

屋内位置認識技術を用いた 高所作業車管理アプリの開発

松田 耕・吉田 真悟・杉本 俊介

BLE ビーコンを活用して、建築工事向け屋内位置認識技術を開発し、高所作業車の位置を把握できる環境を整備した。高所作業車の運用上の課題を抽出し、位置探索と予約管理を組み合わせることでその課題を効果的に解決できるアプリを開発した。本アプリを実際プロジェクトに適用してその効果を確認したので、報告する。

キーワード：屋内位置認識、BLE ビーコン、高所作業車、位置探索、予約管理、予約率

1. はじめに

建築工事のほとんどは屋内で行われるため GPS を用いることができず、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、オフィス内の人の位置探索や小売店舗内での売り場に応じた商品の宣伝通知などに活用されつつある。

この技術を応用して、建設現場内及び高所作業車にビーコンを設置することで、高所作業車の位置を探索したり、予約管理したりすることができるモバイル端末用アプリを開発した。開発したアプリをプロジェクトに適用し、一定の成果を得たので報告する。

2. 建設現場向け屋内位置認識技術の開発

(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。

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) 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—1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—1ではモバイル端末が1004番の位置に認識される。

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、本技術では取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

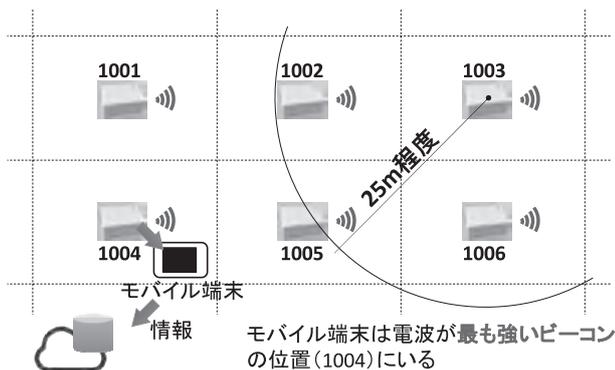


図-1 ひとの位置認識の仕組み

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。

(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-2）。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。

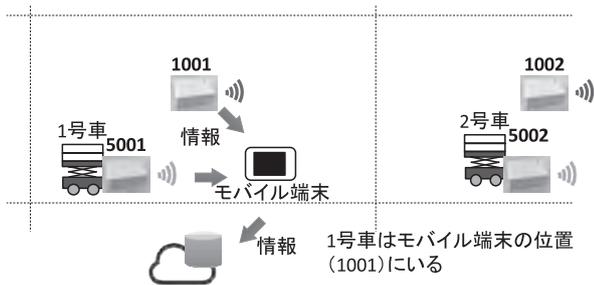


図-2 ものの位置認識の仕組み

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、ひとども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-2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. 高所作業車管理の現状

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業者に個別に貸出している。貸出しの際には、専門工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（図-3）。

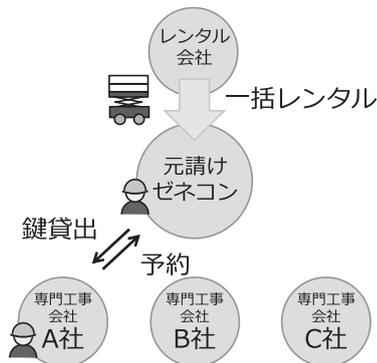


図-3 高所作業車の運用

4. 高所作業車管理の課題

高所作業車管理の課題を3つ抽出した。

(1) 予約管理の効率化

予約管理にはホワイトボードが用いられることが多い。限られたスペースの中で縦軸に全高所作業車名、横軸に1週間分の日付を記入し、いつ、どの専門工業者が使うかを日々手書きで記入するため、過去の日付の欄を消して新しい日付に書き換えたり、高所作業車のレンタル状況に応じて表を手作業で更新したりする手間が生じる。また、予約するためには毎回ホワイトボードが置かれている事務所まで移動しなければならない。これらの手間を削減するためには、アナログ

媒体からデジタル媒体に移行するとともに、入力作業を簡易化し、かつリストの更新作業を自動化する必要がある。また、モバイル端末でいつでもどこでも予約できなければならない。

貸出しの方式として、ある高所作業車をひとつの専門工事業者が専用で使用する専用車方式と、ある高所作業車を複数の専門工事業者で共有して使用するスポット車方式の2通りがある(図-4)。専用車は特定の専門工事業者が常に予約している状態となるため予約管理手間はかからないが、実際には不要な時間帯でも他社が予約できないため稼働率が低くなる傾向がある。スポット車は複数社で使い回すため稼働率は高まる傾向があるが、先に述べたホワイトボード管理のような一連の予約作業が必要となり管理手間は多くなる。専用車の稼働率を向上し、スポット車の予約管理手間を削減する仕組みが必要である。

