

令和4年度
原子力規制庁技術基盤グループ-原子力機構安全研究・防災支援部門
合同研究成果報告会

燃料デブリの臨界特性を明らかにする 定常臨界実験装置STACY更新炉の整備 —ボロン注入実験の事前解析—

令和4年11月22日

原子力規制庁
技術基盤グループシステム安全研究部門

* 岩橋 大希

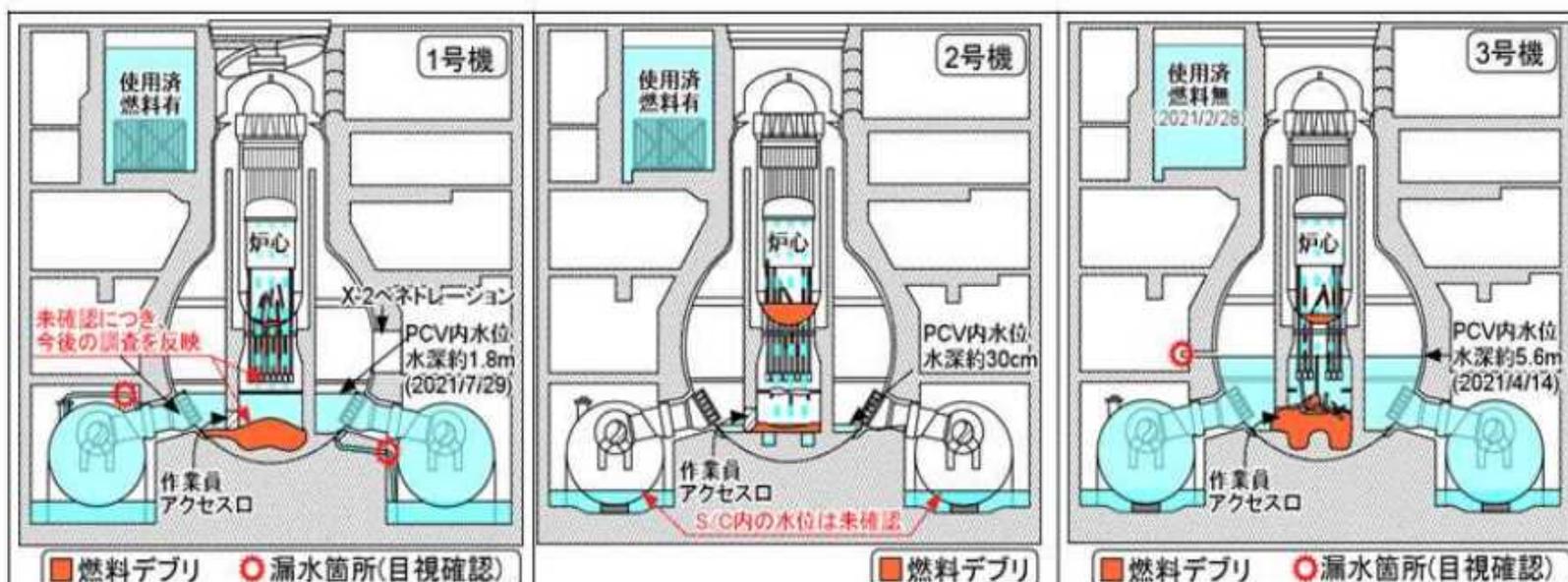
日本原子力研究開発機構

井澤 一彦、郡司 智、荒木 祥平

本研究(の一部)は東京電力福島第一原子力発電所燃料デブリの臨界評価手法の整備事業の成果である。

背景

- 福島第一原子力発電所の燃料デブリの取出しは、令和5年度頃に2号機から開始し、段階的に取出し規模が拡大していくとされている。
- それに伴う臨界管理では、ホウ酸注入が現在唯一の安全対策である。
- 格納容器床面では、コンクリートと溶融燃料からなるMolten Core Concrete Interaction (MCCI) 生成物が生じていると考えられるが*、このような組成を対象とした臨界実験データは無い。
- 燃料デブリに含まれる構造材などの、臨界実験データを取得する必要がある。
- 特に、ホウ酸が希釈された雰囲気中の燃料デブリについて注目した。





