

# ロボット性能評価とイノベーション

## 米国災害対応ロボット・ドローンの標準性能試験法に見るその課題※

木村 哲也(長岡技術科学大学)

※木村、芳賀、“標準性能評価とロボット・ドローンイノベーション推進,” SICE SI2021, 2312-2316, 2021に基づき発表

### 技術の社会実装と性能評価

【一般(例:産業ロボット)】

度量衡の統一は国家の基本(始皇帝)

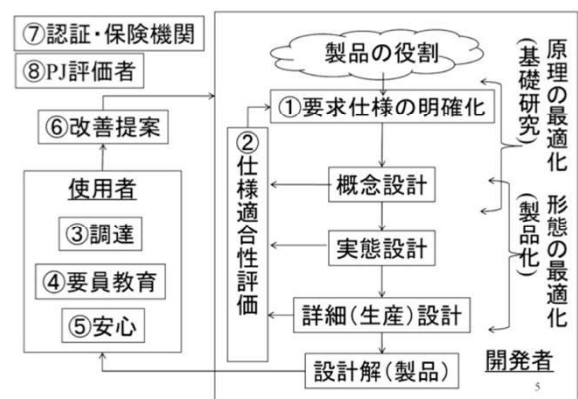
- **機能要求**(速さ、正確さ、消費電力等)と**非機能要求**(教示容易性、保守性等)を評価
- **ライフサイクル**を通じて評価(企画・設計・生産・設置・運用・保守・廃棄等)
- **ステークホルダー毎**に評価(メーカー(営業、設計、生産等)、ユーザー(ライン、スタッフ等)、認証、保険、PM等)

【災害対応ロボット】

- タスク/環境が**多様**
- 運用形態が**多様**

性能評価は社会実装には必要だが、**性能評価だけではビジネスにならない**

⇒性能評価に取り組む経済的動機の低下  
⇒**公的・学際的取り組み**が性能評価手法開発では重要



## 米国災害対応ロボット・ドローンのSTMの概要

- 標準性能試験法(Standard Test Method for performance, STM)
- 共通基盤性能を、繰り返し可能(repeatable)、再現可能(reproducible)、低価格(inexpensive)で、定量的に評価。
- 移動地形、障害物、操作、HRI、通信、エネルギー、センサ、安全と耐久性、用語とロジスティックス等に分け整備



実環境  
(津波被災地)



モックアップ  
(福島ロボットテストフィールド)



STM  
(ASTM E2828-11  
対称ステップフィールド)

UGVの不整地上移動能力評価としての「ガレキ」

3

## 米国災害対応ロボット・ドローンのSTMの概要

- 2001年9.11航空機同時多発テロ。救助に入った多数の災害対応要員が2次災害で死亡。実用化されている軍事ロボット技術は災害対応に使えるか検討開始(関係者談)。
- 2002年ブッシュ大統領「全米の全ての災害対応要員は、非常事態対応と救命のために必要な設備を有しなければならない」として災害対応要員への十分な支援を表明
- 2003年米国下院では「米国下院議員は探査救助ロボットの認証に関するホワイトハウス声明を支持し、探査救助ロボット認証の標準化規格と評価基準を開発することを期待する」として関連事業に39 百万ドル(40億円)支出
- 2005年より5年計画でDHS-NIST-ASTMの連携により災害対応ロボットの標準性能試験法(Standard Test Method for robot performance, STM)を開発。
  - DHS:予算・省庁間調整、NIST:実働・規格原案作成、ASTM:規格発行

4

## 米国災害対応ロボット・ドローンのSTMの概要

- 2005年 **事前調査** DHS, NIST, STATEMENT OF REQUIREMENTS FOR URBAN SEARCH AND RESCUE ROBOT PERFORMANCE STANDARDS(都市探査救助ロボットの性能標準への要求事項)[7]
  - **3つの想定シナリオ**(パンケーキクラッシュの建物, 空洞のあるガレキ内部, 大規模CBRN 災害), **13の想定ロボット**(陸上7, 空中3, 水中3)
  - FEMA災害対応要員とのワークショップを通じの**103要求事項を抽出**(HRI23, ロジ10, 環境5, 本体4, 通信5, 移動12, ペイロード17, 動力5, センサ32)



