

## 建設現場における屋内位置認識システムの開発

株式会社竹中工務店技術研究所先端技術研究部 松田 耕

株式会社朝日興産販売部 IoT 推進グループ 吉田 真悟

株式会社竹中工務店名古屋支店生産統括部 杉本 俊介

株式会社竹中工務店技術研究所先端技術研究部 今枝 賢志朗

### 1. はじめに

都市のインフラとして身近になっているもののひとつに位置認識技術がある。GPS を利用したカーナビやスマートフォンの地図アプリなどによって自身や他者の位置情報を取得できることが一般的になりつつある。

一方で屋内では GPS を用いることができないため、これまで位置情報の自動取得は困難だった。屋内位置認識インフラ技術として最近注目されているのは、ビーコンと呼ばれる Bluetooth の小型発信器を活用する方法である。比較的安価に活用できるため小売サービス分野などで普及しつつある。

本開発では、この技術を応用して建設現場向けの屋内位置認識インフラ技術及びアプリケーション群「位置プラス®」を開発した。建設現場内のひと（現場監督、作業員など）やもの（資機材、工事写真など）の情報を「位置情報」を自動的に付加し、資機材管理や工事写真管理などに活用できる技術である（図 1）。本技術を 2018 年 8 月現在 17 プロジェクトに実適用し、一定の成果を得たので以下に報告する。

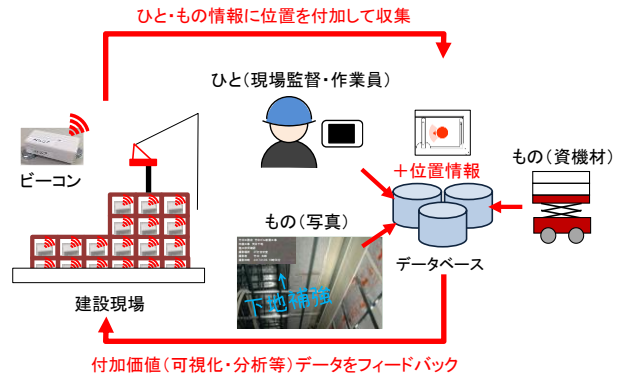


図 1 「位置プラス」の概要

### 2. 建設現場向け屋内位置認識インフラ技術の開発

#### 2-1. 本技術の特長

これまで建設現場向け屋内位置認識インフラ技術で広く普及しているものは存在しなかった。その理由として、施工に伴う日々の変化に柔軟に追従することが困難、本設の電力が供給されるまでは電源確保が困難、位置認識技術を活用した建設現場向けアプリケーションが不足、などが考えられる。これらの課題に対する本技術の特長を下記に述べる。

##### ① 建設現場に適したシステム構成

本技術は発信機であるビーコンを建物側にインフラとして設置し、ひとが携帯するモバイル端末を受信機とする形式を採用している。建設会社であれば、施工計画に合わせて柔軟にビーコンの取付作業や盛替作業を行なうことが可能である。仮設照明にビーコンを取付けるなど既存の工事とビーコン取付作業をセットにする工夫も行なっている。取付治具には磁石やフックなどを選定し、工事に合わせた盛替が容易に行なえる。ビーコンの電池は 2 年程度持つため給電は不要である。さらに、高所作業車などの資機材にもビーコンを設置することで、ものの位置認識も可能となる。

システム構成としては、安価なビーコンを建物と資機材に取付け、高価な受信機はひとが既に保有しているモバイル端末とすることで、システム全体を低コスト化している。

##### ② 建設現場のニーズに即したアプリケーション群を整備

建設現場では位置を特定したいニーズが数多くある。その中でも特にニーズが強く、かつビーコンによる位置認識精度に適した業務として「工事写真管理」と「高所作業車管理」を抽出し、3 つのアプリケーションを開発済である。アプリケーションが増えるほど位置認識インフラをより活用できるようになる。