目的

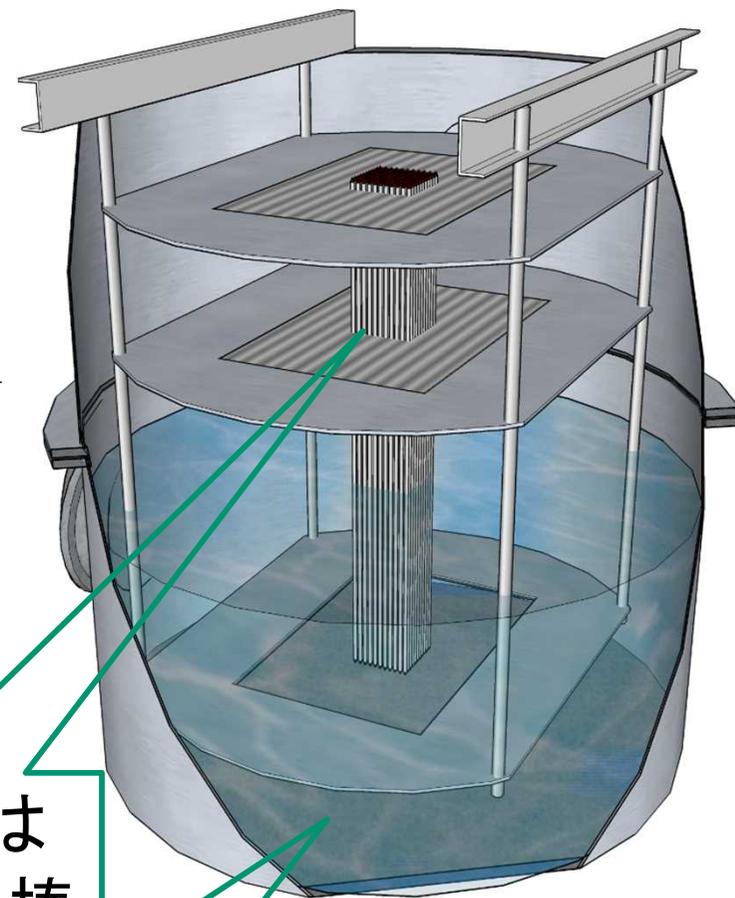
- ホウ酸雰囲気中の燃料デブリ臨界実験データを取得するために、臨界実験装置STACY更新炉を用いて、福島第一原子力発電所の格納容器床面に蓄積したMCCI生成物の状況を模擬した実験体系を検討。
- MCCI生成物内の減速材中にホウ酸を投入した場合の実効増倍率を事前解析によって求め、STACY更新炉の許認可制限内で臨界実験が可能か評価する。



臨界実験装置STACY更新炉

■ STACY更新炉の概要

- 濃縮度約5%の UO_2 棒状燃料を使用
 - 軽水減速
 - 燃料ペレット径：約0.82cm
 - 燃料長：約142cm
 - 燃料格子板ピッチ：1.27cm又は1.50cm
 - 臨界水位：40～140cm
 - 燃料棒本数：900本以下
 - コンクリート棒（燃料棒と同一形状、臨界安全ハンドブックの組成）
- 燃料棒を装荷し、炉心を作成する。
 - 水位を上下させ、臨界条件を探る。

