

# 建設機械と人間の接触等を防止するための 保護装置に関する研究

清水 尚憲\*1, 濱島 京子\*2, 梅崎 重夫\*1, 吉川 直孝\*3

平成 18 年に発生した建設機械による死亡労働災害 89 件の分析によると、建設機械とその周囲にいた作業者が接触したために発生した災害（激突され、はさまれ・巻き込まれ）は全体の 53%を占めており、建設機械のオペレータ、周囲作業員、誘導員による人の注意力に依存した安全管理にも限界があることが示唆された。そこで、最新のセンシング技術を利用したモニタリングシステムや ICT（Information & Communication Technology：情報通信技術）を応用して危険情報を伝達する支援的保護システムを開発しその妥当性を検証するとともに、実際の作業を想定したリスク低減方策について検討を行った。また、独立防護階層の概念を応用した建設機械の安全防護階層を提案し、リスク低減方策としての支援的保護システムの位置づけを明確にした。さらに、ICT 機器を適切に組み合わせることで、確実性の高いリスク低減効果が期待できることが分かった。

**キーワード：**支援的保護システム、建設機械、情報通信技術、独立防護階層

## 1 はじめに

労働安全衛生規則第 158 条第 1 項では、「事業者は、車両系建設機械を用いて作業を行うときは、運転中の車両系建設機械に接触することにより労働者に危険が生じるおそれがある箇所に、労働者を立ち入らせてはならない。ただし、誘導員を配置し、その者に当該車両系建設機械を誘導させるときはこの限りではない。」と規定している。しかし、車両系建設機械に起因する労働災害は、周囲作業員や誘導員、またはオペレータのヒューマンエラーや意図的な不安全行動が原因となっている場合がある。

また、本研究で実施した平成 18 年に発生した建設機械による死亡災害 89 件の分析でも、建設機械とその周囲にいた作業者が接触したために発生した災害（激突され、挟まれ・巻き込まれ）は全体の 53%を占めており、建設機械のオペレータ、周囲作業員、誘導員による人の注意力に依存した安全管理にも限界があることが示唆された。

そこで、本研究では車両系建設機械を対象に、人の注意力のみに依存しない安全管理システムとして最新のセンシング技術を応用したモニタリングシステムや ICT（Information & Communication Technology：情報通信技術）を利用したリスク低減方策である支援的保護システム<sup>1)2)</sup>を提案する。なお、本論文で定義する支援的保護システムとは、既存の保護装置とは異なり、あくまでも人の行動の意志に含まれる誤りの発生確率を低減することを目的としたシステムである。

## 2 建設機械のオペレータへのアンケート結果

建設機械の中でも特に災害が多発しているドラッグ・ショベルを対象に、オペレータ 10 名に対して安全上問題となっていることや過去に経験したヒヤリハット事例等についてヒアリング調査を実施した。以下にその結果を示す。

○質問 1：オペレータが安全上問題としていること

回答：作業中は作業に集中しているため、誘導員の声が聞き取りにくい（4名）。

回答：建設機械の周囲にいる作業員の位置が把握しにくいことがある（7名）。

○質問 2：過去に経験したヒヤリハット事例

回答：掘削作業中に近道行動をしようとした作業者に接触しそうになった（6名）。

回答：旋回動作中に周囲作業員と接触しそうになった（2名）。

○質問 3：追加する保護装置に関する意見

回答：必要以上の情報伝達により、作業性を損なわないようにしてほしい（4名）。

回答：操作は簡単な方がよい（7名）。

回答：危険を検知して、機械が急停止するような安全装置は、むしろ危険だと思う（4名）。

以上の結果より、ドラッグ・ショベルのオペレータは、作業中は作業に集中しているため他の情報を得にくい状況にあり、万が一周囲作業員がドラッグ・ショベルの可動範囲内に進入した際には、これを認識できずにドラッグ・ショベルと接触してしまう危険性があることが分かった。このことから、危険情報を積極的にオペレータに伝達するシステムが必要と考えられる。

## 3 ヒューマンエラーと意図的な不安全行動

図 1 は、ヒューマンエラーと意図的な不安全行動の分類を示したものである。ヒューマンエラーは意図しない行為と意図した行為とに分類され、意図しない行為には行動の実行段階で発生するスリップ（またはアクション・

