

行政情報

建設機械の安全装置に関する技術 (NETIS テーマ設定型) の取り組み

能 登 眞 澄

近畿地方整備局では「公共工事における新技術活用システム (NETIS)」におけるテーマ設定型 (技術公募) の活用方式により、「建設機械の安全装置に関する技術」の技術テーマを取り組んでいるところであり、現在までに「ドラグ・ショベル」及び「ローラ (ロードローラ)」の技術比較表を公表した。現在は「ブルドーザ」「ホイールローダ (トラクターショベル)」に適用する技術の技術比較表を作成のため、現場実証試験を実施中である。本稿では、建設機械の物体検知及び衝突リスク低減に関する技術についてのリクワイヤメント設定、試験方法設定、現場実証試験及び技術比較表作成等について紹介する。

キーワード：建設機械、リスク低減、テーマ設定型、リクワイヤメント、技術公募、現場実証、技術比較表

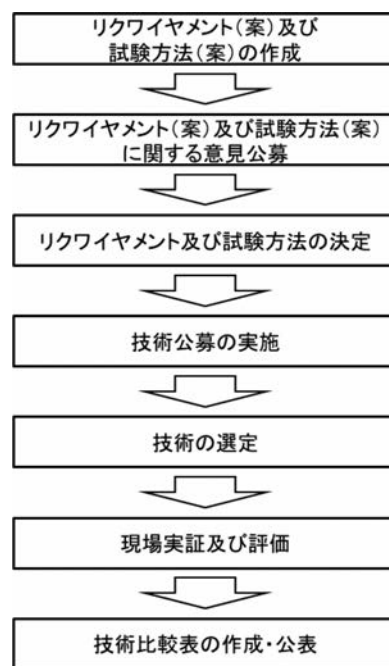
1. はじめに

公共工事における新技術の活用については、比較検討が困難などの理由により現場で活用されていないケースが見受けられる。これらは、評価項目や方法が開発者毎にばらつきがあり、使用目的にあった最適な新技術を選定することが難しく、比較検討のための評価項目・方法の統一が課題となっているからである。これらのばらつきへの対応として、国土交通省ではNETIS テーマ設定型を活用し、現場ニーズや行政ニーズを踏まえ設定した技術テーマについて、技術公募し、統一した評価項目・方法で試験し比較表を作成することで、現場での技術選定が可能となる新技術の活用促進に取り組んでいる。

今回、テーマ設定型として「建設機械の安全装置に関する技術」を技術テーマとした新技術活用促進に取り組んでいるので紹介を行う。

2. テーマ設定型について

テーマ設定型は「公共工事における新技術活用システム」に基づき、技術テーマに関してのリクワイヤメント・試験方法の作成、技術の公募、現場実証試験及び評価、技術比較表の作成・公表を行うものである (図一1)。その公表した「技術比較表」を発注者・施工者が工法選定等において利用することで最適な技術の選定に役立て、工事で技術活用を行うことで新技術活用を促進するものである。より実現場に即した技術比



