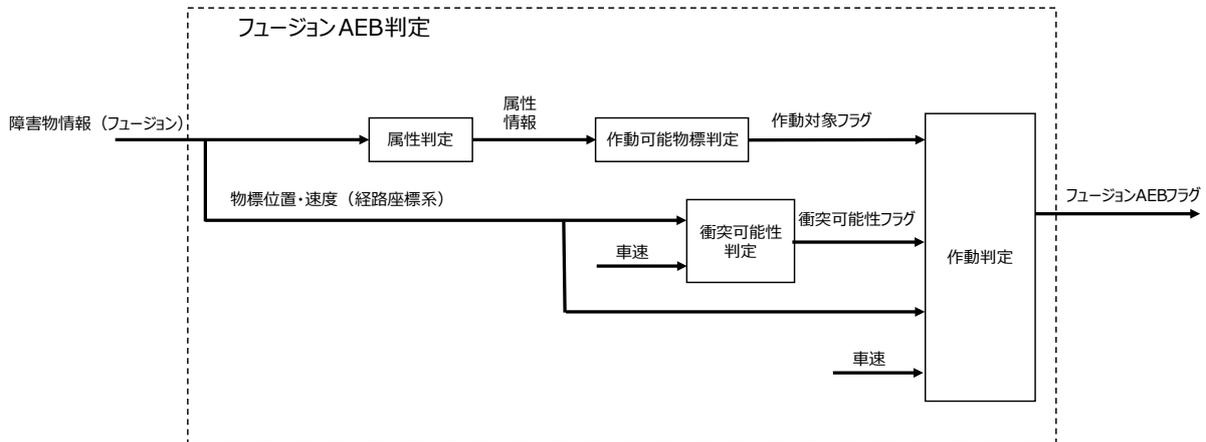


図 4.3.2.1.3.3.1.-1 フュージョン AEB 判定ブロック図

4.3.2.1.3.3.1.1 属性判定

物標を種別・移動方向に応じて先行走行車両、横断歩行者などの属性を定義する。

4.3.2.1.3.3.1.2 作動可能物標判定

前項で分類した物標の属性を元に、AEBとして作動する物標を抽出し、フラグを有効とする。

4.3.2.1.3.3.1.3 衝突可能性判定

障害物位置および相対速度ベクトルに基づいて衝突可能性を判定する。

4.3.2.1.3.3.1.4 作動判定

物標に対する、横位置条件・縦位置 (TTC) 条件に基づいてフュージョン AEB の作動判定をする。

4.3.2.1.3.3.2 ソナーAEB判定

カメラとミリ波のセンサフュージョンでは検知しづらいような、車両近傍の背が低い障害物や突起物に対し、被害軽減ブレーキを作動させるため、ソナーAEBの判定を実施する。ソナーAEBは、車両が前進、かつ、自車速が、0.1 km/hより大きく、14 km/h未満で作動する。図4.3.2.1.3.3.2.-1に、ソナーAEB判定ブロック図を示す。各機能ブロックは以降の節にて説明する。

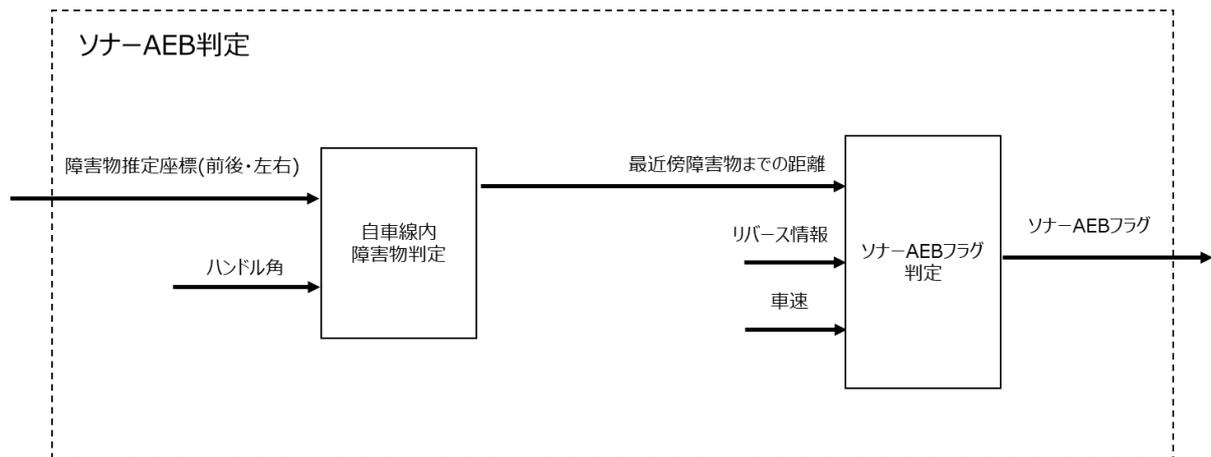


図 4.3.2.1.3.3.2.-1 ソナーAEB判定ブロック図

4.3.2.1.3.3.2.1 自車線内障害物判定

4.3.2.2 ソナーシステムで記載した開口合成処理部の出力である障害物推定座標(前後・左右)情報と車両のハンドル角情報から最近傍障害物までの距離を出力する。

4.3.2.1.3.3.2.2 ソナーAEBフラグ判定

上記近傍障害物までの距離、リバース情報、車速情報からソナーAEBフラグを出力する。

4.3.2.1.3.4 被害軽減ブレーキ制御検証結果

フュージョン AEB 判定によるブレーキ制御及び、ソナー AEB 判定によるブレーキ制御の、単体・結合検証結果を以降の節で示す。

4.3.2.1.3.4.1 フュージョン AEB 単体検証

フュージョン AEB 単体検証試験結果の一例を示す。20 年度 産総研 L3 認証時のシナリオ及び類似条件において試験を実施した。

図 4.3.2.1.3.4.1-1 の左に、静止物標に対する試験環境を、右に移動物標に対する試験環境を示す。試験開始時は、車両を停車させ、AD-ECU から遠隔モードを車両へ送信する。その後、自車速を 12, 6, 3 km/h に設定することで直進するように自動運転が開始する。図 4.3.2.1.3.4.1-1 の左の試験は、自車中央を基準として、物標を 0.0~2.1m まで 0.7m ずつ横にずらした位置に設置して静止物標に対する衝突回避およびすり抜け試験を行った。次に図 4.3.2.1.3.4.1-1 の右の試験は、自車前方を時速 5km/h で物標を移動させ、自車との距離が 3.0m となる位置で自車中央に飛び出す物標に対する試験を行った。

図 4.3.2.1.3.4.1-2 の左に、静止物標に対する試験結果を、右に移動物標に対する試験結果を示す。ここで、試験結果のグラフは上から順に、物標縦距離、物標横距離、自車速、AEB フラグを示す。なお、センサフュージョンでは複数の物標に対して障害物情報を出力しているため、そのうち最近傍の物標に対して判定を行っている。

図 4.3.2.1.3.4.1-2 の左は、車速 12km/h での自車中央直線上の静止物標に対する試験である。センサフュージョン部から取得した物標の縦距離が短くなることにより、AEB 作動フラグが ON になり、ブレーキが作動した。その後、車両が完全停止し、物標への衝突を回避できることを確認した。

図 4.3.2.1.3.4.1-2 の右は、車速 12km/h での移動物標に対する試験である。センサフュージョン部から取得した物標の縦距離が短くなることにより AEB 作動フラグが ON になり、ブレーキが作動した。その後、車両が完全停止し、物標への衝突を回避できることを確認した。

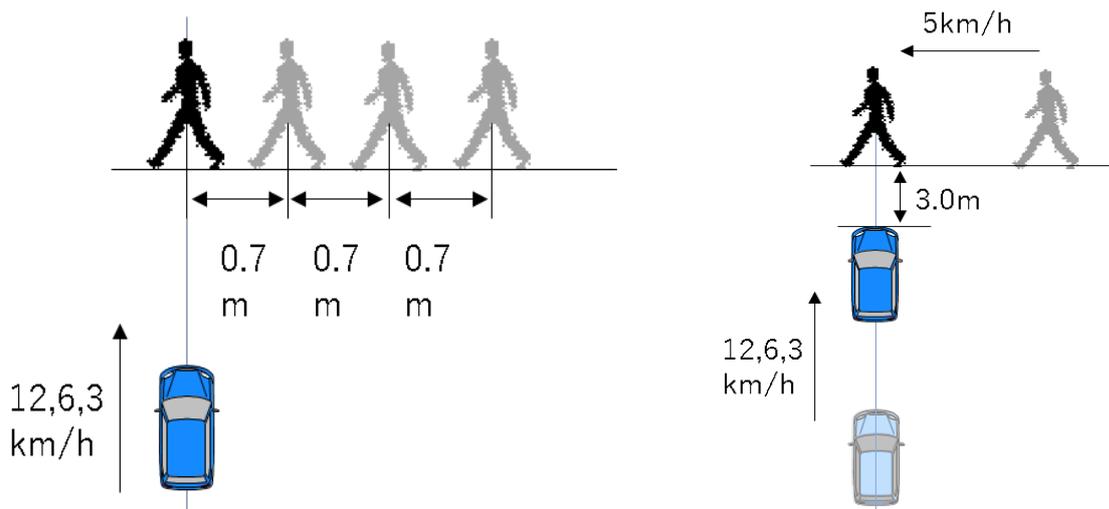


図 4.3.2.1.3.4.1-1 静止物標に対する試験環境（左）と移動物標に対する試験環境（右）

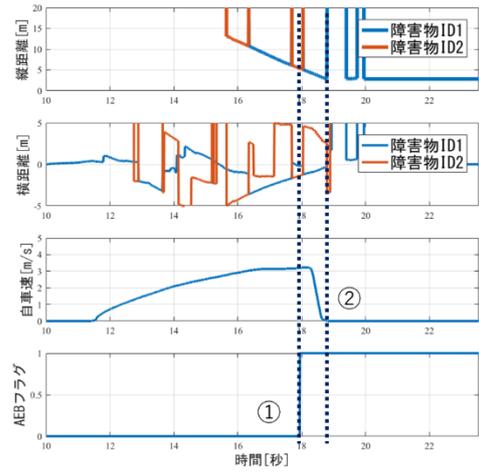
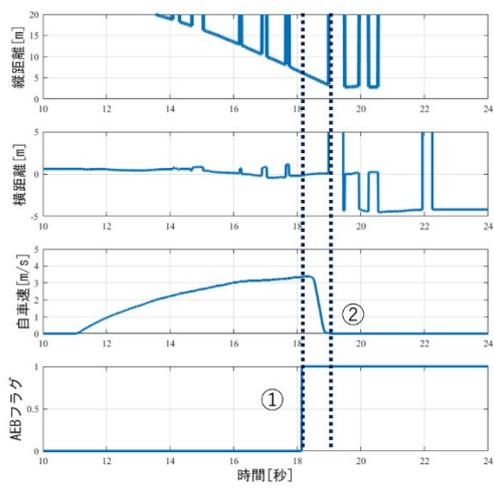


図 4.3.2.1.3.4.1-2 静止物標に対する試験結果（左）と移動物標に対する試験結果（右）

4.3.2.1.3.4.2 ソナーAEB 単体検証

ソナーAEB 単体検証試験結果を示す。20 年度 産総研 L3 認証時のシナリオ及び類似条件に対し、ソナーセンサがミリ波レーダより優位性のあるシナリオに絞り、単体実機検証を実施した。

図 4.3.2.1.3.4.2.-1 (左)に、試験環境を、図 4.3.2.1.3.4.2.-1 (右)に試験結果を示す。試験開始時は、電磁誘導線中心に車両を停車させ、AD-ECU から誘導モードを車両へ送信する。その後、自動運転が開始する。この試験では、自車速を 9 km/h に設定した。自車が障害物に近づいていき、ソナーセンサの測距値が 3.4 m の時に作動フラグ 2 が ON になった (①)。その後、ソナーセンサ測距値が 2.0 m の時に作動フラグ 1 が ON になり、作動フラグ 1 と作動フラグ 2 の両方が成立したため、ソナーAEB フラグが ON になった (②)。ソナーAEB フラグが成立後、ブレーキに対して緊急停止を指示する。車両は 36.1 秒で完全で停車し、この時のソナーセンサの測距値が 0.6 m であった (③)。

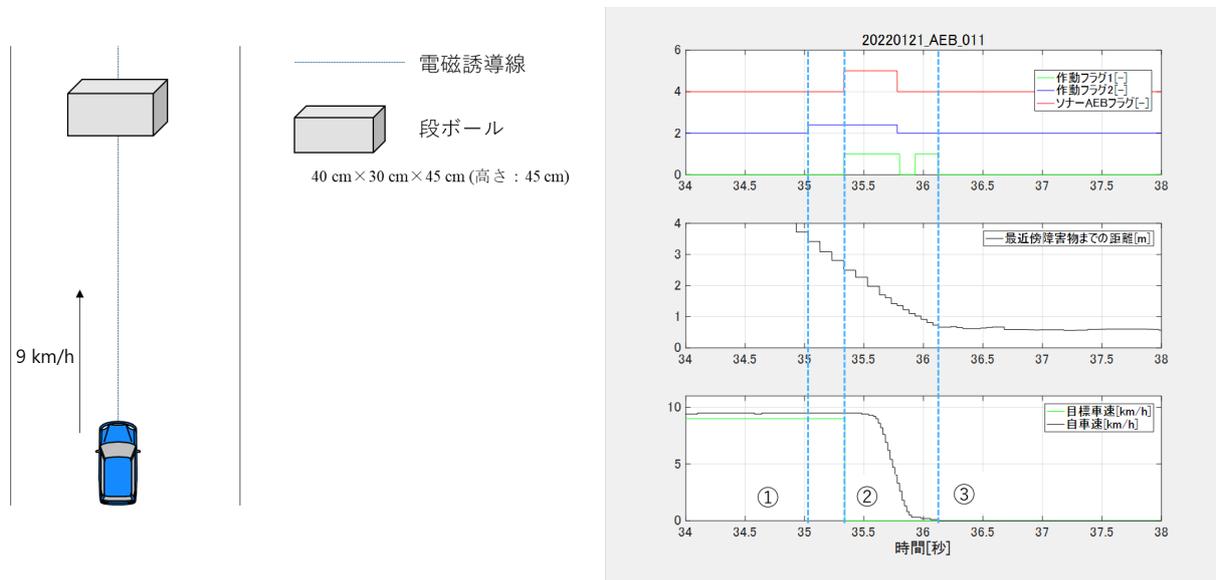
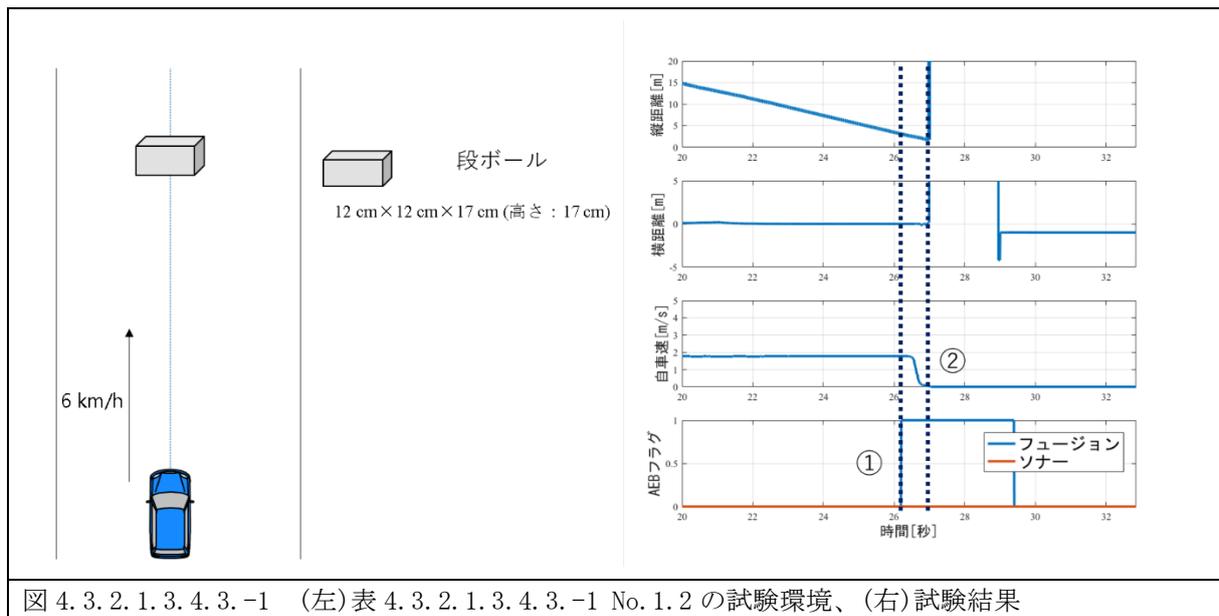


図 4.3.2.1.3.4.2.-1 (左)の試験環境、(右)試験結果

4.3.2.1.3.4.3 フュージョン AEB・ソナー AEB 結合検証

フュージョン AEB・ソナー AEB 結合検証試験結果を示す。

図 4.3.2.1.3.4.3.-1 (左)に試験環境を、図 4.3.2.1.3.4.3.-1 (右)に試験結果を示す。試験開始時は、電磁誘導線中心に車両を停車させ、AD-ECU から誘導モードを車両へ送信する。その後、自動運転が開始する。この試験では、自車速を 6 km/h に設定した。自車が障害物に近づいていき、センサフュージョン部から取得した物標の縦距離が短くなることによりフュージョン AEB の作動フラグが ON になり、ブレーキが作動した (①)。その後、車両が完全停止し、物標への衝突を回避できることを確認した (②)。



4.3.2.1.4 自動運転制御システム (AD-ECU 目標車速指示決定部)

4.3.2.1.4.1 目的

管制 (CCU) からの目標車速指示値、AD-ECU 状態、障害物に応じて、誘導走行モードでの AD-ECU 目標車速指示値を決定し、VCU に指示する。障害物に対しては、以下を満たすように AD-ECU 目標車速を決定する。

- (1) 走行経路内の静止障害物に対して、一定距離を保ちつつ停止する。
- (2) 走行経路内の移動障害物に対して、一定距離を保つように加減速して追従走行する。自車前方の障害物に対して追従走行中に障害物が停止すると、一定距離を保ちつつ停止する。
- (3) 走行経路外の近傍に存在する障害物に対して、車両は徐行して障害物横を通過する。

4.3.2.1.4.2 AD-ECU 目標車速指示値決定方法

以下の (1) ~ (3) の順で決定する

- (1) 管制 (CCU) からの目標車速指示値を 0~12km/h の範囲に制限する。
- (2) AD-ECU 状態に基づく目標車速指示値を決定する。
- (3) ここでは、それぞれの障害物に対し、障害物までの縦距離に応じて (あるいは障害物の移動速度も考慮して)、目標車速を決定する。

4.3.2.1.4.3 AD-ECU 目標車速指示値および試験結果

動作確認結果として、データの一例を図 4.3.2.1.1.4-2~4 に示す。図 4.3.2.1.1.4-2 は、4.3.2.1.4.1 (1) 走行経路内の静止障害物に対して停止する試験結果を示している。開始直後から障害物までの距離が徐々に減少し、20[s]頃には障害物までの距離が 20 [m] を下回り、その距離に応じてカート VCU への指示車速と実車速が減少している。

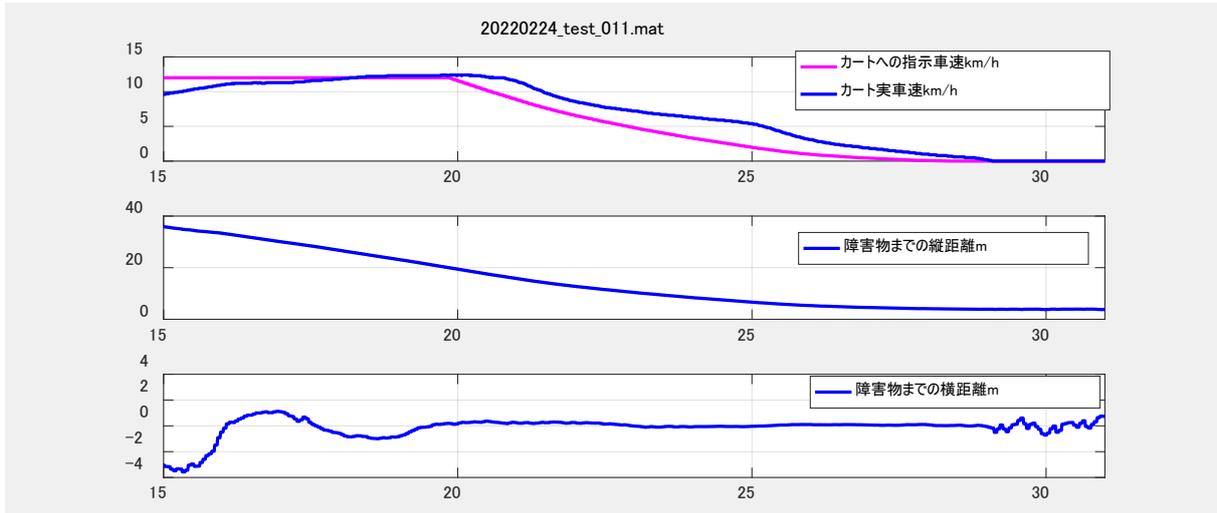


図 4.3.2.1.1.4-2 試験結果 (1) 走行経路内の静止障害物に対して停止

図 4.3.2.1.1.4-2 は、4.3.2.1.4.1 (2) 走行経路内の移動障害物に対して追従走行する試験結果を示している。62 [s] 頃から 82 [s] 頃までの間、障害物に追従走行するためにカート VCU への指示車速が変化し、障害物までの距離がおよそ一定に保たれていることが分かる。その後、障害物が停止するとカートも停止している。その後、105 [s] 頃に障害物が再発進し、それに伴いカートへの指示車速とカート実車速も増加し、障害物に追従走行していることが分かる。

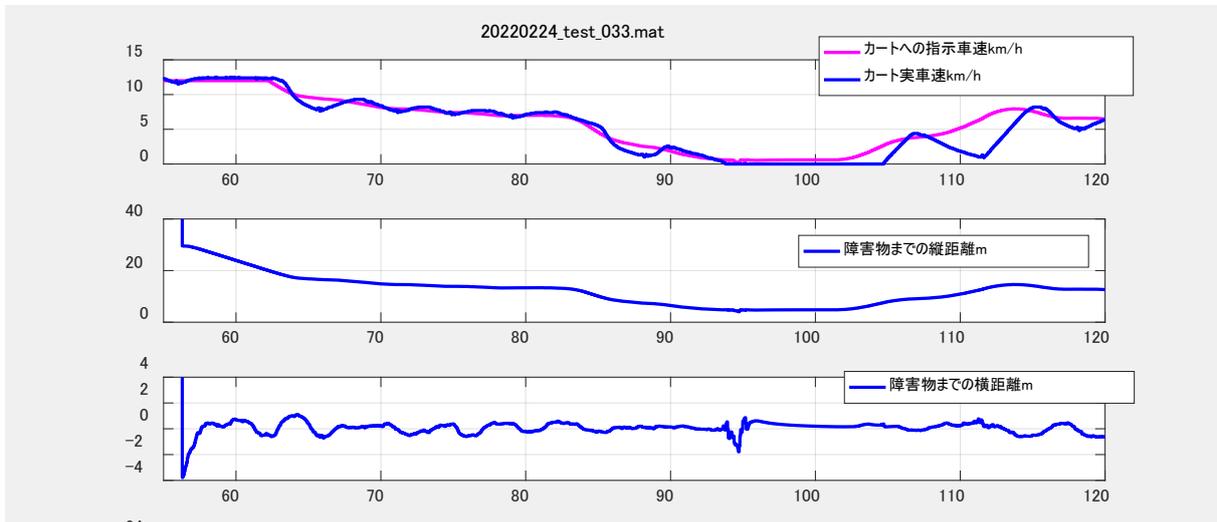


図 4.3.2.1.1.4-3 試験結果 (2) 走行経路内の移動障害物に対して追従走行

図 4.3.2.1.1.4-4 は、4.3.2.1.4.1 (3) 走行経路外近傍の障害物に対して徐行通過する試験結果を示している。15 [s] 頃に自車の横 2 [m] 付近に存在する障害物を認識し、6 [km/h] まで減速して徐行し、障害物の横を通過している。22 [s] 頃に、障害物を通過完了すると、指示車速は徐行する前の 12 [km/h] まで増加し、カート実車速も増加している。

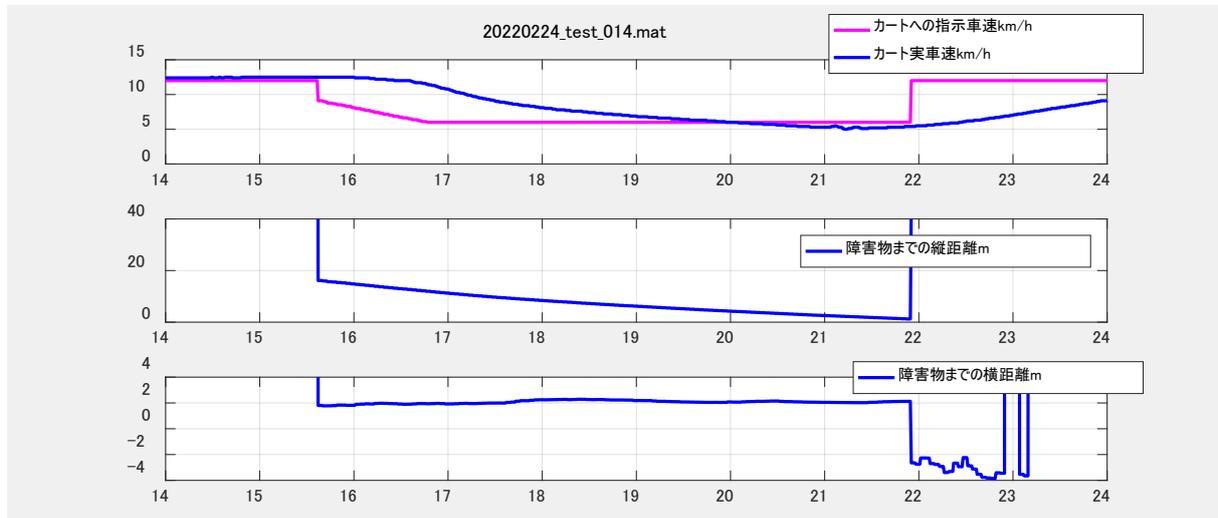


図 4.3.2.1.1.4-4 試験結果 (3) 走行経路外近傍の障害物に対して徐行通過

4.3.2.1.5 自動運転制御システム（走行モード決定部）

4.3.2.1.5.1 目的

カート VCU の走行モードを決定する。走行モードは AD-ECU 状態に基づいて決定する。

4.3.2.1.5.1 走行モード決定方法

AD-ECU 状態に基づいて、走行モードを決定する。

4.3.2.1.6 自動運転制御システム（ブレーキ指示決定部）

4.3.2.1.6.1 目的

カート VCU へのブレーキ指示を決定する。ブレーキ指示は AD-ECU 状態に基づいて決定する。

4.3.2.1.6.2 決定方法

AD-ECU 状態に基づいて、ブレーキ指示を決定する。

4.3.2.1.7 自動運転制御システム（走行指示決定部）

4.3.2.1.7.1 目的

カート VCU への指示（の内容を決定する。

4.3.2.2 ソナーシステム

4.3.2.2.1 目的と課題

一般的に、車両前方に存在する障害物を検知するためには、ミリ波レーダや前方カメラ等のセンサを用いる。ミリ波レーダだけでは、車両近傍付近に存在する背が低い障害物、若しくは突起物を検知することが困難である。一方で、超音波センサ（以後、「ソナーセンサ」）は、車両から遠方の障害物を検知出来ないが、車両近傍の背が低い障害物や突起物を検知可能で、搭載性やコストに優れている。よって、ミリ波レーダの課題を解決するために、ソナーセンサも車両に搭載した。

4.3.2.2.2 ソナーシステム構成図

図に、ソナーシステム構成図を示す。ソナーシステムは、ソナーセンサ HW、ソナーECU、AD-ECU で構成した。ソナーセンサ HW とソナーECU は、三菱電機株式会社製である。

ソナーECU は、接続された複数のソナーセンサ HW を周期的に制御し、ソナーセンサ HW から得られた障害物までの超音波伝搬時間をもとに、ソナーセンサから障害物までの距離を演算し、AD-ECU に対して測距値、センサ駆動状態等を出力する。AD-ECU は、ソナーECU から受信した各ソナーセンサの測距値、各センサ駆動状態を処理するソナーセンサ IF 処理部、前後・左右の障害物の推定座標を演算する開口合成演算部、車両状態量と開口合成部の出力情報から所定条件を満たしたときにソナー-AEB フラグを出力するソナー-AEB 演算部で構成した。詳細は以下で説明するが、ソナー-AEB フラグ演算部は、別章にて詳細を記載する。

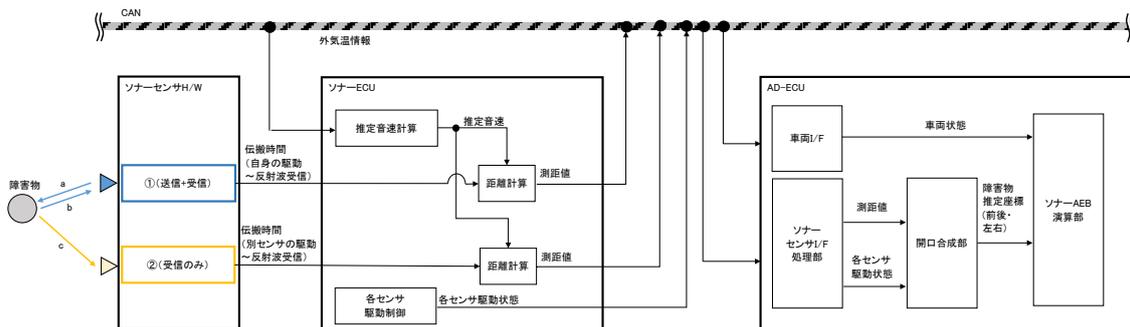


図 ソナーシステム構成図

次に、図 左に実証試験車両の写真、右に HW 配線図を示す。実証試験車両には、6 個のソナーセンサを、前方 4 個、前方左右に各 1 個搭載している。前方のソナーセンサ間隔は 0.3 m で、地面からセンサ中心までの高さは 0.46 m である。側方は、地面からセンサ中心までの高さ 0.62 m である。

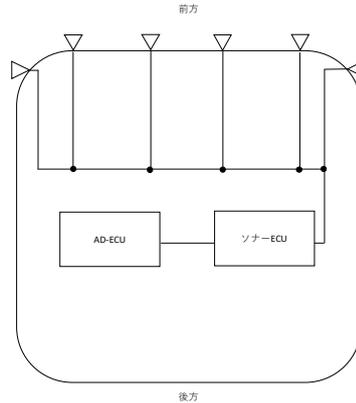


図 左に実証試験車両の写真、右に HW 配線図

4.3.2.2.3 ソナーセンサ HW 仕様

表に、ソナーセンサ HW の仕様を示す。

表 ソナーセンサ HW の仕様

項目	仕様
最大検知距離	5.1m
最小検知距離	0.26m
FoV (Field of View) : 視野角 水平	±35deg
FoV (Field of View) : 視野角 垂直	±18deg

4.3.2.2.4 ソナーECU 信号処理

図に、ソナーECU の信号処理の構成図を示す。ソナー

ECU には複数のソナーセンサ HW が接続されているが、送出した超音波の混信を防ぐため、同時に駆動（発振）できるセンサはこのうち1つだけとなる（図中①青で示す）。センサ①から送出される超音波は、障害物に達した後に反射され（経路 a）、同じ経路を通ってセンサ①に戻ってくる（経路 b）。この時、経路 a と経路 b は等しいため単純に往復伝搬時間の半分が障害物の到達までに要した時間となる。

一方、送信を行っていないセンサ②（図中②黄色で示す）では、センサ①から障害物に達した超音波（経路 a）は、障害物に反射した後に復路で別の伝搬経路（経路 c）を通り、センサ②に到達する。伝搬時間としては経路 a +経路 c の合計として観測される。この伝搬時間情報は後述する開口合成の計算で使用される。

ソナーセンサ HW の駆動により得られた各センサの伝搬時間とソナーECU 内で計算された推定音速（外気温依存値）との積を取ることで、障害物を経由した伝搬距離（以後、「測距値」）として計算される。計算された各センサの測距値および各センサの駆動状態（駆動/受信のみ/休止のいずれか）は、出力として CAN に送出される。

4.3.2.2.5 ソナーECU の入出力仕様

表に、ソナーECU の入出力仕様を示す。まず、ソナーECU の入力仕様について説明する。ソナーECU に対して、上述している通り、推定音速算出するために、外気温情報を入力する。実証試験車両には、温度センサが未搭載のため、AD-ECU から外気温情報を入力する。自車速が 5 km/h 以上で、ソナーセンサ表面に付着物、例えば葉っぱ等が密着した場合に、ソナーセンサを一時停止と判定する。このため、ソナーECU に自車速を入力する。また、自車速が 15 km/h 以上では、ソナーセンサへの電源供給を停止する。

次に、ソナーECUの出力仕様について説明する。6つのソナーセンサは、それぞれCAN IDが割り振られており、ソナーセンサから最近傍の障害物までの距離を第1波測距値、ソナーセンサから障害物までの距離が2番目に近い障害物を第2波測距値、3番目に近い障害物を第3波測距値として出力する。また、ソナーセンサの駆動状態を示す駆動フラグ、ソナーセンサ故障フラグ、ソナーセンサー時故障フラグ、ローリングカウンタも出力する。ソナーセンサ故障フラグは、電源線が地絡、若しくは断線、または、信号線が天絡、地絡、若しくは通信不能の場合にONになる。ローリングカウンタは、演算周期毎に1ずつカウントアップしていき、所定値を超えた場合は0に戻り、また1ずつカウントアップすることを繰り返す。

表 ソナーECU 入出力仕様

入出力	項目	単位
入力	外気温情報	摂氏℃
	自車速	km/h
出力	第1波測距値	meter
	第2波測距値	meter
	第3波測距値	meter
	駆動フラグ	-
	ソナーセンサ故障フラグ	-
	ソナーセンサー時故障フラグ	-
	ローリングカウンタ	-

4.3.2.2.6 開口合成部構成図と開口合成の動作原理

次に、開口合成の動作について説明する。単純なソナーセンサHWによる測距の場合、超音波は円形に拡散するため障害物までの距離は測定

できるものの、障害物の方位は不定となる。障害物までの距離に応じてブレーキをかけるようなシステムでは、特に車両の進行方向から外れた場所に障害物が位置する、いわゆるすり抜けのようなシチュエーションにおいて、障害物の方位情報が無いことにより不必要にブレーキが作動してしまう懸念がある。

開口合成は、複数のソナーセンサHWを備えたシステムにおいて、1つの送信センサの測距情報と、他の受信専用の複数のセンサの測距情報を同時に測定し計算することで、障害物の大きさや方位を推定する技術である。この技術を使用することで、前述のすり抜けのシチュエーションにおける不要なブレーキの作動を防ぐほか、複数センサの情報を統計的に処理することで前方障害物の位置精度を高めることができる。

図に、開口合成部部の構成図を示す。説明の簡素化のためにソナーセンサHWは2個で記載しているが、実際の車両では4個を同時に使用しており、より情報量を増やしている。

障害物の座標推定では、まずソナーECUで計測された各センサの測距値と駆動状態と搭載座標をもとに、各センサの搭載座標を中心とした円弧上に障害物が存在すると推定し、図中破線の円弧線上で示される。送信と受信が一致するセンサ①では、センサ①を中心として測距距離の半分となる半径 a の円弧上に障害物が存在する（青で示す破線上）と推定する。対して、受信のみ行うセンサ②では、センサ②を中心として、測距値から半径 a に相当する距離を減算した距離、即ち半径 c の円弧上に障害物が存在する（黄色で示す破線上）と推定する。さらに、車両に取り付けられた各センサ間の距離（図中 L ）が予め設定されたパラメータとして判明しており、障害物が存在する円弧同士の交点の座標を算出することができる。この交点座標は1回のセンサ駆動で複数得られる場合もあり、さらに複数回センサを巡回駆動して得られた交点座標群を統計処理することで、点群密度の高い位置が、障害物の存在確率が高い座標であると推定する。

なお、壁のようにセンサ配置方向に対して幅広な障害物では交点座標群は幅方向に広く分布し、逆にポールのようにセンサ配置方向に対して幅狭な障害物では、交点座標群は狭く分布する傾向があり、この情報から障害物の幅を推定することも可能である。

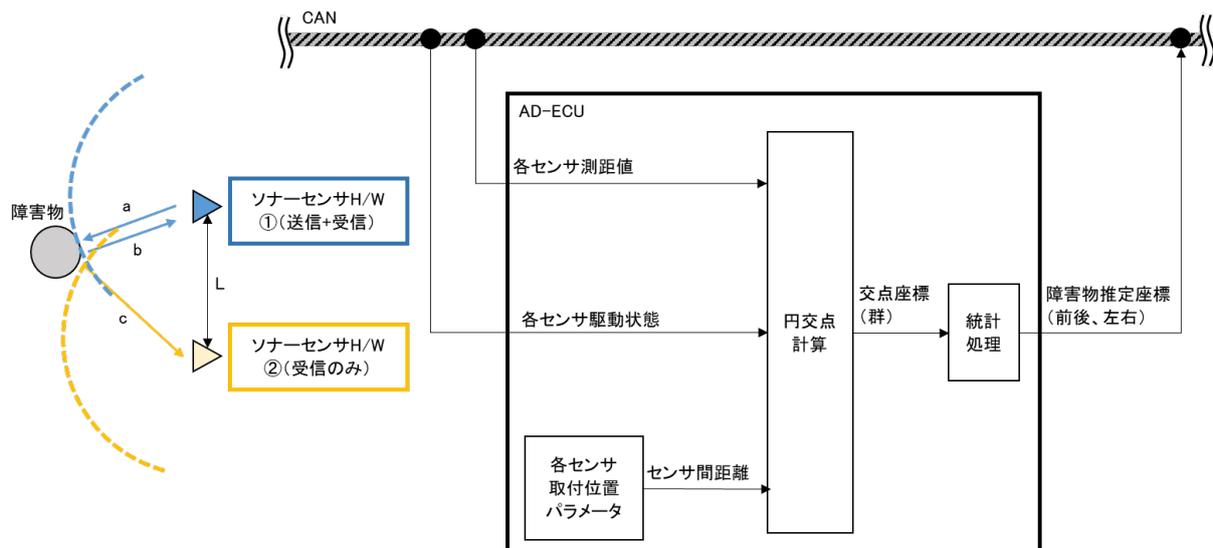


図 開口合成部の構成図

4.3.2.3 前方監視カメラシステム

4.3.2.3.1 目的

前方監視カメラシステムにより、車両前方に存在する障害物を検知し、検知した障害物までの距離や障害物の種別情報、幅等の障害物検知情報を自動運転制御システムに CAN 出力する。

