機械の無人運転における安全確保等に関する専門家検討会　中間とりまとめ

令和８年６月 29 日

機械の無人運転における安全確保等に関する専門家検討会

目次

１　検討会の趣旨・目的等.....3

２　無人運転機械の実態 7

３　周辺環境や運転制御方式に応じた４象限での検討についての考え方 9

４　「人と機械の混在」と「立入等管理区画」の考え方 10

５　運転制御方式の考え方.....14

６　安全確保措置の整理（４象限ごと） 16

７　無人運転機械における安全確保措置の考え方 18

８　無人運転機械による労働災害防止措置を講ずべき者（措置義務者） 22

９　今後の対応 22

別添資料１　ヒアリング結果について①（建設機械関係） 25

別添資料２　ヒアリング結果について②（クレーン・港湾荷役機械関係） 30

別添資料３　ヒアリング結果について③（荷役機械 農業機械 林業機械関係）

.....35

１　検討会の趣旨・目的等

（１）検討会設置の背景及び趣旨目的等

近年、建設業、製造業、港湾荷役、農林業等の様々な分野において、自律運転及び遠隔運転（以下「無人運転」という。）の機能を有する機械（以下「無人運転機械」という。）が開発され、一部では社会実装されつつある。

無人運転機械を使用した作業においては、機械周辺の作業者の危険防止や適切な運転操作の実施等の観点から、労働災害防止のために必要な措置を検討する必要があり、「規制改革実施計画」（令和７年６月 13 日閣議決定）では、**「厚生労働省は、建設機械を含めデジタル・ＡＩ技術を活用した機械（以下「デジタル・ＡＩ機械」という。）の開発が進んでいることを踏まえ、労働者の安全及び健康を守りつつ、デジタル・ＡＩ機械全般の更なる技術的発展及び利用を図る観点から、関係省庁と連携しつつ、労働安全衛生法（昭和 47 年法律第 57 号）及び同法関係法令（以下「安衛法関係法令」という。）が適用される機械で遠隔運転・自律運転（以下「無人運転」という。）を行う場合の労働災害防止対策に関する専門家検討会を設置する。当該検討会において、機械の使用が想定される具体的な作業ごとに、作業内容や周辺環境、使用される機械の運転制御方式やその技術水準の実態を把握・確認した上で、作業ごとに必要となる労働災害防止のために必要な措置（以下「安全義務」という。）及び免許・技能講習の要件（以下「技能要件」という。）、機械の技術水準など検討すべき項目を整理する。」**とされている。

このようなことから、（２）に掲げる参集者による専門家検討会を開催し、規制改革実施計画に記載された事項について、無人運転機械に係る労働災害防止について検討を行ってきた。

今般、これまでの検討結果を中間とりまとめとして報告するものである。なお､この検討結果は「ＡＩロボティクス」についても整理の対象となり得る。

（２）参集者

（全般に関する事項）

櫛引　豪	（一財）日本品質保証機構認証制度開発普及室　室長
◎齋藤　剛	（独）労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所新技術安全研究グループ　部長
清水　尚憲	（独）労働者健康安全機構労働安全衛生総合研究所新技術安全研究グループ　特任研究員

中村　瑞穂　　職業能力開発総合大学校能力開発院能力開発基礎系　教授
比留川　博久　（国研）産業技術総合研究所　名誉リサーチャー

（個別の作業・施工に関する事項）
犬塚　秀世　　（国研）海上・港湾・航空技術研究所港湾空港技術研究所インフラ DX 研究領域サイバーフィジカル研究グループ主任研究官
川俣　裕行　　（国研）土木研究所　技術推進本部長
陣川　雅樹　　（国研）森林研究・整備機構森林総合研究所林業工学研究領域　研究専門員
冨田　宗樹　　（国研）農業・食品産業技術総合研究機構農業機械研究部門農作業安全研究領域　領域長

（機械等の設計・制御に関する事項）
石川　将人　　国立大学法人大阪大学大学院工学研究科　教授
畑　幸男　　国立大学法人長岡技術科学大学大学院工学研究科修士課程工学専攻システム安全分野　非常勤講師
中坊　嘉宏　　（国研）産業技術総合研究所研究戦略本部ウェルビーイング実装研究センター　副研究センター長
永谷　圭司　　国立大学法人筑波大学システム情報系情報工学域　教授
林　和信　　（国研）農業・食品産業技術総合研究機構農業機械研究部門知能化農機研究領域　領域長
山下　善之　　国立大学法人東京農工大学　名誉教授
（令和８年６月時点、五十音順、敬称略、◎は座長）

（関係省庁（オブザーバー））
国土交通省大臣官房参事官（イノベーション）グループ
国土交通省港湾局参事官（技術監理・情報化）室
農林水産省農産局技術普及課
林野庁森林整備部研究指導課

（３）検討の経緯
○第１回（令和７年 11 月 26 日）
（１）機械の無人運転について
（２）機能安全の役割について（情報提供）
（３）今後の検討会の進め方等について

（４）その他

○第２回（令和７年 12 月 19 日）
（１）有識者ヒアリング（建設機械関係）
（２）その他

○第３回（令和８年１月 20 日）
（１）有識者ヒアリング（クレーン、港湾荷役機械関係）
（２）その他

○第４回（令和８年２月 16 日）
（１）有識者ヒアリング（荷役機械、農業機械、林業機械関係）
（２）その他

○第５回（令和８年３月 13 日）
（１）今後の検討の進め方
　　「無人区画」と「人と機械の混在」の考え方について
（２）その他

○第６回（令和８年４月 20 日）
（１）第５回検討会における主なご意見
（２）今後の検討の進め方
　　「無人区画」と「人と機械の混在」の考え方について（その２）
（３）その他

○第７回（令和８年５月 25 日）
（１）区画の考え方について
（２）「人と機械の混在」における労働災害防止のために必要な措置の検討項目の整理について
（３）自律運転と遠隔運転の考え方について
（４）「機械の無人運転における安全確保等に関する専門家検討会」中間とりまとめについて
（５）その他

○第８回（令和８年６月 18 日）
（１）無人運転機械による労働災害防止のために必要な措置等を決定するた

めの基本的な考え方の整理
（２）中間とりまとめ（案）について
（３）その他

２　無人運転機械の実態

無人運転機械の使用が想定される機械・作業ごとに、作業内容や機械周辺の作業者の状況を含む周辺環境、使用される機械の運転制御方式やその技術水準の実態を把握・確認することを目的として、建設機械、クレーン、荷役機械、農業機械及び林業機械を対象として関係団体等からヒアリングを行った。

（１）ヒアリング対象

ア　建設機械

一般社団法人日本建設業連合会、一般社団法人日本建設機械施工協会、一般社団法人日本建設機械工業会

イ　クレーン

一般社団法人日本クレーン協会、一般社団法人日本建設業連合会

ウ　港湾荷役機械

一般社団法人港湾荷役システム協会

エ　荷役機械

一般社団法人日本産業車両協会

オ　農業機械

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

カ　林業機械

国立研究開発法人森林研究・整備機構

（２）ヒアリング事項

ア　無人運転機械の開発・普及状況

イ　無人運転機械が使用され、又は使用が想定されている作業

ウ　無人運転機械の制御方式や技術水準

エ　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

オ　次の事項について、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、周辺作業者への接触防止
・　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

カ　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

キ　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

（３）ヒアリング結果

建設機械、クレーン・港湾荷役機械、荷役機械、農業機械及び林業機械について、（２）に示すヒアリング事項に沿ってヒアリングを行った。

ヒアリング結果の詳細は別添資料１、２及び３のとおりであるが、例えば、港湾荷役機械では遠隔操作や自動運転の導入が進んでいる一方で、建設機械等では試験的な運用が行われている段階にあること、農業機械では使用環境が多様であり作業区域への人の立入制限が困難である一方で、港湾荷役機械では人の立入を制限した無人運転が行われていること、また、荷役機械等では無人運転に関する国際規格があるが、林業機械では国際規格がないこと等、機械の種類に応じて様々な違いがあることから、機械の種類ごとに必要な対応が異なるものと考えられる。なお、一部の機械・分野においては、関係省庁や業界団体等において、無人運転機械の安全確保に関する検討が既に行われており、具体的な運用基準やガイドラインの策定が進んでいる場合がある。機械の種類ごとの検討に当たっては、こうした既存の検討成果を積極的に活用することが重要である。

また、各機械に共通して必要な安全上の措置として、他の機械等との衝突や周辺作業者への接触防止等のため、周辺環境の検知等の機械単体の安全上の機能のほか、無人運転機械を取り巻くシステム全体（通信システム、作業環境内に設置されたセンサー、周辺労働者や監視者等）の安全上の機能、また、作業環境や作業管理上の措置が必要と考えられる。

3　周辺環境や運転制御方式に応じた４象限での検討についての考え方

無人運転機械における安全確保措置については、図１のとおり、「人と機械の混在での作業」か「人と無人運転機械の混在を前提とせず、機械のみによる作業を前提とする作業区画（以下「立入等管理区画」という。）での作業」かといった周辺環境、「自律運転」か「遠隔運転」かといった運転制御方式に応じて、最低限必要な災害防止措置の内容や水準が大きく異なる。

無人運転機械の使用は、これら周辺環境（「人と機械の混在」及び「立入等管理区画」）と運転制御方式（「自律運転」及び「遠隔運転」）の組み合わせで行われることから、本検討会では、これら４つのケースを「４象限」として安全確保措置について、体系的に整理を行った。

