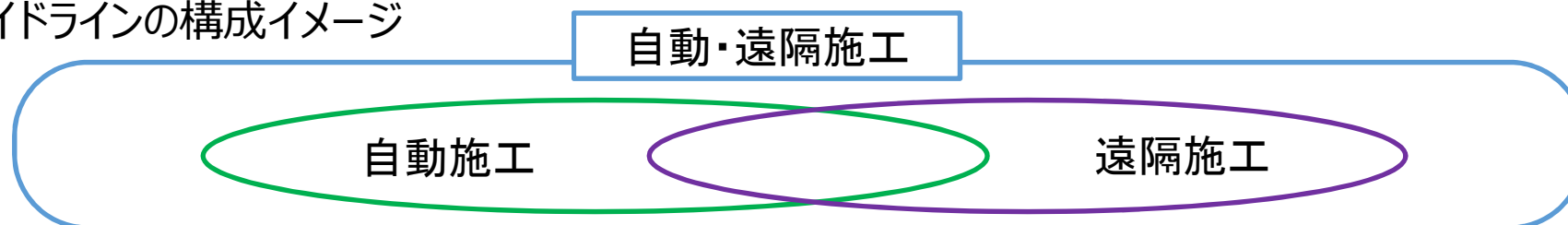


自動・遠隔施工の安全ガイドライン(案)

「自動・遠隔施工の安全ガイドライン」の概要

- 「自動・遠隔施工の安全ガイドライン」とは、安全な自動施工・遠隔施工を実現するための、自動施工・遠隔施工の現場検証における一般的な安全対策の指針。現場検証時に安全計画を策定する上での拠り所となるもの。
- 安全ガイドラインの構成は「自動施工編」と「遠隔施工編」から成り、現場検証内容に応じて各編を参照するものとする。
- 現場検証を踏まえ、実現場に適用する標準的な安全ルールを策定していき、適宜、ガイドラインも拡充・見直しを行う。

ガイドラインの構成イメージ



【目次構成】

< I. 自動施工編 >

1. 用語の定義
2. 自動施工機械が無人施工エリア外の人に及ぼす危害リスクについて
3. 無人施工エリアをはじめとする各種エリア区分や、エリアを構成する境界やゲートの考え方
4. 無人施工エリアの計画、準備～終了の流れと、その中での自動施工機械の取り扱い
5. 自動施工の計画・管理への要求事項
6. 自動施工機械への要求事項、自動施工に使用するその他の設備への要求事項
7. リスクアセスメントの実施

< II. 遠隔施工編 >

1. 用語の定義
2. 遠隔施工機械が無人施工エリア外の人に及ぼす危害リスクについて
3. 無人施工エリアをはじめとする各種エリア区分や、エリアを構成する境界やゲートの考え方
4. 無人施工エリアの計画、準備～終了の流れと、その中での遠隔施工機械の取り扱い
5. 遠隔施工の計画・管理への要求事項
6. 遠隔施工機械への要求事項、遠隔施工に使用するその他の設備への要求事項
7. リスクアセスメントの実施

自動・遠隔施工の安全ガイドライン

I. 安全ガイドライン（自動施工編）の概要

安全な自動施工を実現するために、機械と人を分離し、無人施工エリアでの施工（現行機械安全の考え方）を軸にして、以下の流れで示す。

1. 用語の定義
2. 自動施工機械が無人施工エリア外の人に及ぼす危害リスクについて
3. 無人施工エリアをはじめとする各種エリア区分や、エリアを構成する境界やゲートの考え方
4. 無人施工エリアの計画、準備～終了の流れと、その中での自動施工機械の取り扱い
5. 自動施工の計画・管理への要求事項
6. 自動施工機械への要求事項、自動施工に使用するその他の設備への要求事項
7. リスクアセスメントの実施