\*1 労働安全衛生総合研究所 機械システム安全研究グループ。

\*2 労働安全衛生総合研究所 電気安全研究グループ

\*3 労働安全衛生総合研究所 建設安全研究グループ

連絡先：〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6

労働安全衛生総合研究所 機械システム安全研究グループ 清水尚憲\*1

E-mail: shimizu@s.jniosh.go.jp

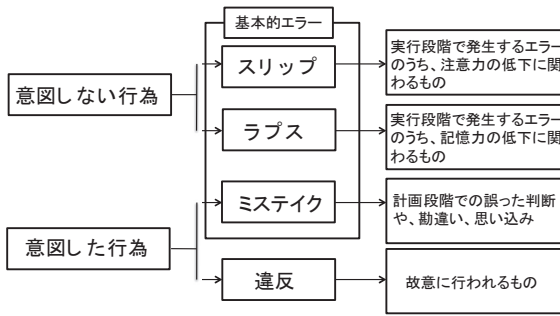


図1 ヒューマンエラーと意図的な不安全行動

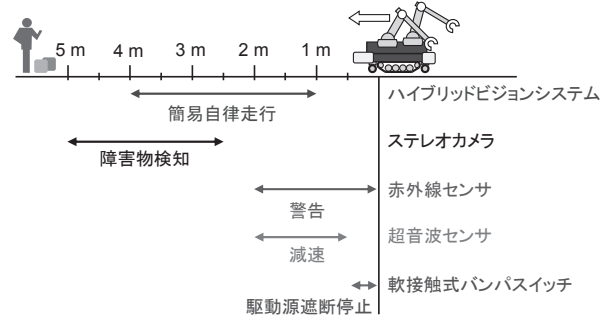


図2 施工作業用ロボットにおける衝突防止のための安全機能とセンシングデバイスの検出範囲<sup>5)</sup>

表1 自律移動型施工作業用ロボットの防護階層<sup>3)</sup>

階層	名称	衝突	挟圧
第1層	安全作業設計	軽量化・速度制限	小型アクチュエータ採用、挟圧部分除去
第2層	タスク維持システム	早期障害検知、衝突回避性能向上、最適経路計画	力監視と制御、人の動作・意思の確認
第3層	介入要求システム	警告（音・光・音声）、手順・管理の整備	イネーブル装置、手順管理の整備
第4層	インターロックシステム	近接センサ・接触センサ+駆動源遮断停止	力センサ・モータ電流センサ・制御偏差診断+駆動源遮断停止
第5層	物理的消散	摩擦ブレーキ、回生ブレーキ	トルクリミッタ
第6層	物理的緩和	緩衝バンパー、ソフトカバー、個人用保護具	個人用保護具
第7層	緊急対応計画	救命救急体制の整備	

スリップ)と、主に記憶に関わるエラーであるラプスがある。また、意図した行為には、実行の計画段階で発生するミステイクがあり、また狭義のヒューマンエラーには含まれないが、労働災害の発生原因として多くを占める故意に行われる違反行為がある。本研究で提案する支援的保護システムとは、既に現場で採用している安全管理手法（教育、訓練を含む）に加えて、主に、作業の実行段階で発生するエラーである“スリップ”が原因となる災害発生を抑制することを目的として現場で実施するリスク低減方策である。

#### 4 独立防護階層の概念を応用した建設機械の安全防護<sup>3)</sup>

近年、検討されている支援的保護システムには、無線測位技術やタグ技術を用いて人の属性（資格等）や作業環境内での人の位置情報を把握し、オペレータや周囲作業者に警告を行うものがある<sup>4)</sup>。しかし、産業用機械で標準化されたリスク低減プロセスは、隔離と停止に基づく方策が中心であるために、このような方策の有効性を適切に評価できていない。

この問題に関し、筆者らは既に、建設現場での共存型ロボットに対して、大規模プラントの安全設計思想として知られている独立防護階層（Independent Protection Layers：以下 IPL）の考え方に基づいた、安全防護の階層化を提案している<sup>5)</sup>。本研究では、これを基にして、人が運転し操作をする建設機械（ドラグ・ショベル）の一部に人が激突・挟まれる災害を対象に、実現場における安全性と生産性の両立を図れる建設機械の階層的な安全防護を提案する。

