

福島原発事故対応で求められる ロボット技術・遠隔操作技術

東京大学大学院工学系研究科精密工学専攻
浅間 一

<http://www.robot.t.u-tokyo.ac.jp/asamalab/>

対災害ロボティクス・タスクフォース 主査
原子力委員会東京電力福島第一原子量発電所中長期措置検討専門部会 委員
産業競争力懇談会「災害対応ロボットと運用システムのあり方」 PL
政府・東京電力中長期対策会議運営会議・研究開発推進本部 委員, 遠隔技術TF 主査
NEDO災害対応無人化システム研究開発プロジェクト PL



Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



ロボット vs ロボット技術(RT)

ロボット
作られた動く機械

ロボット技術(RT)

ソリューション技術
システム化技術(≠要素技術)
作業ニーズに応えるシステムを
設計・構築する技術

センサ, 知能・制御系, 駆動系の3つの技術要素
を有する知能化した機械システム(経産省)



狭い屋内空間でのアクセス、移動、作業機能、情報技術(情報インフラ)との連携



Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



福島第一原子力発電所事故

- 地震発生 (14:47)
- 電源停止
- 非常用ディーゼル発電機作動
- 原子炉停止 (SCRAM)
- 津波襲来
- 燃料タンクおよび発電機被災
- 全交流電源喪失(SBO: Situation of Black Out) (15:39)
- 原子炉および燃料貯蔵プールの冷却系異常
- 冷却水の減少
- メルトダウン
- 水素爆発(3月12日～15日)

福島第一原子力発電所



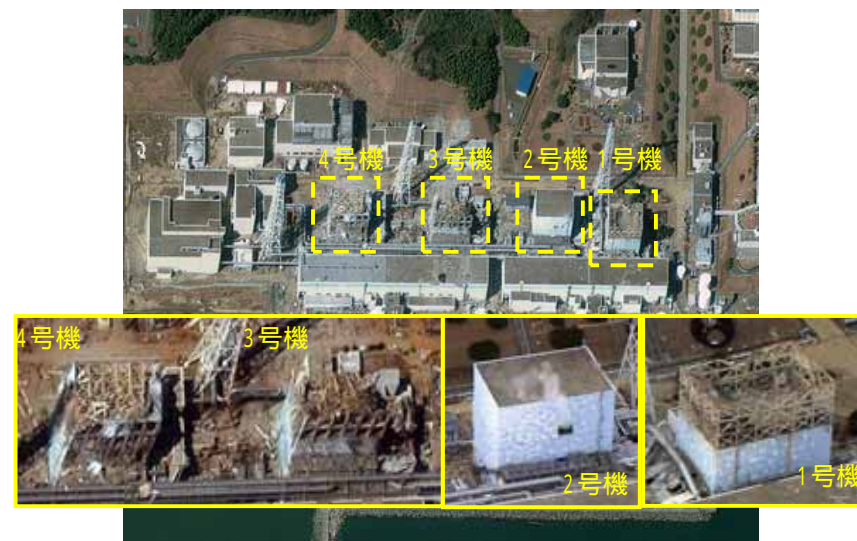
By Janet Loehrike, USA TODAY



Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



事故直後の様子



Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



福島第一原子力発電所の様子(10月1日)

(東京電力提供)



1号機



3号機



2号機



4号機

学専攻



THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012

Recent View of Fukushima Daiichi (Units 1 to 4)



As of 1/31/2012 10:24

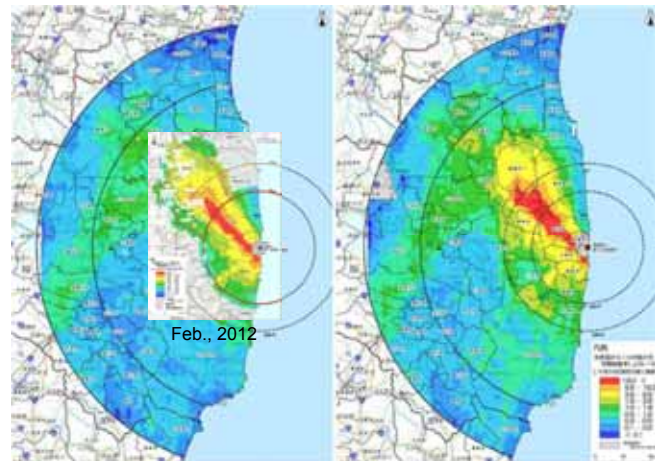
(C)GeoEye / 日本スペースイメージング



TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY

©2012 The Tokyo Electric Power Company, INC. All Rights Reserved.

周辺地域の放射線量



July, 2011

April, 2011

(MEXT)



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

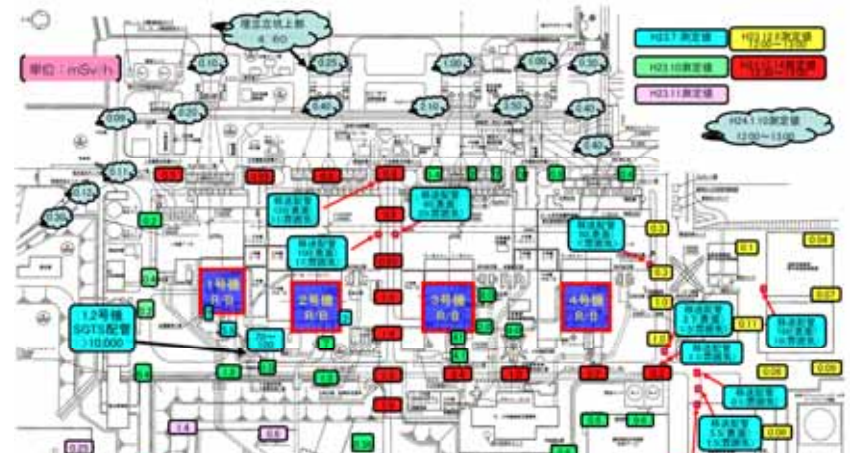
Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



精密工学専攻
Dept. of Precision Engineering

発電所構内の空間線量率の状況

福島第一サーベイマップ(平成24年1月10日 17:00現在)



