

Oral presentation | II. Radiation, Accelerator, Beam and Medical Technologies : 201-1 Nuclear Physics, Nuclear Data Measurement/Evaluation/Validation, Nuclear Reaction Technology

📅 Wed. Mar 16, 2022 10:15 AM - 12:00 PM JST | Wed. Mar 16, 2022 1:15 AM - 3:00 AM UTC | 🏢 Room A

[1A01-06] JENDL-5 Evaluation

Chair: Tatsuya Katabuchi (Tokyo Tech)

10:15 AM - 10:30 AM JST | 1:15 AM - 1:30 AM UTC

[1A01] Nuclear data evaluation for JENDL-5

(1)Evaluation of neutron nuclear data for actinides

*Osamu Iwamoto¹ (1. JAEA)

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[1A02] Nuclear data evaluation for JENDL-5

(2)Evaluation of neutron nuclear data for structure material

*Nobuyuki Iwamoto¹ (1. JAEA)

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[1A03] Nuclear Data Evaluation for JENDL-5

(3)Cross-section Evaluation for Light Nuclei

*Satoshi Kunieda¹ (1. JAEA)

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[1A04] Nuclear data evaluation for JENDL-5

(4)Evaluation of thermal neutron scattering law

*Yutaka Abe¹, Akira Ichihara² (1. Kyoto Univ., 2. JAEA)

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[1A05] Nuclear data evaluation for JENDL-5

(5)Decay data sublibrary

*Futoshi Minato¹ (1. JAEA)

11:30 AM - 11:45 AM JST | 2:30 AM - 2:45 AM UTC

[1A06] Nuclear data evaluation for JENDL-5

(6)Sublibraries of deuteron and alpha-particle reactions

*Shinsuke Nakayama¹ (1. JAEA)

11:45 AM - 12:00 PM JST | 2:45 AM - 3:00 AM UTC

Time reserved for Chair

JENDL-5 の核データ評価

(1) アクチニドの中性子核データ評価

Nuclear data evaluation for JENDL-5

(1) Evaluation of neutron nuclear data for actinides

*岩本 修

原子力機構

評価済核データライブラリーの新版である JENDL-5 を開発した。JENDL-5 のアクチニドについては U や Pu などの主要核種、Am や Np、Cm などのマイナーアクチニド共に最新の測定データなどを用いて改訂を行った。本発表では JENDL-5 開発におけるアクチニド中性子核データ評価の概要について報告する。

キーワード: 評価済核データライブラリー, JENDL-5, 中性子核反応、ウラン、プルトニウム、マイナーアクチニド、核分裂断面積、中性子捕獲断面積、共鳴パラメータ

1. 緒言

評価済核データライブラリーは原子力のシミュレーション計算の基盤となる重要なデータである。JENDL-5 は 2010 年に公開した JENDL-4.0 の後継版である。JENDL-5 では JENDL-4.0 公開後の測定や理論の最新の知見を反映させることにより、原子炉等のシミュレーション計算の精度向上に資することを目指した。本発表では JENDL-5 のアクチニド評価に関する概要を報告する。

2. JENDL-5 アクチニド評価の概要

OECD/NEA/WPEC の下で、国際的な核データ評価協力のパイロットプロジェクト CIELO が実施され、主要アクチニドである U-235, 238, Pu-239 について核データ評価・検討が行われた。これらの成果は ENDF-B/VIII.0 や JEFF-3.3 へ取り込まれているが、JENDL-5 でも U-235, 238, Pu-239 の共鳴パラメータについて CIELO の成果を取り入れた。10 keV 以上の高速中性子に対する核分裂断面積については、U-233, 235, 238, Pu-239, 240, 241 について、核種間の断面積比の測定も同時に考慮して評価する同時評価により、断面積を導出した。JENDL-4.0 でも同様の手法を用いたが、JENDL-5 では新たな測定データを取り入れると共に、エネルギー領域も 200MeV までに拡張した。マイナーアクチニドの Am-241, 243, Np-237, Cm-244, 246 については JENDL-4.0 の公開後、J-PARC の ANNRI を用いて捕獲断面積や全断面積の測定が実施され、また、CERN の n_TOF 施設でも Am-241, 243, Pu-242 の捕獲断面積測定が行われた。JENDL-5 ではこれらの測定から得られた共鳴パラメータを取り入れることで、最新データを反映させた。CIELO において、U-235 の核分裂中性子スペクトルについて議論があり改訂が行われた。JENDL-5 でも、JENDL-4.0 の核分裂スペクトル評価ために開発した改良ロスアラモスモデルを用いて、新たな評価を実施しデータを改訂した。

