

## JENDL 委員会 核データ専門部会 放射化断面積評価 WG

### 令和 7 年度会合議事録

日時:令和 8 年 2 月 13 日(金) 13:30-17:00

場所:オンライン(Zoom)

出席者(敬称略):尾方智洋(三菱重工)、北菌孝太(日立 GE ベルノバ)、田川寛明(原子力エンジニアリング)、権セロム(QST)、坂本雅洋、中村詔司、岩本信之(以上、JAEA)、河内山真美(講師、JAEA)、深堀智生(オブザーバー、JAEA)

#### 配布資料

- R7-A-1 燃料デブリに対する合理的な核種インベントリ評価技術の開発
- R7-A-2 埋設事業センターにおける放射能評価計算の取組み
- R7-A-3 インベントリ評価に係る核種の捕獲断面積測定
- R7-A-4 Cd 同位体の中性子核データ評価
- R7-A-5 R7 活動報告と R8 活動計画案

#### 議事

1. 資料 R7-A-1 を基に、坂本委員から 1F 事故で発生した燃料デブリや放射性廃棄物に対する核種インベントリの評価に向けた取組みが報告された。核種分析の代わりに詳細なインベントリ計算値から燃料デブリ特有の溶融や混合を考慮した核種相関式を導出し、キー核種の計測から難測定核種のインベントリを推定する手法(TSF 法)が説明された。従来の 1F インベントリデータでは、燃焼度や減速材密度の分布が適切に考慮されておらず核種に依存したバイアスが発生すること、可燃性毒物 Gd 量や微量不純物放射化由来の核種( $^{60}\text{Co}$  等)が正しく算出されていないことなどの問題があったため、分析値との比較など廃炉を進める上でより精度の高いインベントリデータが必要となった。しかし、バイアスが発生しない程度に全炉心内を十分に分割した各領域に対して運転履歴を反映した非均質燃焼計算を行うことは、計算時間が長くかかり効率的ではないため、非均質燃焼とゼロ次元燃焼の両計算をうまく組み合わせた手法が開発された。これにより、現実的な計算時間で、炉内燃焼度や減速材密度分布を考慮して、1F2 号機のアクチノイド核種や FP 核種、放射化核種や Gd 核種を良い精度で導出できることが示された。1F2 号機の試験的取り出し燃料デブリ分析値と本手法による計算値との比較から、燃料デブリの代表的な同位体組成が炉心平均値と概ね整合していることが示された。また、本インベントリ計算値を活用した一例として、TSF 法により  $^{137}\text{Cs}$  をキー核種として難分析核種  $^{135}\text{Cs}$  を評価した結果が紹介された。1F 由来の環境試料分析データが検証に用いられ、それらは作成した TSF の上限下限範囲に収まり、

妥当性が確認された。

質疑では、推定したい核種重量の範囲が 10 桁程度あったが、推定できる重量は何で決まるのかという質問があり、推定可能な重量は分析された核種の重量に依存して決まるとの回答があった。 $^{155}\text{Gd}$  の燃焼度に対する重量変化について、従来の ORIGEN2 ではすぐに減少しているが、開発手法ではゆっくり減少しており、この違いについて質問があり、ゼロ次元燃焼計算では輸送計算を行わないので、 $^{155}\text{Gd}$  の反応率を正確に再現できないため、燃焼度が進むとすぐに減少していた。開発手法では、Gd 核種の反応率変化を考慮した重量を、非均質燃焼計算から作成したデータセットとして与えており、それを活用しているため Gd の燃焼変化を良好に再現できたとの回答があった。

- 資料 R7-A-2 を基に、河内山講師から原子力船「むつ」の放射能評価とその結果及び課題などについて報告があった。過去に行われた放射能評価には、埋設処分区分に必要な核種が網羅されていないなどの課題があったため、昨年度から原子炉のインベントリ評価を改めて行っていることが説明された。2025 年 3 月時点での構造物ごとの放射能濃度の評価結果と、一般的な環境条件での埋設を仮定した際の基準線量相当濃度を用いて行った処分区分の判定について説明があった。また、埋設処分において被ばく線量への寄与が大きい核種（重要核種）を選定した結果について説明があり、このうち先行埋設事業において選定されていなかった  $^{91}\text{Nb}$  などの核種生成については、炭素鋼への含有量が多い Mo 元素に由来すると予想されたため、放射化計算コードを変えて妥当性を精査した。その結果、ORIGEN と ORIGEN-S コードで扱える反応種が異なり、本検討では幅広い反応を扱える ORIGEN コードを用いたために重要核種として選定された可能性が示唆された。
- 質疑では、計算で生成された  $^{91}\text{Nb}$  が、放射能の測定で検出できる可能性はあるかとの質問があり、他の参加者から、放射能濃度は 86 Bq/g のため量的には測定できる可能性がありそうだが、測定可否については検討する必要があるとの回答があった。 $^{91}\text{Nb}$  の生成について、扱える反応種の少ない ORIGEN-S では生成量が低い、より多くの反応種を扱える ORIGEN であれば生成されるという点を考慮すると、ORIGEN-S では考慮されていない反応種で  $^{91}\text{Nb}$  が生成されていると考えるのが妥当であるとのコメントがあった。
- 資料 R7-A-3 を基に、中村委員からインベントリ評価に係る核種に対する捕獲断面積の測定結果が報告された。京都大学複合原子力科学研究所にある研究用原子炉 KUR の黒鉛照射場で実施した  $^{165}\text{Ho}$  の捕獲反応により生成される  $^{166\text{g,m}}\text{Ho}$  の生成断面積に対する測定結果が説明された。 $^{166\text{g}}\text{Ho}$  の生成断面積は JENDL-5 と整合していたが、 $^{166\text{m}}\text{Ho}$  の生成断面積については過去の測定データと比較して 25%程度小さくなること示された。しかしながら、 $^{166\text{m}}\text{Ho}$  の生成断面積は約 1/20 であるため、 $^{166\text{g}}\text{Ho}$  と  $^{166\text{m}}\text{Ho}$

