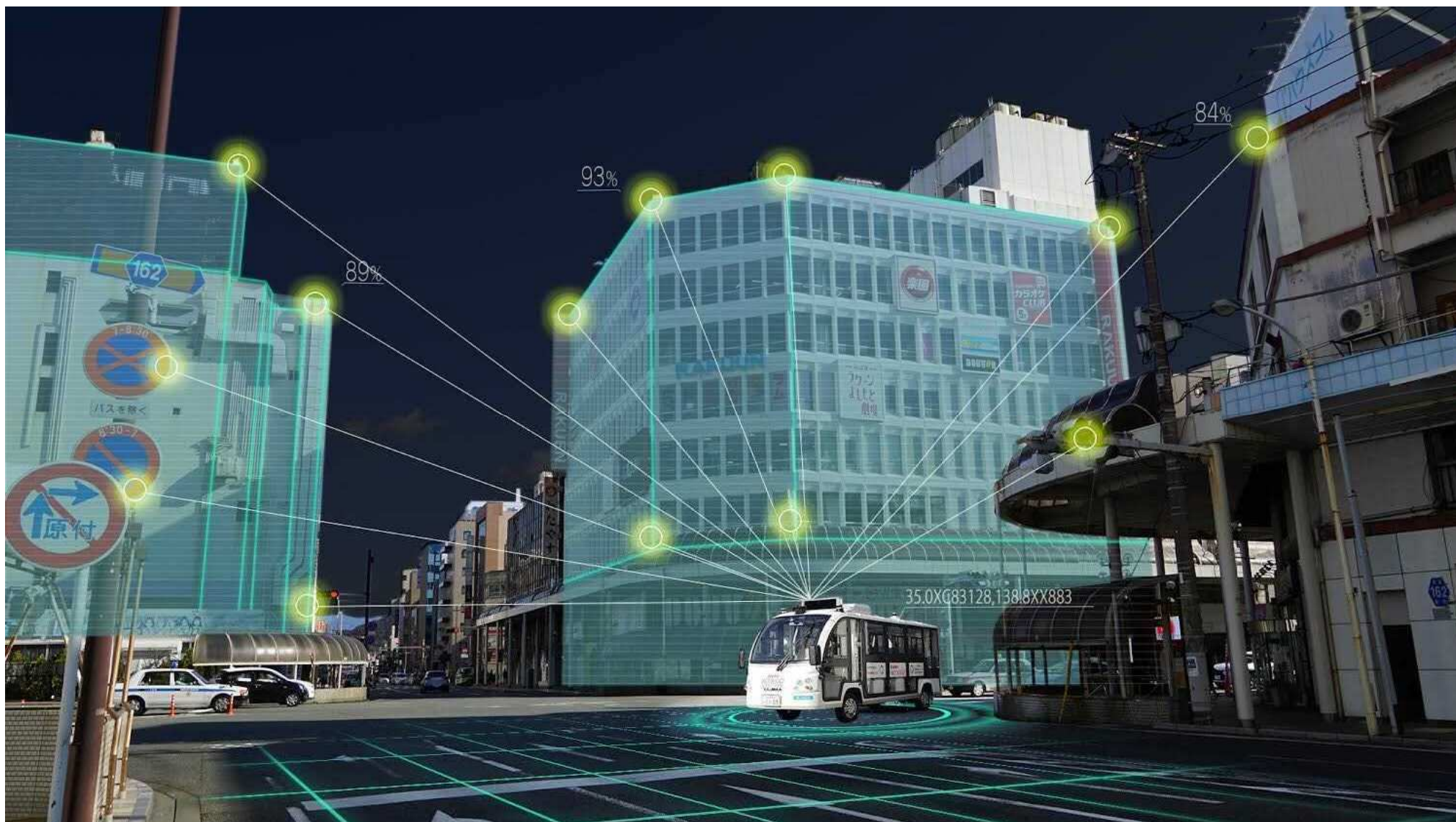


3D都市モデルを活用した自動運転車両の自己位置推定 技術検証レポート



目次

I. 実証概要	4
1. 全体概要	5
2. 実施体制	6
3. 実証エリア	7
4. 実証スケジュール	8
II. 実証技術の概要	9
1. 実証フロー	10
2. 実証技術（VPS）の概要	11
3. 検証仮説	13
III. 実証システムの設計・開発	14
1. 実証システムの概要	15
1.1 実証システムの全体像	15
1.2 デバイスの設計	17
1.3 位置精度向上の考え方	18
2. システムの仕様	20
2.1 システム構成と開発フロー	20
2.2 システム・アーキテクチャ	21
2.3 3D都市モデルのUnityへの取り込み	22
2.4 PLATEAUマップ作成	23
2.5 VPSによるローカライズ	24
3. PLATEAUマップの作成方法	26
3.1 Unity内での写真撮影	26
3.2 撮影画像の補正	27
4. 技術検証の方法	28
IV. 実証システムの検証	29
1. 事前検証	32
1.1 マップ作成機能の検討	32
1.2 現地動作確認①	33
1.2.1 動作確認用アプリの制作	35
1.2.2 座標変換	36
1.2.3 GNSSによる位置情報取得	37
1.2.4 自己位置推定データの比較・検証	38
1.2.5 ローカライズ成功因子の検討	42

1.2.6 車両走行時のローカライズ状況確認	43
1.2.7 確認結果と課題整理	44
1.3 現地動作確認②	45
1.3.1 前回からの変更点	46
1.3.2 確認結果と課題整理	48
1.4 ローカライズ精度向上の試行①	49
1.4.1 PLATEAUマップ作成方法の改善	50
1.4.2 ローカライズ成功率の改善	57
1.4.3 駅前エリア以外での確認	59
1.4.4 テクスチャ等の更新による効果確認	60
1.4.5 画像取得条件のパターンによる効果・影響の確認	61
1.5 現地動作確認③	63
1.5.1 システム改良による効果確認	64
1.5.2 テクスチャ差し替えによる試行	65
1.5.3 撮影範囲変更による試行	66
1.6 ローカライズ精度向上の試行②	67
1.7 マップ作成方法の改善と試行	69
1.7.1 仮想試行環境における静止画テストの自動化	70
1.7.2 仮想試行環境における静止画テストの自動化	71
1.7.3 仮想試行環境における動画による疑似走行状況の確認	72
1.8 現地動作確認④	73
1.8.1 LOD2によるローカライズ検証	74
1.8.2 走行車両からのローカライズ検証	75
1.8.3 スマートフォンからの位置情報の集約	76
1.9 現地走行実証準備	78
1.10 地図情報レベル2500のLOD3データでの検証	79

目 次

2. 現地走行による検証	81
2.1 走行実証①	81
2.1.1 VPS機器の設計・制作・設置	83
2.1.2 実証結果概要	84
2.1.3 PLATEAUマップのローカライズ検証と実証結果の比較	85
2.1.4 ADENUによる走行軌跡の把握	86
2.1.5 GNSSによる走行軌跡の把握	87
2.1.6 地図情報レベル2500でのローカライズ状況確認	88
2.1.7 本実証に向けた対応方針	89
2.2 走行実証①を踏まえた調整	90
2.2.1 ローカライズが良好なマップの増加	90
2.2.2 Immersalリアルマップによる改善点の模索	93
2.2.3 プレ実証で取得した位置情報の比較	95
2.2.4 ローカライズ速度の高速化	97
2.2.5 ローカライズ良好なPLATEAUマップの増加	102
2.3 走行実証②	103
2.4 走行実証②による成果	104
2.4.1 走行車両の自己位置情報推定	105
2.4.2 ローカライズ状況可視化ビューアの開発	117
3. 他データとの比較による精度検証	118
3.1 比較用データの整備	118
3.2 比較による精度検証	120
3.2.1 精度検証の方法	120
3.2.2 VPS対ADENUの比較	121
3.2.3 VPS対GNSSの比較	128
3.2.4 ADENU対GNSSの比較	135

V. 成果と課題	136
1. 今年度の実証で得られた成果	137
2. 今後の取組に向けた課題	138
用語集	142

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システムの設計・開発

IV. 実証システムの検証

V. 成果と課題

I. 実証概要

1. 全体概要

- 本実証の全体概要は下表のとおり。

本実証の全体概要

項目	内容
ユースケース名	自動運転車両の自己位置推定におけるVPS（Visual Positioning System）活用
実施事業者	実施：株式会社三菱総合研究所・凸版印刷株式会社・国際航業株式会社 協力：静岡県・東急株式会社・国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学等
実施場所	静岡県沼津市（沼津駅から沼津港までの約2km程度）
実現したい価値・ 目指す世界	自動運転システムにおける車両自己位置推定には、GNSS、LiDAR、速度計、ジャイロ스코プ等の各種センサーや、3Dベクトルデータ、3D点群データ等の様々なデータが活用されているが、システム整備に多額の費用がかかることや、走行環境の状況によっては自己位置推定の精度が低下するなどの課題もある。様々な社会課題の解決に大きな役割を果たすことが期待される自動運転の普及のためには、これらの課題を解決し、効率的な自動運転システムを確立することが必要となる。 3D都市モデルは、国土交通省がProject PLATEAUとしてその整備・活用・オープンデータ化を進めるデジタル社会の新たなデジタル・インフラである。オープンデータとして全国で提供される3D都市モデルを活用し、自動運転システムの自己位置推定を可能とすることで、システム導入ごとに「その都度」マップを作成する仕組みや高額なデバイスが必須となる従来の方法を改善し、効率的でスケーラブルな自動運転の普及に貢献することが可能となる。
実証実験の 概要	今回の実証実験では、3D都市モデルとカメラ画像等を組み合わせたVPS（Visual Positioning System）の活用により、自動運転車両の自己位置推定における新たな手法の可能性を検証する。 VPSは、光学カメラ画像から取得した画像を三次元解析し、バックデータとして用意した三次元マップをと照合することで自己位置を推定する新しい技術である。そこで、VPSを活用し、スマートフォンで撮影したカメラ画像から取得した情報と、LOD3の3D都市モデル（建物の詳細な形状のほか、外構、道路、都市設備等も整備）の特徴点とを照らし合わせることで、車両の自己位置を推定するシステムを検証し、自動運転システムへの活用を見据えたフィージビリティスタディを行う。 なお、このプロジェクトは、静岡県「しずおか自動運転ShowCASEプロジェクト」令和3年度実証実験と連携を行い実施した。車両や走行環境等は静岡県から提供されたものを利用している。

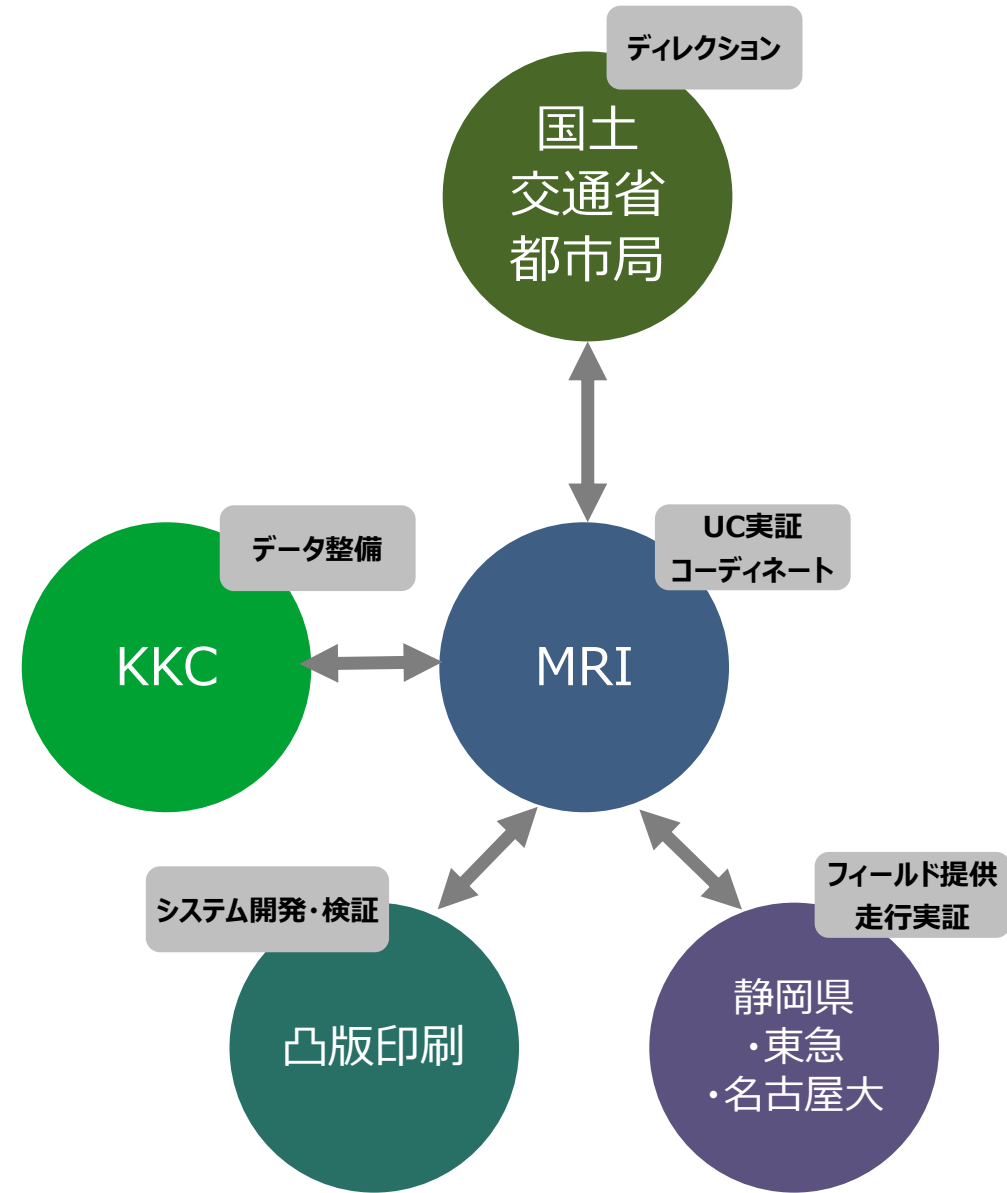
I. 実証概要

2. 実施体制

- 本実証の実施体制は下表および右図のとおり。

本実証の実施体制

主体	役割	役割
三菱総研 (MRI)	ユースケース実証 コーディネート	- ユースケース実証に係る連絡・調整 - 実証結果の確認・評価 3D都市モデル活用方策の検討
凸版印刷	システム開発・ 検証	- VPSの設計・開発 - VPSによる自己位置推定の検証
国際航業 (KKC)	3D都市モデル (LOD3) データ 整備	- データ整備範囲、仕様の決定 - データ作成
静岡県	フィールド提供	- 実証フィールドの提供（沼津市） - 走行実証の全体管理
東急	自動運転車両の 走行実証	- 走行実証のための車両の提供 - 走行実証の実施マネジメント - 必要となるデータの提供
名古屋大学	自動運転車両の 走行実証	- 走行実証のためのシステムの整備・運用 - 必要となるデータの提供 - 自動運転への活用可能性の示唆



本実証の実施体制

I. 実証概要

3. 実証エリア

- 本実証は、静岡県沼津市の沼津駅前から沼津港までの約2kmのルートを対象として実施した。

対象エリアと走行ルート



I. 実証概要

4. 実証スケジュール

- 本実証は、以下のスケジュールに沿って実施した。

実施事項	2021年									2022年				
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月		
3D都市モデルの活用方策・実証手法の検討	実証内容の検討・実証エリアの選定		自治体・関係事業者と調整						走行実証にむけた調整					
3D都市モデルデータ整備			3D都市モデルデータの構築・調整											
自動運転に係るデータの収集						走行空間データ・試験走行データ等				走行実証データ等		走行実証データ等		
VPS開発				開発・調整等										
ユースケース実証					試行・評価・調整等					走行実証		走行実証		
成果の公開												成果公開		

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システムの設計・開発

IV. 実証システムの検証

V. 成果と課題

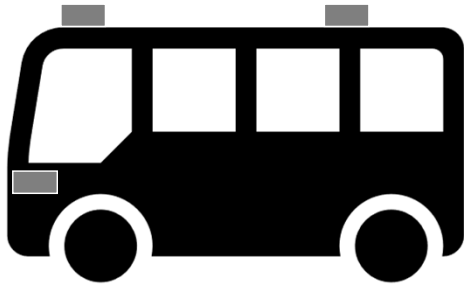
Ⅱ. 実証内容

1. 実証フロー

- 本実証の全体フローは下図のとおり。

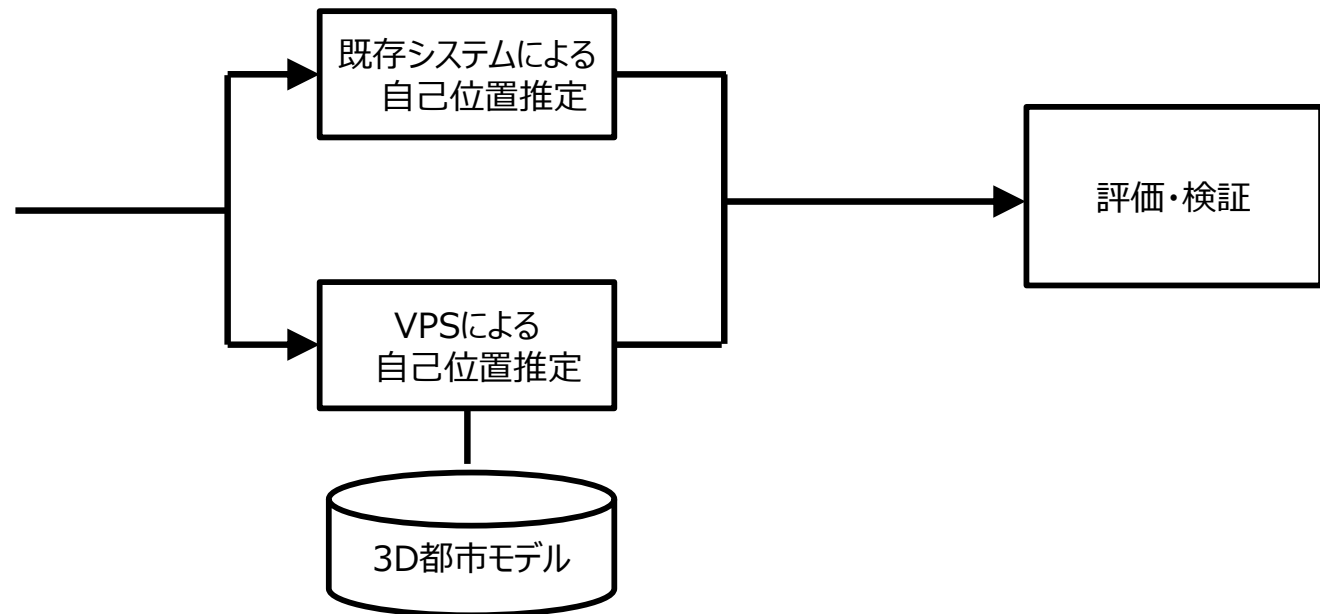
走行実証・データ取得

- 実証エリアにて車両を走行。
- 車両に搭載した機器・システムから車両位置に関するデータを取得。



車両自己位置推定

- 既存システムおよび今回実証するVPSにより車両自己位置を推定。



評価・検証

- 各システムによる自己位置推定結果を比較・対照し、精度や要因等を検証。

II. 実証内容

2. 実証技術（VPS）の概要

- 位置測位のための技術としては、従来から電波を用いたGNSS（Global Navigation Satellite System）やRTK（Real Time Kinematic）、赤外線を用いたLiDAR（Light Detection And Ranging）などが存在するが、VPS（Visual Positioning System）は汎用的な光学カメラから取得した画像情報を用いて位置測位や姿勢推定を行う技術である。
- VPSでは、事前に作成した3D地図とカメラから取得した画像を比較（マッチング）することで、三次元空間のベクトルや三軸回転量を算出し、位置測位や姿勢推定を行う。マッチングの手法としては、三次元形状の特徴点や画像の色情報の特徴点を抽出して比較する方法などが存在する。
- 比較的新しいVPS技術だが、XR領域において普及しつつある。VPSを利用したサービスとしては、Psychic VR Lab社（日本）のSTYLY、Immersal社（フィンランド）のImmersal^[用語集020参照]、PTC社（米国）のVuforia、Sturfee社（米国）のSutrfeeなどが知られている。

位置測位の分類

測位情報	使用装置	対象場所のインフラと事前情報	対応場所	姿勢推定
電波	衛星／受信機	必要に応じて地上基準局	野外	不可
	Wi-Fi／Bluetooth	AP敷設が必要。地図生成が必要。	室内	不可
赤外線	LiDAR	不要。地図生成が必要。	屋内／屋外	可
画像	RGBカメラ	不要。地図生成が必要。	屋内／屋外	可

出所：映像情報メディア学会誌 Vol. 76 (2022)
「画像に基づく測位技術の研究とシステムの開発実証」株式会社KDDI総合研究所
https://www.jstage.jst.go.jp/article/itej/76/1/76_129/_pdf/-char/ja
(2022年3月25日閲覧)

VPSの利用例（AR観光ガイド）



出所：PLATEAUウェブサイト（2022年3月15日閲覧）
<https://www.mlit.go.jp/plateau/new-service/>

II. 実証内容

2. 実証技術（VPS）の概要

- 自動運転システムにおける自己位置推定については、これまで、SLAM（Simultaneous Localization and Mapping）[用語集060参照] やHDマップ（高精度3次元地図データ）等の技術・データを用いたシステムの開発・実証・実用化が進んでいる。これらの技術と、今回実証するVPSの特徴比較は以下のとおりである（仮説を含む）。

自動運転システムにおける自己位置推定技術の比較（仮説を含む）

技術名	VPS×3D都市モデル（仮説）	SLAM	HDマップ ^o
活用センサ	光学カメラ	LiDAR（Light Detection And Ranging）	ミリ波レーダー / カメラ / LiDAR、ジャイロ等（複数活用）
活用データ	3D都市モデル（LOD3）データ	3D点群データ	高精度3D地図データ（ベクトルデータ）
自己位置推定方法	光学カメラから取得した画像情報と3D都市モデルデータの特徴点とを比較し自己位置を推定。	LiDARで取得したデータを用いて地図データを作成し、その地図をもとに以降の走行時に自己位置を推定。	あらかじめ整備した3D地図データと車両のセンサーから取得したデータ等を比較し自己位置を推定（HDマップだけでなく他センサによる情報も統合的に活用して自己位置を推定）。
特徴・メリット	SLAMやHDマップよりも安価に構築・運用できる可能性。	高精度3D地図が整備されていない区間でも自動運転車両を走行させることができる。	ベクトル化、構造化、属性付与した地図のためデータ量は小さく、処理負荷は小さい。
課題・デメリット	夜間、大雨や雪など視界不明瞭時の運用は課題。	- 実走行前に、地図を生成するための準備走行が必要となる。 - データ量が大きいため、一定の処理負荷がかかる。	全国地図の整備・更新にコストがかかる。
適用場所	（主に）一般道	（主に）一般道	高速道路・自動車専用道路（一般道にも拡張中）
適用車両	（主に）バス等	（主に）バス等	（主に）一般車

II. 実証内容

3. 検証仮説

実証仮説：自動運転システムにおけるVPSおよび3D都市モデルの活用可能性の検証

- SLAMは自車位置推定の精度は高いものの、車両にLiDARを装備する必要がありデバイス費用が高額になる、データ量が大きくコンピュータの処理負荷が大きい、事前に走行ルートの子群データを取得する必要がある、利用可能な子群マップのオープン化が進んでいないといった課題があり、未だ全国には広がっていない。
- また、高精度3次元地図（HDマップ）と各種センサ（ミリ波レーダー、カメラ、LiDAR、ジャイロ等）を活用した自己位置推定では、地図データはベクトル化されているためシステム処理負荷は低く、高速道路・自動車専用道路等での一般車両による運転支援システム等で実用化が進みつつあるものの、一般道を含めて全国隅々まで地図データを整備・更新することに期間やコストがかかること等が課題と考えられる。
- 全国の市町村が保有する既存データ等から整備可能かつオープンデータ化を前提としている3D都市モデルおよびVPSを車両の自己位置推定等に活用できれば、GNSS等を補完・代替する自己位置推定システムを低コストで提供でき、自動運転の一般道展開を加速させることができるのではないか。

検証ポイント・想定される課題

● 自己位置推定の精度の検証

- ・3D都市モデルおよびVPSによる自己位置推定精度の検証
- ・3D都市モデルデータの位置精度や対象地物等による自己位置推定精度の差異・特性の検証
- ・3D都市モデルおよびVPSに必要なアプリの構築・運用に係る課題の検証

● 車両走行速度への対応

- ・VPSによる自己位置推定は、現時点、歩行～自転車等の低速移動での活用が一般的である。中速～高速の自動運転に活用するための必要技術を検証する必要がある（車両の移動速度データと自己位置推定の誤差とを対照・検証するなど）
- ・必要な機器のスペックの検証（カメラの解像度、フレームレート、通信速度、処理速度等）

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システムの設計・開発

IV. 実証システムの検証

V. 成果と課題

Ⅲ. 実証システムの設計・開発

1. 実証システムの概要

1.1 実証システムの全体像

- 開発する実証システムの全体像（車両の走行、画像の取得、VPSによる車両自己位置推定）は以下のとおり。

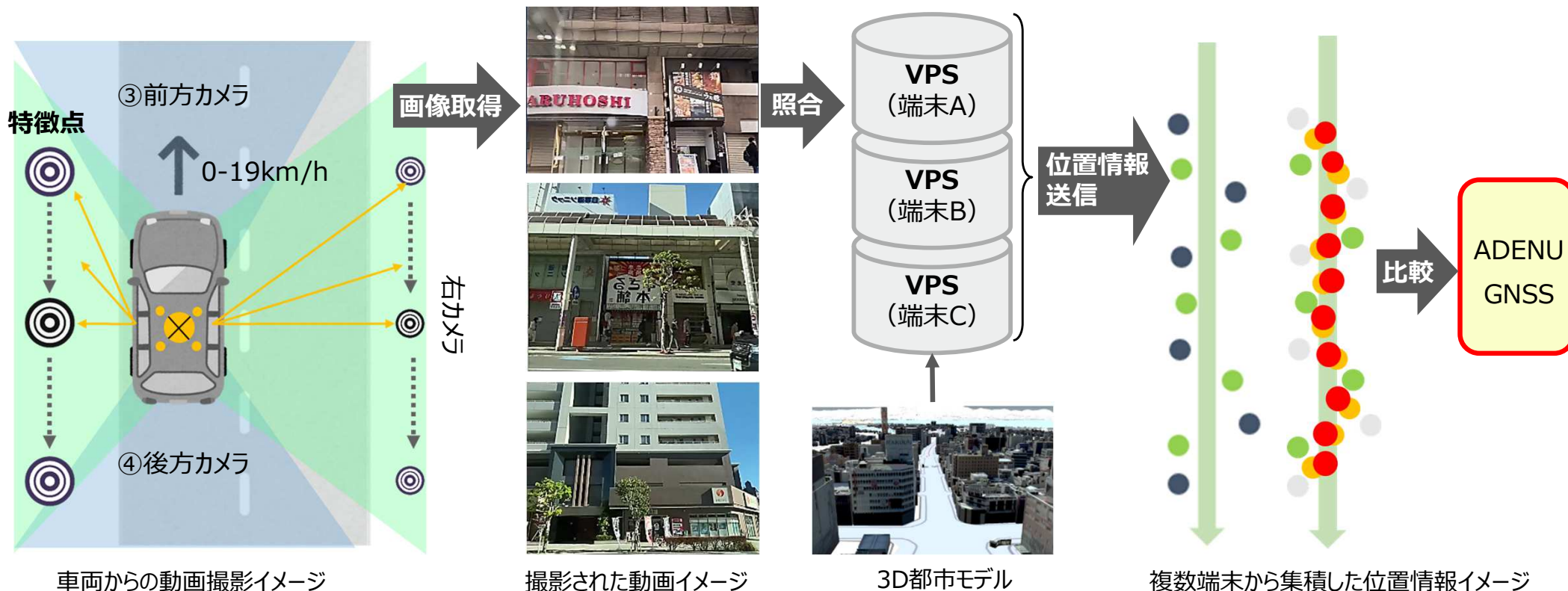
〔実証システムの全体像〕

VPSによるローカライズ^{〔用語集120〕}システム（スマホアプリ）

- 複数台用意したスマートフォンの光学カメラから30fpsの動画を撮影する。
 - 撮影した動画と3D都市モデルから生成したデータとを照合し、位置情報を取得する。
- ※スマートフォンを複数台使用し、自己位置推定の試行数を増やすことで、フレームレートの補完、自己位置推定の時間差の縮減、ローカライズに最適な画角の取得等を図る。

VPSコントロールシステム（PCアプリ）

- 複数台のVPSから位置情報を集積。
- 異常値を省くなどの処理を実行。
- 取得されたデータを書き出し、ADENU^{〔用語集010参照〕}やGNSSによる位置情報等と比較

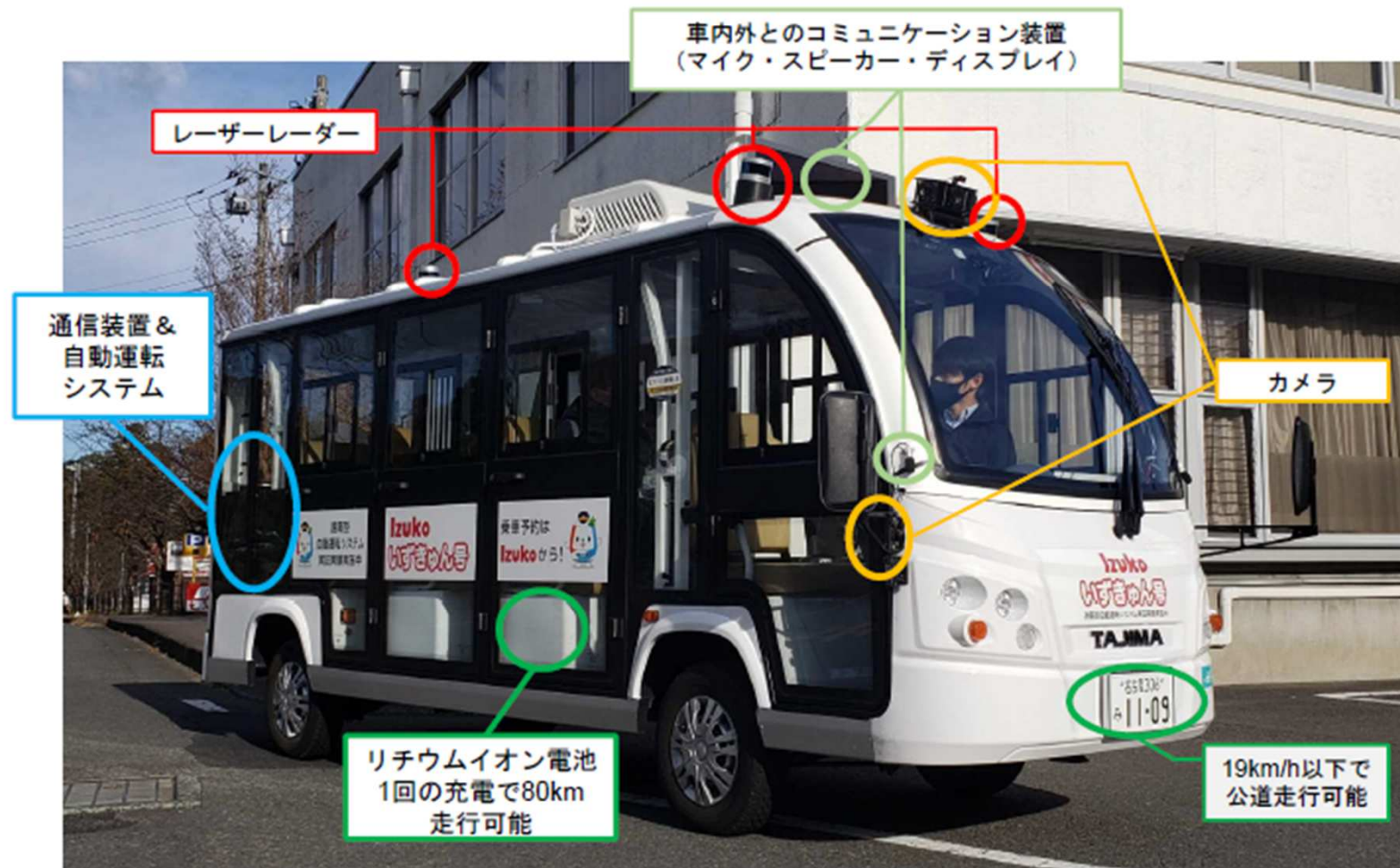


Ⅲ. 実証システムの設計・開発

1. 実証システムの概要

1.1 実証システムの全体像

参考：実証実験車両の装備と機能（静岡県資料）



出所) 静岡県提供資料

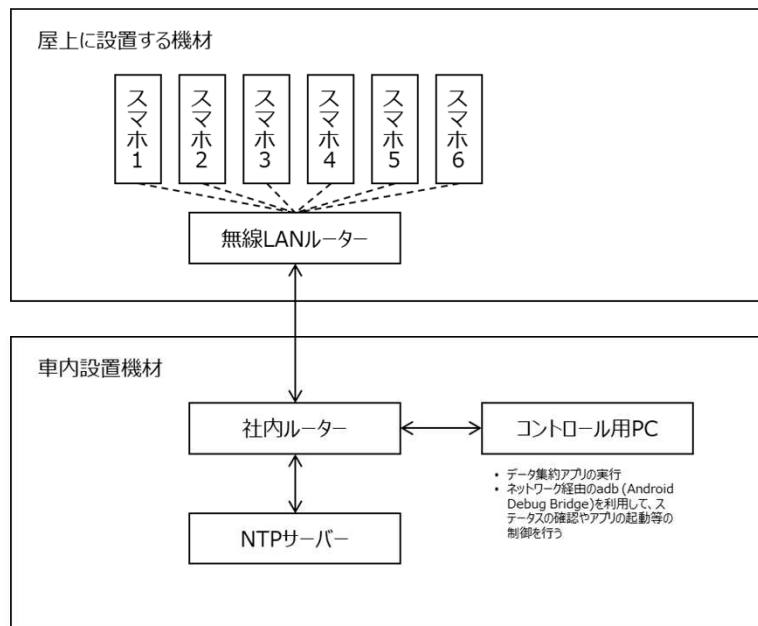
Ⅲ. 実証システムの設計・開発

1. 実証システムの概要

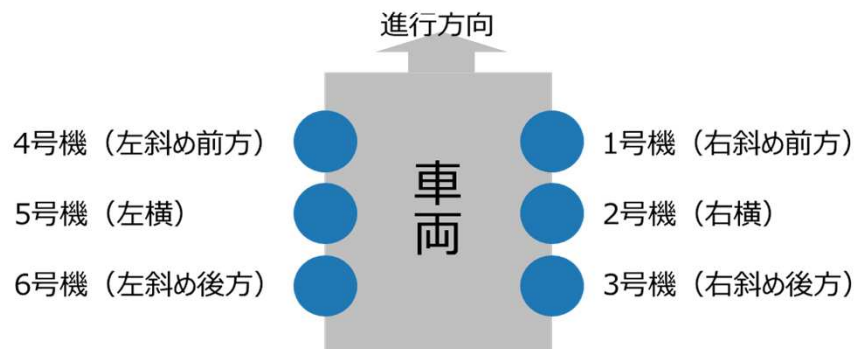
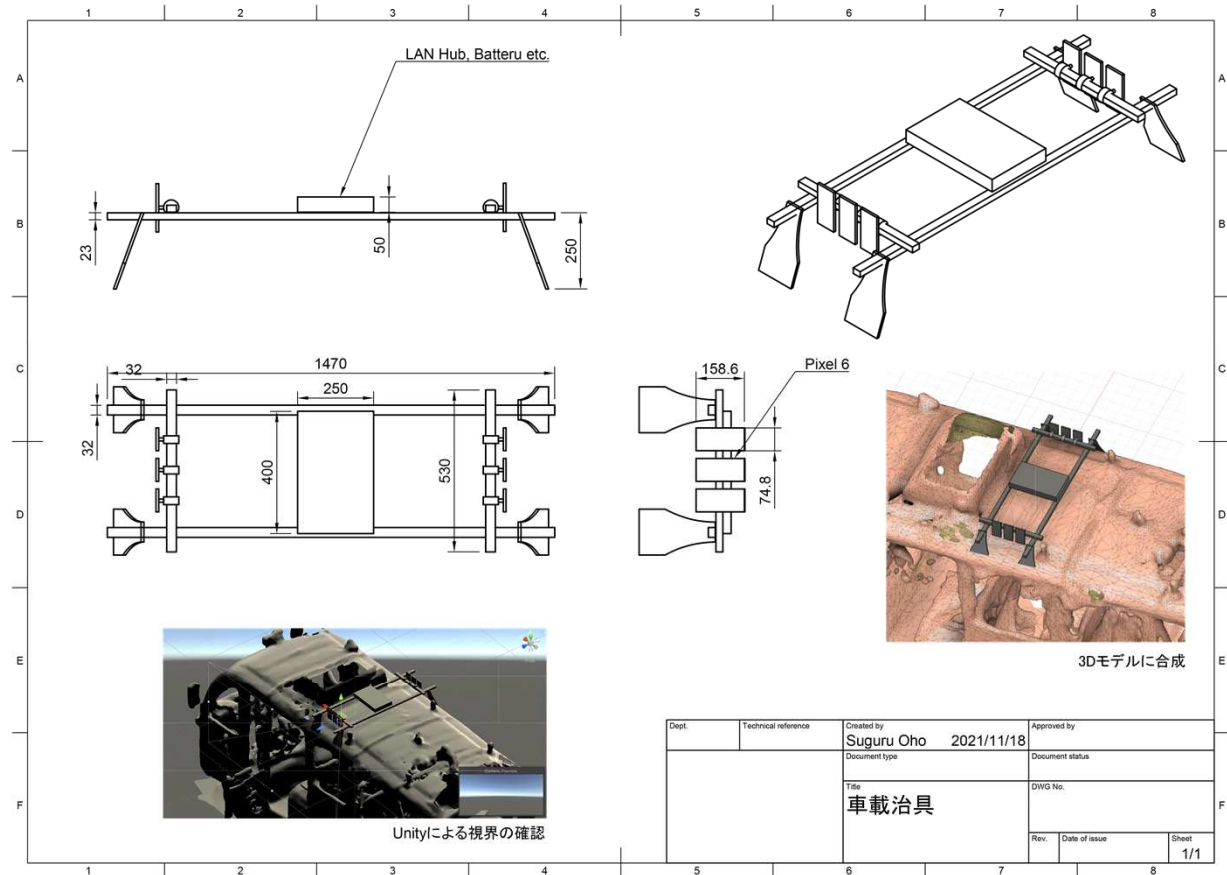
1.2 デバイスの設計

- VPSを搭載したスマートフォン（Google Pixel 6）は実験車両の屋根上に左右3台ずつ、合計6台設置した。また、そのための治具やネットワーク等を設計・制作した。

機器類の接続・配線図



取り付け治具の設計図





PLATEAU
by MLIT

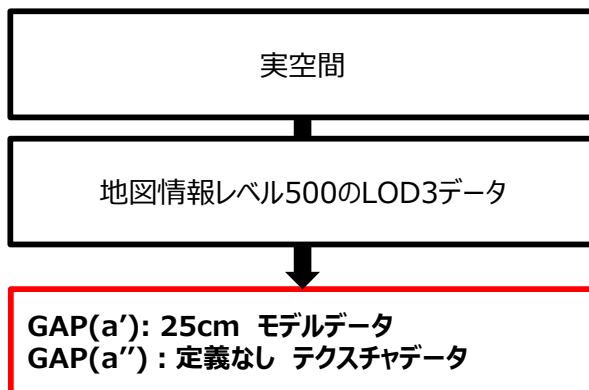
Ⅲ. 実証システムの設計・開発

1. 実証システムの概要

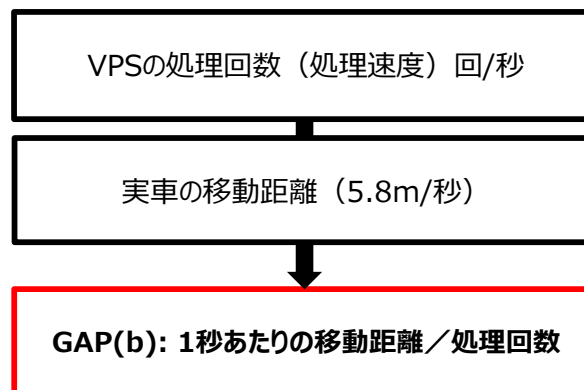
1.3 位置精度向上の考え方

- 実証システムが取得する位置情報に生じる誤差（精度GAP）には、以下a,b,cの3つの要因があり得るため、位置精度向上の観点から対策を講じる。
 - a：3D都市モデルにおける精度GAP 今回活用する地図情報レベル500のLOD3データは、水平及び垂直位置の標準偏差が0.25m以内の位置精度を持つものの、テクスチャの精度は定義されていない。
 - b：走行速度・処理速度による精度GAP 時速19km（秒速5.8m）で走行するため、VPSの処理速度に応じた精度GAPが生じる。
 - c：VPSによる精度GAP（この点はシステムのブラックボックス内にある）

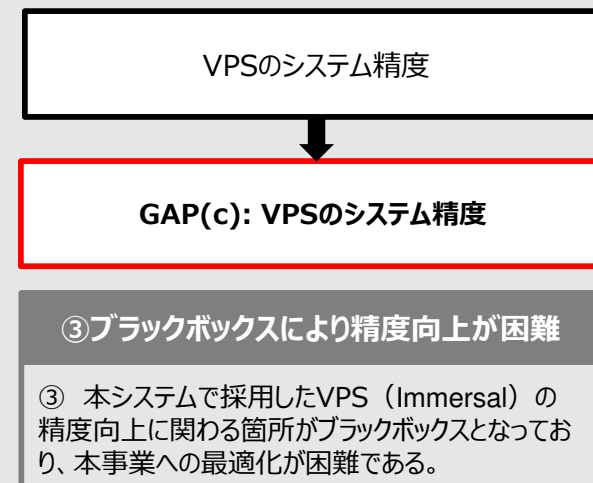
a. 3D都市モデルにおける精度GAP



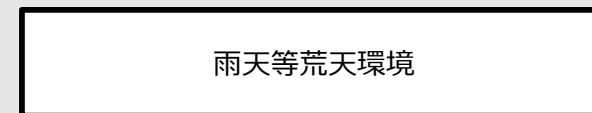
b. 走行速度・処理速度による精度GAP



c. VPSにおける精度GAP



その他 外部要因等によるGAP



①データの再構築

①-(a) 3D都市モデルではテクスチャ精度についての仕様は定められておらず、実データには歪みやボケが存在する。このため、一部のテクスチャについては手持ちカメラによる個別撮影を実施し、テクスチャ精度を向上させる。

②端末を複数設置した処理回数の補完

②-(a) VPSが処理を行う時間で、実車が移動する距離がGAPとなる。そのGAPに対し、端末を複数台利用することで、時間当たりの処理回数を補完する。

②-(b) 複数台の処理を行った際、端末同士の位置情報が大きく異なる（異常値が発生するなど）場合、それらを省く処理を行う。

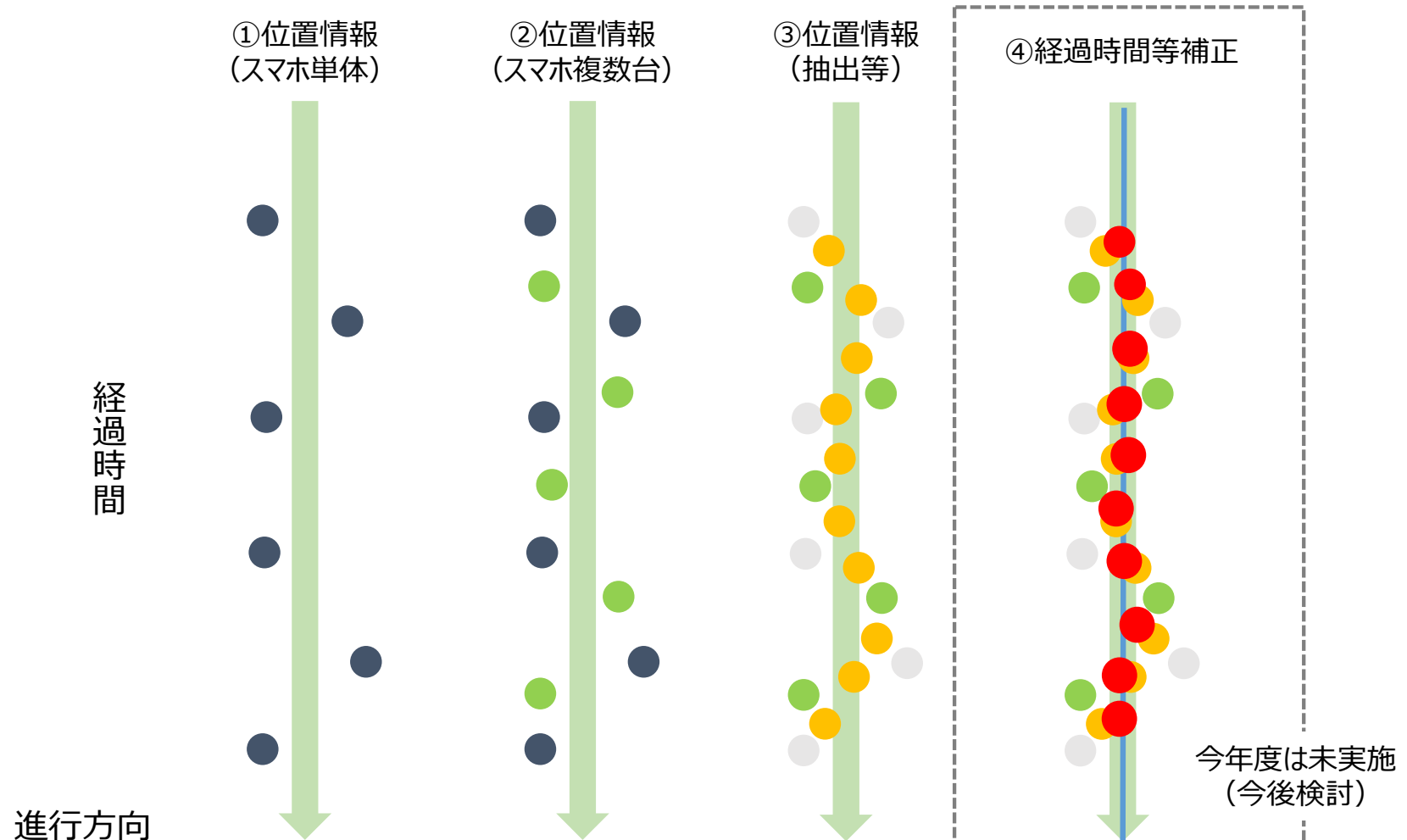
Ⅲ. 実証システムの設計・開発

1. 実証システムの概要

1.3 位置精度向上の考え方

走行速度・処理速度による精度GAP補正の考え方（詳細）

- ・実験車両は19km/hで進むため、VPS（スマホ）が1秒に1回取得する位置情報（①）は約5m間隔となり、精度GAPの要因となる。
- ・そこで、複数台のVPS（スマホ）を使用することで、位置情報取得の頻度を高め、精度向上を図る（②）。
- ・さらに、複数取得した位置情報に抽出等の処理を行うことで、精度揺れを収束させる（③）。
- ・最後に、各VPSが取得した位置情報の時刻同期、異常値除外等の処理を行うことで最終的な補正処理とする（④）。※今年度未実施。

