

ヒアリング結果について（クレーン・港湾荷役機械 関係）

【参考】ヒアリング事項等について

第3回専門家検討会では、クレーン・港湾荷役機械を対象に、(一社)日本クレーン協会、(一社)日本建設業連合会、(一社)港湾荷役システム協会からヒアリングを行った。
ヒアリング事項は以下のとおり。

●ヒアリング事項

- 無人運転機械の開発・普及状況
- 無人運転機械が使用され、又は想定されている作業
- 無人運転機械の制御方式や技術水準
- 無人運転機械に関する国際規格・国内規格、各国の規制等の状況や動向
- 以下について、労働災害防止の観点から具体的にどのような措置が必要と考えるか。
 - ・他の機械等との衝突、周辺作業員への接触防止
 - ・運転操作性の確保
 - ・停止時・トラブル時の安全確保
 - ・運転者（操作者）に求められる技能の確保
- 無人運転機械の設計上の制限仕様の具体的内容について
- その他、無人運転機械に関する労働安全衛生法令に対するニーズや課題について

ヒアリング結果（無人運転機械の開発・普及状況）

1. 無人運転機械の開発・普及状況

- タワークレーンは、ゼネコン各社が遠隔運転を試験実証。玉掛け作業は自動化が難しく人が行う。運転士の視野の確保、通信の遅延や遮断などの技術的課題に対応するための要求事項として、日本クレーン協会規格「タワークレーンの遠隔運転実施のための安全確保ガイドライン」を取りまとめた。その後、特定の現場利用を想定した遠隔運転計画案を作成、ガイドラインへの適合を確認する取組を試行。【(一社)日本クレーン協会】
- 遠隔操作は、タワークレーンのシステムが開発され建設現場（建築、土木）で使用、移動式クレーンは開発中。半自動はタワークレーンの工事实証試行の段階。一定位置での往復運転やダム工事での繰り返し作業であるコンクリート運搬で使用。玉掛・玉外し作業や細かい操作については有人での作業。完全自動化は検討中。現状、自動運転の場合でもオペレータによる運転監視。技術進化は加速しており、既存規定と最新技術との乖離が開発現場の障壁。【(一社)日本建設業連合会】
- 自動化コンテナターミナルが、海外では約100か所、日本では名古屋港1箇所に設置。吊り荷のコンテナが標準化されているためRTG※、RMG※などのクレーンの遠隔操作や自動運転、ストラドルキャリア、AGV※などの水平搬送機器の自動運転の導入が進んでいる。【(一社)港湾荷役システム協会】

※ RTG (Rubber Tired Gantry crane), RMG (Rail Mounted Gantry crane) : コンテナの積み上げ等に用いる門型クレーン

AGV (Automated Guided Vehicle) : コンテナを自動で搬送する無人搬送車

ポイント

- クレーンの遠隔運転、自動運転は実証試行の段階。玉掛作業や細かい操作は自動化が難しく人が実施。
- 自動化コンテナターミナルでは、吊り荷のコンテナが標準化されているためクレーンの遠隔操作や自動運転、水平搬送機器の自動運転の導入が進んでいる。

ヒアリング結果（無人運転機械が使用され、又は想定されている作業）

2. 無人運転機械が使用され、又は想定されている作業

- 建築現場の同一敷地内の地上に設置された遠隔運転卓によるタワークレーンの揚重作業を想定。始業前点検はカメラ映像で確認。タワークレーンの設置・クライミング・解体、検査、修理、共づり作業は遠隔では行わない。【(一社)日本クレーン協会】
- 1. 遠隔操作：カメラ映像を見て行う。クレーン作業全般、高所・危険環境下での揚重、複数現場の掛け持ち、夜間や荒天時の対応等を想定。
2. 半自動：システムが特定の動作を支援。定型ルートでの自動搬送、障害物自動回避、インチング（微動）支援等を想定。
3. 完全自動：AIが全ての動作を完結。定型資材の連続揚重・反復作業、夜間・休日の資材整理、複数基の群管理（フリート制御）等を想定。【(一社)日本建設業連合会】
- コンテナを船から積み下ろすSTSクレーン※、ヤードで荷役をするRTGやRMG、コンテナを搬送し積み上げるストラドルキャリア、コンテナを水平搬送するAGVや構内シャーシ等を、遠隔や自動で操作している。【(一社)港湾荷役システム協会】

