



移動式クレーンの遠隔地操作 ～安全設計の応用事例～



2024年11月22日
株式会社 タダノ
林 洋幸





株式会社タダノ

本社：
香川県高松市

事業内容：
建設用クレーン、
高所作業車等の製造、販売



主力製品：移動式クレーン

⇒ 遠隔地操作の事例



様々な現場で使われる移動式クレーン



山間部、ダム



災害現場



長期間の建設現場

必ずオペレータ様が搭乗：移動、作業

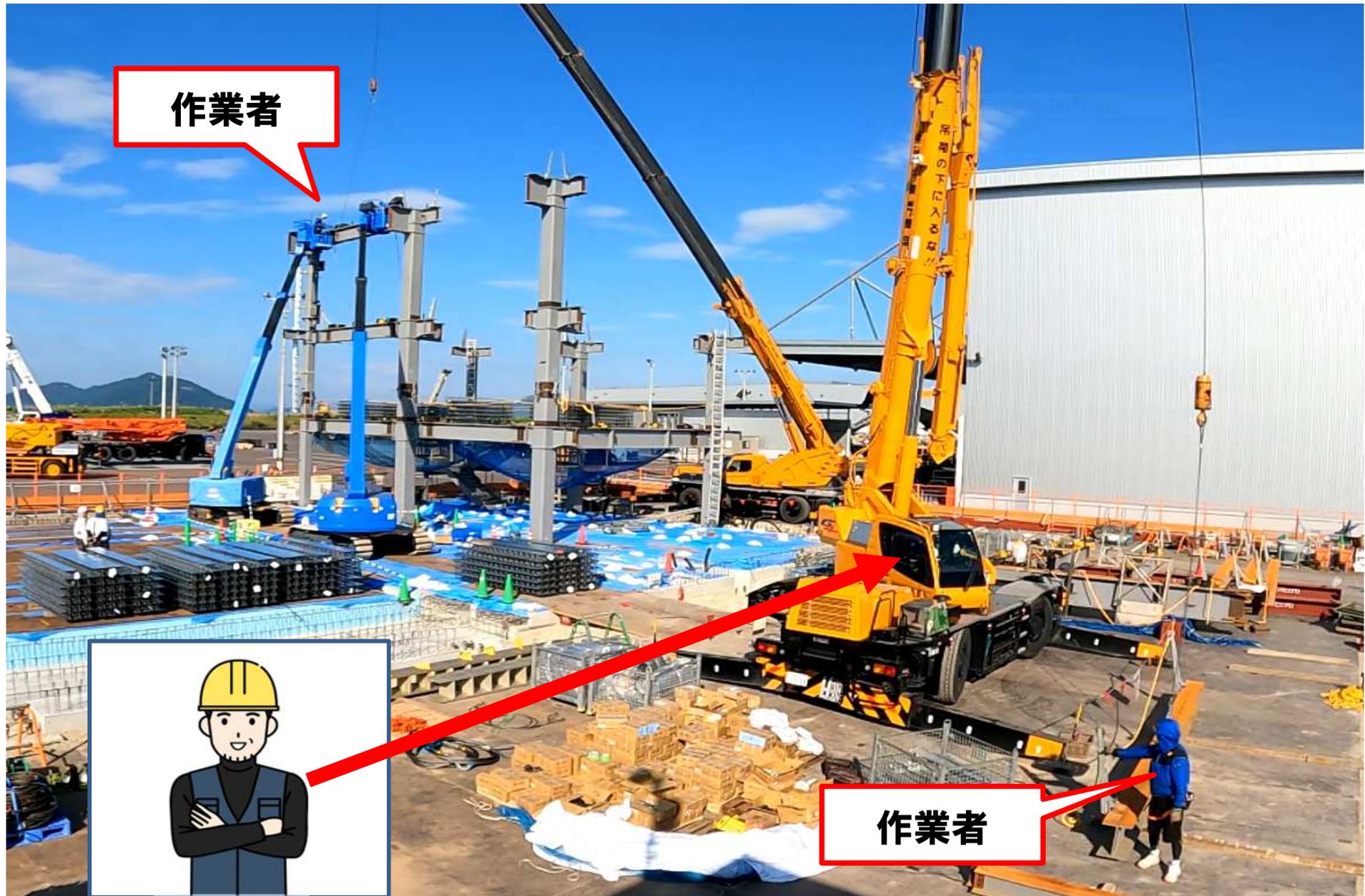
交通事故、作業事故
長時間労働、長期出張



建設業界全体
人財不足、高齢化、働き方改革



クレーンオペレーター様の仕事：現状のクレーン作業



作業者

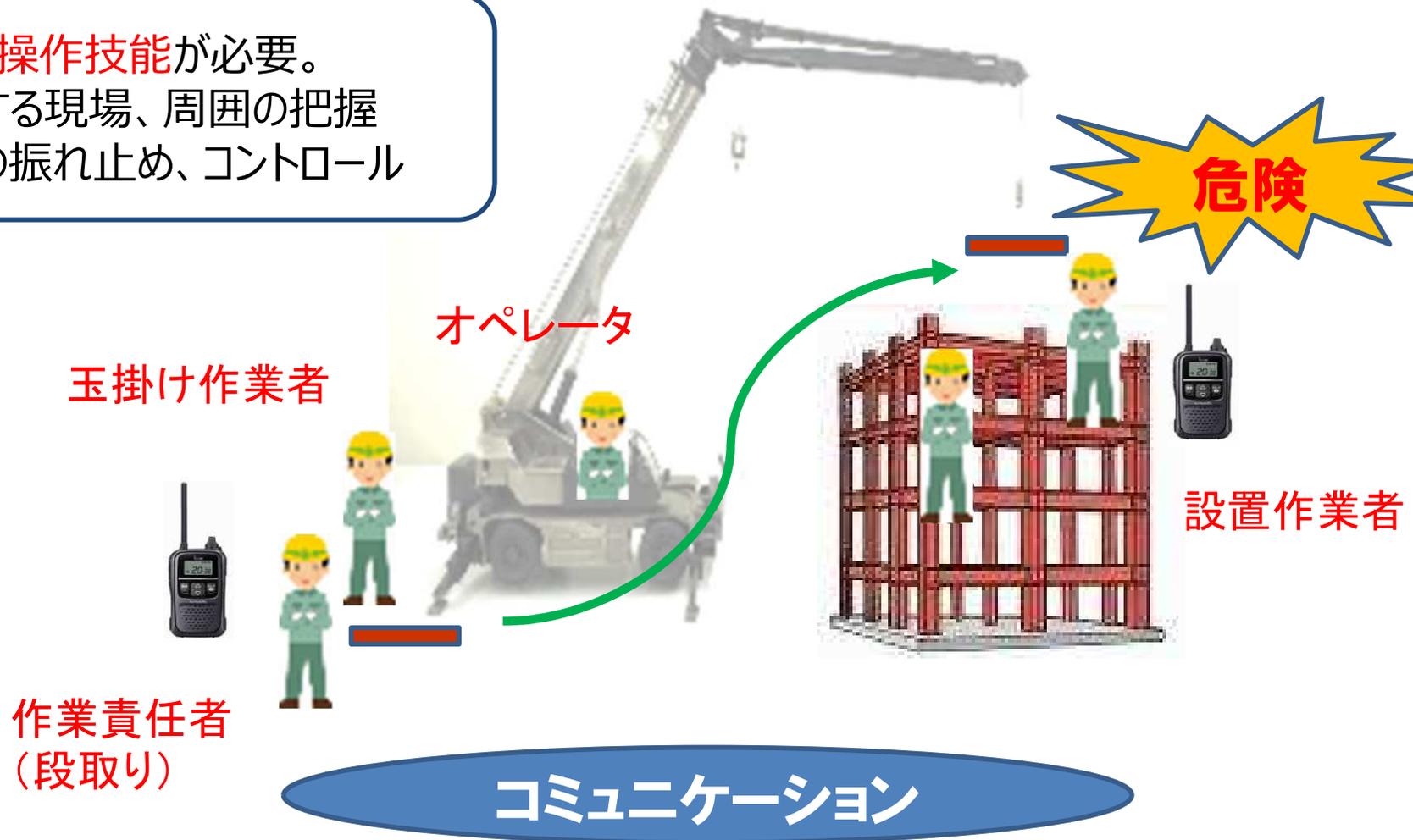
作業者



クレーンオペレータ様の仕事：現状のクレーン作業

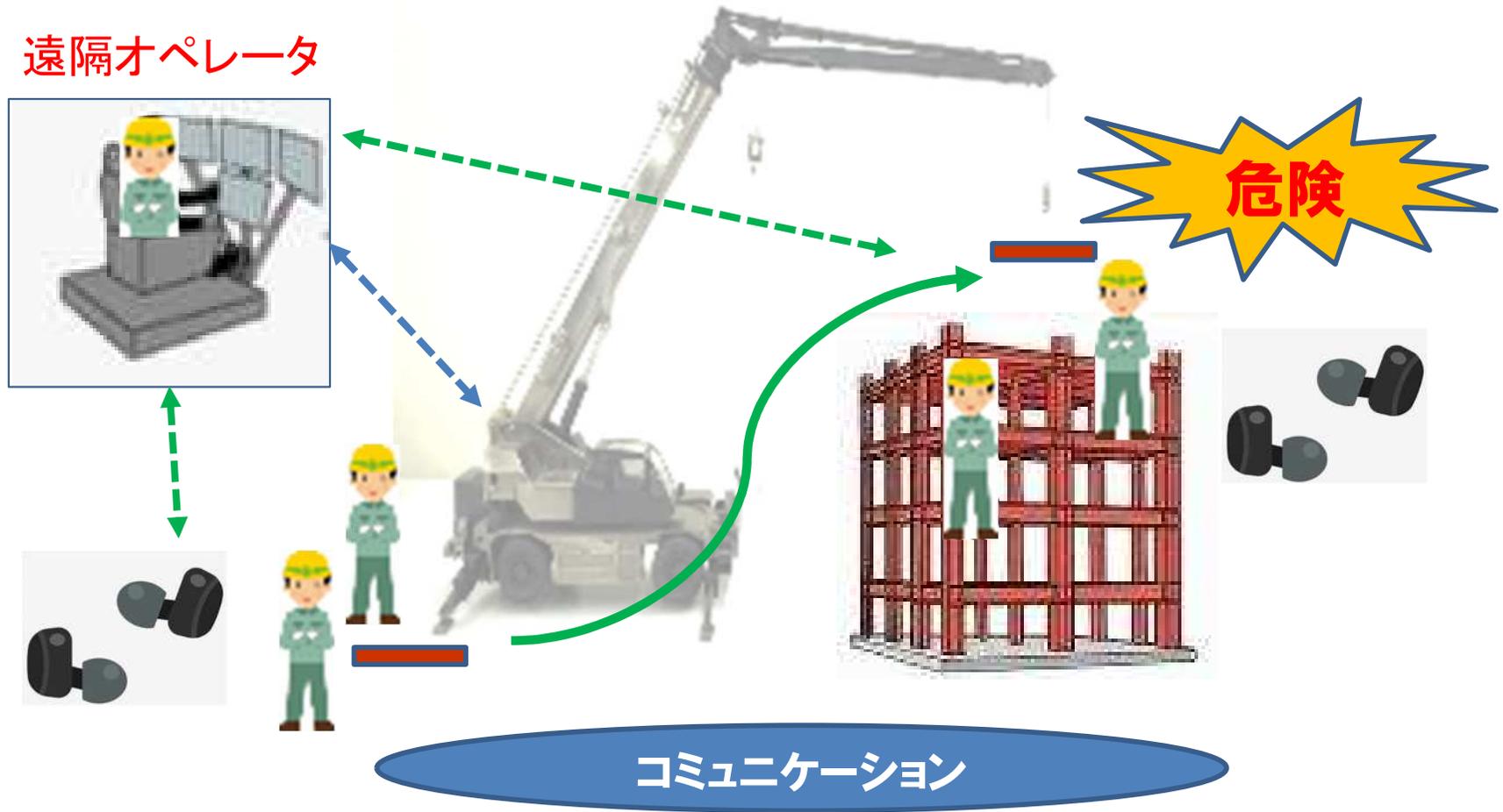


- クレーン操作技能が必要。
- ・変化する現場、周囲の把握