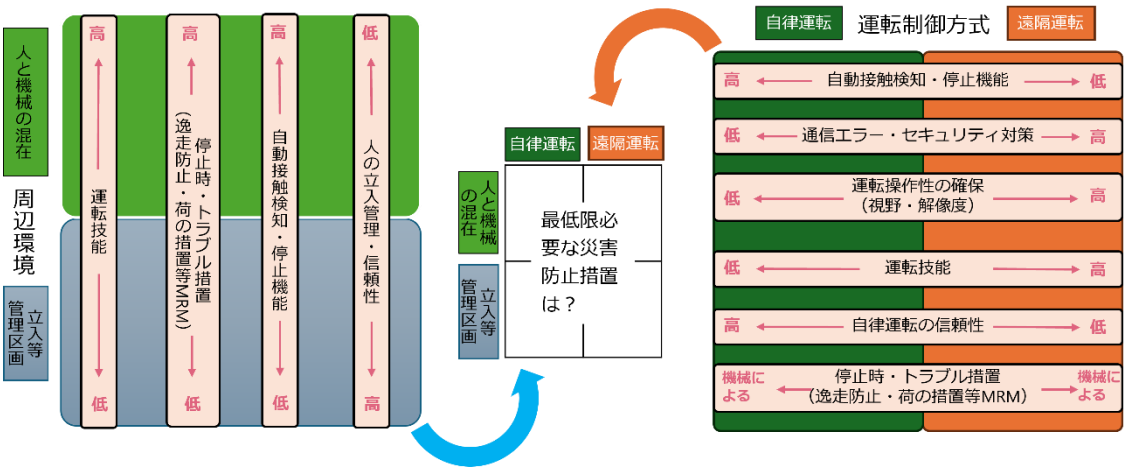

図１　周辺環境や運転制御方式に応じた４象限での検討について

４　「人と機械の混在」と「立入等管理区画」の考え方

無人運転機械を使用する場面において、労働災害防止のために必要な措置を検討する上で、作業場所に人がおり無人運転機械と混在した作業を前提とするのか、人と無人運転機械の混在を前提とせず、無人運転機械のみによる作業を前提とするのかによって、講ずべき措置の内容が異なる。

こうしたことから、人と無人運転機械が混在することを前提としている環境を「人と機械の混在」として必要な措置を検討することとし、無人運転機械のみによる作業を前提として管理されている区画を「立入等管理区画」として必要な措置を検討した。

（１）「人と機械の混在」について

「人と機械の混在」は、人と機械が混在することを前提としている環境である。機械との接触による災害リスクが「立入等管理区画」の場合と比べて相対的に高いことから、より厳しい安全確保措置が求められる状態として位置付けられるべきである。

（２）「立入等管理区画」について

「立入等管理区画」は、トラブル発生時の人の立入を除き、機械のみによる作業を前提として管理されている区画である。

立入等管理区画は、人が当該区画内に立ち入らず、かつ、当該区画内から機械が逸走しない状態を確保することにより混在を防止することを意図するものであるが、意図しない当該区画への人の立入、当該区画からの機械の逸走（以下「人の立入等」という。）による災害リスクが一定程度存在するため、人の立入等の管理が必要な環境である。

立入等管理区画は、機械のみによる作業が行われる区画について、作業日ごとなど、一定の期間継続して同じ場所を設定することを想定しており、機械とともに移動するような範囲（「機械の周囲５メートル」等）を区画として扱うものではない。

立入等管理区画の範囲は、作業内容等によって決定されるが、作業の進捗等によって作業日ごと等で変化することもある。また、必ずしも全作業時間継続して立入等管理区画として管理される必要はなく、時間帯によって管理を解除し、「人と機械の混在」に移行することもある。

ア　立入等管理区画の設定者

「どのような作業」を、「どのような機械」を用いて、「どのような方法」により実施するかは、一義的には、作業を行う事業者が発注条件等

（作業場所の環境も含む。）を踏まえて決定すべきものであるため、区画設定も当該事業者が行うべきである。

イ　立入等管理区画設定のタイミング

立入等管理区画の設定は、作業場全体の安全衛生の基本方針（コンセプト）に影響する問題であるため、次の事項と合わせて作業計画時等の初期段階で行うべきである。

①　無人運転機械を採用するか否か

②　人と機械の混在を想定するか否か

ウ　立入等管理区画の設定

立入等管理区画は、機械の動作範囲、作業の内容、作業者の動線、周辺環境等を踏まえて設定する必要がある。設定に当たっては、次に掲げる事項に留意が必要である。

①　無人運転においては、機械の配置、運転制御方式、作業の進行状況、周辺環境等が変化することにより、人と機械の関係性及び災害リスクの状況が変化する。このため、作業内容の変更、作業場所の変更、機械の配置変更その他の条件の変化があった場合には、現行の立入等管理区画によるリスク低減の状況を確認し、必要に応じて当該区画の内容を見直すことが求められること。

②　立入等管理区画の設定に当たっては、一時的な作業や非定常的な作業が当該区画内で行われる場合においても、適切に当該区画が機能するよう配慮することが重要であること。

③　周辺環境の状況によっては、夜間等、時間帯に応じて、人の立入等の可能性が低くなることもあるため、立入等管理区画の信頼性の評価や区画内での人と機械の混在による災害リスクを見積もる際には、周辺環境の状況やこれに伴う時間帯による人の立入等の可能性の変化についても考慮する必要があること。

（３）立入等管理区画の信頼性の評価

立入等管理区画は、その区画がどの程度有効かつ確実に機能するかという「信頼性」を評価することが重要である。立入等管理区画の信頼性は一様ではなく、管理の手法等に応じた違いがあることから、区画が設定されていることのみにより一律に安全が確保されるものではない。

立入等管理区画の信頼性とは、人の立入等を意図したとおりに制御し得

る程度（可能性）をいうものであり、実際には、人の立入等の発生の可能性によって評価される。具体的には、物理的な遮断の確実性、センサー等の検知性能及び停止機能の確実性並びに作業管理による立入管理の実効性等の要素により評価されるべきである。

立入等管理区画の信頼性の程度に応じて、人と機械の接触等による災害リスクが回避され、災害リスクが低減される。このため、立入等管理区画では、人の立入等の可能性の低減の度合いに応じて、「人と機械の混在」において講じる措置に準じ、人と機械の接触等による災害リスクに対する措置が求められることとなる。

ア　立入等管理区画の信頼性評価の考え方

立入等管理区画の信頼性は、「人の立入等防止措置」の信頼性によって評価されるが、これは、周辺環境と立入等制限措置の内容によって決まるため、次の事項により評価すべきである。

①　人の立入　：「環境要因による立入の可能性」×「立入制限手段の信頼性」

②　機械の逸走：「誤作動等があった場合の区画外への逸走の可能性」×「逸走防止手段の信頼性」

※　「環境要因による立入の可能性」は、作業場所の種類（屋内・屋外、工場、建設現場、農地、山林等）、地形（傾斜、不整地、海洋等）、周辺人口（住民、通行人等）、地理的条件（市街地、農村、港湾、道路との距離等）、時間帯（作業時間、昼夜等）、社会的要因（私有地等管理者による立入制限等）、法令による規制（避難指示発令区域等）等によって異なる。

※　「立入制限手段の信頼性」は、物理的、電子的、人による管理等により異なる。

※　「誤動作等による区画外への逸走の可能性」は、立入等管理区画の信頼性の評価であるため、機械の重量、速度等によって異なる。

※　「逸走防止手段の信頼性」は物理的、電子的、人による管理等により異なる。

イ　立入等管理区画の信頼性等を踏まえた災害リスクの評価

（ア）立入等管理区画内における人と機械の接触による災害リスクは、無人運転機械の構造や運動エネルギー等によって異なる※ため、「立入等管理区画」においては、「人の立入等の可能性」だけでなく、「災害発生可能性等」や「災害の重篤度」も含めて災害リスクを評価し、これに応じて、機械面、システム面及び管理面から対策を実施するべきである（図２）。なお、「立入等管理区画」の信頼性が十分に高く（人の立入等の可能性が十分に低く）、災害リスクが許容可能なレベル以下となる場合には、「人の立入等防止措置」以外の措置が不要となる場合がある。ただし、立入等管理区画の信頼性のみに基づき、人の立入等防止措置以外の措置を不要（規制免除）とするためには、人の立入等の発生可能性を高い信頼度で十分に低減させることが可能となる高い

要求安全水準を有する措置を講ずることが前提となるため、それを十分に理解した上でこの措置を選択することに留意する必要がある。

（イ）人と機械による災害リスクは、「人の立入等の可能性」×「災害発生可能性等」×「災害の重篤度」により評価され、その結果に応じて、必要なリスク低減措置を実施し、当該災害リスクを許容可能なレベル以下とする必要がある。

（ウ）立入等管理区画の信頼性のみに基づき、人の立入等防止措置以外の措置を不要（規制免除）とするためには、その信頼性を客観的に確認する必要があるため、立入等管理区画の設定者の判断のみではなく、第三者による評価等が必要である。

また、上記以外の場合であっても、立入等管理区画において「人の立入等の可能性」、「災害発生可能性等」及び「災害の重篤度」による災害リスクの評価を行う場合において、事業者が自ら災害リスクを評価するもののほか、第三者による評価等の活用※を検討すべきである。

※　機械の「重量」、「動作速度」、「出力」等により災害リスク（重篤度や可能性）や必要な措置も異なる。

※　例えば、第三者により下記６（３）に掲げる考え方に沿った評価がなされたものをパッケージで導入する場合や、第三者によって規格への適合評価がなされているものを導入する場合等において、災害リスクの評価を省略すること、又は簡便に実施することを可能にすることも検討。

（４）立入等管理の手段

立入等管理の手段としては、「物理的な手段」、「電子的な手段」又は、「人の管理による手段（人による対策）」が考えられる。また、これら複数を組み合わせた手段も考えられる。

「物理的な手段」としては、閉鎖空間とすること、安全柵、緩衝地帯を設けること等が考えられる。「電子的な手段」としては、センサーの設置（警報、区画内の機械の非常停止装置との連動等）等が考えられる。また、「人の管理による手段」には、区画の監視（目視又は遠隔の監視）、区画の明示や作業従事者に対する教育、他法令による立入禁止措置（自然災害等）等が考えられる。

5　運転制御方式の考え方

無人運転機械においては、運転制御の主体が機械側にあるものと人側にあるものがあり、それぞれ必要となる安全確保措置の内容等が異なることから、運転制御方式に応じた整理が必要である。

（1）自律運転と遠隔運転の考え方

運転制御方式については、運転制御主体に着目して次のように整理するべきである。

「自律運転」とは、通常運転時の運転制御主体が機械側にあるものであって、人の関与は機械の起動（再起動)、監視及び非常時の緊急停止にとどまるものとする。

「遠隔運転」とは、通常運転時の運転制御主体が人にあるものであって、遠隔で運転操作を行うものとする。一部の動作や走行が自律的に行われる場合であっても、人が常に主導権を保持し、異常事態には運転者が即座に介入可能であり、運転制御主体が直ちに運転者に移ることを条件に動作するものは、自律運転には該当しないものとし、運転支援機能を備えた遠隔運転と位置付ける。なお、運転支援機能は、安全確保や作業支援のための補助機能として位置付ける。