## 2-2. ひとの位置認識の仕組み

本技術ではひとの位置はモバイル端末の位置として認識する。どのモバイル端末を誰が保有しているかをあらかじめ登録しておくことで、人の位置が認識できる。

図2は建設現場にビーコンを配置した平面図である。ビーコンの電波は25m程度届くので、25m以内のピッチでビーコンを計画することが一般的である。その環境下をモバイル端末が通過すると、複数のビーコンの電波を受信する。その中で最も電波強度が強い(すなわち、モバイル端末との距離が近い)ビーコンの情報をサーバに送ることでモバイル端末の位置が認識できる。図2ではモバイル端末が1004番の位置に認識される。

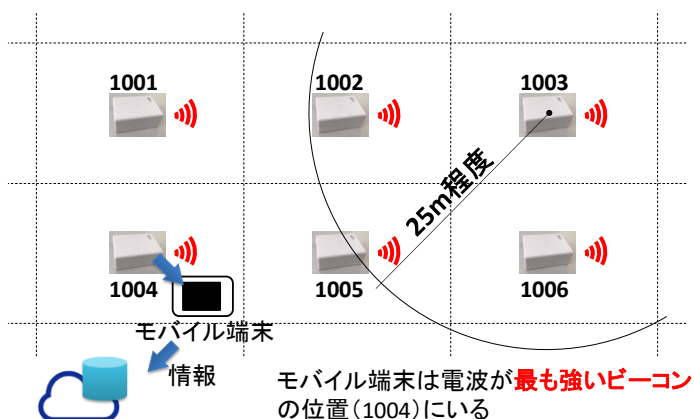


図2 ひとの位置認識の仕組み

位置認識技術によっては複数のビーコンの電波強度から位置を推定する複数点測位を採用しているが、本技術では敢えてひとつのビーコンから位置を推定する1点測位を採用している。日々異なる工事を行ない電波環境が安定しない建設現場においては複数点測位による精度向上が認められなかったためである。1点測位ではビーコンの設置間隔以上の精度は出ないが、ユーザにとってアルゴリズムが分かりやすい利点があり、位置補正のインターフェイスを実装しやすい。

## 2-3. ものの位置認識の仕組み

次に、もの(資機材)の位置を認識する技術を開発した。資機材にモバイル端末を取り付ければひとの位置認識と同じ仕組みで位置が分かるようになるが、コストが高くなり現実的ではない。そこで、資機材にもビーコンを取り付け、建物に取付けたビーコンからの電波と資機材に取付けたビーコンからの電波をモバイル端末で受信してサーバに送ることで資機材の位置を把握する仕組みとした(図3)。この図では、1号車が1001番の場所にあると認識できる。実際はより複雑な処理を行なっているが、その詳細については参考文献1)2)参照とし、ここでは割愛する。

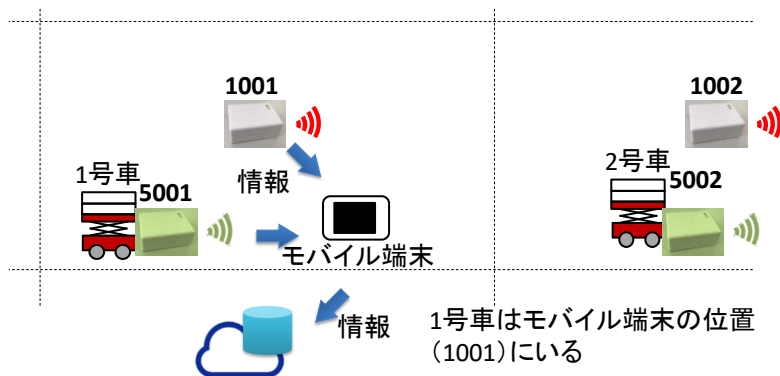


図3 ものの位置認識の仕組み

本技術は、安価なビーコンを各所に取付け、ひとが保有しているモバイル端末にアプリケーションをインストールして建設現場内を巡回するだけで、ひととものの位置が把握できるため、システムが低コストで実用的な点が特長である。一方で、資機材の位置はモバイル端末が付近を通過したタイミングで認識されるので、例えば図3の2号車のように近くにモバイル端末が存在しない資機材の最新位置は更新されず、ものの位置認識のリアルタイム性はモバイル端末の巡回頻度に依存する。

