

平成26年度福島研究開発部門成果報告会

廃止措置への取り組み

平成27年2月12日

福島廃止措置技術開発センター センター長 武田誠一郎

-本資料で紹介する研究開発には、資源エネルギー庁の委託事業「平成25年 度発電用原子炉等廃炉・安全技術基盤整備事業」の成果の一部が含まれる。



- 活動の経緯
- •「廃止措置」とは?
- JAEAの貢献
- これまでの成果
- おわりに







・2011年 3月11日	東日本大震災(東北地方太平洋沖地震)発生
・2011年12月16日	全号機で冷温停止達成
・2011年12月21日	廃炉に向けた工程(中長期ロードマップ)発表
・2012年 4月 1日	JAEA内に「福島技術開発特別チーム」を設置
・2012年 7月30日	中長期ロードマップ改定
・2012年 9月19日	原子力規制委員会が発足
・2013年 6月27日	中長期ロードマップ改定
・2013年 8月 8日	「国際廃炉研究開発機構(IRID)」設立
・2014年 4月 1日	JAEAで部門制導入、「福島研究開発部門」設置
・2014年 8月18日	「原子力損害賠償・廃炉等支援機構(NDF)」発足
・2014年11月 5日	4号機の使用済み燃料プールからの使用済み核燃料の
	取出作業を完了



JAEA

IRID

1F廃炉推進に向けた研究開発体制





廃止措置とは?





福島第一原子力発電所の廃止措置



IRID



一般的な廃止措置で発生する廃棄物



放射能レベルに応じた廃棄物の合理的な処理・処分

(原子力安全・保安院パンフレットより)



- 通常の操業廃棄物とは<u>異なった状態</u>で発生
- 1~3号機の炉心<u>燃料を起源とした汚染</u>*
- 廃止措置作業が状況に応じて変化するため、発生量の想定が困難
- 汚染範囲が広く、高線量箇所もあるため、<u>データが非常に限定的</u>(特に長半減期核種の組成)



*:放射化物、運転廃棄物由来のものが含まれる可能性がある。



TMI-2 の事故 (1979/3/28)





事故の概要

- ▶ 1979年3月28日、米国スリーマイル島原子力発 電所2号機で炉心が損傷する事故が起きた。
- ▶ 機器の故障と人為的なミスが重なり、圧力容器から冷却水が流出し、約2/3の炉心が露出した。
- ▶ 炉心中央上部で燃料集合体の溶融が始まり、炉 心の約45%(62t)が溶融し、溶融物(デブ リ)が生じた。
- ▶ デブリは集合体下部で一旦固化したが、再び溶融し、約19 t のデブリが圧力容器の下部ヘッド上に流れ落ちた。

R.K. McCardell, Nucl. Eng. Des. 118(1990) 441





燃料デブリ(Debris)とは?

冷却材の喪失により、原子炉燃料が溶融して原子炉構造材や制御棒と共に冷えて固まったもの



燃料デブリ(イメージ)

▶ 小石状や大きな塊状,切 り株状、コンクリートとの反応 物など、部位によっていろいろ な特徴がある

▶ 圧力容器内のみならず格 納容器下部にまで広範囲に 存在していると推測

▶ 格納容器下部に落ちた燃 料デブリは、コンクリート基礎 とコア・コンクリート反応 (MCCI)を引き起こす



TMI-2の経験





1F1~4 と TMI-2の違い

	TMI-2	1F-1	1 F-2	1 F-3	1F-4
炉型	加圧水型(PWR) 原子炉の中で発生した高温高圧水を蒸気発生器 に送り、そこで、別の系統を流れている水を蒸気 にかえてタービンに送り、発電機をまわして発電	原子炉の中で	<mark>沸騰水</mark> 雪 蒸気を発生させ	본(BWR) せ、それを直接ダ	マービンに送る
装荷燃料[t]	94	69		94	
集合体数[体]	177	400		548	
燃料ピン	ウラン燃料(ペレット)が充てんさ れた燃料棒などで構成、 <u>BWRよ</u> り大きい (17行17列)	ウラン燃料 や <u>チャンネ</u> 呼ばれるカ (8行8列, 93	(ペレット)か <u>ルボックス</u> 」 バー等で構 行9列)	「充てんされ と 成	た燃料棒
制御棒	料集合体の中に棒状の制御棒 が挿入 <u>Ag-In-Cd</u>	十字型をし 挿入 <u>B₄C</u>	た制御棒が	燃料集合体	4体の間に
燃料デブリ位置	RV内にとどまった	RPV外に落	客下したかも	しれない	
溶融範囲	燃料の <u>45%、62tが溶融</u> し、うち 20tが <u>原子炉圧力容器の底に溜</u> <u>まった</u>	燃料の <u>大音</u> <u>ヘッド上 あ</u> <u>可能性</u> がナ	<u> 8分は損傷・</u> るいは格納 てきい	<u>溶融し、圧</u> 容器内に落	<u>カ容器下部</u> 下している



