

令和4年度
「無人自動運転等のCASE対応に向けた実証・支援事業
(自動運転レベル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))」

報告書

令和5年6月

(委託先)
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4年度

「無人自動運転等のCASE対応に向けた実証・支援事業 (自動運転レベル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 事業モデルの展開・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1
 - 2.1.1 レベル4での運用を想定したリスクアセスメントのまとめ・・・・・・・・1
 - 2.1.2 事業モデル及び運行シナリオの整理と他地域展開・・・・・・・・10
 - 2.1.3 関係者間の役割と責任区分のまとめ・・・・・・・・・・・・28
- 報告書付録資料①「無人自動運転移動サービスにおけるリスクアセスメントとリスクアセスメントシートについて」・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・35
 - リスクアセスメントシート(永平寺町事例シート)・・・・・・・・・・・・46
 - リスクアセスメントシート(サンプル、参照シート)・・・・・・・・・・・・50
- 報告書付録資料②「無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の整理について」51
 - I. 無人自動運転移動サービス「プロセス毎責任区分シート」・・・・・・・・57
 - II. 無人自動運転移動サービス「役割毎集約シート」・・・・・・・・・・・・58
 - III. 無人自動運転移動サービス「法令等明細シート」・・・・・・・・・・・・59

第3章 運行条件の整理、評価

- 3.1 1:Nの拡大や他のタスクとの併用の実証評価・・・・・・・・・・・・1
 - 3.1.1 遠隔監視での1:Nへの拡大に対する要件の整理・・・・・・・・・・・・1
 - 3.1.2 遠隔監視での1:4の想定や他のタスクとの併用の実証評価・・・・・・・・4
- 3.2 走行以外のタスクの対応に係る体制の構築・・・・・・・・・・・・14
 - 3.2.1 走行以外のタスクの対応の実証評価と体制の構築・・・・・・・・・・・・14

第4章 車両、システムの開発

4.1	車両、システムの高度化	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人工物に限定した高精度地図の作成	1
4.1.2	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	14
4.2	車両の開発	20
4.2.1	ベース車両	20
4.2.2	上位コントローラからの速度制御	21
4.2.3	定点フェールセーフ	21
4.3	自動運転システムの開発	22
4.3.1	自動運転システム	22
4.3.2	自動運転車載システム	34
4.3.3	路側機システム	115
4.4	遠隔システム、管制システム	165
4.4.1	遠隔システム、管制システムの構成	170
4.4.2	遠隔システム・管制システムのセキュリティ対策	177
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	193
4.4.4	運行管理システム	224
4.4.5	通信システムのコスト削減、品質向上	234

第5章 まとめ

5.1	令和4年度（2022年度）の成果のまとめ	1
5.1.1	永平寺町レベル4自動運転移動サービス用車両と遠隔監視室	1
5.1.2	レベル4自動運転移動サービスの社会実装に向けた主な法制度面等の対応	3
5.1.3	自動運転移動サービスに対する政府目標との関係	5
5.2	令和4年度事業で得られた課題	5
5.3	今後の展開	6

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。なお、本取組は、令和4年度（2023年3月31日）までのプロジェクトであったが、自動運転移動サービスの実現として、関連する法制度の施行や改正後の許認可を受け、永平寺町において地域の運行事業者による本格運行が行われるところまでを想定し、2023年6月30日まで延長されている。

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・社会実証プロジェクト」研究開発・社会実証計画（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（Lv4）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、Lv3）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、2021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Lv3の事業化が先行している地域であり、遠隔監視のみ（Lv4）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 Lv3 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 Lv2 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 Lv4 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Lv3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

本事業は、2021年度から2022年度までの二ヵ年の予定で開始されており、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。

以下の図に、現状と目標と課題を示す。

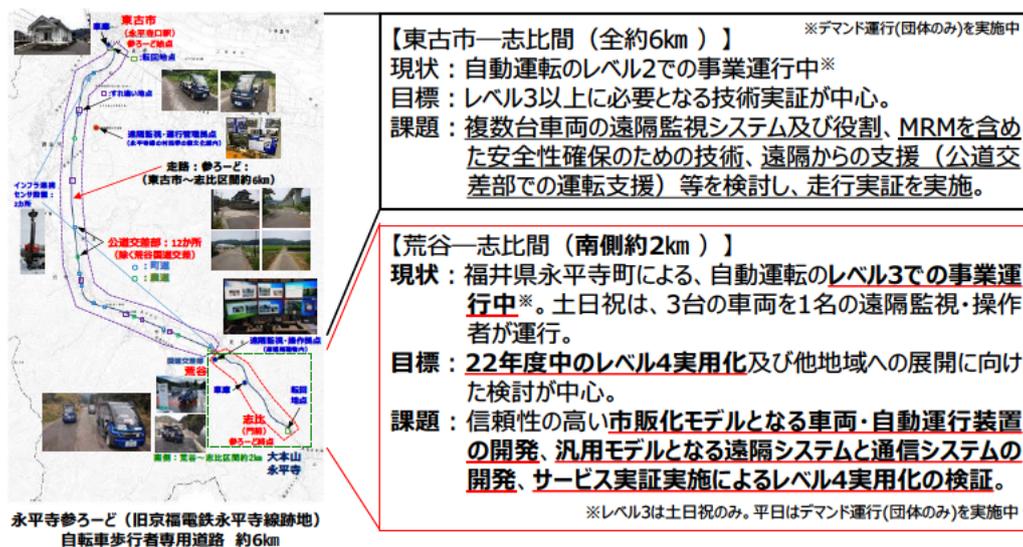


図 1.2-1 現状と目標と課題

1.4 事業実施体制

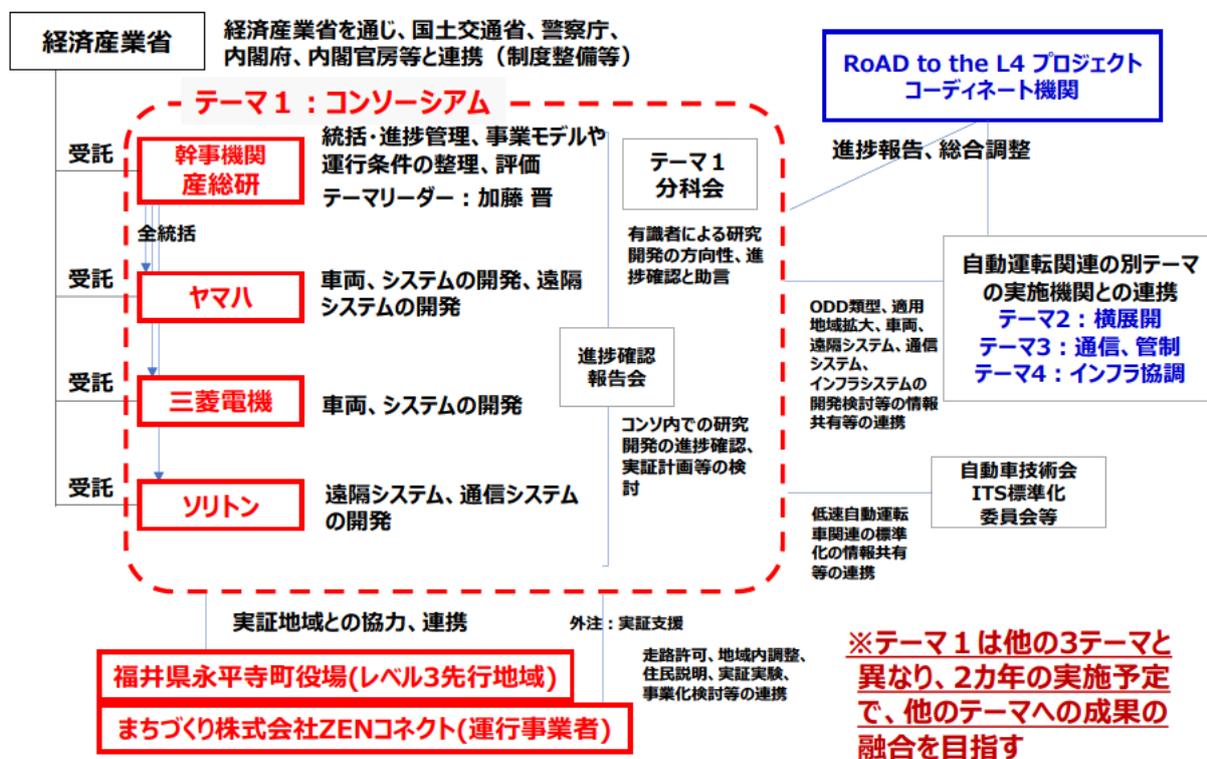
本事業は、産総研が全体の取りまとめ役となり、各事業内容の項目に対して、高い知見や研究開発能力を持つ機関を主体とした共同提案の体制を組んで実施する。ただし、本事業は、各事業内容の項目は、相互に深く関連し、連携が必要であることから、参加する全機関とのコンソーシアム形式とし、連携して成果の最大化に留意して行う。また、プロジェクト全体の推進に関しては、外部有識者や関連事業者、経済産業省、国土交通省等の関係省庁等を含むテーマ1の分科会を設置し、開発計画や開発状況の確認や助言をいただきながら、推進するものとする。

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、2021年度と同様に実証地域として、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、地域の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、目標であるレベル4自動運転移動サービスの実現を、永平寺町やまちづくり株式会社 ZEN コネクトによる本格運行の開始に至るまでを目指すこととする。

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、リスクアセスメントや関係者の役割や責任区分の整理、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についての情報共有を行って連携し、テーマ1の成果が活用されるように努める。また、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。体制は2021年度と同様である。



1

図 1.2-2 2022 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4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 事業モデルの展開

2.1 事業モデルの展開

本章では、事業性モデルの展開として、レベル4の自動運転による移動サービスを安全に運営するため、事前調査となるリスクアセスメント、事業モデルやステークホルダーの責任境界の整理及びリスクアセスメントに基づくリスク低減を図りながら運行条件を整理し、必要な初期・運用コストを含めた上で事業モデルが成立するか検証した。

2.1.1 レベル4での運用を想定したリスクアセスメントのまとめ

2.1.1.1 リスクアセスメント

レベル4無人自動運転移動サービスにおけるリスクアセスメントについて、リスクアセスメント手法やリスク算出手法や評価項目の設定、洗い出しの観点などを説明・解説し、リスクの洗い出し結果やリスクアセスメントに用いるリスクアセスメント関連シートから構成する。

・リスクアセスメント

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

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

D：事故・ヒヤリハット防止の対策の実施

C：実施した対策の効果の検証

A：検証結果をもとに、追加対策などの実施

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

・リスク

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

リスク（R）＝「危害のひどさ（S）」×「危害の発生確率（Ph）」

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

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

・リスクアセスメント手法

リスクアセスメント手法には、以下の表に示すように様々な手法がある。今回は、リスク点数の算出式として、リスク低減効果が反映しやすく、「危害の酷さ」と「被害の発生確率」を組み合わせた「ハイブリッド法」を採用した。

表 2.1.1-1 様々なリスクアセスメント手法の概要

手法	内容	特徴
加算法	リスク評価項目毎の評価点を加算し、合計点をリスク評価点としてリスクレベルを決定。	<ul style="list-style-type: none"> 日本では多く利用される リスク評価項目の増減が容易。 リスク低減効果が見えにくい
積算法	リスク評価項目毎の評価点を積算し、合計点をリスク評価点としてリスクレベルを決定。	<ul style="list-style-type: none"> 加算法の変形。 リスク低減効果は加算法より反映しやすい。
マトリクス法	「危害のひどさ」と「危害の発生確率」に係わる副要素を、縦・横2軸の評価軸の組み合わせで示されるリスク評価点でリスクレベルを決定。	<ul style="list-style-type: none"> リスク低減方策実施前後の比較が容易。 適用できるリスク要素に限界あり。
リスクグラフ法	リスク評価項目毎に評価の分岐経路を定め、最終的にリスクレベルを導く。	<ul style="list-style-type: none"> 比較・妥当性確認が容易。 リスク評価項目の評価分類は多くはできない。
ハイブリッド法	スコアリングとマトリクスの特徴を兼ね備えている。リスク評価項目毎の評価点を加算法と積算法を組み合わせ、合計点をリスク評価点としてレベルを決定。	<ul style="list-style-type: none"> スコアリングで評価するパラメーターについては重み付けがはっきりする。 マトリクス部の選択には経験や知識を要する。 マトリクスよりは網羅性が広い。

ハイブリッド法におけるリスク算出と評価項目の設定詳細については、本章の付録資料①の「無人自動運転移動サービスにおけるリスクアセスメントとリスクアセスメントシートについて」(P6) (第2章 - 37)を参照されたい。

2.1.1.2 リスク洗い出しの観点：事故・ヒヤリハットの原因

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

1. 自然

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

2. 人工物

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

3. 人間

- 装置や器具の操作を適切に行わない、自動車で歩行者をはねるなど、人間自身の行動に起因するもの（ヒューマンエラー）

あらゆる事故やヒヤリハットの原因には、人間が深く関係しており、これら事故やヒヤリハットをなくすためには、人間の問題を避けて通ることは言えないと考えられているため、自動運転車両の運用においても、車両の設計や走行システムや遠隔監視システムの取り扱いにおいて人間の行動が介在するために、人間の行動を中心にリスクの洗い出しを進めることが重要である。

事故・ヒヤリハットの原因は、さまざまな要因が複雑に入り組んだ結果生じるものであるが、その要因の洗い出しの観点として、m-SHEL※や4M（5M）※といった切り口から洗い出すことが重要である。

※洗い出しの観点の詳細については、本章の付録資料①の「無人自動運転移動サービスにおけるリスクアセスメントとリスクアセスメントシートについて」（P7～10）（第2章 - 38, 39）を参照されたい。

これらの観点から、福井県永平寺町での自動運転車両の実証実験をサンプルに、運用や安全管理におけるプロセスを整理した上で、リスクを洗い出し、リスクアセスメントを実施している。また、付録資料に示すように様々な分析手法は存在するが、リスク評価や対策の検討を行う際にどの分析手法を用いるのかについては、事前に関係者間（ステークホルダー間）で合意を図っておくことが重要である。

2.1.1.3 リスクアセスメントシートの活用によるリスク評価

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

リスクアセスメントシートは様々なシートが存在するが、リスクを漏れなく洗い出すためには、運行プロセスを可能な限り細分化することが望ましい。以下に、福井県永平寺町で実施した際のリスクアセスメントシートを示すとともに、リスクアセスメントシートへの記載項目の具体的な内容を示す。

なお、リスクアセスメントは、一度のリスク評価で終わりではなく、リスクが許容できるようになるまでは、リスク低減対策(⑩対策内容・方針策に基づく)に対して、繰り返しリスク評価をすることになる。

表 2.1.1-2 リスクアセスメントシート構成

No.	区分	場所	プロセス	想定される不具合事象	原因事象	詳細原因	原因区分	危害の発生確率(対策前)	危害の発生確率(対策後)	対策内容・方針策	危害の発生確率(対策後)	回避(対策後)	リスク点数(対策後)	補注	
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯

番号	項目	番号	項目	番号	項目
①	区分	⑦	原因区分	⑬	危害の酷さ(対策後)
②	場所	⑧	危害の酷さ(対策前)	⑭	発生の確率(対策後)
③	プロセス	⑨	発生の確率(対策前)	⑮	回避(対策後)
④	想定される不具合事象	⑩	回避(対策前)	⑯	リスク点数(対策後)
⑤	原因事象	⑪	リスク点数(対策前)		
⑥	詳細原因	⑫	対策内容・方針策		

・リスクアセスメントシート の項目と概要の例

洗い出したリスクの整理や評価（リスクアセスメント）を行うにあたっては、「リスクアセスメントシート」を活用することが一般的である。以下にリスクアセスメントシートへの記載項目と概要の例を示す。

表 2.1.1-3 リスクアセスメントシートへの記載項目と概要の例

項目		概要例
①区分		運行における流れを「運行開始前」「運行中」「運行後」「運行管理」「緊急時対応」の5つの区分に整理
②場所		「区分」での5つの区分毎に業務を実施する場所や場面について記載
③プロセス		日常業務について、具体的なタスクを記載
④想定される不具合事象		特にプロセス毎に発生しうると考えられる、故障やトラブル、エラー事象について記載
⑤原因事象		「不具合事象」で列挙したエラー事象の原因やエラーにつながる行為を記載
⑥詳細原因		「原因事象」で記載した行為について、考えられる原因を具体的に記載
⑦原因区分		「詳細原因」の記載内容を「ヒト(本人)」「ヒト(他人)」「ハード」「ソフト」「環境」「マネジメント」別に分類
⑧危害の酷さ		詳細原因が発現し、不具合事象が発生することで、実証実験や社会実装に与える影響を「人身傷害」、「財物損壊」、「運行(サービス)遅延・停止」の3つの観点から4段階で点数を記載。
⑨危険の発生確率	頻度	実証実験等で確認された、あるいはされなかった事象を踏まえ、「頻繁」、「時々」、「まれ」の3段階で点数を記載。
	確率	実証実験等で確認された事象を踏まえ、「高い」、「起こり得る」、「起こりがたい」、「まれ」の4段階で点数を記載。
	回避	環境要因(天候不順、災害)などの回避が困難なリスク事象は、不可抗力的要素が強くあり、回避困難と判断、3点と評価。対策等で回避が可能なリスク事象については1点と評価
	計	「頻度」「確率」「回避」の点数の和を記載
⑩リスク点数		「危害の酷さ」と「危険の発生確率」の計を掛け合わせた値を記載
対策内容・方針案	リスク低減	リスクの発生する可能性や万が一リスクが発現した際の結果(影響や被害)を軽減する対策を記載
	リスク回避	リスクが発生する可能性を排除する対策やリスクの潜在的な要因(ハザード)を除去する対策を記載

・リスク点数の配分

リスク点数の算出には、対象とするシステムや環境、運用に対するリスク評価の経験やノウハウに基づいて、危害の酷さや発生確率に関して点数を配分することが一般的である。

以下に福井県永平寺町での運行を想定したリスク点数の配分例を例示する。リスク点数の配分は、保険会社及びリスクコンサルタント会社の知見とノウハウで設定したものである。

配分にあたっては、事前に関係者間（ステークホルダー間）で調整・合意を図っておくことが重要である。

表 2.1.1-4 リスク点数の配分例（福井県永平寺町での運行を想定）

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

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

・対応するリスク領域の設定

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

優先的に対応するリスクかどうかについて、①リスクが低減できない場合、許容できない領域（リスク）②許容できる最小リスクまで低減することを推奨する領域③受容可能な領域に分類することが望ましい。

これら優先して対応するリスク領域の設定にあたっては、事前に関係者間（ステークホルダー間）で調整・合意を図っておくことが重要である。

以下に福井県永平寺町での運行を想定して行ったリスクアセスメントの際のリスク領域の設定について例示する。

表 2.1.1-5 リスクアセスメントの際のリスク領域の設定（福井県永平寺町での運行を想定）

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

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

- ・リスクアセスメントシート事例

以下に福井県永平寺町での運行を想定して行ったリスクアセスメントにおける記入事例を示す。以下に示しているリスクアセスメントシートはその一部のみを示してあり、永平寺町での日々の自動運転車両の運用において、従事する要員が出社する段階から退社するまでの運用に関する運行プロセスを整理し、想定されるリスクについての洗い出しとその評価を行ったものである。

リスクアセスメントシート（永平寺町事例シート）（本章の付録資料（第2章 - 46～49））において、福井県永平寺町のリスクアセスメントにおける事例としてのリスク点数の算出、点数配分、リスク領域の設定について示している。これらの検討と設定は、対象とするシステムや環境、運用に対すリスク評価の経験やノウハウを持っている保険会社やリスクコンサルタント会社が、現地調査やヒアリングなどを行って作成し、リスク対策や回避についてはシステム開発者などの関係者で協議検討した事例である。このような対策とリスク評価を繰り返し、運行事業者として許容できる点数までリスクを下げていくことで、運行の安全性を確保できるようになる。

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

表 2.1.1-6 リスクアセスメントシートの記入例

No.	区分	場所	プロセス	想定される不具合事象	原因事象	詳細原因	原因区分	リスク評価 (対策前)					対策内容・方針案 (以下はあくまでも例) ※対策は損害の低減、回避 (予防)、受容、移転等観点から検討する	リスク評価 (対策後)					補足 (以下はあくまでも例)
								危険の 態さ (影響) S	危険の発生 頻度 P (影響) F	危険の発生 確率 R (影響) Ps	リスク点数 R	危険の 態さ (影響) S		危険の発生 頻度 P (影響) F	危険の発生 確率 R (影響) Ps	リスク点数 R			
																	計	回	
1-1	運行開始前	出社	四季の森へ出社	遠隔監視員のうち1人以上が出社できない状態不良	機器の不具合	発熱、塵埃、埃	ヒト	1	5	2	1	5	※リスク点数が低くても絶対可能な限りはいつかの発生しを行い、リスク低減や回避の度合いがコストも加味して対策を決定していく。	1	5	2	1	5	
1-3				災害の発生	風水災		環境	3	5	1	1	3	※緊急時対応手順の作成；自然災害(予見可能-不可の場合) -緊急時対応手順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	3	5	1	1	3	15
1-4				災害の発生	地震		環境	4	5	1	1	3	※リスク低減 -リスク低減や回避の度合いがコストも加味して対策を決定していく。	4	5	1	1	3	20
1-5				点呼、アルコールチェック	点呼の結果、遠隔監視者が遠隔監視を継続できない状態(過失)	免許を自宅に忘れた	ヒト	1	4	1	2	1		1	4	1	2	1	4
1-9				遠隔監視システムの立ち上げ	遠隔監視システムが起動できなかった	所定の手順からの脱離 (過失)	ヒト	1	2	1	1	1		1	2	1	1	1	2
1-13				遠隔監視システムの立ち上げ	遠隔監視システムが起動できなかった	所定の手順からの脱離 (過失)	ヒト	1	2	1	1	1		1	2	1	1	1	2
1-14				遠隔監視システムの立ち上げ	遠隔監視システムが起動できなかった	所定の手順からの脱離 (過失)	ヒト	1	2	1	1	1		1	2	1	1	1	2
1-15				遠隔監視システムの立ち上げ	遠隔監視システムが起動できなかった	所定の手順からの脱離 (過失)	ヒト	1	2	1	1	1		1	2	1	1	1	2
1-16				遠隔監視システムの立ち上げ	遠隔監視システムが起動できなかった	所定の手順からの脱離 (過失)	ヒト	1	2	1	1	1		1	2	1	1	1	2
1-17				遠隔監視システムの立ち上げ	遠隔監視システムが起動できなかった	所定の手順からの脱離 (過失)	ヒト	1	2	1	1	1		1	2	1	1	1	2
1-18				遠隔監視システムの立ち上げ	遠隔監視システムが起動できなかった	所定の手順からの脱離 (過失)	ヒト	1	2	1	1	1		1	2	1	1	1	2
1-19				遠隔監視システムの立ち上げ	遠隔監視システムが起動できなかった	所定の手順からの脱離 (過失)	ヒト	1	2	1	1	1		1	2	1	1	1	2
1-20				遠隔監視システムの立ち上げ	遠隔監視システムが起動できなかった	所定の手順からの脱離 (過失)	ヒト	1	2	1	1	1		1	2	1	1	1	2
1-21				遠隔監視システムの立ち上げ	遠隔監視システムが起動できなかった	所定の手順からの脱離 (過失)	ヒト	1	2	1	1	1		1	2	1	1	1	2
1-22	運行中	車庫	車庫より出庫	車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-23				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-24				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-25				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-26				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-27				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-28				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-29				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-30				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-31				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-32				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-33				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-34				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-35				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-36				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-37				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-38				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-39				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-40				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-41				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-42				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-43				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-44				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-45				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-46				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-47				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-48				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-49				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-50				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-51				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-52				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-53				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-54				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4
1-55				車庫が所定の場所になかった	所定の手順からの脱離 (過失)	保護場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1		2	4	1	2	1	4

・リスクアセスメント結果の活用例

自動運転移動サービスの社会実装の促進のためには、「想定される不具合事象」や「原因事象」にどのような責任が発生するのか、誰がその責任を負うのか、など関係者間の役割や法的責任等について検討を進めていく必要がある。

リスクアセスメント結果を活用し、抽出したプロセス毎の「想定される不具合事象」や「原因事象」「詳細原因」を基に、「プロセス毎の責任区分」や「役割毎の責任」、またその根拠となる法令についての整理と合せ込むことで責任を事前把握することが可能となる。福井県永平寺町での遠隔監視による自動運転移動サービスの想定におけるリスクアセスメント結果の活用例については、以下で説明する責任境界を参照されたい。

2.1.2 事業モデル及び運行シナリオの整理と他地域展開

2.1.2.1 事業モデル及び運行シナリオの整理

リスクアセスメントの実施、また実証等の結果に鑑み事業モデル・運行シナリオの見直し検討を実施した。また、リスクアセスメントによる評価の結果、アセスメント基準において高いリスク点数となった対応優先リスク其々に対し、リスク低減及び回避手段の検討を行った。

表 2.1.2-1 高いリスク点数となった対応優先リスク（福井県永平寺町での運行を想定）

プロセス	詳細原因	リスク低減対策・方針	リスク回避策・方針
四季の森へ出社	地震	<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 	
車庫より出庫	風水災による水没	<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 	<ul style="list-style-type: none"> 風災水害が見込まれる際の車両避難先の特定
車庫より出庫	火災（建屋、車両）	<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 	
走行ルート確認	舗装の劣化・破損（電磁誘導線に影響あり）	<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 	<ul style="list-style-type: none"> インフラ破損時にシステム側にてアラート発出
停留所へ停車	完全に停車する前に立ち上がり転倒	<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 	
停留所へ停車	停留所付近にいた第三者と接触	<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 	
車両から降車	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 	
車両から降車	降車中に車両が動く	<ul style="list-style-type: none"> 降車時確認手順の作成 	
初動対応	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 	
初動対応	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	<ul style="list-style-type: none"> 離席時代替要員の配置 	<ul style="list-style-type: none"> 運行時の遠隔監視者離席の禁止
初動対応	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 	<ul style="list-style-type: none"> 代替手段対応事業者の事前確保（交渉）の実施
初動対応	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"> 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 	<ul style="list-style-type: none"> 代替手段確保に要する所要時間の定期的な検証と見直し
被害者対応	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 	<ul style="list-style-type: none"> 責任境界不明な場合に一次対応が可能な保険付保 求償対応の整理
感染者判明	新型コロナ	<ul style="list-style-type: none"> 感染症対策マニュアルに沿った対応 	

抽出した対応優先リスクは下記の通りであるが、事態に対応するにあたり総じて「手順の作成」などが重要であることから、同リスクに知見を有する専門会社等と連携し進めてゆくことが肝要であると思われる。

(1) 事業モデルの検証

リスクアセスメントを通じて顕現化したリスク事象に対して、事業モデルの責任境界の検討を永平寺町での自動運転による移動サービスを基にして行う。

1) 前提となるステークホルダー体制

永平寺町での自動運転による移動サービスの運行においては、ステークホルダーで記述の通り大きく以下の役割を規定した。

運行サービス事業者
自動運行装置等製造事業者
整備・修繕事業者
道路・道路施設管理者
通信事業者
保険事故対応（保険会社）

2) 事故時発生リスクおよびコスト受容性

責任境界のプロセス毎責任区分で触れた通り、事故に関しては「原因区分」「不具合原因者」がありその結果として「損害の形態」と「責任の種類（民事、刑事、風評等）」が発生する。今次のプロセス毎区分においては原因区分と不具合原因者、想定される保険を以下の通り整理した。

想定される保険の考え方については次項3) リスク移転手段の検討において説明する。

表 2.1.2-2 原因区分と不具合原因者、想定

原因区分	不具合原因者	行為責任の種類（民事）	想定される保険
ソフト（システム）	自動運行装置等製造事業者（システム／車両）	製造物責任	PL 保険（製造物賠償責任保険）・サイバー保険
ソフト（マニュアル）	運行サービス事業者（特定自動運行実施者）	運行供用者責任（人）・不法行為責任（物）	自動車賠償責任保険・自動車保険
ハード（車両）	運行サービス事業者（特定自動運行実施者） 自動運行装置等製造事業者（車両） 整備修繕業事業者	運行供用者責任（人）・不法行為責任（物） 製造物責任 製造物責任	自動車賠償責任保険・自動車保険 PL 保険（製造物賠償責任保険） PL 保険（製造物賠償責任保険）
ハード（遠隔システム）	自動運行装置等製造事業者（システム）	製造物責任	PL 保険（製造物賠償責任保険）・サイバー保険
ハード（その他）	運行サービス事業者（特定自動運行実施者） 道路・道路施設管理者	不法行為責任 営造物責任	自動車賠償責任保険・自動車保険 道路賠償保険（施設賠償責任保険）
通信	通信事業者	債務不履行責任	—
ヒト（遠隔監視員／特定自動運行従事者）	運行サービス事業者（特定自動運行実施者） 運行サービス事業者（特定自動運行主任者）	運行供用者責任（人）・不法行為責任（人・物）	自動車賠償責任保険・自動車保険
ヒト（補助員／特定自動運行従事者）	運行サービス事業者（特定自動運行実施者）	運行供用者責任（人）・不法行為責任（人・物）	自動車賠償責任保険・自動車保険
ヒト（利用者）	利用者	—	—
ヒト（第三者）	第三者（歩行者、ハッカー等）	—	（ハッカー：サイバー保険）
環境	その他（自然起因）／電力会社	—	—

3) リスク移転手段の検討

リスクの結果発生する責任及び損害を「民事」「刑事」と分けた場合、コストの対価としてリスクを移転することが可能なのは民事責任である。ただし、事業者の故意や犯罪行為、および巨大地震等の甚大な被害をもたらす自然災害などの場合にはリスク転化による民事責任を果たすことができない可能性があることに留意する必要がある。

また、刑事責任に関しては日本において原則としてリスク転化する手段が選択し得ないため、検討の対象としないこととする。

この他、事業者への風評リスクへの責任対応も検討しうるが、民事・刑事責任に付随して発生する場合は概ね想定されるため、今回は民事責任に限定してリスク移転手段を検討する。

(1) 保険によるリスク転嫁

民事責任に関しては、対応策の主なものとして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損害保険（自動車保険）

・運行サービス事業者

補償の対象：対人補償、対物補償、自車両補償、搭乗者傷害補償等）

現時点の基本的な考え方

－自動車賠償責任保険（自賠責保険：賠償は対人事故のみ）

（レベル4までが混在する過渡期における考え方）

自動運転にかかる制度整備大綱で、対人賠償を賄う自賠法においては、「自動運転システム利用中の事故により生じた損害についても、従来の運行供用者責任を維持する」こととされている

－自動車保険

（対人事故）自賠責保険に準じる予定

（対物事故）民法等、法律上の損害賠償責任に対し補償提供の可能性

※今後の事故事例の蓄積による

（不正アクセス等に起因する対人・対物事故）特約（被害者救済特約等）

により補償提供の可能性（保険会社毎に決定）

－その他

（自動運転中の故障等に伴う、乗客の経済損）特約により代替交通費を補償できる可能性（保険会社毎に決定）

②手配を要する損害保険（自動車保険以外）

・自動運行装置等製造事業者（車両、システム）

現時点の基本的な考え方

被害者に対しては、主に自動車保険の引受保険会社から保険金を支払い、当該保険会社から本来の責任主体へ求償されるケース等が想定される

－PL 保険（製造物賠償責任保険）

（対人・対物事故）製品または製品と一体となっているソフトの不具合等に起因する事故の場合に、支払対象となる可能性

－サイバー保険

（対人・対物事故）不正アクセス等に起因する事故の場合に、支払対象となる可能性(保険会社毎に決定)

・整備修繕業事業者

現時点の基本的な考え方

被害者に対しては、主に自動車保険の引受保険会社から保険金を支払い、当該保険会社から本来の責任主体へ求償されるケース等が想定される

－PL 保険（製造物賠償責任保険）整備業務の結果に起因する事故の場合に、支払対象となる可能性

・道路施設管理者

現時点の基本的な考え方

被害者に対しては、主に自動車保険の引受保険会社から保険金を支払い、当該保険会社から本来の責任主体へ求償されるケース等が想定される

－道路賠償保険（施設賠償保険）で補償できる可能性

・通信事業者

保険以外（通信キャリアによる通信約款）での対応が一般的

(2) レベル4による運行を想定した他地域への展開の検討

1) リスクアセスメント結果および事業モデル、運行シナリオの観点からの他地域への適用可能性

以下において自動運転サービスにおける事業モデルやステークホルダーの観点から責任境界について整理し、リスクアセスメント結果を踏まえ事業モデルや運行シナリオの整理を行った。

① リスクアセスメント結果からの適用可能性

昨年度実施したリスクアセスメントにて整理した分析・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。

以下に、リスクアセスメント結果およびリスク低減・回避策について示す。

表 2.1.2-3 リスク事象 (A 領域) とリスク対策

詳細原因	リスク低減対策・方針	リスク回避策・方針
地震	<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 	
風水災による水没	<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 	<ul style="list-style-type: none"> ・風災水害が見込まれる際の車両避難先の特定
火災 (建屋、車両)	<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 	
舗装の劣化・破損 (電磁誘導線に影響あり)	<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 	<ul style="list-style-type: none"> ・インフラ破損時にシステム側にてアラート発出
完全に停車する前に立ち上がり転倒	<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 	
停留所付近にいた第三者と接触	<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 	
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 	
降車中に車両が動く		
遠隔監視者が現場に駆け付け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	運行時の遠隔監視者離席の禁止
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 	代替手段対応事業者の事前確保 (交渉) 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"> ・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 	代替手段確保に要する所要時間の定期的な検証と見直し
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 	<ul style="list-style-type: none"> ・責任境界不明な場合に一次対応が可能な保険付保 ・求償対応の整理
新型コロナ	感染症対策マニュアルに沿った対応	

抽出したリスク及びリスク低減策・回避策におけるの妥当性や有効性の観点から永平寺町や運行主体であるまちづくり株式会社 ZEN コネクトについてヒアリングを行ったが、概ね妥当性や有効性について問題ない旨の回答を得ることができたため、他地域における展開については問題ないと考えられる。

②事業モデル、運行シナリオの観点からの適用可能性

永平寺町における事業モデル及びステークホルダーの役割については以下のように整理することができる。

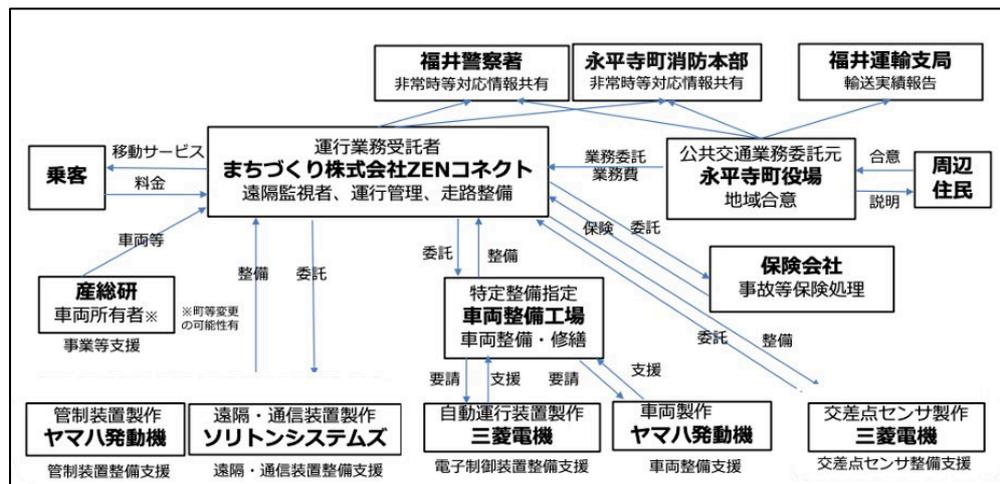


図 2.1.2 永平寺町における事業モデル

永平寺町のような自家用有償旅客運送事業における事業モデルにおいては、運行業務を受託するまちづくり株式会社 ZEN コネクトと公共交通業務委託をする永平寺町役場が事業モデルの中核を担うこととなり、そのサービスの維持において遠隔システム、管制装置やセンサ類といった各種メーカーや車両整備工場がそれぞれ運行業務受託者であるまちづくり株式会社 ZEN コネクトから受託・サービス維持の為の役務を提供するモデルとなる。

事故やトラブルといった非常対応の観点においては、事故発生や対応に関する情報や警察・消防や運輸支局へ連携する一方、事故後の保険処理（保険金対応）については保険会社と保険契約を結んだ上で、支援を受けるというモデルとなる。

自家用有償旅客運送事業における運行サービスに着目すると、運行シナリオは、以下のように整理することができる。

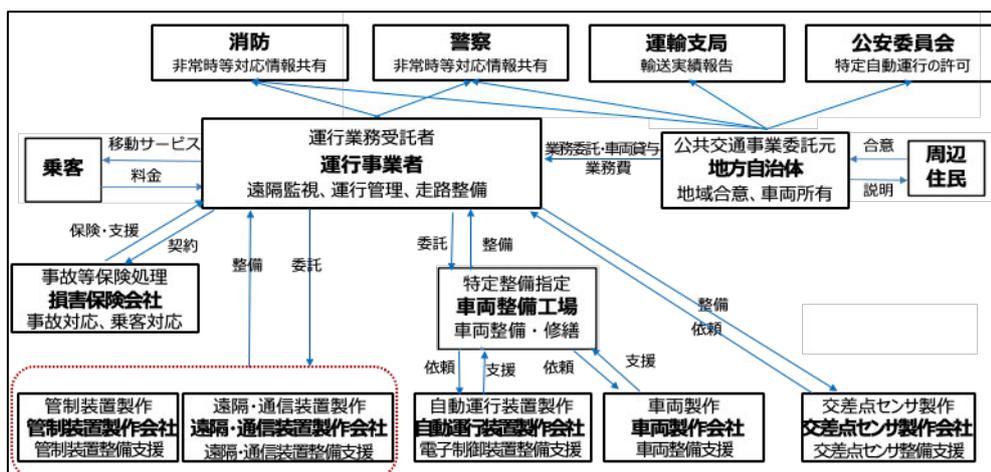


図 2.1.2.-2 地方自治体における自動運転車両による旅客輸送事業モデルの一例

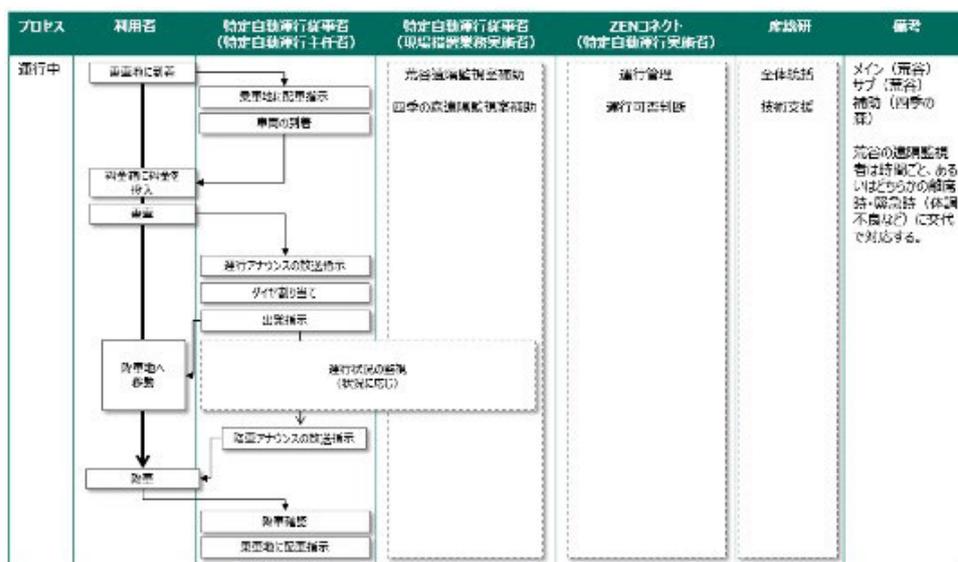


図 2.1.2-3 運行シナリオ (抜粋)

運行シナリオにおけるステークホルダーは利用者を除くと、運行業務受託者であるまちづくり株式会社 ZEN コネクト内においては、道路交通法第 75 条に基づき遠隔監視及び運行を担う特定自動運行主任者、事故やトラブルが発生した際の現場担当者として現場措置業務実施者、運行全体を管理する特定自動運行実施者の 3 者が少なくとも日々の運行シナリオにおいて関与することが考えられる（重複することも想定される）。

平常時の運行時には実質特定自動運行主任者と特定自動運行実施者の 2 者が運行に関与するが、事故やトラブルが発生した非常時においては現場措置業務実施者が現場へ赴き、受傷者を含む乗客や車両に対し必要最低限の安全確保措置を取ることが道路交通法で求められているが、発生確率が高くない非常時に備え常に現場措置業務実施者として要員を常勤させることについては、他地域への展開の観点からはコスト面から検討が必要と考えられる。現

場措置業務について外部機関（損害保険会社や警備会社）への委託や走行コース沿線の地域住民によるボランティアによる対応可否について検討することも必要である。

（3）道路構造及び走行環境の観点からの他地域への適用可能性

本項では、走行環境や走路状況に応じた制約について分析し、永平寺町と類似した地域等への横展開するにあたってのポイントの整理を行った。

A. 走行環境や走路状況による制約の分析

2021年度に永平寺町の走路（東古市停留所～荒谷停留所間）において、交通流や道路構造に着目し、調査を実施した。

以下に調査概要および調査結果の要約について記載する。

①調査概要

- 調査実施箇所

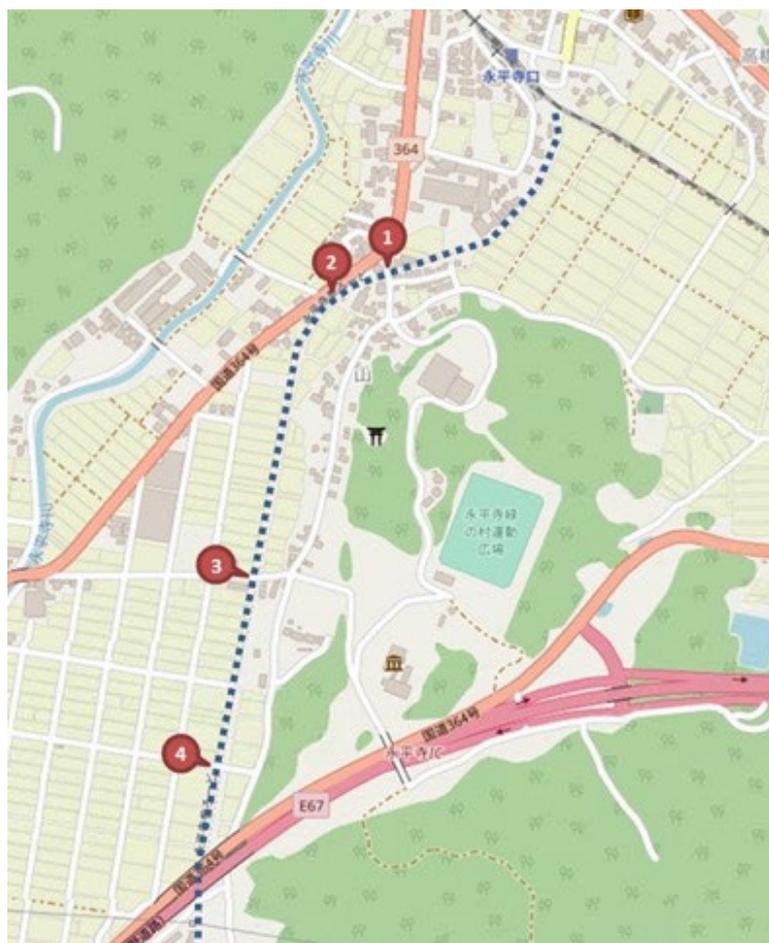


図 2.1.2-4 調査ルート①

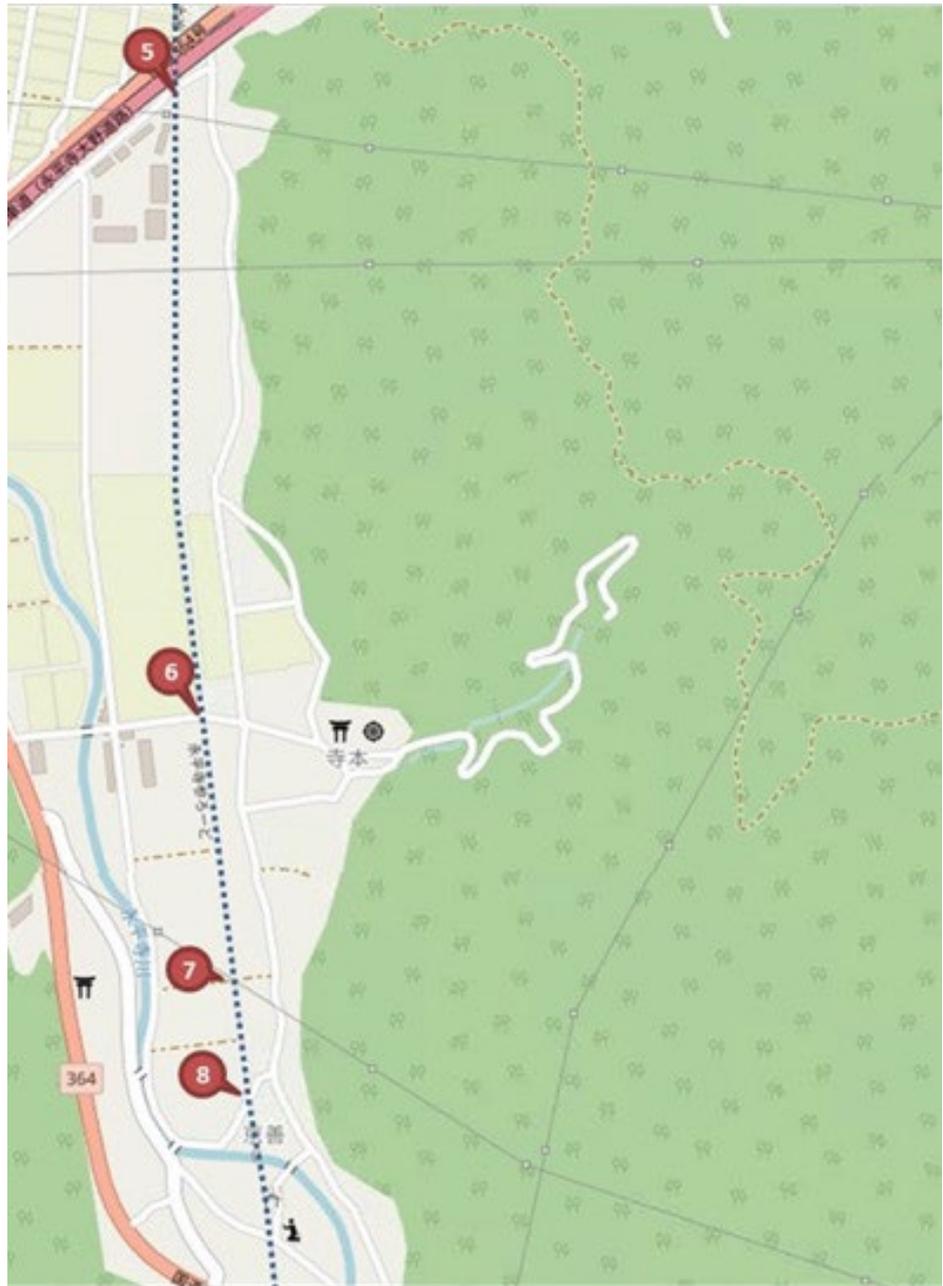


図 2.1.2-5 調査ルート②



図 2.1.2-6 調査ルート③



図 2.1.2-7 調査ルート④

②調査手法および調査項目

調査手法：	コンサルタントによる目視調査
調査項目：	<p>【交通流の観点】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・車両走行位置 ・歩行者/自転車/ランニング等、通行者の方向 ・交差車両の状況（有無・交通量・走行速度） ・乗降客の乗降位置 <p>【道路構造の観点】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・車路幅員の状況 ・舗装面の状況 ・GSM・乗降客からの死角の有無 ・路面標示の状況 ・注意喚起・案内表示の状況 ・ガードレール等防護柵の状況 ・遠隔カメラ、スピーカーの状況 ・斜面の状況 ・樹木の状況 ・落下物の有無

③調査結果の要約

・交通流の観点

16カ所の交差箇所において、自動車、歩行者、自転車等の交通流及び道路状況を確認した。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。

表 2.1.2-4 交通量および走行速度（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

・道路構造の観点

16カ所の交差点を含む調査ルート全体の道路構造の確認を行った。

多くの交差点や道路上において、道路構造上のリスクは確認されなかったが、一部の交差点においては自動運転車両の走路との交差点側から自動運転車両の視認を阻害する死角が生じる箇所が確認された。

また、教育機関に隣接している停留所においては、教育機関への通学生が停留所外の隣接する交差点内で車両を待つ場面が確認された。

B. 類似地域へ横展開する際のポイントの整理

永平寺町での閉鎖空間における走路と類似する地域へ横展開する際ポイントとしては、以下のことが挙げられる。

・交通流の観点

交通流の観点からは、実態を把握するために自動運転車両の運行日や時間を考慮し、事前に交通流に関する調査を実施することが考えられる。また、走行ルート周辺で大規模イベントなどが開催される施設（体育館や公園等）が立地している場合は、交通量が一時的に増加する可能性があるため、これらも考慮し交通流の実態を把握することも検討することが考えられる。

調査結果においては、自車の走行速度と交差点部における交差車両の実勢速度や交通量に着目し、実勢速度が速く交通量が多いと判断された場合は、横断部が確認できる遠隔カメラの設置や交差点側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板や回転灯の設置を検討することが考えられる。

また、上記のような道路インフラ側での対策が困難な場合は、横断時のみ遠隔監視システムを通じた手動走行を行うといった運用面での対応を検討することが考えられる。

・道路構造の観点

走行ルートとの交差点において、自動運転車側からの視点、交差車両や歩行者の視点からそれぞれの視認性の低下や視認を阻害する死角（障害物）を確認した場合は、主として交差点側に自動運転車両が走行する旨を記した注意喚起標識の設置や一時停止線の設置、交差点部をカラー舗装化するなどの対応を検討することが考えられる。

また、上記のような道路インフラ側での対策が困難な場合は、走行ルート周辺の地域住民を中心に、自動運転車両の走行時間帯や自動運転車両の特徴などを記載した案内チラシを配布するといった運用面での対応を検討することが考えられる。

事業モデルの見直し、再検討

前項 A、B.において、様々な観点から他地域への展開の可能性について検討を行ったが、それらの結果に基づき 2021 年度に産総研が検討を行った事業モデルを展開するためのパターン化参照モデルについて、他地域への展開の観点から再検討を行った。

2021 年度に検討を行った事業モデルの位置付けは、検討している自動運転車両におけるサービスにおいて、ビジネスモデル検討段階において参考となる事業環境や事業条件について整理したものであり、ビジネスを行う際に必要なプレイヤー（役割）や調整・確認事項の参考や、事業面におけるボトルネックの特定や収入・費用項目の検討の際に用いることを想定したものである。

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 ()	運行区間 拠点A～拠点B～拠点C～拠点D ルート延長 約〇km	利用目的 地域の空の確保 高齢者の移動支援 通勤・通学 観光交通 高齢施設連携 アトラクション 課題を解決 業務効率化 ()	地域内 地域住民 観光客 地域外 日帰り観光客 遠出観光客 主な利用者属性 小・中学生 高校生 大学生 労働者 子育て世代 高齢者 車いす利用者 障がい者 ()
関係機関 市区町村 担担 公共交通事業者 道路管理者 運輸管理者 ()	使用車両 自動運転レベル ノズ(中型) ノズ(小型) 乗用車 カート 運行台数 〇台 運行方法 定時運行 予約〇分間隔 予約に応じて定時運行 デマンド運行 決済方法 ICカード決済 QRコード決済 現金決済 利用料金〇円 返却券 定期券 運行ルート 定路線 自由経路 ドアtoドア 白ナンバー 緑ナンバー 自家用有償自動車 運行日時 月 火 水 木 金 土 日 運行時間 〇:〇〇~〇:〇〇 その他特記事項 ()	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 雇用の増加 交通安全性の向上 移動手段の選択性向上 他の施設との連携 ()	
サービス協力者 車両メーカー インフラ関連会社 まつくり金 コンサルタント ()			
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 () 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 ()		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 () 補助 自治体からの補助金等 寄付金 企業等からの寄付金 ()	

図 2.1.2-8 ビジネスモデル版パターン化参照モデル

前項 A、B.で検討を行った結果、サービス協力者について現在の分類の見直しが必要と考えられる。

具体的には、現場措置業務実施者の担い手として「地域住民」及び「損害保険会社」「警備会社」を追加することが望ましいと考えられる。

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 都道府県庁 公共交通事業者 まつくり会 国土交通省 道路管理者 交通管理者 (所轄警察) 道路管理者 地域自治体 () サービス協力 車両メーカー メンテナンス関連会社 インフラ関連会社 機器屋メーカー まつくり会 学識経験者 コンサルタント ()	サービス内容 運行区間 拠点A～拠点B～拠点C～拠点D 使用車両 自動運転レベル0 バス(中型) バス(小型) 運行方法 定時運行 <input type="checkbox"/> 予約に応じ定時運行 <input checked="" type="checkbox"/> 〇分間隔 <input type="checkbox"/> デマンド運行 決済方法 ICカード決済 <input type="checkbox"/> QRコード決済 <input type="checkbox"/> 現金決済 <input type="checkbox"/> 利用料金〇円 回数券 定期券 運行ルート 定路線 自由経路 ドアtoドア 自ナンバー 線ナンバー 自家所有車両 決定運行 運行形態 運行日時 月 火 水 木 金 土 日 運行時間 <input type="checkbox"/> : <input type="checkbox"/> ~ <input type="checkbox"/> : <input type="checkbox"/> その他特記事項 ()	提供価値 利用目的 通勤を楽に 貨物輸送 () 波及効果 周辺地域の利用者増加 周辺地域の収益増大 周辺コミュニティの活性化 外出機会を増加 賑わいの増加 交通安全性の向上 移動手段の選択性向上 他の交通との連携 ()	利用者 地域内 地域住民 周辺住民 地域外 日帰り観光客 遠出観光客 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 障がい者 ()
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 機器屋 設置費 安全対策 設置費 () 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 (公的費、通信費等) 広告費 ()	収入 施設収入 運営収入 広告収入 + フランチャイズ 他事業連携 による収入 () 補助 自治体からの補助金等 寄付金 企業等からの寄付金 ()		

「損害保険会社」「警備会社」
「地域住民」を追加

図 2.1.1-9 ビジネスモデル版パターン化参照モデル (追記案)

2.1.3 関係者間の役割と責任区分のまとめ

2.1.3.1 自動運転サービスにおける事業モデル及びステークホルダーの責任境界

永平寺町でのレベル4自動運転移動サービスにおける事業モデルを整理するにあたり実地立会調査、貴研究所資料、法令等を基にレベル4サービス提供における運用プロセスとステークホルダーの役割を作成した。

2021年度に比し2022年4月に公布された道路交通法改正案(以下道路交通法)を受け、特定自動運行実施者および特定自動運行従事者の役割が明確化されている。

なお、図表において法令等については報告書作成時点において施行済のものを基準としているが一部上記道路交通法などについては施行予定のものを反映している。

(1) 運用プロセス

レベル4サービス提供における運用プロセスの各実施項目洗い出しを行い以下の通りフローを作成した。

特定自動運行従事者の配置パターンとしては、荒谷に特定自動運行主任者1名、荒谷もしくは四季の森に事故対応を行う現場措置業務実施者1名の計2名を最小単位としている。また、荒谷に現場措置業務実施者を配置する場合には状況に応じ特定自動運行主任者と役割を変更することも想定している。

なお、今後、法令等解釈の明示に従い随時適切に見直し、運営する。

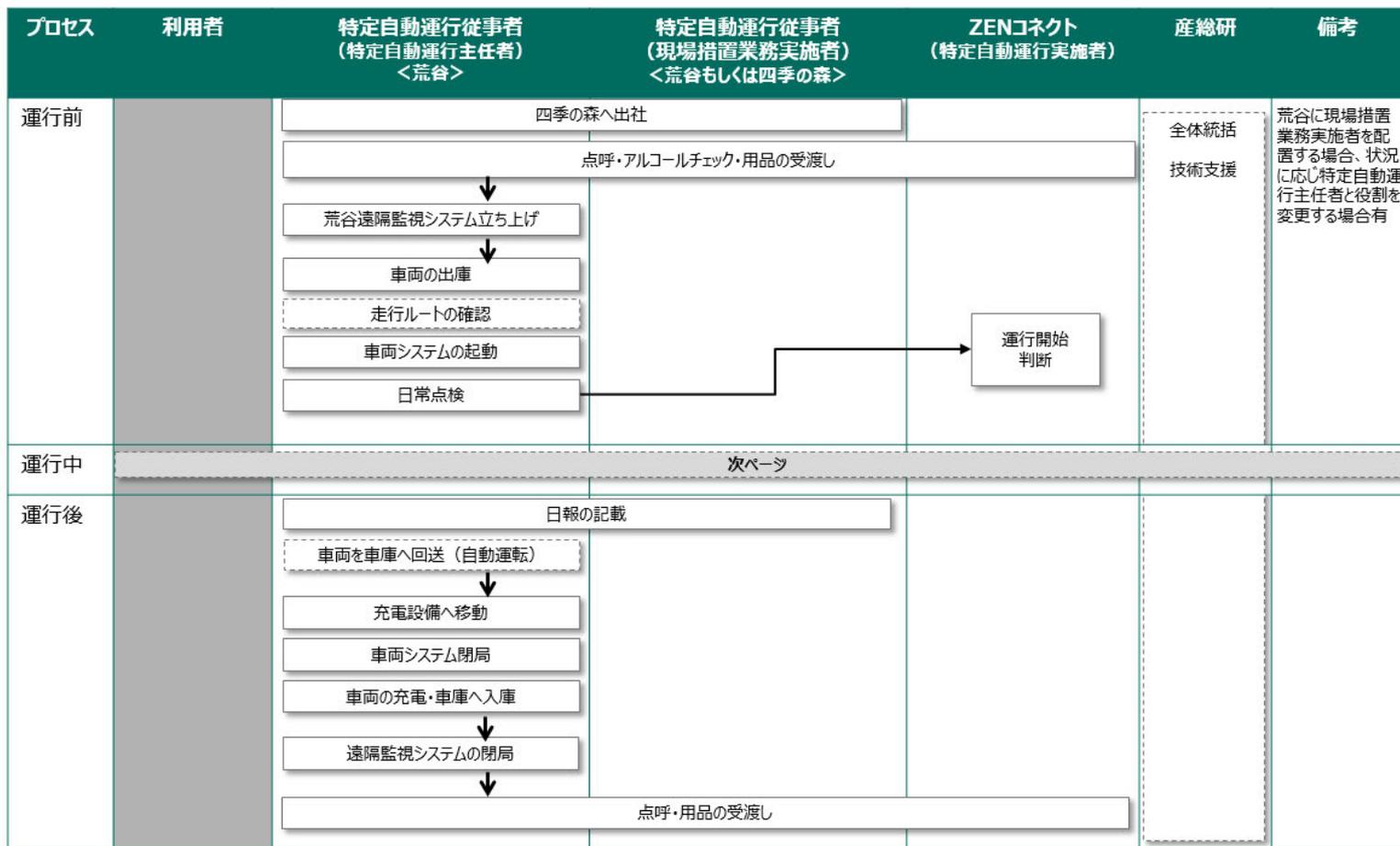


図 2.1.3-1 業務プロセス：運行前・運行後

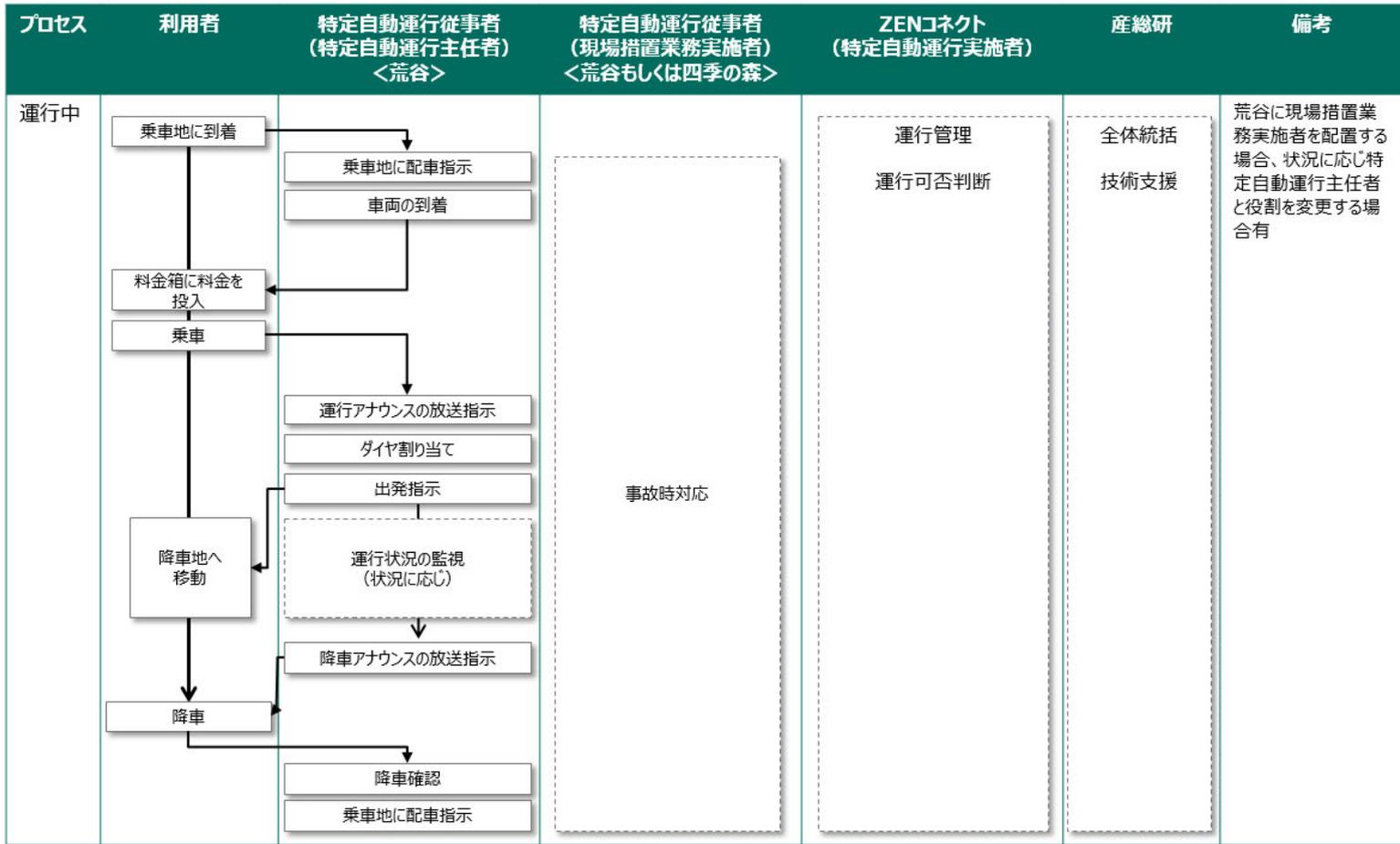


図 2.1.3-2 業務プロセス：運行中

①ステークホルダー

新たに無人自動運転移動サービスにおける責任境界を整理するにあたり、事業の役割を起点としたステークホルダーを記し、レベル4における想定事象例、想定される責任（可能性のあるもの）を根拠法とともに作成した。

道路交通法改正案においては運行サービス事業者のうち運行業務受託者を特定自動運行実施者、特定自動運行従事者に定義している。

また、特定自動運行従事者は特定自動運行主任者と現場措置業務実施者に役割が定義される。

表 2.1.3-1 ステークホルダーと想定される責任

役割		レベル4における想定事象例	想定される責任(可能性のあるもの)		
			民事(対人)		刑事/行政 根拠法
			責任	責任	
	公共交通業務委託元				
運行サービス事業	運行業務受託者 (特定自動運行実施者)	自動車事故について責任/過失がある	運行供用者責任 (自動車損害賠償保障法)	不法行為責任 (民法)	改正道路交通法 道路運送車両法 道路法 道路運送法
	運行業務受託者 (特定自動運行従事者)	自動車事故について責任/過失がある	運行供用者責任 (自動車損害賠償保障法)	(不法行為責任) (民法)	改正道路交通法
		自動車事故対応について責任/過失がある	不法行為責任 (民法)	(不法行為責任) (民法)	改正道路交通法
	車両所有者/事業等支援				
自動運行装置等製造	管制装置製作	製品欠陥	製造物責任 (製造物責任法)	製造物責任 (製造物責任法)	
	遠隔・通信装置製作	製品欠陥	製造物責任 (製造物責任法)	製造物責任 (製造物責任法)	道路運送車両法
	自動運行装置製作	製品欠陥	製造物責任 (製造物責任法)	製造物責任 (製造物責任法)	道路運送車両法
	車両製作	製品欠陥	製造物責任 (製造物責任法)	製造物責任 (製造物責任法)	道路運送車両法
	交差点センサ製作	製品欠陥	製造物責任 (製造物責任法)	製造物責任 (製造物責任法)	
整備・修繕	車両整備・修繕	整備瑕疵	(債務不履行) (民法)	(債務不履行) (民法)	道路運送車両法
道路・道路施設管理	道路施設補修・維持	道路等の管理瑕疵	営造物責任 (国家賠償法)	営造物責任 (国家賠償法)	道路法
通信	通信事業者	通信瑕疵		経済損失 填補責任 (通信約款 /契約書で規定)	
保険事故対応	保険事故対応	保険対象事故の発生	填補責任 (自動車損害賠償保障法/ 自動車保険約款)	填補責任 (自動車保険約款)	

②責任境界

2022年度新たにレベル4自動運転移動サービスにおける責任検討に際し、永平寺町のリスクアセスメントの事例に基づき、自動運転移動サービスのステークホルダーに係る法的責任を概観できるよう整理を行った。整理の手法として「プロセス毎」、「役割毎」、「法令等明細」の各観点から、民事・刑事等責任境界へのアプローチ手法を取りまとめている。

以下では「プロセス毎」、「役割毎」、「法令等明細」について其々の責任境界へのアプローチ手法について説明を行う。

法令について、現状の法令を暫定的に想定適用しているため、今後の法令改正、内閣府令等により異なる可能性があることを包含いただきたい。

A. プロセス毎

提供遠隔監視のみ（レベル4）自動運転サービス（以下「レベル4」）の運行プロセスを分解し、リスクアセスメント事例をもとに「不具合事象」「影響を受ける方」「原因」「事故原因者」「民事責任(対応可能性がある保険)」「刑事(行政)責任」について整理を行った。

レベル4実装時に想定される運行プロセスから不具合項目と対応を集約したリスクアセスメントシート（永平寺町事例シート）（例：本章の付録資料（第2章 - 46～49））を活用し、不具合事象（故障/事故等、永平寺町運行想定事例200程度）のうち、代表的な事象について表記した。

プロセスを始めとした各項目を検索することにより付随すると思われる事象、関係者、責任などを整理している。

なお詳細については、本章の付録資料のI. 無人自動運転移動サービス「プロセス毎責任区分シート」（第2章 - 57）を参照されたい。

表 2.1.3-2 プロセス毎責任区分

[内容例：停留所(出発時)、運行開始(発車許可)ボタン押下不良の場合]

場所	プロセス	想定される不具合事象	影響(何が起ったのか)	被害者(影響を受ける方)	原因事象	詳細原因	原因区分
停留所(出発時)	運行開始(発車許可)ボタンを押下	ボタンが押下できなかった(発車不能)	運行遅延/中断した	利用者	ECUがアリーズ	ECUの設計不備	ハード(遠隔S)
						ECUの故障	
						ECUの劣化	ハード(その他)
						ECU操作ミス	ヒト(遠隔監視員)
						通信途絶	通信

民事責任についての可能性考察						刑事・行政責任についての可能性考察		
不具合原因者	損害形態(経済損、人的、物的)	責任主体	根拠責任	根拠法令等(民事)	想定される保険商品	補足	責任主体	根拠法令等(刑事)
事業者(システムメーカー)	(経済損)利用者機会損失	自動運行装置	製造物責任	製造物責任法第3条		営業規則で免責記載判例でも責任を否認	自動運行装置	道路運送車両法第41条
		特定自動運行実施者	不法行為責任	民法第709条			特定自動運行実施者	道路運送車両法第47条
		特定自動運行主任者					特定自動運行主任者	改正道路交通法第75条
		通信事業者	通信事業者	債務不履行責任			民法第415条	通信事業者

B. 役割毎

遠隔監視のみ（レベル4）自動運転サービス（以下「レベル4」）における主な役割(player)毎に、想定事象と想定される責任を「民事(対人)」「民事(対物/機会損失)」「保険対応可能性」「刑事/行政」について整理を行った。

レベル4でのステークホルダーを起点とした責任について概観する場合に資するものとして整理した。

なお詳細については、本章の付録資料のII. 無人自動運転移動サービス「役割毎集約シート」(第2章 - 58)を参照されたい。

表 2.1.3-3 役割毎責任区分

[内容例：運行業務受託者（特定自動運行実施者）の場合]

役割	レベル4の自動運転移動サービスの社会実装で想定されるステークホルダーを記載※	レベル4における想定責任/過失事象例 (カッコ内は間接責任の可能性を示す)	想定される責任(可能性のあるもの)					
			民事(対人)	民事(対物/機会損失)	保険対応可能性		刑事/行政 根拠法	保険対応可能性 (対応商品)
			責任(根拠法)	責任(根拠法)	想定される保険商品	備考		
運行業務受託者 (特定自動運行実施者)		自動車事故について責任/過失がある	運行供用者責任 (自動車損害賠償保障法第3条)	不法行為責任 (民法第709条)	(対人)自賠責保険 自動車保険 (対物)自動車保険	<現時点の基本的な考え方> ・自賠責保険（レベル4までが混在する過渡期における考え方） 自動運転にかかる制度整備大綱で、対人賠償を賄う自賠責法においては、「自動運転システム利用中の事故により生じた損害についても、従来の運行供用者責任を維持する」とことされている ・自動車保険（対人事故）自賠責保険に準じる予定（対物事故）民法等、法律上の損害賠償責任に対し補償提供の可能性（今後の事故事例の蓄積による） ……………(略)	改正道路交通法第75条 道路運送車両法第47条の2 道路法第32条、第45条の2 道路運送法第79条	刑罰への保険対応は通常不可 →弁護士費用等の補償検討の可能性はあり

C. 法令等明細

遠隔監視のみ（レベル4）自動運転サービス（以下「レベル4」）における主な関連法令等を記載し、「法律」「関連法令」「罰則等」「想定事象」「該当者」「運行に関する論点」について整理を行った。

法令を起点として事象及びステークホルダーの関係を概観する際に資するものとして整理した。

なお詳細については、本章の付録資料のⅢ. 無人自動運転移動サービス「法令等明細シート」（第2章 - 59~62）を参照されたい。

表 2.1.3-4 法令等責任区分

[内容例：内容例：製造物責任の場合]

分類	当局	関連法令	法律	関連法令1	関連法令2	罰則等	想定事象 (遠隔監視のみ(レベル4)による自動運転サービス(以下「無人自動運転レベル4」))	該当者										運行に関する論点				
								公共交通業務委託元	特定自動運行実施者	特定自動運行主任者	現場措置業務実施者	車両所有者/事業等支援	管制装置製作	遠隔・通信装置製作	通信事業者	車両整備・修繕	自動運行装置製作		車両製作	交差点センサー制作	道路施設補修・維持	保険事故対応
損害賠償	消費者庁	製造物責任法	(製造物責任) 第三条 製造業者等は、その製造、加工、輸入又は前条第三項第二号若しくは第三号の氏名等の表示をした製造物であつて、その引き渡したものの欠陥により他人の生命、身体又は財産を侵害したときは、これによって生じた損害を賠償する責めに任ずる。ただし、その損害が当該製造物についてのみ生じたときは、この限りでない。	(民法の適用) 第六条 製造物の欠陥による製造業者等の損害賠償の責任については、この法律の規定によるほか、民法（明治二十九年法律第八十九号）の規定による。		(民事)	○製品欠陥															○事故原因の特定(ソフト、ハード) ○ハッキングの場合製品の範囲

プロセス毎、役割毎の各アプローチからみた責任境界検討活用法については

<活用例①：プロセスから責任を検討する場合について>

<活用例②：役割から責任を概観する場合について>

をまとめている。詳細は、本章の付録資料②の「無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の整理について」（P8, 9）（第2章 - 54, 55）を参照されたい。

無人自動運転移動サービスにおける リスクアセスメントとリスクアセスメントシートについて

—福井県永平寺町でのレベル4自動運転移動サービスの事例に基づく検討—

経産省自動運転PJ(RoAD to the L4):ZEN L4(テーマ1)

2023年6月 報告書用

国立研究開発法人産業技術総合研究所
あいおいニッセイ同和損害保険株式会社
MS&ADインターリスク総研株式会社

1

■ 本資料の趣旨

- ◆ 本資料は、遠隔監視のみ(レベル4)の無人自動運転移動サービス(以下「レベル4」)の社会実装の促進に向け、福井県永平寺町でのレベル4の実装に向けた取組み事例に基づき、今後、新たにレベル4の導入を検討する関係者等が、具体的な走路環境における運行を想定し、運行プロセスで想定されるリスクを評価し低減するためのリスクアセスメントと、そのリスク評価ためのリスクアセスメントシートの活用を説明し、さらに結果を責任区分等の整理に用いることに対する参考資料としてまとめたものである。

■ 活用対象者

- ◆ 新たにレベル4の導入を検討する関係者等(具体的な地域での導入に関わるステークホルダー):自治体、交通事業者、車両製造者、自動運行装置製作者、遠隔・監視システム製作者、管制や運行管理システム製作者、路側センサ製作者、通信装置製作者、通信キャリア、整備工場、保険会社等々

■ 活用方法(例)

- ◆ 具体的な走路環境における運行プロセスを想定し、リスクを事前調査するリスクアセスメントのために、リスクアセスメントシートや永平寺町の事例を活用可能。
- ◆ 上記のリスクアセスメントにおけるリスクの評価を行い、許容範囲を超えるリスクを把握
- ◆ 許容を超えるリスクに対するリスク低減策の検討と実施を行い、リスク検証と残存リスクへの追加対策等を実施することで、運行プロセス全体の安全性の確保を、車両やシステム、走行環境、運用対応で担保することを確認。
- ◆ リスクアセスメントの結果に基づき、運用プロセスの各プロセス毎で想定されるリスクを「不具合事象」等として、責任区分等の整理として、「原因」、「責任」などの整理に活用。※これについては、別資料「無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の整理について」にまとめている。

【資料の構成】

資料は、無人自動運転移動サービスにおけるリスクアセスメントについて、下記の通り、リスクアセスメント手法やリスク算出手法や評価項目の設定、洗い出しの観点などを説明・解説した本資料と、別添資料としてリスクの洗い出し結果やリスクアセスメントに用いるリスクアセスメント関連シートから構成される。

1. リスクアセスメントとリスクについて
2. リスクアセスメント手法
3. ハイブリッド法におけるリスク算出と評価項目の設定
4. リスク洗い出しの観点
 - 4.1. 事故・ヒヤリハットの原因
 - 4.2. 参考 (m-SHEL、4M (5M) の概要)
 - 4.3. 自動運転移動サービスを想定した洗い出し観点
 - 4.4. 様々なリスク分析手法
5. リスクアセスメントシートについて
 - 5.1. リスクアセスメントシートの活用によるリスク評価
 - 5.2. リスクアセスメントシートの項目と概要例
 - 5.3. リスク点数の配分
 - 5.4. 対応するリスク領域の設定
 - 5.5. リスクアセスメントシートの記入例 (永平寺町での運行想定)
6. リスクアセスメント結果の活用例
リスクアセスメント結果に基づく責任区分や法的責任の整理について

【別添資料】

- リスクアセスメント関連シート (エクセル版)
- ・リスク洗い出し観点、点数算出・配分
 - ・リスク領域
 - ・リスクアセスメントシート(永平寺町L4 想定プロセス)
 - ・リスクアセスメントシート(サンプル)

※本資料と別添資料の詳細説明や配布等については、最終ページの連絡先にご連絡ください。

3

1. リスクアセスメントとリスクについて

<リスクアセスメントとは>

- ・リスクアセスメントは、職場の潜在的な危険性又は有害性を見つけ出し、これを除去、低減するための手法 (厚生労働省) であり、「輸送の安全」における「品質確保・維持」(PDCAサイクル) 活動のひとつ。
 - ・ P : 過去に発生した、あるいは発生が懸念される事故やヒヤリハットとその被害の大きさを把握、予測 (リスクアセスメント)
 - ・ D : 事故・ヒヤリハット防止の対策の実施
 - ・ C : 実施した対策の効果の検証
 - ・ A : 検証結果をもとに、追加対策などの実施
- ・ 自動運転車などの新しい移動サービスの導入は、バス事業やタクシー事業といった既存の移動サービスと運営面や管理面等におけるプロセスが異なるため、具体的な走路環境が想定され、導入の検討の準備段階からリスクアセスメントを実施し、実証や社会実装段階までにリスク低減の対策実施、リスク評価の再検証、追加対策の実施を行い、運行全体の安全性の確保、車両やシステム等の安全面における品質確保を担保することが重要である。

<リスクとは>

- ・ リスク (R) は、対象とする事象の危険源によって危害が発生した場合の、「危害のひどさ (S) 」と「危害の発生確率 (Ph) 」の組み合わせとして表すことができる。
- ・ $R = S \times Ph$
- ・ また、「危害の発生確率 (Ph) 」は、「危険事象の発生確率 (Ps) 」、「暴露頻度や時間 (F) 」および「危害回避の可能性 (A) 」の要素で構成されている。
- ・ リスクを評価する方法として、要素の加算や掛け合わせて評価する方法 (スコアリング) や、グラフやマトリクスで評価する方法がある (次のページで詳述) 。

4

2. リスクアセスメント手法

<様々なリスクアセスメント手法の概要>

- ・リスクアセスメント手法には、以下の表に示すように様々な手法がある。
- ・今回は、リスク点数の算出式として、リスク低減効果が反映しやすく、「危害の酷さ」と「被害の発生確率」を組み合わせた「ハイブリッド法」を採用した。

手法	内容	特徴
加算法	リスク評価項目毎の評価点を加算し、合計点をリスク評価点としてリスクレベルを決定。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 日本では多く利用される ・ リスク評価項目の増減が容易。 ・ リスク低減効果が見えにくい
積算法	リスク評価項目毎の評価点を積算し、合計点をリスク評価点としてリスクレベルを決定。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 加算法の変形。 ・ リスク低減効果は加算法より反映しやすい。
マトリクス法	「危害のひどさ」と「危害の発生確率」に係わる副要素を、縦・横2軸の評価軸の組み合わせで示されるリスク評価点でリスクレベルを決定。	<ul style="list-style-type: none"> ・ リスク低減方策実施前後の比較が容易。 ・ 適用できるリスク要素に限界あり。
リスクグラフ法	リスク評価項目毎に評価の分岐経路を定め、最終的にリスクレベルを導く。	<ul style="list-style-type: none"> ・ 比較・妥当性確認が容易。 ・ リスク評価項目の評価分類は多くはできない。
ハイブリッド法	スコアリングとマトリクスの特徴を兼ね備えている。リスク評価項目毎の評価点を加算法と積算法を組み合わせ、合計点をリスク評価点としてレベルを決定。	<ul style="list-style-type: none"> ・ スコアリングで評価するパラメーターについては重み付けがはっきりする。 ・ マトリクス部の選択には経験や知識を要する。 ・ マトリクスよりは網羅性が広い。

5

3. ハイブリッド法におけるリスク算出と評価項目の設定

<ハイブリッド法におけるリスク点数の算出式>

ハイブリッド法におけるリスク点数の算出式を以下に示す。

リスク (R) は「危害のひどさ (S) 」と「暴露頻度や時間 (F) 」と「危険事象の発生確率 (Ps) 」と「危害回避の可能性 (A) 」の組み合わせで表すことができるため、ハイブリッド法での算出式は以下の通りに示すことができる。

$$R = S \times \underbrace{(F + P_s + A)}_{P_h \text{ (危害の発生確率)}}$$

<評価項目の設定と点数配分>

- ・ **リスク点数の算出にあたっては、評価項目**（「危害のひどさ (S) 」、「暴露頻度や時間」「危険事象の発生確率」「危害回避の可能性」）**毎に点数を配分**することが一般的である。
- ・ **リスク点数の算出には、対象とするシステムや環境、運用に対するリスク評価の経験やノウハウに基づいて、点数配分を行うことが通例である。また、配分やリスク領域の決定にあたっては、事前に関係者間（ステークホルダー間）で調整・合意を図っておくことが重要**である。
- ・ 評価項目毎の点数の配分について、「危害の酷さ」や「暴露頻度や時間」と「危険事象の発生確率」については、多くの事例においては3～4区分に設定されていることが多い。その理由として、あまり細かく設定すると、区分毎の定義づけ（例：1点は〇〇に該当する等）において、その定義づけや関係者間での調整や合意が困難になることが推察される。
- ・ また、評価項目毎の点数の定義や配分によって、例えば同業種の類似事例と比較した際に、算出結果に乖離が生じることも留意しておく必要がある。

6

4.1. リスク洗い出しの観点：事故・ヒヤリハットの原因

<事故・ヒヤリハットの原因>

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

1. 自然
 - 台風、地震、落雷、雪崩などの自然現象が起因するもの
 - これら自然現象が予見される際に、適切な対応がなされなかった場合は人災となる
2. 人工物
 - 機械、車両や道路（付属物含む）、ネットワークシステムなどの人間が作成・構築したのものに起因するもの
 - 作成や構築段階で、事象の検討漏れ、検討不足や対応不足により事故等が発生した場合は人災となる
3. 人間
 - 装置や器具の操作を適切に行わない、自動車で歩行者をはねるなど、人間自身の行動に起因するもの（ヒューマンエラー）



- あらゆる事故やヒヤリハットの原因には、人間が深く関係しており、これら事故やヒヤリハットをなくすためには、人間の問題を避けて通ることは言えないと考えられる。
- 自動運転車両の運用においても、車両の設計や走行システムや遠隔監視システムの取り扱いにおいて人間の行動が介在するために、人間の行動を中心にリスクの洗い出しを進めることが重要である。



- 事故・ヒヤリハットの原因は、さまざまな要因が複雑に入り組んだ結果生じるものであるが、その要因の洗い出しの観点として、m-SHEL*や4M（5M）*といった切り口から洗い出すことが重要である。

*：m-SHEL、4M(5M)の概要については、次ページを参照

7

4.2. リスク洗い出しの観点：参考（m-SHEL、4M（5M）の概要）

<m-SHEL>

m-SHELは次の単語の頭文字をとったものである。

	概要
①Software	作業手順や作業指示の内容、手順書や指示書や作業指示の出し方や教育方法などソフトに関わる要素
②Hardware	作業に使われる道具、機器、設備などのハード的な要素
③Environment	照明や騒音、温度や湿度、作業空間の広さなどのハード的な要素
④Liveware	作業員本人の体調や疲労、身体的能力や作業員に指示や命令をする上司や同僚などの人的な要素
⑤Management	作業員本人の直接の上司や役員、社長といった作業員本人とそれ以外の要素をマッチング（調整）し、バランスをとっていく要素

<4M（5M）>

4M（5M）の「M」は次の単語の頭文字をとったものである。

	概要
①Man	作業員本人、上司や同僚などの人間要素
②Machine	道具、機械、設備などのハードの要素
③Media	照明や騒音をはじめとする物理的環境、手順などの情報環境、同僚などの人間環境などの様々な環境要素
④Management	労働条件、制度や管理体制など、管理的な要素
⑤Mission	作業の目的や目標に関する要素

4.3. リスク洗い出しの観点：自動運転移動サービスを想定した洗い出し観点

<自動運転移動サービスを想定した事故等の洗い出し観点>

- 自動運転車などの新しい移動サービスを導入するにあたり、m-SHELの観点からそれぞれの要素を自動運転車両や新しい移動サービスに置き換えた場合、以下のリスクの洗い出し観点が考えられる。
- ソフトウェア**
 - 作業や運行の手順、作業・運行の指示の内容やそれが記載されている手順書や指示書、点呼等での指示の出し方、教育訓練の方法など、ソフトに関わる要素
 - ハードウェア**
 - 運行や作業、整備に使われる道具、自動運転車両や遠隔監視や自動運転に関わる設備など、ハード的な要素
 - 環境**
 - 走行コースや周辺的环境、気象状況や作業や整備環境など、走行・作業環境に関わる要素
 - 本人（自動運転車両等の操作や作業に主体的に関わる人）**
 - 本人の心身や健康状態や身体的な能力、操作や作業に関する技量や知識やコンプライアンス意識に関する要素
 - 他人（本人に関係、関与する人）**
 - 本人に指示や命令する上司や操作・作業を一緒に行う同僚、自動運転車両の周辺を走行するその他の交通に関する要素
 - マネジメント**
 - 本人が所属する組織において、現場をコントロールする権限を保有している要員（運行管理者や安全統括管理者等）に関する要素

※これらの観点から、福井県永平寺町での自動運転車両の実証実験をサンプルに、運用や安全管理におけるプロセスを整理した上で、リスクを洗い出し、リスクアセスメントを実施している。

9

4.4. リスク洗い出しの観点：様々なリスク分析手法

<様々なリスク分析手法>

- リスク対策を検討するためにはリスク分析を行う必要があるが、その分析手法は以下の表に示すように様々な手法がある。

手法	内容	特徴
フェーズハザード分析	プロセスやシステムのハザード（危険性）を特定し、適切なリスク軽減策を立案するための定性的手法。	<ul style="list-style-type: none"> 潜在的なハザードを特定し、発生確率、影響度、およびその重要性を評価 利点は、追加的な技術情報が不要であることだが、数値データが必要な場合があり
FMEA (フェーズフェイルモード・エフェクト・アナリシス)	設計の初期段階での製品やプロセスの失敗モードを特定し、その原因や結果、およびその重要度を評価するための定量的手法	<ul style="list-style-type: none"> リスク評価に数値データを使用することが可能
FMECA (フェーズフェイルモード・エフェクト・クリティカリティ・アナリシス)	FMEAの発展形であり、失敗モードに対する影響度を定量化し、優先順位をつけるために定量的データを使用する手法	<ul style="list-style-type: none"> 複雑なシステムのリスク分析に最適 一般的に航空機、原子力発電所、自動車、製薬、宇宙開発などの業界で使用されている
事故木（アキデントツリー）分析	事故の発生原因を特定し、その原因と結果を詳細に調べることによって、事故の発生を予防するための手法	<ul style="list-style-type: none"> 原因と結果を階層的に分類することが可能
なぜなぜ分析	根本原因を追究するために、現象や問題の「なぜ」を5回繰り返すことにより、その原因を特定する手法	<ul style="list-style-type: none"> 単純で使いやすく、現象や問題の根本原因を見つけることが可能 製造業、サービス業、医療、教育など、あらゆる分野で活用されている

※以上に挙げた様々な分析手法以外にも分析手法は存在するが、リスク評価や対策の検討を行う際どの分析手法を用いるのかについては、**事前に関係者間（ステークホルダー間）で合意を図っておくこと**が重要である。

5.3. リスク点数の配分

<リスク点数の配分>

- ・リスク点数の算出には、対象とするシステムや環境、運用に対するリスク評価の経験やノウハウに基づいて、危害の酷さや発生確率に関して点数を配分することが一般的である。
- ・以下に福井県永平寺町での運行を想定したリスク点数の配分例を例示する。リスク点数の配分は、保険会社及びリスクコンサルタント会社の知見とノウハウで設定したものである。
- ・配分にあたっては、事前に関係者間（ステークホルダー間）で調整・合意を図っておくことが重要である。

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

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

13

5.4. 対応するリスク領域の設定

<対応するリスク領域の設定>

- ・「リスクアセスメントシート」に沿ってリスク整理や評価を実施後、優先的に対応するリスクを検討する必要がある。検討にあたっては、算出したリスク点数の結果に基づいて対応するリスクの優先度を検討することが一般的である。
- ・優先的に対応するリスクかどうかについて、①リスクが低減できない場合、許容できない領域（リスク）②許容できる最小リスクまで低減することを推奨する領域③受容可能な領域に分類することが望ましい。
- ・これら優先して対応するリスク領域の設定にあたっては、事前に関係者間（ステークホルダー間）で調整・合意を図っておくことが重要である。
- ・以下に福井県永平寺町での運行を想定して行ったリスクアセスメントの際のリスク領域の設定について例示する。

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

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

5.5. リスクアセスメントシートの記入例 (永平寺町での運行想定)

<福井県永平寺町における運行想定におけるリスクアセスメントシート：事例>

- 以下に福井県永平寺町での運行を想定して行ったリスクアセスメントにおける記入事例を示す。
- 以下に示しているリスクアセスメントシートはその一部のみを示してあり、永平寺町での日々の自動運転車両の運用において、従事する要員が出社する段階から退社するまでの運用に関する運行プロセスを整理し、想定されるリスクについての洗い出しとその評価を行ったものである。
- 別紙：「無人自動運転移動サービスにおけるリスクアセスメントとリスクアセスメントシート(永平寺町事例等)」において、福井県永平寺町のリスクアセスメントにおける事例としてのリスク点数の算出、点数配分、リスク領域の設定について示している。これらの検討と設定は、対象とするシステムや環境、運用に対すリスク評価の経験やノウハウを持っている保険会社やリスクコンサルタント会社が、現地調査やヒアリングなどを行って作成し、リスク対策や回避についてはシステム開発者などの関係者で協議検討した事例である。このような対策とリスク評価を繰り返し、運行事業者として許容できる点数までリスクを下げていくことで、運行の安全性を確保できるようになる。

No.	区分	場所	プロセス	想定される不具合事象	原因事象	詳細原因	原因区分	リスク評価(初期)					以てリスク	対策(削減、回避(予防)、受容、移転等観点から検討する)		補足
								危険の発生確率P	被害の重大性C	暴露頻度E	検出可能性D	回避可能性A		リスク削減	リスク回避	
2-29			運行開始ボタン押下	ボタンが押下できなかった	車両(設備を含む)の故障・不稼働	PCソフトウェア システムのエラー	ソフト	2	3	1	1	1	6			
2-30			停留所へ出発	出発時に事故が発生した	車両(設備を含む)の故障・不稼働	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			出発前の注意喚起(アラーム)
2-31			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出
2-32			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出
2-33			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出
2-34			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出
2-35			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出
2-36			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出
2-37			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出
2-38			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出
2-39			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出
2-40			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出
2-41			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出
2-42			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出

※リスク評価後のリスク低減対策に対し、リスクが許容できるまで繰り返しリスク評価と低減対策を実施する。15

6. リスクアセスメント結果の活用例

<リスクアセスメント結果に基づく責任区分や法的責任の整理について>

- 自動運転移動サービスの社会実装の促進のためには、「想定される不具合事象」や「原因事象」にどのような責任が発生するのか、誰がその責任を負うのか、など関係者間の役割や法的責任等について検討を進めていく必要がある。
- リスクアセスメント結果を活用し、抽出したプロセス毎の「想定される不具合事象」や「原因事象」「詳細原因」を基に、「プロセス毎の責任区分」や「役割毎の責任」、またその根拠となる法令についての整理と合せ込むことで責任を事前把握することが可能となる。福井県永平寺町での遠隔監視による自動運転移動サービスの想定におけるリスクアセスメント結果の活用例については、別資料「無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の整理について」中の「プロセス毎責任区分シート」を参照のこと。

No.	区分	場所	プロセス	想定される不具合事象	原因事象	詳細原因	原因区分	リスク評価(初期)					以てリスク	対策(削減、回避(予防)、受容、移転等観点から検討する)		補足
								危険の発生確率P	被害の重大性C	暴露頻度E	検出可能性D	回避可能性A		リスク削減	リスク回避	
2-29			運行開始ボタン押下	ボタンが押下できなかった	車両(設備を含む)の故障・不稼働	PCソフトウェア システムのエラー	ソフト	2	3	1	1	1	6			
2-30			停留所へ出発	出発時に事故が発生した	車両(設備を含む)の故障・不稼働	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			出発前の注意喚起(アラーム)
2-31			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出
2-32			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出
2-33			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出
2-34			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出
2-35			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出
2-36			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出
2-37			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出
2-38			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出
2-39			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出
2-40			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出
2-41			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出
2-42			運行中	車両が道路より停止し、運行不能になった	運用条件に適合しない状況の発生	道路状況(急勾配など)による制動距離不足	ハード	4	3	1	1	1	12			車両停止ボタン等での検出

無人自動運転移動サービス「プロセス毎責任区分シート」へ

場所	プロセス	想定される不具合事象	影響(何が起ったのか)	被害者(影響を受ける人)	原因事象	詳細原因	原因区分
停留所(出発所)	運行開始(発車許可ボタンを押下)	ボタンが押下できなかった	運行遅延/中断した	利用者	ECUがブリーズ	ECUの設計不備 ECUの故障 ECUの劣化 ECU操作ミス(通信途絶)	ハード(遠隔S) ハード(遠隔S) ハード(その他) ヒト(遠隔監視員)

連絡先

<本資料と別添資料の詳細説明や配布等について>

以下の連絡先に、所属、氏名、住所、電話、E-mail、問い合わせ内容を記載のうえ、メールにてお問合せください。

・連絡先

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
デジタルアーキテクチャ研究センター
RoAD to the L4 リスクアセスメント等事務局
担当：加藤、板橋、井上
E-mail : m-rttl4-riskassess-ml@aist.go.jp

無人自動運転移動サービスにおけるリスクアセスメントとリスクアセスメントシート(永平寺町事例等)

リスクアセスメントの観点、リスク点数算出と点数配分等

1. リスク洗い出しの観点 (m-SHEL、自動運転移動サービスの想定)

m-SHEL		自動運転移動サービスの想定	
区分	概要	区分	具体例
Software	マニュアル、規程、作業標準	ソフトウェア	作業や運行の手順、作業・運行の指示の内容やそれが記載されている手順書や指示書、点呼等での指示の出し方、教育訓練の方法など、ソフトに関わる要素
Hardware	道具、機器、設備	ハードウェア	運行や作業、整備に使われる道具、自動運転車両や遠隔監視や自動運転に関わる設備など、ハード的な要素
Environment	作業空間	環境	走行コースや周辺の環境、気象状況や作業や整備環境など、走行・作業環境に関わる要素
Liveware	作業員、関係者	本人 (主体者)	本人の心身や健康状態や身体的な能力、操作や作業に関する技量や知識やコンプライアンス意識に関する要素
		他人 (関係者)	本人に指示や命令する上司や操作・作業を一緒に行う同僚、自動運転車両の周辺を走行するその他の交通に関する要素
Management	管理、取引、計画、教育、契約、法令順守、労働安全衛生	マネジメント	本人が所属する組織において、現場をコントロールする権限を保有している要員 (運行管理者や安全統括管理者等) に関する要素

2. リスク点数の算出式 (ハイブリット法)

$$\text{リスク点数 (R)} = \text{危害の酷さ (影響 : S)} \times \text{危険の発生確率 (Ph)} \Rightarrow \text{最大:40点, 最小:3点}$$

※危険の発生確率 (Ph) = 頻度 (F) + 確率 (Ps) + 回避 (A)

3. 評価項目の設定と点数配分例

$$\text{リスク点数 (R)} = \text{危害の酷さ (影響 : S)} \times \text{危険の発生確率 (Ph)} \Rightarrow \text{最大:40点, 最小:3点}$$

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

頻度 (F)	晒される頻度	晒される時間
4	—	—
3	頻繁	長時間
2	時々	短時間
1	まれ	瞬間

確率 (Ps)	危険事象の発生確率
4	高い
3	起こり得る
2	起こり難い
1	低い

回避 (A)	危害を回避又は制限できる可能性
4	—
3	困難
2	—
1	可能

※リスク点数の算出には、対象とするシステムや環境、運用に対するリスク評価の経験やノウハウに基づいて、点数配分が通例
※配分に当たっては、事前に関係者間 (ステークホルダー間) で調整・合意を図っておくことが重要

※上記の福井県永平寺町のリスクアセスメントにおけるリスク点数の算出と点数配分は、保険会社及びリスクコンサルタント会社の知見とノウハウで設定

無人自動運転移動サービスにおけるリスクアセスメントとリスクアセスメントシートについて

リスク領域の設定

4. リスク領域の設定

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

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

⇒リスク点数が18点以上を対策優先リスクとして設定⇒ リスク対策

※配分やリスク領域の決定にあたっては、事前に関係者間（ステークホルダー間）で調整・合意を図っておくことが重要

無人自動運転移動サービスにおけるリスクアセスメントとリスクアセスメントシートについて

リスクアセスメントシート（永平寺町事例シート）：対策などはあくまで例示

No.	区分	場所	プロセス	想定される不具合事象	原因事象	詳細原因	原因区分	リスク評価（対策前）					リスク点数 R	対策内容・方針案（以下はあくまでも例）		リスク再評価（対策後）					補足 （以下はあくまでも例）				
								危害の発生 （影響） S	危険の発生確率Ph					頻度 F	確率 Ps	回避 A	※対策は損害の低減、回避（予防）、受容、移転等観点から検討する		危害の発生 （影響） S	危険の発生確率Ph				リスク点数 R	
									計	頻度 F	確率 Ps	回避 A					リスク低減	リスク回避		計		頻度 F	確率 Ps		回避 A
1-1	運行開始前	出社	四季の森へ出社	遠隔監視員のうち1人以上が出社できなかった	体調不良	発熱、腹痛、咳	ヒト	1	5	2	2	1	5	※リスク点数が低くても検討可能な限りはいくつかの案出しを行い、リスク低減や回避の度合いやコストも加味して対策を選定していく。		1	5	2	2	1	5				
1-2					突発的な事故・事象	通勤経路上での交通事故、火災	ヒト	1	5	1	1	3	5	※以下の記載はあくまで空白も例であり、実際の採用されたものを示していない。		1	5	1	1	3	5				
1-3					災害の発生	風水災	環境	3	5	1	1	3	15	・緊急時対応手順の作成：自然災害（予見可能・不可の場合） ・緊急時再現実訓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	3	5	1	1	3	15					
1-4					災害の発生	地震	環境	4	5	1	1	3	20		4	5	1	1	3	20					
1-5			点呼、アルコールチェック	点呼の結果、遠隔監視者が遠隔監視をできない状況が判明した	所定の手順からの逸脱（過失）	免許証を自宅に忘れた	ヒト	1	4	1	2	1	4		1	4	1	2	1	4					
1-6					所定の手順からの逸脱（過失）	免許停止となっていた	ヒト	1	4	1	2	1	4		1	4	1	2	1	4					
1-7					所定の手順からの逸脱（過失）	アルコール検知器が故障し、アルコールチェックができなかった	ヒト	1	4	1	2	1	4		1	4	1	2	1	4					
1-8					所定の手順からの逸脱（過失）	アルコールが検出された	ヒト	1	4	1	2	1	4		1	4	1	2	1	4					
1-9					体調不良	疾病・疲労・睡眠不足等	ヒト	1	5	2	2	1	5		1	5	2	2	1	5					
1-10			用品の受取	遠隔監視者が用品を受け取れなかった	所定の手順からの逸脱（過失）	受取を失念	ヒト	1	4	1	2	1	4		1	4	1	2	1	4					
1-11					所定の手順からの逸脱（過失）	用品が破損	ハード	1	4	1	2	1	4		1	4	1	2	1	4					
1-12					所定の手順からの逸脱（過失）	用品が不足	ハード	1	4	1	2	1	4		1	4	1	2	1	4					
1-13			遠隔監視システムの立ち上げ	遠隔監視システムが起動できなかった	所定の手順からの逸脱（過失）	遠隔監視室の鍵を紛失した	マネジメント	2	4	1	2	1	8	・スペアキーの確保確保	・鍵の保管場所の明確化	2	4	1	2	1	8				
1-14					所定の手順からの逸脱（過失）	マニュアル通りの起動を行わなかった	マネジメント	1	4	1	2	1	4		1	4	1	2	1	4					
1-15					車両（設備を含む）の故障・不稼働	PCの破損	ハード	2	3	1	1	1	6		2	3	1	1	1	6					
1-16					システムの故障・不稼働	システムエラーが発生	ソフト	2	3	1	1	1	6		2	3	1	1	1	6					
1-17					システムの故障・不稼働	システムエラーの表示があるが対応方法がわからない	ソフト	2	3	1	1	1	6		2	3	1	1	1	6					
1-18					突発的な事故・事象	遠隔監視室の停電	ハード	3	5	1	1	3	15	・エラー発生時の問合せ先の明確化		3	5	1	1	3	15				
1-19			志比車庫へ移動	車庫へ移動できなかった	災害の発生	グリッド暴雨	環境	2	5	1	1	3	10		2	5	1	1	3	10					
1-20					所定の手順からの逸脱（過失）	車庫の鍵を紛失	マネジメント	2	4	1	2	1	8	・スペアキーの確保	・鍵の保管場所の明確化	2	4	1	2	1	8				
1-21	運行前準備	車庫より出庫	車両が所定の場所になかった	所定の手順からの逸脱（過失）	保管場所を誤る	ヒト	2	4	1	2	1	8		・鍵の保管場所の明確化	2	4	1	2	1	8					
1-22					所定の手順からの逸脱（故意）	関係者による無断使用	マネジメント	2	3	1	1	1	6		・鍵の保管場所の明確化	2	3	1	1	1	6				
1-23					犯罪行為の被害発生	盗難	ハード	4	3	1	1	1	12	・予備車両の確保	・警備システムの導入	4	3	1	1	1	12				
1-24				車両が破損していた	災害の発生	風水災による車体のきず・へこみ	環境	2	5	1	1	3	10	・予備車両の確保	・風災水害が見込まれる際の車両避難先の特定	2	5	1	1	3	10				
1-25					災害の発生	風水災による水没	環境	4	5	1	1	3	20	・緊急時対応手順の作成：代替車両の手配が必要な場合 ・緊急時再現実訓による定期的なスキル向上	・風災水害が見込まれる際の車両避難先の特定	4	5	1	1	3	20				
1-26					災害の発生	落雷	環境	3	5	1	1	3	15	・緊急時対応手順の作成：代替車両の手配が必要な場合		3	5	1	1	3	15				
1-27					災害の発生	火災（建屋、車両）	環境	4	5	1	1	3	20	・緊急時対応手順の作成：代替車両の手配が必要な場合		4	5	1	1	3	20				
1-28					犯罪行為の被害発生	器物損壊	マネジメント	3	3	1	1	1	9	・予備車両の確保	・警備システムの導入	3	3	1	1	1	9				
1-29					犯罪行為の被害発生	センサー類の盗難時の車両破損	マネジメント	3	3	1	1	1	9	・予備車両の確保	・警備システムの導入	3	3	1	1	1	9				
1-30				車両が起動しなかった/手動運転に支障が出る状況が確認された	所定の手順からの逸脱（過失）	前日の充電忘れ	マネジメント	1	4	1	2	1	4		1	4	1	2	1	4					
1-31					車両（設備を含む）の故障・不稼働	電源系	ハード	2	3	1	1	1	6		2	3	1	1	1	6					
1-32					車両（設備を含む）の故障・不稼働	前照灯、ウィンカー、ハザードランプ等が点灯しない	ハード	2	3	1	1	1	6		2	3	1	1	1	6					
1-33			車庫から停留所まで回送（手動運転）	手動運転中に自損事故が発生した	操作ミス	車両操作ミスによる事故（前方不注意など）	ヒト	2	4	1	2	1	8	・指差し確認の実施	2	4	1	2	1	8					
1-34			手動運転中に対人事故が発生した	手動運転中に対人事故が発生した	操作ミス	車両操作ミスによる事故（前方不注意など）	ヒト	3	4	1	2	1	12	・指差し確認の実施	3	4	1	2	1	12					
1-35			車庫から停留所まで回送（自動運転）	自動運転中に事故が発生した	運用条件に合致しない状況の発現	インフラに異常が生じていた	ハード	3	4	1	2	1	12		3	3	1	1	1	9					
1-36			自動運転により所定の停留所に配備できなかった	自動運転により所定の停留所に配備できなかった	運用条件に合致しない状況の発現	充電ができていなかった	ヒト	2	5	2	2	1	10		2	4	2	1	1	8					
1-37					犯罪行為の被害発生	自動回送中に無理やり車両に乗り乗る等の妨害行為を受けた	ヒト	2	4	1	2	1	8		2	3	1	1	1	6					
1-38			走行ルート確認	運用条件に合致しない状況の発現	路面の凍結	路面の凍結	環境	3	5	1	1	3	15	・スタッドレスタイヤの装着	・冬季運行の停止を継続	3	5	1	1	3	15				
1-39					運用条件に合致しない状況の発現	舗装の劣化・破損（電磁誘導線に影響あり）	環境	4	5	1	1	3	20	・破損発生時の問合せ先の明確化	・インフラ破損時にシステム側にてアラート発出	4	5	1	1	3	20				
1-40					運用条件に合致しない状況の発現	舗装の劣化・破損（電磁誘導線に影響なし）	環境	2	3	1	1	1	6		2	3	1	1	1	6					
1-41					運用条件に合致しない状況の発現	舗装の劣化・破損（RFIDに影響あり）	環境	4	3	1	1	1	12	・破損発生時の問合せ先の明確化	・インフラ破損時にシステム側にてアラート検知	4	3	1	1	1	12				
1-42					走行ルート上に異常が確認された	熊、イノシシなどの大型野生動物を確認	環境	3	3	1	1	1	9		3	3	1	1	1	9	運行の取りやめ				
1-43					運用条件に合致しない状況の発現	倒木	環境	3	5	1	1	3	15	・定期的なインフラ点検手順の策定	倒木の除去、運行の取りやめ	3	5	1	1	3	15				
1-44					突発的な事故・事象	山の斜面で漏水を確認	環境	1	3	1	1	1	3		1	3	1	1	1	3					
1-45			車両システムの起動	車両システムが起動しなかった	システムの故障・不稼働	システムエラー	ソフト	1	3	1	1	1	3		1	3	1	1	1	3					
1-46					所定の手順からの逸脱（過失）	エラー表示があるが対応策がわからない	ソフト	1	4	1	2	1	4		1	4	1	2	1	4					
1-47					所定の手順からの逸脱（過失）	マニュアル通りの起動を行わない	ヒト	1	4	1	2	1	4		1	4	1	2	1	4					
1-48			日常点検	点検時に異常が確認された	システムの故障・不稼働	マニュアルの検査項目を実施しなかった	ハード	1	3	1	1	1	3		1	3	1	1	1	3					
1-49					車両（設備を含む）の故障・不稼働	状態表示灯、音声アラームが適切に起動しない	ハード	1	3	1	1	1	3		1	3	1	1	1	3					
1-50			運行開始判断	運行開始の判断ができなかった	所定の手順からの逸脱（過失）	基準が曖昧でマニュアルから中止かどうかが判断できない	マネジメント	2	4	1	2	1	8	・緊急時対応手順の作成：運行中の不測突発的事態		2	4	1	2	1	8				
1-51				終日運行中止を決定した	災害の発生	予報されなかった天候に急変	環境	3	5	1	1	3	15	・緊急時対応手順の作成：運行中の不測突発的事態		3	5	1	1	3	15				
1-52					運用条件に合致しない状況の発現	熊、イノシシなどの大型野生動物を確認	環境	3	5	1	1	3	15	・緊急時対応手順の作成：運行中の不測突発的事態		3	5	1	1	3	15				
1-53				午前中の運行中止を決定した	災害の発生	予報されなかった天候に急変	環境	2	5	1	1	3	10	・緊急時対応手順の作成：運行中の不測突発的事態		2	5	1	1	3	10				
1-54				中止条件に該当するにもかかわらず開始の決定をした	運用条件への合致の確認漏れ	走行ルートの状況が共有されない	マネジメント	3	3	1	1	1	9	・運行開始時の連絡体制の作成		3	3	1	1	1	9				
1-55					所定の手順からの逸脱（故意）	状況を把握した上で、強行	ヒト	3	3	1	1	1	9		3	3	1	1	1	9	・条件確認に関するチェックシートの作成				
2-1	運行中	乗車	利用者が乗車地に到着		住民・利用者への周知	看板表示が日本語表記のみ	ソフト	1	4	1	2	1	4		1	4	1	2	1	4					
2-2					補助者の不在	受付の補助者がいると思われている	ヒト	1	4	1	2	1	4		1	4	1	2	1	4					
2-3				利用者が同土でトラブルが発生した	住民・利用者への周知	整列場所がわからず順番でトラブルとなる	ヒト	1	5	1	3	1	5		1	5	1	3	1	5					
2-4					補助者の不在	整列指示ができず順番でトラブルとなる	ヒト	1	5	1	3	1	5		1	5	1	3	1	5					
2-5			利用者が運賃箱に支払	運賃を収受できなかった	補助者の不在	乗客が運賃箱に気づかない	ヒト	1	5	1	3	1	5		1	5	1	3	1	5					
2-6					補助者の不在	両替ができず支払わなかった	ヒト	2	6	2	3	1	12	・両替が必要な際の手順を車内に記載（遠隔監視室との通話）	・両替機を設置	2	6	2	3	1	12				
2-7					お客様行為（自己都合）	無料だと思っている	ヒト	1	3	1	1	1	3		1	3	1	1	1	3					
2-8					利用者や第三者が運賃箱を破壊し金銭を窃盗	窃盗防止センサーの設置	ヒト	3	3	1	1	1	9		3	3	1	1	1	9					
2-9					犯罪行為の被害発生	無償乗車	ヒト	3	3	1	1	1	9		3	3	1	1	1	9	運行の取りやめ				
2-10			利用者が車両に乗り（相乗り含む）	車両に乗りできなかった	補助者の不在	乗降に介助を要する（車いすなど）	ヒト	3	5	1	3	1	15	他の乗客への補助の依頼及び事前周知	リフトの設置	3	5	1	3	1	15				
2																									

