

Planning Lecture | Board and Committee : Decommissioning Review Committee

📅 Fri. Sep 13, 2024 1:00 PM - 2:30 PM JST | Fri. Sep 13, 2024 4:00 AM - 5:30 AM UTC 🏢 Room K(Recture RoomsB 2F B200)

[3K_PL] Development of robot technology that contributes to the decommissioning of the 1F NPS

Chair: Takashi Yoshimi (Shibaura Inst. of Tech.)

[3K_PL01]

PCV internal investigation of Unit 1 by drone

*Takuya Miura¹ (1. TEPCO HD)

[3K_PL02]

Robotics development of IRID for the decommissioning of the Fukushima Daiichi NPS

*Naoaki Okuzumi¹ (1. IRID)

[3K_PL03]

Development of Robotics for Harsh Environments in 1F Decommissioning Utilizing DX at the JAEA Naraha Center for Remote Control Technology Development (NARREC)

*Akihiro Tagawa¹ (1. JAEA)

[3K_PL04]

Creative Robot Contest for Decommissioning

*Shigekazu Suzuki¹ (1. NIT Fukushima College)

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会セッション

1F 廃炉に貢献するロボット技術開発

Development of robot technology that contributes to the decommissioning of the 1F NPS

(1) ドローンを活用した 1 号機 PCV 内部調査について

(1) PCV internal investigation of Unit 1 by drone

*三浦 拓也¹, 中島 悟¹, 熊川 喜之¹, 新沢 昌一¹, 溝上 伸也¹¹東京電力ホールディングス株式会社

1. 緒言

福島第一原子力発電所の廃炉作業において、燃料デブリの取り出しは重要なステップであり、取り出し工法の検討においては、原子炉格納容器内の状況を得ることが重要な課題とされている。

1 号機原子炉格納容器（以下、PCV）内部調査については、燃料デブリの状態を把握するため、主に地下階の調査は実施済みである。一方、燃料デブリの取り出しに向けては、地下階の情報だけでなく、PCV 全体の状況も把握する必要がある。

そこで本調査では、小型ドローンおよび無線を中継するヘビ型ロボットを用いて、PCV 1 階エリアを主とした調査を実施し、ペデスタル外の 1 階エリアおよびペデスタル内部の映像取得を実施した。

2. 調査方法

調査装置については、図 1,2 に表す小型のドローンおよびヘビ型ロボットを用いた。

PCV 内部が狭隘かつ暗所であるため、小型であり、かつ機動性、撮影能力の高い調査装置として、小型ドローンを採用している。また、小型ドローンの無線通信範囲を補うために無線中継器を搭載したヘビ型のロボットを投入した。1 号機原子炉建屋 1 階の所員用エアロック（X-2 ペネ）にシールボックスを取り付け、両機を PCV 内に投入することで、PCV 内の隔離状態を維持した調査を可能とした。



図 1 小型ドローン



図 2 ヘビ型ロボット

3. 調査結果

PCV 内にある CRD（制御棒駆動機構）交換用の開口部をペデスタルの内外から捉えた状況について、調査結果の一例を図 3 および図 4 に示す。図 3 によって、ペデスタル外の CRD 交換用開口部前に落下物が存在するものの、ペデスタル壁に大きな損傷はなく、既設の構造物についても経年劣化による変色はあるが、概ねの形は保っていることが確認できる。一方で、ペデスタル内から撮影した図 4 によると、脱落した CRD や関連機器が CRD 交換用レール上に落下していることなどが推定できる。

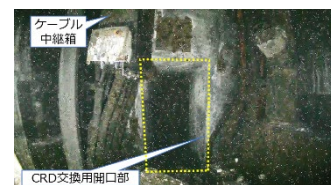


図 3 ペデスタル外の状況

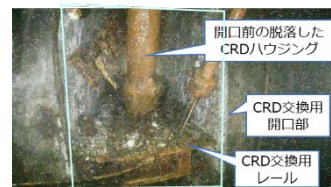


図 4 ペデスタル内の状況

以上により、小型ドローンおよびヘビ型ロボットを用いて、PCV 内の有意な状況を取得できることが分かった。また、本調査によって、小型ドローンの飛行がダスト飛散に与える影響は軽微であることやカメラの放射線ノイズの影響など、今後の調査に向けた新たな知見を得ることができた。

4. 結言

本調査によって、PCV 内の状況を取得するために、小型ドローンが有効な手段の一つであることが明らかとなった。また、本調査によって得られた情報は、今後の内部調査および廃炉作業における重要な知見となり、燃料デブリ取り出し工法の確立化に資することが期待できる。

*Takuya Miura¹, Satoru Nakashima¹, Nobuyuki Kumakawa¹, Shoichi Shinzawa¹ and Shinya Mizokami¹

¹Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc.

