



ロボットコンテスト競技デザインとロボット性能評価



Aichi Institute of Technology

愛知工業大学 奥川雅之

2023年9月11日

RSJ2023 OF10 ロボット性能評価工学 - フィールドロボット性能評価プロセスの体系化を目指して (2023)



自己紹介

奥川雅之, 愛知工業大学 工学部 機械学科 教授

専門分野

レスキュー工学, ロボット工学, 制御工学, 振動工学

研究テーマ

- ・遠隔操縦型調査点検ロボットの研究開発 (レスキュー (災害対応)、インフラ/プラント点検)
- ・不整地移動機構の設計及び制御系設計 (クローラロボット: Scott)
- ・調査点検ロボットを対象とした標準試験法の研究開発
- ・スマート建造物の研究開発 (スマートワッシャ, ヘルスモニタリング)



各種委員

ロボット性能評価工学研究専門委員会委員

World Robot Summit インフラ・災害対応カテゴリ-競技運営委員

(一社) アールアンドアールコミュニティ理事, レスキューロボットコンテスト実行委員会実行委員長 (2018.10~2023.9)

RoboCup Rescue Robot League Technical Committee Member (2019~2022)

日本機械学会機械力学・計測制御部門「スマート構造システムの将来技術と実用化に関する研究会 (A-TS10-40)」幹事

日本機械学会機械力学・計測制御部門「診断とメンテナンス技術研究会 (A-TS10-39)」委員

所属学協会

日本機械学会, 日本ロボット学会, 計測自動制御学会, システム制御情報学会, IEEE, ASTM



Aichi Institute of Technology



講演内容

- ロボットコンテスト競技デザイン
 - World Robot Summit プラント災害予防チャレンジ
 - レスキューロボットコンテスト
- フィールドロボット性能評価プロセスの体系化への課題
- まとめ

Aichi Institute of Technology



競技会形式によるロボット研究開発の促進

災害対応ロボットの研究開発において困難な点

- ロボットの活動空間や条件が明確に定まっていないこと
- 現時点では, 災害現場でロボットを使う機会が頻繁にあるものではない

種々の災害を想定したベンチマーク問題の数を増やす: ロボット競技会 (コンペティション)
-> 競技形式による研究開発の促進が有効であると言われている: 機会の提供

解決すべき技術課題を抽象化 (ベンチマーク問題): 現場での課題を抽象化し, 実災害を模擬
-> 競技シナリオの作成に相当
ロボット性能評価: 標準試験法
-> 競技ルールやフィールドデザインに相当

- ロボット技術の向上やシステムインテグレーション手法を確立
- コンテストの参加を通じて, 当該分野に興味を持つ人材が増え, 裾野が広がる
- 災害対応ロボット技術が成熟すれば, 多くの現場で活用が期待される. (社会実装)

[1] 産業競争力懇談会 (COCON), 2013 年度 COCN 報告書「災害対応ロボットセンター設立構想」付録表 4-1「想定災害とロボットの関連細分表 (建造物・土ホイインフラ災害): 全国的発生頻度・規模」, 2014.

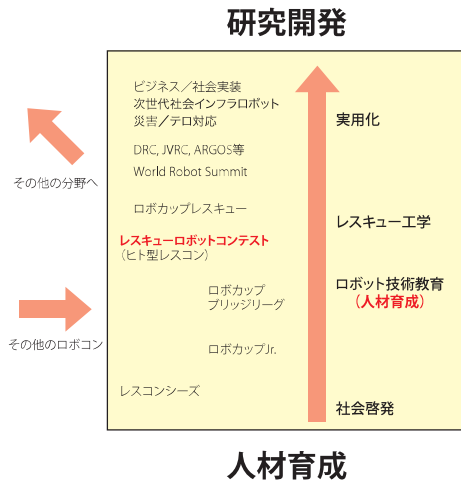
[2] 木村哲也, ロボットコンテストによる災害対応ロボット実用化の加速, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集, 1783/1785, (2015)

[3] A. Jacoff, et al., Using Competitions to Advance the Development of Standard Test Methods for Response Robots, Proc. of the Workshop on Performance Metrics for Intelligent Systems, 2012, 182/189, 2012.