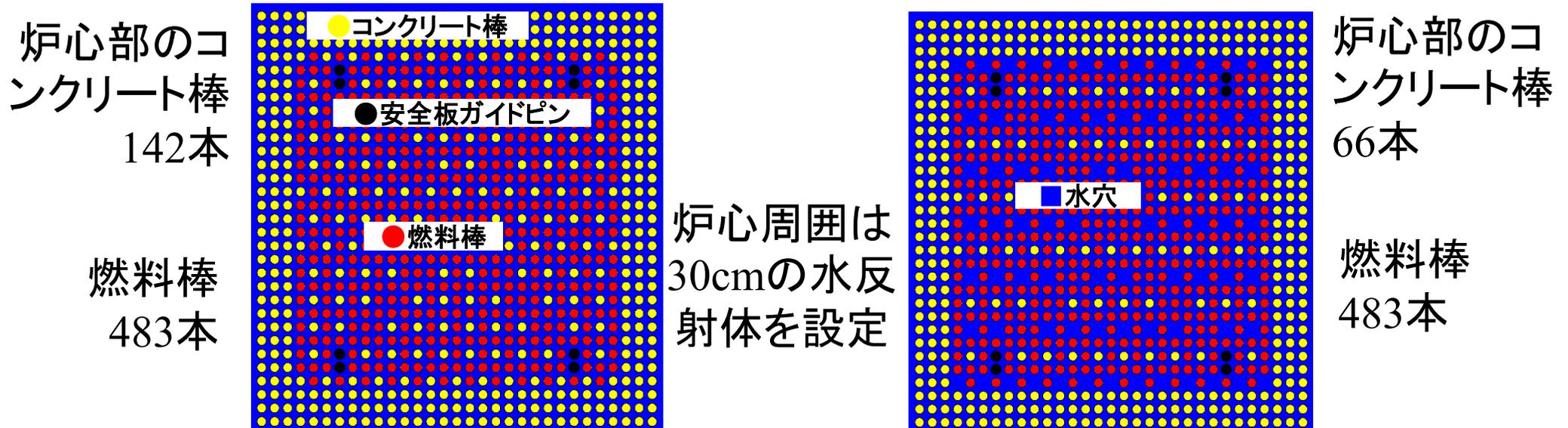


燃料棒又は
コンクリート棒

軽水(ボロン注入)

燃料デブリを模擬した体系

- 格納容器床面に溶融燃料が堆積し、周囲のコンクリートと反応して生じるMCCI生成物を想定して、燃料棒とコンクリート棒を用いた燃料デブリ模擬体系を提案。
- 燃料デブリ溶融中のガス溜まりによって様々な空隙が生じることから、燃料デブリによって水浸透割合は異なると考えられる。そこで、水浸透割合が異なる燃料デブリを模擬するため、燃料棒、コンクリート棒が規則的に配置された、以下の2体系を解析対象とした。
- 許認可制限内である 400mgL^{-1} (ppm)までボロン($\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16}\cdot 10\text{H}_2\text{O}$)を注入した場合における反応度変化を評価した。



