

現場検証結果・安全ルール案について

建設機械施工の自動化・自律化協議会

R4.3.14設置

学識者：建設施工関係、ロボット関係、機械関係
 関係団体：建設関連団体、建設機械関連団体、ロボット関連団体
 行政機関：国交省、厚労省、経産省、各研究機関

安全・基本設定WG
 R4.6.22設置
 建設機械における自動・自律・遠隔施工を実施する際の

- ・安全ルールの標準化、設定に関する検討
- ・自動化目標の設定に関する検討
- ・協調領域の設定に関する検討
- ・自動・遠隔機械の性能に関する検討

国交省・厚労省・研究所・
 建設関係・建機関係

施工管理・検査基準WG
 R4.6.22設置
 建設機械における自動・自律・遠隔施工を実施する際の

- ・現場検証、評価
- ・施工管理、検査基準の検討

国交省・経産省・研究所・
 建設関係・建機関係・建設分野以外

PF共同研究
 土木研究所
 協調領域の開発
 建機メーカ
 ゼネコン
 システムベンダー

現場普及WG
 建設機械における自動・自律・遠隔施工普及のための

- ・モデル工事導入の検討
- ・入札契約方式の検討

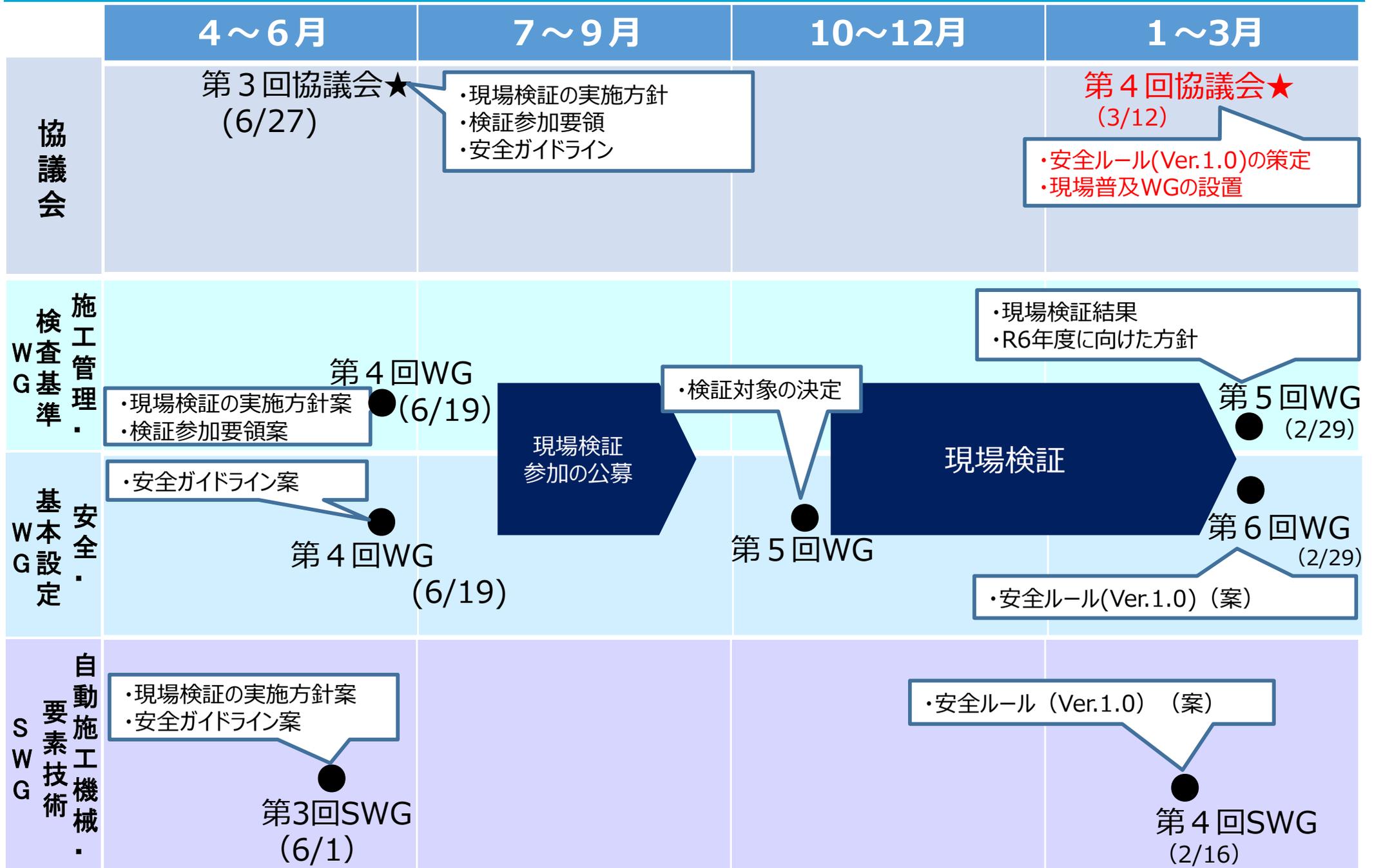
国交省内（事業部局含）

施工監理・検査基準W.G
参加者公募
 ベンチャー企業含む

自動施工機械・要素技術SWG

R4.11.30設置





- 「現場検証の実施方針」「検証参加要領」「安全ガイドライン」に関するSWG・WG・協議会での議論（令和5年6月）を経て、令和5年7月に募集開始。
- 募集の結果、計17件（自動・遠隔施工機械に関する技術6件、要素技術11件）の応募あり。
- 各応募者との調整を経て、令和5年10月以降に順次、各現場検証を実施。

応募者に求める要件

- ・建設における自動施工機械・遠隔施工機械に関する技術
- ・自動施工機械・遠隔施工機械に必要な要素技術

	自動・遠隔施工機械に関する技術	要素技術
提案数	6件	11件
工種	土工 舗装工 除草工 道路維持 等	土工 ニューマチックケーソン 等
対象機械	バックホウ ブルドーザ 等	バックホウ 振動ローラ 等


Press Release

令和5年7月7日
大臣官房参事官(イノベーション)

**建設機械施工の自動化・遠隔化技術に係る
現場検証の参加者を募集します**

～自動・遠隔施工の安全ルールの策定に向けた現場検証を開始！～

建設機械施工の自動化・遠隔化技術の開発・普及促進にあたり、自動・遠隔施工の安全ルールの策定や実現場への適用に向けた効果・課題を検証するための現場検証に参画いただける方を募集します。