自動・遠隔施工の安全ガイドライン

1. 用語の定義

全体として、用語の定義は、機械安全や土工機械の規格のJISと整合を取り、これらに基づくようにする。

このガイドライン独自の用語のみを新たに定義し、規定するようにする。

<定義の例>

遠隔（操作）：建設機械の操作室から離れている場所から、人が操作すること。

自動：機械が、与えられたタスクをその通り実行すること。

または、自分で学習し、独自にルールを生成し、状況を自ら把握して最適な選択を行うこと。

無人：（施工エリアに）人がいないこと

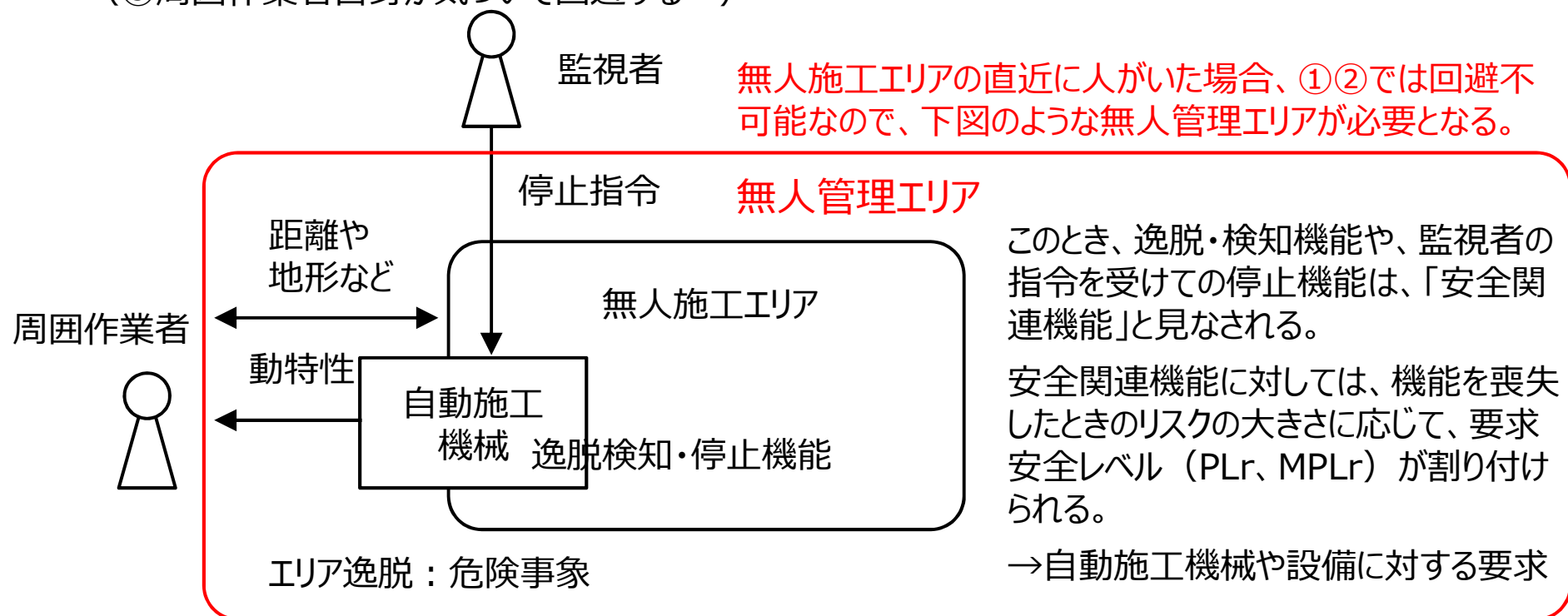
自動・遠隔施工の安全ガイドライン

2. 自動施工機械が無人施工エリア外の人に及ぼす危害リスクについて

自動施工機械の動きに対して物理的な障害が無い場合、機械が無人施工エリアを逸脱した場合、無人施工エリアの外にいる作業員に対する危害の回避には、例えば、以下のアクションが必要となる。

代表的な危害回避のアクション

- ① センサ等で逸脱を検知して自動施工機械を停止させる
- ② 自動施工を注視している監視者が判断して、自動施工機械を停止させる
- (③ 周囲作業員自身が気づいて回避する…)



※要求安全レベル PLr: JIS B9705-1 MPLr: JIS A8341-1

自動・遠隔施工の安全ガイドライン

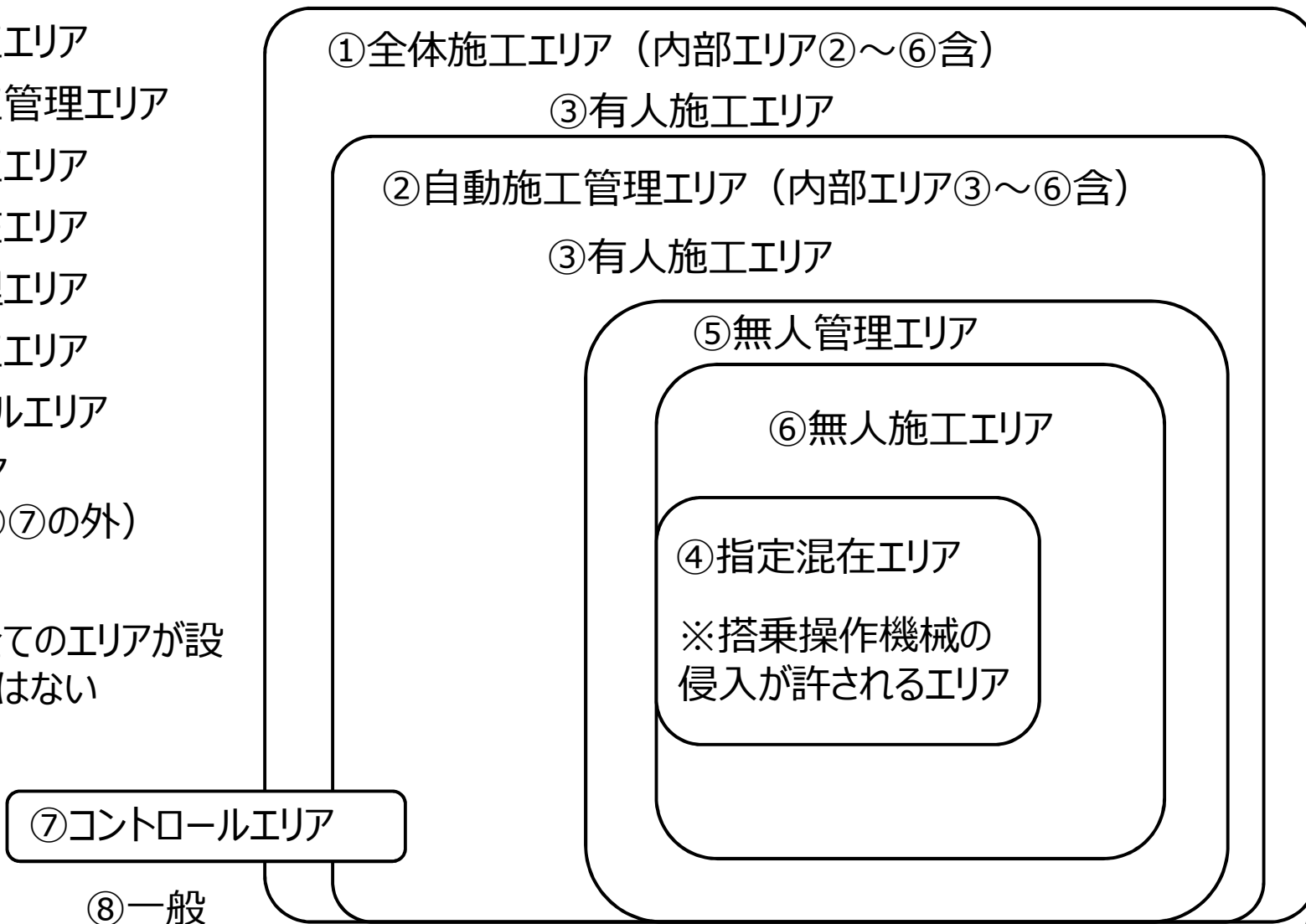
3. エリアの計画と管理 自動施工機械の稼働エリアを無人化するために必要なエリア