MCCI生成物が堆積している条件を模擬した体系

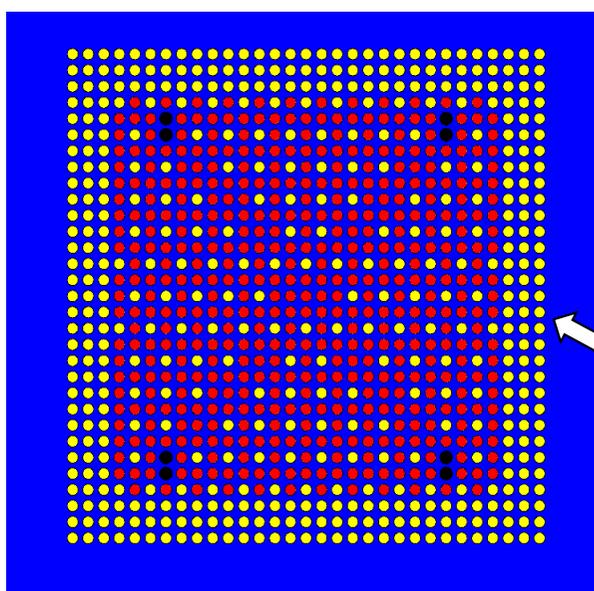
ボロン浸透が小さいデブリを模擬した炉心

ボロン浸透が大きいデブリを模擬した炉心



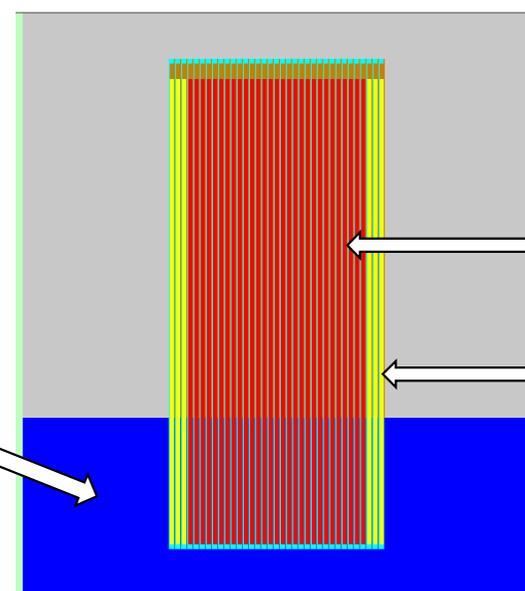
解析コード及び計算条件

- 解析コード : MVP-3.0
- ライブラリ : JENDL-4.0
- 総ヒストリー数 : 2,000万
(10000/cycle、500 cycle skip、実効増倍率の統計誤差が0.03%以下)
- 幾何学的モデル
 - 燃料棒、コンクリート棒、安全板ガイドピン、30cm水反射体から構成(炉心タンク、格子板は含まず)。



X-Y断面図

ホウ酸水
(ボロン0~
400ppm)



