

3次元点群データの 取得・フィルタリング・統合方法について

令和5年10月
政策統括官付

1. 本ワーキンググループの検討事項について

当面の目標

※1 NWD：歩行空間ネットワークデータ。勾配や段差などのバリアフリー情報が付与された、ノードとリンクから構成されている。
 ※2 施設ド：施設データ。公共施設などの位置情報と施設のバリアフリー情報を含んだもの。
 ※3 CLAS (Centimeter Level Augmentation Service)：1台の受信機でセンチメートル級の測位が可能なサービス。
 ※4 LiDAR SLAM (Simultaneous Localization and Mapping)：LiDARによって自己位置推定と同時に周囲のデータを取得する技術。
 移動しながら周囲の地形や地物の特徴点を見つけ出し、それらの見え方や測定距離の変化を把握しながら、自らの移動量と角度から移動軌跡を推定する。

各データの課題に関する当面の対応方針

	課題	仕様・手順書等	ほこナビDP機能
歩行空間ネットワークデータ			
新たなニーズへの対応が必要	→	「歩行空間ネットワークデータ等整備仕様」の改訂	データWG
データの効率的な更新手法が必要	→	市民等からのデータ提供による更新機能の構築	データWG
新技術等を活用した新たなデータ整備手法が必要	→	歩行空間ネットワークデータ自動生成機能の構築 ①針金データ自動生成機能 ②バリア情報自動生成機能 ③①②の統合機能	データWG 地図WG
		①及び②に関するデータ整備手順書作成	データWG
データ整備・更新等に関する持続的な運用方法の検討が必要	→	ほこナビDP運用手順書の作成	データWG
3次元地図データ			
自動配送ロボット等の走行に必要なデータの整備・更新手法を検討 + バリア情報の自動生成等に活用可能なデータの整備・更新手法を検討※	→	3次元点群データの要件整理 ・データの精度 ・データの密度 ・位置基準 等	データWG※ 地図WG
		3次元点群データの取得・統合手順書の作成	地図WG
		3次元点群データ管理・登録/フィルタリング機能の構築	地図WG
		複数3次元点群データの統合機能の構築	地図WG
データ整備・更新等に関する持続的な運用方法の検討が必要	→	ほこナビDP運用手順書の作成	地図WG
バリアフリー施設データ			
バリアフリー施設データ形式等の共通化、及び整備・管理・オープンデータ化作業の効率化が必要	→	施設管理者が所管するバリアフリー施設情報が整備・管理しやすいデータ形式等の作成	データWG
		施設データの整備・管理・オープンデータ化機能の構築	データWG
データ整備・更新等に関する持続的な運用方法の検討が必要	→	ほこナビDP運用手順書の作成	データWG

- 自動配送ロボット等の走行に必要なデータ整備・更新の要件とは？
- 歩行空間ネットワークデータ（バリア情報や形状の抽出とそれらの統合）の自動生成等に活用可能なデータ整備・更新の要件とは？
※「歩行空間における移動円滑化データWG」にて、3次元点群データからの抽出・作成を検討中

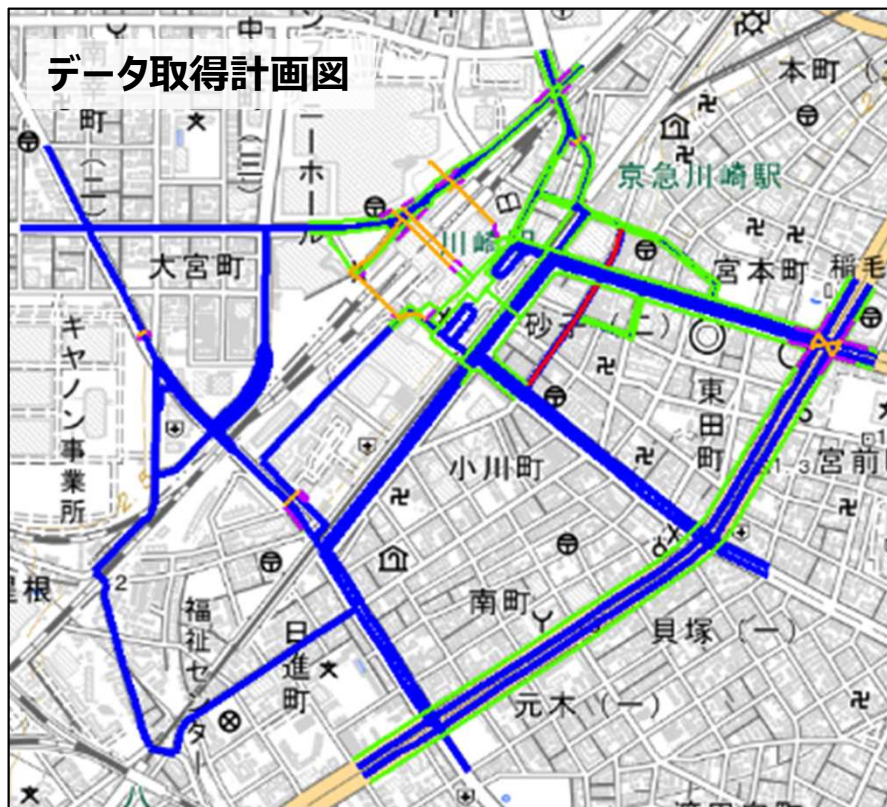
要件として考えられるものとは

- 3次元点群データの取得機器・方法（どのように取得したか）
 - いつ、なにで（MMS、バックパック型スキャナ、スマートフォンLiDAR、TLS）、どのように取得したか（天候含む）
- 3次元点群データの品質・精度
 - 位置精度、点密度、形状の再現性、色情報、反射強度
- フィルタリング方法
 - どのような方法で、どのようなルールで車や人の動的物体データを除去しているか
- 3次元点群データの統合方法
 - どのような統合方法で、統合精度はいかようか

2. 3次元点群データの取得について

データ取得の実施

2023/7/19～2023/7/25にかけて、JR川崎駅周辺で様々な取得方法を用いて歩行空間の3次元点群データを取得。



車載MMS



台車搭載MMS



可搬型MMSを車及び台車に搭載し、車道及び歩道それぞれの取得を行った。
台車が通行できない階段等は対象外とした。

バックパック型スキャナ(歩行) バックパック型スキャナ(自転車)



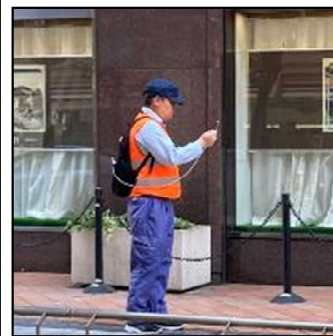
バックパック型スキャナを背負い歩道、階段のある歩道橋や駅通路の取得を行った。
また、自転車通行帯を自転車に乗り連続的に取得を行った。

ハンディ型LiDAR



ハンディ型LiDARで歩道、階段のある歩道橋や駅通路の取得を行った。

スマートフォンLiDAR



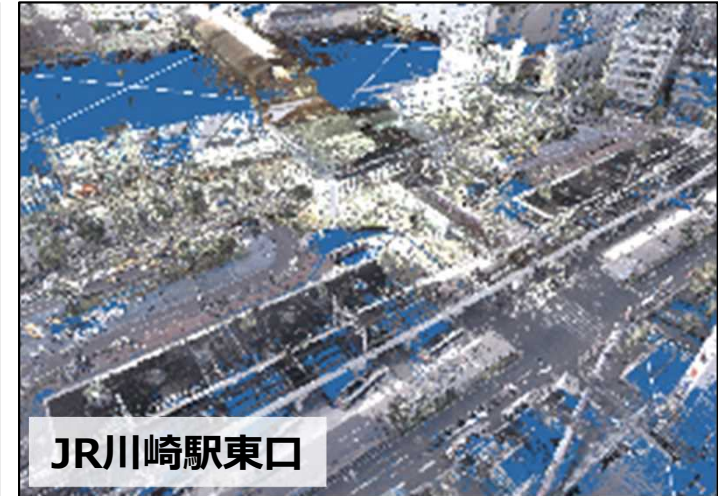
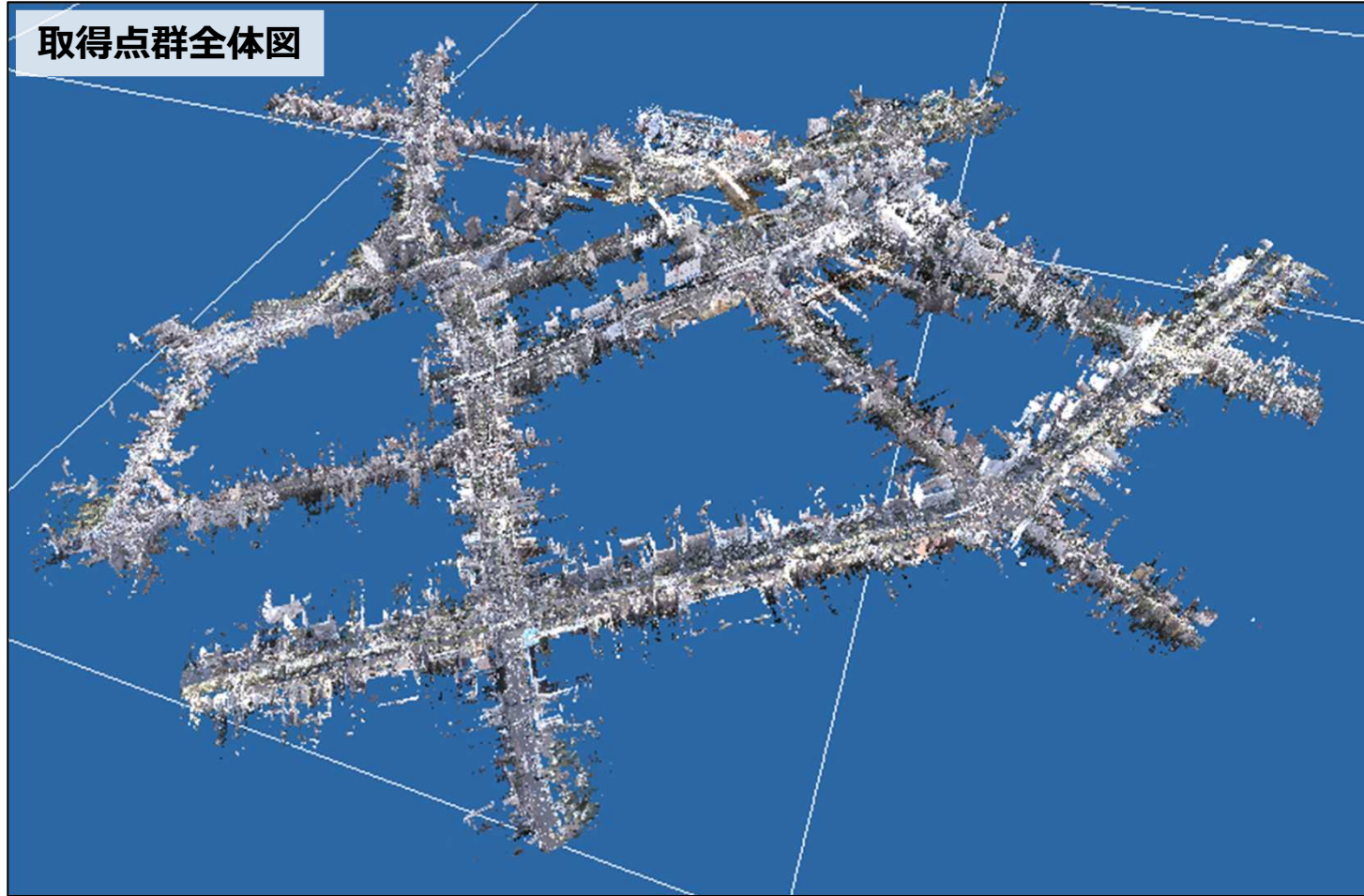
スマートフォンLiDARで歩道、階段のある歩道橋の取得を行った。

色の凡例	機器ごとの取得実績表				
	車載MMS	台車搭載MMS	バックパック型スキャナ	ハンディ型LiDAR	スマートフォンLiDAR
— 車道	○				
— 歩道[1F]		○	○	○	○
— 歩道[2F]			○	○	○
— 階段・入-ブ°			○	○	○
— アーケード	○	○	○	○	