3.1 エリアの種類と定義

- ① 全体施工エリア
- ② 自動施工管理エリア
- ③ 有人施工エリア
- ④ 指定混在エリア
- ⑤ 無人管理エリア
- ⑥ 無人施工エリア
- ⑦ コントロールエリア
- ⑧ 一般エリア
(エリア①⑦の外)

※必ずしも、全てのエリアが設置されるわけではない

→例示



自動・遠隔施工の安全ガイドライン

3. エリアの計画と管理

3.2 境界

エリアを区切る境界となるもの 現場の地形や管理レベル、自動施工機械の機能や動特性等を考慮し、リスクアセスメントによって適切な境界を選定する。組み合わせもあり得る。

① 物理的な境界（対機械）

境界が想定し対象とする機械の仕様では、突破不可能な構造物、自然地形など

② 物理的な境界（対人）

人が容易に乗り越え不可能な固定柵、侵入困難な険しい崖、山、河川・湖沼・海等の自然地形など

例えば、山奥の谷あい等で、一般人の侵入が（悪意を持って以外に）考えられないような地形の施工現場は、物理的な境界に囲まれているとみなしてよい。

注：弱い固定柵は、大型建機に対して物理的な境界にならない。

③ 視覚的な境界（対人）

妥当な間隔での三角コーン、（人や機械が容易に乗り越え可能な）簡易柵など

自動・遠隔施工の安全ガイドライン

3. エリアの計画と管理

3.2 境界

エリアを区切る境界となるもの 現場の地形や管理レベル、自動施工機械の機能や動特性等を考慮し、リスクアセスメントによって、適切な境界を選定する。組み合わせもあり得る。

- ④ 自動施工機械の機能に連動した視覚可能な境界（人に対する視覚的な境界に相当）
自動施工機械に搭載されたセンサによる検知を意図したマーカーや構造物
自動施工機械による検知を意図した電波発信器やレーザを搭載した柵や特殊なカラーコーン
- ⑤ 仮想的な境界・制御上の境界
シミュレータ、コンピュータ、デバイスの設定、機械の制御などでのみ存在し、視認することができない境界
- ⑥ 境界・ゲート通過の検知
レーザやカメラによる検知など
 - ①～④の境界において、接近、通過する人、機械、飛来物、動物などを検知するために使用できる。境界③の強化や、境界④に用いることもある。

自動・遠隔施工の安全ガイドライン

3. エリアの計画と管理

3.3 ゲート

境界の一部であり、人や機械の入退場を意図する箇所

開閉可能な物理的な境界を設ける場合、さらにシステムと連動したインタロックを設ける場合、構造物は設けず管理や検知だけを行う場合等。

管理だけによる場合、施工管理者が、ゲート入退場の基準や手順を適切に実行することが必要。

① ゲートにおける入退場のコントロール・記録

人・モノ・機械の入退場の管理と記録を行う。

ゲート通過や管理の基準や手順は、施工管理計画、安全計画で規定する。

電子認証システム等を使えば、デジタルデータとして入退場が自動記録され、より信頼性の高いレベルの管理ができる。

ゲートは多重化してもよい（全体施工エリア侵入ゲート→自動化管理エリア侵入ゲート）。自動施工管理エリアには、教育を受けた作業員、及び、計画・登録された自動施工機械や搭乗操作機械のみが入場可能とする等、より高いレベルの管理を行う。

