

道路建設業における人と機械の協調安全技術の開発

駒 坂 翼・宮 本 多 佳・中 田 真 弥

「重機災害」「熱中症」「装置への巻き込まれ」などを原因とした、建設業界における労働死亡災害は依然として増加傾向にある。改善に向けた様々な取組みが行われてきたが、従来の安全対策による成果も下げ止まりの様相を呈している。

こうした状況を踏まえ、本文では今般開発した、建設機械と従事者が生産性を落とさずに安全な環境で働くことの出来る、ICT や IoT を活用した「協調安全」技術を紹介する。

キーワード：マカダムローラ、小型ホイールローダ、合材工場、舗装現場、自動停止システム、見守りシステム

1. はじめに

平成 29 年の労働死亡災害は 9 月公表時点で前年同期に比べ 9.6% 増加し、厚生労働省は職場における死亡災害撲滅に向けた緊急要請を建災防に行った。建設業においては、前年比 20% 増となっており、昨年まで同様、全産業内で最も多い。

死亡災害発生状況としては、「墜落・転落」、「重機災害」、「倒壊・崩落」といった三大労働災害が 6 割程度を占めている。

舗装業においては、建設機械の後退時に作業者が轢かれる、あるいは夏場の舗装現場での熱中症や合材工場での装置に巻き込まれた事故などが身近に起きている死亡災害発生状況である。

本文では、こうした状況を踏まえ、重篤災害撲滅を目指し、道路建設業における新しい安全技術開発の取り組みについて紹介する。

2. 建設機械の自動停止システム

(1) 建設機械の安全対策の課題

舗装現場で動く建設機械の安全装置の多くは、音を用いた警告方式が採用されている。しかしながら、この方式には下記のような課題が確認されている。

- ① 近隣住民からの苦情対策として、安全装置を停止してしまう
- ② 長期的に使用すると、慣れが生じてしまう
- ③ 警告音を聞いてから行動するまでにタイムラグが発生してしまう

生してしまう

- ④ 振動体ベースの警告装置もあるが、頻繁な充電が必要など手間がかかる

(2) 自動停止システムの展開

先に挙げた課題を解決するため、「知らせるより見える」「見えるより止める」を概念とし、2014 年に RFID 方式によるタイヤローラ自動停止システム、2016 年にステレオカメラ方式による 3m³ クラスの大型ホイールローダ自動停止システムを開発した。

今般、現場からの要望が多かったマカダムローラと小型ホイールローダに自動停止システムを追加導入した。以下に概要を紹介する。

(3) マカダムローラの自動停止システム

(a) 人物の検知方法

マカダムローラの自動停止システムには、既出のタイヤローラ同様、磁界を利用した固体識別方式である RFID (Radio Frequency Identifier) 方式を採用している。

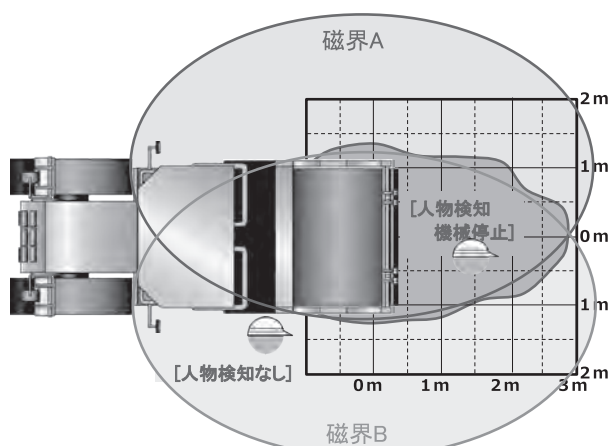
マカダムローラに取り付けた 2 台の磁界発生装置により形成された磁界エリアが重なるエリア内に、特定の磁界内に侵入した時のみ送受信可能なセミアクティブ型の IC タグ (写真 1) を持った作業者が侵入することで自動停止機能が働くシステムである。これにより、ローラ後方動線以外にいる作業者には反応することがなく、過剰に作業を止めることのないようなシステムとなっている (図 1)。