アクチニドの核データは原子炉の核計算に大きく影響する。JENDL-5 の開発において、多くのテスト版のライブラリーを作成し、熱炉から高速炉まで臨界性を中心に核特性のベンチマークテストを実施し、断面積を微調整するなどのフィードバックを行って、核計算の性能を向上させた。

発表では JENDL-5 全体像についても紹介しつつ、JENDL-5 のアクチニド評価の概要を報告する。

*Osamu Iwamoto

JENDL-5 の核データ評価

(2) 構造材の中性子核データ評価

Nuclear data evaluation for JENDL-5

(2) Evaluation of neutron nuclear data for structure material

*岩本 信之¹

¹JAEA

汎用評価済核データライブラリの最新版である JENDL-5 の開発のために行った構造材核種に対する中性子核データの評価結果について報告する。

キーワード：中性子核データ，構造材核種，評価済核データライブラリ，JENDL-5

1. 緒言

汎用評価済核データライブラリ JENDL において構造材核種の核データは 20～30 年もの長期間、大規模な改訂が行われなかった。この間に、多くの中性子実験データが公開されるとともに、核反応モデルの改良や原子核の励起レベル情報の更新等、様々な進展があったため、JENDL-5 の開発にあたっては、構造材核種の核データ充実化を主要な改訂項目の一つとした。

2. 核データ評価

改訂を行った構造材は、鉄、ニッケル、マンガン、コバルト、チタン、銅、亜鉛である。これらに加えて、ADS の核特性解析で重要な鉛、ビスマス、ジルコニウムについても再評価を行った。JENDL-5 では 200 MeV までの核データの収録を目指し、上述した構造材核種の一部を除いて 200 MeV までの収録がある。ただし、20 MeV までは JENDL-4.0 と同様に、個別の反応データとし、20 MeV 以上では残留核生成断面積として収録した。

2-1. 分離共鳴領域

共鳴パラメータについては、JENDL-4.0 からの継承、または ENDF/B-VIII.0 や JEFF-3.2 から最新の共鳴解析による結果を採用した。共分散データが未整備の核種に対しては、カーネル近似法により導出した。

2-2. 高速中性子エネルギー領域

分離共鳴より中性子エネルギーの高い領域に対しては、核反応モデル計算コード CCONE [1]を利用し、核反応断面積、放出ガンマ線・粒子の角度分布や二重微分断面積を導出した。共分散データについては、共分散データの収録は個別反応で収録してある 20 MeV までの領域に限定した。JENDL-5 で改訂した核種のうち、JENDL-4.0 に収録のある核種に対して評価を行った。共分散は KALMAN コード [2]を用いて、核反応モデルのパラメータ不確かさと測定データの不確かさを基に、すべての反応に対して評価 [3]し、収録した。

参考文献

[1] O. Iwamoto, N. Iwamoto, S. Kunieda et al., Nuclear Data Sheets, 131, 259 (2016)

[2] T. Kawano, K. Shibata, JAERI-Data/Code 97-037 (1997)

[3] N. Iwamoto, EPJ Web of Conferences, 111, 03002 (2016)

*Nobuyuki Iwamoto¹

¹JAEA

JENDL-5 の核データ評価

(3) 軽核の断面積評価

Nuclear Data Evaluation for JENDL-5

(3) Cross-section Evaluation for Light Nuclei

*国枝 賢¹,¹原子力機構,

共鳴領域において、炭素、窒素、酸素、フッ素に対して中性子断面積の評価を実施した。R 行列理論解析においてエネルギー分解能を考慮することにより中性子散乱微分断面積等の改善が見られた。また、直接捕獲過程を同理論の枠内で現象論的に記述し、中性子捕獲断面積の精度を向上させた。

