

研究の全体概要

従来からの取り組み：臨界事故を起こさないために

- 核燃料物質が臨界状態にならないよう、取扱い手段や取扱量を決めて適切に管理するための基礎研究
- 世界各国の臨界実験による実験データの蓄積と、計算解析手法・核データの開発進捗による臨界計算の精度の向上
- 臨界安全ハンドブック、燃焼度クレジット、可燃性毒物を利用した未臨界担保技術などについて研究

近年の課題：『燃料デブリ』の臨界安全

- 多岐に渡る組成に対する臨界特性データベースの構築
- 乱雑な組成を取扱う計算ツール“Solomon”の開発
- 臨界事象が発生した場合の影響評価(核分裂数、線量等)
- 計算解析の妥当性について、定常臨界実験装置「STACY」(図1参照)を用いた実験的検証

新たな課題：次代の安全研究を見据えて

- 数値流体力学(CFD)を考慮した過去の臨界事故の再評価による新たな知見
- 核データの不確かさが臨界評価に与える影響の定量化手法の研究
- OECD/NEAの臨界安全性ワーキングパーティ(WPNCs)の活動参加による最新知見の取得(国際臨界安全ベンチマーク評価プロジェクトICSBPなど)

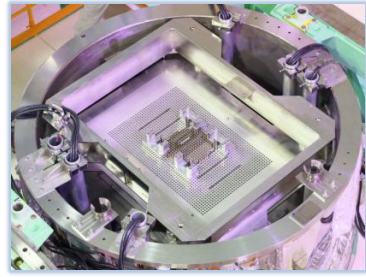


図1: 定常臨界実験装置STACY
(2024年4月22日 初臨界)

原子力規制庁受託事業

燃料デブリの臨界特性評価に向けたSTACY臨界実験

【ねらい】燃料デブリに含まれる構造材料の不確かさとその要因を明らかにする

- 燃料デブリの臨界特性解析の妥当性確認のために臨界実験データが必要
- 特に原子炉構造材由来の鉄やコンクリートの持つ核的効果に不確かさがある
- 世界で初めて、 UO_2 燃料の軽水減速体系において鉄やコンクリート成分を含む燃料デブリ模擬炉心の臨界実験をSTACYで実施し、臨界実験データを取得
- 棒状の構造材模擬体の装荷本数が多くなるほど実効増倍率のC/E値が増加傾向となる(=不確かさが大きくなる)ことを確認(図2)
- 今後、詳細な感度解析等を実施し、計算がずれる原因の調査を行う

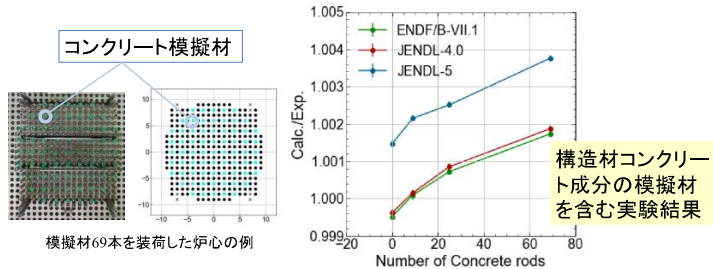


図2: モンテカルロコードMCNPと各核データを用いたC/E値の評価

Araiki S, et al., Experiments on Concrete-Loaded Core in the Modified STACY, *Proc. of NCSD2025*, Austin, TX, USA, September 2025

不均一な組成の燃料デブリの臨界特性を明らかにするSTACY臨界実験

【ねらい】不均一な燃料デブリの組成を模擬した臨界実験で核計算を検証する

- 燃料デブリの臨界特性を評価するためには不均一な組成の考慮が不可欠
- 解析による評価では、不均一な組成により大きく実効増倍率(k_{eff})が変わる可能性があることを示唆
- 水が不均一に混在する場合を想定し、比較的均一な配置、 k_{eff} が大きくなる/小さくなる不均一な配置(表1)について不均一性の影響を臨界実験で検証
- 実験解析の実施により、解析の妥当性も合わせて評価(図3)
- 不均一性による臨界特性の違いを実験で初めて明らかにした
- 核データの違いにより臨界特性解析結果が異なることも判明した
- 今後、得られた結果を基に燃料デブリの安全な取扱い要件を検討する