1F廃炉に向けた課題





- 通常の操業廃棄物とは<u>異なった状態</u>で発生
- 1~3号機の炉心<u>燃料を起源とした汚染</u>*
- 廃止措置作業が状況に応じて変化するため、<u>発生量の想定が困難</u>
- 汚染範囲が広く、高線量箇所もあるため、<u>データが非常に限定的</u>(特に長半減期核種の組成)



*:放射化物、運転廃棄物由来のものが含まれる可能性がある。



JAEAの貢献

 ●燃料デブリを用いた特性把握 (TMI-2デブリとの比較)
 ●燃料集合体の長期健全性評価 (1F実機燃料集合体から採取した部材 の健全性評価) ●燃料デブリ処置技術の開発

(燃料デブリ処置技術の適用可能性検討)

●廃棄物の性状把握

(汚染水、二次廃棄物、ガレキ等の分析評価)

●ソースターム研究
 (融点測定や FP放出挙動評価)
 ●遠隔除染技術開発
 (建屋内汚染状況の評価)







燃料試験施設 (RFEF)

高レベル放射性物質 研究施設(CPF) 照射燃料試験施設(AGF)

<u>基盤技術・施設の活用</u>

〇核工学研究 〇炉工学研究 〇燃料工学研究

IRID

〇サイクル工学研究 〇材料工学研究 〇分析化学研究

◇研究開発拠点の各種施設



・炉心状況の把握に向けて

・燃料デブリの取り出しに向けて

・放射性廃棄物の処理・処分に向けて

・使用済燃料プールから取り出した燃料の処理に向けて





・炉心状況の把握に向けて

・燃料デブリの取り出しに向けて

・放射性廃棄物の処理・処分に向けて

・使用済燃料プールから取り出した燃料の処理に向けて



AEA) 燃料デブリ取り出し準備に係る研究開発(ロードマップ)¹⁷



JAEA) デブリの性状を知り,処置方法を考える



AEA) 燃料

燃料デブリとはどのようなものか?(1)





● TMI-2 サンプルを用いた特性データの取得

> 基礎物性、機械的特性データ

SEM-EPMA、XRD、密度等の基礎物性に加え、ビッカース硬度等を取得する

> 化学特性データ

アルカリ溶融等の分析技術の検証を行う。また、元素分析、浸漬特性等を把握する。





・炉心状況の把握に向けて

・燃料デブリの取り出しに向けて

・放射性廃棄物の処理・処分に向けて

・使用済燃料プールから取り出した燃料の処理に向けて





・事故廃棄物の処理・処分に向けたR&Dを実施



IRID

(東京電力福島第一原子力発電所の廃炉に向けた研究開発計画と基盤研究に関するワークショップ資料を加工)



<u>1F事故廃棄物の特徴</u>

- 通常の操業廃棄物とは<u>異なった状態</u>で発生
- 1~3号機の炉心<u>燃料を起源とした汚染</u>*
- 廃止措置作業が状況に応じて変化するため、<u>発生量の想定が困難</u>
- 汚染範囲が広く、高線量箇所もあるため、データが非常に限定的(特に長半減期核種の組成)



*:放射化物、運転廃棄物由来のものが含まれる可能性がある。



汚染水処理水,固体廃棄物等の発生量

右図 凡例	主な種類	発生量		
	汚染水処理水 (水処理タンク)	約598,000 m³		
	水処理二次廃棄物 (セシウム吸着塔等)	1,575本		
	ガレキ	131,900 m³		
	伐採木	79,700 m ³		

汚染水処理水、水処理二次廃棄物	:H27. 1.15時点
ガレキ、伐採木	: H26. 11. 30時点

IRID



(東京電力福島第一原子力発電所の廃炉に向けた研究開発計画と基盤研究に関するワークショップ資料を改訂)



放射性廃棄物の処理・処分に向けて(3)





原子炉建屋内の汚染状況を知る

・原子炉にアクセスするため、効果的・効率的な建屋除染が必要・放射性物質の種類、量、分布、壁や床への浸透状況などを分析





・燃料デブリの取り出しに向けて

・放射性廃棄物の処理・処分に向けて





・燃料デブリの取り出しに向けて

・放射性廃棄物の処理・処分に向けて





炉内にある燃料デブリはどのような性状のものか?