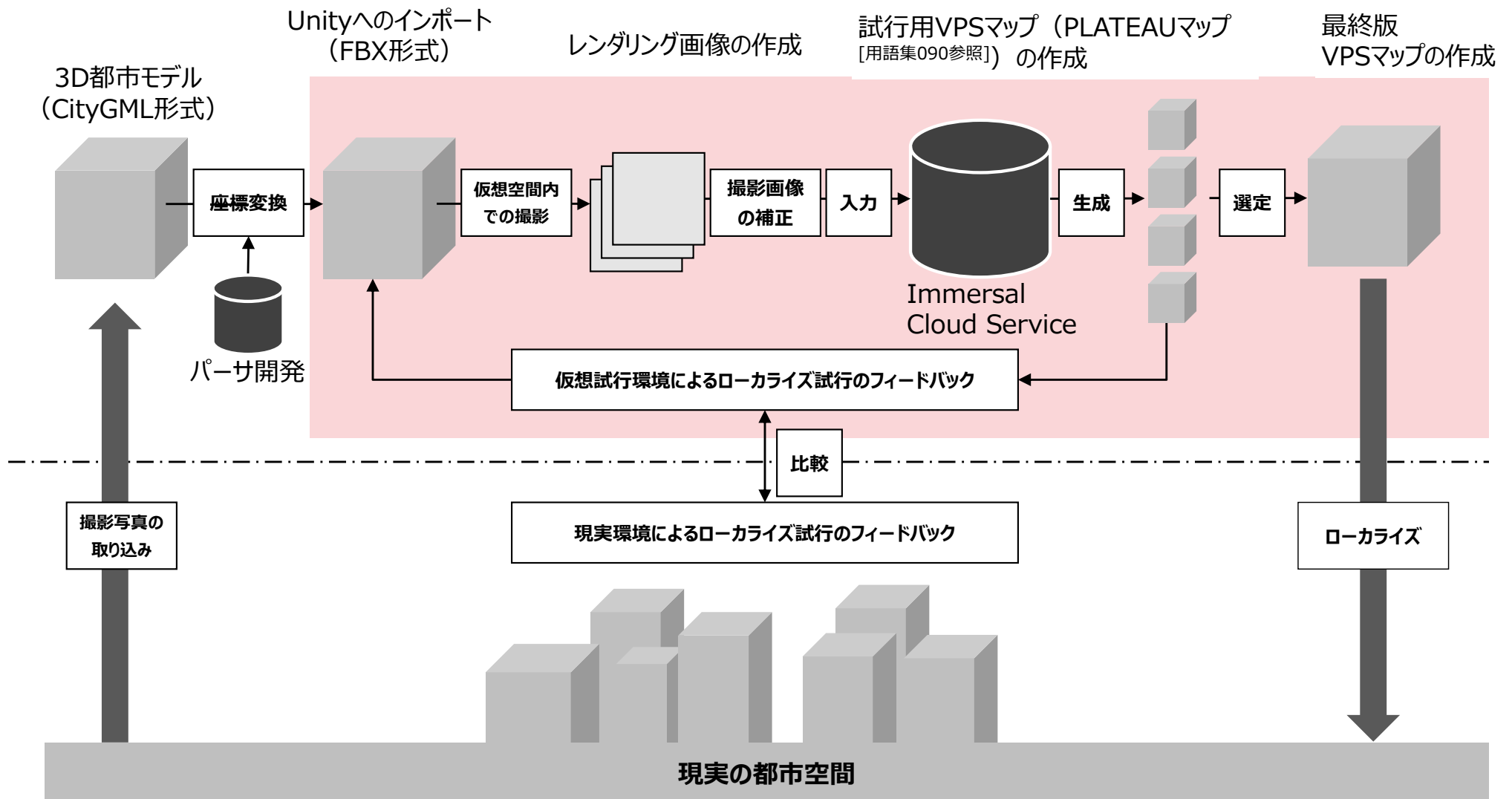


Ⅲ. 実証システムの設計・開発

2. システムの仕様

2.1 システム構成と開発フロー

- 今回の実証では下図のフローでシステム開発を行った。



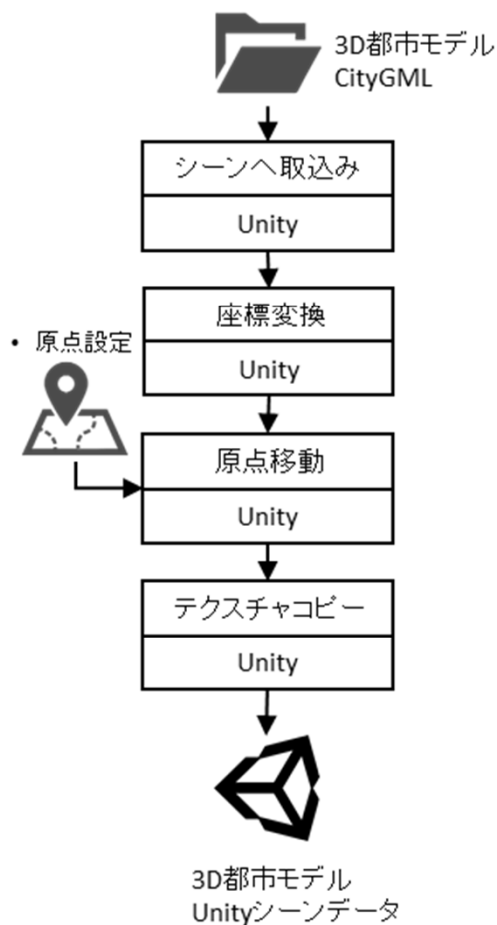
Ⅲ. 実証システムの設計・開発

2. システムの仕様

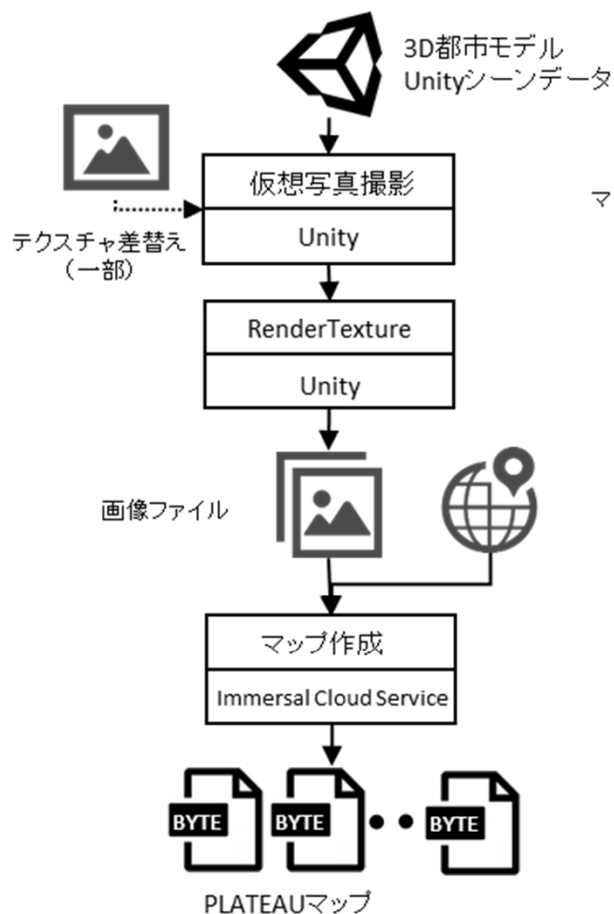
2.2 システム・アーキテクチャ

- 今回の実証で開発したシステムのアーキテクチャの俯瞰図は下図のとおり。次ページ以降で詳細を示す。

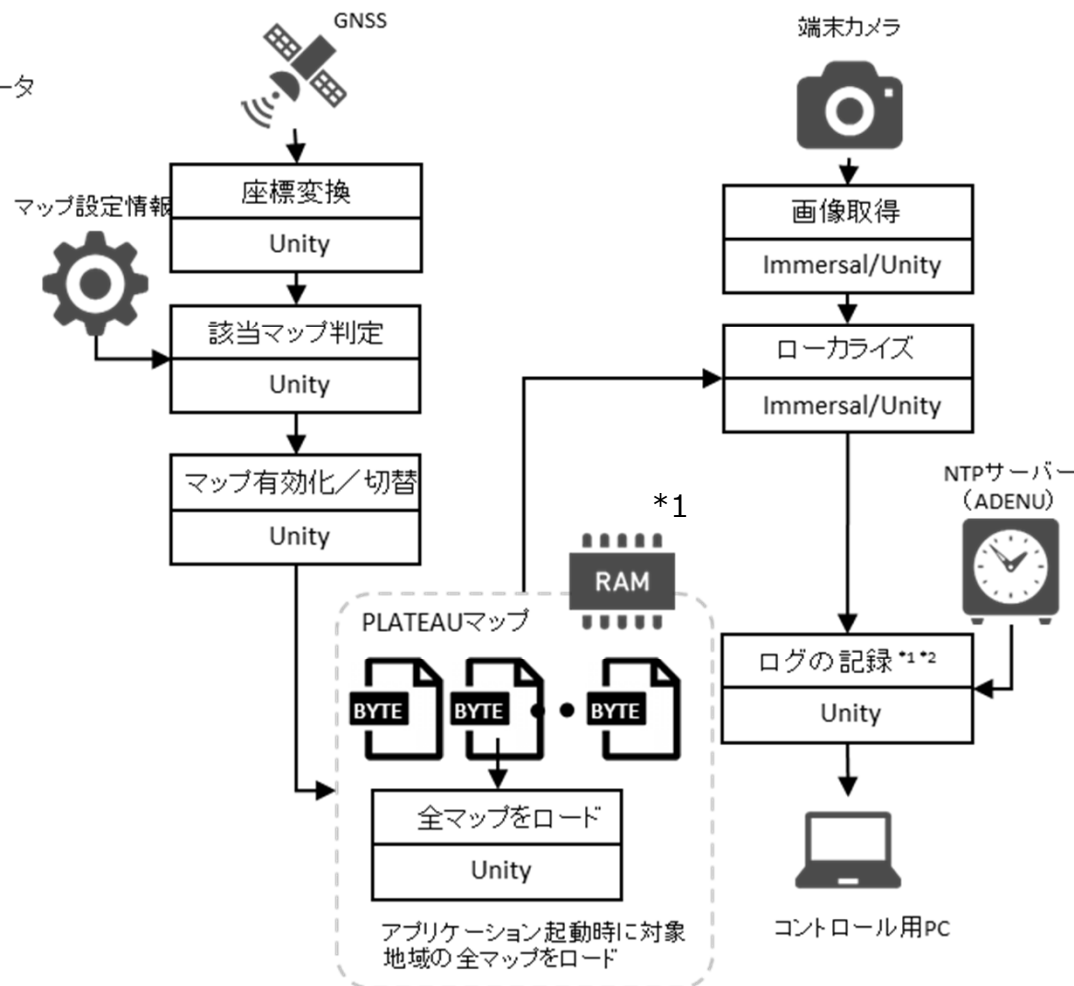
■ 3D都市モデルのUnityへの取込み



■ PLATEAUマップ作成



■ VPSによるローカライズ



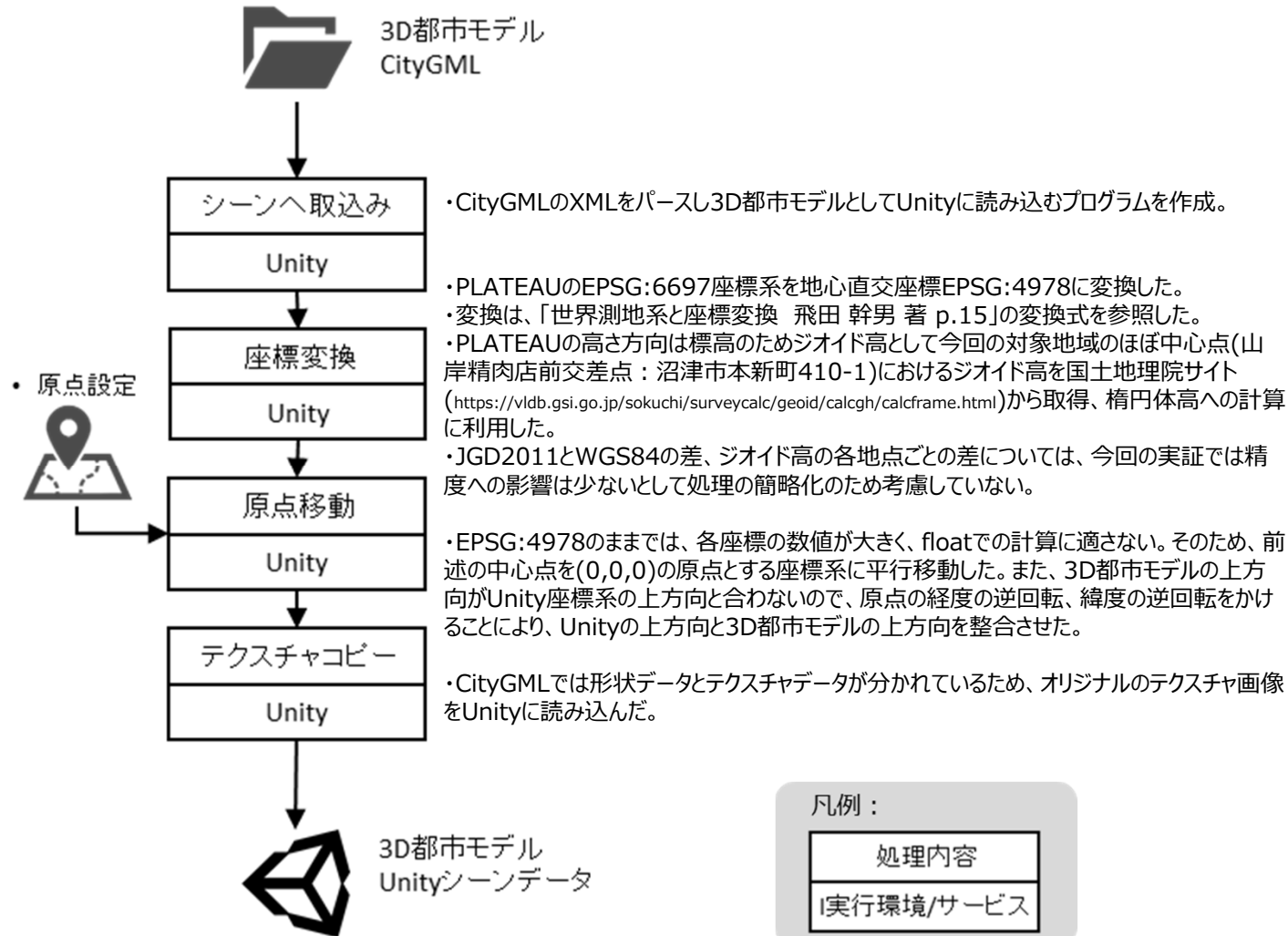
*1 RAM [用語集110参照]

Ⅲ. 実証システムの設計・開発

2. システムの仕様

- 今回の実証で構築・運用したシステムアーキテクチャの詳細は以降記載のとおり。

2.3 3D都市モデルのUnityへの取り込み

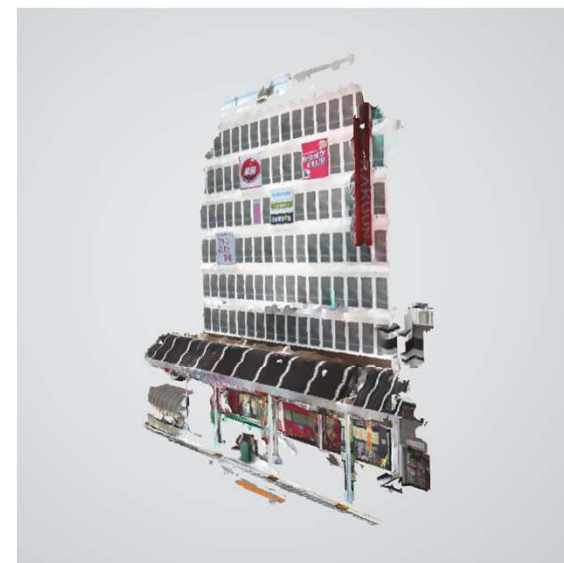
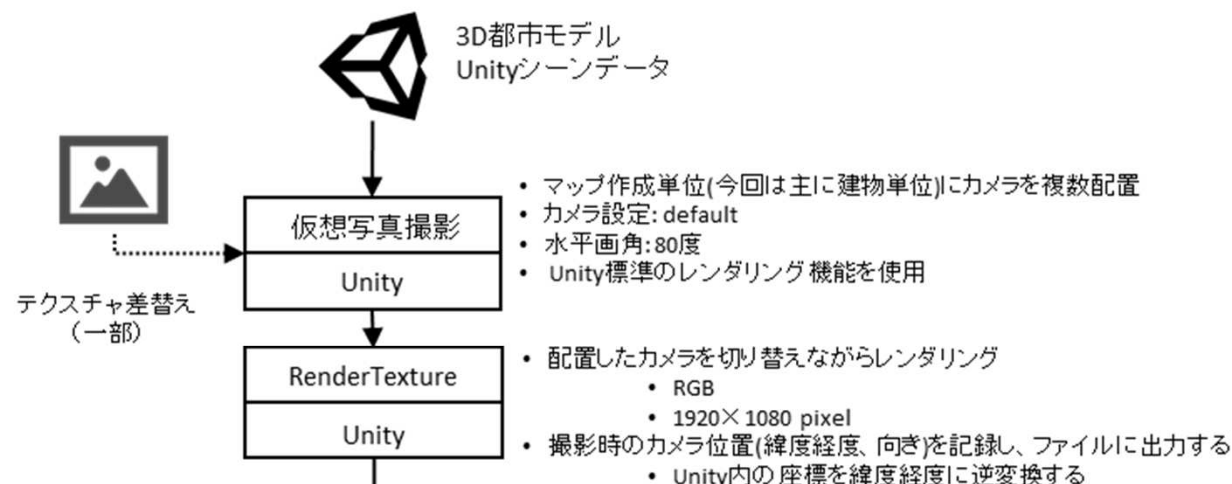


Unityシーンデータに取り込まれた3D都市モデル

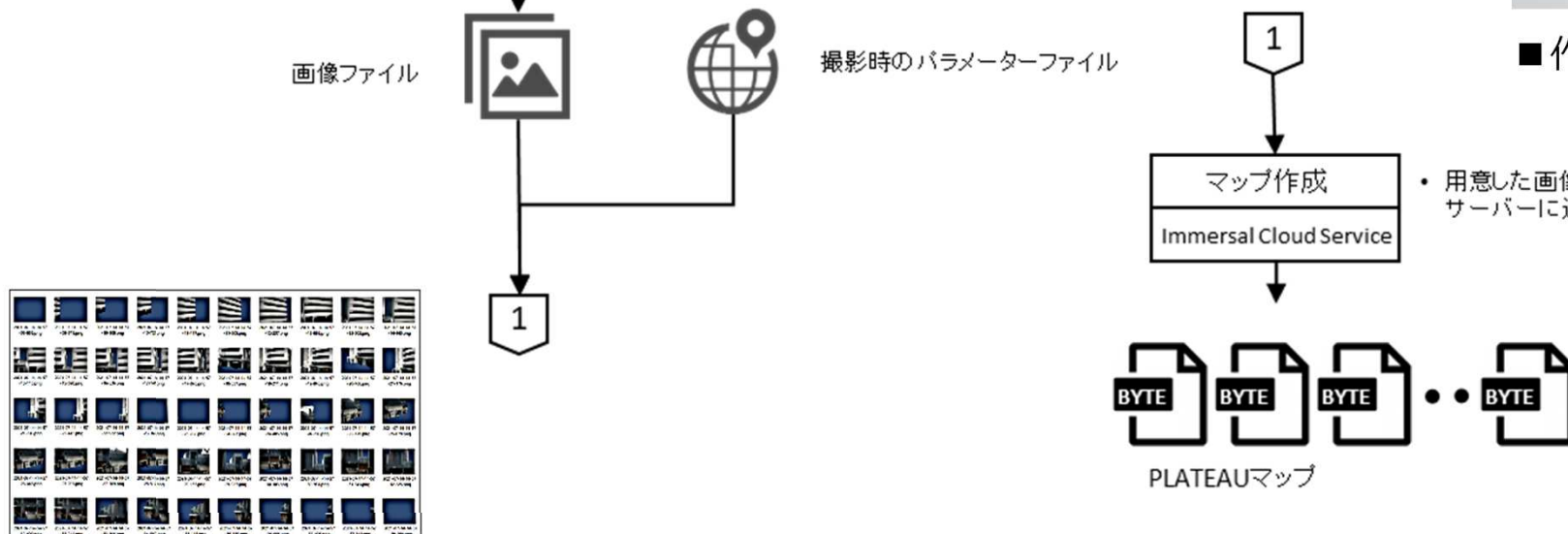
Ⅲ. 実証システムの設計・開発

2. システムの仕様

2.4 PLATEAUマップ作成



■ 作成されたPLATEAUマップの例

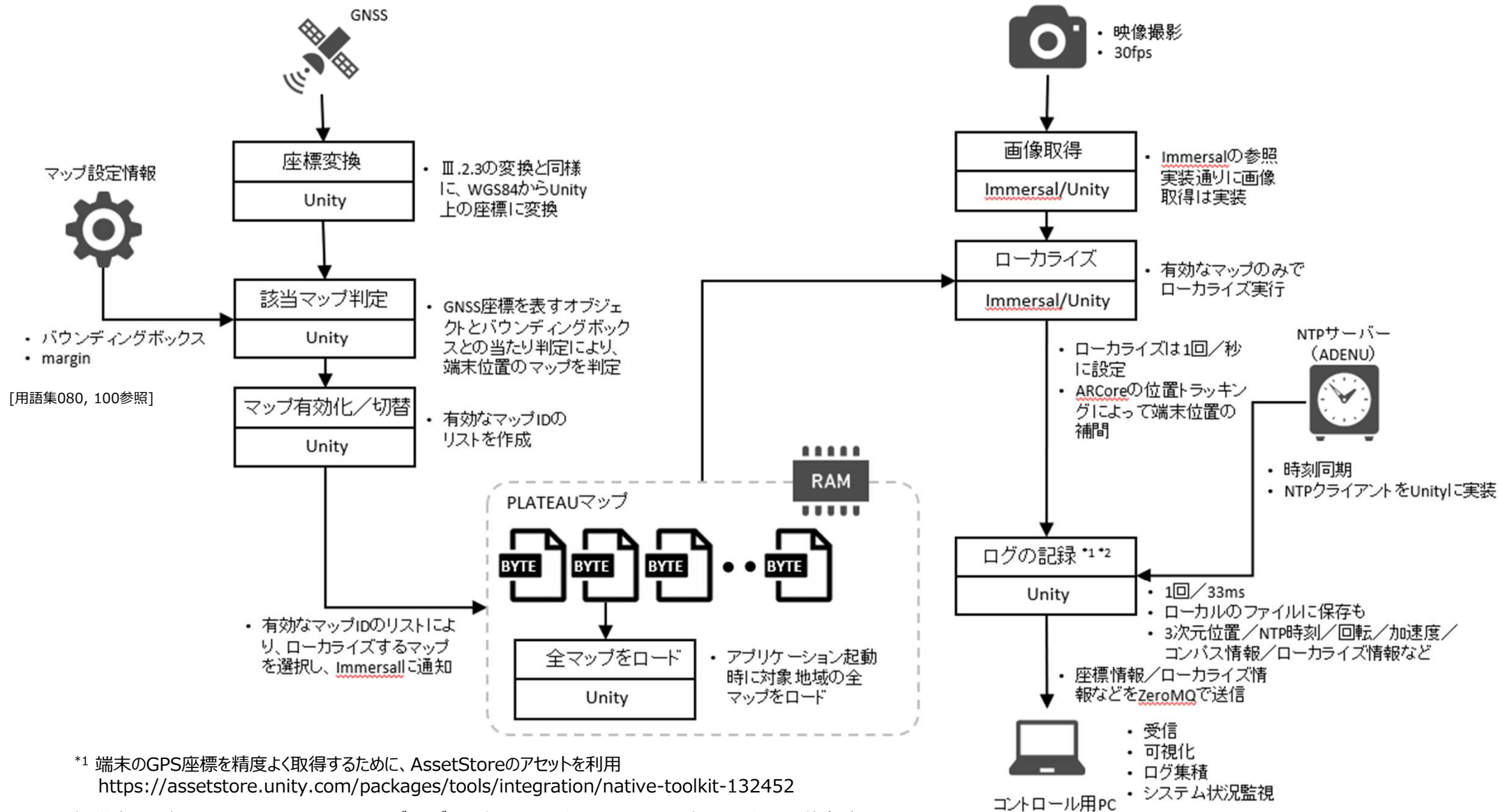


■ RenderTextureで作成した画像データ群の例

Ⅲ. 実証システムの設計・開発

2. システムの仕様

2.5 VPSによるローカライズ



*1 端末のGPS座標を精度よく取得するために、AssetStoreのアセットを利用
<https://assetstore.unity.com/packages/tools/integration/native-toolkit-132452>

*2 端末間通信のためにZeroMQメッセージングライブラリを組み込み利用ZeroMQを通信層に利用した独自バイナリプロトコル。ZeroMQのZPub/ZSubの機能を利用し端末から集約とビューワーアプリにブロードキャストを実施

Ⅲ. 実証システムの設計・開発

2. システムの仕様

【参考】今回の実証で使用したImmersal*¹アプリケーション等の概要

*1 Immersal : Immersalリアルマップ^[用語集040参照]の作成とVisual Positioning Solutionを提供するサービス。
 開発・提供はフィンランドのImmersal社。次に示す要素で構成される。

構成要素	詳細
アプリケーション (Immersal Mapper ^[用語集030参照])	Immersalリアルマップ作成のための画像撮影、クラウドサービスへのアップロード、ローカライズ試行が可能
クラウドサービス (Immersal Cloud Service)	- アプリで撮影した画像やSDKを通してクラウドサービスにアップロードされた画像からImmersalリアルマップ（点群、メッシュデータ）を作成する - 下記SDKで開発したアプリを使用してクラウドサービスへスマホやARデバイスで撮影したカメラ映像を送信すると映像とImmersalリアルマップを照合し、ローカライズ試行が可能
開発者ポータル	画像から作成したImmersalリアルマップの確認、共有、SDKのダウンロードが可能
SDK	Immersalマップを使用するアプリケーションを構築するためのソフトウェア開発キットの提供

今回の実証ではSDKを利用して独自のソフトを開発し、Unityで撮影した写真をAPI経由でクラウドサービスにアップロードしてPLATEAUマップを作成した。

Ⅲ. 実証システムの設計・開発

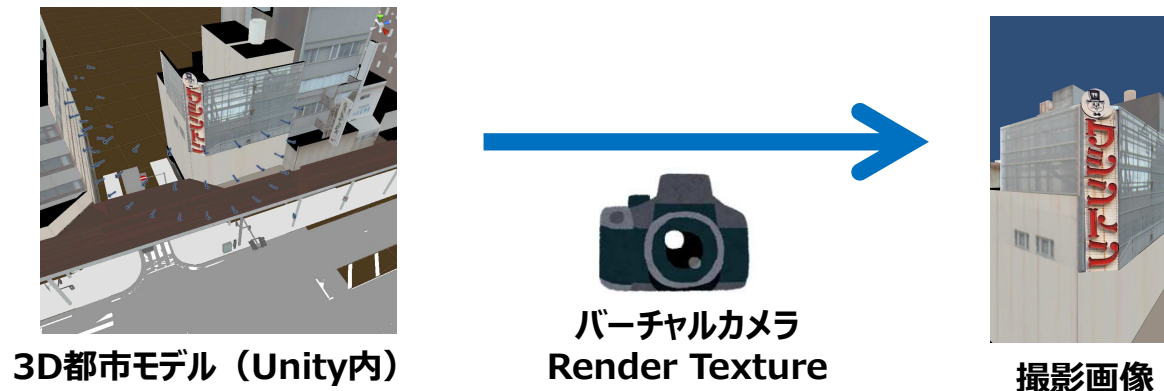
3. PLATEAUマップの作成方法

3.1 Unity内での写真撮影

- Unityに取り込んだ3D都市モデルデータをバーチャルカメラ（UnityのRender Texture*¹を使用）にて撮影する（多視点で3Dレンダリングした画像を生成）。カメラの撮影条件は下表のとおり。
- 撮影した写真をImmersal Cloud Serviceにアップロードし、VPSに利用する三次元マップ（PLATEAUマップ）の生成を行う。

カメラの撮影条件

項目	設定条件
カメラの基本設定	Unityで定義しているデフォルト値
レンダリング画像	RGB, 縦横1920×1080ピクセル
水平画角	80度
撮影アングル／枚数	試行の結果に基づき建物ごとに調整し設定を行う



*1 Render Texture/Unity
<https://docs.unity3d.com/ja/2018.4/Manual/class-RenderTexture.html>

Ⅲ. 実証システムの設計・開発

3. PLATEAUマップの作成方法

3.2 撮影画像の補正

- バーチャルカメラで撮影した画像データに対し、Image Magicを用いて画像補正を実施した。
- 画像補正に用いるパラメータは下表に示すとおり。
- また、Image Magicのバッチ処理用のインターフェースを用いて、画像補正の自動処理をシステムに組み込む。

Image Magicの画像補正パラメータ

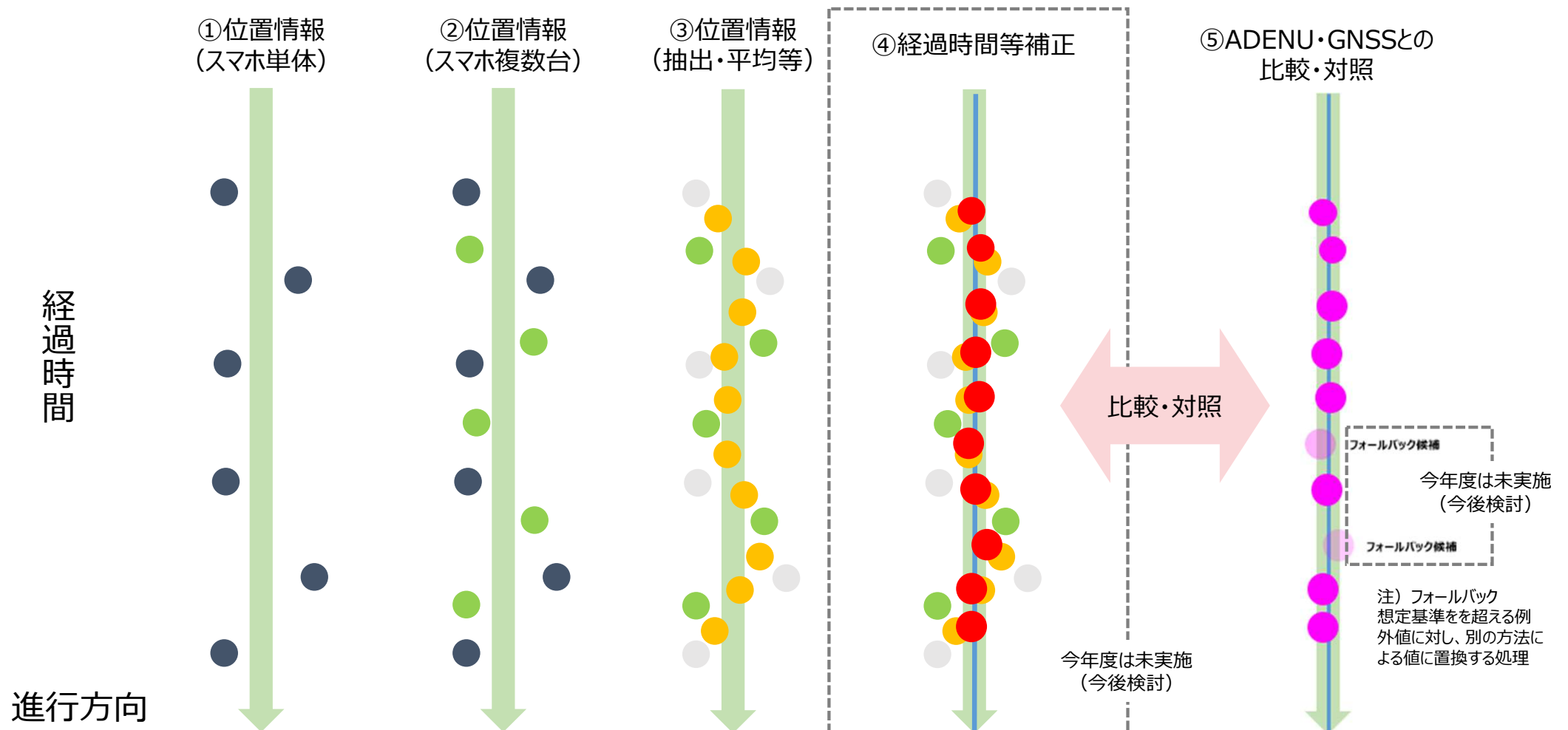
項目		設定値
明度	-module	Image Magicで定義するデフォルト値
シャープネス	-sharpen	10×5 (radius=10, sigma=5) • radius: シャープネスの範囲 (ピクセル) • sigma: シャープネスの強度 (係数)
コントラスト	-normalize -contrast	Image Magicで定義するデフォルト値

Ⅲ. 実証システムの設計・開発

4. 技術検証の方法

VPSの位置精度検証の方法

- VPSにより取得された位置情報と現実空間の位置の差を位置精度と定義し、これを定量的に算出し評価することで本実証の技術検証とする。
- 「現実空間の位置」の取得の方法は複数存在するが、今回活用する実験車両に搭載されている自動運転システム（ADENU）が、MMS等により取得された高精度3次元点群データ及びLiDARにより取得した高精度3次元点群データを活用することにより、高精度な位置測位（誤差10cm程度）を実現していることを踏まえ、このデータを「現実空間の位置」と仮定し検証を行う。
- さらに、補足的にGNSSを用いた高精度測位サービスichimillから取得した位置情報（条件のよい状況下で最小誤差数cm程度）も「現実空間の位置」として検証に用いる。



- I. 実証概要
- II. 実証技術の概要
- III. 実証システムの設計・開発
- IV. 実証システムの検証**
- V. 成果と課題

IV.実証システムの検証

課題および解決策と検証内容（要約）

- 実証システム検証において見つかった課題および解決策とその検証結果は以下のとおり。

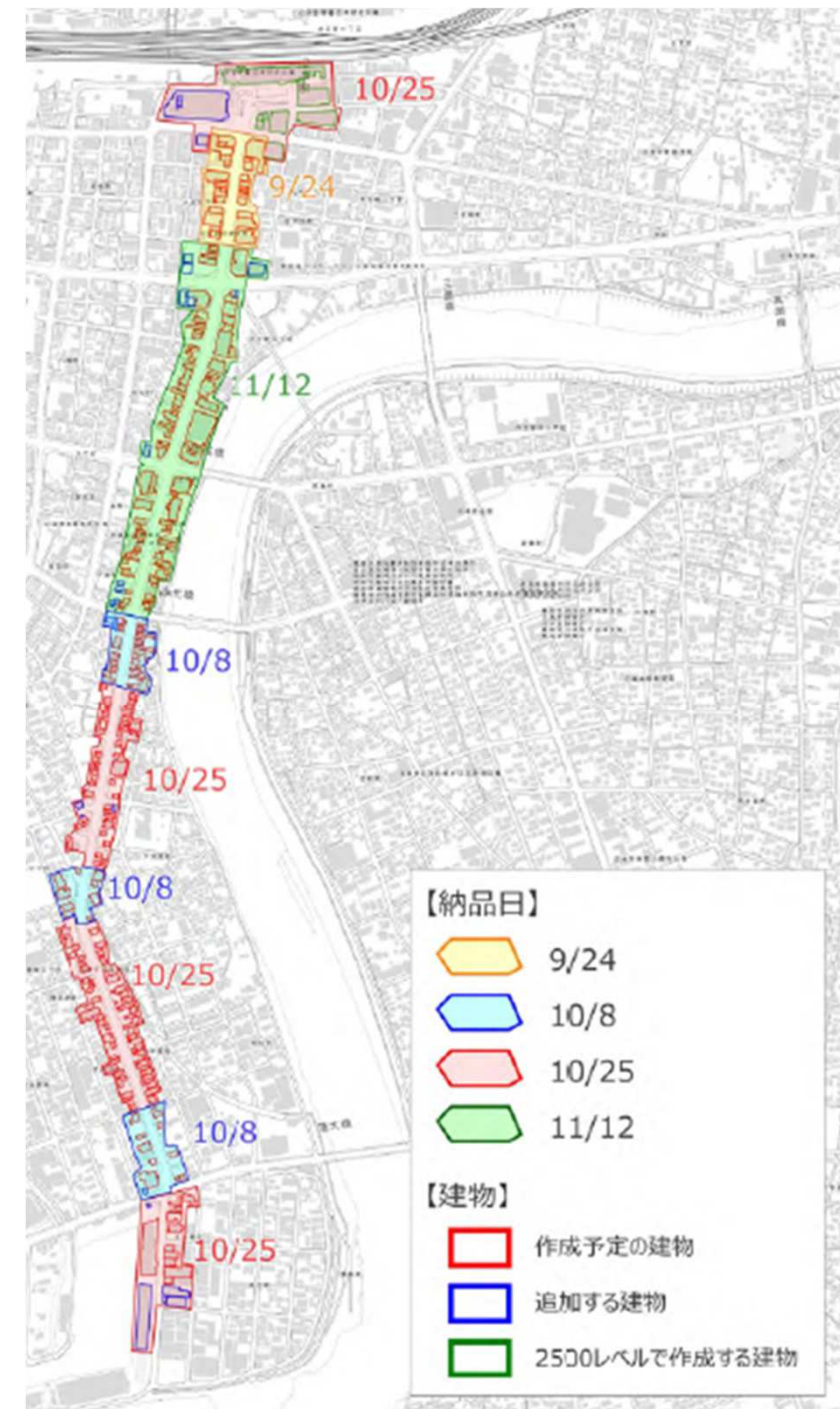
主課題	解決策	検証結果
PLATEAU マップのロー カライズ成功 数の向上	Immersalリアルマップによる基礎調査およびPLATEAUマップのローカライズ状況の要因分析	- 建物下部のシャッターや植栽による遮蔽等で、ローカライズへの影響が出る可能性があり、建物によっては上部を狙って撮影したほうが良い結果が得られやすい。 - 住宅地エリアではPLATEAUマップの作成が困難な建物が多かったがImmersalリアルマップでは約50%のマップがローカライズしており、明暗、形、線、エッジ、質感等の差が確認された。
	画像ソフトによるテクスチャ品質改善	明度、コントラスト、シャープネスの補正を行ったが、ローカライズの改善は見られなかった。
	ライティングソフトによるテクスチャの陰影処理追加	ライティング処理を施したほうが良い結果が得られる傾向にあるものの、建物によっては悪い結果になる場合があり、一律にはいかなことが判明。
	テクスチャを一部手持ちカメラで撮影した高コントラストの画像に差替え	看板や店舗ロゴ等の明暗、形、線、エッジの特徴が得やすい箇所は、高コントラストの害増に差替えることで、よい結果となった。
	バーチャルカメラ撮影条件の変更	- 道路の両端を360°同時に撮影したが、マップが作れず、片側ずつのほうがよい結果となった。 - 建物ごとに正面から扇型に視点移動を行い、撮影したほうが良い結果となった。 - 建物によっては、向かって縦方向に何段かに重ねて撮影するとよい結果となった。 - アーケードに遮蔽される建物はアーケードより上の部分だけを撮影したほうがよい結果が得られた。 - 建物に合わせて撮影条件を変えたほうがよい結果が得られたため、マップ作成は建物単位がよい。
VPSアプリ ケーションの 高速化	Ver1.0 Immersal公開サンプル通りに実装	全マップを同時に処理するため処理が高負荷となり遅延が発生し、1回のローカライズに5秒以上を要し、位置推定のチャンスロスが発生するとともに位置推定精度にも影響が出た。
	Ver1.5 スマートフォンのGPSによりマップをエリアごとに切り替えて実装	マップの有効／無効時の切り替え処理（主記憶メモリへのロードとリロード等）がまだ高負荷となり期待した結果には至らず（1回のローカライズに5秒程度要する）。
	Ver2.0 GPSの位置をもとに、より細かマップ制御を行うように実装	- マップはアプリケーション起動時にのみ主記憶メモリに読み込み、スマートフォンのGPSとアプリケーション内で設定したバウンディングボックス値とリージョン値に基づき、使用マップを細かく制御した結果、処理速度が大幅に改善し、1回/秒でローカライズ可能となった。 - なお、マップ有効／無効の切り替えは、より高速に行うためImmersalの低レベルAPIで実施。

IV.実証システムの検証

3D都市モデルデータ提供状況

- 本実証で使用する沼津駅前から沼津港までのLOD3の3D都市モデルデータについては、システム実証業務と並行してデータ整備業務を実施していたため、右図のとおり、順次データ提供を受け、検証・活用するプロセスをとった。
- 提供された3D都市モデルデータは地図情報レベル500のLOD3データと地図情報レベル2500のLOD3の2種類であった。

地図情報レベル 500	水平及び垂直位置の標準偏差が0.25m 以内の位置正確度を持つデータ
地図情報レベル 2500	水平位置の標準偏差1.75m以内、垂直 位置の標準偏差0.66m以内の位置正 確度を持つデータ



LOD3データ提供スケジュール

IV.実証システムの検証

1. 事前検証

1.1 マップ作成機能の検討

- 事前検証の第一段階としてマップ作成機能の検討・検証を行った。実施概要は以下のとおり。
- 活用するLOD3データについては、実証エリア全体の整備に先立ち、一部のエリア（駅前周辺）を対象に試行的に整備したプロトタイプデータを用いて検討を行った。

検証目的 LOD3データ読み込み及びマップ作成機能の検討

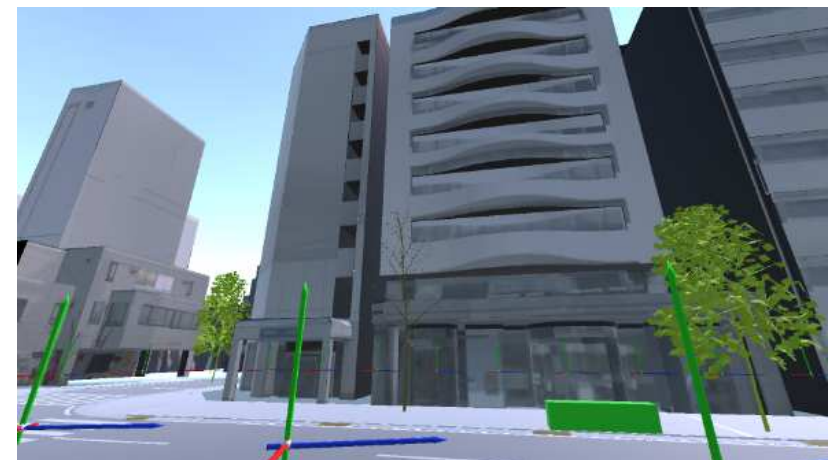
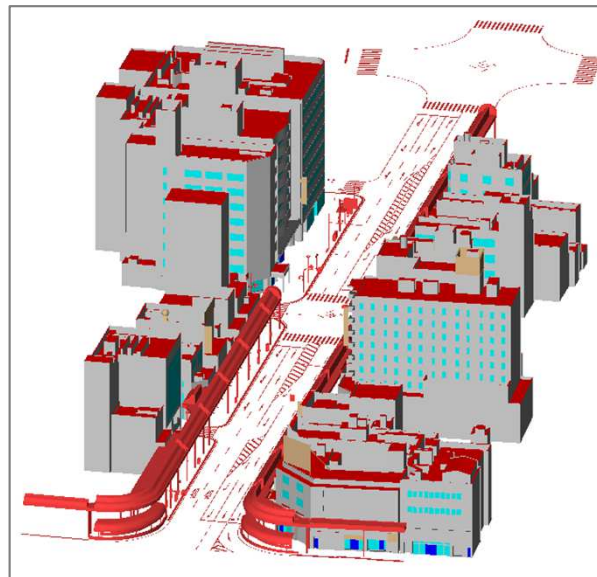
検証時期 2021年8月9日(月)～20日(金)

