

ビーコンを活用した安全な施工管理

セーフティリマインダー

飛田 悠樹・宇野 昌利・西川 祐矢

作業員の危険予知活動や、様々な安全対策によって、建設業の労働災害、特に死亡災害は減少傾向にある。しかし、転倒など一部増加傾向の災害もあり、今後もさらなる安全対策が求められている。

「セーフティリマインダー」（以下、本システムという）は、ビーコンを活用した安全支援システムである。ビーコンを設置した地点に、スマートフォンを所持した作業員が接近すると、スマートフォンがアナウンスを読み上げる。再生する内容は、サーバを通じて変更可能であり、その日の安全指示事項や、気象状況に合わせた内容など、状況に合わせて自由に設定できる。

本稿では、本システムの概要と、現場での運用事例について紹介する。

キーワード：ICT、ビーコン、安全管理、多言語化、アナウンス

1. はじめに

工事現場では、日々朝礼を行い、その日の安全指示事項などを伝達し、業務が行われる。また、作業員の危険予知活動や、現場での様々な安全対策により、安全に留意して工事が進められている。その効果もあり、近年の建設業における労働災害、特に死亡災害について、発生件数は減少傾向にある。しかしながら、転倒など、発生件数が増加傾向の災害もあり、今後もさらなる安全対策が求められている¹⁾。

労働災害の原因の1つとして、ヒューマンエラーが挙げられる。危険予知活動などを日々行っている、見落としや思い込み、気温や体調などの様々な要素が影響した結果、災害が発生してしまうことがある。そこで、筆者らは、スマートフォンから現場で「再度」安全指示事項のアナウンスを聞くことができる安全支援システム、本システムの開発を進めてきた（本誌2020年3月号）。本システムは、アナウンスを行いたい場所にビーコンを設置し、作業員が接近した際、スマートフォンから音声や画像によるアナウンスを再生するものである。危険箇所に接近した際、その場で安全指示事項や注意喚起などが再生されることで、より安全な作業を行うための支援をすることができる。本稿では、本システムの概要と、実際の工事現場への適用事例を紹介する（NETIS登録番号：QS-200030-A）²⁾。

2. システムの概要

(1) システム基本構成

本システムは、危険箇所を設置するビーコン、作業員が所持するスマートフォン、およびコンテンツ管理用のPC（Webアプリケーション）にて構成される。作業員のスマートフォンが危険箇所のビーコンに接近すると、その信号を受信し、スマートフォンから注意喚起などのアナウンスを行う。例えば、朝礼の際に指示した安全指示事項を、現地に再度確認することができる（図-1）。

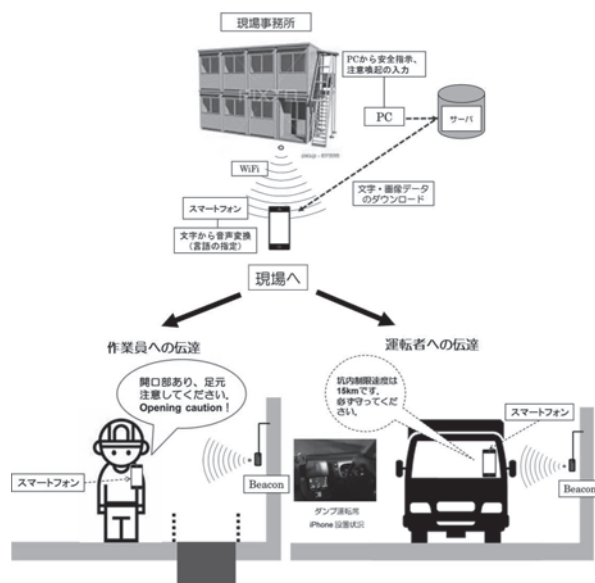


図-1 システム概要図

スマートフォンは、Android、iOS の両 OS に対応しており、それぞれ対応するストアからアプリをダウンロードすることで、現場にて専用端末を用意せずとも、個人の所有するスマートフォンからアナウンスを行うことも可能である。

