

建築現場における リアルタイム位置情報システムの構築

川島 慎吾・妹尾 悠貴・天沼 徹太郎

現場におけるモノ・ヒトの数量・所在管理の効率化を目的として、それらの位置検知を行う仕組みを構築した。位置検知の方式として BLE (Bluetooth-Low-Energy) 技術を基盤としたビーコン (発信機) とゲートウェイ (受信機) による測位方式を採用した。現場実証実験を行った結果として、現場からは資機材を探す手間が省け、追加投入量が削減されたとの意見を得た。本報では、その仕組みと実証実験の概要について述べる。

キーワード：建設現場, リアルタイム, 位置情報, 屋内位置測位, GPS, デジタルツイン, 稼働率, センサー, シームレス, IoT, ビーコン

1. はじめに

建築現場では、高所作業車やフォークリフト、足場をはじめとする仮設材など、非常に多くの資機材が活用されている。現場内で資機材の管理を行うためには、現場独自の二次元コードを活用して台帳を整備するなどしているが、依然手作業に依存する部分が多く、大きな労力を要している。また資機材が、どこにあるかを把握するには、作業の進捗に伴ってその位置も刻々と変わっていくことから、正確かつリアルタイムな把握は困難なのが実情である。

建築現場では工事の進捗に従って屋内作業が中心となるため、資機材の位置情報を得るために一般的に利用される GNSS (グローバル衛星測位システム) の活

用は困難である。そこで本システムでは、管理したい資機材の1つ1つに小型で安価な「ビーコン」と呼ばれる発信器を取り付け、現場内の各階に必要な数設置したゲートウェイ (受信機) との信号のやり取りにより、それぞれの位置を正確に把握する。把握した位置データは現場内に構築された Wi-Fi ネットワーク網を通じてクラウド上に伝送され、現場全域にわたる資機材の位置が、現場事務所などの PC 画面で、マップ上に「見える化」される。

また本システムでは、現場外の資機材に対して GNSS 発信器を用いることで、同様にマップの表示を可能としている。本開発では現場内外の人・資機材の位置を取得する仕組みの全体像を、「リアルタイム位置情報システム」として定義している (図-1)。

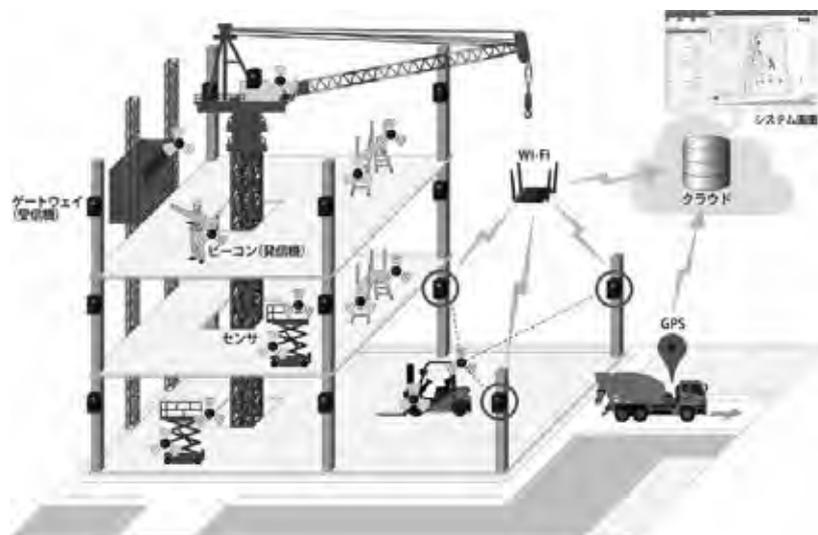


図-1 リアルタイム位置情報システムの全体図

2. 位置情報収集のためのシステムの構築

(1) 建設現場における資機材測位技術に求められる要件

現場における人とモノの位置情報収集には以下の条件がある。

- ①屋内において測位が可能であること
- ②測位精度（誤差）が半径5mの領域に収まること
- ③位置情報を取得する対象が多岐にわたりかつ膨大な数量になること
- ④機器が小型で現場条件に合わせて対応可能であり、ヒト・モノに貼付しやすく工事に支障のないこと
- ⑤機器のメンテナンスが容易かつ長寿命であること