対象エリア 沼津駅前200m程度（8/18版プロトタイプデータ）

- 検証内容**
- プロトタイプデータによるUnity読み込み機能の確認
 - バーチャルカメラ撮影機能の構築及びPLATEAUマップ作成のテスト



8/18版LOD3プロトタイプ（沼津駅から200m程度の範囲）



Unityへ読み込んだLOD3データのイメージ

IV.実証システムの検証

1. 事前検証

1.2 現地動作確認①

- 続いて8/18版のプロトタイプデータを用い、現地での動作確認を行った。実施内容および結果の概要は以下のとおり。

検証目的	8/18版LOD3プロトタイプデータを用いた現地での動作確認（第1回）		
検証時期	2021年8月25日(水)～27日(金)	気象	晴れ、気温33℃
対象エリア	沼津駅前200m（プロトタイプデータ）／8/18版LOD3		
検証内容	● PLATEAUマップとImmersalリアルマップによる自己位置推定精度の検証 ● 参考用のGNSS位置情報取得のテスト ● 車両走行時のローカライズの確認		

実施項目と結果

対象	結果
LOD3から作成したPLATEAUマップの検証	ほぼローカライズしない（1箇所のみローカライズした）
Immersal Mapperで作成したリアルマップの検証	8/25に撮影したバージョンではローカライズせず、8/27に条件を変えて作成したバージョンで50%以上ローカライズするようになった。
GNSSによる位置情報取得（参考）	建物に乱反射したためか、持参した受信機でうまく位置情報を取得できなかった。
車両走行時のローカライズの検証	8/27版Immersalリアルマップにより、走行時にも静止時とほぼ同等のローカライズを確認した。

IV.実証システムの検証

1. 事前検証

1.2 現地動作確認①

- 現地動作確認の実施要領は以下のとおり。

現地動作確認の実施要領

- LOD3データをUnityにインポートし、多視点にて3Dレンダリングした画像を、ImmersalのREST APIに送信し、仮想的に作成した空間での自己位置推定用マップを作成（PLATEAUマップ）。
- また、現地でImmersalの標準マッピングアプリ（Immersal Mapper）を用い、実写からマップを作成（Immersalリアルマップ）。
- PLATEAUマップとImmersalリアルマップとを、各々スマートフォン用検証アプリに組み込み、現地で両マップを切り替えて自己位置推定の座標を記録。
- 同時に、GNSS（ichimill）からの座標値データも別途PCに記録。
- VPSとGNSSとの比較を行うため、GNSSアンテナと検証用端末との位置関係が変わらないよう固定する。また、GNSSで取得した座標値は、VPSの座標値と比較できる数値に変換を行う。

IV.実証システムの検証

1. 事前検証

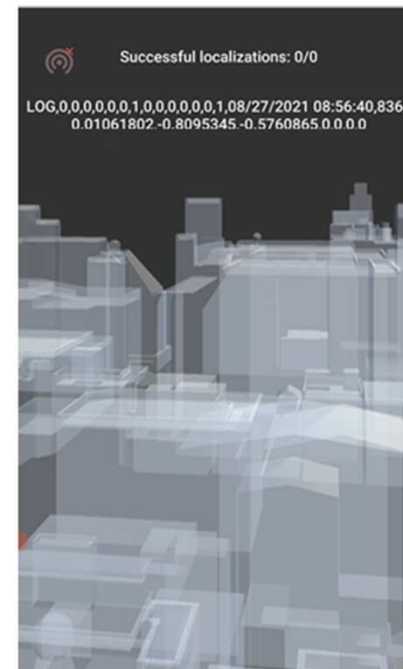
1.2 現地動作確認①

1.2.1 動作確認用アプリの制作

- ・ 現地動作確認のためのアプリを制作・活用した。動作確認用アプリの概要は以下のとおり。

動作確認用アプリの概要

- 動作確認用アプリを制作し、LOD3プロトタイプデータで作成したPLATEAUマップのローカライズ動作を確認した。
- 動作確認用アプリでは、作成したマップとUnityの座標系に基づいて自己位置を推定するとともに、ローカライズ結果に応じ、画面に実際の街並みと3D都市モデルを重畳させて確認できるようにした。
- このアプリでの位置情報は、Unityの座標系の1.0を1メートルとして扱い、三次元位置、回転、端末の時刻、端末のセンサーによる加速度、コンパス情報を、各点ごと（1フレームごと）に記録するようにした。
- PLATEAUマップのローカライズで入力データとなるスマートフォンの映像のフレームレートは30fpsで、この1フレーム単位に位置情報を記録する。



ローカライズ成功数および推定された自己位置を表示

ローカライズ結果に応じて、実際の街並みと3D都市モデルを重畳させて表示

検証アプリの画面例

IV.実証システムの検証

1. 事前検証

1.2 現地動作確認①

1.2.2 座標変換

- 動作確認用アプリで記録した座標値データについて、比較を行えるよう変換した。

座標変換の概要

- PLATEAUマップは、Ⅲ.2.3の計算方法により、Unity上の座標に変換された3D都市モデルと手動で位置あわせする。
- Immersalリアルマップは、端末のGNSSを用いて地理座標への変換が可能だが、精度が非常に悪くなる傾向があるため、PLATEAUマップと同様に3D都市モデルと手動で位置合わせを行う。
- 以上により、各マップでローカライズされた座標値は、CityGMLデータの座標を基としたUnity上の座標として統一された座標系に変換される。
- 動作確認用のアプリで記録する座標値は、これらのUnity上の座標を記録している。

IV.実証システムの検証

1. 事前検証

1.2 現地動作確認①

1.2.3 GNSSによる位置情報取得

- VPSによる自己位置推定の精度検証の参考情報として、GNSSにより位置情報を取得した。

GNSSによる位置情報の変換の概要

- 位置補正情報取得にはSoftbank社のRTK-GNSSサービス「ichimill」を、端末はichimill標準端末を用いた。
- RTK-GNSS端末からNMEAにより取得した座標はWGS84測地系に基づく地理座標であり、Ⅲ.2.3と同様の変換方法によりUnity上の座標に変換する。
- これにより、Immersalで取得した座標とGNSSの座標をUnity上の座標同士で比較することができる。



GNSSによる位置情報取得装置

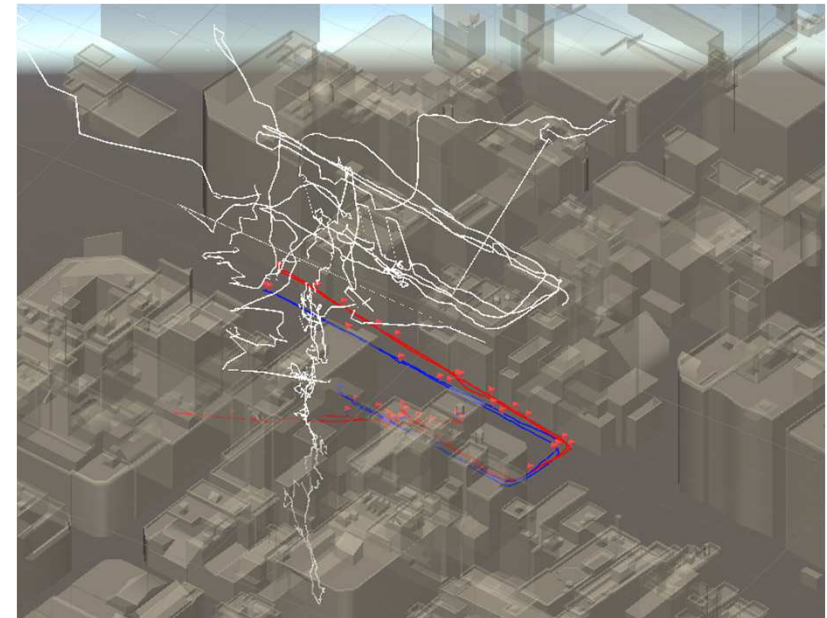
IV.実証システムの検証

1. 事前検証

1.2 現地動作確認①

1.2.4 自己位置推定データの比較・検証

- PLATEAUマップ、Immersalリアルマップ、GNSSにより取得した自己位置推定データについて比較・検証を行った。
- なお、GNSSは建物の影響による電波干渉等で、正常な取得ができなかった。GNSS受信機の設定等で改善を行う必要を確認した。



■ PLATEAUマップ ■ Immersalリアルマップ □ GNSS

PLATEAUマップ／Immersalリアルマップ／GNSSの各軌跡のプロット

(2021/8/25 18:00頃の実施結果)

IV.実証システムの検証

1. 事前検証

1.2 現地動作確認①

1.2.4 自己位置推定データの比較・検証

PLATEAUマップ°

- PLATEAUマップでの自己位置推定結果では、ローカライズの成功地点が少なく、初期に大きくずれていることがわかる。
- しかし、ローカライズ成功後は、ほぼ正しい自己位置推定ができていることが確認できる。



PLATEAUマップによる自己位置推定の結果

▲ ローカライズ成功
▲ ローカライズ失敗

IV.実証システムの検証

1. 事前検証

1.2 現地動作確認①

1.2.4 自己位置推定データの比較・検証

Immersalリアルマップ°

- Immersalリアルマップによる自己位置推定では、ローカライズ成功地点が2地点あり、PLATEAUマップよりローカライズ成功数が多く、回転なども含め、より正確な位置取得ができている。



Immersalリアルマップによる自己位置推定の結果

▲ ローカライズ成功
▲ ローカライズ失敗

IV.実証システムの検証

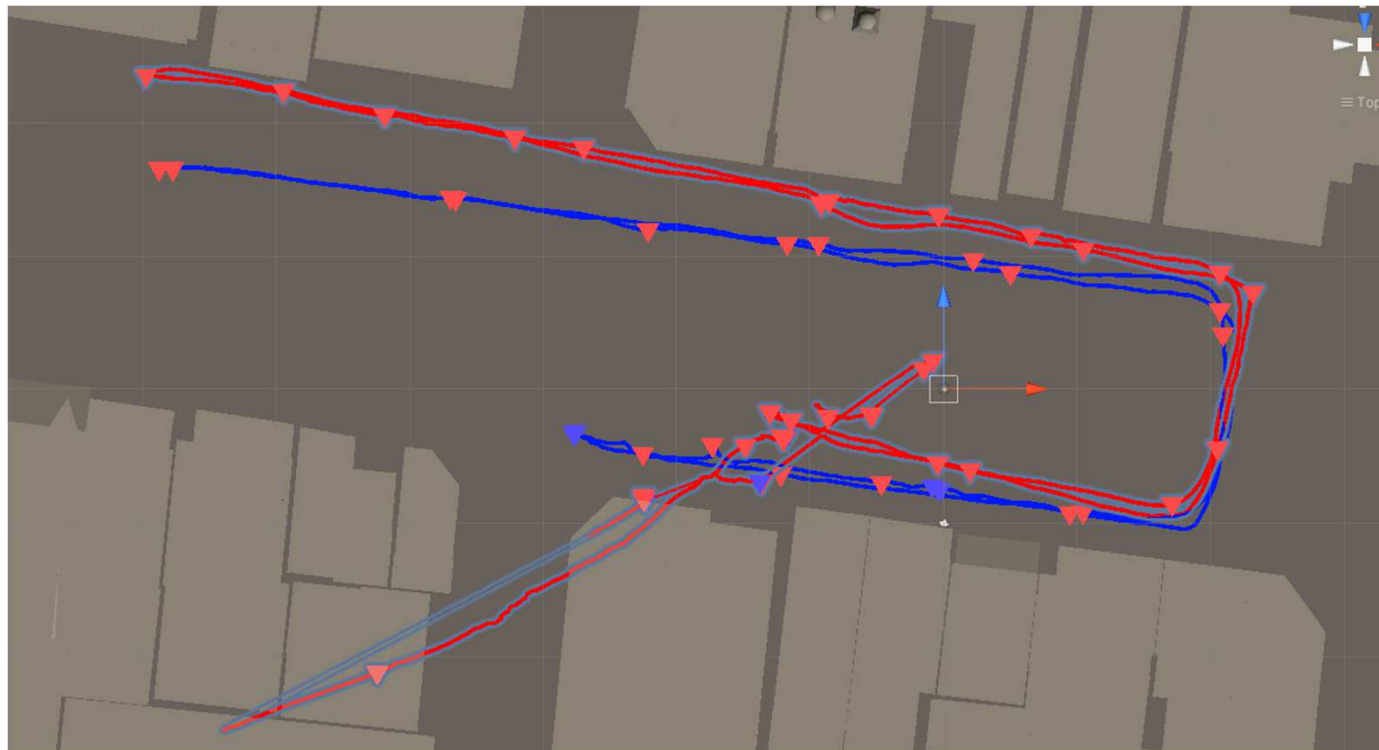
1. 事前検証

1.2 現地動作確認①

1.2.4 自己位置推定データの比較・検証

PLATEAUマップとImmersalリアルマップとの比較

- 今回の検証では、GNSS座標を比較のベースとして使える状態で取得できなかったため、定量的な比較はできなかったものの、PLATEAUマップとImmersalリアルマップを比較すると、Immersalリアルマップのほうが、全体的に被験者の移動（舗道から反対側の歩道へ徒歩で移動）に即した妥当な座標情報が取得できている傾向が見られた。



PLATEAUマップとImmersalリアルマップとの比較

■ PLATEAUマップ
■ Immersalリアルマップ

IV.実証システムの検証

1. 事前検証

1.2 現地動作確認①

1.2.5 ローカライズ成功因子の検討

ローカライズ成功因子の検討

成功因子	考察
ローカライズ成功の偏り	● 現地で初日に撮影して作成したImmersalリアルマップでは、商店街の片方しかローカライズが成功しなかった。この件について、マップ作成時にシャッターが降りていたのが要因ではないかと仮説を立て、2日目にあらためて店が開いている時間帯にマップを作成して試行したところ劇的な改善が見られた。 ● さらに、マップ作成時に建物の上部も入るように作成したことも改善した要因だと考えられる。 ● 今回のPLATEAUマップのローカライズ成功ポイントが1箇所のみで、分析しうるサンプル数が少ないため、Immersalリアルマップでの分析をPLATEAUマップの改善ポイントとして検討を行う。
植栽の影響	● Immersalリアルマップの点群を見ると、植栽部分にも多くの点が存在し、類似特徴点による攪乱が大きいと考えられるため、対応を検討する必要がある。



シャッターが降りている店舗

IV.実証システムの検証

1. 事前検証

1.2 現地動作確認①

1.2.6 車両走行時のローカライズ状況確認

- 車両走行時におけるVPS性能の確認のため、実際に走行する車両からのローカライズの状況を確認した。
- 活用するマップとしては、今回の現地動作確認の1日目から2日目にかけてローカライズ状況が改善したImmersalリアルマップを抽出・活用した。
- これにより、実際の走行車両からも半分以上の確率でローカライズに成功することを確認できた。



走行車両からの重畳イメージ

IV.実証システムの検証

1. 事前検証

1.2 現地動作確認①

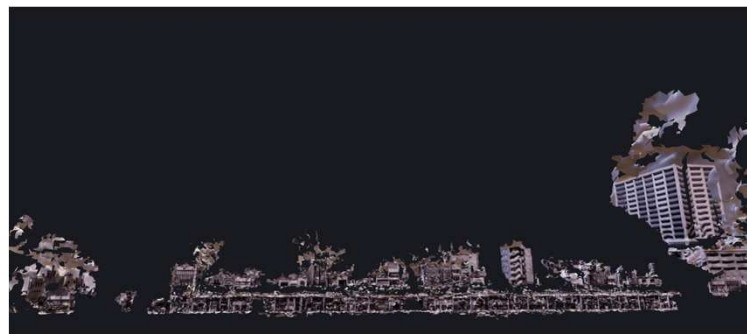
1.2.7 確認結果と課題整理

- 初回の現地動作確認で確認できた課題を整理すると以下のとおり。

項目	検討課題
PLATEAUマップ	今回の現地確認では、1箇所しかローカライズしなかったため、他の箇所でもローカライズができるよう、成功した箇所の要因分析を行い、撮影方法やテクスチャの改善に活かしていく。
Immersalリアルマップとの差の縮小	- マップ作成時の撮影画像の品質改善方策として、コントラスト、シャープネス等の画像処理の検討およびカメラ位置の最適ポジションの精査などを行う。 - 現地に行かなくても、おおよそのローカライズ確認が可能な仮想的な仕組みを構築し、試行数を増やせるようにする（例えば、現地で撮った画像をもとに、自動的にローカライズの試行ができる仕組み、設定パラメータを変えて最適なPLATEAUマップ作成条件を探ることができる仕組み等）
比較検証のためのGNSSの検討	今回はGNSSの電波干渉が起こった可能性があり、高性能なGNSS受信機への変更や設定等で改善できないか検討を行う。



ローカライズが成功しないマップ



ローカライズが成功するマップ

ローカライズ成功の傾向

区分	傾向
成功しない	- 商店街から数メートル離れた道路側から撮影。 - 早朝で光量やコントラストが低い。 - 商店街の一階部分のみ撮影。
成功する	- 商店街の対面から撮影。 - 陽が高い光量が多い。 2階以上も撮影。

IV.実証システムの検証

1. 事前検証

1.3 現地動作確認②

- LOD3のプロトタイプデータ更新版が9/24に提供されたため、これを用い、現地での動作確認（第2回）を行った。実施内容および結果の概要は以下のとおり。

検証目的 9/24版LOD3プロトタイプを使った現地での動作確認（第2回）

検証時期 2021年10月4日(月) 13:00～17:00

気象 晴れ、気温25℃

対象エリア 沼津駅前200m（プロトタイプデータ）／9/24版LOD3

- 検証内容**
- 9/24版LOD3（航空写真をMMSに切替えたテクスチャ、袖看板等の不足地物追加）を用いたローカライズの確認
 - 画像処理を行ったテクスチャによるローカライズの確認

実施項目と結果

実施項目	結果
9/24版LOD3から作成した仮想マップ	ローカライズしない
9/24版LOD3のテクスチャに画像処理を行い作成した仮想マップ	ローカライズしない

（仮想マップ作成条件は、前回8/25-27のときと同様）

※上記以外にカメラで特徴箇所をねらって撮影し、仮想マップ作成を試みたところ、これまでの等間隔でカメラを配置したときより、**特徴点の認識が高い結果が得られた**。しかし、マップ作成はできたものの、三次元情報が不十分で、結果として現地でのローカライズの確認まで至らなかった。

IV.実証システムの検証

1. 事前検証

1.3 現地動作確認②

1.3.1 前回からの変更点

- 前回（8/18版LOD3による検証）と今回の現地動作確認（9/24版LOD3による検証）との相違は以下のとおり。

前回と今回の動作確認の相違

項目	前回（8/18版LOD3）	今回（9/24版LOD3）	今回（画像処理）
データレベル	プロトタイプデータ	同左	同左
対応エリア	駅前200m程度	同左	同左
テクスチャ	航空測量によるテクスチャ	MMSによる写真の追加および切り替え	テクスチャを画像処理
その他	—	データ未収録の看板等を追加	同左

IV.実証システムの検証

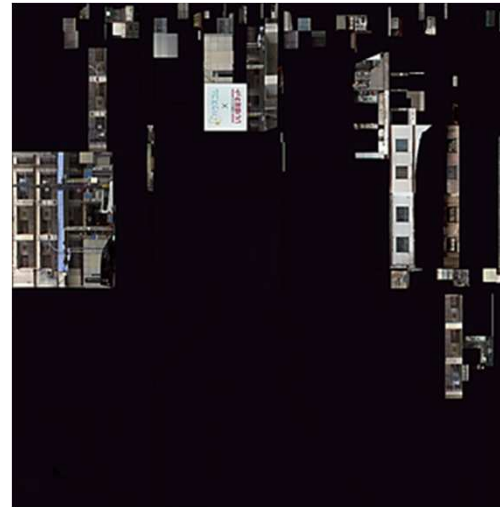
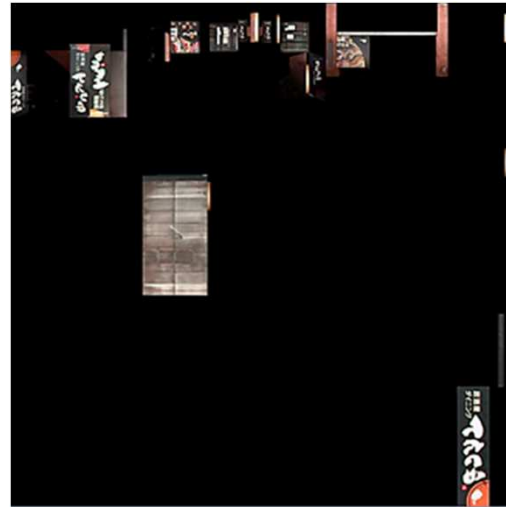
1. 事前検証

1.3 現地動作確認②

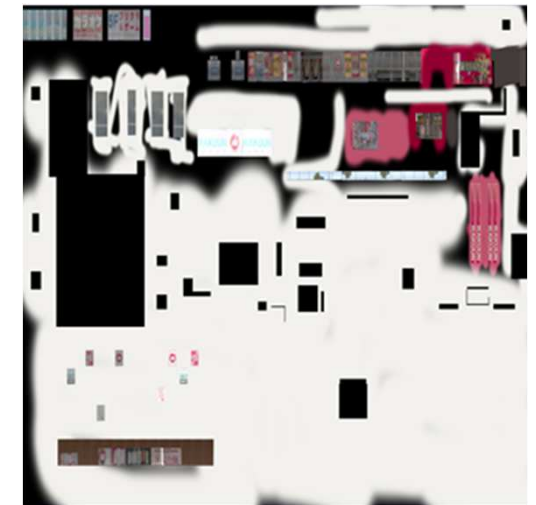
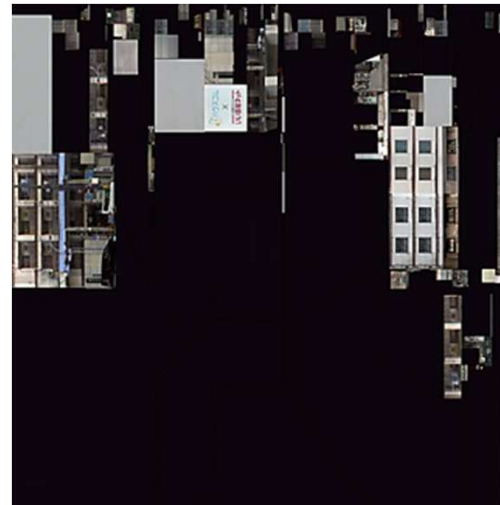
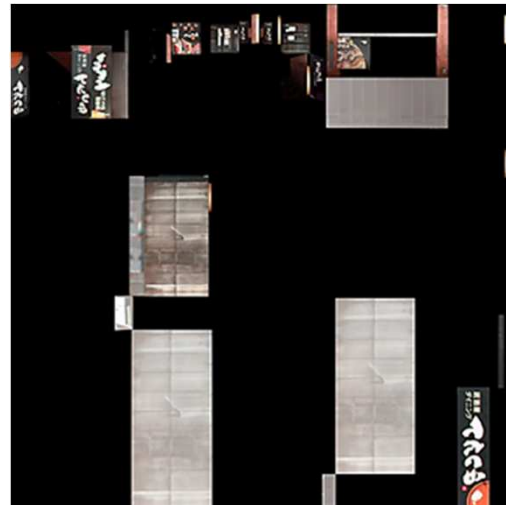
1.3.1 前回からの変更点

- 8/18版から9/24版への変更点として、MMSの取得画像を活用し、テクスチャ追加または切り替えた。

8/18版
テクスチャ例



9/24版
テクスチャ例



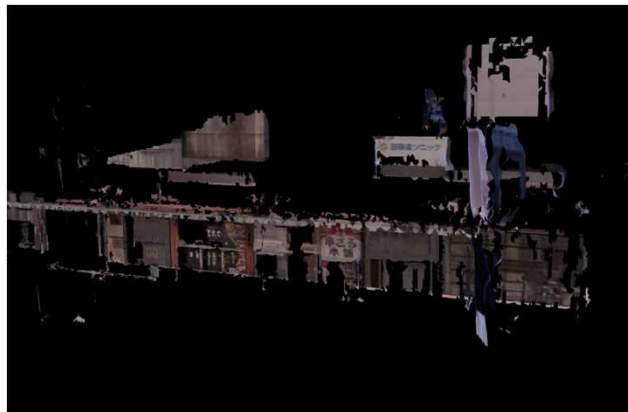
IV.実証システムの検証

1. 事前検証

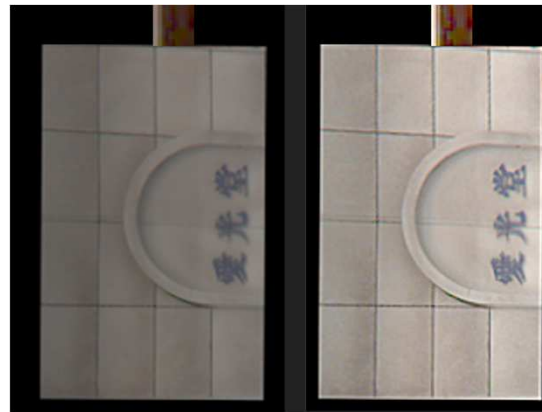
1.3 現地動作確認②

1.3.2 確認結果と課題整理

- 9/24版LOD3データをもとにPLATEAUマップ作成して試行を行ったがローカライズはうまくできなかった。テクスチャを航空測量からMMSへ切替えてもテクスチャの精度が十分でないと思われる。
- さらにテクスチャに対してImageMagicを用いてコントラスト補正（-normalize : デフォルト）、シェープ補正（-sharpen 10×5）を実施し、試行を行ったが、やはりうまくローカライズしなかった。
- PLATEAUマップ生成の範囲や撮影するカメラ位置などの見直しが必要と考えられる。
- 新しいGNSS受信機のテストを実施した。RTK測位にて対象地区で良好な結果が得られた。



9/24版LOD3版マップ



テクスチャの画像処理



新しいGNSS受信機

IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.4 ローカライズ精度向上の試行

- ・ 現地での動作確認（第1回および第2回）の成果・課題を踏まえつつ、VPSによるローカライズ精度向上のための試行を行った。実施概要は以下のとおり。

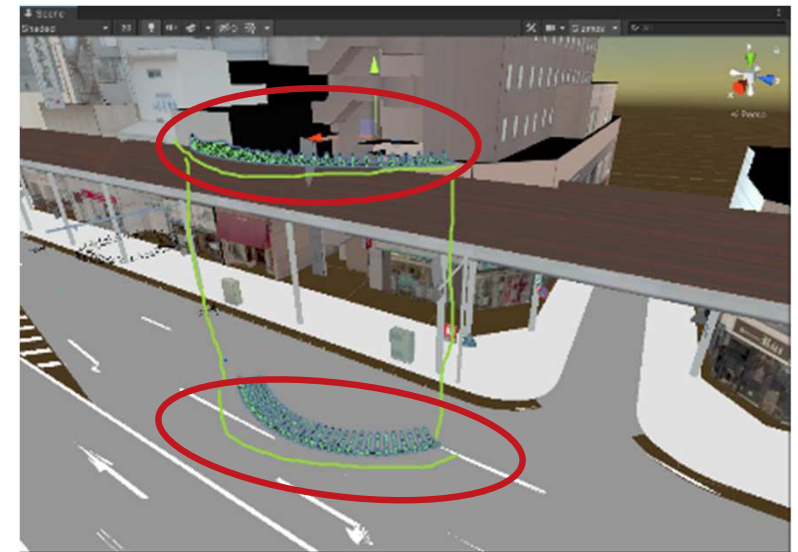
検証目的 ローカライズ精度向上に向けた試行

検証時期 2021年10月13日(水)～19日(火)

対象エリア 沼津駅前200m（プロトタイプデータ）／10/8版LOD3

検証内容

- PLATEAUマップ作成方法の改善
 - 建物ごとにカメラを扇形に配置してマップ作成を行ったほうがマップの作成率が高く、ローカライズ試行数が向上。
 - ・ いままでマップ作成できなかった箇所の作成を確認。
 - ・ 扇形配置を縦に複数段にすることで、下から上までマップ作成が可能。
 - 標識のマップ作成も確認。
- ローカライズ成功数の改善
 - プロトタイプデータのテクスチャを差替えることでローカライズ成功数が向上することを確認。



扇型配置を縦に複数段にした例

IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.4 ローカライズ精度向上の試行

1.4.1 PLATEAUマップ作成方法の改善

- カメラ撮影について、Immersal SDK (<https://immersal.gitbook.io/sdk/>) に記載されている方法にもとづき、道路を挟んで両側の建物を含め360°を一度にマップ化することを試みたが、Immersal上の三次元マップとしては片側しか作成されないことを確認した。おそらくデータの両側面が連続した画像としてうまく取得できていないためではないかと考えられる。
- 次に道路の片側ずつ建物のマップ作成を試行した結果、**片側ずつのほうがより広範囲に作成できる**ことを確認した。
- 次に片側ずつ作成したマップによりローカライズ検証を行った結果、下図のとおり、ローカライズする建物と、しない建物が混在する結果となった。
- この結果から今回のマップ作成では、一定区間で複数の建物を含んだマップ作成を行うより、**建物ごとにマップ化**してローカライズ精度向上を図るほうが効果的と考えられる。

ローカライズの傾向

建物（例）	結果
よしもと	ローカライズしない
野村証券	ローカライズしない
てんくう	ローカライズする
串ざる本舗	ローカライズする

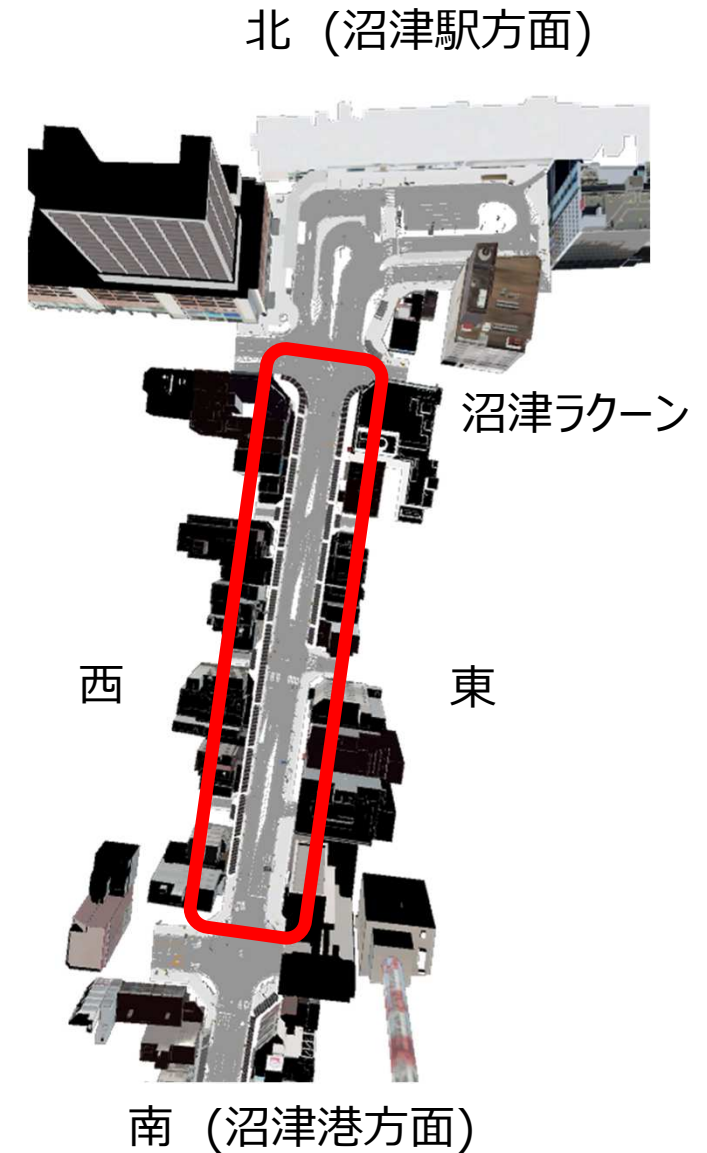
IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.4 ローカライズ精度向上の試行

1.4.1 PLATEAUマップ作成方法の改善

- マップ作成を試行した沼津駅前の状況は右図のとおり。
 - 道路を挟んで東西に建物が並んでいる。
 - 駅前ロータリーの南東に位置する「沼津ラクーン」が目印のひとつとなっている。



沼津駅周辺の状況

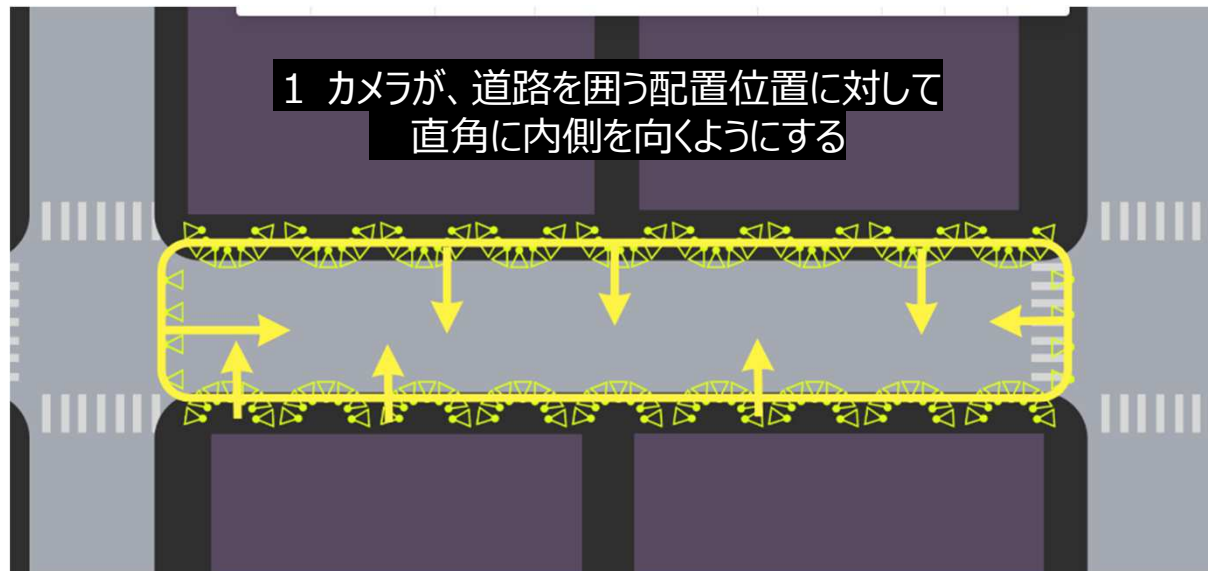
IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.4 ローカライズ精度向上の試行

1.4.1 PLATEAUマップ作成方法の改善

- 当初段階でのマップ作成試行方法は以下のとおり。
 - Imemrsalのドキュメントに記載されている手法(2022年3月現在削除されている)に従い、カメラを道路に沿って1周配置した。



- それぞれの撮影位置で、複数のカメラを配置し、右から左、左から右、右から左と撮影し、直線の撮影範囲と重複するように撮影を行った。



2. 右から左、左から右、右から左に撮影する
赤→青、 緑→黄、 赤→青

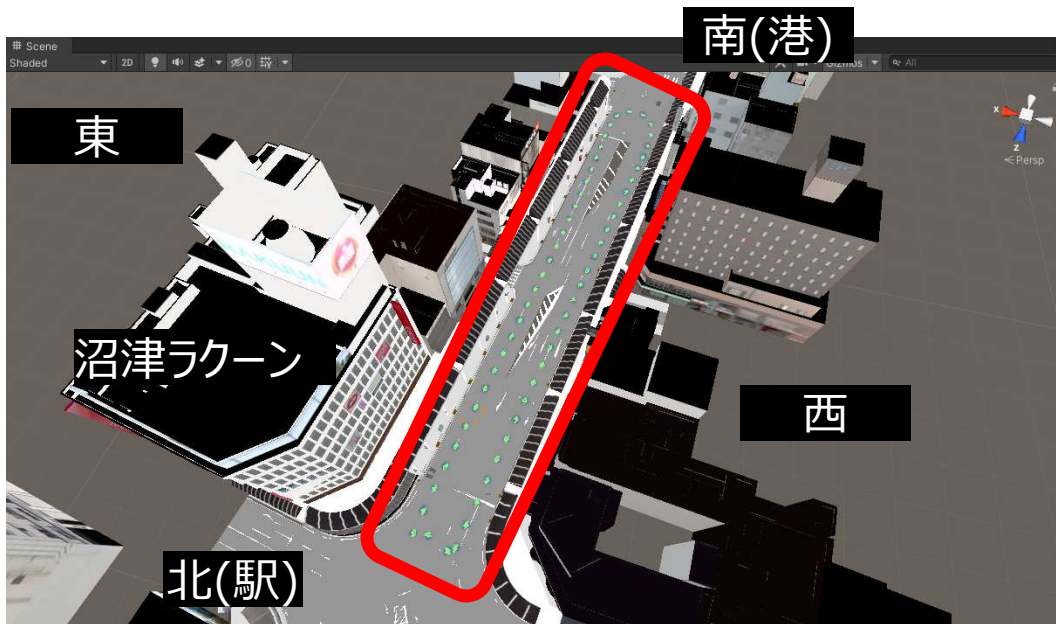
IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

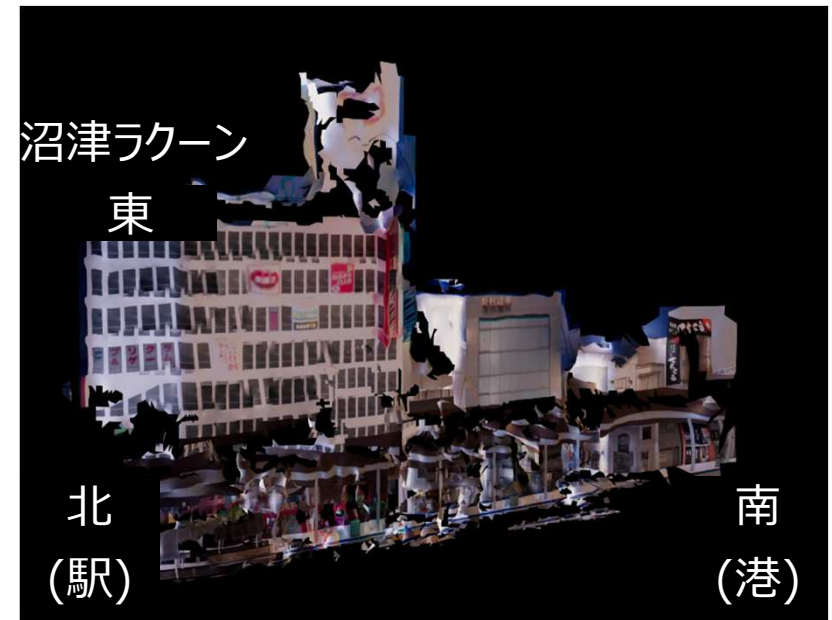
1.4 ローカライズ精度向上の試行

1.4.1 PLATEAUマップ作成方法の改善

- このカメラ配置をUnity上で再現し、マップ作成を行った結果、東側(沼津ラクーナ側)のみマップ作成に成功し、西側のマップは作成されなかった。



カメラ配置位置



マップ作成結果

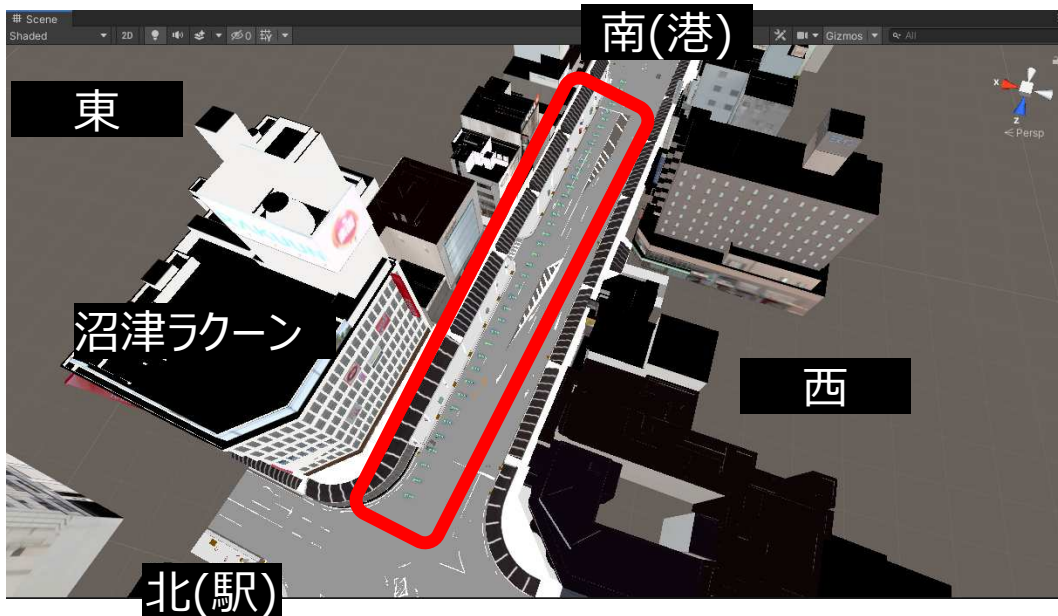
IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.4 ローカライズ精度向上の試行

1.4.1 PLATEAUマップ作成方法の改善

- 問題を分割して対応するため、道路の東西を別々にマップ作成するように変更した。
- 前回同様に東側のみマップ作成に成功し、西側のマップは作成できなかった。
- ただし、東西両面と比較して、より長い範囲（南側）のマップが作成された。



カメラ配置位置



マップ作成結果

IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.4 ローカライズ精度向上の試行

1.4.1 PLATEAUマップ作成方法の改善

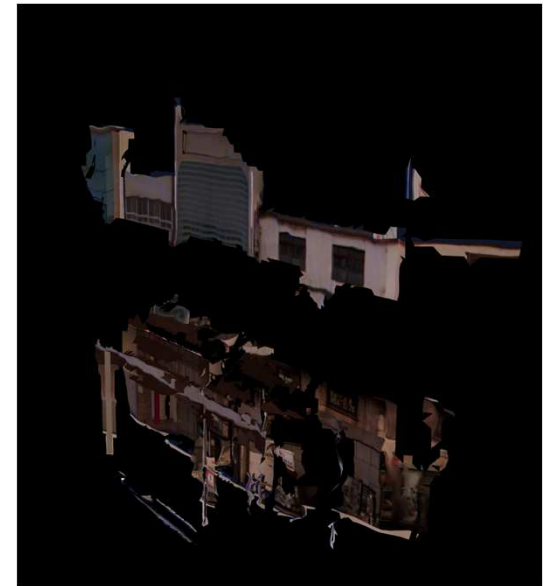
- さらに対象を分割して、建物単位にマップを作成するように変更した。
 - 対象となる建物の前面を、扇形に複数個所から撮影して実施した。
 - 扇形での撮影はImmersalのドキュメントに記載されているAR Hotspotから実施した。
- いままでマップの作成ができなかった西側の建物のマップ作成に成功した。
 - 本実証のマップ作成はこの方式を採用している。



建物位置



カメラの配置



作成されたマップ

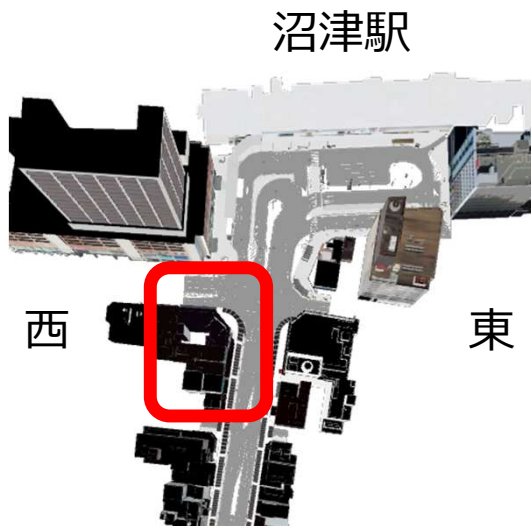
IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

