

建設機械施工の自動化・遠隔化に係る現場検証 検証概要

名称: 衝突軽減システムを搭載した遠隔施工機械の効率性と安全性の検証
検証者: 株式会社フジタ、住友重機械工業株式会社、住友建機株式会社
概要: 造成現場における遠隔施工油圧ショベル(後付け簡易遠隔操縦装置搭載)の掘削・整地作業において、「旋回・後進走行中に一定の範囲で安全ベストを着た人が現れた時に検知して自動で減速停止するシステム(衝突軽減システム搭載周囲監視装置:住友機FVM2+)」について、実際の施工における使用の可否や、使用時の課題を検証する。検証方法は下記の通り。

- ・検知対象は、安全ベスト／反射材付きカラーコーン／車両(反射材貼付)
- ・油圧ショベルに対して、検知対象を徐々に近づける。検知音が鳴った時の機体との距離を確認。
- ・静止している検知対象に対して、旋回や走行で建設機械を近づける。安全距離を保って停止するか確認。



簡易遠隔操縦装置

主な安全方策内容

①エリア区分、逸脱防止関連

エリアの区分方法: 反射物付カラーコーンで囲む
 緩衝帯の設定: 不要(反射物の2.5m手前で停止)
 機械の逸脱防止: Lidarでエリア境界に設置した反射物(カラーコーン等)を検知
 逸脱の検知手段: 反射物付の立入禁止柵(コーンバー等)で囲む
 逸脱検知手段の信頼性、冗長性: 反射物の面積増大・向きの工夫が必要
 エリアの監視手段: 非常停止ボタンを携帯した監視員の配置

②障害物検知関連

- ・検知可能範囲は油圧ショベル左右側面及び後方から約2.5m以内、後方270°の範囲、高さ0.6m~1.8mの範囲
- ・検知性能は安全ベスト(ロングタイプ)を着用した人、または反射物
- ・デジタルツイン上の衝突検知: 該当無し ・機械の危険状態の検知: 該当無し

③非常停止関連

- ・操作用ラジコン及び緊急停止専用の非常停止ボタンの押下で非常停止
- ・上記2つの無線の電波断及び遠隔操縦装置のエラーで非常停止
- ・事象発生から停止までの時間はボタン押下後1秒以内
- ・復旧方法は停止の要因を取り除く

④操作停止関連

- ・衝突軽減装置は、油圧ショベル本体の自動制御で減速・停止する。
- ・反射物を検知後、操作信号が入力されている間は減速・停止を継続。
- ・反射物を検知後、機体までの距離1m手前までに停止。
- ・反射物が検知範囲から外れ、操作レバー中立状態を確認後、操作可能になる。

⑤通信関連

無線通信の種類: 特定小電力無線
 通信の安定・異常の検知方法: キャビン上の回転灯の点灯状態確認
 異常発生から停止判断までの時間: 1秒
 通信関連のセキュリティ対策: 行っていない

⑥その他

回転灯による状態表示
 現場の音声連絡手段: トランシーバー
 対象建機のエリア内への入退場の手段: 遠隔操縦装置油圧ロック作動・解除
 不具合時の対処方法: 停止の要因を取り除く
 エリア変更時の方法・手段: エリア内侵入検知センサーの作動確認

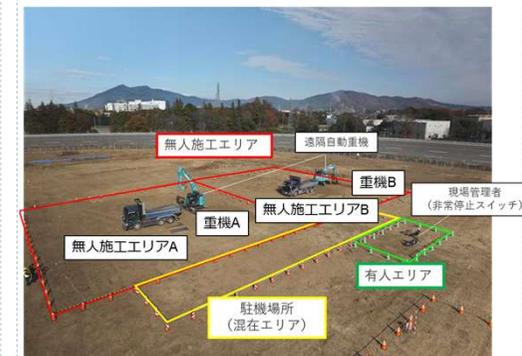
検証結果

- ・検知対象を変えても、検知範囲は同等である。
- ・検知対象に走行で近づく場合、安全ベストやある程度サイズのある反射物を付けていれば問題無く検知して停止する。
- ・検知対象に旋回で近づく場合、安全ベストは問題なく停止するが、反射材付きカラーコーンは条件により停止しないことがあったが、高さを上げることで改善された。センサと反射材の位置関係や角度により検知精度が変わるため、高さを更にするかや全球体形状の反射材などがあると良い。
- ・油圧ショベル前方が検知範囲外になっていることで、後進走行にて検知対象に近づいて停止した場合に、旋回して検知対象の方に機体を向けることで容易に操作復旧出来ることが分かった。

名称: 建設機械施工の自動化・遠隔化技術に係る現場検証

検証者: コベルコ建機株式会社、株式会社安藤・間

概要: 本検証では、予め実施したリスクアセスメントの結果に基づき、準備した技術並びに運用ルールを用いて、現場から離れた1台のコックピットから、自動化技術と遠隔化技術の両方を搭載した重機2台を同時稼働させ、ダンプトラックへの土砂積み込み作業を行い、想定したリスクが発生せずに、作業完了できることを確認するものである。



主な安全方策内容

①エリア区分、逸脱防止関連

エリアの区分方法: 無人施工エリアA, 無人施工エリアB, 混在エリア, 有人エリア
 緩衝帯の設定: 設定なし
 機械の逸脱防止: 現場管理者の監視と、俯瞰カメラによるオペレータの監視
 逸脱の検知手段: 現場管理者と遠隔操縦オペレータによる目視
 逸脱検知手段の信頼性、冗長性: 人による目視
 エリアの監視手段: 目視、俯瞰カメラ

②障害物検知関連

障害物検知機能なし

③非常停止関連

非常停止の有無・手法: 遠隔操作の非常停止、別系統の非常停止スイッチ
 非常停止機能の信頼性・冗長性: 2系統の非常停止機能
 事象発生から停止までの時間: 非常停止から停止開始まで時間1秒以内
 非常停止状態と復旧方法: 非常停止により油圧ロックし停止
 安全確認後、油圧ロック解除で再開

④操作停止関連

操作停止の有無・手法: 遠隔操作による停止
 (コックピット、自動運転操作タブレット)
 操作停止機能の信頼性・冗長性: 2系統の停止機能
 事象発生から停止までの時間: 操作停止から停止開始まで時間1秒以内
 停止状態と復旧方法: 操作停止により油圧ロックし停止
 遠隔操作による油圧ロック解除で再開

⑤通信関連

無線通信の種類: 現場環境に適した通信手段と通信技術 (Wi-Fi、光回線他)
 通信の安定・異常の検知方法:
 通常: 遠隔コックピットモニタ表示、表示灯 (緑色、青色)、ワイパー作動
 異常: 遠隔コックピットモニタ表示、表示灯 (赤色)
 異常発生から停止判断までの時間: 異常発生 (途絶) から停止判断までの
 時間 約1秒
 通信関連のセキュリティ対策: 無線LANの暗号化機能、専用線

⑥その他

回転灯による状態表示:
 赤: 遠隔・自動の異常、黄: 油圧ロック解除、緑: 遠隔の通信接続、青: 自動運転
 現場の音声連絡手段: 携帯電話
 対象建機のエリア内への入退場の手段: オペレータと現場管理者との連絡
 不具合時の対処方法: 自動運転の不具合の場合、遠隔操作で対処
 遠隔操作の不具合の場合、搭乗操作で対処

検証結果:

