

BLE ビーコンを使用した重機接近警告システムの開発と試行

Development and Trial of Approaching Worker Alert System Using BLE Beacon

木村 圭 佑^{*1} 松田 浩 朗^{*1} 筒井 隆 規^{*2}
Keisuke Kimura Hiroaki Matsuda Takanori Tsutsui
宮原 宏 史^{*3} 野口 幸 一^{*3} 河西 哲 夫^{*4}
Hirofumi Miyahara Koichi Noguchi Tetsuo Kasai

【キーワード】 BLE ビーコン 安全管理 入坑管理 重機接近警告

1. はじめに

作業員の位置管理や重機への接近警告として、Wi-Fi や IC タグを利用したシステムが開発されている¹⁾。しかしながら、これらは独立したシステムであること多いため、目的に応じたシステムをそれぞれ現場に導入する必要がある。そのため、保守・管理に対する職員の労力の増大やシステム間のデータの連携が困難、といった課題がある。

これらの課題を解決するため、単一の機器で複数の機能を有するシステムが必要であると考え、安価で省電力である BLE (Bluetooth Low Energy) ビーコンを利用した自動入坑管理システム、および重機周辺の人の存在を監視し警告する重機接近警告システムを開発した。

本報では、開発したシステムの概要と独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構発注の北海道新幹線、ニセコトンネル他工事において試行した結果を示す。

2. システムの概要

2.1 システムの概要

本システムでは、作業員が所持する電波送信機として、BLE ビーコン (図-1) を使用する。また、電波受信機としてシングルボードコンピュータを防水ケースに格納して使用する (図-2)。送信機が発する電波には、ユニークな ID が含まれる。すなわち、ID と作業員の氏名を紐付けることにより、受信機近傍に誰がいるのかを判別することができる。また、すべての送信機は同じ強度で電波を発しているため、受信電波強度を測定することで、送受信機間距離を推定することができる。



図-1 送信機

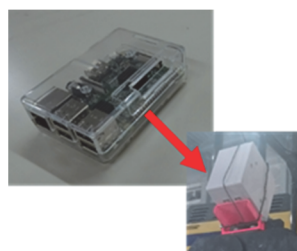


図-2 受信機

2.2 自動入坑管理システム

トンネル等の建設工事現場において、自動入坑管理システムとして使用する場合は、入退坑を判別するために坑口の内外 2 か所、さらに、坑内の所在位置を把握するために、100m 程度の一定間隔で受信機を設置する。送信機が発した電波を受信機が受信すると、最も強い強度の電波を受信した場所に応じて、作業員の所在位置を坑口に設置した入坑管理システムモニタ上 (写真-1)、あるいはインターネット経由で現場事務所のパソコン画面にリアルタイムで表示される。

2.3 重機接近警告システム

重機接近警告システムは、危険範囲内に人が接近した際に、迅速かつ漏れがなく反応することと、送受信機間距離を推定できる必要がある。本システムにおけるシステムの必要要件は、①作業員の重機に対する向きによる電波死角の排除、②大型重機に適用した際の電波死角排除、③距離測定精度および即応性の確保、の 3 点と考えた。これらの課題を解決する方法を以下で述べる。

①既往の研究²⁾より受信機を作業員の前面に設置した場合、作業員の受信機に対する向きにより、受信電波強度が大きく変わることがわかっている。そのため、送信機を、作業員がいずれの方向を向いていた場合でも同等の



写真-1 入坑管理システム表示モニタ

1. 技術研究所 研究開発G 第一研究室 2. 札幌支店 新幹線ニセコトンネル作業所
3. マック株式会社 4. 株式会社エム・シー・エス



写真-2 受信機設置位置



写真-3 送信機収納ポケット付 安全チョッキ

電波強度が受信機で取得可能な位置に設置する、または送信機を複数使用するという案が考えられる。検討の結果、1個の送信機では人体の向きによる影響を排除することが困難であることがわかり、送信機を複数個使用して電波死角を排除することにした。

