

World Robot Summit  
過酷環境 F-REI チャレンジ  
標準性能評価ドローンチャレンジ  
競技ルール Ver.1

2025/01/08

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/> を参照のこと。

## 1. 概要

### 1.1 目的

米国 NIST（国立標準技術研究所）により整備が進められている災害対応ロボット・ドローンの標準性能試験法(Standard Test Methods for performance, STM)は、共通基盤性能を繰り返し可能・再現可能・低価格・定量的に評価することで災害対応ロボット・ドローンの社会実装を支援している。同様に日本では、NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）の ReAMo（次世代空モビリティの社会実装に向けた実現プロジェクト）の一環として制約（狭隘，非 GPS，低視程）環境下でのドローンの性能評価手法の開発が進められている。標準性能評価ドローンチャレンジ（以下 STM ドローンチャレンジと略記）では、NIST と NEDO ReAMo の性能評価手法を基本に新たに災害現場などで想定される過酷環境因子を加えることで、過酷環境下でのドローンの社会実装の促進を目指す競技を実施する。

謝辞：性能評価手法開発にあたり、米国 NIST 災害対応ロボット STM 開発チーム（Team Leader: Adam Jacoff）、ReAMo プロジェクト制約（狭隘，非 GPS，低視程）環境下でのドローンの性能評価手法の開発（コンソーシアム統括:佐藤徳孝）から技術的アドバイスを得た。

### 1.2 ロボットの形態・台数

- ロボット数に制限はない
- 移動形態は問わない。フィールドにおけるタスクを実行できること。
- 遠隔操縦型・自律型いずれでも可。ロボットやフィールドを直接目視はできない。
- 総重量 10kg 以下であること
- 大きさは競技に使用するロボットだけでなく付属機器全てが三辺合計 1.5m の直方体に収まること。
- 回転翼を持つ場合はガードを取り付けること
- 操縦者 1 名（競技中の交代を認める）、ナビゲータ 1 名（操縦者の補助）
- ロボットには車検時に車検場（写真ブース）で競技用ロボットの証となるシールを貼る。大会中シールは剥がさないこと。ロボットはシールを貼られて以降、形状（configuration）を変えてはいけない。
- 耐環境性を有するロボットは得点に重み付けされる。防水性（防水防滴検定証のコピー提出，重み 2 倍）、防爆性（防爆検定証のコピーの提出，重み 2 倍）。
- 競技ロボットおよび操縦システムは、事前に提出の Team Description Paper に記載されているものに限る。
- 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（検査）を受け、合格したもののみに限る。
- 競技ロボットの形状（configuration）は許可された部分以外、検査後変更してはいけない。
- 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。
- 操作画面（自律時の端末も含む）の HDMI 規格による出力（first-person view モニタ，FPV モニタと呼ぶ）など審判や観客と画面を共有できること。できない場合、得点を

80% (0.8 倍) とする。

- 万が一に備えて、発火等ロボット異常時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）の法律に違反しないこと。

### 1.3 競技形式

2025 年に開催される WRS2025 では、以下の 4 つの性能について評価を行う。これらは NIST と NEDO ReAMo および Robocup 世界大会の性能評価手法から着想を得たものである。

(**MOB**) 競技フィールドの往復回数を評価する（運動性能）

(**EXP**) タスクの完遂度で評価する（探査性能）

(**MAP**) 競技フィールドの地図生成、探査対象の位置推定と意味理解、およびその情報の地図内埋込性能を評価する（地図生成能力）

(**AUT**) **MOB** および **EXP** の自律化を評価する（自律性能）。また、通信遅延(**COM**)への対応も自律性能として評価する。

予選競技時間：準備 5 分，**MOB** 実施 5 分，**EXP** 実施 5 分，撤去 5 分の合計 20 分

準決勝競技時間：準備 5 分，**MOB** 実施 10 分，**EXP** 実施 10 分，撤去 5 分の計 30 分

決勝競技時間：準備および撤去 5 分，**MOB** 実施 10 分，**EXP** 実施 15 分の合計 30 分を目安とする。

## 2. 競技フィールド

競技は 4 種類のフィールドで実施する。各フィールドは動的な環境の変化を伴うものとする。競技は前半で移動性能 (**MOB**)，後半で探査性能 (**EXP**) を実施する。通信遅延 (**COM**) を含む自律性能 (**AUT**) は **MOB** および **EXP** の自律化を評価し、地図生成能力 (**MAP**) は競技中に生成された地図や探査対象の位置、意味づけなど情報の埋め込みなどについて評価する。さらに、各フィールドは過酷環境因子が競技ステージ（予選、決勝など）に応じて追加される。