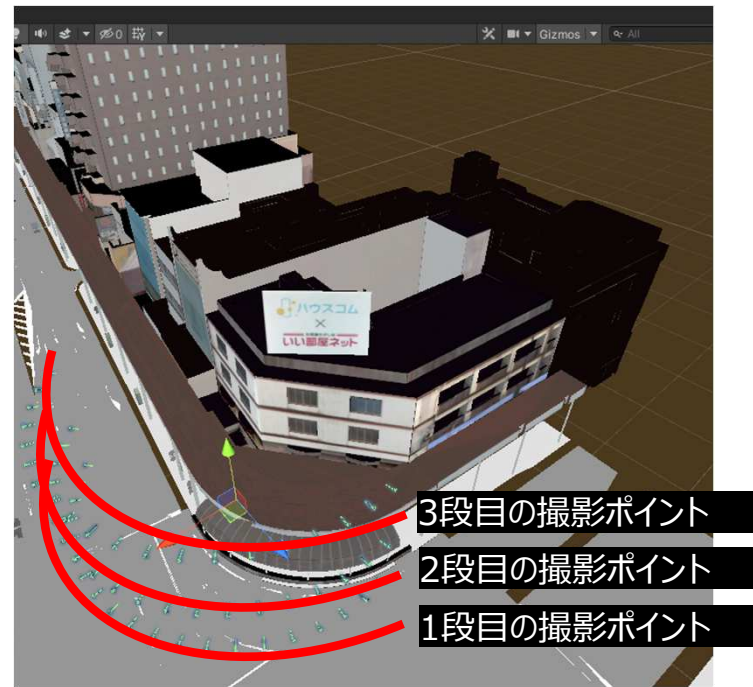
1.4 ローカライズ精度向上の試行

1.4.1 PLATEAUマップ作成方法の改善

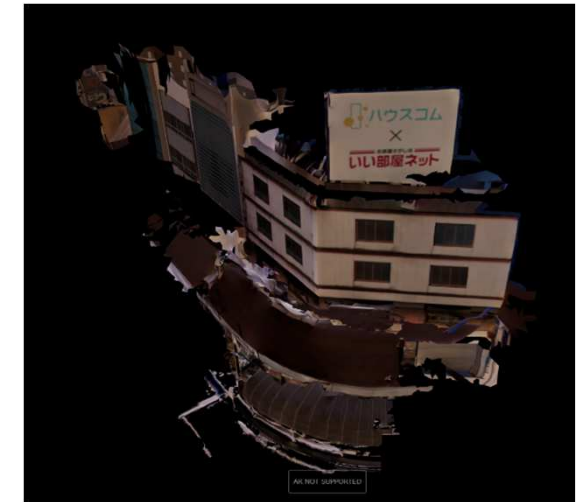
- カメラ位置によっては建物がアーケードの陰に隠れてしまうため、バーチャル撮影の利点を活かし、**高さ方向に何段階かカメラ位置を変えて撮影した。**
- これにより、より上方向に広範囲に建物のマップ作成が可能になり、ローカライズ精度の向上も期待できるようになった。



建物位置



カメラの配置



作成されたマップ

IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.4 ローカライズ精度向上の試行

1.4.2 ローカライズ精度の改善

- 手持ちカメラで現地撮影した画像をもとに、画像編集ソフトで看板等を切り出し、サイズや位置調整を行い、テクスチャ画像の部分差替えを実施した。
- これを用いてローカライズを試行したところ、結果の改善がみられたため、あらためてテクスチャの精度がローカライズに影響を及ぼす可能性が確認できた。
- 例：よしもと劇場：ローカライズ成功割合（成功数/試行数）が、0/31から8/31に改善



テクスチャ差替え前



テクスチャ差替え後

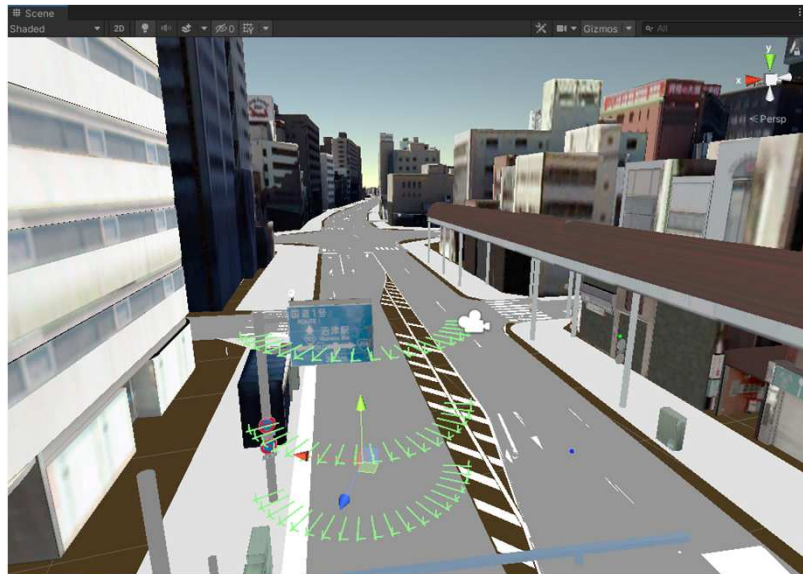
IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.4 ローカライズ精度向上の試行

1.4.2 ローカライズ精度の改善

- 同じ要領により、交通標識のマップ作成も確認した。
- なお、プロトタイプデータに含まれないエリアのデータを補完するため、背景に一部LOD2を使用した。



マップ作成された標識の例

IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.4 ローカライズ精度向上の試行

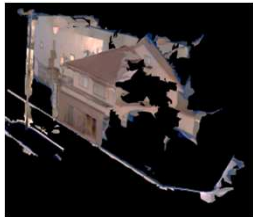
1.4.3 駅前エリア以外での確認

- ローカライズ精度向上へ向けた試行の一環として、駅前以外のPLATEAUマップの作成とローカライズの状況を調査した。

検証時期 2021年10月20日(水)～25日(月)

対象エリア 10/8版LOD3

- 検証内容**
- 駅前以外のPLATEAUマップの作成とローカライズ調査
 - オリジナルテクスチャとテクスチャ差替え時のローカライズの違い
 - 建物の全体と部分で撮影した時のローカライズの違い
 - マップ作成状況の確認

実施項目	結果
テクスチャ差し替え	・「ワシントン」： 0/93 → テクスチャ差替後 31/93 (分子：成功数／分母：試行数)
撮影条件による差異	・ ワシントン： 建物全体の場合21/93、上部のみの場合31/93 (")
マップ作成状況	   山岸精肉店 ドックドール ファミリーマート

IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.4 ローカライズ精度向上の試行

1.4.4 テクスチャ等の更新による効果確認

- ローカライズ精度向上へ向けた試行の一環として、PLATEAUマップ作成に関する試行調査、LOD3データのテクスチャの確認等を行った。

検証目的 ローカライズ精度向上に向けた試行

検証時期 2021年10月26日(水)～11月1日(月)

対象エリア 10/8版LOD3および10/29版LOD3

検証内容

- PLATEAUマップ作成に関する試行調査
- 10/29版LOD3のデータ確認（テクスチャ修正箇所）

実施項目と結果

実施項目	結果
PLATEAUマップ作成に関する試行調査	駅前のアーケードエリアにおいて、環境の影響を受けやすいと考えられる下部より、上部の看板等に絞って撮影を行ったほうが、ローカライズの成功数が多いことを確認。
10/29版LOD3データ確認	手持ちカメラでの撮影した高解像度写真で、一部のテクスチャが修正されている箇所を確認。

IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.4 ローカライズ精度向上の試行

1.4.5 画像取得条件のパターンによる効果・影響の確認

- アーケードエリアにおいて、①アーケードに遮蔽される建物上部と下部とを分割し、上部だけを撮影した場合、②全体を対象とした場合、③全体だが下部にマスクを施したものの3パターンを設定し、それぞれカメラ位置等の条件を変えてPLATEAUマップを作成し、ローカライズを試行した。
- 上部に関しては3段および2段に撮影を切り替えて試行した。
- Take3（上部を2段で撮影）で、建物全体より、上部に絞ってマップ作成を行ったほうが結果がよいことが確認された。

条件変更によるマップ作成の確認（対象部：沼津市大手町5丁目3－6）

試行	条件	結果 (成功／全体)
Take1 上部を3段で撮影	①上部だけを撮影	24/93
	②軒下まで含めた全体撮影（①に単純にカメラを追加したもの）	2/93
	③軒下まで含めた全体撮影（マスクあり）	0/93
Take2 （Take1のカメラ 角度を5～10度 回転）	①上部だけを撮影	19/93
	②軒下まで含めた全体撮影（①に単純にカメラを追加したもの）	0/93
	③軒下まで含めた全体撮影（マスクあり）	-
Take3 上部を2段で撮影	①上部だけを撮影	30/93
	②軒下まで含めた全体撮影（①に単純にカメラを追加したもの）	3/93
	③軒下まで含めた全体撮影（マスクあり）	-

IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.4 ローカライズ精度向上の試行

1.4.5 画像取得条件のパターンによる効果・影響の確認

試行用の画像（例）



①アーケードに遮断される建物の上部と下部とを分割し、上部だけを撮影した場合



②全体を対象として撮影した場合



③全体を対象として撮影するが、下部にマスクを施して撮影した場合

IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.5 現地動作確認③

- 前述の試行・検証を踏まえ、2021年11月4日に第3回の現地動作確認を行った。

検証目的 試行条件および10/29版LOD3を使った現地での動作確認（第3回）

検証時期 2021年11月4日(木) 9:00-17:00

気象 快晴、気温21.3℃

対象エリア 10/29版LOD3対応エリア

- 検証内容**
- 仮想試行環境で確認したPLATEAUマップの現地確認（4パターン）
 - 10/29版LOD3（一部手持ちカメラの写真）で作成したPLATEAUマップの現地確認

実施項目と結果

項目	結果
仮想試行環境での写真評価と現地確認	● 仮想試行環境での写真によるローカライズ傾向と、現地での実空間によるローカライズ傾向は、同様の傾向が確認できた。
テクスチャの差し替え箇所	● 解像度の高いテクスチャを用いることでローカライズ率が改善した。 ● 環境変化（人、車などの移動物等）の影響を受ける箇所を除外してマップ生成を行うことで、ローカライズ率が改善した（ただし除外した結果、マップの特長点が減少するとローカライズ率は低下）。

IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

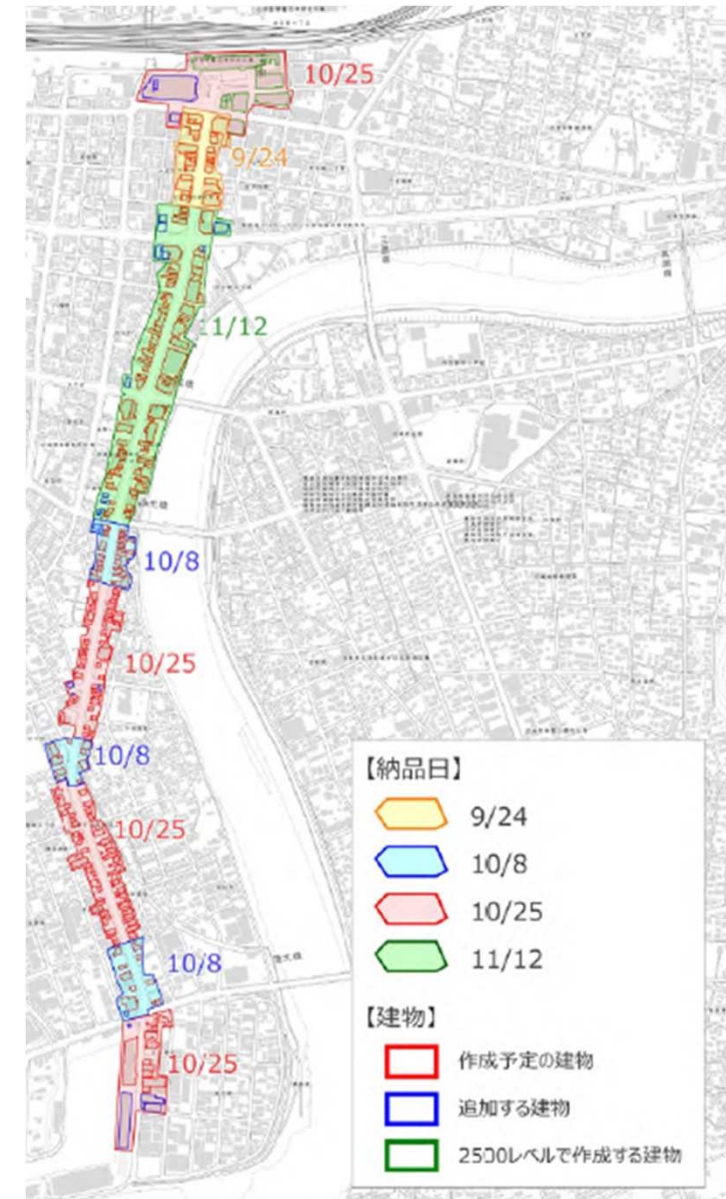
1.5 現地動作確認③

1.5.1 システム改良による効果確認

- 高解像度テクスチャへの差替え、アーケードエリアの上部に絞り撮影、車や人等の移動物の影響を受ける場所を外して撮影など、マップ生成を条件の改善により、ローカライズ回数が改善した。

ローカライズ結果

前回	実施日：10月4日 対応エリア：右図9月24日対応エリア（一部手持ちカメラで撮影した画像にテクスチャ差替え） ローカライズ：1回/全試行数（串ざる本舗）
今回	実施日：11月4日 対応エリア：右図10月25日対応エリア ローカライズ：以下数字はローカライズ回数/試行数 ・駅周辺 85/290 ・永代通り交差点付近 30/280 ・ファミリーマート付近 0/155 ・港大橋通交差点付近 13/155



LOD3データ提供スケジュール

IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

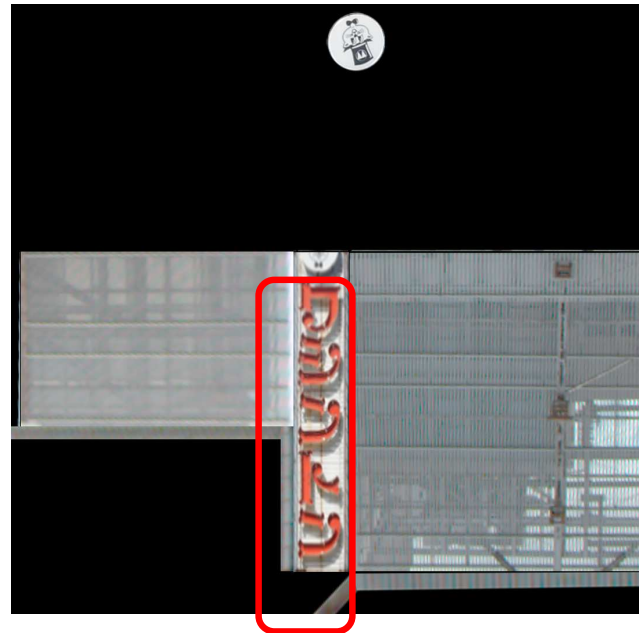
1.5 現地動作確認③

1.5.2 テクスタ差し替えによる試行

- これまで仮想試行環境での写真によるローカライズ率が高くなかったマップを、現地で撮影した高解像度の写真を用いて看板などのテクスチャを差し替えを行った結果、ローカライズ率が改善した。
- 下の例では、(2)差し替えを行ったテクスチャを用いたマップが、(1)オリジナルのテクスチャを用いたマップよりも高いローカライズ率を示した。

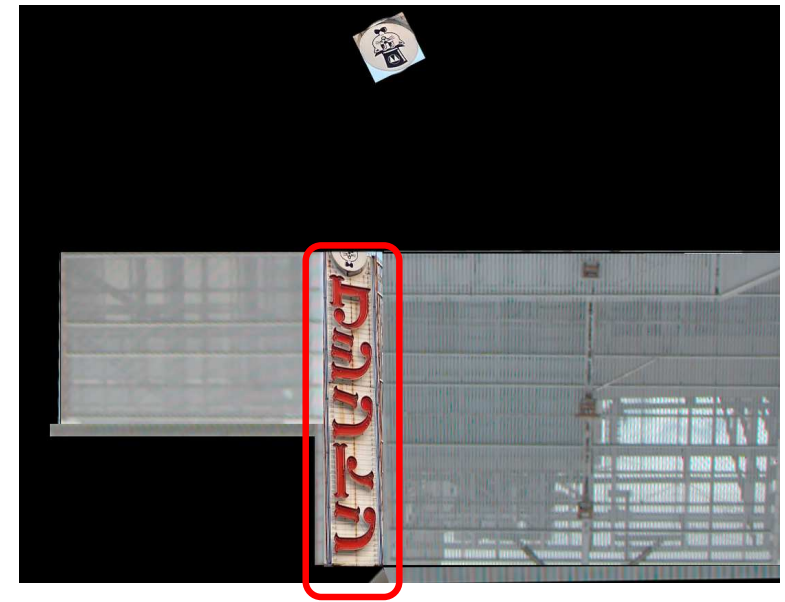


試行したマップ
建物上部のみで作成



(1)オリジナルテクスチャ

0/93



(2)看板のテクスチャ差し替え画像

31/93

注：数値はローカライズ成功数/ローカライズ試行数

IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.5 現地動作確認③

1.5.3 撮影範囲変更による試行

- 建物下部の店舗の変化(シャッターなど)を避けるため、(1)建物上部のみでマップを作成した。
- (1)のマップは(2)建物全体から作成したマップよりも高いローカライズ率を示した。
 - ローカライズの処理をより看板に注力させる方が成功数が高い。
- シャッターが降りていることによる影響のテストのために、(3)建物全体で店舗部分をマスク(黒塗り)した状態でのマップも作成し検証した結果、(2)よりもローカライズ成功数は低下した。
 - 建物下部のマスクは効果がなかった。
- これらによって、店舗上部の看板に注視したマップが、最もローカライズ成功数が高い。
- この傾向は、事前の仮想試行環境での評価と現地での実空間評価の両方で確認された。



(1)建物上部のみで作成したマップ
31/93



(2)建物全体で作成したマップ
21/93



(3)建物下部にマスク(黒塗り)を施して
作成したマップ
16/93

注：数値はローカライズ成功数/ローカライズ試行数

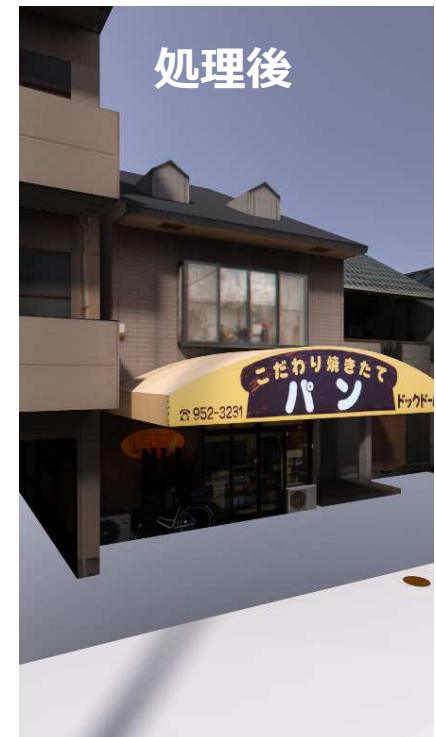
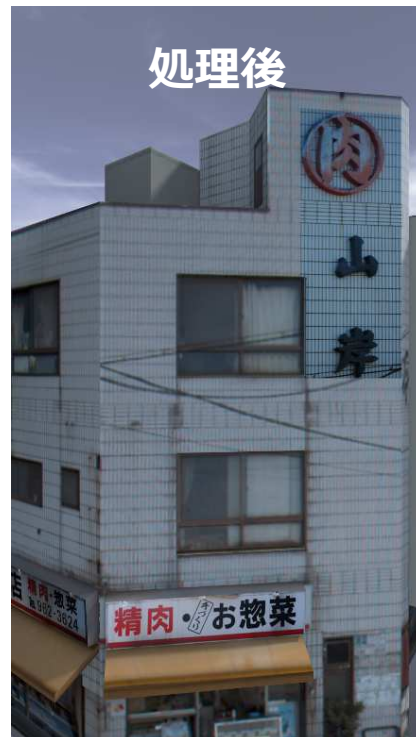
IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.6 ローカライズ精度向上の試行②

レンダリング設定による撮影画像の変更

- 看板などの特徴が少ない場所で、ライティングを施してリアリティ向上を図った画像による試行を実施した。
- Unity上でフラットな光源を用いてPLATEAUマップを作成したものと、3Dソフトウェア3dsMaxを用いてリアルな光源を用いてPLATEAUマップを作成し、ローカライズ率の比較を行った。



Unity内ライティング処理前の画像 および 3dsMaxを用いたライティング処理後の画像の比較

IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.6 ローカライズ精度向上の試行②

- 試行の結果、下図のサンプル1のように、ライティング処理による陰影の生成によって、現実の風景に近い状態となることにより、ローカライズが向上することが確認できた。
- 一方、サンプル2のように、ライティング処理によって強い影が出る場合は、逆にマイナスの影響を与える場合もあった。
- このように、ライティング処理がローカライズ結果に及ぼす影響については一概に判断できないため、今回の実証ではライティング処理は行わなかった。今後、建物形状やライティング処理内容などの変数がローカライズ結果にどのような影響を及ぼすかを検証する必要がある。

ライティングありのローカライズ結果例
(数値はローカライズ成功数/試行数)

	ライティングなし	ライティングあり
サンプル1	14/93	31/93
サンプル2	76/93	73/93



ライティングありの試行例

IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.7 PLATEAUマップ作成方法と試行

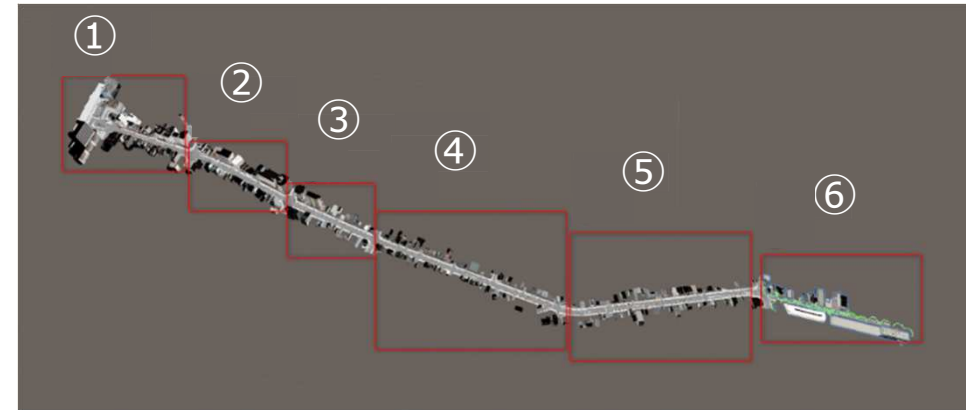
- 実証ルート上の建物ごとにPLATEAUマップを作成した。
- ルート全体での建物数が多いため、6つのエリアに区切って作成を進めた。

エリア	建物数*1	マップ作成完了*2	比率
1	41	18	44%
2	28	15	54%
3	39	12	31%
4	89	14	16%
5	69	26	38%
6	16	12	75%
合計	282	97	34%

*1 奥まったところにある建物を除く、PLATEAUマップ作成対象となる建物数

*2 PLATEAUマップとして作成に成功したマップ数

6つのエリア分け



例 エリア1：沼津駅 - 大手町交差点



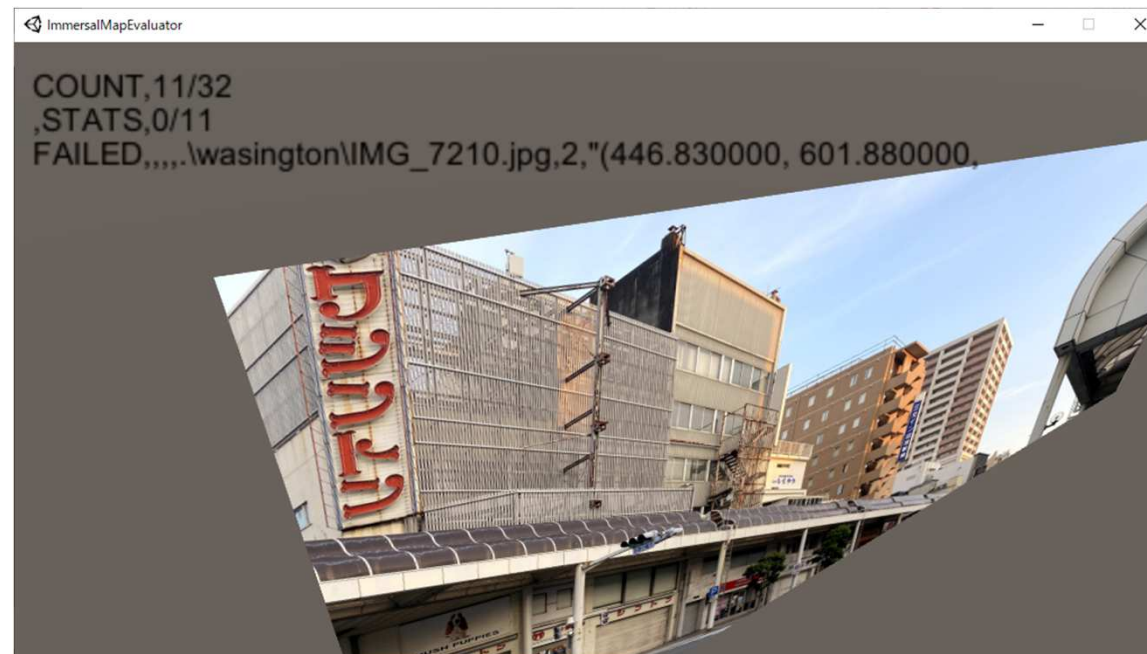
IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.7 PLATEAUマップ作成方法と試行

1.7.1 仮想試行環境でのPLATEAUマップのローカライズ精度確認

- 作成したPLATEAUマップを用いて実際にローカライズが可能かどうかについては、原則として現地検証によって確認する必要があるが、作業工数の削減、効率化のため、仮想的な環境でローカライズの確認をするための確認システムを構築した。
- 確認システムでは、Unity上の3Dの板状のオブジェクトに、現地で撮影した写真画像を貼付し、これをUnity内のバーチャルカメラによって複数視点から撮影することで、現地確認と同様の画像を取得する。この画像とPLATEAUマップとのローカライズをVPSによって確認することで、PLATEAUマップの精度を検証した。



仮想確認環境の画像（例）

IV. 実証システムの検証

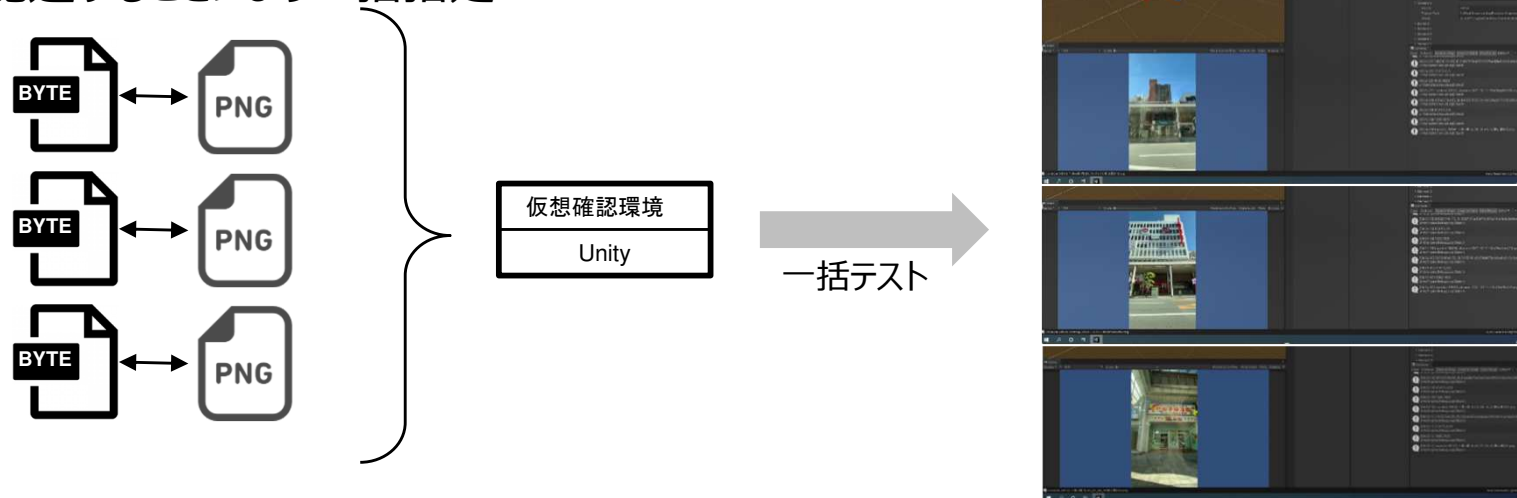
1. 事前検証

1.7 PLATEAUマップ作成と試行

1.7.2 仮想試行環境における静止画テストの自動化

- 本実証では大量のPLATEAUマップを処理する必要があるため、自動化を行った。
- 仮想的にローカライズ確認が行える環境を改良し、各PLATEAUマップの固有ID（マップID）とテスト画像の対応について、CSV形式（カンマ区切りのテキストデータ）で記載したデータを読み込み、静止画によるローカライズ確認を一括で行えるようにした。
- これにより、大量のマップ検証を効率的にでき、パラメータを微調整したマップの選別に活用した。

PLATEAUマップとテスト画像とをカンマ区切り
により一対で記述することにより一括指定



仮想確認環境で静止画でのローカライズテストを一括して行えるよう改善

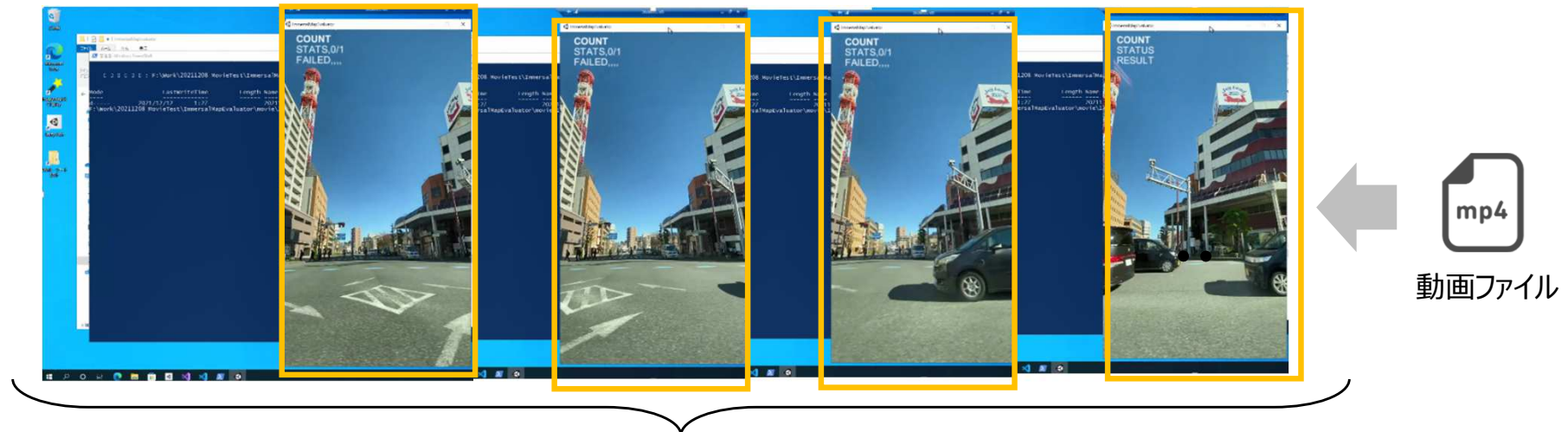
IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

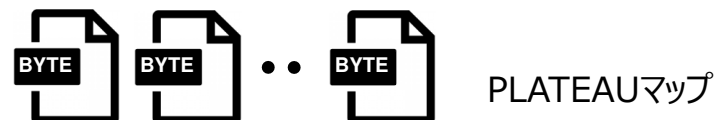
1.7 PLATEAUマップ作成と試行

1.7.3 仮想試行環境における動画による疑似走行状況の確認

- 実証実験の実走行時の状況を模擬したテストが行えるように、車載カメラで撮影した動画を対象に PLATEAUマップのローカライズのテストが行えるように改良した
- 現地で撮影した動画を読み込み、フレーム単位で PLATEAUマップのローカライズテストが行うことができるものである。
- 作成した PLATEAUマップが車上のデバイスでもローカライズするかの検証が現地でなくともできるようになった。



フレーム単位のローカライズテストを実行



動画による疑似走行状況のローカライズテスト環境

IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.8 現地動作確認④

- ・11月末版のLOD3データを活用し、現地での動作確認を行った。

検証目的 11/30版LOD3を使った現地での動作確認

検証時期 2021年12月21日(火) 10:00-15:30

気象 晴れ、気温14℃

対象エリア 沼津駅南口から沼津港（2.2km）

検証内容

- 11/30版LOD3を使用して現地にて動作確認
- 駅前、アーケードエリア、住宅地エリア、港エリアでのローカライズ検証
- スマートフォンからの位置情報の集約

現地動作確認の状況

項目	内容
結果概要	・ 沼津駅周辺：駅ビル及び駅東側の建物は認識度が高かったが、西側の建物は認識率が低かった。 ・ 駅前アーケードエリア：建物の認識率が高い傾向。 ・ 住宅地： 大きな看板等があるコンビニエンスストアを認識しなかった。 ・ 沼津港周辺：時速19km/h程度で走行する車両から特定の建物の認識を確認できた。
考察	・ 全般に、VPSの求める要件に対しテクスチャの精度が低い傾向があると考えられる（カメラ画像との差異がある状況。画像処理等を施したもので検証してみたもののあまり改善は見られなかった）。 ・ アーケードエリア、駅周辺、沼津港周辺＞住宅地の順に建物の認識度が高い傾向を把握。
今後の対応の方向	・ 認識率が高い建物を対象として重点的にテクスチャの差し替え、改善を図り、建物認識地点を増やす方向で検討。 ・ ルートの方角（主に南北）や太陽光の方角（主に南側から照射）を考慮すると、南方向以外（東西および北方向）を重視して認識率を高める方針で検討。

IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.8 現地動作確認④

1.8.1 LOD2によるローカライズ検証

- ・ LOD2 + テクスチャによる沼津駅前前のデータでローカライズの検証を行った。
- ・ ローカライズ結果は建物やテクスチャの状況によるものが、ローカライズ成功の建物も確認できた。

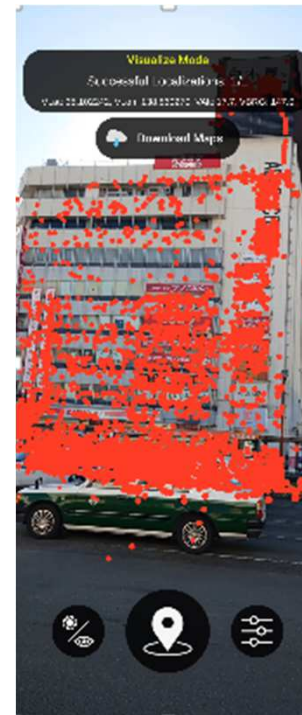
駅前エリアでのローカライズの状況（LOD2 + テクスチャ）



4/12



4/6



3/8



0/7

（ローカライズ成功数/試行数）

※ 上記左から沼津駅ビル正面、東側（沼津商連会館）、左斜前（エイブル・コア）はローカライズOK、西側（イーラde）はNG

※ 各画像の点はローカライズ箇所を示す（色分けは使用するPLATEAUマップを識別するためのもの）

IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.8 現地動作確認④

1.8.2 走行車両からのローカライズ検証

- 仮想試行環境においてローカライズしやすかった沼津港周辺エリアで、低速（10～20km/h程度）の走行車両によりローカライズを試行した結果、仮想試行環境でローカライズ確認ができていた建物で、同様にローカライズできることを確認した。
- 複数のPLATEAUマップ（10個程度）を同時に使用しているため、ローカライズのためのシステム負荷が高く、処理速度が遅くなるため、改善が必要であることを確認した。
- 走行中のローカライズチャンスのロスを無くすために、端末の高性能化（最新のPixel6）やGPS併用によるマップ選択の高速化など、さらなる処理の高速化が必要であることを認識した。



走行車両からの確認状況

IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.8 現地動作確認④

1.8.3 スマートフォンからの位置情報の集約

- メッセージングライブラリ（ZeroMQ^[用語集070参照]）を用いて、TCP/IPで通信するバイナリプロトコルを作成。スマートフォンのアプリケーションとPC上のUnityアプリケーションとで通信を行い、スマートフォンで取得した位置情報の伝送テストを行った。
- 今回のテストでは、スマートフォンのWi-Fiテザリング機能を使い、同一ネットワーク上でPCを接続し、スマートフォンのARカメラの位置と回転情報を伝送し、PC側のオブジェクトに反映させて確認した
- 今回はPLATEAUマップによるローカライズ箇所が少なかったため、位置情報は不正確であるものの、Unity上のARフレームワーク（ARFoundation^[用語集050参照]）によるトラッキングの結果、スマートフォンのAR空間と同じ座標移動がPC上のアプリで確認できた。

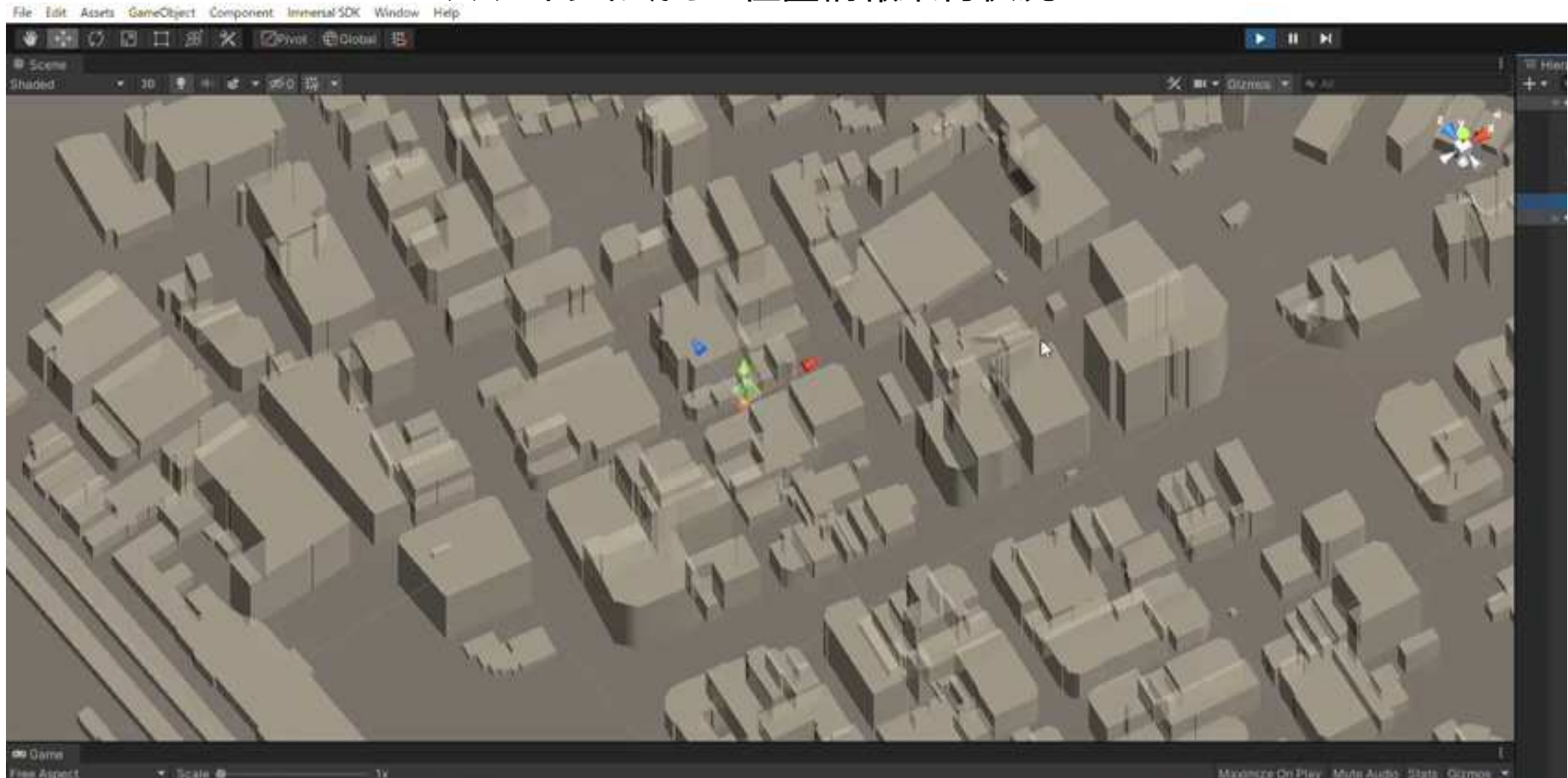
IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.8 現地動作確認④

1.8.3 スマートフォンからの位置情報の集約

スマートフォンからの位置情報集約状況



通信テスト映像（画面中央の3つの矢印が直交するマークのオブジェクトが、スマートフォンのARカメラを反映している）

IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.9 現地走行実証準備

検証目的	治具の設置およびNTPサーバー、端末、PC等の連携確認
検証時期	2021年12月24日(火) 13:00-15:30
検証場所	東急テクノシステム・中原工場（川崎）
検証内容	- 走行車両への治具・スマートフォン設置、視界、車内への配線等の確認 - NTP受信およびスマートフォンからの座標送信の確認

実施項目と結果

実施項目	結果
治具設置	- 治具の組立・設置・強度：良好（設置に脚立 2 台が必要であることを確認） - スマートフォンカメラの視界：前方・後方・左右ともに良好 - ルーフから車内へのネットワークケーブル：ルーフ左側後方にある既存ケーブル口がパテで固定されており、使用困難と判明。ネットワークケーブルをフラットタイプに変更し、ドアの隙間から引き込むように変更。
NTP受信と座標送信	- スマートフォンPixcel 6に、現地でビルドした確認アプリをインストールして確認。 - 実験車両で採用している自動運転システムADENU（Autonomous Drive Enabler by Nagoya University）側でNTPサーバーを起動してもらい受信：良好 - ADENUとの同一ネットワーク上でのスマートフォンからPCへの座標送信：良好
その他	LiDARによる位置合わせ用のマーカー認識の確認：良好（マーカーは3Dプリンターでフィルムケース大の円筒形状のものを用意し、スマートフォンに設置してテスト）

IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

1.10 地図情報レベル2500のLOD3データでの検証

- 本実証では、地図情報レベル500の3D都市モデルLOD3データをVPSのマップとして用いることを基本としている。
- 他方、実証中、検証のために地図情報レベル2500のデータを用いたVPSのマップ作成及びローカライズの試験を実施した。



地図情報レベル2500のLOD3データ



地図情報レベル500のLOD3データ

IV. 実証システムの検証

1. 事前検証

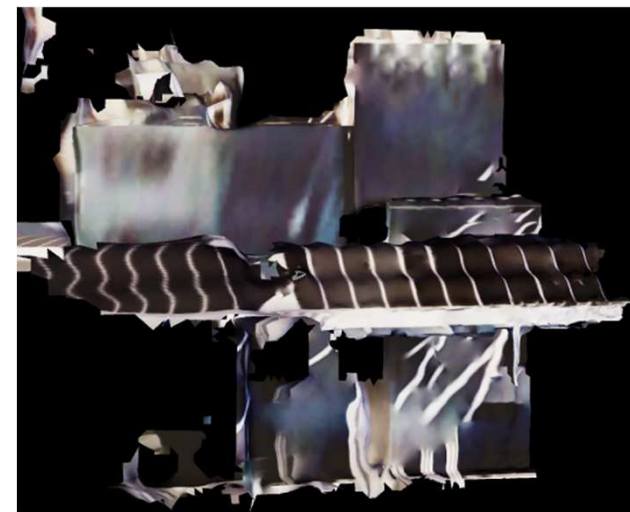
1.10 地図情報レベル2500のLOD3データでの検証

- 地図情報レベル2500のUnityでのローカライズ結果を以下に示す。
- PLATEAUマップの例でも分かるとおり、地図情報レベル2500の三次元空間での再現が不十分と考えられる。

地図情報レベル500と2500によるローカライズ結果の差異（例）

建物	500	2500
てんくう	5/6	0/6
串ざる本舗	4/6	0/6

分子：成功数／分母：試行数



「てんくう」のPLATEAUマップ例 レベル500（左） レベル2500（右）

IV.実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.1 走行実証①

- ・ 前述した検討・準備を踏まえ、現地走行実証（プレ実証）を実施した。これまでの検討では徒歩または一般の乗用車等で検証を行っていたが、走行実証では、実際に自動運転実験車両にVPS機器を搭載し、自動運転システムによるデータ等との比較・対照による検証を行った。

検証目的 走行車両からのVPS現地確認（プレ実証）

検証時期 2022年1月13日(木)～14日(金) 終日

気象 晴れ、気温10℃、強風

対象エリア 沼津駅南口から沼津港（2.2km）

- 検証内容**
- 走行車両（手動運転バス）へ機材を搭載したVPSシステムの結合確認
 - 走行車両からのローカライズ確認
 - 住宅エリアのImmersalリアルマップでのローカライズ調査
 - 地図情報レベル2500の現地確認

