

「シグマ」特別専門委員会、核データ部会、炉物理部会合同セッション
「ベンチマーク問題や積分実験を用いた JENDL 及び核計算コードの V&V の
現状と今後の展望」

(4) 核データ検証自動実行システム VACANCE の開発

日本原子力研究開発機構
炉物理標準コード研究グループ

多田健一

tada.kenichi@jaea.go.jp

1. 背景

積分実験を用いた核データの検証は、重要な核データ検証プロセスの一つである。近年、核データや核計算コードの高度化に伴い、これらに求められる精度要求が厳しくなっており、積分実験を用いた核データ検証の重要性が高まってきている。積分実験を用いた核データの検証は図 1 に示すように以下の三つのステップで構成され、要求される解析精度に達するまで核データへのフィードバックが繰り返される。

1. 核計算コード用断面積ライブラリの作成
2. 積分実験解析
3. 解析結果の編集・解釈と核データへのフィードバック

積分実験を用いた核データの検証は核データの解析精度や信頼性を向上させるために非常に重要であるが、これらの作業には核データ処理や臨界解析に関する専門的な知識と経験を必要とする。そのため、積分実験を用いた核データの検証を核データ評価者だけで実施することは困難であり、JENDL の検証では長年炉物理の専門家が担当してきた [1]。また、JENDL-4.0[2]では 400 核種以上の核データが用意されており、また検証に使う積分実験の入力数も数百に上ることから、これらの作業は多くの手間と時間が必要であり、今までの JENDL の検証でも多くの労力が割かれてきた。そのため、核データ評価者にタイムリーなフィードバックを行うことは困難であり、それゆえに積分実験を用いた核データの検証を頻繁に行うことは出来なかった。そこで、次期 JENDL に向けた効果的な核データ検証サイクルを実現するため、これらの作業を自動化し、核データ評価者自身も積分実験を用いた核データの検証が行えるシステムの構築が強く求められてきた。

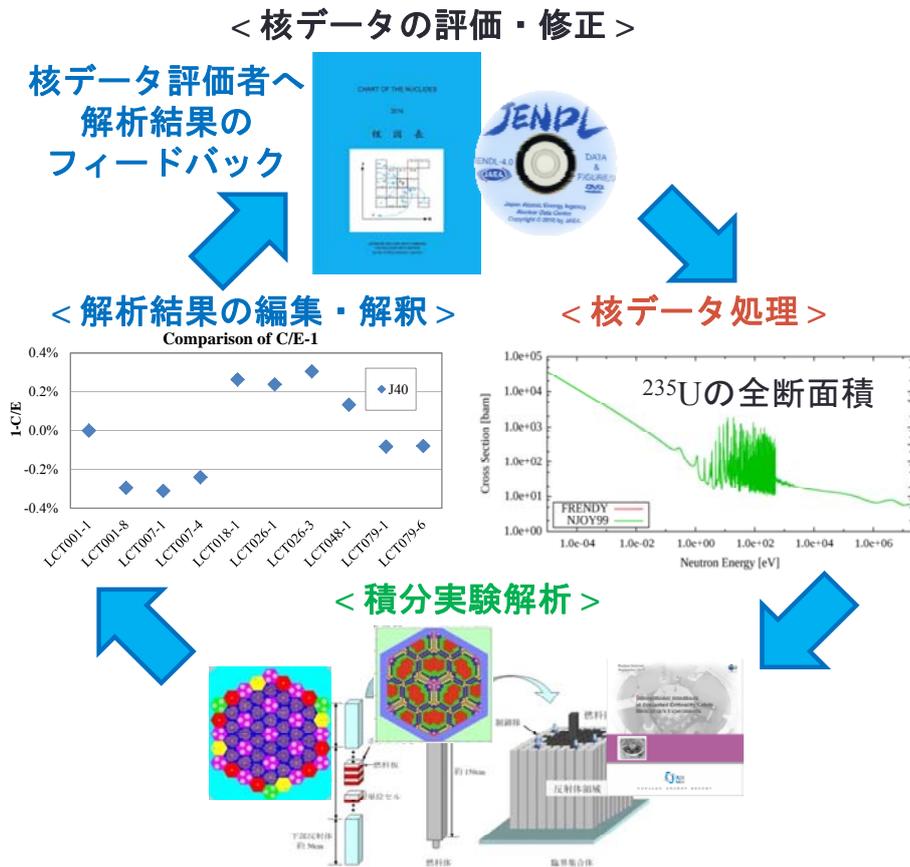


図1 積分実験を用いた核データ検証の例

JAEA では近年、核データファイル名と温度といった単純な入力で核データ処理を実現する国産核データ処理システム FREN DY (From Evaluated Nuclear Data librarY)[3]の開発を進めており、核データ処理に関わる様々な問題を解決することに成功した。また次期 JENDL のため、核データの検証に利用可能な信頼性の高い積分実験の入力データの作成も進めている[4,5]。

