

Oral presentation | V. Nuclear Fuel Cycle and Nuclear Materials : 505-3 Decommissioning
Technology of Nuclear Facilities

📅 Tue. Mar 26, 2024 4:20 PM - 5:30 PM JST | Tue. Mar 26, 2024 7:20 AM - 8:30 AM UTC | 🏢 Room A
21Bldg.2F 21-203

[1A15-18] Decommissioning of the Accident Reactor

Chair:Norikazu Kinoshita(Shimizu)

4:20 PM - 4:35 PM JST | 7:20 AM - 7:35 AM UTC

[1A15] Development of Technology for Inspection inside the Reactor Pressure Vessels (RPVs) at Fukushima Daiichi NPS

*Shingo Maeda¹, Takashi Mitsui¹, Hitoshi Manabe¹, Takashi Itou¹, Masanori Hatori¹, Itaru Suzuki¹ (1. Tousou Mirai Technology Co. Ltd.)

4:35 PM - 4:50 PM JST | 7:35 AM - 7:50 AM UTC

[1A16] Underwater fuel debris recovery method

窒化ホウ素のブラストを用いたウォータージェット回収装置

*Yasufumi Kitaura¹, Haruo Morishige² (1. Kitamura, 2. Fukushima Accident Countermeasures Review Group)

4:50 PM - 5:05 PM JST | 7:50 AM - 8:05 AM UTC

[1A17] Assessment of dust dispersion data for future safety analysis of Fukushima Daiichi fuel debris retrieval

(15) Simulations to evaluate the effects of casing shape and cutting conditions on the dust dispersion behavior

*Kenta Kato¹, Kenta Inagaki¹, Tadafumi Koyama¹, Koichi Uozumi¹, Taizo Kanai¹, Kinya Nakamura¹, Shun Kanagawa¹, Takatoshi Hijikata¹, Tetsuya Kato¹, Daisuke Yamauchi² (1. CRIEPI, 2. TEPCO HD)

5:05 PM - 5:20 PM JST | 8:05 AM - 8:20 AM UTC

[1A18] Study on the degradation scenario of reinforced concrete structures and their reflection on the long-term maintenance plan for a reactor building in an accident-damaged nuclear power plant (Follow-up Report)

*Koji Dozaki¹, Takayuki Aoki¹ (1. Tohoku University)

5:20 PM - 5:30 PM JST | 8:20 AM - 8:30 AM UTC

Time reserved for Chair

福島第一原子力発電所における原子炉圧力容器内部調査技術の開発

Development of Technology for Inspection inside the Reactor Pressure Vessels (RPVs) at Fukushima Daiichi NPS

*前田 真吾¹, 三井 崇¹, 真鍋 仁志¹, 伊東 敬¹, 羽鳥 正訓¹, 鈴木 格¹

¹東双みらいテクノロジー株式会社

福島第一原子力発電所における燃料デブリ取り出しに向けては、燃料デブリの存在している原子炉圧力容器（以下、RPV）や原子炉格納容器内の情報（燃料デブリの分布や構造物の状態・内部線量等）の取得が必要である。しかし、現場は高線量であることから、遠隔での作業が必要である。

本報告では、遠隔での RPV 内部調査技術の開発に関する検討状況や試験の概要等を紹介する。

キーワード：福島第一原子力発電所，燃料デブリ，内部調査

1. 緒言

RPV 内部調査では、これまで上部・側面・下部からのアクセスが検討されている。今年度は上部・下部アクセスを検討した。上部アクセスは、RPV 上部が損傷していないと想定され、アクセスルート構築には加工が必要である。そのため、加工技術として、レーザおよびアブレイシブウォータージェット（以下 AWJ）の切断試験等を実施した。下部アクセスは、炉底部の損傷が想定され、損傷部からのアクセスを想定した。そのため、ドローンおよびテレスコピック式の装置を用いた調査工法の開発および要素試験を行った。また、炉底部の損傷状況の不確かさから代替工法の概念検討を実施した。

