

GNSSを活用した『T-iDigital Field』向け アプリの開発

クレーン衝突防止システムの現場実証

太田 兵庫・原山之克

データ利活用型現場管理システム『T-iDigital Field』（以下、本現場管理システムという）向けに開発したクレーン衝突防止アプリは、クレーンのブーム先端部および作業員に装着したGNSS端末からの位置データにより、クレーン同士の接近や吊荷下に近づいている作業員を抽出し、クレーンオペレータには運転席のモニタ表示と音声で知らせ、作業員にはスマートウォッチなどからアラートを発することで、クレーン同士の衝突や吊荷との接触などの危険が迫っていることを周知させ、重大事故を未然に防ぐことのできるシステムである。本稿では本システムの技術概要およびこれらのシステムを活用した現場試行事例について紹介する。

キーワード：クレーン，衝突防止，CPS，GNSS，スマートフォン，スマートウォッチ

1. はじめに

建設業が直面する働き方改革・生産性向上の課題に対して、筆者らはCPS（Cyber-Physical System）の概念を導入した本現場管理システムを開発している（図-1）。CPSとは現実（フィジカル）空間における様々なデータをセンサやネットワークを通じて仮想（サイバー）空間に収集し、データの分析・解析を行い、その結果を現実空間にフィードバックすることで、産業システムの全過程に対して効率化させることを目的とするものである。本現場管理システムは工事現場における人やモノの位置、時刻、動きなどのデータを収集して利活用することで、工事関係者が「いつでも」「どこでも」「すぐに」施工状況を共有できるようにし、遠隔であっても迅速かつ確かな現場の施工管理や施工支援を可能とした。また、目的に応じてデータ利活用型のアプリケーションを用意し、コンクリート打設の

効率化や進捗率の把握および遠隔臨場を推進している。本稿ではこれら開発技術のうちの一つであるクレーン衝突防止システムについて、その技術概要および現場試行事例について紹介する。

2. クレーン衝突防止システムの概要

クレーン衝突防止システムは、クレーン同士の衝突や吊荷と作業員との接触による重大事故を未然に防ぐために開発した本現場管理システムアプリケーションソフトウェアのひとつである。これはまずクレーンブーム先端部および作業員に装着したGNSS端末からの位置データを基に、クレーン同士の接近や吊荷下に近づいている作業員を抽出する。そしてクレーンオペレータには運転席のモニタ表示と音声で状況を知らせ、作業員にはスマートフォンやスマートウォッチからアラートを発することで、クレーンの衝突や吊荷との接触などの危険が迫っていることを周知させる（図-2）。従来はオペレータや信号員、監視員など人の合図に頼っていたり、接近警報装置などの専用機器を使用していた。これに対して本システムは、将来的に一般化されるであろう工事現場での人と重機の位置データを利用することで省人化や汎用化を目指した。

クレーン衝突防止システムの仕組みとしては、図-3に示すように仮想空間上でデータ処理し、現実空間へアラートとしてフィードバックするものである。具体的には作業員とクレーンブーム先端部に装着したGNSS端末からの位置データがサーバーに送信され、

