

バッテリーレスビーコンと LPWA を用いたトンネル坑内位置測位技術の現場検証

株式会社大林組 正会員 ○山中 哲志 橋口 知明
シャープ株式会社 植木 俊 南郷 智子 仁科 卓海

1. はじめに

建設工事は、依然として全産業の中でも労働災害が多い業種の一つとなっている。特にトンネル工事は、閉鎖空間の中で大型建設機械の稼働や資機材の配置といった災害が発生しやすい環境の中作業を行う必要がある。また、工事区間内は、GNSS を用いた位置測位技術が利用できないにもかかわらず、延長が数百 m から数 km と長い傾向にあるため、どこに人や機械がいるか迅速な把握が難しいという課題を有する。これまで RFID タグやビーコンといった無線を利用した位置測位技術が用いられてきたが、限定的な使用にとどまっている。

本稿では、バッテリーレスで利用できるビーコンと Low Power Wide Area(以下、LPWA)の無線機を利用した位置測位技術にて山岳トンネル現場で行った坑内での現場検証結果を報告するものである。

2. これまでの坑内位置測位技術の課題

トンネル坑内での位置測位技術には、RFID タグやビーコン等の無線技術が使われてきた。例えば、RFID を利用した測位技術の場合は、図-1 のようにタグから発信される電波を受信するリーダーを一定間隔で配置する必要がある。リーダー間の通信を確保するために有線または、無線の設備を設ける必要があり、その設備へ電源供給するダウントランス等も必要になるなど設置に手間を要していた。また、リーダーの設置間隔を 10m 程度と密に配置すると RFID タグの電波を自身の最寄りではなく、別のリーダーにて誤検出することもあり、現地での受信強度やフィルタリング処理など機器調整も必要になるケースが多く、利用者の手間と費用面で負担となっていた。ビーコンを先述のリーダーと同様の役割で利用することで配線不要な位置測位手法も用いられているが、長期間の電源供給を行うには、電波の測位頻度を 1000ms 以上と低く設定する必要があり実際の位置情報を乖離が出る課題がある。今回の取り組みでは、図-2 に示すようにバッテリーレスビーコンを用いて設備面の改善を試みた。ビーコンの外観および、機器の仕様を図-3、表-1 に示す。

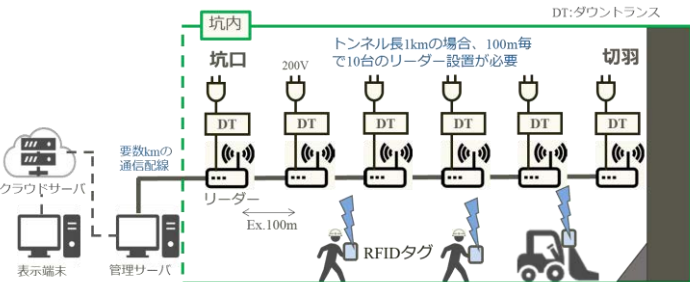


図-1 RFID を用いた位置測位設備設置概要図

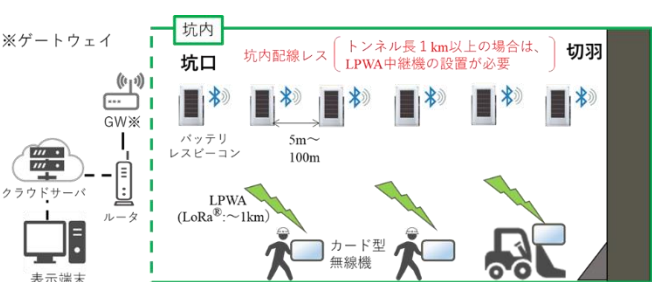


図-2 バッテリーレスビーコンを用いた設置概要図
表-1 バッテリーレスビーコンの機器仕様



図-3 バッテリーレスビーコンの外観

発電方式	色素増感太陽電池LC-LH™ シャープ株式会社製	
寸法／質量	W74×H7×D134 (mm)／62g	
無線通信	Bluetooth® Low Energy発信 (カード型無線機へ送信)	
動作照度範囲	50～10,000 Lx	
動作照度/発信間隔	300 Lx／100ms	50 Lx／1000ms

