

山岳トンネル坑内における位置情報管理システムの実用性の検証

ペンタテクノサービス株式会社 正会員 ○佐藤 功一
ペンタテクノサービス株式会社 正会員 鈴木 雅登
五洋建設株式会社 正会員 石田 仁
五洋建設株式会社 正会員 藤田 真司

1. はじめに

建設現場においては GNSS が普及し、車両や作業員の位置情報が活用されている状況であるが、トンネル坑内等の地下空間では GNSS が受信できず、RFID やビーコンなど受信器の位置を利用して間接的に位置を推定することが一般的である。RFID やビーコンを設置した車両や作業員等の移動体の位置情報を推定する場合、移動体と受信器との距離を電波強度から推定する方法をとる。しかしこの方法では電波の受信強度は遮蔽物や移動体の向きなどの影響を受けるため、実際の現場運用においては位置推定結果が不安定となる場合が多々ある。本研究では、電波の到達範囲の短い低出力の Bluetooth ビーコンと簡易受信器、位置推定 AI により構成したシステムを考案し、これを山岳トンネル坑内の作業状況管理に適用し、実用性を検証した。

2. 使用機材

本研究で用いた機器を図 1 に示す。受信器には ESP32 を選定した。これは、広く普及している Arduino と同じ開発環境が利用でき、かつ Wi-Fi と Bluetooth を内蔵している。送信器としては Bluetooth 対応のビーコンを使用した。また、本試行に先立ち、トンネル現場にて使用機材の挙動を確認した（表 1 参照）。

3. データの取得、分析

データの取得にあたり、セントルを延長方向に 3 区間に分割し 3m 間隔に、高さ方向は 3 階層に受信器を設置した（図 3、4 参照）。作業範囲は、延長約 10m、幅約 13m である（図 3、4 参照）。事前検証結果から、電波の到達距離は約 10m であったことから、ビーコンが作業範囲内にいる限り、見通しではほとんどの受信器から捕捉可能となる。ビーコンについては、セントル内で覆工コンクリート打設を行う作業員に携帯してもらった。

表 1 事前検証結果

NO	挙動
1	検出距離が10m前後であった。
2	稀に反射波が20m～30m先に到達した。
3	上記の20m～30m地点で検出した反射波については、電波強度が低く、十分判別が可能である。



図 1 使用機材



図 2 受信器の設置方法

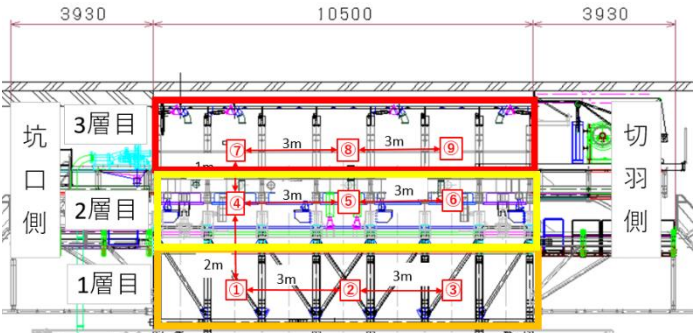


図 3 セントル内の受信器設置状況(側面)

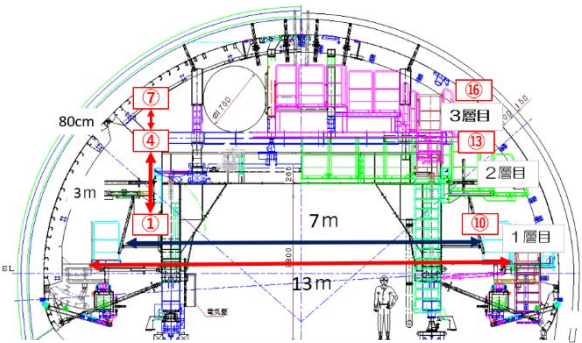


図 4 セントル内の受信器設置状況(正面)

キーワード : トンネル, Bluetooth, ビーコン, AI
連絡先 : 〒329-2746 那須塩原市四区町 1534-1 ペンタテクノサービス (株) TEL 0287-39-2130

上記の実験環境で、データ（受信器の ID、ビーコンの ID、日時、電波強度）を取得した。電波強度は距離や遮蔽物（作業員自身を含む）の影響で減衰する。これらのデータを AI 分析することで、セントル内の作業員の位置や移動履歴を可視化した。可視化した結果を図 5～7 に示す。この結果を現地で観察した作業状況と比較したところ、表 2 に示す通り、概ね合っていることが確認できた。検証結果を以下に示す。

