

2024 年 12 月 24 日

World Robot Summit2025
過酷環境 F-REI チャレンジ
プラント災害チャレンジ
競技ルール

本ルールは変更されることがある。

最新版については <http://worldrobotsummit.org/> を参照すること。

1. 背景

1.1 プラント事故対応

製造・精油／製鉄・食品／化学など工業プラントでは、パイプやタンク設備の老朽化や経年劣化やフランジ接合部のボルト緩みによる化学物質の漏れや爆発事故の発生が数多く報告されている。ロボットの導入により、事故発生後の作業員や緊急対応者の安全を担保しながら、迅速な緊急対応が可能となる。しかし、事故発生後は、炎や煙が発生している空間での状況把握、爆発により散乱したパイプなどの瓦礫により経路が寸断されるとともに、通信途絶の発生も起きるため、過酷な環境での活動がロボットに求められる。



図1 プラント爆発事故

プラント災害対応タスクとプラント点検タスクは、ロボット技術としての共通性が高い。プラント設備の爆発などが発生した際、煙中での被災状況調査、散乱した瓦礫を撤去し経路を確保するとともに、被害が拡散しないようバルブを閉めるといった作業が要求され、それらは、災害時の崩落箇所や可燃性・有毒ガス雰囲気中等の調査や瓦礫撤去や要救助者の捜索などに有効である。特に、狭隘閉所空間に対する探査ロボットによるモニタリング技術は、社会インフラやプラントにおける狭隘・閉所箇所の点検・メンテナンス、危険箇所の内部調査に要求されるものであり、使用頻度の高い社会インフラやプラント用メンテナンスロボットの技術と災害対応ロボットの技術を共通化することにより、災害対応ロボットの社会実装の経済性を担保することができるとともに、日常点検の高度化にもつながるものと考える。

1.2 プラント災害チャレンジへのプラントロボットデジタルツインシステム導入

WRS2025 プラント災害予防チャレンジでは、ロボットのデジタルツインとプラントのデジタルツインを融合した「プラントロボットデジタルツインシステム」の導入によるプラント設備に対する災害対応・予防の高度化を目指すこととし、事故発生時の被災状況調査および緊急対応を競技コンセプトとする。

そのため、「調査結果をデジタル化しデジタルツインシステムに即時報告できること」「デジタルツインシステムからの指示に対して迅速な対応ができること」を競技タスクとして追加する。

また、事故発生時を想定することにより、瓦礫の散乱などにより未知な障害物が存在するとともに、煙中や通信障害などが発生している、より過酷な環境での情報収集や作業が競技課題となる。

「プラントロボットデジタルツインシステム」とは、図 2 に示すような「プラントのデジタルツイン」と「ロボットのデジタルツイン」を含んだシステム全体のことを指す。

「プラントのデジタルツイン」は、リモートセンサ（ロボット含）などにより収集されたデータを仮想空間に送信し、仮想空間上に構築されたデジタルモデルにてプラントの稼働状況を再現し、設備の経年劣化や損傷の早期把握や事故・災害リスクの予測、稼働状態の最適化などを行う。

「ロボットのデジタルツイン」は、実ロボット自身の内部状態や外部環境情報を仮想空間上に構築されたデジタルモデルにて再現し、環境モデル、センシング、アクチュエーション、行動計画、自律知能、ヒューマンインタフェース、他から成る仮想空間上にデジタルツインとしてロボットの知能が構築され、実ロボットはデジタルツインによる行動計画にもとづき行動する。

これら「プラントのデジタルツイン」と「ロボットのデジタルツイン」を融合された「プラントロボットデジタルツインシステム」はこれまでにない新しいコンセプトである。

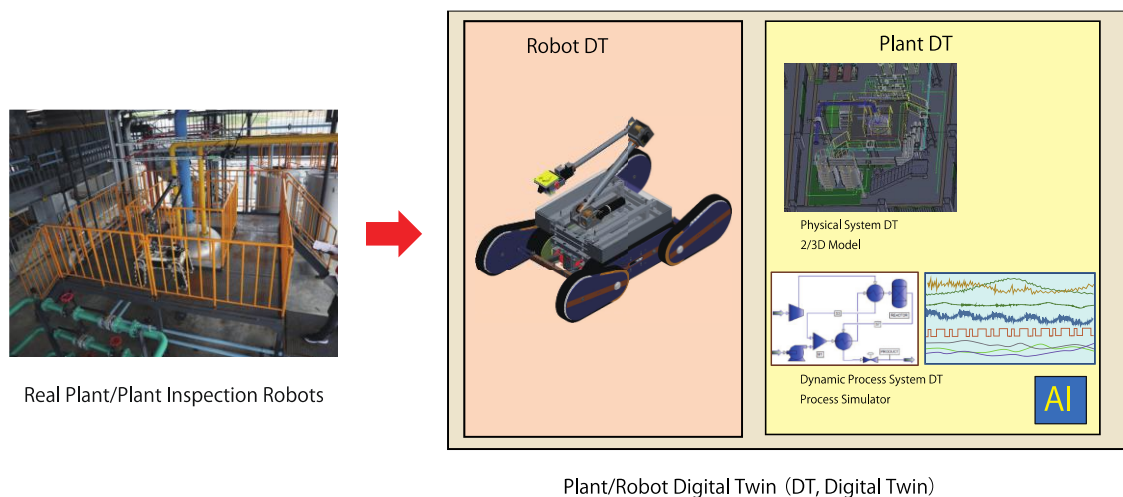


図 2 プラントロボットデジタルツインシステム：実プラントと 2 つのデジタルツイン

図 3 に、WRS2025 におけるプラントロボットデジタルツインシステムのイメージを示す。デジタルツインは運営側が用意し、ロボットとデジタルツインとの双方向通信を共通仕様とし、ロボットとデジタルツインとの双方向通信を共通仕様とし、デジタルツインからロボットへのタスク指令（緊急対応、調査点検）やロボットからデジタルツインへの情報収集結果などの報告、アーカイブを実現するプラントロボットデジタルツインシステムの構築を目指す。

競技者（参加チーム）は、プラント災害チャレンジへの参加を通じて、各種調査／点検方法（手法）とそれらのデジタル化手法を提案する。一方で、デジタルツインを利用して、ロボットの状態（位置や向き）や情報収集結果（競技記録）、をプラントモデル画面に表示し、また、緊急時にロボットが出動して災害対応活動を行うことを観客に提示することで、「ロボットにより得られた情報とロボットの行動がデジタルツインに統合される」というデジタルツインとロボット技術の融合に関する利点や、各種結果のアーカイブ及びデータの蓄積による構造物の劣化度評価など、プラント業界関係者に、次世代プラントの将来像を示すことができるものとする。

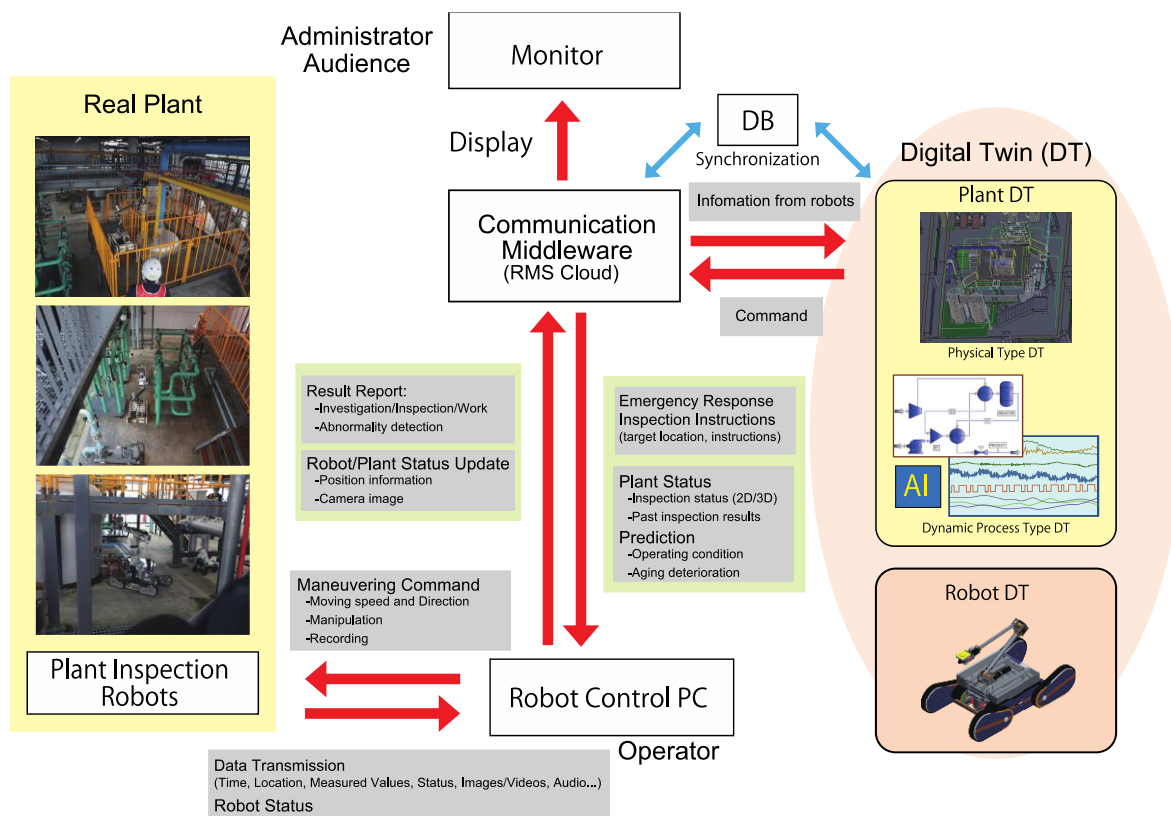


図 3 プラントロボットデジタルツインシステムのイメージ

2. プラント点検および災害対応に要求されるロボットの性能

プラント災害チャレンジでは、製造・製油・製鉄などの稼働中プラントにおける調査・点検、異常診断および異常発生時の緊急対応を競技テーマとした。競技デザインをする際、プラント内の調査・点検だけでなく災害対応を目的としたロボットに要求される能力を整理し、競技ミッションや競技タスクをデザインした。