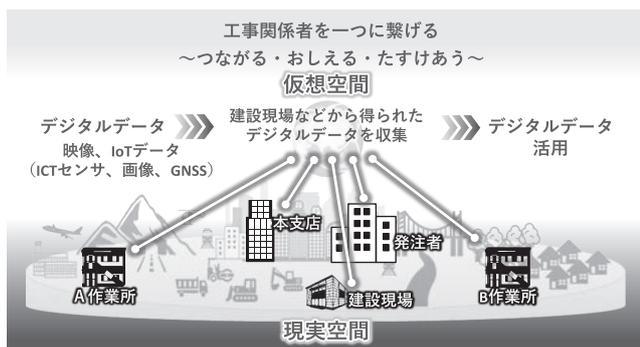


図-1 データ利活用型現場管理システム

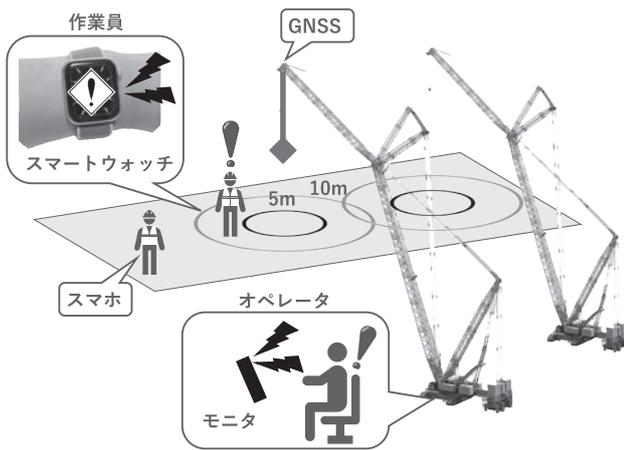


図-2 クレーン衝突防止システムの概要

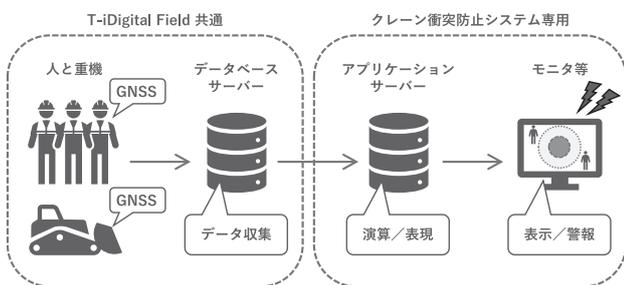


図-3 クレーン衝突防止システムの仕組み

サーバー内にデータが保存される。この段階まではデータ収集として共通部分である。これ以降、クレーン衝突防止システムの専用部分としては、サーバー内で接近状態を演算し、その接近状況を表示してクレーンオペレータや作業員が見るモニタやスマートフォンなどの端末に表示させる。

ここで、クレーン衝突防止システム対象はクレーン対構造物、クレーン対人、クレーン対クレーンの3つに大別される。これに対して開発当初のコンセプトは、2台稼働しているクローラクレーンのブームの接触を防止することや、吊荷下に近い作業員に注意喚起をすることでスタートした。その後、要素技術開発を行いながら、クレーン同士の接触防止に関しては、クレーンオペレータが運転席のモニタで他方のクレーンブームの先端位置をリアルタイムに把握できるようにすることや、ブーム先端同士が危険距離内（距離は任意に設定が可能）に近づくと音と映像で警告すること、ブームの移動方向をモニタ上で明示すること、そしてクレーンの旋回範囲を予測して（例えばコンクリート打設に使用する場合は旋回範囲が変化しにくい）事前にアラートで接触の危険性を知らせることなどの機能をシステムに加えた。

そしてさらに、クレーン衝突防止システムアプリには、旋回位置を予測して警報する機能を付加した。こ

れは実際の作業状況において、距離が保たれているか離れていく、付かず離れず接近する危険性がなければ警報する必要はないが、近づいてきている場合には警報して欲しいというオペレータの要望に応えたものである。そのコンセプトとしては、例えば1Hzで位置データを取得する場合、現在位置と1秒前の位置を基に1秒後の位置を予測するものである（図-4）。このように予測するにはデータを用いた演算を行う必要があるが、従来の警報装置では不可能な機能である。また距離に応じて無段階に音量が大小するというようにすれば、近づいているか離れているかという状態を表現できなくもないが、加速度に応じてとなると更なる演算を加える必要があり、今後の課題である。

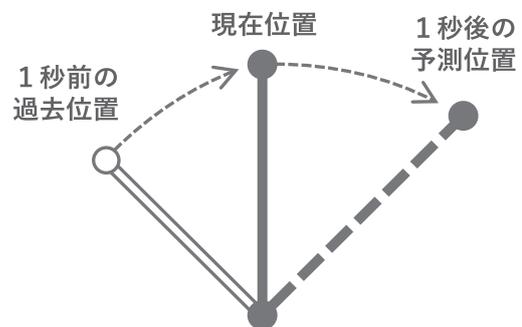


図-4 旋回位置の予測手法

3. 現場試行事例

現場試行は表-1に示すような土木・建築を含む3つの建設現場（ケース1～3）で実施した。またシステム運用状況の例（ケース1）を図-5および図-6に示す。

(1) 現場試行方法

クレーン衝突防止システムを試行する上で、ブーム先端に設置するGNSS端末には電源が必要であり、その接続方法として現場条件に応じて以下の方法を選択した。

- ・キャビンからブーム先端まで電源ケーブルを配線する
- ・ブーム先端のカメラ等の既設配線から分配する
- ・GNSS端末をフック上部に設置して電池交換式にする