※車載MMS以外は基準点等で位置合わせを行い、1/500地図精度を確保。

データ取得の結果概要

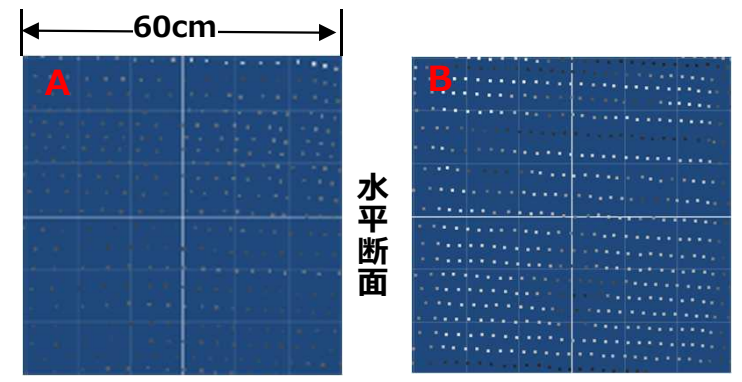
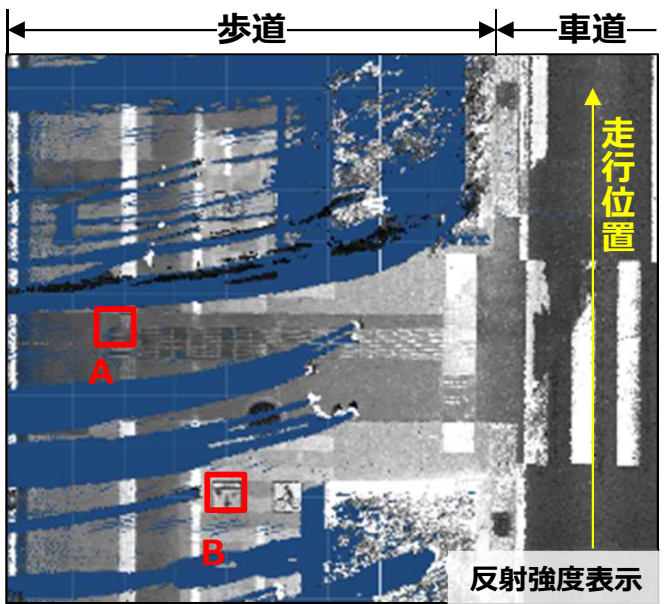
取得点群全体図



可搬型MMS（車載、台車搭載）、バックパック型スキャナ、ハンディ型LiDAR、スマートフォンLiDARで取得した点群データを重ねて表示。

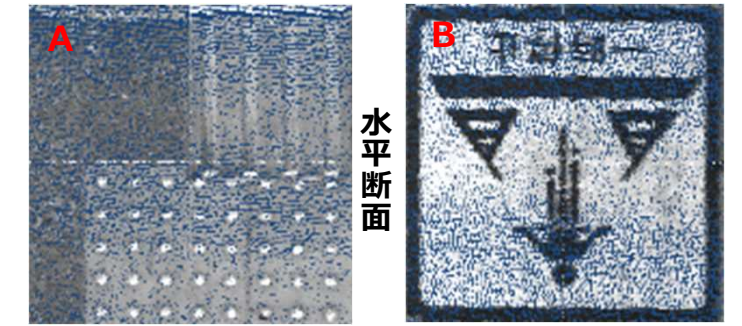
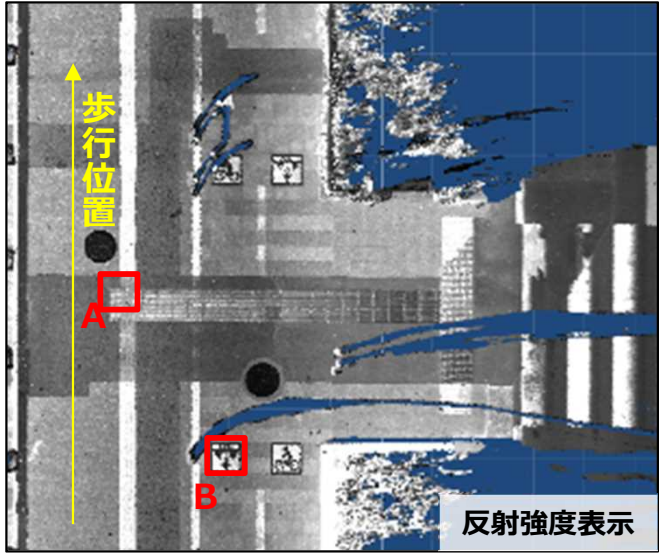
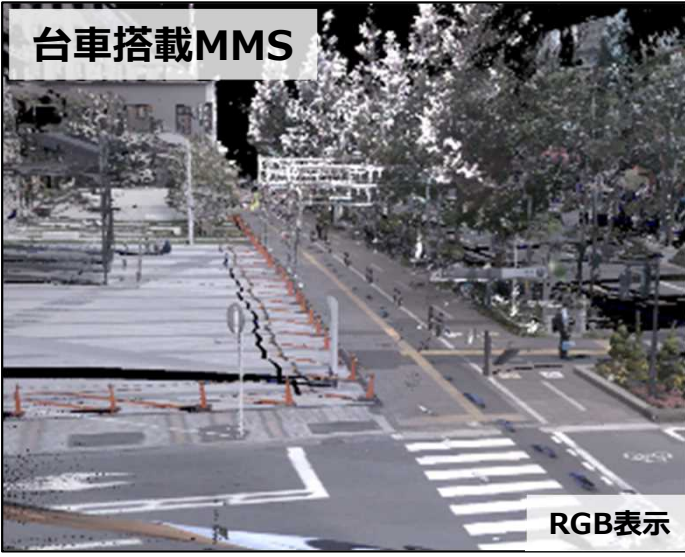
* Cloud Compare（フリーソフトウェア）を利用して統合を実施。

取得した点群データの特徴(車載MMS,台車搭載MMS)



点密度が低下した影響により、歩道側の地物が点群からは十分に認識できない場合があった。

車道から取得した点群は、車道側は十分な点密度があり、視認性が高いが、歩道側は、車道側からデータ取得した際に、植樹帯などの影となる部分で点群に欠損が生じた。また、車道から歩道までの距離が遠いため、点群密度の低下が確認された。



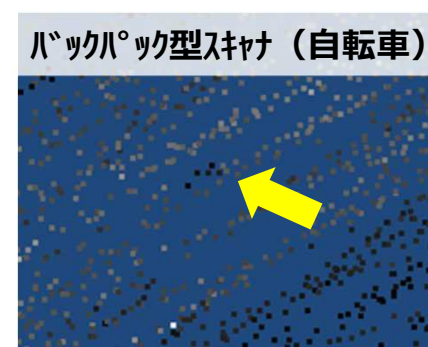
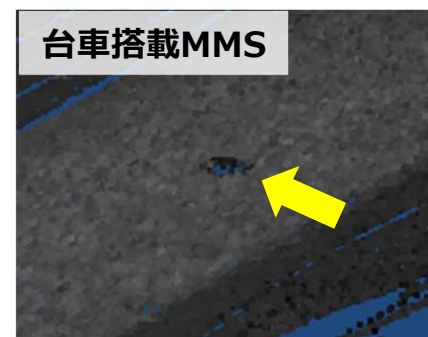
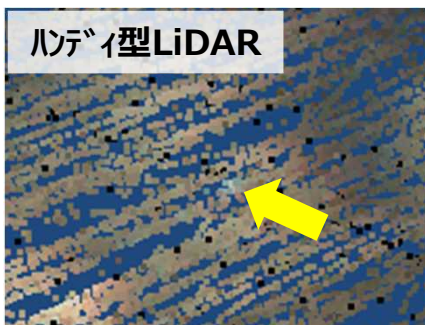
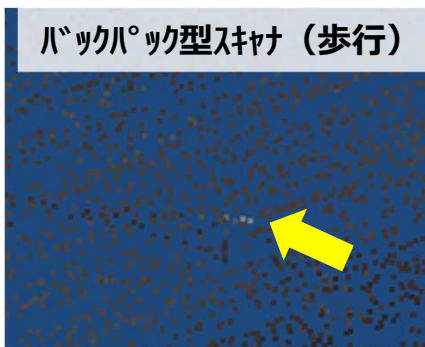
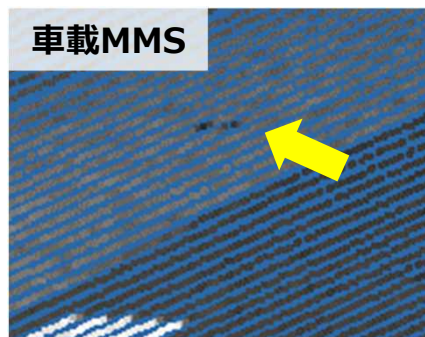
歩道側の地物が点群から十分に認識できた。

歩道側から点群を取得するため、歩道内の点密度が高いデータが取得できた。歩道内の施設の欠損もなく、歩道内は、台車搭載MMSが最も精緻に点群を取得できた。階段など大きなバリアが存在する場所には台車が侵入できなかったため、取得対象外のエリアとした。

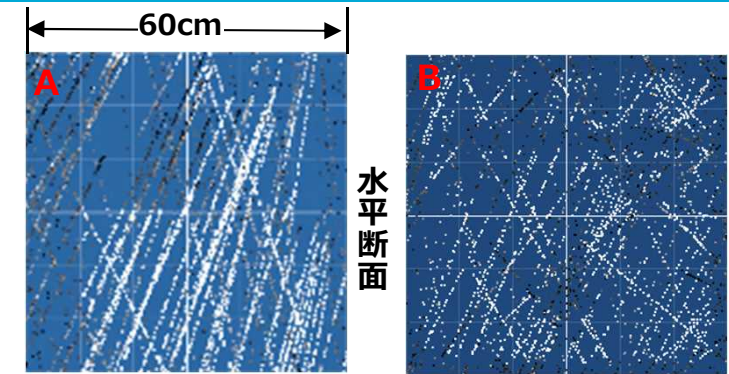
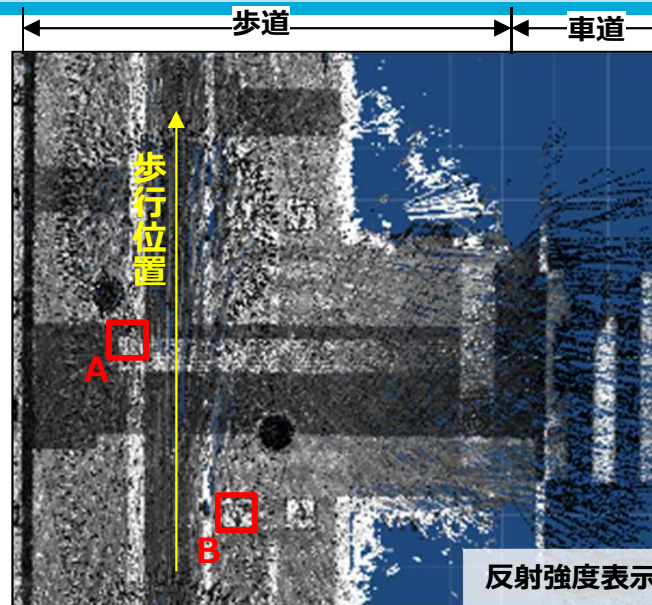
MMSによる公共基準点の視認性の確認

各種取得機器で取得した点群から、公共基準点の視認が可能かを確認した。
車載MMS、及び、台車搭載MMSは、取得した点群の密度が高く、公共基準点の位置基準を視認できた。
視認できた箇所は、公共基準点を使用してMMS点群データの位置精度の確認や補正に利用できる可能性がある。

