



第56回事故分析検討会

未来へげんき
To the Future / JAEA

東京電力福島第一原子力発電所における
事故の分析に係る検討会 第56回会合
資料6-2

原子炉建屋内における燃料デブリに 含まれる重元素核種の同定に関する 調査

令和8年10月22日

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構

原子力安全・防災研究所 安全研究センター

臨界安全研究グループ

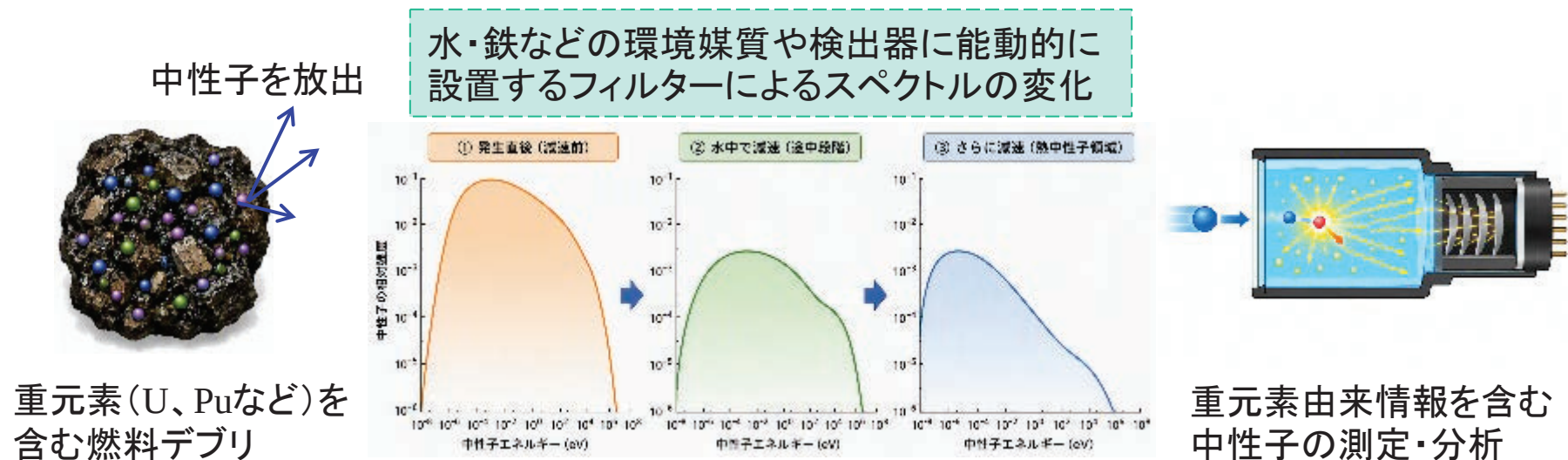
郡司 智

(目的)

- 東京電力福島第一原子力発電所事故の分析に係る検討会での議論に資する情報や技術的知見を取得するため、東京電力ホールディングス株式会社福島第一原子力発電所（1F）原子炉建屋内における燃料デブリに含まれる重元素核種由来の中性子に由来する情報を取得することで、事故進展過程の理解に資する情報を明らかにする。

(事業内容) 「重元素核種を同定するための可能性調査」

- 事故進展過程の理解において、燃料として用いていたウランをはじめとする重元素に係る情報は重要である。このため、重元素を中心に放出することが知られている中性子に注目し、放出源となる重元素核種の同定について可能性調査を行う。
- 調査に当たっては、中性子源が存在する体系の違いにより、検出面における中性子に由来する情報の差異を見出すことができるか、計算及び実験を持って可能性調査を行うこととする。なお実験に当たっては、1Fの炉心環境を踏まえて、酸化ウラン燃料により発生させた原子炉や臨界実験装置を中性子源として用いることとする。



① 核種ごとの中性子スペクトル等の調査と評価

- － 中性子スペクトル等の測定可能性のある重元素核種由来の情報に核種固有の違いがあるかどうかを調査、解析評価を行う
- － 中性子以外の手がかり（帯同するFPからの γ 線など）も検討

② 燃焼計算による線源核種の評価

- － 核燃料の現在の組成を燃焼計算により評価 → 線源強度の推定

③ 媒質による中性子スペクトル等の変化の評価

- － ①で評価される重元素由来情報が水や鉄やその他減速材などの媒質により検出面までどのような変化が生じるかを解析により評価する

④ 重核種由来情報を検出可能な測定装置・手法の調査

- － 中性子やガンマ線の検出器、回路系、手法などを調査する

⑤ 測定情報から重元素核種の同定可能性の評価

- － 解析計算により、最も理想的な条件で中性子・ガンマ線の測定により線源である重元素核種が同定できるか可能性の調査を行う

⑥ 臨界実験装置を利用した解析計算の妥当性評価

- － 燃料デブリを模擬した臨界実験装置により解析の妥当性を評価する

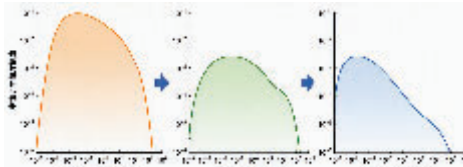
(解析)

