

日本建設業連合会の立ち位置

- ・建設各社が、無人重機（自動・遠隔含む）を「製造している」のではありません。
建設各社は工事現場のニーズに応じて、そこで働く重機をアセンブリしています。
- ・有人無人に関わらず、重機の運用に関しては、「機械安全」のみに頼るのではなく、むしろ「労務安全」面から事故に備えた対策をしています。
- ・つまり、「機械安全」だけで工事現場内の安全を担保してもらうことを考えていません。
無人建機が現場内でどのような振る舞いをするのかを重機メーカーから提示してもらうことで、その内容を理解し、無人重機を安全に使う環境を整えています。
- ・オートメーション化が進められていく今後の建設現場では、
「労務安全」×「機械安全」=>「協調安全」という考え方が主流になります。
 - (Who) どの自動建機を用いて、誰が管理するのか
 - (When) 何時から何時まで（時間干渉があるか）
 - (Where) 工事のどのエリアで（空間干渉があるか）
 - (What) どのような作業を（作業干渉があるか）
 - (How) どのような手順で（1→2→3なのか、1→3→2なのか）
 - (Condition) どのような条件のとき（降雨のとき、人が接近したら…）機械仕様を過剰に厳しくしても、人の安全は守れません。

本日の出席者

日本建設業連合会 公共生産性委員会

i-Construction推進部会 ICT活用専門部会

専門部会長 黒台昌弘

(安藤ハザマ技術研究所フロンティア研究部長)

副専門部会長 武石 学

(同 フロンティア研究部 ICT・ロボティクスグループ長)

日本建設業連合会 事務局 小林 航

● 無人運転機械の開発・普及状況

- 建設会社各社は、主に重機メーカー（OEM）と連携し、DBW（Drive-By-Wire）技術を活用したFMS（重機制御システム）の開発を進めています。
- 一部の企業ではスタートアップとも協力し、遠隔操作や無人運転による重機の運用実現に取り組んでいます。
- エクスキャベータ（掘削）、トラック（運搬）、ドーザ（敷き均し）、ローラ（転圧）など、土工事の一連作業を無人化・遠隔化できるよう技術開発が進行中です。
- 自動運転建機を統合的に連携させての作業は、ごく一部の大手ゼネコンでのみ実証中であり、普及にはまだ時間が掛かると推測しています。
- 一部のダム工事で盛り立て作業（運搬・敷き均し・締固め）は自律運転が実装段階まで進んでいますが、経済的な課題が残っており、多くの工事に広く普及できる状況になっていません。

● 無人運転機械の開発・普及状況

現状の普及状況と活用事例

- OEM側も同様に技術開発を積極的に推進していますが、遠隔操作や無人運転重機はまだ一般的に普及している段階ではありません。
- 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です。
- 例えば、能登復旧工事でも遠隔操作技術が活用されています。

災害復旧分野での実績

- 1991年6月3日に発生した普賢岳の火砕流災害復旧工事をはじめ、長年にわたり遠隔操作や無人運転重機の活用実績が積み重ねられてきました。
- 人が立ち入らない安全な作業環境を構築し、技術の有効性を実証しています。

ポイント

- 技術開発は進展しているものの、現場での本格的な普及は今後の課題
- 災害復旧現場での活用実績は、安全性・有効性の面で大きな成果

● 無人運転機械が使用され、又は想定されている作業

・複数の無人重機

造成などの土工事、ダム工事といった大型工事で使用が想定されます。

・個々の重機

運搬（ダンプ）、積み込み（油圧ショベル、ホイールローダ）、転圧（振動ローラ）といった作業で使用されています。

・適用工種

山岳トンネル、シールド工事の現場でも使用されており、繰り返し作業の自動化が中心となっています。

・無人運転重機による土工事の現状

- 一連の土工事作業を無人化・遠隔化
- エクスキャベータ（掘削）、トラック（運搬）、ドーザ（敷き均し）、ローラ（転圧）などの重機を、遠隔操作や無人運転技術で運用
- 各工程で効率的な作業が可能
- 各重機の主な役割と運用方法（次ページ）

● 無人運転機械が使用され、又は想定されている作業

- 各重機の主な役割と運用方法
 - ✓ エクスキャバータ：主にトラックへの土の積み込み作業で活用しています。
 - ✓ トラック：土を目的地まで運搬します。指定経路を走行するタイプと、自動で経路を計算して走行するタイプがあります。また、長距離を後進できるものもあります。締固め完了した造成面をタイヤの据え切り等で損傷させることがないので、盛土の品質の向上も得られます。
 - ✓ ドーザ：盛土の敷き均し作業に用います。カメラやLiDARによるセンシングデータをもとに自動で経路を計算し無人運転します。センシングデータに基づき運転するため熟練運転手よりも動線経路が短くなり作業効率向上が図れることがあります。
 - ✓ ローラ：指定範囲を決められた回数転圧します。計算されたルートに従い前後左右に移動しながら無人運転します。品質確保上、隣の走行ルートはすでに締め固めた部分と20cm程度ラップさせる取り決めになっていますが、計算されたルートとおりに無人運転するため、無駄なラップ長を取らないことから作業効率が向上しています。