- ・セントル左側、右側のどちら側にいるかが安定して判別可能（図 4 参照，7m 程度の離隔）
- ・1 層目,2 層目,3 層目の判別は可能。但し、右側の 1 層目は遮蔽物が多い影響で受信できないタイミングが多く、判別に支障があった。
- ・セントル全体では、在・不在の把握が可能。

以上より、本研究のビーコンを用いて、全長 10m、幅 13m のセントル内の作業状況が概ね把握できることがわかった。セントルや足場のように電波の遮蔽や反射が多い箇所では、ビーコンによる作業状況が安定して把握できることで、覆工コンクリート打設などの作業進捗を概ね監視することが可能である。また、セントル内に人が居るかどうかを監視することで安全管理にも活用できる。なお本システムはクラウドにデータを集約していることから、現地に行かなくとも遠隔地から作業状況を確認できる。

4. おわりに

本研究で考案した低出力の Bluetooth ビーコン、簡易受信器、AI 分析を用いたシステムにより、山岳トンネル工事のセントル内の覆工コンクリート打設の状況を概ね把握することができた。一部、ビーコンの検出ができない状況が生じたが、受信器の配置方法の改善によって解消できると考えている。今後は、このデータによって、安全書類との自動対比、施工サイクルの自動取得など、現場の職員が日常的に行っている現場管理の自動化を目指すと共に、同様の手法を建設現場内の他の作業にも適用し、現場全体の管理ができるものとしていきたい。

謝辞： 本研究は 2022 年度国土交通省「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」の助成を受けた。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 中村ら：工事車両運行実績データの見える化・分析・活用方法，土木学会第 74 回年次学術講演会，2019。

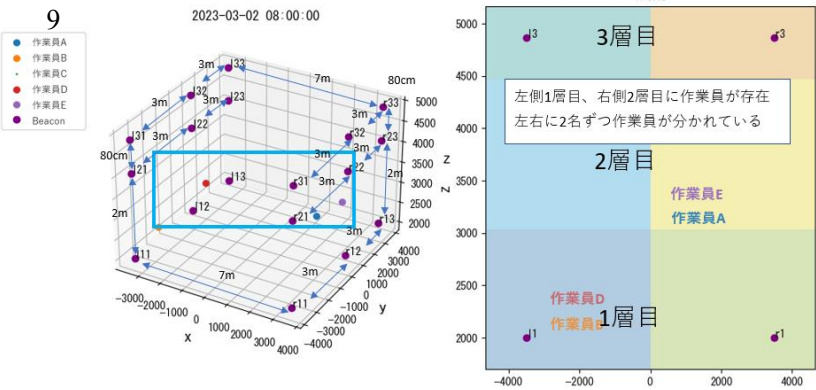


図 5 1 層目作業時

表 2 推定内容と分析結果の比較

NO	AIによる位置推定結果	実際の作業状況	対比結果
1	セントル1層目左2名2層目右2名作業.	セントル1層目左右に2名作業.	左のみ正解
2	セントル3層目, 左側2名右側1名作業.	セントル3層目, 左側2名右側1名作業.	正解
3	作業終了	作業終了	正解

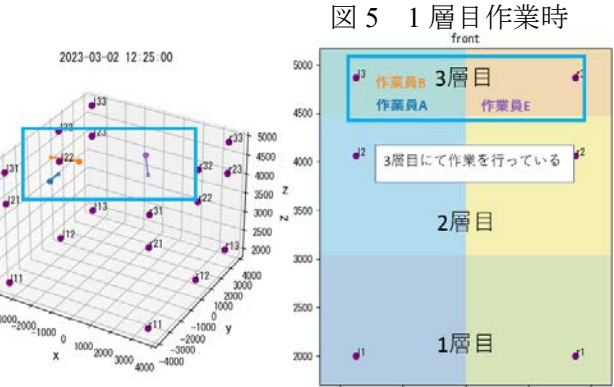


図 6 3 層目作業時

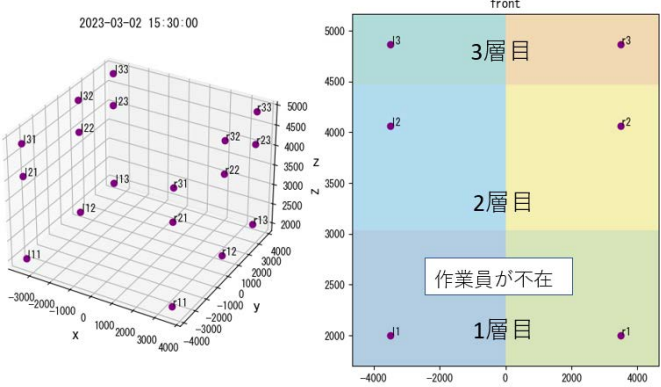


図 7 作業終了後