プラントの調査・点検を目的としたロボットに要求される能力（機能）：

- ・ 遠隔操縦／自律制御による被災プラント内巡回および帰還、緊急対応ミッションの実施
- ・ 高所・狭隘・閉所空間移動／階段昇降、不整地・瓦礫走破
- ・ 環境条件：水、オイル、薬品、ガス雰囲気、煙／水蒸気、汚染、強風、逆光、高温・低温、高湿度など
- ・ 障害の排除、整地、清掃、除染
- ・ センシング（画像、熱画像、音声、ガス濃度、放射線、非破壊検査、マッピングなど）
- ・ 要救助者の搜索
- ・ 設備の調整、応急修理
- ・ 設備工事に必要な情報の収集、工事の実施
- ・ 点検調査結果のデジタル化／アーカイブおよび報告

上記能力を実現するために、ロボットに要求される基本性能を以下に挙げる。

- ・ 移動性能(移動適応/ロバスト性能)：

空間的制約（配管パイプ（間隔（幅、高さ制限）、太さ、形状）、配管パイプ内や点検歩廊（狭隘、高さ））、経路の制約（曲がり角、階段（はしご））、路面形態（グレーチング、チェッカープレート、コンクリート）などに対する移動能力

・作業性能：

エンドエフェクタおよびマニピュレータアーム制御性能、制御自由度、カメラ、センサなどを使用する際における先端位置決め制御性能（狭隘、高所）、姿勢制御が要求される環境下（ロボットの姿勢が不安定な状態（傾斜／凹凸路面、振動））での点検／調査対象（ターゲット）に対する姿勢維持性能。エンドエフェクタ性能として、バルブの開閉／調整（レバー／ハンドル／スイッチ操作）、触診（バルブ（可動部）の動作チェック）、既存測定器の把持能力など

・インタラクシオン性(ユーザビリティ)：

狭隘、閉所、暗所空間におけるロボットの操作性、操縦講習に要する時間（操縦の容易さ）、操縦支援性能（情報提示性能（わかりやすさ））、自律制御性能。

・調査・点検能力(性能)：

目視検査及び打音検査の代替能力
異常および被災状況調査能力

・健全性評価診断(解析)能力：

設備の健全性を評価診断するために必要な計測デバイスの活用やデータ解析能力（健全時との比較）

・結果報告能力：

点検箇所(位置)と結果のマッピング性能（SLAM）、オペレータ操作／管理者 PC への点検調査結果提示能力（表示、デジタル化：WEB 共有やメール送信など）、レポート作成能力、分析/解析（過去の結果との比較）、事象の特定能力、デジタルツインと連携し、上記の情報を相互に情報共有ができること。

・環境ロバスト(適応)性能：

過酷環境下（屋外環境）での調査・点検作業における種々の環境変化（外乱）への適応能力

外乱の例としては、路面状態（水濡れ、砂／砂利、泥）、通信障害、視界不良（煙中、日光（向き、反射）／照明）、メータ不良（塩害、さび、結露）、温度（高温／低温）、風、音（騒音）、漏電などが挙げられる。

過酷環境下（災害発生時／未知環境）における緊急災害情報（被災状況、ガス漏れ分布、火災・爆発箇所特定）の収集能力

過酷環境下（災害発生時／未知環境）における緊急対応（瓦礫撤去、バルブ操作、要救助者捜索）

・自律移動・作業性能：

ロボット自身による移動環境の自己把握（自己位置推定）能力

自律巡回能力（指示された調査対象を巡回し帰還できること）

ロボット自身による把持対象形状認識能力

把持トルク自動制御性能

ロボットが災害対応を行うためには、上記をはるかに超えた基本性能を持つことはもちろんのこと、ここには整理されていない未知の課題を開拓し、それらを解決に導く取り組みが必要である。これらの性能を評価するために、後述する競技ミッションごとに複数の基本タスクを用意し

た。競技タスクに対して要求される基本性能を有したロボットに対して、基本タスクの達成度を評価することとした。また、災害対応能力を評価するために、外乱要素を用意する。

参考：自律／自動動作の定義

Automatic Meter Reading（自動メータ読み取り）：必須

カメラやセンサの無加工データを入力とし、人間の判断を一切入れずに報告書に記入すべき数値を出力する技術のこと。ただし、データ取得のトリガ時には、人間が介在しても良いものとする。

Automatic Evaluation and Diagnosis（自動評価診断）：必須

カメラやセンサの無加工データを入力とし、人間の判断を一切入れずに構造物の健全性評価診断結果に関する数値を出力する技術のこと。ただし、データ取得のトリガ時には、人間が介在しても良いものとする。

Autonomous Navigation（自律移動）：

人間からの詳細な命令無しに、ロボット自身が環境を把握し、ロボットが安全に指示された検査機器/操作対象を巡回し、帰来する技術のこと。

Autonomous Manipulation（自律操作）：

人間からの詳細な命令無しに、ロボット自身が把持対象の形状を認識し、把持トルクを自動制御し、ハンドル・レバーの回転あるいは瓦礫除去などを行う技術のこと。

Automatic Recognition/Detection（自動認識／検出）：

人間の判断を要することなく、検査/操作対象を認識するとともに位置を同定する技術のこと。

Measurement, Evaluation and Diagnostic Device Integration（計測／評価診断装置統合化）

設備の稼動状態や構造物健全性を定量化（デジタル化、数値化）するために用いるセンサなどをロボットに組み込み、故障／異常の発見（Fault Anomaly Detection）や評価診断（Evaluation and Diagnosis）の自動化を目指した統合化技術のこと。

3. 競技シナリオ

WRS2025 では、建設年が古く老朽化したプラントにおける異常発生時緊急対応および調査・点検を競技テーマとする。WRS2025 のキーワードを以下に挙げる。

- ・プラントロボットデジタルツインシステムの活用
- ・爆発事故が発生した後の緊急対応を主とする
- ・より過酷な環境を想定する（例：煙による視界不良、通信障害など）

上記をもとに、WRS2025 の競技シナリオを以下とする。

プラント災害チャレンジでは、プラントロボットデジタルツインシステムを活用して、老朽化したプラント内設備や構造物の定期的な見回り点検を行い、その健全性を評価・診断する競技を行う。狭隘空間で、風雨の影響、煙による視界不良や通信障害のある過酷環境下にて、ロボットは、設備や構造物の状態をリアルタイムでデジタルツインに報告し、異常を早期に発見

できるよう支援する。また、異常箇所を早期に特定するため、点検調査結果をデジタルツインに正確かつ速やかに報告し、デジタルツインからの指示に、迅速かつ正確に対応する能力が求められます。また、万が一事故が発生した場合、ロボットは緊急対応として、被災状況調査や瓦礫撤去などの初期対応や行方不明者の捜索などを行い、災害の拡大を防ぐとともに人命救助の役割を果たす。

4. 競技フィールド

実際のプラントを再現した福島県南相馬市福島ロボットテストフィールドにある 6 階建模擬プラントタワーを競技フィールドとして実施する。各階は、以下のような構成であり、各階の高さは 5m である。1 階：基本設備（ポンプ、ボイラ、小型タンク、配管群）、2 階：配管群、3/4 階：中大型タンク、5/6 階：煙突という構造になっている。ただし、競技は 4 階までを使用する。



図 4：模擬プラントタワー@福島ロボットテストフィールド

競技ミッションは、福島ロボットテストフィールドのフロア毎に定義されるミッションゾーン内にある設備に対してデジタルツインから提示される点検作業指示にもとづき競技タスクを実施する。すべての競技ミッションは指定されたオペレーションエリアでロボットの操縦及び制御を行う。オペレーションエリアは、模擬プラントタワー1 階（屋外）に用意する予定である。

ミッションゾーン：* 1 階(a)は東側エリア、1 階(b)は西側エリア

P1：1 階(a)もしくは(b) *

対象設備 パイプ群、ポンプ×3 台、タンク（小）×2 器、ボイラ

P2：1 階(a)もしくは(b) *

対象設備 パイプ群、ポンプ×3 台、タンク（小）×2 器、ボイラ

P3：3/4 階

対象設備 タンク（中／大）

P4：1 階(a)(b) *

対象設備 パイプ群、ポンプ×3 台、タンク（小）×2 器、ボイラ

P5：試験用トンネル

P6：1 階(a) もしくは(b) *

対象設備 パイプ群、ポンプ×3 台、タンク（小）×2 器、ボイラ

5. 競技ミッション

競技シナリオにもとづき、2章に示したプラント点検ロボットの性能を評価するため6つの競技ミッションを用意する。

P1：Inspection and Maintenance（日常点検/設備調整）

P2：Fault Detection（異常検知）

P3：Diagnosis: Tank（設備診断：タンク）

P4：Accident Response: Remove Debris/Close Valve（事故対応：瓦礫撤去／バルブ操作）

P5：Disaster Response: Tunnel（トンネル災害対応）

P6：Emergency Response: Search（緊急対応）

各競技ミッションは、それぞれデジタルツインから提示される点検作業指示にもとづき行われ、ミッション内容に応じた競技タスク（点検調査、作業）が設定されている。

各競技ミッションは指定されたゾーン（ミッションゾーン）内で行われ、ロボットは、各ミッションゾーン内に設定されたスタートエリアからスタートし、点検作業指示に従い各競技タスクを実施し、全ての競技タスクを終了したのちは、スタートエリアまで戻る。なお、デジタルツインへの調査点検結果及び作業内容の報告は競技時間内に行うものとする。競技終了後に報告された項目は0点とする。

予選競技の順位は、各ミッションで取得した競技ポイントの総合計点数によって決定される。競技ポイントは、ミッションポイント、技術ポイント、時間ポイントの合計点数とする。各ポイントの詳細は8章で説明する。自律制御により競技ミッションを行う場合は、「移動」、「点検（作業）」、「報告」の各段階の開始時においてオペレータの介在を認める。