ポイント

- 各重機の役割分担と技術活用により、作業の安全性・効率性が向上
- 現場ごとに最適な運用方法を選択し、無人化・遠隔化を推進

● 無人運転機械の制御方式や技術水準

- 制御方式（主に2種類）
 - 1) 油圧系統に直接介入して操作する方法
 - 2) 油圧・電気経路の情報を電子回路に置き換え、DBW装置で制御する方法
- 技術水準
 - ・ どちらの方式でも、通常の操作者と同様の動作が可能
- 保証責任の課題
 - ・ 建設会社やスタートアップが独自開発した場合と、OEM（重機メーカー）が品質保証を含めて提供する場合があり、予期せぬ動作が発生した際の責任の所在が曖昧になっています。
 - ・ 一般的には、開発した個人や組織が責任を持って対応しています。
- 安全検証の現状
 - ・ 現状では人が立ち入らない環境を構築し、その中で動作検証を実施しています。
 - ・ 物損事故の可能性はありますが、人との接触事故は発生していません。

ポイント

- 制御技術は進化しているが、保証責任の明確化が今後の課題
- 安全確保のため、現場環境の分離と検証体制が重要

● 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

1. 国際・国内規格について

- 国際規格

ISO23725（タイヤ付き重機の動作に関する規格）のみが存在しています。

- 国内規格

未制定。OPERAを中心に将来的な規格化に向けた取り組みが進んでいます。

2. 通信規格の課題

- FMS（重機制御システム）と重機本体との通信規格は、ISO23725でも未検討であると理解しています。

- 今後、エクスカベータ・ドーザ・ローラなどの建機でも、規格化が重要と認識します。

● 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

3. ガイドライン策定の動向

- GMG (Global Mining Guidelines Group)
無人運転重機のガイドラインを策定。
- 西オーストラリア州
鉱山向け無人運転重機（主にトラック）の安全ガイドラインを策定
- アメリカ・EU・アジア地域
現時点で安全に関する特別なガイドラインはなし
- 中国
ガイドラインはないが、事故発生時は公安が調査し通常の責任処罰が行われている

4. 建設分野の現状

- 建設分野においては、安全に関して詳細を示したガイドラインは未整備です。

ポイント

- 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
- 日本国内でも規格化・ガイドライン策定への取り組みが進みつつある

- 無人運転機械の使用による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

(無人運転重機の安全確保に必要なポイント)

- ① 重機と作業員の分離環境の構築
 - ・無人運転重機を導入する組織は、重機と労働者が確実に分離された作業環境を構築することが重要です。
 - ・そのためには、分離環境を構築できる「能力」を組織として備えていることが求められます。
- ② 知識とリスクアセスメントの実施
 - ・無人運転重機の特徴を十分に理解し、運用時のリスクアセスメントを実施できる体制が必要です。
- ③ 物理的な接触防止対策の徹底
 - ・各種センサやGNSSによる位置確認、ネットワークを活用した緊急停止措置など、物理的な接触防止装置を重機に搭載しています。
 - ・これらの安全機能が有効に作動していることを、始業前点検などで確認しています。

- 無人運転機械の使用による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

ポイント

- ・有人、無人に限らず施工者が接触回避のリスクアセスメントを実施
- ・機械の作業エリアを決定、明示し、他の機械と人を入れない措置が重要
- ・エリアに近づけないというルールのような「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」の双方が欠けることなく適用されることが必須

- 無人運転機械の使用による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。

無人運転重機の運転操作性の確保

①有資格者による運転操作

- ・無人運転重機の操作は、専門資格を持つ作業者が担当しています。
- ・安全性と操作性を確保するため、資格保有者がシステムの運用にあたっています。
- ・自動化システムの運用面としてシステム保守ができる人材の確保も重要です。

②運転操作性の確保

- ・操作・点検などの明文化したマニュアル作成、それに準じた教育訓練を実施する必要があります
- ・無人運転は通常運転と感覚的に異なる点多いため、専門の担当者を任命し、運転に従事させることも重要と考えます。