原子炉建屋の周辺は局所的に高いところはあるものの、概ね1~2mSv/h程度の空間線量率である。



東京電力

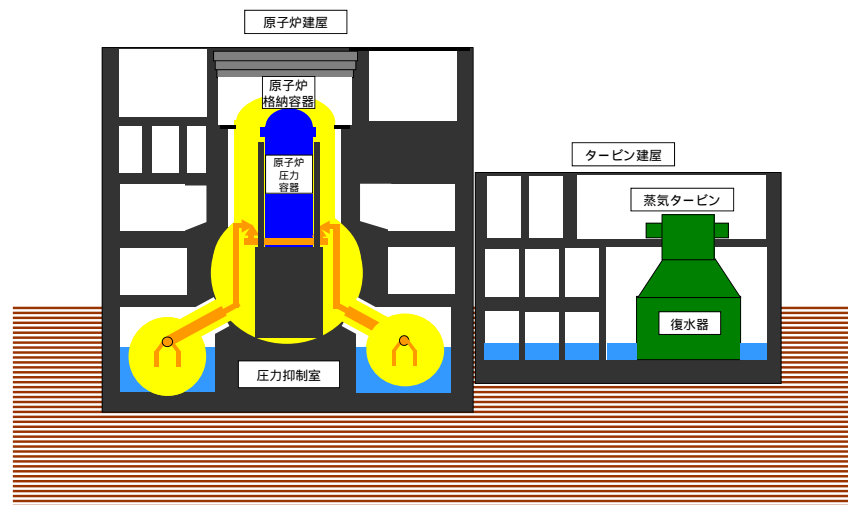
福島第一原子力発電所災害対策復旧特別PT



課題	初期(4/17)時点	ステップ1(3ヶ月程度)	ステップ2(年内)	中期的課題(〜3年程度)
I 冷却	(1)原子炉 淡水注入 燃料 滞留水	最小限の注水による燃料冷却(注水継続) 滞留水再利用の検討/準備 緊急充填の 注水設備改善 注水操作の信頼性向上/遠隔操作 注水設備の信頼性向上/遠隔操作	循環注水冷却(継続) 緊急充填(継続) 注水操作の遠隔操作 熱交換機等の検討/実施	冷却停止状態の維持継続 緊急充填 構造材の腐食破損防止 燃料の取り出しの作業実施
	(3)滞留水	放射性レベルの高い水の移動 放射性レベルの低い水の保管 保管施設の設置/除染処理 保管施設の設置/除染処理	無放射化/低レベル水処理施設設計 除染/塩分処理/再利用等 廃スラッジ等の保管/管理 海洋汚染拡大防止	本格水処理施設の設置 滞留水の処理継続 廃スラッジ等の保管/管理 廃スラッジ等の処理の研究
	抑制	地下水の汚染拡大防止 地下水の汚染拡大防止 飛散防止剤の散布 飛散防止剤の散布・管理	飛散防止剤の散布・管理 飛散防止剤の散布・管理 飛散防止剤の散布・管理 飛散防止剤の散布・管理	地下水の汚染拡大防止 地下水の汚染拡大防止 飛散防止剤の散布 飛散防止剤の散布・管理
II 廃止	廃止	廃止 廃止 廃止 廃止	廃止 廃止 廃止 廃止	廃止 廃止 廃止 廃止
	廃止	廃止 廃止 廃止 廃止	廃止 廃止 廃止 廃止	廃止 廃止 廃止 廃止
	廃止	廃止 廃止 廃止 廃止	廃止 廃止 廃止 廃止	廃止 廃止 廃止 廃止

原子炉建屋とタービン建屋の構造

11



中長期ロードマップの概要



ロボットのニーズ

- 原子力発電所の事故対応・復旧
 - ミッション
 - 冷却系の安定化
 - 封じ込め
 - 廃炉
 - 現場作業員の被曝の低減
 - タスク
 - 瓦礫除去
 - サーベイマップの自動作成(放射線測定)
 - 建屋(原子炉建屋、タービン建屋)内調査(画像、放射線量、温度、湿度、酸素濃度、等)
 - 計測機器などの設置、サンプル採取
 - 遮蔽、除染
 - 機材の運搬
 - 配管・機器の設置
- その他の災害対応・復旧
 - 被災者探索・レスキュー
 - プラント・設備の調査、診断、修復
 - 水中探査
 - 被災地のマッピング
 - 重作業のパワーアシスト
 - 被災者のメンタルケア



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



精密工学専攻
Dept. of Precision Engineering

ROBOTADとは

ROBOTics Task force for Anti-Disaster
(ROBOTics - Temporary Active Duty)
<http://roboticstaskforce.wordpress.com/>

Anchorman: 中村仁彦
Chairman: 浅間 一

- 3月31日設立・ロボット技術に関する専門家・科学者集団
- 東日本大震災と福島原子力災害の対応・復旧・復興のためのロボット技術適用
- 主な活動内容(緊急性の高い活動)
 - 動作環境やミッションに応じた最適なロボット技術・ソリューションの提供
 - 現場での補強、改造も含めた導入・運用における実働支援
 - そのための技術情報の発信
- これまでの実績
 - ロボット技術導入のための具体的技術的検討(耐放射線機能、走破性、通信、等)
 - HPによる技術的情報や導入実績などの発信
 - リモートコントロール化PTへの協力
- 関連5学会・日本学術会議・産業界との連携
- 窓口:国際レスキューシステム研究機構(IRS)



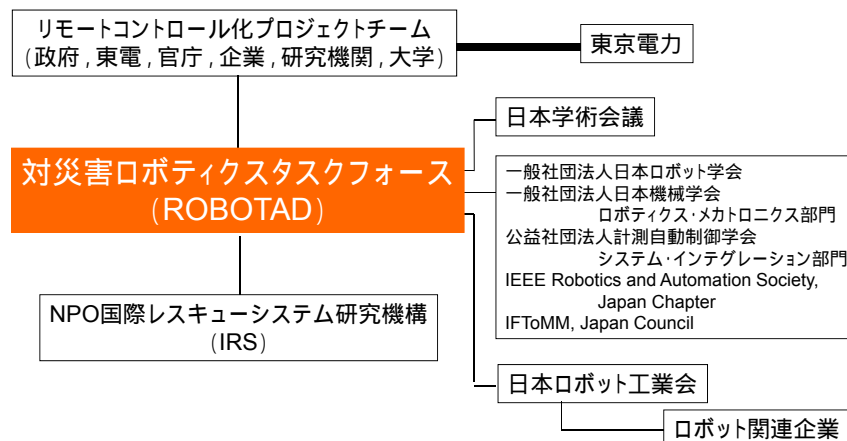
東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



精密工学専攻
Dept. of Precision Engineering

ROBOTADの位置づけ



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



精密工学専攻
Dept. of Precision Engineering

コンクリートポンプ車による注水の自動化

- 2011年3月22日
- 4号機に注水開始
- 現在, 1, 3, 4号機において
キリン等による注水



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



精密工学専攻
Dept. of Precision Engineering



無人化施工技術



1991年 雲仙普賢岳の噴火における対応措置

小型無人ヘリコプターの導入

- 4月10日 小型無人ヘリコプターによる空撮開始
- 1～4号機原子炉建屋, タービン建屋およびその周辺を撮影
- 使用機械
 - ハニーウェル社 (Honeywell(米)) 製 T-Hawk
 - 操縦範囲: 10km程度
 - 航続時間: 50分
 - 映像撮影: 可動式カメラ・赤外線カメラによる夜間撮影や操作端末への動画伝送など
 - 飛行性能: ホバリングによる空中静止。GPSによる自律飛行・マニュアル飛行が可能。

(東京電力提供)



ハニーウェル社 (Honeywell(米)) 製
T-Hawk



離陸



操作室



1号機南東角建屋カバー柱



3号機西側より建屋内部



4号機東側より建屋内部

Packbotの導入

- 4月17, 18日 Packbot導入
 - 原子炉建屋内の放射線量・雰囲気温度・雰囲気湿度・酸素濃度の測定
- 使用機械
 - iRobot社製 Packbot 2台
 - 寸法: 長さ70 × 幅53 × 高さ(アーム格納時) 18 [cm]
 - 重量: 35[kg]
 - 機能: 各種モニタリング(放射線量, 温度, 湿度, 酸素濃度), カメラ, マニピュレータ



バックボットによる
原子炉建屋の現場確認



Packbot

(東京電力提供)



Packbotが二重扉を開ける様子



二重扉出口付近



1号機原子炉建屋の現場確認



1号機原子炉建屋1階



2号機原子炉建屋1階



3号機原子炉建屋1階



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



精密工学専攻
Dept. of Precision Engineering

ロボット操作車 (TEAM NIPPON)

日本原子力研究開発機構

- 放射線計測やロボット操作を迅速かつ安全に行えるよう、トラックバンに鉄板80mm遮へいオペレーションBOX、発電機等を装備
- オペレーションBOXは、ガンマカメラ、監視カメラ、照明、テレテクタ等を装備
- オペレーションBOX内からは、ガンマカメラ等による線源特定や、ロボットを遠隔操作しての線量計測や安全確認が可能



(↑)ロボット操作車の外観

(←)ロボット操作車の装備



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



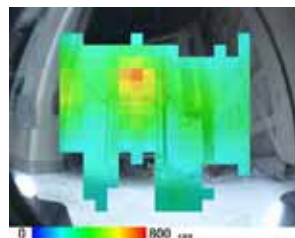
精密工学専攻
Dept. of Precision Engineering

γカメラによる放射線源・線量測定

- 5月22日 γカメラを搭載したロボット導入・計測



(東京電力提供)



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



精密工学専攻
Dept. of Precision Engineering

原子炉建屋内瓦礫除去 (3号機) (5月10日 ~)

Talon
(QinetiQ)



Bob Cat
(QinetiQ)



Brokk-90
(Brokk)



Brokk-330
(Brokk)