(2) 屋内測位技術の比較とBLEビーコン測位技術の選定

今回測位技術の選定に先立ち、他の屋外測位技術との比較を行った（表—1）。

現在、屋内測位技術には大きく分けて、電波系測位、センサー系測位、光波系測位、などの技術が存在する。代表的なものを下記に示す。

(a) 電波系測位技術

① BLE ビーコン測位 (Bluetooth Low Energy)

小型、省電力、低価格な電波発信機として採用可能なBLE (2.4 GHz 周波数帯) ビーコンを用いて、そのIDと設置した座標情報を管理し、被測位対象に設置するBLE受信可能な端末が受信する電波強度から現在位置を推定する測位技術。一点型

の近接測位も可能。

② UWB 測位 (Ultra Wide Band)

UWBとは非常に短いインパルス状の純粋なパルス信号列を無線で送受信する通信方式。3.1 GHz～10.6 GHz(米国)と非常に広い帯域を利用可能。この特性を活かして測位を行うことで高精度な位置情報取得が可能となる。

(b) センサー系測位技術

③ PDR (Pedestrian Dead Reckoning)

自律航法と呼ばれる基準点からの相対移動計測技術の1種。歩行者を特定対象としており、加速度センサー、ジャイロセンサー、地磁気センサー+気圧センサーの10軸センサにより歩行動作推定から移動距離を求め、ジャイロセンサー、地磁気センサーなどから方向を割り出して現在位置を推定する測位技術

④ VDR (Vehicle/Vibrationbased Dead Reckoning)

自律航法と呼ばれる基準点からの相対移動計測技術の1種であり、PDRと違い車輪によって移動する測位対象物が発生させる振動情報から移動距離を推測しジャイロセンサーからの情報を中心としたデータから移動方向を割り出して現在位置を推定する測位技術

⑤ 地磁気測位

鉄骨系建物の屋内空間に存在する残存地場の特性により、屋内空間の各エリアで異なる磁気の情報地磁気センサーでの調査でデータベース化を行い、測位対象者がその場所に来た時に取得した地磁気

表—1 屋内測位技術の比較

		電波系測位		センサー系測位			光波系測位
		BLEビーコン測位 (Bluetooth Low Energy)	UWB測位 (Ultra Wide Band)	PDR (Pedestrian Dead Reckoning)	VDR (Vehicle/Vibrationbased Dead Reckoning)	地磁気測位	可視光通信測位
利用機器 (被測位側)	被測位側	スマートデバイス (Bluetooth搭載) またはBLEビーコン	各メーカー専用UWBタグ (発信機)	スマートデバイス (加速度/ジャイロ/地磁気/気圧センサ搭載)、専用端末	スマートデバイス (加速度/ジャイロ/地磁気/気圧センサ搭載)、専用端末	スマートデバイス (地磁気センサ搭載)	スマートデバイス (カメラセンサ搭載)
	施設側	測位用BLEビーコン、BLE対応IoT ゲートウェイ端末	各メーカー専用 UWBセンサ	BLEビーコン、RF-ID (補正用)	BLEビーコン、RF-ID (補正用)	不要 (ただし精度確保のためにBLEビーコン等利用も検討)	可視光通信 対応照明機器
事前準備		BLEビーコン設置設計・設置、実機テスト	センサ設置設計・工事、ネットワーク配線工事	実機テスト、BLEビーコン (補正用) 設置、(対象者キリア レゾ)	実機テスト、BLEビーコン (補正用) 設置、(対象者キリア レゾ)	事前に現場磁場サーベイが 必須、実機テスト	可視光通信照明設計 ・工事が必須
メンテナンス		スマートデバイス充電、BLEビーコン電池交換	UWBタグ充電	スマートデバイス充電 BLEビーコン (補正用) 電池交換	スマートデバイス充電 BLEビーコン (補正用) 電池交換	スマートデバイス充電	スマートデバイス充電
位置精度		○ (補正で向上)	◎	△ (補正で向上)	△ (補正で向上)	△ (補正で向上)	○
コスト	導入時	◎	△	○	○	△	△
	ランニング	◎	△	○	○	△	△