(2) アナウンス内容

アナウンスの内容は PC などのブラウザ（Web アプリケーション）からいつでも変更可能である。変更した内容は、サーバを通じてスマートフォンへと同期される。スマートフォンはビーコンに接近した際、合成音声を再生する。そのため、音声を録音する必要はなく、アナウンスしたい文章を PC に入力するだけでよい。

また、アナウンス開始前に再生するブザーなどの音声ファイルや、アナウンス時に表示する画像や文字なども併せて設定できる。Web アプリケーションには翻訳機能が搭載されているため、日本語の文章を入力するのみで、多言語に翻訳・設定することができる。再生するアナウンスの言語は、作業者のスマートフォンの言語設定により自動的に選択される。例えば、作業者のスマートフォンが日本語に設定されていれば日本語のコンテンツが、英語に設定されていれば英語のコンテンツが再生される。

(3) ビーコンについて

本システムは、Apple 社の iBeacon 技術を利用している。iBeacon は、Bluetooth Low Energy を活用した技術である。周波数帯は通常の Bluetooth と同様で 2.4 GHz 帯を使用する。

ビーコンは UUID など識別情報を含むアドバタイズ信号を繰り返し周囲に送信している。本システムのスマートフォンアプリでは、この信号を受信すると、その信号強度に基づいて接近判定を行い、条件に合致する場合に、そのビーコンに対応するアナウンスを開始する。ビーコンは電池で動作しているため外部電源を必要とせず、ユーザ側で簡単に設置、移設することが可能である。

本システムの開発時、ビーコンの電池寿命が課題となっていた。ビーコンには信号の発信強度と発信間隔を設定可能なものがある。この 2 つのパラメータは、ビーコンの電波到達距離や、スマートフォンでの受信時の安定性に大きく影響する項目であるが、電池の寿命とトレードオフの関係にある。メンテナンス性などの観点から、強い電波を発する設定でも、約 1 年間動作し続けることのできるビーコンを目指し、現在は大

容量バッテリー搭載 BLE ビーコン（サンワサプライ社 MM-BLEBC4）を採用している。

また、本システムでは、iBeacon フォーマットで発信を行うものであれば、設定を行うことで、異なる機種種のビーコンに置き換わっても動作できることが確認できている。

(4) 検知範囲に関して

スマートフォンからのアナウンスは、ビーコンに接近したことを検知すると再生される。現在採用しているビーコンは、設定や周囲環境にもよるが、50 m 以上遠方まで電波を飛ばす能力をもっている。車で移動する人へアナウンスする場合にはこのままでも良いが、徒歩で移動する人へアナウンスする場合には、これでは検知範囲が広すぎてしまう。本システムでは、ソフトウェア側で受信信号強度に対して閾値を設け、検知範囲を制限することとしている。ビーコンの電波発信強度を下げるなどで検知範囲を制限することも可能であるが、移設の簡便性、メンテナンス性、電波の受信安定性などの観点から、ビーコンの電波発信強度は固定することとした。

3. 閾値と検知範囲の確認試験

本章では、開けた環境において、徒歩で移動する人がスマートフォンを所持し、ビーコン付近を通行する場合について、閾値と検知範囲を確認した試験を紹介する。

スマートフォンで受信した電波の受信信号強度（以下、RSSI）は、周囲環境の影響を大きく受ける。ビーコンの周囲の機械・設備や、受信したスマートフォンの位置・持ち方など、様々な要素で RSSI が変動する。そのため、本試験で確認した RSSI や閾値についても、どの環境においてもこの値になるというわけではなく、現場状況に合わせた設定が重要である。

試験は、遮蔽物のない開けた環境で行った。ビーコンは、本システムで実際に使用している機器、および強度設定を用いた。ビーコンは、試験地にある杭などに設置し、スマートフォンは人が胸の高さ（約 130 cm）に持った状態で測定を行う（写真—1, 2）。

(1) 静止時の RSSI 測定試験

RSSI が確認できるソフトウェアを用いて、ビーコンの周囲における RSSI の状況を確認した。ビーコンから 9 m, 18 m, 27 m, 36 m, 45 m のそれぞれの地点において立ち止まり、手に持ったスマートフォンに



写真—1 使用したスマートフォン (Xperia 8)



