

次世代型ビーコンを利用した 屋内作業員の可視化による現場管理システムの開発

EXBeacon プラットフォーム現場管理システム

橋 伸一・佐藤 浩郁・藤島 伸吾

山岳トンネル、シールドおよび地下施設等において、入場者・資機材（以下、入場者等）の現在地把握は、生産性（施工効率）向上に重要な要素の一つであるが、屋内空間等において位置把握のためのGPS技術を利用できない個所ではその情報をリアルタイムに得ることは困難である。よって、運用が容易で低コストであるビーコンを利用して入場者等の位置を把握できるシステムを開発し実用化を図った。

本システムは、小型・軽量のビーコンを所持した入場者等が次世代型ビーコン（EXBeacon：以下、EXB）の電波が届く範囲にあればゲートウェイを通じてクラウドに自動的にデータが集約し、そのデータから入場者等の位置情報を特定しアプリの現場内3Dマップ上にプロットし見える化する。

キーワード：情報化施工，生産性向上，位置把握，次世代型 Beacon

1. はじめに

建設業において高齢化等により技能労働者が大量に離職することが予想され、将来にわたる社会資本の品質確保と適切な機能維持を図るためには、建設業の将来を担う若者の人材確保や生産性向上技術の開発等が重要となっている。

山岳トンネル、シールドおよび地下施設等において、入場者等の現位置把握は、生産性（施工効率）向上に重要な要素の一つであるが、GPS技術を利用できない屋内空間等の現場において現位置をリアルタイムに把握することは困難である。

近年、IoT（Internet of Things）を活用したシステム開発が盛んであることから、容易かつ安価に屋内入場者等の位置情報をリアルタイムに把握するシステムの開発を目指した。

2. 開発概要

安衛則では、ずい道内部において作業を行う労働者の人数および氏名を常時確認することができる措置を講じなければならない。入坑管理の多くは、トンネルの出入り口で表裏がそれぞれ赤白名札を入場者自らひっくり返す「名札管理」で行っているが、名札の反転を忘れることにより坑内に残っていても、気付かない可能性がある。これら根本的な課題と今回運用した現場（既設構造物の再構築工事）における特有な問題

点を解決するためにGPSを用いない「IoTを活用した入退場および位置把握システム」を開発した。

現場特有の問題点は以下の通りである。

- ①施工箇所が4系列に分かれ施工の進捗により目視による入場者の確認が仮設物、構造物により遮られる。進捗に伴い足場支保工により上空が遮られる
- ②多工種の作業員が多数入場する
- ③複数個所での作業や支保工足場が設置されている以上より、従来の「名札管理」、屋内空間等で使用が制限される「GPS技術を活用したシステム」に替わり、設置が容易かつ安価な「次世代型ビーコンを活用したシステム」により入退場管理および現位置把握管理を実施した。

3. システム概要

(1) システム構成

本システムは、小型・軽量のモバイル用ビーコン（以下、Tx）を所持した入場者等が、作業エリア各所に設置されたEXBの電波が届く範囲にあればゲートウェイを通じてクラウドに自動的にデータが集約する。集約されたデータから入場者等の位置情報を特定し、監視モニターにて可視化する（図1）。