センサーの値から現在位置を推定する測位技術

(c) 光波系測位技術

⑥可視光通信測位

LED 照明など高速変調可能な照明により人の目に見える光にデータを埋め込む通信技術を使い、スマートフォンなどカメラセンサーを持つ端末を用いて、複数の照明機器からの信号を活用して現在位置を推定する測位技術

一覧表の通り、メンテナンス性、位置精度、省電力、導入時と運用時のコストなどを総合的に勘案し、BLE ビーコン測位技術を採用・検討を行った。

(3) BLE ビーコン測位技術の測位タイプの選定

BLE 測位技術を利用した位置情報取得技術には、動体側と環境側に設定するセンサーの種類により、大きく2通りのシステムが存在する。1つ目は、位置推定型測位、2つ目はゲートウェイ近接型測位となる(図-2)。

①位置推定型測位

動体に対してスマートフォンを持たせ、環境設置としてビーコンを選択する。メリットとしては後に述べる近接型測位に比べて測位精度が高く、環境設置にビーコンを使用しているため、測位範囲を広げるコストが安いことを特徴としている。

②ゲートウェイ近接型測位

動体に対してビーコンを設置し、環境設置としてゲートウェイを使用する。メリットとしてはビーコンの電池寿命が大きいいため長期間の連続測位が可能となる他、動体が多い場合、位置推定型に比べてコストメリットが高いことがあげられる。

今回は、動体(ヒト・モノ)が大量にあり、種類も多いため、②ゲートウェイ近接型測位のシステムを採用している。



図-2 位置推定型測位とゲートウェイ近接型測位

(4) ゲートウェイ近接型測位の方式の選定

また、ゲートウェイ近接型測位の中でも位置を推定する手法によって大きく2種類が存在する。1つ目は存在検知方式、2つ目は位置推定方式となる。

①存在検知方式

存在検知方式とは、特定のゲートウェイにて、ある一定以上の閾値以上の電波強度にて受信したビーコンが、そのゲートウェイの近傍(もしくはエリア)に存在すると判定する位置判定手法となる(図-3)。