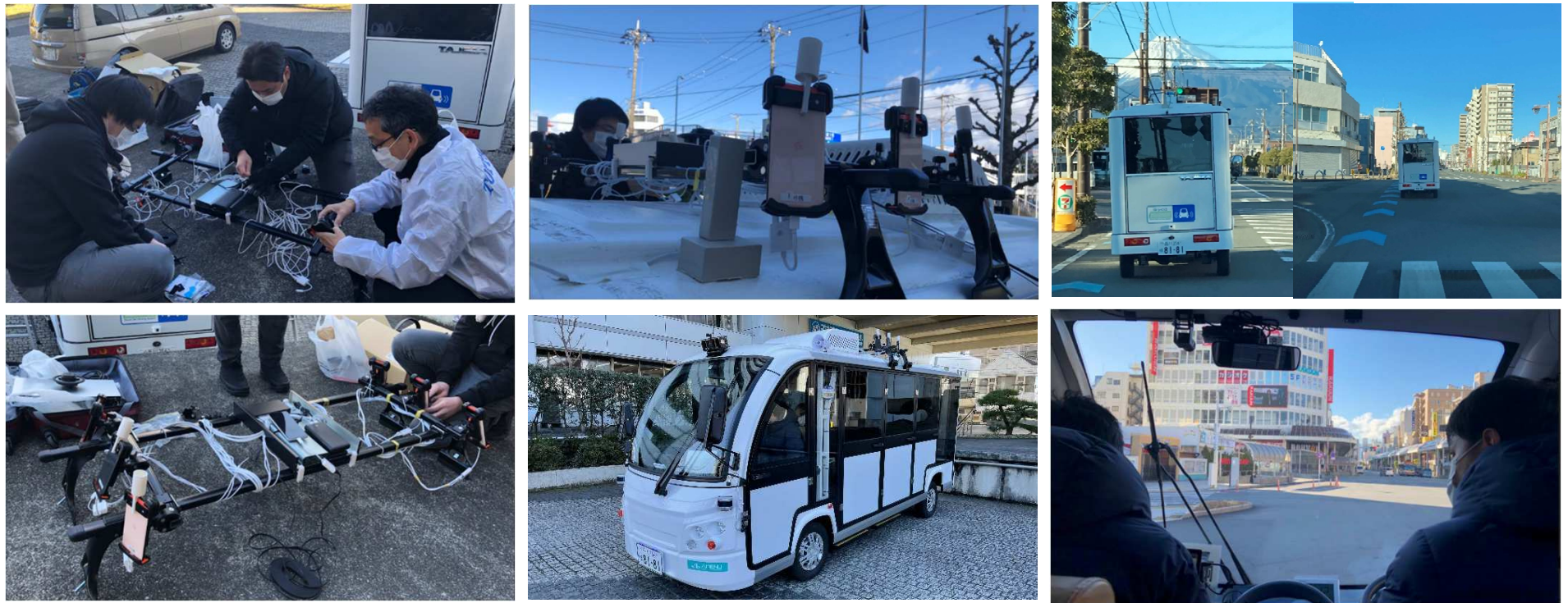
実施項目	結果・考察
VPSシステムの結合確認	・ 有線LANアダプタの動作不安定により無線LANに切り替えて対応。 ・ 走行中の状態把握のため車内PCを含む複数端末でのビジュアライズ化の必要を確認。
ローカライズ確認	・ 駅前、アーケードエリア、港エリアで部分的なローカライズを確認。 ・ ローカライズポイントを増加、連続化させることによる精度向上を図る必要と確認。 ・ マップ検索の高速化の必要性を確認。
その他	・ Immersalリアルマップでは住宅地エリアも形状を認識したローカライズ箇所があることを把握。 ・ レベル2500のマップではいずれもローカライズしないことを確認。

IV.実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.1 走行実証①

- 現地にて自動運転車両へのVPS機器の設置・接続を行った。
- スマートフォン（6台）へのVPSシステムインストール、ネットワーク接続、LiDAR撮影用マーカー設置等を実施。
- コントロール用PC、ADENUとの連携設定、GNSS受信機を設定。



自動運転車両へのVPS機器設置・接続の状況

IV.実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.1 走行実証①

2.1.1 実証のために用意したマップ

- 走行実証①のためのPLATEAUマップ作成状況およびローカライズ検証の状況は以下のとおり。

PLATEAUマップ作成状況（建物ごと）

エリア		建物数 ^{*1}	マップ作成済 ^{*2}	ローカライズ良好 ^{*3}
1	駅前・アーケード	41	39 (95%)	21 (51%)
2	アーケード	28	28 (100%)	3 (11%)
3	住宅	39	12 (31%)	1 (3%)
4	住宅	89	14 (16%)	1 (1%)
5	住宅	69	26 (38%)	3 (4%)
6	港	16	15 (94%)	9 (55%)
合計		282	134 (48%)	38 (13%)

*1 奥まったところにある建物を除く、PLATEAUマップ作成対象となる建物数

*2 PLATEAUマップとして作成に成功したマップ数

*3 作成に成功したマップのうち、Unity上の検証環境で試行した結果5割以上ローカライズが成功したもの

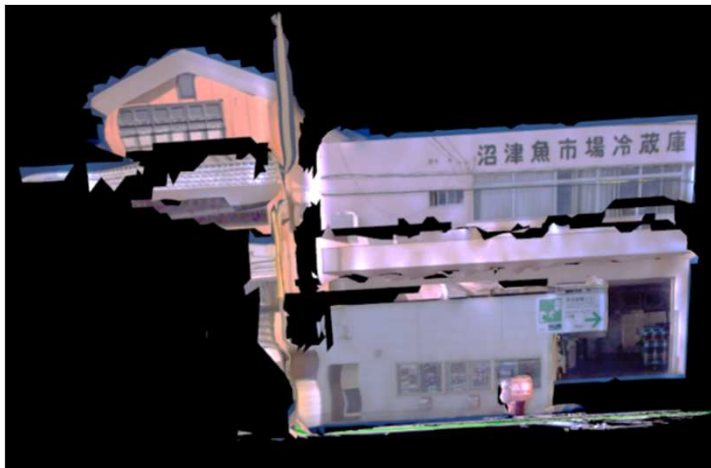
IV.実証システムの検証

2. 現地走行による検証

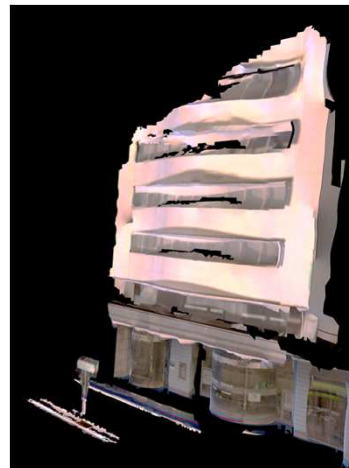
2.1 走行実証①

2.1.2 実証結果概要

- 1/14午後の試行結果を例として集計した。
- 今回用意したPLATEAUマップ（検証でローカライズが5割以上成功した38点）中、多くの地点で実際の走行中でのローカライズが確認できた。
- 店舗の看板やロゴ等による視覚的特徴のある建物がローカライズが良好な傾向があることを確認。
- 沼津魚市場冷蔵庫のローカライズ回数が多いのは、港の折り返し地点で車両が停車した際に、ローカライズしたためと考えられる。



ローカライズ良好な建物の例



ローカライズがうまくいかない建物の例

ローカライズ結果

マップID	建物	回数
40136	沼津魚市場冷蔵庫	59
40137	民家	3
40177	山岸精肉	1
40179	さすよ亭看板	4
40181	かき小屋	1
40182	ドッグドール	1
40190	山岸精肉	1
41217	うおとり	15
41218	ひもの	2
41232	加藤	1
41233	恵比寿庵	3
41234	しらゆり	5
41235	マグロ小屋	2
41236	ワシントン	1
41237	リグル	3
41238	三井住友信託	1
41242	アウンス	1
41244	串ざる本舗	3
41295	魚市場	3
41308	たまるや	1
合計		111

IV.実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.1 走行実証①

2.1.3 PLATEAUマップのローカライズ検証と実証結果の比較

- 走行実証時のローカライズ結果をローカライズ検証の結果と比較する以下の表を見ると、ローカライズ検証が実際の環境でもある程度有効であることが分かった

PLATEAUマップローカライズ結果（建物ごと）

エリア		建物数* ¹	マップ作成済* ²	ローカライズ良好* ³	ローカライズ結果* ⁴
1	駅前・アーケード	41	39 (95%)	21 (51%)	11(27%)
2	アーケード	28	28 (100%)	3 (11%)	1(4%)
3	住宅	39	12 (31%)	1 (3%)	0(0%)
4	住宅	89	14 (16%)	1 (1%)	1(1%)* ⁵
5	住宅	69	26 (38%)	3 (4%)	1(1%)
6	港	16	15 (94%)	9 (55%)	2(13%)
合計		282	134 (48%)	38 (13%)	16(6%)

*1 奥まったところにある建物を除く、PLATEAUマップ作成対象となる建物数

*2 PLATEAUマップとして作成に成功したマップ数

*3 作成に成功したマップのうち、Unity上の検証環境で試行した結果5割以上ローカライズが成功したもの

*4 走行実証①における実走行時にローカライズしたマップ数

*5 エリア4のマップには試験的に追加したマップがあり、前頁のローカライズ結果数と異なる

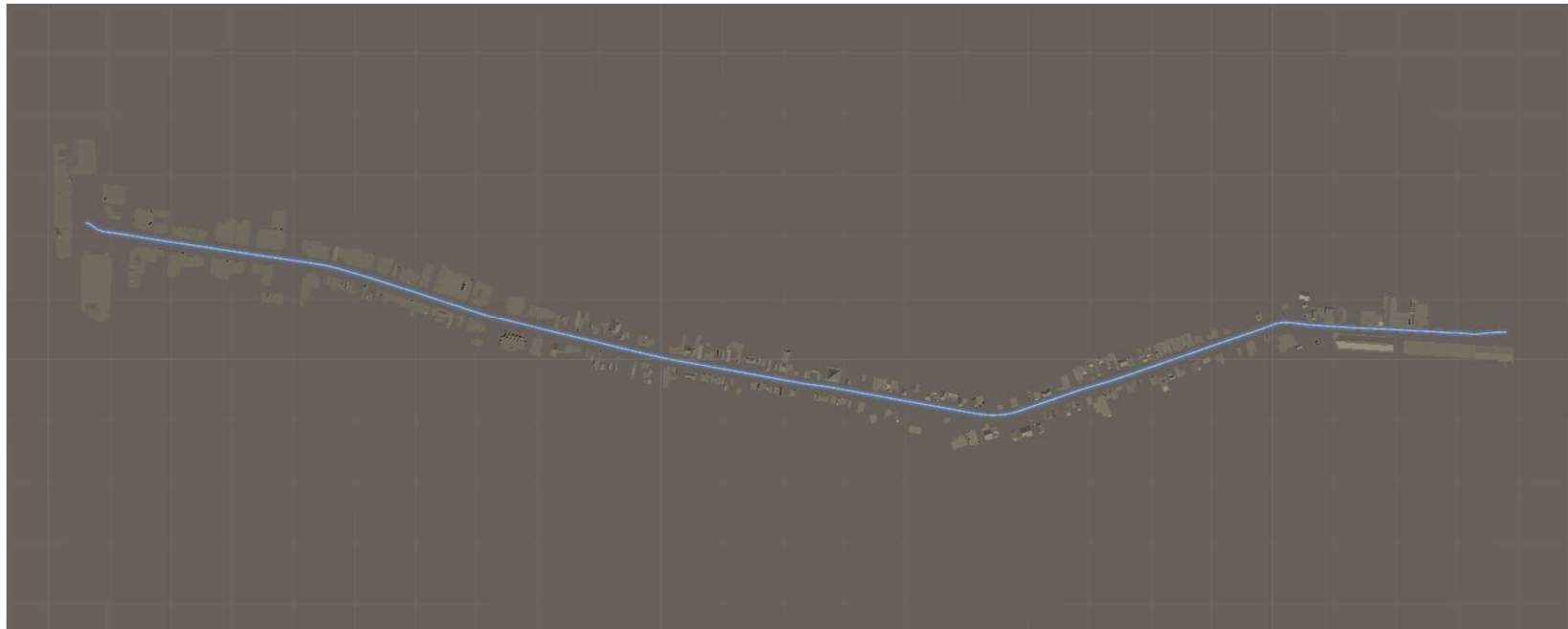
IV.実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.1 走行実証①

2.1.4 ADENUによる走行軌跡の把握

- 静岡県で実証中の自動運転車両に搭載されているシステム（ADENU）はMMSやLiDAR等により取得した高精度3次元地図情報を活用し、自己位置推定を行いながら自動運転を行う仕組みとなっている。今回実証ではその走行軌跡をVPSの位置推定精度との比較に用いることとする。
- 下図は、1/14 13:45頃、往路（沼津駅前から沼津港）でのデータ（例）を表示したものである。
- ADENUの座標を日本平面直角座標 8系から緯度経度へ変換(計算式は、国土地理院のWebサイトを参照：<https://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/surveycalc/surveycalc/algorithm/xy2bl/xy2bl.htm>)したのち、Ⅲ.2.3の座標変換に従いUnity上の座標に変換している。(地球の球面の影響などを正確に反映した変換を行うため)



ADENUによる走行軌跡データ

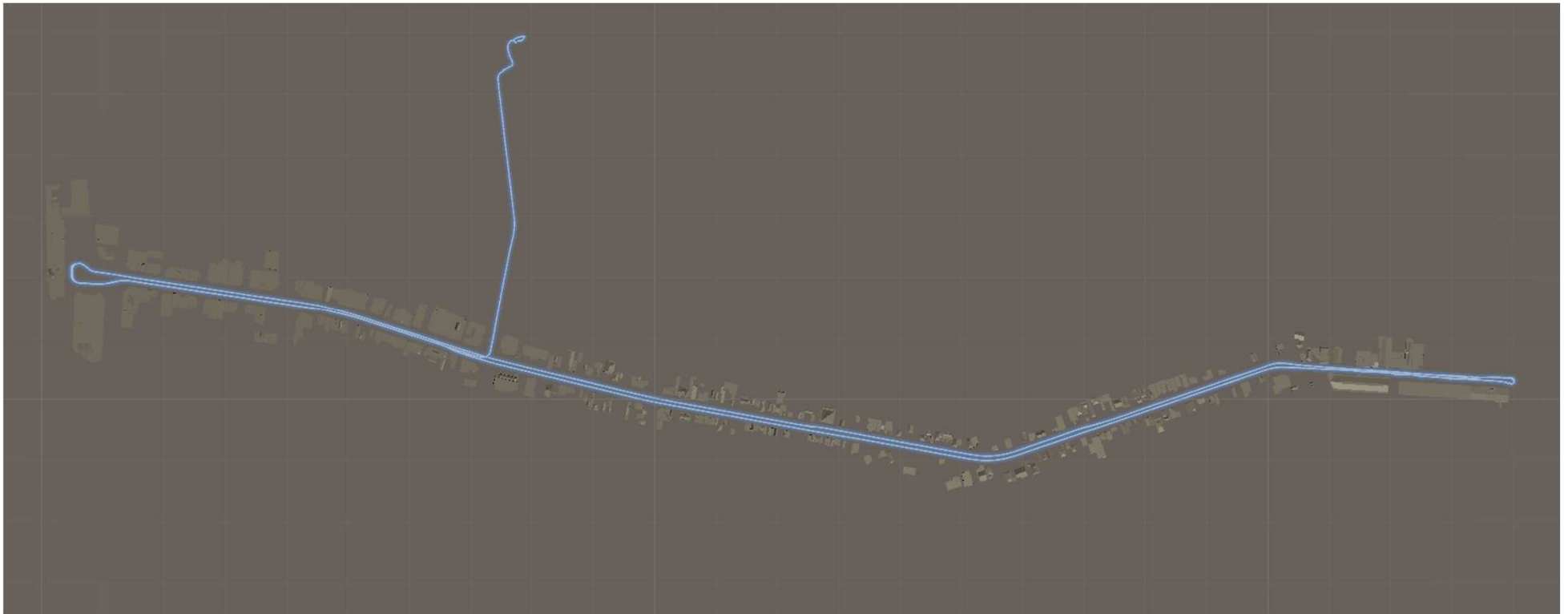
IV.実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.1 走行実証①

2.1.5 GNSSによる走行軌跡の把握

- GNSSでも自己位置計測データを取得した。
- 下図は1/14 13:30頃、沼津市役所→沼津駅から沼津港（往復）でのデータ例である。
- Ⅲ.2.3の処理と同様にGNSSから取得したWGS84の緯度、経度、楕円体高をUnity上の座標に変換した。



GNSSによる走行軌跡データ

IV.実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.1 走行実証①

2.1.6 地図情報レベル2500でのローカライズ状況確認

- 事前検証でも実施したとおり、地図情報レベル500と2500でのローカライズ状況を確認した。
- 走行実証においてもレベル地図情報レベル2500ではローカライズが困難であることが確認された。

4/9

0/7



左：地図情報レベル500（成功数／試行数）

右：地図情報レベル2500（〃）

3/5

0/5



左：地図情報レベルレベル500（成功数／試行数）

右：地図情報レベル2500（〃）

※ 上記画像の点はローカライズ箇所を示す（色分けは使用するPLATEAUマップを識別するためのもの）

IV.実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.1 走行実証①

2.1.7 本実証に向けた対応方針

- 以上のプレ検証の結果を踏まえ、本実証に向けた対応方針を以下のとおり整理した。

対応方針（案）		
課題	システム面	マップ／運用面
ローカライズ成功精度向上 ● ローカライズの高速化（約1回/5秒→1回/1秒） ● 連続したローカライズ成功	<①処理の高速化> ● GPSによるエリアの絞込み ● 往路・復路での使用マップの絞込み ● ローカライズ間隔の短縮	<②ローカライズ時間を増やす> ● 車両走行速度の減速
ローカライズ箇所の増加 ● 全部のスマートフォンがローカライズしない箇所を減らす	—	<③良好なマップを増やす> ● 38/313を増やす：駅前・アーケード・港エリア <④Immersalリアルマップによる改善点の模索> ● 住宅地エリア：ローカライズ向上

IV.実証システムの検証

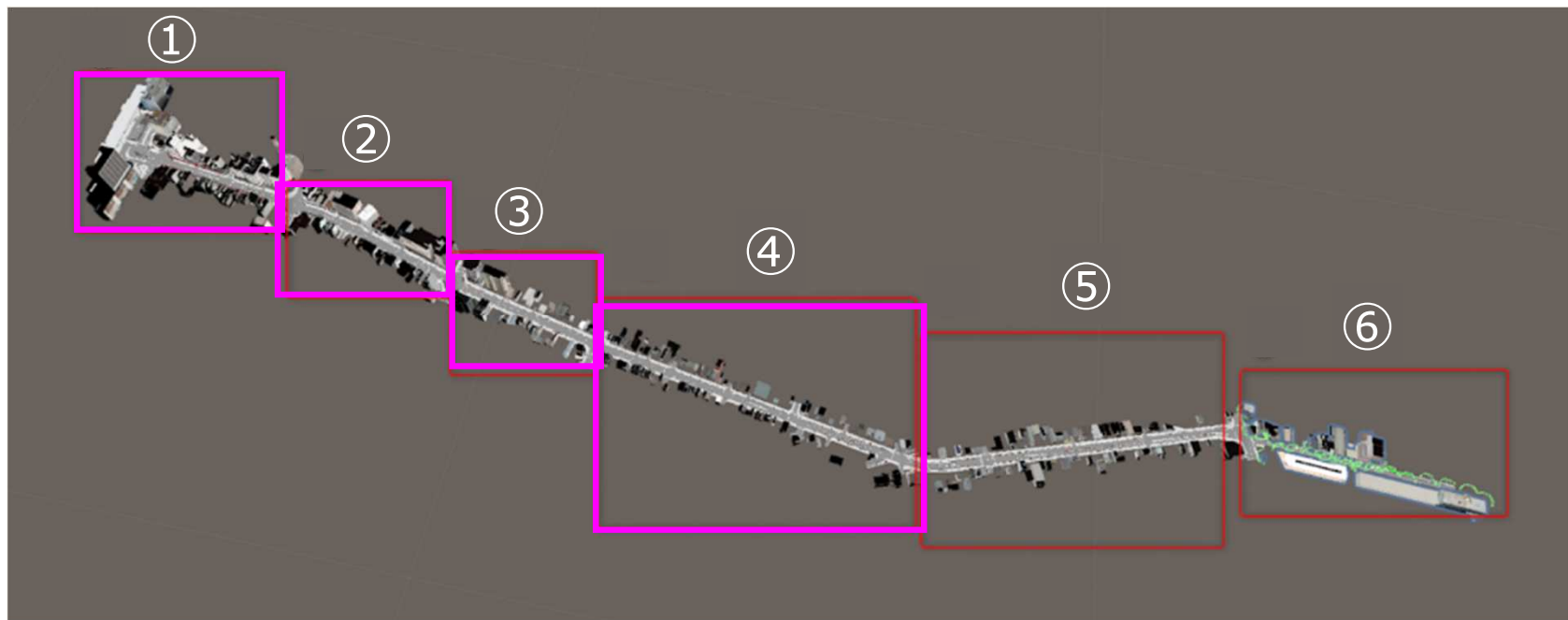
2. 現地走行による検証

2.2 走行実証①を踏まえた調整

- 1月に実施したプレ実証を踏まえて、以降のような様々な調整、改良を行った。

2.2.1 ローカライズが良好なPLATEAUマップの増加

- ローカライズが良好な傾向にあるエリア 1 ～4に注力して試行を行った。
- 目視により良好な特徴点となる可能性が高い箇所を洗い出し、手持ちカメラで撮影した画像からテクスチャの部分的な差替え（看板、ロゴ等）を行い試行した。
- あわせてPLATEAUマップ作成用のバーチャルカメラの撮影条件の変更を行った。



エリア分割概要

IV.実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.2 走行実証①を踏まえた調整

2.2.1 ローカライズが良好なPLATEAUマップの増加

- ・ 目視により特徴のありそうな箇所のテクスチャの差替えを行った。
- ・ また、カメラの配置、撮影対象位置等の変更を行った。
- ・ これらの調整により、ローカライズ良好なPLATEAUマップの数が38から60に増加した。

PLATEAUマップ作成状況

エリア		建物数*1	マップ作成済*2	ローカライズ良好
1	駅前・アーケード	41	39 (95%)	30 (73%)
2	アーケード	28	28 (100%)	10 (36%)
3	住宅	39	27 (69%)	4 (10%)
4	住宅	89	65 (73%)	4 (4%)
5	住宅	69	44 (64%)	3 (4%)
6	港	16	15 (94%)	9 (56%)
合計		282	218 (77%)	60 (21%)

*1 奥まったところにある建物を除く、PLATEAUマップ作成対象となる建物数

*2 PLATEAUマップとして作成に成功したマップ数

*3 作成に成功したマップのうち、Unity上の検証環境で試行した結果5割以上ローカライズが成功したもの

IV.実証システムの検証

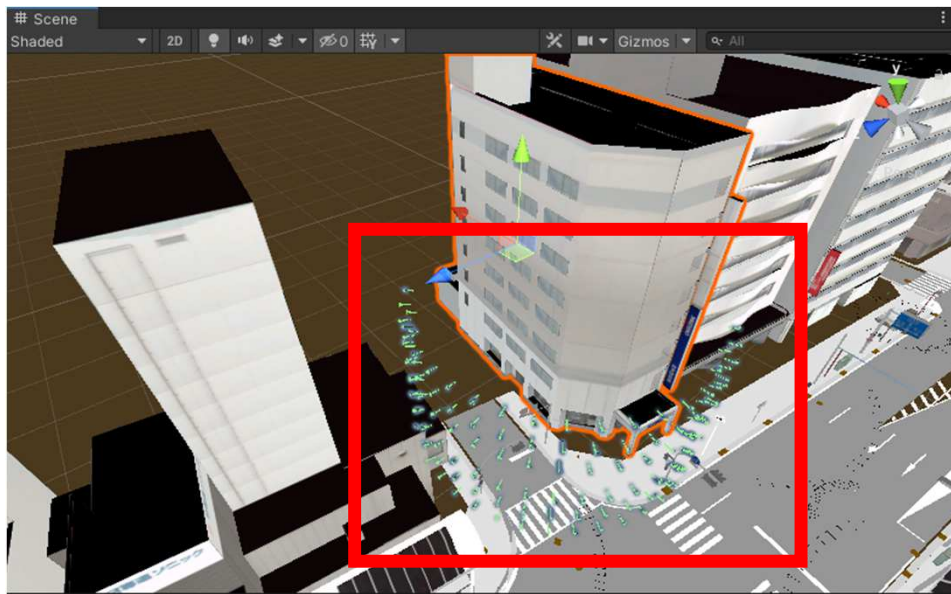
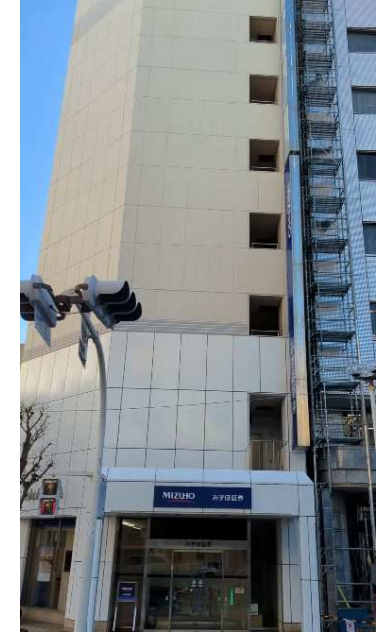
2. 現地走行による検証

2.2 走行実証①を踏まえた調整

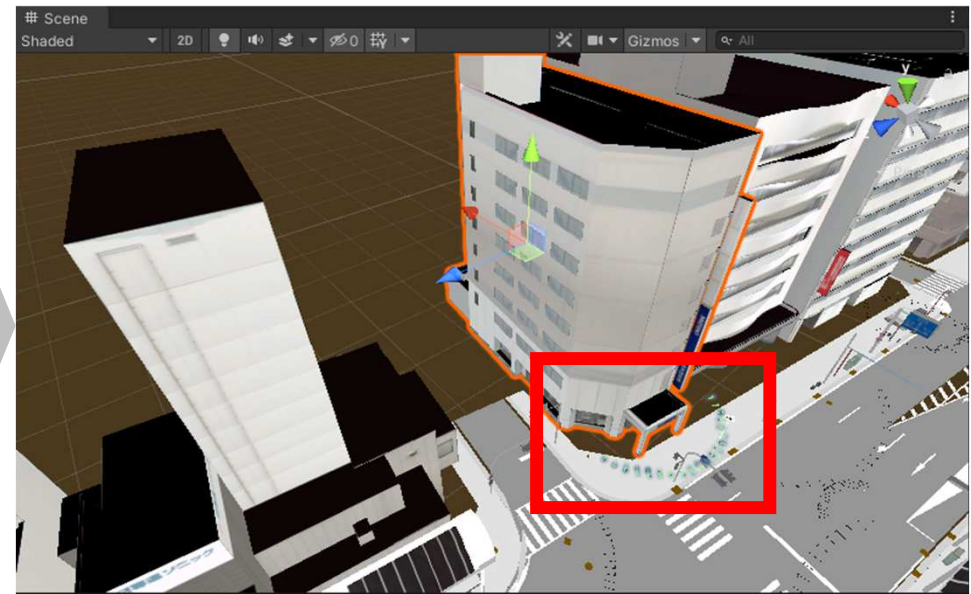
2.2.1 ローカライズが良好なPLATEAUマップの増加

改善例（みずほ銀行）

- マップ作成対象を、建物全体から入口部分のみに変更した。
- 変更前はマップ作成不可だったが、変更後はマップ作成およびローカライズとも可能となった。



改善前



改善後

カメラの配置・撮影対象位置等の変更例

注) 赤枠内の緑色矢印はカメラの配置を表す Copyright © 2022 by MLIT. All rights reserved.

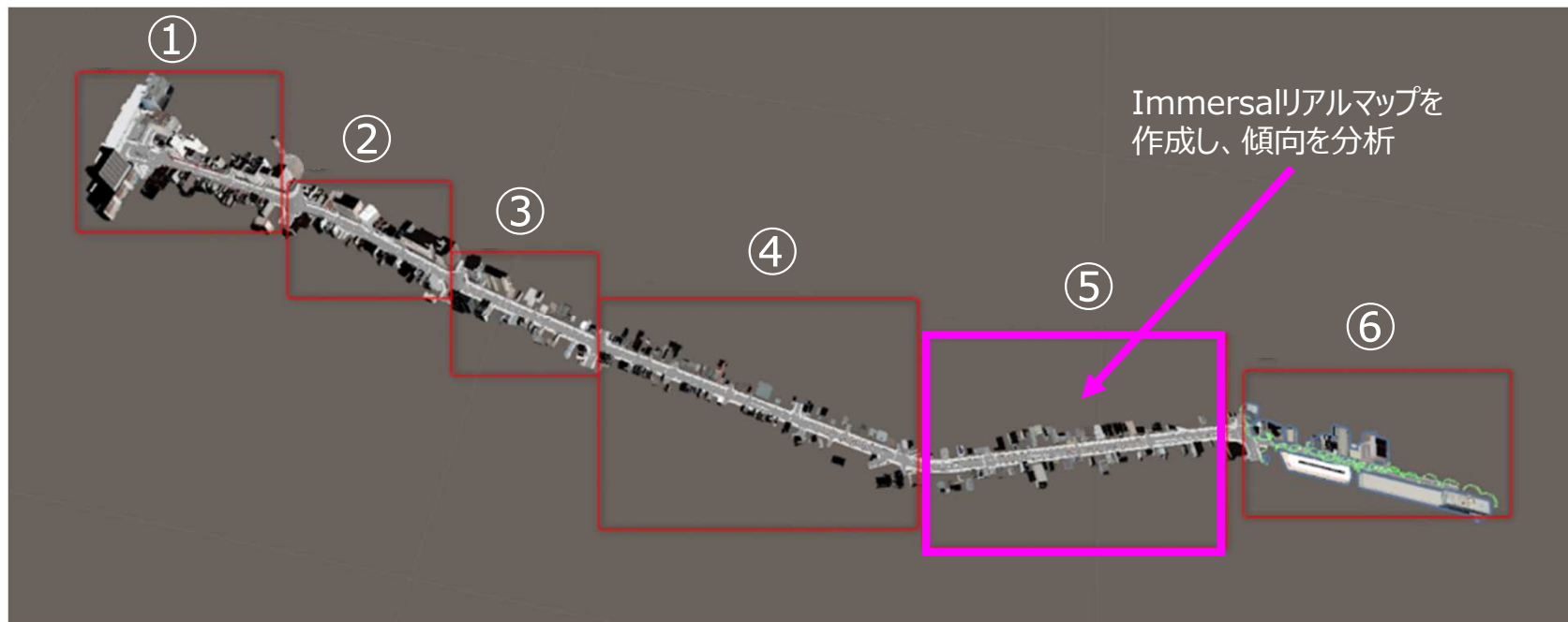
IV.実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.2 走行実証①を踏まえた調整

2.2.2 Immersaリアルマップによる改善点の模索

- PLATEAUマップの生成が困難な住宅地エリアについて、現地でImmersaリアルマップを作成し、PLATEAUマップとの違い等、傾向分析を行いPLATEAUマップの改善点を模索した。



Immersaリアルマップを作成し、傾向を分析した住宅地エリア

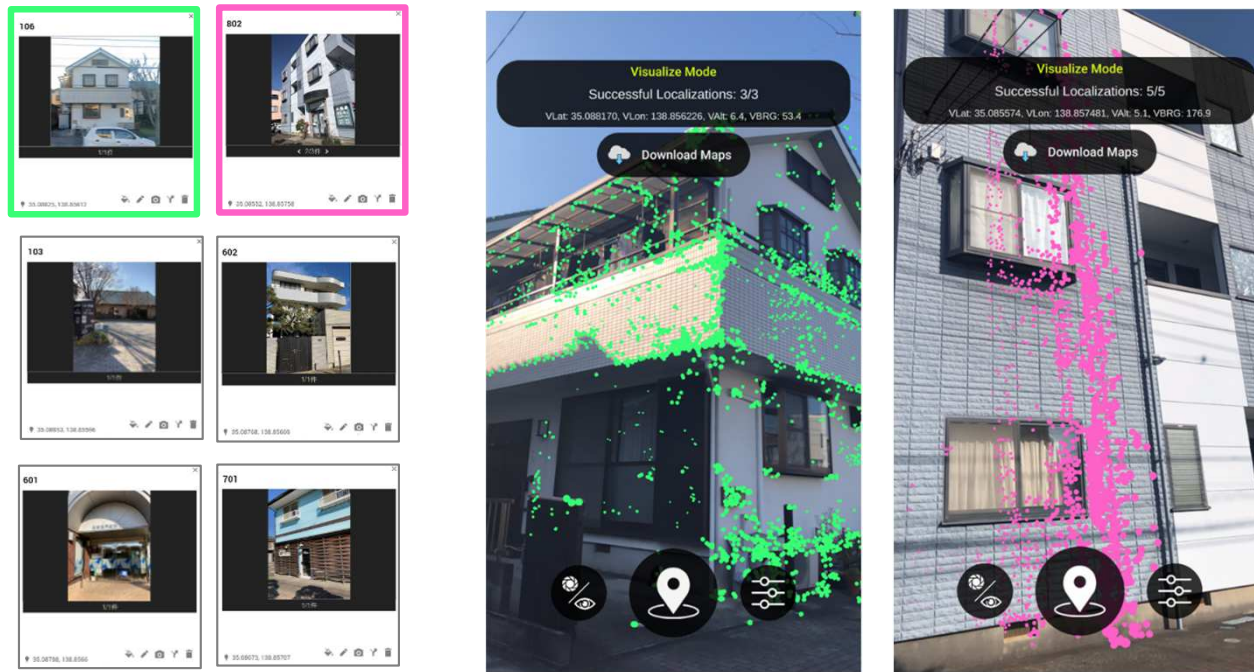
IV.実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.2 走行実証①を踏まえた調整

2.2.2 Immersalリアルマップによる改善点の模索

- 住宅地エリアにある約80棟を対象に、現地撮影によりImmersalリアルマップを作成し、ローカライズテストを実施した。
- Immersalリアルマップではローカライズを確認できたため、3D都市モデルの特徴点量が不足していることが確認できた。
- ImmersalリアルマップとPLATEAUマップの特徴点量の違いを検証し、今後の課題として取りまとめた。



Immersalリアルマップによる住宅エリアのローカライズテスト

※ 上記画像の点はローカライズ箇所を示す（色分けは使用するImmersalリアルマップを識別するためのもの）

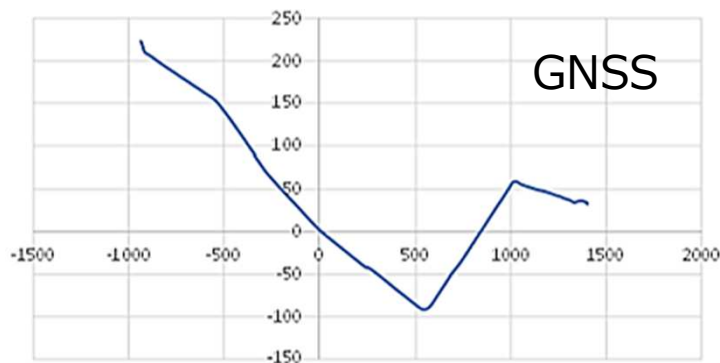
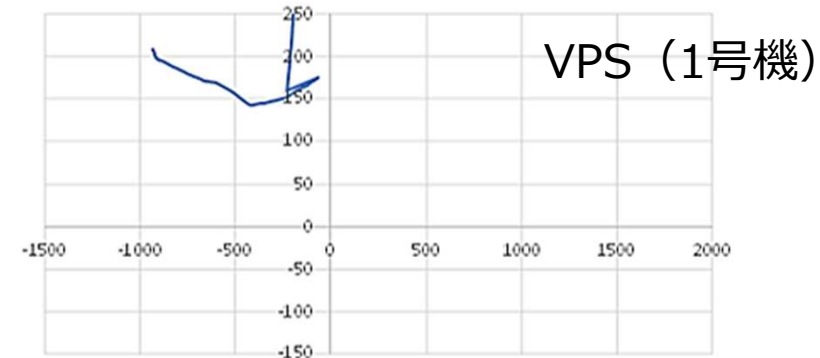
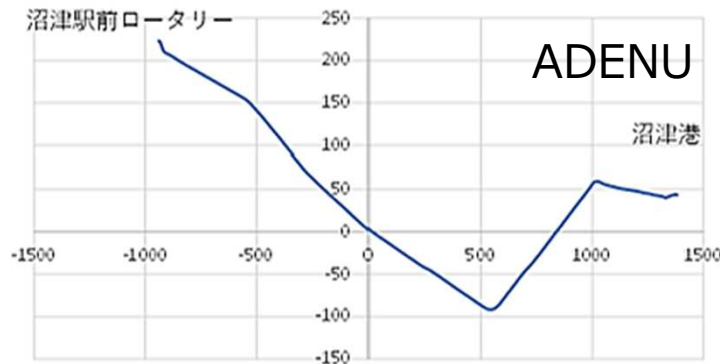
IV.実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.2 走行実証①を踏まえた調整

2.2.3 プレ実証で取得した位置情報の比較

- 1/14 13:50スタートの駅前から港までの走行データを抽出し、コース中ほどの地点（沼津市本新町410-1）を(0,0)としてADENU、GNSS、VPSの各位置情報をプロットした。
- VPSは途中からローカライズがうまくいかず、以降の座標取得もできていない。
- ADENUとGNSSは概ね同様の走行軌跡となっている。



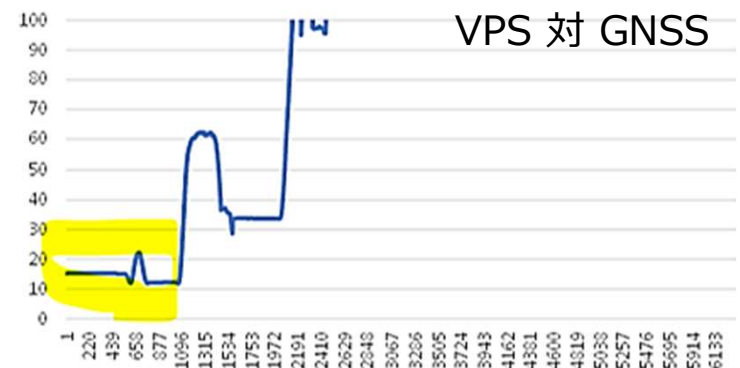
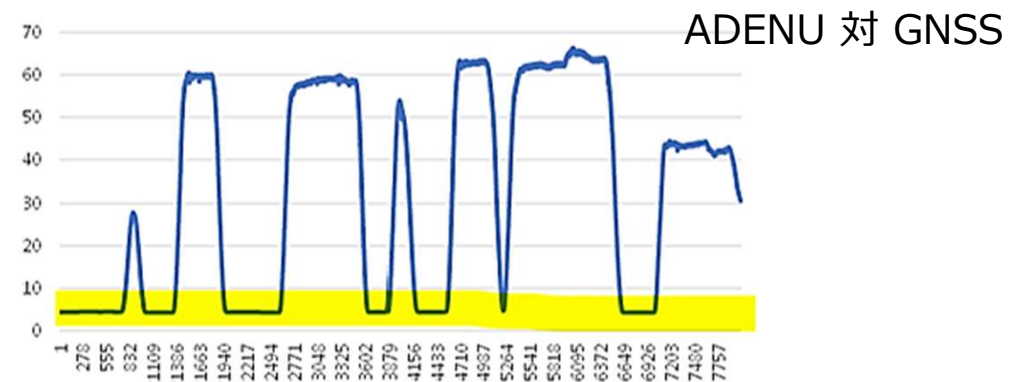
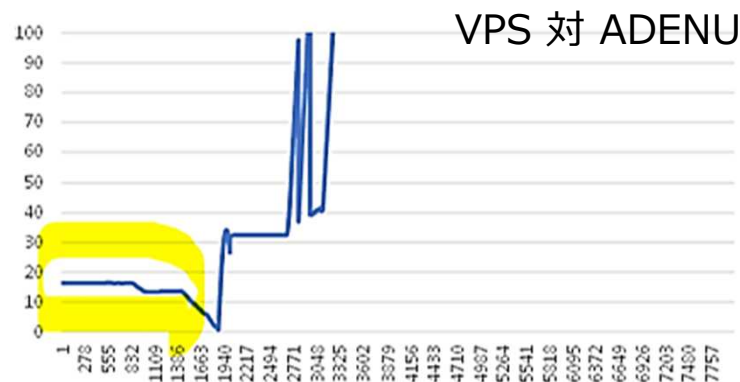
IV.実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.2 走行実証①を踏まえた調整

2.2.3 プレ実証で取得した位置情報の比較

- 1/14 13:50スタートの駅前から港までの走行データを抽出し、VPS対ADENU、VPS対GNSS、ADENU対GNSSの各々の距離差をプロットした（縦軸＝距離差、横軸＝座標取得順）。
- 駅前ロータリー発車後の最も差が少ないところで、VPS座標とADENU、GNSSの座標の差がどちらも10～20mだった。一方でADENU対GNSSの差は4mほどだった。
- ADENU対GNSSの差のグラフを見ると最低差が4mほどで安定しており、ADENUの原点であるLiDARの位置とGNSS端末の設置場所の違いなどによる定数値の差であると推測できる。差の要因の確認の後に必要であれば定数値を加算することでキャンセルできる差であると思われる。一方で60mを超える差が生じている点は、走行軌跡自体はほぼ同じように見えることから、どちらかの計算結果が遅延している可能性もある。



IV.実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.2 走行実証①を踏まえた調整

2.2.4 ローカライズ速度の高速化

- ローカライズ速度の高速化のための調整を行った。
- 使用機材とソフトウェアは以下のとおり。
- 具体的な調整の実施内容と結果、課題、対応等は次ページ表に整理したとおりである。

使用機材とソフトウェア

機材・ソフトウェア	内容
Google Pixel 6	• Android 12 • CPU Google Tensorプロセッサ • メモリ 8GB • カメラ 500万画素, Qcta PD Quad Bayer 広角
Immersal	• Ver1.14

IV.実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.2 走行実証①を踏まえた調整

2.2.4 ローカライズ速度の高速化

ローカライズ速度の高速化

システムバージョン	改良内容
Ver1.00 1回/5秒	• Immersalが公開している公式サンプルに従って実装した。 • 多数のマップを同時に処理することで処理高負荷となり遅延が発生。 • 40ほどのマップが同時に有効化され、1回のローカライズに5秒以上の時間を要していた。 • これによりサンプル間隔が大きくなり、位置推定のチャンスが減少するとともに精度も影響を受けていた。
Ver1.50 (プレ実証時点) 1回/5秒	• 公式ドキュメントにも対応方法がなく、独自に調査を開始。 • スマートフォンのGPS機能により、おおよその位置座標を計算し、周辺のマップのみを選択して、マップの有効・無効を切り替える方法に変更。 • GPS精度の誤差を考慮し、図表1.20.4に示すように対象地域を大まかに箱型分割して、それぞれを単位としたマップの有効・無効を制御。 • しかし、マップの切り替えにより、まだ処理の高負荷が発生、期待したほどの改善には至らず。 ※マップの有効・無効とは：Unity上のGameObjectの有効・無効を指し、Immersalのスクリプトで実施 【有効時】メモリへの当該マップのロードと、ローカライズライブラリの管理領域への登録および点群のロードと表示用ジオメトリを用意する処理を実行 【無効時】メモリ上から当該マップおよび点群のアンロードを実行
Ver2.00 1回/秒	[課題] ①同時にローカライズするマップが多いと高負荷になる。 ②マップの有効・無効の切り替えは高負荷になる。 [方針] マップの有効・無効の切り替え処理を行わず、GPSの位置をもとに、より細かいマップの制御を行えるようにする • Immersalのソースコード解析の結果、低レベルAPI（システムの最もネイティブな命令関数）を使用して直接マップidを指定したローカライズ実行方法を発見。 • あらかじめすべてのマップを有効にし、有効・無効の切り替えを行わないようにする。 • GPS座標に近い少数のマップのみをマップidをダイレクトに指定したローカライズを実行。 • 各マップは有効エリア（バウンディングボックス：当該マップが有効になってほしいエリアをマップ毎に定義したもの）を手動で調整した上で、Unity上の物理演算の衝突判定機能で判定。 • さらに、マップの有効/無効が短時間で繰り返されることを防ぐため、マップの有効/無効用のマージンを設定し制御。

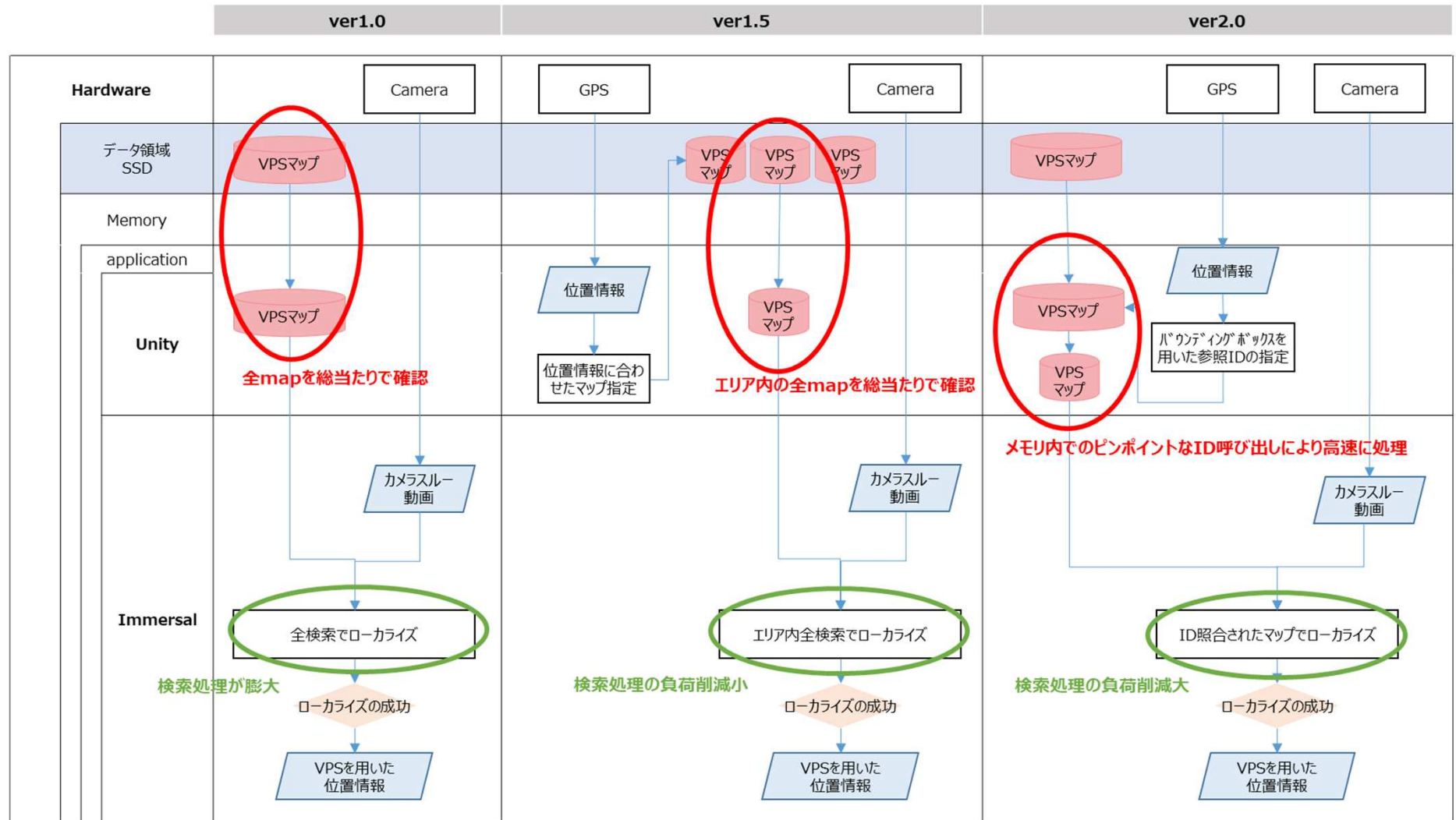
IV.実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.2 走行実証①を踏まえた調整