No.	区分	場所	プロセス	想定される不具合事象	原因事象	詳細原因	原因区分	リスク評価(対策前)					対策内容・方針案(以下はあくまでも例)		リスク再評価(対策後)					補足 (以下はあくまでも例)		
								危険の発生確率Ph					リスク点数R	※対策は損害の低減、回避(予防)、受容、移転等観点から検討する		危険の発生確率Ph					リスク点数R	
								(影響)S	計	頻度F	確率Ps	回避A		リスク低減	リスク回避	(影響)S	計	頻度F	確率Ps			回避A
2-26			運行アナウンスを実施	運行アナウンスが流れなかった	車両(設備を含む)の故障・不稼働	スピーカーの破損	ハード	2	3	1	1	1	6			2	3	1	1	1	6	
2-27					所定の手順からの逸脱(過失)	アナウンスを行うことを失念	ヒト	1	4	1	2	1	4			1	4	1	2	1	4	
2-28				アナウンス前に運行開始ボタンを押下した	手順を誤認	手順を誤認	ヒト	1	4	1	2	1	4			1	4	1	2	1	4	
2-29			運行開始ボタンを押下	ボタンを押下できなかった	車両(設備を含む)の故障・不稼働	PCがフリーズ	ソフト	2	3	1	1	1	6	始業前点検の徹底		2	3	1	1	1	6	
2-30					システムの故障・不稼働	システムエラー	ソフト	2	3	1	1	1	6	始業前点検の徹底		2	3	1	1	1	6	
2-31			停留所を出発	出発時に事故が発生した	お客様行為(自己都合)	出発間際に乗り込もうとして車両と接触	ヒト	4	3	1	1	1	12		出発前の注意喚起アナウンス	4	3	1	1	1	12	
2-32					車両(設備を含む)の故障・不稼働	着座前に車両が動作し転倒	ハード	4	3	1	1	1	12	・着座状況の遠隔監視	・着座状況をセンサー等で検出、自動警告	4	3	1	1	1	12	
2-33	走行中	目的地へ移動【車両系】		車両が走行上で停止し運行不能となった	運用条件に合致しない状況の発現	道路上に大型の野生動物(熊・イノシシなど)が出現	環境	3	3	1	1	1	9	・緊急時対応手順の作成: 運行中の不測突発的事態 ・緊急時再現訓練による定期的なスキル向上 ・運行停止する旨の音声による案内の実施		3	5	1	1	3	15	
2-34					運用条件に合致しない状況の発現	薄曇	環境	1	3	1	1	1	3			1	5	1	1	3	5	
2-35					運用条件に合致しない天候不順	ゲリラ豪雨	環境	2	3	1	1	1	6	・緊急時対応手順の作成: 運行中の不測突発的事態 ・緊急時再現訓練による定期的なスキル向上 ・運行停止する旨の音声による案内の実施	雨量30mm/h以上で、減速し自動停止と警報 雨にも強いミリ波レーダーによる検出	2	5	1	1	3	10	
2-36					運用条件に合致しない天候不順	降雪	環境	2	3	1	1	1	6	・緊急時対応手順の作成: 運行中の不測突発的事態 ・緊急時再現訓練による定期的なスキル向上 ・運行停止する旨の音声による案内の実施	降雪時に運用を中止 雪にも強いミリ波レーダーによる検出	2	5	1	1	3	10	
2-37					運用条件に合致しない天候不順	濃霧	環境	2	3	1	1	1	6	・緊急時対応手順の作成: 運行中の不測突発的事態 ・緊急時再現訓練による定期的なスキル向上 ・運行停止する旨の音声による案内の実施	視程距離: 3m以下で、減速し自動停止と警報 霧にも強いミリ波レーダーによる検出	2	5	1	1	3	10	
2-38					車両(設備を含む)の故障・不稼働	混信・電波干渉	ソフト	2	3	1	1	1	6			2	3	1	1	1	6	
2-39					車両(設備を含む)の故障・不稼働	大規模な通信障害	ソフト	3	3	1	1	1	9	・緊急時対応手順の作成: 運行中の不測突発的事態 ・緊急時再現訓練による定期的なスキル向上 ・運行停止する旨の音声による案内の実施	マルチキャリア装置の活用	3	3	1	1	1	9	
2-40					車両(設備を含む)の故障・不稼働	電磁誘導線の断線	ハード	4	3	1	1	1	12	・緊急時対応手順の作成: 運行中の不測突発的事態 ・緊急時再現訓練による定期的なスキル向上 ・運行停止する旨の音声による案内の実施		4	3	1	1	1	12	
2-41					車両(設備を含む)の故障・不稼働	電磁誘導線の電源喪失	ハード	4	3	1	1	1	12	・緊急時対応手順の作成: 運行中の不測突発的事態 ・緊急時再現訓練による定期的なスキル向上 ・運行停止する旨の音声による案内の実施		4	3	1	1	1	12	
2-42					突発的な事故・事象	落石によって走行路がふさがれる(15cm以上)	環境	2	3	1	1	1	6	・緊急時対応手順の作成: 運行中の不測突発的事態 ・緊急時再現訓練による定期的なスキル向上 ・運行停止する旨の音声による案内の実施	15cm以上の障害物の検知による停止	2	4	1	1	2	8	
2-43					突発的な事故・事象	急病人が倒れている	ヒト	3	3	1	1	1	9			3	3	1	1	1	9	
2-44				車両が急停止した	運用条件に合致しない状況の発現	歩行者、自転車、野生動物などが接近(飛び出し・追越し・すれ違い)	ヒト	2	3	1	1	1	6			2	3	1	1	1	6	
2-45					運用条件に合致しない状況の発現	飛来物(ビニール袋等)でセンサーがおおわれる	ハード	2	3	1	1	1	6			2	3	1	1	1	6	
2-46					運用条件に合致しない状況の発現	他の車両でトラブルが発生し、監視中の全車両が緊急停止	マネジメント	2	3	1	1	1	6			2	3	1	1	1	6	
2-47					お客様行為(自己都合)	運転装置に興味本位で触れる	ヒト	2	3	1	1	1	6			2	3	1	1	1	6	
2-48					お客様行為(自己都合)	緊急停止ボタンを押下する	ヒト	2	3	1	1	1	6			2	3	1	1	1	6	
2-49					犯罪行為の被害発生	第三者による故意の飛び出し	ヒト	2	3	1	1	1	6			2	3	1	1	1	6	
2-50				車両が物体と接触した	車両(設備を含む)の故障・不稼働	センサーが物体を認識しない	ヒト	3	3	1	1	1	9	運行前における認識状態の確認の実施	運行停止(不具合時)	3	3	1	1	1	9	
2-51					犯罪行為の被害発生	システムへのハッキング	ソフト	3	3	1	1	1	9	セキュリティ対策の強化	運行停止(検知時)	3	3	1	1	1	9	
2-52				車両が電磁誘導線を逸脱した	突発的な事故・事象	センサーで検知出来ない大きさの物体を軽過	ソフト	2	3	1	1	1	6	映像記録の明示による抑止	磁気が存在しなくなった時点で急ブレーキ	2	5	1	1	3	10	
2-53					突発的な事故・事象	制限速度の上限を超える	ソフト	2	3	1	1	1	6			2	3	1	1	1	6	

No.	区分	場所	プロセス	想定される不具合事象	原因事象	詳細原因	原因区分	リスク評価（対策前）					リスク点数 R	対策内容・方針案（以下はあくまでも例）		リスク再評価（対策後）					補足 （以下はあくまでも例）	
								危険の発生確率 Ph						※対策は損害の低減、回避（予防）、受容、移転等観点から検討する		危険の発生確率 Ph						
								(影響) S	計	頻度 F	確率 Ps	回避 A		リスク低減	リスク回避	(影響) S	計	頻度 F	確率 Ps	回避 A		
4-6		労務管理	—	プライベートの運転が長時間におよび、過労状態で遠隔監視にあたった	規程の未整備	プライベートでの走行時間を確認していなかった	マネジメント	3	5	1	3	1	15	・運行時間確認の徹底、タイマーなどの利用	リスク回避	3	4	1	2	1	12	
5-1	緊急時対応	事故発生時	初動対応	事故時の初動対応が遅れ、被害等が拡大した	所定の手順からの逸脱（過失）	乗務員が初動対応手順を失念	マネジメント	2	4	1	2	1	8	・教育等の徹底、手順・マニュアルの改善		2	4	1	2	1	8	
5-2				事故時の初動対応が遅れ、被害等が拡大した	所定の手順からの逸脱（過失）	遠隔監視者が現場に駆け付けるまでに時間を要した	マネジメント	4	5	1	3	1	20	・教育等の徹底、手順・マニュアルの改善 ・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		4	4	1	2	1	16	
5-3					所定の手順からの逸脱（過失）	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	マネジメント	4	5	1	3	1	20	離席時代替要員の配置	運行時の遠隔監視者離席の禁止	4	4	1	2	1	16	
5-4				関係機関への連絡が遅れ、被害等が拡大した	所定の手順からの逸脱（過失）	関係者内での緊急時の役割分担が不明瞭	マネジメント	2	4	1	2	1	8	役割分担の明確化		2	4	1	2	1	8	
5-5				初動対応が適切に行えなかった	所定の手順からの逸脱（過失）	初動対応フローが周知・理解されていない	マネジメント	2	4	1	2	1	8	初動対応マニュアルの作成、周知		2	4	1	2	1	8	
5-6					所定の手順からの逸脱（過失）	事態を軽視	マネジメント	2	4	1	2	1	8	対応が必要となる事態の定義の明確化		2	4	1	2	1	8	
5-7					所定の手順からの逸脱（過失）	代替の移動手段が手配できなかった	マネジメント	4	5	1	3	1	20	・教育等の徹底、手順・マニュアルの改善 ・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	代替手段対応事業者の事前確保（交渉）の実施	4	4	1	2	1	16	
5-8					所定の手順からの逸脱（過失）	代替の移動手段の手配が予定していた時間より長かかってしまった	マネジメント	4	5	1	3	1	20	・教育等の徹底、手順・マニュアルの改善 ・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	代替手段確保に要する所要時間の定期的な検証と見直し	4	4	1	2	1	16	
5-9			被害者対応	事故発生後、被害者に対して適切な対応（フォロー）を行えなかった	所定の手順からの逸脱（過失）	事態を軽視	マネジメント	2	4	1	2	1	8			2	4	1	2	1	8	
5-10				事故発生後、被害者への適切な賠償に時間を要した	規程の未整備	事故原因が特定できず、責任主体が明確にならなかった	マネジメント	4	5	1	3	1	20	・教育等の徹底、手順・マニュアルの改善 ・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	・責任境界不明な場合に一次対応が可能な保険付保 ・求償対応の整理	4	4	1	2	1	16	
5-11			マスコミ対応	マスコミ等がネガティブな報道を行った	所定の手順からの逸脱（過失）	適切な説明・対応を行わない	マネジメント	2	4	1	2	1	8			2	4	1	2	1	8	
5-12				マスコミに対し現場の担当者が事故の詳細を話してしまった	所定の手順からの逸脱（過失）	問題ないと判断	マネジメント	2	4	1	2	1	8			2	4	1	2	1	8	
5-13		クレーム対応	クレーム	クレームが発生した	お客様行為（自己都合）	遠隔監視者が乗車拒否の判断（禁止事項等に抵触）	マネジメント	2	3	1	1	1	6			2	3	1	1	1	6	
5-14					補助者の不在	補助員がいないことで乗降がスムーズにできない	マネジメント	2	4	1	2	1	8			2	4	1	2	1	8	
5-15					補助者の不在	補助員がおらず不安	マネジメント	2	4	1	2	1	8			2	4	1	2	1	8	
5-16					住民・利用者への周知	サービスの趣旨を理解せず、危険だと主張	マネジメント	2	4	1	2	1	8			2	4	1	2	1	8	
5-17					住民・利用者への周知	予約不可にも拘らず予約を試み、断られる	マネジメント	2	4	1	2	1	8			2	4	1	2	1	8	
5-18					住民・利用者への周知	乗車希望者が多く待ち時間が発生	マネジメント	2	4	1	2	1	8			2	4	1	2	1	8	
5-19					住民・利用者への周知	他の車両でトラブルが発生したため車両が停止し、待ち時間が発生	マネジメント	2	4	1	2	1	8			2	4	1	2	1	8	
5-20			初動対応・フォロー	クレームがエスカレートした	所定の手順からの逸脱（過失）	事態を軽視/初動対応の誤り	マネジメント	2	4	1	2	1	8	初動対応マニュアルの作成、周知		2	4	1	2	1	8	
5-21			SNS対応	SNS等へネガティブな書き込みをされた	所定の手順からの逸脱（過失）	接遇が不十分	マネジメント	2	4	1	2	1	8	接遇マニュアルの作成、周知		2	4	1	2	1	8	
5-22		新型コロナ	感染者判明	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	—	—	マネジメント	3	4	1	2	1	12	感染症対策マニュアルに沿った対応 可能な限りのワクチン接種		3	6	1	2	3	18	
5-23				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	—	—	マネジメント	4	4	1	2	1	16	感染症対策マニュアルに沿った対応		4	6	1	2	3	24	
5-24				運行後、遠隔監視者が感染者の濃厚接触者であったことが判明した	—	—	マネジメント	2	4	1	2	1	8	感染症対策マニュアルに沿った対応		2	6	1	2	3	12	
5-25				運行後、利用者の一人が感染者の濃厚接触者であったことが判明した	—	—	マネジメント	2	4	1	2	1	8	感染症対策マニュアルに沿った対応		2	6	1	2	3	12	
5-26				遠隔監視者の1人が感染し、他の監視者、関係者複数人が濃厚接触者となった	—	—	マネジメント	3	4	1	2	1	12	感染症対策マニュアルに沿った対応		3	4	1	2	1	12	
5-27			外出自粛	全国に緊急事態宣言による外出自粛が発令された	—	—	マネジメント	1	4	1	2	1	4			1	6	1	2	3	6	
5-28				福井県に緊急事態宣言による外出自粛が発令された	—	—	マネジメント	1	4	1	2	1	4			1	6	1	2	3	6	

無人自動運転移動サービスにおける 責任区分等の整理について

—福井県永平寺町でのレベル4自動運転移動サービスの事例に基づく検討—

経産省自動運転PJ (RoAD to the L4) : ZEN L4

2023年6月 報告書用

国立研究開発法人産業技術総合研究所
あいおいニッセイ同和損害保険株式会社
MS&ADインターリスク総研株式会社

1

■ 本資料の趣旨

- ◆ 本資料は、RoAD to the L4各実証実験テーマにおける「無人自動運転移動サービスの責任」について検討する際の参照資料を企図し
 - **Why**: 遠隔監視のみ(レベル4)の無人自動運転移動サービス(以下「レベル4」)の社会実装促進に向け、
 - **How**: 福井県永平寺町でのレベル4の実装に向けた取組事例に基づき、想定される運行プロセスにおける関係者間の役割、法的責任等を整理し、
 - **Whom**: 今後、新たにレベル4の開発や導入を検討する関係者を対象に、
 - **What**: 事前及び不具合発生時の責任分担等の在り方の検討に活用可能な参考資料として、まとめたものである。

■ 活用方法(例)

- ◆ 運行プロセスに基づき、各プロセス毎の「不具合事象」、「原因」、「責任の所在」等について、事前に検討・把握することが可能であるため、
 - 各ステークホルダーが追うべき役割と法的責任を概観するとともに、事業において保険にて対応すべき箇所の事前検討が可能。
 - 実際に事象が発生した場合において、不具合事象等の令を検索することにより、想定される責任の所在等について把握することが可能。
 - 自動運転移動サービスに関連する法規について、具体的な該当部分を参照することが可能。

※具体的な利用例のステップは8、9ページの「2. 無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の各整理シートの活用例①、②」を参照

無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の整理資料

【資料の構成】

これは、別資料の「無人自動運転移動サービスにおけるリスクアセスメントとリスクアセスメントシートについて」に示すように、リスクアセスメント結果の活用例としてのリスクアセスメント結果に基づく責任区分や法的責任を整理してまとめたものである。資料は、下記のとおり、責任区分等を以下のように3つのシートとして整理した概要と、各シートの活用として2つの例を説明した本資料と、別添資料として、取り纏め表シートから構成される。

ただし、資料は関係者と未調整のものであり、今後、法改正への対応と共に関係者との確認等が随時必要である。

1. 無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の整理シートについて

I. 無人自動運転移動サービス「プロセス毎責任区分シート」について

II. 無人自動運転移動サービス「役割毎集約シート」について

III. 無人自動運転移動サービス「法令等明細シート」について

2. 無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の各整理シートの活用例

活用例①: プロセスから責任を検討する場合について

【別添資料】

責任区分等取り纏め表シート（エクセル版）

- ・ガイド
- ・I. プロセス毎（検索性シートを別途準備）
- ・II. 役割毎集約
- ・III. 法令等明細

活用例②: 役割から責任を概観する場合について

※本資料と別添資料の詳細説明や配布等については、
最終ページの連絡先にご連絡ください。

3

1. 無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の整理シートについて

【整理シートの構成】

・無人自動運転移動サービスにおける責任区分等を下記のとおり、プロセス毎の責任区分、役割毎の集約、法令等明細の3つの切り口により整理し、3つのシートを作成している。

※ 改正道路交通法など未施行の法令等も、現時点の情報に基づき、責任区分の前提として整理

※ 2023年3月の公表版として同時点での法令、実装状況に基づき再整理の予定(現時点では関係者限りの扱い)

※ 詳細は別添:「230221責任区分取り纏め表」(Excelシート) 参照

シート名	内容
I. 無人自動運転移動サービス 「プロセス毎責任区分シート」	レベル4の運行プロセスを分解し、リスクアセスメント事例をもとに「不具合事象」「影響を受ける方」「原因」「事故原因者」「民事責任(対応可能性のある保険)」「刑事(行政)責任」について整理 ※リスクアセスメントを通じて想定される運行プロセス上の不具合事象のうち、代表的なものを掲載
II. 無人自動運転移動サービス 「役割毎集約シート」	レベル4における主な役割(player)毎に、想定事象と想定される責任を「民事(対人)」「民事(対物/機会損失)」「保険対応可能性」「刑事/行政」について整理 ※シートIの運行プロセス毎の整理を、主な役割(player)を軸に再整理したもの
III. 無人自動運転移動サービス 「法令等明細シート」	レベル4における主な役割(player)毎に、想定事象と想定される責任を「民事(対人)」「民事(対物/機会損失)」「保険対応可能性」「刑事/行政」について整理 ※シートIの運行プロセス毎の整理を、主な役割(player)を軸に再整理したもの

I. 無人自動運転移動サービス「プロセス毎責任区分シート」について

<シート概要>

- ① 遠隔監視のみ（レベル4）自動運転サービス（以下「レベル4」）の運行プロセスを分解し、リスクアセスメント事例をもとに「不具合事象」「影響を受ける方」「原因」「事故原因者」「民事責任(対応可能性がある保険)」「刑事(行政)責任」について整理
- ② レベル4実装時に想定される運行プロセスから不具合項目と対応を集約したリスクアセスメントシート(別途、整理)を活用し、不具合事象（故障/事故等、永平寺町運行想定事例200程度）のうち、代表的な事象について表記
 - ※ 法令について、現状の法令を暫定的に想定適用しているため、今後の法令改正、内閣府令等により異なる可能性有
 - また、現時点で取得できる情報をもとに施行見込みの改正道路交通法なども記載
 - ※ 保険対応可能性については、発生事象の状況及び事故時の引受保険会社約款によるため、必ずしも保険金の支払対象となることを示しているものではない

[内容例：停留所(出発時)、運行開始(発車許可)ボタン押下不良の場合]

場所	プロセス	想定される不具合事象	影響(何が起こったのか)	被害者(影響を受ける方)	原因事象	詳細原因	原因区分
停留所(出発時)	運行開始(発車許可)ボタンを押下	ボタンが押下できなかった(発車不能)	運行遅延/中断した	利用者	ECUがフリーズ	ECUの設計不備	ハード(遠隔S)
						ECUの故障	
						ECUの劣化	ハード(その他)
						ECU操作ミス	ヒト(遠隔監視員)
						通信途絶	通信

下段に続く

不具合原因者	民事責任についての可能性考察					刑事 行政責任についての可能性考察		
	損害形態(経済損、人的、物的)	責任主体	根拠責任	根拠法令等(民事)	想定される保険商品	補足	責任主体	根拠法令等(刑事)
事業者(システムメーカー)	(経済損) 利用者機会損失	自動運行装置	製造物責任	製造物責任法第3条	営業規則で免責記載判例でも責任を否認		自動運行装置	道路運送車両法第41条
特定自動運行実施者		特定自動運行実施者	不法行為責任	民法第709条			特定自動運行実施者	道路運送車両法第47条
特定自動運行主任者		特定自動運行実施者/特定自動運行主任者	債務不履行責任	民法第415条			特定自動運行主任者	改正道路交通法第75条
通信事業者		通信事業者					通信事業者	電気通信事業法 施行規則第57条(報告義務)

II. 無人自動運転移動サービス「役割毎集約シート」について

<シート概要>

- 遠隔監視のみ（レベル4）自動運転サービス（以下「レベル4」）における主な役割(player)毎に、想定事象と想定される責任を「民事(対人)」「民事(対物/機会損失)」「保険対応可能性」「刑事/行政」について整理
- ※ 法令について、現状の法令を暫定的に想定適用しているため、今後の法令改正、内閣府令等により異なる可能性有
 - また、現時点で取得できる情報をもとに施行見込みの改正道路交通法なども記載
 - ※ 保険対応可能性については、発生事象の状況及び事故時の引受保険会社約款によるため、必ずしも保険金の支払対象となることを示しているものではない

[内容例：運行業務受託者（特定自動運行実施者）の場合]

役割	レベル4の自動運転移動サービスの社会実装で想定されるステークホルダーを記載※	レベル4における想定責任/過失事象例(カッコ内は間接責任の可能性を示す)	想定される責任(可能性のあるもの)					
			民事(対人)	民事(対物/機会損失)	保険対応可能性		刑事/行政 根拠法	保険対応可能性(対応商品)
			責任(根拠法)	責任(根拠法)	想定される保険商品	備考		
運行業務受託者(特定自動運行実施者)		自動車事故について責任/過失がある	運行供用者責任(自動車損害賠償保障法第3条)	不法行為責任(民法第709条)	(対人)自賠責保険 自動車保険 (対物)自動車保険	<現時点の基本的な考え方> ・自賠責保険(レベル4までが混在する過渡期における考え方) 自動運転にかかる制度整備大綱で、対人賠償を随う自賠責法においては、「自動運転システム利用中の事故により生じた損害についても、従来の運行供用者責任を維持する」とこととされている ・自動車保険(対人事故)自賠責保険に準じる予定(対物事故)民法等、法律上の損害賠償責任に対し補償提供の可能性(今後の事故事例の蓄積による) ……………(略)	改正道路交通法第75条 道路運送車両法第47条の2 道路法第32条、第45条の2 道路運送法第79条	刑罰への保険対応は通常不可 →弁護士費用等の補償検討の可能性はあり

※ 永平寺町での社会実装においては、具体的なステークホルダー名が入るが、ここでは削除

2. 無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の各整理シートの活用例

<活用例②：役割から責任を概観する場合について>

無人自動運転移動サービスにおける責任区分等の各整理シートの活用例として、ステークホルダーの責任を概観することについて、以下に示す。

II. 役割毎集約シート

役割から責任を概観する場合

[例：無人自動運転移動サービスのステークホルダーの責任を概観する場合]

ステークホルダーの役割がいずれに該当するか

役割	ステークホルダー名
運行サービス事業	公共交通業務委託元
	運行業務受託者 (特定自動運行実施者)
	運行業務受託者 (特定自動運行従事者)
	車両所有者/事業等支援
自動運行装置等製造	管制装置製作
	遠隔・通信装置製作
	自動運行装置製作
	車両製作
	交差点センサ等製作
整備・修繕	車両整備・修繕
道路・道路施設管理	道路施設補修・維持
通信	通信事業者
保険事故対応	保険事故対応

○レベル4における想定責任/過失事象例 →

○想定される責任と根拠法が、以下の観点で整理され表で示され概観可能

- ・民事(対人)
- ・民事(対物/機会損失)

→対応する可能性のある保険

- ・刑事

→対応する可能性のある保険

レベル4における想定責任/過失事象例
自動車事故について責任/過失がある
自動車事故について責任/過失がある
自動車事故対応について責任/過失がある
製品欠陥
整備瑕疵
道路等の管理瑕疵
通信瑕疵

9

連絡先

<本資料と別添資料の詳細説明や配布等について>

以下の連絡先に、所属、氏名、住所、電話、E-mail、問い合わせ内容を記載のうえ、メールにてお問合せください。

・連絡先

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
 デジタルアーキテクチャ研究センター
 RoAD to the L4 リスクアセスメント等事務局
 担当：加藤、板橋、井上
 E-mail：m-rttl4-riskassess-ml@aist.go.jp

無人自動運転移動サービスにおける責任区分の整理について

2023年6月
報告書付録資料

1. 目的

【本資料の構成】

・無人自動運転移動サービスにおける責任区分等を下記のとおり、プロセス毎の責任区分、役割毎の集約、法令等明細の3つの切り口により整理し、

3つのシートを作成している。

※ 改正道路交通法など未施行の法令等も、現時点の情報に基づき、責任区分の前提として整理

※ 2023年3月に公表版として同時点での法令、実装状況に基づき再整理の予定(現時点では関係者限りの扱い)

2. シートの構成

以下の3シートにて構成

シート名	内容
I. 無人自動運転移動サービス 「プロセス毎責任区分シート」	レベル4の運行プロセスを分解し、リスクアセスメント事例をもとに「不具合事象」「影響を受ける方」「原因」「事故原因者」「民事責任(対応可能性がある保険)」「刑事(行政)責任」について整理 ※リスクアセスメントを通じて想定される運行プロセス上の不具合事象のうち、代表的なものを掲載
II. 無人自動運転移動サービス「役割毎集約シート」	レベル4における主な役割(player)毎に、想定事象と想定される責任を「民事(対人)」「民事(対物/機会損失)」「保険対応可能性」「刑事/行政」について整理 ※シートIの運行プロセス毎の整理を、主な役割(player)を軸に再整理したもの
III. 無人自動運転移動サービス「法令等明細シート」	レベル4における主な役割(player)毎に、想定事象と想定される責任を「民事(対人)」「民事(対物/機会損失)」「保険対応可能性」「刑事/行政」について整理 ※シートIの運行プロセス毎の整理を、主な役割(player)を軸に再整理したもの

I. 無人自動運転移動サービスプロセス毎責任区分シート

2017年
報告書
報告書作成資料

<シート概要> 【関係者間】
 ① 遠隔監視のみ(レベル4) 自動運転サービス(以下レベル4)の運行プロセスを分解し、リスクセメント例をもとに「不具合事象」「影響を受ける方」「原因」「事故原因者」「民事責任(対応可能性のある保険)」「刑事(行政)責任」について整理
 ② レベル4実施時に想定される運行プロセスにおけるリスクセメントから不具合項目と対応をまとめたリスクセメントシート(例:整理)を活用し、不具合事象(故障/事故等、永年許可申請)想定200程度の中から、代表的な事象について表記
 ※ 法令について、現状の法令を簡定的に想定適用しているため、今後の法令改正、内閣府令等により異なる可能性有
 また、現時点で取得できる情報をもとに運行済みの改正道路交通法および記載
 ※ 保険対応可能性については、発生事象の状況及び事故時の引当保険会社約款によるため、必ずしも保険金の支払対象となることを示しているものではない

場所	プロセス(車種別)	想定される不具合事象	影響(周辺に及ぼす)	被害者(影響を受ける方)	原因事象	民事責任(経済的・人的・物的)										刑事・行政責任(行政)の可能性	
						詳細原因	原因区分	不具合原因者	損害形態(経済的・人的・物的)	責任主体	根拠責任	根拠法令等(民事)	想定される保険品	補償	責任主体	根拠法令等(刑事)	
1 停機所(出発時)	運行開始(免許申請)ボタンを押下	ボタン押下できなかった(発車不能)	運行遅延/中断した	利用者	ECUの設計不備	ハード(演算S)	事業者(システムメーカー)	(経済的)利用者機会損失	自動運行装置	製造物責任	製造物責任法第3条	損害賠償(免責記載)特約も責任を否定	自動運行装置	道路交通法第1条			
					ECUの故障	ハード(その他)	特定自動運行実施者		特定自動運行実施者	不法行為責任	民法第709条		特定自動運行実施者	道路交通法第7条			
2 停機所(出発時)	停機所(出発時)	出発時に事故が発生した	/利用者の持ち物が壊れた /運行遅延/中断した	利用者	出発時刻に乗り遅れとして車両と接触	ソフトウェア	特定自動運行実施者	(経済的)出費 修理費 機会損失	特定自動運行実施者	運行供用者責任(人)/不法行為責任(物)	自動車損害賠償保障法第3条/民法第709条	自動車保険/自動車保険/PL保険	特定自動運行実施者	改正道路交通法第75条			
					車内システムの故障(センサー/設備の不備)	ソフトウェア	事業者(車両メーカー)		製造物責任	製造物責任法第3条	PL保険	車両製作	道路交通法第1条				
3 停機所(停車時)	停機所(停車時)	停車時に事故が発生した	/利用者の持ち物が壊れた /運行遅延/中断した	利用者	完全に停車する前に立ち上がり転倒	ソフトウェア	特定自動運行実施者	(経済的)出費 修理費 機会損失	特定自動運行実施者	運行供用者責任(人)/不法行為責任(物)	自動車損害賠償保障法第3条/民法第709条	自動車保険/自動車保険	特定自動運行実施者	改正道路交通法第75条			
					車内システムの故障(センサー/設備の不備)	ソフトウェア	事業者(車両メーカー)		製造物責任	製造物責任法第3条	PL保険	車両製作	道路交通法第1条				
4 目的地へ移動【乗客乗車】	乗客が乗車し目的地へ移動	乗客が乗車し目的地へ移動	/利用者の持ち物が壊れた /周辺にいた歩行者に接触/持ち物を壊した /周辺にいた歩行者に接触/持ち物を壊した /周辺にいた歩行者に接触/持ち物を壊した	乗客利用者(人)	センサーで検知出来ない大きさの物体を検出	ソフトウェア	事業者(車両メーカー)	(経済的)出費 修理費 機会損失	特定自動運行実施者/特定自動運行実施者	運行供用者責任(人)/不法行為責任(物)	自動車損害賠償保障法第3条/民法第709条	自動車保険/自動車保険	特定自動運行実施者	改正道路交通法第75条			
					センサーの不備(検知の精度)	ソフトウェア	事業者(車両メーカー)		製造物責任	製造物責任法第3条	PL保険	車両製作	道路交通法第1条				
5 目的地へ移動【乗客乗車】	乗客が乗車し目的地へ移動	乗客が乗車し目的地へ移動	/利用者の持ち物が壊れた /周辺にいた歩行者に接触/持ち物を壊した /周辺にいた歩行者に接触/持ち物を壊した	乗客利用者(人)	センサーで検知出来ない大きさの物体を検出	ソフトウェア	事業者(車両メーカー)	(経済的)出費 修理費 機会損失	特定自動運行実施者/特定自動運行実施者	運行供用者責任(人)/不法行為責任(物)	自動車損害賠償保障法第3条/民法第709条	自動車保険/自動車保険	特定自動運行実施者	改正道路交通法第75条			
					センサーの不備(検知の精度)	ソフトウェア	事業者(車両メーカー)		製造物責任	製造物責任法第3条	PL保険	車両製作	道路交通法第1条				
6 目的地へ移動【乗客乗車】	乗客が乗車し目的地へ移動	乗客が乗車し目的地へ移動	/利用者の持ち物が壊れた /周辺にいた歩行者に接触/持ち物を壊した /周辺にいた歩行者に接触/持ち物を壊した	乗客利用者(人)	センサーで検知出来ない大きさの物体を検出	ソフトウェア	事業者(車両メーカー)	(経済的)出費 修理費 機会損失	特定自動運行実施者/特定自動運行実施者	運行供用者責任(人)/不法行為責任(物)	自動車損害賠償保障法第3条/民法第709条	自動車保険/自動車保険	特定自動運行実施者	改正道路交通法第75条			
					センサーの不備(検知の精度)	ソフトウェア	事業者(車両メーカー)		製造物責任	製造物責任法第3条	PL保険	車両製作	道路交通法第1条				
7 目的地へ移動【乗客乗車】	乗客が乗車し目的地へ移動	乗客が乗車し目的地へ移動	/利用者の持ち物が壊れた /周辺にいた歩行者に接触/持ち物を壊した /周辺にいた歩行者に接触/持ち物を壊した	乗客利用者(人)	センサーで検知出来ない大きさの物体を検出	ソフトウェア	事業者(車両メーカー)	(経済的)出費 修理費 機会損失	特定自動運行実施者/特定自動運行実施者	運行供用者責任(人)/不法行為責任(物)	自動車損害賠償保障法第3条/民法第709条	自動車保険/自動車保険	特定自動運行実施者	改正道路交通法第75条			
					センサーの不備(検知の精度)	ソフトウェア	事業者(車両メーカー)		製造物責任	製造物責任法第3条	PL保険	車両製作	道路交通法第1条				
8 目的地へ移動【乗客乗車】	乗客が乗車し目的地へ移動	乗客が乗車し目的地へ移動	/利用者の持ち物が壊れた /周辺にいた歩行者に接触/持ち物を壊した /周辺にいた歩行者に接触/持ち物を壊した	乗客利用者(人)	センサーで検知出来ない大きさの物体を検出	ソフトウェア	事業者(車両メーカー)	(経済的)出費 修理費 機会損失	特定自動運行実施者/特定自動運行実施者	運行供用者責任(人)/不法行為責任(物)	自動車損害賠償保障法第3条/民法第709条	自動車保険/自動車保険	特定自動運行実施者	改正道路交通法第75条			
					センサーの不備(検知の精度)	ソフトウェア	事業者(車両メーカー)		製造物責任	製造物責任法第3条	PL保険	車両製作	道路交通法第1条				
9 目的地へ移動【乗客乗車】	乗客が乗車し目的地へ移動	乗客が乗車し目的地へ移動	/利用者の持ち物が壊れた /周辺にいた歩行者に接触/持ち物を壊した /周辺にいた歩行者に接触/持ち物を壊した	乗客利用者(人)	センサーで検知出来ない大きさの物体を検出	ソフトウェア	事業者(車両メーカー)	(経済的)出費 修理費 機会損失	特定自動運行実施者/特定自動運行実施者	運行供用者責任(人)/不法行為責任(物)	自動車損害賠償保障法第3条/民法第709条	自動車保険/自動車保険	特定自動運行実施者	改正道路交通法第75条			
					センサーの不備(検知の精度)	ソフトウェア	事業者(車両メーカー)		製造物責任	製造物責任法第3条	PL保険	車両製作	道路交通法第1条				

II. 無人自動運転移動サービス「役割毎集約シート」

2023年6月
報告書付投資料

<シート概要> 【関係者指】
 遠隔監視のみ（レベル4）自動運転サービス（以下「レベル4」）における主な役割（player）毎に、想定事象と想定される責任を「民事（対人）」「民事（対物/機会損失）」
 「保険対応可能性」「刑事/行政」について整理
 ※ 法令について、現状の法令を暫定的に想定適用しているため、今後の法令改正、内閣府令等により異なる可能性有
 また、現時点で取得できる情報をもとに進行見込みの改正道路交通法なども記載
 ※ 保険対応可能性については、発生事象の状況及び事故時の引受保険会社約款によるため、必ずしも保険会の支払対象となることを示しているものではない

役割	レベル4の自動運転移動サービスの社会実装で想定されるステークホルダーを記載※	レベル4における想定責任/過失事象例 (カッコ内は間接責任の可能性を示す)	想定される責任(可能性のあるもの)					備考			
			民事(対人)		民事(対物/機会損失)		保険対応可能性				
			責任 (根拠法)	責任 (根拠法)	責任 (根拠法)	責任 (根拠法)	想定される保険商品		備考		
運行サービス事業	公共交通業務委託元										
	運行業務受託者 (特定自動運行実施者)		自動車事故について責任/過失がある	運行供用者責任 (自動車損害賠償保障法第3条)	不法行為責任 (民法第709条)	(対人) 自賠責保険 自動車保険 (対物) 自動車保険	<現時点の基本的な考え方> ・自賠責保険（レベル4までが滞在する過渡期における考え方） 自動車損害賠償保障法第3条、対人賠償を踏う自賠責法においては、「自動運転システム利用中の事故により生じた損害についても、従来の運行供用者責任を維持する」とされている ・自動車保険 （対人事故）自賠責保険に準じる予定 （対物事故）民法等、法律上の損害賠償責任に対し補償提供の可能性（今後の事故事例の蓄積による） （不正アクセス等に起因する対人・対物事故） 特約（被害者救済特約等）により補償提供の可能性（保険会社毎に決定） ・その他 （自動運転中の故障等に伴う、乗客の経済損） 特約により代金返還等を補償できる可能性（保険会社毎に決定）	改正道路交通法第75条 道路運送車両法第47条の2 道路法第32条、第45条の2 道路運送法第79条	刑事/行政 根拠法	保険対応可能性 (対応商品)	
	運行業務受託者 (特定自動運行従事者)		自動車事故について責任/過失がある	運行供用者責任 (自動車損害賠償保障法第3条)	不法行為責任 (民法第709条)						
			自動車事故対応について責任/過失がある	不法行為責任 (民法第709条)	不法行為責任 (民法第709条)						
車両所有者/事業等支援											
自動運行装置等製造	管制装置製作		製品欠陥	製造物責任 (製造物責任法第3条)	製造物責任 (製造物責任法第3条)	(対人・対物) PL保険 /（サイバー保険）	<現時点の基本的な考え方> 被害者に対しては、主に自動車保険の引受保険会社から保険金を支払い、当該保険会社から本来の責任主体へ求償されるケース等が想定される ・PL保険 （対人・対物事故）製品または製品と一体となっているソフトの不具合に起因する事故の場合に、支払対象となる可能性 ・サイバー保険 （対人・対物事故）不正アクセス等に起因する事故の場合に、支払対象となる可能性（保険会社毎に決定）	道路運送車両法第99条の3 道路運送車両法第41条、第47条、第99条の3 道路運送車両法第41条、第47条、第99条の3		刑罰への保険対応は通常不可 →弁護士費用等の補償検討の 可能性はあり	
	遠隔・通信装置製作		製品欠陥	製造物責任 (製造物責任法第3条)	製造物責任 (製造物責任法第3条)						
	自動運行装置製作		製品欠陥	製造物責任 (製造物責任法第3条)	製造物責任 (製造物責任法第3条)						
	車両製作		製品欠陥	製造物責任 (製造物責任法第3条)	製造物責任 (製造物責任法第3条)						
	交差点センサ製作		製品欠陥	製造物責任 (製造物責任法第3条)	製造物責任 (製造物責任法第3条)						
整備・修繕	車両整備・修繕		整備瑕疵	(債務不履行) (民法第415条、第416条)	(債務不履行) (民法第415条、第416条)	(対人・対物) PL保険	<現時点の基本的な考え方> 被害者に対しては、主に自動車保険の引受保険会社から保険金を支払い、当該保険会社から本来の責任主体へ求償されるケース等が想定される	道路運送車両法第47条			
道路・道路施設管理	道路施設補修・維持		道路等の管理瑕疵	製造物責任 (国家賠償法第2条)	製造物責任 (国家賠償法第2条)	(対人・対物) 道路賠償保険	・道路賠償保険（施設賠償保険）で補償できる可能性	道路法第32条、第45条の2			
運賃	運賃事業者		運賃瑕疵		経路損失の補償責任 (運賃約款/契約書で規定)	-	・保険以外（運賃キリアによる運賃約款）での対応が一般的		-		
保険事故対応	保険事故対応	保険会社	保険対象事故の発生	填補責任 (自動車損害賠償保障法第11条、自動車保険約款)	填補責任 (自動車保険約款)	-	-	-	-		

※ 永年寄附での社会実装においては、具体的なステークホルダー名が入るが、ここでは省略

Ⅲ.無人自動運転移動サービス「法令等明細シート」

2023年6月
報告書付録資料

<シート概要> 【関係者限】
遠隔監視のみ（レベル4）自動運転サービス（以下「レベル4」）における主な関連法令等を記載し、「法律」「関連法令」「罰則等」「想定事象」「該当者」「運行に関する論点」について整理
※ 法令について、現状の法令を暫定的に想定適用しているため、今後の法令改正、内閣府令等により異なる可能性有
また、現時点で取得できる情報をもとに施行見込みの改正道路交通法なども記載

自動運行 法令等アプローチ資料

2023年3月 道交法等施行前時点

分類	当局	関連法令	法律	関連法令1	関連法令2	罰則等	想定事象（レベル4）	該当者											運行に関する論点	
								公共交通業務委託元	特定自動運行実施者	現場措置業務実施者	管理措置業務実施者	通信事業者	車両整備・修繕	自動運行装置製作	車両製作	交差点センサー製作	道路施設補修・維持	保険事故対応		
保安基準	国土交通省	道路運送車両法	（自動車の装置） 第四十一条 自動車は、次に掲げる装置について、国土交通省令で定める保安上又は公害防止その他の環境保全上の技術基準に適合するものでなければ、運行の用に供してはならない。 二十 自動運行装置	（道路運送車両の保安基準） （自動運行装置） 第四十八条 自動車（二輪自動車、側車付二輪自動車、三輪自動車、カゴ及びそれを有する軽自動車、大型特殊自動車、小型特殊自動車並びに被牽引自動車を除く。）には、自動運行装置を備えることができる。 二 自動運行装置を備える自動車は、プログラムによる当該自動車の自動的な運行の安全性を確保できるものとして、機能、性能等に開示して定める基準に適合しなくてはならない。 三 法第七十五条の三第一項（装置の指定）の規定によりその型式について指定を受ける自動運行装置は、当該装置を備える自動車を前項の基準に適合させるものでなければならず、	（道路運送車両の保安基準（2022年4月8日現在）） ※レベル4 責任区分に該当すると思われる箇所のみ抜粋。 ※高速道路での運行の場合、別途追加 五：走行環境条件を満たさなくなる場合または自動運行装置が正常に作動しない恐れがある場合において運転者が運転操作を行わないときはリスクの最小化を図るための制動により車両が安全に停止すること 七 自動運行装置若しくはリスク最小化制動の作動中又は第三号若しくは第四号の警報が発せられている間、他の交通又は障害物との衝突のおそれがある場合には、衝突を防止する又は衝突時の被害を最大限軽減するための制動が作動するものであること。 九 次に掲げる場合において、自動運行装置が作動しないものであること。 イ 走行環境条件を満たしていない場合 ロ 自動運行装置が正常に作動しないおそれがある場合	第百十条 三十万円以下の罰金	○走行環境条件を満たさなくなる場合または自動運行装置が正常に作動しない恐れがある場合においてMRMが機能しなかった											○MRMが機能しなかった場合の、保安上の原因、懸念事項の整理 ・外部ハッキング等による制御不能 ・ハード(車体、センサー、通信装置等) ・ソフト(制御プログラム等)		
点検整備	国土交通省	道路運送車両法	（使用者の点検及び整備の義務） 第四十七条 自動車の使用者は、自動車の点検をし、及び必要に応じ整備をすることにより、当該自動車を保安基準に適合するように維持しなければならない。	（定期点検整備） 第四十八条 自動車（小型特殊自動車を除く。以下この項、次条第一項及び第五十四条第四項において同じ。）の使用者は、次の各号に掲げる自動車について、それぞれ当該各号に掲げる期間ごとに、点検の時期及び自動車の種別、用途等に応じ国土交通省令で定める技術上の基準により自動車を点検しなければならない。	（自動車の検査及び自動車検査証） 第五十一条 自動車は、この章に定めるところにより、国土交通大臣の行う検査を受け、有効な自動車検査証の交付を受けているものでなければ、これを運行の用に供してはならない	第百八条 六月以下の懲役又は三十万円以下の罰金（第五十八条）	○定期点検時において自動運転装置が保安基準を充足せず検査未了となった ○定期点検時において自動運転装置が保安基準を充足していないにも関わらず検査了となった											○定期点検整備時におけるレベル4でのハード、ソフト(プログラム)基準		
点検整備	国土交通省	道路運送車両法	（日常点検整備） 第四十七条の二 自動車の使用者は、自動車の走行距離、運行時の状態等から判断した適切な時期に、国土交通省令で定める技術上の基準により、灯火装置の点検、制動装置の作動その他の日常的に点検すべき事項について、自視等により自動車を点検しなければならない。				○特定自動運行実施者は定められた日常点検を実施したものの、自動運行装置のエラーが発生した												○日常点検の範囲整備とレベル4自動運行装置のシステム点検範囲	
許可・届出	国土交通省	道路運送車両法	（特定改造等の許可） 第九十九条の三 自動車検査証交付済自動車等について、次に掲げる行為（以下「特定改造等」という。）をしようとする者は、国土交通省令で定めるところにより、あらかじめ、国土交通大臣の許可を受けなければならない。 一 自動運行装置その他の装置に組み込まれたプログラム等の改造による自動車の改造であつて、当該改造のためのプログラム等が適切なものでなければ自動車が保安基準に適合しなくなるおそれのあるものとして国土交通省令で定めるものを電気通信回線を使用する方法その他の国土交通省令で定める方法によりする行為 二 前号に規定する改造をさせる目的をもつて、電気通信回線を使用する方法その他の国土交通省令で定める方法により自動車の使用者その他の者に対し当該改造のためのプログラム等を提供する行為	（改造措置の届出等） 第六十三条の三 自動車製作業者等は、その製作し、又は輸入した同一の型式の一定の範囲の自動車の構造、装置又は性能が保安基準に適合しなくなるおそれがある状態又は適合していない状態にあり、かつ、その原因が設計又は製作の過程にあると認められる場合において、当該自動車について、保安基準に適合しなくなるおそれなくするため又は保安基準に適合させるために必要な改造措置を講じようとするときは、あらかじめ、国土交通大臣に次に掲げる事項を届け出なければならない。		第百九条 五十万円以下の罰金（第九十九条の三の七）	○遠隔通信に関する許可、届出を要するプログラム改造と認識せず更新し、点検等で発見した												○レベル4基準におけるソフト(プログラム)の許可、届出基準 ○「その他の者」の範囲	
許可・届出	国土交通省	道路法	（道路の占用の許可） 第三十二条 道路に次の各号のいずれかに掲げる工作物、物件又は施設を設け、継続して道路を使用しようとする場合には、道路管理者の許可を受けなければならない。 三 鉄道、軌道、自動運行補助施設その他これらに類する施設	（道路の占用の許可基準） 第三十三条 道路管理者は、道路の占用が前条第一項各号のいずれかに該当するものであつて道路の敷地外に余地がないためにやむを得ないものであり、かつ、同条第二項第二号から第七号までに掲げる事項について政令で定める基準に適合する場合に限り、同条第一項又は第三項の許可を与えることができる。 二 次に掲げる工作物、物件又は施設で前項の規定に基づく政令で定める基準に適合するものための道路の占用については、同項の規定にかかわらず、前条第一項又は第三項の許可を与えることができる 六 前条第一項第三号に掲げる自動運行補助施設で、自動車の自動運転に係る技術の活用による地域における持続可能な公共交通網の形成又は物質の流通の確保、自動車技術の発達その他安全かつ円滑な道路の交通の確保を図る活動を行うことを目的とする法人又はこれに準ずるものとして国土交通省令で定める者が設けるもの	（用語の定義） 第二条 この法律において「道路」とは、一般交通の用に供する道で次条各号に掲げるものをいい、トンネル、橋、渡船施設、道路用エレベーター等道路と一体となつてその効用を全うする施設又は工作物及び道路の附属物で当該道路に附属して設けられているものを指し、 五 自動運行補助施設（電子的方法、磁気的方法その他の人の知覚によつて認識することができない方法により道路運送車両法（昭和二十六年法律第百八十五号）第四十一条第一項第二十号に掲げる自動運行装置を備えている自動車の自動的な運行を補助するための施設その他これに類するものをいう。以下同じ。）で道路上に又は道路の路面下に第十八条第一項に規定する道路管理者が設けるもの	第百二条 一年以下の懲役又は五十万円以下の罰金	○道路管理者が特定運行事業者であったため占有の許可を行っていない												○道路を特定運行事業者が保有する場合の許可基準	
許可・届出	国土交通省	道路法	（自動運行補助施設の性能の基準等） 第四十五条の二 道路の附属物である自動運行補助施設の性能の基準その他自動運行補助施設に関し必要な事項は、国土交通省令で定める。 二 道路管理者は、道路の附属物である自動運行補助施設を設置した場合においては、当該自動運行補助施設の性能、当該自動運行補助施設を設置した道路の場所その他必要な事項を、国土交通省令で定めるところにより、公示しなければならない。公示した事項を変更した場合においても、同様とする	（報告の届出） 第七十六条 道路管理者は、国土交通省令で定めるところにより、次に掲げる事項を都道府県である場合にあっては国土交通大臣に、市町村である場合にあっては都道府県知事に報告しなければならない。 三 道路の附属物である自動運行補助施設の設置状況	省令【道路法施行規則】予定（国交省説明資料より） 自動運行補助施設に必要な性能等①②③ ○施設について、以下の内容の性能等を規定。 ・自動運転車等の補助に必要な磁界等を発生するもの （①） ・設置された道路の位置を示す情報を表示するもの （②） ・設置された道路等の構造、他の車両、人、障害物を表示するもの（③） ・道路の構造、交通に著しい支障を及ぼさないこと①、②、③については、国土交通大臣が定める基準に適合するものであること		○電磁誘導線が省令に必要な基準を満たしていない												○自動運行補助施設の性能を担保するために必要なメンテナンス基準の設定等	
許可・届出	国土交通省	道路運送法	（登録） 第七十九条 自家用有償旅客運送を行うおとする者は、国土交通大臣の行う登録を受けなければならない。 （登録の申請） 第七十九条の二 前条の登録を受けようとする者は、次に掲げる事項を記載した申請書を国土交通大臣に提出しなければならない。	（輸送の安全及び旅客の利便の確保） 第七十九条の九 自家用有償旅客運送者は、自家用有償旅客運送自動車の運転者の業務の管理その他の運行の管理、自家用有償旅客運送自動車への当該自動車である旨の表示その他の旅客に対する適切な情報の提供その他の輸送の安全及び旅客の利便の確保のために必要な事項として国土交通省令で定めるものを遵守しなければならない。 二 国土交通大臣は、自家用有償旅客運送者の業務について輸送の安全又は旅客の利便が確保されていないと認めるときは、自家用有償旅客運送者に対し、次に掲げる措置その他その是正のために必要な措置を講ずべきことを命ずることができる。 一 自家用有償旅客運送自動車の運行の管理の方法を改善すること。 二 路線又は運送の区域を変更すること。 三 旅客から収受する対価を変更すること。 四 旅客の運送に関し支払うことあるべき損害賠償のための保険契約を締結すること。		第九十八条の二 五十万円以下の罰金に処する。	○特定自動運行である等の情報を提供することなく自家用有償旅客運送を行った													○特定自動運行における提供すべき情報の範囲 ○(将来的に) 乗合有償の場合の運送約款、貨物自動車に関しては貨物自動車運送事業法に定める運送約款について精査を要する

分類	当局	関連法令	法律	関連法令1	関連法令2	罰則等	想定事象(レベル4)	該当者													運行に関する論点			
								公共交通業務委託元	特定自動運行実施者	現場措置業務実施者	支援者	管制装置製作	遠隔・通信装置製作	通信事業者	車両整備・修繕	自動運行装置製作	車両製作	交差点センサ制作	道路施設補修・維持	保険事故対応				
特定自動運行	警察庁	改正道路交通法	(特定自動運行の許可) 第七十五条の十二 特定自動運行を行うとする者は、特定自動運行を行うとする場所を管轄する公安委員会の許可を受けなければならない。 2 前項の許可を受けようとする者は、次に掲げる事項を記載した申請書を公安委員会に提出しなければならない。(略)	(許可事項の変更) 第七十五条の十六 第七十五条の十二第一項の許可を受けた者(以下「特定自動運行実施者」という。)は、特定自動運行計画を変更しようとするときは、内閣府令で定めるところにより、公安委員会の許可を受けなければならない。ただし、内閣府令で定める軽微な変更については、この限りでない。(略)	内閣府令 第九条の二十四 軽微な変更は、特定自動運行計画の変更のうち次に掲げるものとする。(略)	第七十五条の二の二 三年以下の懲役又は五十万円以下の罰金	○特定自動運行計画の軽微な変更の範囲内と認められ許可の取得が済んだ。																○特定自動運行実施者の資格等の確認 ○内閣府令の内容確認により運営を規定も申請者は業務委託元でも可能か	
			(特定自動運行計画等の遵守) 第七十五条の十八 特定自動運行は、第七十五条の十二第一項の許可を受けた特定自動運行計画(第七十五条の十六第一項又は第三項の規定による変更の許可又は届出があつたときは、その変更後のもの、第七十五条の二十七第一項第二号において同じ。)及び第七十五条の十五第一項(第七十五条の十六第二項において準用する場合を含む。)の規定により付された条件(第七十五条の十五第二項(第七十五条の十六第二項において準用する場合を含む。))の規定により変更され、又は新たに付された条件を含む。)に従わなければならない。			第七十五条の四 一年以下の懲役又は三十万円以下の罰金	○特定自動運行計画の内容を順守せず運行を行った																○特定自動運行計画に定めるべき事項および履行状況	
			(特定自動運行を行う前の措置) 第七十五条の十九 特定自動運行実施者は、次項の規定により指定した特定自動運行主任者、第三項の規定により指定した現場措置業務実施者その他の特定自動運行のために使用する者(以下「特定自動運行業務従事者」という。)に対し、第七十五条の二十一、第七十五条の二十二及び第七十五条の二十三第一項から第三項までの規定による措置その他のこの法律及びこの法律に基づき命令の規定並びにこの法律の規定に基づく処分により特定自動運行業務従事者が実施しなければならない措置を円滑かつ確実に実施させるため、内閣府令で定めるところにより教育を行わなければならない。 2 特定自動運行実施者は、特定自動運行を行うときは、第七十五条の二十一、第七十五条の二十二並びに第七十五条の二十三第一項及び第三項の規定による措置その他のこの法律及びこの法律に基づく命令の規定並びにこの法律の規定に基づく処分により特定自動運行主任者が実施しなければならない措置を講じさせるため、当該措置を講ずるために必要な適性について内閣府令で定める条件を備える者のうちから、特定自動運行主任者を指定しなければならない。 3 特定自動運行実施者は、次条第一項第一号に規定する措置を講じて特定自動運行を行うときは、第七十五条の二十三第一項及び第二項の規定による措置を講じさせるため、現場措置業務実施者を指定しなければならない。	内閣府令 第九条の二十七(教育) 第九条の三十(特定自動運行中である旨の表示)			○特定自動運行実施者は内閣府令で定める内容の特定自動運行業務従事者への教育を行わなかった。 ○特定自動運行主任者が内閣府令で定める条件を満たしていなかった ○現場措置業務実施者の指定が済んでいた																○内閣府令で定める ・教育の内容 ・教育の実施主体に関する検討、委託は可能か ・教育の証明 ・教育実施の報告 ○ " 特定自動運行主任者の要件 ○ " 現場措置業務実施者の要件	
			(特定自動運行中の遵守事項) 第七十五条の二十 特定自動運行実施者は、特定自動運行中の特定自動運行用自動車について、次の各号のいずれかの措置を講じなければならない。 一 当該特定自動運行用自動車の周囲の道路及び交通の状況並びに当該特定自動運行用自動車の状況を検査及び音声により確認することができる装置で内閣府令で定めるところを第七十五条の二十二第二号八に規定する場所に備え付け、かつ、当該場所に特定自動運行主任者を配置する措置 二 第七十五条の二十三第三項の規定による措置その他の措置を講じさせるため、特定自動運行主任者を当該特定自動運行用自動車に配置させる措置 2 特定自動運行実施者は、特定自動運行を行っているときは、内閣府令で定めるところにより、当該特定自動運行用自動車の見やすい場所に特定自動運行中である旨を表示しなければならない。	内閣府令 第九条の二十九(遠隔監視装置) 第九条の三十(特定自動運行中である旨の表示)			○特定自動運行主任者の配置場所に設置した装置が内閣府令を満たしていなかった。																○状況を映像及び音声により確認できる装置および運用の要件 ○特定自動運行主任者の配置場所と運行実施場所との距離 ○車内乗車の特定自動運行主任者が事故に適切に対応できない場合の代替(その他の乗務員の定義)	
			(特定自動運行主任者の義務) 第七十五条の二十一 前条第一項第一号の規定により配置された特定自動運行主任者は、当該特定自動運行用自動車が発動しているときは、同項に規定する装置の作動状態を監視しなければならない。この場合において、当該装置が正常に作動していないことを認めるときは、当該特定自動運行主任者は、直ちに、当該特定自動運行を終了するための措置を講じなければならない。 2 特定自動運行主任者は、道路において特定自動運行が終了したときは、直ちに、次条又は第七十五条の二十三第一項若しくは第三項の規定による措置その他のこの法律及びこの法律に基づく命令の規定並びにこの法律の規定に基づく処分により特定自動運行主任者が実施しなければならない措置を講ずべき事由の有無を確認しなければならない。					○特定自動運行装置が正常に作動していなかったが、終了措置をどうなかった。 ○特定自動運行が終了したが、装置を講ずべき事由の有無を確認しなかった。																○特定自動運行主任者に求められる監視をしなければならぬ装置とはどこまでを指すか ○常時監視の必要性 ○複数台監視の状況での特定運行主任者対応の優先順位
			(特定自動運行が終了した場合の措置) 第七十五条の二十二 特定自動運行主任者は、特定自動運行が終了した場合において、当該特定自動運行用自動車又は当該特定自動運行主任者に対し次の各号のいずれかの措置又は命令が行われているときは、直ちに、当該特定自動運行用自動車を当該措置又は命令に従って通行させるため必要な措置を講じなければならない。 一 第四条第一項後段に規定する警察官の現場における指示(略) 2 特定自動運行主任者は、特定自動運行が終了した場合において、当該特定自動運行用自動車に緊急自動車若しくは消防用車両が接近し、又は当該特定自動運行用自動車の付近に緊急自動車若しくは消防用車両があるときは、直ちに、当該特定自動運行用自動車が当該緊急自動車又は消防用車両の通行を妨げないようにするための必要な措置を講じなければならない。 3 特定自動運行主任者は、特定自動運行が終了した場合において、当該特定自動運行用自動車が違法駐車と認められる場合は、直ちに、当該特定自動運行用自動車の駐車の方法を変更し、又は当該特定自動運行用自動車を当該場所から移動するための必要な措置を講じなければならない。				○特定自動運行主任者は特定自動運行が終了した場合に現場警察等の指示に従わなかった。																	○特定自動運行開始、終了、中止の規定(タイムアウト) ○乗客による緊急停止押下は特定自動運行の終了か ○特定自動運行主任者への教育、指導範囲
			(特定自動運行において交通事故があつた場合の措置) 第七十五条の二十三 特定自動運行(道路において当該特定自動運行が終了した場合を含む。第三項及び第六項並びに第七十五条第三項において同じ。)において特定自動運行用自動車(第七十五条の二十一第一号に規定する措置が講じられたものに限る。)に係る交通事故があつたときは、同項の規定により配置された特定自動運行主任者は、直ちに当該交通事故の現場の最寄りの消防機関に通報する措置及び現場措置業務実施者を当該交通事故の現場に向かわせる措置(当該交通事故による人の死傷がないことが明らかでない場合は、現場措置業務実施者を当該交通事故の現場に向かわせる措置)を講じなければならない。この場合において、当該特定自動運行用自動車の特定自動運行主任者は、直ちに当該交通事故の現場の最寄りの警察署(派出所又は駐在所を含む。第三項及び第四項において同じ。)の警察官に交通事故発生日時等を報告しなければならない。				○特定自動運行主任者が人身事故発生時に ・消防機関への連絡 ・現場措置業務実施者の派遣 ・最寄りの警察への報告 対応を行わなかった。																	○特定自動運行主任者 ・消防機関への通報義務が免除される場合 ・現場措置業務実施への通知方法

分類	当局	関連法令	法律	関連法令1	関連法令2	罰則等	想定事象 (レベル4)	該当者											運行に関する論点	
								公共交通業務委託元	特定自動運行実施者	特定自動運行主任者	現場措置業務実施者	支援者	管理装置製作/保守等	遠隔・通信装置製作	通信事業者	車両整備・修繕	自動運行装置製作	車両製作		交差点センサ制作
			2 前項に規定する交通事故の現場に到着した現場措置業務実施者は、当該交通事故の現場において、道路における危険を防止するための必要な措置を講じなければならない。 3 特定自動運行において特定自動運行用自動車（第七十五条の二十第一項第二号に規定する措置が講じられたものに限る。）に係る交通事故があつたときは、当該交通事故に係る特定自動運行用自動車に同項の規定により乗車させられた特定自動運行主任者その他の乗務員（第五項において「特定自動運行主任者等」という。）は、直ちに、負傷者を救済し、道路における危険を防止する等必要な措置を講じなければならない。この場合において、当該特定自動運行用自動車の特定自動運行主任者（特定自動運行主任者が死亡し、又は負傷したためやむを得ないときは、その他の乗務員。次項において同じ。）は、警察官が現場にいるときは当該警察官に、警察官が現場にいないときは直ちに最寄りの警察署の警察官に交通事故発生日時等を報告しなければならない。 4、5、6(略)				○車内にいた特定自動運行主任者が罹災し、対応が行えずその他の乗務員も乗車しておらず対応できなかった。													○現場措置業務実施者の配置場所と事故現場の距離 ○現場措置業務実施者の最低配置人数 ○現場措置業務実施者の兼務 ○現場措置業務実施者の外部委託 ○乗車した特定自動運行主任者以外の他の乗務員とは？
			(特定自動運行の特則) 第七十五条の二十四特定自動運行実施者による特定自動運行についてのこの法律の規定（第四章第二節を除く。）の適用については、次の表に掲げる規定中同表の中欄に掲げる字句は、それぞれ同表の下欄に掲げる字句とするほか、必要な技術的読替えは、政令で定める。	第六条 警察官又は第一百十四条の四第一項に規定する交通監視員（以下「警察官等」という。）は、手信号その他の信号（以下「手信号等」という。）により交通整理を行なうことができる。この場合において、警察官等は、道路における危険を防止し、その他交通の安全と円滑を図るため必要と認めるときは、信号機の表示する信号にかかわらず、これと異なる意味を表示する手信号等を表示することができる。 2 警察官は、車両等の通行が著しく停滞したことにより道路（高速自動車国道及び自動車専用道路を除く。第四項において同じ。）における交通が著しく混雑するおそれがある場合において、当該道路における交通の円滑を図るためやむを得ないときは、その現場における混雑を緩和するため必要限度において、その現場に進行して行く車両等の通行を禁止し、若しくは制限し、その現場にある車両等の運転者（特定自動運行主任者）に対し、当該車両等を後退させることを命じ、又は第八條第一項、第三章第一節、第三節若しくは第六節に規定する通行方法と異なる通行方法によるべきことを命ずることができる。 3 略			○道交法読み替え規定													○特定自動運行主任者への教育、指導
			(踏切の通過) 第三十三条 車両等は、踏切を通過しようとするときは、踏切の直前（道路標識等による停止線が設けられているときは、その停止線の直前。以下この項において同じ。）で停止し、かつ、安全であることを確認した後でなければ進行してはならない。ただし、信号機の表示する信号に従うときは、踏切の直前で停止しないで進行することができる。 2 略 3 車両等の運転者（特定自動運行主任者）は、故障その他の理由により踏切において当該車両等を運転することができなくなったときは、直ちに非常信号を行なう等踏切に故障その他の理由により停止している車両等があることを鉄道若しくは軌道の係員又は警察官に知らせるための措置を講ずるとともに、当該車両等を踏切以外の場所に移動するため必要な措置を講じなければならない。				○道交法読み替え規定												○特定自動運行主任者への教育、指導	
			(危険防止等の措置) 第七十五条の三 警察官は、道路の損壊、交通事故の発生その他の事情により高速自動車国道又は自動車専用道路（以下「高速自動車国道等」という。）において交通の危険が生じ、又は交通の混雑が生ずるおそれがある場合において、当該道路における危険を防止し、その他交通の安全と円滑を図るためやむを得ないときは、必要限度において、その現場に進行して行く自動車の通行を禁止し、若しくは制限し、又はその現場にある自動車の運転者（特定自動運行主任者）に対し、第十七条第一項及び道路法第四十七條第四項の規定に基づき政令の規定にかかわらず路肩又は路側帯を通行すべきことを命じ、若しくは第八條第一項、第三章第一節、同章第六節若しくはこの章に規定する自動車の通行方法と異なる通行方法によるべきことを命ずることができる。				○道交法読み替え規定												○特定自動運行主任者への教育、指導	
			(故障等の場合の措置) 第七十五条の十一 自動車の運転者は、故障その他の理由により本線車道若しくはこれに接する加速車線、減速車線若しくは登坂車線（以下「本線車道等」という。）又はこれらに接する路肩若しくは路側帯において当該自動車を運転することができなくなったときは、政令で定めるところにより、当該自動車が故障その他の理由により停止しているものであることを表示しなければならない。 2 自動車の運転者（特定自動運行主任者）は、故障その他の理由により本線車道等において運転することができなくなったときは、速やかに当該自動車を本線車道等以外の場所に移動するため必要な措置を講じなければならない。				○道交法読み替え規定												○特定自動運行主任者への教育、指導	
損害賠償	国土交通省/金融庁	自動車損害賠償保障法	(自動車損害賠償責任) 第三条 自己のために自動車を運行の用に供する者は、その運行によって他人の生命又は身体を害したときは、これによって生じた損害を賠償する責に任ずる。ただし、自己及び運転者が自動車の運行に関し注意を怠らなかつたこと、被害者又は運転者以外の第三者に故意又は過失があつたこと並びに自動車に構造上の欠陥又は機能の障害がなかつたことを証明したときは、この限りでない。	(民法の適用) 第四条 自己のために自動車を運行の用に供する者の損害賠償の責任については、前条の規定によるほか、民法（明治二十九年法律第八十九号）の規定による。			○自動車人身事故について過失がある												○特定自動運行における運行供用者および特定自動運行主任者の責任区分 ○ハッキングの場合は政府保障事業	
損害賠償	法務省	民法	(不法行為による損害賠償) 第七百九条 故意又は過失によって他人の権利又は法律上保護される利益を侵害した者は、これによって生じた損害を賠償する責任を負う				○自動車事故について過失がある (対人・対物) ※運行遅延等については営業規則で免責記載。判例でも責任を否認													○特定自動運行主任者による横断歩道における限界、何台までであれば過失を問われるか

分類	当 局	関連法令	法律	関連法令1	関連法令2	罰則等	想定事象 (レベル4)	該当者											運行に関する論点			
								公共交通業務委託元	特定自動運行実務者	現場自動運行主任者	現場自動運行実務者	支店	車両所有者/事業者	管制装置製作	遠隔・通信装置製作	通信事業者	車両整備・修繕	自動運行装置製作		車両製作	交差点センサー製作	道路施設補修・維持
損害賠償	法務省	民法	(債務不履行による損害賠償) 第四百十五條 債務者がその債務の本旨に従った履行をしなかつたときは、債権者は、これによって生じた損害の賠償を請求することができる。ただし、その債務の不履行が契約その他の債務の発生原因及び取引上の社会通念に照らして債務者の責めに帰することができない事由によるものであるときは、この限りでない。 2 前項の規定により損害賠償の請求をすることができる場合において、債権者は、次に掲げるときは、債務の履行に代わる損害賠償の請求をすることができる。 一 債務の履行が不能であるとき。 二 債務者がその債務の履行を拒絶する意思を明確に表示したとき。 三 債務が契約によって生じたものである場合において、その契約が解除され、又は債務の不履行による契約の解除権が発生したとき。	(損害賠償の範囲) 第四百十六條 債務の不履行に対する損害賠償の請求は、これによって通常生ずべき損害の賠償をさせることをその目的とする。 2 特別の事情によって生じた損害であっても、当事者がその事情を予見すべきであったときは、債権者は、その賠償を請求することができる。			○整備不十分														○装置製作者による製造物責任との境界	
損害賠償	消費者庁	製造物責任法	(製造物責任) 第三條 製造業者等は、その製造、加工、輸入又は前条第三項第二号若しくは第三号の氏名等の表示をした製造物であつて、その引き返したものの欠陥により他人の生命、身体又は財産を侵害したときは、これによって生じた損害を賠償する責めに任ずる。ただし、その損害が当該製造物についてのみ生じたときは、この限りでない。	(民法の適用) 第六條 製造物の欠陥による製造業者等の損害賠償の責任については、この法律の規定によるほか、民法(明治二十九年法律第八十九号)の規定による。			○製品欠陥 ※(製品欠陥による)運行遅延等損害については営業規則で免責記載。判例でも責任を否認															○事故原因の特定(ソフト、ハード) ○ハッキングの場合、製品の範囲
損害賠償	法務省	国家賠償法	第二條 道路、河川その他の公の營造物の設置又は管理に瑕疵があつたために他人に損害を生じたときは、国又は公共団体は、これを賠償する責に任ずる。 ② 前項の場合において、他に損害の原因について責に任ずべき者があつたときは、国又は公共団体は、これに対して求償権を有する。				○道路等の管理瑕疵															
損害賠償	総務省	通信サービス約款等	<KDDIの場合> 損害賠償(通信利用の制限) 第52条前条の規定(天災等による通信利用の制限等)による場合のほか、当社は、次の通信利用の制限を行うことがあります。 (1) 通信が著しく滞りやすくなる場合、通信時間又は特定地域の契約者回線等への通信の利用を制限すること。 ※1カ所に集中する状態 ★法人契約：通信サービスについては定型約款を採用した契約が一般的 ★損害賠償：DoCoMo、ソフトバンクについてもほぼ同じ内容	<KDDIの場合> 損害賠償(責任の制限) 第74条2項 前項(通信が全くできない場合が24時間以上継続した場合)の場合において、当社はau(LTE(SG))通信サービスが、全く利用できない状態にあることを当社が認知した時刻以後のその状態が継続した時間について24時間ごとに日数を計算しその日数に対応する(LTE(SG))通信サービスに係る次の料金の合計額を発生した損害とみなし、その額に照らして賠償します。	<KDDIの場合> 損害賠償(責任の制限) 第74条5項 当社は、(LTE(SG))通信サービスを提供すべき場合において、当社の故意又は重大な過失によりその提供をしなかつたときは、前4項(責任の制限)は適用しません。		○通信の瑕疵による経済損失が発生														○「重大な過失」の定義 ○電気通信事業法施行規則第57条：重大な事故の速やかな報告 ○法人契約 →通信障害における間接損害の賠償定義(約款変更もしくは特約の設定)を可能としているか(不明) ○通信の脆弱性によるハッキングの場合の損害賠償規定	

第3章 運行条件の整理、評価

3.1 1:Nの拡大や他のタスクとの併用の実証評価

3.1.1 遠隔監視での1:Nへの拡大に対する要件の整理

レベル4の自動運転移動サービスを実現することの利点の1つとして、自動化による省人化が図られることがあげられる。これまで、1台の移動サービス車両に対して、1名の運転者が乗車することが必要であったものから、道路車両運送法の基準緩和を受け、遠隔地に運転者がいて対応する遠隔型自動運転システムとして安全性が確認されれば、道交法に基づく道路使用許可を受けることで複数台の運行も可能である。これは、レベル2、レベル3の車両において、認定や許可を受けることが必要なものである。レベル2の場合には、運転者は必須であり、車両周辺の安全確認のための常時監視が必要である。

レベル2の車両としては、これまで、2018年11月に永平寺町の参ろ一どの南側を走路（レベル3で認可を受けた走路と同様）にして、1名の遠隔運転者が2台の自動運転車両を運行する公道実証を国内初で行っている。さらに、自動運転車両の高度化と安全性の向上を図り、2020年12月には、同じ走路において、1名の遠隔運転者が3台の自動運転車両を運行する本格運行を国内初で開始している。常時監視が必要であるため、3台の車両の車内外の状況を運転者として把握することが可能なモニタを設置し、また、車内外の音声も3台分を同時に聞くこともできるようにしていた。ただし、どの車両から音声が発せられているかを、視覚的にわかるような工夫もされていた。2021年3月には、同じ走路において、レベル3の車両としての認可を受け、さらに道路使用許可を取得して、レベル3の遠隔型自動運転システムによる1名の遠隔監視・操作者が3台の自動運転車両を本格運行することを開始している。レベル3では、システムの不具合時等に対応する運転者が必要であり、その任を負うことになる遠隔監視者は、運転席に常時着席し、不具合時等に対応できる状態であるかをドライバモニタリング装置などで遠隔監視者の状態を監視する必要があった。レベル3の遠隔監視者は、レベル2とは異なり、車両周辺の常時監視は不要とされ、負担は軽減されているものの、運転席に常時、着席と監視されている状態であり、他のタスクをすることはあまり考えられるものではなかった。これらのこともあり、1名の遠隔監視・操作者が3台を運行する1:3の運行が、最大となっており、それ以上が続いてこなかったと考えられる。

しかし、レベル4では、システムが不具合時等にも対応し、安全に停止するところまで、自動運行装置が行うことになっている。レベル4では、システムの不具合、故障、事故なども含めて、システムが、MRM（ミニマル・リスク・マヌーバー：リスク最小化動作）で自動で停止対応することが前提であり、常時の遠隔監視は不要であり、また、遠隔監視者が常に対応できる状態に保つことも要求されてはいない。そのため、他のタスクをすることも考えられる。また、遠隔監視者が、車両状態を確認する遠隔監視室では、車両の状態や映像・音声を必要な時には直ちに提示できることが求められているが、常にすべての車両の状態や映像・音声を提示している必要はないとされている。そのため、不具合時等の車両に対して、直ちに車両の状態や映像・音声を確認できるようにしておけば、通常の監視映像などの提示を順番に間隔をあけて提

示していくことも可能といえる。このことから、モニタ数などの物理的な数の限界が緩和されると言える。

遠隔監視者の役割は、MRM 後の対応が主であり、対応へが取れるような情報をきちんと得られるような遠隔システムが求められる。MRM の発生頻度とその後の対応によって、対応できる台数が現実的であるかどうかが決まると考えられる。MRM の発生頻度が低く、多重に発生しないのであれば、台数を多くしても対応は可能と考えられるのである。1 名が N 台を運行するとして、1 : N となっているが、何かあった時の対応を考えると、MRM 後に遠隔監視者との関係は、1 : N-1 となるように、代替りの遠隔監視者や MRM 対応の人員を別途用意して、切り替えることが必要であると考えられる。他の車両を全て停止することでの対応や、短い時間での対応で済むことであれば、1 : N もありうるが、実際の運用では、2 : N が現実的と考える。

レベル 4 における法規における必要な関係人員の配置によっても制約がある。2023 年 4 月に施行された改正道交法においては、特定自動運行に係る許可として、特定自動運行主任者の配置は、遠隔監視装置のある運行管理の場所もしくは乗車となっている。また、万が一の交通事故の現場における危険を防止などの措置を行う現場措置業務実施者を、対応できるように配置することが求められている。特定自動運行主任者と現場措置業務実施者は兼務することも可能であるが、上述しているように複数台を運用する場合は、兼務することは難しいと考えられる。ただし、現場措置業務実施者は、事故時等の対応がとれるようなことが求められているのみで、通常の運行には関わっていないため、人数としてカウントしないことも考えられる。その場合には、通常運行時における走路環境や運用上の台数の上限などの物理的な制約と、遠隔監視者の役割として必要となる安全確認などの作業時間を考慮した適切な監視状態を保つための制約などが、台数の上限数が考察できると考えられる。

永平寺町においては、走行環境が単線の鉄道廃線跡地であったことから、約 2 km の走路上にすれ違いの待避所を 3 カ所設置しており、また端点に 2 つの停留所を設けて、降車場所、停車場を分けて、2 台が停留所のどちらかにいる状態を可能としている。このように物理的に制約が大きい走路においては、管制システムが必要となる。また、運用する車両台数は、待避所での待ち時間やデッドロックを起こさないような運行をふまえると、2 つの停留所に 2 台ずつを配置し、交互に走行させる運行が現実的である。このような走路の制約に対しては鉄道におけるダイヤグラムを用いた運行管理や、運行時間のズレ等の対応などの事例を参考にすることができ、現実的なサービス可能台数の制約なども求めることができると考えられる。

次に、遠隔監視者の作業に対して考察を試みる。レベル 4 の自動運転移動サービスにおいて、遠隔監視者は、自動運転車両が走行中に運転操作に介入することは、非常時の停止操作に限られると考えられる。ただし、乗客に対する業務としての作業は、まだ、自動化が難しいものもあり、監視状態に起こる作業として停留所での乗車確認や発進指示等、いくつかは想定できる。このような作業時間を考慮すると適切な監視状態を維持するには、以下のような非常に簡略化した数式ではあるが、運行時間に対して、作業時間などが小さいことが求められることがわかる。

○運行時間 (L) > 監視状態で起こる作業にかかる時間 (α) + 切り替えにかかる時間 (β) + (α) と (β) の時間の変化を考慮した時間 (c) + 負担感や疲労を考慮した余裕時間 (d)

なお、監視状態で起こる作業にかかる時間は、複数の作業が想定され、 n 台の車両に対する作業を想定すると以下のような数式とすることができる。ただし、この作業は、1名が順番に行って問題がないものである必要がある。

$$L > n \sum_{i=1}^m (\alpha_i + \beta_i) + c + d$$

α_1 : 停留所での発進の確認。
 α_2 : 停留所での乗車の確認。
 \vdots
 α_m : 社内の乗客の安全確認。

$$n < \frac{L - c - d}{\sum_{i=1}^m \alpha_i + \beta_i}$$

上記を満たす最大の n (台) を求めることで、 $1 : n$ の可能性を検討することができると思われる。作業に対する時間の変化を考慮した時間 (c) と負担感や疲労を考慮した余裕時間 (d) は、作業者個人や作業の熟練度等によって異なることが考えられる。作業に対する教育や訓練と、個人のばらつきを考慮した上で、十分に余裕のある時間を設定することで、作業の負担感は軽減されるものと考えらる。

上記では、監視状態においての作業を想定したものであり、レベル4の自動運転移動サービスにおいて、ここで想定される作業は自動化が求められるものであるが、走行自体には直接的には関与していないものである。ただし、走行(運行)の開始前などに必要となる作業である場合には、その時間が他の車両の運行や次の運行との間隔時間に影響することが無いか、もしくは、影響を考慮した運行時間の設定をする必要がある。

永平寺町におけるレベル4の自動運転移動サービスにおいては、1名が3台の車両を運行することを想定している。運行間隔は20分毎、1台の走行時間はすれ違いを含めても約9分間であり、乗降確認や発進指示などにかかる作業時間は多く見積もっても1台当たり1分はかからないと想定される(3台で最大約3分)。運行時間を単純に走行時間と3台の作業時間の和とすれば、12分となり、作業時間は四分の一となる。自動化されているシステムに対する作業時間としては長くも感じられるが、運行間隔を考えると、常時監視が必要ないこともあり、十分に負担の少ないものであると考えられる。ただし、遠隔監視者に運行以外の他のタスクを想定した場合には、その作業を含めて、検討する必要がある。

運行を停止する必要がある事故の対応は除いて、不具合時等を想定した場合には、状況によって他の車両の運行に影響しないか否かが異なる。また、営業運行の場合に、車両が故障して

動かない時には代替え輸送を求められてくる。鉄道におけるダイヤの乱れへの対応から、運行間隔が、ダイヤの乱れを吸収するに十分な時間であれば、次の運行時間への影響を与えないようにすることも可能となる。当然、移動ニーズを考慮して、運行間隔などを決めていく必要があるが、不具合等の頻度とその対応時間等を含め、運行全体に係る影響を考慮して、決定していく必要があると考えられる。永平寺町においては、20分毎の運行間隔としている理由の1つは、例えば、遠隔監視室から一番遠い停留所で、車両が故障して動かないことを想定すると場かけつけて、手動運行などに切り替えるには最大10分程度の時間を想定しており、他の車両の走行時間を加味しても、次の運行への影響を抑えられる時間としているためである。

以上のようなことから、1名が複数台を運行するに当たって、その最大運行可能台数を求めるにあたっては、上記に示したように、主に、物理的な制約や遠隔監視者の作業時間を考慮すること、また、不具合時等の対応を考慮することを要件として整理することができる。

ベル4の自動運転移動サービスでは、遠隔監視者に求められる作業時間が自動化によって短くなれば、かなりの台数の運行が可能と考えられる。不具合時等における現場での対応者を確保できるような体制を構築できれば、少人数で多数の車両を運行することが可能となり、また、地域ごとに遠隔監視室を設置する必要も無く、多地域を一括して監視するような形態も可能となると考える。そうなるコスト効果が大きくなると考えられ、新たな事業体制を考えることも可能である。

3.1.2 遠隔監視での1：4の想定や他のタスクとの併用の実証評価

レベル4運行の事業モデルを想定したリスクアセスメント結果を踏まえ、安全な環境の下、リスクシナリオに基づきリスクの一部を再現し、遠隔監視機能及び走行以外のタスクの適合性・有効性について検証・評価を行うため、緊急時対応訓練を実施した。

なお、永平寺町の走路では、単線の廃線跡地を利用しており、約2kmの走路において、端点の2つ停留所（荒谷、志比）には、降車場所、乗車場所を2つ分けて設置し、また、すれ違いを行うすれ違い退避所を走路の途中の3カ所に設置している。そのため、運用上の利便性や物理的な制約から、2つの停留所の乗降場所に2台を配置し、1台毎に乗客の乗降や周辺の確認をし、順番に4台の確認と発進指示を出していくことによる運用を、遠隔監視での1：4の想定として、訓練を実施している。

3.1.2.1 役割の整理

緊急時対応訓練を行うにあたって、特定自動運行管理者および従事者の役割の整理をした。2022年4月に公布された道路交通法改正案（以下、道路交通法改正案）には「特定自動運行実施者」、「特定自動運行主任者」及び「現場措置業務実施者」それぞれの役割が定められている。

表 3.1.2-1 に 2021 年度に実施した実証評価の各関係者に求められると考える役割と、道路交通法改正案に基づいた緊急時対応の役割の違いを示す。道路交通法改正案では特定自動運行业務従事者（2021 年度の遠隔監視者）を特定自動運行主任者と現場措置業務実施者の 2 つに分割し、それぞれの実施すべき措置を明記している。

表 3.1.2-1. 走行時以外（緊急事態・不具合発生時）の役割

2021 年度	2022 年度 (道路交通法改正案に基づいた役割)
運行管理者 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	特定自動運行実施者 特定自動運行业務従事者が実施しなければならない措置を円滑かつ確実に実施させるための教育
遠隔監視者 車両の運行停止操作 現場における初動対応 ・負傷者・急病人に対する救護及び危険防護措置 ・負傷者・急病人に関する状況確認及び運行管理者への連携 ・その他利用者の誘導 ・救急車両の進入路の開放及び救急隊員の誘導	特定自動運行主任者 全走行車両の運行停止操作 消防機関に通報する措置(*) 現場措置業務実施者を当該交通事故の現場に向かわせる措置(*) 警察官への交通事故発生日時等の報告(*) 現場措置業務実施者 当該事故現場への出動 当該交通事故の現場において、道路における危険を防止するため必要な措置(*)

(*)道路交通法改正案にて定められた措置業務

道路交通法改正案第 75 条の二十三には、特定自動運行において交通事故があった場合の措置として以下が記載されている。

- ・特定自動運行主任者
 - 直ちに当該交通事故の現場の最寄りの消防機関に通報する措置
 - 現場措置業務実施者を当該交通事故の現場に向かわせる措置
 - 警察官への交通事故発生日時等の報告
- ・現場措置業務実施者
 - 当該交通事故の現場において、道路における危険を防止するため必要な措置

3.1.2.2 緊急対応プロセスの整理

道路交通法改正案に準じた緊急時対応手順例を作成し、それを図 3.1.2-1 と図

3.1.2-2に示す。この手順例を基に、緊急時対応訓練を実施した。また、訓練に参加した保安要員（特定字度運行主任者及び現場措置業務実施者）には、

図 3.1.2-2に示す緊急対応手順フロー及びチェックリストを配布し、本手順に従って緊急時対応訓練に取り組んでいただいた。

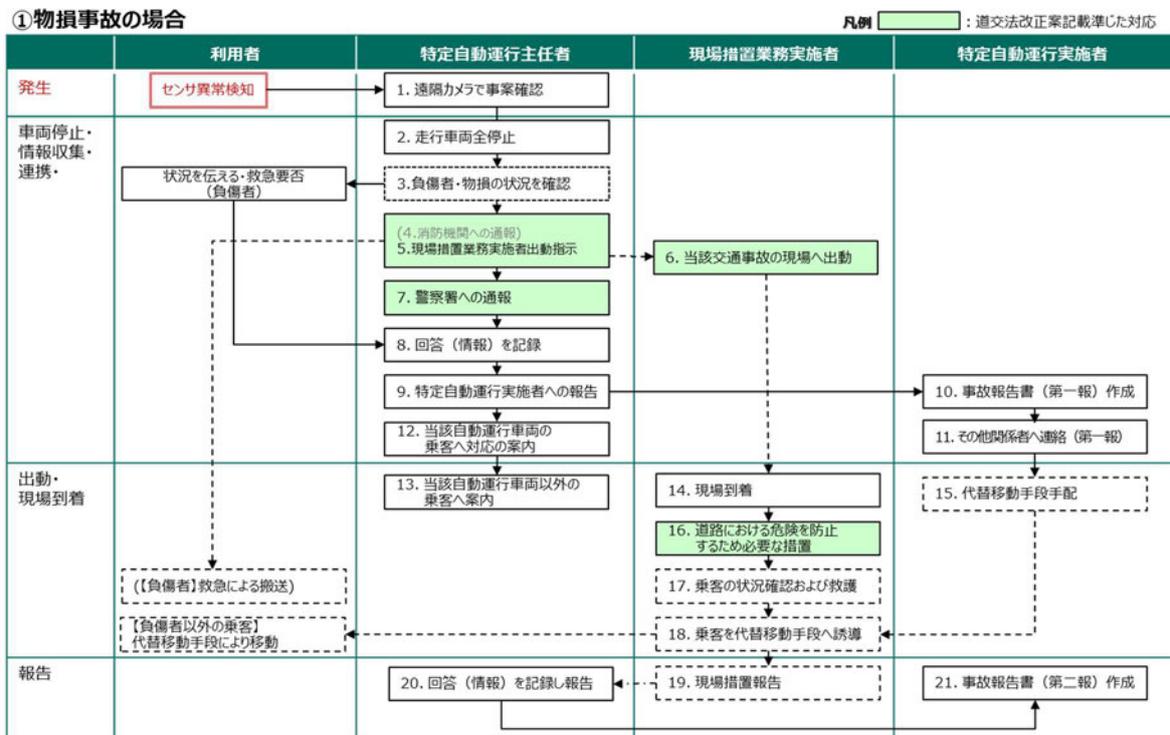


図 3.1.2-1 緊急時の運用対応手順例（物損事故）

②人身事故の場合（実証評価時）

凡例 : 道交法改正案記載

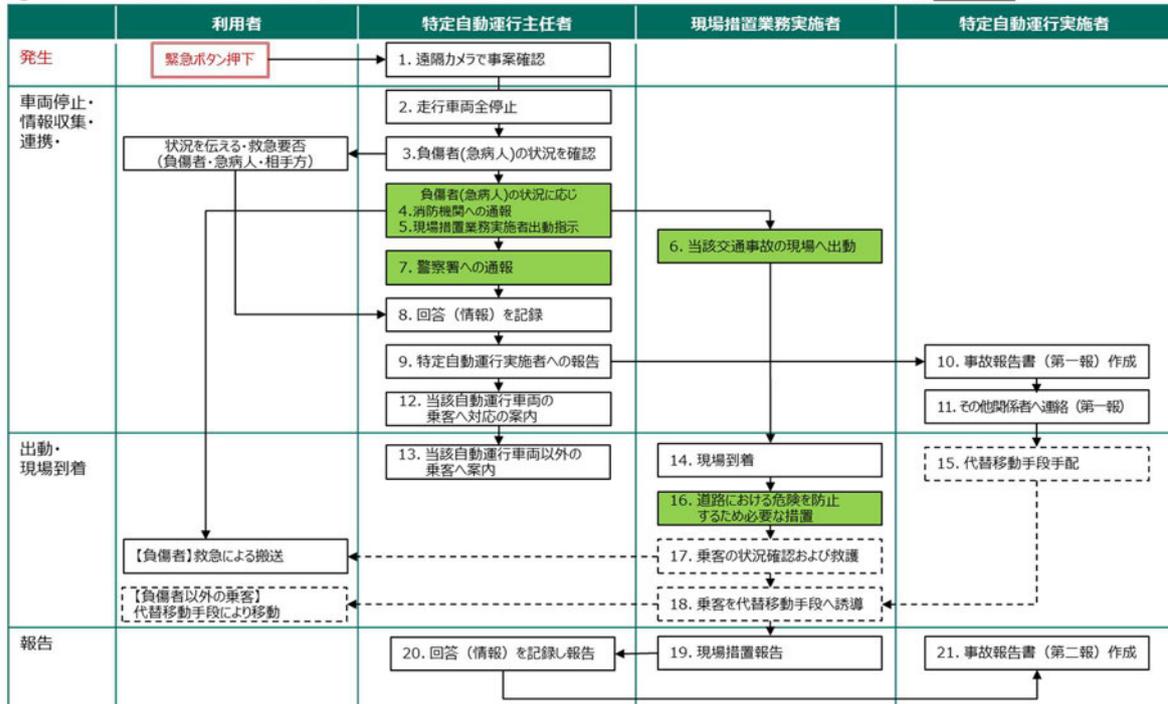


図 3.1.2-2 緊急時の運用対応手順例（人身事故）

緊急対応手順フロー項目及びチェックリスト 1/2

シナリオ①・②共通

凡例：◎必ず実施、○状況に応じ実施

項目	特定自動運行実施者		特定自動運行主任者		現場措置業務実施者		対応詳細	対応状況	
	人身	物損	人身	物損	人身	物損		レ	確認項目記入（簡潔に記載）
1 遠隔カメラで事案確認			◎	◎			◎：遠隔カメラで当該車両及び他車両の状況を確認する。		受信時間/事故車両番号： 発生場所/行き先・便数： 付近 行き 便
2 走行車両全停止			◎	◎			◎：走行車両をすべて停止する。		停止指示車両： 便 便
3 負傷者・急病人(物損)の状況を確認			◎	○			◎：車内の乗客と事故の状況を確認する。 確認項目： 該当事氏名、年齢、けが（出血）有無・箇所、意識の有無等 ○：物損の状況を確認		状況：人身（ ）物損（ ）乗客（ ）外部（ ） 該当事氏名・年齢： 該当事 名 ケガ（出血）/意識/状況：
4 負傷者・急病人の状況に応じて消防機関への通報			◎				◎：負傷者・急病人の状況により、現場の最寄りの消防機関に通報する。		通報先： 通報時間： 時 分
5 現場措置業務実施者出動指示			◎	◎			◎：現場措置業務実施者を当該交通事故の現場に向かわせる。		指示時間： 時 分
6 当該交通事故の現場へ出動					◎	◎	◎：特定自動運行主任者からの指示に従い、当該現場へ出動する。		出動時間： 時 分
7 警察署へ通報			◎	◎			◎：最寄りの警察署へ交通事故発生日時等の報告する。 ※物損についても必ず通報を行う		通報先： 警察 通報時間： 時 分
8 回答（情報）を記録			◎	◎			◎：当該車両のモニター映像および乗客から得られる情報を記録する。		上記補足事項を記入： 報告時間： 時 分 報告内容追記：
9 特定自動運行実施者への報告			◎	◎			◎：事故報告書（第一報）に必要な情報を特定自動運行実施者へ報告する。 発生日時、場所、事故発生状況、負傷者の有無、人数、程度、物損の程度、消防・現場措置業務実施者・警察への通報手配状況等		報告時間： 時 分 報告内容追記：

フロー項目及びチェックリスト(1/2)

緊急対応手順フロー項目及びチェックリスト 2/2

シナリオ①・②共通

凡例：◎必ず実施、○状況に応じ実施

加番号	項目	特定自動運行実施者		特定自動運行主任者		現場措置業務実施者		対応詳細	対応状況	
		人身	物損	人身	物損	人身	物損		レ	確認項目記入（簡潔に記載）
10	事故報告書（第一報）作成	◎	◎					◎：特定自動運行主任者からの報告をもとに事故報告書（第一報）を作成する。		報告時間/特筆事項： 時 分
11	その他関係者へ連絡（第一報）	◎	◎					◎：事故報告書（第一報）を関係機関へ発信する。		報告先/報告日時：
12	当該自動運行車両の乗客へ案内			◎	○			◎：乗客へ救急・現場措置業務措置実施者・警察・代替移動手段手配状況を案内する。 ○：現場措置業務措置実施者の到着を案内する。		案内時間： 時 分 案内内容：
13	当該自動運行車両以外の乗客への案内			◎	◎			◎：当該自動運行車両以外の乗客へ状況を案内する。		案内時間/案内内容： 時 分
14	現場到着					◎	◎	◎：現場措置業務実施者が事故発生現場に到着する。		到着時間： 時 分
15	代替移動手段手配	○	○					○：特定自動運行主任者からの報告において代替移動手段が必要と判断した場合、手配する。		代替移動手段：
16	道路における危険を防止するため必要な措置					◎	◎	○：当該交通事故の現場において、（警察の指示に従い）道路における危険を防止するため必要な措置を講じる。		実施した危険防止措置/実施時間： 時 分
17	乗客の状況確認および救護					○	○	○：乗客の状況を確認、（救急、警察と連携し）現場に到着した救急車の誘導を行う。		実施した措置/実施時間： 時 分
18	乗客を代替移動手段へ誘導					○	○	○：代替移動手段が到着次第、負傷者以外の乗客を誘導する。		実施した措置/実施時間： 時 分
19	現場措置報告					◎	◎	◎：現場措置が完了次第、特定自動運行主任者へ報告		報告時間/特筆事項： 時 分
20	回答を記録し、報告			◎	◎			◎：現場措置業務実施者からの報告を記録し、特定自動運行実施者へ報告する。		報告時間/特筆事項：
21	事故報告書(第二報)作成	◎	◎					◎：特定自動運行主任者からの報告をもとに事故報告書（第二報）を作成する。		報告時間/報告先： 月 日 時

(1) フロー項目及びチェックリスト(2/2)

図 3.1.2.-3 緊急対応手順フロー及びチェックリスト

3.1.2.3 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、複数台の自動運行車両のレベル4の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実施した。

(1) 訓練実施概要

訓練の実施概要を以下に記す。

①訓練実施日時

2023年2月24日（金）9:00～15:00

②訓練実施場所

遠隔監視室（荒谷）及び参ろード（荒谷停留所～志比停留所）

③訓練対象範囲

自動運行車両に取り付けられたセンサが異常を検知または利用者が緊急停止ボタンを押下したことによる車両の緊急停止から、現場措置業務実施者の現場対応が完了し、特定自動運行主任者のいる遠隔監視室へ報告するまでとした。

④訓練参加者

訓練当日は4名の保安要員の方が参加した。

⑤訓練実施方法

参加した保安要員4名が2人1組となり、それぞれ特定自動運行主任者と現場措置業務実施者役を担った。荒谷停留所から志比停留所の参ろードには自動運行車両を4台走行させて、実際に緊急事態が発生したと想定し、図 3.1.2-1 および図 3.1.2-の緊急時の運用対応手順に沿って、訓練を実施した。訓練のシナリオは物損事故と人身事故の2つとした。



図 3.1.2-4 緊急対応訓練の様子

(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）

特定自動運行主任者（遠隔監視室）

遠隔監視室に常駐する特定自動運行主任者の対応状況について、今回の訓練で設定した対応手順における、緊急事態発生の確認（覚知）から運行停止、消防機関・現場措置業務実施者への確認項目や警察及び運行管理者への報告項目に大きな欠落は無かった。

現場措置業務実施者（現場対応）

特定自動運行主任者の指示を踏まえ、現場へ急行する現場措置業務実施者の対応状況について、駆け付けた当該事故現場においては、今回の訓練で設定した対応手順における利用者等への確認項目や特定自動運行主任者への報告項目に大きな欠落は無かった。

②対応完了するまでの時間

表 3.1.2-2 に物損事故を想定したし緊急対応訓練に要した時間を示す。事故が発生してから現場措置業務実施者が特定自動運行主任者へ現場措置完了報告をするまでに要した時間は 13 分 8 秒であった。

表 3.1.2-2 物損事故を想定した緊急対応訓練に要した時間例

時間(分:秒)	特定自動運行主任者	現場措置業務実施者
00:00	自動運行車両センサ異常検知	-
00:09-02:25	特定自動運行主任者から車内利用者へ状況確認	-
03:11	現場措置実施者を現場へ派遣した旨を利用者へ案内	-
06:23-07:53	走行中の自動運行車両と所持品が接触した歩行者を車内へ案内し、状況確認	-
08:10-12:11	-	現場到着し、歩行者・利用者・車両の状況確認
12:15-13:08	-	特定自動運行主任者へ報告

