福島第一原子力発電所
廃炉検討委員会セッション
個別セッション(D-2)

廃炉関連ロボットの開発

平成27年9月11日

国際廃炉研究開発機構/産業技術総合研究所
神徳 徹雄

※本発表内容は、経済産業省の「発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備委託費」、「発電用原子炉事故対応関連開発費補助事業」、「発電用原子炉等廃炉・安全技術開発費補助金」「廃炉・汚染水対策事業費補助金」の成果を含む。
※プラント情報等の一部内容は、東電ホームページより引用。

無断複製・転載禁止　技術研究組合　国際廃炉研究開発機構
©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

Outline

1. はじめに
2. 遠隔除染技術の開発
3. 原子炉格納容器内部調査
4. おわりに

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

はじめに

福島第一原子力発電所の事故対応

放射性物質によるリスクから人や環境を守る

＜廃炉措置＞
- 人が近づけない高放射線環境
- 安全最優先で着実な調査や作業

ロボット技術を活用した
遠隔基盤技術

＜課題の難しさ＞
- 実際の内部状況が不明で手探りの状況
- アクセスできる空間や使えるリソースの制約
- あらゆる事態を想定した対処の検討
- 進捗状況によって廃炉措置全体の構想の変化

- 想定ベースの仕様設定
- 高信頼な特注製品
- 人間機械系の導入
- 開発途中での仕様変更

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

IRIDの廃炉研究開発プロジェクト

使用済燃料の長期健全性評価（～2017年度）

除染・線量低減

- **遠隔除染装置開発（～2015年度）**

格納容器止水・補修

- 格納容器止水技術（～2017年度）
- 同実規模試験（～2016年度）

炉内調査・分析

調査

- 原子炉内燃料デブリ検知技術（～2016年度）
- 圧力容器内部調査技術（～2019年度）
- **格納容器内部調査技術（～2016年度）**

性状把握

- 事故進展解析による炉内把握（～2017年度）
- 燃料デブリ性状把握（～2019年度）

デブリ取出

- 格納容器／圧力容器健全性評価（～2016年度）
- 燃料デブリ・炉内構造物取出技術（～2019年度）
- デブリ臨界管理（～2019年度）
- デブリ収納・移送・保管（～2019年度）

廃棄物処理・処分

━：本日ご紹介

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

原子炉建屋・作業エリアの除染

従事者の線量限度：1年間で50mSv、5年間で100mSv
作業エリア：3 mSv/h、アクセスルート： 5 mSv/h

除染技術開発の課題

漏えい箇所調査、補修等の各種作業を円滑に進めるためには、作業場所の環境改善が必要

課題

- ●高線量エリアでの作業
- ●多様な汚染形態／多様な作業場所への対応要

⇒

- ・遠隔技術の確立
- ・対象部位ごとの仕様検討・開発

1～3号機の放射線量状況　2012年~2013年調査

1号機1階

2号機1階

3号機1階

3mSv/h 以下　3mSv/h ～10mSv/h　10mSv/h ～20mSv/h　20mSv/h ～50mSv/h　50mSv/h 以上

「建屋内の空間線量率について」
東京電力　H25.3.22
を参考に作成

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

遠隔除染技術の開発

汚染形態

遊離性、固着性、浸透汚染が混在

空間線量の構成

床面、壁面、ダクトや配管などの天井面の線源から構成

原子炉建屋１階（例）

遠隔除染技術の開発方針

- ●表面の堆積物を回収あるいは除去 →吸引
- ●表面の固着物を除去 →高圧水噴射
- ●塗膜あるいはコンクリートに浸透した汚染を除去 →ドライアイス・ブラスト
- ●コンクリートに浸透した汚染をコンクリートごと除去 →ブラスト

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

低所用除染装置の開発

➢平成26年1～4月福島第一原子力発電所1/2号機にて除染実証試験を実施し、遠隔除染技術の有効性・適用性を確認

吸引・ブラスト装置

高圧水ジェット装置

ドライアイスブラスト装置

施工状況	吸引	ブラスト	高圧水		ドライアイスブラスト	
			ジェット洗浄	はつり	散水洗浄部	未除染部
除染前						
除染後						

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

高所用除染装置の開発

- 実証試験として実機を模擬したモックアップにて試験実施し、除染装置の有効性・適用性を確認。

除染ヘッド

除染台車（走行時）

高圧水ジェット装置

ドライアイスブラスト装置

台車（走行時）

吸引･ブラスト装置

高所用除染装置については、除染対象箇所及び適用時期を調整中。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