Aichi Institute of Technology



レスキューを題材とするロボットコンテストの現状



World Robot Summit 2020: プラント災害予防チャレンジ

2021.10@ 福島ロボットテストフィールド



World Robot Summit
主催：経済産業省, NEDO

インフラ災害対応カテゴリー

トンネル事故災害対応・復旧
プラント災害予防
災害対応標準性能評価



福島ロボットテストフィールド
模擬プラント施設

インフラ/プラント点検：ロボット技術の活用

災害現場/調査点検箇所：危険を伴う場所がある。

人のアクセス困難箇所での点検調査作業 = ロボット技術の活用

保全/調査/災害予防

(1) Safety Improvement

点検作業者の安全性改善

(2) Environmental Performance Improvement

環境性能の改善：有毒物の漏洩や汚染の回避、爆発事故の回避

(3) Cost Avoidance and Reduction

コスト増大の回避と削減：洗浄作業や足場作りなど無駄な作業の削減

(4) Performance Improvement

性能向上：ダウンタイムの短縮、点検頻度の増加、点検品質（客観性）の向上

プラント災害予防チャレンジの基本コンセプト

プラントの日常点検/検査と応急処置（異常発生時対応）

プラントの予防保全：設備の老朽化や経年劣化、人為的なミスなどによる異常を想定
想定される災害：設備の異常動作や調整ミス、構造物の老朽化による事故

[環境外乱を再現] 沿岸部の製鉄所や製油所のように屋外に暴露しているプラントを想定しているので、風や光の影響を再現する。また、ボイラなど水蒸気が発生している空間も模擬する。

[ロボットの形態は問わない] ロボットの形態によらず、同じミッションを実施する。多様性や協調動作を推奨するため、ロボットの台数は2台までとする。

競技シナリオと競技ミッション

競技シナリオとは、競技ミッションを遂行するための理由（原因、根拠）である。
□ 沿岸部の製油や製鉄プラントの日常点検／検査および異常発生時対応を競技テーマとする

* 海洋プラントのように点検作業者を派遣するのが困難なプラントでは、自律型ロボットによる点検の自動化が望まれている

□ 運転中を想定する

* 設備を停止するリスクを低減できる。



プラント点検に対するロボット導入の利点

【日常点検の無人自動化】危険な場所（環境）にある設備（ポンプ、タンク、ボイラ）や構造物の点検（見回り）や健全性評価診断を無人自動化できれば、事故を防ぐことができる。

【異常（変状）の早期発見】人的ミスによる異常発生、設備の老朽化や経年劣化による設備の破損。それらを要因とする設備機能不全、事故（爆発（ガス漏れ）、火災（有毒ガス発生）、有害物質の流出）など、定期点検頻度を上げることにより未然に防ぐことができる。

【災害対応】可燃性ガスの漏れが発生し、爆発および火災が発生する可能性あり。可燃性ガスが充滿している雰囲気中の設備装置付近にあるスプリンクラー（シャワー）や泡消火設備のバルブを開閉することができれば、迅速な初期消火が可能となる。（油類の配管は閉める。水は開ける）