② ゲート通過の検知

レーザやカメラによる検知など

ゲートにおいて、接近、通過する人、機械、飛来物、動物などを検知するために使用できる。

→インタロック

自動・遠隔施工の安全ガイドライン

3. エリアの計画と管理

3.4 自動施工管理エリアの監視

① 環境の監視

自動施工管理エリアにおける、照度、視界、風速、天候、測位衛星配置・磁気嵐、土壌状態、地形など、自動施工機械の稼働可否の条件として必要な情報。

デジタルデータとして自動記録することが望ましい。

特に重要な情報は、自動施工機械の制御に連動させてもよい。

② イベントの監視

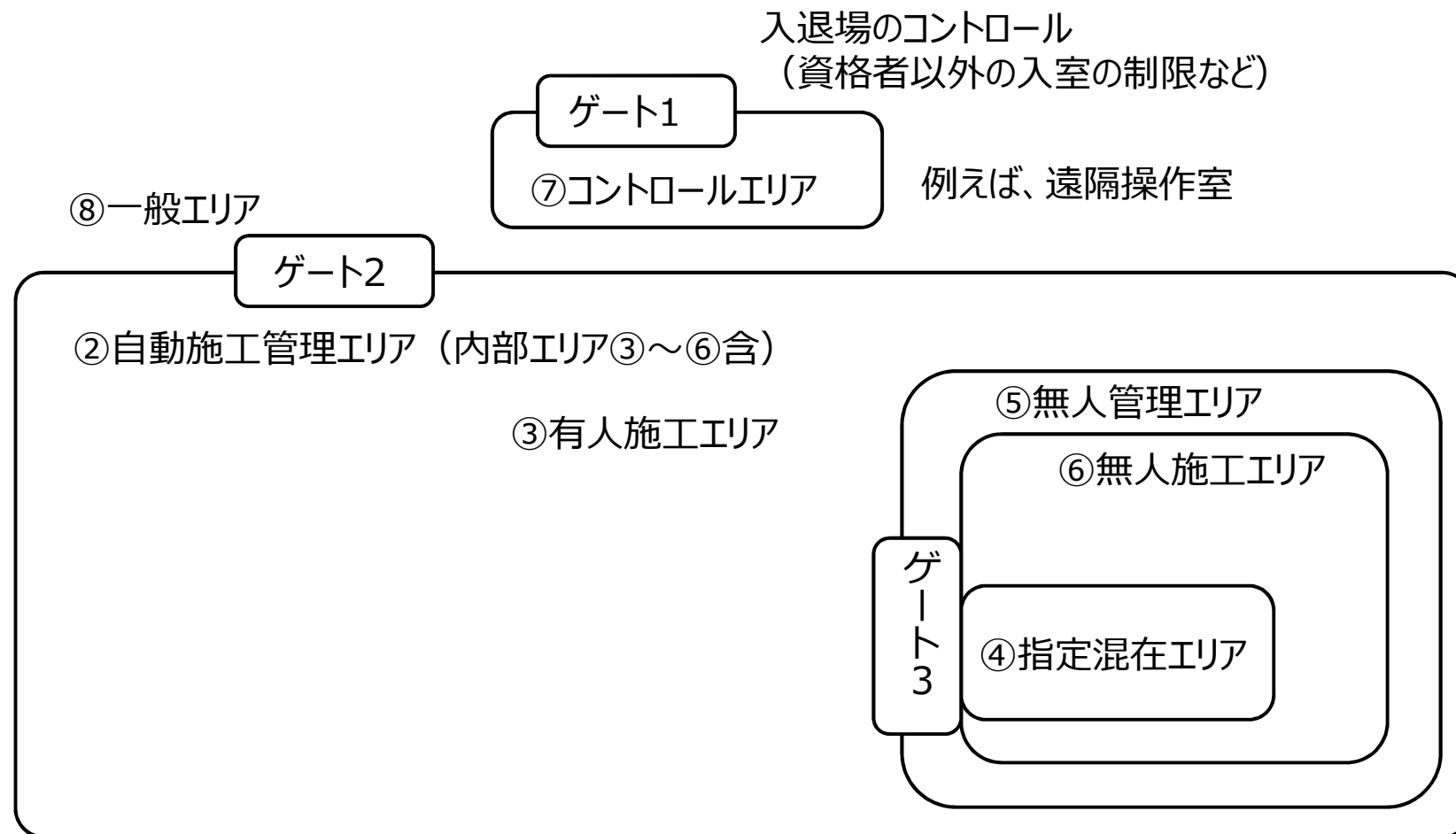
自動施工管理エリアで何が起きているか？（人や機械）の監視・記録

自動施工機械だけでなく、搭乗操作機械や人のふるまい（位置情報等）もデジタルデータとして、記録されることが望ましい。

無人管理エリア、無人施工エリア全体をカバーする映像が記録されることが望ましい。