現場から離れた遠隔操縦コックピットから現場の重機2台に対して遠隔操作と自動運転を切り替えながら、稼働させる検証を行い、走行移動や土砂積み込作業を安全に完了した。検証結果より、安全ルールとして具備すべき内容を以下に提案する。

<重機に具備すべき要件>

- ①機械に近づくための非常停止機能 ②機械の状態把握のための表示灯
- <運用ルールとして具備すべき要件>
- ①エリア区分設定 ②エリアへの人侵入に対する運用ルールの明確化

名称:安全ガイドラインに則った施工エリアの設定と安全システムの現場検証

検証者:酒井重工業株式会社、JIG-SAW株式会社

概要:本検証では、下記をおこなった。

- ①安全ガイドラインに則った各エリアの設定と区分を行い、安全ガイドラインの実用性を確認する。
- ②自律走行式ローラにて自律施工を行っている最中に、現場監視者が遠隔非常停止装置を用いて車両を停車させる。安全確認後、施工を再開する。
- ③自律走行式ローラにて自律施工を行っている最中に、検知対象物としてマネキンを設置し、障害物検知センサで検知、注意喚起、減速、緊急ブレーキ動作による車両の停車をさせる。安全確認後、施工を再開する。



主な安全方策内容

①エリア区分、逸脱防止関連

エリアの区分方法: 転圧エリア、無人施工エリア、無人施工管理エリア、コントロールエリアを「カラーコーン+白線」にて区分した。

緩衝帯の設定: 無人施工管理エリアとして周囲2mを設定

逸脱の検知手段: 遠隔操作者、現場監視者による目視

逸脱時の停止: 遠隔地からの手動スイッチによる停止

逸脱検知手段の信頼性、冗長性: 複数名による目視と複数の停止手段の具備

エリアの監視手段: 遠隔操作者、現場監視者による目視

②障害物検知関連

検知可能範囲: 車両進行方向、車両からの距離10mから注意喚起を開始

検知対象物: 人、物体

デジタルツイン上の衝突検知: 無

機械の危険状態の検知: 無

③非常停止関連

非常停止の有無・手法: 非常停止ボタン、通信途絶、物体検知による非常停止

非常停止機能の信頼性・冗長性: 複数種の無線による非常停止

事象発生から停止までの時間: 未検証

非常停止状態と復旧方法: 安全確認後、非常停止解除で再開

④操作停止関連

操作停止の有無・手法: 重機本体の切替スイッチの切替により自律運転と遠隔操作の停止

事象発生から停止までの時間: 未検証

停止状態と復旧方法: 重機本体の切替スイッチの切替により自律運転と遠隔操作の操作開始

⑤通信関連

無線通信の種類: Wi-Fiを使用

通信の安定・異常の検知方法: システムで監視

異常発生から停止判断までの時間: 任意時間、通信途絶を確認したら、車両停車

⑥その他

回転灯による状態表示_黄色: 自律運転中、赤色: 駐車ブレーキ作動中

現場の音声連絡手段: トランシーバを使用

対象建機のエリア内への入退場の手段: 手動操作もしくは遠隔操作

不具合時の対処方法: 遠隔操作者、現場監視者、もしくは、その指示を受けた者が無人エリアに入り安全を確認

エリア変更時の方法・手段: エリア変更時は、関係者間で速やかに共有

検証結果:

①安全ガイドラインに則ったエリアの設定、および区分により、今回は安全に自律施工の検証が行えることを確認した。特に問題になるような危険な状態は生じなかった。

②自律施工中に、現場監視者が遠隔非常停止スイッチ押下することにより車両が安全に停車することを確認した。

また、安全確認後、非常停止解除により、自律施工が再開することを確認した。

③自律施工中に、障害物検知センサによる物体検知後、注意喚起、減速、緊急ブレーキ動作により車両が停車することを確認した。

また、安全確認後、遠隔操作装置の再開指示により、施工が再開することを確認した。

今回は、1台の車両としての検証をおこなった。今後は、実際の現場で複数台の自律走行車両が施工をした際のエリア設定、安全装置の運用方法を検証する必要があると考える。

名称: 建設現場のリアルタイムな3次元認識技術 及び 建機の衝突検知・防止技術

検証者: 株式会社DeepX、オリエンタル白石株式会社

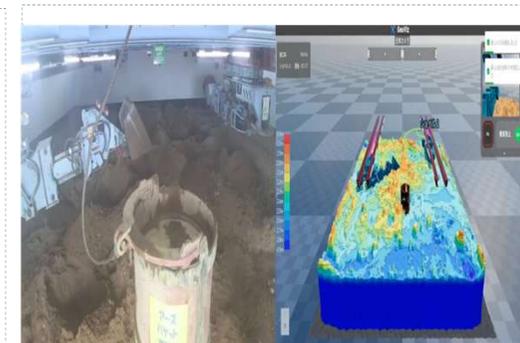
概要: 本検証では、複数建機の自動運転時だけでなく、自動運転と手動運転が混在する場合でも建機同士の衝突を防止し、全体の効率や安全性の向上の確認のため、下記の2技術をニューマチックケーソン工法を題材に検証する。

a) 建設現場のリアルタイムな3次元認識技術

センサーやLidarを用い、建機の姿勢や位置に加え、地山の形状をリアルタイムに3次元で可視化する技術。

b) 建機の衝突検知・防止技術

a)の技術をベースとし、建機同士の衝突可能性を事前に検知し、システム画面上でユーザに警告を発する衝突検知の機能及び、建機同士が衝突する前に建機の動作を停止させる衝突防止の機能。



主な安全方策内容

①エリア区分、逸脱防止関連

- ・特別に実施した事項はなし。(ニューマチックケーソン工法では、建機は函内にしかないため)
- ・通常エリア逸脱は想定されないが、遠隔カメラ経由の目視で函内全体の異常を検知することが可能。
- ・ニューマチックケーソン工法では、遠隔施工が標準であり、遠隔カメラを用いた函内全体の監視による検知の信頼性は高い。複数のカメラでの冗長性もある。

②障害物検知関連

- ・検知可能範囲は各建機の前方20mの範囲。
- ・検知対象は地山と建機、アースバケットである。(人の立ち入りは想定されないため人物検知機能はない)。
- ・デジタルツイン上の衝突検知機能あり。

③非常停止関連

- ・遠隔操縦用コントローラーに緊急停止ボタンが実装されており、押下によって全ての油圧稼働軸と油圧モーターが停止する。
- ・非常停止ボタンの押下に関わらず、遠隔操縦の通信が途絶した瞬間に動作は停止する。※直前の動作入力が残りに残らないように初期化される。

④操作停止関連

- ・エッジ側計算機が、障害物との距離を計算し距離が閾値以下であることを検知した時に、有線LANケーブルを通して制御盤に0の操作信号を流し、比例電磁弁の解放度を制御し操作を停止させる。
- ・停止後は安全確認した上で、遠隔地から再操作可能。

⑤通信関連

- ・通信はWi-Fiと有線を使用。函内は無線、そこまでは有線。
- ・通信状態は管理システムで確認。

⑥その他

- ・函内に設置されたスピーカーホン、作業員個人単位で持ち運ぶトランシーバーによって地上と音声通話できる。
- ・原則として、ソフトウェアについて開発及び提供の責任をDeepXが担い、その利用やハードウェア、施工についてはオリエンタル白石が責任を担う。

