

自動運転の安全性評価を狙いとしたシナリオ分析用

交通外乱データ収集技術（定点観測）

－第2報：一般道交差点を想定した様々な形態の定点観測基礎検討－

Traffic Disturbance Data Collection Technology

for Scenario Analysis for the Purpose of Safety Evaluation of Automated Driving
(Fixed Point Observation)

－2nd Report: Basic study of various forms of fixed-point observation assuming general road intersections－

中村 英夫*1

Hideo NAKAMURA

古田 暁広*2

Akihiro FURUTA

横山 洋児*2

Youji YOKOYAMA

石川 光*3

Hikaru ISHIKAWA

佐々木 秀邦*3

Hidekuni SASAKI

1. はじめに

ドライバに代わって自動運転システムが周辺監視を担う走行領域がある高度な自動運転車（レベル3以上¹⁾）を早期に社会実装するためには、安全性を確実に担保できる安全性評価のプロセスや手法が必要である。欧州ではPEGASUSプロジェクト²⁾、Horizon2020³⁾、PEGASUSプロジェクトの後継であるVVM（Verification and Validation Methods）プロジェクト⁴⁾に代表される産官学が協調して自動運転システムの評価プロセスの標準化を進める動きが活発化している。このような国際動向を踏まえて国内では、経済産業省からの委託事業である「自動走行システムの安全性評価技術構築に向けた研究開発プロジェクト（2018～2020年度）」^{5), 6), 7)}と、その成果を活用して、一般社団法人日本自動車工業会と連携して国際標準化活動などへ活動範囲を広げたSAKURAプロジェクト⁸⁾が、まずは社会実装が比較的早いと想定される高速道路や自動車専用道における自動運転車（レベル3以上）を対象として、シナリオベースアプローチ⁹⁾による安全性評価のプロセスと手法を開発し、その妥当性を検証した。特に、自動運転車と周辺交通参加者の衝突リスクを伴うクリティカルな交通外乱シナリオ（自転車に対する周辺車のカットイン、カットアウト、減速など）を対象に開発と検証を行った（Fig.1参照）。国連WP29（自動車基準調和世界フォーラム）の「セーフティビジョン」や国土交通省の「自動運転車の安全技術ガイドライン」¹⁰⁾では「自動運転車は、設定された運行設計領域（ODD）の範囲内において、自動運転システムが引き起こす人身事故であって合理的に予見される防止可能な事故が生じないこと」と定めている。そこで、本事業では、交通外乱シナリオおよびそれに紐づく各種パラメータの妥当性を裏付けるために、計測車や定点観測による実交通流データ（カメラ映像やLiDAR点群データなどの計測生データ）の収集、交通外乱データ（計測生データから導出される交通参加者の軌跡データ）の抽出、交通外乱シナリオの抽出、交通外乱シナリオに紐づく各種パラメータの統計分析を行うことにより「合理的に予見される範囲」を明確にすることを試みた。

本連載では、本事業の基盤課題として「定点観測による交通外乱データ収集技術」について紹介する。[第1報](#)¹¹⁾では、高速道路や自動車専用道において先行実施した、定点観測による交通外乱データ（車両やバイクの軌跡データ）の収集方法とデータ精度検証について紹介した。本事業では、道路構造や交通参加者の

*1 一般財団法人日本自動車研究所 自動走行研究部

*2 パナソニックコネクタ株式会社 技術研究開発本部 先進技術研究所 マルチセンシング研究部（本稿：カメラ関連）

*3 株式会社IHI 技術開発本部 技術基盤センター システムエンジニアリンググループ（本稿：LiDAR関連）

* 2022年10月11日受理

種類や挙動が大幅に複雑となる一般道においても，定点観測による交通外乱データの収集が可能か見極めるために，一般道交差点を想定して，様々なセンサ設置形態（隣接ビル屋上，ドローン，信号機や電柱など道路インフラ）とセンサ種類（カメラ，LiDAR^{12), 13)}の定点観測による交通外乱データ（車両・バイク・自転車・歩行者の軌跡データ）の収集を試験的に行い軌跡精度の予測や検証を行った．第二報（本稿）では，その検討結果の概要を紹介する．

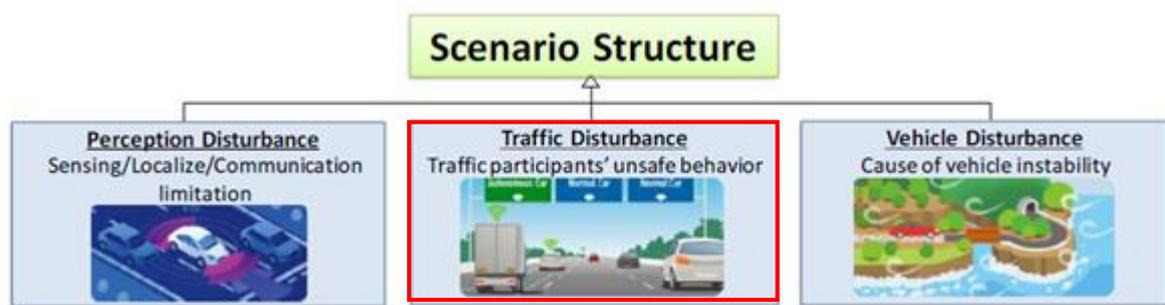


Fig. 1 シナリオベースアプローチにおけるシナリオ体系
(出典：一般社団法人日本自動車工業会 [自動運転の安全性評価フレームワークVer2.0](#))

2. 定点観測による交通外乱データの収集方法

本稿では、一般道交差点での交通外乱データ定点観測手法として、3種類の異なる手法①～③を取上げる。

2.1 手法①：隣接ビル屋上に設置したカメラによる定点観測

本事業において高速道路・自動車専用道で実施してきた定点観測の基本方法を踏襲しつつ、新たな観測対象である一般道交差点に隣接するビル屋上に設置した屋上カメラの映像より、交差点近傍を移動する交通参加者（車両、バイク、自転車、歩行者）の軌跡データを収集した。Fig. 2は、全体プロセス（撮影前の仮想環境／撮影仕様検討，撮影と測量の実施，撮影後の画像処理）に加えて、画像処理による交通参加者の軌跡データ抽出処理（詳細プロセス）を赤枠内に示す。高速道路・自動車専用道と異なり一般道交差点では、車両の右左折があるので、車両検出（AI 深層学習による画像認識）において、Bounding Box（検出された対象物体の周囲を囲った矩形の境界線）の向きが固定されたアルゴリズムから、車両の向きに応じて回転するアルゴリズムへ変更した。オルソ変換（カメラ座標から地表固定座標への変換）に使う参照点の座標は、高速道路・自動車専用道での定点観測と同じく、モービルマッピングシステム測量車（以下、「MMS 測量車」という）による道路測量結果を利用した。