（2）自律運転と遠隔運転の両方の運転制御方式を有する機械

自律運転と遠隔運転の両方の運転制御方式を有する機械については、自律運転と遠隔運転は別のモードとして管理され、人による明示的な操作など明確な条件と手順で切り替わるものでなければならないものとすべきである。人が自律制御の機械の運転制御を遠隔からの運転操作により引き継ぐ時点で、自律運転から遠隔運転に移行したものと見なすべきである。なお、運転モードの切替にあたっては、安全が確保された状態で実施されること、また、運転モードが自律運転か遠隔運転か識別できるように外形的な表示がなされることが必要である。

（3）運転制御方式による労働安全衛生法令の適用について

自律運転の機械には自律運転に係る法令を、遠隔運転の機械には遠隔運転に係る法令を、それぞれ適用すべきである。

また、自律運転と遠隔運転の両方の運転制御方式を有する機械については、運転時のモード（自律・遠隔）に応じた法令が適用されるべきである。

（４）一人の運転者・監視者が関与できる機械の台数の考え方

労働安全衛生法の規制対象機械の遠隔運転については、運転操作を伴い、運転者は当該運転に対して継続的に注意を向け、判断・操作を行う必要があることから、通常の有人運転と同様に、一人が同時に運転可能な機械は１台のみとすべきである。

自律運転については、人の関与は機械の監視及び非常時の緊急停止に限定されるため、通常運転時は複数台の機械の監視を行うことを可能とすべきである。なお、一人の運転者が監視できる台数は、機械の種類や災害リスク等に応じて判断されるべきである。

自律運転時に一人が複数台の機械を監視している場合、監視者が特定の機械への遠隔運転操作に移行する際には、当該監視者は当該運転操作に専念する必要があり、自らが運転する機械の運転操作に継続的に注意を向けながら、他の自律運転機械の監視を同時に行うことは困難である。このため、この場合は、①他の機械の監視を別の者に引き継ぐ、又は②他の機械を安全な状態で停止させる等の措置を講じる必要がある。

６　安全確保措置の整理（４象限ごと）

無人運転機械における安全確保措置を、周辺環境及び運転制御方式が異なる「４象限」ごとに体系的に整理するに当たり、考慮すべき安全確保措置を「実施主体」と「種類」の２軸によって分類し、検討を行った。

（１）安全確保措置の実施主体別の整理

安全確保措置を実施する主体については、「４象限」いずれにおいても次の区分で整理できる。

①　機械単体として考慮すべき安全上の機能※（要求安全機能）
（主にメーカーが実施）

②　システム全体として考慮すべき安全上の機能※（要求安全機能）
（作業を行う事業者とメーカーが連携して実施）

③　作業環境及び作業管理上の措置　（主に作業を行う事業者が実施）

※　①「機械単体として考慮すべき安全上の機能（要求安全機能）」とは、無人運転機械単体が実行する安全上の機能をいう。

※　②「システム全体として考慮すべき安全上の機能（要求安全機能）」とは、無人運転機械を取り巻くシステム全体（通信システム、作業環境内に設置されたセンサー、周辺労働者や監視者等）が実行する安全上の機能をいう。

（２）安全確保措置の種類別の整理

実施する安全確保措置の種類については、運転制御方式ごとに次の区分で整理できる。

①　衝突・接触防止※（自律運転及び遠隔運転）
②－１　異常発生時の措置※（自律運転及び遠隔運転）
②－２　異常状態からの復旧等の措置※（自律運転及び遠隔運転）
③　運転操作性（遠隔運転）
④　安全上の機能の要求水準（自律運転及び遠隔運転）
⑤　運転技能（遠隔運転）
⑥　その他

※　「①衝突・接触防止」とは、無人運転機械との衝突・接触を防ぐための措置をいい、無人運転機械が危険を検知して安全に停止するまでの措置を含む。

※　「②－１異常発生時の措置」とは、「①衝突・接触防止」以外の機械の異常等（通常プロセスからの逸脱）を検知し、無人運転機械が安全に停止するまでの措置をいう。異常等の該当性については、機械や作業に応じて、基準値等を定めて判断する必要がある。

※　「②－２異常状態からの復旧等の措置」とは、「①衝突・接触防止」や「②－１異常発生時の措置」により無人運転機械が停止した後に行うシステム復旧、無人運転機械の再起動等の措置をいう。

（３）災害リスクと安全確保措置の考え方

無人運転機械の災害リスクは、「周辺環境」に応じ、「人の立入等の可能性」、「災害発生可能性等」及び「災害の重篤度」に応じて評価すべきであ

る（図２）。

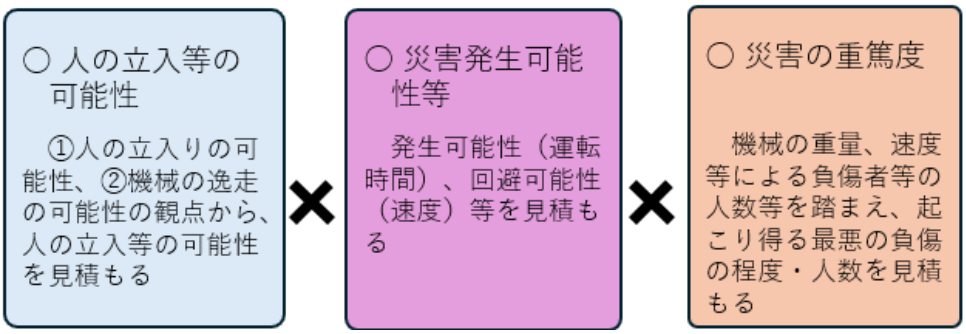

図２　無人運転機械の災害リスクの考え方

また、必要となる安全確保措置は、６の（２）の安全確保措置の種類に応じて、６の（１）の実施主体が行う各種措置を組み合わせて、全体として安全上の機能を確保し、災害リスクを許容可能なレベルまで低減させるものである。この際、例えば機械単体が高度な機能を有する場合は、システム全体において高度な機能を有する必要はなくなる等、機械単体とシステム全体での役割分担に応じた措置を講じる必要がある（図３）。

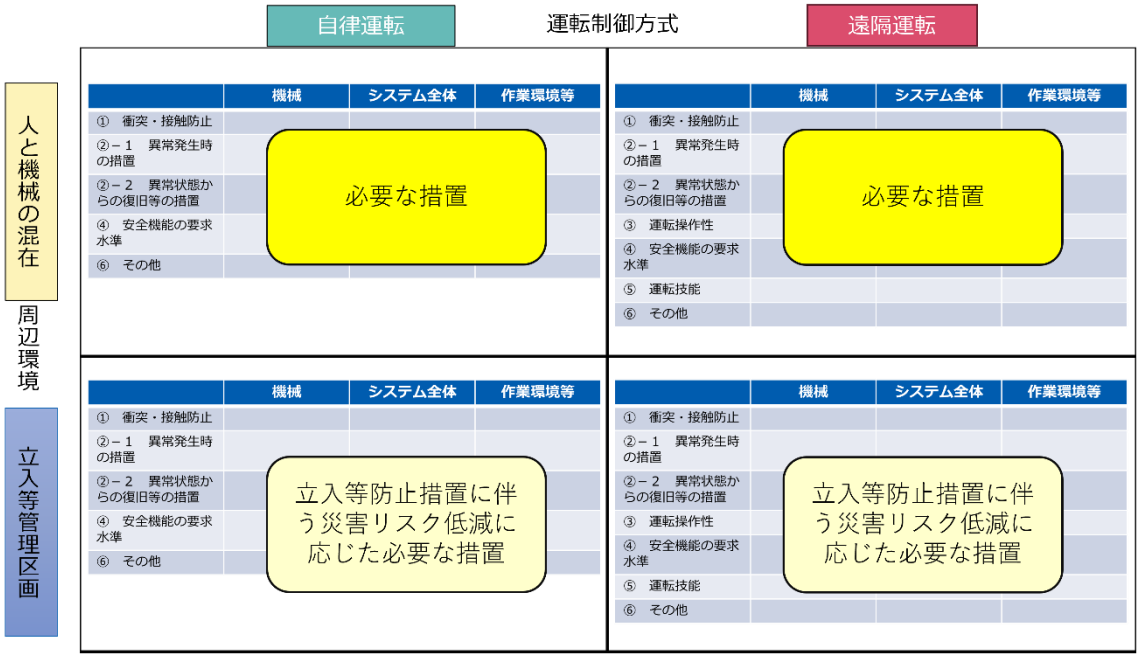

図３　４象限ごとの安全確保措置の区分

7　無人運転機械における安全確保措置の考え方

無人運転機械における安全確保措置は、「人と機械の混在」において「立入等管理区画」より相対的に厳しい措置が求められる。このため、まず、「人と機械の混在」における自律運転及び遠隔運転に求められる措置について下記のとおり整理した。その上で、「立入等管理区画」で必要となる安全確保措置については、立入等防止措置に伴う人の立入等の可能性の低減に応じて、「人と機械の混在」において講じる措置に準じて検討することができる。

個別機械における措置の検討に当たっては、下記に示す事項に沿って対応することが求められるが、「２　無人運転機械の実態」で示したとおり、ヒアリング結果では、建設機械、クレーン、荷役機械等の種類に応じて様々な違いがあることから、下記表１から表７に整理した安全確保措置を基本的な考え方として踏まえつつ、個別機械の実情に応じて対応を検討する必要がある。なお、本記載は、人と機械の混在を前提とした最も厳しい措置を想定しており、a、b、c 等で示された事項は必須の考慮事項、かっこ内の「・」で示された事項は状況に応じた（オプション）考慮事項であることを示している。

表１　必要な措置の内容①　衝突・接触防止（自律運転及び遠隔運転）

（注）機械単体、システム全体を組み合わせ、一体として安全上の機能を確保する。機械単体が高度な機能を有する場合は、システム全体において高度な機能を有する必要はなくなる等、機械単体とシステム全体での役割分担に応じた措置となる。