※次世代型ビーコン：独立して電波を発信していた従来型ビーコンと違い、相互通信を行う機能を持つもので、メッシュネットワーク機能を搭載したもの

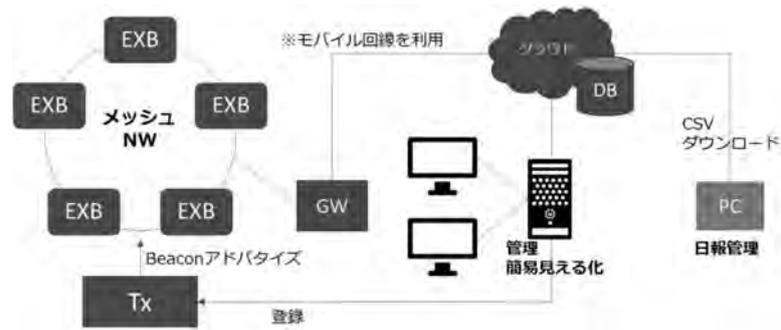


図-1 システム構成

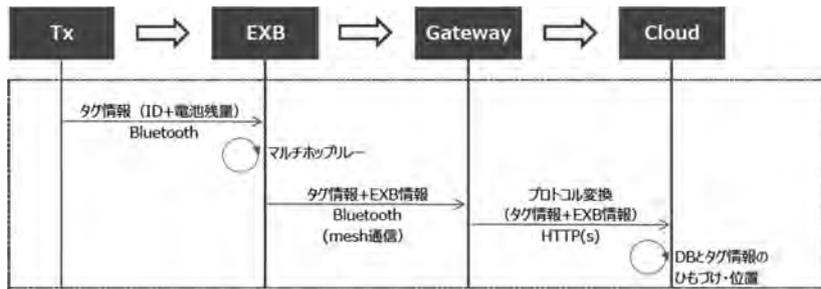


図-2 受信機電波フロー

(2) 可視化フロー

入場者等が所有している Tx が 500 ms 毎に送信した電波を EXB が受信・マルチホップし、EXB は ID 情報と受信電波強度をゲートウェイを介しクラウドに送信する (図-2)。

Tx の受信電波強度からその位置を判断し、監視モニタに表示する。

- ①受信範囲は、電波強度が -97 dB 以上
- ②受発信機の電波強度は ± 10 dB 程度の変動



写真-1 EXB

(3) システム構成機器

システムを構成する機器の仕様は以下の通りである。

(a) 次世代型ビーコン「EXB」(写真-1)

- ①低消費電力型無線通信規格である BLE (Bluetooth LE) 規格に準拠 (2.4 GHz 帯)
- ②電波を発信すると同時に相互通信するメッシュネットワーク形成機能を搭載しているため、有線回線が不要
- ③柔軟なネットワークトポロジー構成により、配置・増設が安易

④電力：AC100 V (バッテリータイプに変更可)

(b) モバイル用ビーコン「Tx」無指向性 (写真-2)

- ①低消費電力型無線通信規格である BLE 規格に準拠 (2.4 GHz 帯)
- ② Tx を識別する ID や、電波強度を示す識別子などを発信する装置



写真-2 Tx

③仕様

- ・外形寸法；W：24.5 H：46 D：3.5 (mm) 約 5 g
- ・動作温度；-25 ~ 75 °C

④電力：ボタン電池

(c) 監視モニタ

入場者 (発注者、元請、協力会社) 別に区別し位置情報をアプリの現場内 3D マップ上に色別にプロットする。1F, 2F, 3F の入場者は図形で表現する (図-3)。同時に会社別に入場者等の名簿を表示する (図-4)。

①作業箇所に設置された EXB が Tx の電波を受信した際に、該当する場所に Tx の番号を表示する。

②同時に複数の EXB で Tx を受信した場合、過去 1 分間の Tx の受信強度の平均で、値がより大きい場所に Tx 番号を表示する (図-5)。

(d) 帳票作成

入退時間等の作業員情報をデータベース化し入退記録 (出勤記録) 管理表を作成する。協力会社別に取まとめ CSV 出力することが可能である。

4. 実証結果

(1) 現場条件およびシステム設置状況

本システムは、既設構造物の改修工事に適用した。条件等は下記の通りである (図-6, 7)。

- ①既設構造物:全長 L = 60 m, 全幅 W = 26 m (@5 m × 4 ブロック), 高さ H = 4.5 m
- ② Tx : 60 基
- ③ EXB:32 基「1F (14 基), 2F (16 基), 3F (4 基)」

