

P-90 Camera-LiDAR Fusionによる遠隔運転支援HMIの提案

A Teleoperation Assistance HMI Based on Camera-LiDAR Fusion

産業技術総合研究所 堀江 貴斗 博士前期課程1年 (指導教員: 橋本 尚久 母 岩斌 熊谷 徹 三浦 貴大 Tsujimoto Eda)

Abstract

本研究では、レベル4自動運転車におけるセンサ故障、特にカメラ故障時の遠隔運転支援を目的とした新しいHMIを提案する。カメラが機能しない状況下では、オペレータが周囲状況を把握できず安全な判断が困難になる。提案手法では、正常に稼働する周辺カメラ映像をセマンティックセグメンテーションAIで解析し、得られた意味情報をLiDAR点群に付与する。さらに、3D物体検出AIおよびカルマンフィルタにより物体を追跡・予測し、欠損領域を仮想的に再構築する。これにより、オペレータの認知負荷を軽減し、安全な遠隔運転を支援する。

研究背景

■ 自動運転技術の概要

自動運転は0~5の6段階に分類され、現在はレベル4の研究開発が進んでいる。

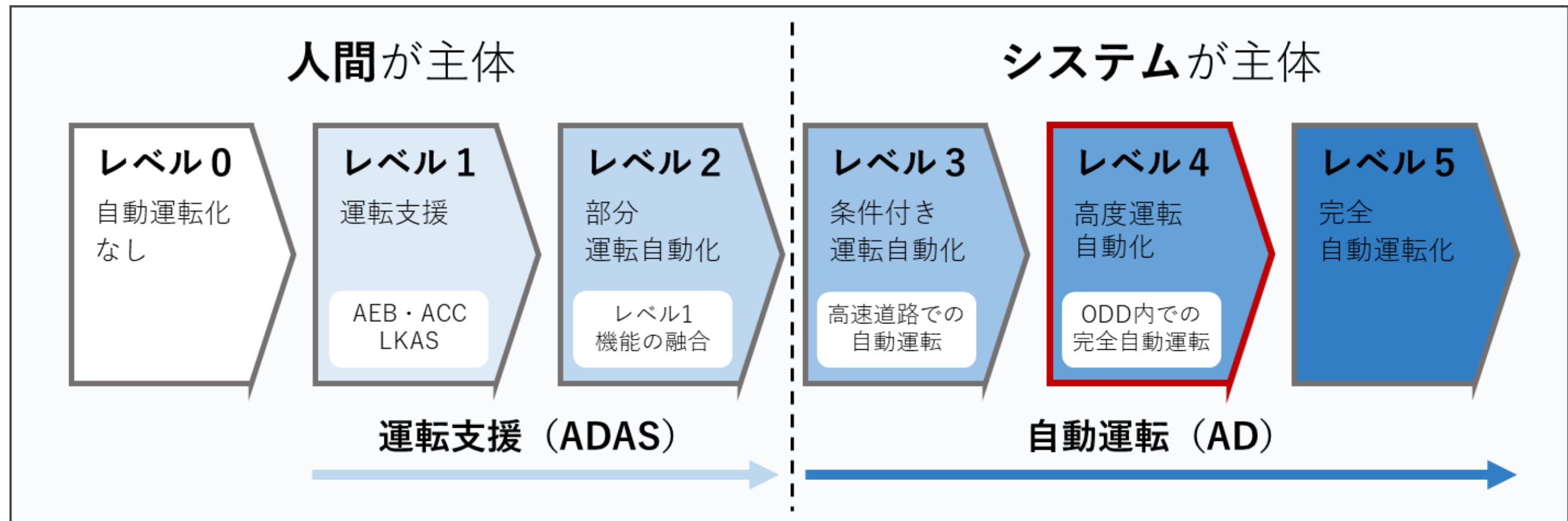


図1 自動運転技術のレベル分類[1]