ポイント

- ・適切な資格と知識を持つ作業者による運用が、現場の安全確保につながります。
- ・自動自律運転の場合、システムトラブルに対応できる体制の確保も重要です。

- 無人運転機械の使用による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。

無人運転重機の停止時・トラブル時の安全確保

①単体重機のトラブル対応

- ・トラブル発生時は、まず重機のエンジンを停止し、エネルギーを遮断した上で安全に作業場所へ入り、調査・対応を実施しています。
- ・安全に停止、その後の再稼働する制御技術の導入が必要です。

②複数重機が稼働する現場での対応

- ・トラブル発生時は、STOPボタンで全体の重機を一斉停止します。
 - ✓ 通信環境を確保する必要があります。
 - ✓ 常時通信機能を活用し、遠隔から状況を把握しています。
- ・作業場所に人が入る場合は、周辺の重機のみをSTOPボタンで個別停止します。
 - ✓ 非常時通信機能を活用し、迅速かつ安全な対応が可能です

ポイント

- ・トラブル時はエネルギー遮断と遠隔停止機能により、安全確保を徹底
- ・安全に停止する技術も重要
- ・状況に応じて全体停止・個別停止を使い分けることで、作業者の安全を確保

- 無人運転機械の使用による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。

運転者（操作者）に求められる技能の確保

①システム全体の理解が不可欠

- ・無人運転重機の運用には、単なる資格保有だけでなく、システム全体の仕組みや動作原理を深く理解していることが重要です。

②運用体制の工夫

- ・有資格者がシステム全体を十分に理解していない場合は、システムに精通したエンジニアと連携し、安全かつ確実な運用を行うことが求められます。

ポイント

- ・技術と運用の両面から安全性・信頼性を確保する体制づくりが重要

● 無人運転機械を設計するにあたり、どのような条件で設計しているのか (特に、無人運転の場合に有人運転と異なる点)

・機械安全面から機能の制約条件等を、施工者側からOEM側に提示しているのではと思われる質問かと思います。繰り返しとなりますが、建設各社は製造者ではないので、機械安全ではなく、労務安全に目を向けています。よって、例えば、以下のような要求をします。

◆ 非常停止する手段は冗長性を持たせて欲しい

① 無人建機の機能として停止

動作範囲の逸脱時、車両の傾き時、通信の途絶時、
衝突などの加速度を受けた時

② 物理的な停止装置の具備

運転席の非常停止ボタン、操作タブレットの非常停止ボタン、
監視者の手持ち式の非常停止装置

③ 外部センサからの停止

レーザバリアなど外部のセンサで接触を予測した際、その信号で停止

● まとめ ● 無人運転重機の導入における全体方針

- ① 安全性と省人化の両立
 - ・ 施工会社は、無人運転重機を活用して安全性を確保しつつ、省人化・効率化を目指しています。
 - ・ 技術開発はOEMやスタートアップと連携しながら推進しています。
- ② 施工・安全管理能力の重要性
 - ・ 無人運転重機を活用するには、施工管理や安全管理の能力が備わった施工会社が担うべきです。
 - ・ 過度な安全装置の追加は、省人化や生産性向上の目的から逸脱する可能性があります。
- ③ 環境構築とICT活用
 - ・ 機械機能の追加だけでなく、施工会社側が無人運転重機を使える環境を構築することも重要です。
 - ・ ICT機能を活用し、リアルタイムで重機の状態を把握できる環境を整備し、人と機械の協調作業を推進していく必要があります。

● まとめ ● 無人運転重機の導入における全体方針

④ 協調安全の考え方

- ・ 人・設備・環境が情報を共有し、連動・全体最適によってリスクを最小化する「協調安全」の概念を理解し共有することが重要です。

協調安全とは、人，モノ（設備、機械、構造物など），環境（現場、組織、社会など）が，情報を共有することにより、協調して安全を実現する（連動、全体最適によってリスクを最小化する）こと。

ポイント

- ・ 技術だけでなく、運用体制・環境整備・情報共有が安全確保と生産性向上の鍵
- ・ 「協調安全」の考え方を現場に根付かせることが今後の課題

●その他の機械、作業について

山岳トンネル（NATM工法）における一連の作業の自動化が進んでいます。

- ・ 発破掘削作業：削孔・装薬・点火の遠隔化、自動化技術
- ・ ズリ出し運搬作業：掘削土の集積・積み込み・運搬技術
- ・ 当たり取り作業：掘削不足部分や不安定箇所撤去技術
- ・ 支保工設置作業：トンネル周面の支保工設置の無人化技術
- ・ 切羽吹付作業：掘削面の安定性確保のためのモルタル吹付作業
- ・ 覆工コンクリート自動打設：コンクリート材料も含めた圧送・締固め作業の自動化