特定自動運行主任者からの当該事故現場への出動指示を受けた現場措置業務実施者は、遠隔監視室のある荒谷停留所から当該事後現場へ自転車をを用いて移動する。表 3.1.2-2 の物損事故ではセンサの異常検知から現場措置業務実施者が現場へ到着するまでに 8 分ほど要しており、そのうち特定自動運行主任者が利用者へ状況を確認するのに要した時間は約 2 分、現場措置業務実施者を現場に派遣した旨を利用者への案内に要した時間は約 3 分を要した。

さらに最も遠隔監視室から離れた志比停留所については、特定自動運行主任者が利用者へ現場措置業務実施者を現場へ派遣した旨を伝えてから、現場措置業務実施者が到着するまでに要した時間は約 6 分 30 秒であり、その間は負傷者や利用者は現場で待機する状況が生じることとなるが、想定した最大でも 10 分～15 分以内での到着よりも短い時間での対応が可能であった。

(3) 対応手順や対応項目に関する負担感

緊急対応訓練後、保安要員へのヒアリングを実施し、以下の負担感及び課題が明らかになった。運行後にもこのような訓練は繰り返し行うことの必要があると思われる。

特定自動運行主任者（遠隔監視室）

- ・ 実際に事故が起きた時、操作に間違いがなく、正当な作業通りに案内や誘導ができるか不安がある。安全確認してから走行開始できるのか不安。
- ・ 今回の訓練では手順書があったので、順番通りやればいいが、手順書が無かったらもっと焦っていた。運行主任者の業務が多いと感じた。相談する人がおらず一人で対応するのは難しい。
- ・ まだ遠隔監視機器の操作が不慣れな状況で今回の訓練に臨んだこともあり、操作方法が不安で、手順書の通りやればいいのだが、事故車両から問い合わせがあるとどう対応したらいいのかが分からなくなることもあった。もう少し操作に慣れてから緊急対応訓練を何回かやれようまくいくと思う。お客さまとのやり取りについては、相手がいることで対応が手順書通りにいくのかは難しいと思う。

現場措置業務実施者（現場対応）

- ・ 実際に負傷から出血があったりした場合、警察や救急車が来たときの対応で焦ってしまいそう。
- ・ 停車した車両の利用者を待機させる時間は短い方が良い。なぜ停車したのかの案内が必要と感じた。

3.2 走行以外のタスクの対応に係る体制の構築

3.2.1 走行以外のタスクの対応の実証評価と体制の構築

前項に述べた緊急対応訓練の実証評価結果を加味した、走行以外（利用者への事前案内、乗車中の注意事項、料金授受、緊急時・不具合時の対応等）のタスクにおけるプロセスと、特定自動運行実施者および特定運行事業従事者に求められる役割を、以下にまとめる。

3.2.1.1 緊急対応プロセスの見直し

実証結果を踏まえた緊急時対応手順例を図 3.2.1-2 に示す。変更点は現場措置業務実施者の出動のタイミングである。実証前に作成した図 3.1.2-1 と図 3.1.2-2 の手順例では特定自動運行主任者が消防機関への通報後に現場措置業務実施者を出動させていた。しかしこの場合、特定自動運行主任者が利用者等と負傷や物損の状況確認の詳細なやり取りがあるため、現場措置業務実施者が当該事故現場へ到着するのに時間がかかってしまう。そこで、利用者等の詳細なやり取りをするまえに現場措置業務実施者を出動させることで、素早く当該事故現場における必要な措置を行えるように図っている。

また、特定自動運行主任者は、各措置を速やかに実施するために「現場措置業務実施者を現場へ出動指示」「消防機関への通報」等を的確に判断しなければならない。緊急対応プロセスの付随資料として緊急時判断基準も整備が必要と考えられる。

運用時の緊急対応フロー例

凡例 : 道交法改正案記載

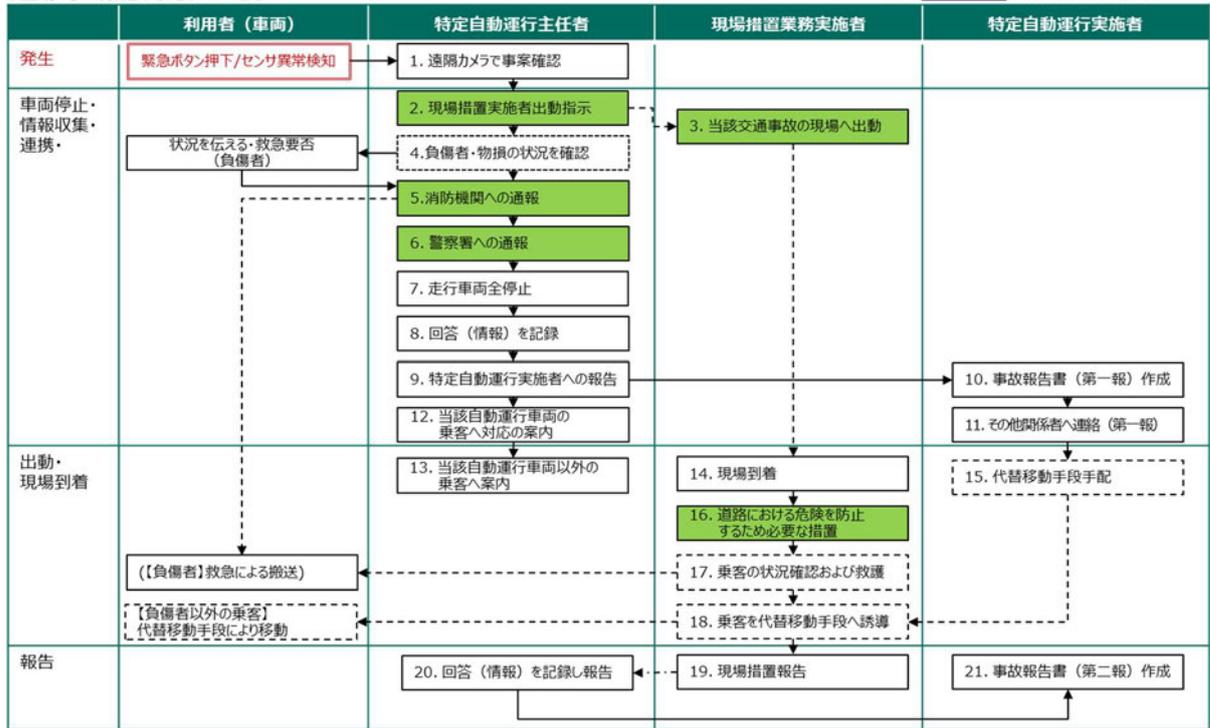


図 3.2.1-2 実証評価結果を加味した緊急時対応手順例

3.2.1.2 特定自動運行実施者

道路交通法改正案には、特定自動運行実施者は「特定自動運行主任者と現場措置業務実施者に対し、特定運行事業従事者が実施しなければならない措置を円滑かつ確実に実施させるため、内閣府令で定めるところにより教育を行わなければならない」とある。この「実施しなければならない措置」には、実証評価でおこなったような交通事故があった場合の措置も含まれる。

前項 3.1.2.3 (3) の緊急対応訓練後のヒアリングでは、遠隔監視機器の操作に対する不安や利用者とのやり取りに課題があることが明らかになった。特定自動運行従事者が抱えるこれらの課題を払拭し、必要な措置を円滑かつ確実に実施できるようにするため、特定自動運行実施者は教育訓練の実施やマニュアル等の整備する必要がある。各課題に対する対策例を表 3.2.1-1 に示す。

表 3.2.1-1. 緊急対応における課題と対策案

No.	課題	対策案
1	遠隔監視機器の操作が不安。	運行開始前までに操作習熟訓練の実施
2	緊急時に走行車両を正当な作業通りに停止できるか不安。	機器操作を含めた緊急対応訓練の実施
3	手順書が無かったらもっと焦っていた。 業務が多く、相談せず一人で対応するのは難しい。	実運行に即した緊急対応手順の作成
4	事故車両から問い合わせがある とどう対応したらいいのかわからない。 お客様とのやり取りが難しい。	会話例を記したマニュアル作成
5	実際に負傷者がいた場合、現場対応で焦ってしまう。	現場対応を含めた緊急対応訓練の実施 消防機関が実施する救命講習への参加

3.2.1.3 特定自動運行主任者

道路交通法改正案には、特定自動運行主任者は、交通事故があった場合、消防機関への通報、当該事故現場への現場措置業務実施者の派遣、警察署への事故報告を直ちに実施しなければならないとある。そこで緊急対応訓練のリスクシナリオにおいても、センサが異常を検知した場合や、利用者が緊急停止ボタンを押下した場合は、道路交通法改正案の対応をするよう手順を作成した。

しかし、実際には必ずしも救急や現場措置業務実施者の出動が必要ではない場合がある。例えば、利用者が誤って緊急停止ボタンを押してしまった場合や、センサが異常検知しても利用者や近くの歩行者に負傷がなく、所持品や車両への損傷がない場合などである。特定自動運行主任者は当該緊急事態の状況を確認・判断をする必要がある。

特定自動運行主任者が抱える業務の幅は広く、またその責任も大きい。円滑かつ確実に適切な措置を実施できるように判断基準を設ける必要があると考える。

その一例として現場措置業務実施者を現場へ出動させる判断を表 3.1.2-に示す。特定自動運行主任者は、遠隔監視カメラの映像や遠隔監視機器を通じた利用者等との会話にて、現場措置業務実施者を当該交通事故の現場に向かわせるか否かを判断する。本表は一例であり、詳細な判断基準は運用の中でケースを積み上げていく必要がある。

表 3.1.2-2 緊急事態発生時の判断例

対応例	判断例
現場措置業務実施者を当該交通事故の現場に向かわせる	<ul style="list-style-type: none">・人身事故や急病人がいる場合・利用者等の所持品や車両が物損した場合・車両の自動運転走行が不可能な場合など
現場措置業務実施者を当該交通事故の現場に向かわせず、特定自動運行車両に当該事故関係者を乗車させ遠隔監視室まで移動し、遠隔監視室で対応	<ul style="list-style-type: none">・負傷者および利用者等の所持品の物損は無いが、遠隔カメラの映像や利用者との会話で車両の損傷状況が確認できない場合など
現場措置業務実施者を当該交通事故の現場に向かわせず、安全が確認され次第特定自動運行を再開	<ul style="list-style-type: none">・事故の当事者や他の利用者にはけがなく、所持品や車両の物損が無いことが確認できた場合

3.2.1.4 現場措置業務実施者

現場措置業務実施者は特定運行主任者から出動指示を受けたら、速やかに当該事故現場へ駆けつけ、道路における危険を防止するための必要な措置を講じなければならない。永平寺町での検証実証では、現場措置業務実施者は遠隔監視室のある荒谷停留所から、参ろ一どで発生した事故を想定しての出動であったため、現場到着までにかかった時間は8分～10分程度であった。実際の運行においても、検証実証同様に走行コース付近に現場措置業務実施者を待機させるのが理想である。しかし、現場措置業務実施者を走行コース付近に常駐させることが難しい場合や、渋滞等で速やかに駆け付けられない場合を想定した対処も検討が必要である。例えば、走行中の車両をすべて停車させ、特定自動運行主任者が現場へ出動するなどである。

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

2021年から本格運行を開始した永平寺町のレベル3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ていくこととし、より高信頼、低コストとなるレベル4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。レベル4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、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人工物に限定した高精度地図の作成

ここでは、永平寺町のレベル4での運用を実現するために行った要素技術開発について報告する。今年度は、樹木と人工物が混在する自動運転走路における自己位置推定のための人工物に限定した高精度地図の作成、および作成した高精度地図を参照する自己位置推定手法の開発とその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（ベロダイン社製 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、向きの情報を車載 PC に記録した。記録のため走行したコースは、全長約 300m の周回可能コース（駐車場）であり、コース沿いには樹木と、建物や柵などの人工物が存在する。

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、コース沿いに存在する特定の建物（北緯 35.54657588 度、東経 139.67203197 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 0.2m×0.2m の格子に分割し、各格子に格納される点群が 4.1.1.2 で述べる人工物判定手法によって人工物として判定された格子には人工物格子として 1、判定されない格子には非人工物格子として 0 を格納して高精度地図を構築した。また、人工物格子には、人工物を判定する際に用いた手法の情報も格納している。

4.1.1.2 人工物判定手法

人工物判定手法について説明する。高精度地図に格納する人工物の対象は、縁石・建物壁面・柵とした。これらの人工物を抽出するために、本研究ではライダーセンサで取得した点群の距離計測値、位置情報を用いて人工物の判定を行った。判定には以下の3種類の手法を用いる。

①路面上の点群の距離計測値の変化点検出

この手法は縁石抽出を目的とする。図4.1.1-1に示すように、縁石は路面との高低差があるため、スキャンライン状に計測された点群の距離計測値は縁石の部分で変化する。スキャンライン上で隣接する点群同士の距離計測値の差が閾値以上の点群位置を縁石における変化点として検出し、人工物（縁石）として判定する。

②鉛直方向に連続的に並ぶ点群の検出

この手法は建物壁面・柵の抽出を目的とする。本研究で用いるライダーセンサは2次元のレーザーを多層的に照射するため、建物壁面・柵のような鉛直方向に均一な面を持つ物体には、図4.1.1-2に示すように鉛直方向へ直線状に点群が並んで反射する。この特徴の検出に用いる情報として、本研究では、各スキャンラインにおける同一方向の点群の距離計測値を利用する。距離計測値の差が閾値以下の点群同士のスキャンラインが連続している場合、その時の連続した点群を鉛直方向へ連続的に並んだものとして人工物候補とする。なおこの手法については、樹木を人工物として誤判定する可能性があるため、4.1.1.3の樹木除去手法と合わせて最終的な人工物判定を行う。

③水平方向に連続的に並ぶ点群の検出

この手法は手法②で抽出しきれない遠方の建物壁面の抽出を目的とする。建物壁面に反射した点群は、図4.1.1-3に示すように水平方向に均一に並ぶ特徴があることから、各スキャンライン上で隣接する点群同士の距離計測値の差が閾値以下のものが連続している点群を人工物候補とする。なおこの手法については、樹木を人工物として誤判定する可能性があるため、4.1.1.3の樹木除去手法と合わせて最終的な人工物判定を行う。

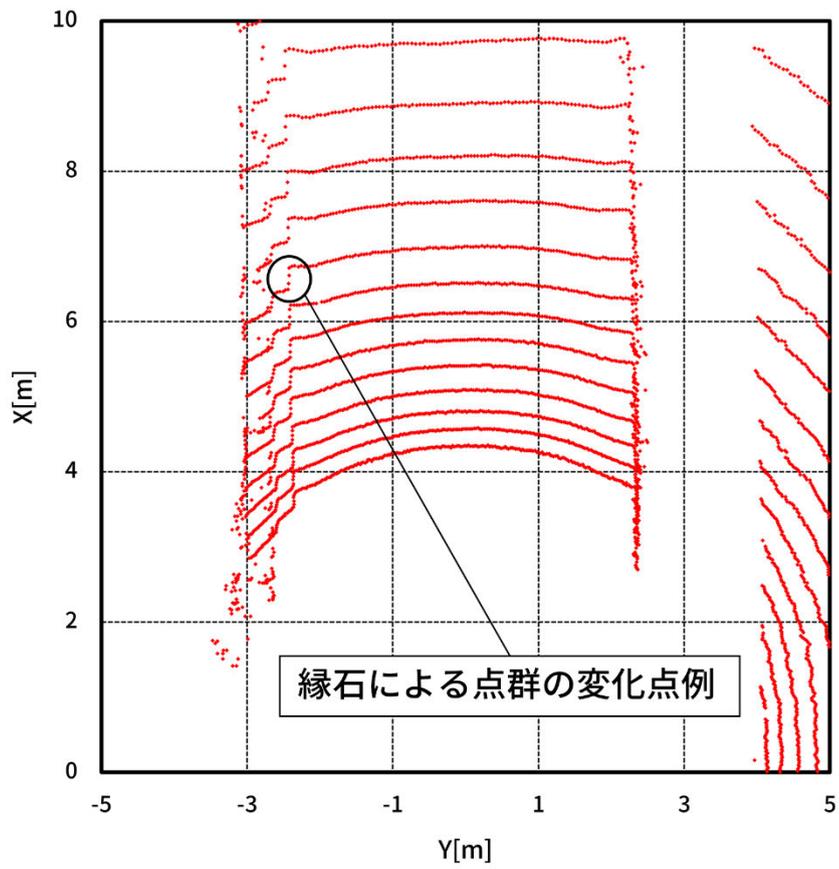


図 4.1.1-1 路面上で計測した点群の散布図

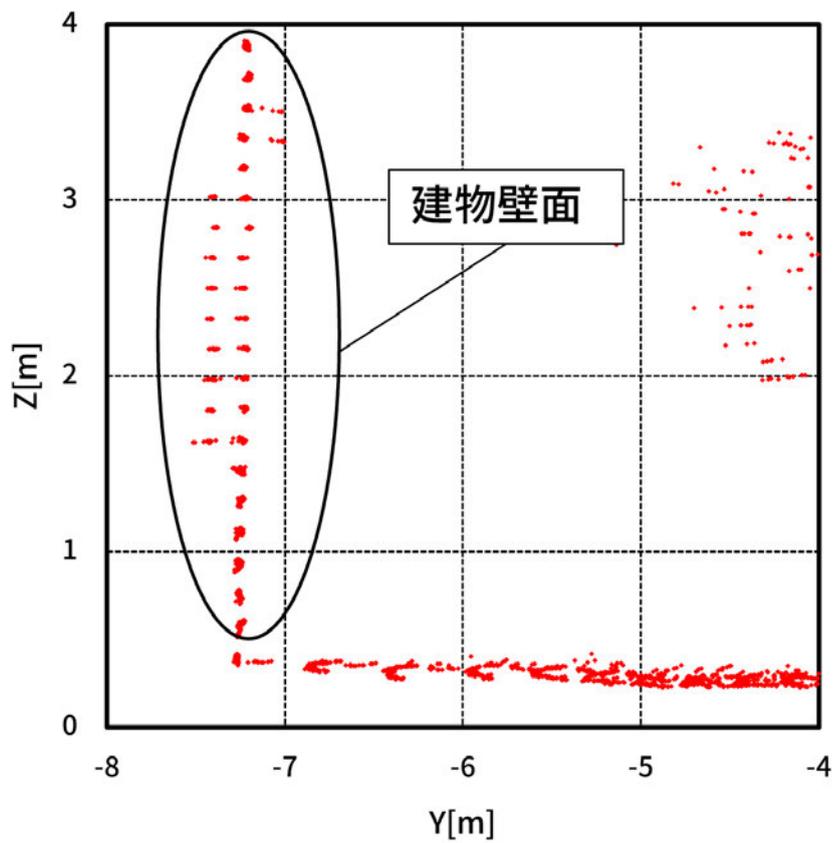


図 4.1.1-2 建物壁面を断面的に見た点群の散布図

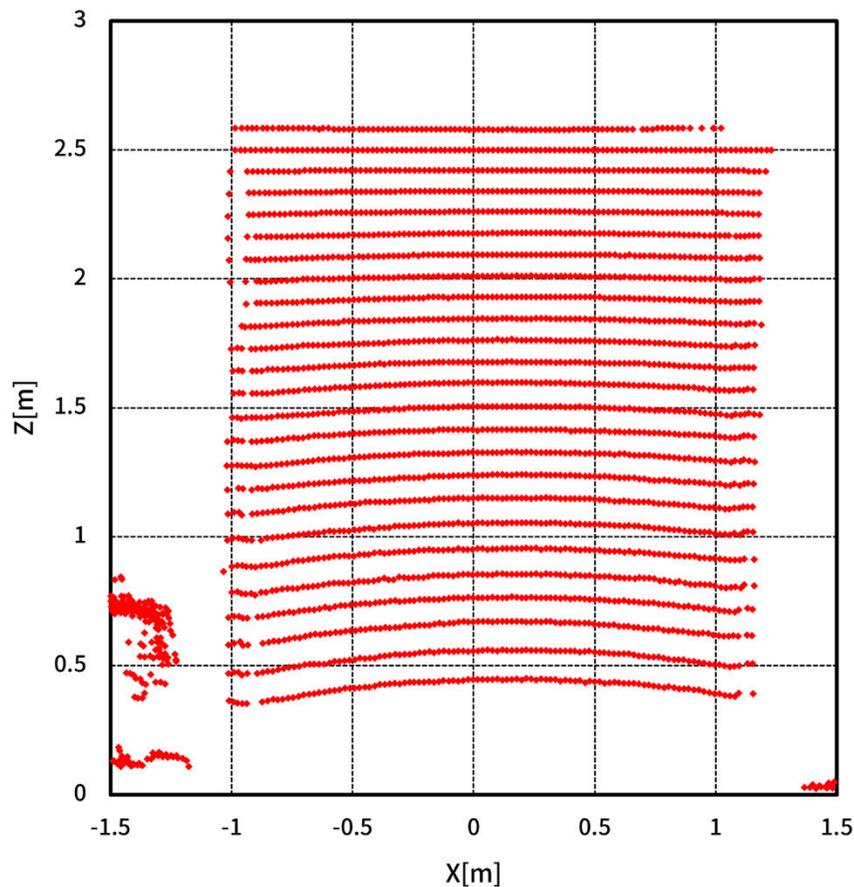


図 4.1.1-3 建物壁面の表面上で計測した点群の散布図

4.1.1.3 樹木除去手法

樹木除去手法について説明する。図 4.1.1-4、図 4.1.1-5 に示すように、計測した点群を水平面上で見た場合、樹木が含まれる領域の点群は散らばり、建物壁面などの人工物が含まれる領域の点群は直線的に並ぶ。この物体の違いによる点群の散らばり具合を、相関係数で表すことで、その領域が樹木か、人工物であるかの分類をしている。相関係数算出領域は、 $1\text{m} \times 1\text{m}$ （格子 25 個分）毎とし、路面上の反射点群を取得しないよう高さ $1.5\text{m} \sim 3.0\text{m}$ の点群を算出対象とした。相関係数の絶対値が大きい場合（0.8 以上）には人工物の可能性が高いとして、その領域の格子すべてを人工物候補の格子とする。

この人工物候補の格子の情報を、4.1.1.2 で述べた人工物判定手法の内、誤って樹木を人工物として判定する可能性がある手法②、手法③の人工物判定結果と組み合わせることで、人工物判定における樹木の除去を行う。具体的には、手法②または手法③で格子が人工物候補として判定された場合でも、この格子が相関係数の値に応じて決定される人工物候補の格子に該当しない場合は非人工物格子として判定する。

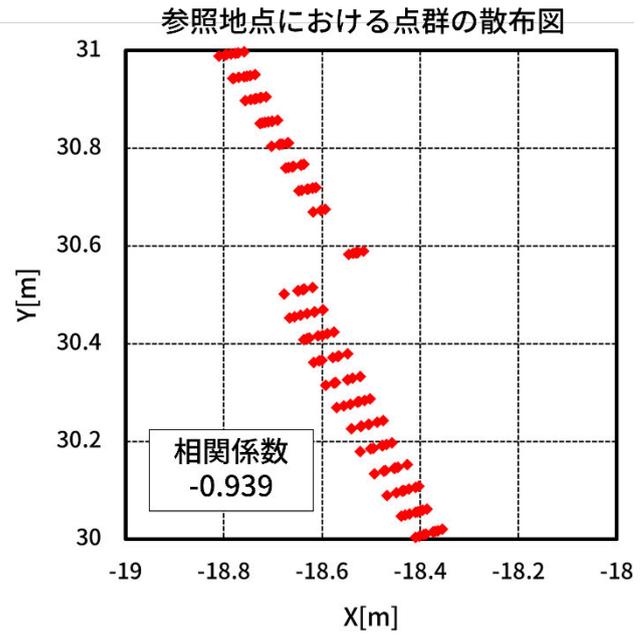


図 4.1.1-4 相関係数算出時の参照地点と散布図（建物壁面）

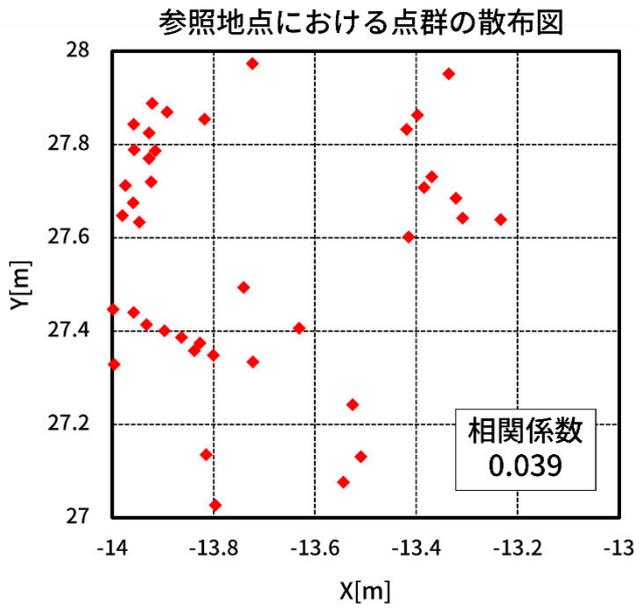


図 4.1.1-5 相関係数算出時の参照地点と散布図（樹木）

4.1.1.4 作成した高精度地図の全体像

図 4.4.1-6 に作成した作成した高精度地図の全体像と航空写真を示す。



図 4.1.1-6 航空写真（Google Earth より）と高精度地図の全体図

4.1.1.5 作成した高精度地図の詳細図

図 4.1.1-7、図 4.1.1-8 に作成した作成した高精度地図の詳細図と航空写真を示す。航空写真の中に樹木が存在する領域において、作成した高精度地図では樹木の大部分を除去し、縁石、建物壁面などの人工物を抽出していることがわかる。



図 4.1.1-7 航空写真（Google Earth より）と高精度地図の詳細図

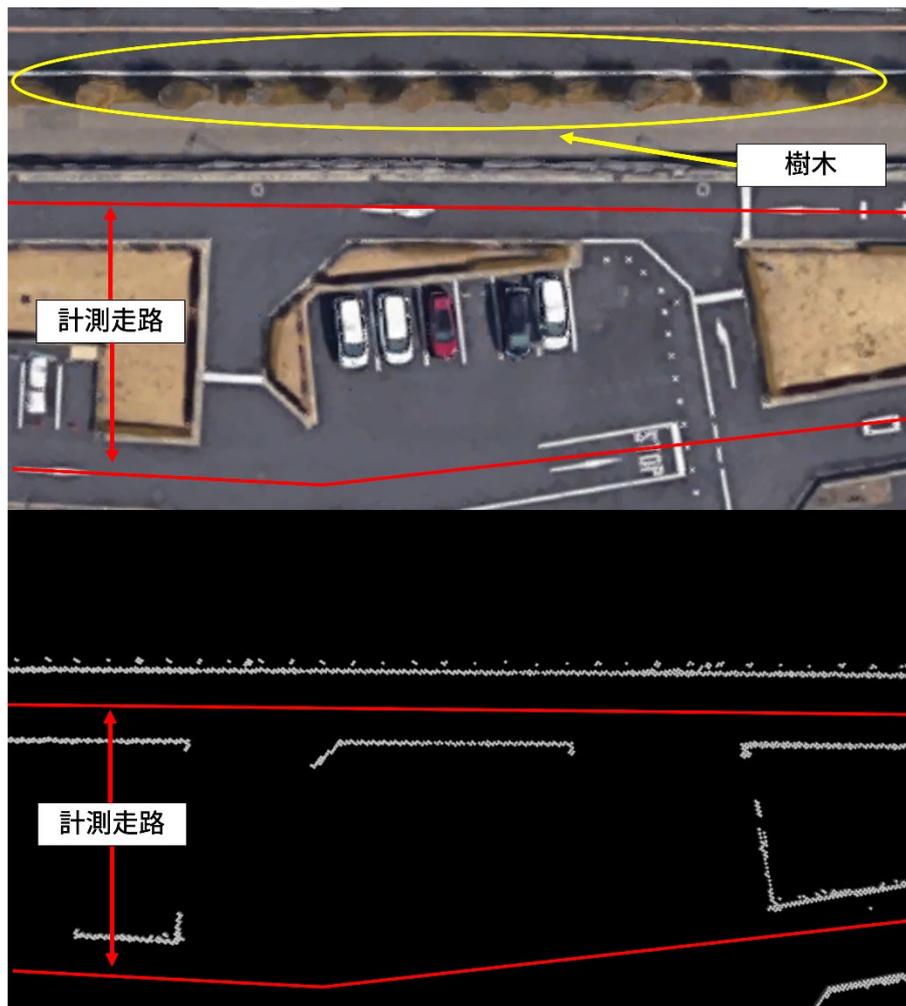


図 4.1.1-8 航空写真（Google Earth より）と高精度地図の詳細図

4.1.1.6 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

ここでは、上記までに示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、高精度地図を作成した領域の内、外周のコース区間（約 300m）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自己位置推定評価結果について報告する。

4.1.1.7 自己位置推定アルゴリズムと評価区間

本研究で構築した自己位置推定アルゴリズムでは、まず高精度地図において人工物格子とその周辺の格子に、人工物格子からの距離に応じたスコアを格納する。このスコアを参照することで、車載ライダーで計測した高精度地図に照合させる情報と高精度地図情報の類似度を評価する。なお、このスコアは事前に計算し格納するものとする。

具体的なスコアの格納手順として、まず人工物判定された格子に定数 K を格納した上、周辺の格子には K からユークリッド距離分減算した値を格納した。なお本研究では $K=5$ とし、変換処理後の値は全て0以上とする。さらに、人工物格子からの距離が近い格子と離れた格子のスコアの差を大きくする目的で、各格子に格納した値を n 乗した。この一連の変換処理イメージを図 4.1.1-9 に示す。本研究では、基本的な人工物は $n=2$ とし、人工物の内、手法②（鉛直方向に連続的に並ぶ点群の検出）で人工物格子と判定した格

子については、特徴的な情報として扱い $n=3$ とした。以上の手順で算出、格納された値をスコアとして用いる。

スコアの格納がされた高精度地図に照合させる情報は、高精度地図と同じ $0.2\text{m}\times 0.2\text{m}$ の格子サイズで構成される格子の情報とする。照合させる格子の情報は、0、1の2値情報から構成され、車両で計測されたライダーセンサの計測点群から、第4.1.1.2項で述べた人工物判定手法①、②を用いて人工物と判定する格子と、高さ $1.5\text{m}\sim 3.0\text{m}$ の領域にある点群の内、点群の高低差 0.1m 以上の格子に1を格納する。1が格納された格子情報を高精度地図と照合させ、該当する格子のスコアの合計を類似度評価に用いる。なお、高精度地図に照合させる情報の内、人工物判定手法②で格子に1を格納した場合は、その格子が参照する高精度地図のスコアは3乗されたものとする。

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る。そこから、 $\pm 1\text{m}$ 、 ± 2 度の範囲で各姿勢状態でのスコア合計値を計算し、最もスコア合計値を高くした姿勢状態の値で、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。

自己位置推定の評価区間は、図4.1.1-10に示す走路とする。

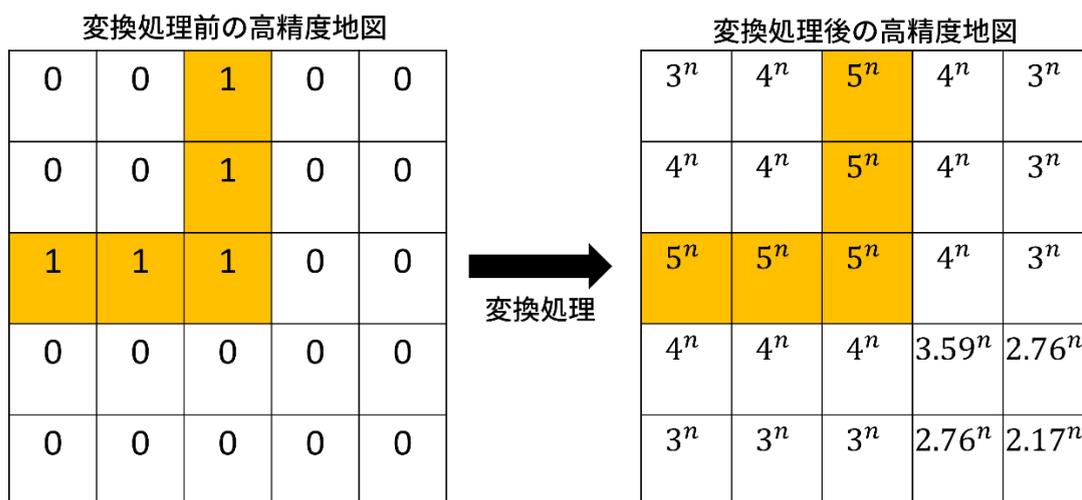


図 4. 1. 1-9 高精度地図の変換処理イメージ



図 4. 1. 1-10 自己位置推定評価区間

4.1.1.8 自己位置推定評価結果

構築した自己位置推定アルゴリズムによる自己位置推定評価結果について述べる。図 4.1.1-11 には RTK-GNSS による計測位置に対する自己位置推定位置の誤差、図 4.1.1-12 に RTK-GNSS による計測位置と自己位置推定位置から作成した車両軌跡の全体図を示す。

自己位置推定の誤差については、平均誤差 0.14m となったが、図 4.1.1-11 から、一部箇所では誤差が一時的に大きくなる箇所が存在する（区間①～⑤）。これらの誤差は、RTK-GNSS による計測位置と自己位置推定位置から作成した車両軌跡との比較から、目標経路に対して横方向の誤差ではなく、前後方向の誤差であることが分かった。図 4.1.1-13～17 に、評価したデータの例として誤差が大きい 5 か所における、RTK-GNSS による計測位置と自己位置推定位置から作成した車両軌跡の結果を示す。

自己位置推定の誤差が一部箇所では大きくなった原因の一つとして、高精度地図の人工物情報と、高精度地図に照合させる情報に含まれる樹木情報の照合によるスコアの不適切な加算が挙げられる。本研究では、計算時間の都合から、高精度地図に照合させる情報からは完全な樹木の除去は行わなかった。その結果、樹木に反射した点群を含む格子の情報、高精度地図における樹木付近の人工物情報と照合されたことによって、本来の位置とは異なる位置でもスコアが不適切に加算されていると推測する。実際に、今回の評価で最も誤差が大きかったのは、区間⑤であり、ここは図 4.1.1-18 に示すような人工物と樹木が近距離で隣接するような場所であった。

構築した自己位置推定アルゴリズムは、樹木と人工物が完全に分離するような場所では、高精度地図に照合させる情報に樹木を含んだ場合でも、高精度地図中にはその樹木の存在する領域の格子は全て非人工物格子となりスコアが 0 のため、上記のような不適切なスコアの加算は発生しない。そのため、樹木と人工物が完全に分離しているような区間では、高精度に自己位置推定が可能であるが、今回のように樹木と人工物が隣接する区間でより高精度な自己位置推定を行うには、高精度地図のみならず、高精度地図に照合させる情報も人工物に限定する必要がある、今後の課題とする。

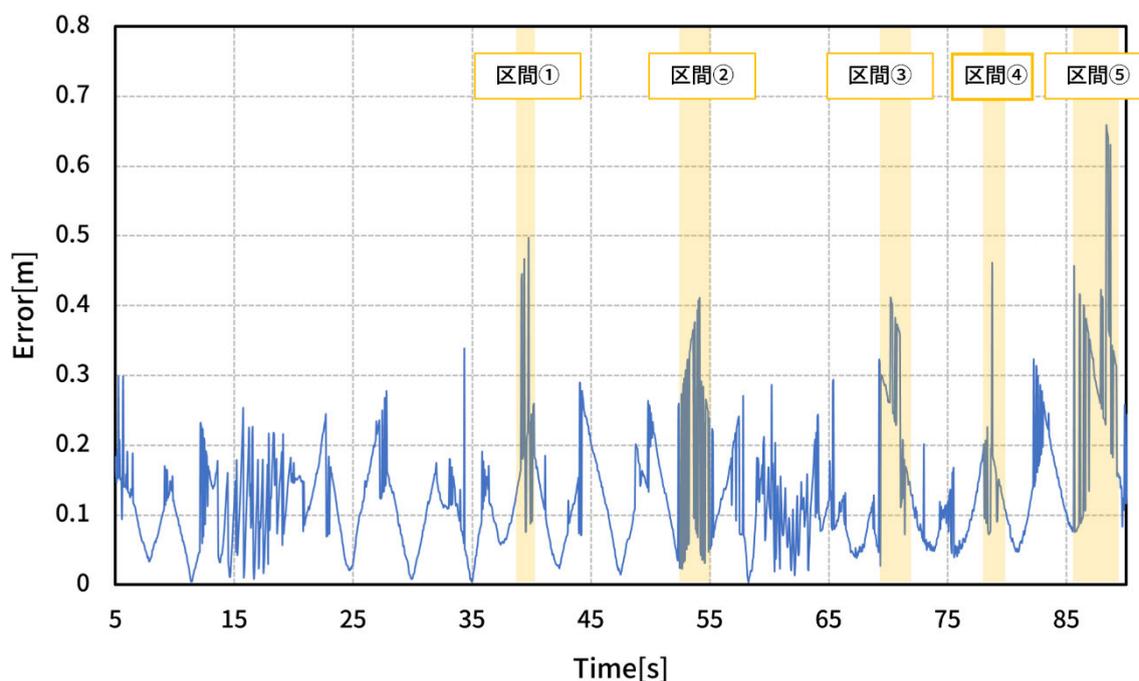


図 4.1.1-11 自己位置推定の誤差

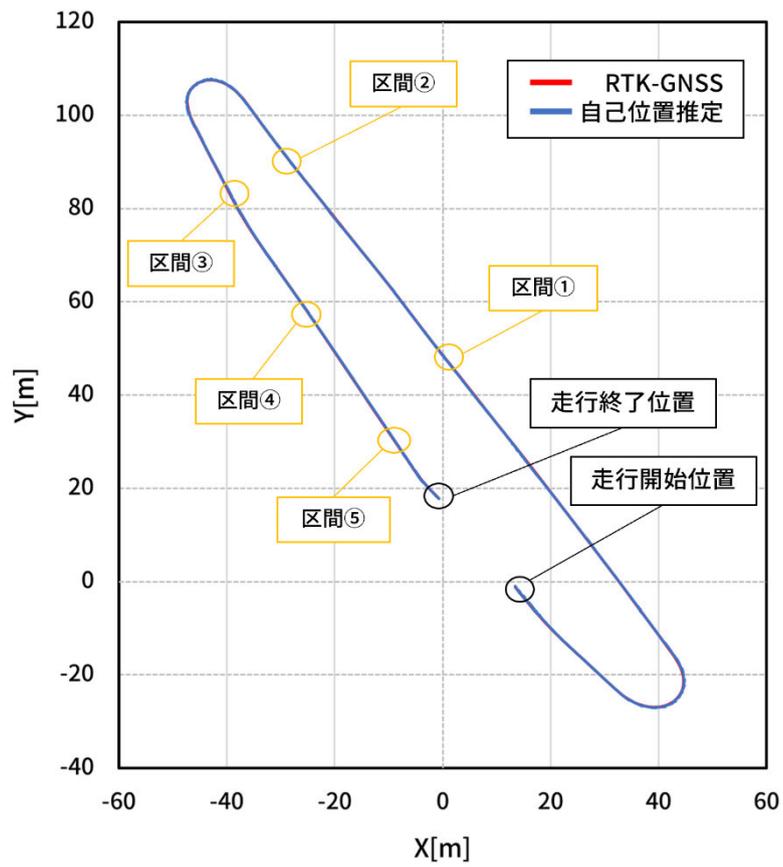


図 4. 1. 1-12 自己位置推定による車両軌跡

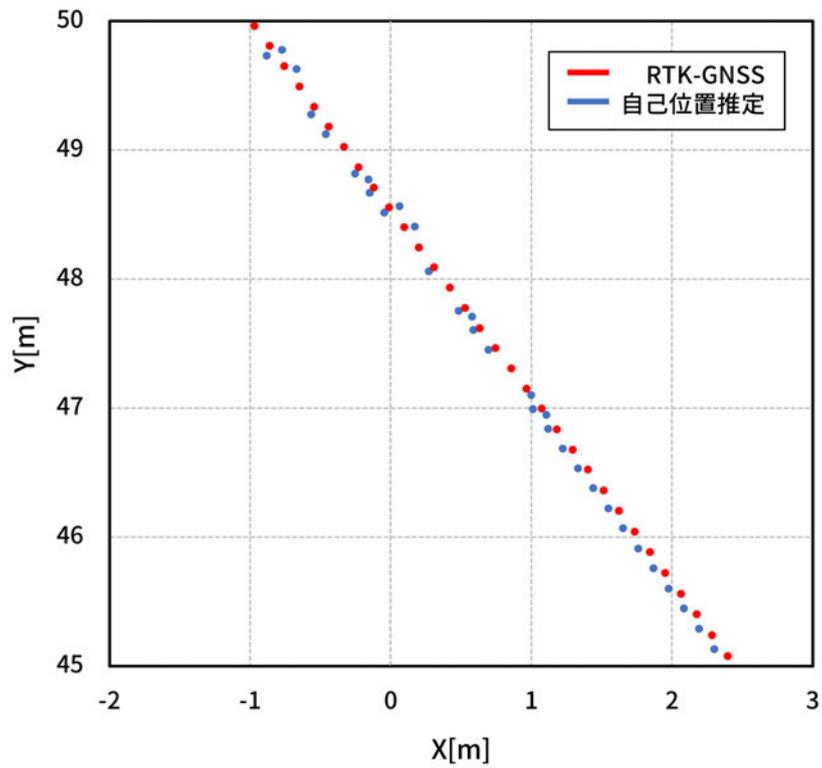


図 4. 1. 1-13 自己位置推定による車両軌跡（自己位置推定精度が低下している区間①）

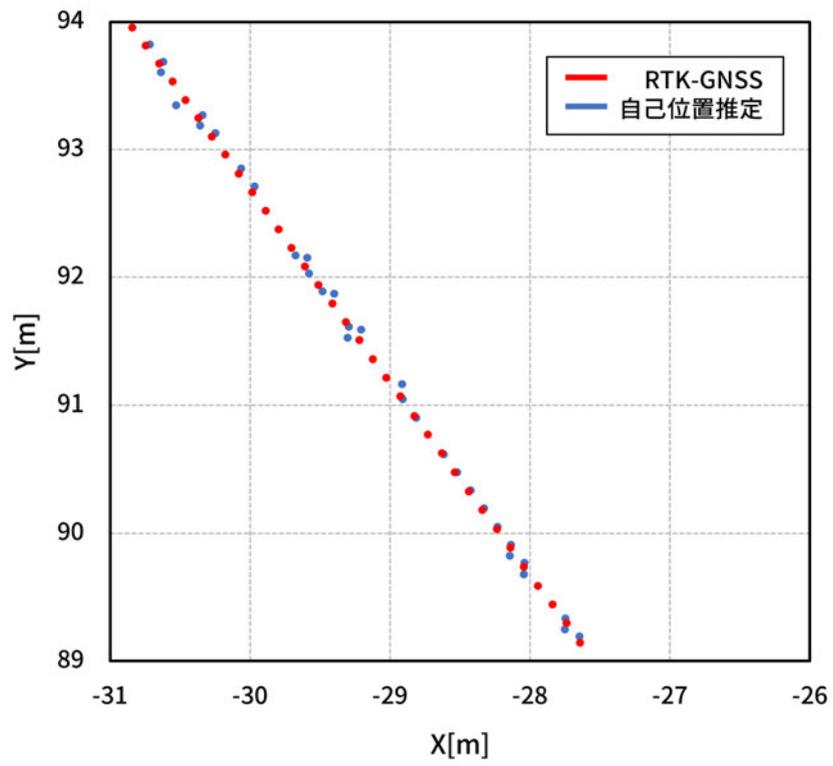


図 4. 1. 1-14 自己位置推定による車両軌跡（自己位置推定精度が低下している区間②）

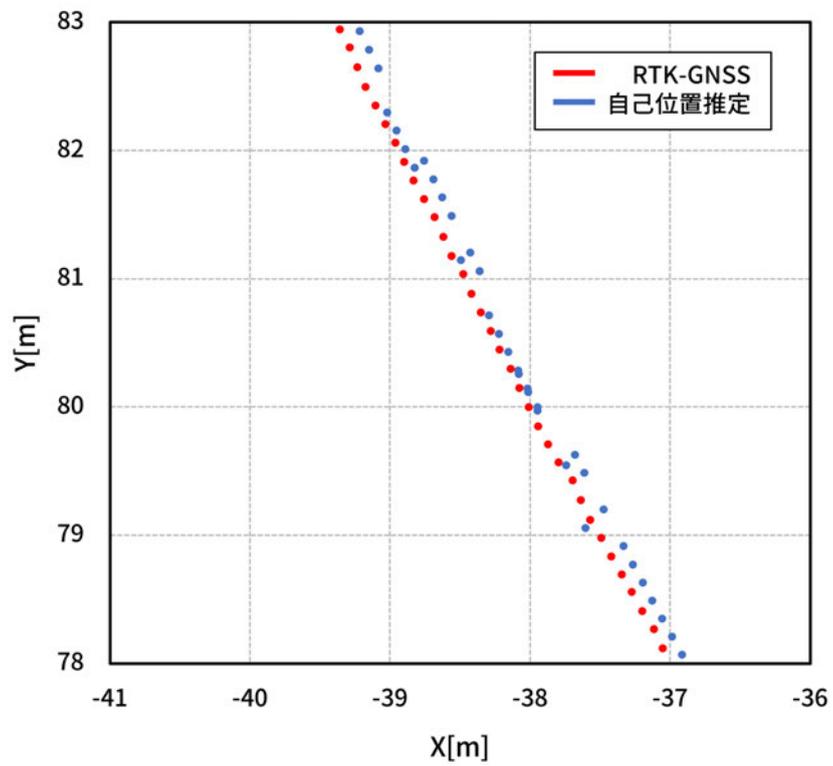


図 4. 1. 1-15 自己位置推定による車両軌跡（自己位置推定精度が低下している区間③）

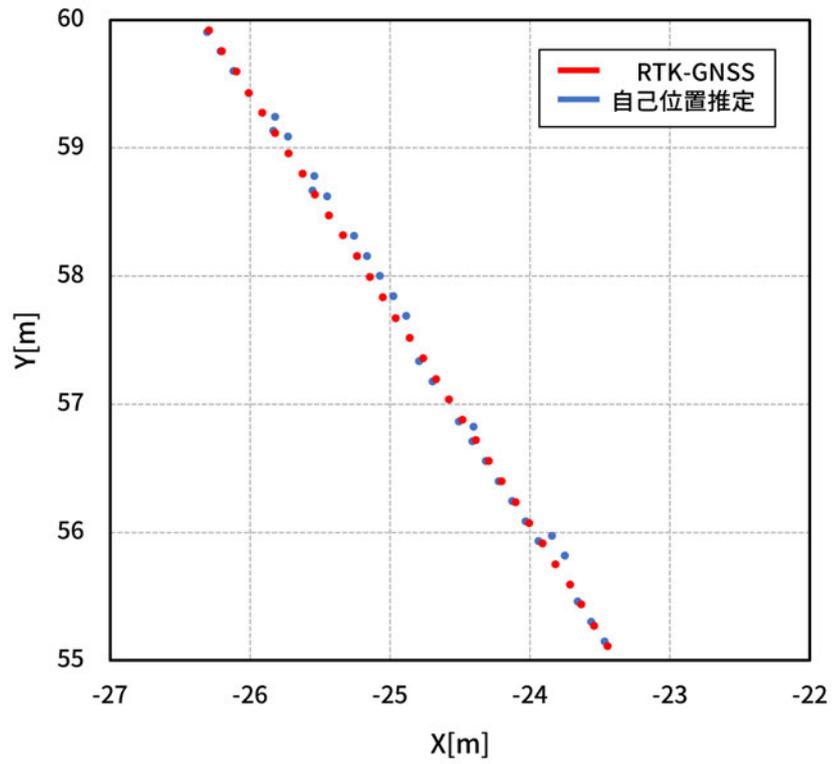


図 4. 1. 1-16 自己位置推定による車両軌跡（自己位置推定精度が低下している区間④）

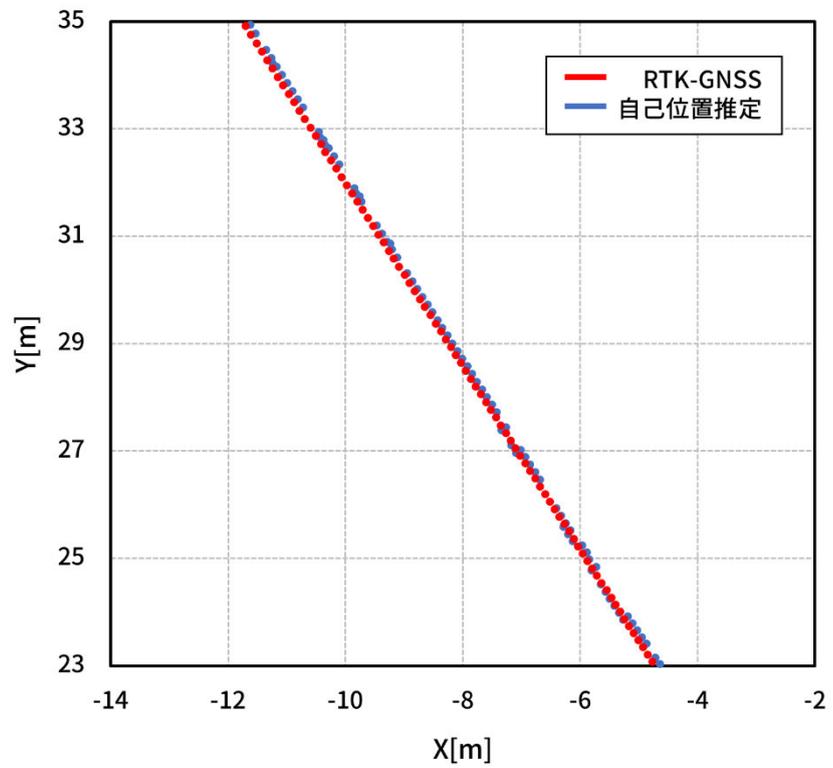


図 4. 1. 1-17 自己位置推定による車両軌跡（自己位置推定精度が低下している区間⑤）

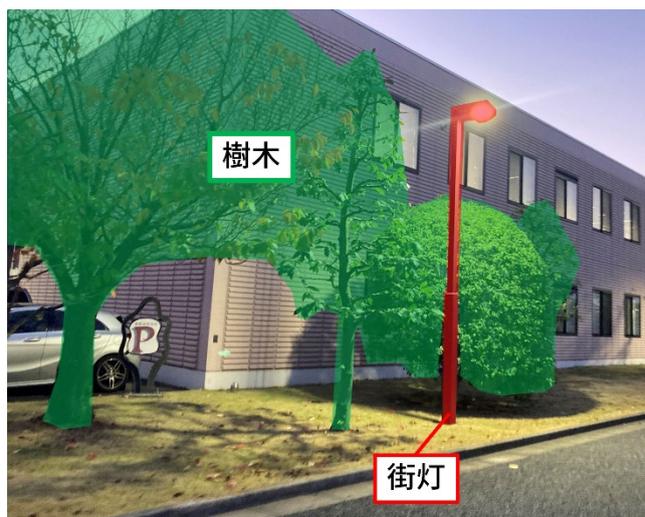


図 4. 1. 1-18 樹木と人工物の隣接場所

4. 1. 1. 9 まとめ

本研究では、樹木と人工物が混在する自動運転走路における自己位置推定のための人工物に限定した高精度地図の作成、および作成した高精度地図を参照する自己位置推定手法の開発とその評価を行った。高精度地図の作成においては、人工物判定手法、樹木除去手法の組み合わせによって効率よく人工物に限定した高精度地図を作成できることを確認した。自己位置推定においては、作成した高精度地図を用いて平均誤差 0.14m の推定誤差で自己位置推定ができることを確認した。樹木や畑が多く存在するような永平寺町の自動運転走路においても、同様に樹木などを除去した高精度地図の作成、および作成した高精度地図を参照する自己位置推定は可能であると考えられる。また、人工物に限定した高精度地図については、樹木の形状変化の影響を受けないことから、樹木の形状変化に対応するための高精度地図の更新作業を大幅に削減することが期待できる。

4.1.2 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

4.1.2.1 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、町が本格運行を行ってきたい。ただし、レベル3での走行は、公道交差のない南側の限定された走路である。レベル4の高度化の対象はこの走路になっている。

北側の走路は、公道交差があるため、実際の運行では、レベル2として運転者が乗車し、交差点での一時停止後の確認を運転者が行い、発進判断を行っている。ここでは、この発進判断を車載センサにより自動制御することに着目した。路側機システムを用いる方法については、4.3.3 路側機システムで示している。

車載機によって、交差点での一時停止後の発進判断を自動化させる場合に、必要と考えられる情報には、主に、交差点通過部分の障害物の有無、交差点通過部分で衝突の危険性のある車両や歩行者等の有無である。交差点通過部分の障害物の有無は、通常の走路の走行においても判断が必要な情報であるが、衝突を回避する自動ブレーキ機能を実現するにあたっては、単純に障害物の有無だけではなく、障害物との距離や大きさ、速度、属性等を、車載センサを用いて検知することで、ブレーキの強弱などより細かい制御が可能となる。永平寺町の走路における交差点においては、一時停止後の発進判断に対しては、交差点を通過できるか、否かの観点からすれば、交差点内の走路に、障害が無いことが、発進の前提となる。

交差点通過部分で衝突の危険性のある車両や歩行者等の有無については、衝突の危険性があるかどうかを判断することが必要となり、その判断に必要な情報がさらに必要となる。衝突の危険性は、例えば、対象となる車両や歩行者などの動きの方向と速度を検知し、行動予測として交差点内での TTC (Time to Collision) を算出し、交差点を自車が通過できるのかによって発進を判断することになる。そのため、このような動きを検知できるセンサが必要となる。車載センサとして、代表的なものとして、単眼カメラ、ステレオカメラ、LiDAR、ミリ波レーダなどがある。それぞれのセンサにおいては、このような交差点での動きの検出については、以下のような利点や欠点があげられる。

表 4.1.2-1 交差点での交差道路内の車両や歩行者の動きの検出を想定した車載センサとしての利点・欠点

車載センサ	利点	欠点	備考
単眼カメラ	属性検知は AI 技術などで可能である。 画面位置から位置検知が可能である。	距離精度は長距離や低分解能、設置位置の揺れ等により悪くなる。雨や霧の影響を受ける。	安価である。 狭角レンズで高分解能にすると多数のカメラが必要となる。
ステレオカメラ	距離検知が可能である。カメラ映像を併用して属性検知が可能である。	距離精度は長距離や低分解能等により悪くなる。2つのカメラ設置精度や距離により精度が変わる。オクルージョンが発生する可能性がある。	背景と対象の色、明るさが異なることが前提である。
LiDAR	距離検知が可能。高分解能である。広角の検知が可能である。3次元の検知も可能である。	雨や霧の影響を受ける。	高価である。自己位置認識などでも使用される可能性がある。
ミリ波レーダ	距離と速度の検知が可能である。雨や霧の影響を受けにくい。	LiDAR と比較すると分解能は低く、検知角は狭い。	高分解能のものは高価になる。

表で示すような利点や欠点を考慮し、永平寺町における環境認識では、広角な環境認識と高精度な測距を必要とするため、3D-LiDAR (Light Detection and Ranging) をセンサとして選択して用いることとした (Velodyne 社製の VLP-32C)。

4.1.2.2 提案手法

本研究では、自動運転車両が交差点で一時停止している間において、LiDAR から得た情報を用いて、どのような物体であっても一定速度で接近してくる移動体を検出するアルゴリズムを提案する。図 4.1.2-1 に 3D-LiDAR から点群を取得してから、発進判断を行なうまでの一連の流れを示す。これにより、点群による物体識別が不要になるだけでなく、高精度地図を用意する必要もなくなる。以降では、提案したアルゴリズムの詳細を説明し、4.1.2.3 でその結果を示す。

(1) 路面点群削除処理

図 4.1.2-1 の処理 A に含まれる。まず、LiDAR から 0.1 秒ごとに点群を取得し、その後、路面点群を除去する。路面点群はその後の処理に不要であるため、除去する必要がある。その結果、車両や歩行者、路肩の草むらなど、地面以外の点群（非路面点群）だけが残し、以降の処理に繋がる。

路面点群の最も単純な除去方法は、LiDAR から鉛直方向にある閾値以下の点を削除することである (the simplest method)。しかし、この方法では、対象走路などの斜面ではうまく除去することができない。

また、RANdom SAmple Consensus (RANSAC) を用いて、路面を平面方程式で近似して、それに近い点を路面とする手法もあるが、実際の道路が必ずしも 1 種類の平面方程式で表せるとは限らない。以下、the simplest method と RANSAC method を使用した場合の処理結果である。

一方、極座標ベースのグリッドの点群の z 座標に着目し、路面点群と非路面点群に分割する方法について述べた論文がある。これは、車両の姿勢情報を取得するために、慣性航法装置などの外部機器 (GNSS) を必要とする。ただ、我々が対象としている永平寺町の走路は山間部の木立や木々に囲まれているため、GNSS の活用が困難である。

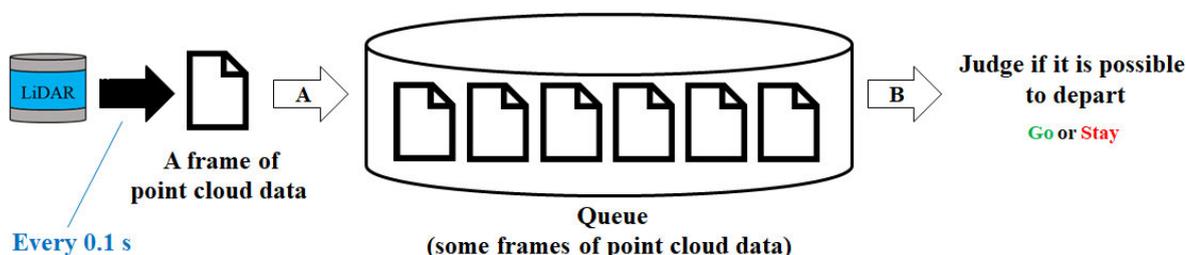


図 4.1.2-1 提案手法

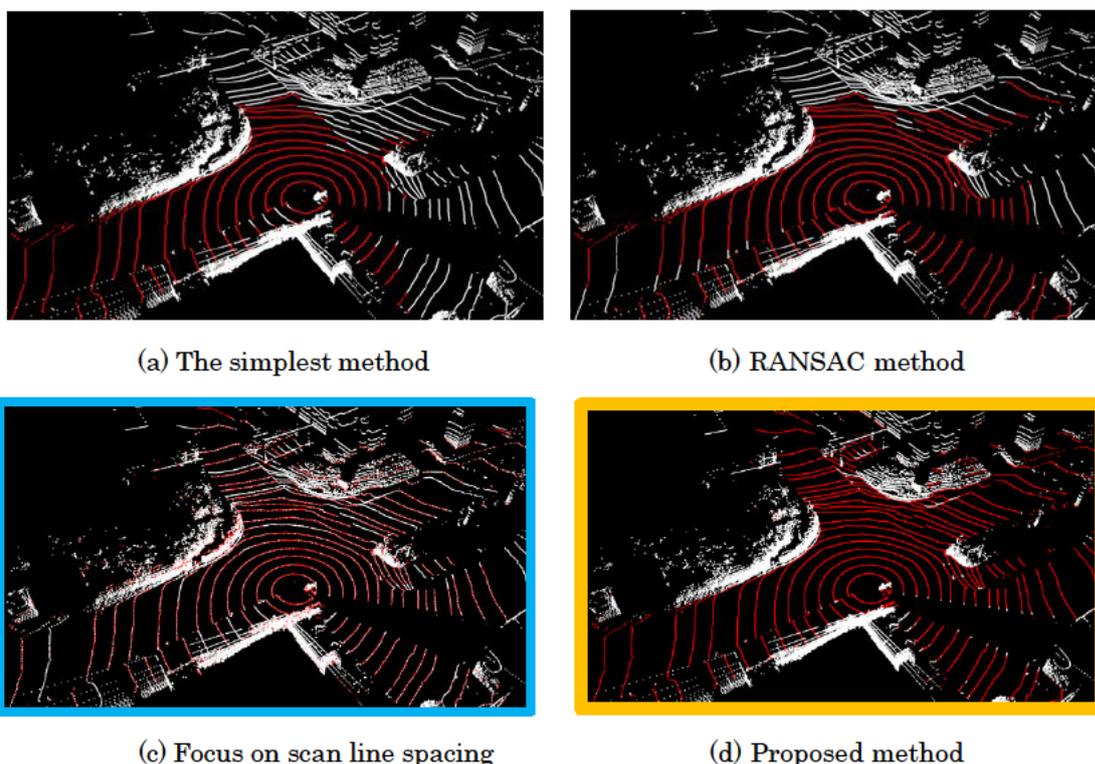


図 4.1.2-2 路面点群削除処理結果

本手法は、路面の起伏により LiDAR の回転軸と路面のなす角度が変化しても、路面点群を除去することが可能である。また、本手法は慣性航法装置を必要としない。本研究では、上記の先行研究に基づいて、幾何学的特徴に着目し、慣性航法装置を用いずに路面点群を除去する手法を提案する。まず、今回使用した LiDAR は鉛直方向に 32 本のレーザ光を持つため、ある方位角で得られた最大 32 点を 1 セットとし、そのセットに対して処理を行う。従って、この集合の総数は LiDAR の方位角分解能に依存する。路面点群の幾何学的特徴に着目した手法では、鉛直角の小さいスキャンラインを先頭にして、セット内の隣接点間隔（スキャンライン間に相当する）の関係を順次調べていき、点と点の間隔を評価することで路面点群を削除することができる。

(2) 物体追跡

図 4.1.2-1 の処理 B に含まれる。クラスタ化された点群（物体）を数フレームにわたって追跡する。これにより、速度や加速度を計算することができる。フレーム間で物体をリンクさせるためには、通常、物体の基準点を定義する必要がある。重心は LiDAR から距離に依存するため、適切ではない。ロバストな物体追跡のために、参照点を定義する。物体から参照点を計算した後、前のフレームにある最も適切な物体をリンクさせる。オクルージョンによってリンクされなかった物体は、次のフレームで使用される。本研究では、4 つ前のフレームまでのデータを保持する。あまり数が多いと、紐付けの精度が低下する。

まず、K-Nearest Neighbors アルゴリズムを用いて、対象点（現フレームの参照点）のうち、クエリ点（過去フレームの参照点）に最も近いいくつかの候補点を選択する。ただし、クエリ点の位置は自身の速度情報を用いて移動させる。本研究では、候補点数は 3 点である。これ以上の候補点を探しても、最終的なリンク点の結果が変わることはほとんどなく、また、処理に時間がかかる。次に、候補点から最も近い目標点を、条件設定して選択する。

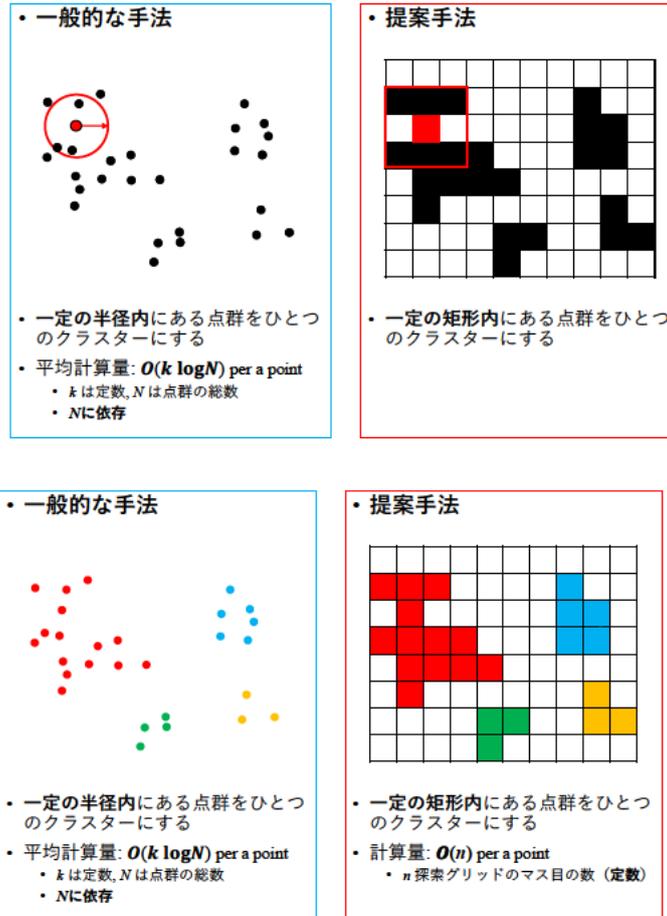


図 4.1.2-3 階層的クラスタリングの提案手法

(3) 接近物検知処理

図 4.1.2-1 の処理 B に含まれる。

直近の 5 つの速度時系列データの 符号が全て同じ (0 を含まない) で、方向の位置と速度の積が負であれば、物体は接近していると判断する。5 つの速度データの平均値を物体の速度とする。ただし、最低速度は 0.9 km/h に設定した。

(4) 発進判断処理

本研究では、接近物として得られた物体の位置と速度から、交差点に進入する時間を算出し、接近物が一定時間以内である、かつ、速度ベクトルが予め定めた交差点ゾーン内を向いているかどうかで判定を行なった。無論、交差点ゾーン内に点群があった場合も再発進を許可しない。また、LiDAR の 1 フレーム単位で発進判断を行なうことになるが、より安全な発進判断を行なうために、数フレームの間、発進が妨げられないことを確認してから、発進を許可するように構成した。

4.1.2.3 実験結果

以下の図 4.1.2-4 では、右肩上がりの交差路で車両が右から接近する場合を示している。地図を持たない状態でも、車両を検知することができている。

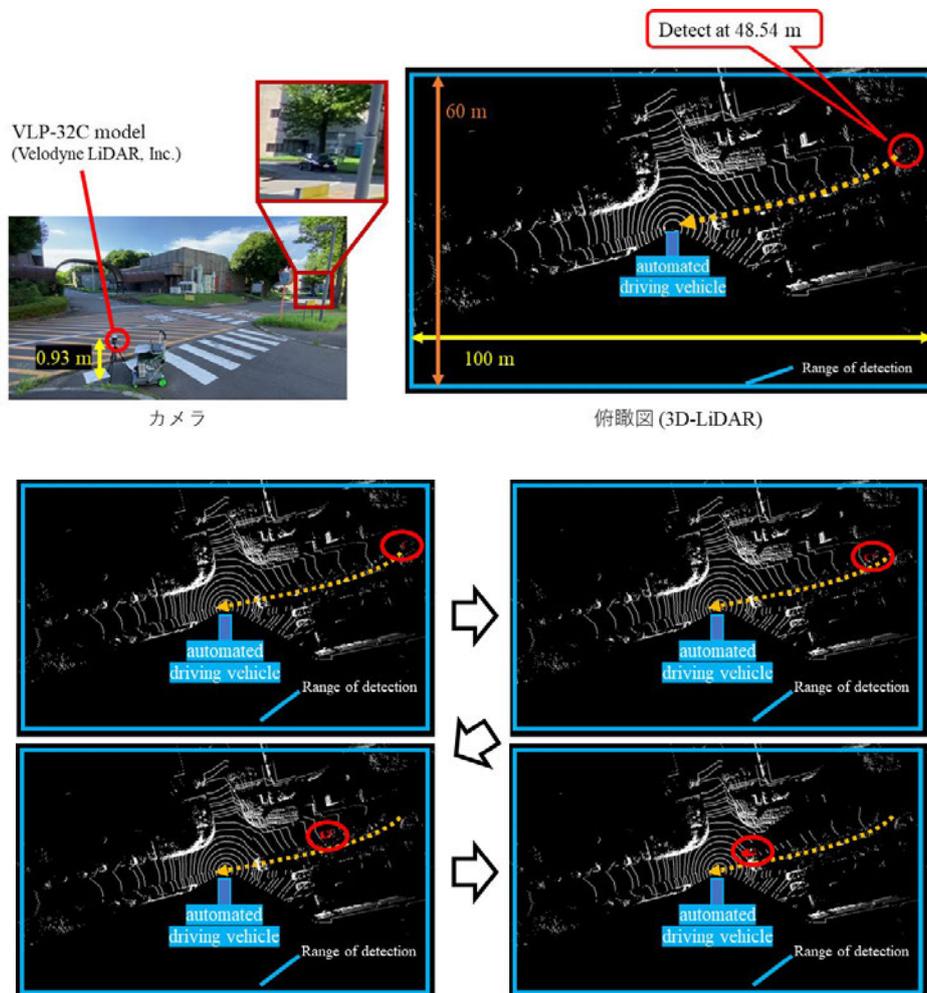


図 4.1.2-4 右肩上がりの交差路で車両が右から接近する場合

以下の図 4.1.2-5 では、右肩上がりの交差路で歩行者が右から接近する場合を示している。地図を持たない状態でも、歩行者を検知することができているが、対象物の大きさが車両よりも小さいため、検知距離が短くなっている。

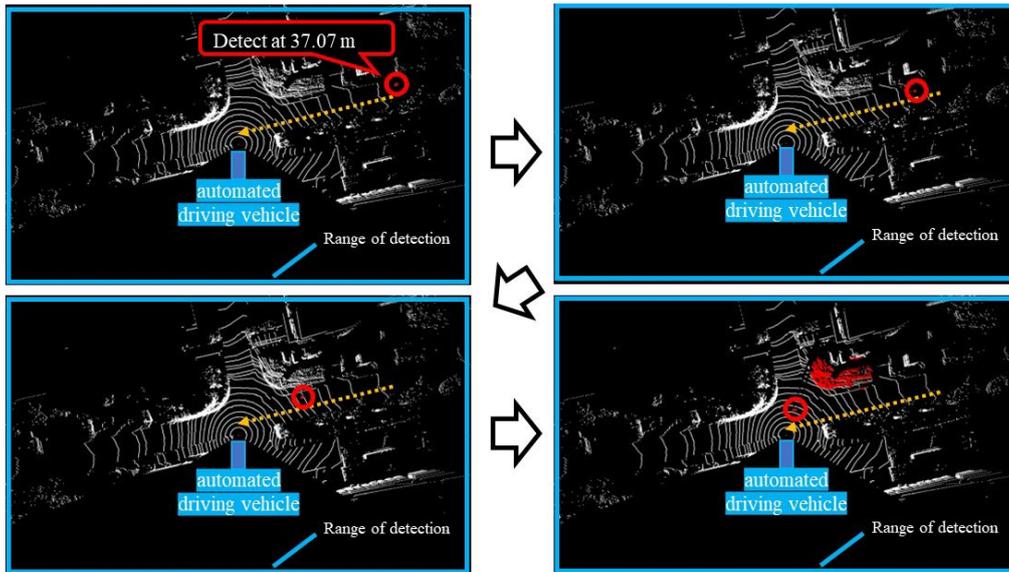


図 4.1.2-5 右肩上がりの交差点で歩行車が右から接近する場合

以下の図 4.1.2-6 では、右肩下りの交差点で車両が接近する状況等での発進判断を示している。ここでは、接近物体が 5 秒以内に交差点に進入するかしないかによって、発進の判断をさせており、対象の位置や接近速度によって、発進不可や発進許可の判断ができていことがわかる。

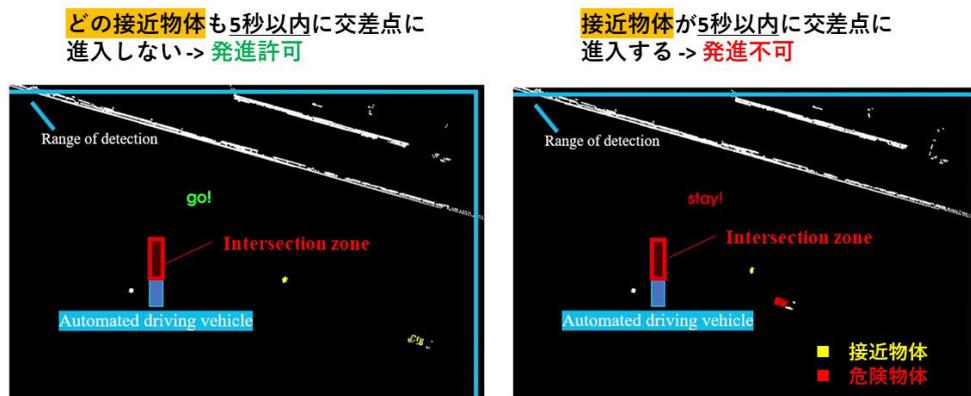


図 4.1.2-6 交差点における歩行者や車両の検知と発進可否判定の結果

4.1.2.4 まとめと課題

本研究では、交差点の環境を事前に知ることなく、点群の幾何学的な性質に着目するだけで接近する物体を検出する手法を提案した。これにより、地図生成が行われていない環境にも容易に対応することができる。また、交差点が直交していない環境や、路面の起伏がある環境にも適応できることを示した。産総研構内の実験ではあるが、車載した形での発進判断を実際に行い、車両を交差点で安全に発進可能であることも確認をしている。今後は、接近検知の精度および処理の効率化のためにカメラによる物体識別処理結果を点群情報の補完として運用することがあげられる。

4.2 車両の開発

4.2.1 ベース車両

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 4.2.1-1 にベース車両のシステム構成を示す。

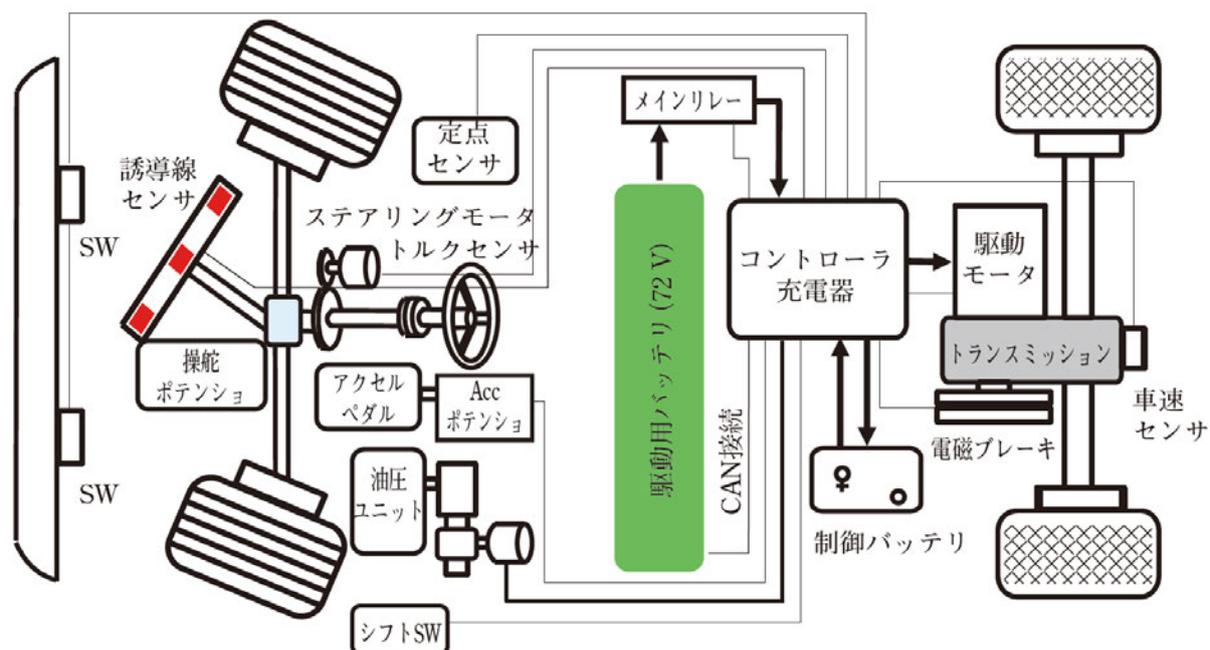


図 4.2.1-1 ベース車両のシステム構成

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ー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が駆動モーターへの電流指示、モーター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としてCAN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。

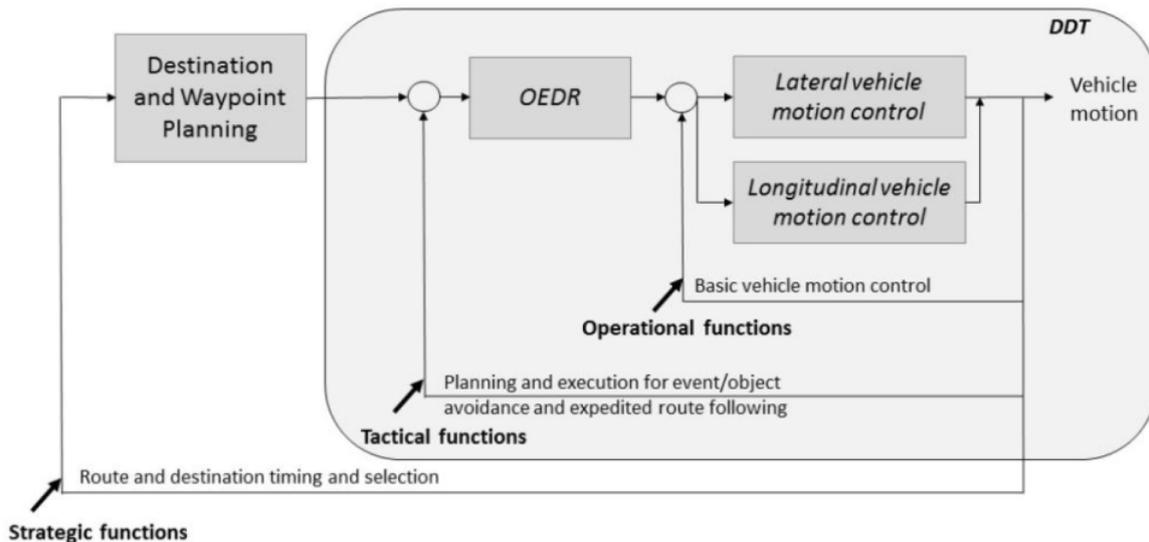


図 4.2.1-2 運転行動全般のタスクの概略 (出典 : SAE J3016)

4.2.2. 上位コントローラからの速度制御

4.2.2.1 背景と目的

電磁誘導方式での車速制御では、目標車速での走行となるよう、一定の加速度で車速を変化させるように制御をおこなっている。このため、路上の障害物検知時などより強い減速が必要な場合においては、停止指令（準緊急停止や緊急停止）による減速を行わなければならない、車両を停止させる必要がある。

そこで、強い減速後も停止させることなく走行継続が可能となるよう、通常的車速制御時においても、減速度を可変させられるよう対応を行う。

4.2.2.2 減速度外部入力仕様

衝突回避および他交通参加者への追従走行の為には、対象物との距離や相対速度など、周辺状況に応じて加速度を変化させながら目標車速へ追従させる必要がある。そのため、路上障害物検知時には、AD-ECUにより目標車速と合わせ目標減速度の算出を実施し、それぞれの目標値をGC-VCUに送信。GC-VCUでは、目標車速での走行となるよう、AD-ECUから受け取った目標加速度で車速を変化させるよう、車速制御を行う。

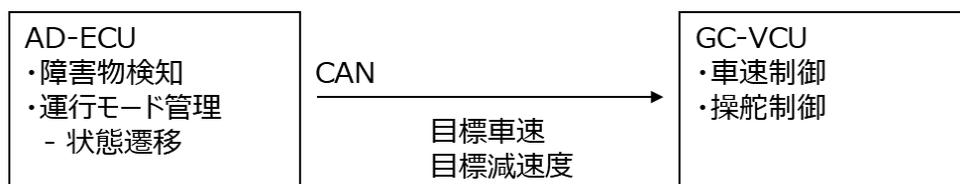


図 4.2.2.2-1 速度制御のインターフェース

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、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、交差点での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交差点通過せずに待機し、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。R3年度で路側機での検知機能、R4年度でダイナミックマップ配信による交差点機能を開発した。

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。

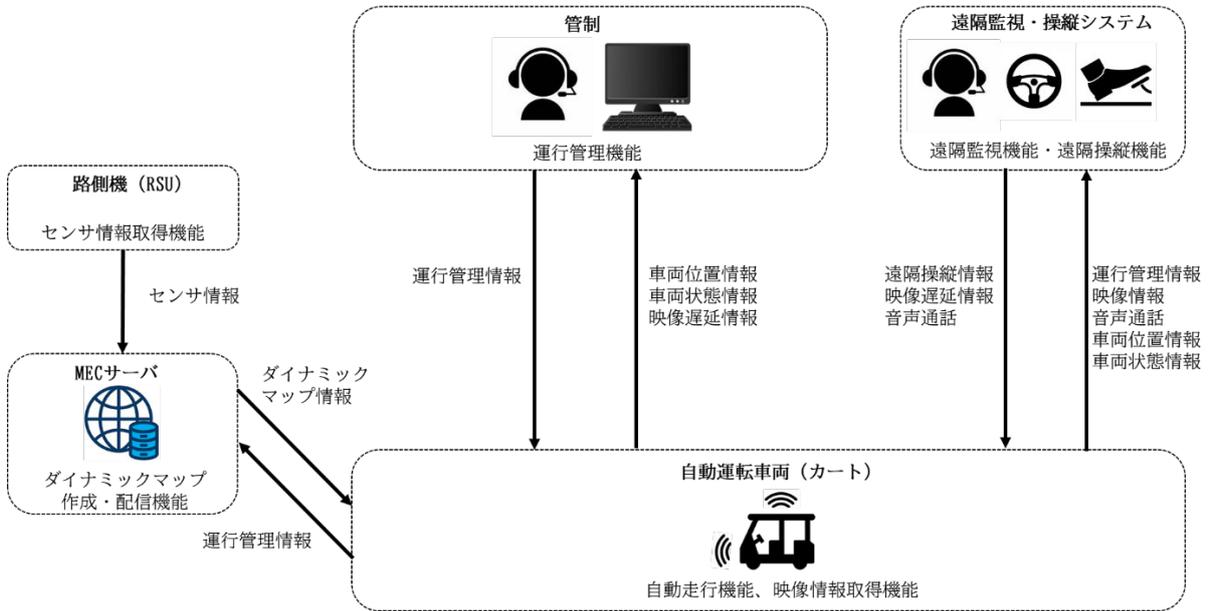


図 4.3.1.1-1 自動運転システム全体構成図

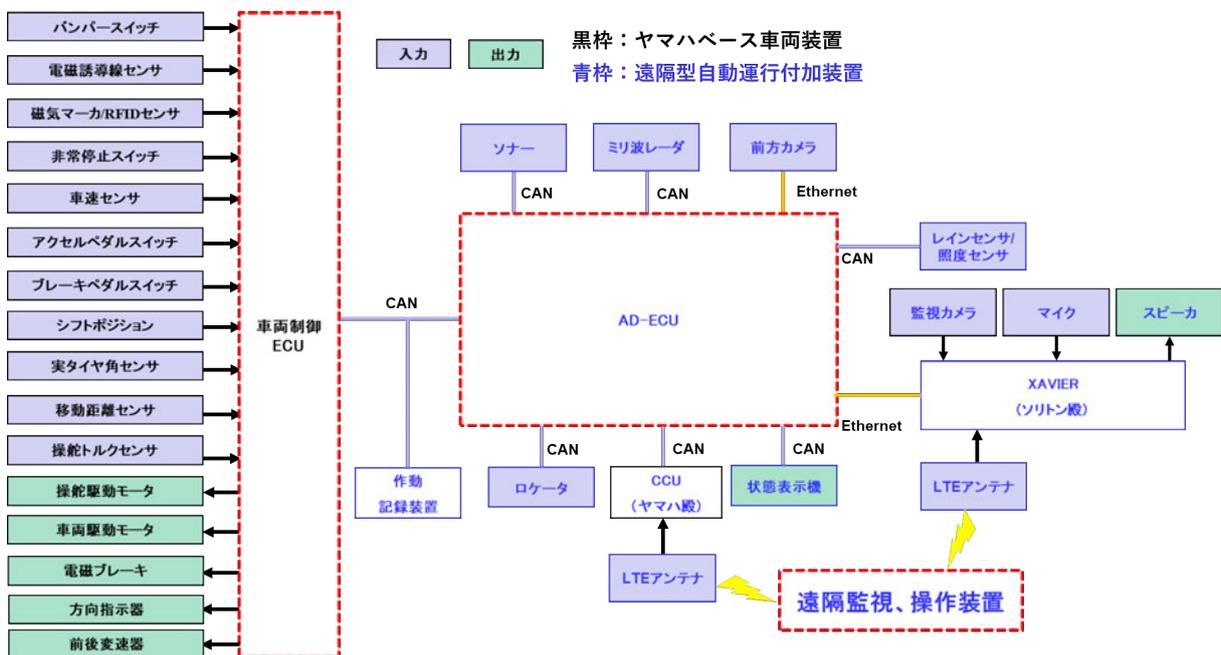


図 4.3.1.1-2 車両システム構成図

図 4.3.1.1-2 に本プロジェクトの車両システム構成図と表 4.3.1.1-1 に AD-ECU 接続一覧を示す。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。一方で、AD-ECU から CCU を介して管制に、車両状態、センサ異常情報、発進許可フラグ、測位情報を送信する。CAN2 はソナ

一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。

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。

表 4.3.1.1-1 AD-ECU 接続一覧

Channel No	内容	用途
CAN1	車両 CAN/CCU	車両情報の受信 駆動モータ制御用信号送信 前後方ブレーキ制御信号の送信 ハンドル制御用信号送信 管制からの運行指示受信 車両状態の送信 センサ異常情報の送信 発進許可フラグの送信 測位情報の送信
CAN2	ソナーECU	ソナーセンサ情報の受信
CAN3	高精度ロケータECU	高精度ロケータ情報の受信
CAN4	ミリ波レーダ ECU	ミリ波レーダ情報の受信
Ethernet1	前方カメラ	前方カメラ情報の受信
Ethernet2	遠隔監視システム	遠隔操縦情報の受信 遠隔監視カメラ情報の受信 拡声器情報の送信 GPS 情報の受信
Ethernet3	Gateway PC ※北ルート走行時のみ搭載	ダイナミックマップ情報の受信 車両位置情報の送信

4.3.1.2 自動運転システム動作

図 4.3.1.2-1 に自動運転システムの状態遷移図と表 4.3.1.2-1 に各状態に対する遷移条件詳細説明を示す。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 (1) 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 (10) 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 (40)、遠隔走行 (30)、もしくは誘導走行 (2X) に遷移できる。通常の運用では誘導走行 (2X) 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 (21) 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 AD-ECU に 0 より大きい指示車速が送信されることで、誘導走行中 (22) に遷移し、管制からの指示車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 (22) から障害物追従走行中 (23) 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 (24) 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 (23) 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 (22) に遷移し管制指示車速に従って走行を継続する。

また、本プロジェクトでは、車両がデッドロックに陥った場合、もしくは車両異常といった自動運転の運行設計領域外 (ODD 外) 条件を満たした場合は自動的に MRM (5X) に遷移する。MRM 状態に遷移した場合は、車両は所定の減速度で減速し、緊急停止した上で音声による警報を乗員に発する。その後、遠隔監視者が MRM の発生状況を確認し、運行を継続できるか否かを判断する。

まず、車両がデッドロックに陥った場合として、車両が障害物の手前で 30 秒以上一時停止する状態を定義した。障害物が 30 秒以上経過しても車両前方から移動しない場合、例えば路上駐車やその他障害物が走行路を妨げていると看做すことができる。このため通常走行を継続できないため、便宜的に障害物による走行不能 (54) に遷移すると定義した。管制が運行状況を把握し、遠隔操縦による対応が有効だと判断した場合は、管制からの指示で MRM 状態から一旦待機 (10) に遷移し、その後、遠隔走行 (30) に遷移する。遠隔走行では運転責任は遠隔操縦者に移行されるため、遠隔操縦者が周囲を監視し、遠隔地から車両を遠隔操縦することで、デッドロック状態の解決が期待される。問題が解決された場合は、待機 (10) に再度遷移し、管制からの指示で誘導走行 (2X) に遷移し走行を再開する。

一方で、自動運転の運行設計領域外 (ODD 外) 条件を満たした場合として、遠隔操縦者からの非常停止指示による遠隔操縦非常停止 (51)、VCU もしくは AD-ECU 異常による車両異常停止 (52)、管制からの非常停止措置による車内・管制による緊急停止 (53)、AEB 作動による障害物による走行不能 (54)、乗員によるオーバーライド操作によるオーバーライドによる緊急停止 (55)、消防車や救急車等の緊急車両の接近による緊急停止 (56)、雨量が一定基準を超えた場合あるいは走行路周辺が暗くなり運行できない場合の緊急停止 (57)、周辺認知センサの一時的な検知異常による緊急停止 (58)、遠隔操縦システムの操作卓に異常が生じた場合の緊急停止 (59)、障害物による走路妨害での停止 (60)、管制指示による停止 (61) をカテゴリ化して定義した。これら個別の状態には表 4.3.1.2-1 記載の遷移条件を満たすことで遷移する。

例えば、誘導走行走行中 (22) に車両異常を AD-ECU が検知すると、車両異常停止 (52) に遷移する。車両異常状態に遷移すると、車両は乗員に音声による警告を発して、減速・緊急停止する。基本的に MRM 状態 (5X) に遷移すると、その ODD 外となった要因が解決するまでは運行を再開できない。車両異常の場合は、短期的に解決できない問題ではないと想定されるので、オペレータが MRM 状態を確認し、現地ですぐに解決できないと判断した場合は、代替車を手配することで乗員を目的地まで運輸する。

このように、MRM 状態をカテゴリ化して定義することで、管制、遠隔監視者は車両に何が起こったか把握が容易となり、すぐに復旧できるかあるいは代替車を手配するといった判断をサポートする。また SW 設計者側は各状態における制動力や音声出力を個別に設定しやすくなるメリットもある。

一方で走行中に ODD 外条件を満たして車両が速やかに停止するだけでは、車両の停止場所によっては他の交通参加者の通行を妨げることが考えられる。例えば永平寺町北側 4 km の公道交差点内で車両が停止すると、公道交差点に接続する公道側の通行を妨げる。この状況に対応するためには、公道交差点内を走行する車両が走行継続して交差点を通過した後に、公道交差点外に停止するシナリオを実現する必要がある。以下では、このシナリオを実現すべきシステム全体の状態について運行ポリシーと共に検討した。

まずシステム全体が通常状態である場合、遠隔管制員は管制システムと遠隔監視・操縦システムにより車両異常状態を把握し、また遠隔監視・操縦システムにより車両内外の状況を監視できる。この通常状態において車両システムのみ異常により車両が公道交差点内に停止する場合、遠隔管制員は車両内外映像と管制 UI を介して車両停止位置と車両周辺状況と車両異常状態を把握できるため、遠隔管制員が ODD 外の運行対処として現場に急行して停止車両を公道交差点外に

移動させることで、より安全かつ確実に公道交差部の通行を妨げない運行を実現している。対して、管制システムまたは遠隔監視・操縦システムの異常状態やシステム間の通信異常である場合、遠隔管制員は車両停止位置と車両周辺状況を把握できず次に実施すべき運行対処を速やかに決定できない。よって、管制システムまたは遠隔監視・操縦システムの異常状態やシステム間の通信異常である状態に限ってのみ、車両が走行継続して公道交差部内を通過した後に、公道交差部外に停止するシナリオを実現することが望ましいと考えた。上記永平寺町北ルートでの交差点通過機能の詳細については後段にて説明する。

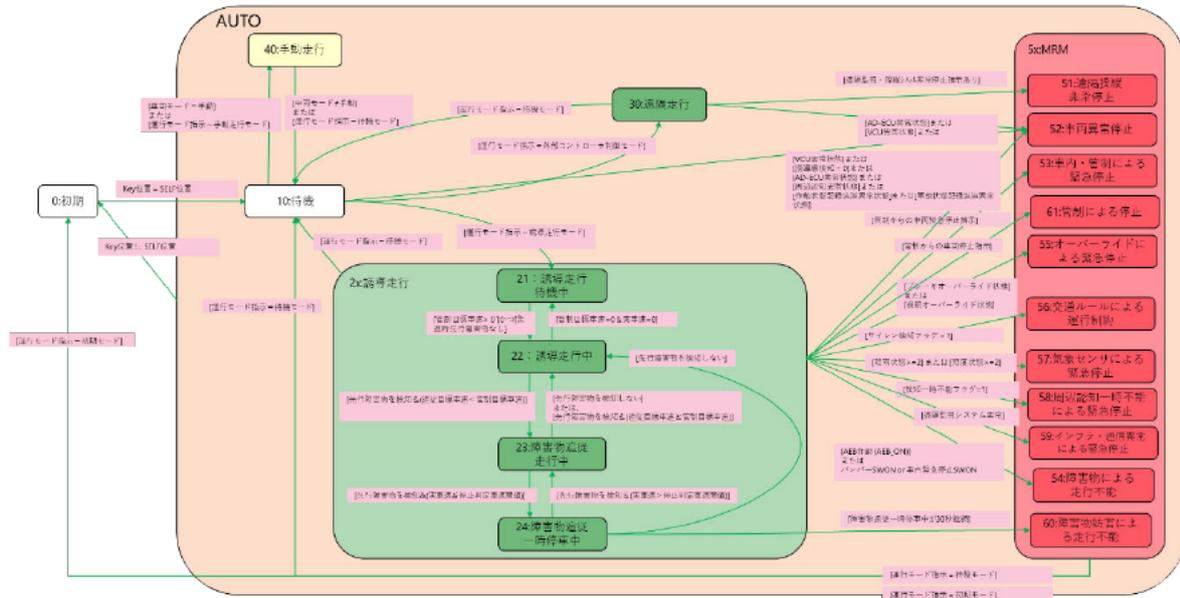


図 4. 3. 1. 2-1 自動運転システム状態図

表 4. 3. 1. 2-1 遷移条件一覧

No	自動運転システム状態	説明	遷移条件	遷移元 No
1	初期	AD-ECU ON 時の初期状態 Key 位置が ON 状態	[運行モード指示=初期モード]	5X
			[Key 位置!=SELF 位置]	10, 2X, 30, 40, 5X
10	待機	誘導走行、手動走行、遠隔走行に遷移していない状態	[Key 位置=SELF 位置]	0
			[運行モード指示=手動走行モード]	40
			[車両モード≠手動]	
		[運行モード指示=待機モード]	2X, 30, 5X	
40	手動走行	手動走行状態	[車両モード=手動]	10
			[運行モード指示=手動走行モード]	
21	誘導走行待機中	管制から誘導走行が選択され管制指示車速が 0km/h の状態	[運行モード指示=誘導走行モード]	10
			[管制目標車速=0km/h&実車速=0km/h]	22
22	誘導走行中	誘導走行が選択され管制指示車	[管制目標車速>0km/h]&[発車時先行障害物なし]	21
			[先行障害物を検知しない]	24

		速が 0km/h より大きい値が入力	[先行障害物を検知&(追従目標車速 \geq 管制目標車速)]	24
23	障害物追従走行中	誘導走行中に車両前方の障害物を検知して追従走行している状態	[先行障害物を検知&(追従目標車速<管制目標車速)]	22
			[先行障害物を検知&(実車速>停止判定車速閾値)]	24
24	障害物追従一時停車中	誘導走行中に車両前方の障害物が停止し、自車も一定の距離を保って停止している状態	[先行障害物を検知&(実車速 \leq 停止判定車速閾値)]	23
30	遠隔走行	管制からの遠隔操縦が選択され、遠隔操縦者が運転権限をもつ状態	[運行モード指示=外部コントローラ制御モード]	10
51	遠隔操縦非常停止	遠隔監視・操縦システムから非常停止指示により車両が緊急停止する状態	[遠隔監視・操縦システム非常停止指示あり]	30
52	車両異常停止	VCU, AD-ECU, 作動状態記録装置, 事故状態記録装置の異常状態により車両が緊急停止する状態	[AD-ECU 異常状態]	10, 2X, 30
			[VCU 異常状態]	
			[誘導線検知=0]	
			[周辺認知異常状態]	
			[作動状態記録装置異常状態]	
[事故状態記録装置異常状態]				
53	車内・管制による緊急停止	管制からの緊急停止指示で車両が緊急停止する状態	[管制からの車両緊急停止指示]	2X
54	障害物による走行不能	障害物の侵入によってAEBが作動、バンパーSWがON状態	[AEB 作動 (AEB_ON)]	2X
			[バンパーSWON]	2X
			[車内緊急停止 SWON]	2X
55	オーバーライドによる緊急停止	オーバーライド操作による緊急停止状態	[ブレーキオーバーライド状態]	2X
			[操舵オーバーライド状態]	2X
56	交通ルールによる運行制約	緊急車両の接近による緊急停止状態	[サイレン検知フラグ = 1]	2X
57	気象センサによる緊急停止	雨量、照度が一定基準を超えた場合の緊急停止状態	[降雨状態>=2]	2X
			[照度状態>=2]	2X
58	周辺認知一時不能による緊急停止	周辺認知システムの一時的な検	[検知一時不能フラグ=1]	2X

		知不能による緊急停止状態		
59	インフラ・通信異常による緊急停止	管制側の遠隔監視システムの異常検知による緊急停止状態	[遠隔監視システム異常]	2X
60	障害物妨害による走行不能	車両前方の障害物が一定時間以上動かないため走行継続できない状態	[障害物追従一時停車中が 30 秒継続]	2X
61	管制による停止	管制からの車両停止指示による緊急停止状態	[管制からの車両停止指示]	2X

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。R4 年度では R3 年度開発分の機能に加えて、合計 42 機能を実装した。

表 4.3.1.3-1 自動運転システム機能一覧

カテゴリ	No	走行シナリオ	「自動運転レベル 4 の走行環境条件の取得に向けた自動運転車両の性能確認試験に項目について」との対応付け
管制指示による走行	1-1	管制からの運行指示で車両が発進する	通常走行時の基本的な走行性能の確認
	1-2	発進時に車両前方にある障害物を検知した場合は、管制からの運行指示をキャンセルして停止する	走路環境外での動作確認 3
	1-3	指示車速と実車速を 12km/h 以下に制限する	通常走行時の基本的な走行性能の確認
	1-4	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	通常走行時の基本的な走行性能の確認
	1-5	管制からの定点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	対応付け無
	1-6	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	通常走行時の基本的な走行性能の確認
	1-7	管制からの定点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	対応付け無
	1-8	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	遠隔停止ボタンの動作
	1-9	管制からの停止指示で車両が停止する。音声による警報を発する	遠隔停止ボタンの動作
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	対応付け無
	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	対応付け無
	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追従走行する	対応付け無
	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追従走行する	対応付け無
	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追従走行する	対応付け無
	2-6	前方より接近する自転車を検知すると、車両は減速し一定距離を保ちつつ追従走行する	自転車前方より接近時の対応

	2-7	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追従走行する	自転車後方より接近時の対応
	2-8	歩行者の急な飛び出しの場合に、車両は減速し一定距離を保ちつつ停止する	①歩行者へ飛び出し対応1 ②歩行者へ飛び出し対応2
	2-9	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追従走行する	対応付け無
	2-10	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追従走行する	対応付け無
	2-11	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	路上障害物への対応 3
	2-12	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	対応付け無無し
	2-13	経路近傍にいる歩行者を検知すると、車両は徐行しつつ音声による警報を発して歩行者横を通過する	①歩行者への減速、通過対応1 ②歩行者への減速、通過対応2
	2-14	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追従走行する	対応付け無
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	①歩行者へ飛び出し対応1 ②歩行者へ飛び出し対応2
	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	対応付け無
	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	対応付け無
	3-4	走行中に静止障害物を検知すると減速しつつ一定距離を保ち停止する	路上障害物への対応 1
	3-5	歩行者仰臥位を検知すると急ブレーキで停止する。音声による警報を発する	歩行者仰臥位への対応
	3-6	小さい障害物 (15*15*15cm) を検知すると、車両は減速し停止する。音声による警報を発する	路上障害物への対応 2
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	対応付け無
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	緊急車両対応
車内側操作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	車内緊急停止ボタンの動作
遠隔介入による自動運転停止	7-1	誘導走行中に遠隔からの緊急停止ボタン操作によって車両が停止する。音声による警報を発する	遠隔緊急停止ボタンの動作
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	降雨時の対応

	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	①薄曇時の対応 ②薄曇時の対応
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	①電磁誘導線電源喪失への対応 ②電磁誘導線逸脱時の対応 ③電磁誘導線磁場喪失時の対応 ④走路環境外での動作確認 1
	9-2	走行中に遠隔からの通信途絶を検知すると自動停止する。音声による警報を発する	通信途絶対応
	9-3	車両制御 ECU が異常状態になると車両は自動停止する。音声による警報を発する	スリップ制動
周辺認知一時不能による緊急停止	10-1	センサが電源喪失等で不作動の時は自動停止。音声による警報を発する	①センサー不作動時の対応 1 ②走路環境外での動作確認 2
	10-2	センサの一時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	センサー不作動時の対応 2
	10-3	霧を検知した時に自動停止。音声による警報を発する	霧時の対応
障害物妨害による走行不能	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	路上障害物への対応 3

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。

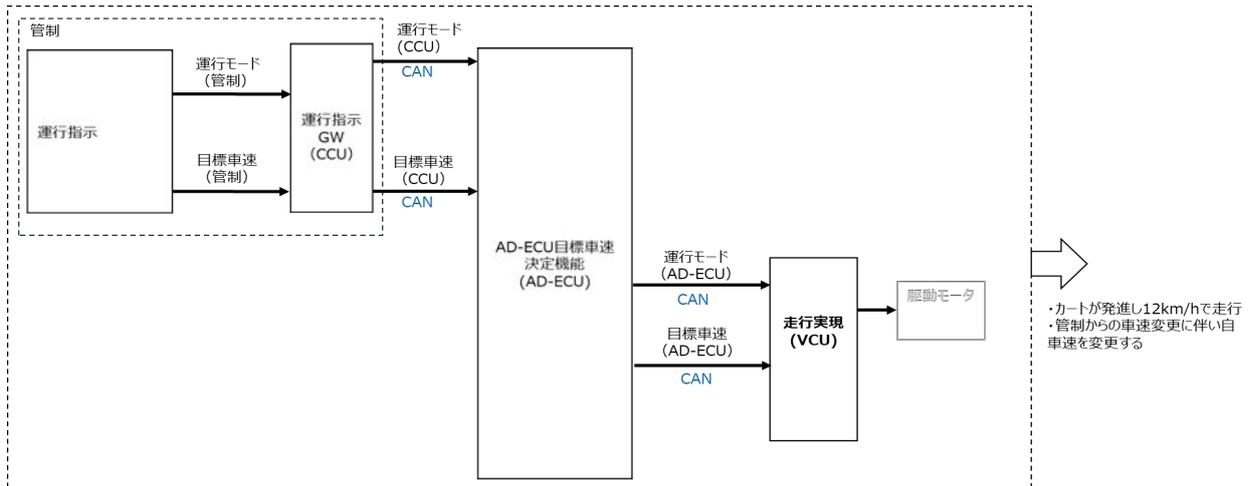


図 4. 3. 1. 3-1 No. 1-1 機能図 (管制からの指示車速で発進する)

