

# 建設機械と作業員との接触事故防止システムに対する要求仕様の一考察 ～能動型 RFID を用いたバックホウ安全対策補助装置の研究開発について～

篠原 雅人・加藤 弘志

建設現場におけるニーズとして、建設機械と作業員との接触事故防止システムの開発が求められている。この開発に際しては、優れた要素技術を選定し、効果的、効率的に開発することが鍵となるが、さらに重要なことは、接触事故防止システムとしての要求仕様をどのように設定しているかであると考えられる。

この観点から、本稿では、能動型 RFID を用いたバックホウ安全対策補助装置の研究開発成果を報告するとともに、本研究開発の一考察として、研究開発を通じて明確となった接触事故防止システムに対する要求仕様について報告するものである。

キーワード：事故防止システム（安全対策補助装置）、ヒューマンエラー防止、要求仕様、バックホウ（油圧ショベル）、能動型 RFID

## 1. はじめに

建設現場における建設機械による作業は、現在まで極めて一般的な方法として普及しているが、すべての作業を全く人手を用いずに行うことは現在も不可能であり、建設機械と協調して施工などを行う作業員に対する事故防止対策は、現在も必要不可欠である。

また、建設機械別の死亡災害（図—1 参照）に着目すると、建設機械と作業員との接触事故を要因とする死亡災害は依然として高い割合を示しており、この事故防止に対する施工現場からのニーズも大きい。

このような背景を受け、本稿では、建設現場における建設機械と作業員との接触事故防止のために研究開発した、能動型 RFID を用いたバックホウ安全対策補助装置を報告し<sup>1)</sup>、本研究開発の一考察として、本研

究開発の成果を通して明確となった安全対策補助装置に対する要求仕様について報告する。

## 2. 安全対策補助装置の研究開発

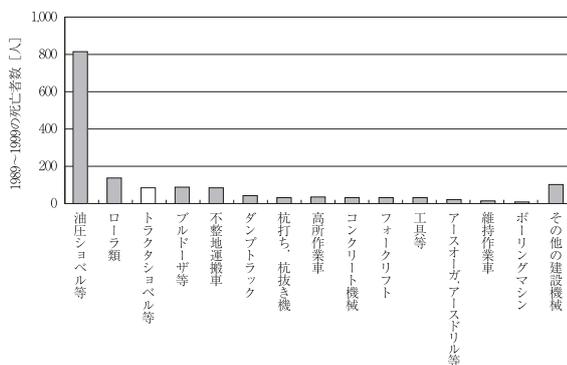
### (1) 研究開発の流れ

本研究開発は、安全対策補助装置の試作機（以下、試験装置と記す）開発を目的に2カ年で実施した。

本研究開発の特徴は、安全対策補助装置の要求仕様を明確にすることを前提とした点にある。

本研究開発では、初年度に、机上検討により要求仕様を設定するとともに、この仕様を満足できる試験装置を設計・製作した。この上で、設定した要求仕様を確認する観点から、要素試験（写真—1 参照）、運転員へのアンケート調査等を行い、試験装置を評価した。

また、次年度には、前年度の評価に基づき、要求仕様の見直し、試験装置の機能追加・改良を行った。この



データは建設業安全衛生年鑑<sup>2)</sup>より引用して集計したもの

図—1 建設機械別の死亡災害



写真—1 要素試験（要求仕様の確認状況例）

上で、現場適応性を確認することを目的に、実際に行われていた整備工事（写真—2 参照）に試験装置を適用し、実際の作業員の動きに対する性能の確認、工事関係者へのアンケート調査等により、試験装置を評価した。



写真—2 実工事への適用（現場適用性試験状況）

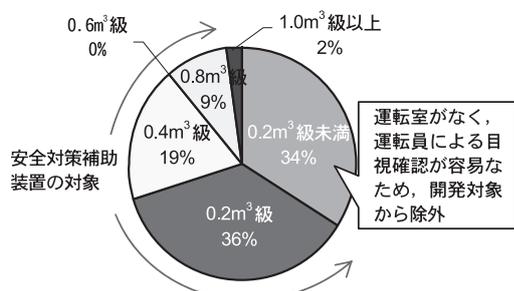
## (2) 開発目的と対象範囲

本研究開発により製作した試験装置は、作業員個別の進入したエリアや属性を識別できる能動型RFID（受信感度感応型、300 MHz 帯）を用いて、運転員の目視確認に基づく操作判断を支援するものであり、安全確認時のヒューマンエラー防止に寄与する（図—2 参照）。