4.3.2.3.2 システム構成

図 4.3.2.3.2-1 に、カメラシステム構成図を示す。

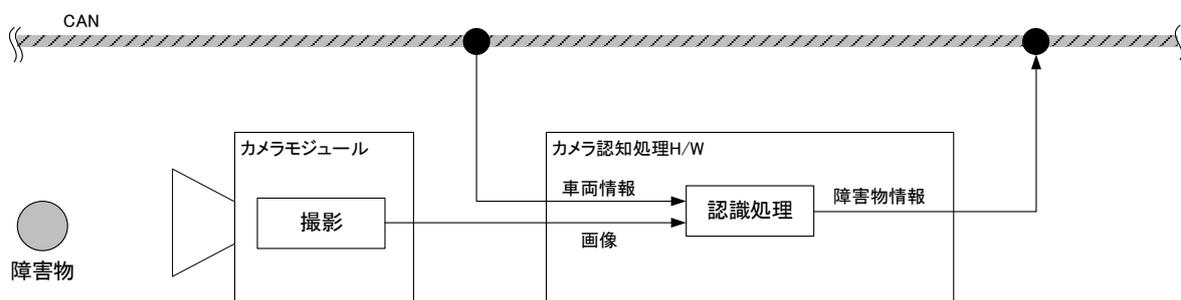


図 4.3.2.3.2-1 カメラシステム構成図

4.3.2.3.3 H/W仕様

図 4.3.2.3.3-1 にカメラモジュール外観写真、図 4.3.2.3.3-2 にカメラ認知処理 H/W 外観写真、表 4.3.2.3.3-1 にカメラモジュール H/W 仕様、表 4.3.2.3.3-2 にカメラ認知処理 H/W 仕様を示す。

まずカメラモジュールの H/W 仕様について説明する。カメラモジュールの寸法は 29 x 29 x 99 mm、水平方向の視野角が 82.4deg、垂直方向の視野角が 66.9deg、画像の解像度が 1920*1080pix、動画のフレームレートが 30fps、である。

次にカメラ認知処理 H/W の H/W 仕様について説明する。カメラ認知処理 H/W は寸法が 2100 x 164.2 x 59mm、CPU が 8core の Armv8.2 64bit、メモリが 16GB、ストレージが 32GB、消費電力が最大 95W (電源は 19V、5A)、インターフェースとして HDMI、USB3.1Gen、Ethernet を持つ。



図 4.1.2.3.3-1 カメラモジュール
外観写真



図 4.1.2.3.3-2 カメラ認知処理 H/W
外観写真

表 4.3.2.3.3-1 カメラモジュール H/W 仕様

項目	仕様
----	----

寸法	29 x 29 x 99 [mm] (レンズ込み)
FoV (Field of View) : 視野角 水平	82.4[deg]
FoV (Field of View) : 視野角 垂直	66.9[deg]
解像度	1920*1080[pix]
フレームレート	30[fps]
最大検知距離	25[m]
最小検知距離	2.5[m]

表 4.3.2.3.3.2
カメラ認識処理
H/W 仕様

項目	仕様
寸法	2100 x 164.2 x 59 [mm]
CPU	Score Armv8.2 64bit
メモリ	16[GB]
ストレージ	32[GB]
消費電力	最大 95[W] (19V・5A)
インターフェース	HDMI, USB3.1, ethernet

4.3.2.3.4 入出力仕様

表

4.3.2.3.4-1
に、カメラ認識処理 H/W の入出力仕様を示す。まず、

入力仕様について説明する。カメラ認識処理 H/W に対して、上述している通り、車両前方の障害物を認識するためにカメラモジュールが出力した車両前方のカメラ画像を入力する。また、自車両の状態を判定するため、CAN から車速、ヨーレート を取得する。

次に、カメラ認識処理 H/W の出力仕様について説明する。カメラ認識処理 H/W は画像と車両情報を基に画像上の障害物を認識した結果として、人や車両など障害物の属性情報、オブジェクト幅、オブジェクト縦・横距離、オブジェクト縦・横速度を CAN に出力する。

表 4.3.2.3.4.1 カメラ認識処理 H/W 入出力仕様

入出力	項目	単位
入力	画像	-
	車速	m/s
	ヨーレート	rad/s
出力	属性情報	-
	オブジェクト幅	m
	オブジェクト縦・横距離	m
	オブジェクト縦・横速度	m/s

4.3.2.4 ミリ波レーダシステム

4.3.2.4.1 目的

ミリ波レーダにより、車両前方に存在する

障害物を検知し、検知した障害物までの距離や障害物の速度、種別情報等の障害物検知情報を自動運転制御システムに CAN 出力する。

ミリ波レーダは、カメラと比べて雨や夜等の環境の影響が少ない。また、検知対象物までの奥行き方向の距離精度や速度精度が高い特徴がある。

4.3.2.4.2 H/W 仕様

本自動運転車両システムのミリ波レーダは、Continental 製の ARS408-21(premium)である。図 4.3.2.4.2-1 に外観写真、表 4.3.2.4.2-1 に H/W 仕様を示す。



図 4.3.2.4.2-1 ミリ波レーダ外観写真

表 4.3.2.4.2-1 ミリ波レーダ H/W 仕様

項目	仕様
寸法	137.25x90.8x30.66 [mm]
周波数	77 GHz
最大検知距離	250 m
最小検知距離	0.20 m
FoV (Field of View) : 視野角 水平	±9.0 deg (far range) ±60 deg (near range)
FoV (Field of View) : 視野角 垂直	14 deg (far range) 20 deg (near range)

4.3.2.4.3 入出力仕様

表 4.3.2.4.3-1 に、本レーダの入出力仕様を示す。なお出力については、大

きく分けてステータス・一般情報・品質情報・拡張情報の4つに分かれており、1回の出力周期において、ステータスは1回、それ以外の各情報は、1オブジェクトにつき1回、オブジェクト数分だけ出力される。

表 4.3.2.4.3-1 ミリ波レーダ入出力仕様

入出力	項目	単位	
入力	自車速	m/s	
	ヨーレート	deg/s	
出力	ステータス	オブジェクト数	-
		サイクルカウンタ	-
		I/F version	-
	一般情報 (×オブジェクト数分)	オブジェクト ID	-
		縦・横距離	m
		縦・横速度	m/s
		動的属性 (静止・接近・横切り等)	-
	RCS	dBm ²	
	品質情報 (×オブジェクト数分)	オブジェクト ID	-
		縦・横距離の標準偏差	m
		縦・横速度の標準偏差	m/s
縦・横加速度の標準偏差		m/s ²	
方位角の標準偏差		deg	
観測状態 (新規・観測済・予測等)	-		

		存在確率	-
	拡張情報 (×オブジェクト数分)	オブジェクト ID	-
		縦・横加速度	m/s ²
		属性 (車・自転車等)	-
		方位角	deg
		長さ	m
		幅	m

4.3.2.4.4 動作確認結果

動作確認結果として、データの一部を図 4.3.2.4.4-1～図 4.3.2.4.4-3 に示す。図は、代表的な検知対象物体として選択した歩行者、自転車、自動車が、レーダの真正面 (y=0) において、縦方向 (x 軸方向) に約 1～30m までの区間を移動した際の検知結果を時系列で示したものである。また、ダンボールをレーダの真正面に配置し、ダンボールに向かって約 30m～1m までカーンを接近させた際の検知結果を図 4.3.2.4.4.4 に示す。

なお前述の通り、レーダの H/W 仕様上は最大 250m まで検知可能であるが、本 PJ の主なシナリオを考慮の上、動作確認は約 30m 以下の距離に対して実施した。

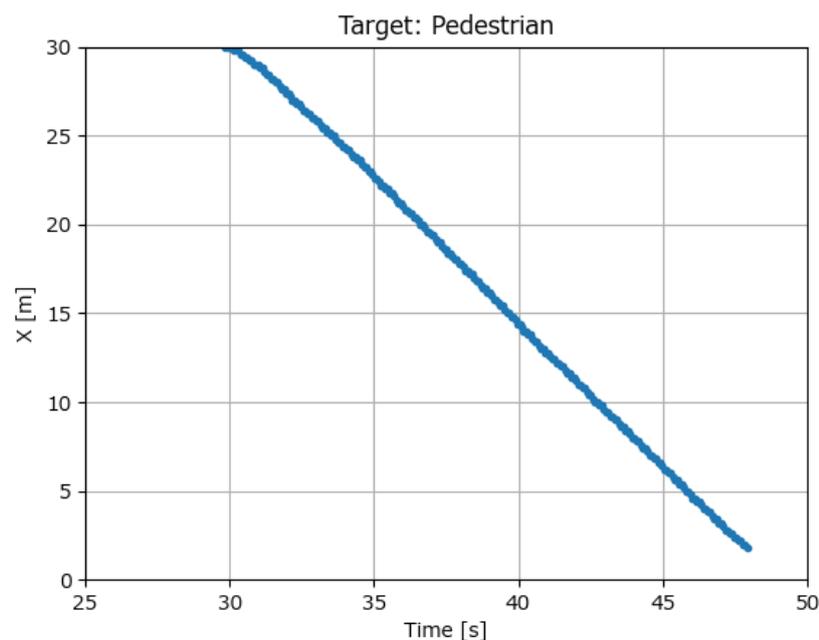


図 4.3.2.4.4-1 レーダ出力結果 (検知対象：歩行者)

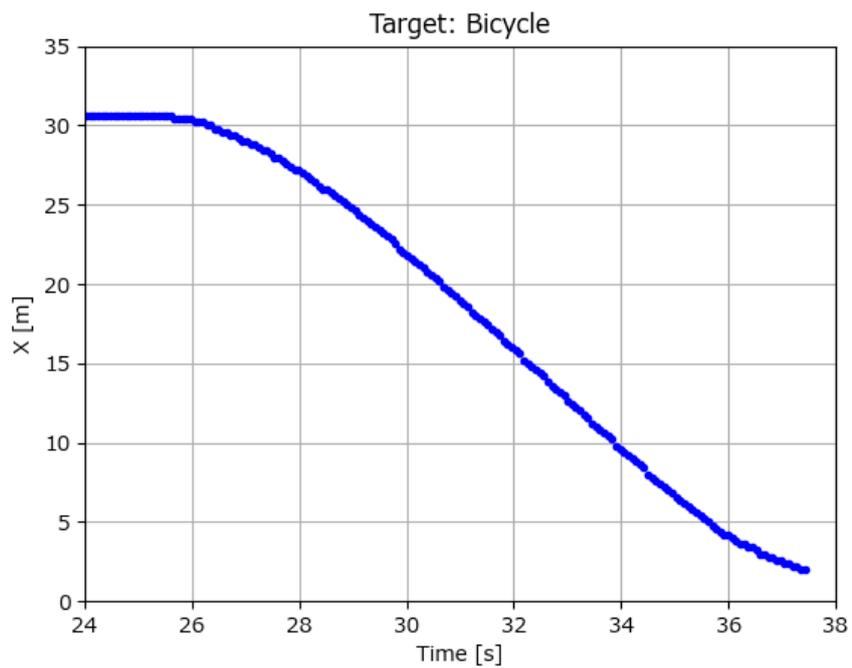


図 4. 3. 2. 4. 4-2 レーダ出力結果 (検知対象 : 自転車)

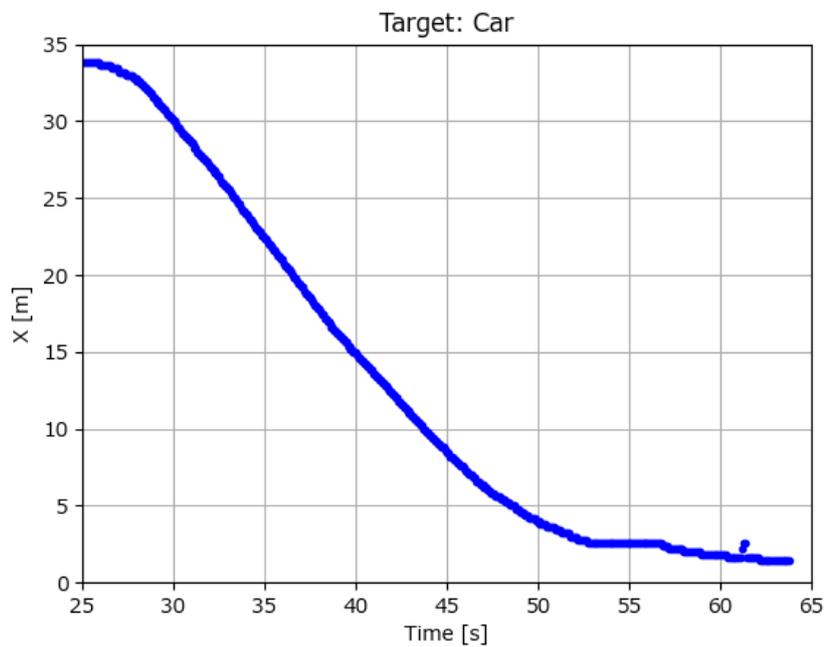


図 4. 3. 2. 4. 4-3 レーダ出力結果 (検知対象 : 自動車)

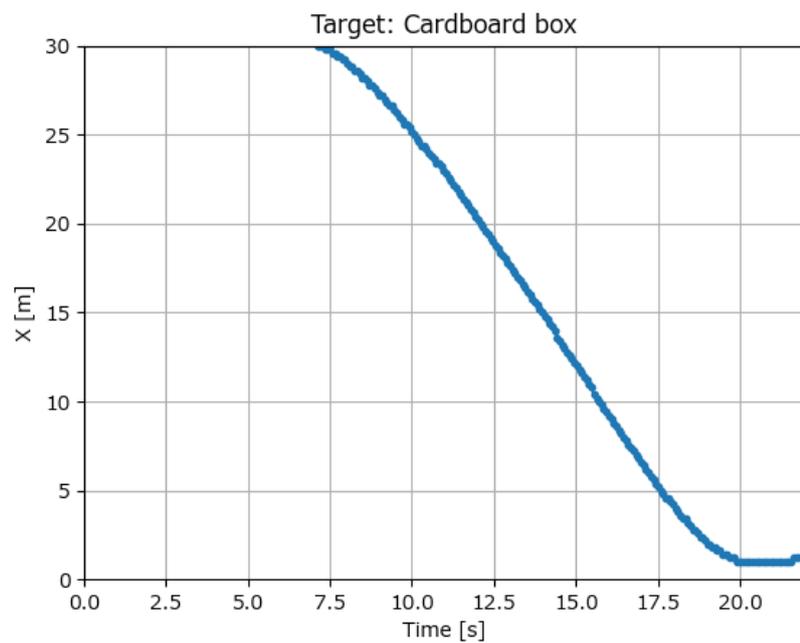


図 4.3.2.4.4-4 レーダ出力結果（検知対象：ダンボール）

上図の通り、レーダは代表的な検知対象物体である歩行者・自転車・自動車・ダンボールを検知できていることが確認できる。

4.3.2.5. 高精度ロケータシステム

4.3.2.5.1. 目的と課題

自動運転を行う上で自車の位置を正確に知ることは、自動運転車両が経路上の決められた位置を外れることなく走行するために必要な情報である。また、複数の自動運転車両が同一のエリアを走行する自動運転システムでは、自動運転車両同士の衝突を防ぐためだけでなく、サービスとして適切に自動運転車両を配車するために重要な情報でもある。

今回自動運転システムを適用する永平寺町のプロジェクトでは、自動運転車両の走行ルートとして京福電気鉄道永平寺線の廃線跡を利用したものであり、複数の自動運転カートが走行するためには、決められた位置に設置されたすれ違い設備により、すれ違い運行を行う必要がある。高精度ロケータシステムは、得られた自動運転車両の位置情報を管制システムに伝達し、管制システムにて車両の運行管理、すれ違い設備におけるすれ違い運行を行うことを目的としている。

また本事業ではレベル4の自動運転をターゲットにしていることから、電磁誘導線に何らかの異常が発生した場合に高精度ロケータシステムの位置情報を用いて車両の運行を継続あるいは安全なエリアまで誘導することを検討している。

高精度ロケータシステムは、GNSS 測位を用いたシステムである。GNSS 測位は、上空にある複数の測位衛星より送信される測位電波を受信し、得られた測位情報を元に自己位置を算出する。しかし、測位衛星より送信される測位電波は GNSS 受信機に届くまでに様々な影響を受け遅延する。この測位電波の遅延は、補正を行わない場合、数 m～数十 m の誤差となって測位に影響する。高精度ロケータシステムは、準天頂衛星センチメートル級測位補強サービス (CALS: Centimeter Level Augmentation Service) を利用するシステムである。CALS を用いた測位では、GNSS 衛星からの測位電波遅延を準天頂衛星から送信される測位補強情報を用いて補正を行うことで、日本全国において cm 級の測位を可能としている。

本プロジェクトでは、CLAS を使用する高精度ロケータシステムを用いて、測位精度の検証を行う。

4.3.2.5.2. システム構成図

高精度ロケータシステムの構成を説明する。高精度ロケータシステムは、GNSS 受信アンテナ、高精度ロケータ本体 (図 4.3.2.5.2-2) で構成され、どちらも三菱電機株式会社製である。

図 4.3.2.5.2-3 に GNSS アンテナと高精度ロケータ本体の設置位置、及び同軸ケーブルの配線位置を示す。高精度ロケータ本体はカートベンチ (2 列目) 下部に防じんケースに入れて設置されており、GNSS 受信アンテナと高精度ロケータ本体間は専用の同軸ケーブルで接続されている。

なお本高精度ロケータシステムには測位が不安定なエリアでは車両状態量より自己位置を算出する自律航法 (デッドレコニング) と組み合わせた複合航法により自車位置を出力する機能も有するが、今年度は測位情報に基づく評価のみを実施した。

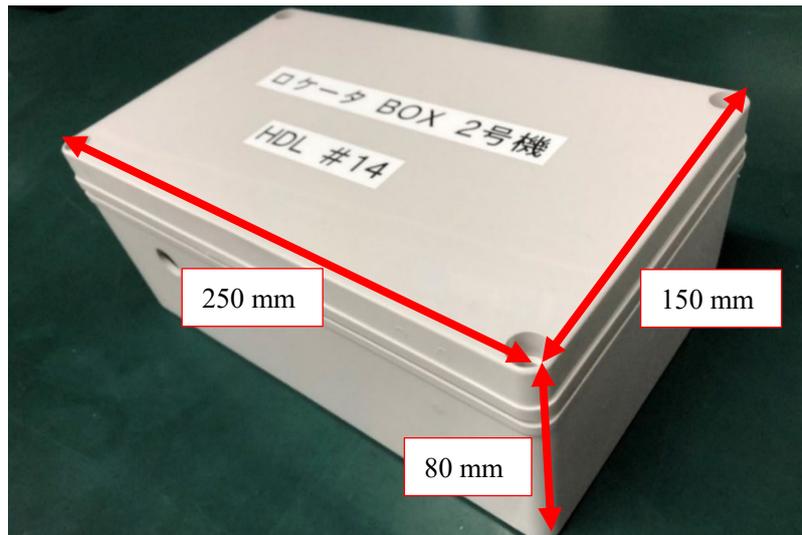


図 4.3.2.5.2-2 高精度ロケータシステム（本体）（防じんのため筐体に封入）

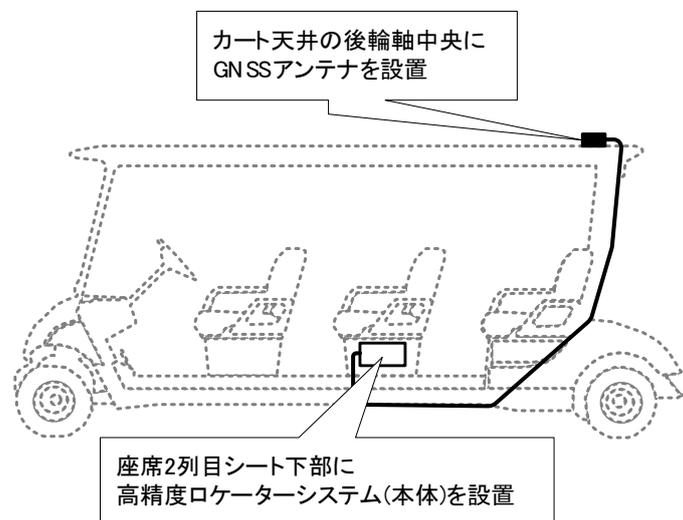


図 4.3.2.5.2-3 高精度ロケータシステム設置図

4.3.2.5.3. 測位結果

永平寺町参ロード北ルートおよび南ルートにおいて高精度ロケータシステムを用いた測位試験を実施し下記の試験結果を得られた。

【永平寺町参ロード南ルート（荒谷停留所～志比停留所間）】

図 4.3.2.5.3-1 に南ルート測位結果を示す。南ルートはルート全体を通して周囲の木立がコース近傍まで接近し、GNSS 測位電波そのものが受信困難で、測位精度が低下する個所が多くあった。

これらについて、複数回の走行を行い測位精度に関して統計を取った結果、南ルート全体のうち精度 25cm 未満を満たす区間が約 13%、精度 25cm～50cm を満たす区間が約 57%、精度 50cm 以上の区間が約 30%という結果が得られた。



図 4. 3. 2. 5. 3-1 南ルート測位結果（全体）

【永平寺町参ロード北ルート（東古市停留所～荒谷停留所間）】

図 4. 3. 2. 5. 3-2 に北ルート測位結果を示す。北ルートはルート全体を通してコース上空の遮蔽物が少なく、比較的安定した GNSS 測位が可能であった。

南ルート同様、北コースにおいても複数回の走行を行い速制度に関して統計を取った結果、精度 25cm 未満を満たす区間が約 45%、精度 25cm～50cm を満たす区間が約 47%、精度 50cm 以上の区間が約 8%という結果が得られた。

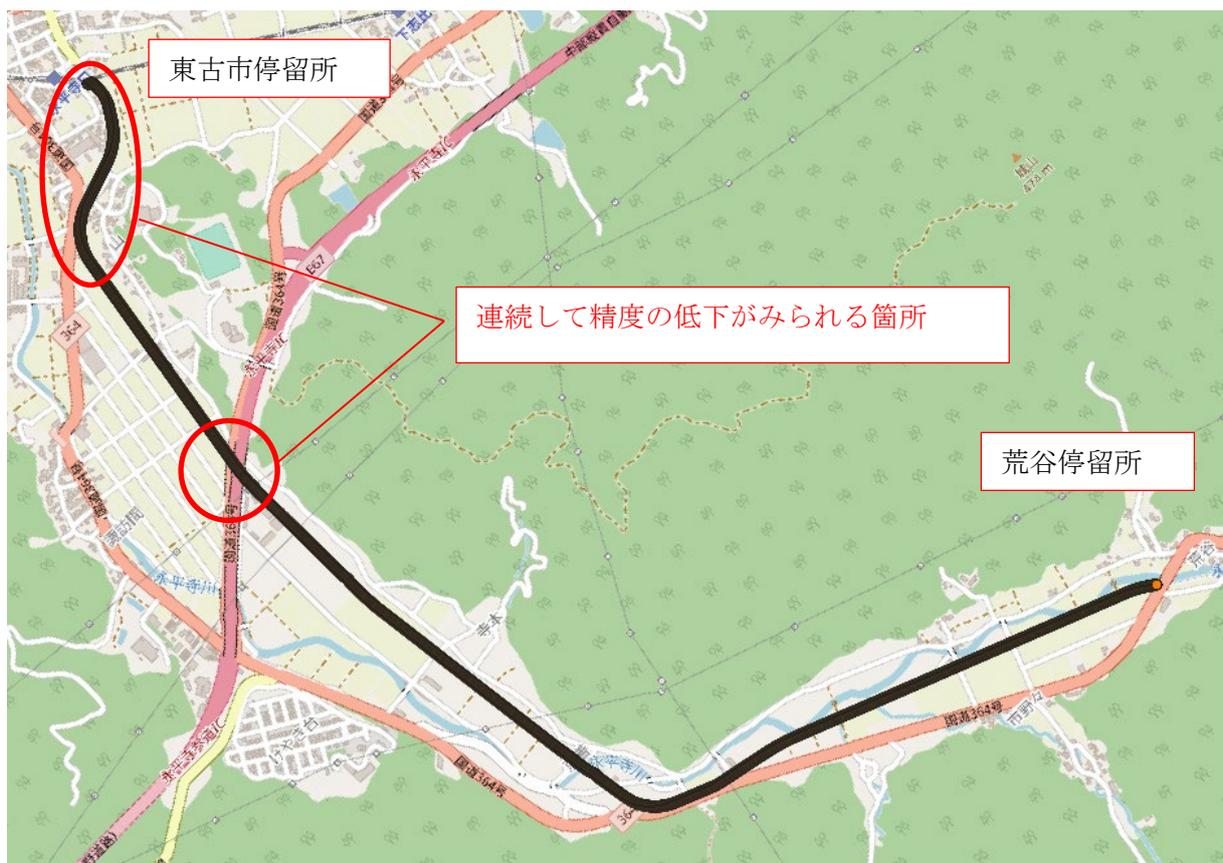


図 4. 3. 2. 5. 3-2 北ルート測位結果（全体）

特に北ルートで精度が悪化する地点としては、中部縦貫自動車道（永平寺大野道路）の効果を

くぐる箇所および東古市停留所付近の 2 か所のみであり、それ以外の区間については連続して精度が悪化する箇所は少なかった。

本測定結果より、Lv4 の自動運転走行にて、測位情報のみを用いた高精度ロケータシステム単独の自己位置推定結果を用いて、自動運転車両そのものを制御することについては、難しいと結論づける。特に永平寺町の南ルートのようにコース周囲に木立がある場合など、測位に十分な環境が得られない場合は、自律センサ情報を用いた自律航法に基づく複合測位アルゴリズムが改めて必要なことが確認できた。

4.3.2.6 通信機器システム

4.3.2.6.1 システム概要と目的

車両に搭載される、路側インフラ機器との通信機器は Wi-Fi 子機 (STA) と車載 GW とで構成される。

Wi-Fi STA は車載 GW に接続される。Wi-Fi STA は路側システム設置交差点に設置された Wi-Fi AP と Wi-Fi での無線接続を確立し、車載 GW と路側インフラ機器との間で無線通信を実現する。

車載 GW は、Wi-Fi STA を介して路側インフラ機器と無線接続され通信を行う。また、車載 GW は有線 LAN により AD-ECU と接続され通信を行う。車載 GW は一方の機器から受信したデータをプロトコル変換して他方の機器に転送するゲートウェイの機能を有し、路側インフラ機器である MEC と AD-ECU との間の通信を仲介する。

4.3.2.6.2 システム構成

路側インフラとの通信機器システムは、Wi-Fi STA と車載 GW とで構成される。Wi-Fi STA は USB で車載 GW に接続される。車載 GW は AD-ECU と Ethernet で接続される。

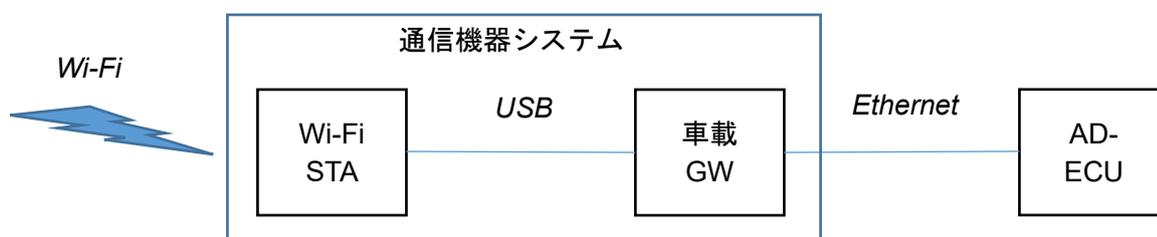


図 4.3.2.6.2-1 通信機器システム構成図



図 4.3.2.6.2-2 車載 GW 外観



図 4.3.2.6.2-3 Wi-Fi STA 外観

4.3.2.6.3 システム詳細仕様

4.3.2.6.3.1 システム処理内容

車載 GW は DDS (Data Distribution Service) を用いて路側インフラ機器である MEC と通信を行う。MEC で生成されたダイナミックマップデータを同プロトコルで受信し、プロトコル変換して UDP で AD-ECU へ送信する。

車載 GW は UDP を用いて AD-ECU と通信を行う。AD-ECU の出力する車両位置・速度・走行方位などの車両情報を受信し、DDS のトピックに変換して MEC へ送信する。

4.3.2.6.3.2 各 HW の仕様説明

表 4.3.2.6.3.2-1 車載 GW 詳細仕様

寸法	117 x 112 x 51mm
CPU	Intel GEN10 CORE i7
メモリ	32GB
ストレージ	1TB (SSD)
消費電力	180W
インターフェース	USB2.0
	USB3.1 Gen2
	イーサネット (GbE)
OS	Ubuntu 20.04

表 4.3.2.6.3.2-2 Wi-Fi STA 詳細仕様

寸法	84 × 156.3 × 19.2 mm
ワイヤレス規格	IEEE 802.11ac
セキュリティ	WPA2 Personal
動作環境	動作温度: 0°C~40°C
	動作湿度: 10%~90% (結露なきこと)
受信感度	-69~-62dBm
ホストインターフェース	USB3.0

4.3.3 路側機システム

4.3.3.1 実証実験の目的・評価方法

福井県永平寺町で実施されている無人自動運転移動サービスの試験運行では、全長 6km 自転車歩行者専用道「永平寺参ろ一ど」のうち、荒谷から志比までの南側 2km の区間のみで遠隔監視・操作型の無人自動運転が行われている。残りの東古市から荒谷までの北側 4km の区間は、車両に乗車した運転者（安全監視員）による手動運転区間となっており、途中に存在する 14ヶ所の一般道路との交差点を通過する際には、一時停止と運転者による目視確認が行われている。我々は、運転者による目視確認の代替機能となる路側センサを設置することで、将来的に全 6km の全区間で無人自動運転を実現することをめざしている。今年度からスタートした実証実験では、一般道との交差点付近に路側センサを設置して、センサが出した通過可否可能の判断結果と、運転者が出した通過可否の判断結果を同時に記録し、比較することで、必要なセンサの要求仕様（設置数、設置位置、距離レンジ、検知精度、処理時間）の確認と、認識アルゴリズムの評価を行うことを目的とする。

4.3.3.2 ハードウェア構成

図 4.3.3.2-1 に路側システムの設置場所を示す。路側システムは参ろ一どの山交差点と荒谷の 2か所に設置する。路側システムを設置するため、山交差点部に 2本のコンクリート柱（以下、「ポールA」、「ポールB」）、荒谷に 1本のコンクリート柱（以下、「ポールC」）を新設する。

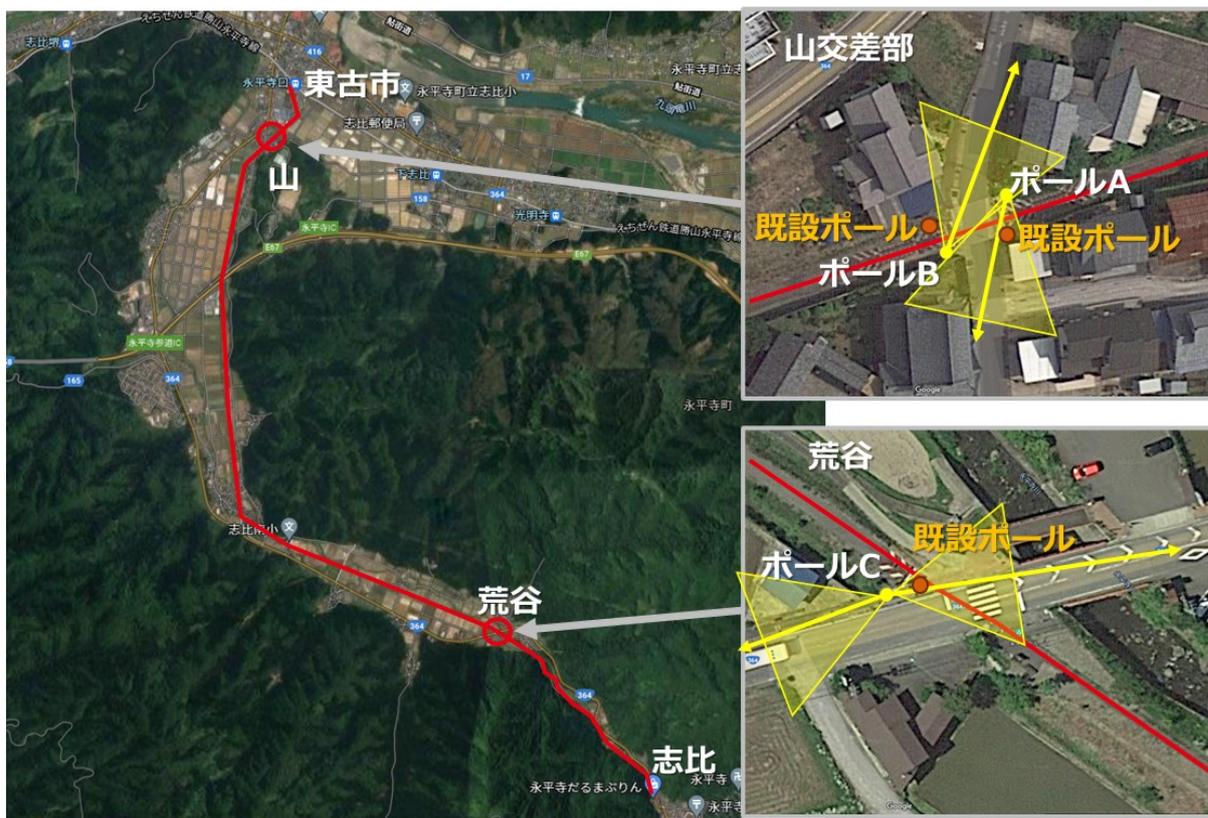


図 4.3.3.2-1 システムの設置場所

図 4.3.3.2-2 に山交差部に設置する路側システムの概略構成、図 4.3.3.2-3 に荒谷に設置する路側システムの概略構成を示す。

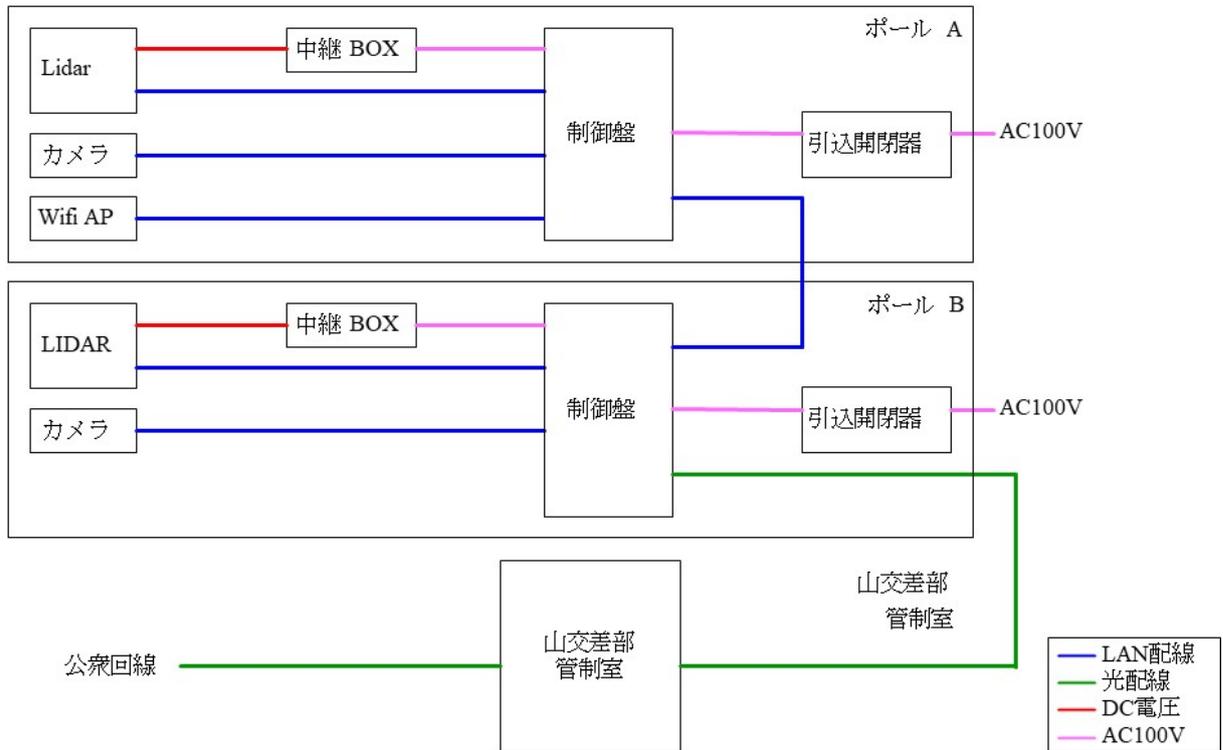


図 4.3.3.2-2 山交差部の路側システムの概略構成

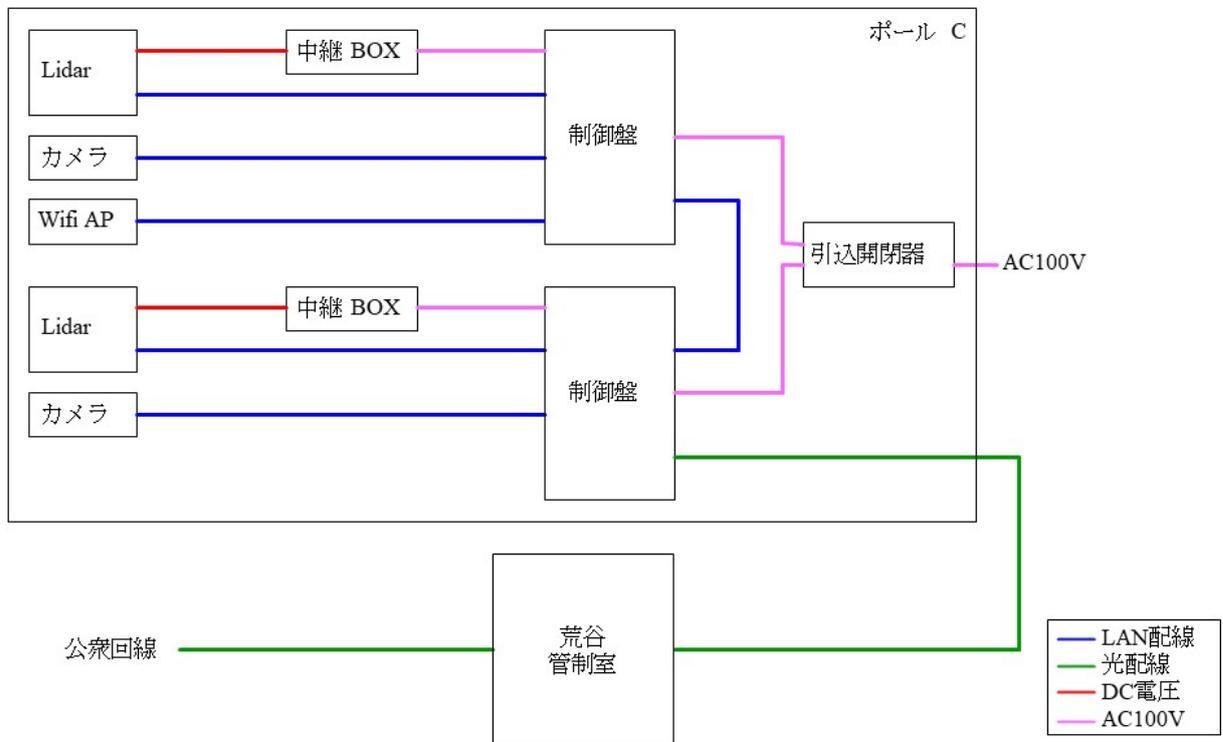


図 4.3.3.2-3 荒谷の路側システムの概略構成

表 4.3.3.2-1 に図 4.3.3.2-2、図 4.3.3.2-3 の構成要素を示す。

表 4.3.3.2-1 路側システムの構成要素

構成要素	機能
LiDAR	視野角内の点群情報を取得
カメラ	視野角内の映像を取得
Wi-Fi AP	路側システムとカーブ間の通信
引込開閉器	電源引込用のブレーカー収納
中継 BOX	LiDAR に対する DC 電源供給
制御盤	中継 BOX に対する AC 電源供給 LiDAR、カメラの信号処理
管制室	MEC やネットワーク機器を配置