5

図出典:DHS, NIST, STATEMENT OF REQUIREMENTS FOR URBAN SEARCH AND RESCUE ROBOT PERFORMANCE STANDARDS, 2005

## 2005年計画

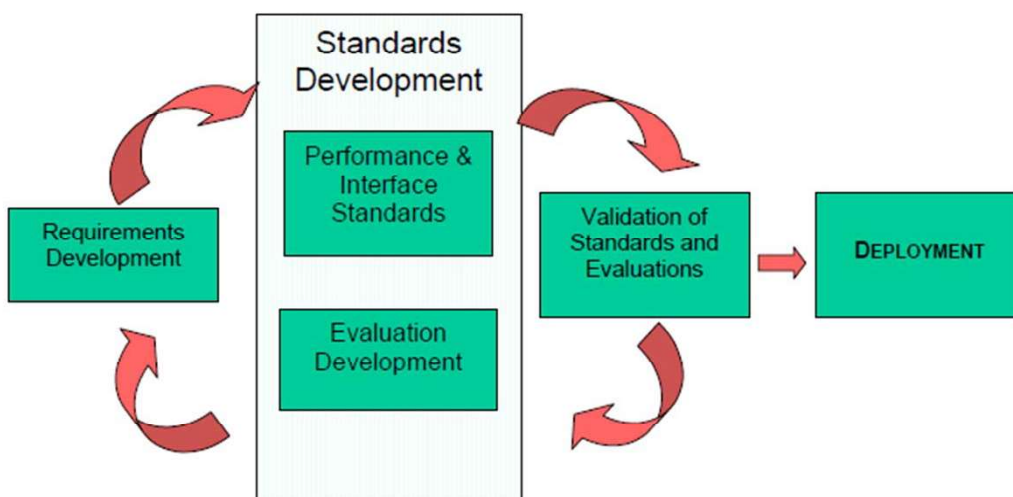


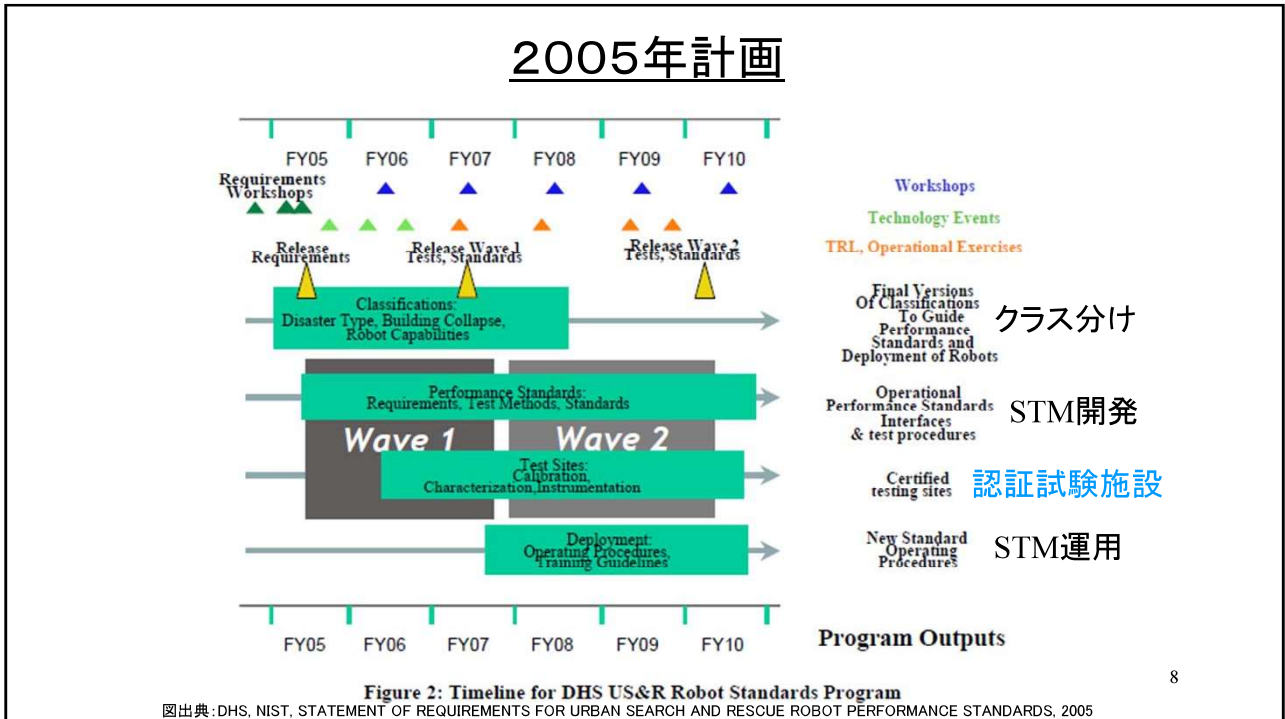
Figure 1: DHS US&R Robot Standards Process