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012

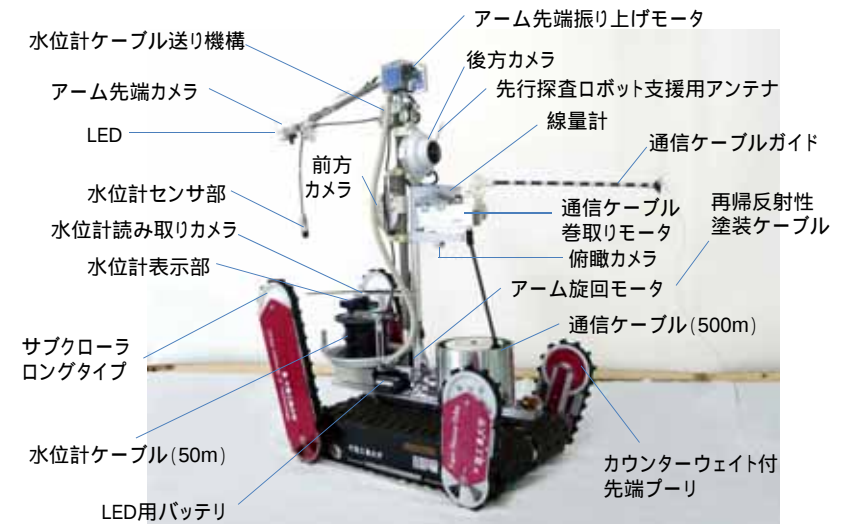


精密工学専攻
Dept. of Precision Engineering

Quinceによる サンプリング・水位計設置ミッション 6月24日



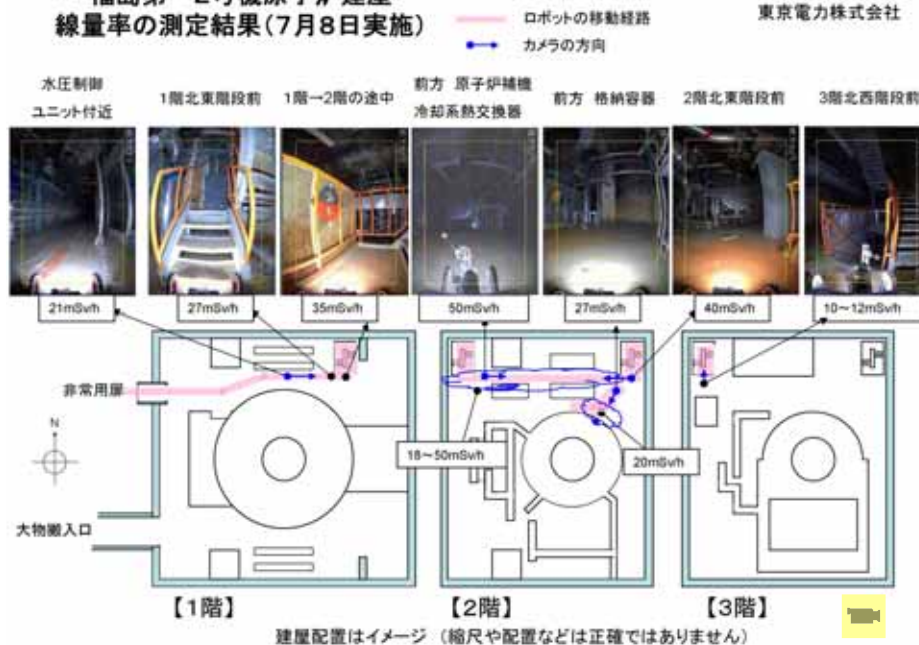
水位計設置・汚染水採取のためのQuinceの構成



(千葉工大, 東北大, 国際レスキューシステム研究機構)

福島第一2号機原子炉建屋 線量率の測定結果(7月8日実施)

平成23年 7月11日
東京電力株式会社



原子炉建屋内部(3号機)の状況

(Quinceによる映像) 2階～階段～3階、階段通行困難



H23年7月26日撮影

福島第一原子力発電所3号機原子炉建屋 Warriorによる清掃作業 (7月2日)

東京電力提供



原子炉建屋内部(1号機)の状況

4階 非常用復水器まわり、ガレキが散乱



H23年10月18日撮影

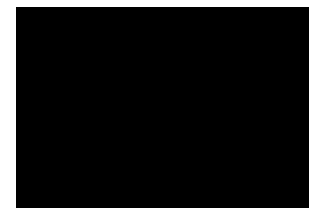
Quinceによる原子炉建屋内風景 2号機1階～5階(10月20日)

東京電力提供



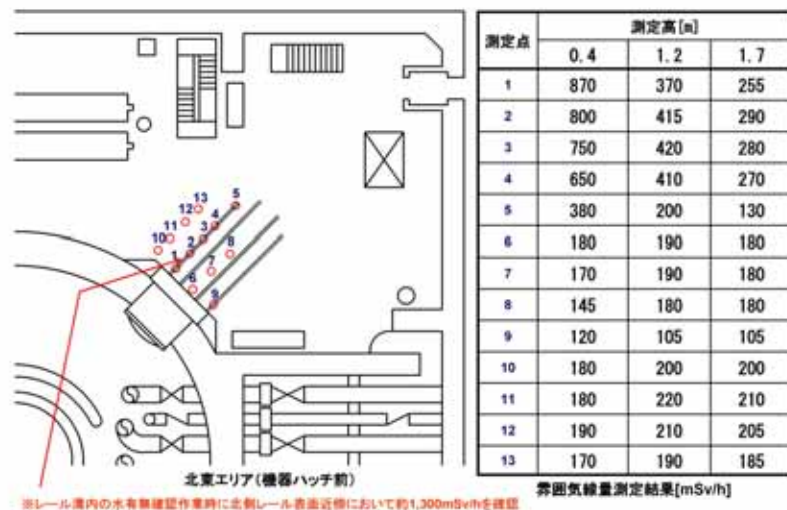
原子炉建屋内放射線量調査(3号機) (Packbot 2台およびWarrior) (11月14日)

東京電力提供



福島第一原子力発電所3号機原子炉建屋1階 ロボットによる雰囲気線量の測定結果

平成23年11月16日
東京電力株式会社



原子炉格納容器機器ハッチ前エリア床面の状況

東京電力提供



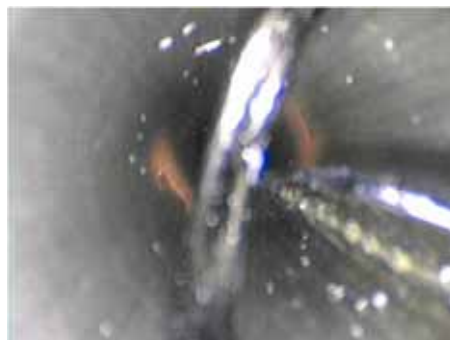
2号機原子炉格納容器内部調査

(1月20日)

