

# ロボット性能評価工学の開拓と ミッション型性能評価

名古屋工業大学  
電気・機械工学科 電気電子分野  
准教授 佐藤徳孝

本発表は、令和4年度機械システム振興協会委託事業「ロボットのミッション型性能評価プロセスの仕組み化に関する戦略策定」事業に基づく内容を含みます。

## これまでの経緯 (主観的)

### 経緯①: NEDO人材育成講座

- 2018年4月～2021年3月
  - NEDOよりMSTCへの委託事業「NEDOプロジェクトを核とした人材育成、産学連携等の総合的展開 ロボット性能評価手法に係る特別講座」
  - 佐藤: 陸上移動ロボットの主任講師

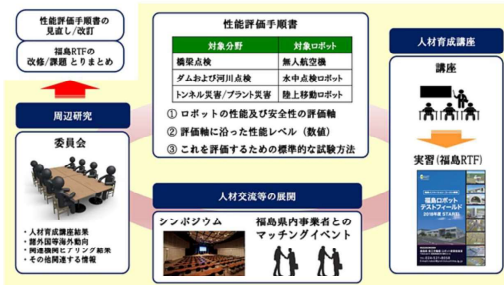
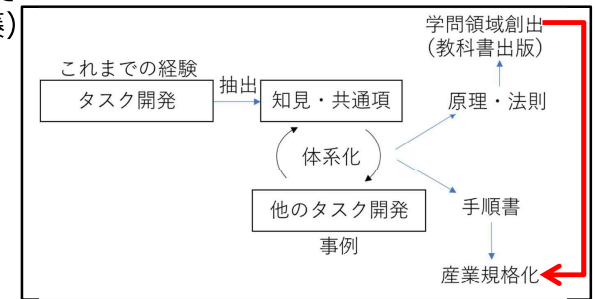


図 事業の全体イメージ



### 経緯②: 人材育成講座終了後の展開の議論

- 2021年5月
  - 事業終了後の展開について 打ち合わせ (MSTC+佐藤)
    - 手順書改訂だけでなく、新たな展開として、「ロボット性能評価工学」という切り口の提案
  - 以降月1回のペースで 打ち合わせ (Zoom/対面)



ロボット性能評価工学を提案したときに書いた図 (一部改変)

## 経緯③：機械システム振興協会の事業

- 2021年12月～
  - 機械システム振興協会の事業への応募に向けた議論と応募
    - 「ロボットのミッション型性能評価プロセスの仕組み化に関する戦略策定」

- 2022年4月～
  - 機械システム振興協会の事業の採択・開始

本事業の目的は、性能手順書作成手法、手順書による性能評価実証試験を中心としたフィールド型ロボットの性能評価プロセスの「仕組み化」についての提案を行う。

	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
委員会	4/28			7/7		9/15			12/8		2/2	
WG			6/9		8/23	9/9		11/15		中旬		

ヒアリング

下見  
予行 本試験

※成果は後ほど紹介

5

## ロボット性能評価工学研究専門委員会

氏名	企業・団体名
1 アドバイザー	木村 哲也 長崎技術科学大学 教授
2 委員長	佐藤 徳孝 名古屋工業大学 准教授
3	成瀬 健太郎 会津大学 教授
4	大谷 一 新潟工業大学 准教授
5	中村 晋太 札幌大学 准教授
6	大西 直 三菱重工株式会社 技監/主幹技師
7	佐藤 均 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 招聘研究員
8	三浦 謙謙 サンリットオートメーション スパシャリスト
9	奥川 雅之 愛知工業大学 教授
10	菊地 康仙 福島ロボットテストフィールド 技術部 技術企画課 副主管
11	国井隆晃 (はる彦) 福島ロボットテストフィールド 技術部 技術企画課
12	天野 久徳 徳島文理大学 理工学部 機械創造工学科 教授
13	大西 威一郎 (株)クワフシャ(工友舎) 社長
14	眞砂 英樹 海洋研究開発機構 研究プラットフォーム開発運用部門 連携安全グループ
15	鈴木 仁一郎 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
16	村上 弘記 IH
17	山本 知幸 ROBOCIP
18	大坪 義一 近畿大学 機械工学科 准教授
19	山田 大地 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
20	滝沢 直 中央大学 工学部機械システム工学科 教授
21	五十嵐 広希 東京大学 工学系研究科 研究員
22	吹田 和嗣 川崎重工(株)
23	藤塚 直哉 埼玉大学 理工学工学研究科 准教授
24 事務局	阿部 聡 一般財団法人 製造科学技術センター
25 事務局	牛丸 茂雄
26 事務局	櫻江 和男
27 事務局	西田 利夫