検証結果:

建設現場のリアルタイム3次元認識技術、及び、建機の衝突検知・防止技術ともに、問題なく動作することを確認した。

また、事故・トラブル等も特段無かったため、今回の安全方策は適切な設定であったと考えられる。

一方、今回の検証では建設機械は2台のみの稼働であったが、実際の現場ではさらに多くの建設機械が同時に作業することもある。

このときのシステムの頑健性については今後検討・検証が必要と考える。

加えて、今回はニューマチックケーソン工法を題材に検証を実施したが、その他の施工・建機でも動作することを確認することが望ましいと考える。

名称: 重機の遠隔操縦、及び自律運転に関するシステム -バックホウの遠隔操縦、及び自律運転に必要な安全システム-

検証者: 日本電気株式会社

概要: 本検証では、バックホウの自律・遠隔施工システムに具備している各安全技術の有効性を確認する。

検証を実施した安全機能は下記の通り。

- ・人立ち入り検知(ゲート監視/映像による人検知)・越境検知
- ・重機姿勢認識
- ・障害物検知
- ・高可用性通信



主な安全方策内容

①エリア区分、逸脱防止関連

エリアの区分方法:【無人施工エリア】、【混在施工エリア】、【自動・遠隔施工エリア】を設定。
 緩衝帯の設定: リスクアセスメントを実施し設定。
 機械の逸脱防止: 監視者による監視と、センサによるシステムでの監視。
 逸脱の検知手段: センサを設置し、逸脱するか否かを判断。
 逸脱検知手段の信頼性、冗長性: 非常停止ボタンを持った監視者を配置。
 エリアの監視手段: 現場での監視者、カメラ映像による遠隔での監視者、センサによるシステムでの監視。

②障害物検知関連

検知可能範囲: センサの最大検知可能範囲内で柔軟に設定が可能。
 検知性能、識別性能: 検知/識別対象は、システム側で柔軟に設定が可能。
 デジタルツイン上の衝突検知: 今年度の検証では未実装。
 機械の危険状態の検知: センサによる機械の傾斜検知機能を実装。

③非常停止関連

非常停止の有無・手法: 作業機械の自律化・遠隔化を実現するためのソフトウェアに非常停止の機能を実装。
 非常停止機能の信頼性・冗長性: 非常停止に係る信号には冗長性を付与、また通信状況を監視し、通信が不能になった場合にも非常停止が発生するように実装。
 事象発生から停止までの時間: 例として、ゲート監視での非常停止時間は800ms程度。
 非常停止状態と復旧方法: 遠隔で非常停止機能をリセットすることで復旧。

④操作停止関連

操作停止の有無・手法: 作業機械の自律化・遠隔化を実現するためのソフトウェアに操作停止の機能を実装。
 操作停止機能の信頼性・冗長性: 操作停止に係る信号には冗長性を付与、また通信状況を監視し、通信が不能になった場合にも操作停止が発生するように実装。
 事象発生から停止までの時間: 例として、ゲート監視での非常停止時間は800ms程度。
 停止状態と復旧方法: 停止要因が解消されることで自動復旧。

⑤通信関連

無線通信の種類: 5GHz帯無線アクセスシステム。
 通信の安定・異常の検知方法: 通信状況を常に監視し、通信が不能になった場合には、非常停止、あるいは操作停止が発生するように実装。
 異常発生から停止判断までの時間: 通信断絶の検知した場合、直ちに停止信号を発報。
 通信関連のセキュリティ対策: ライセンスバンドである5GHz帯無線アクセスシステムを使用することで、外部からのアクセス契機を更に遮断。

⑥その他

回転灯による状態表示: エンジン稼働状態。スタンバイ状態(正常系)、自律施工中(正常系)、遠隔操縦中(正常系)、搭乗操作中(正常系)、アラート(純正常系停止)、ワーニング(非常系停止)を表示。
 現場の音声連絡手段: 現場ではトランシーバーで音声連絡。
 対象建機のエリア内への入退場の手段: 遠隔操縦で入退場。
 不具合時の対処方法: 不具合原因の特定と対処が完了するまでは、搭乗操作にて対処。
 エリア変更時の方法・手段: 現状は、エリア変更が生じるたびにリスクアセスメントを実施し、危険事象に対処できるように、センサやカメラの設置場所の変更を実施。

検証結果:

各安全機能が問題なく動作することを確認した。
 各安全機能ごとに検証を実施したが、これらの安全機能を組み合わせて使うことで、より安全性が向上することに期待ができる。

一方、今回の検証では、危険を検知したら建設機械の動きを止めることを基本としていたが、全てにおいて止めてしまうと作業効率が落ちてしまうことが考えられる。いかに生産性と安全性を両立させるにはどうすれば良いのかを検討することが今後必要と考える。

加えて、人と建設機械が協調するよう作業するような現場、また複数の建設機械が協調して作業するような現場をイメージした検証も、今後検討していく必要がある。

名称: 自律走行式草刈機における自動・遠隔施工の安全ルールに対する検証
検証者: 金杉建設株式会社、株式会社アクティブ・ソリューション、株式会社創和
概要: 自動走行管理ソフトウェアで設定した水平面および傾斜面の走破範囲を逸脱することなく、自律作業が行え、各種検知機能が有効に動作することを検証する。

1. 設定した走行ルートと草刈機の走行軌跡が乖離していないことを確認する。
2. GNSSがFIX解を得られなくなった場合、草刈機が停止することを確認する。
3. 走行ルートに人物が侵入した場合、画像による人物検知で草刈機が停止することを確認する。
4. 前方の障害物に衝突した場合、バンパーセンサーによる衝突検知で草刈機が停止することを確認する。
5. 非常時の場合、草刈機側面の物理的停止スイッチの押下で即時停止することを確認する。



主な安全方策内容

①エリア区分、逸脱防止関連

- ・ エリア区分は、無人施工エリア・無人管理エリア（緩衝帯）を設定。
- ・ 緩衝帯の設定は、無人施工エリアの外周に幅2.0mで設定。
- ・ 機械の逸脱防止は、GNSSによる測位低下を検知。
- ・ 逸脱の検知手段は、管理アプリに表示されるGNSS測位フラグと目視。
- ・ 逸脱検知手段の信頼性は、GNSSは水平誤差20mm以内、カメラ画像遅延は1.0s以内。
- ・ エリアの監視手段は、管理者・監視員による。

②障害物検知関連

- ・ 検知可能範囲は、①画像による人物検知は、半径30.0m以内で検知。②バンパーセンサーによる衝突検知は、重機の前方離隔0.0mで検知。
- ・ 検知性能、識別性能は、①画像による人物検知は、1.0m以上の人物。②バンパーセンサーによる衝突検知は、クッションドラム（水充填）程度の硬さ。
- ・ デジタルツイン上の衝突検知は、該当なし。
- ・ 機械の危険状態の検知は、該当なし。

③非常停止関連

- ・ 非常停止の手法は、①GNSS測位低下、②画像による人物検知、③バンパーセンサーによる衝突検知、④管理アプリによる遠隔停止、⑤重機側面の物理的停止スイッチの押下による即時停止。
- ・ 非常停止機能の信頼性・冗長性は、①～③は自動、④～⑤は手動。
- ・ 事象発生から停止までの時間：②④は1.0s以内、その他は0.1s以内。
- ・ 非常停止状態と復旧方法は、管理者による自律復帰作業終了まで再稼働しない。

