

自動化建機の安全規格に関する検証 ～無線緊急停止システムの評価実験～

大成建設(株)技術センター

正会員 ○高井 賢

青木浩章

正会員 遠藤亮雄

後藤洗一

東京大学大学院工学系研究科

永谷圭司

谷島諒丞

1. はじめに

昨今における建設機械の自動化（以下、自動化建機と称す）は、国土交通省が推進する「i-Construction」の中でも安全性向上・生産性向上・人手不足解消の観点から、建設現場で望まれている技術の一つである。一方、自動化建機の運用にあたり最も重要なことは安全の確保であるが、現状では、自動化建機の安全規準は明文化されていない。自動化建機の更なる普及のためには、共通ルールの下での運用が望ましいと考えられる。

本報では、何らかの不具合で制御を失った自動化建機を確実に停止させる手法に着目し、機能安全規格に準拠した「無線緊急停止システム」をダンプトラック実機に搭載してその機能を検証し、得られた知見をもとに自動化建機の安全規格の在り方について考察したので、これを報告する。

2. 自動化建機の安全対策に関する課題

自動化建機の実証実験や現場適用に際し、現状では、安全対策について所轄の労働基準監督署等と協議を行うが、自動化建機に起因する災害は、労働安全衛生法に想定されていないために大変慎重な判断が要求され、加えて協議にも多くの時間を要する。また案件ごとの個別判断となるため、情報が共有できないという課題も存在する。よって安全な作業計画を円滑に立案するためには、共通のルール作りが不可欠であると考えられる。

現状における自動化建機の安全対策、とりわけ逸走対策としては、①作業エリアの明示、②監視人の配置、③分離帯（車両が乗り越えられない盛土）の設置、さらに近年の技術として、④車両への人体検知 AI カメラ搭載（人を検知した場合に自動停止）、⑤GPS バリア（指定範囲外の位置情報を検知した場合に自動停止）、等が挙げられる。しかし、技術的に可能であっても、実際に運用するとすると、個々の現場の事情により採用困難なケースもあり、これら全てを絶対的なルールとしてしまうことは、避けなければならない。



図-1 緊急停止スイッチ

3. 無線緊急停止システムの動作実験

前章で述べた課題を解決する手段のひとつとして、筆者らは既報(1)にて、機能安全規格に準拠した無線緊急停止システムの自動化建機への適用について報告した。今回は、機能安全規格（ISO13849-1:2015）のコンセプト認証を取得済みの評価用試作機（図-1）を用いて、コマツ製HD465をベースとした自動運転リジッドダンプ「T-iROBO® Rigid Dump」（図-2）の緊急停止実験を行った。

実験時のデバイス構成を（図-3）に示す。無線緊急停止システムを構成する主なデバイスは、2つの無線緊急停止スイッチ、中継器、受



図-2 「T-iROBO® Rigid Dump」

キーワード i-Construction, 自動化建機, 機能安全, 無線緊急停止

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター生産技術開発部 TEL : 045-814-7247

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学大学院工学系研究科「i-Construction システム学」寄付講座 TEL : 03-5841-0442



図-3 実験時のデバイス構成

表-1 実験ケース

ケース	結果
自動運転中にボタン押下	緊急停止
自動運転中に電池が切れる	緊急停止
自動運転中に電波が途絶える	緊急停止
自動運転を開始しようとする (緊急停止スイッチは故障中)	自動運転は開始しない

信器である。これらのデバイス間の通信は、自動運転の制御システムから完全に独立している点が特徴である。このデバイスは、無線緊急停止スイッチのボタン押下により停止信号が車載側で受信されると、リターダブレーキを作動させることで車両の走行を停止させる。加えて、各デバイス間の常時接続信号が断絶した場合にも、停止信号が出される仕組みとなっている。これは、スイッチの故障・電池切れ・スイッチを持った監視人が電波の到達範囲外に移動する等、不測の事態においても、車両を緊急停止させることを想定したものである。

緊急停止実験では、自動運転中の車両に対し、ボタン押下に加え、先述の事態を想定したケース（表-1）で緊急停止を試行し、その結果、システムはいずれのケースにおいても問題なく作動することを確認した。

4. 緊急停止に関する課題 (Lessons Learned)

今回の実装ならびに動作実験により、自動化建機の緊急停止について以下の課題が明らかになった。

- ・段階的な停止：人命に関わる緊急事態の場合、車両や制御システムの重大な損傷を許容してでも車両を止める必要がある。一方、緊急度の低い動作の中断が求められる場合、点検後に比較的容易に復旧可能な方法や、システムからの一時停止コマンドという方法も選択できることが望ましい。このように、停止理由の重篤度によって何段階かの停止方法を定めることが有効であると考えられる。
- ・緊急停止からの復旧手順：緊急停止後に、不用意に再始動する場合、例えばプログラムの不具合による再始動後の暴走も起こり得る。復旧に際しては、異常の原因を確認/是正してから、再始動するまでの安全な手順を定める必要がある。
- ・独立したシステムの制動方法：今回の実装では、停止信号がリターダブレーキを作動させることで、リジッドダンプの停止を実現した。リターダブレーキの信頼性をリスクと捉え、車両の制動制御系とは別のフットブレーキにより物理的に停止動作を行うこと等も、今後の検討項目に挙げられる。
- ・機種による停止方法の違い：建設機械の動作特性や作業内容、地盤の傾斜や摩擦係数等によって、最適な停止方法が異なる。急制動によらない停止方法や、例えば旋回中のバックホウをエンジン停止により緊急停止させることの安全性など、建設機械ごとにリスクアセスメントを行い、停止方法を検討する必要がある。

5. まとめ

機能安全規格に準拠した無線緊急停止システムを、自動化されたリジッドダンプに実装し、実際の自動化建機による緊急停止実験を行った。その結果、本システムの安全に対する有用性を確認し、またいくつかの課題を明らかにした。今後、自動化建機の実用化に向けて、官民の協力が不可欠と考え、今回のような安全支援システムが確立され、公的機関の発するコメントや指針等によって普及展開されることが望まれる。

参考文献：(1) 青木他：「機能安全と建設機械の自動化技術～無線緊急停止システムの試行～」，令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会梗概集，2021年9月