

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～

大成建設(株) 技術センター 生産技術開発部 ○正会員 青木 浩章
パナソニックアドバンステクノロジー(株) 堀江 雅浩, 高橋 三郎

1. はじめに

筆者らは近年、建設機械の無人化・自動化技術を研究開発している。自動化技術に必要な構成要素の多くは、「電気・電子・プログラマブル技術」であり、故障などにより意図しない動作が発動してしまう可能性を否定できない。特に人身災害を防止するための安全機能が故障などの要因により動作しないリスクは十分に低減されるべきである。

上記のような状況をふまえ、筆者らは自動建設機械システムにおける機能安全の検討に着手して

いる。「電気・電子・プログラマブル技術」導入による変化点を十分に考慮したうえで、図-1で示すようなリスクアセスメントベースのリスク低減プロセスが必要であると考えた。本稿では、リスク低減プロセスの一環として取り組んだ付加保護方策である機能安全に対応した無線緊急停止システムの事例について述べる。

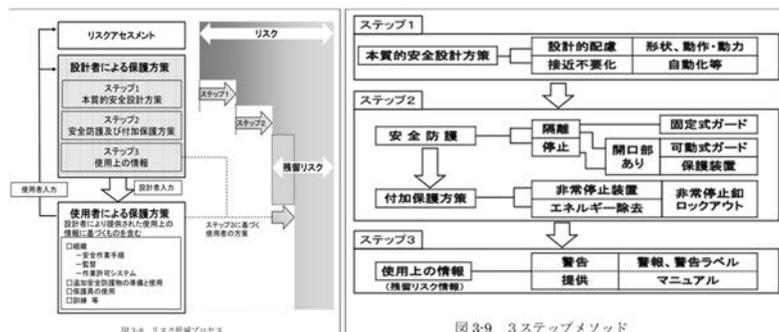


図-1 ISO 12100 に基づくリスクアセスメント(*)

2. 関連する機能安全規格の動向

現在、広く知られている代表的な機能安全規格(タイプC規格:製品安全規格)としては、ISO 15998(土工機械-電子コンポーネントを使用する機械制御システム)、ISO19014へ改定作業中)、ISO 10218(ロボット及びロボット装置-産業用ロボットの安全要求事項)、ISO 26262(自動車-機能安全)などがある(図-2)。いずれの規格もリスクアセスメントによるリスク低減を重視している。例えば、ISO 26262では、建設現場で行う安全性のリスクアセスメント

「重篤度×発生の可能性=リスク優先度」と同様に、安全に関わる構成要素の危険事象を Severity, Exposure, Controllability

の3つの尺度で評価し、自動車のための安全水準ASIL(Automotive Safety Integrity Level:自動車安全水準)を故障に伴うリスク重篤度で程度順にA, B, C, Dの4つの段階が定義されている。自動車の例では、ステアリング・エアバックやブレーキ等は最も厳しいレベルASIL-Dである。自動建設機械システムにおいても、対象となる機能やシステムのライフサイクルを想定し、故障時の影響等を鑑みてメーカー、システム運用者が連携してリスク低減するための保護方策が必要であると考えられる。

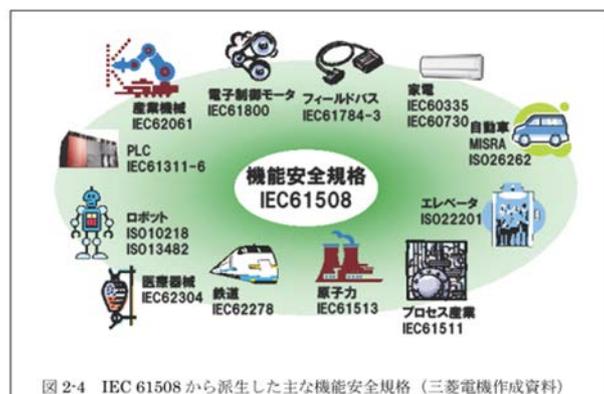


図-2 主要な機能安全規格(*)