プラント災害予防チャレンジ競技ルール概要

老朽化した製造／製油／製鉄プラントの保全／災害予防：

日常点検／検査と緊急対応（異常発生時対応）

* 海洋プラントのように点検作業者を派遣するのが困難なプラントでは、自律型ロボットによる点検の自動化が望まれている

設備の老朽化や経年劣化、人為的なミスなどによる異常を想定

想定される災害：設備の異常動作や調整ミス、構造物の老朽化による事故

点検困難箇所（狭い、高所、高温、有害ガス...）

点検対象設備

配管群、ポンプ、小型タンク、ボイラ、ダクト、大型タンク壁面

競技ミッション

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

P2：Fault Detection and Emergency Response（異常検知／緊急対応）

P3：Diagnosis: Pipes and Duct（設備診断：パイプ群／ダクト）

P4：Diagnosis: Tank（設備診断：タンク）

P5：Accident Response: Search（事故対応：要救助者搜索）

プラント点検ロボットに求められる能力

遠隔操縦／自律制御によるプラント内巡回および帰還

高所・狭隘・閉所空間移動／階段昇降

非破壊検査による設備／構造物健全性評価診断

設備の調整

点検調査結果のデジタル化／アーカイブおよび報告

環境変化（煙／水蒸気、汚れ）への適応

ロボットの基本性能と基本タスク

基本性能（プリミティブアビリティ、PA）：プラント点検ロボットに要求される性能

PA1：移動性能（移動適応／ロバスト性能）

空間的制約、経路の制、路面形態などに対する移動性能。

PA2：作業性能

先端位置決め制御性能、の点検／調査対象に対する姿勢維持性能、バルブの開閉／調整、触診、物体把持能力

PA3：インタラクション性（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、操縦支援性能、自律制御性能。

PA4：点検（見回り）能力（性能）

目視検査及び打音検査の代替能力

PA5：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

PA6：点検調査（解析）結果報告能力

点検箇所（位置）と結果のマッピング性能、点検調査結果提示能力、レポートを作成能力、分析／解析、事象の特定能力

PA7：環境ロバスト（適応）性能

屋外環境での作業において、種々の外乱への対応は重要な性能。

基本タスク（プリミティブタスク、PT）：プリミティブアビリティの達成度を評価するためのタスク

PT1 動く、PT2 動かす、PT3 見る、PT4 報告、PT5 評価診断

競技タスク

競技タスクは、点検調査タスクと作業タスクの2つとし、各競技タスクはPTで構成される。
したがって、競技タスクに応じた性能を有したロボットを用意する必要がある。

競技タスク

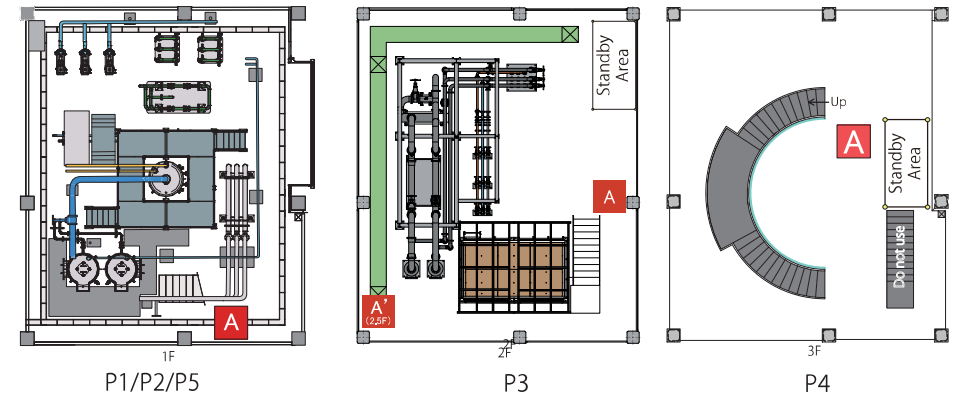
[点検調査タスク]

移動	PT1	PA1, PA2, PA3, PA7
点検作業	PT2, PT3	PA2, PA3, PA4, PA7
調査/検査作業	PT4	PA5, PA7

[作業タスク]

報告	PT5	PA6
調整作業	PT2, PT3	PA2, PA3, PA4, PA7
災害対応作業	PT2, PT3	PA2, PA3, PA4, PA7

競技アリーナ



ミッション P1 : Inspection/Maintenance (日常点検 / 設備調整)