#### 1) 建設機械と人との接触に対する安全防護

表1に、自律移動型の施工作業用ロボットにおける、IPLに基づいた安全防護の内容を示す<sup>6)</sup>。ここで IPL とは、化学プロセス分野で提唱されている設計思想であり、「対象危険源が危険事象として発現して拡大する時間順にリスク低減方策を階層的に配置し、より早期の防護階層から独立して機能させて、システム全体としてリスク低減を図る」ものである<sup>6)</sup>。図2に、表1での人とロボットとの衝突防護のための各階層の機能を図示する。

ただし、ロボットと建設機械とでは、講じられる安全対策/管理対策の内容が大きく異なり、表1の各階層の分類を直接的に適用することは困難である。そこで、動作中の機械の一部に人が衝突・挟まれる災害を対象とした工学的/人的対策について、対象とする対策間で互いの独立性が自然に確保されることを意図し、IPLの基本である①「対策が機能する時間的前後関係」に、②「対策が機能した際に目的とするタスク遂行に与える影響の大きさ」及び③「リスク低減のための機能・操作を実行する主体」を加えた3つの側面から、対策を表2のように分類することを新たに提案する。

現行の国際安全規格 ISO12100:2010（Safety of machinery – General principle for design – Risk assessment and risk reduction）では機械システムのリスク低減方法として隔離と停止に基づく方策しか考慮されていない<sup>7)</sup>のに対し、表2の階層的な安全防護に従えば、制御による正常運転状態の維持/人間の行う修正動作/被害を緩和吸収する物理的手段といった多様な方策を体系的に扱えることが可能となる。

表2 人が運転操作する建設機械の防護階層<sup>3)</sup>

階層	名称	概要	対策の例
第1層	安全作業設計	基本的な作業計画、タスク設定、人員の条件など、タスク実行の前提となる対策。タスク遂行には当然影響しない。リスク低減の主体は、機械／運転者／周囲作業者を問わない。	<ul style="list-style-type: none"> <li>狭小旋回など使用機械の設計による危険源の除去</li> <li>運転者の技能認証（資格）／周囲作業者のKYT</li> <li>作業方法、手順、経路の整備</li> <li>立入禁止措置、歩車分離など作業環境での管理対策</li> </ul>
第2層	タスク維持方策	タスク実行中に実行されるが、タスク遂行には一切影響しない対策。周囲作業者の活動がリスク低減の主体になる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>周囲作業者の指差呼称、回避行動</li> <li>監視人による危険区域侵入管理</li> <li>警報アラームに基づく周囲作業者の回避行動</li> </ul>
第3層	回避操作方策	タスク実行中に実行される、運転者が主体となって実行される対策。タスク遂行に一部望ましくない影響が及ぶ。	<ul style="list-style-type: none"> <li>周囲作業者の接近検知による警報に基づく機械の一時停止操作や回避操作（支援的保護システム）</li> <li>死角での周囲作業者の存在検知による警報に基づく機械の一時停止操作や回避操作（支援的保護システム）</li> </ul>
第4層	緊急停止システム	タスク実行中に実行される、運転者は関与しない、安全関連システムによる自動的な緊急停止。タスク遂行は放棄する。	<ul style="list-style-type: none"> <li>接近検知／接触検知に基づく自動的な緊急停止システム</li> </ul>
第5層	機械側危害緩和手段	危険事象発生後に機能する、機械の側に設ける危害を回避または緩和する手段	<ul style="list-style-type: none"> <li>バンパーなど衝撃吸収手段</li> <li>被災者脱出装置</li> </ul>
第6層	人的危害緩和手段	危険事象発生後に機能する、環境や周辺作業者に設ける危害を回避または緩和する手段	<ul style="list-style-type: none"> <li>作業環境内への衝撃吸収マットの配置</li> <li>個人用保護具の装備</li> </ul>
第7層	緊急対応計画	危害発生後に実施される組織的活動	<ul style="list-style-type: none"> <li>救急救命体制の整備</li> </ul>