そこでこれらの成果を活用し、効率的な核データ検証を実現するため、JAEA では 2015 年度より臨界実験解析と解析結果を編集する自動核計算実行システム VACANCE (Validation Environment for Comprehensive and Automatic Neutronics Calculation Execution)の開発を行っている[6]。本稿では、この自動核データ処理システム VACANCE の開発について報告する。

2. VACANCE の概要

VACANCE は積分実験の解析及び解析結果の処理を自動で行うシステムである。VACANCE の主な機能や特徴は次の通りである。

1. 指定したディレクトリ中の全入力ファイルを検索し、計算を実行する。
2. 核データライブラリの違いなどを評価するため、計算オプションや核種 IDなどを自動で修正することが可能である。
3. OpenMP を用いた並列計算に対応し、計算コードを並列に実行する。
4. 計算が終了したケースをスキップすることによるリスタート計算に対応している。
5. MVP[7]と MCNP[8]の二つの核計算コードを取り扱い可能である。
6. 自動的な C/E 値(Calculation/Experiment)の計算や、H/U 比や濃縮度分布などのユーザー指定の物理値でのソートに対応している。
7. 取り扱い可能な核計算コードの追加など、将来的な拡張性を考慮している。

図 2 に VACANCE を用いた積分実験解析のディレクトリ構造の例を示す。VACANCE では指定したディレクトリ直下のファイルだけでなく、指定したディレクトリに含まれる全ての入力ファイルを検索することが出来る。そのため、図 2 の例では、解析対象のディレクトリとして「Top」と記載するだけで、「Top」ディレクトリ以下に含まれる全ての入力を自動的に解析することができる。また、積分実験を用いた核データの検証では核種毎に核データライブラリを変更したり、ヒストリー数や出力オプションなどを変更したりする必要があることから、入力修正の手間とミスを減らすため、自動的に入力を

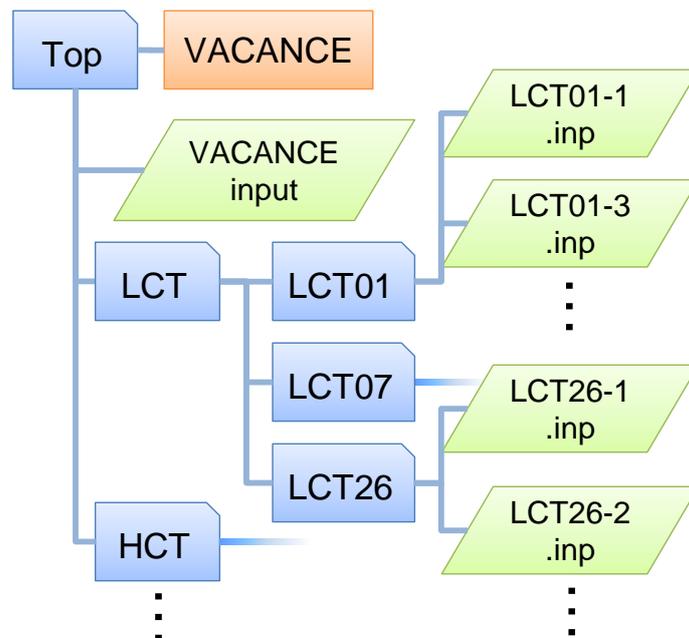


図 2 VACANCE を用いた積分実験解析のディレクトリ構造の例

修正することが可能となっている。また、ICSBEP ハンドブック[9]に含まれている MCNP のサンプル入力では、核種毎に異なる核データライブラリ(ACE ファイルの添え字)を使っていることがあることから、全核種を指定の核データライブラリに統一することも可能とした。

VACANCE は積分実験解析を用いた核データ検証の自動化のために開発を進めているが、核データ処理の検証や MVP や FRENDY などの計算コードの検証、最小臨界量評価などのパラメーターサーベイといった一度に多くの計算を行う必要のあるケースに幅広く利用することが期待出来る。