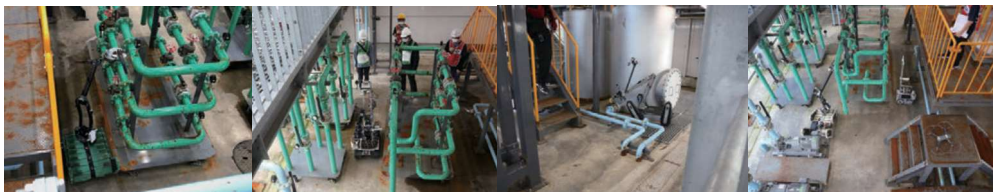
競技ミッション：設備装置の稼働状態を見回り点検

競技タスク：

- 指定された場所にある圧力計・水位計の数値を読み取り（自動）、その数値を報告
- 指示された状態になるよう設備装置の調整（バルブの開閉）

点検対象設備：

配管群 (A), ポンプ 3 台, 小型タンク 2 器

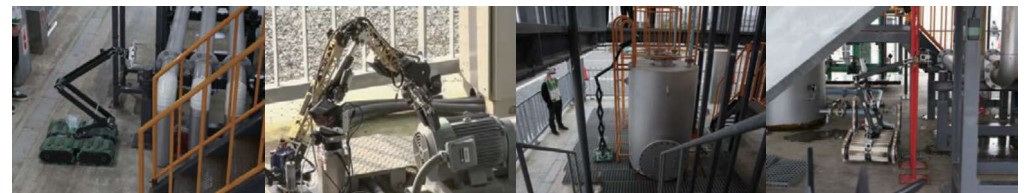


ミッション P2 : Fault Detection and Emergency Response (異常検知と緊急対応)

競技ミッション：設備/装置の定期点検（異常の発見）、事故発生後の緊急対応

競技タスク：

- 異常熱源の発見
 - 異常振動を発生しているポンプの特定
 - タンク内酸素濃度の測定
 - ボイラーの圧力計の数値を読み取り（自動）、その数値を報告、バルブ開閉
 - サイレンなどの警報音発生後：泡消火設備の起動弁を開ける
- 点検対象設備：配管群 (B), ポンプ 3 台, 小型タンク 2 器, ボイラ



ミッション P3 : Diagnosis: Pipes and Duct (設備診断：パイプ群とダクト)

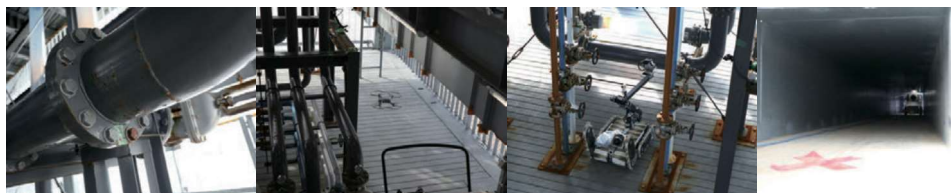
競技ミッション：配管（フランジ含）群およびダクト内を対象とした健全性評価診断

競技タスク：

□ 以下の点検項目に関する評価診断結果の報告

- (1) フランジ部ボルトの緩みおよびサビの発見
- (2) 配管表面のサビの発見
- (3) ダクト内のサビおよび異物の発見

点検対象設備：配管群 (C), ダクト



ミッション P4 : Diagnosis: Tank (設備診断：タンク)

競技ミッション：ボイラに関する日常点検と警報発報後行う初期消火対応

競技タスク：

□ 検査対象エリアの座標および以下の点検項目に関する評価診断結果の報告

- (1) クラックの有無：クラック幅と長さの報告
- (2) 腐食（サビ）の有無：指定されたエリアに対するサビの面積率の報告
- (3) 減肉の有無：超音波厚さ計を用いて減肉部の厚さを測る

点検対象設備：大型タンク



ミッション P5 : Accident Response: Search (事故対応：要救助者搜索)

