

話題・解説(I)

2016 年度核データ部会賞

奨励賞

—銅核データベンチマークに係る研究—

量子科学技術研究開発機構
核融合エネルギー研究開発部門
核融合中性子源設計グループ
権 セロム
kwon.saerom@qst.go.jp

1. はじめに

2016 年度日本原子力学会核データ部会賞奨励賞をいただき大変光栄に思います。この賞を受賞するにあたり、多くの関係者の方からいただいた御指導、御助言に深く感謝いたします。この賞を励みに、今後も核データの研究に貢献できるよう幅広い視野を持って研究に精進して参ります。本稿では奨励賞をいただいたテーマである「銅核データベンチマークに係わる研究」について簡単にご紹介いたします。

2. 銅核データベンチマーク実験とその解析

銅は磁場閉じ込め式の核融合炉の超伝導コイルの巻き線や IFMIF (International Fusion Materials Irradiation Facility) のような加速器型核融合中性子源等の有力な候補材料で、銅を含む機器の核設計解析には高い信頼性が要求されます。そのため、精度の良い銅の核反応断面積のデータ (以下、核データと言う) が必要になります。銅の核データについては既に 20 年も前に当時の日本原子力研究所の DT 核融合中性子源 (FNS: Fusion Neutronics Source) を用いてベンチマーク実験が行われましたが、低エネルギー中性子に感度を有する実験値を計算値が大幅に過小評価し、その原因は長い間全くわかりませんでした。私は、この過小評価の主な原因の一つとして実験室のコンクリート壁等で散乱した中性子 (以下、バックグラウンド中性子と言う) が実験値に影響を与えている可能性に気がつきました。そこで、ベンチマーク実験で核データの精度が良いことが確認されている酸化リチウムで銅体系の周りを囲み、バックグラウンド中性子をリチウムで吸収させることを考え、

モンテカルロコード MCNP [1]を用いてバックグラウンド中性子の影響を低減できる最適な体系を選び出しました。この実験体系(図 1 参照)を用いて新たな銅核データベンチマーク実験を実施し、5 種類の放射化箔(Nb/Al/In/Au/W)を使って反応率を測定しました。この実験の解析を MCNP と最近の核データライブラリー(ENDF/B-VII.1 [4]、JEFF-3.2 [5]、JENDL-4.0 [6])を用いて行い、測定した反応率(実験値、Exp.)に対する計算した反応率(計算値、Cal.)の比(Cal./Exp.)を元に核データの検証を行いました。結果の一例として低エネルギー中性子に感度を有する $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{197}\text{Au}$ 反応の反応率の Cal./Exp.を図 2 に示します。図 2 で示した点線は 20 年前に行われた銅ベンチマーク実験結果とそれを JENDL-4.0 で計算した結果の比です。今回新たに実施した銅ベンチマーク実験ではバックグラウンド中性子の影響の低減には成功しましたが、依然、計算値が実験値を大幅に過小評価していることがわかります。そこで銅核データに何らかの問題があると考え、銅核データを詳細に調べました。代表的な検討結果を以下にご紹介いたします。JENDL-4.0 の銅の 2 つの同位体のデータのうち 1 つを JEFF-3.2 のデータと入れ替えて計算すると 10% 程度の差がみられ(図 3 参照)、JEFF-3.2 の ^{63}Cu データと JENDL-4.0 の ^{65}Cu データの組み合わせで Cal./Exp.が改善することがわかりました。図 3 ではその差がわかりやすくみえる $^{186}\text{W}(n,\gamma)^{187}\text{W}$ 反応の反応率の結果で示していますが、 $^{197}\text{Au}(n,\gamma)^{197}\text{Au}$ 反応の反応率でも同様な傾向がみられます。Cal./Exp.が改善した理由として JEFF-3.2 の ^{63}Cu データの捕獲反応断面積が小さく、JENDL-4.0 の ^{65}Cu データの弾性散乱断面積が大きいことを見出しました。