人口減少や少子高齢化に伴う担い手不足の深刻化が懸念される中、建設現場の抜本的な生産性向上、働き方改革の実現に資する技術の一つとして、建設機械施工の自動化・遠隔化技術が期待されています。

建設機械施工の自動化・遠隔化技術は施工現場から人がいなくなるという点で新しい領域であるため、安全や品質、施工管理、技術開発等に係る新たなルールが必要となります。

今般、標準的な安全ルールや現場適用に向けた効果と課題を検証するための現場検証を実施いたしますので、参画いただける方を募集します。

○公募概要

(1) 応募者に求める要件

以下のいずれかに該当する技術を有する者

- ・建設における自動施工機械・遠隔施工機械に関する技術
- ・自動施工機械・遠隔施工機械に必要な要素技術

(2) 応募資格

- ・民間企業等
- ・大学・高等専門学校又は同附属試験研究機関やその他の研究開発機関
- ・研究開発を事業目的に持つ、一般社団法人、一般財団法人、公益社団法人又は公益財団法人

(3) 応募期間

令和5年7月7日（金）12：00～令和5年8月9日（水）17：00必着

(4) 今後のスケジュール（予定）

令和5年 8月以降 選定結果通知予定
10月以降 現場検証の実施

参加要領等：詳細は別添（参加要領）を参照して下さい。
参加要領や参加提案書は下記の国土交通省HPからダウンロードできます。
https://www.mlit.go.jp/tec/tek_000111.html

【問い合わせ先】大臣官房 参事官(イノベーション) グループ 施工企画室
課長補佐 吉田、施工企画係長 日出山

TEL：03(5253)8111(内線22434, 22435) 直通：03(5253)8286
E-mail：hqt-auto-constr@ki.mlit.go.jp

No.	応募者 (◎は代表者)	検証技術					
		名称	副題	技術分類	工種	対象機械	検証場所
1	◎フジタ、住友重機械工業、住友建機	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	障害物(人、重機、エリア境界柵)を検知して自動停止するシステムを追加	要素技術	土工	バックホウ	自社フィールド
2	◎コベルコ建機、安藤・間	建設機械の遠隔・自動運転システム	油圧ショベルによる遠隔・自動掘削積み込み技術	自動・遠隔施工技術	土工	バックホウ	DXフィールド
3	◎酒井重工業、JIG-SAW	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	安全ガイドラインに則った施工エリアを設定し、自律走行式振動ローラの安全システム(遠隔非常停止、センサを用いた非常停止)の現場検証を行う	要素技術	土工	振動ローラ	自社フィールド
4	◎DeepX、オリエンタル白石	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	—	要素技術	ニューマチックケーソン	ケーソンショベル	自社フィールド
5	◎日本電気	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	自動・遠隔施工技術	土工	バックホウ	自社フィールド
6	◎金杉建設、アクティブ・ソリューション、創和	自律走行式草刈り機	堤防等の除草を自律走行にて施工する技術	自動・遠隔施工技術	除草工	草刈機	自社フィールド

No.	応募者 (◎は代表者)	検証技術					
		名称	副題	技術分類	工種	対象機械	検証場所
7	◎ソリシステムズ、東京通信機	安全な建機の遠隔操作を実現するための映像・通信技術	①通信回線の冗長化 --- 映像・制御信号を通信障害、電波状況悪化時にも継続して送ることで安全な遠隔操作を実現 ②モバイル回線下での短遅延(100ms以下)映像伝送 --- スムーズで効率的な操作のため	要素技術	各種(土工)	映像伝送装置、バックホウ	DXフィールド
8	◎アプトポッド	自動・遠隔施工向け建設サイトデータネットワーク	—	要素技術	各種	—	DXフィールド
9	◎大成建設、大成ロテック	自動化建設機械の無線緊急停止システム	機能安全の考え方にに基づき、確実な停止が可能	要素技術	各種	—	DXフィールド
10	◎ARAV	建設機械の後付遠隔操作システム Model V	—	自動・遠隔施工技術	土工	バックホウ	自社フィールド
11	◎ワイズ、フクザワコーポレーション	除雪用機械の自動制御	凍結防止剤散布、除雪用ロータリー車の自動制御、除雪機械のMG等開発	要素技術	道路維持	凍結防止剤散布車、ロータリー除雪車	自社フィールド
12	◎世紀東急工業、ARAV	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	—	自動・遠隔施工技術	舗装工	アスファルトフィニッシャ	自社フィールド

No.	応募者 (◎は代表者)	検証技術					
		名称	副題	技術分類	工種	対象機械	検証場所
13	◎IDEC	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	既存の安全方策に付加する非常停止遠隔操作支援システムによる安全・安心の向上	要素技術	各種	—	DX フィールド
14	◎アクティオ、 ORAM	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	要素技術	土工	バックホウ	自社 フィールド
15	◎サイトックジャパン、ジック、日本国土開発	締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	無人施工エリア状況共有システム	要素技術	土工	振動ローラ	DX フィールド
16	◎小松製作所	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	NETIS登録番号KT-210010-A:(油圧オートカプラ)操作の遠隔化	要素技術	土工	バックホウ	DX フィールド
17	◎大林組、宮本組、砂子組、EARTH BRAIN、SafeAIジャパン	建機の自動・自律化システム	既存建機に後付可能な自動・自律化キット	自動・遠隔施工技術	土工	アーティキュレートダンプ、バックホウ、ブルドーザ	自社 フィールド