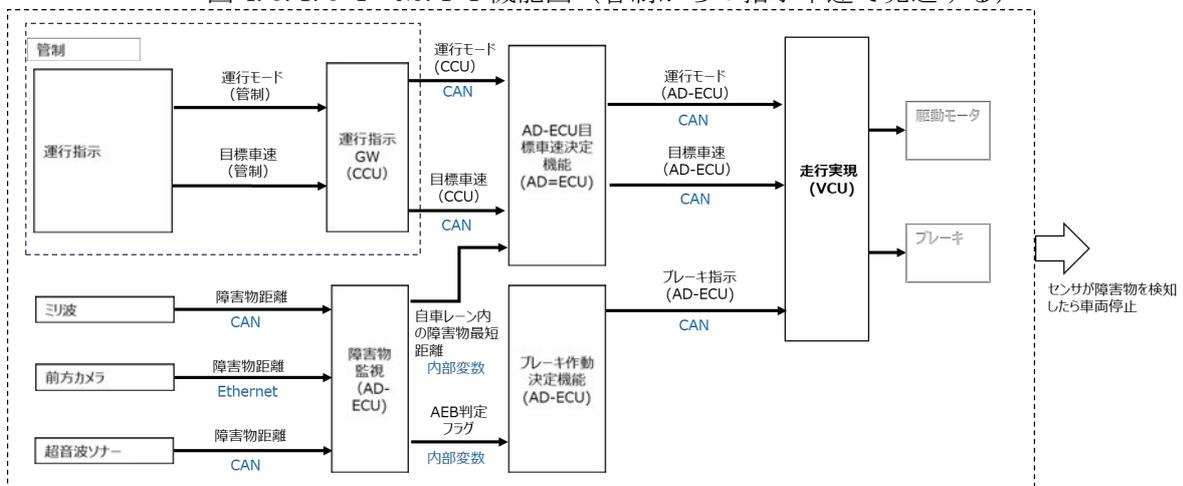


図 4. 3. 1. 3-2 No. 2-3 機能図 (経路内で歩行または静止する歩行者を検知すると、車両は減速し一定距離を保ち一時停止する)

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、前方監視カメラ、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	CAN のアライブカウンタ固着
遠隔監視システム異常	遠隔監視システム異常、UDP 通信異常
周辺認知システム異常	ソナーセンサ、ミリ波レーダ、前方監視カメラ H/W に関する異常
周辺認知システム一時検知異常	ソナーセンサ、ミリ波レーダ、前方監視カメラ に除去が容易な付着物があった場合の異常
作動状態記録装置異常	電源異常
事故状態記録装置異常	電源異常

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。4.3.2.1～4.3.2.7 に各車載システムの詳細を記す。4.3.2.8 には 2022 年度実施の JARI 試験結果を記す。

- ・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
- ・事故状態記録装置
- ・作動状態記録装置

図 4.3.1.1-2 に車両システム構成図、図 4.3.2-1 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 4.3.2.1-1 に示す。以降の節にて、各部の詳細説明を行う。

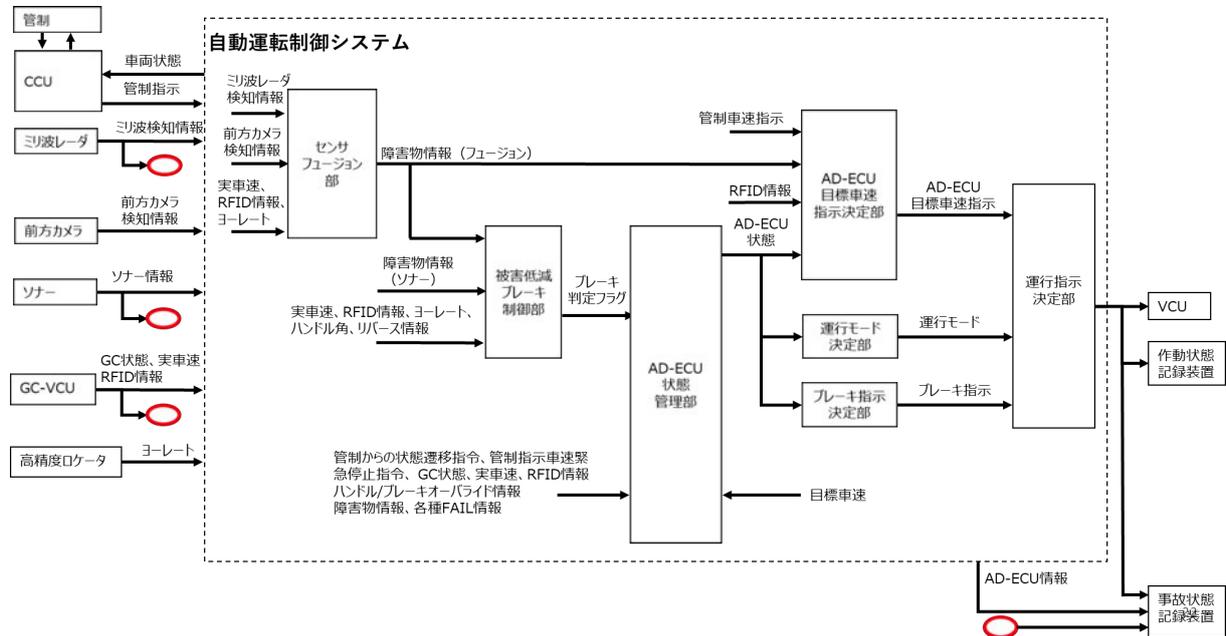


図 4.3.2.1-1 自動運転制御システムの全体概要

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図 4.3.2.1.1.2-1 に示す。
なお、状態遷移番号とその定義については 4.3.1.2 節に記載されたものと同一である。

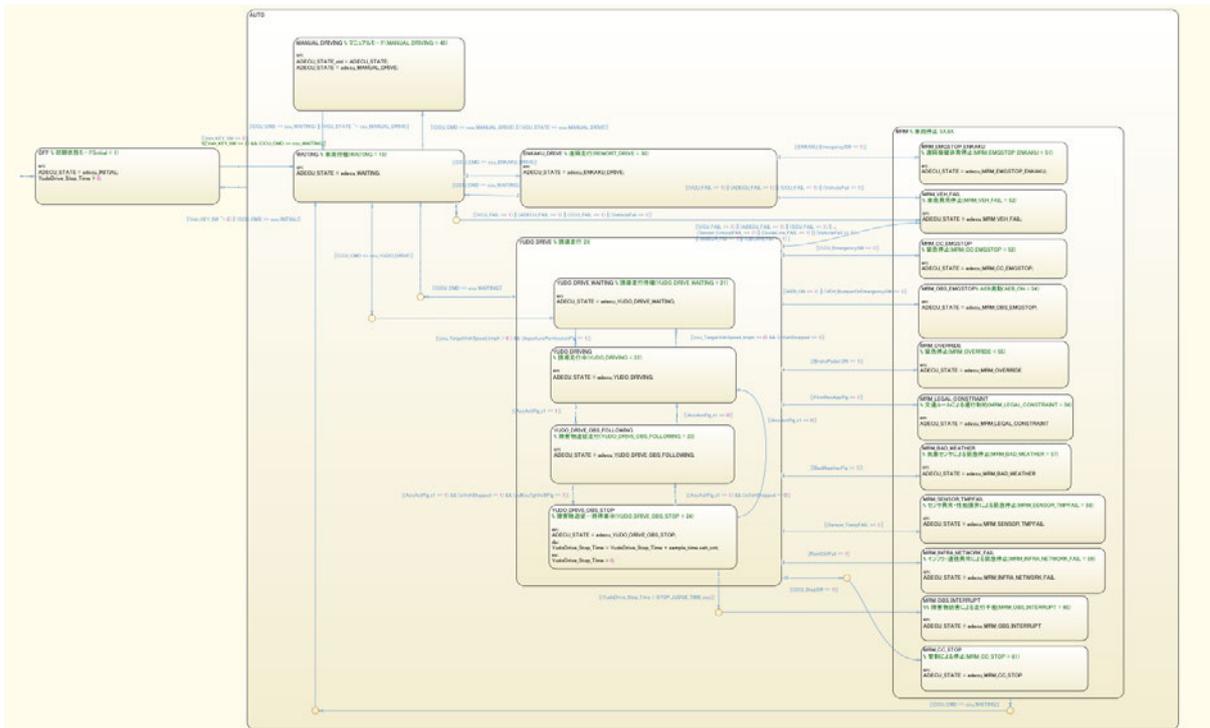


図 4.3.2.1.1.2-1 AD-ECU 状態遷移管理モデル

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、結果リストを表 4.3.2.1.1.3-1、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。

表 4.3.2.1.1.3-1 AD-ECU 状態遷移確認結果リスト

No.	シナリオ	入力							出力 (AD-ECU)							結果	
		運行モード		指示車速 [km/h]		停止指示		その他入力		運行モード		指示車速[km/h]		停止指示			状態遷移番号
		値	CAN ID	値	CAN ID	値	CAN ID	値		値	CAN ID	値	CAN ID	値	CAN ID		
1	発進	1	0x220 (modeCmd)	0→12	0x220 (velocityCmd)	0	0x220 (brakeCmd)	—	—	1	0x200 (modeCmd)	0→12	0x200 (velocityCmd)	0	0x200 (brakeCmd)	1→10→21→22	OK
2	減速	1	0x220 (modeCmd)	12→6	0x220 (velocityCmd)	0	0x220 (brakeCmd)	—	—	1	0x200 (modeCmd)	12→6	0x200 (velocityCmd)	0	0x200 (brakeCmd)	22	OK
3	停止	1	0x220 (modeCmd)	6→0	0x220 (velocityCmd)	0	0x220 (brakeCmd)	—	—	1	0x200 (modeCmd)	6→0	0x200 (velocityCmd)	0	0x200 (brakeCmd)	22→21	OK
4	障害物追従走行	1	0x220 (modeCmd)	12	0x220 (velocityCmd)	0	0x220 (brakeCmd)	—	—	1	0x200 (modeCmd)	12→4	0x200 (velocityCmd)	0	0x200 (brakeCmd)	22→23	OK
5	障害物停止20秒 →再発進	1	0x220 (modeCmd)	12	0x220 (velocityCmd)	0	0x220 (brakeCmd)	—	—	1	0x200 (modeCmd)	12→0→12	0x200 (velocityCmd)	0	0x200 (brakeCmd)	22→23→24→22	OK
6	障害物停止30秒 →MRM遷移	1	0x220 (modeCmd)	12	0x220 (velocityCmd)	0	0x220 (brakeCmd)	—	—	1	0x200 (modeCmd)	12→0	0x200 (velocityCmd)	0→1	0x200 (brakeCmd)	22→23→24→60	OK
7	遠隔操縦非常停止	1	0x220 (modeCmd)	12	0x220 (velocityCmd)	0	0x220 (brakeCmd)	0→1	遠隔システム 非常停止指示	1	0x200 (modeCmd)	12→0	0x200 (velocityCmd)	0→2	0x200 (brakeCmd)	22→51	OK
8	車両異常停止	1	0x220 (modeCmd)	12	0x220 (velocityCmd)	0	0x220 (brakeCmd)	0→1	VCU異常フラグ	1	0x200 (modeCmd)	12→0	0x200 (velocityCmd)	0→2	0x200 (brakeCmd)	22→52	OK
9	管制緊急停止	1	0x220 (modeCmd)	12	0x220 (velocityCmd)	0→3	0x220 (brakeCmd)	—	—	1	0x200 (modeCmd)	12→0	0x200 (velocityCmd)	0→3	0x200 (brakeCmd)	22→53	OK
10	AEB緊急停止	1	0x220 (modeCmd)	12	0x220 (velocityCmd)	0	0x220 (brakeCmd)	0→1	AEB作動フラグ	1	0x200 (modeCmd)	12→0	0x200 (velocityCmd)	0→3	0x200 (brakeCmd)	22→54	OK
11	オーバーライド緊急停止	1	0x220 (modeCmd)	12	0x220 (velocityCmd)	0	0x220 (brakeCmd)	0→1	ブレーキ オーバーライド	1	0x200 (modeCmd)	12→0	0x200 (velocityCmd)	0→2	0x200 (brakeCmd)	22→55	OK
12	交通ルールによる運行制約	1	0x220 (modeCmd)	12	0x220 (velocityCmd)	0	0x220 (brakeCmd)	0→1	緊急車両接近情報	1	0x200 (modeCmd)	12→0	0x200 (velocityCmd)	0→1	0x200 (brakeCmd)	22→56	OK
13	気象センサによる緊急停止	1	0x220 (modeCmd)	12	0x220 (velocityCmd)	0	0x220 (brakeCmd)	0→2	雨量情報	1	0x200 (modeCmd)	12→0	0x200 (velocityCmd)	0→1	0x200 (brakeCmd)	22→57	OK
14	センサ異常・性能限界に よる緊急停止	1	0x220 (modeCmd)	12	0x220 (velocityCmd)	0	0x220 (brakeCmd)	0→1	カメラ検知 一時不能フラグ	1	0x200 (modeCmd)	12→0	0x200 (velocityCmd)	0→1	0x200 (brakeCmd)	22→58	OK
15	インフラ・通信異常によ る緊急停止	1	0x220 (modeCmd)	12	0x220 (velocityCmd)	0	0x220 (brakeCmd)	0→1	遠隔システム 通信異常フラグ	1	0x200 (modeCmd)	12→0	0x200 (velocityCmd)	0→1	0x200 (brakeCmd)	22→59	OK
16	管制による停止	1	0x220 (modeCmd)	12	0x220 (velocityCmd)	0→1	0x220 (brakeCmd)	—	—	1	0x200 (modeCmd)	12→0	0x200 (velocityCmd)	0→1	0x200 (brakeCmd)	22→61	OK

図 4.3.2.1.1.3-2 は上図 AD-ECU 状態遷移確認結果リスト中のシナリオ No.5 障害物停止 20 秒 →再発進に対応する AD-ECU 状態遷移の結果を示している。この試験では、ゴルフカートの前方に歩行者ダミーを置いた状態でカートを発進させて、ダミーの手前でカートが停止したあと 30 秒以内に歩行者ダミーを除去している。図 4.3.2.1.1.3-2 の最上段の「縦距離」は検知した歩行者ダミーとゴルフカート間の距離である。58[s]付近で歩行者ダミーを検知して、AD-ECU 状態は 22→23 (障害物追従走行) に遷移している。また、縦距離の減少に伴いカートへの指示車速 (MABX 目標車速) も減少しており、61[s]付近で縦距離が一定距離より小さくなったため、指示車速 0[km/h]を出力している。AD-ECU 状態は 63[s]付近でカートの実車速が 0[km/h]となったタイミングで 23→24 (障害物追従一時停止) に遷移している。その後、77[s]付近で歩行者ダミーが除去され、AD-ECU 状態が 24→23→22 に遷移して再発進し、誘導走行を再開している。

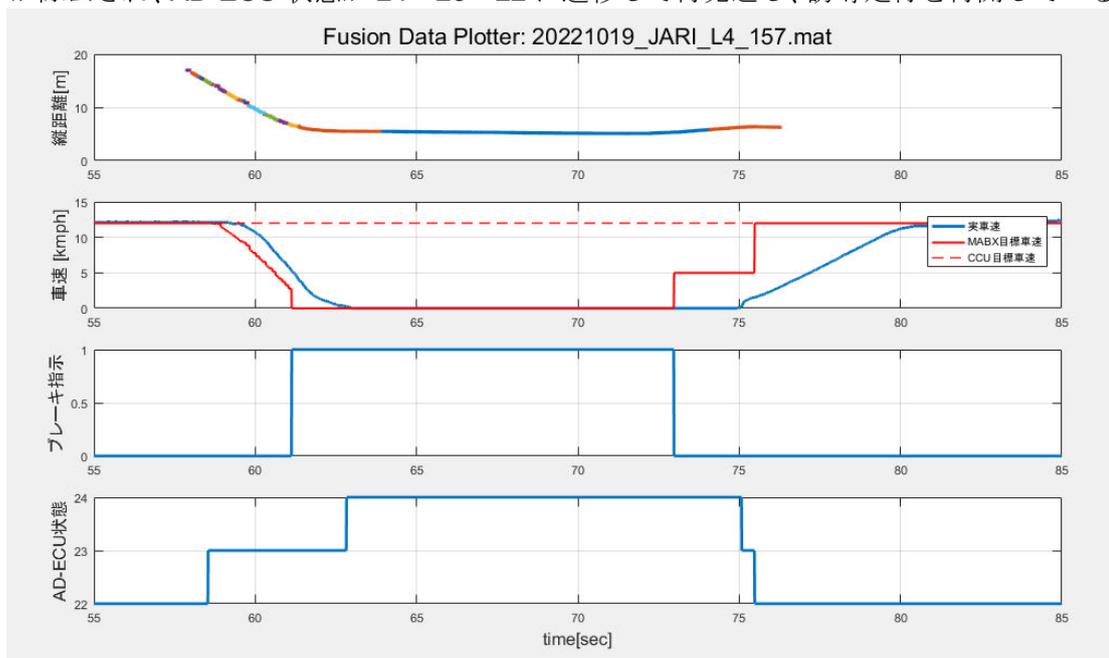


図 4.3.2.1.1.3-2 AD-ECU 状態遷移確認結果 (シナリオ No.5 障害物停止 20 秒→再発進)

図 4.3.2.1.1.3-3 は上図 AD-ECU 状態遷移確認結果リスト中のシナリオ No.14 センサ異常・性能限界による緊急停止の結果を示している。87.5 [s] 頃に前方カメラの検知一時不能フラグが立ち上がった直後に AD-ECU 状態が 22→58 へ遷移している。また、カートへの指示速度 (MABX 目標車速) が 0 [km/h] に低下、およびブレーキ指示が 0 から 1 に変化し、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。なお、この試験は RFID タグによってカートの車速を 3[km/h] に制御した環境下で実施された。

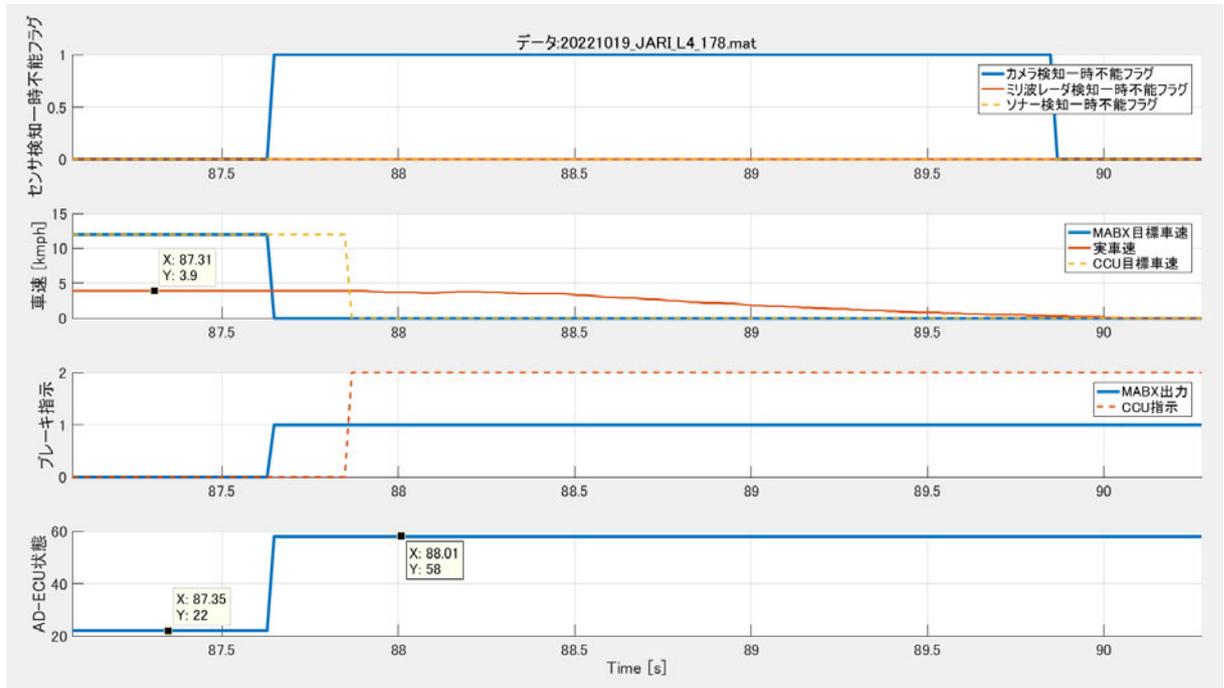


図 4.3.2.1.1.3-3 AD-ECU 状態遷移確認結果 (シナリオ No.14 センサ異常・性能限界)

4.3.2.1.2 自動運転制御システム（インフラ情報による地図生成）

本章では、インフラ情報（主に道路に埋め込まれている RFID タグ）を利用した地図の生成について記載する。

作成した地図情報はそれぞれ後述の章で利用する。

4.3.2.1.2.1 RFID によるエリア判定

走行エリア（通常路、停留所、待避所、等）の環境に応じた適切な処理を行うため、RFID を用いたエリア判定を導入している。

走路に複数埋設されている RFID 位置タグ、および RFID 位置タグを読み込んでからの距離（自車速の時間積分値から推定）を用いてエリア判定を行う。これにより自車の走行位置を特定すること、および位置に応じた処理が可能となる。RFID 位置タグを読み込むのに失敗した場合でも、ひとつ前の RFID 位置タグの読み取り値と RFID 位置タグを読み込んでからの距離を用いることによってエリア判定を行うことも可能となる。

埋設されている RFID 位置タグ、および RFID 位置タグを読み込んでからの距離を用いてリスト化し、エリア判定処理に使用している。以下のいずれかの場合にエリア判定の更新を行う。

1. リストに存在する RFID 位置タグを実際に読み取った場合
2. リストに存在する RFID 位置タグの読み取りに失敗した場合
3. 実際は RFID 位置タグが存在しないが、エリア判定の更新をしたい場合

4.3.2.1.2.2 RFID を利用した簡易地図作成

参ろ一ど南周回ルート（志比～荒谷）においては、ルート内に RFID タグが埋め込まれている。RFID タグの検知情報と車両の走行経路情報から志比～荒谷間の簡易地図を作成する。



図 4.3.2.1.2.2-1 RFID タグ及び簡易地図イメージ（参ろ一ど南周回ルート全体）

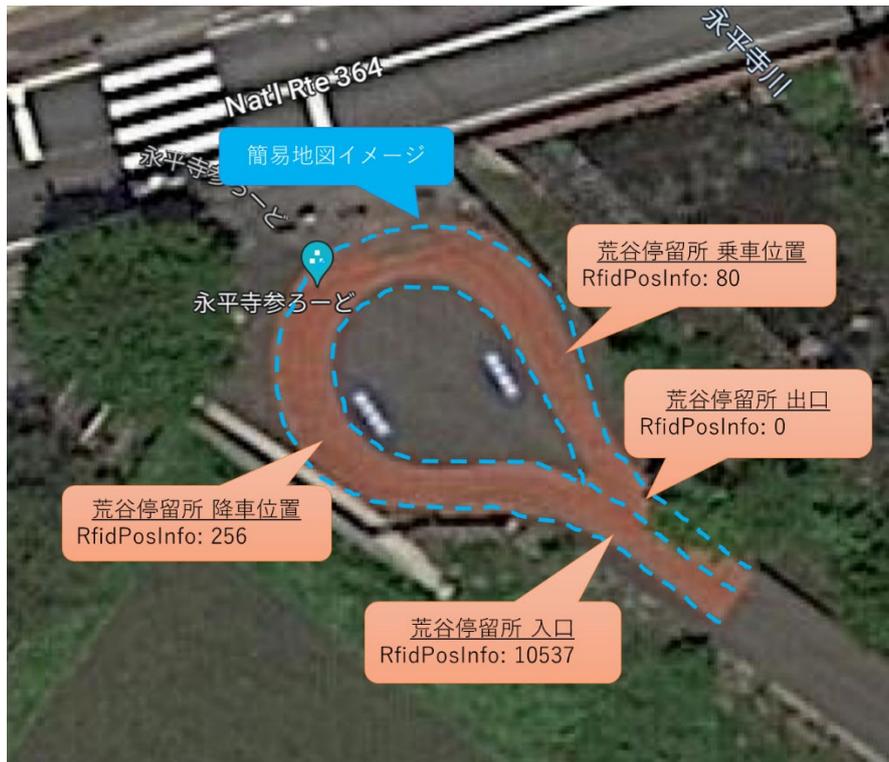


図 4.3.2.1.2.2-2 RFID タグ及び簡易地図イメージ (荒谷停留所の例)

4.3.2.1.3 自動運転制御システム（センサフュージョン部）

4.3.2.1.3.1 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ている。

4.3.2.1.3.2 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 4.3.2.1.3.2-1 に示す。ミリ波レーダからのミリ波レーダ検知情報と前方カメラからの前方カメラ検知情報、及び実車速とヨーレートの情報から後段制御部に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へ出力する。

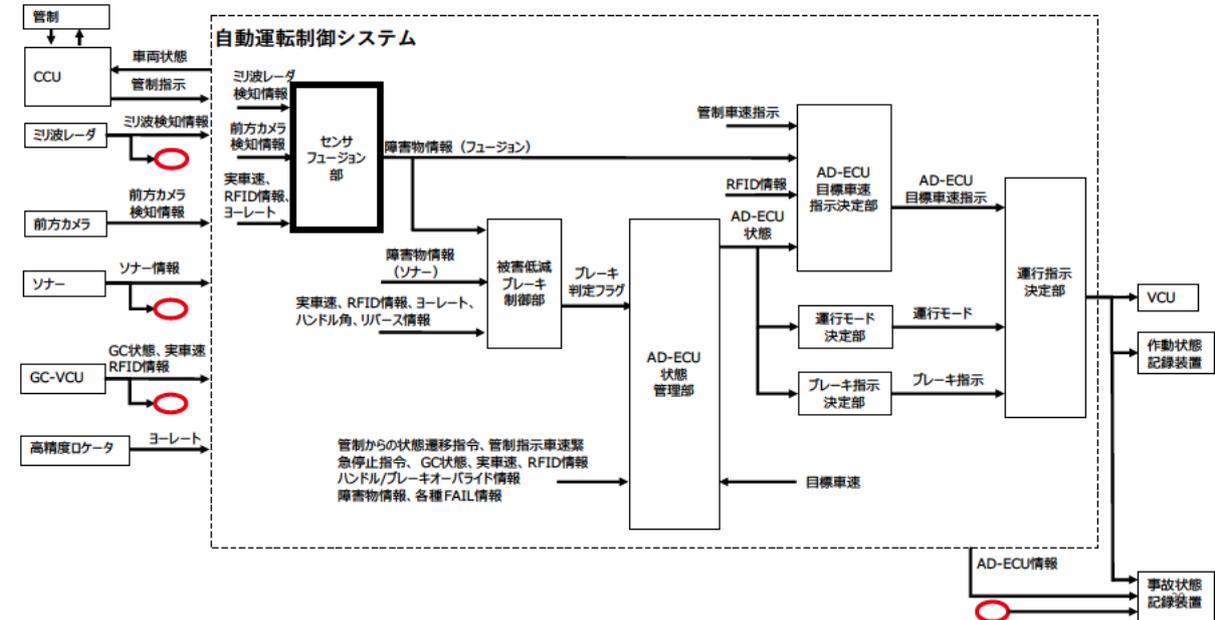


図 4.3.2.1.3.2-1 センサフュージョン関連システム構成図

4.3.2.1.3.3 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 4.3.2.1.3.3-1 に示す。以降の節にて、各ブロックの詳細説明を行う。

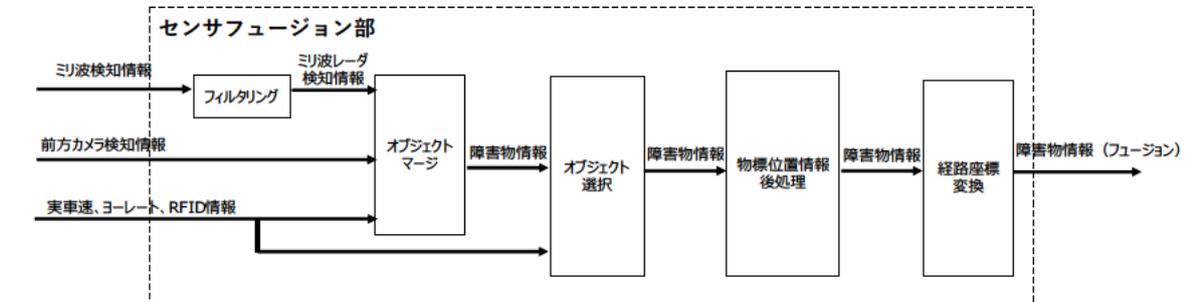


図 4.3.2.1.3.3-1 センサフュージョン機能ブロック図

4.3.2.1.3.3.1 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。また検知結果の座標変換処理も行う。

なお、カメラのノイズは後段で行うオブジェクトマージ処理の過程で除外する構成としたため、フィルタリング処理ブロックへ入力するのはミリ波レーダの検知結果のみである。そのため、以降ではミリ波レーダに対応するフィルタリング処理内容について述べる。

ミリ波レーダに対応するフィルタリング処理は、後述のミリ波レーダ入出力仕様に応じた検知結果情報が入力される。詳細は仕様説明の項に譲るが、レーダが検知したオブジェクト数分の、位置や速度、存在確率等の情報が入力される。これらの入力情報に基づき、以下の手順で処理を行う。

【手順 1】

まず各情報について有効値か無効値かを確認する。その理由は以下の通りである。

レーダとの通信状況によっては、あるオブジェクトに着目したときに、一部の情報だけが欠落する場合があります。具体的には、検知オブジェクト数がセンサ仕様上限の 100 点もしくはそれに近い場合には、既定のセンサ送信周期内にフィルタリングブロックがすべての情報を受信できない現象（いわゆる「受信漏れ」）が発生するため、例えば「オブジェクト ID=1 の物標について、位置や速度には検知結果の情報が正しく入力されているが、加速度には無効値が入力されている」といったことが起こり得る。このような場合を想定し、無効値が入力されている情報は、後述する閾値フィルタ判定に使用しないこととするため、有効値・無効値の判定を行う必要がある。

【手順 2】

いずれかの情報に有効値が入力されているオブジェクトに対して、閾値フィルタ判定を行う。

具体的には、検知結果情報のうち、縦・横距離、縦・横速度、縦・横加速度、縦・横速度の標準偏差、縦・横加速度の標準偏差、存在確率、RCS（反射強度に対応するパラメータ）、長さ、幅の情報のうち、少なくとも 1 つの情報に対して所定の閾値と比較することで、有効値であるが異常な値が入力されているオブジェクトを除外する。

ここで「異常な値」とは、レーダ自体は有効値として出力していたとしても、自車両の性質あるいは本プロジェクトが対象とするシナリオに基づき、検知対象物体として取り得ない値のことを指す。例えば、レーダ出力として「縦距離=200m」の点が検知されていたとしても、本プロジェクトのシナリオにおいて低速走行するカートにとって、このような遠方の物体は制御対象にならないため、実際にそこに物体が存在しているか、レーダによる誤検知であるかに関わらず、この点は考慮する必要がないため除外する。

【手順 3】

実証エリアである永平寺町参る一どには、走行路の側方近傍に多数の柵や樹木が存在するため、ミリ波の特性上、これらの物体があたかも走路内へ進入するように検知されたり、突然目の前に出現するように検知されたりする場合があることが、現地実証試験にて明らかになっている。これらの知見に基づき、手順 2 では除外されなかった（後段へ出力すると判定された）、単純な閾値では除外しきれないノイズをさらに除外する。

【手順 4】

手順 3 で除外されなかったオブジェクトの各々に対して、座標変換処理を行う。

具体的には、センサから出力される情報はセンサ中心を原点とする座標系で定義されているが、これを、車両中心を原点とする座標系へ変換する。

【手順 5】

手順 4 の結果を、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のみ抽出して出力する。例えば、RCS の値は、手順 2, 3 の閾値フィルタ判定やノイズ判定では使用する場合があるが、オブジェクトマージ処理では用いないため出力せず、ID や縦・横距離等の情報は、オブジェクトマージ処理でも用いるため出力する、といった基準で抽出を行う。

以下の図 4.3.2.1.3.3.1-1 に、フィルタリング処理結果の一例を示す。図において、右下の写真がこの時刻における自車両前方の状況を示し、左側の図がミリ波レーダの出力（フィルタリングブロックへの入力：水色■）と、フィルタリング結果（フィルタリングブロックからの出力：ピンク色■）を示している。なお、ピンク色■は水色■と重ねて表示されているため、水色■は「フィルタリングの結果除外された点」と言い換えることもできる。また、参考として、各■にはレーダから出力された ID 情報も表示している。

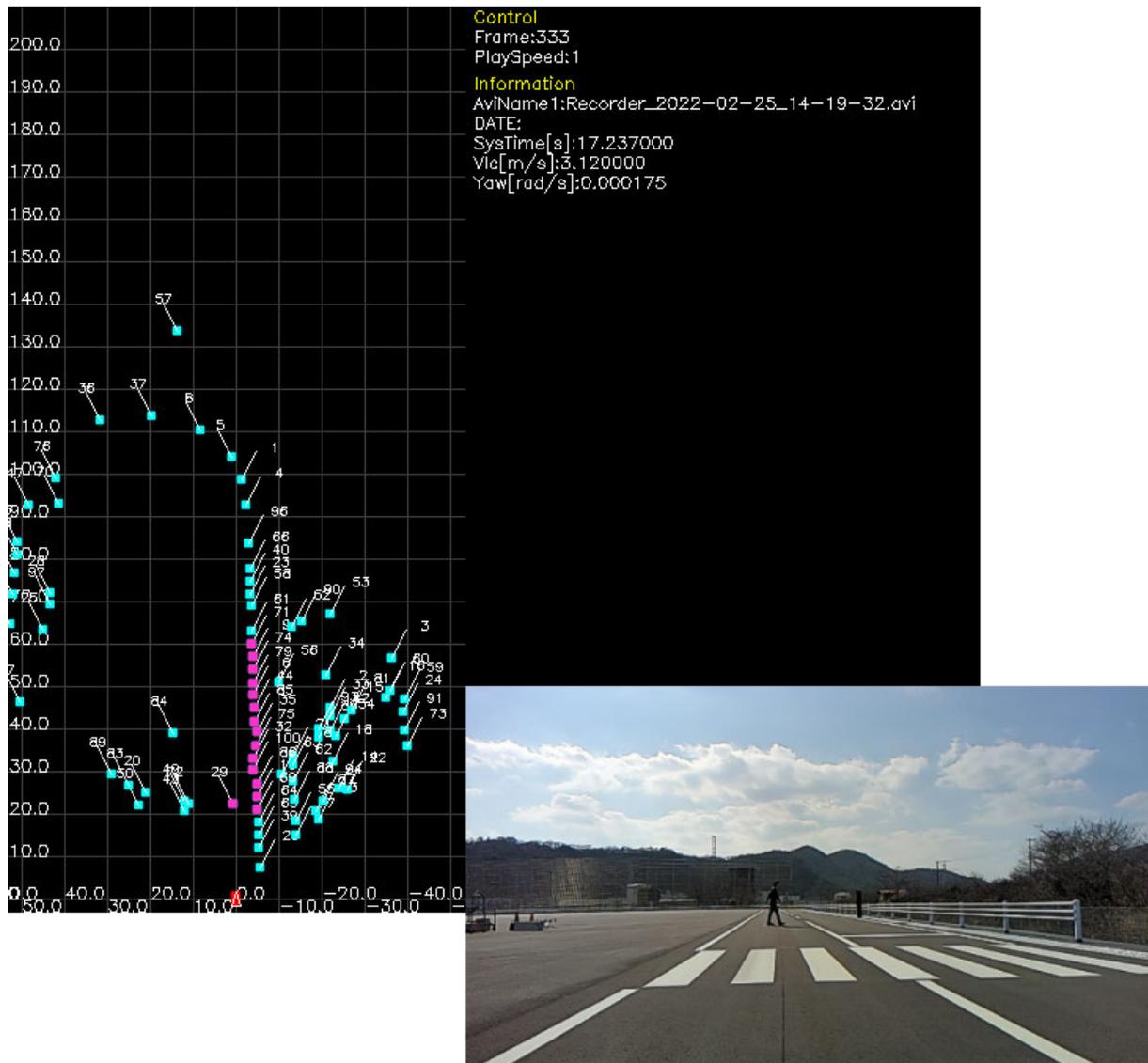


図 4.3.2.1.3.3.1-1 フィルタリング処理結果の例

図のように、レーダからの出力には遠方の点や、脇にあるガードレールや木、機材といった多数のオブジェクトが含まれている。これをフィルタリングした結果、本来後段で制御対象とすべき歩行者（ID=29 のピンク■）や、近傍のガードレールポール（歩行者右側に等間隔で並ぶピンク■）のみが残り、後段のオブジェクトマージブロックへと出力される。

4.3.2.1.3.3.2 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。

オブジェクトマージにおいて、以下の 3 つの機能を実現する。

- (1) 同一オブジェクトの情報の統合
- (2) オブジェクト物理量の算出
- (3) オブジェクト情報の補間

(1)同一オブジェクトの情報の統合

センサごとに出力周期が異なり、仮に同種のセンサでも、センサごとに出力タイミングが異なるため、複数のセンサで同一物体を検知したとき、各センサ出力結果のタイムスタンプは一致しない。さらに、センサ内での物体検知処理の時間分、遅延する。そのため、図 4.3.2.1.3.3.2-1 のように、一般的なオブジェクトの統合技術は、一定周期ごとに、直近のセンサ出力結果同士をマージし、フュージョン結果として出力する。片方のセンサでのみ検知した場合は、マージせずにそのままフュージョン結果として出力する。

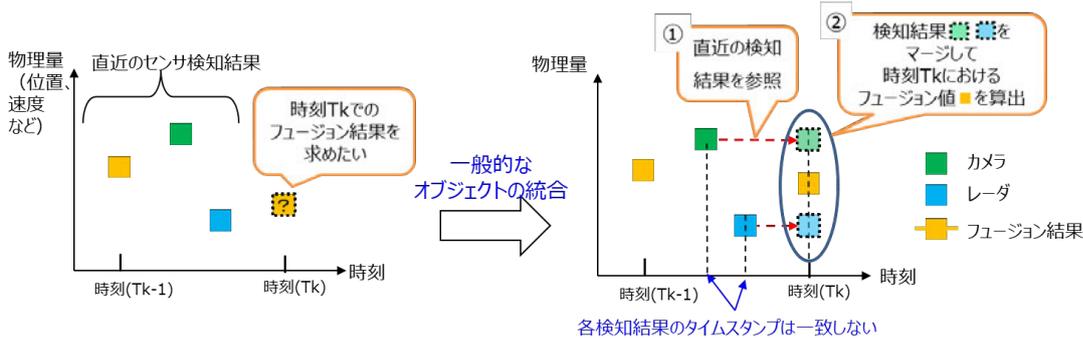


図 4.3.2.1.3.3.2-1 一般的なオブジェクト統合例

本プロジェクトのオブジェクト統合は、非同期的に処理することで、時間ずれを考慮したオブジェクトの統合を実現している。具体的なオブジェクト統合手順は、図 4.3.2.1.3.3.2-2 に示す。①では、各センサの真の検知時刻を算出するため、センサ情報処理遅延時間(赤←)を補正する。②は、直近のフュージョン値黄色■もしくは黄色●からセンサ検知時刻におけるフュージョン値黄色●を予測する。③は、図では、カメラやミリ波レーダの検知である緑■や水色■は1点しか記載していないが、実際には同時刻にカメラやミリ波レーダの検知対象は複数存在するため、検知結果とフュージョン予測値●の組合せを決定する。④は、直近のフュージョン値の黄色●から時刻 Tk におけるフュージョン値黄色■を予測する。このようにすることで、センサ出力同士を直接マージせず、各センサの結果を独立に扱うため、センサ毎の時間ずれに対応することが出来る。また、センサ内遅延も補正することで、より高精度なオブジェクトの統合が可能となる。

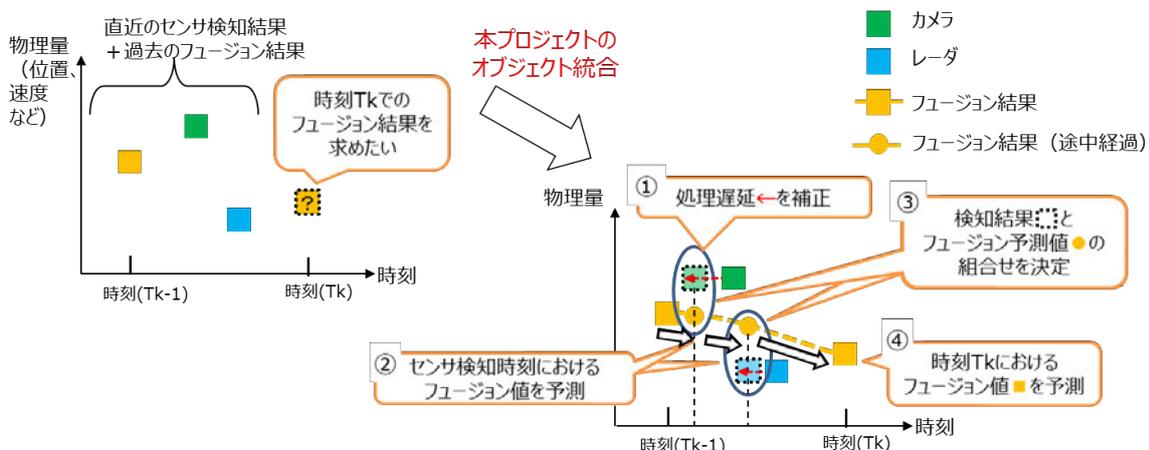
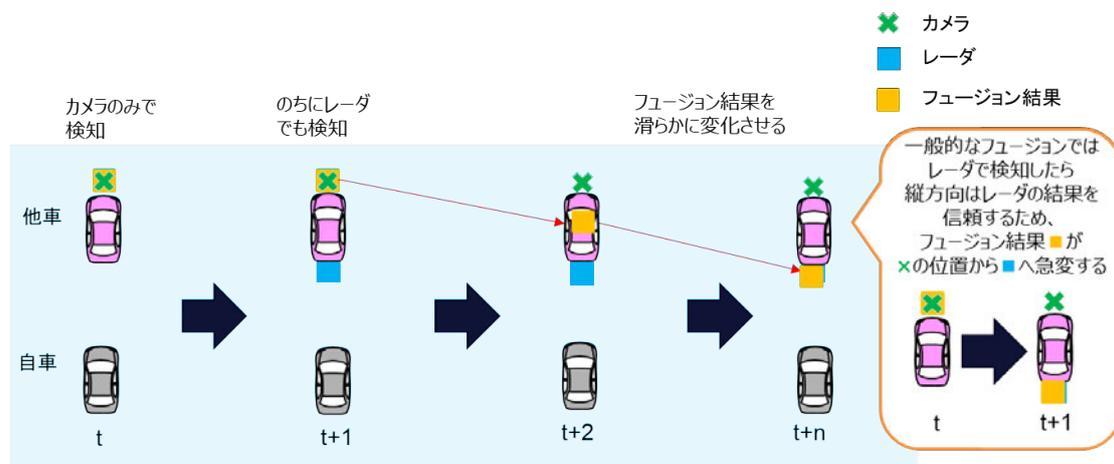


図 4.3.2.1.3.3.2-2 本プロジェクトのオブジェクト統合

(2) オブジェクト物理量の算出

同一物体と判定された各センサのオブジェクト情報と前回のオブジェクト情報から、後段制御部が必要な位置や速度などのオブジェクト物理量を算出する。オブジェクト物理量を算出する際は、センサの特徴を考慮したオブジェクト物理量の統合を行う。例えば、ミリ波レーダは縦方向の位置と速度の精度が高く、前方カメラは横方向の位置を速度の精度が高い為、その特徴を活かし、オブジェクトの位置を算出する。また、相関するセンサ数が変化した場合に物理量が不連続にならないような値を算出する。具体的には、図 4.3.2.1.3.3.2-3 に示すように、時刻 t は前方カメラのみ検知しており、時刻 $t+1$ で前方カメラとミリ波レーダで検知した場合、一般的には、複数センサで同一物体を検知すると精度の高いセンサの結果を信頼するため、縦方向はミリ波レーダの精度が高く、フュージョン結果黄色■がカメラ検知位置の緑×からミリ波検知位置の水色■へ急変することになる。このように、精度の高いセンサの物理量に短周期で近づけると、物理量が不連続になってしまうため、本プロジェクトの処理は、統合結果を滑らかに変化させることで、後段制御に影響を与えないようにしている。



(3) オブジェクト情報の補間

オブジェクト情報の補間は、センサがロストした際に、一時的にオブジェクト情報を補間する。具体的には、図 4.3.2.1.3.3.2-4 に示すように、1 周期前のオブジェクト情報から今回周期のオブジェクト情報をカルマンフィルタにより位置予測を行い、補間する。

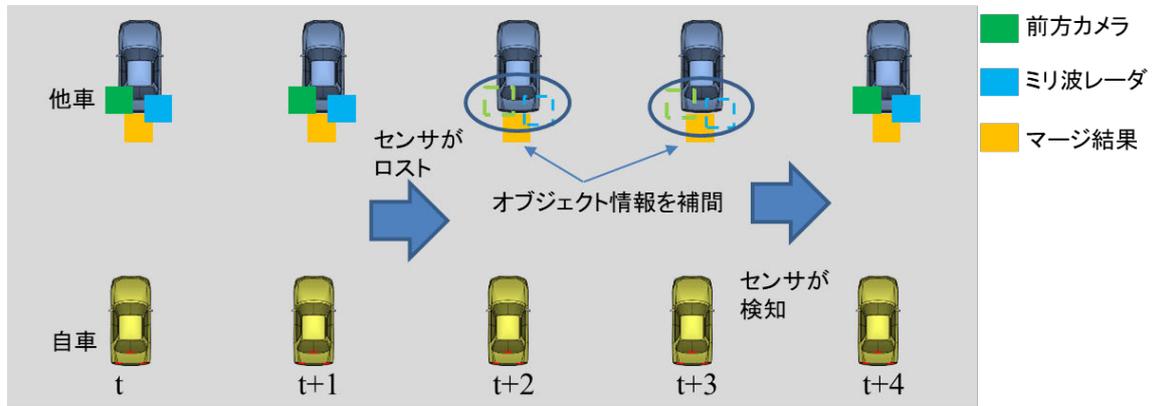


図 4.3.2.1.3.3.2-4 オブジェクト情報の補間

ここまでで得られたオブジェクト情報に対して、カメラマージ処理（後述）を行うことによって、前方カメラの誤検知を除外しつつ、各々のオブジェクトに対して属性情報（オブジェクトが人か、車か、等といった種別情報）を付与する。

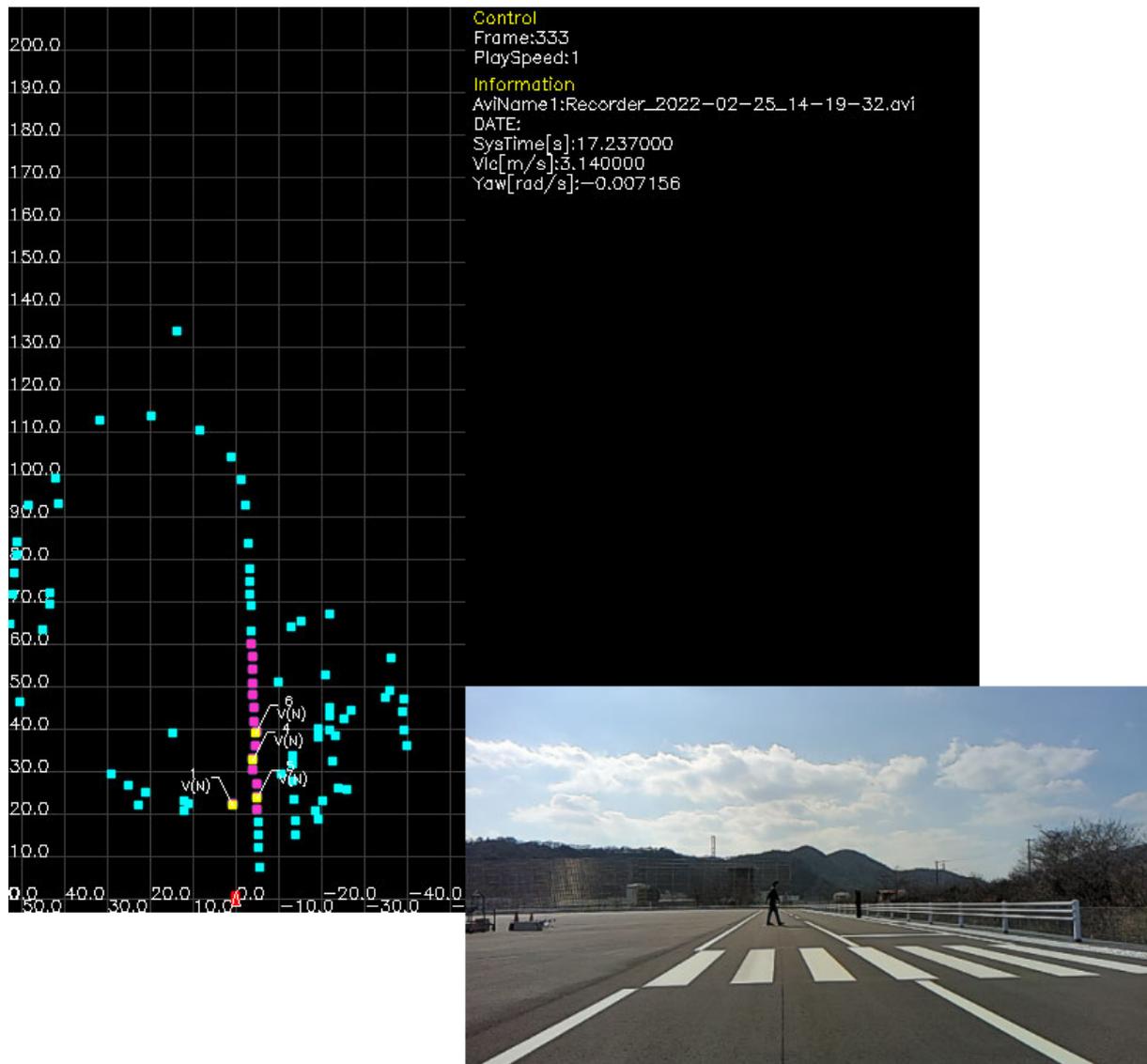


図 4.3.2.1.3.3.3-1 フュージョン結果の例

図のように、フィルタリングブロックからの出力（ピンク色■）には本来後段で制御対象とすべき歩行者以外にも、ガードレールポールも多数含まれている。これをマージブロック及びラベリングブロックで処理した結果、歩行者（ID=1の黄色■：エリア内と判定）や、一部のガードレールポール（ID=4, 5, 6の黄色■：エリア外と判定されたオブジェクトのうち、近距離のもの）のみが残り、後段のオブジェクトマージブロックへと出力される。

4.3.2.1.3.3.4 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。

4.3.2.1.3.3.7 経路座標変換（簡易地図）

周回ルート上に埋め込まれた RFID タグより両停留所内/待避所内と判断される場合にのみ、本ロジックを適用する。

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（フェージョン）、RFID 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。

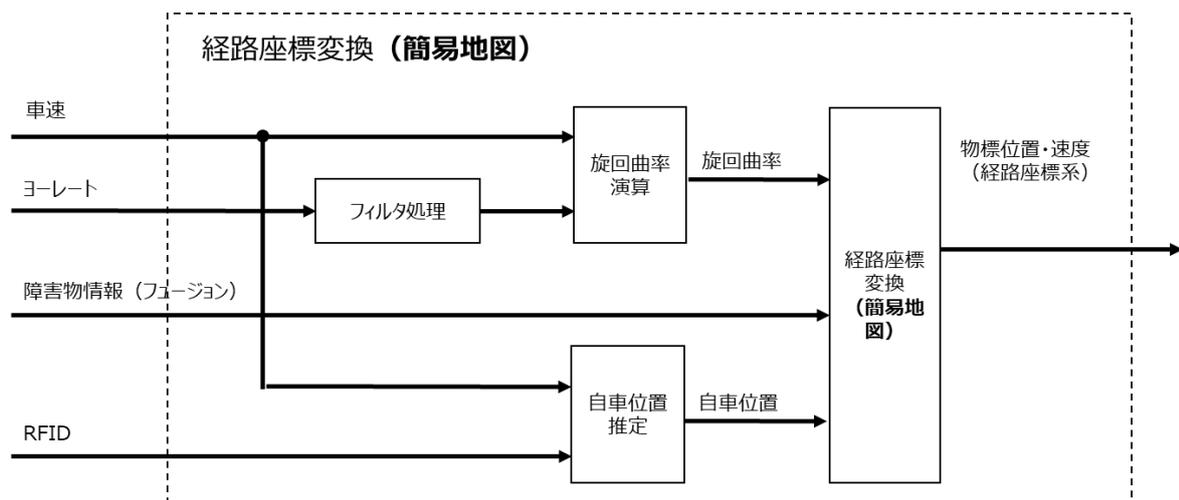


図 4.3.2.1.3.3.7-1 経路座標変換（簡易地図） ブロック図

4.3.2.1.3.3.7.1 フィルタ処理

入力されたヨーレートに1次ローパスフィルタを適用する。フィルタ後のヨーレート値の内、停車中の所定期間の平均値をヨーレートのオフセットとして入力値から減算する。

4.3.2.1.3.3.7.2 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。また後段での処理のため、旋回曲率を3次関数近似の2次の係数へ近似したものを旋回曲率として出力する。

4.3.2.1.3.3.7.3 自車位置推定

検知している RFID 及び自車速情報を基に、簡易地図（4.3.2.1.2.2 参照）上における自車位置を推定する。

4.3.2.1.3.3.7.4 経路座標変換

旋回曲率及び自車位置情報より、走行経路系を経路座標系に変換する。

4.3.2.1.4 自動運転制御システム（発進判断）

本節では、発進判定機能について説明する。発進判断機能は、車両が停車状態で、自車速と車載センサの情報を基に、車両前方の監視範囲内に障害物が存在するか否かを判定し、発進可否判断を行う。ここでの車載センサは、ソナーセンサ、ミリ波レーダ、前方カメラを指す。

図 4.3.2.1.4-1 に、発進判断機能の全体図を示す。発進判断機能は、AD-ECU が管制から指示された目標車速を受信する。管制からの目標車速が 0 [km/h] より大きく、かつ発進判断機能が車載センサによる発進許可フラグが「1」の場合、発進許可フラグが「1」となる。その情報を後段に送信する。前述以外の条件では、発進許可フラグが「0」となる。本節では、「発進判断機能」について記載する。

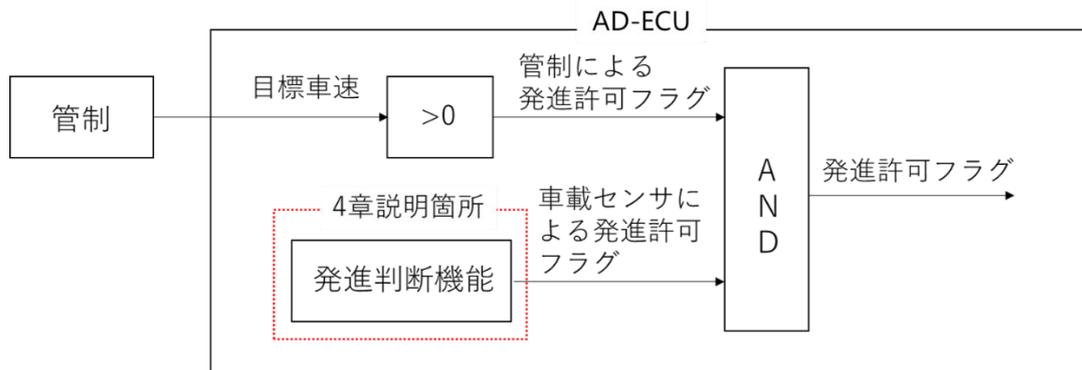


図 4.3.2.1.4-1 発進判断機能の全体図

図 4.3.2.1.4-2 に、発進判断の監視範囲を示す。表 4.3.2.1.4-1 に、監視範囲の長さや設定値を示す。図 4.3.2.1.4-2 に示す通り、監視範囲は、車両の前方バンパーから 2 m の範囲で、車両中央から左右対称に 0.7 m の範囲とした。監視範囲の長さは、各センサの検出能力を考慮して設定した。車両に搭載したセンサの中で、検知距離が短いセンサが、ソナーセンサである。ソナーセンサの検知性能より、監視範囲の長さを設定した。一方、監視範囲の幅は 1.4 [m] と設定した。これは、車幅 (1.3m) より 0.1 [m] 分マージンを確保するため、1.4 [m] と設定した。

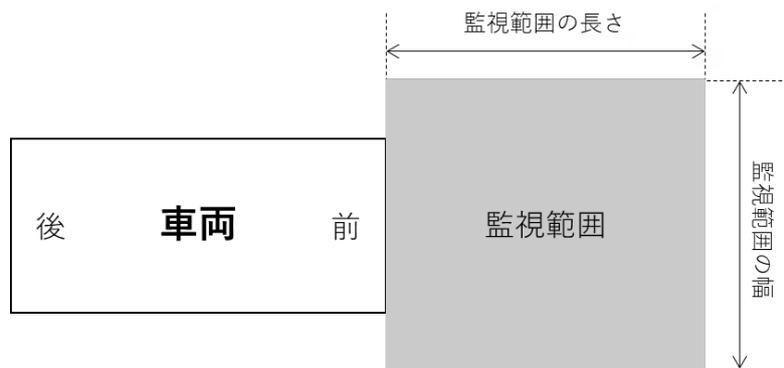


図 4.3.2.1.4-2 発進判断の監視範囲

表 4.3.2.1.4-1 監視範囲の長さや設定値

パラメータ	設定値
監視範囲の長さ	2[m]
監視範囲の幅	1.4[m]

4.3.2.1.4.1 発進判断機能のソフトウェア構成

図 4.3.2.1.4.1-1 に、発進判断機能のソフトウェア構成を示す。この構成はリセット判定部、ソナー情報による判定部、フュージョン情報による判定部、そして統合判断部の4つから構成される。詳細については次節以降で説明するが、以下で概要について説明する。

まず、リセット判定部は、自車速に基づきリセットフラグを判定する。次に、ソナー情報判定部は、ソナー障害物情報とリセットフラグより、ソナー発進許可フラグを出力する。フュージョン情報判定部は、フュージョン障害物情報とリセットフラグより、フュージョン判定フラグを出力する。最後に、統合判断部ではソナー発進許可フラグとフュージョン発進許可フラグを用いて発進判断フラグを出力する。この機能の演算周期は10msである

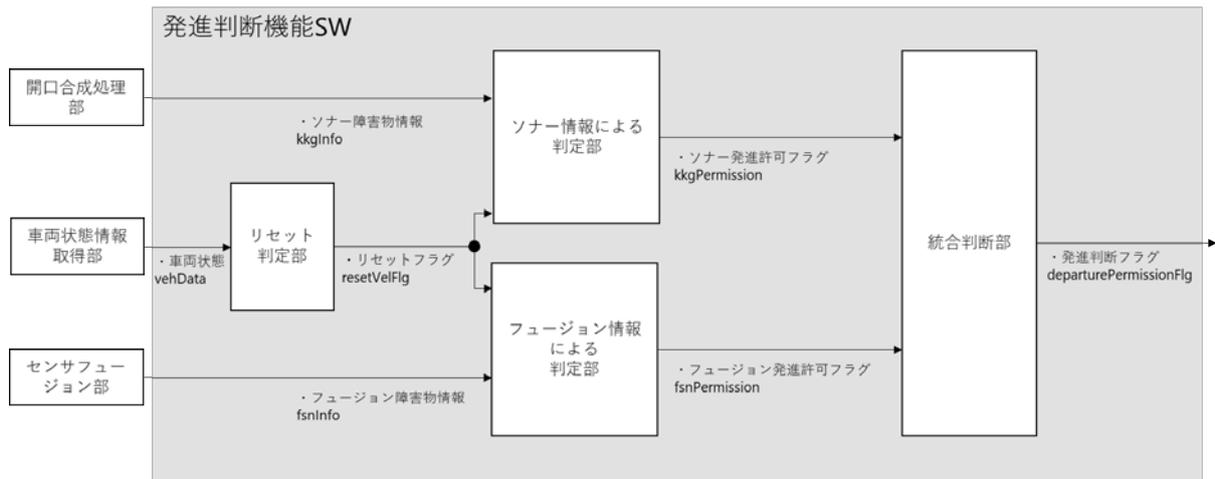


図 4.3.2.1.4.1-1 発進判断機能のソフトウェア (SW) 構成

次に、発進判断機能の入出力について説明する。入力は、ソナーセンサの開口合成後の障害物情報、自車速を含む車両状態量、センサフュージョン後の障害物情報である。出力は、発進判断フラグである。ソナーセンサの開口合成については4.3.2.2.6に、センサフュージョンについては4.3.2.1.3に記載しているので、詳細を割愛する。

4.3.2.1.4.2 リセット判定

図 4.3.2.1.4.2-1 に、リセット判定部のブロック図を示す。

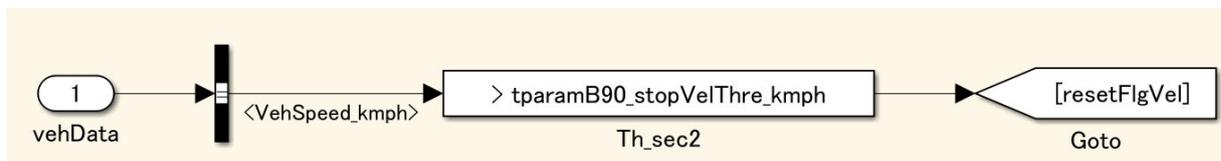


図 4.3.2.1.4.2-1 リセット判定部のブロック図

表 4.3.2.1.4.2-1 に、リセット判定部の処理を示す。表の vehData.VehSpeed_kmph は自車速を、tparamB90_stopVelThre_kmph は停車判定閾値を示す。ここでの停車閾値は0.2 km/h である。

次に、リセット処理判断部の処理について説明する。自車速が停車判定閾値より大きい場合、リセットフラグは1を出力する。一方で、それ以外の場合、リセットフラグは0を出力する。

表 4.3.2.1.4.2-1 リセット判定部の処理

処理	出力 resetFlgVel
vehData.VehSpeed_kmph > tparamB90_stopVelThre_kmph	1 (リセットする)
vehData.VehSpeed_kmph ≤ tparamB90_stopVelThre_kmph	0 (リセットしない)

4.3.2.1.4.3 ソナー情報による判定部

図 4.3.2.1.4.3-1 に、ソナー情報による判断部のブロック図を示す。ソナー障害物情報 (kkgInfo) とリセットフラグ (resetFlgVel) をサブシステム「kkgJudgement」に入力し、ソナー判断フラグ (kkgPermissionFlg) を出力する。次に、サブシステム「kkgJudgement」の出力であるソナー判断フラグと、予め設定したソナー判断スイッチ (tparamB90_kkgDepartureJdgSW) より、ソナー発進許可フラグを出力する。

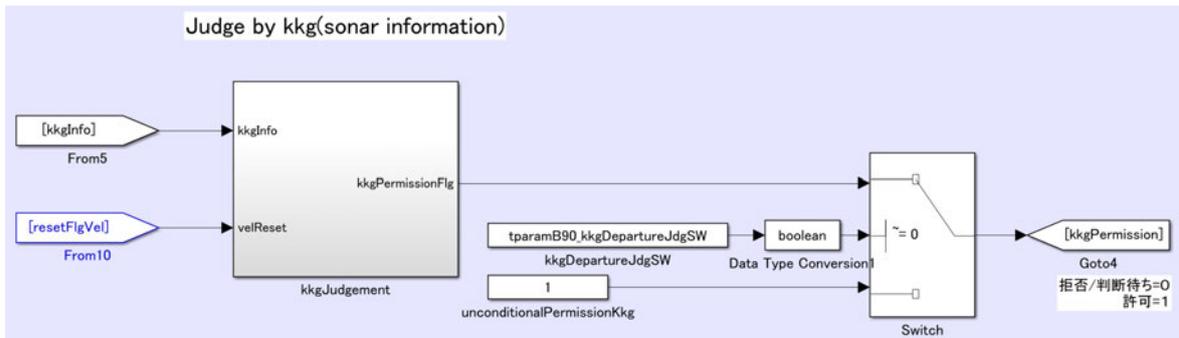


図 4.3.2.1.4.3-1 ソナー情報による判定部ブロック図

図 4.3.2.1.4.3-2 に、ソナー情報による判断部のフローチャートを示す。まず、ソナー障害物情報、リセットフラグ、ソナー判定スイッチを入力する。次に、リセットフラグが「0」かつ、監視範囲内に障害物が存在しない場合、タイマーアップフラグが「1」となる。一方で、リセットフラグが「1」、または監視範囲内に障害物が存在する場合、タイマーアップフラグが「0」となる。次に、タイマーアップフラグが「1」の場合、タイマーをカウントアップする。ここでのタイマーは演算周期毎に「0.01」ずつカウントアップするものである。タイマーがカウントアップし続け、上限値に達すると、上限値でクリップされる。ここでの上限値は 60 [s] である。一方で、タイマーアップフラグが「0」の場合、タイマーをリセットする。次に、タイマーの時間がソナー情報による判断時間閾値以上であれば、ソナー判定フラグ (kkgPermissionFlg) が「1」となる。ここでのソナー情報による判断時間閾値は 5 [s] である。一方で、タイマーの時間が、ソナーによる判断時間閾値未満であれば、ソナー判定フラグ (kkgPermissionFlg) が「0」となる。最後に、ソナー判断フラグが「1」、またはソナー判断フラグが「1」の場合、ソナー発進許可フラグが「1」となる。一方で、ソナー判断フラグが「0」、かつソナー判断フラグが「0」の場合、ソナー発進許可フラグが「0」となる。

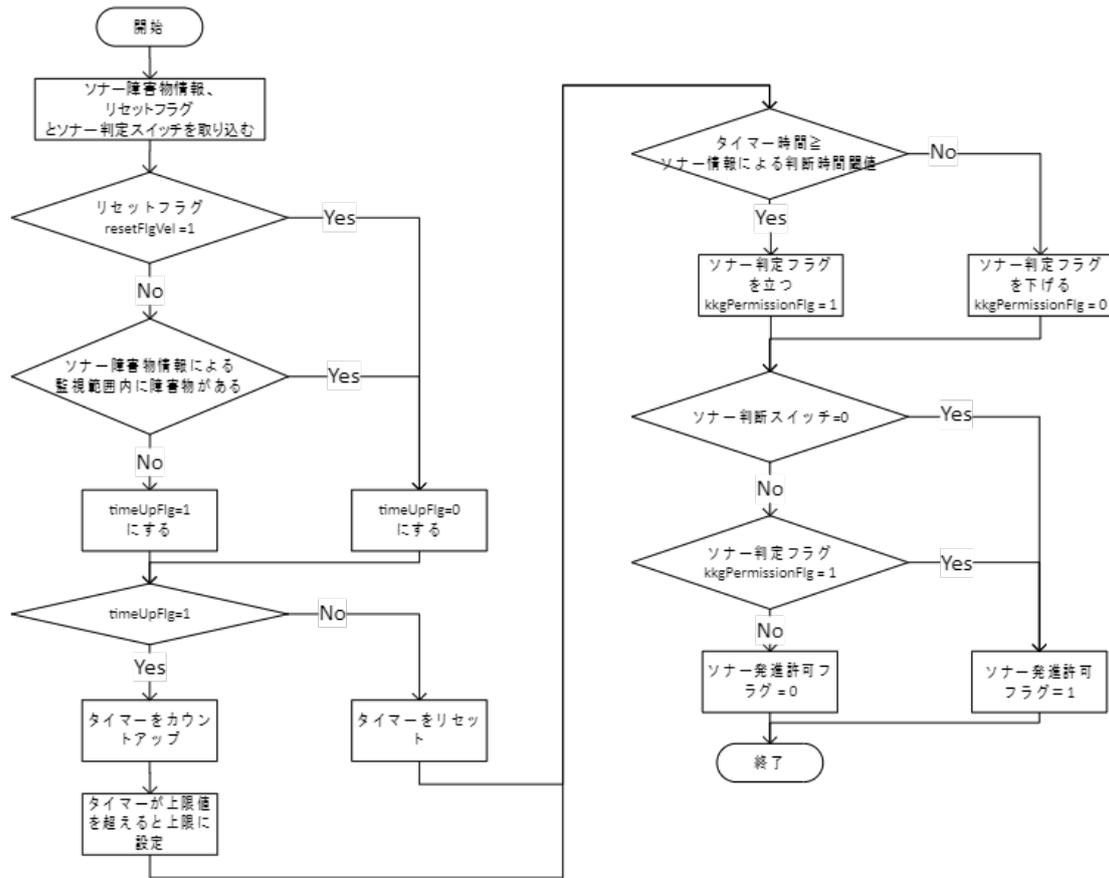


図 4.3.2.1.4.3-2 ソナー情報による判定部のフローチャート

4.3.2.1.4.4 フュージョン情報による判定部

図 4.3.2.1.4.4-1 に、フュージョン情報による判断部のブロック図を示す。フュージョン障害物情報 (fsnInfo) とリセットフラグ (resetFlgVel) をサブシステム「kkgJudgement」に入力し、フュージョン判断フラグ (fsnPermissionFlg) を出力する。次に、サブシステム「fsnJudgement」の出力であるフュージョン障害物情報と、予め設定したフュージョン判断スイッチ (tparamB90_fsnDepartureJdgSW) より、フュージョン発進許可フラグを出力する。

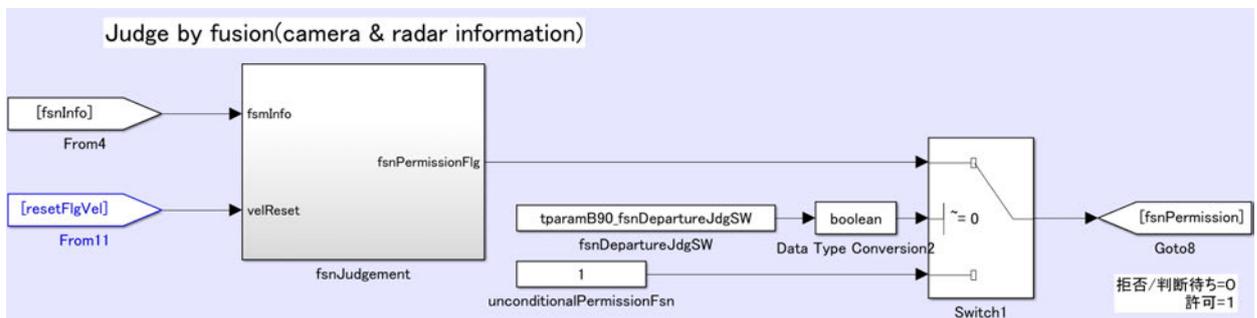


図 4.3.2.1.4.4-1 フュージョン情報による判定部ブロック図

図 4.3.2.1.4.4-2 に、フュージョン情報による判断部のフローチャートを示す。まず、フュージョン障害物情報、リセットフラグ、フュージョン判断スイッチを入力する。次に、リセットフラグが「0」かつ、監視範囲内に障害物が存在しない場合、タイマーアップフラグが「1」となる。一方で、リセットフラグが「1」、または監視範囲内に障害物が存在する場合、タイマーアップフラグが「0」となる。次に、タイマーアップフラグが「1」の場合、タイマーをカウントアップする。ここでのタイマーは演算周期毎に「0.01」ずつカウントアップするものである。タイマ

ーがカウントアップし続け、上限値に達すると、上限値でクリップされる。ここでの上限値は 60 [s]である。一方で、タイマーアップフラグが「0」の場合、タイマーをリセットする。次に、タイマーの時間がフュージョン情報による判断時間閾値以上であれば、フュージョン判定フラグ (fsnPermissionFlg) が「1」となる。ここでのフュージョン情報による判断時間閾値は 5 [s]である。一方で、タイマーの時間が、フュージョンによる判断時間閾値未満であれば、フュージョン判定フラグ (fsnPermissionFlg) が「0」となる。最後に、フュージョン判定フラグが「1」、またはフュージョン判定フラグが「1」の場合、フュージョン発進許可フラグが「1」となる。一方で、フュージョン判定フラグが「0」、かつフュージョン判定フラグが「0」の場合、フュージョン発進許可フラグが「0」となる。

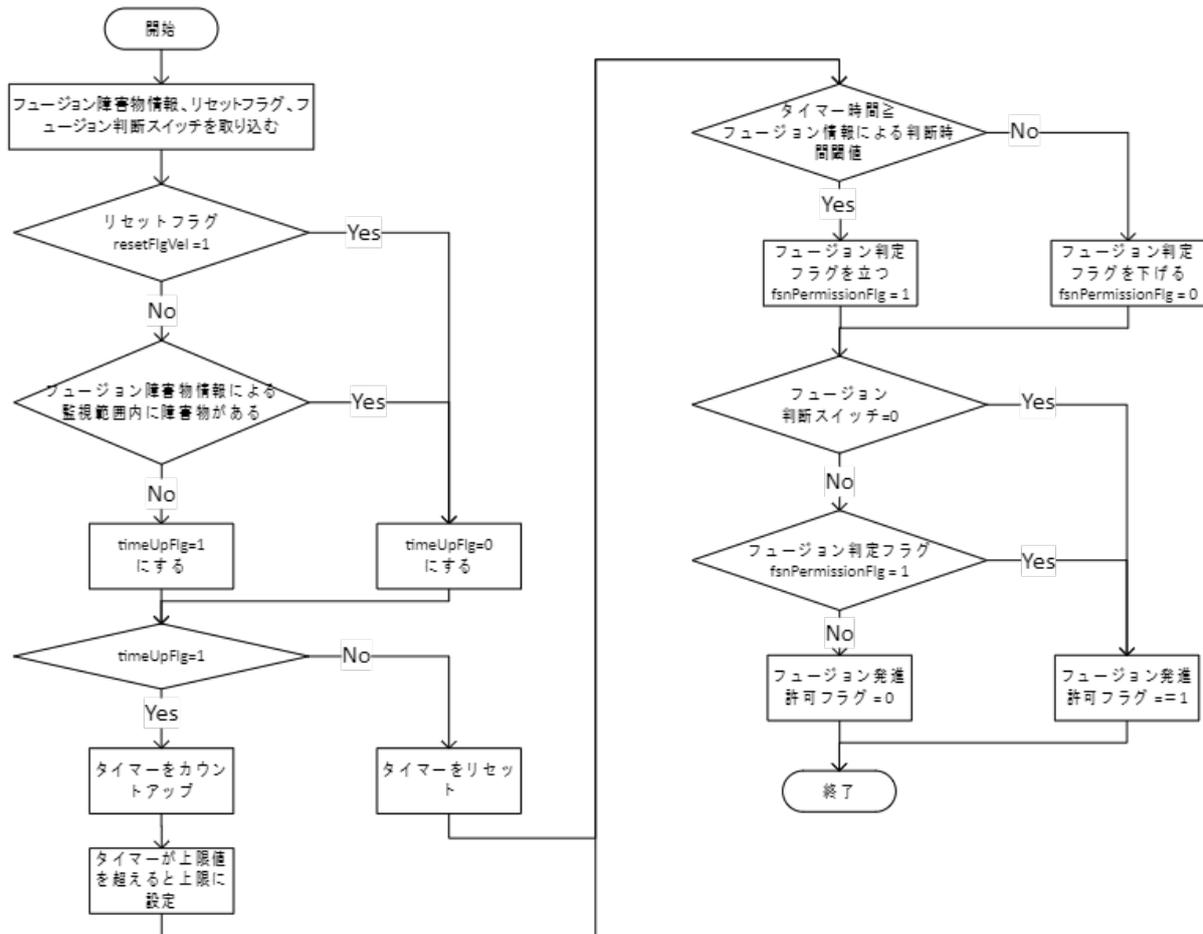


図 4.3.2.1.4.4-2 フュージョン情報による判断部のフローチャート

4.3.2.1.4.5 統合判断部

図 4.3.2.1.4.5-1 に、統合判断部ブロック図を示す。統合判断部の動作について説明する。ソナー発進許可フラグ (kkgPermission) とフュージョン発進許可フラグ (fsnPermission) が同時に成立する場合、発進判断フラグが「1」となる。一方で、前述以外の条件であれば、発進判断フラグ (permissionFlag) が「0」となる。

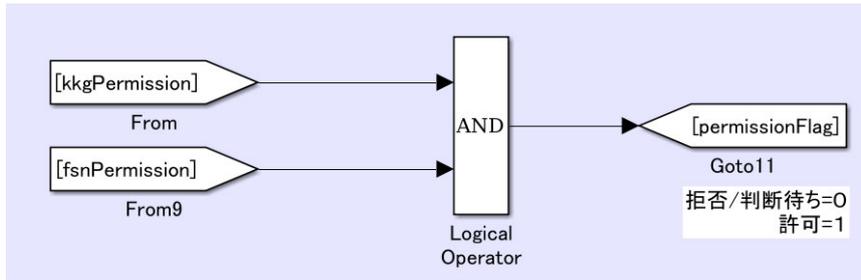


図 4. 3. 2. 1. 4. 5-1 統合判断部ブロック図

4.3.2.1.5 自動運転制御システム（被害低減ブレーキ制御部）

4.3.2.1.5.1 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。

4.3.2.1.5.2 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 4.3.2.1.5.2-1 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。

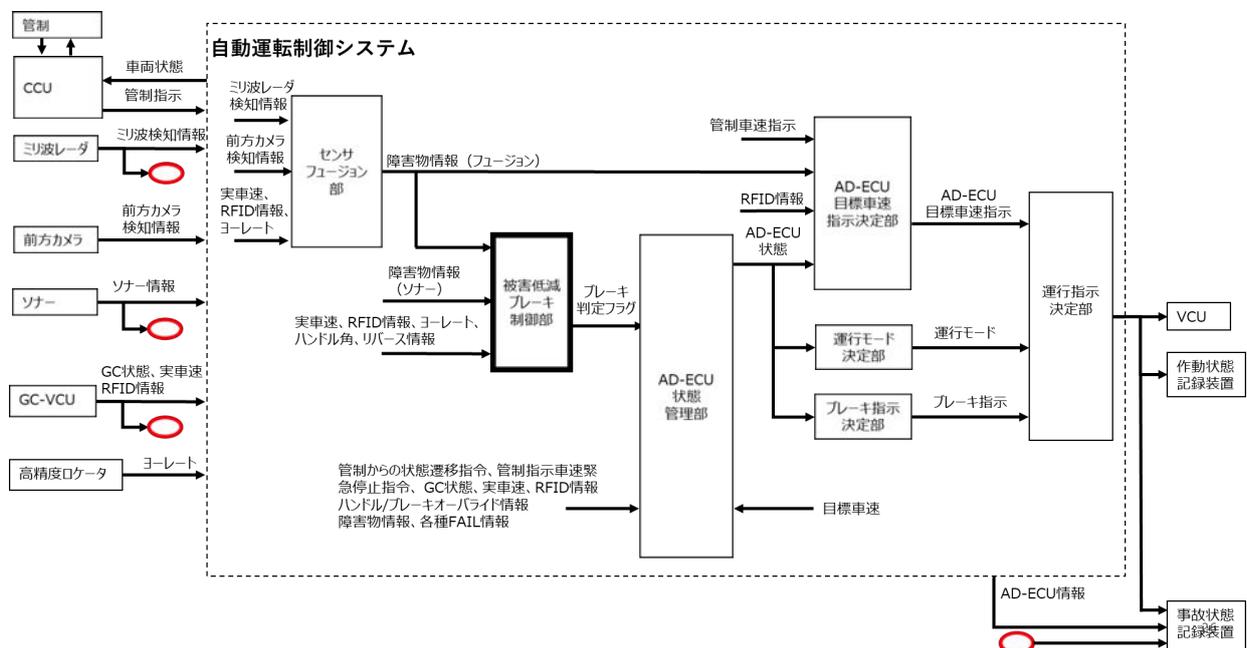


図 4.3.2.1.5.2-1 被害低減ブレーキ制御関連 システム構成図

4.3.2.1.5.3 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 4.3.2.1.5.3-1 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。

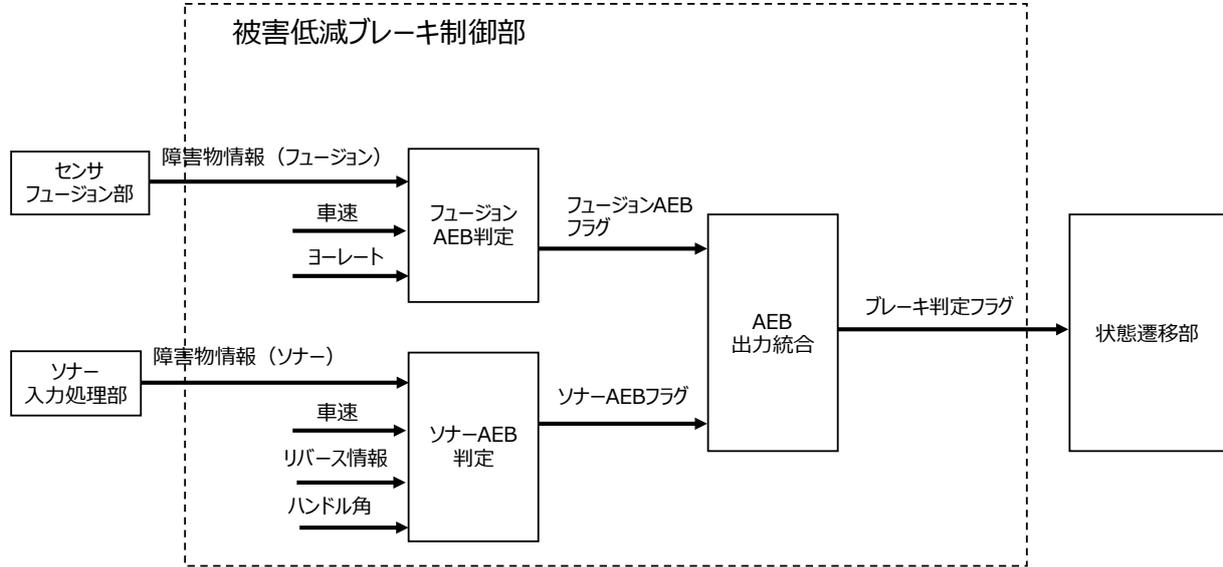


図 4.3.2.1.5.3-1 被害低減ブレーキ制御 制御ブロック図

4.3.2.1.5.3.1 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 4.3.2.1.5.3.1-1 に示す。以降の節にて、各ブロックの詳細説明を行う。

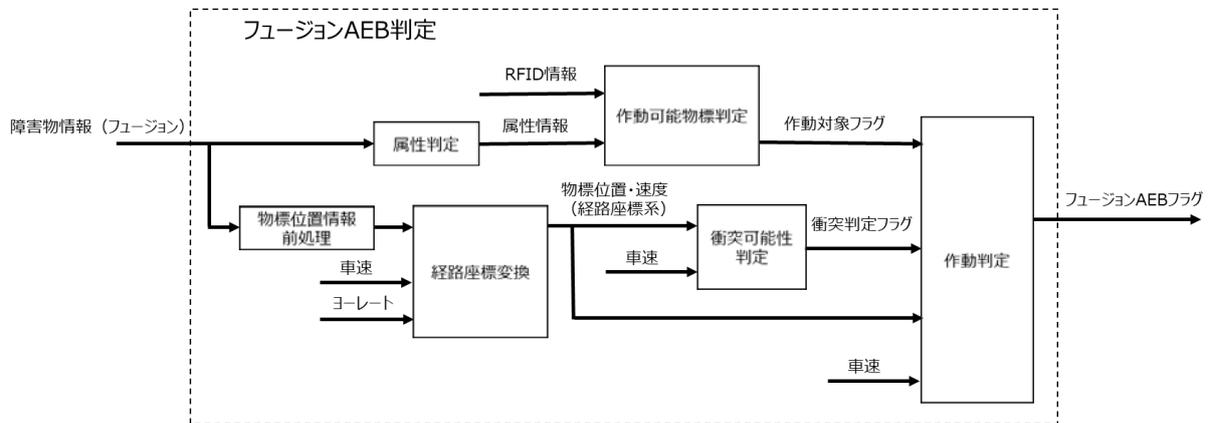


図 4.3.2.1.5.3.1-1 フュージョン AEB 判定ブロック図

4.3.2.1.5.3.1.1 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。

センサより取得した物標種別を、車両・歩行者・自転車の3つと、それ以外の種別不明物標の合計4つに物標を分類する。車両は、自車速度および対象物との縦方向相対車速を元に追従車・対向車のどちらであるかを判断する。歩行者と自転車はそれぞれ、対象物との横方向相対速度を元に横断中・追従中のどちらであるかを判断する。

4.3.2.1.5.3.1.2 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する。物標が車両の場合は車両物標としてフラグを有効とする。歩行者・自転車の場合は、属性を元に横断VRU (Vulnerable Road User)・追従VRUとしてフラグを有効とする。

ただし、RFIDタグにより停留所内及び待避所内と判定されている場合は、車両についてはAEB作動の対象としない。停留所及び待避所内においては付近に車両が駐車されることがあるが進入するケースはなく、余計な誤AEB判定を抑止するため。

4.3.2.1.5.3.1.3 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。

図4.3.2.1.5.3.1.3-1に示すように、障害物位置及び、相対速度ベクトルより予測衝突横位置を演算し、予測衝突横位置が閾値未満の場合に衝突可能性有と判定する。

また、衝突可能性無から衝突可能性有と判定する衝突可能性横閾値（開始）と、衝突可能性有から衝突可能性無と判定する衝突可能性横閾値（継続）の2つの閾値（ヒステリシス）を設け、それらの大小関係は以下とする。

衝突可能性横閾値（開始） < 衝突可能性横閾値（継続）

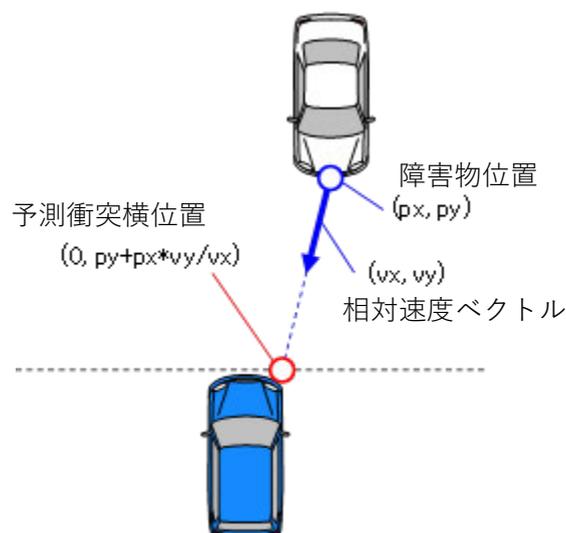


図 4.3.2.1.5.3.1.3-1 予測衝突横位置演算の概要図

4.3.2.1.5.3.1.4 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。また、作動可能物標判定により判定された作動対象（車両、横断 VRU、追従 VRU）に対し、それぞれ作動判定を実施する。

4.3.2.1.5.3.1.4.1 AEB 判定（車両）

車両に対する、AEB 判定条件を表 4.3.2.1.5.3.1.4.1-1 に示す。開始条件成立により AEB 判定（車両）フラグが ON となり、継続条件成立中は、AEB 判定（車両）フラグが ON の状態のままとなる。継続条件が非成立になると、AEB 判定（車両）フラグは OFF となる。衝突距離条件フラグ（車両）の成立条件については、以降の節で説明する。

表 4.3.2.1.5.3.1.4.1-1

項目	開始条件	継続条件
前回状態	AEB 判定（車両）フラグの前回値が OFF	AEB 判定（車両）フラグの前回値が ON
種別条件	作動対象フラグ（車両）が有効	(なし)
衝突時間条件	衝突距離条件フラグ（車両）が ON	(なし)
衝突可能性条件	衝突可能性フラグが ON	衝突可能性フラグが ON

4.3.2.1.5.3.1.4.1.1 衝突距離条件（車両）

車両に対する衝突判定距離を、衝突時間（TTC : Time To Collision）に基づいて判定する。TTC は、最近傍物標に対するオーバーラップ率 vs 縦相対速度の 2 次元 MAP に基づき設定する。最近傍物標に対する、衝突判定距離を下記式にて演算し、最近傍物標の縦位置が衝突判定距離を下回った場合、衝突距離条件フラグ（車両）を ON とする。

衝突判定距離 = -（縦相対速度×TTC）

更に、物標の縦位置、横位置、縦減速度、車速、物標検知状態の情報より、先行車が減速したか否かを判定し、減速していると判定した場合は、下記式より通り衝突判定距離を演算する。

衝突判定距離 = -（縦相対速度×TTC + 縦相対加速度×1/2×TTC）

4.3.2.1.5.3.1.4.2 AEB 判定 (横断 VRU)

横断 VRU に対する、AEB 判定条件を表 4.3.2.1.5.3.1.4.2-1 に示す。開始条件成立により AEB 判定 (横断 VRU) フラグが ON となり、継続条件成立中は、AEB 判定 (横断 VRU) フラグが ON の状態のままとなる。継続条件が非成立になると、AEB 判定 (横断 VRU) フラグは OFF となる。衝突距離条件フラグ (横断 VRU) の成立条件については、以降の節で説明する。

表 4.3.2.1.5.3.1.4.2-1

項目	開始条件	継続条件
前回状態	AEB 判定 (横断 VRU) フラグの 前回値が OFF	AEB 判定 (横断 VRU) フラグの 前回値が ON
種別条件	作動対象フラグ (横断 VRU) が有 効	(なし)
衝突時間条件	衝突距離条件フラグ (横断 VRU) が ON	(なし)
衝突可能性条件	衝突可能性フラグが ON	衝突可能性フラグが ON

4.3.2.1.5.3.1.4.2.1 衝突距離条件 (横断 VRU)

横断 VRU に対する衝突判定距離を、TTC に基づいて判定する。TTC は、センサフュージョン部から取得した各障害物情報に対して、衝突予測位置 vs 縦相対速度の 2 次元 MAP に基づき設定する。ここで、衝突予測位置は下記式にて演算する。

$$\text{衝突予測位置} = |\text{障害物横位置} - (\text{障害物縦位置} \times \text{横相対速度}) / \text{縦相対速度}|$$

各障害物情報に対して、衝突判定距離を下記式にて演算し、その障害物の縦位置が衝突判定距離を下回った場合、その障害物情報に対する衝突距離条件フラグ (横断 VRU) を ON とする。ただし、衝突予測位置が車両中央から一定以上距離がある場合は判定によらず、衝突距離条件 (横断 VRU) を OFF とする。

$$\text{衝突判定距離} = - (\text{縦相対速度} \times \text{TTC})$$

4.3.2.1.5.3.1.4.3 AEB 判定 (追従 VRU)

追従 VRU に対する、AEB 判定条件を表 4.3.2.1.5.3.1.4.3-1 に示す。開始条件成立により AEB 判定 (追従 VRU) フラグが ON となり、継続条件成立中は、AEB 判定 (追従 VRU) フラグが ON の状態のままとなる。継続条件が非成立になると、AEB 判定 (追従 VRU) フラグは OFF となる。衝突距離条件フラグ (追従 VRU) の成立条件については、以降の節で説明する。

表 4.3.2.1.5.3.1.4.3-1

項目	開始条件	継続条件
前回状態	AEB 判定 (追従 VRU) フラグの 前回値が OFF	AEB 判定 (追従 VRU) フラグの 前回値が ON
種別条件	作動対象フラグ (追従 VRU) が有 効	(なし)
衝突時間条件	衝突距離条件フラグ (追従 VRU) が ON	(なし)
衝突可能性条件	衝突可能性フラグが ON	衝突可能性フラグが ON

4.3.2.1.5.3.1.4.3.1 衝突距離条件 (追従 VRU)

追従 VRU に対する衝突判定距離を、衝突時間に基づいて判定する。TTC は、センサフュージョン部から取得した各障害物情報に対して、オーバーラップ率 vs 縦相対速度の 2 次元 MAP に基づき設定する。

各障害物情報に対して、衝突判定距離を下記式にて演算し、その障害物の縦位置が衝突判定距離を下回った場合、その障害物情報に対する衝突距離条件フラグ (追従 VRU) を ON とする。ただし、障害物横位置が車両中央から一定以上距離がある場合は判定によらず、衝突距離条件 (横断 VRU) を OFF とする。

衝突判定距離 = - (縦相対速度 × TTC)

4.3.2.1.5.3.1.4.4 フュージョン AEB フラグ判定

フュージョン AEB フラグを ON 判定する判定条件を表 4.3.2.1.5.3.1.4.4-1 に示す。非成立時、フュージョン AEB フラグは OFF となる。

表 4.3.2.1.5.3.1.4.4-1 フュージョン AEB フラグ判定条件

条件	
OR	AEB 判定 (車両) が ON
	AEB 判定 (横断 VRU) が ON
	AEB 判定 (追従 VRU) が ON

4.3.2.1.5.3.2 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4.3.2.1.5.3.2-1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。

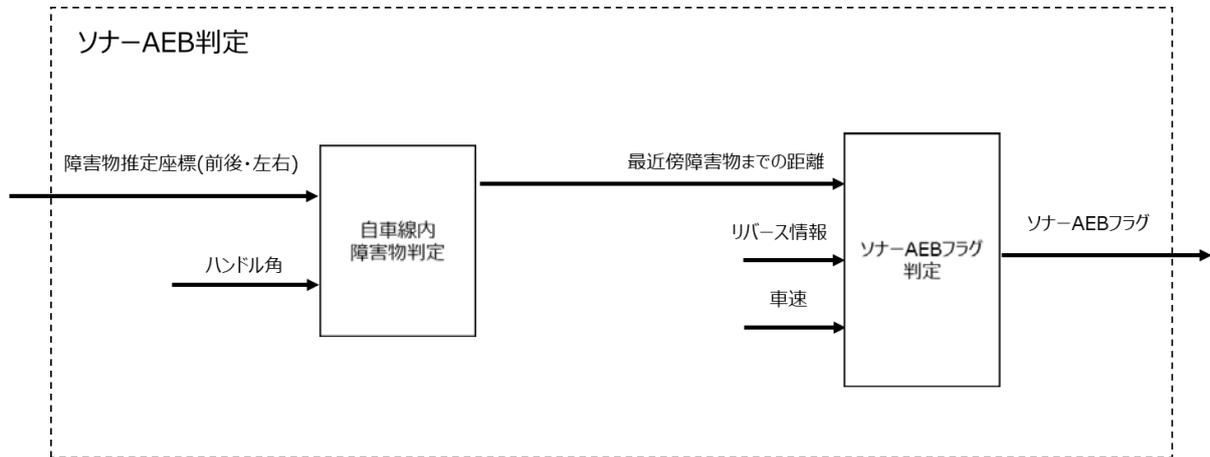


図 4.3.2.1.5.3.2-1 ソナーAEB判定ブロック図

4.3.2.1.5.3.2.1 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。

図4.3.2.1.5.3.2.1-1に自車線内障害物判定部を示す。各機能ブロックは以降の節にて説明する。

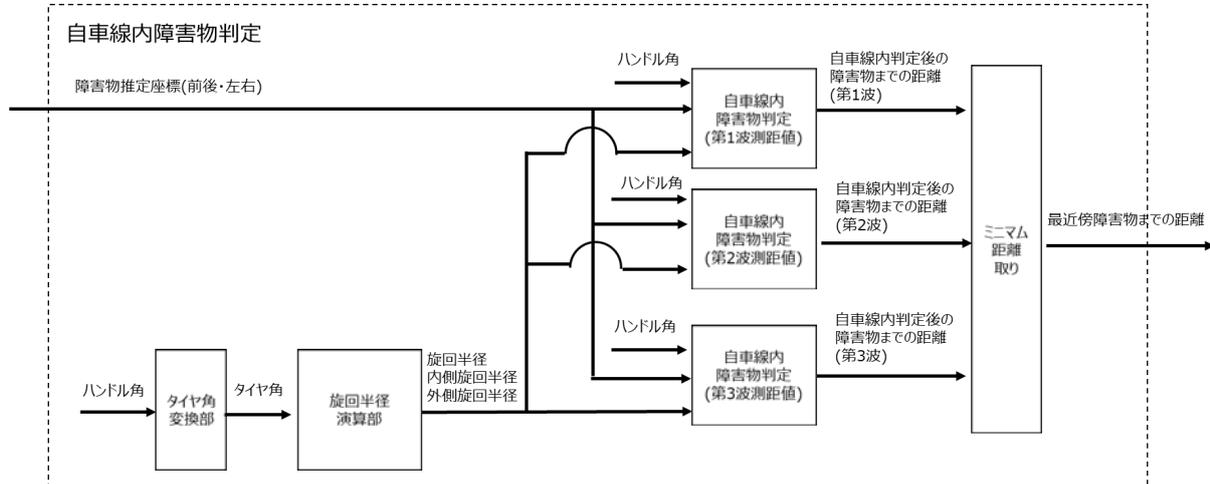


図 4.3.2.1.5.3.2.1-1 自車線内障害物判定部 ブロック図

4.3.2.1.5.3.2.1.1 タイヤ角変換部

ハンドル角をステアリングギアで除算した結果を出力する。

4.3.2.1.5.3.2.1.2 旋回半径演算部

以下方法にて、旋回半径、内側旋回半径、外側旋回半径を演算する。原点は後輪車軸中央とする。

タイヤ角が小さいと仮定して、タイヤ角と車両のホイールベースから旋回半径を演算し、旋回半径を出力する。

上記旋回半径から車幅の半分を減算した内側旋回半径を出力する。

上記旋回半径に車幅の半分を加算し(①)、ホイールベースにフロントオーバーハングを加算する(②)。①と②を合算した外側旋回半径を出力する。

4.3.2.1.5.3.2.1.3 自車線内障害物判定(第1波測距値)

ハンドル角が所定値以内であれば、車両前方の障害物は、自車に対してほぼ中央に存在すると判定する。この場合、自車線内判定後の障害物までの距離(第1波)は、開口合成部の出力となる。

ハンドル角が所定値より大きい場合は、自車が旋回中と判定する。内側旋回半径、外側旋回半径、障害物のx方向(x方向：車両の進行方向)の距離から旋回時のy方向(y方向：車両の進行方向)に対して反時計回りに90度回転)の最小値と最大値を演算する。障害物のy方向の距離が前述の最小値以上最大値以下であれば、自車線内判定後の障害物までの距離(第1波)は、開口合成部の出力となる。それ以外の場合は、自車線内判定後の障害物までの距離(第1波)は、無効値となる。

4.3.2.1.5.3.2.1.4 自車線内障害物判定(第2波測距値)

ハンドル角が所定値以内であれば、車両前方の障害物は、自車に対してほぼ中央に存在すると判定する。この場合、自車線内判定後の障害物までの距離(第2波)は、開口合成部の出力となる。

ハンドル角が所定値より大きい場合は、自車が旋回中と判定する。内側旋回半径、外側旋回半径、障害物のx方向(x方向：車両の進行方向)の距離から旋回時のy方向(y方向：車両の進行方向)に対して反時計回りに90度回転)の最小値と最大値を演算する。障害物のy方向の距離が前述の最小値以上最大値以下であれば、自車線内判定後の障害物までの距離(第2波)は、開口合成部の出力となる。それ以外の場合は、自車線内判定後の障害物までの距離(第2波)は、無効値となる。

4.3.2.1.5.3.2.1.5 自車線内障害物判定(第3波測距値)

ハンドル角が所定値以内であれば、車両前方の障害物は、自車に対してほぼ中央に存在すると判定する。この場合、自車線内判定後の障害物までの距離(第3波)は、開口合成部の出力となる。

ハンドル角が所定値より大きい場合は、自車が旋回中と判定する。内側旋回半径、外側旋回半径、障害物のx方向(x方向：車両の進行方向)の距離から旋回時のy方向(y方向：車両の進行方向)に対して反時計回りに90度回転)の最小値と最大値を演算する。障害物のy方向の距離が前述の最小値以上最大値以下であれば、自車線内判定後の障害物までの距離(第3波)は、開口合成部の出力となる。それ以外の場合は、自車線内判定後の障害物までの距離(第3波)は、無効値となる。

4.3.2.1.5.3.2.1.6 ミニマム距離取り

自車線内判定後の障害物までの距離(第1波)、自車線内判定後の障害物までの距離(第2波)、自車線内判定後の障害物までの距離(第3波)の最小値が、最近傍障害物までの距離として出力する。

4.3.2.1.5.3.2.2 ソナーAEBフラグ判定

上記最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。

図 4.3.2.1.5.3.2.2-1 に、ソナーAEBフラグ判定部のブロック図を示す。各機能ブロックは以降の節にて説明する。

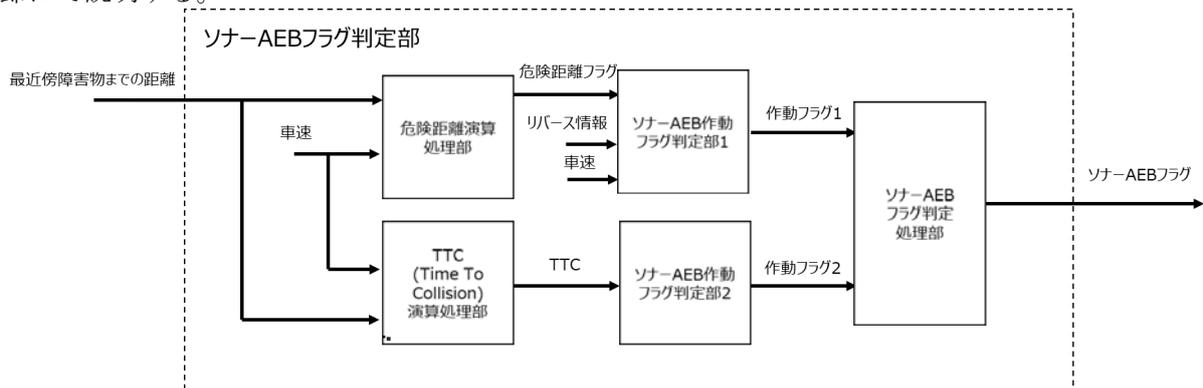


図 4.3.2.1.5.3.2.2-1 ソナーAEBフラグ判定部 ブロック図

4.3.2.1.5.3.2.2.1 危険距離演算処理

ブレーキの応答遅れ時間に対する自車の移動距離と一定減速度で減速した場合に要する距離を合算した緊急停車距離が、最近傍障害物までの距離より小さい場合に緊急距離フラグを ON にする。

4.3.2.1.5.3.2.2.2 TTC(Time to Collision) 演算処理

最近傍障害物までの距離を自車速で除算した結果を出力する。

4.3.2.1.5.3.2.2.3 ソナーAEB 作動フラグ判定部 1

自車速が作動領域内、かつ緊急距離フラグが ON の場合に作動フラグ 1 が ON になる。作動フラグ 1 の解除条件は、自車速が作動領域外、または、車両のシフトがリバースのいずれかが成立した場合である。

4.3.2.1.5.3.2.2.4 ソナーAEB 作動フラグ判定部 2

TTC 演算処理部の出力が 1.4 s 未満である場合に、作動フラグ 2 が ON になる。

4.3.2.1.5.3.2.2.5 ソナーAEB フラグ判定処理部

作動フラグ 1 と作動フラグ 2 の両方が成立した場合に、ソナーAEBフラグが ON になる。

4.3.2.1.5.3.3 AEB 出力統合部

フュージョンAEBとソナーAEBの出力を統合し、ブレーキ判定フラグのON/OFFを出力する。
表 4.3.2.1.5.3.3-1、表 4.3.2.1.5.3.3-2 にブレーキ判定フラグ ON/OFF 成立条件を示す。

表 4.3.2.1.5.3.3-1 ブレーキ判定フラグ ON の成立条件

条件	
OR	フュージョンAEBフラグがON
	ソナーAEBフラグがON

表 4.3.2.1.5.3.3-2 ブレーキ判定フラグ OFF の成立条件

条件	
OR	車速が 0.1 km/h 未満の状態が所定時間経過
	被害軽減ブレーキ制御外部からのリセットフラグが ON (未使用)