ここで、電源確保の都合上、GNSSアンテナのみをブーム先端まで伸ばす方法もあったが、信号の減衰があるため、ブームの長いクレーンには向いておらず不採用とした。

アンテナの設置位置はケース1ではブーム先端部の

表一 現場試行ケース

ケース	1	2	3
仕様の分類	初期型	高性能型	簡易型
建設現場の種類	土木 (ダム)	建築 (ビル)	土木 (ダム)
クレーンの種類	クローラクレーン	タワークレーン	クローラクレーン
クレーンの台数	2	1	1
GNSS 端末の種類 (クレーン)	専用 GNSS 端末	RTK-GNSS	スマートフォン
GNSS 端末の種類 (作業員)	専用 GNSS 端末	スマートフォン / RTK-GNSS	スマートフォン



図一五 試行現場におけるクレーンの運用状況 (ケース 1)



図一六 接近表示の例 (ケース 1)

鋼材の影響や向きを考慮して、取り付け位置を見直しながら運用した。これを踏まえ、ケース 2 ではブーム起伏により GNSS アンテナが天頂を向かないことによる精度低下を懸念して、スタビライザーを設置した。

また GNSS 端末からの位置データをサーバーに上げたり、端末で表示させたりするには通信が必要であり、その通信方法も現場条件に応じて LTE や Wi-Fi を選択した。携帯電話キャリアの LTE 通信圏内であれば LTE を用いるのが簡便である。通信圏外や繋がりにくい場所の場合は、Wi-Fi 通信もしくは併用とした。その他の通信方法については一般的で無いため使

用しなかった。

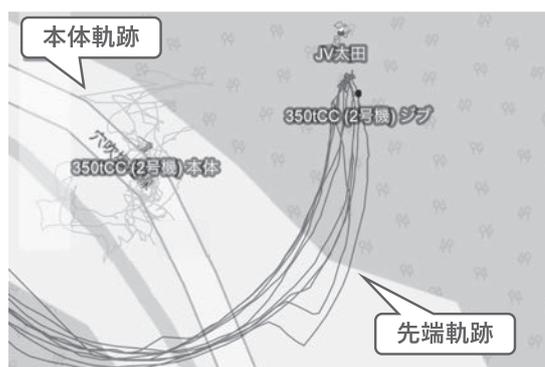
作業員にはスマートフォンや同等サイズの GNSS 端末を携帯してもらい、ケース 2 ではより高精度なクレーンに設置したのと同じ RTK-GNSS 端末を携帯することも併せてテストした。

また、位置予想にはブーム先端とクレーン本体との位置が必要なため、タワークレーンや 1 日のうちで頻繁に移動しない移動式クレーンについては、GNSS 端末をブーム先端のみの設置とし、本体には設置せずにアプリ上で本体位置の座標を指定するようにした。さらに 1 日のうちで頻繁に移動する移動式クレーンについては、ブーム先端に加えて本体にも GNSS 端末を設置した。

(2) 現場試行結果

現場試行：ケース 1 では、想定通りの挙動をすることもあったが、警報が鳴った時にはクレーン先端が通過した後という場面もあった。これは、携帯電話の電波が弱い場所でそのキャリアの SIM を搭載した GNSS 端末を使用したための遅延と考えられる。また、ブーム先端は 1 m 程度の精度が出ていたが、本体は地山と構造物に囲まれた谷のため、地理的な要因で精度が悪かったものと推測される (図一七)。