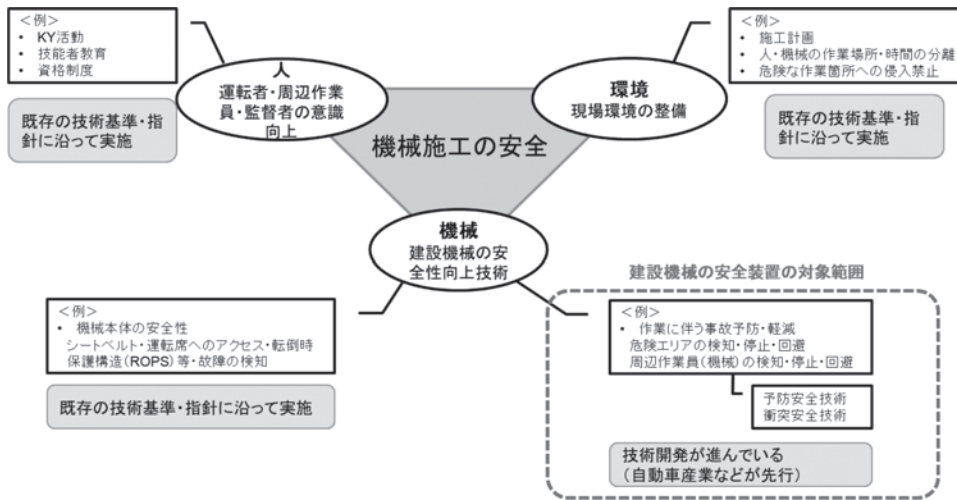
図一1 テーマ設定型の取組フロー

較表とするため、リクワイヤメント (評価指標、要求水準、試験方法等) の設定、現場実証試験及び評価が重要となる。これらの項目については有識者会議での審議や一般への意見公募を行い決定することになっている。

3. 技術テーマにおける評価対象範囲の設定

(1) 技術テーマの位置付けの整理

建設機械施工における安全確保は、多様な現場環境



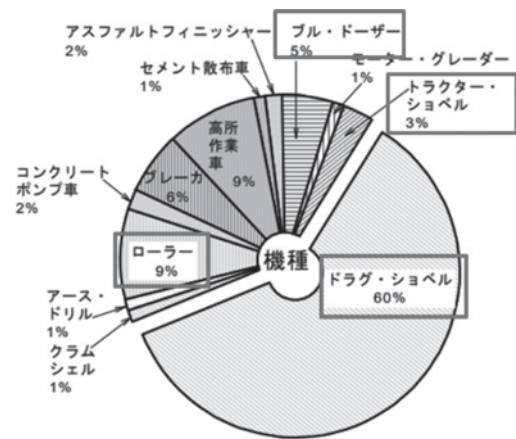
図一 2 安全装置の対象範囲

や作業種別，オープンな作業範囲といった建設作業の特徴を踏まえ，「人・機械・環境」といった多方面から複合的な視点での整理が必要である（図一2）。今回の技術テーマが「建設機械の安全装置に関する技術」であることから，建設機械における安全性向上技術を活用した「建設機械作業における事故防止・軽減を支援する技術」として位置付けた。

「建設機械の安全装置」については，建設機械本体からの安全性向上に向けた取組みのうち，「建設機械作業の実施に伴う事故防止・軽減を支援する技術」という範囲に着目し検討を行った。

(2) 対象とする機種及び事故低減機能

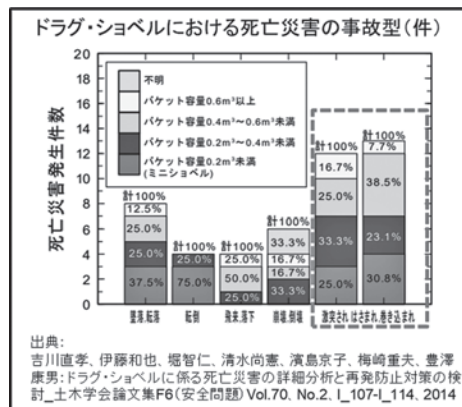
建設機械作業による事故件数とその要因において，建設機械等の死亡事故の機種は，ドラグ・ショベル（バックホウ等のベースとなる機械の呼称）が60%で最も多く，2番目に多い機種として，ローラ，高所作業車がそれぞれ9%，ブルドーザ5%，トラクターショベル3%との報告がある（図一3）。最も死亡事故が多い機種であるドラグ・ショベルにて多い事故の型を



出典：吉川直孝、伊藤和也、堀智仁、清水尚憲、濱島京子、梅崎重夫、豊澤康男：ドラグ・ショベルに係る死亡災害の詳細分析と再発防止対策の検討_土木学会論文集F6(安全問題)Vol.70、No.2、L_107-I_114、2014

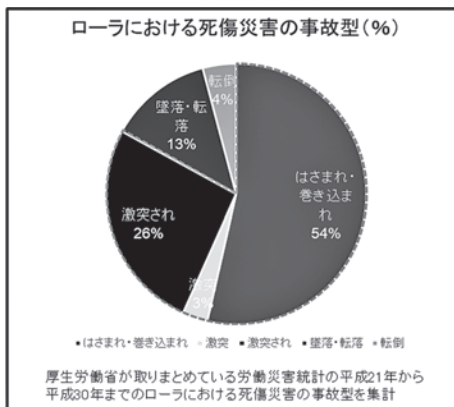
図一 3 建設機械等による死亡災害の機種ごとの割合

みると，「はさまれ・巻き込まれ」，「激突され」が多くを占めている（図一4）。これらの建設機械に関する死亡事故が多い理由としては，同じ現場内で建設機械と人が作業を行うことが多いこと，また，作業が同時期に輻輳する作業があることが要因として考えられる。