②重機自身による電波の反射や減衰は、使用重機が大きくなるにつれ大きくなる。そこで電波死角をなくし期待する電波強度を得るために、受信機を重機に複数台設置することとした。

③既往の研究²⁾より、受信電波強度にばらつきが生じるが、1秒間に受信した最大値を採用することで安定した電波強度が得られることがわかっている²⁾。この結果より、送信機は最小出力間隔(0.1秒)で電波を発する設定にし、1秒間に受信した電波強度の最大値を採用することで、即応性を確保しつつ、精度の高い電波強度をもって、距離の測定を行うこととした。

3. 現場での試行とその結果

重機接近警告システムについて、北海道新幹線、ニセコトンネル他工事のトンネル坑内で試行した。試行では重機による電波の死角を排除するために、前後左右に1箇所ずつ、4箇所に受信機を設置した。重機に受信機を設置した様子を写真-2に示す。また、運転席にはモニタとブザー付警告灯からなる警報装置を設置している。また、送信機は、作業員の向きによる影響が少なくなるように、両肩部に設置するようにした。さらに、作業員の負担軽減のために、安全チョッキ両肩に設けられたポケットに設置する運用とした(写真-3)。これらの工夫を行うことで、重機の大きさ、作業員の向きに関わらず、重機

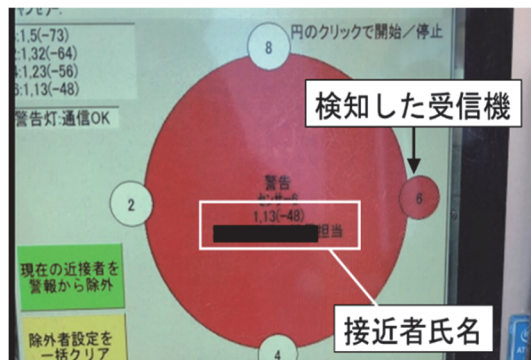


写真-4 運転席設置モニタ

に接近(試行時は送受信機間距離が5m以下)した際に、迅速かつ漏れなく警告が発せられ、既往の技術¹⁾と同等の機能を有するシステムであることを確認した。

運転席モニタ画面を写真-4に示す。複数の受信機を連携させることで、作業員氏名と送受信機間距離、および接近方向を表示する。また、運転者が乗車している重機の警報対象から除外することを目的として、運転席上部にも受信機を設置した。その結果、運転者が変わった場合でも機器の再設定を行う必要がなく、警告機能が運用可能になり、業務の省力化に繋がるシステムとなった。

なお、現在は新幹線ニセコトンネル他工事現場において本運用を開始しており、他のトンネル工事現場においても導入を進める予定である。

4. おわりに

本報では、トンネル建設工事を対象とした、BLEビーコンによる自動入坑管理システムおよび重機接近警告システムの開発と現場での試行結果について述べた。複数のシステムを一体化することにより、機器の維持運用管理面で省力化が図られると考えられる。今後は、受信機の起動時間から建設機械の稼働時間や負荷情報を記録し、機械設備のメンテナンス等の管理へ応用するといった機能を追加するなどの改良を加え、さらなる労働生産性の向上へと繋げていきたいと考えている。

謝辞: 工事現場での検証を行うにあたり、独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 北海道新幹線建設局をはじめとする、工事関係者の皆様にご協力をいただきました。本紙面をお借りして御礼を申し上げます。

【参考文献】

- 1) 松田浩朗, 松元和伸, 筒井隆規, 藤本克郎, 武市直人: 無線LAN坑内測位技術による位置情報に基づくトンネル坑内の建設機械接触災害に対する安全監視システムの開発, とびしま技報 No.62, pp.1-4, 2013.
- 2) 木村圭佑, 松田浩朗, 宮原宏史, 野村拓夢: BLEによる距離推定技術に関する基礎的研究, 土木学会第73回年次学術講演会, CS9-030, pp.59-60, 2018.