図 4. 3. 3. 2-4 に表 4. 3. 3. 2-1 の管制室を除く構成要素をポールに取り付ける際の設置図を示す。
ポールには上から LiDAR、カメラ、Wi-Fi AP、中継 BOX、制御盤の順に取り付ける。

- ・ LiDAR : 下向き 14.5° で、高さ約 6.0m 取り付ける
- ・ カメラ : LiDAR のすぐ下 (約 5.5m) に取り付ける
- ・ Wi-Fi AP : 高さ約 5.0m 取り付ける
- ・ 中継 BOX : 制御盤の上に取り付ける
- ・ 制御盤 : 雪に埋もれないように地面から浮かせて取り付ける
- ・ 引込開閉器 : 特に指定なし

なお、荒谷で 1 つのポールに同じ機器を 2 つ取り付ける場合は、一番上の LiDAR の高さが約 6.0m となるように取り付け、同じ機器同士ができるだけ同じ高さとなるように取り付ける。

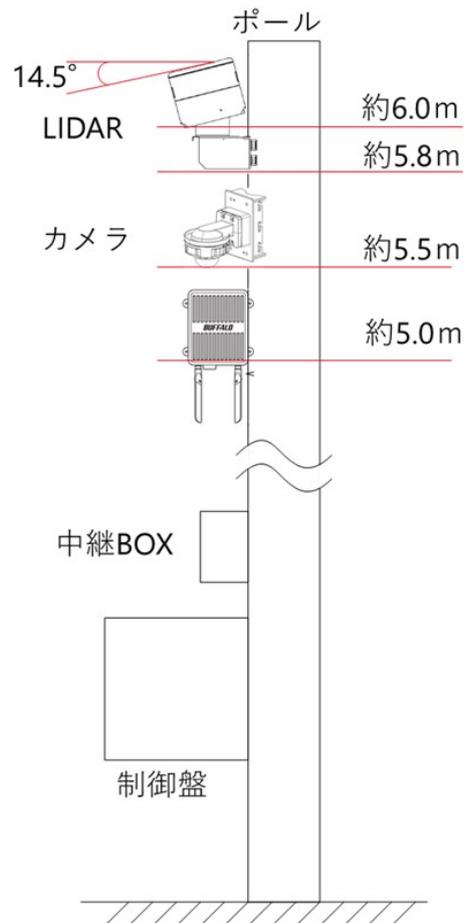


図 4. 3. 3. 2-4 構成機器の設置図

4.3.3.2.1 LiDAR

表 4.3.3.2.1-1 に LiDAR の HW の仕様を示す。

表 4.3.3.2.1-1 LiDAR の HW 仕様

項目	仕様
サイズ (mm)	W212*H65*D330
重量 (kg)	4.3 (実測値：カタログ値とは異なる)
消費電力 (W)	50
視野角 水平 (deg)	±30
視野角 垂直 (deg)	±15
入出力 I/F	Ethernet 1000BASE-T
動作温度範囲 (°C)	0~45
防水性	IP67
Eye Safe	Class1

4.3.3.2.2 カメラ

表 4.3.3.2.2-1 にカメラの HW の仕様を示す。

表 4.3.3.2.2-1 カメラの HW 仕様

項目	仕様
サイズ (mm)	Φ164*H139
重量 (kg)	1.6
消費電力 (W)	12.5
有効画素数	約 510 万画素
視野角 水平 (deg)	33~103
視野角 垂直 (deg)	19~55
入出力 I/F	Ethernet 10BASE-T/100BASE-TX
動作温度範囲 (°C)	-30~60
防水性	IP66

4.3.3.2.3 中継 BOX

表 4.3.3.2.3-1 に中継 BOX の HW の仕様を示す。

表 4.3.3.2.3-1 中継 BOX の HW 仕様

項目	仕様
サイズ (mm)	W300*H300*D120
重量 (kg)	10
平均消費電力 (W)	13.65
動作温度範囲 (°C)	-20~50
防水性	IP44

4.3.3.2.4 制御盤

表 4.3.3.2.4-1 に制御盤の HW の仕様を示す。

表 4.3.3.2.4-1 制御盤の HW 仕様

項目	仕様
サイズ (mm)	W680*H781*D680
重量 (kg)	110
電源	単相 AC100V±10%、50Hz/60Hz±5%
平均入力電力	600VA 以下
動作温度範囲 (°C)	-20~50
防水性	IP66

4.3.3.2.5 MEC

表 4.3.3.2.5-1 に MEC の HW の仕様を示す。

表 4.3.3.2.5-1 MEC の HW 仕様

項目	仕様
サイズ (mm)	W190*H477*D432
重量 (kg)	10
電源	単相 AC100V
消費電力 (W)	250
動作温度範囲 (°C)	

4.3.3.2.6 Wi-Fi AP

表 4.3.3.2.6-1 に Wi-Fi AP の仕様を示す。

表 4.3.3.2.6-1 Wi-Fi AP 詳細仕様

項目	仕様
サイズ (本体外形寸法) (mm)	W220*H280*D65
サイズ (アンテナ外形寸法) (mm)	W23.4*H216*D20
重量 (kg)	約 1.34kg (アンテナ、壁掛け金具含まず)
動作環境	温度：-30~55°C 湿度：10~90% (結露なきこと)
最大消費電力	-30°C~55°C:18.3W/0~55°C:13.84W
準拠規格	IEEE802.11ac
伝送方式	多入力多出力直交周波数分割多重変調 (MIMO-OFDM) 方式
無線周波数範囲 (チャンネル)	5GHz (W56) (100~140ch)
セキュリティ	WPA2 Personal
有線インターフェース	イーサネット (GbE)

4.3.3.3 システム構成

4.3.3.3.1 概要

路側システムは、荒谷、山交差地区それぞれに、LiDAR とカメラを備えた路側ポールを複数備え、路側ポールのセンサ信号から路側ポール毎の検知物体を算出する制御盤内のロードサイドユニットコンピュータ (RSU-PC) と、各路側ポールで得られた検知物体を統合し各地区の検知物体をまとめるマルチアクセスエッジコンピュータ (MEC) で構成する。さらに中心となる MEC は各地区の検知物体と自動運転カーットの自己位置を統合して、ダイナミックマップとして配信を行う。

4.3.3.3.2 動作の流れ

- 全体の動作

図 4.3.3.3-1 に示す通り、路側ポールに設置された LiDAR とカメラのデータを各路側ポールに取り付けられた制御盤内の RSU-PC で信号処理を行って物体を検出し、それを各地区に設けられた管制室内の MEC にて統合する。

- 制御盤内 RSU-PC

図 4.3.3.3-2 に示す通り、RSU-PC は路側ポールに設置された LiDAR とカメラから、LiDAR 点群とカメラ画像を取り込んで、RSU-PC における検知物体を算出する。

- 管制室内 MEC

MEC は各 MEC で得た検知物体の融合 (MEC フュージョン) で構成される。最終的にすべての MEC が出力している検知物体と、自動運転カーットが出力している自己位置をダイナミックマップとして管制システム、車両システムへ配信を行う。

4.3.3.3.3 各信号処理ブロックの機能

- LiDAR ドライバ

図 4.3.3.3-4 に示す通り LiDAR の制御を行う。

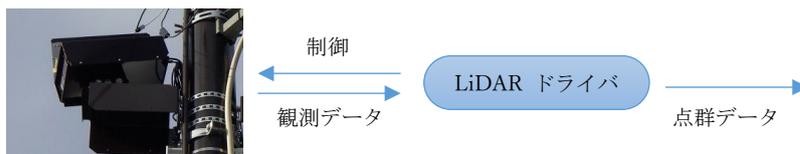


図 4.3.3.3-4 LiDAR ドライバ概要図

- LiDAR 信号処理

図 4.3.3.3-5 に示す通り、LiDAR で得られたレーザ光線の反射点の点群から路上を通行するもののみを抽出し、その点群の集合毎に一つにまとめて物体として検知を行う。すなわち点群データから物体位置を算出して出力する。



図 4.3.3.3-5 LiDAR 信号処理概要図

- カメラ信号処理

図 4.3.3.3-6 に示す通り、カメラ画像を取り込んで、カメラ画像に映る車両、歩行者を画像認識アルゴリズムにより検出し、出力する。

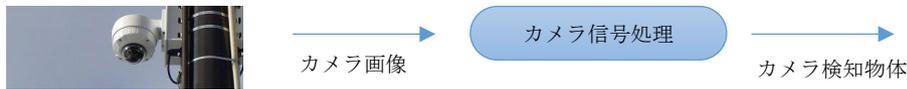


図 4.3.3.3-6 カメラ信号処理概要図

4.3.3.4 LiDAR 信号処理

4.3.3.4.1 概要

Light detection and ranging (LiDAR) は、特定の間隔で照射したレーザ光の反射から、反射点の集合 (点群) を得るセンサである。図 4.3.3.4-1 に LiDAR による照射と検知の概念図を示す。LiDAR 信号処理は、LiDAR から取得した点群から、動的な物体 (車両や人など) を検知する処理である。図 4.3.3.4-2 に LiDAR 信号処理のブロック図を示す。図中の各処理の内容は以下である。

- クロップ
地理系座標により指定された複数の矩形の範囲外に位置する点群を除去する。
- 地面除去
平面に近似する点群を地面とみなして除去する。
- クラスタリング
一定距離内に集まる点群 (クラスタ) ごとに分割する。またクラスタに含まれる点群の平均座標を、クラスタの座標とする。図 4.3.3.4-3 にクラスタ判定条件の概念図を示す。

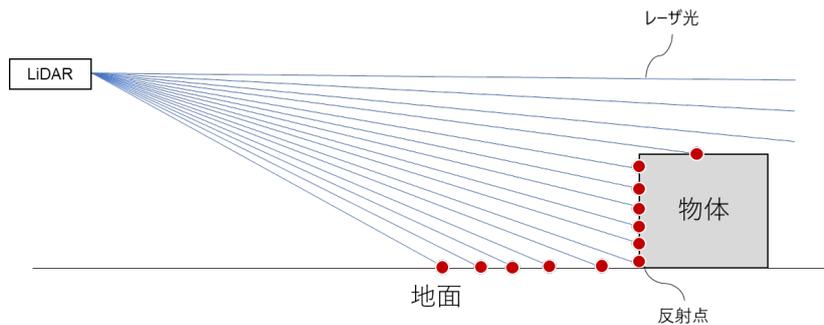


図 4.3.3.4-1 LiDAR による照射と検知

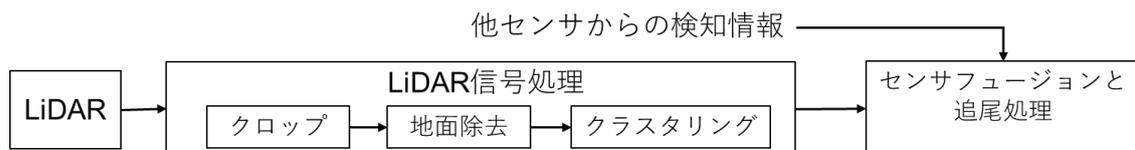


図 4.3.3.4-2 LiDAR 信号処理ブロック図

4.3.3.4.2 検知範囲及び角度分解能

LiDAR の検知範囲及び角度分解能を表 4.3.3.4-1 に、検知範囲の概念図を図 4.3.3.4-4 に示す。

表 4.3.3.4-1 LiDAR 検知範囲及び角度分解能

視野角 水平 (deg)	±30
視野角 垂直 (deg)	±15
角度分解能	0.1° horizontal (x) & vertical (y)

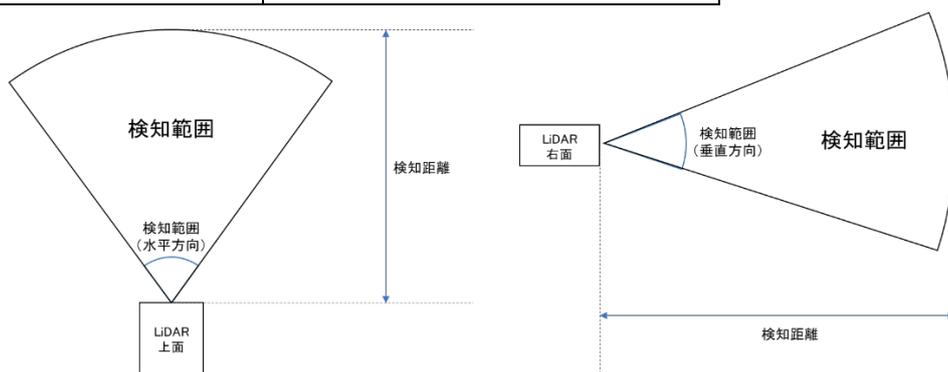


図 4.3.3.4-4 LiDAR 検知範囲概念図

4.3.3.4.3 入出力一覧

表 4.3.3.4-2 に LiDAR 及び LiDAR 信号処理の入出力の一覧を示す。

表 4.3.3.4-2 LiDAR 及び LiDAR 信号処理の入出力一覧

項目	入力値	出力値
LiDAR (AEye 4 Sight M)	<ul style="list-style-type: none"> ・スキャンパターン指定 ・スタート信号 	点群 (1 点が下記の情報によって定義される反射点の集合体) <ul style="list-style-type: none"> ・LiDAR を原点とする反射点の座標 (x, y, z) ・レーザ光の反射率
LiDAR 信号処理	LiDAR 出力	<ul style="list-style-type: none"> ・クラスタ識別子 (8bit 符号なし整数) ・クラスタ座標 (64bit 浮動小数。緯度、経度、高さ) ・クラスタサイズ (64bit 浮動小数。幅、長さ、高さ) ・タイムスタンプ (当日午前 0 時を起点とした、経過時間)

4.3.3.5 カメラ信号処理

4.3.3.5.1 概要

カメラ信号処理は、機械学習ベースの画像認識アルゴリズムを用いて、例えば車両、トラック、二輪車、歩行者といった物体の種別と、その物体の3次元の位置算出を行う。図4.3.3.5.1-1に画像認識処理のフローを、表4.3.3.5.1-1に各フローの概要及び入出力を示す。

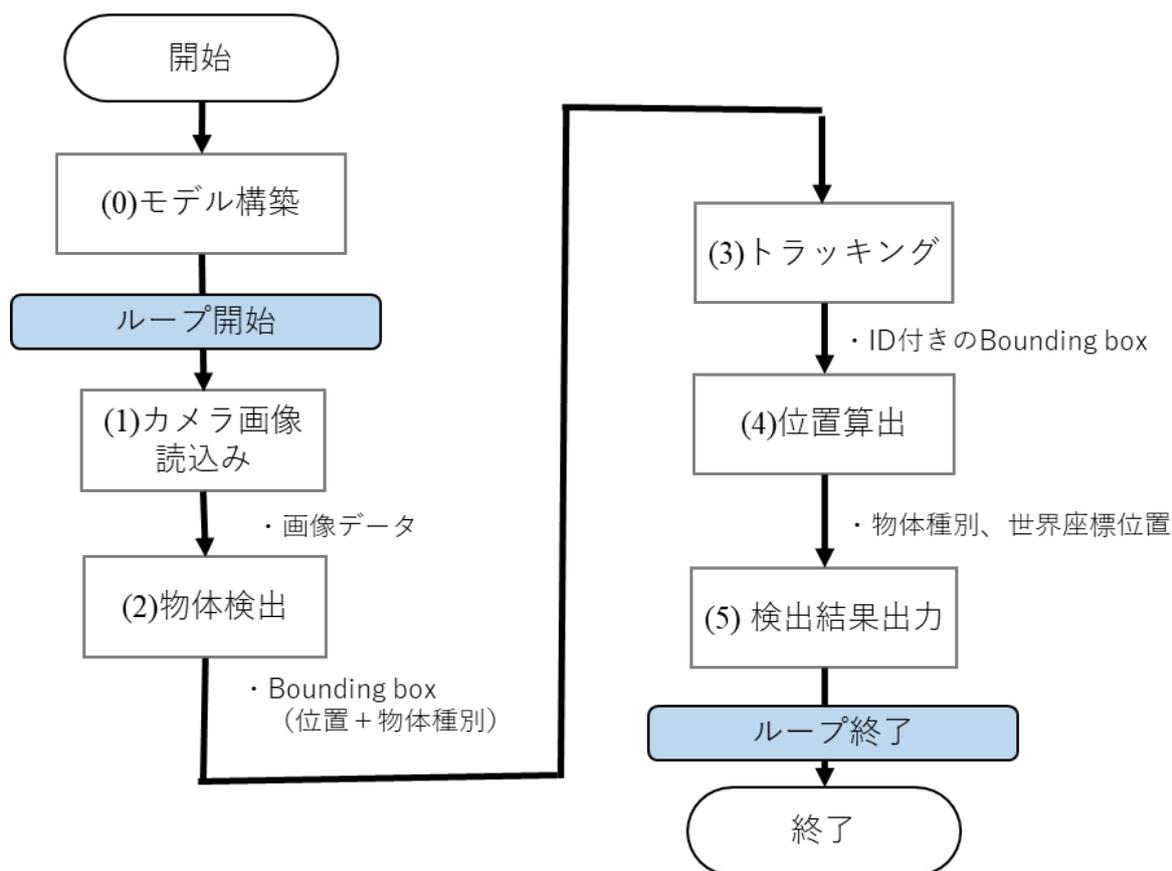


図 4.3.3.5.1-1 画像認識処理フロー

表 4.3.3.5.1-1 各フローの概要及び入出力

No.	名称	内容	入力値	出力値
0	モデル構築	モデルの読み込み及び初期化を行う	パラメータファイル等	初期化済みモデル
1	画像読み込み	カメラ画像を取得する	-	画像データ
2	物体検出	物体検出アルゴリズムによりカメラ画像から物体を検出する	画像データ	Bounding box (位置 + 物体種別)
3	トラッキング	トラッキングアルゴリズムにより検出した物体に出現順に ID を割り付ける	Bounding box (位置 + 物体種別)	Bounding box (位置 + 物体種別 + ID)

4	位置算出	検出した物体の世界座標における位置を算出する	Bounding box (位置+物体種別+ID)	物体情報 (種別、世界座標位置)
5	検出結果出力	検出した結果を出力する	物体情報 (種別、世界座標位置)	物体情報 (種別、世界座標位置)

以下、各フローに関して詳細を記載する。

4.3.3.5.2 処理内容

(0) モデル構築

パラメータファイル等からパラメータを取得し、取得したパラメータに応じて使用するモデル種類の規定や初期化、カメラ設定等を行う。本手順は画像認識プログラム起動時に一度実行する。

表 4.3.3.5.2-1 にカメラの設定を、表 4.3.3.5.2-2 にモデル設定を示す。

表 4.3.3.5.2-1. カメラ設定

項目	値	備考
動画圧縮形式	Motion JPEG	
画像サイズ	1920×1080	今回の評価では歪補正は実施していない
カラーバンド	R(赤)/G(緑)/B(青)の3色	
画素値	R/G/B それぞれ 0~255	8ビット
フレームレート	5 fps	

以下、
(1) ~
(5) の処理は

プログラムが停止するまで繰り返し処理を行う。

(1) 画像読み込み

本処理が呼ばれた時点のフレームにおけるカメラ画像データを取得する。取得した画像データは(2)の物体検出モデルに入力するための前処理が行われる。

(2) 物体検出

物体検出アルゴリズムにより、画像上の物体を検出し2次元の矩形 (2D Bounding box) 及び物体種別を算出する。

(3) トラッキング

トラッキングアルゴリズムにより検出した物体に出現順に ID を割り付ける。

(4) 位置算出

検出した2次元の物体の位置から3次元の物体の世界座標における位置を算出する。

次に、当該物体位置の画像上の位置 (pixel x, pixel y) を世界座標位置 (緯度、経度) へ変換する。画像上の位置から世界座標位置への変換は、画像上の複数点の緯度経度情報を事前に測定しておきホモグラフィ変換を実施する等により実現できる。図 4.3.3.5.2-2 に物体位置算出結果例を示す。

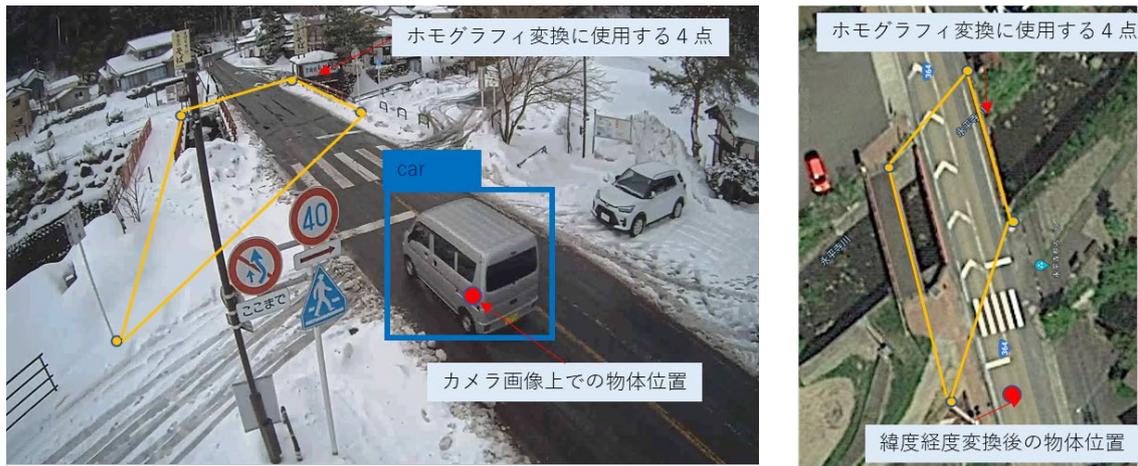


図 4.3.3.5.2-2. 物体位置算出結果例（左：カメラ画像、右：鳥観図）

(5) 結果出力

検出結果として、検出した物体の世界座標系における位置情報及び種別を、後段のセンサフュージョン処理で使用するために配信する。

4.3.3.5.3 結果例

図 4.3.3.5.3-1 に取得したカメラ画像の例を、図 4.3.3.5.3-2 に物体検出結果の例を示す。検出結果として、Bounding box の矩形、物体種別及びトラッキング ID（Bounding box の左上に表示）が示されている。



図 4.3.3.5.3-1 カメラ画像例



図 4.3.3.5.3-2 検出結果例

4.3.3.6 センサフュージョン処理

4.3.3.6.1 概要

センサフュージョンは、各センサで検知された物体が他のセンサで検知された物体と同一のものであるかどうかを判定し、それらを一つにまとめる。センサを複数備えることにより、一つの物体が複数の物体として検知されてしまう問題を解消する。路側システムで用いるセンサフュージョン処理は以下の3つがある。

- センサフュージョン
LiDAR 検知とカメラ検知で得られた物体の融合
- 路側ポールフュージョン
各路側ポールで検知された物体同士の融合
- MECフュージョン
各地区で検知された物体同士と、自動走行しているカートの自己位置を融合して、ダイナミックマップとして配信

4.3.3.6.2 センサフュージョンの仕組み

センサフュージョンは、物体同士の近さから相関を判断する仕組み(Nearest neighbor)を採用している。本処理は追尾処理も兼ねており、これにより物体が同じものであることを識別するための ID を物体毎に付加する。

4.3.3.6.3 路側ポール / MEC フュージョンの仕組み

これも同様に、物体同士の近さから相関を判断する仕組みを採用している。

4.3.3.7 取得したデータの例

永平寺町の荒谷地区の参ロードと国道が交差する地点に設置した路側機センサ (LiDAR、カメラ) ×2 セット (東向き・志比方向と、西向き・東古市方向) から得られる LiDAR の点群データとカメラの映像データを生データとして取得し、LiDAR の点群データの可視化及び、カメラの映像データ

と時刻同期させた合成動画の生成を実施した。(取得日時:2022年2月21日(月) 15:00-17:00の間の延べ60分)

これら合成動画の例(東向き、西向き各6件ずつ)を図4.3.3.7-1~4.3.3.7-12に静止画で示す。

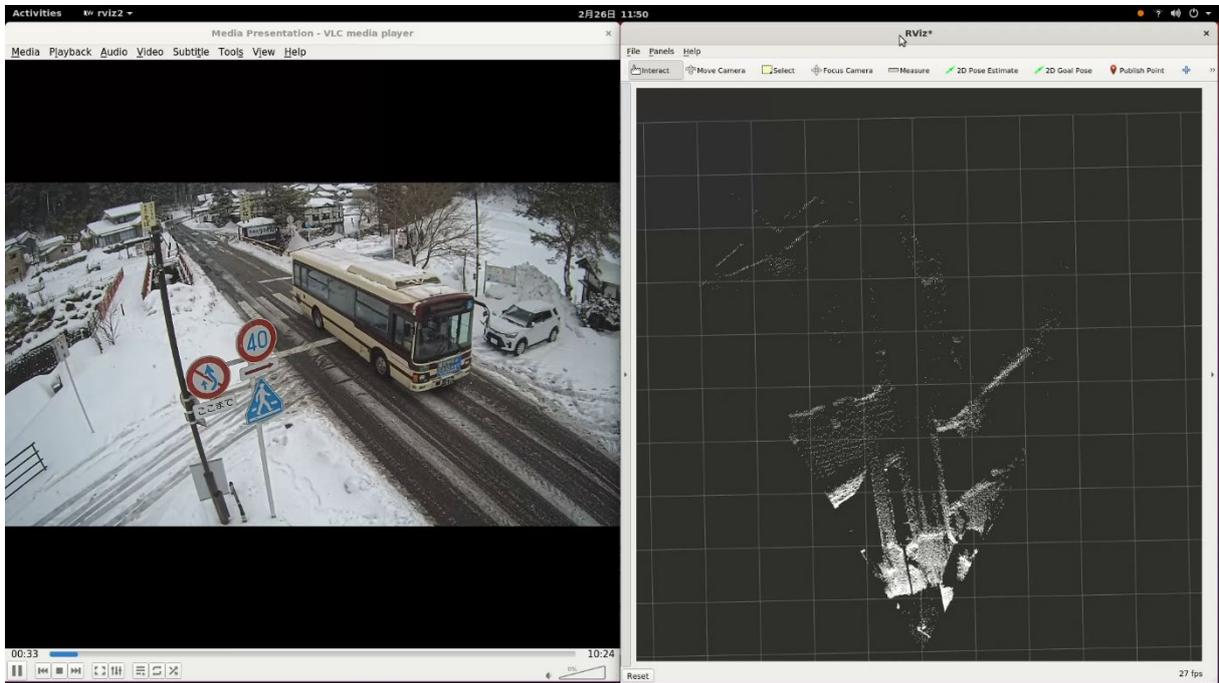


図 4.3.3.7-1 カメラ映像と LiDAR 点群データの例(1-1)
(センサ:東向き・志比方向、車種:路線バス、)

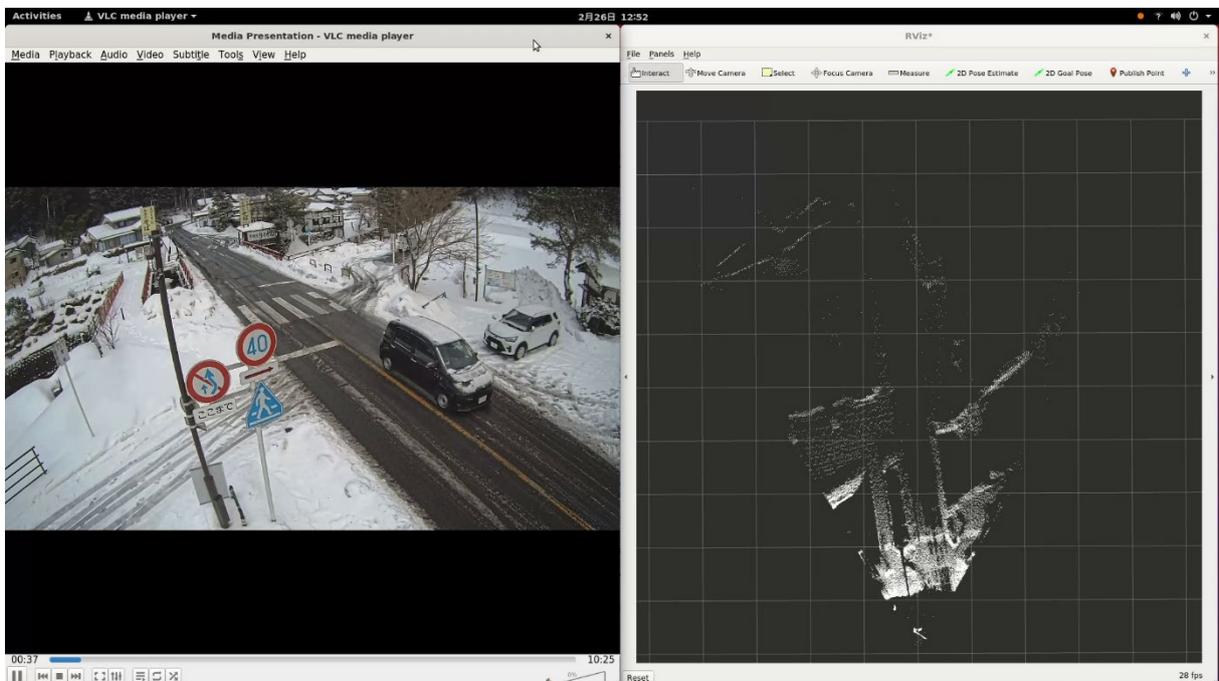


図 4.3.3.7-2 カメラ映像と LiDAR 点群データの例の例(1-2)
(センサ:東向き・志比方向、車種:軽自動車)

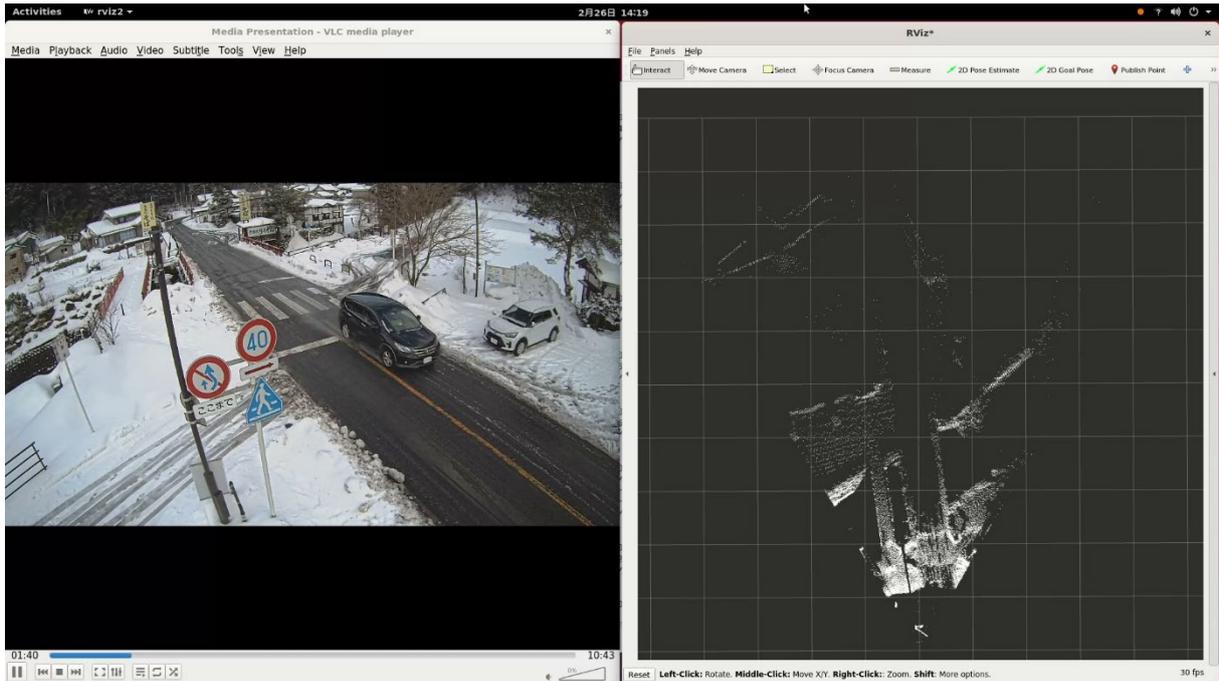


図 4.3.3.7-3 カメラ映像と LiDAR 点群データの例(1-3)
(センサ：東向き・志比方向、車種：ハッチバック)

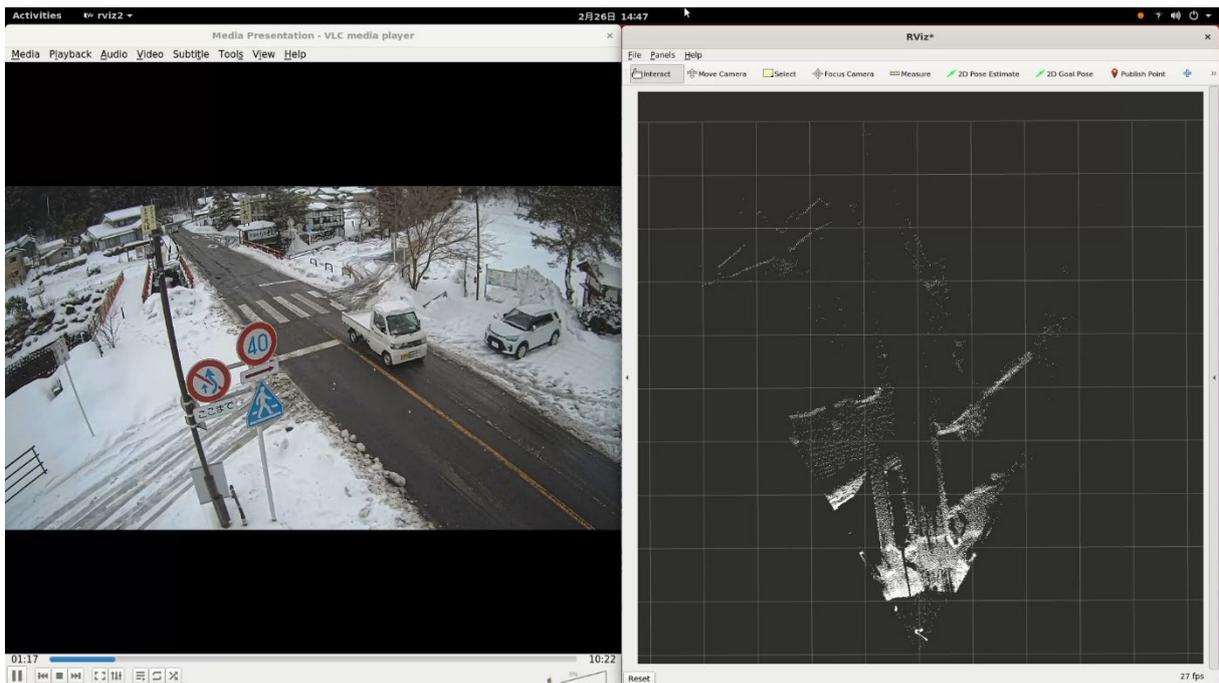


図 4.3.3.7-4 カメラ映像と LiDAR 点群データの例(1-4)
(センサ：東向き・志比方向、車種：軽トラック)

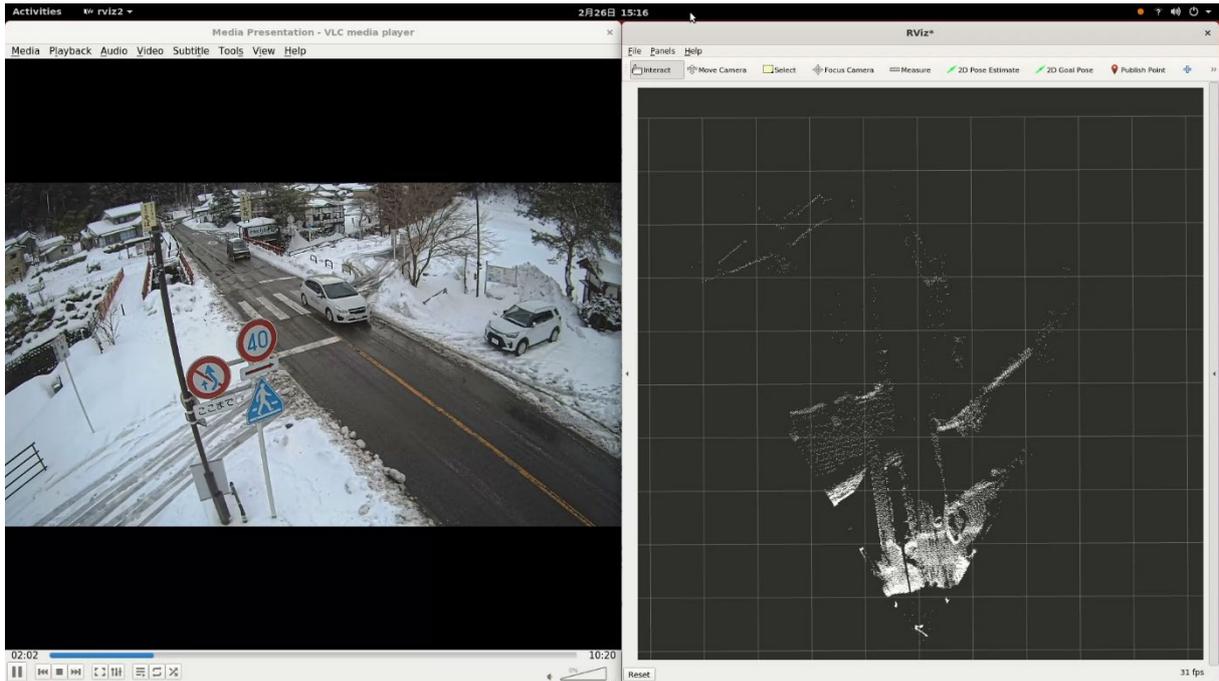


図 4.3.3.7-5 カメラ映像と LiDAR 点群データの例(1-5)
(センサ：東向き・志比方向、車種：ハッチバック)