ミッション P1:Inspection and Maintenance（調査点検／設備調整）

風雨などの影響や配管などによる空間的な制約のあるプラント内でデジタルツインから提示される点検作業指示に従いプラント稼働状態の点検を行う。外乱光や汚れ、水蒸気などの視覚的障害のある環境下で、迅速かつ正確に圧力計などのメータの数値を自動的に読み取り、デジタルツインに報告するとともに、デジタルツインから指示された状態になるようバルブの開閉を行い、作業内容をデジタルツインに報告する。

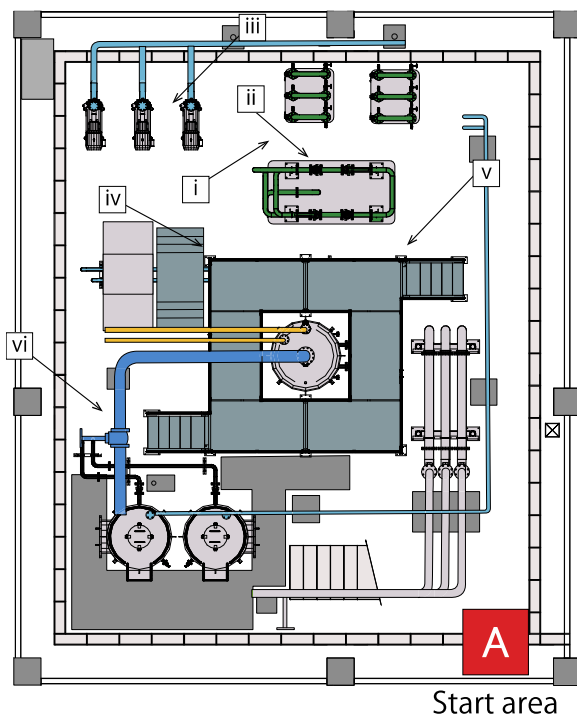


図 5: ミッションゾーン P1

競技タスク内容：

各点検対象設備についてデジタルツインからの点検作業指示にもとづき日常点検に関する競技タスクを行う。設備や機器の稼働状態を見回り、指定された場所にあるメータなどの数値を画像認識し、その数値を報告する（自動メータ読み取り必須）。また、指定された状態になるよう設備や機器の調整を行う。

パイプ群

(1) 圧力計の数値確認：10 点／箇所

デジタルツインからの指示された圧力計の目盛りを読み取り、その数値をデジタルツインに報告する。自動メータ読み取りに用いた画像処理後のメータ画像もデジタルツインに提出すること。

(2) バルブ操作：20 点／箇所

バルブのハンドルをデジタルツインの指示された状態に調整する（円形 180 度／レバー 90 度回す）。作業完了した旨をデジタルツインに報告する。

ポンプ×3 台

(1) 圧力計の数値確認：10 点／箇所

デジタルツインからの指示された圧力計の目盛りを読み取り、その数値をデジタルツインに報告する。自動メータ読み取りに用いた画像処理後のメータ画像もデジタルツインに提出すること。

(2) バルブ操作：40 点／箇所

バルブのハンドルをデジタルツインの指示された状態に調整する（90 度回す）。作業完了した旨をデジタルツインに報告する。

タンク(小)×2 器

(1) バルブ操作：20 点／箇所

バルブのハンドルをデジタルツインの指示された状態に調整する（90 度回す）。作業完了した旨をデジタルツインに報告する。

ボイラ

点検歩廊下（狭隘空間）

(1) 圧力計の数値確認：10 点／箇所

デジタルツインからの指示された圧力計の目盛りを読み取り、その数値をデジタルツインに報告する。自動メータ読み取りに用いた画像処理後のメータ画像もデジタルツインに提出すること。

(2) バルブ操作：30 点／箇所

バルブのハンドルをデジタルツインの指示された状態に調整する（90 度回す）。作業完了した旨をデジタルツインに報告する。

点検歩廊上（階段踏破）

(3) 圧力計の数値確認：20 点／箇所

デジタルツインからの指示された圧力計の目盛りを読み取り、その数値をデジタルツインに報告する。自動メータ読み取りに用いた画像処理後のメータ画像もデジタルツインに提出すること。

(4) バルブ操作：50 点／箇所

バルブのハンドルをデジタルツインの指示された状態に調整する（90 度回す）。作業完了した旨をデジタルツインに報告する。

※各圧力計およびハンドルバルブには設置場所に関するバーコードが配管表面に貼付されている。バーコード情報を自動的に読み取り、作業完了報告の際に、併せてデジタルツインに報告する。

過酷環境チャレンジ要素：

(1) 風雨・高／低温環境下での繰返し利用

- 環境外乱へのロバスト性が求められる
- 耐環境性、耐久性が求められる
- スタック対策やリカバリーなど長時間移動及び巡回／帰還能力が求められる

(2) 狭い場所での移動や操作

- 空間的な制約（狭隘閉鎖空間、急勾配の階段や点検歩廊など）下での移動性能が要求される
- 汎用的な移動性能（種々の移動空間や路面形態への適応性）

(3) 場所や時間帯によって異なる外乱光、結露／水滴／粉塵などの汚れ、水蒸気など視覚的な障害下での点検調整作業

- 視界不良環境下での遠隔操縦支援や自律移動が求められる

- 計器の読み取りや把持対象位置の認識など画像認識技術の環境外乱に対するロバスト性が求められる

ミッション P2:Fault Detection（異常検知）

風雨などの影響や配管などにより空間的な制約のあるプラント内でデジタルツインから提示される点検作業指示に従いプラント稼働状態の点検を行う。外乱光や汚れ、水蒸気などの視覚的障害のある環境下で迅速かつ正確にデジタルツインに報告する。デジタルツインから異常箇所の発見の通知を受ける。事故を未然に防ぐために、デジタルツインからの指示に速やかに対応し、作業内容をデジタルツインに報告する。

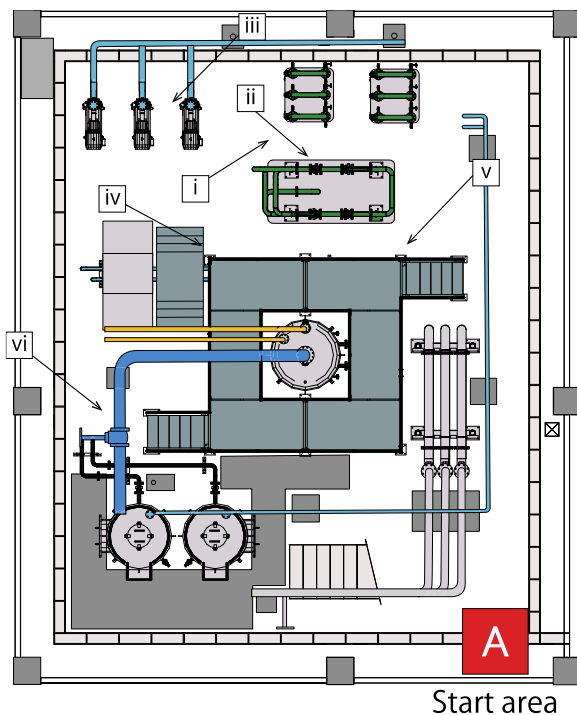


図 6: ミッションゾーン P2

競技タスクの内容：

各点検対象設備についてデジタルツインからの点検作業指示にもとづき日常点検を行う。設備や機器の稼働状態を見回り、指定された場所にあるメータなどの数値を画像認識し、その数値を報告する（自動メータ読み取り必須）。事故を未然に防ぐため、デジタルツインから異常発見の報告を受けた場合、指示された作業を行う。

パイプ群

(1) 圧力計の数値確認：10 点／箇所

デジタルツインからの指示された圧力計の目盛りを読み取り、その数値をデジタルツインに報告する。自動メータ読み取りに用いた画像処理後のメータ画像もデジタルツインに提出すること。

(2) バルブ状態確認：20 点／箇所

デジタルツインから指示されたバルブハンドルの状態（開 or 閉）を確認する。バルブハンドルの状態をデジタルツインに報告する。

※各圧力計／ハンドルバルブには設置場所に関するバーコードが配管表面に貼付されている。バーコード情報を自動的に読み取り、数値報告の際に、併せてデジタルツインに報告する。

デジタルツインからの指示後:

事故発生を未然に防ぐための対応（バルブ操作）を行う。

ポンプ×3 台

(1) バルブ操作：40 点／箇所

バルブのハンドルをデジタルツインの指示された状態に調整する（90 度回す）。作業完了した旨をデジタルツインに報告する。

タンク(小)×2 器

(1) バルブ操作：20 点／箇所

バルブのハンドルをデジタルツインの指示された状態に調整する（90 度回す）。作業完了した旨をデジタルツインに報告する。

ボイラ

点検歩廊下（狭隘空間）

(1) バルブ操作：30 点／箇所

バルブのハンドルをデジタルツインの指示された状態に調整する（90 度回す）。作業完了した旨をデジタルツインに報告する。

点検歩廊上（階段踏破）：

(2) バルブ操作：50 点／箇所

バルブのハンドルをデジタルツインの指示された状態に調整する（90 度回す）。作業完了した旨をデジタルツインに報告する。

※各ハンドルバルブには設置場所に関するバーコードが配管表面に貼付されている。バーコード情報を自動的に読み取り、作業完了報告の際に、併せてデジタルツインに報告する。

過酷環境チャレンジ要素：

(1) 風雨・高／低温環境下での繰返し利用- 環境外乱へのロバスト性

- 耐環境性、耐久性が求められる
- スタック対策やリカバリーなど長時間移動及び巡回／帰還能力が求められる

(2) 狭い場所での移動や操作（狭隘閉鎖空間、急勾配の階段や点検歩廊など 3 次元的な移動能力）

- 空間的な制約がある中での移動性能が要求される
- 汎用的な移動性能（種々の移動空間や路面形態への適応性）

(3) 場所や時間帯によって異なる外乱光、結露／水滴／粉塵などの汚れ、水蒸気など視覚的な障害下での点検調整作業

- 視界不良環境下での遠隔操縦支援や自律移動が求められる
- 計器の読み取りや把持対象位置の認識など画像認識技術の環境外乱に対するロバスト性が求められる

(4) 状況変化へのリアルタイム適応性

- デジタルツインへの迅速かつ適切な調査報告能力が求められる
- デジタルツインからの指示に応じた適応能力が求められる

ミッション P3:Diagnosis: Tank(異常診断:タンク)