 - ・吊荷の振れ止め、コントロール



「自動化」はハードルが高い ⇒オペレータ様の技能頼り

「遠隔地操作」を提案



「遠隔地操作」を提案



現状

数週間、数か月



クレーン作業 ⇒ 遠隔地から実施

- ・移動を減らす
- ・フルタイムでクレーン作業
- ・合間に別の現場対応



遠隔地操作システムの開発



2025年
現場試験適用

CRANET クラネット

事務所

操作用コックピット



- ・携帯回線
- ・衛星回線 など

現場に合わせて選定

通信

操作

会話

現場

既存のクレーン

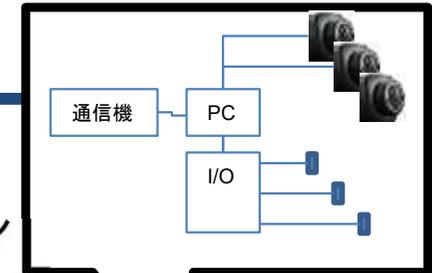


+

追加

カメラで現場を見る

遠隔キット



通信がつながれば、世界どこでも

遠隔から模擬作業を実施



150km

操作

会話



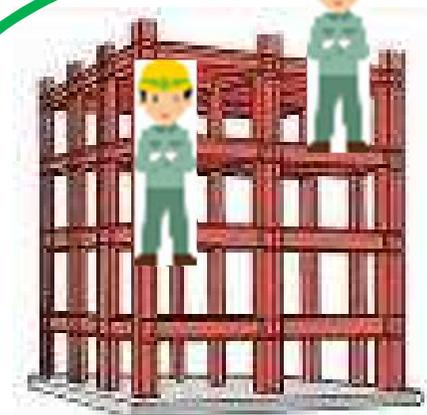
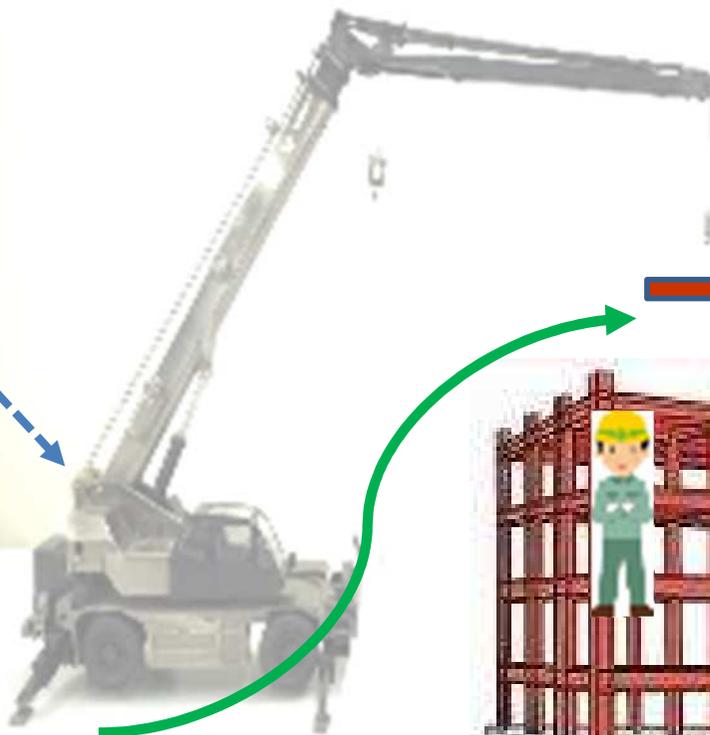
映像遅延: 約0.2~0.3秒
操作遅延: 約0.1秒



遠隔から模擬作業を実施：動画



遠隔オペレータ



コミュニケーション

- ・現場の状況把握
- ・遅延、途切れの影響
- ・コミュニケーションが十分か

システムとして
他に懸念事項は？



安全、安心な遠隔地操作の実現

安全分析の実施

一般的なもの

リスクアセスメント

網羅的には難しい（ブレインストーミング的）

1. 危険度評価点

けがの可能性		けがの程度		危険に近づく頻度		点数計	レベル	実施部署			
確実である	6点	死亡・永久的労働不能	10点	頻繁(日に何回も)	4点	15~20	IV(受入不可能)	部長/支店長	GM/課長	AM/駐係長	作成
可能性が高い	4点	重症・障害が残る	6点	多い(日に1回程度)	3点	12~14	III(重大問題)				
可能性が有る	2点	休業・不休(非障害残)	3点	時々(週1程度)	2点	9~11	II(多少問題)				
可能性がほとんど無い	1点	手当直後翌日可	1点	めったに無い(月1程度)	1点	1~8	I(受入可能)				