※ STSクレーン(Ship-to-Shore Crane)：船と岸壁の間でコンテナを荷役をするクレーン

ポイント

- クレーンは、カメラ映像による作業全般（遠隔操作）、定型ルートでの自動搬送等における特定の動作の支援（半自動）、定型資材の連続揚重等におけるAIによる動作（完全自動）を想定。
- 自動化コンテナターミナルは、コンテナの船からの積み下ろしや移動を、クレーン、ストラドルキャリア、AGV等を用いて遠隔や自動で操作している。

ヒアリング結果（無人運転機械の制御方式や技術水準）

3. 無人運転機械の制御方式や技術水準

- 遠隔運転は、遠隔運転卓にコントローラー、非常停止装置、モニター（ジブ先端、クレーン全景、荷取ヤード等）、計器、マイク・スピーカー等を設置。有線通信によるカメラ映像や計器データ、無線通信による合図者の音声に基づき、玉掛け作業や吊り荷の状態を運転者が直接視認せずにカメラを通してタワークレーンを操作。通信はハートビット、ウォッチドックで確認。現地の玉掛合図者は無線マイクと非常停止装置を装着。【(一社)日本クレーン協会】
- 遠隔運転は、日本クレーン協会のガイドラインの要求水準とし、通信監視システム、後方・ドラムの映像の表示、実機と同じ集約計器情報、コックピットのキースイッチによる第三者操作の防止等を導入。最新の制御方式を採用する際、技術水準としてはJIS規格等の国際的な安全基準を準拠。不可能な場合は安全対策や人的対策によるリスクアセスメント管理による運用としている。自動運転ではPCやPLC（プログラマブルロジックコントローラ）による高度な演算が不可欠。構造規格では自動運転は想定されていない。【(一社)日本建設業連合会】
- 自動化コンテナターミナルでは、コンテナの高さや積み上げ形状などのプロフィール機能、コンテナやスロットに到達する直前にスプレッダーを減速し、オペレーターに制御が移り安全に着地させる機能、風速計に基づき、警告、自動シャットダウンする機能を導入。遠隔操作卓に、複数のカメラ、複数のジョイスティック、緊急ストップボタンを光ファイバーケーブルで接続。【(一社)港湾荷役システム協会】

ポイント

- 従来、超高層建築のタワークレーンの運転は、有線通信のカメラ映像や計器データ、無線の音声の合図により操作。
- 自動化コンテナターミナルの遠隔運転、自動運転では、コンテナの高さや積み上げ形状等の状況の分析、到着直前の減速等の機能を導入。

ヒアリング結果

(無人運転機械に関する国際規格・国内規格、各国の規制等の状況や動向)

4. 無人運転機械に関する国際規格・国内規格、各国の規制等の状況や動向

- 厚労省告示「機能安全による機械等に係る安全確保に関する技術上の指針」に基づき、令和5年に、遠隔運転における技術的要求事項を、主に設置事業者向けに、日本クレーン協会規格「タワークレーンの遠隔運転実施のための安全確保ガイドライン」として取りまとめた。他のクレーンや、自動化・自律化を見据えた検討も開始。【(一社)日本クレーン協会】
- クレーンの国際規格はISO/TC96で審議、日本クレーン協会が参画。遠隔運転に特化した規格はない。ISO 12480-1に遠隔操作でのオペレーターの確認事項の記述がある。昨年、ガントリークレーンの遠隔運転の規格の検討を開始。【(一社)日本クレーン協会】
- 無人運転機械に関する規格としてJIS B 9700 / ISO 12100(機械類の安全性)、JIS B 9705-1 / ISO 13849-1(パフォーマンスレベル(PL))、JIS C 0508 / IEC 61508(SIL)、IEC 62443(産業用通信セキュリティ)、JIS B 8433 / ISO 10218(ロボット安全)がある。EN 13000(欧州クレーン規格)は遠隔操作や高度な過負荷防止装置の搭載を前提。【(一社)日本建設業連合会】
- 国土交通省が、平成31年に、コンテナターミナルにおいて遠隔操作 RTG を導入する際に設置者が整備等を行う運用規程の参考として、「遠隔操作RTGの安全確保のためのモデル運用規程」を策定。【(一社)港湾荷役システム協会】

ポイント

- クレーンの遠隔運転は、これに特化した国際規格はないが、機能安全指針に基づき日本クレーン協会規格「タワークレーンの遠隔運転実施のための安全確保ガイドライン」を取りまとめ。
- 無人運転機械は、ISO 13849、IEC 61508が定める機能安全、IEC 62443が定める通信セキュリティ等が重要。EN規格はクレーンの遠隔操作等を前提としている。
- 遠隔操作RTGは、運用規定の参考として国土交通省が「遠隔操作RTGの安全確保のためのモデル運用規程」を策定。