②位置検知方式

位置検知方式とは、位置検知用ゲートウェイにて、受信したビーコンの電波強度を距離に置き換え、おおよその位置を推定する手法となる(図-4)。

今回はエリアに配備したゲートウェイによるエリア判定を目的としているため、②の位置検知の手法を採用した。

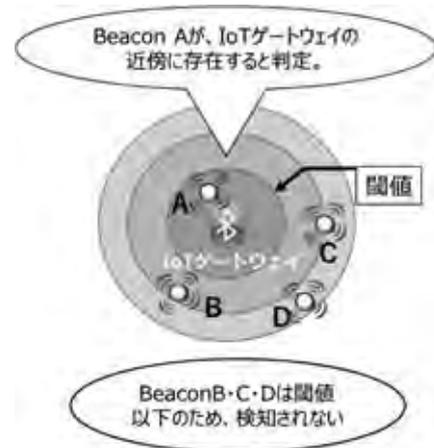


図-3 存在検知方式

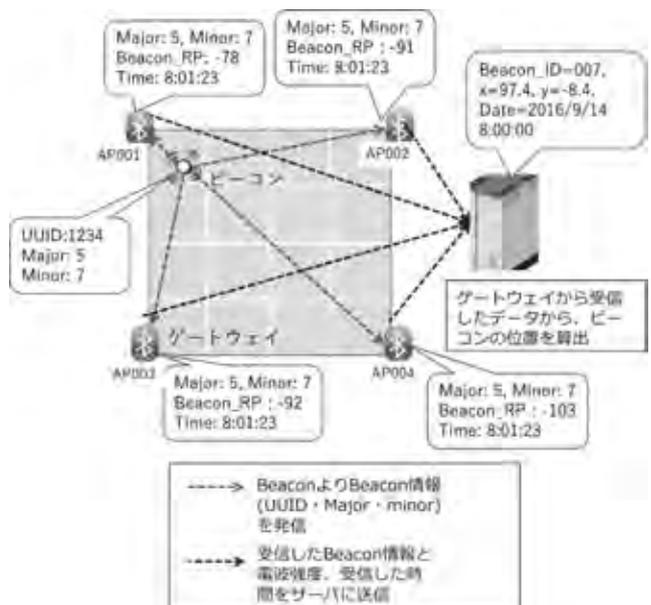


図-4 位置検知方式

3. システムの構成

(1) システムの構成要素

開発したシステムの構成は以下の通りである。

- ①ビーコン：10円玉程度の大きさのボタン電池駆動のセンサーであり，位置情報を収集する対象に貼付し，電波を発信する。電池寿命については，位置検知に必要な発信間隔で，半年程度のデータ取得が可能である（図－5）。
- ②ゲートウェイ：ビーコンから発信された電波を受信し，受信したビーコンのIDとその電波強度を，3/4G回線またはWi-Fiを経由してクラウドサーバに送信する（図－5）。
- ③マグネットセンサー：磁力を検知するセンサー。高所作業車に対して設置し，磁力を検知したときを稼働，磁力を検知しなかったときを稼働として稼働時間を測定する。送信間隔は60秒ごととした場合，電池寿命は標準設定時で約2.5年となる（図－6）。
- ④GPSトラッカー：現場外における工事用車両の位置情報，現場までの到達時間を測定する。
- ⑤通信システム：アクセスポイントなど，ゲートウェイからサーバーまでの通信を行う。
- ⑥ウェブサーバ：ゲートウェイが収集した情報を定期的に受け取り，データとして蓄積する。
- ⑦アプリケーション：サーバーに蓄積された電波強度のデータから各ビーコンの位置を推定し，その結果を各階の平面図画面上に表示する。
- ⑧GPSアプリ：Android用GPS測位アプリケーション。

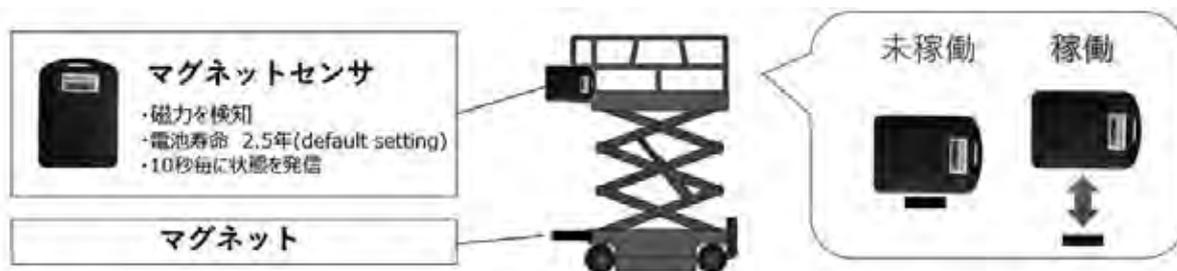
ン。屋外で活動する人に持たせたAndroid端末からGPSを利用して取得した位置情報をサーバーに送信する。