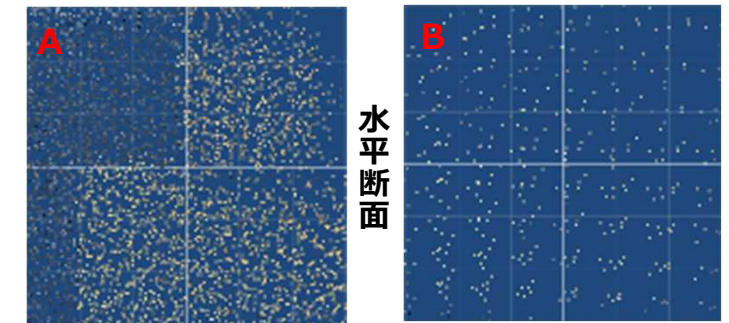
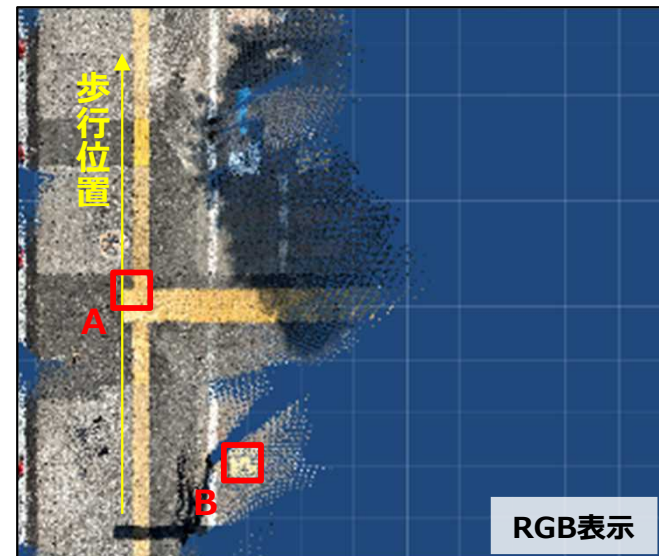
各センサーで取得した点群での可視性



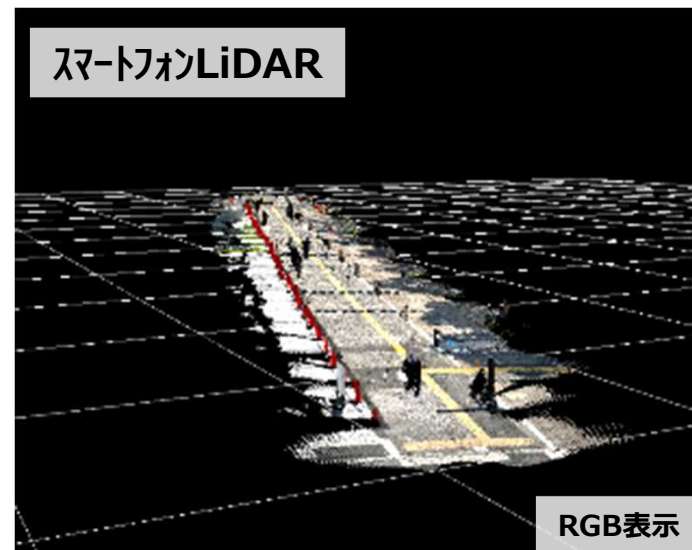
取得した点群データの特徴(ハンディ型、スマートフォン)



点群から点字ブロック等の位置の把握は可能だが、詳細な形状や模様の認識は難しい。
MMSに比べ点密度は低い。



点字ブロック等の位置の把握は可能だが、詳細な形状や模様の認識は難しい。



データの取得範囲は狭いが歩行位置付近の点密度は高く、視認性も高い。**点密度等が低下する箇所は点群の活用に影響する可能性がある。**機器の特性上、広場など取得時の開始・終了位置が一致できる場合は位置精度が高く、歩道や狭い通路などの開始・終了位置が一致できない場所は位置精度の低下が確認された。

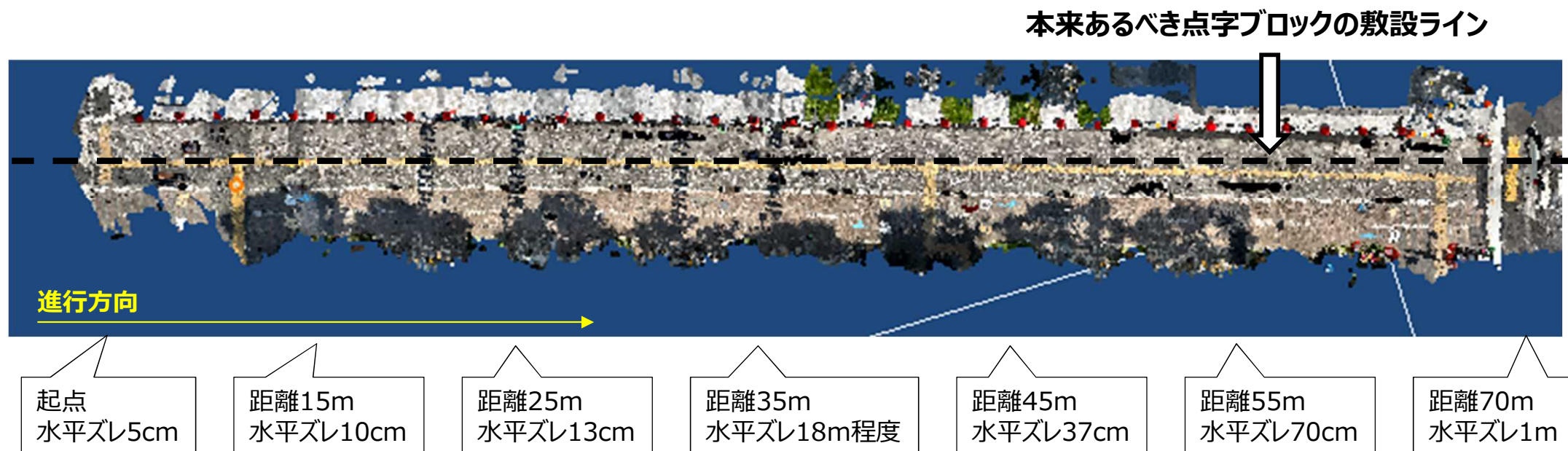
範囲は狭いが歩行位置付近の点密度は高く、視認性が良い。**点密度等が低下する箇所は点群の活用に影響する可能性がある。**

LiDAR照射範囲が狭く生成できる点群の範囲は限られた。

機器の特性上、広範囲を連続してデータ取得を行うと移動距離と共に位置精度が低下する傾向が確認された。

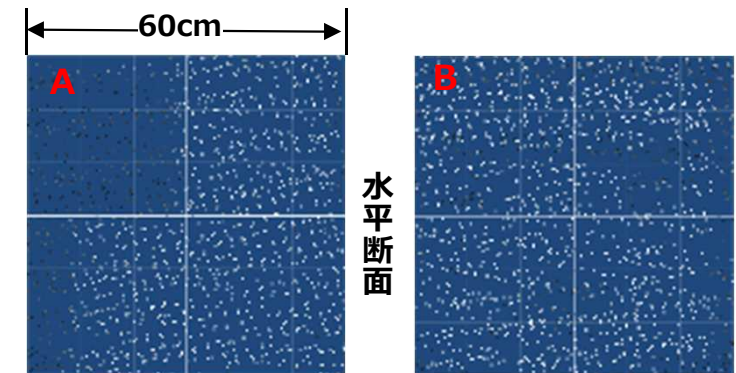
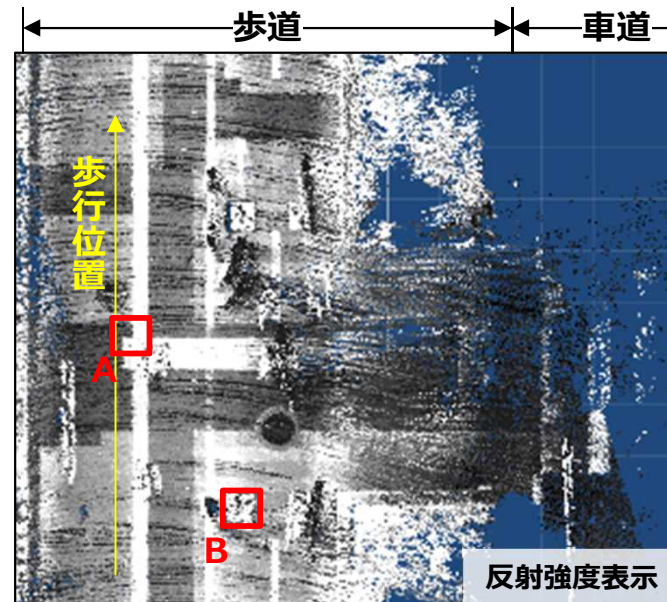
スマートフォンLiDARの累積誤差

スマートフォンLiDARでは、長時間、長距離のデータを連続して取得すると移動中に誤差が生じた。
本来は直線に整備されている歩道が、長い距離を取得すると位置ずれが拡大し、曲がった3次元点群データとなった。



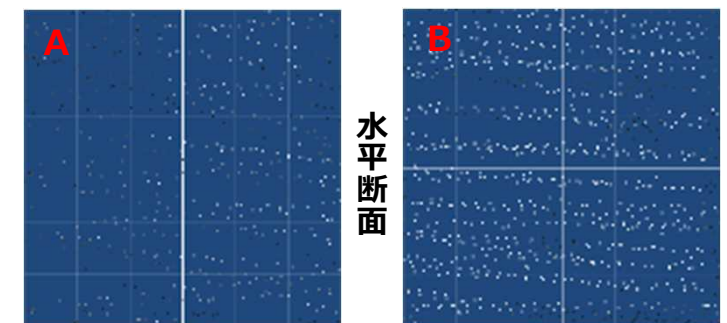
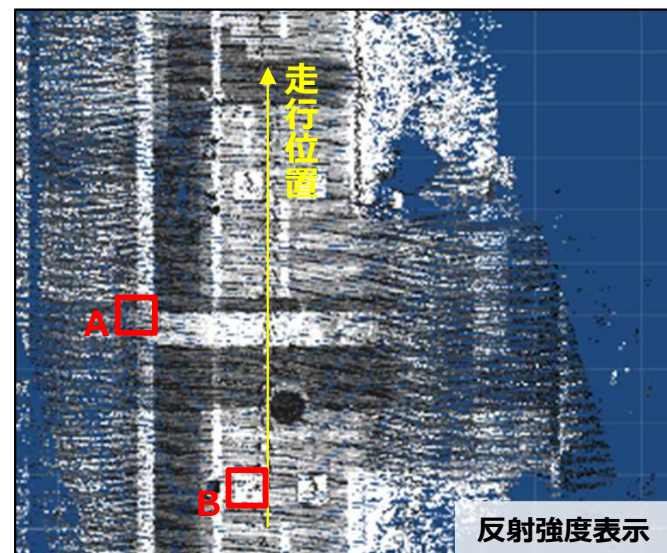
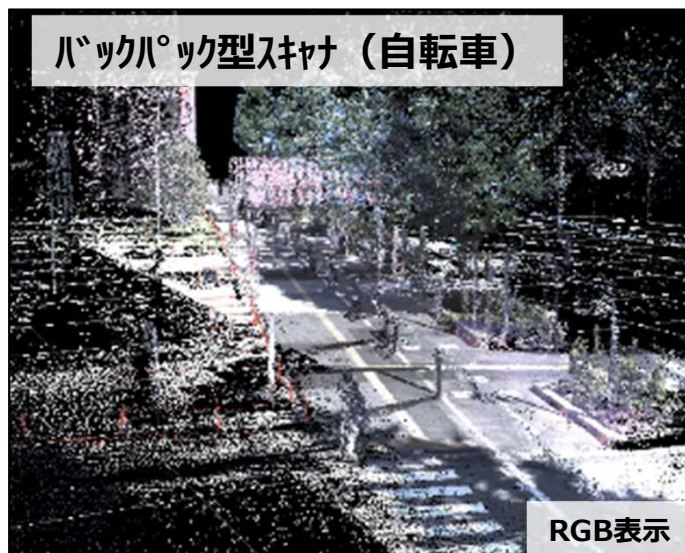
スマートフォンでの取得に当たっては、LiDARの照射範囲が狭いため、取得したい領域にスマートフォンを向けながら移動取得すると共に、広い歩道ではスマートフォンを左右に振り向けながら移動取得する工夫を行った。