キーワード : JENDL-5, 軽核, 核データ評価, R 行列理論, 共鳴領域, 微分断面積, 中性子捕獲断面積

1. 緒言

軽原子核の中性子断面積は原子力や放射線工学等のシミュレーションにおいて必要とされているが、JENDL-3.3 以降改定されていない核種が数多く存在している。一方、ここ数十年の間に新たな断面積測定がなされていると共に、評価計算コードや評価手法の進展が見られている。本研究では JENDL-5 の開発を目的として、共鳴領域における炭素、窒素、酸素、フッ素 ($^{12,13}\text{C}$, ^{15}N , ^{16}O , ^{19}F) の中性子断面積評価を実施した。評価に用いた共鳴解析コード AMUR の改良点と断面積測定データの解析結果を示すと共に、JENDL-4 や ENDF/B-VIII.0 との違いについて報告する。

2. 評価手法と結果 (^{19}F の例)

R 行列理論に基づく解析コード AMUR [1]を用いて共鳴領域における中性子断面積の測定データを解析した。その際に、測定データの取得条件を可能な限り模擬する試みの一つとして、角度微分断面積のエネルギー分解能を考慮できるようにコードを改良した。改良したコードの適用例として $^{19}\text{F}(n,n_{0-2})$ の微分断面積を図に示す。JENDL-4.0 や ENDF/B-VIII.0 の評価値は測定値 [2]の平均的な振る舞いを再現するのみであるが、本結果は測定値の前方性を良く再現する結果を与えている。その他、R 行列理論において直接捕獲過程に対する補正項を考慮することにより、 $^{13}\text{C}(n,\gamma)^{14}\text{C}$ 反応断面積等の測定値への再現性が高まることを確認した。

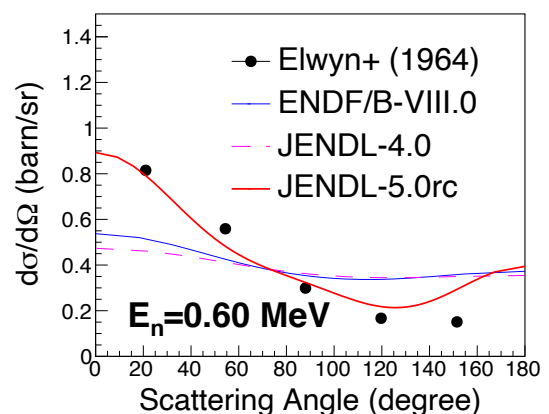


図 $^{19}\text{F}(n,n_{0-2})$ 微分断面積の測定値と評価値
(エネルギー分解能 : 150 keV)

3. 結論

R 行列理論を用いて共鳴領域における $^{12,13}\text{C}$, ^{15}N , ^{16}O , ^{19}F の中性子断面積を評価し、JENDL-4.0 では未対応であった測定値との不一致を改善した。また、炭素についてはこれまで天然元素として与えられていたデータを同位体毎に評価し、データライブラリとしての完備性を向上させた。

参考文献

[1] S. Kunieda et al., Nuclear Data Sheets, 118, 250 (2014)

[2] A.J. Elwyn et al, Journal of Nuclear Physics. 59, 113 (1964)

*Satoshi Kunieda¹,

¹Japan Atomic Energy Agency,

JENDL-5 の核データ評価

(4) 熱中性子散乱則の評価

Nuclear data evaluation for JENDL-5

(4) Evaluation of thermal neutron scattering law

*安部 豊¹, 市原 晃²¹京大, ²原子力機構

JENDL-5 では 37 物質の熱中性子散乱則データを収録した。その内、軽水、重水、メタン、ベンゼンなど 16 物質に対する熱中性子散乱則を京都大学および日本原子力研究開発機構共同で評価した。発表では熱中性子散乱則の評価方法と実験との比較について報告する。