6

図出典:DHS, NIST, STATEMENT OF REQUIREMENTS FOR URBAN SEARCH AND RESCUE ROBOT PERFORMANCE STANDARDS, 2005



7



8



## 認定試験施設と訓練の様子



NIST本部の認定試験施設

Along with disseminating the standards to other test facilities, the test method apparatuses can be embedded into more operationally significant training scenarios to measure operator proficiency and help identify gaps in capabilities either due to training or equipment.



図出典:<https://robottestmethods.nist.gov>

9

## STMの利用例

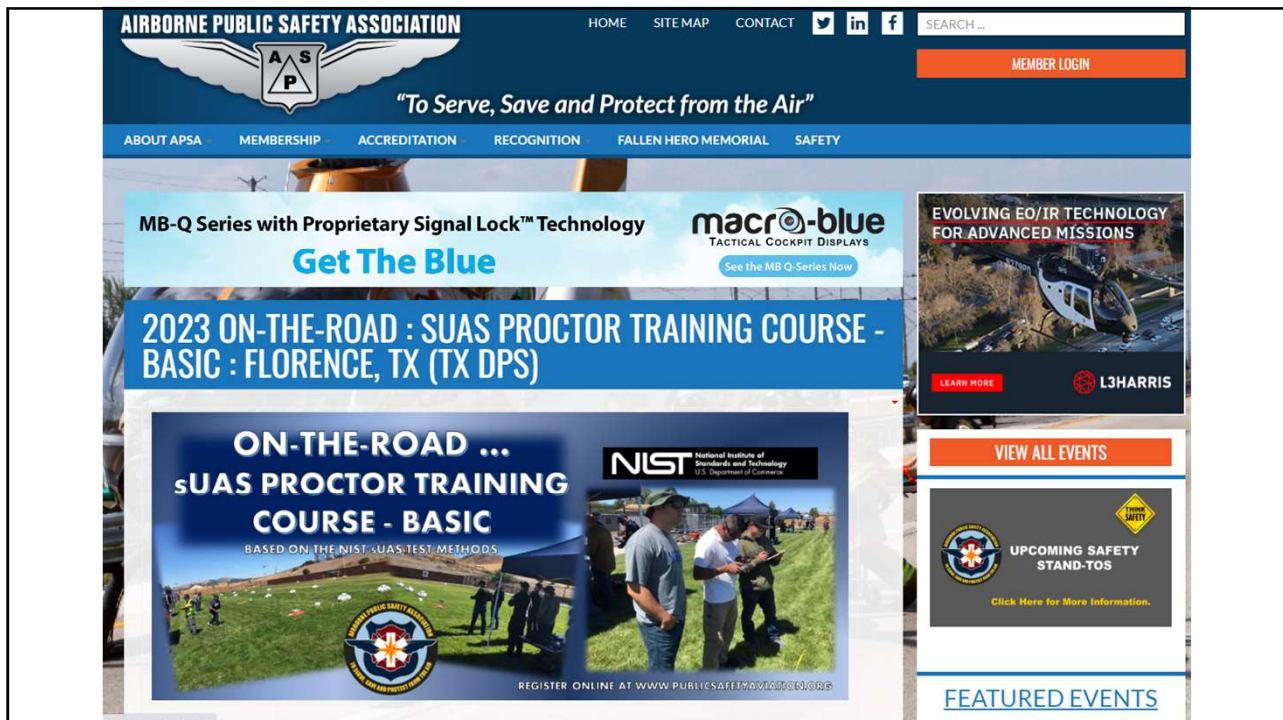
### 【調達】

1. The Inter Agency Board(米国災害対応機関OB・OGを中心とした助言機関)は災害対応ロボット調達で「**独自に作った性能仕様は、しばしば競合や矛盾する要求仕様を導くことになる。このことは、常に不適切な性能や高価な費用のどちらか、もしくは両方を生じさせる**」とし**STM利用を推奨**[8]
2. 米国国防省の2兆円を超えるJoint Improvised Explosive Device Defeat Organization(JIEDDO)では超軽量偵察ロボットの**32 百万ドル(35億円)の調達時に27 のSTM** を用いて評価実施[3].