メンバーリスト

ロボット性能評価工学研究専門委員会ホームページ

2023年1月1日より日本ロボット学会の研究専門委員会として「ロボット性能評価工学研究専門委員会」を立ち上げました。

**設置の目的**

様々な分野において実業務に各種ロボットを導入する場合、現状ではロボット性能の比較・選定が困難である。この選定において考えられるのはメーカーが自由に性能評価をしていることが挙げられる。このため、実業務に用いる性能評価の標準化 (後:自動車業界) 推進のため、本委員会を設立し、ロボット開発者や利用者が標準的・工学的・客観的な手法によりロボットの性能比較や選定ができることを可能とし、さらには新学術領域として開拓・確立することを目的とする。第一歩として、地上移動ロボットによる実業務対応を軸として検討を行う。

**設置の必要性**

米国ではNISTを中心として、個別的な規格に関する基礎的なロボットの性能評価標準手法が、ニーズ収集から開拓、妥当性確認、普及といった一連の活動が各機関の間で協議しながら展開されている。国内においては、一連の機能から構成される実業務に用いた性能評価 (ミッション型性能評価) を標準的な手法で行うことへの期待があるが、個別には手順書の作成などが行われているが、全体をけん引する統一かつ継続的な活動がない。

委員リスト(2023年7月31日時点)

委員会のホームページ  
(研究室ホームページ内)

7

## 経緯⑤：日本ロボット学会研究専門委員会の設置



オープンフォーラム@RSJ2022



2023年1月1日設置  
(2022年11月に申請)

研究専門委員会

研究専門委員会は、本会にとって必要な分野における研究とそれに伴う調査・研究を行い、その分野の学術・技術の発展・普及を図ることを目的とし、理事会の承認を経て設置される。  
新規に研究専門委員会設置をお考えの方は事務局までお問い合わせ下さい。

**現在活動中の研究専門委員会**

委員会	委員長	発足	HP
子ども中心のロボティクス研究専門委員会	新井美保子	2023.8	👉
医療機器と連携した汎用ロボットに関する研究専門委員会	小林英洋子	2023.8	👉
教育サンプル機械標準化研究専門委員会	和田一貴	2023.4	👉
ロボット性能評価工学研究専門委員会	佐藤徳孝	2023.1	👉
介護ロボット研究専門委員会	藤田和広	2022.3	👉
若手・学生のためのキャリアパス創出研究専門委員会	横田 隆	2021.4	👉
ロボットの普及と倫理に関する研究専門委員会	稲谷隆彦	2020.4	👉
複雑系機械標準化協立技術研究専門委員会	大塚 久	2020.4	👉

今回もオープンフォーラムを開催!

6

## 「ロボット性能評価工学」の開拓

8

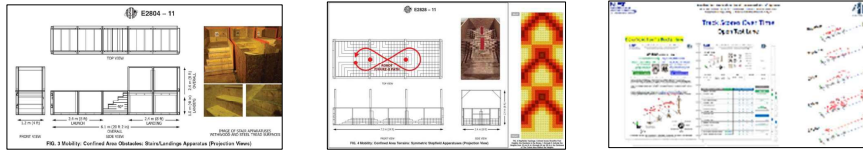
## 「ロボット性能評価工学」の開拓①

- 背景（対象：災害対応ロボット・ドローン）
  - 導入に向けた比較・選定が困難
    - 原因：各メーカーが独自に性能評価
  - 標準的性能評価法が必要(例：自動車燃費)
  - NIST/ASTMによる個別タスクの国際標準化



外形寸法	L710×W470×H540mm
最大質量	60kg
最大速度	1.2km/h
最大傾斜	15°
通信規格	Wi-Fi, Bluetooth, 4G/LTE
動作時間	約2時間
充電時間	約2時間
動作環境	室内/屋外
耐水性	IP67
耐震性	約0.5G
耐熱性	約0℃～50℃
耐寒性	約0℃～50℃

(例) 三菱重工製のサービスロボット

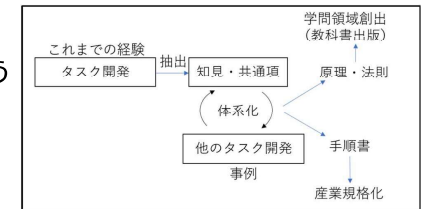


- 課題：現在は職人技的な策定になっている（暗黙知）
- 目的：試験法策定のための方法論を確立する（形式知化）

## 「ロボット性能評価工学」の開拓②

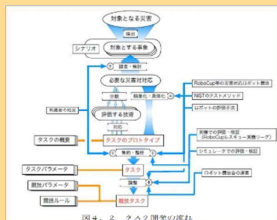
- 目的達成（性能評価法構築方法の形式知化）のための手段
  - これまでの経験を基に原理・原則の抽出、定式化・体系化
    - 手順書作成のためのテンプレート・ドキュメントの作成
  - 解説書・教科書の作成（ロボット実験計画法・専門用語の定義/共通化）