④操作停止関連

- ・ 操作停止手法は、管理者が操作する管理アプリによる遠隔停止。
- ・ 操作停止機能の信頼性・冗長性は、管理アプリの停止ボタンを押下すると動作。
- ・ 事象発生から停止までの時間は、1.0s以内。
- ・ 停止状態と復旧方法は、安全確認後、管理アプリの施工ボタンを押下し再稼働。

⑤通信関連

- ・ 無線通信の種類は、一般回線または場内LANによる。
- ・ 通信の安定・異常の検知方法は、該当なし。（走行経路送信後は自律走行）
- ・ 異常発生から停止判断までの時間は、管理者による管理アプリの目視。
- ・ 通信関連のセキュリティ対策は、SFTP形式によるファイル転送。

⑥その他

- ・ 回転灯による状態表示は、黄：自律走行中、青：搭乗操作中。
- ・ 現場の音声連絡手段は、トランシーバーによる。
- ・ 対象建機のエリア内への入退場の手段は、運転者が搭乗して入退場。
- ・ 不具合時の対処方法は、監視員のみが重機に接近し、自律走行スイッチを搭乗操作スイッチに切り替え、回転灯の青色回転を確認後、不具合に対処する。
- ・ エリア変更時の方法・手段は、管理アプリにより自律走行エリアを作成し、重機搭載PCへ送信する。
- ・ その他は、工事保険は、機械故障による事故は製造者責任、不注意による事故は施工者責任。

検証結果:

- ・ 今回の検証では、「GNSS測位低下・画像による人物検知・バンパーセンサーによる衝突検知・管理アプリによる遠隔停止・重機側面の物理的停止スイッチの押下による即時停止」について動作・検知確認を行い、いずれの機能も有効に働くことを確認した。
- ・ 画像による検知は人物に限定しているが、多様な現場環境によっては検知させる対象を広げる必要性があり、事前のAI学習が必要と言える。
- ・ バンパーセンサーによる衝突検知は、衝突対象により過度に反応することが考えられるので、現場環境に応じて適当なセンサーを選定する必要があると言える。

名称: 建機の安全な遠隔操作の映像・通信技術検証

検証者: (株)ソリトンシステムズ、東京通信機(株)

概要: 遠隔操作における映像の画質や遅延時間を変化させ、一定のワーク時間にどのような影響を与えるのか検証する。

また、複数の回線を使用して冗長度を上げているが、一部の回線を切断した際にオペレーターがどのような違和感を感じるのか評価する。



主な安全方策内容

①エリア区分、逸脱防止関連

エリアの区分方法: トラ棒並びにパイロンにより区分

緩衝帯の設定: 同上

機械の逸脱防止: 通信途絶検知による油圧ロック

逸脱の検知手段: 受信機による無通信検出

逸脱検知手段の信頼性、冗長性:

監視員による無線機での緊急停止

エリアの監視手段: 監視員による目視

②障害物検知関連:実施なし

③非常停止関連

非常停止の有無・手法:

通信途絶検知による油圧ロック

非常停止機能の信頼性・冗長性:

監視員による無線機での緊急停止

事象発生から停止までの時間:

2秒

非常停止状態と復旧方法:

遠隔操作機からの復帰操作

④操作停止関連

操作停止の有無・手法:

遠隔操作機からの油圧ロック操作

操作停止機能の信頼性・冗長性:

油圧ロック状態のフィードバックをランプ表示

事象発生から停止までの時間:

特に規定なし

停止状態と復旧方法:

遠隔操作機からの油圧ロック解除

⑤通信関連

無線通信の種類:

LTE(公衆回線)

通信の安定・異常の検知方法:

複数回線で安定性を保つ。通信断検知で異常検知

異常発生から停止判断までの時間:

2秒

通信関連のセキュリティ対策:

通信の暗号化

⑥その他

回転灯による状態表示:

非常停止/油圧ロック状態をランプ表示

現場の音声連絡手段:

トランシーバー

対象建機のエリア内への入退場の手段:

トランシーバーによる

不具合時の対処方法:

遠隔操作機による復帰操作

エリア変更時の方法・手段:

事務所内で速やかに共有

検証結果:

■検証結果サマリー "モバイル回線を使った見通し外からの遠隔操作"

- End to End の遅延が500ms以下ではワーク時間に対する大きな影響はない
※ただし、遅延幅が一定である事が重要との指摘
- 遅延時間以外にワークに影響を与える要素
 - カメラの画角(FOV Field of View)
 - 映像品質(回線のビットレート 500Kbps以上、FullHD画質が望ましい)
- 回線断の切替遅延はほぼゼロでワークに影響は見られなかった

試験条件	1回目ワーク時間	2回目ワーク時間	3回目ワーク時間	備考
乗車で操作	2分09秒	2分04秒	2分02秒	
3Mbps/遅延最小	3分40秒	4分14秒	4分11秒	
500kbps/遅延最小	4分04秒	4分07秒	3分08秒	強い疲労感
3Mbps/遅延 + 200ms	4分09秒	4分16秒	4分35秒	
3Mbps/遅延 + 400ms	5分35秒	4分06秒	3分46秒	

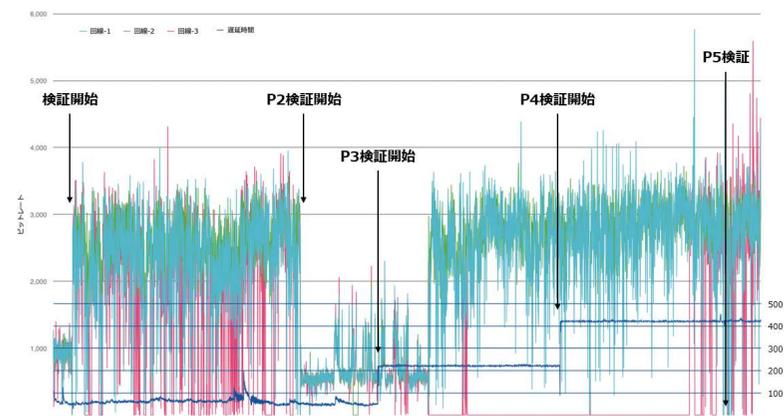
P2: 3回線冗長使用時の確認
伝送レート 3Mbps/500kbps

P4: 3回線冗長で遅延時間を400ms時の確認
伝送レート 3Mbps/遅延時間 400ms設定

P3: 3回線冗長で遅延時間を200ms時の確認
伝送レート 3Mbps/遅延時間 200ms設定

P5: 3回線冗長で1回線断時の操作性確認

通信状況のご説明



名称: 自動・遠隔施工及び安全対策を実現する建設フィールドのIoTシステム要件検証

検証者: 株式会社アプトポッド

概要: 本検証では実際にDX実験フィールドにおいて対象デバイス(自動車、ロボット、スマートフォン)から公衆モバイル網を活用し、クラウドサーバで稼働する当社IoTシステムとのデータストリーミング環境を用いて、下記想定要件に対する機能検証を実施。自動・遠隔施工と安全対策を実現するためのIoTシステムに必要とされる要件検証を実施

- [想定要件]
- ・低遅延性検証
 - ・複合的なデータ種類のリアルタイムなストリーミングと可視化
 - ・高頻度、大容量データのストリーミング
 - ・双方向データ通信 (ロボット遠隔制御)
 - ・IoTシステムへのデータの永続化