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会セッション

1F 廃炉に貢献するロボット技術開発

Development of robot technology that contributes to the decommissioning of the 1F NPS

(2) IRID における 1F 廃炉のためのロボット技術開発

(2) Robotics development of IRID for the decommissioning of the Fukushima Daiichi NPS

*奥住 直明¹¹技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

1. 緒言

技術研究組合 国際廃炉研究開発機構(IRID)は、2013 年 8 月の設立以来、廃炉技術の基盤強化を視野に、当面の緊急課題である福島第一原子力発電所廃炉作業に必要な研究開発に取り組んできた。IRID における研究開発概況については今まで福島第一原子力発電所廃炉検討委員会企画セッションや発電部会企画セッションなどで報告させていただいてきたが、今回 IRID の研究開発の中からロボット技術にかかわるものについて、今までの成果をまとめて報告する

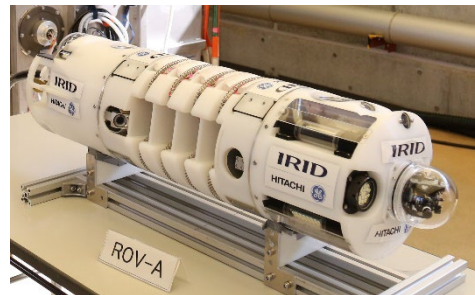
2. 作業用ロボット



燃料デブリを取り出すにあたって原子炉建屋内 1 階フロア及び上部階において各種作業が計画・実施されている。各種作業を円滑に遂行するためには放射線量をできるだけ低減し作業環境を改善することが必要である。このため原子炉建屋内で使用できる除染ロボットの設計・製作を行い、実証試験による性能確認並びに実証試験結果を踏まえた装置改良、遠隔制御システムを開発した。

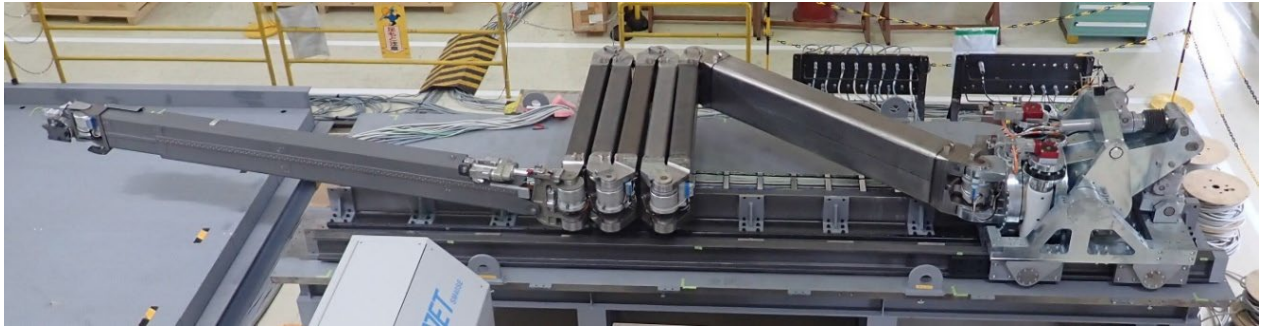
3. 調査用ロボット

福島第一原子力発電所では事故により PCV が損傷したが、PCV 内外の損傷状況を調査するため、トラス室内調査用ロボット、PCV 内部調査用ロボットなど様々なロボットを開発して現場に投入してきた。また計画段階ではあるが、RPV 内部調査用ロボットについてもその要素技術などの開発を行った。さらに現在行われている 2 号機の燃料デブリ試験的取り出しに用いるアーム型アクセス装置の開発を行っている。



