

JENDL 委員会 核データ専門部会 放射化断面積評価 WG

平成 29 年度第 1 回会合議事録

日時：平成 30 年 2 月 13 日（火） 13：30－17：40

場所：日本原子力研究開発機構 東京事務所 第 7 会議室

出席者（敬称略）：田山隆一（日立 GE）、杉村直紀（原子力エンジニアリング）、田中健一（エネ総工研）、金政浩（九大）、奥村啓介、坂井章浩、松田規宏、中村詔司、国枝賢、岩本信之（以上、JAEA）

配布資料

- H29-A-1 Development of Radioisotopes Production Method by Accelerator-based Neutron
- H29-A-2 放射化断面積評価 WG 発表資料
- H29-A-3 放射化断面積に対する要望事項（追加）等について
- H29-A-4 JENDL の整備に関する廃止措置分野からの要望
- H29-A-5 埋設事業センターの廃棄物の放射能評価に関する最近の状況
- H29-A-6 放射化断面積評価 WG 発表資料
- H29-A-7① 放射化断面積ライブラリ整備のための原子炉中性子による断面積測定 Hf-177 及び Hf 同位体測定の見積書
- H29-A-7② Hf-177 断面積測定の実験可能性見積書
- H29-A-8 放射化断面積ファイルの開発状況

議事

1. Development of Radioisotopes Production Method by Accelerator-based Neutron（金委員）

資料 H29-A-1 を基に核医学診断治療に利用される放射性核種 ^{64}Cu の生成手法開発の概要が紹介された。中性子源として $\text{C}(\text{d},\text{n})$ 反応を利用して、天然亜鉛標的へ中性子を照射した後の化学処理による ^{64}Cu の抽出結果が示された。また、Al や Fe、Co 等の放射化箔を用いた多重箔放射化法による厚いターゲットからの二重微分中性子収量 (DDTTNY) の導出を行っており、この導出のための Artificial neural network (ANN) の概念を用いたアンフォールディング法について説明があった。既存の GRAVEL（最小二乗法によるアンフォールディング手法）と ANN 法で導出した DDTTNY は測定データをおおよそ再現しており、あまり差がなかった。しかしながら、ANN 法の場合は放出角が 40 度以上で低中性子エネルギーにおいて小さくなる傾向が報告された。反応毎の C/E 値では、 $^{197}\text{Au}(\text{n},\gamma)$ 反応に大きなずれが見られたが、全体としては ANN 法の

再現性が高いことが説明された。金委員へ測定された中性子スペクトルに対する平均断面積と JENDL/AD-2017 を比較できないか検討するよう要望があった。

2. 放射化断面積評価 WG 発表資料（杉村委員）

資料 H29-A-2 を基に最新核データライブラリを利用するジレンマについて紹介があった。断面積ライブラリに収録されたデータ量は膨大なため、初期不良の可能性があり、ユーザーとしてはこの不良データの速やかな修正を期待する。しかしながら、許認可で利用する場合には、今後も不良の出る可能性があると利用しづらいことが報告された。実際の JENDL-4.0 に関する update 実績を示して、最初から正式版を公開するのではなく、ベータ版でバグ出しを行った方が良いのではないかとの提案があった。また、一定期間経過後の修正は現行バージョンから切り離した方が良いとの提案もあった。

3. 放射化断面積に対する要望事項（追加）等について（田山委員）

資料 H29-A-3 を基に放射化断面積に対する要望が説明された。JENDL/D-99 ベースの FSXLIBJD99 を JENDL/AD-2017 のデータを加えてアップデートしたものを作れないか検討するよう要望があった。ORIGEN2 でトリチウムの計算をするには、 $^{10}\text{B}(n,2\alpha)\text{T}$ と $^7\text{Li}(n,\text{na})\text{T}$ 反応が重要である可能性があり、ORIGEN2 でこれらの計算ができるように改良できないか要望があった。まずはこれらの反応が重要であるか確認する必要があるとのコメントがあり、DCHAIN-SP にこれらの反応の収録有無を確認するよう松田委員へ依頼があった。許認可解析において構造材の発熱量計算が求められているため、MATXSLIB ベースでのマイクロカーマ及び代表的な遮へい体のマクロカーマに関するレポートを整備するよう要望があった。JENDL-4.0 ベースではマイクロカーマを整備しているが、カーマデータに関するレポートが無いため、これに対する作成要望があった。

4. JENDL の整備に関する廃止措置分野からの要望（田中委員）

資料 H29-A-4 を基に放射能特性評価の考え方、共分散データの充実に関する要望、廃止措置分野における今後の計画について報告があった。想定されるリスクが廃止措置対象施設にどう存在するかを正確に把握することが適切なグレーデッドアプローチの適用に重要であるとの説明があった。現行評価には IAEA SS No.100 の信頼性に関する定義が準用されており、この定義における定量的な信頼性と定性的な信頼性についての判断尺度が紹介された。また、原子炉廻りの中性子束分布計算結果が示され、全ての場所において C/M 値が 1 より大きかったため、1 を下回ることがないのかとの質問があり、計算条件を調整することにより、1 を下回らないようにしたとの回答があった。サイクルの初期と末期や出力の違いでスペクトルが異なり、RI 生成への感度もそれに応じて変化するため、計算が難しいとのコメントがあった。アメリカ機械学会 (ASME)