2.2.4 ローカライズ速度の高速化

Immersalのローカライズ高速化 システム概要

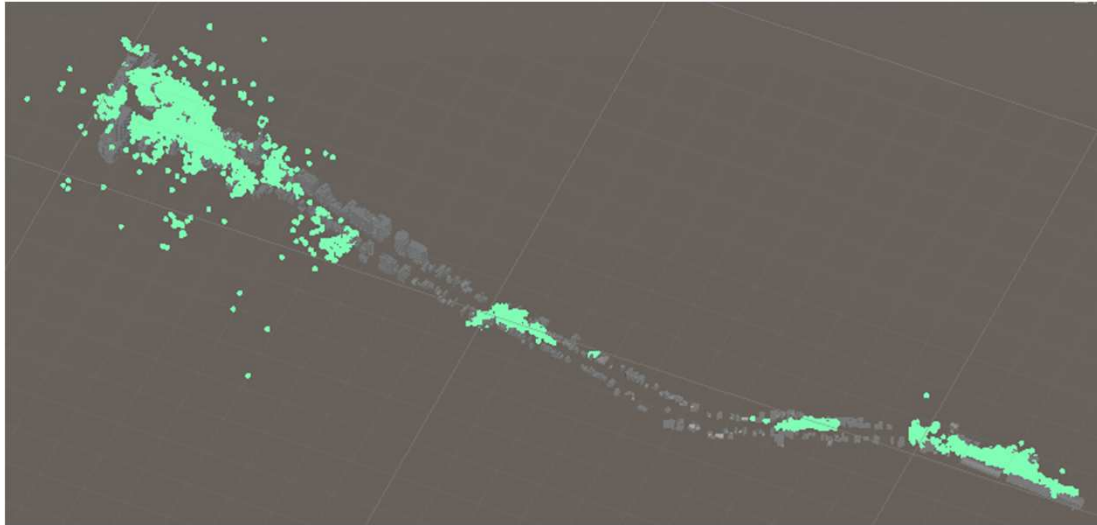


IV.実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.2 走行実証①を踏まえた調整

2.2.4 ローカライズ速度の高速化

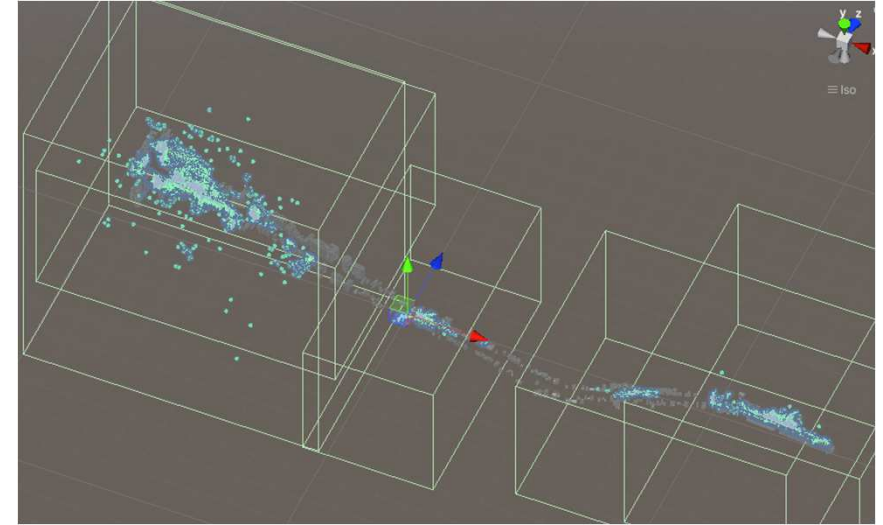


各PLATEAUマップ（上記の緑の点は、各PLATEAUマップの点群データ）

Ver1.00

対象地域の全PLATEAUマップを同時に処理していたことにより、高負荷となり処理の遅延が発生していた。

この結果、サンプルの間隔が大きくなり、自己位置推定のチャンスが減少するとともに精度も影響を受けていた。



Ver1.50の箱型分割

Ver1.50

GPS機能により、おおよその位置座標を計算し、周辺のPLATEAUマップのみを選択して、マップの有効・無効を切り替える方法に変更。GPS精度の誤差を考慮し、上図のように対象地域を大まかに箱型分割して、それぞれを単位としたマップの有効・無効を制御。

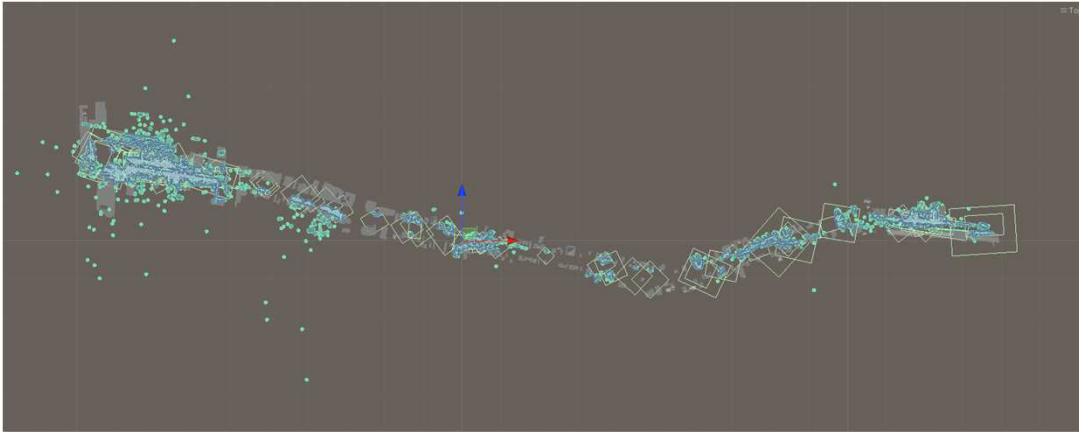
同時に処理するマップ数が減ったことでローカライズ時間は短縮したが、マップの切り替えにより、マップデータのロード・破棄を繰り返すことになり、処理の高負荷が発生、期待したほどの改善には至らなかった。

IV.実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.2 走行実証①を踏まえた調整

2.2.4 ローカライズ速度の高速化



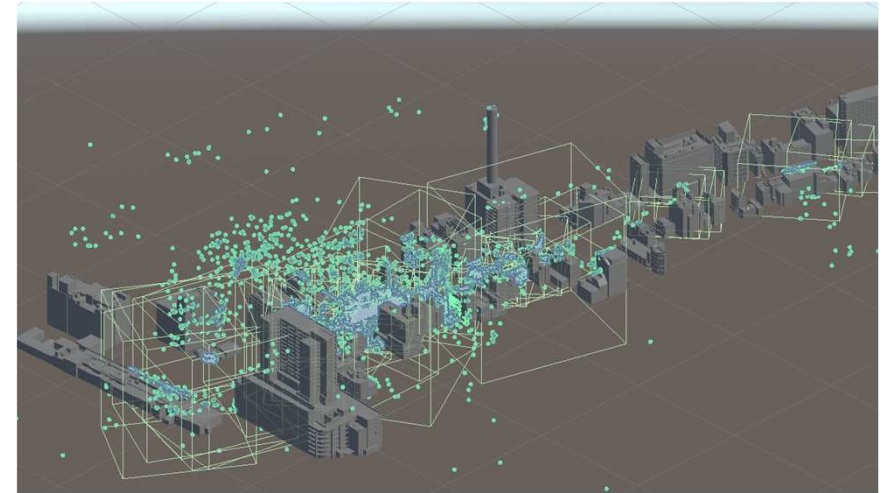
Ver2.00の対象地域全体のPLATEAUマップの
バウンディングボックス表示

Ver2.00

一つ一つのPLATEAUマップごとに有効無効を判断するためのバウンディングボックスを細かく設定。端末のGPS座標からバウンディングボックス内に端末が入ったと判断されたマップのみをローカライズの対象とするロジックを開発。

また、対象全マップはあらかじめロードした状態で、ローカライズ対象であるかのみを制御するロジックに改善。

ロード・破棄を行わないでよかったことと、きめ細かな制御を可能にしたことで、その場所で最適な必要最低限の数のマップが選択され、高速にローカライズが実行されるように改善。



Ver2.00のバウンディングボックスの詳細(駅前マップ)
Ver1.50よりも細かい単位で設定

IV.実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.2 走行実証①を踏まえた調整

2.2.5 ローカライズ良好なPLATEAUマップの増加

- 各種調整の結果、ローカライズ良好なPLATEAUマップを増加させることができた（改善前60から75に増加）。

PLATEAUマップ作成状況

エリア		建物数 ^{*1}	マップ作成済 ^{*2}	ローカライズ良好 ^{*3}
1	駅前・アーケード	41	39 (95%)	32 (78%)
2	アーケード	32	32(100%)	11 (34%)
3	住宅	39	27 (69%)	6 (15%)
4	住宅	95	63 (66%)	11 (12%)
5	住宅	62	45 (73%)	6 (10%)
6	港	16	15 (94%)	9 (56%)
合計		285	221 (78%)	75 (26%)

*1 奥まったところにある建物を除く、PLATEAUマップ作成対象となる建物数

*2 PLATEAUマップとして作成に成功したマップ数

*3 作成に成功したマップのうち、Unity上の検証環境で試行した結果5割以上ローカライズが成功したもの

IV.実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.3 走行実証②

- 前述のとおり検討・調整・改善を図ったVPSにより、あらためて現地走行実証（本実証）を実施した。

検証目的 PLATEAUによる走行車両位置取得実証（本実証）

検証時期 2022年3月7日(月)～8日(火) 8:00-16:00

気象 晴れ、気温14℃

対象エリア 沼津駅南口から沼津港（2.2km）

検証内容

- VPSでの車両位置の取得（12/20版LOD3によるPLATEAUマップを使用）
- 自動運転システム（ADENU）による車両位置情報の取得（運転は静岡県との調整により手動で実施）
- GNSS（ichimill）による車両位置情報の取得

実施項目	結果
VPS	・ 駅前エリア、アーケード街、港周辺エリアを中心にローカライズした。 ・ ADENU、GNSSの走行軌跡と比較して、概略の位置を取得可能であることを確認。 ・ ADENU、GNSSとのローカライズ地点の距離差は5m前後にピークがあるが、分散幅は大きい。
ADENU	・ 安定した走行軌跡を取得。
GNSS	・ 安定した走行軌跡を取得。

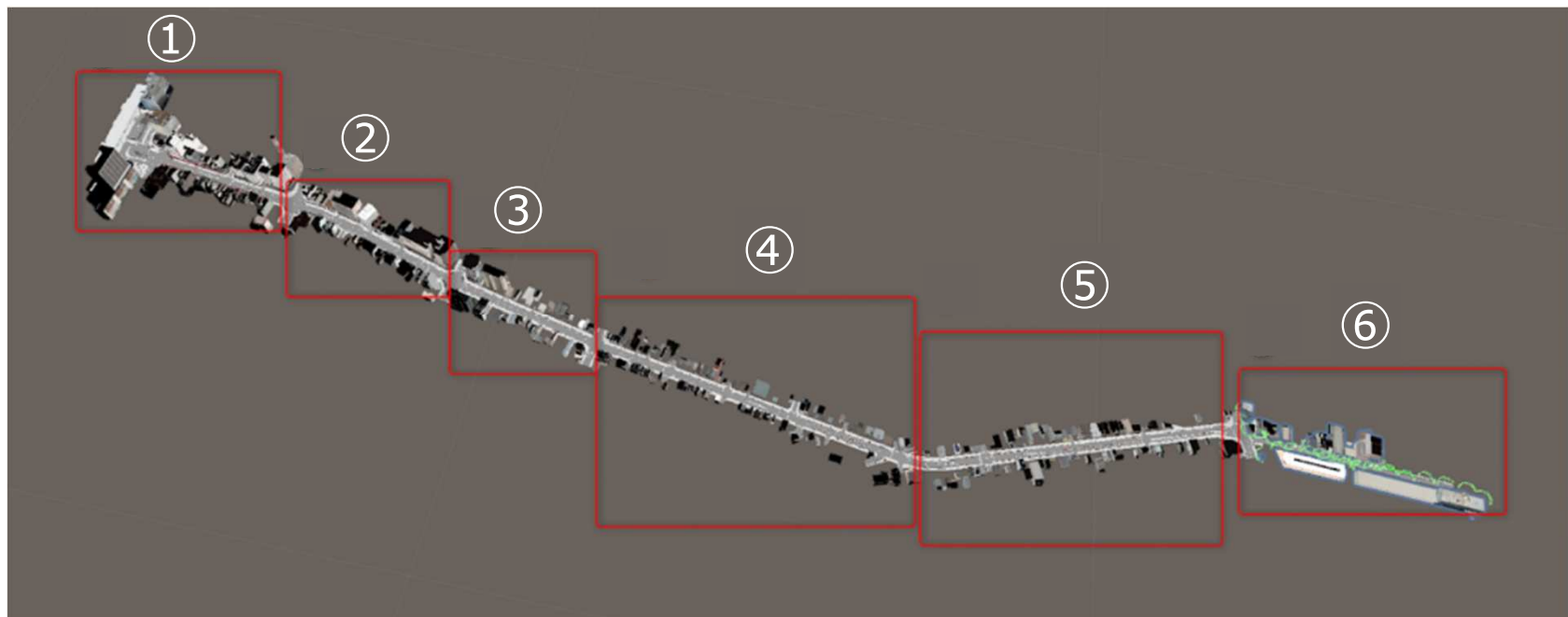
IV. 実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.4 走行実証②による成果

VPS本実証で使用するPLATEAUマップの状況

エリア		建物数	マップ作成済	ローカライズ良好
1	駅前・アーケード	41	39 (95%)	32 (78%)
2	アーケード	32	32(100%)	11 (34%)
3	住宅	39	27 (69%)	6 (15%)
4	住宅	95	63 (66%)	12 (13%)
5	住宅	62	45 (73%)	12 (19%)
6	港	16	15 (94%)	9 (56%)
合計		285	221 (78%)	82 (29%)



IV. 実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.4 走行実証②による成果

2.4.1 走行車両の自己位置情報推定

- 最大時速19km/hの走行車両上で、VPSによって位置情報を取得した（全サンプル数 912,693）。

時刻2	種別IM=Im	X(m)2	Y(m)2	Z(m)2
9:15:02	IM	-935.6359	18.4155	219.9966
9:15:02	IM	-934.2544	7.006144	222.0278
9:15:02	IM	-934.6503	10.4386	213.6727
9:15:02	IM	-909.2998	9.019821	238.7291
9:15:02	IM	-934.6544	10.43525	213.6851
9:15:02	IM	-909.3008	9.019485	238.7252
9:15:03	IM	-935.6316	18.41571	219.9949
9:15:03	IM	-934.2478	7.002462	222.0204
9:15:03	IM	-934.2436	6.997948	222.0229
9:15:03	IM	-935.6286	18.41581	219.9934
9:15:03	IM	-934.6609	10.4224	213.7119
9:15:03	IM	-909.3033	9.018661	238.7198
9:15:03	IM	-934.668	10.41297	213.7198
9:15:03	IM	-909.3126	9.016109	238.7127
9:15:03	IM	-934.2379	6.9942	222.0094
9:15:03	IM	-935.6251	18.41601	219.991
9:15:03	IM	-934.2343	6.991025	222.0016
9:15:03	IM	-935.6208	18.41692	219.9884
9:15:03	IM	-934.6733	10.40345	213.739
9:15:03	IM	-909.3165	9.014865	238.7139
9:15:03	IM	-934.6783	10.39677	213.7456
9:15:03	IM	-909.3202	9.013678	238.7185
9:15:03	IM	-934.2292	6.987275	221.9813

9:15:03	IM	-935.6169	18.41778	219.9862
9:15:03	IM	-934.3443	7.074711	221.4538
9:15:03	IM	-934.6827	10.38972	213.7565
9:15:03	IM	-909.3244	9.012218	238.7217
9:15:03	IM	-935.617	18.41747	219.9857
9:15:03	IM	-934.7769	7.405367	219.5744
9:15:03	IM	-934.6877	10.38469	213.7549
9:15:03	IM	-935.6145	18.41827	219.9817
9:15:03	IM	-909.335	9.009698	238.7175
9:15:03	IM	-935.1964	7.727011	217.7434
9:15:03	IM	-934.6895	10.38053	213.7702
9:15:03	IM	-909.3391	9.00857	238.7205
9:15:03	IM	-935.612	18.41871	219.978
9:15:03	IM	-909.3413	9.007974	238.7213
9:15:03	IM	-935.5867	8.029262	216.012
9:15:03	IM	-935.6114	18.41886	219.975
9:15:03	IM	-934.6935	10.37569	213.7712
9:15:03	IM	-935.6115	18.41855	219.9749
9:15:03	IM	-934.6989	10.36983	213.7562
9:15:03	IM	-909.3422	9.007706	238.7236
9:15:03	IM	-935.9139	8.283068	214.543
9:15:03	IM	-934.7275	10.35153	213.7643
9:15:04	IM	-909.3454	9.006887	238.7278
9:15:04	IM	-935.6104	18.41909	219.9712

VPSにより取得した走行車両の位置情報（例）

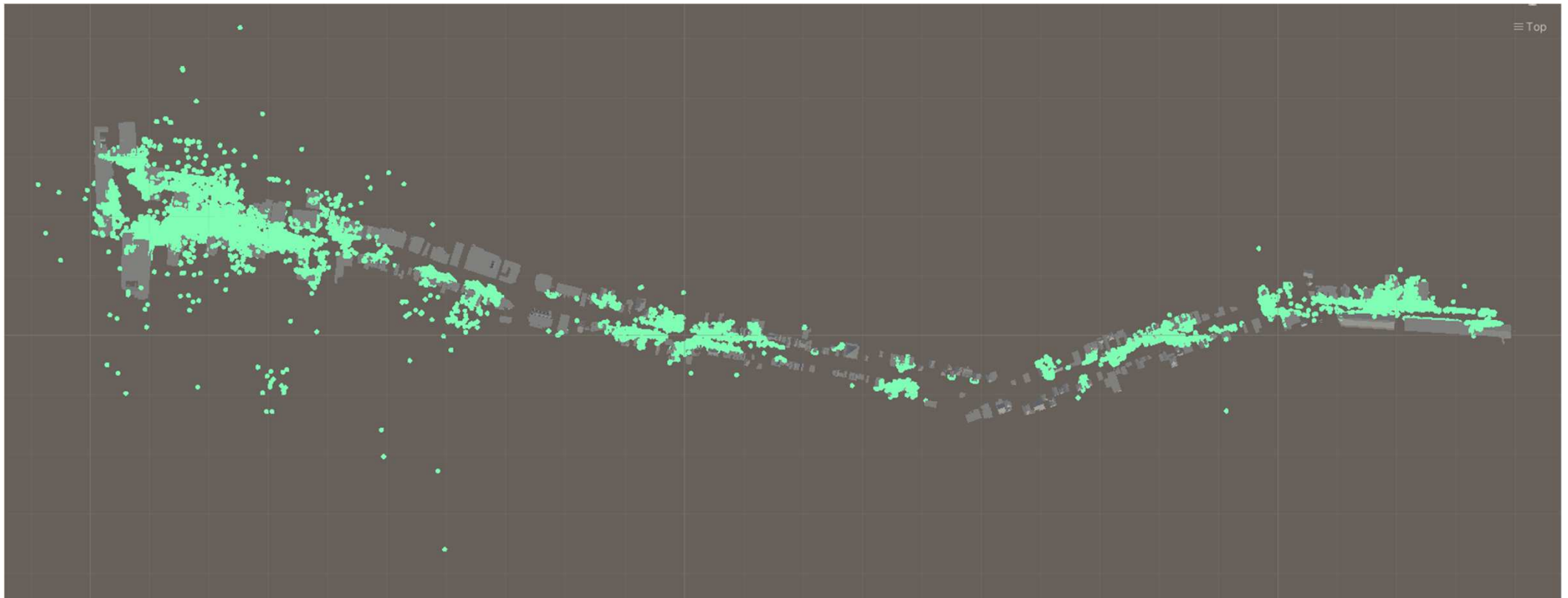
IV. 実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.4 走行実証②による成果

2.4.1 走行車両の自己位置情報推定

- Immersalがローカライズの際に用いる三次元点群データ（全82個のPLATEAUマップ）をコース上にプロットすると下図のとおりとなる。



VPSに搭載した全PLATEAUマップをプロット（全体）

IV. 実証システムの検証

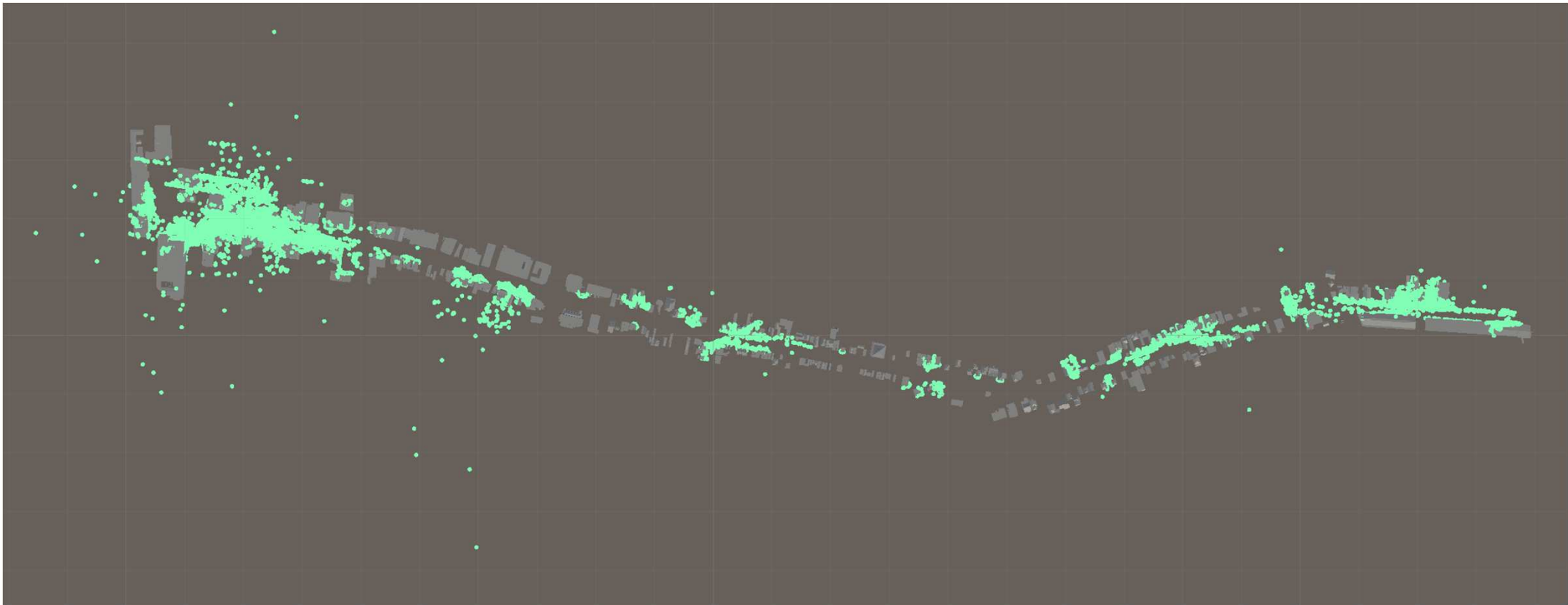
2. 現地走行による検証

2.4 走行実証②による成果

2.4.1 走行車両の自己位置情報推定

- Immersalがローカライズの際に用いる三次元点群データのうち、今回ローカライズに成功したPLATEAUマップをコース上にプロットして示すと下図のとおりとなる。

全体



ローカライズ箇所のPLATEAUマップをプロット（全体）

IV. 実証システムの検証

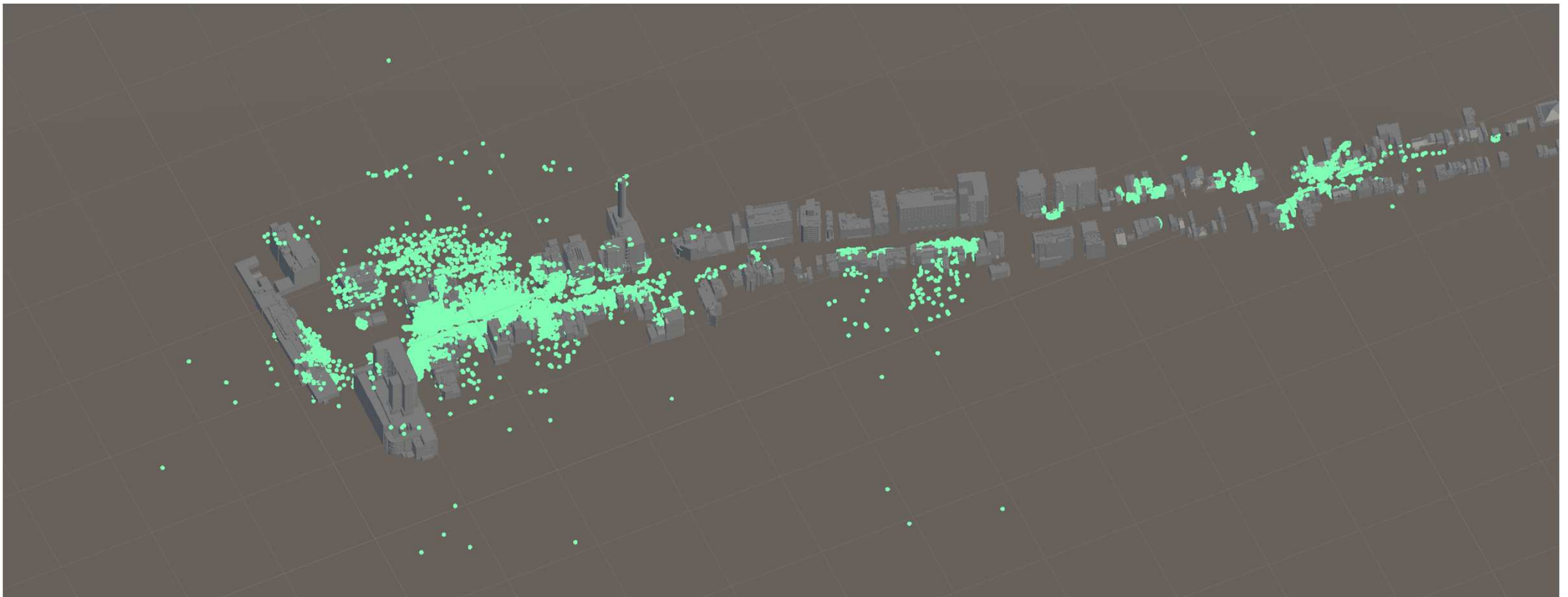
2. 現地走行による検証

2.4 走行実証②による成果

2.4.1 走行車両の自己位置情報推定

- 前述のプロット図をエリア別に示す。

駅前周辺エリア



ローカライズ箇所のPLATEAUマップをプロット（駅前周辺エリア）

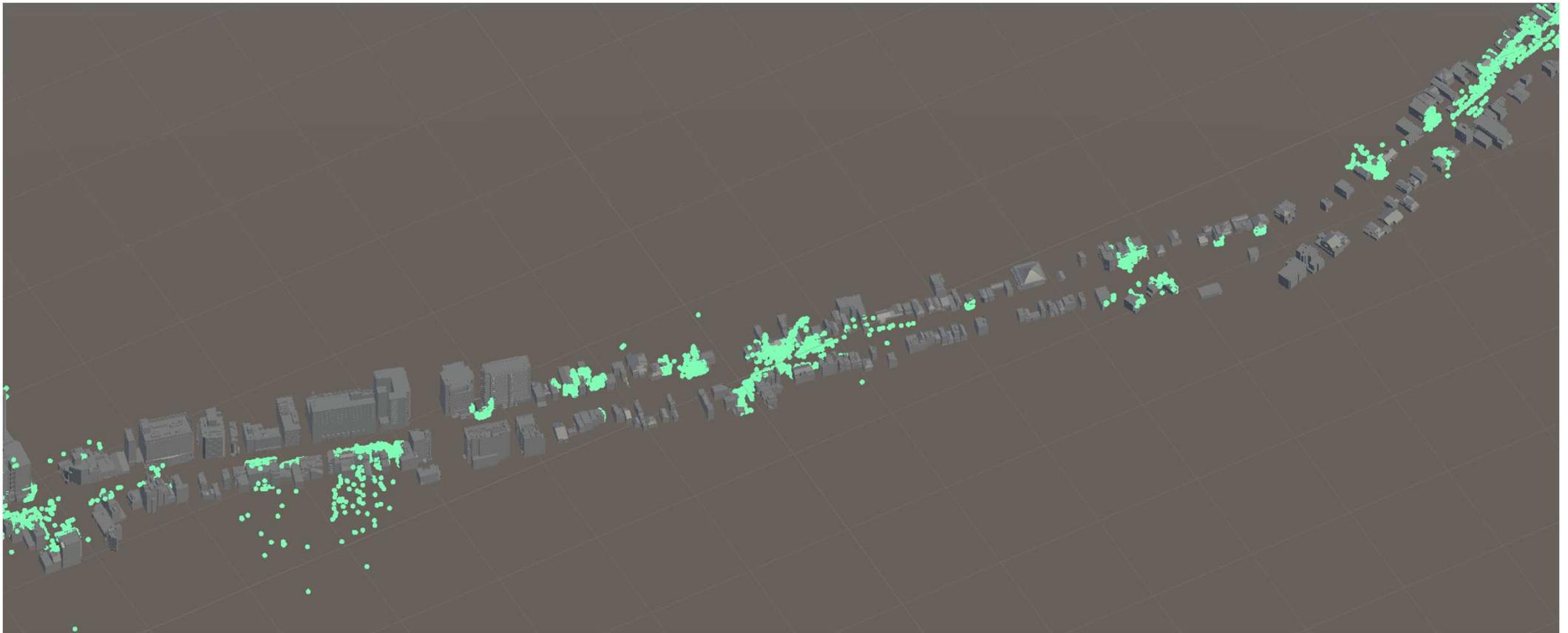
IV. 実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.4 走行実証②による成果

2.4.1 走行車両の自己位置情報推定

中間エリア



ローカライズ箇所のPLATEAUマップをプロット（中間エリア）

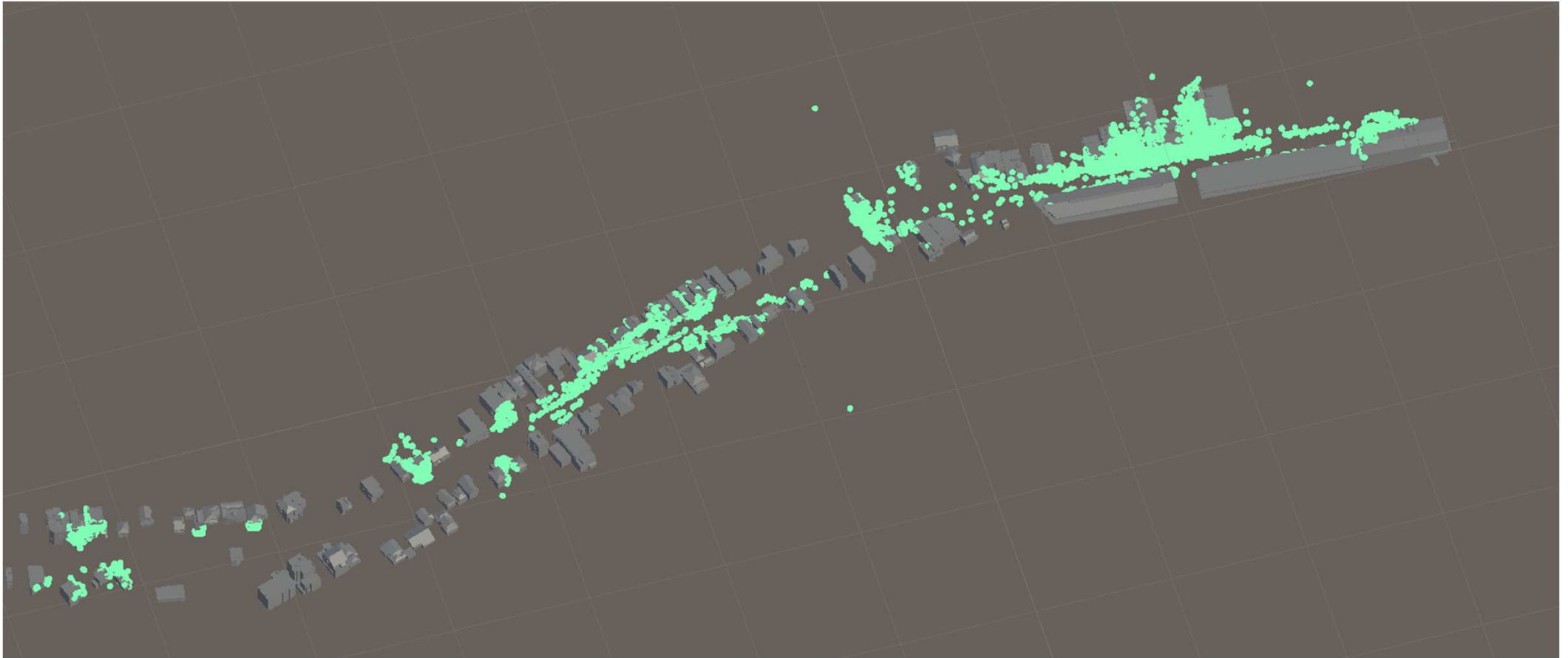
IV. 実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.4 走行実証②による成果

2.4.1 走行車両の自己位置情報推定

港周辺エリア



ローカライズ箇所のPLATEAUマップをプロット（港周辺エリア）

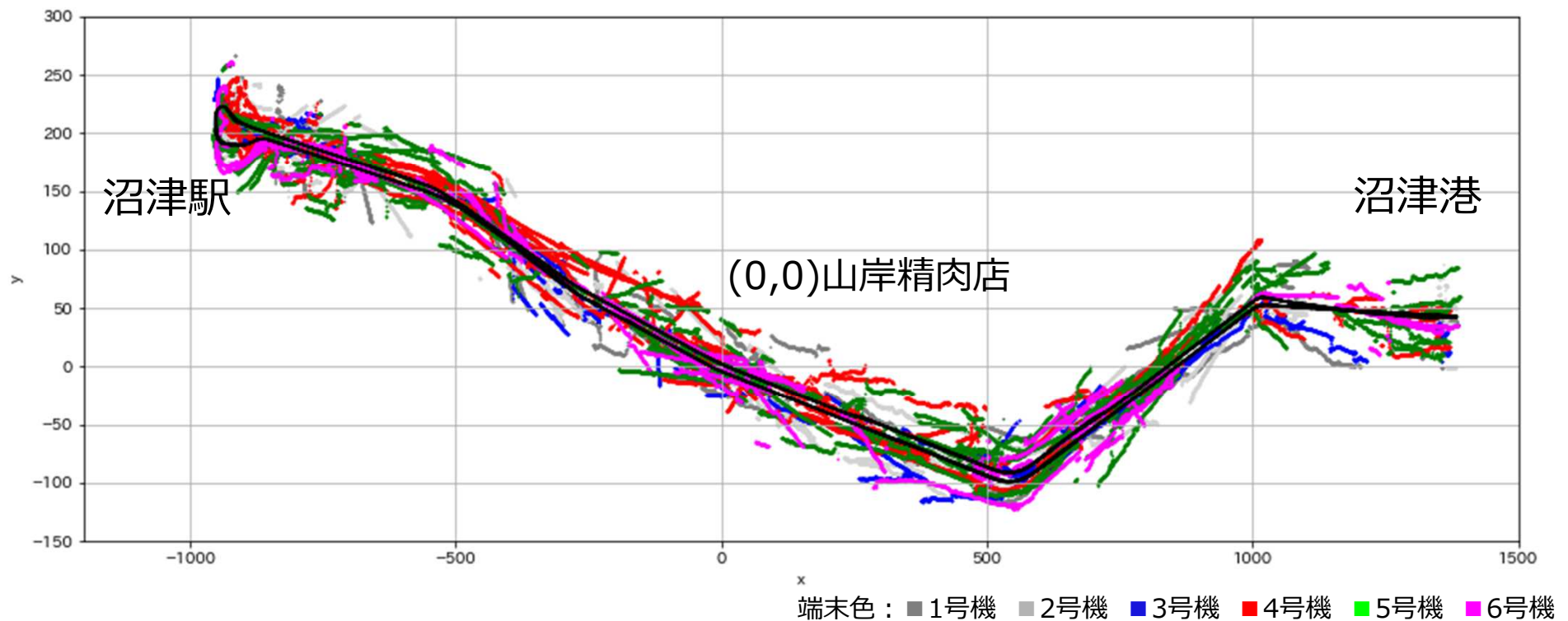
IV. 実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.4 走行実証②による成果

2.4.1 走行車両の自己位置情報推定

- コース中ほどの地点（山岸精肉店：沼津市本新町 4 1 0 - 1）を(0,0)として位置情報をプロットした。縦軸・横軸はm単位で表現している。
- 3/8に実施した全行（6往復）および全端末(6台)から取得した座標データをプロットしている。
- 黒線はADENUの走行データをプロットしたものであり、実際の走行軌跡を表すため提示する。



VPSで取得した位置情報のプロット（3/8版）

IV. 実証システムの検証

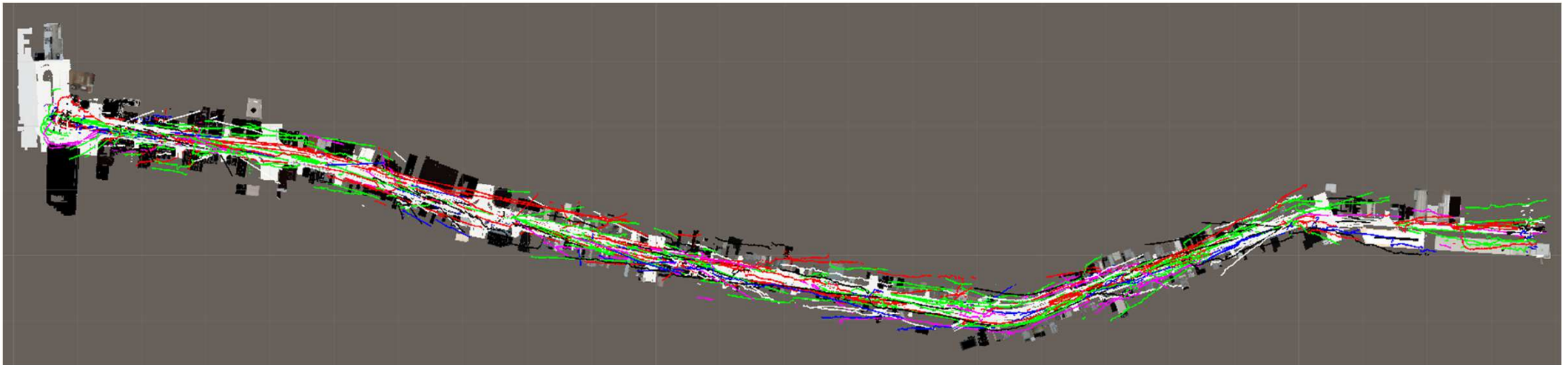
2. 現地走行による検証

2.4 走行実証②による成果

2.4.1 走行車両の自己位置情報推定

- VPSで取得した位置情報を3D都市モデルのコース上にプロットすると下図のようになる。
- おおよそコース上の軌跡を取得している様子がわかる。

全体



端末色 : ■ 1号機 □ 2号機 ■ 3号機 ■ 4号機 ■ 5号機 ■ 6号機

3D都市モデルのコース上に取得した位置情報を端末ごとにプロット（全体）

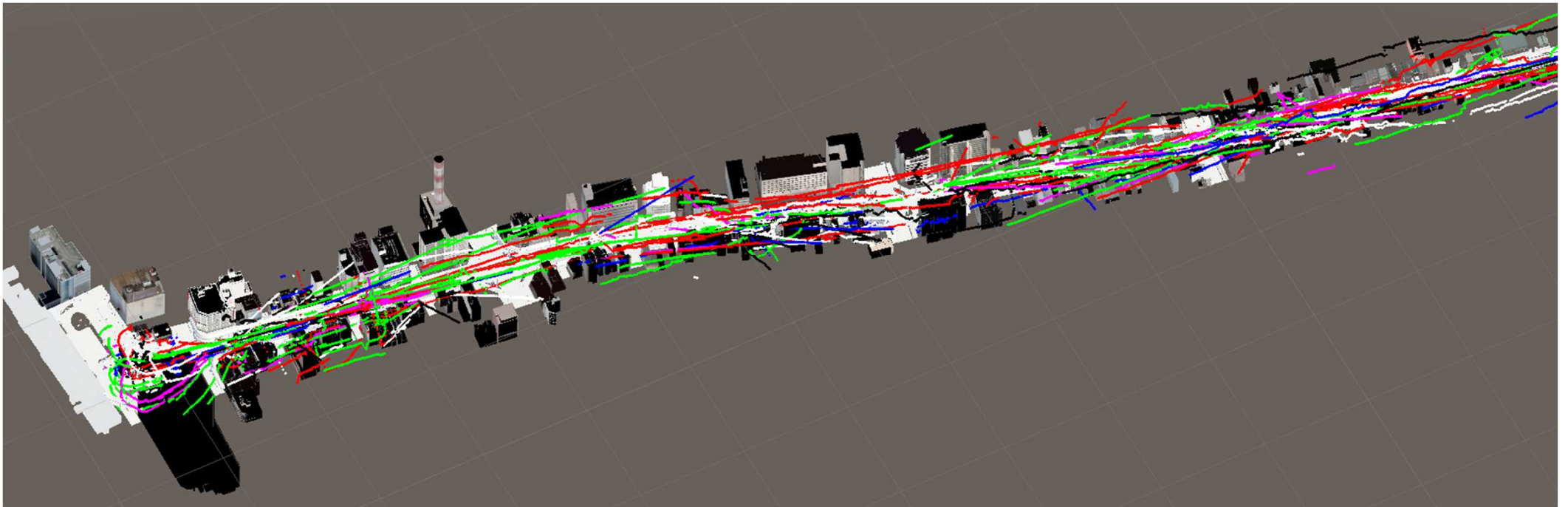
IV. 実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.4 走行実証②による成果