(2) 各センサーからのデータの流れ

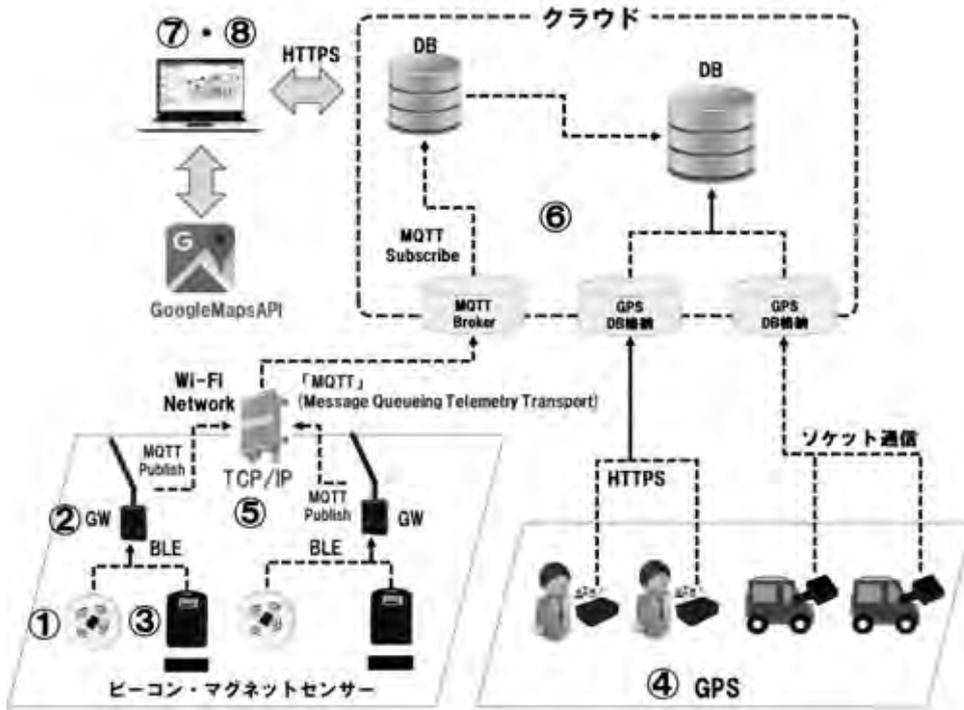
ビーコンから発信された情報（UUID, major, minor = iBeacon仕様フォーマット）は，受信されたゲートウェイ内アプリケーションを通してWi-Fi経由にてクラウドサーバに送信・蓄積する。送信されたサーバー側にて位置情報のクレンジング処理（緯度経度変換等）を行い，その結果をウェブアプリケーション上の地図上にプロットする。ゲートウェイからサーバーに送る際はMQTTプロトコルが使用される。MQTT(Message Queuing Telemetry Transport)とは，あらゆるモノがインターネットにつながり，お互いに情報をやり取りするIoT(Internet of Things)を実現するのに適した非常に軽量なプロトコルであり，貧弱な電波環境に適しており，TCP/IPネットワークで利用できる通信プロトコルである。MQTTを利用して現場内Wi-Fiアクセスポイントを経由，インターネット上にアップロードされる際には，ブローカーと呼ばれる中継サーバーを介して，そこに対してメッセージを投げ（Publishする）クライアントと，そのメッセージを受け取る（Subscribeする）クライアントが必要となる。そのため現場側IoTゲートウェイに対してPublisher機能を持たせる必要がある。またクラウド側にはそれを受け取るMQTTSubscribe機能が必要になる。取得されたデータはその後ロケーションプログラムなどを介して位置計算を行い，DB・サーバーへストレージがなされ，PC画面上に位置をリアルタイム表示，過去履歴表示がなされる。今回はGoogleMapsを利用しているため，GoogleMapsAPIを利用している（図－7）。



図－5 ビーコンとゲートウェイ



図－6 マグネットセンサー



図一七 データ取得から画面表示までの流れ (番号は 4.(2)と対応)

4. システムの適用事例

(1) 複数実プロジェクトでの実証実験

開発したシステムを、弊社の新築工事現場にて試行した。実験の目的は、「移動の多い人・資機材の位置情報を複数リアルタイムに検知できるかを確認する」ことである。ゲートウェイの配置及び取付状況を (図一8, 9) に、ビーコン及びマグネットセンサーの設置対象とその取付状況を (図一10, 11) に示す。



図一九 ゲートウェイの取付状況



図一八 ゲートウェイの配置計画 (上: 1階, 下: 基準階)