### 【訓練】

1. 爆発物処理ロボットの訓練にSTM利用[3]。カナダでもSTM訓練導入検討[11]。
2. 全米防火協会(National Fire Protection Association,NFPA)では、**NFPA2400: Standard for Small Unmanned Aircraft Systems (sUAS) Used for Public Safety Operations**の中で**STMによりドローン操縦能力を評価**[12]
3. 航空公共安全連合(Airborn Public Safety Association, APSA)(民間有人ヘリによる災害対応ボランティア団体)によるNIST sUAV-STMの普及(試験責任者(Proctor)の育成)。全米の約半数の消防署にAPSA認定Proctorが配備⇒同様の活動を国際レスキューシステム研究機構により日本でも展開中(木村理事がProctor)。

10



## STMの利用例

### 【開発・社会実装支援】

1. ロボカップレスキューロボットリーグ[13]でNISTのUSAR/C-IEDを主とするSTMを利用。
2. 経済産業省「World Robot Summit インフラ・災害対応カテゴリー災害対応標準性能評価チャレンジ」ではインフラ点検・災害対応のNISTと相補的なSTM競技を実施[14]。
3. 経済産業省:トンネル災害およびプラント災害のための対応陸上移動ロボット性能評価手順書[15]ではSTMを性能の検証手段として紹介。
4. JAEA構櫓葉遠隔技術開発センターでは原子力災害対応用ロボットのSTMを開発[16]。
5. 英国原子力エネルギー公社過酷環境遠隔技術センター(RACE) では, NIST のSTMを用いた評価が可能な施設”RACE TEST” を設置[17]
6. 防衛装備庁先進技術推進センターの高機動パワードスーツの開発ではSTM に着想を得た評価を実施[18]

## STMライフサイクル



ランダム  
ステップフィールド  
(2005ロボカップ)

⇒  
単純化  
規格化



STM  
(ASTM E2828-11  
対称ステップフィールド)  
2010年ごろ

⇒  
省力化



Kレール  
(2022ロボカップ)



Elevated Ramp  
(2022ロボカップ)

13

## STMライフサイクル



ランダム  
ステップフィールド  
(2005ロボカップ)

⇒  
単純化  
規格化



STM  
(ASTM E2828-11  
対称ステップフィールド)  
2010年ごろ

⇒  
省力化



Kレール  
(2022ロボカップ)

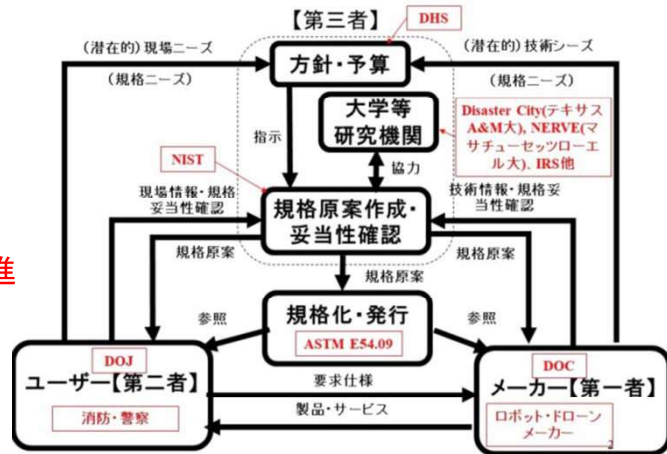


Elevated Ramp  
(2022ロボカップ)

14

## 共創からの考察

- ・ 消費者ニーズ多様化⇒開発の初期段階からステークホルダーが協働  
= 共創(Co-Creation)[21-23]
- ・ 共創の実施
  - 1) 対話※重要だが困難
  - 2) 情報の透明性,
  - 3) 情報へのアクセス,
  - 4) リスクベネフィットの理解
- ・ 標準化活動としてのSTM開発は対話促進