	機械単体として考慮すべき安全上の機能（要求安全機能）	システム全体として考慮すべき安全上の機能（要求安全機能）	作業環境及び作業管理上の措置
【自律運転】	**（衝突・接触防止のため、自律運転機械単体が担う機能（機械が安全に停止するまでの措置を含む））** **a 検知（入力）** 機械全周囲の周辺環境について、人の姿勢や動き、周囲の機械等を識別して検知 **b 制御（処理）** 機械が検知した情報に基づき、回避等の要否を、人の介入なく自律的に判断 **c 作動（出力）** 制御に基づき、機械自らが減速・停止等により衝突や接触を回避し、自動的に安全状態に移行 **d 運転状態の表示等** 機械の自律運転状態を周辺作業者に知らせる	**（衝突・接触防止のため、自律運転機械を取り巻くシステム全体が担う機能）** **a 機械単体とシステム全体との通信** 必要な通信が確保されている場合には、それを前提とした運転が可能となる **b 作業環境内に設置されたセンサー** 作業環境内に設置されたセンサーにより、他の機械、周辺作業者等の位置・動き等を検知し、接近等を把握し、自律運転機械を減速・停止等できる **c 監視者、周辺作業者** 衝突・接触の恐れがある際に、監視者、周辺作業者が非常停止を行うことができる	**（自律運転機械及びシステム全体の機能を発揮するために必要な措置）** **a 運転条件の設定・維持** 要求安全機能に応じた、作業場所、人の混在度等の運転条件の設定・維持 **b 監視者の配置** 適切な監視者等の配置 **c 教育** 監視者、周辺作業者、システム管理者等に対する自律運転機械の機能、異常時の対応等の教育訓練
【遠隔運転】	**（衝突・接触防止のため、運転者等の判断を前提に遠隔運転機械単体が担う機能（機械が安全に停止するまでの措置を含む））** **a 運転状態の表示等** 機械の遠隔運転状態を周辺作業者へ知らせる **b 意図しない動作の制限** 通信の異常（途絶、著しい遅延等）時に自動停止等する **・運転者への補助** 衝突・接触リスクの検知、安全状態への移行作動等の運転者を補助する機能については、自律運転機械と同様の機能	**（衝突・接触防止のため、遠隔運転機械を取り巻くシステム全体が担う機能）** **a 機械と運転者との通信** 運転に必要な品質の通信状態が維持されている場合のみ、遠隔運転できる **b 運転者と周辺作業者等との通信** 運転者と周辺作業者等が必要なコミュニケーションを行うことができる **・運転者への補助** 作業環境内に設置されたセンサーによる衝突・接触リスクの感知、監視者等による非常停止等の運転者を補助する機能については、自律運転機械と同様の機能	**（遠隔運転機械及びシステム全体の機能を発揮するために必要な措置）** **a 運転条件の設定・維持** 要求安全機能に応じた、通信環境や視認性確保等の運転条件の設定・維持 **b 教育** 周辺作業者、システム管理者等に対する遠隔運転機械の機能、運転者との合図、異常時の対応等の教育訓練

表２　必要な措置の内容②－１　異常発生時の措置
（自律運転及び遠隔運転）

（注）機械単体、システム全体を組み合わせ、一体として安全上の機能を確保する。機械単体が高度な機能を有する場合は、
システム全体において高度な機能を有する必要はなくなる等、機械単体とシステム全体での役割分担に応じた措置となる。

	機械単体として考慮すべき安全上の機能 （要求安全機能）	システム全体として考慮すべき安全上の機能 （要求安全機能）	作業環境及び作業管理上の措置
【自律運転】	**（衝突・接触以外の異常（通常プロセスからの逸脱）回避のため、自律運転機械単体が持つべき機能（機械が安全に停止するまでの措置））** **a 検知（入力）** 機械内部・周囲の異常検知 **b 制御（処理）** 検知情報に基づき、回避等を判断 **c 作動（出力）** 制御に基づき、機械自ら安全状態に移行	**（衝突・接触以外の異常（通常プロセスからの逸脱）回避のため、自律運転機械を取り巻くシステム全体が担うべき機能）** **a 機械単体とシステム全体との通信** システム全体で運転に必要な品質の通信状態が維持されている場合のみ自律運転できる **b 作業環境内に設置されたセンサー** 作業環境内に設置されたセンサーにより、自律運転機械の異常状態を検知し、自律運転機械を減速・停止等できる **c 監視者、周辺作業者** 異常を検知した際に、監視者、周辺作業者が非常停止を行うことができる	**（異常発生時に安全に停止させるために必要な措置）** **a 監視者の配置** 適切な監視者等の配置 **b 教育等** 監視者、周辺作業者、システム管理者等に対する自律運転機械の機能、異常時の対応等の教育訓練、通常プロセスからの逸脱を判断する基準の設定
【遠隔運転】	**（衝突・接触以外の異常（通常プロセスからの逸脱）回避のため、運転者等の判断を前提に遠隔運転機械単体が持つべき機能（機械が安全に停止するまでの措置））** **a 異常を確実に検知できる機能（センシング）** **・運転者による異常回避の補助** 異常状態の検知、安全状態への移行作動等、運転者を補助する機能については、自律運転と同様の機能	**（衝突・接触以外の異常（通常プロセスからの逸脱）回避のため、遠隔運転機械を取り巻くシステム全体が担うべき機能）** **a 機械と運転者との通信** **b 運転者と周辺作業者等との通信** **・運転者による異常状態回避の補助** 作業環境内に設置されたセンサーによる異常状態の検知、監視者等による非常停止等の運転者を補助する機能については、自律運転機械と同様の機能	**（異常発生時に安全に停止させるために必要な措置）** **・監視者の配置** 適切な監視者等の配置 **a 教育等** 周辺作業者、システム管理者等に対する遠隔運転機械の機能、運転者との合図、異常時の対応等の教育訓練、通常プロセスからの逸脱を判断する基準の設定

ここで想定する異常（通常プロセスからの逸脱）発生時の措置は、自律運転機械・遠隔運転機械特有の機能によるものに限り、整備不良による制動装置の故障の防止措置などは含まれない。

表３　必要な措置の内容②－２　異常状態からの復旧等の措置
（自律運転及び遠隔運転）

（注）機械単体、システム全体を組み合わせ、一体として安全上の機能を確保する。機械単体が高度な機能を有する場合は、
システム全体において高度な機能を有する必要はなくなる等、機械単体とシステム全体での役割分担に応じた措置となる。

	機械単体として考慮すべき安全上の機能 （要求安全機能）	システム全体として考慮すべき安全上の機能 （要求安全機能）	作業環境及び作業管理上の措置
【自律運転】	**（異常停止した機械の復旧のため、自律運転機械単体が持つ機能）** **a** 復旧時にセンサー及び制御系の自己診断を行う **b** 再起動時の安全確保、復旧を可能とする構造等	**（異常停止した機械の復旧のため、自律運転機械を取り巻くシステム全体が担うべき機能）** **a** システムを通じて自律運転機械以外も含めて周辺機械を停止する等により、安全に点検・復旧作業を実施可能な環境を確保できる **b** システムを通じて異常原因の特定及び復旧可否判断をすることができる **c** 復旧後にシステム全体の動作が正常に連携していることを確認できる	**（異常停止した自律運転機械の復旧のために必要な措置）** **a 点検・復旧作業** 異常状態に応じ、機械周囲の立入等を制限し、点検・復旧作業する手順の作成及び遵守 **b 教育** 監視者、点検・復旧作業する者に対する必要な資格の確認、異常時の対応等の教育訓練
【遠隔運転】	**（異常停止した機械の復旧のため、遠隔運転機械単体が持つ機能）** **a** 復旧時に機械の状態を操作者が認識できるよう情報の数値化・可視化 **b** 再起動時の安全確保、復旧を可能とする構造等	**（異常停止した機械の復旧のため、自律運転機械を取り巻くシステム全体が担うべき機能）** **a** システムを通じて遠隔運転機械以外も含めて周辺機械を停止する等により、安全に点検・復旧作業を実施可能な環境を確保できる **b** システムを通じて異常原因の特定及び復旧可否判断をすることができる（モニタ表示など） **c** 操作入力と機械の応答が正常に機能することを確認できる	**（異常停止した遠隔運転機械の復旧のために必要な措置）** **a 点検・復旧作業** 異常状態に応じ、機械周囲の立入等を制限し、点検・復旧作業する手順の作成及び遵守 **b 教育等** 点検・復旧作業する者に対する必要な資格の確認、異常時の対応等の教育訓練

異常状態からの復旧等の措置は、異常の原因に関わらず、復旧等の措置を行う作業全般が対象（整備不良による制動装置の故障や、作業環境要因などによる機械の停止からの復旧等の措置も対象となる。）

表４　必要な措置の内容③　運転操作性（遠隔運転）

	機械単体として考慮すべき安全上の機能 （要求安全機能）	システム全体として考慮すべき安全上の機能 （要求安全機能）	作業環境及び作業管理上の措置
【自律運転】			
【遠隔運転】	**（運転操作性の確保のため、運転者等の判断を前提に遠隔運転機械自体が持つべき機能）** **a 周辺環境のセンシング性能** 周辺環境（気温、周辺の音、他の機械や作業者の状況等）について、機械の種類に応じ、有人運転において安全確保上求められるものと同等の要素のセンシング性能の確保 **b 機械状態のセンシング性能** 機械本体の状態（位置・姿勢・動き・振動等）について、有人運転において安全確保上求められるものと同等の要素のセンシング性能の確保 **c 応答性** 操作入力と挙動の合致 滑らかな加減速や微操作への反応性の確保	**（運転操作性の確保のため、遠隔運転機械を取り巻くシステム全体が持つべき機能）** **a 遠隔運転装置のインターフェイス** 周辺環境や機械本体の状態についてセンシングした情報を有人運転において安全確保上求められるものと同等の精度で運転者に伝達するデバイスの確保（スピーカー、モニター、各種計器等） 操作入力と挙動の対応が理解しやすいユーザーインターフェイス（ＵＩ） 周辺環境や機械本体の異常や危険を直感的に認識できるフィードバック（警告等） **b 通信応答性** 操作入力と挙動、警告等との間に遅延が生じない通信品質の確保	**（運転操作性の確保のため、遠隔運転機械及びシステム全体の機能を発揮するために必要な措置）** **a 運用管理** 機械のセンシング装置、通信環境、遠隔 運転装置の点検・管理 運転操作に支障がない作業環境の確保（騒音、温湿度その他の誤操作要因等） **b 運用管理に携わる者に対する教育** 機械本体のセンシング機能、通信システム、操作装置、インターフェイス等の機能の維持に関する教育・研修

表５　必要な措置の内容④　安全上の機能の要求水準
（自律運転及び遠隔運転）

※本項目は、①②③において求められる安全機能が適切に作動するために求められる信頼性の水準（要求安全水準）を示す。
具体的な水準について、関連する国内外の規格があるものは規格に準拠するものとする。

