

GNSSが受信できない環境下における Lidar SLAMによる詳細地形把握

磯部 優也・新田 寛野・武石 久佳・中村 有汰・近藤 幸子・岡野 和行・佐藤 厚慈・福井 清義
(アジア航測株式会社)

1. はじめに

上空からの地形計測には、航空機やUAVがよく用いられるが、上空視界が樹木に覆われているような場所やトンネル内では、地形情報の取得が困難である。同時に、そのような場所ではGNSSによる絶対座標の特定も困難である。

本稿では、このような環境下において、自己位置を推定しながら地図作成が可能である Lidar SLAMを使用し、精度確保が困難な条件下で、景観検討などに活用するために詳細な現地状況を把握した事例を紹介する。

2. SLAM計測

2.1 SLAMとは

SLAMとはSimultaneous (同時) Localization (位置推定) And Mapping (地図作成) の略称で、点群や画像による地図作成と自己位置推定を同時に行う技術である。自動運転のための高精度地図 (HD Map) 作成やお掃除ロボットの部屋の間取り把握、ドローンによる地形把握など移動体の自律化を実現する上で欠かせない技術となっており、近年活用が進められている。¹⁾

2.2 使用機材および計測状況

今回使用したハンディ型のLidar SLAM計測器は、オーストラリアEmesent社製のHovermap-HFである。(図1) 自己位置推定技術を搭載しているため、歩行計測しながら自動的に溪床内や森林内の3次元地図作成が可能である。取得したデータは1秒前後の取得データ間で自動マッチングされるため、点群のズレが生じず、短時間でデータの出力が可能であることから、

〈使用機器〉

- レーザ計測機：
ハンディ型LidarSLAM
- カメラ
GoPro (アクションカメラ)



SLAM諸元 (Hovermap-HF)	
処理	点群から三次元モデル作成
入力センサー	レーザースカナ/LiDAR
重量	約1.8kg
レーザー照射レンジ	約100m
レーザー照射	300,000点/1秒
精度	±3cm
その他	ハンディタイプ・歩行計測可能・面的なデータ取得可能

図1 使用機材

業務の効率化、省力化にも貢献できる。

本体の重量は約1.8kgで1秒間に300,000点もの高密度な点群を取得することが可能である。

機材本体にGoProを取り付けることで、動画を同時取得でき、現地作業が完了したのちに同社製の点群処理ソフトを用い、GoProの動画から抽出したRGBと取得した点群データを合成し、色付き点群データを作成した。計測は、地形および構造物の配置状況に応じて、10~20分/回程度で計測できる範囲を予め机上で設定したのち、計測前に現地踏査を行い、計測コースの確認を行ったうえで、実施した。

3. Lidar SLAMの適用事例

3.1 景観検討事例 (長野県松本市上高地上千丈沢)

3.1.1 計測の背景

梓川上流に位置する上高地は年間100万人以上の観光客が訪れる国内有数の観光名所である。国の特別名勝・特別天然記念物に指定されており、砂防工事等により人工物を建設する際には、文化庁、環境省、林野庁などの関係機関に工事による環境や景観への影響などを

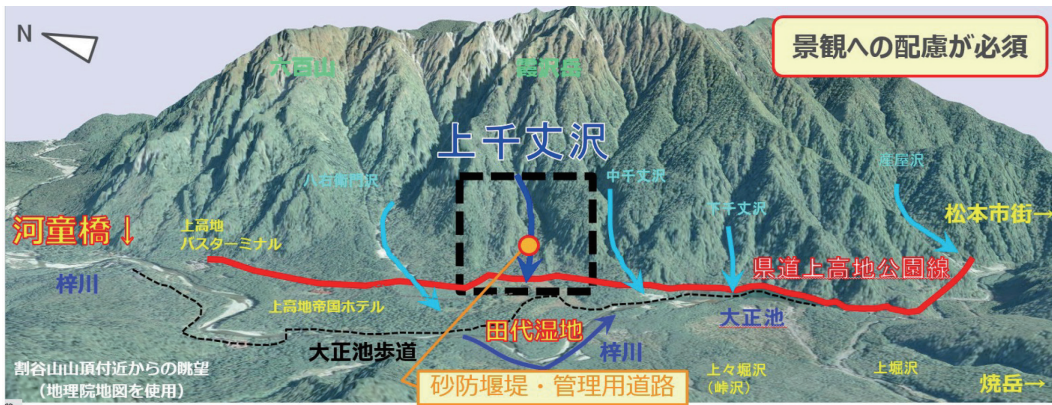


図2 対象範囲の位置図(上千丈沢)

