

遠赤外線カメラと AI を用いた人物検知システムの開発

建設機械の接触災害を防ぎ、作業員の安全を守る

本 木 章 平

建設現場における三大災害の一つに「建設機械・クレーン等による災害」があり、人と建設機械の接触は重大災害につながる恐れがある。土木技術者において、建設現場で従事する技能労働者の安全を守ることは重要な責務であり、建設現場における安全性向上は、持続可能な建設産業の構築に向けて重要な課題である。

近年、情報通信技術の高度化やセンサデバイスの小型化・低価格化に伴い、高精度なセンサが比較的容易に利用できる環境になっている。そこで、建設現場では一般利用が進んでいない遠赤外線カメラを用いた高精度な人物検知システムに関する研究を行ったところである。本稿では、このたび開発したシステムの研究成果について報告する。

キーワード：遠赤外線カメラ，AI（人工知能），人物検知システム，建設機械，接触災害

1. はじめに

建設現場において、「建設機械と作業員の接触災害」の防止は重要な課題である。厚生労働省の平成 31 年における労働災害発生状況の分析等¹⁾によると、建設業での死傷者数は 15,183 人であり、その内事故の型別でみると、「はさまれ・巻き込まれ」および「激突され」による死傷者の割合は 16.7% に上る。さらに、死亡者数でみると、建設業全体で 269 人であり、同割合は 15.6% であり、約 5 人に 1 人が「はさまれ・巻き込まれ」および「激突され」災害に分類される。全てが建設機械との接触によるものではないが、建設機械による接触災害の潜在的なリスクが大きいと推察される。また、平成 27 年から平成 31 年の過去 5 年間における同種災害による死傷者数は、年間約 2,500 人程度で推移しており、下げ止まりの傾向にある。そのため、ICT を活用した自動化技術や AI を活用した高精度なセンシング技術による高度な安全対策が必要だと考えられる。

既に様々なセンシング技術が建設現場で導入されており一定の導入効果を得てる一方で、いくつかの課題もある。例えば、IC タグを利用したセンシング技術では、IC タグを身に付けている特定の人物しか検出できないこと、検出距離が 10 m 前後に限られるなどの課題がある。その他に、可視光カメラと AI による人物検知システムも存在するが、夜間や薄暗い環境等の光源がない場所での人物検出精度が落ちること、検出距離が 10 m 以下に制限されるなどの課題がある。特

にタイヤ走行式の建設機械においては、移動速度や制動距離の観点から遠距離の人物検出ができることが望ましい。

そこで、筆者らはサーマルセンサを用いた遠赤外線カメラに着目し、「遠赤外線カメラと AI を用いた人物検知システム」を開発した。本システムは人物の温度を検知するため、光源のない夜間や薄暗い環境下でも高精度に人物検出できること、数十メートル離れた遠距離の人物検出および人物測距が高精度にできることが特長である。また、可視光カメラと比較して粉塵や濃霧および逆光の影響を受けにくい特長も有していることから、トンネル現場などの作業環境下におけるセンシング技術としての有効性が期待できる。

2. システムの特長

(1) 遠赤外線カメラと AI による高精度な人物検出

AI モデルを構築するにあたり、トンネル坑内において遠赤外線カメラにより画像データの取得を行った。「人」、「ヘルメット」、「自動車」の 3 クラスに分類しアノテーションを行い、教師データを作成した。教師データを用いてディープラーニングによる AI 推論モデルを構築した。次に、教師データに使用していない評価用の画像を用いて推論を行った。それぞれ 3 クラスの検出率は 90% 以上であることを確認した。さらに、建設作業員を「人」または「ヘルメット」として評価することで、97% 以上の検出精度であること