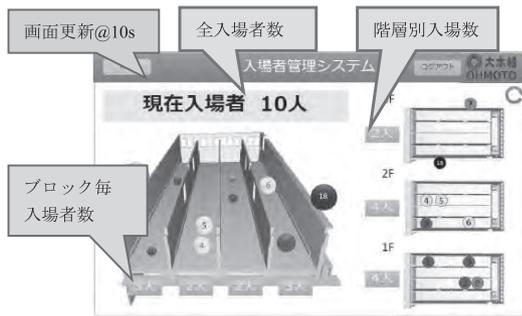


図-3 監視モニタ

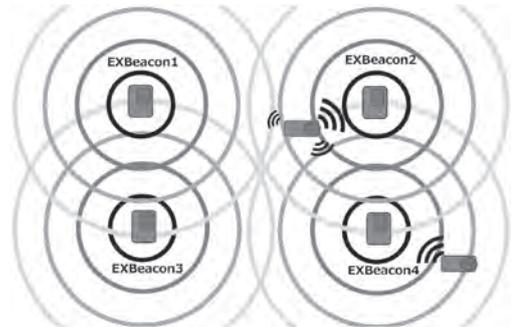
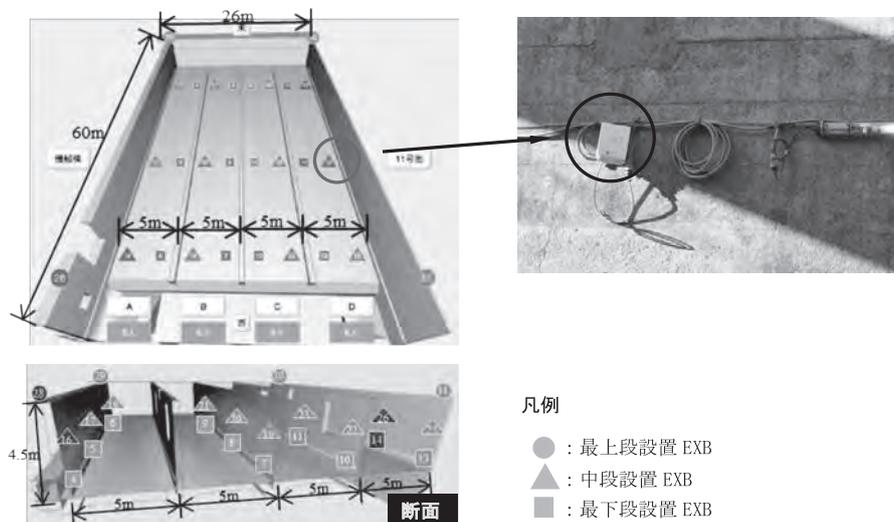


図-5 Tx 検知概念

| No | カテゴリ | 会社 | 氏名 | 職種 | 資格 | 入場 | 退場 | 入場合計時間 | 備考 |
|----|------|------|----|---------|---------------------|-------|-------|--------|----|
| 1 | 大車組 | 〇〇 | 〇〇 | 〇〇 | 〇〇 | 09:23 | 09:49 | | |
| 2 | 大車組 | 〇〇 | 〇〇 | 〇〇 | 〇〇 | 10:03 | 02:19 | | |
| 3 | 協力会社 | 〇〇 | 〇〇 | 鉄筋工 | 職・主・力 | 10:14 | 04:54 | | |
| 4 | 協力会社 | 〇〇 | 〇〇 | 鉄筋工 | 主 | 10:12 | 06:07 | | |
| 5 | 協力会社 | 〇〇 | 〇〇 | 鉄筋工 | 主・主・研組 | 10:13 | 05:15 | | |
| 6 | 協力会社 | 〇〇 | 〇〇 | 鉄筋工 | 職・主・力 | 10:12 | 05:46 | | |
| 7 | 協力会社 | 〇〇 | 〇〇 | 鉄筋工 | 〇〇 | 10:19 | 03:53 | | |
| 8 | 協力会社 | カッタ | 〇〇 | 管理・カッター | 職・主・小高ク・足・研組・主・研組 | 10:03 | 04:09 | | |
| 9 | 協力会社 | カッター | 〇〇 | カッター工 | 職・主・研組・高車・力・主・研組 | 10:30 | 06:07 | | |
| 10 | 協力会社 | カッター | 〇〇 | カッター工 | 職・主・小高ク・高車・力・主・研組 | 10:05 | 05:32 | | |
| 11 | 協力会社 | カッター | 〇〇 | カッター工 | 力・主 | 10:30 | 05:49 | | |
| 12 | 協力会社 | カッター | 〇〇 | カッター工 | 主・小高ク・高車・力・主・研組 | 10:20 | 06:11 | | |
| 13 | 協力会社 | カッター | 〇〇 | カッター工 | 職・主・小高ク・足・研組・特高車・研組 | 10:05 | 06:23 | | |
| 14 | 大車組 | 〇〇 | 〇〇 | 〇〇 | 〇〇 | 08:56 | 09:10 | 01:51 | |
| 15 | 大車組 | 〇〇 | 〇〇 | 〇〇 | 〇〇 | 10:40 | 10:14 | 01:44 | |