2. 原子炉圧力容器内部調査技術の開発

2-1. 上部アクセス調査工法におけるアクセスルート構築のための加工技術の高度化

2-1-1. レーザ加工装置（試作機）の切断性能確認

加工装置を原子炉建屋オペレーティングフロア上のセル内に設置することを想定し、約 18m 下のシュラウドヘッドまでの各炉内構造物を遠隔操作で切断が可能であることを実規模試験設備を用いて確認した（図 1 参照）。

2-1-2. AWJ 切断技術に係わる部分要素試作機の切断性能確認

これまでに実施された要素試験に続き、二次廃棄物の発生を抑制するためのアブレイシブ供給量低減条件でも模擬体切断が可能であることを確認した。

2-2. 下部アクセス調査工法の開発

2-2-1. ドローンをを用いた調査工法開発

1 号機のペDESTAL 内他の損傷状況を模擬した試験設備で、ドローンの飛行調査試験を実施した。ドローンはこれまでの課題対策の他に小型化、自律・半自律航行が可能なるものを製作し、要素試験を行い、現場適用に向けた課題を確認した。

2-2-2. テレスコピック式調査装置を用いた調査工法開発

これまでの課題の非常時収縮対策・姿勢制御機構・傾き検知方法・カメラ・取得映像処理方法を検討し、テレスコピック式調査装置を改良した。上記改良結果の確認のため、要素試験を行い、現場適用に向けた課題を抽出した。

2-2-3. 代替工法の検討

上記開発中の 2 工法とは別の代替工法を抽出し、選定した代替工法のシステム・機器等の概念検討を実施した。本結果を踏まえ開発計画を提案する。

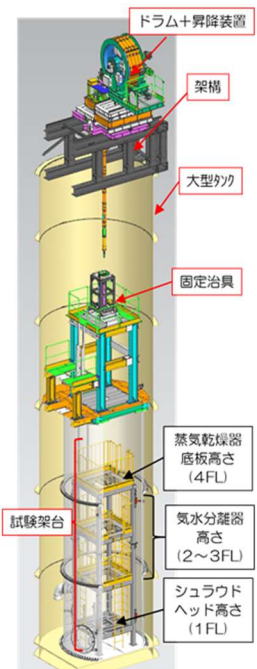


図 1 試験設備概要図
（レーザ加工装置
遠隔施工性確認試験）

3. 結論

福島第一原子力発電所における RPV 内部調査工法の技術開発に関する取り組み状況を紹介した。本開発成果を通じて、燃料デブリ取り出しの早期実現に向け、東京電力ホールディングス殿と協力し、RPV 内部の基礎情報（燃料デブリの分布や構造物の状態・内部線量等）の早期取得を目指していく。

4. 謝辞

本研究は、経済産業省／令和 5 年度開始「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金」に係る補助事業として実施したものであり、東京電力ホールディングス株式会社をはじめ、日立 GE ニュークリア・エナジー株式会社、東芝エネルギーシステムズ株式会社、白山工業株式会社の各社ご協力により得られた成果である。

参考文献

[1] 原子炉圧力容器内部調査技術の開発（上部アクセス調査工法における加工技術の高度化、下部アクセス調査工法の開発）2022 年度最終報告 技術研究組合 国際廃炉研究開発機構

*Shingo Maeda¹, Takashi Mitsui¹, Hitoshi Manabe¹, Takashi Itou¹, Masanori Hatori¹, Itaru Suzuki¹

¹Tousou Mirai Technology Co. Ltd.

水中内で行う燃料デブリ回収工法提案 窒化ホウ素のブラストを用いたウォータージェット回収装置

Underwater fuel debris recovery method

Water jet recovery device using boron nitride blasting

*北村 康文¹, 森重 晴雄²

¹ (株) きたむら, ² 福島事故対策検討会

本提案ではコーン状容器の内側から先端から高圧水を噴射させ燃料デブリを粉砕し、コーン内で粉砕した燃料デブリを水とともに回収する方法である。建築業界では既にコンクリートをウォータージェットでコンクリートを破砕し破砕片を水とともに回収する技術が実用化されている。以下に主な課題として三つありその解決法を述べる。