説明し、同意を得る必要がある。

今回、霞沢岳を源頭部とする上千丈沢(図2)からの土砂流出や落石が懸念されるため、砂防堰堤の設置を計画するとともに工事中及び完成後の景観を可視化し、その変化を評価・説明する必要があった。

3.1.2 計測範囲

計測範囲は、溪流長約400m、溪流幅約200mとした(図3)。構造物や堆積物の配置状況を考慮して計測を19分割し、10~20分/回程度で計測可能な範囲とした。また、データ同士を接合させるため、隣接区間が20%以上重複するよう考慮した。

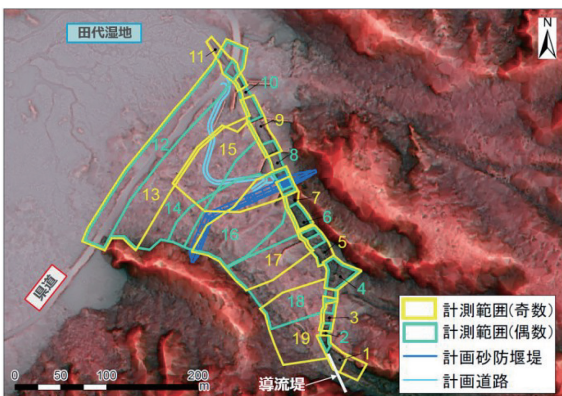


図3 計測範囲

3.1.3 計測データ

取得した点群データは、周辺の3次元情報の他に反射強度情報等を内包する。GoPro動画のRGBを用いて後処理することにより、色付点

群データを作成した。

色付点群データを作成することで河床の礫の堆積状況や植生、既存砂防設備の立体的かつ視覚的な把握が可能となった(図4)。

また、19区間に分割したデータを結合処理することで1つのデータとして統合し、景観検討の基礎データとした(図5)。



図4 色付点群データ

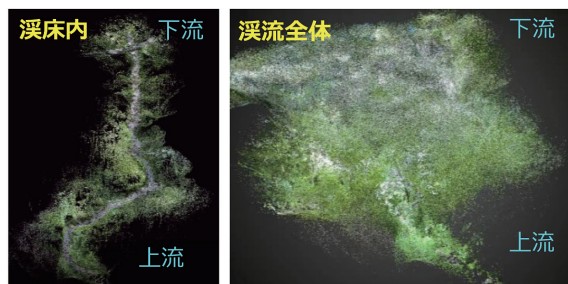


図5 統合データ(景観検討基礎データ)

3.1.4 CIMモデル作成

①計画施設の3次元CIMモデル作成

景観検討を行うにあたり、計画砂防堰堤や管理用道路、周辺地形の3次元CIMモデルを

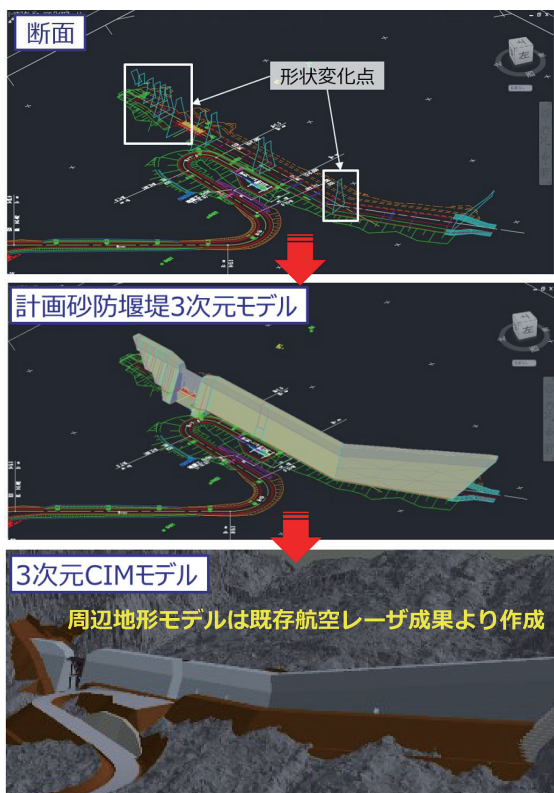


図6 3次元CIMモデル作成

作成した(図6)。

砂防堰堤3次元モデルは構造図を元に各形状変化点で3次的に断面を作成し、各断面間でテクスチャをつなぐことで作成した。周辺地形モデルは既測の航空レーザ成果を活用して作成し、管理用道路も周辺地形を考慮しながら3次的に作成した。