2) 支援的保護システムの位置づけとリスク低減効果の評価

本研究が提案する支援的保護システムとは、表2の第2層：タスク維持方策（周囲作業者による早期の危険回避）と第3層：回避操作方策（機械のオペレータによる危険回避）に位置づけられ、危険を回避する行動を人に促すことを目的とする。これより、支援的保護システムを使用した際に、人が危険を回避できる可能性が向上すれば、第2層および第3層の方策は、リスク低減効果があると評価できる。

5 開発した支援的保護システムの実験的検証

1) 建設機械用遠隔非常警報装置

建設機械（ドラグ・ショベル）による掘削作業中はかなりの騒音環境下にあるため、アンケート結果からも分かるようにオペレータは誘導員や周囲作業者の声を直接聞き取るとは困難な場合がある。また、直接、周囲作業者の位置の把握も困難な場合がある。このため、遠隔で危険情報を伝達できる非常警報装置を開発し、誘導員や周囲作業者からの危険情報を確実にオペレータに伝達できるシステムを開発した。図3は開発した建設機械用遠隔非常警報装置である。

本装置は、発信機からの非常警報の信号のみを受信機側に伝達するので、音声通信の伝達を主目的とするBluetoothや大容量のデータを送受信するためのWiFiではなく、ZigBee（2.4GHz帯のXBeeモジュール使用）の通信プロトコルを用いた無線方式を採用している。

本装置の基本性能は以下のとおりである。

- ① 発信機側（人が操作する端末3台）の各々に、ドラグ・ショベルの誘導員および周囲作業者による操作を目的とした非常警報ボタンを設置する。
- ② 非常警報ボタンの操作の有無を対応するフラグにセットした上で、発信機側の各々から所定の周期で定期的に電波を発信させる。

- ③ Zigbeeのネットワークを利用して、非常警報ボタンの操作状態に関するフラグを受信機側で検出する。
- ④ 非常警報ボタンのいずれかが押されていることを検出したときは、受信機側で警報（アラーム）を鳴らすとともに、赤色のLEDを点滅させる。またその際、受信機に接続したモニタに非常警報装置の操作の有無を表示する（各発信機の識別）。
- ⑤ 受信機側に電波が到達しなくなった場合、または発信機側の電池切れなどによって発信機が正常に作動しない場合は、機器の異常を示すフラグを受信機側にセットする（システムの異常検出）。
- ⑥ 各送信機から発信される電波の相互干渉を避けるために、電波の発生タイミングをずらしながら、自動的に適切な周波数を検索し調整する機能をもつ。
- ⑦ 発信機側の電池の消耗を押さえるために、電波を発信している時以外は、発信機をスリープさせる機能をもつ。