■ 自動運転車両に搭載されるセンサ

自動運転システムは多様なセンサ群を統合し、高度な自律走行を行う。



※上記の他、車両制御装置、運行記録装置、前面近傍検知カメラを車両内部に搭載

名称	役割
カメラ	視覚情報を取得し、物体や道路標識を認識
LiDAR	周囲の物体の形状や位置を高精度に把握
ミリ波レーダ	遠距離（～数百m）の対象物の検知
超音波センサ	近距離（～数m）の対象物の検知
GNSSセンサ	GPSを利用し位置情報を取得
IMU（慣性計測装置）	車両のロール、ピッチ、方位、位置、速度などの情報を取得
+	
+高精度マップ	車線ごとの道路情報、周囲の構造物や標識、信号などを高精度で収録

図2 自動運転車両に搭載される主要センサ[2]

提案手法

■ HMIの処理方法

本研究では、隣接カメラとLiDARを相補的に統合し、欠損した視覚情報を仮想的に再構築する手法を提案する。図5にその構築概念を、図6に詳細なシステム構成と技術フローを示す。

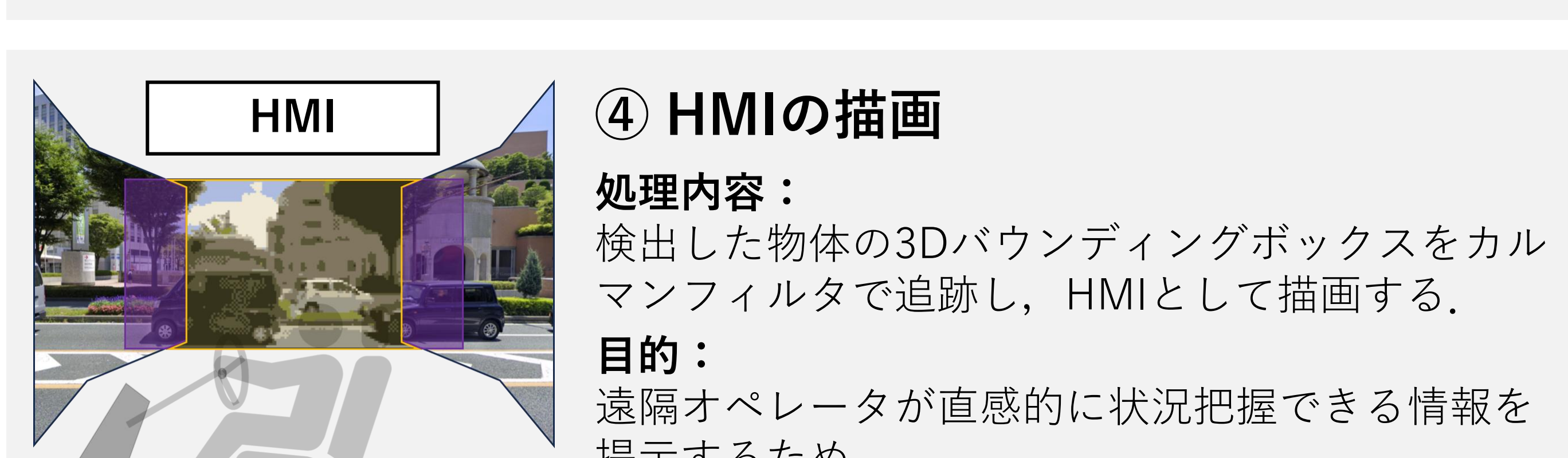
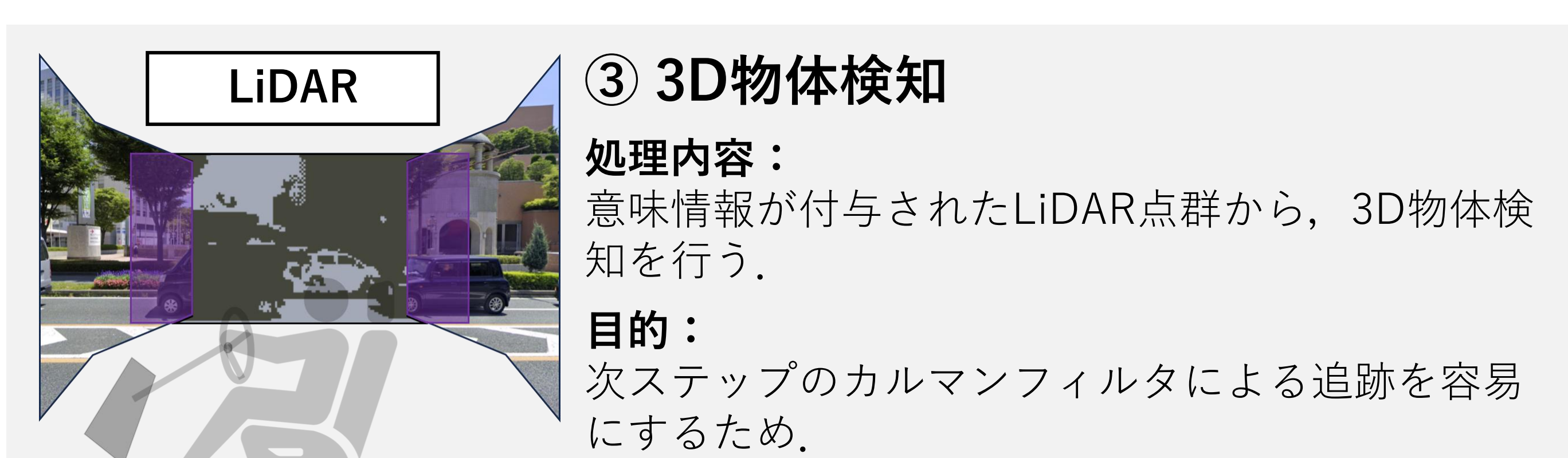
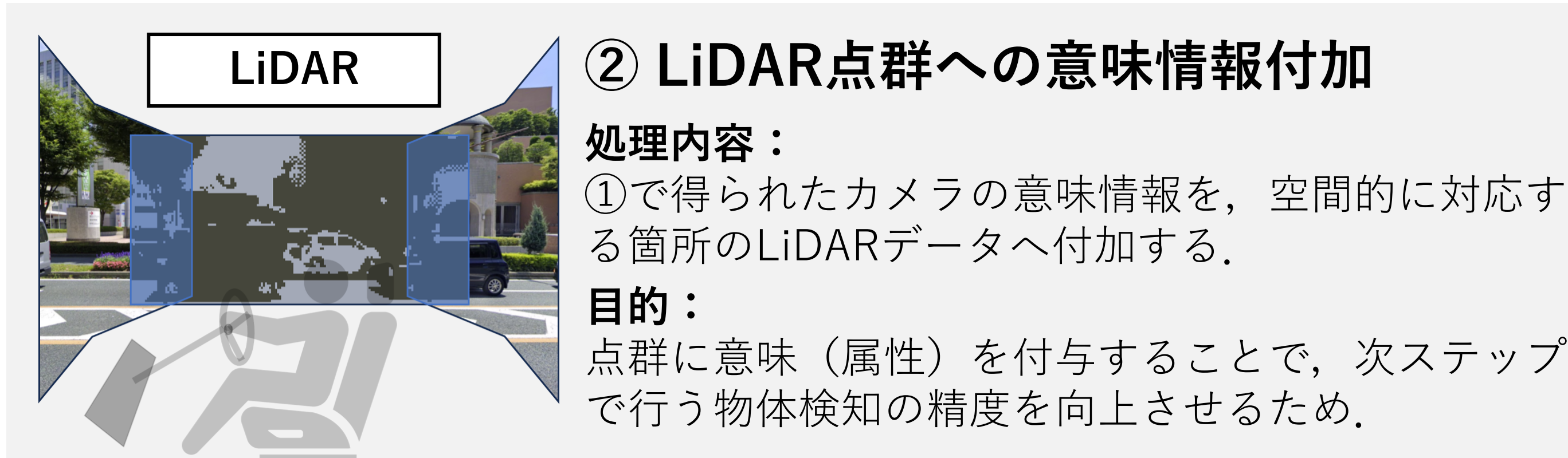
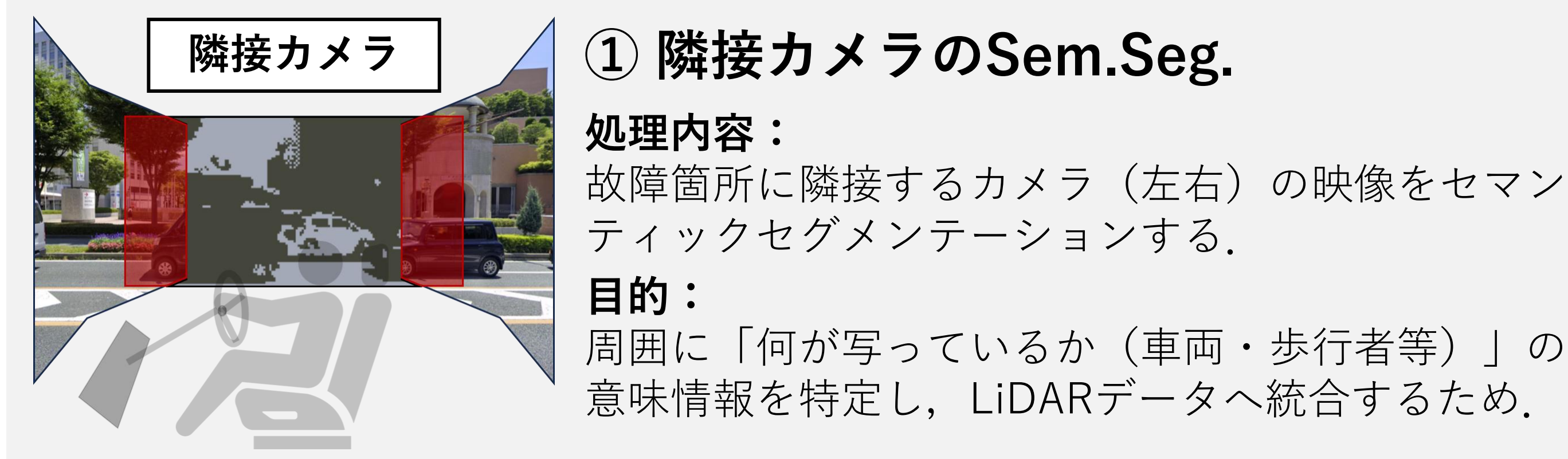