キーワード：ウォータージェット、燃料デブリ回収、窒化ホウ素

1. 概略工法

ウォータージェットを利用した回収装置を図1に示す。コーン状の容器内で燃料デブリに高圧水を噴射すると共に回収管から燃料デブリの粉体を水中輸送する。図2に回収全体外観図を示す、原子炉建屋横に回収棟を設け、高圧水の噴射ラインと燃料デブリの回収ラインをポンプで循環させ、ポンプ手前に保管用容器を設け燃料デブリをトラップさせる。

2. 課題とその対策

2-1. 確実な回収

回収装置が覆う接着面に隙間が発生し粉砕した燃料デブリが装置の外に漏れる。その対策として回収装置の外側に噴射ラインから噴射させ隙間からその水を流入させる。

2-2. 固い燃料デブリや鋼材の切削

燃料デブリだけでなく鉄筋あるいは必要に応じ格納容器の鋼材も切断する必要がある。対策として噴射ラインにブラストを混ぜ切削する、ブラスト材はダイヤモンド硬さ以上を持つとされる窒化ホウ素を使用する。

2-3. 臨界対策

燃料デブリに含まれるプルトニウムが自発核分裂しており、各号機中性子が毎秒1億個以上発生していると推定され、臨界対策は必須である。ブラスト材として使用する窒化ホウ素は中性子を吸収する。

2. 結論

各課題は現実にある技術内の問題であり、克服可能である。回収装置の周囲にスラスターをつけてやれば任意の位置に移動可能である。ウォータージェットを用いた

コンクリート切削回収はすでに土木業界で使用されており、その能力から毎時数 Kg は回収可能である。

参考文献

[1] 差し迫る福島原発1号炉の倒壊と日本滅亡 森重晴雄 せせらぎ出版 2023年11月

*Yasufumi Kitamura¹ and Haruo Morishige²

¹Kitamura Co., Ltd., ²Fukushima Accident Countermeasures Review Group

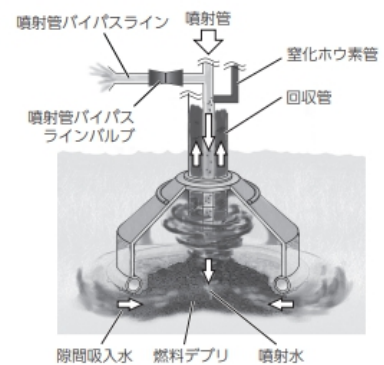


図1 回収装置

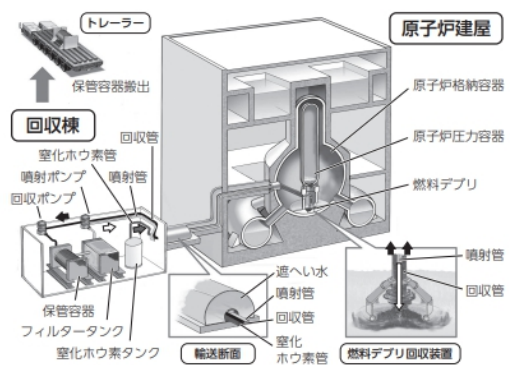


図2 回収全体外観図

福島第一原子力発電所の燃料デブリ取出しに向けたダスト飛散率データの整備

(15) ケーシング形状と切削条件がダスト飛散挙動に及ぼす影響に関する感度解析

Assessment of dust dispersion data for future safety analysis of Fukushima Daiichi fuel debris retrieval
(15) Simulations to evaluate the effects of casing shape and cutting conditions on the dust dispersion behavior

*加藤健太¹、稲垣健太¹、小山正史¹、魚住浩一¹、金井大造¹、中村勤也¹、金川俊¹、土方孝敏¹、加藤徹也¹、山内大典²、茂木一貴²、岩田裕一²
¹電中研、²東電HD

ダスト飛散挙動は流れ場の影響を強く受けるとともに、一部切削手法のダスト回収率は切削の進行状況に依存し得る。そこで本研究では、乾式条件でケーシング形状と切削の進行状況をパラメータとした感度解析を実施し、飛散挙動に与える影響を明らかにした。