写真—2 ビーコン設置状況の例

てRSSIを測定し、その最大値、最小値の範囲を記録した。表—1に試験結果を示す。RSSIは、絶対値が小さいほど電波強度が強いことを示している。正面方向の測定結果について、最大値を見ると、ビーコンから遠ざかるにつれて、RSSIが -66 、 -73 、 -74 、 -83 と徐々に弱くなっている。しかし、最小値を見ると、 18 m 地点の方が 27 m 地点よりも弱いRSSIが検出されてしまっている。正面方向以外については、最大値においてもこの現象が見られる。また、同じ地点に立ち止まっても、RSSIは毎秒変動してしまっている。表はあくまで最大値と最小値を示しており、実際には距離に近いほど強いRSSIが出やすくなるなど、距離ごとにおおよその傾向が出る。しかしながら、 9 m 間隔で立ち止まりRSSIを計測した結果を見ると、数値の範囲が重複する部分があるため、RSSIか

ら距離を判別することは難しい。このことから、たとえ開けた環境といっても、立ち止まった状態で「ビーコンから何mで反応させれば閾値は何dBm」と、閾値によって完璧な受信距離の制御を行うことは困難であった。

表—1 RSSI 測定試験結果

距離 [m]	RSSI [dBm]		
	正面方向	側面方向	背面方向
9	$-66 \sim -84$	$-69 \sim -92$	$-61 \sim -72$
18	$-73 \sim -95$	$-67 \sim -81$	$-74 \sim -82$
27	$-74 \sim -88$	$-72 \sim -84$	$-69 \sim -91$
36	$-83 \sim -100$	$-72 \sim -93$	$-74 \sim -87$
45	$-89 \sim -100$	$-71 \sim -85$	$-77 \sim -94$

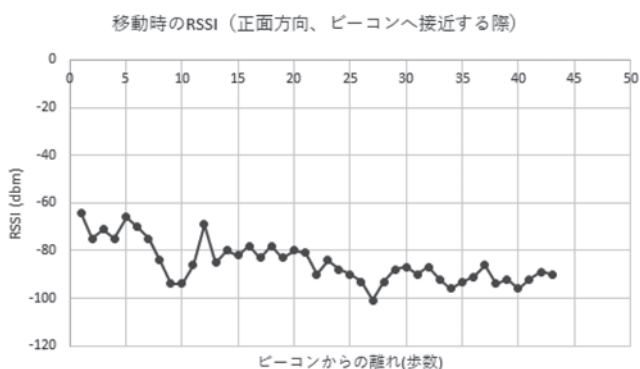
(2) 移動時の RSSI 測定試験

静止時と同様の環境にて、スマートフォンを所持する人が、ビーコンに対して接近する際、およびビーコンから遠ざかる際のRSSIを測定した。(1) 静止時のRSSI測定試験でわかるように、同じ地点においても、RSSIは毎秒変動してしまう。そのため、本試験を複数回行えば、RSSIの数字は毎回異なる結果となる点に注意が必要である。

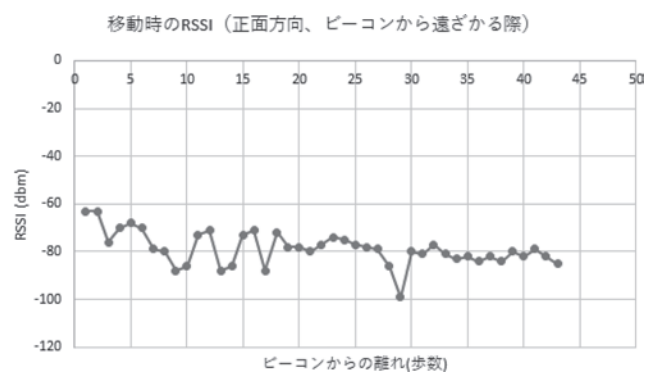
図—2にビーコンの正面方向へ接近する際、図—3にビーコンの正面方向から遠ざかる際、図—4にビーコンの側面方向から遠ざかる際の試験結果の一例を示す。それぞれの結果について、全体的なトレンドとしては、距離が遠くなればなるほど電波強度も対数的に弱くなるような結果となった。一部、距離に近いに関わらず強度が弱くなる点も見られるが、これは電波の地面からの反射、ノイズや周囲の電波による帯域干渉など、様々な現象が複合的に作用したものと考えられる。