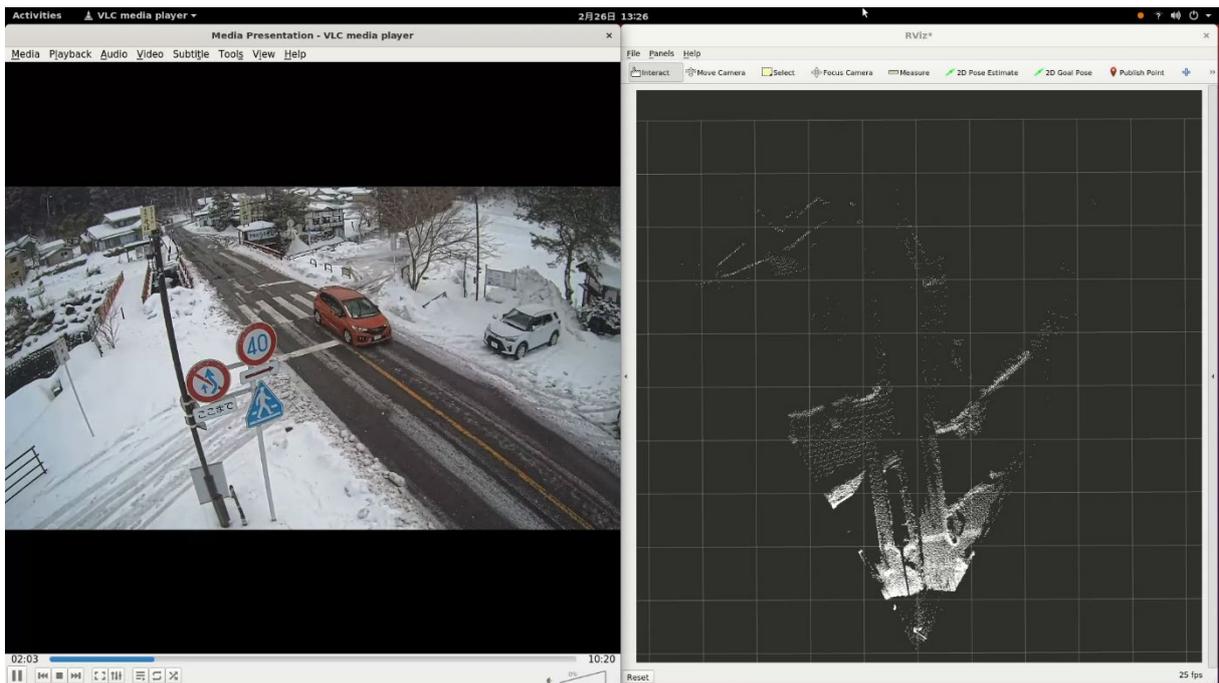


図 4.3.3.7-6 カメラ映像と LiDAR 点群データの例(1-6)
(センサ：東向き・志比方向、車種：ハッチバック)

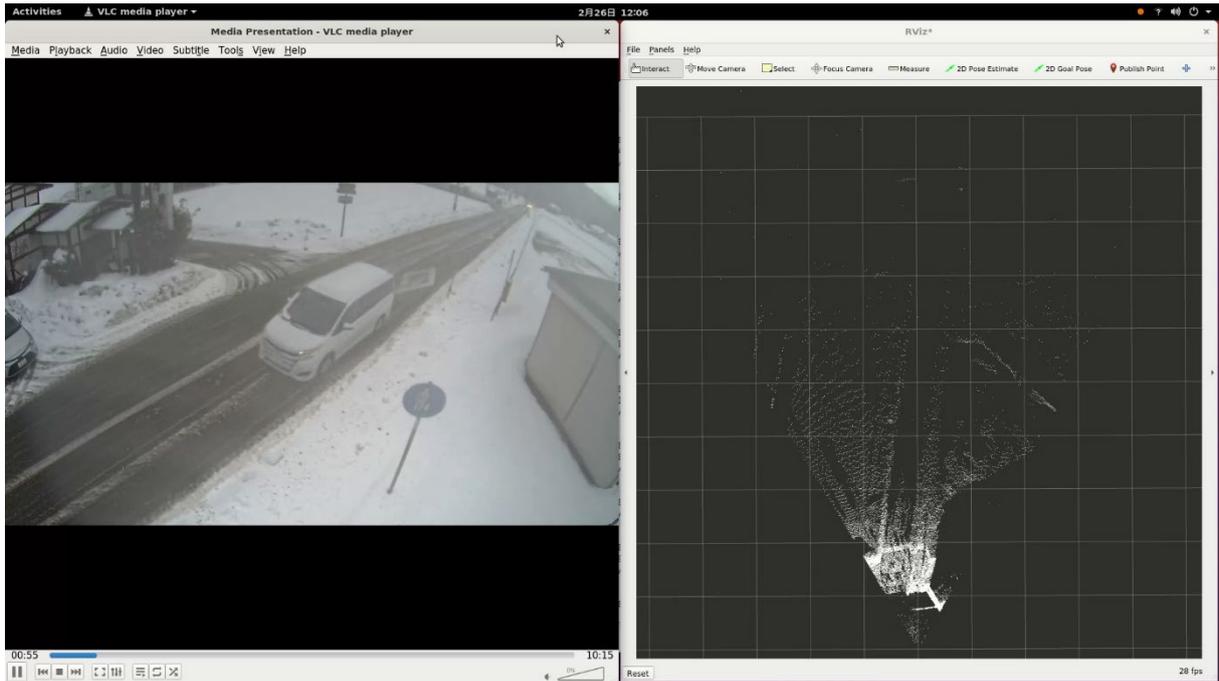


図 4.3.3.7-7 カメラ映像と LiDAR 点群データの例(2-1)
 (センサ：西向き・東古市方向、車種：ワンボックス)

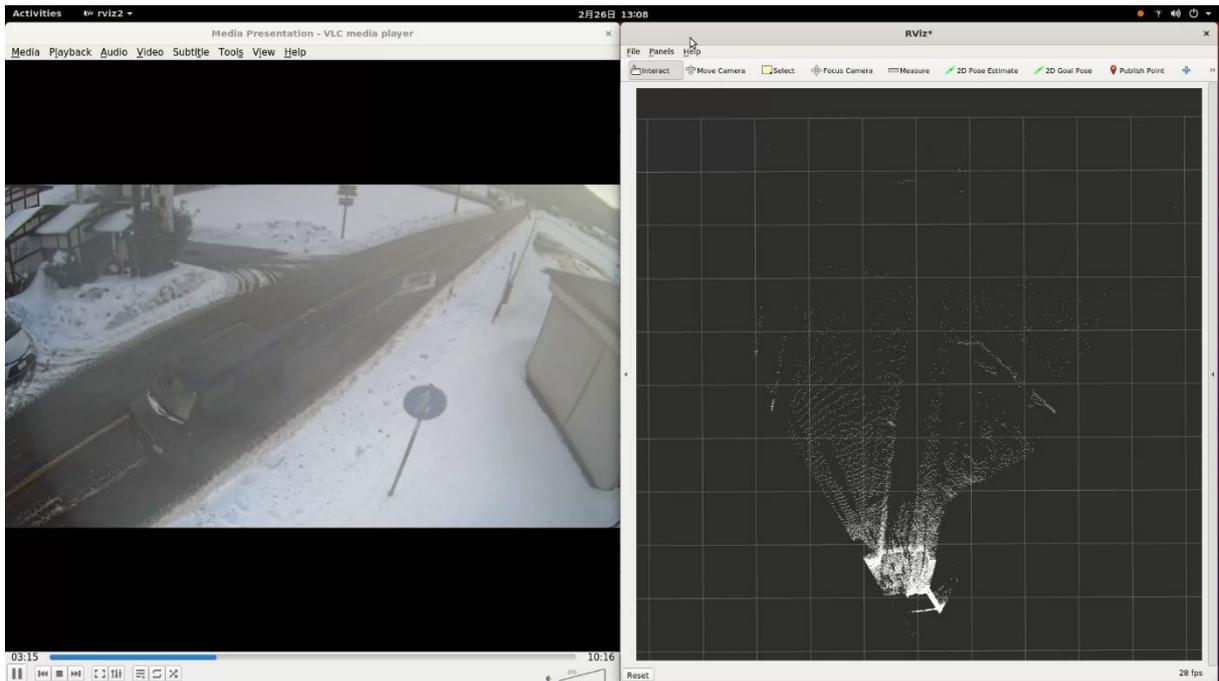


図 4.3.3.7-8 カメラ映像と LiDAR 点群データの例(2-2)
 (センサ：西向き・東古市方向、車種：軽ワンボックス)

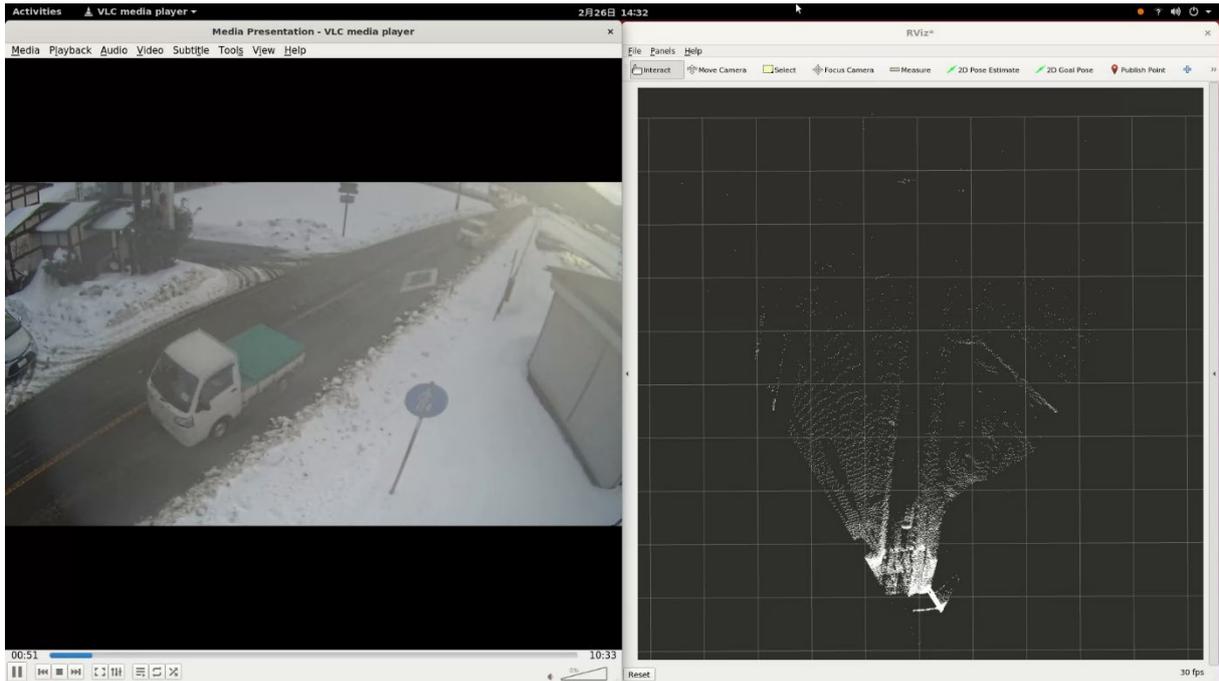


図 4.3.3.7-9 カメラ映像と LiDAR 点群データの例(2-3)
 (センサ：西向き・東古市方向、車種：軽トラック)

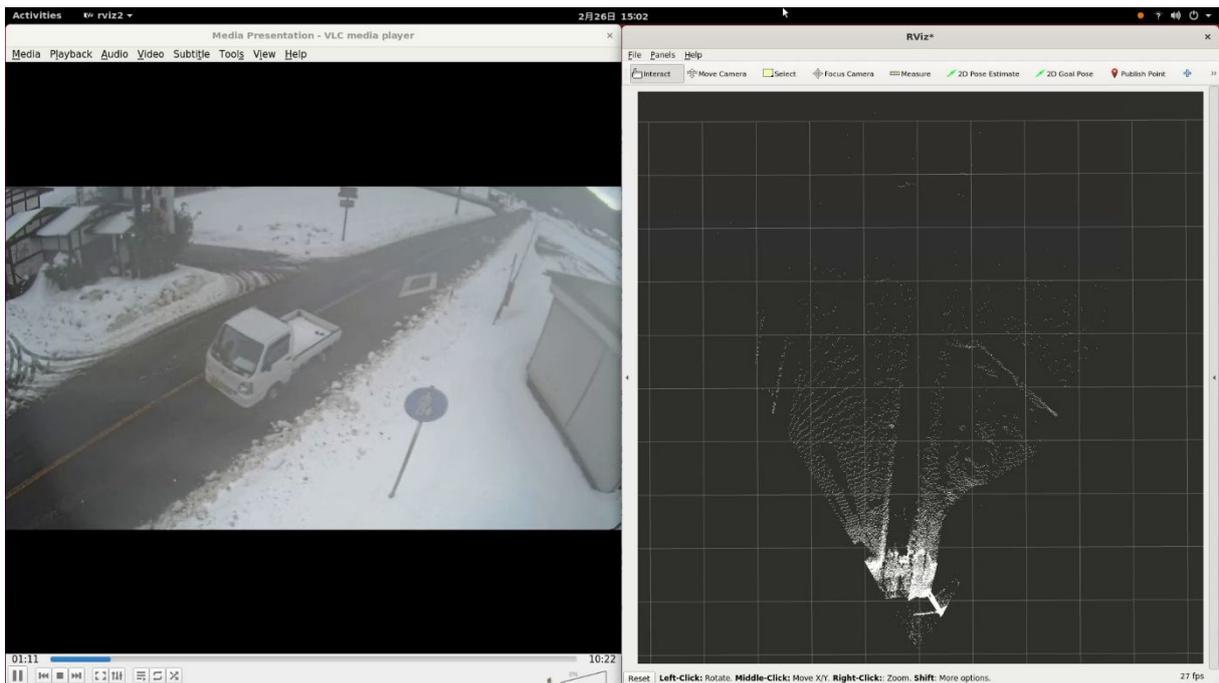


図 4.3.3.7-10 カメラ映像と LiDAR 点群データの例(2-4)
 (センサ：西向き・東古市方向、車種：軽トラック)

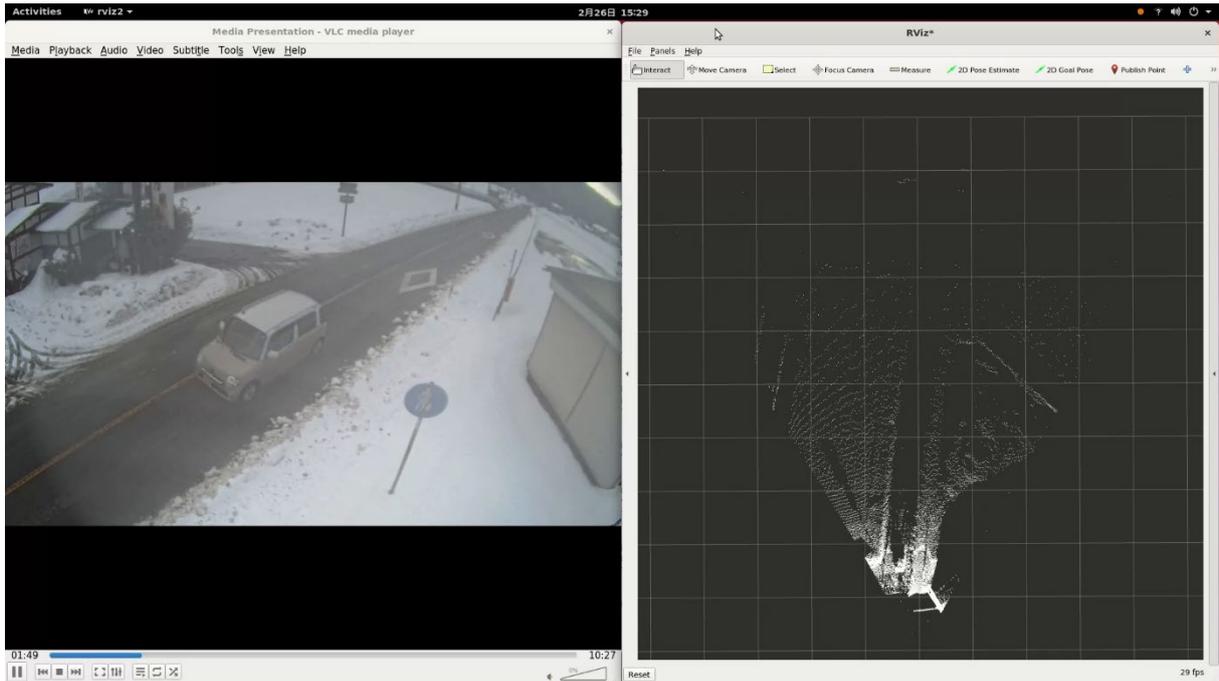


図 4. 3. 3. 7-11 カメラ映像と LiDAR 点群データの例(2-5)
(センサ：西向き・東古市方向、車種：軽自動車)

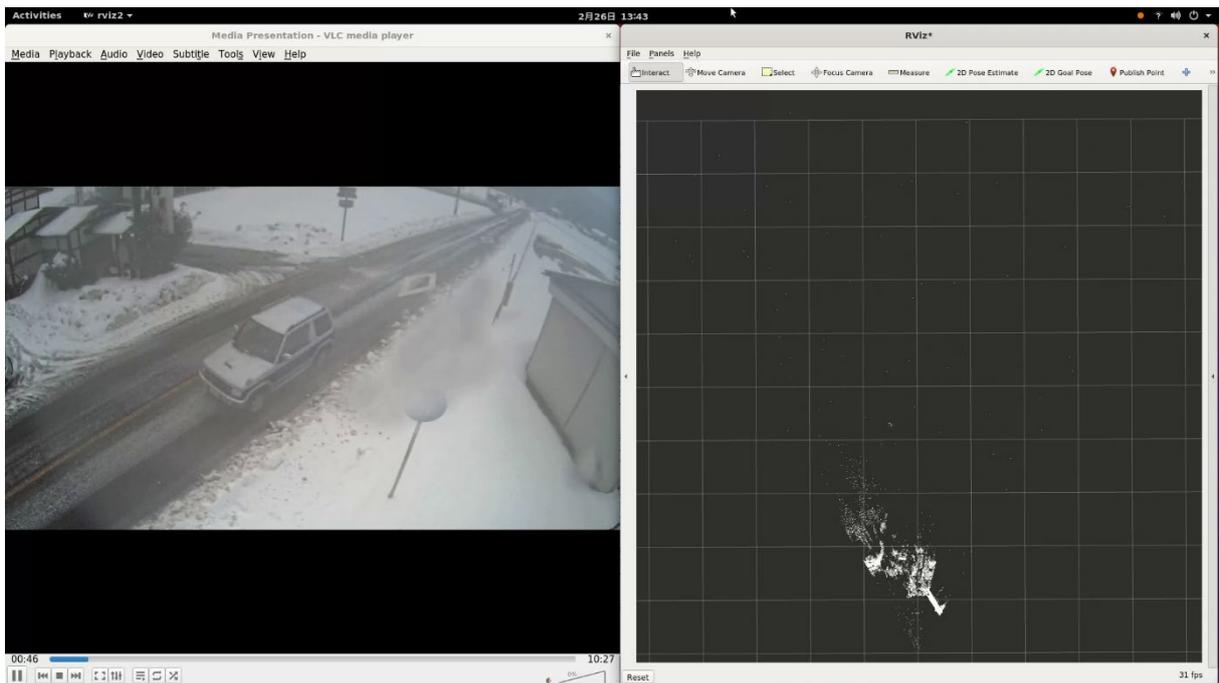


図 4. 3. 3. 7-12 カメラ映像と LiDAR 点群データの例(2-6)
(センサ：西向き・東古市方向、車種：SUV)

4.3.3.8 目視評価の結果

取得した点群データを使用し、最大検知距離を目視にて評価した。

- ・ 検知判断基準： LiDAR で 4 点以上の点が現れること
- ・ 評価対象車： 荒谷交差点に向かってくる車両（合計 39 台、12 車種）

RSU東向き(East 01 - 05)		最大検知距離(m)と車両台数									
車種	検知可	100 - 95	95 - 90	90 - 85	85 - 80	80 - 75	75 - 70				
セダン/ハッチバック	○	5	2								
軽乗用車	○	4	5				1				
軽ワンボックス	○	1	1								
軽トラック	○	3									
軽SUV	○	1									
ワンボックス	○	4									
SUV	○	1	1								
2t / 4t トラック	○	3									
大型バス / 路線バス	○	6									
フォークリフト	○	※検知が途切れるまで離れなかったため最大検知距離は不明									
ヤマハカート	○	※ 荒谷方面参ロードの交差点手前10m付近から検知									

RSU西向き(West01 - 05)		最大検知距離(m)と車両台数									
車種	検知可	100 - 95	95 - 90	90 - 85	85 - 80	80 - 75	75 - 70	70 - 65	65 - 60	60 - 55	55 - 50
セダン/ハッチバック	○	1				1	1				
軽乗用車	○	4			1						1
軽ワンボックス	○	4			1						
軽トラック	○	5									
ワンボックス	○	5									
SUV	○		1								
大型バス / 路線バス	○	2									
フォークリフト	○	※検知が途切れるまで離れなかったため最大検知距離は不明									
ブルドーザー	○	1									

4.4 遠隔システム、管制システム

現行の遠隔型 L3 自動運転システムの管制システムは慶応大学と日立製作所により開発されたシステムであるが、本事業では新機能の導入などを行うため、ヤマハ発動機製に置換えを行う。

管制サーバの設計にあたり、現行の永平寺町でのサービス運用をヒアリングにより分析した。ヒアリングの概要を以下に示す。

表 4.4-1 永平寺町へのサービス運用ヒアリング結果

永平寺町自動運転サービス運用ヒアリング	
日時:	2021/09/07(火) 13:30~15:40
場所:	荒谷遠隔監視室 (永平寺町荒谷 23-1)
目的:	[1]現在運用されている自動運転システムの管制機能の確認 [2]管制機能を主体とした、システムの要望・改善事項の確認
実施内容:	
	当日は、Lv2 でのシステム運行を行われていたため、Lv3 運行での実動作確認は未実施。
	代わりに、Lv2 で動作しているシステムの各画面を用いて確認をしながら、Lv3 を中心に運用や機能についてのヒアリングを実施
ヒアリング結果:	
赤字:課題、青字:要望	
■今年度活動全般について	
	1)国プロの成果(国の事業としての成果)に関する認識合わせが必要とのご認識 特に Lv3 から Lv4 に対応レベルをあげて、システムとしては何が変化したのかを成果として見せられる必要がある → 例として、1:4(監視者:車両)をサポートし、運用コストを下げつつ、システムのスケールアップなどが考えられるとのこと
	2)本年度からの活動を通して、ビジネスユースで利用可能な自動運転システムを「製品」として提供していただくことが希望となる → Lv4 対応製品の場合、ODD 下の自動運転中は製品提供元が責任を持つ形で運用できるまた、国プロのミッションとして、2025 年度からの自動運転システムの横展開に間に合うように製品化することが目標になるとのご認識
■現状の自動運転の運行について	
	【Lv2 と Lv3 の運行切り替え／運行担当】
	・Lv2 と Lv3 の運行を日単位で切り替えて実施 - Lv2 区間(東古市～志比の 6km、一般道との交差点あり)と、Lv3 区間(荒谷～志比の 2km、一般道との交差点なし)がある - 交差点ありの Lv3,Lv4 の目途が立っていないため、永平寺町としては Lv2 と Lv3(Lv4)を切り替えて運用する想定 - Lv4 対応完了時は、Lv2 と Lv4 を毎日に切り替えて運用する(Lv3 は Lv4 に置き換えで想定)
	・Lv2 のドライバー担当可能者は 10 名ほど。Lv3 の遠隔監視担当可能者は 5 名ほど。それぞれの教育実施済みが担当できる条件 - Lv3 運行時は、車両内は乗客のみ
	【車両について】
	・Lv2 の車両と、Lv3 の車両を混在する運行は実施していない(想定もない) ・Lv2 運行では、Lv2 向け専用車両と、Lv3 向け車両を Lv2 として利用することの両方を利用している

	<ul style="list-style-type: none"> ・車両台数は、Lv3 区間(荒谷～志比の 2km)のすれ違い可能ポイント(3 か所)の制約があり、最大でも 4 台程度となる見込み (Lv3～Lv4 運行において、台数を増やして運行する予定はない(永平寺町として増やしたい要望もない))
	【Lv3 運行時のダイヤ】
	<ul style="list-style-type: none"> ・ZEN コネクトの運行ダイヤ案内(https://e-machidukuri.co.jp/maas/autonomous/)に沿った運行を行っている ・運行ダイヤの時刻になった際に、乗客がいれば、遠隔監視者が出発・発車の操作までを行う <ul style="list-style-type: none"> - 管制システムがダイヤの時刻に従った制御を行っているのではなく、出発の時刻は遠隔監視者の操作で決まる ・少なくとも永平寺町の実現においては、オンデマンド(=ユーザからの希望タイミングでの発車)ニーズは低い
	【Lv2 運行について】
	<ul style="list-style-type: none"> ・ドライバー乗車による運行(操舵を電磁誘導線による自動運転に委ねての運転) ・Lv2 運行は、車両だけでシステム運用可能 <ul style="list-style-type: none"> - 荒谷遠隔監視室の遠隔監視システムは基本的に起動することはない - 遠隔監視システムを起動していると、遠隔での車両ごとのロギング/監視機能は利用可能となる
■現状の管制システム操作/機能について(Lv3 運行時)	
	【基本フロー】
	1. 車両システムを起動した車両を、停留場の降車地点前の RFID を踏むように、車両を初期位置にセットする
	2. 降車地点から乗車地点までは、遠隔監視者の「発車」操作で移動(停止 RFID で自動停止)
	3. 乗車地点で乗客が乗り出発する操作 <ul style="list-style-type: none"> - 遠隔監視者が「乗車アナウンスを流す」操作 ※タイミングは任意 - 遠隔監視者が「出発」ボタンを押下 <ul style="list-style-type: none"> - 路線図で、車両の位置(RFID ベース)と、発車可能かのグリーンの表示がされる(グリーンにならない場合は、単線区間に対向車が来ており、発車してしまうとすれ違い不可になる場合) - 遠隔監視者がカメラ映像などで安全確認を行って、「発車」ボタンを押下
	4. 発車以降は、降車位置で自動的に停車するまで、トラブルがなければ遠隔監視者は何もする必要がない <ul style="list-style-type: none"> - 降車アナウンスは自動停車時に、自動で車内に流れる - 降車位置に到着以降は、2 からの繰り返し <ul style="list-style-type: none"> ・「降車位置で停止中の車両」に対して監視画面にアラートが出る(※放置しておくと後ろから車両が追いついてしまうため)
	※遠隔監視者が Lv3 運行時に見ることのあるアラート(操作促し機能)は、この 1 種のみ
	【Lv3 自動運転中の車両側操作】
	<ul style="list-style-type: none"> ・自動運転中でもアクセル操作やブレーキ操作は可能 <ul style="list-style-type: none"> - 「自動運転」状態となった場合、乗客からの車両操作(悪意、いたずらなど)を完全に抑制したい(特にアクセル) ・仕組みとしては遠隔監視者の「発車」操作と、アクセルのちょい踏みはイコールである(後者は通常は利用しない操作)
	【すれ違い】
	<ul style="list-style-type: none"> ・すれ違いの調停は管制システムが全て自動で行い、遠隔監視者が何か操作することはない <ul style="list-style-type: none"> - もし、すれ違い地点でのトラブル対処を行う際は、車載カメラ映像と位置情報をシステムで確認する ・管制システムが自動的にすれ違いを行う位置を決め、往路側/復路側ともに先にすれ違い位置に到着した車両が待機する <ul style="list-style-type: none"> - 管制システムがすれ違いのための待機必要なしと判断した場合は、車両は止まらずに待避所を通過する ・すれ違いの調停対象にならない車両

	<ul style="list-style-type: none"> - 「運用外」の操作が適用された車両(充電などへの移行のため。再度 RFID を踏ませて位置認識させると運用状態に復帰する)
	<ul style="list-style-type: none"> - 停留所に到着した車両(降車位置に到着してから乗車位置に到着する前まで)
	【すれ違いの制約／デッドロック】
	<ul style="list-style-type: none"> ・車両2台が片側で同時に待避所に入ると、デッドロックの可能性はある
	<ul style="list-style-type: none"> - 1台目の車両は停止 RFID で停止しており、後ろから来た2台目は衝突防止制御で止まっている状態
	<ul style="list-style-type: none"> - 車両2台分程度のスペースはあるため、通過できないわけではない
	<ul style="list-style-type: none"> ・衝突回避機能が働き続けている状況、デッドロックになる状況自体望ましくないため、待避所に2台が同時侵入してしまうような車両の関係を遠隔監視者が発車タイミングやブレーキなどで調整することで運用回避している
	【車間制御】
	<ul style="list-style-type: none"> ・車両毎の衝突防止制御の結果として、車間が確保されるのは保安上不十分
	<ul style="list-style-type: none"> - 管制制御で、適切な車間が保持される必要がある
	<ul style="list-style-type: none"> ・縦列走行は、電子けん引(≡管制制御、I=衝突防止制御)で実現できなければ保安上認められない
	<ul style="list-style-type: none"> - これができれば、すれ違いを1:2で行うのもOKになる見込みとのこと
	【通信ダウン時】
	<ul style="list-style-type: none"> ・1台でも管制システムと通信が切断すると、すべての車両にブレーキ指令がかかる
	<ul style="list-style-type: none"> ・通信復帰後の走行再開には、遠隔監視者による各車両の「発車」操作が必要
	<ul style="list-style-type: none"> ・余談:電波状況
	<ul style="list-style-type: none"> - 荒谷～志比の電波状況は悪く、いわゆるアンテナ1本レベルの状態になっていることは監視画面でよく見かける
	<ul style="list-style-type: none"> ・通信費は、月数十万になっている。主に監視カメラ映像が重い
	<ul style="list-style-type: none"> - 非アクティブな運行状況のときに静止画に間引く等の改善を検討中(動体検知など)
	【遠隔操縦】
	<ul style="list-style-type: none"> ・現状の運用では利用していない。実際にトラブルが起きた場合は、監視者が現場に急行して対処する
	【音声通話／音声通知】
	<ul style="list-style-type: none"> ・管制室から各車両に対して音声通話は可能
	<ul style="list-style-type: none"> ・降車アナウンスは自動再生、乗車アナウンスはボタン操作で再生
	<ul style="list-style-type: none"> ・全車両ブレーキ状態になると、車両側で特殊なアラート音が鳴る
	【システムロギング】
	<ul style="list-style-type: none"> ・車両単独でログ情報を取得しているとのこと(どのような媒体で、どのような期間保存されているかは不明)
	<ul style="list-style-type: none"> ・管制システム接続時、車両のログは常に管制システムに表示される
	<ul style="list-style-type: none"> ※見た目:テキストのステータス画面のような感じで、恐らくCANデータ相当が表示されている(更新頻度高め:20ms~100ms?)
	<ul style="list-style-type: none"> ・管制システムのログ情報について記録されているはずだが、詳細を把握していないとのこと
	【運行管理の路線定義／ダイヤ定義】
	<ul style="list-style-type: none"> ・これらの定義情報が放置されており、今後の運用で課題になる
	<ul style="list-style-type: none"> - 現状は編集する理由がないため、困っていない(ブラックボックス化しているようで詳細は不明)
	【RFID ベース制御】
	<ul style="list-style-type: none"> ・車両が、予定どおり RFID をトレースできているかどうか(踏み抜けがないか)を確認する機能の要望あり
	<ul style="list-style-type: none"> - 意図しない速度設定(リセットされて12Kmで旋回など)となってしまうことの対応
	【Lv2 運行について】
	<ul style="list-style-type: none"> ・Lv2のマップ情報は運行管理していない(Lv2の6km区間は、遠隔監視室では表示もされない)
	■現状のシステム運用について
	【システムの起動について】

	<ul style="list-style-type: none"> ・現システムで運行開始が可能となるための初期化／確認手順が非常に煩雑であり、もっと簡単に準備できるようにしたい
	<ul style="list-style-type: none"> - 正しい順序で起動できなかったヒューマンエラーが何度かあった
	<ul style="list-style-type: none"> - 1システムでパッケージ化され、操作や確認もできるだけシンプルなことが望ましい
	<ul style="list-style-type: none"> - システム初期化を含む運用手順は、全部変わってもよい(UI,車両操作手順などを含めて現状を踏襲しなくてもよい)
	【充電について】
	<ul style="list-style-type: none"> ・バッテリーは1日一回、夜に充電しているのが実情
	<ul style="list-style-type: none"> - 現状の運行時間であれば1日持つので、課題感はない
	<ul style="list-style-type: none"> ・夏場に熱暴走したと思われる事例あり(これまで、2回程度)
	【運行異常／システム異常時の対処】
	<ul style="list-style-type: none"> ・運行(システム、利用車両全て)を停止して、対処する運用手順(全車両ブレーキ停止)
	<ul style="list-style-type: none"> - コースに救急車が乗り入れとなる場合は、全車両を停止し、コース上の車両を手動で退避所に入れてから救急車を通す運用規定
	<ul style="list-style-type: none"> ・これまで、運行時間中のトラブルはなく、対処が発生したことはないとのこと
	<ul style="list-style-type: none"> → 監視端末からの操作は非常に少なく、車両／システム側の自律判断ベースで運行しているとのことでした
	【運行と車両の対応】
	<ul style="list-style-type: none"> ・LV2 運行に利用する車両:LV2 向け車両、LV3 向け車両
	<ul style="list-style-type: none"> ・LV3 運行に利用する車両:LV3 向け車両のみ
	<ul style="list-style-type: none"> → 今後もLV2とLV3/4 運行は両方あるため、各車両がどちらも利用できることが望ましい
	【管制制御／監視の記録採取について】
	<ul style="list-style-type: none"> ・改善報告／トラブル報告などは、電子化されておらず、システムとしては何も対応していない
	<ul style="list-style-type: none"> - オペレータ／ドライバーの習熟もあり、現状では特に問題なし
	<ul style="list-style-type: none"> - 細かい不具合は起きているようだが、再起動などで対処できてしまっている(記録や改善へのフィードバックはされていない)
	<ul style="list-style-type: none"> - 改善／トラブルの情報収集のために、仕組みがあると良いとのこと(※自動運転対応とは別要件のため、強いニーズではない印象)
	<ul style="list-style-type: none"> ・システムをクラウド化し、情報をクラウドに保存すること自体は問題ないとする(法規規定なども要確認)
	■現状のMaaS対応ニーズについて
	<ul style="list-style-type: none"> ・アプリ提供／連携サービス提供向けのインフラ整備ニーズは永平寺町としては低い 例:(自動運転範囲／UX的に)専用アプリを作っても使われない。誰もダウンロードしないだろう
	<ul style="list-style-type: none"> ・移動サービスの提供サービス側に組み込んでもらうような形ならありかもしれない 例:Google Mapの経路探索時に、本システムの運行表を組み込んでもらう - ナビタイムと連携した実績あり(Google Mapの方が安い設定や対応が大変とのこと)
	■現状の車両側の機能／要望について(管制の延長で確認した範囲のみ)
	<ul style="list-style-type: none"> ・車載HMI(車両毎)は、産総研で準備しているとのこと
	<ul style="list-style-type: none"> ・車載HMI(車両毎)は、現状では以下の用途に利用(これまで、乗客の観光コンテンツ再生や案内などの試行は実施済み) (観光コンテンツは乗客の会話阻害となるなど、様々な意見の集約結果より、以下の用途になったとのこと)
	<ul style="list-style-type: none"> (1)システム運用者が、車両毎のシステムステータスを表示(初期化が成功したかどうかを確認)
	<ul style="list-style-type: none"> 管制システムの画面からも確認可能だが、発着場に行って車を初期化するため、結果はその場で確認可能としたため必要
	<ul style="list-style-type: none"> (2)乗客が、現在地点や、終点を確認可能な情報を表示
	<ul style="list-style-type: none"> ・車両の乗客に対する安全支援は、システムの的に準備していない
	■製品化に向けた課題についてのご意見

・永平寺以外の環境への対応が必要になる
 例：
 ほぼ専用道路でLv3 運行していることもあり、何かあったらシステム(各車両)を全停止して対処となっている。
 様々な交通手段が混在する環境では、車両を個別に停止して復旧するなどの対処を考慮すべき

また、サービス運用でのユースケースを分析したものを図 4. 4-1 に示す。L3 自動運転での運用時にはドライバ（車内保安要員）は乗車していないが、自動運転システムの起動、車庫から車両を出し、誘導線に乗せるなどの管制システムによる運用の準備段階のユースケースは存在する。また、管制システム管理者と遠隔監視者のユースケースは異なるが、同一の人間が担当することも可能である。これらの分析から、管制システム的设计を行った。

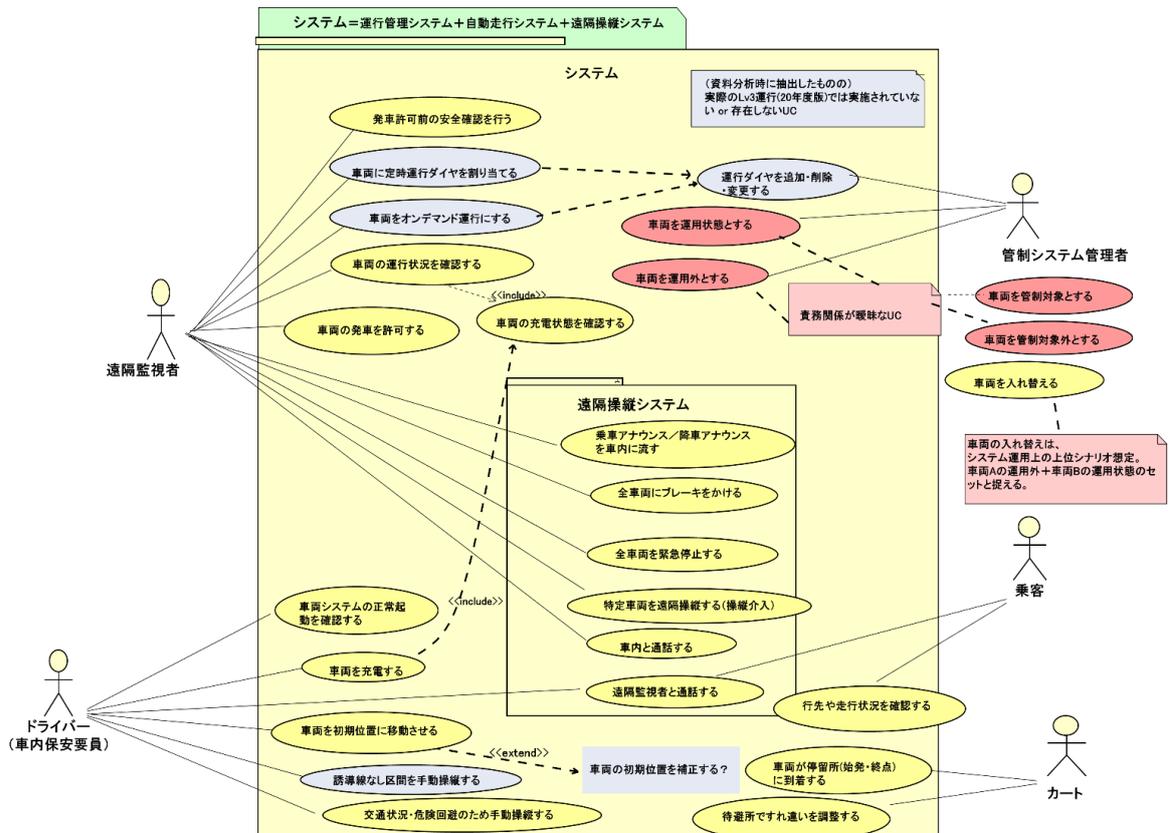


図 4. 4-1 永平寺町での自動運転サービス運用ユースケース

4.4.1 遠隔システム、管制システムの構成

(1) 遠隔システムの構成

遠隔システムは、

(i)複数台（さしむき3台）の〔運転者が無人であるL4車両〕の運行「状態」*¹を、常時またはそれが必要な時に、遠隔に存在する人員〔遠隔オペレータ〕（遠隔センター内のオペレータ）が認知し、さらに