東京電力提供



工業用内視鏡と熱伝対

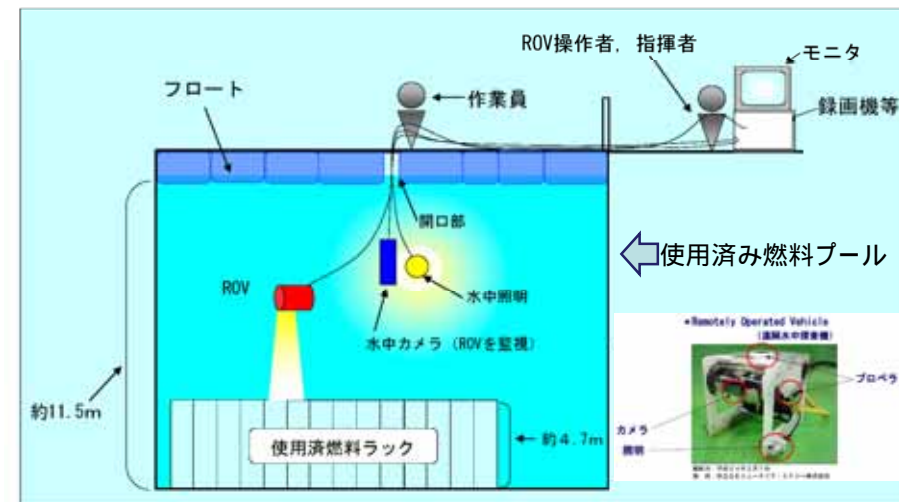


格納容器内線量観測値: 72.9Sv/h
2012年3月27日 2nd Entry

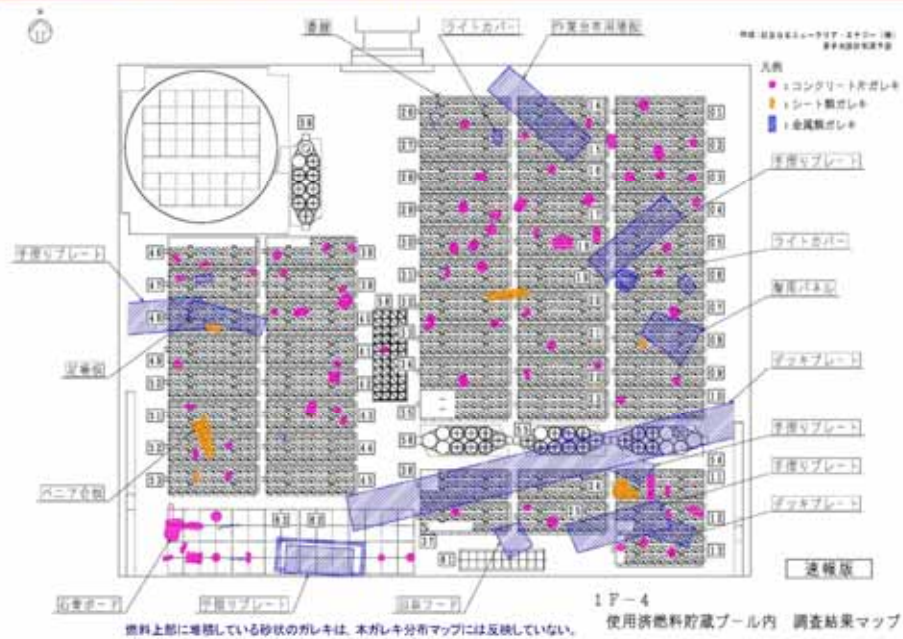


調査概要

使用済燃料プール上を覆っているフロート養生の開口部からROV※を使用済燃料プール内に投入し、オペレーティングフロア上で操作を実施。
※ROV: Remotely Operated Vehicle (遠隔水中探査機)



4号機使用済燃料プール内ガレキ分布マップ



福島第一原子力発電所2号機 トーラス室調査 (2012年4月18日)



トピー工業
サーベイランナー



3時間オペレーション
ロボット被曝186mSv

トーラス室南東側S/Cマンホール



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

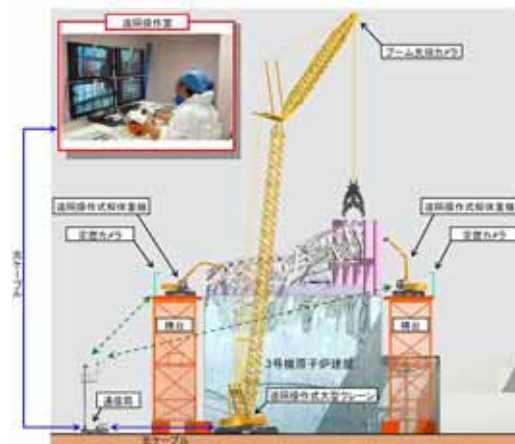
Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



精密工学専攻
Dept. of Precision Engineering

遠隔自動化による構内のガレキ撤去の様子

43



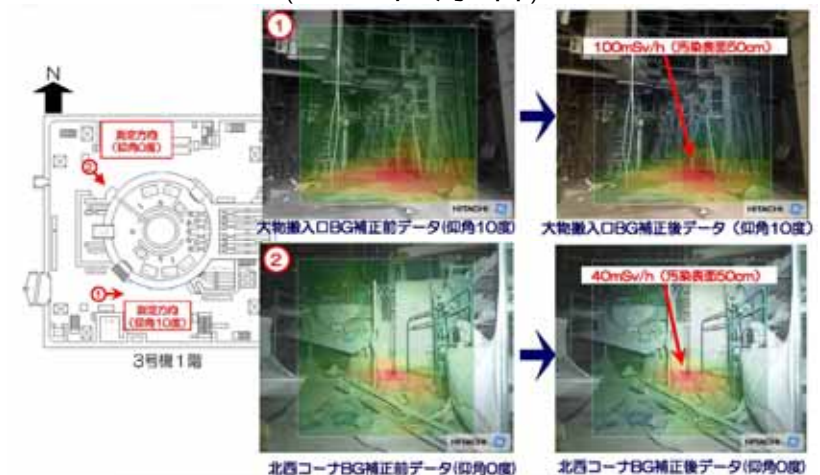
3号機におけるガレキの撤去



地面でのガレキ撤去

ガンマカメラ・線量計を使用した 2号機・3号機内線源・線量率調査 (2012年7月5日)

(東京電力提供)



Packbot + 日立製ガンマカメラ



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



精密工学専攻
Dept. of Precision Engineering



東京電力

1号機原子炉建屋1階 TIP室内及び南エリアにおける環境調査 (2012年7月5日) (東京電力提供)



1号機原子炉建屋1階 TIP室内及び南エリアにおける環境調査 (2012年7月5日) (東京電力提供)



【ロボットの種類】 H24.7時点で使用中の、主なロボットは以下の通り。

名称	メーカー	写真	数※1	主な用途
Packbot	iRobot		4 (3)	・現場調査 ・線量測定 ・軽作業 等 (建屋内用)
Quince	千葉工大 ・東北大 ・国際イコ システム研究 機構		3 (2)	・現場調査 ・線量測定 等 ・ダストサンプリング (Q2) ・3D スキャナ (Q3) ※2 有線断絶時、 無線通信可
サベーター	ビエ工業		1	・現場調査 ・線量測定 等 (地下階以外用) ※2 有線断絶時、 無線通信可

1上段の数が、TEPCO保有台数。()内は、現在使用可能な台数。

【ロボットの使用実績】
○ 1～3u R/B内におけるロボットの使用実績は以下の通り。(H24.7現在)

月 日	場 所	ロボット
4/17	1u 1F	Packbot
4/17	3u 1F	Packbot
4/18	2u 1F	Packbot
4/26, 29	1u 1F	Packbot
5/10	3u 1F 北	Packbot
5/13, 6/3	1u 1F 南	Packbot
6/24, 7/2	3u 1F 南	Packbot
7/8	2u 1～3F	Quince
7/22	3u 1F 北東	Packbot
7/26	3u 1～2F	Quince
9/22	2u 1F 南	Quince
9/24	3u 1F	Quince
10/13	1u 1F 南	Packbot
10/20	2u 1～5F	Quince
11/3	3u 1F	Packbot
11/14, 19	3u 1F 北東	Packbot
2/27	2u 5F	Quince2
3/21	2u TIP室	Quince2
4/18	2u トリ室	サベーター
5/23	3u 1F TIP室	Quince2
6/13	2u 1～5F	Quince2
7/4	1u 1F 南	Packbot Quince2, 3

8/2 1u T/B2F SGT室 Packbot 5000mSv/hを記録

月 日	場 所	ロボット	作業概要
7/1	3u 1F 南	Warrior	清掃作業
7/6	3u 1F 南	Warrior	現場作業監視
7/6	3u 1F 南	Packbot	現場作業監視
7/8	3u 1F 南	Packbot	現場事前調査
7/12	3u 1F 南	Packbot	現場作業監視
9/23	2u 1F	JAEA3 Packbot	γカメラ撮影 画像撮影
9/23	3u 1F	Packbot	画像撮影
11/2, 3	3u 1F	Warrior Packbot	干渉物の移動
11/14 17, 18, 19	3u 1F 北東	Packbot	レール水 拭き取り 他
H24.5～ (実施中)	1～3u 1F	Packbot	γカメラでの 現場調査 ()

国プロ『建屋内の遠隔除染技術の開発』にて実施。
日立GE殿が実施主体。(東電からPackbot2台を貸与)