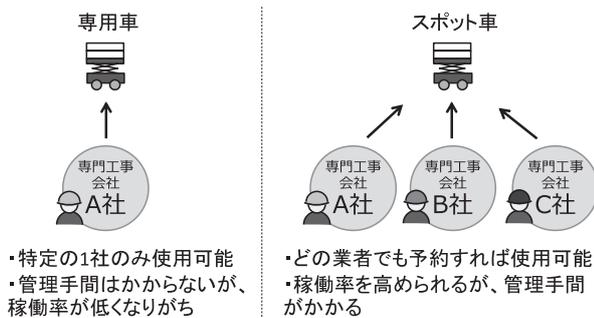


図-4 高所作業車の貸出し方式

(2) 高所作業車の位置把握の効率化

これまで、専門工事業者が日々の作業を終えた後、どこに高所作業車を停車したか把握することは困難であった。プロジェクトによっては専門工事業者が鍵を元請に返却する際にホワイトボードに高所作業車を停車した場所を記入する運用を採用することがあったが、その場合も階の管理に留まることがほとんどであり、高所作業車の探索手間が生じていた。

専門工事業者が日々高所作業車を探索することなく作業を始めたり、作業場所の近くにある高所作業車を予約して移動手間を削減したりするためには精度が高く、かつ手間のかからない高所作業車の位置把握が必要となる。

(3) 予約状況の見える化

これまでのアナログの媒体による予約管理では、予約結果が日々上書きされて消えていくため、予約状況を集計して見える化することは困難であった。しかし、元請はレンタル費を削減するためには、必要な場

所に必要な台数の高所作業車を配置し、余分な高所作業車があれば早期に返却しなければならない。その判断根拠として予約状況を常に見える化して把握しておく必要がある。

5. アプリの概要及び特長

前節で抽出した課題を解決するために3つの機能を盛り込んだアプリを開発した(図-5)。



図-5 アプリの概要

(1) リストから予約機能

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-6)。横軸の日付は日々自動更新するためこれまで手書きで行っていたリストの更新作業が不要になる。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変わり、MQTT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。

グレーの個所をタップするとその個所を予約している専門工事業者が表示される。どうしても使用したい高所作業車が先に予約されている場合に交渉先が分か

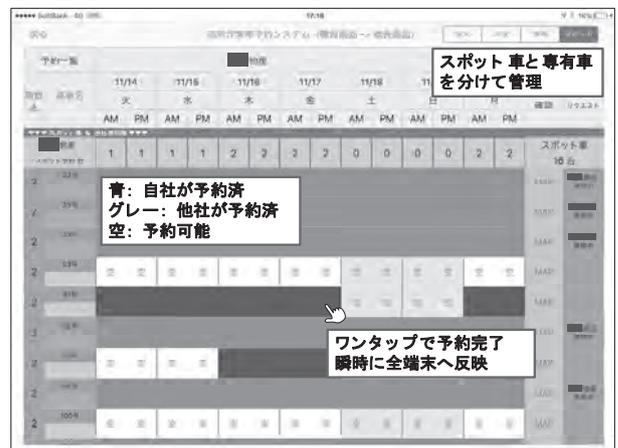


図-6 リスト画面の概要

る仕組みである。これらの機能によってスポット車の予約管理手間が削減できる。

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(図一7)。

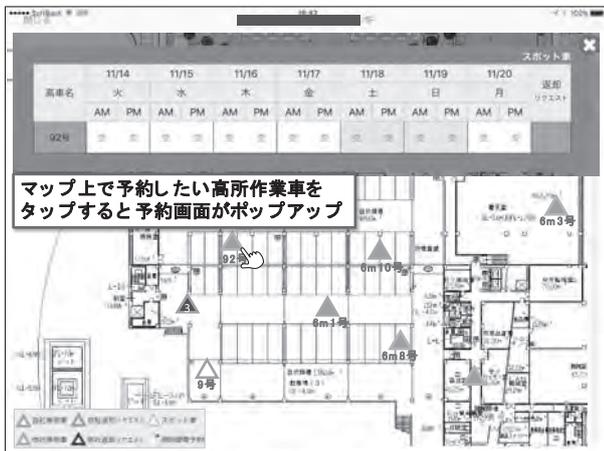


図一7 リスト画面による専用車の管理

(2) マップから予約機能

建築現場内及び高所作業車にビーコンを設置すれば、前述の屋内位置認識技術を用いることで、高所作業車の位置を自動的に把握できるようになる。この位置情報を基にマップから予約できる機能を開発した(図一8)。

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。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。また、リスト画



図一8 マップから予約できる機能

面にある「MAP」をタップすることで、予約した高所作業車がマップ上で光ってどこにあるか示されるため、作業前に高所作業車を探索する作業が削減できる。

なお、ビーコンを設置しない作業所のために、リスト画面で高所作業車の階を手入力する機能を用意している。元請と専門工事業者が協力して、作業後に停車した階をアプリに入力する運用を徹底すれば、屋内位置認識技術を用いるよりは手間がかかるものの、位置管理が可能となる。また、ここで手間をかけて位置を入力しておけば、次節で述べる予約状況の見える化でも活用できる情報となる。