キーワード 屋内測位，バッテリーレスビーコン，トンネル工，安全管理，ICT
連絡先 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 (株)大林組 TEL 050-3829-1456

3. 工事概要

今回は、茨城県で施工中の上曽トンネル本体工事において位置測位の試験を実施した。工事概要については、表-2に示すとおりである。本工事は、道路トンネルで掘削時は発破作業を伴う山岳トンネル工事である。試験は、2022年9月、10月の2回実施した。

4. 現場試験内容

現場での機器設置概要と設置状況を図-4、図-5に示す。トンネル坑口から約500mの区間にバッテリーレスビーコンを100m間隔で設置した。そして、カード型無線機を試験者(今回は、現場職員)がヘルメットの内部と胸ポケットに携行し、切羽側から坑口に向かって徒歩で移動して坑内位置情報のモニタリングを行った。位置情報は、ビーコンに設定しているIDをカード型無線機が受信し、坑口に設置したGWへLoRa®通信にて送信することでクラウドサーバに情報が集約できるようにした。

5. 検証結果

試験にて取得した位置情報の結果を図-6に示す。システムで認識するビーコンの坑内位置境界部にあたる箇所では、検出した位置情報が前後するいわゆる「揺らぎ」が発生した。特にヘルメット内に携行していた際にその現象が多く起きることが分かった。セントル等の設備に電波が反射した影響が出たと考えられる。揺らぎが発生して継続する時間はごくわずかであるが、電波の強度もシステムではモニタリングしているため、移動平均やフィルタリングをノイズ処理として組み込む対処が、今後必要だと考える。システム全体としては、ビーコンを照度が100LX程度は確保した場所に設置することで安定した動作が実現できるという結果を得た。

設置が容易なため、設備構成と設置作業の手間を削減に大きく寄与する技術だと検証を通して分かった。

6. おわりに

本稿では、既往の坑内測位技術に対して設備の設置と作業手間の改善に着目し、バッテリーレスビーコンにて課題解決に取り組んだ。そして、ビーコン設置位置の境界で発生する「揺らぎ」への対処が今後必要だが、100LX程度の照度を確保して運用することで安定した位置測位が稼働できるという検証結果を得た。今後は、切羽付近では照度が不足するケースが多いと想定されるため、設置方法や補間する技術を含めた検討を行い、坑内の安全性向上に寄与する開発を進める。

参考文献

1) A. Fukui et al., May 2023, In: Digest of Technical Papers - SID International Symposium. 54, Integration of Dye-Sensitized Solar Cell and Liquid Crystal Display Technologies. In press
2) 山下陸, 西山勇毅, 小松寛弥, 川原圭博, BLE ビーコンを用いた屋内位置推定システムの設計と実装, 情報処理学会研究報告 Vol.2020, No.8, pp.1-7

表-2 工事概要

工事名称	(仮称)上曽トンネル本体工事 (石岡工区)
工事箇所	茨城県石岡市上曽地内
工期	令和2年3月25日～令和6年3月15日
発注者	茨城県
受注者	大林・株木・市村特定建設工事共同企業体
工事数量	工事延長：L=1,939m トンネル掘削・覆工：L=1,939m 残土処理：126,938m3

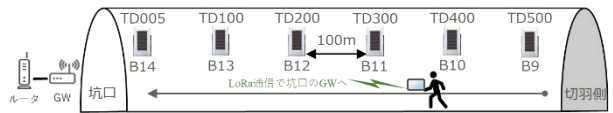


図-4 試験時の機器設置概要図



図-5 バッテリーレスビーコン設置状況

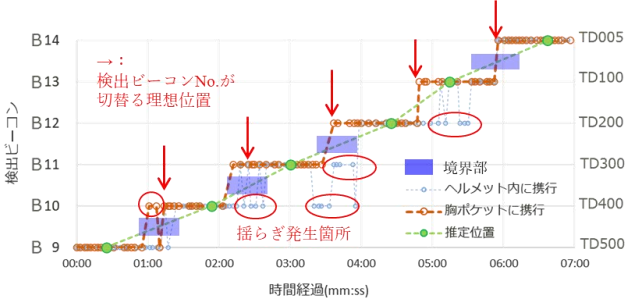


図-6 坑内での位置測位結果