また、対象範囲は、作業員との接触事故の発生頻度が高く（図—3 参照）、日本の建設現場への普及が最も進む、 $0.8 \text{ m}^3$  級以下のバックホウを対象とした。



図—2 建設機械操作における安全確認時のヒューマンエラー



データは建設工事事故データベース(SAS)より引用し集計したもの

図—3 バックホウ規格別事故事件数

## (3) 特徴と導入効果

試験装置の特徴を以下に示すが、作業員を識別（工事関係者、協調作業員・誘導員別）する点で、既存の超音波反射式警報装置やトランスポンダ式警報装置<sup>3)</sup>とは一線を画す。

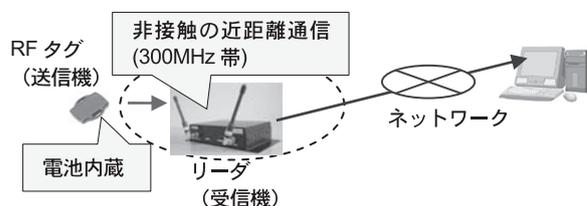
- ①運転員の死角を含むバックホウ全周の危険範囲に対し、識別した個別の作業員の立入、退出を常時監視し、この監視結果を運転員に提供する。
- ②監視結果に基づき、運転員に対して、あらかじめ設定した作業員区分や、バックホウ操作状態に応じ、音と光により適宜警告する。
- ③作業員の配置や現場条件に応じた安全措置の見直しや安全教育などを行う安全衛生責任者に、監視結果を事後提供する。

## (4) 能動型RFIDとは

RFID (Radio Frequency Identification) は、誘導電磁界又は電波によって、非接触で半導体メモリのデータ読み出し等のために近距離通信を行うものの総称であり、送信機であるRFタグに固有の属性情報を予め与えておくことで、受信機であるリーダで読み出した際に、個体識別が可能となる。

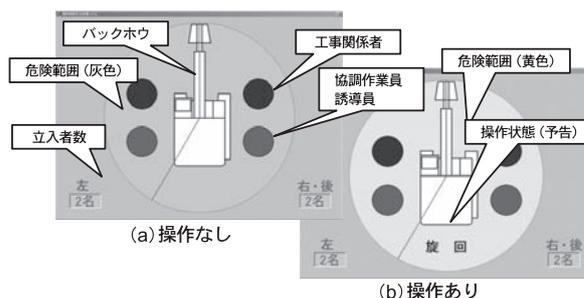
このRFIDは、物流分野での活用が広がっており、現在ではトレーサビリティ確保といった建設分野での応用が図られるなど、技術的な進歩が著しい。

また、能動型RFIDは、電池を内蔵して数十m程度の通信が可能なるものであり、その中でも受信感度感応型は、データ取得と同時に通信距離に応じた受信強度を取得できる（図—4 参照）。



図—4 能動型RFID

- (5) ユーザインターフェイスおよび機器構成・仕様  
バックホウの運転員へ提供される監視画面を図—5に、試験装置の機器構成を図—6に、仕様を表—1にそれぞれ示す。



