

JENDL 委員会 核データ専門部会 放射化断面積評価 WG

令和3年度会合議事録

日時: 令和4年2月9日(水) 13:30-17:45

場所: オンライン

出席者(敬称略): 杉村直紀(原子力エンジニアリング)、田中健一(エネ総工研)、北園孝太(日立GE)、尾方智洋(三菱重工)、金政浩(九大)、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

- R3-A-1 逐次近似に基づいたアンフォールディングの解スペクトルの不確かさ推定
- R3-A-2 廃止措置に向けた放射化放射能評価計算のためのベンチマーク問題の整備
- R3-A-3 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について
- R3-A-4 廃止措置放射化評価のための DORT 計算での群構造検討
- R3-A-5 炉照射による断面積測定の進捗と今後の計画
- R3-A-6 JENDL-5 の放射化断面積ファイル
- R3-A-7 JENDL-5 の構造材核種評価
- R3-A-8 令和4年度の活動計画について

議事

1. 逐次近似に基づいたアンフォールディングの解スペクトルの不確かさ推定(金委員)

資料 R3-A-1 を基に、共分散を考慮したランダムサンプリングによる中性子スペクトルの不確かさ推定手法開発とシミュレーションにより多重箔放射化法を模擬した仮想実験データを使った信頼性確認の結果が報告された。信頼性確認では、入射エネルギーが 20MeV の重陽子を炭素標的に照射し、発生した中性子による多重箔の放射化量を計算した。放射化断面積の共分散を基に断面積のランダムサンプリングを行い、アンフォールディングにより中性子収量分布を不確かさ付きで導出した。その結果、断面積の分散のみよりも共分散まで考慮した方が中性子収量分布の不確かさが大きくなり、推定手法の結果が想定通りとなっていることを報告した。

【質疑議論】解スペクトルの不確かさが放射化量評価に必要なことについて質問があり、実験データに中性子収量分布がほとんどないことや JENDL/DEU-2020 の検証、製造したい放射性核種の同位体純度を最適化するために不確かさが必要であるとの回答があった。放出中性子エネルギーの不確かさについて質問があり、計算群数の違いが結果に影響するので不確かさはあるとの回答があった。

2. 廃止措置に向けた放射化放射能評価計算のためのベンチマーク問題の整備(田中委員)

資料 R3-A-2 を基に、放射化放射能評価計算のベンチマーク問題として、米国で廃止措置が完了している Trojan 原子力発電所を対象としていることが説明された。Trojan 原子力発電所は 110 万 kW 級の PWR で廃止措置に係る参考文献が入手可能であることと、構造が BWR よりも複雑ではないことから選ばれた。参考文献を基にベンチマーク問題の設定が進められ、圧力容器とその周囲における中性子束の試計算結果が示された。今後、炉内構造物に対する 2 次元計算モデルを作成し、主要構造材の放射化計算を実施する予定であることが説明された。

【質疑議論】JENDL-5 のように多くの核種が収録され、崩壊系列が複雑になると、ORIGEN2 のライブラリ仕様には乗らないので、モデルケースとしては複雑な崩壊系列に強い CRAM など信頼性の高いコードやデータで開発した方が良いとのコメントがあった。産業界のニーズとして放射性廃棄物を海外に輸出することが考えられており、海外でも通用する評価がされていることが必須となる可能性がある。そのため、評価に利用したコードやデータの説明性を高めておく必要があるのではないかとコメントがあった。計算モデルの妥当性検証について質問があり、放射性廃棄物量を計算して、実際の物量と比較して確認するとの回答があった。

3. 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について(坂井委員)

資料 R3-A-3 を基に、令和 3 年度に実施した立教大炉の放射化放射能の計算結果が報告された。平成 29 年度に実施した計算と比較して、令和 3 年度は上方散乱の考慮、群構造の細分化、核データファイルの最新化(JENDL-4.0 や MAXS/AD-2017)が行われた。その結果、放射能濃度の計算結果では令和 3 年度の方が測定データに近くなっていることが示された。現在、今年度の成果を報告書としてまとめていることが説明された。また、埋設処分における主要 22 核種の評価に関する検討が行われているとの報告があった。

【質疑議論】埋設処分における放射能評価について、黒鉛炉など炭素が多い場合に ^{13}C の捕獲反応で生成される ^{14}C の評価が必要になるが、JENDL-5 では ^{13}C の核データが整備されたので、個別の寄与が評価できるようになっているとのコメントがあった。今後の計算における JENDL-5 の利用については、従来核データによる実績もあるので、徐々に切り替えていきたいとの回答があった。構造材のサンプリングに関し、遮へいコンクリートで鉄筋を採取したかとの質問に対して、遮へいコンクリートの表面に近い部分のため、鉄筋は考慮していないとの回答があった。鉄筋を考慮したコンクリートの放射化量の評価が必要であるとのコメントがあった。

4. 廃止措置放射化評価のための DORT 計算での群構造検討(今野委員)

資料 R3-A-4 を基に、DORT コードによる中性子輸送計算で使用されるエネルギー群構造が中性子束分布へ与える影響を報告した。原子炉施設の廃止措置では放射化評価のための中性子束計算に 2 次元 Sn 計算コード DORT が利用されることが多い。SCALE6.2 コ