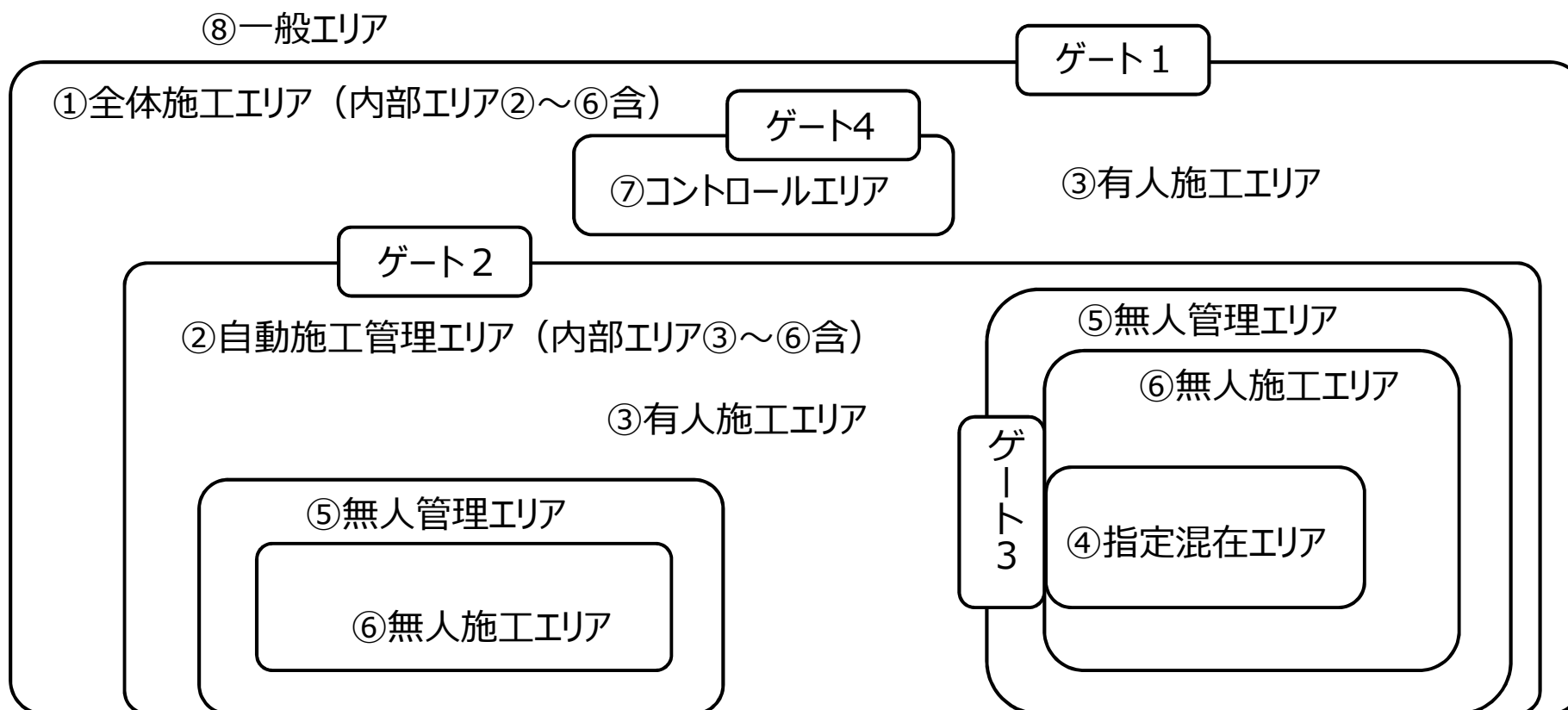
エリア構築の具体的な例

さらに詳細には、地形の利用や、具体的な柵やゲートなどの設置や配置など。



エリア構築の具体的な例

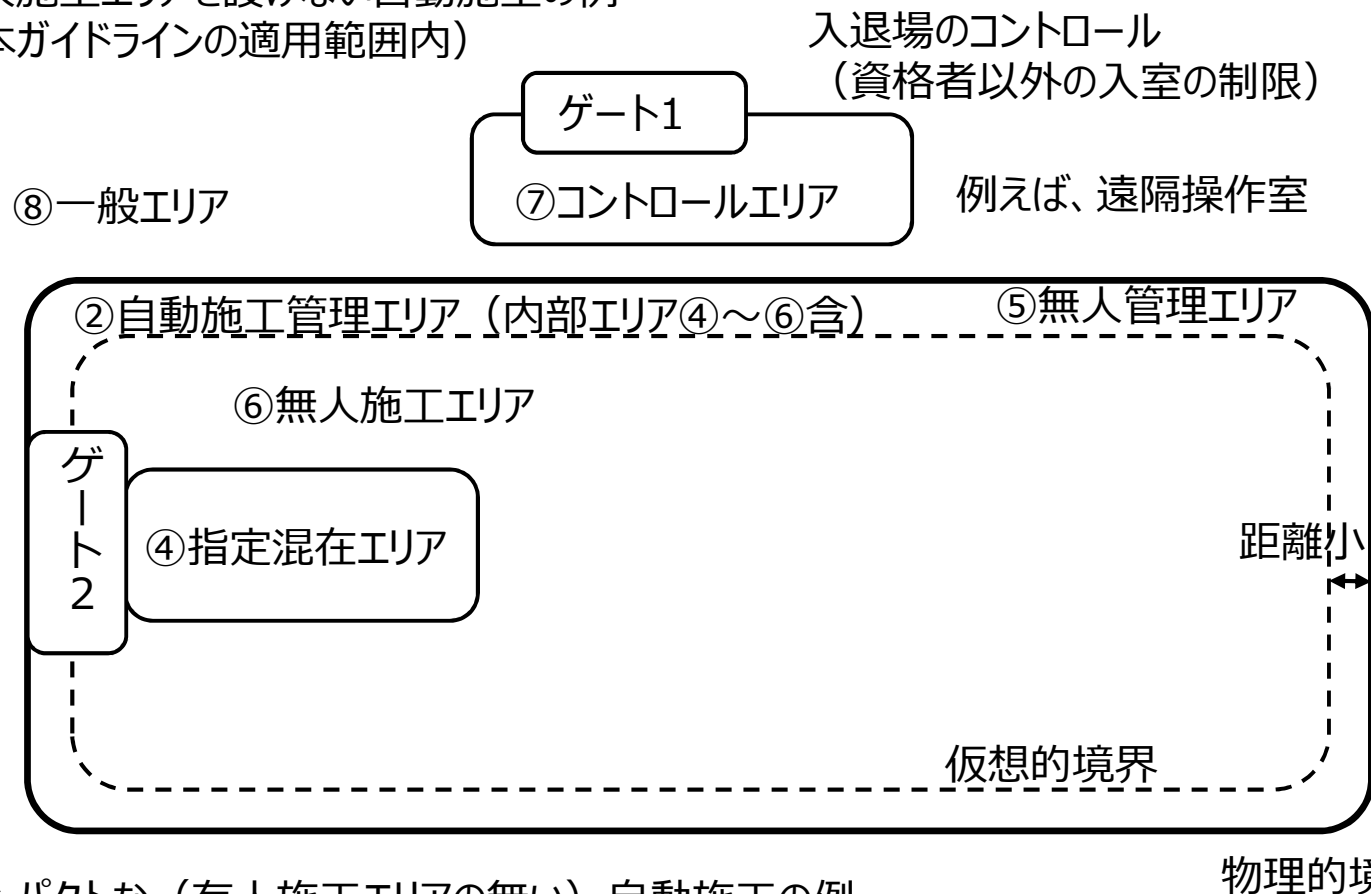
さらに詳細には、地形の利用や、具体的な柵やゲートなどの設置や配置など。



自動・遠隔施工の安全ガイドライン

エリア構築の具体的な例

有人施工エリアを設けない自動施工の例
(本ガイドラインの適用範囲内)



もっともコンパクトな (有人施工エリアの無い) 自動施工の例

- ⑤⑧間の境界は、少なくとも対人の物理的境界が必要
- ゲートの厳格な管理、厳格な自動施工機械運用を支える施工／安全計画・管理
- 対機械の物理的境界が無い場合、自動施工機械に高いレベルの安全機能 (広い稼働条件でのエリア逸脱防止機能) が必要となる。