4.3.2.1.5.4 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。

4.3.2.1.5.4.1 フュージョン AEB 単体検証

表 4.3.2.1.5.4.1-1 に、フュージョン 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おいて試験を実施した。(前方監視カメラ無し)

表 4.3.2.1.5.4.1-1 フュージョン AEB 単体検証試験結果

No	試験シナリオ	試験結果
1.1	直立したダミー人形を自車中央直線上に設置 ※自車速：12 km/h	衝突回避：可 停車距離 ^{※1} ：3.0 m
1.2	直立したダミー人形を自車中央直線上に設置 ※自車速：6 km/h	衝突回避：可 停車距離 ^{※1} ：2.5 m
1.3	直立したダミー人形を自車中央直線上に設置 ※自車速：3 km/h	衝突回避：可 停車距離 ^{※1} ：2.0 m
2.1	自車中央直線上から 0.7m 離れた場所に直立したダミー人形を設置 ※自車速：12 km/h	衝突回避：可 停車距離 ^{※1} ：2.5 m
2.2	自車中央直線上から 0.7m 離れた場所に直立したダミー人形を設置 ※自車速：6 km/h	衝突回避：可 停車距離 ^{※1} ：2.5 m
2.3	自車中央直線上から 0.7m 離れた場所に直立したダミー人形を設置 ※自車速：3 km/h	衝突回避：可 停車距離 ^{※1} ：1.0 m
3	自車中央直線上から 1.4m 離れた場所に直立したダミー人形を設置 ※自車速：12,6,3 km/h	すり抜け：可
4	自車中央直線上から 2.1m 離れた場所に直立したダミー人形を設置 ※自車速：12,6,3 km/h	すり抜け：可
5.1	自動走行中に自車の 3m 先に時速 5km/h でダミー人形飛び出し ※自車速：12 km/h	衝突回避：可 停車距離 ^{※1} ：3.0 m
5.2	自動走行中に自車の 3m 先に時速 5km/h でダミー人形飛び出し ※自車速：6 km/h	衝突回避：可 停車距離 ^{※1} ：1.0 m
5.3	自動走行中に自車の 3m 先に時速 5km/h でダミー人形飛び出し ※自車速：3 km/h	衝突回避：可 停車距離 ^{※1} ：2.0 m

※1 自動ブレーキ作動による自車停車後の車両と障害物の実測距離を指す。

図 4.3.2.1.5.4.1-1 の左に、表 4.3.2.1.5.4.1-1 の No.1.1 から No.4 の静止物標に対する試験環境を、右に No.5.1 から No.5.3 の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 4.3.2.1.5.4.1-1 の左の No.1.1 から No.4 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 4.3.2.1.5.4.1-1 の右の No.5.1 から No.5.3 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 4.3.2.1.5.4.1-2 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 4.3.2.1.5.4.1-2 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 (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)。

図 4.3.2.1.5.4.1-2 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 (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)。

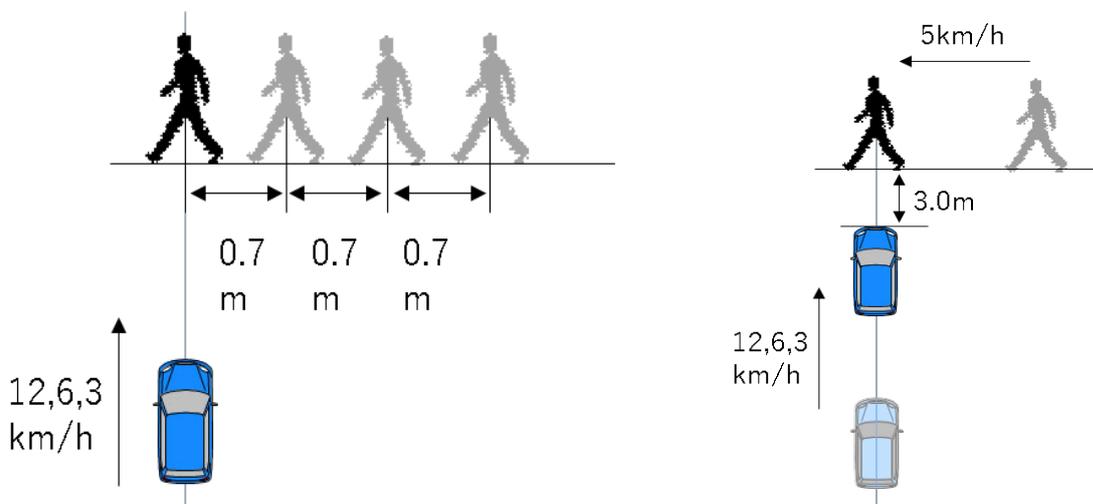


図 4.3.2.1.5.4.1-1 静止物標に対する試験環境 (左) と移動物標に対する試験環境 (右)

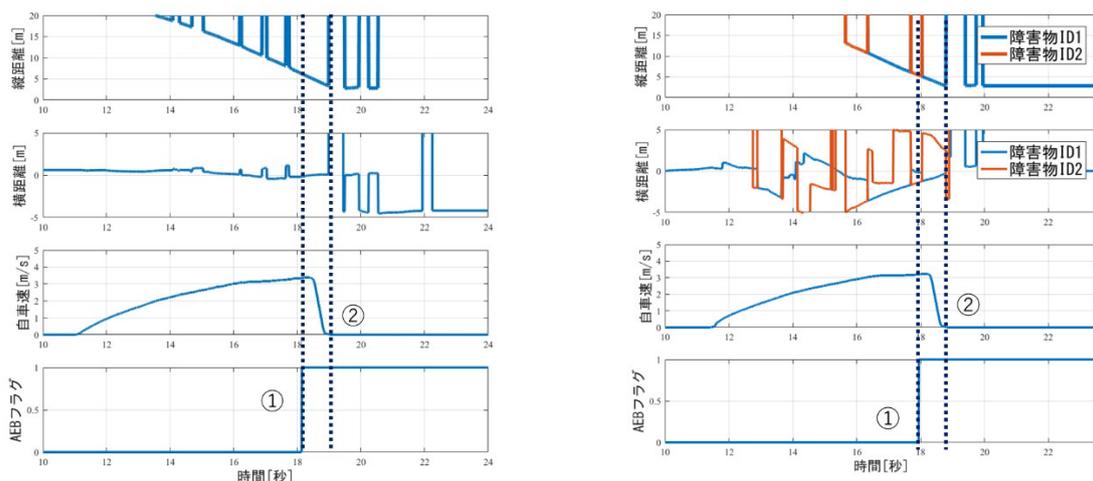


図 4.3.2.1.5.4.1-2 静止物標に対する試験結果 (左) と移動物標に対する試験結果 (右)

2022 年度の前方監視カメラ有り環境における試験結果については、JARI 試験項目 (図 4.3.2.8-2 JARI 試験項目一覧 参照) の No. 8~10, 12~18, 20 を参照。

4.3.2.1.5.4.2 ソナーAEB 単体検証

表 4.3.2.1.5.4.2-1 に、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。

表 4.3.2.1.5.4.2-1 ソナーAEB 単体検証結果

No	試験シナリオ	試験結果
1	電磁誘導線中央から 1.4m 離れた場所に直立したダミー人形を設置	すり抜け：可 ソナーセンサが障害物を検知出来なかったため、すり抜け可能
2.1	直立したダミー人形を電磁誘導線中央に設置 ※自車速：12 km/h	衝突回避：不可 減速動作：無 ソナーセンサが障害物を検知出来ず。
2.2	直立したダミー人形を電磁誘導線中央に設置 ※自車速：3 km/h	衝突回避：可 停車距離 ^{*1} ：0.5m
2.3	直立したダミー人形を電磁誘導線中央に設置 ※自車速：5 km/h、6 km/h	衝突回避：不可 減速動作：有 ソナーセンサが障害物を検知可能。ソナーAEB フラグ成立後に、減速動作が開始したが、自車速が 0 km/h に落ちる前に障害物に接触（衝突）した。
3.1	電磁誘導線上中央にダミー人形を設置 ※自車速：12 km/h ※設置パターン：仰向け ※方向：進行方向	衝突回避：不可 減速動作：無 ソナーセンサが障害物を検知出来ず。
3.2	電磁誘導線上中央にダミー人形を設置 ※自車速：3 km/h ※設置パターン：仰向け ※方向：進行方向	衝突回避：可 停車距離 ^{*1} ：0.8 m ただし、ダミー人形の設置位置によってはソナーセンサが検知出来ないこと有。
3.3	電磁誘導線上にダミー人形を設置 ※自車速：12 km/h ※設置パターン：仰向け ※方向：進行方向に対して 90 度回転	衝突回避：不可 減速動作：無 ソナーセンサが障害物を検知出来ず。
3.4	電磁誘導線上にダミー人形を設置 ※自車速：9 km/h 以下 ※設置パターン：仰向け ※方向：進行方向に対して 90 度回転	衝突回避：可 停車距離 ^{*3} ：0.5 m
3.5	電磁誘導線中央に障害物を設置 ※自車速：5 km/h ※材質：段ボール ※大きさ：20 cm×31.5 cm×27 cm(高さ：27 cm)	衝突回避：可 停車距離 ^{*1} ：0.6 m
3.6	電磁誘導線中央に障害物を設置 ※自車速：6 km/h ※材質：段ボール ※大きさ：20 cm×31.5 cm×27 cm(高さ：27 cm)	衝突回避：不可 減速動作：無 ソナーセンサが障害物を検知出来ず。
3.7	電磁誘導線中央に障害物を設置 ※自車速：9 km/h ※材質：段ボール	衝突回避：可 停車距離 ^{*1} ：0.6 m

	※大きさ：40 cm×30 cm×45 cm (高さ：45 cm)	
3.8	電磁誘導線中央に障害物を設置 ※自車速：10 km/h ※材質：段ボール ※大きさ：40 cm×30 cm×45 cm (高さ：45 cm)	衝突回避：不可 減速動作：無 ソナーセンサが障害物を検知出来ず。

※1 自動ブレーキ作動による自車停車後の車両と障害物の距離を指す。この距離は、実測値ではなく、ソナーセンサの測距値である。

図 4.3.2.1.5.4.2-1 (左)に、表 4.3.2.1.5.4.2-1 No.3.7 の試験環境を、図 4.3.2.1.5.4.2-1 (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 秒で完全に停車し、この時のソナーセンサの測距値が 0.6 m であった (③)。

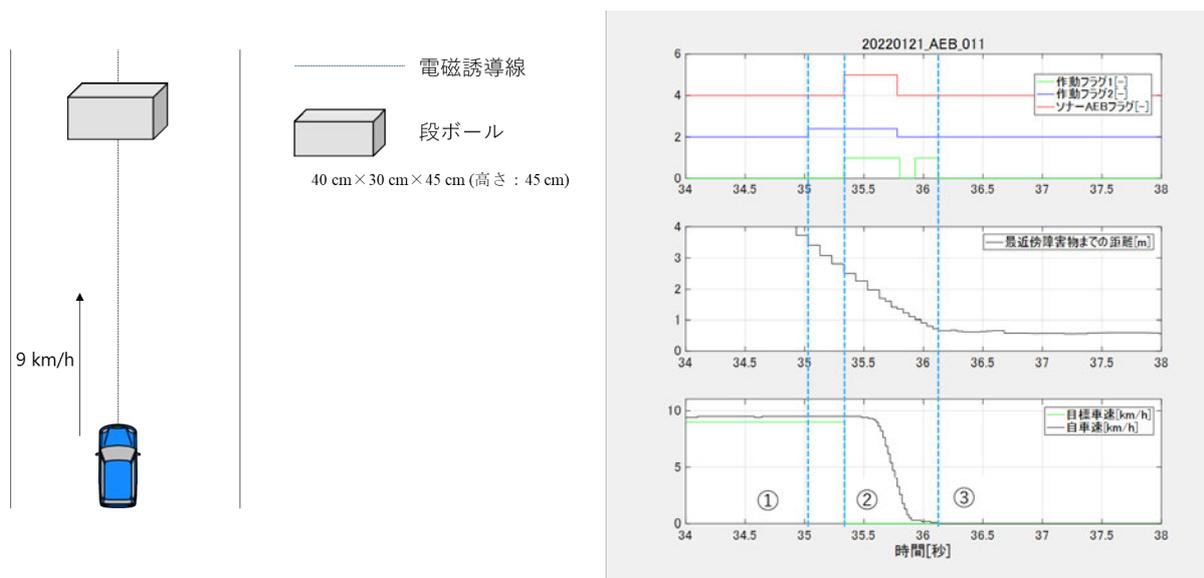


図 4.3.2.1.5.4.2-1 (左)表 4.3.2.1.5.4.2-1 No.3.7 の試験環境、(右)試験結果

表 4.3.2.1.5.4.2-1 より、ソナーセンサは、自車速が低い場合、例えば 6 km/h 以下、かつ、障害物の検出面が広い障害物に対して検知しやすい。一方で、障害物の検出面が小さい、例えば、仰向けのダミー人形（設置方向：進行方向）の場合、自車速が 3 km/h でもソナーセンサが検知出来なかった。

超音波の性質上、障害物の材質で反射率と透過率が異なる。材質が鉄やコンクリートであれば反射率が高いが、紙や布の反射率は、鉄やコンクリートに比べて下がる。よって、衣服を着ている歩行者や小動物は、縁石や鉄柵等比べて検知しにくくなる。

4.3.2.1.5.4.3 フュージョン AEB・ソナーAEB 結合検証

表 4.3.2.1.5.4.3-1 に、フュージョン AEB・ソナーAEB 結合検証試験結果を示す。(前方監視カメラ無し)

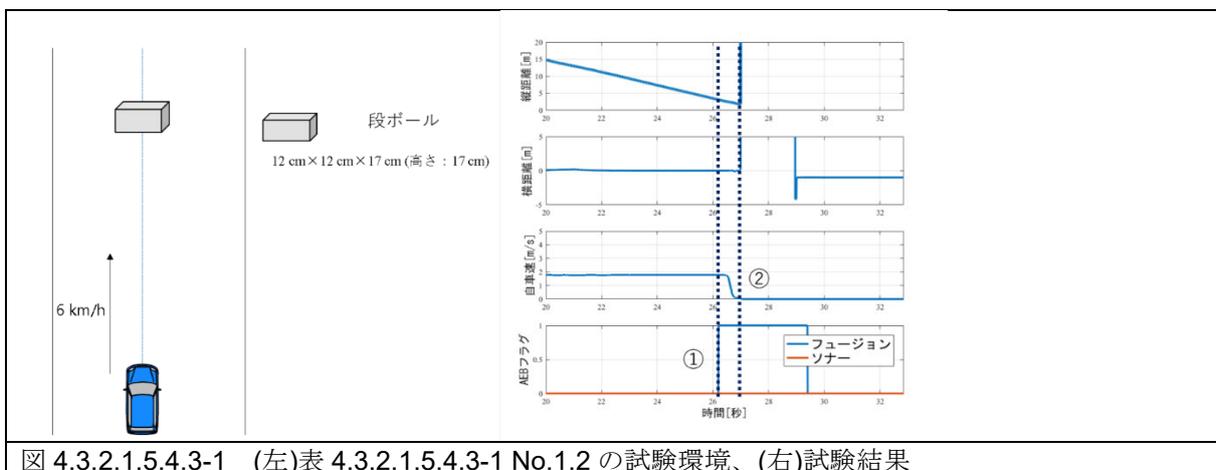
表 4.3.2.1.5.4.3-1 フュージョン AEB・ソナーAEB 結合検証結果

No	試験シナリオ	試験結果
1.1	電磁誘導線中央に横臥状態のダミー人形を設置 ※自車速：12 km/h ※設置パターン：仰向け	衝突回避：可 停車距離※1：2.5 m フュージョン AEB により停止
1.2	電磁誘導線中央に障害物を設置 ※自車速：6 km/h ※材質：段ボール ※大きさ：12 cm×12 cm×17 cm(高さ：17 cm)	衝突回避：可 停車距離※1：2.0 m フュージョン AEB により停止
2	電磁誘導線中央から 1.9m 離れた場所に障害物を設置 ※自車速：6 km/h ※材質：段ボール ※大きさ：40 cm×30 cm×90 cm (高さ：90 cm)	すり抜け：可

※1 自動ブレーキ作動による自車停車後の車両と障害物の実測距離を指す。

図 4.3.2.1.5.4.3-1 (左)に、表 4.3.2.1.5.4.3-1 No.1.2 の試験環境を、図 4.3.2.1.5.4.3-1 (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)。

フュージョン AEB とソナーAEB の両方を搭載した結合検証においては、センサフュージョン部にて物標を検知できていた。ソナーAEB よりもフュージョン AEB の方が長い TTC 閾値により判定しているため、表 4.3.2.1.5.4.3-1 の No.1.1、No1.2 の試験においてはフュージョン AEB が先に作動することにより、衝突回避する形となった。



2022 年度の前方監視カメラ有り環境における試験結果については、JARI 試験項目 (図 4.3.2.8-2 JARI 試験項目一覧 参照) の No. 8~10, 12~18, 20 を参照。

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

4.3.2.1.6.1 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) RFID によるエリア判定で限定エリアを走行中に、車速の上限を下げて走行する。

4.3.2.1.6.2 AD-ECU 目標車速指示値決定方法

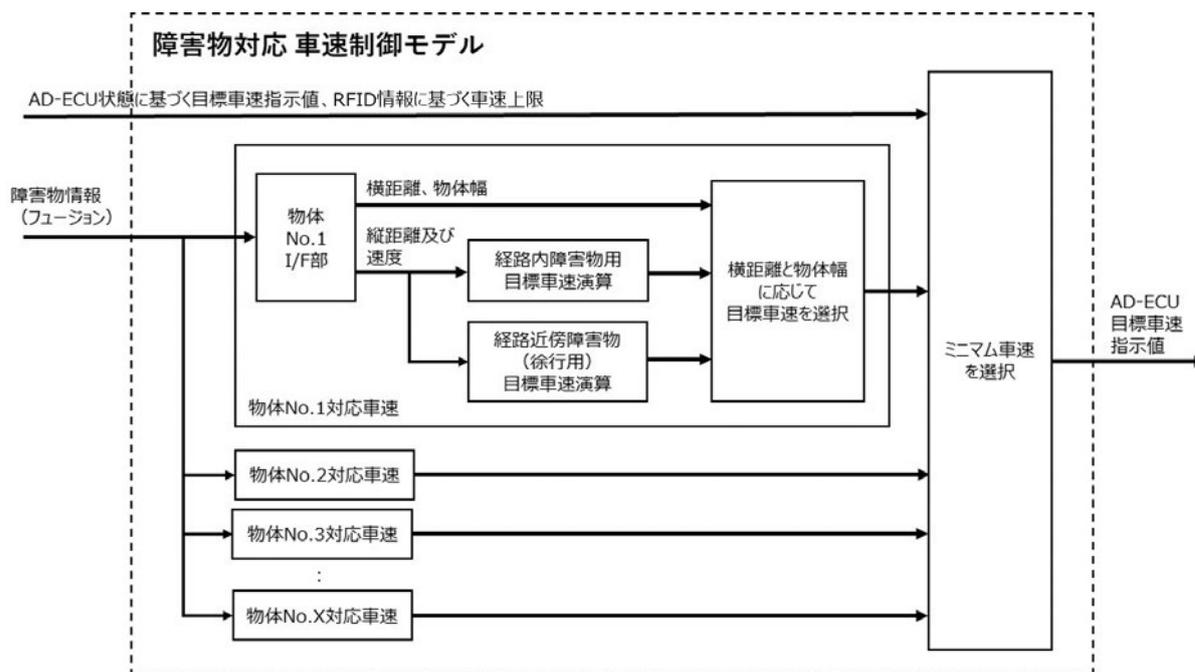
以下の (1) ~ (4) の順で決定する

- (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) 表 4.3.2.1.6.2-1 のように AD-ECU 状態に基づいて、AD-ECU 状態に基づく目標車速指示値を決定する。

表 4.3.2.1.6.2-1 AD-ECU 状態に基づく目標車速指示値

AD-ECU 状態 no.	AD-ECU 状態名	AD-ECU 状態に基づく 目標車速指示値
1	初期	0km/h
10	待機	
40	手動走行	
21	誘導走行待機中	
22	誘導走行中	
23	障害物 追従走行中	管制 (CCU) からの 目標車速指示値 (0~12km/h に制限済み)
24	障害物追従一時停車中	
30	遠隔走行	
51	遠隔操縦 非常停止	0km/h
52	車両異常停止	
53	管制による緊急停止	
54	障害物による走行不能	
55	オーバーライドによる 緊急停止	
56	交通ルールによる運行制約	
57	気象センサによる緊急停止	
58	センサ異常・性能限界による 緊急停止	
59	インフラ/通信異常による 緊急停止	
60	障害物法外による走行不能	
61	管制による停止	

- (3) 図 4.3.2.1.6.2-1 のように、AD-ECU 状態に基づく目標車速指示値と、障害物情報に基づく目標車速より、誘導走行モードでの AD-ECU 目標車速指示値を決定する。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、目標車速を決定する。縦距離が小さくなるに従って、目標車速が小さくなるように設定するが、経路内の障害物には、停止に至るまでの車速を設定し、経路近傍の障害物には、停止する必要がないため、徐行で通過するための下限車速を設定する。最後に、AD-ECU 状態に基づく目標車速と、それぞれの障害物に対応する目標車速のうち、最も小さい値を最終的な AD-ECU 目標車速として選択する。なお、AD-ECU 目標車速が 2.5km/h 以下の場合には目標車速 0km/h として出力する。



- (4) 走行ルートのうち、認知精度を高めるために一部車速を下げて走行する範囲を「限定エリア」として設定する。RFID による走行中エリア判定において限定エリア、停留所、待避所のいずれかを走行中であると判定されたとき、AD-ECU 目標車速指示値を 0~6km/h に制限する。これと前項(3)で AD-ECU 目標車速として選択された車速から最終的な AD-ECU 目標車速指示値として出力する。

4.3.2.1.6.3 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、データの一部を図 4.3.2.1.6.3-1~2 に示す。図 4.3.2.1.6.3-1 は、4.3.2.1.6.1 (1) の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、14.8[s]頃には障害物までの距離が 15 [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。また、AD-ECU 状態も 22→23→24 の順番に遷移している。

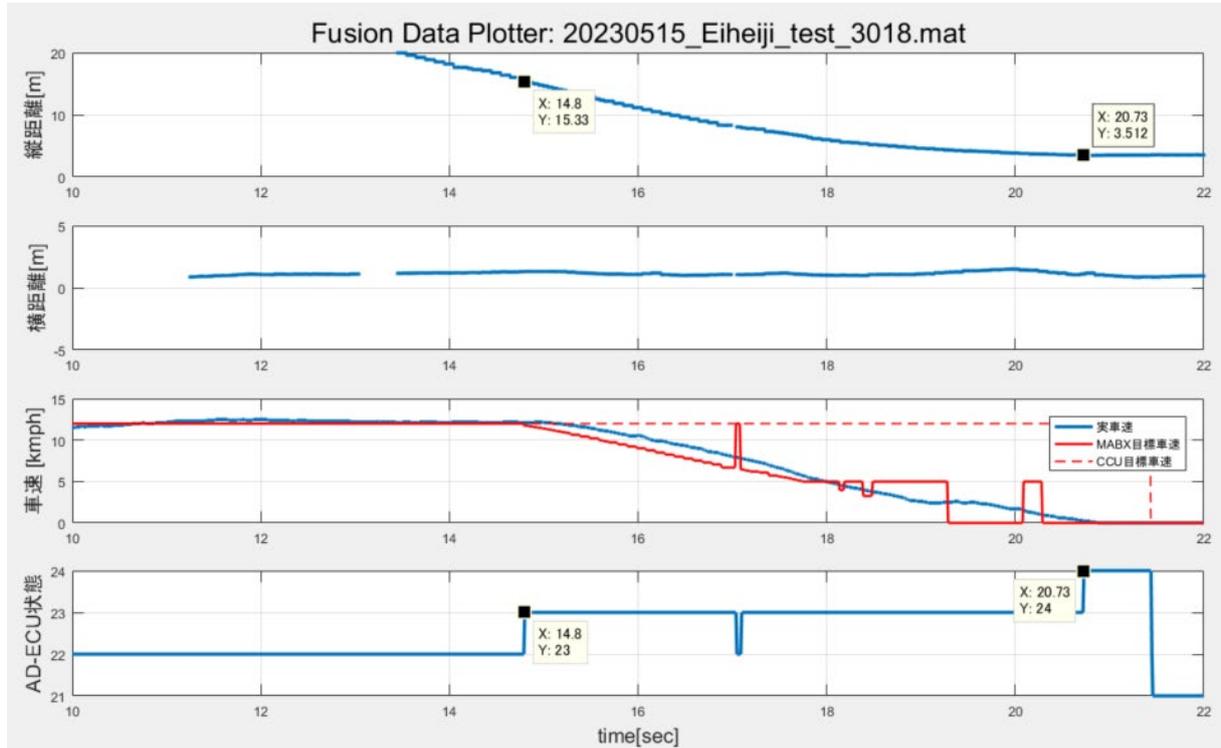


図 4.3.2.1.6.3-1 試験結果 (1) 走行経路内の静止障害物に対して停止

図 4.3.2.1.6.3-2 は、4.3.2.1.6.1 (2) の走行経路右の障害物に対してすり抜け走行する試験結果を示している。19.5 [s] 頃から 24.6 [s] 頃までの間、障害物に接近したためにカート VCU への指示车速が変化して、横距離が-2.0[m]付近、つまり自車中心から右側に 2.0[m]であることから、すり抜けるために指示车速がおよそ一定に保たれていることが分かる。その後 24.59[s]に、検知範囲外になるとともに障害物横を通過してカートも再加速していることがわかる。その後、試験終了のため车速指示を 0 にしたことで停止した。AD-ECU 状態も 22→23→22→21 の順番に遷移している。

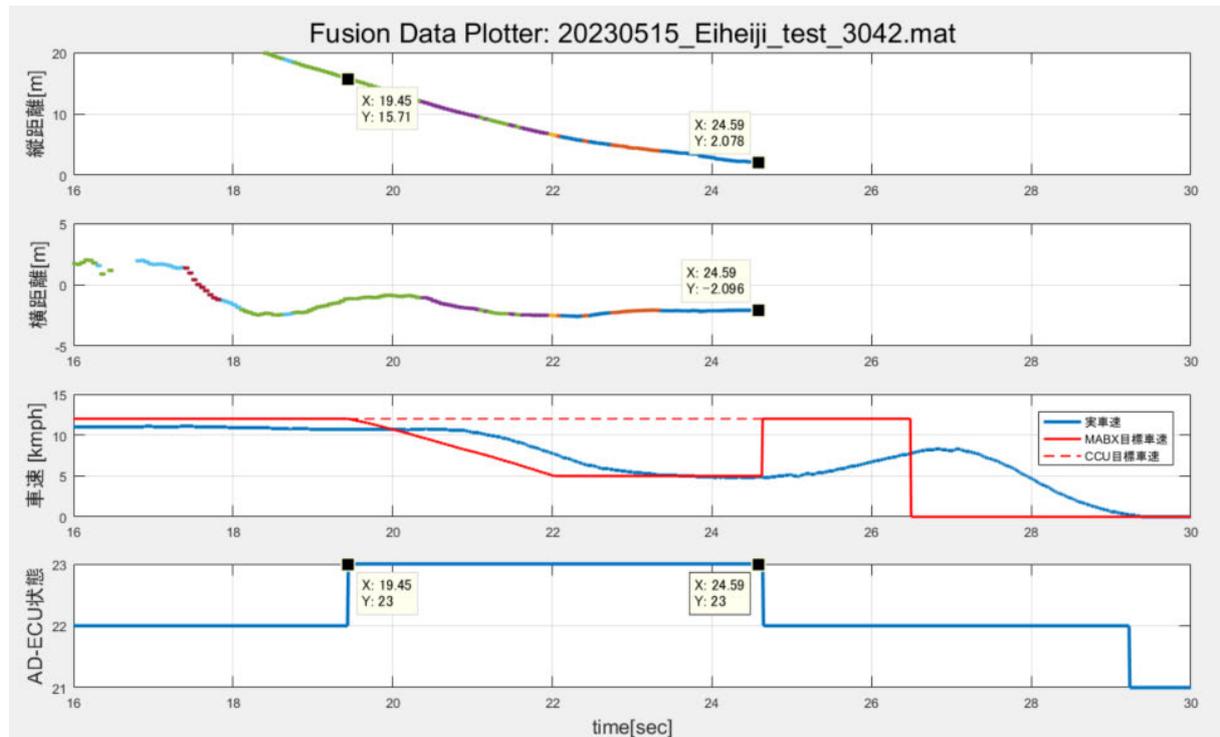


図 4.3.2.1.6.3-2 試験結果 (2) 走行経路横の静止障害物に対してすり抜け

4.3.2.1.7 自動運転制御システム（走行モード決定部）

4.3.2.1.7.1 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。

4.3.2.1.7.1 走行モード決定方法

表 4.3.2.1.7.1-1 のように AD-ECU 状態に基づいて、走行モードを決定する。なお VCU の走行モードが、誘導モードと外部コントローラ制御モード以外の場合、VCU がブレーキ要求を受け付けられない制約がある。そのため、AD-ECU 状態が 51 から 61 の場合、遷移前の走行モードを維持することで VCU に対するブレーキ要求を実現している（表 4.3.2.1.7.1-1 ※部）。

表 4.3.2.1.7.1-1 走行モードの決定方法

AD-ECU 状態 no.	AD-ECU 状態名	走行モード
1	初期	初期モード (0)
10	待機	
40	手動走行	手動モード (3)
21	誘導走行待機中	誘導モード (1)
22	誘導走行中	
23	障害物追従走行中	
24	障害物追従一時停車中	
30	遠隔走行	外部コントローラ 制御モード (8)
51	遠隔操縦 非常停止	※各状態への遷移前の 走行モードを維持
52	車両異常停止	
53	管制による緊急停止	
54	障害物による 走行不能	
55	オーバーライドによる 緊急停止	
56	交通ルールによる運行制約	
57	気象センサによる緊急停止	
58	センサ異常・性能限界による 緊急停止	
59	インフラ/通信異常による 緊急停止	
60	障害物法外による走行不能	
61	管制による停止	

4.3.2.1.8 自動運転制御システム（ブレーキ指示決定部）

4.3.2.1.8.1 目的

カート VCU へのブレーキ指示値を決定する。ブレーキ指示は（１）～（２）の結果から決定する。

- （１） AD-ECU 状態、RFID 情報に基づいてブレーキ指示値を決定する。
- （２） 目標車速指示値に基づいてブレーキ指示を決定する。

4.3.2.1.8.2 決定方法

以下の（１）～（２）の結果から、より大きいブレーキ指示値を示しているものを選択する。

（１） 表 4.3.2.1.8.2-1 のように AD-ECU 状態に基づいて、ブレーキ指示を決定する。
ただし、AD-ECU 状態が no.54 の場合、RFID 情報から停留所、待避所、限定エリアを走行中であった場合は、緊急停止（３）ではなく準緊急停止（２）の指示を出力する。

表 4.3.2.1.8.2-1 ブレーキ要求の決定方法

AD-ECU 状態 no.	AD-ECU 状態名	ブレーキ指示
1	初期	指示なし (0)
10	待機	
40	手動走行	
21	誘導走行待機中	
22	誘導走行中	
23	障害物追従走行中	
24	障害物追従一時停車中	
30	遠隔走行	
51	遠隔操縦 非常停止	
52	車両異常停止	準緊急停止 (2)
53	管制による緊急停止	管制 (CCU) から のブレーキ指示値
54	障害物による走行不能	緊急停止 (3) ※限定エリア、停留所、待避所 走行中の場合は、 準緊急停止 (2)
55	オーバーライドによる 緊急停止	準緊急停止 (2)
56	交通ルールによる運行制約	円滑停止 (1)
57	気象センサによる緊急停止	円滑停止 (1)
58	センサ異常・性能限界による 緊急停止	円滑停止 (1)
59	インフラ/通信異常による 緊急停止	円滑停止 (1)
60	障害物法外による走行不能	円滑停止 (1)
61	管制による停止	管制 (CCU) から のブレーキ指示値

（２） 4.3.2.1.6 で出力した目標車速指示値が 0km/h 以下の場合、坂道等での惰性走行を防ぐため円滑停止（１）を出力する。

4.3.2.1.9 自動運転制御システム（走行指示決定部）

4.3.2.1.9.1 目的

カート VCU への指示（CAN メッセージによる走行指示 1、走行指示 2）の内容を決定する。

4.3.2.1.9.2 決定方法

表 4.3.2.1.9-1 及び表 4.3.2.1.9-2 のように決定する。

表 4.3.2.1.9-1 走行指示 1 の内容

信号	送信内容
モード切替	走行モード決定部の決定値
ドライブシフト指示	AD-ECU 状態が遠隔走行（30）の場合：遠隔操縦システムからの指示値 それ以外の場合：0 に固定
目標車速指示	AD-ECU 状態が遠隔走行（30）の場合：遠隔操縦システムからの指示値 それ以外の場合：AD-ECU 目標車速指示値
目標操舵角指示	AD-ECU 状態が遠隔走行（30）の場合：遠隔操縦システムからの指示値 それ以外の場合：0 に固定
ブレーキ指示	ブレーキ指示決定部の決定値
アライブカウンタ	20msec 毎にカウントアップ（255 で 0 に戻る）

表 4.3.2.1.7-2 走行指示 2 の内容

信号	送信内容
分岐指示	管制（CCU）からの指示値 （CAN メッセージ：運行指示 2 での受信値をそのまま使用）
フラッシュ指示	AD-ECU 状態が遠隔走行（30）の場合：遠隔操縦システムからの指示値 それ以外の場合：管制（CCU）からの指示値
定点キャンセル指示	管制（CCU）からの指示値 （CAN メッセージ：運行指示 2 での受信値をそのまま使用）
減速度外部入力フラグ	AD-ECU 状態が障害物追従走行中（23）あるいは障害物追従一時停車中（24）の場合：1（外部入力） それ以外の場合：0（内部処理）
外部入力減速度	2 m/s ²
Effi-vision 障害物検知機能停止フラグ	1（使用停止）

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。

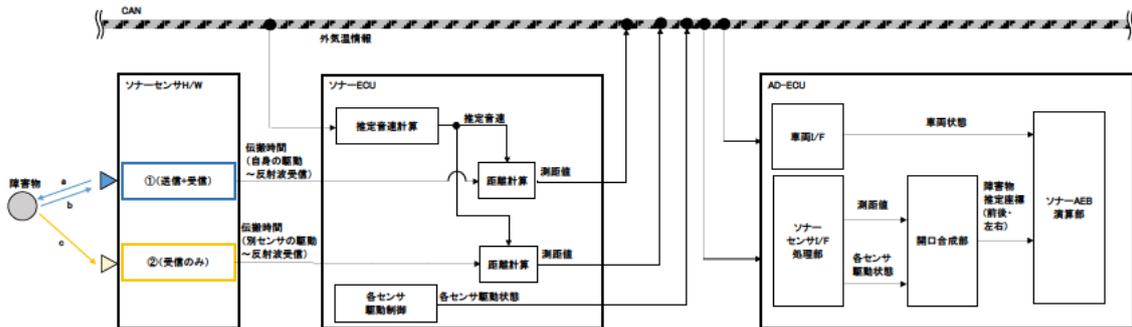


図 ソナーシステム構成図

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。

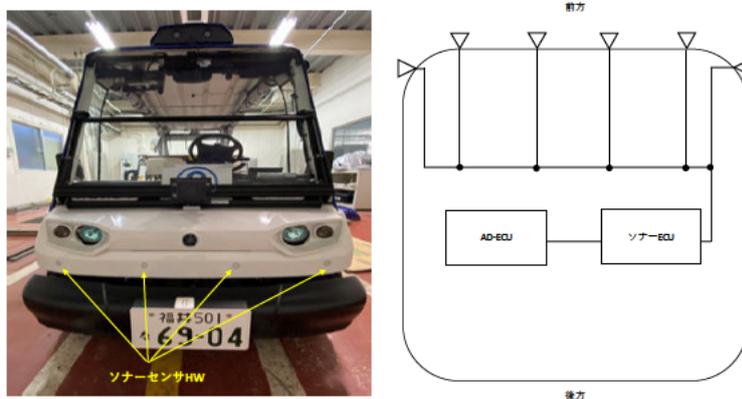


図 左に実証試験車両の写真、右に HW 配線図

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。ソナーセンサの超音波周波数は 58 kHz、最大検知距離が 5.1 m、最小検知距離が 0.26 m、水平方向の視野角が±35 deg、垂直方向の視野角が±18 deg である。

表 ソナーセンサ HW の仕様

項目	仕様
超音波周波数	58 kHz
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）、同じ経路を通過してセンサ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。

なお、図中では単純化のため送信、受信センサ各 1 ずつ記載しているが、受信センサは最大 3 つまで同時に処理される。また送信を行うセンサは、4 つのセンサの組み合わせのうち、一度送信する毎に別センサに変更される。各送信センサを巡回する周期は 50ms。(非公開版のみ記載)

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、ソナーセンサ一時故障フラグ、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	°C
	自車速	km/h
出力	第1波測距値	m
	第2波測距値	m
	第3波測距値	m
	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	-

なお、上記のソナーECU 出力情報に基づき、自動運転制御システムにてフェール判定（異常判定）を行っている。判定される異常はH/W 自体の異常（ソナーセンサ本体の故障や、通信の途絶を意味する）と、ソナーセンサの一時的な異常（本体への異物付着等により、一時的にオブジェクトが検知されない状態を意味する）の2種類である。

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。

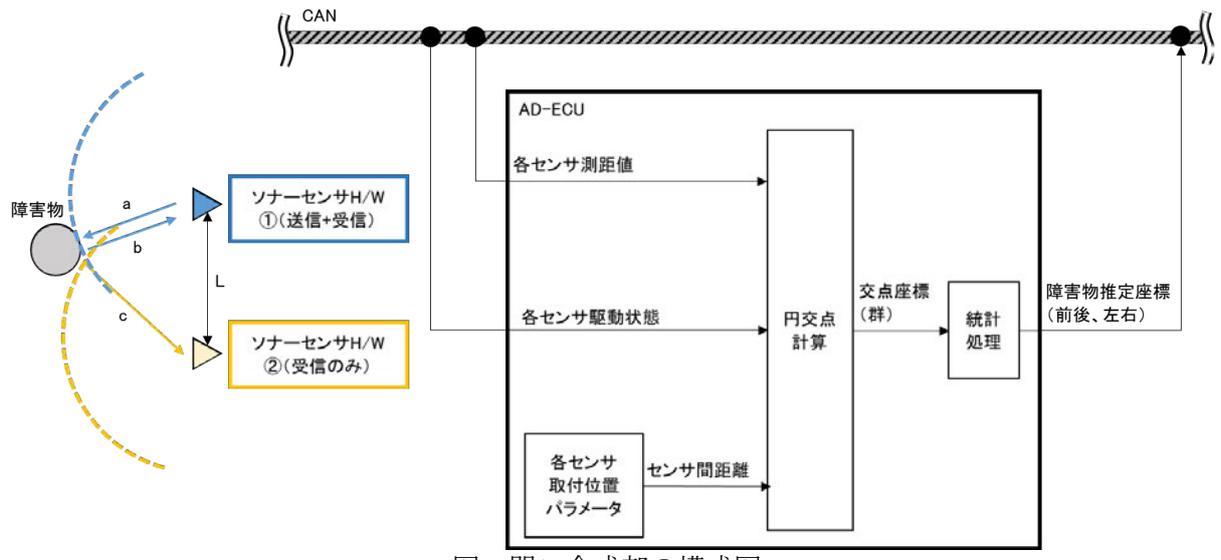


図 開口合成部の構成図

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認識し、認識した障害物までの距離や障害物の種別情報等の障害物検知情報を前述のオブジェクト選択ブロックに出力する。

前方カメラによる検知は、ミリ波レーダと比べて、検知対象物の識別精度や横方向の位置精度が高い特徴がある。

4.3.2.3.2 システム構成

図 4.3.2.3.2-1 に、前方監視カメラシステム構成図を示す。前方監視カメラシステムは、カメラモジュール、カメラ認知処理 H/W で構成している。カメラモジュールは、FLIR 社製の FLIR BFS-U3-32S4-C、カメラ認知処理 H/W は、NVIDIA 社製の Jetson AGX Xavier である。

カメラモジュールは車両前方に取り付けられ、カメラ認知処理 H/W に対して車両前方を撮影して画像を出力する。カメラ認知処理 H/W は、まずカメラモジュールが出力した画像に対して認識処理を行い、画像上の人・車・自転車などの障害物を認識する。そしてその前方カメラ検知情報と、Ethernet 通信から取得したミリ波レーダ検知情報（中間オブジェクト情報）を統合して、障害物情報として Ethernet 通信を介してオブジェクト選択ブロックに出力する。また、カメラ認知処理 H/W は、画像および車両情報に基づき、レンズ遮蔽異常などのフェール情報を自動運転システムに出力する。

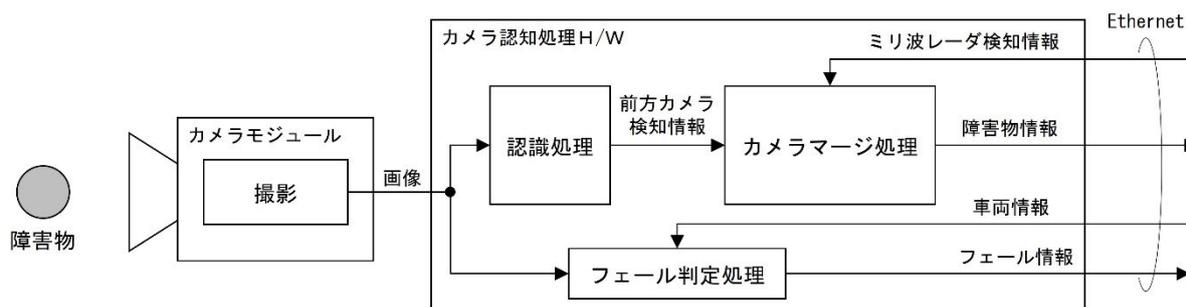


図 4.3.2.3.2-1 前方監視カメラシステム構成図

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 43 x 43 x 87 mm、水平方向の視野角が 53.9deg、垂直方向の視野角が 41.9deg、画像の解像度が 1440*1080pix、動画のフレームレートが 10fps、最大検知距離が 25m、最小検知距離が 3.5m 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 220 x 170 x 105mm、CPU が 8core の Armv8.2 64bit、メインメモリが 32GB、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 を備え、認識処理周期は 100ms である。



図 4.3.2.3.3-1 カメラモジュール外観

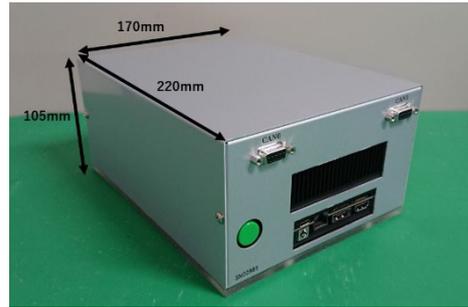


図 4.3.2.3.3-2 カメラ認知処理 H/W 外観

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	43 x 43 x 87 [mm] (レンズ込み)
FoV (Field of View) : 視野角 水平	53.9[deg]
FoV (Field of View) : 視野角 垂直	41.9[deg]
解像度	1440*1080[pix]
フレームレート	10[fps]
最大検知距離	25[m]
最小検知距離	3.5[m]

表 4.3.2.3.3-2 カメラ認知処理 H/W 仕様

項目	仕様
寸法	220 x 170 x 105 [mm]
CPU	8core Armv8.2 64bit
メインメモリ	32[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
認識処理周期	100[ms]

次に図 4.3.2.3.3-3 に実証試験車両の写真を示す。実証試験車両には、カメラモジュールを車両前面のフロントスクリーン中央上部に専用治具を用いて設置しており、地面からカメラモジュールのレンズ中心までの高さは 145cm、左右位置は、実証試験車両のワイパー器具の配置影響により、車両中央から進行方向右側に 20cm オフセットした位置、前後位置は、車両前面から後方に 55cm オフセットした位置である。カメラの設置のピッチ方向の向きは傾けず水平方向に向けている。また、フロントスクリーンへの車内環境の映り込みによるカメラ誤認識を防止するため、カメラモジュールを囲むように映り込み防止ブラケットを取り付けている。



図 4.3.2.3.3-3 実証試験車両のカメラモジュール搭載写真

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、カメラ認識情報とマージするためのミリ波レーダ検知情報として、少なくともミリ波レーダ検知オブジェクトの追跡 ID および縦・横距離を Ethernet 通信 (UDP 通信) 経由で入力する。さらに、自車両の状態を把握するため、少なくとも車速およびヨーレートを Ethernet 通信 (UDP 通信) 経由で入力する。

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、カメラ認識情報とミリ波レーダ検知情報をマージした障害物情報を Ethernet 通信 (UDP 通信) 経由で出力する。障害物情報には、少なくとも障害物の追跡 ID、障害物の縦・横距離、障害物種別情報 (人・車・自転車・種別不明) が含まれる。さらに、レンズ遮蔽異常、カメラモジュール通信途絶異常などのカメラシステムフェール情報を Ethernet 通信 (UDP 通信) 経由で出力する。

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	-
	ミリ波レーダ検知情報	-
	- オブジェクト追跡 ID	-
	- オブジェクト縦・横距離	m
	車両情報	-
	- 車速	m/s
	- ヨーレート	rad/s
出力	障害物情報	-
	- 障害物追跡 ID	-
	- 障害物縦・横距離	m
	- 障害物種別情報	<ul style="list-style-type: none"> ・人 ・車 ・自転車 ・種別不明
	カメラシステムフェール情報	-
	- レンズ遮蔽異常	-
	- カメラモジュール通信途絶異常	-

4.3.2.3.5 認識処理

表 4.3.2.3.5-1 に認識処理における入出力仕様を示す。認識処理は、前方カメラ画像を入力として、ディープニューラルネットワークおよび予め機械学習したパラメータを用いて、画像の中にある特定の物体に対する物体検出を行う。そして、その検出結果を前方カメラ検知情報として出力する。

表 4.3.2.3.5-1 認識処理入出力仕様

入出力	項目	単位
入力	画像	-
出力	前方カメラ検知情報	-
	- バウンディングボックス	pixel
	- 種別	・人 ・車 ・自転車
	- 種別尤度	%

4.3.2.3.5.1 認識性能

永平寺町参ろ一ど南ルートにおける前方カメラ画像（1,898 枚）に映った物体群（計 3,083 オブジェクト）を評価対象としたときの、認識処理の性能評価結果を表 4.3.2.3.5.1-1 に示す。このとき、IoU（Intersection over Union）は 50%以上、種別尤度は 70%以上で正しく認識できているとみなした。なお、表 4.3.2.3.5.1-1 中における Recall および Precision の定義は以下のとおりである。

- Recall：評価対象中の正解物体のうち、正しく認識できた物体の割合
- Precision：認識したすべての物体のうち、正しく認識できた物体の割合

表 4.3.2.3.5.1-1 における性能をもって、フュージョン AEB 単体検証試験および現地実証試験にて期待通り認識することを確認した。

表 4.3.2.3.5.1-1 認識処理の評価結果

評価指標	評価結果
Recall	87.2[%]
Precision	93.1[%]

4.3.2.3.5.2 機械学習データ

機械学習に用いた学習データ（画像と正解情報の組）の内訳と枚数は以下のとおりである。また、図 4.3.2.3.5.2-1 から図 4.3.2.3.5.2-7 に、永平寺町参ろ一どにおける学習データ画像の例を示す。

- 試験場で模擬した一般環境における学習データ：52,468 組
- 永平寺町参ろ一どにおける学習データ：9,626 組



図 4.3.2.3.5.2-1 参ろーどにおける学習データ例（人物・晴れ環境）



図 4. 3. 2. 3. 5. 2-2 参ろーどにおける学習データ例（自転車・晴れ環境）



図 4. 3. 2. 3. 5. 2-3 参ろ一どにおける学習データ例 (車・晴れ環境)



図 4.3.2.3.5.2-4 参ろードにおける学習データ例（人物・雨環境）



図 4.3.2.3.5.2-5 参ろーどにおける学習データ例（ワイパー動作あり）



図 4.3.2.3.5.2-6 参ろードにおける学習データ例（背景・晴れ環境）



図 4.3.2.3.5.2-7 参ろードにおける学習データ例（背景・雨環境）

4.3.2.3.5.3 認識結果例

図 4.3.2.3.5.3-1 にテストコースでの歩行者(経路上、横断)と参ろ一ど南ルート現地での歩行者(すり抜け)の認識結果の一例を示す。認識結果として、バウンディングボックスの矩形および物体種別 (バウンディングボックスの左下に「PS」(歩行者)表示) が示されている。

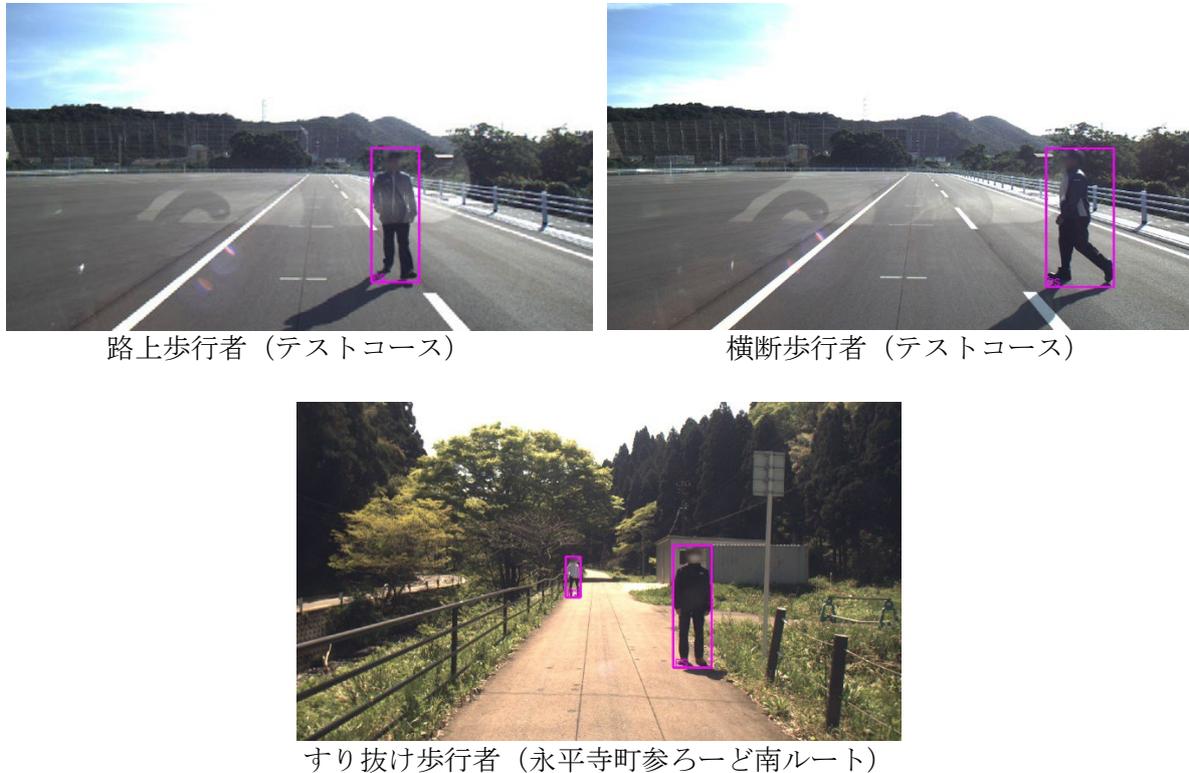


図 4.3.2.3.5.3-1 認識結果例

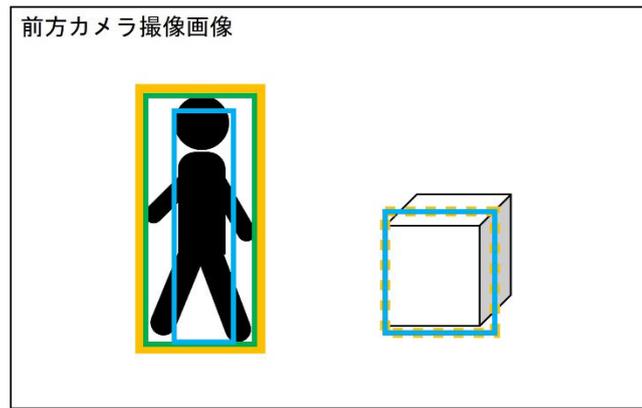
4.3.2.3.6 カメラマージ処理

表 4.3.2.3.6-1 に、カメラマージ処理における入出力仕様を示す。カメラマージ処理は、前方カメラ検知情報およびミリ波レーダ検知情報を統合して、障害物情報として出力する。

表 4.3.2.3.6-1 カメラマージ処理入出力仕様

入出力	項目	単位
入力	前方カメラ検知情報	-
	ミリ波レーダ検知情報	-
出力	障害物情報	-

図 4.3.2.3.6-1 にカメラマージ処理のイメージ図を示す。前述の前方カメラの認識処理では特定の物体に対してのみ検出が可能のため、前方カメラ検知情報にすべての障害物が含まれているわけではない。従って、図 4.3.2.3.6-1 に示すように、前方カメラおよびミリ波レーダの双方で検知できた物体についてはそれらの検知情報を融合して障害物情報として出力し、そうでない物体については検知情報が融合されなかった障害物として障害物情報を出力する。



- : 前方カメラ検知枠 □ : ミリ波レーダ検知枠
- : 融合された障害物枠 □ : 融合されなかった障害物枠

図 4.3.2.3.6-1 カメラマージ処理イメージ図

図 4.3.2.3.6-2 にカメラマージ処理のフローチャートを示す。以降、フローチャート内の各処理について説明する。

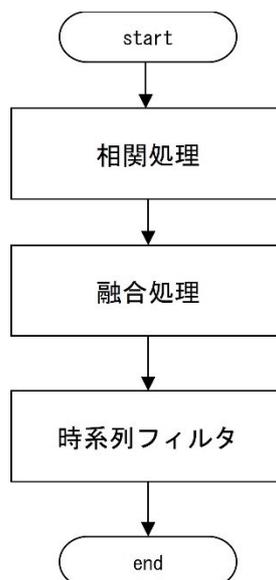


図 4.3.2.3.6-2 カメラマージ処理フローチャート

4.3.2.3.6.1 相関処理

相関処理では、前方カメラ検知物体とミリ波レーダ検知物体の相関をとり、同一の物体を指すと判断されればそれらの対応付けを行う。

両者の相関は、以下3つの指標を総合して判断する。

- 画像上に投影したときの両者のバウンディングボックスの重なり
- 両者の測距値の差異
- 両者の形状（縦横比）の差異

4.3.2.3.6.2 融合処理

融合処理では、相関処理で対応付けられた前方カメラ検知物体とミリ波レーダ検知物体の情報を融合させ、ひとつの障害物情報として出力する。

なお、相関処理で対応付けられなかった物体に関しては情報の融合は行われず、融合されなかった障害物情報として出力される。特に、融合されなかったミリ波レーダ検知障害物の種別は種別不明として出力される。

4.3.2.3.6.3 時系列フィルタ

時系列的な障害物情報から、誤検知を除去、あるいは未検知を予測推定にて補間する。また、前方カメラ検知物体と融合されなかったミリ波レーダ検知障害物に対して、種別情報を以前のフレームの情報から補間して付与することもある。

4.3.2.3.7 フェール判定処理

フェール判定処理では、前方カメラの撮像画像と車両情報に基づき、以下のフェール情報を出力する。

- レンズ遮蔽異常
車両走行中に、前方カメラレンズあるいはフロントスクリーンが遮蔽物で覆われるなどして正常な認識処理が困難であると判断されたとき、レンズ遮蔽異常としてフェール信号を出力する
- カメラモジュール通信途絶異常
カメラモジュールとの通信途絶を検出したとき、カメラモジュール通信途絶異常としてフェール信号を出力する
- 前方監視カメラシステム自体の異常（電源喪失、ハードウェア故障など）
自動運転制御システムにて、通信途絶を検知して異常判定を行う

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	76 - 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)

次に図 4.3.2.4.2-2 に実証試験車両の写真を示す。実証試験車両には、1 個のミリ波レーダを、車両前面のフロントスクリーン下の外装パネル奥に専用治具により、車両左右の中央の位置に搭載している。地面からミリ波レーダ中心までの高さは 48cm である。



図 4.3.2.4.2-2 実証試験車両のミリ波レーダ搭載写真

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（例：1 周期に 100 オブジェクトを検知した場合には、ステータス 1 回、一般情報 100 回、品質情報 100 回・拡張情報 100 回の情報がレーダから出力される）。

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	

なお、上記のミリ波レーダ出力情報に基づき、自動運転制御システムにてフェール判定（異常判定）を行っている。判定される異常は H/W 自体の異常（ミリ波レーダ本体の故障や、通信の途絶を意味する）と、ミリ波レーダの一時的な異常（本体への異物付着等により、一時的にオブジェクトが検知されない状態を意味する）の 2 種類である。

4.3.2.4.4 動作確認結果

動作確認結果として、データの一例を図 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。

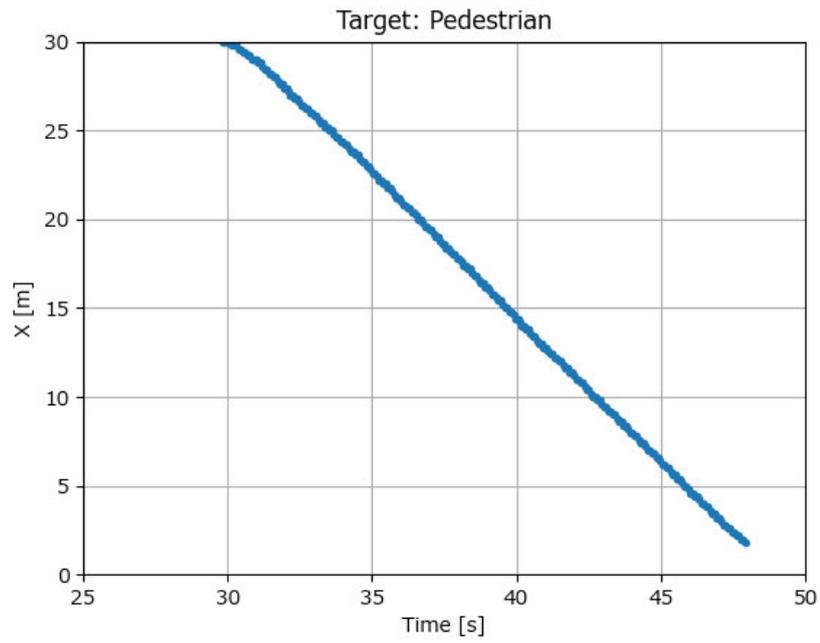


図 4.3.2.4.4-1 レーダ出力結果（検知対象：歩行者）

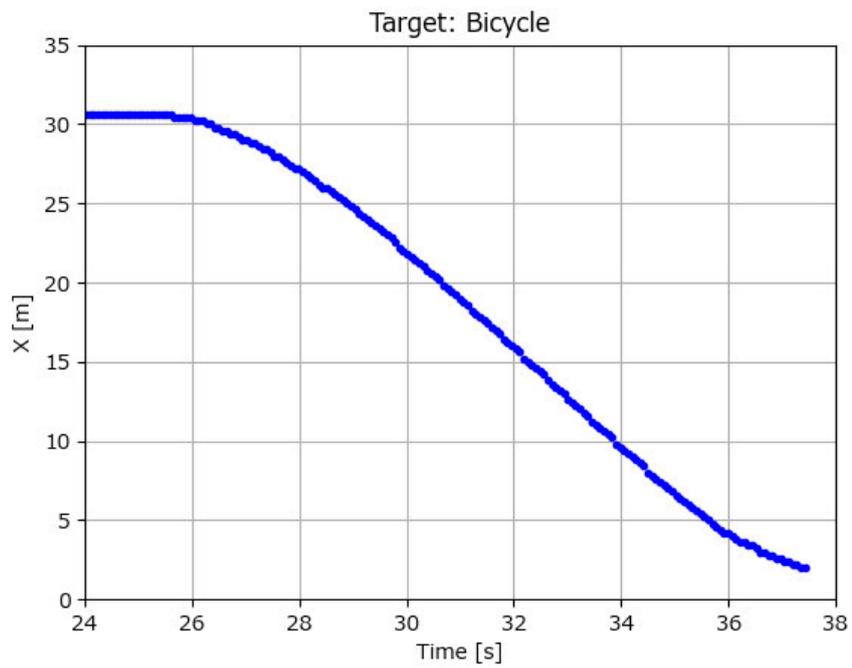


図 4.3.2.4.4-2 レーダ出力結果（検知対象：自転車）

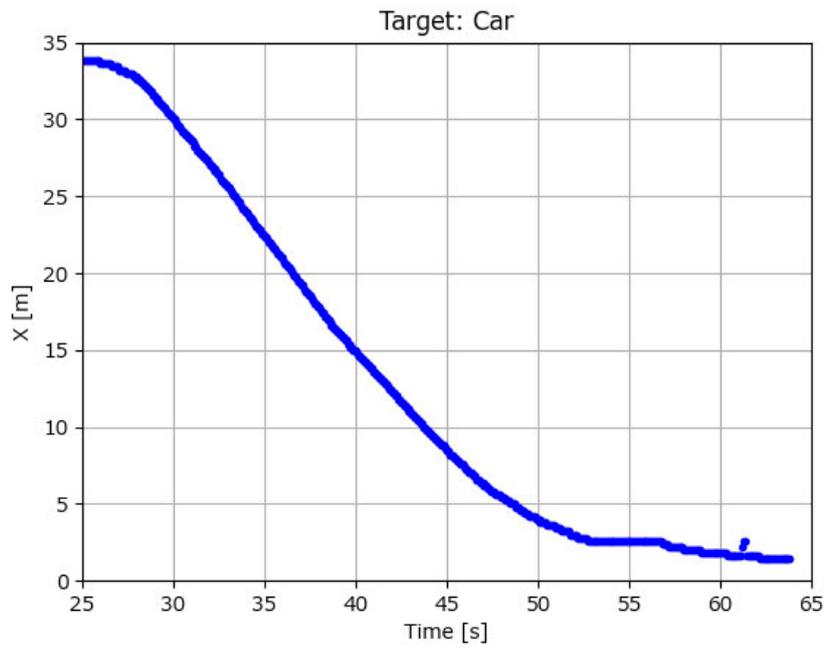


図 4. 3. 2. 4. 4-3 レーダ出力結果 (検知対象：自動車)

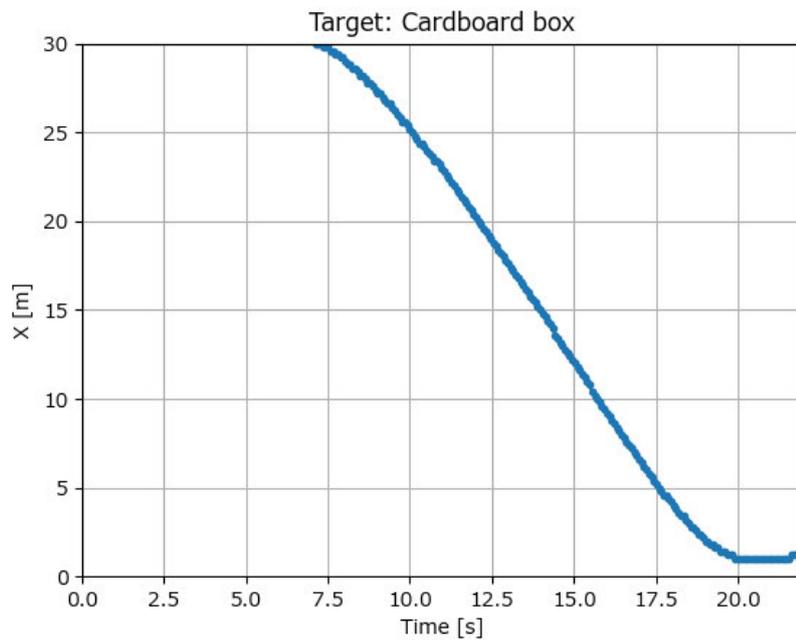


図 4. 3. 2. 4. 4-4 レーダ出力結果 (検知対象：ダンボール)

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。

ここで、同様の実験を真正面以外に対しても実施し、それらの結果をまとめた図を図 4. 3. 2. 4. 4-5 に示す。図において、黄色部分は検知対象物体を検知したエリア、灰色部分は検知できなかったエリアを示している。

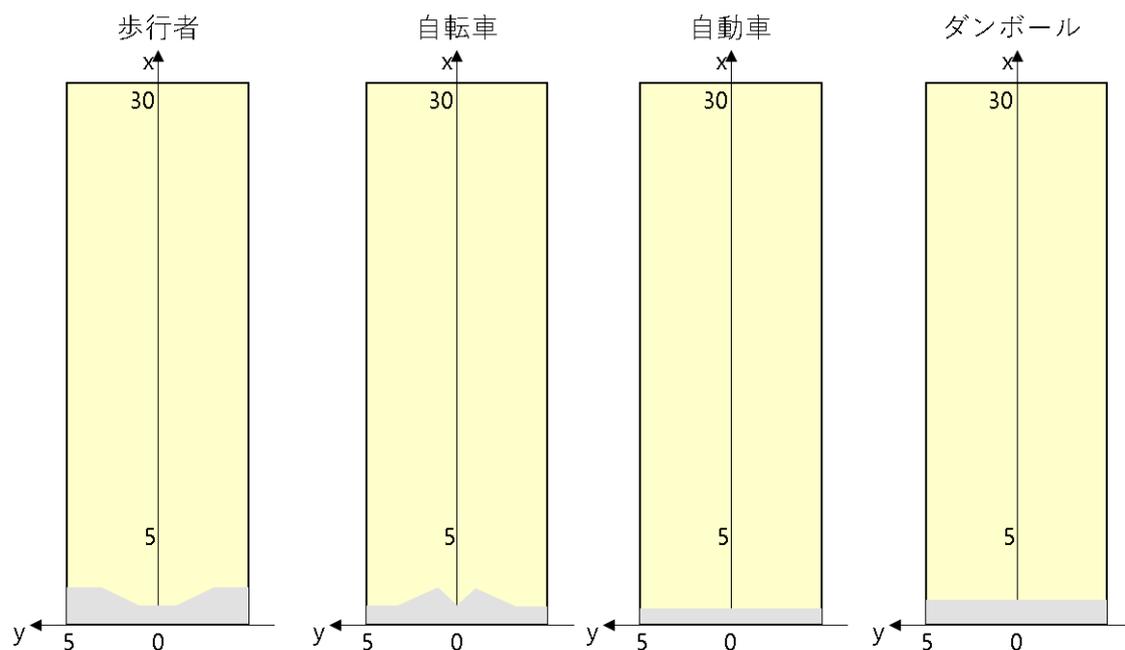


図 4.3.2.4.4-5 レーダ出力結果まとめ

図のように、検知対象物体や横方向位置（y 座標）により最短検知距離は若干変動するものの、いずれの物体でも概ね最小 1~2m から検知可能であることが確認できる。

なお自動車の場合は、真正面を走行した際の $x=$ 約 1~4m において、実際の自動車の位置より奥にゴースト（実際には物体が存在しないにも関わらず、検知オブジェクトが現れる現象）が発生していた。これは、真正面走行時の自動車がレーダにとっては反射率の高い金属壁のように見え、多重反射が発生したことによるものである。

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 (CLAS: Centimeter Level Augmentation Service) を利用するシステムである。CLAS 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 (図 4.3.2.5.2-1)、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。GNSS 受信アンテナは、L1/L2/L5/L6 (1.1GHz～1.7GHz 帯) の周波数帯域の受信に対応しており、カート天井に設置している。GNSS アンテナ設置箇所にはノイズ混入対策としてグラウンドプレーンを設置している。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。

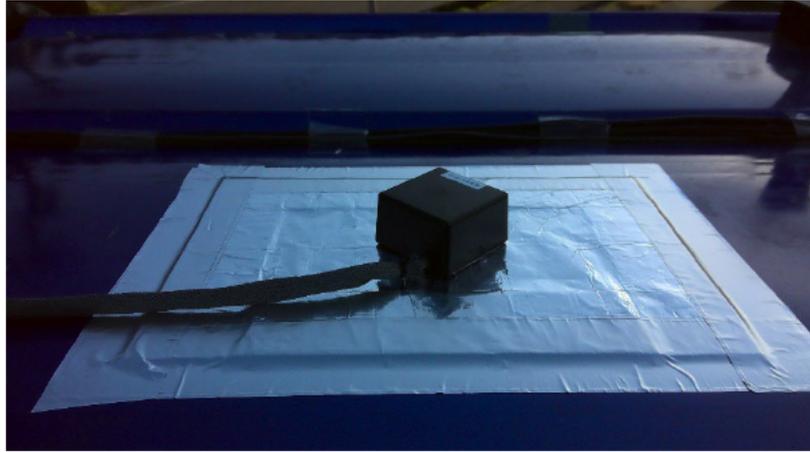


図 4.3.2.5.2-1 GNSS アンテナ

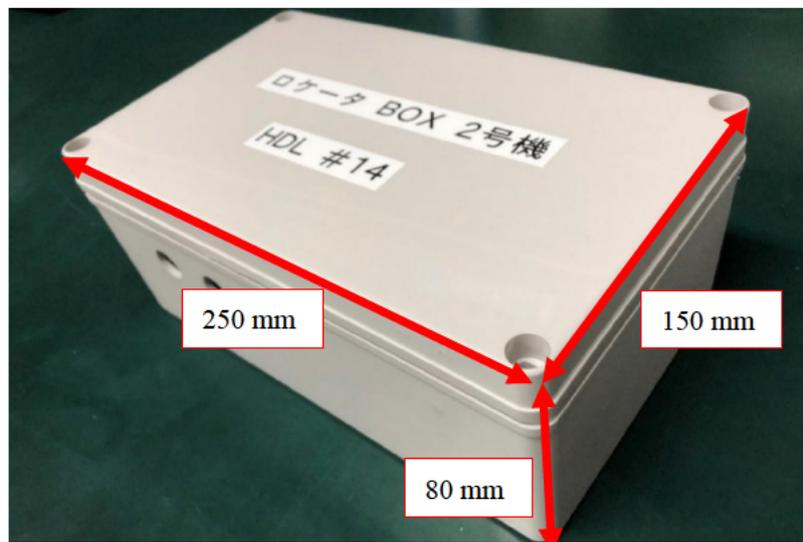


図 4.3.2.5.2-2 高精度ロケータシステム (本体) (防じんのため筐体に封入)

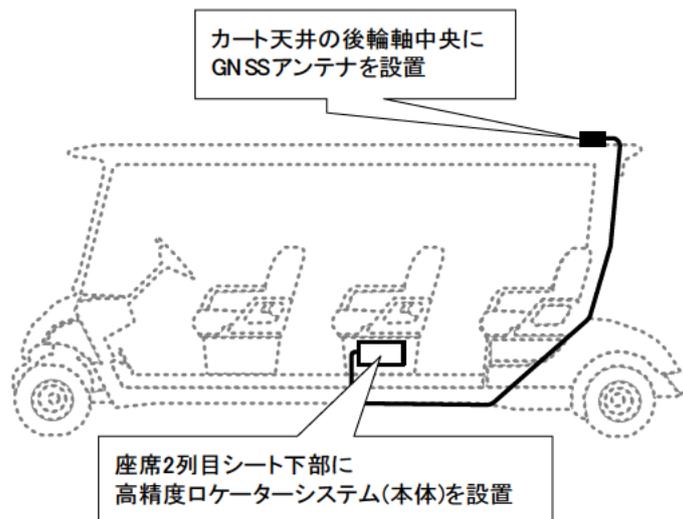


図 4.3.2.5.2-3 高精度ロケータシステム設置図

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。

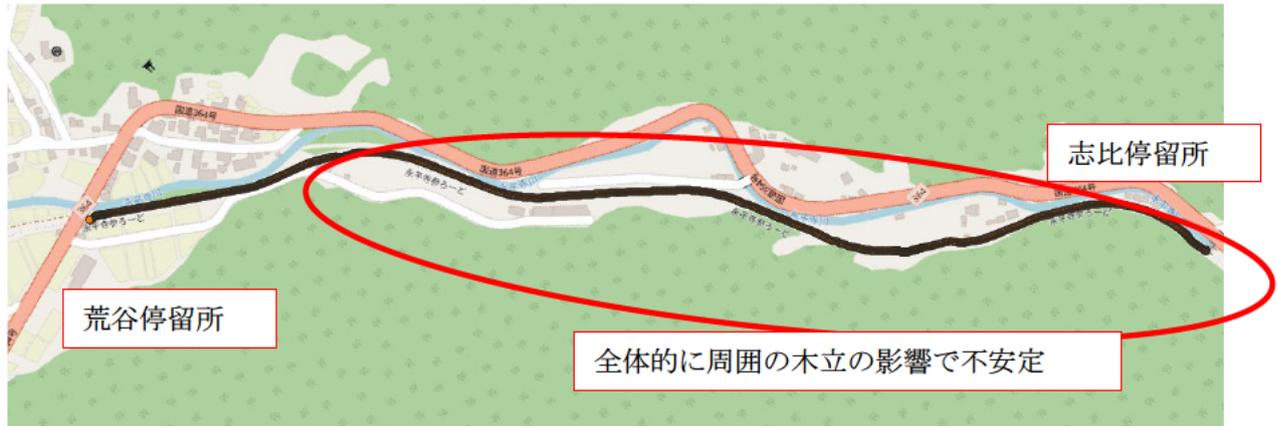


図 4.3.2.5.3-1 南ルート測位結果（全体）

【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測位精度に関して統計を取った結果、グランドプレーンを設置しない場合は精度 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。

グランドプレーンを設置した場合は、精度 25cm 未満を満たす区間が約 62%、精度 25cm～50cm を満たす区間が約 31%、精度 50cm 以上の区間が約 7%という結果が得られ、グランドプレーンの設置による測位精度の向上が確認できた。

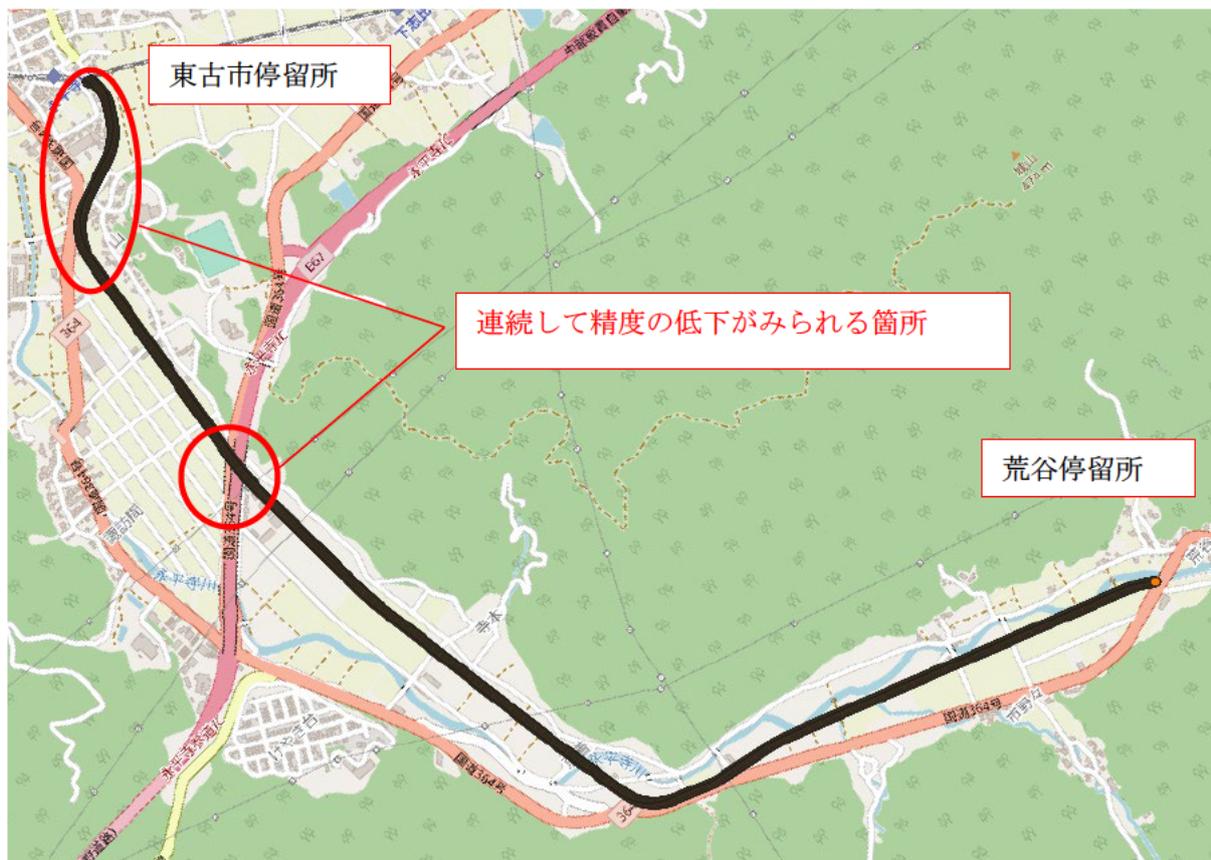


図 4.3.2.5.3-2 北ルート測位結果（全体）

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には、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。

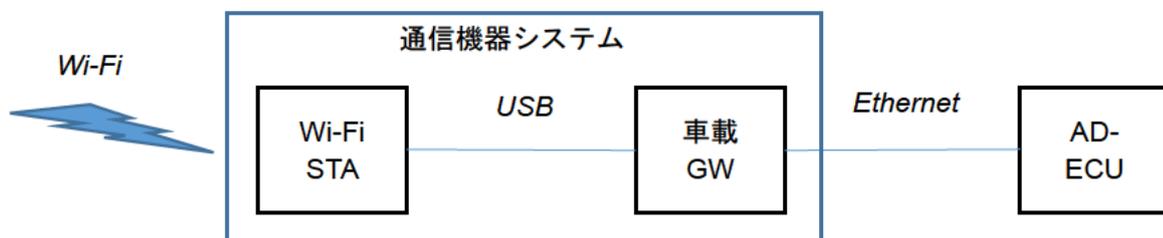


図 4.3.2.6.2-1 通信機器システム構成図



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 通信データ仕様

車載 GW と AD-ECU との通信データ仕様を下記にまとめる。なお、車載 GW と MEC 間の通信データ内容は同データと同様であるため記載を省略する。

表 4.3.2.6.3.2-1 ダイナミックマップデータ (車載 GW→AD-ECU)

offset		size	Type	変数名	説明
0	0x0000	5	uint8[5]	magic_number	マジックナンバー"XAUTO"
5	0x0005	1	-	reserved	(padding)
6	0x0006	2	uint16	msg_type	メッセージ種別、MovableObjects では 2
8	0x0008	4	uint32	frame	ある周期のダイナミックマップについて一意の数値
12	0x000C	1	uint8	sub_frame	ある周期のダイナミックマップを分割した場合の番号
13	0x000D	1	uint8	num_object	オブジェクトの数
14	0x000E	2	-	reserved	(padding)
16	0x0010	1280	MovableObject[20]	object	MovableObject。 sub_frame×20+index 番目のオブジェクトが格納されている。詳細は下記

offset		size	type	変数名	説明
0	0x0000	1	uint8	Id	sub_frame 内の MovableObject のインクリメンタルな ID
1	0x0001	1	uint8	type	オブジェクトのタイプ。人や車など
2	0x0002	1	uint8	rel	信頼度。0-255。
3	0x0003	5	-	reserved	
8	0x0008	8	float64	lon_deg	中心の経度 (deg)
16	0x0010	8	float64	lat_deg	中心の緯度 (deg)
24	0x0018	8	float64	yaw_deg	鉛直上方周りの回転角度 (deg)
32	0x0020	8	float64	vele_mps	東向き速度 (m/s)
40	0x0028	8	float64	veln_mps	北向き速度 (m/s)
48	0x0030	4	float32	len_m	側面から見た幅 (m)
52	0x0034	4	float32	wid_m	正面から見た幅 (m)
56	0x0038	4	float32	hgt_m	高さ (m)

表 4.3.2.6.3.2-2 車両情報 (AD-EC→車載 GW)

		size	Type	変数名	説明 (省略)
0	0x0000	5	uint8[5]	magic_number	
5	0x0005	3	-	reserved	
8	0x0008	2	uint16	msg_type	メッセージ種別
10	0x000A	2	uint16	ver	
12	0x000C	4	-	reserved	
16	0x0010	4	uint32	count	車両の実行周期
20	0x0014	4	uint32	last_cc_command_id	
24	0x0018	1	uint8	last_cc_command	
25	0x0019	1	uint8	result	
26	0x001A	1	uint8	drive_state	
27	0x001B	3	-	Reserved	
30	0x001E	2	Uint16	route_id	
32	0x0020	8	-	reserved	
40	0x0028	8	-	reserved	
48	0x0030	1	uint8	gear	
49	0x0031	1	uint8	sat_st	
50	0x0032	1	uint8	sat_num	
51	0x0033	5	-	reserved	
56	0x0038	8	float64	lat	車両の緯度 (deg)
64	0x0040	8	float64	lon	車両の経度 (deg)
72	0x0048	8	float64	height	車両の高度 (m)
80	0x0050	8	float64	vel_to_east	東向き速度 (m/s)
88	0x0058	8	float64	vel_to_north	北向き速度 (m/s)
96	0x0060	8	float64	rover_angle	車両の向き
104	0x0068	8	float64	dest_lat	
112	0x0070	8	float64	dest_lon	

120	0x0078	8	float64	steering_angle	
128	0x0080	8	float64	break_pedal	
136	0x0088	8	float64	drivable_distance	
144	0x0090	8	float64	remainig_energy	
152	0x0098	2	Uint16	restriction_detail	
154	0x009A	1	Uint8	driving_restriction	

4.3.2.6.3.3 各HWの仕様説明

表 4.3.2.6.3.3-1 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 4.3.2.6.3.3-2 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℃～40℃ 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

4.3.2.7 作動状態記録装置と事故状態記録装置

4.3.2.7.1 作動状態記録装置と事故状態記録装置導入目的

本プロジェクトの車両には、Lv.4 自動運行を行う自動運行装置と作動状態記録装置を搭載する。作動状態記録装置は、道路運送車両法の別添.123 作動状態記録装置のデータ要素を6か月間記録するよう設計している。

また、本プロジェクトの車両には、さらに事故状態記録装置も搭載している。事故状態記録装置の搭載目的としては、作動状態記録装置に含まれない詳細なセンサ出力情報や自動運行装置の状態変化を記録することにより、事故発生時における状況解析に役立てることを目的としている。

作動状態記録装置（CSS Electronics 社製 CANEdge I）と、事故状態記録装置（Vector 社製 GL2000）の概観、およびそれぞれの仕様についてそれぞれ図 4.3.2.7.1-1 と表 4.3.2.7.1-1、表 4.3.2.7.1-2 に示す。

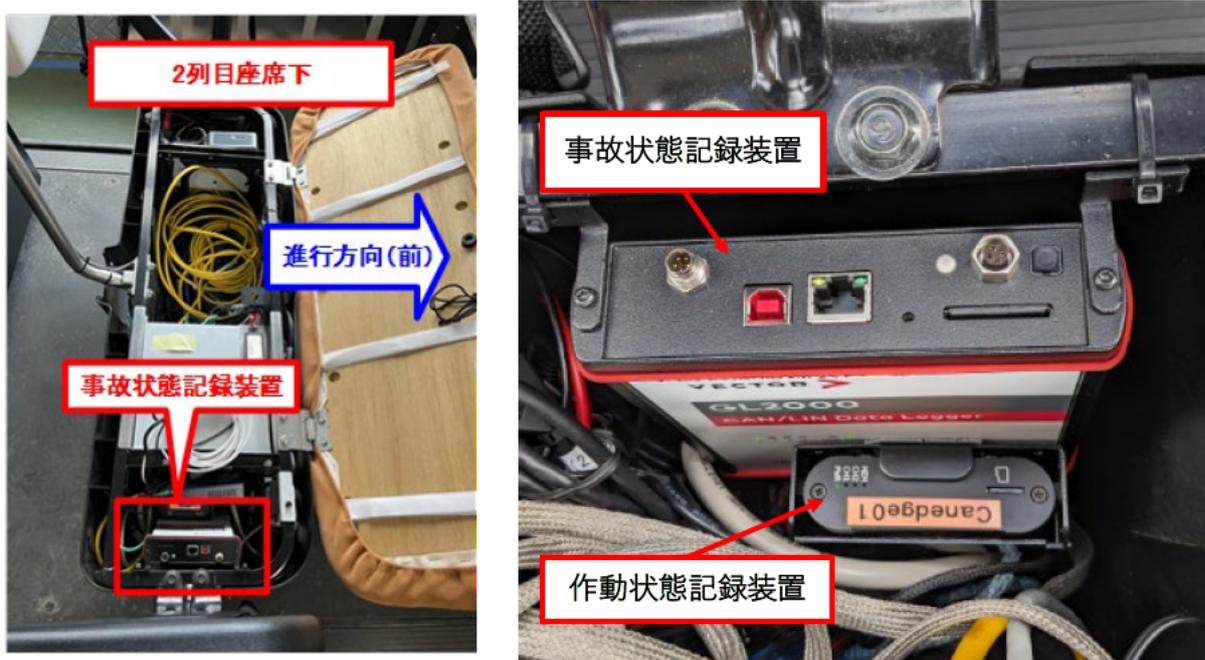


図 4.3.2.7.1-1 事故状態記録装置概観

表 4.3.2.7.1-1 作動状態記録装置 (CANEdge I) の仕様

項目	説明
バスシステム	CAN
チャンネル数	CAN : 2 CH
記録媒体	SD/SDHC カード
供給電圧	7-32 V (DB9)
寸法	75 x 47 x 20 mm

表 4.3.2.7.1-2 事故状態記録装置 (GL2000) の仕様

項目	説明
バスシステム	CAN
チャンネル数	CAN : 4 CH
記録媒体	SD カード
入出力ポート	デジタル入出力 : 4 ポート
供給電圧	6-30 V
寸法	194 x 137 x 35 mm

4.3.2.7.2 システム構成

図 4.3.2.7.2-1 に作動状態記録装置と事故状態記録装置の情報記録 CAN の接続図を示す。作動状態記録装置は、VCU および CCU と AD-ECU の CAN1 がつながる車両 CAN に接続され、車両 CAN の情報をすべて記録するように設定している。

一方、事故状態記録装置は、VCU および CCU と AD-ECU の CAN1 がつながる車両 CAN、ソナーセンサと AD-ECU の CAN2 がつながるソナーCAN、ミリ波レーダの出力と Raspberry Pi がつながるミリ波レーダ CAN、AD-ECU の CAN4 と直接つながる事故状態記録装置専用 CAN の 4 つと接続している。事故状態記録装置は、ソナーセンサの出力とミリ波レーダの出力をそれぞれの出力 CAN 経由で記録し、ソナーセンサ・ミリ波レーダ以外のセンサ情報および AD-ECU の内部状態は事故状態記録装置専用 CAN を経由して記録している。

信号の詳細は表 4.3.1.1-1 AD-ECU 接続一覧を参照のこと。

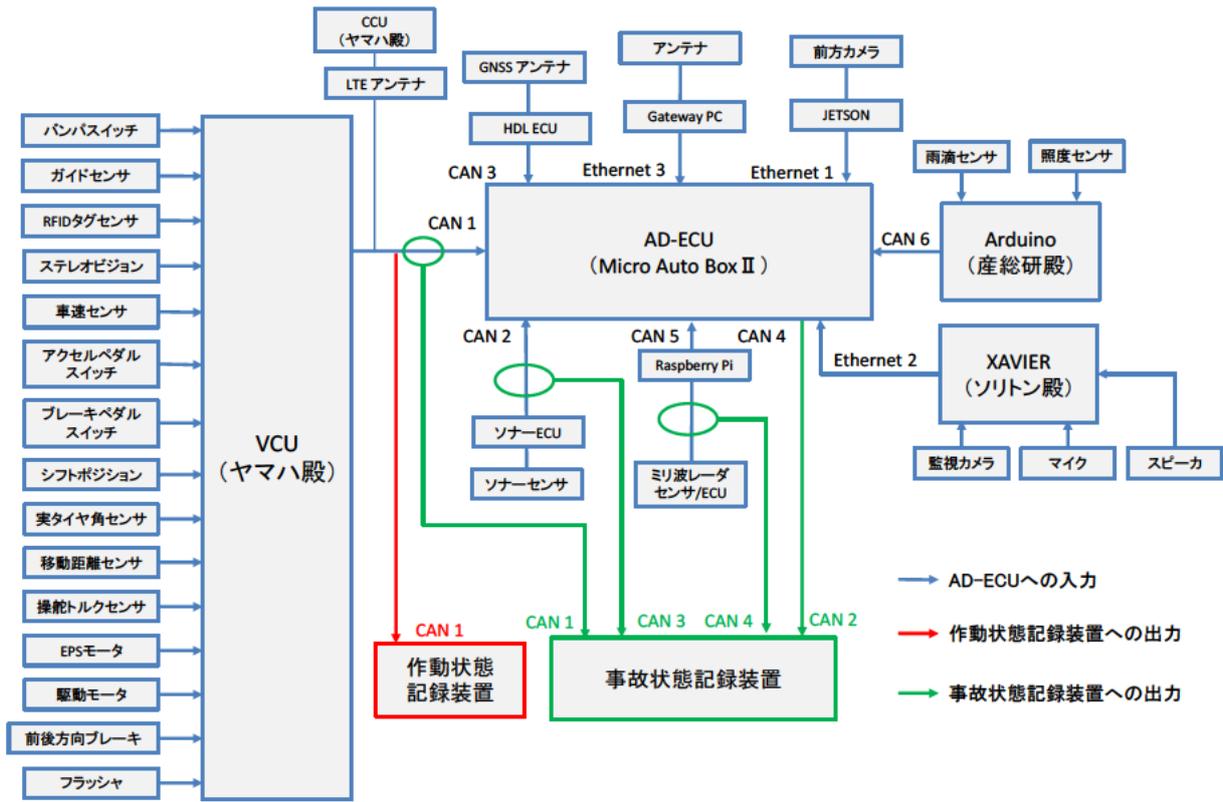


図 4.3.2.7.2-1 事故状態記録装置システム構成

4.3.2.7.3 死活監視機能

自動運行装置では作動状態記録装置・事故状態記録装置に対する死活監視を行っている。死活監視の方法としては、作動状態記録装置・事故状態記録装置からそれぞれ自動運行装置に対しハートビート信号を送信し、作動状態記録装置・事故状態記録装置からの信号が途絶した場合、車両をMRMで停車させるよう設計している。MRM停車に係るMRM制御構成を図4.3.2.7.3-1に示す。

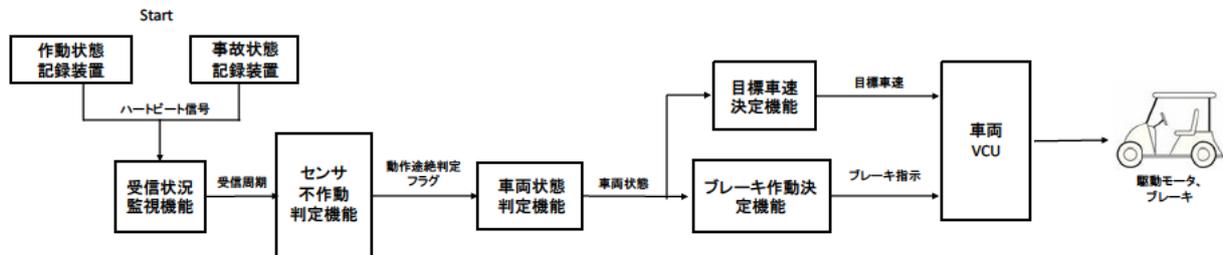


図 4.3.2.7.3-1 作動状態記録装置および事故状態記録装置に係るMRM制御構成

4.3.2.7.4 死活監視機能の動作確認結果

図4.3.2.7.4-1に作動状態記録装置の電源供給を途絶させたときのMRM遷移結果を示す。

図4.3.2.7.4-1の左側中段が作動状態記録装置のハートビート信号受信状況を示しており、左側上段が作動状態記録装置の途絶判定結果を示している。作動状態記録装置の途絶判定結果はハートビート信号停止後、約15秒間の判定時間を経て途絶確定(途絶未確定:0、途絶確定:1)を行っている。AD-ECUは作動状態記録装置の途絶確定後、右側上段に示す車両状態をMRM状態へ遷移をさせ、最終的に目標車速を0[km/h]に設定(左側下段)し、車両を安全に停止させている。

本プロジェクトでは、作動状態記録装置の死活監視機能ではこのような状態遷移で動作することシミュレーションおよび実車検証の両方で確認している。なお、事故状態記録装置も同様である。

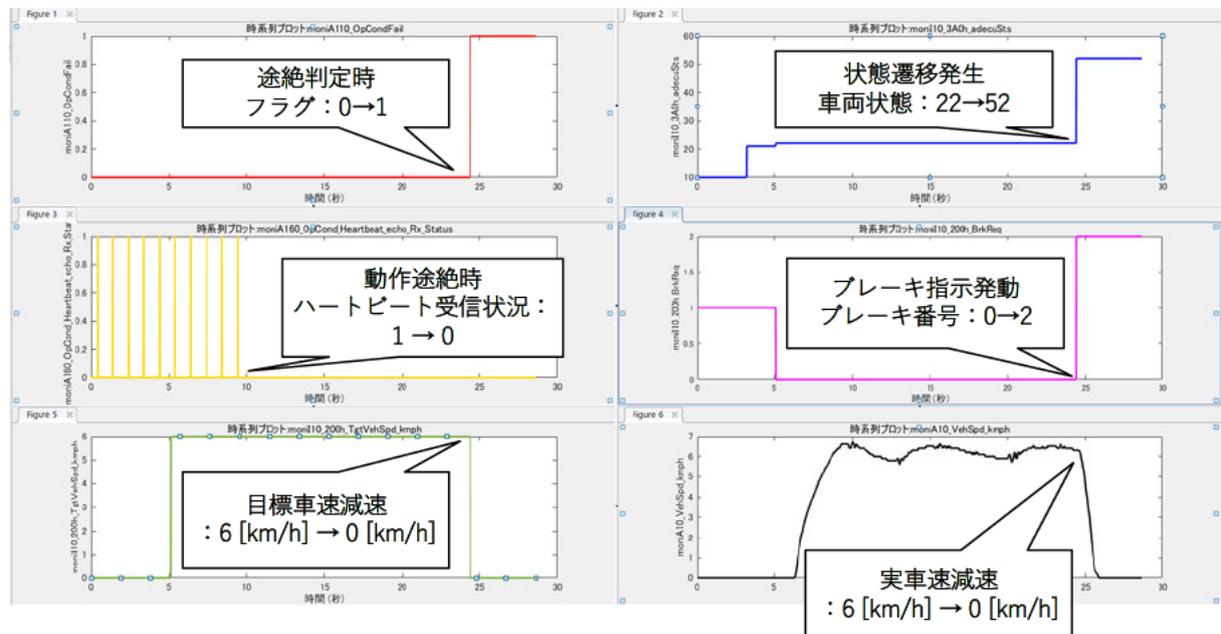


図 4.3.2.7.4-1 作動状態記録装置の電源途絶後の結果

4.3.2.8 JARI 試験結果

JARI 試験の結果については別資料にて記載。
試験完了報告書及び試験項目のみ下記に抜粋する。

	2022年11月16日
国立研究開発法人産業技術総合研究所 デジタルアーキテクチャ研究センター	
	一般財団法人日本自動車研究所
試験完了報告書	
下記の試験を完了したことを報告する。	
記	
件名:自動運転レベル4の走行環境条件の取得に向けた自動運転車両 の性能確認試験に係る作業	
試験日:2022年10月17日から10月21日	
試験場所:一般財団法人日本自動車研究所 特異環境試験場	
	以上

図 4.3.2.8-1 試験完了報告書 (抜粋)

No.	試験タイトル	概要
1	電磁誘導線電源喪失への対応	電磁誘導線の電源が失われた際に正常に停止できることを確認する。
2	電磁誘導線逸脱時の対応	電磁誘導線を90度曲げて設置し、車両が電磁誘導線から逸脱した際に停止できることを確認する
3	電磁誘導線磁場喪失時の対応	電磁誘導線の上に鉄板および鉛板を置き、磁場が失われた場所を通過した際に停止できることを確認する
4	降雨時の対応	30mm/hの降雨を検知し、車両が停止できることを確認する
5	霧時の対応	視程3m程度の濃霧を検知し、車両が停止できることを確認する
6	霧時の対応	視程15m程度の霧の中で電磁誘導線上に立つ歩行者を検知し、車両が停止できることを確認する。
7	薄曇時の対応	薄曇により、路面照度が200lx程度となったことを検知して車両が停止できることを確認する。
8	路上障害物への対応 1	路面照度が暗い場所を走行していることを検知し、車両が停止できることを確認する。 40cm×40cm×40cm程度の障害物が電磁誘導線上にあることを検知し、車両が停止できることを確認する。 車両が停止した後、障害物を取り除き、遠隔操作による発進指示で運行を再開できることを確認する。
9	路上障害物への対応 2	15cm×15cm×15cm程度の障害物が電磁誘導線上にあることを検知し、車両が停止できることを確認する。 車両が停止した後、障害物を取り除き、遠隔操作による発進指示で運行を再開できることを確認する。
10	路上障害物への対応 3	歩行者が電磁誘導線上に居ること検知し、車両が停止できることを確認する。 車両が停止した後、歩行者を退避させ、遠隔操作による発進指示で運行を再開できることを確認する。
11	通常走行時の基本的な走行性能の確認	通常の走行を模擬し、車両の走行速度、加速度、減速度が設計通りであることを確認する。
12	歩行者へ飛び出し対応 1	自車の前に飛び出してきた歩行者を検知し、車両が停止できることを確認する。
13	歩行者へ飛び出し対応 2	自車の前に飛び出してきた歩行者を検知し、車両が停止できることを確認する。
14	歩行者への減速、通過対応 1	電磁誘導線(車両中心線)から1.2m離れた場所に立つ歩行者を検知し、車両が減速して通過できることを確認する。
15	歩行者への減速、通過対応 2	電磁誘導線(車両中心線)から1.2m離れた場所に立つ歩行者を検知し、車両が減速して通過できることを確認する。
16	自転車前方より接近時の対応	自車の正面から自転車に向かって走行して行く自転車を検知し、車両が停止できることを確認する。
17	自転車後方より接近時の対応	自車の後方から追いついてきた自転車が目の前に、カットイン後、減速したことを検知して自車も減速できることを確認する。
18	歩行者仰臥位への対応(車に頭を向ける)	電磁誘導線上で自車を頭を向けて横たわる人を検知し、車両が停止できることを確認する。
	歩行者仰臥位への対応(体を横に向ける)	電磁誘導線上で自車に対し横向きに横たわる人を検知し、車両が停止できることを確認する。
	歩行者仰臥位への対応(車に足を向ける)	電磁誘導線上で自車を足を向けて横たわる人を検知し、車両が停止できることを確認する。
19	センサー不動作時の対応 1(カメラ)	走行中にカメラの電源を抜き、車両が異常を検知して停止できることを確認する。
	センサー不動作時の対応 1(ミリ波)	走行中にミリ波レーダーの電源を抜き、車両が異常を検知して停止できることを確認する。
	センサー不動作時の対応 1(ソナー)	走行中にソナーの電源を抜き、車両が異常を検知して停止できることを確認する。
20	センサー不動作時の対応 2(カメラ)	走行中にカメラの前方を遮り、車両が異常を検知して停止できることを確認する。
	センサー不動作時の対応 2(ミリ波)	走行中にミリ波レーダーの前方を遮り、車両が異常を検知して停止できることを確認する。
	センサー不動作時の対応 2(ソナー)	走行中にソナーの前方を遮り、車両が異常を検知して停止できることを確認する。
21	スリップ制動	車両がスリップを検知し、車両が停止できることを確認する
22	車内緊急停止ボタンの動作	車内の緊急停止ボタンが押されたことを検知し、車両が停止できることを確認する。
23	遠隔緊急停止ボタンの動作	2台の車両を走行させ、遠隔操作にて緊急停止ボタンが押されたことを検知し、2台が停止できることを確認する。
24	遠隔停止ボタンの動作	2台の車両を走行させ、遠隔操作にて停止指令を1台に送信する。その後、2台が停止できることを確認する。
25	走行環境外での動作確認 1	車両が電磁誘導線上にない状態で発進指示を出し、走行を開始しないことを確認する。
26	走行環境外での動作確認 2	センサーの電源を抜いた状態で発進指示を出し、走行を開始しないことを確認する。
27	走行環境外での動作確認 3	前方に40cm×40cm×40cmの障害物がある状態が発進指示を出し、走行を開始しないことを確認する
28	通信途絶対応	2台の車両を走行させ、遠隔制御車のLANケーブルを抜くことで、2台が停車できることを確認する。
29	緊急車両対応(音1)	電磁誘導線上で90dBとなるよう設定した「パトカーサイレン4秒」の音を検知し、停車できることを確認する
	緊急車両対応(音2)	電磁誘導線上で90dBとなるよう設定した「パトカーサイレン8秒」の音を検知し、停車できることを確認する
	緊急車両対応(音3)	電磁誘導線上で90dBとなるよう設定した「パトカーサイレン手動」の音を検知し、停車できることを確認する
	緊急車両対応(音4)	電磁誘導線上で90dBとなるよう設定した「救急車サイレン」の音を検知し、停車できることを確認する
	緊急車両対応(音5)	電磁誘導線上で90dBとなるよう設定した「救急車サイレン&鐘」の音を検知し、停車できることを確認する
	緊急車両対応(音6)	電磁誘導線上で90dBとなるよう設定した「消防車サイレン」の音を検知し、停車できることを確認する
	緊急車両対応(音7)	電磁誘導線上で90dBとなるよう設定した「高音-パトカー4秒」の音を検知し、停車できることを確認する
	緊急車両対応(音8)	電磁誘導線上で90dBとなるよう設定した「高音-パトカー8秒」の音を検知し、停車できることを確認する
	緊急車両対応(音9)	電磁誘導線上で90dBとなるよう設定した「高音-パトカー手動」の音を検知し、停車できることを確認する
	緊急車両対応(音10)	電磁誘導線上で90dBとなるよう設定した「高音-救急車」の音を検知し、停車できることを確認する
	緊急車両対応(音11)	電磁誘導線上で90dBとなるよう設定した「高音-消防車サイレン&鐘」の音を検知し、停車できることを確認する
	緊急車両対応(音12)	電磁誘導線上で90dBとなるよう設定した「高音-消防車サイレン」の音を検知し、停車できることを確認する

図 4.3.2.8-2 JARI 試験項目一覧

なお、上記 JARI 試験のうち対障害物に関する試験（路上障害物、飛び出し等）については、いずれもフュージョン AEB 制御（4.3.2.1.5.3.1 参照）もしくは ACC 制御にて停止・減速していることを確認済。

4.3.3 路側機連携システム

周囲の障害物を検知するようにした路側センサを道路上に設置し、障害物の検知結果を自動運転車に提供することで、車両のセンサでは捉えることができない死角に位置する歩行者や車両など、他の交通参加者を自動運転車両側で事前に把握し、飛び出しなどによる衝突を防ぐことができる路側と自動運転車両の連携システムを構築し、検知能力の評価を実施した。さらにこの路側機連携システムを使用して、実証実験にて有用性を確認した。