ード付属の ORIGIN ライブラリにある少数群構造が、DORT 計算による中性子束へ与える影響を検討した。対象施設は JPDR の生体遮へいコンクリートとし、その中での中性子束を ORIGIN ライブラリの群構造 200、56、49、47、44 群と以前 JPDR の放射化計算で使われた 48 群で計算した。中性子エネルギーに対する中性子束分布が MCNP で計算した参照解と比較して大きく異なるものがあることが示され、200 群(次善は 48 群)の利用を推奨するとの説明があった。

【質疑議論】群構造には作成目的(使用対象)があり、これに従って作られているため、対象に合った群構造を選んで利用した方が良いとのコメントがあった。これに対し、今回の検討目的は廃止措置の放射化計算で使う中性子束を DORT で計算する際に、どの群構造を使うのが良いかを調べることにあり、コメントは考慮しているとの回答があった。また、中性子輸送計算に適した群構造で計算したスペクトルを ORIGIN ライブラリの群構造に縮約して、ORIGIN 計算に利用した方が良いとのコメントがあった。これに対し、今回の検討目的は群構造を新たに構築することではなく、既存の ORIGIN ライブラリの群構造のうちどれが中性子束計算に適しているかを調べることにあり、SCALE6.2 の ORIGIN 計算では同じ群構造の中性子束と放射化断面積を使って COUPLE コードで 1 群放射化断面積を作成しているので、放射化断面積の適切な群構造がはっきりすれば、それと同じ群構造の中性子束を計算すれば良いとの回答があった。コンクリート表面から 33.7cm の深さでは、56 群計算による中性子スペクトルが MCNP 計算の参照解よりかなり減少していた。この原因について質問があり、コンクリートへの深層透過計算に対しては群分割の仕方が悪いためであるとの回答があった。

5. 炉照射による断面積測定の進捗と今後の計画(中村委員)

資料 R3-A-5 を基に、クリアランス対象核種に対する京大複合研原子炉を利用した熱中性子捕獲断面積の測定結果と今後の計画が報告された。京大複合研原子炉の炉心と黒鉛設備にそれぞれ ^{93}Nb と ^{237}Np 試料を装荷して熱中性子捕獲断面積が放射化法で測定され、得られた結果が示された。 ^{93}Nb の測定では、ガンマ線スペクトロスコープと質量分析から ^{94}Nb の半減期を導出する新たな試みが紹介された。また、クリアランス対象核種などを生成する熱中性子捕獲断面積の測定計画が示された。

【質疑議論】測定予定のクリアランス対象核種について、放射化経路も考慮して計画を立てたか質問があり、放射化経路については抑えているとの回答があった。京大複合研原子炉は 2026 年 5 月に停止予定であるので、他施設を検討した方が良いとのコメントがあり、JRR-3 で測定を継続することを考えており、令和 3 年に 1 サイクル照射試験などを進めているとの回答があった。

6. JENDL-5 の放射化断面積ファイル(岩本委員)

資料 R3-A-6 を基に、JENDL-5 の放射化断面積ファイルについて概要が報告された。JENDL-5 は中性子サブライブラリを含む 11 サブライブラリで構成され、中性子サブライブラ

リにはオリジナルデータ以外に 4 つの派生データがあり、そのうちの 하나가放射化断面積データであることが紹介された。この放射化断面積データは 794 核種が収録され、基本的に断面積データは 300K で MF3 と MF10 にのみ収録されていることが説明された。また、放射性核種のレベルやアイソマー番号は可能な範囲で崩壊データサブライブラリの番号に対応させたことが報告された。

【質疑議論】収録核種数が 2 倍近く増えたがこれらのデータは輸送計算に利用できるか、また増えた核種のデータは計算ベースかとの質問があり、中性子輸送計算が可能な汎用データが収録されており、増えた核種の多くは不安定核種のため、計算ベースとなっているとの回答があった。熱中性子散乱則の評価対象の選択と計算方法について質問があり、基本的には水素を含む物質が選ばれており、計算には分子動力学シミュレーションを使った手法が用いられているとの回答があった。

7. JENDL-5 の構造材核種評価(岩本委員)

資料 R3-A-7 を基に、JENDL-5 の構造材核種に対する評価結果が報告された。構造材核種の評価概要が説明され、 $^{46}\text{Ti}(n,p)$, $^{54}\text{Fe}(n,p)$, $^{58}\text{Fe}(n,\gamma)$, $^{58}\text{Ni}(n,\gamma)$, $^{60}\text{Ni}(n,p)$, $^{63}\text{Cu}(n,\gamma)$, $^{58}\text{Ni}(n,p)$, $^{90}\text{Zr}(n,p)$ 反応の放射化断面積に対する測定データ及び JENDL-4.0 との比較が示された。今後は構造材核種に対して、共分散データの拡充や共鳴パラメータの独自評価を検討することが説明された。

【質疑議論】熱中性子エネルギー領域の共分散データはどの程度信頼できるかとの質問に対して、共鳴パラメータセットを多数用意し、統計的に処理することである程度信頼性があるデータとなるとの回答があった。JENDL に共分散データが無かったため、JEFF の共分散データを利用したが、JENDL に共分散データが収録されていることが望ましいとのコメントがあった。

8. 令和 4 年度の活動計画について(岩本委員)

資料 R3-A-8 を基に、令和 4 年度の活動計画を議論し、了承された。

【質疑議論】令和 4 年度の活動について、JENDL-5 の SCALE6.2 付属 ORIGEN 用及び SCALE6.0 付属 ORIGEN-S 用ライブラリの作成を追記することになった。

9. その他

来年度の委員の継続が確認された。

以上