- 将来
  - ロボット・ドローンの社会実装促進
  - 「ロボット性能評価工学(仮)」という新学術領域の開拓



## (参考)体系化・形式知化の芽生えの例

### NEDO成果報告書データベースシステムより



IRS\_JVRCに関する報告書

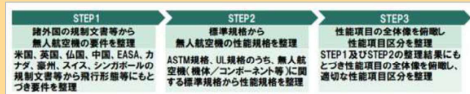


図 a-2-2 性能評価プロジェクトにおける調査プロセス

産総研\_ドローンレベル4飛行の性能評価に関する報告書

項目	内容
基本性能	動作性能、データ取得性能
環境条件	気象条件、地形条件
データ取得対象	センサー性能
設備仕様	カメラ性能、GPS性能
テストベース仕様	動作時間、充電時間

MSTC\_水中ロボット性能評価手法開発報告書

性能評価試験内容策定の方法論が既にいくつか報告されている。

- 体系化・形式知化が必要だとみんな思っている？（自分なりの方法論構築？）
- ロボット性能評価工学：ゼロから始めるのではなく、様々な知見を体系化？

## 機械システム振興協会からの受託事業 ロボットのミッション型性能評価プロセスの 仕組み化に関する戦略策定の 成果

成果発表会資料より抜粋して紹介



## 背景・目指すイノベーションの姿

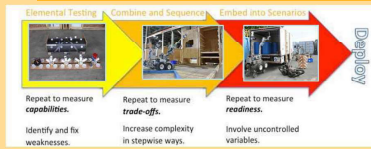
対象：災害対応・インフラ点検ロボット

### 基本性能評価手法



米国NISTがASTMにて標準化

### ミッション型性能評価手法



暗黙知的に実施されており体系化が必要

### 体系化のための必須項目

手順書の整備

試験支援体制の構築

試験設備の充実

着目

評価法や手順書作成法を体系的に整理

手順書を継続的に維持し再利用する方策の立案

災害対応・インフラ点検ロボットの社会実装の促進

様々なロボットや分野への展開

誰でも素早く適切に性能評価できる = 仕組み化

## 本事業の目標

(1) ミッション型性能評価手順書作成及び実証試験による評価

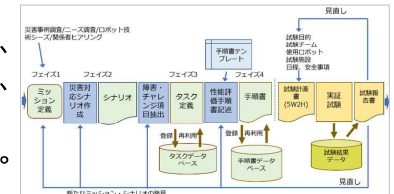
土砂災害対応ミッションをパイロットケースとし、災害対応活動のシナリオと性能評価手順書を作成し、福島RTFで実証試験を通して内容・方法を評価する。



福島ロボットテストフィールド

(2) 性能評価全体プロセスの仕組み化の提案

パイロットケースの試験結果に基づいて、性能評価プロセス全体を体系的に整理し、一連のPDCAサイクルを回すためのシステム構築する方策について提案する。



提案するプロセスサイクル図

## 市場・ユーザのニーズ・評価をとらえるための実施事項

### 消防研究センターでのヒアリング

2022年6月22日

日本地形学連合発表要旨集  
JGU Meeting Abstracts  
vol. 2, no. 1, 2022

O12

2021年7月熱海市土石流災害の救助活動現場におけるドローンの活用  
Utilization of drones at the rescue operation of the Atami debris flow in July 2021

土志田正二・新井場公徳 (消防研究センター)



### 【キーワード】

- ・腰が埋まるほどの泥濘
- ・二次災害の予兆：湧水・傾斜変化

### RTFでの試験に向けた手順書の作成

【ミッション】  
作業場上方の土砂の監視

【シナリオ】  
泥濘/坂路/倒木上を走破し  
遠方の視認目標の撮影

【タスク】  
T1：泥濘地走行タスク  
T2：坂路走行タスク  
T3：遠方視認タスク  
T4：倒木踏破タスク

タスク	内容	評価項目	備考
T1	泥濘地走行	走行時間、消費電力	
T2	坂路走行	走行時間、消費電力	
T3	遠方視認	撮影成功率、画像品質	
T4	倒木踏破	走行時間、消費電力	