2) 建設機械用全周囲監視カメラシステム

(1) 全周囲カメラによる作業監視領域の設定に関する予備実験

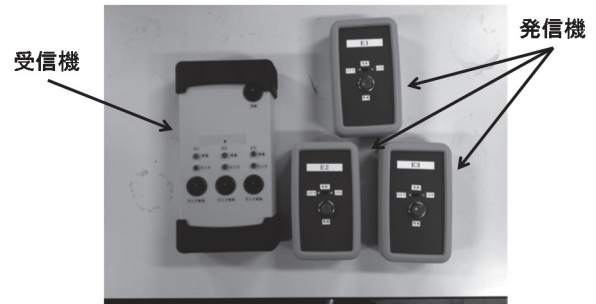


図3 開発した建設機械用遠隔非常警報装置

建設機械の周辺で作業者が作業を行う場合、オペレータや誘導員は周囲の状況全てを直接視覚により確認することは難しい。このため、周囲作業者がオペレータの死

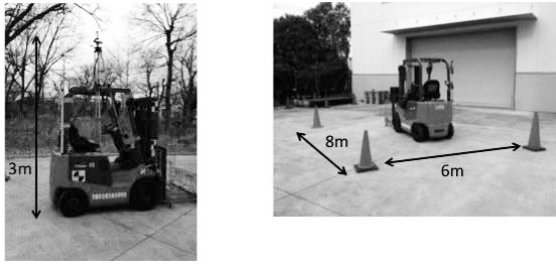


図4 全周囲カメラによる作業領域の確認実験

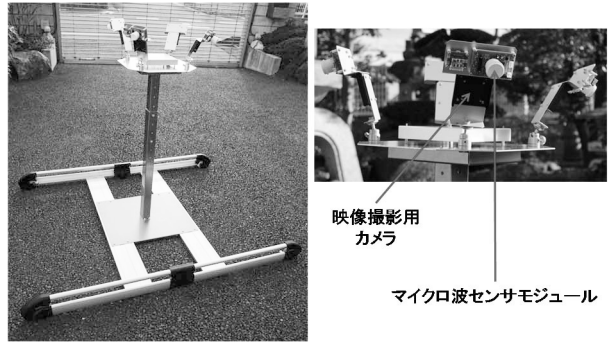


図6 開発した建設機械用全周囲監視カメラシステム

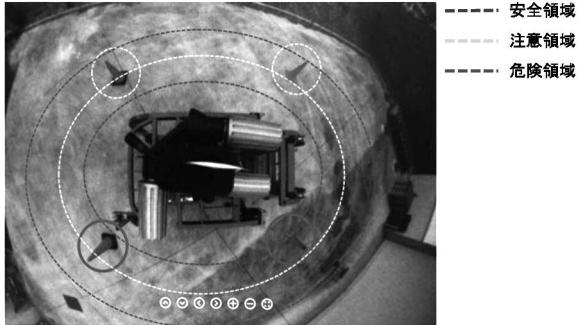


図5 オペレータから見た監視領域

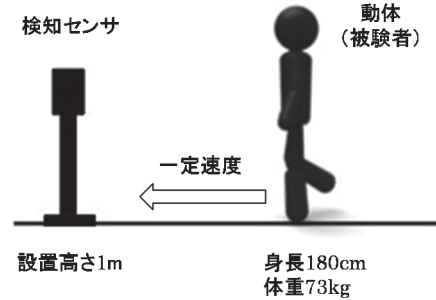


図7 動体検知予備実験の概要

角で作業を行っていた場合、それに気が付かず建設機械との接触による労働災害が発生する可能性がある。そこで、オペレータや誘導員が掘削作業の実行時に周囲作業者の接近確認を怠った場合に警報を鳴らして注意を与えるシステムを開発するための予備実験を行った<sup>4)</sup>。

この実験では、フォークリフトのキャビン上部に全周囲カメラ(RICOH THEA 360 度全地球イメージ撮影デバイス)を設置し、キャビンの周囲に人が進入したことを確実に監視できるか検証した。その結果、対象となるフォークリフトの周囲 360 度を安全領域、注意領域、危険領域として監視できることが確認できた。図4は、全周囲カメラによる作業領域の確認実験風景である。図5は、フォークリフトのキャビン上部から見た作業監視領域の様子である。

なお、開発したシステムは、仮にオペレータが警報に気がつかずに作業者が監視領域から危険領域へ進入した場合には、建設機械を非常停止させることができる階層インターロックの構成を採用することにより、IPL 第4層の緊急停止システムにも対応できる可能性がある。ただし、今回はあくまでも IPL 第2層および第3層でのリスク回避を目的とした構成とした。

## (2) マイクロ波を用いた動体検知センサシステム

次に、周囲作業者が建設機械の作業半径に近づいたことを検知して、建設機械のオペレータと周囲作業者、また誘導員に警報を伝える動体検知センサシステムを開発した(図6参照)。このシステムは、マイクロ波発信機と受信機から構成され、特定の周波数(24.2GHz, kバンド)のマイクロ波(アクティブタイプ)を対象物に向けて発射し、その散乱反射波を受信し、対象物の検知を行うものである。マイクロ波は、周囲の騒音、照度、熱源等の

環境条件の影響、また、非検知体の色(反射率)の影響を受けないことに特長がある。このため、屋外作業を対象とした熱源を持つ建設機械に取り付けるセンサシステムとして最適と考えた。

### (a) 予備実験

図7は、マイクロ波のドップラーモジュールを使った動体検知予備実験の概要である。この予備実験の計測条件は以下のとおりである。

○気温: 8℃

○検知対象および動作: 身長 180cm, 体重 73kg の作業者が動体検知センサに向かって一定速度で接近する。

○センサの設置位置: 地面からマイクロ波センサモジュールの中心まで 1m の高さにアンテナを水平に設置。

開発した動体検知センサシステムを使用した予備実験から、検知可能速度の範囲は、0.25~1.0m/s、最大検知距離は 10.4m、検知可能角度は最大検知距離に対して±45度であることが確認できた。

