

# ジオポリマーを活用した燃料デブリ取り出し工法の提案

## A new method of fuel debris retrieval with geopolymer for Fukushima Dai-ichi NPP

東京大学  
東京大学

鈴木俊一  
岡本孝司

Shunichi SUZUKI  
Koji OKAMOTO

Member  
Member

The mission of decommissioning of Fukushima Dai-ichi NPP is the long-term, complicated and difficult task. In this paper, a new method to retrieve fuel debris using geopolymer will be discussed.

**Keywords:** Fukushima, Decommissioning, Fuel debris retrieval, Geopolymer

### 1. 緒言

福島第一原子力発電所廃炉の課題を克服するためには、数多くの視点から課題を捉える必要がある [1]。

前報告では俯瞰的視点で捉えた、燃料デブリ取り出し、廃棄物管理、及び遠隔技術の3分野の要求機能について概念を示した[2]。本報告ではこのうち燃料デブリ取り出しに絞って、どのような工法が有効であるか議論を行う。

なお、工法アイデアを創出するためのブレインストーミングは、原子力技術専門家の他、化学プラント、再処理技術、土木・建築技術、粉塵技術などに関する学内外の専門家の意見を反映して実施した。

### 2. 燃料デブリ取り出しのための要求機能

放射性物質の閉じ込めの要求機能としては、①放射性物質を外にださない、②被曝低減、③事故・故障も想定したリスクマネジメントが重要であり、そのためには

(1) 多重化し、最終壁で閉じ込める、例えば、PCVでの完全な閉じ込めは高線量作業であり困難なことから、アクセス容易な原子炉建屋の内面をコーティングする、あるいは他建屋を壊してから原子炉建屋の外を覆う

(2) 燃料デブリ取り出し時における放射性物質の閉じ込め空間は、管理しやすいコンパクトな構造とする

(3) 空調系は負圧管理とともに、 $\alpha$ 核種も含めた核種除去可能な空気浄化系を設置する

(4)  $\alpha$ 核種を含めたモニタリング設備を設置する

(5) 燃料デブリ取り出し時の核種飛散(含エアロゾル)を事前にシミュレーションする(極力、機械切断を採用)

(6) 他、作業立入制限やマスク常備などマネジメントなどが必要である。

また、PCV 底部の MCCI 生成物取り出しの要求機能としては、①切断時の粉塵や汚染水を外に出さない、②被曝低減、③取り出しに長期間を要しない(建屋損傷前に取出す)、④再臨界防止、⑤事故・故障も想定したリスクマネジメントが重要である。上記を達成するためには、ジオポリマー等で先ずは MCCI 生成物等を準安定化してから取り出し作業を行うことが合理的であり、燃料デブリ経年劣化の防止、放射性物質の飛散防止、廃棄体処理の合理化等の観点から有効であると判断される (Fig.1)。

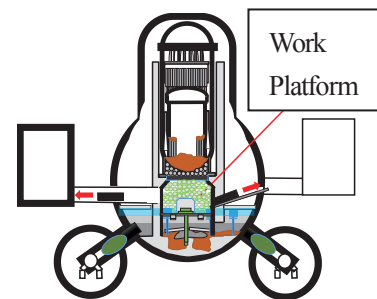


Fig 1. New method to retrieve the fuel debris

### 3. 新たな燃料デブリ取り出し工法

#### 3.1 工法手順

以下に本工法の概略手順を示す。

- ① 制御棒駆動機構等の PCV ペDESTAL 内機器を切断し、取り出すかあるいは PCV 底部に据え置く
- ② PCV 底部に燃料デブリ崩壊熱を除去する銅チューブ、ヒートパイプあるいは水冷パイプ等を設置する
- ③ PCV 底部にジオポリマーを、次に下部アクセス扉高さ(PCV 底から約 2m)まで放射線コンクリートを流し込み、PCV 内外にある燃料デブリを覆う
- ④ PCV ペDESTAL 内外に作業プラットフォームを設置
- ⑤ プラットフォーム上に燃料デブリ取り出し機器を設置

連絡先: 鈴木俊一、〒113-8656 東京都文京区本郷  
7-3-1 東京大学大学院工学系研究科原子力国際専攻  
E-mail: s\_suzuki@n.t.u-tokyo.ac.jp