出典：吉川直孝、伊藤和也、堀智仁、清水尚憲、濱島京子、梅崎重夫、豊澤康男：ドラグ・ショベルに係る死亡災害の詳細分析と再発防止対策の検討_土木学会論文集F6(安全問題)Vol.70、No.2、L_107-I_114、2014

図一 4 対象機種の事故型



厚生労働省が取りまとめている労働災害統計の平成21年から平成30年までのローラにおける死傷災害の事故型を集計

これらのことから、対象機械を「ドラグ・ショベル」「ローラ」「ブルドーザ」「ホイールローダ（トラクターショベル）」とし、対象事故については建設機械と周辺作業員で生じる「はさまれ・巻き込まれ」及び「激突され」の事故発生の低減を技術に求めるものとした。この技術は建設機械周辺に事故要因となる人・物が存在する場合に機械運転者への警告あるいは建設機械の減速・停止を行うことで機能を発揮するものとした。技術比較表の作成については、事故発生が多い「ドラグ・ショベル」「ローラ」を先に行い、その後に「ブルドーザ」「ホイールローダ」を行うものとした。

4. リクワイヤメントの設定

(1) 既存技術の調査

建設機械と周辺作業員との事故防止・軽減を今回の技術テーマの対象とすることから、周辺作業員が建設機械の可動範囲に近づいた際に機械運転者に対し、注意喚起や操作・動作介入を行う安全装置について整理した。

既存の安全装置における検知方法は、IC タグ等を取り付けた作業員を検知する方法、カメラやレーザーセンサなどで障害物・周辺作業員を検知する方法の大きく2つに分類できる。

IC タグの検知技術は、物体を特定したい場合に有効となるが、検知するためにはタグを持つことが必須となる。カメラやレーザーでの検知技術は、タグを所持していなくても、センサ認識条件（レーザー設置高さや距離等）に該当する物体は全て検知することが可能となる。既に多くの技術があり、近年は各種センサを組み合わせ、物体を特定（人の識別）する技術が増加している。

(2) 施工者へのヒアリング

施工者の視点から建設機械における安全装置に関する要望や意見を確認するためにゼネコン2社にヒアリングを実施し、主な意見は以下のとおりである。

- ・バックホウ、ローラの事故が多いと認識している
- ・バックホウの動き始めの事故が多い
- ・人と物を別々に認識できなければ狭隘な施工箇所や人以外の障害物が常時存在する現場では効率的に作業できない
- ・現場においてしゃがんでいる人の事故率が高く検知が難しい
- ・大きい現場では人数が多く、持ち帰られる可能性があることからIC タグを全員に渡す事は難しい

これらのヒアリングの意見を受けて、ユースケースを機械の始動時に設定した。また、リクワイヤメントの項目に機械との接触の可能性がある範囲に周辺作業員がいる場合に、それを検知し警告する機能や、動き出さない機能、人を識別する機能を反映させることとした。

(3) リクワイヤメント及び試験方法に関する意見公募

作成したリクワイヤメント及び試験方法の案について、有識者会議で審議していただき、指摘事項を踏まえた修正案を作成し意見公募を行った。意見公募は国土交通省 HP 及び近畿地方整備局 HP にて報道発表し、15社から意見があった。主な意見としては、「建設現場は多様な条件がある中、今回の試験方法では安全装置の性能の判断はできない」「安全装置」という表現では誤った認識を与えてしまう。「衝突を低減する運転操作補助装置」と表現することが望ましい」「開発業者が多様な現場条件を考慮しニーズを分析した検知領域を設定していることから検知領域を指定するのは現場ニーズを考慮した技術開発を阻害する可能性がある」などがあった。