(熱力学平衡計算)



IRID



30

ウランやジルコニウムを用いて模擬デブリを作成、種々の組成等のパラメータを振りながら、 考えられる燃料デブリの物性データを取得。

● 例:溶融・固化試料中の各相の微小硬さの測定概略値





高温のデブリ表面で海水が蒸発して塩が析出した状況を仮定し、反応性に関する基礎データを取得。

- ・蒸発固化した海水塩に(U,Zr)O2模擬デブリペレットを浸漬し、
 815 1395℃で等温保持
- ペレット表面にCa(+Na)の
 緻密なウラン酸塩層の生成を確認
- Ca/Na/U = 20-25/30-25/50 at%

 \rightarrow (Ca,Na)UO_{4-x} or CaNaU₂O_{7-x}

• Uが選択的に反応し、ペレット表層近傍では濃度勾配





海水塩と加熱した(U_{0.4}Zr_{0.6})O₂模擬デブリペレット断面のSEM像及びX線像(空気中、1002°C、12h)



・燃料デブリの取り出しに向けて

・放射性廃棄物の処理・処分に向けて





ガレキ・伐採木等に含まれる放射能は?

事故廃棄物の処理処分方策の検討に当たり、どの放射性核種に着目すれば良いか確認するため、ガレキ、伐採木等を採取し、詳細な放射能分析を実施。



⁹⁰Srの分析

⁹⁰Sr/¹³⁷Cs比は23% 1000 10% ▲1号周辺 1% ³⁰Srの放射能濃度(Bq/g) 0.1% • 3号 " 0.01% 10 ◆ 4号 개 ■伐採木 **※3号周辺立木** 0.1 検出下限値 ● チェルノブイリ事故 (キエフ市内土壌) 0.001 100 10000 1000000 1 ¹³⁷Csの放射能濃度(Bq/g)

チェルノブイリ事故での

33

ガレキ等におけるCs-137とSr-90放射能濃度の関係

Sr-90/Cs-137比はガレキと伐採木において大きな差はなく、0.002~0.62%の範囲であった。 採取場所毎のSr-90/Cs-137比は、1号機周辺ガレキが3号機周辺ガレキに比べて高い傾向が見られ るものの、データが少なく不明確であるためデータの蓄積を図っている。





汚染水中の放射性核種の濃度は、当初、冷却水の注入や地下水の流入による希釈により単調な減少が期待されていたが、濃度の低下が緩やかになっており、原子炉建屋等から継続的に移行していると推定。評価モデルを構築し解析。





廃棄物はどう処理するか?

__(スラッジの廃棄体化)

●廃棄物の処理に関する検討

水処理二次廃棄物に含まれるフェロシアン化物 は、無害化、安定化が必要であるが、分解に伴い 遊離するセシウムを固定化できる処理方法を検 討する必要がある。

シアンの無害化、セシウムの不溶化・不揮発化、といった観点からジオポリマーを用いた処理方法に着目。

FT-IR分析結果より、焼成により、 フェロシアン化物はほぼ完全に 分解した。





IRID



焼成後試料のセシウム浸出率





焼成後の固化物中のセシウム残存量を 測定した結果、セシウム量は焼成前後で ほぼ同量であり、セシウムが固化物中に 留まっている。

セシウムを吸着したフェロシアン化物の処理技術にジオポリマーを適用することは高い有用性を持つことが示された。



- 炉内状況把握,デブリ取り出し,事故廃棄物処理・処分にかかわる 課題を中心に研究開発に取り組み,1Fの抱えるリスクを低減すると ともに最終ゴールである1F廃止措置完了に貢献する。
- 1F廃止措置にかかる長期にわたる活動が、途切れることなく精力的に継続されるよう研究開発活動を通じて人材の確保・育成に努めていく。
- 国内外の関係機関と連携して活動し、事故廃棄物の処理・処分も 含めて事故炉の廃止措置にかかわり新たに創生される技術のレベル 維持・向上を目指す。



ご清聴ありがとうございました