⑥ PCV 底部及びRPV 底部から燃料デブリを取り出す

### 3.2 本工法の有効性

以下に種々の観点からの本工法の有効性を示す。

(1) 燃料デブリ取り出し準備における潜在的利点

＜ 止水対策の簡易化（被曝低減、長期リスク対応）＞

① IF1 で懸念されるシェルアタックの補修が不要

② 止水作業（ベント管以外）の簡素化が可能

＜ PCV とトーラス室の縁切り（リスク対応）＞

③ トーラス室水位一地下水水位逆転現象の防止

④ トーラス室壁面貫通部止水不要

＜ 耐震性向上（長期リスク対応、被曝低減）＞

⑤ S/C 脚部補修工事が不要

⑥ ペDESTAL 底部補強の検討が可能

＜ 臨界・腐食対応の簡易化（長期リスク対応）＞

⑦ 臨界防止対策の簡易化

⑧ 防錆剤添加減に伴う水処理設備への負荷低減

⑨ 給水／燃料デブリ接触面積減に伴う汚染水濃度低減

＜燃料デブリ位置によらない冷却対策を検討可能＞

⑩ ヒートパイプ、水冷パイプ（IC 等）の受動的安全設備を設置可能

(2) 燃料デブリ取り出しにおける潜在的利点

＜ PCV 底部 MCCI 生成物の取り出し＞

① MCCI 生成物の準安定化（長期リスク対応）

時間に伴う燃料デブリ性状変化への対策

② 燃料デブリ取り出し時における  $\alpha$  核種等、放射性核種の飛散防止（安全）

③ 足場確保に伴う取出し装置設置容易化（作業性向上）

④ 遮蔽による線量低減（作業性向上、機器の耐放射線対策の容易化、被曝低減）

⑤ 取出し時に発生する  $\alpha$  核種等のトーラス室への移行防止によるトーラス室負圧管理不要（コスト低減）

⑥ RPV 等構造物落下時の衝撃吸収（長期リスク対応）

＜ RPV 底部（近傍）燃料デブリの取り出し＞

⑦ ペDESTAL 内作業プラットフォーム構築による

RPV・PCV 同時デブリ取り出し作業（工程短縮）

⑧ ペDESTAL 天井設置による RPV 底部及び下部取り出し

⑨ 上蓋非開放状態での燃料デブリ取り出しの可能性

＜ 安全上の利点（水冷が不必要になった時点）＞

⑩ 臨界管理が不要となるため時間のかかる臨界検知ガス管理が不要

⑪ 余分な水がないため水素対策が不要となり、上記と併せて負圧管理のみが管理項目となる

⑫ 熱が出ない、溶融しない、圧力が上がらない、化学反応がないため、バウンダリ簡素化が可能（再処理の概念：静的バウンダリのセル+動的バウンダリの空調系）

(3) 廃棄物管理における潜在的利点

① プラットフォーム足場材と同一材を収納容器への注入することにより、MCCI 生成物の長期保管が可能

② ジオポリマー利用で気中取り出し保管の場合、廃棄物長期保管の課題である水素・腐食対応の簡素化が可能

### 3.3 工法成立のための課題

本工法実現のためには、

① ジオポリマーの流動・固化特性、界面特性の把握、

埋め戻しの成立性確認、②施工材の耐久性・強度評価、

③MCCI 生成物及び RPV 底部の除熱技術、④耐環境・放射線

ロボットの開発、⑤ペDESTAL 内機器撤去技術、

⑥デブリ取り出し装置・治具の開発、⑦ PCV 側面アクセス

技術、⑧負圧管理システムの構築、⑨小循環水ライン

またはグラウト注入ラインの設置と切替手順、⑩水・放射

性物質のシール技術、⑪キャスク保管時の臨界評価、

⑫収納缶内ジオポリマーの水素発生量評価、⑬廃棄物量の

算定等が必要である。なお、上記個別要素の多くには、

現状 IRID が開発中の廃炉技術の適用が望まれる。

## 4. 結論

(1) 燃料デブリ取り出しにおいては、先ず燃料デブリを安定化した後、コンパクトな空間で放射性物質を閉じ込めながら取り出すことが有効であるとの結論に至った。

(2) 今後は得られた要求機能に基づき、他分野も参考にしつつ可能な機構を検討し、廃棄物管理を含めたリスク評価を行いながら、工学的成立性を追求する。

## 謝辞

本内容は、文科省「英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業 廃止措置研究・人材育成等強化プログラム」の東京大学「遠隔操作技術及び核種分析技術を基盤とする俯瞰的廃止措置人材育成」における成果である。

## 参考文献

- [1] NDF, 「東京電力(株)福島第一原子力発電所の廃炉のための技術戦略プラン 2015」
- [2] 鈴木俊一, 田村雄介, 岡本孝司: “俯瞰的アプローチによる福島第一廃止措置の新たな工法検討”, 日本保全学会第 13 回学術講演会要旨集, 横浜, 2016 年 7 月 25-27, pp.482-483 (2016)