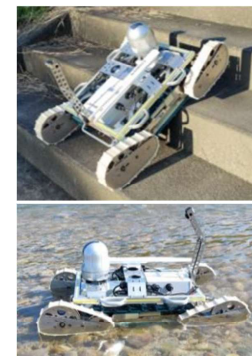
- ・ミッション・シナリオ・タスクに分けて整理
- ・右上図のようなテンプレートを作成

## 課題への対応、目標達成のための実施事項

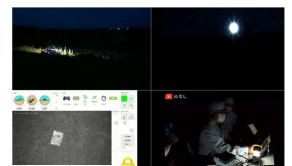
10月4～6日に福島RTFの瓦礫・土砂崩落フィールドにて実証試験を実施



試験コース



試験に用いたロボット (サンリットオートメーション製)

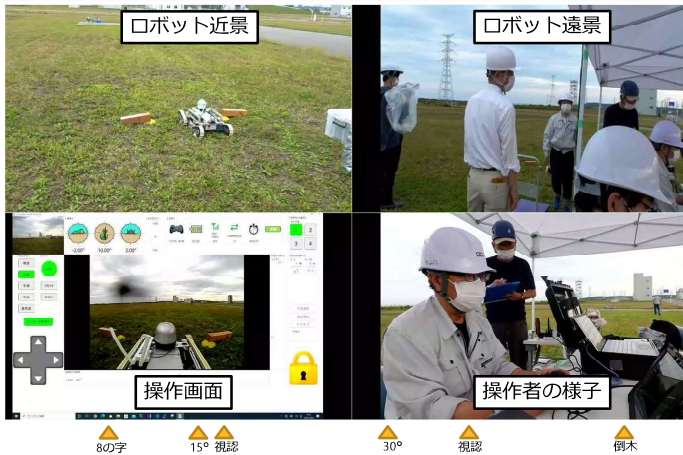


夜間試験時の様子



雨天試験時の様子

## 試験の結果



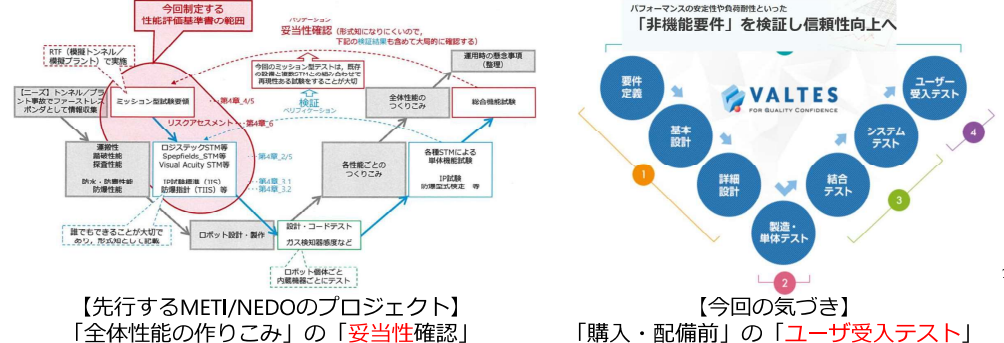
試験により確認された項目

- ① ミッション型試験の有効性確認
- ② タスク試験の役割と限界
- ③ 通信性能確認の重要性
- ④ 試験目的確認の必要性
  - ・ 目的は、災害対応の妥当性評価、ロボット性能評価、オペレータースキル評価のどれか？
  - ・ 目的により試験法が変わる。
- ⑤ 記録及び報告の重要性
- ⑥ 各ドキュメント位置付け (General, Specific)
- ⑦ 手順書等に記載すべき項目

17/21

## 知見①：ミッション型試験の位置付け

メーカー：負荷・コストを少なく実施したい。  
 ユーザー：導入する現場で使えるか試したい = “ユーザー受入テスト”