### 2.1 狭隘空間水平スラローム

概要：災害現場を想定した狭隘空間、特に垂直壁面二存在する開口部を通過しながら左右方向に移動する能力を評価する。フィールドは幅 2～3m×高さ 2～3m×奥行き 10～15m（予選では分割し 5～7.5m とする場合がある）の閉鎖空間で、2～3m×2～3m の内壁に高さ 2～3m，幅 1～1.5m の縦長の開口部が左右交互に配置される。**MOB** においてはこのフィールドで水平スラロームの性能を評価する。

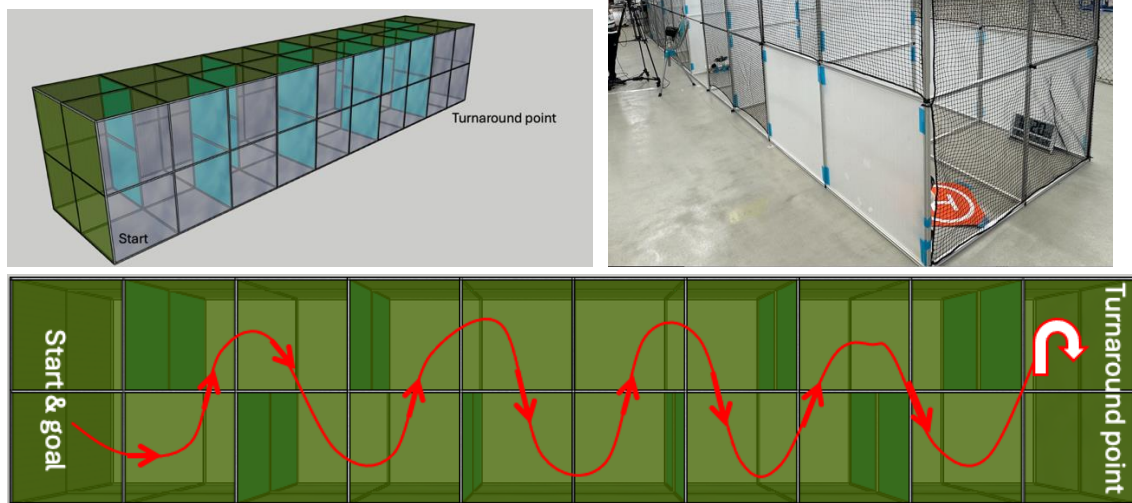


図2 狭隘空間水平スラローム（概形，審判トライアル時のフィールド，上面図と経路）

## 2.2 狭隘空間垂直スラローム

概要：災害現場を想定した狭隘空間，特に水平壁面に設けられた開口部を通過しながら上下方向に移動する能力を評価する．フィールドは幅 2～3m×高さ 2～3m×奥行き 10～15m（予定）の閉鎖空間で，2～3m×2～3m の内壁に高さ 1～1.5m，幅 2～3m の横長の開口部が上下交互に配置される．**MOB** においてはこのフィールド内における垂直スラロームの性能を評価する．