図—5 監視画面

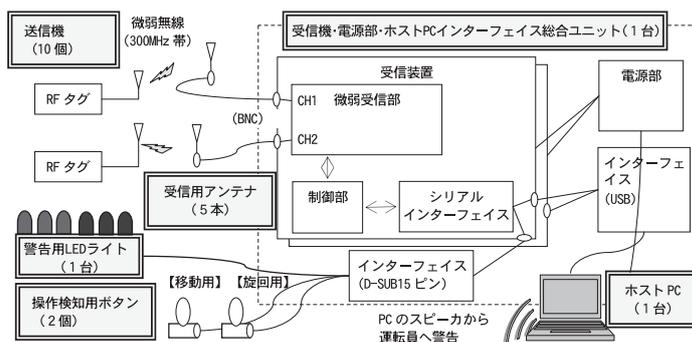


図-6 試験装置の機器構成

表-1 試験装置の仕様

区分	項目	仕様	開発年度		備考
			初年	2年	
送信機 	送信周波数	314.5473 MHz	○	-	
	送信電力	500 μV/m (3m法)			
	通信方式	単向方式			
	送信間隔	0.2秒～24時間			
	電源	DC3V (リチウム電池 CR2032 1個)			
	電池寿命	送信間隔による (例: 送信間隔3秒で1年以上)			
	動作温度	-10℃～+50℃			
	防水 (防滴) 機能	JIS保護等級5 (防噴流形) を想定			
	受信アンテナ 	使用周波数			
アンテナ方式		λ/2 (ノンラジアル) ホイップ型			
入力インピーダンス		公称 50 Ω			
指向性		垂直偏波水平面内無指向性			
使用環境条件		-20～60℃ (95%RH), 屋外仕様 (BNCコネクタは除く)			
受信総合ユニット 	受信周波数	314.5473 MHz	○	改良	10ポートまで対応可能
	受信帯域幅	150 kHz			
	受信方式	シングルスーパーヘテロダイン方式			
	ダイバシチ	検波後ダイバシチ			
	最大認識数	50個 (1秒周期時)			
	電界強度出力	128段階系統出力 (ダイナミックレンジ 50 dB)			
操作検出ボタン 	形式	ボタン式 (タクティルスイッチ)	-	○	操作検出装置は4個使用 (前進, 後退, 右・左旋回に対応)
	ボタン寸法	直径 2 cm (丸形)			
	検出	移動 (走行レバー) 及び旋回 (旋回レバー) 各1個			
	外部接点	出力: D-SUB15ピン			
	操作力	3 ± 0.8 N			
警告用 LED 	形式	発光ダイオード (LED)	-	○	
	表示色	赤・青2色			
	消費電力	2.5 W 以下 (全灯)			
	外部接点	入力: D-SUB15ピン			
	寸法	10 cm × 5 cm			
ホスト PC 	OS	Microsoft (R) Windows (R) XP Professional with Service Pack 1a (NTFS ファイルシステム)	○	-	処理装置, 監視画面, 警報装置を兼用, 誘導員による監視確認用に別途1台
	CPU	インテル (R) Pentium (R) M プロセッサ 900 MHz (システムバスクロック: 400 MHz) ・ 1 MB (CPU動作周波数: 1.2 GHz)			
	チップセット	インテル (R) 855 GM チップセット			
	メモリ	標準 512 MB (増設) DDR SDRAM			
	HDD	約 40 GB (Ultra ATA 対応)			
警報機 	出力	5 W	○	×	基本的には不要
	負荷インピーダンス	8 Ω			
	マウス開口部	172 mm × 126 mm			
	電源	DC20～32 V			

### 3. 安全対策補助装置に対する要求仕様

前述2に示す研究開発にあたり設定した安全対策補助装置に対する主な要求仕様（機能要件、性能要件、品質要件）を、以下に述べる。

#### (1) 開発範囲

安全対策補助装置は、継続的に取得した建設機械周辺の監視情報を効率的に利用し、運転員が目視確認に基づき行う操作判断等を支援することで、図一2に示すように、安全確認不足等のヒューマンエラーに起因する建設機械と作業員との接触事故発生を未然に防ぐことを目指す。この開発範囲は、以下のとおりである。

- ① 運転員の死角を含むバックホウ全周の危険範囲に対し識別した個別の作業員の立入、退出を常時監視し、この監視結果を運転員に提供することで、機械操作に支障のない安全確認を実施させる。
- ② 個別の作業員とバックホウとの相対位置を定量的な範囲で把握し、接触事故の危険性がある場合は運転員に適切な警告を与えることで、安全確認不足や判断ミスが発生を少なくする。
- ③ 安全衛生責任者に対して、建設機械周辺の監視情報をトレース可能にすることで、安全教育や安全措置の見直しを可能にする。

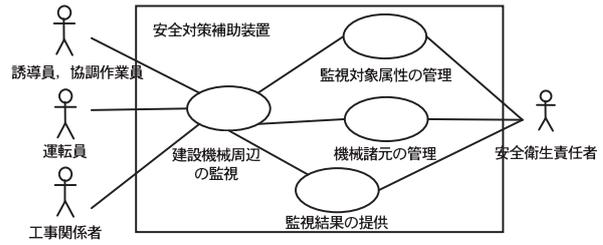
#### (2) 機能要件

安全対策補助装置の機能は、上記(1)を達成できる4つの機能に規定した(表一2、図一7参照)。

表一2 機能要件

機能名	概要
監視対象属性の管理	安全衛生責任者が、確認した監視対象属性を装置に登録（個人情報の取り扱いに注意）。
機械諸元の管理	①安全衛生責任者が、確認した機械諸元を装置に登録。②登録された機械諸元に応じ、自動的に検知範囲、機械範囲を設定。
建設機械周辺の監視	①運転員（および誘導員）に対し、検知範囲の監視情報（作業員が進入したエリアと人数）を連続的に提供。②運転員と作業員に対し、危険範囲に作業員が進入した場合に、バックホウ操作状態に応じて、それぞれに警告。
監視結果の提供	安全衛生責任者に、建設機械周辺の監視状況（機械別、作業員別の危険度※）を事後提供。