②統合モデル作成

施設配置後の状況を確認するためにSLAM計測により取得した色付点群データと作成した



図7 統合モデル作成

3次元CIMモデルを重ね合わせた統合モデルを作成した(図7)。

3.1.5 景観検討

①フライスルー動画作成

施設配置後の道路および砂防堰堤が、上高地のメイン道路である県道から見えるかどうかを検討するために施工箇所全域の景観が一目で確認できるフライスルー動画を作成した(図8)。堰堤や道路は、植生に覆われることで見えづらく景観を配慮した配色であるため、景観への影響は少ないことが確認でき、関係機関や学識者、施工関係者のイメージ共有が可能となった。

イメージ共有にあたっては植生の一部を除去したものとしないものの2種類を作成し、更なる施工後イメージの理解を深めた。



図8 フライスルー動画作成

②ウォークスルー動画作成

施設配置後の観光客や登山者の視線を意識

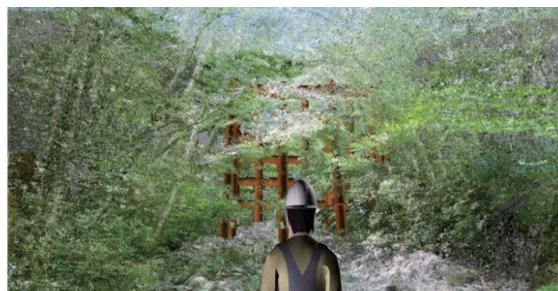


図9 ウォークスルー動画作成

した景観検討を実現するために溪流遡行をイメージしたウォークスルー動画を作成した(図9)。ウォークスルー動画により人目線(徒歩)からの視認が可能となった。

③任意視点からの確認

任意視点で「道路からの視認性」と「伐採による景観への影響」(図10)の確認を行った。

夏季は樹木により計画施設が見えにくくなり、さらに施設前面の樹木を残すことで、より景観に配慮できることがわかった。

また、施設配置後の景観だけでなく、「工事

時の支障木」(図11)や「架空電線の影響」の確認など施工計画にも活用した。

施設範囲の点群を除去したデータと現況を比較することで、工事の支障木や施工後のイメージを確認した。

地盤から架空電線までの高さを推定し、車両通行時に影響が無いことを確認した。

3.2 砂防堰堤の計画検討事例(熊本県阿蘇市湯浦)

3.2.1 計測の背景

阿蘇外輪山に位置する湯浦川5流域(図12)