これらの意見を受けて、技術テーマ「建設機械に関する安全装置」の副題として「建設機械の物体検知及び衝突リスク低減に関する技術」を設定した。また、開発業者の考える開発コンセプトやユーザーのニーズを阻害しないよう評価領域は定めず、開発業者が設定する物体・人を検知し、衝突リスクの低減機能の提供領域を確認する試験方法に修正した。

修正したリクワイヤメント及び試験方法は有識者会議の確認、i-Construction 施工推進本部「安全施工WG」(2020年度第2回)にて業団体への説明を行い、意見公募結果に対する回答とともに、リクワイヤメント、試験方法及び評価方法を国土交通省 HP 及び近畿地方整備局 HP 等にて一般に公表した。

(4) リクワイヤメント及び試験方法

一般に公表したリクワイヤメント及び試験方法は以下のとおりである。

(a) 基本機能に対する評価

建設機械の作業の開始時または再開時において、物体と人と建設機械の衝突危険性がある場合に、警告または建設機械停止できる技術を4ついずれかに区分に分け評価することとした。

- ①物体検知+警告機能
- ②物体検知+人の識別+警告機能

- ③物体検知+警告機能+衝突リスク低減機能
- ④物体検知+人の識別+警告機能+衝突リスク低減機能

(b) 姿勢による検知面積の評価

各社が設定している基本機能の提供領域を評価範囲として設定し、被検体は人の直立姿勢と屈み姿勢の両姿勢を用いて危険検知領域を測定した。

試験方法は、ドラグ・ショベルは建設機械の旋回中心、ローラ、ブルドーザ、ホイールローダの場合は建設機械の中心に正対となるように50cm間隔のグリッドを設定し、そのグリッド毎に静止させた被検体として直立姿勢の人形体、屈み姿勢の人形体を置き、機能提供領域全てのグリッドで検知の有無を実施した。確実に検知することを確認するため、確認は2回実施し2回とも検知で検知ありとした。試験結果は直立姿勢の検知領域図、屈み姿勢の検知領域図と、直立姿勢と屈み姿勢の両方の検知領域図の3種類の検知領域図で整理をした。

(c) 人(人形体)の識別率の評価

被検体は非人形体(人形体と同じ高さの円柱体)を用い、直立姿勢の人形体の検知グリッドにおいて、人形体として識別しないことを確認した。確認は2回実施し、2回とも非人形体を人形体として識別しないグリッドの領域を人識別領域とし、人の識別率を算出した。

- (d) 建設機械の適用機種
建設機の適用機種は死亡事故が多い又は作業現場で多く使用されている以下の規格とした。

- (1) ドラグ・ショベル：バケット 容量山積 0.8 m³ (平積 0.6 m³) 級
- (2) ローラ：タイヤローラ 運転質量 8～20 t 級
- (3) ブルドーザ：10 t 級未満
- (4) ホイールローダ：標準バケット容量(山積)3.6 m³ 未満

以上で説明したリクワイヤメントと試験方法について表-1に示す。

5. 技術公募及び現場実証試験

(1) 技術公募及び公表

ドラグ・ショベル及びローラの技術公募の結果はあわせて14社から18技術の応募があったが、1技術は作業範囲制限機能であり、リクワイヤメントの基本機能には該当しないと判断したため、選定技術はドラグ・ショベル12技術、ローラ5技術となった。選定技術の一覧(令和3年1月8日公表)は表-2のとおりである。また、ブルドーザ及びホイールローダの技術公募の結果は4社から6技術の応募があり、ブルドーザ2技術、ホイールローダ4技術となった。選定技術の一覧表(令和5年3月17日)は表-3のとおりである。