写真一 1 セミアクティブ型 IC タグ



写真一 2 キー回転装置



図一 1 人物検知エリア

(b) 停止方法

タイヤローラと違い、全てが鉄輪であるマカダムローラが安全かつ素早く停止できるか、制動試験を行った。その結果、タイヤローラと同じく走行中にエンジンを止めることで3m程度の制動距離となり、安全に停止することを確認した。エンジンを停止することで作動するネガティブブレーキを利用する考えである。この方法は、ローラのキーシリンダ部にスターターキーを強制的に回転させる装置（写真一 2）を取り付けることにより実現している。後付け可能な装置なので、リース機械等にも取り付けることができる。

(c) 導入事例

本年10月、高速道路補修工事の安全対策技術として、5台稼働した（写真一 3）。開発後4ヶ月経過し（平成29年12月現在）、多くの高速道路の補修工事において当システムを導入している。

(4) 小型ホイールローダの自動停止システム

大型ホイールローダの自動停止システムは、ステレオカメラ方式（写真一 4）による人物検知とパワーシリンダでブレーキを引っ張る停止方法を採用してい



写真一 3 自動停止装置付マカダムローラ



写真一 4 ステレオカメラ搭載状況

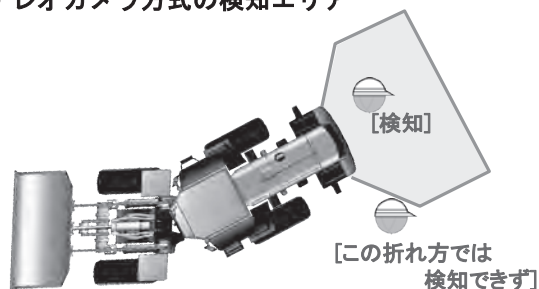
る。ステレオカメラ方式は、2台のレンズに映った対象物が人物か障害物かを認識し、対象物までの距離を算出する方式である。

(a) 人物の検知方法

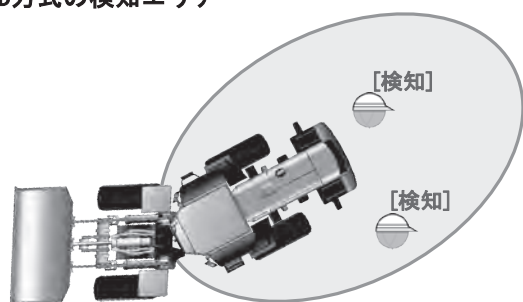
小型ホイールローダにおいては、まず大型ホイールローダ同様、ステレオカメラによる人物検知を検討した。しかし、小型ホイールローダの利点である小回りの良さを活かした動きに対しては、折れ方によって検知できないエリアができるため、ステレオカメラは不

向きであった。どんな折れ方でも検知できるようマカダムローラ同様、RFID方式による自動停止システムを採用した（図—2）。

①ステレオカメラ方式の検知エリア



②RFID方式の検知エリア



図—2 方式別の人物検知エリア

(b) 停止方法

材料をバケットに載せた状態で走行することが多いホイールローダは、エンジン停止のような急制動をかけると車体への反動やオペレータへの衝撃が大きかった。これは車体の大きさにかかわらず言えることである。

そのため、大型ホイールローダの自動停止システム同様に、フットブレーキをパワーシリンダにて引っ張る方式を採用した（写真—5）。



写真—5 自動ブレーキ装置

これにより、オペレータへの衝撃を抑えつつ止まることが可能となった。また、パワーシリンダの調整により制動距離が変えられるため、用途に応じた使い方が可能である。

(c) 導入事例

マカダムローラと同時期に開発しており、開発後4ヶ月経過した（平成29年12月現在）。小型ホイールローダ（写真—6）は空港工事などにおいて多く使われており、今回の自動停止システムも安全対策の一環として導入している。