この欠点を補うためにモバイル端末より安価でビーコンの電波を受信してサーバへ送信することができるログ収集機を併用する。資機材が置かれることの多い場所(高所作業車の充電スポットや資材置き場など)にログ収集機を設置すれば、資機材の位置情報を効率的に取得できる。

### 3. アプリケーションの開発と適用

本章では、これまでに開発済みである 3 つのアプリケーションについて紹介する。

#### 3-1. 位置プラス「写」

位置プラス「写」は、建設現場においてモバイル端末で撮影した工事写真を、デジタル図面上に自動的にプロットして一括管理するアプリケーションである(図 4)。

建設現場では、品質・安全管理を目的として数多くの工事写真を撮影し工事記録の整備や専門工事業者への作業指示等を行なっている。例えば、管理項目の多い大規模病院の新築工事では、工事写真の枚数は数万枚にも達する。膨大な工事写真について、その撮影場所が分かるよう整理する作業に従来の方法では多くの手間がかかっていた。

本アプリケーションは 2 章で述べた位置認識技術によって、工事写真の撮影位置を自動的に認識する。従来は工事写真の撮影位置を記録するために、適切な図面を選び出したり、図面上に手作業で位置をプロットしたり、階名や部屋名等を追記したりしていた。本アプリケーションでは、位置認識の自動化によりこれらの手間を削減する。本アプリケーションで撮影された工事写真は、撮影位置、撮影日時、撮影者名、撮影時に入力されたコメント等の情報と合わせてサーバ上に保存される。サーバ上のデータを現場内でリアルタイムに共有することで、専門工事業者への作業指示をはじめ様々な施工管理業務に活用できる。

本アプリケーションの特長を下記に述べる(図 5)。

- ① 工事写真の撮影位置をデジタル図面上へ自動的にプロット
  - ・プロット間違いを防止し、工事写真のエビデンス性を向上させる
- ② 工事写真と図面を 1 枚の画像に結合し、画像データを自動作成
  - ・写真と図面を用いた分かりやすい指示書を簡単に作成できる
- ③ 位置認識精度を補正する機能を搭載
  - ・モバイル端末の地磁気センサーによって撮影の方角を自動的に把握し図面上に表現する
  - ・表示位置を画面上で微修正できる
- ④ 作業指示や工事記録を支援
  - ・写真にデジタル上で書き込みを行ない作業指示とすることができる
  - ・従来は工事黒板に書き込んでいた施工日時、場所、状況等の情報を写真上に合成表示できる

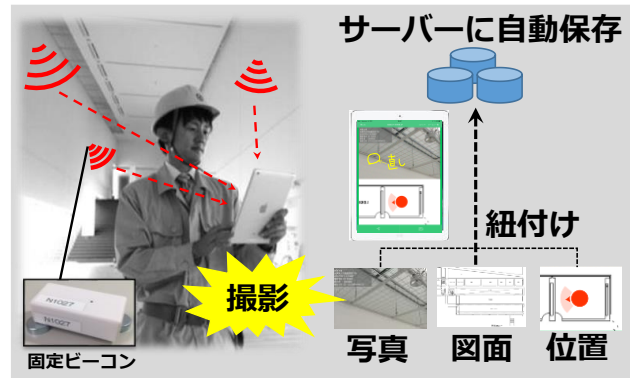


図 4 位置プラス「写」の概要



図 5 位置プラス「写」の画面

### ⑤ 全工事写真をサーバ上で一括管理し、情報共有を支援

・他のメンバーが撮影した写真も含め、全ての工事写真を本システムの図面上でいつでもどこでも確認できる

・図面上に表示する工事写真は日付、撮影者、黒板のテキスト検索によって絞り込むことができる

施工管理の主たる業務である品質・安全管理の効率化を目的に、本システムを建設現場へ導入した結果、作業指示に係る時間を、従来のデジタルカメラと紙図面を用いて行なう方法と比べて **43%**削減、携帯端末で市販の野帳アプリを利用する方法と比べて **33%**削減できた。これは、従来必要であった自分の位置を把握し、該当する図面を選び出す作業が位置認識によって自動化されたためである。