※個別運転員、個別作業員に対する危険度の評価成果の扱いには注意する。



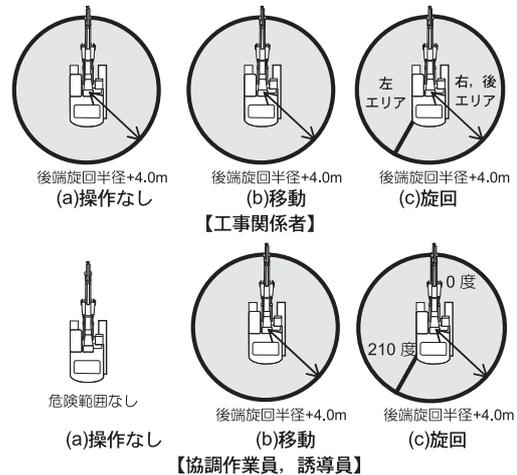
図一7 機能要件

#### (3) 性能要件

##### (a) 危険範囲

運転員に危険性を警告する危険範囲の大きさと範囲は、以下のとおりとする。

- ① 接触事故発生時の操作状態の実態に基づき、後退操作（移動操作）と旋回操作に応じた危険範囲を規定(図一8参照)。



図一8 危険範囲

- ② 検知範囲、危険範囲を頻繁に出入りする者とこれ以外に作業員を大別して規定(表一3参照)。

表一3 作業員区分

作業員区分	対象者
工事関係者	下記に属さない作業員を含む、測量、施工管理、監督を行う工事関係者
協調作業員、誘導員	バックホウ作業と協調して人力作業を行う協調作業員、協調作業を行う際に配置が必須で運転員への操作指示を行う誘導員などの危険範囲を頻繁に出入りする人

- ③ 移動操作時の危険範囲の大きさは、警告後に安全停止するまでに必要な余裕代を加えた旋回中心からの距離で規定。旋回操作時は、最大掘削半径での旋回作業は行わない前提で、移動操作時の同じ距離で規定(表一4参照)。

表一4 バックホウ規格別の危険範囲 (大きさ)

規格	最大掘削半径 (m)	後端旋回半径 (m)	危険範囲 (m)
0.2 m <sup>3</sup> 級	6.26	1.75	6
0.4 m <sup>3</sup> 級	8.12	2.12	6
0.6 m <sup>3</sup> 級	8.91	2.45	6
0.8 m <sup>3</sup> 級	9.88	2.75	7
備考	メーカー8社のカタログ寸法の平均値		

④旋回時の危険範囲のみ、旋回時の運転員の死角 (右・後) と、これ以外の範囲に分けて規定 (図一8 参照)。

(b) 検知範囲

作業員を監視する検知範囲の大きさと範囲は、建設機械を用いた作業を頻繁な安全確認のために中止したくないとの運転員からの要望を踏まえ、安全柵等の併用を前提に少なくとも危険範囲以上にすることを規定した。

(c) その他の性能要件

上記以外に規定した性能要件を表一5にまとめる。

表一5 性能要件 (危険範囲, エリア特定を除く)

性能要件	概要	性能値
監視情報の同時取得数	バックホウ周辺の監視を行う場合に同時に (1秒以内) に取得する最低数	10以上
警告の応答時間	計測情報取得から、運転員に危険性の警告を発するまでの応答時間の許容値	300 msec
監視画面の更新間隔	運転員に提供する監視画面の更新間隔の最低値	1秒間に1回以上
危険範囲進入時の取得所要時間	実際に作業員が危険範囲に進入した場合における計測情報の取得所要時間の許容値	1 sec 以内
操作状態の取得所要時間	運転員が操作開始後に操作状態を検出する応答時間の許容値	300 msec

(4) 品質要件

(a) エリア特定

作業員が危険範囲内へ立ち入った場合に特定する進入方向および範囲は、操作判断に最低必要な右・後エリアと、左エリアに規定した (図一8 参照)。

(b) 警告

作業員が危険範囲内へ立ち入った場合の警告は音を基本に、夜間作業等への対応可能な光の2つ手段を用いることを規定した (表一6 参照)。

(c) 作業員区分

作業員区分は、前掲表一3に示すとおりであり、この区分により、危険範囲を頻繁に出入りする協調作業

表一6 警報, 警光のパターン (信頼性)