2.4.1 走行車両の自己位置情報推定

駅前周辺エリア



端末色： ■ 1号機 □ 2号機 ■ 3号機 ■ 4号機 ■ 5号機 ■ 6号機

3D都市モデルのコース上に取得した位置情報を端末ごとにプロット（駅前周辺エリア）

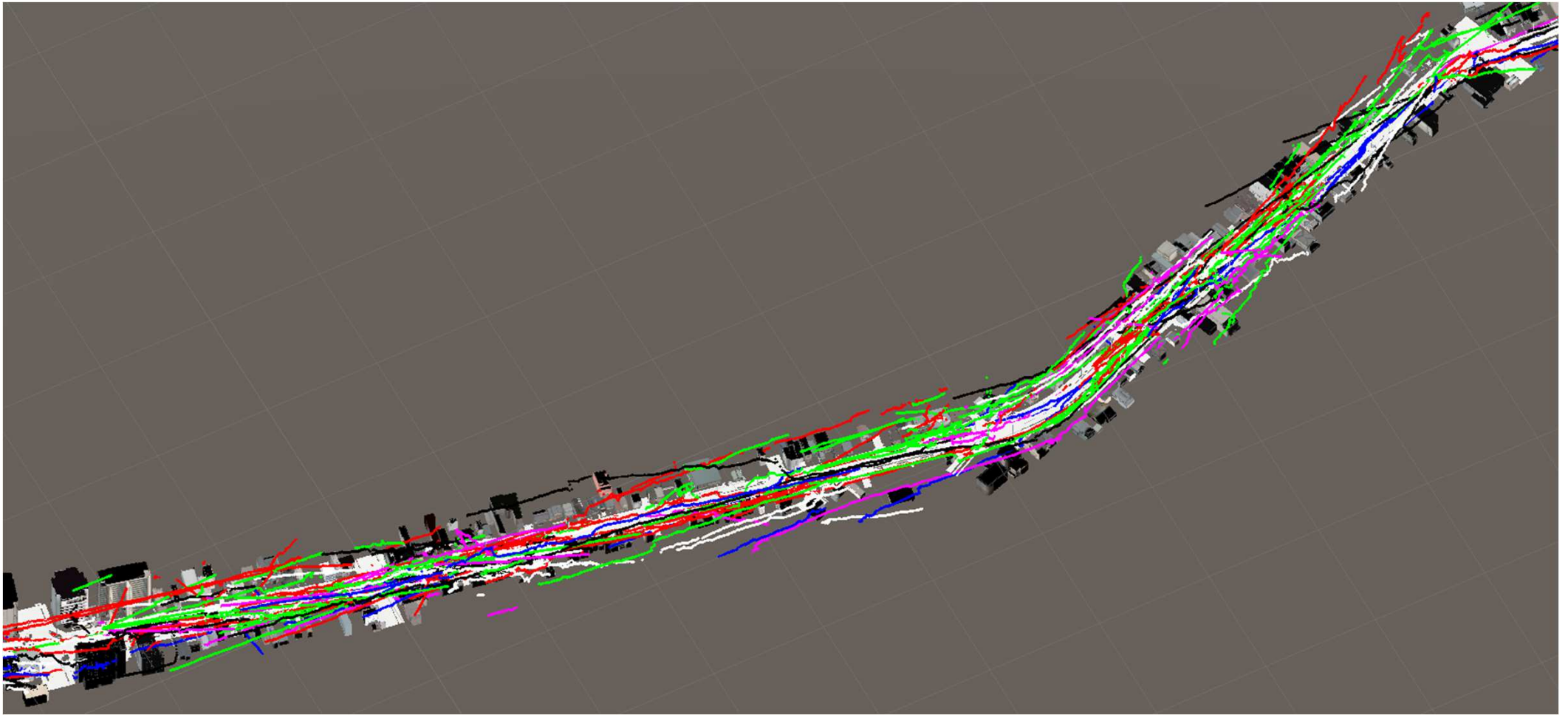
IV. 実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.4 走行実証②による成果

2.4.1 走行車両の自己位置情報推定

中間エリア



端末色： ■ 1号機 □ 2号機 ■ 3号機 ■ 4号機 ■ 5号機 ■ 6号機

3D都市モデルのコース上に取得した位置情報を端末ごとにプロット（中間エリア）

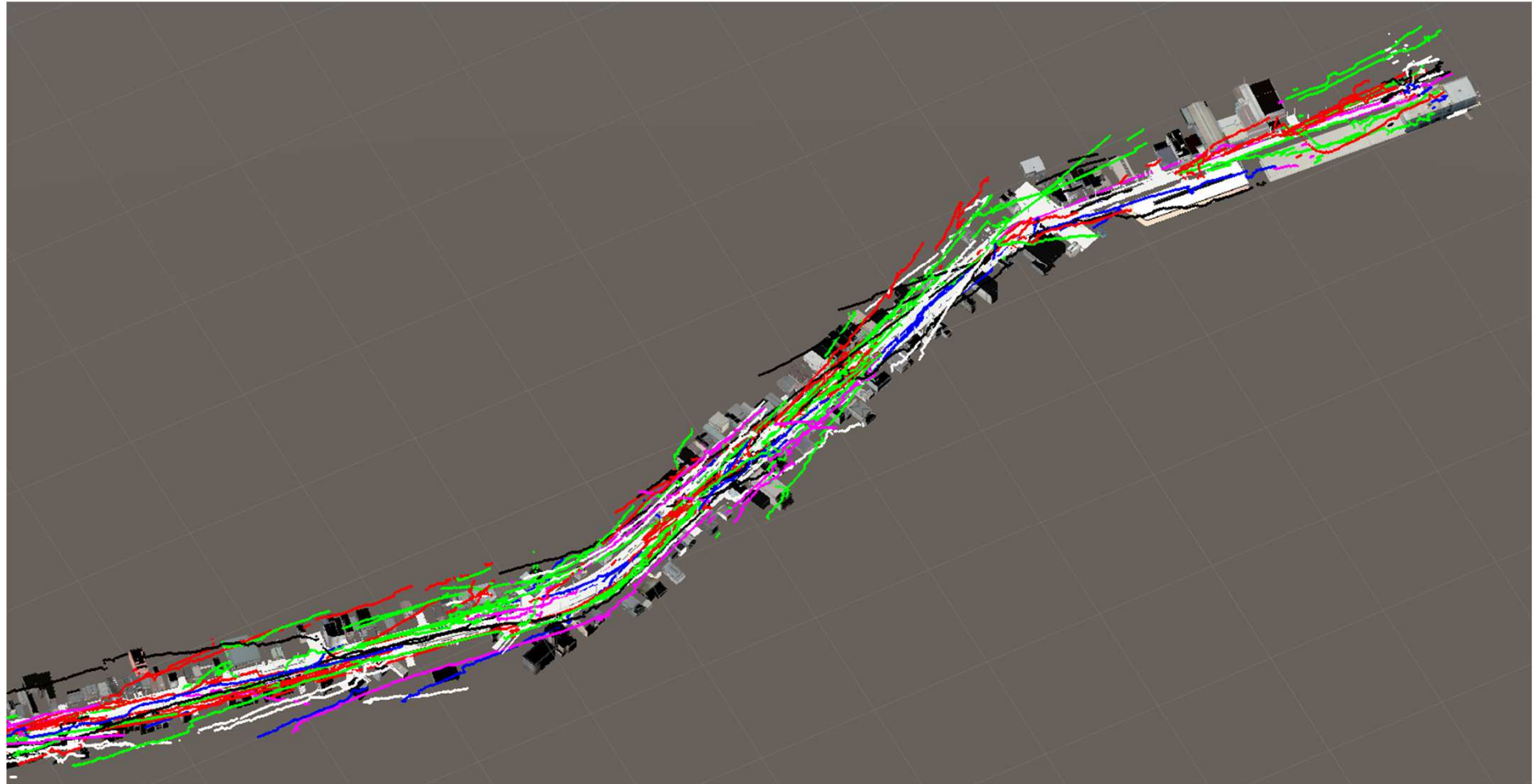
IV. 実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.4 走行実証②による成果

2.4.1 走行車両の自己位置情報推定

港周辺エリア



端末色： ■ 1号機 □ 2号機 ■ 3号機 ■ 4号機 ■ 5号機 ■ 6号機

3D都市モデルのコース上に取得した位置情報を端末ごとにプロット（港周辺エリア）

IV. 実証システムの検証

2. 現地走行による検証

2.4 走行実証②による成果

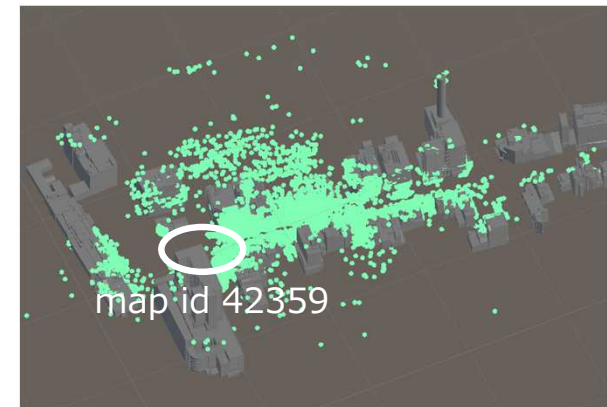
2.4.1 走行車両の自己位置情報推定

エリアごとのローカライズマップ詳細 (3/8版全体)

area	map id	hitcount	map name
1	42359	5062	EraDe
1	41217	226	Uotori
1	41238	151	MituiSumitomoSintaku
1	41235	87	MagurogoyaHonpo
1	45867	35	BLDcfef0ca1dc7d4ccaad1791d8efc719af
1	41216	29	Maruhoshi
1	45866	27	BLD74a2820da250425fbfdb7443e48b1943
1	41237	24	Riguru
1	41232	21	Katou
1	41218	20	Himono
1	41243	20	Tenku
1	42350	13	HokenCompany
1	44223	13	LoveLive
1	42316	12	Mizuho
1	42365	10	NumazuStation
1	41244	8	Kushizaru
1	42338	8	Aikoudou
1	41239	7	Borukano
1	41241	7	Takenoko
1	41242	7	Aunsu
1	42342	6	Nitii
1	40239	5	NumaduStation
1	45868	5	BLD4e17672b38ff418bb380b28b2978b015
1	41251	4	Yoshimoto
1	41236	2	Washinton
1	42333	2	dolceFukudaya
1	42349	2	SyoukenJapan
2	41308	71	Tamaruya
2	42391	64	ToukiOotake
2	42398	26	Kokoro
2	44227	24	Fudii
2	41309	19	Shirokabe
2	42384	8	TenpraUobun
2	43019	5	Wine

3	44231	65	Minoya
3	43021	36	Fukushimaya
3	43024	36	THE BLUE WATER
3	43026	30	TakadalchouParking
3	44236	5	BLDa35f2bd9916c4bb7ba7b00f6541ebd51
4	40182	92	1101DockDollUp
4	43029	84	TosouTikiri
4	43036	80	SOL
4	40177	29	1101YamagishiSeinikuAll
4	40183	20	1101YamagishiSeinikuUp
4	45081	14	Haruta
4	45083	14	NatoriHamonoten
4	40137	13	BLDf44a28d902514b1da9230959f29da38e
4	43034	11	MorisakiSyouten
4	44311	8	BLDce2fe6c0fabe43f282b1cd4ce156f6d8
4	44324	7	BLD2cdf8ecc82094efcaa8743be21a0a45d
5	45870	86	BLDe27c2a03ce1a4f4eb389e494034ca08b
5	45877	36	BLD68e2410352dd4612a23dac0ba4bda7d0
5	40180	32	1126WasabiMaruya
5	40179	22	1101SasuyoTeiAll
5	45882	17	BLD96cdb1858c68468abd30c8ed4138d3e6
5	45872	13	BLD5d0670014f2248d9ab88c9d03c66a47d
5	44336	10	BLD96cdb1858c68468abd30c8ed4138d3e6
5	45860	2	BLD9b103fbd6f5b4476bf16a1b04dec1e31
5	44334	1	BLDa711f2e0702e45c9a3f5a8a88eda39b2
5	44335	1	BLD8174f2e0b275470da8852127e66d363b
6	41295	154	Uoichiba
6	40136	111	Reizouko
6	45863	111	BLDda45132c3fbc41908e3c4ae641b8acf0
6	40181	45	1126KakiGoyaAll4
6	40263	12	Reizouko
6	40264	12	SasuyoTei
6	41283	6	UmisachiSijou
6	40260	3	UmisachiSijou

例 : map id 42359 EraDe



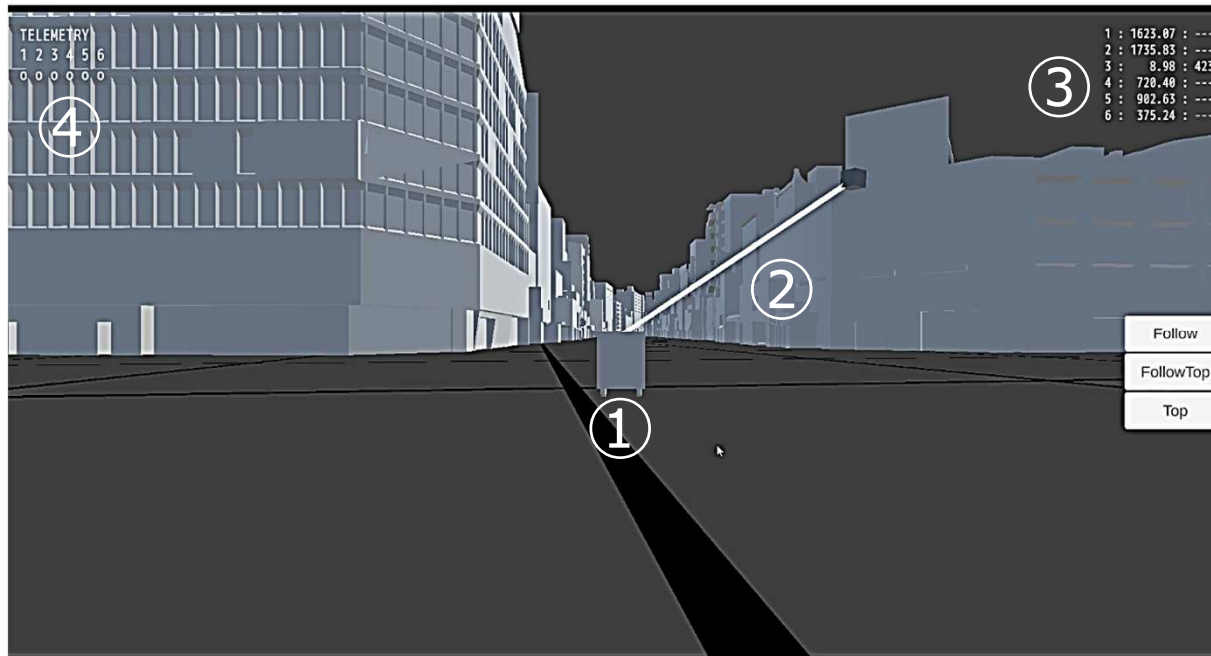
IV. 実証システムの検証

2. 現地走行による検証

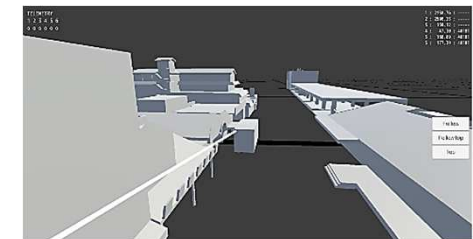
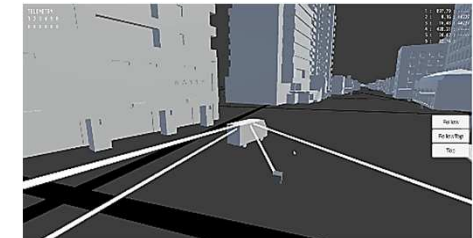
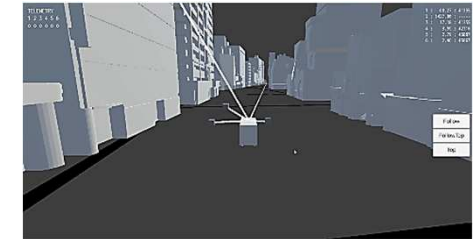
2.4 走行実証②による成果

2.4.2 ローカライズ状況可視化ビューアの開発

- 車両走行中にローカライズ状況がリアルタイムに分かるビューアアプリケーションを開発した。
- ローカライズ時のPLATEAUマップのid、ローカライズ箇所、車両からの距離等をリアルタイムに可視化する機能を有する。



- ① 走行車両：GPSにより3D都市モデル上の車両の該当位置を示す
- ② ローカライズアーム：ローカライズ箇所を示す（アームの長さが対象物との距離を表す）
- ③ マップidと距離：各端末毎にローカライズが成功した際のPLATEAUマップの識別idとローカライズ地点までの距離を表示
- ④ 端末状況：各端末が正常に起動しているか否かの状態を0/1で表示



VPSローカライズ状況を示すビューア画面

IV. 実証システムの検証

3. 他データとの比較による精度検証

3.1 比較用データの整備

- 今回の実証に活用する自動運転車両に搭載されている自動運転システム（ADENU）で利用しているLiDAR等で得られる自己位置推定情報、および、GNSSで得られる自己位置推定情報（高精度測位サービス）を比較用データとして利用した。
- いずれもVPSが搭載された走行車両で同時に計測を行い比較を行った。
- また、ADENU側でローカルのNTPサーバーを起動させ、取得値の時刻同期を行った。



ADENUで利用しているLiDAR



追加搭載したGNSS受信装置

IV. 実証システムの検証

3. 他データとの比較による精度検証

3.1 比較用データ整備

ADENUによる取得情報の座標変換

- ADENU側の日本平面直角座標8系とVPS側のUnity座標との比較を行うため、ADENU側の情報を次の要素を持つタブ区切りのテキスト形式のデータ（TSV形式：Tab Separated Value形式）で連携するように調整した。

ADENU側から取得するデータ概要

項目		内容
時刻		UTC形式（ms単位まで）
位置（平面直角座標系）	X	
	Y	
	標高	
方位（Quaternion）	W	
	X	
	Y	
	Z	
レーンID		レーンを認識する管理ID（独自に設定したID）
レーンオフセット	縦	レーン原点の座標系（レーンベクトルが軸）での座標値（中心線の前後方向のズレ）
	横	レーン原点の座標系（レーンベクトルが軸）での座標値（中心線の左右方向のズレ）
レーン原点	X	走行の基準となる中心線を表す線分の始点
	Y	走行の基準となる中心線を表す線分の始点
	Z	走行の基準となる中心線を表す線分の始点
レーンベクトル	X	走行の基準となる中心線を表す線分の始点から終点のベクトルを正規化したもの
	Y	走行の基準となる中心線を表す線分の始点から終点のベクトルを正規化したもの
	Z	走行の基準となる中心線を表す線分の始点から終点のベクトルを正規化したもの
精度		LiDARのマッチング率（スコア）
自動運転フラグ		自動運転状況を示すフラグ。True：自動運転、False：手動運転

IV. 実証システムの検証

3. 他データとの比較による精度検証

3.2 比較による精度検証

3.2.1 精度検証の方法

- ADENUとGNSSとで取得した座標をそれぞれVPSにより推定した座標との比較元データとする。
- 時刻同期は、ADENUとVPSとは、ADENU側で起動するNTPサーバーを用いて行い、GNSSはGPS衛星から送信される時刻を用いて行う。
- ADENU、GNSSは、Ⅲ.2.3で説明した変換方法を用いUnity上の座標に変換して座標系を統一し、比較を行う。(ジオイド高補正、平面直角座標からの変換を適宜データに合わせて行う。)
- VPSにより推定した座標は、Unity上の座標なので、これはそのまま比較のための座標として扱う
- 各座標に記録時刻を参照して、比較元のADENUとGNSSの記録時刻に最も近い時刻のVPSにより推定した座標値をピックアップして比較する。
- 精度はADENUおよびGNSSのそれぞれの座標値とのユークリッド距離を計算し、距離の頻度分布を計算して評価を行う。(データが膨大なため、個別のデータに注目するより統計的に扱った方が適切と考えたため、全体の傾向を見ることができる頻度分布での表示を採用した)

time		X	Y	Z
57:44.4	IM	0.033464	-0.007447	0.010776
57:44.4	IM	0.033597	-0.007427	0.010884
57:44.4	IM	0.033694	-0.007454	0.010981
57:44.5	IM	0.033508	-0.007234	0.009993
57:44.5	IM	0.033463	-0.007228	0.009862
57:44.5	IM	0.033449	-0.007208	0.009821
57:44.5	IM	0.033462	-0.007185	0.009772
57:44.6	IM	0.03354	-0.006903	0.009226
57:44.6	IM	0.033578	-0.006871	0.009067
57:44.6	IM	0.03374	-0.006839	0.008819
57:44.6	IM	0.033834	-0.006851	0.008715
57:44.6	IM	0.033595	-0.006861	0.008931

VPSで取得した時刻ごとのUnity上の座標の例

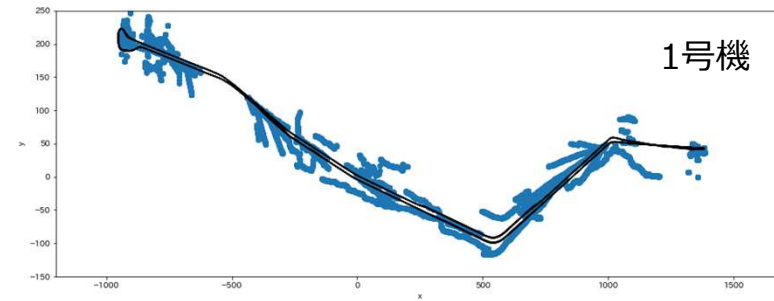
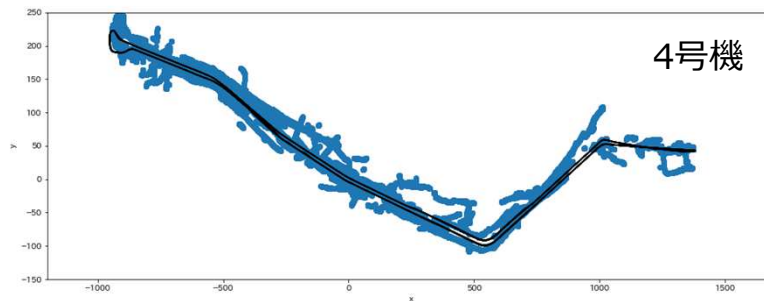
IV. 実証システムの検証

3. 他データとの比較による精度検証

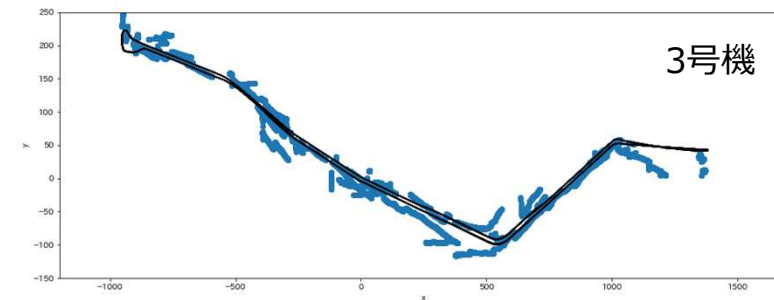
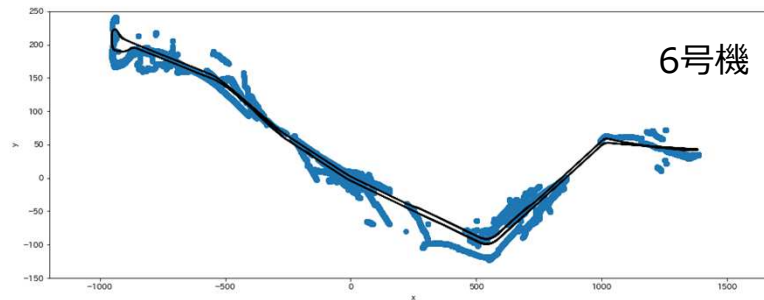
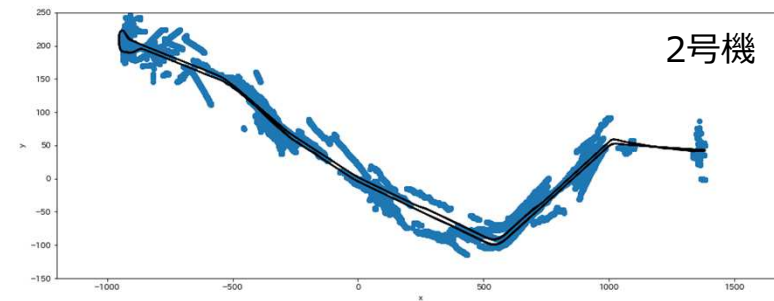
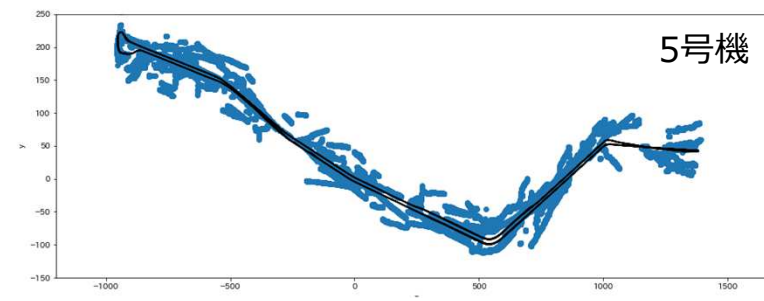
3.2 比較による精度検証

3.2.2 VPS 対 ADENUの比較

- 各端末ごとにVPSとADENUの走行軌跡を重ねて対比している。
- 全体的には概略の位置が取得できていることを確認。



■ VPS
■ ADENU



※ コース中ごろの山岸精肉店／沼津市本新町410-1を(0,0)として位置情報をプロット
 ※ VPSの座標値は距離差50m以内でフィルタリング

VPS vs ADENU (3/8版全走行分)

Copyright © 2022 by MLIT. All rights reserved.

IV. 実証システムの検証

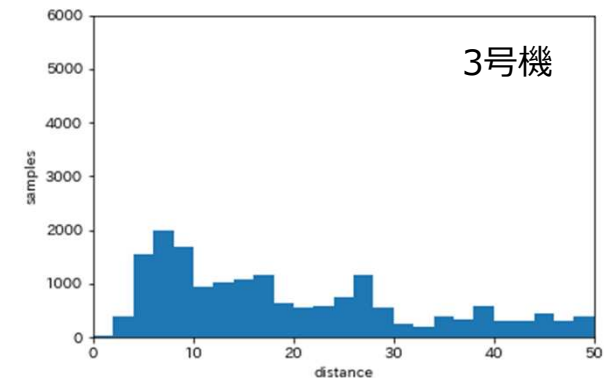
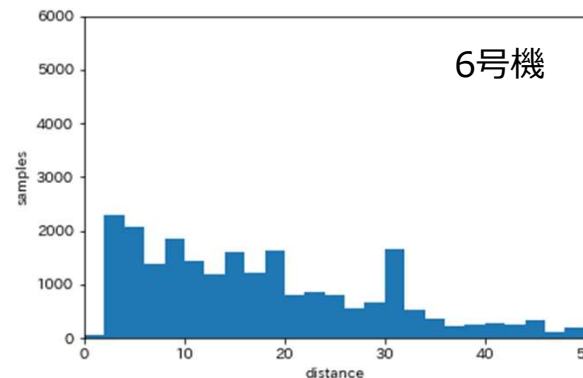
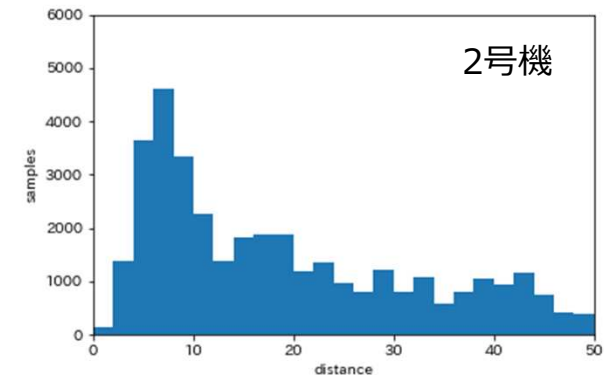
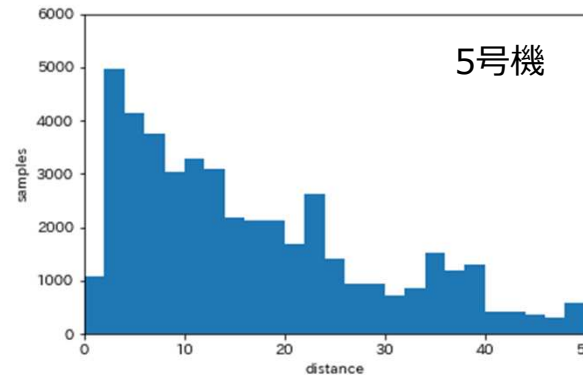
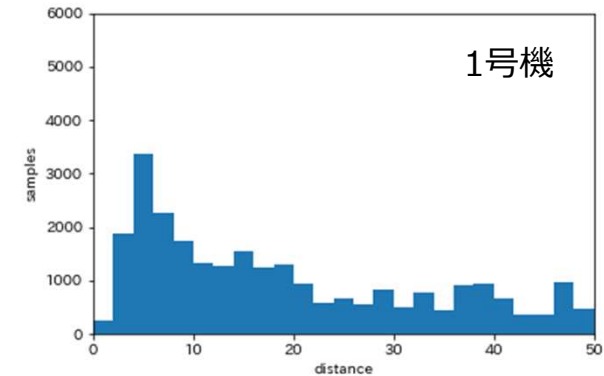
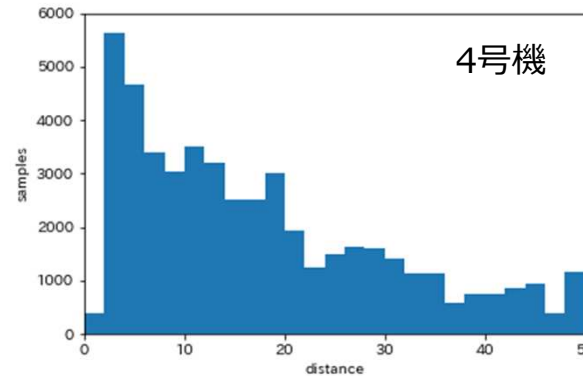
3. 他データとの比較による精度検証

3.2 比較による精度検証

3.2.2 VPS 対 ADENUの比較

- 端末ごとの自己位置推定情報をADENUとの距離差によりヒストグラム化した。
- 各点のADENU位置とVPSの座標の距離差を横軸、点数を縦軸とする頻度分布
- 頻度分布の山がより距離の短い方（グラフ左側）にあるほど精度が高いと言える
- 車両の左側の端末（4～6号機）が精度が高い結果となった。4～6号機の中では中央端末（5号機）がより精度が高い。
- 車両走行中の5号機は、4号機、6号機のカメラよりも対象物を捉えられる時間は短いですが、カメラの角度や対象物との距離等がローカライズに有効に働いたと考えられる。
- 車両の右側（反対車線側）の端末は、距離差の最頻値が2～4mと悪くなっており、対象物との距離やPLATEAUマップの精度が影響していると考えられる。
- 車両進行方向に対して、最適なカメラ配置や性能を検討する必要がある。

VPSのADENU位置との距離差によるヒストグラム（3/8版全走行分）



IV. 実証システムの検証

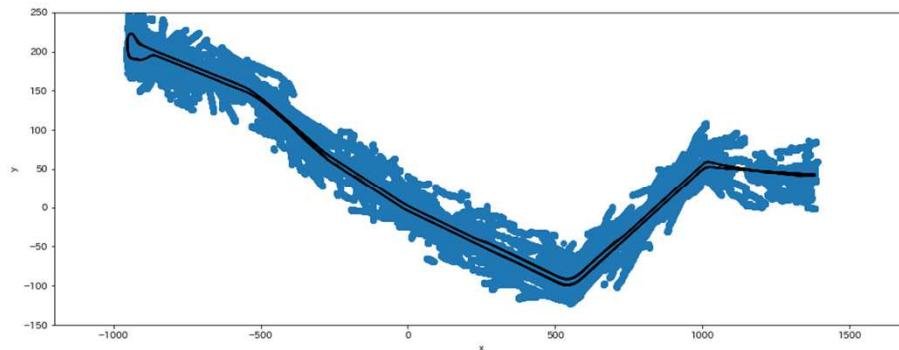
3. 他データとの比較による精度検証

3.2 比較による精度検証

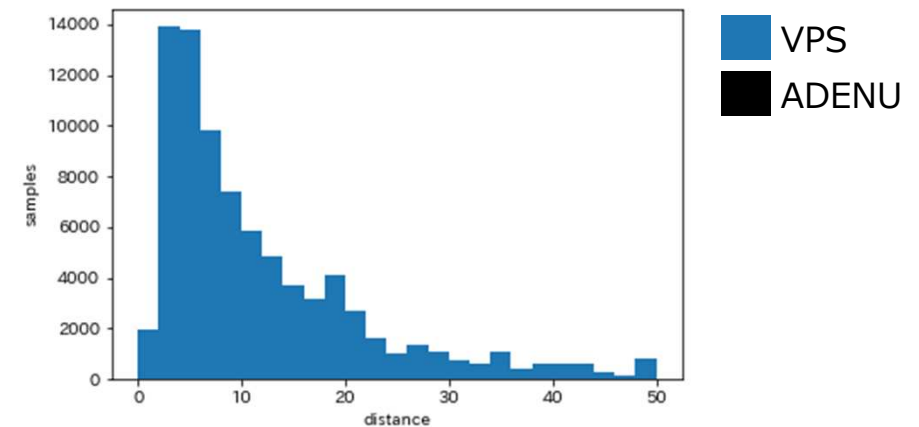
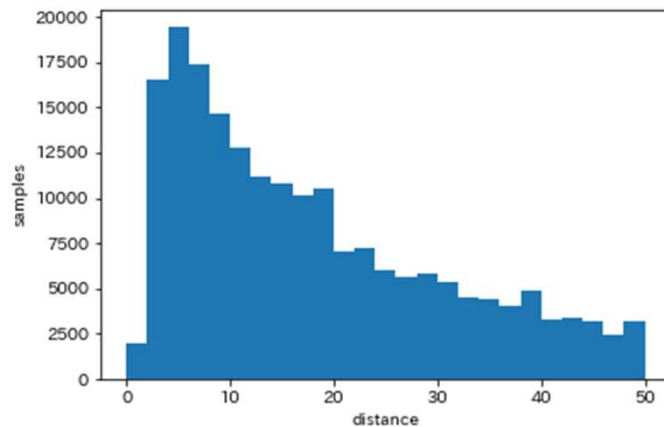
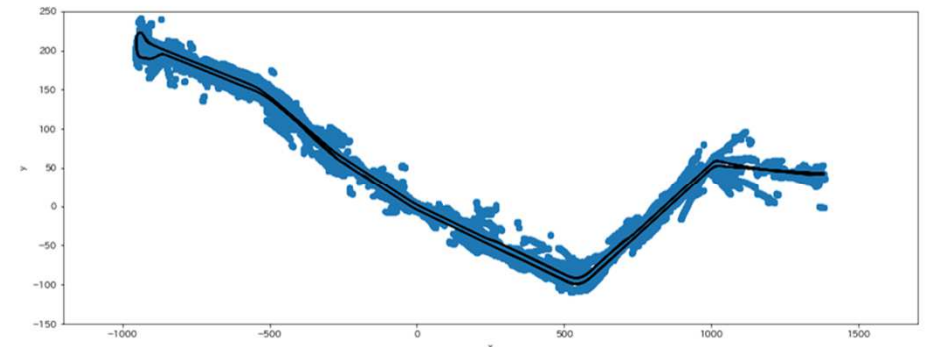
3.2.2 VPS 対 ADENUの比較

- VPS全端末から時刻ごとのベストスコアを抽出し、ADENUの走行軌跡と重ねて対比した。
- またVPS全端末のベストスコアとADENUとの距離差をヒストグラム化した。
- 最も近距離で距離差が約34cm、4～6mあたりに最頻値があるが、分散は大きい。

VPS vs ADENU (3/8版全端末／全走行分)



VPS 対 ADENU (3/8版ベストスコア／全走行分)



■ VPS
■ ADENU

IV. 実証システムの検証

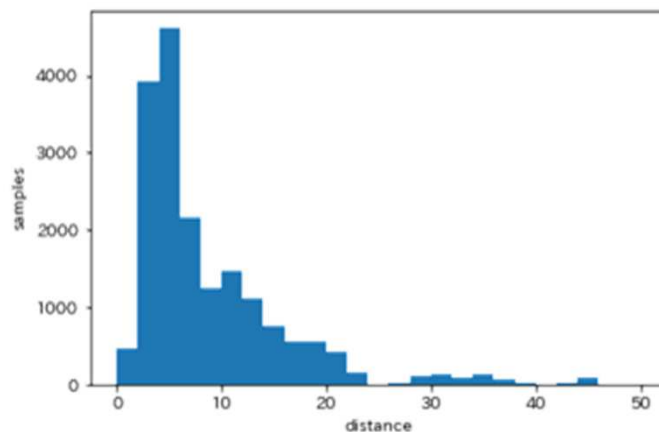
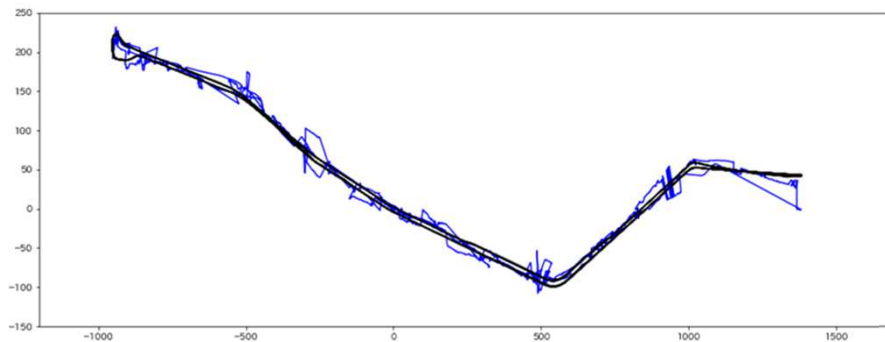
3. 他データとの比較による精度検証

3.2 比較による精度検証

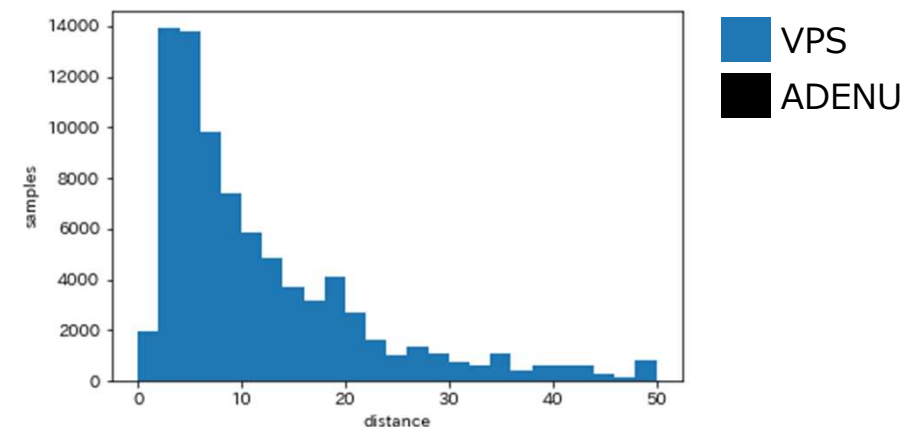
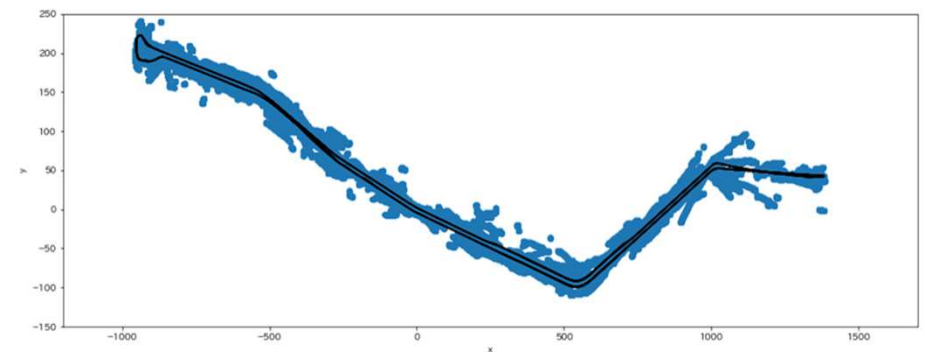
3.2.2 VPS 対 ADENUの比較

- 1走行あたりのベストスコア（下記の左図）では、駅前を除きコース上の全体的に取得値が揺れており、VPSのローカライズ精度が安定していない傾向が見られる。

VPS 対 ADENU（3/8版ベストスコア／1走行分）



VPS 対 ADENU（3/8版ベストスコア／全走行分）



IV. 実証システムの検証

3. 他データとの比較による精度検証

3.2 比較による精度検証

3.2.2 VPS 対 ADENUの比較

VPS 対 ADENUの距離差サンプル（最小距離差順）

マップID	最小	最大	平均	標準偏差	分散	データ数	マップ名	エリア
41235	0.344912	59.56989	8.186824	9.775286	95.55622	1379	MagurogoyaHonpo	1
44227	0.387717	25.33937	8.119503	4.447789	19.78283	2360	Fudii	2
43029	0.395338	22.37825	5.976255	4.784662	22.89299	1857	TosouTikiri	4
41238	0.421386	39.63513	8.951861	6.176118	38.14443	3078	MituiSumitomoSintaku	1
45083	0.42906	60.22332	13.15996	15.43531	238.2487	1549	NatoriHamonoten	4
43034	0.474754	31.93996	7.345144	6.799361	46.23131	933	MorisakiSyouten	4
40182	0.669301	17.70452	5.107483	3.049348	9.298521	3093	1101DockDollUp	4
42359	0.671026	66.72289	15.24627	18.75592	351.7845	12240	EraDe	1
43024	0.693054	34.18447	6.1658	5.057255	25.57583	1215	THE BLUE WATER	3
40137	0.730987	39.25476	6.718027	5.775406	33.35532	816	BLDf44a28d902514b1da9230959f29	4

- ・ マップID: PLATEAUマップ固有の識別番号
- ・ 最小: 当該PLATEAUマップとADENUの最小距離差 (m)
- ・ 最大: 当該PLATEAUマップとADENUの最大距離差 (m)
- ・ 平均: 当該PLATEAUマップとADENUの平均距離差 (m)
- ・ 標準偏差: 当該PLATEAUマップとADENUの距離差の標準偏差 (m)
- ・ 分散: 当該PLATEAUマップとADENUの距離差の分散 (m)
- ・ データ数: 当該PLATEAUマップがローカライズした回数
- ・ マップ名: 当該PLATEAUマップを示す名称
- ・ エリア: 当該PLATEAUマップの該当エリア番号

IV. 実証システムの検証

3. 他データとの比較による精度検証

3.2 比較による精度検証

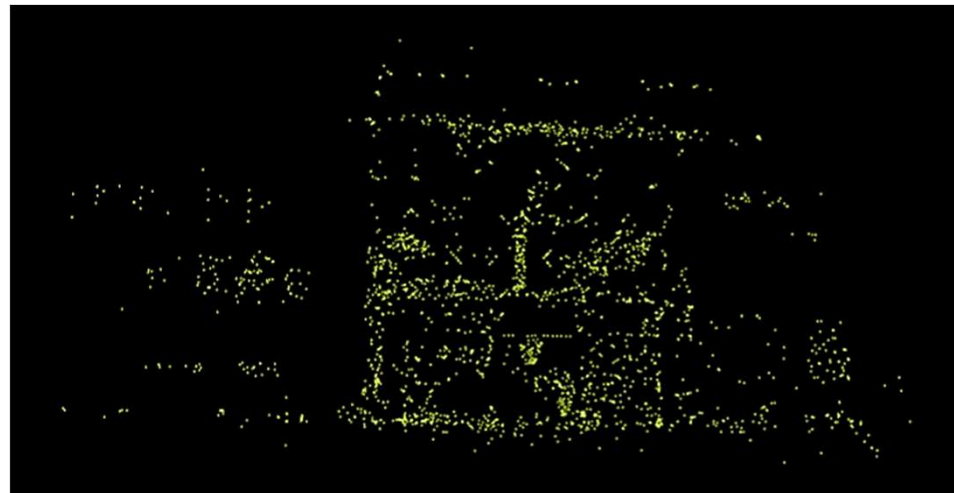
3.2.2 VPS 対 ADENUの比較

- VPSとADENUとの距離差が、最小値、最頻値付近、最大値となった箇所のPLATEAUマップを以下に示す。

VPS vs ADENUの距離差のサンプリング（3/8版）

区分	距離差 (cm)	エリア	マップid	マップ名
最小値	34.49	1	41235	①鮪小屋本店
最頻値付近	448.34	6	41295	②魚市場
最大値	4775.79	4	45081	③はる田

※ VPSの座標値は距離差50m以内でフィルタリング



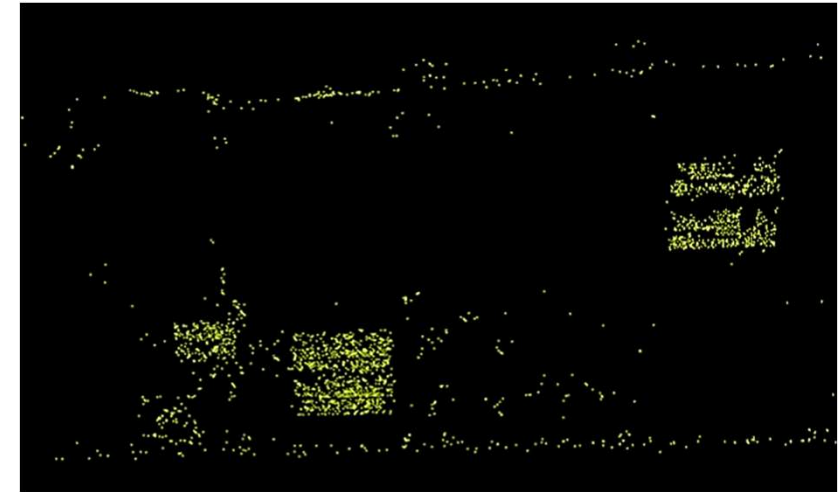
最小値：①「鮪小屋本店」のメッシュ（左）と点群（右）／店舗の看板や構造が特徴として抽出できていると考えられる