写真一 1 暗闇での可視光カメラ（左）と遠赤外線カメラ（右）の画像比較



写真一 2 粉塵での可視光カメラ（左）と遠赤外線カメラ（右）の画像比較

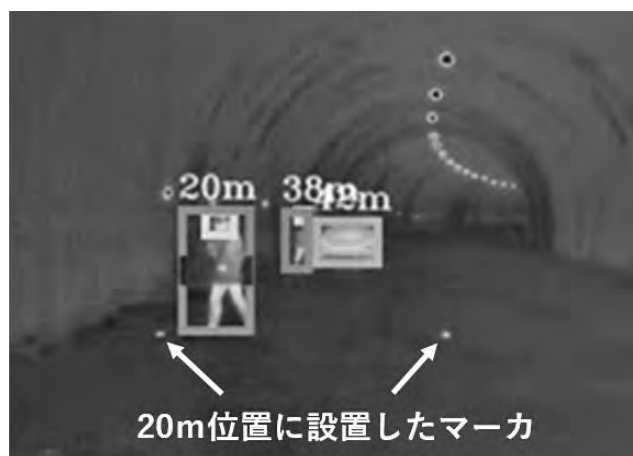
を確認した。また、構築した AI モデルを用いてトンネル内での暗闇や粉塵環境下における可視光カメラと遠赤外線カメラの人物検出について比較を行った（写真一 1, 2）。可視光カメラが不得意とする環境において、遠赤外線カメラの優位性を確認した。

本システムでは、独自の DNN（Deep Neural Network）を活用し高速・高精度に物体検出ができることも特長である。

(2) 単眼の遠赤外線カメラによる物体検出と物体測距

本システムでは単眼カメラ画像による物体検出と物体測距技術を応用し、より簡易的なシステム構成としている。カメラ画像を俯瞰変換処理することで、物体の路面との設置位置を物体検出枠の底面中央と仮定して、物体までの距離を推定している。室内平坦部での検証結果から、実測値と比較して計測距離に対して 1% 未満の計測誤差であることを確認した。最大計測距離は 10 m である。

次に、トンネル坑内においてカメラ位置から人物までの距離 0~10 m 未満、10~20 m 未満、20~30 m 未満、30~40 m 未満の 4 クラスに分けて人物の検出率を評価した。全ての距離別クラスにおいて、検出率は 97% 以上であることを確認した。また、カメラ位置から人物までの距離 20 m 位置における計測誤差を確認した。平均値に対する相対誤差は 1% 程度であり、高



写真一 3 距離 20 m 位置での画像

精度に人物検出および人物測距できていることを確認した（写真一 3）。トンネル坑内の実環境下において、単眼カメラによる物体測距技術が有効であると考えられる。

(3) 至近距離の人物検出

上述の単眼カメラによる物体測距技術では、物体の路面との設置位置が映っていることが条件となっている。つまり、人物測距において人物の足元が映っていることが条件である。そのため、カメラから至近距離にいて足元が映っていない人物までの距離を推定できないことが課題であった。



写真一4 至近距離の人物検出画像

そこで、ディープラーニングによる物体検出において「画像から 距離別のクラス分類」が可能であるか検証を行った。本検証では、近距離（カメラからの距離 10 m 以内）、中距離（カメラからの距離 10~20 m 以内）、長距離（20 m 以上）の 3 クラスに分類し学習を行い学習させた。次に、評価画像を用いて「膝から上しか映らない人物」を至近距離クラスとして分類し推論を行った（写真一4）。推論の結果、至近距離の人物検出率も高精度であることを確認し、足元が映っていない至近距離の人物については、「危険エリア内にいる人物」として検出し評価することが可能であると考えられる。

(4) 任意に設定可能な警報エリア

本システムはカメラから検出人物（作業員）までの距離に応じて、警報エリアを任意に設定することが可能である（図一1）。段階的に警報エリアを設定することで機械オペレータの危険意識に対するマンネリ化を防止するとともに、建設機械ごとに異なる「最も危