- 各現場検証で実施される安全方策を、検証計画書や検証実施結果より収集。
- 収集結果から複数の実施者で共通・類似している安全方策を整理し、安全ルールに反映。

安全方策例

エリア区分の方法

X者: 無人エリア20m × 20m

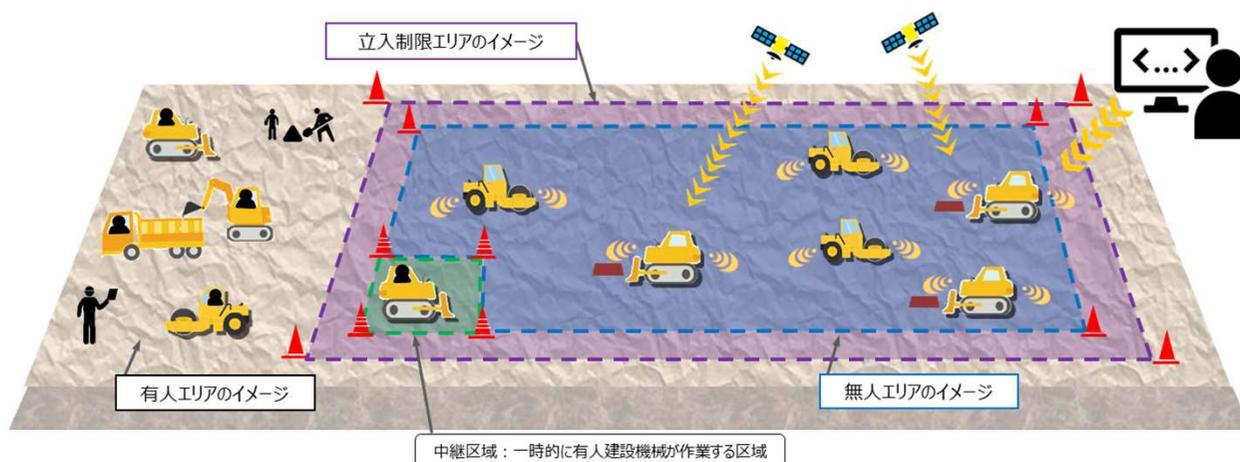
Y者: 無人エリア50m × 50m

Z者: 無人エリア30m × 30m+混在エリア10m × 10m

⇒ 施工内容や現場条件によりエリア設定方法が異なることを踏まえ、安全ルール案を作成。

安全ルール記載案(エリアの設定と面積)

施工者等は、自動建設機械が稼働する範囲を考慮し、エリアを設定しなければならない。エリアの設定に当たっては、「無人エリア」「有人エリア」「立入制限エリア」を必要に応じて設定しなければならない。...(中略)... その際、自動建設機械の機種や特性に応じて、安全を確保できる十分な面積を確保しなければならない。



エリア設定のイメージ

検証内容・結果の整理 安全方策の実施内容一覧

検証No	安全方策 項目	①エリア区分、逸脱防止関連						②障害物検知関連				③非常停止関連				④操作停止関連				⑤通信関連				⑥その他						
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	6	
A		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○		
B		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○		
C		○	○	○	○		○					○	○			○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○		○
D		○		○	○	○	○								○	○	○	○	○	○	○	○	○				○	○		
E												○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○							
F		○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○		○	○		
G		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				○	○	○	○	○	○	○	○				○	○	○	
H		○	○	○	○	○	○					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○		○
I		○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○		○	○				○	○		○	
J		○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○		
K		○	○	○	○	○	○					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○
L		○	○		○	○	○	○	○			○	○		○	○	○			○										
M		○		○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○		○		○	
N		○	○	○	○	○	○					○	○		○	○			○	○	○		○	○	○	○	○	○		
O		○	○	○	○	○	○					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
P		○	○	○	○	○	○					○	○	○	○	○	○	○	○	○		○		○		○		○		
Q		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○		○		○	○			
計		16	13	15	16	16	16	11	9	5	4	16	15	13	15	17	17	15	17	15	14	15	11	10	4	13	15	1	4	

各者の安全方策から安全ルール案を作成。具体的な内容は次ページ以降に記載

No	1.エリア区分の方法 (カラーコーン、GNSS、カメラ、他)	2.緩衝帯の設定	3.機械の逸脱防止 (設定根拠など)	4.逸脱の検知手段	5.逸脱検知手段の 信頼性、冗長性	6.エリアの監視手段 (GNSS、カメラ)
A	GNSS、カメラ、カラーコーン	無人エリア、施工エリア	GNSS、カメラ、緩衝帯	作業エリアの定義	カメラ、遠隔監視者、現場監視者	GNSS、カメラ
B	GNSS、カラーコーン	無人施工エリア、無人管理エリア2m	GNSS、緩衝帯	設定ルートと走行軌跡	GNSS、カメラ、遠隔監視者、設定ルート、走行軌跡	GNSS、カメラ 遠隔監視者
C	カラーコーン	重機の空走距離と応答時間を考慮	外周カメラによる監視	外周カメラによる監視	-	現場監視者
D	GNSS、カメラ、カラーコーン	-	GNSS、カメラ、現場調査員	所定経路、現場調査員	GNSS、カメラ、現場調査員	GNSS、カメラ、現場調査員
E	-	-	-	-	-	-
F	カラーコーン	最大作業半径8m(動作範囲)	現場監視者、遠隔監視者	カメラ、現場監視者	カメラ、現場監視者	カメラ、現場監視者
G	GNSS、カメラ、カラーコーン、締固め管理システム	施工エリア、回避区域	GNSS、カメラ、現場監視者	GNSS、設計データ	GNSS、カメラ、現場監視者	GNSS、カメラ、現場監視者
H	カメラ、カラーコーン	無人エリア、有人エリア	監視カメラ、本体カメラ、現場監視員	カメラ、現場監視員	カメラ、現場監視員	監視カメラ、本体カメラ、現場監視員
I	GNSS、カメラ、カラーコーン、バリケード、土堰堤、土壁	混在エリア、無人エリア、管理エリア	GNSS、カメラ、現場監視者	GNSS、カメラ、現場監視者	GNSS、カメラ、現場監視者	GNSS、カメラ、現場監視者
J	立入禁止柵、旋回範囲10m、走行範囲20m	減速エリア、停止エリア	ロボQSの遠隔操縦	逸脱状態の確認	現場管理者、遠隔操縦オペレータ	目視、カメラ
K	カラーコーン、40m×40m	混在エリア、有人エリア	現場管理者、俯瞰カメラ	現場管理者、遠隔操縦オペレータ	現場管理者、遠隔操縦オペレータ	目視、俯瞰カメラ、レーザバリアセンサ
L	カラーコーン+白線、締固め：6m×15m、路盤：7m×20m	無人施工管理エリア周囲2m	-	位置情報、現場監視者	操作者、現場監視者	カメラ、目視
M	移動レールと掘削半径	-	センサによる衝突検知	LiDARセンサによるデジタルツイン、モニタ監視	デジタルツイン、モニタ監視	LiDARセンサ、カメラ
N	GNSS、カメラ、カラーコーン、50m×50m	無人エリア、混在エリア	現場監視者、遠隔監視	現場監視者、遠隔監視	GNSS、カメラ、現場監視者	GNSS、カメラ、現場監視者
O	トラロープ、カラーコーン	混在エリア、無人エリア、管理エリア	カメラ、現場監視者	カメラ、現場監視者	カメラ、現場監視者	カメラ、現場監視者
P	GNSS、設計データとの確認、ロータリ除雪車はIMU補助	作業路線(道路)、登録路線	GNSS、運転手の手動操作	GNSS、設計データ	GNSS、設計データ、運転手、散布車は路面状況計測	GNSS、設計データ
Q	舗装定規とAIカメラの画像判定による自動操舵	型枠(舗装定規)、走行ルート	舗装定規、AIカメラ、IMU装置	舗装定規、AIカメラ	舗装定規、AIカメラ、現場監視者	舗装定規、AIカメラ、現場監視者
計	16	13	15	16	16	16