キーワード：ダスト、飛散挙動、粒子追跡法

1. 緒言

燃料デブリ取り出しには、切削によるダストの発生・移行過程を考慮した安全評価が必要である。これまでドライ環境において模擬燃料デブリを複数の手法で切削し、発生するダストの性状や飛散挙動を明らかにするためのダスト飛散試験を実施した[1]。また、粒子追跡法によるダスト飛散挙動予測手法を構築し、ダスト飛散試験(図1(a))の再現解析を行い手法の妥当性を確認した[2]。本研究では、ケーシングの形状がダストの飛散挙動に与える影響を明らかにするため、図1(a, b, c)のようにケーシングの大きさを変えた場合のダスト回収率(回収口に到達した粒子数/全粒子数)をダスト飛散挙動予測手法を用いて計算した。また、ディスクカッターで切削が進むにつれて、ダスト生成時の飛散方向が変化した場合のダスト回収率への影響を評価するための感度解析を実施した。

2. 感度解析結果

感度解析の1例として、レーザー切断による回収率のケーシング形状依存性について述べる。図1(b, c)中の曲線は、レーザー切断で飛散したダストの軌跡を示す。前年度に実施したレーザー切断の解析では壁面と衝突した粒子がすべて固着すると仮定することで試験結果の再現性が向上した[2]ことから、同様の過程で解析を実施した。赤線がダスト回収口に捕集された粒子、青線が捕集されなかった粒子、緑線が壁に固着した粒子の軌跡を表す。小ケーシングでは、レーザー切断のアシストガスによって乱れた流れ場が形成され、粒径が50 μmより小さなダストでは、約90%のダストが壁に固着する。一方で、大ケーシングでは切削部近傍の壁面の影響による流れ場の乱れが低減されたことで、壁に固着するダスト量が約75%に減少した。このことから、開けた空間であれば壁面への衝突が少なくなりダストが外部へ放出されやすくなることが示唆された。なお、壁面に衝突したダストが実際に固着する頻度については、今後の検討課題である。

またディスクカッター切断で、ダスト発生時の飛散方向を変えた解析を実施した結果、100 μm程度の粒径を持つ大きなダストでは、飛散方向の角度によって回収率に変化が見られるが、10 μm程度の比較的小さいダストでは初速方向が回収率に与える影響は小さいことを明らかにした。

3. 結論

粒子追跡法に基づくダスト飛散挙動予測手法を用いて、ケーシングの形状やダスト発生時の飛散方向がダストの回収率に与える影響を明らかにした。これらの感度解析で得られた知見をダスト飛散試験結果の評価に反映することで、試験データに含まれる不確かさを低減することを目指す。また、実機でのデブリ切削時における飛散率予測の高度化に向けて、手法の高度化を継続する。

参考文献

- [1] 小山正史、他、日本原子力学会 2022 年秋の大会 2B20 (本シリーズ(1))
- [2] 稲垣健太、他、日本原子力学会 2023 年秋の大会 1F18 (本シリーズ(13))

*本研究は、令和5年度開始「廃炉・汚染水・処理水対策事業費補助金(安全システム(ダスト飛散率データ取得))」によって実施したものです。

* Kenta Kato¹, Kenta Inagaki¹, Tadafumi Koyama¹, Koichi Uozumi¹, Taizo Kanai¹, Kinya Nakamura¹, Shun Kanagawa¹, Takatoshi Hijikata¹, Tetsuya Kato¹, Daisuke Yamauchi², Yuichi Iwata², Kazutaka Mogi² ¹CRIEPI, ²TEPCO

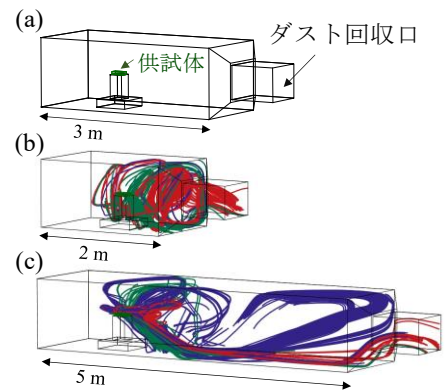


図1 (a) 実験体系[2]、レーザー切断時の(b) 小ケーシングおよび、(c) 大ケーシングの解析結果。

事故炉原子炉建屋の劣化シナリオとその長期保全計画への反映検討（続報）

Study on the degradation scenario of reinforced concrete structures and their reflection on the long-term maintenance plan for a reactor building in an accident-damaged nuclear power plant (Follow-up Report)