大型タンク壁面に対して老朽化／経年劣化を要因とする変状（クラックや減肉など）の発見を行う。指定された箇所の検査結果をデジタルツインに報告する。

※階段を踏破する際は、安全対策のため、ロボットに取り付けられたアイボルト、スリングベルトを使用して、牽引ロープと締結すること。



競技タスクの内容：

タンク（中／大）のそれぞれの壁面についてデジタルツインからの点検作業指示にもとづき健全性評価診断を行う。各変状に対して画像解析などによる定量化を行う（自動評価診断）。

各検査エリアに対して検査対象エリア番号および以下の点検項目に関する評価診断結果をデジタルツインに報告する。

(1) クラックの有無：10 点／箇所

検査したエリアと画像解析などによりクラックの幅と長さをデジタルツインに報告する。クラックがないテストピースボードは、それぞれ「0mm」と報告すること。

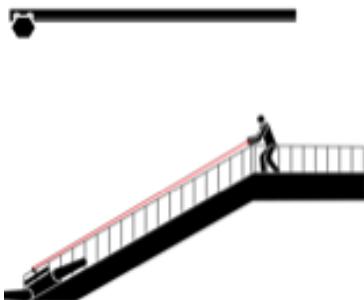
(2) 減肉の有無：30 点／箇所

運営側が用意するハンドヘルド計測器（超音波厚さ計（27MG, Olympus）および探触子（D799, Olympus））をロボットに搭載し、該当のテストピースボードの最小厚さを計測し、検査したエリアとともに計測結果をデジタルツインに報告する。

※計測器および探触子（詳細は「5.4 ハンドヘルド計測器」を参照）は、競技開始前にロボットに搭載しておくこと。競技時間中に計測器および探触子をロボットから取り外すことはできない。

らせん階段昇降時の転倒防止策について：

牽引ロープをロボットのアイボルトに固定し、ロボットの前方からテンションを掛けることで転倒防止を行う（下図）。牽引ロープをロボットに装着したり、取り外したりする際は、タイムカウントを行わず、競技進行を止めることとする。



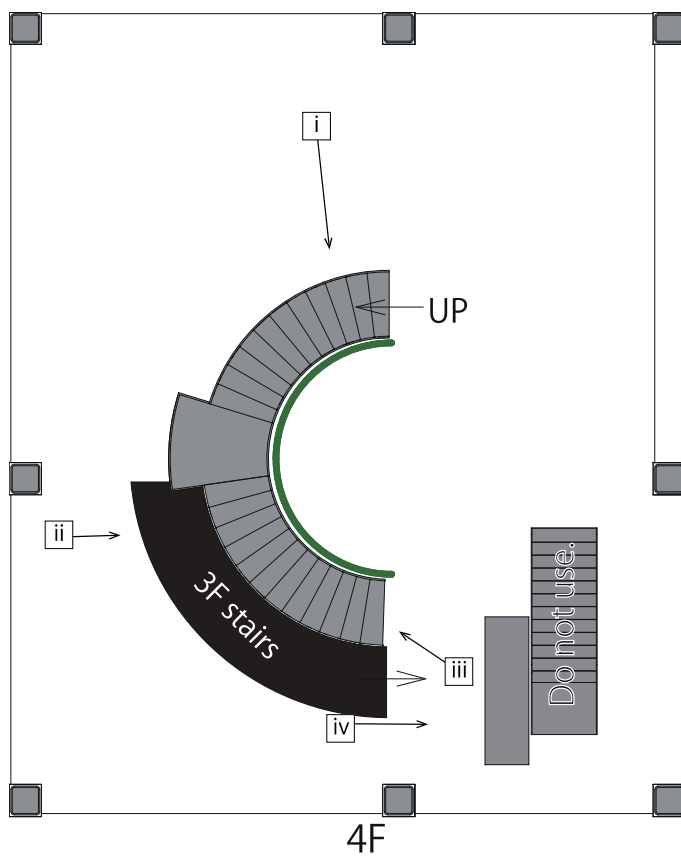
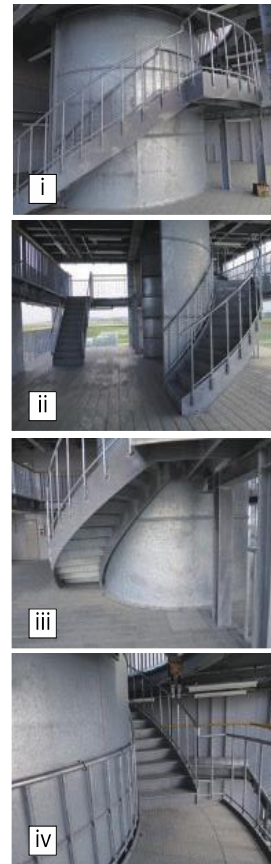
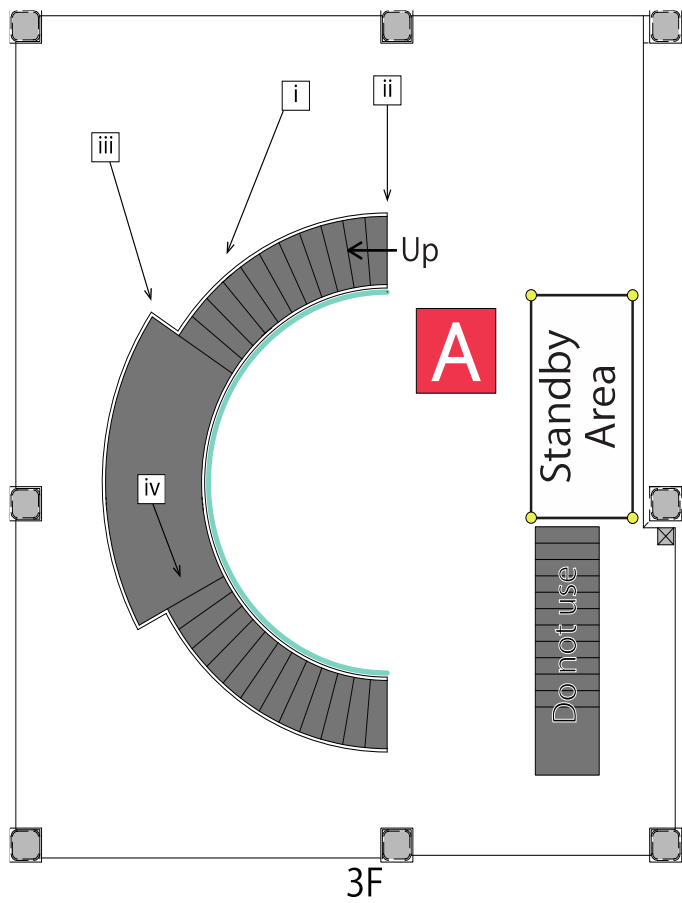


図 7: ミッションゾーン P3

過酷環境チャレンジ要素：

(1) 風雨下での大型構造物の健全性評価診断

- 高所／螺旋階段に対する移動性能が要求される
- 広範囲にわたる移動および検査能力（高効率）が求められる
- 環境外乱へのロバスト性が求められる

(2) 検査報告の正確さ

- 正確な変状箇所の位置推定（3次元自己位置推定）、変状種類の特定および状態（高分解能な定量化）の報告能力が求められる
- 環境外乱に対する画像認識技術のロバスト性が求められる

ミッション P4: Accident Response: Remove Debris (事故対応：瓦礫撤去／バルブ操作)

ボイラの爆発事故が発生した。デジタルツインからの指令により、被災状況調査および散乱した瓦礫を撤去する。また、ガス漏れの危険性があるため。デジタルツインからの指示に従いバルブを操作し、作業完了結果をデジタルツインに報告する。

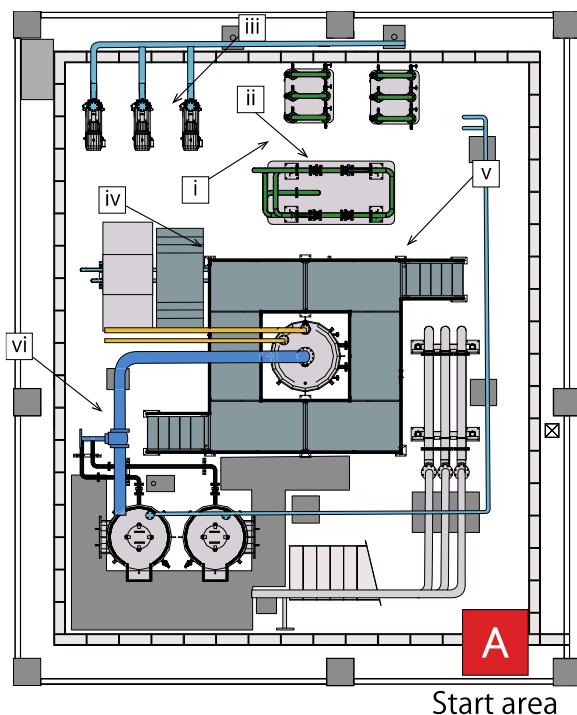


図 8: ミッションゾーン P4

競技タスクの内容：

パイプ群、ポンプ、ボイラー周辺の瓦礫散乱状況をデジタルツインに報告し、散乱瓦礫を撤去する。その後、デジタルツインから指示されたバルブ操作を行う。瓦礫撤去およびバルブ操作完了後、デジタルツインに作業完了の報告を行う。

(1) 被災状況調査：10 点／箇所

デジタルツインに指定されたエリアの被災状況を調査しデジタルツインに報告（写真送信）する。

(2) 瓦礫撤去：20 点／箇所

被災状況を報告したエリアに散乱している瓦礫を撤去する（指定されたエリアから取り除く）。

瓦礫撤去完了後、デジタルツインに作業完了の報告を行う。

(3) バルブ操作：40 点／箇所

デジタルツインから指示されたバルブ操作を行う。バルブ操作完了後、デジタルツインに作業完了の報告を行う。

※各ハンドルバルブには設置場所に関するバーコードが配管表面に貼付されている。バーコード情報を自動的に読み取り、作業完了報告の際に、併せてデジタルツインに報告する。