4.3.3.1 路側機システム

4.3.3.1.1 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部を通過する際には、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、一般道との交差部付近に路側センサを設置して、センサが出した障害物の通過可否可能の判断検知結果と、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をダイナミックマップとして自動運転車両に提供し、それをもとに交差する。一般道を通行してくる車両との衝突をさけつつ、安全に一般道との交差部の通行を実現できることを確認する。そのための路側システムにおける評価として、一般道（実地）を通行する障害物の検知確率を評価する。

4.3.3.1.2 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部と荒谷の 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。

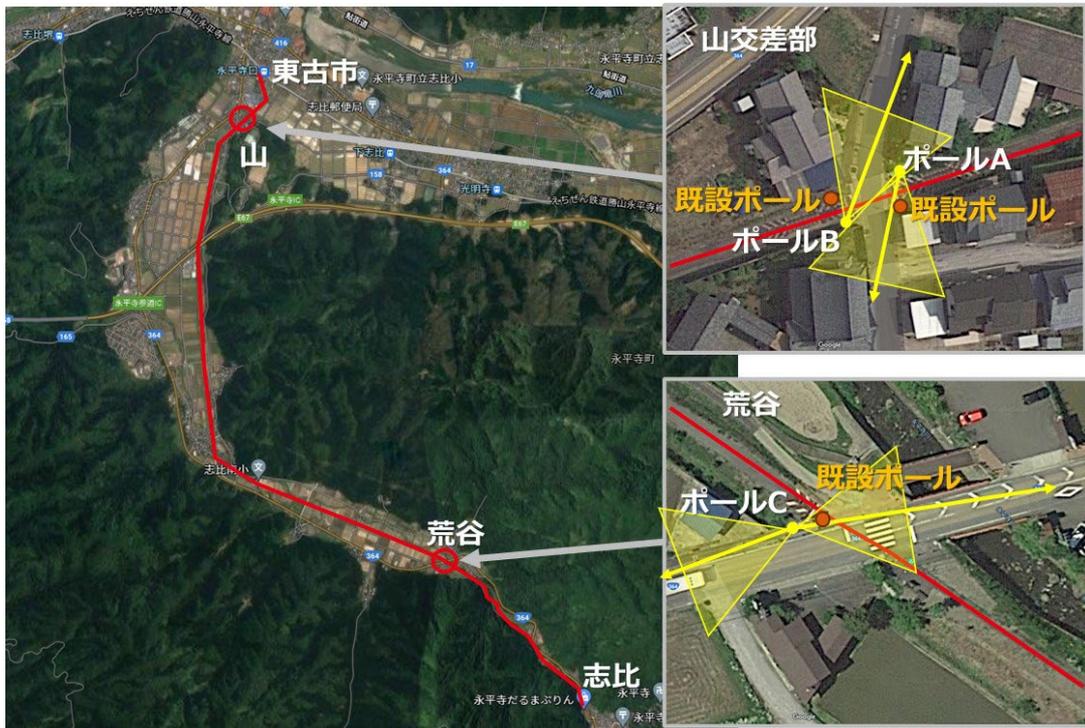


図 4.3.3.2-1 システムの設置場所

図 4.3.3.2-2 に山交差点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。

山交差点部では、ポール A に LiDAR、カメラ、Wi-Fi AP、中継 BOX、制御盤と引込開閉器、ポール B に LiDAR、カメラ、中継 BOX、制御盤、引込開閉器が設置される。ポール A の制御盤は、LiDAR、カメラ、Wi-Fi AP とポール B の制御盤と LAN 配線で接続され、ポール B の制御盤は LiDAR、カメラとポール A の制御盤と LAN 配線、管制室と光配線で接続される。

荒谷では、ポール C に LiDAR 2 個、カメラ 2 個、Wi-Fi AP 1 個、中継 BOX 2 個、制御盤 2 個と引込開閉器 1 個が設置される。ポール C の 1 つ制御盤は、LiDAR、カメラ、Wi-Fi AP と別の制御盤と LAN 配線で接続され、ポール C のもう一つの制御盤は LiDAR、カメラと別の制御盤と LAN 配線、管制室と光配線で接続される。

山交差点部、荒谷のどちらにおいても、中継 BOX は制御盤から供給される AC100V を DC 電圧に変換し、LiDAR に供給する。AC100V は引込開閉器を経由して制御盤に供給され、制御盤内で分配され、中継 BOX に供給される。

なお、図 4.3.3.2-2、図 4.3.3.2-3 の青色の実線は LAN 配線、緑色の実線は光配線、赤色の実線は DC 電圧、桃色の実線は AC100V の配線を表している。

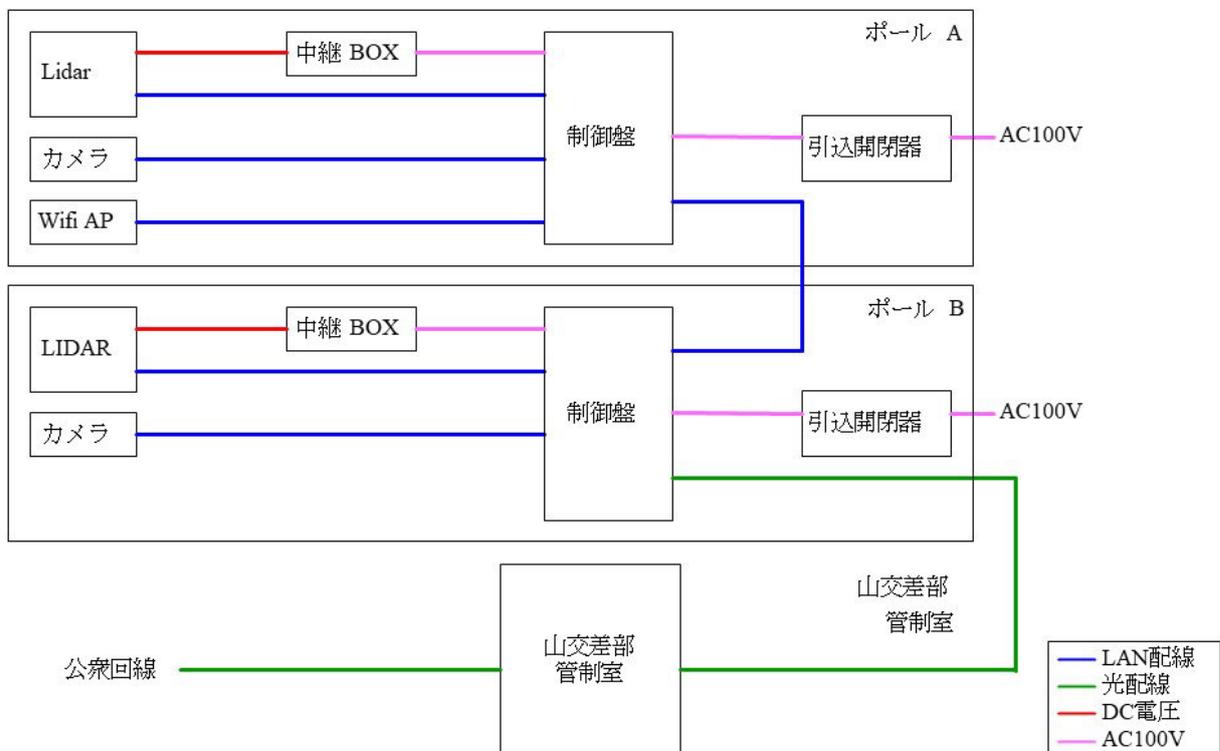


図 4.3.3.2-2 山交差点部の路側システムの概略構成

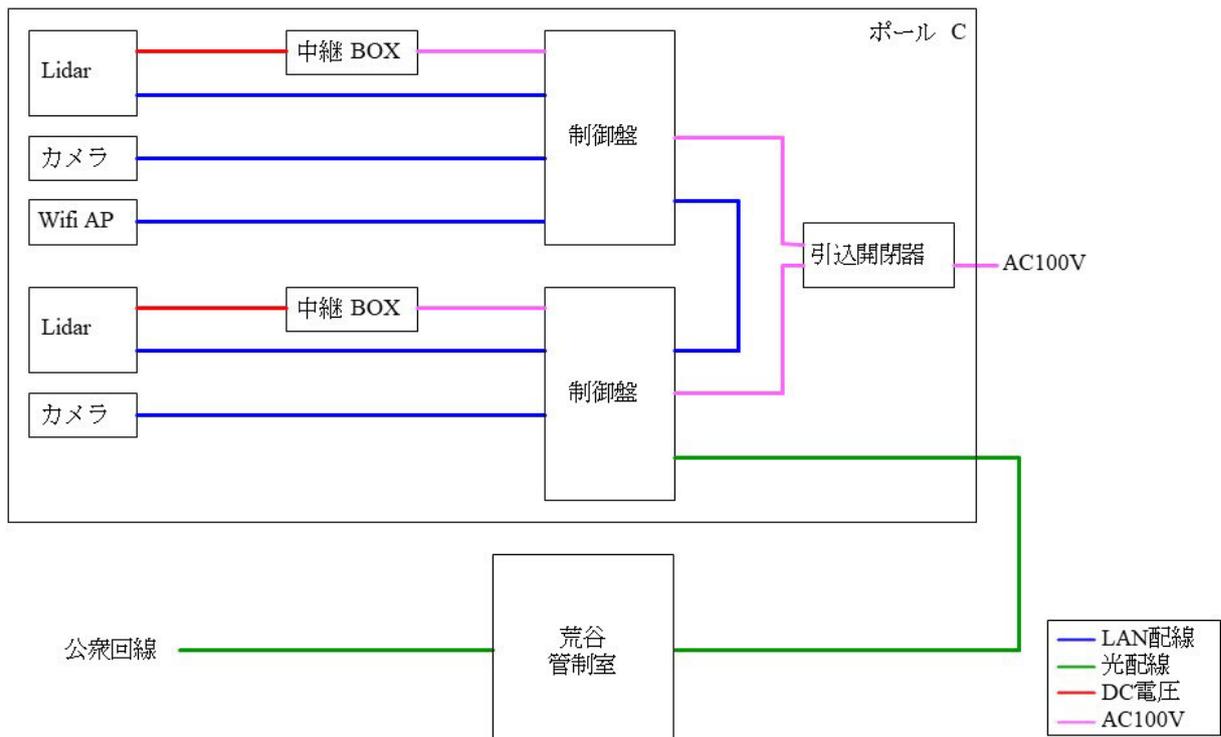


図 4. 3. 3. 2-3 荒谷の路側システムの概略構成

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ト間の通信
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。

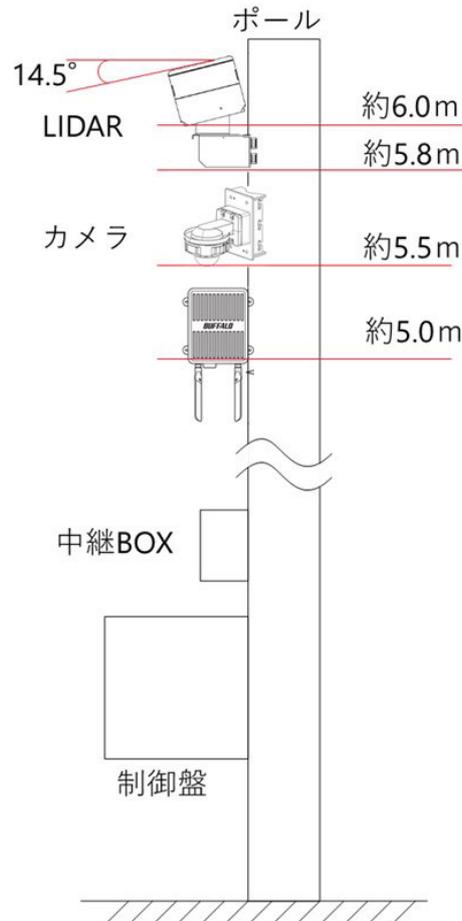


図 4.3.3.2-4 構成機器の設置図

図 4.3.3.2-5 に山交差点における路側システムの接続構成を示す。また、図 4.3.3.2-6 に荒谷における路側システムの接続構成を示す。図 4.3.3.2-5、図 4.3.3.2-6 の青色の実線は LAN 配線、緑色の実線は光配線、赤色の実線は DC 電圧、桃色の実線は AC100V の配線を表している。

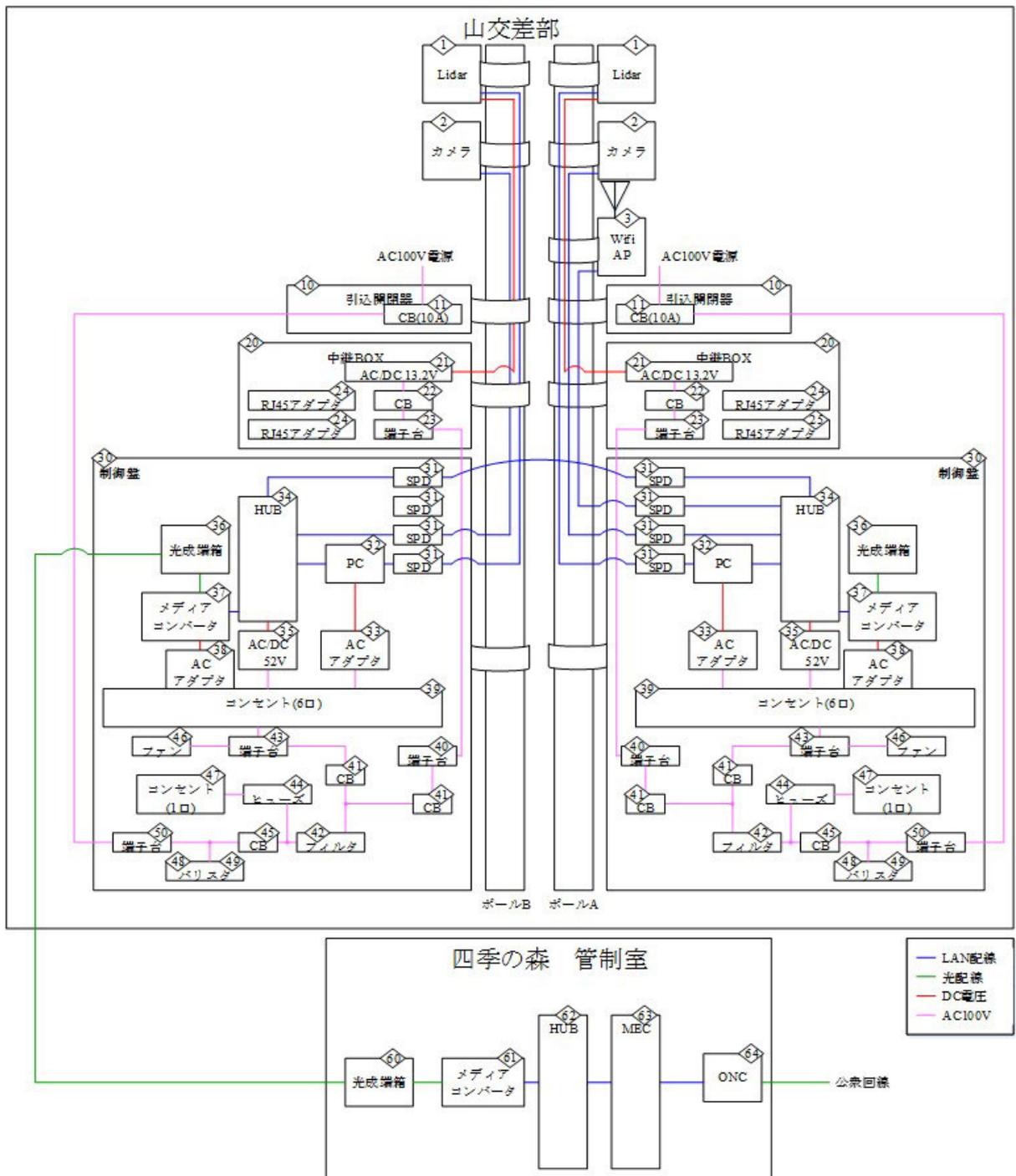


図 4.3.3. 2-5 山交差部の路側システムの接続構成

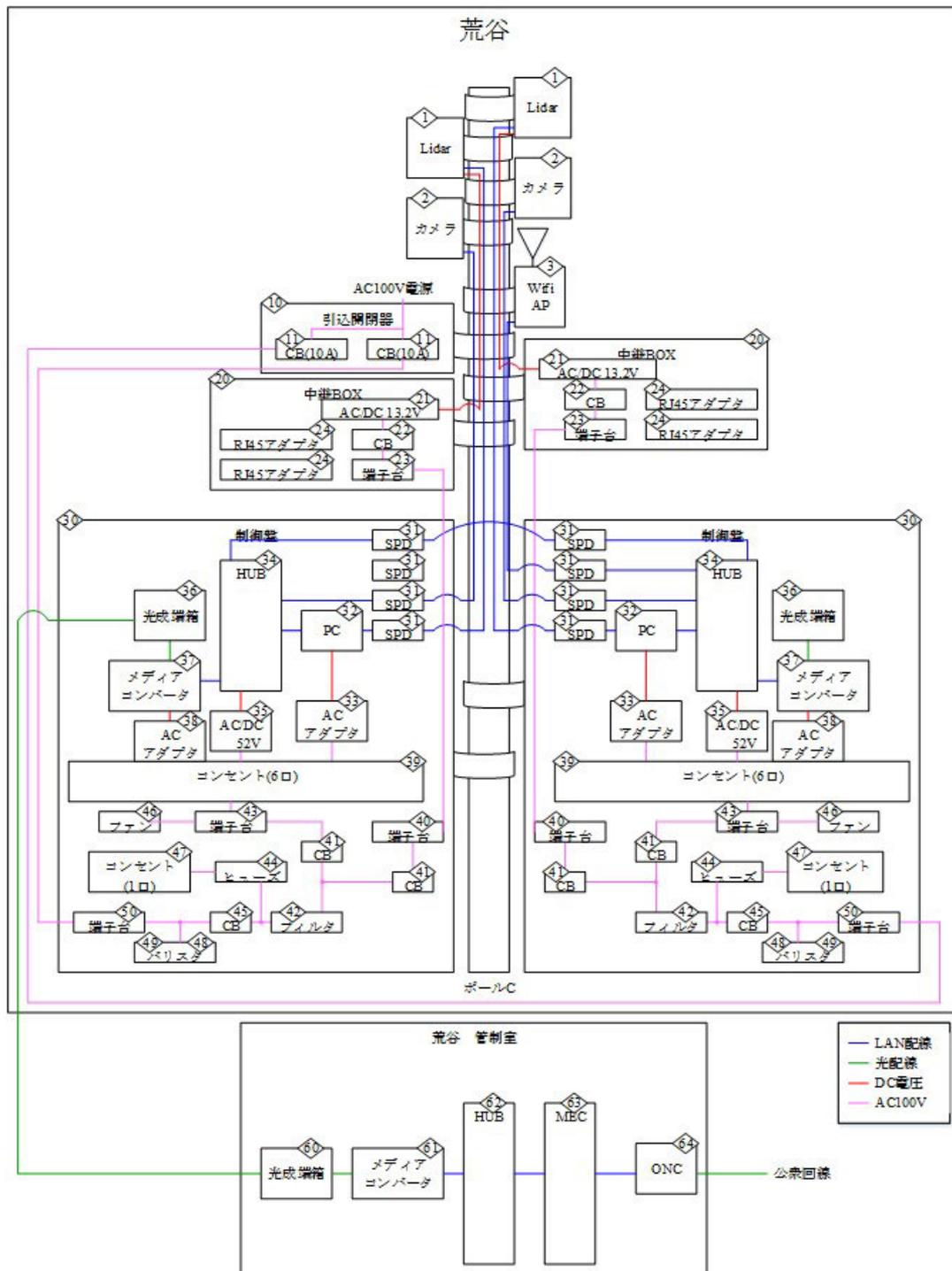


図 4.3.3.2-6 荒谷の路側システムの接続構成

表 4.3.3.2-2、表 4.3.3.2-3 に、図 4.3.3.2-5、図 4.3.3.2-6 の路側システムの接続構成で示す機器の一覧を示す。表 4.3.3.2-2、表 4.3.3.2-3 の No が図 4.3.3.2-5、図 4.3.3.2-6 の菱型内の番号に対応している。

表 4. 3. 3. 2-2 路側システムの構成品一覧

No	品名	型番	メーカー	数量	
				山交 差部	荒谷
1	LiDAR	4 Sight M	AEye, Inc.	2	2
2	カメラ	WV-S2552LNJ	パナソニック株式会社	2	2
3	Wi-Fi AP	WAPM-1266WDPRA	株式会社バッファロー	1	1
10	引込開閉器	OPK12-1525A	日東工業株式会社	2	1
11	CB (10A)			2	2
20	中継 BOX			2	2
21	AC/DC 13. 2V	PBA75F-12	コーセル株式会社	2	2
22	CB	BL-2C-6A (仮)	三菱電機株式会社	2	2
23	端子台	ATK-20-3P (仮)	東洋技研株式会社	2	2
24	RJ45 アダプタ	ADT-EX-STPN (仮)	サンワサプライ株式会社	4	4
30	制御盤	RCJ60-66Y-F1N	日東工業株式会社	2	2
31	SPD	LAN-1000B0 (仮)	株式会社サンコーシヤ	8	8
32	PC	ABOX-5210G4	SINTRONES TECHNOLOGY CORP.	2	2
33	AC アダプタ	549202422100	SINTRONES TECHNOLOGY CORP.	2	2
34	HUB	AT-IS130-6GP	アライドテレシス株式会社	2	2
35	AC/DC 52V	PBA150F-48	コーセル株式会社	2	2
36	光成端箱	SPH-SA2-SC	日東工業株式会社	2	2
37	メディア コンバータ	DN1800SG2E	大電株式会社	2	2
38	AC アダプタ	-	大電株式会社	2	2
39	コンセント (6 口)			2	2
40	端子台	ATK-20-3P (仮)	東洋技研株式会社	2	2

表 4. 3. 3. 2-3 路側システムの構成品一覧

No	品名	型番	メーカー	数量	
				山交 差部	荒谷
41	CB	BL-2C-6A (仮)	三菱電機株式会社	4	4
42	フィルタ	EAC-30-472 (仮)	コーセル株式会社	2	2
43	端子台	ATK-20-3P (仮)	東洋技研株式会社	2	2
44	ヒューズ	F-7161 (仮)	サトーパーツ株式会社	2	2
45	CB	BL-2C-20A (仮)	三菱電機株式会社	2	2
46	ファン	PF-125H-M	日東工業株式会社	2	2
47	コンセント (1口)	AC-G07FB18 (仮)	エコー電子株式会社	2	2
48	バリスタ	ERZV14D201 (仮)	パナソニック株式会社	2	2
49	バリスタ	ERZV14D391 (仮)	パナソニック株式会社	4	4
50	端子台	BA311TPN20 (仮)	IDEC 株式会社	2	2
60	光成端箱	SPH-SA4-SC	日東工業株式会社	1	1
61	メディアコンバータ	DN1800SG2E	大電株式会社	1	1
62	HUB			1	1
63	MEC	LEVEL-R059-117-VAX	株式会社マウスコンピューター	1	1
64	ONC			1	1

4.3.3.1.2.1 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

4.3.3.1.2.2 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

4.3.3.1.2.3 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

4.3.3.1.2.4 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

4.3.3.1.2.5 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)	

4.3.3.1.2.6 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)

4.3.3.1.3 システム構成

4.3.3.1.3.1 概要

図 4.3.3.3-1 に信号の流れを示したシステムの構成を図示する。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。

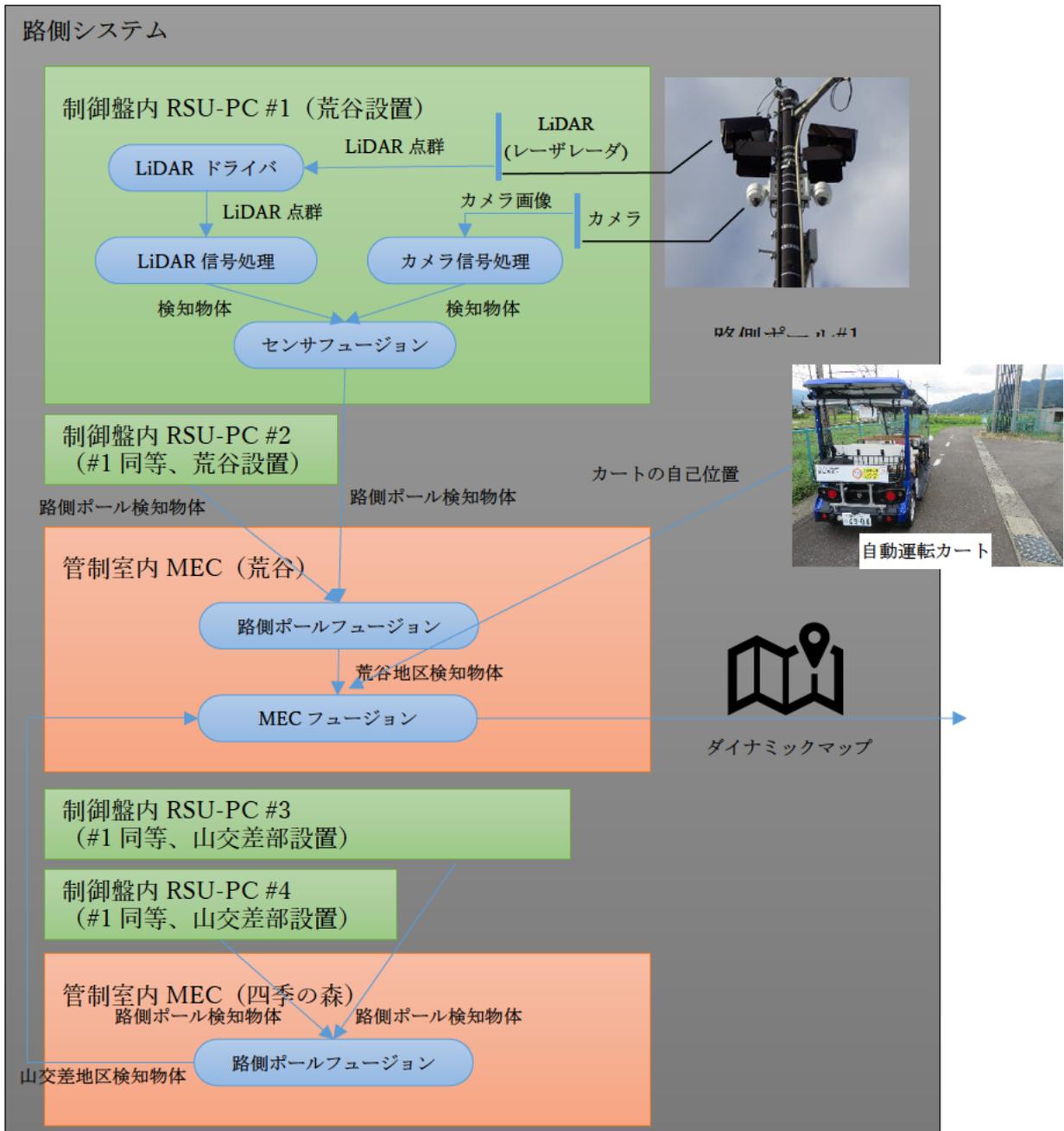


図 4.3.3.3-1 路側システムのシステム構成図

4.3.3.1.3.2 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。最後に各 MEC に集められた物体情報を荒谷地区の管制室に設けられている MEC で集約し、ダイナミックマップとして統合して必要とする機器へ配信する。各機能間のプロトコルは ROS2(Robot Operating System 2)を採用する。

- 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。内部の処理としては LiDAR 点群を受信する「LiDAR ドライバ」、点群をクラスタリングして物体を特定する「LiDAR 信号処理」、画像認識により通行する物体を検知する「カメラ信号処理」および LiDAR 由来の検知物体と、カメラ画像認識由来の検知物体を融合する「センサフュージョン」で構成される。

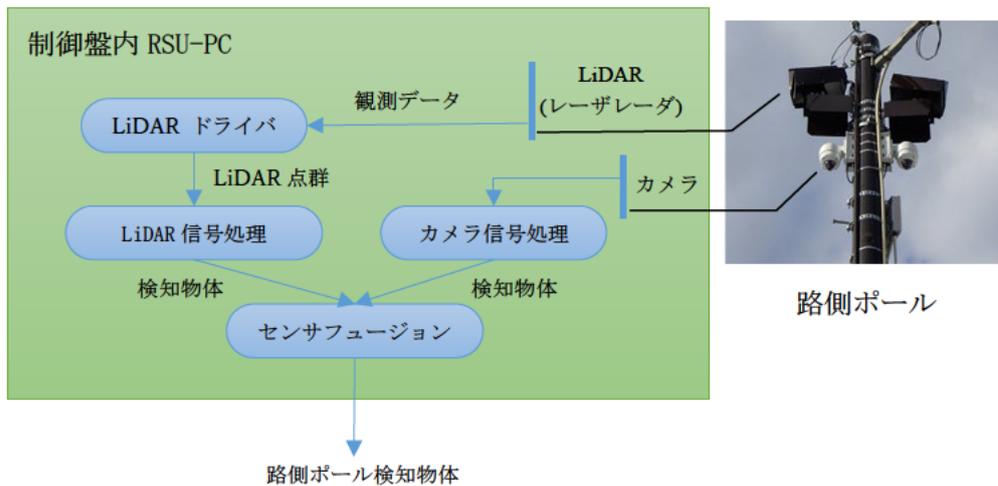


図 4.3.3.3-2 RSU-PC 信号処理構成図

- 管制室内 MEC

図 4.3.3.3-3 に示す通り、MEC は各 RSU の検知物体の融合（路側ポールフュージョン）と、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統合して、ダイナミックマップを必要とする管制システム、車両システムへ配信を行う。

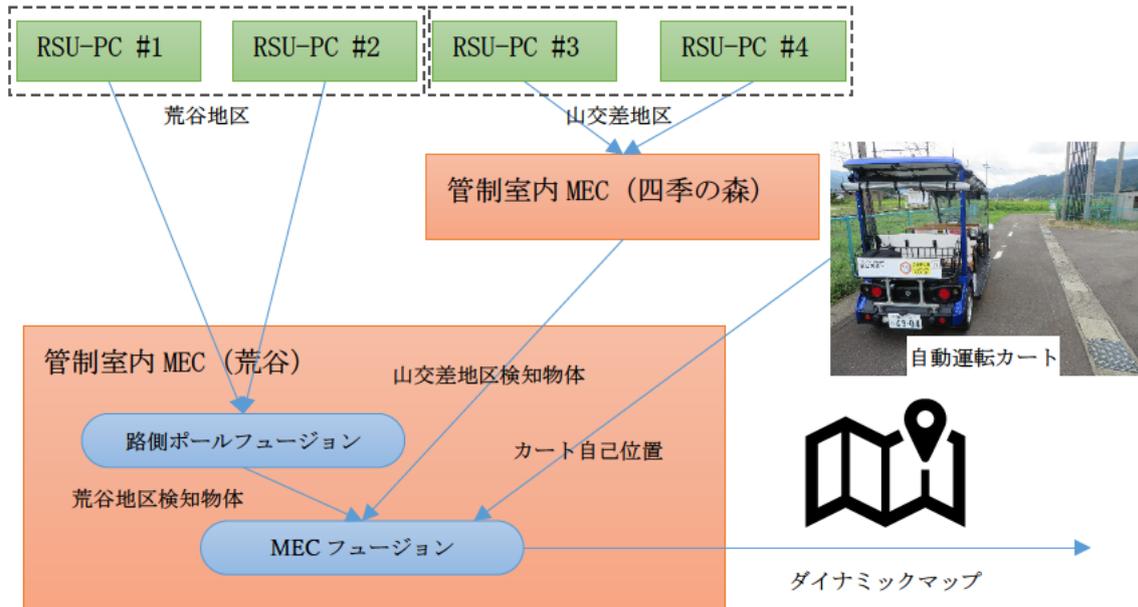


図 4. 3. 3. 3-3 MEC 信号処理構成図

4. 3. 3. 1. 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 の制御を行うもので、指定した LiDAR のレーザ照射の開始および受領した点群の取り込みを行い、その点群を ROS2 プロトコルで出力する。



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、その物体位置を ROS2 プロトコルで出力する。

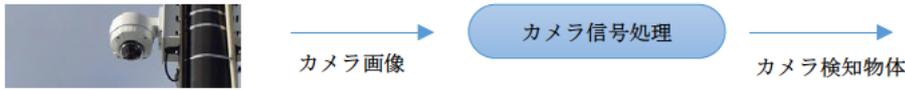


図 4.3.3.3-6 カメラ信号処理概要図

- センサフュージョン

図 4.3.3.3-7 に示す通り、LiDAR 由来の検知物体とカメラ由来の検知物体の融合を行い、融合した検知物体の位置をその路側ポールにおける検知物体として出力する。



図 4.3.3.3-7 センサフュージョン概要図

- 路側ポールフュージョン

図 4.3.3.3-8 に示す通り、各 RSU-PC で処理された各路側ポールの検知物体を融合して、その地区の検知物体として出力する。



図 4.3.3.3-8 路側ポールフュージョン概要図

- MEC フュージョン

図 4.3.3.3-9 に示す通り、各地区で検知された検知物体に加えて、カーットの自己位置を融合し、路側システム全体としての検知物体の位置をダイナミックマップとして出力する。



図 4.3.3.3-9 MECフュージョン概要図

4.3.3.1.4 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。

- クロープ
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。4点以上の点同士の距離が一定距離(R)である場合、それらの点は1クラスタに属する。図 4.3.3.4-3 にクラスタ判定条件の概念図を示す。

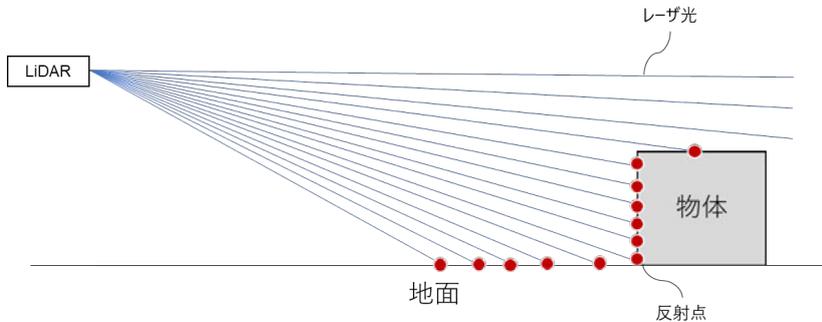


図 4.3.3.4-1 LiDAR による照射と検知

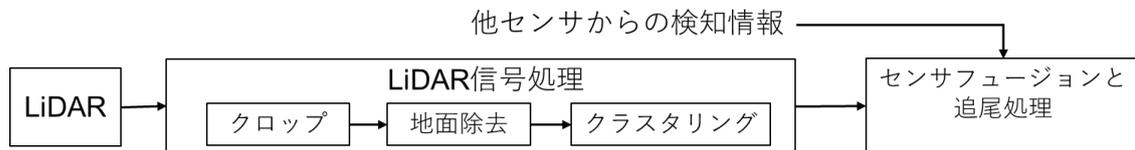


図 4.3.3.4-2 LiDAR 信号処理ブロック図

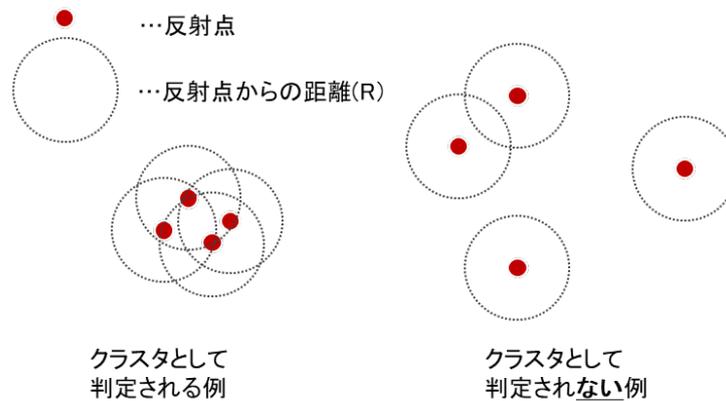


図 4.3.3.4-3 クラスタ判定条件の概念図

4.3.3.1.4.2 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)

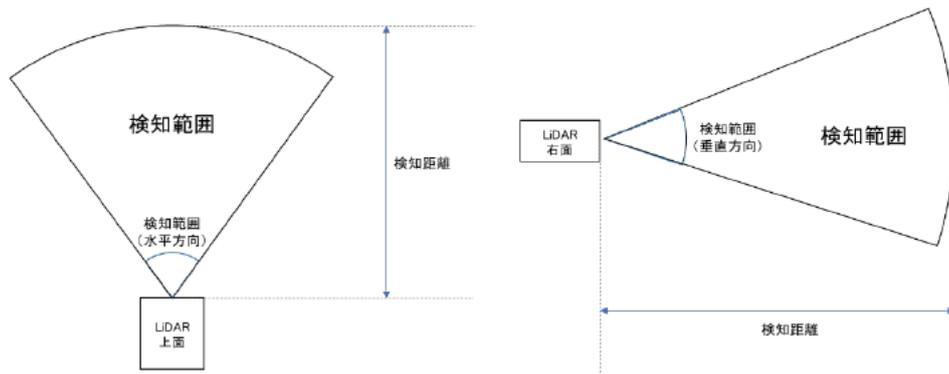


図 4.3.3.4-4 LiDAR 検知範囲概念図

4.3.3.1.4.3 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)

4.3.3.1.5 カメラ信号処理

4.3.3.1.5.1 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。このため、処理開始後の最初のステップとして一回だけ、(0)認識のためのネットワークモデルの構築が行われる。その後は、(1)カメラの各フレームにおける画像を取得(読み込み)し、(2)取得したカメラ画像から物体検出アルゴリズムにより、物体の種別(例えば、車両、トラック、二輪車、歩行者)と、その2次元画像中の位置とサイズ(Bounding box)を検出され、(3)検出された物体は、フレーム間の相関処理(トラッキング)によってID(識別番号)が付加され、(4)物体の種別と2次元画像中の位置とサイズ、およびカメラのパラメータを用いて、3次元の世界座標系での位置とサイズを算出し、(5)物体種別と世界座標系での位置、サイズ、IDの情報を、後段のセンサシュージョン処理で使用するためにROS2形式で配信する。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。

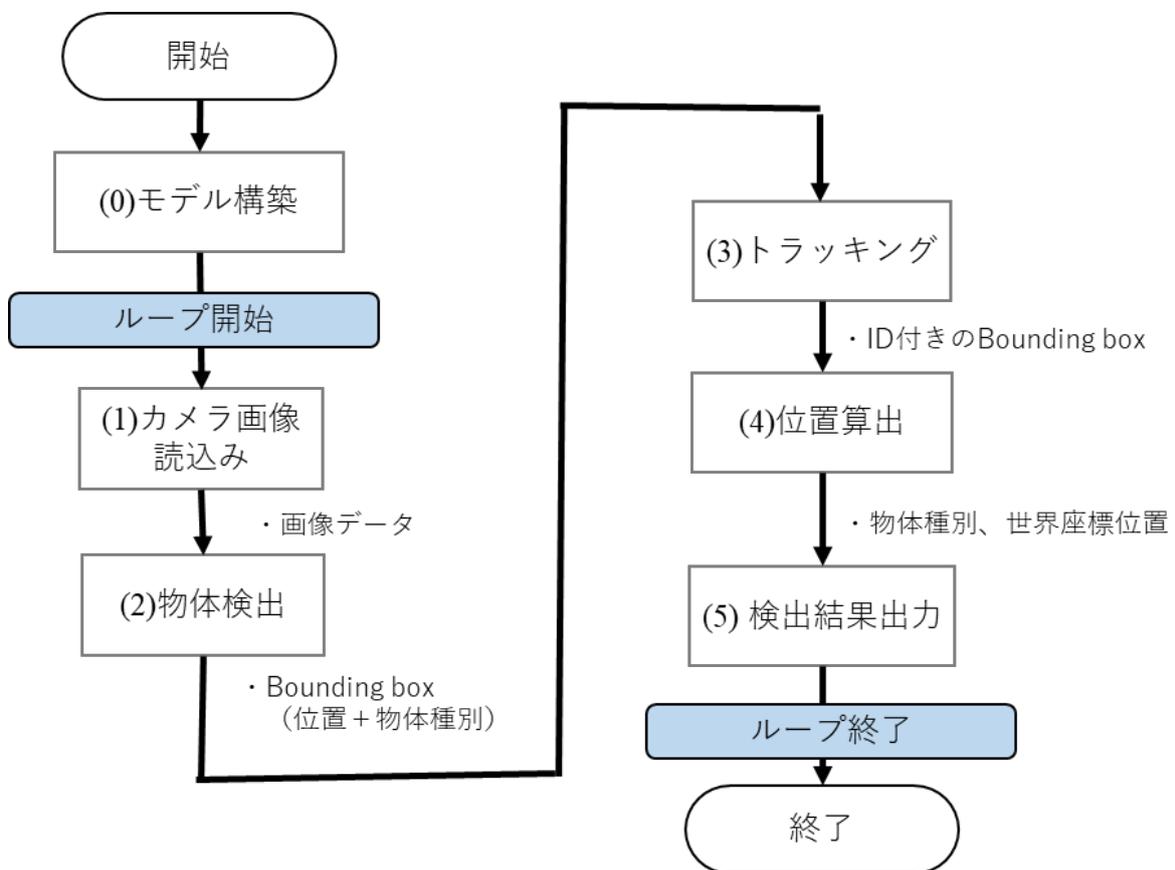


図 4.3.3.5.1-1 画像認識処理フロー

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 ROS2 形式で出力する	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。

4.3.3.1.5.2 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	

表 4.3.3.5.2-2 アルゴリズム設定

項目	値	備考
物体検出モデル	YOLO v4	初期検討として OSS ¹ の学習済みモデルを使用
トラッキングモデル	DeepSORT	

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。

今回前処理としては、画像サイズを 1920×1080 から 608×342 に縮小し、

¹ [GitHub - theAIGuysCode/yolov4-deepsort: Object tracking implemented with YOLOv4, DeepSort, and TensorFlow](https://github.com/theAIGuysCode/yolov4-deepsort)

その上下に 608×133 の $(R, G, B) = (0, 0, 0)$ の領域を追加した 608×608 の画像を作成し、各画素の R/G/B の値の範囲を元の $0 \sim 255$ から $0 \sim 1$ となるように正規化した画像を YOLO の認識ネットワークへの入力としている。

(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。表 3 に記載の通り、現状、物体検出アルゴリズムとしてはオープンソースの YOLO v4 の学習済モデルを使用している。

(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。表 3 に記載の通り、現状トラッキングアルゴリズムとしては DeepSORT を使用している。

(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。

このとき、3 次元の世界座標系での位置が既知の複数の点 (10 点程度必要) について、対応する 2 次元画像中の座標を計測し、それらの 2 次元-3 次元の座標の組を用いて単純な射影変換による平面拘束により、2 次元-3 次元の変換式を求める。

3 次元の世界座標における物体の位置は、上記で求められた 2 次元-3 次元の変換式を用いて、検出した 2 次元の物体の Footprint 位置 (通常は物体の底面の中心) に対応する座標を算出することにより求める。

現状、YOLO により 2 次元で検出した Bounding box から Footprint 位置を正確に検出する方法は確立されていないため、今回は経験的に (例えば Bounding box の左右中心の、底辺から 20% 上側の位置など) を Footprint 位置として定義することとした。図 4.3.3.5.2-1 にカメラ画像上での物体位置の定義の例を示す。(別途学習ベースで正しく Footprint 位置を検出する手法は開発中)

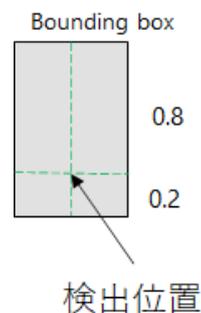


図 4.3.3.5.2-1. カメラ画像上での物体位置の定義の例

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。

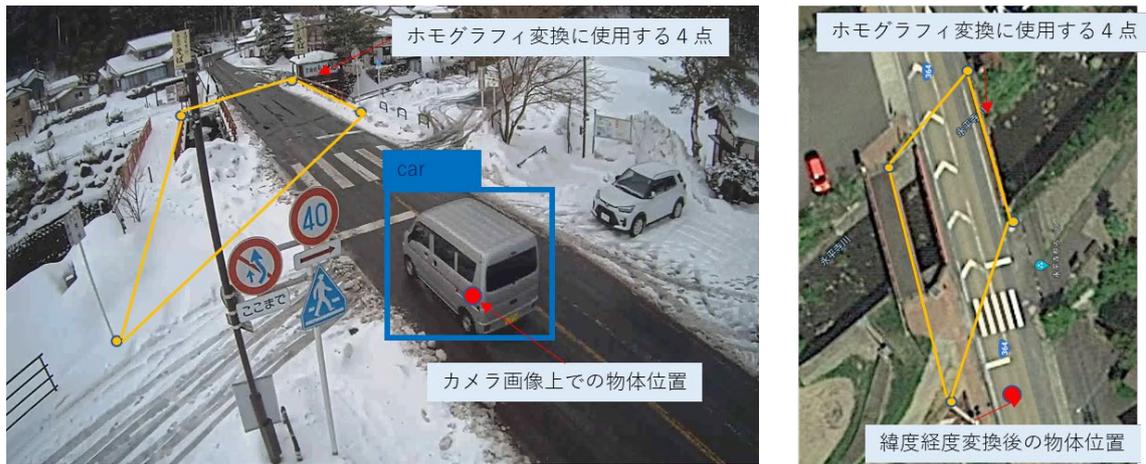


図 4.3.3.5.2-2. 物体位置算出結果例（左：カメラ画像、右：鳥観図）

(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 ROS2 形式で配信する。

4.3.3.1.5.3 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

4.3.3.1.6 センサフュージョン処理

4.3.3.1.6.1 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。図 4.3.3.6-1 にセンサフュージョンの信号フロー構成を示す。

- 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ッ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

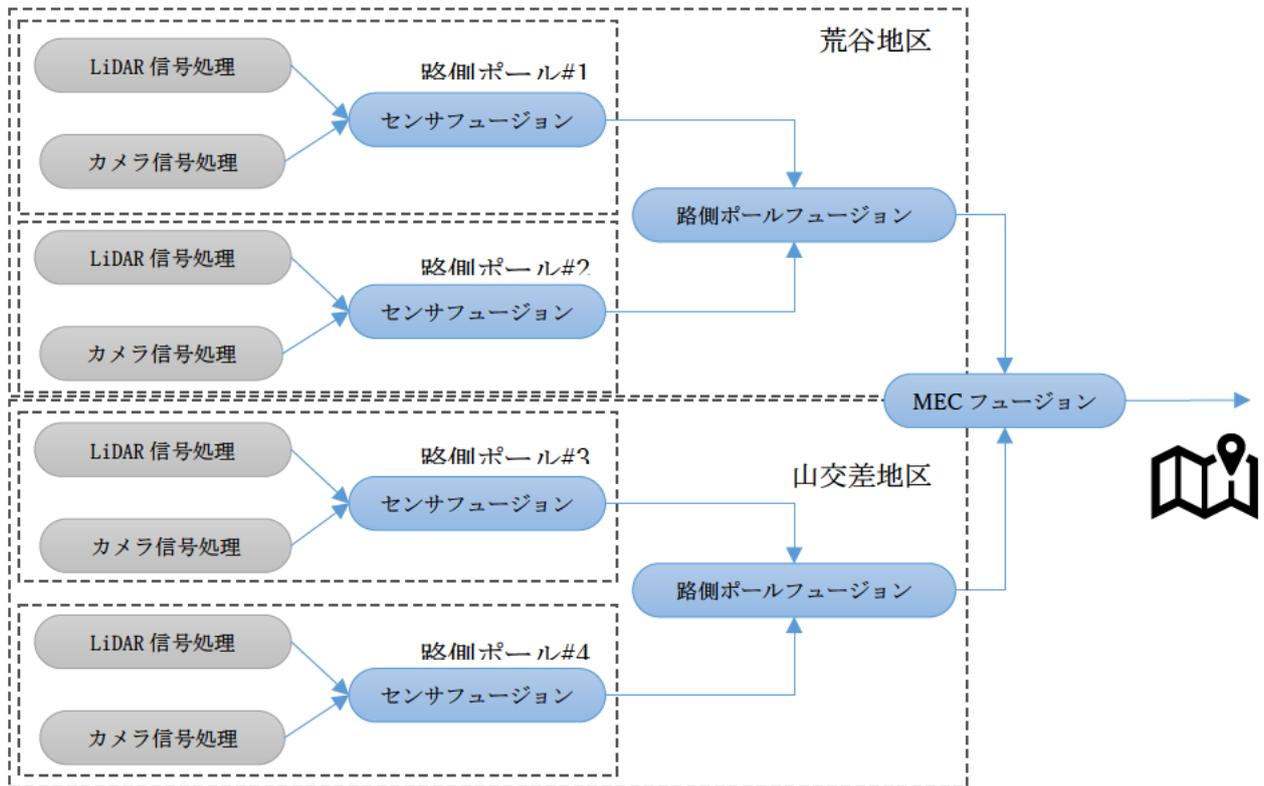


図 4. 3. 3. 6-1 センサフュージョン信号フロー構成

4. 3. 3. 1. 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。具体的には、図 4. 3. 3. 6-1 に一例を示すように、ある時刻で受信した LiDAR 検知位置に対して、カメラ検知位置の予測移動位置を比較して近いものであれば、同じものとして扱い同じ ID を付加する。予測移動位置は LiDAR 検知時刻と最新のカメラ検知時刻との時間差と、検知物体の移動方向、速度から運動モデル式を使用して算出する。運動モデル式は例えば等加速直線運動を表す式などを使用する。

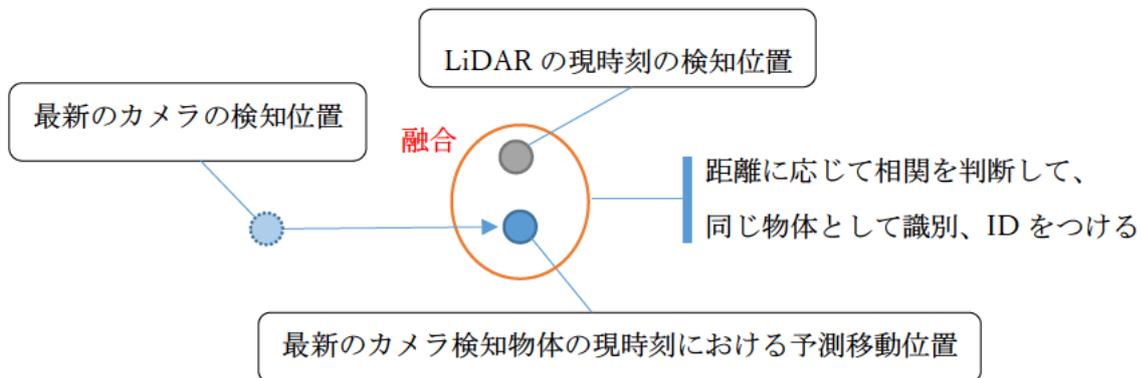


図 4. 3. 3. 6-1 センサフュージョンの動き (一例)

4.3.3.1.6.3 路側ポール / MEC フェージョンの仕組み

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。ただし、センサフェージョンとは異なり、一つの検知物体に対して対応する別のセンサの検知物体が一つ存在するという前提がある一対のセンサのフェージョンではなく、一つの検知物体に対して複数の検知物体が存在する可能性があるため、同一のアルゴリズムを使用した場合、単純に近づいたもの同士を融合してしまうため誤融合する不具合が頻発する。そのため、図 4.3.3.6-3 に示すように、近づいたもの同士を融合させる際に融合してよいかどうかの判断として以下の条件を加えて融合動作を制限し、誤融合を防いでいる。

(※特許出願中)

- 既存検知物の近辺に新規であらわれた検知物か？
 - Yes なら融合させる
 - No なら融合させない

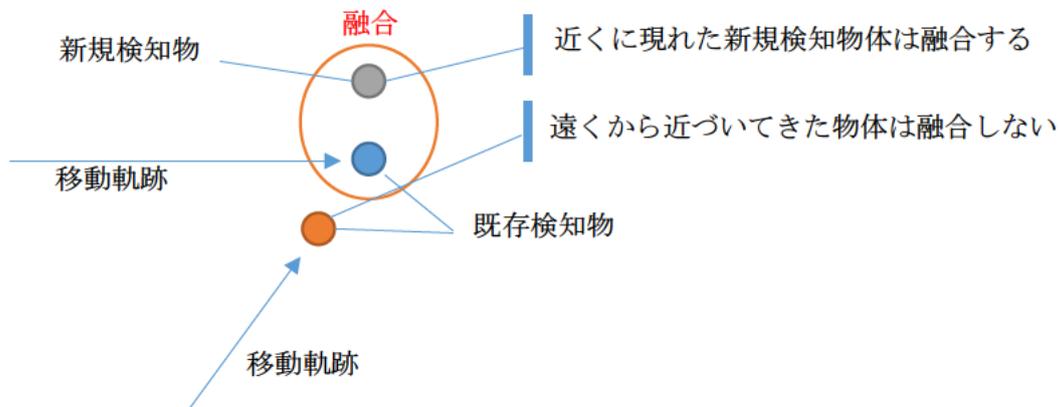


図 4.3.3.6-2 路側ポール / MEC フェージョンの動き

4.3.3.1.7 実地における検知評価

4.3.3.1.7.1 目的

本路側機システムを自動運転コースの一般道との交差点付近に設置し、センサが出した障害物の検知結果をダイナミックマップとして自動運転車両に提供し、それをもとに交差する一般道を通り抜ける車両との衝突をさけつつ、安全に一般道との交差点の通行を実現できることを目指して、路側システムによる一般道（実地）を通り抜ける障害物の検知確率を評価し、その実現性を確認する。

4.3.3.1.7.2 評価方法

永平寺町参入一丁の山交差点と荒谷地区のそれぞれにおいて、一般道を往來する移動物について検知が可能かどうかを評価する。また、合わせて検知距離がどのくらいであったのかを最小、最大、平均の観点で評価する。

4.3.3.1.7.2 評価結果

4.3.3.1.7.2.1 山交差点における結果

評価結果を下記に示す。未検知となるシーンや障害物は確認されなかった。誤検知が発生するシーンとしては、雪や激しい雨の際に LiDAR の近傍に誤検知が発生することがあるが、通常障害物が存在しない位置に限定して発生するため、容易に対策が可能であった。鳥や小動物など、リ

スクのない障害物については、LiDARの検知パラメータの調整により、障害物として検知されないことを確認している。夜間や、太陽光のハレーションにより、カメラの視界の悪い状況においても、LiDARにより物体を検知することができることを確認している。

表 4.3.3.1.7.2.1-1 評価した障害物の種類と数

種類	シーン数
車両	789
歩行者・2輪車	153

表 4.3.3.1.7.2.1-2 評価結果

評価項目	評価結果
検知率	949 / 949 = 100 %
検知開始距離	車両： 40 ~ 88.5 m 平均 55.6 m 歩行者： 40.5 ~ 68.9 m 平均 55.1 m

4.3.3.1.7.2.2 荒谷地区における結果

評価結果を下記に示す。結果としては概ね山交差部と同じ結果が得られた。山交差部との違いとして、遠くまで道路が続いており見通しがきくため、最大の検知距離は長いことが挙げられる。ここで路側と車両を連携させた自動運転による道路横断を考えた時の注意点として、一般道の走行車両によっては制限速度を大幅に超えて走行する車両がいるため、この場所で安全に一般道の横断を実現しようとした場合は、200m以上の遠くの距離まで検知できるよう、複数のRSUを設置するべきと考える。その他の案としては、信号機を設置し、信号機と自動運転車両を連携して、青信号の時にのみRSUで安全を確認して横断するという方法も考えられる。

表 4.3.3.1.7.2.2-1 評価した障害物

種別	シーン数
車両	1201
歩行者・2輪車	20

表 4.3.3.1.7.2.2-2 評価結果

評価項目	評価結果
検知率	1201 / 1201 = 100 %
検知開始距離	車両： 40 ~ 129 m 平均 73.7 m 歩行者： 45.1 ~ 102.7 m 平均 77.2 m

4.3.3.1.7.3 結論

異なるセンサである、カメラとLiDARをフュージョンすることで、それぞれのセンサの短所を補い、往来する一般通行者の見逃しを防ぐことができることを確認した。また、誤検知についても、固定センサであるが故に、移動するオブジェクト以外のセンシング情報のバリエーションが限られており、定常的に発生する誤検知は発生することはないことを確認した。このことから本路側機システムを用いた路車連携による自動運転の実現について、路側機のセンサ性能の面で実現性を確認することができた。

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件づつ)を図4.3.3.7-1~4.3.3.7-12に静止画で

示す。

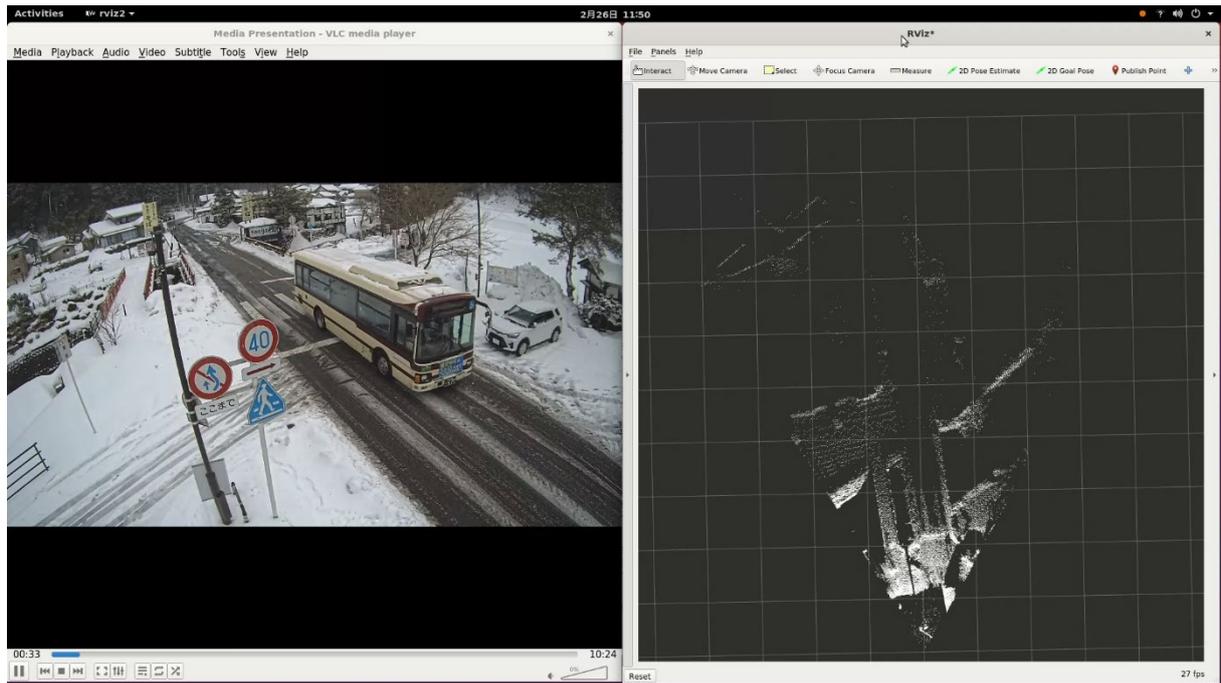


図 4.3.3.7-1 カメラ映像と LiDAR 点群データの例(1-1)
(センサ：東向き・志比方向、車種：路線バス、)

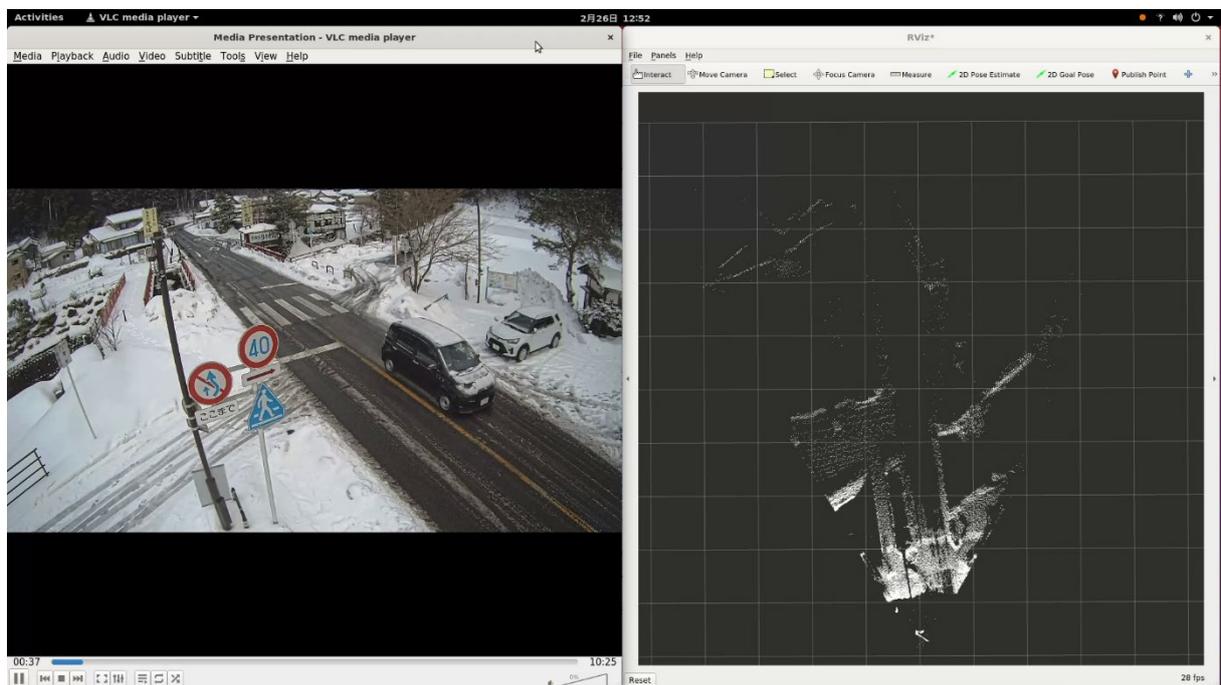


図 4.3.3.7-2 カメラ映像と LiDAR 点群データの例の例(1-2)
(センサ：東向き・志比方向、車種：軽自動車)

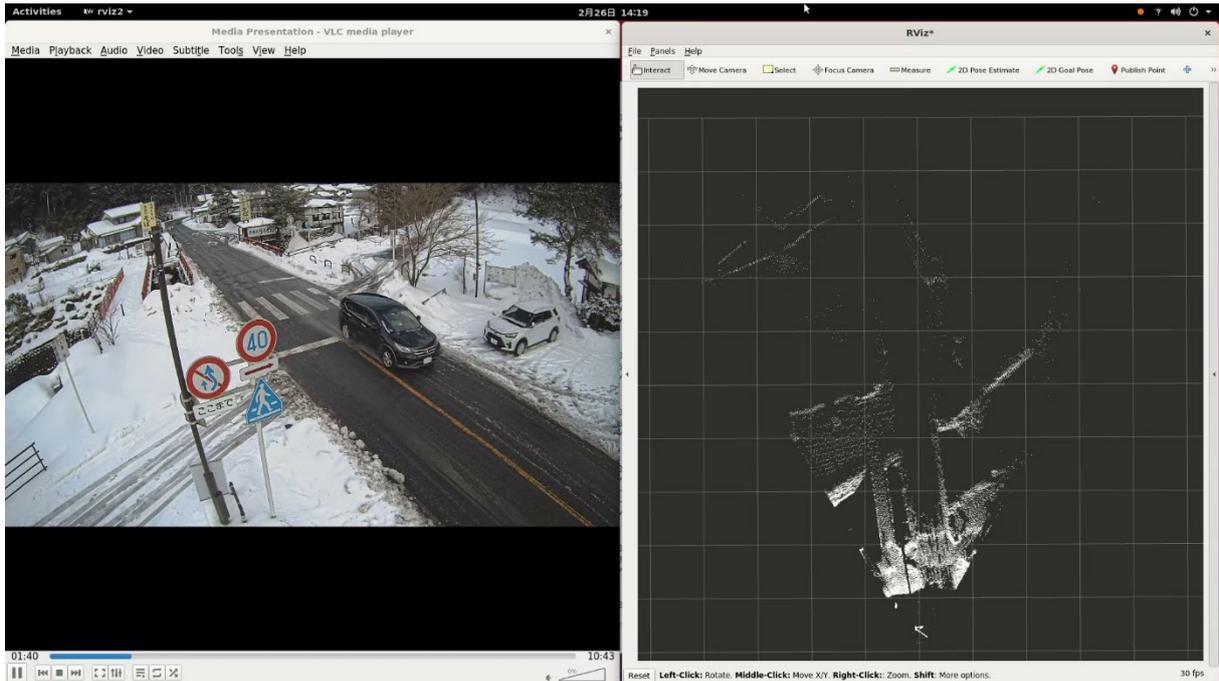


図 4.3.3.7-3 カメラ映像と LiDAR 点群データの例(1-3)
 (センサ：東向き・志比方向、車種：ハッチバック)

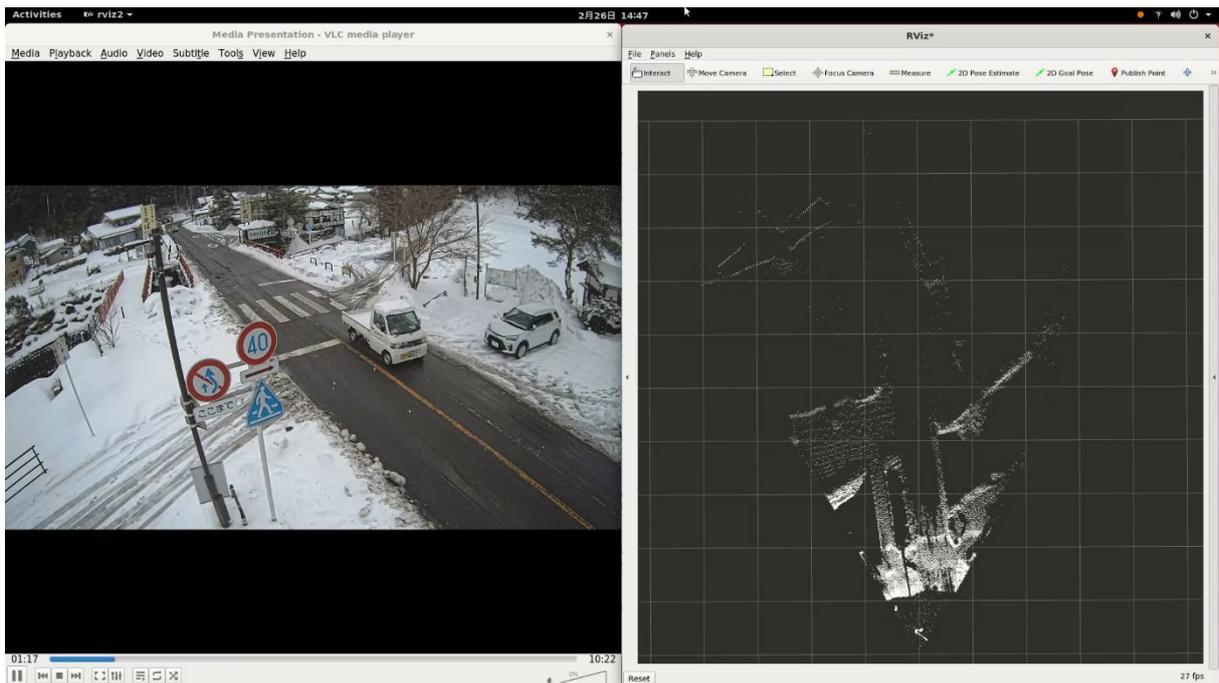


図 4.3.3.7-4 カメラ映像と LiDAR 点群データの例(1-4)
 (センサ：東向き・志比方向、車種：軽トラック)

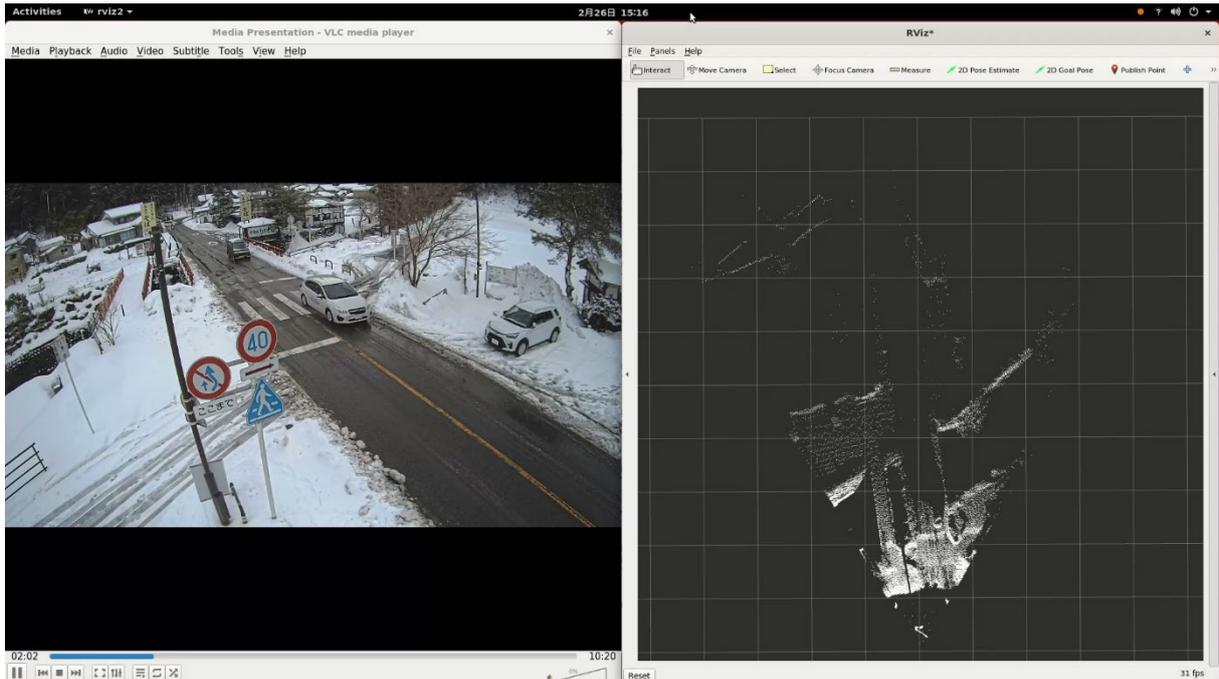


図 4.3.3.7-5 カメラ映像と LiDAR 点群データの例(1-5)
 (センサ：東向き・志比方向、車種：ハッチバック)

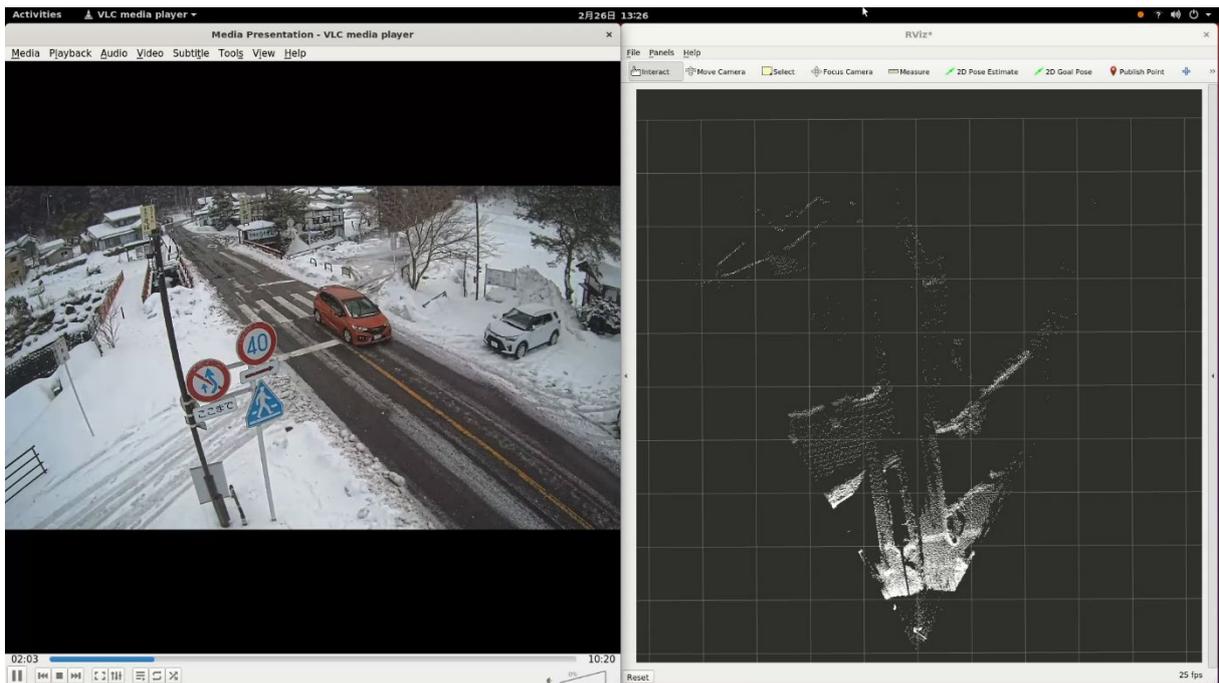


図 4.3.3.7-6 カメラ映像と LiDAR 点群データの例(1-6)
 (センサ：東向き・志比方向、車種：ハッチバック)

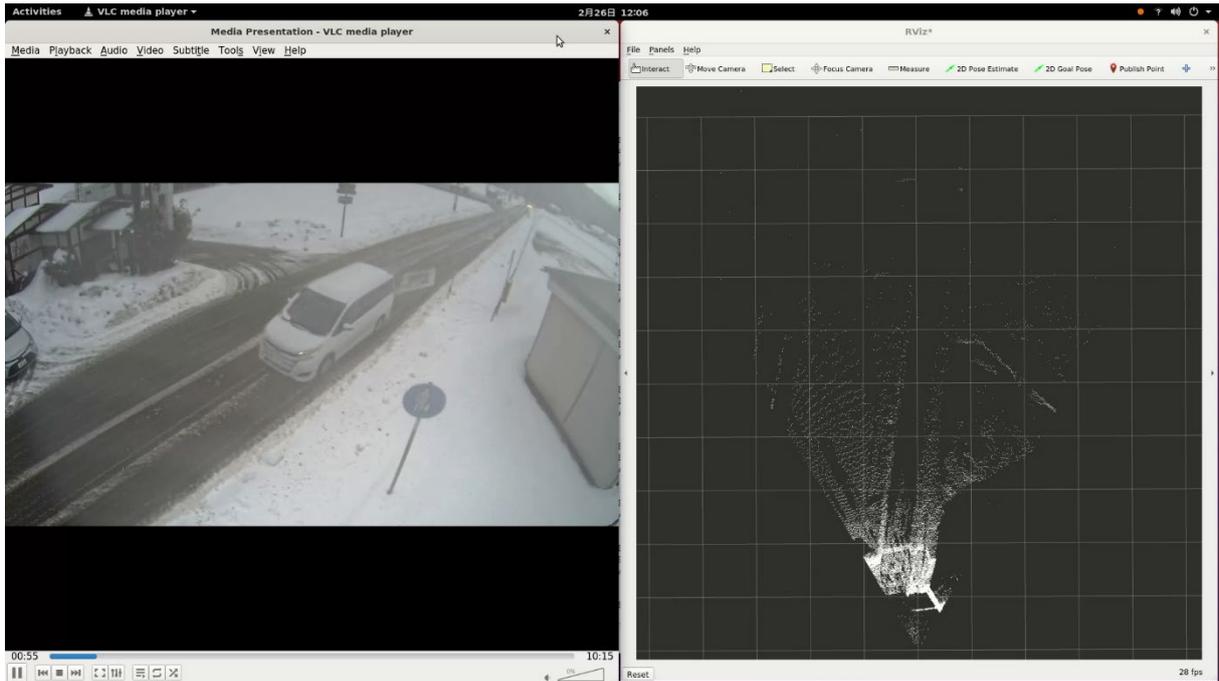


図 4.3.3.7-7 カメラ映像と LiDAR 点群データの例(2-1)
 (センサ：西向き・東古市方向、車種：ワンボックス)

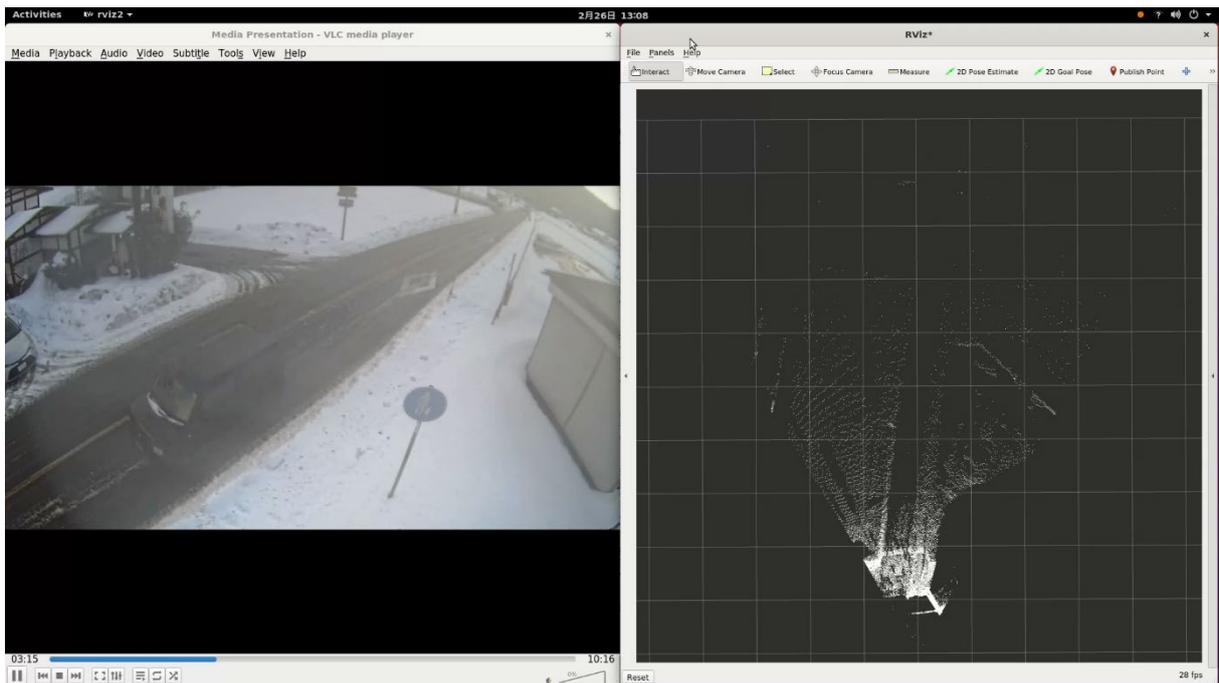


図 4.3.3.7-8 カメラ映像と LiDAR 点群データの例(2-2)
 (センサ：西向き・東古市方向、車種：軽ワンボックス)

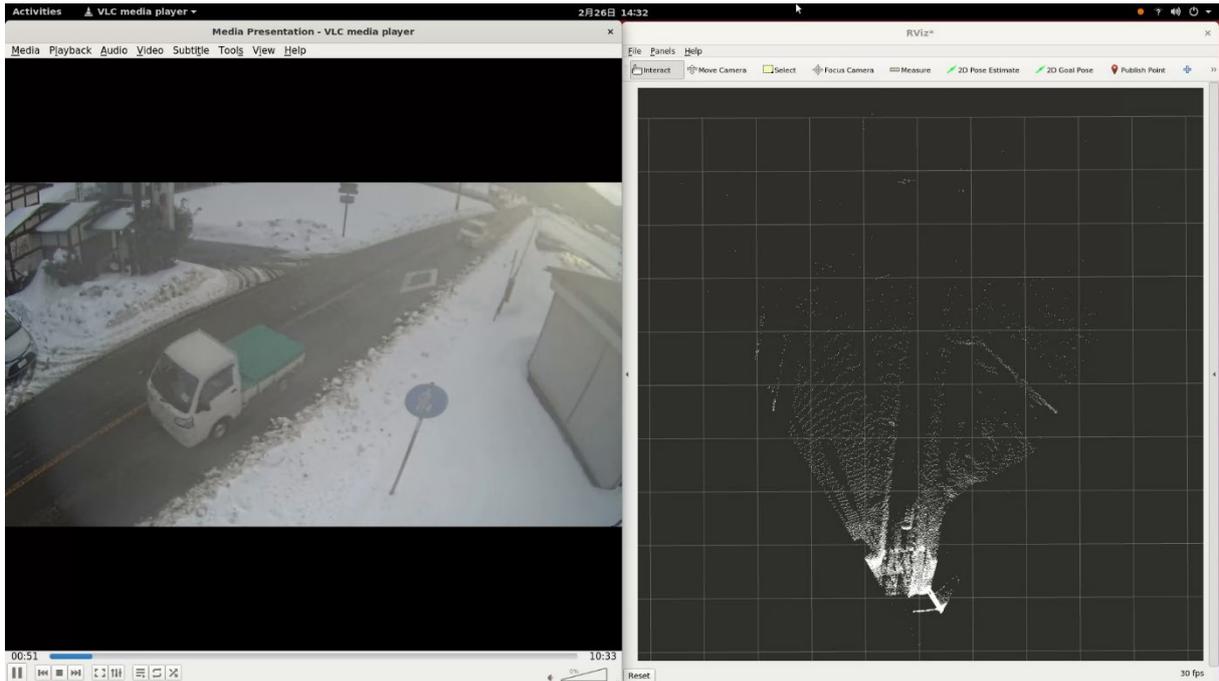


図 4.3.3.7-9 カメラ映像と LiDAR 点群データの例(2-3)
 (センサ：西向き・東古市方向、車種：軽トラック)

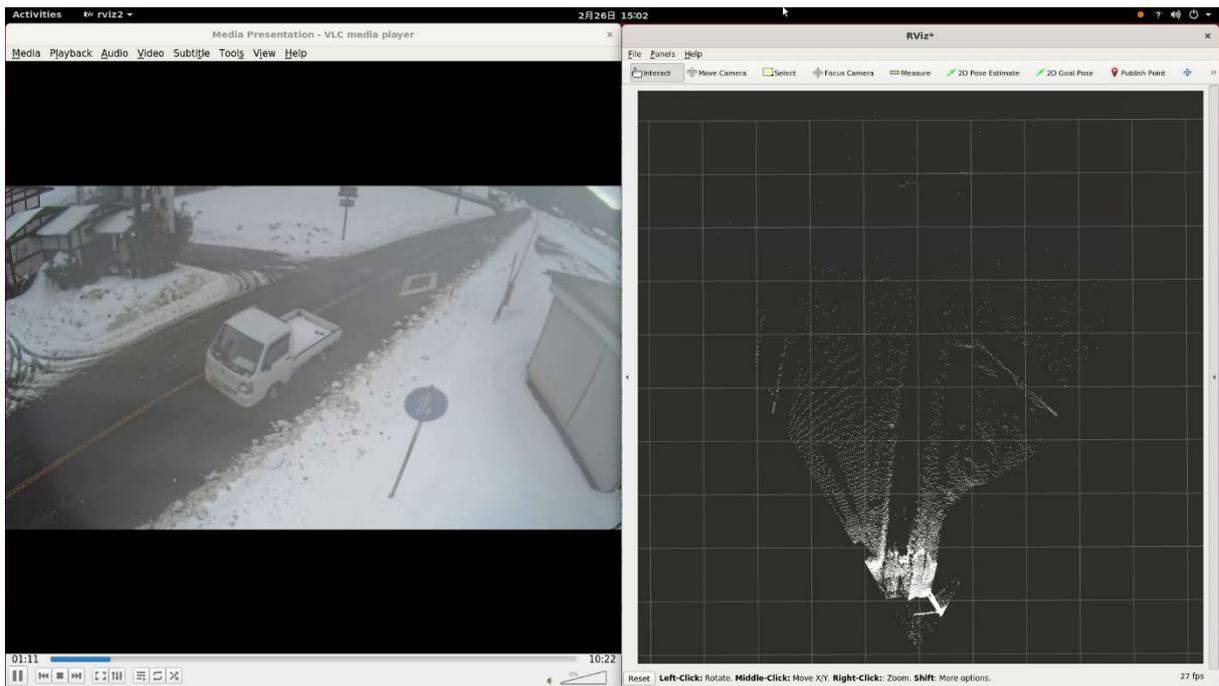


図 4.3.3.7-10 カメラ映像と LiDAR 点群データの例(2-4)
 (センサ：西向き・東古市方向、車種：軽トラック)

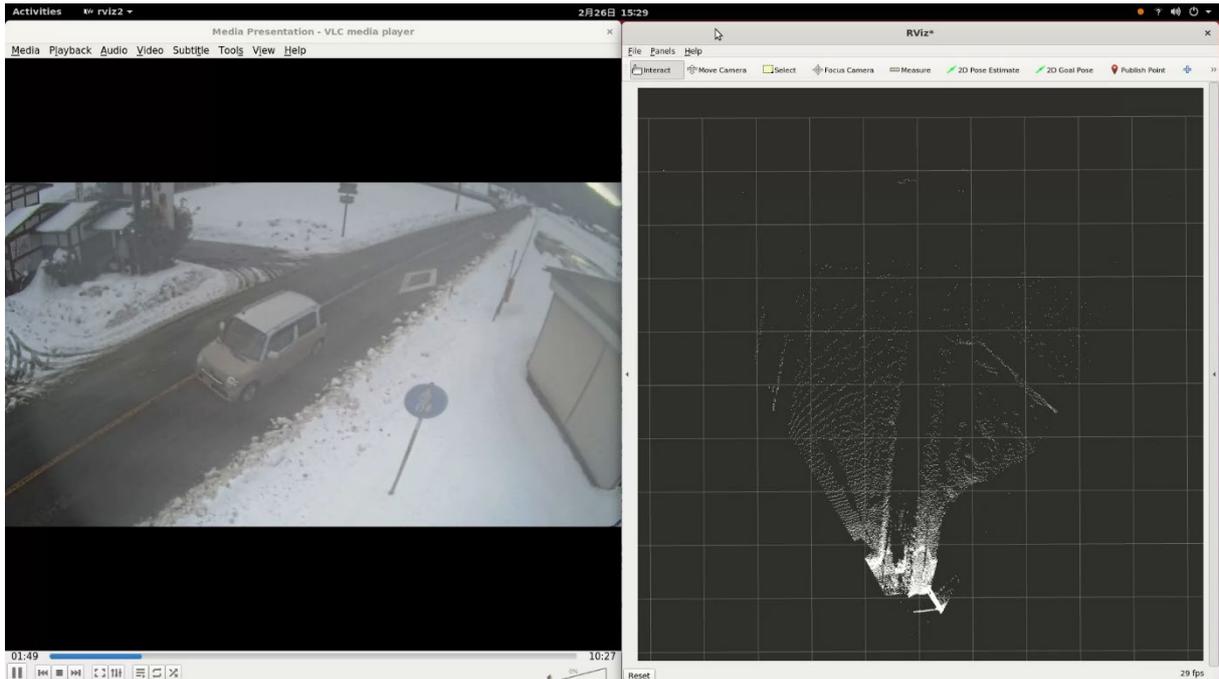


図 4.3.3.7-11 カメラ映像と LiDAR 点群データの例(2-5)
 (センサ：西向き・東古市方向、車種：軽自動車)

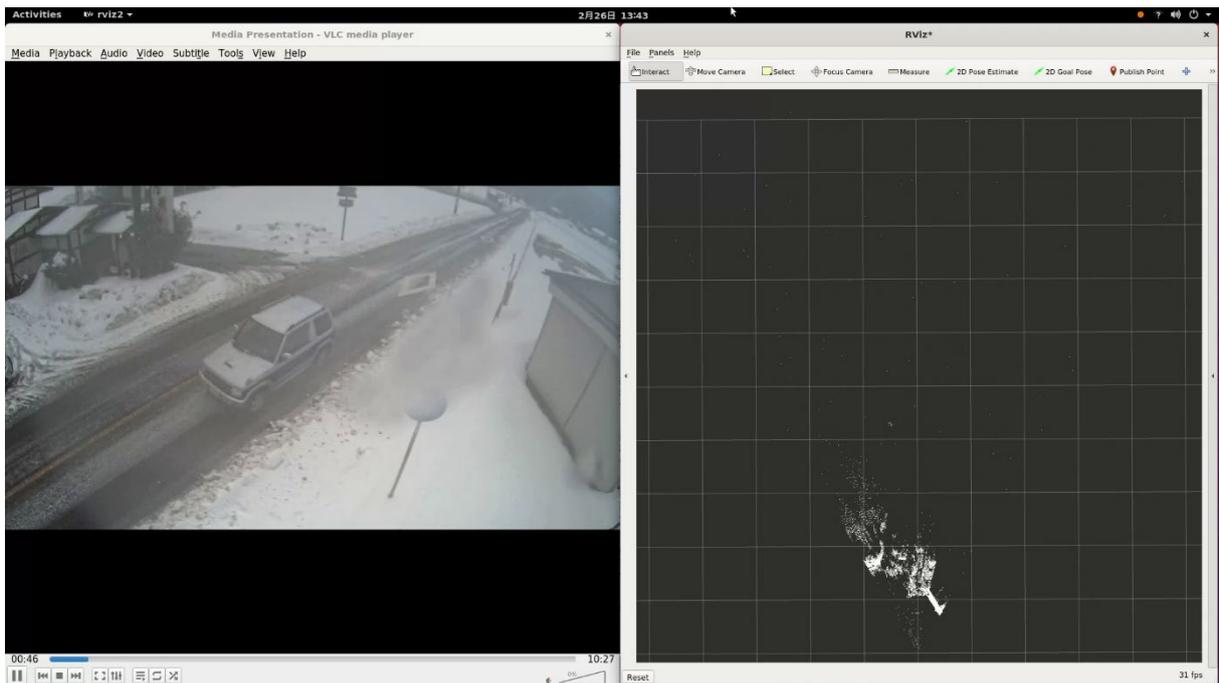


図 4.3.3.7-12 カメラ映像と LiDAR 点群データの例(2-6)
 (センサ：西向き・東古市方向、車種：SUV)

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									

RSU東向き(East 06-多雪)		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	○	1		1			
軽乗用車	○	2					

RSU西向き(West06-多雪)		最大検知距離(m)と車両台数							
車種	検知可	65 - 60	60 - 55	55 - 50	50 - 45	45 - 40	40 - 35	35 - 30	30 - 25
セダン/ハッチバック	○			1					
軽乗用車	○			2					1
軽ワンボックス	○	1							
軽トラック	○							1	
軽SUV	○								1
※センサに雪がついたと思われ、全般的に検知距離が短い									

現在までに確認されている課題を以下に示す。

- ・ LiDAR に雪が付着した際、検知距離が極端に短くなる（データ取得を行った当日は

西から風が吹いていたため、西向きのLiDARで大きな影響が出た)

- ・LiDARの足元(前後10m弱)は検知ができない
- ・雪が強い場合は、LiDAR前方にノイズが多くあらわれる。これにより検知距離が短くなることがある。
- ・向かってくる最中に追い越しをかける車両は、追い越す車両に遮られるため、検知距離が短くなる

4.3.3.1.78 実地における 路側機の検知評価

4.3.3.1.7.1 目的

実地にて、本路側機システムを使用しての路側機-車両連携自動運転の成立性について、評価を実施した。本路側機システムを自動運転コースの一般道との交差点付近に設置し、センサが出した障害物の検知結果をダイナミックマップとして自動運転車両に提供し、それをもとに交差する一般道を通行してくる車両との衝突をさけつつ、安全に一般道との交差点の通行を実現できることを目指して、路側システムによる一般道(実地)を通行する障害物の検知確率を評価し、その実現性を確認する。

◆4.3.3.1.7.2 評価方法

永平寺町参ろ一どの山交差点と荒谷地区のそれぞれにおいて、一般道を往来する移動物について検知が可能かどうかを評価する。また、合わせて検知距離がどのくらいであったのかを最小、最大、平均の観点で評価する。

4.3.3.1.7.2 ◆ 評価結果

4.3.3.1.7.2.1 山交差点における結果

評価結果を下記に示す。未検知となるシーンや障害物は確認されなかった。誤検知が発生するシーンとしては、雪や激しい雨の際にLiDARの近傍に誤検知が発生することがあるが、通常障害物が存在しない位置に限定して発生するため、容易に対策が可能であった。雪や激しい雨などにLiDARが反応して、何も無いところに誤検知が発生する状況においては、LiDARセンサの近傍のみに限定して発生するため対策可能であった。鳥や小動物など、リスクのない障害物については、LiDARの検知パラメータの調整により、障害物として検知されないことを確認している。また、夜間や、太陽光のハレーションにより、悪天候など、カメラの視界の悪い状況においても、LiDARにより物体を検知することができることを確認している。できていた。

表 4.3.3.1.7.2.1-1 評価した障害物の種類と数

種類種別	シーン数
車両	789
歩行者・2輪車	153

表 4.3.3.1.7.2.1-2 評価結果

評価項目	評価結果
検知率	949 / 949 = 100 %
検知開始距離検知距離	車両： 40 ~ 88.5 m 平均 55.6 m 歩行者： 40.5 ~ 68.9 m 平均 55.1 m

4.3.3.1.7.2.2 荒谷地区における結果

評価結果を下記に示す。結果としては概ね山交差部と同じ結果が得られた。山交差部との違いとしてよりも、遠くまで道路が続いており見通しがきくためが存在するため、最大の検知距離は長いことが挙げられる長くなった。ここで路側と車両を連携させた自動運転による道路横断を考えた時の注意点として、一般道の走行車両を調査した結果、車両によっては制限速度を大幅に超えて走行速度が非常に速いためする車両がいるため、この場所で安全に一般道の横断を実現しようとした場合は、安全を重視して200m以上の、さらに遠くの距離まで検知できるように、複数のスマートポールRSUのを設置をするべきと考える。その他の案としては、信号機を設置し、信号機と自動運転車両を連携して、青信号の時にのみRSUで安全を確認して横断するという方法も考えられる。ことが望ましい。

表 4.3.3.1.7.2.2-1 評価した障害物

種別	シーン数
車両	1201
歩行者・2輪車	20

表 4.3.3.1.7.2.2-2 評価結果

評価項目	評価結果
検知率	1201 / 1201 = 100 %
検知開始距離	車両： 40 ~ 129 m 平均 73.7 m 歩行者： 45.1 ~ 102.7 m 平均 77.2 m

4.3.3.1.7.3 結論

異なるセンサである、カメラとLiDARをフュージョンすることで、それぞれのセンサの短所を補い、往来する一般通行者の見逃しを防ぐことができることを確認した。また、誤検知についても、固定センサであるが故に、移動するオブジェクト以外のセンシング情報のバリエーションが限られており、定常的に発生する誤検知は発生することはないことを確認した。このことから本路側機システムを用いた路車連携による自動運転の実現について、路側機のセンサ性能の面で実現性を確認することができた。

4.3.3.2 車両システム（路車連携向け）

4.3.3.2.1 背景

現状、東古市から荒谷までの北ルート 4km の区間は、車両に乗車した運転手（安全監視員）による自動運転レベル 2 運転区間となっており、途中に存在する 14 か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。

令和 4 年度は、一般道との交差点付近に路側センサを設置し、センサが出力する障害物情報をもとに、自動運転車両が安全に交差点を通過できることを東古市の山交差点において、実証試験を通じて確認した。また、路側センサからの情報が途絶した際に、自動運転車両は MRM として交差点外で速やかに緊急停止することを確認した。

本節では、上記を実現する自動運転車両の機能について説明する。

4.3.3.2.2 前提条件

複数の道路とその道路の交差点から成り立つ交差点では、その交差点部において異なる道路を走行する車両同士が交錯し衝突する可能性が存在する。そのため、自車両が交差点を安全に通過する際、自車両が存在しない道路からの他車の進入を考慮する必要がある。

本節では表 4.3.3.2.2-1 に示す用語を用いることで、交差点通過を実現する自動運転車両の機能について説明する。

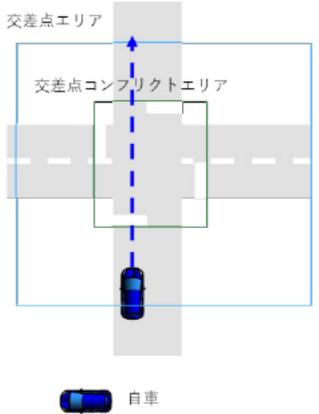
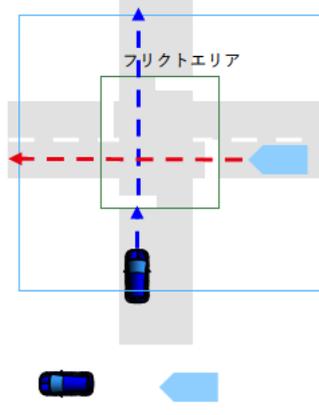
表 4.3.3.2.2-1 交差点通過に関わる用語一覧

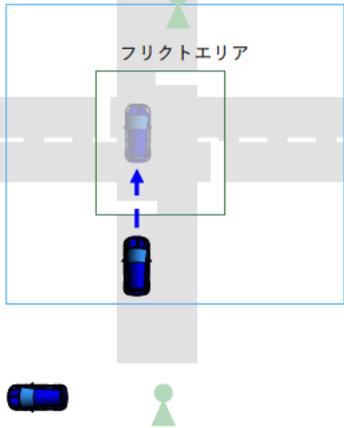
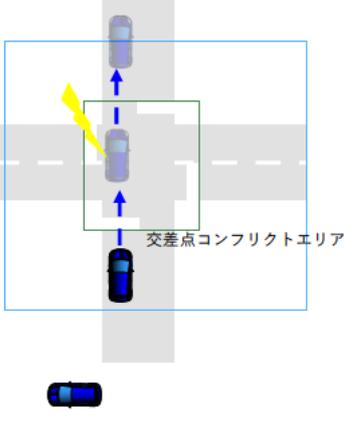
用語	定義	補足図
交差点 コンフリクトエリア (右図緑線内部領域)	複数の道路が交差している領域であって、異なる道路を走行する車同士が衝突する可能性のある領域	
交差点エリア (右図水線内部領域)	交差点を安全かつ交通ルールを遵守して通過するにあたり、自車両が存在しない道路上の障害物の存在を把握しておく必要のある領域	

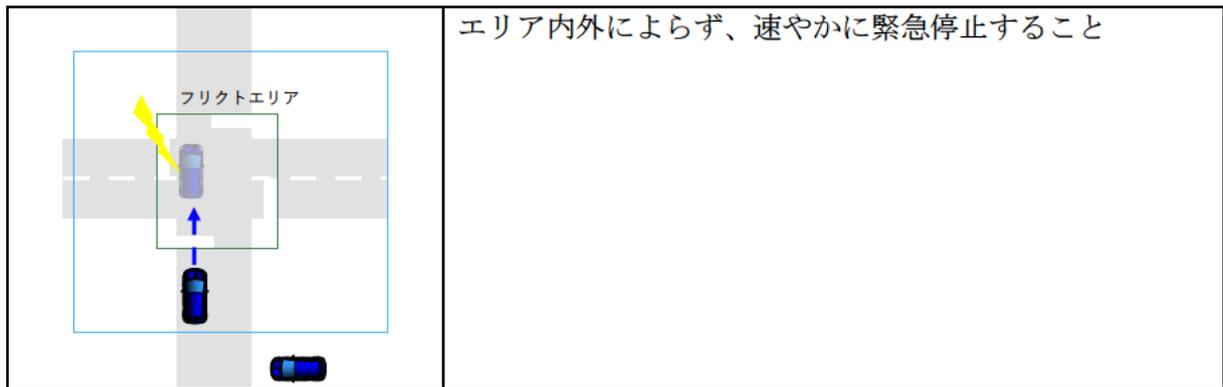
4.3.3.2.3 ユースケースの検討

交差点通過および交差点通過中の MRM を実現するために、表 4.3.3.2.3-1 に示すユースケースを検討した。

表 4.3.3.2.3-1 検討ユースケース一覧

名称	内容
<p>ユースケース#1 障害物非存在時交差点通過</p> 	<p>○シナリオ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・交差点停止線手前の RFID を検知することで、一旦停止 ・路側センサから交差点エリア内の障害物の非存在を確認し、通過を判断 ・交差点コンフリクトエリアを自車が通過 <p>○必要機能</p> <ul style="list-style-type: none"> ・停止線前で一旦停止すること ・交差点エリア内の障害物の存在、非存在を判断すること ・AEB 機能が働かず、交差点内を通過できること
<p>ユースケース#2 障害物存在時交差点通過</p> 	<p>○シナリオ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・交差点停止線前の RFID を検知することで一旦停止 ・路側センサから交差点エリア内の障害物存在もしくは非存在を確認 ・障害物が存在する場合、自車両は交差点停止線手前で待機を判断 ・障害物が存在しない場合、自車両は通過を判断 ・交差点コンフリクトエリアを自車が通過 <p>○必要機能</p> <ul style="list-style-type: none"> ・停止線前で一旦停止すること ・交差点エリア内の障害物の存在、非存在を判断すること ・交差点エリア内の障害物の存在時に、交差点への通過を待機させる判断をすること ・交差点エリア内の障害物の非存在時に、交差点への通過を実行させる判断をすること ・AEB 機能が働かず、交差点内を通過できること
<p>ユースケース#3 路側機非検知時交差点通過</p>	<p>○シナリオ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・交差点停止線前の RFID を検知することで一旦停止 ・路側センサから交差点エリア内の障害物の非存在を確認し、通過を判断 ・交差点通過中に車載センサにより障害物を検知し、安全に停車 <p>○必要機能</p> <ul style="list-style-type: none"> ・停止線前で一旦停止すること ・交差点エリア内の障害物の存在、非存在を判断すること

	<ul style="list-style-type: none"> ・車載センサによって障害物を検知すること ・車載センサによって障害物を検知した場合に、交差点内外に関わらず AEB 機能を用いて停止すること
<p>ユースケース#4 障害物非存在時通信途絶による MRM</p> 	<p>○シナリオ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・交差点停止線前の RFID を検知することで一旦停止 ・路側センサから交差点エリア内の障害物の非存在を確認し、通過を判断 ・通信途絶を検知して、交差点コンフリクトエリア外へ徐行で退出 ・交差点コンフリクトエリア外への退出を判断して停止すること <p>○必要機能</p> <ul style="list-style-type: none"> ・停止線前で一旦停止すること ・交差点エリア内の障害物の存在、非存在を判断すること ・遠隔監視システム / 管制システム / 路側機システムのいずれかの通信途絶を検知すること ・自車が交差点コンフリクトエリアに存在するか否かを判断すること ・AEB 機能が働かず、交差点内を通過できること ・交差点コンフリクトエリア内で通信途絶を検知した場合、交差点コンフリクトエリア外へ徐行で退出すると判断すること ・交差点コンフリクトエリア退出後に停車すると判断すること
<p>ユースケース#5 障害物非存在時車両フェールによる MRM</p>	<p>○シナリオ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・交差点停止線前の RFID を検知することで一旦停止 ・路側センサから交差点エリア内の障害物の非存在を確認し、通過を判断 ・車両フェールを検知して、その場で緊急停止 <p>○必要機能</p> <ul style="list-style-type: none"> ・停止線前で一旦停止すること ・交差点エリア内の障害物の存在、非存在を判断すること ・車両フェールを検知すること ・車両フェールを検知した場合は、交差点コンフリクト



4.3.3.2.4 路車連携システム機能

上記ユースケースの必要機能に基づいて認知機能および制御機能に分類し、機能の配置先が路側機または車両になるかを決定し、路車連携システム機能一覧として表 4.3.3.2.4-1 に示す。