競技ミッション：決勝競技. 全設備の点検調整, 警報発報後の事故対応

競技タスク：

□ 指定された場所にある圧力計・水位計の数値を読み取り（自動）、その数値を報告

□ 指示された状態になるよう設備装置の調整（バルブの開閉）

□ がれきを除去しプラント内（今回はタンク内）に取り残された作業員（マネキン）を探す。

点検対象設備：全設備



競技タスクと標準試験法

事例：メータ目盛り読取/ハンドル操作

STM

WRS プラント競技（実フィールド） 日常点検競技タスク



- 対象の3次元配置
高さ、奥行き、幅、干渉
- 対象の向き変更を可能に
- 自動読取の場合：背景の影響



STM で良い性能を示したロボットが実際の現場でも性能を発揮できるのか？

実フィールド：空間的な制約（狭隘）や環境の影響（光、煙中）あり

競技デザイン

社会ニーズ調査（ヒアリング，調査：現地・文献）

条件設定（背景，制約条件）

シナリオ設定：社会的・産業界の背景や事情を反映

ミッション設定：解決すべき課題

要求される能力・性能の抽出：ability, performance

タスク設計・選定：要求される性能を評価する試験

得点設定・配分：定量化，難易度と現状/将来技術とのバランス，実現可否・可能性を留意

ミッション（シナリオ）ベースのロボット性能評価試験法と類似

レスキューロボットコンテスト：人材育成

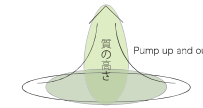
阪神淡路大震災を契機，2001～毎年8月に開催
2023年第22回開催



ロボット(科学)技術



レスキュー(実問題)

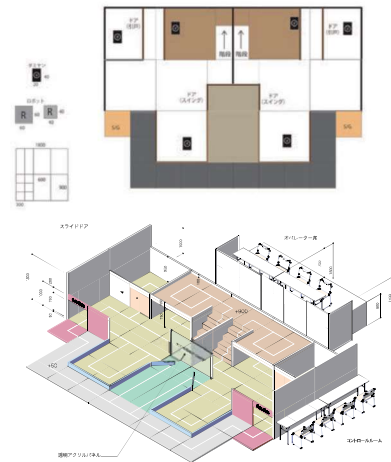
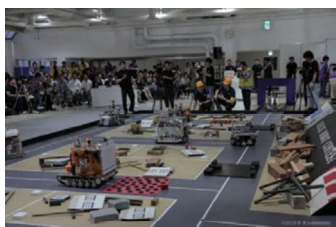
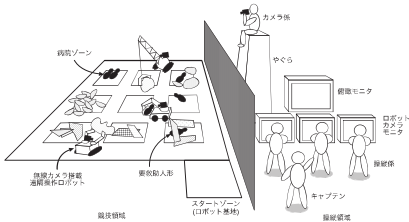


総勢の広がり (人が育成/社会啓蒙)
Expand the range/base



レスキューロボットコンテスト競技ルール変更

- 市街地から建物内に
- より実際の現場に即した競技課題



災害対応ロボットシステムに要求される性能

障害走破性：(凹凸路面，斜面，陥没，階段，閉所狭隘空間，落下，路面状況(砂/砂利，水))

操縦性：(マンマシンインターフェース，インタラクション，情報提示，半自律制御)

情報収集能力：(迅速性，正確性)

作業操作能力：(ダミヤン救助，軽作業，協調性)

データ処理能力：(報告，取得データの解析)

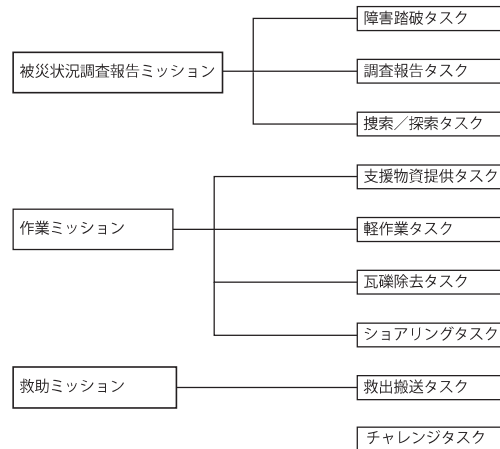
耐障害性/柔軟性：(通信，故障，異常，想定外への対応)

競技ミッションとタスク

搭載カメラの映像やセンサ情報のみでロボットを遠隔操縦

※ 自律型ロボットの使用も可能

建物内のダミヤン※を捜索発見後、救出し安全な場所に搬送



競技シナリオ

地震により大規模停電が発生

ビルや施設の建物が被災（病院／高齢者施設／オフィスビル／工場など）

取り残された従業員や作業員ら数名の捜索および救助依頼

停電が復旧するまでの時間内に...