過酷環境チャレンジ要素：

(1) 環境（状況）変化へのリアルタイム適応性

- 状況変化に対するデジタルツインへの迅速かつ適切な調査報告能力が求められる
- 状況変化に対するデジタルツインからの指示に応じた緊急対応適応能力が求められる

(2) 通信障害（遅延・遮断）下での作業能力

- 通信環境が回復するまでの移動や電波干渉エリアからの脱出など、自律移動能力が求められる
- 通信品質の劣化によるデータ欠損や通信遅延による遠隔操作の困難さへの対応が求められる
- 散乱瓦礫により移動経路が遮断された未知の移動空間に対する対地適応性が求められる
- 作業空間及び経路確保のための瓦礫撤去能力が求められる

ミッション P5: Disaster Response: Tunnel (トンネル災害対応)

地震が発生、近くのトンネル崩落事故が発生し、トンネル内で立ち往生している車両が存在しているという連絡がはいる。プラント現場で働くロボットを用いてトンネルの中の様子を確認できないかという要請に応える。

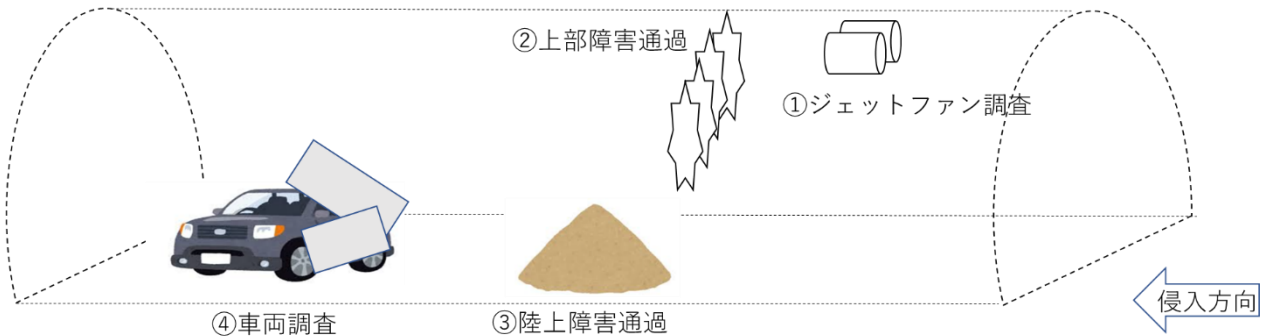
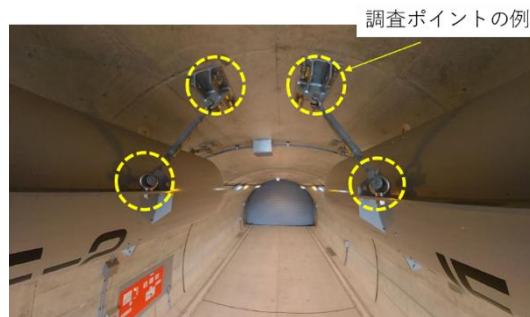


図 9：ミッションゾーン P5 タスクイメージ

競技タスクの内容：

(1) ジェットファン調査：10 点/箇所

天井に設置されたジェットファンの取り付けの健全性を調査する。調査対象としてターゲット（QR コード）が調査ポイントに設置されており、ターゲットの内容と位置を報告する。ターゲット



トは地上付近から直接見えない位置にも設定されており、ドローンによる調査を想定する。

図 10：ジェットファン調査での調査ポイントの例

(2) 上部障害通過（主にドローン用）：10 点

大型トラックを模擬した上部まで伸びる門型トラス等に板・ケーブル等を吊り下げた障害物の上部・隙間を通過する。通過可能領域は天井付近では高さ 1 m 幅 2 m 程度、路面付近では高さ 1 m 幅 1 m 程度とする。主にドローンに対する障害である。

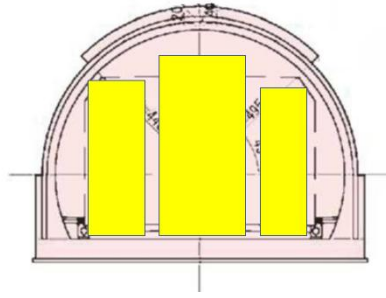


図 11：トンネル断面図でみた上部障害のイメージ（図中黄色部）

(3) 陸上障害通過（主に UGV 用）：10 点

落盤を想定した土砂や模擬ガレキの上を通過する。模擬ガレキは木材、コンクリート、樹脂パイプ等から構成される。



図 12：陸上障害のイメージ

(4) 車両調査：10 点/箇所

車両と車両内のダミー人形を調査する。調査対象としてターゲット（QR コード）が調査ポイントに設置されており、ターゲットの内容と位置を報告する。車両上にはベニア板や軽量ブロック等による模擬落盤が障害物として有る。ダミー人形等の調査には一部の障害物を移動する必要がある場合がある。移動する障害物の重さは 3～10 kg 程度とする。



図 13：調査対象のダミー人形のイメージ

ターゲットの報告について：

- ・ P 5 ではデジタルツインへの報告は不要である。
- ・ ターゲットの内容は対応する QR コードをデコードした内容とする。
- ・ ターゲットの位置はトンネル入り口を原点とする 3 次元座標で示すこと。
- ・ ターゲットの報告は各競技終了 30 分以内に指定された方法で審判に提出すること。

加点要素：

他のプラント災害チャレンジのタスクに準じて、自律性などで加点される。

過酷環境チャレンジ要素：

(1) 視覚障害環境下での移動作業性能

- 照明が暗い／無い環境下での移動作業性能が求められる

(2) 通信障害（遅延・遮断）下での作業能力

- 非 GPS 環境で、操縦者との通信遅延・障害下での作業能力が求められる

- 自律性や半自律性、通信確保のためのロボットの追加等が求められる

(3) 物理的障害へのロボスト移動性能

- ドローンに対する風障害、UGV に対する土砂・ガレキ障害がある環境下でロボストに移動できる能力が求められる

(4) 狭い場所での移動・作業能力

- 天井への取り付け部の調査や、狭い障害物の通過、狭い車両内の調査、車両上のガレキ除去など狭部環境下での移動作業能力が求められる

- 複数台ロボットの画像共有等による作業性向上も期待される

ミッション P6: Emergency Response (緊急対応)

ロボットによる事故対応をテーマとし総合的な競技である。デジタルツインシステムから提示される点検作業指示に従い調査・点検を行っている最中に、稼働状態の異常もしくは事故が発生する。緊急対応のため、事故発生後のプラント内被災状況を迅速に収集しデジタルツインシステムに報告するとともに、デジタルツインシステムから指示された作業を行い緊急対応し、作業完了結果をデジタルツインシステムに報告する。

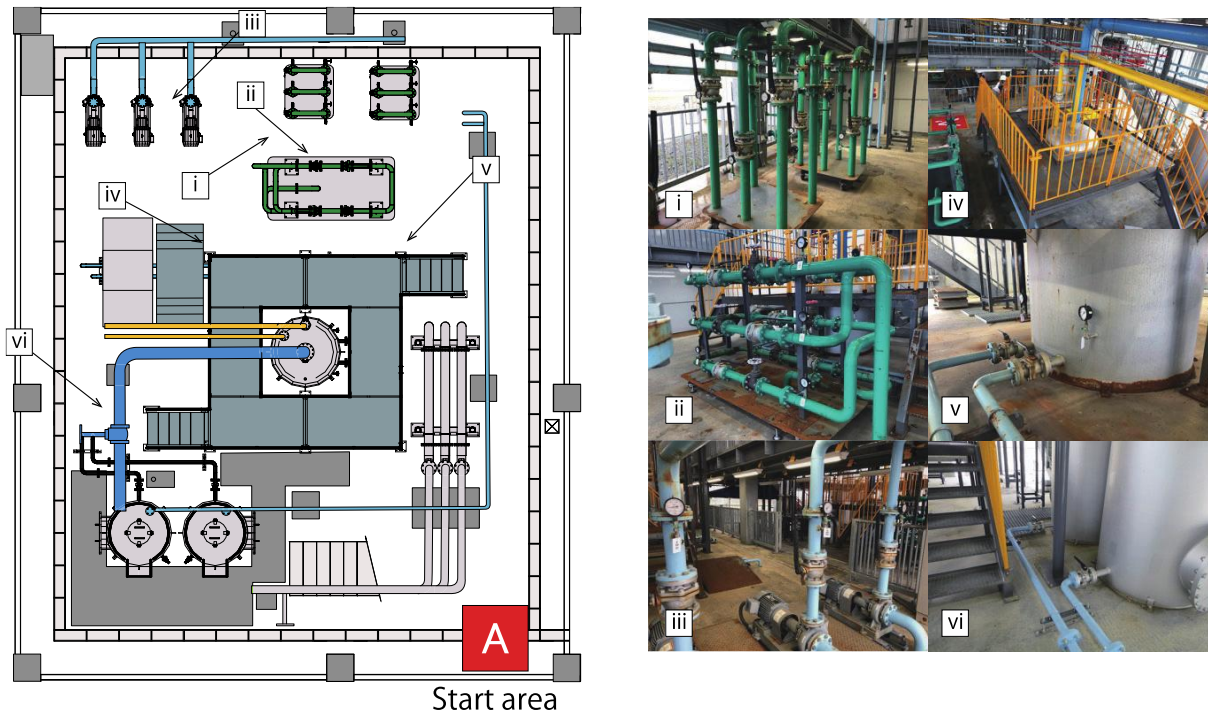


図 14: ミッションゾーン P6

競技タスク内容：

日常点検タスクについては P2 に準拠する。デジタルツインシステムから事故発生のお知らせを受けた後、デジタルツインシステムからの情報をもとにプラント内に取り残された作業者を捜索および発見を目指す。

(1) 圧力計の数値確認：10 点／箇所

デジタルツインシステムからの指示された圧力計の目盛りを読み取り、その数値をデジタルツインシステムに報告する。自動メータ読み取りに用いた画像処理後のメータ画像もデジタルツインシステムに提出すること。