原子炉格納容器（PCV）内部調査

PCV内部調査の目的

●燃料デブリ取り出しに向けて、原子炉格納容器内の燃料デブリの位置、状況を調査する

●圧力容器を支持するペデスタル等の状況を確認する

調査および調査装置の開発方針

1号機

2号機

3号機

・溶融燃料は、ほぼ全量がRPV下部プレナムへ落下、炉心部には殆ど燃料が存在せず

・燃料デブリのペデスタル外側までの拡散の可能性から、ペデスタル外側の調査を優先

・溶融した燃料のうち、一部は下部プレナムまたはPCVペデスタルへ落下、燃料の一部は炉心部に残存と推測

・ペデスタル外側までの拡散の可能性低く、ペデスタル内側の調査を優先

・3号機はPCV内の水位高く、1・2号機で使用予定のペネが水没の可能性あり、別方式の検討要

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

PCV内部調査

PCV内部調査ロボットの開発

形状変化型ロボット(1号機)

配管通過時

形状変化

平面走行時

クローラ型遠隔操作ロボット(2号機)

CRDレールからペデスタル内部に進入

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

格納容器内部調査(1号機)

【調査対象部位】：ペデスタル（外）地下階 作業員アクセス口近傍
【調査及び装置開発ステップ】
(1) X-100Bペネからの調査（～2015年度）
X-6ペネが高線量であり、現状接近可能なX-100B(Φ100mm)を使用して、優先度が高い以下のペデスタル外からの調査を計画。
① PCV内の1階グレーチング上の情報（CRDレール使用可否の調査等）を取得。：B1
② 2013年11月の水上ボートによるトーラス室調査結果を受け、ペデスタル（外）地下階(作業員アクセス口及び近傍ベント管)の映像取得に特化した調査を計画。：B2
(2) X-6からの調査(2016～2017年度)
①ペデスタル（外）地下階に対して、デブリ形状計測装置を搭載し更なる状況把握を行う。：B3

追加を検討中

B１．ﾍﾟﾃﾞｽﾀﾙ外1階ｸﾞﾚｰﾁﾝｸﾞ上調査
（2015年4月完了）：X-100Bﾍﾟﾈ使用

B２．ﾍﾟﾃﾞｽﾀﾙ外地下階状況調査
（2015年度計画中）：X-100Bﾍﾟﾈ

B2調査の結果を踏まえ実施要否の検討

B３．ﾍﾟﾃﾞｽﾀﾙ外地下階及び作業員ｱｸｾｽ口調査
(2016～17年度予定)：X-6ﾍﾟﾈ使用

ﾍﾟﾃﾞｽﾀﾙ内部の調査については、2号機の調査終了後の実施を検討。

形状変化型ロボットの開発

課題：
（1）狭隘空間（φ100mm）と安定走行の両立
（2）過酷環境（高線量，暗闇，蒸気雰囲気等）
（3）放射性物質の飛散防止

→ 「映像」「温度」「線量率」情報の収集

1000Gy　耐放射線

放射線に弱い制御回路を制御装置側（低放射線環境下）へ移設

バウンダリ構築

調査装置を内包

ガイドパイプ走行時 ← 変形 → グレーチング走行時

形状変化機構

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

形状変化型ロボットの開発（実証試験）

調査項目：
(1)今後の地下階状況調査計画に必要な情報の取得
　①地下階アクセス開口部周りの状況調査
　②他ペネ周辺の状況調査
(2)PCV内部の状況調査
　①環境調査(放射線量、温度)
　②既設構造物の状況確認

工場モックアップ試験

調査結果（福島第一　1号機）

X-100Bペネ
ガイドパイプ

地下階へのアクセス開口周囲に干渉物がないこと。

PCV内壁面など、機器に大きな損傷がないこと。

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

格納容器内部調査(2号機)

【調査対象部位】：プラットホーム上(ﾌﾟﾗｯﾄﾎｰﾑ上面，CRDﾊｳｼﾞﾝｸﾞ下部)及び下(地下階)
【調査及び装置開発ステップ】
(1) X-6ペネ（Φ115mm）からの調査（～2015年度）
　・X-6より、ペデスタル内部プラットホームの状況調査を2015年度/上に計画：A2
(2) X-6（穴径拡大、またはペネ開放）からの調査（2016～2017年度）：A3～A4
　・デブリ可視化装置を投入し、ペデスタル内部の調査を行う