### (b) 実証実験

上記のマイクロ波を用いたドップラーセンサモジュールと投影用カメラを4セット搭載した動体検知センサシステムを建設機械(HITACHI ZX135US-5B)のキャビン上部に設置し、4方向から建設機械の作業半径に向かって近づいたときと周囲を歩いたときの検知特性実験を行った。図8および図9に実験の様子を示す。

このシステムのモニタは通常1画面に4方向の映像が投影されているが、移動してくる作業者を検知すると、その方向の映像と番号がズームアップされ、警報(日本語による注意喚起を標準とし、英語、中国語、韓国語にも対応)が鳴ってオペレータに危険情報を伝達する。こ



図 8 実証実験の様子



図 9 実証実験におけるモニタ画面

の映像を投影するシステムは、図 10 に示すようなガラスモニタにも投影することができる。オペレータがガラスモニタを使用すれば、音声と画像の両方で危険情報を伝達することができるため、オペレータが掘削ポイントに視線を集中していても、聴覚または視覚のどちらかが、危険情報に気づく確率が上がる。このため、種類の異なる手段を複数併用して情報伝達の信頼性を向上させる、異種冗長化が可能となる。なお今回の実験では、監視領域をドップラーモジュールから 10m 以内に設定した。

実証実験方法としては、建設機械の掘削作業中を模擬して、方向 1~4 において、動体検知センサシステムか

ら直角の方向 20m の位置を基点に約 1.0m/s で近づいたとき、動体検知センサシステムから 10m の位置を右回りに一周した時の検知特性を確認した(図 11 参照)。表 3 に、各方向に対して 5 回作業半径内に侵入する実験により確認された 4 方向に対する検知距離を示す。

また、追加実験として、物と人との識別の可能性について評価を行うために、動体を検知するドップラーセンサに加えて、熱を検知する赤外線センサ(フレネルレンズ(AK-FL1)、視野角:2.5 度、視野距離:最大 30m)を併用して実験を行った。その結果、図 12 に示すように、熱源を持つ動体を検知した時に、それぞれのセンサ

の信号が AND となるため、動体が熱源を持つ場合と持たない場合の識別が可能となることが分かった。

検討を行った。想定した作業は、建設機械による掘削作業中、バケットを旋回中および建設機械を移動中の3種



図 10 グラスモニタ

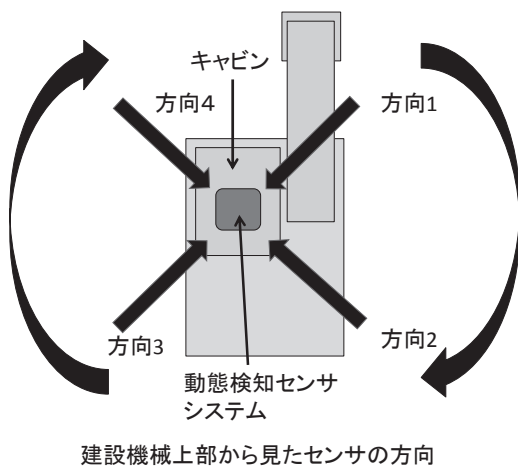


図 11 動体検知センサシステムの検知特性実験

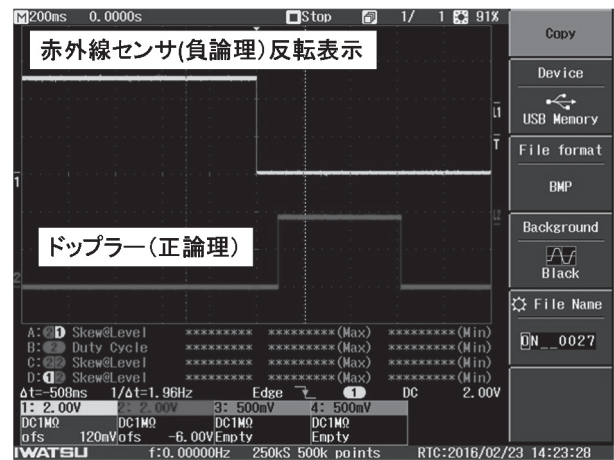


図 12 熱源をもつ動体を検知したときのセンサ信号

表 3 4方向に対する検知距離の実証実験の結果

	カメラが切り替わったことをオペレータが把握できた距離 (検知距離 10m)		
	最小値[m]	最大値[m]	5回の計測値の平均値[m]
方向 1	8.92	10.87	9.96
方向 2	9.78	10.32	10.20
方向 3	9.86	10.81	10.22
方向 4	9.78	10.34	9.95