	機械単体として考慮すべき安全上の機能 （要求安全機能）	システム全体として考慮すべき安全上の機能 （要求安全機能）	作業環境及び作業管理上の措置
【自律運転】	**（ア　自律運転機械単体が持つ①②③の機能の信頼性（要求安全水準）（PL・SIL等）を確保するための措置）** ・検知の冗長化等による誤検知の低減 ・安全関連制御の信頼性を高める設計 ・確実に安全状態へ移行する構造　等 **（イ　自律運転機械自体が持つ①②③の機能の信頼性を評価する措置）** **・第三者による機械の適合性評価・認証** 安全機能の検知、制御、作動等に要求される安全性の適合状況を確認　等	**（ア　自律運転機械を取り巻くシステム全体が担う①②③の機能の信頼性（要求安全水準）を確保するための措置）** ・通信の品質確保（国際基準あり） ・外部の非常停止が確実に作動する構造 ・外部監視の誤検知等の低減　等 **（イ　自律運転機械を取り巻くシステム全体が持つ①②の機能の信頼性を評価する措置）** **・第三者による機械の適合性評価・認証** 安全機能の検知、制御、作動等に要求される安全性の適合状況を確認　等	**（自律運転機械使用時の作業環境・作業管理上の措置の信頼性を高める手段）** **・使用環境、実施者等への確認・認証** 自律運転機械を使用する環境や、点検・復旧作業者等の適合性確認・認証　等 **・認証されている条件の保持・管理**
【遠隔運転】	**（ア　遠隔運転機械単体が持つ①②③の機能の信頼性（要求安全水準）を確保するための措置）** ・通信エラー時の自動停止等の信頼性向上 ・運転者を補助する検知、安全状態への移行作動等の信頼性向上　等 **（イ　遠隔運転機械単体が持つ①②③の機能の信頼性を評価する措置）** **・第三者による機械の適合性評価・認証** 安全機能の検知、制御、作動等に要求される安全性の適合状況の確認については、自律運転と同様の措置	**（ア　遠隔運転機械を取り巻くシステム全体が担う①②③の機能の信頼性（要求安全水準）を確保するための措置）** ・機械と運転者の通信の信頼性向上 ・運転者と周辺作業者等の通信の信頼性向上　等 **（イ　遠隔運転機械を取り巻くシステム全体が持つ①②③の機能の信頼性を評価する措置）** **・第三者による機械の適合性評価・認証** 安全機能の検知、制御、作動等に要求される安全性の適合状況を確認　等	**（遠隔運転機械使用時の作業環境・作業管理上の措置の信頼性を高める手段）** **・使用環境、実施者等への確認・認証** 遠隔運転機械を使用する環境や、点検・復旧作業者等の適合性確認・認証　等 **・認証されている条件の保持・管理**

表６　必要な措置の内容⑤　運転技能（遠隔運転）

	機械単体として考慮すべき安全上の機能 （要求安全機能）	システム全体として考慮すべき安全上の機能 （要求安全機能）	作業環境及び作業管理上の措置
【自律運転】			
【遠隔運転】	**原則なし。** ※「③運転操作性」に記載した事項が「運転技能」として習得可能であることが必要。	**原則なし。** ※「③運転操作性」に記載した 遠隔運転装置のインターフェイス等が「運転技能」として認識可能であることが必要。	**（遠隔運転機械の運転者に必要な運転技能等）** **a 個々の機械等特有の技能** 機械等の機能や能力に応じ、有人運転の場合に求められるのと同様の運転資格・教育 **b 遠隔による運転操作特有の技能** 上記 a に加え、遠隔運転に使用する運転装置のインターフェイス等を通じ、通常作業時及び異常時（異常事態発生後の復旧時も含む。）に適切に対応できる運転資格・教育 **c その他、遠隔運転を行う者の管理上の留意点** 疲労蓄積、注意力低下等なく能力を発揮できるような作業管理及び健康管理

表７　必要な措置の内容⑥　その他

	機械単体として考慮すべき安全上の機能 （要求安全機能）	システム全体として考慮すべき安全上の機能 （要求安全機能）	作業環境及び作業管理上の措置
【自律運転】	**（機械単体の運用・保守点検のために求められる事項）** **a** 機械単体の稼働状況のログの記録 **b** 適用する自律運転の安全機能に応じた機械単体の点検項目、点検頻度の設定	**（システム全体の運用・保守点検のために求められる事項）** **a** システム全体の稼働状況のログの記録 **b** 適用する自律運転の安全機能に応じたシステム全体の点検項目、点検頻度の設定 **（作業内容・作業場所の変更に伴いシステム全体に求められる事項）** システムの再構成等が不要で、安全機能の成立に支障を及ぼさない場合に限る。作業条件が認証範囲外となった場合は、再度認証を受ける。 **a** 作業内容・作業場所の変更後の作業開始前の確認事項（※）の設定 ※ 作業環境があらかじめ想定した適用範囲（認証を受けた範囲）内であること、人の立入状況、障害物の配置等が安全機能の成立に影響を及ぼさないこと等	**（運用・保守点検のため作業管理上求められる事項）** **a** 機械単体及びシステム全体の稼働状況のログの記録 **b** 保守点検の実施体制の整備 **c** 保守点検結果の記録 **（作業内容・作業場所の変更に伴い作業管理上求められる事項）** システムの再構成等が不要で、安全機能の成立に支障を及ぼさない場合に限る。 **a** 作業内容・作業場所の変更後の作業開始前の確認の実施 **b** 確認結果の記録
【遠隔運転】	**（機械単体の運用・保守点検のために求められる事項）** **a** 機械単体の稼働状況のログの記録 **b** 適用する遠隔運転で用いる機械単体のセンサー、通信等に求められる信頼度に応じた点検項目、点検頻度の設定	**（システム全体の運用・保守点検のために求められる事項）** **a** システム全体の稼働状況のログの記録 **b** 適用する遠隔運転で用いるシステム全体のセンサー、通信等に求められる信頼度に応じた点検項目、点検頻度の設定 **（作業内容・作業場所の変更に伴いシステム全体に求められる事項）** システムの再構成等が不要で、操作者の認識、操作に支障を及ぼさない場合に限る。作業条件が認証範囲外となった場合は、再度認証を受ける。 **a** 作業内容・作業場所の変更後の作業開始前の確認事項（※）の設定 ※ 作業環境があらかじめ想定した適用範囲内であること、センサーや通信状況が正常に稼働すること、操作者の認識及び操作に影響を及ぼさないこと等	**（運用・保守点検のため作業管理上求められる事項）** **a** 機械単体及びシステム全体の稼働状況のログの記録 **b** 保守点検の実施体制の整備 **c** 保守点検結果の記録 **（作業内容・作業場所の変更に伴い作業管理上求められる事項）** システムの再構成等が不要で、操作者の認識、操作に支障を及ぼさない場合に限る。 **a** 作業内容・作業場所の変更後の作業開始前の確認の実施 **b** 確認結果の記録

８　無人運転機械による労働災害防止措置を講ずべき者（措置義務者）

労働安全衛生法令においては、労働災害防止措置の多くを、労働者を使用する事業者に課しているが、 直接の雇用関係のみを前提とする規制以外にも、措置内容に応じた措置義務主体を定めていることから、無人運転機械による労働災害を防止するために必要な措置についても今後検討する措置内容に応じて、同様に措置義務者を検討すべきである。具体的には、事業者以外にも、措置内容に応じて、「機械の使用者」、「機械の譲渡者」、「機械の貸与者」、「特定元方事業者」等を措置義務者としている例がある。

【労働安全衛生法令に基づく措置義務者の例】

機械の使用者：安全機能を具備した機械の使用、安全機能の点検・整備・維持等

機械の譲渡者：規格等を具備した機械の譲渡、残留リスク情報の提供等

機械の貸与者：貸与する機械の点検・補修等

特定元方事業者：作業間の連絡・調整、機械の配置に関する計画の作成等

９　今後の対応

本中間とりまとめにおいては、無人運転機械に係る労働災害防止対策について、周辺環境及び運転制御方式の観点から「４象限」に分けて体系的に整理し、必要な安全確保措置の基本的な考え方を示した。

今後は、この考え方を踏まえ、個別の機械及び作業実態に応じた具体的な制度の検討を、関係者の連携の下で段階的に進める必要がある。

（１）個別機械ごとの検討の進め方

個別機械の検討に当たっては、本中間とりまとめで示した基本的な考え方を踏まえ、機械ごとの特性、使用環境及び作業実態に応じた具体的な安全確保措置の内容について検討を行う必要がある。

このため、関係業界団体等と連携の上、対象とする機械ごとに作業チームを設置し、当該機械の特性、使用環境及び作業実態を踏まえた実務的な検討を行うことが適当である。この際、関係省庁や業界団体等において既に無人運転機械の安全確保に関する検討や運用実績がある場合には、当該検討結果及び運用実績を最大限活用し、現場の実態に即した効率的な検討を行うことが適当である。また、当該作業チームの検討に当たっては、学識経験者等の参画を得るなど、専門的知見を活用することが重要である。

（２）本検討会による助言及び横断的検討

各作業チームにおける検討結果については、本検討会に報告し、必要に応じて本検討会において追加的な検討を行うべきである。

特に、複数の機械に共通する課題や、制度全体に関わる横断的な課題については、本検討会において整理し、一体的な対応を図ることが必要である。

なお、近年、フィジカルＡＩやＡＩロボティクスをはじめ、高度な技術を用いた無人運転機械であって、現時点では労働安全衛生法令上の個別規制の対象となっていない機械の開発・導入が進んでいる。こうした無人運転機械についても、無人運転に伴う安全確保措置が必要となる場合には、本検討会において整理した基本的考え方に基づき、また、前述の個別機械の検討状況も踏まえ、労働災害防止の観点から必要な安全対策について、検討する必要がある。

（３）制度的措置に向けて

本検討会において整理した基本的な考え方に基づき、本検討会及び各作業チームにおける個別機械ごとの検討結果を踏まえ、必要に応じて法令改正、指針の策定その他の制度的措置を講じることが適当である。

（４）安全確保措置の具体化及び水準の検討

本中間とりまとめにおいて示した安全確保措置の基本的な考え方を踏まえ、今後、個別機械ごとの検討を通じて、その具体的内容及び要求水準を明確化する必要がある。

特に、立入等管理区画の信頼性の評価や、その信頼性に応じた措置の要求水準の設定については、安全確保上の重要性が高いことから、実証データ及び技術的知見を踏まえて慎重に検討を行う必要がある。