- 線源スペクトル、強度
①、②



手計算、核データ参照、
燃焼計算

- スペクトルの変化
(媒質条件: パラメータ) ③

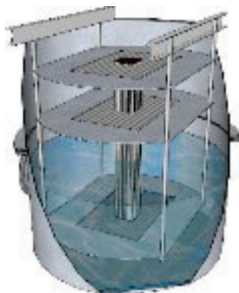


モンテカルロ法中性子輸送計算

実験による模擬

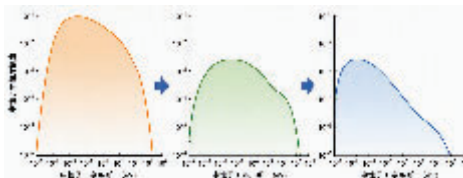
(実験) ⑥

- 重核種線源



臨界実験装置や中性子源

- スペクトルの変化
(媒質条件を実験で再現)



利用可能な検出器・
測定技術の広範な調査 ④

- 検出器の応答評価
(検出器種別ごと)



重元素同定の
可否? ⑤

妥当性確認

- 検出器の応答評価
(入手可能な検出器)



重元素同定の
可否

【現在までに得られている実機情報】

- 2号機に対する2回の燃料デブリサンプル取得
→似たような核種組成、これは確かか？

【原子炉建屋内の重元素の種類・分布を知る手がかり】

- 非破壊で測定できるのは放射線測定、かつ重元素は中性子を放出する
 - 自発核分裂核種（Cm-244等）、誘導核分裂核種（U-235、Pu-239等）、 α 崩壊核種（Pu-238、Am-242等）では中性子発生仕組みが異なる

【本事業のねらいと事故分析に係る着眼点】

- 重元素核種が**特有の情報（中性子スペクトル等）**を出していないか
- その差異はどうすれば測定（検知）できるか
- 測定した中性子情報から線源の重元素核種は同定できるか
- 線源の重元素の核種、存在量がわかった場合、どのような機序でその場所にその核種が生成・移動してきたか
- そのような重核種組成・分布となる事故進展の機序は説明できるか

【概要】

- － 燃料デブリの臨界特性を評価するために原子力規制庁の委託事業でJAEAが更新改造した（2024年に初臨界）
- － コンクリートや鉄の構造材模擬材を作製し、燃料デブリを模擬した臨界実験を実施

【特長】

- － 我が国が有する唯一の軽水炉模擬の臨界集合体
- － 常温常圧かつ低出力の運転であるが、大型炉で起こっている物理現象を模擬できる
- － 水密管を設置することで、様々な検出器等を試験できる
- － 線源として UO_2 、Cf、AmBeを利用可



STACY概要(安全板を移動させた状態)

- ・炉心タンクは直径約180 cm、高さ約190 cm
- ・使用燃料は5 wt.%濃縮の UO_2 棒状燃料

【1FRAME Project】

- 米国DOE傘下の臨界安全プログラム (NCSP) で予算化
- ロスアラモス国立研究所が実施主体
- 1F燃料デブリの回収・モニタリングのための実験的検証を目的
(参考) G. McKenzie, <https://www.osti.gov/servlets/purl/2998635>

【STACY実験における協働の可能性】 ※事故分析の位置づけは変えない

JAEA

- 事故分析に資する重元素の同定
- 同定に必要な測定可能な線源情報の収集・評価
- 測定手段には米国技術も含まれる

Win-Win



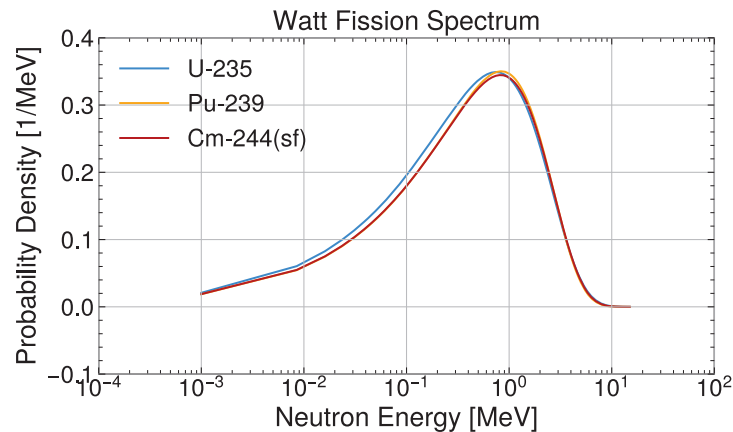
LANL (1FRAME)