の生成断面積の和は過去の測定値と整合性していた。また、 $^{166m}\text{Ho}$  の半減期は 1200 年と長く、過去の測定データ間には差異が 6%ほどあった。このため、 $^{166m}\text{Ho}$  の半減期を質量分析とガンマ線計測を併用して導出することを検討していることが報告された。 $^{186}\text{W}$  の捕獲断面積は、以前の測定において熱中性子束モニタとして使用していたが、熱中性子束を金で測定した結果より 17%大きかったため、KUR にて  $^{186}\text{W}$  の熱捕獲断面積を測定した。その結果、JENDL-5 よりも 13%程度大きくなることを示し、この結果を用いて熱中性子束測定を行い、金や Co で得られた中性子束と整合する結果を得たことが説明された。また、現在進行中の実験 ( $^{58}\text{Ni}$ 、 $^{62}\text{Ni}$ 、 $^{35}\text{Cl}$  等) について、進捗状況が報告された。

質疑では、FNS で行われた過去の W 実験に対する再解析を行うために、今回の熱捕獲断面積を考慮した  $^{186}\text{W}$  の核データファイルを利用したいが、すでに作成されているかとの質問があり、まだ作成していないとの回答があった。今回の熱捕獲断面積を考慮した核データファイルはすぐに作成できるので、反映したファイルを渡すことに問題が無ければ、岩本委員がファイルを作成し、これを用いて権委員が W 実験への影響を確認することになった。 $^{165}\text{Ho}$  の実験では中性子束モニタとして  $^{98}\text{Mo}$  が利用されていたが、共鳴積分の指標である  $s_0$  と中性子束との関係を表す図で、 $^{165}\text{Ho}$  は  $^{197}\text{Au}$  と  $^{98}\text{Mo}$  との間の値を持つのかとの質問に対して、 $^{165}\text{Ho}$  は  $^{59}\text{Co}$  と  $^{197}\text{Au}$  との間の値を取るが、用いた照射場の中性子スペクトルが  $s_0$  の幅広い範囲で熱中性子成分だけであることを示すために載せたとの回答があった。

5. 資料 R7-A-4 を基に、岩本委員より Cd 同位体の中性子核データ評価に対する結果が報告された。Cd の安定同位体 8 核種と不安定同位体 4 核種に対して、核反応モデル計算コード CCONE を用いて 200 MeV までの整合性のある断面積を評価するとともに、放射化断面積に対して測定データへの再現性も高めていることが報告された。また、共鳴領域については、JENDL-4.0 公開以降に新たな実験による共鳴パラメータが公開されているので、このパラメータを評価し置き換える予定であることが説明された。

質疑では、 $^{108}\text{Cd}$  による  $^{108m}\text{Ag}$  の生成断面積について質問があり、JENDL-5 では測定データより大きくなっていましたが、これを修正したことで  $^{108m}\text{Ag}$  の生成量は半分程度になると考えられると説明があった。共鳴領域の改訂について質問があり、今回は JENDL-4.0 の公開以降に発表された測定データを用いて改訂する予定であることが説明された。 $^{112}\text{Cd}$  や  $^{114}\text{Cd}$  の捕獲反応で  $^{113m}\text{Cd}$  や  $^{115m}\text{Cd}$  を生成する熱捕獲断面積や共鳴積分は有用かとの質問があり、それらのデータは非常に有用であり、EXFOR 実験データベースにもそれらの測定データが載っているので、評価データとの比較を行う予定であるとの回答があった。

6. 資料 R7-A-5 を基に、岩本委員より令和 8 年度の活動計画案が示された。中村委員が

解析中の  $^{186}\text{W}$  の熱捕獲断面積が JENDL-5 と異なることが紹介され、この断面積を用いて改訂したデータを権委員へ渡して、FNS 実験データでその影響について確認することが提案された。また、坂本委員が 1F 解析などを踏まえて、合理的な放射化インベントリ評価検討に係る活動等を行うことが提案された。原子力発電所の放射化放射能評価を行っている方を勧誘できるか検討することになった。

以上