また、措置の代替及び組合せの在り方についても、機械単体及びシステム全体の役割分担を踏まえ、合理的な制度設計となるよう検討することが求められる。

さらに、安全確保措置の実効性を確保する観点から、機械単体及びシステム全体の安全上の機能並びに立入等管理区画の信頼性に関する第三者による評価や認証の在り方についても検討を行うことが必要である。

（５）技術の進展を踏まえた継続的な見直し

無人運転機械を取り巻く技術は、センサー、通信、人工知能等の進展により急速に発展している分野であることから、安全確保措置の在り方につ

いても、技術の進展、産業標準等の制定状況及び実際の運用状況を踏まえて継続的に見直していくことが必要である。

（６）関係者間の連携及び普及

無人運転機械に係る安全確保は、機械の製造者、使用者、システムの構成に関与する者等、多様な主体の連携により実現されるものである。

このため、本中間とりまとめにおいて示した考え方が関係者に十分に理解され、適切に活用されるよう、必要な周知及び普及の方策を講じるとともに、関係者間の連携を促進することが重要である。

別添資料１　ヒアリング結果について①（建設機械関係）

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

- 一部のゼネコンでは重機メーカーやスタートアップと連携して実際の工事現場を使って取り組んでいる。エクスカベータ（掘削機械）、トラック（運搬）、ドーザー（敷き均し）、ローラー（転圧）などの土工事の遠隔運転のための技術開発を個別に進行中。【日本建設業連合会】
- 自律運転機械を統合的に連携して運用することはごく一部でのみ実証中で、普及には時間を要する。自律運転機械については、ダム工事等で行われているが、経済的な課題もあり、広く普及には時間がかかる。現状では実験的な運用や災害復旧など特殊な現場での利用が中心。【日本建設業連合会】
- 遠隔運転機械は、災害復旧工事で、二次被害を防ぐために進められている。自律運転機械については、ここ数年、技術の進展により高度な制御ができるようになり、ダム工事など大規模工事で試行的にシステム開発が進められている。建設業界では、これらは全く別の話として捉えている。【日本建設機械施工協会】
- 遠隔運転機械では、油圧ショベル、ブルドーザー、ホイールローダー、クローラキャリア、モービルクラッシャが、自律運転機械では、ダンプトラック、振動ローラーが市販済み。また、油圧ショベル（遠隔・自律）、ホイールローダー、クローラキャリア（自律）については、実証・研究開発段階。【日本建設機械工業会】

ポイント

- 掘削機械、整地・運搬・積込機械、締固め機械などが、開発、上市の対象となっている。
- 遠隔運転機械は災害復旧工事を中心に活用されている。自律運転機械はダム工事等の大規模現場で試行的な運用が行われている段階。

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

- 造成などの土工事、ダム工事といった大型工事での使用が想定。ダンプ、ショベル、ローラーなどは小型工事でも導入を進めていこうという状況。その他、山岳トンネル、シールド工事でも繰り返しの作業を中心に部分的に使用。エクスカベータ（掘削機械）、トラック（運搬）、ドーザー（敷き均し）、ローラー（転圧）による作業。【日本建設業連合会】
- 自律運転機械については、人と機械が混在しないように設定された作業エリアでの作業。ダム、トンネル、宅地造成等で掘削、運搬、盛土、転圧等の作業がある。遠隔運転機械については、災害復旧等で人の立入ができないエリアでの作業で作業内容は自律運転機械と同様。産廃業や金属リサイクル業での使用されている。【日本建設機械施工協会】
- 例えば、遠隔運転は土砂の掘削・積込作業などで、作業環境としては災害復旧現場鉱山などのへき地、オペレーターにとって危険のある現場などであり、無人エリアを設定し、その中での作業。自律運転については、土砂の掘削及び積み込み作業の他、プラント系作業現場での繰り返し作業（繰り返し作業があるところでは自律運転が適する。）であり、無人エリアを設定して人と機械が混在しないように運用。【日本建設機械工業会】

ポイント

- 自律運転機械は、ダム工事などの大型工事や造成などの土工事など、繰り返しの作業で使用。
- 遠隔運転機械は、災害復旧工事やリサイクル業など危険な環境がある現場での使用。

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

- 無人運転機械は、油圧系統に直接介入する方式と、油圧・電気系統を電子回路に置き換えた電子制御方式のいずれか。どちらも通常の操作者と同様の動作が可能。【日本建設業連合会】
- 無人運転機械の予期せぬ動作で損害が発生した場合の責任の所在があいまいになっている点が課題。現状では、人が立ち入らない環境を構築してその中で動作検証を実施。【日本建設業連合会】
- 自律運転機械は、汎用重機を改造したプログラム型自動運転（油圧制御）。大規模工事で、複数の建設機械を連携している例がある。遠隔運転機械は、無線通信を使用し、車載カメラ映像により運転（油圧制御）。【日本建設機械施工協会】
- 遠隔運転機械について、専用回線を用いる場合は数百メートルの範囲での操作。ネット回線を用いる場合は、遠距離での操作が可能。【日本建設機械施工協会】
- 例示されたケースは、遠隔運転機械、自律運転機械とも油圧介入方式（油圧ショベルの場合）。【日本建設機械工業会】
- 遠隔運転機械は可動式メインカメラにより視界を確保。また、よそ見検知やオペレーターの顔認知機能による誤操作の防止技術を搭載。現場で使用の通信帯域下での低遅延通信技術を使用。【日本建設機械工業会】
- 自律運転機械は、ティーチングプレイバック方式（現場周辺環境に適した動作軌跡）を採用。障害物検知による緊急停止機能、レーザバリアなど外部検知システムと連携した停止機能を使用。【日本建設機械工業会】

ポイント

- 自律運転機械はプログラム型自動運転、遠隔運転機械は無線通信を使用して車載カメラにより運転。
- 遠隔運転機械について、専用回線を用いる場合は数百メートルの範囲、ネット回線を用いる場合は遠距離での操作が可能。現場で使用の通信帯域下での低遅延通信技術も出てきている。

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

- 建設機械の無人運転機械の国際規格としてはISO 23725（タイヤ付き重機の動作規格）のみ。国内規格は未制定。FMS（重機制御システム）と重機との通信規格については未検討。【日本建設業連合会】
- 今後、関係機械に関する規格化が重要と認識。国外では、GMGのガイドライン等はある。重機についてのガイドライン等はないが、規格・ガイドラインの整備は今後の技術普及・安全確保のために重要。【日本建設業連合会】
- 国際規格として、ISO 15143（建機の施工現場情報交換）、ISO 23870（高速相互接続）、ISO 3510（自律システムとフリート管理システム）、ISO 7334（自動・自律運転の分類）がある。【日本建設機械施工協会】
- EU機械規則の改正（2027年1月全面適用）により、高リスク機械への認証が強化され、自律運転機械への遠隔監視機能やサイバーセキュリティ対策などが求められる。【日本建設機械工業会】
- 各国レベルの遠隔・自律施工の実施のための法令・規制、規格等は、現時点で見当たらなかったが、関連制度面では、ISO 12100（A規格）が改訂作業中。これにより、下位規格（B、C規格）も順次改定予定（C規格の改定には数年かかる見込み）。【日本建設機械工業会】

ポイント

- EU機械規則の改正（2027年1月全面適用）により、自律運転機械への対策が強化される。
- 機械安全に係るISO 12100（A規格）が改訂中。下位規格（土工機械の安全性関係）も順次改定予定

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、周辺作業者への接触防止

- 施工者が接触回避のためのリスクアセスメントを実施する（リスクアセスメントをできる能力を付ける必要がある）。機械の作業エリア（＝無人区画）を明示して、有人運転機械や人を入れない措置が重要（有人区画と無人区画の分離に関して、時間的（時間帯）や空間的（エリア）設定ルールが必須。）。エリア管理は、ルールによる「ソフト対策」と、センサを使った警報、機械停止などの「ハード対策」の双方が必要。【日本建設業連合会】
- 機械の動作範囲に人が入らない管理の徹底が重要。個々の現場の環境や形状等、現場条件に応じて運用する必要があり、施工者がその責任を負うもの。機械の機能として、色々なケースを想定してあらかじめ装備するのは措置が過剰となりコストの増加から技術開発の停滞を懸念。センサーなどは多様な技術が出てきているところであり、適宜導入できるようにする必要がある。【日本建設機械施工協会】
- 無人区画での無人運転機械の使用の場合には、誘導員の配置など、不要となる条文は該当しないとすべき。【日本建設機械施工協会】
- ①建設機械側のみでの完全な接触防止は困難であるため、施工者側による無人エリアの設定、立入禁止措置の徹底が必要。②機械側の対応として、エリア逸脱時・通信途絶時の緊急停止措置、接触防止措置（カメラ、センター等）が必要。③施工者側の対応として、現場判断による緊急停止装置が必要。これら（①～③）はガイドライン等で明確にしてほしい（有人運転を前提とした規定（安衛則151～160条）は見直して欲しい。）。国交省の安全ルールと安衛法等の関連規則を整合的に整備・運用されたい。【日本建設機械工業会】

ポイント

- 機械側のみの接触防止は困難。施工者側による無人エリアの設定、立入禁止措置の徹底が必要。
- ルールによる「ソフト対策」と、センサを使った警報、機械停止などの「ハード対策」が重要（一方、措置が過剰となることによるコストの増加から技術開発の停滞を懸念。）。

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

- トラブル時を想定し、専門資格を有するもの（有人運転機械の運転資格を持つ者）がシステムの運用、トラブルに対応している。操作・点検などのマニュアルが必要。無人運転は、通常の（有人の）運転と感覚的に異なる点が多いため、専門の担当者を任命し運転に従事させることが重要。【日本建設業連合会】
- ①建設機械側において、視認性、画像、位置情報等など、どのようなものを情報として提示する必要があるのかということに関するガイドライン整備、明確化が必要。②通信基盤側では、通信品質（遅延・信頼性）に関する基準の整備が必要。③ほか、特定自主検査の項目・検査方法等についての検討・整備が必要。また、通信インフラとして、中継施設や通信品質の確保、サイバーセキュリティ対策への支援が必要。【日本建設機械工業会】