取得した点群データの特徴(バックパック型スキャナ)



点群から点字ブロック等の位置の把握は可能だが、詳細な形状や模様の認識は難しい。

歩行位置から近い箇所は点密度、視認性が高いが、MMSと比較すると取得位置が離れるほど点密度が低下し視認性も低下することが確認された。



点群から点字ブロック等の位置の把握は可能だが、詳細な形状や模様の認識は難しい。

歩行時に比べ、進行方向の点密度が低くなり視認性も低下することが確認された。

様々な点群データの特徴

取得機器毎に取得した点群データの特徴を下記に整理した。

	可搬型MMS		バックパック型スキャナ
	車載	台車搭載	歩行
点群の特性	車道における点群が精緻に取得され、かつ、対象物の表面形状が精度良く再現できた。 一方で車道を走行しているため、歩道までの距離に応じて点密度が低くなった。 歩道の植樹帯などにより歩道内の点群に欠損が生じた。	車道を走行したMMSデータに比べ、歩道部における高密度な点群が取得できた。 歩道内での取得の為、歩道内の施設を欠損なく取得できた。 階段など大きなバリアが存在する場所には台車が進入できない為、取得対象外のエリアとした。	中程度の点密度で歩道内の地物を欠損なくデータ取得できた。（自転車取得時よりは高密度に取得可能） センサ位置から離れるほど点群が疎になり、目視での視認性が低くなる。
	バックパック型スキャナ	ハンディ型LiDAR	スマートフォンLiDAR
	自転車		
点群の特性	中程度の点密度で歩道内の地物を欠損なくデータ取得できた。 歩行時に比べ、進行方向の点密度が低くなり、視認性が低くなる。	低～中程度の点密度で歩道内の地物を欠損なくデータ取得できた。 SLAM（Simultaneous Localization and Mapping）を利用する為、広場など取得開始・終了位置が一致できる場合は位置精度が高く、歩道や狭い通路など取得開始・終了位置が一致できない場所は位置精度が低下した。	高い点密度で歩道内の地物のデータ取得が可能だが、LiDAR照射範囲が狭く生成できる点群の範囲は限られた。 機器の特性上、連続して取得すると移動距離と共に誤差が大きくなる傾向にあった。 短時間かつ短距離でデータ取得する等の取得方法を整理することで、活用可能な点群取得方法となる可能性がある。

取得した点群データの評価結果まとめ

各機器で取得した歩行空間の3次元点群データの取得環境及び品質から、適用可能な取得項目案を整理した。

【調査事業者による評価】

◎：最適な機器 ○：多くの領域で適用可能 △：一部の領域で適用可能 ×：適用不可（進入不可）		測量等の用途で専門事業者が扱う機器				一般利用	評価用※		
		可搬型MMS		バックパック型スキャナ		ハンディ型 LiDAR	スマートフォン LiDAR	TLS	
		車載	台車搭載	歩行	自転車				
車道		◎	×	×	△	×	×	×	
自転車道	車道と非分離	○	×	×	○	×	×	×	
	車道と分離	×	×	×	○	×	×	×	
歩行空間	路側帯		○	○	○	○	△	△	◎
	横断歩道		○	○	○	○	△	△	◎
	歩道	境界が縁石のみ	○	◎	○	○	△	△	◎
		境界に柵等が設置	△	◎	○	○	△	△	◎
		植栽等の設備がある	△	◎	○	△	△	△	◎
	歩行者専用道路		×	◎	○	×	○	△	◎
	歩道橋、ペDESTリアンデッキ		×	×	○	×	○	△	◎
	公園、広場等		×	×	○	△	○	△	◎
	屋内・地下空間		×	×	○	△	○	△	◎

※TLSは正解データとしてデータを取得し、他のセンサーの取得結果との比較用に取得したもの。
 ※今後実施する3次元点群データを用いたロボット走行実証も踏まえて再整理予定。

点群データの活用可能性



取得機器毎に取得した点群データについて、バリア抽出およびロボット走行への活用の可能性について下記に整理した。

	可搬型MMS		バックパック型スキャナ		ハンディLiDAR	スマートフォンLiDAR
	車載	台車搭載	歩行	自転車		
バリア抽出への活用観点	目視での道路施設の視認性が高く、バリア情報（段差、勾配等）の抽出に活用できる可能性がある。 車道からの距離や植栽等がある場合、データの取得ができない可能性がある。	目視での視認性が今回使用したセンサーの中で最も高い（TLSは除く）。 2cmの段差などバリア情報（段差、勾配等）の抽出に活用できる可能性がある。	歩道部や道路施設の表面形状の再現性が低く、段差等の抽出時に問題が発生する可能性があるが、勾配の抽出などには活用できる可能性がある。		表面形状の再現性が高い。 他のセンサーよりも取得位置から遠くなるほど点群密度が低くなり、目視での視認性が低下するが、勾配の抽出などには活用できる可能性がある。	点密度が高く、目視での視認性が高い。 表面形状の再現性が低く、段差等の抽出時に問題が発生する可能性がある。勾配の抽出などには活用できる可能性がある。
ロボット走行への活用観点	位置精度の観点では問題なく使用可能と考えられるが、点群密度が高すぎるため、ロボットの自動走行時に処理しきれない可能性がある。 ロボットでの利用にあたっては間引き等の処置が必要な可能性がある。		位置精度の観点では問題なく使用可能と考えられるが、センサーから遠い位置等の、点群の位置精度、点密度等が低下する箇所はロボットの自己位置推定に影響する可能性がある。			建物の側面等の高所を含んだ歩道内の点群取得が難しい、測定方法によっては累積誤差が生じるが、測定方法を工夫することで活用できる可能性がある。 他の取得方法によるデータの補完的な用途として利用できる可能性がある。

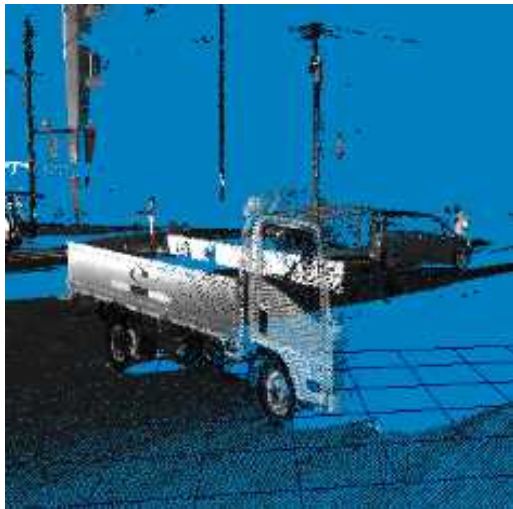
3. 3次元点群データの フィルタリング方法について

3次元点群フィルタリングの対象

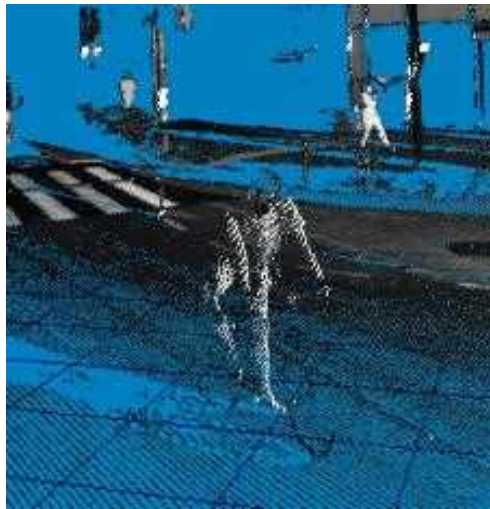
3次元点群データとして取得される車や人の動的物体のデータ（フィルタリング対象）は、**複数の点群を統合する際のミスマッチングの原因、バリア誤検出及びロボット誤動作の要因**となる可能性。フィルタリングは手作業で実施することが多いが、効率化を図るために、路上面にある点群をフィルタリング対象として削除する方法を検討。

【フィルタリング対象】

自動車（対向車両、並走車両、路上駐車）、自転車、通行人 等の 動的物体を対象とする



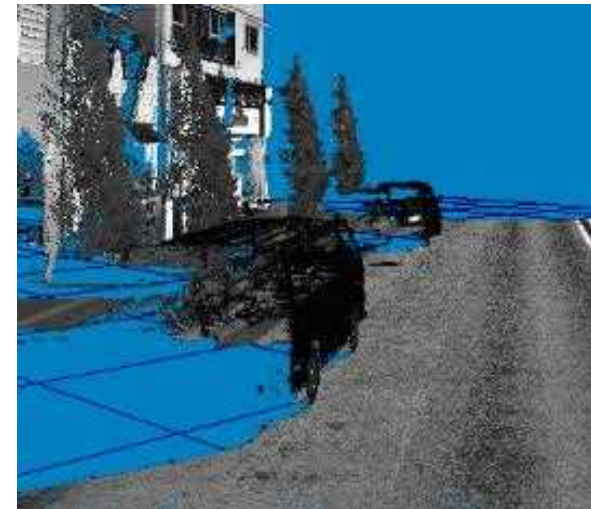
対向車両



自転車



歩行者



路上駐車

3次元点群フィルタリングの手法

【比較検討を行った3次元点群のフィルタリング手法】

No	手法	概要
1	特定ルール	道路上のエリアを指定し、道路面の上に存在する点群をフィルタリング対象として除去するなどルールを決めて不要な地物を除去。
2	画像等と関連付けてフィルタリング対象を除去	画像データ等により物体を認識させて、フィルタリング対象を除去。
3	学習系の除去	機械学習や深層学習を利用して、点群に属性付与（オブジェクト認識）を行い、フィルタリング対象を除去。
4	複数点群の重ね合わせによる除去	複数の取得データを統合し、片方にしか存在しない点群をフィルタリング対象と判断し、除去。
5	手動による除去	人が点群からフィルタリング対象を認識し、手作業にて削除。 現時点では最も一般的に利用されている手法。

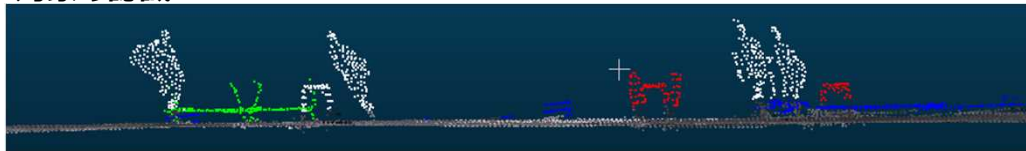
フィルタリング手法毎の検討結果（1/2）

【特定ルールでのフィルタリング】

取得点群



ルールによるフィルタリング
対象の認識

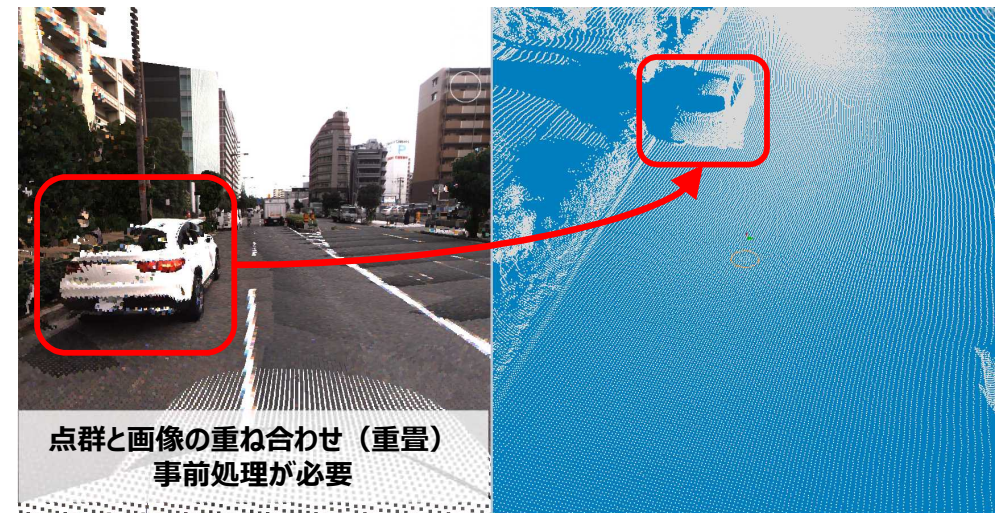


フィルタリング対象を除去
した点群



- 歩道や車道上の点群を把握し、フィルタリング対象（人、車両など）を設定したルールに沿って認識させる。
- 認識させた点群を自動的にフィルタリングする。
- ある程度のフィルタリングは可能なため、**手作業での除去に比べ効率化が見込める。**
- ルールに沿わない点群が残る**ため、手作業による除去が一部必要となるが、**取残しの原因特定が可能**でイメージしやすい。
- 取得するセンサーの制限がない。**