主な安全方策内容

①エリア区分、逸脱防止関連

オペレータ/現場管理者による目視、及びリアルタイム可視化アプリケーションにより、各機体/デバイスからのGNSSによる位置情報をリアルタイム監視

⑤通信関連

自動車(制御データ/GNSS/映像)、ロボット(制御データ/GNSS/映像)、人が携行するスマートフォン(GNSS/映像/6軸センサ)をLTE回線とAWS上のクラウドシステム経由でリアルタイムモニタリングを同時に実施。ロボットにおいては双方向通信による遠隔制御を実施。各機体、エッジ-サーバー間のデータ通信ではSSL/TSLによる暗号化通信でセキュリティを担保

②障害物検知関連

該当なし

⑥その他

限定エリア内で各オペレータの目視による安全確認と管理者がリアルタイム監視アプリケーションで各機体の位置情報をリアルタイムで監視

③非常停止関連

ロボットの遠隔操作においては、通信断絶時のフェールセーフとして、ロボット側で1s間制御データ受信がない場合は自動停止する仕組みを実施

検証結果:

各機体をLTE回線経由で単一のクラウド環境へ接続し、統合可視化を実施。結果問題なくリアルタイムでの遠隔データ送受信が動作。また、ロボットにおいては同環境での遠隔制御を実施し、遅延を感じることはない遠隔操作ができた。また、各機体での遅延計測を実施し、遅延については以下の通り概ね想定通り。

④操作停止関連

同上

- ・ 車両制御データ: RTT100-200ms程度(若干当社ベンチマークより遅延)
- ・ 車両映像: RTT300ms-400ms程度(エンコード/デコード含む)
- ・ ロボット制御データ: RTT 100ms程度
- ・ ロボット映像データ: RTT 300ms程度(エンコード/デコード含む)
- ・ スマートフォン6軸センサデータ: RTT 100ms程度
- ・ スマートフォン映像: RTT 300ms程度(エンコード/デコード含む)

※RTT = ラウンドトリップタイム (エッジ - クラウド - エッジの折り返し時間)

名称: 自動化建設機械の無線緊急停止システム

検証者: 大成建設株式会社、大成ロテック株式会社

概要: 本検証では、建設機械に当社で開発を行っている機能安全を考慮した無線緊急停止システムを搭載し、送信機のボタン押下時と通信途絶発生時に、建設機械が動作停止することを確認するものである。
具体的な検証方法は下記のとおり。



- 1) 稼働状態の建設機械に対して、無線緊急停止システムのボタンを押下し停止するか確認。
- 2) 稼働状態の建設機械に対して、無線緊急停止システムに通信途絶が発生したときに停止するか確認。
- 3) 現場の状況を模擬し、人が重機に近づくとき、重機が施工範囲から逸脱する場合に1) 試験を行う。

主な安全方策内容

①エリア区分、逸脱防止関連

- ・無人施工エリア、有人施工エリアを設定。（無人施工エリアが有人施工エリアと重なる場合は、エリア区分せず運行ルール等を周知し混在作業でも可。）
- ・逸脱時は遠隔地から無線緊急停止システムにより非常停止させる。
- ・逸脱検知は現地、カメラ映像の目視より行う。
- ・逸脱検知の目視確認はオペレータ、現場監視人が行う。
- ・各エリアの監視は現場監視人が目視で行う。

②障害物検知関連

- ・今回は非常停止装置の検証のみであり該当なし。

③非常停止関連

- ・緊急停止ボタンの押下による非常停止。
- ・送信機と受信機の接続確認機能により、通信途絶時にも非常停止。
- ・押下後、通信途絶確認後、即時にエンジン停止（1秒以内）
- ・非常停止後は停止要因を排除した上で、遠隔地から再起動可能。

④操作停止関連

- ・無線緊急停止システムは非常停止の機能のみであるが、非常停止時はエンジンが停止し、自動・遠隔操作を受け付けなくなるため操作停止とみなすことができる。

⑤通信関連（非常停止装置用）

- ・通信はデジタル簡易無線を使用。その他LTE-M、特定小電力無線も選択可。
- ・通信状態は受信機の接続確認機能で監視。
- ・通信途絶を検知したら非常停止。

⑥その他

- ・今回は非常停止装置の検証のみであり該当なし。

検証結果:

無線緊急停止システムのボタン押下時、通信途絶発生時に停止機能が問題なく動作することを確認した。また、到達距離についても合わせて検証を行ったが、建物等の遮蔽が多数存在する状況でも約1.0km程度通信可能であることを確認した。（土木研究所DXフィールド～国道408号間）

一方、今回の検証では建設機械は1台のみの稼働であったが、実際の現場では複数の建設機械が同時に作業することとなる。

このときの停止時の復旧体制等については今後検討・検証が必要と考える。

改善点として、送信機の緊急停止ボタンが外側に出っ張っており、誤操作が発生する可能性があるため、保護カバーを付ける等の対策措置を行う必要がある。

名称: 遠隔操作の油圧ショベルと有人ダンプトラックとの協調作業時の安全ルールの検証

検証者: ARAV株式会社

概要:

千葉県柏市の試験場にて油圧ショベル1台、ダンプトラック1台を利用した実証試験を行う。遠隔運転者は同千葉県柏市からの操作、東京都江東区からの操作の2パターンを試験する。SWGで定義された安全区画のエリア分けを実施する過程で、十分な安全は確保可能なのか、実態となる現状と乖離がないか調査を行う。実現可能性の実証を目的とするのではなく、安全、リスクアセスメント (安全ガイドライン、PLr、FMEA、FTA) が十分かどうかの検証に重きを置いた実証とする。



機械側: 千葉県柏市

主な安全方策内容

①エリア区分、逸脱防止関連

エリアの区分方法: トラロープ、カラーコーンにて定義
緩衝帯の設定: 1mの緩衝帯有り
機械の逸脱防止: 非常停止子機の範囲外になると自動停止
逸脱の検知手段: カメラにより遠隔操作者が確認
逸脱検知手段の信頼性、冗長性: 現場監督者が非常停止子機を保有
エリアの監視手段: 遠隔操作者がカメラ、現場監督者が有視界で確認

②障害物検知関連

検知可能範囲: オプションによりカメラ検知機能を搭載可
検知性能、識別性能: 5fpsの処理速度
デジタルツイン上の衝突検知: オプションでシミュレータ連携を搭載可
機械の危険状態の検知: オプションで計器撮影カメラを搭載可

③非常停止関連

非常停止の有無・手法: 非常停止子機により停止可
非常停止機能の信頼性・冗長性: 429/920MHz 帯を利用、双方向通信
事象発生から停止までの時間: 0.15秒
非常停止状態と復旧方法: 非常停止子機から油圧ロックの操作可

④操作停止関連

操作停止の有無・手法: 遠隔運転席から操作停止を可能
操作停止機能の信頼性・冗長性: 2.4/5GHz のメッシュWifi を利用
事象発生から停止までの時間: 0.135秒
停止状態と復旧方法: 操作ジョイスティックのニュートラルに遷移

⑤通信関連

無線通信の種類: メッシュWifi + (光回線 or Starlink or 5G/4G/LTE)
通信の安定・異常の検知方法: デバイス同士の通信状況監視
異常発生から停止判断までの時間: 2秒 ※カスタム変更可能
通信関連のセキュリティ対策: 認証付MQTT + 秘匿化