(2) 被災状況調査：10 点／箇所

デジタルツインシステムに指定されたエリアの被災状況を調査しデジタルツインシステムに報告（写真送信）する。

(3) 瓦礫撤去：20 点／箇所

被災状況を報告したエリアに散乱している瓦礫を撤去する（指定されたエリアから取り除く）。

瓦礫撤去完了後、デジタルツインシステムに作業完了の報告を行う。

(4) 行方不明者捜索：40 点／エリア

デジタルツインシステムから指示されたエリアに対して行方不明者の検索を行う。デジタルツインシステムに要救助者の有無を報告（写真送信）する。

※各圧力計／ハンドルバルブには設置場所に関するバーコードが配管表面に貼付されている。バーコード情報を自動的に読み取り、作業完了報告の際に、併せてデジタルツインシステムに報告する。

過酷環境チャレンジ要素：

(1) 不測および流動的な環境（状況）変化へのリアルタイム適応性

- 不測および流動的な状況変化に対するデジタルツインシステムへの迅速かつ適切な調査報告能力が求められる
- 不測および流動的な状況変化に対するデジタルツインシステムからの指示に応じた緊急対応適応能力が求められる
- 不特定な状況での人命捜索能力および発見場所の特定（自己位置推定）能力が求められる

(2) 煙や水蒸気など視覚的な障害下での調査

- 視界不良環境下での状況把握および報告能力
- 視界不良環境下での遠隔操縦支援や自律移動が求められる

(3) 通信障害（遅延・遮断）下での緊急対応

- 通信環境が回復するまでの移動や電波干渉エリアからの脱出等、自律移動能力が要求される
- 通信品質の劣化によるデータ欠損や通信遅延による遠隔操作の困難さへの対応が求められる
- 散乱瓦礫により移動経路が遮断された未知の移動空間に対する対地適応性が求められる
- 作業空間及び経路確保のための瓦礫撤去能力が求められる

6. 競技フィールド

6.1 設備／構造物の概要

6.1.1 パイプ群：1 階（a/b 共通）

6.1.1.1 水平パイプ群

構造物仕様：

JIS-SGP パイプ（80A）、JIS-SS (10K) フランジ、JIS-SS 製溶接エルボ（バンド）

圧力ゲージ、ボールバルブ（80A）、ゲートバルブ（80A）、ゴムシートバルブ（80A）

点検／調整項目：

- (1) 圧力計測定（P1、P5）：レンジは 0.25、1.0、1.6 MPa の 3 種類を用意。±5% 以内の読取精度。設置高さは約 600mm から約 1800mm。
- (2) バルブ開閉（P1、P5）：レバー（長さ約 400mm）と円形のハンドル

報告内容（判定基準）：

圧力／温度測定値：±5% 以内の精度

バルブ開閉角度（円形 180 度、レバー 90 度）



6.1.1.2 鉛直パイプ群

構造物仕様：

JIS-SGP パイプ（80A）、JIS-SS (10K) フランジ、JIS-SS 製溶接エルボ（バンド）

圧力ゲージ、ボールバルブ（80A）、バタフライバルブ（80A）、ゴムシートバルブ（80A）

点検／調整項目：

- (1) 圧力計測定（P1、P2、P5）：レンジは 0.25、1.0、1.6 MPa の 3 種類を用意。±5% 以内の読取精度。設置高さは約 600mm から約 1800mm。
- (2) バルブ開閉（P1）：レバー（長さ約 400mm）と円形のハンドル

報告内容（判定基準）：

圧力／温度測定値：±5% 以内の精度

バルブ開閉角度（円形 180 度、レバー 90 度）



6.1.2 ポンプ：1 階（a/b 共通）

設備仕様：

片吸込渦巻きポンプ

（口径 100 × 80、7.5kW）

JIS-SGP パイプ（80A、100A）、JIS-100A フランジ

（10K、吸引側）、JIS-80A フランジ（10K、吐出

側）、圧力ゲージ、80A ボールバルブ

高さ約 125mm の架台上に設置



点検／調整項目：

（1）圧力計測定（P1、P2、P5）：レンジは

1.0MPa。±5%以内の読取精度。設置高さは約 1500mm。

（2）バルブ開閉（P1、P4）：レバーハンドル（長さ約 400mm、設置高さ約 1200mm）

報告内容（判定基準）：

圧力／温度測定値：±5%以内の精度

バルブ開閉角度（レバー90 度）

6.1.3 小型タンク：1 階（a/b 共通）

設備仕様：

JIS-SS 鋼板製溶接組立構造（ ϕ 1,200×H1,900mm）

はしご（安全柵なし、有効幅約 400mm、ステップ間隔 300mm、7 段）

点検用ハッチ（天井、直径約 300mm、スイングボルト固定脱着式ハッチ）

点検用ハッチ（下部、直径約 600mm、ボルト固定脱着式ハッチ）

タンク側面水位レベルゲージ（チューブラ式液面計）排出部 50A ボールバルブ

点検／調整項目：

（1）ハンドルバルブの操作（P1）

報告内容（判定基準）：

バルブ開閉角度（レバー90 度）



6.1.4 ボイラ：1 階（a/b 共通）

設備仕様：

小型ボイラ（ $\phi 1,300 \times H1,550\text{mm}$ ）

JIS-SGP パイプ（50A、80A、250A）JIS-250A フランジ継手（10K） x 1、JIS-80A フランジ継手（10K） x 2、圧力ゲージ 4 以上、温度ゲージ 1、50A ボールバルブ（レバー） x 2、80A ボールバルブ（レバー）

点検用デッキ：

歩廊幅 1,000mm

スケルトン階段（全幅 700mm（有効幅 600mm）、ステップ奥行 240mm、蹴り上げ高さ 227mm、傾斜約 40°）

点検／調整項目：

- (1) 圧力計測定（P1、P4）：レンジは 1.0 および 1.6 MPa の 2 種類が設置されている。設置高さは、床から約 500mm と点検歩廊から約 1500mm の位置に設置されている。
- (2) ハンドル操作（P1、P4）：水および燃料配管の開閉／圧力調整を行う。設置高さは点検歩廊から約 1500mm である。

報告内容（判定基準）：

圧力／温度測定値： $\pm 5\%$ 以内の精度

バルブ開閉角度（レバー 90 度）



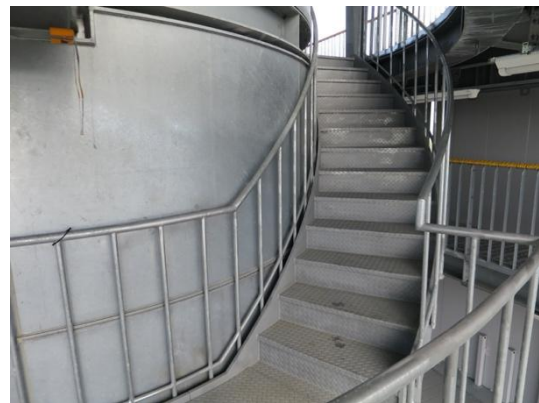
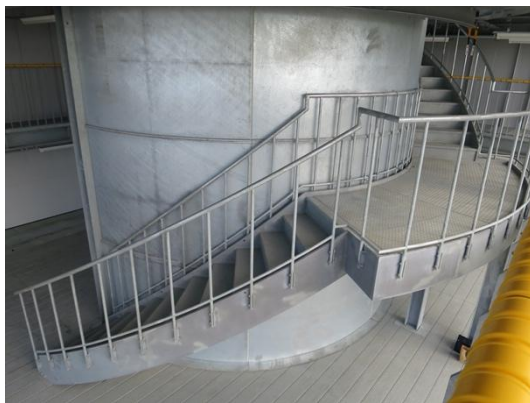
6.1.8 中型タンク：4 階

材質：鋼材（溶融亜鉛メッキドブ漬け）、半径 1.9m、板厚 9mm、高さ約 5m、螺旋階段（幅 1m）
変状：クラック、減肉



6.1.8 大型タンク：3 階

材質：鋼材（溶融亜鉛メッキドブ漬け）、半径 2.8m、板厚 9mm、高さ約 5m、螺旋階段（幅 1m）
変状：クラック、減肉



6.2 点検／調整対象の概要

6.2.1 圧力計

圧力計は JIS B 7505-1「ブルドン管圧力計 (Bourdon Tube Pressure Gauge)」を用意する。長野計器 (株) 製 General Industrial Pressure Gauges (汎用圧力計)、AC20-181-2000 (A 枠立型: Type A / Lower connection・ $\phi 75$)、測定レンジは 0.25、1.0、1.6 MPa を用意する。

Ex. 右下精器社製 汎用圧力計 S-31-1MP
長野計器 (株) (Nagano Keiki Co., Ltd.)、
<http://www.naganokeiki.co.jp/>



6.2.2 バルブ

レバーハンドル：

(株) KITZ 製 10K Cast Iron Ball Valve (鋳鉄ボールバルブ)、10FCTB (50A、80A)

円形ハンドル：

巴バルブ (株) 製 Rubber Seated Valve (ゴムシートバルブ)、700Z-2F (80A)

(株) KITZ 製 Class 150 Cast Bronze Gate Valve (青銅ゲートバルブ)、EBH (80A)



左から：Ball Valve, Rubber Seated Valve, Gate Valve

KITZ Corp., <http://www.kitz.co.jp/english/>

巴バルブ (株) (TOMOE VALVE CO., LTD.)、www.tomoevalve.com/english/index-e.html

参考：回転に必要なトルク

(1) ハンドル 約 0.8Nm

KITZ 社製、Class 125 Brass Gate Valve (黄銅ゲートバルブ) FR 1B (25A)