表-1 リクワイヤメント及び試験方法

要求事項		試験(あるいは確認)方法	提出資料	評価
種別	項目			
基本機能※1	①物体検知+警告機能	応募者の申請と、試験時の確認	応募時の申請書類	☆
	②物体検知+人の識別+警告機能	応募者の申請と、試験時の確認	応募時の申請書類	☆+
	③物体検知+警告機能+衝突リスク低減機能	応募者の申請と、試験時の確認	応募時の申請書類	☆☆
	④物体検知+人の識別+警告機能+衝突リスク低減機能	応募者の申請と、試験時の確認	応募時の申請書類	☆☆+
	①～④基本機能提供領域	①～④基本機能提供領域が分かる図を、応募時の申請書類、資料等にて確認する	応募時の申請書類	—
検知面積	直立姿勢検知面積	直立姿勢の人形体を用いた検知面積の測定(500mmグリッド内に人形体を2回設置し、2回とも検知できた場合の面積)	試験結果報告書	面積(m ²)、図示※2
	屈み姿勢検知面積	屈み姿勢の人形体を用いた検知面積の測定(500mmグリッド内に人形体を2回設置し、2回とも検知できた場合の面積)	試験結果報告書	面積(m ²)、図示※2
	直立かつ屈み姿勢検知面積	直立姿勢検知面積の測定結果と屈み姿勢検知面積の測定結果より整理	試験結果報告書	面積(m ²)、図示※2
人の識別率※3	人 [*] の識別率 (※：当該試験では人形体を用いる)	直立姿勢の人形体を用いた検知面積測定の結果、2回とも検知できた被検体設置箇所(グリッド)において、非人形体を設置し検知有無の確認を行う人(人形体)の識別率= (1-非人形体の検知箇所数/人形体直立姿勢検知箇所数)×100(%)	試験結果報告書	数値結果(%)
リスクアセスメント及び残留リスク情報	下記の情報を提示できること 1) 機械の制限に関する仕様 2) 技術の適用によるリスク低減効果の説明 3) 残留リスク情報	1) 機械の制限に関する仕様の指定 ①基本仕様、②使用上の制限、③空間上の制限、④時間上の制限 2) 技術の適用によるリスク低減効果の説明 ①リスク低減を図る危険源 ②応務技術の適用によるリスク低減の効果の説明 3) 残留リスク情報 ①検知後、②非検知後、③誤検知・好ましくない検知後、④その他	応募時の申請書類	提出の有/無 (添付資料として提示)
経済性	初期投資およびメンテナンスの概略費用	応募時の申請書類、資料等にて確認する	応募時の申請書類	参考費用として提示

※1 基本機能の評価における☆の数はあくまで、当該試験及び評価で要求した基本機能の数として設定したものである。
 ※2 検知面積の図示は地表投影面積(m²)である。なお、応募者が申請した基本機能提供領域に対して当該試験の検知面積を評価することはない。
 ※3 人の識別率の評価については、基本機能のうち、物体識別機能(識別対象は人(人形体))を持つ技術対し行うものである。

表一 選定技術（試験実施対象技術）一覧表（令和3年1月8日公表）

取付け機種：ドラグ・ショベル

番号	技術名	NETIS番号
1	ヒヤリハンター（接近検知警報システム）	CG-200009-A
2	衝突低減サポートシステム Type1	今後登録予定
3	衝突低減サポートシステム Type2	今後登録予定
4	衝突軽減システム搭載・お知らせ機能付周囲監視装置 FVM2+（仮）	今後登録予定
5	人検知機能「Cat Detect（仮）」搭載型油圧ショベル	今後登録予定
6	クアトロアイズ	KT-180148-A
7	RFID作業員接近警報装置「IDガードマン」	KT-150103-VE
8	各種センサ方式に対応した重機緊急停止装置	KT-190118-A
9	KomVision	今後登録予定
10	物体検知・動作制限搭載型油圧ショベル	KT-200068-A
11	物体検知・警報機能搭載型ミニショベル	今後登録予定
12	建設機械等接触防止システム「ナクシデント」	今後登録予定

取付け機種：ローラ

番号	技術名	NETIS番号
1	緊急停止装置	KT-180082-A
2	重機の自動制動装置（仮）	今後登録予定
3	超音波式安全装置ミハール	HK-120001-VE
4	緊急ブレーキ装置	HK-180024-A
5	衝突被害軽減アシスト装置搭載の締固機械	今後登録予定