3. VACANCE を用いた計算例

VACANCE を用いた計算例として、積分実験を用いた核データの比較について示す。新しい核データライブラリが公開されたり、核データが修正されたりした場合にも、従来のライブラリとの違いを評価するために、積分実験解析が実施される。積分実験解析を用いた核データの比較では、全ての核種の核データを変えた場合の解析結果の比較も行うが、 ^{238}U あるいは ^{241}Am といった一つの核種を選択して、その核種の核データを変更した場合の実効増倍率の差異を見ることも多い。

図3に解析例として、ENDF/B-VIII.β1[10]と既存の核データライブラリの解析結果の比較結果を示す。図3では、ICSBEP ハンドブックに登録されている、LCT¹のベンチマークの中の代表的な実験ケースにおいて、 ^{238}U の断面積を JENDL-4.0(J40)から ENDF/B-VIII.β1 (E8β)および JEFF-3.2[11] (F32)に変更した場合の実効増倍率の C/E 値の差異を示している。

図3のような核データライブラリを変更することによる積分実験解析結果の違いを評価するためには、以下の操作・解析が必要となる。

1. 入力ファイル中の核データライブラリ名の修正
2. 積分実験解析
3. 実効増倍率の読み取りと C/E 値の計算
4. 解析結果の出力

¹ LCTや図2中のHCTは、ICSBEPハンドブックに登録されている実験の大まかな概要を示している。ICSBEPには450以上の様々な積分実験が登録されている。積分実験データの利用者はこのアルファベット三文字で積分実験の論文を読むことなく、その積分実験の大まかな内容を知ることが出来るため、膨大な積分実験の中から効率的に必要なとする積分実験を見つけることができる。ICSBEPハンドブックに登録されている積分実験名は、一文字目が主要な核分裂性物質(L:低濃縮ウラン、H:高濃縮ウラン、P:Pu、U: ^{233}U)、二文字目が燃料の化学的形態(C:酸化物や窒化物などの化合物、M:金属、S:溶液)、三文字目が平均的な核分裂エネルギー(T:熱群、I:中間、F:高速群)を、そしてそれ以降の数字が実験番号とその構成番号を示している。例えばLCT001-8では低濃縮ウランを燃料とし、燃料の形態は化合物で、スペクトルの柔らかいベンチマークの1番目の実験データの8番目の炉心構成であることが分かる。