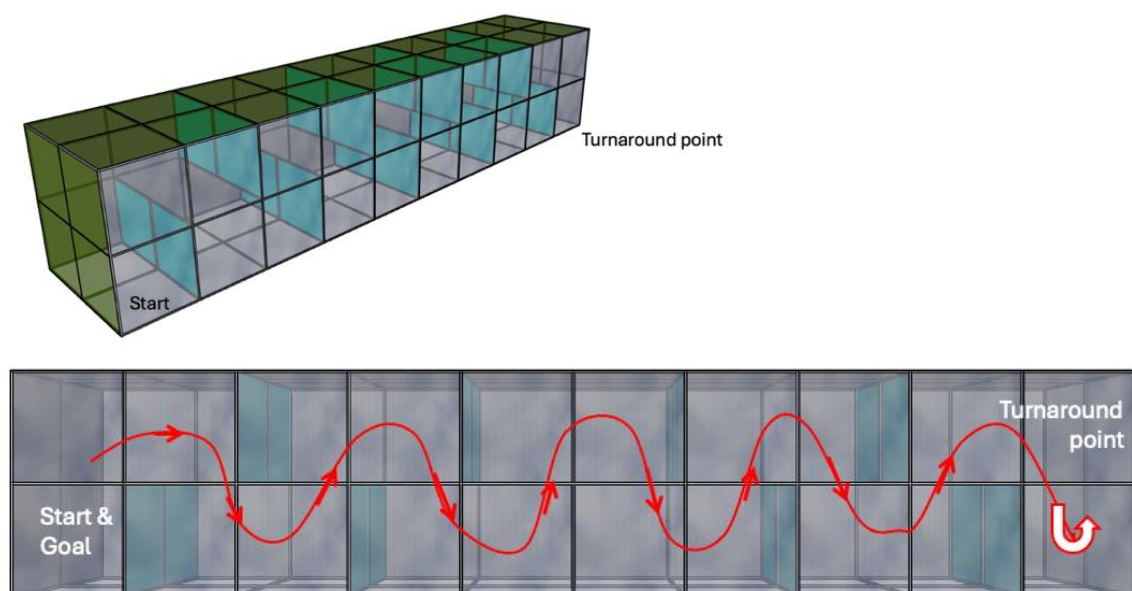
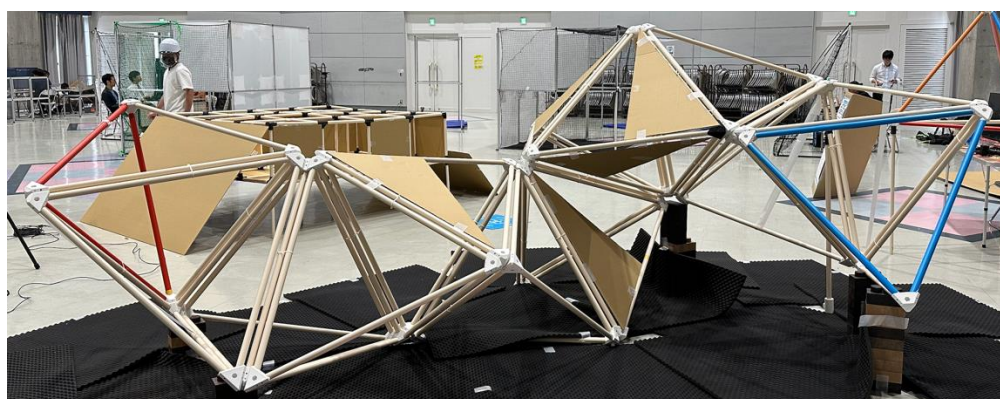
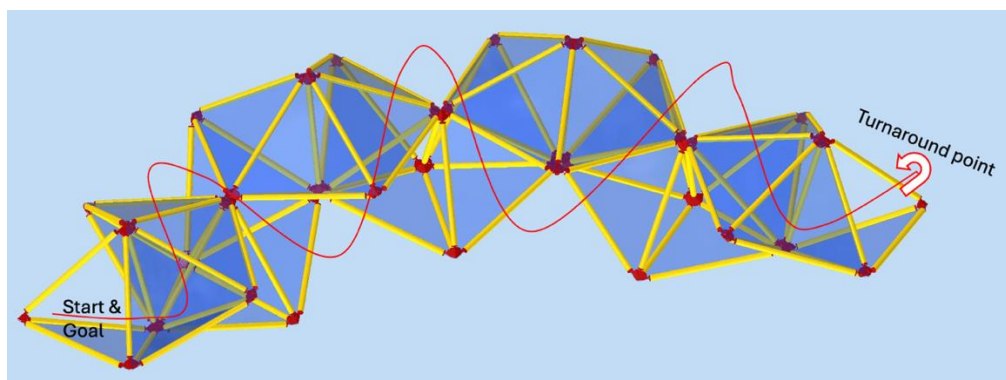


図3 狭隘空間垂直スラローム（概形，側面図と経路）

## 2.3 トラスフィールド

概要：災害現場の倒壊建造物は必ずしも垂直，水平な開口部を持つわけではなく，傾斜した壁面の開口部も少なからず存在する．このような傾斜開口部を模擬するため，パイプで構成された正四面体と三角柱を組み合わせたトラス状のフィールドを導入する．トラスの一边は1.5mとし1mから2mの範囲で変化する．また，トラスの内部に障害物を設ける場合がある．**MOB**では，フィールドを構成する正四面体の傾斜面を通過しながらフィールドを往復する性能を評価する．**MAP**や**AUT**では3次元的な構造を認識することが求められる．