- 二次災害の危険がある半倒壊建屋内の被災状況調査
- 通電・復電火災防止、ガス漏れによる爆発防止対策
- 要救助者の早期発見（捜索、容体確認）および救助

救出された要救助者は、ヘリコプターなどにより病院に搬送

上記シナリオを実現するレスキューシステムを提案し、1/4スケールの模擬テストフィールドにて提案システムの評価を行う。

難易度の設定

障害踏破タスク：

被災エリアや到達が困難な場所をイメージした障害（Obstacle）を踏破する

OBS1 レベルA：平面，斜面（Continuous/Crossing），陥没

OBS2 レベルB：凹凸路面（Step Field），閉所狭隘空間

OBS3 レベルC：階段（Stairs, Pipe Step），落下（Ant Farm）

調査報告タスク：

被災状況の調査（写真（ダミヤン／マークなど）、ガス漏れ有無、建物被害状況、傾斜／距離）を行い、その位置とともに報告する（Report）

REP1 レベルA：目視で確認できる事象

REP2 レベルB：QRコードで表現された事象

REP3 レベルC：カメラ映像、音声、センサ情報などをもとに解析が必要な事象

難易度の設定

捜索／探索タスク：

ダミヤンを発見および容体を判定し、報告する（Triage）

TRI1 レベルA：カメラ映像などで目視できるダミヤンを発見し、位置を報告する

TRI2 レベルB：瓦礫の下にいるダミヤン（瓦礫をどかさなくても視認できる）を発見し、位置を報告する

TRI3 レベルC：瓦礫の下にいるダミヤン（瓦礫をどかさないと視認できない）を発見し、位置を報告するとともに、瓦礫をどける

支援物資提供タスク（ペットボトル）：

ペットボトルをイメージした角柱をダミヤン付近にある台に運ぶ（載せる）
タスクを達成するとフィジカルポイントが回復する。

PET1 レベルA：ペットボトル（280ml～300ml、中身なし）の搬送

PET2 レベルB：ペットボトル（280ml～300ml、中身あり）の搬送

PET3 レベルC：支援物資ケース（箱、ペットボトル24本？）の搬送

難易度の設定

軽作業タスク：

指示された作業を行う (Work)

WOK1 レベル A：ボタンを押す (スイッチを入れる) ことができる

WOK2 レベル B：プレーカーもしくはハンドルを回すことができる

WOK3 レベル C：ドアの開閉および通過できる

瓦礫除去タスク：

指定された場所に瓦礫を撤去もしくは移動させる (Debris)

DEB1 レベル A：棒状、板状瓦礫を撤去できる

DEB2 レベル B：連結瓦礫の撤去および指定エリアまで移動することができる

DEB3 レベル C：複雑形状あるいは重量瓦礫の撤去および指定エリアまで移動することができる

難易度の設定

ショアリングタスク：

不安定な瓦礫の安定化 (ショアリング, Shoring) を行う

SHR1 レベル A：板状瓦礫の下からダミヤンを救出する

SHR2 レベル B：家具 (スチール棚など軽量) に挟まれたダミヤンを救出する

SHR3 レベル C：家具 (冷蔵庫, 食器棚や本棚など重量のあるもの) に挟まれたダミヤンを救出

救出搬送タスク：

ダミヤンを安全な場所まで救出する (Rescue)

RES1 レベル A：直接目視できるダミヤンを指定されたエリアまで運ぶ

RES2 レベル B：直接目視できない (閉所狭隘空間や家具などの下にいる) ダミヤンを指定されたエリアまで運ぶ

RES3 レベル C：2階エリアのダミヤンを指定されたエリアまで運ぶ

難易度の設定

事例：電源遮断操作



引用：パナソニック 引用：日東工業

プレーカースイッチの例

分電盤ボックス内にある場合：
蓋を開ける操作が必要



NIST

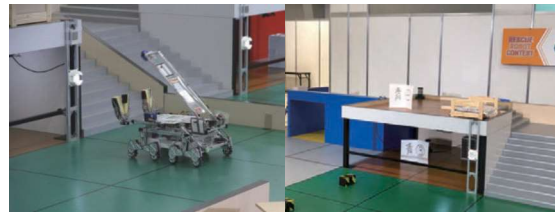
軽作業タスク：

指示された作業を行う (Work)