(ii)遠隔オペレータの判断に基づき、本システムを用いて当該車両に対し必要な措置をとる、ためのシステムである。

*¹運行状態：運行判断に必要な車両状況（自動運転システム状況を含む）及び車両周辺状況、車内乗客並びに車外歩行者挙動状況等

前者(i)の、遠隔オペレータが車両の状況を認知するためのシステムを、本章では「遠隔監視システム」と呼ぶ。遠隔オペレータと車内乗員・乗客との通話、車外歩行者との通話も、遠隔オペレータ認知のための機能であり、遠隔監視システムに含むものとする。

また、後者(ii)の、遠隔システムの活用を前提とした遠隔オペレータによる車両に対する措置には、上述した車両との通話以外に、車両の発車・停止等の制御指示を行う自動運転支援機能（「遠隔アシストシステム」）や、遠隔からの車両操縦機能（「遠隔操縦システム」）などが考えられる。これらは、4.4.3(2)で後述するように、今回の課題の基本テーマである「遠隔監視のみで自動運転走行を実施、完結する（Lv4）こと」が現実に困難と考えられるケースが生じた場合において、遠隔システム技術の活用による対策方法を提示するものである。

遠隔システムは、

- ① 遠隔システム車載装置、
- ② 遠隔システムセンター装置、
 - ① ②間を片方向の映像、及び双方向の音声、データ情報で通信接続するための
- ③ （遠隔システム）通信システム（インターネット上のクラウド部を含む）、
から構成される（図4.4.1参照）。

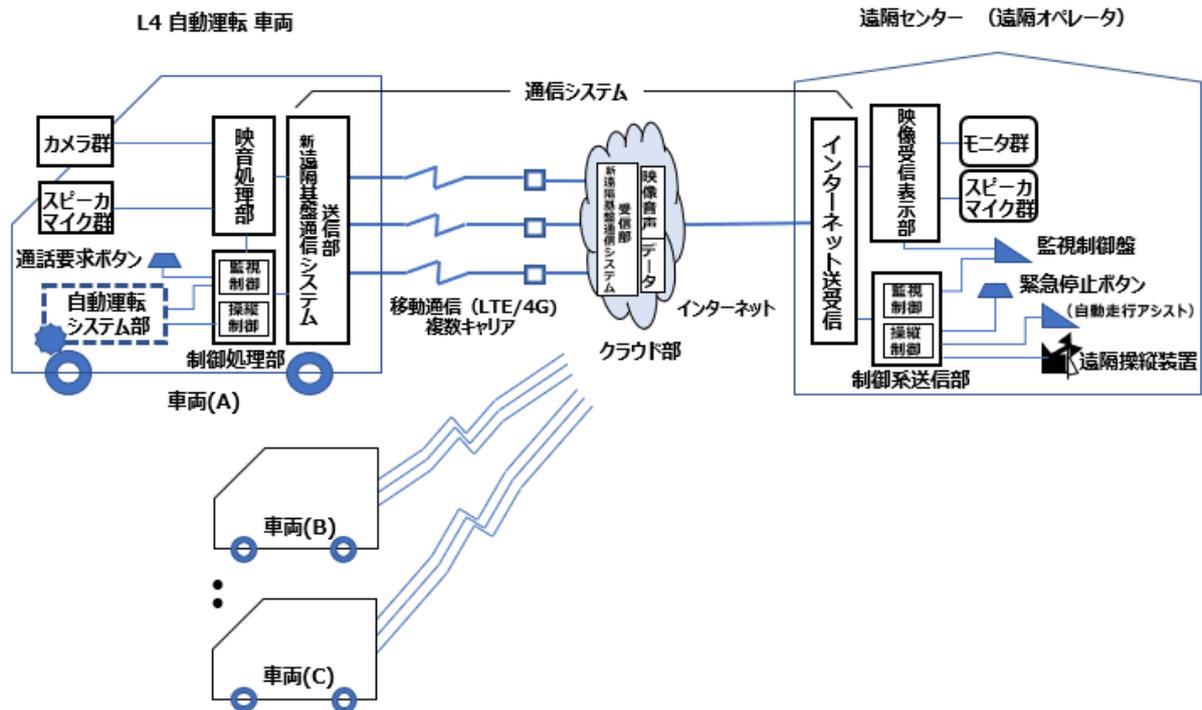


図 4. 4. 1 遠隔システムの基本構成

これら遠隔システムのシステム並びに各装置を構成するシステム要素を、表 4. 4. 1 に示す。

表 4.4.1 遠隔システムの構成システム要素

	構成システム要素	内容	
遠隔システム 車載装置	カメラ群	車外・車内カメラ	
	スピーカ・マイク群	車内・車外スピーカ/マイク	
	通話要求ボタン	乗員・乗客からの通話要求ボタン	
	映音処理部	映像画面の形成、テルテール合成、音声結合	
	制御処理部	監視制御	形成映像画面の送信選択、音声車内外切替、車両装置状況データの中継
操縦制御		遠隔操縦制御データの自動運転システム部への送信	
通信システム	新遠隔基盤通信システム送信部	移動体通信向け新映像伝送システムの送信部（車載設置） <映像片方向・音声双方向・データ双方向の通信>	
	移動通信	公衆LTE/4G通信、3キャリア多重伝送	
	クラウド部	通信受信部	新遠隔基盤通信システムの受信部（クラウド設置）
		映音部	映像音声のインターネット通信対応部
		データ部	データのインターネット通信対応部
	インターネット送受信	センター設置インターネット送受信部	
遠隔システム センター装置	映像受信表示部	センター設置モニタ、スピーカ、マイク用信号形成	
	制御系送信部	監視制御	遠隔監視向け映像画面選択制御、音声通信選択制御
		操縦制御	車両の走行機器及びその付属機器への遠隔制御・操縦データの形成
	モニタ群	遠隔オペレータ用遠隔監視用モニタ・遠隔操縦用モニタ	
	スピーカ・マイク群	車両周辺音の聴取（緊急車両認知）、車両内外との通話	
	監視制御盤	映像画像選択、異常車両画像拡大、車両通話指定	
	緊急停止ボタン	選定車両に対する緊急停止ボタン	
	（自動運転アシスト）	（自動運転を遠隔アシストする操作盤）	
遠隔操縦装置	遠隔操縦装置		

ここで、本プロジェクトで開発する（遠隔システム）通信システムは、遠隔システム全体の基盤であり、「(新) 遠隔基盤通信システム」と呼称（以下、「通信基盤システム」と略称）する。

遠隔システム装置と通信基盤システムとは、連動して機能することが特に重要である。その観点から双方が機能連結したものであるとして全体最適化を目指す。

システム、各装置、並びにシステム要素の要件、機能、性能等については、

- ・通信基盤システムを含む遠隔システム全体のセキュリティ対策に関しては 4.4.2 に、
- ・遠隔システムのインターフェースに関しては 4.4.3 に、
- ・遠隔システムのうち特に通信基盤システム部分のコスト低減化、並びに安定性を中心とする品質改善に関しては 4.4.4 で記述する。

図 4.4.2 は、上述の諸条件を踏まえた実装構成について、設計、開発の視点からその全体構造を記述したものである。この図で、SYSA は、基盤通信システムに相当する部分、SYSB は、遠隔監視システム装置類に当たる部分を示している。

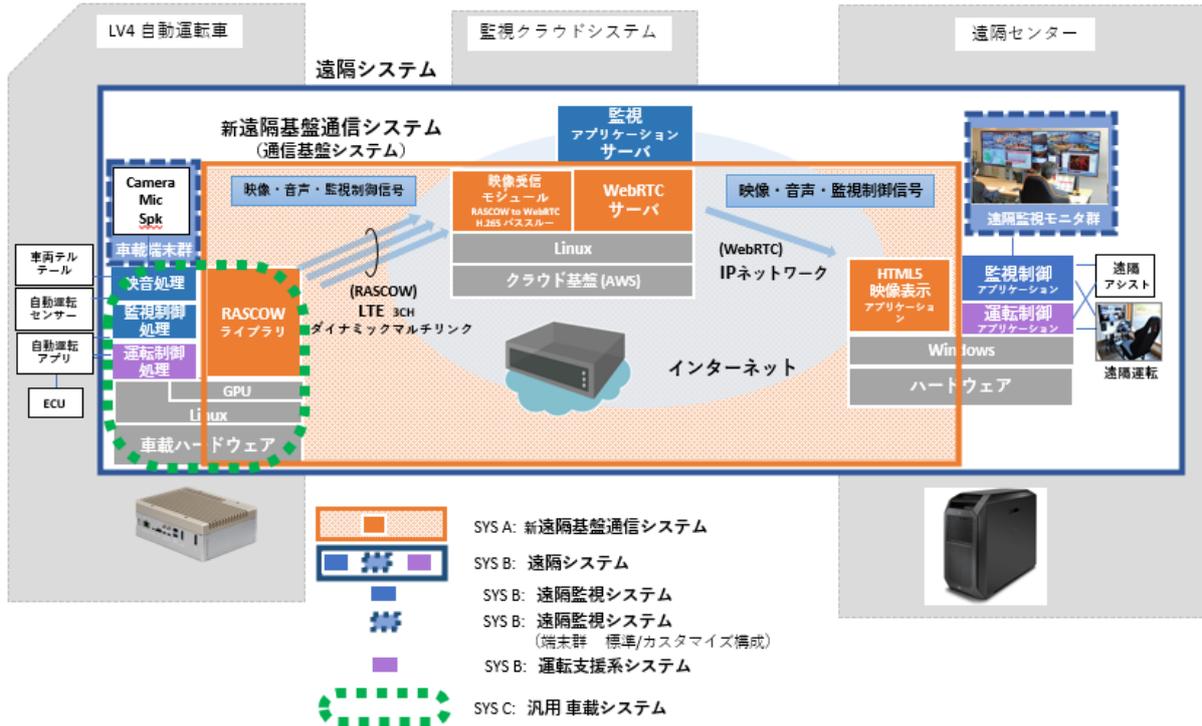


図 4.4.2 遠隔システム 及び 新遠隔基盤通信システム

(2) 管制システムの構成

自動運転モビリティサービスの技術的な構造を図 4.4.1-1 に示す。モビリティレイヤ、IoT ユニットレイヤ、抽象化レイヤ、サービスレイヤの 4 層から成ると考えている。管制システムは運行管理者向けのサービスレイヤのアプリケーションだが、抽象化レイヤに実装された Web API とデータベースの上に構成されている。また、管制システムと同様に、エンドユーザー（乗客など）への予約、配車用スマホアプリなどのエンドユーザー向けサービスアプリもサービスレイヤに実装することも可能であるが、現状の永平寺町のユースケースの場合は定時定路線運行であるため、エンドユーザー向けサービスアプリは不要である。



図 4. 4. 1-1 自動運転モビリティサービスの 4 層構造

車両・管制システムの機能ブロック図を図 4. 4. 1-2 に示す。ヤマハ発動機製の管制システムは Amazon Web Service（以下 AWS）上で開発されたソフトウェアである。管制システムの UI 部分は API で作られた Web アプリであるため、ハードウェア、OS、ブラウザソフトに拠らず使用が可能で、汎用性が高い。ただし、UI を安定して表示するため、現状は、ブラウザソフトに Google Chrome を使用することを前提に作成されている。指定した URL にブラウザでアクセスすることで管制システムを運用することができる。

また、管制システムは Web アプリであるため、ブラウザで表示される部分は、HTML、CSS、JavaScript などの標準的な言語で書かれている。そのため、ハードウェア変更や OS 更新などにより、ソフトウェアの変更が必要になることも少なく、維持管理が容易である。

管制システムの運用はインターネットを経由しているが、特定の装置、特定の遠隔監視員のみが操作できるようにセキュリティ対策をしている。また、車両と管制サーバの通信についてはさらにセキュリティを上げるため、携帯網と仮想プライベートネットワークなどによる対策を入れている。

車両に実装された FM(Fleet Management)-communication-layer からクラウド上にある管制サーバの Fleet-Management 機能ブロックに車両情報が通信され、管制サーバからの調整指示などが車両に通信される。運用のための UI は Management-Service 機能ブロックに配置されている。エンドユーザ向けのアプリは永平寺町では実装されていないが、Application-Service 機能ブロックに実装することができる。

管制サーバに通信された車両情報は管制システムに使われるだけでなく、Date-Record 機能ブロックに保存される。現状は 2Hz のサンプリング周期で収集された、車両の運動データ、バッテリー状態データ、車両コントローラのダイアグデータなどが保存され、永続化処理により AWS のより安価なストレージサービス上に蓄積される。これらの蓄積された車両データは来年度開発されるデータ分析アプリにより、運行日報自動生成や効率的バッテリーマネジメント、故障診断などに活用される計画である。

また、来年度に計画されている他組織の MaaS システムとの連携は Fleet-Management 機能ブロックに実装されたサービス API により実現する。管制サーバの保持しているデータをリアルタイム処理が可能な API で提供する計画である。

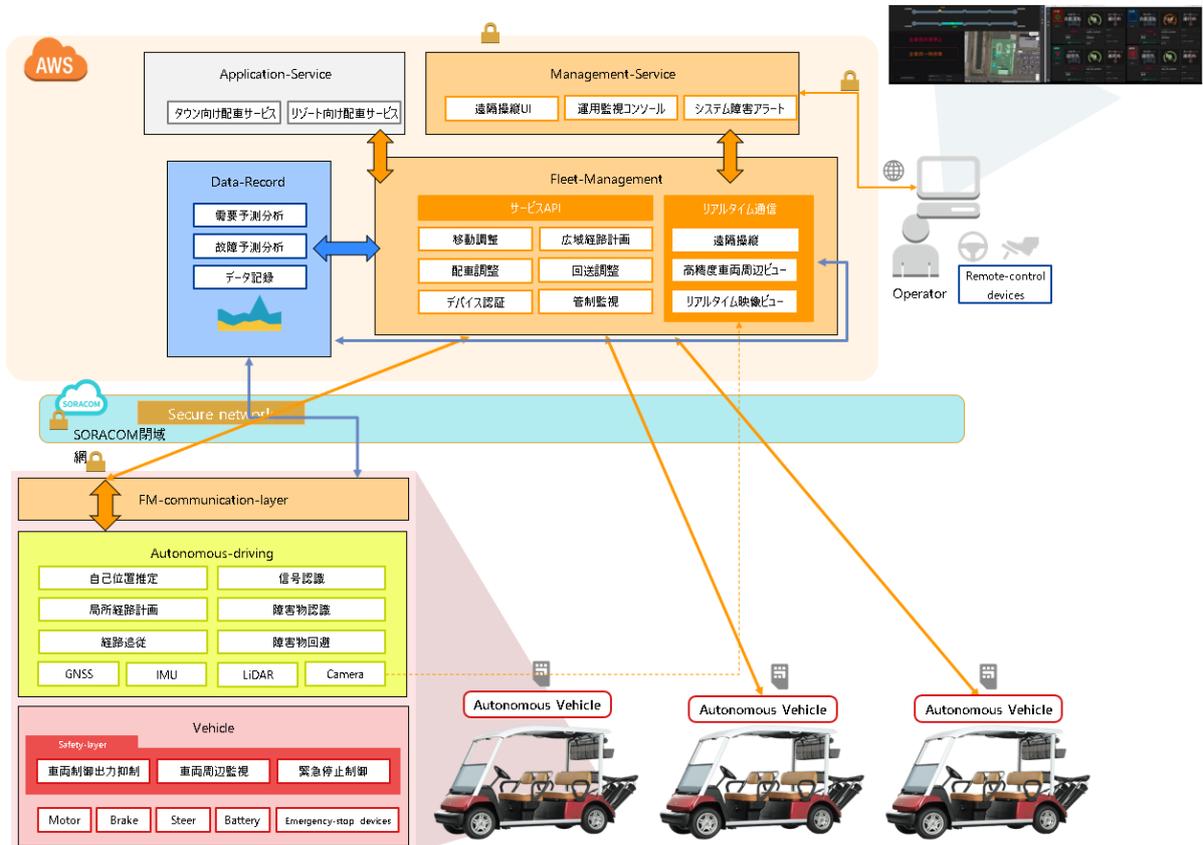


図 4. 4. 1-2 車両・管制システムの機能ブロック図

4.4.2 遠隔システム・管制システムのセキュリティ対策

(1) 遠隔システムのセキュリティ対策

遠隔システムに関する広い意味でのセキュリティ対策は、次の3つの観点から、検討、設計を行い、開発に反映させる。

- ① 通信の信頼性対策
- ② 機能安全的視点での安全対策
- ③ サイバーセキュリティ対策

1) 通信の信頼性対策

(i) モバイル回線 (4G/LTE) の適用を前提

遠隔システム全体を信頼性の観点で俯瞰すると、通信基盤システムが担う本システムの通信回線部分が信頼性上、最も不確実といえる。これは、ベースに利用するモバイル回線として、各移動体通信事業者が公衆向け提供する一般の4G/LTE回線をそのままの形で適用することを前提としていることによる。

すなわち、自動運転車の走行地点において、各事業者モバイル回線の伝送帯域が場所、時刻の違いにより多様に揺らぎ、単独の回線のみでは映像通信が保持できないレベルにまで劣化^{*2}することがあるからである。この帯域劣化特性には再現性があるものと、そうでないものがある。

^{*2}映像回線の帯域が劣化すると、劣化の進み具合により、一般的に①通常映像⇒②映像雑音(モアレ)増加⇒③映像のカクツキ⇒④映像の停止(音声は通常)⇒⑤音声雑音増加⇒⑥音声不通⇒⑦通信途絶、の現象を生じるが、ここでは映像通信に着目し、①～④の劣化レベルを想定している。④を超える劣化、特に⑦の通信途絶にまで至る劣化は(もともとの電波不感地帯を除けば)通常の運転道路上では生じることが稀であると思われる。

(ii) 3事業者モバイル回線の同時接続(マルチキャリア/マルチリンク)

これまでの多くの実証において、事前計測により予め特定された電波不感箇所以外の地点では、車両走行中、移動体通信事業者の異なる3つの回線全部が、場所と時間が同じときに(映像としての通信不能のレベルまで)劣化するケースは極めて少ないことが経験されている。

従って、通信基盤システムでは、3つの異なる移動体事業者の回線を同時に束ねて(マルチキャリア/マルチリンクともいう)構成し、3回線を同時多重化して通信する機能、及び通信帯域が最も広い回線を自動選択して通信する機能を具備するものとする。

マルチリンク方式の採用は、これにより映像通信の劣化が起こる可能性を極小化できるのみならず、同時に通信する音声通信、データ通信の信頼性をも飛躍的に向上させる。実際、マルチリンクにより、移動体通信の状態変動に起因する通信の途絶現象はほとんど生じないなど、遠隔システムの信頼性向上に大きく寄与する。

図4.4.2-1に、実証実験区間である永平寺町の「東古市」から「志比」間における、3事業者の伝送帯域の事例を示す(グラフ上、青、橙、白で示す)。

各事業者回線とも、1Mbps以下になる箇所があるが、3事業者回線が同時に著しく劣化する場合はこのケースでは見られない。

■4号車 東古市→志比 帯域状況グラフ [21/09/24 11:00-11:40]

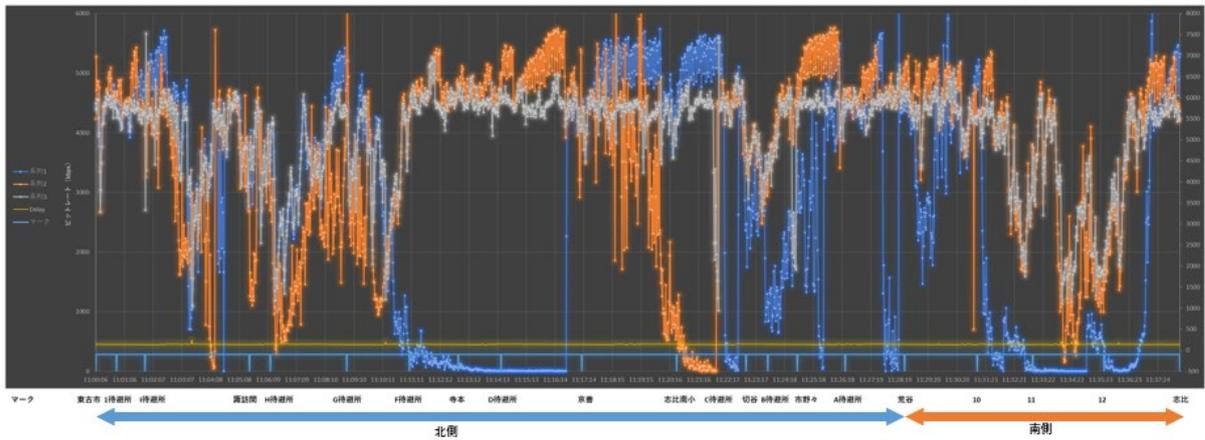


図 4. 4. 2-1 通信回線の伝送帯域

2) 機能安全的視点での安全対策

遠隔システムの機能不良のケースに応じて、自動運転走行へのリスクを考量した安全対策を施す。

これを、表 4. 4. 2-1 にまとめる。

表 4. 4. 2-1 遠隔システム機能不良時の安全対策

[遠隔監視中における対応 (遠隔アシスト、遠隔操縦中を含まない)]

機能不良内容	リスク度	主な要因/故障内容 (注1)	検知箇所	対応策	車両の走行動作 (注2)
遠隔システム 通信途絶 <一定時間以上>	大	遠隔システムの故障 (センター電源断等を含む)	センター (オペレータ) 車両 (自動運転システム) [自動検知]	自動運転システムが停止指示	原則停止
		基盤通信システムの通信断 (遠隔システム装置は正常) ・3キャリア通信断 ・基盤通信システムの故障	センター (オペレータ) 遠隔システム車載機[自動検知]	自動的に遠隔車載から 自動運転システムに停止要請	原則停止
映像通信 中断 (データ通信は疎通)	小 (中)	基盤通信システムの映像中断 (遠隔システム装置は正常) ・3キャリアの通信劣化 (中レベル) ・基盤通信システムの故障	センター (オペレータ)	短時間回復: 原則センターオペレータ状況監視	原則走行
			センターモニターアラート自動表示	中長時間継続: センターオペレータから停止指示	原則停止
映像通信 遅延増大 (映像通信は疎通)	小	・3キャリアの通信劣化 (小レベル) (・基盤通信システム故障)	センターモニターアラート自動表示 (センターオペレータ目視)	原則センターオペレータ状況監視	原則走行

(注1) すべての機能不良の原因にはサイバー攻撃である可能性を排除しない。

(注2) ここでの車両は正常走行状態の車両とする。異常状態の車両は遠隔システムの状況如何によらず停止が原則

同表の考察条件は以下のとおりである。

(i) 遠隔監視中の事象を対象

本表は、遠隔システムを用いて遠隔監視中の状態において発生した機能不良を対象としている。遠隔アシストや遠隔操縦中の場合は本表に含まない。

(ii) 自動運転の正常走行車両

この時の自動運転走行車両は正常 (4. 4. 3 (1) で定義する異常でない状態) であることを前提とする。異常な状態にある自動運転車両は、遠隔システムの機能状態に関わらず、停止が原則であり、遠隔システム機能不良発生時に既に異常であることが認知されている自動運転車両には、停止指示が送出されているものとする。

(iii) リスク度 (大、中、小) の仮想定

遠隔システムの機能不良の事象に関する本表でのリスク度 (大、中、小) は、検討のために仮

に設定したものである。

(iv) 発生要因の不区分

遠隔システムの機能不良の要因には、①遠隔システム自身の故障、②モバイル回線の通信帯域の劣化、③サイバー攻撃など悪意ある妨害、が考えられる。最も発生率が高いのは②であるが、いずれの要因であれ、その結果として表出する機能不良の事象そのものは要因によらずほぼ同様であるため、この表ではそれらを区分しない。

なお、③サイバー攻撃に関する考察（分析、評価）とその対策については、次節 4.4.2(1) 3) で記述する。

3) サイバーセキュリティ対策

サイバーセキュリティ対策の検討は、遠隔システム、自動運転システム、管制システムから形成されるLv4自動運転システム全体の構成を俯瞰して実施することが基本である（図4.4.2-2参照）。

令和3年度は、まず遠隔システムの部分を対象にして、解析、検討を進め、この検討を参考に、可能な範囲で対策の実装を行った。

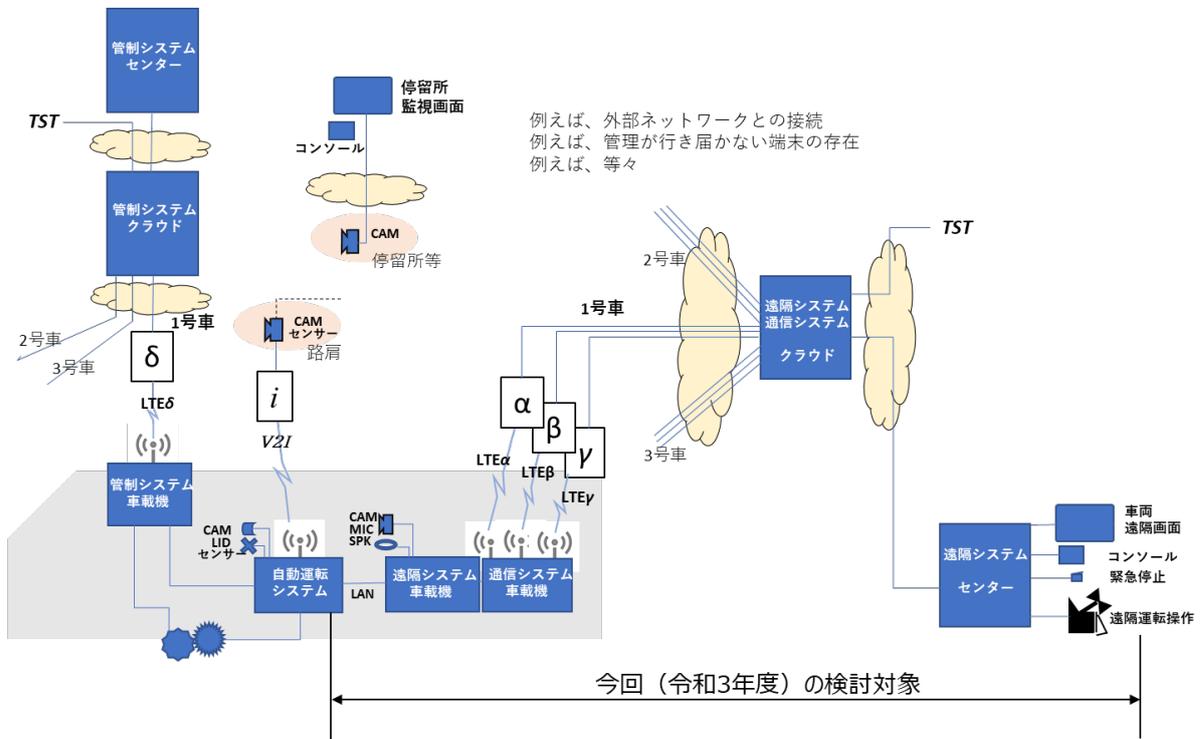


図 4.4.2-2 全体システム構成概念図 (2021 年度)

(1) 全体の検討アプローチ

検討全体の流れは図4.4.2-3のように3ステップで考える。

すなわち、令和3年度実施するステップ1では、遠隔システムを情報システムとしての視点で基本検討を実施し、次年度以降、その検討成果を実地のL4自動走行ユースケースに当てはめて

具体的視点でリスク評価を深耕（ステップ2）、その検討結果によりステップ1での対策案の必要な見直し（ステップ3）を行うものとする。

次年度以降の検討であるステップ2、ステップ3では、検討モデルの対象も、L4自動走行系全体に拡大する。

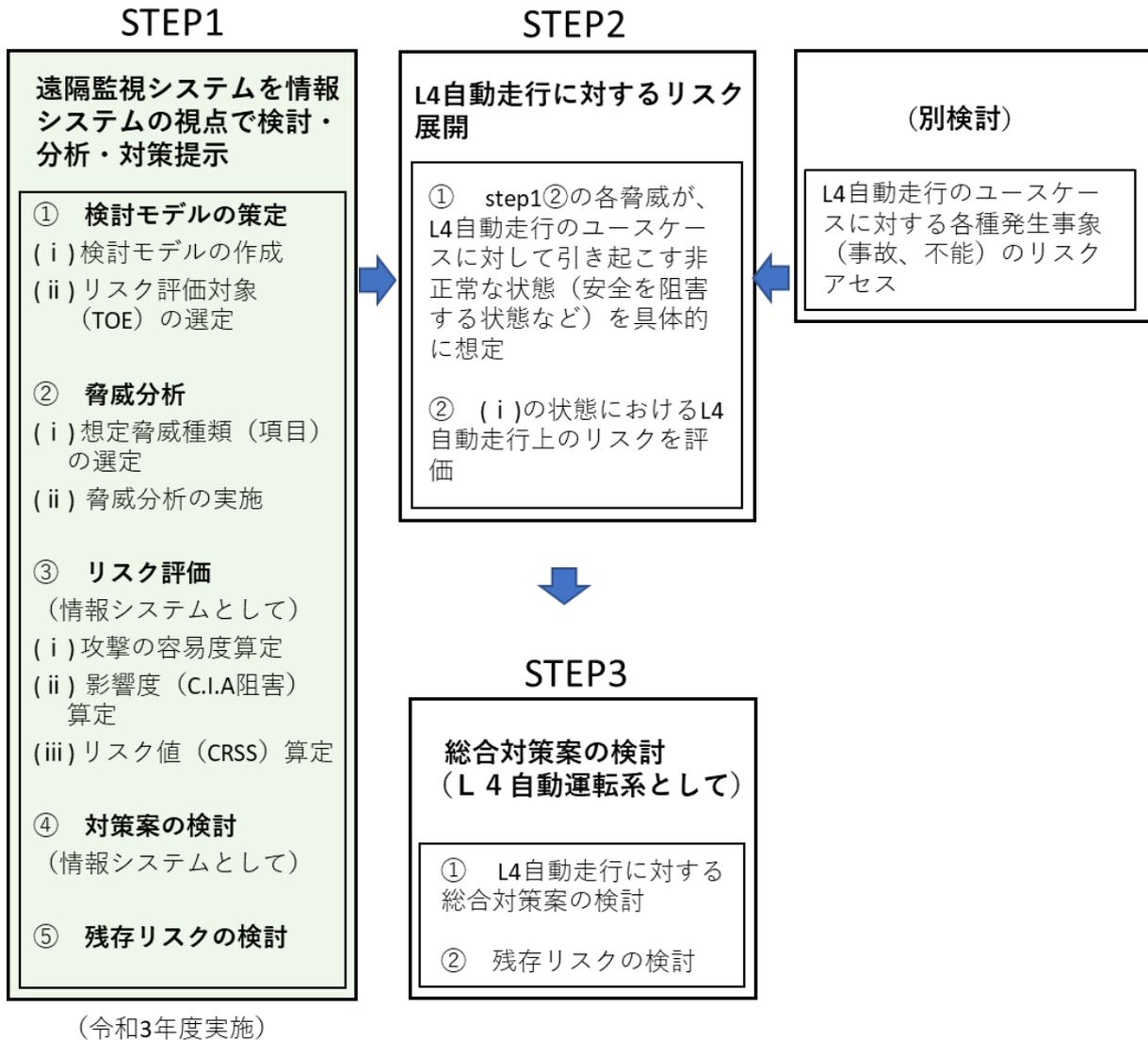


図 4.4.2-3 サイバーセキュリティ対策検討アプローチ

(2) 情報システム視点でのサイバーセキュリティの基本検討 (ステップ1の検討)

令和3年度における検討は、IoTシステムに対するセキュリティ分析方法論を参考に、以下のとおりとした (図4.4.4のステップ1を参照)。

① 検討対象範囲の (サイバーセキュリティ) システムモデルを作成

- (i) 検討対象範囲は、今回は基盤通信システムを含む遠隔システムとする。そのセキュリティ評価分析のためのシステムモデル図として、図4.4.1 遠隔システムの基本構成を準用する。
- (ii) リスク評価対象 (TOE) は、本図に基づき、大きく車載器、クラウド部、遠隔センターの3オブジェクトとする (図4.4.2-4 脅威分析システムモデル図参照)。

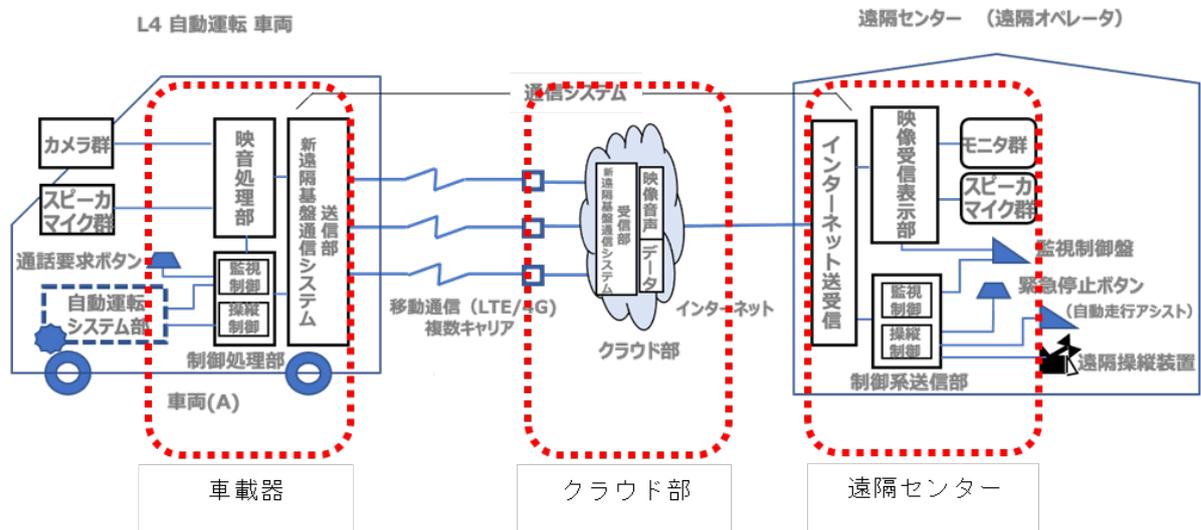


図 4.4.2-4 脅威分析システムモデル図

- a) 車載器は、Lv4自動運転車両に搭載されており、新遠隔基盤通信システム送信部、映音処理部、制御処理部（監視制御、操縦制御）を含む。
- b) クラウド部は、新遠隔基盤通信システム受信部、映像音声（処理部）、データ（処理部）を含む。
- c) 遠隔センターは、インターネット送受信、映像受信表示部、制御系送信部（監視制御、操縦制御）を含む。

②脅威分析の実施

(i) 脅威分析項目の選定

①の3オブジェクトa)b)c)について、脅威の項目を定める。ここに、脅威の項目は、【文献2】に述べられている脅威分類10項目を参考に表4.4.1のように選定した。

(ii) 脅威分析の実施

【文献1】【文献2】を参考に、事象の基本項目に関する分析、想定される情報系のリスク・影響について分析した。

③情報システムとしてのリスク評価の実施

リスク評価手法は、【文献1】のCRSS (CVSS based Risk Scoring System)を採用した。

CRSSのマトリックスは、表4.4.2の通りである。

(i) 攻撃の容易度算定

(ii) 影響度算定

CRSSのマトリックスに基づき、(i)(ii)を実施した。ここで、(ii)の影響度は、遠隔システムを情報システムとの視点で評価し、C:機密性、I:完全性、A:可用性についての影響度であることに留意する。

(iii) リスク値 (CRSSリスク値) 算定

上記 (i) (ii) から、リスク値を算出した。

④サイバーセキュリティ対策案の検討

②の脅威分析の結果に基づき、対策案を検討した。

以上、②～④の検討、分析、評価の結果の事例を、図4.4.2-5 (b) に示す。

(3) 令和3年度遠隔システムへのセキュリティ対策の実装
 上記で検討した対策案を参考に、令和3年度に実装したサイバーセキュリティ対策を図4.4.7に示す。

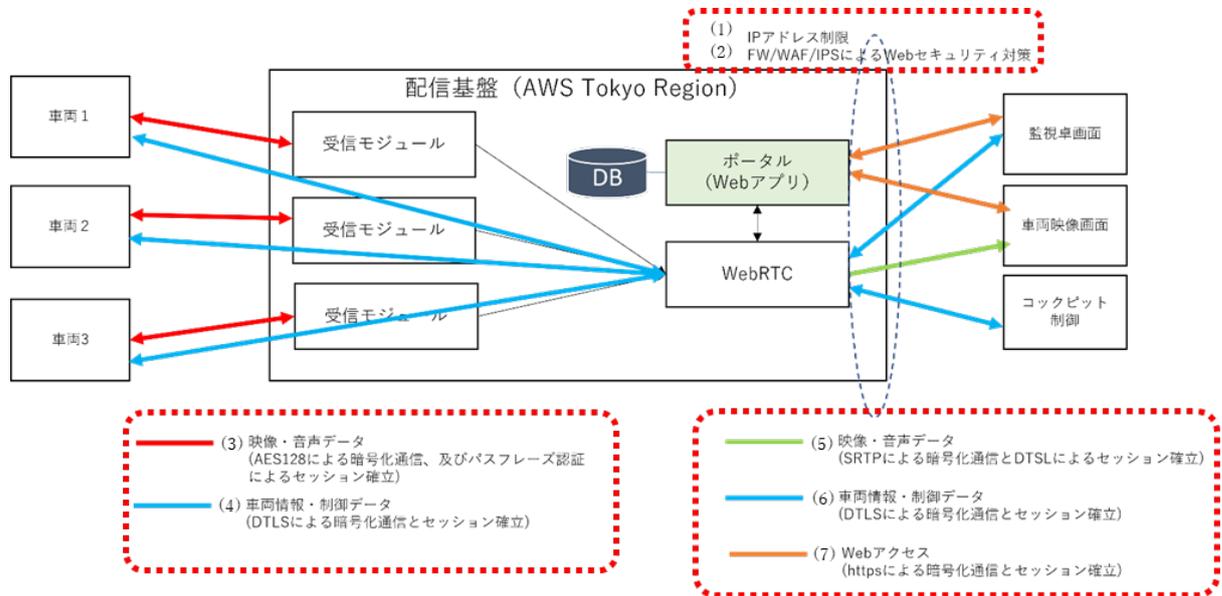


図 4.4.2-5 令和3年度に実装したセキュリティ対策 (図 4.4.2-4 に対策付番)