キーワード：熱中性子散乱則, 分子動力学法

1. はじめに

JENDL-4.0 では炉心解析や中性子源設計に利用される主要な 14 物質（液体・固体を別物質として区別）について ENDF/B-VI.8 あるいは ENDF/B-VII.0 の熱中性子散乱則データを再録していた。JENDL-5 では収録する 37 物質の熱中性子散乱則データの内、軽水、重水、エタノール、メタン、ベンゼン、トルエン、m-キシレン、メシチレン、トリフェニルメタンについては、京都大学および日本原子力研究開発機構の共同で熱中性子散乱則データを評価した。本発表ではこれらの新たに作成した熱中性子散乱則データの評価方法と実験との比較などについて報告する。

2. 評価方法・解析例

軽水などの含水素物質については水素の非干渉性散乱が支配的であるため、熱中性子散乱則を自己散乱則のみで表す非干渉性散乱近似を採用し、自己散乱則はガウス近似を用いて評価した。この場合、物質の特性は自己散乱則の時間フーリエ変換であるガウス型自己中間散乱関数の分散に反映され、分散は物質を構成する原子の運動の状態密度により与えられる。本評価では原子運動の解析に分子動力学法を用い、原子の速度ベクトルの自己相関関数から状態密度を評価した（解析方法の詳細は文献[1]）。重水については、重水素の干渉性・非干渉性散乱が同程度であるため、上述の散乱則の評価式に Sköld 近似[2]を用いて干渉性散乱の寄与を加えている（重水の静的構造因子は分子動力学解析から得た原子の位置情報を基に算出）。

解析例として図 1 に固体ベンゼン (90 K) および液体ベンゼン (296 K) の全断面積を実験値とともに示す。全断面積は 100 meV 以上では温度依存性はほとんど示さず、両者とも 1 eV 以上で自由原子散乱断面積に漸近する。一方、約 10 meV 以下で全断面積は大きな温度依存性を示す。これは低温の固体では上方散乱による非弾性散乱が抑制されるためである。当日の発表では、JENDL-5 に収録する他の物質の熱中性子散乱則の解析結果についても併せて報告する予定である。

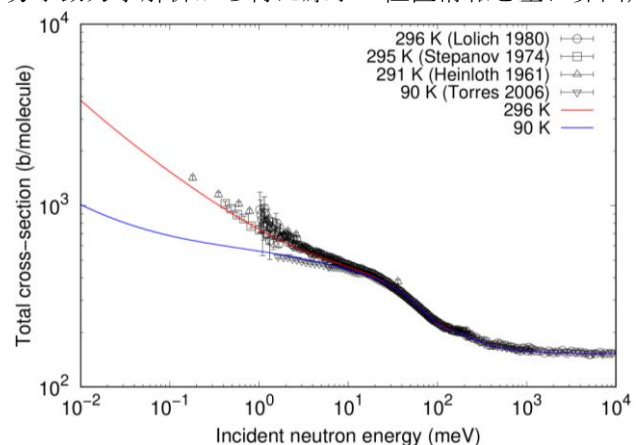


図 1 ベンゼンの全断面積

参考文献 [1] Y. Abe, T. Tsuboi, S. Tasaki, Nucl. Instr. Meth. A 735 (2014) 568.

[2] K. Sköld, Phys. Rev. Lett. 19 (1967) 1023.