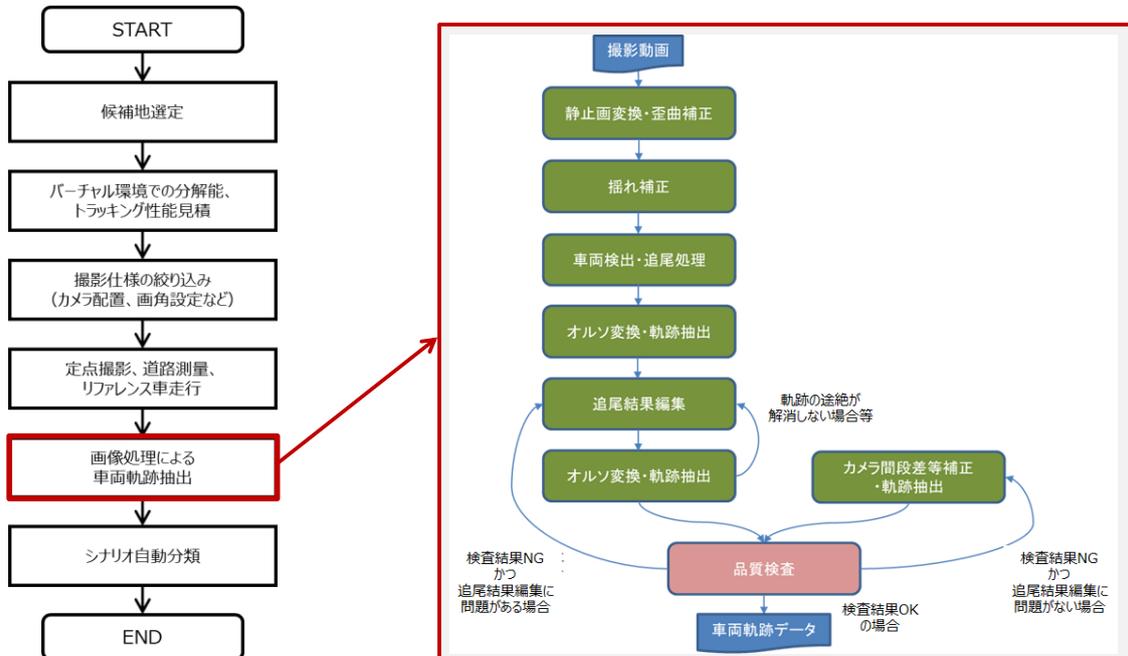


Fig. 2 交通外乱データ収集の流れ（カメラ映像を利用した場合）

Fig. 3 は、実際に定点観測を実施した都内交差点の衛星写真である。交差点北東角の9階建てビル屋上に撮影用に借用して、4K画質のカメラを三脚設置した。屋上カメラの路面高は約35mであった。

Fig.4 は、仮想環境CGシミュレーションを使って決めた屋上カメラ(5台)の画角分担を示す。屋上カメラのうち4台(IC01, 02, 04, 05)は、車道上の車両やバイクの検出を、1台(IC03)は、交差点横断歩道と交差点4隅の歩道を移動する歩行者や自転車の検出を分担した。観測対象の分担を大きさや速度が大きく異なる二種に分けたことで、各観測対象の検出に適した画像処理とすることが出来た。また、シナリオ分析には信号機による交通規制も重要な因子であり、歩道に三脚配置した地上カメラ(2台)で信号機を撮影し、画像処理で信号状態遷移情報も抽出した。なお、全カメラ7台は60fpsで同期撮影した。



Fig. 3 定点観測を実施した一般道交差点の観測エリア（実走行環境@東京都千代田区専大前交差点）
衛星写真：Google Earth利用

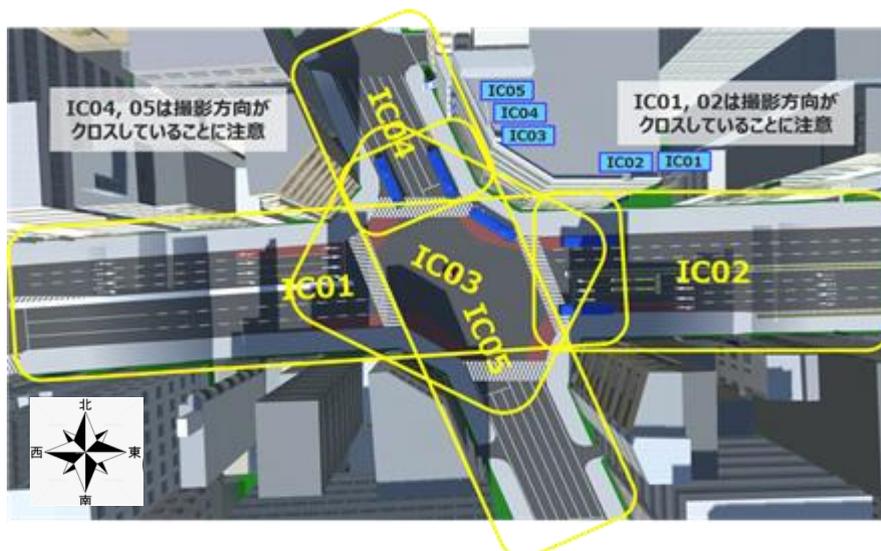


Fig. 4 屋上設置カメラ5台の撮影範囲検討結果（仮想環境CG@東京都千代田区専大前交差点）
（シミュレーション環境：Unity, 地図：ゼンリン製「3D都市モデルデータ」）

2.2 手法②：ドローン搭載カメラによる定点観測

ドローンを定点観測エリアの真上にホバリング飛行させて、搭載カメラを真下に向けて撮影することでオクルージョン（手前にある物体が後にある物体を隠すこと）が生じ難い理想的な鳥瞰映像の取得が期待できる。しかし、当初は上空を吹く突風の影響によるホバリング中の機体揺れが映像揺れとして残り、交通外乱データ（交通参加者の軌跡データ）の品質（精度含）を劣化させるのではという懸念があった。そこで、一般財団法人日本自動車研究所のテストコース Jtown（自動運転車評価拠点）内の V2X 市街地（模擬交差点）で基礎実験（軌跡データの精度検証）を実施した。結論は、市販のドローンに元々搭載された「3軸ジンバル（特定対象物をカメラで自動追尾する機構）」「空撮映像の揺れ補正処理」、および空撮後の画像処理で新たに実施した「揺れ補正（ヨー方向の映像ドリフト補正）」の総合効果により上述の懸念は解消された。空撮後の画像処理の方法は、Fig. 2（右側）に示したプロセスと同じである。ただし、空撮後の揺れ補正は、ドローン専用のドリフト対処アルゴリズム（揺れのあるフレームを幾何変形して基準フレームにマッチ処理）とした。また、オルソ変換に使う参照点（Fig. 6 に示す#1～#8）の座標は、テストコースでの使用に適した地表固定の測量機材（GNSS スタティック計測、絶対精度：約 1 cm）を利用して取得した。Fig. 5 は、今回の基礎実験で使用したドローンであり、独 fka（アーヘン工科大自動車研究所）が参加する独プロジェクト（HighD）¹⁴⁾でも利用されている量産品である。Fig. 6 は、模擬交差点上のドローン空撮映像から得た静止画であり、ドローンのホバリング高度は約 100 m である。横方向（概ね南北方向）に約 150 m、縦方向（概ね東西方向）に約 70 m のエリアが画角に収まった。



Fig. 5 基礎実験に使用した一般的なドローン
機種：Phantom4 Pro Plus（カメラ：4K, 50fps, 3軸ジンバル付き）
写真：DJI 公式サイトより



Fig. 6 ドローン空撮による定点観測基礎実験を実施したJtown_V2X市街地
（ドローン高度：約100 m, #1～#8はオルソ変換用参照点）

2.3 手法③：道路インフラに設置したLiDARによる定点観測

一般道交差点にあるインフラ（信号機・電柱・照明柱など）にLiDARを設置することで、どのような品質（精度含む）の移動体軌跡データを取得できるのか検証するために、テストコース Jtown（自動運転車評価拠点）内のV2X市街地（模擬交差点）で基礎実験（軌跡データの精度検証）を実施した。Fig. 7 左に、基礎実験で利用したLiDAR（株式会社IHI開発品）のスペック表、Fig. 7 右に、LiDAR設置方法を示す。