表一 選定技術（試験実施対象技術）一覧表（令和5年3月17日公表）

技術テーマ：「建設機械の安全装置に関する技術」～建設機械の物体検知及び衝突リスク低減に関する技術～

対象機種：ブルドーザ

番号	技術名称	NETIS番号	応募者名
1	重機取付型 セーフティカメラシステム「ドボロコ」	KX-210060-A	株式会社ザクティ
2	建設機械等接触防止システム「ナクシデント」	登録申請手続き中	株式会社カナモト

対象機種：ホイールローダ

番号	技術名称	NETIS番号	応募者名
1	重機取付型 セーフティカメラシステム「ドボロコ」	KX-210060-A	株式会社ザクティ
2	「安全くん（重機用安全補助装置）」用緊急停止装置（仮）	今後登録予定	西尾レントオール株式会社
3	建設機械等接触防止システム「ナクシデント」	登録申請手続き中	株式会社カナモト
4	衝突検知警報システム	今後登録予定	株式会社小松製作所

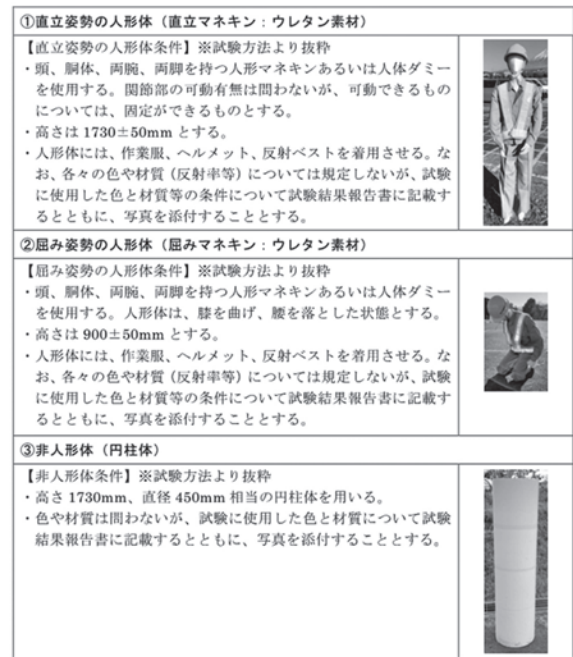
(2) 現場実証試験

現場実証試験は、ヘルメット及び安全ベストを装着した直立姿勢の被検人形体（高さ173cmウレタン素材の直立マネキン）、屈み姿勢の被検人形体（高さ90cmウレタン素材の屈みマネキン）、と被検非人形体（高さ173cm、幅45cm発泡スチロール性の円柱体）を使用し、試験の流れは環境条件の測定（開始時）、被検人形体直立試験（2回）、被検人形体屈み試験（2回）、人の識別試験（2回）、環境条件の測定（終了時）の順に実施した。試験に使用した被検体（図一5）及び試験の流れ（図一6）を示す。50cm間隔のグリッドの全てで検知有無の測定になることから検知確認作業数が非常に多くなったが、詳細な記録が取得できた。

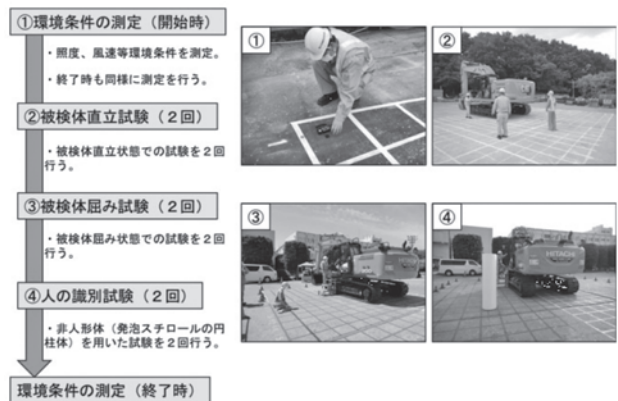
6. 技術比較表の作成・公表

(1) 技術比較表の公表における留意事項

技術比較表には現場実証試験結果に加え、応募者からヒアリングを行い整理した基本情報、基本機能の使用条件や、実施の試験を行った試験条件、試験内容・状況も記載した。これは公表する内容があくまで試験時の条件によるもので、実現場においては建設機械の