写真—6 自動停止装置付小型ホイールローダ

3. 合材工場の従事者見守りシステム

(1) 合材工場稼働時の課題

舗装材料を製造する合材工場においては、安全管理や稼働管理のために設置している監視カメラや無線機を利用して作業者の居場所を確認している。しかしながら、監視カメラだけでは位置が確認できない。また、装置の稼働音が大きい場合、無線が聞こえないなどの課題が確認されている。

(2) システムの概要

先に挙げた課題を解決するため、合材工場における従事者見守りシステムを開発した。

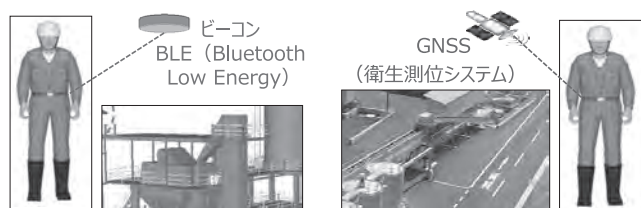
(a) 人物の検知方法

合材工場は、屋内と屋外が複雑に混在し、多くの装置が置かれている。そのため、死角が多く存在しステレオカメラ方式による人物検知は不向きであった。また、RFID方式においても検討を行ったが、広い敷地面積をもつ合材工場をカバーするためには多くの磁界発生装置が必要となり、設置手間やコスト面から不向きであった。

これらの問題を解決すべく、GNSS（衛星測位システム）を利用した屋外の位置検知機能とビーコン（Bluetooth Low Energy を使用した信号発信機）を利用した屋内の位置検知機能を合わせ持った、ハイブリット型ICタグ（以下、ICタグ）を採用した（写真—7、図—3）。



写真—7 IC タグ



図—3 IC タグの人物検知イメージ

また、IC タグには2つの付加機能が存在する。一つは、内蔵された加速度計と気圧計で測定した数値の変化を元に作業者が転倒したことを検出する機能である。もう一つは、IC タグ表面のSOS ボタンを押すことにより、緊急時を管理者に伝えることの出来る機能である。

IC タグにより検知された位置情報は、操作室に設置されているモニタにリアルタイムで表示され、オペレータが確認できる仕様である。

(b) 導入事例

「知らせるより見える」の段階ではあるが、新設合材工場において、システムを導入し位置検知精度を確認した。

合材工場内に5～10m 間隔でビーコンを設置し、対象となる作業には個別のIC タグとスマートフォンを携行させた。

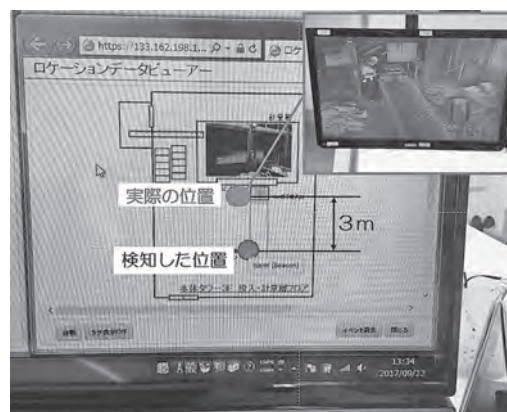
位置検知の精度確認は工場内各所で行い、実際にいる位置とモニタに表示された位置でどの程度の誤差があるか確認を行った。

測定値の誤差の平均は、屋内（ビーコン検知）で3m, 屋外（GNSS 検知）で5m であった（写真—8）。

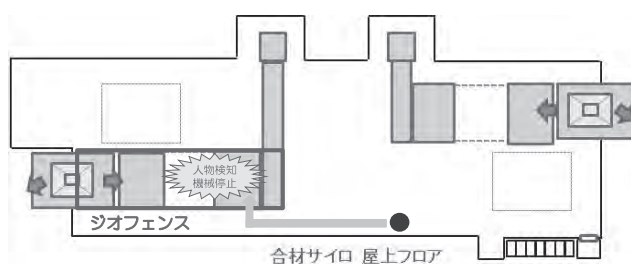
(c) 今後の展開

今後の普及に向けて、位置検知システムにジオフェンスを組み合わせるものを検討している。ジオフェンスとは、ネットワークやシステム上で設定する現実には存在しない仮想的な境界線のことであり、立入り禁止箇所や事故の起こる可能性が高い箇所において、位置検知システム上でジオフェンスを設定し、IC タグを持っている作業者がジオフェンスエリアに近づいた際に警告、侵入した際に装置の稼働部を自動停止する