Packbotによる軽作業 Warriorによる清掃作業

ロボット関連の産・学・官の動向

産の活動

- COCN (産業競争力懇談会)
 - プロジェクト災害対応ロボットと運用システムのあり方
- ロボットビジネス推進協議会
 - 復興支援とRT活用WG

学の活動

- 日本学会議
 - 4月13日緊急提言
- 総合科学技術会議
 - 第4期科学技術基本計画の見直し
- 日本ロボット学会
 - 東日本大震災関連委員会
- 日本機械学会
 - 東日本大震災調査・提言分科会

官の活動

- 原子力委員会
 - 福島第一原子力発電所における中長期措置検討専門部会
- 経済産業省, エネ庁 (平成23年度第三次補正予算, 平成24年度概算要求)
 - 政府・東京電力福島第一原子力発電所中長期対策会議運営会議, 研究開発推進本部, 遠隔技術TF
 - NEDO災害対応無人化システム研究開発プロジェクト



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



精密工学専攻
Dept. of Precision Engineering

産業競争力懇談会

COCN

Council on Competitiveness Nippon

国の持続的発展の基盤となる産業競争力を高めるため, 科学技術政策, 産業政策などの諸施策や官民の役割分担を, 産官学協力のもと合同検討により政策提言としてとりまとめ, 関連機関への働きかけを行い, 実現を図る活動を実施

産業競争力強化のため, 国全体として推進すべき具体的テーマを産官(学)で設定し, 産官(学)協調して提言書をまとめる

提言書の実現をはかるべく関連機関への働きかけを行う

2011年度推進テーマ

- 個人情報や企業情報を安全に活用するためのクラウドコンピューティング基盤の整備プロジェクト
- 微細藻類を利用した燃料の開発プロジェクト
- 災害対応ロボットと運用システムのあり方プロジェクト
- 次世代医療システムプロジェクト
- 半導体戦略プロジェクト「産業競争力強化のための先端研究開発」
- 希少金属の安定確保に向けた資源循環システムプロジェクト
- グローバルもの(コト)づくりプロジェクト
- 都市づくり・社会システム構築研究会
- 企業活動と生物多様性研究会
- グローバルなリーダー人材の育成と活用研究会
- 強靱な (Resilient) 社会システムと産業の構築レジリエント・エコノミ研究会
- HPC (High Performance Computing) の応用ものづくり力強化のための計算科学モデリング&シミュレーションに関する研究会

提言(報告)に向けての検討内容

- 防災ロボット, 無人化施工システム, 原子炉解体ロボットの各々について, 利用分野に応じた仕様, 必要な要素技術, 開発スケジュール及び資金, 体制, 実用化・運用にあたっての課題について提言をまとめる.
- 防災ロボットについては, 技術的には搭載用機器(各種センサー, 防曇システム, マニピュレータ)の能力向上, 対放射線被曝性能向上, 群データ管理システム等の開発, 量産体制の確保等, またこうしたロボットの運用体制, 要員の訓練等.
- 無人化施工システムについては, 遠隔操作能力の向上, がれきの分別システム, 汚染土の除染システム, 対放射線被曝性能向上, 大規模構造物の建築, 解体への利用, 技術の他分野への応用可能性等.
- 原子炉解体ロボットについては, 日本及び諸外国で開発された通常状態における解体ロボットの調査, 今回の事故における要求仕様, 必要な要素技術, ロボット自体の除染技術等.

検討体制

- プロジェクトリーダー 浅間 一 東京大学
- WG1(防災ロボット)主査 田所 諭 東北大学
- WG2(無人化施工システム)主査 鶴岡松生 鹿島建設
- WG3(原子炉解体システム)主査 齋藤荘蔵 HGNE
- メンバー
 - 鹿島建設, 清水建設, 新日鐵, 東芝, 日立, HGNE, 富士通, 三菱重工, 三菱電機, 熊谷組, コマツ, 大成建設, 日立建機, 安川電機, 京大, 早大, 東大, 産総研, ロボット学会, ロボット工業会, 情報通信技術委員会
- オブザーバー
 - 経済産業省, 文部科学省, 国土交通省, 総務省, 日本原子力研究開発機構, 土木技術研究所, NEDO
- 事務局
 - 製造科学技術センター
- 新メンバー (H24 ~)
 - 竹中工務店, 大林組, (株)モリタホールディングス, トピー工業(株), 双日エアロスペース(株)

研究開発課題

- 防災ロボット(WG1)
 - プラント内調査・モニタリングロボットシステムの開発
 - プラント内遠隔危険作業ロボットシステムの開発
 - システム統合化・標準化・試験評価とキーとなる基盤技術の開発
- 無人化施工システム(WG2)
 - 遠隔操作型瓦礫処理システム(機械装置含む)の開発装置
 - 災害対応に最適な運搬技術(機械・施工システム)の開発
 - 原子力施設解体・仮設構築のためのロボットシステム
 - ガレキ処理運搬システム(水中版)の開発
- 原子炉解体ロボット(WG3)
 - 災害対応エンジニアリング支援システム
 - コンクリートサンプリング・表面除染ロボット
 - 機械・電気品解体物の放射線モニタリング・除染・分別技術
 - 原子炉解体ロボット、原子炉解体システム
 - コンクリート構造物の切断技術のロボット化

検討体制(平成24年度)

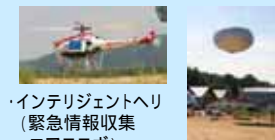
- プロジェクトリーダー 浅間 一 東京大学
- WG1(防災ロボット) 主査: 田所 諭 東北大学
- WG2(無人化施工システム) 主査: 植木睦央 鹿島建設
- WG3(インフラ点検/メンテナンスロボット) 主査: 大石直樹 新日鐵
- WG4(運用システム及び事業化) 主査: 川妻伸二 JAEA
- メンバー
 - 鹿島建設, 清水建設, 新日鐵, 東芝, 日立, HGNE, 富士通, 三菱重工, 三菱電機, コマツ, 熊谷組, 大林組, 大成建設, 竹中工務店, 日立建機, 安川電機, モリタホールディングス, トピー工業, 双日エアロスペース, 京大, 早大, 東大, 産総研, JAEA, 土研, ロボット学会, ロボット工業会, 情報通信技術委員会
- オブザーバー
 - 経済産業省, 文部科学省, 国土交通省, 総務省, NEDO
- 事務局
 - 製造科学技術センター

大大特 レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発

平成14~18年度 国際レスキューシステム研究機構 田所諭(東北大)

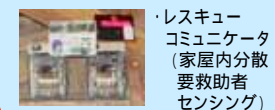
概観情報の収集

上空からの情報収集



- ・インテリジェントヘリ (緊急情報収集 エアロボ)
- ・情報収集気球 (定点観測用)

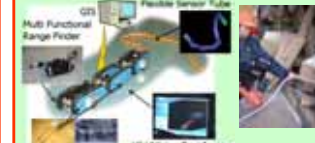
情報収集インフラ機器



- ・レスキュー コミュニケーター (家屋内分散 要救助者 センシング)

高度救助資機材

瓦礫内での情報収集



- ・統合ヘビ型ロボット
- ・ヘビ型移動体機構 (IRS蒼竜他)
- ・能動スコープカメラ
- ・レスキューツール (ジャッキ, 手動探査機, 3D棒カメラなど)
- ・無線トリアージタグ, 救出済タグ (救助ロジスティクス管理)

地下街・瓦礫上からの情報収集



- ・統合地下街探査ロボット
- ・連結クローラ移動体機構
- ・投擲型システム (瓦礫高速踏破)
- ・操縦ヒューマンインタフェース (過去画像鳥瞰システム, 3次元地図生成, 標準化など)
- ・UWB電磁波人体探査センサ
- ・アドホックネットワーク

実証試験・訓練・デモ



- ・東京消防庁立川訓練所
- ・山古志村
- ・JICA国際緊急援助隊訓練
- ・FEMA訓練所
- ・新潟中越地震
- ・倒壊家屋実験施設
- ・ボランティア消防部隊IRS-U

情報統合

共通プロトコル・データベース

- ・情報伝送形式の標準化 (MISP)
- ・収集情報データベースDaRuMa
- ・遠隔地より情報加工・情報統合・判断

情報通信技術(IT)