現場試行：ケース 2 では、ブーム先端の GNSS 端末をより高精度で安定性のある RTK-GNSS を採用し



図一七 クレーン GNSS の軌跡 (ケース 1)

た。そのブーム先端の軌跡を見ると、ケース1よりブレが少ないのが確認できた（図—8）。また作業員の位置データはスマートフォンでは周囲のビルや足場の影響で安定しなかったり、遅延が発生したりした。これに対してRTK-GNSSの端末であればそのような現象は比較的少なく、良好な位置データを取得することができた。

現場試行：ケース3では、クレーン先端のGNSS端末をブームではなくフックの上部に設置した。これはメンテナンス性を考慮しての策である。その結果、アクセスは容易になったが、常時電源供給が無いためにバッテリー交換の必要があった。またフックに設置したスマートフォンのGNSSは問題にならなかったが、作業員の作業場所によってはスマートフォン精度の低下が生じた。



図—8 クレーンGNSSの軌跡（ケース2）

(3) 結果からの考察

総じて現段階においてRTK-GNSSを使用することで、クレーン衝突防止システムの要求仕様を満足することがわかった。

またシステム対象のうち、クレーン対クレーンはRTK-GNSSを使用することで精度良くかつ低遅延で位置データを取得することができ、衝突防止に有効であることを確認した。一方で、旋回中心位置のデータがばらつくことで旋回位置予測の精度が悪くなったが、クレーン本体はGNSSおよび通信共に電波状況の悪い場所にあったことが想定され、この対策としては、アプリ上で本体位置の座標を指定するのが良いものと考えられる。

またシステム対象がクレーン対人で使用するには、作業員にRTK-GNSSの機器を携帯してもらうことで精度良くピンポイントな警報が可能になるものと考えられる。しかし、アンテナを頭頂部に装着することが必要など装置が大掛かりになりすぎるため、現段階では一般的な使用には向かない（図—9）。広範囲に注



図—9 RTK-GNSSの装備

意喚起するだけであればスマートフォンを使用した簡易型でも良いが、クレーン衝突防止システムとして広範囲へ向けた警告となると意味を成さないものと考えられる。

さらにシステム対象がクレーン対構造物については、工事エリアの境界線などを任意の座標で設定することで接近警報を発することが可能である。ただし、ブームの腹が構造物に当たる場合などは三次元的な演算が必要になる。

現状の課題としては、前述の通り、システム対象がクレーン対人の安全管理に使用するためにはよりレベルの高いシステム構成装置が必要である。また作業員が装着するにはまだ装置類が大きく、重く、高価なため、コストと携帯性の面から汎用的ではない。よって今後はこれら装置類の小型化、省電力、高精度化、低遅延、低価格の測位技術の動向を見極めながら、クレーン衝突防止システムの最適化および全国的な普及・展開を目指す。

4. おわりに

クレーン（＝「機械」）による重大事故を未然に防ぐには、「人」による合図や既存の警報装置の方が優れている場合もある。しかしながら、建設現場の施工情報を得ることを主目的（『T-iDigital Field』）として得られた位置データを利活用して安全管理の情報取得に繋げたことは大変有効なものとする。また建設現場をデジタル化し置き換えることで、これまで出来なかった現場状況に応じた注意喚起などの設定変更が容易になり、警報履歴の取得も可能になる。今後は、GNSSを含む測位技術の向上やサーバー利用料、アプ

リケーション開発コストの低減などによってデータ駆動型の現場運営はますます進んでいくものと思われる。これに伴い、今回のクレーン衝突防止システムのような利便性の高いアプリケーション開発を今後とも進めていきたい。

一辺倒な注意喚起よりも、「人」によるきめ細やかな声掛けの方が有効である。しかしながらそれが難しい昨今、今回のような技術開発により、「機械」で同じことが出来ればと筆者らは考えている。

JCMA

【筆者紹介】

太田 兵庫（おた ひょうご）
大成建設㈱ 技術センター
生産技術開発部 スマート技術開発室
ICT チーム
課長



原山 之克（はらやま ゆきかつ）
大成建設㈱ 四国支店
椋川ダム本体建設工事作業所（当時）
副所長