今回の実証実験では、建設機械のオペレータが掘削作業に専念しているときに、周囲作業者が誤って建設機械の作業半径内に進入したことを想定して、警報を鳴らすとともに、モニタ上に画像を表示し、オペレータがその危険行為を把握できることを確認した。表 3 に、各方向で 5 回ずつの作業半径進入を模擬した実験を行い、オペレータが危険を把握できた時の計測距離を示す。

今後は、赤外線センサ、ドップラーセンサ、画像識別センサを併用して、人と物との識別情報を高い精度で確認できる人体識別センサを開発する予定でいる。

## 6 リスク低減効果に関する考察

建設機械による掘削作業中のリスク (接触事故) に対して、今回開発した支援的保護システムを適用することにより、どの程度のリスク低減が期待できるかについて

類の作業とし、それぞれの作業に対して、オペレータと誘導員を 1 人ずつ配置した場合を想定した。

表 4 に今回実施したリスクアセスメントに関するリスク要素と点数の関係を示す。また、表 5 に危険度と合計点数とリスクレベルの関係を示す。

今回のリスク評価方法は加算法を用い、表 6 に示す「重篤度」、「災害発生の可能性」、「暴露頻度」および「危険回避の可能性」の 4 つのリスク要素を対象に評価を行った。その結果、掘削中、土砂の搬送中 (旋回中)、及び移動中に対する初期リスクは表 6 に示すように合計点が 32~34 点となり表 5 の関係から初期のリスクレベルは全て「レベル 4」となった。これらのリスクに対して、既存の対策としては建設機械周辺に配置された誘導員の監視により周囲作業者が建設機械の作業半径内に進入した場合にオペレータや周囲作業者に注意を促して接触事

表 4 リスク要素と点数

重篤度	点数	発生の可能性	点数	暴露頻度	点数	危険回避の可能性	点数
致命傷	10	可能性が非常に高い	10	頻度が高い	6	回避不可能	10
重傷	6	可能性が高い	8	頻度が低い	4	たまたま回避できる	8
軽傷	3	可能性がある	4	たまたま近づく	2	多くは回避できる	4
微傷	1	可能性が低い	1	ほとんどない	1	ほとんど回避できる	1

表 5 危険度と合計点数とリスクレベルの関係

危険度	合計点数	リスクレベル
重度の危険	28~36	レベル 4
高度の危険	12~27	レベル 3
中度の危険	6~11	レベル 2
低度の危険	4~ 6	レベル 1

表 6 開発したセンサシステムのリスクアセスメント結果

掘削作業の内容	リスクの内容	重篤度	発生の可能性	暴露頻度	回避の可能性	合計点	リスクレベル	既存の対策	重篤度	発生の可能性	暴露頻度	回避の可能性	合計点	リスクレベル	支援的保護システム導入		重篤度	発生の可能性	暴露頻度	回避の可能性	合計点	リスクレベル
															重篤度	発生可能性						
掘削中	地面を掘削している時に周辺作業員が作業半径内に侵入し、バケットに激突する	10	10	4	10	34	4	誘導員により周辺作業員の監視を行う、オペレータは注意して掘削作業を行う	10	10	4	8	32	4	全周囲監視システムを導入する	10	10	4	1	25	3	
旋回中	掘削した土砂を旋回移動する時に、周辺作業員が作業半径内に侵入し、バケットに激突する	10	10	4	10	34	4	誘導員により周辺作業員の監視を行う、オペレータは注意して掘削作業を行う	10	10	4	8	32	4	全周囲監視システムを導入する	10	10	4	1	25	3	
移動中	掘削場所を移動中に、周辺作業員が建設車両の直前を横切ろうとして激突する	10	8	4	10	32	4	誘導員により周辺作業員の監視を行う、オペレータは注意して掘削作業を行う	10	8	4	8	30	4	全周囲監視システムを導入する	10	8	4	1	23	3	