4. 燃料デブリ取り出し用ロボット

燃料デブリ取り出し用ロボットについては、「段階的に規模を拡大した取り出し」「取り出し規模の更なる拡大」においては使用するロボットのコンセプトなどを検討してきた。また PCV 内部の干渉物撤去に使用するロボットや、将来の RPV 上部からアクセスする「上アクセス工法」について、構造物単位で一括搬出し、原子炉建屋から離れた場所に新設する建屋にて細断して容器へ収納する「構造物一括撤去・搬出」技術や、構造物は RPV に近い位置で分割し容器に収納し搬出する「構造物大分割」技術などを検討している。



5. 結言

今後も関係各機関と緊密に連携し、安全かつ着実な技術開発を行っていく所存である。

*Naoaki Okuzumi¹

¹International Research Institute for Nuclear Decommissioning

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会セッション

1F 廃炉に貢献するロボット技術開発

Development of robot technology that contributes to the decommissioning of the 1F NPS

(3) JAEA 櫛葉遠隔技術開発センターにおける DX を活用した 1F 廃炉等の

過酷環境ロボット開発環境の整備 (NARREC)

(3) Development of Robotics for Harsh Environments in 1F Decommissioning Utilizing DX at the JAEA Naraha Center for Remote Control Technology Development(NARREC)

*田川 明広¹¹ 日本原子力研究開発機構

1. はじめに

日本原子力研究開発機構（JAEA）では、2011 年 3 月 11 日に発生した、東日本大震災による原子力災害の対応を震災当日から福島入りして活動を実施してきた。

2011 年当時、福島第一原子力発電所（1F）から 20km 圏内は、警戒区域に設定された（図 1）。将来的に、高線量環境下である 1F 内部での各種作業は、遠隔装置を活用することが想定されることから、人が容易に立ち入ることができる 20km 境界外に遠隔技術の実規模モックアップや試験等が実施できる櫛葉遠隔技術開発センター（NARREC）を設置することとなった。2015 年 10 月に開所した（図 2）。

図 2 開所式での安倍総理大臣（当時）のご挨拶²⁾

技術研究組合国際廃炉研究開発機構（IRID）の発足当初（2013 年 8 月）からの組合員でもあった JAEA は、IRID が実施する 1F 廃炉の大型装置開発のためのモックアップ試験等を中心に利用されてきた。

2. NARREC の紹介

NARREC には、主に研究管理棟にあるヴァーチャルリアリティ（VR）施設と試験棟にあるモックアップ施設があり、モックアップには水中ロボット用の水槽、傾斜等を変更できる階段、モーションキャプチャなどの機能が備けられている。（図 3）

施設使用には利用料金が設定されており、1F 廃炉関連、イノベーションコースト構想関連、中小企業の利用等はリーズナブルな料金設定で利用することができる。また、上記に関わらず、一般利用することも可能である。