①エリア区分、逸脱防止関連

現場検証の確認項目	安全ルールの記載案
エリア区分の方法 (カラーコーン、GNSS、カメラ、他)	<p>エリアの設定と面積</p> <p>施工者等は、自動建設機械が稼働する範囲を考慮し、エリアを設定しなければならない。エリアの設定に当たっては、「無人エリア」「立入制限エリア」「有人エリア」を必要に応じて設定しなければならない。「無人エリア」を設定する場合、その周囲に「立入制限エリア」を配置しなければならない。ただし、十分な強度を有する防護柵や障害物、または地形条件などによって建設機械の「無人エリア」からの逸脱及び「有人エリア」への侵入を物理的に防止する措置を講じたときは、この限りでない。その際、自動建設機械の機種や特性に応じて、安全を確保できる十分な面積を確保しなければならない。(別添4. 1(1)に記載)</p>
緩衝帯の設定	<p>エリアの区割</p> <p>施工者等は、異なるエリア間の境界を認識可能な方法で区割りしなければならない。ただし、運搬機械の出入り口など機能上境界を設けられない部分等についてはこの限りでない。(別添4. 1(2)に記載)</p>
機械の逸脱防止 (設定根拠など)	<p>逸脱・侵入防止対策</p> <p>施工者等は、自動建設機械または遠隔建設機械、有人建設機械及び有人車両が他のエリアへの逸脱・侵入を防止する対策を講じなければならない。なお、安全性の向上や冗長性の観点から複数の逸脱防止対策を具備することが望ましい。(別添4. 1(3)に記載)</p>
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 (GNSS、カメラ)	<p>エリアの監視</p> <p>施工者等は、有人建設機械及び有人車両、作業員等が誤って無人エリアに侵入しないように、また、自動建設機械が誤って無人エリアを逸脱しないよう、エリアの監視をすることが望ましい。監視における自動建設機械の位置把握方法としては、GNSSや監視カメラなどが考えられる。(別添4. 1(5)に記載)</p>

No	1.検知可能範囲 (前後左右、角度、距離、他)	2.検知性能、識別性能 (高さ、大きさ、動作、人・物、他)	3.デジタルツイン(DT)上の衝突検知 (作業状況の再現、衝突警報、他)	4.機械の危険状態の検知 (姿勢、速度、傾き、他)
A	作業エリア内で人の侵入検知、 障害物の接近検知	センサ、カメラ	作業エリアの定義	機械の姿勢・傾斜状態検知
B	デブスカメラ、バンパーセンサ	カメラ視野角度、検知距離、 バンパーセンサ	設定ルート	3Dモーションセンサによる不陸検知
C	-	-	-	-
D	前方カメラ映像	-	-	-
E	-	-	-	-
F	ICタグによる接近検知、 8m、12m設定可能	ICタグを利用した人物検知	-	-
G	3Dステレオカメラの認識・警報、 120度*90度*10m、90度*50度*20m	3D範囲の人・物を認識	3Dステレオカメラを用いた締固め管理シス テムへのモニタ表示	GNSS・締固め管理システムで機械の姿勢 管理
H	本体カメラ、俯瞰カメラ	-	-	-
I	LiDARセンサ、カメラ	人物・物体検知、検知後停止・回避	-	-
J	側方・後方270度、4m以内	4つの3Dセンサによる反射物を検知	-	-
K	-	-	-	-
L	前後、警報10m、減速5m、停止2.5m	物体検知センサ(ミリ波レーダ)	-	-
M	前方形状のリアルタイム計測と 作業範囲の累積表示	LiDARセンサ2眼	ケーソンショベルの衝突警報、 優先度により片方停止	-
N	-	-	-	-
O	-	-	-	-
P	-	-	-	-
Q	AIカメラによる人物検知	人物検知、行動認識	AIカメラの人物検知	AIカメラとIMU装置の自動操舵
計	11	9	5	4

②障害物検知関連

現場検証の確認項目	安全ルールの記載案
検知可能範囲 (前後左右、角度、距離、他)	<p>接触防止対策 施工者等は、自動建設機械同士、自動建設機械と遠隔建設機械または有人建設機械が接触することを防止するための対策の要否を検討し、必要に応じて対策を講じること。接触防止対策は、自動建設機械本体に具備するもの、外部からの監視によるもの等が考えられる。(別添4. 1(4)に記載)</p> <p>人・障害物検知機能 自動施工実施者は、自動建設機械本体に作業員等を検知するための人・障害物検知機能の要否を検討することが望ましい。(別添5. 1(6)に記載)</p>
検知性能、識別性能 (高さ、大きさ、動作、人・物、他)	
デジタルツイン(DT)上の衝突検知 (作業状況の再現、衝突警報、他)	
機械の危険状態の検知 (姿勢、速度、傾き、他)	