*Yutaka Abe¹, Akira Ichihara²

¹Kyoto Univ., ²JAEA

JENDL-5 の核データ評価

(5) 崩壊データサブライブラリ

Nuclear data evaluation for JENDL-5

(5) Decay data sublibrary

*湊 太志¹

¹原子力機構

JENDL-5 崩壊データを、最新の測定データと原子核理論モデルを取り入れて開発した。JENDL-4.0 にあった諸問題を解決し、放射線に関わる研究開発に対する実用性を高めた。その詳細について紹介する。

キーワード：JENDL-5, 核データ評価, 崩壊データ, 核分裂生成物, 不安定核, 原子核構造

1. 緒言

JENDL-5 崩壊データは、JENDL-4.0 以降に測定された実験値を反映するとともに、最新の原子核理論モデルから導き出された粒子スペクトル等を収録している。また、崩壊先の核種と γ 線スペクトルの欠落、古い原子データ情報の採用といった JENDL-4.0 の問題点を解決し、原子力研究開発に対する実用性を向上させた。

2. 開発手法と得られた成果

JENDL-5 崩壊データは、主に ENSDF の核構造情報を基に開発が行われた。崩壊熱は最新の TAGS の測定結果が取り入れられている。半減期や粒子スペクトルに実験値が無い場合は、理論モデルの結果を収録した。特に、JENDL-4.0 に無かった遅発中性子スペクトルが新たに追加されている。X 線や Auger 電子に関する情報は、EADL と EPICS2017 から新たに導出し収録した。図 1 は U-235 の高速中性子による核分裂後の崩壊熱と遅発中性子収率を示している。JENDL-4.0 と比べ、崩壊熱は同等以上、遅発中性子収率は実験の不確かさ内で再現している。図 2 は JENDL-4.0 に収録されていない Ba-137m から放出される X 線スペクトルを示している。JENDL-5 は、ENDF/B-VIII.0 には無い 600eV 付近の低エネルギー X 線も収録していることが分かる。

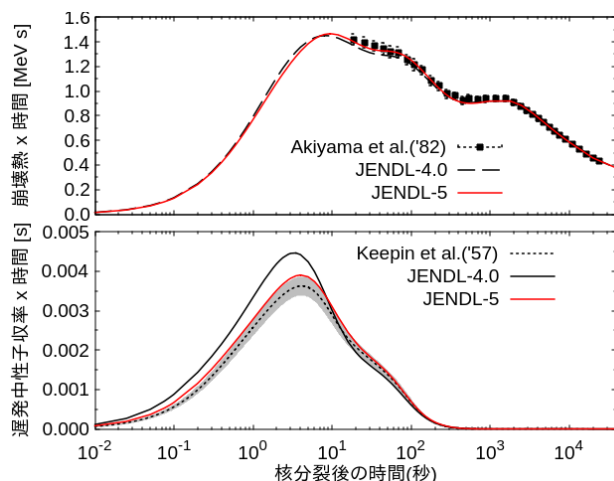


図 1：JENDL-5 収率・崩壊データを用いて計算された崩壊熱と遅発中性子収率の時間変化の図。

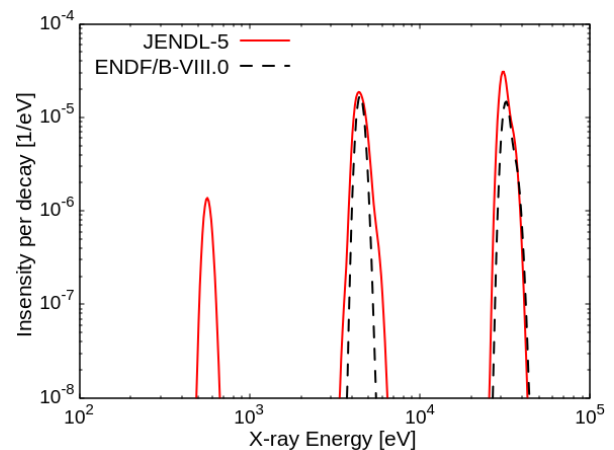


図 2：Ba-137m から放出される X 線スペクトル（スペクトルには任意の幅が与えられている）。

3. 結論

JENDL-5 崩壊データの開発によって、JENDL 崩壊データの実用性が大きく向上した。今後 JENDL-5 崩壊データは、廃炉措置や放射線被ばく線量評価といった原子力研究開発に対して広く利用されることが期待される。