3. 銅核データの問題と修正方向の提案

さらに Cal./Exp.が良くなるように、上記の検討結果に基づき銅核データの捕獲反応断面積と弾性散乱断面積を色々変更してその効果を調べました。この解析には核データ断面積処理コード NJOY [7]も使用しました。その結果、共鳴領域における銅同位体の弾性散乱断面積を 10%程度大きくし、捕獲反応断面積を 10%小さくすることにより、Cal./Exp.をほぼ 1.0 にすることができることを実証しました(図 4 参照)。この変更は一例であり、最終的に銅核データをどのように修正するかについては更なる研究が必要ですが、本研究を通して 20 年にわたり謎であった銅ベンチマーク実験での低エネルギー中性子に感度を有する実験値と計算値の大幅な不一致の原因解明に道筋をつけ、銅核データ修正の方向性を示すことができたと思っております。さらに詳しい研究内容については参考文献 [2-3]を見ていただければと思います。

4. おわりに

「銅核データベンチマークに係わる研究」は私が所属していたグループで長年にわたり解明できず懸案であったもので、大変ではありましたが、やりがいのある研究でした。日

本原子力研究開発機構の組織変更に伴い、私は青森県六ヶ所村にある量子科学技術研究開発機構六ヶ所核融合研究所に移り、残念ながら現在は核データに係わる研究に専念することはできなくなりました。しかし、今のグループの仕事である核融合中性子源の設計でも核データは重要なので、これからも核データに係わった研究を行っていきたいと思います。

私はまだまだ核データの世界では未熟な者でございますが、今後とも核データ部会の皆様のご支援とご鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。また、この場をお借りして、「何の疑いもなく核データを利用するただのユーザーではなく、色々な角度から核データの中身も考える」ことができるように、ご指導をいただいた原子力機構の今野力氏に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] X-5 Monte Carlo Team, MCNP-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5, LA-UR-03-19987 (2005).
- [2] S. Kwon et al., “A new integral experiment on copper with DT neutron source at JAEA/FNS,” Fusion Eng. Design **109-111**, 1658-1662 (2016).
- [3] S. Kwon et al., “Supplemental Integral Experiment for Benchmarking Nuclear Data Libraries on Copper with D-T Neutron Source at JAEA/FNS,” Proc. of 2014 Symposium on Nuclear Data, JAEA-Conf 2015-003, 173-178 (2016).
- [4] M. B. Chadwick et al., “ENDF/B-VII.1: Nuclear Data for Science and Technology,” Nucl. Data Sheets **112**, 2887-2996 (2011).
- [5] O. Cabellos, “Processing of the new JEFF-3.2T4 Cross Section Library with the NJOY Code System into Various Formats for Testing Purposes, NEA Report (2014).
- [6] K. Shibata et al., “JENDL-4.0: a new library for nuclear science and engineering, J. Nucl. Sci. Technol. **48 (1)**, 1-10 (2011).
- [7] A. C. Kahler et al., “The NJOY Nuclear Data Processing System, Version 2012,” LA-UR-12-27079 (2012).