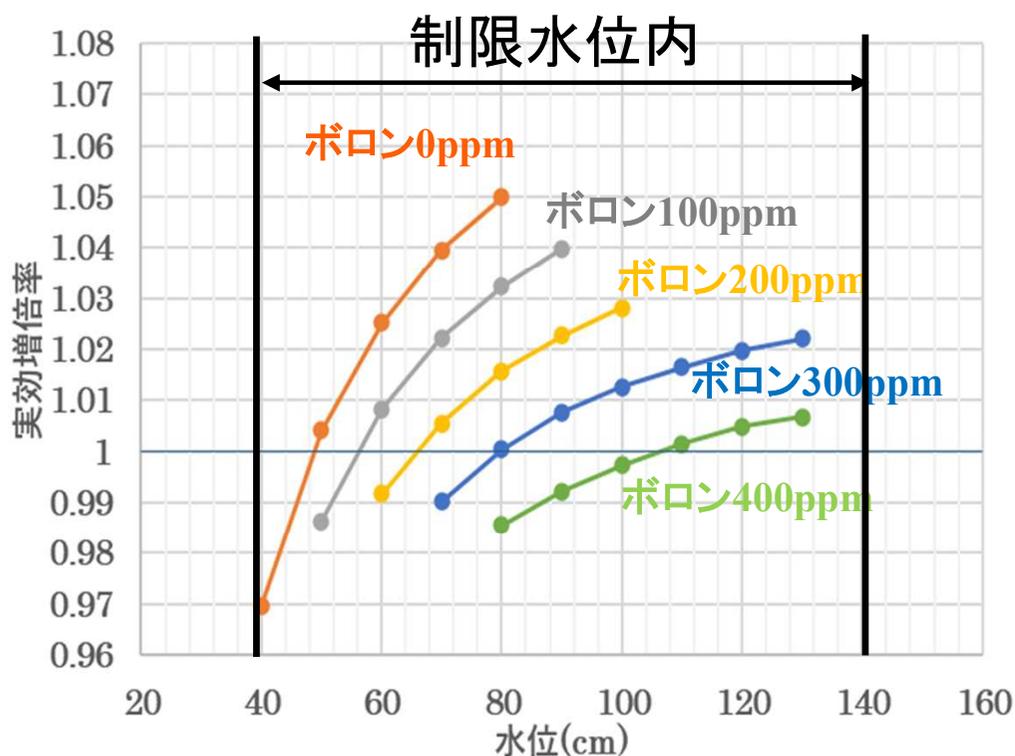
燃料棒

コンクリート棒

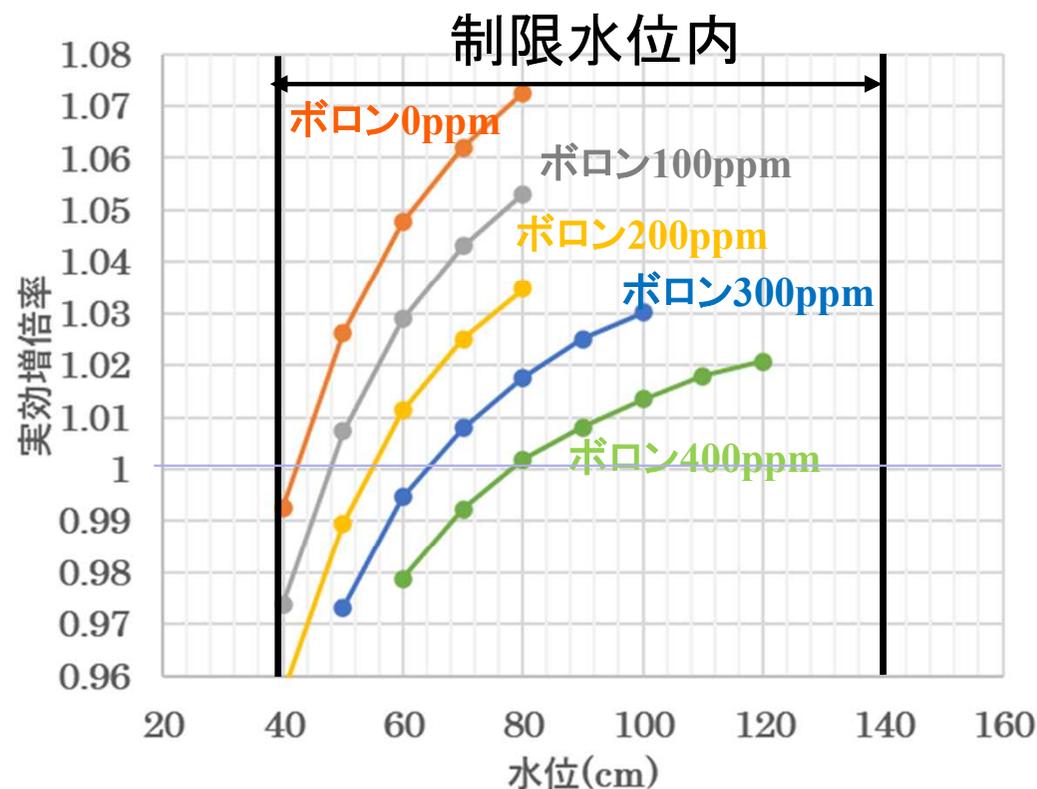
X-Z断面図

ボロン投入に伴う実効増倍率の変化

- 同一の水位、ボロン濃度の場合、ボロン浸透が小さいデブリを模擬した炉心(左図)よりボロン浸透が大きいデブリを模擬した炉心(右図)の方が実効増倍率が大きくなる。
- 二つの炉心共にボロン濃度0~400ppmにおいて水位制限内で臨界を達成可能である。