警報パターン		操作状態		
作業員区分		操作なし	旋回操作	移動操作
-	危険範囲立入なし	警報なし	警報なし	警報なし
工事関係者	危険範囲立入あり	⑤間欠音	②連続音	①連続音
協調作業員 誘導員	危険範囲立入あり	警報なし	④間欠音	③連続音
備考		異なる作業員区分が同時に危険範囲立入した場合、丸数字の小さい警告		

警光パターン		操作状態		
作業員区分		操作なし	旋回操作	移動操作
-	危険範囲立入なし	警光なし	警光なし	警光なし
工事関係者	危険範囲立入あり	点灯 (赤)	点滅 (赤)	点滅 (赤)
協調作業員 誘導員	危険範囲立入あり	点灯 (青)	点灯 (青)	点灯 (青)
備考		作業員区分が異なる作業員の危険範囲立入を2色の光で警告する。		

員、誘導員に対して、接触事故の危険性が高い操作状態の場合にのみ警告することと規定した。

(d) その他の品質要件

上記 (a) ~ (c) 以外の品質要件を表一7に示す。

表一7 品質要件 (エリア特定, 警告, 作業員区分以外)

性能要件	概要	品質値
危険範囲進入時の信頼性	作業員が危険範囲に立ち入った場合の、計測情報に基づく警報の信頼性	確実に警告を発する (漏れがない)
故障時の保守性	装置故障発生時の復旧作業に対する要求	容易に入手可能な機器で構成、短期、安価で復旧可能
稼働時間の信頼性	装置の連続使用に対する信頼性	6.4時間以上の連続使用、監視結果の記録に対応する

4. おわりに

本稿では、建設機械と作業員との接触事故を防止するために開発した安全対策補助装置 (試験装置) と、この研究開発で導き出した要求仕様について述べた。

本稿で提示した要求仕様は、一つのコンセプトに基づく成果であるが、建設機械と人との作業分担が変わらない限り、建設機械と作業員との接触事故を防止に対する要求仕様としてその多くは不変であると考え

る。

この要求仕様が、今後の既存要素技術の進歩、新たな要素技術の開発によって生まれるであろう、新たな安全対策補助装置の開発の一助となれば幸いであり、更なる建設現場の安全対策に繋がることを期待する。

謝辞：本報告は、国土交通省 中国地方整備局 中国技術事務所からの業務委託（平成 16 年度、平成 17 年度）に基づく成果であり、本報文の作成にあたってご指導を頂いた。ここに感謝の意を表する。

JCMIA

《参考文献》

- 1) 和田慎司, 能動型 RFID を用いた建設機械施工の安全対策補助システムの開発, 平成 19 年度建設施工と建設機械シンポジウム論文集, pp105 ~ 109, 2007.10

- 2) 建設業労働災害防止協会, 建設業安全衛生年鑑, 平成元年 ~ H11 年版
- 3) 飯盛洋, 建設機械用の危険検知装置及び視覚補助装置, 建設の施工企画, pp75 ~ 76, 2004.7

【筆者紹介】

篠原 雅人 (しのはら まさと)  
 (社)日本建設機械化協会  
 施工技術総合研究所 研究第三部  
 技術課長



加藤 弘志 (かとう ひろゆき)  
 (社)日本建設機械化協会  
 施工技術総合研究所 研究第四部  
 研究員



## 橋梁架設工事の積算

——平成 21 年度版——

■改訂内容

1. 積算の体系
  - ・ 共通仮設費率の一部改定
2. 橋種別
  - 1) 鋼橋編
    - ・ 送出し設備質量算出式の改定
    - ・ 少数主桁架設歩掛の改正
    - ・ 歩道橋(側道橋)一部歩掛改定
  - 2) PC橋編
    - ・ 多主版桁橋 主桁製作工歩掛の追加
    - ・ 架設桁架設工法 歩掛の改定
    - ・ トラッククレーン架設工法 歩掛の改定

■ B5 判 / 本編約 1,100 頁 (カラー写真入り)  
 別冊約 120 頁 セット

■ 定 価

非会員：8,400 円 (本体 8,000 円)  
 会 員：7,140 円 (本体 6,800 円)

※別冊のみの販売はありません。  
 ※学校及び官公庁関係者は会員扱いとさせていただきます。

※送料は会員・非会員とも  
 沖縄県以外 600 円  
 沖縄県 450 円 (但し県内に限る)

### 社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8 (機械振興会館)

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>