表 4.3.3.2.4-1 路車連携システム機能一覧

分類	番号	機能内容	配置先	
			路側機	車両
認知	(A1)	自車が交差点コンフリクトエリアに存在するか否かが分かること	-	○
	(A2)	交差点付近の障害物位置が分かること	○	○
	(A3)	遠隔監視システム / 管制システム / 路側機システムのいずれかの途絶（以降、通信途絶とまとめる）を検知すること	-	○
	(A4)	車両フェールを検知すること	-	○
制御	(B1)	交差点エリア内の障害物の存在時に、交差点への通過を待機させること	-	○
	(B2)	交差点エリア内の障害物非存在時に、交差点への通過を実行させること	-	○
	(B3)	通信途絶時に交差点コンフリクトエリア内と判断し、交差点コンフリクトエリア外へ徐行で退出すること	-	○
	(B4)	通信途絶時に交差点コンフリクトエリア外と判断し、停車すること	-	○
	(B5)	車両フェール検知時に交差点コンフリクトエリア内外によらず、緊急停止すること	-	○

4.3.3.2.4.1 認知にかかる機能

表 4.3.3.2.4-1 で示した機能一覧に関して、認知に分類される (A1) と (A2) に関して下記に補足説明する。

(A1) 自車がの交差点コンフリクトエリア内外に存在するか否かが分かること

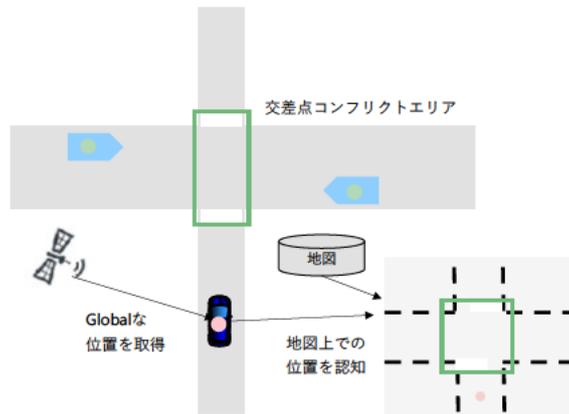


図 4.3.3.2.4.1-1 衛星測位による交差点との位置関係の推定

自車が交差点に存在するか否かを認知する方法として、図 4.3.3.2.4.1-1 に示す方法が考えられる。まず、自車に衛星測位センサを配置することで、自車の位置を特定できるようにする。そして、交差点の地図を予め取得しておくことで、衛星での測位位置と予め取得した地図との相対的な関係から、自車が交差点の内外のいずれに存在するかを認知できる。

ただし、上記の方法では、衛星が不安定となった際に自車の位置認知を誤る可能性がある。一方で、対象とする東古市の山交差部には電磁誘導線上に沿って所定の間隔で RFID が設置されている。特に、山交差部の入り口と出口付近には RFID が設置されており、それぞれの RFID には固有の ID が付与されている。そのため、図 4.3.3.2.4.1-2 に示すように、自車が交差点に存在するか否かを認知する方法は、RFID の読み取り結果を利用することとした。

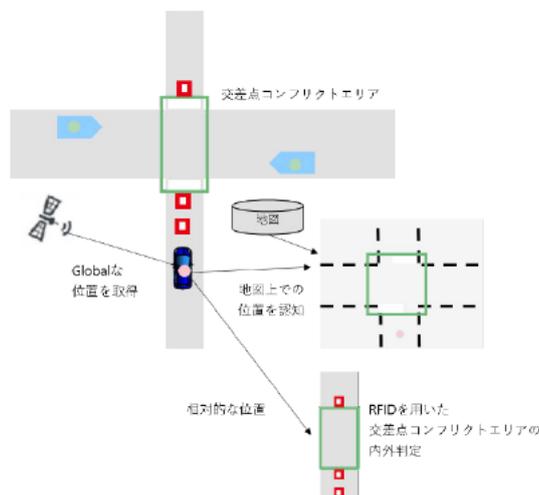


図 4.3.3.2.4.1-2 RFID の読み取りを用いた交差点との位置関係の推定

(A2) 交差点付近の障害物位置が分かること

交差点通過の対象とする山交差部では、電磁誘導線が東西方向に延びており、自動運転車両は電磁誘導線上を走行する。自動運転車両が交差点を通過する場合、南北方向の手動運転車両の往来と、東西方向の歩行者や自転車の影響を考慮する必要がある。

ここで、路側機は、南北方向の手動運転車両の往来を検知できるように設置されている。そのため、図 4.3.3.2.4.1-3 に示すように、南北方向に関しては路側機による障害物位置の検知、東西方向に関しては車載センサによる障害物の位置という機能配分を実施することで、交差点付近の障害物位置検知を実現する。

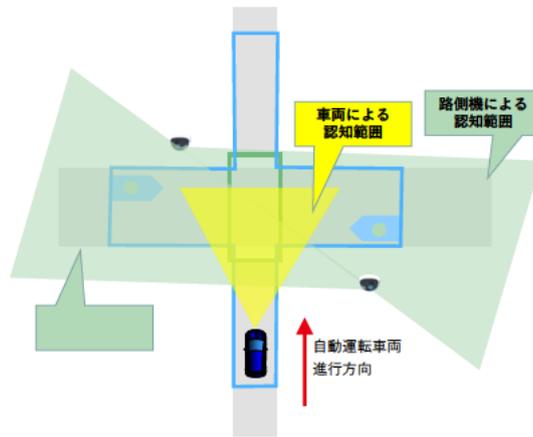


図 4.3.3.2.4.1-3 路車の認知機能を用いた障害物位置の検知

次に、障害物の検知範囲にかかる要件に関して説明する。今回、自動運転車両が交差点を通過するにあたり、他の手動運転車両への影響を極小化することを目的として、障害物の検知範囲を決定した。ただし、交差点付近には他の手動運転車両に対する自動運転車両への注意喚起に関する掲示が存在するため、交差点付近は他の手動運転車両は低速走行すると想定とした。

つまり、交差点エリア外に存在する速度 v_1 以下の他車両に対して、自動運転車両が交差点コンフリクトエリアに進入してから退出するまでに、他車両が速度を落とさずとも交差点コンフリクトエリアに進入しないことを満足する距離を交差点エリアの長さとする。すなわち、東古市の交差点は図 4.3.3.2.4.1-4 のように表現され、求める距離 d は (数式 4.3.3.2.4.1-1) で表現される。ただし、各変数の定義は表 4.3.3.2.4.1-1 の通りである。

$$d = v_1 \cdot v_0 \cdot L_{cnf} + L_{veh} + v_0 \cdot \sqrt{2a_0} + L_{cnf} \quad \text{(数式 4.3.3.2.4.1-1)}$$

表 4.3.3.2.4.1-1 交差点エリア長定義に関わる変数一覧

変数	意味
v_1	他車の速度
v_0	自車の速度
L_{cnf}	交差点コンフリクトエリアの1辺の長さ
L_{veh}	自車の長さ
v_0	自車の速度
a_0	自車の加速度

今回は、 $d=30\text{m}$ を路側センサが検知に必要な範囲として定義した。

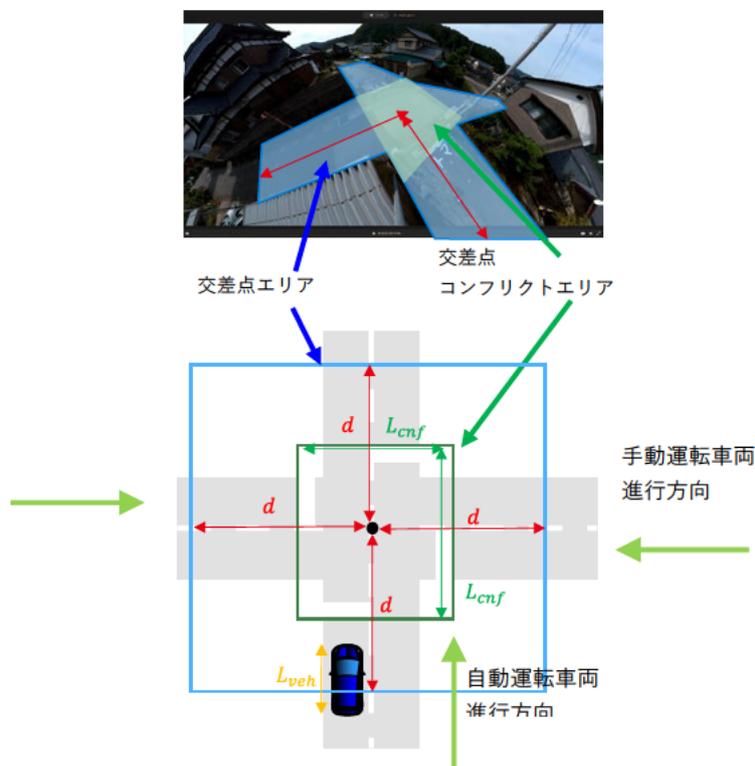


図 4.3.3.2.4.1-4 山交差点における他車両の進行に対して必要な交差点エリアの範囲

4.3.3.2.4.2 制御にかかる機能

制御にかかる機能を満たす車両制御システム構成を図 4.3.3.2.4.2-1 に示す。以降、図 4.3.3.2.4.2-1 に示す機能の内容を説明するが、センサフュージョン部および被害低減ブレーキ制御部に関しては、4.3.2 節で述べた内容と同様の機能構成であるため、説明を省略する。

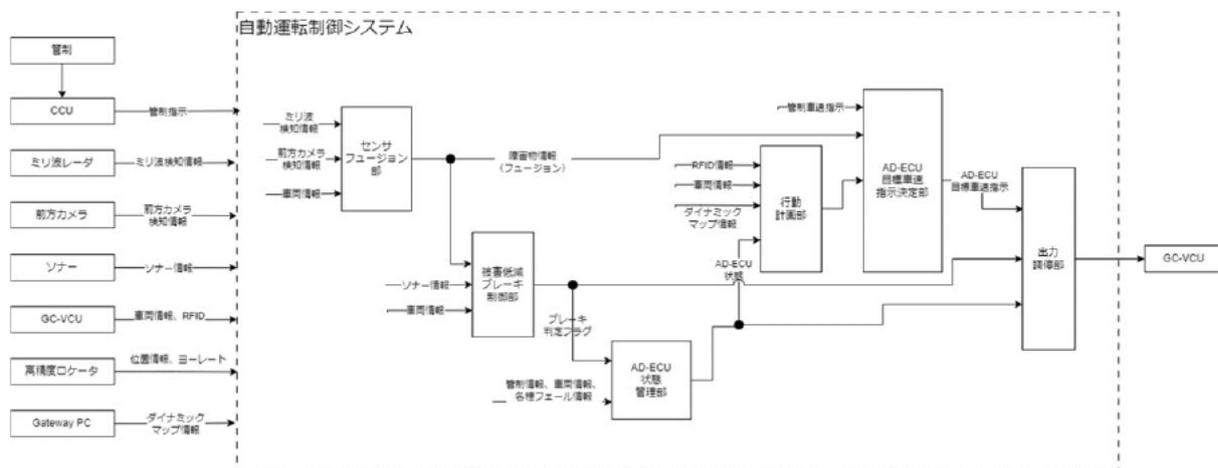


図 4.3.3.2.4.2-1 自動運転制御システム（路車連携向け）構成

4.3.3.2.4.2.1 AD-ECU 状態管理部

4.3.1 節で述べたように、車両がデッドロックに陥る、もしくは車両異常といった自動運転の運行設計領域外（ODD 外）条件を満たした場合は自動的に MRM（5x）に遷移する。ここで、4.3.3.2.2 節のユースケースで説明したように、自動運転車両が ODD 外条件を満たした場合に、直ちに緊急停止するか、交差点のように停止することで他の交通参加者の通行の妨げになる場所では緊急停止せずに徐行するか、を判断する必要がある。そのため、AD-ECU 状態管理部において分類した MRM の内容に応じて、緊急停止すると他の交通参加者の通行の妨げになる場所からの退避行動（今後、単に退避行動と呼ぶ）を許可するか否かを AD-ECU 状態管理部で判断する。状態遷移の分類ごとに退避行動を許可するか否かの一覧を表 4.3.3.2.4.2.1-1 に示す。

表 4.3.3.2.4.2.1-1 MRM 状態に基づく退避行動許可の可否

5x MRM	退避行動許可の可否
51: 遠隔操縦非常停止	否
52: 車両異常停止	否
53: 車内・管制による緊急停止	否
54: 障害物による走行不能	否
55: オーバーライドによる緊急停止	否
56: 交通ルールによる運行制約	可
57: 気象センサによる緊急停止	否
58: 車両異常・性能限界による緊急停止	否
59: インフラ・通信異常による緊急停止	可
60: 障害物妨害による走行不能	否
61: 管制による停止	否

4.3.3.2.4.2.2 行動計画部

行動計画部では、交差点通過機能と交差点 MRM 機能の 2 つの機能を実現するために、車両が実施すべき制御を目標行動として計画する。

交差点通過機能では、交差点を安全に通過するために、路側センサから得られた障害物情報と予め記憶している交差点の地図情報をもとに、交差点エリアに障害物が存在する場合は交差点停止線前で停止待機を実施し、交差点エリアに障害物が存在しない場合は、交差点通過を判断する。交差点通過を実現するための行動計画機能一覧を表 4.3.3.2.4.2.2-1 に示す。また、表 4.3.3.2.4.2.2-1 に示す通り、行動計画部では、自車が交差点手前で停止するや、交差点を通過するといった車両が取るべき行動を車両モードとして出力する。

表 4.3.3.2.4.2.2-1 交差点通過を実現するための行動計画機能

サブ機能	入力	条件	出力
(1) 交差点近傍判断	・ RFID	交差点前停止を示す RFID タグを読み取り	near_int: 自車が交差点近傍か否かの判定結果 1: 近傍/ 0: 遠方
(2) 停止判断	・ 自車速	所定時間、車速が閾値以下	is_rest: 停止状態かの判断結果 1: 停止/ 0: 非停止
(3) 交差点エリア内障害物判定	・ 路側センサからの障害物情報 ・ 交差点エリア地図	交差点エリア地図と路側機の情報をもとに、交差点エリア内の障害物存在を判定	int_clear: 交差点エリア内に障害物が存在しているか否かの判断結果 1: 非存在/ 0: 存在
(4) 交差点コンフリクトエリア内判断	・ RFID	交差点前後の RFID を読み取ることで、自車両が交差点コンフリクトエリアに存在するか否かを判定	ego_in_int_cnf: 自車両が交差点コンフリクトエリア内に存在しているか否かの判断結果 1: 存在/ 0: 非存在
(5) 緊急停止判断	・ 緊急制御部からの出力	緊急制御判断部にて、緊急制御を判断	req_em: 緊急停止の要求結果 1: 必要/ 0: 不要
(6) AD-ECU 状態管理判断	・ AD-ECU 状態管理部からの出力	①入力が自動走行中 ②入力が緊急停止	op_cmd: AD-ECU 状態管理判断部から出力する指示 start: 自動走行 emergency stop: 緊急停止
(7) 交差点前停止行動	・ RFID ・ (1): near_int	交差点前停止を示す RFID タグを読み取り	・ mode = SI ・ 交差点手前で停止する車速 mode: 車両が目標とする行動 SI: 交差点前での停止
(8) 交差点通過行動	・ (2): is_rest ・ (3): int_clear ・ (5): req_em ・ (7): mode	mode = SI かつ is_rest = 1 かつ int_clear = 1 かつ req_em = 0	・ mode = CI ・ 交差点を徐行で通過 CI: 交差点内の徐行通過

(9) 通常走行引継ぎ行動	<ul style="list-style-type: none"> ego_in_int_cnf (5): req_em (8): mode 	(4): mode = CI かつ req_em = 0 かつ ego_in_int_cnf = 0	<ul style="list-style-type: none"> mode = LF 交差点を通過したと判断し、車速を 12km/h に上げる LF: 通常走行
(10) 緊急停止行動	<ul style="list-style-type: none"> (5): req_em (6): op_cmd 	req_em = 1 または op_cmd = emergency stop	<ul style="list-style-type: none"> mode = ES 緊急停止指示を伝える ES: 緊急停止

交差点 MRM 機能では、交差点通過中に AD-ECU の状態遷移において MRM 状態になった場合、退避行動が許可された状態であれば交差点通過外で停止する、退避行動が許可されていない状態であれば交差点内外によらず停止する、ように判断する。交差点 MRM を実現するための行動計画機能一覧を表 4.3.3.2.4.2.2-2 に示す。また、表 4.3.3.2.4.2.2-2 に示す通り、行動計画部では、自車が交差点手前で停止するや、リスクの低い場所を探索するために徐行を継続するといった車両が取るべき行動を、車両モードをととして出力する。

表 4.3.3.2.4.2.2-2 交差点 MRM を実現するための行動計画機能

サブ機能	入力	条件	出力
(1) 交差点接近判断	<ul style="list-style-type: none"> RFID 	交差点前停止を示す RFID タグを読み取り	near_int: 自車が交差点近傍か否かの判定結果 1: 近傍 / 0: 遠方
(2) 停止判断	<ul style="list-style-type: none"> 自車速 	所定時間、車速が閾値以下	is_rest: 停止状態かの判断結果 1: 停止 / 0: 非停止
(3) 交差点エリア内障害物判定	<ul style="list-style-type: none"> 路側センサからの障害物情報 交差点エリア地図 	交差点エリア地図と路側機の情報をもとに、交差点エリア内の障害物存在を判定	int_clear: 交差点エリア内に障害物が存在しているか否かの判断結果 1: 非存在 / 0: 存在
(4) 交差点コンフリクトエリア内判断	<ul style="list-style-type: none"> RFID 	交差点前後の RFID を読み取ることで、自車両の交差点内外を判定	ego_in_int_cnf: 自車両が交差点コンフリクトエリア内に存在しているか否かの判断結果 1: 存在 / 0: 非存在
(5) 緊急停止判断	<ul style="list-style-type: none"> 緊急制御部からの出力 	緊急制御判断部にて、緊急制御を判断	req_em: 緊急停止の要求結果 1: 必要 / 0: 不要
(6) AD-ECU 状態管理判断	<ul style="list-style-type: none"> AD-ECU 状態管理部からの出力 	入力が自動走行中 入力が緊急停止 入力が MRM 走行	op_cmd: AD-ECU 状態管理判断部から出力する指示 start: 自動走行 emergency stop: 緊急停止 MRM: MRM 制御指示
(7) 交差点前停止行動	<ul style="list-style-type: none"> RFID (1): near_int 	交差点前停止を示す RFID タグを読み取り	<ul style="list-style-type: none"> mode = SI 交差点手前で停止する車速 mode: 車両が目標とする行動

			SI:交差点前での停止
(8) 交差点通過行動	<ul style="list-style-type: none"> • (2): is_rest • (3): int_clear • (5): req_em • (7): mode 	mode = SI かつ is_rest = 1 かつ int_clear = 1 かつ req_em = 0	<ul style="list-style-type: none"> • mode = CI • 交差点を徐行で通過 CI: 交差点内の徐行通過
(9) 通常走行引継ぎ行動	<ul style="list-style-type: none"> • (4): ego_in_int_cnf • (5): req_em • (8): mode 	mode = CI かつ req_em = 0 かつ ego_in_int_cnf = 0	<ul style="list-style-type: none"> • mode = LF • 交差点を通過したと判断し、車速を 12km/h に上げる LF: 通常走行
(10) 緊急停止行動	(4): ego_in_int_cnf (5): req_em (6): op_cmd (11): mode	①から④のいずれか成立 ① req_em = 1 ② op_cmd = emergency stop ③ op_cmd = MRM かつ mode [~] = CI かつ mode [~] = FMR ④ mode = FRM かつ ego_in_int_cnf = 0	<ul style="list-style-type: none"> • mode = ES • 緊急停止指示 を伝える
(11) 停止場所探索行動	(5): req_em (6): op_cmd (8): mode	req_em = 0 かつ op_cmd = MRM かつ mode = CI	<ul style="list-style-type: none"> • mode = FMR • リスクの低い場所を探索するために徐行を継続 mode = FMR

4.3.3.2.4.2.3 AD-ECU 目標車速指示決定部

AD-ECU 目標車速指示決定部では、管制車速指示情報と行動計画部が出力する目標車速情報と、車載センサの障害物情報に基づく目標車速に基づいて、最小値を用いることで、AD-ECU の目標車速として決定する。

車載センサの障害物情報に基づく目標車速の決定方法は、4.3.2 節で示した内容と同様のため、省略する。

4.3.3.2.4.2.4 出力調停部

出力調停部では、被害低減ブレーキ制御部、AD-ECU 状態管理部、AD-ECU 目標車速指示決定部の出力情報をもとに、カート VCU への目標車速、運行モード、ブレーキ指示を決定して出力する。4.3.2 節で述べたように、カート VCU への運行モード、ブレーキ指示は、AD-ECU 状態管理部で管理される状態遷移情報をもとに決定される。また、カート VCU への目標車速は、AD-ECU 目標車速指示決定部で出力される速度情報を出力する。

4.3.3.3 路側機-車両連携による自動運転実証検証

4.3.3.3.1 目的

路側機システムと永平寺町を走行する自動運転車両を連携することで、交差点周辺において自動運転車両の車載センサからは死角となり認知見ることができない位置に存在するいる交差点周辺の交通参加者との接触や通行妨げを回避しつつ、安全に自動走行で交差点を通過できることを実証する。

4.3.3.3.2 実証シナリオ

検討したユースケースの内、ユースケース#2 障害物存在時交差点通過とユースケース#4 障害物非存在時通信途絶による MRM について説明する。検討したユースケースの内、ここではユースケース#2 障害物存在時交差点通過とユースケース#4 障害物非存在時通信途絶による MRM について詳しく説明する。

4.3.3.3.2.1 ユースケース#2 障害物存在時交差点通過

ユースケース#2 の実証シナリオでは、以下のステップに則って実施した。

- A) 自車は交差点停止線前の RFID を検知することで一旦停止する。
- B) 路側機から交差点エリア内の障害物の存在を確認し、自車は停止待機を続ける。
- C) 障害物が交差点エリアを通過することで、路側機から交差点エリア内の障害物の非存在を確認し、自車は交差点の通過を判断することで交差点を通過する。
- D)

4.3.3.3.2.2 ユースケース#4 障害物非存在時通信途絶による MRM

ユースケース#4 の実証シナリオでは、以下のステップに則って実施した。

- A) 自車は交差点停止線前の RFID を検知することで一旦停止する。
- B) 路側機から交差点エリア内の障害物の非存在を確認し、自車は交差点の通過を判断する。
- C) 自車が交差点を通過中に路側機との通信途絶を検知し、MRM として交差点コンフリクトエリア外へ徐行での退出を判断する。
- D) 自車が交差点コンフリクトエリア外へ退出したことを判断し、交差点コンフリクトエリア外にて停止する。

4.3.3.3 実証結果

4.3.3.3.1 ユースケース#2 障害物存在時交差点通過

実証時の状況を図 4.3.3.3.3.1-1 に示す。



図 4.3.3.3.3.1-1 ユースケース#2 の実証状況

4.3.3.3.3.1.1 路側機の動作検知結果

実証当日における視界は良好で、LiDAR とカメラの両方で通行車両物体を捉えており、両者のフュージョン結果として出力された検知結果についても特に問題はなかった。(図 4.3.3.3.3.1.1)カメラへの雨水の付着や、太陽光によるカメラ映像のハレーション、画像認識 AI による物体認識ができなかった場合でも、安定して検知を続けることができた。

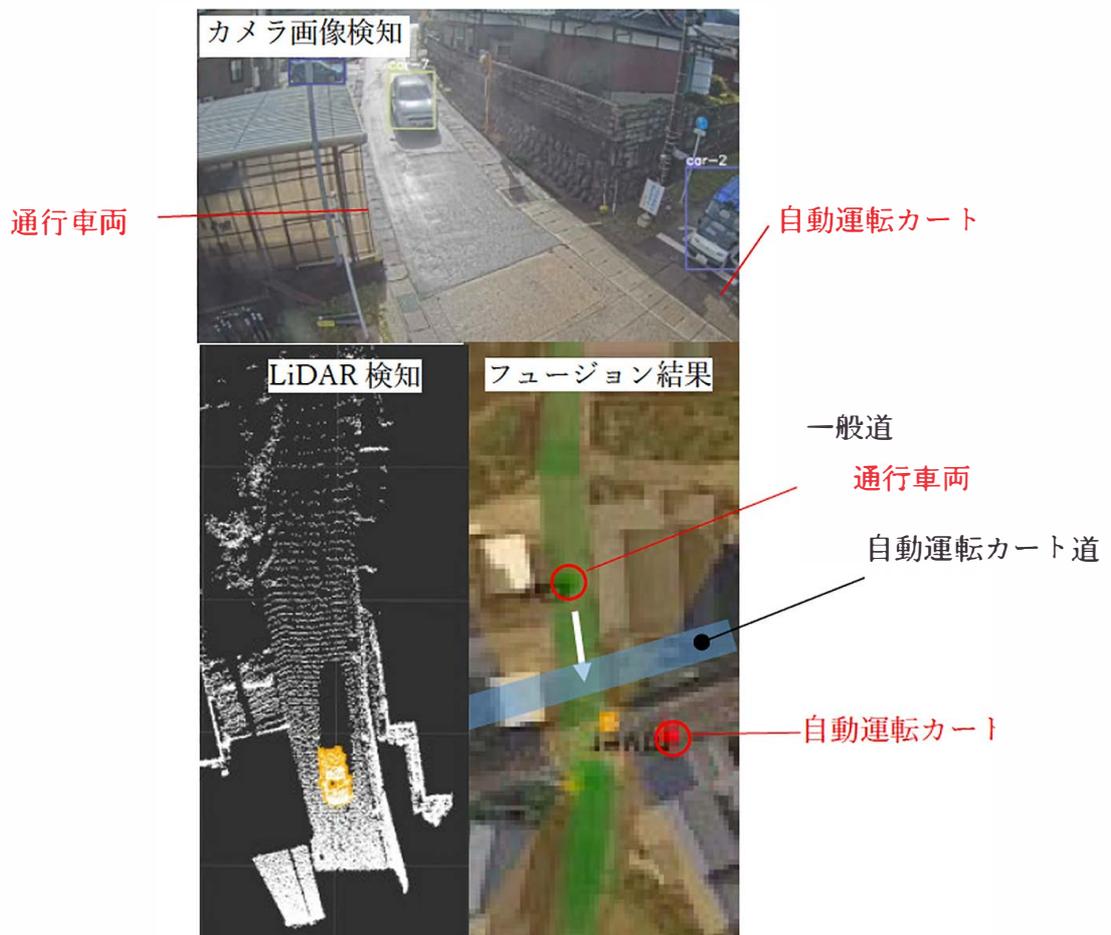


図 4.3.3.3.3.1.1 評価時の路側機の検知結果

4.3.3.3.1.2 自動運転車両の動作結果

設計通り、自動運転車両は交差点手前で一旦停止を実施し、障害物が交差点エリア内に存在している間、車両は交差点手前で停止状態を維持した。そして、障害物が交差点エリア内から非存在となった後に自動運転車両は、交差点を通過することを確認した。

自動運転車両が行動計画部において出力する車両モードの遷移結果および、交差点エリア内に障害物が存在するかの判断結果を図 4.3.3.3.1.2-1 に示すことで、詳細な動作結果を示す。

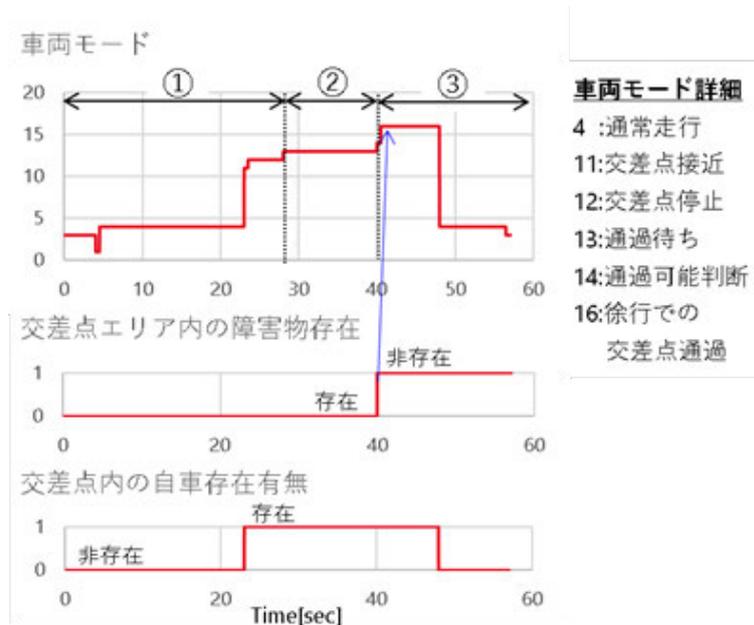


図 4.3.3.3.1.2-1 車両モードの遷移結果と交差点エリア内の障害物判定結果（ユースケース #2）

4.3.3.3.2.1 で述べたシナリオに則って説明する。

A) 自車は交差点停止線前の RFID を検知することで一旦停止する。

図 4.3.3.3.1.2-1 の区間①より、通常走行中に交差点手前の一時停止線に向けて停止指示する RFID を検知し、減速して停車を確認した。（車両モード 4→11→12）

B) 路側機から交差点エリア内の障害物の存在を確認し、自車は停止待機を続ける。

図 4.3.3.3.1.2-1 の区間②および交差点エリア内の障害物存在判断結果より、障害物が交差点エリア内に存在する間、自車は障害物の通過待ちで一時停止線で停車待機することを確認した。（車両モード 13）

C) 障害物が交差点エリアを通過することで路側機から交差点エリア内の障害物の非存在を確認し、自車は交差点の通過を判断することで交差点を通過する。

図 4.3.3.3.1.2-1 の区間③および交差点エリア内の障害物存在判断結果より、障害物が交差点エリア内から非存在になることで、自車は徐行で交差点通過を開始することを確認した。（車両モード 13→14→16）また、交差点を通過後、自車が通常走行する車両モードに変わることを確認した。（車両モード 16→4）

4.3.3.3.2 ユースケース#4 障害物非存在時通信途絶による MRM

実証時の状況を図 4.3.3.3.2-1 に示す。



図 4.3.3.3.2-1 ユースケース#4 の実証状況

4.3.3.3.2.1 路側機の動作結果

ダイナミックマップの配信を停止し、異常を知らせるこの実験では路側機との通信が、途中で切断したことを想定して、適切な動作が行われるかを確認するため、路側機としては特段の動作は行わない。

4.3.3.3.2.2 車両の動作結果

設計通り、路側機との通信の異常を検知した場合に、交差点を通過し安全な交差点外で停車できることを確認した。

自動運転車両が行動計画部において出力する車両モードの遷移結果および、通信異常の検知状況、自車位置が交差点内に存在するか否かの判断結果を図 4.3.3.3.2.2-1 に示すことで、詳細な車両の動作結果を示す。

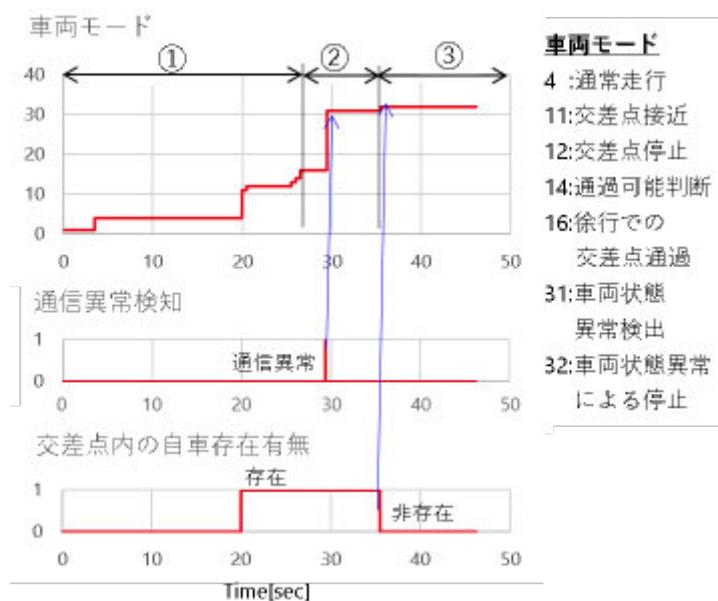


図 4.3.3.3.2.2-1 車両モードの遷移結果と通信異常の検知結果（ユースケース#4）

4.3.3.3.2.2 で述べたシナリオに則って説明する。

A) 自車は交差点停止線前の RFID を検知することで一旦停止する。

図 4.3.3.3.2.2-1 の区間①より、通常走行中に交差点手前の一時停止線に向けて停止指示する RFID を検知し、減速して停車を確認した。(車両モード 4→11→12)

B) 路側機から交差点エリア内の障害物の非存在を確認し、自車は交差点の通過を判断する。

図 4.3.3.3.2.2-1 の区間②より、障害物が交差点エリア内に非存在であるため、自車は徐行で交差点通過を開始することを確認した。(車両モード 13→14→16)

C) 自車が交差点を通過中に路側機との通信途絶を検知し、MRM として交差点コンフリクトエリア外へ徐行での退出を判断する。

図 4.3.3.3.2.2-1 の区間②および通信異常検知により、自車が徐行で交差点を通過中に車両が状態異常であることを判断し、MRM として交差点コンフリクトエリア外へ徐行での退出を判断することを確認した。(車両モード 16→31)

D) 自車が交差点コンフリクトエリア外へ退出したことを判断し、交差点コンフリクトエリア外にて停止する。

図 4.3.3.3.2.2-1 の区間③および交差点内の自車存在判断により、自車が MRM による徐行中に交差点コンフリクトエリア外へ退出したことを判断した結果、車両状態異常による停止として、交差点コンフリクトエリア外にて停止したことを確認した。(車両モード 31→32)

①通常走行中に交差点手前の一時停止線に向けて停止指示する RFID を検知し、減速して 5 秒間停車(モード 4→11→12)

②自車は徐行で交差点通過を開始。交差点通過中に路側機との通信異常が生じると、最徐行で交差点通過(モード 14→31)

③交差点通過後、緊急停止し停車継続(モード 32)

4.3.3.3.4 結論

路側機システムと永平寺町を走行する自動運転車両を連携することで、自動運転車からは死角となり車載センサでは検知することができない一般道を走行してくる一般車両との衝突を回避して、安全に一般道を横断できることを実証することができた。また、合わせて路側機システムとの通信がきれるなど、トラブルが起きた場合においても、安全に車両を停止させることができることを実証した。

4.4 遠隔システム、管制システム

令和2年度までの遠隔型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った。

管制システムの設計にあたり、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 を日毎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(※放置しておくで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、アクセルのちよ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) - 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 - 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 - 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、≠衝突防止制御)で実現できなければ保安上認められない - 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 ・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 ・余談: 電波状況 - 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 - 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 ・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 ・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) ・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 ※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?) ・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 - 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 - 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 - 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 - 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 - 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 - 現状の運行時間であれば 1 日持つので、課題感はない

	・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】
	・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)
	－ 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
	・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
	→ 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】
	・LV2 運行に利用する車両:LV2 向け車両、LV3 向け車両
	・LV3 運行に利用する車両:LV3 向け車両のみ
	→ 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】
	・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
	－ 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
	－ 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)
	－ 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)
	・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	
	・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
	・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)	
	・車載 HMI(車両毎)は、産総研で準備しているとのこと
	・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)
	(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)
	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
	(2)乗客が、現在地点や、終点を確認可能な情報を表示
	・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ー(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、管制システムの設計を行った。

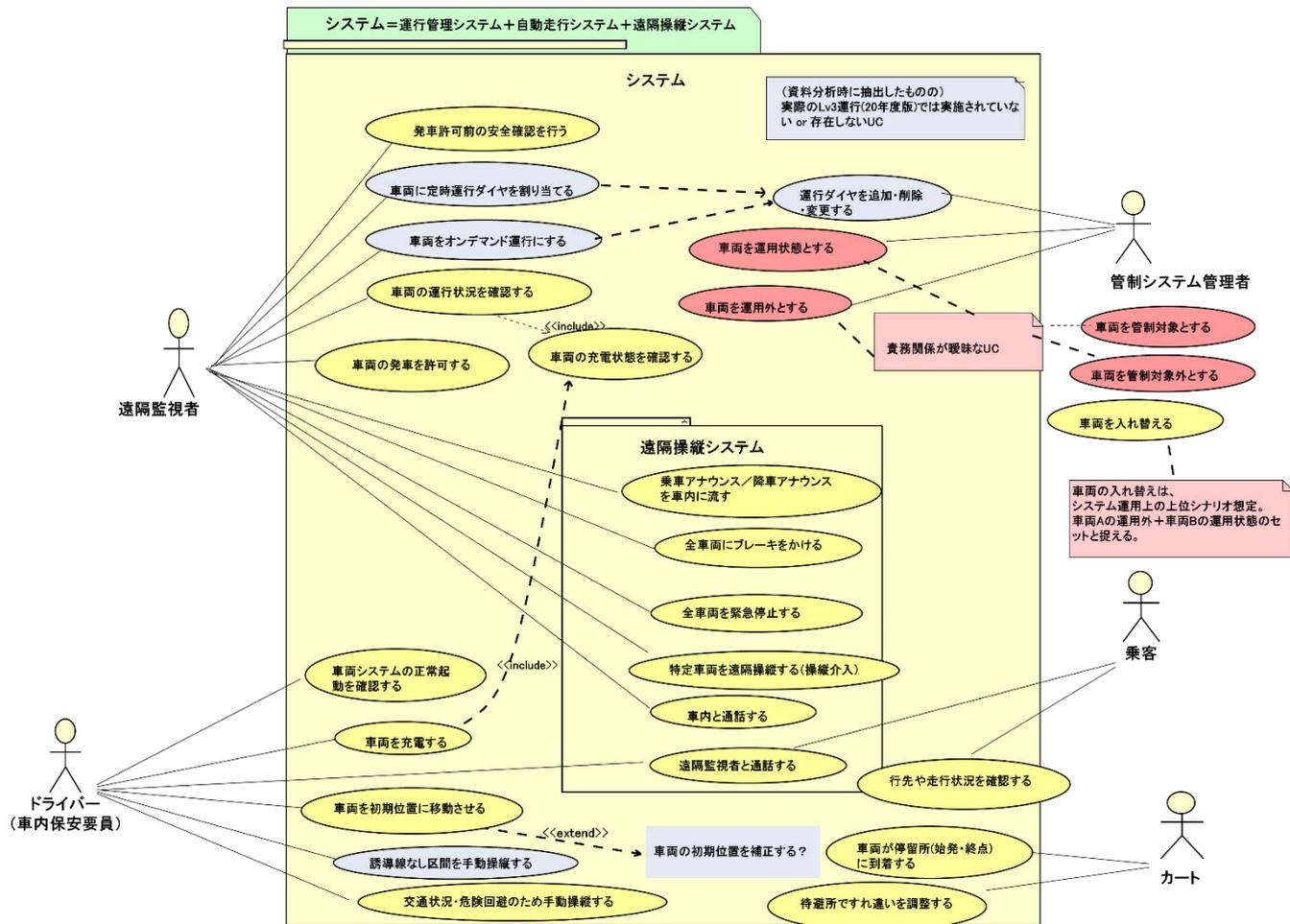


図 4.4-1 永平寺町での自動運転サービス運用ユースケース

4.4.1 遠隔システム、管制システムの構成

4.4.1.1 遠隔システムの構成

遠隔システムは、

(i)複数台（R 4年度においては4台を想定）の〔運転者が無人であるレベル4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」*²）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」が現実には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。

*²「遠隔アシストシステム」：このプロジェクトでは4.4.1.2に記載する「管制システム」の機能の一部が該当する。令和4年度開発では本遠隔システムからこの遠隔アシスト機能に関わる部分を制御し、動作させる。

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)、
なお、クラウド部には、遠隔システム用のアプリケーション部を含む。

から構成される（図4.4.1.1-1参照）。

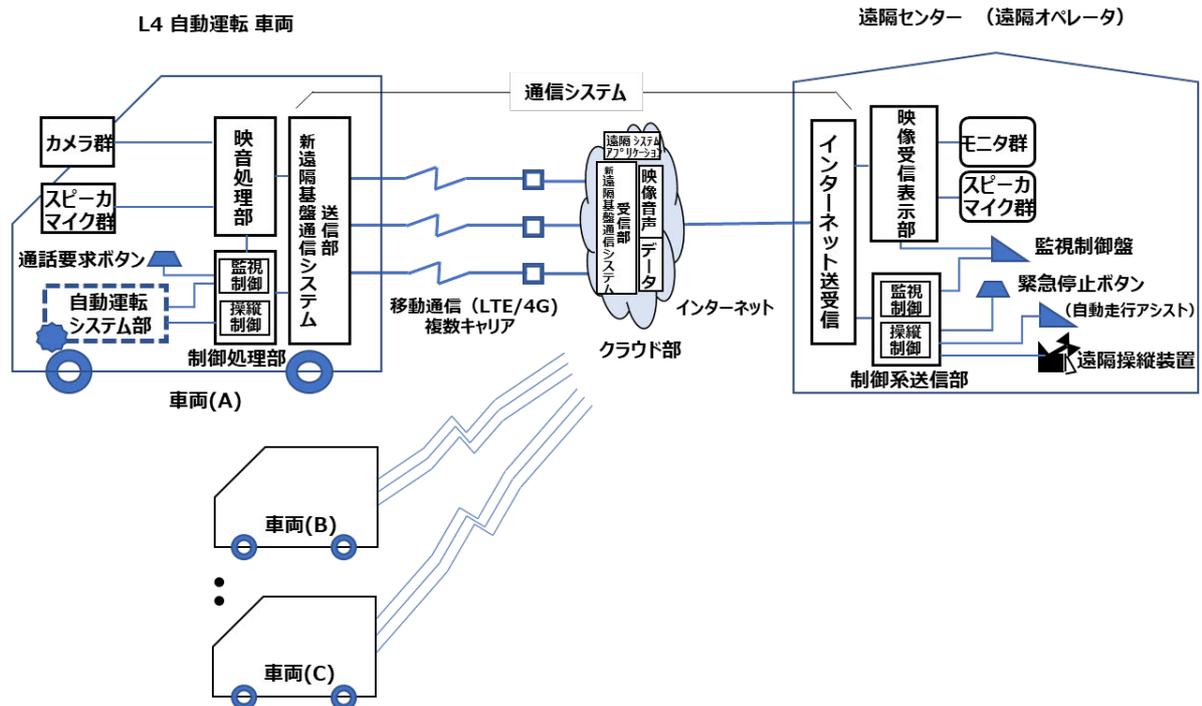


図 4. 4. 1. 1-1 遠隔システムの基本構成 r4

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. 1-1 に示す。

表 4.4.1.1-1 遠隔システムの構成システム要素 r4

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
		遠隔システムアプリケーション	
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のもの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4.4.2.1に、
- ・遠隔システムのインターフェースに関しては4.4.3.1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4.4.5.1で記述する。

図 4.4.1.1-2 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。

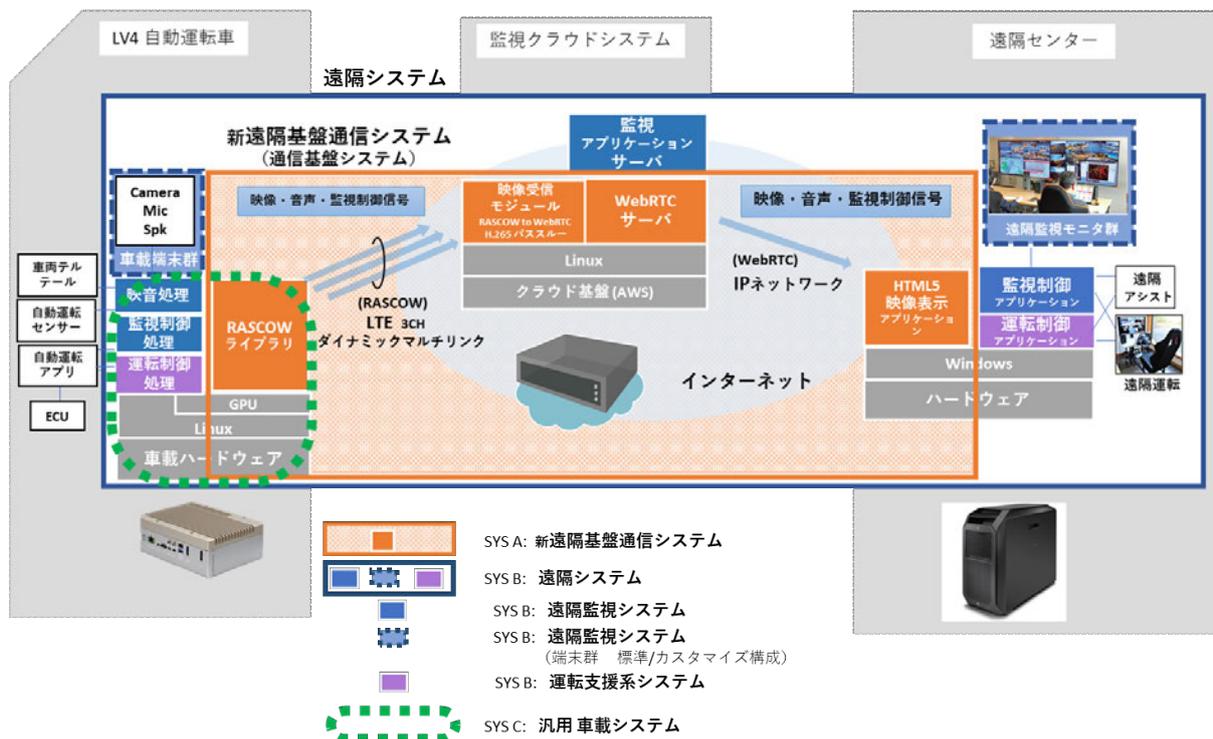


図 4. 4. 1. 1-2 遠隔システム 及び 新遠隔基盤通信システム

なお、本プロジェクトの開発期間中である 2023 年 4 月 1 日、自動運転レベル 4 に相当する「特定自動運行」を新たに盛り込んだ道路交通法が改正施行され、同時にその施行規則も改正された。本法では、特定自動運行のために遠隔監視装置の設置を義務付けており、以下、関連条項（抜粋）を掲示する。(r4)

道路交通法（昭和三十五年法律第五号） （令和五年法律第六十三号による改正）抜粋

（特定自動運行中の遵守事項）

第七十五条の二十 特定自動運行実施者は、特定自動運行中の特定自動運行用自動車について、次の各号のいずれかの措置を講じなければならない。

一 当該特定自動運行用自動車の周囲の道路及び交通の状況並びに当該特定自動運行用自動車の状況を映像及び音声により確認することができる装置で内閣府令で定めるものを第七十五条の十二第二項第二号ハに規定する場所に備え付け、かつ、当該場所に特定自動運行主任者を配置する措置

（以下略）

（特定自動運行主任者の義務）

第七十五条の二十一 前条第一項第一号の規定により配置された特定自動運行主任者は、当該特定自動運行用自動車が発行しているときは、同号に規定する装置の作動状態を監視していなければならない。この場合において、当該装置が正常に作動していないことを認めるときは、当該特定自動運行主任者は、直ちに、当該特定自動運行を終了させるための措置を講じなければならない。

二 特定自動運行主任者は、道路において特定自動運行が終了したときは、直ちに、次条又は第七十五条の二十三第一項若しくは第三項の規定による措置その他のこの法律及びこの法律に基づく命令の規定並びにこの法律の規定に基づく処分により特定自動運行主任者が実施しなければならない措置を講ずべき事由の有無を確認しなければならない。

（以下略）

・道路交通法施行規則（昭和三十五年総理府令第六十号） ・（令和四年内閣府令第六十七号による改正）抜粋

（遠隔監視装置）

第九条の二十九 遠隔監視装置は、次に掲げる要件に該当する装置とする。

一 特定自動運行を行う場合（道路において当該特定自動運行が終了した場合を含む。）において、特定自動運行用自動車に取り付けられた装置から送信された当該特定自動運行用自動車の周囲の全方向の道路及び交通の状況並びに当該特定自動運行用自動車の車内の状況に係る鮮明な映像及び明瞭な音声並びに当該特定自動運行用自動車の位置情報を常時かつ即時に受信することができるものであること。

二 ディスプレイその他の特定自動運行主任者が前号の映像及び位置情報を視覚により認識するための機器を有するものであること。

三 スピーカーその他の特定自動運行主任者が第一号の音声を聴覚により認識するための機器を有するものであること。

四 無線通話装置その他の特定自動運行主任者が特定自動運行用自動車の車内にいる者及び車外にいる者との間で音声の送受信により通話をするための機器を有するものであること。

五 第一号の映像若しくは音声若しくは位置情報の受信又は前号の音声の送受信を正常に行うことができないこととなつた場合には、直ちに、特定自動運行主任者にその旨を通知するものであること。

六 第一号の映像及び音声並びに位置情報、第四号の通話の内容並びに前号の通知に係る情報を記録するものであること。

七 サイバーセキュリティ（サイバーセキュリティ基本法（平成二十六年法律第四百号）第二条に規定するサイバーセキュリティをいう。）を確保するために必要な措置が講じられているものであること。

4.4.1.2 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 4.4.1.2-1 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、エンドユーザ向けサービスアプリは不要である。



図 4.4.1.2-1 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 4.4.1.2-2 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な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。

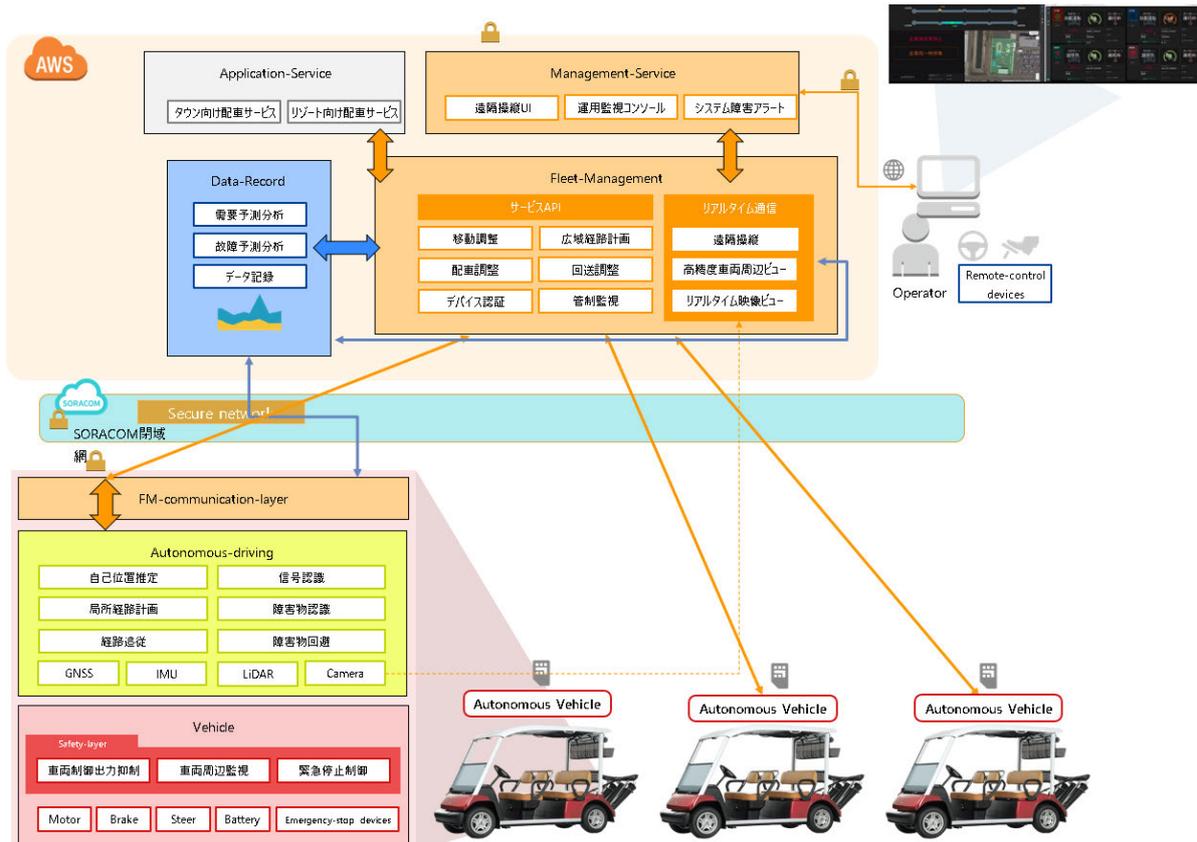


図 4.4.1.2-2 車両・管制システムの機能ブロック図

4.4.2 遠隔システム・管制システムのセキュリティ対策

4.4.2.1 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^{*3}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。

^{*3}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4.4.2.1-1に、令和3年度の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)。令和4年度の実証区間(レベル4走行)は、このうち本図右側の約2km区間(赤字両矢印)である。

一つのモバイル事業者のみでは、それぞれ1Mb/s以下になる地点がかなりの箇所で観測されるが、3事業者の全てが同時に同じ地点で著しく帯域劣化する地点はほとんど見られない。

ただし、右側2km区間は、他区間に比し概して通信帯域が低く、一部で極短時間3事業者が同時に800kb/sよりも劣化するケースが見られた。この場合でも、本遠隔監視システムでは、マルチリンク適用の下で、映像の通信断や映像の画面フリーズは生じなかった。

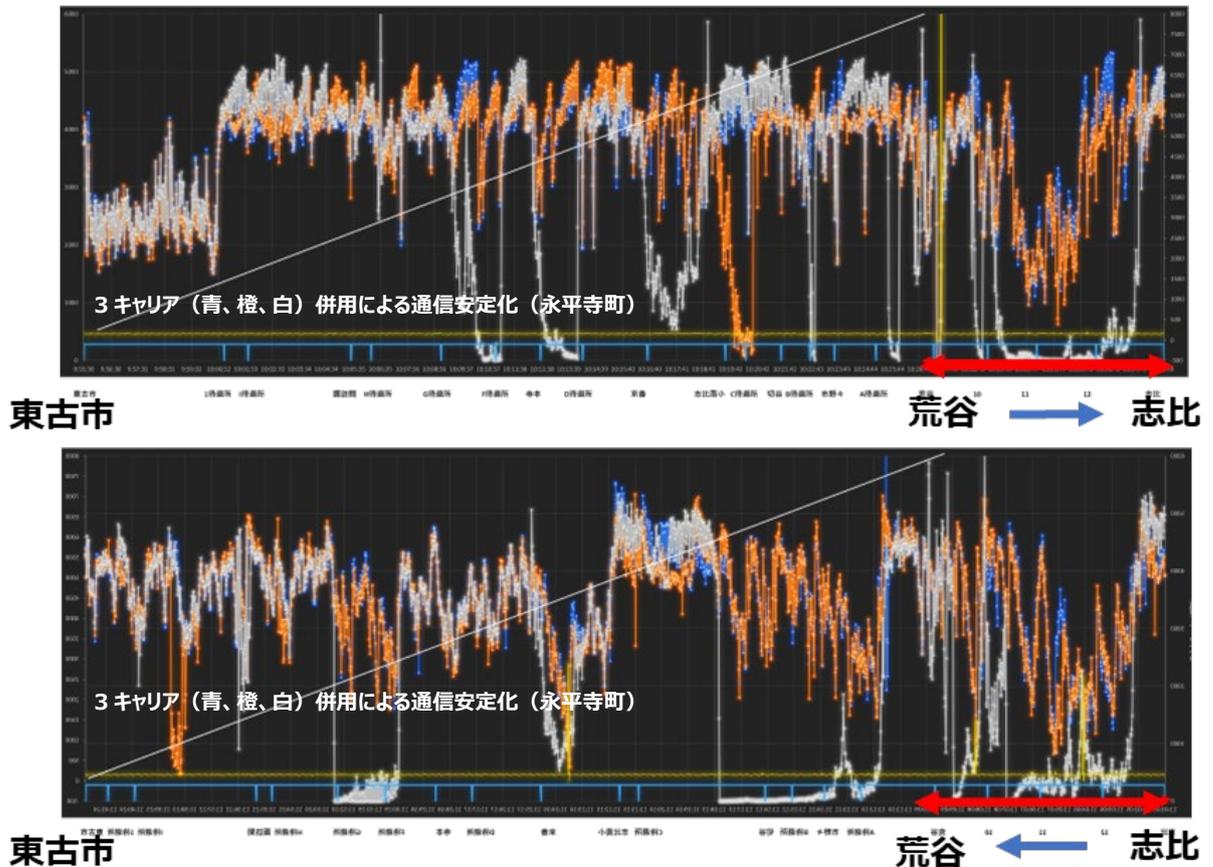


図 4.4.2.1-1 東古市～志比間の移動体通信回線の伝送帯域（2021.9.24 の例） r4

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 4.4.2.1-1 にまとめる。

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。

表 4.4.2.1-1 遠隔システム機能不良時の安全対策 r4
 [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 (車両自動停止)
		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	センターアラート（ランプ、音） 遠隔システム車載機[自動検知]	自動的に遠隔車載機から 自動運転システムに停止要請	原則停止 (車両自動停止)
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)	センターアラート（ランプ、音）	短時間回復： 原則センターオペレータ状況監視	原則走行
		・3キャリアの通信劣化 (劣化中レベル) ・基盤通信システムの故障	センターモニタ警告自動表示	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 (オペレータ指示)
映像通信 遅延増大 (映像通信・データ通信は疎通)	小	・3キャリアの通信劣化 (劣化小レベル) (・基盤通信システム故障)	センターモニタ警告自動表示	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

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4.4.2.1-2参照）。

令和3年度は、まず遠隔システムの部分のみを対象にして、解析、検討を進め、続く令和4年度は管制システムの接続まで対象領域を拡張し、これらの検討を参考に、可能な範囲で対策の実装を行った。

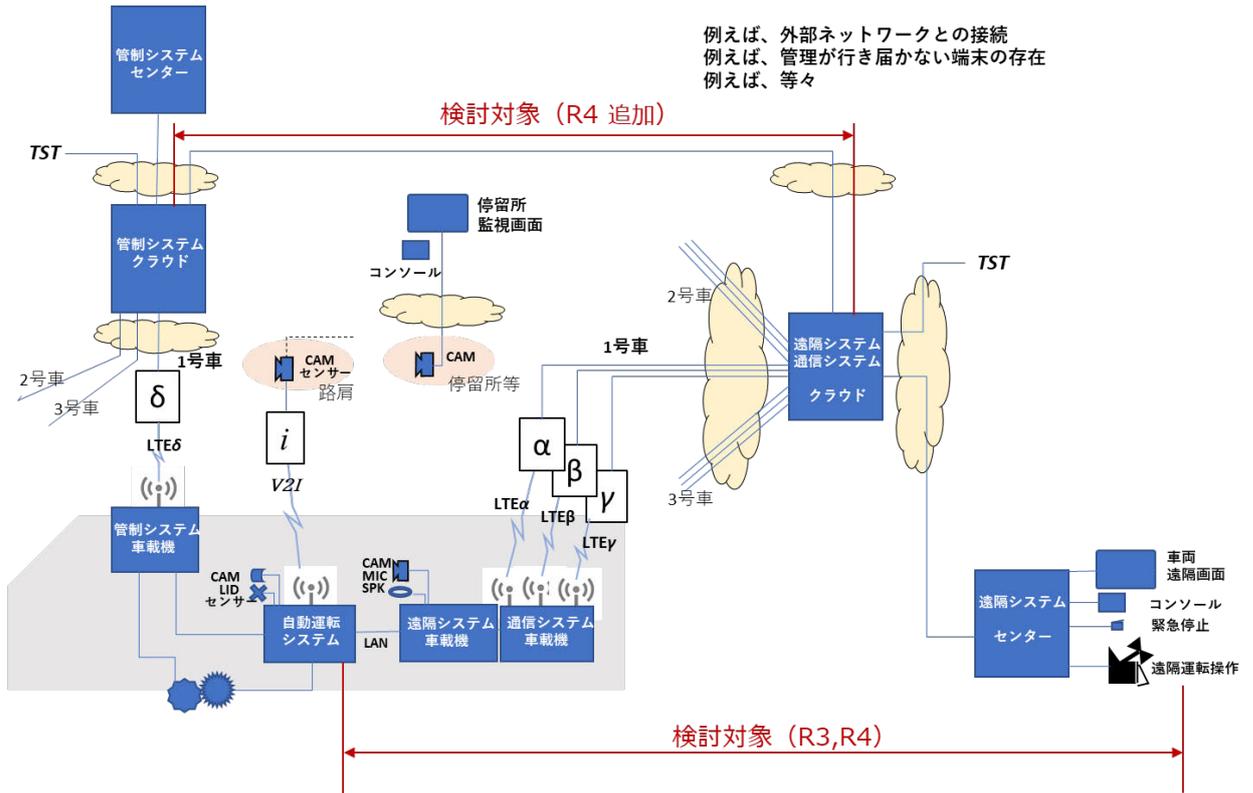


図 4. 4. 2. 1-2 全体システム構成概念図 r4

(i) 令和3年度の解析、検討

a) 全体の検討アプローチ

検討全体の流れは図4. 4. 2. 1-3のように3ステップで考えるものとし、令和3年度はステップ1を実施した。ここでは、遠隔システムを情報システムとして捉え、その視点で基本検討、分析、評価を行った。

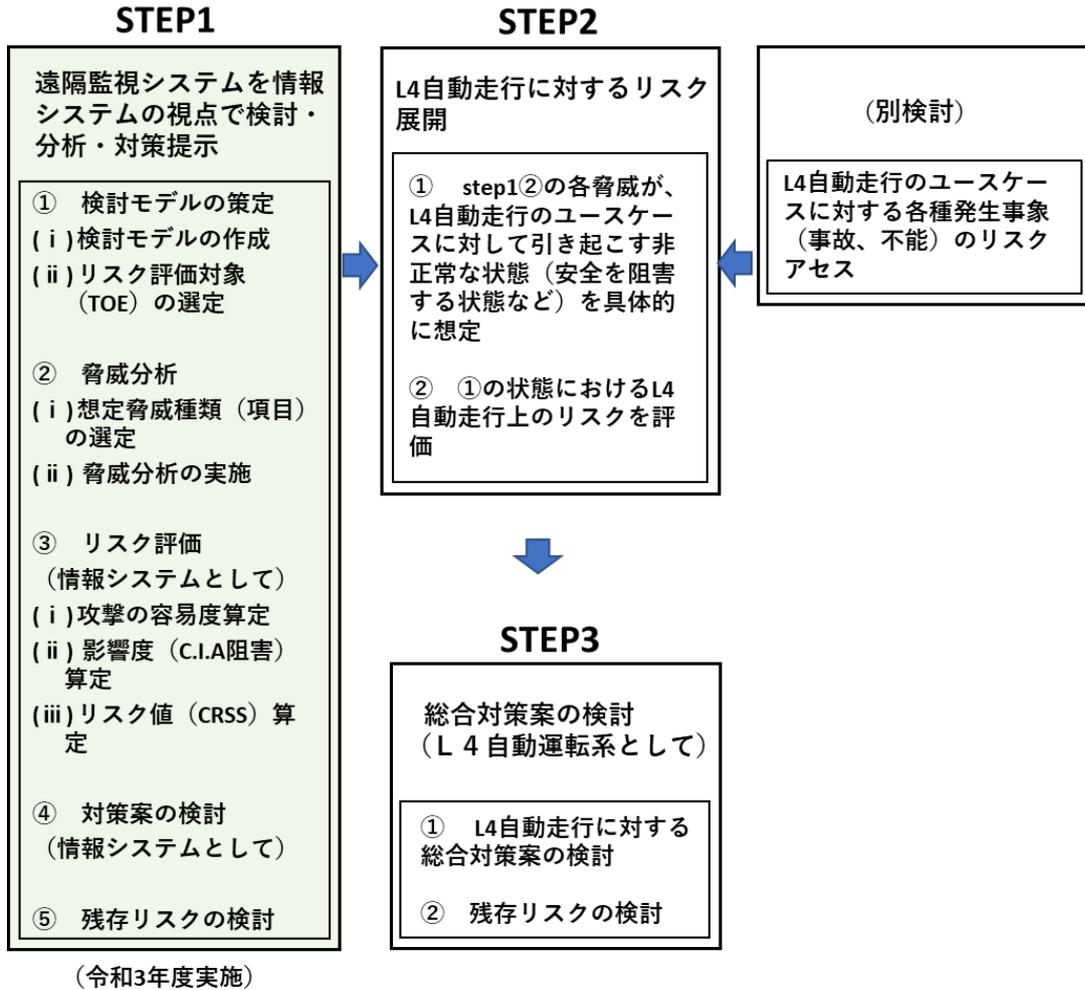


図 4.4.2.1-3 サイバーセキュリティ対策検討アプローチ

b) 検討対象範囲の (サイバーセキュリティ) システムモデル<令和3年度>

令和3年度検討におけるセキュリティ分析のためのシステムモデルは、図. 4.4.1.1-1を参考に、図4.4.2.1-4のとおりとする。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オブジェクトとした。

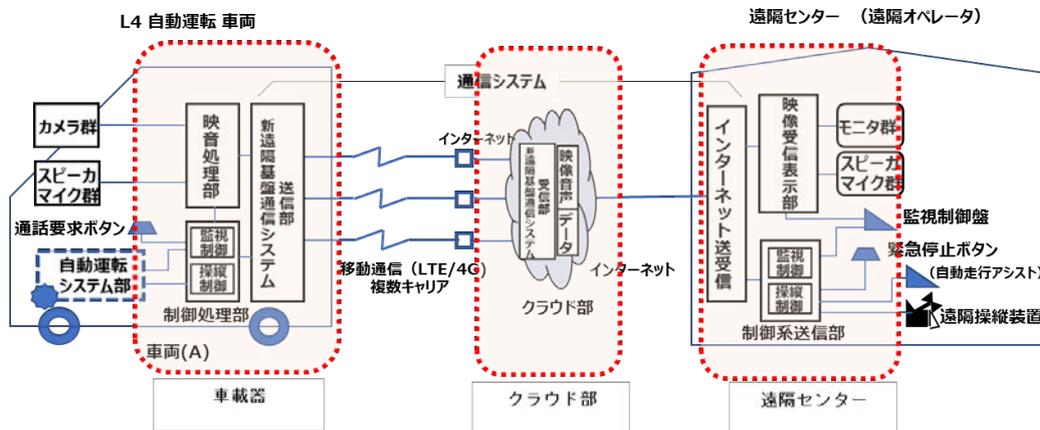


図 4.4.2.1-4 脅威分析システムモデル図

c) 脅威分析の実施

3オブジェクトについて、【文献2】を参考に脅威の項目を表4.4.2.1-4のように10項目選定し、事象の基本項目に関する分析と、想定される情報系のリスク・影響について分析した。

d) 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、CRSSのメトリックスは、表4.4.2.1-5の通りとした。

CRSSのメトリックスに基づき、①攻撃の容易度算定、②影響度算定を実施した。

ここで、②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。

次に①、②から③リスク値 (CRSSリスク値) 算定した。

e) サイバーセキュリティ対策案の検討

d)の脅威分析の結果に基づき、対策案を検討した。

以上、c)～e)の検討、分析、評価の結果を、表4.4.2.1-6(a)～(c)に示す。

【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)

表4.4.2.1-4 脅威分析の項目

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4.4.2.1-5 リスク評価のためのCRSSメトリックス

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) (1) 影響度 = $10.41 \times (1 - (1 - C) \times (1 - I) \times (1 - A))$ (2) 攻撃容易性 = $20 \times AV \times AC \times Au$ (3) $f(\text{影響度}) = 0$ (影響度が0の場合)、 1.176 (影響度が0以外の場合) (4) 基本値 = $((0.6 \times \text{影響度}) + (0.4 \times \text{攻撃容易性}) - 1.5) \times f(\text{影響度})$		脅威レベル	リスク値 (基本値)
		レベルIII (重大)	7.0~10.0
		レベルII (警告)	4.0~6.9
		レベルI (注意)	0.0~3.9

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4.4.2.1-6(a) 車載機の脅威リスト・リスク評価

#	脅威 (1)(2)(3)(4)(5)(6)(7)(8)	TOE	やるべき アタック	いつ	仕方が	なぜ	どこから (IP/分組)	なりが (IP/分組)	想定される脅威係数(リスク・影響) (8)	発生・検知 難易度	機軸系リスク評価											CRSS リスク値
											AV	AC	Au	攻撃 難易度	C	I	A	影響 (侵害度)	CSRS リスク値			
																				N	M	
1	車載機の通信で、初期設定時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	車載機	送信部	初期設定	管理者	損失	初期設定	設定ミス	車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。初期設定における管理者の命令によって、初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	高	0.01	0.500	6.9	0.66	0.66	0.66	10	1176	8.54			
2	車載機の初期設定時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	車載機	受信部・送信部	運用中	管理者	損失	運用センター	設定ミス	車載機の初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	中	0.01	0.500	6.9	0.275	0.275	0.275	6.4	1176	6			
3	車載機の初期設定時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	車載機	受信部・送信部	運用中	管理者	損失	運用センター	設定ミス	車載機の初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	中	0.01	0.500	6.9	0.275	0.275	0.275	6.4	1176	6			
4	車載機のOSで、遠隔操作時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	車載機	OS	遠隔操作	管理者	不可知	キャリア網	キャリア網	車載機のOSで、遠隔操作時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	高	0.01	0.500	6.9	0.66	0.66	0.66	10	1176	8.54			
5	車載機のOSで、遠隔操作時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	車載機	OS	遠隔操作	管理者	不可知	キャリア網	キャリア網	車載機のOSで、遠隔操作時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	高	0.01	0.500	6.9	0.275	0.275	0.275	6.4	1176	6			
6	車載機の遠隔操作で、遠隔操作時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	車載機	車載機	遠隔操作	第三者	設置	ローカル	不正利用	車載機の遠隔操作で、遠隔操作時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	高	0.395	0.704	4.0	0.66	0.66	0.66	10	1176	7.37			
7	車載機の初期設定時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	車載機	受信部・送信部	運用中	第三者	設置	キャリア網	不正設定	車載機の初期設定時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	中	0.01	0.500	6.9	0.275	0.275	0.275	8.5	1176	7.48			
8	車載機の初期設定時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	車載機	受信部・送信部	運用中	第三者	設置	キャリア網	不正設定	車載機の初期設定時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	中	0.01	0.500	6.9	0.275	0.275	0.275	8.5	1176	7.48			
9	車載機のOSで、遠隔操作時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	車載機	OS	遠隔操作	第三者	設置	キャリア網	不正設定	車載機のOSで、遠隔操作時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	-	0.01	0.500	6.9	0.66	0.66	0.66	8.5	1176	7.48			
10	車載機のOSで、遠隔操作時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	車載機	OS	遠隔操作	第三者	設置	キャリア網	不正設定	車載機のOSで、遠隔操作時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	-	0.01	0.500	6.9	0.66	0.66	0.66	8.5	1176	7.48			
11	車載機の遠隔操作で、遠隔操作時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	車載機	送信部	遠隔操作	第三者	設置	キャリア網	DoS攻撃	車載機の遠隔操作で、遠隔操作時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	高	0.01	0.500	6.9	0.66	0.66	0.66	6.4	1176	6			
12	車載機の初期設定時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	車載機	受信部・送信部	運用中	第三者	設置	キャリア網	偽メッセージ	車載機の初期設定時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	中	0.01	0.500	6.9	0.66	0.66	0.66	9.5	1176	8.18			
13	車載機の初期設定時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	車載機	受信部・送信部	運用中	第三者	設置	キャリア網	偽メッセージ	車載機の初期設定時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	中	0.01	0.500	6.9	0.66	0.66	0.66	9.5	1176	8.18			
14	車載機の初期設定時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	車載機	受信部・送信部	運用中	管理者	損失	運用センター	ログ喪失	車載機の初期設定時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	-	0.395	0.71	3.2	0	0.275	0	2.9	1176	1.79			
15	車載機の遠隔操作で、遠隔操作時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	車載機	送信部	遠隔操作	第三者	設置	キャリア網	不正利用	車載機の遠隔操作で、遠隔操作時、管理者の命令によって初期設定が変更される。その結果、車載機に対するサイバー攻撃の危険性が大きくなる。	-	0.395	0.61	2.7	0.275	0.275	0	4.9	1176	2.96			

表 4.4.2.1-6(b) クラウド部の脅威リスト・リスク評価

#	脅威 ①②③④⑤⑥⑦⑧	TOE	守るべき アセット	いつ	だれが	なぜ	どこから (IP/外分署)	なるに (IP/外分署)	想定される脆弱性/リスク・影響 ⑧	識別・対策 種別	情報系リスク評価										CRIS リスク値				
											攻撃 特性		C		I		A		影響 度			A		影響 度	
											AV	AC	AV	AC	AV	AC	AV	AC	AV	AC		AV	AC	AV	AC
1	クラウド部の受信ポート、メンテナンス、管理者の端末にあっては通信センター経由で設定ミスが発生。その結果、通信網が変化する。	クラウド部	受信部	メンテナンス	管理者	設定ミス	通信センター	設定ミス	通信網の設定/操作ミスにより通信網が変化する	両方	6.9	0.275	0.275	0.66	8.5	1.176	7.48								
2	クラウド部の受信ポート、管理者の端末にあっては通信センター経由で設定ミスが発生。その結果、通信網が変化する。	クラウド部	受信部	メンテナンス	管理者	設定ミス	通信センター	設定ミス	通信網の設定/操作ミスにより通信網が変化する	監視	6.9	0.275	0.66	0.275	8.5	1.176	7.48								
3	クラウド部の受信ポート、管理者の端末にあっては通信センター経由で設定ミスが発生。その結果、通信網が変化する。	クラウド部	受信部	メンテナンス	管理者	設定ミス	通信センター	設定ミス	通信網の設定/操作ミスにより通信網が変化する	対策	6.9	0.66	0.66	0.275	9.5	1.176	8.18								
4	クラウド部の受信ポート、管理者の端末にあっては通信センター経由で設定ミスが発生。その結果、通信網が変化する。	クラウド部	受信部	メンテナンス	第三者	設定ミス	通信センター	設定ミス	通信網の設定/操作ミスにより通信網が変化する	両方	6.9	0.275	0.66	0.66	9.5	1.176	8.18								
5	クラウド部の受信ポート、管理者の端末にあっては通信センター経由で設定ミスが発生。その結果、通信網が変化する。	クラウド部	受信部	メンテナンス	第三者	設定ミス	通信センター	設定ミス	通信網の設定/操作ミスにより通信網が変化する	監視	6.9	0.66	0.66	0.275	9.5	1.176	8.18								
6	クラウド部の受信ポート、管理者の端末にあっては通信センター経由で設定ミスが発生。その結果、通信網が変化する。	クラウド部	受信部	メンテナンス	第三者	設定ミス	通信センター	設定ミス	通信網の設定/操作ミスにより通信網が変化する	対策	6.9	0.66	0.66	0.275	9.5	1.176	8.18								
7	クラウド部の受信ポート、管理者の端末にあっては通信センター経由で設定ミスが発生。その結果、通信網が変化する。	クラウド部	受信部	メンテナンス	管理者	設定ミス	通信センター	設定ミス	通信網の設定/操作ミスにより通信網が変化する	両方	8.0	0.66	0.66	0.66	10	1.176	9.06								
8	クラウド部の受信ポート、管理者の端末にあっては通信センター経由で設定ミスが発生。その結果、通信網が変化する。	クラウド部	受信部	メンテナンス	管理者	設定ミス	通信センター	設定ミス	通信網の設定/操作ミスにより通信網が変化する	両方	8.0	0.66	0.66	0.66	10	1.176	9.06								
9	クラウド部の受信ポート、管理者の端末にあっては通信センター経由で設定ミスが発生。その結果、通信網が変化する。	クラウド部	受信部	メンテナンス	第三者	設定ミス	通信センター	設定ミス	通信網の設定/操作ミスにより通信網が変化する	両方	2.7	0.66	0.275	0.275	8.5	1.176	5.5								
10	クラウド部の受信ポート、管理者の端末にあっては通信センター経由で設定ミスが発生。その結果、通信網が変化する。	クラウド部	受信部	メンテナンス	第三者	設定ミス	通信センター	設定ミス	通信網の設定/操作ミスにより通信網が変化する	両方	2.7	0.66	0.275	0.275	8.5	1.176	5.5								
11	クラウド部の受信ポート、管理者の端末にあっては通信センター経由で設定ミスが発生。その結果、通信網が変化する。	クラウド部	受信部	メンテナンス	第三者	設定ミス	通信センター	設定ミス	通信網の設定/操作ミスにより通信網が変化する	両方	6.9	0.275	0.275	0.275	6.4	1.176	6								
12	クラウド部の受信ポート、管理者の端末にあっては通信センター経由で設定ミスが発生。その結果、通信網が変化する。	クラウド部	受信部	メンテナンス	第三者	設定ミス	通信センター	設定ミス	通信網の設定/操作ミスにより通信網が変化する	監視	6.9	0.275	0.66	0.275	8.5	1.176	7.48								
13	クラウド部の受信ポート、管理者の端末にあっては通信センター経由で設定ミスが発生。その結果、通信網が変化する。	クラウド部	受信部	メンテナンス	第三者	設定ミス	通信センター	設定ミス	通信網の設定/操作ミスにより通信網が変化する	対策	6.9	0.275	0.66	0.275	8.5	1.176	7.48								
14	クラウド部の受信ポート、管理者の端末にあっては通信センター経由で設定ミスが発生。その結果、通信網が変化する。	クラウド部	受信部	メンテナンス	管理者	設定ミス	通信センター	設定ミス	通信網の設定/操作ミスにより通信網が変化する	両方	8.0	0	0.275	0.275	4.9	1.176	5.46								
15	クラウド部の受信ポート、管理者の端末にあっては通信センター経由で設定ミスが発生。その結果、通信網が変化する。	クラウド部	受信部	メンテナンス	第三者	設定ミス	通信センター	設定ミス	通信網の設定/操作ミスにより通信網が変化する	両方	6.9	0.66	0.275	0	7.8	1.176	6.99								

(ii) 残存リスクの考察

提示した対策案（令和3年度検討）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以下、考察した。

a) 車載器（車載遠隔通信システム）について

- ① 物理的セキュリティ：目下、車載遠隔通信システムはタンパーフリーではない。
物理的な不正アクセスに対する対策の検討。
- ② 搭載OS：権限管理などの強化に関連してセキュアOS、もしくは同等のセキュリティ機能を持つOSの採用の検討。
- ③ 車載器接続認証：クラウド部からの接続時、車載器ではパスフレーズ認証が使用されている。将来は定期的に更新が行われるデジタル証明書による認証を採用することが望ましい。
- ④ 車載器IPアドレス等：車載器とクラウド部はキャリア網を経路して専用プロトコル（RASCOW）でトンネル化されているが、インターネットからクラウド部に不正アクセスが発生し、キャリア網を経由して攻撃（例えばDoS攻撃）を受ける可能性があるため、IPアドレスの隠蔽方法や定期的な変更を検討することが望ましい。

b) クラウド部について

- ⑤ WebRTC通信に関するセキュリティの強化：WebRTCはそれ自体で相応のセキュリティ機構を備えているが、Man-in-the-middle攻撃の手法も報告されており、その点を考慮したセキュリティ強化策を検討することが望ましい。
- ⑥ 定期的なセキュリティ検査：クラウド部ではアクセスポートの制限を行い、WAFを導入しているが、インターネットI/Fに対するポート・スキャン、侵入テスト、アタックサーフェス分析などの検査を定期的実施することが望ましい。
- ⑦ クラウド部では遠隔センターとの通信に、HTTPS、WebRTC（SRTP及びDTLS）を使用しているが、使用するデジタル証明書の更新を頻繁に行うなどの配慮が望ましい。

c) 遠隔センターについて

- ⑧ 定期的なセキュリティ検査：遠隔センターについても、インターネットI/Fに対するポート・スキャン、侵入テスト、アタックサーフェス分析などの検査を定期的実施することが望ましい。
- ⑨ ID管理：遠隔センターの業務遂行者については、厳密なアカウント管理（ID管理）を実施する必要がある。
- ⑩ WebRTCとWebブラウザ：WebRTCのセキュリティはクライアント側（遠隔センター側）のWebブラウザ内のサンドボックス機構など、Webブラウザが備えるセキュリティ機構が十全に機能していることに依存している。遠隔センター側のWebブラウザのセキュリティ要件を定め、定期的に検査することが望ましい。

(iii) 令和4年度における検討、及びシステム実装

令和4年度では、遠隔システムのみならず、遠隔と管制システム間のクラウド接続までサーバーセキュリティ検討の対象範囲を拡大した。令和3年度に実施した分析、評価の結果に、この拡大部分の検討を加え、必要な修正を行った上、最終的なセキュリティ分析とした。令和4年度におけるシステムへの実装はこれを参考に実施した。

a) 検討対象範囲の（サイバーセキュリティ）システムモデル<令和4年度>
 セキュリティ検討のためのシステムモデルは図 4.4.2.1-4、4.4.2.1-5 の通りである。

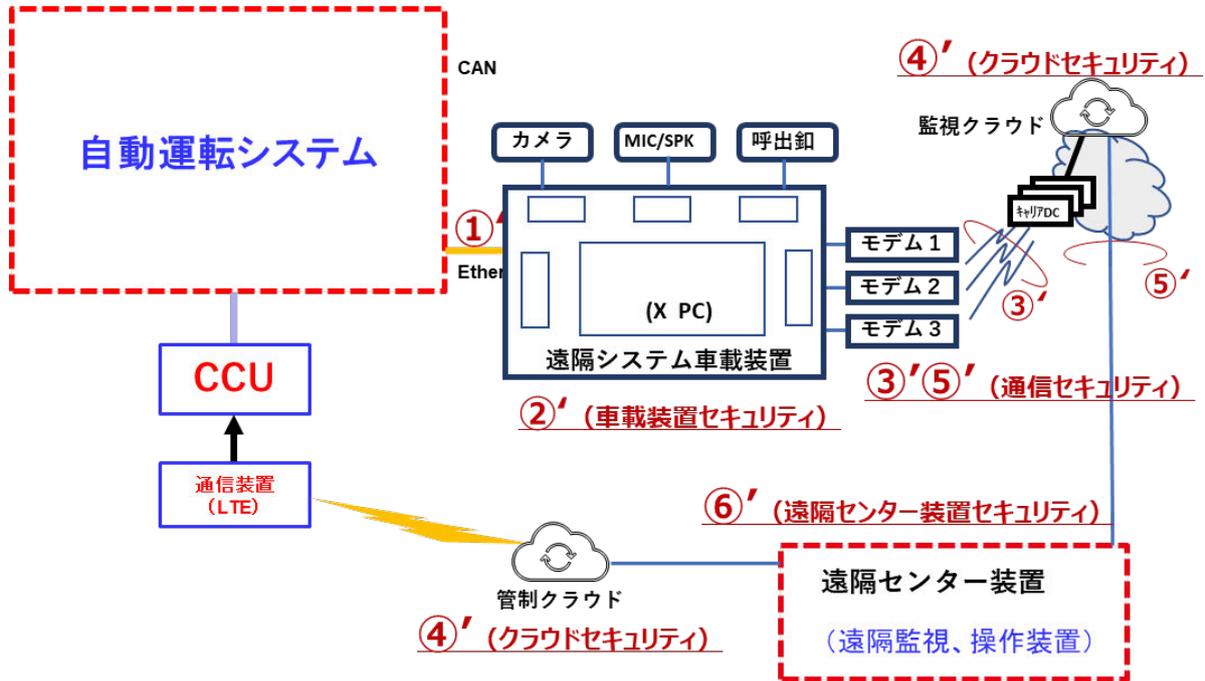


図. 4.4.2.1-4 脅威分析システムモデル図（レベル4自動運転システム搭載車両） r4

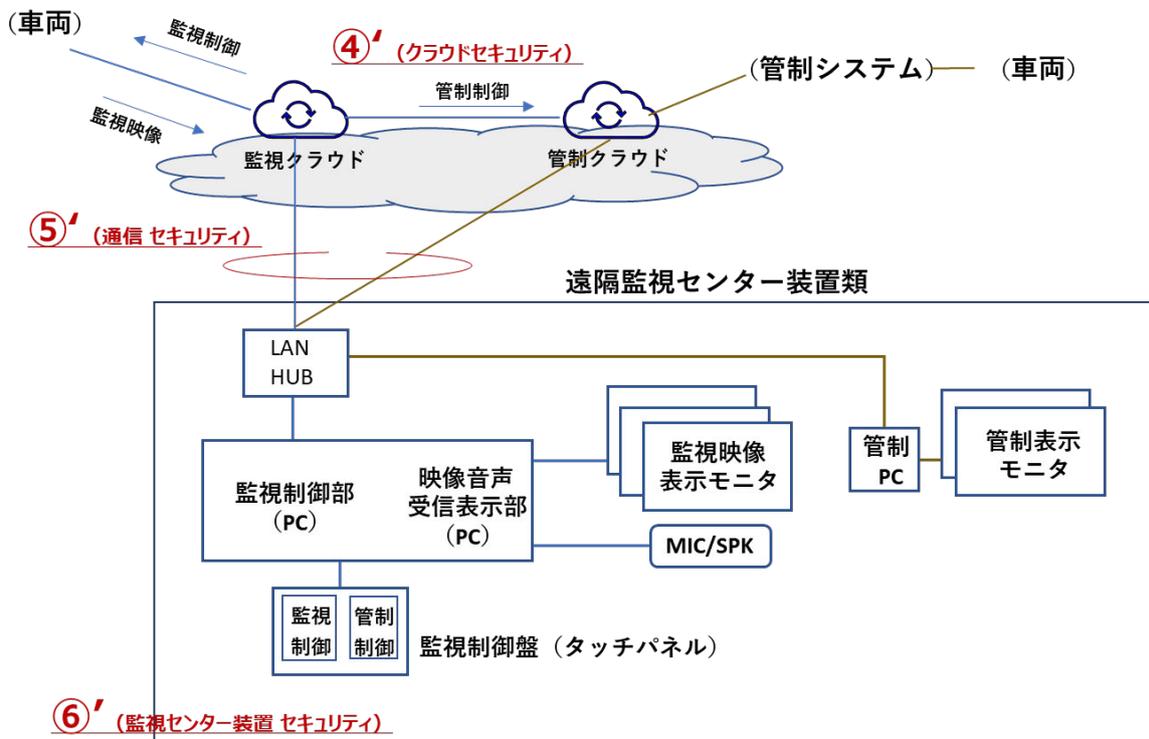


図. 4.4.2.1-5 脅威分析システムモデル図（レベル4自動運転システム監視センター、及び監視クラウド、管制クラウド部） r4

b) 脅威・リスク分析と対策

表 4. 4. 2. 1-7~8 令和 4 年度本プロジェクトシステムにおけるサイバーセキュリティのリスク分析と対策をまとめる。

表 4. 4. 2. 1- 7 サイバーセキュリティの脅威分析・リスク評価、対策の検討<その 1 >
(令和 4 年度) r4

ソリトンシステムズ 20230311

対象				脅威	対策	備考			
項番	エンティティ	細番	内容						
①	車載装置 ↓ AD-ECU		AD-ECUが正当なアクセス元からアクセスされるには、遠隔システム全体のセキュリティ対策が必要	下記②'③'④'⑤'⑥' に同じ	下記②'③'④'⑤'⑥' に同じ				
②	車載装置	②	車載装置自身のセキュリティ	車載装置の乗っ取り	最小アクセス権原則（権限分割）の採用	root権限を使用しないなど			
				マルウェア等の不正なソフトウェアの書き込み	最小アクセス権原則（権限分割）の採用 ソフトウェア変更管理手順の順守と操作記録	車載装置へのソフトウェア変更手順により、意図しないオペレータミスも防止する			
				(その他、別項「プログラム等改変に対するの技術要件」を参照)					
				車載装置の異常により、センター装置間との通信接続が途絶の場合、 自動運転システムが車両停止					
③	通信・接続	③ a	車載装置～監視クラウド間通信	通信の傍受	通信の暗号化 独自プロトコルの使用	AES128を使用 プロプライエタリなRASCOW2プロトコルの使用			
				通信妨害による通信不良（途絶） 妨害電波（LTE）・DDOS等（キャリアDC～クラウド）	通信不良/途絶の検知・警報システム具備	通信不接続の検知により 自動運転システムが車両停止			
				監視クラウドのなりすまし（対車載装置）	パスフレーズ認証 独自プロトコルへの応答確認	パスフレーズ認証によるセッション確立 プロプライエタリなRASCOW2プロトコルの使用			
				車載装置のなりすまし（対監視クラウド）	監視クラウド・車載装置間の相互認証	セッションパスコードによるセッション確立			
④	クラウド	④'	クラウド自身のセキュリティ	不正なアクセス元からの通信	ソースIPアドレスの制限、及び④ a,④ b,④ d				
				InternetからのDDoS攻撃	不正パケットのフィルタ	IPSの設置			
				クラウド上のデータ消失	バックアップ取得と迅速なロールバック	クラウドの保持データを最小限にとどめる			
				コード・インジェクション	不正コードのフィルタ 定期的な脆弱性検査と修正	FWおよびWAFの設置			
								(その他、別項「プログラム等改変に対するの技術要件」を参照)	
								クラウド機能の異常により、センター装置～車載装置の通信が途絶の場合、 自動運転システムが車両停止	
		④ c	(正当な) 監視クラウド～正当な管制クラウド接続	管制クラウドのなりすまし（対監視クラウド）	監視クラウド・管制クラウド間の相互認証 管制クラウドからの正しい応答の確認	管制クラウドのアクセス時のAPI認証（OAuth 2.0/Open ID ConnectによるAPIの認可と認証）			

表 4.4.2.1- 8 サイバーセキュリティの脅威分析・リスク評価、対策の検討<その2> (令和4年度) r4

ソリトンシステムズ 20230311

対象			脅威	対策	備考		
項番	エンティティ	細番 内容					
①	車載装置 ↓ AD-ECU	AD-ECUが正当なアクセス元からアクセスされるには、遠隔システム全体のセキュリティ対策が必要	下記②'③'④'⑤'⑥' に同じ	下記②'③'④'⑤'⑥' に同じ			
②	車載装置	② 車載装置自身のセキュリティ	車載装置の乗っ取り	最小アクセス権原則 (権限分割) の採用	root権限を使用しないなど		
			マルウェア等の不正なソフトウェアの書き込み	最小アクセス権原則 (権限分割) の採用 ソフトウェア変更管理手順の順守と操作記録 (その他、別項「プログラム等改変に対する技術要件」を参照)	車載装置へのソフトウェア変更手順により、意図しないオペレータミスも防止する		
			車載装置の異常により、センター装置間との通信接続が途絶の場合、 自動運転システムが車両停止				
③	通信・接続	③ a 車載装置～監視クラウド間通信	通信の傍受	通信の暗号化 独自プロトコルの使用	AES128を使用 プロプライエタリなRASCOW2プロトコルの使用		
			通信妨害による通信不良 (途絶) 妨害電波 (LTE)・DDoS等 (キャリアDC～クラウド)	通信不良/途絶の検知・警報システム具備	通信不接続の検知により 自動運転システムが車両停止		
		② a 車載装置～正当な監視クラウド接続	監視クラウドのなりすまし (対車載装置)	パスフレーズ認証 独自プロトコルへの応答確認	パスフレーズ認証によるセッション確立 プロプライエタリなRASCOW2プロトコルの使用		
		④ a 監視クラウド～正当な車載装置接続	車載装置のなりすまし (対監視クラウド)	監視クラウド・車載装置間の相互認証	セッションパスコードによるセッション確立		
④	クラウド	④' クラウド自身のセキュリティ	不正なアクセス元からの通信	ソースIPアドレスの制限、及び④ a,④ b,④ d			
			InternetからのDDoS攻撃	不正パケットのフィルタ	IPSの設置		
			クラウド上のデータ消失	バックアップ取得と迅速なロールバック	クラウドの保持データを最小限にとどめる		
			コード・インジェクション	不正コードのフィルタ 定期的な脆弱性検査と修正	FWおよびWAFの設置		
			(その他、別項「プログラム等改変に対する技術要件」を参照)			クラウド機能の異常により、センター装置～車載装置の通信が途絶の場合、 自動運転システムが車両停止	
			④ c (正当な) 監視クラウド～正当な管制クラウド接続	管制クラウドのなりすまし (対監視クラウド)	監視クラウド・管制クラウド間の相互認証 管制クラウドからの正しい応答の確認	管制クラウドのアクセス時のAPI認証 (OAuth 2.0/Open ID ConnectによるAPIの認可と認証)	

c) 遠隔システムへのセキュリティ対策の実装例<令和4年度>

b) で検討した対策案を参考に、令和4年度に実装した基盤通信システムにおけるサーバーセキュリティ対策を図 4.4.2.1-6 に例示する。

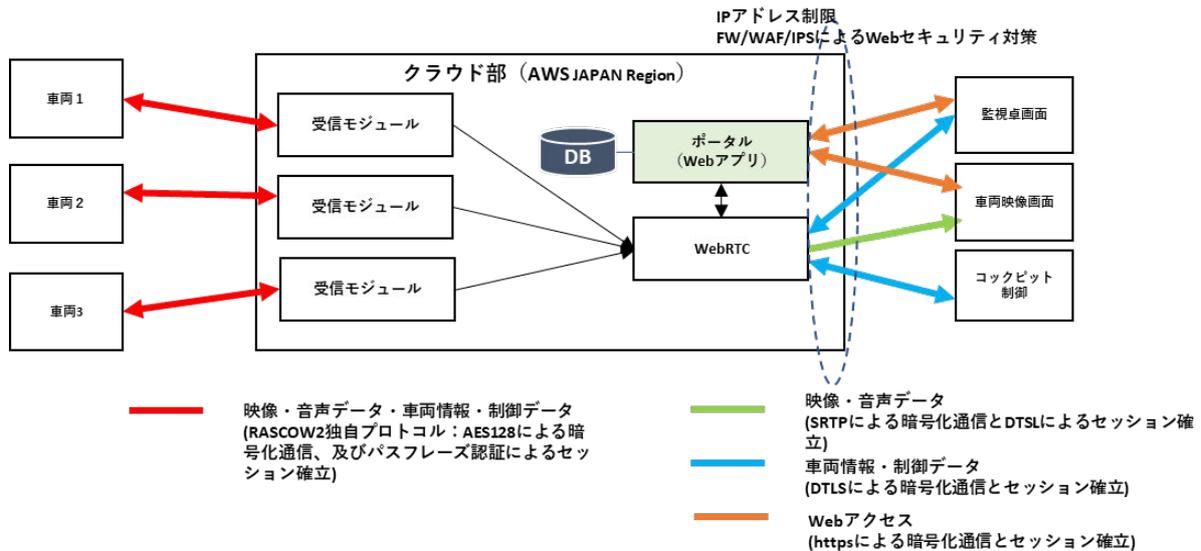


図 4.4.2.1- 6 セキュリティ対策の実装例 (令和4年度: 基盤通信システムセキュリティ対策) r4

4.4.2.2 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、4.4.1.1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、開発を進めた。

令和4年度の開発は、令和3年度に達成した開発成果をベースに、上記の基本方針のもと、下記の内容を中心に、機能の拡張開発とその実装を行った。

表：4.4.3.0 -1 インターフェース改善に係るR4年度主要開発項目（まとめ）r4

システム	項目	内容	R3年度成果	R4年度実施			
				実施概要	基本設計の追加	HMIの改良	その他
共通	映像情報	車内外カメラ個数 位置、画角、解像度 モニタ撮像構図など	確立	基本変更なし			
	音声情報	スピーカ、マイク 車内外個数、位置	ほぼ確立	車内スピーカ・マイク位置調整			
	データ情報	送受信情報内容 更新周期など	ほぼ確立	適宜見直し			
遠隔監視	オペレータ人員(m人)： 自動運転車両(N台)		1:3	1:4(2:8)	音声通信設計 クラウド設計	監視制御盤 HMI改善	
	ダイナミックマルチリンクの適用		基本開発のみ	システム実装	ダイナミック始動 終了のトリガ連動	動作可視化 ツール	
	遠隔監視システム 技術要件	法規定の準拠	規定を想定して 仕様策定	全ての施行規則に 準拠		センター警報 の整備	センターモニ タログ装置
遠隔アシスト	管制システム連動		管制システム単独	遠隔監視制御盤で 操作	セキュリティ設 計	監視制御の HMI改善	
遠隔操縦	遠隔操縦システム実装		ほぼ確立	同左			

4.4.3.1 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（令和3年度の3台から、令和4年度は4台同時に拡張）」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（「管制システム」との連動は、令和4年度で実施）

- 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4.4.3.1-1に、上記条件を満たすカメラ配置とその視界図を示す。

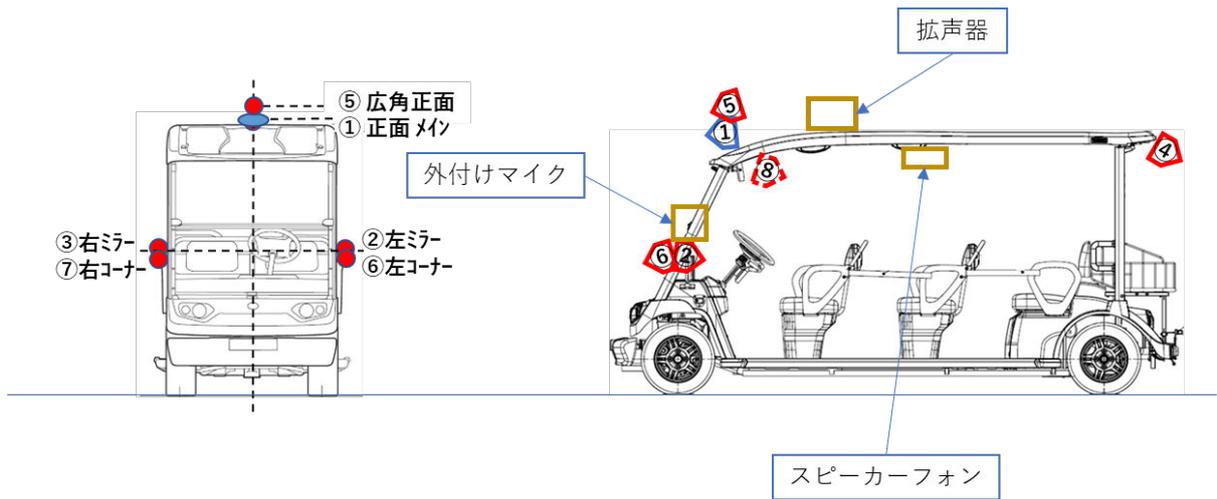


図4. 4. 3. 1-1 (a)カメラ配置とその視界図(a)：カメラ、音声機器の配置

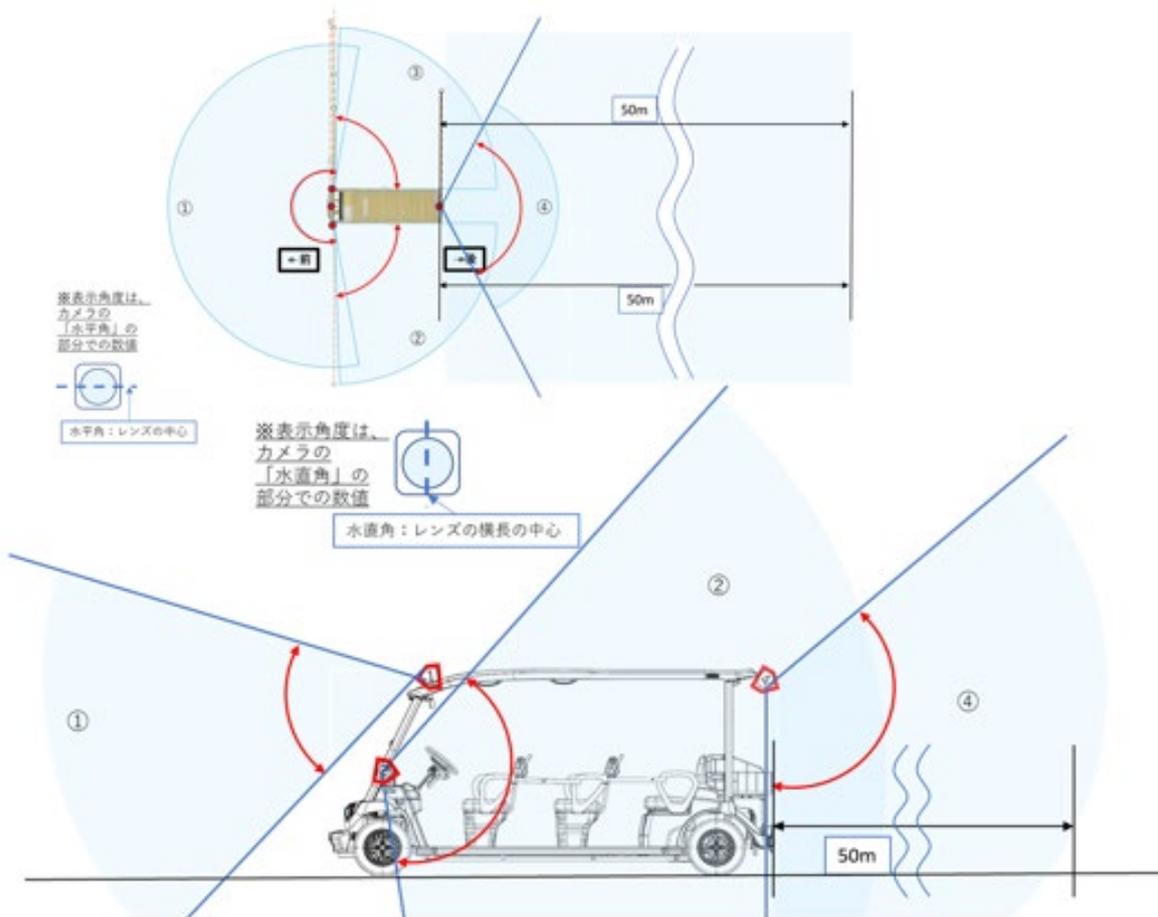


図4. 4. 3. 1-1 (b)カメラ配置とその視界図(b)：カメラ視界図<その1>

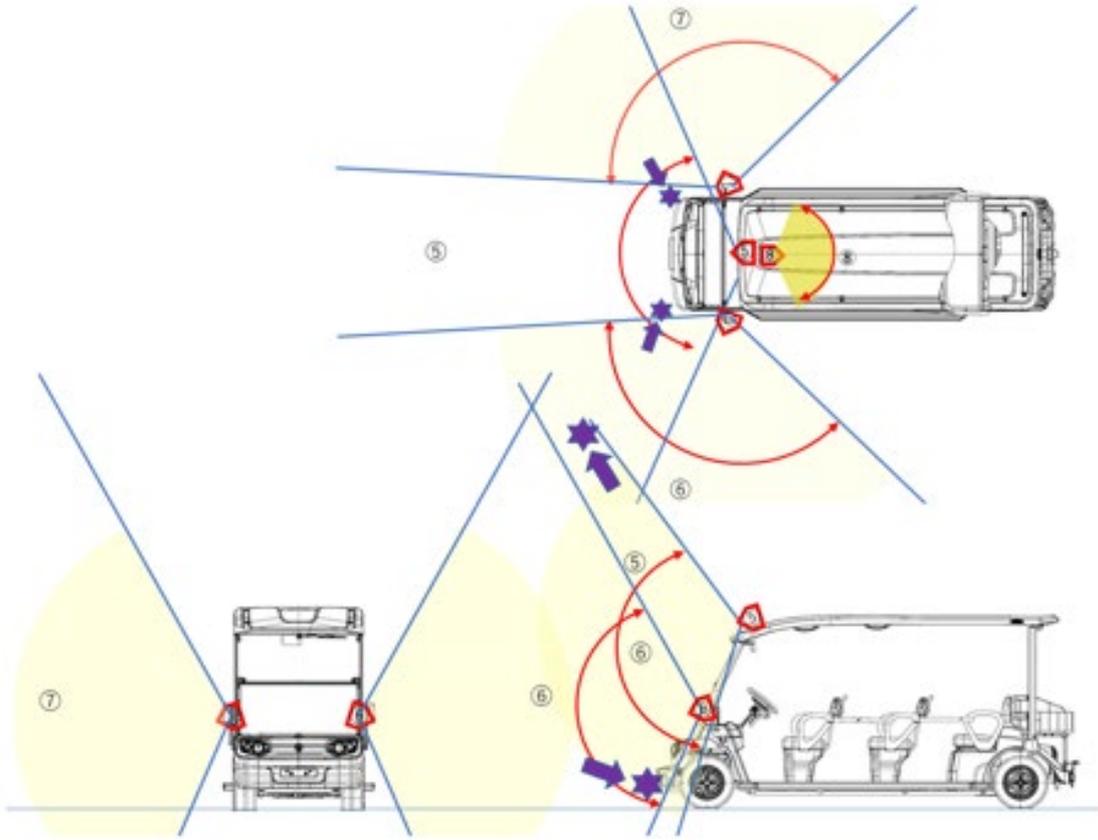


図4.4.3.1-1 (c) カメラ配置とその視界図(c) : カメラ視界図<その2>

また、図4.4.3.1-2に、各カメラの撮像例を示す。

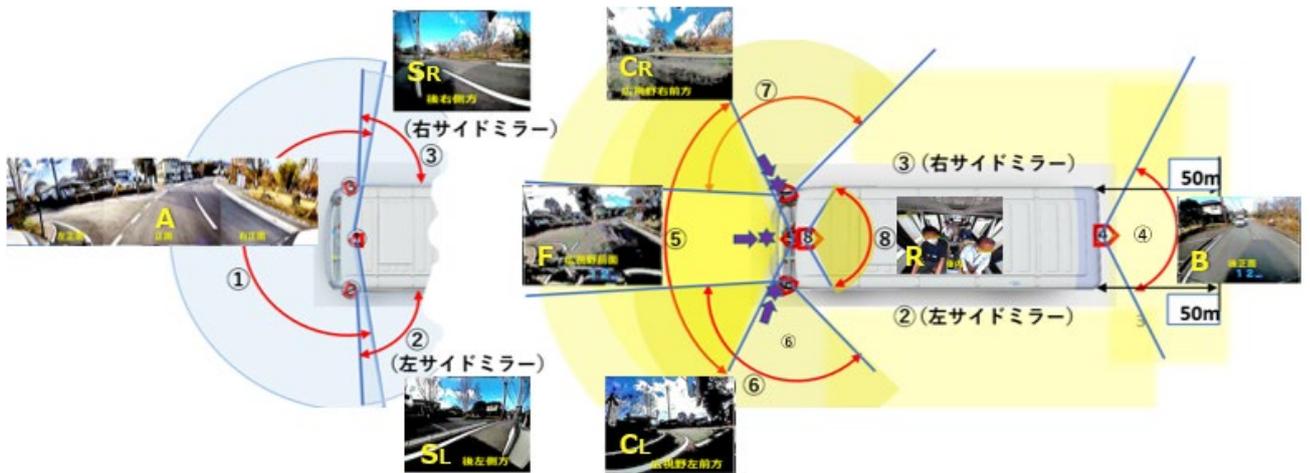


図4.4.3.1-2 カメラ撮像例

各カメラの種別及びその選定理由を表4.4.3.1-1に示す。

表4.4.3.1-1 各カメラの種別及びその選定理由

設計条件		撮画像	カメラ番号	適用	カメラ種別	備考
保安基準視界	正面（運転席視界）	A	①(a,b,c)	遠隔操作 遠隔監視 車両カスタマイズ	HTV	・左右広角映像の直交性 ・自然な距離感
	側方後方（後写鏡）	SL,SR	②、③		小型廉価な NTSC	サイドミラー
後正面視界	B	④	リアビュー (自然距離感が望ましい)			
車内	R	⑧	全座席カバー			
正面高仰角視界	F	⑤	直上信号機視認			
正面下方コーナー視界	CL,CR	⑥、⑦	直下方コーナー視認			