2. 診断内容 ※あまり大まかな内容だと対策も立てられません、ある程度具体化が必要です(例:交通事故に遭う⇒携帯電話を使用中に脇見となり追突する)

No.	作業名 (機械・設備) (原材料)	危険性又は有害性 「~なので(物)~して(人)~になる(事故の型)」 危険な状態 + 危険な行動 = 事故	リスクの見積り・評価					リスク低減措置 レベルI(受入可能)の場合、リスク低減措置不用	リスクの再評価					残留リスクに対 する対応、課題 (レベルIV以上)	担当 (助言者)	完了日 (確認日)
			可 能 性	程 度	頻 度	計	レ ベ ル		可 能 性	程 度	頻 度	計	レ ベ ル			

FMEA (故障モード影響解析)

設計前ではやりにくい（構成決定後のチェック）

構成要素の単独故障の場合

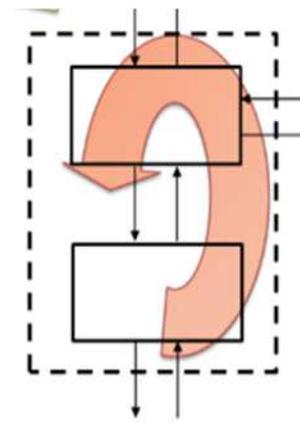
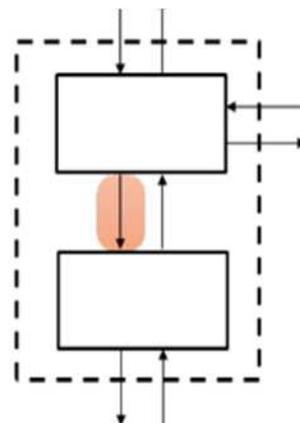
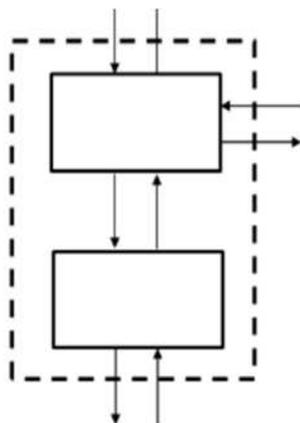
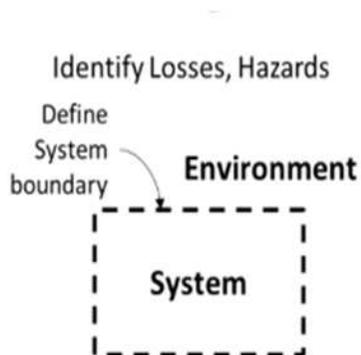
No.	constituent element 構成要素名称	failure mode 故障モード	failure source 故障の原因	failure effect 故障の影響	Occurrence 発生頻度 可能性	Severity 影響度 厳しさ	Criticality 致命性評価	Detection 故障の検知方法
①	レバー、ペダル	操作量出力なし (Ao=0V)	ポテンショの故障	< 通常 > ・故障した操作レバーのみクレーン操作不可。	2	3	6	操作レバー、ペダル入力電圧チェック(断線チェック (正常時0.25~4.75Vの間)) [記号B]
			配線の断線/地絡	< 非常 > ・問題なし	2	3	6	
		操作量出力保 持 (Ao=5V,24V)	ポテンショの故障	< 通常 > ・故障した操作レバーのみクレーン操作不可。	2	3	6	操作レバー、ペダル入力電圧チェック(天絡チェック (正常時0.25~4.75Vの間)) [記号B] ・24V天絡の場合コントローラが異常検知
			配線の天絡	< 非常 > ・問題なし	1	3	3	

新しい安全分析手法：STAMP/STPAを適用



STAMP：網羅的にシステムとして安全分析ができる

JASA：一般社団法人 組み込みシステム技術協会の御指導



ステップ①
条件、システム、
登場人物設定

ステップ②
関係性図示
⇒制御構造図

ステップ③
危険なアクション
の特定

ステップ④
アクションループ
に対する対策
⇒安全要求として
設計に反映

①～③まではソフトウェアツールにて実施

(全部を設計、機能で解決は困難)