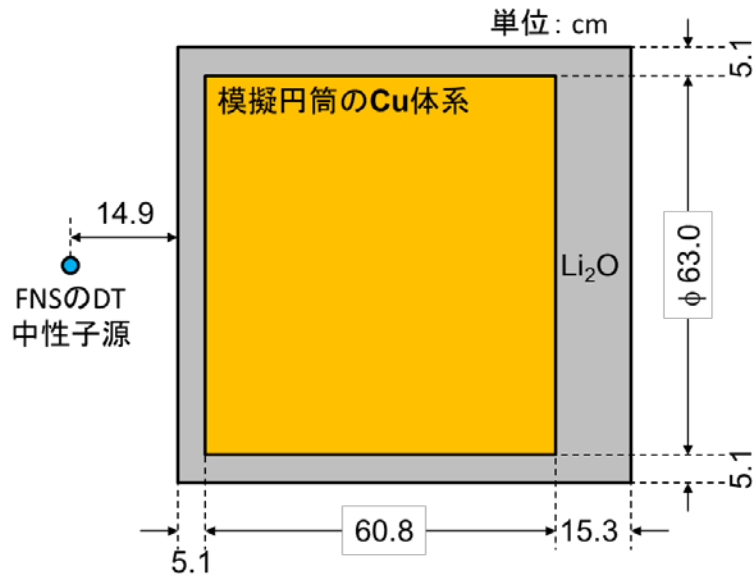


図 1. 酸化リチウム付銅実験体系模式図（バックグラウンド中性子影響低減）。

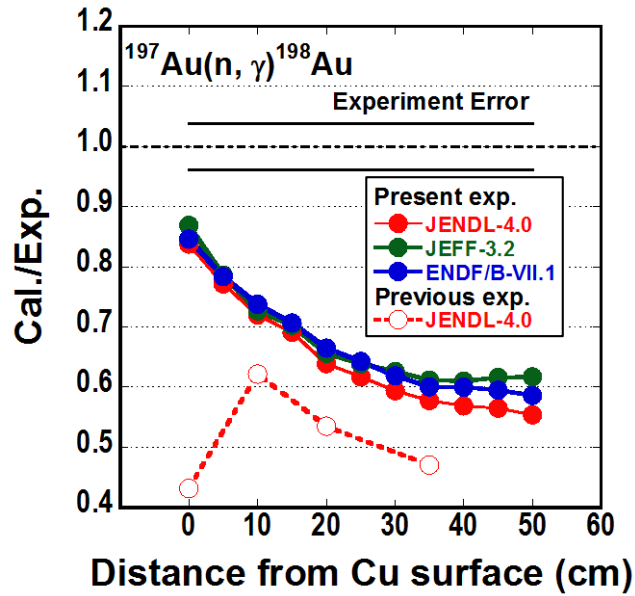


図 2. $^{197}\text{Au}(n, \gamma)^{198}\text{Au}$ 反応の反応率の計算値と実験値の比 (cal./exp.)。

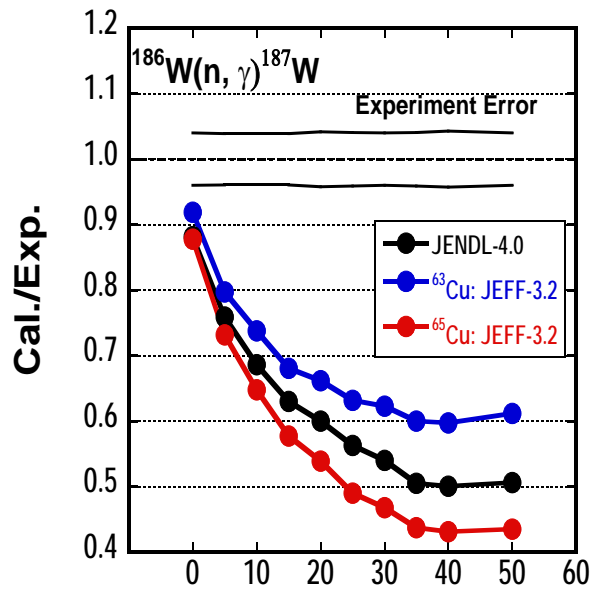


図 3. $^{186}\text{W}(n,\gamma)^{187}\text{W}$ 反応の反応率の計算値と実験値の比 (cal./exp.). 銅核データ詳細検討として銅同位体に異なる核データライブラリーを用いて計算で得られた結果.

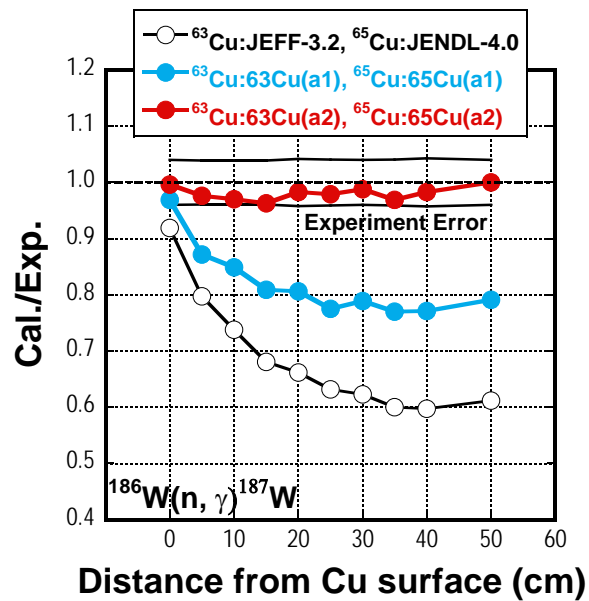


図 4. $^{186}\text{W}(n,\gamma)^{187}\text{W}$ 反応の反応率の計算値と実験値の比 (cal./exp.). 銅核データを直接変更 (a1: 10^{-4} - 0.3 MeVで弾性散乱断面積5%増、捕獲反応断面積5%減、a2: 10^{-4} - 0.3 MeVで弾性散乱断面積10%増、捕獲反応断面積10%減) .