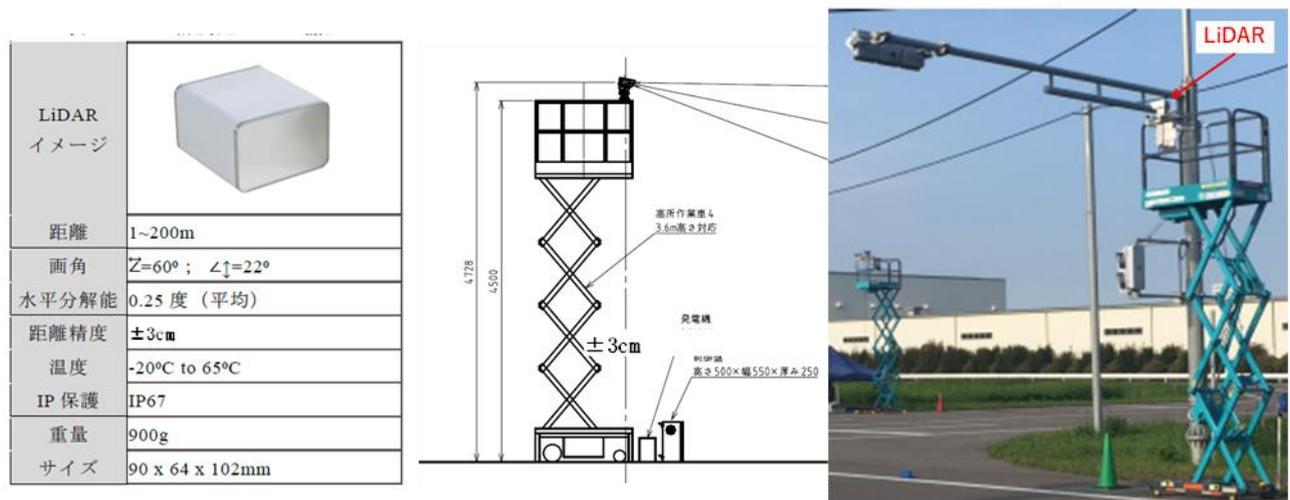


Fig. 7 基礎実験に利用したインフラ設置用LiDAR
（左：LiDARスペック表、右：Jtown設置方法（高所作業台で信号機と同等の高さ4.7 mに設置））

模擬交差点で設定した定点観測エリアを Fig. 8 左に示す。また、定点観測エリア内を移動する交通参加者の軌跡データを精度良く取得するために必要なインフラ LiDAR の台数・位置・方位を事前に机上検討した結果を Fig. 8 右に示す。交差点中心から約 40 m 以内は、十字路角にある信号機（4 台）のすぐ後方に対称的に 4 台（LiDAR1~4）を配置、さらに一つの単路のみ交差点中心からより遠方までをカバー出来るように 1 台（LiDAR5）を追加配置する仕様とした。

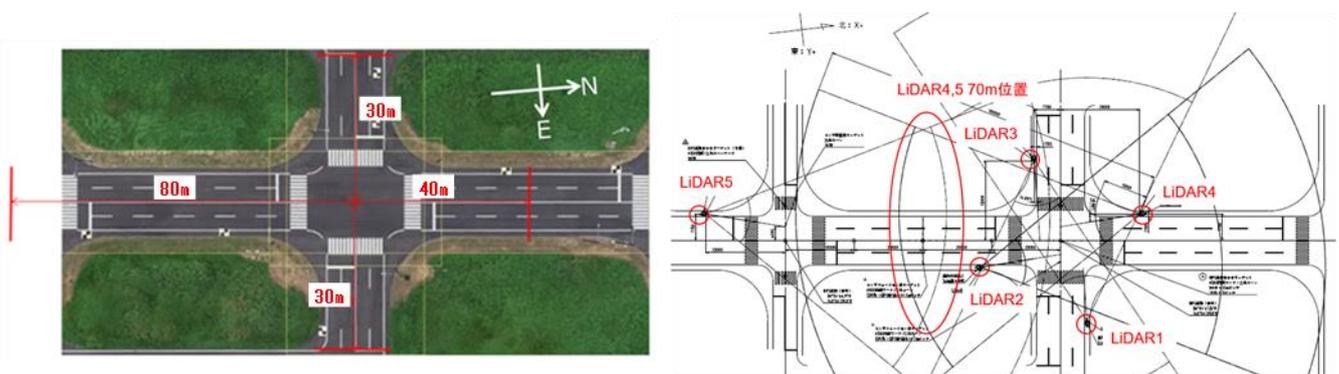


Fig. 8 模擬交差点での観測エリアとLiDAR配置
（左：観測エリア、右：LiDAR設置検討結果）

Fig. 9 は、全体プロセス（計測前の事前検討、計測実施、計測後の LiDAR 点群データ処理）に加えて、点群データ処理による交通参加者の軌跡データ抽出処理（詳細プロセス）を赤枠内に示す。

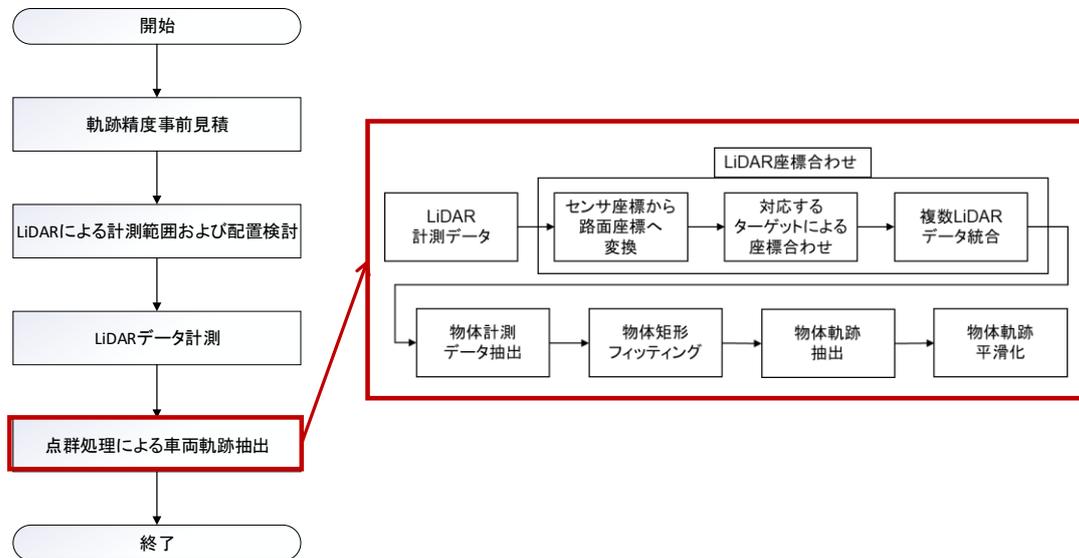


Fig. 9 交通外乱データ収集の流れ（LiDAR点群データを利用する場合）

Jtown 基礎実験で計測した LiDAR 点群データを使用して、計測エリアを移動する各種交通参加者（模擬シナリオを演じる乗用車、トラック、自転車、歩行者）の検出と軌跡抽出を実施した。また、抽出した移動体に対して付随情報（ID 番号、移動体属性、寸法など）を付与した。Fig. 9 赤枠内フローの概略を示す。

(1) LiDAR座標から路面座標への変換

LiDAR の計測点群データは LiDAR 基準の座標系（LiDAR からの距離、角度）のため、そのままでは、計測した物体の位置、サイズ等が分かりづらい。そこで、LiDAR 基準の座標系を、路面基準の座標系 (X,Y,Z) へ座標変換する。

(2) 複数LiDARのデータ統合

複数の LiDAR で取得した計測点データを統合する。つまり、LiDAR 間で共通して計測している基準ターゲットを用いて LiDAR 間の座標を合わせる。

(3) LiDARデータからのBounding Box生成

LiDAR で得られた計測点のうち、検出対象物体の計測点データをひとまとめにする。そして、ひとまとめにした計測点データに対しフィッティングを行うことで計測点データから Bounding Box（検出された対象物体の周囲を囲った矩形の境界線）を算出する。この処理をフレームごとに計測された全ての物体に対して実施する。

(4) 軌跡抽出手法

算出した検出物体 (Bounding Box) に対して、続フレームにて同一物体かどうかを判定し紐づけを行う。これは、あるフレームにて検出された物体に対して、次フレームでの出現予測位置を計算しておき、次フレームにて出現予測範囲に入った物体について、物体情報から同一物体か判定を行う。同一物体と判定された場合は紐づけを行い軌跡をつなげる処理を行う。