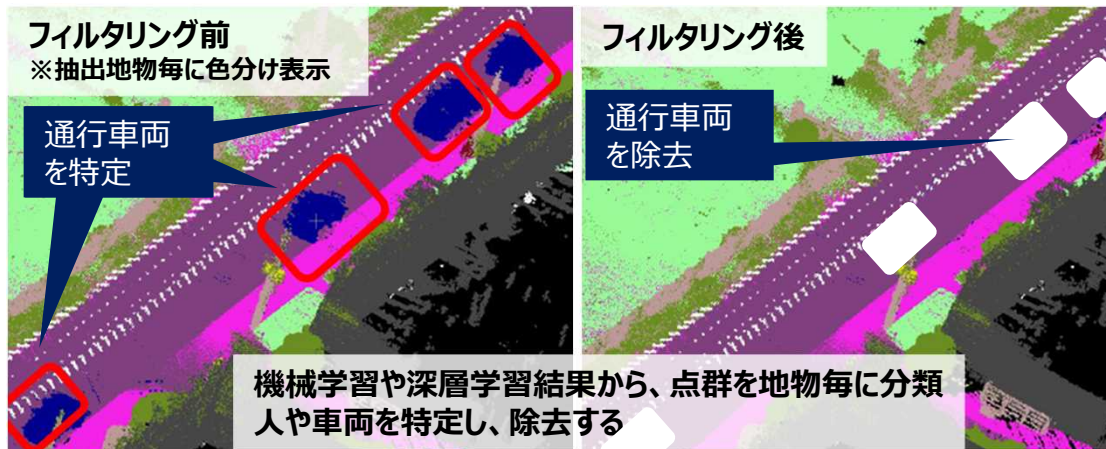
【画像等と関連付けてフィルタリング対象の点群除去】



- 点群以外の情報（画像や走行軌跡など）を活用して、フィルタリング対象を認識させ除去させる。
- 点群と画像を重ね合わせできれば、画像からフィルタリング対象を認識させ、削除する等の方法が考えられるが、**「画像が必要」、「事前処理が必要」、「センサーによっては点群と画像を重ね合わせる情報が出力できない」**などの制約がある。
- 画像等を出力できないセンサーも多数存在**する。

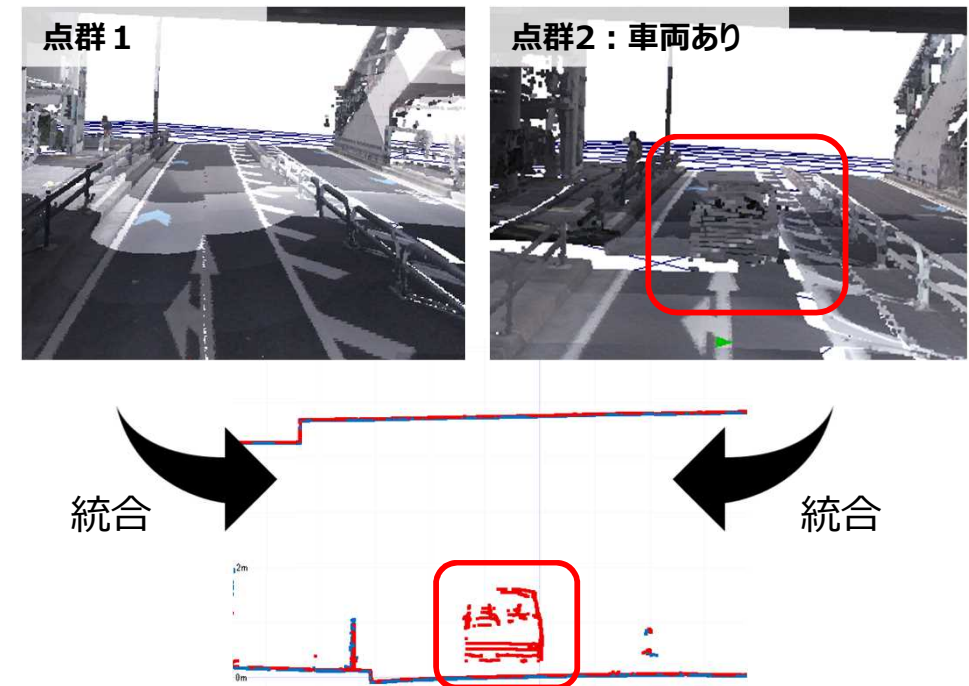
フィルタリング手法毎の検討結果（2/2）

【学習系によるフィルタリング】



- 機械学習や深層学習でオブジェクトを認識させ、人や車両を特定させたうえで、フィルタリング対象として除去する。
- 調査段階でスタンダードとなる学習モデルがない。
- 画像処理の様に今後、よりよい学習モデルが出てくることが推測される**ため、将来的に活用できる可能性があるが、画像からの物体認識に比べ**点群での物体認識は発展途上**である。
- フィルタリング対象の取残しは、**原因特定が困難**である。

【複数点群の重ね合わせによる除去】



- 同じ位置を比較的近い期間（数日など）に複数回の取得を行い、データを事前に統合する。
- 片方の点群にのみ存在するデータを車両や自転車、歩行者として認識し、フィルタリング対象として除去する。
- 複数時期に同じ場所を取得した3次元点群が必要であり、データの収集の負荷が高くなる。**
- 精度の良い統合処理が必要である。**
- 期間が空きすぎると工事などによる経年変化が影響する。

検討結果のとりまとめ

機械学習などを利用した学習系のフィルタリングは将来的には有効になる可能性が高いが、現時点では発展途上である。フィルタリング処理においては、様々なセンサーで取得する3次元点群データを対象に処理を行うには、特定ルールベースでの処理が効率的で適用しやすいと考える。

【検討結果】

No	手法	特徴
1	特定ルール	- 手作業での除去に比べ効率化が可能。 - ルールに沿わない点群が残るため、手作業による除去が一部必要となるが、取残しの原因特定が可能。 - 取得するセンサーの制限がない。
2	画像等と関連付けてフィルタリング対象を除去	「画像が必要」、「事前処理が必要」、「センサーによっては点群と画像を重ね合わせる情報が出力できない」などの制約がある。 - 点群データのみ出力するセンサーも多数存在。
3	学習系の除去	- 画像処理の様に今後、よりよい学習モデルが出てくることが推測。 - 画像からの物体認識に比べ点群での物体認識は発展途上。 - フィルタリング対象の取残しは、原因特定が困難。
4	複数点群の重ね合わせによる除去	- 複数時期に同じ場所を取得した3次元点群が必要であり、データの収集の負荷が高い。 - 精度の良い統合処理が必要。
5	手動による除去	- 視認できるフィルタリング対象はすべて削除することが可能だが、非常に大きな労力が必要。 - 自動フィルタリングで取残したフィルタリング対象の除去に活用。

特定ルールによるフィルタリング処理フロー(1/2)

路面（道路面や歩道面）を指定し、点群をクラスタリングした後に、点群から物体を認識させ、パラメータの指定により、除去対象を特定させる。

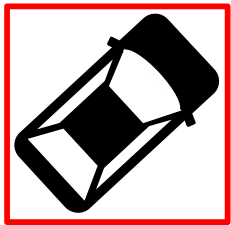


パラメータ設定

- ・ クラスタリングで結合する点群距離
- ・ OBBの面積閾値：閾値以上の物体は対象外
- ・ OBBの高さ上限：一定の高さを超える物体は対象外
- ・ OBBの高さ下限：路面からの高さ下限を設定し、路面設置地物を対象外

【物体認識手法】

物体認識により、フィルタリング対象の正確なサイズを把握し、パラメータを利用して判定と削除を実施



AABB

Axis Aligned Bounding Box
一般的な点群での物体認識
XYZ軸の方向に合わせて、
点群を認識する為、
簡単だが無駄が多い



OBB※

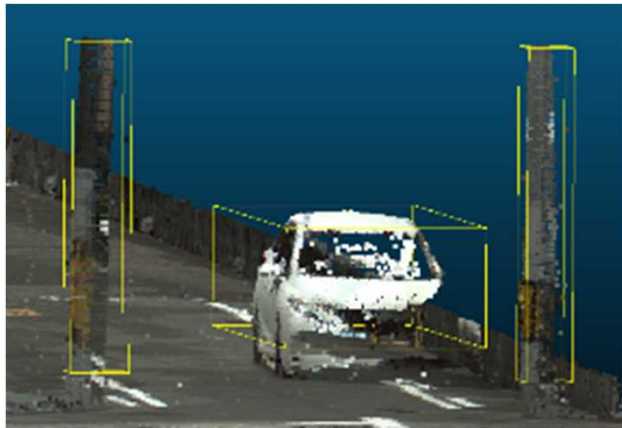
Oriented Bounding Box
採用する認識方法
物体の最小範囲で囲む為、
正確に**対象物のサイズを把握**

※オープンソースのライブラリを利用

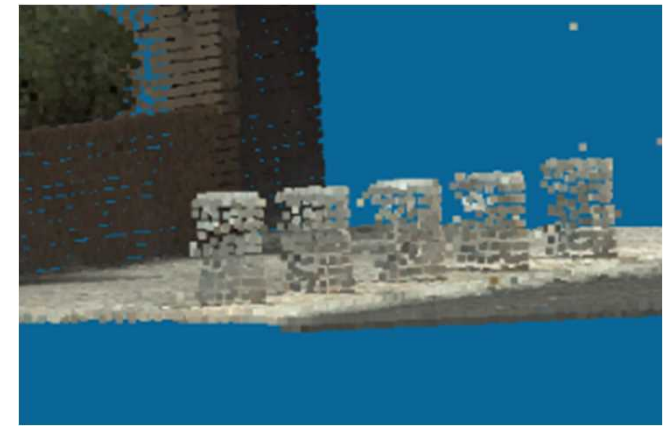
特定ルールによるフィルタリング処理フロー(2/2)

OBBを利用することで点群から抽出した物体のうち、移動車両、人、自転車、駐車車両をフィルタリング対象と判定し削除。

- **OBBのXY平面の面積を利用する（小さいクラスタのみ除去対象）**
 - － ガードレールや路側帯などは面積が大きくなるため除去対象外となる。
- **OBBの高さも利用する（大きいクラスタは除去対象外）**
 - － 電柱や樹木などは面積が小さいが高さが大きくなるので除去対象外となる。
- **OBBの高さが道路面に近いものは除去対象外**
 - － 車止めなどの石柱、植栽、小さい縁石などが除去対象外となる。