従来手法より手間なく工事写真が撮影でき、アプリケーションの使用感は好評だった。使用用途としては、安全巡回写真、是正指示写真、品質記録写真、工事の進捗管理などプロジェクトによって多様に活用されている。

### 3-2. 位置プラス「探」

位置プラス「探」は建設現場内のひとやもの(特に高所作業車)を探索できるアプリケーションである(図6)。

高所作業車は建築工事で用いられる建設機械の中でも最も使用台数が多く、プロジェクトによっては数百台にも達する。運用としては、元請がレンタル会社から工事に必要な台数の高所作業車を一括でレンタルし、日々の作業に応じて専門工事業者に個別に貸出している。ところが、日々使用する専門工事業者が変わるため、高所作業車の位置が分からなくなることが頻繁に生じ、広大な建設現場内で高所作業車を探索する手間がかかっていた。

本アプリケーションでは図面上にひととものの位置が丸や三角のアイコンで表示され、その位置をひとや資機材の名前から検索できる。一定時間以上動きがない場合はアイコンが赤く表示されるので、滞留しているひとやものが分かる。また、技術的にはモバイル端末上でアプリケーションを起動していなくても自動で位置情報を収集できたり、ビーコンの盛替えに対応して簡易に設定変更できたりする工夫を行なっている。

商業施設の建設現場において、現場監督 29 名のモバイル端末に本アプリケーションを導入した結果、従来では毎日 30 分の探索時間を要していたところ、その手間がほぼゼロになり、半年で約 72 時間の管理手間削減を実現できた。

その後、倉庫の建設現場と大学の建設現場にも適用し、位置精度検証を行なった<sup>12)</sup>。本アプリケーションによる表示位置と実際の高所作業車の存在位置がどの程度ずれているかを全高所作業車について調査した結果を図7に示す。プロジェクトの条件によってはモバイル端末のみで良好な位置精度を確保することが困難であった。しかし、充電ヤードを明確化し、ログ収集機を設置することで、容易に探索可能なずれ距離 25m 以内に存在する高所作業車の割合が 8 割に達し、実用的な位置精度を確保できることが分かった。