(5) 軌跡平滑化処理

算出した軌跡の平滑化を行う。今回の基礎実験では、平滑化処理手法として、モデルベース型かつオフライン処理である「カルマン smoother (Kalman Smoother) ^{15), 16)}」を用いた。

3. 定点観測による交通外乱データの精度予測と検証

3.1 手法①：隣接ビル屋上に設置したカメラによる定点観測@公道

第一報で紹介した高速道路・自動車専用道での定点観測と同じく、仮想環境での車両軌跡精度予測と、実走行環境での車両軌跡精度検証を行った。車両軌跡の精度予測フローと精度検証フローを Fig. 10 に示す。仮想環境（シミュレーションモデル）では、軌跡誤差（軌跡精度）の算出に軌跡真値（車両走行シナリオから算出）が使える。しかし、実走行環境では、軌跡誤差の算出に使える軌跡真値は無く、MMS 測量車で取得した軌跡リファレンス値をその代替えとした。

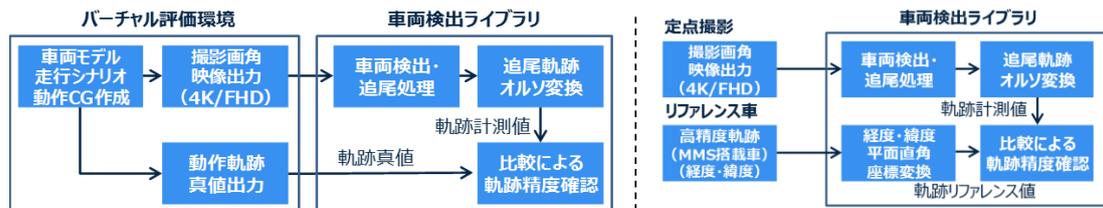


Fig. 10 軌跡精度の予測処理フローと検証処理フロー
(左：仮想環境での精度予測， 右：実走行環境での精度検証)

仮想環境での右折シナリオ（東奥⇒交差点中心⇒北奥）における車両軌跡精度予測結果（進行方向，横方向）を Fig. 11, Fig. 12 に示す。交差点中心から 100 m 以内であれば，軌跡誤差（進行方向）は概ね±0.5 m 以内，軌跡誤差（横方向）は概ね±0.2 m 以内である。

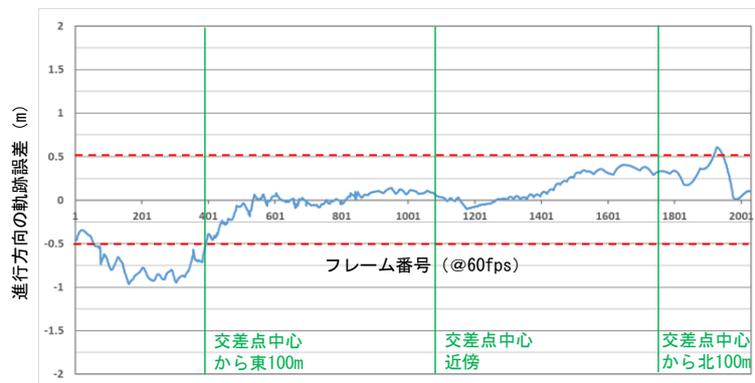


Fig. 11 仮想環境による車両軌跡精度の予測結果（東から北への右折シナリオ）
(図中の赤点線は仮目標値（進行方向の軌跡誤差±0.5 m以内）)



Fig. 12 仮想環境による車両軌跡精度の予測結果（東から北への右折シナリオ）
(図中の赤点線は仮目標値（横方向の軌跡誤差±0.1 m以内）)

実走行環境での直進シナリオ（東奥⇒交差点中心⇒西奥）における車両軌跡精度検証結果（進行方向，横方向）を Fig. 13, Fig. 14 に示す．交差点中心から東方 100 m 以内であれば，軌跡誤差（進行方向）は概ね ± 0.5 m 以内，軌跡誤差（横方向）は概ね ± 0.2 m 以内である．交差点中心から西方 70 m 以内であれば，軌跡誤差（進行方向）は概ね ± 0.5 m 以内，軌跡誤差（横方向）は概ね ± 0.2 m 以内である．

東西方向で結果が大きく異なるのは，カメラ設置場所が交差点の北東角に隣接するビル屋上であることに起因する．一般的に，観測対象がカメラから遠方である程，また，カメラから観測対象へのベクトルと観測対象の移動ベクトルが成す角度が小さい程，観測対象の移動方向の軌跡精度が悪化する．

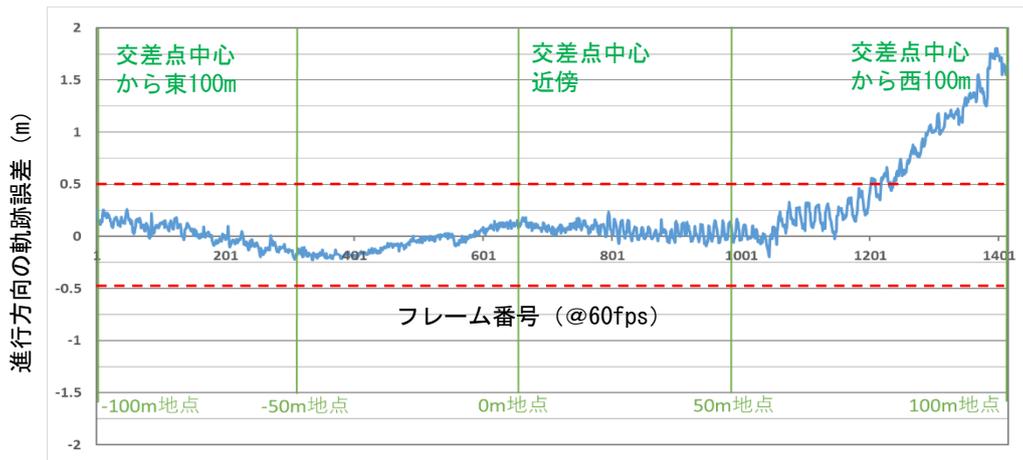


Fig. 13 実走行環境による車両軌跡精度の検証結果（東から西への直進シナリオ）
（図中の赤点線は仮目標値（進行方向の軌跡誤差 ± 0.5 m 以内））

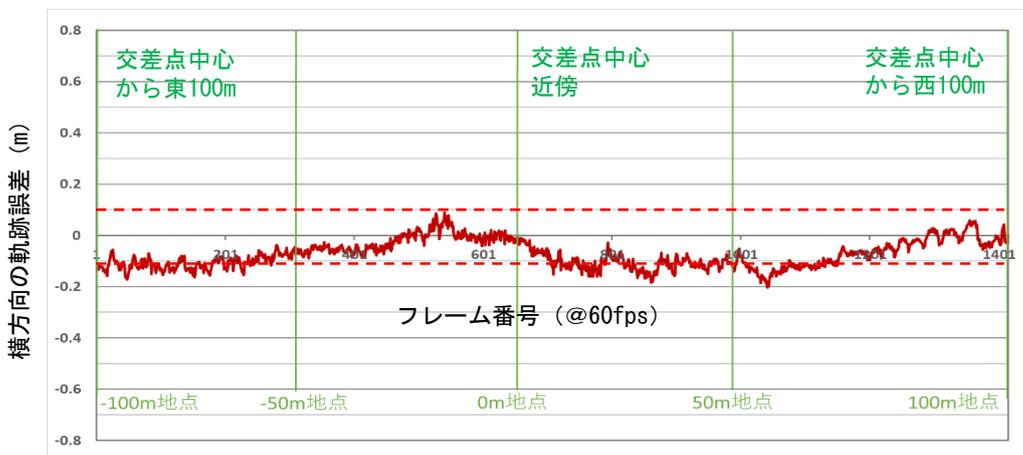


Fig. 14 実走行環境による車両軌跡精度の検証結果（東から西への直進シナリオ）
（図中の赤点線は仮目標値（横方向の軌跡誤差 ± 0.1 m 以内））

3.2. 手法②：ドローン搭載カメラによる定点観測@Jtown

交通参加者（模擬シナリオを演じる乗用車，トラック，自転車，歩行者）の正確な位置を計測するために，RTK 補正-GNSS 計測器¹⁷⁾（相対精度：約 2 cm 以内）で計測した軌跡リファレンス値と，ドローン空撮映像に 2.1 節と 2.2 節で示した画像処理などを施して導出した軌跡計測値を比較して軌跡精度を検証した．