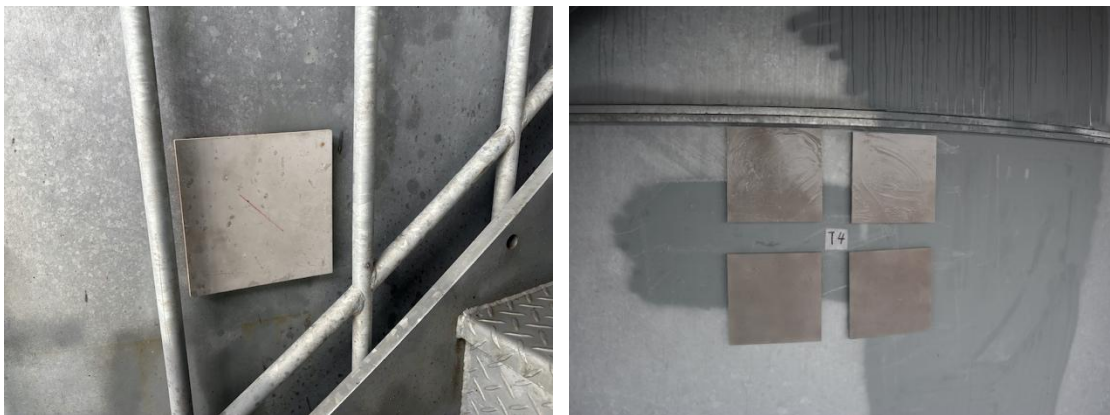
(2) レバー 約 2.0Nm

KITZ 社製、Type 600 Brass Ball Valve (黄銅ボールバルブ) TK 1B(25A)

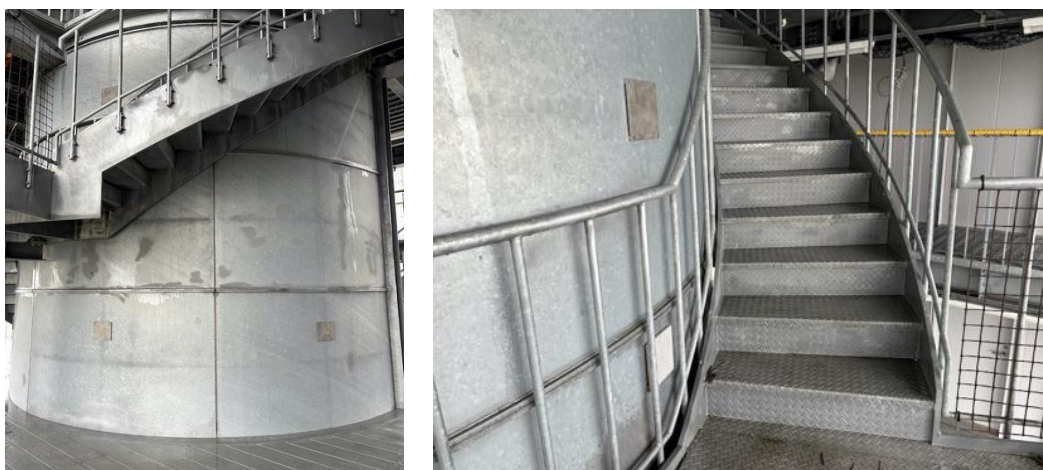
6.3 変状

クラック、減肉

詳細は別添資料参照



左 テストピースボード（クラック）、右 テストピースボード（減肉）



テストピースボード設置例

6.4 ハンドヘルド計測器

超音波厚さ計（27MG, Olympus）

<https://www.olympus-ims.com/en/27mg/>

使用方法詳細は別途公開する User's Manual
（27MG_users_manual.pdf）を参照



厚さ計用二振動子型探触子（D799: U8450021,
Olympus）

Cable Length: 1.5m, Tip Diameter: 11mm

探触子の詳細は別途公開する Olympus Ultrasonic Transducer Catalog の p. 30 を参照
（Pana_UT_EN_201908_Web.pdf）

注意：探触子を探触面に対して垂直に押し当てること

6.5 路面の種類

コンクリート、グレーチング、チェッカープレート、段差

配管渡りスロープ（幅 900mm、傾斜 15 deg）

配管渡り階段（幅 900mm、ステップ奥行 150mm（上り）／200mm（下り）、蹴り上げ高さ 227.3mm（3 段）、傾斜約 56° ）

6.6 瓦礫

ミッション P4 および P5 では、爆発事故を想定した瓦礫を用意する予定である。詳細については非公開とする。



参考：プレ大会で用意した模擬パイプ瓦礫

6.7 トンネル設備

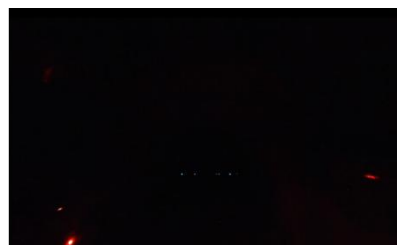
試験用トンネル

形状：丸形、長さ 50m、道路幅 6m、内空断面 W8.8m × H6.36m

施設詳細 URL <https://www.fipo.or.jp/robot/en/facility-en/detail#in>



(a)通常照明



(b)全消灯



(c)全消灯 + 自動車ライト

トンネル内の照明の様子

7. 競技スケジュール

セットアップ（ロボット検査）1 日間、予選競技 3 日間、決勝競技 1 日間

雨天決行（ロボットおよび制御卓は、防水対策が必須である。）

- ・フィールド建屋には外壁が無いいため、雨天時には雨水が降りこむことがある。
- ・上部階層から雨水が滴るところがある。

競技時間：

予選 各ミッション 30 分（セッティング 5 分、競技 20 分、撤収 5 分）

※P3 および P4 は 50 分（セッティング 5 分、競技 40 分、撤収 5 分）

決勝 40 分（セッティング 5 分、競技 30 分、撤収 5 分）

8. 得点について

競技ポイントは、ミッション毎に「ミッションポイント（MP）」「高度技術ポイント（AP）」「時間ポイント（TP）」の総取得ポイントとする。

8.1 ミッションポイント（MP）：ミッション達成レベルの評価

各ミッション内において達成した競技タスクに対する取得ポイントをミッションポイントとする。ミッションポイントにより、各ミッションの達成レベルを評価する。

8.2 高度技術ポイント（AP）：ロボット技術レベルの評価

高度なロボット技術を実現しているチームに対して技術ポイントを与える。技術ポイントは、事前に行うロボット検査の際に、審判団によるヒアリングにもとづき認定された技術を競技中に実施したタスクに対して加点する。ただし、ヒアリングの際にデモの実施を要求する。

※競技中に、各自律／自動動作を実行する場合は、審判にアピールすること。

事例を以下に挙げる。

- (i) 指示された検査／操作対象の場所まで自律移動し、巡回することができる。
- (ii) ハンドルの位置を自動認識しハンドルを自律操作できる。

耐環境性能に対しては、式(1)の計算式に従い、係数を乗じて総取得ポイントとする。

耐環境性（防水防塵（IP）、防爆）に対応している（自己申告）。

※証明書（認定証など）の提示により対応の有無を判断する

8.3 時間ポイント（TP）：達成時間の評価

各ミッションの達成時間に応じて加点する予定である。

8.4 得点集計および決勝進出条件

式（1）の計算式に従い、競技ポイントに係数を乗じて総取得ポイントとする。

$$\text{総取得ポイント} = \text{競技ポイント}(\text{MP} + \text{AP} + \text{TP}) \times \text{係数}(1 + \alpha_1 + \alpha_2) \quad (1)$$

$\alpha_1=0.5$ ：防水防塵（IP64 以上）対応

$\alpha_2=1.0$ ：防爆対応

ミッション毎に各チームが取得した総取得ポイントに対して、当該ミッション最高得点にて正規化した点数を各チームの「ミッション獲得ポイント」とする。予選競技結果（ミッション獲得ポイントによる順位）をもとに上位 4 チームを決勝進出チームとする。

9. チームメンバー

チームメンバーは、予め TDP にて申請することとし、最大 8 人までとする。パドックエリア（チーム控室）および競技エリアには、チームメンバーしか入ることができない。

チームメンバーの役割は以下のように定める。

- ・チームリーダー（1 名）：チームのとりまとめを行う者を指す。競技結果不服の申し立ては必ずチームリーダーを通して行うこと。
- ・ロボットオペレータ（2 名まで）：ロボットを操縦する者を指す。オペレーションエリアに入る資格を有するもの。
- ・ネットワーク管理者：チームのネットワークを管理する者を指す。
- ・安全管理者：ロボット動作中にロボットに付き添い、周囲の安全を確保する（1 人／台）者を指す。使用するロボットおよびその運用の安全に関して責任を持ち、人（チーム人員、観客、審判等）、設備、及び環境に対して危害をもたらすことがないよう配慮する。
フィールド内で容易に識別できるよう、運営側で用意した腕章を着用すること。
- ・ヘルパー：スタートエリアとパドック間、リスタート地点とスタートエリア間でロボットを運搬し、競技終了後、競技フィールド内からロボットを撤収する者を指す。

競技中、オペレーションエリアに入れるのは、チームリーダーとロボットオペレータのみである。オペレータと安全管理者は役割を兼ねることはできない。残りの役割については兼務が可能である。また、チームリーダー以外は、ミッション毎にその役割を交代しても良い。

チームメンバーの追加および変更は、事前に申請すること。

10. 競技ロボット

- ・競技ロボットは、形態を問わない。クローラ型、ドローン型、ヒューマノイド型、脚型、ヘビ型など、どのような形態でも使用することができる。
- ・競技ロボットの遠隔操縦及び制御は、指定されたオペレーションエリアからのみとする。
- ・競技に使用するロボットの台数は無制限とする。ただし、以下の制約条件を設ける。
 - ― 競技開始時点で、全ロボットがスタートエリアに設置した状態の地面への投影面積（接地面積）合計がスタートエリア 1.44 平方メートル（1.2m x 1.2m）を超えないこと。ただし、別のロボットに搭載し、フィールド内に搬送されるロボットは、搬送するロボットに搬送されるロボットが搭載された状態での設置面積とする。
 - ― 高さ方向は、無制限である。
 - ― 競技開始以降は、各ロボットの底面積が 1.44 平方メートルを超えても良い。
- ・ロボットの総重量は最大 130kg/台とする。
- ・競技ロボットおよび操縦システムは、事前にロボット検査を受け、合格したもののみ競技会で使用することができる。ただし、ドローンについては別途安全性テストを現地で実施する。ロボット検査および安全性テストの詳細については後日公開する。
- ・競技ロボットはミッション毎に変更が可能である。しかし、ミッションの途中での変更は不可とする。
- ・使用する電池は、安全が保証されているものを使用すること。
- ・緊急停止スイッチを取り付けること。
- ・万が一に備えて、ロボット異常時（発火等）の対応をチームでも検討しておくこと。
- ・電波法など大会実施国（日本）の法律に違反していないこと。
- ・階段踏破時の安全対策として、チェンブロックや安全帯（ランヤード、オートビレイ）などのカラビナが取り付けられるよう、アイボルトやアイボルトなどをロボット本体に取り付けておくこと。ロボットに安全帯の取付が不可能な場合、そのミッションに参加できない。