ステップ⑤
運用・安全管理の実施⇒運用ルール

事例：少 ⇒紹介



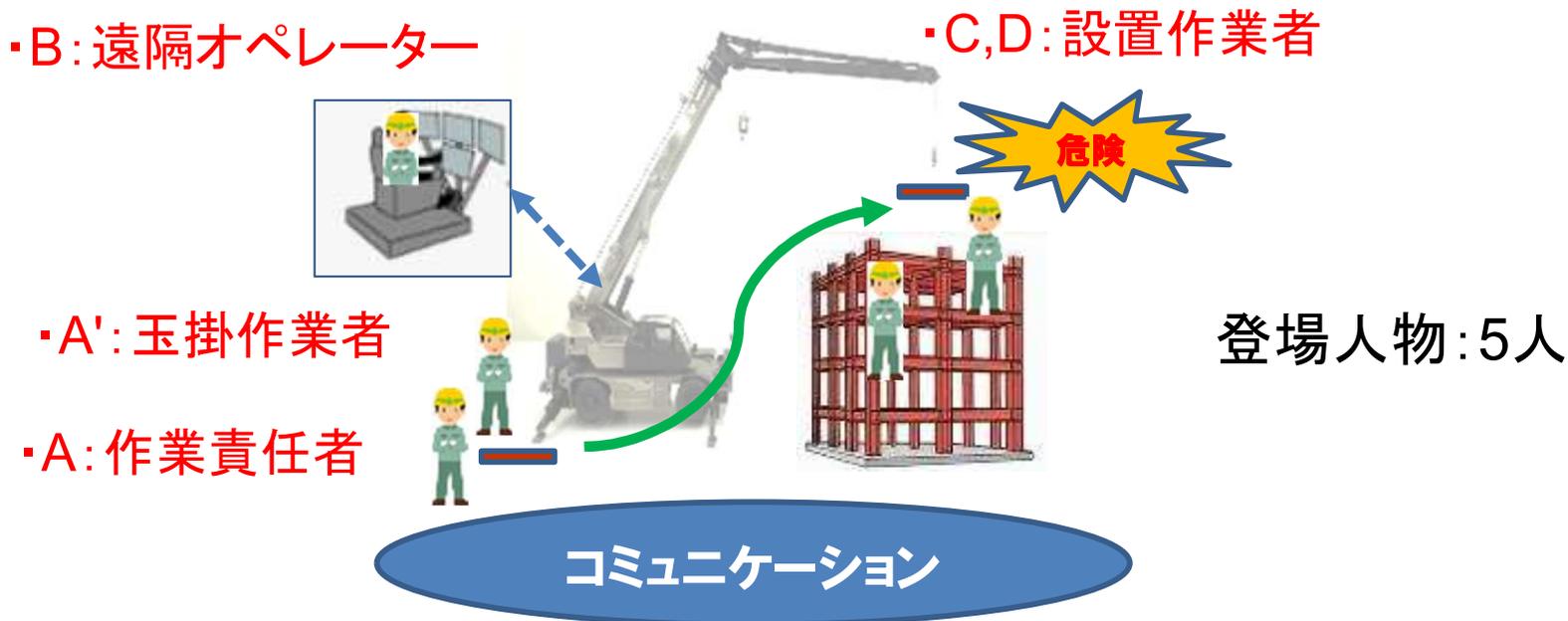
ステップ①: 条件、システム、登場人物設定



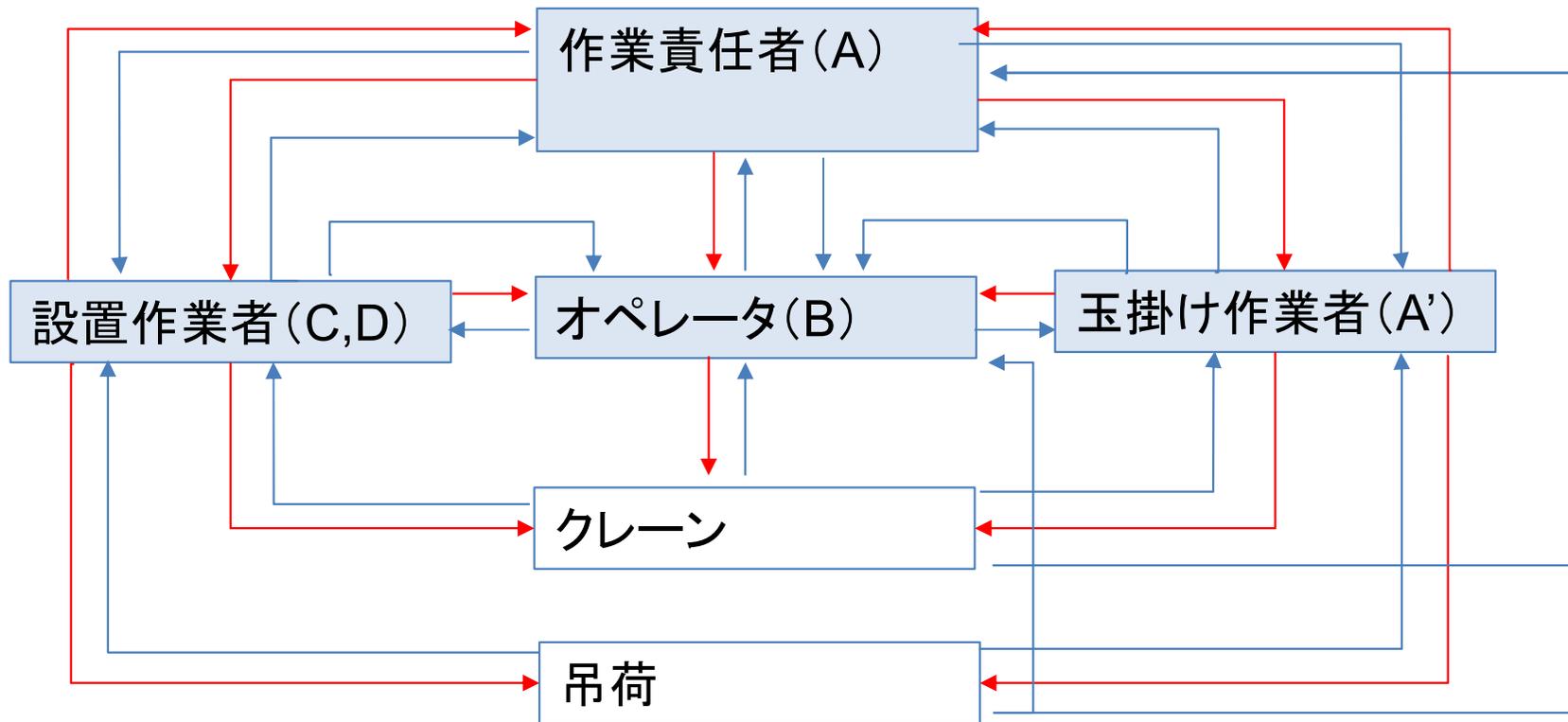
条件: アクシデント(事故)の定義

アクシデ...	アクシデント	ハザードID	ハザード	安全制約ID	安全制約
A1	ブームや吊荷との衝突により人や構造物が損傷する	H1	ブームや吊荷と人や構造物との安全距離が保てない	SC1	ブームや吊荷と人や構造物との安全距離を保たなければならない
A2	クレーン本体の転倒により人や構造物が損傷する	H2	クレーン本体のバランスが不安定	SC2	クレーン本体のバランスを安定させなければならない
A3	吊荷の落下により人、構造物、吊荷が損傷する	H3	吊荷が不安定	SC3	吊荷を安定させなければならない
A4	吊荷が損傷する	H4	吊荷に外力が加わる	SC4	吊荷に外力をかけない