⑥その他

回転灯による状態表示: 有り(赤, 黄, 緑)
現場の音声連絡手段: IPTランシーバー
対象建機のエリア内への入退場の手段: 遠隔操作で入場
不具合時の対処方法: 非常停止スイッチを押下した後、実機確認
エリア変更時の方法・手段: 関係者に共有
その他: フロントカメラ、アラウンドカメラ、俯瞰カメラを搭載

検証結果:

机上検討においてFTA/FMEAの検討に着手、FTAについては作成が完了した。また実機検証については、現場監督者と遠隔操作者はIPTランシーバーで意思疎通しながら安全にダンプ積み込み作業を完了した。また遠隔作業中に操作停止機能、非常停止機能の両方が仕様通りに作動することを確認した。



操作側: 東京都江東区

- 名称:** 除雪用機械の自動制御
- 検証者:** 株式会社ワイズ、株式会社フクザワコーポレーション
- 概要:**
- ・凍結防止剤散布車の自動散布精度の確認。予め登録された場所において自動で散布が開始／停止するか
 - ・ロータリー除雪車の投雪方向(シュート角度)自動制御精度の確認。予め登録された場所においてシュート角度が正しく制御されるか
 - ・マシンガイダンスシステムの地図案内精度の確認。走行車両が予め登録された危険地点に接近した際に音声により正しく警告を発し、また走行地点のGoogleStreetView画像による確認ができるか。



主な安全方策内容

①エリア区分、逸脱防止関連

エリアの区分方法:

緩衝帯の設定:

機械の逸脱防止:

該当する検証は無し

逸脱の検知手段:

逸脱検知手段の信頼性、冗長性:

エリアの監視手段:

②障害物検知関連

検知可能範囲:

検知性能、識別性能:

該当する検証は無し

デジタルツイン上の衝突検知:

機械の危険状態の検知:

③非常停止関連

・(ロータリー除雪車に関して動画で紹介)

・運転席に非常停止ボタンあり、運転手が危険を察知した際にボタン押下。

・押下と同時にアクセル無効、オーガの回転動力停止(但し完全停止までの時間あり)

・エンジンを再度掛ける事で復旧可能

④操作停止関連

操作停止の有無・手法:

操作停止機能の信頼性・冗長性:

該当する検証は無し

事象発生から停止までの時間:

停止状態と復旧方法:

⑤通信関連

無線通信の種類:

通信の安定・異常の検知方法:

該当する検証は無し

異常発生から停止判断までの時間:

通信関連のセキュリティ対策:

⑥その他

・散布車については音声での散布制御動作を確認。

・ロータリーについては2種類のGNSSアンテナでの精度を評価。

・マシンガイダンスシステムでは危険地点を即時登録、反映できる事を確認。

検証結果:

散布車、ロータリー、マシンガイダンスシステム共に、予定されていた制御が正しく行えていることを確認できた。

ただ、今回検証した3つの技術全てにおいてGNSSによる自車位置判定において制御を行うため、GNSSセンサーの精度、その時の衛星位置、周囲の障害物による精度低下などの影響で自車位置が正しく判定されないと、誤反応の原因となりうる。特にロータリーの投雪制御では、危険な制御では無かったものの、2アンテナのGNSSセンサよりも1アンテナセンサの方が精度が出ていないことが確認できた。GNSSの精度が出ていない時の制御方式をどうするかが課題として考えられる。

名称：アスファルトフィニッシャの遠隔操作および自動操舵技術

検証者：世紀東急工業株式会社、ARAV株式会社

概要：当技術はアスファルト舗装工事で用いるアスファルトフィニッシャ（AF）の遠隔操作および自動操舵を行うものである。AFによる舗設作業は、従来AF本体の運転および作業装置の操作を行う上乗りと呼ばれるオペレータと敷き均し作業を管理するアジャストマンと呼ばれるオペレータの2名により行われる。当技術ではこの上乗りと呼ばれるオペレータの操作を遠隔にて行うものである。当システムの安全面における最終的な目標は、AIによる行動検知技術を適用して、AF近傍の作業員の行動を解析し、安全な行動、不安全な行動を識別し、不安全な行動に対してAFを自動停止するシステムの構築である。本検証の目的は、行動検知技術の導入に先立ちAF遠隔操作・自動操舵システムの挙動に関して基本的な動作検証を行い、システムそのものの安全性を確認し、自動停止システムの構築へ向けた基礎データとすることである。



主な安全方策内容

①エリア区分、逸脱防止関連

エリアの区分方法：エリア設定なし（有人施工エリアでの運用）

緩衝帯の設定：なし

機械の逸脱防止：なし

逸脱の検知手段：遠隔モニタによる目視

逸脱検知手段の信頼性、冗長性：未確認

エリアの監視手段：遠隔モニタによる目視

②障害物検知関連

検知可能範囲：AF中心に79°の範囲で前方22mまで検知

検知性能、識別性能：人物検知

デジタルツイン上の衝突検知：未装備

機械の危険状態の検知：未装備

③非常停止関連

非常停止の有無・手法：有・緊急停止ボタンおよびAF備え付けの非常停止ボタン

非常停止機能の信頼性・冗長性：AF本体から離隔225mでの作動を確認

事象発生から停止までの時間：2.9秒（3回平均）

非常停止状態と復旧方法：AFエンジン停止。復旧はAF本体のエンジン始動ボタンを押下

④操作停止関連

操作停止の有無・手法：遠隔画面での停止ボタンの押下

操作停止機能の信頼性・冗長性：操作系統とは別帯域(特定省電力無線

495MHz)の利用、死活監視機能付

事象発生から停止までの時間：0.7秒（3回平均）

停止状態と復旧方法：エンジン稼働状態での停止。

⑤通信関連

無線通信の種類：LTE 8回線

通信の安定・異常の検知方法：遠隔操作画面に通信状況(タイムラグ)を表示

異常発生から停止判断までの時間：10秒 ※利用環境に応じてカスタム変更可能

通信関連のセキュリティ対策：未装備（回線キャリアのセキュリティに従う）

⑥その他

回転灯による状態表示：回転等はなし。緑・黄・赤インジケータによる状態表示

現場の音声連絡手段：Safielによる映像・音声通話

対象建機のエリア内への入退場の手段：設定なし

不具合時の対処方法：操作画面上で各デバイスの動作状態を確認可能

エリア変更時の方法・手段：設定なし

その他：アラウンドカメラ搭載

検証結果：

人物検知機能が問題なく動作することを確認した。

また各種操作のタイムラグを計測したが、現在想定している作業上で問題となる遅延は確認されなかった。

人物検知機能は、検知範囲が広範囲に及んでいるため、作業状況に適した検知範囲を設定するとともに、AF直近で作業員が作業を行う状況を踏まえ、行動検知やセンサーなどを用いた緊急停止機構の実装を目指したい。



名称: 建設機械施工における安全・安心向上のための非常停止遠隔操作支援システム

検証者: IDEC株式会社

概要: 自動運転状態や無線遠隔操作など、人が搭乗して操縦を行わない建設機械においても、操作者以外の施工監視員が危険を感じた場合や、メンテナンス員が機械に接近する場合など、建設機械を即座に停止させる必要がある。そのような状況下で、遠隔より無線信号を送信することで非常停止動作を支援するシステムを、無人建設機械へ適用することで安全性向上に貢献するかについて検証するものである。