システムである（図—4）。そのために、更なる位置検出精度の向上に努めていきたい。



写真—8 位置検知誤差の一例（屋内）



図—4 ジオフェンス利用イメージ

4. 舗装現場の従事者見守りシステム

(1) 舗装現場における安全対策の課題

舗装現場においては、熱中症などの労働災害防止や日常の体調管理として、朝礼時の体調確認、休憩所の環境整備（冷暖房完備など）、気象情報の掲示による注意喚起などが行われてきた。

しかしながら、これらの方法には下記のような課題が確認されている。

- ①確認時の瞬間的な管理しかできない
- ②客観的な指標や数値に基づいた管理ができない
- ③どう利用するかどう行動するかは、作業者次第になってしまう

(2) システム概要

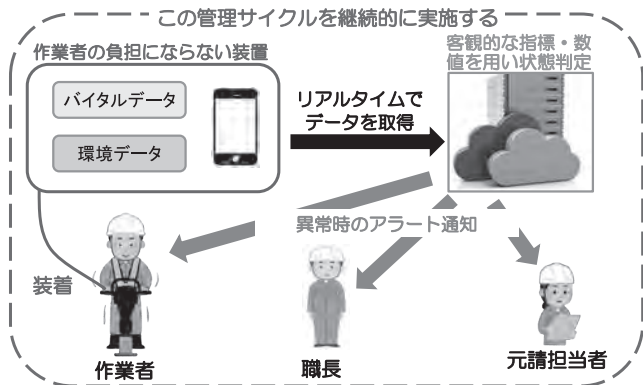
先に挙げた課題を解決するため、バイタルセンシング技術を活用した舗装現場における従事者見守りシステムを開発した。

(a) バイタルセンシング技術

バイタルセンシング技術とは、「意識」「血圧」「脈拍」「呼吸」「体温」などの人間の健康状態を表すバイタルデータを各種センサーにより測定する技術である。

(b) システムイメージ

見守りシステムは、図—5のイメージを元に開発した。データ取得から異常時のアラート通知までを一つのサイクルとして、継続的に実施するシステムである。



図—5 見守りシステムイメージ

(c) データ取得用端末

作業員の健康状態を示すバイタルデータと健康状態に影響のある環境データを取得するための端末は、複数の作業員に数種類の端末を装着、評価してもらい選定した。

評価の結果、バイタルデータ取得には腕時計式端末、環境データ取得にはキーホルダー型端末を選定した。この2つの端末を付け（写真—9）、データの取得を行っている。



写真—9 測定端末携帯状況

(d) 状態判定システム

異常状態を判定するための閾値を設定するうえで、様々な状況下のデータを取得し、健康状態に影響のある要因を洗い出した。大きな要因の一つとして、「熱環境負荷」が挙げられる。

同じ作業員の季節ごとのデータを比較した際、夏場のような高温多湿環境においてバイタルデータが大きい

く変化する傾向が確認できた。

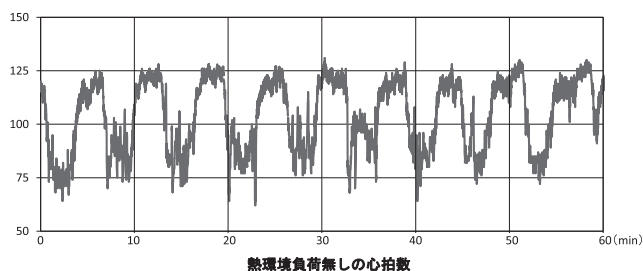
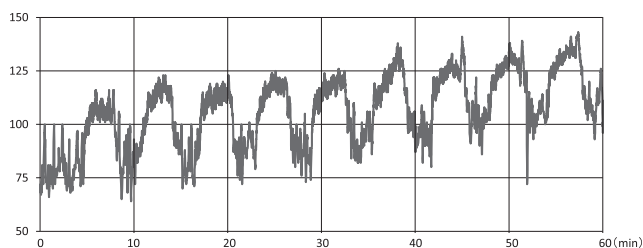
この傾向をより正確に確認するべく環境シミュレータを用いた補足実験を行った。環境シミュレータにて作成した下記2種類の擬似環境内で、同じ作業員に繰り返し作業を行ってもらい、バイタルデータの変化を確認した。作業員と作業内容を固定することにより、「熱環境負荷」の影響を正確に確認することが目的であった。