No	1.非常停止の有無・手法 (C無線、別無線、本体、他)	2.非常停止機能の信頼性・冗長性 (種類・特徴、系統数、他)	3.事象発生から停止までの時間 (障害物検知、エリア逸脱、他) 【検証重機/作動条件/通信方式】	4.非常停止状態と復旧方法 (エンジン停止、電源、油圧、他)
A	カメラ、センサによる非常停止、 現場監視者による非常停止	カメラ、センサ、現場監視者	非常停止契機を判断場所により異なる 【バックホウ/各種動作/無線通信】	現場監視者による安全確認後
B	タブレット操作と本体の非常停止、 カメラ・センサによる非常停止	タブレット操作、本体側面のボタン、 カメラ、センサ	画像による人検知 1秒 (1.1m) パンパセンサ 0.1秒 (0.1m) 【自律走行式草刈機/重機搭載センサ】	非常停止により動作停止、現場監視者による安全確認後、解除・再開
C	オペレータ操作による非常停止、別系統無線による非常停止、 通信断検知による非常停止、重機本体上の非常停止	オペレータ、現場監視者、重機本体上、通信断検知	-	-
D	-	-	-	-
E	Bluetooth、2.4GHz無線の非常停止、 常時通信により途絶や圏外で停止	常時通信による確認	非常停止送信後 0.3m 【バックホウ/3kph走行/Bluetooth】	停止状態は機械側の設定による、 現場監視者による安全確認後
F	ICタグによる非常停止、 8m、12m設定可能	ICタグ、遠隔監視者	非常停止送信後 即座に停止 【バックホウ/旋回時/ICタグ検知】	安全レバー(油圧ロック)停止、 現場監視者による安全確認後
G	検知・警報のみ	-	-	-
H	監視カメラ・俯瞰カメラと遠隔操作装置の非常停止	遠隔監視と現場監視員	非常停止送信後 ①1.1秒(1.05m) 特小無線/俯瞰映像判断/油圧・エンジン停止 ②1.3秒(1.0m) 特小無線/目視判断/セカンダリ介入 ③1.5秒(1.2m) 特小無線/俯瞰映像判断/セカンダリ介入 ④1.8秒(1.5m) LTE回線/俯瞰映像判断/セカンダリ介入 【バックホウ/3kph走行/通信手段上記】	非常停止によりエンジン停止、現場監視員の安全確認後、現場の安全 確認後、ラジコンで再始動
I	LiDARセンサによる非常停止、 現場監視者による非常停止	LiDARセンサ、カメラ、現場監視者	非常停止送信後 約3秒 ※道路状況、車速、勾配により異なる 【ダンプトラック/11kph走行/特小無線】	非常停止で油圧ロック、 現場監視者による安全確認後
J	遠隔操縦装置の緊急停止ボタン、 無線緊急停止ボタン	遠隔操縦オペレータと現場管理者	非常停止送信後 1秒以内 【バックホウ/特小無線】	遠隔操縦装置の緊急停止により油圧ロック、安全確認後、解除で再開
K	遠隔操作の非常停止(コックピット、自動運転操作タブレット)、別系 統の非常停止スイッチ	2系統の非常停止機能	非常停止から停止開始まで時間1秒以内 【バックホウ/無線通信】	・非常停止により油圧ロック ・安全確認後、解除で再開
L	現場監視者の遠隔非常停止	遠隔監視と現場監視	-	安全確認後、緊急停止解除で再開
M	遠隔操作による非常停止、 LiDARセンサによる非常停止	デジタルツイン、モニタ監視	非常停止送信後 2~3秒の制動時間 【ケーソンショベル/有線】	非常停止により油圧ロック、 安全確認後、解除で再開
N	遠隔操作の緊急停止、 通信途絶による緊急停止	常時、動作許可信号を確認	-	現場監視者による安全確認後
O	遠隔操作の緊急停止、安全レバー停止、通信・電源喪失停止	遠隔操作と現場監視者、 緊急停止と安全レバー停止	非常停止送信後 0.09秒 (1m/sのとき0.09m) 【バックホウ/特小無線】	現場監視者による安全確認後
P	運転手の手動運転、 ロータリー除雪車に緊急停止ボタン	GNSS、設計データ、 運転手の手動操作	運転手の停止操作により停止 【ロータリー除雪車/有線】	運転手の安全確認後
Q	AIカメラの緊急停止、現場監視者の非常停止ボタン、通信途絶で機 械停止	AIカメラ、遠隔監視者と現場監視者の非常停止	非常停止送信後 2.9秒(0.1m) (CAN介入のためのタイムラグ含む) 【アスファルトフィニッシャー/2kph走行/特小無線】	緊急停止は動作停止、非常停止はエンジン停止、現場監視者による安 全確認後
計	16	15	13	15

③非常停止関連

現場検証の確認項目	安全ルールの記載案
非常停止の有無・手法 (C無線、別無線、本体、他)	<p>自動建設機械の非常停止システム</p> <p>自動施工実施者は、自動建設機械の非常停止システムについて検討し、具備しなければならない。非常停止システムについては、複数の方法による具備が望ましい。(別添5. 1(1)に記載)</p>
非常停止機能の信頼性・冗長性 (種類・特徴、系統数、他)	
事象発生から停止までの時間 (障害物検知、エリア逸脱、他)	
非常停止状態と復旧方法 (油圧、エンジン、通信機能)	

No	1.操作停止の有無・手法 (C無線、別無線、本体、他)	2.操作停止機能の信頼性・冗長性 (種類・特徴、系統数、他)	3.事象発生から停止までの時間 (障害物検知、エリア逸脱、他) 【検証重機/通信方式】	4.停止状態と復旧方法 (エンジン停止、電源、油圧、他)
A	遠隔操作と自動運転の停止	停止操作と現場監視者の非常停止	停止契機を判断場所により異なる 【バックホウ/無線通信】	現場監視者による安全確認後
B	遠隔操作と自動運転の停止	停止操作と現場監視者の非常停止	停止操作後 1秒以内 【自律走行式草刈機/無線LAN】	遠隔操作と自動運転の安全確認後に再開
C	遠隔操作による停止、油圧ロック	遠隔操作の通信回線冗長化	-	搭乗モードでエンジン始動、周知・安全確認後 遠隔モードに切り替え
D	遠隔操作の停止	遠隔操作の通信状態確保	停止操作後 概ね0.1秒以内 【ロボット/LTE】	遠隔操作で再開
E	常時通信により途絶や圏外で停止	常時通信による確認	停止操作後 1～10秒(設定による) 【バックホウ/Bluetooth】	停止状態は機械側の設定による、 現場監視者による安全確認後
F	遠隔操作の停止	遠隔操作の通信状態確保	-	遠隔操作で再開
G	搭乗運転の停止	搭乗運転、現場監視者	-	運転手の安全確認後
H	遠隔操作の停止(別無線)	遠隔操作の通信状態確保 2系統のLTE回線	停止操作後 1.1～1.9秒より短い ※非常停止よりも短い 【バックホウ/LTE】	現場の安全確認後、ラジコンで再始動
I	遠隔操作と自動運転の停止	停止操作と現場監視者の非常停止	停止操作後 6秒程度 ※滑らかに停止する設定 【ダンプトラック・ブルドーザ/無線LAN】	現場監視者による安全確認後
J	遠隔操縦装置の中立で停止	遠隔操縦・搭乗運転、別系統の非常停止	-	遠隔・搭乗とも通常レバー操作で再開
K	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)	2系統の停止機能	操作停止から停止開始まで時間1秒以内 【バックホウ/無線通信】	・油圧ロックによる停止 ・遠隔操作による復旧(コックピット、自動運転 操作タブレット)
L	遠隔操作と自動運転の停止	停止操作と現場監視者の非常停止	-	遠隔操作と自動運転の安全確認後に再開指 示
M	遠隔操作と自動運転の停止、故障時の自動 停止	遠隔操作(搭乗は旧式)、自動運転	停止操作後 2秒以内 【ケーソンショベル/有線】	遠隔操作と自動運転の安全確認後に再開指 示
N	遠隔操作の停止	遠隔操作の通信状態確保	-	遠隔操作で再開
O	遠隔操作の停止	遠隔操作と現場監視者、 緊急停止と安全レバー停止	停止操作後 0.1秒(1m/sのとき0.1m) 【バックホウ/LTE】	遠隔操作で再開
P	運転手の手動操作	運転手の手動操作、 ロータリ除雪車の緊急停止ボタン	運転手の停止操作により停止 【ロータリ除雪車/有線】	運転手の安全確認後
Q	遠隔操作の停止、 AIカメラの緊急停止	AIカメラと遠隔監視者、現場監視者	停止操作後 0.7秒(0.023m) 【アスファルトフィニッシャー/2kph走行/LTE】	現場監視者による安全確認後
計	17	17	15	17