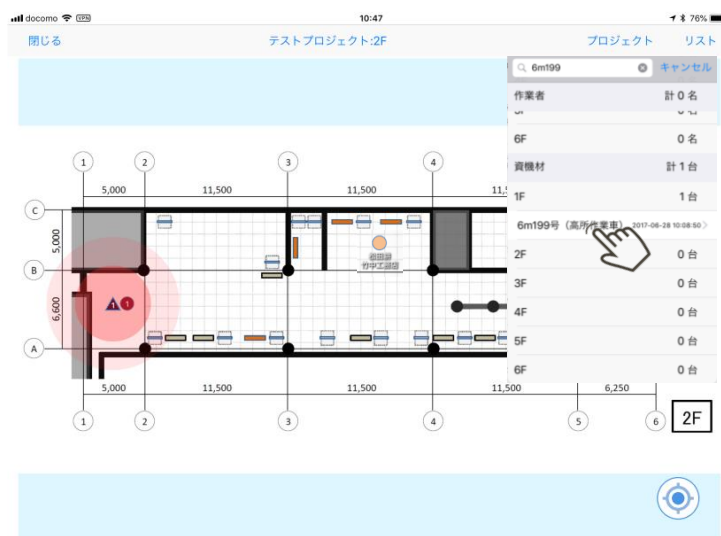


図6 位置プラス「探」の画面

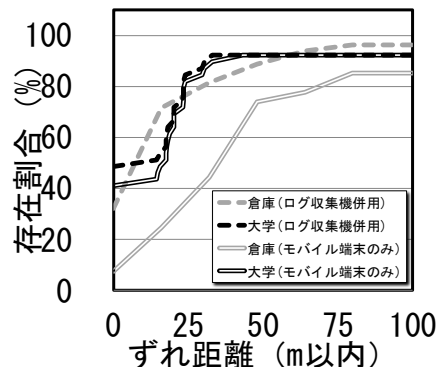


図7 位置プラス「探」の位置精度検証



### 3-3. 高車予約

「高車予約」(図 8)は、建設工事で行なわれる高所作業車の予約・配車管理をリストやマップを用いてリアルタイムに行なうことで、元請や専門工事業者にかかる管理工数を削減できるアプリケーションである。

高所作業車が貸出される際には、専門工事業者が使用したい高所作業車をホワイトボードや紙の帳票で予約し、元請が該当する高所作業車の鍵を貸出し、利用者が予約した高所作業車を現場内から探し出して借りた鍵を用いて使用するというのが一般的な流れである。しかし、これまでこの予約・配車作業に元請・専門工事業者双方に手間がかかっていた。また、予約状況と高所作業車の位置が紐づいていないため、作業場所の近くにある高所作業車を選んで予約することができず、高所作業車を移動する手間が発生していた。

本アプリケーションではリストからの予約画面として、縦軸を階及び高所作業車名、横軸を日付としたリスト画面を設計した(図 9)。自社が予約済みの個所を青、他社が予約済みの個所をグレー、予約可能な個所を「空」として表示する。予約したい場合は「空」をタップするだけで青色になり、MQTT(Message Queue Telemetry Transport)という通信プロトコルを用いることで同一プロジェクト内の他の全てのモバイル端末に変更点が瞬時に反映される。一方で、専用車については元請の管理画面で専用車登録を行なうことができる。専用車の予約は登録された専門工事業者の予約として日々自動的に入力されるが、不要な時間帯については「空」とすることができる。この時間帯は専用車であっても他の専門工事業者が予約できるため稼働率を高める運用が可能となる(図 10)。

マップからの予約画面では、マップ上で予約したい高所作業車をタップすると予約画面がポップアップして予約可能となる(図 11)。これによって、専門工事業者が作業場所の近くにある高所作業車を選んで予約することができる。

本アプリケーションを工場の建設現場に適用した。ここでは、昼礼時に元請と専門工事業者が高所作業車の予約を毎日 10 分程度の時間をかけて調整していた。昼礼は元請と専門工事業者が一堂に会して翌日の作業調整を行なう 1 日の中でも最も重要な時間帯である。そこで、「高車予約」をインストールしたモバ

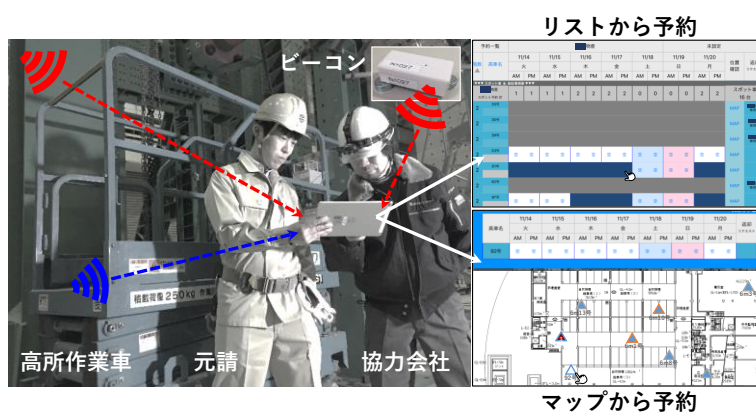


図 8 位置プラス「探」の位置精度検証



図 9 リストから予約画面



図 10 専用車の予約管理



図 11 マップから予約画面

イル端末を事務所に共有機として設置し、アプリケーション主体での予約調整を試みた。専門工業者が予約操作に慣れるまで質問や代理入力への依頼があったものの、昼礼での調整時間が一切なくなった。昼礼の貴重な時間を他の調整に充てることができ、利用者からは大変好評であった。以前は昼礼後にも貸出し台数の再調整依頼が度々あったが、専門工業者が各自で「高車予約」を通して調整を行なうため、元請の残業時間削減にも寄与した。