図5 提案HMIの構築

■ 自動運転レベル4の課題

運行設計領域からの逸脱により、自動停車した車両を遠隔運転で移動させる際、カメラ故障による視界の欠損は安全な状況把握の大きな障壁となる。

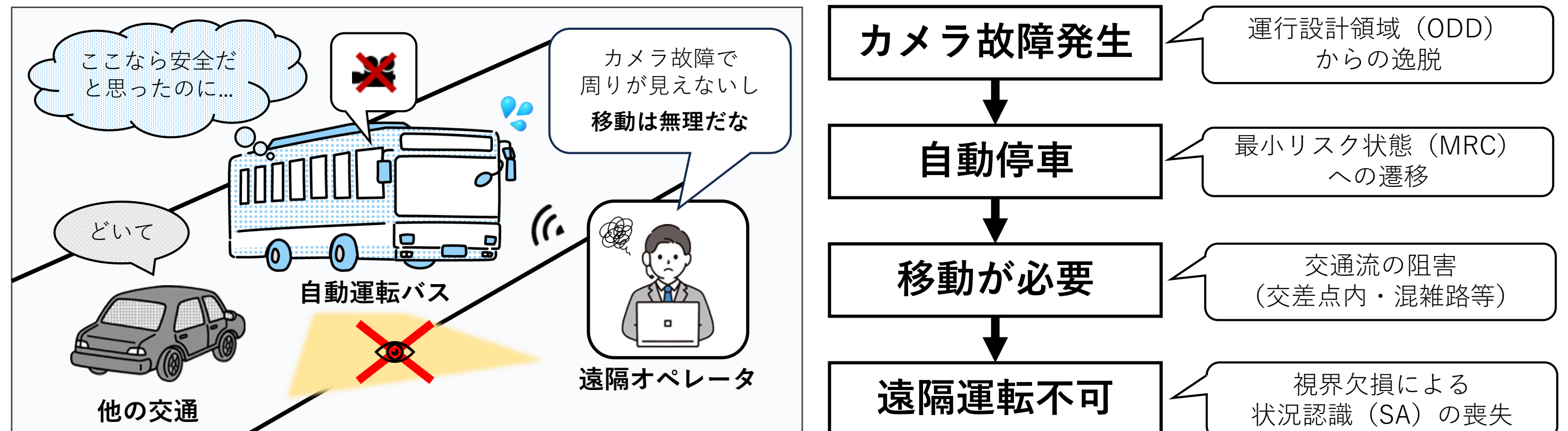


図3 起こり得るトラブル例

■ 故障カメラの代替センサ

LiDARはカメラと同様に情報を取得可能だが、生データの視認性は低く、緊急時の迅速・的確な状況判断には不向きである。



図4 カメラ映像 (左) と LiDAR 点群データ (右) の視認性比較

遠隔運転支援HMIが必要

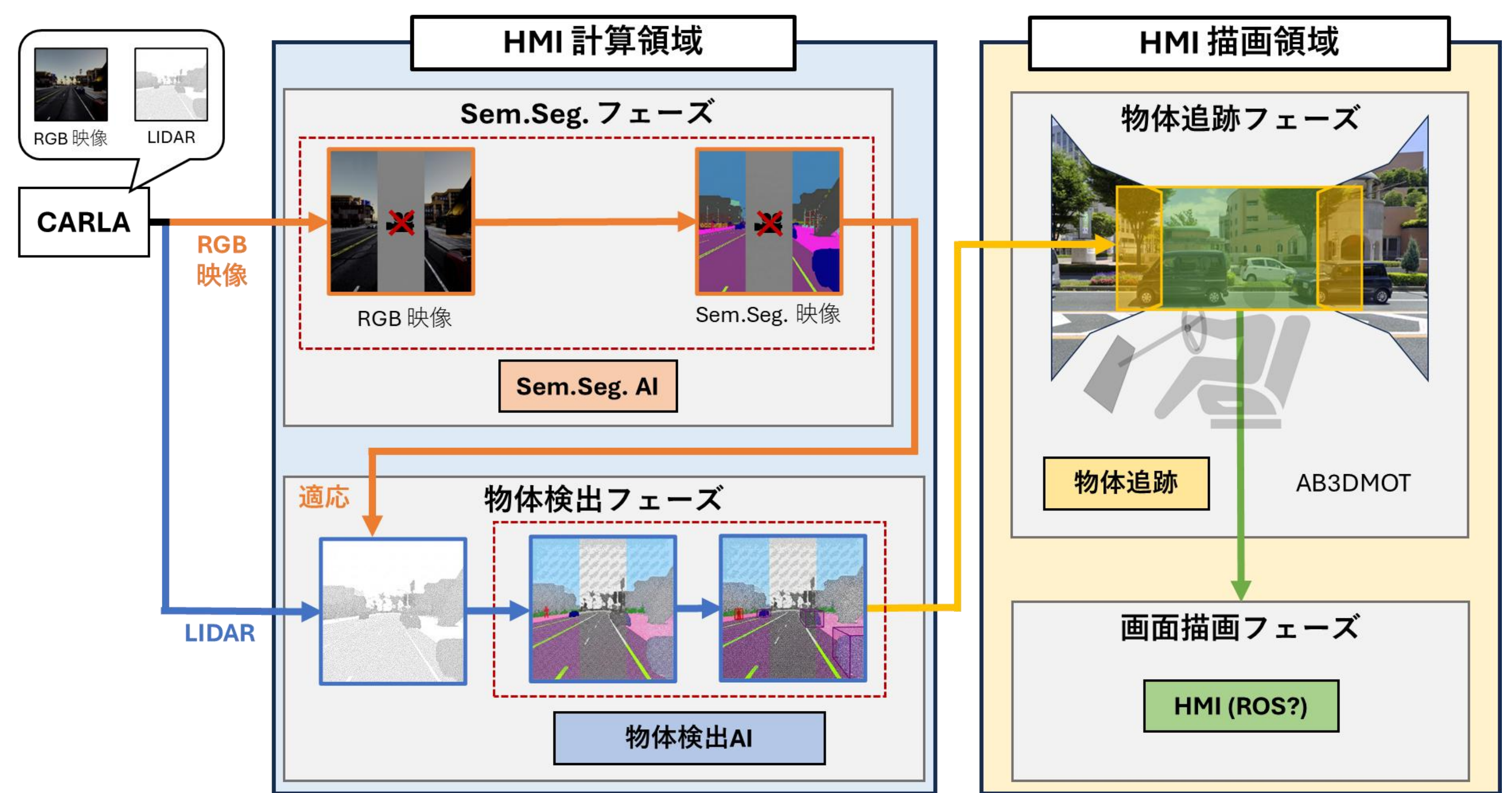


図6 システム構成と処理の流れ

■ 実験

シミュレータを用いた被験者実験により、以下の指標に基づき提案HMIの有効性を検証する。

性能評価：タスク完了時間、接触回数、走行軌跡の安定性

主観評価：状況認識 (SA)、認知負荷 (NASA-TLX)、適応性 (SUS)

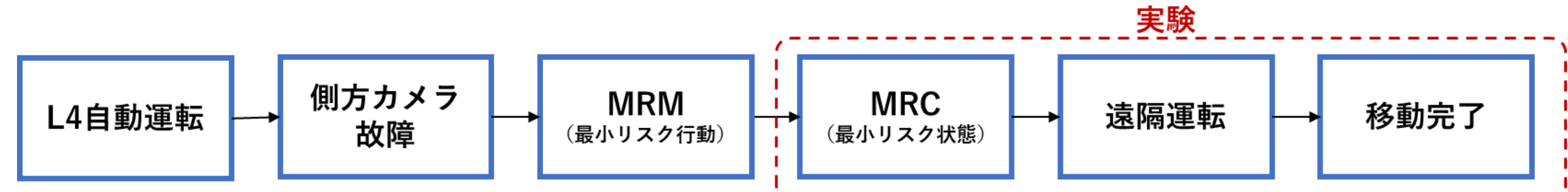


図7 実験プロセス

まとめと参考文献

■ まとめ

- 隣接カメラとLiDARの統合により、遠隔オペレータが直感的に状況把握可能なHMIを構築している。
- 今後は被験者実験を通じて、提案手法が操作の安全性向上と認知負荷低減に寄与することを実証する。

■ 参考文献

- [1] World Health Organization, 「Status Report on Road Safety 2023」, 2024年。
[2] 経済産業省・国土交通省「RoAD to the L4」プロジェクト, 「第6章 自律システム-ひたちBRTの取り組み」, <https://www.road-to-the-l4.go.jp/case/hitachi/chapter06.html> (参照日: 2026年1月15日)。
[3] 株式会社アルゴ, 「長距離・高解像度 3D-LiDAR センサ OT シリーズ OT128 Hesai Technology | 3D センサ & ユニット」, <https://www.argocorp.com/cam/special/HesaiTechnology/OT.html> (参照日: 2026年01月13日)。