ポイント

- 無人運転は、有人の運転と感覚的に異なる点が多く、専門の担当者を任命し運転に従事させることが重要。
- 求めるアウトプットの内容・水準（視認性、画像、位置情報等）、通信品質に関するガイドラインが必要。また、特定自主検査の項目・検査方法等について検討する必要がある。

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

- 単体で使用する重機のトラブルは、当該重機のエンジンを停止した上で作業場所に入って対応するものであり、安全に停止・再起動できる制御・通信技術の導入が必要。複数重機が同時に稼働する現場の場合、全ての無人運転機械を一斉停止させた上で対応する。通信環境を確保する必要があり、非常時通信機能を活用し遠隔から状況を把握し対応。作業場所に人が入る場合には周辺の重機を確実に停止させてから作業。【日本建設業連合会】
- トラブル時の無人区画内への立入ルールをあらかじめ定め徹底する必要がある。【日本建設機械施工協会】
- ①建設機械側のみでの完全な接触防止は困難であるため、施工者側による無人エリアの設定、立入禁止措置の徹底が必要。②建設機械側としては、通信途絶時の緊急停止措置、制御システムとは別系統の緊急停止措置、緊急停止方法の標準化（ボタン・スイッチの色等）等が必要。③施工者側は、現場判断での緊急停止措置、人が接近する際の安全確認手順、無人運転ができなくなった場合の回収手段の検討が必要。これら（①～③）はガイドライン等で明確にしてほしい。国交省の安全ルールと安衛法等の関連規則を整合的に整備・運用されたい。【日本建設機械工業会】

ポイント

- 機械側においては、緊急停止のための機構が必要。また、通信環境を確保が必要。施工者側においては、対応するためのルール（立入禁止措置、非常時の立入・作業手順）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

- （有人運転機械の）運転資格者が行う必要がある。さらに、システム全体の理解が不可欠であり、運転者がシステムを理解していない場合は、エンジニアと連携した安全確保が必要。【日本建設業連合会】
- 現状、有人運転の場合と同様の資格者が対応している。遠隔運転機械の運転については有人運転の場合より緩和する必要がある。緩和することにより障害者等の人材の活用を広げることができる。【日本建設機械施工協会】
- 既存の技能講習の修了に特別の教育を付加的に受講することで、無人運転機械の運転資格を取得出来るようにする等、既存の制度との連携の確保が必要。資格新設の場合は、多様な人材が資格を取得できるよう配慮することが必要。また、国をまたいだ運転（日本国内から他国に設置された機械を運転する等）についての法令の整備も将来的には検討が必要ではないか。【日本建設機械工業会】

ポイント

- 無人運転機械の運転にあたっては、基本的には、有人運転の場合と同様の知識・技能を持つことをベースとして、システムの理解等も必要ではないか。
- 多様な人材が資格を取得できるよう配慮してほしい。

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

- 現場の労務安全として考える中で、非常停止する手段は冗長性を持たせて欲しいことを建機メーカーに要求している。
  ・無人建機の機能として停止（範囲からの逸脱、通信途絶時等）
  ・物理的な停止装置の具備（運転席・操作タブレット・手持ち式の非常停止ボタン）
  ・外部センサからの停止（レーザーバリアからの信号等）
  【日本建設業連合会】
- 無人運転のための一律な機械への仕様制限はなく、一般的に従前の機械をベースに改造・追加することとしている。【日本建設機械工業会】
- ISO/TC127の設計原則等の国際安全設計原則に準拠。一般的に、通信状態が良好であることや全体システムとしての安全性はユーザ責任であること（有人運転機械と同様）といった周辺状況に関する条件、現場と遠隔の双方からの緊急停止手段や無人・有人の運転切替といった機械に関する条件がある。【日本建設機械工業会】

ポイント

- 主に非常時（緊急停止措置の冗長性や運転切替等）についての制限仕様が見られる。

ヒアリング結果（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）

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

- 安全性を確保しつつ、省人化・効率化を目指している。運用体制（施工能力や安全管理能力が備わった施工会社）、環境整備、情報共有の組合せが重要。これらの組み合わせでもって、全体を最適化する「協調安全」の概念の理解が必要。機械、装置の安全だけでなく、労務安全を拡張していって、それらを組み合わせることで適切に運用していく。【日本建設業連合会】
- 建設分野における無人運転のルールについて、現場の建設会社が負うべき労務の安全であり、国土交通省「建設施工の自動化・自律化協議会」で議論されており、その内容と整合する必要がある。【日本建設機械施工協会】
- 建設分野における無人運転においては、自律、遠隔いずれも機械と人を分離したうえで行う考えである。【日本建設機械施工協会】
- 今後の検討に当っての要望。【日本建設機械工業会】
  ・検討体制として、安全に関する学識者、専門家などの参画のもと、建設・土木、労働安全、通信基盤、セキュリィー対策等を所管する関係省庁、メーカー、ユーザー等と連携してほしい。
  ・機械単体での安全確保には限界があり、施工計画、エリア管理、運用等に関するルールを一体的に規定すること（関係省庁間・関連法規間の整合性の確保）が重要。
  ・他の分野（物流、農業、自動車等）、他国（EU規制、ISO）の動向との整合性も重要
  ・安全確保に関する責任、事故が起きた際の責任の範囲、分担の明確化等を考えてほしい。
  ・機械の種類、運転制御方式、周辺環境を踏まえた規制内容とし、規制の水準は、現状を踏まえ、無人施工の実現、機器の導入・運用、新規参入促進等の側面からも過度・過剰なものでなく、適切なものとしてほしい。
  ・初期投資負担を軽減（補助金、税制等）してほしい。
  ・必要に応じて関連規制の整備緩和等をしてほしい（通信技術基盤の明確化等）。

別添資料２　ヒアリング結果について②（クレーン・港湾荷役機械関係）

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実証試行の段階。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ァイル機能、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の規格として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、周辺作業者への接触防止

- 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よう、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）、周辺作業者への接触防止対策（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

- カメラー、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、機能喪失に対しての対応等、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リテラシーが追加で必要。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、機能喪失に対しての対応等、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。

ヒアリング結果（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）

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、玉掛け作業者、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はなく、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】

別添資料３　ヒアリング結果について③（荷役機械 農業機械 林業機械関係）

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

〈荷役機械〉

- 無人運転の荷役機械について、日本では、無人搬送車として約60年前から現場に導入（ＪＩＳにおいて、無人搬送車には積載型、けん引型、フォークリフト型に分類。）。国内では、近年、無人搬送車として3,000台／年程度納入されている（うち、フォークリフト型は100台程度。）。遠隔操作機械はほぼない。【(一社)日本産業車両協会】

〈農業機械〉

- 2008年からGNSSガイダンス／自動操舵システム（使用者が搭乗した状態で操舵の一部を自動化）による機械が上市・普及（8万台程度）。2018年から目視監視型ロボット農機（ほ場内限定で無人化）が上市。現在、遠隔監視型ロボット農機（遠隔での監視により、ほ場間移動も無人化）が開発・実証段階。（いずれも対象は主にトラクター、田植機、コンバイン）【農研機構】

〈林業機械〉

- 無人運転機械としては、フェラーバンチャ（伐倒作業車）、フォワーダ（集材機械）、下刈機械を中心に開発中。フェラーバンチャは遠隔運転機械（一部自動運転）を開発中、フォワーダは遠隔・自動とも基礎開発が終わり実証フェーズに移る段階、下刈機械は自動運転を実証中。【森林総研】

ポイント

- 荷役機械については、無人搬送車として以前から現場に導入されている。
- 農業機械については、操舵の一部を自動化した機械、ほ場内無人化機械が上市済み。ほ場間移動も含めた無人化について開発・実証段階。
- 林業機械については、フェラーバンチャ、フォワーダ、下刈機械を中心に開発・実証中。

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

〈荷役機械〉

- ＪＩＳにおける産業車両の定義は「一定の作業現場において、各種の荷役作業に使用する車両」。そのうち無人搬送車については、国内では製造業への納入が圧倒的に多く、特に自動車・自動車部品製造業が全体の約35%。このほか、運輸・倉庫業が約５%。【(一社)日本産業車両協会】
- 製品自動倉庫において、出庫された製品を無人フォークがトラックに自動積込みし、積込み終了後にトラック運転手が養生を行う。【ユーザー】

〈農業機械〉

- 「農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン」では、トラクター、茶園管理機械、田植機、草刈機、小型汎用台車、コンバインをロボット農機（自動走行・作業を行う車両系の農業機械）の対象としている。【農研機構】

〈林業機械〉

- フェラーバンチャでは伐木・木寄せ作業を、フォワーダは先山（伐倒する山中）～土場間の木材運搬作業を、下刈機械は植栽済み林地の下刈作業を行う。【森林総研】

ポイント

- 荷役機械（無人搬送車）は、製造業の現場（特に自動車・自動車部品製造業）での使用が多い。
- 農業機械は、トラクター、茶園管理機械、田植機、草刈機、小型汎用台車、コンバインによる作業を想定。
- 林業機械は、機械ごとに用途が大きく異なり、伐木・木寄せ作業（フェラーバンチャ）、木材運搬作業（フォワーダ）、植栽済み林地の下刈作業（下刈り機械）を想定。

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

〈荷役機械〉

- 無人搬送車には、①「経路誘導式」（経路に設置した電磁・磁気等の誘導体によって誘導）、②「自律移動式」（自己位置推定機能、走行制御機能等によって移動）、「追従式」（特定の人・車両に追従）がある。【(一社)日本産業車両協会】

〈農業機械〉

- GNSSガイダンス／自動操舵システムによる機械は、操舵の一部を自動化したもので、使用者が搭乗した状態で使用するもの。目視監視型ロボット農機はほ場内作業に限定した無人状態での自動走行を行うもので使用者が近傍で目視により監視するもの（以上は上市済み）。研究開発段階の遠隔監視型ロボット農機はほ場間移動を含む遠隔監視下での無人状態の自動走行を行うもので一人で複数台の運用を想定。2025年から公道走行実現に向けた実証を実施中。【農研機構】

〈林業機械〉

- 各機種とも油圧モータを電子制御し、専用コントローラで動作指示を行う。フェラーバンチャはVisual-SLAM、フォワーダはLiDAR-SLAM、下刈り機械はGNSSをそれぞれメインに使って自動走行する。【森林総研】