(4) 残存リスクの検討

検討した対策案によっても、なお、いくつかリスクが残存している。この残存リスクについても検討を行った。

(5) 参考文献

本検討において参考とした文献は以下のとおりである。

- 【文献1】自動車技術会、JASO TP15002:2015、自動車のセキュリティ分析ガイド (2015)
- 【文献2】IPA、自動車のセキュリティへの取組みガイド 第2版 「繋がる」自動車に情報セキュリティを (2017)
- 【文献3】川西他、セキュリティ設計におけるリスクの定量化、SEIテクニカルレビュー・第193号 (2018)
- 【文献4】CCDS、製品分野別セキュリティガイドライン 車載器編 Ver. 2.0 (2017)
- 【文献5】インターネットITS協議会、既存車向けConnected Car活用事業 創出のための システム標準モデルとそのセキュリティ基本対策 (2016)

表4.4.2-2 IPAの脅威分類項目

利用者による操作に起因する脅威

	脅威	説明
1	設定ミス	自動車内のユーザインターフェイスを介して、利用者が行った操作・設定が誤っていたことによりひきおこされる脅威・インフォテイメント機能で意図しないサービス事業者に個人情報を送付してしまう、テレマティクスの通信の暗号機能を OFF にしてしまい通信情報が盗聴される、等
2	ウイルス感染	利用者が外部から持ち込んだ機器や記録媒体によって、車載システムがウイルスや悪意あるソフトウェア(マルウェア等)等に感染することによりひきおこされる脅威。

攻撃者による干渉に起因する脅威

	脅威	説明
3	不正利用	なりすましや機器の脆弱性の攻撃によって、正当な権限を持たない者に自動車システムの機能を利用される脅威。 ・解錠用の通信をなりすます事により、自動車の鍵を不正に解錠する、等
4	不正設定	なりすましや機器の脆弱性の攻撃によって、正当な権限を持たない者に自動車システムの設定値を不正に変更される脅威。 ・ネットワーク設定を変更し、正常な通信ができないようにする、等
5	情報漏えい	自動車システムにおいて保護すべき情報が許可のされていない者に入手される脅威。 ・蓄積されたコンテンツや、各種サービスのユーザ情報が機器への侵入や通信の傍受によって不正に読み取られる、等
6	盗聴	自動車内の車載機同士の通信や、自動車と周辺システムとの通信が盗み見られたり奪取されたりする脅威。 ・ナビゲーションや渋滞予測を行うサービスのために自動車から周辺システムに送付される自動車状態情報(車速、位置情報等)が途中経路で盗聴される、等
7	DoS 攻撃	不正もしくは過剰な接続要求によって、システムダウンやサービスの阻害をひきおこす脅威。 ・スマートキーに過剰な通信を実施し、利用者の要求(施錠・解錠)をできなくさせる、等
8	偽メッセージ	攻撃者がなりすましのメッセージを送信することにより、自動車システムに不正な動作や表示を行わせる脅威。 ・TPMS(タイヤ空気圧監視システム:Tire Pressure Monitoring System)のメッセージをねつ造し、実際には異常がない自動車の警告ランプをつける、等
9	ログ喪失	操作履歴等を消去または改ざんし、後から確認できなくする脅威。 ・攻撃者が自身の行った攻撃行動についてのログを改ざんし、証拠隠滅を図る、等
10	不正中継	通信経路を操作し、正規の通信を乗っ取ったり、不正な通信を混入させる脅威。 ・スマートキーの電波を不正に中継し、攻撃者が遠隔から自動車の鍵を解錠する、等

出所：IPA、自動車のセキュリティへの取組みガイド 第2版 「繋がる」自動車に情報セキュリティを（2017）

表4.4.2-3 CROSSリスク・メトリック

メトリック	評価内容	分類	値
攻撃元区分 (AV) 攻撃者の距離 (Access Vector)	脆弱性のあるシステムをどこから攻撃可能であるかを評価	ローカル (L)	0.395
		隣接 (A)	0.646
		ネットワーク (N)	1.000
攻撃条件の複雑さ (AC) 突破するモジュール数など (Access Complexity)	脆弱性のあるシステムを攻撃する際に必要な条件の複雑さを評価	高 (H)	0.350
		中 (M)	0.610
		低 (L)	0.710
攻撃前の認証要否 (Au) 攻撃に要する認証回数 (Authentication)	脆弱性を攻撃するために対象システムの認証が必要であるかどうかを評価	複数 (M)	0.450
		単一 (S)	0.560
		不要 (N)	0.704
機密性への影響 (C) (Confidentiality Impact)	脆弱性を攻撃された際に、対象システム内の機密情報が漏えいする可能性を評価	なし	0.000
		部分的	0.275
		全面的	0.660
完全性への影響 (I) (Integrity Impact)	脆弱性を攻撃された際に、対象システム内の情報が改ざんされる可能性を評価	なし	0.000
		部分的	0.275
		全面的	0.660
可用性への影響 (A) (Availability Impact)	脆弱性を攻撃された際に、対象システム内の機能が遅延・停止する可能性を評価	なし	0.000
		部分的	0.275
		全面的	0.660
計算式 (CVSS v2 base metrics)		脅威レベル	リスク値 (基本値)
(1) 影響度 = $10.41 \times (1 - (1 - C)) \times (1 - I) \times (1 - A)$		レベルIII (重大)	7.0~10.0
(2) 攻撃容易性 = $20 \times AV \times AC \times Au$		レベルII (警告)	4.0~6.9
(3) f(影響度) = 0(影響度が0の場合)、1.176(影響度が0以外の場合)		レベルI (注意)	0.0~3.9
(4) 基本値 = $((0.6 \times \text{影響度}) + (0.4 \times \text{攻撃容易性}) - 1.5) \times f(\text{影響度})$			

参照先：IPA, 共通脆弱性評価システムCVSS概説

<https://www.ipa.go.jp/security/vuln/CVSS.html>

表 4.4.2-4(b) クラウド部の脅威リスト・リスク評価

クラウド部の脅威リスト

#	脅威 ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧	TOE ①	守るべき アセット ②	いつ ③	だれが ④	なぜ ⑤	どこから ⑥	なにが (IPA分類) ⑦	想定される情報系リスク・影響 ⑧	監視・検察 種別	対策案	情報系リスク評価									
												AV	AC	Au	攻撃 容易性	C	I	A	影響度	(影響度)	CRSS リスク値
1	クラウド部の受信部で、メンテナンス時、管理者の過失によって通隔センター経由で設定ミスが発生。その結果、通隔断が発生	クラウド部	受信部	メンテナンス	管理者	過失	通隔センター	設定ミス	通隔断が発生 一般に、通信機器の設定/操作ミスにより通隔断が発生するおそれ	両方	・通隔断となった場合の緊急停止機能等を車側に盛り込む	6.9	0.275	0.275	0.66	8.5	1.176	7.48			
2	クラウド部の映像音声処理部で、通常運用時、管理者の過失によって通隔センター経由で設定ミスが発生。その結果、監視情報・映像と監視対象車両の不一致	クラウド部	映像音声処理部	通常運用	管理者	過失	通隔センター	設定ミス	監視情報・映像と監視対象車両の不一致 設定ミス/操作ミスにより誤接続が発生することで、映像音声処理部が本来捕捉すべき車ではない車を対象として誤認識するおそれ	監視	・確実な車両確認(対策③)で実装済み	6.9	0.275	0.66	0.275	8.5	1.176	7.48			
3	クラウド部のデータ処理部で、通常運用時、管理者の過失によって通隔センター経由で設定ミスが発生。その結果、操縦制御データと通隔監視対象車両の不一致	クラウド部	データ処理部	通常運用	管理者	過失	通隔センター	設定ミス	操縦制御データと通隔監視対象車両の不一致 設定ミス/操作ミスにより誤接続が発生することで、データ処理部が本来捕捉すべき車ではない車を対象として誤認識するおそれ	操縦	・確実な車両確認(対策③)で実装済み	6.9	0.66	0.66	0.275	9.5	1.176	8.18			
4	クラウド部の受信部で、通常運用時、第三者の故意によってインターネット経由でウイルス感染が発生。その結果、通隔断が発生	クラウド部	受信部	通常運用	第三者	故意	インターネット	ウイルス感染	通隔断が発生 インターネット経由でマルウェアが侵入し、受信部に到達し、通隔断が発生する	両方	・通隔断となった場合の緊急停止機能等を車側に盛り込む ・マルウェア感染防止策の徹底 ・WAFの導入(対策②)で実装済み	6.9	0.275	0.66	0.66	9.5	1.176	8.18			
5	クラウド部の映像音声処理部で、通常運用時、第三者の故意によってインターネット経由でウイルス感染が発生。その結果、監視情報・映像と対象車両の不一致	クラウド部	映像音声処理部	通常運用	第三者	故意	インターネット	ウイルス感染	監視情報・映像と対象車両の不一致 バックドアを悪用するなど、インターネット経由でマルウェアが侵入し、映像音声処理部に到達し、映像音声処理部が本来捕捉すべき車ではない車を対象として誤認識するおそれ	監視	・マルウェア感染防止策の徹底 ・WAFの導入(対策②)で実装済み ・API認証の採用	6.9	0.66	0.66	0.275	9.5	1.176	8.18			
6	クラウド部のデータ処理部で、通常運用時、第三者の故意によってインターネット経由でウイルス感染が発生。その結果、操縦制御データと対象車両の不一致	クラウド部	データ処理部	通常運用	第三者	故意	インターネット	ウイルス感染	操縦制御データと対象車両の不一致 バックドアを悪用するなど、インターネット経由でマルウェアが侵入し、データ処理部に到達し、データ処理部が本来捕捉すべき車ではない車を対象として誤認識するおそれ	操縦	・マルウェア感染防止策の徹底 ・WAFの導入(対策②)で実装済み ・API認証の採用	6.9	0.66	0.66	0.275	9.5	1.176	8.18			
7	クラウド部のデータ処理部で、通常運用時、管理者の故意によって通隔センター経由で不正利用が発生。その結果、データの窃取・破壊・改ざんなど	クラウド部	データ処理部	通常運用	管理者	故意	通隔センター	不正利用	データの窃取・破壊・改ざんなど 運用保守担当者等による管理者特権を悪用したデータ処理部のデータの窃取・破壊・改ざんなど	両方	・ID管理と最小特権の採用及び管理者特権の分掌 ・ログ監査及びログ監視の徹底	8.0	0.66	0.66	0.66	10	1.176	9.06			
8	クラウド部の受信部で、通常運用時、管理者の故意によって通隔センター経由で不正設定が発生。その結果、バックドアの秘密裏の開放など	クラウド部	受信部	通常運用	管理者	故意	通隔センター	不正設定	バックドアの秘密裏の開放など 運用保守担当者等によるメンテナンス用のバックドアの秘密裏の開放など	両方	・ID管理と最小特権の採用及び管理者特権の分掌 ・ログ監査及びログ監視の徹底	8.0	0.66	0.66	0.66	10	1.176	9.06			
9	クラウド部のデータ処理部で、通常運用時、第三者の故意によってクラウド部経由で情報漏えいが発生。その結果、車両情報が漏洩する	クラウド部	データ処理部	通常運用	第三者	故意	クラウド部	情報漏えい	車両情報が漏洩する バックドアを利用するなどして、クラウドのデータ処理部の出力(車両情報など)を通隔センター以外に送信する	-	・メッセージの暗号化と一意性の確保(対策⑤)(6)(7)で実施済み ・WebRTCに対するman-in-the-middle攻撃対策など、懸念されるリスクに対処する	2.7	0.66	0.275	0.275	8.5	1.176	5.5			
10	クラウド部の映像音声処理部で、通常運用時、第三者の故意によってクラウド部経由で盗聴が発生。その結果、車両内外の映像・音声の盗聴される	クラウド部	映像音声処理部	通常運用	第三者	故意	クラウド部	盗聴	車両内外の映像・音声の盗聴される バックドアを利用するなどして、クラウドの映像音声処理部の出力を通隔センター以外のWebRTCクライアントに送信する	-	・メッセージの暗号化と一意性の確保(対策⑤)(6)(7)で実施済み ・WebRTCに対するman-in-the-middle攻撃対策など、懸念されるリスクに対処する	2.7	0.66	0.275	0.275	8.5	1.176	5.5			
11	クラウド部の受信部で、通常運用時、第三者の故意によってインターネット経由でDoS攻撃が発生。その結果、伝送遅延が発生	クラウド部	受信部	通常運用	第三者	故意	インターネット	DoS攻撃	伝送遅延が発生 クラウド部受信部のIPアドレスが第三者に知られ、DoS攻撃を受けおそれ、DoSパケットはフィルタされるが、伝送速度に影響が出るおそれ	両方	・IPS/IDSでDoSパケットをフィルタする(対策②)で実装済み	6.9	0.275	0.275	0.275	6.4	1.176	6			
12	クラウド部の映像音声処理部で、通常運用時、第三者の故意によってインターネット経由で偽メッセージが発生。その結果、通隔監視制御が混乱する	クラウド部	映像音声処理部	通常運用	第三者	故意	インターネット	偽メッセージ	通隔監視制御が混乱する インターネットを経由して偽メッセージを受信し、そのまま映像音声処理部で処理して車載器に送信することで、監視制御が混乱するおそれ	監視	・メッセージの暗号化と一意性の確保(対策⑤)(6)(7)で実施済み ・WebRTCに対するman-in-the-middle攻撃対策など、懸念されるリスクに対処する	6.9	0.275	0.66	0.275	8.5	1.176	7.48			
13	クラウド部のデータ処理部で、通常運用時、第三者の故意によってインターネット経由で偽メッセージが発生。その結果、通隔運転制御が混乱する	クラウド部	データ処理部	通常運用	第三者	故意	インターネット	偽メッセージ	通隔運転制御が混乱する インターネットを経由して偽メッセージを受信し、そのままデータ処理部で処理して車載器に送信することで、操縦制御が混乱するおそれ	操縦	・メッセージの暗号化と一意性の確保(対策⑤)(6)(7)で実施済み ・WebRTCに対するman-in-the-middle攻撃対策など、懸念されるリスクに対処する	6.9	0.275	0.66	0.275	8.5	1.176	7.48			
14	クラウド部のデータ処理部で、通常運用時、管理者の過失によって通隔センター経由でログ喪失が発生。その結果、制御データの記録を後で確認できなくなる	クラウド部	データ処理部	通常運用	管理者	過失	通隔センター	ログ喪失	制御データの記録を後で確認できなくなる 通隔センターからの指示ミスで制御部のログが喪失し、クラウド部のログを使用して、制御データの記録を後で確認できなくなる	-	・ログの消去は期間やサイズなどの条件指定により実行し、消去前にバックアップをとる	8.0	0	0.275	0.275	4.9	1.176	5.46			
15	クラウド部の映像音声処理部で、通常運用時、第三者の故意によってインターネット経由で不正中継が発生。その結果、車両内外の映像・音声の第三者に漏洩する	クラウド部	映像音声処理部	通常運用	第三者	故意	インターネット	不正中継	車両内外の映像・音声の第三者に漏洩する Man-in-the-middle攻撃を利用して映像処理部のWebRTCで生成した映像を通隔センター以外の場所に中継する	-	・メッセージの暗号化と一意性の確保(対策⑤)(6)(7)で実施済み ・WebRTCに対するman-in-the-middle攻撃対策など、懸念されるリスクに対処する	6.9	0.66	0.275	0	7.8	1.176	6.99			

クラウド部のリスク評価

情報系リスク評価									
AV	AC	Au	攻撃 容易性	C	I	A	影響度	(影響度)	CRSS リスク値
N	M	S	部分的	部分的	全体的				
1.000	0.61	0.560	6.9	0.275	0.275	0.66	8.5	1.176	7.48
N	M	S	部分的	全体的	部分的				
1.000	0.61	0.560	6.9	0.275	0.66	0.275	8.5	1.176	7.48
N	M	S	全体的	全体的	部分的				
1.000	0.61	0.560	6.9	0.66	0.66	0.275	9.5	1.176	8.18
N	M	S	部分的	全体的	全体的				
1.000	0.61	0.560	6.9	0.275	0.66	0.66	9.5	1.176	8.18
N	M	S	全体的	全体的	部分的				
1.000	0.61	0.560	6.9	0.66	0.66	0.275	9.5	1.176	8.18
N	L	S	全体的	全体的	全体的				
1.000	0.71	0.560	8.0	0.66	0.66	0.66	10	1.176	9.06
N	L	S	全体的	全体的	全体的				
1.000	0.71	0.560	8.0	0.66	0.66	0.66	10	1.176	9.06
L	M	S	全体的	部分的	部分的				
0.395	0.61	0.560	2.7	0.66	0.275	0.275	8.5	1.176	5.5
L	M	S	全体的	部分的	部分的				
0.395	0.61	0.560	2.7	0.66	0.275	0.275	8.5	1.176	5.5
N	M	S	部分的	部分的	部分的				
1.000	0.61	0.560	6.9	0.275	0.275	0.275	6.4	1.176	6
N	M	S	部分的	全体的	部分的				
1.000	0.61	0.560	6.9	0.275	0.66	0.275	8.5	1.176	7.48
N	M	S	部分的	全体的	部分的				
1.000	0.61	0.560	6.9	0.275	0.66	0.275	8.5	1.176	7.48
N	L	S	なし	部分的	部分的				
1.000	0.71	0.560	8.0	0	0.275	0.275	4.9	1.176	5.46
N	M	S	全体的	部分的	なし				
1.000	0.61	0.560	6.9	0.66	0.275	0	7.8	1.176	6.99

(2) 管制システムのセキュリティ対策

前節で示したシステム構成に沿い、車両と管制システムの接続部、管制システムへの外部からのアクセス部には想定される脅威の検討を行い、対策を行った。

4.4.3 遠隔システム・管制システムのインターフェース改善

遠隔システムは、4.4.1に既述のとおり、センター所在の遠隔オペレータが本システムにより車両状態を認知し、しかる後、車両に対し必要な措置を執るためのものである。従って、本項の最終目的は、多様なユースケースのもとで人間系を含めた全体対応シナリオを想定し、遠隔システムと遠隔オペレータ間の（さらには乗員乗客との）効率的、使用勝手のよいマンマシンインターフェースを検討、実現することにある。ここでは、将来、走行車両がN台に拡大されることも念頭におくものとする。

また、遠隔システムは、車両側の、例えば自動運転システム等と種々の情報の送受を行う。加えて、遠隔システムの利用を一層高度化し、またその汎用展開を図るために、本システムの機能拡張を可能とする他システムとの接続も重要な課題になる。

この観点から、遠隔システムのシステム間インターフェースについても検討、開発を進める。

(1) 通常運行時や異常時を含めたLv4での運用を想定した遠隔システムのインターフェースの改善

本項での検討のアプローチは以下のとおりである。

- ① 監視のための必要（不可欠）な主に視覚情報、及びその他の情報の選定、通話機能の検討
遠隔オペレータが車両状態の認知（特に安全確保）のための必要不可欠な主に映像情報（視界）、及びその他の情報（通話を含む）を検討、実地に確認する。
- ② 「通常運行（さしむき3台同時）」時に表示すべき情報、及びその表示方法
①で検討した映像、その他の情報から、各車両の状態を認知するのに通常必要な情報を選定し、基本情報とする（基本情報は常時表示すべき情報を意味しない）。
次に、基本情報の構図並びにモニタ表示方法について例示し、可能なものを実地に構成し実証評価する。
- ③ 「異常」時に関する以下の検討
 - a) 発生の定義
 - b) 当該自動車に関する表示すべき映像情報、及びその他の情報。そのモニタ表示の方法
 - c) 当該自動車に対するセンターオペレータの遠隔対処方法（手順）
 - d) 他の正常運行車両に対する運行ポリシー（運行続行、運行停止）
- ④ 車両からの通話要求があった場合の検討
車両から通話要求があった場合の、「異常」時に準じた検討を実施
- ⑤ 経路指定など戦略情報を含む他システム連動があれば、そのインターフェースの対応
（⑤の観点での他システム連動の検討は、令和3年度は行わない）
- ⑥ これらの検討ステップを踏まえて、遠隔システムのマンマシンインターフェース、システム間インターフェースに展開する。

1) 監視のための必要（不可欠）な視覚情報、その他情報の選定

遠隔オペレータが車両状態の認知（特に安全確保）のために必要不可欠な主に映像情報（視界）を検討、実証する。

(i) 映像情報

映像視界の条件として以下を設定する。

- a) 道路運送車両の保安基準に規定された運転者からの視界（直接、間接視界）
⇒車外周辺の視界を確保
- b) 車内の視界
⇒車内乗客の状況を確認
- c) 車両前方高仰角の視界
⇒交差点（停止線）上方の信号機ランプの視認可能性
- d) 車外直前左右下方（左右コーナー）の視界
⇒前部左右コーナーの転倒者等の存否を確認
- e) 車外後部の広角視界
⇒直近後続車の確認、車両後退時の視界確保
- f) その他（ a）の追加条件）
⇒ヒューマンファクタの観点から、車両前方左右広角映像の直交性と自然距離感の確保

図4.4.3.1に、上記条件を満たすカメラ配置とその視界図を示す。

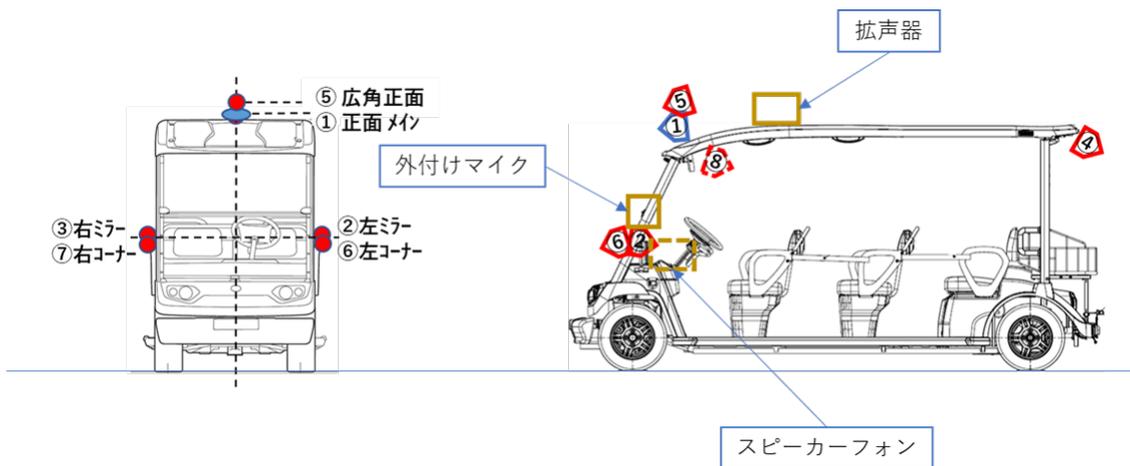


図4.4.3.1 カメラ配置とその視界図(a)：カメラ、音声機器の配置

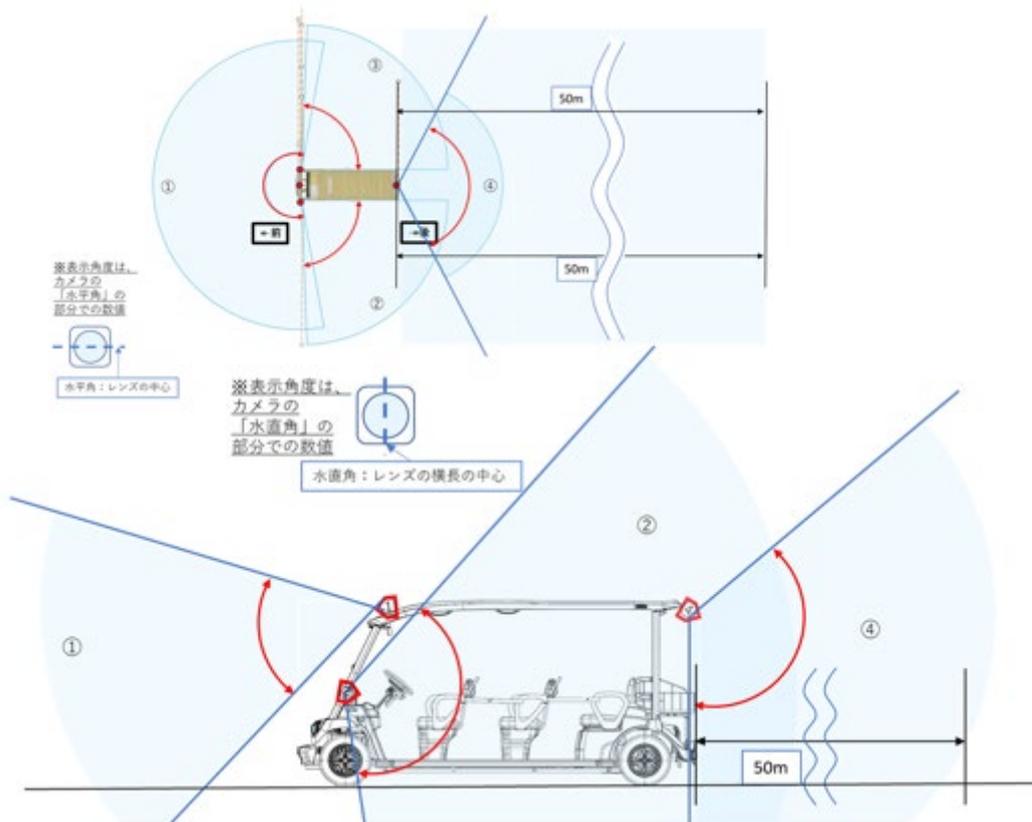


図4.4.3.1 カメラ配置とその視界図(b)：カメラ視界図<その1>

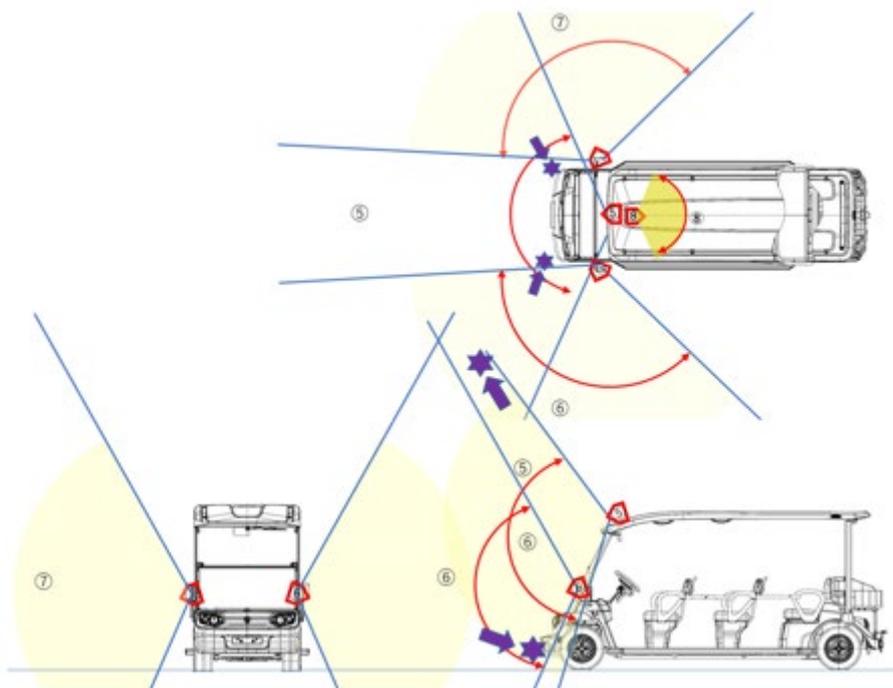


図4.4.3.1 カメラ配置とその視界図(c)：カメラ視界図<その2>

また、図4.4.3.2に、各カメラの撮像例を示す。

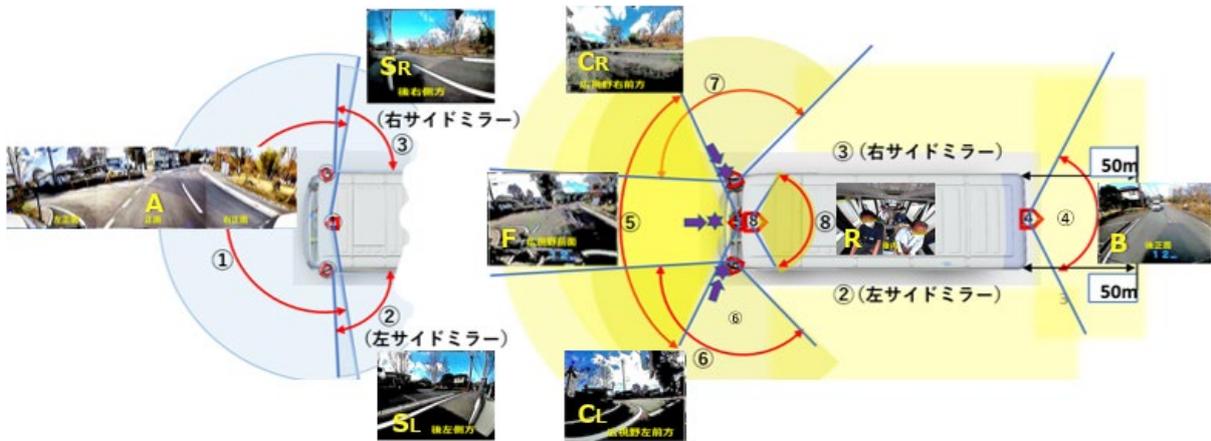


図4.4.3.2 カメラ撮像例

図4.4.3.3 に、車両におけるカメラ設置状況を示す。車両の形状により設置位置、相互の位置関係に多少の違いが生ずる。（各カメラの視界のダブリ領域に差が生ずる）



図4.4.3.3 カメラ設置状況

図4.4.3.4 に、特徴あるいくつかの走行地点における撮像例を示す。



「東古市」寄りの公道斜め交叉 [進行方向右側 鋭角交叉]



下り走行：画面CRにより、右側交叉道の十分な視界が得られる



上り走行：画面CRにより、右側交叉道の十分な視界が得られる

図4.4.3.4(a) 撮像例 (鋭角公道交叉)



「京善」停留場の退避スペース雪壁〔左側近接〕

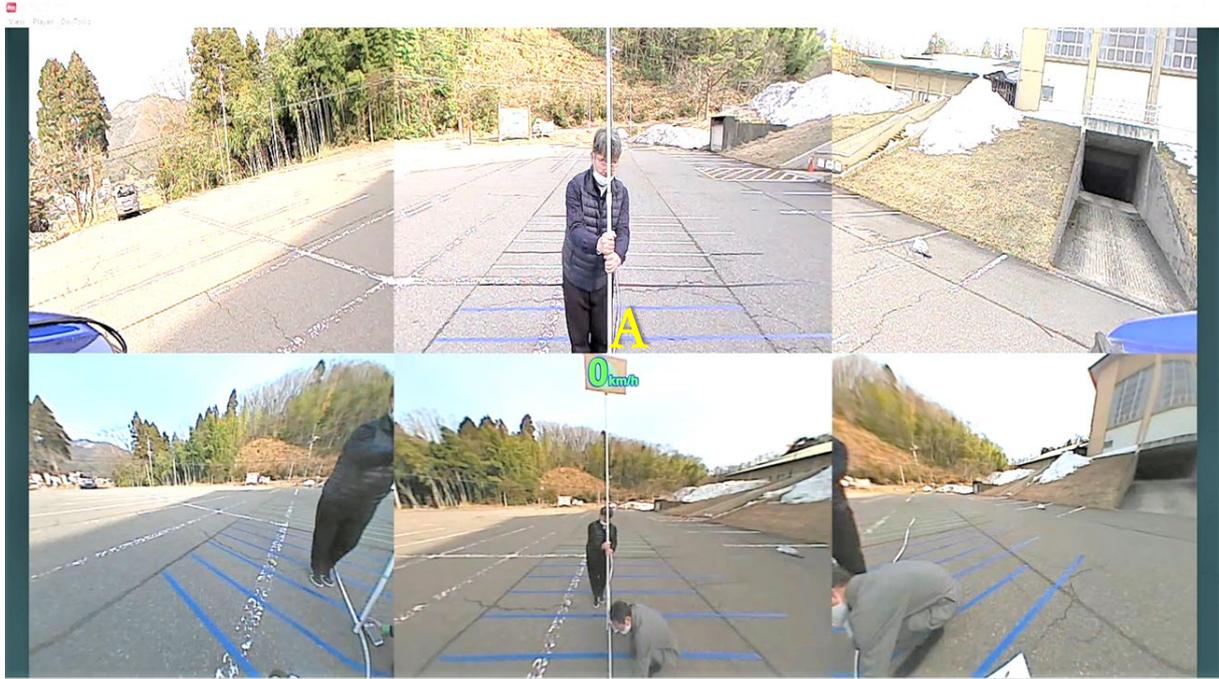


画面CL、Fにより、雪壁までの走行余地が確認できる

図4.4.3.4 (b) 撮像例 (コーナ余地の確認)

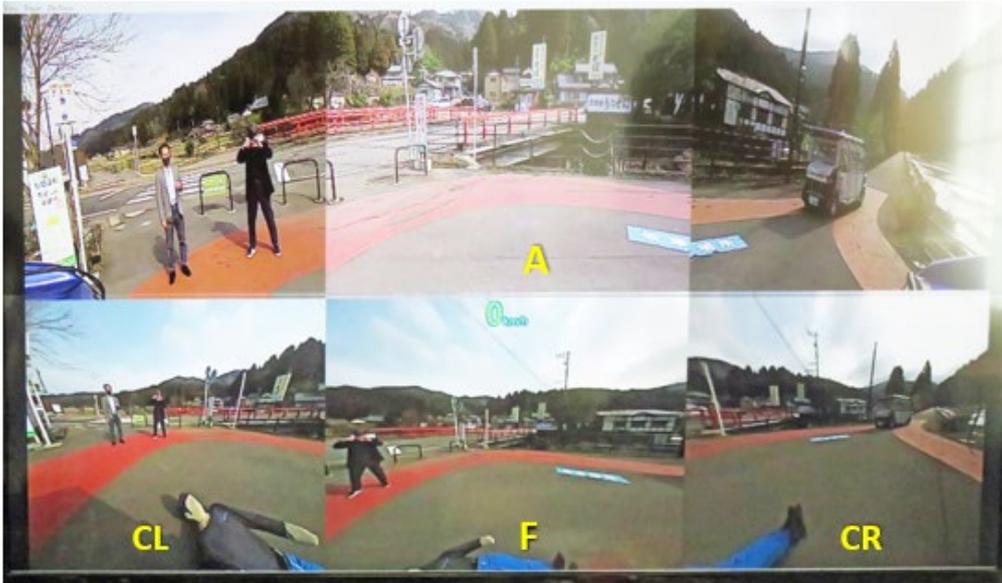
保安基準を満たすメインの前方標準カメラの視界Aを、上方広角カメラの視界F、及びコーナー広角カメラの視界Cが、安全確保の観点で補完していることが分かる。

実際、視界Fは車両前方0.8m地点において路面から高さ5mの視界を確保し、交差点停止時においても信号ランプ視認は可能である(図4.4.3.5参照)。視界Cは、車両直前コーナーに転倒した人形を視認できる(図4.4.3.6参照)。



画面Fは車両前方80cmの地点で、地上高さ5mの信号機ランプを視認

図4.4.3.5 高仰角視界



画面CL、F、CRは、車両直近下部コーナーに倒れた人形を視認可能

図4.4.3.6 前下部コーナー視界

(ii) 映像情報以外の情報

車両側から取得すべき映像以外の情報は以下とする。

- ・GPS情報（常時送出）
- ・その他、車両装置の状態等（自動運転システム機能状態を含む）を示すいくつかの情報

ここで、車両装置からの本件情報は、正常時も異常時も同じ情報項目であるが、その状態の内容が車両にとって正常状態であるか異常状態であるかの識別は、合わせて送出される

(iii) センター～車両間の通話

遠隔オペレータは、車両内の乗員・乗客、及び車外の歩行者等との間で音声による通話を可能とする。このため、車両内にマイク、スピーカ、車外にもマイク、スピーカ（拡声器）を設置する。

遠隔オペレータは、車両を指定して当該車両の車内通話、または車外通話を選択することができる。車外のマイクは、車両の走行周辺音の集音が可能であり、例えば緊急車両のサイレン音をセンターで聴取できる。

また、車内からセンターとの通話を要求する通話要求ボタンを車内に設置する。

これら通話系の装置類を図4.4.3.7に示す。



車外マイク 車外拡声機 車内マイク、スピーカ 通話要求ボタン

図4.4.3.7 通話系の装置類

2) 「通常運行（さしむき3台同時）」時に遠隔オペレータが確認すべき情報、及びそのモニタ表示方法

(i) 基本情報

1) で検討した映像、その他の情報から、3台が全て通常運行時に遠隔オペレータが確認すべき、ないし確認が望ましい情報を基本情報として、表4.4.3.1のように選定する（基本情報は、常時表示すべき情報を意味しない）。1) で検討した映像情報（8画面）については、すべて基本情報とする。

表4.4.3.1 監視センター確認基本情報

情報種別	表示項目	表示モニター
非映像情報	確認通知(通知時刻、車両番号、通知理由)のリスト	モニター (1)
	確認中、確認完了欄に確認要求の履歴表示	
	車載モデム - センター間の電波通信状況 (縦線3本で表現)	
	車両番号 (x号車の表示)	
	車両のドライブモード・アイコン (手動/自動/遠隔)	
	車両のシフトポジション表示	
	車両の現在車速表示 (km/h)	
	車両のハンドル切れ角表示	
	車両のウィンカー左右点滅状態表示	
	車両の駆動バッテリー残量表示 (%)	
	車両のGPS位置表示	
映像情報	全車両の設定中構図のカメラ映像	モニター (2)
	オペレーターが指定した車両の拡大映像	モニター (3)
	車両の現在車速表示 (km/h) を合成	

(ii) 映像基本情報の「構図」形成

映像の基本情報8画面は、遠隔オペレータが直感的に車両の状態を把握しやすいように、予め4画面を組み合わせた4種類の画面(これを「画面構図」という。図4.4.3.8参照)に編集しておく。遠隔オペレータは適宜、構図間の選択切替ができるものとする。