自動・遠隔施工の安全ガイドライン

4. 無人施工エリアの計画、準備～終了の流れ

4.1 無人施工エリアの計画、準備～終了の流れ

- ① 無人施工エリアの計画
施工計画と合わせ、4に基づくリスクアセスメントを実施し、無人施工エリア、それに付随する無人管理エリアを計画 →具体例参照
- ② 無人施工エリアの準備
柵やコーンなどの境界の設置、準備中の表示
手動操作での自動施工機械の搬入（搭乗操作機械として扱う）
無人エリア内での人搭乗でのテスト運行
制御上の仮想的境界と物理的境界の整合性の確認
手動操作→外部制御への切替、受け渡しの手続き（動力停止状態にて行う）
- ③ 無人施工エリアの開始・運用・保守
「無人施工エリア、自動施工」の表示、ゲートの管理、エリアの監視、境界等の点検
- ④ 無人施工エリアの一時中断、再開
故障対応や保守、給油等で無人施工エリアに人が入る場合の中断手続（表示など）
人搭乗でのテスト運行 →②③に準ずる
- ⑤ 無人施工エリアの終了
外部制御→手動操作への切替、受け渡しの手続き（動力停止状態にて行う）
手動操作での自動施工機械の搬出（搭乗操作機械として扱う）

自動・遠隔施工の安全ガイドライン

5. 施工計画・管理

- (1) 全体施工計画・管理
 - ① 対象工種や作業環境、機械編成、実施体制など
 - ② 自動施工による効果、確認内容、管理方法
- (2) 自動施工の計画
 - ① 自動施工の内容や範囲
 - ② 自動施工の工程等（搬入・準備等を含む）
 - ③ 現場体制（施工体系図、管理体制など）
 - ④ 使用する機械や設備（施工機械、センサ機器、通信機器、保安設備など）
 - ⑤ 安全管理（リスクアセスメントに基づくエリア設定、安全対策など）
- (3) 自動施工機械の稼働環境条件
 - ① 現場条件（気象条件、地盤条件、エリア設定など）
 - ② 位置座標、データ通信、その他
- (4) 自動施工の運用
 - ① 通常時（自動施工時、開始前・終了後の対応）
 - ② 故障時の対応
 - ③ 日常および定期点検（保守時の対応）
- (5) 実施体制の教育と記録
 - ① 責任者、管理者、遠隔・搭乗操作者、現場監視員、機械保守員、一般作業員
 - ② 教育・訓練の内容と記録

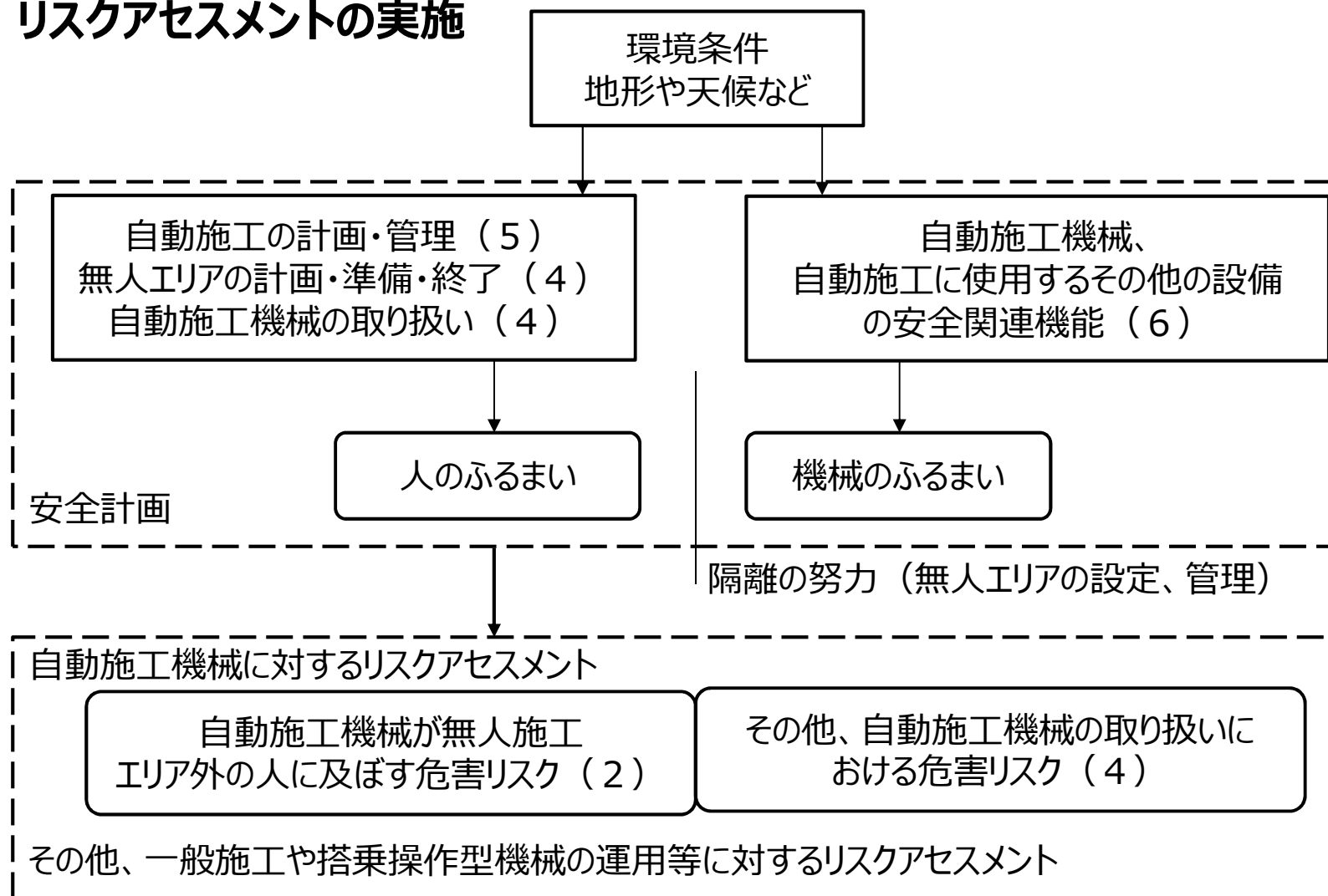
自動・遠隔施工の安全ガイドライン

6. 設備・機械

前記、1～5の自動施工の運用に必要な設備・機械に対する要求事項

- ① 自動施工機械
- ② 搭乗操作機械
- ③ 通信設備
- ④ 固定設備（エリア環境の計測・制御）
- ⑤ 固定設備（エリア内のイベントの監視）
- ⑥ 固定設備（境界の監視）
- ⑦ 施工・自動施工を計画・管理する設備、及び/又は、
コンピュータのプログラム
- ⑧ 外部操作・制御を行う設備
- ⑨ 施工データの記録を行う設備
- ⑩ ネットワーク・データ伝送・処理・蓄積