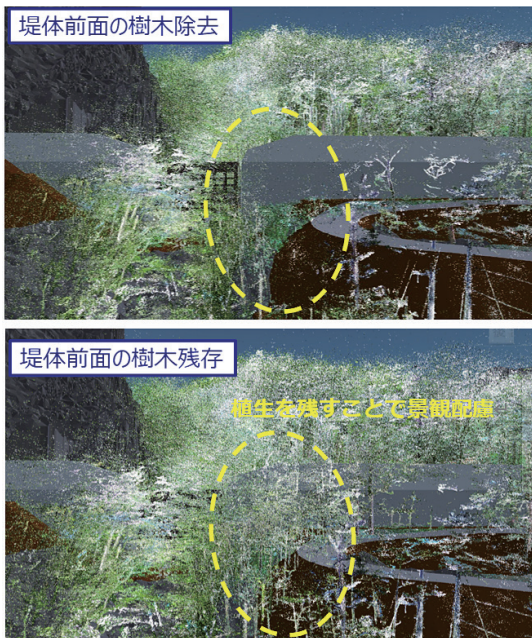


図10 伐採による景観への影響確認

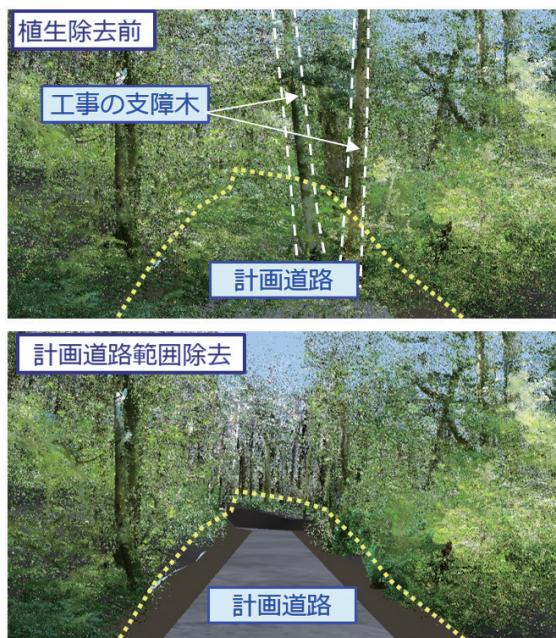


図11 工事時の支障木の確認

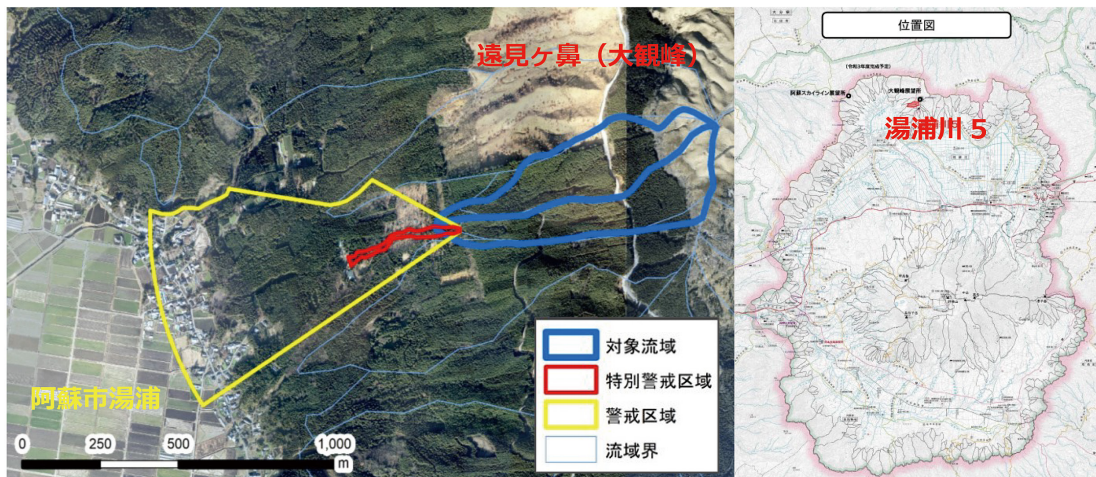


図12 対象範囲の位置図(湯浦川5流域)

は豪雨など出水時に、流域内に堆積する不安定土砂が流下することによる土石流の発生が懸念される。氾濫が想定される下流域には住宅、道路、キャンプ場などが位置することから、砂防堰堤の計画検討を行う必要があった。本業務では砂防堰堤建設予定地及び工事用計画道路周辺における詳細な地形データ把握のため、ハンディ型のLidar SLAMを用いた計測を行った。

3.2.2 計測範囲・計測データ

計画道路、砂防堰堤計画予定箇所が網羅できるような計測コースを設定し、机上と現地それぞれ計測対象箇所を確認したのち、計測を実施した。取得した点群データは同時にGoPro撮影した動画データのRGBと合成し、色付き点群データを作成した(図13)。点群に色を付けることでボックスカルバートの道路の様子

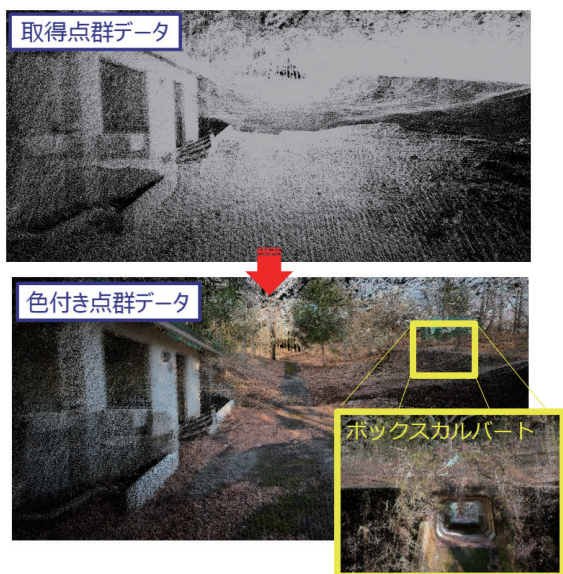


図13 点群色付け前後(上:色付け前、下:色付け後)