図一 5 現場実証試験に使用した被検体



図一 6 現場実証試験の流れ

種類や規格・取り付け位置・取り付け方法、環境状況（逆行・悪天候など）によって変化する。また、リスクアセスメント結果及び残留リスク情報も参考資料として公表しており、現場条件と照らし合わせて適切な安全管理を行うための資料として利用できるようにした。

これらの公表資料は技術評価表をそのまま用いるのではなく参考情報として取扱い、現場の条件や目的に応じて選択できるようにした。

(2) 技術比較表の公表

はじめに技術公募を実施したドラグ・ショベルとローラについて、公表した基本機能毎の技術数は表一4のとおりである。ローラについては建設機械の進行方向に物体があっては作業の障害になることから物体検知のみの機能で人を識別する機能を持つ技術はな

表一 4 基本機能区別技術数

基本機能区分	ドラグ・ショベル	ローラ
①物体検知+警告機能	1技術	1技術
②物体検知+人の識別+警告機能	3技術	
③物体検知+警告機能 +衝突リスク低減機能		4技術
④物体検知+人の識別 +警告機能+衝突リスク低減機能	8技術	

かった。ドラグ・ショベルについては12技術中11技術が人の識別する機能を有していた。

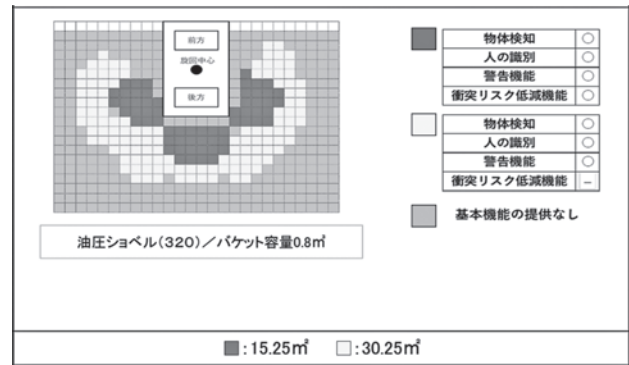
建設機械への安全装置の搭載方法は建設機械製造者が製造段階で搭載する場合と一般の建設機械に後から搭載する場合があります。後から搭載する場合は、型式等により搭載の制限はないが搭載条件を満たせば建設機械全般に取り付けることができる。

物体検知に利用するセンサシステムはカメラによる映像取得や、レーダーセンサ、赤外線センサ、超音波センサによる反射波取得、ICタグの磁気情報の取得などがあつた。人の識別方法ではカメラ方式は画像により識別するもので、作業着やヘルメット等の色が背景と同化しないように調整する技術や、ラーニング機能を持つ技術が見られた。レーダーセンサ方式は安全ベストの反射率の変化から人を識別するものであり安全ベストの着用が必須であつた。

警告機能と衝突リスク機能がある技術は人を検知した場合、機械から比較的離れた領域で警告機能が作動し始め、機械近傍の領域になると衝突リスク低減機能が働くものがほとんどであつた。

検知領域は応募者が設定する領域を示すものであり、領域のひろさが技術の優位を示すものではなく現場条件に応じた選定ができるように、試験結果の検知領域図(図一7)を技術比較表に記載した。

なお、「建設機械の安全装置に関する技術(建設機械作業における事故防止・軽減を支援する技術)」の



図一 7 検知領域図

技術比較表は、NETIS ホームページの「テーマ設定型の比較表」(<https://www.netis.mlit.go.jp/netis/pubtheme/themesettings>)にて公表している。

7. おわりに

現在はドラグ・ショベル、ローラの次に事故が多いブルドーザ、ホイールローダについて、技術比較表の作成に向けての現場実証試験(ブルドーザ2技術、ホイールローダ4技術)を実施しているところであり、今後は技術比較表の公表を行っていく予定である。

今回の技術テーマにおける技術比較表は、建設機械と周辺作業員の衝突リスク軽減技術の参考情報として公表するものであり、それぞれの現場条件にあつた技術の選定支援に活用できるものである。今回取りまとめた技術比較表を多くの方に活用していただき、少しでも事故発生の低減に寄与できればと考える。

JICMA

[筆者紹介]
能登 眞澄(のと ますみ)
国土交通省 近畿地方整備局
企画部 建設専門官