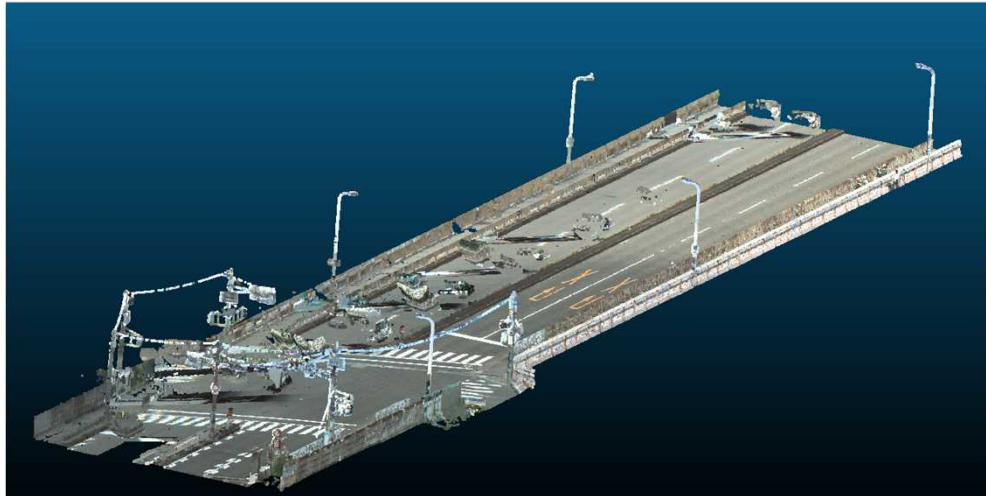
パラメータを適切に設定することで電柱は残るが、車両は削除可能



歩道上の車止めなどは道路面に接地しており、残る

3次元点群フィルタリング サンプル処理結果

取得したデータをサンプル的に処理した結果を示す。



フィルタリング対象を除去前の点群データ

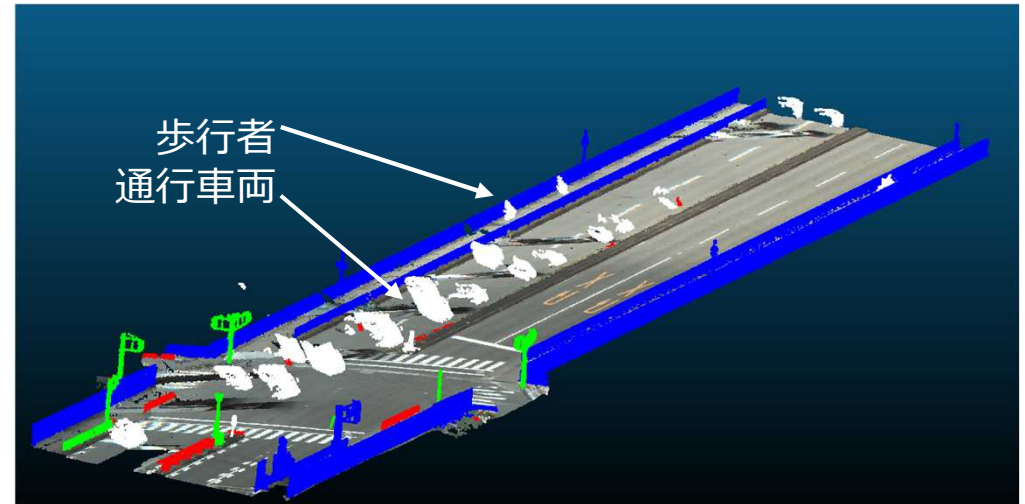


フィルタリング対象を除去後の点群データ

OBBによる物体認識と
フィルタリング対象を判定

- 除去対象物例
- ・歩行者
 - ・自転車
 - ・道路上の車両
 - ・駐車車両

歩行者
通行車両



白色 : 除去対象 緑色 : 上限残留対象
青色 : 面積残留対象 赤色 : 下限残留対象

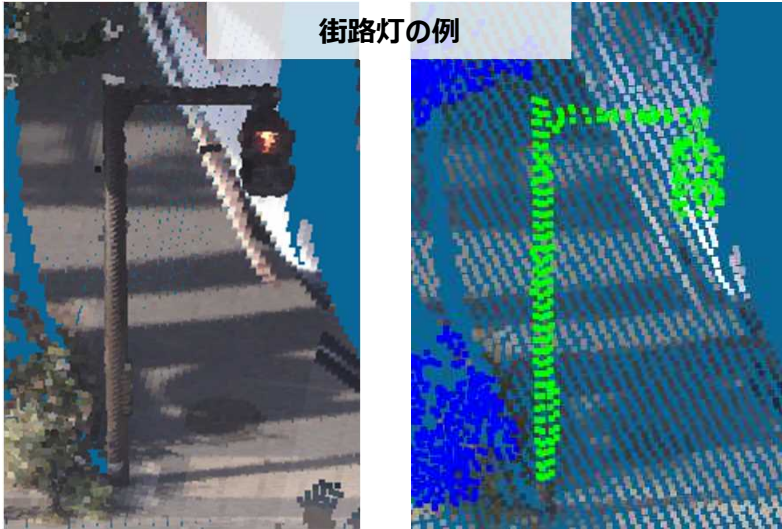
フィルタリング
対象を除去

上記例では各色は以下の通り。
白色 : 歩行者、走行車両
緑色 : 信号機、標識
青色 : ガードレール、歩道の側壁
赤色 : 中央分離帯、ガードレール

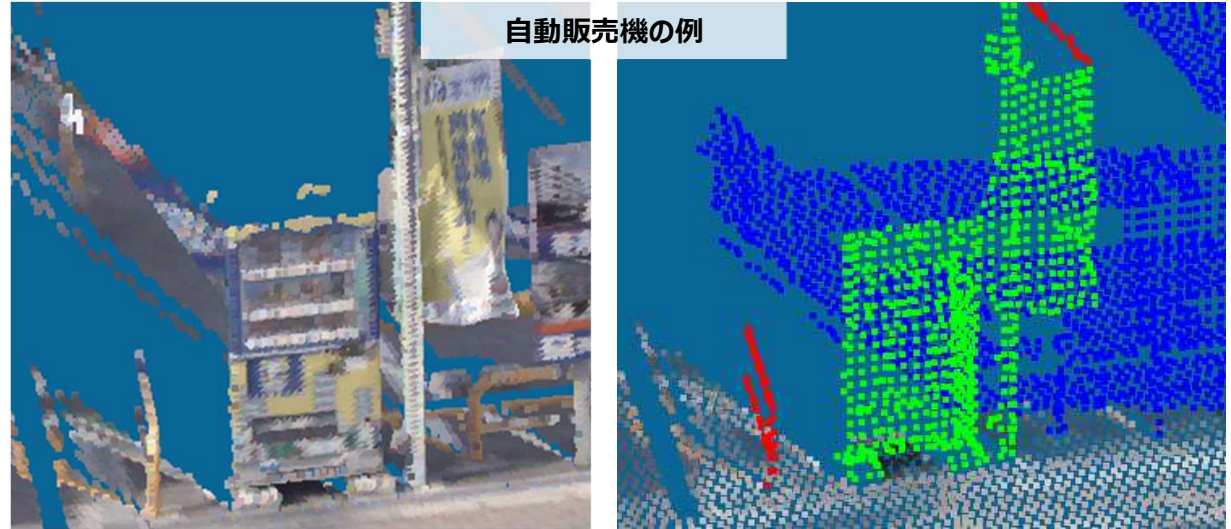
現地取得データの特定ルールでの処理結果

その他取得したデータについて自動フィルタリング処理の検証を行った。検証中ではあるが、現時点ではおおむね良好な処理結果が得られており、検証を進め今後結果を取りまとめる。

街路灯の例



自動販売機の例



歩行者、自転車の例



白色：除去対象
青色：面積が大きく残る
緑色：面積が大きく残る
赤色：道路面に近いため残る

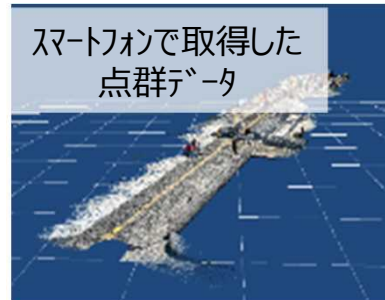
4. 3次元点群データの統合方法について

3次元点群データ統合 (1/6)

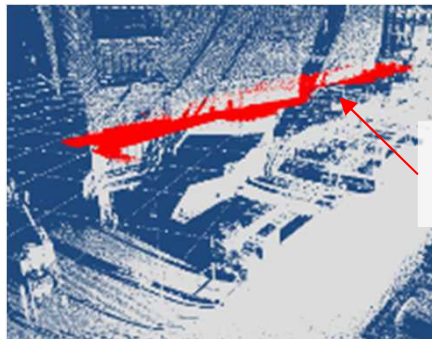
3次元点群データは、絶対座標（緯度経度、平面直角座標等）を有しているが、取得する機器や取得方法によりデータに誤差が含まれる。また、取得したデータを別のデータに統合する際にも統合手法のアルゴリズムに起因する誤差が生じる。そのため、各種点群データの統合では、統合による誤差が生じにくい方法を採用し、3次元地図を整備する必要がある。



MMSで取得した点群データ



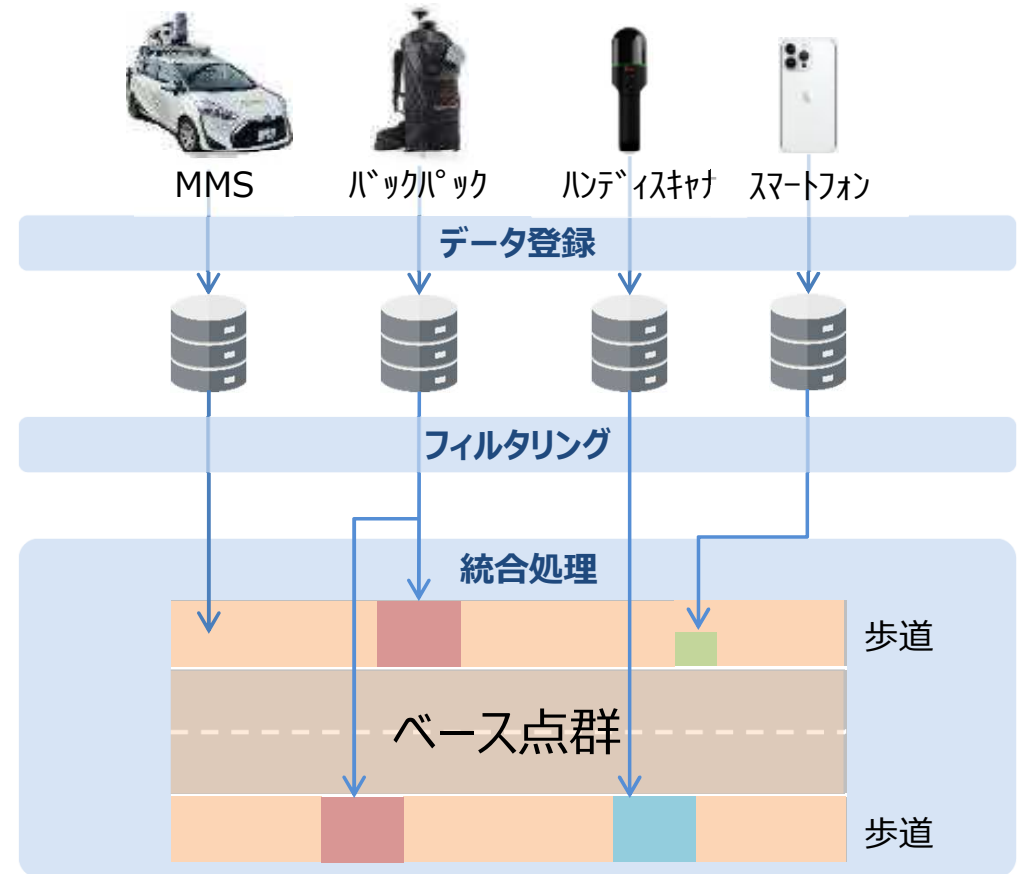
スマートフォンで取得した点群データ



スマートフォンの点群は本来の位置から大きくずれる

例）車道からMMSを用いて歩道の3次元点群データを取得する場合、歩道施設や駐車車両により視通のない歩道部分は取得できないため、スマートフォン等の他の機器を用いて補完的な取得を行い、統合処理を行う。データ毎に位置精度が異なるためデータ間の位置合わせが必要である。

3次元点群データ取得・統合



3次元点群データ統合（2/6） ベース点群

取得範囲が広く、品質管理されているデータをベース点群とすることで、他の点群データを統合した際にデータの位置精度の低下を小さくすることが可能となることから、ベース点群を設定したうえでの点群同士の結合を検討。

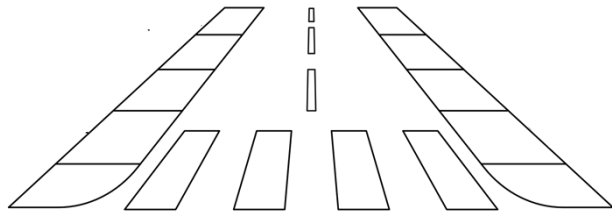
【位置精度の低下が発生するイメージ】

統合のベースとする点群データ（ベース点群）

ベース点群に統合する点群データ（ターゲット点群）

小さな点群をベース（基準）にした場合	大きな点群をベース（基準）にした場合
1m スマホ等 100m MMS等 統合 MMS等 スマホの傾きが1度ずれている場合、MMSを重ねると1度の傾きでも100m先では約1mずれる	100m MMS等 1m スマホ等 統合 スマホ等 MMSの取得データがベースの場合、MMSの傾きが1度ずれていても、スマホの取得範囲が狭いので、ずれは1cmとなる