がより立体的かつ視覚的にわかりやすく、認識しやすいデータとなった。

3.2.3 CIMモデル作成

計画する砂防堰堤や管理用道路、周辺地形の3次元CIMモデルを作成した。

砂防堰堤や計画道路といった構造物は設計図を元に3次元化することにより作成し、周辺地形は航空レーザ成果のDEMデータからGISにより等高線を作成し、TINと呼ばれる不規則な三角網モデルを発生させることで作成した(図14)。

3.3 地下トンネルの計測事例(鹿児島県鹿屋市鹿屋分水路)

3.3.1 計測の背景

大隅半島を流れる肝属川水系の航空レーザ

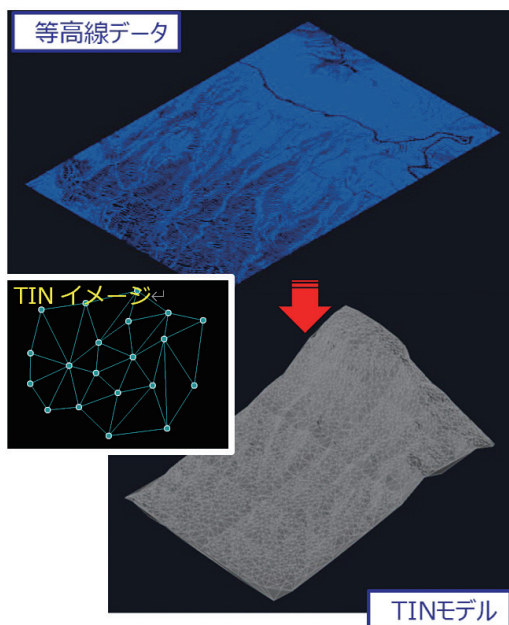


図14 周辺地形モデル(TINモデル作成)

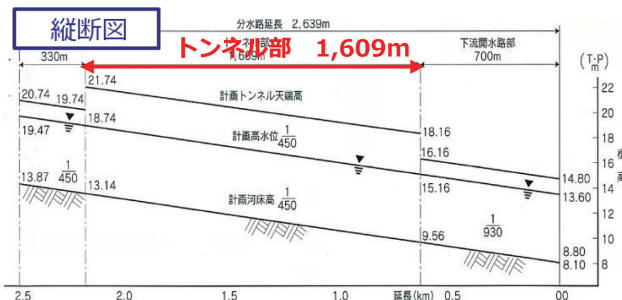


図15 対象範囲の位置図(鹿屋分水路)

測深 (ALB) 業務の補備測量の一環として、ALBで点群の取得ができない地下トンネル水路区間を対象にハンディ型のLidar SLAMを用いた計測を行った (図15)。

3.3.2 計測範囲

全長2,639mの鹿屋分水路のうちトンネル部 (1,609m) について計測を行った (図16)。延長が1.6kmと長区間となったため、約400m間隔毎、1区間20分程度で計測を実施し、区画の継目となる部分には標定点として反射材付の三角コーンを設置した。

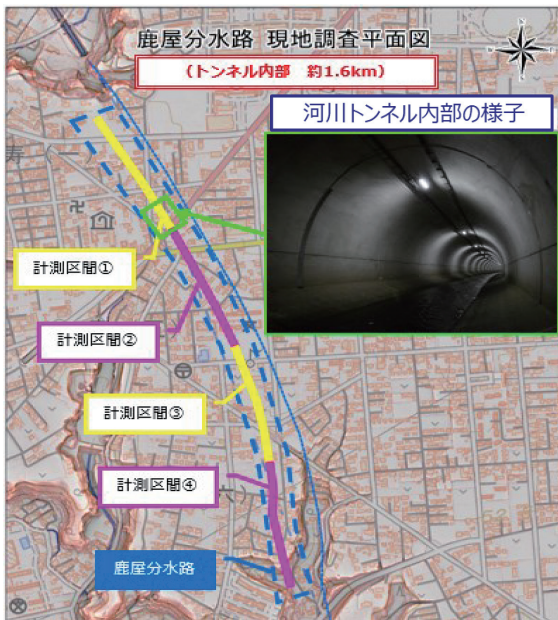


図16 計測範囲

3.3.3 計測データ

色付き点群データを作成したところ、トンネル入口付近は周辺が明るいいため、非常に見やすいデータを作成することができたが、トンネル内部に入ると光源が蛍光灯しかないため、色付き点群にしてもトンネル内部の様子が認識しにくい状況となった。表示方法を反射強度表示にすることでトンネル内部の現況を把握することができた (図17)。