- 増倍率、 α 固有値などが測定対象→線源由来情報
- 高 γ 線環境下で評価済み中性子検出器の使用計画
- 米国内では評価に適した臨界集合体がない

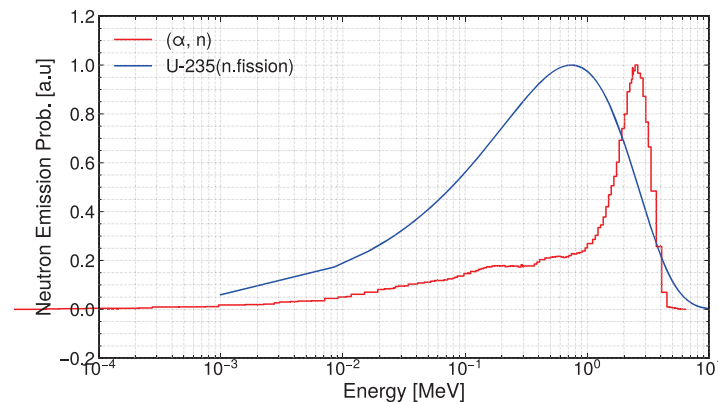
日米廃炉パートナーシップ協定の一環として準備
→ 双方の強みを活かした共同実験を計画したい

【燃料デブリから発生する中性子】

- 1) 自発核分裂中性子 [Cm-244、U-238、Cf-252など]
 - 2) 外部からの中性子による誘導核分裂中性子 [U-235、Pu-239など]
 - 3) α 崩壊が軽元素に作用する (α, n) 中性子 [Pu-238、Am-242など]
- ※1) と2)はあまり差がないが (左図)、3)は異なるようである (右図)



自発及び誘導核分裂からの核分裂中性子
スペクトルの試評価



U-235核分裂中性子スペクトルとPu-238の
(α, n)反応で生じる中性子スペクトルの試評価

【核分裂という物理現象から出る中性子】

- 核分裂反応では核種や入射中性子のエネルギーの違いにより固有のエネルギー分布を持つ中性子が2～3個放出される

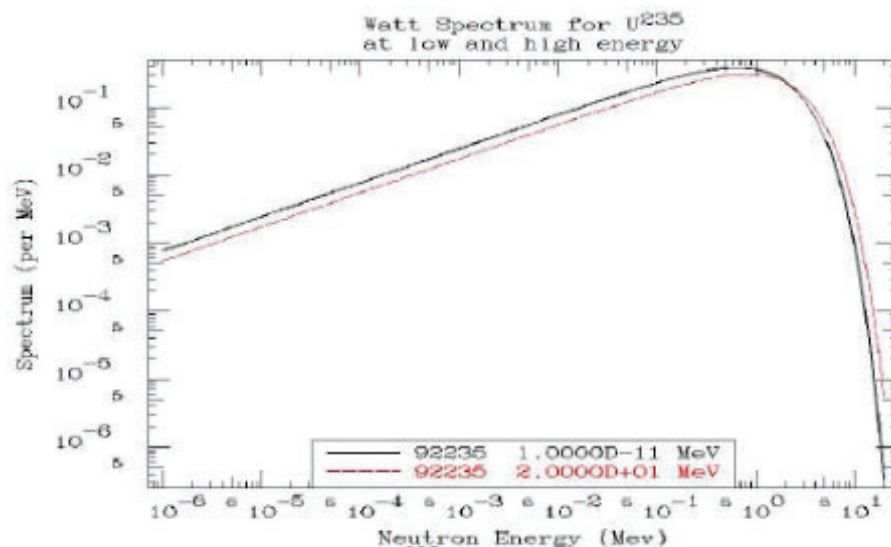


Fig. 1: U²³⁵ Fission Spectra

$$\chi(E) = C \exp\left(-\frac{E}{a}\right) \sinh(\sqrt{bE})$$

E : 中性子エネルギー

a と b は核種・核分裂条件に依存

²³⁵Uの核分裂中性子を再現するWattのスペクトル
出典:

Lawrence Livermore National Laboratory,
“Sampling ENDL Watt Fission Spectra,”
UCRL-TR-203351 (2004).

【研究の現状】

- 計算解析に用いる核データには大きな不確かさがある
- 計算解析上違いがあっても、測定可能かどうかは別問題