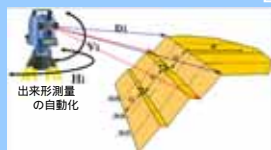
ロボット技術(RT)

土木施工技術への活用(IT施工)

3次元情報を用いた 施工管理技術



建設機械施工のための
3次元施工情報基盤



3次元情報による
出来形管理・監督検査の高度化

建設機械のIT施工技術



経済産業省関連 ロボット関連プロジェクト



Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



研究テーマ名 戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト



研究目的

背景、目的、必要性

背景：高齢化、女性の社会進出、労働力不足等大きな社会情勢の変化の中でロボットへの期待、利用ニーズが高まってきている。

市場ニーズ：近い将来団塊の世代が一斉退出する製造業、サービス業、建設業等における労働力や家事労働をロボットに代替させたいという大きなニーズがある。

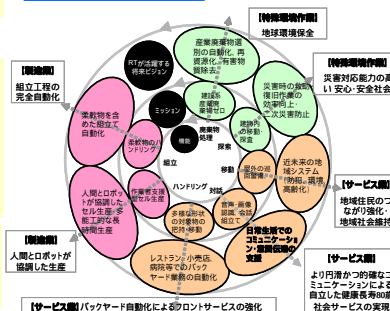
技術ニーズ：上記市場ニーズを実現するためには、センシング技術や高速駆動技術等の更なる高度な技術開発が必要である。また、このような次世代ロボットに必要かつ共通な機能を実現するための要素技術開発をすることで、開発技術はロボット以外の製品（自動車、情報家電等）にも広く波及することが期待される。

プロジェクトの規模

事業費と研究開発期間

研究開発期間 5年（平成18年度～平成22年度）
H19年度 10.0億円（事業費H18年度 11.0億円）

その他関連図表



キーテクノロジー

- センシング技術、マニピュレーション技術、作業指示・教示技術
- コミュニケーション技術、空間構造化技術、自律移動技術、画像処理技術
- 測位技術、通信技術、高速移動技術、耐環境性、安全技術 等

達成目標（技術水準）

技術戦略マップを踏まえ、将来ロボットに達成させたいチャレンジングな各ミッションを実現

技術戦略マップ上の位置付け

本事業で開発する技術は、技術戦略マップの2015年以降に位置付けられる

研究テーマ名 戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト



研究目的

背景、目的、必要性

背景：高齢化、女性の社会進出、労働力不足等大きな社会情勢の変化の中でロボットへの期待、利用ニーズが高まってきている。

市場ニーズ：近い将来団塊の世代が一斉退出する製造業、サービス業、建設業等における労働力や家事労働をロボットに代替させたいという大きなニーズがある。

技術ニーズ：上記市場ニーズを実現するためには、センシング技術や高速駆動技術等の更なる高度な技術開発が必要である。また、このような次世代ロボットに必要かつ共通な機能を実現するための要素技術開発をすることで、開発技術はロボット以外の製品（自動車、情報家電等）にも広く波及することが期待される。

研究内容

研究開発領域

背景：高齢化、女性の社会進出、労働力不足等大きな社会情勢の変化の中でロボットへの期待、利用ニーズが高まってきている。

市場ニーズ：近い将来団塊の世代が一斉退出する製造業、サービス業、建設業等における労働力や家事労働をロボットに代替させたいという大きなニーズがある。

技術ニーズ：上記市場ニーズを実現するためには、センシング技術や高速駆動技術等の更なる高度な技術開発が必要である。また、このような次世代ロボットに必要かつ共通な機能を実現するための要素技術開発をすることで、開発技術はロボット以外の製品（自動車、情報家電等）にも広く波及することが期待される。

キーテクノロジー

- センシング技術、マニピュレーション技術、作業指示・教示技術
- コミュニケーション技術、空間構造化技術、自律移動技術、画像処理技術
- 測位技術、通信技術、高速移動技術、耐環境性、安全技術 等

達成目標（技術水準）

技術戦略マップを踏まえ、将来ロボットに達成させたいチャレンジングな各ミッションを実現

プロジェクトの規模

事業費と研究開発期間

研究開発期間 5年（平成18年度～平成22年度）
H20年度 8.0億円

その他関連図表(抜粋)

次世代産業用ロボット分野

柔軟物も取扱える生産用D&Bシステム



特殊環境用ロボット分野

被災建造物内移動RTシステム



建設系産業廃棄物処理RTシステム



サービスロボット分野

片付け作業用RTシステム



高齢者対応コミュニケーション



D&B搬送システム



■事業推進にあたっては、イノベーションを加速させるため、ステージ制を導入する。具体的には、プロジェクト実施期間を前半（3年間）と後半（2年間）に分け、前半最終年度（H20年第3四半期）に絞り込み評価を実施する。後半では、絞り込み評価で高く評価された研究開発に絞り、これらを継続して重点的に行う。
〔評価基準については、評価軸及び評価項目を策定した状況で、審査体制については今後検討。〕

原子力委員会
福島第一原子力発電所における
中長期措置検討専門部会

- ・使用済燃料の取り出し、発生する放射性廃棄物の管理、廃止措置までの取組のロードマップの取りまとめ
- ・その実現に向けて分担すべき研究開発や、実現に向け必要となる制度の整備等の取組の関係者に向けての提言

- (1) 福島第一原子力発電所における中長期の取組の在り方
- (2) 福島第一原子力発電所における中長期の取組に効果的な技術開発課題
- (3) 福島第一原子力発電所における中長期の取組における国際協力の在り方

- ・ 国が責任を持って、必要な研究開発を進める
- ・ 国内外の叢智を結集して、中長期の事故収束にあたる



Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



精密工学専攻
Dept. of Precision Engineering

(原子力委員会第4回中長期措置検討専門部会資料)

プール内燃料取出しまでの作業イメージ(1/2) (技術開発計画検討用)



図1 使用済み燃料プールの燃料取出しイメージと留意点(1/2)

(原子力委員会第4回中長期措置検討専門部会資料)

プール内燃料取出しまでの作業イメージ(2/2) (技術開発計画検討用)

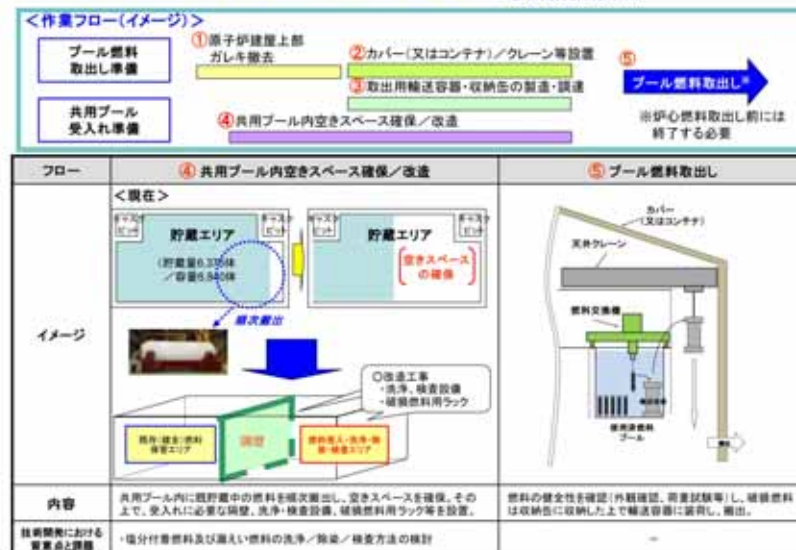


図1 使用済み燃料プールからの燃料取出しイメージと留意点(2/2)

(原子力委員会第4回中長期措置検討専門部会資料)

炉心燃料取出しまでの作業イメージ(1/3) (技術開発計画検討用)