④操作停止関連

現場検証の確認項目	安全ルールの記載案
操作停止の有無・手法 (C無線、別無線、本体、他)	<p>エンジン始動・停止と非常停止システム</p> <p>自動施工実施者は、不具合対処時の作業等者の安全確保のため、自動建設機械を遠隔操作器で操作できる場合には、遠隔操作器にはエンジン始動・停止機能と非常停止システムを具備することが望ましい。なお、エンジン始動は自動・遠隔建設機械周囲の安全を確認した上で行わなければならない。また、エンジン始動だけで作動を開始・再開してはならず、停止状態を維持していなければならない。なお、複数の非常停止システムを具備する場合は、遠隔地から非常停止システムを動作できる機能が使用する無線と別回線の無線による非常停止システムの可否を検討することが望ましい。(別添5. 1(2)に記載)</p>
操作停止機能の信頼性・冗長性 (種類・特徴、系統数、他)	
事象発生から停止までの時間 (障害物検知、エリア逸脱、他)	
停止状態と復旧方法 (エンジン停止、電源、油圧、他)	

No	1.無線通信の種類 (機械操作、現場内、外部環境、他)	2.通信の安定・異常の検知方法 (通信・接続状態、使用状況、他)	3.異常発生から停止判断までの時間 (断絶、混線、障害、誤作動、他) 【検証重機/通信方式】	4.通信関連のセキュリティ対策 (指向性、制限、暗号化、専用線他)
A	プライベートネットワーク経由	高可用性、通信遮断検知	異常発生後直ちに停止信号を発報 停止時間はPC処理時間に依存 【バックホウ/無線通信】	プライベートネットワーク
B	高速無線LAN、Wi-Fi、4G、5G	運転表示灯、カメラモニタ	-	複数回線
C	複数モバイル回線	回転灯による重機状態表示、クラウドモニタでモバイル回線状態表示	通信断絶検知後2秒で検証したが、0.5秒が望ましい	通信の暗号化、制御の排他性と権限定義認証(デバイス、ユーザ)
D	LTE・5G通信、CANデータ	遠隔操作モニタ、データストリーミング	異常発生後 1秒(要件により変更可) 【ロボット/LTE】	遠隔制御ソフト、アプリ
E	Bluetooth 5.2、2.4GHz無線、70m程度	常時通信による確認	通信断絶後の1~10秒(設定による) 【バックホウ/Bluetooth】	送信機と受信機のグループ設定など
F	特定小電力無線、Wi-Fi、4Gなど	遠隔操作モニタ、回転灯	-	-
G	Wi-Fiルータ	モニタ画面	-	-
H	ローカル5G、Wi-Fi、2.4GHz無線、LTE	回転灯、映像(回転灯)	異常発生後 0.5~2.0秒の範囲で非常停止信号発報を設定可能 【バックホウ/特小無線】	VPN、暗号化
I	-	管理システムのモニタ画面	緊急停止無線信号断線検知後0.2秒で停止信号を送信 【ダンプトラック・ブルドーザ/無線LAN】	-
J	特定小電力無線150m	表示灯、無線状態ランプ	1.0秒断絶時に停止 【バックホウ/特小無線】	空きチャンネルの自動接続
K	現場環境に適した通信手段と通信技術(Wi-Fi、光回線他)	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(途絶)から停止判断までの時間 約 5秒	無線LANの暗号化機能、専用線
L	-	-	1秒間通信断絶時に車両停止 【振動ローラ/無線通信】	-
M	操作室から有線接続	遠隔操作装置ランプ	入力信号が受信されない限り動かない。停止信号が出るわけではない。 【ケーソンショベル/有線】	有線
N	350MHz帯の簡易無線等様々な無線	常時、動作許可信号を確認	1秒間通信断絶すると停止(自動運転の場合) 【バックホウ/デジタル簡易無線】	制御専用チャンネルに設定
O	2.4GHz、特定小電力、429MHz、4G、LTE、独自通信規格	対象機械の表示灯、カメラ、遠隔操作モニタ	緊急停止系統 異常発生後 0.09秒(1m/sのとき0.09m) 正常系統 異常発生後 1.0秒(1m/sのとき1.0m) 【バックホウ/LTE】	複数通信、独自通信
P	外部からの遠隔操作無し	-	運転手の停止操作により停止 【ロータリー除雪車/有線】	-
Q	通信不明、CANデータ	-	異常発生後0.09秒で停止信号送信 建機側で受信後3秒で停止 【アスファルトフィニッシャ/特小無線】	-
計	15	14	15	11

⑤通信関連

現場検証の確認項目	安全ルールの記載案
無線通信の種類 (機械操作、現場内、外部環境、他)	<p>無線通信網 自動施工実施者は、自動施工で使用する無線通信網について、混線やセキュリティ上の対策を検討しなければならない。(別添5. 1(7)に記載)</p> <p>自動建設機械の自動停止 自動施工実施者は、自動建設機械と自動建設機械を遠隔から管理するシステム等との通信が途絶した場合、自動停止しなければならない。自動停止とは、自動建設機械にブレーキをかけた状態等の機械停止の状態であり、エンジンの動作・停止を問わない。なお、通信が復旧した場合、停止状態の解除は自動建設機械周囲の安全を確認した上で行わなければならない。(別添5. 1(3)に記載)</p>
通信の安定・異常の検知方法 (通信・接続状態、使用状況、他)	
異常発生から停止判断までの時間 (断絶、混線、障害、誤作動、他)	
通信関連のセキュリティ対策 (指向性、制限、暗号化、専用線他)	