7. リスクアセスメントの実施



立案した安全計画に基づく、リスクアセスメントの実施を規定

以下、参考

参考： 要求安全レベル PLr: JIS B9705-1 MPLr: JIS A8341-1

JIS B 9705-1:2019 (ISO 13849-1:2015)

記号の説明

1 : リスク低減に安全機能の寄与度を評価するための開始点

L : リスク低減への寄与度“低い”

H : リスク低減への寄与度“高い”

PLr : 要求パフォーマンスレベル (a~eの5段階)

リスクパラメータ

S : 傷害のひどさ

S1 : 軽症(通常, 回復可能な傷害)

S2 : 重傷(通常, 回復不可能又は死亡)

F : 危険源への暴露の頻度及び/又は時間

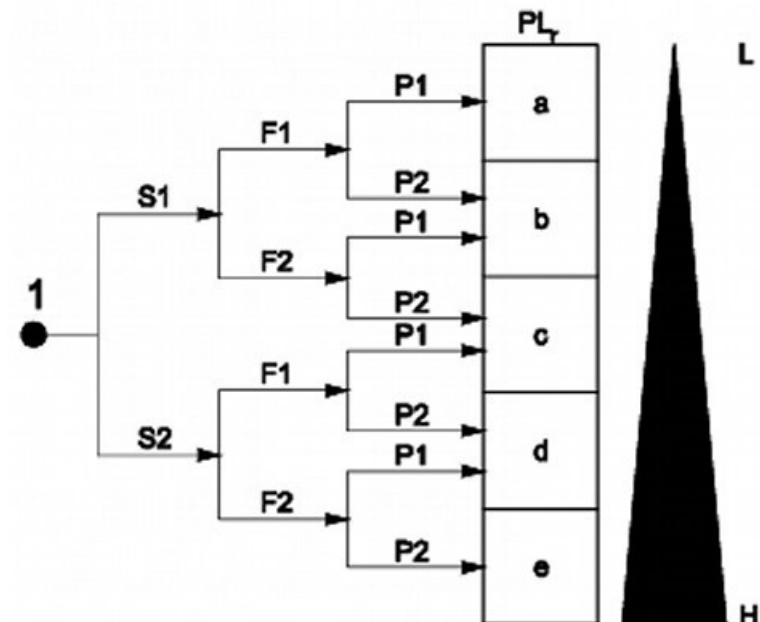
F1 : まれ~低頻度, 及び/又は暴露時間が短い

F2 : 高頻度~連続, 及び/又は暴露時間が長い

P : 危険源回避又は危害の制限の可能性

P1 : 特定の条件下で可能

P2 : ほとんど不可能



PLr(Required Performance Level)とは、「安全機能の各々に対し、要求されるリスク低減を達成するために適用されるパフォーマンスレベル」としてa~eの5段階に区分され、危害の大きさ(S)、頻度(F)、回避の可能性(P)の選択によりリスク低減への寄与度が求められる。

5. 施工計画・管理

⑦コントロールエリア

自動施工を計画・管理する設備、
及び/又は、
コンピュータのプログラム

自動施工の実行、及び/又は、自動
施工機械の外部操作・制御を行う設
備、及び/又は、コンピュータのプログラム

⑦コントロールエリア 又は、⑧一般エリア

施工データの記録を行う設備、
及び/又は、
コンピュータのプログラム

ローカルネットワーク

オープンネットワーク

②自動施工管理エリア

自動施工を計画・管理する設備、
及び/又は、
コンピュータのプログラム

施工の実行・自動施工機械の外部操
作・制御を行う設備、及び/又は、
コンピュータのプログラム

施工データの記録を行う設備、
及び/又は、
コンピュータのプログラム

ローカルネットワーク

オープンネットワーク

固定設備
(環境計測)

固定設備
(イベント監視)

固定設備
(境界監視)

通信設備

搭乗操作機械
追加機能部

搭乗操作機械

自動施工機械
追加機能部

自動施工機械
基本部

6. 設備・機械

6.1 自動施工機械

非常停止：

JIS A8341-1、JIS B9703を考慮。非常停止ボタンは、運用計画に合わせ、搭乗操作室、機械本体、周囲、遠隔操作・制御室などに設置。

必要な要求安全レベル（PLr）を確保。

機械本体が停止機能のインタフェースのみを提供する場合でも、無線通信手段、及びその先の機器との全体で、フェールセーフ、及び、必要な要求安全レベル（PLr）を確保。

稼働ステータス表示：JIS A8408を参考。高輝度LEDが使用可能なことを勘案し、必ずしも、回転灯でなくてもよい。配色については、今後、議論の後、標準化する方向で考える。

ホーン等の音響手段による警告：始動など安全上重要な動作時に実施。

オペレータ操作による運転機能：操作者が搭乗しての運転ができること（遠隔操作しかできない場合、JIS A8408に準拠し、所定の限定的運用）。操作者以外の経路の制御を完全に遮断可能な手段。外部からの手動操作と外部制御との切り替えを制限。