〔作成擬似環境〕

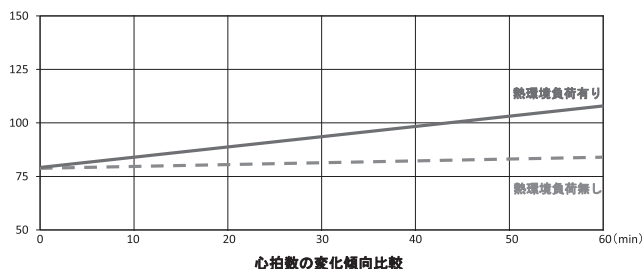
- ①熱環境負荷有り 温度37℃ 湿度50%
- ②熱環境負荷無し 温度20℃ 湿度50%

補足実験の結果、グラフのような心拍数の変化が確認できた（図—6）。波形の谷部分は繰り返し作業間の休憩時を表しており、各回を直線で結び比較すると、心拍数の上がり方（傾き）に大きな差が見られた（図—7）。熱環境負荷が有る場合に、心拍数の上がり方が大きいことから熱環境負荷が作業員の健康状態に影響を及ぼしているといえる。

今回開発したシステムの異常状態を判定する閾値には、熱環境負荷を考慮した判定式を用いている。



図—6 熱環境負荷毎の心拍数変化



図—7 休憩時心拍数の比較

(e) 導入事例

開発した見守りシステムを大型の高速道路建設現場にて導入した。扱っている材料の温度が高い「アスファルト舗装工」「防水工」、日射の照り返しが強い「コンクリート舗装」「コンクリート構造物工」など、熱環境負荷が大きい工種を対象とした。

対象となった管理者や作業員には、一定の導入期間を経て、アンケートおよびヒアリングを行い、見守りシステムを評価した（図—8）。

コスト面やスマートフォンの利用については改善が必要だが、データ取得やアラート通知などの機能的な部分は十分な評価を得られた。

チェック項目	評価 (/100点)	評価理由
作業の邪魔にならないか	30	スマートフォンが2台持ちとなり邪魔
装着時のストレスはないか	60	着脱は容易だが、縫付けがきつい
リアルタイムでデータを取得できるか	85	取得できるが、不感地帯対策は必要
取得データを常時確認できるか	40	スマートフォンの画面で確認は不便
客観的な判定がされているか	90	自覚できていない異常も検知している
アラート通知はできているか	80	管理者・作業員ともにアラート通知は良好
コストパフォーマンスは良いか	20	現機能のみでは高価
作業環境に変化はあったか	70	健康に対する意識向上

図—8 見守りシステムの評価

5. おわりに

建設機械と現場従事者が、生産性を落とさずに安全な環境で作業を行う「協調安全」は、ICTやIoTの活用により、様々な形で実現可能となってきた。

今回紹介した各システムは、あくまでも人と機械の安全性向上を目的としたサポートツールである。システムを過信するのではなく、導入することにより使い手の安全意識がより向上するよう指導し、展開を図って行きたい。このような取り組みの先に、重篤災害が1つでも削減できれば幸いである。

J C M A

【筆者紹介】

駒坂 翼（こまさか つばさ）
（株）NIPPO
総合技術部 生産機械センター
係長



宮本 多佳（みやもと たか）
（株）NIPPO
総合技術部 生産機械センター
係長



中田 真弥（なかだ しんや）
（株）NIPPO
総合技術部 生産機械センター