ヒアリング結果（労働災害防止の観点から必要と考える措置①）

5. 労働災害防止の観点から必要と考える措置

（1）他の機械等との衝突、周辺作業員への接触防止

- ガイドラインではリスクアセスメントを要求。例えば、レバーの故障で意図しない方向に動き続けないうように、操作卓にどのノッチが入っているか認識できる3色表示灯を設置、運転者以外の現地の合図者が停止ボタンを装着、別系統の非常停止ボタンを操作卓に設置などによりリスクを低減。【(一社)日本クレーン協会】
- 自動運転では、制御システムとして、他の機械（隣接クレーン等）との衝突防止対策（衝突防止システムの二重化（インターロック）、通信途絶時のフェイルセーフ）、周辺作業員への接触防止対策（地上・荷受時）（物理的隔離と電子フェンス（AIカメラ）、自動荷振れ抑制機能）が重要。機器が存在しない場合は、運用・体制面での措置（「地上監視員」の配置と緊急停止権限、気象センサーとの連動）が重要。【(一社)日本建設業連合会】
- 遠隔操作では、「視覚の死角」の解消（多角的なカメラビュー、モニターへの計器情報表示）、通信レイテンシ（遅延）の管理。【(一社)日本建設業連合会】

ポイント

- カメラ、センサー等で、衝突防止や接触防止は可能であるが、通信途絶等の故障により機能しない場合において、これを代替するため、運転者以外の現地の合図者や監視者に非常停止権限が必要。
- 遠隔操作では、実機の運転席での操作と同等以上の視界の確保や通信遅延の管理が必要。

ヒアリング結果（労働災害防止の観点から必要と考える措置②）

5. 労働災害防止の観点から必要と考える措置

（2）運転操作性の確保

- ガイドラインではリスクアセスメントを要求。例えば、モニター故障で操作を誤らないよう、非常停止ボタンによるクレーン停止、遠隔操作卓内に予備のモニターを常設、モニター交換終了までの遠隔操作中止などによりリスクを低減。【(一社)日本クレーン協会】
- 自動運転では、有資格者、機上操作経験、ITスキルを有する者が操作。緊急時、遠隔操作での対応又は機上での操作を可能とする。インテリジェント操作支援自動制振（荷振れ抑制）制御。AR（拡張現実）ガイダンスが有効。【(一社)日本建設業連合会】
- 遠隔操作では、オペレーターが「現場にいない」ことによる情報の欠落を補う。有資格者による運転かつ機上における経験年数と事前教習修了者による運転。超低遅延・高精細フィードバック、ハプティクス（触覚）技術が有効。【(一社)日本建設業連合会】

ポイント

- 非常停止装置、予備の機器の設置等、故障時の操作誤りを防ぐための仕組みが重要。
- 自動運転、遠隔操作においても、実機の操作経験に加え、運転支援、拡張現実、触覚技術等の活用による安全確保が有効。

ヒアリング結果（労働災害防止の観点から必要と考える措置③）

5. 労働災害防止の観点から必要と考える措置

（3）停止時・トラブル時の安全確保

- ガイドラインではリスクアセスメントを要求。例えば、非常停止装置の故障による危険がないよう、分離した安全ユニットを中継したシステムへの非常停止ボタン設置、非常停止ボタンの配線と他の配線との分離、非常停止時の運転者の搭乗運転での荷の安全な場所への揚重などによりリスクを低減。制御システムは機能安全で対応。例えば、非常停止機器は要求パフォーマンスレベルCを備えた回路で設計。【(一社)日本クレーン協会】
- 非常停止機能を含む制御システムは、クレーン本体に対する機能安全として対応する必要がある。【(一社)日本クレーン協会】
- システムとして、現場に行く時間の節約や、行かずに解決するため「遠隔復旧」と「自動危険回避」の措置（自動退避・安全姿勢保持ロジック、多角的な「遠隔診断」システム）が重要。運用・法的要件として、有資格者が不在の現地の対応のため「現地対応」の代替措置（「特定監視員」への権限移譲、緊急時の「物理的ロックアウト・タグアウト」手順、サービスマン・有資格者の「緊急駆けつけ体制」の規定）が重要。【(一社)日本建設業連合会】