における V&V の考え方を基に、今後は計算結果に対して、核データ等に由来する不確実さを考慮した放射化計算の不確実さを導出することの重要性が指摘された。これに関連して、原子力発電所の構造材で用いられている中重核には共分散データがないため、この整備に対する要望があった。また、元素としての放射化計算が重要であるため、マイナーであっても全ての同位体の収録が望ましいとの要望があった。

5. 埋設事業センターの廃棄物の放射能評価に関する最近の状況（坂井委員）

資料 H29-A-5 を基に廃棄物の放射能評価に関する最近の状況報告があった。RI 廃棄物には、原子炉施設では生成されないが、加速器材料の放射化等により生成される核種があるため、これらが埋設処分やクリアランスで重要となる可能性のあることが説明された。JAEA 原子力科学研究所で保有している RI のうち、ORIGEN2 ライブラリに含まれないが、加速器施設の放射化で生成される ^{44}Ti が処分に関係してくる可能性のあることが紹介された。埋設センターで実施している放射化計算で廃止措置中の立教大炉を雛形として簡易で共通的な放射化計算の方法を検討していることが報告された。廃止措置作業に合わせて炉心周辺の構造材試料の採取、主要 RI 核種の放射能濃度に対する放射化計算結果と分析結果の比較、分析対象核種の親元素の分析について説明された。構造材に含有する ^{60}Co 及び ^{63}Ni の放射能濃度に対する C/E 値の比較では概ね 10 倍以内の差にあることが報告された。放射能計算に利用しているライブラリを JENDL/AD-2017 に変更した計算が可能かとの質問があり、可能であるとの回答があった。

6. 放射化断面積評価 WG 発表資料（松田委員）

資料 H29-A-6 を基に DCHAIN-SP に使用されている崩壊データの書式について紹介があった。DCHAIN-SP は Bateman 法に基づく核種の生成崩壊解析コードであり、放射能評価を適切に行うためには崩壊データライブラリの扱い方にも注意を払う必要がある。DCHAIN-SP が採用している半減期データは古いものもあるため、改訂が必要であることが報告された。放射化断面積データの書式には全体微調整用係数があり、FNS での実験データを再現するための修正パラメータとして利用されていた。記載された核反応断面積データと JENDL/AD-2017 との比較をする必要があるとのコメントがあった。核種生成量の計算結果は 3 種類程度のコードによる検証が必要であり、例えば、ORIGEN-S、ORIGEN2、DCHAIN-SP で行うと良いとのコメントがあった。核種生成では行先のない経路がないか確認することが重要であるとのコメントがあった。

7. 放射化断面積ライブラリ整備のための原子炉中性子による断面積測定 Hf-177 及び Hf 同位体測定の検討（中村委員）

資料 H29-A-7①を基に Hf-177 の捕獲反応による Hf-178m2 (31 年) の生成断面積測

定に関する検討結果が報告された。これまでの測定データは原子炉中性子による放射化法で行われており、Helmer ら (1973) の $0.2 \pm 0.1 \mu\text{b}$ と Karamian ら (2006) の $2.6 \mu\text{b}$ (誤差の記載無し) がある。JAEA の研究炉 JRR-3M での測定検討では、水力輸送管にて 1 サイクル 26 日間照射し、2 週間の冷却後に Ge 検出器で 326keV のガンマ線を 2 日間測定することで 14000 カウント程度が得られるため、測定可能性が十分高いことが説明された。田山委員より Hf-178m2 の生成量計算の必要性は UK 規制から口頭で指摘されていることが報告された。また、廃止措置時には Hf 制御棒で生成された長寿命の Hf-182 (900 万年) の残留量を評価する必要がある。これを適切に行うためには Hf-180 と Hf-181 の中性子捕獲断面積の精度が重要となる。これら 2 核種の断面積測定に関する検討結果が報告され、Hf-181 については濃縮 Hf-180 試料からの二重捕獲反応の利用により JRR-3M において 1 サイクル照射することで、また Hf-180 については京大炉において天然 Hf 試料を 5 分間照射することで測定可能であることが説明された。

8. 放射化断面積ファイルの開発状況 (岩本委員)

資料 H29-A-8 を基に放射化断面積ファイルの開発状況が報告された。JENDL/AD-2017 の公開は H30 年 3 月を予定しており、廃止措置用にリストアップした対象 RI のうち 221 核種が収録されたことが説明された。また、閾エネルギーが 10MeV 以上の (n,2n) 反応が重要となる 7 核種と ^{210}gBi からのベータ崩壊で生成される ^{210}Po の核データを追加したことが報告された。また、生体遮へいコンクリート、SUS304、炭素鋼を対象にした簡易的な放射能計算を実施し、JENDL/A-96 と JENDL/AD-2017 との比較結果が示された。生体遮へいコンクリートのケースでは $^{93}\text{Nb}(n,n')^{93\text{m}}\text{Nb}$ 反応断面積の差異により放射エネルギーにも差異が生じていたことが説明された。H28 年度からの進捗が確認され、田山委員に依頼していた放射化ファイルのベンチマークに利用可能な積分データの確認に関しては、データが無いとの回答があった。

以上