（アイボルトの選定について）

ロボットに搭載するアイボルトの強度は、上方向へのつり上げの状態と前方向へ引っ張った状態で使用する場合には異なるため、アイボルトを選ぶ際には注意が必要である。アイボルトの選定は、ロボットの重量や転倒時に働く力を考慮して、安全率を定め選定してください。決して、運営側の用意するカラビナやシャックルの大きさなどからアイボルトを選ばないようにしてください。



- ・ドローン（UAV）については飛行区域を制限する予定である。
- ・競技時間中は、ロボットの修理を禁止する。ただし、ロボットがスタートエリア内にいる場合は、パーツ（バッテリーを除く）の追加／取り外し・交換を伴わないメンテナンスは行っても良い。

11. ミッションに関すること

ミッションの達成：

競技時間内にデジタルツインシステムから点検作業指示された競技タスクを全て実施し、スタートエリアまで戻ること。

ミッション終了（棄権）の宣言：

ロボットが走行不能になった場合やそれ以上のポイント獲得の余地がなくなった場合などに、チームリーダーはミッションの終了を宣言することができる。

リスタート：

競技開始後、チームリーダーはロボットの暴走やロボットの不具合などにより競技の続行が不可能な場合、リスタートを申請することができる。また、安全性の観点から副審の判断により緊急停止スイッチが押下される場合がある。その場合は、主審がリスタートを許可する。ただし、主審がリスタートを認めた時間から2分のペナルティを課す（すべてのロボットを停止させる）。

リスタートの際は、安全管理者およびヘルパーが該当のロボットを運搬し、スタート地点まで戻る。リスタート前までに行った競技タスクに関する得点は保持される。ただし、リスタート後に、既に実施済みの競技タスクに対する再トライは認めない。

オペレーションエリアとヘルパーの連絡手段：

オペレーションエリア外にいるチームメンバーへ連絡が必要な場合、ロボットに搭載された音声通信システムあるいは運営側が用意したトランシーバを使用すること。その際、競技に有利になる情報を連絡してはならない。連絡は、審判の理解できる言語（英語/日本語）で行うこと。

危険行為の実施：以下のような行為を行なったチームは大幅な減点もしくは退場を指示する場合がある。

- ・相手チームへの妨害行為
- ・配管及び設備等への接触
- ・修復に10分以上を要するフィールドの破壊
- ・そのほか審判が危険な行為と認めた場合

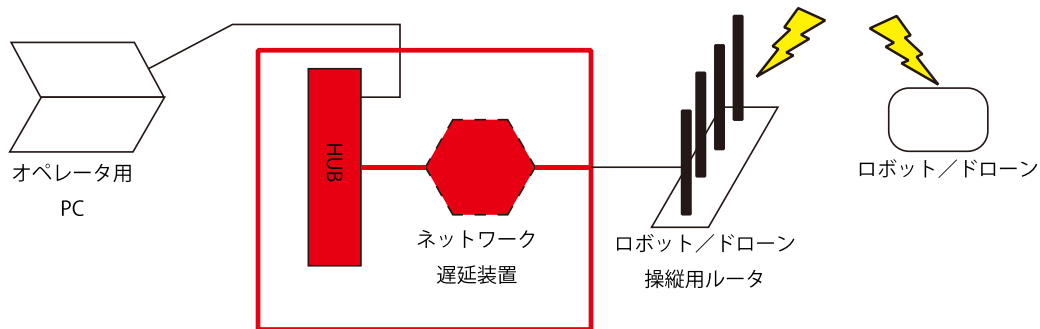
その他の注意事項：

- ・テストラン及び競技時間以外は、競技フィールド（ミッションゾーン）への立ち入りを禁止する。
- ・ミッション遂行時は、不測の事態に備え、安全管理者がロボットに付き添って行動すること。
- ・ミッション結果に関する異議申し立てについては、チームリーダーを通して審判団に異議申し立てができる。異議申し立ては撤収時間の間に行うこと。
- ・オペレーション用PCの画面をHDMIにて出力できること。

12. 通信ネットワーク

オペレータ用コンピュータとロボット間の通信環境は各チームで用意する。無線および有線通信のどちらを利用しても良い。各フロアとオペレーションエリア間の通信環境として、各フロアに建物内の LAN 設備を利用した有線 LAN コンセント（ネットワークハブ）が用意されている。図 10 中の赤色で示した以外のネットワーク機器は、チームで用意すること。通信ネットワーク（無線 LAN）の条件については、別途指示する規定に準拠すること。

ミッションによっては、オペレータ用コンピュータとロボット間に通信を遮断／遅延する装置を挿入する。



※赤囲い部分はプラント内 LAN 設備である。
各チームはそれ以外のネットワーク設備を用意する必要がある。

図 15：競技で使用するネットワーク構成図

13. プラントロボットデジタルツインシステム

本大会では、運営側が用意するプラントロボットデジタルツインシステムの導入および報告機能の利用を必須とする。デジタルツインシステムからの指示は、競技運営側が用意した端末画面を通じて行う。デジタルツインシステムへの点検調査結果や作業内容、ロボット位置及び姿勢情報*の報告は、競技運営側から提供する API を利用して行う。デジタルツインシステム（データベース）は、競技運営側が用意する。プラントロボットデジタルツインシステムの導入方法や API の提供方法、デジタルツインシステムへの報告方法など、別途指示する。

*デジタルツインシステム内でロボットの位置や姿勢情報を表示するロボットモデルは運営が用意する全チーム共通のものを使用する。

14. 安全管理

14.1 安全管理者の選任

各チームは、安全担当者として安全管理者を 1 名以上選任しておくこと。

14.2 機体設計の安全性

競技で使用するロボットの設計製作は、安全性が考慮されていること。一般的に考慮すべき側面について以下に挙げてあるが、これらに限定されるものではないため、使用するロボットごとにチームで検討すること。検討結果は、「(別紙1) 安全性チェックリスト」に記載し提出すること。

- (1) ロボットのサイズ、重量、エネルギーは必要以上に大きなものとししないこと。
- (2) 手指などを切ったり突き刺したりする鋭利な部分がないこと。
- (3) 充電部が剥き出しになっていないこと。
- (4) 人間工学を考慮し、操作者に極端な負荷が掛からない設計になっていること。
- (5) ロボットには非常停止機構を備えていること。非常停止機構はロボット側での操作によりすぐに停止できるものでなければならない。緊急停止スイッチの規格に則ったスイッチを使用すること。非常停止、異常停止後の再始動時には、ロボットが突然動き出さないような機構を備えられていること。

14.3 機体運用の安全性

競技フィールド内におけるロボット稼働中のみならず、パドック等におけるロボットの準備・調整、運搬、撤収、保管などあらゆる局面について考慮すること。検討結果は、「(別紙1) 安全性チェックリスト」に記載し競技運営側に提出すること。

- (1) 競技フィールド内に入る人数は必要最小限とすること。
- (2) ロボットの始動に際しては、フィールド上の安全管理者が安全を確認した上でオペレータに許可を出すこと。安全管理者の許可無しにロボットを動かすことは禁ずる。ロボットの起動、停止などについて、オペレータと安全管理者との間で明確な手順・サインを決めておくこと。
- (3) 競技フィールド内に立ち入る人員（ヘルパー、安全管理者）は、ヘルメットのほかりスクに応じた適切な個人保護具を着用すること。なお、各保護具について、競技運営側で推奨するモデルを別紙3（別添資料）に紹介するので、参考とされたい。
- (4) 競技フィールド内の階段を昇降する際は、手すりをつかむこと。
- (5) ロボット運用中、安全管理主任（運営側）は競技フィールド内でロボットおよびその周囲を監視し、危険を感じた際には競技を停止する権利と義務を有する。安全管理主任が危険と判断した場合、チームの安全管理者に停止の指示を発するので、安全管理者はロボット操作者に伝えるなどして速やかにロボットを停止させること。

14.4 緊急事態への対処

起こり得る緊急事態について想定し、それらが起きた時の対処手順について、予め「(別紙2) 想定される緊急事態及びその対処」を作成すること。作成した手順は競技運営側に提出すると

もに、チーム全体に周知の上、可能であれば事前に訓練を行うことが望ましい。なお、自然災害
その他競技フィールド外に起因するものについては競技運営側で対応手順を作成する。

(別紙 1) 安全性チェックリスト

チーム名：

#	チェック項目	✓	備考
機体設計の安全性			
1	ロボットのサイズ、重量、エネルギーは必要以上に大きなものとなっていないか。		
2	手指などを切ったり突き刺したりする鋭利な部分がないか。		
3	充電部が剥き出しになっていないか。		
4	人間工学を考慮し、操作者に極端な負荷が掛からない設計になっているか。		
5	ロボットには非常停止機構をつけられているか。		
6	非常停止、異常停止後の再始動時にはロボットが突然動き出さないような機構を備えているか。		
機体運用の安全性			
1	競技フィールド内に入る人数は必要最小限となっているか。		
2	ロボットの起動、停止などについて、操縦者とチーム安全担当者との間で明確な手順・サイン連絡手段を決められているか。		
3	競技フィールド内に立ち入る人員が着用すべき個人保護具が選定されているか。 (ヘルメットは必須)		【必要な保護具】 保護メガネ・安全靴・手袋・フェイスシールド・その他（ ）

チーム名：

子一ム名：

[illegible]

安全管理者（署名）

15. 受賞

順位および競技内容にもとづき、受賞チームを選定する。
6 章に基づき計算された得点に応じて、順位は決定される。

16. その他

競技中は、競技委員の指示に従うこと。

改訂履歴

Ver. 1.0 (2024 年 12 月 24 日): 初版