(3) 本システムの動作確認試験

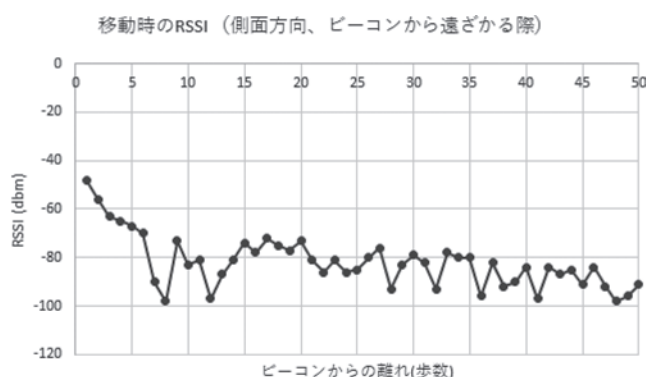
本システム用のソフトウェアでは、ビーコンからの



図—2 ビーコンの正面方向へ接近する際の測定結果



図—3 ビーコンの正面方向から遠ざかる際の測定結果



図—4 ビーコンの側面方向から遠ざかる際の測定結果

信号を受信した際、その受信強度が設定された閾値より強い場合にアナウンスを開始する。実現場での設置を考えると、徒歩移動している作業者に、ビーコンから 10 ～ 20 m 離れた地点にてアナウンスを開始する動作が望ましいと想定し、どの程度の閾値が適切かを確認した。

試験は、(2) 移動時の RSSI 測定試験と同様の環境において、実際の本システム用のソフトウェアを用いて、ビーコンに接近した際に何 m 地点でアナウンスが開始されたかを確認した。また、ソフトウェア上の RSSI の閾値を変更していき、それぞれの閾値において望ましい動作ができるかを確認した。これまでの試験結果から、ビーコンからの距離が 10 ～ 20 m 地点でアナウンスを開始するための RSSI の閾値として、 -78 dBm 付近が妥当であると予想をつけ、主にその付近の数値について調査を行った。

表—2 に試験結果を示す。閾値を -100 dBm (微弱な信号でも、受信すれば再生が開始される状態) にすると、200 m 程度離れた地点においてもビーコンの電波を受信することがあり、作業者の混乱を招く可能性があることから、ある程度適切な値の閾値を設定する必要があることがわかる。今回の環境では、10 ～ 20 m 程度離れた地点で反応できる、 -78 dBm が最も適した結果となった。この結果から本システムでは、

工事現場のオープンな環境下では、 -78 dBm を閾値として用いている。しかし、実現場においては、ビーコン付近に存在する様々な機械設備や、作業者のスマートフォンの保持方法などによる影響を受け、RSSI および適切な閾値が変動してしまうことに注意が必要である。

表—2 本システムの動作確認

RSSI の閾値	動作の状況
-50 dBm (Max)	ビーコンに 50 cm 程度まで接近しないとアナウンスが開始されない。
-100 dBm (Minimum)	200 m 程度離れたところでも注意喚起されることがあり、複数のビーコンを設置すると、常にいたる所のビーコンに反応してしまう。
-70 dBm	ビーコンから 3～5 m 地点でアナウンスが開始される。
-80 dBm	ビーコンから 20～30 m 地点でアナウンスが開始される。 範囲内に複数のビーコンがあるとき、遠方のビーコンが近傍のビーコンよりも先にアナウンスが始まることがある。
-75 dBm	ビーコンから 10 m 地点でアナウンスが開始される。
-78 dBm	ビーコンから 10 ～ 20 m 地点でアナウンスが開始される。

4. 現場運用事例

(1) 概要

以下に、本システムの運用事例を紹介する。清水・奥村・佐藤特定建設工事共同企業体 駒栄工区開削トンネル工事（発注：阪神高速道路㈱）に導入し、システムの動作などについて確認した。本現場は幹線道路沿いであるため交通量も多く、一般車両や歩行者、近隣住民への配慮が重要視されていた。