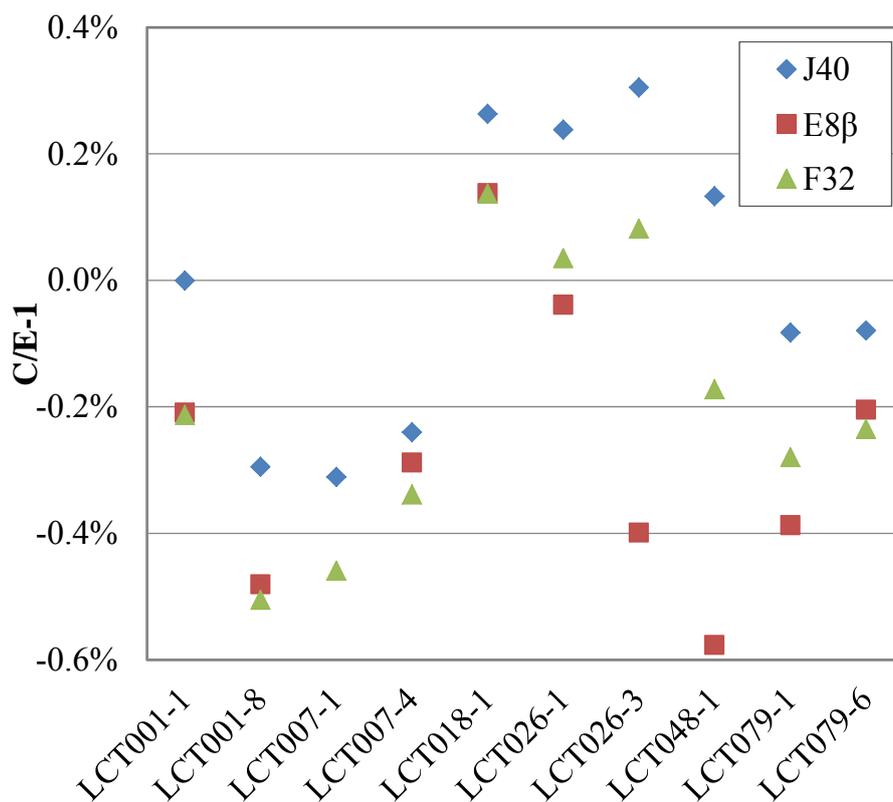


図3 ^{238}U の核データライブラリのみを JENDL-4.0 から変えた場合の各積分実験ケースにおける C/E-1 値の違い

前章でも述べた通り、VACANCE では自動的に入力データの修正や、C/E 値の計算を行うため、VACANCE を用いることで、上記の操作・解析のほとんどを簡単な入力を用意するだけで実施することが出来る。そのため、このような核種毎に核データライブラリを変えるような場合には、VACANCE を用いることで作業量の大幅な低減が可能となる。

4. 今後の開発予定

今後の VACANCE の開発予定は以下の通りである。

1. FRENDY や MARBLE2 など取り扱い計算コードの拡張
2. 自動作図機能の実装
3. 核データ編集機能の実装

図4 に VACANCE を用いた自動積分実験解析の将来図を示す。現行の VACANCE では連続エネルギーモンテカルロコード MVP 及び MCNP のみ取り扱い可能であるが、将来的には FRENDY による核データ処理も VACANCE で自動化し、核データの修正が臨界

参考文献

- [1] G. Chiba, K. Okumura, K. Sugino, Y. Nagaya, K. Yokoyama, T. Kugo, M. Ishikawa and S. Okajima "JENDL-4.0 Benchmarking for Fission Reactor Applications," *J. Nucl. Sci. Technol.*, **48**, pp.172-187 (2011).
- [2] K. Shibata, O. Iwamoto, et al., "JENDL-4.0: A New Library for Nuclear Science and Engineering," *J. Nucl. Sci. Technol.*, **48**, pp. 1-30 (2011).
- [3] K. Tada, Y. Nagaya, S. Kunieda, K. Suyama, T. Fukahori "Development and verification of a new nuclear data processing system FRENDY," *J. Nucl. Sci. Technol.* (2017) [accepted]. <http://dx.doi.org/10.1080/00223131.2017.1309306>
- [4] JENDL 委員会リアクター積分テストワーキンググループ、"JENDL 開発のための軽水炉ベンチマークに関するデータ集の整備 ー公開データベース ICSBEP 及び IRPhEP における実効増倍率データの活用ー," JAEA-Data/Code 2017-006, 日本原子力研究開発機構 (2017).
- [5] 桑垣 一紀、長家 康展、" ICSBEP ハンドブックを用いた JENDL-4.0 の U-233 体系に対する積分ベンチマークテスト," JAEA-Data/Code 2017-007, 日本原子力研究開発機構 (2017).
- [6] K. Tada, K. Suyama, "Development of an Automatic Nuclear Data Validation System VACNAE," *Proc. ICAPP2017*, Fukui-Kyoto, Japan, Apr. 24-28, 2017 (2017).
- [7] Y. Nagaya, K. Okumura, T. Sakurai, T. Mori, "MVP/GMVP version 3; General purpose Monte Carlo codes for neutron and photon transport calculations based on continuous energy and multigroup methods," JAEA-Data/Code 2016-018, 日本原子力研究開発機構 (2017).
- [8] X-5 Monte Carlo Team, "MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5," LAUR-03-1987 (2003).
- [9] OECD/NEA, "International Handbook of Evaluated Reactor Physics Benchmark Experiments," NEA/NSC/DOC(2006)1.
- [10] D. Brown, "Preparing for ENDF/B-VIII," *Proc. ND2016*, Bruges, Belgium, Sep. 11-16, 2016 (2016).
- [11] OECD/NEA Data Bank, JEFF-3.2 Evaluated Data Library - Neutron data (2014), http://www.oecdnea.org/dbforms/data/eva/evatapes/jeff_32/
- [12] B.T. Rearden, M. A. Jessee, "SCALE Code System," ORNL/TM-2005/39, Version 6.2.1, Oak Ridge National Laboratory (2016).
- [13] B. T. Rearden, M. L. Williams, M. A. Jessee, D. E. Mueller, D. A. Wiarda "Sensitivity and Uncertainty Analysis Capabilities and Data in SCALE," *Nucl. Tech.*, **174**, pp. 236-288 (2011).
- [14] K. Yokoyama, T. Hazama, et al, "Development of comprehensive and versatile framework for reactor analysis, MARBLE," *Ann. Nucl. Energy*, **66**, pp. 51-60 (2014).