図 1 警戒区域等の設定¹⁾

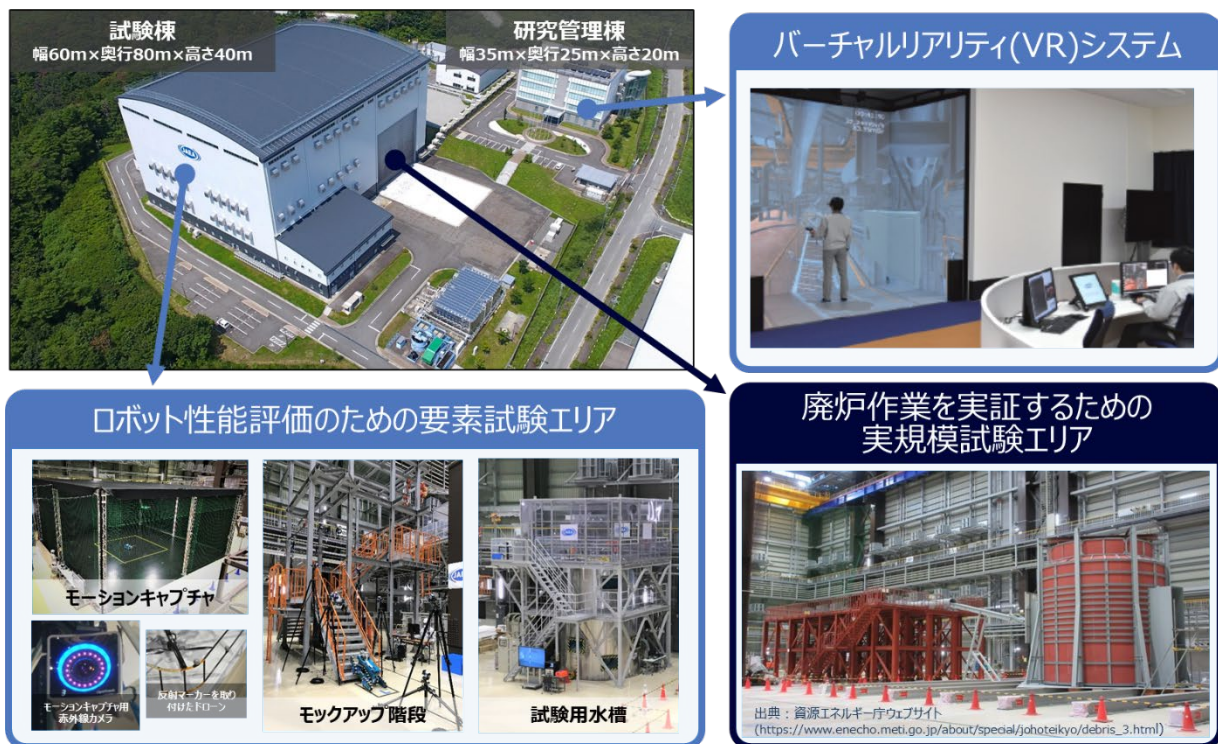


図3 NARRECの主な設備等

3. 施設を活用した研究開発の例

1F 廃炉関連での利用例として、燃料デブリ試験的取出しモックアップ試験、PCV 内部調査の実証試験等の実規模試験として活用されている（図4）。

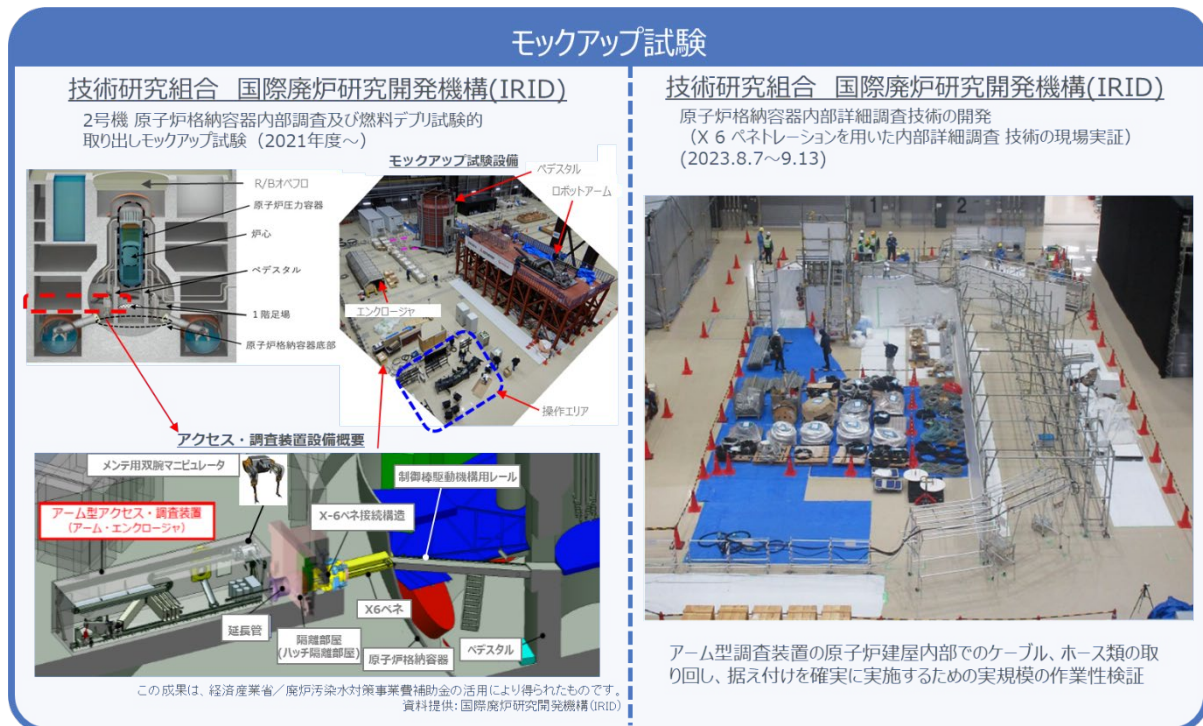
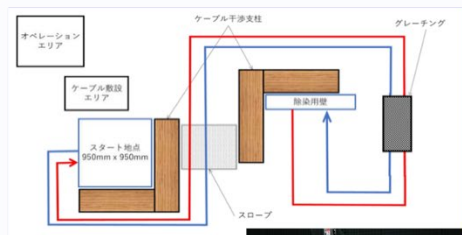