図-4 入場者等名簿表示イメージ



- 凡例
- : 最上段設置 EXB
 - ▲ : 中段設置 EXB
 - : 最下段設置 EXB

図-6 現場状況および EXB 設置状況

(2) 実証結果

(a) 「現位置検知」に関する受信強度調査

Txの有効電波到達範囲を半径10mと想定し、奥行き60m、幅5m、高さ4.5mの地下ピットに対し、受信機であるEXBを20mおきに3基設置することで、Txの有効電波到達範囲を捕捉できると想定し、ヘルメット内部にTxを装着した状態で受信強度調査を実施した。Txの電波強度設定は「+4 dBm」, 「0 dBm」, 「-4 dBm」, 「-8 dBm」, 「-12 dBm」, 「-16 dBm」, 「-20 dBm」, 「-30 dBm」の8段階で設定可能である。

① Txの発信電波強度を最も弱い「-30 dBm」設定
現地状況（閉鎖空間、EXBの設置間隔）を考慮し、Txの電波強度設定を「-30 dBm」とし調査を実施した。しかし、EXBの直近にいる状態（1m付近）でのみしか受信できなかった。これは、Txをヘルメット内部へ装着したため、水分（人体）が電波を吸収し、想定よりも電波が飛ばなかったと想定する（図-8）。

② Txの発信電波強度を2段階強く「-16 dBm」設定

Txの電波強度設定を「-20 dBm」では上記と同様な結果であったため、「-16 dBm」とし測定した。EXBから離れた場所（15m付近）であっても常に受信できることを確認した（図-9）。

上記より、各EXBでTxの電波がクラウドを通じ

て収集できることが確認できたため、場内の不感地帯がないと判断した。

(b) 「入退場検知」に関する受信強度調査

当初、階段の上・中・下段にEXBを設置し、EXBを下、中、上の順で受信できれば入場処理、上、中、下の順で受信できれば退場処理とする計画であったが、すべてのEXBを受信し順番通りに受信できない事象が発生した。この対策として上下段のみにEXBを設置した。また、受信率が低かったため改善策としてそれぞれ1基ずつEXBを追加設置することとした。このダブルチェックにより誤認識を低減し精度が向上した（図-10）。