システム

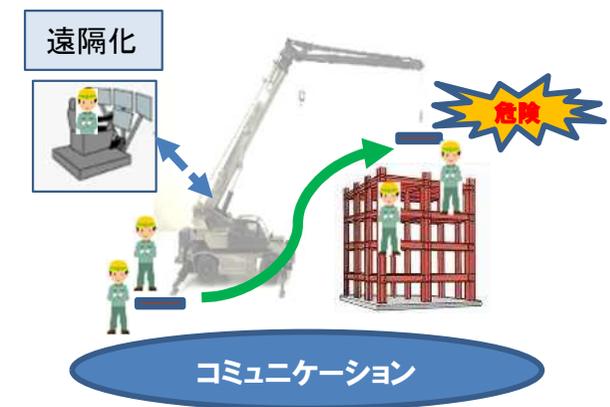


ステップ②: 構造図

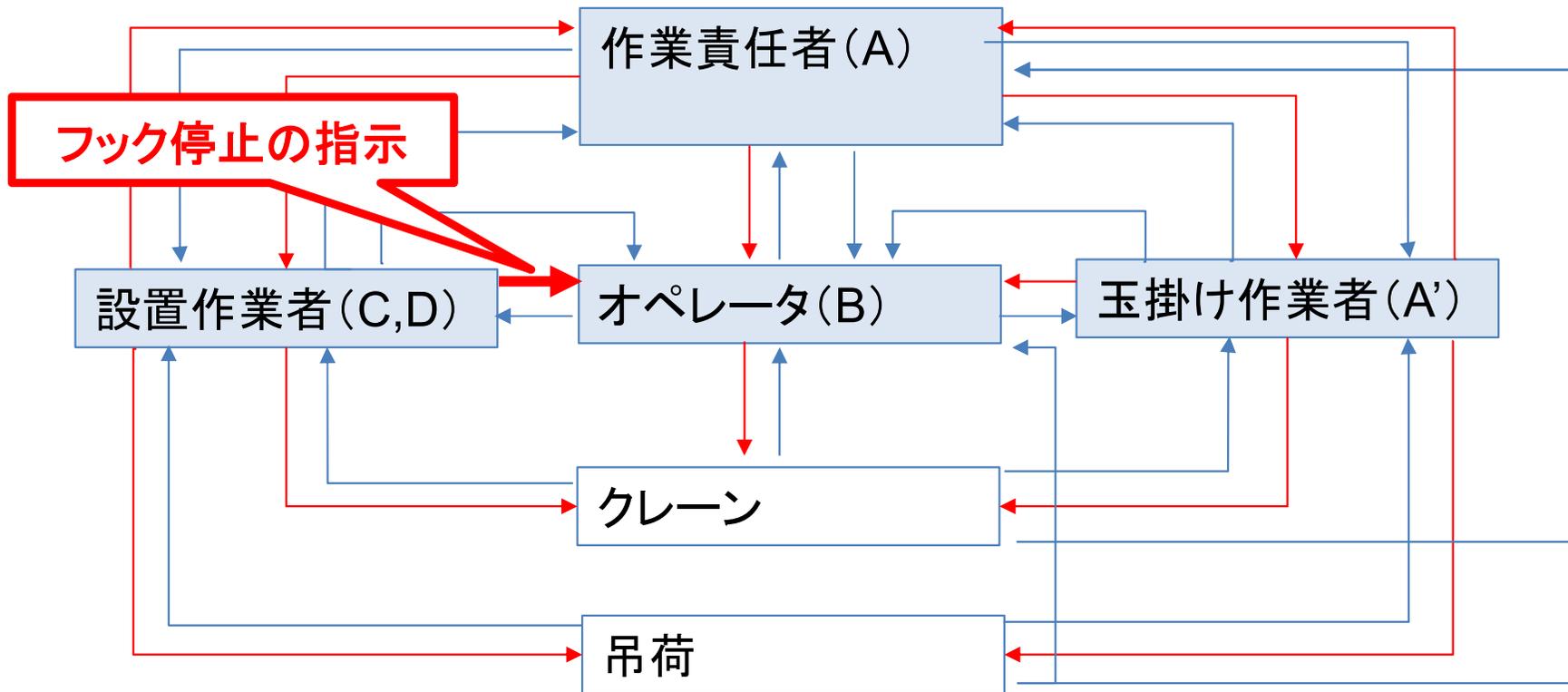


- CA: コントロールアクション
- ← FB: フィードバック

* 関係性の整理、全体俯瞰ができた。

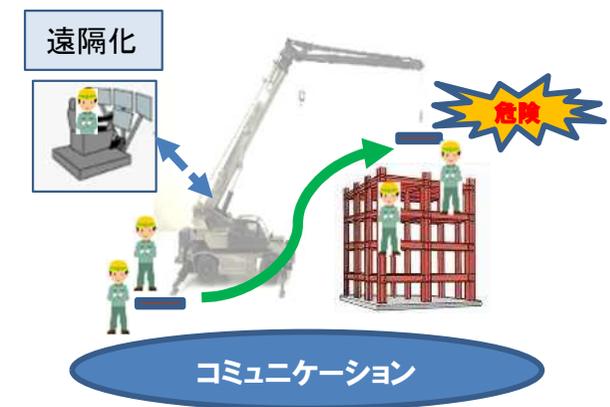


ステップ②: 構造図



- CA: コントロールアクション
- ← FB: フィードバック

* 関係性の整理、全体俯瞰ができた。





ステップ③、④の流れ

フック停止の指示

ステップ③
危険なアクションの特定

危険事象に至る
危険なアクションは？
(UCA)