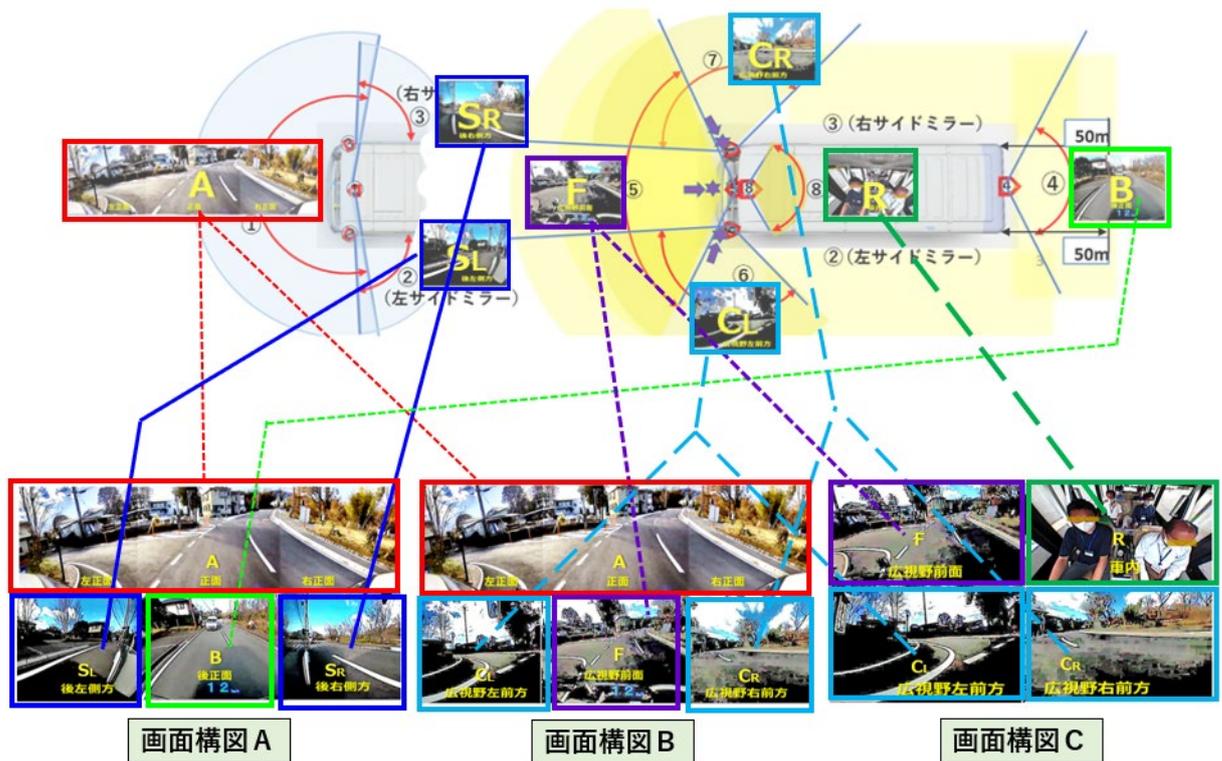


図4.4.3.8 画面構図

(iii) 基本情報のモニタ表示

基本情報のうち、映像情報以外は、常にモニタに表示するものとする。また基本情報のうち映像情報に関する（遠隔オペレータが指定した画面構図の）モニタ表示形態は、表4.4.3.2に示す3パターンについて検討する。

令和3年度は、このうち、3車両同時常時表示のパターンを構成して実証した。

表4.4.3.2 映像系基本情報の表示パターン

基本情報			
情報内容	非映像系情報（第4.4.3.1表）	[モニタ（1）]に常時全車両表示	
	映像系情報（1台当たり8画面の基本情報を3種の画面構図に編集）	全（3）台の映像基本情報を、下表のようにモニタ(2)に表示	
具体的表示（現示）方法 [モニタ（2）]			
全(3)台正常運行時 (ダイナミック・マルチ リンク連動)	パターンA)	3台の映像基本情報を同時表示	動画、または静止画
	パターンB)	映像基本情報を1台ずつ切替表示（round robin）	
	パターンC)	センタ側指定車1台のみ基本情報を表示、他車は表示せず	
			原則、動画

3) 「異常」時に関する検討

ここで、「異常時」とは、車両装置（自動運転システムを含む）が自ら検知し、予め定められた閾値により「異常」として遠隔システムに通知してくる車両の状態をいう。乗客、乗員が通話要求を行ってくることは、「異常時」と呼ばない。

(i) 「異常時」の定義

車両装置（自動運転システム含む）が「異常」として発出する情報を、異常の軽重に応じ、3種類に分類する。

(ii) 当該車両に関する表示すべき映像情報、及びその他の情報。そのモニタ表示の方法

異常が通知された場合、パトランプ等で警報するとともに、当該車両の映像基本情報をモニタに拡大表示する。遠隔オペレータは当該車両映像の構図を適宜切替えて事態の確認を図る。

(iii) 当該車両に対するセンターオペレータの遠隔対処方法

本節については、マンマシンインターフェースの節で記述する。

(iv) 他の正常運行車両に対する運行ポリシー（運行続行、運行停止）

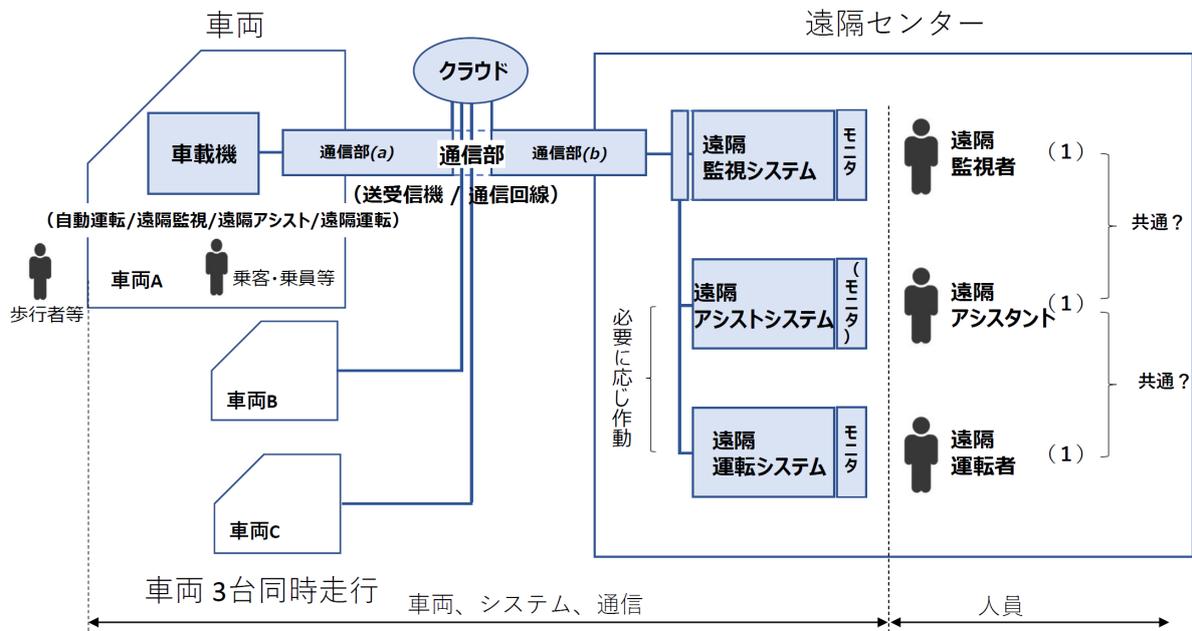
本項については、管制システムの項で記述する。

4) 車両からの通話要求があった場合の検討

車両から通話要求があった場合、パトランプ等で警報するとともに、当該車両の映像基本情報をモニタに拡大表示する。遠隔オペレータは、当該車両映像の構図を車内映像を含むものに設定し、社内と通話し、事態の確認に努める。

5) マンマシン系インターフェース

以上、1)～4)の基本検討に基づき、図4.4.3.9に示すマンマシン関連検討モデルを対象として、マンマシン系インターフェースの設計開発を行った。



(i) 遠隔監視システム

a) センター—装置類

遠隔センター（「荒谷」地区）に設置した遠隔システム及び管制システムの全体写真を図4.4.3.10に示す。



2022.3.15 © SOLITON SYSTEMS

図4.4.3.10 遠隔センター（「荒谷」）に設置した 遠隔システム及び管制システム
遠隔監視システムのマンマシンインターフェースに関する装置構成を図4.4.3.11に示す。

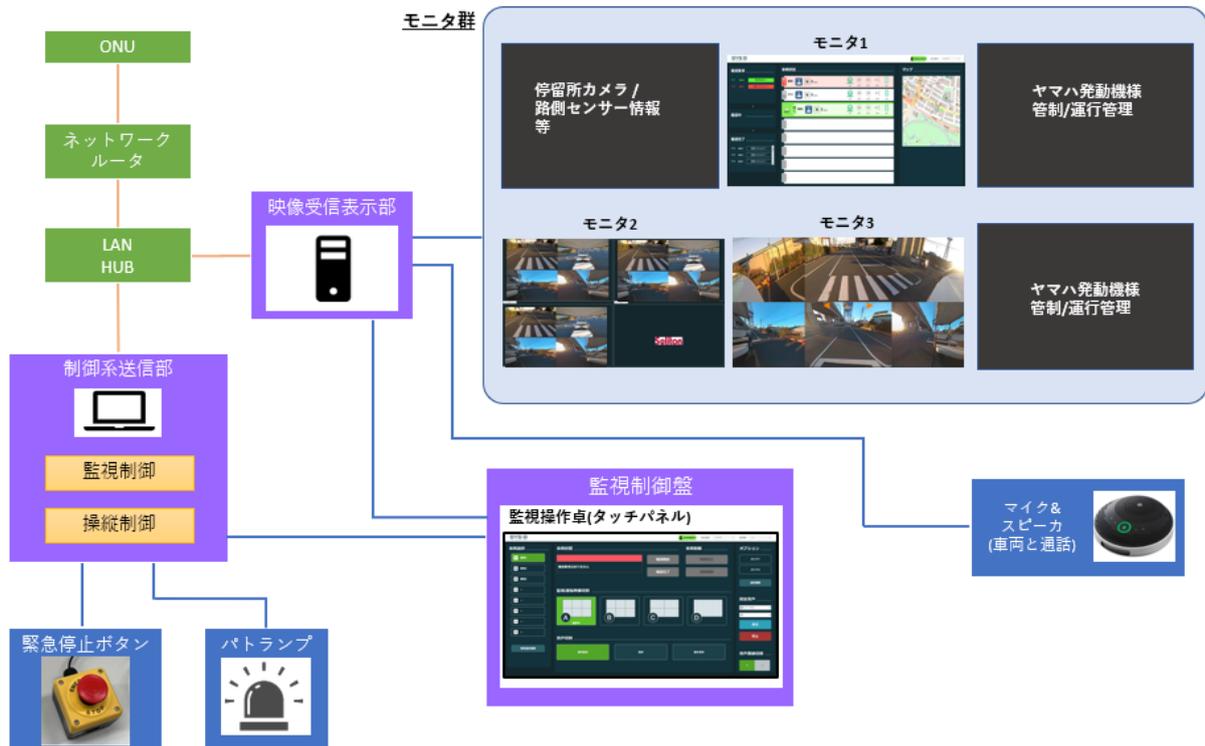


図4.4.3.11 遠隔システムにおけるマンマシンインターフェース装置構成

ここに、モニタ（1）は、基本情報中、映像情報以外の常時表示すべき全車両に関する状態表示、
 モニタ（2）は、基本情報中、映像情報（各車ごとに指定した構図）に関する全3車両に関する映像表示（ただし、常時表示か否かは、予め設計開発したパターンに従う）、
 モニタ（3）は、異常時通知があった車両、もしくは通話要求のあった車両、あるいはオペレータが任意に指定した車両の拡大映像（基本情報）表示、のためのモニタである。

遠隔システム（遠隔監視）のモニタ表示イメージを図4.4.3.12に示す。



図4.4.3.12 遠隔システムのモニタ表示イメージ

以下、ここでは、モニタ（2）における映像基本情報表示パターンは、全車を常時表示するパターンを採用するものとして記述する。

b) モニタ表示の遅延時間

車載カメラに像が入光してから遠隔システム（モバイル回線で構成された通信基盤システムを含む）を経由しセンター内モニタに表示されるまでのトータルの遅延時間（G-2-G遅延時間 T_{GG} ）（以下「映像遅延」時間という）に関する現状での基礎データを収集した。本格的分析は令和4年度に実施する。

c) 正常走行状態時の遠隔オペレータの動作

図4.4.3.13に、車両正常走行時における遠隔オペレータの動作フローを示す。ここでは、管制センターが、自動運転車を指定して発車指令を発出する場合に、発車前に遠隔オペレータが当該車両が車内外ともに安全の状態であることを確認し、管制センターに通知するものとする。

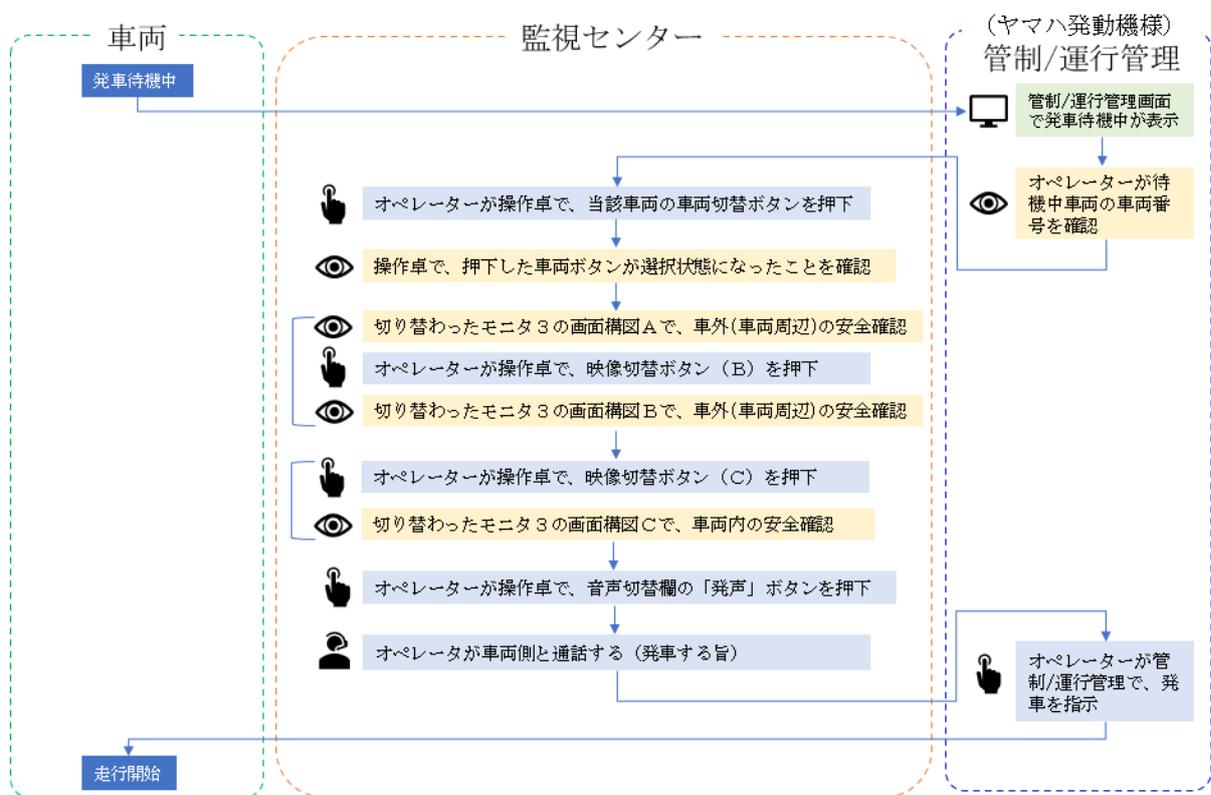


図4.4.3.13 正常走行状態時の遠隔オペレータの動作フロー

d) 異常通知があった場合の、遠隔オペレータの動作

図4.4.3.14に、異常通知があった場合の遠隔オペレータの動作フローを示す。必要により管制システムとの対応を含む。

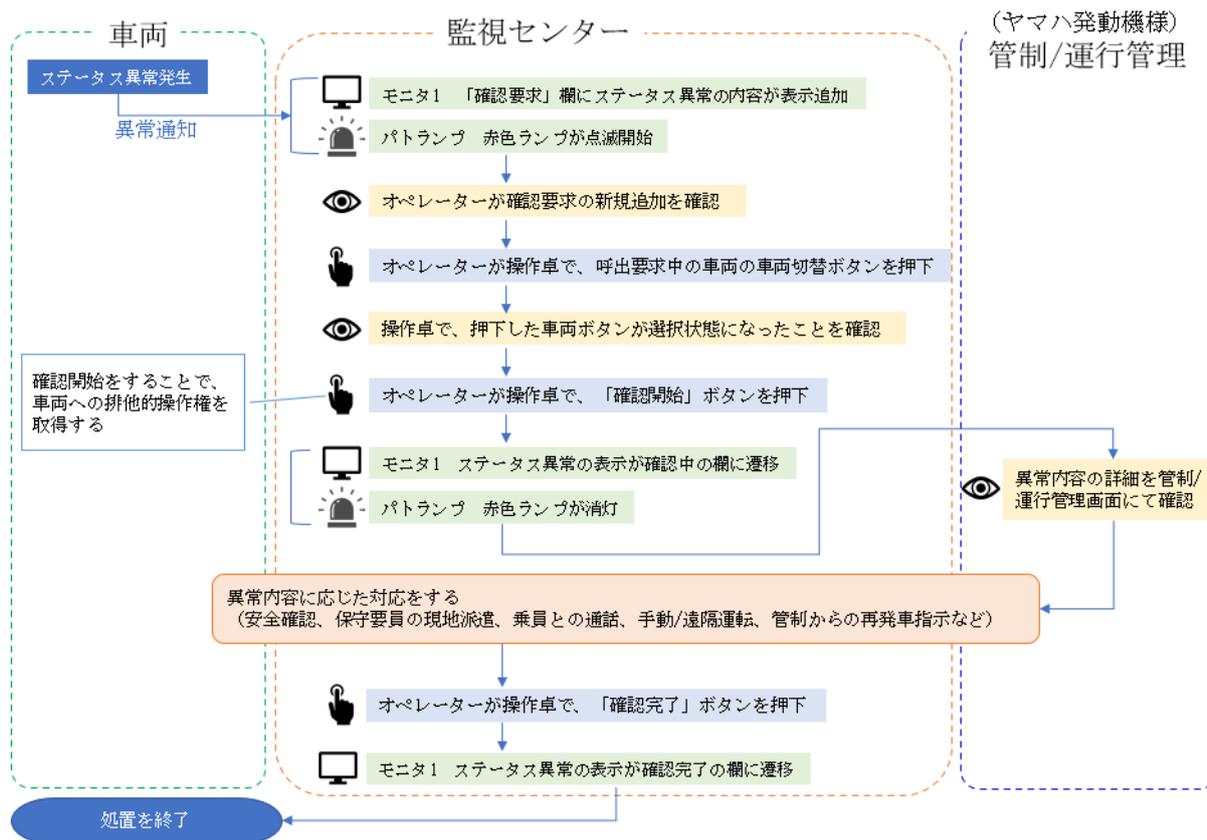


図4.4.3.14 異常通知があった場合の遠隔オペレータの動作フロー

e) 通話要求があった場合の、遠隔オペレータの動作

図4.4.3.15に、通話要求があった場合の遠隔オペレータの動作フローを示す。図4.4.3.16は、実証実験において、車両から通話要求があった場合の遠隔オペレータの動作情景写真である。

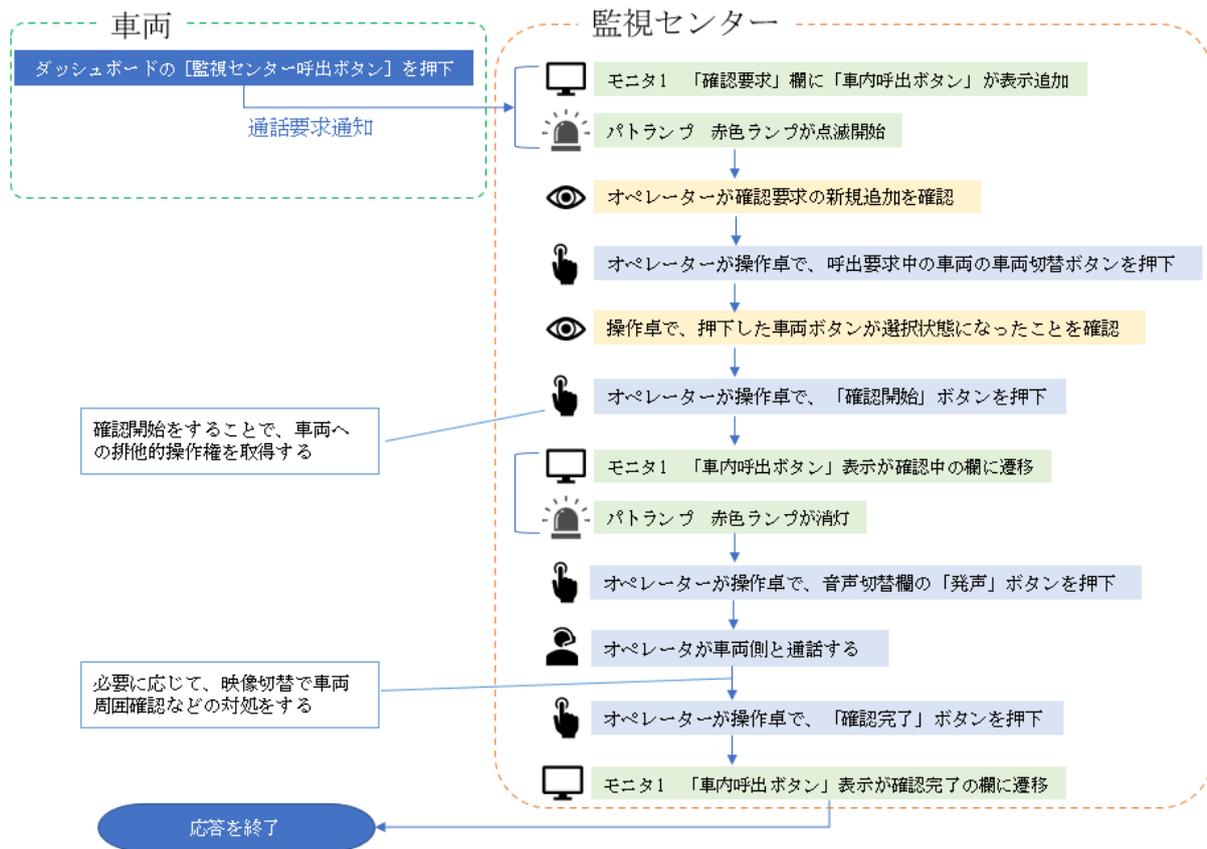


図4. 4. 3. 15 通話要求があった場合の遠隔オペレータの動作フロー



車両から、異常状態通知、または通話要求があると、警報とともにパトランプが点滅、遠隔オペレータは遠隔システムを利用して、当該車両の状況把握に努める

図4.4.3.16 遠隔オペレータの動作情景

(ii) 遠隔操縦システム

a) 遠隔操縦システムの遠隔制御項目

遠隔操縦システムの、車両に対する遠隔制御項目を表4.4.3.3に示す。

表4.4.3.3 遠隔監視運転センターにおける遠隔操作・状態現示

(1) 遠隔操作を実施する装置/項目

原 車 両 に 具 備	①変速装置（オートマ、ギアシフト(P)-R-N-D) ②加速装置 ③制動装置 ④かじ取り装置 ⑤方向指示器 ⑥非常点滅表示灯	ギアシフト位置 現示 速度 現示 方向指示器 現示 非常点滅表示灯 現示
原 車 両 に 具 備 せ ず	①遠隔操作の始動/終了 ②対象車両周辺映像（視界）の切替 ③車内映像への切替 ④車内音声通話 ⑤車外拡声器への送話 ⑥緊急停止遠隔操作	

(2) 遠隔操作を実施しない装置/項目

原 車 両 に 具 備	①始動装置 ②警告器 ③前照灯 ④窓ふき器 ⑤車幅灯 など
原 車 両 に 具 備 せ ず	①点火時期調整装置 ②噴射時期調整装置 ③クラッチ ④洗浄液噴射装置 ⑤デフロスタ ⑥前部（後部）霧灯 など

(3) その他（遠隔操作支援機能）

- ・車幅、車両前方および後方からの距離を示すガイドライン表示
など

b) センター装置類

遠隔操縦システムのセンター装置類を図4.4.3.17に示す。

ここに、遠隔操縦装置は、道路運送車両の保安基準に準拠するものとした。



図4. 4. 3. 17 遠隔操縦システムのセンター装置類

c) 遠隔オペレータ（遠隔操縦者）の操作

遠隔オペレータ（遠隔操縦者）の遠隔操縦装置の操作、並びに緊急停止ボタンの操作は、図4. 4. 3. 18のとおりである。



図4.4.3.18 遠隔操縦装置の操作、並びに緊急停止ボタンの操作

d) モニタ表示の遅延時間、遠隔制御の遅延時間

映像遅延時間 T_{CG} 及び、遠隔オペレータが遠隔操縦機器を操作し車両が作動開始するまでの遅延時間 T_{CS} （以下「制御遅延」時間という）に関する現状での基礎データを収集した。

また、遠隔オペレータが緊急停止ボタン操作、並びに遠隔での急ブレーキ操作を行った時の、車両の制動状況について現状での基礎データを収集した。これらの本格的分析は令和4年度に実施する。

遠隔オペレータ（遠隔操縦者）は、遠隔操縦システムに、通信による映像遅延及び制御遅延が存在することを認識し、操作に習熟することが肝要である。



図4.4.3.19 遠隔操縦事例

6) システム間インターフェース

(i) 遠隔システム

遠隔システム自身の機能拡張のため、また汎用展開のための他システムとのシステム間インターフェースについては、他システムとのクラウド間接続を含め、令和4年度に検討開発することとする。

今年度は、車両内の自動運転システムとのインターフェースについて開発実装した。

このインターフェースには、①主に自動運転システム側から遠隔システムに送出する遠隔監視のための情報と、②逆に遠隔システムから自動運転システム側に送出する遠隔操縦のため（またはセンターからの緊急停止、並びに、遠隔システム不良(4.4.2(1)2)参照)の通知のための情報がある。

ヤマハ様

(2) 管制システムのインターフェース改善

令和 2 年度までの事業により実装された L3 運行のための遠隔監視者の操作画面は下記 5 点が重視されている。

- ・ 各車両の車両情報をリアルタイムで分かりやすく提示する
- ・ 各車両の位置を的確に把握する
- ・ 複数車両の情報を同時に監視する
- ・ 問題発生を早期に把握する
- ・ 現地運行事業者が操作しやすい UI にする

一方で上記システムは L3 運行のため用意された車載装置や地上局設備への依存が大きく、本事業活動へ移植するには多大な工数がかかることが予想された。そこで上記 5 つの重視点を考慮しつつ、開発効率や保守性も加味した上で、クラウドサーバ上に運行管理のためのシステム（管制システム）を構築した。

管制システムが遠隔監視者向けに用意している UI を図 4.4.3-1 に示す。図 4.4.3-1(a)は自動運転路線図になっており、自動運転車両が走行コースのどの位置にいるのか、自動走行を継続できているかが認識しやすくなっている。画面上部のコース図は車両からアップロードされる RFID の位置情報を元に描画される。右下の航空写真には車両に搭載された GNSS の緯度経度情報が表示される。また、遠隔監視者が操作する I/F として、画面左下に運行中の全車両を比較的強い減速度で停車させる「全車両非常停止」と、緩やかに停車させる「全車両一時停車」のボタンを用意している。

図 4.4.3-1(b)は車両の状態を監視する UI である。運行中の車両がどんなステータスにあるのか、遠隔監視者の操作が必要な状況なのかどうかなどを表示する。本 UI は表示のカスタマイズが可能になっており、運行に必要な情報だけに絞ったり、開発用に細かく情報を見たりすることが可能である。ただし、永平寺町の志比-荒谷間での運用を考慮し、表示台数を 4 台固定としている。遠隔監視者が操作する I/F として、対象の車両 1 台を発車させる「発車」ボタン、対象の車両 1 台を比較的強い減速度で停車させる「非常停止」ボタン、対象の車両 1 台を緩やかに停車させる「一時停止」ボタン、車両の運行モードを切り替える「運行モード切替」ボタン、自動運行装置を MRM 状態から待機状態に遷移させるための「復帰」ボタンなどを用意している。自動運転車両が遠隔監視者に操作を要求するような状況では車両情報の上部にオレンジ色の帯が出て、どのような操作を要求しているかが自動的に表示される。

遠隔監視者はこれらの UI と遠隔監視映像を使用し、自動運転車両に対して適切に指示を送ることで自動運転サービスを実現することが可能になる。また、これらの UI は Web アプリになっており、Web ブラウザさえ開けばどのような PC でも操作が可能になっている。PC スペックも一般的なもので十分であり、万が一遠隔監視用の PC が故障してもすぐに代替品を手配できる。その際にも前述したセキュリティにより、予め許可されたユーザしか自動運転車両を操作することができないため、安全に装置を切り替えることが可能である。



(a) 自動運転路線図



(b) 車両監視

図 4.4.3-1 管制システムにおける遠隔監視 UI

4.4.4 運行管理システム

令和2年度までの事業により遠隔監視者1名が3台の無人自動運転車両を運行するための運行管理システムが実装されている。

上記システムは、現地実装後の保守に課題があり、車載装置の変更や走行ルートの変更をする際に改修が困難であった。そのため、運行管理システムが担当していた機能を表4.4.4-1のように整理し、今後の開発拡張性と実装後の保守性を考慮してクラウドサーバ上に実装した。

表 4.4.4-1 運行管理システムの機能整理

#	項目	内容
1	車両起動	自動運転車両が運行可能かどうかチェックする
2	車両位置同定	運行中の車両位置を把握する
3	運行方式	停留所2カ所の定時定路線で運行する
4	すれ違い調整	交互通行区間が多いため、待避所での行き違いが発生する

4.4.4.1 システム立ち上げ

自動運転車両が運行可能かどうかチェックするためには、車両の内部状態の把握と現在位置の把握が必要である。車両の内部状態の把握は自動運行装置が出力している各値を受信することで判別可能である。車両の現在位置は電磁誘導方式である都合上、走行するまでは現在位置の特定が難しい。よって、下記手順に従い車両を起動することを前提とする。

(1) 手動運転で車両を初期位置に移動させる

車両を”誘導線上”かつ”他の運行中の自動運転車両と衝突しない安全な位置”に移動させる。このとき、運行中の自動運転車両がある場合は運行停止させることが望ましい。

(後述する運行調整機能に影響するため)

(2) システム運用状態へ遷移

車両の鍵を”自動”に変更する。誘導線検知状態かつ車両-管制間の通信が確立している場合、遠隔監視UIから発車指示を送信可能である。

4.4.4.2 車両位置同定

前述のように、電磁誘導方式では走行開始するまで現在位置を特定することは難しい。一方で走行開始すると車両は電磁誘導路に従って走行するため、進行方向左右のぶれが少なく、車両の車速パルスによるオドメトリを活用できる。また、道路に埋設された位置情報を持つRFIDタグを利用することにより、走行中の車両位置特定が可能になる。

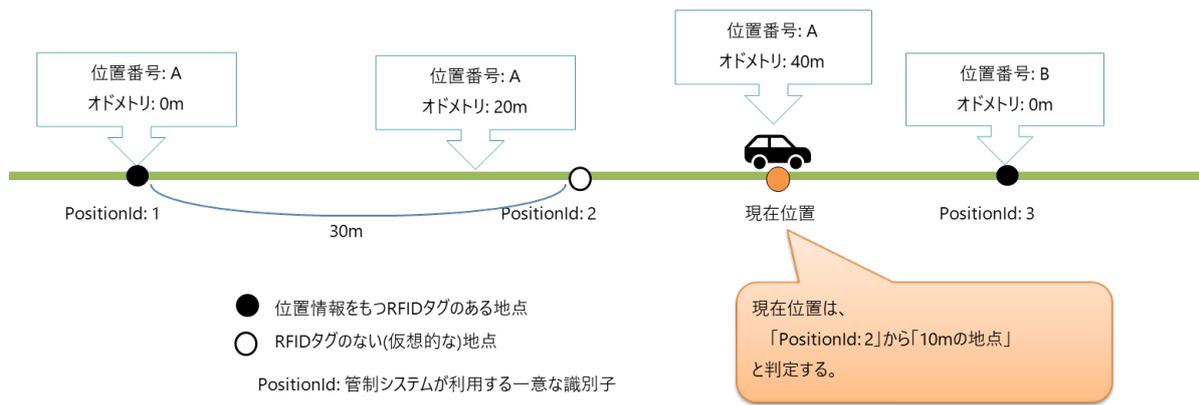


図 4. 4. 4-1 車両位置同定方法

4. 4. 4. 3 運行方式

本報告では永平寺町南側コース（通称：山側）での運行を前提とする。現在 L3 運行が実施されている南側コースでは荒谷-志比間を最大 3 台の自動運転車両が走行している。走行ルートは常に同じであり、途中の待避所で旅客の取り扱いは無いため、停留所は荒谷と志比の 2 カ所となる。各停留所は乗車場と降車場のペアで構成されており、乗車場を発車し、もう一方の停留所の降車場に到着するまでを基本の運行とする。逆走は禁止とする。本報告の運行管理システムでは時刻同期による発車指示は乗客の乗降途中の発車の可能性があるため行わない。

4. 4. 4. 4 すれ違い調整

南側コースは車両同士が離合する余地がほぼ無く、片側交互通行が基本である。離合できる地点は 2 カ所の停留所とコース途中の 3 つの待避所のみである。令和 2 年度までの事業により、待避所でのすれ違い調整が行われており、L3 運行においても活用されている。L4 運行においても有効に活用できると考え、L3 運行での課題を解決しながら開発を行った。

L3 運行でのすれ違い調整に関連して、下記 2 点の課題があることが現地事業者へのヒアリングにより判明した。

- ・ 荒谷の停留所に 3 台の車両が向かっていくと乗車場から発車できなくなるデッドロックが発生する可能性がある。
- ・ 上記のような状況が発生しそうな場合、遠隔監視者が発車タイミングの調整や遠隔からのブレーキ操作をするなどの運用でカバーしている。

上記課題解消を含め、下記のようなすれ違い調整ロジックを開発した。図 4. 4. 4. 4-1 にすれ違い調整の基本ロジックを示す。

前提：すべての車両が電磁誘導線に沿って誘導走行しており、走行位置が把握できている

(1) 車両が退避可能な段階で単線区間(調整区間)に入る位置(*1)の到達を検知し、運行管理システムは車両に対し通行許可を与える情報管理を行う。

(*1) 下図「車両 A が位置情報 1 のタグに到達したとき」「車両 B が位置情報 6 のタグに到達したとき」

(2) 通行許可を与えられた車両が他に存在しなければ、その車両を”通行許可車両”とする。

(3) 通行許可車両に対して運行管理システムは「停止位置による停止指示無効指令」を送信する。通行許可の与えられていない車両に対して運行管理システムは停止位置による停止指示を無効にする指令を送信しない。

(通信遅延を含む通信障害の場合に各車両に指令が届かないケースを考慮し、”通過する指

- 令”を送信する。通過許可があっても通信障害などによって受け取れない車両は、待避所停止位置で停車する)
- (4) 通行許可が与えられて走行し続ける車両が調整区間を抜けた位置(*2)に到達したことを検知し、管制システムはその車両の通行許可を解除し、”通行待ち車両”が存在すれば通行許可を与えなおす。
- (*2) 下図「車両 A が位置情報 c のタグを通過したとき」

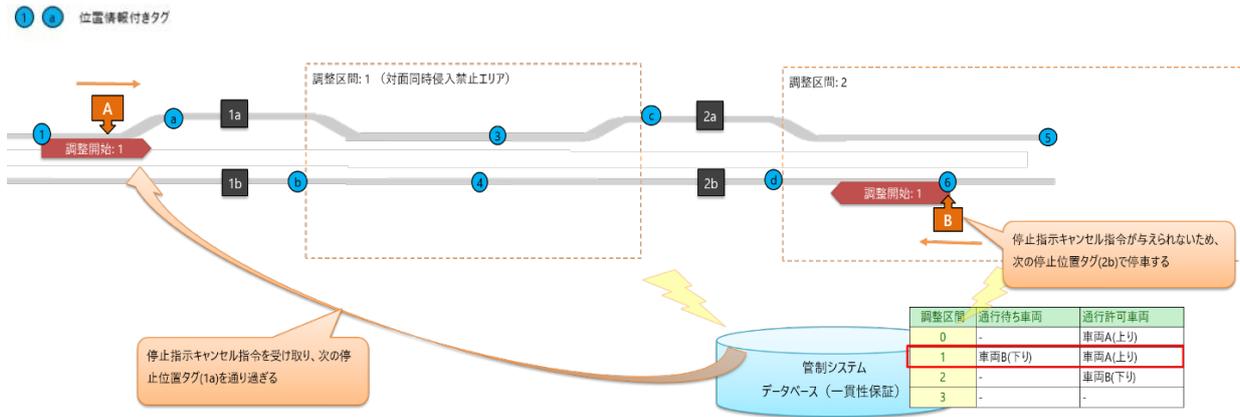
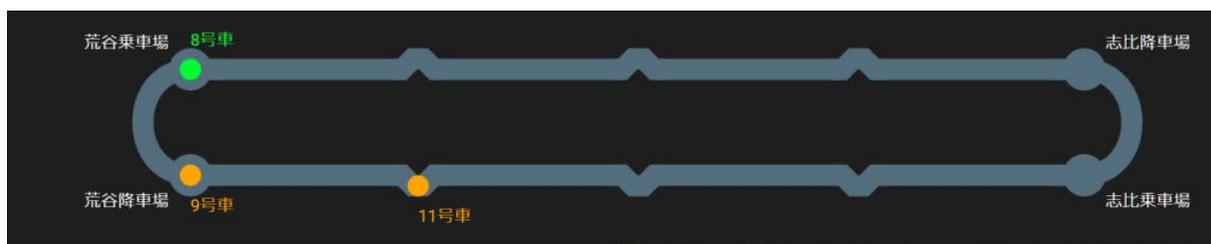


図 4. 4. 4-1 すれ違い調整基本ロジック

上記ロジックを応用し、停留所に到着した際に到着車両は調整区間の通行許可を運行管理システムに返却するが、後続の車両に通行許可を与えるタイミングを調整することで、荒谷停留所に3台同時に向かっている状況でもデッドロックを発生させずに運行調整することが可能になり、前述したL3運行での課題を解消した。図 4. 4. 4-2 に3台運行のシミュレーションを示す。



(a) 荒谷降車場に 8 号車が止まっているため 9 号車はひとつ前の待避所で停車
 ※緑：通常運行、黄色：調整による抑止状態、赤：非常停止中



(b) 8 号車が乗車場に移動すると 9 号車が降車場に移動。11 号車はひとつ前の待避所



(c) 11 号車がひとつ前の待避所で待機しているため、8 号車が荒谷乗車場を発車できる
 図 4. 4. 4. 4-2 荒谷停留所に 3 台が向かう場合のシミュレーション

なお本機能は先述したように、すべての車両が電磁誘導線に沿って誘導走行しており、走行位置が把握できていることを前提としている。遠隔を含む手動運転にて電磁誘導線上から離れた走行をおこなう車両が 1 台でもある場合については、復帰方法も含め、引き続き検討が必要である。

4. 4. 4. 5 追いつき抑制制御

令和 2 年度事業報告書や現地事業者へのヒアリングを通して、自動運転車両同士の車間調整に障害物検知機能を用いることはあまり望ましくないことが分かった。そこで、管理下の車両位置や車両状態を把握できる管制システムの特徴を活かし、車間距離を運行管理システムにより調整できる仕組みを開発した。