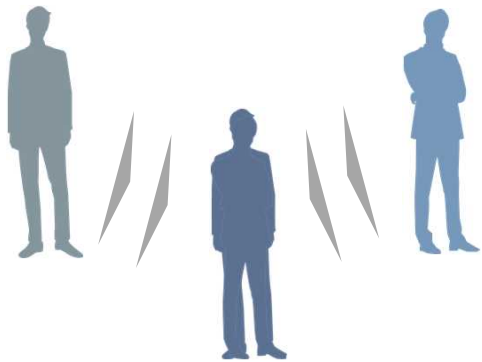
3次元点群データの統合には、ベース点群（基準）とターゲット点群（補正）を適切に設定し、点群を統合することが重要である。歩行空間の3次元点群データは形状が変化しない物体（剛体）としてとらえ、平行移動と回転移動で位置合わせを検討。



歩行空間は形状が変化しない物体

平行移動
回転移動

で統合可能



人の顔などは形状が変化する

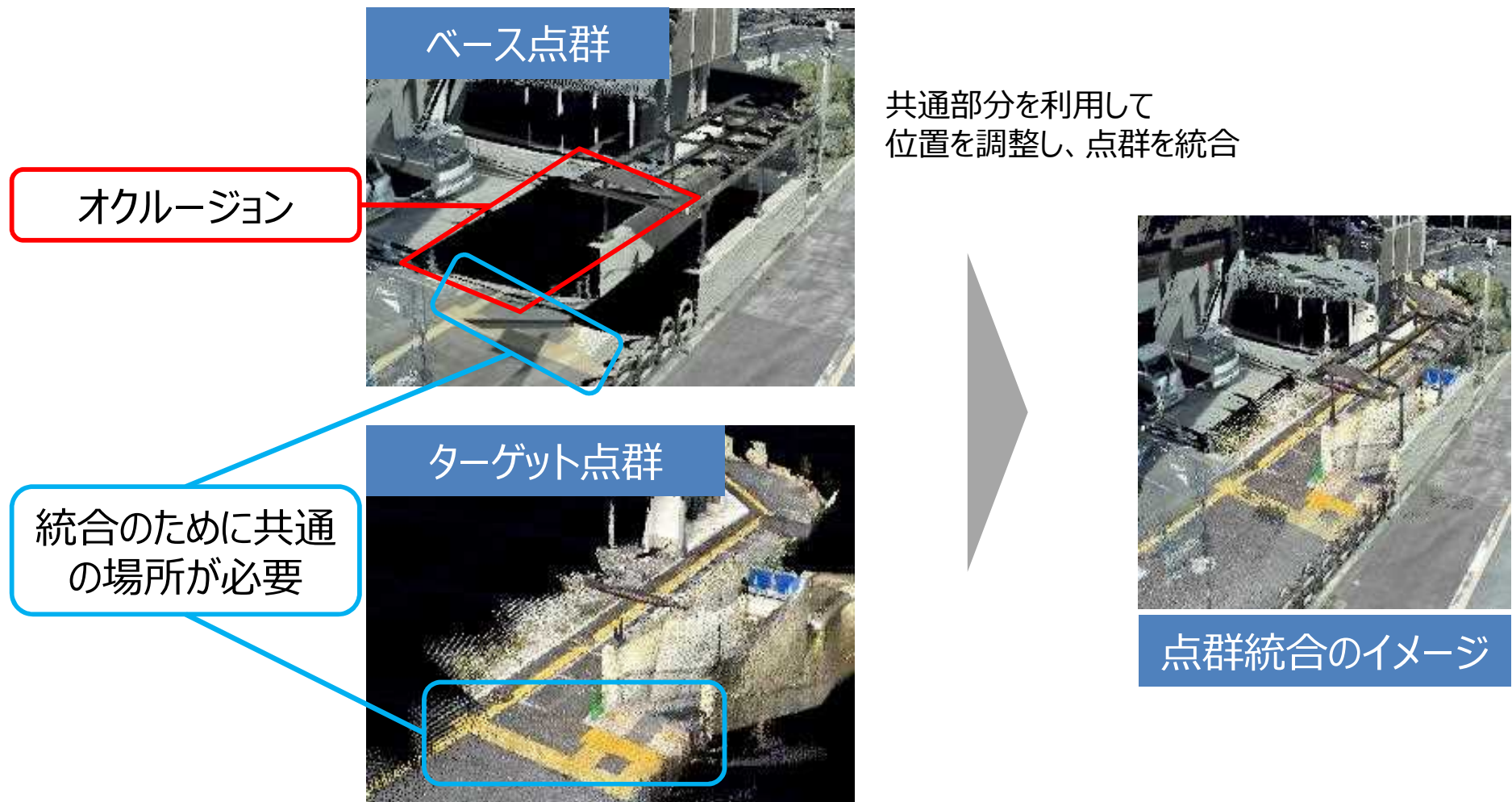
平行移動
回転移動

に加えひねりなども
考慮して統合が必要

3次元点群データ統合 (4/6) 外れ値の対応

3次元点群データの取得においては、対象となる地物の手前にある物体の影響などでデータが欠損（オクルージョン）する部分が発生する。また、別々の取得結果を用いて点群を統合する場合、統合時に指定する位置に点群データが存在するとは限らない。

オクルージョンの影響や片方の点群にしか存在しない点も多く存在することから、点群データの統合では、ベース点群とターゲット点群で共通部分を指定し、統合する必要がある。

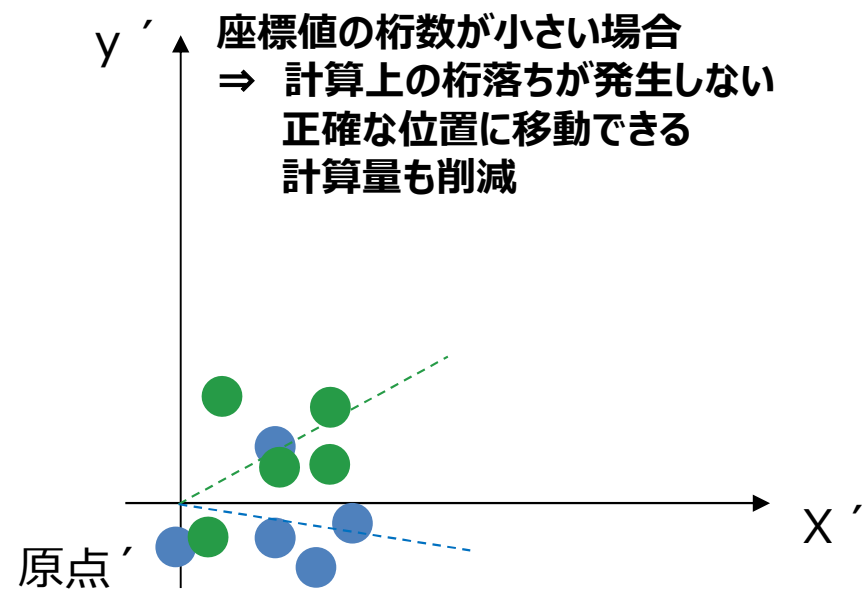
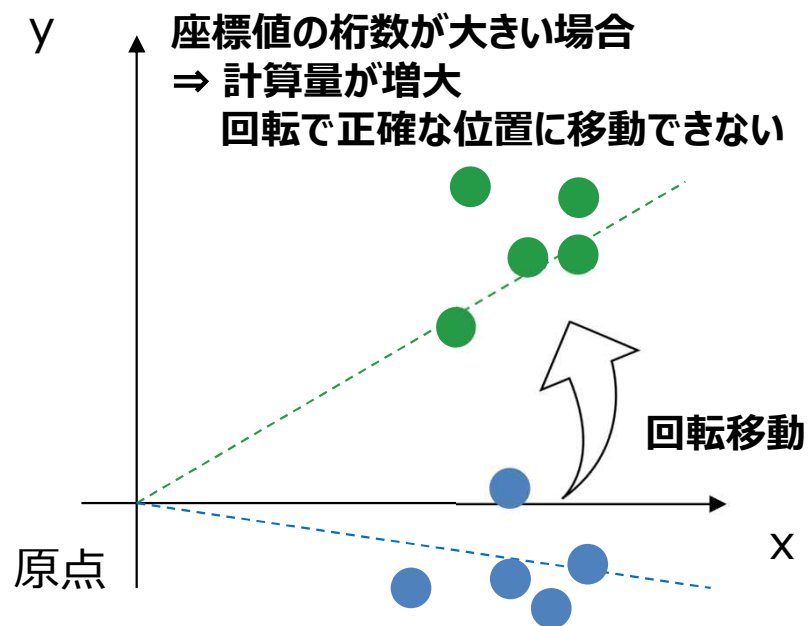


3次元点群データ統合 (5/6) 原点の変換

緯度経度や平面直角座標等の座標系のデータは、座標値が大きく原点から離れているため、統合処理を行う際は点群データの原点を変更し、原点付近でターゲット点群を回転移動させることで、処理の効率化と正確な位置への移動を可能にする。

座標値が大きすぎる（原点から離れすぎている）場合、ターゲット点群の回転移動は原点を中心として処理するため、処理負荷が大きくなる。また、正確な位置へ移動できない。

緯度経度や平面直角座標系の場合は、原点を点群の重心に移動してから処理することで対応する。



3次元点群データ統合 (6/6)

【比較検討を行った3次元点群の統合手法】

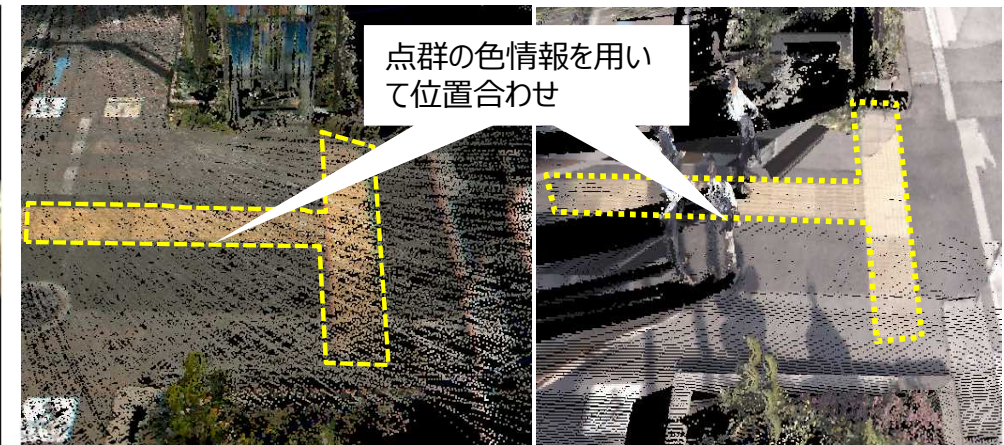
No	手法	説明
1	対応点系	2つの点群の対応点として、GCP（Ground Control Point）や手動で指定した点などを利用して位置合わせする一般的な手法。
2	色情報系	点群の色情報を利用して位置合わせを行う手法。 色点群を生成できないセンサーで取得した点群では利用不可。
3	SfM系	点群に関連付いている画像をSfM（Structure from Motion）で位置合わせする手法。 一般的には対標で位置合わせを実施。
4	ICP（Iterative Closest Point）系	反復処理で剛体変換の位置合わせをする手法であり、自動での点群統合では現在、最も使われている手法。
5	確率モデル系	確率モデルを利用した非剛体変換の位置合わせ手法。 顔認証などの非剛体に適用されるが、道路空間などの位置合わせには活用されていない。
6	学習系	機械学習や深層学習を利用して位置合わせする手法。