ポイント

- クレーンの非常停止では、故障による危険を防止するため、分離した安全ユニットへの非常停止ボタン設置、非常停止時に運転者が搭乗運転し荷を安全な場所へ揚重できる体制が重要。
- 遠隔運転のトラブルでは、有資格者が不在の現地で荷の揚重等を行う必要があることから、現地で対応できる権限が必要。

ヒアリング結果（労働災害防止の観点から必要と考える措置④）

5. 労働災害防止の観点から必要と考える措置

（4）運転者（操作者）に求められる技能の確保

- システムの安全、機能喪失に対する対応等、遠隔運転についての安全教育など、新たな制度が必要。計画者、設置・クライミング・解体工事者、点検者、監視者は安全教育。運行管理者、遠隔運転者、緊急時現地運転予定者は、安全教育に加えクレーン運転士免許。玉掛作業者、合図者は、安全教育に加え玉掛技能講習。【(一社)日本クレーン協会】
- 2次元モニターの映像で距離を把握し操作するためのデジタル・空間認識能力、遅延を予測した操作のための通信レイテンシ（遅延）への適応、ネットワーク異常を判断するためのITリテラシーが追加が必要。現場経験で得られる合図者等とのコミュニケーション能力も重要。事前訓練、異常事態シミュレーション、現地での実機講習が推奨され、社内または業界団体で教育プログラムを設けることが有効。【(一社)日本建設業連合会】

ポイント

- 遠隔運転には、有人運転のクレーン運転、玉掛の資格のほか、システムの安全、機能喪失に対する対応等、遠隔運転についての安全教育が必要。
- モニターでの操作、遅延を予測した操作、ネットワーク異常への対応のため、デジタル、通信、ITなどの能力が必要。
- 社内または業界団体で教育プログラムを設けることが有効

ヒアリング結果（無人運転機械の設計上の制限仕様の具体的内容について）

6. 無人運転機械の設計上の制限仕様の具体的内容について

- 次の観点で仕様制限を設けることが適当。

1. 現物理的・構造的な仕様制限（ハードウェア条件）

既存の回路に介入・遮断できる制御インターフェースの開放性、ソフトウェアなしに作動する安全装置のメカニカルなバックアップ、混線しない通信インフラの排他性

2. 使用環境の制限（空間的条件）

警報やセンサー等による立入禁止区域の物理的隔離、強風等を誤検知しない環境因子の許容範囲、遅延時に非常停止する通信遅延（レイテンシ）の閾値

3. オペレーションの仕様制限（運用の条件）

「人」による最終介入権の確保、荷の形状・重量等を限定するための操作する対象物の特定

4. 機能安全に関する前提条件（設計思想の制限）

PL（パフォーマンスレベル）の設定、サイバー攻撃に対するセキュリティ

【(一社)日本建設業連合会】

ポイント

- 既存の回路に介入・遮断できるインターフェースや安全装置のメカニカルなバックアップ等のハードウェアの制限、立入禁止区域の隔離等の使用環境の制限、荷の限定などの運用の制限、パフォーマンスレベルの設定等の設計思想の制限が必要。

7. その他、無人運転機械に関する労働安全衛生法令に対するニーズや課題等

- 設計審査、検査、設置届等の制度を絡めてクレーンの遠隔運転に対する安全確保の技術基準及び安全確認の仕組みを早急に設ける必要。遠隔運転に必要な「設置・遠隔運転計画技術者、遠隔運転士、玉掛け作業員、作業所常駐者」に求める資格の法的位置づけも必要。(一社)日本クレーン協会】
- 技術基準に関しては「タワークレーンの遠隔運転実施のための安全確保ガイドライン」を活用してほしい。ボイラーの自動制御装置にならった機能安全基準適合の認定制度も有効。機械・システムの要件だけでなく、人・管理も含めたクレーン作業全体の安全評価をを行う必要があり、認定・審査機関の要件に含めてほしい。【(一社)日本クレーン協会】
- 遠隔操作・自動運転のための自動停止等の仕組みはソフトウェア的に実装済みだが、ハードウェア的に満足する(PL/SIL認定を受けた)機器は、現在の市場に十分に提供されていない。市場に適合機器がない場合、ソフトウェア的な制御と運用的・人的な代替措置(リスクアセスメントに基づく管理)を組み合わせ同等以上の安全性を担保する柔軟な評価制度としてほしい。技術進化のスピードに合わせ、仕様を細かく規定する「仕様規定」から、達成すべき安全目標を定める「性能規定」へ転換し、コストと革新のバランスをとれるようにしてほしい。官民が相互に解決策を模索し、実効性のある新基準の策定を急ぐべき。【(一社)日本建設業連合会】