

JENDL 委員会 核データ専門部会 放射化断面積評価 WG

令和4年度会合議事録

日時: 令和5年2月16日(木) 13:30-17:20

場所: オンライン

出席者(敬称略): 田中健一(エネ総工研)、北菌孝太(日立GE)、金政浩(九大)、田川寛明(原子力エンジニアリング、杉村直紀委員代理)、奥村啓介、坂井章浩、今野力、中村詔司、国枝賢、岩本信之(以上、JAEA)

配布資料

- R4-A-1 埋設センターの廃止措置などに係る放射能データを使った放射化計算の状況
- R4-A-2 JENDL-5 から作成した ORIGEN と ORIGEN-S 用放射化ライブラリ
- R4-A-3 改訂情報(Errata)と JENDL-5 以降の評価
- R4-A-4 炉照射による断面積測定の進捗と今後の計画
- R4-A-5 2022 年 12 月 JAEA タンデム多重箔放射化実験実測放射化量と JENDL/AD-2017 による予測量の比較
- R4-A-6 令和 5 年度の活動計画について

議事

1. 埋設センターの廃止措置などに係る放射能データを使った放射化計算の状況(坂井委員)

資料 R4-A-1 を基に、立教大炉の 3 次元モデルを作成し、3 次元タリーによる MCNP 計算を試行した結果が報告された。計算した炉心周囲におけるエネルギーごとの中性子束分布とその相対誤差が示された。遮へいコンクリート外部には相対誤差の大きい箇所が存在するが、内側は放射化量評価を行う上で十分な計算精度となっていることが説明された。また炉心中心からの距離に対する中性子束分布は、従来の 2 次元計算による結果と良く一致していることが示された。2 次元計算では得られなかった角度方向の中性子束分布はこれまでのものと異なる形状をしていたため、3 次元計算を行うことの重要性が指摘された。

【質疑議論】モンテカルロ法を用いて廃止措置の放射能インベントリ評価を規制に申請することについて質問があり、これまでは無かったが最近では被ばく線量評価等で提出することが認められつつあるとの回答があった。商業炉ではモンテカルロ法で計算した結果を規制に申請されたことがないとの補足があった。3 次元計算では体系全体を表現することができる反面、どこまで詳細に体系を再現するかという問題が生じるため、手を出しづらい側面があるとの指摘があり、3 次元計算には時間が掛かるため、モデル化の精度を落としながら試行しているとの回答があった。

2. JENDL-5 から作成した ORIGEN と ORIGEN-S 用放射化ライブラリ(今野委員)

資料 R4-A-2 を基に、200 群 ORIGEN 用放射化ライブラリと 199 群 ORIGEN-S 用放射化ライブラリの作成方法と検証結果が報告された。これらのライブラリは JENDL-5 の放射化断面積データから作成されており、断面積の処理はそれぞれ SCALE6.2 付属の AMPX-6 コードと PREPRO 2018 が利用された。作成した放射化ライブラリのテストとして JPDR の生体遮へいコンクリートの放射化計算を ORIGEN と ORIGEN-S で行った。生体遮へいコンクリート表面からの距離に対する放射能濃度分布はどちらのライブラリでもほぼ一致した結果となっており、ライブラリの作成方法に問題の無いことが確認された。ORIGEN 付属のライブラリを用いた結果との比較では Cs-134 や Eu-152,154 の放射能濃度が 7 から 10%程度大きくなっていた。ORIGEN-S 付属のライブラリを用いた結果でも Cs-134 は ORIGEN 付属のライブラリのケースと同程度の差異が見られたことが説明された。

【質疑議論】JPDR の生体遮へいコンクリート表面からの距離に対する放射能濃度分布のベンチマークにおいて、計算値と実験値の分布傾向は合っているが、計算値は実験値からずれていることについて質問があり、実験値がない箇所に鉄筋が入っていた可能性が説明され、鉄筋を追加することで再現性が向上することを確認しているとの回答があった。コンクリートに入っていた鉄の量に関して議論したが、コンクリート内部の配筋に関する資料が残っていないため、これをベンチマークに使うのは難しいのではないかとの指摘があった。

田中委員が担当している新しいベンチマーク問題について作成の進捗が説明された。

3. 改訂情報(Errata)と JENDL-5 以降の評価(岩本委員)

資料 R4-A-3 を基に、2022 年 2 月から 2023 年 1 月の間に公開された中性子、核分裂収率、崩壊データサブライブラリに関する改訂情報(Errata)が報告された。改訂情報 Update-10 について、アイソマー標的のうち 32 核種では MF3 と MF10 に収録された非弾性散乱断面積の間に不整合があり、この MF3 と M10 にある断面積の比較と改訂後の結果が示された。JENDL-5 に収録されている Ti、Mn、Fe、Co、Ni の安定核種のうち共分散データの収録がないのは Ti-46,47,49,50、Fe-54,57、Ni-61,62,64 であることが説明され、Fe-54,57 について連続領域の共分散評価を終えたことが報告された。