アクション(CA)が
・実行されない
・実行された
・実行が遅い/速い

ガイドワード

ステップ④
危険事象の特定

危険事象(シナリオ) →
・原因

危険事象(シナリオ) →
・原因

危険事象(シナリオ) →
・原因

対策/安全要求

対策/安全要求

対策/安全要求

ヒントワード

対策表としてまとめる





ステップ③、④の流れ

フック停止の指示

ステップ③
危険なアクションの特定

危険事象に至る
危険なアクションは？
(UCA)

アクション(CA)が

- ・実行されない
- ・実行された
- ・実行が遅い/速い

ガイドワード

ステップ④
危険事象の特定

危険事象(シナリオ)
・原因

危険事象(シナリオ)
・原因

危険事象(シナリオ)
・原因

ヒントワード

対策/安全要求

対策/安全要求

対策/安全要求

対策表としてまとめる



フック停止の指示 ⇒ 実行されない



ステップ③	ステップ④		
UCA 危険なアクション	危険事象 シナリオ	対策	対策対象 コンポーネント
<p>停止指示がないため、そのままフックが動いて人にぶつかる</p>	<p>・通話不良で鳶からの停止指示が聞こえず、オペレータは自分の判断でも 停止判断ができずに衝突。</p>	<p>【機能】 オペレータに対して死角を補う機能(フック、クレーン周辺映像など)を提供する。</p>	<p>コックピット</p>
		<p>【運用】 オペレータはクレーン動作を復唱または動作内容を鳶に連絡する。* 通話がない場合、作業中断。</p>	<p>作業責任者 (A) オペレータ (B) 玉掛 (A') 設置 (C,D)</p>

* STAMP実施前は有効性の認識が低かった。
遠隔でない作業でも実施されている。

フック停止の指示 ⇒ 実行された



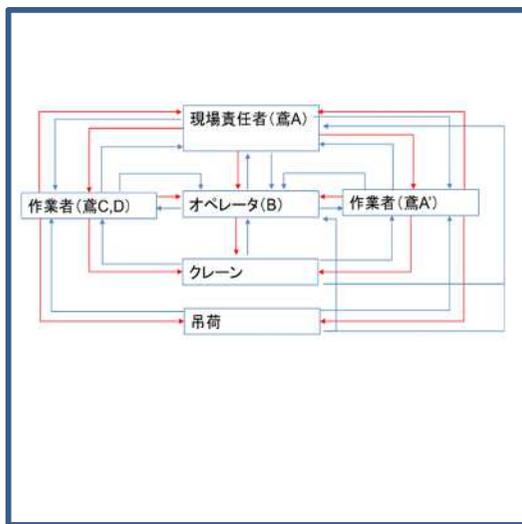
ステップ③	ステップ④		
UCA 危険なアクション	危険事象 シナリオ	対策	対策対象 コンポーネント
<p>停止指示がされたが、そのままフックが動いて人にぶつかる</p>	<p>・映像が遅れて表示されており、オペレータは停止判断ができず衝突。</p>	<p>【機能】 映像、通信の遅れを監視し、オペレータに知らせる機能。</p>	<p>コックピット</p>
		<p>【運用】 オペレータはクレーン動作を復唱または動作内容を鳶に連絡する。* 通話がない場合、作業中断。</p>	<p>作業責任者 (A) オペレータ (B) 玉掛 (A') 設置 (C,D)</p>

* こちらにも対応できる。

全コントロールアクション(CA)について実施

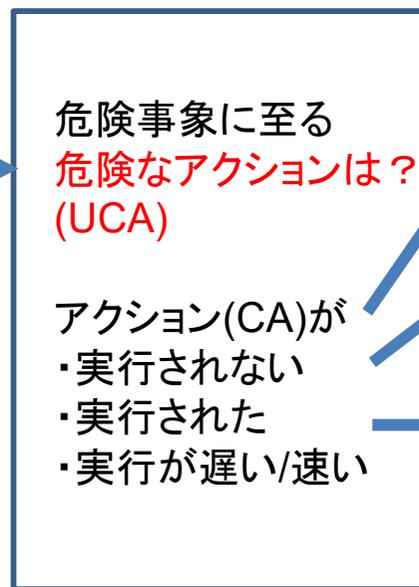


ステップ② 構造図



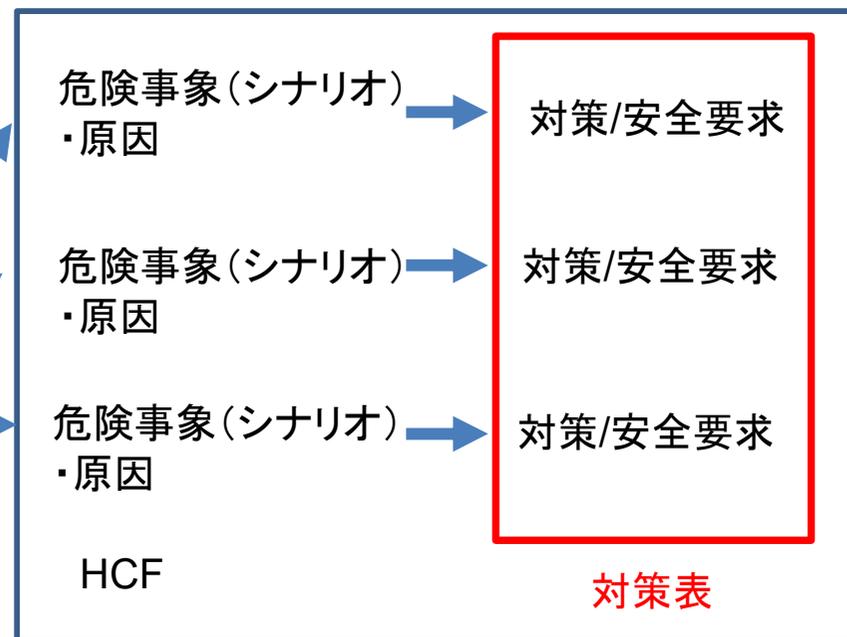
CA=39個

ステップ③ 危険なアクションの特定



UCA=58個

ステップ④ 危険事象の特定



- ・網羅的
- ・分析の流れが説明ができる

シナリオ=246個(重複含む)