故を防止することになる。しかし、この対策では人の注意力に大きく依存することから、あらかじめ想定されるヒューマンエラーを考慮した場合は回避の可能性に関する値が8となりリスクレベルは初期リスクと同様の「レベル 4」のままという評価となる。

そこで、今回開発した支援的保護システムを採用すると、仮に周囲作業員が誘導員の死角にいる場合や、周囲作業員が建設機械の作業半径に進入したことを見逃した場合にも、直接危険情報を建設機械のオペレータに伝達することができるため、接触事故を回避できる可能性が大きく高まることになる。また、支援的保護システムによる危険情報を周囲作業員に伝達することにより、速やかに建設機械の作業半径から離脱することができれば、掘削作業に影響を与えることなく接触災害を防ぐことが

期待できる（安全性と生産性の両立）。これらの内容を評価するとリスク要素の合計点は 25 点となりリスクレベルは「レベル 3」に低減されるとの評価結果が得られた。

## 7 おわりに

本研究では、建設機械（ドラグ・ショベル）と周囲作業員との接触による災害を防止するために、マイクロ波を用いたドップラーセンサと赤外線センサを組み合わせた動体検知センサシステムを開発して、実機による検証実験を行った。以下にその結果を述べる。

1) 建設作業現場で実施されている安全管理体制の下で災害事例を調査した結果、人の注意力に大きく依存する安全管理体制にも限界があることが示唆された。そこで、

本研究では支援的保護システムという新たなリスク低減方を独立防護階層に基づいた考え方から提案した。

2) ZigBee (2.4GHz XBee モジュール使用) の通信プロトコルを用いた無線式の建設機械用遠隔非常警報装置を開発して、オペレータ・周囲作業員・誘導員間での危険情報を適切に伝達できることを確認した。

3) マイクロ波を用いたドップラーセンサと赤外線センサを併用した動体検知センサシステムを開発して、建設機械(ドラグ・ショベル)の周辺に設定した作業半径内に進入してくる作業員の存在検知が可能であることを確認した。また、その危険情報を画像と音声を使って伝達することにより、オペレータが作業に集中している時でも確実に危険情報を認識できることを確認した。

4) 建設機械(ドラグ・ショベル)の作業(掘削作業、旋回作業、移動作業)において、既存の人の注意力のみに依存する安全管理と、開発した動体検知センサシステムを併用した安全管理体制とのリスク評価を行い、開発した動体検知システムを併用した安全管理体制の方がより高いリスク低減効果が期待できることを確認した。

5) 建設現場では、人と機械の作業範囲を物理的に分離することが困難であるため、共通の作業範囲内で協調しながら作業を行うための安全管理体制が不可欠となる。そのため、既存の安全管理体制を維持しながら、さらに今回提案した支援的保護システムを併用したリスク低減方策の導入により建設現場に存在する残留リスクを適切に低減することを提案する。

## 参 考 文 献

- 1) 清水尚憲.支援的保護装置の考え方と適用例.機械・設備のリスク低減技術.2013.pp105-117.日本規格協会
- 2) 清水尚憲,梅崎重夫他,支援的保護システム,特願 2013-204042
- 3) 濱島京子,齋藤剛,清水尚憲(2016),独立防護層の概念を応用した建設用機械の安全防護,安全工学シンポジウム 2016,講演予稿集,pp.298-299.
- 4) 清水尚憲,岡部康平,梅崎重夫,フォークリフトを対象とした支援的保護システムのリスク低減方策に関する一考察,計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会,2014,CD-ROM
- 5) T.SAITO, H.IKEDA (2003) STRATIFIED SAFETY CONTROL SYSTEM OF COOPERATIVE WORKING ROBOT WITH HUMAN WORKER. 3rd Int. Conf. SIAS 2003 Proc. pp.2-71 - 2-76.
- 6) 池田博康,清水尚憲,齋藤剛,呂健,大西成紀(2002),建設用ロボットのリスク低減プロセスと安全設計手法の検討,産業安全研究所特別研究報告,NIIS-SRR-No.26,p46,産業安全研究所
- 7) ISO「機械安全」国際規格,向殿政男監修,日本機械工業連合会編,日刊工業新聞社(1999). p68