また、予約率の見える化も試行した。本開発における予約率は、高所作業車全台数のうち予約されている台数の割合としている。見える化の例を図 12 に示す。これまで職員が巡回により感覚的に判断していた予約状況を数値化し、階別・種類別・高所作業車別など、あらゆる軸から予約率を算出することで、台数が不足している階への高所作業車を移動したり、余分な種類の高所作業車を返却したりすることができた。

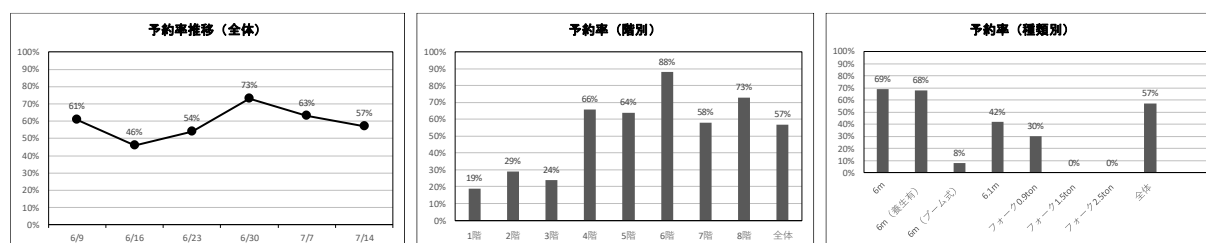


図 12 予約率の見える化

#### 4. 今後の課題

設置したビーコンをさらに活用するために現場のニーズに即してアプリケーションのラインナップの拡充を進めている。本アプリケーション群のデータベースを統合しているので、IoT 技術で生産情報が位置情報と紐づいて蓄積される。将来的にはこの蓄積されたデータをダッシュボード的に見える化したり、AI の学習データとして活用したりすることも見据えている。

また、本技術が都市のインフラとして社会貢献していくためには、施主や事業主と位置に紐づいた工事記録を共有したり、竣工後のアフターサービス時にも位置認識技術を活用したりすることが重要だと考えている。そのために、BIM ソフトとの連携や位置認識システムの本設利用も検討予定である。

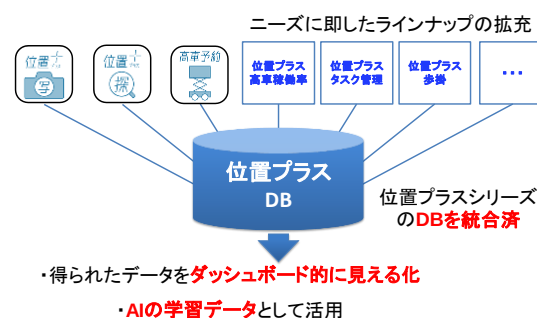


図 13 今後の課題

#### 5. まとめ

本開発では、建設現場に低コストで適用できるひとものの位置認識技術を開発した。また、本位置認識技術を活用できる建設現場向けアプリケーションを開発し、複数のプロジェクトに適用して効果を検証した。今後は設置したビーコンをさらに多用途で活用するためにアプリケーションの拡充を進め、建設現場における生産情報の蓄積を図る。また、生産情報を事業主と共有する仕組みや位置認識技術の本設利用も検討し、都市のインフラとしての社会貢献を目指す。

#### 【参考文献】

- 1) 吉田、松田、杉本他: 移動ビーコンを用いた高所作業車位置把握システムの精度改善に向けた研究(その 1~その 3), 日本建築学会梗概集, pp.85-90, 2017.9
- 2) 吉田、杉本他: 移動ビーコンを用いた高所作業車位置把握システムの精度改善に向けた研究(その 4~その 5), 日本建築学会梗概集, pp.43-46, 2018.9

【備考】 本論文には、参考文献 1)~2) で発表された内容が含まれています。