険なエリア」設定の最適化を図ることが目的である。設定した危険エリア内で人物を検出すると、機械オペレータと周辺作業員に光と音で危険を知らせることができる。

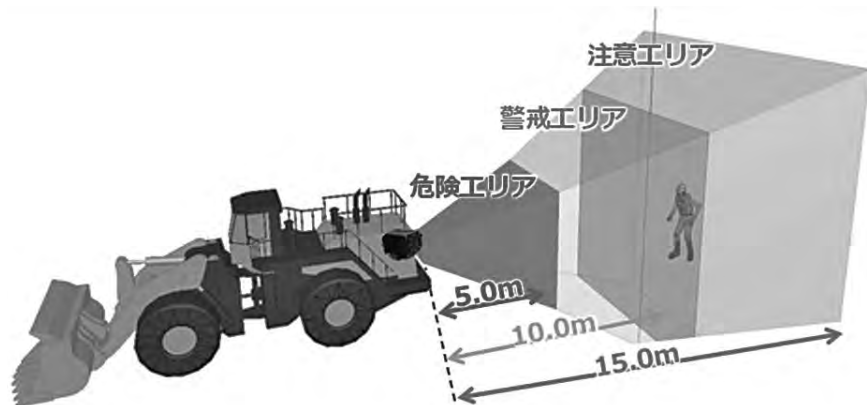
3. 実機検証

(1) 検証条件

本システムの実効性を確認するために山岳トンネル現場での実機検証を行った。使用機械はホイールローダであり、機械後部に遠赤外線カメラを1台設置した（写真一5,6）。警報エリア設定は図一1の通りとし、人物検出距離が5 m 以内を「危険エリア」、5~10 m 以内を「警戒エリア」、10~15 m 以内を「注意エリア」と設定した。各エリアに応じて警告方法を設定した（図一2）。また、機械運転席に警告灯とモニターを設置し、機械オペレータが光と音と映像で確認できるようにした。



写真一5 ホイールローダへの設置状況



図一1 警報エリアの設定イメージ



写真一6 遠赤外線カメラ

	人物検出距離	警告方法	イメージ
危険エリア	0～5m未満	赤ランプ+ブザー音	
警戒エリア	5～10m未満	黄ランプ	
注意エリア	10～15m未満	緑ランプ	

図一 2 警報エリアに応じた警告方法

(2) 主要な使用機器

- ①ホイールローダ
- ②遠赤外線カメラ
- ③組み込みシステム
- ④モニター
- ⑤3色警告灯（ブザー付き）

(3) 検証手順

- ①ホイールローダ後方 20 m に人を配置
- ② 20 m 位置における人物検出および人物測距が正確にできていることを確認
- ③低速でホイールローダをバックさせる
- ④各エリアに応じて設定した警告が作動するか確認

(4) 検証結果

ホイールローダが稼働している状態において、リアルタイムかつ正確に人物検出および人物測距ができることを確認した。また、注意エリア（検出距離 15 m 以内）では緑色の警告灯が作動し、警戒エリア（検出距離 10 m 以内）では黄色の警告灯が正常に作動することを確認した。さらに、危険エリア（検出距離 5 m 以内）になると赤色の警告灯とブザー音が正常に作動することを確認した（写真一 7）。

4. おわりに

「遠赤外線カメラと AI を用いた人物検知システム」を開発し、山岳トンネルでの実機検証を行いシステムが正常に作動することを確認した。夜間や薄暗い環境、粉塵環境などでは遠赤外線カメラが有効なセンシング技術であると考えられる。建設分野においても「遠隔操作による機械の無人化」や「機械の自動化」が進んでいる状況を踏まえ、周辺監視技術の一助として本システムが有効活用できると期待している。一方で、既存センサや可視光カメラと比較して高価であること



写真一 7 トンネル内での実機検証状況

が挙げられる。これは、遠赤外線カメラに使用しているセンサや特殊レンズが市場に広く普及していないためであり、市場規模の拡大に伴い低価格化が進むと考えられる。近年では、自動車のセンシングとして遠赤外線カメラが利用されている事例もあり、将来的な発展に期待できる。

今後、本システムを様々な工事現場に導入しシステム改善や機能強化を図っていく予定である。

謝 辞

最後に、本システムの開発支援をいただいた(株)日立ソリューションズ・テクノロジー社には、誌面を借りて心より感謝の意を表す。



《参考文献》

- 1) 厚生労働省：平成 31 年 / 令和元年労働災害発生状況の分析等, https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_11510.html

【筆者紹介】



本木 章平（もとき しょうへい）
 戸田建設(株)
 技術開発センター 施工革新ユニット
 ICT 情報化施工チーム
 主任