図4.4.3.1-3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4.4.3.1-3 カメラ設置状況r4

図 4. 4. 3. 1-4 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. 1-4(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]

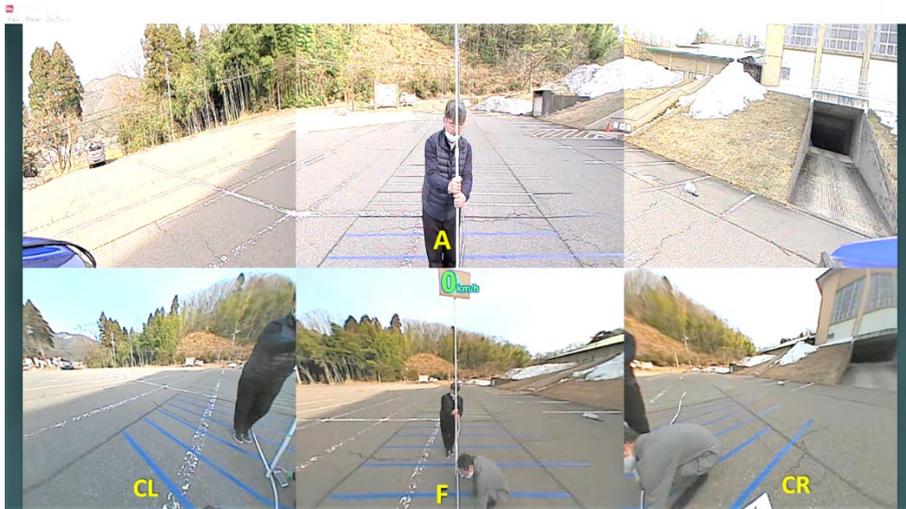


画面CL、Fにより、雪壁までの走行余地が確認できる

図4.4.3.1-4 (b) 撮像例 (コーナ余地の確認)

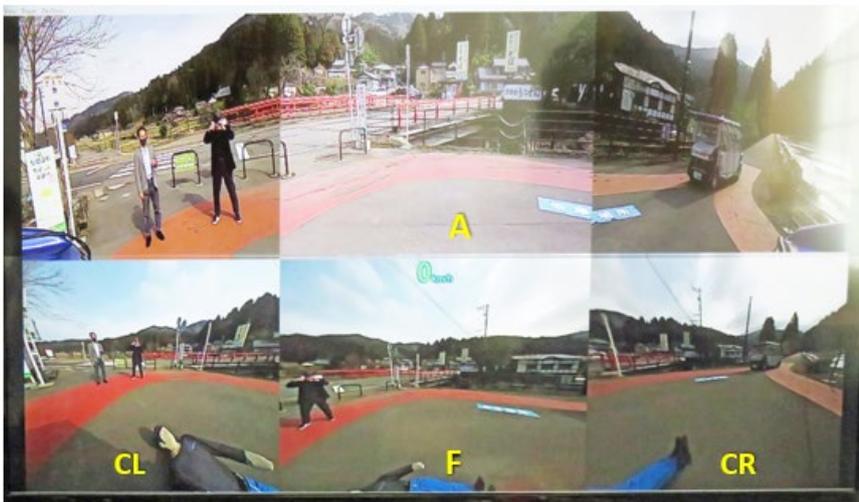
保安基準を満たすメインの前方標準カメラの視界Aを、上方広角カメラの視界F、及びコーナー広角カメラの視界Cが、安全確保の観点で補完していることが分かる。

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4.4.3.1-5参照)。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4.4.3.1-6参照)。



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. 1-5 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. 1-6 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4.4.3.1-7に示す。



図4.4.3.1-7 通話系の装置類r4

(iv) 遠隔システム車載装置の構成

遠隔システムの車載装置の構成を図4.4.3.1-8に示す。

ここで、車両の自動運転システムからの情報の一部（速度、ウインカー点滅などのいわゆるテールテール情報の一部）は、映像音声処理部により可視化され、後述の構図画面に組み込まれる。

遠隔オペレータによる構図画面の選択、遠隔操縦時の走行ガイドラインの挿入等も、センターからの監視制御情報により映像音声処理部で制御される。

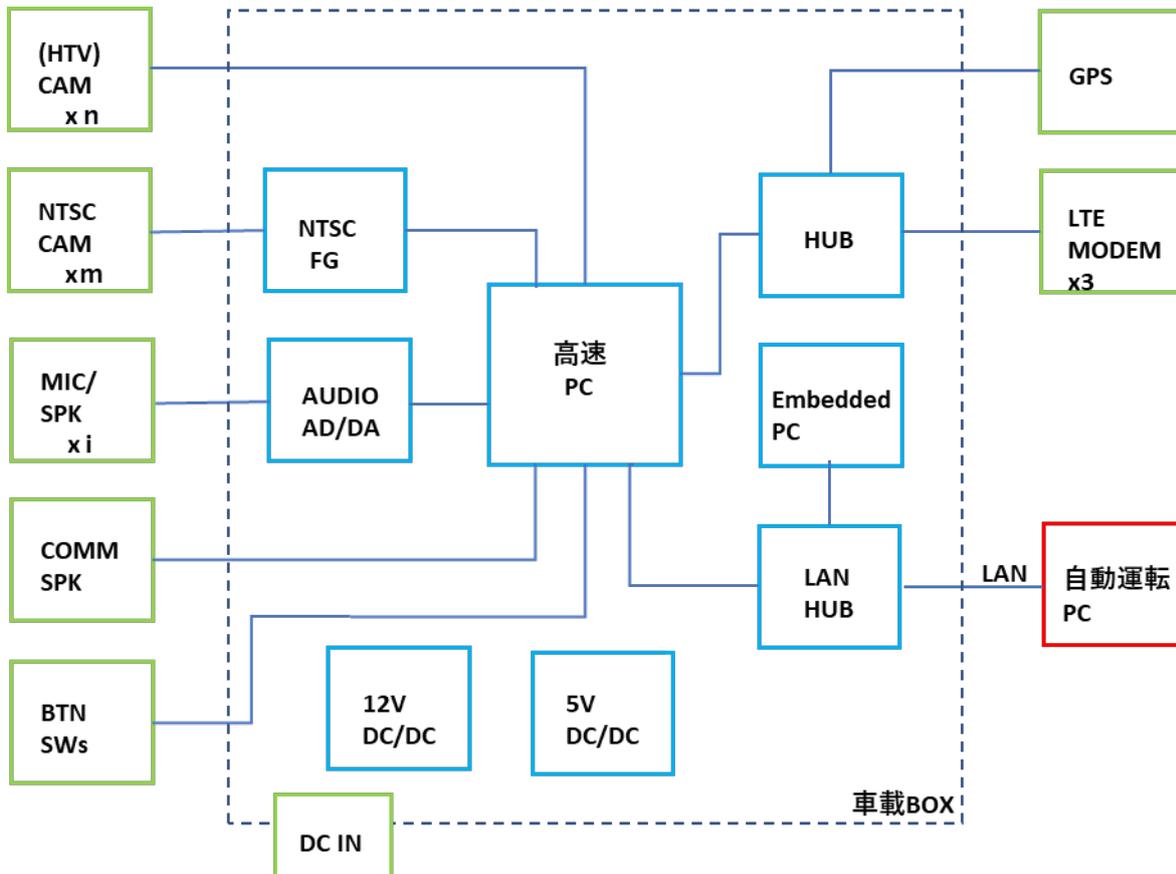


図4.4.3.1-8 遠隔システムの車載装置の構成r4

2) 「通常運行（最大4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

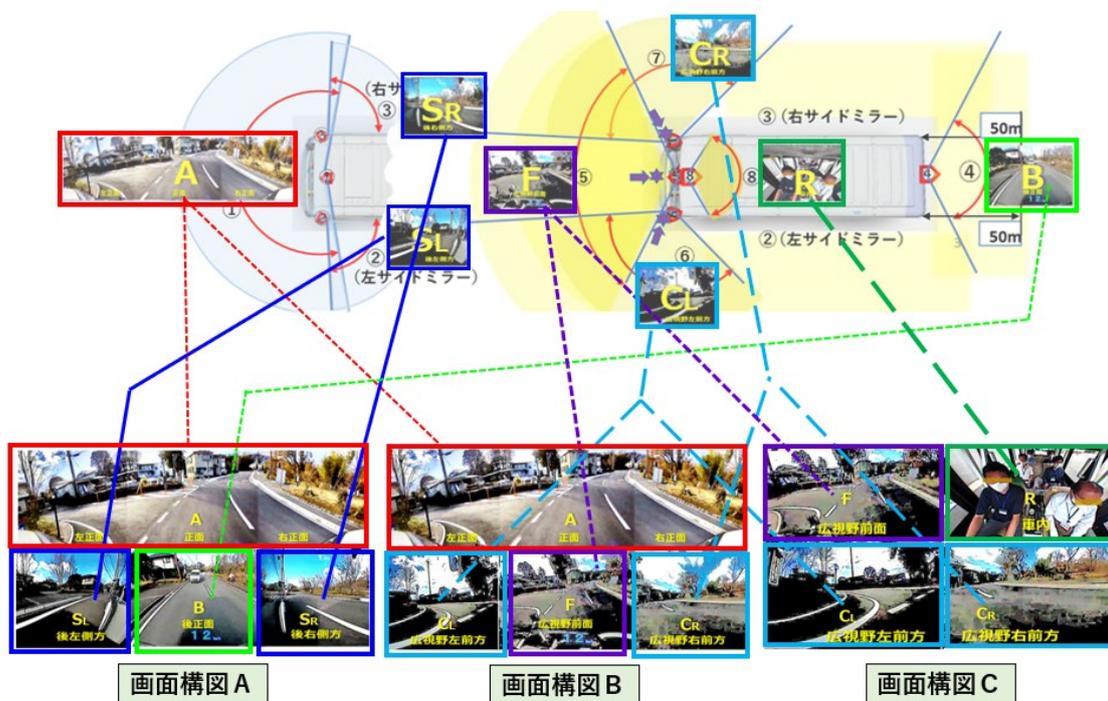
1) で検討した映像、その他の情報から、4台が全て通常運行時に遠隔オペレータが確認すべき、ないし確認が望ましい情報を基本情報として、表4.4.3.1-3のように選定する（基本情報は、常時表示すべき情報を意味しない）。1) で検討した映像情報（8画面）については、すべて基本情報とする。

表4.4.3.1-3 監視センター確認基本情報r4

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 (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	
	車両の駆動バッテリー残量表示 (%)	
	通信モデム3本の通信ビットレート (MB/s)	
	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 (2)
	オペレーターが指定した車両の拡大映像	モニタ (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4.4.3.1-9参照) 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

4.4.3.1-9 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4.4.3.1-4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。

令和4年度についても、4車両同時常時表示のパターンが最も一覧性に優れることから、パターンA)を採用することとし、パターンB)、C)との比較評価は、監視台数が5台以上の場
合に行うこととした。

また、パターンA)表示によるダイナミックマルチリンク動作において、その画質は映像フレーム数の削減をパラメータにして、評価することとした。

表4.4.3.1-4 映像系基本情報の表示パターンr4

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(4)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)	4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

(注) パターンB)、パターンC)は、同時被監視車両台数が4台を超える場合に、実地比較評価を行うこととし、今回は実施しなかった。

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。

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と、その分類は、表4.4.3.1-5の通りである。

表4.4.3.1-5 車両ステータス一覧r4

確認優先度	通知色	通知表示名
高	赤	完全停止
		車両緊急停止
		自動運転システム異常
		車両異常
		管制システム異常
		監視異常(車両)
		監視異常(センター)
中	黄	緊急車両検知
		降雨
		薄暮
低	緑	平常走行中 (確認要求欄に表示無し)
		車内呼出ボタン

(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4.4.3.1-10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。

ここで、令和4年度開発では、遠隔アシストシステム(管制システムの機能の一部)のオペレータは、遠隔監視者と兼ね、人員1名(「特定自動運行主任者」など)による運用が可能なものとした。

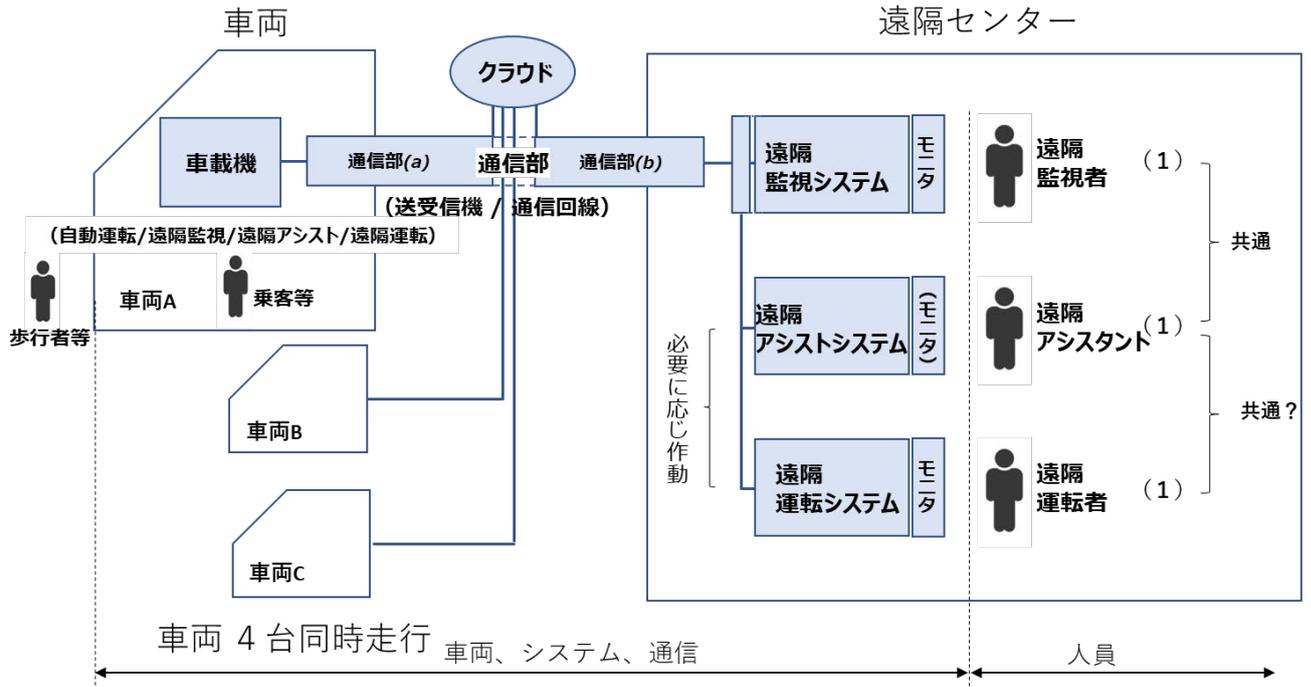


図4. 4. 3. 1-10 遠隔システムにおけるマンマシン関連の検討モデル図r4

(i) 遠隔監視システム

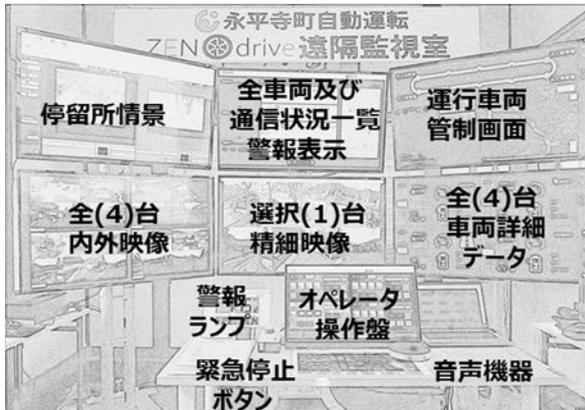
a) センター—装置類

① 全体像

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（令和年度開発）を図4. 4. 3. 1-11 に示す。なお、比較のために令和3年度末における全体写真も掲示した。



2023.5.12 ©Soliton Systems



2022.3.15 © SOLITON SYSTEMS

図4.4.3.1-11 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r4

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4.4.3.1-12に示す。

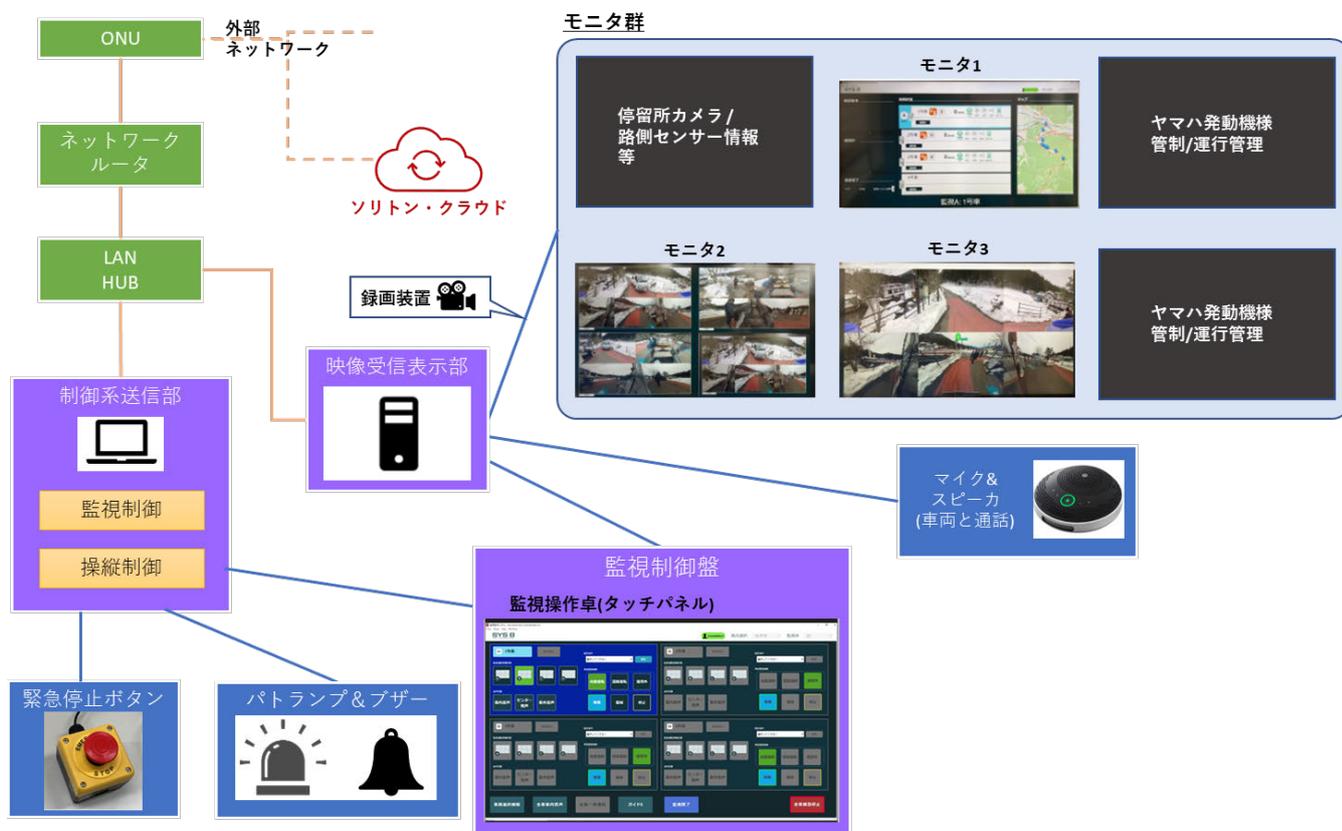


図4.4.3.1-12 遠隔システムにおけるマンマシンインターフェース装置構成r4

② モニタの配置、並びにその表示

図4.4.3.1-12において、

- ・モニター（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、
- ・モニター（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）、
- ・モニター（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、のためのモニターである。

遠隔システム（遠隔監視）のモニタ表示イメージを図4.4.3.1-12の2に示す。



図4.4.3.1-12の2(a) 遠隔システムのモニタ表示イメージr4

以下、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 (パターンA)) を採用するものとして記述する。

モニタ (3) に表示された選択車両1台に関する鮮明な映像例を図4.4.3.1-12の2(b)に例示する。

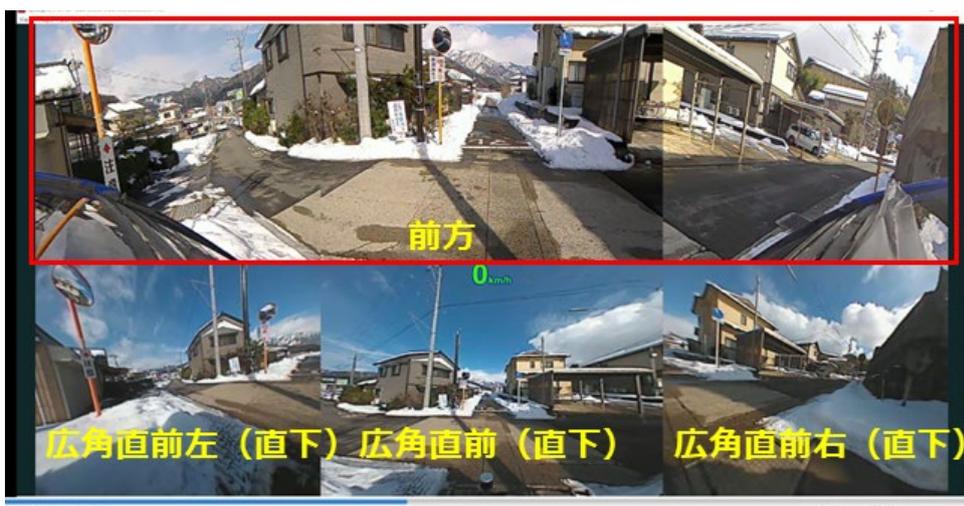




図4.4.3.1-12の2 (b) モニタ (3) に表示された鮮明な映像の事例
(車両前方映像 視界約200度)

③ 監視制御盤

遠隔監視センターにおけるオペレータ（「特定自動運行主任者」など）が各種操作を行うパネルが、監視制御盤であり、直接的なMHIに関わる。

令和4年度、4台同時走行に拡張することに伴い、車両との通話も複数同時通話を可能とするなど、遠隔監視の操作、制御（映像、音声）のパターンが増大したこと、さらに本制御盤で、管制システムの車両制御に関し、発進、停止などの安全確認操作も扱うことから、監視制御盤の機能、操作法の全面見直しを行った。具体的には、各操作の用語の見直し、統一を図り、あわせてタッチパネル操作位置の全面見直し、車両選択の非階層化などを実施した。

図.4.4.3.1-13 に、令和4年度に全面見直しを行った監視制御盤を令和3年度のそれと比較して示す。



図. 4. 4. 3. 1-13 (a) 令和4年度開発の監視制御盤r4



図. 4. 4. 3. 1-13 (b) 令和3年度開発の監視制御盤r4

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_{G2} ）（以下「映像遅延」時間という）に関するデータを収集した。

また、ダイナミックマルチリンク方式の適用によって、モニタ2（4車両同時表示方式）の映像は、全車が正常に自動運転走行中の場合は、フレーム周波数を標準1/30秒から低速化することとしており、このとき、モニタ2の映像については、必然的に遅延時間 T_{G2} が大きくなる。

従って、遠隔監視のみ（遠隔アシストや遠隔操縦に、モニタ2は利用しないとの前提）での利用に関する遅延時間 T_{G2} 許容値は、ダイナミックマルチリンクにおけるフレーム周波数のパラメータを変動させることにより評価することが可能である。

c) 正常走行状態時の遠隔オペレータの動作

図4. 4. 3. 1-14 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司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。

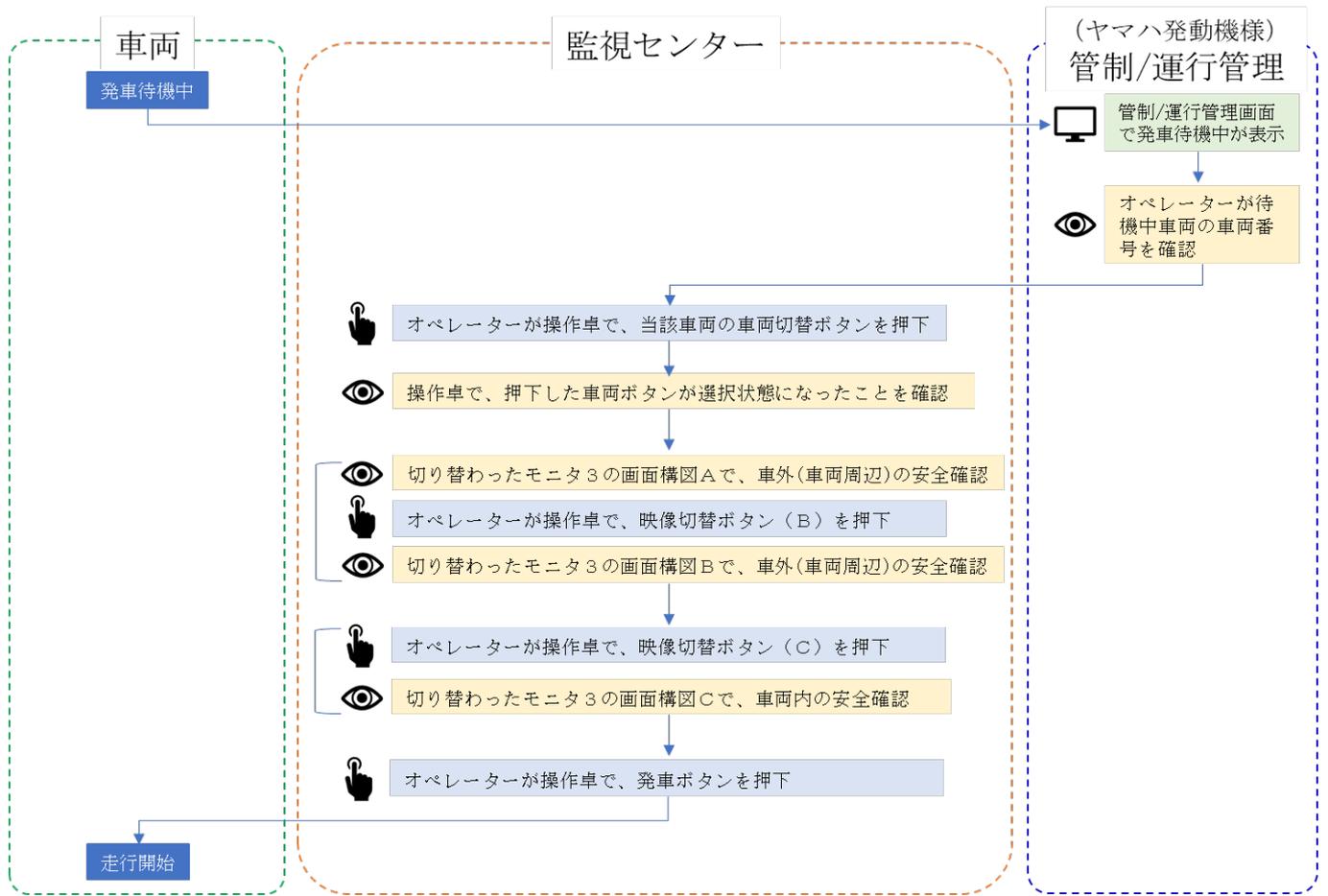


図4. 4. 3. 1-14 正常走行状態時の遠隔オペレータの動作フローr4

d) 異常通知があった場合の、遠隔オペレータの動作

図4.4.3.1-15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。

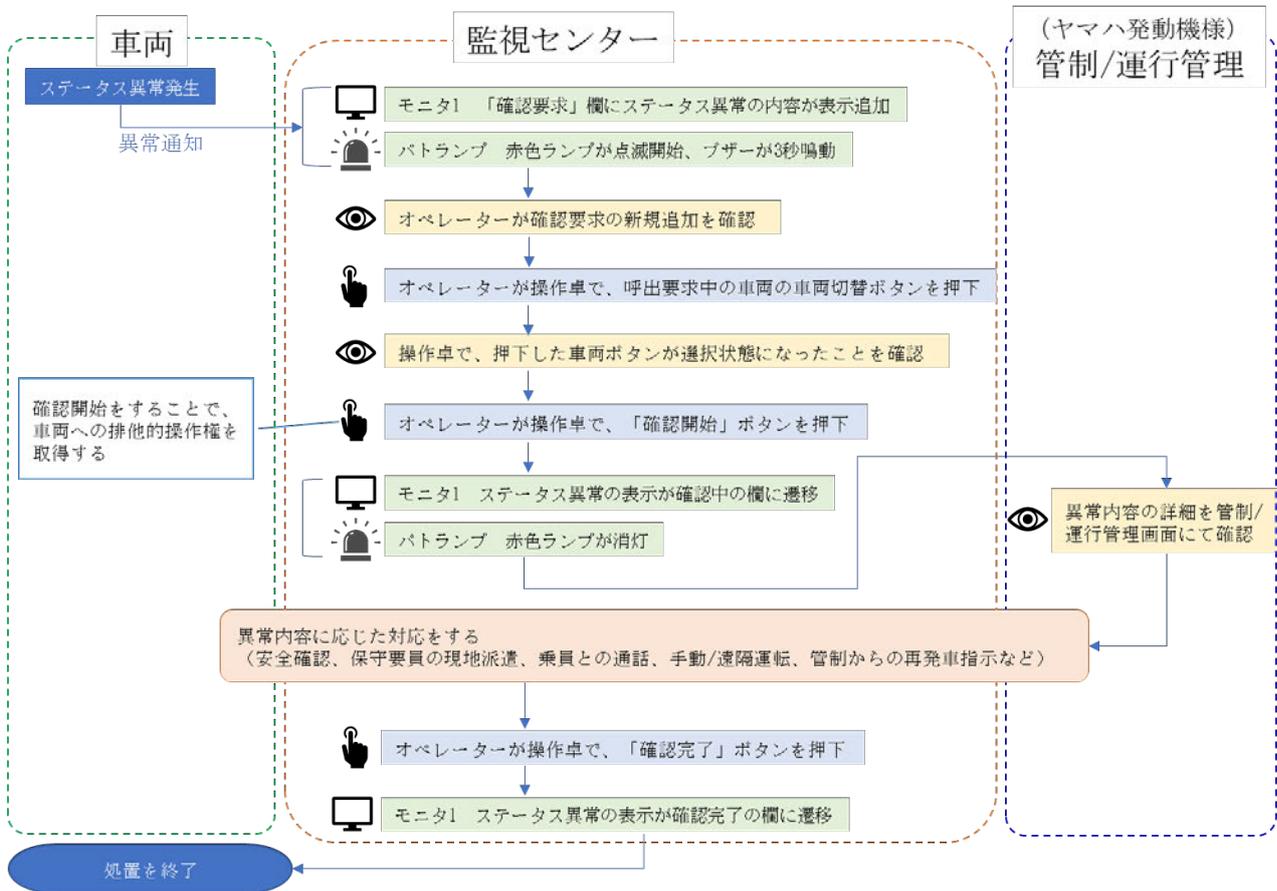


図4.4.3.1-15 異常通知があった場合の遠隔オペレータの動作フローr4

e) 通話要求があった場合の、遠隔オペレータの動作

図4.4.3.1-16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4.4.3.1-17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。

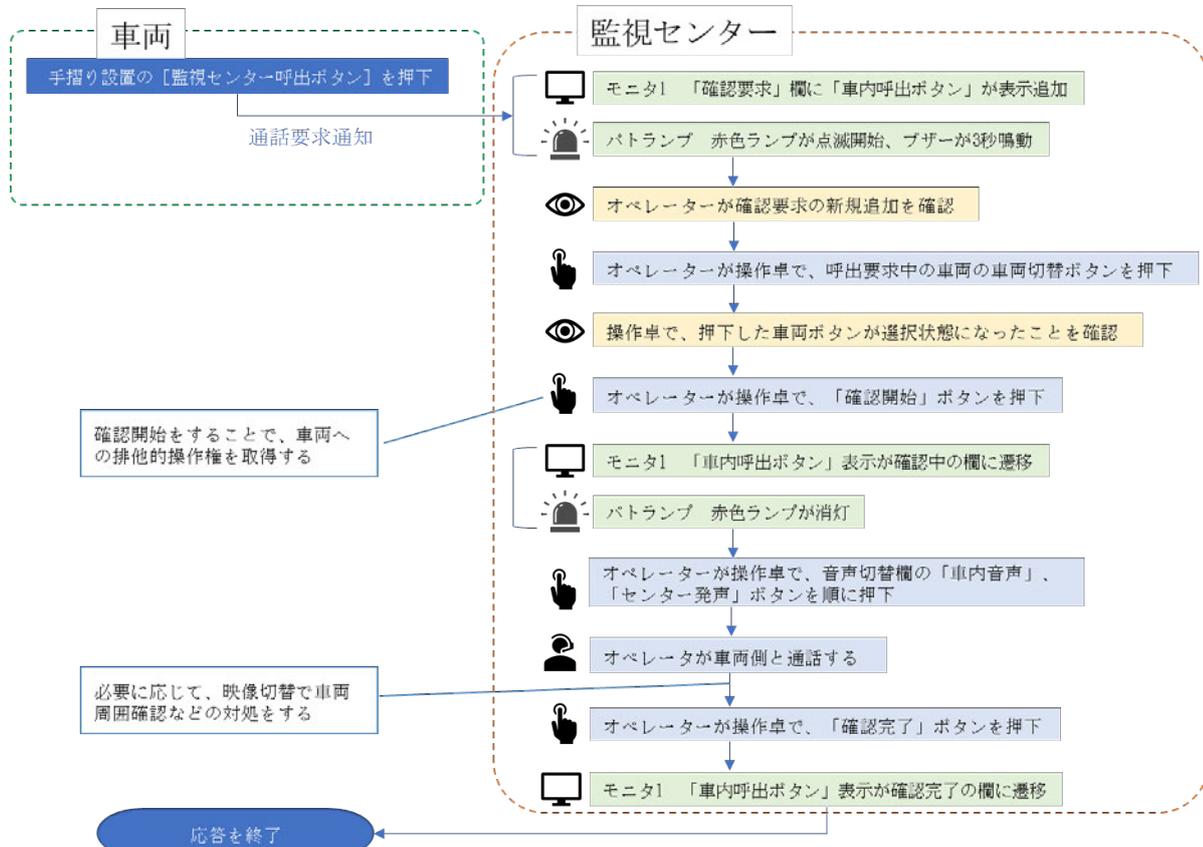


図4.4.3.1-16 通話要求があった場合の遠隔オペレータの動作フローr4



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（監視制御盤は令和3年度設計のもの）

図4.4.3.1-17 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4.4.3.1-6に示す。

表 4.4.3.1-6 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警音器 ③前照灯 ④窓ふき器 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4.4.3.1-18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。

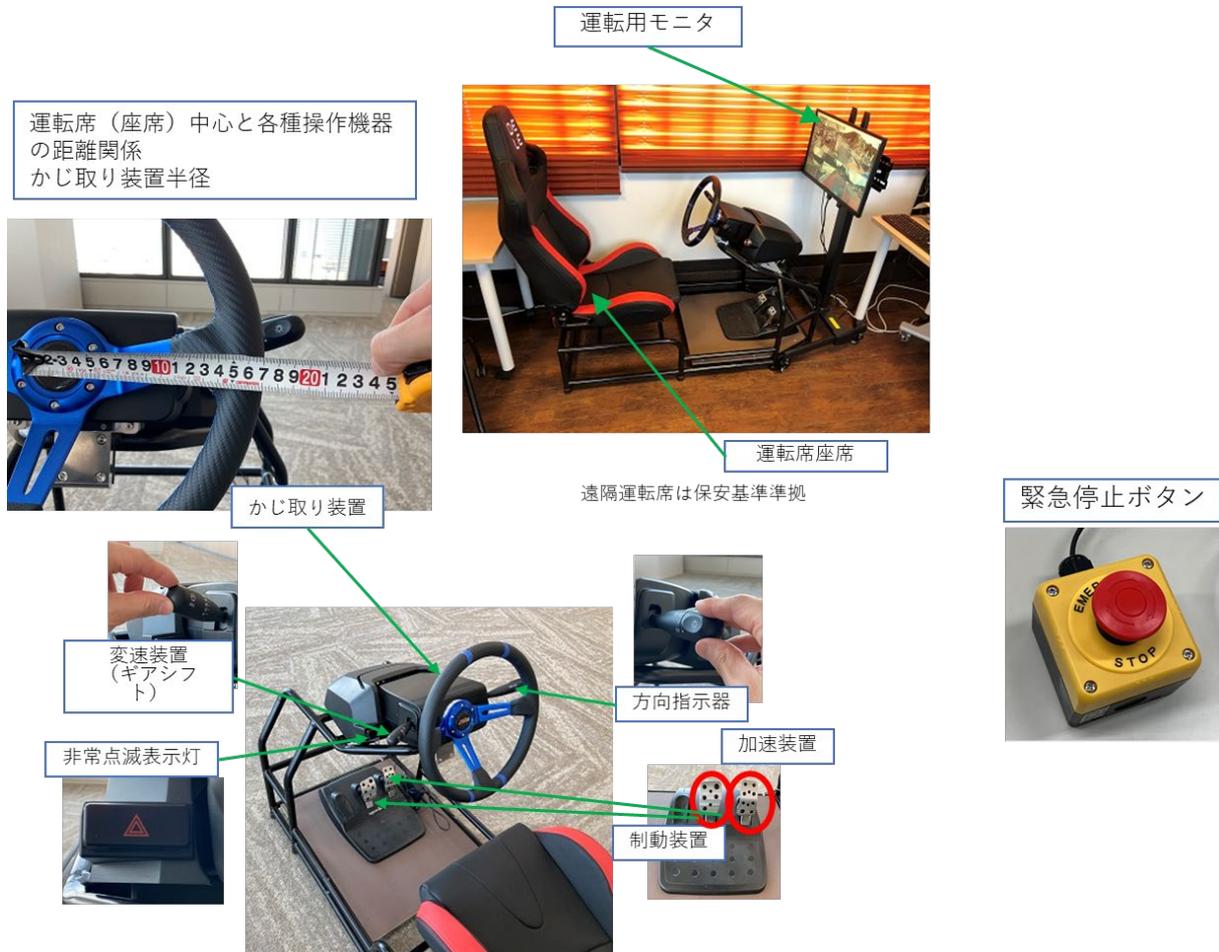


図 4.4.3.1-18 遠隔操縦システムのセンター装置類

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4.4.3.1-19のとおりである。



図 4. 4. 3. 1-19 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_{cc} 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。

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4.4.3.1-20 に、安全に十分配慮し、車両運転者が操作できる状態で遠隔操縦した事例を示す。



図4.4.3.1-20 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年度に開発し実装した。

a) 自動運転システムとのインターフェース

令和3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。

令和4年度は、本インターフェース内容について一部見直しを行った。

b) 管制システムとのインターフェース

令和4年度は、センターの管制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主に管制システム側から遠隔システムに送出する車両情報やアナウンス再生要求信号と、②遠隔システムから管制システム側に送出する遠隔監視状態の情報、管制制御中の車両への操作情報(発進/停止や運転モード切替指示など)に関するものである。

遠隔システムと管制システムの接続方式の概念図を、図4.4.3.1-20に示す。

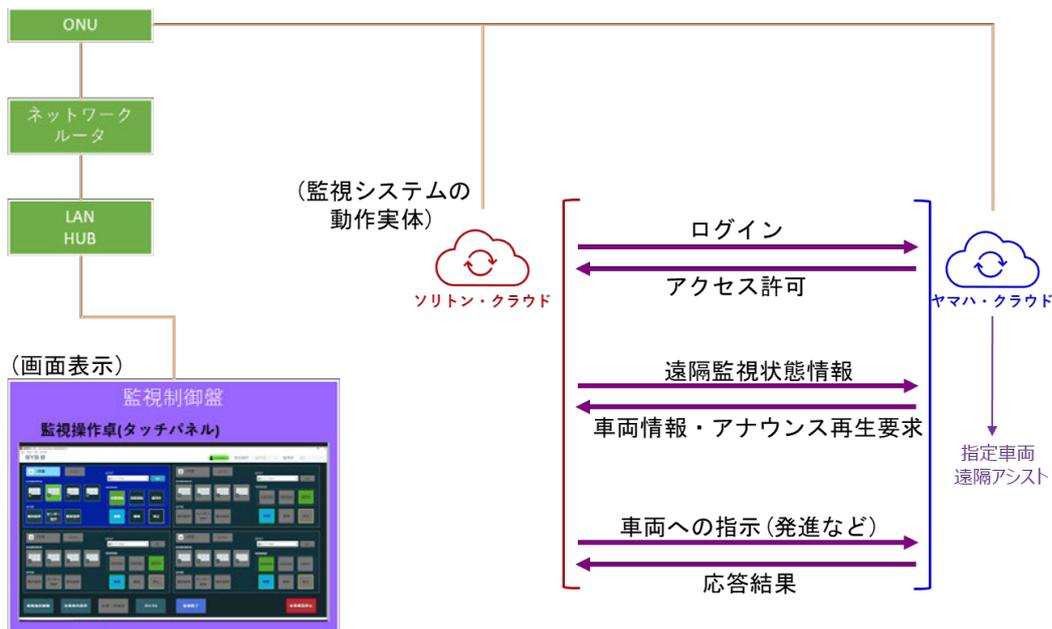


図 4.4.3.1-20 遠隔システムと管制システムとの接続 r4

7) ダイナミックマルチリンク方式

令和4年度において、通信基盤システムで開発したダイナミックマルチリンク方式を、遠隔監視システムに連動させる開発もあわせて実施し、遠隔システム側の指示に従ってダイナミックマルチリンク方式を動作させることを可能とした。このシステムは、令和4年度末時点で、4台同時の自動運転走行において実用に供している。

ダイナミックマルチリンク方式の開発成果の記載は、遠隔監視システムでの実用運用を含め、まとめて4.4.5.3に記述する。

8) その他、付加システム

施行規則に準拠し、自動運転車両から送信され現にセンターモニタに表示されている映像を、画質劣化させることなく記録する録画装置を設置した（図.4.4.3.1-12参照）。

4.4.3.2 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4.4.3.2-1に示す。図4.4.3.2-1(a1)はR3年度に作成した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4.4.3.2-1(a2)はR3年度版のUIから改良を加えている。具体的にはフォントサイズの向上、「全車両非常停止」「全車両一時停車」ボタンの廃止、「全車回送」「本日の運行終了」ボタンの追加などを行っている。

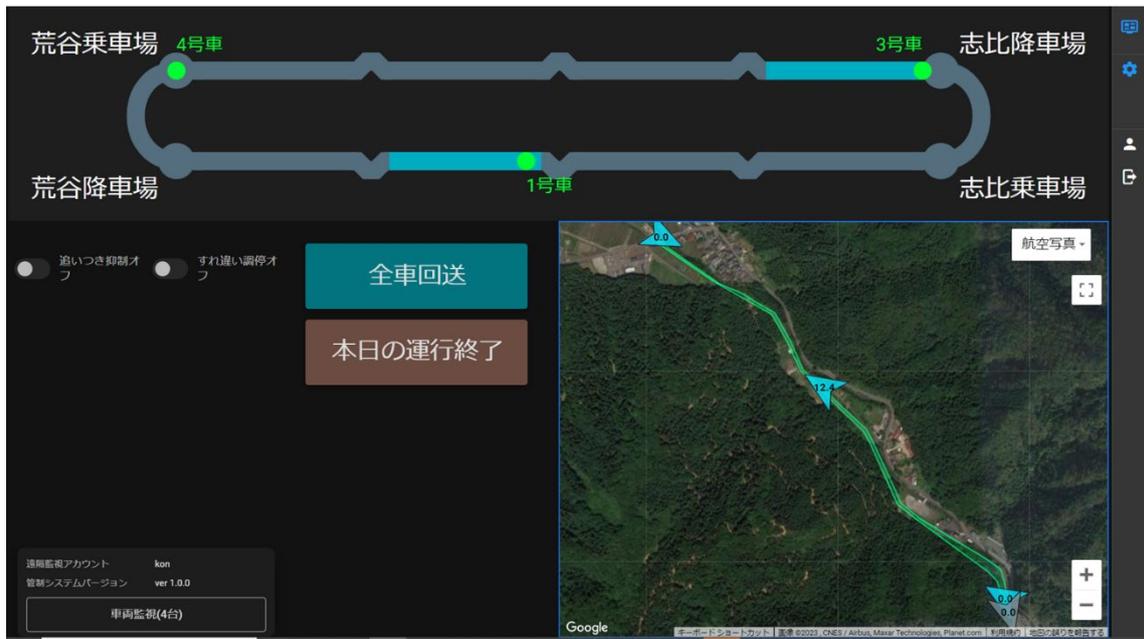
図4.4.3.2-1(b1)はR3年度に作成した車両の状態を監視するUIである。運行中の車両がどんなステータスにあるのか、遠隔監視者の操作が必要な状況なのかどうかなどを表示する。本UIは表示のカスタマイズが可能になっており、運行で必要な情報だけに絞ったり、開発用に細かく情報を見たりすることが可能である。ただし、永平寺町の志比-荒谷間での運用を考慮し、表示台数を4台固定としている。遠隔監視者が操作するI/Fとして、対象の車両1台を発車させる「発車」ボタン、対象の車両1台を比較的緩やかな減速度で停車させる「非常停止」ボタン、車両の運行モードを切り替える「運行モード切替」ボタンなどを用意している。自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。

図4.4.3.2-1(b2)はR3年度版のUIから改良を加えている。車両の鍵位置、自動運行装置の発進許可フラグ、監視映像状況について一目で分かりやすいようにアイコン化していたり、遠隔監視者が車両に対してどのような操作をすべきかを誘導するための操作目安表示を配置したりしている。

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。



(a1) 自動運転路線図_R3 年度版



(a2) 自動運転路線図_R4 年度版



(b1) 車両監視_R3 年度版



(b2) 車両監視_R4 年度版 (開発途中の表示)

図 4.4.3.2-1 管制システムにおける遠隔監視 UI

上記、R4 年度版の UI は遠隔監視者がメインで操作する画面としては想定しておらず、車両の操作についてはソリトンシステムズ殿が開発されている操作卓に集約している。本年度に自動運転管制システムに関する API を整理することでこれを実現している。表 4.4.3.2-1 に本システムの Web-API 例を示す。これらの API を介すことで車両の現在位置などの情報を他システムと連携したり、車両に対する操作リクエストを受け付けたりすることが可能になる。また、これらの API を使用するには OAuth2.0 に従った認証をする必要があり、予め設定したユーザ情報が必要になる。

表 4.4.3.2-1 管制システム Web-API

メソッド	パス	内容
PUT	/monitoring	遠隔監視情報共有
POST	/vehicles/{id}/command	車両走行操作
POST	/vehicles/command	全車両走行操作

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自動運行装置-管制システム間の通信が確立している場合、遠隔監視者が操作するUIから指示を送信可能である。

4.4.4.2 車両位置同定

図4.4.4.2-1に車両の位置同定方法を示す。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。

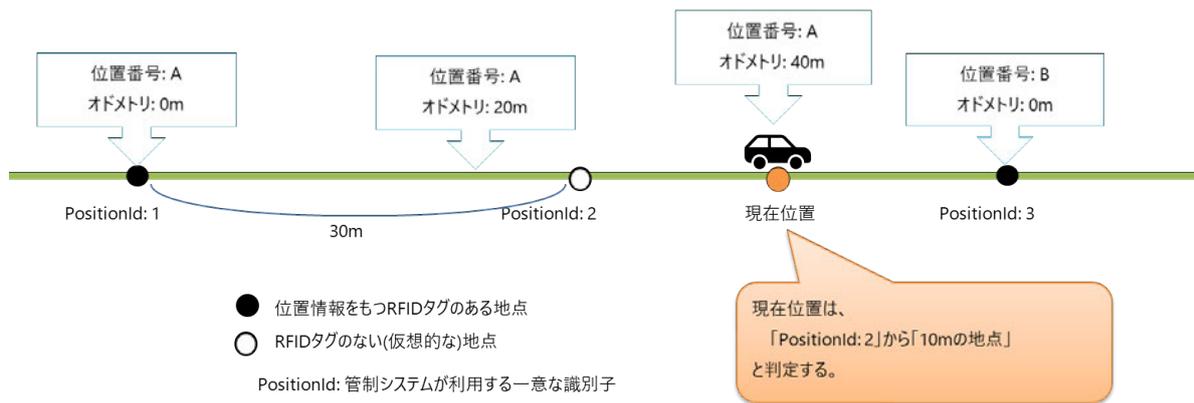


図 4.4.4.2-1 車両位置同定方法

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。L3 運行が実施されていた同コースでは荒谷-志比間を最大 3 台の自動運転車両が走行していた。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」

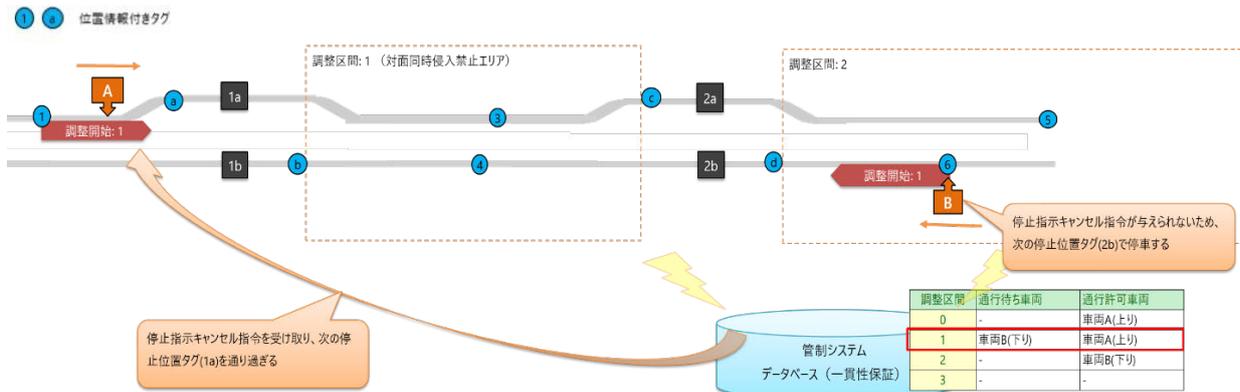
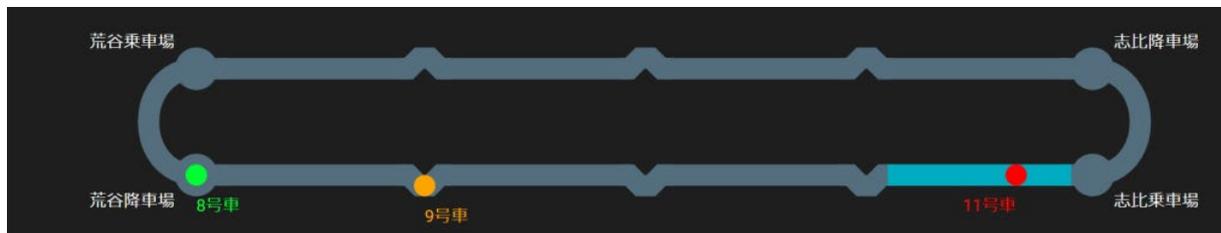


図 4.4.4.4-1 すれ違い調整基本ロジック

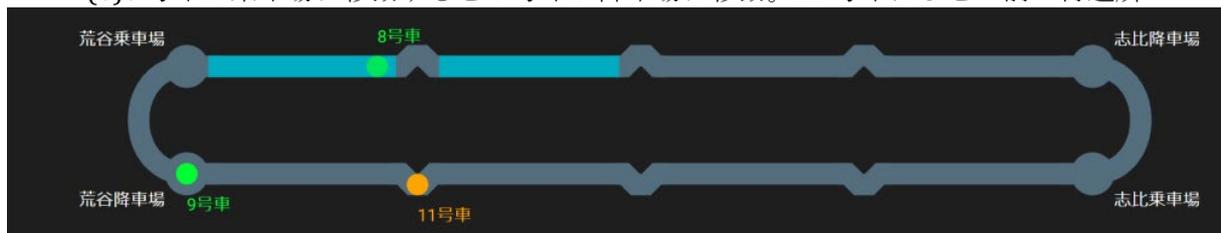
上記ロジックを応用し、停留所に到着した際に到着車両は調整区間の通行許可を運行管理システムに返却するが、後続の車両に通行許可を与えるタイミングを調整することで、荒谷停留所に3台同時に向かっている状況でもデッドロックを発生させずに運行調整することが可能になり、前述した L3 運行での課題を解消した。図 4.4.4.4-2 に3台運行のシミュレーションを示す。



(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

なお本調整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、まずはその運用の必要性を考慮し、極力そのような運用を避けることを推奨する。また、自動運行中に何らかのトラブルにより走行位置が把握できない状況になった場合、車両は自律判断によりMRMに移行するが、再発車をするための安全確認は遠隔監視者の責任の元、実施されるべきである。

本機能は、令和5年2月に産総研殿との調整を行い、自動運転サービスの確実な運行には寄与するものの、同一方向に2台連続で発車する場合には後続車両がひとつ前の待避所で待たされるため、後続車両の乗車時間が長くなってしまふことを指摘された。また、運用上、3台以上の車両を同一方向に発車させることはなく、デッドロックが発生し得る運用パターンは存在しないとのことから、ひとつ前の待避所で待機する調整制御については機能を停止させている。上記調整制御を停止するにあたり、2台の車両が同一方向に進み、先行車が降車場に到着した場合、後続車が降車場に入庫して先行車と接近してしまう可能性が危惧される。しかし、これについては後述する追いつき抑制制御により適正な車間距離を取ることが可能になっている。

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。また、前述したように、すれ違い調整による降車場への進入調整機能を停止したことで、自動運転車両同士の接近が危惧された。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车速を前方車両以下に減速させることを目的とする。

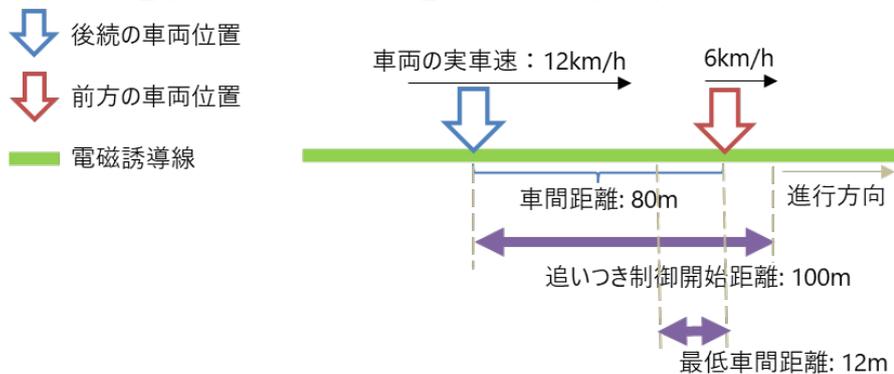


図 4.4.4.5-1 追いつき抑制制御が介入する状況

(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。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、まずはその運用の必要性を考慮し、極力そのような運用を避けることを推奨する。

4.4.4.6 作業支援アプリ

L4 自動運転車両のセットアップをするにあたり、車両の電源を入れた際に各 ECU やセンサが正常に起動しているかを確認する必要がある。L3 車両は車両にモニタを搭載してそこに各センサの状態を表示していたが、L4 車両はモニタへの表示はしていない。そこで、運行事業者が確実な点検を行えるように作業支援アプリを開発し、起動確認を行いやすいように整備した。

図 4.4.4.6-1 は本アプリの画面である。インターネットに接続可能なスマートフォン・タブレット端末で使用可能とし、遠隔監視室から離れた車庫においても車両の状態を確認することができる。なお、本アプリの利用には事前にユーザ登録が必要であり、ユーザ発行は関係者に限っている。図 4.4.4.6-1 では 1 号車の各 ECU とセンサは正常に起動しており、自動運行装置からの発車許可フラグが送信されていない状態を示す。このような状態の場合、車両の目の前に人や障害物が存在している可能性がある。また、本アプリを用いて自動運行走路の確認を行うことも想定される。そのため、車両操作できるよう「発車」や「一時停止」ボタンも配置されている。ただし、本アプリを用いることで 1~4 号車のどれでも自由に操作できてしまうと危険な事象が発生する可能性がある。そのため、車両の GPS とアプリ使用端末の GPS の距離が 20 m 以内にあることを発車の条件としている。これは有視界内にある車両のみ操作可能としたいという意図である。しかし、この条件では起動する場所によっては距離が離れすぎていると判定される事例が多く検出されたため、車両との距離が離れすぎていると判定された場合には再度確認ダイアログを出して、承認されてから指示が送信されるように変更し、作業者に確実に操作したい車両を確認するように促している。



図 4.4.4.6-1 作業支援アプリ

4.4.4.7 シナリオベースの動作確認

令和5年3月より、現地運行事業者のZENコネクト殿によってL4運行を見据えたサービス実証が開始された。それに先立ち、最終的なL4自動運転システムが想定通りの動作をするか、令和4年12月に運用シナリオに基づいた確認を行った。

表4.4.4.7-1に運用確認シナリオを示す。このシナリオはL3運行を行っていた作業者にヒアリングを実施し、実際の運用を再現したものである。このシナリオを現地の環境で確認し、L4自動運転システムが想定通り動作することを確認した。

表 4.4.4.7-1 運用確認シナリオ

シナリオ	操作対称	操作内容	操作手順詳細
1	管制・遠隔	遠隔監視室起動	自動運転路線図、車両監視(4台)を開く。 検査用ユーザでログインする。
			遠隔システムを立ち上げ、管制にログインする。

2	管制・遠隔・遠隔	車両起動、初期位置配置（正常）	<p>1号車の充電ケーブルをはずし、1号車のキーをONにする。</p> <p>1号車に乗車し操作端末の表示を確認、遠隔システムの立ち上がりを遅らせる。</p> <p>ステータス All Green を確認。</p> <p>志比までの走路を確認する。</p> <p>操作端末で操作し、志比停留所まで移動。</p> <p>志比停留所で「車庫行き発車」車庫前まで戻る。</p>
			<p>遠隔監視のシステム立ち上がり後の遠隔監視確認</p>
			<p>1号車を車庫から出し、誘導線に乗せ、自動に入れる。</p>
3	管制・車両	車両起動、初期位置配置（異常）	<p>2号車の充電ケーブルをはずし、2号車のキーをONにする。乗車し操作端末の表示を確認、ステータス異常を確認。</p> <p>車両を操作端末で操作する</p> <p>FIXした後、操作ができる</p>
			<p>2号車を車庫から出し、誘導線に乗せ、自動に入れる。</p> <p>AD-ECUの異常信号を出す。</p> <p>異常状態をFIXする。</p>
4	管制・遠隔・車両	通常運行 開始 監視	<p>1号車は荒谷に乗車で移動、2号車は無人で志比に向かう。荒谷到着後、降車し遠隔監視室に移動</p>
			<p>遠隔操作卓で1号車を発進させる。</p> <p>遠隔操作卓で2号車を発進させる。</p> <p>運行を1号車が1周するまで継続する。</p>

5	管制・遠隔・車両	障害物検知停止時発進	1号車を荒谷停留所の乗車位置に入った時に、障害物を前に置く。
			障害物を取り除き、発進操作をする。
6	管制・遠隔・車両	MRM 時対応	障害物を1号車が発進できる距離まで離す。走行後、障害物検知停止で30秒以上停止状態で保持する。
			遠隔操作卓で1号車を発進させる。
8	管制・遠隔・車両	連続運行	1号車のキーを操作し自動に入れる。運行を継続する。 (アクセストークンが更新されなかった場合、再ログイン画面が表示される) 70分走行。
			遠隔が管制にログインして70分経過しても車両の操作が可能であることを確認する。
9	管制・遠隔・車両	遠隔監視システムの異常停止	通常運行中に車両が1,2号車を遠隔から一時停止させ、乗車し遠隔車載器のモデムを抜く。5~7秒後に異常を検知
			モデムを繋いで復旧できるか。

10	管制・車両	運行終了作業	<p>管制で荒谷に1号車、2号車を「全車回送」。荒谷で前の車両を乗車せずに操作端末で「車庫行き発車」。</p> <p>後ろの車両を操作端末で「車庫行き発車」移動する。</p> <p>後車が前走車の10m以上手前で停止する。</p> <p>監視員が荒谷に帰着し、「本日の運行終了」監視室の Shutdown</p> <p>(荒谷1台、志比1台、志比1台を車庫前へ、荒谷1台に乗車し、車庫前へ)</p>
			<p>管制、操作端末により移動。</p> <p>前車両を手動にし、車庫に入れる。</p> <p>2台を充電にし、車庫を締め、徒歩で荒谷に移動。</p>
11	管制・遠隔	遠隔監視室再起動 (次の日を想定)	<p>自動運転路線図、車両監視(4台)を開く。</p> <p>検査用ユーザでログインする。</p>
			<p>遠隔システムを立ち上げ、管制にログインする。</p>

4.4.4.8 車両ログ解析

本自動運転システムでは車両のログ（車速、走行距離、バッテリー残量、発進停止指示履歴、各種エラー情報など）をクラウドサーバに保存しておき、後解析することができる。この機能の配置図は図 4.4.4.8-1 に示すとおりである。まず車両に搭載された CCU が車両の CAN バス上を流れる車両情報を収集し、一定周期でクラウドサーバに送信する。クラウドサーバは受信した車両情報を時系列データのログとして保存する。メンテナンス者は自身の PC からクラウドサーバに接続し、車両情報のログを参照・ダウンロードすることができる。この車両情報のログから任意のデータに絞り込みを行い、車両運用履歴のチェックやエラーの解析を行うことが可能である。

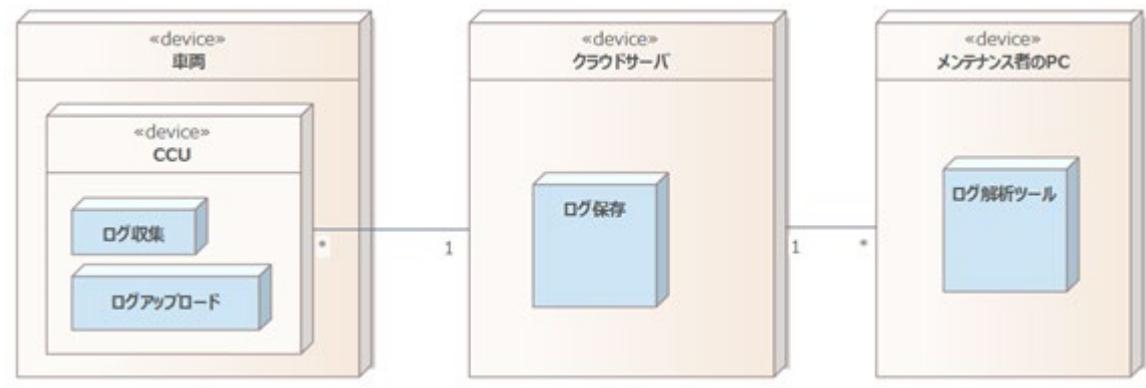


図 4.4.4.8-1 車両ログ解析機能配置図

このログ解析機能があることによって、車両のどの部分に問題があつて停止してしまったのかを事象が発生した後に調べることができるようになっている。また、ログはクラウドに保存されているため、メンテナンスを行う者は現地に赴かず解析することができる。後述の不具合対応手順比較の「従来の不具合対応手順」と「本ログ解析機能を用いた不具合対応手順」に示すように②のフェーズで現地へ赴く時間や不具合再現の時間の削減をすることができるため、サービスがより持続可能なものとなる。

－不具合対応手順比較－

・従来の不具合対応手順：

- ① 現地から不具合発生報告を受ける
- ② 「現地に赴き」不具合再現を行うまたは車両上のログを確認する
- ③ 必要に応じてソフト変更や部品を発注
- ④ 交換や修正のために再度現地に赴き作業する

・本ログ解析機能を用いた不具合対応手順：

- ① 現地から不具合の報告を受ける
- ② 「自社オフィスで」ログを確認・対策の検討を行う
- ③ 必要に応じてソフト変更や部品を発注
- ④ 交換や修正のために現地に赴き作業する。

なお、本ログ解析は事象発生日の翌日以降可能である。これは、現状の実装が1日の運航が完了したことをトリガにして、ログを参照可能な場所に保存するからである。利便性のためにも、将来的にはリアルタイムで解析できることを目指している。例えば、5分ごとにログを参照可能な場所に保存することが考えられる。また、不具合の兆候を検知して、将来起こりうる不具合の警告を出力する機能も検討している。

4.4.5 通信システムのコスト削減、品質向上

4.4.5.1 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4.4.1.1-1、図4.4.1.1-2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仕組みとして、このプロジェクトでの自動運転運用のためだけでなく、内外の多く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である。

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つの狙いから令和3年度、4年度にわたり開発を進めてきた。

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。

- (i)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、対象とする通信インターフェースの拡張を目指す。
- (ii)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年度において、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）＜ダイナミックマルチリンク、通信クラウド＞

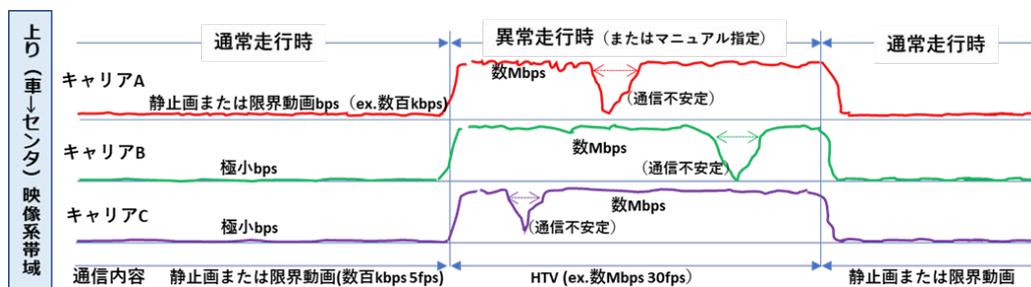
通信回線のコスト低減のため、通常運用時は低速回線で接続して映像品質を落とし、もしくはフレーム周期を大きくし、異常時など利用者が必要なときにのみ高速回線の接続とする方式（ダイナミック・マルチリンク）を開発する。本方式は、遠隔監視システムと連動して機能する。

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。

(i)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ました、遠隔システムに連動させ、実用システムとして運用を目指す。

図4.4.5.1-1 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。



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4.4.5.1-1 ダイナミック・マルチリンク方式の通信イメージ

(ii)クラウドの活用、回線集約：令和3年度において、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、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 200～300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、これを開発目標とした。

このために、以下を実施する。

(i)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（100m秒以下）は達成できた。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。

図4.4.5.1-2に令和3年度の開発における映像伝送装置部分の遅延の概算値を示す。エンコード・デコード部は令和3年度の時点で100m秒未満となっており、既に目標をクリアできている。

令和4年度では、さらにエンコード・デコード部の遅延短縮を図るとともに、カメラ部、LTE、インターネットなどの回線部等、映像伝送装置部分以外の遅延についても調整を加え、G-to-Gトータルの遅延時間T_{gg}について、200m秒以下を実現した。

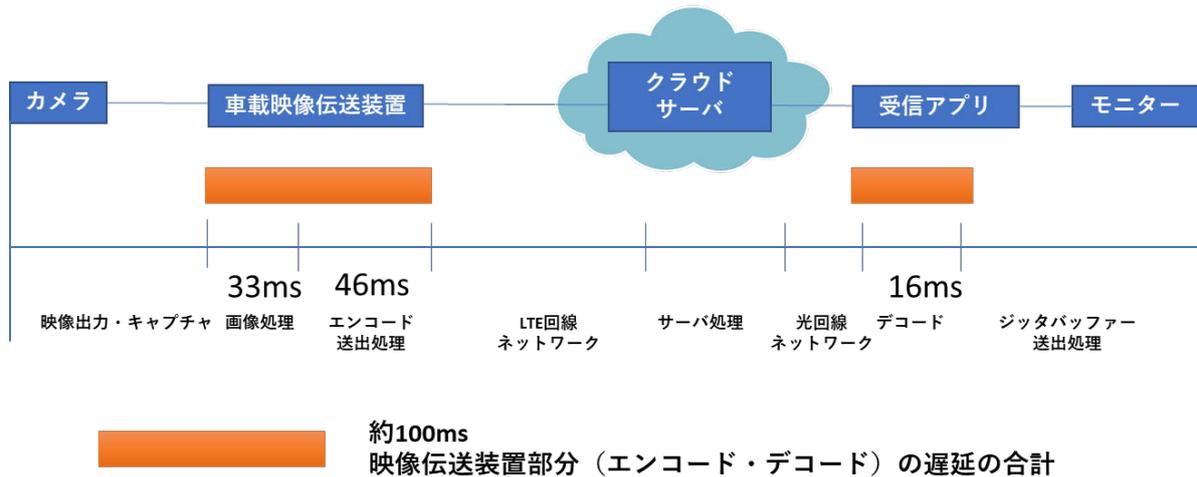


図4.4.5.1-2 令和3年度開発における映像伝送装置部分の遅延

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。

(i)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した。

(ii) 標準セキュリティの実装：4.4.2.3の検討を参考に、実装可能な対策を搭載した。

図4.4.5.1-3 は令和4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。

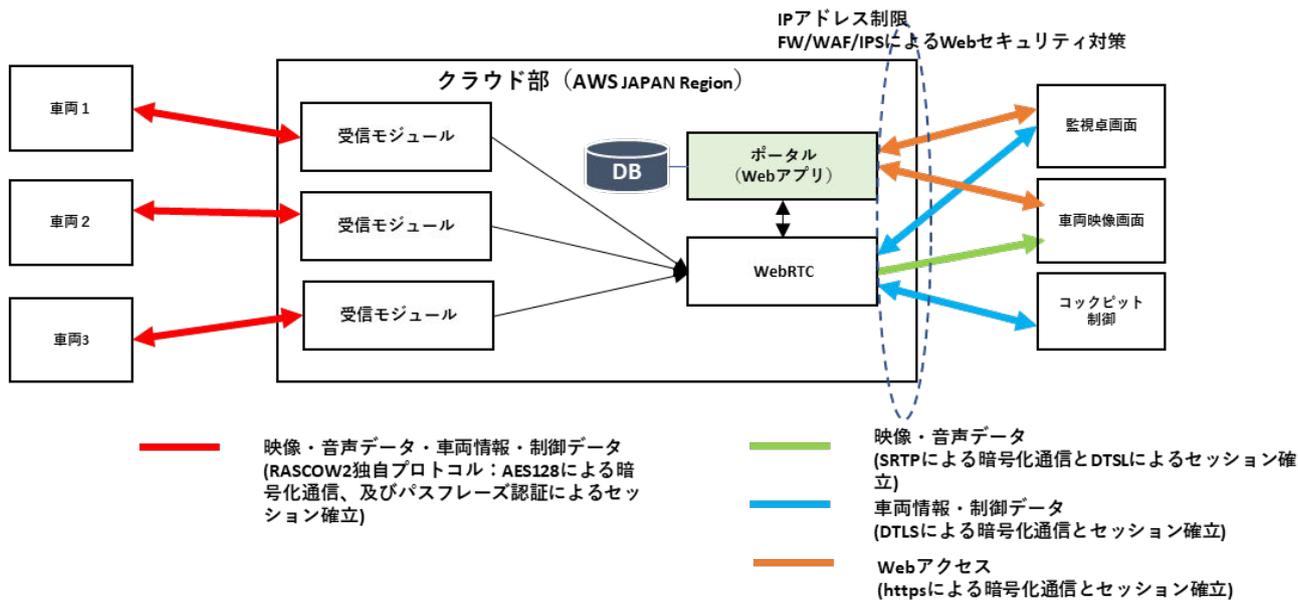


図4. 4. 5. 1-3 令和4年度に実装したセキュリティ対策r4

以上、令和4年度に実現した基盤通信システムのコスト削減、品質向上成果について表4. 4. 5. 1-1にまとめた。

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. 5. 1-4(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. 5. 1-1 通信システムのコスト削減、品質向上

SOLITON 20230623

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)	(Zao-X)	開発目標	令和4年度達成状況
1	映像通信、映像表示の安定化・品質向上	a マルチキャリア多重利用 (マルチリンク方式)	なし	3回線 (RASCOW)	3回線	実現
		b 能動的映像符号化	あり (簡易) (DRE)	あり (RASCOW)	実施	実現
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・マルチリンク開発	実現
		b クラウドの活用・回線集約	あり	あり	実施	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 ^{ミリ} 秒 ~500 ^{ミリ} 秒? (ソフト)	約40 ^{ミリ} 秒 (アプライアンス)	100 ^{ミリ} 秒以下(*) <2022最終目標> (ソフトウェア)	実現 (G-to-Gで200m秒)
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・モジュール化	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	実現
		b 標準セキュリティ方式の実装	あり (認証・暗号)	あり (認証・暗号)	具備	実現

(*)装置単体値 (LTE,映像端末除く) <所定のエッジPC適用>



(a) 車載BOX



(b) 車両への搭載 (2列目のシート下)

図4. 4. 5. 1-4 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r4

4. 4. 5. 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

ンターフェースは遠隔監視システムの制御のみならず、4.4.3.1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した。特に、データインターフェースに関しては、シリアル対応のニーズが大きい。

上記インターフェースの統一化、並びに4.4.5.1 4)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。

4.4.4.3 ダイナミック マルチリンク方式の開発、運用

4.4.5.1 2)(i)記述のダイナミック マルチリンク方式を開発し、令和4年度に実装、運用に供した。

1) 低ビットレート映像の実現

以下の2方式を比較し、解像度が維持されるため遠隔監視の目的に整合するB方式（フレームレート低減方式）を採用する。

表 4.4.5.3-1 低ビットレートの方式

方式	内容	採用
方式A	符号化レートを変え、映像解像度を落として低ビットレート化を図る	
方式B	符合化レートは変えず、映像フレーム周波数を落として低ビットレート化を図る	○

2) フレーム周波数と通信帯域の関係

表 4.4.5-3 にフレーム周波数と、2K映像を伝送するときの通信帯域の関係性を示す。

ここに、「通信ターゲット設定帯域値」とは、十分に広帯域な通信帯域の確保が可能なモバイル通信環境のもとで、本基盤通信システム（H.265映像符号化かつマルチリンク方式）を利用するとき、システムが映像+音声伝送のために安定的に確保しようとする帯域のことである。この値は、運用設計者が予め車両ごとにシステムにパラメータとして付与できる。

表 4.4.5.3-2 フレームレートと通信帯域の関係

フレームレート (fps)	1	2	3	5	15	30
フレームレート周期 (秒)	1	0.5	0.33	0.2	0.067	0.033
2K映像ベースバンド帯域 (Mb/s)	16.5	33.2	49.8	82.9	249	498



H.265 利用 マルチリンク方式 通信ターゲット設定帯域値(Mb/s)	0.2	0.2	0.2	0.5		2.0
---	-----	-----	-----	-----	--	-----

3 モバイル事業者の LTE/5G を用い、通信品質の良好な場所で、2K 映像の各フレームレートごとに、通信帯域（ただし、通信ターゲット設定地域値は上表値による）を計測した。これを図 4.4.5.3-1 に、またその集約図を図 4.4.5.3-2 に示す。

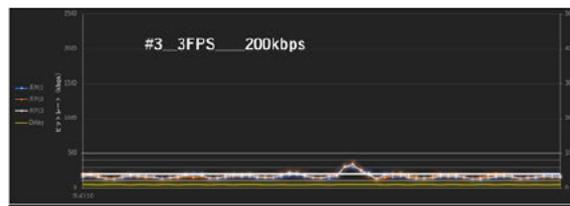
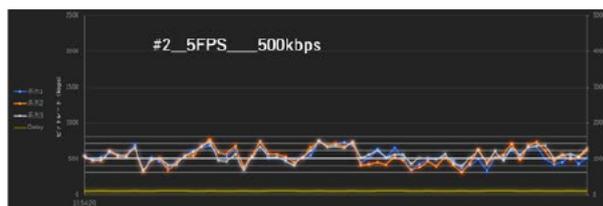


図 4.4.5.3-1 2K 映像の各フレーム周波数、通信ターゲット設定帯域値に対する LTE/4G 通信帯域 (3 キャリア)

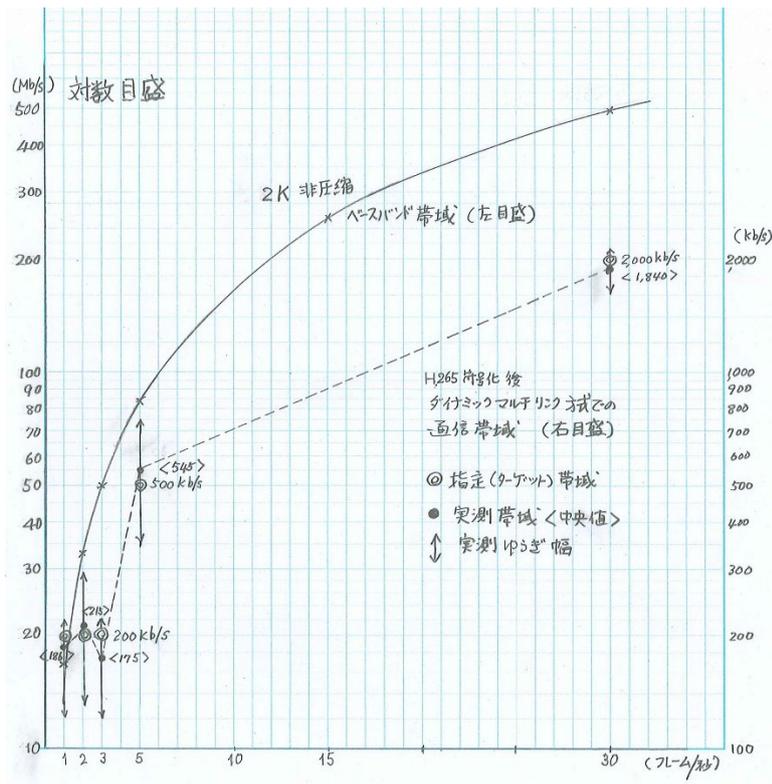


図 4. 4. 5. 3-2 図 4. 4. 5. 3-1 データのまとめ

3) ダイナミックマルチリンク方式の、推奨低ビット帯域フレームレート

図 4. 4. 5. 3-2 から、ダイナミックマルチリンク方式に適用する低ビット通信帯域としては、フレームレート 3 fps、設定ターゲット帯域 200kb/s を推奨する。

理由は以下のとおりである。

- ① 3fps (0.33 秒周期) は、多少コマ送りの映像となるが、動きに大きな違和感はない。
- ② 約 200kb/s まで帯域を低減できる。解像度、画質は良好である。

なお、この時、本映像の G-to-G 遅延時間は、

$T_{gg} = 0.33 \text{ 秒} + 0.15 \text{ (映像通信部分の本来の遅れ) 秒} = \text{約 } 0.5 \text{ 秒}$ となる。

4) 遠隔監視方式への組み込み

基盤通信システムのダイナミックマルチリンク方式を、以下の方針の下、遠隔監視システムに組み込む。

- ① 1 車両接続の 3 キャリア回線間で、帯域に差を付けない。全て同等のフレームレート、設定ターゲット帯域とする。
- ② 自動運転車両の通信が、低ビットから高ビットに立ち上がるトリガは、遠隔オペレータが当該車両の監視映像を 1 両選択画面 (モニタ 3) に切り替えたときとする。

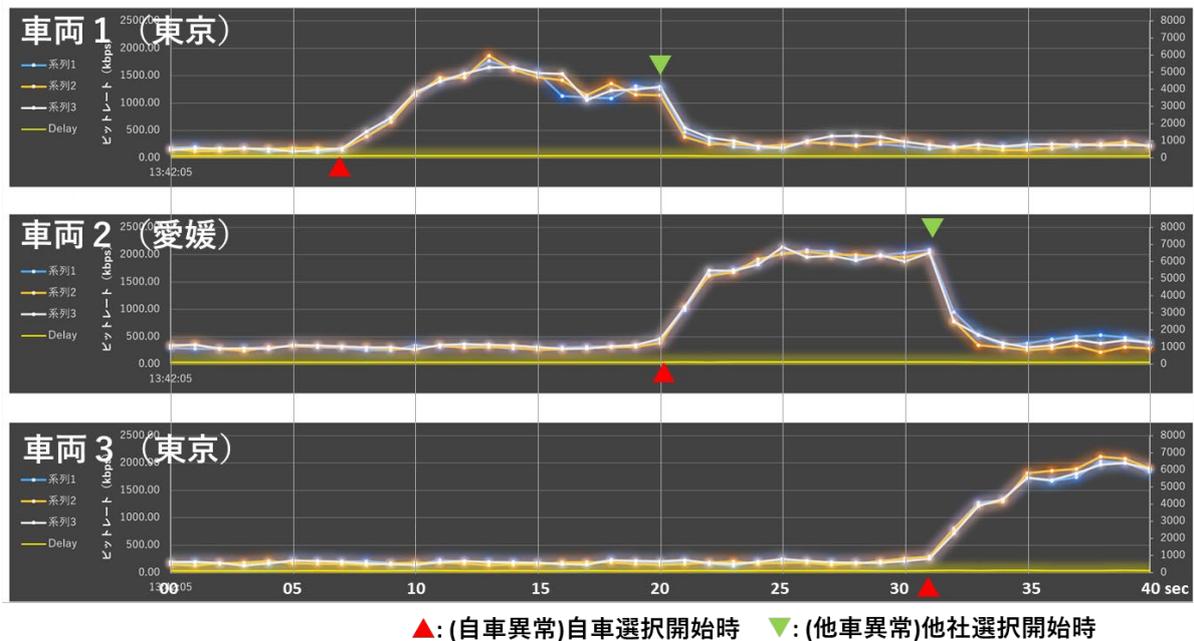
これは、モニタ 3 の選択車両映像は精細動画であることを要し、またモニタ 2 の 4 車両同時映像は、(通常 (異常でない) の自動運転走行を前提としているので) 必ずしも精細動画であることを要しないからである。

また、オペレータとして、車両が異常でない場合も、乗客状況の精細画像監視が必要となるケースはしばしば発生し、従ってオペレータの画面切り替えをトリガとすることが妥当である。

すなわち、モニタ 2 の 4 車両映像は、その車両がモニタ 3 に選択されない場合、低ビット映

像に自動的に設定される。(選択車両の場合は、モニタ 2 の映像でも高ビットレート映像になる)

図 4. 4. 5. 3-3 は、東京、愛媛、東京の 3 台の車両にダイナミックマルチリンク方式を組み込んだものである。順に、車両 1、車両 2、車両 3 を約 10 秒ごとに選択指定した時のそれぞれの車両の 3 キャリア各回線の通信帯域の時間軸上の変化を測定したものである。



▲: (自車異常)自車選択開始時 ▼: (他車異常)他社選択開始時

図 4. 4. 5. 3-3 3 車両同時走行時におけるダイナミックマルチリンクの連続動作

第5章 まとめ

5.1 令和4年度（2022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、2022年度に実施した事業モデルの展開、運行条件の整理・評価、レベル4の認可を取得した車両、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。自動運転移動サービスの実現にあたり、レベル4の車両を用いた運行の許可に関わる道路交通法の施行が、2023年4月1日となり、関連した法規の改正なども実施されることとなった。そのため、本取組は、令和4年度までのプロジェクトであったが、自動運転移動サービスの実現として、永平寺町において地域の運行事業者による本格運行が行われるところまでを想定し2023年6月30日まで延長された。

成果としては、2023年3月30日には、中部運輸局から1名の遠隔監視者が3台を運行するレベル4の自動運転車両として、予備車両を含めて4台の車両に対して、国内初の走行環境条件の付与を受けることができた。また、2023年5月11日には、福井県公安委員会からレベル4の自動運転移動サービスの運行を行うものとして、特定自動運行の許可を受けることができた。これにより、永平寺町のまちづくり株式会社ZENコネク트가、2023年5月21日からレベル4の自動運転移動サービスの本格運行を開始し、5月28日より一般者へのサービス提供を開始し、本委託業務のプロジェクトにおける自動運転移動サービスの社会実装の目標を達成することができた。

当初に予定していた、以下の技術開発をポイントについては達成したと考えている。

- 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、車両の開発を行い、レベル4自動運転サービス車両に実装し、認可をけることができた。
- 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し、実車両に実装し、レベル4自動運転移動サービスに活用することができた。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を行い、実装ができた。
- 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)の開発することができた。

5.1.1 永平寺町レベル4自動運転移動サービス用車両と遠隔監視室

永平寺町でのレベル4自動運転移動サービス用車両は、本事業を通しての開発によって、ヤマハ発動機の自動運転技術を活用しつつ、三菱電機の自動運行装置とソリトンシステムズの遠隔監視システム、ヤマハ発動機の管制システムを搭載し、走行中は、一切人の手を介さず、完全にシステムがドライバの代替えするものとなっている。そのため、ドライバ

の代替えとして、操作の主体は、自動運行装置であり、合理的に予見される防止可能な人身事故が生じないことが求められる。



- 自動減速・停止制御
 - ◆ ミリ波レーダー、カメラ、超音波センサーによる障害物検知、距離・相対速度等による減速停止制御
 - ◆ 環境センサにより大雨等で自動停止
 - ◆ 緊急自動車のサイレン検知による自動停止
- 遠隔型自動運転
 - ◆ 遠隔監視者による車両位置、状態、車両内外カメラの映像監視
 - ◆ 乗客・外部との音声対話
 - ◆ 不具合、故障時等の遠隔監視者の呼出
 - ◆ 自動運転時の遠隔ブレーキ制動及び遠隔緊急停止と遠隔発進指示
 - ◆ 管制システムによる車路部進入制御
 - ◆ 自動運転車両間の接近抑制制御
- 遠隔での対応性能の強化
 - ◆ 車外カメラの7セット(9台)による遠隔からの状況確認性能を強化し、不具合事象への迅速な対応が可能
 - ◆ 通信装置の強化(マルチキャリア)低遅延、品質と安定性向上、低コスト化

ヤマハ：車両制御(VCU)、管制システム
 三菱電機：自動運行装置(AD-ECU)
 ソリトン：通信装置、遠隔監視システム
 産総研：全体統括、状態表示、環境センサ、サイレン検知

図 5. 1. 1-1 永平寺町レベル 4 自動運転移動サービス用車両

永平寺町での ベル 4 自動運転移動サービス用遠隔操作室は、運行する車両に搭載する車内外のカメラの映像や停留所に設置されたカメラの映像を確認することができる。また、車両の映像は車両の選択と前面下部や車内などを選択して詳細に確認することができる。さらに、車内外とはマイクとスピーカで対話を行うことが可能である。



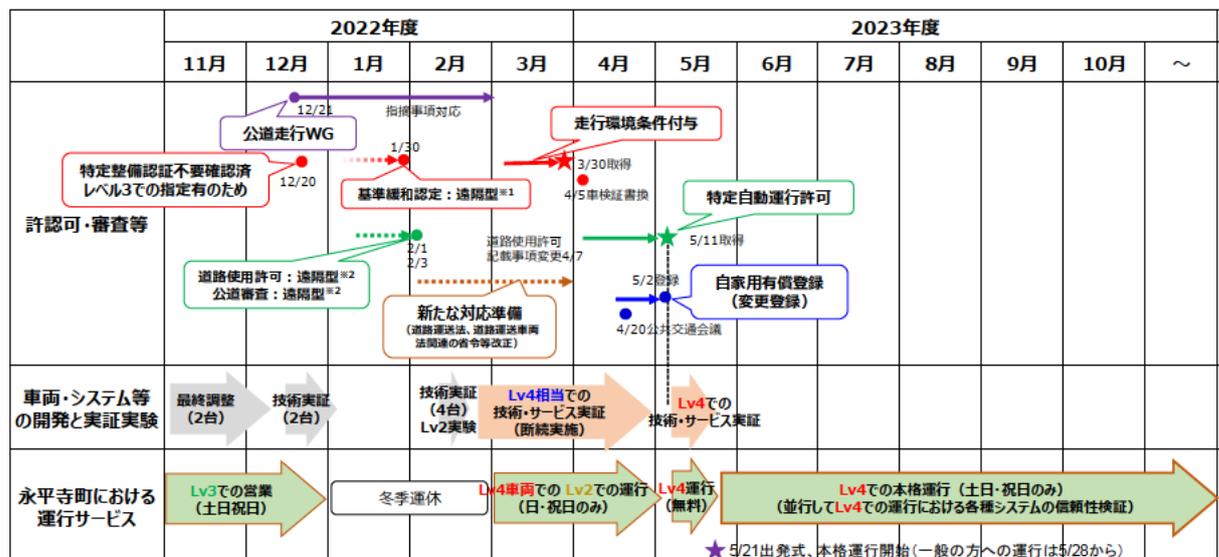
- 不具合等が生じた場合や車両の呼出ボタンが押されると、異常・呼出ランプとチャイムで遠隔監視者に対応が促され、異常・呼出等モニタにその内容等が表示され、遠隔監視者への**確認要求と確認状況**が示される。
- 車両の制御状態、バッテリーや通信状態等をモニタに確認でき、すれ違いの管制システムで状況確認ができる。
- 改正道交法による特定自動運行の許可に必要な**遠隔監視モニタ等の記録装置等も設置**している。

図 5. 1. 1-2 永平寺町 ベル 4 自動運転移動サービス用遠隔監視室

5.1.2 レベル4 自動運転移動サービスの社会実装に向けた主な法制度面等の対応

2022年11月以降の永平寺町における、道路運送車両法に基づくレベル4の車両としての走行環境条件の付与や、2023年4月1日に施行された改正道路交通法や関連法規に伴う特定自動運行に係る許可やレベル4自動運転移動サービスの事前実証、本格運行に至るまでの主な申請等の法制度面等の対応としての許認可・審査等、車両・システム等の開発と実証実験、永平寺町における運行サービスについて、以下の図に示す。

国内でのレベル4の許認可については、永平寺町が全て、初めての申請であり、審査や許可、認可も初めてということもあり、各省庁や関係機関には事前に相談と調整を行い、必要な資料の取り揃えや修正を行ったことで、円滑に進めることができた。また、永平寺町においては、今回のレベル4の許認可を受ける前に、レベル3の許認可を受けていたことで、レベル3との変更点などを明確にすることで、円滑な審査の判断につながったものと考えられる。



※1：レベル4としては取得不要：遠隔型自動運転のレベル2としての認可等は1/30に取得済み
 ※2：レベル4としては取得不要：ただし、特定自動運行許可を受けるまでの模擬運行を行う際の遠隔型自動運転のレベル2としての認可等は2/3までに取得済み。4/7に記載事項変更

図 5.1.2-1 永平寺町 ベル4 自動運転移動サービスの実現に向けた主な法制度面等の対応

2023年3月30日に国内で初めて認可された遠隔監視のみの自動運行装置（レベル4）の概要を以下の図に示す。

国内初の遠隔監視のみの自動運行装置（レベル4）の認可



**1人の遠隔監視・操作者が3台の無人自動運転車両を運行
人手不足・コスト低減に寄与**

走行環境条件

- 道路状況及び地理的状況
(道路区間)
・福井県吉田郡永平寺参ろ一ど:京福電気鉄道永平寺線の廃線跡地
・町道永平寺参ろ一どの南側一部区間:永平寺町荒谷～志比(門前)間の約2km
(道路環境)
・電磁誘導線とRFIDによる走行経路
- 環境条件
(気象状況)
・周辺の歩行者等を検知できない強い雨や降雪による悪天候、濃霧、夜間等でないこと
(交通状況)
・緊急自動車が走路に存在しないこと
- 走行状況
(自車の速度)
・自車の自動運行装置による運行速度は、12km/h以下であること
(自車の走行状況)
・自車が電磁誘導線上にあり、車両が検知可能な磁気が存在すること
・路面が凍結するなど不安定な状態でないこと

※特定自動運行主任者と特定自動運行保安員（道路運送法）は兼務して1名、複数車両の運行のため、現場措置業務実施者1名と合せ2名体制で運行

名称：**ZEN drive Pilot Level 4**

運転手は不要(常時監視不要の遠隔監視者のみ：不具合時等の待機)で、3台の自動運転車の運行が可能となり、監視負担を軽減

図 5. 1. 2-2 遠隔監視のみの自動運行装置（レベル4）の概要

また、2023年5月11日に国内初で取得した特定自動運行の許可の概要を以下に示す。

- 申請者：まちづくり株式会社 ZEN コネクト
- 特定自動運行用自動車：7人乗りのグリーンスローモビリティ（電動カート公道仕様）に、自動運行装置（ZEN drive Pilot Level 4）を装備し、走行環境条件の付与を受けた車両4台（運行は3台で1台は予備）。
- 運行区間：町道「永平寺参ろ一ど」荒谷停留所から志比停留所までの約2Km（京福電気鉄道永平寺線の廃線跡地）
- 運行日時：土日祝日の日中(午前10時始発、午後15時最終で毎時3往復、ただし、12月後半から2月の冬季期間は運休予定)のほか、平日等9時から日没までの間にも、需要に応じて不定期での運行を予定。
- 利用対象者：自力で乗降できる者(町民、来町者問わず)
- 利用料金(片道)：大人:100円、中学生以下:50円、未就学児:無料：自家用有償※
- 運休となる条件：降雪時、積雪時、路面凍結時、大雨、強風、雷警報の発令時(または発令が予想される時)、震度5以上の地震発生時など

なお、自家用有償登録にあたっては、地域公共交通会議を開催し、レベル3のものから変更登録をして対応した。特定自動運行の許可後には、レベル4としてのサービス実証を行っている。

以上によって、2023年5月21日には、永平寺町において、経産大臣や国交副大臣らの列席の下で、レベル4自動運転移動サービスの開始に係る記念式典を実施し、同日から本格運行を開始している。ただし、一般の方への運行サービス提供は2023年5月28日からとなっている。

5.1.3 自動運転移動サービスに対する政府目標との関係

下図に、自動運転移動サービスに対する政府目標との関係を示すが、本テーマの成果により、政府目標が達成できたと考えている。

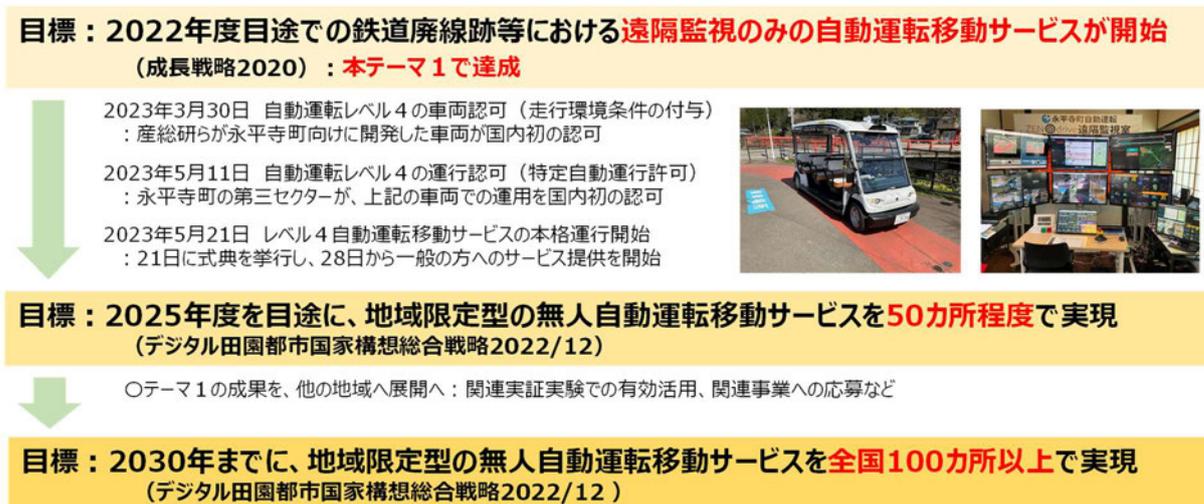


図 5.2-1 自動運転移動サービスに対する政府目標との関係

5.2 令和4年度事業で得られた課題

本事業では、実際にレベル4自動運転移動サービスの社会実装として、地域事業者による本格運行まで至っているが、まだ、日本におけるレベル4の自動運転移動サービスの社会実装に向けては、一般的に以下のような課題があると考えている。

- ベル4車両のベースとなる国産のEVシャトルの不足
- 移動サービスに対する自動運転車両に関する技術実装は、走行環境や運用、事業性を考慮して、以下のような自動化機能等の現場適合が重要
 - 走路環境のセンシング機能：走行制御判断用、コスト、冗長化、高信頼化
 - ODD内外を判定できるセンシング機能：走行環境条件内外の判断用、故障・不具合の検知判断用
 - 乗降状況のセンシング機能：自動発進用
 - 車内安全のセンシング機能：車内安全確保用
- 運賃決済システムについては新たな方法等の検討も必要
 - 現状の運賃収受でのトラブル対応
 - 運賃未払いへの対応
 - 自動化や効率化に対する対応乗車前決済等も含めた対応
- 車椅子利用者等や視覚障害者等の乗降への対応と受容性が重要
 - 車椅子用スロープの設置、乗降等の対応
 - 車椅子の固縛、ベビーカーの固縛等の対応
 - 運賃精算（精算機の位置との関係）
- 緊急時の対応は道交法、運送事業法との整合や受容性が重要
 - 緊急時（車内外事故、車内火災、バスジャック、故障・不具合等）の対応

導入想定地域ニーズに合った継続的に使われるモビリティサービスの構築が必須であり、自動運転移動サービスの導入検討プロセスにおいて、以下のことを地域が把握し、議論し、合意していく必要がある。また、その時、自動運転は手段の1つであり、自動運転ありきの移動サービスを考えるべきではないと考えている。

- ステークホルダーの役割分担 責任区分：開発、運行の役割分担や責任の所在の事前把握
- 事業成立性・継続性の検討：初期投資（現場適合）、運営費用（関係者の配置や役割整理、維持経費など）、費用圧縮効果（自治体の赤字路線の維持費用の圧縮等）、運賃・料金設定、付加価値の精査とコスト負担の分散など

5.3 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、2023年度が最終年度であった。そのため、テーマ1としての活動は、これで終了となる。

現在、永平寺町において、レベル4の自動運転移動サービスとして本格運行しているが、運行している車両や遠隔監視システム、管制システムの本事業としての開発や実証期間の全体が、2年弱しかなかったこともあり、まだ、長期間の信頼性等の検証が必要であることを認識している。2023年7月以降は、別途、経済産業省、国土交通省の「無人自動運転等のCASE 対応に向けた実証・支援事業（無人自動運転等の先進 MaaS 実装加速化のための総合的な調査検討・調整プロジェクト）」において、本テーマ1のフォローアップとして、永平寺町でのレベル4の車両や遠隔監視室のシステム等の信頼性等の検証を受託しており、本格運行に並行して、不具合等の情報収集とその対策などを行い、信頼性や耐久性等の向上などを進めていく予定である。

また、今回、国内初のレベル4の自動運転移動サービスの社会実装を実現したトップランナーの事例となる。そのため、これに続く、レベル4の自動運転移動サービスの社会実装をしていくと考えられる自治体や運行事業者、開発企業などにたいして、開発や実証、許認可のプロセスなどを、本事業のコーディネート機関を通じてや他のテーマなどへ情報を共有していく予定である。

さらに、開発された車両、遠隔監視システム、神瀬システム、通信機などにおいては、すぐに他の地域にもっていけば、サービスができるものではなく、走行環境や運行形態などに応じて、カスタマイズや適合を行う必要がある。車両自体のセンサや自己位置認識手法なども、走行環境やコスト等も鑑みての合せ込みが重要である。地域への適合やカスタマイズについては、多くの現場での知見が必要となる。そのため、このテーマ1の成果を活かして、他の地域に展開していくようにしていく予定である。

図 5.2-1 の下方に示したように、2025年度の政府目標等に向けて、本事業の成果を他地域展開することで貢献していきたいと考えている。

—禁無断転載—

経済産業省委託

令和4年度

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

報告書

令和5年6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