IV. 実証システムの検証

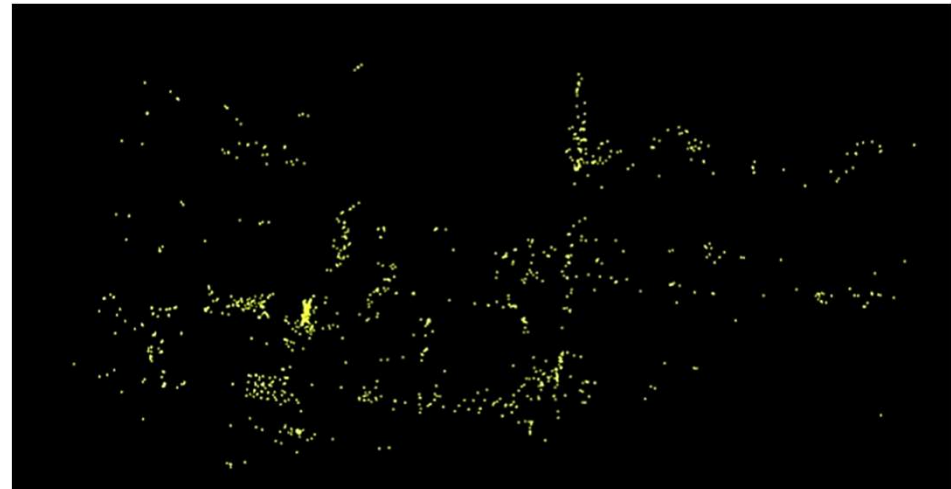
3. 他データとの比較による精度検証

3.2 比較による精度検証

3.2.2 VPS 対 ADENUの比較



最頻値付近：②魚市場のメッシュ（左）と点群（右）／壁面の看板がアクセントとなり特徴となっている



最大値：③はる田のメッシュ（左）と点群（右）／全体的に不鮮明で特徴点が少なく見える

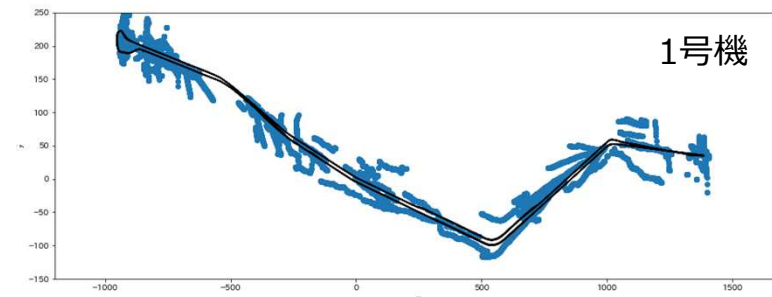
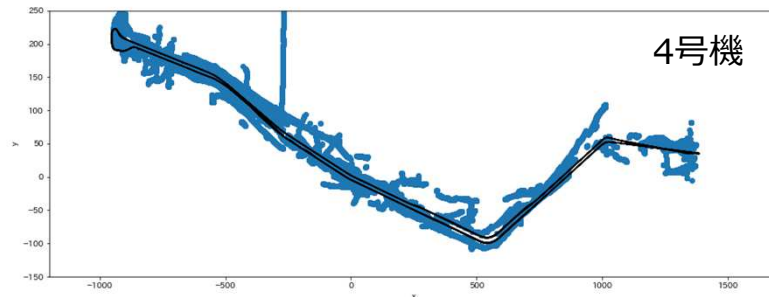
IV. 実証システムの検証

3. 他データとの比較による精度検証

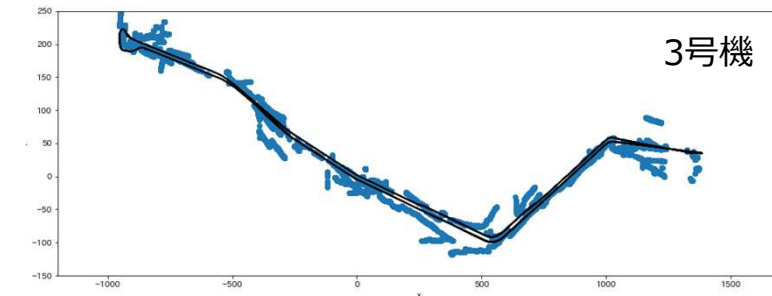
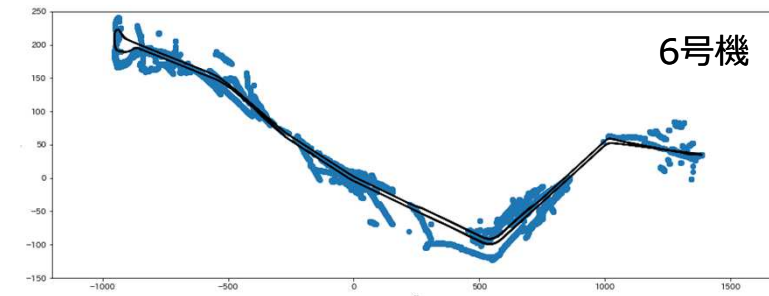
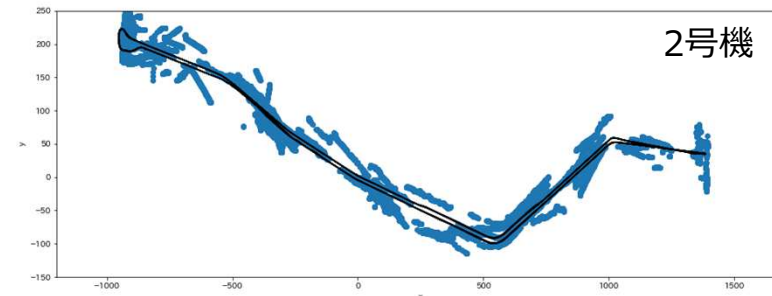
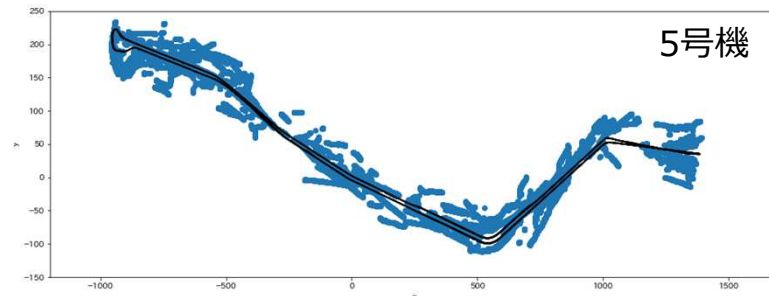
3.2 比較による精度検証

3.2.3 VPS 対 GNSSの比較

- 各端末ごとのVPSとGNSSの全走行分の走行軌跡データを重ねて対比した。



■ VPS
■ GNSS



※ コース中ごろの山岸精肉店／沼津市本新町410-1を(0,0)として位置情報をプロット
※ VPSの座標値は距離差50m以内でフィルタリング

VPS 対 GNSS（3/8版全走行分）

IV. 実証システムの検証

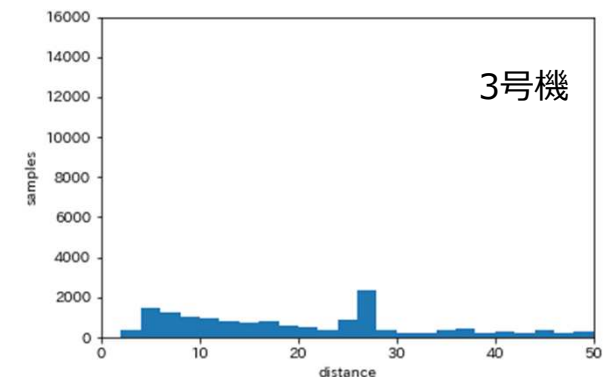
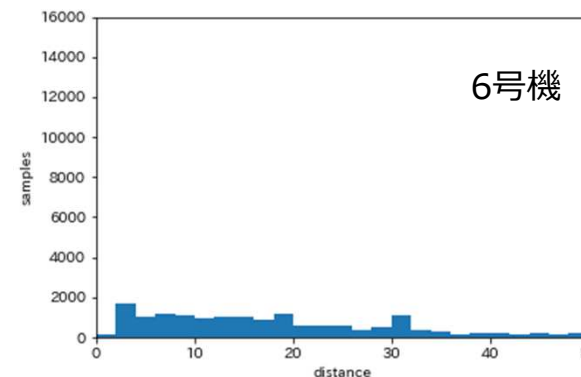
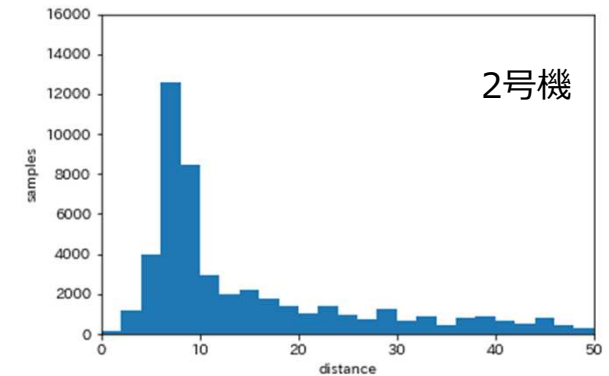
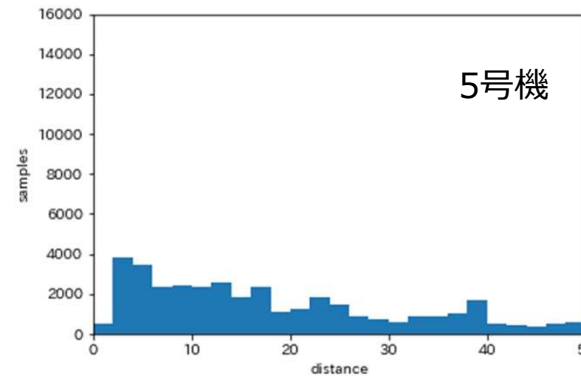
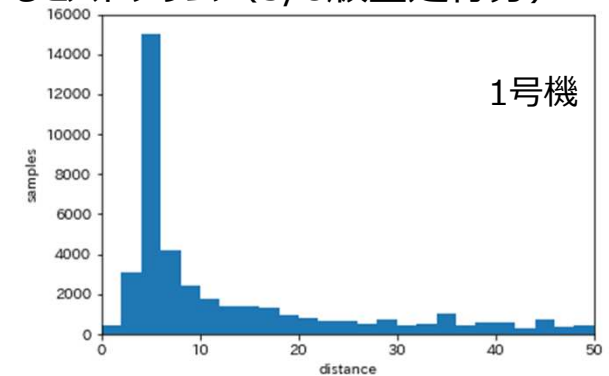
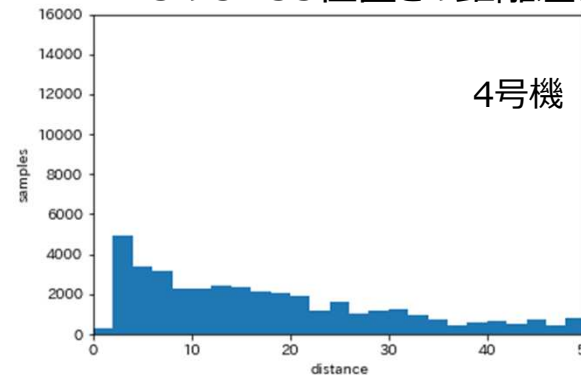
3. 他データとの比較による精度検証

3.2 比較による精度検証

3.2.3 VPS 対 GNSSの比較

- 端末ごとの自己位置推定情報をGNSSとの距離差によりヒストグラム化した。
- 各点のGNSS位置とVPSの座標の距離差を横軸、点数を縦軸とする頻度分布
- 頻度分布の山がより距離の短い方（グラフ左側）にあるほど精度が高いと言える
- GNSSも車両の左側の端末（4～6号機）が精度が高い結果となった。4～6号機の中では中央端末（5号機）より精度が高い。
- 車両走行中の5号機は、4号機、6号機のカメラよりも対象物を捉えられる時間は短いですが、カメラの角度や対象物との距離等がローカライズに有効に働いたと考えられる。
- 車両の右側（反対車線側）の端末は、距離差の最頻値が2～4mと悪くなっており、対象物との距離やPLATEAUマップの精度が影響していると考えられる。
- 車両進行方向に対して、最適なカメラ配置や性能を検討する必要があると考えられる。

VPSのGNSS位置との距離差によるヒストグラム（3/8版全走行分）



IV. 実証システムの検証

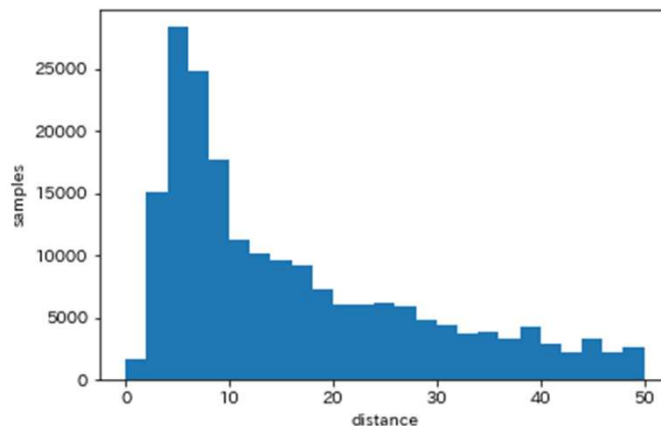
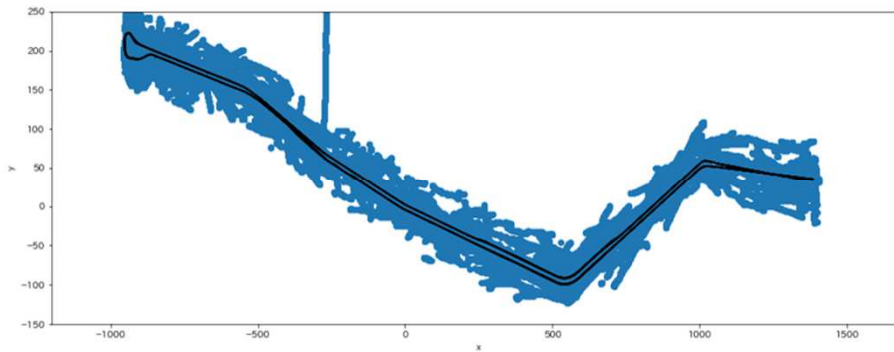
3. 他データとの比較による精度検証

3.2 比較による精度検証

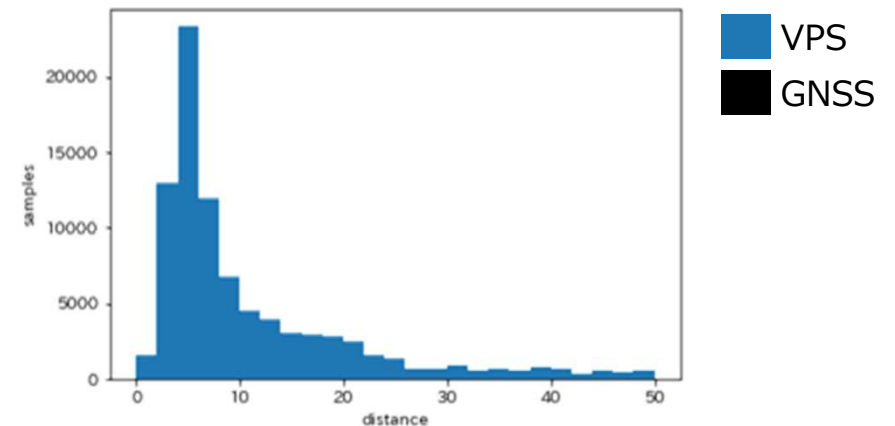
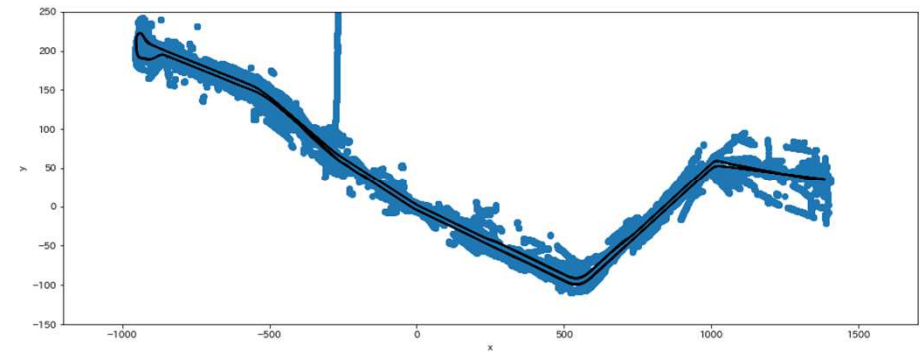
3.2.3 VPS 対 GNSSの比較

- VPS全端末から時刻毎のベストスコアを抽出し、GNSSの走行軌跡と重ねて対比した。
- VPS全端末のベストスコアとGNSSとの距離差をヒストグラム化した。
- 最も近距離で距離差が約15cm、5～6mあたりに最頻値があるが、分散は大きい状況である。

VPS 対 GNSS (3/8版全端末／全走行分)



VPS 対 GNSS (3/8版ベストスコア／全走行分)



IV. 実証システムの検証

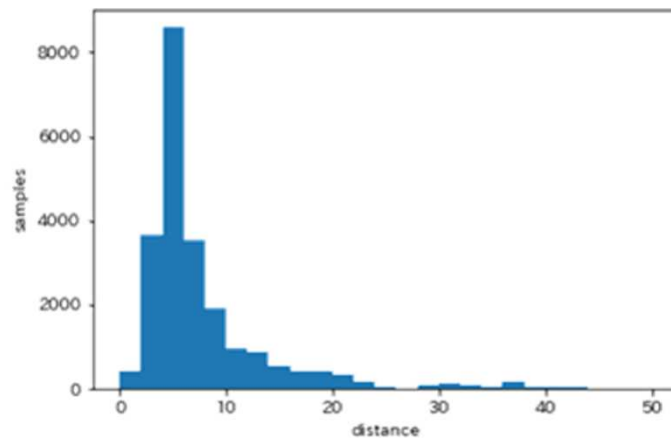
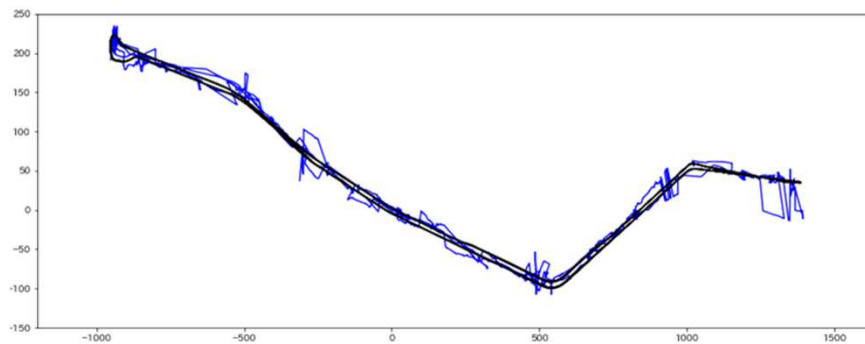
3. 他データとの比較による精度検証

3.2 比較による精度検証

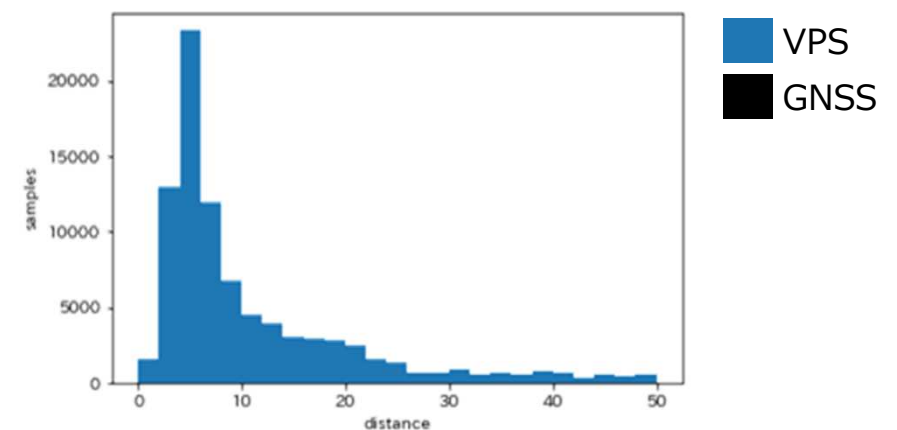
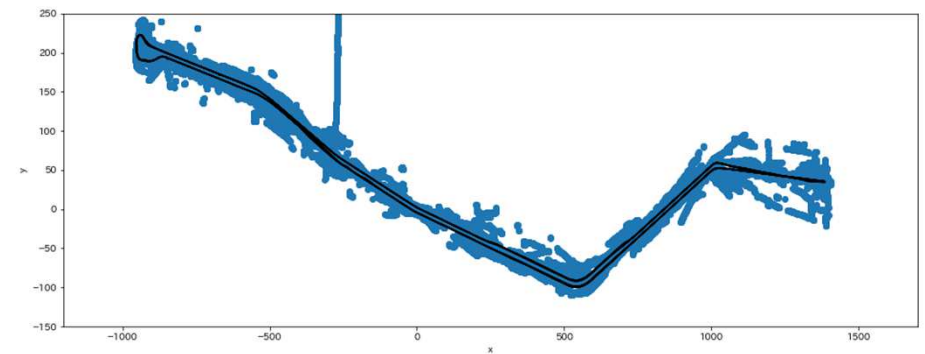
3.2.3 VPS 対 GNSSの比較

- 1走行あたりのベストスコア（下記の左図）では、駅前を除きコース上の全体的に取得値が揺れており、VPSのローカライズ精度が安定していない状況となっている。

VPS vs GNSS（3/8版全端末／1走行分）



VPS vs GNSS（3/8版ベストスコア／全走行分）



IV. 実証システムの検証

3. 他データとの比較による精度検証

3.2 比較による精度検証

3.2.3 VPS 対 GNSSの比較

VPS 対 GNSSの距離差サンプル（最小距離差の昇順）

マップID	最小	最大	平均	標準偏差	分散	データ数	マップ名	エリア
40182	0.150306	19.25187	4.93631	2.912416	8.482165	2142	1101DockDollUp	4
41295	0.313786	1338.498	17.70662	43.56515	1897.922	2578	Uoichiba	6
41242	0.361037	31.27196	10.92073	9.944956	98.90214	516	Aunsu	1
41235	0.393472	55.92458	6.887273	8.023582	64.37787	1203	MagurogoyaHonpo	1
41309	0.41863	51.67477	10.44898	12.17749	148.2912	1857	Shirokabe	2
41218	0.488692	23.83619	5.039621	3.724752	13.87378	755	Himono	1
41238	0.495073	39.37983	8.308616	5.633571	31.73712	2505	MituiSumitomoSintaku	1
40136	0.513169	64.71503	6.379872	3.913904	15.31864	2154	Reizouko	6
44336	0.58989	103.4689	14.12946	24.67221	608.7181	1475	BLD96cdb1858c68468abd30c8ed41	5
45863	0.590064	285.9241	20.35417	20.83554	434.1198	1299	BLDda45132c3fbc41908e3c4ae641b	6

- マップID: PLATEAUマップ固有の識別番号
- 最小: 当該PLATEAUマップとGNSSの最小距離差 (m)
- 最大: 当該PLATEAUマップとGNSSの最大距離差 (m)
- 平均: 当該PLATEAUマップとGNSSの平均距離差 (m)
- 標準偏差: 当該PLATEAUマップとGNSSの距離差の標準偏差 (m)
- 分散: 当該PLATEAUマップとGNSSの距離差の分散 (m)
- データ数: 当該PLATEAUマップがローカライズした回数
- マップ名: 当該PLATEAUマップを示す名称
- エリア: 当該PLATEAUマップの該当エリア番号

IV. 実証システムの検証

3. 他データとの比較による精度検証

3.2 比較による精度検証

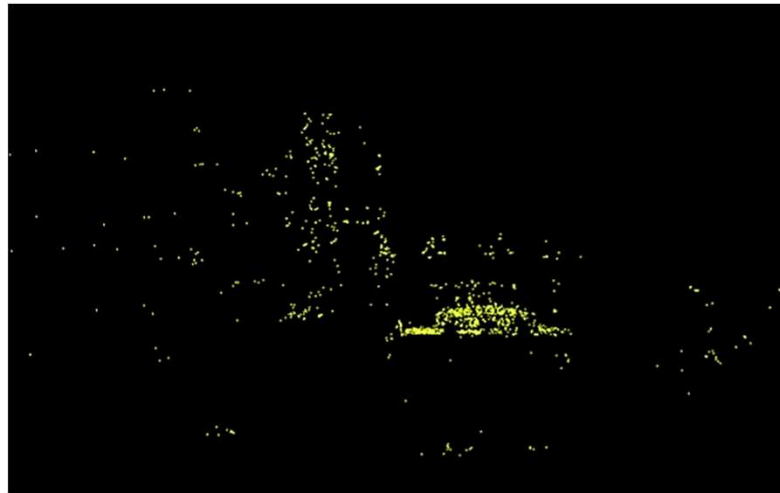
3.2.3 VPS 対 GNSSの比較

- VPSとGNSSの距離差について、最小値、最頻値付近、最大値となる箇所のPLATEAUマップを示す。

VPS vs GNSSの距離差のサンプリング（3/8版）

区分	距離差 (cm)	エリア	マップid	マップ名
最小値	15.03	4	40182	①ドックドール
最頻値付近	457.68	6	40264	②さすよ亭
最大値	4775.79	4	45081	③はる田

※ VPSの座標値は距離差50m以内でフィルタリング



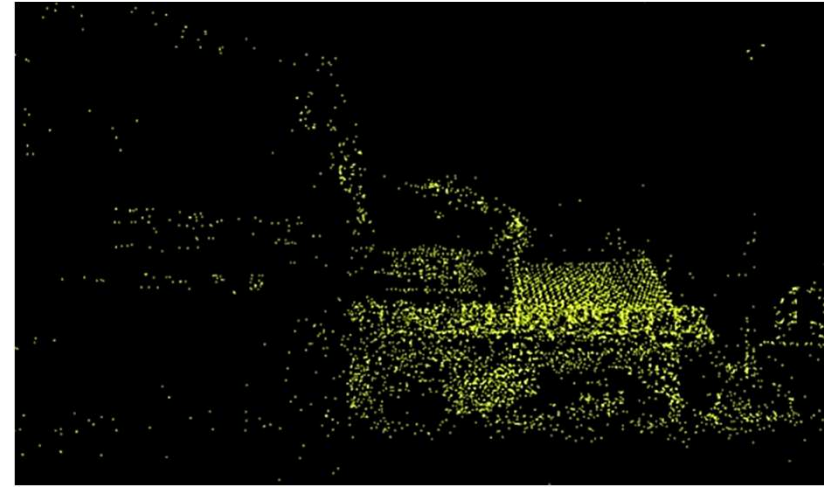
最小値：①ドックドール（左）と点群（右）／店舗のロゴが特徴として抽出できていると考えられる

IV. 実証システムの検証

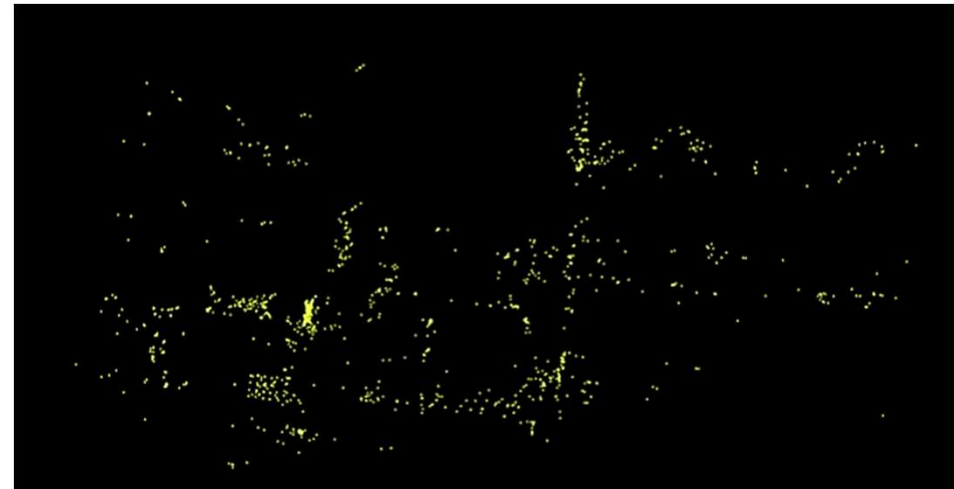
3. 他データとの比較による精度検証

3.2 比較による精度検証

3.2.3 VPS 対 GNSSの比較



最頻値付近：②さすよ亭（左）と点群（右）／店舗前の構造やロゴが特徴となっている



最大値：③はる田のメッシュ（左）と点群（右）／全体的に不鮮明で特徴点が少なく見える

IV. 実証システムの検証

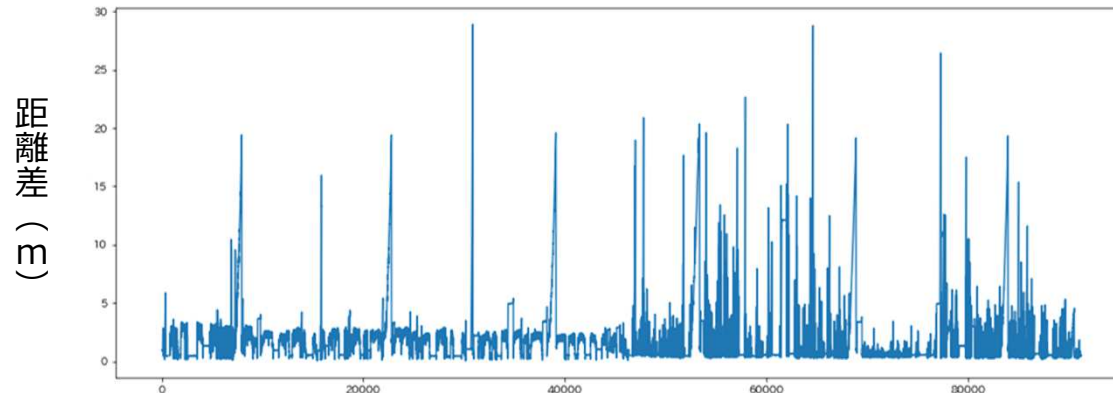
3. 他データとの比較による精度検証

3.2 比較による精度検証

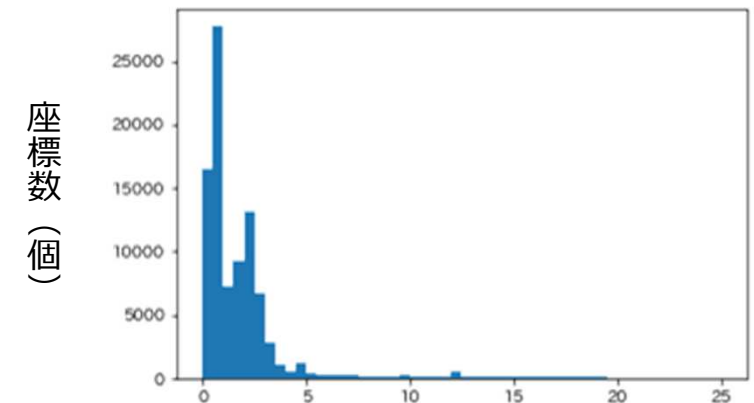
3.2.4 ADENU 対 GNSSの比較

- ADENUとGNSSによる自己位置推定の座標値を、Unity上で三次元直交座標に変換したのち、距離差を示すと下図のとおりとなる。
- ADENUとGNSSとは概ね同一軌跡を描くが、より細部では50～100cm程度の差が生じている。
- これらは、建物や道路状況等による遮蔽等の影響によるものと考えられる。

ADENU 対 GNSS (3/8版全走行分)



時間経過による取得サンプル番号



距離差 (m)

I. 実証概要

II. 実証技術の概要

III. 実証システムの設計・開発

IV. 実証システムの検証

V. 成果と課題

V. 成果と課題

1. 今年度の実証で得られた成果

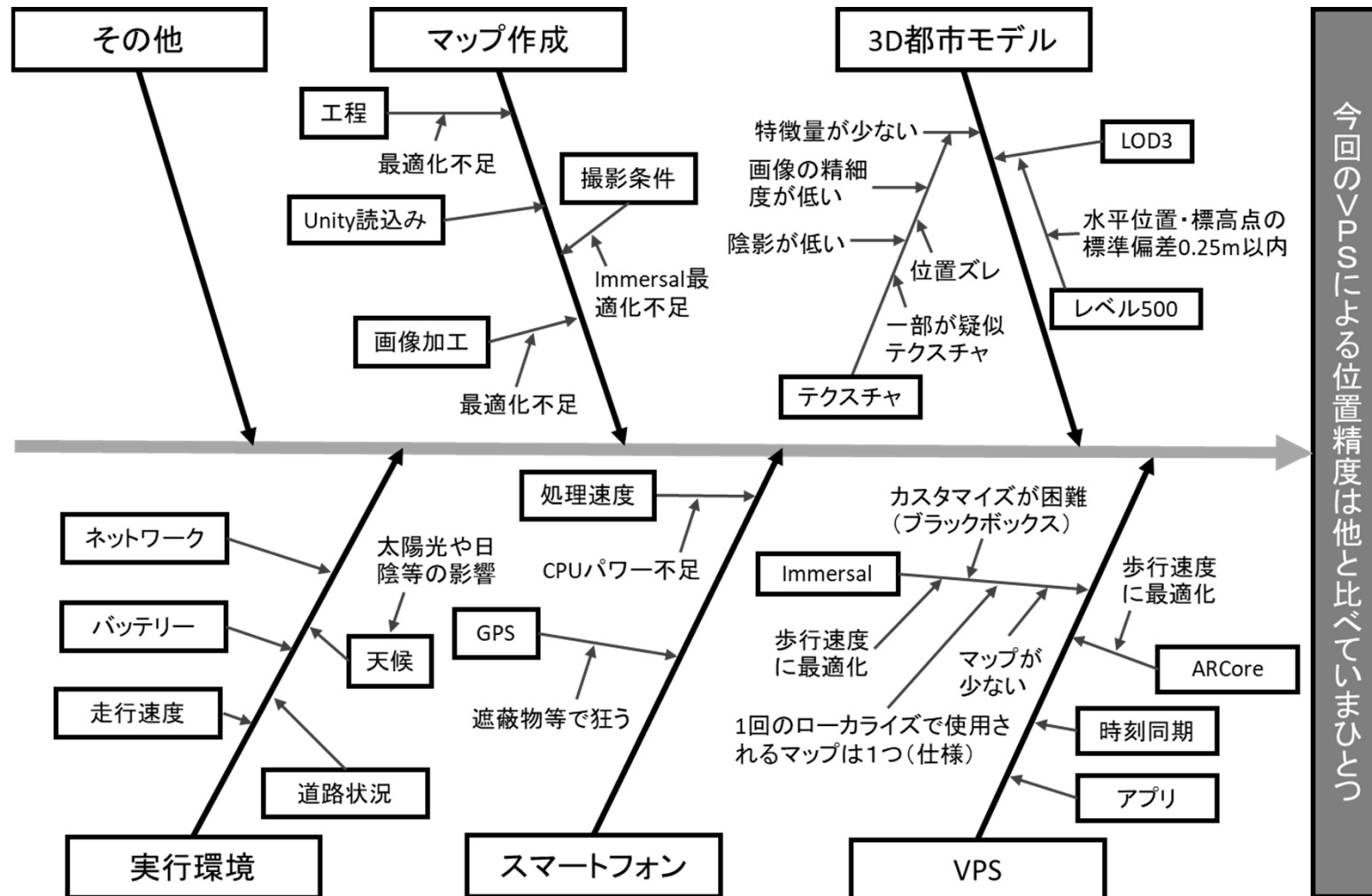
今年度の実証で得られた知見と今後の展望（課題）

	得られた知見	今後の展望
3D都市モデルを活用したVPSによる自己位置推定技術についての知見と今後の展望	- 本実証におけるVPSの最高位置精度は、自動運転システム（ADENU）と距離差が34cm、GNSSとの距離差が15cmとなった。 - 看板や店舗ロゴ等、明暗、形、線、エッジ、質感など、目視でもコントラストがはっきりした視覚的特徴が多く見られる建物の方が、ローカライズし易い傾向を示すことが確認された。 - また、VPSと自動運転システムの同時刻での取得位置の距離差は、最も取得座標が多いPLATEAUマップで平均11.6m、標準偏差16.1m、分散260.7mとなり、VPSとGNSSとの同時刻での取得位置の距離差は、平均6.8m、標準偏差6.5m、分散42.3mと大きな差のある結果となった。 - VPSによる位置精度が低くなった主な要因としては、連続的なローカライズ成功が不十分であり、移動する車両に対して位置補正を十分な回数行うことが出来なかったことが挙げられる。ローカライズ成功数が低くなった要因としては、①3D都市モデルのテクスチャ解像度の不足、②3D都市モデルで表現されない細かい地物や人、車や時間帯による陰影情報の影響、③今回利用したImmersalは本来フォトグラメトリを利用したVPSであるが、そのアルゴリズムがブラックボックスであり3D都市モデルへの最適化を図ることが困難であったことが挙げられる。 - 他方、分散幅が大きいものの最高位置精度は15cm～34cm程度となっており、自己位置推定のための3Dマップとして地図情報レベル500の3D都市モデル(LOD3)が有効である可能性を確認できた。また、地図情報レベル2500の3D都市モデルはモデルの詳細度が足りずローカライズが成功しなかった。	3D都市モデルのテクスチャについては、標準的な作成方法（MMS全周画像から貼付け）に加え、今回の実証のために別途撮影した高解像度画像を貼り付ける手法を取っており、更なるテクスチャ品質の向上は工数の関係から現実的でない（データ改善の限界）。 - 他方、ローカライズが成功した地点における位置精度はそれなりに高く、システム側の改善によって更なる精度向上が期待できる。 - このため、3D都市モデルを活用したVPSの実用化に向けては、ローカライズ箇所の増加及び連続的なローカライズを成功させる必要がある（ローカライズ成功数の向上）。 - ローカライズ成功数を向上させるためには、画像解析処理を調整し、3D都市モデル（LOD3）の有効な特徴（エッジの明確さやオブジェクト間の相対位置の正確さ）に重みづけを行うとともに、3D都市モデルの不得意な領域（テクスチャ解像度や陰影影響）を補完する必要がある。 - また、1秒間の試行数も成功数に大きく影響するため、処理速度を上げるためのシステム上の工夫（マップ分割、ID化等）を更に追求する必要がある。 - 今回の実証で利用した市販のVPSであるImmersalはローカライズのためのアルゴリズムがブラックボックスであり、利用データに対応した調整が困難であった。このため、今後は前述したような3D都市モデルの「得意分野」を重視し、「不得意分野」を補完するようなシステム自体を開発する必要があり、市販システムやOSS、研究開発中のソフトウェア等を調査していく。

V. 成果と課題

2. 今後の取組に向けた課題

- 今年度の実証で得られた成果に基づき、3D都市モデルを活用したVPSの位置精度の課題についての要因分析図を示す。
- 今後は各要因の解消に向けた技術開発等を検討し、実用化に向けた課題を解決していく必要がある。



今回のVPS精度に影響を与える特性要因図

V. 成果と課題

2. 今後の取組に向けた課題

分類	項目	課題
3D都市モデル	テクスチャ	• MMSや航空測量で取得したテクスチャのうち、明暗、形、線、エッジ、質感等が不明瞭な低コントラストの画像ではローカライズに失敗する傾向にあり、改善を要する。[1] • 店舗の看板やロゴマークなど、視覚的な特徴が多い建物ではローカライズが成功しやすい傾向にあるが[2]、一般住宅地などの特徴が少ない建物では、何らかの方法で補う必要があると考えられる。なお、一般住宅地エリアでもImmersal Mapper^{*1}を用いて現地で撮影したImmersalリアルマップでは、約50%以上のローカライズを得られたため、現地で撮影した実画像と3D都市モデルのテクスチャとの画質の差を補う必要があると考えられる。[3] • 3D都市モデルのテクスチャは、VPSが動作するために必要なディテールが損なわれている可能性があり、極端に明暗差などがある画像に特徴点が現れたものと推測される。課題解決にはテクスチャの品質向上や、低品質テクスチャを補う技術開発テクスチャの品質向上や、低品質テクスチャを補う技術開発を検討する必要がある。
	幾何形状 (LOD3)	• Immersalリアルマップの検証から、VPSによる自己位置推定では、形状より画像情報の特徴を捉える傾向があるため、3D都市モデルの形状情報から、明暗、形、線、エッジ等の画像情報へ、より細かなレンダリングを行うことが一つの方向性であると考えられる。
VPS	ローカライズシステム	• 現実空間の車や人など、予測困難な自然物がVPSの入力画像に映り込み、PLATEAUマップとの相違となり、ローカライズに影響を与えている可能性がある。よって、ローカライズにおける自然物を取り除くような方法を検討する必要があると考えられる。 • Immersalはシステムとしてブラックボックスが多く、どのような特徴点に重みづけされているかなどローカライズの細かな解析や調整が行えないため、3D都市モデルに最適化するためのフィードバックが行えないという課題がある。 • ブラックボックスが少なく、3D都市モデルの特性等を踏まえたフィードバックが可能で、天気や時間による色変化等への調整が可能なVPSの検討が必要と考えられる。
	マップ作成	• 3D都市モデルから作成したPLATEAUマップは、Immersalリアルマップと比較すると、明暗、形、線、エッジ、質感等の再現性が低い傾向がある。特に質感の再現性の差が顕著であり、このギャップを埋めるための3D都市モデルに最適なマップ生成の手法検討が必要と考えられる。[4]
実行環境	処理能力	• スマートフォンの処理能力とImmersalの仕様により、ローカライズ試行は1回/秒で設定し実証を行ったが、モビリティでの利用においては走行速度に応じて、より多くのローカライズの頻度が求められる可能性が高い。 • ハードウェアやソフトウェアの高速化を図り、ローカライズ試行数の増加を検討する必要がある。

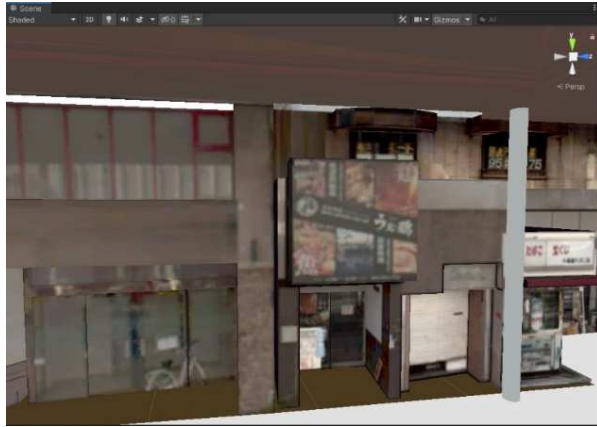
*1 Immersal Mapper

<https://play.google.com/store/apps/details?id=com.immersal.sdk.mapper&hl=ja&gl=US>

V. 成果と課題

2. 今後の取組に向けた課題

[1] 低コントラストのテクスチャ例



[2] 店舗の看板やロゴマークなど、明暗、形、線、エッジなどの高コントラストによる視覚的特徴が多い建物の例



V. 成果と課題

2. 今後の取組に向けた課題

[3] Immersaリアルマップによる住宅エリアのローカライズ例（画像の点はローカライズ箇所を示す）



[4] 同じ建物のPLATEAUマップ（左）とImmersaリアルマップ（右）による質感の違い



用語集

用語集

用語			内容
ア行	010	ADENU（アデニュー）	Autonomous Drive Enabler by Nagoya Universityの略で、名古屋大学で開発された自動運転車用のソフトウェアパッケージ。自動運転などの自動走行に必要な機能（各種センサデータの取得、地図データ管理、地図とセンサーを融合した走行状況の把握等）が体系的に含まれたソフトウェア
	020	Immersal（イマーサル）	フィンランドのImmersal社が開発提供するVPSソリューション
	030	Immersal Mapper（イマーサルマップパー）	ImmersalのVPSで使う三次元マップを作成するためのアプリケーションソフトウェアで、カメラ付きのスマートフォンやタブレット端末で起動する
	040	Immersalリアルマップ（イマーサルリアルマップ）	Immersal Mapperを使って、スマートフォン等のカメラで取得した実画像から作成したImmersal用のVPSマップ。本資料でPLATEAUマップと区別するために便宜的に使用する呼称
	050	ARFoundaition（エーアールファウンデーション）	Unityが開発提供するAR開発用のフレームワーク https://unity.com/ja/unity/features/arfoundation
サ行	060	SLAM（スラム）	Simultaneous Localization and Mappingの略で、自己位置推定と環境地図の作成を同時に行う技術
	070	ZeroMQ（ゼロエムキュー）	分散アプリケーション等での利用を目的としたメッセージングライブラリ
ハ行	080	Bounding Box（バウンディングボックス）	本実証のVPSアプリケーションに搭載するPLATEAUマップが、各マップごとに使われてほしいエリアを定義した領域
	090	PLATEAUマップ（プラトーマップ）	3D都市モデルから生成したImmersal用VPSマップ。本資料でImmersalリアルマップと区別するため便宜的に使用する呼称
マ行	100	margin（マージン）	本実証のVPSアプリケーションに搭載するPLATEAUマップの有効/無効切替が頻繁に行われ、処理速度に影響を与えないように設定した閾値
ラ行	110	RAM（ラム）	Random Access Memoryの略で、スマートフォン等において、演算処理を行うための主記憶装置
	120	localize（ローカライズ）	端末のカメラなどで撮影した画像から、あらかじめ作成しておいた三次元マップデータと対照してカメラ行列・各種パラメータなどを計算し、自己位置を推定するアプリケーション処理。画像処理により特徴点を計算し対照させる手法が多い。

3D都市モデルを活用した自動運転車両の自己位置推定 技術検証レポート

令和4年3月 発行

委託者：国土交通省 都市局 都市政策課

受託者：株式会社三菱総合研究所・凸版印刷株式会社・国際航業株式会社

本報告書は、株式会社三菱総合研究所・凸版印刷株式会社・国際航業株式会社が国土交通省との間で締結した業務委託契約書に基づき作成したものです。受託者の作業は、本報告書に記載された特定の手続や分析に限定されており、令和4年3月までに入手した情報にのみ基づいて実施しております。従って、令和4年4月以降に環境や状況の変化があったとしても、本報告書に記載されている内容には反映されていません。