図4 1F 廃炉関連の利用

また、人材育成として、「廃炉創造ロボコン」（図5）も毎年開催され、昨年までに8回開催され、何人もの卒業生がJAEAや東京電力等の1F 廃炉関連企業に就職している。

第8回廃炉創造ロボコン (14校・17チーム参加, 2023.12.23)

文部科学省の「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」で開始され、
現在継続して「廃炉研究等推進事業費補助金」(CLADS補助金)に基づき実施



【競技内容】

1F内における高線量エリアの壁の遠隔高所除染を想定。壁は非磁性体とし、移動経路にはスロープ、障害物(グレーディング)を設置。

今年度は新たに復路を追加

【競技時間】

10分

【課題クリア】

4チーム

【受賞校】

文部科学大臣賞
福島県知事賞
高専機構理事長賞
原子力機構理事長賞
イノベ機構理事長賞

小山高専 (3年連続)
熊本高専
舞鶴高専
一関高専
大阪公立大高専



【競技(除染)状況】

図5 第8回廃炉創造ロボコンの概要

4. DX 利活用環境の整備

NARREC の最大の特徴は、実規模モックアップのスグ傍らに VR 施設を有することで DX 環境が整えられている。しかも、1F から 20km と近い距離にある。JAEA では、用途に応じ、デジタルデータを活用しながら、実際の装置開発が効果的に進む取り組みを行っている。その例を以下に記す。

○デジタル：線源逆推定による 3 次元的汚染分布の把握 (図 6)

1F 内部は全方位で汚染されているため、作業員被ばく低減の観点から汚染状況を表面汚染計などによるサーベイで確認することが困難である。そこで、空間線量率を計測し LASSO 法による逆推定手法により逆問題を解くことで空間線量率を 3 次元表面汚染密度に変換する。これにより、汚染分布が把握でき、効果的な除染や遮へい計画による被ばく低減策を計ることができる。(廃炉・汚染水対策事業費補助金(原子炉建屋内の環境改善のための技術の開発)業務)



図1 システム全体像及びその動作イメージ

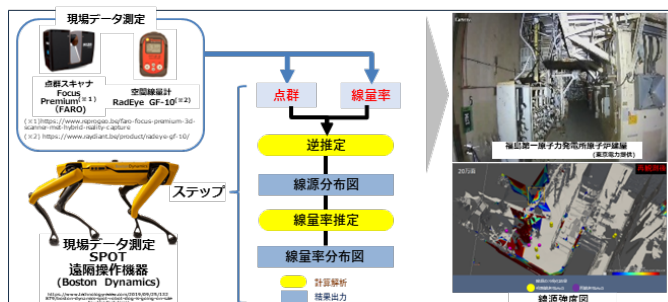


図6 線源逆推定システム

○リアル：性能試験法によるロボット性能評価

ロボットやドローンによる調査を実施したいが、どのロボットを利用すればよいか、どんな評価を実施すれば活用できると判断できるか、1F 内部状況が不透明であるためわからない。そこで、複数異なるロボットであっても性能を比較検討できるようにするために、いくつかの標準的に走行や飛行ができるコースをモックアップに準備し、モーションキャプチャ等と組み合わせて利用できる環境を整えている。これらのコースは、レスキューロボットなどの過酷環境で活躍できるロボットを意識しており、コースの仕様⁴⁾や試験方法はホームページで公開し、ホームセンターで購入できる素材で自作できるようにもなっている。⁴⁾

5. 地元利用

NARREC は、一般企業への施設貸出も行っている（図7）。この他にも水中ドローンの操作トレーニングや新人潜水士トレーニング等、様々な活用がされている。今後、NARREC を利用した、地元や異分野の活用も模索したい。