前提：すべての車両が電磁誘導線に沿って誘導走行しており、走行位置が把握できている

(1) 基本ロジック

図 4. 4. 4. 5-1 に示す状況を考える。前方を走行する車両との車間距離が「追いつき抑制開始距離」より小さい場合、追いつき抑制制御の対象となる。追いつき抑制制御では、後続車両の目標指示車速を前方車両以下に減速させることを目的とする。



図 4. 4. 4. 5-1 追いつき抑制制御が介入する状況

(2) 後続車両の実車速 > 前方車両の実車速

前方車両が障害物検知などにより通常運行速度より減速している状況を考える。後続車両は通常運行速度で走行しているため、徐々に前方車両に近づく。運行管理システムで管理している 2 台の車間距離が「追いつき抑制制御開始距離」以下になった場合、後続車両の実車速に減速係数を掛けて補正したものを次の目標車速として設定するように後続車両に指示を送る。追いつき抑制制御の対象となる間は常に補正を行いながら実車速を調整する。

(3) 後続車両の実車速 ≤ 前方車両の実車速

(2)から前方車両の速度が通常運行速度に回復した場合を考える。前方車両は後続車両との車間距離を広げていくことになる。車間距離が「追いつき抑制制御開始距離」を上回ると前述した目標車速の抑止は行われぬ。この際も後続車両が車間距離を維持するために自動運行装置が指示する目標車速以上に増速するような制御は行わず、自動運行装置の車速に従う。

(4) 前方車両との車間距離が「最低車間距離」以下

(2)の追いつき抑制制御において、減速係数や車速差によっては車間距離が「最低車間距離」まで追いつくことがある。その場合、後続車両の目標車速を前方車両の実車速以下に設定することで、衝突を回避する。

(5) 前方車両が停止(実車速=0 km/h)している場合

後続車両の挙動として、「追いつき抑制制御開始距離」以下になると減速係数により目標車速が減少していく。そして「最低車間距離」になった時点で前方車両の車速以下に目標車速が設定される。前方車両の実車速が 0 km/h であるため、後続車両の目標車速も 0 km/h となり、後続車両も停止する。(目標車速は 0 km/h を下回らない)

(6) 停留所の取り扱い

図 4. 4. 4. 5-1 に示した状況の場合、停留所間が 100 m 以上離れていなければ追いつき抑制制御の対象になってしまう。しかし、実際の荒谷や志比の停留所の乗降場間の距離は 10 m 程度である。そこで乗降場間は追いつき抑制制御の対象から除外する処理を入れることで、乗車場に前方車両がいても、後続車両が降車場に停車できるようにした。この際、降車場と乗車場の間は追いつき抑制制御が働かず、先に降車場から車両を発車させてしまうと乗車場の車両と急接近する可能性がある。そのため、運行管理システムには乗車場に車両が停車している場合、降車場の車両に対して発車指示を送れない処理を組み込んでいる。

なお本機能も、先述したように、すべての車両が電磁誘導線に沿って誘導走行しており、走行位置が把握できていることを前提としている。遠隔を含む手動運転にて電磁誘導線上から離れた走行をおこなう車両が 1 台でもある場合については、復帰方法も含め、引き続き検討が必要である。

4.4.4.6 実車評価

本システムはシミュレータによる検証などは十分に行ったが、実車走行による確認が必要であった。そこで開発した管制システムを永平寺町南側コースで検証することを本年度の最終目標とした。実車走行確認をするにあたり、まずは当社テストコースで機能確認をすることとした。

4.4.4.6.1 YMC 単体構成による実車評価

図 4.4.5.1-1 に YMC 単体システムによる実車構成を示す。このシステムでは障害物検知機能が限定的であったり、遠隔監視映像が監視者に提供されなかったりなど自動運転サービスを行う車両として機能が不足している部分もあるが、当社テストコースにおける有視界内走行であれば管制機能の実車走行テストが可能である。図 4.4.5.1-2 に今回使用したテストコース図を示す。

実車テストで評価した項目とその結果について表 4.4.5.1-1 に示す。実装した機能が設計仕様通り動作していることを実車動作においても確認できた。

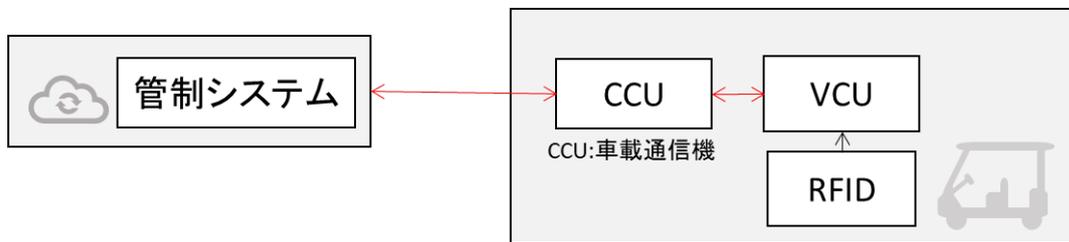


図 4.4.5.1-1 管制システム検証のための実車構成(YMC 単体構成)

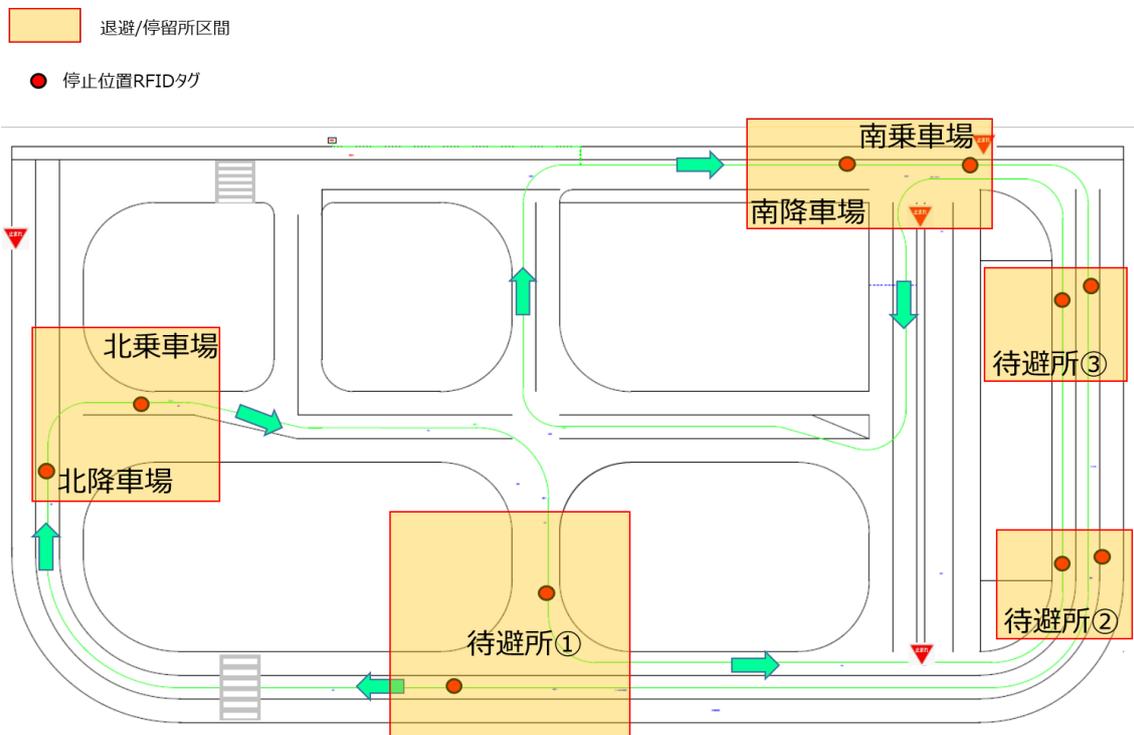


図 4.4.5.1-2 テストコース図

表 4. 4. 5. 1-1 管制システム実車評価(YMC 単体構成)

検査シナリオ	検査項目 No.	検査項目	期待される動作	検査結果
管制システム単体	Y-01	管制システム下の車両を俯瞰する動作状態、ステータスが監視できる	自動運転路線図に車両位置が表示される	OK
	Y-02	管制システム下の車両の詳細な動作状態、ステータスが監視できる	車両監視UIに車両状態が表示される	OK
	Y-03	車両鍵位置を変化させる	鍵位置に応じて車両状態の表示が変化する	OK
	Y-04	誘導線上に車両を配置する	発車可能状態になる	OK
	Y-05	車両を自動回送する	遠隔監視者の発車指示によって車両が走行開始する位置同定される	OK
	Y-06	車両が停留所を発車する	遠隔監視者の発車指示によって車両が停留所から走行開始する	OK
	Y-07	調整区間を走行する	止まることなく走行する	OK
	Y-08	待避所を走行する	止まることなく走行する	OK
	Y-09	非常停止指示を送信する	非常停止ボタン押下後ただちに停車する	OK
	Y-10	2台の車両が管制下に入る	2台の車両状態が確認できる	OK
	Y-11	先行車に後続車が追いつく	後続車の速度が抑制される	OK
	Y-12	調整区間を走行する車両を待つ	調整区間を走行する車両を待避所で待つ	OK
	Y-13	待避所上下線に2台の車両が到着する	調整区間を走行してきた車両は停車することなく通過する待避所で待機していた車両は走行を自動的に開始する	OK
	Y-14	降車場の空きを待つ	降車場の車両が発車するまで1つ前の待避所で停止して待機する	OK
	Y-15	乗車場の空きを待つ	乗車場の車両が発車するまで降車場の車両に対して発車指示を送信できない	OK
	Y-16	2台の車両に非常停止指示を送信する	非常停止ボタン押下後ただちに停車する	OK
	Y-17	ガイド走行モード中に手動走行を開始する	手動走行で誘導線外に出る	OK
	Y-18	車両の電源を切る	管制システムから車両の電源OFFを確認する	OK
	Y-19	自動運転モードから遠隔運転モードに切り替える	車両の運行モードが自動運転から遠隔運転に変更される	OK
	Y-20	遠隔運転モードから自動運転モードに切り替える	車両の運行モードが遠隔運転から自動運転に変更される	OK

4. 4. 4. 6. 2 AD-ECU との結合実車評価

令和3年2月14日-16日に三菱電機と合同でシステム結合評価を実施した。

図 4. 4. 5. 2-1 に実車構成を示す。このシステムでも遠隔監視映像が監視者に提供されないが、当社テストコースにおける有視界内走行であれば管制機能の実車走行テストが可能である。テストコースは前節と同様とした。

実車テストで評価した項目とその結果について表 4. 4. 5. 2-1 に示す。前節で確認した機能はおおむねすべて動作が確認できた。検査結果でNGとなった2項目については後述する待機モードの取り扱いについて設計の抜けがあることが確認された。

この結合評価の結果、AD-ECUの待機状態の取り扱いの他にMRM状態についても、管制システムの設計から抜けている部分があることが確認された。運用方法で回避することができる事象ではあったが、管制システムに機能追加を施し、AD-ECUに対して待機モード遷移を指示することができるように変更した。その結果、今回の評価でNGとなった項目についても解決できる見通しが立った。

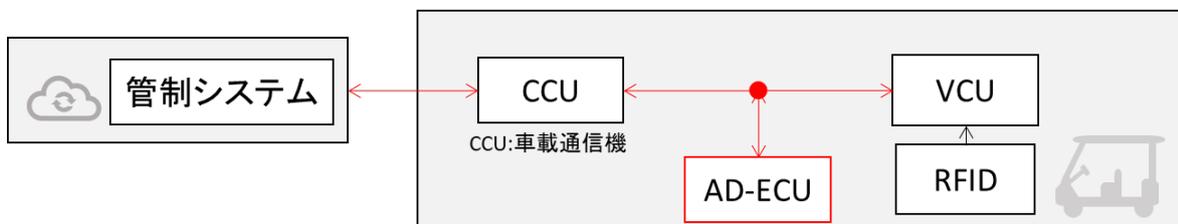


図 4. 4. 5. 2-1 管制システム検証のための実車構成(MY 結合)

表 4. 4. 5. 2-1 管制システム実車評価(MY 結合)

検査シナリオ	検査項目 No.	検査項目	期待される動作	検査結果
MY結合	MY-01	管制システム下の車両を俯瞰する動作状態、ステータスが監視できる	自動運転路線図に車両位置が表示される	OK
	MY-02	管制システム下の車両の詳細な動作状態、ステータスが監視できる	車両監視UIに車両状態が表示される	OK
	MY-03	車両鍵位置を変化させる	鍵位置に応じて車両状態の表示が変化する	OK
	MY-04	誘導線上に車両を配置する	発車可能状態になる	OK
	MY-05	車両を自動回送する	遠隔監視者の発車指示によって車両が走行開始する 位置同定される	OK
	MY-06	車両が停留所を発車する	遠隔監視者の発車指示によって車両が停留所から走行開始する	OK
	MY-07	調整区間を走行する	止まることなく走行する	OK
	MY-08	待避所を走行する	止まることなく走行する	OK
	MY-09	非常停止指示を送信する	非常停止ボタン押下後ただちに停車する	OK
	MY-10	2台の車両が管制下に入る	2台の車両状態が確認できる	OK
	MY-11	先行車に後続車が追いつく	後続車の速度が抑制される	OK
	MY-12	調整区間を走行する車両を待つ	調整区間を走行する車両を待避所で待つ	OK
	MY-13	待避所上下線に2台の車両が到着する	調整区間を走行してきた車両は停車することなく通過する 待避所で待機していた車両は走行を自動的に開始する	OK
	MY-14	降車場の空きを待つ	降車場の車両が発車するまで1つ前の待避所で停止して待機する	OK
	MY-15	乗車場の空きを待つ	乗車場の車両が発車するまで降車場の車両に対して発車指示を送信できない	OK
	MY-16	2台の車両に非常停止指示を送信する	非常停止ボタン押下後ただちに停車する	OK
	MY-17	ガイド走行モード中に手動走行を開始する	手動走行で誘導線外に出る	OK
	MY-18	車両の電源を切る	管制システムから車両の電源OFFを確認する	OK
	MY-19	自動運転モードから遠隔運転モードに切り替える	車両の運行モードが自動運転から遠隔運転に変更される	NG
	MY-20	遠隔運転モードから自動運転モードに切り替える	車両の運行モードが遠隔運転から自動運転に変更される	NG

4. 4. 4. 6. 3 永平寺町での 3 社結合実車評価

令和 3 年 3 月 14 日-18 日に三菱電機、ソリトンシステムズと合同でシステム結合評価を実施した。

図 4. 4. 5. 3-1 に実車構成を示す。前節の構成から、遠隔監視/運転のためのシステムが追加されている。本システムの構成によって、遠隔監視者が遠隔から車両に対して発進指示を出すための要素が揃った。

実車テストで評価した項目とその結果について表 4. 4. 5. 3-1 に示す。前節で確認した NG2 項目を含め、すべての検査項目をクリアすることができた。

本事業を通して、永平寺町の南側コースを 2 台の L4 相当車両(運行上は L2)で運行するデモを管制システムの管理下で実現できた。次年度に向けた課題として、各装置のフェール時の対応や、実際に運行事業者が使用する想定での I/F 設計が必要である。

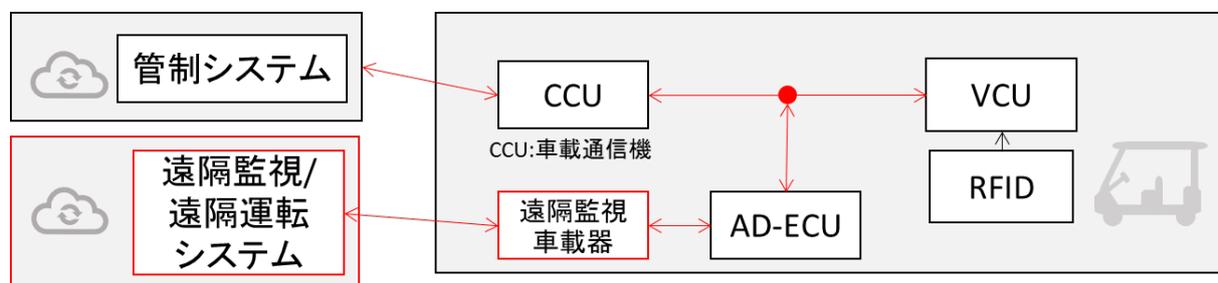


図 4. 4. 5. 3-1 管制システム検証のための実車構成(3 社結合)

表 4. 4. 5. 3-1 管制システム実車評価(3 社結合)

検査シナリオ	検査項目 No.	検査項目	期待される動作	検査結果
3社結合	SMY-01	管制システム下の車両を俯瞰する動作状態, ステータスが監視できる	自動運転路線図に車両位置が表示される	OK
	SMY-02	管制システム下の車両の詳細な動作状態, ステータスが監視できる	車両監視UIに車両状態が表示される	OK
	SMY-03	車両鍵位置を変化させる	鍵位置に応じて車両状態の表示が変化する	OK
	SMY-04	誘導線上に車両を配置する	発車可能状態になる	OK
	SMY-05	車両を自動回送する	遠隔監視者の発車指示によって車両が走行開始する 位置固定される	OK
	SMY-06	車両が停留所を発車する	遠隔監視者の発車指示によって車両が停留所から走行開始する	OK
	SMY-07	調整区間を走行する	止まることなく走行する	OK
	SMY-08	待避所を走行する	止まることなく走行する	OK
	SMY-09	非常停止指示を送信する	非常停止ボタン押下後ただちに停車する	OK
	SMY-10	2台の車両が管制下に入る	2台の車両状態が確認できる	OK
	SMY-11	先行車に後続車が追いつく	後続車の速度が抑制される	OK
	SMY-12	調整区間を走行する車両を待つ	調整区間を走行する車両を待避所で待つ	OK
	SMY-13	待避所上下線に2台の車両が到着する	調整区間を走行してきた車両は停車することなく通過する 待避所で待機していた車両は走行を自動的に開始する	OK
	SMY-14	降車場の空きを待つ	降車場の車両が発車するまで1つ前の待避所で停止して待機する	OK
	SMY-15	乗車場の空きを待つ	乗車場の車両が発車するまで降車場の車両に対して発車指示を 送信できない	OK
	SMY-16	2台の車両に非常停止指示を送信する	非常停止ボタン押下後ただちに停車する	OK
	SMY-17	ガイド走行モード中に手動走行を開始する	手動走行で誘導線外に出る	OK
	SMY-18	車両の電源を切る	管制システムから車両の電源OFFを確認する	OK
	SMY-19	自動運転モードから遠隔運転モードに切り替える	車両の運行モードが自動運転から遠隔運転に変更される	OK
	SMY-20	遠隔運転モードから自動運転モードに切り替える	車両の運行モードが遠隔運転から自動運転に変更される	OK

4.4.5 通信システムのコスト削減、品質向上

(1) マルチキャリアの活用、キャリア間の共通化等によるLv4での運用を想定した通信装置の開発

図4.4.1、図4.4.2に示したように、遠隔システムの基盤となるモバイル系通信システム「遠隔基盤伝送システム」（以下「通信基盤システム」）は、車両～センター間で片方向の映像、双方向の音声、データを安定的に通信するための今次すべてのテーマに共通する基幹機能といえる。

とりわけ車両からの映像伝送は、センター内の遠隔オペレータ（遠隔監視、自動運転アシスト、遠隔操縦）が車両状態を認知するための要になる。

本システムでは映像・音声符号化方式にH.265を採用、また適用モバイル回線は全国展開を考慮し公衆向け4G/LTEを第一優先とし、以下の4つの狙いから開発を行った。

1) 映像通信、映像表示の安定化・品質向上

映像伝送の安定化は運行の安全に直結する。このため通信状態の揺らぎが多いモバイル回線を利用して極力安定した映像通信を確保するため、以下を実施する。

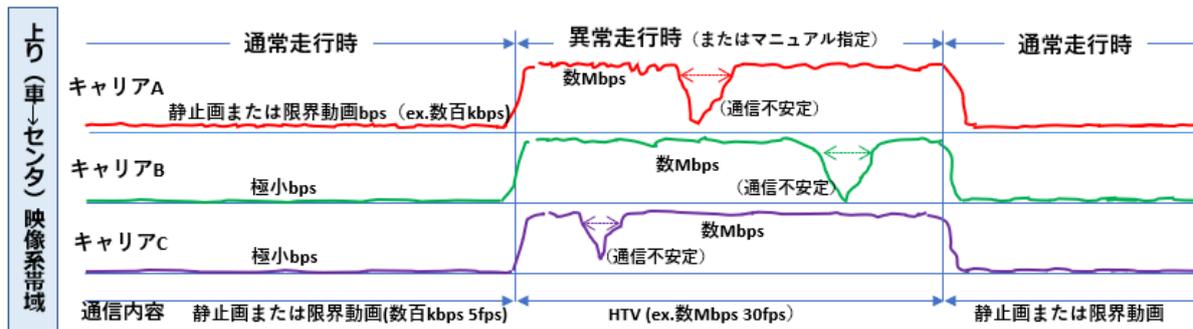
- a) マルチキャリア多重利用（マルチリンク方式：3モバイルキャリア回線の多重・冗長利用）：令和3年度は基本機能を実現、令和4年度は安定性を向上させるとともに、汎用性を考慮し、通信インターフェースの適用を拡張する。
- b) 能動的映像符号化（通信速度低下に応じ映像ビットレートを下げ、映像通信を継続）：令和3年度は本機能の基本開発を行い、実装した。

2) 通信回線の高効率利用（低コスト化1）

通信回線のコスト低減のため、通常運用時は低速回線で接続して映像品質を落とし、もしくは静止画伝送とし、異常時など利用者が必要なときにのみ高速回線の接続とする方式（ダイナミック・マルチリンク）を開発する。本方式は、遠隔監視システムと連動して機能する。また、インターネット上に設置したクラウド部により回線集約を図り、通信回線の高効率利用を一層促進する。このため、以下を実施する。

- a) ダイナミック・マルチリンク方式の開発：令和3年度は基本機能の開発試作を行った。令和4年度はこれらを実装し実用システムとして完成度を高める。

図4.4.4.1はダイナミック・マルチリンク方式の作動イメージである。令和3年度の実験では遠隔オペレータが遠隔監視システムをマニュアル操作することにより、切り替え（通常/低速から異常/高速回線）のトリガを車載機器（基盤通信システム送信部）に通知して試験を行った。



1車両3キャリア通信（マルチリンク）に対する遠隔システム側の帯域コントロールのイメージ

図4.4.4.1 ダイナミック・マルチリンク方式の通信イメージ

b) クラウドの活用、回線集約：各走行車両の基盤通信システムの直接的受信部は、クラウドに集約しし、センターへの回線集約を図った。

3) 映像通信の低遅延化

センターにおける車両状態のリアルタイム認知、及び遠隔運転の走行安全のためにG-to-G遅延時間の短縮が強く求められる（目標G-to-G 250～300ミリ秒）。LTE接続環境においては、基盤通信システム単独では、H.265送受コーデック直結対向（LTE、カメラ、モニタ除く）で、安定的に100ミリ秒以下の遅延時間が必要となり、これを開発目標とする。

このために、以下を実施する。

a) 通信プロトコルの改良開発（送信側、受信側）：令和3年度の基本開発により上記目標はほぼ達成されつつあるが、令和4年度は更に必要な調整を重ね、一層の低遅延化に注力する。

4) 送信部（車載）のソフトウェア構成（低コスト化2）、セキュリティの具備

車載機器である基盤通信システム送信部の主要部分である通信安定化機能はソフトウェアで構成し、低コスト化を実現する。ソフト化により、自動車部品として汎用展開が容易になる。

a) ソフトウェア開発と、そのモジュール化：令和3年度では、ソフトウェアによる構成を実現した。令和4年度はこの構造をモジュール化し、多様なニーズに対しフレキシブルな適用が可能なものとする。

b) 標準セキュリティの実装：令和3年度は、4.4.2(3)の検討を参考に、実装可能な対策を搭載した。

図4.4.4.2は令和3年度に通信システムに対して実装したセキュリティ対策である。

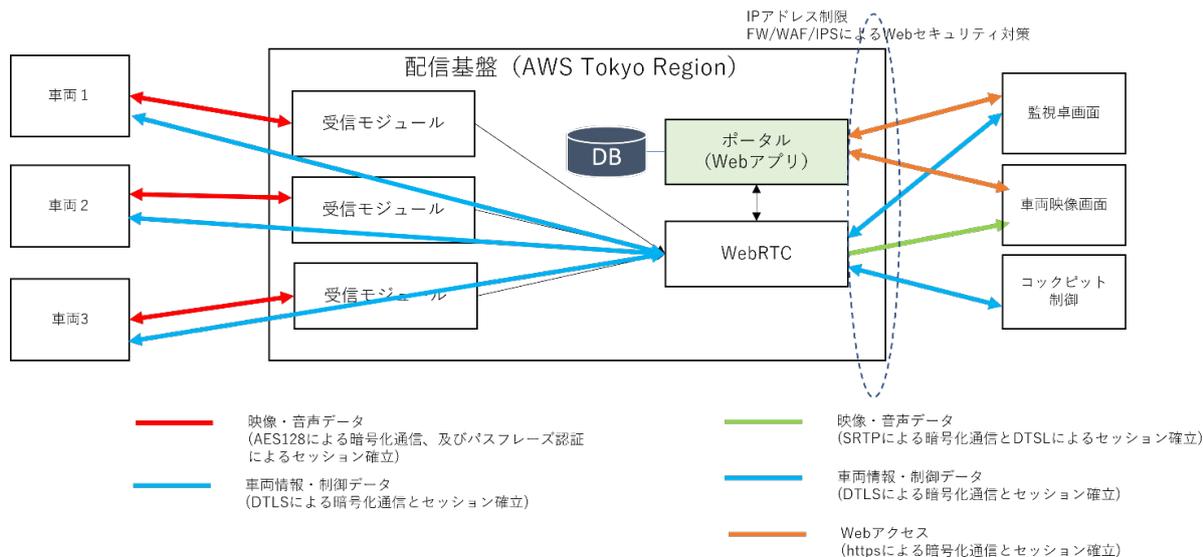


図4.4.4.2 令和3年度に実装したセキュリティ対策

令和4年度は、サイバーセキュリティ分析対象の拡大に付合し、本格実装を図る。

令和3年度末現在、1) と3) を同時に実現するアプライアンス製品 [例えばソリトンZA0-SHなど]、4) を実現するオープンソース [例えばWebRTCなど、ただしセキュリティは未確認] は存在しているが、1)、3)、4) を同時に実現できるシステムは見当たらない。また2) は未開発である。令和3年度は、上記1)～4)の全項目の基本機能実現のための開発を行った。令和4年度は、実証実験フィールドでの多くの運用試験を実施し、一層の性能向上、高機能化を目指す。表4.4.4.1に通信システムのコスト削減、品質向上についてまとめた表を示す。

通信基盤システムの車載送信部及び遠隔システム車載装置（映音処理部、制御処理部）を集約実装した車載BOX（令和3年度開発）図4.4.4.3(a)に、また車載BOXを車両に仮搭載した状況を同図(b)に示す。

表4.4.4.1 通信システムのコスト削減、品質向上

項番	項目	開発内容	現状		開発システム
			オープンソース	製品	[遠隔基盤映像音声伝送システム]
			(WebRTCなど)	(Zao-SH)	開発目標
1	映像通信、映像表示の安定化・品質向上	a 複数キャリア多重利用 (マルチリンク方式)	なし	3回線 (RASCOW)	3回線
		b 能動的映像符号化	あり (簡易)	あり (RASCOW)	実施
2	通信回線の高効率利用 [低コスト化1]	a ダイナミック・マルチリンク方式	なし	なし	ダイナミック・マルチリンクの開発
		b クラウドの活用	あり	あり	実施
3	映像通信の低遅延化	a 通信プロトコルの改良	数百 ^{ms} ~500 ^{ms} 秒? (ソフト)	約40 ^{ms} 秒 (アプライアンス)	約〇〇 ^{ms} 秒以下(*) <2022最終目標> (ソフトウェア)
4	送信部 (車載) のソフトウェア構成 [低コスト化2]	a ソフトウェア化	ソフトウェア構成	アプライアンス構成	ソフトウェア構成
		b 標準セキュリティ方式	あり (認証・暗号)	あり (認証・暗号)	具備

(*)装置単体値 (LTE映像端未除く) <所定のエッジPC適用>



(a) 車載BOX
(令和3年度設計開発)



(b) 車両への仮搭載

図4.4.4.3 通信基盤システムの車載装置及び遠隔システム車載装置

(2) 通信機能におけるインターフェースの統一化の検討

具備するインターフェースと想定される方式候補は以下のとおりである。

- a) 映像（片方向） [NTSC(Analog), HDMI, HD-SDI, USB, GMSL, MIPIなど]
- b) 音声（双方向） [HDMI, HD-SDI, USB, Analogなど]
- c) データ（双方向） [CAN, Serial, IP など]

これらの通信は、いずれもマルチキャリア伝送としており、信頼性は高い。このうちデータインターフェースは遠隔監視システムの制御のみならず、4.4.3に記述した遠隔車両制御、さらには自動運転システムの必要な通信に対しても用いられる。

基盤通信システムに要求されるそれぞれのインターフェースとその信号方式は車両（自動運転車両）仕様によって異なる。令和3年度はこのうち永平寺町システム対応のインターフェースを優先して以下の開発を進めた。

映像：NTSC(Analog), GMSL

音声：USB, Analog

データ：IP

令和4年度は、他テーマでの関連自動車会社のニーズ等をベースに各社の差異を可能な範囲で吸収し、適用インターフェースの拡張と統一化を検討する。

上記インターフェースの統一化、並びに本項（1）(iv)に記述した車載ソフトウェアモジュール化の実現により、本通信基盤システム開発の最終的な成果は、LV4車両のみならずコネクテッドカー、特にリアルタイムでの車両からの映像通信を必要とする多様な車両への導入が期待される。

第5章 まとめ

5.1 令和3年度（2021年度）の成果のまとめ

本報告書では、2022年度に限定エリアとして永平寺町の廃線跡である参ろ一どにおける低速自動運転車両での遠隔監視のみ（Lv4）で自動運転サービスの実現に向けた取組として、2021年度に実施した事業モデルの整理、遠隔監視者等の役割整理、走行以外のタスクの対応実証、Lv4化に向けた車両、遠隔システム、管制システム、通信装置の開発について主にまとめた。令和3年度の事業成果を以下の表に示す。7カ月の研究開発期間であったが、当初計画の令和3年度の事業目標を達成している。2022年3月には、車両や各システムの開発機能の結合試験を行い、自動走行の技術検証と有用性を示すことができている。

票 5.1-1 令和3年度の事業成果

		2021年度の事業成果
1. 事業モデルの整理	1. 事業モデルの整理	<ul style="list-style-type: none"> ○現状の自動運転Lv3とLv4との差分を分析し、リスクアセスメントと事業モデルを整理 ○永平寺町参ろ一どの全域への拡張を想定したリスクアセスメントと事業モデルを整理
	2. 運行条件の整理、評価	<ul style="list-style-type: none"> 2-1 遠隔監視1：3の運用実証評価 <ul style="list-style-type: none"> ○Lv4を模擬した遠隔監視1：3の運用実証評価を実施し、Lv4における遠隔監視者に求められるスキルや運用の分析を行い、整備が必要なマニュアルやトレーニングを実施し、体制を特定して整理 2-2 走行以外のタスク実証評価 <ul style="list-style-type: none"> ○全体のサービスプロセスを踏まえ、現状のLv3における走行以外のタスクに対する対応状況を確認し整理 ○Lv4を想定した運用による、走行以外のタスクにおけるリスクを特定し、対策案を検討し整理、体制構築
3. 車両、システムの開発	3-1 車両、システムのLv4化、高度化	<ul style="list-style-type: none"> ○自動運転システムの組込み化(ラビッドプロト)のLv4システム仕様設計、システム仕様書を策定 ○遠隔監視によるLv4システム制御構成を検討、これに沿っての車両VCUソフトウェア等の仕様を策定 ○カート1台に対して市販化を想定したソナーシステム、前方カメラ、前方ミリ波レーダを組み込み動作検証と評価 ○自動運行管理ECUを想定した機能をラビッドプロトタイプのコントロールユニットで実車機能評価 ○交差点エリアでのインフラセンシングの評価 ○実装したアルゴリズム(S/W)に関する設計、評価等のドキュメントの策定 ○機能安全、SOTIFに向けた構想策定
	3-2 遠隔システムのセキュリティ対策	<ul style="list-style-type: none"> ○機能安全面における車両と連携した安全停止方法、その他対処方法の検討・設計・開発 ○IoTの標準手法に則ったサイバーセキュリティ対策の検討（遠隔システム部） ○上記に基づく脅威分析・リスク分析の実施 ○セキュリティ暫定対策実施
	3-3 遠隔システムのインターフェース改善	<ul style="list-style-type: none"> ○管制サーバ仕様を調査し、機能を整理、設計、仕様書を作成 ○現行管制サーバを置き換えるものとしてすれ違い調停機能、加えて追いつき抑制制御も折り込み ○ヤマハテストコースでの2台+シミュレーション2台による管制システムによる評価実験実施 ○1:3遠隔監視システムの設計・構築 ○自動運転システム、管制システムとの授受情報、インターフェースを決定し、実装 ○車両側カメラ、通信装置等の実装 ○1:3遠隔監視システムの実証評価 ○永平寺町で走行車両に接続し、遠隔システムトータルとしての実走検証 ○運用上/技術的な課題の抽出と報告書
	3-4 通信システムのコスト削減、品質向上	<ul style="list-style-type: none"> ○開発した新通信システムを用いて永平寺町での実証実験実施 ○新通信システム（遠隔基盤映像音声伝送システム）のコア機能の基礎設計・実装・機能検証 ○送信機ハードウェア・ソフトウェアの試作・実装

5.2 令和3年度事業で得られた課題

各研究開発項目において、令和3年度の事業で得られた課題を、表5.2-1に示す。これらの課題については、次年度において引き続き検討を行い、着実に解決を図っていく予定である。

票 5.2-1 令和3年度の事業で得られた課題

		事業で得られた課題
1.事業モデルの整理	1.事業モデルの整理	・すべての道路における交通量のデータが存在するわけではなく、 交通リスクを定量的に評価するにあたっての指標 をどのように算出するかが難しい
2. 運行条件の整理、評価	2-1 遠隔監視1：3の運用実証評価	・R3年度では車両に仮設した状態での模擬運用実証評価であり、 制御と連動による影響 は次年度の課題
	2-2 走行以外のタスク実証評価	・交通事業者に運行管理や保安要員を委託する等のケースに関しては責任境界の検討は未実施
3. 車両、システムの開発	3-1 車両、システムのLv4化、高度化	<ul style="list-style-type: none"> ・遠隔操縦状態への遷移対応 ・前方カメラによる学習データ増加（性能向上） ・自動運転車両のハンドル角分解能(ばらつき大)および目標減速度への追従性対応 ・インフラ監視機器の費用対効果の検討 ・インフラ監視機器の学習データ増加および自動運転装置との制御連携の課題抽出
	3-2 遠隔システムのセキュリティ対策	・ 系全体を俯瞰したサイバーセキュリティ対策 の分析・評価、及び実装可能な対策の実施
	3-3 遠隔システムのインターフェース改善	<ul style="list-style-type: none"> ・複数台車両の管理機能については機能開発完了したが、UIについて今後、評価し改善 ・コンソ参画機能とともに車載カメラ映像との連携、自動運行装置とのインターフェース部分充実 ・現地の通信状態に基づく、通信要件とMRMを自動運行装置に要求する判定基準を作成 ・遠隔監視システムのみでは遠隔監視者の実用的（現実的）対応が困難なユースケースに対し、遠隔支援系のシステム（遠隔アシスト、遠隔操作（運転）システム）の活用検討と、その場合の条件（技術、オペレータ）の概定
	3-4 通信システムのコスト削減、品質向上	・ 車両のインフラ連動に適用する通信システム の検討（V2IまたはV2C（クラウドまたはセンター接続））

これまでの実証を通じて、まだ、様々な課題が出てきている。レベル3の自動運転システムによる移動サービスの実運用まで達成したが、まだ、非常に限定された走行環境条件のもとである。そのため、今後は、遠隔監視のみ（レベル4）で自動運転サービスの実現に向けた取組が必要である。また、技術の確立のみならず、ビジネスとしての運用に向けて、遠隔監視者の役割や走行以外のタスクなどのあり方についても検討が必要である。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が必要である。多様なエリアや多様な車両による自動運転サービスを想定し、走行環境条件、運行条件に応じて仕様・機能を選定できる車両やシステムの開発が必要である。また、走行環境条件の類型化、事業モデル、インフラ・制度の構築によって、効率的な横展開を推進していく必要がある。ただし、安全性を追求すると車両コストが上がり、交通弱者の交通手段の確保等の目的が達成できないことになるため、走行環境条件や地域性との関係で、良いバランスが必要であり、車両やシステムのスリム化が必須である。これらにより、ドライバ不足の解消やコスト削減などの社会課題の解決を目指した無人自動運転サービスの実現を推進する。

5.3 技術開発のポイントと今後の展開

本事業において、テーマ1は、2カ年計画であり、以下のような令和3年度も含めて技術開発をポイントとして、令和4年度も継続していく予定である。

- 車両 OEM への供給センサや ECU(Electronic Control Unit)等を用いた供給メーカ、車両 OEM による高信頼、高耐久、経済性を考慮し量産化を目指した低速自動運転移動サービス用の自動運行装置、車両の開発
 - ▶ ソナー、ミリ波レーダー、カメラによるセンサーフュージョンの実装と検証
 - ▶ 自動運転レベル4に向けた遠隔監視やMRM(Minimal Risk Maneuver)に関する状態遷移を検討し、VCU(Vehicle Control Unit)、AD-ECU(Automated Driving-ECU)のソフトウェアとして検討、開発(実装は次年度)
 - ▶ インフラセンサとの連携の検討と実証評価
- 遠隔型の自動運転移動サービスに不可欠な通信システムに対する、映像通信の安定化・品質向上のためのマルチキャリアリンク方式を導入し、低遅延化としてプロトコルの改良開発を実施、また、低コスト化として通信回線の高効率利用のためのダイナミック・マルチリンク方式の開発や車載送信部のソフトウェアモジュール化の開発
- 複数車両の管制システムとして、4台の自動運転車両の運行想定にも耐えうる管制アルゴリズムと UI(User Interface)の開発と他の交通とのリンクを考慮した MaaS API(Application programming interface)の開発 (MaaS APIは次年度予定)

これらの開発と、他の地域への横展開を考慮した事業モデルの整理などを通じ、レベル4の車両、システム等の開発を進め、レベル4に関連する認可や許可をクリアしていき、自動運転移動サービスの現地でのサービス実証等を進め、社会実装を実現していく予定である。

—禁無断転載—

経済産業省委託

令和3年度

「無人自動運転等の先進 MaaS 実装加速化推進事業
(自動運転レベル4等先進モビリティサービス研究開発・
社会実証プロジェクト(テーマ1))」
報告書

令和4年3月

発行 国立研究開発法人産業技術総合研究所
情報・人間工学領域
茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第二