ポイント

- 荷役機械（無人搬送車）には「経路誘導式」「自律移動式」「追従式」がある。
- 農業機械は、操舵の一部自動化、ほ場内の無人化は実現。ほ場間移動の無人化、一人で複数台の運用、公道走行について実証中。
- 林業機械は、各機種とも油圧モータを電子制御し、専用コントローラで動作指示を行う

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

〈荷役機械〉

- 国際規格としては、2020年にISO 3691-4が発行（欧州機械指令への適合の観点で、2023年に改正発行。欧州機械規則への適合の観点で審議中（2027年に改正発行目標）。）。国内規格としては、1990年にJIS D6802「無人搬送車類の安全基準」を発行。2022年にJIS D6802「無人搬送車及び無人搬送車システム―安全要求事項及び検証」改正発行し、ISO 3691-4（2020）に準拠するものとした。遠隔操作式については、「フォークリフトの外からの操作」と位置づけられ、上記ISO、JISの対象外という扱い。【(一社)日本産業車両協会】

〈農業機械〉

- 2018年にISO18497が発行、2024年にISO18497-1～4が発行。国内では2016年に「農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン」（農水省）を策定（以降随時改正）。2018年から農研機構でロボット農機検査（トラクター、田植機、コンバイン）を実施。【農研機構】

〈林業機械〉

- 林業機械に関する無人運転機械の規格は国際規格、国内規格とも存在しない。主要な各国とも日本と同様に検討中の段階。昨年から、林野庁事業として、「林業機械の自動運転・遠隔操作に関する安全対策検討会」を開催し、ガイドラインを策定。【森林総研】

ポイント

- 荷役機械については、国際規格としてISO 3691-4があり、これに準拠したJIS D6802がある。
- 農業機械については、国際規格としてISO 18497がある。国内においてはガイドラインにて対応。農研機構にてロボット農機検査が実施されている。
- 林業機械については、無人運転機械の規格はない。林野庁事業として検討会を実施し、ガイドラインを策定。

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、周辺作業者への接触防止

〈荷役機械〉

- JIS D6802（≒ISO 3691-4）では、人検知は必須としており、電気的検知保護設備（仮想バンパ等）・圧力検知保護装置（バンパ等）の要件、人を検知して停止後の自動再始動の要件、ブレーキシステム、速度制御等について規定されている。
- 旧JIS（ISO準拠前）では、「使用現場側での安全措置」として、運転区域・隔離区域等の区域ごとの標識、色分け、ガード等の安全装置に関する措置や使用環境（建物設備）の整備・維持管理に関する規定を設けていた。【(一社)日本産業車両協会】
- 無人フォークの稼働エリアのラインを引くことにより稼働エリアへの侵入防止喚起、センサの検知範囲の可視化を図るとともに、稼働中の作業者の待機場所を設置している。【ユーザー】

〈農業機械〉

- ロボット農機検査において、ISO18497-4として規定された方法に準拠して人・障害物検出機能の検証が実機を用いて行われている。【農研機構】

〈林業機械〉

- 各機械とも人検知機能を搭載（開発中含む）。フォワーダについては障害物、路面検知についても搭載。下刈り機械については、作業者にビーコンを携帯させることによる対策も検討。【森林総研】

ポイント

- 無人搬送車については、 JIS（ISO）において人検知は必須とし要求事項を規定 。使用者（ユーザー）において、稼働範囲の明確化、作業者の待機場所を設定する等している。
- 農業機械については、ISOの規定に準拠した検証（農研機構のロボット・自動化農機検査）を実施。
- 林業機械では人検知その他障害物検知機能を搭載。ビーコン携帯等の対策も検討。

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、周辺作業者への接触防止

〈荷役機械〉

- JIS D6802（≒ISO 3691-4）では、人検知は必須としており、電気的検知保護設備（仮想バンパ等）・圧力検知保護装置（バンパ等）の要件、人を検知して停止後の自動再始動の要件、ブレーキシステム、速度制御等について規定されている。
- 旧JIS（ISO準拠前）では、「使用現場側での安全措置」として、運転区域・隔離区域等の区域ごとの標識、色分け、ガード等の安全装置に関する措置や使用環境（建物設備）の整備・維持管理に関する規定を設けていた。【(一社)日本産業車両協会】
- 無人フォークの稼働エリアのラインを引くことにより稼働エリアへの侵入防止喚起、センサの検知範囲の可視化を図るとともに、稼働中の作業者の待機場所を設置している。【ユーザー】

〈農業機械〉

- ロボット農機検査において、ISO18497-4として規定された方法に準拠して人・障害物検出機能の検証が実機を用いて行われている。【農研機構】

〈林業機械〉

- 各機械とも人検知機能を搭載（開発中含む）。フォワーダについては障害物、路面検知についても搭載。下刈り機械については、作業者にビーコンを携帯させることによる対策も検討。【森林総研】

ポイント

- 無人搬送車については、 JIS（ISO）において人検知は必須とし要求事項を規定 。使用者（ユーザー）において、稼働範囲の明確化、作業者の待機場所を設定する等している。
- 農業機械については、ISOの規定に準拠した検証（農研機構のロボット・自動化農機検査）を実施。
- 林業機械では人検知その他障害物検知機能を搭載。ビーコン携帯等の対策も検討。

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

〈荷役機械〉

- JIS（ISO）では、速度制御又は操だ制御が故障によって行われなかったときにブレーキシステムが自動的に起動することとしている。併せて、自動再始動の防止の要件も規定している。また、JIS B9703による非常停止機器を装備しなければならないこととしている。【(一社)日本産業車両協会】

〈農業機械〉

- 「農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン」では、自動走行が停止した場合、再開前に停止原因の解消と周囲の安全確認を行うこととなっている。自動運転開始時の安全確認は目視で行っており、ロボット農機検査では、エンジン始動直後やシステム障害時には自動運転不可（手動モード）となること、また、自動運転の状態（自動運転中、可能、不可）を監視者に表示する機能を確認する。【農研機構】

〈林業機械〉

- 各機種とも通信遮断等の異常時の機械停止機能がある。フォワーダには、異常状態の確認機能、遠隔からの再始動の機能、通行不可時の帰還機能がある。フェラーバンチャと下刈り機械には、車体角度センサが装備されている。。【森林総研】

ポイント

- 荷役機械では、JISにおいてブレーキシステムの自動起動、非常停止機器の装備が求められている。
- 農業機械では、自動走行が停止した場合は再開前に停止原因の解消と周囲の安全確認を行うこととなっている。
- 林業機械には、通信遮断時には機械停止機能がある。そのほか、機械により異常確認、再起動の機能がある。

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

〈荷役機械〉

- 自律走行・荷役のため、運転者（操作者）は存在しない。【(一社)日本産業車両協会】
- メーカーから作業者に対し、機械の安全機能や作業上の注意事項について教育を行っている。【ユーザー】

〈農業機械〉

- 「農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン」では、製造者等が導入主体や使用者に対して、ロボット農機の安全使用の訓練を行うこととしている。
- 関係団体が策定したガイドラインでは、ロボット機能を付与する以前の操作ができることを前提として、ロボット農機の内容に即して製造者等が定める使用者訓練（学科・実技）を行うこととしている。【農研機構】

〈林業機械〉

- 有人機械の運転において特別教育の対象となっているフェラーバンチャ、フォワーダについては、特別教育を行うとともに、各機種とも導入時に自動走行専用のオペレーター教育を行うこととしている。【森林総研】

ポイント

- 荷役機械（無人搬送車）については、自律運転機械のため、運転者（操作者）は存在しない。メーカーからユーザー作業者に対し、機械の機能、作業上の注意事項に関する教育が行われている。
- 農業機械については、製造者等が導入主体や使用者等に対して訓練を行うこととしている。
- 林業機械の特別教育に加え、自動走行専用のオペレーター教育を行うこととしている。

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

〈荷役機械〉

- JIS（ISO）では、「重要危険源の一覧」として、機械的危険源（ひかれる等）、電気的危険源（やけど、感電等）、機械が使用される環境に関する危険源（やけど、滑り・落下等）等が示されている。【(一社)日本産業車両協会】
- 稼働中の無人搬送車に接触することなく停止できるよう、ユーザーからメーカーに対し、無人搬送車本体の非常停止ボタンだけでなく、遠隔で停止できる機能を追加するよう求めた。【ユーザー】

〈農業機械〉

- 「農業機械の自動走行に関する安全性確保ガイドライン」では、製造者等に定められた目的・場所においてのみ自動走行可としている。（ロボット農機検査では、設定した作業領域を逸脱しないかを確認する。）【農研機構】

〈林業機械〉

- フェラーバンチャに関しては車体角度のセンサーを使用し、一定角度でアラートを表示。フォワーダについては、積載量や走行速度等の制限を検討中。下刈機械については使用の前提として、傾斜角度、走行速度、気候・地形条件あり。【森林総研】

ポイント

- 荷役機械（無人搬送車）について、 JIS（ISO）では機械的危険源、電気的危険源、機械が使用される環境に関する危険源等が示されている。その他、ユーザーからの非常停止機能に関するニーズあり。
- 農業機械では、製造者等に定められた目的・場所においてのみ自動走行可としている。
- 林業機械について、傾斜角度、気候・地形等の条件や走行速度等の制限を付す機械もある。

ヒアリング結果（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）

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

〈荷役機械〉

- 無人搬送車（荷役機械）については、世界的に統一された安全規格が確立・運用されており、既存の規格や施策及びそれらの成果に基づいて、安全確保がなされていること等を考慮してほしい。また、その一方で「無人搬送車」はまだ労働安全衛生関係法令の中ではまだ明確に規定されていない製品でもあることから、規格と整合した内容での法的な位置づけを明確化してほしい。【(一社)日本産業車両協会】

〈農業機械〉

- 農業機械による死亡事故の約4割は機械の転倒・転落に起因しており、ロボット化で搭乗が不要となれば事故の大幅な低減が期待できる。
- ロボット農機の使用環境（ほ場や周辺環境）は極めて多様であり、人とロボットの共存を考慮した対策が必要。産業・地域の実態に応じた労働安全衛生法令の検討が必要。【農研機構】

〈林業機械〉

- 無人運転時において基本としては作業地内に監視者が必要と考えるが、林業現場では通信状態が悪いことが想定されるため、その前提で実際の運用も踏まえた議論が必要。機体側のセンサー（監視）機能について、試験方法の規格化・ガイドライン化が必要。無人運転機械での人の運搬や過積載に対して、規制するか、機械の安全システムとして対応する必要がある。【森林総研】