15

## 共創からの考察

### 【触媒(Catalyst)】

- ・ 共創での議論をファシリテートとし意見を集約に導く「触媒」機能が注目[24]
- ・ 触媒が機能するための要素: 「知識の多様性(Knowledge Diversity)」, 「知識の認知(Awareness)」, 「知識提供の意欲(Willingness)」が重要

### 【触媒とSTM】

- ・ STM: 知識の多様性・認知に寄与
- ・ STM開発者: 3者構成(メーカー(ロボット技術)、ユーザー(現場理解)、第三者(標準化)) 理解し統合が必要⇒STM開発者は触媒の機能要素を内在。

16



## 性能評価の標準化ビジネス戦略からの考察※

A1: 良い技術を開発しても、その技術が良いことを訴える方法が無ければ、その技術は市場で受け入れられない。試験方法規格による性能の見える化は、製品の差別化による市場でのアピールに繋がる。

A2: 試験方法規格で性能差を表示できなくなると、その分野での技術競争は無駄になり、技術開発が停滞する。

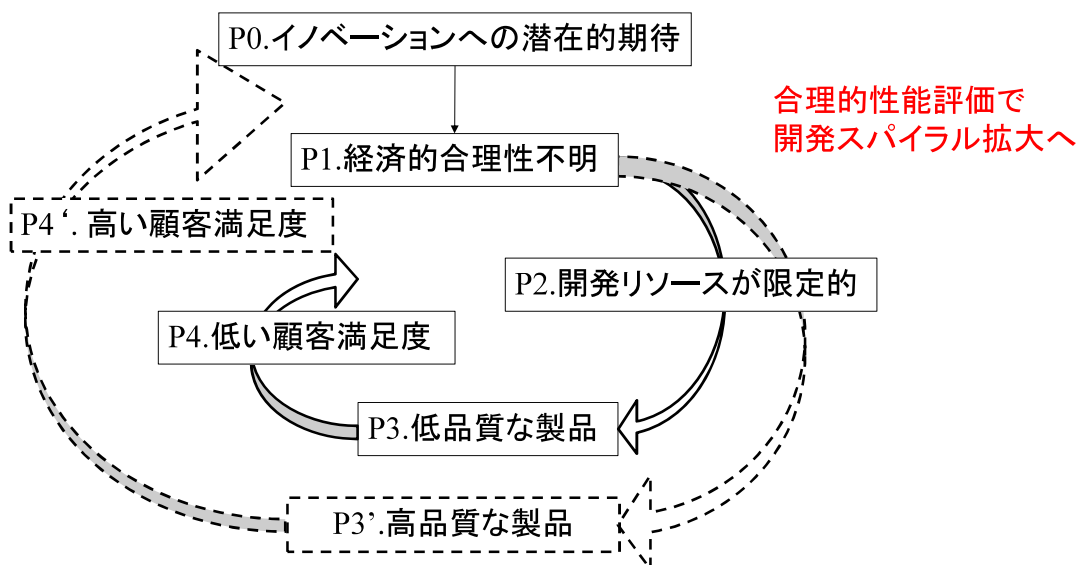
A3: 試験方法を詳細に規格化すると、研究開発目標が明確になり、技術漏洩に繋がる場合がある。

A4: 試験方法の標準化はイノベーションに与える影響が大きく、事業戦略のリスクとなる可能性もある。

⇒ 技術的・経済的に合理的な性能評価は？

※江藤学, 標準化ビジネス戦略大全, 日本経済新聞出版, 2021 17

## イノベーションのill-posed問題



## 日本のロボット性能評価の整備のために

### B1. 多分野のステークホルダーの協力

「良いSTM 開発のためには、三者構成による密接な標準化活動を適切な情報共有の下、推進するが重要(”Three legs, on the same page.”)」(NIST関係者談)

### B2. 持続性のある活動基盤

### B3. 性能評価手法の開発・改善・廃棄のライフサイクル管理

⇒米国ではDHS-NIST-ASTM他が連携して効果的に実施

**ロボット性能評価工学として学術的基盤整備に期待**