【対応点 による統合】



- 2つの点群の対応点を複数設定し、統合する方法。
- 対応点を用いて行列演算を行い、点群の移動量を計算。
- 手動による点の指定が必要であり作業負荷が高い。
- 手動での対応を行うため、精度よく統合が可能。
- マーカーなどを取得箇所に設置し、自動化することも可能。

【色情報 による統合】



- 道路上の白線で重ね合わせるなど、点群の色情報を用いて位置合わせする手法。
- 3次元点群データの機材の違いや日照条件などにより色情報が異なり、統合できない場合がある。そのため、白線など特殊な環境下でしか安定した利用が難しい。

【SfM系による統合】



MMSTで取得した
連続する画像



同一地点を別方向から
取得した連続画像

SfM



2つのデータを統合した
3次元点群

- 撮影画像に対標等を配置し、同一のポイントを認識させ位置合わせを行う。
- ベースとターゲットの両方のデータに撮影位置と角度を有した画像が複数必要である。
- 点群のみでの活用は困難であり、MMSデータについても歩行者や車両などのフィルタリング対象が撮影画像に多く映り込むため、活用が難しい。

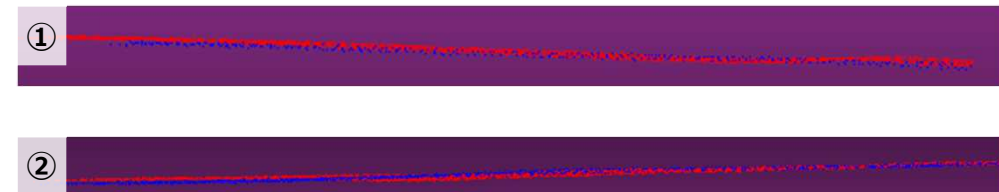
【ICP系による統合】



歩道のみ取得データ



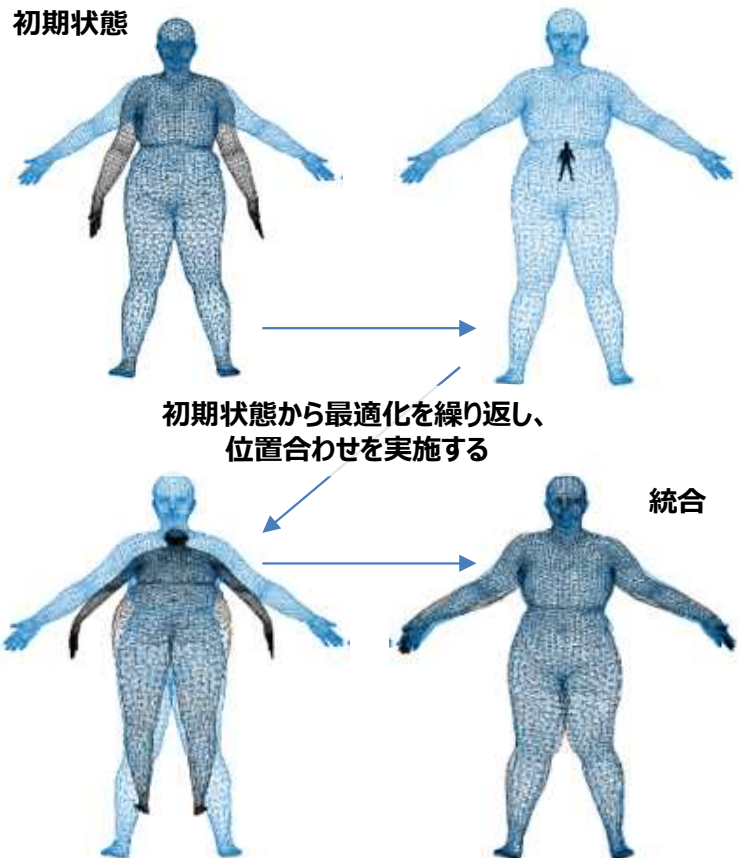
歩道+車道取得データ



- 点群の自動統合では**最も一般的な手法**であり、無償のソフトウェアにも組み込まれている。計算に時間を要する。
- 複数の点群同士の対応点が小さくなる反復計算が基本であるが、外れ値（片方の点群にのみ存在する点）やフィルタリング対象があると統合精度が低下する。
- 複数点群内の共通部分を指定し、点群を統合するなどの処理を行うことで速度改善や欠損点群にも対応できる可能性がある。

統合手法毎の検討結果(3/3)

【確率モデルによる統合※1】



- 確率モデルを利用した**非剛体対応の位置合わせ手法**。
- 最適化を繰り返し実施する必要がない**道路空間の3次元点群データの統合にはあまり利用されていない**（剛体の位置合わせには利用されていない）。

【学習系による統合※2】



- 機械学習や深層学習を利用して位置合わせを行う手法。
- 点と点の対応関係を求めるため、同じ場所に点群がないと統合できない可能性が高い。**
- 欠損する点群の統合処理に適用した場合、精度が出ない可能性がある。**

※1引用：IEEE Computer Society
<https://www.computer.org/csdl/journal/tp/2023/05/09918058/1HrevA5D8qY>

※2株式会社マップフォーのMapIV Engineを使用

検討結果のとりまとめ

3次元点群データの統合処理は、画像情報の利用や深層学習モデルを利用した点群合成処理などが存在するが、ベース点群に対し、複数のセンサーで欠損箇所を統合していくには、**ICP（Iterative Closest Point）系の処理と対応点での点群統合を活用**することが効率化につながると考える。

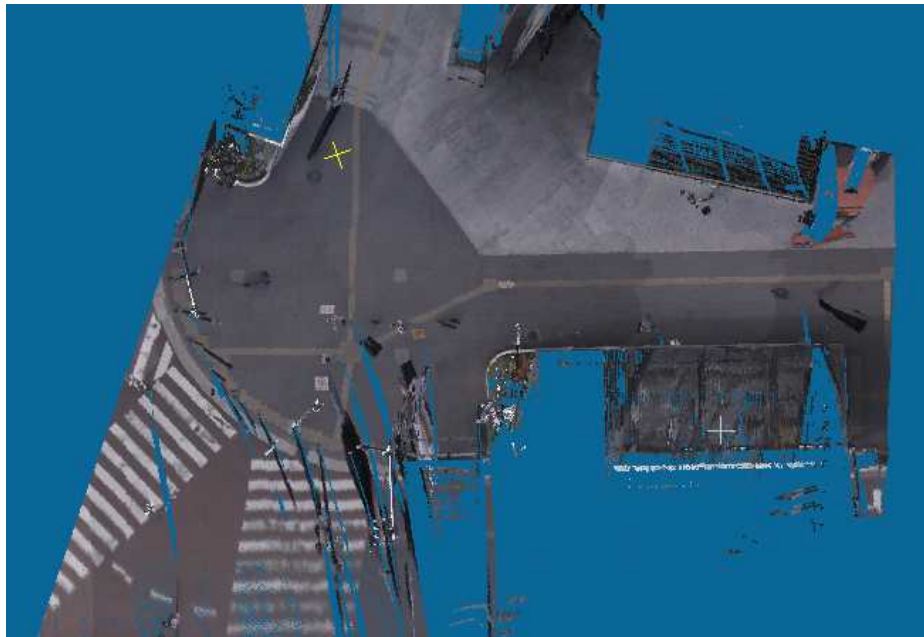
【検討結果】

No	分類	特徴
1	対応点系	2つの点群の対応点を複数設定し、位置合わせを手動で実施する為、手作業での作業が多く作業負荷が高い。 データを視認し手動での対応を行うため、精度よく統合が可能。
2	色情報系	機材の違いや日照条件などにより色情報が異なると、統合できない場合があり、白線などの特定の施設がない場合は処理が安定しづらい。
3	SfM系	撮影位置と確度を有した画像が複数必要。 MMSデータでは歩行者や車両などのフィルタリング対象が撮影画像に多く映り込むため、活用が困難。
4	ICP系	反復処理で剛体変換の位置合わせをする手法であり、自動での点群統合では最も使われている。 外れ値（片方の点群にのみ存在する点）やフィルタリング対象があると統合時の位置精度が低下する。 共通部分を指定し、点群を統合するなどの処理を行うことで速度改善や欠損点群にも対応できる可能性がある。点と点、面と面などの派生形が多く存在。
5	確率モデル系	確率モデルを利用した非剛体変換の位置合わせ手法であり、人や生き物の統合で多く利用。 道路空間の3次元点群データの統合にはあまり利用されていない。
6	学習系	点と点の対応関係を求めるため、同じ場所に点群がないと統合できない可能性が高い。 欠損する点群の統合処理に適用した場合、精度が出ない可能性有り。

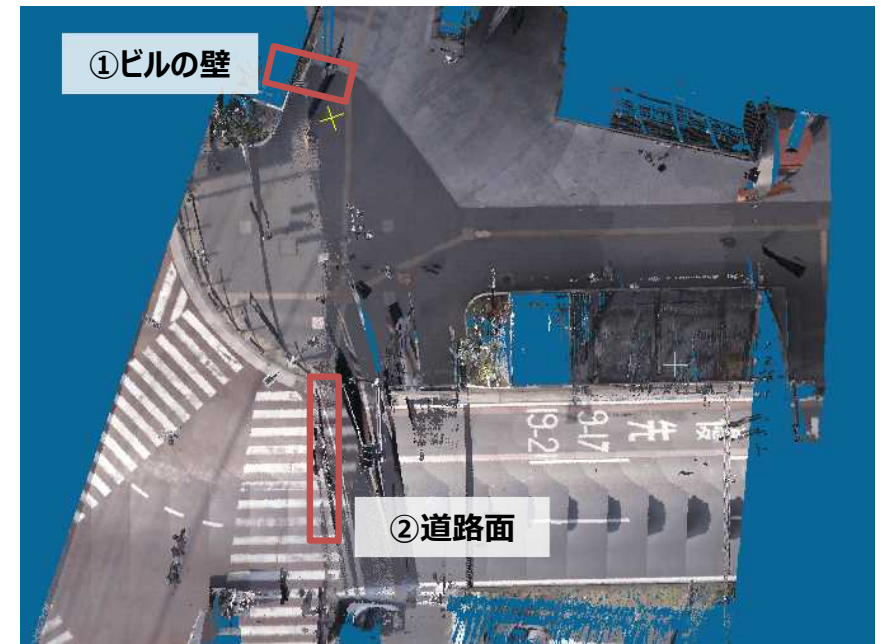
現地取得データのICP系での統合処理の結果

現在、取得したデータについて統合処理の検証中。検証を進め今後結果を取りまとめる。以下の統合処理の例では、車道を車載MMS、歩道を台車搭載MMSで取得された点群データに共通して存在するビル壁面、道路面が精度良く統合されていることを確認した。

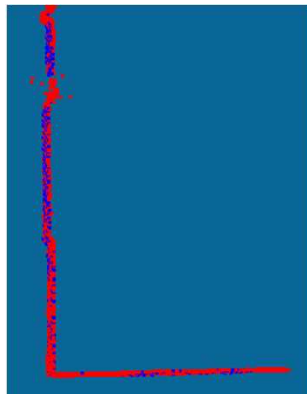
歩道取得データ（台車搭載MMS）



歩道+車道取得データ（台車搭載MMS+車載MMS）



①ビルの壁
（横断面図）



②道路面（横断面図）



赤：車載MMSで取得した点群
青：台車搭載MMSで取得した点群

- 点群の取得・取得結果の整理について、歩道位置の認識やバリア抽出への活用可能性、自動配送ロボットの自律走行への活用可能性の観点から留意すべきことについて

例) スマートフォンでの測定時における測定間隔の相場観、高密度点群データのロボット利用時の間引きの必要性（相場観）、形状の再現性や色の再現性の必要性、自律走行に必要となる点群データの空間的な範囲（ロボットからの距離等）について

- 3次元点群データのフィルタリング、統合について
 - － ベース点群の考え方をういた点群の統合方法の適切性について
 - － 自動配送ロボット及びバリア抽出での点群活用における、フィルタリング対象の適切性について（自動車（対向車両、並走車両、路上駐車）、自転車、通行人 以外で他にないか）
 - － 自動配送ロボット及びバリア抽出で許容できる統合点群の誤差（位置ずれ）の許容範囲（統合精度）の相場観について