(3) 予約状況の見える化機能

本アプリが使われるにつれて、どの専門工事業者がどの高所作業車をどの時間帯で予約していたかという履歴がサーバに蓄積されていく。このデータから高所作業車の予約率(全体台数に対する予約台数の割合)をいろいろな軸で集計することができる。

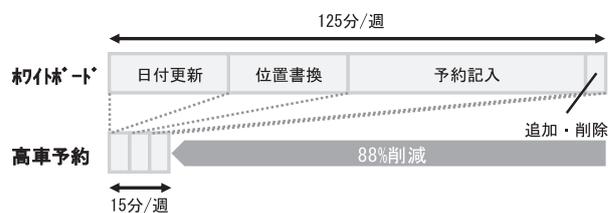
図一10ではあるプロジェクトにおける予約率の推移を時系列示している。例えば、予約率が右肩下がりになってきたら、高所作業車が余ってきていると判断し、高所作業車を返却するといった管理を支援できる。

6. プロジェクト適用とその効果

本アプリを80台の高所作業車が稼働している大学の新築工事(プロジェクトA)及び60台の高所作業車が稼働している工場の新築工事(プロジェクトB)に適用しその効果を確認した。

プロジェクトAでは、従来型のホワイトボードによる管理を行っていた。そこで、本アプリを試適用し予約にかかる工数の削減効果を確認した。日付更新、位置書換、予約記入について効率化でき、全体として88%の工数削減となった(図一9)。

プロジェクトB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、本アプリ主体での予約調整



図一9 予約にかかる工数の削減効果

を試みた。専門工事業者が予約操作に慣れるまで質問や代理入力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、専門工事業者が各自で本アプリ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。

プロジェクトBでは予約率の見える化を試行した。見える化の例を図-10～12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や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。

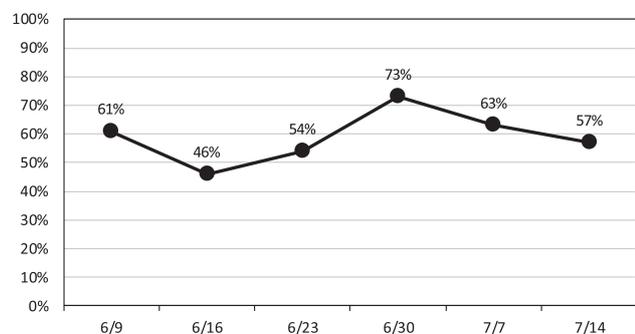


図-10 予約率の推移 (全体)

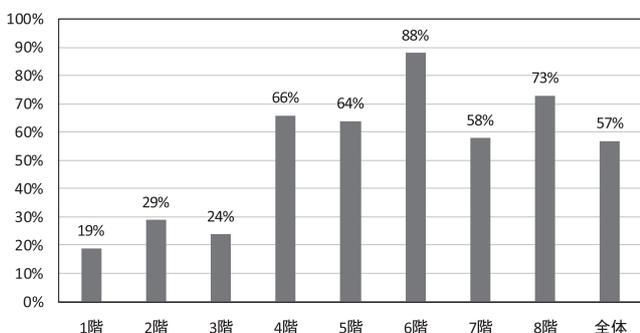


図-11 階別の予約率

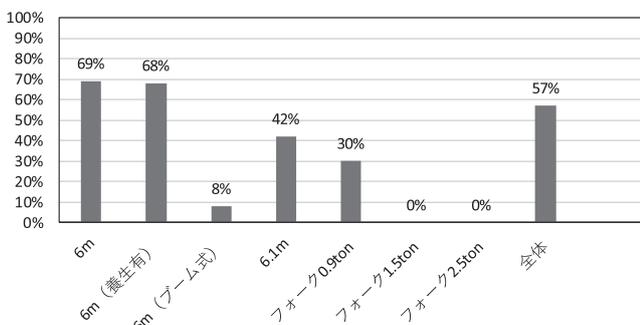


図-12 機材種別の予約率

7. おわりに

本開発では、建設現場に低コストで適用できる位置認識技術を開発した。位置認識の対象として管理に手間のかかる高所作業車を選定し、その位置を把握しながら予約管理ができるアプリを開発した。本アプリを実際のプロジェクトに適用し一定の効果を確認した。

JCMA

《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), 日本建築学大会梗概集, 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), 日本建築学大会梗概集, pp.43-46, 2018.9

【筆者紹介】



松田 耕 (まつだ こう)
 (株)竹中工務店
 技術研究所 先端技術研究部
 デジタル生産グループ
 研究員



吉田 真悟 (よしだ しんご)
 (株)朝日興産
 販売部 IoT推進グループ 課長



杉本 俊介 (すぎもと しゅんすけ)
 (株)竹中工務店
 名古屋支店 生産統括部 技術部門
 計画2グループ 建築担当