右折乗用車と対向直進トラックの模擬シナリオによる軌跡計測値の精度検証結果を Fig. 15 に示す．桃線は軌跡計測値，黒線や青線や緑線は軌跡リファレンス値を示す．乗用車の軌跡誤差（前後方向）は約 ± 30

cm 以内, 軌跡誤差 (横方向) は約±10 cm 以内であり, どちらも交差点中心 (原点) から遠いほど大きくなる傾向がある. トラックの軌跡誤差 (前後方向) は約±60 cm 以内, 軌跡誤差 (横方向) は約±10 cm 以内であり, どちらも交差点中心 (原点) から遠いほど大きくなる傾向がある.

左折乗用車と路肩すり抜け自転車の模擬シナリオによる軌跡計測値の精度検証結果を Fig. 16 に示す. 乗用車の軌跡誤差 (前後方向) は約±10 cm 以内, 軌跡誤差 (横方向) は約±15 cm 以内であり, 軌跡誤差 (横方向) は, 交差点中心 (原点) から遠いほど大きくなる傾向がある. 自転車の軌跡誤差 (振幅) は約 40 cm 以内であるが, 交差点中心 (原点) からの距離など場所の影響はほとんどない.

軌跡誤差のバラツキ (標準偏差 σ) を Table 1 に示す. 総じてバラツキはとても小さく良好である.

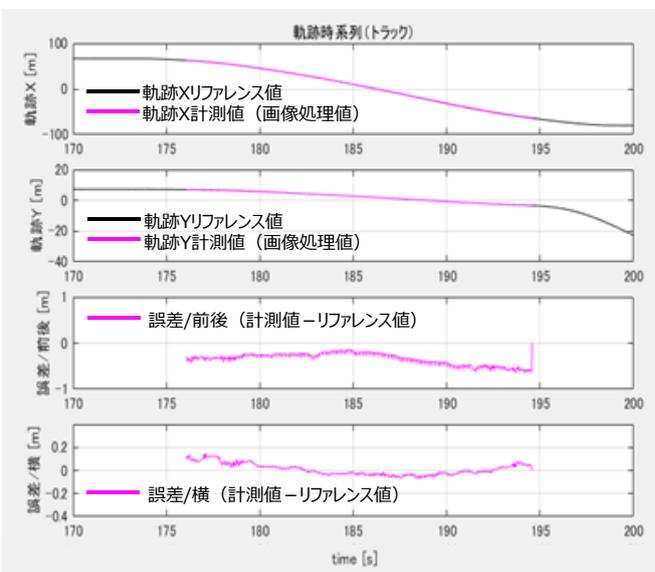
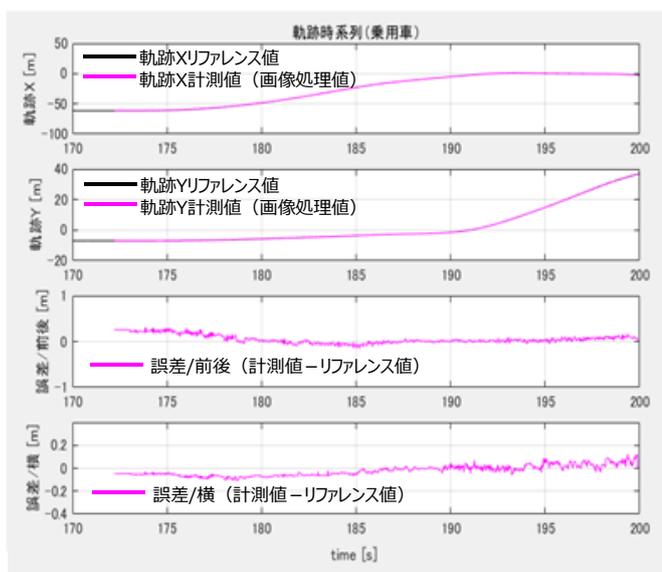
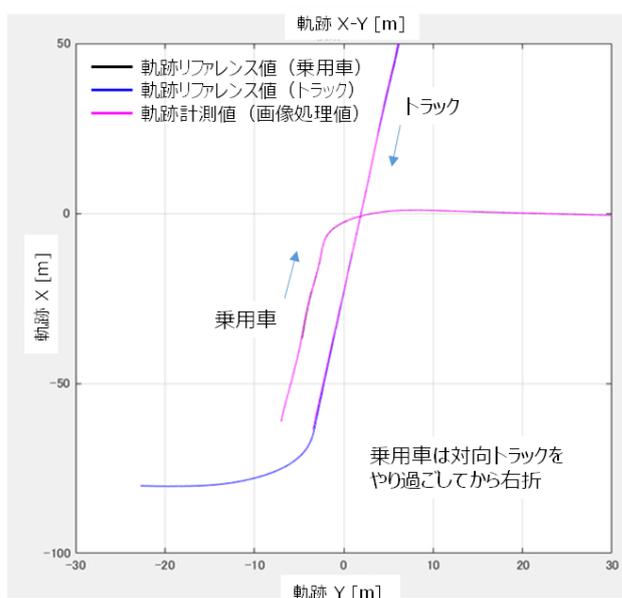
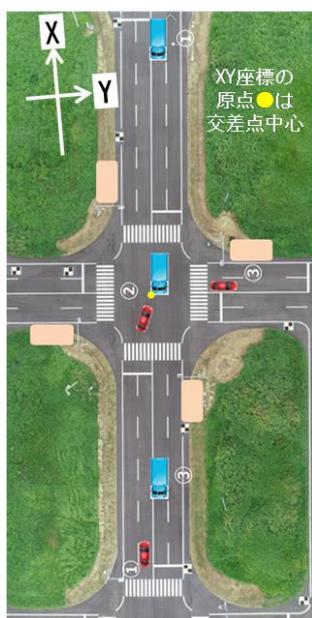


Fig. 15 ドローン空撮による軌跡精度の検証結果例 (乗用車右折/トラック対向直進_シナリオ17)
(左上: シナリオイメージ, 右上: XY軌跡, 左下: 時系列 (乗用車), 右下: 時系列 (トラック))