*Futoshi Minato¹

¹JAEA

JENDL-5 の核データ評価

(6) 重陽子・ α 粒子反応サブライブラリ

Nuclear data evaluation for JENDL-5

(6) Sublibraries of deuteron and alpha-particle reactions

*中山 梓介

原子力機構

JENDL-5 の内、主に加速器中性子源の設計に向けて開発した重陽子反応サブライブラリと、主にバックエンド分野での利用に向けて開発した α 粒子反応サブライブラリについて、概要を述べる。

キーワード：核データ、JENDL-5、重陽子、 α 粒子

1. 緒言

様々な分野での応用に資するため、JENDL-5 にはいくつかのサブライブラリが含まれている。本発表ではその内の、重陽子および α 粒子反応サブライブラリの概要について述べる。

2. データ概要・評価手法

重陽子加速器を用いた中性子源の設計等の分野において、重陽子入射反応の核データが必要とされている。JENDL-5 の重陽子反応サブライブラリでは、近年公開した JENDL/DEU-2020[1]の ${}^6,7\text{Li}$, ${}^9\text{Be}$, ${}^{12,13}\text{C}$ のデータを一部修正したものを採用するとともに、加速器構造材核種として重要な ${}^{27}\text{Al}$, ${}^{63,65}\text{Cu}$, ${}^{93}\text{Nb}$ のデータについて重陽子入射反応計算コード DEURACS の計算値を基に新規に評価を行った。

使用済み燃料中では α 崩壊する超ウラン元素と軽元素とが共存するため、バックエンド分野において軽核に対する α 粒子入射反応の核データが必要とされている。以前の JENDL/AN-2005[2]では ${}^7\text{Li}$ から ${}^{30}\text{Si}$ までの軽核に対する α 粒子入射／中性子生成断面積が実験値を基に精度良く評価されている。しかしながら、生成中性子のエネルギー・角度分布に問題があることが指摘されている[3]上に、中性子生成以外のデータ（ γ 線生成データ等）が収録されていないという問題点があった。そのため、JENDL-5 の α 粒子反応サブライブラリには、核反応計算コード CCONE による評価計算値の内、中性子生成断面積のみを JENDL/AN-2005 の値で置換したデータを収録した。これにより、中性子生成断面積の精度を保ちつつ生成中性子のエネルギー・角度分布の精度を向上させるとともに、中性子生成以外のデータの完備性を向上させた。

3. データ検証結果

粒子輸送計算コード PHITS を用いたシミュレーションによる検証結果の一例を図 1 に示す。JENDL-5 の α 粒子反応サブライブラリを使用することで、JENDL/AN-2005 を使用した場合よりも中性子スペクトルの実験値の再現性が大きく向上した。その他の検証結果についても当日紹介する。

参考文献

- [1] S. Nakayama *et al.*, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **58**, 805-821 (2021).
- [2] T. Murata *et al.*, JAEA-Research 2006-052 (2006).
- [3] D.P. Griesheimer *et al.*, *Nucl. Eng. Technol.*, **49**, 1199 (2017).

*Shinsuke Nakayama

Japan Atomic Energy Agency

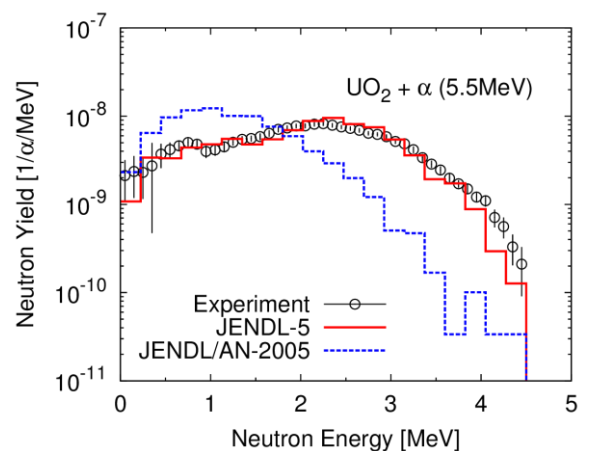


図 1 厚い UO_2 標的に 5.5MeV の α 粒子を照射した際の中性子スペクトル