WOK1 レベル A：ボタンを押す (スイッチを入れる) ことができる

WOK2 レベル B：プレーカーもしくはハンドルを回すことができる

WOK3 レベル C：ドアの開閉および通過できる



レスキューロボットコンテスト：プレーカタスク

フィールドロボット性能評価プロセスの体系化への課題

■ シナリオ作成：シチュエーション選定の難しさ
分野ごとに幅広く (ベンチマーク) 用意することが望ましい
-> ロボット競技会：シナリオ及びミッション設定と類似

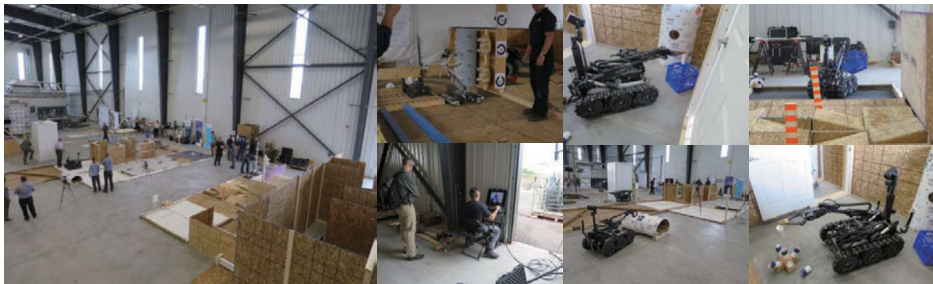
■ ミッションを構成するタスクの抽出：難易度や粒度 (どこまで分解するか) 設定の困難さ
ミッション達成に要求されるロボット性能の抽出
-> ロボット競技会：競技課題設定に類似

■ 各タスクに対する標準試験法割り当て：現存する標準試験法が限られている
データベース化 (誰が管理するのか)
新規標準試験法の認定 (誰が策定し誰が認定するのか)
-> ロボット競技会：競技フィールド設計及びルール策定に類似

その他の課題

オペレータ（ロボット操縦，システム操作）の育成

- ロボット操縦訓練方法の開発
- 訓練用試験設備の整備／運用
- 訓練／運用マニュアルの整備



まとめ

- ロボット競技会の競技デザイン事例紹介
WRS プラント災害予防チャレンジ，レスキューロボットコンテスト
- フィールドロボット性能評価プロセスの体系化への課題
ロボット性能評価工学研究専門委員会の活動に期待
- 定期的な取り組み（活動）が必要
普及啓蒙，継続性確保
ex. シンポジウムの開催（新規 STM 開発発表，試験法評価会）
ASTM Meeting のようなもの

ロボット性能評価に関わるステークホルダー

ロボットユーザー：消防，警察，自衛隊，民間点検調査会社
ロボット開発者：大学・研究機関，ロボットメーカー
試験設備所有者：大学・研究機関，公設試験場，テストフィールド（RTF など）
試験法開発者：大学・研究機関
規格管理者：標準試験法企画策定・認定機関，データベース管理
学協会：ロボット性能評価工学研究専門委員会

- ユーザーによる評価の場が必要
- 情報や課題の共有：関係者が集える機会の提供が必要

ロボット性能評価工学研究専門委員会の役割の一つ

参考文献

- 木村，ロボットコンテストによる災害対応ロボット実用化の加速，計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会論文集，pp. 1783-1785, 2015.
- A. Jacoff, et al., Using Competitions to Advance the Development of Standard Test Methods for Response Robots, Proc. of the Workshop on Performance Metrics for Intelligent Systems, pp. 182-189, 2012.
- 奥川他 6 名，プラント災害予防を主題としたロボット競技会の提案，第 35 回日本ロボット学会学術講演会（RSJ2017）講演概要集，1K3-03, 2017.
- 田所他 18 名，World Robot Summit 2020 福島大会の概要と成果，日本ロボット学会誌，Vol. 40, No. 6, pp. 475-483, 2022.
- 奥川，レスキューロボットコンテスト - やさしさの深化を通じた科学技術の裾野拡大とロボット技術の向上 -，日本ロボット学会誌，Vol. 38, No. 9, pp. 797-800, 2020.