◆稼働している遠隔操作型バックホウを、諸条件下において遠隔から確実に停止させる確認を実施した。



主な安全方策内容

①エリア区分、逸脱防止関連

エリアの区分方法: 実施していない

緩衝帯の設定: 実施していない

機械の逸脱防止: 実施していない

逸脱の検知手段: 実施していない

逸脱検知手段の信頼性、冗長性: 実施していない

エリアの監視手段: 実施していない

②障害物検知関連

検知可能範囲: 実施していない

検知性能、識別性能: 実施していない

デジタルツイン上の衝突検知: 実施していない

機械の危険状態の検知: 実施していない

③非常停止関連

非常停止の手法: 送信機の操作による遠隔からの非常停止支援操作

機能の信頼性・冗長性: 操作は機械的にラッチされ、リセットするまで連続発信

操作から停止までの時間: 信号発信まで最大100ms以内、重機逸走は<50cm

復旧方法: 送信機リセット後に、重機の非常停止ボタン解除までは再始動不可

④操作停止関連

操作停止の有無・手法: 実施していない

操作停止機能の信頼性・冗長性: 実施していない

事象発生から停止までの時間: 実施していない

停止状態と復旧方法: 実施していない

⑤通信関連

無線通信の種類: Bluetooth 5.2, Advertise通信形式

通信の安定・異常の検知方法: 通信状態は重機に設置の表示灯で確認

異常発生から停止判断までの時間: 異常発生後1/5/10秒後に停止の設定可

通信関連のセキュリティ対策: 信号の難読化

⑥その他

回転灯による状態表示: 緑/通信、白/電源、赤/停止状態

現場の音声連絡手段: トランシーバによる音声連絡

対象建機のエリア内への入退場の手段: 実施していない

不具合時の対処方法: 非常停止でのエンジン停止確認後に重機に接近

エリア変更時の方法・手段: 実施していない

検証結果:

遠隔からの非常停止支援操作によるエンジン停止が、想定している条件ですべて正しく動作することを確認した。

重機のコントロール無線とは異なる方式の非常停止手段を持つことは作業者の安全確保のために重要であり、非常停止状態となった後は、非常停止装置をリセットするまでは、コントロール無線による再始動が出来ないことで、現場作業者の安全・安心を担保するコンセプトについて検証できたことは意義深い。

建設機械の非常停止操作を遠隔からアシストする要素技術について検証を行ったが実際の建機への実装に際しては、建機メーカーと協働で取り組みたい。

名称: 後付け遠隔施工機械の安全運用に関する制御技術 遠隔制御停止動作にかかる要素技術の提案
検証者: 株式会社アクティオ、ORAM株式会社
概要: 標準バックホー(0.45m3クラス)に、後付け遠隔操作装置(ORAM社提供)を搭載。
 更に、作業者接近検知システム(非常停止システム)を同時に搭載。遠隔操作時に機器が暴走した事を想定して、現場作業員が暴走したバックホーに向けて、作業者接近検知システム用のICタグを投げ入れて、暴走したバックホーを緊急停止させる。



主な安全方策内容

①エリア区分、逸脱防止関連

エリアの区分方法: バックホーの作業半径8m以内を立入禁止
 緩衝帯の設定: 約4mを設定
 機械の逸脱防止: 遠隔操作装置のアクチュエータを操作レバー左側のみ取付
 逸脱の検知手段: 目視作業にて行う
 逸脱検知手段の信頼性、冗長性: 現場管理者、オペレーターが目視確認
 エリアの監視手段: 現場管理者が目視確認

②障害物検知関連

検知可能範囲: 3m、4m、6m、8m、10m、12mの6段階
 検知性能、識別性能: ICタグに検知
 デジタルツイン上の衝突検知: 機能なし
 機械の危険状態の検知: 機能なし

③非常停止関連

非常停止の有無・手法: 遠隔操作装置の非常ボタン押下
 非常停止機能の信頼性・冗長性: 異常検知でオペレーターが非常ボタン押下
 事象発生から停止までの時間: 1秒以内
 非常停止状態と復旧方法: 非常ボタン解除後に復旧

④操作停止関連

操作停止の有無・手法: 遠隔操作装置の非常停止装置
 操作停止機能の信頼性・冗長性: オペレーターが非常ボタン押下で停止
 事象発生から停止までの時間: 1秒以内(油圧ロック)
 停止状態と復旧方法: 安全確認後、オペレーターが非常ボタン解除

⑤通信関連

無線通信の種類: Wi-Fi
 通信の安定・異常の検知方法: PCにて確認
 異常発生から停止判断までの時間: 通信途絶直後に停止
 通信関連のセキュリティ対策: 無線LAN

⑥その他

回転灯による状態表示
 現場の音声連絡手段: 口頭にて伝達
 対象建機のエリア内への入退場の手段: 口頭にて展達
 不具合時の対処方法: 監督者が作業者接近システムのICタグを持参し接近
 エリア変更時の方法・手段: 口頭にて伝達
 その他:

検証結果: 検証は成功。遠隔操作バックホー操作時(旋回中)に、長尺棒に取付けたICタグを重機本体に近づけて非常停止(油圧ロック)がかかることを確認。また、タグのみをエリア外から投げ入れて、同じく非常停止(油圧ロック)がかかることを確認できた。

以上の観点から、現場の自動化・遠隔化した重機の点検・整備・修理を行う際に、本作業者接近検知システムを取付けてICタグを作業員に持たせることで、重機の停止が確保できるので、作業員の安全が確保でき、安全に作業が行える事を確認できた。

名称: 固め回数管理システムとステレオカメラによる回避区域の自動検出システム

検証者: サイテックジャパン(株)・SICK(株)・日本国土開発(株)

概要: 自動施工を安全かつ効率良く行なうための要素技術を検証する

ステレオカメラから出力された座標と締固めシステムのGNSS座標を組合せ、物体で囲われたエリアを認識できることを検証する。カメラ座標から現場座標へ30cm程度の精度で変換できることが確認できた。また、重機に装着したGNSSアンテナ・3Dビジョンカメラの位置および方向のオフセット値の精度、カメラの向きが座標変換の精度に影響することが確認できた。

複数の三角コーンの位置関係から、囲まれたエリアを認識できることが確認できた。

Visionary-B Two People Detection



主な安全方策内容

①エリア区分、逸脱防止関連

- ・3Dビジョンカメラを使用しカラーコーン認識にて囲んだエリアを認識し危険区域として設定
- ・クラウド共有にて他の重機システムに危険回避区域を共有

②障害物検知関連

- ・検知可能範囲は5-15mで設定。
- ・カメラ画角で認識できない場合は位置をずらしても自動で座標修正可能。

③非常停止関連

- ・なし。

④操作停止関連

- ・オペレータが手元のボタンを押すことで動作。
- ・今回は手動動作の為、稼働しない状態で実施

⑤通信関連

- ・通信はAU回線を使用。
- ・クラウドを用いて認識したエイアデータの共有

⑥その他

- ・AI認識はカメラ画角にて認識できない場合がある
 - ・カメラ座標から現場座標へ30cm程度の精度で変換できることが確認できた。
- また、重機に装着したGNSSアンテナ・3Dビジョンカメラの位置および方向のオフセット値の精度、カメラの向きが座標変換の精度に影響することが確認できた。複数の三角コーンの位置関係から、囲まれたエリアを認識できることが確認できた。