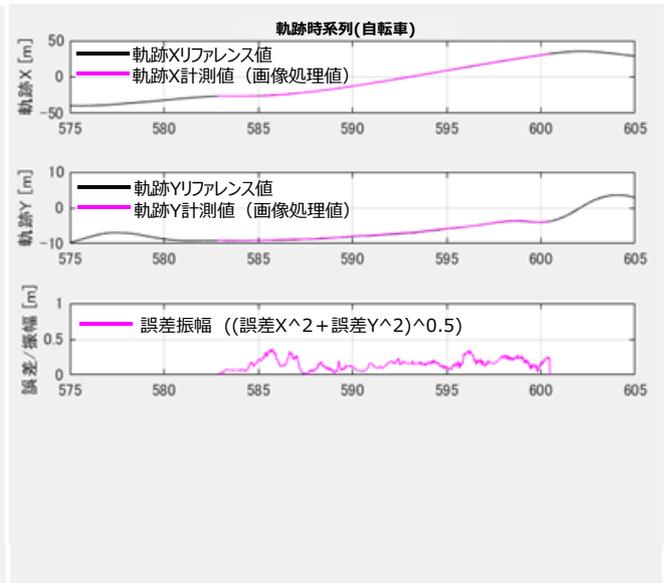
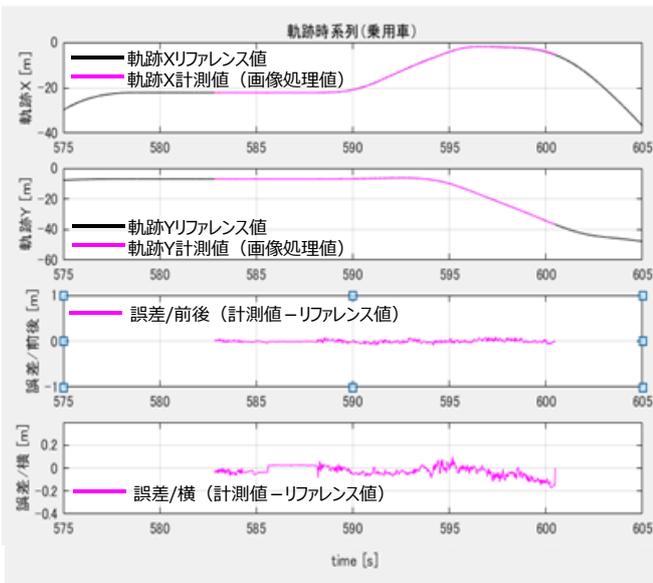
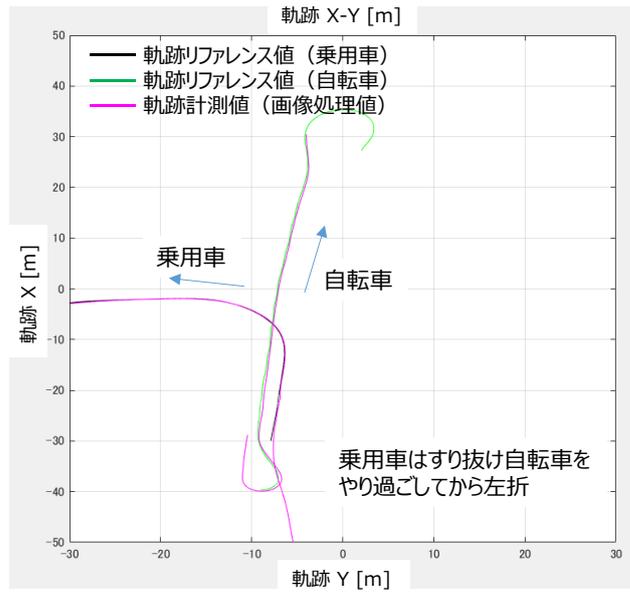
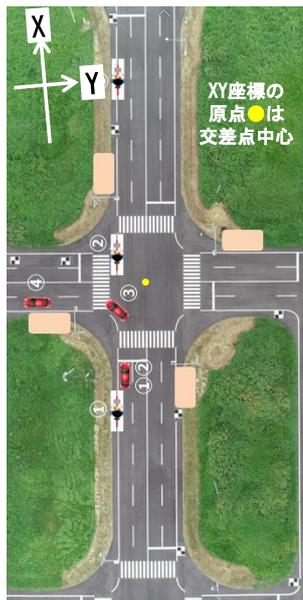


Fig. 16 ドローン空撮による軌跡精度の検証結果例 (乗用車左折/自転車すり抜け_シナリオ28)
(左上: シナリオイメージ, 右上: XY軌跡, 左下: 時系列 (乗用車), 右下: 時系列 (自転車))

Table 1 ドローン空撮による軌跡精度の検証結果例 (軌跡誤差の標準偏差 σ)

error_σ : 軌跡誤差の標準偏差(m)						乗用車		トラック		自転車 誤差振幅 error_σ
						車両前後方向	車両横方向	車両前後方向	車両横方向	
シナリオ	乗用車	トラック	自転車	歩行者	N増	error_σ	error_σ	error_σ	error_σ	error_σ
17	右折	対向直進			6回	0.066	0.059	0.152	0.038	
28	左折		すり抜け		6回	0.041	0.037			0.064

<車両, 誤差@前後方向> 青: $2\sigma \leq 0.5$ m, 緑: 0.5 m < $2\sigma \leq 1$ m, 赤: 1 m < 2σ

<車両, 誤差@横方向> 青: $2\sigma \leq 0.1$ m, 緑: 0.1 m < $2\sigma \leq 0.2$ m, 赤: 0.2 m < 2σ

<自転車/歩行者用, 誤差@振幅> 青: $2\sigma \leq 0.2$ m, 緑: 0.2 m < $2\sigma \leq 0.4$ m, 赤: 0.4 m < 2σ

3.3 手法③：道路インフラに設置したLiDARによる定点観測@Jtown

RTK 補正-GNSS 計測器（相対精度：約 2 cm 以内）で計測した軌跡リファレンス値と、LiDAR 計測データ（点群データ）に 2.3 節で示した各種処理を施して導出した軌跡計測値を比較して軌跡精度を検証した。なお、本手法における LiDAR 計測は、手法②におけるドローン空撮と同時に実施したので、模擬シナリオや軌跡リファレンス値は共通である。

右折乗用車と対向直進トラックの模擬シナリオによる軌跡計測値の精度検証結果を Fig. 17 に示す。桃線は軌跡計測値、黒線や青線や緑線は軌跡リファレンス値を示す。乗用車の軌跡誤差（前後方向）は約±20 cm 以内、軌跡誤差（横方向）は約±25 cm 以内であり、軌跡誤差（横方向）は交差点中心（原点）から遠いほど大きくなる傾向がある。トラックの軌跡誤差（前後方向）は約±30 cm 以内、軌跡誤差（横方向）は約±20 cm 以内であり、軌跡誤差（横方向）は交差点中心（原点）から遠いほど大きくなる傾向がある。

左折乗用車と路肩すり抜け自転車の模擬シナリオによる軌跡計測値の精度検証結果を Fig. 18 に示す。乗用車の軌跡誤差（前後方向）は約±35 cm 以内、軌跡誤差（横方向）は約±30 cm 以内であり、軌跡誤差（横方向）は、左折後に交差点中心（原点）から約 30 m 以上遠くなると急激に大きくなる。自転車の軌跡誤差（振幅）は約 40 cm 以内であるが、交差点中心（原点）からの距離など場所の影響はほとんどない。