図7 地元企業によるロボット性能試験

6. まとめ

NARREC では、1F 廃炉への貢献のみならず、福島復興や新産業創出等の多様な利用を目指して今後も積極的な活用を模索する。原子力学会の方からの気軽な問合せをお待ちしています。

7. 参考文献

- 1) 環境省 WEB サイト <https://www.env.go.jp/chemi/rhm/h28kisoshiryo/h28qa-09-22.html>
- 2) JAEA WEB サイト <https://fukushima.jaea.go.jp/info/20151022.html>
- 3) 廃炉・汚染水・処理水対策事業事務局 WEB サイト
https://dccc-program.jp/wp-content/uploads/20240126_JAEA.pdf
- 4) NARREC WEB サイト https://naraha.jaea.go.jp/rd/standard_test_methods.html

*Akihiro Tagawa¹

¹Japan Atomic Energy Agency

福島第一原子力発電所廃炉検討委員会セッション

1F 廃炉に貢献するロボット技術開発

Development of robot technology that contributes to the decommissioning of the 1F NPS

(4) 廃炉創造ロボコン

(4) Creative Robot Contest for Decommissioning

*鈴木 茂和¹¹福島高専

1. 目的

東京電力福島第一原子力発電所の廃止措置については、「東京電力福島第一原子力発電所 1～4 号機の廃止措置等に向けた中長期ロードマップ」に基づいて、現在様々な取組が進められてきている。また、中長期ロードマップでは、「中長期の視点での人材育成及び大学・研究機関との連携」が強調されている。さらに 2051 年までの完了を目指している作業であるため、安心して安全な作業を続けていくためには若い世代からの教育と人材育成が重要である。

そこで、福島第一原子力発電所廃炉に関する興味を高め、さらに柔軟な発想力による新しい技術を生み出すことを目的として、技術者育成の専門的な教育を受けている高等専門学校の学生を対象に福島第一原子力発電所廃炉を課題としたロボットコンテストを 2016 年から実施しており、その成果について報告する。

2. 競技課題

2016 年第 1 回から 2024 年第 9 回大会の課題概略を表 1 に示す。毎年全国から 16 チーム程度が参加して実施しており、第 3 回大会からはマレーシア工科大学も参加している。

表 1 廃炉創造ロボコンの課題

第 1～2 回	原子炉建屋の調査	モックアップ階段か標準ステップフィールドのどちらかを 選択して調査を行う
第 3～5 回	燃料デブリ取り出し	実スケールのペDESTALモックアップを使って、ペDESTAL 下部に置かれた燃料デブリを回収する
第 6～8 回	高所除染	ケーブル干渉支柱、スロープ、グレーチングが置かれた経路 を通り高さ約 1.7～2.7m の高所を遠隔除染する
第 9 回	原子炉格納容器内部調査	X-1 ペネもしくは小口径配管から PCV 内部にアクセスし底 部に存在する対象物を回収して戻ってくる

上記の課題は全て、操縦者はロボットを直接見ることはできず、ロボットに搭載されたカメラの映像をモニター上で確認しながら遠隔で操作を行う。競技時間は 10 分である。競技の審査は福島第一原子力発電所廃炉に関わっている専門家、工学教育の専門家がそれぞれの視点で評価を行い、最も優れたロボットを製作したチームには文部科学大臣賞を与えている。

3. 主な成果

学生が作製したロボットや技術が廃炉作業の現場に適用された例は無いが、福島第一原子力発電所での使用を目標とした協賛企業との共同研究が 2021～2023 年にそれぞれ 1 校、2024 年からは 3 校で実施していることから、今後の現場適用と高専との共同研究が増えることを期待している。また、廃炉創造ロボコンに参加した学生の中から東京電力や日本原子力研究開発機構等へ就職しており現場での活躍も期待している。

4. まとめ

廃炉創造ロボコンを通して、学生の福島第一原子力発電所廃炉への興味関心を高めることができた。今後も継続して人材育成を進めるとともに遠隔技術の発展に貢献していきたいと考えている。

謝辞 本ロボコンは、文部科学省の英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業の成果を受けて実施している。

*Shigekazu Suzuki¹¹National Institute of Technology, Fukushima College