トラスフィールド例：フィールド詳細は大会当日に公開する

## 2.4 複合型（シークレットフィールド）

概要：競技フィールド1～3の基本単位を組み合わせたフィールドおよび独自の構造物を用いる．競技当日に公開される．

## 3. 性能評価

3.1 **MOB**（運動性能）：競技前半（予選5分，準決勝および決勝10分を目安とする）で各競技フィールド往復数を評価（加点）する．時間内に何度往復してもよい．

□ 点数：スタート地点から折り返し地点への往路，復路ともに1点．通信遅延(**COM**)は2倍，自律化(**AUT**)は得点が10倍される．

➤ コールドゾーンに設置された時計がFPVモニターで確認できる状態でポートに着陸

□ 過酷環境因子による加点

- 過酷環境因子が設定されたセグメントを通過する経路を選択した場合加点する
- ◇ 例：風 **WIN**, **NEG**

3.2 **EXP**（探査性能）：競技後半（予選 5 分，準決勝 10 分，決勝 15 分を目安とする）でミッションの完遂度を評価（加点）する．

□ 知覚ミッション：物体の知覚 **PCP**

- Thermal Image Acuity（5 点）
- Hazmat Label Identification（Auto 4 点，目視 1 点）
- Motion Detection -Auto Only（3 点）
- Visual Image Acuity QR Code -Auto Only（1 点）
- Proximity Sampling Magnetometer（2 点）
- クラック-Auto Only（3 点）

クラックは一辺 10 cm の正方形供試体に設けられたクラックを模した線（切削加工）の幅と長さおよび位置を自動で認識し，テキストで幅と長さを審判が確認できるように表示する．

- サビ-Auto Only（3 点）

サビは，一辺 10 cm の正方形供試体に設けられたサビを模した塗装領域の割合を自動で認識し，サビの割合をテキストで審判が確認できるように表示する．

□ 作業ミッション **DEX**（タスク **INS**, **ACU**, **SMP**, **WIP**, **PRC**）

作業ミッションは単独で行うことで基本点を得られるが，過酷環境因子やパーチ，自律化などと組み合わせることでより高得点となる．各フィールドに設置されるバケツ数は限定しない．

- ペアバケツ底部確認タスク **INS**（によるロボット位置制御）

- ◇ バケツ底部最外円を FPV モニタで視認
- ◇ オペレータが視認できたと判断した時点で審判にチャレンジ．審判は FPV モニタで確認できたと判断した場合，得点とオペレータにコール．
- ◇ ペアバケツは交互もしくは同時に視認（基本点 1 点）
- ◇ 同時に視認した場合は加点する（基本点の 2 倍）
- ◇ 視認したバケツ底部の画像を保存し競技後に提出する．

- バケツ内のランドルト環読み取りタスク **ACU**

- ◇ 5 段階のランドルト環に対し加点（各基本点 1 点）
- ◇ 視認したバケツ底部の画像を保存し競技後に提出する．

- サンプルへの接触および回収作業タスク **SMP**

- ◇ フィールドに設置したサンプルに対し，ロボットのエンドエフェクタ（ロボット検査時に指定，着脱および変更可）を接触させる（基本点 1 点）．
- ◇ サンプルをロボット内に回収させる（基本点 10 点）
- ◇ サンプルをコールドゾーンまで持ち帰り所定の場所に回収（基本点 10 点）



☆ サンプルの大きさと重量は様々なサイズの glass balls (marbles).

➤ 拭き取りタスク **WIP**

☆ 10cm×10cm のタイル面を拭き取る (拭き取り区画数×20 点)

タイル面にはホワイトボードシートを使用し、マーカーで 10cm×10cm を 5cm×5cm の区画に四当分して塗りつぶしている。それぞれの領域を完全に拭き取って作業完了とする。**WIP** 供試体の周辺にはパイプなどの止まり木を設ける。

☆ 拭き取った物質の回収 (マーカーの色と場所を特定する) (20 点)

➤ パーチ **PRC** (10° ~20° の傾斜面 **INC**, 90° 垂直面 **VRT**, 180° 天井 **CEL**)。パーチ状態でミッション (**PCP**, **DEX**) を実施することで、消費電力低減、長時間の探索性能を問う。

☆ 平面にパイプ状の止まり木 (直径相当で 20~40mm) が配置されたパーチエリアと接触した状態で静止し作業すること (各作業の基本点へ重み付けする。**INC**×5, **VRT**×10, **CEL**×10)