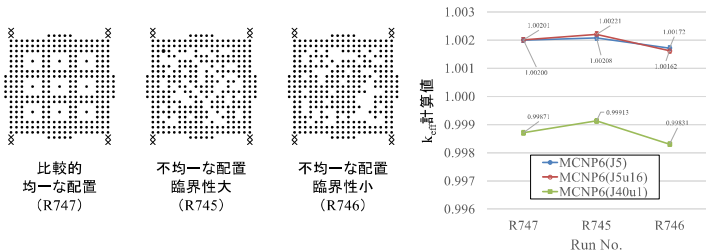


図3: 不均一性を検証する炉心配置と実験解析結果

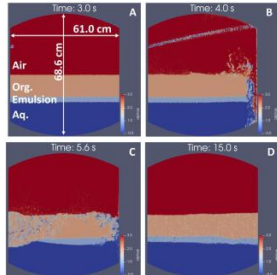
Gunji S, et al., Studies of Nuclear Criticality Safety of Fuel Debris using the Modified STACY Critical Assembly, *Proc. of NCSD2025*, Austin, TX, USA, September 2025.

運営費交付金研究

過去の臨界事故の原因究明のための詳細解析

【ねらい】過去の事故を再評価して知見を蓄積し、臨界安全性向上につなげる

- 過去に発生した臨界事故を再解析し、その原因、臨界に至るシナリオ、臨界時の挙動・影響などを明らかにして知見を蓄積することは、現行の核燃料取扱施設の臨界安全性向上に有益である
- 臨界シナリオが明確でなかった有機溶媒系での事故例(英国 Windscale Works*)を、数値流体力学(CFD)とモンテカルロ法による核計算と組み合わせた最新の計算解析技術を開発して再評価(図4)
- これまで考慮されてこなかった“inrush flow”(=急激な溶液の流入)という現象を考慮し、この現象が臨界挙動に影響を与えた可能性があることを解明した



* Windscale Works 臨界事故
1970年に起きた「有機溶媒・水溶液混合体系」での臨界事故の代表例。事故発生に至る詳しい機序は未解明。

“inrush”が生じた(状態B)直後の状態Cでの実効増倍率(k_{eff})が最も高くなり、事故分析文献における定性的な記載とも一致する結果が得られた

図4: CFDによる“inrush”現象(右上)を考慮した流動解析の結果

Fukuda, K., Multi-physics Analysis to Identify Criticality Condition of Windscale Works Incident, *Proc. of NCSD2025*, Austin, TX, USA, September 2025.

使用済燃料の臨界特性に対する核データ更新の影響評価

【ねらい】燃焼計算に最新の核データを適用し、核種組成の精緻化を評価する

- 軽水炉使用済燃料のより経済的な臨界安全管理の実現が求められている
- 臨界特性を評価するためのより精緻な核種組成を評価できる
- 新しい燃焼計算コードの開発を進めている
- 最新の核データJENDL-5を用いた検証も実施

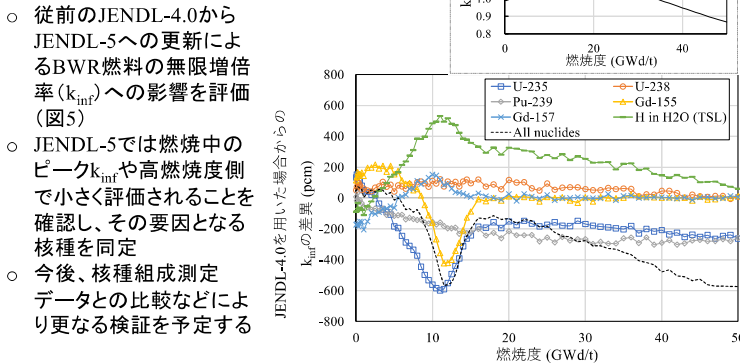


図5: BWR燃料集合体燃焼計算における全各種及び核種ごとの断面積をJENDL-4.0からJENDL-5に変更したときの k_{inf} の差異

Watanabe T, et al., Impact of nuclear data updates from JENDL-4.0 to JENDL-5 on burnup calculations of light-water reactor fuels, *J. Nucl. Sci. Technol.* (Latest Article).

成果と その活用

- 原子力規制庁受託研究：東京電力福島第一原子力発電所の燃料デブリ取出し、廃炉作業のための規制行政を支援する
- 運営費交付金研究：近い将来の安全研究に資する基盤技術の整備と確立を行うとともに、それに携わる人材を育てる