(3) 問題点

屋内空間にてその位置情報をおおまかに把握できることを確認したが、同時に以下の問題も存在する。

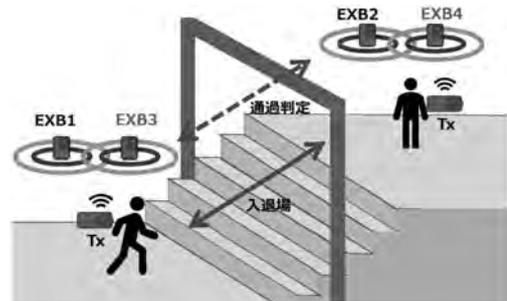


図-10 入退場管理イメージ

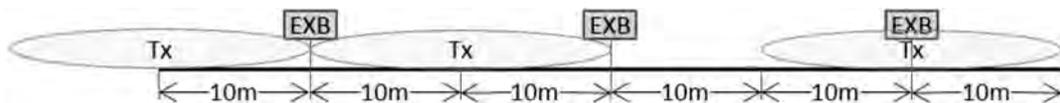


図-7 EXB 設置状況

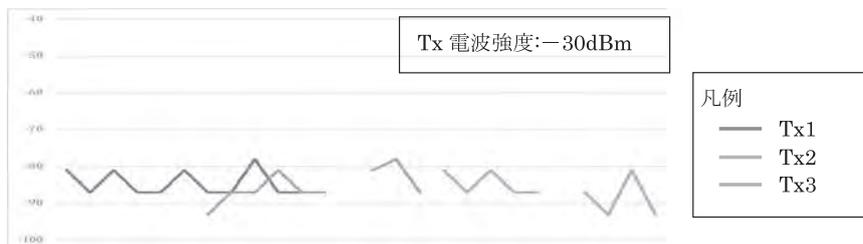


図-8 EXB が設置された箇所を通過した際の受信強度（縦軸：電波強度（dBm）、横軸：時間（s））

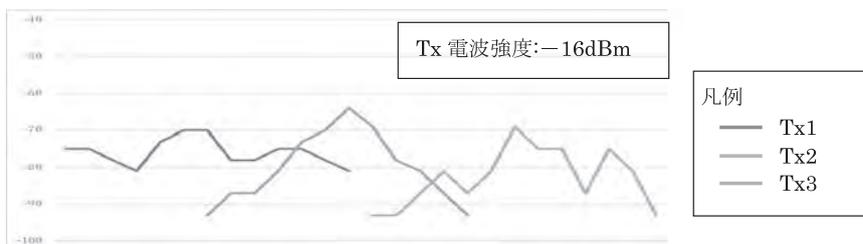


図-9 EXB が設置された箇所を通過した際の受信強度（縦軸：電波強度（dBm）、横軸：時間（s））

- ①足場支保工設置後、1Fと2Fを誤検知する箇所もあった。対策として、個体別に電波遮断シート等で指向性を持たせることも必要となる。
- ②場内外周に設置したEXBに場外から受信してしまうことがあったため、外周に設置したEXBに閾値を設定し、一定以上の受信強度のみ正の値とした。
- ③出入口のEXBにおいて階段を移動していない状態でも、受信してしまうことがあったため、閾値を設定し直近を通過した場合にのみ処理することにした。
- ④位置測位精度を高めるためにはEXBの設置基数を増やす必要がある。
- ⑤Txの電池交換が必要である。

(4) 導入効果

(a) 入場者の行動の見える化

- ①入場者の見える化によりその情報を俯瞰的に確認できるため、管理者からの指示等が効率的となる。
- ②協力会社（入場者個々）毎に集計し、月報を出力することが可能である。

(b) 生産性（施工効率、安全性）の向上

- ①入場者（作業員）の動線を確認・分析することにより、作業員の配置や資機材置場の最適な配置計画等に利用できる。
- ②リアルタイムな現況把握により、万が一事故等があった場合においても迅速な初動対応が可能で重篤化を防止できる。

(c) その他

- ①EXB同士がネットワークを構築するため接続ケーブル敷設が不要である。
- ②機器の小型化、単純化により現場作業員にて設置や移動が可能である。

5. おわりに

廉価な端末同士でネットワークを形成することができ、閉鎖空間において入退場およびおおよその現位置を把握することを確認できた。しかし、足場等障害物における上下方向の検知精度を向上させるためにはソフトやハード面で工夫が必要であると考えさらに検証を行う必要がある。

今後は、山岳トンネルおよびシールドにおける入退場管理、機械・資材の搬出入および位置把握に利用することにより生産性向上を図る予定である。

また、安全対策として体温・脈拍等のバイタル信号を取得するセンサーと組み合わせることにより転倒や熱中症等の早期確認も可能となるため複合的に運用する予定である。

JICMA

[筆者紹介]

橘 伸一（たちばな しんいち）
 (株)大本組
 東京本社土木部



佐藤 浩郁（さとう ひろふみ）
 (株)大本組
 東京支店土木部



藤島 伸吾（ふじしま しんご）
 (株)WHERE
 IoT基盤センター