【質疑議論】構造材核種の共分散は中性子輸送計算の観点から決められたと推測するが、同じように放射化計算の観点から共分散を評価する核種を決めることが必要ではないかとの提案があった。放射化計算では計測できない核種の放射能を出すことができるので、計算精度を評価するための共分散があった方が良いとの提案があった。

4. 炉照射による断面積測定の前進と今後の計画(中村委員)

資料 R4-A-4 を基に、クリアランス対象の放射性核種を生成する親核種の熱捕獲断面積に対する測定結果が報告された。天然の Sc、Cu、Zn、Ag、In、W 試料を用いて放射化法による測定が京大複合研の研究炉で行われた。解析の結果、従来の評価値と比べて、

$^{109}\text{Ag}(n,\gamma)^{110\text{m}}\text{Ag}$ や $^{186}\text{W}(n,\gamma)^{187}\text{W}$ に対する熱捕獲断面積は 20%程度差異のある可能性が示された。また、以前行った ^{93}Nb の捕獲断面積測定によって得ていた捕獲反応率の情報に、新たに質量分析で得られた $^{94}\text{Nb}/^{93}\text{Nb}$ 比を組み合わせることで ^{94}Nb の半減期を導出し、従来の半減期と整合していることが示された。

【質疑議論】燃料の照射後試験や廃止措置の評価では $^{110\text{m}}\text{Ag}$ が生成されることが説明されたことを受けて、中村委員が $^{110\text{m}}\text{Ag}$ の生成経路について分析手法や断面積、分岐比なども含めて調査することになった。バックエンドで重要で、かつ半減期の信頼性が低そうな超長半減期核種の半減期を放射化法と質量分析で測定することが提案された。埋設処分放射化計算では $^{108\text{m}}\text{Ag}$ の生成量が多くなることもあるため、 $^{35}\text{Cl}(n,\gamma)^{36}\text{Cl}$ や $^{62}\text{Ni}(n,\gamma)^{63}\text{Ni}$ の測定に加えて $^{107}\text{Ag}(n,\gamma)^{108\text{m}}\text{Ag}$ についても測定することが要望された。また、高純度試料に中性子を長期間照射して生成される放射性核種を分析することで、“放射性核種が生成される一連の反応過程”をモデル化し、これを計算手法のベンチマークとすることが提案された。

5. 2022 年 12 月 JAEA タンデム多重箔放射化実験・実測放射化量と JENDL/AD-2017 による予測量の比較(金委員)

資料 R4-A-5 を基に、多重箔放射化法を用いた中性子収量分布の測定実験について報告した。重陽子入射反応による中性子生成で有利なベリリウムと炭素を組み合わせた複合中性子コンバーターを設計し、タンデム加速器で実験を行った。現在、データの解析を進めており、事前に JENDL/AD-2017 と IAEA で作成された IRDFF の反応断面積を使って放射性核種の生成量を計算し、両核データの生成量比が示された。これらによると両核データを用いた結果は概ね一致していたが、いくつかの核種においては生成量が 2 倍以上、大きければオーダーで異なるものがあったことが報告された。今後はアイソマー核種の生成量に対しても同様の比較を行うと共に、実験結果との比較を行う予定であることが説明された。

【質疑議論】ENDF-6 フォーマットで収録されているアイソマー生成断面積のポイントワイズデータを取り出す方法が議論されたが、核データを提供しているサイトではデータが取得できないようなので、今野委員が必要なデータを作成して金委員へ送ることになった(追記:WG 会合後に岩本委員より IAEA のサイト(<https://www.nds.iaea.org/exfor/endlf.htm>)でアイソマー生成断面積を含むポイントワイズ放射化断面積を入手可能であることが周知された)。両核データによる生成量に大きな差異が見られたものの多くはマイナーな反応に由来するため、差異が大きい可能性は十分にあるとのコメントがあり、実験値でこれらの信頼性を確認するとの説明があった。

6. 令和 5 年度の活動計画について(岩本委員)

資料 R4-A-6 を基に、令和 5 年度の活動計画を議論し、了承された。本 WG の設置を申請したときの提案概要を用いてこれまでの進捗を確認した。申請時に予定していた実施項目の大部分は達成されつつあるが、ベンチマークの整備やライブラリの性能検証については今

後注力する必要性があることを確認した。

【質疑議論】核種生成量及び崩壊熱評価 WG と活動内容に重なる部分があるので、情報共有等を意識した活動をすることが指摘された。令和 5 年度の活動について、今野委員より SCALE6.2 の ORIGEN に対する崩壊データを JENDL-5 から作成することが提案され、追記することになった。

以上