検証内容・結果の整理 ⑥その他

No	1.回転灯による状態表示 (赤、黄、緑、他)	2.現場の音声連絡手段 (トランシーバ、携帯電話)	3.対象建機のエリア内 への入退場の手順	4.不具合時の対処方法 (移動、運搬、修繕)	5.エリア変更時の 方法・手順	6.その他
A	サロゲート表示灯 (赤、橙、緑)	-	遠隔操作・自動運転	現場監視者の安全確認	-	-
B	緑:従来の搭乗・ラジコン運転、橙:自動・自律 運転	-	搭乗・遠隔操作、自動運転	現場監視者の安全確認	-	-
C	赤:緊急停止 黄:油圧ロック解除(遠隔操作可)	トランシーバ	搭乗運転・遠隔操作	全システム再起動後、搭乗 モード→遠隔モード	-	モバイル回線の特性上、通信途絶を完全に 保証出来ないため、緊急停止機能は必須
D	-	-	搭乗運転・遠隔操作	現場調査員の安全確認	-	-
E	-	-	-	-	-	-
F	赤:異常時・非常停止時、黄:搭乗時・遠隔時、 緑:遠隔動作時	-	搭乗運転・遠隔操作	現場監視者の安全確認	-	-
G	-	-	搭乗運転	運転手の手動操作	締固め管理システム	-
H	本体 黄:遠隔運転時、赤:非常停止・通信異常時 別系統非常停止 緑:通信中、赤:非常停止・通信異常時、橙:カ プラー操作中	-	搭乗運転・遠隔操作	現場監視員の安全確認	-	アタッチメント装着状態:モニタ映像
I	-	-	遠隔操作・自動運転	現場監視者の安全確認	-	重機の操作は有資格者(車両系建設機械の 技能講習終了者)とする。
J	赤:緊急停止 橙:遠隔操縦可能	-	目視遠隔操縦	現場監視者の安全確認	-	-
K	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	携帯電話	俯瞰カメラ、遠隔操縦	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	-	操作者や監視者を選任。
L	-	-	-	-	-	-
M	-	有線トランシーバ	-	運転停止後、直接確認	-	現場では施工者が全ての責任を負う。
N	遠隔操作機械による	トランシーバ	搭乗運転・遠隔操作	現場監視者の安全確認	-	-
O	対象機械による	遠隔通信	搭乗運転・遠隔操作	現場監視者の安全確認	-	-
P	通常運転の黄色表示灯、 自動運転用は不明	-	-	運転手の手動操作	-	-
Q	黄:電源とシステム、赤:電源のみ、緑:稼働状 態	-	搭乗運転・遠隔操作	現場監視者の安全確認	-	-
計	10	4	13	15	1	4

⑥その他

現場検証の確認項目	安全ルールの記載案
回転灯による状態表示 (赤、黄、緑、他)	<p>表示灯の具備 自動施工実施者は、自動建設機械の視認しやすい位置に現在の状態を明示する表示灯等を具備しなければならない。ただし、施工範囲に人が侵入することが物理的に困難であり、建設機械の現在の状態を明示する機能を他に有している場合は、その限りではない。 表示灯等で示す情報は下記等を具備していることが望ましい。運用時には、関係者が休憩する場所等に表示灯等が示す情報について説明する図等を明示することが望ましい。</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 自動運転状態の表示(自動運転状態にあるか否かの表示) ② 遠隔操作状態の表示(遠隔操作状態にあるか否かの表示) ③ 動力(エンジン等)のON-OFF状態の表示 ④ 無線通信の接続・切断の表示 ⑤ 異常の有無の表示 <p style="text-align: right;">(別添5. 1(5)に記載)</p>
現場の音声連絡手段 (トランシーバ、携帯電話)	<p>連絡手段及び連絡体制の確立 施工者等は、自動施工の関係者との連絡手段及び連絡体制を確立しておかなくてはならない。特に、関係者との緊急連絡手段は重要であり、トランシーバ等の即時連絡が可能な機器を使用しなければならない。(別添4. 3(8)に記載)</p>
対象建機のエリア内への 入退場の手順	<p>エリアへの侵入退出時の手順等 施工者等は、無人エリアへの進入退出時の手順等を定めておかなくてはならない。具体的には、自動建設機械や遠隔建設機械、有人建設機械の進入する順番、自動建設機械が搭乗操作が可能な場合は搭乗から自動施工へ切り替える手順や場所、自動施工を開始する前の確認事項(例:GNSSの精度確認、管理機器類の動作状況等)などが考えられる。また、退出時も同様である。(別添4. 3(1)に記載)</p>
不具合時の対処方法 (移動、運搬、修繕)	<p>自動建設機械の不具合の対処方法の確立と安全確保 施工者等は、自動建設機械に何等かの不具合が生じた場合、機種に応じた、また不具合の内容等に応じた対処方法を事前に確立するとともに、不具合対処時の作業等者の安全を確保しなければならない。 また、不具合対処時の自動建設機械の異常動作への対策を講じることが望ましい。(別添4. 3(5)に記載)</p>
エリア変更時の方法・手順	<p>エリアの変更 施工者等は、自動施工を行う施工範囲の変更に伴い、無人エリア・有人エリアの範囲を変更することができる。変更にあたっては、事前に変更する施工範囲、変更する日時及びその他の変更する内容等を関係者全員に確実に周知しなければならない。(別添4. 2に記載)</p>
その他	<p>運用体制の確立 施工者等は、自動施工の実施に際して運用体制を確立しなければならない。操作者や監視者を選任し配置するとともに、各種システムの管理者や点検者、自動建設機械の管理者や点検者などを選任し配置しておく必要がある。また、それぞれの担当者の役割や担当範囲についても決めておく必要がある。(別添4. 3(4)に記載)</p>