稼働記録：機械の状態や主要なセンサのログを取得。取得したログは、外部に送信してよいが、車体上のデータ蓄積手段にも記録する。

機械全体の状態遷移：自動施工機械の安全な運用に必要な状態遷移の規定。

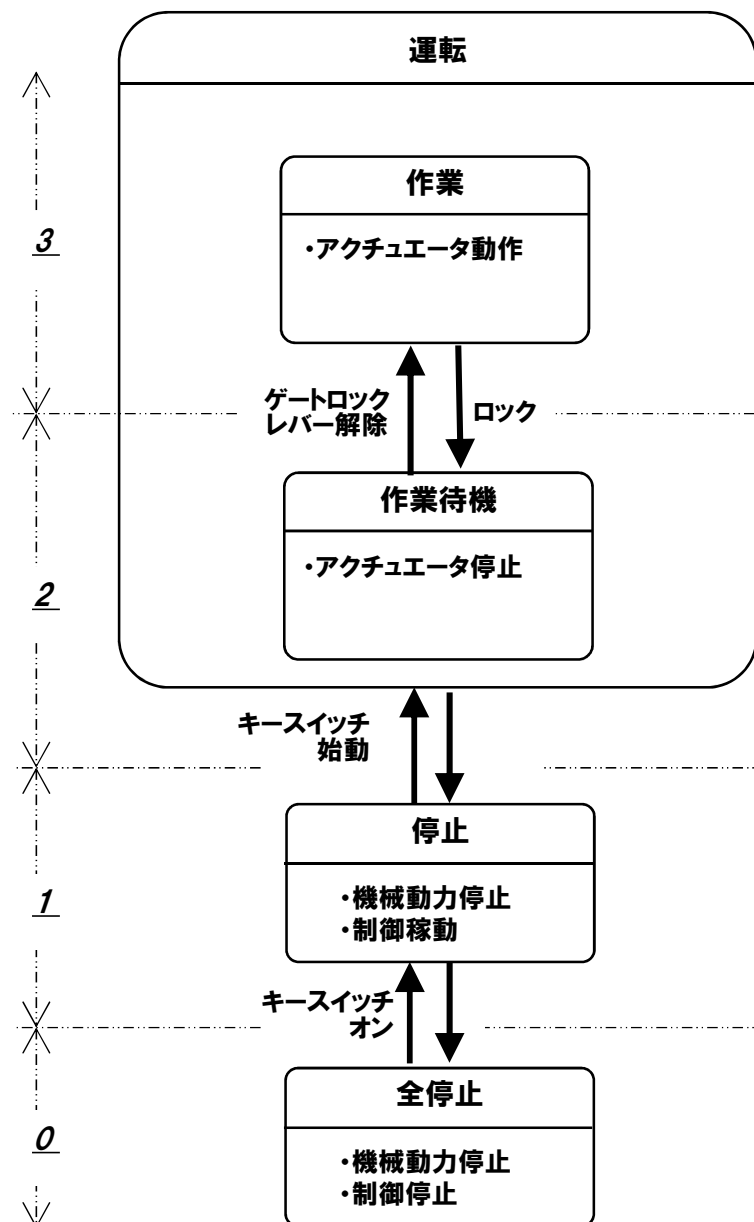
遠隔操作機能：自動施工フェール時の遠隔レスキューなど

こういった要求事項を記載

自動・遠隔施工の安全ガイドライン

参考：油圧ショベルの状態遷移

ISO/TS 15998-2:2012 土木機械—電子部品を使用した機械制御システム（MCS）—
 パート2：ISO15998の使用と適用



自動・遠隔施工の安全ガイドライン

参考：非常停止

JIS B9700 機械類の安全性－設計のための一般原則－リスクアセスメント及びリスク低減
6.3.5 付加保護方策

JIS B9703 機械類の安全性－非常停止機能－設計原則

JIS A8408 土工機械－遠隔操縦の安全要求事項

4.5 非常停止（JIS A8408）

4.5.1 一般事項 遠隔操作器及び機械上に非常停止機器を設けなければならない。非常停止機器を起動すると直ちに機械の全ての危険な動作が安全な方法で停止しなければならない。

4.5.2 特性 非常停止機器を意図的にリセットさせない限り、機械の運転が再開可能であってはならない。非常停止機器を複数備えている場合、操作中又は起動した非常停止機器の全てがリセット操作されない限り、機械の運転が再開可能であってはならない。

4.5.3 非常停止ボタン 非常停止は、一般に押しボタン式とする。そのための機器又はその表示は、赤色とする（JIS C 8201-5-1）。非常停止ボタンの背景は、対比の強い色とする。非常停止ボタンは、フェールセーフ設計とする。

4.5.4 機械 遠隔操縦する機械には、その進行方向外の地上にいる人が操作できる非常停止ボタン又は他の手段を備えるのがよい。

自動・遠隔施工の安全ガイドライン

参考：稼働ステータスの表示

JIS A8408 土工機械 – 遠隔操縦の安全要求事項

4.10 警報機器

機械が作業中は、遠隔操縦又は直接操縦のいずれの操縦モードであっても、機械に取り付けられた黄色又はだいたい（橙）色の回転灯が点灯しなければならない。その回転灯を運転席（JIS A 8311による目の位置）又はその至近に設置して、周囲の人に機械が遠隔操縦されていることを示さなければならない。

注記 機械が作動中で遠隔操縦の信号伝達状態が正常であることを示す緑色回転灯、及び機械に何らかの重大な故障が発生したり、又は何らかの故障が生じて機械が停止したりするのを示す赤色回転灯を組み合わせる機械に取り付けてもよい。機械を遠隔操縦しているときは、遠隔操作器から機械の警笛（例えばホーン）を操作可能でなければならない。

※今は、高輝度LED等もあるので、十分な視認性があれば、回転灯でなくてもよいことにする。
色使いは要検討 →標準化の流れを考慮し、規定する方向。