(2) 初期導入の状況について

本工事では、ビーコン 6 個、およびスマートフォン 10 台を導入いただいた。本システムに用いるアプリは、iOS 端末、Android 端末ともに、標準搭載されているストアでダウンロードできる。そのため、個人の所有するスマートフォンにインストールし、システムを利用することも可能である。

作業者がスマートフォンを持った状態でビーコンに接近すると、合成音声および画像にてアナウンスが開始される。アナウンスの言語は、スマートフォンの設定言語から自動で判別されるため、外国人の方にも伝わりやすい言語で注意喚起や案内を行うことが可能である。

現場担当者は、PC (Web アプリケーション) から、



写真—3 朝礼広場付近のビーコン設置例

それぞれのビーコンに対応する文章、画像を設定する。アナウンスしたい内容を日本語で入力することで、多言語へ一斉に翻訳されるため、どなたでも簡単に内容の変更が可能である。

使用方法としては、朝礼広場や掲示板付近で、熱中症情報などをアナウンスすることで、現場の方々への注意喚起が行われていた（写真—3）。アナウンスする場所の変更は、ビーコンを移動することで簡単にを行うことができるため、その日のみの注意事項や、突発的な事項への注意喚起としても活用が可能であると考えられる。現場出入口付近は一般道に面しているため、交通ルールの順守を促すなどのアナウンスも行われていた。

また、工事の状況や、トイレの位置を知らせるなど、注意喚起のみではなく、現場見学に来られた方への案内などにも活用が可能である。

5. おわりに

工事現場では安全な作業に向け、危険予知活動など、様々な取り組みが行われているが、慣れなどにより効果が薄れてしまうことがある。例えば、第三者への注意喚起に指向性アナウンス安全看板を用いた例では、再生される注意喚起内容に慣れてしまうことで第三者の安全確認意識が低下することが確認されている³⁾。

本システムセーフティリマインダーは、危険箇所などアナウンスを行いたい地点にビーコンを設置しておくことで、作業者にその場で注意喚起を行い、見学者に実物を見ながらの案内を可能にするシステムである。アナウンスの内容はPCなどから簡単に変更することができ、スマートフォンからは合成音声にて再生

されるため、文章を入力するのみでよい。また、日本語の文章を入力するのみで、多言語へと一斉翻訳されるため、誰でも簡単に変更が可能である。作業者のスマートフォンからは、使用中の言語に合わせて自動的に選択された言語で、アナウンスが再生される。日々の安全指示事項を、現地に確実に作業者に思い起こさせることで、より安全な作業の実現に寄与できると考える。

また、1つのビーコンで、伝えたい人に合わせてアナウンス内容を変えることもできる。例えば現場に出入りする工事車両へ公衆災害の注意喚起をする、新規入場者の方へ安全指示を行うなどである。注意喚起に限らず、現場見学者の方への工程説明、近隣住民へ工事の情報を提供するなど、情報発信の用途でも活用が可能であると考えられる。

謝 辞

最後に現場運用をさせていただいた清水・奥村・佐藤特定建設工事共同企業体 駒栄工区開削トンネル工事の作業所の皆様、発注者である阪神高速道路㈱に、誌面を借りて厚く御礼申し上げます。

JICMA

《参考文献》

- 1) 建設業労働災害防止協会：労働災害統計
https://www.kensaibou.or.jp/safe_tech/statistics/index.html
- 2) 新技術情報提供システム（NETIS）：クラウド型安全支援システム（セーフティリマインダー）
<https://www.netis.mlit.go.jp/netis/pubsearch/details?regNo=QS-200030%20>
- 3) 宮瀬 文裕，牧野 有洋，岩橋 輔，谷川 将規，宇野 昌利，藤吉 卓也，井出 一直，高野 泰明，花村 洋一郎：土木工事現場での環境対策事例－音響技術の新しい活用方法（騒音・交通安全）．土木学会 環境システム研究論文発表会講演集 41，pp.133-140，2013.

【筆者紹介】

飛田 悠樹（とびた ゆうき）
丸五ゴム工業㈱



宇野 昌利（うの まさとし）
清水建設㈱ 土木技術本部 イノベーション推進部
主査



西川 祐矢（にしかわ ゆうし）
ジオサーフ㈱