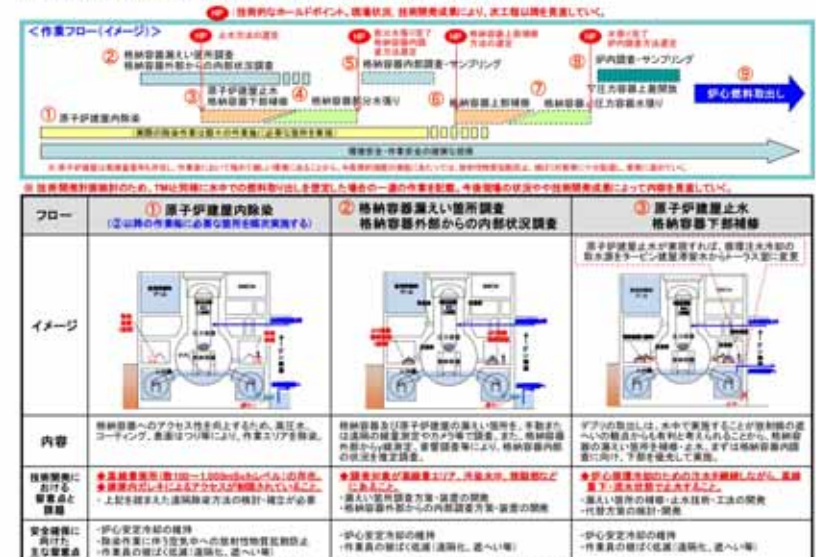


図2 デブリ取出し中長期的措置作業イメージと留意点 (1/3)

炉心燃料取出しまでの作業イメージ(2/3)

(原子力委員会第4回中長期措置検討専門部会資料)

(技術開発計画検討用)



フロー	④ 格納容器部分水張り	⑤ 格納容器内部調査・サンプリング	⑧ 格納容器上部補修
イメージ			
内容	格納容器内部調査の開始に向け、格納容器下部に部分的な水張りを実施する。	格納容器内部を調査し、圧力容器から漏れ出た燃料デブリの分布状況の把握、サンプリングを実施。	格納容器を満水まで水張りし、上部の漏れい箇所を、手動または遠隔にて補修。
技術開発における留意点と課題	● 遠隔操作 ・格納容器下部の「バウンダリ」機能の実現が、遠隔注水時の取水速度・圧力制御に大きく影響する。	● 遠隔操作によるアクセス性の制約、格納容器内部調査・サンプリングの難しさ ・燃料デブリの分布状況の把握、サンプリング方法の開発(注と同等)	● 遠隔操作によるアクセス性の制約、格納容器上部補修の難しさ ・燃料デブリの分布状況の把握、サンプリング方法の開発(注と同等)
安全確保に向けた主な留意点	・炉心安定化装置の維持 ・水張りの維持	・炉心安定化装置の維持 ・燃料デブリの放射線特性の把握 ・作業員の被ばく(遠隔・遠隔化、避へい等)	・炉心安定化装置の維持 ・作業員の被ばく(遠隔・遠隔化、避へい等)

図2 デブリ取出し中長期的措置作業イメージと留意点(2/3)

炉心燃料取出しまでの作業イメージ(3/3)

(原子力委員会第4回中長期措置検討専門部会資料)

(技術開発計画検討用)

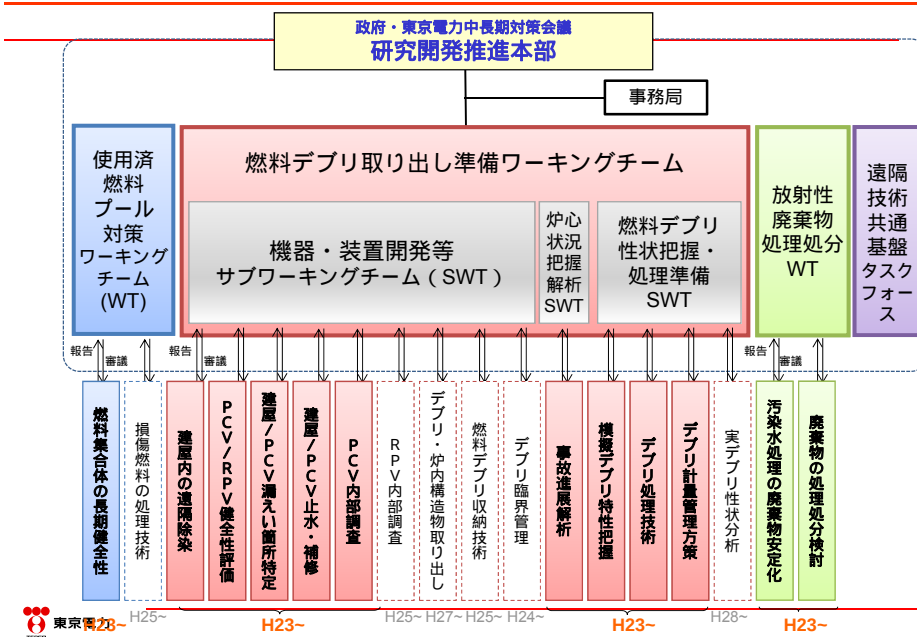


フロー	⑦ 格納容器/圧力容器水張り	⑧ 炉内調査・サンプリング	⑨ 炉心燃料取出し
イメージ			
内容	十分高い圧力で格納容器/圧力容器を満水にし、圧力容器上部を張り出す。	炉内を調査し、デブリや炉内構造物の状況把握、サンプリングを実施。	圧力容器/格納容器内のデブリの取り出しを実施。
技術開発における留意点と課題	● 遠隔操作によるアクセス性の制約、圧力容器上部補修の難しさ ・燃料デブリの分布状況の把握、サンプリング方法の開発(注と同等)	● 遠隔操作によるアクセス性の制約、炉内調査・サンプリングの難しさ ・燃料デブリの分布状況の把握、サンプリング方法の開発(注と同等)	● 遠隔操作によるアクセス性の制約、炉心燃料取出しの難しさ ・燃料デブリの分布状況の把握、サンプリング方法の開発(注と同等)
安全確保に向けた主な留意点	・炉心安定化装置の維持 ・水張りの維持	・炉心安定化装置の維持 ・燃料デブリの放射線特性の把握 ・作業員の被ばく(遠隔・遠隔化、避へい等)	・炉心安定化装置の維持 ・燃料デブリの放射線特性の把握 ・作業員の被ばく(遠隔・遠隔化、避へい等)

図2 デブリ取出し中長期的措置作業イメージと留意点(3/3)

研究開発推進本部の研究実施体制

67



経済産業省資源エネルギー庁 発電用原子炉等事故対応関連技術開発費補助金 (平成23年度三次補正予算)

原子力委員会「東京電力(株)福島第一原子力発電所における中長期措置検討専門部会」の報告書案において示された作業フロー/研究開発項目のうち、特に迅速な実施が求められる以下の5件に関する技術開発、及びこれらの効率的かつ計画的な執行を推進するために必要な運営管理

- (1) 原子炉建屋内の除染作業(例:汚染状況に適した除染技術の選定または開発及び装置開発等)
- (2) 原子炉建屋、格納容器からの漏れい箇所の調査(例:漏れい箇所の特定に適した調査技術の選定または開発及び装置開発等)
- (3) 格納容器内部状況調査(例:格納容器外部からの内部調査技術の選定または開発及び装置開発等)
- (4) 原子炉建屋漏れい箇所止水・格納容器下部補修作業(例:補修装置開発と遠隔移動装置を組み合わせた格納容器遠隔補修装置の開発等)
- (5) 圧力容器/格納容器の腐食に対する長期健全性評価(例:高温の海水に曝されていた圧力容器/格納容器に対する腐食抑制材の選定または開発)

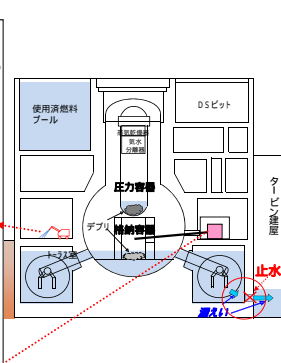
■ 建屋内の遠隔除染技術の開発

内容
漏えい箇所調査、補修等の作業環境改善のため、現場の汚染状況に合った遠隔除染装置を開発する。

技術開発のポイント

・汚染形態に応じた有効な除染技術の整理、開発
・高線量、狭隘等の過酷環境下における遠隔除染装置の開発

除染技術(例)