* 堂崎浩二¹ 青木孝行¹

¹ 東北大学

前報では、事故炉原子炉建屋の事故直後の状態及び将来の状態の推定方法の方向性について報告した[1]。

本報ではその続編として、事故炉原子炉建屋の環境の実測または推定方法と、事故炉原子炉建屋鉄筋コンクリートの劣化進展予測方法についての考え方を工学的に展開し、有望な数理的手法の枠組みについて報告する。

キーワード：事故炉、鉄筋コンクリート構造、経年劣化、点検、長期保全計画

1. 緒言

事故炉の安全かつ着実な廃止措置を進めるには、原子炉建屋の健全性（強度）を確認するため、長期保全計画を適切に定めることが重要である。このため、事故炉原子炉建屋の環境の実測または推定方法、劣化進展の可能性、その進展予測に基づく点検実施時期の特定方法、事故炉原子炉建屋の事故直後の状態や将来の状態の推定方法について調査・検討している。

2. これまでの進捗状況とアウトプットイメージ

前報では、図1に示す鉄筋コンクリートの劣化シナリオを念頭に、劣化シナリオに関する情報・知見の収集や、鉄筋コンクリート構造物に対する検査の考え方、事故炉の環境条件を踏まえた検査、保全対象の絞り込み、保全実施時期等についての考え方を整理した。

その後、これらの保全の考え方に基づき、事故炉における環境把握の方法、原子炉建屋の経年劣化の進展評価方法、鉄筋コンクリート部材の検査対象、検査方法等について具体化を検討している。鉄筋コンクリートの劣化は、マルコフ連鎖が成立することが知られている[2]。この考え方に基づき、図2に示すように、原子炉建屋の経年劣化が進展することを想定している。

これらの検討を踏まえ、事故炉原子炉建屋の主要個所における環境の実測または推定方法、特定された環境に対する鉄筋コンクリートの劣化進展予測方法についての考え方を工学的に展開し、有望な数理的手法の枠組みについて検討中である。

今後、これらの検討結果を整理し、事故炉原子炉建屋の長期保全計画に反映する方法を提案する予定である。

参考文献

- [1] 堂崎, 青木, 事故炉原子炉建屋の劣化シナリオとその長期保全計画への反映検討, 原子力学会 2023 年秋の大会
 [2] 篠原, 今本, 関, 清原, 野口, マルコフ連鎖モデルに基づく軍艦島構造物群の寿命予測と遷移確率に及ぼす要因に関する研究, 2015 年度日本建築学会関東支部研究報告集 I, 2016 年 3 月

* Koji Dozaki¹ and Takayuki Aoki¹

¹Tohoku University

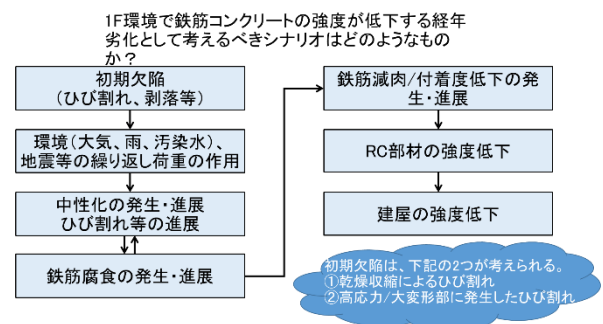


図1 鉄筋コンクリートの劣化シナリオ（検討例）

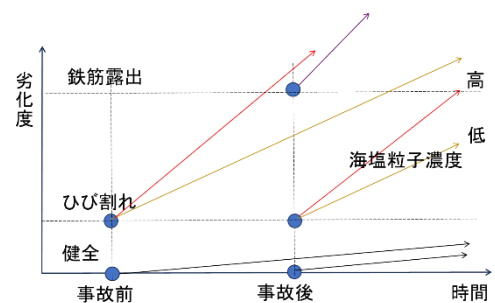


図2 原子炉建屋の経年劣化進展評価の考え方