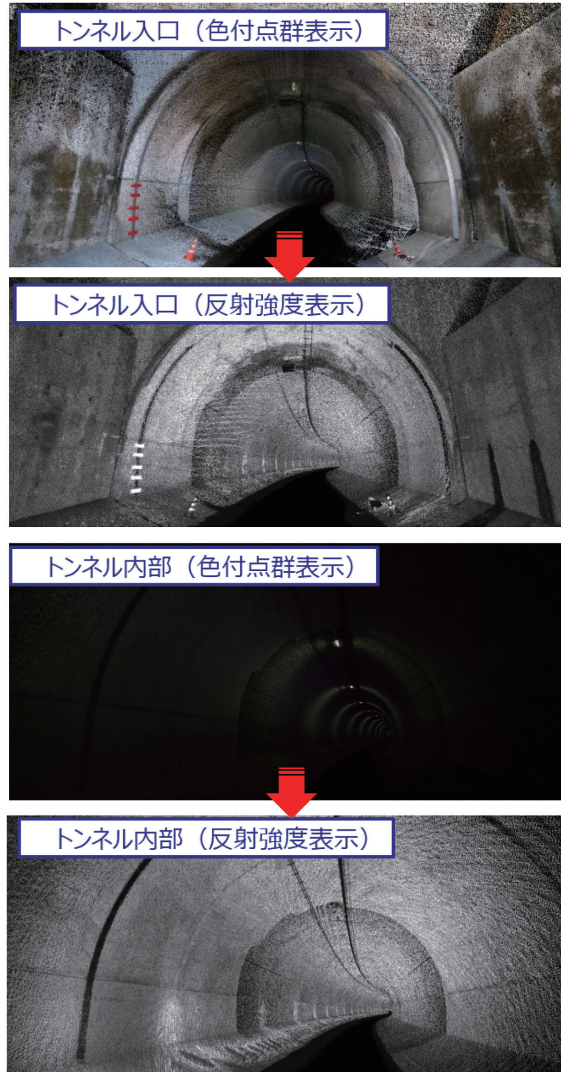


図17 光量の違いによる色付き点群の見え方の違い

4. まとめ

上空視界が樹木に覆われている場所や地下トンネルのような非GNSS受信環境下で、地図作成と自己位置推定を同時に行うLidar SLAMを用いて、詳細な地形情報を取得し、溪床内や林内の高密度な色付き点群データを作成することで現地状況を詳細に再現した。

設計図面や既存航空レーザ測量成果を活用したCIMモデルとの組み合わせや植生の一部フィルタリング除去を行った資料を活用することで、工事完了後の景観変化を多角的に検討でき、施工関係者の施工中の留意事項や施工後のイメージ共有が可能となった。

また、非GNSS受信環境下であるほか、光

量が少なく色調が確認できないトンネル内部であっても、点群の反射強度表示にすることで、内部構造を確認することができた。

一方で、合成した色付き点群データは、樹冠付近の点群データの色が青白色を呈することがあり、本来の色とは異なる箇所が確認された。GoPro動画のRGB情報と取得点群データとのマッチングがうまくいかず、空の色が合成されたと推測される。今後、上空付近の情報は、UAVレーザデータなどと組み合わせることで、さらに現実に近い色付き点群データを再現することができれば、景観検討の品質向上が期待される。

地下トンネル内の計測においては、計測区間の継目毎に標定点として反射材付の三角コーンを設置したが、光量が少なく筒状の特徴点のない空間であったため、位置推定に苦勞した。一度に計測する距離やコース取りなどの計測計画の見直しや、より多くの標定点を設置して累積誤差を抑える、RGB情報が取得できるように光源を設置するなど、さらなる工夫が必要である。

■参考文献

- 1) 友納正裕・原祥堯：SLAMの現状と今後の展望, システム/制御/情報, Vol. 64, No. 2, pp. 45-50,2020

■執筆者

磯部 優也 (いそべ ゆうや)

アジア航測株式会社

九州国土保全コンサルタント技術部

国土技術課



(共著者) 所属は筆頭著者と同じ

新田 寛野 (にった ひろや)

武石 久佳 (たけいし ひさよし)

中村 有汰 (なかむら ゆうた)

近藤 幸子 (こんどう さちこ)

岡野 和行 (おかの かずゆき)

佐藤 厚慈 (さとう こうじ)

福井 清義 (ふくい せいぎ)