A１．CRDﾚｰﾙ状況調査(2013/8実施済) → **A２．ﾍﾟﾃﾞｽﾀﾙ内部ﾌﾟﾗｯﾄﾎｰﾑ状況調査（2015年度/上予定）** → **A３．CRD下部及びﾌﾟﾗｯﾄﾎｰﾑ状況調査（2016年度予定）** → **A４．ﾍﾟﾃﾞｽﾀﾙ地下階の状況調査(2017年度/下予定)**

X-6ペネ使用までのステップ
・ペネ前_遮蔽の撤去
・ペネハッチへの穴あけ
・ペネの内包物撤去

ﾍﾟﾃﾞｽﾀﾙ外部の調査については、A2～A4の内部調査結果を踏まえて実施要否を検討

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

ペデスタル内部調査

課題：
（1）狭隘空間（φ100mm）と安定走行の両立
（2）過酷環境（高線量，暗闇，蒸気雰囲気等）
（3）放射性物質の飛散防止
（4）遮へいブロックの遠隔取外し

→ 「映像」「温度」「線量率」情報の収集

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

クローラ型遠隔操作ロボット

- 内径約φ100mmのガイドパイプを通過。
- 調査時は後方カメラを起こし、後方カメラによる高い空間認知性（＋起き上がり）を実現。
- 集光度の高い追加照明により、霧滴中における視認性を向上。
- 耐放射線性：1000Gy以上（積算）
- 気密性のあるチャンバから装置を送り出すことで作業中の放射性物質の飛散を防止。

後方カメラ＆照明

モックアップでのプラットホーム上調査

リスク対策として、CRDレール上の堆積物除去装置及びペデスタル内事前確認装置（代替調査方法）も開発。

堆積物除去装置

ペデスタル内事前確認装置

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

遮へいブロック取外し装置

高線量の原子炉建屋内において、PCVペネトレーション前に設置された遮へいブロックを遠隔で取り外す装置を開発。

作業員の
被曝量低減

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

おわりに

東京電力福島第一原子力発電所の事故対応

放射性物質によるリスクから人や環境を守る

- 想定ベースの仕様設定
- 高信頼な特注製品
- 人間機械系の導入
- 開発途中での仕様変更

＜廃炉措置＞

- 人が近づけない高放射線環境
- 安全最優先で着実な調査や作業

ロボット技術を活用した
遠隔基盤技術

＜課題＞

- 次々と明らかになる内部状況や各作業の進捗状況に応じて、調査すべき情報や必要とされる作業について柔軟対応できる仕組み
- 信頼性や性能向上のため、プロトタイプ機の試験評価結果をフードバックする機能改良を加えた（少なくとも2セットの）最終試験機を開発する仕組み
- ベンダーの異なる複数のロボットシステムが連携して作業出来る仕組み

関係機関と密に情報交換を行いつつ、
国内外の叡智を集めた研究開発を進めて行く

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning

ＩＲＩＤの研究開発プロジェクト　(H26年度)

使用済燃料プール燃料取出しに係る研究開発

- 使用済燃料プールから取出した燃料集合体の長期健全性評価
- 使用済燃料プールから取出した損傷燃料等の処理方法の検討

燃料デブリ取出し準備に係る研究開発

- 原子炉建屋内の遠隔除染技術の開発
- 原子炉格納容器漏えい箇所の補修・止水技術の開発
- 原子炉格納容器漏えい箇所の補修・止水技術の実規模試験
- 原子炉格納容器内部調査技術の開発
- 原子炉圧力容器内部調査技術の開発
- 事故進展解析及び実機データ等による炉内状況把握の高度化
- 原子炉内燃料デブリ検知技術の開発
- サプレッションチェンバー等に堆積した放射線物質の非破壊検知技術の開発
- 燃料デブリ・炉内構造物の取り出し技術の開発
- 燃料デブリ収納・移送・保管技術の開発
- 原子炉圧力容器／格納容器の健全性評価技術の開発
- 燃料デブリ臨界管理技術の開発
- 燃料デブリ性状把握・処置技術の開発
- 実デブリ性状分析

固体廃棄物の処理・処分に係る研究開発

- 固体廃棄物の処理・処分に関わる研究開発

©International Research Institute for Nuclear Decommissioning