キーワード ISO26262, 機能安全, ASIL, 自動化建機, 無線非常停止

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 TEL045-814-7247

〒530-0001 大阪府大阪市北区梅田 2-1-3 桜橋御幸ビル7階 パナソニックアドバンステクノロジー株式会社

イノベーション基盤開発室 TEL06-6442-0310

3. 付加保護方策：無線緊急停止システム

自動建設機械システムを実際に動作させる場合、代表的な懸念は作業中走行車両の逸走による人身災害であると考えている。人と機械の分離は自動であってもなくても行うことであるが、自動建設機械が逸走によって分離帯を越えることがあってはならないし、その先にいる人間との接触を起こすことはもっとあってはならない。よって、分離帯は自動建設機械逸走時のリスク低減に有効な設置方法が選択されるべきであるし、自動運転中には緊急停止装置を備えて常時監視することが必要だと考えている。この緊急停止装置が前途の機能安全規格に準じたものであれば、リスク低減効果を定量的に見積もることが出来ると考え、同システムの自動建設機械システムへの適用検討及び試行を行っている。図3に自動建設機械システムへの緊急停止装置導入の概要を示す。なお、この緊急停止装置は、ISO13849-1（制御システムの安全関連部）の設計認証取得予定のものであり、自動運転で常時使用する無線周波数帯と全く異なる無線を使用することで、付加的保護方策の独立性を確保しつつ開発している T-iROBO 建機シリーズに適用・試行を行っている。

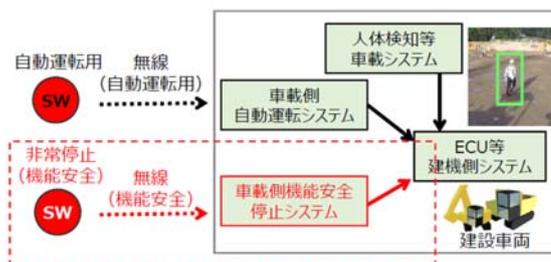


図-3 自動建設機械への無線緊急停止導入の概要

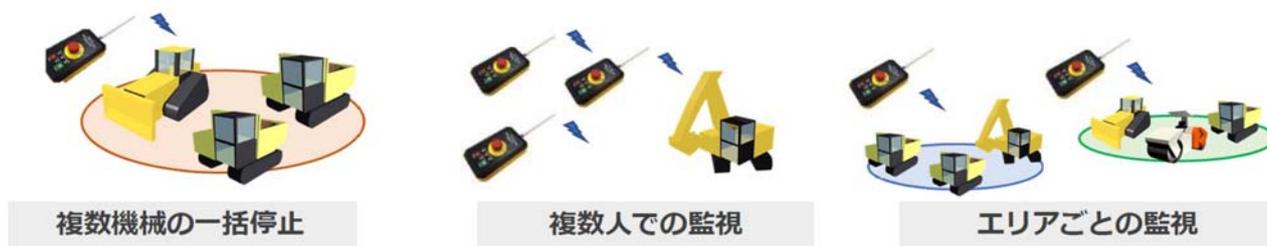


図-4 無線緊急停止システムの運用方法

4. 結果とまとめ

試行導入したシステムの評価を行った。実際の自動施工ユースケースを想定し、複数人での監視者操作による緊急停止等の動作確認を行うとともに、故障挿入試験としてネットワーク切断、電力途絶、信号固着での動作についても評価した。

評価の結果、想定するユースケース内においては、建設機械は規定された制動距離内で緊急停止することができ、付加的保護方策としては十分有用であることがわかった。現在は単体試験のみであるが図4の様な運用方法も検討している。建設機械の自動化においては、自動で動作させることに着目しがちであるが、リスクアセスメントの結果、自動で動いているものを緊急停止するという技術にもまた同様に様々な課題があることがわかっている。一例が緊急停止後の車両の制御である。高速で走行している車両を突然止めれば、バランスを崩し転倒の可能性が挙げられる、また同時に急ブレーキによる車両機械側の損傷も懸念される。逆にそれらが発生しないような制御を行うのであれば、停止までの距離が増えてしまうことや、転倒しないための制御を検討するなら路盤の状態、傾斜、周辺環境等を加味する必要があるとあって、通常自動走行以上の複雑な制御が必要になることも予想される。また、本論では緊急停止スイッチについて述べたが、車両側に人体検知カメラ（図3：写真）を搭載し、車両側、いわゆるエッジ側で検知して自動停止するという機構もまたリスク低減の方策として重要であると考え。こういった課題を1つ1つ解決してゆくには車両メーカーと共に取組ことが大事であるし、運用側も保護方策に取り組むことが重要と考える。また、自動運転に関するルール等が現在のところは整備されていないが、他産業で実績のある機能安全等を参考にすることは、本技術の発展に資すると考えている。

参考文献 (*)：機能安全活用テキスト，中央労働災害防止協会，平成30年3月