ボロン浸透が小さいデブリを模擬した炉心

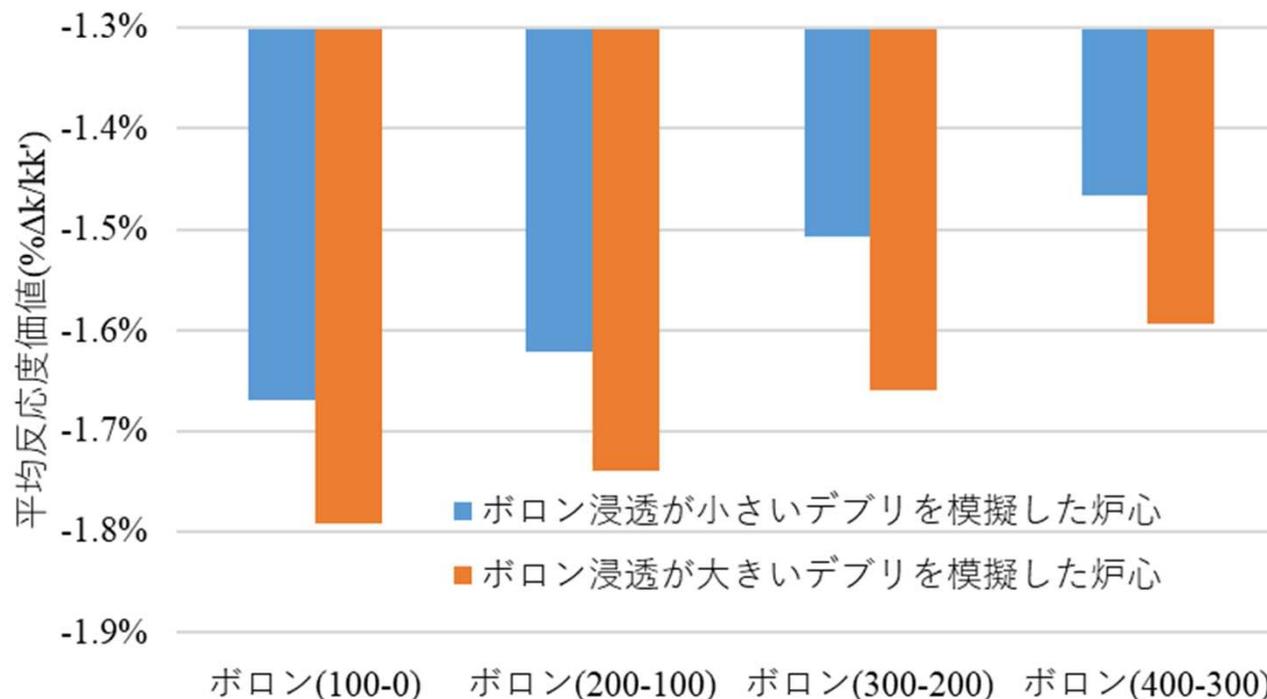


ボロン浸透が大きいデブリを模擬した炉心



二つの炉心のボロン反応度価値

- ボロン100ppm当たりの平均反応度価値はボロン浸透が小さいデブリを模擬した炉心よりボロン浸透が大きいデブリを模擬した炉心の方が大きい。
- 二つの炉心共にボロンを投入すると中性子スペクトルにほぼ差は無いが、体系内部にホウ酸水が浸透する方がボロン反応度価値が大きい。このことは、燃料デブリの臨界管理において、デブリが冠水しているかよりも、MCCI生成物の形状(空隙率)などを把握することが重要であると示唆している。



ボロン100ppm当たりの平均反応度価値(%Δk/kk')



まとめ

- 本研究では、STACY更新炉を用いた、福島第一原子力発電所内のMCCI生成物を模擬した体系に、ボロンを投入した臨界実験が成立するか検討した。
- ボロン浸透度合いが異なる2炉心について事前解析により評価し、
 - ✓ 許認可制限内であるボロン濃度400ppm以下なら水位制限内(40 cm～140 cm)で臨界に達することを確認。
 - ✓ ボロン浸透度合いが異なる場合に、中性子スペクトルに差が無くともボロン反応度値が異なることを確認。
- 今後、ホウ酸雰囲気中で構造材等を含む実験体系の解析を実施する。



【参考文献】

- 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構, 平成31年度原子力施設等防災対策等委託費(東京電力福島第一原子力発電所燃料デブリの臨界評価手法の整備)事業報告書, 令和3年3月
- 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構, 令和2年度原子力施設等防災対策等委託費(東京電力福島第一原子力発電所燃料デブリの臨界評価手法の整備)事業報告書, 令和4年3月
- 原子力損害賠償・廃炉等支援機構「東京電力ホールディングス(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2021」