☆ ホットパーチ: 回転翼を持つ場合これを止めないことも可。

☆ コールドパーチ: 推進装置を停止させた場合は得点が 2 倍される。

□ 自律探索でない課題については、通信遅延(**COM**)への対応は 2 倍、自律化(**AUT**)は 10 倍される。

3.3 **MAP** (地図生成能力): 競技フィールドの地図生成、探索対象の位置推定と意味理解、およびその情報の地図内埋込性能を評価する。地図生成手法については審判が評価できるよう説明を求めることがある。

□ 地図生成ミッション **MAP**

フィールドの地図生成 50 点

□ 対象物埋め込みミッション **EMB**

バケツ、拭き取り供試体、知覚作業用供試体、回収サンプルなどの位置と意味を地図上に埋め込む。各ターゲット 10 点。フィールドの原点とグローバル座標系はこちらで指定し、報告時にその座標系に変換すること。

3.4 **AUT** (自律性能): **MOB** および **EXP** の自律化をレベルに応じて評価する。レベルは通信遅延(**COM**)と完全自律(**AUT**)で、**COM** は点数を 2 倍に、**AUT** は 10 倍に重み付けする。**COM** は TCP/IP 接続の Vsting [1] (論文, github: [Team-Dynamics/vsting-sa](https://github.com/Team-Dynamics/vsting-sa)) を経由して実現するため、このシステムを介在できる操縦系に限る。

[1] Manuel Patchou, Janis Tieman, Christian Arendt, Stefan Böcker, and Christian Wietfeld, [Realtime Wireless Network Emulation for Evaluation of Teleoperated Mobile Robots](#), In *IEEE Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR)*, 2022.

### 3.5 過酷環境因子

各フィールドは狭隘かつ閉鎖空間という空間的制約および非 GPS という過酷因子を含む。また、通信の遅延（**COM**）および遮断へ対応する自律性能（**AUT**）を問う。さらに、バッテリー交換はスタートもしくは折り返し地点に戻る必要があるため飛行時間の持久性も問われる。

これに加えて以下の過酷環境因子を導入することを検討している。

- **狭隘開口部 TRA**：スタート地点および折り返し地点からフィールドへ進入する垂直もしくは水平壁面に一辺 90cm の正三角形開口部と/もしくは一辺 1m の正方形の開口部を設ける。正三角形を通過するごとに 3 点加点する。正三角形は消防のブリーチングによる開口部形状に基づいている。
- **風 WND**：送風機により競技フィールドの特定セグメントに風をおこす。ロボット、特に UAV への外乱（**MOB**：通過するごとに 5 点，**DEX**：風を伴うタスクはその点数の 5 倍）。**MOB** においては風をある程度回避できる経路を設ける場合がある。
- **閉鎖空間**：フィールドの特定セグメントを一辺 90cm の正三角形もしくは一辺 60cm の正方形の開口部のみを残し壁面で取り囲んだ空間に配置された **EXP** の作業を遂行する。回転翼による気流が閉鎖空間ないで乱れを生じさせる（**EXP** の各タスクの基本点を 5 倍とする）。
- **粉塵 DST（粉もしくは紙片）**：閉鎖空間特定セグメントに紙片を配置し、プロペラによるダウンウォッシュで舞い上がる状況を設定（**EXP** の各タスクの基本点を 7 倍とする）。
- **煙**：閉鎖空間特定セグメントに煙を充満させる。煙はフォグマシンもしくはドライアイスなどで生成する。
- **強光**：競技フィールドの特定セグメントに強い光源を置くもしくは自然光を利用する（**EXP** の各タスクの基本点を 2 倍とする）。
- **暗所**：特定セグメントに暗所を設ける。フィールドに暗所がある場合、基本的に全てのロボットは **MOB** においてここを通過する必要がある。
- **ネゴシエイト NEG**：開口部（ロボット通過経路）に可動壁、索状柔軟障害物（紐、ケーブル）などを配置し、これに**接触して空間を作る**ことを要求する（**MOB**：通過するごとに 5 点）。**NEG** はこれを回避する経路を設ける場合がある。
- **雨（防滴防水性）**：RTF 屋内試験場では降雨試験が可能である。ただ、ロボットだけでなく、競技フィールドの耐水性も問われるため防水性を持つ場合はこれを証明する資料（検定証のコピー）により確認し全ての得点を 2 倍とする。
- **可燃性物質（防爆性）**：可燃性物質や爆発物存在を想定する。ただ、安全性の観点から、防爆性能を持つ場合はこれを証明する資料（検査証のコピー）により確認し全ての得点を 2 倍とする。