軌跡誤差のバラツキ（標準偏差 σ ）を Table 2 に示す。総じてバラツキは小さく良好である。

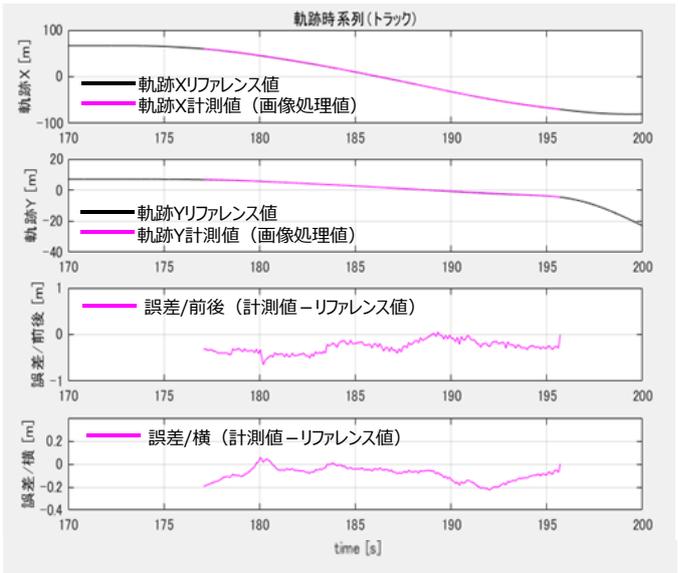
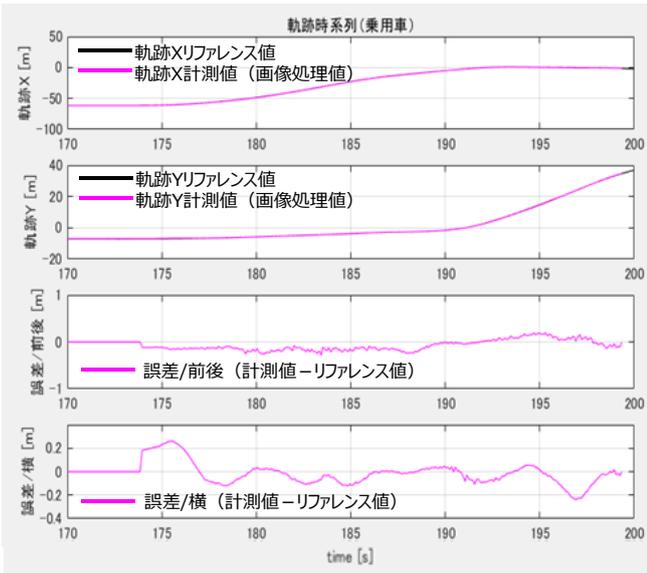
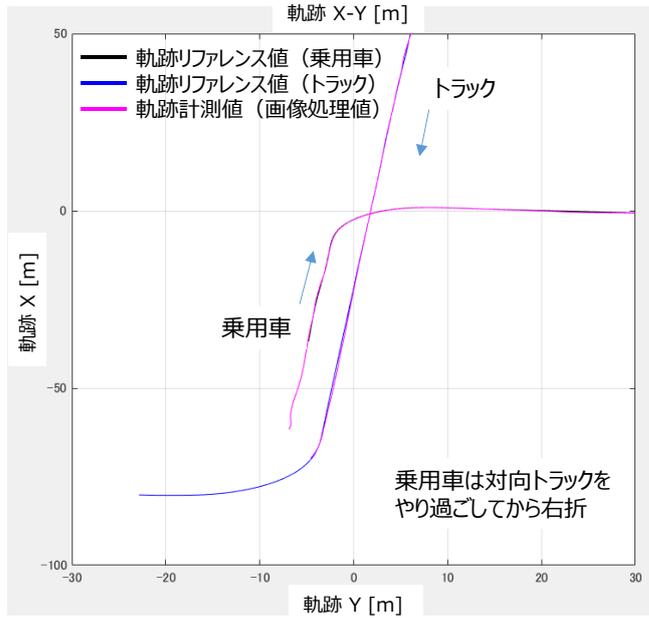
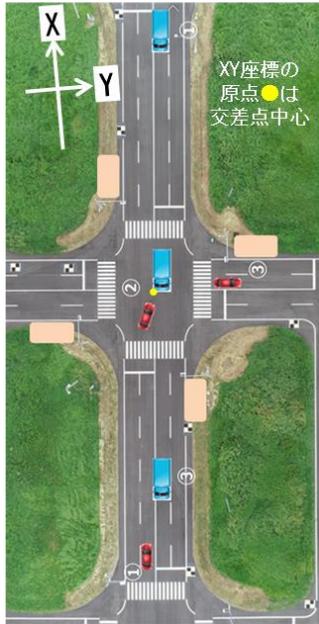


Fig. 17 道路インフラに設置したLiDARによる軌跡精度の検証結果例(乗用車右折/トラック対向直進_シナリオ17)
(左上: シナリオイメージ, 右上: XY軌跡, 左下: 時系列(乗用車), 右下: 時系列(トラック))

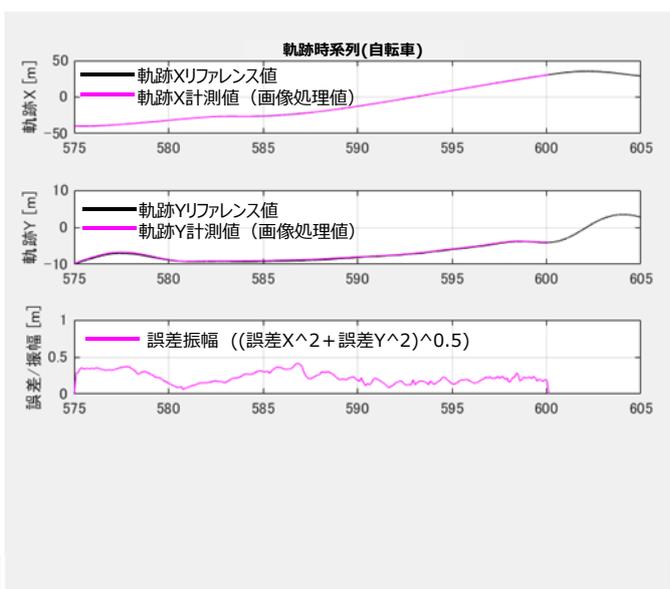
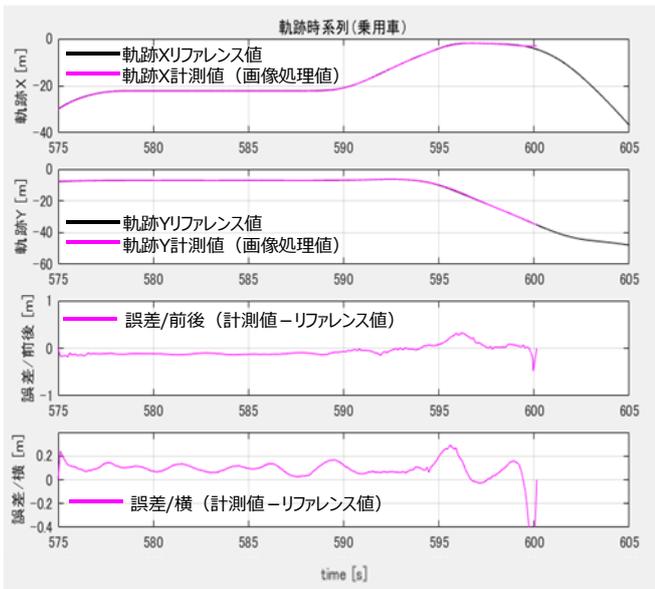
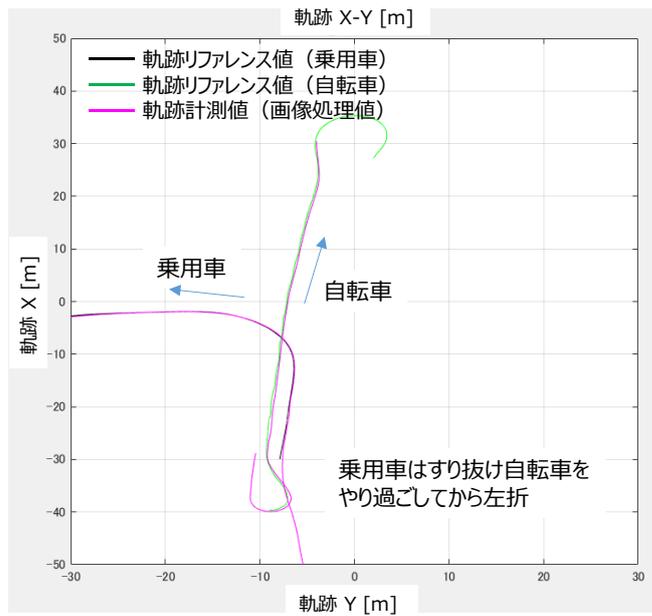
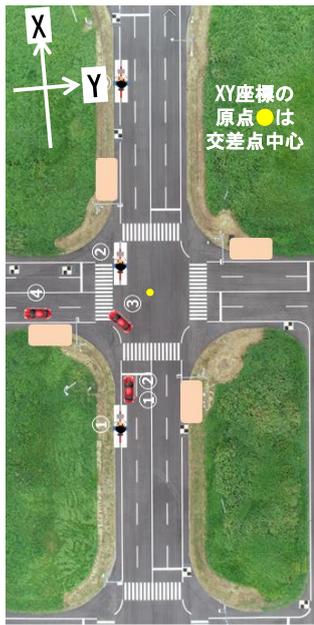