【先行するMETI/NEDOのプロジェクト】  
 「全体性能の作りこみ」の「妥当性確認」

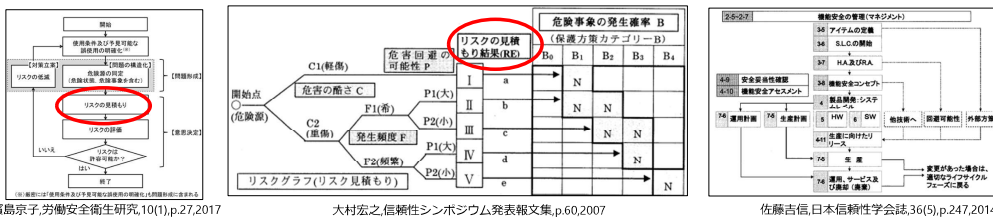
【今回の気づき】  
 「購入・配備前」の「ユーザー受入テスト」

問題点：現場で試せない&ケースバイケース

18

## 知見②：何をどう体系化するか？

ケースバイケースの対象の評価を規格化している例：リスクアセスメント



具体的なリスク低減方策ではなく、低減のためのプロセスを規格化

試験法を誰でも素早く適切に考案できるプロセスを  
 体系化・ドキュメント化・マニュアル化 = 仕組み化

19

## 知見③：再現性に対する議論

【議論を通して分かったこと】

「再現性」は本来「同一条件下で同一の結果が得られること」(結果同一性)を意味するが、  
 (1) 日を変えたりしても試験条件が同じか (試験条件同一性)  
 (2) 現場環境に対して模擬環境を再現できているか (現場模擬性)  
 に対しても用いられるため注意が必要

泥濘の「試験条件同一性」に関する議論

RTFで以下の因子を  
 制御下に置くことが困難  
 (1) 粘土、砂の粒径  
 (2) 草の太さ・長さ・硬さ・量  
 (3) 土中の石、礫の大きさ・量  
 (4) 泥濘の深さ (人力の限界)  
 (5) 含水量 (時間と共に変化)  
 (6) 3次的にばらつきが大きい



RTFの泥濘

「現場模擬性」に関する議論



熱海土砂災害の環境



今回の試験での環境

ミッション型試験で制御下に置くべきか？

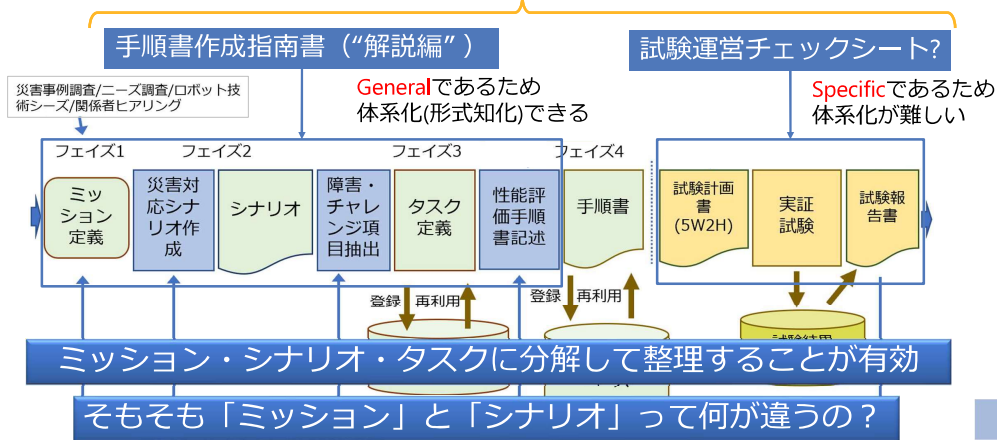
(環境の不確実性に対応可能かも現場導入に求められる)

ユーザー受入環境を如何に構築するか？

20

## 知見④：提案プロセスに対する知見のフィードバック

仕組み化 = 手順書作成と試験運営を誰でもできるように



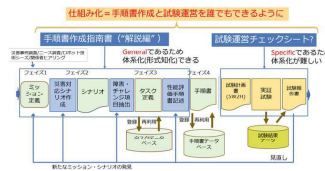
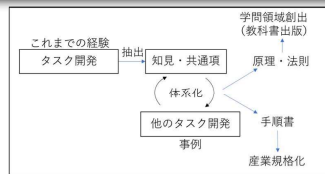
21

## まとめ

22

## まとめ

- 「ロボット性能評価工学」の概要説明
  - これまでの経験を基に**原理抽出**、**体系化**
  - 専門用語の定義/共通化
  - “手順書”の書き方の標準化?
- “ミッション型試験の仕組み化事業”の成果紹介
  - ミッション型試験の体系化のための第1歩
  - 陸上移動ロボットによる土砂災害対応を対象
  - ミッション・シナリオ・タスクに分解して構築
  - 福島RTFでの試験から多くの知見を獲得
- 「ロボット性能評価工学」のスローガン：
  - 誰でも「できる」性能評価だけでなく、誰でも「作れる」性能評価へ



23

## ご清聴ありがとうございました

本発表は、令和4年度機械システム振興協会委託事業「ロボットのミッション型性能評価プロセスの仕組み化に関する戦略策定」事業に基づく内容を含みます。

24