図一十 ビーコンの取付状況



図一 11 マグネットセンサーの取付状況

(2) 事前準備

現場での運用にあたり、以下の事前準備が必要となる。

①ゲートウェイの設置

仮設電気計画との調整を行った上で、20～30m 程度の間隔で100V 電源に接続した状態で現場に固定する。また内装間仕切りのレイアウトも考慮する。

②ゲートウェイ位置のシステム登録

ウェブアプリケーション上にゲートウェイを登録し、位置を画面上で調整する。

③ビーコン・GPS トラッカーの設置

④各種センサーの設置

ビーコン以外のマグネットセンサーをはじめとする、各種センサーを設置する。

⑤ビーコン・センサーのシステム登録

ビーコン毎にID を付与し、測位対象と紐づけてシステムに登録する。

⑥通信システムの構成作業

フィールド無線設備（アクセスポイント）の設置を

行う。また現場内インターネット回線の工事を行う。

⑦アプリケーションの稼働

緯度経度情報つき現場図面データ（dxf）をアップロードし、GoogleMap 上に登録した上でゲートウェイの位置をマップ上にプロットする。

5. 実験結果

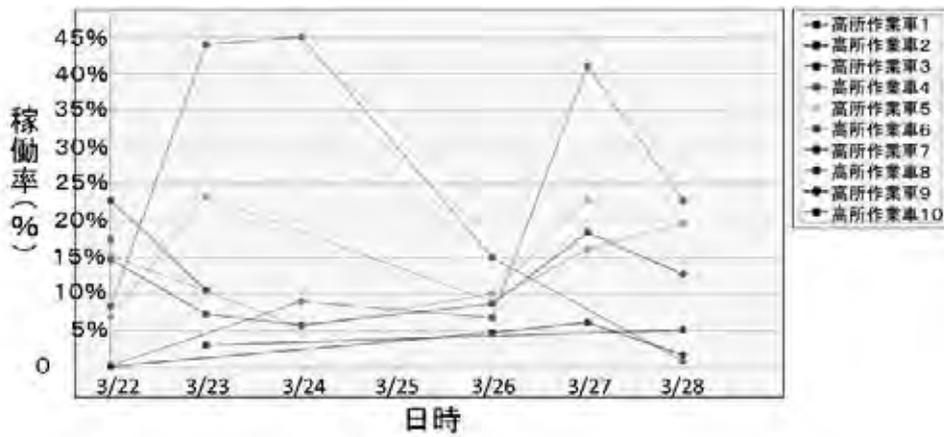
ある新築工事現場での実験の結果、実験期間中の対象資機材114台、作業員・社員30人の位置情報を常時取得でき、かつリアルタイムに見える化が可能なことを確認できた（図一12）。

資機材位置の見える化については、現場担当者から「資機材を探す手間が省け、立馬や台車の追加投入が削減された」との意見を得た。今後、稼働状況をモニタリングできる機能を追加し、資機材が過剰投入になっていないかを判断可能とするなどの改善を計画している。

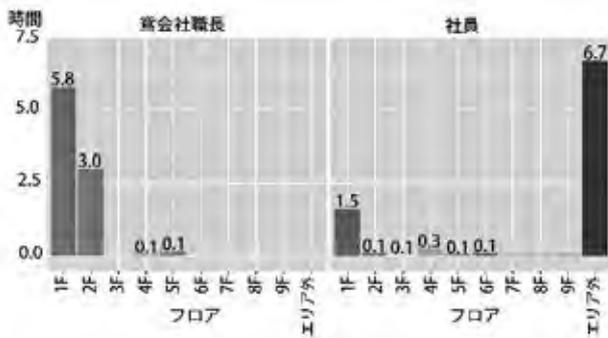
また、マグネットセンサーによって取得した高所作



図一 12 リアルタイム位置情報の見える化画面



図一 13 高所作業車の稼働状況の見える化



図一 14 作業員・社員の実験期間中の1日分のフロア別滞在時間

6. おわりに デジタルツインの実現へ向けて

生産性向上を目的とした現場におけるヒト・モノのリアルタイム位置情報収集の仕組みを開発した。現場の生産性向上のためには、作業のロボット化、管理の遠隔化、プロセスのデジタル化などが求められているが、今回紹介したリアルタイム位置情報システムは、管理の遠隔化だけではなく、プロセスのデジタル化を大きく前進させる技術であり、今後は現場と位置情報をはじめとしたデジタル空間をうまく融合したデジタルツインをコンセプトとした生産性向上を目指している。

J|C|M|A

業車の稼働状況のグラフを(図一 13)に示す。各高所作業車で稼働率にばらつきがあることから、現場にて作業者と調整し使用を平準化することで無駄のない利用が可能になることがわかった。

また、作業員・社員の位置情報の活用例として、得られた位置情報を利用し、実験期間中の1日分のフロア別滞在時間を算出した結果を(図一 14)に示す。この図から、当該日における作業員がどのフロアで作業したかを推定でき、作業の進捗把握やフロア別歩掛りの算出への活用が期待できる。今後の活用先として、①作業員の滞留場所、滞留時間を算出し、作業員動線など仮設計画の見直し、②重機廻りなど危険箇所への立ち入りに対する警告機能などの安全管理への活用へつなげる計画である。

【筆者紹介】

川島 慎吾 (かわしま しんご)

鹿島建設株

東京建築支店 建築工事管理部 人事・企画グループ 課長



妹尾 悠貴 (せのお ゆうき)

鹿島建設株

技術研究所 先端・メカトロニクスグループ



天沼 徹太郎 (あまぬま てつたろう)

鹿島建設株

ITソリューション部 企画管理グループ