検証結果:

3Dビジョンカメラを使用した現場画像を利用することで、事前設定できない危険エリアなどの現場情報を現地で把握し、即時に情報共有し、対応することが可能と考えられる。

AI分析で自動的に危険エリアなどを特定できることが望ましいが、マニュアルで特定することでフレキシブルに対応できることにも意味があると考ええる。

今後の課題

三角コーンなどの対象物をAI分析し、カメラ座標を自動取得できるようにする。三角コーンは小さく特長が少ないため、認知可能距離が人間よりも近くなる可能性が高い、今年度の検証のようにポイントクラウドから対象物座標を特定する方法は汎用性があり、AIで特定できない対象物の場合にも利用できる。

名称: 油圧ショベル用アタッチメント作業・交換の遠隔操作技術

検証者: 小松製作所

概要: 本検証では、自動・遠隔施工機械に必要な下記要素技術の動作検証、及び実現場を想定した稼働を行い、自動・遠隔施工機械の安全ルールについて検証を行うものである。実現場への適用に向けて、効率性の面からも効果・課題について検証を実施した。

1. 油圧ショベル及び油圧ショベル用アタッチメントの遠隔操作
2. 油圧オートカプラ (NETIS登録: KT-210010-A) によるアタッチメントの遠隔交換
3. 遠隔緊急停止装置



主な安全方策内容

①エリア区分、逸脱防止関連

エリアの区分方法: カラーコーンによる無人・有人施工エリアの区分け

緩衝帯の設定: カラーコーンによる区分け

機械の逸脱防止: カメラ映像・現場監視員による機械の動作確認、緊急停止

逸脱の検知手段: カメラ映像の監視、現場監視員

逸脱検知手段の信頼性、冗長性: 複数名(オペレータ、監視員)による監視

エリアの監視手段: カメラ映像、現場監視員

②障害物検知関連

検知可能範囲: 俯瞰カメラ可視範囲、車輛周囲モニタ範囲(4.5m)

検知性能、識別性能: カメラ可視範囲を有人で監視

デジタルツイン上の衝突検知: なし

機械の危険状態の検知: オペレーター用モニタに傾斜状態の表示

③非常停止関連

非常停止の有無・手法: カメラ映像と遠隔操作装置による緊急停止

非常停止機能の信頼性・冗長性: 遠隔監視と現場監視員による緊急停止

事象発生から停止までの時間: 1秒以内に動力停止

非常停止状態と復旧方法: 現場で安全確認後、中継地のラジコンで再始動

④操作停止関連

操作停止の有無・手法: 遠隔操作装置によるロック手法

操作停止機能の信頼性・冗長性: オペレータが遠隔装置のボタンで操作

事象発生から停止までの時間: 1秒以内にロック機能作動

停止状態と復旧方法: 現場の安全確認をオペレータに連絡後、遠隔で再開

⑤通信関連

無線通信の種類: 特定小電力(中継室-車輛)、LTE回線(遠隔操作室-中継室)

通信の安定・異常の検知方法: 表示灯、カメラ映像の目視、エラー発報音

異常発生から停止判断までの時間: 1秒以内に動力停止

通信関連のセキュリティ対策: 閉域網、インターネットVPN

⑥その他

回転灯による状態表示: 黄色灯 運転状態、赤灯 緊急停止、通信異常時

現場の音声連絡手段: トランシーバで連絡

対象建機のエリア内への入退場の手段: 無人エリアに遠隔操作で入場

不具合時の対処方法: 監視員による安全確認、作業員が緊急停止装置を携帯

エリア変更時の方法・手段: 旗の掲示とトランシーバによる連絡

その他: アタッチメント装着状態の遠隔モニタへの表示

検証結果:

遠隔操作 走行時の制動時間・距離、及び旋回時の停止角度に差が出た

通信方式による制御信号遅延とカメラ機器による映像遅延が主要因

→ 無人施工エリア・緩衝帯設定時には、通信方式、視界性、車輛の仕様(重量、大きさ、メーカー等)の考慮が必要

油圧オートカプラ及びアタッチメントの遠隔交換操作の有効性を確認

→ 人力施行の機械化、現場作業員のゼロ化、現場稼働台数低減による機械接触リスクの低減等、大幅な安全性向上

天候、環境(日照状態、霧等)により、カメラでの視認性に違いが出るため、安全性にも影響が懸念され、例えば、霧による視界不良の場合、施工を止める等の判断の必要性を確認。

名称 : 建機の自動・自律化システムの安全機能検証 —センサー検知による自動停止・回避—
検証者 : 大林組・宮本組・砂子組・EARTHRAIN・SafeAIジャパン
概要 : アーティキュレートダンプトラックとブルドーザに搭載した自動・自律化システムの安全機能、運用ルールに関して、以下を検証した。

- 1)安全機能 緊急停止(遠隔で建機を緊急停止させる)、障害物検知(静止した障害物を検知して、停止または回避する)、天候・時間帯の影響の検証
- 2)運用ルール 関係者による聞き取り結果をまとめる



主な安全方策内容

①エリア区分、逸脱防止関連

エリアの区分方法: カラーコーン、バリケード
 緩衝帯の設定: なし
 機械の逸脱防止: エリア逸脱時は遠隔または自動停止
 逸脱の検知手段: 目視、GNSSセンサー
 逸脱検知手段の信頼性、冗長性: 上記2種類の検知手段による冗長性の確保
 エリアの監視手段: 監視員、監視カメラ

②障害物検知関連

検知可能範囲: 重機前方70m以内、後方25m以内
 検知性能、識別性能: 高さ0.7m以上のものと人を検知可能
 デジタルツイン上の衝突検知: なし
 機械の危険状態の検知: なし

③非常停止関連

非常停止の有無・手法: 非常停止ボタン、通信途絶、障害物検知による停止
 非常停止機能の信頼性・冗長性: 上記3種類の検知手段による冗長性の確保
 事象発生から停止までの時間: 3秒程度(建機の速度による)
 非常停止状態と復旧方法: 停止要因を排除した上でのシステムによる復旧

④操作停止関連

操作停止の有無・手法: なし
 操作停止機能の信頼性・冗長性: なし
 事象発生から停止までの時間: なし
 停止状態と復旧方法: なし

⑤通信関連

無線通信の種類: Wi-Fi
 通信の安定・異常の検知方法: システムによる検知
 異常発生から停止判断までの時間: 0.2秒
 通信関連のセキュリティ対策: インターネットには接続不可

⑥その他

回転灯による状態表示: 赤: 非常停止、緑: 手動運転、青: 自動運転
 現場の音声連絡手段: トランシーバ
 対象建機のエリア内への入退場の手段: トランシーバによる安全確認
 不具合時の対処方法: システムをオフにした状態で対処
 エリア変更時の方法・手段: 変更内容を関係者に周知した上で再開
 その他:

検証結果:

安全機能が問題なく動作することを確認した。
 延べ489回の試験を実施したが、事故・トラブルはなかった。
 エリア設定や運用ルールに問題がなかったと考える。

障害物を検知してから停止する距離(以降、停止距離とする)について、任意の値を設定していたが、ばらつきがみられたため、停止距離は運用上の目安とし、必ず守られるものではないことを共通認識としたい。(停止距離のばらつきをなくすには、相当なコストと時間がかかると思われる)