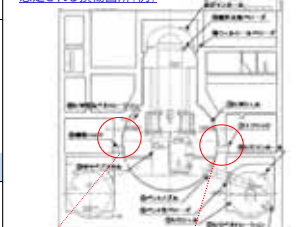


■ 格納容器漏えい箇所特定技術の開発

内容
格納容器等の漏えい箇所を遠隔で特定する技術を開発する。

技術開発のポイント
・高線量、狭隘等の過酷環境下における遠隔調査技術の開発

想定される損傷箇所(例)



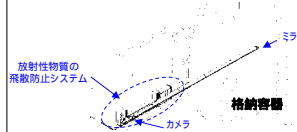
■ 格納容器内部調査技術の開発

内容
格納容器内の状態及び燃料デブリの状況把握のため遠隔による調査工法、装置を開発する。

技術開発のポイント

・高温、多湿、高線量下における遠隔調査技術の開発
・放射性物質の飛散防止システム

内部調査技術(例)

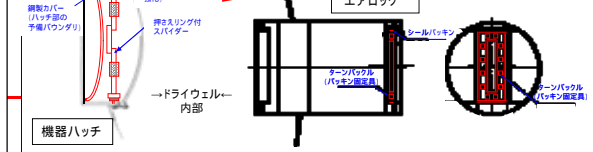


■ 水張り技術の開発(補修・充てん等)及び工法・装置開発

内容
漏えい箇所(トラス室、格納容器等)を補修するため、遠隔による止水方策及び補修技術を開発する。

技術開発のポイント

・高線量、狭隘等の環境下における遠隔補修技術の開発
・水中(PCV下部等)で適用可能な補修技術

経済産業省資源エネルギー庁
技術カタログ

(国内外の叢智の結集)

東京電力(株)福島第一原子力発電所1～4号機の廃止措置等に向けた燃料デブリ取出し準備の機器・装置開発等に係る技術カタログの公募

- 日立GEニュークリア・エナジー(株)、(株)東芝、三菱重工業(株)

除染技術、格納容器漏洩箇所点検、格納容器補修技術、格納容器内部調査技術

- (1) 建屋除染に関する技術及び除染システムを搭載遠隔操作に関連する技術
- (2) 遠隔操作等の走行機器や計測機器に関連する技術

	数量	40	20	0	1	00
一宮倉庫	PCV	0.2	2.2	0	0	00.2
	計	1.27	4.4	0	1	0.75
二宮倉庫	PCV	0.5	1.7	0	1	0.5
	計	0.5	1.7	0	1	0.5
トラス調査	PCV	0.4	1.5	0	0	0.9
	計	1.18	3.5	0	0	1.21
計	PCV	1.92	6.4	0	2	1.94
	計	3.95	11.6	0	3	2.91



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



精密工学専攻
Dept. of Precision Engineering

経済産業省・NEDO

災害対応無人化システム研究開発プロジェクト

(平成23年度三次補正予算)

災害や重大事故等によって家屋、産業・公共施設等が被災し、作業員の立ち入りが困難となった状況において、速やかに状況把握、機材等の運搬、復旧活動を行うための以下の災害対応無人化システムの研究開発を行う。

- (1) 作業移動機構の開発
小型高踏破性遠隔移動装置の開発
通信技術の開発
遠隔操作ヒューマンインターフェースの開発
狭隘部遠隔重量物荷揚 / 作業台車の開発
重量物ハンドリング遠隔操作荷揚台車の開発
- (2) 計測・作業要素技術の開発
大気中・水中モニタリング / ハンドリングデバイス等の開発・改良
(a) 大気中モニタリングデバイス / 水中モニタリングデバイス
(b) 汚染状況マッピング技術
(c) ハンドリングデバイス技術
- (3) 災害対策用作業アシストロボットの開発
作業アシストロボットの開発



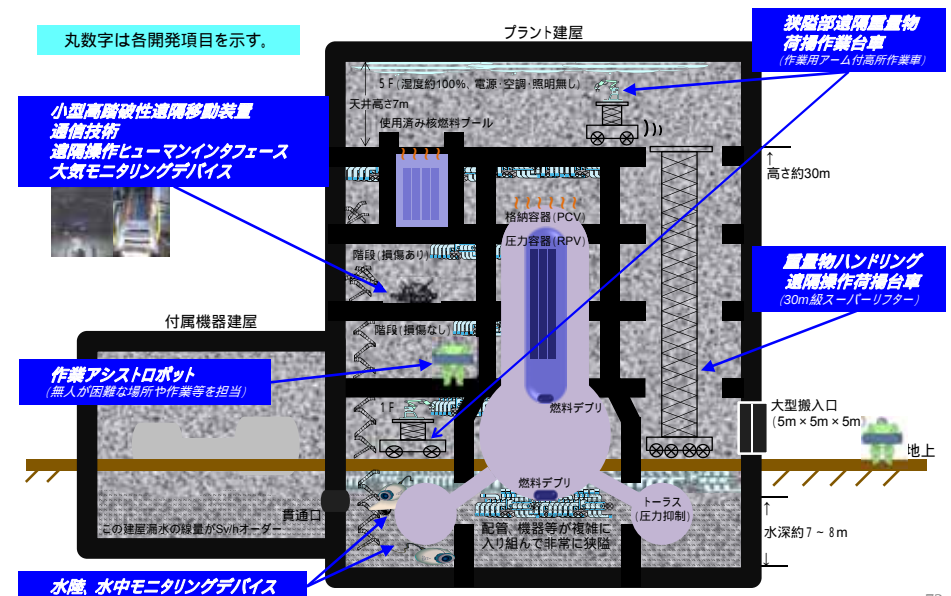
東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



精密工学専攻
Dept. of Precision Engineering

災害対応無人化システムの成果と原発事故適用イメージ



原子力ロボット関連プロジェクト

- これまで行われた原子力関連のプロジェクト
 - 原子力プラント点検ロボット(通産省)
 - 極限作業用ロボット(通産省)
 - 原子力基盤技術開発(科学技術庁)
 - JCO 対策原子力防災ロボット(通産省, 科学技術庁, 日本原子力研究所, 原子力安全技術センター, 原子力プラントメーカ)
- これまでのプロジェクトの成果が活用できなかった原因
 - 基盤技術や要素技術開発(プロトタイプ開発)までに留まる
 - 実用化のための支援策の欠如
 - 調達者不在(企業努力のみでは困難)
 - 開発に対するユーザの消極的関与



Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



原子力関連点検・作業ロボット



Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



原子力防災支援システム(JCO対策) (プラントメーカ各社, 2001)



Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



情報遠隔収集ロボット(JCO対策) (日本原子力研究所, 2001)



Copyright (c) Hajime Asama, Univ. of Tokyo. All rights reserved 2012



早急に解決すべき課題

- 福島原発の中長期措置における遠隔技術開発
 - 有機的で迅速な連携の強化
 - 俯瞰的(横串)視点からのニーズ把握, 技術開発・適用の統括
 - 現場と研究開発との連携, プロジェクト間連携
 - 産学官連携, 省庁間連携, 国際連携, 地域連携, メーカー間連携
 - 開発のための拠点・体制・組織の構築
 - モックアップ・テストフィールド・シミュレーションプラットフォーム
 - 開発時: 設計仕様確認, 実証試験・機能評価
 - 運用時: メンテナンス・訓練
 - 困難な課題に対するソリューションの最適で効率的な導出
 - DARPAチャレンジ
 - 企業カタログ・人材カタログ(システム・インテグレータ)
- 今後の原子力災害や事故に対する備え
 - 運用のための拠点・体制・組織
- 長い寿命の人工物に関する技術の維持

経験から得られた課題と政策提言

- リスクに対する備え
 - 国の長期的戦略, 継続的投資(負担), 制度設計
- 実用化を目標とした研究開発・技術開発
 - ニーズ駆動型開発(ユーザと組んだ開発)
 - 「作る」と「使う」のループを継続的に回す(技術は生もの)
 - 産業競争力の強化(需要創出, 人材育成)
- 機材を運用する拠点・体制・組織(FEMA?)
 - 配備の体制・指揮系統の明確化(災害・事故発生時)
- 安全(災害対応)の実現のための牽引役
- 経験を活かした技術力の強化・競争力の強化