#### 4. 競技スケジュール

##### □ 概要（予定）

- 10月9-10日 予選
- 10月11日 準決勝
- 10月12日 決勝

##### □ 競技時間（目安）

- 予選競技時間：準備5分，MOB実施5分，EXP実施5分，撤去5分の計20分
- 準決勝競技時間：準備5分，MOB実施10分，EXP実施10分，撤去5分の計30分
- 決勝競技時間：準備および撤去5分，MOB実施10分，EXP実施15分の計30分
- 予選競技結果をもとに準決勝参加チームを選ぶ．準決勝の競技内容は予選と異なる．
- 準決勝競技結果をもとに決勝参加チームを選ぶ．決勝の競技内容は予選，準決勝と異なる．

#### 5. 得点方法

各タスクで得られたポイント（raw ポイント）のうち、全チームの中の最高 raw ポイントを 100 として正規化したポイント（normalized ポイント）を、各チームの獲得得点の計算に用いる。

#### 6. チームメンバー

チームメンバーは予め申請することとし、最大6人までとする．パドックエリア（チーム控室）には、チームメンバーしか入ることができないものとする．

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．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：ロボットを操縦する者．オペレータエリアに入る資格を有するもの．オペレータは競技中以下のルールに則って交代できる．
  - 事前にオペレータ候補者を全員申請すること．
  - 競技を行うオペレータは1名のみとする．
  - 競技中、オペレータ候補者は全員控え(操作卓付近)で待機
  - ナビゲータ以外のメンバーとのコミュニケーションは禁止する
  - 交代はドローンが飛行していない状態のときに限る．
- ナビゲータ：オペレータとともにロボットの操縦方針について議論することができる．ナビゲータとオペレータは交代可能とする．ただし、フィールドを直接目視してはいけない．オペレータ以外のチームメンバとのコミュニケーションは禁止する．
- 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．
- 安全管理者：チームメンバおよびロボットの安全管理を行う．また、リセット時にロボットをスタート地点やリスタート地点から運搬することができる．
- テザー：有線通信での通信ケーブルを捌く者．

オペレータは安全管理者およびテザーの役割を兼ねることはできない．残りの役割については兼職が可能である．また、チームリーダー以外は、競技毎にその役割を交代しても良い．

## 7. 競技に関すること

- コールドゾーン:災害現場において安全が担保された領域. スタート地点または折り返し地点であり, 離着陸可能な領域.
  - コールドゾーンに着陸時は修理やバッテリー交換およびオペレータ交代を可能とする.
  - オペレータが審判に, 修理やバッテリー交換, オペレータ交代をコール
  - 競技時間を管理する時計は止まらない
  - 再開時はオペレータが審判に再開することをコール
- ホットゾーン: 災害発生領域. 探査や作業のために離着陸可能であるが, 修理やバッテリー交換, オペレータ交代などを行うことはできない. 競技フィールド内のコールドゾーン以外の領域.
- リセット: 人の手を借りて復帰する場合は「リセット」をコール
  - スタート地点または折り返し地点のうち, 最後に着陸した地点に戻る
  - ペナルティとして, リセットをコールした時点から予選 1 分間, 準決勝・決勝 2 分間は再開不可. 修理やバッテリー交換等は可.
- 棄権: やむを得ず, ミッションの遂行ができない場合.
- 減点および失格: 競技中に安全管理上問題となるような危険行為と審判団で判断された場合はその都度競技運営側で協議し, その競技の得点に対する減点もしくは競技を失格とすることがある. また, 危険行為を繰り返す可能性が否定できないと判断された場合は競技を行うことができない.
- 競技結果の裁定については, 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. 異議申し立ては次の競技開始までに行うこと.

## 8. 安全管理

チームの安全管理は安全管理者が責任を負う. 競技フィールドにおいてチームメンバーはヘルメット, ゴーグルを着用しなければならない. ドローンに触れる場合は手袋を着用する. また, 服装についても皮膚の露出を避け, サンドルなどを着用してはいけない.

## 9. 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は, 無線および有線通信のどちらを利用しても良い. ただし, 無線通信環境について競技運営側は管理しない. 通信ネットワークの条件については, WRS 全体で別途指定する通信に関する規定に準拠すること.

## 10. 受賞

5 章に基づき計算された得点に応じて, 順位は決定される.

## 11. その他

競技中は, 実行委員会の指示に従うこと.