Fig. 18 道路インフラに設置したLiDARによる軌跡精度の検証結果例 (乗用車左折/自転車すり抜け_シナリオ28) (左上: シナリオイメージ, 右上: XY軌跡, 左下: 時系列 (乗用車), 右下: 時系列 (自転車))

Table 2 道路インフラに設置したLiDARによる軌跡精度の検証結果例 (軌跡誤差の標準偏差 σ)

error_σ : 軌跡誤差の標準偏差(m)						乗用車		トラック		自転車
						車両前後方向	車両横方向	車両前後方向	車両横方向	誤差振幅
シナリオ	乗用車	トラック	自転車	歩行者	N増	error_σ	error_σ	error_σ	error_σ	error_σ
17	右折	対向直進			6回	0.129	0.099	0.129	0.072	
28	左折		すり抜け		6回	0.123	0.083			0.064

< 車両, 誤差@前後方向 > 青: $2\sigma \leq 0.5$ m, 緑: 0.5 m < $2\sigma \leq 1$ m, 赤: 1 m < 2σ

< 車両, 誤差@横方向 > 青: $2\sigma \leq 0.1$ m, 緑: 0.1 m < $2\sigma \leq 0.2$ m, 赤: 0.2 m < 2σ

< 自転車/歩行者用, 誤差@振幅 > 青: $2\sigma \leq 0.2$ m, 緑: 0.2 m < $2\sigma \leq 0.4$ m, 赤: 0.4 m < 2σ

4. まとめ

一般道は、高速道路や自動車専用道とは異なり、道路構造、交通参加者、交通規制などが多種多様である。自動運転の安全性評価手法構築のために、交通外乱シナリオの分析に必要な交通流データ（各種交通参加者の軌跡データ）を必要な精度で効率的に大量に収集するには、定点観測によるデータ収集方法（センサ設置場所）においていくつかの選択肢を持つことが望まれる。何故ならば、定点観測の計測センサ設置場所を確保するために所有者に許諾を得ることが難しいためである。

本事業では、一般道を想定して、複数種の定点観測手法のポテンシャルと課題を把握するために、フィジビリティスタディ（軌跡精度の予測や検証）を実施した。各手法の特徴と課題を Table 3 にまとめる。本稿では、手法①②③について手法概要と軌跡精度の検証結果（例）を紹介した。なお、Table 3 における軌跡精度やオクルージョン影響の◎○△は、本稿でその一部を紹介した軌跡精度検証（公道や Jtown で実施）の結果をもとに相対的かつ大括りに総評したものである。

今後、一般道においても自動運転車の安全性を保証するには継続的な実交通流データ収集が必要である。従って、定点観測を必要とする場所の特徴（道路構造や周辺環境など）に適した定点観測手法をその都度選択する必要がある。

Table 3 一般道用交通外乱データ収集方法の比較（定点観測）

定点観測手法 (市街地交差点)	仮想 環境 精度 予測	実走行 環境 精度 検証	想定 センサ 種類	想定 センサ 路面高	軌跡精度 (検証結果)	オクルー ジョン 影響	課題
手法① ビル屋上に設置 したカメラに よる定点観測	実施	公道 実施	4K カメラ	約 35 m	○	○～△ 路面高 次第	ビル屋上に カメラを設置 するための 許諾交渉 が必要
手法② ドローン空撮に よる定点観測	—	Jtown 実施	4K カメラ	約 100 m	◎	◎	ドローン落下 リスクがあり 公道では 現状不可
手法③ 道路インフラに 設置したLiDAR による定点観測	—	Jtown 実施	高精度 LiDAR	約 5 m	○	○～△ 複数LiDAR による点群 データの 補完次第	道路インフラ にセンサを設 置するための 許諾交渉が 必要

謝辞

この成果は、経済産業省からの委託事業である令和2年度 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（自動走行システムの安全性評価技術構築に向けた研究開発プロジェクト）の結果から得られたものです。また、定点観測を行うために、観測対象となる一般道交差点に隣接するビル屋上をお貸しいただいたビルオーナー様には多大なご協力を賜り感謝いたします。

参考文献

- 1) National Highway Traffic Safety Administration, " Preliminary Statement of Policy Concerning Automated Vehicles"
https://www.nhtsa.gov/staticfiles/rulemaking/pdf/Automated_Vehicles_Policy.pdf (参照 2022.10.11)
- 2) Research project PEGASUS Effectively Ensuring Automated Driving.
http://www.pegasus-projekt.info/files/tmpl/pdf/1st_European_CCAD_Side_Event_Folien.pdf (参照 2022.10.11)
- 3) Horizon 2020
<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en> (参照 2022.10.11)
- 4) VVM Project
<https://www.vvm-projekt.de/> (参照 2022.10.11)
- 5) 平成30年度 高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業（自動走行システムの安全性評価技術構築に向けた研究開発プロジェクト） 成果報告書，一般財団法人日本自動車研究所（2018）
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H30FY/000351.pdf (参照 2022.10.11)
- 6) 平成31年度 高度な自動走行システムの社会実装に向けた研究開発・実証事業（自動走行システムの安全性評価技術構築に向けた研究開発プロジェクト） 成果報告書，一般財団法人日本自動車研究所（2019）
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2019FY/000329.pdf (参照 2022.10.11)
- 7) 令和2年度 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（自動走行システムの安全性評価技術構築に向けた研究開発プロジェクト） 成果報告書，一般財団法人日本自動車研究所（2020）
https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/2020FY/000631.pdf (参照 2022.10.11)
- 8) SAKURA
<https://www.sakura-pri.go.jp/> (参照 2022.10.11)
- 9) H. Weber, etal.: A framework for definition of logical scenarios for safety assurance of automated driving, Traffic injury prevention 20 (sup1), S65-S70
[doi:10.1080/15389588.2019.1630827](https://doi.org/10.1080/15389588.2019.1630827)
- 10) 自動運転車の安全技術ガイドライン，国土交通省自動車局
<https://www.mlit.go.jp/common/001253665.pdf> (参照 2022.10.11)
- 11) 中村英夫 ほか：自動運転の安全性評価を狙いとしたシナリオ分析用交通外乱データ収集技術（定点カメラ観測），－第1報：基本フレームの構築／軌跡精度の予測と検証－，JARI Research Journal, JRJ20210101（2021）
<https://www.jari.or.jp/research-database/detail/?slug=33287> (参照 2022.10.11)
- 12) 自動運転のキーテクノロジー「LiDAR」の基礎から最新動向，車載技術要件まで，株式会社マクニカ
<https://www.macnica.co.jp/business/maas/columns/135998/> (参照 2022.10.11)
- 13) 自動運転実現で注目を集めるLiDARのしくみと種類，株式会社キーエンス
<https://www.keyence.co.jp/ss/general/automotive-manufacturing/010/> (参照 2022.10.11)
- 14) HighD Project, The Highway Drone Dataset
<https://www.highd-dataset.com/> (参照 2022.10.11)
- 15) 片山 徹：新版応用カルマンフィルタ，第7章 スムージング，p.136-163（朝倉書店）
- 16) Roger R. Labbe: Kalman and Bayesian Filters in Python,
https://inzkyk.xyz/kalman_filter/smoothing/ (参照 2022.10.11)
- 17) VBOX JAPAN
http://www.vboxjapan.co.jp/VBOX/Products/VBOXRTK/VBOX_Products_RTK.html (参照 2022.10.11)