検証内容・結果を踏まえた安全ルールの記載案

分類	現場検証の確認項目	安全ルールの記載案
①エリア区分、逸脱防止関連	1.エリア区分の方法	(エリアの設定と面積) 施工者等は、自動建設機械が稼働する範囲を考慮し、エリアを設定しなければならない。エリアの設定に当たっては、「無人エリア」「立入制限エリア」「有人エリア」を必要に応じて設定しなければならない。「無人エリア」を設定する場合、その周囲に「立入制限エリア」を配置しなければならない。ただし、十分な強度を有する防護柵や障害物、または地形条件などによって建設機械の「無人エリア」からの逸脱及び「有人エリア」への侵入を物理的に防止する措置を講じたときは、この限りでない。その際、自動建設機械の機種や特性に応じて、安全を確保できる十分な面積を確保しなければならない。(別添4. 1(1)に記載) (エリアの区割) 施工者等は、異なるエリア間の境界を認識可能な方法で区割りしなければならない。ただし、運搬機械の出入り口など機能上境界を設けられない部分等についてはこの限りでない。(別添4. 1(2)に記載)
	2.緩衝帯の設定	
	3.機械の逸脱防止	(逸脱・侵入防止対策) 施工者等は、自動建設機械または遠隔建設機械、有人建設機械及び有人車両が他のエリアへの逸脱・侵入を防止する対策を講じなければならない。なお、安全性の向上や冗長性の観点から複数の逸脱防止対策を具備することが望ましい。(別添4. 1(3)に記載)
	4.逸脱の検知手段	
	5.逸脱検知手段の信頼性、冗長性	
	6.エリアの監視手段	(エリアの監視) 施工者等は、有人建設機械及び有人車両、作業員等が誤って無人エリアに侵入しないように、また、自動建設機械が誤って無人エリアを逸脱しないよう、エリアの監視をすることが望ましい。監視における自動建設機械の位置把握方法としては、GNSSや監視カメラなどが考えられる。(別添4. 1(5)に記載)
②障害物検知関連	1.検知可能範囲	(接触防止対策) 施工者等は、自動建設機械同士、自動建設機械と遠隔建設機械または有人建設機械が接触することを防止するための対策の要否を検討し、必要に応じて対策を講じること。接触防止対策は、自動建設機械本体に具備するもの、外部からの監視によるもの等が考えられる。(別添4. 1(4)に記載) (人・障害物検知機能) 自動施工実施者は、自動建設機械本体に作業員等を検知するための人・障害物検知機能の要否を検討することが望ましい。(別添5. 1(6)に記載)
	2.検知性能、識別性能	
	3.デジタルツイン(DT)上の衝突検知	
	4.機械の危険状態の検知	
③非常停止関連	1.非常停止の有無・手法	(自動建設機械の非常停止システム) 自動施工実施者は、自動建設機械の非常停止システムについて検討し、具備しなければならない。非常停止システムについては、複数の方法による具備が望ましい。(別添5. 1(1)に記載)
	2.非常停止機能の信頼性・冗長性	
	3.事象発生から停止までの時間	
	4.非常停止状態と復旧方法	
④操作停止関連	1.操作停止の有無・手法	(エンジン始動・停止と非常停止システム) 自動施工実施者は、不具合対処時の作業者等の安全確保のため、自動建設機械を遠隔操作器で操作できる場合には、遠隔操作器にはエンジン始動・停止機能と非常停止システムを具備することが望ましい。なお、エンジン始動は自動・遠隔建設機械周囲の安全を確認した上で行わなければならない。また、エンジン始動だけで作動を開始・再開してはならず、停止状態を維持していなければならない。なお、複数の非常停止システムを具備する場合は、遠隔地から非常停止システムを動作できる機能が使用する無線と別回線の無線による非常停止システムの要否を検討することが望ましい。(別添5. 1(2)に記載)
	2.操作停止機能の信頼性・冗長性	
	3.事象発生から停止までの時間	
	4.停止状態と復旧方法	
⑤通信関連	1.無線通信の種類	(無線通信網) 自動施工実施者は、自動施工で使用する無線通信網について、混線やセキュリティ上の対策を検討しなければならない。(別添5. 1(7)に記載) (自動建設機械の自動停止) 自動施工実施者は、自動建設機械と自動建設機械を遠隔から管理するシステム等との通信が途絶した場合、自動停止しなければならない。自動停止とは、自動建設機械にブレーキをかけた状態等の機械停止の状態であり、エンジンの動作・停止を問わない。なお、通信が復旧した場合、停止状態の解除は自動建設機械周囲の安全を確認した上で行わなければならない。(別添5. 1(3)に記載)
	2.通信の安定・異常の検知方法	
	3.異常発生から停止判断までの時間	
	4.通信関連のセキュリティ対策	
⑥その他	1.回転灯による状態表示	(表示灯の具備) 自動施工実施者は、自動建設機械の視認しやすい位置に現在の状態を明示する表示灯等を具備しなければならない。ただし、施工範囲に人が侵入することが物理的に困難であり、建設機械の現在の状態を明示する機能を他に有している場合は、その限りではない。表示灯等で示す情報は下記等を具備していることが望ましい。運用時には、関係者が休憩する場所等に表示灯等が示す情報について説明する図等を明示することが望ましい。 ① 自動運転状態の表示(自動運転状態にあるか否かの表示) ② 遠隔操作状態の表示(遠隔操作状態にあるか否かの表示) ③ 動力(エンジン等)のON-OFF状態の表示 ④ 無線通信の接続・切断の表示 ⑤ 異常の有無の表示 (別添5. 1(5)に記載)
	2.現場の音声連絡手段	(連絡手段及び連絡体制の確立) 施工者等は、自動施工の関係者との連絡手段及び連絡体制を確立しておくなくてはならない。特に、関係者との緊急連絡手段は重要であり、トランシーバ等の即時連絡が可能な機器を使用しなければならない。(別添4. 3(8)に記載)
	3.対象建機のエリア内への入退場の手順	(エリアへの侵入退出時の手順等) 施工者等は、無人エリアへの進入退出時の手順等を定めておかななければならない。具体的には、自動建設機械や遠隔建設機械、有人建設機械の進入する順番、自動建設機械が搭乗操作が可能な場合は搭乗から自動施工へ切り替える手順や場所、自動施工を開始する前の確認事項(例:GNSSの精度確認、管理機器類の動作状況等)などが考えられる。また、退出時も同様である。(別添4. 3(1)に記載)
	4.不具合時の対処方法	(自動建設機械の不具合の対処方法の確立と安全確保) 施工者等は、自動建設機械に何等かの不具合が生じた場合、機種に応じた、また不具合の内容等に応じた対処方法を事前に確立するとともに、不具合対処時の作業者等の安全を確保しなければならない。また、不具合対処時の自動建設機械の異常動作への対策を講じることが望ましい。(別添4. 3(5)に記載)
	5.エリア変更時の方法・手順	(エリアの変更) 施工者等は、自動施工を行う施工範囲の変更に伴い、無人エリア・有人エリアの範囲を変更することができる。変更にあたっては、事前に変更する施工範囲、変更する日時及びその他の変更する内容等を関係者全員に確実に周知しなければならない。(別添4. 2に記載)
	6.関係者の役割分担	(運用体制の確立) 施工者等は、自動施工の実施に際して運用体制を確立しなければならない。操作者や監視者を選任し配置するとともに、各種システムの管理者や点検者、自動建設機械の管理者や点検者などを選任し配置しておく必要がある。また、それぞれの担当者の役割や担当範囲についても決めておく必要がある。(別添4. 3(4)に記載)

上記の他、必要と考えられる安全方を安全ルール案に記載