対策=344個(重複含む)*

⇒重複整理後:17個

* 重複があり、検討、整理が大変

対策表

運用ルール



・機能
⇒設計に反映
* メーカー

・運用
・教育
⇒運用ルール
に反映
* 施工監督様
作業者様

今後、自動化など
技術的解決も

システム安全（グループ化）	補足説明	No.	要約	機能	運用	教育	対策対象コンポーネント
①相互監視手段、停止手段の確保	監視支援	1	A,A',C,DまたはBへの死角を補う機能	○			コックピット A,A',B,C,D
		2	複数人での安全確認（遠隔と現場で）		○		A,A',B,C,D
	停止支援	3	非常停止：緩停止（現場作業員A,A',C,D）	○			遠隔切換基板 A,A',C,D
		4	緊急停止：動力源停止（クレーン近くのA,A'）	○			クレーン A,A',C,D
		5	動力源停止機能（オペレータB）	○			コックピット B
②クレーン動作の最終判断はオペレータB	判断明示	6	操作の復唱、明示する。		○		B
		7	遅延の理解：移動開始、停止の遅れ			○	A,A',B,C,D
③指示系統の確保	指示支援	8	指示明確化、誰から誰へか	○	○		コックピット A,A',B,C,D
		9	音声伝達手段の確保	○			コックピット A,A',B,C,D
④通信確保：現場ーコックピット間	通信確保	10	通信遅延対策、表示	○			コックピット 遠隔切換基板
		11	現場に合わせた通信方式の選定		○		施工者 A,B
⑤異常の通知	自己診断	12	自己診断：クレーン側、操作側	○			コックピット 遠隔切換基板
⑥作業環境の確認	現場環境、機械状況の確認	13	他の現場作業員への表示や音声警告	○		○	クレーン 周囲作業員
		14	気象確認、風検知など	○	○		施工者 A
		15	オペに機能、クレーン状態を通知：旋回フリー、緩停止、傾斜情報	○			コックピット
		16	作業範囲の立ち入り制限		○		A,A',B,C,D
⑦確実な作業前点検の実施。	作業前点検	17	作業前点検、動作不良の確認		○		A,B

対策表

運用ルール



遠隔特有な部分



他は通常の
クレーン作業でも
必要な対策。

システム安全（グループ化）	補足説明	No.	要約	機能	運用	教育	対策対象コンポーネント
①相互監視手段、停止手段の確保	監視支援	1	A,A',C,DまたはBへの死角を補う機能	○			コックピット A,A',B,C,D
		2	複数人での安全確認（遠隔と現場で）		○		A,A',B,C,D
	停止支援	3	非常停止：緩停止（現場作業員A,A',C,D）	○			遠隔切換基板 A,A',C,D
		4	緊急停止：動力源停止（クレーン近くのA,A'）	○			クレーン A,A',C,D
		5	動力源停止機能（オペレータB）	○			コックピット B
②クレーン動作の最終判断はオペレータB	判断明示	6	操作の復唱、明示する。		○		B
		7	遅延の理解：移動開始、停止の遅れ			○	A,A',B,C,D
③指示系統の確保	指示支援	8	指示明確化、誰から誰へか	○	○		コックピット A,A',B,C,D
		9	音声伝達手段の確保	○			コックピット A,A',B,C,D
④通信確保：現場ーコックピット間	通信確保	10	通信遅延対策、表示	○			コックピット 遠隔切換基板
		11	現場に合わせた通信方式の選定		○		施工者 A,B
⑤異常の通知	自己診断	12	自己診断：クレーン側、操作側	○			コックピット 遠隔切換基板
⑥作業環境の確認	現場環境、機械状況の確認	13	他の現場作業員への表示や音声警告	○		○	クレーン 周囲作業員
		14	気象確認、風検知など	○	○		施工者 A
		15	オペに機能、クレーン状態を通知：旋回フリー、緩停止、傾斜情報	○			コックピット
		16	作業範囲の立ち入り制限		○		A,A',B,C,D
⑦確実な作業前点検の実施。	作業前点検	17	作業前点検、動作不良の確認		○		A,B



安全分析 ⇒STAMPを適用

よかった点、気づき

- ・システムとして網羅的に見れ、ヒントワードなどでシナリオを引き出すツールとして有効。
- ・STAMP実施前だと危険意識が低かった対応の必要性が明確になった。
- ・停止手段などリスクアセスメントで想定していたことを再確認できた。

困った点

- ・④対策の整理の時、重複が多く整理が大変。エクセルを駆使。
ツール等の改善で更なる効率化が期待できる。

通常のクレーン作業でも安全につながる気づきもあり、STAMPは有効。

今後の展開



- ・遠隔地操作

2025年

CRANET

現場での試験適用

機能、運用ルールが十分か
検証を進める。

- ・今後の機能検討時にもSTAMPを適用していく。





JASAの皆様のご指導、ご協力に対し、
この場を借りて、御礼申し上げます。
引き続き、どうぞよろしくお願いいたします。

ご清聴ありがとうございました。